

令和 6 年 5 月

CPC 講演会等年次報告 (令和 5 年度)

- ・CPC 総会講演会 (令和 5 年 6 月 13 日)
- ・洋上風力発電技術セミナー
 - 第4回 (令和 5 年 4 月 21 日)
 - 第5回 (令和 5 年 6 月 23 日)
 - 第6回 (令和 5 年 8 月 25 日)
- ・日中韓北極域セミナー (令和 5 年 8 月 28 日)
- ・ザ・シンポジウムみなと in 石狩湾新港 (令和 5 年 10 月 5 日)
- ・令和 5 年度 CPC 講演会 (令和 5 年 11 月 28 日)
- ・令和 5 年度 CPC 技術講演会 (令和 5 年 12 月 12 日)

一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター

目 次

1. 令和5年度講演会等概要	1
2. CPC 総会講演会	
2.1 講演「準備すること、対話することで人を育てる～私の野球人生から～」	3
付録A CPC 総会講演会 開催案内	11
付録B CPC 総会講演会 写真	12
3. 洋上風力発電技術セミナー	
3.1 第4回「ジャケット構造の計画・設計・施工」	13
3.2 第5回「浮体構造の計画・設計・施工」	48
3.3 第6回「オペレーション・維持管理・施設の廃棄」	83
付録C 洋上風力発電技術セミナー 開催案内	110
付録D 洋上風力発電技術セミナー 写真	113
4. 日中韓北極域セミナー	
4.1 Flyer	115
4.2 2023 Program	117
4.3 List of Participants	120
4.4 2023 レポート	123
付録E NPARC 2023 Meeting in SAPPORO Photo(Meeting)	126
付録F NPARC 2023 Meeting in SAPPORO Photo(Member)	126
5. ザ・シンポジウムみなと in 石狩湾新港	
5.1 開会挨拶	127
5.2 共催者挨拶（石狩市）	128
5.3 共催者挨拶（小樽市）	129
5.4 石狩湾新港の紹介「石狩湾新港の整備効果と振興ビジョンについて」	130
5.5 講演1「次世代物流・流通システムによる港湾の競争力の強化」	134
5.6 講演2「洋上風力の石狩湾沖展開と水産業の協調的発展」	138
5.7 パネルディスカッション「石狩湾新港の可能性と未来を語る」	141
付録G ザ・シンポジウムみなと in 石狩湾新港 開催案内	145
付録H ザ・シンポジウムみなと in 石狩湾新港 写真	147
6. 令和5年度CPC講演会	
6.1 講演「気候変動による防波堤の安定性低下と順応的対策」	155
6.2 成果報告	
(1)「港湾等において発生する浚渫土砂の有効活用方策」	161
(2)「苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法」	167
(3)「北海道水産物の輸出促進に向けた取り組み」	172
付録I 令和5年度CPC講演会 開催案内	179
付録J 令和5年度CPC講演会 写真	181

7. 令和 5 年度 CPC 技術講習会(苫小牧会場)	
7.1 講演「I C T計測機器を用いた効率的な水中部点検」	183
7.2 成果報告	
(1)「港湾等において発生する浚渫土砂の有効活用方策」	193
(2)「苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法」	193
(3)「北海道水産物の輸出促進に向けた取り組み」	193
※前頁 6.2 と内容が同じことから略	
付録K 令和 5 年度 CPC 技術講習会 開催案内	194
付録L 令和 5 年度 CPC 技術講習会 写真	196

1. 令和5年度講演会等概要

名 称	プ ロ グ ラ ム	日時、場所	開 催 状 況
CPC 総会講演会	・「準備すること、対話することで人を育てる～私の野球人生から～」 NHK プロ野球解説者，中日ドラゴンズ前監督 与田 剛 氏	令和5年6月13日 京王プラザホテル札幌	参加者数：103人
洋上風力発電技術セミナー	・第4回「ジャケット構造の計画・設計・施工」 北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏 (一社)寒地港湾空港技術研究センター 審議役) ・第5回「浮体構造の計画・設計・施工」 同 上 ・第6回「オペレーション・維持管理・施設の廃棄」 同 上	令和5年4月21日 TKP ガーデンシティ札幌駅前 令和5年6月23日 TKP 札幌駅カンファレンスセンター 令和5年8月25日 TKP 札幌駅カンファレンスセンター	参加者数：来場24名 Web 88名 参加者数：来場22名 Web130名 参加者数：来場22名 Web 78名
日中韓北極域セミナー	・Flyer ・NPARC 2023 Program ・List of Participants ・NPARC 2023「日中韓の多様な専門家による北極圏のアジア的視点を発展させるプラットフォーム」	令和5年8月28日 北海道大学	参加者数：中国13名 韓国14名 日本21名 計 48名
ザ・シンポジウムみなと in 石狩湾新港	・開会挨拶 眞田 仁(ザ・シンポジウムみなと実行委員会委員長) ・共催者挨拶 加藤 龍幸 氏(石狩市長) ・共催者挨拶 迫 俊哉 氏(小樽市長) (代読 小樽市産業港湾部港湾担当部長 笹田 泰生氏) ・石狩湾新港の紹介「石狩湾新港の整備効果と振興ビジョンについて」 (一社)寒地港湾空港技術研究センター 理事長 眞田 仁 ・講演1「次世代物流・流通システムによる港湾の競争力の強化」 東京女子大学現代教養学部 教授 二村 真理子 氏 ・講演2「洋上風力の石狩湾沖展開と水産業の協調的発展」 (一社)海洋エネルギー漁業共生センター 理事 渋谷 正信 氏 ・パネルディスカッション 「石狩湾新港の可能性と未来を語る」 パネリスト 東京女子大学現代教養学部 教授 二村 真理子 氏 パネリスト (一社)海洋エネルギー漁業共生センター	令和5年10月5日 シャトレーゼ ガトーキングダム サッポロ	参加者数 (Web 参加者も含む)：506人

	理事 渋谷 正信 氏 パネリスト 札幌商工会議所 副会頭 紫藤 正行 氏 パネリスト 大和リース(株)北海道支店 視点章 稲垣 仁志 氏 パネリスト 石狩湾新港管理組合 専任副管理者 折谷 徳弘 氏 コーディネーター フリーアナウンサー 渡辺 陽子 氏		
令和 5 年度 CPC 講演会	・講演「気候変動による防波堤の安定性低下と順応的対策」 (国研)寒地土木研究所寒冷沿岸域チーム 上席研究員 平野 誠治 氏 ・成果報告 (1) 港湾等において発生する浚渫土砂の有効活用方策 CPC 調査研究部 研究員 白鳥 夏生 (2) 苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法 CPC 調査研究部 次長 山内 功 (3) 北海道水産物の輸出促進に向けた取り組み CPC 第3 調査研究部 部長 田中 淳	令和 5 年 11 月 28 日 TKP 札幌駅カンファレンスセンター	参加者数：26 人
令和 5 年度 CPC 技術講習会	・講演「I C T 計測機器を用いた効率的な水中部点検」 (株)クマシロシステム設計 解析設計部 部長 阿部島 直哉 氏 ・成果報告 (1) 港湾等において発生する浚渫土砂の有効活用方策 CPC 調査研究部 研究員 白鳥 夏生 (2) 苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法 CPC 調査研究部 次長 山内 功 (3) 北海道水産物の輸出促進に向けた取り組み CPC 第3 調査研究部 部長 田中 淳	令和 5 年 12 月 12 日 苫小牧市文化交流センター	参加者数：48 人

2. CPC 総会講演会

2.1 講演「準備すること、対話することで人を育てる

～私の野球人生から～

与田 剛 氏

(NHK プロ野球解説者、中日ドラゴンズ前監督)

皆様、ただ今ご紹介いただきました与田剛です。こんにちは。

本日は長年お世話になっております眞田理事長からお話をいただきまして、佐伯会長をはじめ、関係者の皆様、お招きいただきまして、本当にありがとうございます。久しぶりに北海道に來させていただきます。先程プロフィールをご案内いただきましたが、私の妻である木場弘子、私は与田剛、性が違いますが離婚はしておりません。仲良く夫婦生活を送っておりますが、皆様と、特に眞田さんとお会いさせていただいた経緯は、うちの妻が大変お世話になっておりまして、私も一度千葉の港の方に行かせていただいて、国のお仕事、国土交通省のお仕事を様々ならせていただきました。マル秘な情報はマル秘で教えていただけませんでしたけれども、そういった経緯がありまして、本日は皆様のお仕事の関係上、妻が来て話をした方が本当は良かったかもしれませんが、今日は私がこの高いところに立たせていただいて、少し妻の悪口といろいろなお話をさせていただこうかと思っております。

まずは先程プロフィールでご紹介いただきましたけれども、私がプロ野球選手になり、そして 2021 年までドラゴンズで監督を務めさせていただきました。その中で多くの先輩方・後輩の皆さんとおつきあいをさせていただきましたけれども、今日さっと見渡しますと私よりも先輩の方が多いような気がします。私は今年で 58 才になりますけれども、そういった意味では私がプロに入った時の監督の星野仙一さん、私がユニフォームを脱いだ時の監督の野村克也さん、それから 2009 年、今年も WBC 盛り上がりましたけれども、初めて指導者としてユニフォームを着せていただいた時の監督が原辰徳さん、私が野球の師と仰いでいる落合さん、そのような方から教わったことで、何か皆さんのお仕事のお役に立てるようなことがあればと思ひながら、一生懸命お話をさせていただきます。裏話をすると 5 時間ぐらい掛かってしまうので、約 1 時間ほどですが、50 分ぐらいお話しさせていただいて、何かご質問があればお受けさせていただきたいと思いますので、よろしくお願いいたします。

私は、プロ野球選手になって、そしてタイトルも取らせていただき、監督にもなり、このような講演会をさせていただくと、ほとんどの方が非常に小さな頃から野球が上手

くて、全てに優れていたというような見方をされます。しかし、高校時代は春も夏も甲子園大会に出たことは一度もなく、大学からの誘いもなく、企業からの誘いもなく、私は亜細亜大学という当時日本一厳しいと言われていた大学でなんとか野球をやらせてほしいということで、テストを受けさせていただいて、やっと入学ができたような人間です。亜細亜大学時代の 4 年間には、後でお近くで見えますが、掌を大きく切開する手術もしました。ピッチャーなのですが、この 2 本の指に血が通わなくなってしまうという病気になるました。なかなか野球ができない、ボールも全く投げられない、指の感覚が、手の感覚がほとんどなくなってしまう、そんな状況が大学 3 年生の時に訪れてきたのです。当然、大学で活躍することもできず、大学 4 年を迎え、就職活動をしなればいけない。プロなんて全く興味を示してもらえず、社会人野球も興味を示していただけなかった。そんな時に NTT という企業の東京のチームが、私が大学 2 年生の時に社会人野球の強豪チームを相手に投げたことがあり、その時にたまたま良いピッチングができたのです。それを当時の NTT の監督さんが覚えていらっしゃって、「あの与田が行くところがないのだったら、うちが採ってやろう」と。当時はまだバブルでしたので、経済界の中にも少し余裕があった時代だったのでしょね。私はいつも運の良い男だなと言うのですけれども、そういう中で企業としても一流、野球としても全国でトップレベルという、そんなところで野球をやらせていただくことができました。

学生時代から、進学する時もそうですけれども、たくさんの方に拾っていただいて、救われてきて、プロ野球選手になったわけですが、いざドラフト会議が直前に迫った 1989 年です。同期入団は私よりもはるかに有名な野茂英雄、彼と同期入団です。広島には佐々岡真司が入り、西部には潮崎という選手が入り、ヤクルトには古田も入り、そういうそうそうたるメンバーの中で私の名前をドラゴンズから呼んでいただいて、入団することができました。さらっと言いましたけれど、拾われて、拾われて、どこからも目に留まることのなかった男がいきなりドラフト 1 位です。これは私も未だに不思議ではないのですけれども、あっという間に一瞬で人生が変わる、そんな経験をさせていただきました。

NTT 東京に入社して 1 年目、全く活躍できず怪我ばかり、2 年目にはじめて全日本の合宿に呼んでいただいて、その時に野茂英雄君と初めて会ったわけです。その前年度 88 年、ソウルオリンピックで大活躍していた彼を私はテレビで応援していた。「すごいな、すごい投げ方をするな」と。ある意味、年は三つ下ですけれども、同じ野球人として憧

れて見ていた。なんでこんな球が投げられるのだろう。その彼と間近で初めて会う機会が訪れて、翌日には隣で投げ合う、ブルペンでピッチング練習をする、そんな環境がトントン拍子で訪れたのです。今でもはっきり覚えていますけれども、「あー、これが野茂か」と。今、私の横に立ったら、当時の大きさだと1.5倍、今の大きさだと3倍ぐらいあると思いますけれども、はるかに私が小さく見えるぐらい、背も横も大きい。その彼と並んで投げて、長年野球をやってきて、後輩でしたけれども、こういう野球人達と少し同じ土俵に上がったのかなと、初めてちょっとずつ自信が湧いてきたのが89年でした。

まさかドラフト1位で入団できると思っていませんでした。みんなが野茂英雄をドラフトで指名するだろうなと思っていたところ、ドラゴンズが指名してくださった。その監督が星野仙一さんです。皆様のイメージは如何でしょうか。星野さんとお会いしたことがある方はいらっしゃるでしょうか。そうですか。今日ちょっと悪口を言うので聞かなかったことにしてください。おそらく皆さんは暴れる印象を持っていると思います。我々は殴る蹴るという表現を使っていましたが、星野さんご自身は「わしはさすっただけや」と、「なでとるだけや」と、ニコニコ笑いながら不気味な顔でいつもおっしゃっておりました。私は運良く一度もさすられたことはなかったので、体から血が出ることはありませんでした。

入団発表のため母と二人で名古屋を訪れた時に、初めて星野さんとお会いしました。「君がヨタか」「いや、ヨダです」と言ったのを覚えています。「まあ、そんなことはどうでもええわ」という話をされ、ニコッと笑って「良い球、投げるらしいな、野茂より良いと聞いているぞ、よろしく頼むな」と非常に優しい顔で手を差し出してくださったのです。私は両手で拝むように握手をさせていただいて、母親は横でキャアキャア喜んでいました。

そんな出会いから1990年の2月1日、プロ野球恒例のキャンプが始まります。ユニフォームに袖を通した星野さんの顔は全くの別人、優しく言葉づかいもどこへ行ったものやら、人ってこんな急に変われるのだなと思うぐらい、おそろしい表情をしておりました。こういう大きな部屋で初日のミーティングがありました。様々な話を担当コーチからされ、最後に星野監督からお話があったわけですが、もちろん「チームのために、リーグ優勝、日本一、頑張ろう」というようなお話があって、最後に「みんなよく聞けよ、俺はな、好き嫌いするぞ」とニヤッと笑いながらおっしゃったのです。そういうことを言われる指導者の方というのは、私は初めてだったので、「こんなことを言われるのだ」とちょっとびっくりしたのです。その後に星

野監督が「人に好かれるようになれば、好かれて、力をつけて、一軍の試合に出なければ駄目なんだ」ということをおっしゃいました。非常に厳しいイメージがずっとあったのですけれども、あの時のお顔はとても父親のような、時にはちょっと年の離れた兄のような表情をされて、多分それでみんな騙されるのでしょうか。「よし、この人についていこう」と。その後にも星野さんは「好かれるために何をしたらいいか。よくゴマをするとか言うよな。でもそれはどんなゴマを誰にすったら良いかというのをそいつは一生懸命考える。人に好かれようと努力しているんだ」と。もちろんプロ野球界ですから、グラウンドで技術を高めて結果を出さなければいけない。しかしその前に社会人として人間としてみんなとチームで生活をして行く。ルールもある。そういう中で人に迷惑をかけず、好かれる人間になりなさいという、非常に今でもはっきり覚えているミーティングを星野さんがされました。

そこから1年目の生活がスタートしたわけです。私は入団当初、契約書にサインはしていなかったのですが、先発ピッチャーをしていたので、先発で起用していただけたという口約束をしていました。それで2月のキャンプが終わり、3月のオープン戦が始まり、いざ開幕、約10日前ぐらいです。「おい、剛、監督室へ行ってこい、呼んでるぞ」と言われ、「はい、わかりました」と脂汗をかきながら、「なんでこんな時に呼ばれるのだろう、二軍に行けと言われるのかな」と、そんなドキドキした気持ちを持ちながら監督室へ入りますと、「おー、座れ」と。「はい」と監督の前に座り、もう緊張して顔も見られませんでした。「おい剛、お前、開幕から抑えやれ」と言われ、「えーっ」と声が出ました。野球をご存じの方はわかると思うのですが、先発ピッチャーはゲームの最初からある程度長いイニングを投げるピッチャーです。抑えピッチャーというのは、同点あるいはリードしている展開で最後の締めにかかる勝ち逃げするピッチャー、投げて1回か2回くらい。それもベンチに毎日入らなければいけない。今までやったこともない、それも非常に責任が重い、そんなポジションを、まだ一度もプロで投げたこともない私に「やれ」と真剣な顔でおっしゃったのです。私はすごく怖くなりました。「こんなことしたこともないのに、どうしたら良いのだろう、この10日間でどうやって調整したら良いのだろう」と。当時、スター選手だった郭泰源という台湾出身の先輩がいらっしまったのですが、彼が大けがをしてしまって抑えピッチャーがいない。そこで新人を抜擢する星野さんの気持ちも判断もすごいのですが、私はそこでどうしてもなかなか「はい」と言えず、「監督、入団の時に先発で使っただけ」というお話は」という言葉が止まない内に「採っ

たら関係あるか、そんなもんは」と、すごい言い方をされたのですね。あの大きなお顔で、あの顔つきで、それを言われると、もう何も言えずに「はい」と。気落ちした私の顔をずっと見ながら星野さんが「おい剛、抑えピッチャーってええもんやぞ。抑えた快感をお前味わってみろ。セリーグの初代セーブ王は誰か知っとるか」と。全然、セーブにも抑え投手にも興味がなかったの、調べたこともなかったのです。すると星野さんが「わしや」っておっしゃったのですね。ご自身がそういう経験をされていたので、私にそういう話をされたのですけれども、一つひとつ思い出すと、まず大きな決断をされる。びっくりするような決断をされる。そして人の心を恐ろしくもさせますけれども、ワクワクもさせる。恐怖心も与えますけれども、幸福感も与えてくださる。非常に激情的な方でしたけれども、私のプロ野球人生のスタートで、ああいう方とお会いできて本当に良かったと思っています。

私の同級生の山本昌が東京ドームのジャイアンツ戦を抑えて勝ち投手の権利がかかっているところの確か4回か5回でした。ロッカールームですごい声と音が聞こえる。誰が聞いてもその声の主がわかります。77番星野仙一さんの声です。「はい」「はい」という山本昌の声が聞こえる。あれ、今日は先発なのに何をやっているのだろう。でもロッカーの雰囲気を開けばだいたいわかるのですね。私はマッサージを受けていたので、そこから出ることができなかったのですけれども、しばらくすると「ピッチャー山本に代わりまして」とアナウンスがあって、「えっ、交代？」とびっくりしました。出て行くと、口から血を流した山本昌がタオルで顔を押さえている。「ああ剛、血が止まんねえ」って言って、さすがにジャイアンツ戦、全国ネットですの、血だらけのピッチャーをマウンドに上げることを星野さんはしませんでしたけれども、そんなことがありました。こんなことで本当にピッチャー交代なんだと。抑えていたけれど投げられなくなってしまったのだと。ここのだけを聞くと、とんでもない監督だと思われると思いますが、山本昌はご存じのように本当に長い間その後もどんどん成長を続け、素晴らしいピッチャーになる。レジェントと言われるようなピッチャーにまで成長しました。もちろんこれはそういう行為が彼を伸ばしたとは全く思っていない。でも山本昌とその後ずっと話をしても、やはり自分自身が、殴ることが良いか悪いかというのは置いておいて、怒られる自分が悪いのだと、そういうことに気付かせてくれたのが星野さんであるということを彼の口から聞いたことがあります。反対派も出て来るような行為があったとしても、その後にしっかりと選手たちと向き合って、やる気をしっかり促して、前に前に押し上げて行こうとい

うような指導が星野さんだったと思います。

私が楽天でコーチをさせていただいた時、星野さんは球団の副会長をされていました。楽天のメンバーとミーティングをする時に、「おい、俺にはセクハラ・パワハラはないからな、よく覚えておけよ」と、そこでもすごいミーティングをされました。とにかくそういうひとと言ひと言でみんなをしっかり押さえ込んでいくと言いますか、でもだからと言って、中にはフォアボールを出したら相手ではなくてベンチの星野さんばかりを見るようなピッチャーも中にはいましたけれども、そういう試合で不安を感じたり、打たれたりしたらどうしようとか、私たちはそういう教育を受けていたので、「ああ、星野さんに怒られるよりはよっぽど良いや」と思えるような感覚で試合をさせていただいていました。それが良いか悪いかは抜きにしても、星野仙一という方は、先程言ったように激情的な方ではありませんたけれども、様々なところで選手の心を大きく動かしてくれる監督だったと思っています。

そして私はそこからロッテへトレードになり、最初のクビを経験し、日本ハムファイターズのテスト入団を受けさせていただいて、2年間プレーをさせていただきました。そこで二度目のクビを経験し、しつこくもう一度テストを受けさせていただいて、阪神タイガースの門を叩いたわけです。そこでお会いしたのが野村克也さんです。私が入団した時にはヤクルトスワローズの監督をされていました。二度目のテスト入団、いろいろな球団をクビになった選手たちが約20~30名集まって、今のようなトライアウトの制度がなかったので、各自が球団とコンタクトをとって「なんとか野球をやらせてください」という、そういう時代でした。

私もタイガースに連絡をとりテストを受けに行ったわけですが、運良く合格通知をいただいて、監督室へ呼ばれ、野村監督からいろいろなお言葉をいただきました。その中で覚えている言葉はまず最初に「与田、お前はいつまで格好つけておるんや」と言われたのです。その意味が全くわからずに黙っていますと、「意味わからんか」「はい」「何をいつまで真っ直ぐにこだわっとるんや」と。私がルーキーで非常に成績を残した年にヤクルトスワローズの監督だった野村さんは私を見ていらっしゃった。そこからどんどんどん力がなくなって、チームも変わり、クビになって行く私のこともよく見てくださっていたのですね。「今、お前に必要なことはなんや」と言われ、いろいろ考えてもなかなか出てこなかったのです。すると「今、お前にできる力で勝つことだろう、プロ野球選手として、一軍の選手として、やらなければいけないことは、お前が調子が良かった年の150何キロを投げるのではな

くて、今何ができるか、何をしたら勝てるか、これを冷静に自分で考えなければ絶対に駄目なんだ」ということを教えていただきました。その格好つけているという感覚が全く自分の中ではなかったもので、「なるほど、そういうふうに自分は思われていたのだな」と。勝つためにスピードボールが必要だと思っていた、でも投げられない自分がいる。そうすると今できることは何かと冷静に分析することが私はできていなかったのですね。それを野村さんから教えをいただきました。最後に、これは著書にもよく書かれていますけれども、「人間は生まれ持って不公平、不平等、でも時間だけは平等にあるんや。この時間をどう使うか、どう使わせるか。お前にひとシーズン俺は時間を与えることはできる。でもそれをどう使うかは、与田、お前次第だぞ。今までと絶対違う使い方をしなさい」ということを野村監督に言っていました。その後、タイガースで大活躍をすることはできなかったのですけれども、そういう考え方があるのだなと思いました。またこれは過去に教わった指導者の方とは違う、「よし、こうやってやってみよう」と自分の気持ちが今までになかったようなスイッチを押してくれるような言葉でした。「考え方が変わって、言動が変わって、行動が変わって、評価が変わる」、これも野村さんに教わったことです。自分の中でまず考え方が変わらなければ、口から出て来る言葉も変わってこない。その言葉が変わってくると自然と行動も変わって来る。いつの間にか評価が変わる。そういう順番でものごとを考えていかないと、結果ばかり求めていっても、「勝ちたい、勝ちたい、抑えたい、打ちたい、それは子供の野球と一緒だ。我々はプロ野球なんだ。プロと言う二文字がつくと一つひとつをそうやって順番通り分析して考えて行け」ということを野村さんから言っていたので、私の監督人生にもすごく大きな役割を果たしてくれました。

そこで最終的には力になれず、私にクビになりました。3 回目のクビです。プロ野球界を去ることになりました。その後、テレビのお仕事をいただいたりしながら野球界に少しずつ携わりながらお仕事をさせていただいて、2009 年に WBC で原監督とユニフォームを着させていただきました。イチローがメイン、松坂、ダルビッシュがまだ 22 歳ぐらいですかね。楽天の田中も 20 歳ぐらいで最年少でした。そういうメンバーの中で野球をやらせていただきましたけれども、原さんの言葉の中でとても覚えている言葉があります。当時メンバーを 5 名ほど落選させなければいけなかったのです。慣れないアメリカのボールに上手く対応できない選手が出る可能性があったので少し多めに招集して、そして対応できなかった選手、力を出せない選手を 5 名ほど落選させるというシステムでした。2 月 15 日

からキャンプが始まって、本番直前に選手を落選させるわけですが、監督とコーチが部屋に集まって、原さんらしいなと思ったのは、ホワイトボードに落選する選手を書くのではなくて、最終的なメンバーを書こうということで、合格するメンバーから書き始めていきました。そのホワイトボードをじっと見て、非常に重苦しい空気が当然流れます。コーチの私たちも何も発することのできない、そういう空気の中でやはり現場のトップが立ち上がって、我々を見て、ホワイトボードを指差して、「選んだことを正解にしよう、それしかない。いろいろな迷いがあるかもしれないけれども、選んだことを正解にする、それだけに集中しよう」ということを原監督がおっしゃったわけですね。その後もずっと練習や試合の中でいろいろな会話をして行くわけですが、その選んだことを正解にしようという真意はその後の食事会の時に、「与田君な、人間って毎日毎日どんな服を着る、どんな靴を履く、どういうふうにしようかという、ちょっとずつのいろいろな選択肢の中で生きている。こういう大きな決断をしなければいけないことも当然出て来る。その時にもう決めたことを丸にするしかないんだよ。ああしておけば良かった、こうしておけば良かったなんていうことを言う前に、とにかくこれで成功させるんだ、そういう思いで突き進んでいくしかない」ということをずっと我々は言われました。当時、私はピッチングコーチのブルペン担当で、試合中はベンチにいないでピッチャーの練習場を見ているコーチです。誰を準備させるか指示があるわけではないので、私の判断でつくらせていかなければいけない。もうその原さんの言葉がずっと常に頭の中にあって、「決めたことを正解にしよう、よし、じゃあこれで行こう、これで行こう」と思いながら、WBC をやらせていただきました。

先程言ったそうそうたるメンバーがいましたけれども、選手と接していて感じたこと、一流の選手に共通してあること、私にとってたくさんある中で大きなものが二つありました。一つは、一流選手は非常に素直です。本当に素直です。スポンジのようにいろいろな話に耳を傾けてくれる。そして自分の中でそれを上手く濾過して、そして新しいものをきちんと考えて行く。自分の考え方はもちろん持っているのですけれども、とても素直に話を聞いてくれる。そうすると我々ももっともっと良くなるように、部下の素直さが上司を変えてくれるという感覚です。そういうものが一流選手には感じられました。それともう一つは、気づき能力ですね。これは「気がつく」と「築き上げる」という二つの感覚を感じました。

東京ドームで行われた第一ラウンドの韓国戦、先発ピッチャー松坂大輔、試合前の練習の時からとっても調子が悪

かったのです。コーチとしてずっと見ていても、誰一人言葉を発することのない緊張感で、何かを喋ってはいけないのではないかというような怖いような空気が流れている中で、松坂の投げる音、ミットで捕る音、それしか聞こえないような状況の中で、「なんでこんなに調子が悪いのだろう」と。今まで見たことがないぐらい調子が悪い。注目の韓国戦、メディアもファンもすごい集まっている中で、何かを言わなければいけない。何か変えてあげなければいけない。でも答えが出てこないのですね。最終的に何も言えず、「がんばれよ、頼むぞ」とそれしか言えず、松坂をグラウンドに送り出しました。案の定、調子が悪い。このまま行けば負けてしまうかもしれない。大量失点で負けるかもしれない。モニターをずっと練習場から見ながら、「何がおかしいのだろうか」と思ってもわからないのです。フッと練習場の松坂の足跡に目が行きました。キャンプの練習場から、全ての選手の投げる右足と左足の歩幅、それから角度、そういったものを見ていたのですが、何かおかしいなと。これも私も長く野球をやっていたお陰で感じる事ができたと思うのですが、何かおかしいなと思って測ってみると、数センチ歩幅が狭い。数センチ角度が違う。もちろん人間ですから常にぴったりではないのですが、こんなに角度が違うことはなかったなと思っていたところ、イニングを抑え終えた松坂がブルペンにきました。「与田コーチ、ピッチの練習をしていいですか、ブルペンで」と。試合で投げたピッチャーがブルペンに来てピッチング練習をするなんていうことはまずないです、ベンチ前でキャッチボールはしますけれども。「どうした大輔」と言うと「いやいや、なんかちょっと違うんですよ」と言って、ブルペンに帰ってきました。私はさっき言ったようなことがやっとわかったので、ここは勇気を持って言わなければいけないと思い、「大輔さ、ステップ幅がね」と言った瞬間に松坂が「ちょっと短いでしょ」と言ったのです。「すごいな、あの緊張するグラウンドの中で投げながら、何かおかしい、何が違うのだろうと考えていたのだ」と思いました。「私が考えていたことと一致して良かったな」と思ってホッとしたのですが、あの緊張感の中、なんとか抑えてゲームを作らなければいけないと思いながら、歩幅がちょっと違うということに松坂は気がついてブルペンで修正をして、そしてその大会のMVPを取りました。その姿を見た時に、もちろんこれはもう私よりもはるかに成績を残したスーパースターですけれども、後輩から学ぶことがたくさんありました。

後日、松坂と対談をする機会があって、これは去年の話ですが、「大輔、実はあの時にああいうことを感じて、1回どうしても聞きたかったのだけれど、どうしたらそうい

う選手になれるんだ」と聞きました。指導者の経験がある人間が「素直です、気づき能力高いですよ」と言うのは簡単なのです。じゃあどうしたら良いのだろうというのは、やはり私はできる人間に聞くのが一番良いと思って、「大輔、どうやったらそういう人間になれるんだろう」と。いろいろな話を彼はしてくれましたけれども、最終的には「与田さん、やっぱり自分の興味を持ったことを好きになることです。なかなかお仕事をそこまで好きになれるかどうかというのは難しいかもしれませんが、好きになって、もっともっと上手になりたいという気持ちがどんどん自分をついていろいろな思考回路にしてくれる」と。「プレッシャーがかかった時、やる気が出なかった時、そういう時はどうしたら良いのだろう」といろいろな選手に私も聞いてきましたが、松坂が面白いことを言いました。フォアボールがありますよね。ストライクが入らなくてフォアボールを出す。これは監督やコーチやチームメイトからすると非常に駄目なものという認識です。「なんでフォアボールなんか出すんだ」と。でも松坂は「与田さん、フォアボールで済んだら良いじゃないですか。そういう捉え方をすれば良いですよ。そりゃ出したくないですよ。でもストライクが入らなくなることがある。上手くないなくなることがある。良い意味で逃げれば良いですよ。逃がしてあげたら良いじゃないですか」と。それを「なんでフォアボール出すのだ」という監督やコーチがいると、フォアボールって増えるのですね。

私が楽天のピッチングコーチになった時に、当時、リーグでもワーストぐらいのフォアボールの数でした。ストライクが入らない。そんなチームが勝てるわけがない。梨田監督とご一緒させていただきましたが、「おい剛、フォアボールはどうやったら減らせる」と聞かれて「出して良いと僕言って良いですか」と、当時、「与田賞」というものを出しまして、フォアボールを三つ出して0点に抑えたら賞金を出すと言ったのです。中にはそれをできるやつがいるのですね。でも「二度とするなよ」と言いましたが、やっぱり「駄目だよ」と言うとなかなか上手く行かない。もちろん「出して良い」というのは本心で言っているわけではないのですが、その時にそういう言葉が言えたのは、松坂は決して私の監督ではありませんでしたけれど、後輩のスター選手、そういう人間から教わったことではあります。一つのフォアボールで済んだと思えば、その次をどうやって抑えるかに集中できれば、意図的にフォアボールを出しても僕は良いと思います。自分も出す時があります。そういうふうな言葉を聞いて、考え方が変わっていきました。

その大会は皆さんもご記憶にあるかもしれませんが、最

後、決勝戦で、イチローが韓国のピッチャーからセンター前にヒットを打ち、勝ち越して、ダルビッシュが最後にマウンドに立って、第2回目のチャンピオンになった大会です。最後のマウンドにいるダルビッシュにハグしたら、私は腰に抱きついて、子供が抱かれているようになりましたけれども、非常にみんながよく頑張ってくれた大会で、今年のWBCもすごく興味を持って見ていました。

栗山監督の采配についてよく聞かれます。私が栗山さんをどうこうという立場ではないのですが、やはり選手を乗せて、信頼をして、それも短期決戦、一流の選手が集まっている。そういう戦いを素晴らしい結果と采配をされたなと思って見ていました。ただ以前、1ヶ月くらい前の講演で質問されました。「どうやったらああいうチームを作れるのですか。選手をあれだけ信頼できるってすごいことですよ」というようなご質問をいただきました。「もちろんそれはすごいことだと思います」と。ただあのメンバーは日本のプロ野球界のトップの集まりですよ。企業の中で1年間、我々が経験した監督という仕事の中で、25名のエリートと数カ月過ぎると約100名の選手たちと1年間過ごしていく、この差というのは当然あるわけです。

楽天のコーチをやった時に最初は一軍のコーチから始めました。1+1が3, 4, 5になります。一軍というのはそういう感覚ですね。1+1は2だと、これは普通の選手です。でも3になっていく、4になっていく、5になっていく、この子たちはタイトルを取れる選手です。そこで2年間指導させていただいて、3年目に二軍のコーチになりました。1+1が2にならない子ばかりです。レベルがこんなに違うのです。なぜそれができないのか。成功体験が少ない、それから信頼されていない、任せられることがない。私がコーチになった時に、コーチとして結果を出さなければいけないとなると、結果を残せそうな選手を使いたくなるわけです、二軍でも。変な話、この子が投げてもほぼ勝てないだろうなという子を最初の頃は推薦できなかったのです。でも途中からその子が一生懸命練習している姿を見て、一生懸命聞いてきてくれる。会話の中で「与田コーチ、ボールの握りこんな感じでどうですか、ピッチングフォームやっとな良い感じになってきたのですよね」と目をキラキラさせて6月ぐらいに言ってきた子がいました。黙って聞いていたのですけれども、2月にその話は私がしているのです、キャンプの時に。話し終わって、「おい、ちょっと良いか。その話、2月に俺が久米島で言わなかったっけ」と言うと、本人は記憶しているのです。「言われました」と。「わかりました、はいって言ったじゃない」と言うと「わかっていたのですけれど、わかっていませんでした」と。要はまだそのレベルだったのです。そ

の時に初めて、教えることと伝わることの違い、伝わって行動に移せて、はじめて教えたことが実になって行く。結果は相手がいますから、勝ち負けの結果はわからないですけれども、伝えたことが頭で理解できて、体で表現できる、まずそこまで教えることと伝わることの違いというのが二軍のコーチになって初めてわかりました。ですから、WBCの一流選手の短期決戦の戦い方、これはまた恐ろしいぐらいプレッシャーは栗山監督も掛かっていたと思います。

約100名を率いていく、ほとんどの人間がまだ把握できていない、この子たちをどうするか。大勢のレベルの子たちをどうやって引き上げていくのか。これがドラゴンズの監督に就任する時に頭の中に重く置いていたことです。いろいろな経験を持つコーチの方にお手伝いをいただいて、2019年から監督生活がスタートしましたけれども、まず今の子どもたちは対話をしなければいけない。褒めてあげなければいけない。そういういろいろな著書を読みました。いろいろなリーダーの方、経済界の方達の本も読みました。でもなかなかそれを、もちろん全てを実践できないのですけれども、これをやってみよう、こうやってみようやってみても、なかなか結果は出ないわけですね。本当に2割〜3割ぐらいしか上手く行かなかったような気がします。でも最終的に3年間監督をやらせていただいて、我慢、とにかく信頼して我慢するしかない、教えて上手く行くまでとことん付き合うしかない、そういうことは私は感じて監督を退任しました。なかなか優勝はできず、結果を残すことはできませんでしたけれども、いろいろな先輩方から教わってきた中で、最終的にはとにかく我慢をして上がってくるまで、もちろんこれは期間がありますから、そんなに長いこと待てるわけではないのですけれども、信頼をして待つしかない。いろいろな引き出しを我々は持って相手に伝えてあげるしかないのではないかと。そういうことを感じたことがあります。

冒頭、落合さんの名前を出しましたが、落合さんとは監督と選手としての接点はないです。選手同士の接点しかないのですが、面白いエピソードがありました。私が抑え投手をやっていて、最後に逃げ切れなければいけない。調子が悪い。ランナーが出る。落合さんは当時ファーストを守っていたりしたのです。ピョコピョコピョコピョコあの独特の歩き方でマウンドに来られ、ニヤッと笑いながら「何やっているの、お前は」と。「はい、すみません」と言うと「ちょっとネット裏見ろ」と。これはよく講演会で話をさせていただきます。嘘ではないですよ。試合中に「バックネット裏を見ろ」と。満員の名古屋球場で「何を言うんだこの人は」と思っていると「良いから見ろ」と言われて、「はい」と見ました。ただぼっとネット裏に

たくさんファンがいるスタンドを見るわけですね。そうすると落合さんが「その辺りを見ろ」と言われたので、「はい」と言ってピンポイントでそこを見ると、そこには信子夫人が座っていらっしゃいました。小さな福岡君とお友達と一緒に。先に言っておきますけれど、その信子さんのお顔を見て調子が良くなったというわけではないのですよ。でも、あの緊張感の中で何万人といらっしゃるスタンド、もちろんネット裏は数千人ですけども、そこで信子夫人を見つける能力、この集中力というのは結構大変なのですよね。でもパッと見つかったのです、独特な方ですからね。そうすると「わかったか」と言うので「はい」と。「お前、何時に食事の約束だぞ」と。あの緊張感の中でそんなことを本当に言われるのですね。センターに大きな時計があります。後ろを振り返るととくに過ぎています。そこに至るまでの長いゲームだったので、私だけの責任ではないのですが、確かに時間は過ぎています。「すみません」と言う。「早く終わらせろ」と言われて、またピョコピョコピョコピョコ帰って行く。今までの調子が悪い、怖い、打たれたらどうしようとか、そういうことを考えて怖い、なんとかしなきゃ、真っ直ぐをどこに投げなきゃ、今日の変化球はどうなんだろう、一切そんなことは吹っ飛んでしまっていて、落合信子さんのいる場所ばかりが気になる。「早く終わらなきゃ」と。早く終わったのですよ。これは現役を退いて月日が経つごとに、あれはなんだったのだろうか、そういうことを本当に落合さんは予測をしながらおっしゃったのか。1回聞いたことがあります。「そんなことお前、考えるわけねえだろう、早く終わってほしかったんだよ」とおっしゃいましたけれど、でもこれはすごい効果があるのだらうと思います。私が監督になった時にそういうシチュエーションはなかなかなかったのですけれど、100%全く違う方向に頭を持って行かせることで何かが見えてくるというか、これは極めて難しい指導法だと思えますけれど、先程の松坂大輔の「フォアボールでも下手でも良いじゃないですか」とちょっと似ているかもしれないですね。全然違う方向、プラスの方向に考えたり、プラスもマイナスも全く関係ないぐらい思考回路をボンと飛ばしてあげたり、そういうことがもしかしたら立ち直させるきっかけになるのかもしれないです。

ビシエドという中日の4番バッターがいるのですが、最近4番ではなく7番とか6番が多いですけども、私の時はずっと4番を打たせていました。彼がなかなかホームランを打てずにダブルプレーばかり。チャンスでランナーがいる時はいつも内野ゴロでゲッツーのダブルプレーばかり。「監督、もう4番を外しましょう」と言われたこともあります。さっきのピッチャーの話ですね。フォアボー

ルをたくさん出す子に「フォアボール出して良いから」と言ったら本当に減ったので、ビシエドを呼んで「リーグトップぐらいのダブルプレーを出しても良いから」と言っただけでダブルプレーが続くので、「これは逆効果だったな」と思ったことがありました。そういうことも良いのではないかなと。そこから逆のことばかり言うことで、逃がしてあげる。ビシエドはその後「結果は出なかったけれど、監督にそう言ってもらってすごく楽だった」と。ダブルプレーもそこからちょっと減りました。

そういう部分で言うと、最近よくいろいろな話を聞く中で、最近の若い世代は、先にある程度のプラスの結果、プラスの材料が見えたら動く、そうじゃなかったら動かない子が多いと言われたことがあります。確かに、野球でもそうでした。「こういう投げ方をしたらどう」「こういう球種を覚えたらどう」と言う、「監督そうしたら勝てますか」と。「わかるか、そんなことは」と。やはりちょっと先が見えた方が安心する子たちが増えたのかもしれないというのは、最近取材をしていても感じる場合があります。もちろんそれは、「大丈夫だよ、結果出るよ」というような嘘は言えませんが、我々の時代は「まずやってみろ」という育てられ方をしたので、まずは「ノー」と言わず「はい、やってみます」というやり方でしたから、今の子どももそれができると思ったら大間違いで、ちょっと先に何かおいしいものがありそうな雰囲気やちょっと醸し出してあげる。それが話術なのでしょうね。なかなか私にはそれができなかったのですが、そういう反省を今はしています。ちょっとだけ安心させてあげる材料、結果が上手くいかなくても、挑むという、腰を上げるというステップが、多分それがないと上手くいかないのでしょう。

それと私がサラリーマンをしていた時の上司と先日お会いして、いろいろな話を聞きました。その方がおっしゃるには「俺たちは失敗しても良いからやってこいと上司に言われて育った。でも俺が上司になったらそれが言えなくなったんだ。時代がそうさせたのか、俺の性格が小さいのかわからないけれども、俺が上司になったらそれが言えなくなった。だから若いのが育っていなかったのだ」ということをその方がおっしゃいました。育ててもらった環境がそのまま今の時代に全て通用するかどうか分かりませんが、やはり自分が任せてもらったことを任せられるのか。自分が監督になった時に、「走れ」のサインを出す。走ったらアウトになるかもしれないと思っても、これは確率論なので、でもそれでも「京田、お前は走らなければ駄目だ」「根尾、走れ」と。「走れ」というサインがあるので、あとグリーンライトというサイン、信号と一緒にいつでも行って良いよというサインです。いつでも行って良

いよというのは選手が判断するのですけれども、「走れ」のサインは 100%走らなければいけない。でも走れない。そういうことが何度もありました。それでも根気よく根気よくサインを出していくしかない。そういうことを信頼しながら選手たちを見ていた、そんな3年間でした。

様々な恩師の名前を出させていただいて、いろいろな教えをお伝えさせていただきましたけれども、私の監督人生の3年間というのは本当に反省だらけで、いろいろな方の期待になかなか応えることができませんでしたけれども、たくさんの経験と自分が当時できなかったこと、それをどうやって若い世代に繋いでいくのか、それをすごく辞めてから特に考えるようになりました。また改めてどんな形で野球界に貢献できるかわかりませんけれど、せっかくやらせていただいたコーチや監督、そして星野さんや野村さんや長嶋さんも王さんも、もっと言えば川上さんに「与田君」と言われた時に震えた衝動がいまだに残っています。あの川上哲治さんに「与田君」と呼ばれました。東京ドームで私は翌日が放送だったので、前の日に勉強しようと思って、コンビニでお弁当を買って、テレビ局のブースには今日は誰もいないから使って良いと言われたので入っていったのです。当然誰もいないと思ってガチャンとドアを開けたら、川上哲治さんが中に座っていらっしやって、「おー、与田君、どうしたんだ」と。直立不動で「申し訳ありません、明日放送なので見に来たのですけれど」と。「いいじゃないか、座りなさい」と言われて、「いやいや、とんでもありません」「座れ」「はい」と。お弁当をお尻に隠して座って、背もたれに背中をつけることもできずに、5分10分したら退席しようかなと思っていたのですが、結局試合が終わる最後までお弁当も食べられませんでした。でもこんな幸せな時間、二人きりですよ。川上哲治さんと約3時間、二人きりで野球を教わって、頭の中は真っ白でしたけれども。でも野球をやっていたお陰で、そのような経験をさせていただいて、いろいろな方の助けをいただきながら、今日もこの場に立たせていただきました。本当は星野さんや野村さんの悪口をたくさん言おうと思ったのですけれども、時間の関係上、一人喋りはそろそろ終わりにさせていただきます。

「野茂よりも良い球を投げられるらしいな」と星野さんがおっしゃった話をしました。私が現役を終えて星野監督に一番聞きたかった質問、「なぜ野茂を指名せずに私を指名していただいたのか」これだけはどうしても聞きたかったので、当時名古屋のご自宅へ、「もう現役を続けられなくなりました。プロ野球選手にさせていただいて、ありがとうございました」とご挨拶に伺って、「最後に一つだけ質問させてください」と今の質問をしました。「なぜ野茂ではな

く、僕だったのですか」と。ちょっと沈黙があり、私の顔を真顔で見て、その後ニヤッと笑い「やっぱり野茂やったな」と。これが私の野球人生の集大成でございます。ただその後にもまた真顔になり「俺はお前と野球がやれて楽しかった」と。これで全てがすっきりして、ユニフォームを私が脱いだのではなくて脱がされた人間です。自ら引退できる選手というのはほぼ1割、ほとんどの選手が脱がされるのです。いろいろな思いがありましたけれども、その一言で私はスルッとユニフォームが脱げて、野球をやっていた良かったなと思えた瞬間でした。もう亡くなれて、本当にいまだに寂しい思いはありますけれども、今名前を出した方たち、星野さん、野村さんはお亡くなりましたけれども、皆様、是非覚えておいていただいて、そんな監督だったのだなと、そういう印象を持っていただきたいと思います。

多くの生意気な話をさせていただきましたけれども、一人喋りを終わらせていただきます。いろいろとおつきあいいただきました。本日は本当にありがとうございました。

第11回 定時総会講演会

令和5年6月13日(火) 16:00~17:00
京王プラザホテル札幌 2階 エミネンスホールB

講演演題 『準備すること、対話することで人を育てる
～私の野球人生から～』

講師 与田 剛 様
(NHK プロ野球解説者、中日ドラゴンズ前監督)

講師略歴

- 1965年12月4日福岡生まれ。
- 木更津中央高校(現・木更津総合高校) 亜細亜大学—NTT 東京を経て、1990年、ドラフト1位で中日に入団。150キロを超える剛速球を武器に鮮烈デビュー。157キロの日本最速記録をマークし、新人投手初のオールスターファン投票1位に。この年の最優秀新人賞と最優秀救援投手賞に輝く。
- 1996年6月、千葉ロッテにトレードで移籍し、直後に大リーグ2Aメンフィスチックスに野球留学。1998年、日本ハムにテスト入団するも、右肘を手術。再起をかけたリハビリの末、1999年10月、1620日ぶりに一軍のマウンドに立ち感動を呼んだ。
- 2000年、野村監督の下、阪神にテスト入団。34歳の挑戦は“リストラの星”と呼ばれ、共感を得た。2000年秋、引退。2001年からNHK解説者となりオールスター、ワールドシリーズなどの解説を担当。
- 2009年には、WBC原ジャパンのピッチングコーチを務め、世界一に。この年、紫綬褒章を受章。同年4月よりNHK『サンデースポーツ』メインキャスターを2年間務める。2013年のWBCで再び、侍ジャパンのピッチングコーチを務め、2016年から楽天の投手コーチに。
- 2019年から2021年まで中日ドラゴンズの監督に就任。2020年には、8年ぶりのAクラス入りを果たした。
- 奥様は、国土交通省交通政策審議会委員を歴任し、港湾行政に精通しているフリーキャスターで千葉大学客員教授の木場弘子様。

受賞歴 最優秀新人賞 (1990年)
最優秀救援投手賞 (1990年)
紫綬褒章 (2009年)

著 書

『山本昌レジェンドの秘密』 自由国民社 (2015年)
『野球上達“特訓”バイブル』 三オブックス (2012年)
『中継ぎ力～リストラ社会日本の新しい生き方～』 ワニブックス (2010年)
『一流力 サムライジャパン勝利の理由』 双葉社 (2010年)
『与田剛のメジャーリーグ剛球解説』 NTT出版 (2008年)
『トッププロに学ぶ野球上達テクニックピッチング』 成美堂出版 (2007年)
『消えた剛速球～157キロで駆け抜けた直球人生～』 KKベストセラーズ

付録B CPC 総会講演会 写真



講演 与田 剛 氏（NHK プロ野球解説者、中日ドラゴンズ前監督）

3.1 第4回「ジャケット構造の計画・設計・施工」

北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏

(一社) 寒地港湾空港技術研究センター 審議役)

会場へお越しの皆様、ならびに WEB で視聴されている全国の皆様、今日また講演をさせていただきます白石と申します。よろしくお願いします。今回につきましては、前回のモノパイル構造に引き続きまして、ジャケット構造について説明させていただきます(図-3.1.1)。それでは、着席のうえ説明をさせていただきます。

ここに地球温暖化に関連する様々なキーワードを書かせていただいております。2050 年カーボンニュートラルを目標に現在様々な施策が動いております。その中で、発電形式として洋上風力発電についての注目度が益々高まっております(図-3.1.2)。

再生可能エネルギーへの期待としましては、地球温暖化を抑えるための CO₂ の削減に加えて、我が国は原油や LNG、石炭を大量に輸入しているわけですから、エネルギー自給率が低いことから、再生可能エネルギーを導入拡大することによって、我が国のエネルギー自給率の向上にも資するものと思っております(図-3.1.3)。

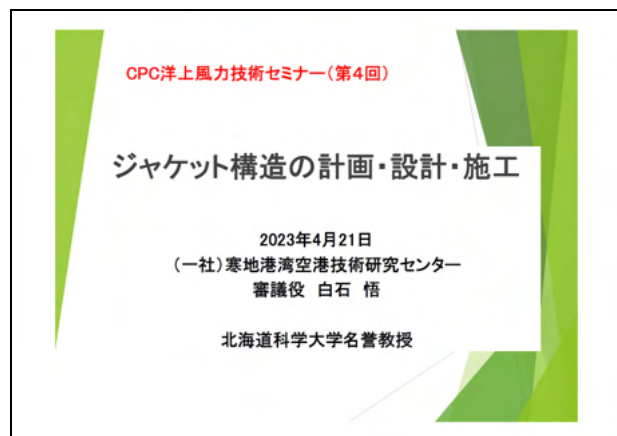


図-3.1.1

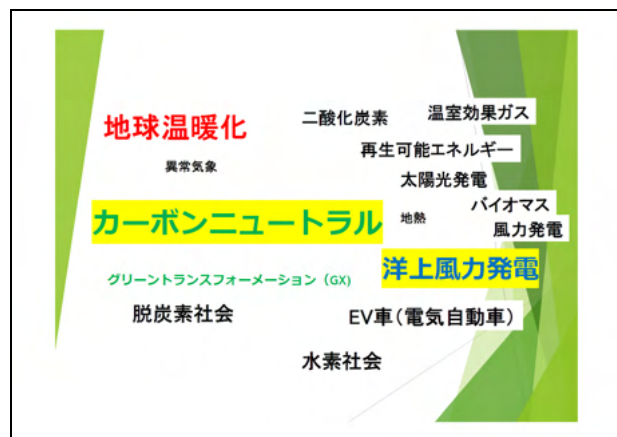


図-3.1.2

さて、これは毎回出している資料でございますが、陸上の風車と異なりまして、洋上の風車は海洋基礎が必要です(図-3.1.4)。今回は、この海洋基礎の構造がジャケット構造のものを中心に説明させていただきます。

こちらも毎回出している資料でございますが、出力としては kW という単位、それから発電電力量としては kWh という単位で説明していきます。説明の中で kW, MW, GW という単位が出てきますが、現状の洋上風車のサイズは、だいたい 8~10MW です。最近では大型化しておりまして、15MW

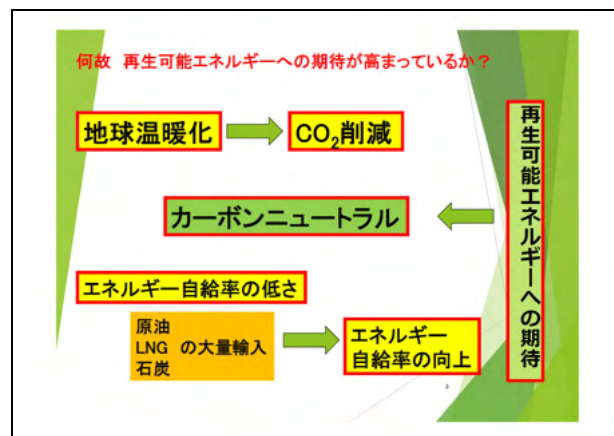


図-3.1.3

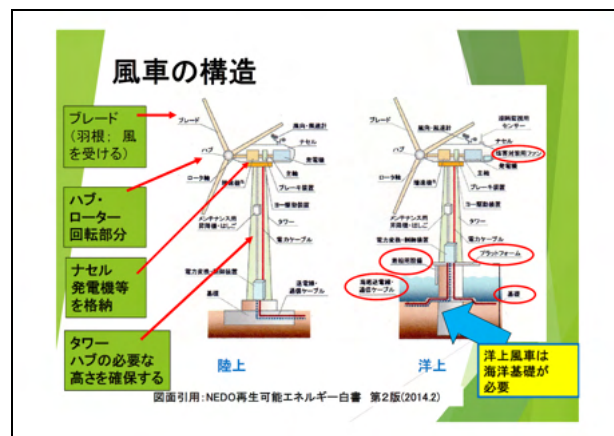


図-3.1.4

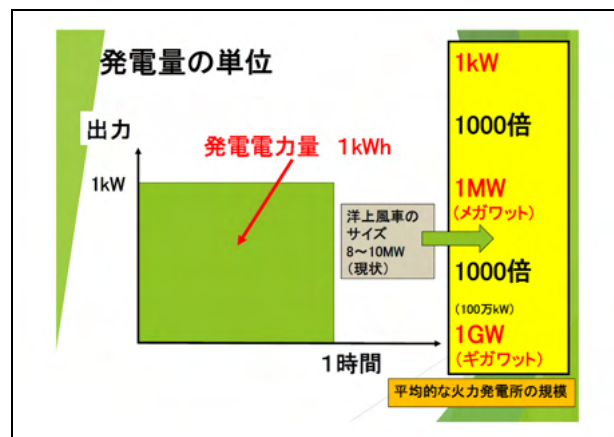


図-3.1.5

ぐらいのものも近々現地に建設されていくことになっています。GW という単位は平均的な火力発電所の規模と考えていただければと思います(図-3.1.5)。

最近の話題ということで、この2カ月間の変化について少しレビューをさせていただきたいと思います。

最初の話題としましては、石狩湾新港においてこの5月より実際にジャケット方式の洋上風力発電所が建設されますが、その作業員を輸送するためのCTVが建造されて、その船の名前も公表されました。CTVというのはCrew Transfer Vesselの略称で洋上風力発電設備向けの作業員を輸送する船になります(図-3.1.6)。

それから、この時期は前の年の風力発電の導入量について公表される時期になります。まず2月28日にはWind Europe、これはヨーロッパの再生可能エネルギー、風力エネルギーの機関ですが、ここが2022年の統計と、それから2023年～2027年への見通しを公表しております(図-3.1.7)。

ヨーロッパにおける2022年の新規導入量なのですが、ドイツ、スウェーデン、フィンランド、フランスなどが、導入量が多い国です。濃い青と薄い青がありますが、薄い青の部分が洋上風力発電ということで、これで見ますと英

国の導入量が多い状況になっているのが分かると思います。あと風力発電が多いのはドイツですね。これは新規の導入量で薄い青が洋上の新規導入量を示しています(図-3.1.8)。

また北海道の中でも、北海道水素イノベーション推進協議会あるいは北海道水素地域づくりプラットフォーム勉強会という組織があり、両組織は毎年1回合同会議を行っておりまして、今年は去る3月9日に行われております(図-3.1.9)。

それからIPCCです。第56回総会が3月13日～20日にかけて行われ、我が国からも代表者16名が出席しております(図-3.1.10)。

IPCCから第6次の報告書が公表されました。ワーキンググループは三つありまして、ワーキンググループ1・2・3の報告書が出るとともに、加えて特別報告書も出されています(図-3.1.11)。

この中でいろいろな報告書が出ているのですが、これは政策決定者向けの要約文です。英文を最初に示しておりますが、unequivocalという単語は、「明白な」とか「疑う余地がない」という意味で、人類の影響が地球温暖化に影響しているのは疑う余地がないという表現に今回なっ



図-3.1.6

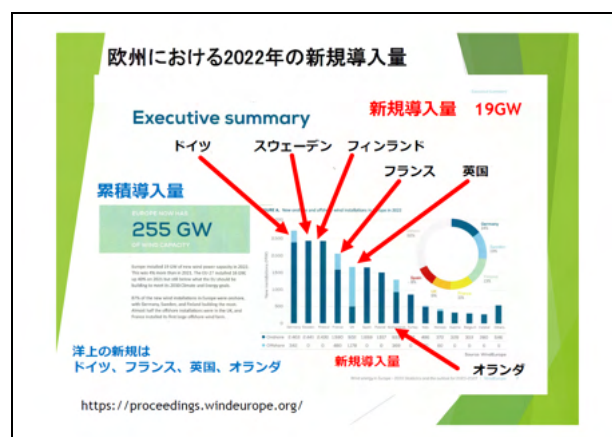


図-3.1.8



図-3.1.7

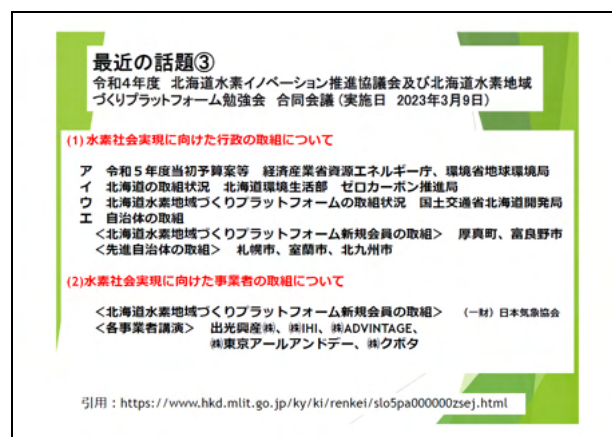


図-3.1.9

おります(図-3.1.12～図-3.1.15)。この辺の英文の説明は割愛させていただきますが、和訳文について説明させていただきます。先程申し上げたように、人類の影響が大气、海洋、及び陸域を温暖化させてきたことは疑う余地がなく、従前のレポート以上に地球温暖化の要因として人類の影響が大きいうという表現になっております(図-3.1.16)。

それから将来起こり得る気候については、向こう数十年の間に温室効果ガスの排出を大幅に減少させない限り、21世紀末には1.5℃及び2℃の地球温暖化が生ずるというこ

最近の話題④
IPCC 第56回総会（開催日 2023年3月13日～20日）

IPCC第56回総会及び同パネル第3作業部会第14回会合の概要

(1) 開催期間
2023年3月13日（月曜日）から3月20日（月曜日）までの8日間
※当初の予定では3月17日（金曜日）までの5日間

(2) 開催場所
インターラーゲン（スイス連邦）

(3) 出席者
各国政府の代表を始め、国連環境計画（UNEP）や国連気候変動枠組条約（UNFCCC）事務局などの国際機関等から650名以上が出席。
我が国からは、環境省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、気象庁などから計16名が出席。

引用： <https://www.meti.go.jp/press/2022/03/20230322002/20230322002.htm>

図-3.1.10

とであります。さらにこの影響としては海面水位上昇があり、この間の影響変化が今後数百年から数千年に渡って影響を及ぼすと謳われております(図-3.1.17)。

これらに対して、いろいろな気候変動があるということで、ここには氷床の崩壊とか急激な海洋循環の変化などが起こると記されております(図-3.1.18)。

そして将来の気候変動を抑制するためには、CO₂の累積排出量を制限し、少なくとも正味ゼロのCO₂排出を達成する必要があります。他の温室効果ガスもごさいますから、

政策決定者向け要約(英文)

► **B. Possible Climate Futures**

► B.1 Global surface temperature will continue to increase until at least mid-century under all emissions scenarios considered. **Global warming of 1.5°C and 2°C will be exceeded after the 21st century unless deep reductions in carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gas emissions occur in the coming decades.**

► B.2 Many changes in the climate system become larger in direct relation to increasing global warming. They include increases in the frequency and intensity of hot extremes, marine heatwaves, heavy precipitation, and, in some regions, agricultural and ecological droughts; an increase in the proportion of intense tropical cyclones; and reductions in Arctic sea ice, snow cover and permafrost.

► B.3 Continued global warming is projected to further intensify the global water cycle, including its variability, global monsoon precipitation and the severity of wet and dry events.

► B.4 Under scenarios with increasing CO₂ emissions, the ocean and land carbon sinks are projected to be less effective at slowing the accumulation of CO₂ in the atmosphere.

引用： <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/resources/spm-headline-statements/>

図-3.1.13

最近の話題④
IPCC 第6次報告書の公表（公表日 2023年3月20日）

The State of Knowledge about Climate Change

WG報告書 特別報告書

WGII: The State of Knowledge about the Physical Science Basis
WGIII: The State of Knowledge about the Impacts, Risks, and Adaptation of Climate Change
WGII: The State of Knowledge about the Impacts, Risks, and Adaptation of Climate Change
WGIII: The State of Knowledge about the Impacts, Risks, and Adaptation of Climate Change
WGII: The State of Knowledge about the Impacts, Risks, and Adaptation of Climate Change
WGIII: The State of Knowledge about the Impacts, Risks, and Adaptation of Climate Change

引用： https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SlideDeck

図-3.1.11

政策決定者向け要約(英文)

► **C. Climate Information for Risk Assessment and Regional Adaptation**

► C.1 Natural drivers and internal variability will modulate human-caused changes, especially at regional scales and in the near term, with little effect on centennial global warming. These modulations are important to consider in planning for the full range of possible changes.

► C.2 With further global warming, every region is projected to increasingly experience concurrent and multiple changes in climatic impact-drivers. Changes in several climatic impact-drivers would be more widespread at 2°C compared to 1.5°C global warming and even more widespread and/or pronounced for higher warming levels.

► C.3 Low-likelihood outcomes, such as ice-sheet collapse, abrupt ocean circulation changes, some compound extreme events, and warming substantially larger than the assessed very likely range of future warming, cannot be ruled out and are part of risk assessment.

引用： <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/resources/spm-headline-statements/>

図-3.1.14

政策決定者向け要約(英文)

► **A. The Current State of the Climate**

► A.1 It is **unequivocal** that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.

► A.2 The scale of recent changes across the climate system as a whole – and the present state of many aspects of the climate system – are **unprecedented over many centuries to many thousands of years.**

► A.3 Human-induced climate change is already affecting many weather and climate extremes in every region across the globe. Evidence of observed changes in extremes such as heatwaves, heavy precipitation, droughts, and tropical cyclones, and, in particular, their attribution to human influence, has strengthened since AR5.

► A.4 Improved knowledge of climate processes, paleoclimate evidence and the response of the climate system to increasing radiative forcing gives a **best estimate of equilibrium climate sensitivity of 3°C**, with a narrower range compared to AR5.

引用： <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/resources/spm-headline-statements/>

図-3.1.12

政策決定者向け要約(英文)

► **D. Limiting Future Climate Change**

► D.1 From a physical science perspective, limiting human-induced global warming to a specific level requires limiting cumulative CO₂ emissions, reaching at least net zero CO₂ emissions, along with strong reductions in other greenhouse gas emissions. Strong, rapid and sustained reductions in CH₄ emissions would also limit the warming effect resulting from declining aerosol pollution and would improve air quality.

► D.2 Scenarios with very low or low greenhouse gas (GHG) emissions (SSP1-1.9 and SSP1-2.6) lead within years to discernible effects on greenhouse gas and aerosol concentrations and air quality, relative to high and very high GHG emissions scenarios (SSP3-7.0 or SSP5-8.5). Under these contrasting scenarios, discernible differences in trends of global surface temperature would begin to emerge from natural variability within around 20 years, and over longer time periods for many other climatic impact drivers (high confidence).

引用： <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/resources/spm-headline-statements/>

図-3.1.15

これらを同時に大幅削減する必要があるということです(図-3.1.19)。

また Global Wind Report が公表されました(図-3.1.20)。GWEC(Global Wind Energy Council)という機関が2023年のレポートを出しております。これは世界的な風力発電の統計を示しており、例えば新規導入量について、洋上では中国あるいは英国のシェアが大きいということです。累積導入量についても、やはり洋上では中国と英国のシェアが大きいという統計量が公表されております(図-3.1.21)。

政策決定者向け要約(和訳)

▶A. 気候の現状

▶A.1 人間の影響が大気、海洋、及び陸地を温暖化させてきたことには疑う余地がない。大気、海洋、雪氷圏、及び生物圏において、広範囲かつ急速な変化が現れている。

▶A.2 気候システム全般にわたる最近の変化の規模と、気候システムの多くの側面における現在の状態は、数百年から数千年にわたって前例のないものである。

▶A.3 人為起源の気候変動は、世界中の全ての地域で多くの極端な気象と気候に既に影響を及ぼしている。熱波、大雨、干ばつ、熱帯低気圧などの極端現象について観測された変化に関する証拠、及び、特にそれらの変化が人間の影響によるとする要因特定に関する証拠は、AR5以降増えている。

▶A.4 気候プロセス、古気候の証拠、及び放射強制力の増加に対する気候システムの応答に関する知識の向上により、平衡気候感度の最良推定値は3℃と導き出され、その推定幅はAR5よりも狭まった。

引用：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JR.pdf

図-3.1.16

政策決定者向け要約(和訳)

▶D. 将来の気候変動の抑制

▶D.1 自然科学的見地から、人為的な地球温暖化を特定の水準に制限するには、CO₂の累積排出量を制限し、少なくとも正味ゼロのCO₂排出を達成し、他の温室効果ガスの排出も大幅に削減する必要がある。CH₄排出の大幅、迅速、かつ持続的な削減は、エアロゾルによる汚染の減少に伴う昇温効果を抑制し、大気質を改善させるだろう。

▶D.2 GHG排出が非常に少ない又は少ないシナリオ(SSP1-1.9及びSSP1-2.6)は、GHG排出が多い又は非常に多いシナリオ(SSP3-7.0又はSSP5-8.5)と比べて、温室効果ガスとエアロゾルの濃度及び大気質に、数年以内に識別可能な効果をもたらす。これらの対照的なシナリオ間の識別可能な差異は、世界平均気温の変化傾向については約20年以内に、他の多くの気候影響駆動要因についてはより長い期間の後に、自然変動の幅を超え始めるだろう(確信度が高い)。

引用：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JR.pdf

図-3.1.19

政策決定者向け要約(和訳)

▶B. 将来ありうる気候

▶B.1 世界平均気温は、考慮された全ての排出シナリオの下で、少なくとも今世紀半ばまで上昇し続ける。向こう数十年の間にCO₂及び他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21世紀中に1.5℃及び2℃の地球温暖化を超える。

▶B.2 気候システムの多くの変化は、地球温暖化の進行に直接関係して拡大する。これには、極端な高温、海洋熱波、大雨、及びいくつかの地域における農業及び生態学的干ばつの頻度と強度の増加、強い熱帯低気圧の割合の増加、並びに北極域の海氷、積雪及び永久凍土の縮小が含まれる。

▶B.3 地球温暖化が続くと、世界の水循環が、その変動性、地球規模のモンスーンに伴う降水量、及び湿潤と乾燥に関する現象の厳しさを含め、更に強まると予測される。

▶B.4 CO₂排出が増加するシナリオの下では、海洋と陸地の炭素吸収源が大気中のCO₂蓄積を減速させる効率が低下すると予測される。

▶B.5 過去及び将来の温室効果ガスの排出に起因する多くの変化、特に海洋、氷床、及び世界の海面水位における変化は、数百年から数千年にわたって不可逆的である。

引用：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JR.pdf

図-3.1.17

最近の話題⑤
GWEC(Global Wind Energy Council)が
Global Wind Report 2023
を公表(公表日 2023年3月27日)

GWEC | GLOBAL WIND REPORT 2023

引用：<https://gwec.net/globalwindreport2023/>

図-3.1.20

政策決定者向け要約(和訳)

▶C. リスク評価と地域適応のための気候情報

▶C.1 自然起源の駆動要因と内部変動は、百年規模の地球温暖化にはほとんど影響しないが、特に地域規模で短期的には人為的な変化を要調整する。起こりうる変化全てに対して計画を立てる際には、これらの要調整を考慮することが重要である。

▶C.2 より一層の地球温暖化に伴い、全ての地域において気候影響駆動要因(CIDs)の同時多発的な変化がますます経験されると予測される。1.5℃の地球温暖化と比べて2℃の場合には、いくつかのCIDsの変化がより広範になるが、この変化は、温暖化の程度が大きくなるとますます広範かつ/又は顕著になるだろう。

▶C.3 氷床の崩壊、急激な海洋循環の変化、いくつかの複合的な極端現象、及び将来の温暖化として可能性が非常に高いと評価された範囲を大幅に超えるような温暖化などの可能性の低い結果は排除できず、リスク評価に関係する。

引用：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JR.pdf

図-3.1.18

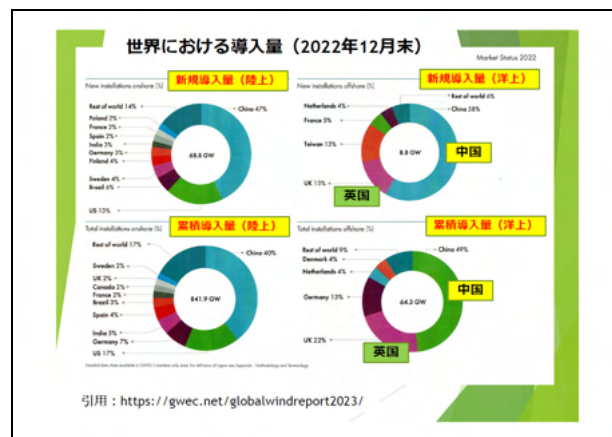


図-3.1.21

これらに対して費用便益評価も示されており、ベースシナリオですと、B/C は 0.7～1.5 です。この数字が高いか低いかはよくわかりませんが、こういった数値も出ております(図-3.1.25)。

それからアメリカでは、エネルギー省が洋上風力発電の開発目標を公表しております。公表日は今年の3月29日になります(図-3.1.26)。この中では、いろいろな仕組みを行って洋上風力を拡大していく取り組みを謳っております(図-3.1.27)。

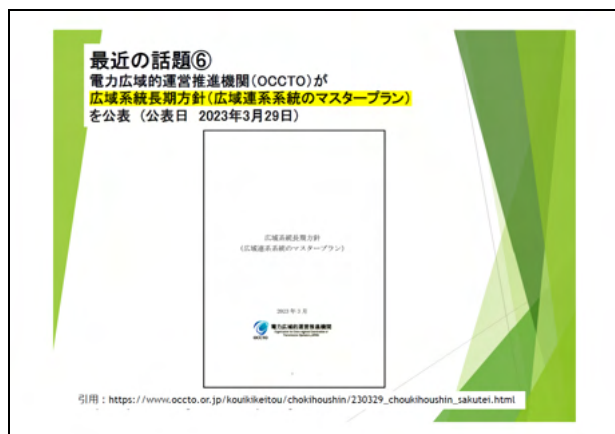


図-3.1.22

ではこういった形で洋上に風力発電を展開するのか、まず Fixed と書いてあるのが着床式の風力発電を今後建設していこうという海域、それから Floating, 浮体式については東海岸・西海岸、それから五大湖の中にそういう海域を設定しているということでございます(図-3.1.28)。

そして、導入目標値は2030年には30GW、それから2050年には110GWを超える値を目標値として挙げております。日本の洋上風力発電の目標値を比較してみますと、日本の目標値は2030年が10GW、2040年が30～45GWです。アメ

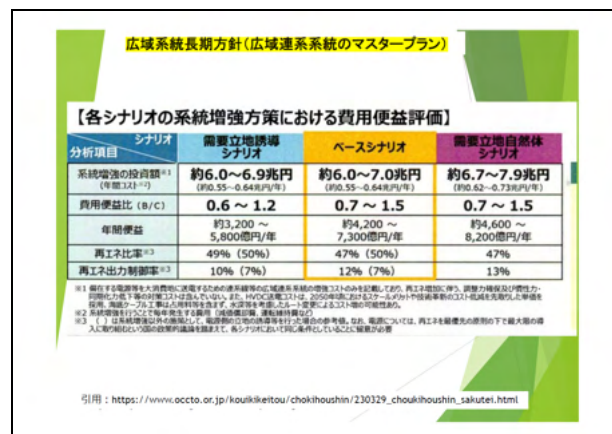


図-3.1.25

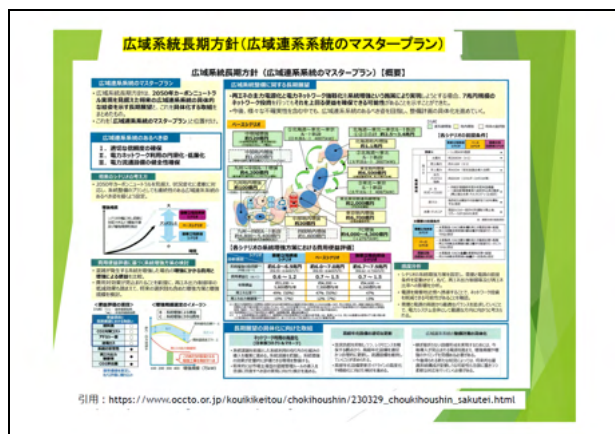


図-3.1.23

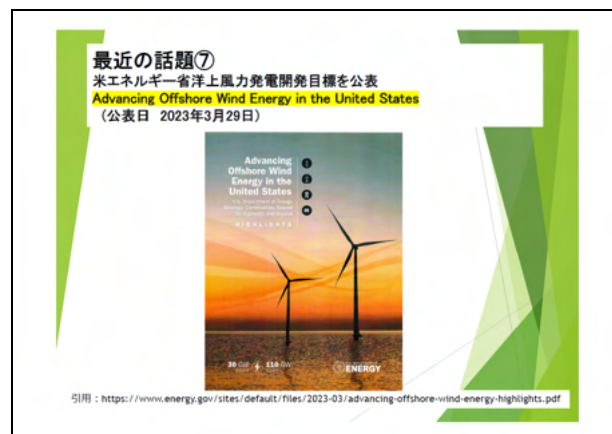


図-3.1.26

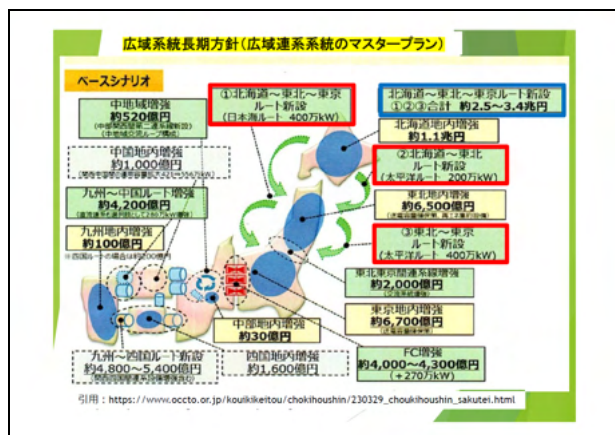


図-3.1.24



図-3.1.27

リカは国土面積が広く、日本の3倍程度の目標値を洋上で掲げていることになります(図-3.1.29)。

それから、技術的な観点からいきますと、コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン、これは国土交通省の海事局で策定されました。このようなことが技術的なニュースとして挙げられます。設計施工ガイドラインの内容について詳しい説明は割愛させていただきますが、いろいろなコンクリートの製造要件やコンクリート製支持構造物の設計要件、コンクリート製支持構造物の施工要件などが取りまとめられております(図-3.1.30、図-3.1.31)。

それから、水素エネルギーと再生可能エネルギーの普及に向けた関係閣僚会議、これは日本政府の会議です(図-3.1.32)。この中で、水素については現状の約6倍に、水素エネルギーの利用拡大を目指していくと謳われております。これが政策の骨格ですが、2030年300万tという先の目標値として2040年には1200万tを目標としていますが、現状のものからすると確か6倍ぐらいだったと思いますが、導入拡大させていこうという大きな目標値を挙げております(図-3.1.33)。

それから産業戦略としての浮体についてですが、日本の

場合は洋上と言っても水深が急に深くなりますから、利用を拡大していくとすれば構造的に浮体式を導入せざるを得ません。利用拡大のためには浮体式を今後導入していこうというプランが出されております(図-3.1.34)。

それから NEDO という機関、国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構の略称でございますが、ここが洋上風況観測ガイドブックを今年4月6日に公表しています(図-3.1.35)。これはガイドブックに示されている海洋における観測例です。むつ小川原港の風況観測の例ですが、

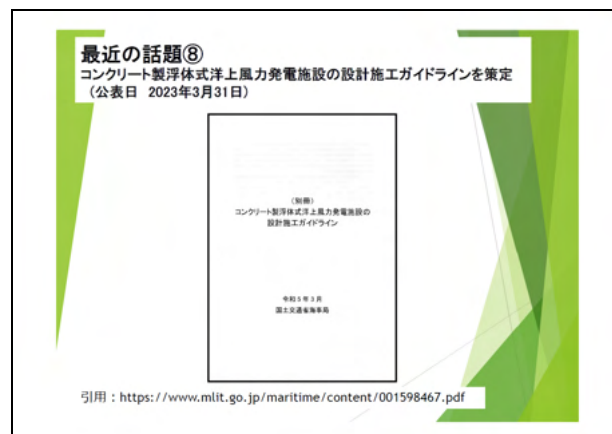


図-3.1.30

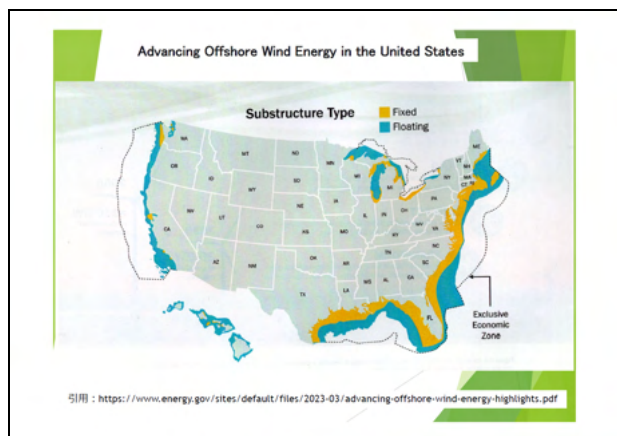


図-3.1.28



図-3.1.31

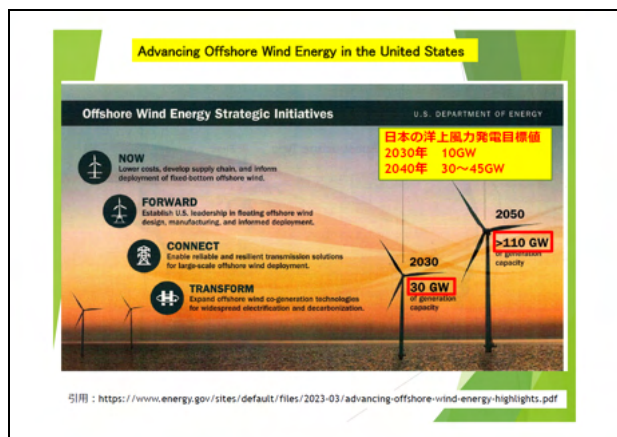


図-3.1.29

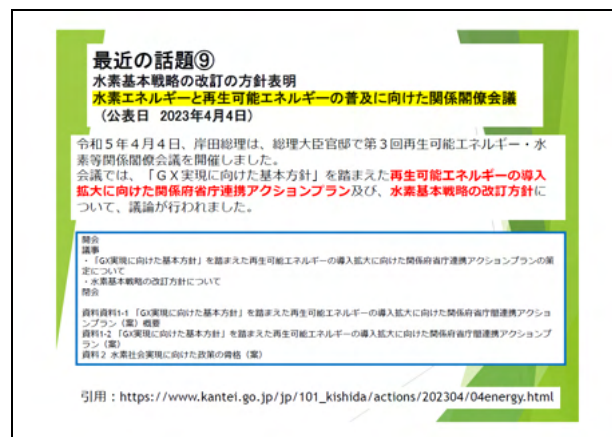


図-3.1.32

防波堤上に観測点を設けて、洋上の風況を調査するものです。こういう洋上風況の観測のためのガイドブックも公表されております(図-3.1.36)。

さて今日はジャケット構造について説明させていただきますが、本日の内容としては、ジャケット構造はどんなものであるのか。それから、ジャケットの建造はどのように行うのか。そして、ジャケット構造全般の説明を行います。次いで、風車基礎ジャケットの製造についての説明に移ります。それから、ジャケット構造によるウインドファ

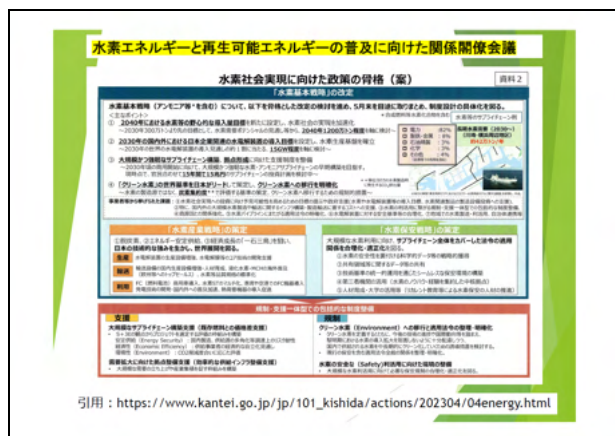


図-3.1.33

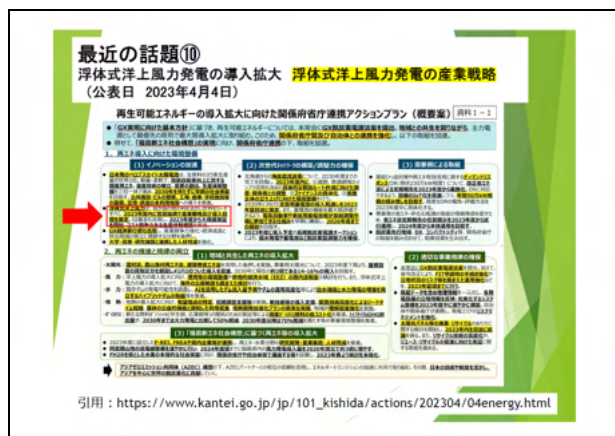


図-3.1.34

ームはどのように形成されるのか。構造設計、現地施工、あるいは洋上風力ジャケットの海外の事例集について説明をさせていただきます。また今年5月より石狩湾新港において洋上風車、ジャケットを基礎とするものが建設されますので、最後にその概要を説明させていただきます(図-3.1.37)。

水深の浅いところでは1本の杭の着床式、モノパイルと言われている構造で建設可能です。少し深くなると、骨組み構造が必要になります。ここで示しているものはトリポットという構造形式でございます。これも一応ジャケットの構造分類の中に入れてさせていただいておりまして、骨組み構造で支持していくものです(図-3.1.38)。さらに深くなると、浮体式ということで、この浮体式については次回、6月に説明をさせていただきます。

これは大陸棚の定義ですが、EEZ というのは排他的経済水域で、この海域になります。欧州の場合は非常に遠浅ですから、この EEZ の中に前回説明したモノパイル構造であるとか、今回説明いたしますジャケット構造についても、この EEZ の中に展開していくことになります。日本の場合は水深が急深になりますから、おそらくこの EEZ の中で建設されるのは浮体構造中心にならざるを得ないかと思

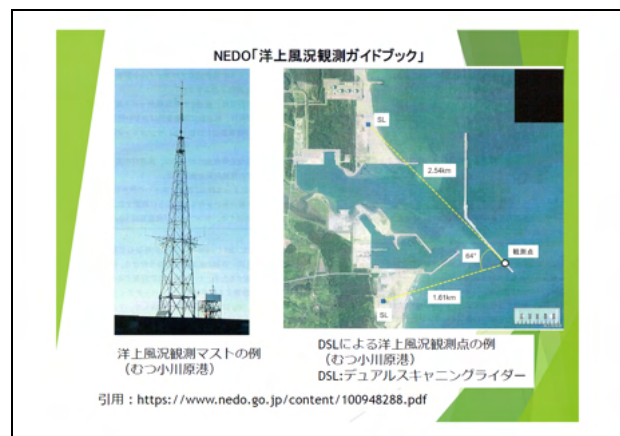


図-3.1.36



図-3.1.35

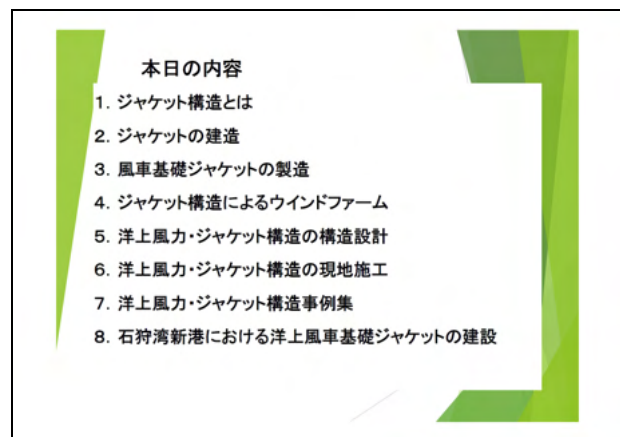


図-3.1.37

ます(図-3.1.39)。

日本の国土の面積は世界第60位ですが、領海とEEZを含めると世界第6位という保有面積を持っています。これから大水深への建設技術が進み、洋上風力発電を導入拡大するためには、このEEZの中に展開するというのが将来的には必要になると思います(図-3.1.40)。

海洋構造物の分類をここに示させていただきます。まずは浮体によるもの、それから脚があるもので、今回説明するジャケット式、あるいは重力式です。この中のジャ

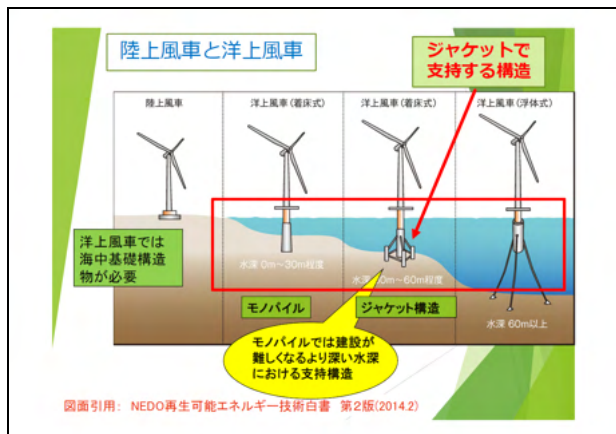


図-3.1.38

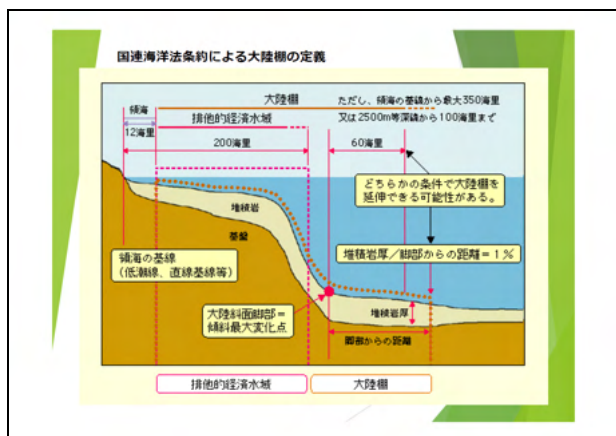


図-3.1.39

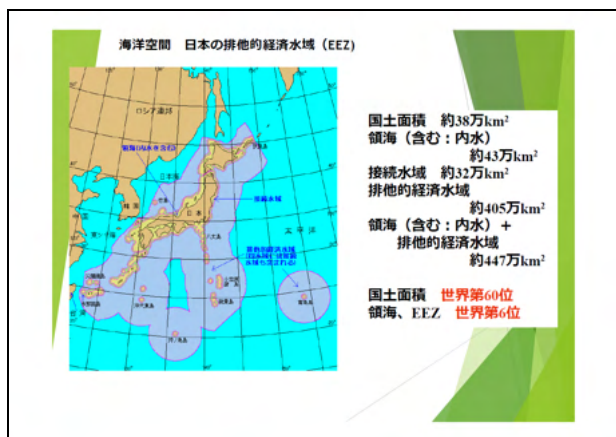


図-3.1.40

ケット式に注目して本日は説明を進めさせていただきます(図-3.1.41)。

これは水深によってどういう構造に変わるかということを示したものです。これは北海でコンクリート製のプラットフォーム、石油やガスを掘削し貯蔵するプラットフォームが水深によってどのように構造変化していくかを示したものです。水深が深くなると、重力式では建設が難しくなりますので、浮体式になります。ジャケット式も領域的にはこういう水深が深くなる場所で使われる構造になります(図-3.1.42)。

これは石油掘削プラットフォームの構造形式でございます。このようにジャケット式や浮体式が使われ、水深により使い分けがなされています(図-3.1.43)。

北海における石油プラットフォームとしては、様々な構造が混在して使われております。例えば、ノルウェーとスコットランドの沖合、ここはシェットランド諸島です。その間にプラットフォームが幾つかあるのですが、その水深によって重力式が使われていたり、浮体式の中のテンションレグプラットフォームが使われていたり、ジャケット式が使われている形になっております(図-3.1.44)。

重力式海洋構造物の特徴としては、現場に構造物を持っ

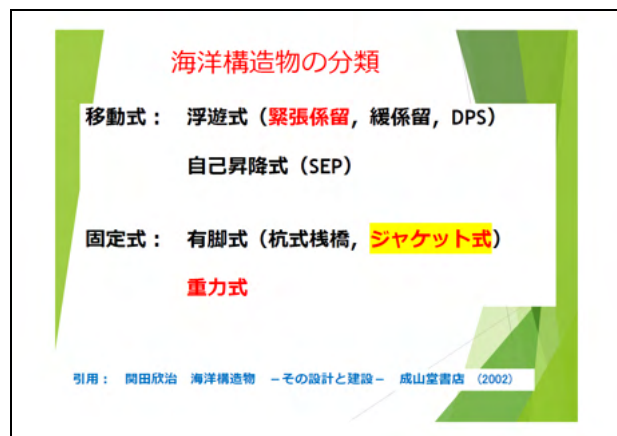


図-3.1.41

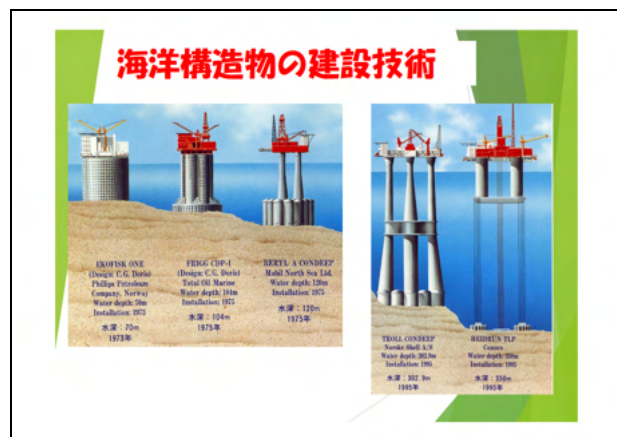


図-3.1.42

で行って据え付けることで、現地での施工期間が短いです。建設のために特殊な海域の地形が必要であり、北海地域ではフィヨルド地形が活用されています(図-3.1.45)。

その例として、Troll A という重力式構造によるプロジェクトがどこで建設され、現地に曳航されたかを示しています。スタバンガーという都市の北の方にあるベーテスという町の海域で建設されて、現地海域に曳航されたという事例でございます(図-3.1.46)。

施設に対して電源をどう供給するかということですが、

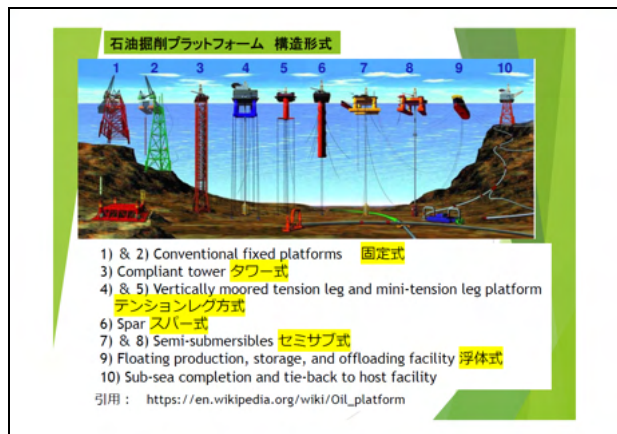


図-3.1.43

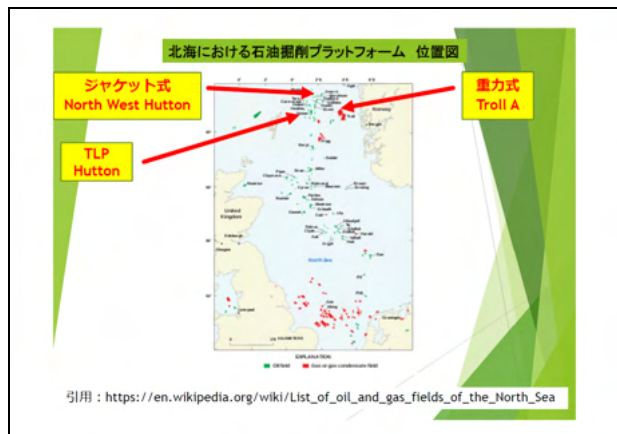


図-3.1.44



図-3.1.45

これは海底送電線を用いてこのプラットフォームに電源を供給しており、日本企業がここの電源供給に関与しているとのことです(図-3.1.47)。

重力式海洋構造物の場合、このポンチ絵のような形で建設が進められています。浅い海域で基礎をつくって、それを徐々に深い海域に持って行って建造し、最終的に現地に据える工程で建設されています(図-3.1.48)。

テンションレグプラットフォーム (TLP) については、浮体構造をテンドンという緊張材で海底地盤に繋げるも



図-3.1.46

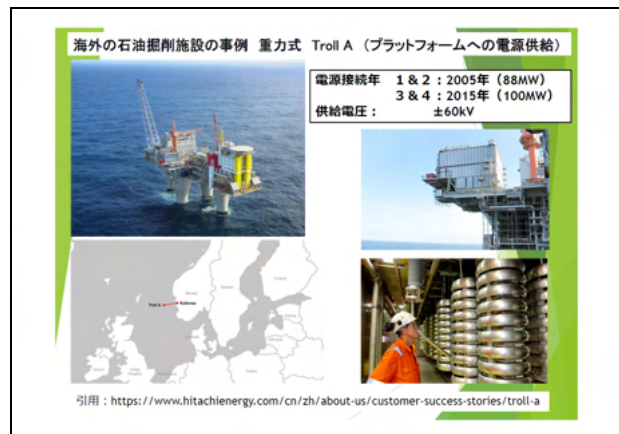


図-3.1.47

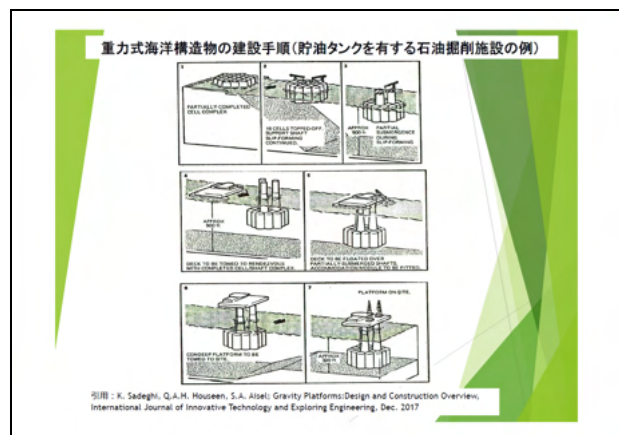


図-3.1.48

のです。一つの特徴として、従来の浮体に比べ動揺が少ないことが挙げられます。この張力を保持するために海底の基礎が大きくなります(図-3.1.49)。セミサブ浮体をテンドンによって緊張係留し、海底地盤に繋ぎとめます(図-3.1.50)。これは Hutton という TLP 構造の石油生産基地の例なのですが、図のような構造で実際に建設されました(図-3.1.51)。1984 年に現地に設置され、生産が開始し、2001 年に生産が終了しています。現在は廃棄の手続きが進められていると聞いております。他の場所に移設し利用

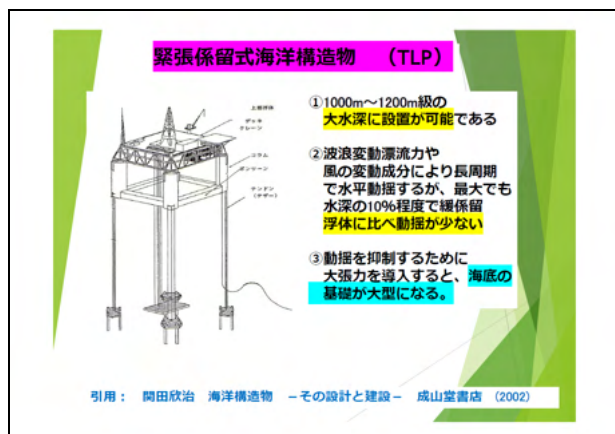


図-3.1.49

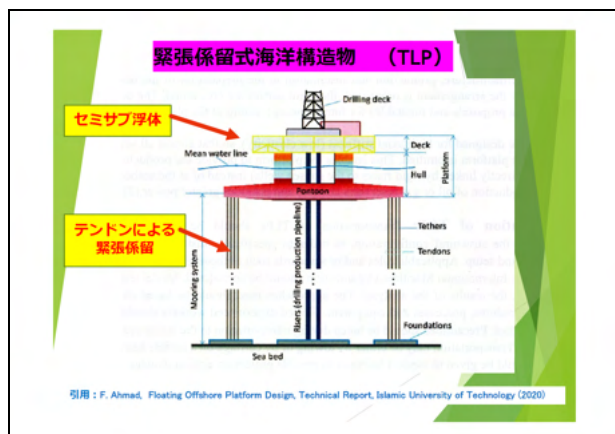


図-3.1.50

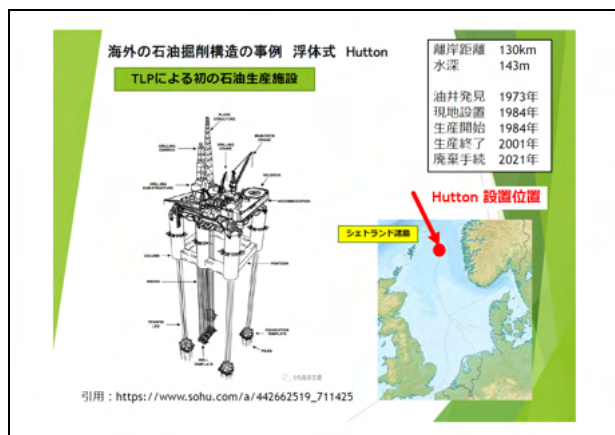


図-3.1.51

する計画があったのですがプロジェクトが中止になり、いよいよ廃棄になるようです(図-3.1.52)。

それから浮体式の海底石油・ガス掘削システムとしては、このように船を使った船舶型のものがございます。これは Floating Production, Storage and Offloading system の略として、FPSO と呼ばれるものを示しております(図-3.1.53)。実際に浮体で建設される例もあり、その例です。これは 2025 年に生産開始の予定の Trion という構造のプロジェクト例でございませう(図-3.1.54)。



図-3.1.52

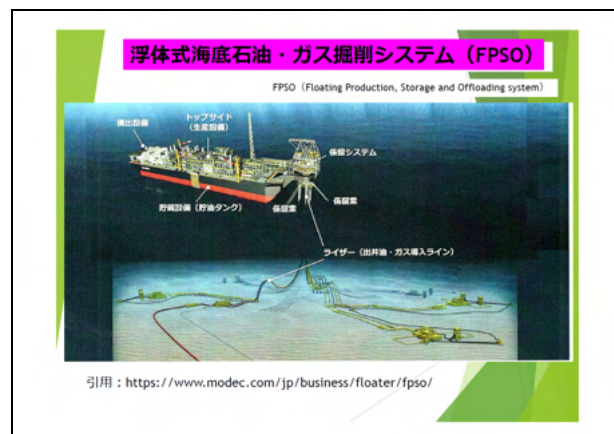


図-3.1.53



図-3.1.54

今日説明するジャケット式海洋構造物ですが、こういう骨組み構造で構成される固定構造なので、浮体と違って波力や流れの影響を受けにくく耐震性にも優れます。北海の場合はあまり地震がなく、耐震性は特に問題にならないのですが、この構造はダクティリティが大きい特徴を有しています。それから軟弱地盤など種々の地盤に対応できるということです。波浪荷重に対する疲労が問題になることが課題として挙げられ、疲労設計が重要になります(図-3.1.55)。

これはNorth West Huttonで、ノルウェーとシェトランド島の間にあるNorth West Huttonという地点に建設されたジャケット構造の事例です。1981年に設置され、1983年に生産を開始、2002年に生産が終了、現在廃棄手続き中だと聞いております(図-3.1.56)。このようなジャケット構造を用いて、石油や天然ガスを採掘するシステムになっております(図-3.1.57)。こういうジャケット式については、メキシコ湾の石油開発でたくさん用いられており、ここに示す点が全部ジャケット構造の設置地点ということになります(図-3.1.58)。

ジャケット構造は、日本で石油掘削プラットフォームとして使われる例はあまり多くありません。日本周辺で石油

あるいは天然ガスが見つかることが少なく、そのため事例は少ないです(図-3.1.59)。事例としては、新潟県の阿賀沖プラットフォームと福島県の磐城沖プラットフォームがあります。阿賀沖石油プラットフォームは、1974年にプラットフォームが設置され、実際に生産した後、1999年に撤去されています(図-3.1.60)。これが生産当時のプラットフォームの全景写真と構造図です(図-3.1.61)。それから磐城沖のプラットフォームは1983年に設置され、2010年に撤去が行われました(図-3.1.62)。これが磐城沖

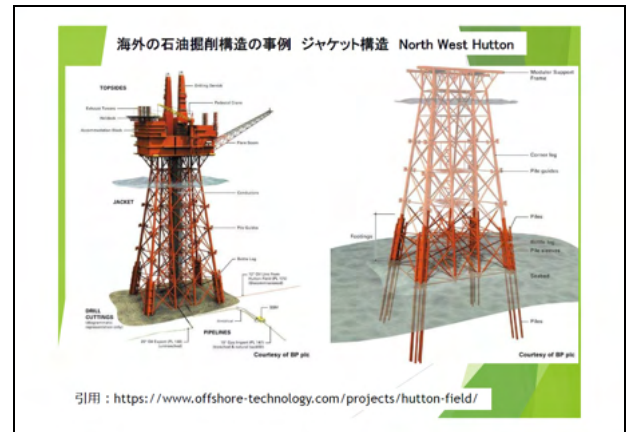


図-3.1.57

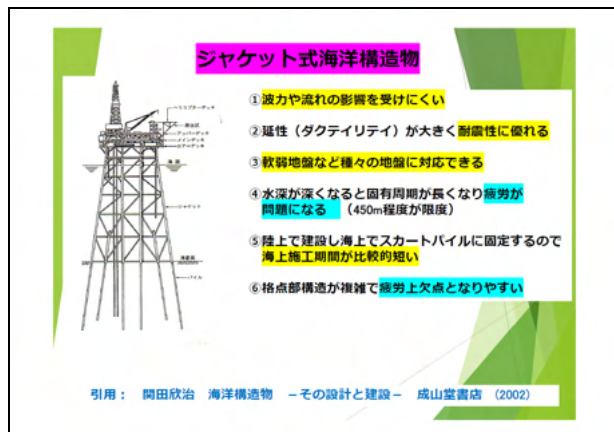


図-3.1.55

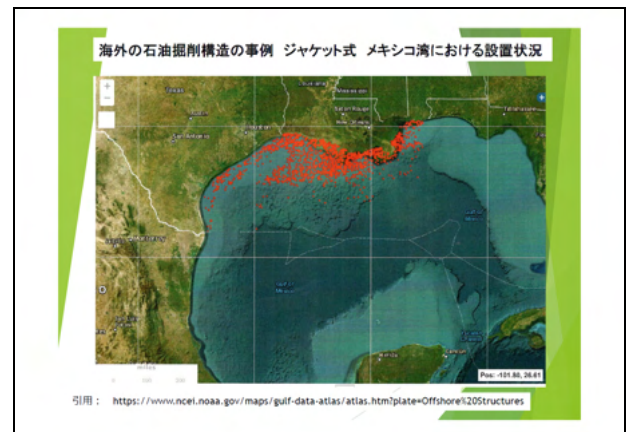


図-3.1.58

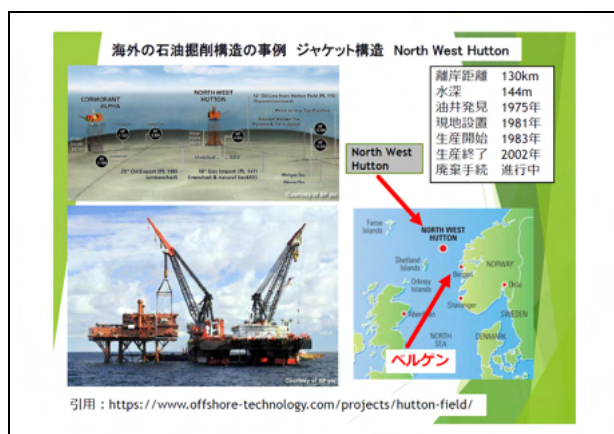


図-3.1.56



図-3.1.59

石油プラットフォーム構造で、こちらはジャケットを現地に積み出した時の写真です(図-3.1.63, 図-3.1.64)。このプラットフォームについては、生産終了に伴い撤去作業を始めることが告知され、そのホームページの記事から切り取って来た写真と図面です(図-3.1.65)。

ジャケット構造は港湾構造物でも使われており、例えば北海道では、釧路港の国際物流ターミナルで採用されています。この栈橋にジャケット構造が使われています(図-3.1.66)。この栈橋は、北米などからの穀物運搬船を釧路

港に入れる時の、係留施設の構造としてジャケット構造が採用されました(図-3.1.67)。これは本州の製作ヤードで製作されたジャケットを台船に乗せて北海道まで曳航して運搬し、そして設置した事例になります。こちらがその構造断面図です(図-3.1.68, 図-3.1.69)。

さて、ジャケット建造はどのように制作されるか簡単に説明させていただきます。ジャケットの製造手順としては、ジャケットを造るための材料を受け取り、その材料を切断・圧延・溶接し組み立てていきます。そして、そのジャ

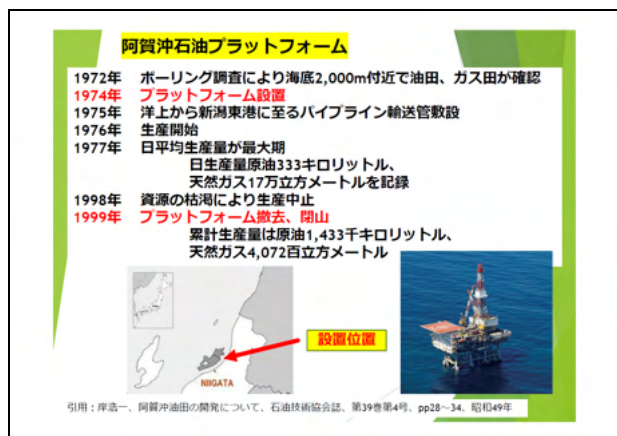


図-3.1.60

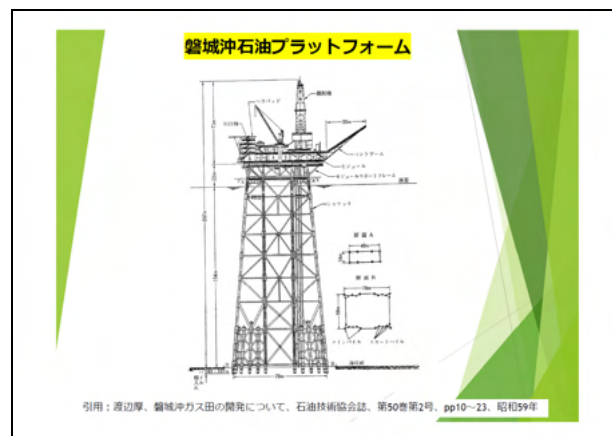


図-3.1.63

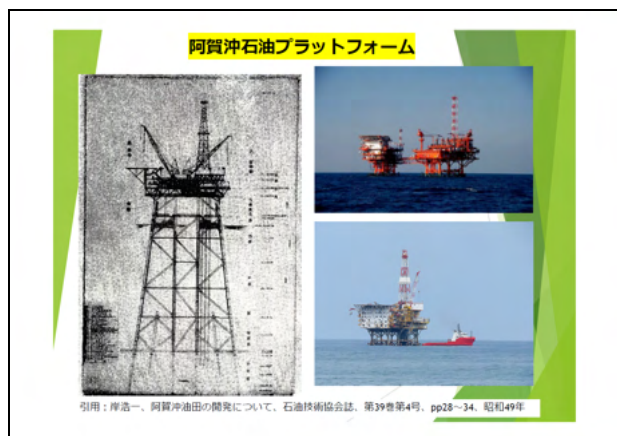


図-3.1.61



図-3.1.64



図-3.1.62

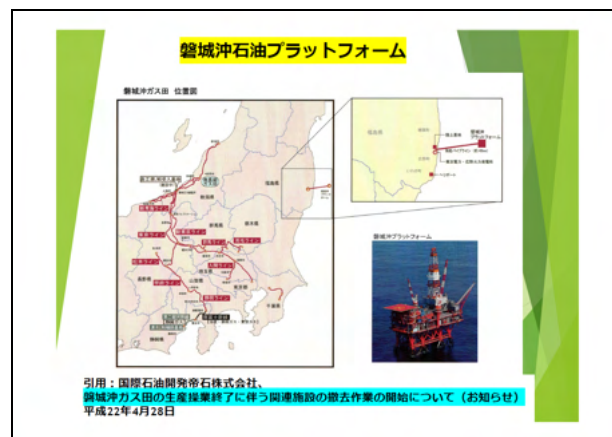


図-3.1.65

ケットを海上に浮遊させて現地に設置するという事で、内容的に細かな手順を示しています。この手順については、いろいろな数値が入っていますが、これはヨーロッパの製造会社のホームページの数値を日本語に訳し、記載させていただいております。

あと生産にはどのような設備を使っているかという点、これが生産設備の概要です。これも Bos-SheIf 社の数値で、いわゆる石油生産用やガス生産用のジャケット構造をつくるには、こういった生産設備が必要になります(図



図-3.1.66

-3.1.70, 図-3.1.71). あとは、実際に組み立てて製造している写真を何枚か Bos-SheIf 社のホームページより転載させていただいています。このようにして、ヤードの中でジャケット構造を組み立てていき、最終的にはこういう形で組み上げて、それを海上に搬出し現地に据えるという、ジャケット構造の製作手順となっています(図-3.1.72～図-3.1.78)。

風車基礎のジャケットはどのようなになるかというと、石油やガスの生産設備に比べると、洋上風車の基礎ジャケッ



図-3.1.69

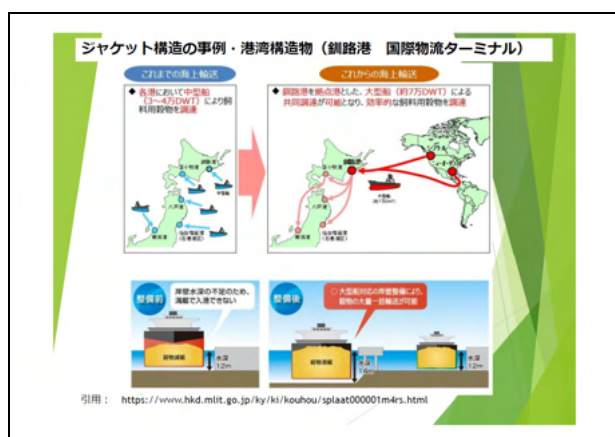


図-3.1.67



図-3.1.70



図-3.1.68



図-3.1.71

トは小型になります。ヨーロッパでは複数の会社がジャケッ
ット構造を製作していますが、EEW 社がヨーロッパで一番
製造実績が大きな会社でございまして、この会社は大口徑
のモノパイル構造も製作していますが、ジャケッット構造も
製作しています(図-3.1.79)。

これは少し古いデータになりますが、ヨーロッパでは風
車基礎にはモノパイルの建造事例が圧倒的に多いのです
が、ジャケッットがそれに次いで使われています(図
-3.1.80)。

実際には、この EEW 社や Lamprell 社、それから STS
Offshore 社などが、ジャケッット構造を製造しているとい
うことです(図-3.1.81)。

EEW 社は 1936 年に創業の会社で、だいたい年間鋼材の
生産量は 90 万 t ぐらいあり、これが本社工場の事務所正
門です。工場の入口には、大口徑のモノパイル断面構造が
展示されており(図-3.1.82)。場所は旧東ドイツの領
域の中にあるロストックという港に本社工場があります
(図-3.1.83)。その他、世界的に幾つかの工場を展開して



図-3.1.72



図-3.1.75



図-3.1.73



図-3.1.76



図-3.1.74



図-3.1.77

います(図-3.1.84)。先程は古いデータでしたが、最新のホームページを確認しますと、この赤い印がプロダクションとアドミニストレーションを行っている事業所で、アジアでは韓国とあるいはシンガポールに工場があるようです(図-3.1.85)。実際にモノパイル、トランジションピース、ジャケット、サブステーションを製作しています。このサブステーションというのは海の中に建設される変電所です。変電所の場合、ほとんどジャケット構造で造られます(図-3.1.86)。



図-3.1.78

実際に建造実績として、2015年のWikingerというプロジェクトで、こんな断面構造を海の中に沈めて風車の基礎としています(図-3.1.87)。この上に風車のタワーを載せて、風車を載せるということで、ここから下が水面下になるわけです。このプロジェクトによる実際のウインドファームの写真です。このような形で建設され、このプロジェクトの場合は5MWの洋上風車が70基設置され、総設備容量が350MWになります。2018年に発電の運用開始がなされているとのことです(図-3.1.88)。

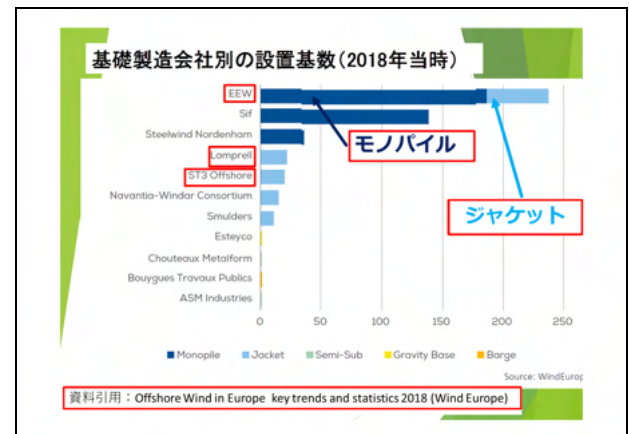


図-3.1.81



図-3.1.79



図-3.1.82

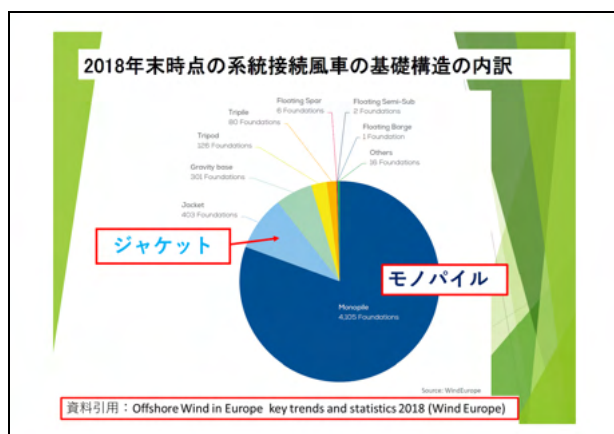


図-3.1.80

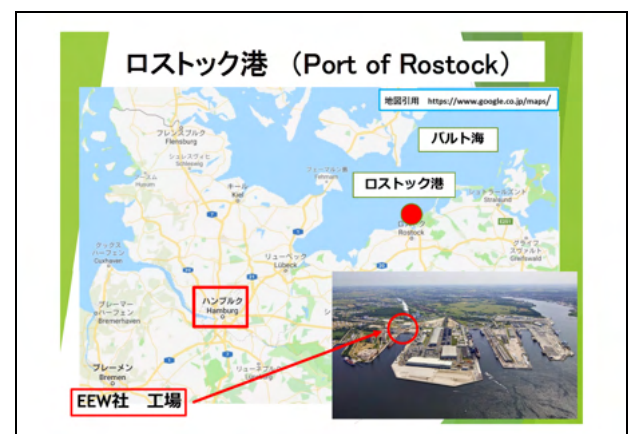


図-3.1.83

それから、もう一つは Lamprell 社で、本社はアラブ首長国連邦の Sharjah で、ドバイにあります。そこに本社工場があり、従業員が約 7,000 人とのことです。実際に、ここの工場で作られて、それが出荷されている状況の写真です(図-3.1.89)。

このような形で風車用のジャケット基礎が製造され、現地に運搬されていきます。それから、この例では、海底地盤に設置する時に用いられるサクシオン基礎構造となっています。海底地盤にサクシオン効果を使いながら、基礎

構造とすることで、これはサクシオン基礎付きのジャケット基礎ということになります(図-3.1.90)。サクシオン基礎については、次回説明する浮体の場合にも使われており、そこで詳しく説明させていただきたいと思います。Lamprell 社の建造に使われる作業船がホームページに載っております。このような SEP 船を使って、現地に設置作業が行われる形になります(図-3.1.91)。

Lamprell 社が建造予定の大きなプロジェクトとしては、スコットランドの東側の海域における Moray West があり



図-3.1.84



図-3.1.87

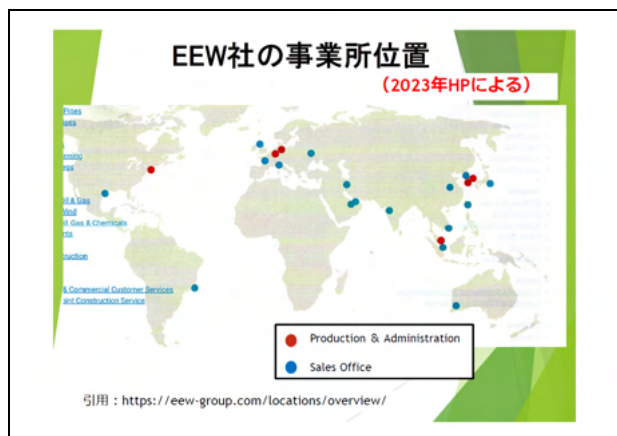


図-3.1.85

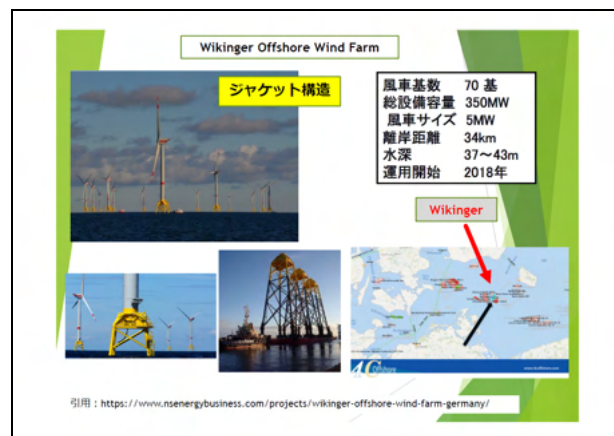


図-3.1.88



図-3.1.86



図-3.1.89

ます。このプロジェクトは、14.7MWの洋上風車60基を設置する計画になっております。建設承認が2019年に取れて、風車の製造契約が2021年ですから、現在、風車の製造中だと思います。これから現地に設置されるか、もしくは現在設置中です。運用開始は2024年～2025年になるとのことです。水深がだいたい35～54mの海域となりますので、モノパイルの設置される海域よりも深くなりますので、ジャケット基礎が採用されています。これは完成予想図なのですが、ジャケット構造なのかどうか、この絵からはよ



図-3.1.90



図-3.1.91



図-3.1.92

くわかりませんが、基礎をジャケットで作って、沈設させて風車の基礎とする構造で建設が進められているところ です(図-3.1.92)。

それからもう一つ、ST3 Offshore 社、これはポーランドの Szczecin に製作工場があります(図-3.1.93)。実際に工場の中で製作している様子がこの写真です(図-3.1.94)。ホームページ等で確認すると、この会社は倒産し、デンマークの Vestas 社が買収交渉を行っているという記事が見受けられました。現状はどうなっているかわかりませんが、今年になってそういう形で買収交渉を行っているという記事がございましたので、そのような形で進んでいるものと思われま す。

この ST3 Offshore 社の建造実績ですが、Borkum Riffgrund 2 プロジェクトがあります。ドイツで8MWの洋上風車が56基建設され、設置水深は25～30mです。モノパイルでも設置可能な水深なのですが、おそらく風車が大きくなることで、重量が大きくなるために、こういうジャケット構造を選定したものだと思います。これが実際にジャケットの構造上に風車を設置している作業の風景です。これはナセルにブレードを設置している状況の写真で ございます(図-3.1.95)。



図-3.1.93



図-3.1.94

ジャケット構造によるウインドファームの建設事例について、若干見ていきたいと思います。これがいろいろな情報から収集した、主要なウインドファームの一例です。J1～J17はジャケット構造のみのウインドファームで、MJ1とMJ2はジャケット構造とモノパイル構造の両方が使われているウインドファームになります。一部数値が確認できなかったものもありますが、ウインドファームとしての設備容量が大きいものから小さいものへ順番に並べています(図-3.1.96)。



図-3.1.96



図-3.1.96

実際にそういう様々のデータから、ジャケット構造についてどういう傾向があるかを見えています。稼働開始年が来年ぐらいまでのものを含めておりますが、年々、風車のサイズが大きくなる傾向にあるのが確認できると思います(図-3.1.97)。大きなサイズの風車を用いて、たくさんの風エネルギーを得ることによって、建設コストの上昇に対応していく形になっていると思います。

それからウインドファーム全体としての設備容量もやはり大きくなっています。従来のものと同じぐらいのものもありますが、ウインドファーム全体として容量の大規模化が進んでいます(図-3.1.98)。

それから最大水深を示します。最近では設置水深の深いものでは、60mぐらいのところまでジャケット構造によって建設されている事例がでてきております(図-3.1.99)。

もう一つは近い海域ではなく、離岸距離が大きな場所、陸側から距離の離れたところに設置される形です。距離としては130kmぐらい離れたところで建設される事例があります(図-3.1.100)。日本では130kmも海岸線から離れると水深が極めて深くなりますので、こんな離岸距離のところではジャケット構造での建設は不可能です。ヨーロッパの遠浅の地形ではこういう事例もあります。

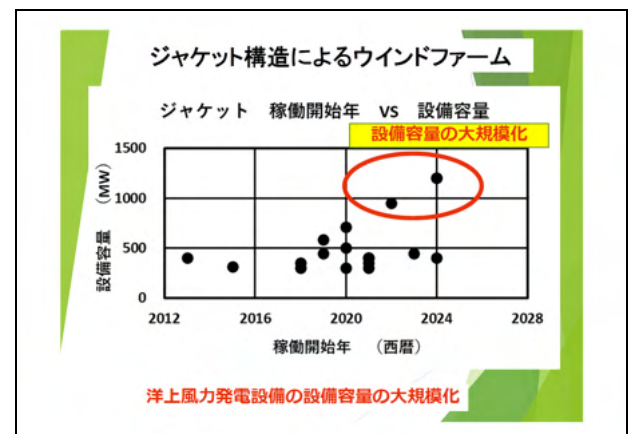


図-3.1.98

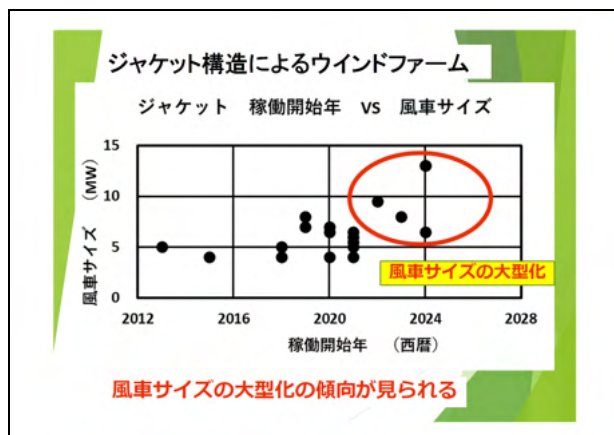


図-3.1.97

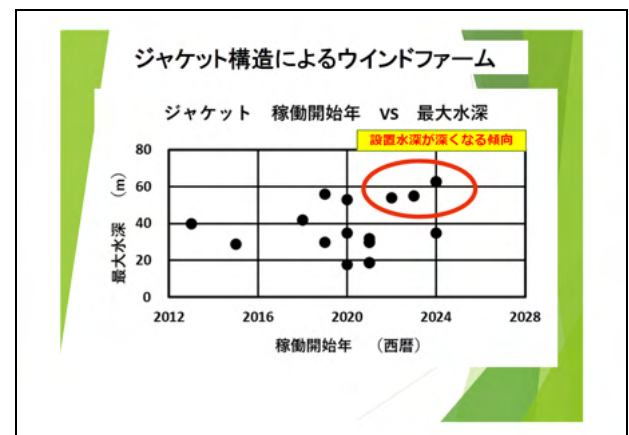


図-3.1.99

それからジャケットの最大水深と風車 1 基のサイズの関係です。最大水深が深いところでは、風車サイズの大きいものが使われる傾向になっています(図-3.1.101)。やはり水深が深いと建設費が掛かるので、大型風車を設置して、それによって発電量を多くする意図が働いていると思います。

それから最大水深と洋上ウインドファームとしての設備容量の関係です。これもやはり同じような傾向で、最大水深が深くなると洋上ウインドファームの規模が大きくな

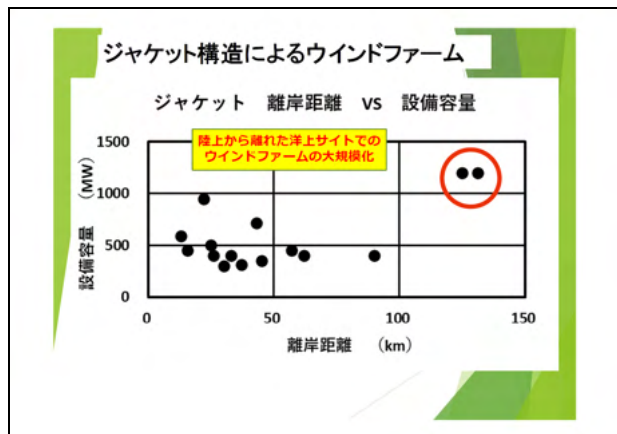


図-3.1.100

なっています(図-3.1.102)。当然深くなると沿岸との距離も離れてきますので、海底送電線の建設コストも上がります。そこで、できるだけ設備容量の大きな洋上ウインドファームを開発する形になっているものと思われます。

それから、海の占有面積と洋上風力発電によるウインドファームの設備容量の関係です。これは当然、占めるエリアが大きくなると、当然それだけ規模の大きな洋上ウインドファームになりますから、海域の占有面積と設備容量の関係は、今後も比例関係にあると言えます(図-3.1.103)。

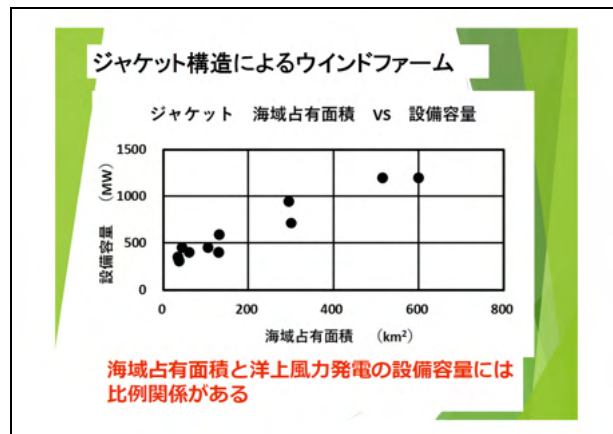


図-3.1.103

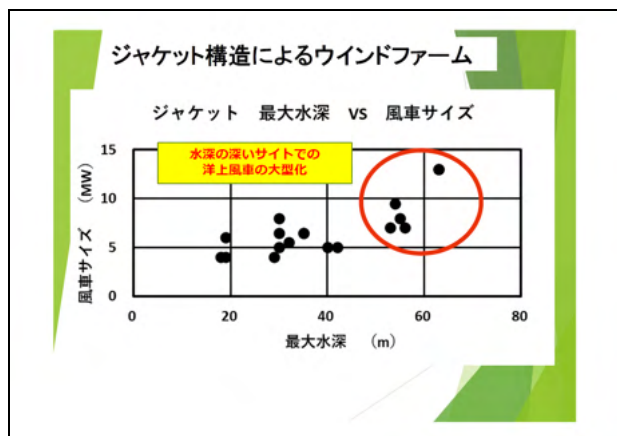


図-3.1.101

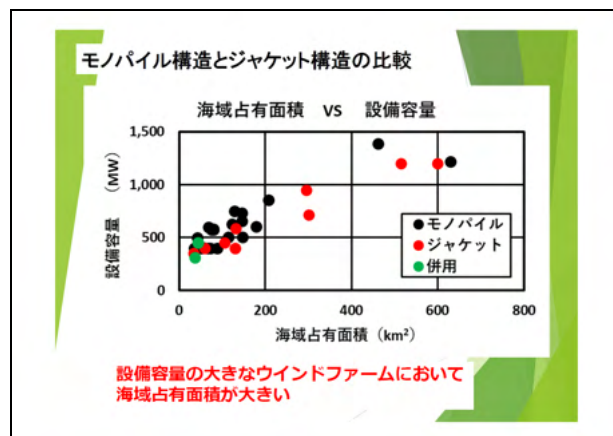


図-3.1.104

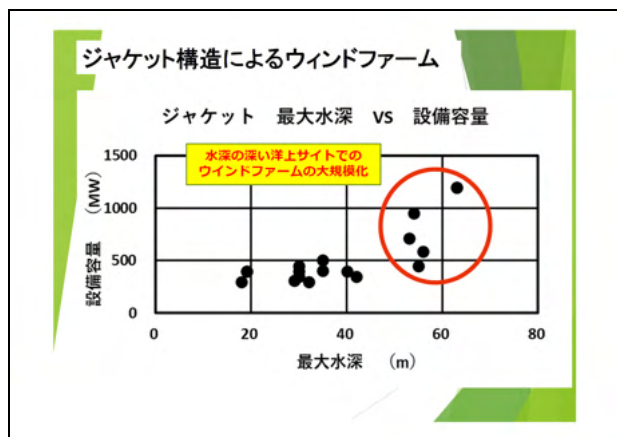


図-3.1.102

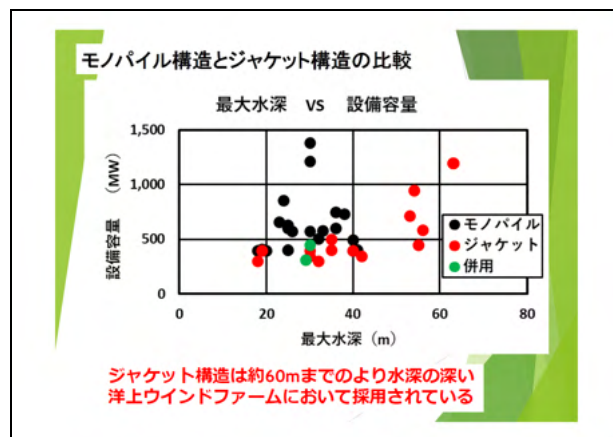


図-3.1.105

次は、モノパイルと比較してジャケットはどうなのかということで、構造別に比較した図になります。これは、モノパイルの場合もジャケットの場合も、海域占有面積が大きなものは設備容量が大きい傾向になっているかと思えます。ジャケットについてはどんどん新しい事例が出てくるので、この傾向がモノパイルよりも海域占有面積が大きくて設備容量も大きい傾向が今後出てくるものと思われまます(図-3.1.104)。

それから最大水深と設備容量の関係を示します(図-3.1.105)。やはりモノパイル構造では設置水深に限界がありますので、やはり水深の深いところではモノパイル構造ではなくてジャケット構造が採用される傾向になります。

それから離岸距離との関係です。ジャケットもモノパイルも、ヨーロッパのような遠浅の海域が続く環境では、離岸距離が100kmを超えるものまで含めて建設されている例があります(図-3.1.106)。

それから最大水深と風車サイズの関係です。これもやはり水深が深くなるとモノパイルではなくて、ジャケットが選ばれる傾向になっています(図-3.1.107)。

あとは稼働開始年との関係です。

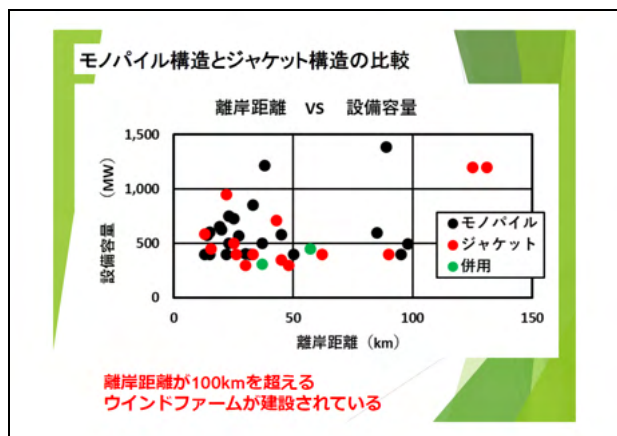


図-3.1.106

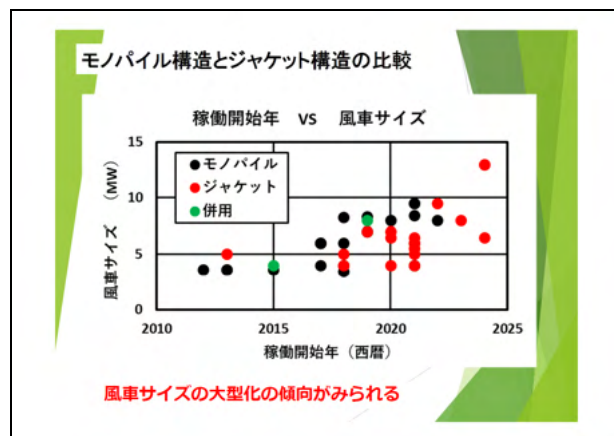


図-3.1.108

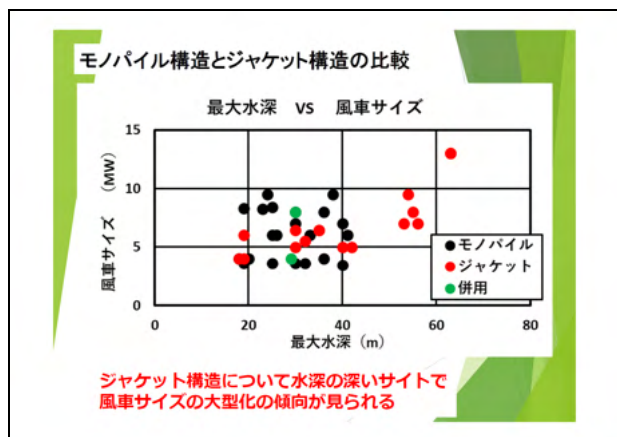


図-3.1.107

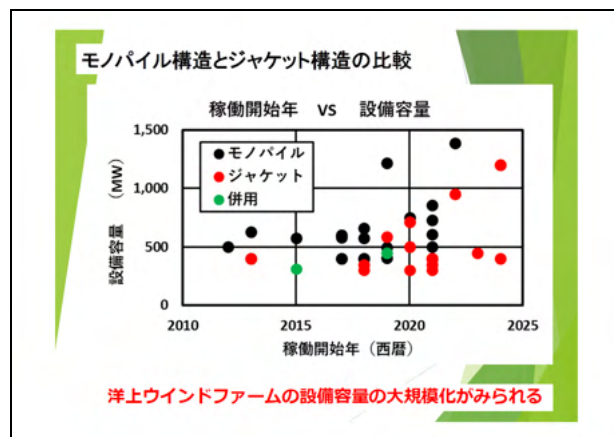


図-3.1.109

-3.1.111). 陸上風車も伸びていますが、洋上もこのような形で導入が進んでいます。陸上と洋上を足した数字について今度どう変化していくかですが、1年間に建設される量は増えていくのではないかという見通しがなされています。

それから、陸上と洋上の導入量の予測の数値でございます。実績と将来予測です。濃い青が陸上の新規になり、薄い水色が洋上の新規になります(図-3.1.112)。依然として陸上の方が多いのですが、洋上もその比率を徐々に高めて

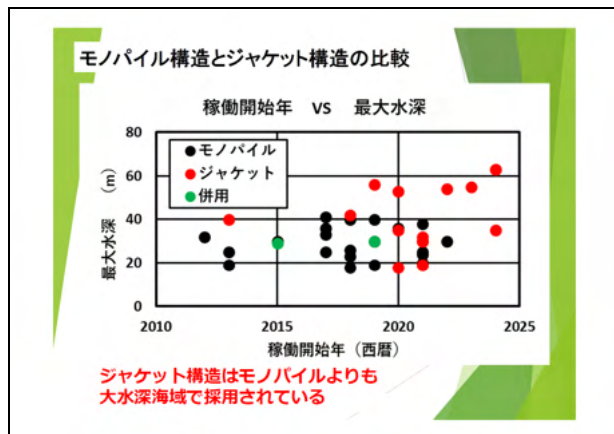


図-3.1.110

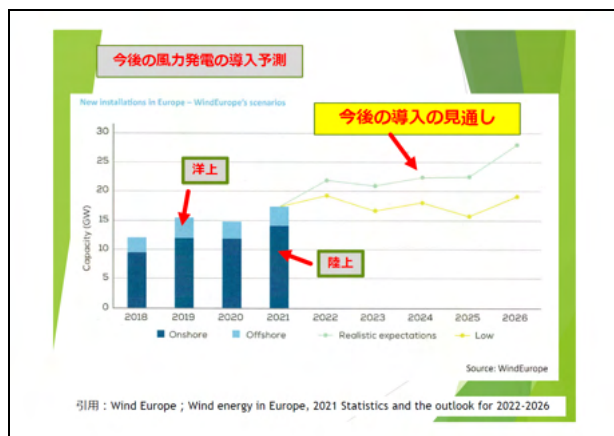


図-3.1.111

いる、というのが将来予測になっています。

国別の導入予測量ということで、これは建設実績と将来の国別の予測値を示しています。やはりドイツ、英国での新規導入が多いだろうと予測されています(図-3.1.113)。国別の導入量は、こちらが陸上の新規、こちらが洋上の新規、こちらが累積値、そして過去に建設されたものも含めて導入量がどのぐらいになっていくのかという予測値になります。新規を見ますと、Onshore (陸上) はドイツが多くなっています。これに対して Offshore (洋上) は英国が他の国を抜いて多く、英国の場合は陸上が 4.4GW に対し洋上が 10.8GW、洋上における開発が主になる状況にあります(図-3.1.114)。一方、ドイツでは洋上もこれから建設されていくのですが、圧倒的に陸上の開発が多いという状況になっています。

新規の洋上風車の国別導入量の予測値ですが、やはり英国が多く、その次にドイツ、それからオランダという順番になっています(図-3.1.115)。年別の洋上風車の建設動向ですが、英国がやはり多く、その次にドイツが続く予測になっております。2025 年の導入量予測で、この濃い青が 2021 年時点の数値でございます。これが 2026 年になるとどれだけ変化するかを示しています(図-3.1.116)。これは

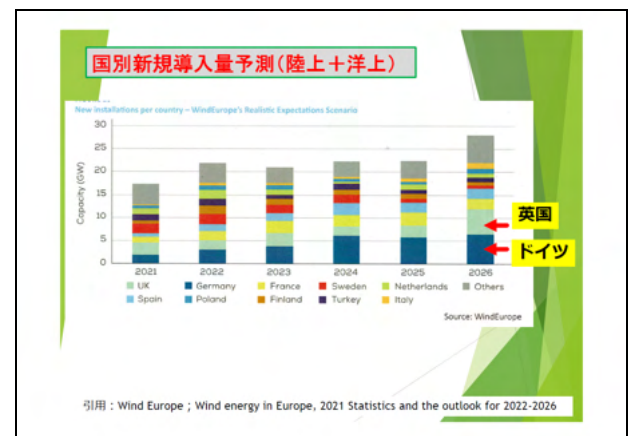


図-3.1.113

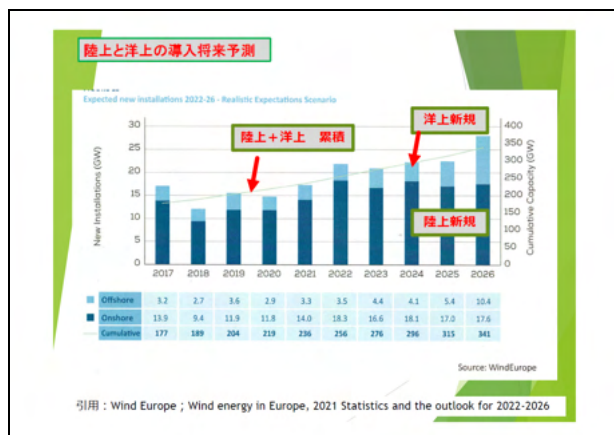


図-3.1.112



図-3.1.114

陸上と洋上の両方を足した数字になりますが、ドイツが一番多く、次が英国、その次がスペインという順番になるという予測になっております(図-3.1.117)。

それから、ジャケット構造の計画動向について説明いたします。ジャケットについてはこのように年によって変動はしますが、ある程度の割合で建設されていきます。モノパイルは水深の浅い建設適地がだんだん少なくなっていることで、減少傾向です(図-3.1.118)。ただ、これはまだわからない、未定だというのが将来計画では結構

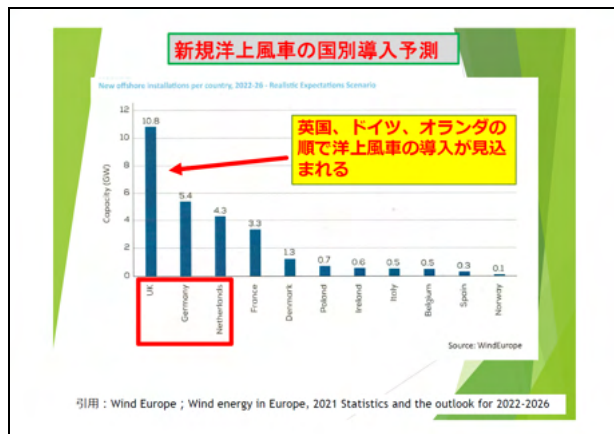


図-3.1.115

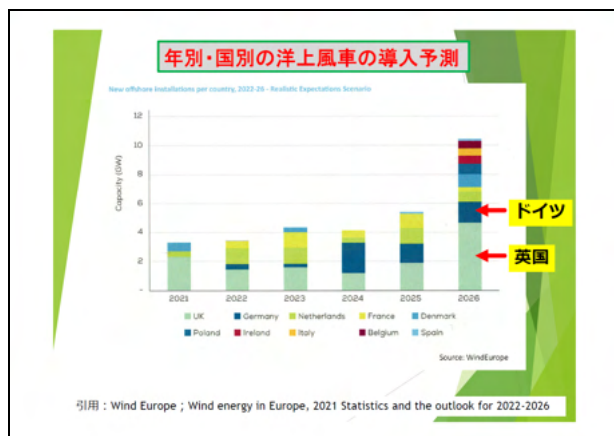


図-3.1.116

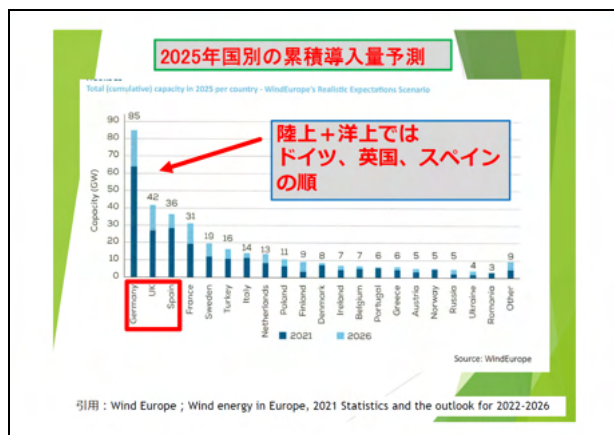


図-3.1.117

あります。現在検討しているものについては、最終的にジャケットにするのか、モノパイルにするのか、あるいは浮体にするのか、このグレーの部分が将来的には構造が決まっていくということです。このグラフの将来部分については、実際は少しずつ変わっていくものと思われます。

次に洋上風力のジャケットの構造設計について簡単に説明します。

まずこれは洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説の中で、港湾区域に建設される場合は港湾法の適用によっていろいろ手続きが進められる流れになります(図-3.1.119)。一方、一般海域の海洋再生エネルギー発電設備整備促進区域、実際には一般海域の中で整備が促進する区域が指定されて、その中で建設が進められます。すなわち、再エネ海域利用法が適用され、その中で工事審査が進められていく形になっております(図-3.1.120)。

関連する基準については、平成27年に国土交通省港湾局でまとめた、港湾における洋上風力発電施設等の技術ガイドライン(案)というものがありません。港湾区域に加えて一般海域への適用であるとか、浮体式洋上風力発電設備への適用等も踏まえ、洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説という形で、新しい統一の基準ができました

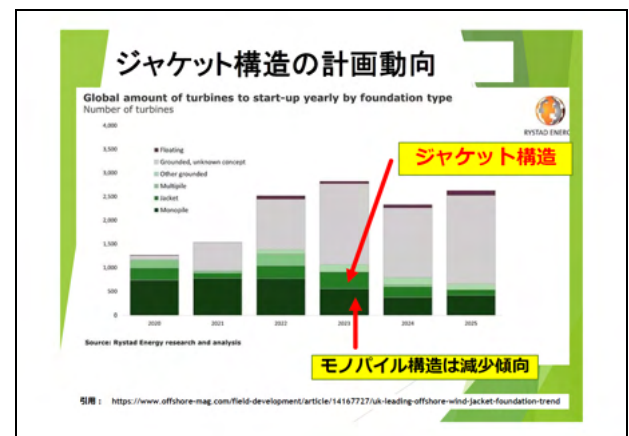


図-3.1.118

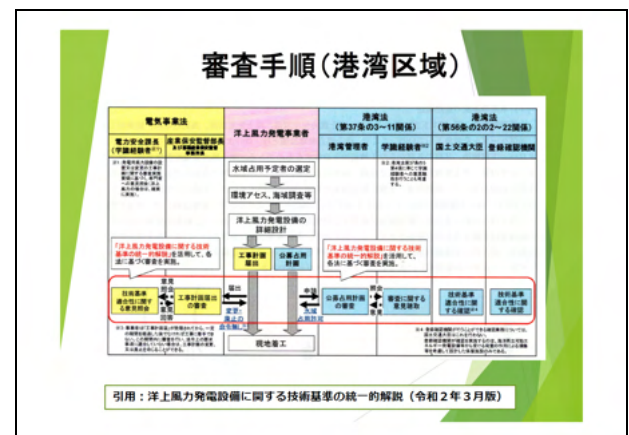


図-3.1.119

[illegible]

The diagram illustrates the relationship between two technical standards. On the left, a box represents the 'Technical Guidelines for Floating Offshore Wind Power Generation Equipment' (技術ガイドライン), dated平成27年3月 (March 2015), published by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (国土交通省) and the Port and Airport Authority of Japan (港湾局). An arrow points from this box to a larger box on the right, which represents the 'Unified Interpretation of Technical Standards for Floating Offshore Wind Power Generation Equipment' (洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説), dated (令和2年3月版) (March 2020 edition), published by the Japan Offshore Wind Power Development Committee (洋上風力発電開発検討委員会).

関連規格・基準

港湾における洋上風力発電設備等の
技術ガイドライン

【第1】

平成27年 3月

国土交通省 港湾局

洋上風力発電設備に関する
技術基準の統一解説
(令和2年3月版)

洋上風力発電開発検討委員会

港湾区域に加え一般海域への適用
浮体式洋上風力発電設備への適用

関連規格・基準

洋上風力発電設備に関する技術基準の統一の解釈

**発電用風力設備に関する技術基準を定める省令
及びその解釈に関する逐条解説**

発電用風力設備に関する技術基準の解釈

発電用風力設備に関する技術基準を定める省令

電気事業法

**港湾における洋上風力発電等の
技術ガイドライン（案）**

港湾施設の稼働上の基準 - 同解説

港湾施設の稼働上の基準を定める省令

港湾法

**浮体式洋上風力発電施設
保安安全ガイドライン**

**浮体式洋上風力発電施設
技術基準**

船舶安全法

EC 6140-1
Wind energy generation systems Part 1: Design requirements
EC 6140-2
Wind energy generation systems Part 2: Design requirements for floating offshore wind turbines
EC 6140-3
Wind energy generation systems Part 3: Design requirements for floating offshore wind turbines
EC 6140-4
Wind energy generation systems Part 4: Power performance measurements of electricity producing wind

JIS C 1400-1：風車—第1部：設計要件
JIS C 1400-3：風車—第3部：洋上風車の設計要件
JIS C 1400-24：風車—第4部：風荷重

土木学会：風力発電設備支持構造物設計指針・同解説

沿岸技術研究センター：洋上風力発電の技術マニュアル

ISO API RP2A-WSD

Det Norske Veritas
and
Germanischer Lloyd

American Bureau of shipping

それから長期荷重、地震などについては、電気事業法いわゆる建築基準法に規定される、稀に発生する地震動とか、極稀と言われている極めて稀に発生する地震動とか、あと港湾法の港湾レベル1とか港湾レベル2の地震動の作用時に対し検討するということです。港湾法に対する検討では、通常、港湾レベル2は、これは耐震強化施設の利用に影響がある場合のみチェックするので、基本的には、港湾レベル1の地震動についてのみ検討することになると思います(図-3.1.124)。

短期荷重及び疲労荷重に関する荷重組み合わせ (IEC 61400-3-1に準拠)	
発電中	DLC 1.1 DLC 1.2 DLC 1.3 DLC 1.4 DLC 1.5 DLC 1.6 (イベント例：DLC 1.1 発電時ににおける通常の大型の風況状態)
発電中の故障	DLC 2.1 DLC 2.2 DLC 2.3 DLC 2.4 DLC 2.5 (イベント例：DLC 2.1 制御システムの通信障害、電気系統の消失又は第1階層の制御機能の故障が生じた状況)
発電機停止	DLC 3.1 DLC 3.2 DLC 3.3 (イベント例：DLC 3.1 洋上風力発電設備の起動に伴って生じる疲労強度を評価するためのもの)
通常発電停止	DLC 4.1 DLC 4.2 (イベント例：DLC 4.1 洋上風力発電設備の過速時に伴って生じる疲労強度を評価するためのもの)
緊急停止	DLC 5.1 (イベント例：DLC 5.1 洋上風力発電設備が発電している状況から、手動緊急停止によって緊急停止する状態へ移行することを想定したものである)
停止時	DLC 6.1 DLC 6.2 DLC 6.3 DLC 6.4 (イベント例：DLC 6.1 高気圧低気圧の増減風速及び増減風況が発生し、コントロールシステムが正常に機能している状況)
停止時＋故障	DLC 7.1 DLC 7.2 (イベント例：DLC 7.1 これらの故障時に、再稼働時の予備風速及び増減風況が生じる状況)
輸送・設置・メンテナンス・修理時	DLC 8.1 DLC 8.2 DLC 8.3 DLC 8.4 (イベント例：DLC 8.1 洋上風力発電設備の製作・施工段階において考慮すべき設計条件を規定したものであり、製作・施工計画を踏まえて設計者が選定したものである)
海氷発生時	DLC D.1 DLC D.2 DLC D.3 DLC D.4 DLC D.5 DLC D.6 DLC D.7 DLC D.8 (イベント例：DLC D.1 温度変動によって発生する凍結力が支持構造物に作用することを想定したものの
引用：洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説（令和 2 年 3 月版）	

長期荷重、地震荷重、津波荷重の作用時の荷重組み合わせの概要
(本基準解説で独自に設定)

長期荷重

種に発生する地震動の作用時

極めて種に発生する地震動の作用時

港湾レベル 1 地震動の作用時

港湾レベル 2 地震動の作用時
(被災により、港湾に存在する制震強化施設の利用等に支障を及ぼすおそれのある洋上風力発電設備を設計する際にのみ用いるものとする)

設計津波作用時

35

説の中に示されている設計フローチャートでございます。ここでジャケット構造に関する安全性の照査という項目がありますから、全体的な共通項目の中でこの部分でジャケットに対して構造設計をしていく、という考え方が示されております(図-3.1.125)。

ジャケット構造の基礎の場合には、基本的に3次元の骨組解析を行う、あるいはトラス構造モデルを作って、3次元骨組解析を行っていく設計になります(図-3.1.126)。そして、安全性の検討においては、荷重の組み合わせで、押し込み・引き抜き、そういう支持力の検討といわゆる地震動に対する検討を行うということです。それから部材応力度の照査、これも併せて行わなければいけないという形になります(図-3.1.127)。

ジャケット構造の接合部設計ですが、ジャケット構造物の場合には接合部の設計が非常に重要であると言えます。そして、ジャケット構造とそれを支える部分の鋼管杭のグラウト接合の設計、これも非常に重要であります(図-3.1.128)。実際の統一的基準解説の中の図面をそのまま引用させていただいていますが、こういう接合のところで設計が、ジャケットと風車本体を繋ぐものとしての設計、これが非常に重要です(図-3.1.129)。あとは、このジャケ

ットとこれをフーチングに繋げる時のフーチング部分の埋め込み接合、こういった部位設計が重要です。設計上、十分配慮されていなければならないという形になるかと思ひます(図-3.1.130)。

次に現地施工について少し説明をさせていただきます。

これはジャケット構造、この図はトリポットの例ですが、いわゆる浮体でもモノパイルでもない、ジャケット構造をどう施工していくかという形になります(図-3.1.131)。

施工手順としてはこのような形でやっており、これはモ

ジャケット構造の基礎の設計		
洋上風力発電設備の設計・照査 5		
4.5-4.7 各基礎構造の設計		
モノパイル基礎	ジャケット基礎	重力式基礎
○ 各荷重の組合せにより生じる押し込み力、引き抜き力が設計支持力を上回らないこと。 ○ 海底地盤への掘入れ長は、十分な安全性を有するものであること。	○ 各荷重の組合せにより鋼管杭に生じる押し込み力、引き抜き力が設計支持力を上回らないこと。 ○ 極めて稀に発生する地震動等の作用により鋼管杭に生じる押し込み力、引き抜き力が設計支持力を上回らないこと。	○ 各荷重の組合せの作用に対して安定を確保すること。 ○ 極めて稀に発生する地震等の作用に対して、倒壊・崩壊しないことを確認すること。
○ 各荷重の組合せの作用により生じる部材断面力が設計耐力を上回らないこと。 ○ 風、波浪等の繰り返し作用による疲労の影響を考慮すること。 ○ 海洋環境下における、長期間における耐久性を考慮すること。 ○ 極めて稀に発生する地震動等の作用により、倒壊・崩壊しないこと。	○ 各荷重の組合せの作用により生じる部材断面力が設計耐力を上回らないこと。 ○ 風、波浪等の繰り返し作用による疲労の影響を考慮すること。 ○ 海洋環境下における、長期間における耐久性を考慮すること。 ○ 極めて稀に発生する地震動等の作用により、倒壊・崩壊しないこと。	○ 各荷重の組合せの作用により生じる部材断面力が設計耐力を上回らないこと。 ○ 鋼部材に対しては、風、波などの繰り返し作用による疲労の影響を考慮すること。 ○ 海洋環境下における、長期間における耐久性を考慮すること。 ○ 極めて稀に発生する地震等の作用により、倒壊・崩壊しないこと。

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.1.127



引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.1.125

ジャケット構造の接合部の設計		
表-解 4.9.1 各構造形式における接合部の例		
構造形式	鋼製タワーと下部構造間	下部構造と基礎構造間
モノパイル構造	・鋼製タワーとトランジションピースのボルト接合部	・トランジションピースと鋼管杭のグラウト接合部(図-解4.9.1)
ジャケット構造	・鋼製タワーとジャケット構造の鋼構造接合部(図-解4.9.2)	・ジャケット構造と鋼管杭のグラウト接合部
重力式基礎	・鋼製タワーとコンクリート基礎のアンカー接合部(図-解4.9.3)	・モノパイル構造あるいはジャケット構造とコンクリート基礎の埋め込み接合部(図-解4.9.4)
浮体式構造	・鋼製タワーと浮体構造の鋼構造接合部	

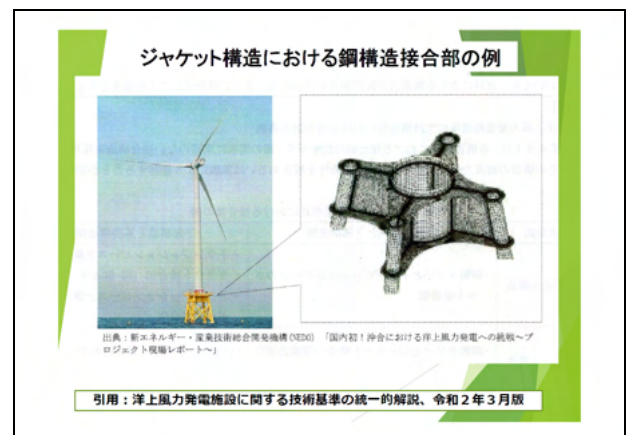
引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.1.128

ジャケット構造の基礎の設計		
洋上風力発電設備の設計・照査 4		
4.5-4.7 各基礎構造の設計		
モノパイル基礎	ジャケット基礎	重力式基礎
○ 海底面以深の杭および地盤の作用を含む考慮した3次元の骨組解析による構造計算を実施することとする。 ○ 骨組解析による構造計算を実施する際は、ジャケットのトラス構造形状を考慮し、部材に作用する荷重を適切に設定する。	○ 各荷重の組合せにより鋼管杭に生じる押し込み力、引き抜き力が設計支持力を上回らないこと。 ○ 極めて稀に発生する地震動等の作用により鋼管杭に生じる押し込み力、引き抜き力が設計支持力を上回らないこと。	○ 重力式基礎の構造計算は、下部構造および基礎を含む3次元の骨組解析等による構造計算を基本とする。 ○ 重力式基礎の下部構造および基礎の形状を考慮し、部材に作用する荷重を適切に設定する。

引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.1.126



引用：洋上風力発電施設に関する技術基準の統一解説、令和2年3月版

図-3.1.129

ノパイル構造についての施工の手順を書いております。このフローはジャケット構造でもほぼ同じような形になりますが、ジャケット構造の方がより大水深海域に設置され、ジャケットを陸から、いわゆる基地の港湾から運んで行って海域に設置する形になります(図-3.1.132)。流力的にはモノパイルの施工手順と同じような形で構造を設置し、洋上変電所を設置して送電線を設置する。そして、陸上の変電所へ繋げていく。このような形で施工を行っていくことになります。

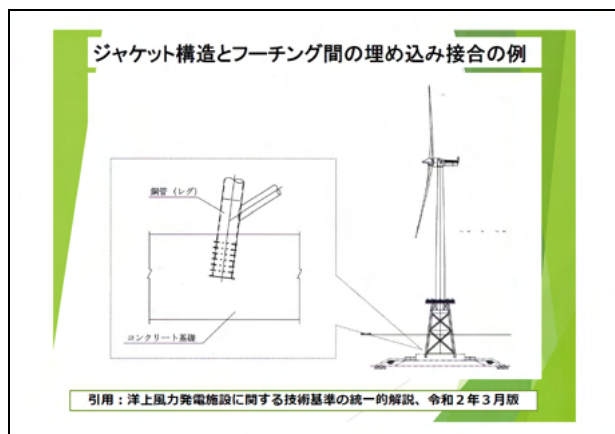


図-3.1.130

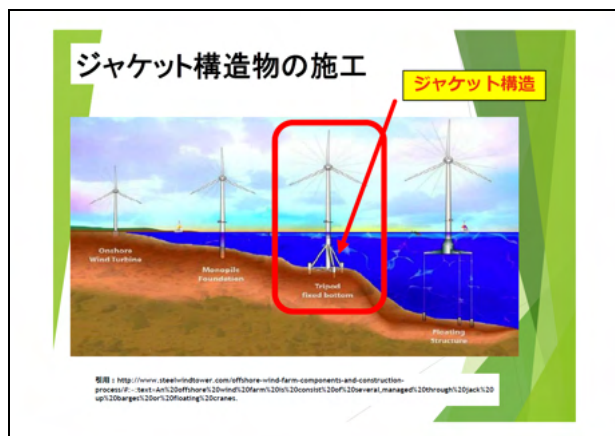


図-3.1.131

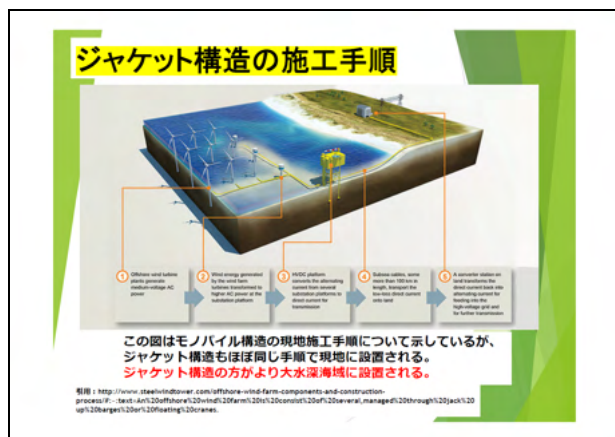


図-3.1.132

実際の作業の流れを少し準備させていただきました。まずジャケットを設置するために、ジャケットを着座させて、スカートパイルという杭に対してジャケットを差し込んでいきます(図-3.1.133)。まずスカートパイルを海底地盤に打ち込んでおく、この作業が最初に必要なります。海底地盤上にスカートパイルが埋め込まれておりますから、そこに向けてジャケットを沈設していきます。これは、こういうジャケットを吊り下げて、所定の海域に沈設させようという段階の写真です(図-3.1.134)。このようにジャケットが建設されて、この上に風車のタワーあるいは風車が載るわけです。あとジャケットとジャケットの間に海底ケーブルを敷設していかなければいけませんから、海底ケーブルの敷設作業というのが行われます(図-3.1.135)。そして、このジャケットの構造に洋上変電所が載っています。洋上変電所は当然重量が大きいので、風車を載せるジャケットよりも規模の大きなジャケット構造が使われます(図-3.1.136)。これはモノパイル構造で風車が建設される場合も洋上風力発電所については、ジャケット構造で建設されるというのが一般的になります。次に、このジャケットの構造の上に風車を載せていきます。この写真は、左側にジャケット構造がありまして、上に風車のナセルの一



図-3.1.133



図-3.1.134

部が見えていると思います。先端のローターのところに風車のブレードを設置していくということで、洋上風車の設置を行っているという、作業の流れの写真になっています(図-3.1.137)。このようにして洋上風車の設置が完了すると、洋上のウインドファームが完成していくという形になります。これは英国 Beatrice Wind Farm の例ですが、こういう形でジャケット構造物の基礎の上に洋上風車が並んでいるというような状況の写真になります(図-3.1.138)。



図-3.1.135



図-3.1.136



図-3.1.137

それでは、風力発電設備の施工はどういう規格で行うかと言うと、例えば海外の施工規格の中では DNVGL というのがありまして、まず N001 というものがあります。これは Marine operations and marine warranty というものです。それから N002 が Site specific assessment of mobile offshore units for marine warranty, こういうような施工規格があります。日本の場合は洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針というものがあります(図-3.1.139)。基本的にはこういったものがどのような配慮事項で審査していくかということになりますが、施工についてはこういう海外の基準等を参考にして、施工計画を立てて行くことが必要になります。

次に、洋上風力のジャケット構造の事例について、いくつか説明をさせていただきます。これは初期の段階からどういうふうに洋上風力発電が進展したかということを示したものです。初期には例えばスウェーデンで 1990 年に組杭式のウインドファーム、モノパイルではなくて普通の杭の上に風車を建てたという事例です。0.22MW ですから、220kW の非常に小さな風車 1 基が試験的に建設されて、これは 2004 年に撤去されています。その次にデンマークで Vindeby Offshore Wind Farm というのがあって、これは



図-3.1.138

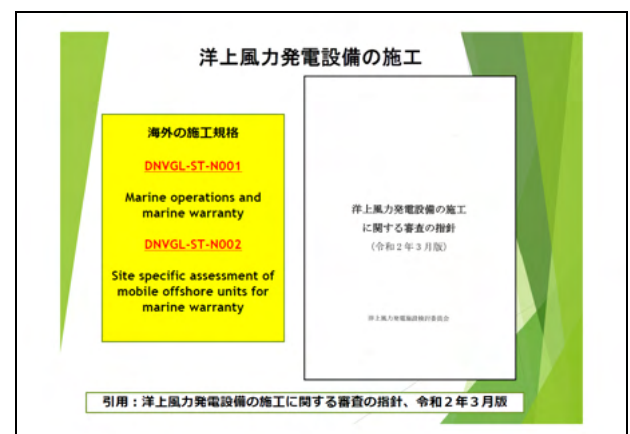


図-3.1.139

1991年に0.45MWですから450kWの風車11基が建設されました。これも2017年に撤去されています。それからオランダでLely Wind Farm、これは海ではなくて淡水湖に建設されています。これも0.5MWが4基ということで、これも2014年に撤去されています。こういう初期の洋上風車というのは、この時期に海外でも初めて建設されたということです。Bockstigen Offshore Wind Farmという、これはスウェーデンの例ですが、1998年に0.55MWですから550kWの風車5基が建設されています。ここについては2018年に風車が更新されて、5MWの風車10基がその場所に新たに建設されています。こういうリプレイスされた例もあります。2000年に入ると、2MWの風車が2基、これはモノパイルで建設されています。2000年を超えてから割と大型の洋上風車が建設されてきたということになります(図-3.1.140)。

実際にはウインドファームとして設置された風車の数が多いものでは、デンマークのMiddelgrunden Offshore Wind Farmというのが2001年に運用が開始されました。これが2MW×20基ということで、これは水深が浅いところなので重力式基礎で建設されました。これがウインドファームとしては世界的に初めてのものかなと思います。さら

に2002年、2003年には2MW×80基とか、2.3MW×162基という、本格的なウインドファームが建設されています。ただこの当時はまだモノパイル構造です(図-3.1.141)。

こういったものがさらにどんどん規模を大きくして建設が進められました。2007年に初めて、イギリスのBeatrice Offshore Wind Farmがジャケット式で建設されました。これは5MWのジャケット基礎が2基ということで、10MWになります。この時点で初めてジャケット方式がパイロット試験として建設されました。浮体については2009年に2.3MWが1基ということで、これもやはりパイロット試験として行われているということです(図-3.1.142)。

このようにジャケットや浮体の構造が出てきたのですが、やはり初期の段階、2010年前後はほとんどモノパイルの構造が実際には採用されていたということで、ジャケットの本格的な事例は、2018年に運用開始されたBeatrice Offshore Wind Farmです。先程説明したパイロット試験を行った海域の隣接したところに7MWの洋上風車を84基、トータル588MWということで、これが世界的には初めて商用運転されたジャケット構造式の洋上風力発電ということになると思います(図-3.1.143)。このようにジャケットの構造形式というのは、モノパイルの構造に

初期のジャケット構造事例① (ジャケット以外の構造形式も併記)		
スウェーデン Svante 1 Offshore Wind Farm (Nogersund)	(組杭式) 運用開始 1990年 0.22MW (0.22MW×1基) 2004年撤去	
デンマーク Vindeby Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 1991年 4.95MW (0.45MW×11基) 2017年撤去	
オランダ Lely Wind Farm (淡水湖に建設)	(組杭式) 運用開始 1994年 2MW (0.5MW×4基) 2014年撤去	
スウェーデン Bockstigen Offshore Wind Farm	(組杭式) 運用開始 1998年 2.75MW (0.55MW×5基) 撤去済 (モノパイル) 2018年風車更新 50MW (5MW×10基)	
英国 Blyth Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2000年 4MW (2MW×2基) 2019年撤去	

図-3.1.140

初期のジャケット構造事例③ (ジャケット以外の構造形式も併記)		
英国 Beatrice Offshore Wind Farm	(ジャケット式) 運用開始 2007年 10MW (5MW×2基) パイロット試験	
ノルウェー Hywind Offshore Wind Farm	(浮体式) 運用開始 2009年 2.3MW (2.3MW×1基) パイロット試験	
デンマーク Horns REV2 Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2009年 209MW (2.3MW×91基)	
ベルギー Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-1)	(モノパイル) 運用開始 2009年 30MW (5MW×6基)	
ベルギー Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-2)	(モノパイル) 運用開始 2012年 184MW (6.15MW×30基)	
ベルギー Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-3)	(モノパイル) 運用開始 2013年 110MW (6.15MW×18基)	

図-3.1.142

初期のジャケット構造事例② (ジャケット以外の構造形式も併記)		
スウェーデン Utgrunden Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2000年 11MW (1.5MW×7基) 2018年撤去	
スウェーデン Yttre Stengrund Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2001年 10MW (2MW×5基) 2015年撤去	
デンマーク Middelgrunden Offshore Wind Farm	(重力式) 運用開始 2001年 40MW (2MW×20基)	
デンマーク Horns REV Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2002年 160MW (2MW×80基)	
デンマーク Nysted Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2003年 383MW (2.3MW×162基)	
ドイツ Dollant Emden Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2004年 4.5MW (4.5MW×1基) パイロット試験	
英国 Barrow Offshore Wind Farm	(モノパイル) 運用開始 2006年 90MW (3MW×30基)	

図-3.1.141

初期のジャケット構造事例④ (ジャケット以外の構造形式も併記)		
英国 Hywind Scotland Offshore Wind Farm	(浮体式) 運用開始 2017年 30MW (6MW×5基) 商用運転	
英国 Beatrice Offshore Wind Farm	(ジャケット式) 運用開始 2018年 588MW (7MW×84基) 商用運転	

図-3.1.143

比べて、大きなものについては、ようやく近年になって建設事例が出てきたという形になると思います。

このリストを再度掲載させていただきますが、これから主要な洋上ウインドファームについて若干の説明をさせていただきます(図-3.1.144)。

これはイギリスの北海沿岸、Dogeer Bank A というプロジェクトです。これは去年、2022 年に建設が始まって、来年運用されるということです。13MW の洋上風車 95 基が建設される予定で、総設備容量は 1,200MW ですから 1.2GW になります。この 1 カ所で少し大きな規模の火力発電所 1 カ所分という大規模のウインドファームになると思います(図-3.1.145)。

それから同じく Dogeer Bank の B 区域、これも 13MW が 95 基という計画です。これも A と同じようなプロジェクトの進行状況になります(図-3.1.146)。

それからイギリスの Moray East Offshore Wind Farm です。これは 9.5MW が 100 基ですから 950MW というので、これは 2018 年に建設が始まり、2022 年に運用が始まっております(図-3.1.147)。

それから、その次の規模もののものが 714MW ということで、7MW 風車 102 基という East Anglia ONE Offshore Wind Farm

です。これはイギリスの北海東側の海域に建設されています。全体の地図を載せていないので位置がわかりにくいのですが、北海海域に建設されたということで、こういうジャケット基礎の上に風車が載っているという写真です(図-3.1.148)。これは別の写真で、ここにサブステーション、洋上変電所があります(図-3.1.149)。

それから Beatrice Offshore Wind Farm、先程 2007 年にパイロット試験が行われたということを説明させていただきましたが、実際に 2018 年に本格的なプロジェクト

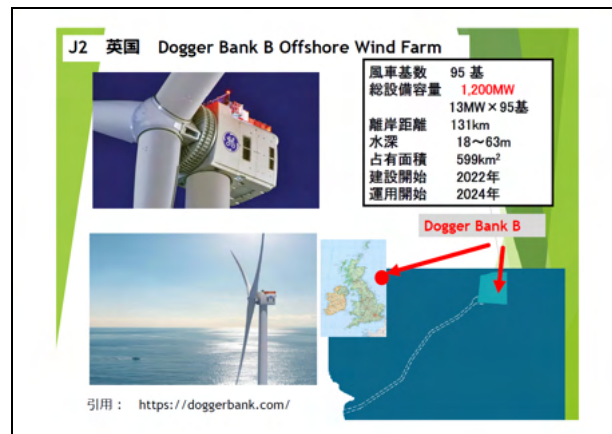


図-3.1.146

ジャケット構造による主要なウインドファーム											
	名称	国名	設備容量 (MW)	風車 基数	サイズ (MW)	稼働開始年	構造形式	設置水深 (m)	離岸距離 (km)	占有面積 (km ²)	最大水深 (m)
1	Dogger Bank A	英国	1,200	95	13	2024	ジャケット	18-63	131	599	63
2	Dogger Bank B	英国	1,200	95	13	2024	ジャケット	18-63	131	599	63
3	Moray East	英国	950	100	10	2022	ジャケット	42-54	22	295	54
4	East Anglia ONE	英国	714	102	7	2020	ジャケット	~53	43	300	53
5	Beatrice	英国	198	84	7	2019	ジャケット	18-63	131	599	63
6	CGN Shanghai East 1	中国	303	78	6	2020	ジャケット	30-35	25	35	35
7	The Nantuxu Gasfield (H2)	英国	400	54	8	2023	ジャケット	~55	35	105	55
8	CGN Shanghai East 2	中国	403	62	6	2024	ジャケット	30-35	25	35	35
9	AGU	ドイツ	400	80	5	2013	ジャケット	40	30	40	40
10	CTONG Yangjiang Shapou - Phase II	中国	400	62	6	2021	ジャケット	26-35	28	35	35
11	SPIC Rudong H1	中国	400	100	6	2021	ジャケット	18-24	42	130	24
12	SPIC Rudong H2	中国	400	100	6	2021	ジャケット	18-24	42	130	24
13	Wukong	ドイツ	300	70	5	2018	ジャケット	32-42	45	56	42
14	Rudong H2	中国	300	70	5	2021	ジャケット	~30	40	30	30
15	Yangjiang Nanyang Island	中国	300	95	6	2021	ジャケット	23-32	30	30	32
16	Honghai Longgouan Chang Sand	中国	300	75	4	2018	ジャケット	20-28	40	28	28
17	Rudong H1	中国	300	75	4	2020	ジャケット	20-28	40	28	28
M1	Borkum Rijkswater 1	ドイツ	312	78	4	2015	モノパイル、ジャケット	23-29	37	30	29
M2	Borkum Rijkswater 2	ドイツ	450	56	8	2019	モノパイル、ジャケット	25-30	57	43	30

図-3.1.144

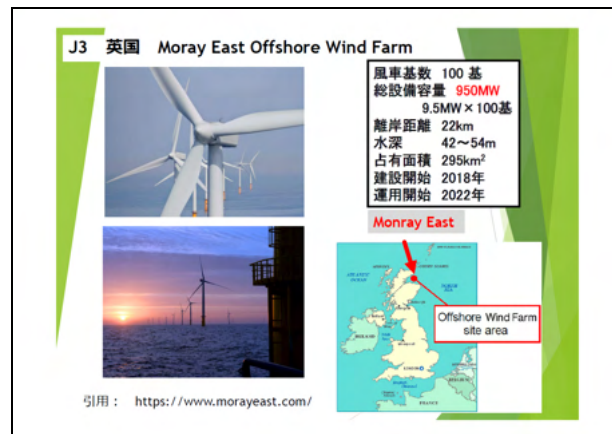


図-3.1.147



図-3.1.145



図-3.1.148

で建設が進められて、2019 年からオペレーション、発電が行われているという形になります(図-3.1.150)。

それからこれは中国の例でございますが、中国の海岸線の南の方になります。CGN Shanwei Jiazi I, 6.45MW が 78 基ということで、508MW のウインドファームということになります(図-3.1.151)。実際にこの海域にはたくさんのプロジェクトがあって、この CGN Shanwei Jiazi I というのは、ここの部分になります。将来的にはこういうふう

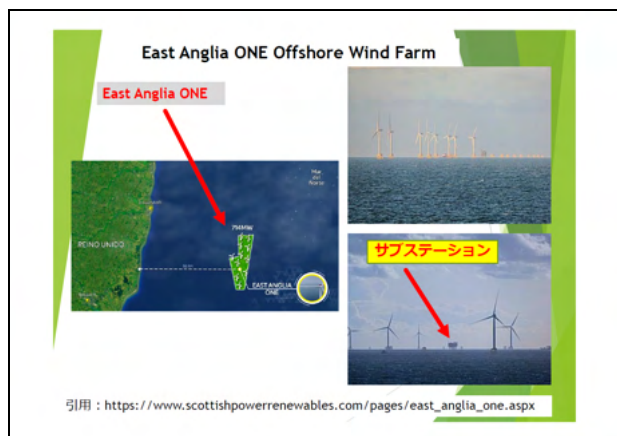


図-3.1.149



図-3.1.150

ものと思われます(図-3.1.152)。

それからこれはイギリスの沖合の北海に面する Neart na Gaoithe Offshore Wind Farmです。8MW の洋上風車 54 基ということで、450MW の風力発電所です。建設は 2020 年に始まりまして、今年運用が開始される予定になっています。ここもこのようなジャケット構造の上に洋上風車が載るというようなプロジェクトになります(図-3.1.153)。

それからこれはもう既に運用が始まっているもので、ドイツの Borkum Riffgrund 2 Offshore Wind Farm です。8MW の洋上風車が 56 基ということで、こういう基礎の上に風車が建設されているということになります。ここはモノパイル基礎も一部あって、ジャケット基礎もあるということで、56 基中 36 基がモノパイル構造で造られています(図-3.1.154)。それから 56 基中の 20 基がサクシオンバケット付きのジャケット構造です。海底地盤に設置する時に、サクシオン力を使って海底地盤に固着させる形式のジャケット構造です。これがジャケット構造の建設例ですが、この海域ではモノパイル構造とジャケット構造が併用されているというような形になります(図-3.1.155)。

それからこれが中国の CGN Shanwei Jiazi II というプロジェクトです。これは 6.4MW の洋上風車 62 基というこ

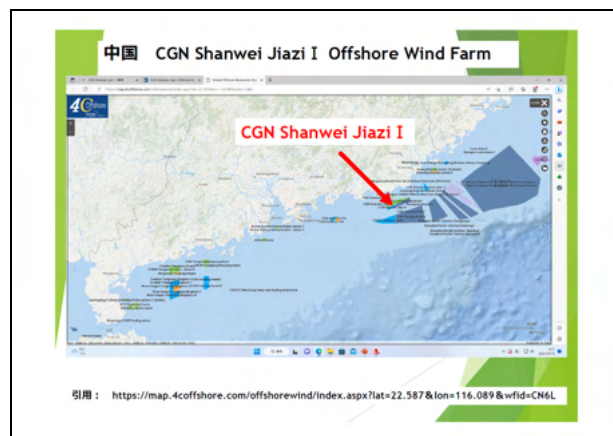


図-3.1.152



図-3.1.151



図-3.1.153

とで、総設備容量が403MWです。離岸距離とか占有面積は不明ですが、2020年に建設が始まり、来年2024年に発電運用が始まるという予定のものでございます(図-3.1.156)。これがその海域ということで、先程、CGN Shanwei Jiazi Iの説明をしました、その隣接する海域ということです。先程説明したように、沖合にはさらに大型のウィンドファームプロジェクトが構想されているというような形になります(図-3.1.157)。

それからこれはドイツの BARD Offshor 1 というプロジ



図-3.1.154

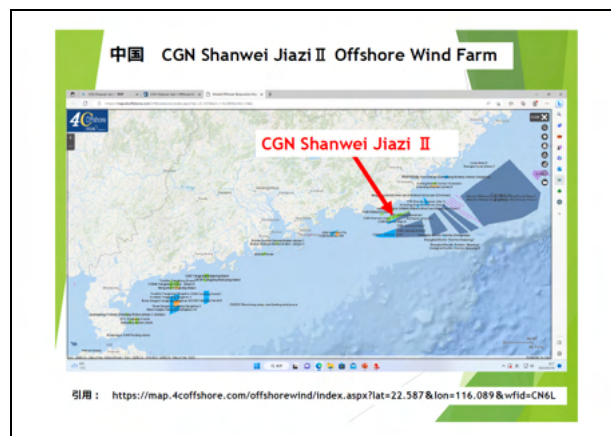


図-3.1.157

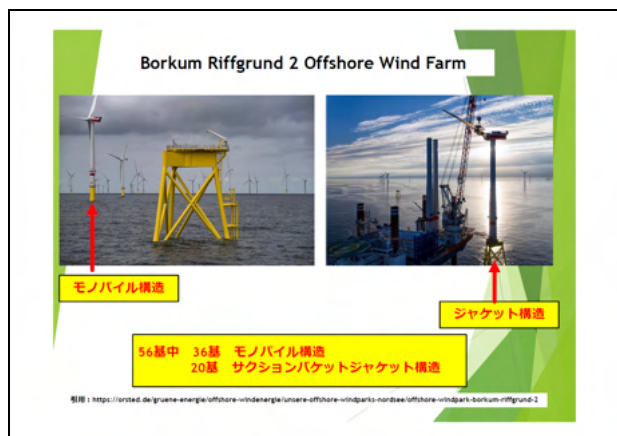


図-3.1.155



図-3.1.158



図-3.1.156



図-3.1.159

いるもので、6.4MW の洋上風車 62 基という形で、総設備容量は 400MW という事です。2020 年に建設が始まり、2021 年から運用開始しています。これもジャケットの基礎はこういうサクション基礎で、3 本足のジャケット構造で海底面に設置する時にはサクション基礎が用いられているという例でございます(図-3.1.160)。海域としては、この図に示している海域です。さらに沖合の海域において、新たなプロジェクトも計画されている場所です(図-3.1.161)。



図-3.1.160

それから次に SPIC Rudong H7 Offshore Wind Farm, これは図に丸を付け忘れていますが、この辺りの海域です。4MW の洋上風車が 100 基ということで、これは 2020 年に建設されて、2021 年に運用が開始されています。普通のジャケットとは少し基礎の形が違っているようですが、構造の詳細はわかりません(図-3.1.162)。この図が SPIC Rudong H7 の海域でございます(図-3.1.163)。

それから Rudong H4, これも 4MW の洋上風車が 100 基ということで、先程の H7 と隣接する海域に建設されている

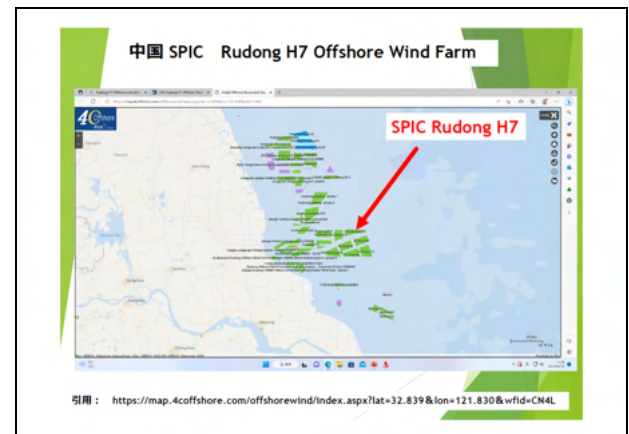


図-3.1.163

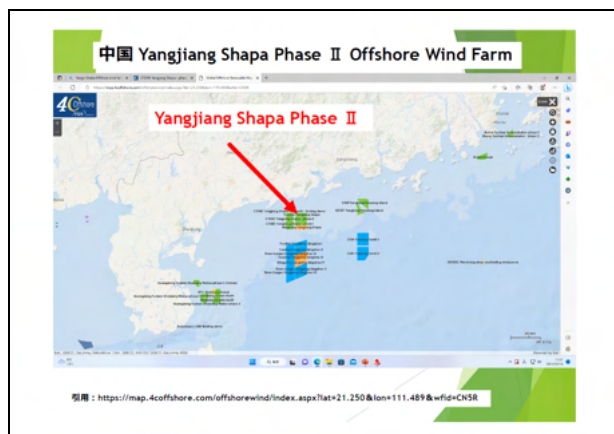


図-3.1.161



図-3.1.164



図-3.1.162

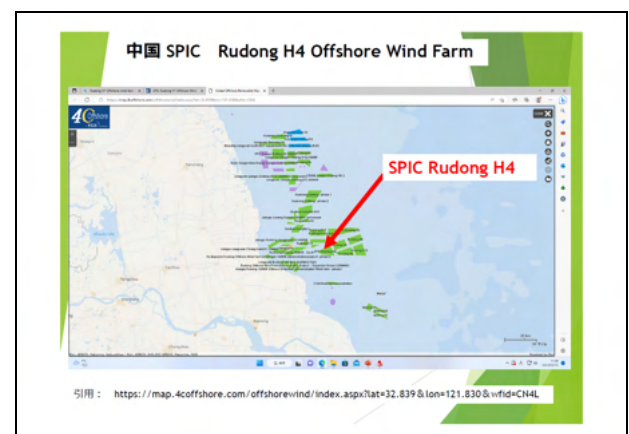


図-3.1.165

ということです(図-3.1.164)。これがH4の設置海域です。この海域にはいろいろなウィンドファームプロジェクトがたくさんある中の一つでございます(図-3.1.165)。

それからドイツのWikinger Offshore Wind Farmです。5MWの70基の洋上風車から構成され、総設備容量が350MWということになります。2018年にこのような形で運用が始まっていて、こういうジャケット構造の上に洋上風車を載せているというような形です(図-3.1.166)。基礎の形がよくわからないので、サクションを使っているのかどうかはわかりませんが、そういうようなジャケット構造の風車基礎になります。実際にこういうふうに建設されておりまして、これが洋上変電所の写真です(図-3.1.167)。

次は、中国のRudong H2という洋上風力発電所です。建設場所は、中国のちょうど真ん中辺りです。5MWの洋上風車が70基ということで、2021年に建設されて、その年にオペレーションも始まったということです。このような基礎の構造の上に洋上風車を建てているという形です。水面下の構造の図がわからないので示しておりませんが、このようなジャケット構造に分類される構造形式の一つになります(図-3.1.168)。設置海域はこちらの海域です。この海域は先程のRudong H7というものもありまして、幾つか

のウィンドファームプロジェクトが並行して進められている海域でございます(図-3.1.169)。

それからドイツのBorkum Riffgrund 1、先程はBorkum Riffgrund 2の説明をさせていただきましたが、近接した地点Borkum Riffgrund 1ということで建設されています。ここは普通のモノパイルの基礎もあるのですが、こういうジャケットの基礎も併設して設置されたということで、どちらかと言うとモノパイルが主体で、このジャケット構造は、いわゆる試験的に設置した場所になっています(図



図-3.1.168

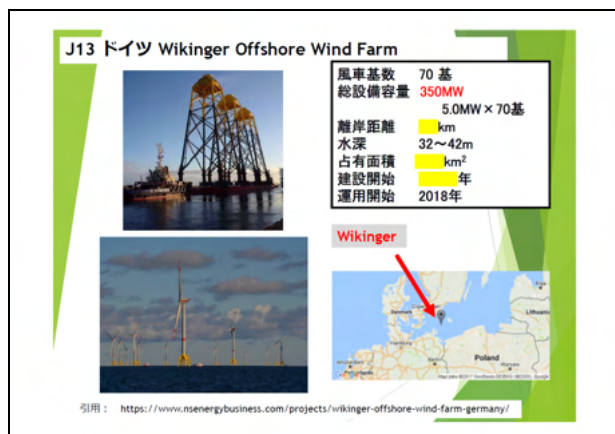


図-3.1.166

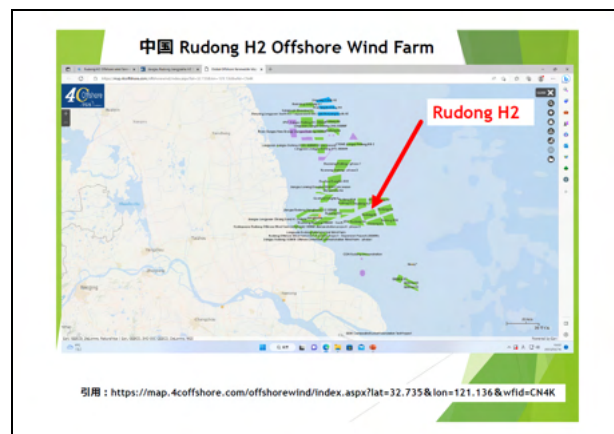


図-3.1.169



図-3.1.167

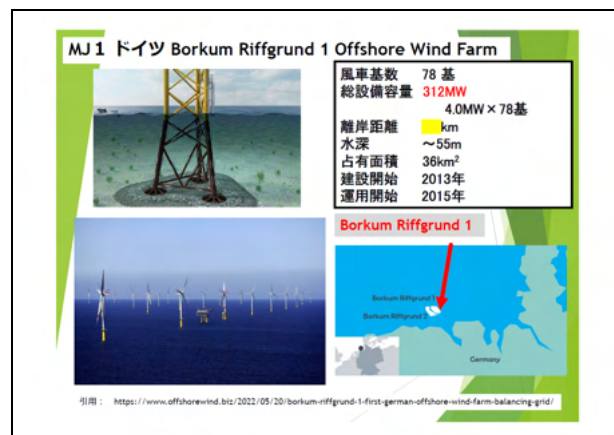


図-3.1.170

-3.1.170). 2013年に建設が開始され、2015年に運用が始まっているということで、これはおそらくジャケットの実証試験も兼ねて設置したものではないかと思われます。ここに説明してあるようにサブステーション、洋上変電所はジャケット構造です。そして風車基礎のほとんどがモノパイルなのですが、その中の基礎の一部にジャケット構造を採用しているという事例になります(図-3.1.171)。

それから中国の Yangjiang Nanpeng Island Offshore Wind Farm, これは5.5MWの洋上風車が55基ということで、



図-3.1.171

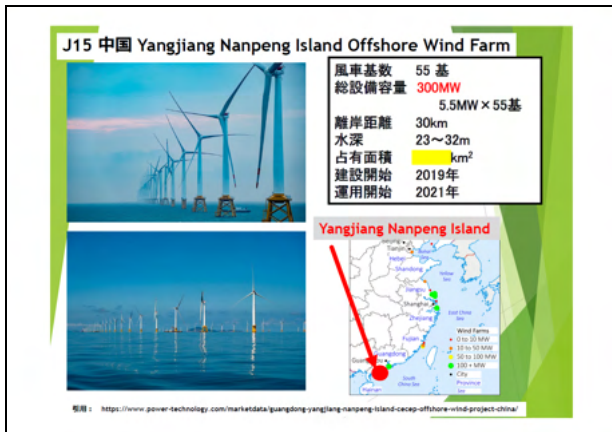


図-3.1.172

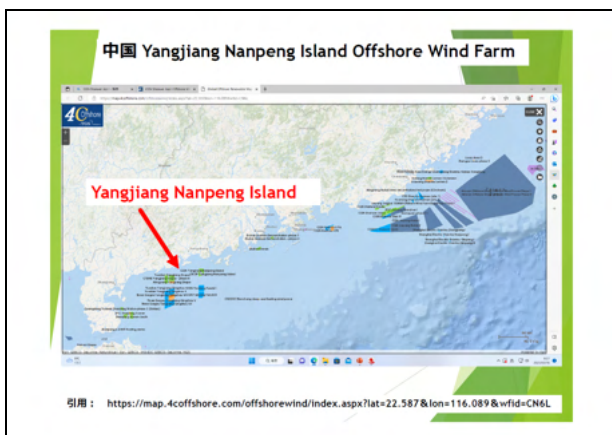


図-3.1.173

2019年に建設が始まり、2021年に運用が開始されました。このようにジャケット構造の基礎が並んでいて、その上に風車を建てているということで、これも比較的、中国の中では南の方に位置します(図-3.1.172)。実際の海域はこちらです。先程、説明したH4とH7のウインドファームのプロジェクトの海域がこちらですから、それよりもさらに南側の海域に建設されています(図-3.1.173)。

それから Jiangsu Longyuan Chiang Sand Offshore Wind Farm です。これは4MWの洋上風車が75基で構成されています。ちょっと数値がわからない部分が結構あって空白が並んでいますが、2018年に運用が開始されています。構造的には丸い形の筒の下に何か構造物があるのでしょうか、ジャケットの構造の詳細はわかりません(図-3.1.174)。海域としてはこのような海域で、周辺にはたくさんのウインドファームプロジェクトが並んでいるというような海域です(図-3.1.175)。

それから Rudong H5 Offshore Wind Farm ということで、4MWの洋上風車が75基からなるウインドファームが2020年に建設されていて、中国の比較的南側の海域に建設されているということです(図-3.1.176)。先程から説明している、たくさんのウインドファームプロジェクトがある海域



図-3.1.174



図-3.1.175

の一部ということになります(図-3.1.177)。

最後になりますが、石狩湾新港における洋上風車基礎ジャケットの建設について説明させていただきます。これはグリーンパワーインベストメント(GPI)が今年の5月から現地の海域に建設するプロジェクトです。洋上風車の大型化ということで、当初は4MWの風車を26基で建設される予定でしたが、供給される洋上風車の大型化に伴って8MWで14基の計画に変更になったということです。これが14基の洋上風車の配置図になります。防波堤に近い側



図-3.1.176



図-3.1.177

のラインと防波堤から離れた側のラインに風車が並ぶ配置になっています(図-3.1.178)。

実際に石狩湾の防波堤の外側の港湾区域の中にこのように洋上風車を14基建設するという計画でございます(図-3.1.179)。風車の基礎はこのような形のジャケット構造を採用し、その上に風車を載せるという形になります(図-3.1.180)。実際の風車の設置にあたっては、SEP船が用いられます。予定では清水建設のBLUE WINDという船が風車の設置に使われるというように聞いております(図-3.1.181)。実際に風車を設置するクレーン船の詳細な緒言になります(図-3.1.182)。

予定の時間を5分程超過しましたが、以上でジャケット構造に関する洋上風力発電施設の説明について終了させていただきます。ご清聴、ありがとうございました。



図-3.1.179

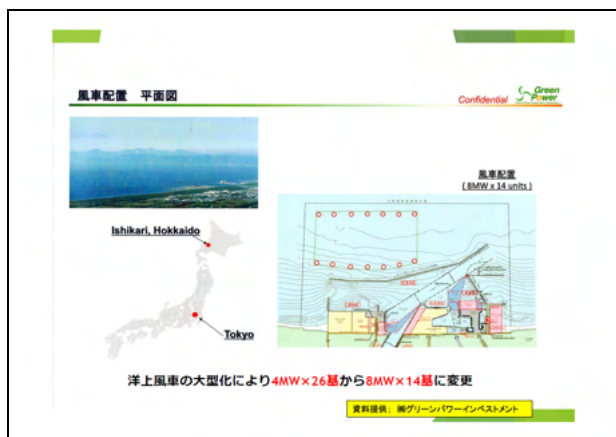


図-3.1.178



図-3.1.180

石狩湾新港 使用されるSEP船



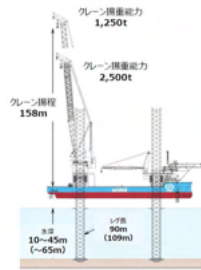
清水建設（株）
BLUE WIND
係留母港 室蘭港

引用： <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/2022046.html>

図-3.1.181

石狩湾新港 使用されるSEP船②

全長×全幅：142m×50m
総トン数：約28,000t
推進システム：5,000馬力スラスター×3台
4,300馬力スラスター×3台
ジャッキシステム：ラック&ピニオン形式
(14,000t/脚)
メインクレーン：1,250t（伸長時：揚程158m）
2,500t（短縮時）
DPS®搭載
※Dynamic Positioning System: 位置保持システム
住居室：最大130人宿泊可能
対応水深：10～45m（レグ長90m時）
10～65m（レグ長109m時）



引用： <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/2022046.html>

図-3.1.182

3.2 第5回「浮体構造の計画・設計・施工」

北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏

(一社) 寒地港湾空港技術研究センター 審議役)

本日は会場並びにWEBでご参加いただきまして、ありがとうございます。白石です。これより着席してご説明をさせていただきます。

前の2回はモノパイル構造とジャケット構造について、計画・設計・施工のお話をさせていただきました。今回は、浮体構造の洋上風力発電について、計画・設計・施工の説明をさせていただきます(図-3.2.1)。

これは、これまでのセミナーでも示したスライドです。2050年にカーボンニュートラルを達成するため、脱炭素に対する様々な取り組みが進められております。今年は、後程説明しますが、「グリーントランスフォーメーション法」、いわゆる「GX法」が成立し、これを契機に様々な施策が進められていくと思います。再生可能エネルギーの導入拡大においては、風力発電の導入が大きな推進力となると思います。とりわけ洋上風力発電は、これから益々注目されていくと思います(図-3.2.2)。

我が国では、海外より石油・LNG・石炭など大量の化石

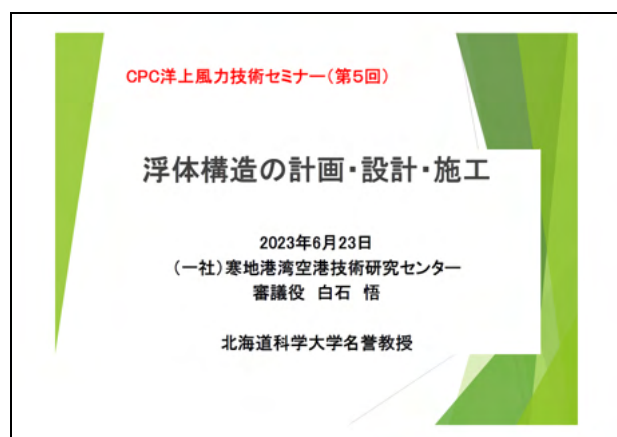


図-3.2.1

燃料が輸入されており、エネルギーの国内自給率は極めて低い状況に留まっております。再生可能エネルギーの導入拡大は、我が国のエネルギー自給率の大幅な向上につながります。併せて再生可能エネルギーの導入拡大により、CO₂を大きく削減できるため、地球温暖化を抑止できる効果もあります(図-3.2.3)。

この図は陸上風車と洋上風車を比較したものです(図-3.2.4)。洋上風車は、海の中で風車とタワーを支える海洋基礎が必要です。前の2回では、この海洋基礎についてモノパイル構造とジャケット構造の説明をいたしました。今回は、この基礎部分が着床構造ではない、海の中に浮いている構造、すなわち浮体構造を取り扱うことといたします。

今回の説明の中で発電量の単位が出てきます。風車による電力出力単位はkWという単位で、これを時間で積分したものがkWhという単位になります。1kWの1000倍が1MWという単位です(図-3.2.5)。最近建設されている洋上風車の中心サイズは8~10MWです。今後はさらに洋上風車が大型化し、15MWサイズが新たな開発の中心サイズになると思います。風車は複数基配置されるのが一般的です。風車群のかたまりはウインドファームと呼ばれます。最近の大

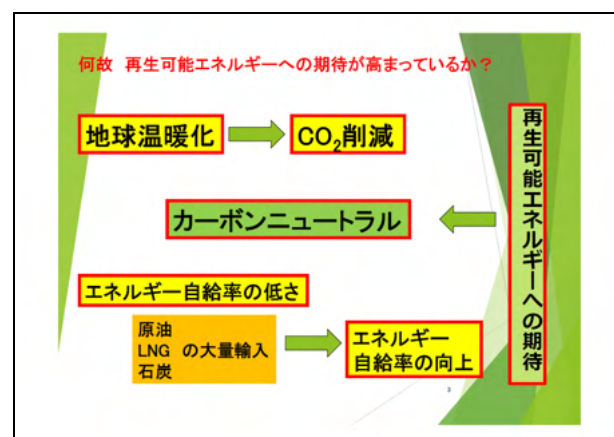


図-3.2.3

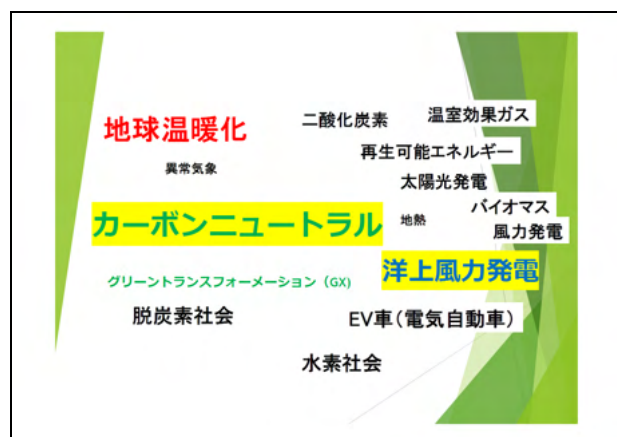


図-3.2.2

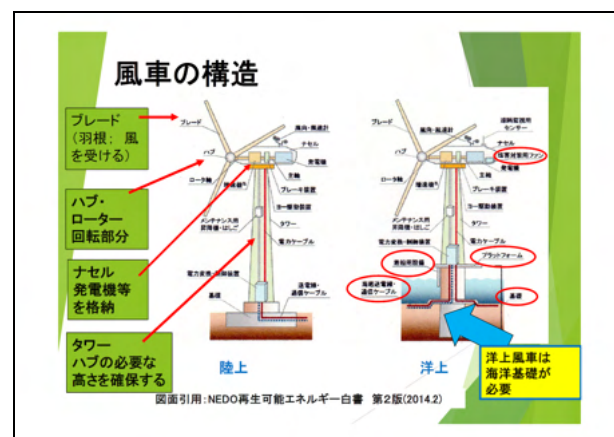


図-3.2.4

洋上風車建設には、様々な船舶が利用されています。
洋上風力発電所の建設やメンテナンスのために作業員を

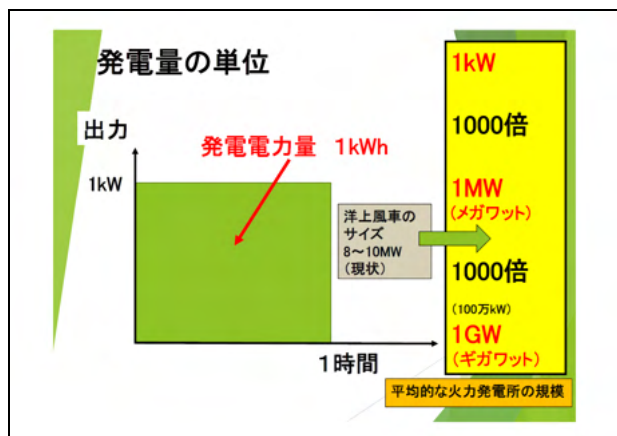


图-3.2.5



图-3.2.6

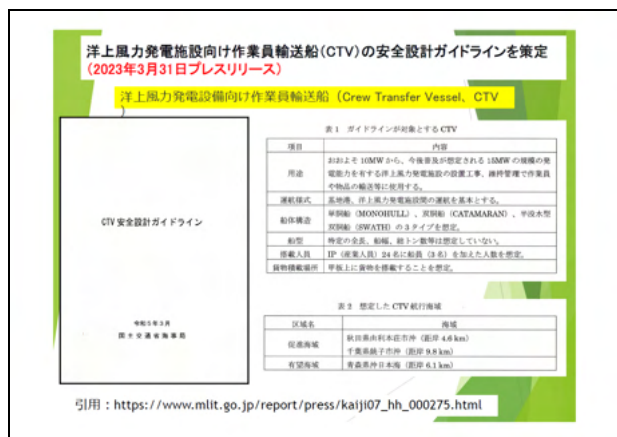


图-3.2.7

また、同じ3月31日には「コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン」が国土交通省海事局より公表されました。これは、「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン」の別冊として追加されたものです(図-3.2.8)。

4月3日には富山県入善町沖合の洋上風力発電について、
 現地海域における建設工事が始まりました。この洋上風車

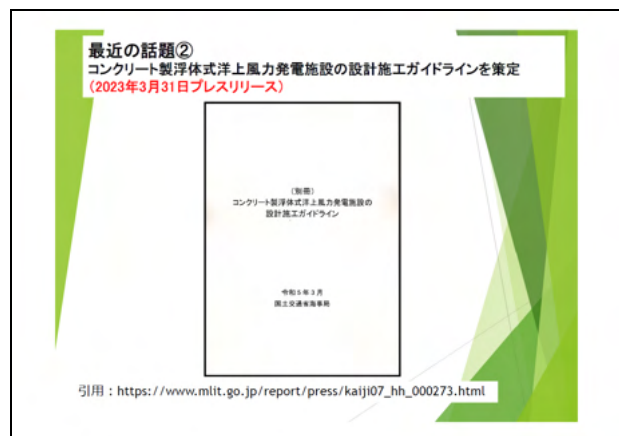


图-3.2.8



图-3.2.9

は、設置水深が10～12mの一般海域に計画されたものです。3MWの風車3基から構成されております。洋上風力発電所からの出力は7.5MWに調整され、今年の9月より運転開始される予定です(図-3.2.9)。

洋上では、風車の設置作業や稼働中のメンテナンス等のため、波のある中で風車にCTVなどの船舶をアクセスさせる必要があります。ここで示した装置は、波で揺れる船舶から洋上風力発電施設などへ安全に作業員を移動させるための装置として提案されているものであります。本装置は、来年以降に市場に投入される予定と聞いております(図-3.2.10)。

今年、5月に日本が議長国となりG7サミットが開催されました。それに先立ち、4月15日から4月18日にかけて、札幌において気候・エネルギー・環境大臣会合が開催されました。会合にはG7各国の代表の他に、インド、インドネシア、UAEなどの代表が招待されています。また、OECDなどの国際機関からの参加もありました。会議では、脱炭素に向けた様々な取り組みについて議論されました(図-3.2.11)。

これは、会合で示された関連成果としての国際機関によるレポート類を示しております。浮体式洋上風力発電につ

いてはIRENA (International Renewable Energy Agency)、日本語では「国際再生可能エネルギー機関」と呼ばれる組織から、今年後半に浮体式洋上風力発電に関するレポートが出される予定になっております(図-3.2.12)。

北海道周辺海域においても、洋上風力発電施設の建設に向けての準備が進められております。まだ、洋上風力発電の事業者の公募段階には至っておりませんが、環境影響評価の取り組みが進められているものもあります。ここに示しているものは、檜山沖洋上風力発電事業に係る環境影響評価です。まだ、環境影響評価の第一段階の「計画段階環境配慮書」ではありますが、八雲町、江差町、上ノ国町、せたな町、乙部町で、その説明会が開催されております(図-3.2.13)。

4月28日には、第4期海洋基本計画が閣議決定の上、公表されました。前回は平成30年(2018年)の第3期海洋基本計画ですから、5年ぶりの改訂となっております(図-3.2.14)。

第4期海洋基本計画の中では、カーボンニュートラルへの貢献がうたわれており、「洋上風力発電については、安全保障や環境への影響の観点を中心に考慮しつつ、EEZへの拡大に向け法整備や国産化に向けた技術開発を推進す



図-3.2.10

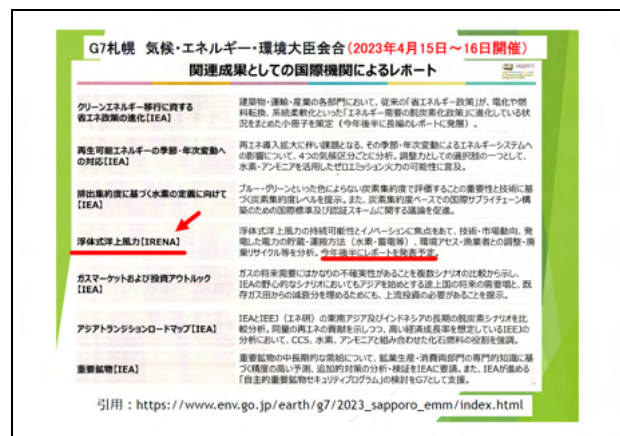


図-3.2.12

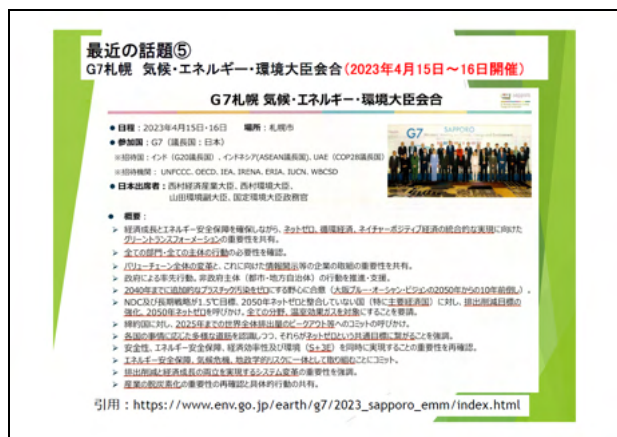


図-3.2.11

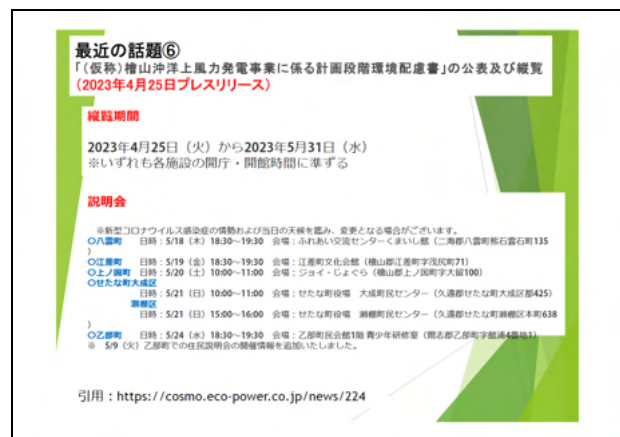


図-3.2.13

ること」等が記載されております(図-3.2.15)。

5月12日には「脱炭素成長型経済への円滑な移行の推進に関する法律」が成立しました。法律名が長いので、「GX推進法」と略称されております。この法律では、(1)GX推進戦略の策定・実行、(2)GX経済移行債の発行、(3)成長志向型カーボンプライシングの導入、(4)GX推進機構の設立、(5)進捗評価と必要な見直し、これらが法定化されております(図-3.2.16)。

これはGX推進法の審議経過を示しております。今年の



図-3.2.14



図-3.2.15



図-3.2.16

2月10日に基本方針が閣議決定されたのに続いて、2月28日に法律案が閣議決定されました。法律案は、衆参両院での審議を経て、最終的に5月12日に可決成立しております(図-3.2.17)。

5月12日には、再エネ海域利用法に基づく区域指定において、北海道の日本海側の5海域が「一定の準備段階に進んでいる区域」から「有望な区域」に格上げされました(図-3.2.18)。

具体的には、北海道日本海沿岸のここに示した5海域が「有望な区域」に格上げされました。今後はさらに地元調整が進められ、「促進区域」に格上げされ、さらには事業者の公募選定へ進んでいくことが期待されます(図-3.2.19)。

これは陸上風力発電に関するニュースですが、これまで送電線の増強工事が進められていた北海道北部風力送電事業が完成し、蓄電池施設の完成・竣工式が行われました(図-3.2.20)。これにより宗谷地方における陸上風力発電所の建設が進むものと思われます。

5月17日には、世界気象機関(WMO)から2023~2027年の5年間の気温予測が出されました。この5年間の地表平均気温は、産業革命前と比べ1.5℃以上高くなる確率



図-3.2.17



図-3.2.18

が66%であると報告されております(図-3.2.21)。

5月31日には「GX法」に関連する法案として、「脱炭素社会の実現に向けた電気供給体制の確立を図るための電気事業法等の一部を改正する法律案」が成立しました。法案名が長いので、「GX脱炭素電源法」と略称されております。この法律では、再生可能エネルギーの導入拡大に加えて原子力の活用も盛り込まれています。脱炭素に向けて、再生可能エネルギーの拡大だけではないという政府方針がこの法律から見てとれます(図-3.2.22)。



図-3.2.19

前置きが少し長くなってしまいましたが、本日はここに示す順に浮体式洋上風力発電について説明させていただきます(図-3.2.23)。

まず浮体構造について説明をいたします(図-3.2.24)。

この図は国連海洋法条約による大陸棚の定義を示しています。欧州では遠浅の海域が広がっており、排他的経済水域 (EEZ) の中でも着床式洋上風力発電が建設されております。一方、日本の場合は海底が急深であるため、EEZの中に建設される洋上風力発電施設の多くは浮体式洋上



図-3.2.22



図-3.2.20

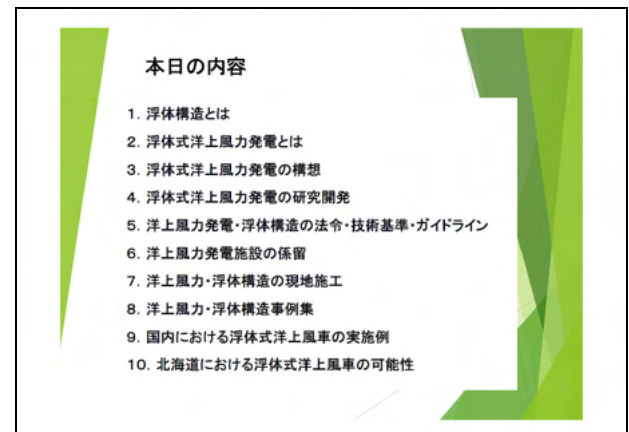


図-3.2.23

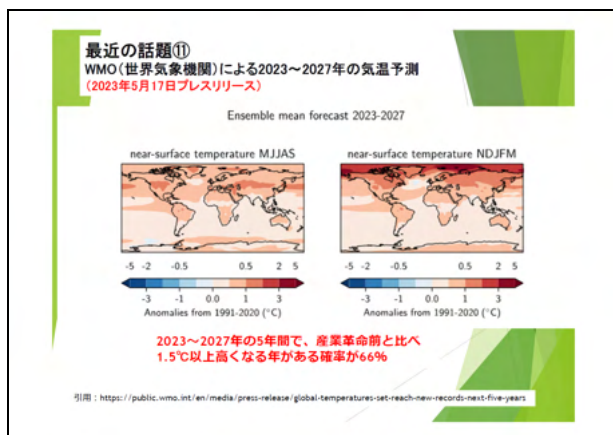


図-3.2.21

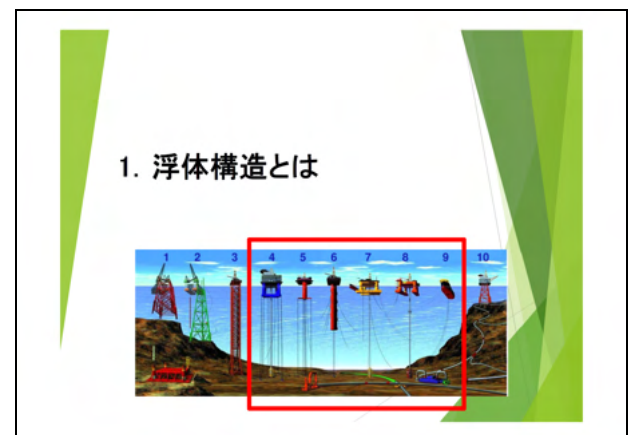


図-3.2.24

風力発電施設となるものと想定されます(図-3.2.25)。

この図は日本の排他的経済水域を示しています。国土面積は約 38 万 km² で世界第 60 位ですが、領海 EEZ を加えると約 447 万 km² で世界 6 位となります(図-3.2.26)。こうした海域について、今後の利用拡大が期待されます。その利用の一つのメニューとして浮体式洋上風力発電施設が上げられると思います。

これは海洋構造物の構造型式の分類を示しています。今日、話題とする洋上風力発電施設は、この分類では「浮遊

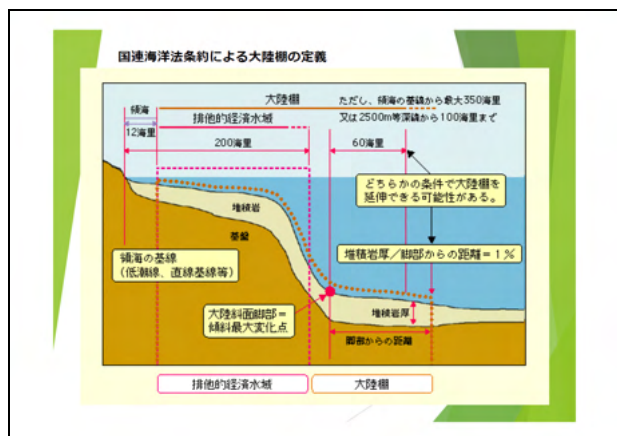


図-3.2.25

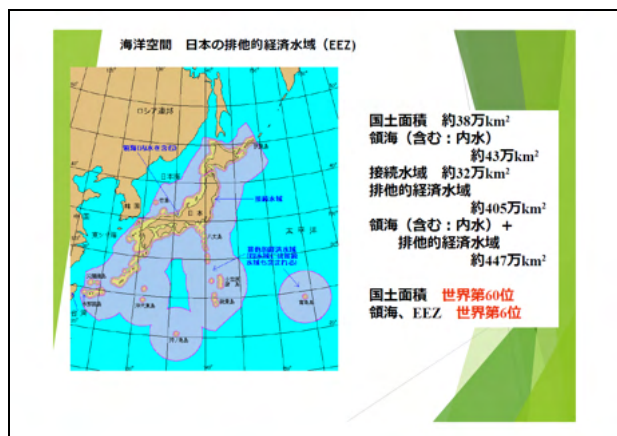


図-3.2.26

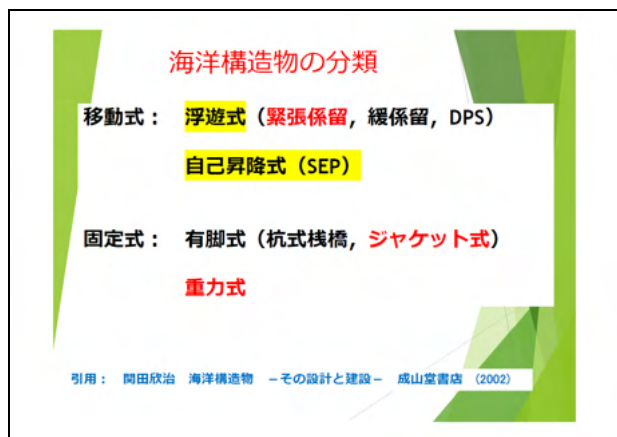


図-3.2.27

式構造」となります(図-3.2.27)。

この図は北海において石油・ガス開発に用いられた海洋構造物について、水深別に代表的な構造物を示しています。図の一番右側に示すように水深が深い海域では、重力式構造やジャケット式構造がコスト的に不利となるため、浮体式構造が相対的に有利となります(図-3.2.28)。

この図は石油掘削プラットフォームの構造型式を示しています。図中の4番から9番までが浮体式になります(図-3.2.29)。

次に浮体構造物の事例について、幾つか示していきます。最初に、石油・ガス掘削リグの例を示します(図-3.2.30)。

この図は TLP (Tension Leg Platform) と呼ばれる緊張係留式海洋構造物です。セミサブ浮体の下部からテンドンと呼ばれる複数の緊張材を海底地盤まで展張させ、浮遊式のプラットフォームを緊張係留しております(図-3.2.31)。

TLP による石油掘削施設の代表的な構造事例として、1984年に北海北部に設置された Hutton という構造物の例を示します(図-3.2.32)。この浮体は水深 143m の海域に設置され、1984年から2001年にかけて石油の掘削をしました。

浮体式海底石油・ガス掘削システムとして、FPSO と呼ばれるシステムを紹介します。FPSO は「Floating

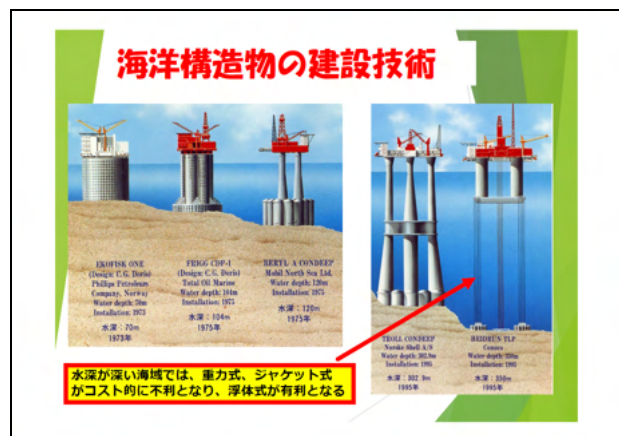


図-3.2.28

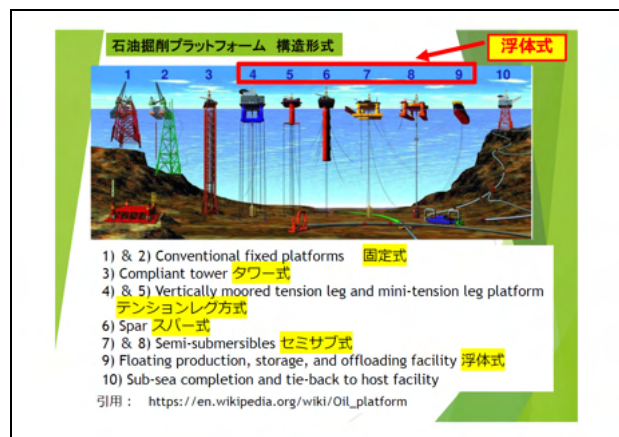


図-3.2.29

Production, Storage and Offloading system」の略です。図に示すライザーを通して海底石油や海底ガス等を掘削します。掘削した海底石油や海底ガスは、船構造の構造物の貯油タンクに貯蔵し、積出設備に船舶を接岸させて、石油やガスを消費地に向けて搬出します(図-3.2.33)。

次に、浮体構造物の事例として洋上石油備蓄基地について紹介します(図-3.2.34)。

1973年の第1次石油ショックを受け、日本政府は石油の備蓄量を増やすため国家石油備蓄基地を建設しました。

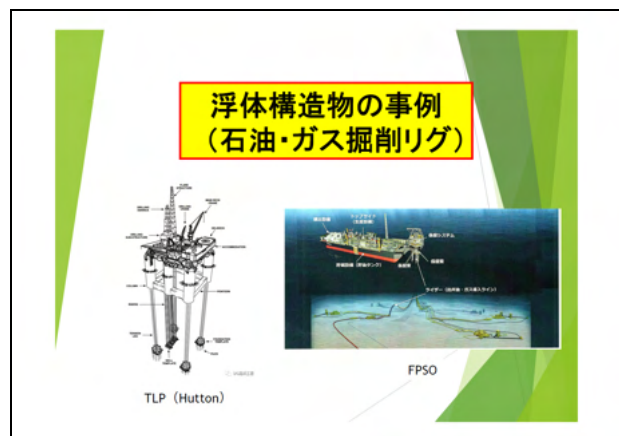


図-3.2.30

①地上・地中タンク方式、②岩盤貯蔵方式、③洋上タンク方式の3方式による備蓄基地の建設が進められました。このうち、北部九州の長崎県上五島、福岡県白島の2カ所において、洋上タンク方式の国家石油備蓄基地の建設が進められました(図-3.2.35)。

この図は長崎県上五島における石油備蓄基地を示します。図に示すように貯蔵船5隻が現地海域において係留されています。貯蔵船は長さが390m、幅が97m、深さが27.6mの直方体形状です。貯蔵船の安全な係留のため水理

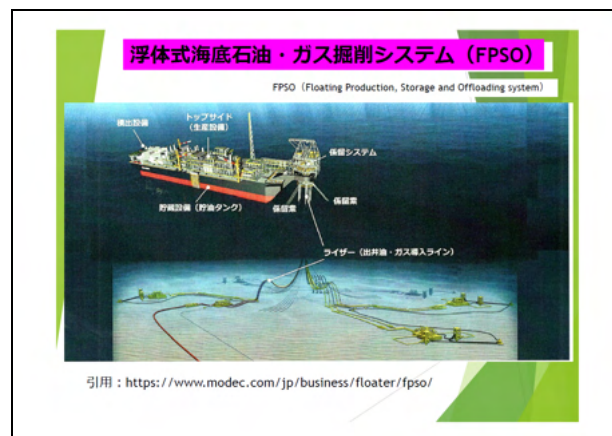


図-3.2.33

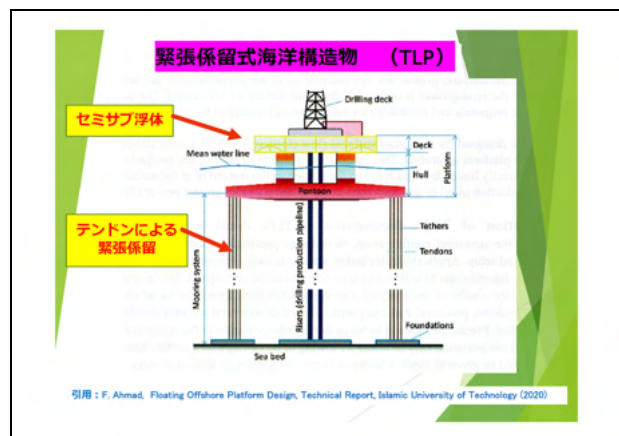


図-3.2.31

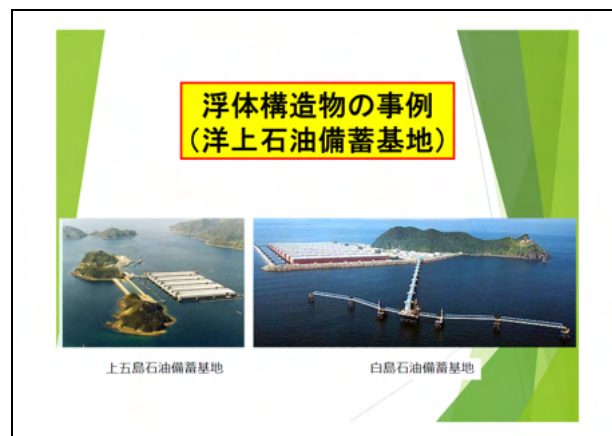


図-3.2.34

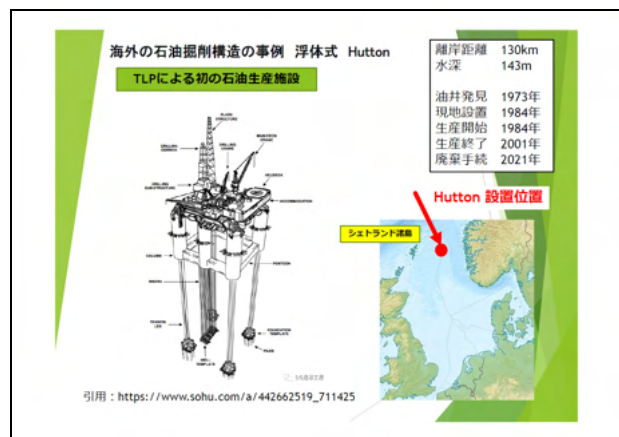


図-3.2.32



図-3.2.35

模型実験や数値シミュレーションによる解析が進められました。1984年に施設の建設が開始され、1989年に貯蔵船へのオイルインが完了しました(図-3.2.36)。

これは、上五島石油基地の施設概要になります。貯蔵船は、防舷材を設置した係留ドルフィンにより風と波の作用による浮体の動揺に対して安全に係留されます。また、係留ドルフィンにはゴム防舷材が設置され、風や波に対する貯蔵船の動揺による変位を吸収します。ゴム防舷材の安全性や性能についても各種の試験により確認されました。貯蔵船の波による動揺を低減させるために、波の貯蔵船泊地への侵入を低減させる防波堤が建設されています(図-3.2.37)。

この図は福岡県の白島石油備蓄基地を示します。図に示すように8隻の貯蔵船が現地海域に係留されています。貯蔵船は長さが397m、幅が82m、深さが25.4mの直方体形状です。昭和59年(1984年)に施設の建設が開始され、平成9年(1997年)にタンク内へのオイルインが完了しております(図-3.2.38)。上五島石油備蓄基地と同様に、貯蔵船の安全な係留のために水理模型実験や数値シミュレーションによる解析が進められました。

この図は白島石油備蓄基地の施設概要を示しています。



図-3.2.36

貯蔵船はこの図に示されるように防波堤に囲われて静穏化された海域に係留されています。上五島石油備蓄基地と同様に、貯蔵船は係留ドルフィンに係留されています。係留ドルフィンには、大型のゴム防舷材が設置されています(図-3.2.39)。

次に、浮体構造物の事例としてメガフロートを示します。この研究開発を進めるため「メガフロート技術研究組合」が設立されました。研究は、平成7年(1995年)から3年間のフェーズ1と平成10年(1998年)から3年間のフェーズ2からなります。フェーズ2の研究では延長1kmの浮体を利用して、実際に小型ジェット機の離着陸実験等を行い、メガフロートの空港機能としての検証を行いました(図-3.2.40)。

この図は、メガフロートのコンセプトと構造を示します。浮体は鋼製構造で、必要に応じて防波堤で遮蔽された海域に設置されます(図-3.2.41)。

この図は、メガフロートの建造方法を示しております。ドック内で製作した浮体ユニットを現地まで曳航し、洋上で接合することにより大型の鋼製浮体を製作します。また、この浮体を係留するために、係留ドルフィンを設置します(図-3.2.42)。係留ドルフィンには、大型のゴム防舷材が



図-3.2.38



図-3.2.37

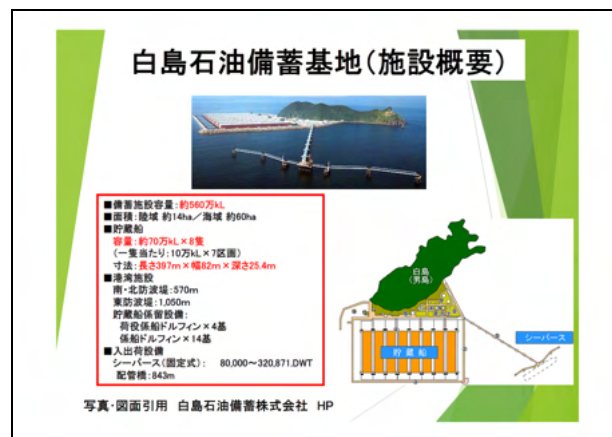
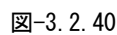
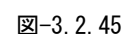
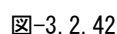
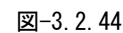
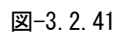
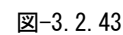


図-3.2.39

メガフロートのフェーズ 2 の研究に用いられた浮体の一部を利用し、メガフロート情報基地の実験が行われました。この実験では、浮体であるため地震に対して強い施設の特徴を利用した「情報バックアップ基地」としての性能が確認されました(図-3.2.43)。



この図は世界における浮体橋梁の設置場所を示しています。世界中のいろいろな地域において、浮体橋梁が建設され、利用されていることがわかります(図-3.2.45)。



ここでは、図に示すノルウェーの2カ所、米国の4カ所、日本の1カ所の浮体橋梁の建設事例について紹介します(図-3.2.46)。

この写真は、ノルウェーの Bergsoysund 橋を示します。橋は平面形状がアーチ構造で、フィヨルド内の水深の深い場所に7基のポンツーンにより支持されています。ポンツーンは長径34m、短径20mの長円形状であり無係留状態です。ポンツーン内部は隔壁構造となっており、各区画に浸水の検出センサーが配置されており、遠隔で監視されています(図-3.2.47)。

この図は次に紹介する Nordholdland 橋の施工中の写真を示しております。これらの写真は1993年9月に現地を訪問した時に撮影しています(図-3.2.48)。橋はフィヨルド内の静穏な海域で100m前後の要素浮体を連結し、橋全体を一体化します。次いで、設置海域までタグボートにより曳航され、一気に架橋します。橋の端部は鋼製のフレキシブルプレートを介して、橋台と連結しています。施工中の橋台の写真には、フレキシブルプレートの取り付け孔が写っています。

Nordholdland 橋は1994年に供用開始されました。これらの写真は供用後の1996年に訪問した時に撮影したもの



図-3.2.46

です(図-3.2.49)。橋は長径42m、短径20.5mの長円形状のポンツーン10基により支持されています。ここでもポンツーンは無係留です。この橋の端部は船舶を航行させるために斜張橋構造となっています。

次はアメリカの西海岸のワシントン湖にかかる浮体橋の事例を示します。ワシントン湖は氷河の作用で生成された水深約60mの湖です。Evergreen Point 橋は湖のほぼ中央部に設置されており、このような地形に、長さ2000mを超える固定橋を経済的に建設することはやや困難であ



図-3.2.48



図-3.2.49



図-3.2.47



図-3.2.50

ることから、浮体橋が計画されました。橋の中央部は湖の中を航行する船舶を通過させるために、橋軸方向に橋桁が移動する可動構造となっています(図-3.2.50)。

同じくワシントン湖のシアトル市近郊にかかる Lacey V. Murrow 橋と Homer Hadley 橋の事例です。これらの橋は、コンクリート製の長さ約 100m のポンツーン浮体を連結して設置しています。橋梁は橋の左右両岸に展張されたケーブルとアンカーにより係留されています。この写真に示す橋の対岸はシアトル市です(図-3.2.51)。

これは Hood Canal 橋です。米国、西海岸のシアトル市近郊の Hood Canal に架橋された浮体橋です。Hood Canal も氷河により生成された細長い水路です。この橋も、ワシントン湖の浮体橋と同様に連続ポンツーン型です。この浮体橋のポンツーン下の水深は 25~105m です(図-3.2.52)。

これは、日本で唯一の大型浮体橋である夢舞大橋です。橋は 2 個の鋼製ポンツーンにより浮いています。写真に示すように、ドアのように橋を開閉することが可能な可動橋タイプとなっています。この航路とは別の主航路が事故等により通行不可能となった場合に、この橋を開いて航路として活用するため、この型式が選定されました。2 個の鋼製ポンツーンは、防舷材を用いた係留装置によって保持さ

れています(図-3.2.53)。

この写真は、夢舞大橋の造船ドック内での製作状況を示しています。右の写真のように、橋を係留保持するための係留用ゴムフェンダーが設置されております。ゴムフェンダーは、橋体を係留保持するドルフィン側ではなく、このように橋体の側に設置されています(図-3.2.54)。

橋体に取り付けられるゴムフェンダーは、風による定常力と風と波による変動外力を受けます。これらの複合荷重に対するゴムフェンダーの性能を確認するため、当時の運輸省港湾技術研究所において静的と動的のクリープ試験が実施されました。クリープ試験では、ゴムフェンダーの定常荷重による初期ひずみを 8, 10, 12% と変えて、クリープ特性を確認しました(図-3.2.55)。

次に、浮体橋の事例として浮防波堤の事例を紹介します。ここに示す広島県福山港の事例は、防波堤設置による環境影響を少なくすること、市街地側から沖合を眺望したときの景観に配慮すること、これらの観点から浮防波堤方式が選定されました(図-3.2.56)。

次は、浮棧橋の事例です。浮棧橋の長所としては、潮位変動に対して追従できることから、乗客の船舶への乗降が容易になることです。一方、波の作用を受けて動揺するの



図-3.2.51



図-3.2.53



図-3.2.52



図-3.2.54

で、設計上の配慮が必要となります(図-3.2.57)。

これは、広島県宇品地区の浮体橋の事例です。ここでは、広島港と瀬戸内海の島とを結ぶフェリーの乗降に用いる複数の浮体橋が並んでいます(図-3.2.58)。

同じく、広島港の宇品地区の事例を示します。左は建設当時の写真で、この時点では浮体橋には屋根が付けられていませんが、その後、この浮体橋には屋根が取り付けられています(図-3.2.59)。

これは、横浜港みなとみらい地区の浮体橋の事例です



図-3.2.55

(図-3.2.60)。正式名称は「みなとみらい桟橋・海上旅客ターミナル」ですが、「みなとみらい桟橋」あるいは「ぶかり桟橋」とも呼ばれています。この浮体橋は横浜港内を遊覧する船舶の乗降用施設として利用されています。

浮体構造物の事例紹介が少し長くなってしまいました。本日の話題である、浮体式洋上風力発電の説明に移ります(図-3.2.61)。

この図は、陸上風車と洋上風車について基礎構造を水深別に示しています。洋上風車を浮体で支持する構造は、モ



図-3.2.58



図-3.2.56



図-3.2.59



図-3.2.57



図-3.2.60

ノパイル構造、ジャケット構造では建設が難しくなり、より深い水深における支持構造として採用されています(図-3.2.62)。

この図も洋上風車の構造型式を水深別に示しています。図に示すように、水深が深くなると着床式ではなく、浮体式が支持構造として採用されます(図-3.2.63)。

この図は、浮体式の洋上風車の構造型式を示しています。浮体式の洋上風車の構造型式としては、大別してスパー型、TLP型、バージ型があります(図-3.2.64)。



図-3.2.61

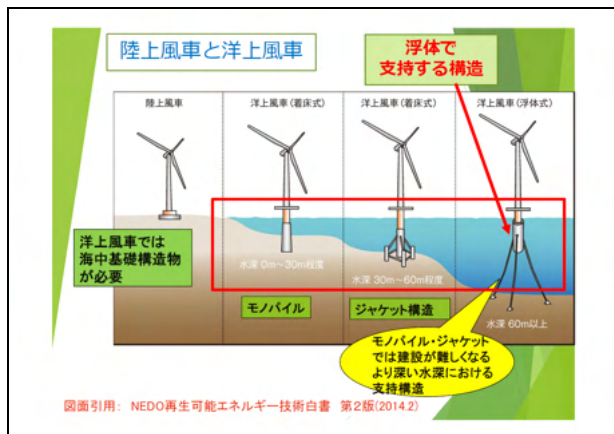


図-3.2.62

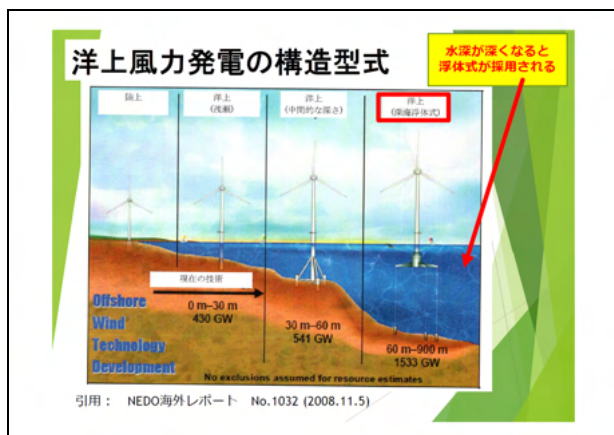


図-3.2.63

この表は、浮体式洋上風力発電施設の設計課題について示しています。表中の+は相対的な長所、-は相対的な短所を示しています。支持構造の構造型式について、この表の「はしけ方式」は「バージ型」、「張力脚方式」は「TLP型」、「円柱浮標方式」は「スパー型」に対応します(図-3.2.65)。

この図は、浮体式洋上風力発電に作用する荷重を示しています。洋上風車には、風荷重、波浪荷重、流れ荷重、雪荷重、着氷荷重などが作用します。これらの荷重の作用を受けて、洋上風車の支持浮体は動揺します(図-3.2.66)。

この図は、浮体式洋上風力発電に作用する外力と洋上風車の運動を示しています。風荷重に加え波浪荷重、流れの荷重を受けて、風車を支える支持浮体は動揺します。浮体の運動は剛体運動と考えて良いので、浮体の運動成分は図に示す、サージ、スウェイ、ヒープの並進運動成分3成分と、ロール、ピッチ、ヨウの回転運動成分3成分となります(図-3.2.67)。

次に、浮体洋上風力発電の構想例を紹介します(図-3.2.68)。

これは、オランダに本社がある Blue H 社が提案している浮体式洋上風力発電施設です。この図に示すように浮体

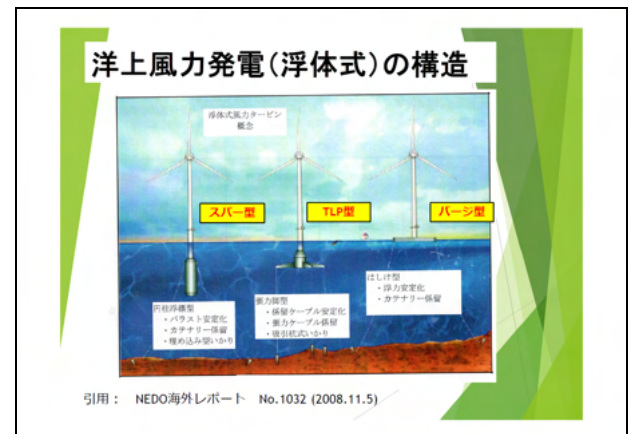


図-3.2.64

浮体式洋上風力発電の設計課題

(出所：NEDOより編集)

プラットフォームの設計課題	浮体式プラットフォームの技術的課題		
	はしけ方式	張力脚方式	円柱浮標方式
設計・施工・手配	-	+	-
浮力タンクのコスト・重量でない事	-	+	-
係留・バースシステムのコスト・重量でない事	-	+	-
船いかりのコスト・重量でない事	+	-	+
曳船のコスト・重量でない事(注1)・天候条件に影響されにくい事	+	-	-
設備設置作業の容易さ	+	-	+
船隻及び保守の容易さ	-	+	+
船隻性	-	+	-
水底に依存しないこと(独立性)	+	-	-
海底地質による影響を受けにくい事	+	-	+
設置面積が最小限である事	-	+	+
波の影響を受けにくい事	-	+	+

注1：相対的な長所
注2：相対的な短所
空白：上記以外

図3：洋上の設置候補への曳船、設置候補から機上までの曳船

図-3.2.65

の係留方式としては TLP 構造を考えています(図-3.2.69)。

この図は Blue H の開発の経緯を示しています。第一段階のプロトタイプについては、現地海域における実験を実施しています(図-3.2.70)。

この写真は Blue H のプロトタイプの実証実験について示しています。0.08MW すなわち 80kW の小型風車をバージ浮体に搭載して実験が行われました。海域に設置された浮体式洋上風力発電施設としては、世界最初のもです。設置海域の水深は 113m、離岸距離は 22km です。2007 年に、

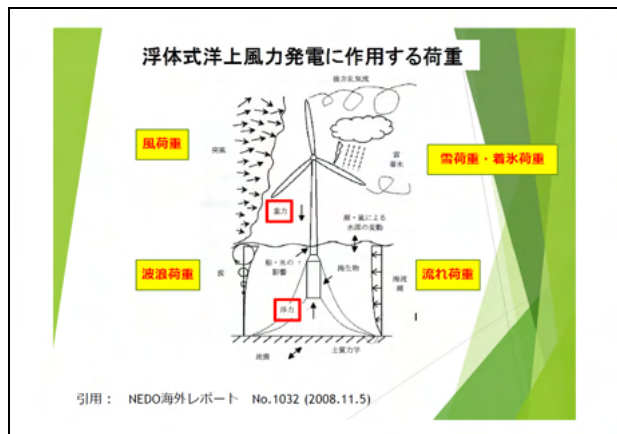


図-3.2.66

イタリア・アドリア海の現地海域に設置され実験が行われました。実験後の翌年の 2008 年に撤去されています(図-3.2.71)。

これは、ノルウェーの SWAY 社が提案した浮体式洋上風力発電の構想図です。この洋上風車は、設置水深として 60～300m を想定したスパー型の浮体構造です。右の図に示すように係留方式としては、TLP 係留方式を想定しています(図-3.2.72)。

この図はノルウェーの Wind Sea 社が提案した浮体式洋



図-3.2.69

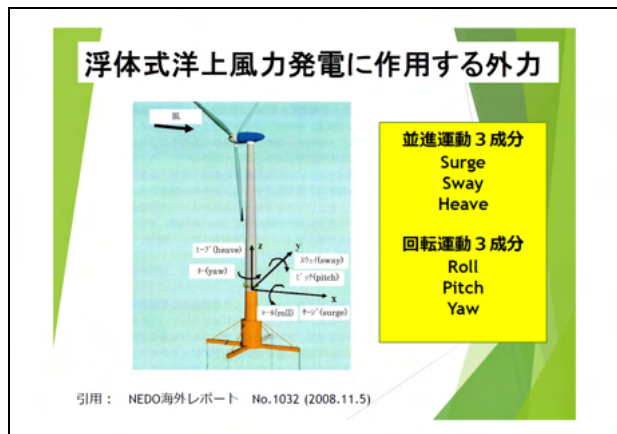


図-3.2.67

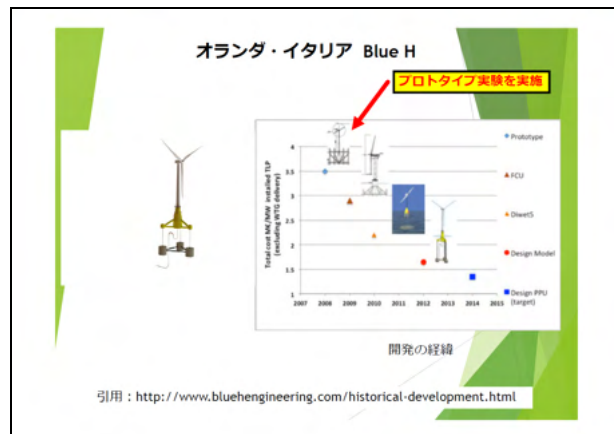


図-3.2.70

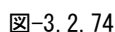
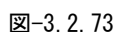
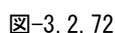


図-3.2.68

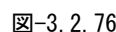
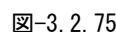


図-3.2.71

この図はノルウェー南部のスタバンゲル市周辺における洋上流力発電の将来構想を示しています。図の上の Utsira Nord (ウシイラ北部) については、離岸距離は小さいのですが、水深が深くなるため浮体式を想定していま



次に、スウェーデンの Flowocean 社による浮体式洋上風力発電施設の計画を紹介します。この洋上風車の設置海域は、図に示すようにスウェーデンとノルウェーの境界付近です。第一次計画では、洋上ウインドファームの総設備容量は 1.5GW で、2022 年 2 月に入札公告が出されました。



今年（2023 年）に入札が行われる予定となっています(図-3.2.77)。

この図は、米国の Sea Twirl 社と Kontiki Winds 社による浮体式洋上風力発電の構想です。セミサブ浮体の上に垂直軸風車を設置する構想となっています。両社は今年 5 月 15 日に覚書を交わし、洋上風力発電市場に参入することを表明しています(図-3.2.78)。

この図は、フランスの高圧送電網システムオペレーターである RTE 社 (Réseau de Transport d'Électricité, 図-3.2.79)。

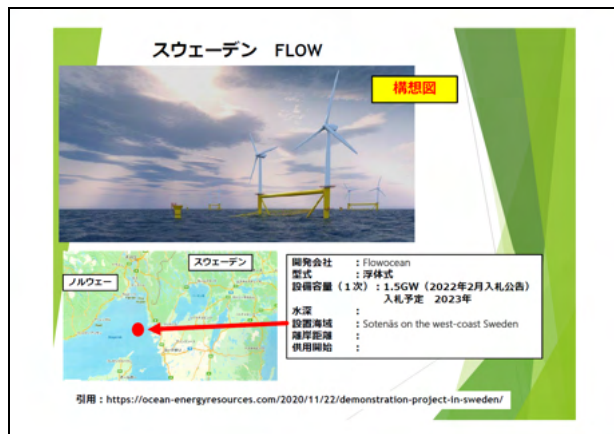


図-3.2.77



図-3.2.78

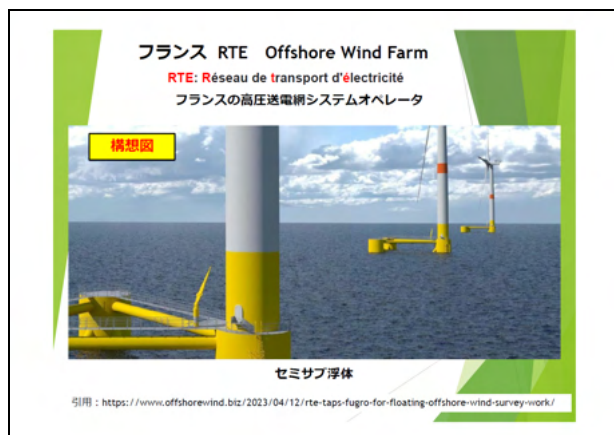


図-3.2.79

レゾー・デ・トランスポルト・ド・エレクトリシテ) によるセミサブ浮体を用いた洋上風力発電の構想図です(図-3.2.79)。

フランスでは、2021 年、Brittany 沖合海域での入札を公表済みです。次いで、2022 年 3 月に 250MW 規模 2カ所、合計 500MW の浮体式洋上ウインドファームの競争入札を発表しています。また、地中海海域においても 2030 年までに供用が開始予定の複数の計画があります(図-3.2.80)。

これは、フランスの浮体式洋上風力発電施設の計画位置を示しています。ブルターニュ半島の付根部のベル・イル・アン・メール島沖と地中海に面するリオン湾です(図-3.2.81)。

この図は、リオン湾における浮体式の洋上ウインドファームの計画を示しています。図に示す 3カ所の海域、すなわち①Port-la-Nouvelle (ポルト・ラ・ヌーヴェル) 沖、②Fos-sur-Mer (フォス・シュル・メール) 沖、③Perpignan (ペルピニャン) 沖が浮体式洋上風力発電施設の計画地です(図-3.2.82)。

これは、フランスのブルターニュ半島の付根部のベル・イル・アン・メール島沖の計画について示しています。12.5MW の洋上風車 20 基で合計 250MW の総設備容量の洋上



図-3.2.80

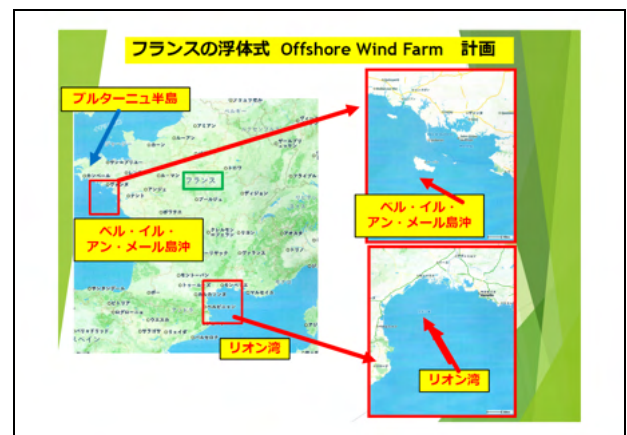


図-3.2.81

ウインドファームが計画されています。この洋上ウインドファームは、2030 年に供用が開始される予定となっています(図-3.2.83)。

この図は日本のジャパンマリンユナイテッド社(JMU)のセミサブ浮体の構想図です(図-3.2.84)。セミサブ浮体は、大型構造となるためドック内で全体を製作することはできません。JMUは、今年6月6日に洋上風車浮体の洋上接合の模型実験に着手することを発表しました。

次に、浮体式洋上風力発電施設の国内外における研究開

発についてご紹介します(図-3.2.85)。

まず、海外の事例についてご紹介します。

最初に、ノルウェーで提案された Hywind の開発経緯について紹介します。

この写真は、Hywind の実験機を示しています(図-3.2.86)。2009 年 6 月に 2.3MW 洋上風車 1 基を用いた海域実験が開始されました。実用規模の浮体風車としては世界最初のもので、浮体構造型式は、スパー型です。ノルウェー南部のスタパンゲル市沖合 10km の水深 220m の地点

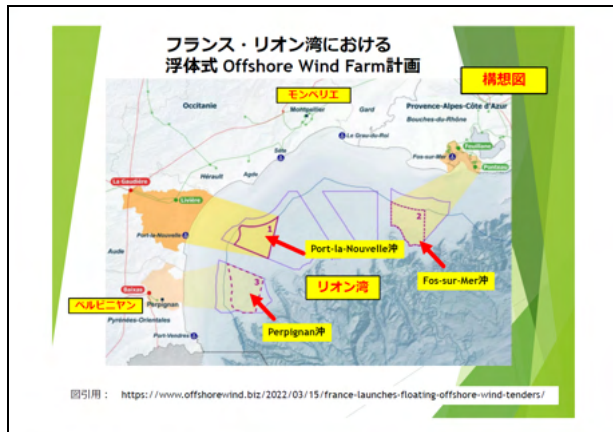


図-3.2.82



図-3.2.85

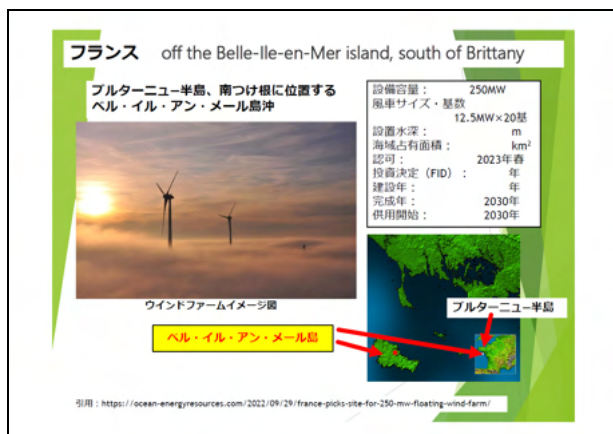


図-3.2.83

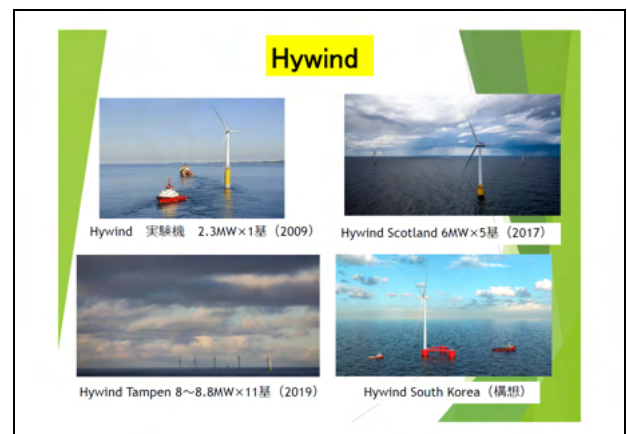


図-3.2.86



図-3.2.84

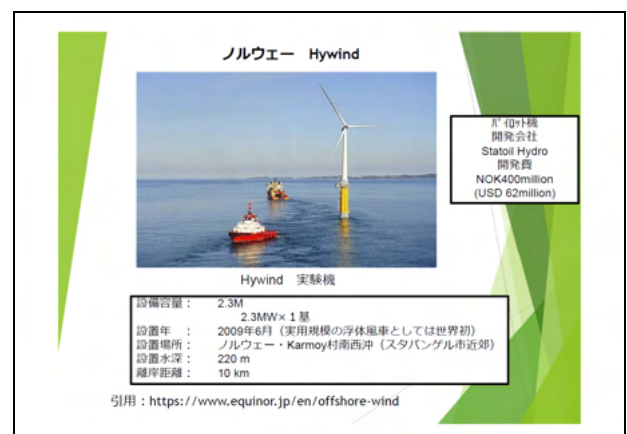


図-3.2.87

に設置されました(図-3.2.87)。

その後、Hywind は 6MW の洋上風車 5 基によるスコットランド沖合における実用段階のプロジェクトである Hywind Scotland の建設を 2017 年に開始しました。Hywind Scotland の開発会社である Statoil (スタットイル) は、2018 年に Equinor (イクイノール) に社名変更しています(図-3.2.88)。

英国スコットランド沖合に建設された Hywind Scotland では、設置後 5 年間の設備利用率が 54%と極めて高い値を記録しています(図-3.2.89)。通常 30%の設備利用率があれば、洋上風車としては十分な値であると言われています。このように設備利用率が高い値が望める海域では、浮体式の洋上風力発電の建設コストの高さを考慮しても十分に採算ベースが期待できるものと思われます。

Hywind については、8～8.6MW の洋上風車 11 基、合計 88MW の総設備容量を有する Hywind Tampen プロジェクトとして結実しています。Scotland 北部海域におけるこのプロジェクトは離岸距離 140km、水深 260～300m の海域における洋上ウインドファームを実現させています。洋上ウインドファームは 2020 年から建設が開始され、2022 年に運用が開始されています(図-3.2.90)。

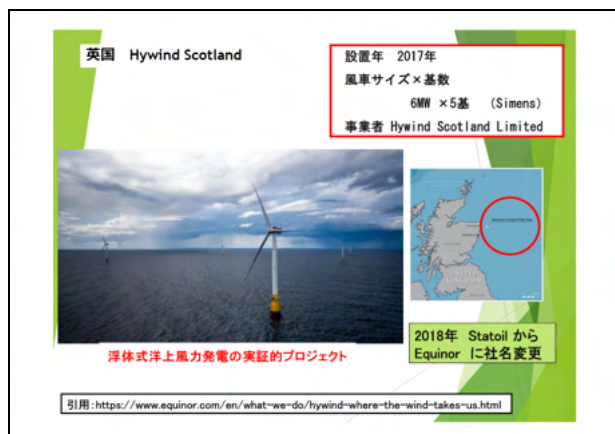


図-3.2.88



図-3.2.89

この図は、Hywind Tampen プロジェクトの建設着手前に示された構想図です(図-3.2.91)。

この図は、Hywind Tampen の建設状況を示しています。コンクリート製の基礎浮体は、組み立てに利用される基地港湾まで曳航されます。ついで、港湾岸壁で基礎構造の浮体と風車タワーとを連結します。その後、風車のナセル、ブレード等が、風車タワーの上に設置されます(図-3.2.92)。

Hywind については、韓国においても計画があります。

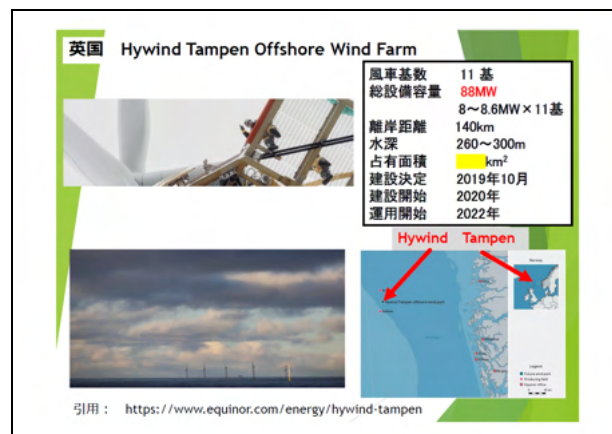


図-3.2.90



図-3.2.91



図-3.2.92

詳細は不明ですが、蔚山（ウルサン）沖 70km の海域で計画されており、2027 年の供用開始を目標にしているようです（図-3.2.93）。

フランスでは、リオン湾におけるプロジェクト（Les Eoliennes Flotantes du Golfe Lion, レ・エオリエン・フロタート・デイ・ゴルフ・デイ・リオン、頭文字を取って EFGL と略称）が進行しています。この洋上ウインドファーム計画では、10MW の洋上風車 3 基から構成されるもので、現在、洋上での建設が進められています。2023 年、

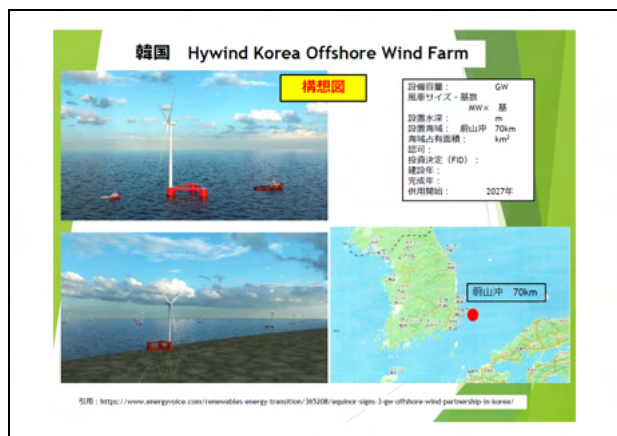


図-3.2.93



図-3.2.94



図-3.2.95

今年の年末頃には供用が開始される予定です（図-3.2.94）。

この図は、リオン湾におけるプロジェクト（EFGL）に用いられる洋上風車を搭載したセミサブ浮体の曳航状況を示しています（図-3.2.95）。

中国においても広東省沖合で、セミサブ浮体による浮体式洋上風車の実験的な検証が進められています。洋上風車のサイズは 5.5MW です（図-3.2.96）。

次に、日本における浮体式洋上風力発電の研究開発について紹介します。

この図は、日本における固定式（着床式）および浮体式の研究・開発が行われた場所を示しています（図-3.2.97）。

浮体式の洋上風力発電の紹介に先立ち、まず着床式の洋上風力発電の研究開発について紹介します。

まず、銚子沖の事例について紹介します。この洋上風車は、銚子沖約 3km、水深 12m の地点に建設されています。基礎構造は、図に示すように重力式基礎です。ローター直径 92m の 2.4MW の洋上風車が 2013 年 1 月に設置されました。近傍には、風速等を計測する観測タワーも建設されました。この洋上風車は、2013 年 1 月末より運転を開始しました。この施設を用いた調査研究は 2017 年 3 月まで実施されました。その後、2019 年 1 月 1 日より、この風車



図-3.2.96



図-3.2.97

を用いた商用運転が開始されました(図-3.2.98)。

次に、北九州沖の事例です。この洋上風車は、北九州市沖約1.4kmの水深約14mの地点に建設されています。基礎構造は、図に示すようにジャケット式基礎です。ローター直径83mの2MWの洋上風車が2013年5月に設置されました。近傍には、風速等を計測する観測タワーも建設されています。この洋上風車は2013年6月下旬より運転を開始しました(図-3.2.99)。

次に、浮体式の洋上風力発電の研究開発について紹介します。

まず、長崎県五島列島杵島沖の事例を紹介します。最初に2012年6月に小型の100kW、すなわち0.1MWの洋上風車が設置されました。この小型機による試験研究の後、次いで2013年10月28日に実用規模の2MWの洋上風車が設置されました。これらの洋上風車の構造は、いずれもスパー型支持浮体です(図-3.2.100)。100kW(0.1MW)浮体のパイロット試験機は平成24年(2012年)6月に現地海域に設置されました。この試験機は、日本において最初に設置された浮体式洋上風車になります。ヨーロッパにおける最初の浮体式洋上風車のパイロット試験機は、先程説明したように2007年にイタリアで設置された80kW(0.08MW)の

風車です。日本における最初の洋上風車も、風車の規模としては同程度のものです。イタリアの試験から5年遅れて現地海域における試験が日本でも開始されたことになります。

100kW(0.1MW)の洋上風車浮体による小型パイロット試験機を用いた試験の後、平成25年(2013年)10月には、実用規模の2MWの洋上風車浮体が五島列島杵島沖に設置されました。この2MWの洋上風車を用いて2年間にわたって実証試験が行われました。実証試験の実施後に、この2MWの洋上風車は五島列島福江島の崎山沖に移設されました。2016年3月より、この風車を用いた商用運転が開始されました。この洋上風車浮体は係留チェーンを除く重量が約3,400tです。この浮体の船舶名は「はえんかぜ」と命名されています(図-3.2.101)。

2012年6月に設置された杵島沖の100kW(0.1MW)の小型試験機は改造され、崎山沖の洋上観測タワーとして利用されました。この図は100kWの小型試験機と、それを改造した洋上観測タワーについて示しています。浮体式の洋上観測タワーの船舶名は「とき」と命名されています。係留チェーンを除く浮体の観測施設の総重量は約400tです(図-3.2.102)。



図-3.2.98



図-3.2.100



図-3.2.99



図-3.2.101

この図は、浮体式の2MW洋上風車の設置場所を示しています。洋上風車は、五島列島福江島の崎山沖約5kmの地点に設置されました(図-3.2.103)。

次に、福島沖の研究開発について紹介します。福島沖のプロジェクトは、経済産業省の浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業として東日本大震災の翌年度の2012年度から2021年度にかけて実施されました。現地海域に設置された洋上風車は2MW、5MW、7MWの洋上風車浮体3基と浮体式の洋上変電所です(図-3.2.104)。

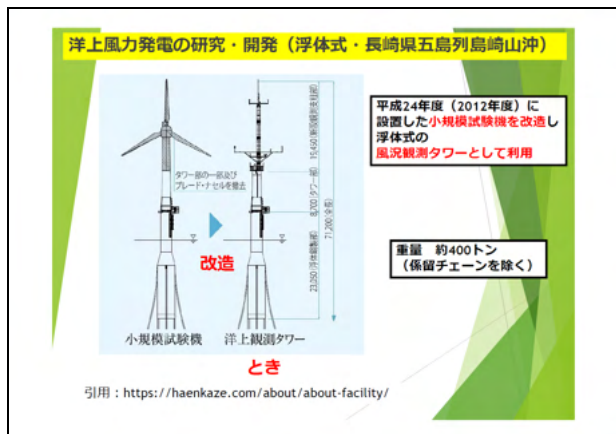


図-3.2.102

これは、7MWの風車浮体について、タグボートを用いた現地海域までの曳航した状況を示しています(図-3.2.105)。

この表は、福島沖のプロジェクトに参加した構成メンバーを示しています。プロジェクト参加中に会社名等が変更となっている例があります。研究期間中の会社名などの変更について、この表の脚注に示しています(図-3.2.106)。

この表は、研究テーマと実施者、実施期間を示しています(図-3.2.107)。合計10の機関によって「福島洋上風力



図-3.2.105

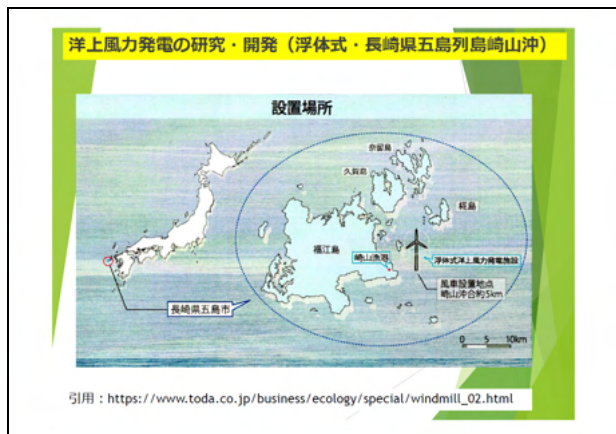


図-3.2.103

構成メンバー

表 2 本実証研究事業の福島洋上風力発電システム構成メンバーの変遷

法人名	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3
丸紅 ¹⁾											
天啓海洋開発 ²⁾											
東京大学											
海上技術安全研究所											
三菱商事											
三菱重工業 ³⁾											
アイ・エス・アイ・システムズ ⁴⁾											
三井造船 ⁵⁾											
新日本造船 ⁶⁾											
日立製作所											
日立製作所 エンジニアリング ⁷⁾											
日立製作所											
古河電気工業											
清水建設											
みずほ情報総研 ⁸⁾											

¹⁾ 令和3年度研究事業終了に伴い円形浮体式から浮体式に変更。
²⁾ 令和3年度より「天啓海洋開発」から「天啓海洋開発」に変更。
³⁾ 令和3年度より「三菱重工業」から「三菱重工業」に変更。
⁴⁾ 令和3年度より「アイ・エス・アイ・システムズ」から「アイ・エス・アイ・システムズ」に変更。
⁵⁾ 令和3年度より「三井造船」から「三井造船」に変更。
⁶⁾ 令和3年度より「新日本造船」から「新日本造船」に変更。
⁷⁾ 令和3年度より「日立製作所 エンジニアリング」から「日立製作所」に変更。
⁸⁾ 令和3年度より「みずほ情報総研」から「みずほ情報総研」に変更。

引用: 福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業総括委員会最終報告書、令和4年8月

図-3.2.106



図-3.2.104

研究テーマ

表 4 本実証研究事業の研究テーマと実施者一覧

番号	研究テーマ	実施者	実施期間	ページ
1	風車・浮体・浮体動向の観測と予測結果の検証	東京大学	H23～H30	13～15
2	浮体式洋上風力発電用の風車の開発	日立製作所、三菱重工業	H25～H30	16～18
3	浮体式洋上風力発電用の浮体の開発	三井造船、三菱造船、三井造船、JMU	H23～H30	19～20
4	浮体式洋上風力発電用の風車技術の開発	清水建設、JMU	H23～H30	21～22
5	材料の開発	日本製鉄、日立エンジニアリング	H23～H30	23
6	浮体式洋上風力発電用のための送電システムの開発	日立製作所、古河電気工業	H23～H30	24～25
7	航行安全性の評価	東京大学、海上技術安全研究所	H23～H27	26～28
8	浮体式洋上風力発電用の維持管理手法の開発	三井造船、日立製作所、古河電気工業	H25～R2	29～32
9	浮体式洋上風力発電システムの確立に関する技術	古田組、JMU、日立、日本風力開発、大成建設 (R3のみ)	R1～R3	33～37
10	商業化の検証	丸紅	H23～R2	38～53

引用: 福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業総括委員会最終報告書、令和4年8月

図-3.2.107

コンソーシアム」が組織されて、本プロジェクトが実施されました。

この図は、研究・開発に用いられた浮体式の洋上変電所と2MW、5MW、7MWの3つの洋上風車浮体の全体像を示しています(図-3.2.108)。

この図は、各浮体の建造機関と研究の目標を示しています。研究の目標については、図に示すように、「技術的挑戦／社会的合意／福島復興」、そして「設計技術の確立／試験・検証／最適化」、さらに「経済性の向上／技術の最適化／産業の創出」、それらからなる「3つの成功への鍵」として示されており(図-3.2.109)。

この図は、「ふくしま絆」と命名された浮体式の洋上変電所について示しています。この浮体は2013年11月に現地海域に設置されました。浮体デッキ上には、観測タワーが設置され、3カ所の高度40m、50m、60mの位置に風速計が配置されました(図-3.2.110)。

これは、浮体式の洋上変電所に設置された観測タワーによる観測項目を示しています。観測項目としては、気象として風況(風速・風向)、海象として波浪(波高・波向)、流況(流速・流向)です。その方法については、観測タワーにおける観測の他、ドップラーライダーを用いて、60

～310mの高度の風速・風向が観測されています。流況については、水深6.5m、8.5m、11.0mの位置で観測されています(図-3.2.111)。

これは、「ふくしま未来」と命名された2MWの洋上風車浮体を示しています。洋上風車の構造型式は、コンパクトセミサブ浮体構造です。この浮体の係留に用いられているアンカーチェーン数は6式です(図-3.2.112)。

これは、「ふくしま浜風」と命名された5MWの洋上風車浮体を示しています。洋上風車の構造型式は、アドバンス



図-3.2.110



図-3.2.108

洋上風力発電の研究・開発(浮体式・福島沖)					
実証研究の全容					
項目					
気象・海象		福島沖浮体式洋上風況観測タワー			
水深		120m			
離岸距離		20km			
観測タワー高さ		60m			
浮体の喫水		50m			
設置年月		2013.11			
観測開始年月		2014.9			
区分	項目	観測機器	観測要素	評価時期	観測位置・層
気象	風況	三式式風速計(1台)	風速	10分	40, 50, 60m
		天目式風向計(1台)	風向	10分	
		ドップラーライダー(1台)	風速・風向	10分	60m～110m(12層)
海象	波浪	波浪ブイ(1台)	有義波高・有義波周期 ⁽¹⁾	60分	海面
		浪高計(1台)	有義波高・有義波周期 ⁽¹⁾	60分	海面
	流況	浪高計(1台)	流速・流向	60分	水深5.5m, 8.5m, 11.0m
		ADCP(流速プロファイルブイ)	流速・流向	60分	水深5.5m, 7.6m, 11.8m

図-3.2.111



図-3.2.109

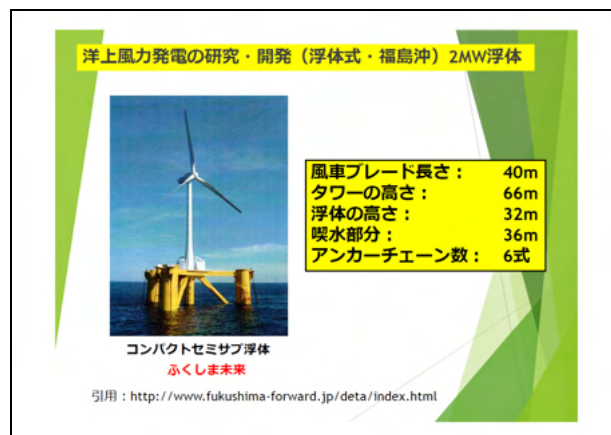


図-3.2.112

トスパー型浮体構造です。この浮体の係留に用いられているアンカーチェーン数は6式です(図-3.2.113)。

これは、「ふくしま新風」と命名された7MWの洋上風車浮体を示しています。洋上風車の構造型式は、V字型セミサブ浮体構造です。この浮体の係留に用いられているアンカーチェーン数は8式です(図-3.2.114)。

福島沖の研究成果は令和4年(2022年)8月に「総括委員会最終報告書」としてまとめられています。この報告書は、1.はじめに、2.調査の概要、3.本実証研究事業の概要、



図-3.2.113



図-3.2.114

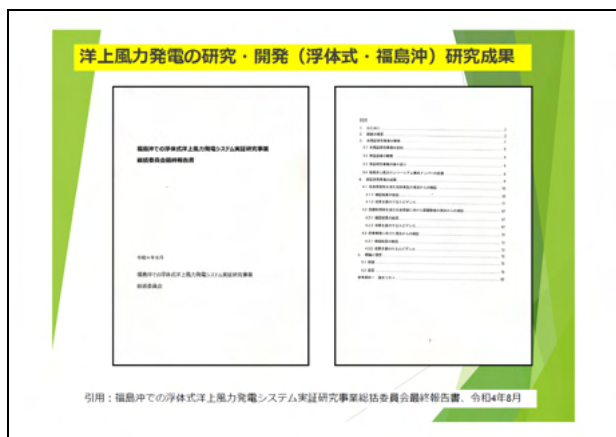


図-3.2.115

4. 実証研究事業の成果、5. 結論と提言から構成されています。そのほか、研究成果は、2019年3月に「浮体式洋上風力発電導入マニュアル」としてまとめられています(図-3.2.115)。このマニュアルは2022年3月に一部の内容が改訂されています。

次に、福岡県北九州市沖で2014年度から2021年度に実施された研究を紹介します。これはNEDOによる研究事業として、丸紅(株)、日立造船(株)、(株)グローカル、エコパワー(株)、東京大学、九電みらいエナジー(株)の6者が参加して実施されました。各機関の研究分担は、この図の中に示しております。浮体の実証実験海域は、北九州市の沖合約15kmです。浮体の構造型式はバージ型浮体です。このバージ型浮体の上に2枚翼の3MWの洋上風車が搭載されています(図-3.2.116)。

この図は、バージ型浮体の構造図と研究開発の実施のスケジュールを示しています(図-3.2.117)。

これは、3MWの洋上風車を搭載したバージ型浮体の諸元を一覧で示したものです。浮体本体の重量は、3,100t、搭載された洋上風車の重量は約133tです。風車、係留システム、バラストを含む全体の総重量は9,858tです(図-3.2.118)。



図-3.2.116

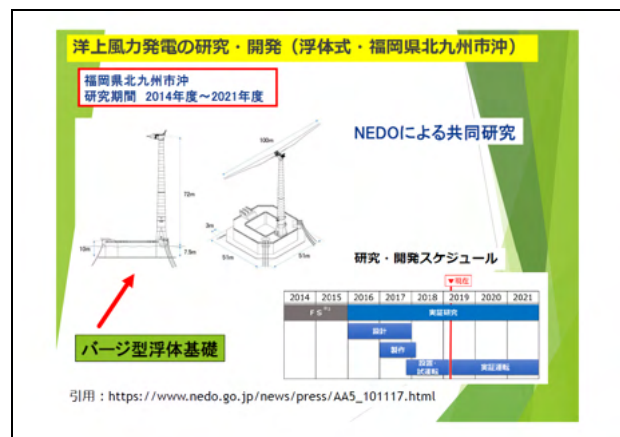
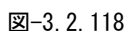
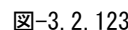
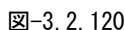
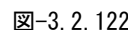
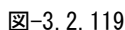
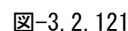


図-3.2.117

これは、国土交通省海事局により制定された「浮体式洋上風力発電施設技術基準」とその目次を示します。この基準は、第1編 総則、第2編 技術基準、から構成されています。第2編の技術基準は、第1章 外部条件、第2章 構



先程示した技術基準には、国土交通省海事局から「安全ガイドライン」が提示されています(図-3.2.122)。これは、令和5年(2023年)3月に公開されています。安全ガイドラインの内容ならびに構成は、先程示した技術基準の項目



に沿っています。

「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン」の別冊として、国土交通省海事局より令和5年3月に「コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン」が公表されました(図-3.2.123)。

これは「コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン」の目次を示しています。技術基準は、第1章 外部条件、第2章 構造に関する規則、第3章 位置保持システム、第4章 設備に関する規則、第5章 復原性、から構成されています。このガイドラインにおけるコンクリートに関する一般的事項については、土木学会コンクリート標準示方書「設計編」「施工編」を参照しています(図-3.2.124)。

この図は、「海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域」における洋上風車の審査の流れを示しています。この審査の流れは着床式の洋上風車を想定し作られています。浮体式においても審査の流れは、これに準拠します(図-3.2.125)。

令和2年(2020年)3月に「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一解説」が公表されています。これは、平成27年(2015年)3月に国土交通省港湾局より公表され

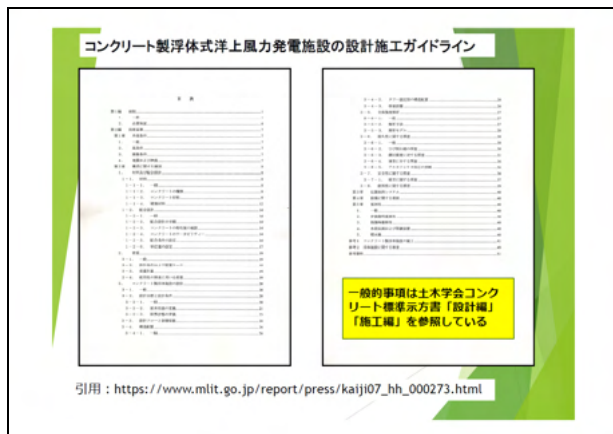


図-3.2.124

た「港湾における洋上風力発電施設等の技術ガイドライン」をベースに港湾区域に加えて、一般海域への適用、さらに浮体式洋上風力発電設備への適用を加えて制定されたものです(図-3.2.126)。

先程示した統一解説の中で、浮体式洋上風力発電設備の設計に特化して解説している部分を紹介します。

まず、4.8.1 構造設計の基本ですが、ここに示されている8項目に関して照査することが示されています。(1)は設計寿命ですが、風車の設計仕様上の年数または20年の大きい方の値を使用します。このほか(2)～(8)の項目についての照査が必要になります(図-3.2.127)。

ついで、4.8.2 では係留システムの照査が11項目にわたって示されています。(1)では、計画された全ての運転状態に対する位置保持、海底の設備に対する安全性が要求されています。そのほか、(2)～(11)までの項目の照査が求められています(図-3.2.128)。

また、4.8.3 では復原性の照査について5項目にわたって示されています。(1)に示すように、すべての状態における十分な復原性の保持が要求されています。このほか、(2)～(5)の項目の照査が求められています(図-3.2.129)。

これは、洋上風力発電設備に関連する規格・基準につい

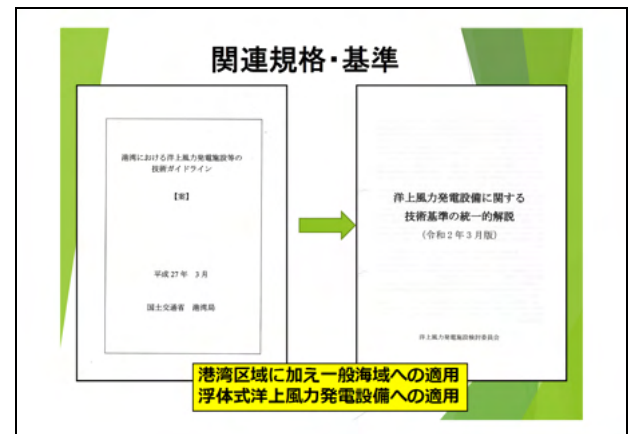


図-3.2.126

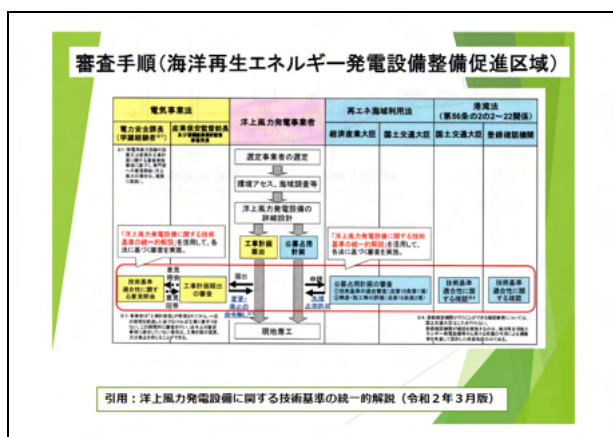


図-3.2.125

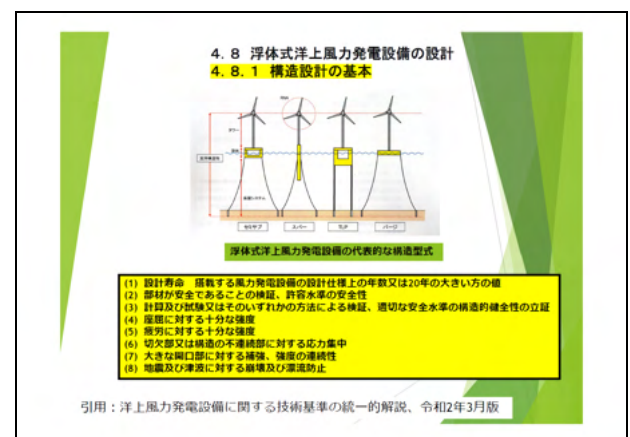


図-3.2.127

で示しています。浮体式洋上風力発電設備については、船舶安全法に基づく安全性の確保に加え、着床式と同様に電気事業法、港湾法に基づく基準を満足する必要があります(図-3.2.130)。

これは、照査における短期荷重及び疲労荷重に関する荷重組み合わせを示します。着床式の荷重組み合わせに準拠して、浮体式においても適切に荷重組み合わせを選定することが必要になります(図-3.2.131)。

次に、洋上風力発電施設の係留について説明します(図

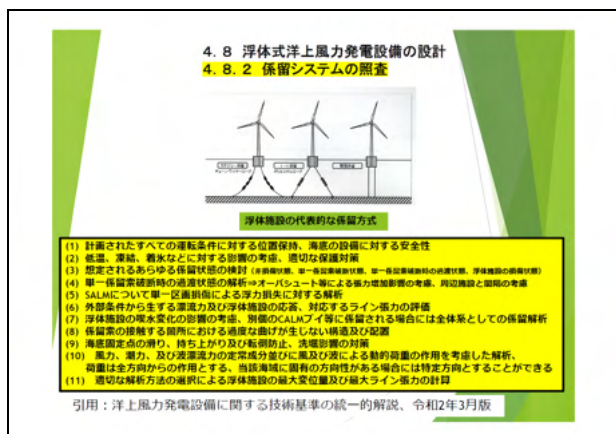


図-3.2.128

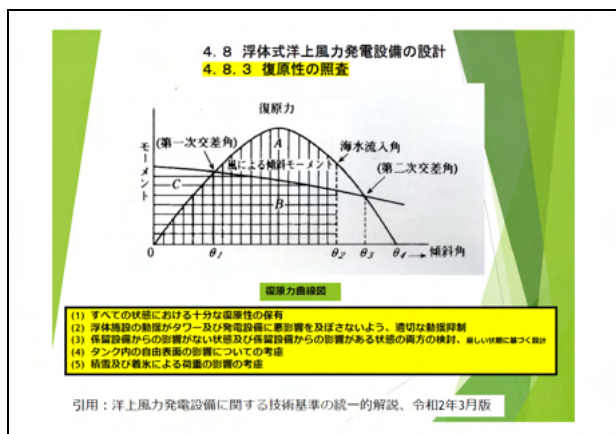


図-3.2.129



図-3.2.130

-3.2.132)。

この図は、多点係留方式の係留ラインを示しています。この図に示すように、スパー型浮体では、3点の係留ラインによる弛緩係留方式が一般的です(図-3.2.133)。

この図は、多点係留の場合の係留ラインについて示しています。これは、英国スコットランド沖合に設置された Hywind Scotland の事例です。Hywind Scotland では、係留チェーンの最終端、すなわち海底部ではサクシオンアンカーを採用しています(図-3.2.134)。

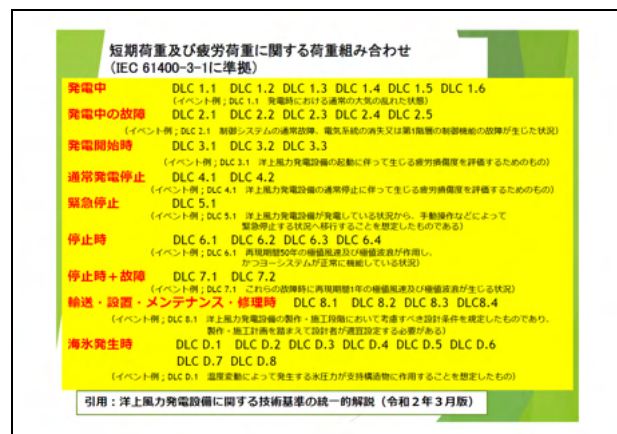


図-3.2.131

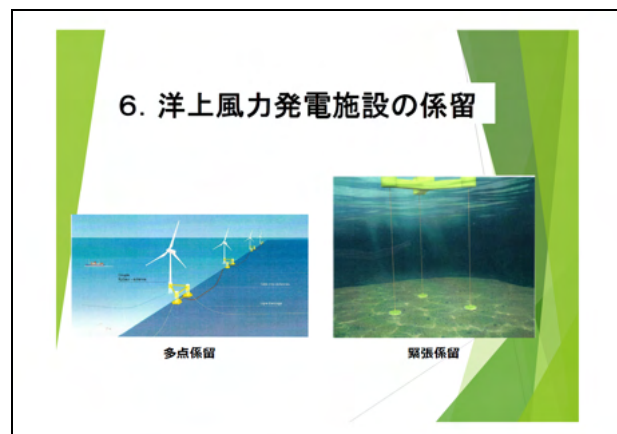


図-3.2.132

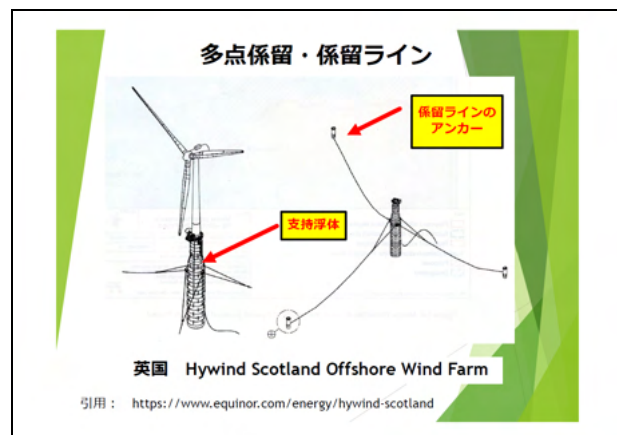


図-3.2.133

同じく、Hywind Scotland の係留ラインの事例です。係留ラインの中間部には中間ブイを設けて、係留ラインの張力が急激に増加することを防止しています(図-3. 2. 135)。

これは、フランスのリオン湾における洋上ウインドファーム EFGL の係留図を示しています。係留ラインはセミサブ浮体の各円筒浮体から 3 方向に展張する形をとっています(図-3. 2. 136)。

先程示した、フランス・リオン湾の洋上ウインドファーム EFGL における係留用アンカーの構造を示します。係留

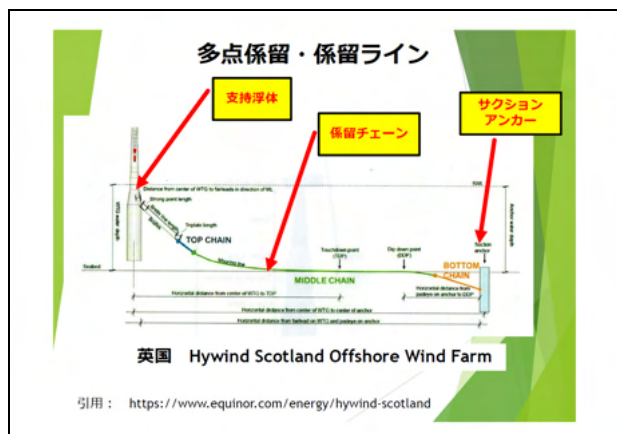


図-3. 2. 134

ラインの端部には、図に示すアンカーを用いています。このアンカーの先端の爪による把駐力によりセミサブ浮体を係留保持する構造となっています(図-3. 2. 137)。

これは、ノルウェーの Utsira Nord プロジェクトで想定されている緊張係留方式 (TLP 方式) です。浮体下部から海底に向けて張られた 3 本のテンドンにより、セミサブ浮体を緊張係留している構造となっています(図-3. 2. 138)。

次に、洋上風力発電の浮体構造について、現地施工の手順について説明します(図-3. 2. 139)。



図-3. 2. 137

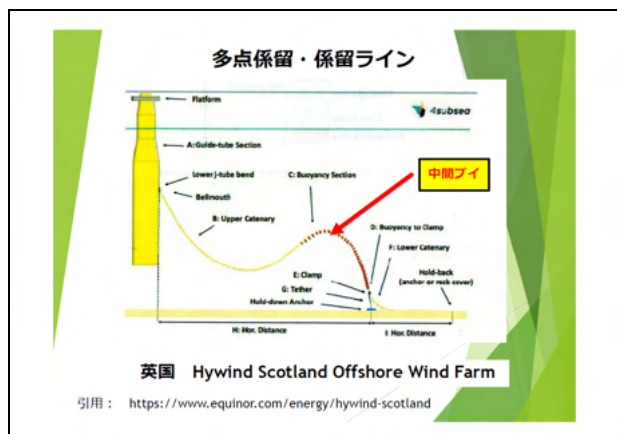


図-3. 2. 135

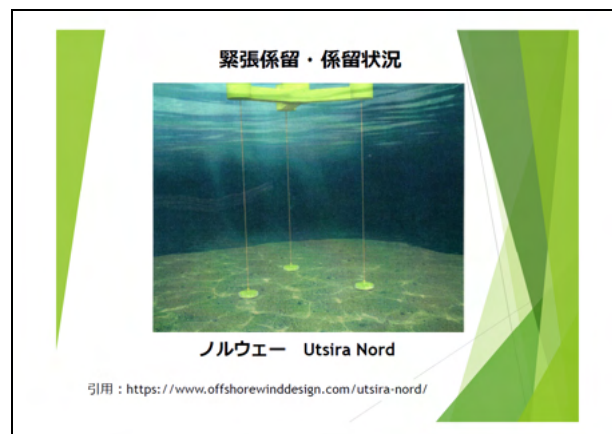


図-3. 2. 138

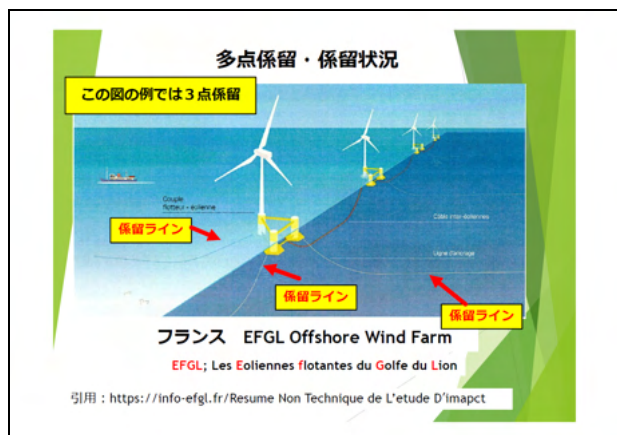


図-3. 2. 136

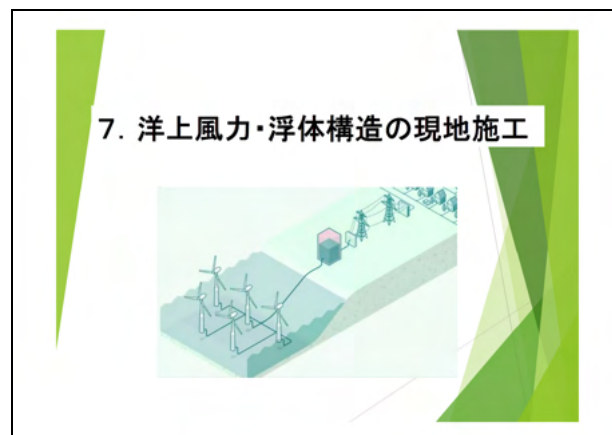


図-3. 2. 139

7. 洋上風力・浮体構造の現地施工



この図は、水深別に洋上風車の構造を示しています。浅い海域ではモノパイル構造、次いでジャケット構造が採用されます。水深が深くなると一番右側の浮体構造となります。浮体構造には先程説明したように、スパー型、TLP 型、バージ型があります。この図は、浮体構造として TLP 型について示されています(図-3.2.140)。

浮体構造においても、海底送電線を含めた全体的な設置手順は着床構造とほぼ同様です。浮体式洋上風車の建設、海底送電線の建設、陸上変電所の建設、陸上送電線の建設が洋上ウインドファーム全体のプロジェクトとして必要になります。必要に応じて、ウインドファームの設置海域に着床式または浮体式による洋上変電所が設置されます(図-3.2.141)。

次に、浮体式の洋上風力発電設備の施工について説明します。2020 年 3 月に「洋上風力発電施設検討委員会」から公表された「洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針」(令和 2 年 3 月版)では、「浮体式の洋上風力発電設備については着床式とは施工方法が異なるため、本指針を参考とした上で十分な検討を行う必要がある」と記載されています。浮体式洋上風力発電設備については、着床式とは施工方法が異なるため、それぞれの浮体形状や設置海域の

条件を考慮して慎重に施工方法を検討する必要があります(図-3.2.142)。

次に、洋上風力発電設備・浮体構造について建設事例を紹介します(図-3.2.143)。

これは、初期の洋上風力発電の実施例を示します。1990 年以降 2000 年までは、浮体構造の実施例はありません(図-3.2.144)。

次いで、2000 年から 2006 年の洋上風力発電の実施例を示します。2006 年までも同じく浮体式構造の実施例はあ

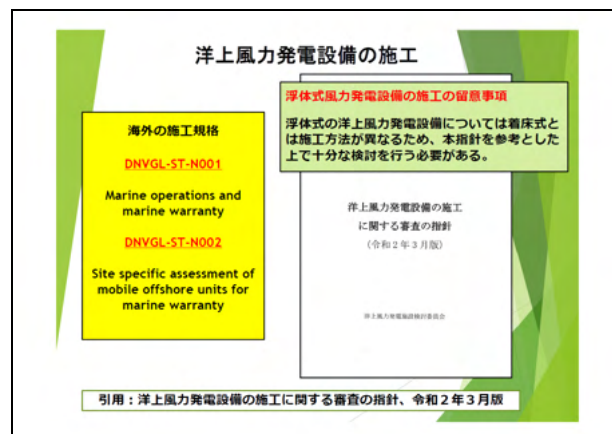


図-3.2.142

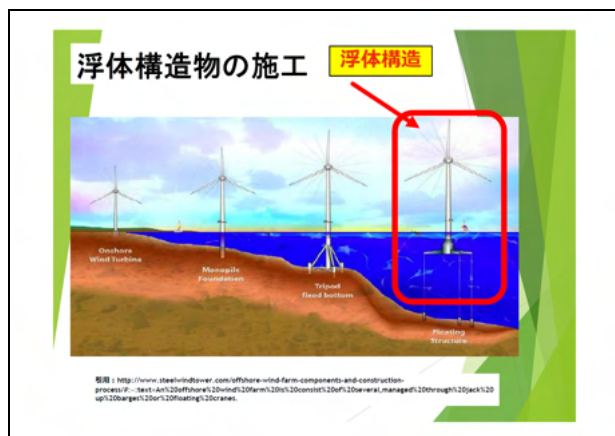


図-3.2.140



図-3.2.143

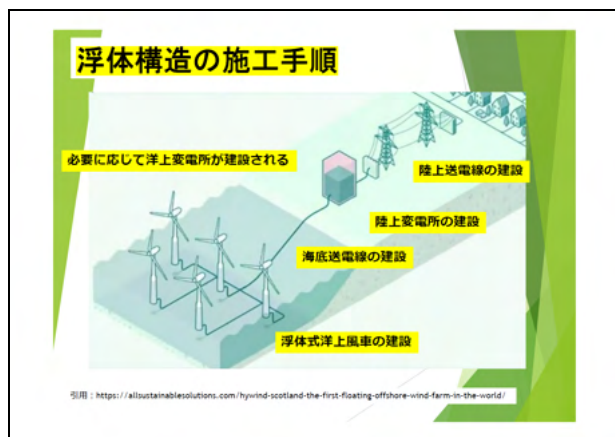


図-3.2.141



図-3.2.144

りません(図-3.2.145)。

次いで、2007年から2011年の洋上風力発電の実施例を示します。2007年にイタリアで0.08MW風車による浮体構造のパイロット試験が行われました。また、2009年にノルウェーで2.3MWのパイロット試験が、2011年にはポルトガルで2MWのパイロット試験が実施されました(図-3.2.146)。

次いで、2012年から2013年の洋上風力発電の実施例を示します。2012年以降になると、日本でも長崎県五島列島沖と福島沖で、浮体式洋上風力発電施設のパイロット試験が実施されるようになりました(図-3.2.147)。

次いで、2015年から2018年の洋上風力発電の実施例を示します。2017年には、英国スコットランド沖のHywind Scotlandプロジェクトにおいて、世界ではじめてとなる浮体式の洋上風力発電設備による商用運転が開始されました(図-3.2.148)。

次いで、2019年から2024年の洋上風力発電の実施例を示します。2020年には、ポルトガルで9.5MWの浮体式洋上風車3基を用いた25MW規模の洋上ウインドファームの運用が開始されました。このほか、英国では50MW、88MWの浮体式洋上風力発電設備による洋上ウインドファーム

の商用運転が開始されました。2024年には日本においても、長崎県五島列島沖にて16.8MWの洋上ウインドファームの運転が開始される予定となっています(図-3.2.149)。

この表は、国内外の浮体構造による主要な洋上ウインドファームの一覧です。福島沖の浮体式洋上風力発電施設の研究開発を行った、「福島洋上風力コンソーシアム」が2019年3月にまとめた「浮体式洋上風力発電導入マニュアル」に示されているものです(図-3.2.150)。

同じ資料に、浮体式風力発電の導入実績について、年別

初期の浮体構造事例④（浮体以外の構造形式も併記）			
ベルギー	Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-2)	(モノパイル)	運用開始 2012年 184MW (6.15MW×30基)
日本	五島列島五島沖	(浮体式) 0.1MW (0.1MW×1基) パイロット試験 2013年撤去	運用開始 2012年
日本	五島列島崎山沖	(浮体式) 2.0MW (2.0MW×1基) パイロット試験 2016年より商用運転	運用開始 2013年
ベルギー	Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-3)	(モノパイル)	運用開始 2013年 110MW (6.15MW×18基)
日本	福島沖（2H浮体）	(浮体式) 2.0MW (2.0MW×1基) パイロット試験 2021年撤去	運用開始 2013年
2012年から日本でも浮体構造のパイロット試験が実施される			

図-3.2.147

初期の浮体構造事例⑤（浮体以外の構造形式も併記）			
日本	福島沖（7H浮体）	(浮体式) 7.0MW (7.0MW×1基) パイロット試験 2021年撤去	運用開始 2015年
日本	福島沖（5H浮体）	(浮体式) 5.0MW (5.0MW×1基) パイロット試験 2021年撤去	運用開始 2016年
英国	Hywind Scotland Offshore Wind Farm	(浮体式) 30MW (6MW×5基) 商用運転	運用開始 2017年
英国	Beatrice Offshore Wind Farm	(ジャケット式) 588MW (7MW×84基) 商用運転	運用開始 2018年
フランス	Float Gen	(浮体式) 2.0MW (2.0MW×1基) パイロット試験	運用開始 2018年
2017年に世界初の浮体構造による商用運転が開始される			

図-3.2.148

初期の浮体構造事例②（浮体以外の構造形式も併記）			
スウェーデン	Utgrunden Offshore Wind Farm	(モノパイル) 11MW (1.5MW×7基) 2018年撤去	運用開始 2000年
スウェーデン	Yttre Stengrund Offshore Wind Farm	(モノパイル) 10MW (2MW×5基) 2015年撤去	運用開始 2001年
デンマーク	Middelgrunden Offshore Wind Farm	(重力式) 40MW (2MW×20基)	運用開始 2001年
デンマーク	Horns REV Offshore Wind Farm	(モノパイル) 160MW (2MW×80基)	運用開始 2002年
デンマーク	Nysted Offshore Wind Farm	(モノパイル) 383MW (2.3MW×162基)	運用開始 2003年
ドイツ	Dollant Emden Offshore Wind Farm	(モノパイル) 4.5MW (4.5MW×1基) パイロット試験	運用開始 2004年
英国	Barrow Offshore Wind Farm	(モノパイル) 90MW (3MW×30基)	運用開始 2006年
2000年～2006年は浮体構造の事例はない			

図-3.2.145

初期の浮体構造事例③（浮体以外の構造形式も併記）			
英国	Beatrice Offshore Wind Farm	(ジャケット式) 10MW (5MW×2基) パイロット試験	運用開始 2007年
イタリア	Blue H (proto type test)	(浮体式) 0.08MW (0.08MW×1基) パイロット試験 2008年撤去	運用開始 2007年
ノルウェー	Hywind Offshore Wind Farm	(浮体式) 2.3MW (2.3MW×1基) パイロット試験	運用開始 2009年
デンマーク	Horns REV2 Offshore Wind Farm	(モノパイル) 209MW (2.3MW×91基)	運用開始 2009年
ベルギー	Thorntonbank Offshore Wind Farm (Phase-1)	(モノパイル) 30MW (5MW×6基)	運用開始 2009年
ポルトガル	Wind Float Atlantic Offshore Wind Farm	(浮体式) 2.0MW (2.0MW×1基) パイロット試験	運用開始 2011年
2007年に初の浮体構造のパイロット試験が実施される			

図-3.2.146

初期の浮体構造事例⑥（浮体以外の構造形式も併記）			
日本	北九州市沖	(浮体式) 3.0MW (3.0MW×1基) パイロット試験	運用開始 2019年
ポルトガル	Wind Float Atlantic Offshore Wind Farm	(浮体式) 25.0MW (8.4MW×3基)	運用開始 2020年
英国	Kincardine Offshore Wind Farm	(浮体式) 50.0MW (9.5MW×5基)	運用開始 2021年
英国	Hywind Tamen Offshore Wind Farm	(浮体式) 88.0MW (8.0～8.6MW×11基)	運用開始 2022年
フランス	EFL Offshore Wind Farm	(浮体式) 30.0MW (10.0MW×3基)	運用開始 2024年
日本	長崎県五島市沖	(浮体式) 16.8MW (2.1MW×8基)	運用開始 2024年
2024年日本でも浮体構造による商用運転が開始される			

図-3.2.149

の累積導入量の変化の図が掲載されていますので、引用させていただきます。この図からもわかるように、洋上の浮体式による風力発電設備は 2021 年頃から急増しています。ただし、2022 年 12 月末の世界の洋上風力発電の累積導入量は 64.3GW であるのに対し、浮体式はその時点で 0.22GW でした。浮体式の洋上風力発電の累積導入量は、洋上全体のわずか 0.34% に留まっています(図-3.2.151)。

まず、英国スコットランド沖合の Hywind Scotland について紹介します。ここは 6MW 洋上風車 5 基から構成される



図-3.2.150

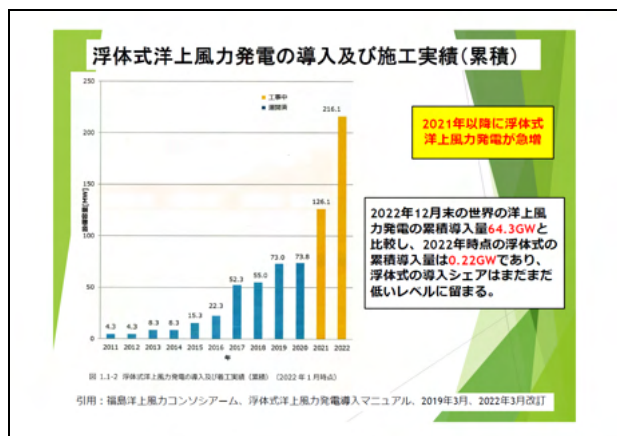


図-3.2.151

30MW の洋上ウインドファームです。浮体式の風車は、英国 Scotland 沖合の離岸距離 25km、水深 95~120m の海域に設置されました。2016 年に洋上風車の建設が始まり、2017 年に洋上ウインドファームの運用が開始されました(図-3.2.152)。

この図は、Hywind Scotland の洋上ウインドファームの建設位置と浮体群の配置を示しています。浮体式の洋上風車は、図に示すように 5 基並べて配列されています。各浮体は、図に示すように 3 点の係留ラインにより弛緩係留されています(図-3.2.153)。

この図は、Hywind Scotland の洋上風車の全体構造を示しています。洋上風車は、風車のナセルとローター部、風車タワー部、それらを支える支持構造物から構成されます。この場合、支持構造物は浮体構造です(図-3.2.154)。

この図は Hywind Scotland の浮体式洋上風車と発電した電力を陸上まで送電するための海底ケーブルを示しています(図-3.2.155)。洋上風車によって発電された電力は海底ケーブルを通じて陸上変電所まで送電されます。その後、陸上の送電線を使用し、発電された電力が消費者に供給されます。

この図は Hywind Scotland の海底ケーブルのレイアウト

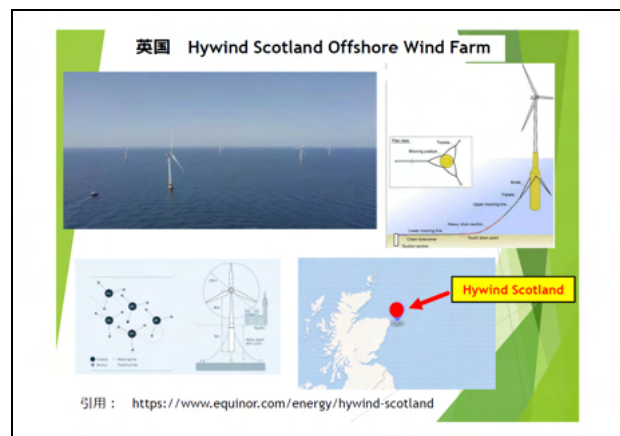


図-3.2.153



図-3.2.152

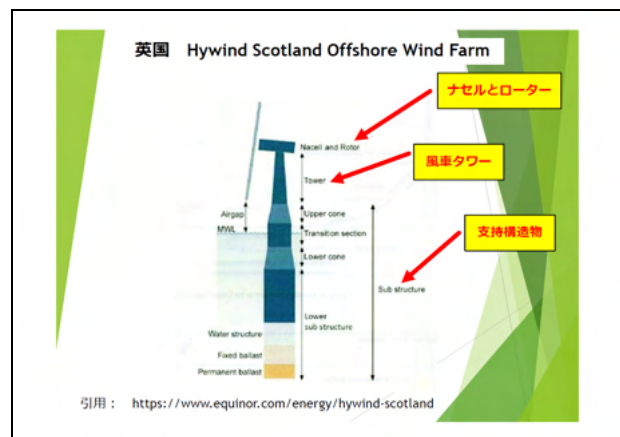


図-3.2.154

を示しています(図-3.2.156)。

この図は Hywind Scotland の 5 基の浮体式洋上風車と各浮体に対する 3 点の係留ラインを示しています。また、浮体と係留ラインのそれぞれについての座標を緯度・経度で示しています(図-3.2.157)。

この図は、Hywind Scotland のために新設された海底ケーブルおよび既設の海底ケーブルについて示しています(図-3.2.158)。既設の海底ケーブルがある海域においては、既設のものについて十分に調査した上で、新設する海底ケ

ーブルの配置ならびにルートを決める必要があります。

この図は、Hywind Scotland の洋上風車の設置位置と新設する海底ケーブルのルートを示しています(図-3.2.159)。この海域における環境、あるいはその他の各種規制を考慮して、ウインドファームの設置位置や海底ケーブルの設置計画を定める必要があります。

これは、Hywind Scotland の 5 基の洋上風車浮体と送電用の海底ケーブルの配置について、先程示したものよりもやや詳細な図面です(図-3.2.160)。

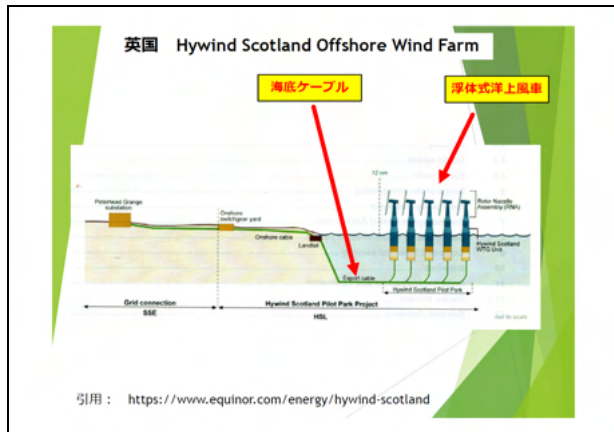


図-3.2.155

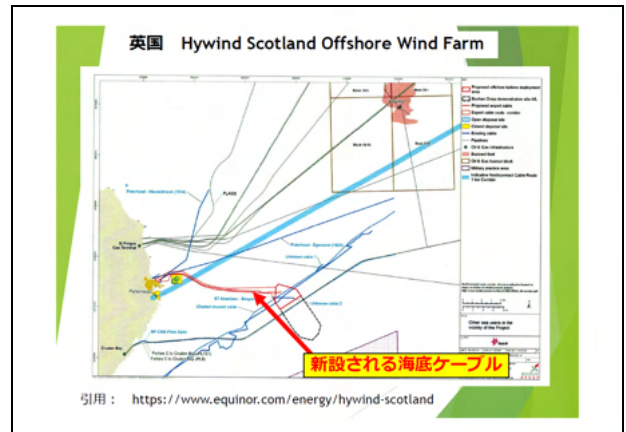


図-3.2.158

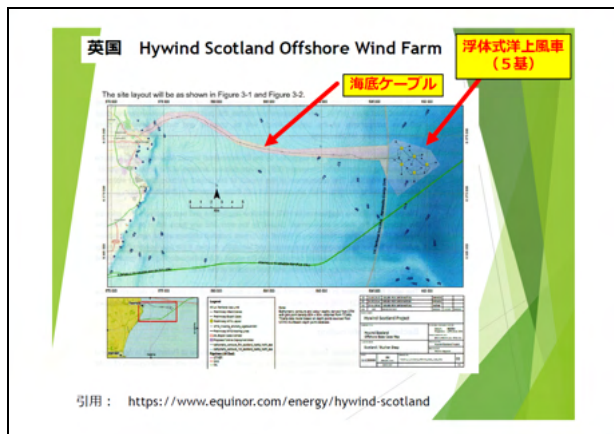


図-3.2.156

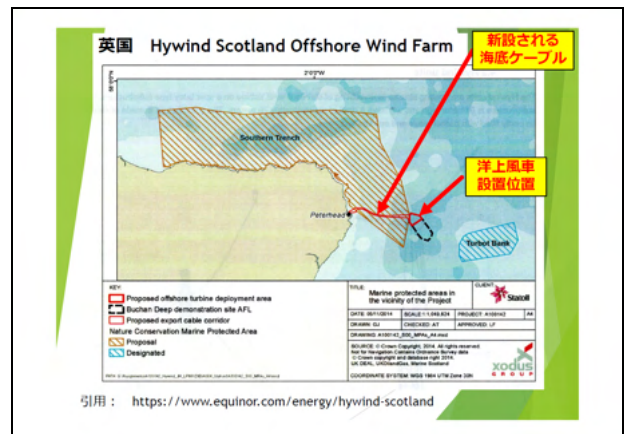


図-3.2.159

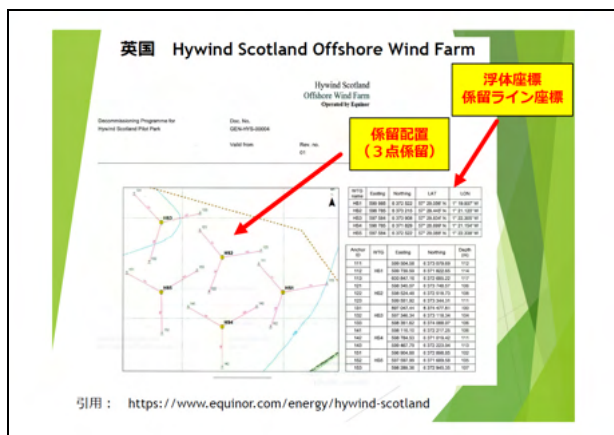


図-3.2.157

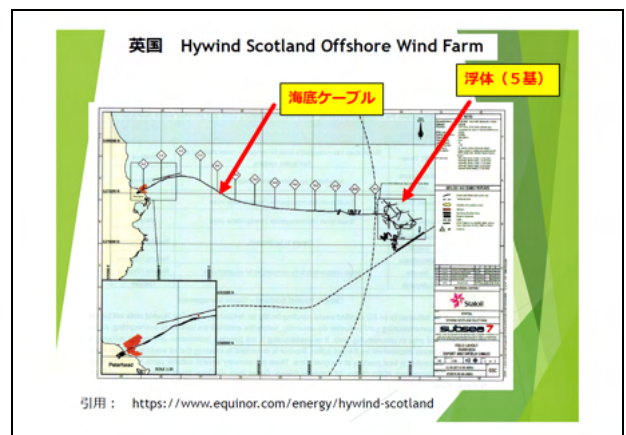


図-3.2.160

次に、ポルトガルの沖合に建設された Wind Float Atlantic の事例を紹介します。これは、8.4MW の洋上風車 3 基からなる総設備容量 25MW の小規模な洋上ウインドファームです。ポルトガルの最北部に位置するヴィアナ・ド・カステロ市沖の大西洋上の離岸距離 20km、水深 100m の海域に洋上ウインドファームが建設されています。洋上風車の建設は 2019 年に行われ、翌年の 2020 年より洋上ウインドファームの運用が開始されています(図-3.2.161)。

この図は、ポルトガルの Wind Float Atlantic の建設状況を示します。まず、港湾においてセミサブ浮体基礎の上に洋上風車を搭載します。その後、タグボートにより設置海域まで曳航されます。セミサブ型浮体を用いる場合は、港湾で浮体基礎の上に風車を搭載し、その後、現地まで曳航され設置されます(図-3.2.162)。

次に、英国スコットランドの沖合に建設された Kincardine Offshore Wind Farm の事例を紹介します。これは、9.5MW の洋上風車 5 基からなる総設備容量 50MW の洋上ウインドファームです。浮体構造による洋上風車は、離岸距離 15km の水深 60～80m の海域に設置されています。浮体構造による洋上風車の建設は 2019 年に開始され、2021 年より洋上ウインドファームの運用が開始されてい

ます(図-3.2.163)。

この図は Kincardine Offshore Wind Farm の洋上風車について、港湾における風車タワー建造状況、ならびに風車ブレードの取り付け作業を示しています(図-3.2.164)。

次に、フランスの地中海のリオン湾に建設された EFGL Offshore Wind Farm の事例を紹介します。これは、浮体式の 10MW の洋上風車 3 基からなる総設備容量 30MW の小規模な洋上ウインドファームです。セミサブ浮体を用いた洋上風車は、リオン湾において、離岸距離 16km の水深 75m



図-3.2.163



図-3.2.161



図-3.2.164



図-3.2.162



図-3.2.165

の海域に設置されています。浮体式の洋上風車の建設は2022年に開始され、2024年、来年より洋上ウインドファームの運用が開始される予定です(図-3.2.165)。

この図は、フランスのリオン湾において計画された EFGL Offshore Wind Farm の現地海域における設置作業について、計画段階で作成された構想図を示しています(図-3.2.166)。

これは EFGL Offshore Wind Farm の洋上風車について、セミサブ浮体の形状・寸法を示しています。また、セミサ



図-3.2.166



図-3.2.167

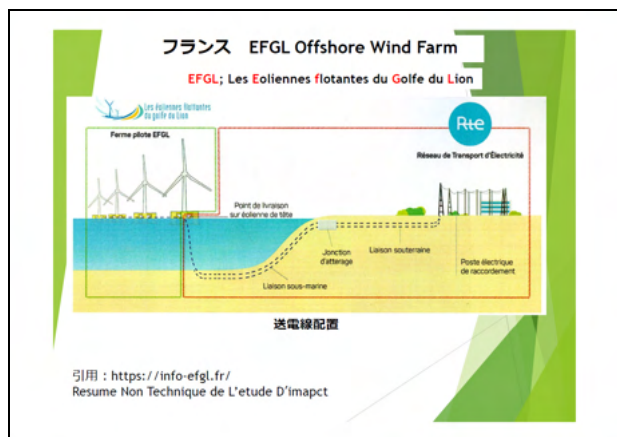


図-3.2.168

ブ浮体を係留保持するための係留ラインの配置図を示しています。係留ラインは、セミサブ浮体の3基のコラムから海底に向けて3方向に展開されています(図-3.2.167)。

これは EFGL Offshore Wind Farm について、会場から陸上までの送電のイメージ図を示しています(図-3.2.168)。

次に、国内における浮体式の洋上風車の実施例を示しています(図-3.2.169)。

これまで説明した様に、日本では幾つかのパイロット試験を通じ、洋上風車について、浮体基礎および風車タワー、風車本体の建造等についてのノウハウを蓄積することができました。ようやく、それらが結実し、プロジェクトの建設が始動しています。

これは、長崎県五島市沖の海域について、2021年6月11日に事業予定者が選定・公表されたときの資料です。戸田建設(株)を筆頭とする(仮)ごとう市沖洋上風車合同会社に対して事業の実施が認められました。事業規模が2.1MWの洋上風車8基から構成される、総設備容量16.8MWの洋上ウインドファームの計画が認可されました(図-3.2.170)。

これは長崎県五島市沖の認可海域の図です。対象区域は図に示す2,726.5haです(図-3.2.171)。

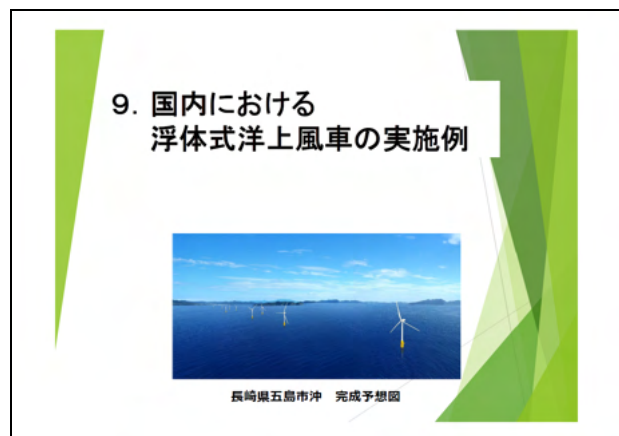


図-3.2.169



図-3.2.170

ウインドファームの認可後、長崎県五島市沖の海域では、戸田建設（株）ほか5社から構成される「五島フローティングウインドファーム合同会社」が設立されました。現在、2024年1月の運転開始を目標に、五島市沖合の洋上に浮体式の風車の建設が進められています(図-3.2.172)。

この図は、長崎県五島市沖における2.1MWの洋上風車8基の配置図です(図-3.2.173)。

具体的な浮体式洋上風車の建設状況について説明します。港湾において浮体基礎をバージに積み込み、現地で設

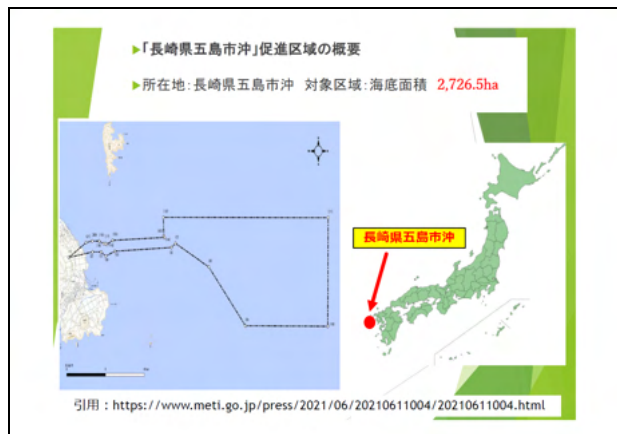


図-3.2.171



図-3.2.172



図-3.2.173

置し、係留を行います。次いで、現地に設置された浮体基礎と風車タワーに風車のナセル、ローター、ブレードを設置します(図-3.2.174)。戸田建設（株）を代表とする「オフショアウインドファームコンストラクション合同会社」は、(株)吉田組と共同して「FLOAT RAISER」と命名された全長110.0m、全幅43.0m、喫水4.7m、総トン数12,300tのバージを建造しています。長崎県五島市沖のこのプロジェクトでは、このバージが洋上風車の建設に使用されています。

この図は、長崎県五島市沖の洋上ウインドファームの完成予想図です(図-3.2.175)。このプロジェクトでは、地上ヤードで建設中の浮体2基に不具合が発見され、浮体の改修や再製作が必要になりました。戸田建設（株）は、特別損失を計上したことを今年2023年5月9日にHP上で公開しています。

最後に、北海道における浮体式洋上風車の可能性について述べます(図-3.2.176)。

すでに紹介したように、今年5月12日に北海道の日本海側の5海域が「再エネ海域利用法」の「一定の準備段階に進んでいる区域」から「有望な区域」に格上げされました(図-3.2.177)。



図-3.2.174



図-3.2.175

これは、先程の5海域を示しています(図-3.2.178)。今後は、各海域において地元調整が継続的に実施されると思います。調整が整うことにより、早期に「促進区域」に指定され、建設へ向けた動きが具体化していくことが期待されます。

これは、NEDOによる局所風況マップを北海道と東北について示しています。図からわかるように、北海道では襟裳岬沖合の海域に風の強い領域があります。ただし、水深その他の条件から、すでに「再エネ海域利用法」における

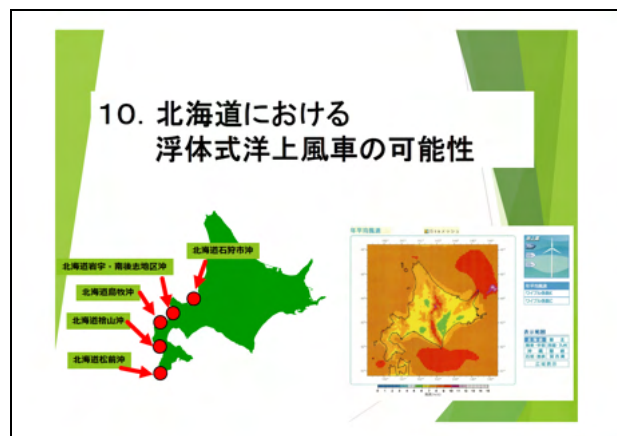


図-3.2.176



図-3.2.177



図-3.2.178

「有望な区域」として指定されている日本海側の海域における開発が先行して進むことが想定されます。この洋上風況マップによると、日本海側の松前沖海域において風速が高いことがわかります(図-3.2.179)。

この図は、洋上風力発電のコスト低減と導入量のシナリオを示しております。NEDOの報告書より引用しています。着床式洋上風力発電については、2030年時点で1kWhあたり8~9円までコストを下げる目標となっています。浮体式洋上風力発電は、その時点でのコストは1kWhあたり約20円を目標としています。現在の浮体式風力発電のFIT単価の1kWhあたり36円よりは、随分と安くなる見通しです。浮体式については、2040年の累積導入量は11GWで、単価は1kWhあたり約9円を想定しています。逆にこの単価が実現できなければ、目標通り浮体式洋上風力発電の導入が進まないと言えます。北海道の日本海側沿岸には風況の良い場所が存在します。導入量が順調に伸びるためには、技術開発と量産化によるコスト縮減が大きな課題と言えます(図-3.2.180)。

ちょうど予定の時間の16時半になりましたので、これで説明を終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。

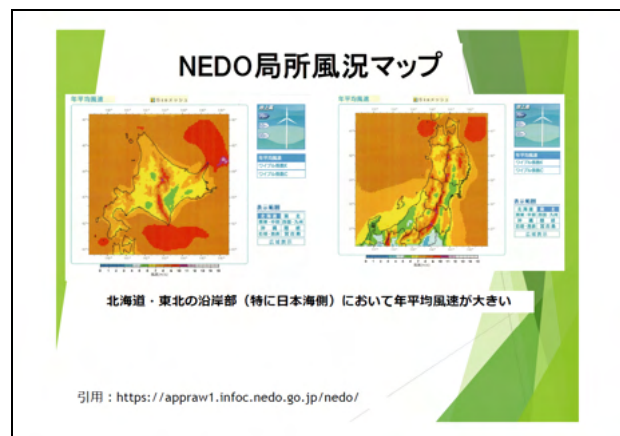


図-3.2.179

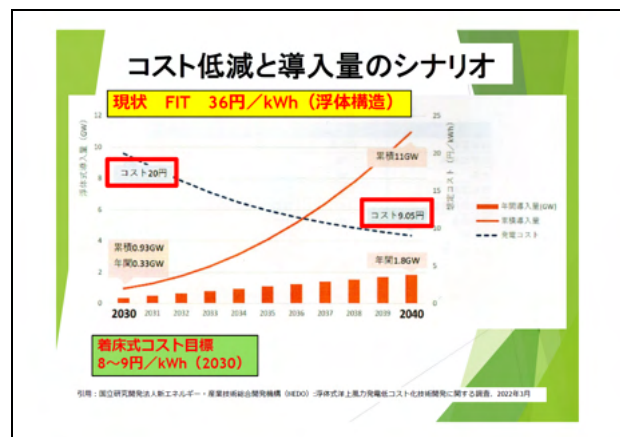


図-3.2.180

3.3 第6回「オペレーション・維持管理・施設の廃棄」

北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏

((一社) 寒地港湾空港技術研究センター 審議役)

本日は、会場並びにWEBでご参加いただきまして、ありがとうございます。白石でございます。これより着席して説明をさせていただきます。

洋上風力発電技術セミナーも全6回の最終回となりました。今回は洋上風力発電のオペレーション、維持管理、そして洋上風力発電がその運用を終えた後の廃棄について説明したいと思います(図-3.3.1)。それではこれより説明させていただきます。

これは、これまでのセミナーでも示したスライドです。2050年にカーボンニュートラルを達成するため、脱炭素のための様々な取り組みが進められております。今年は、「グリーントランスフォーメーション法」、いわゆる「GX法」が成立し、これを契機に様々な施策が進められております。再生可能エネルギーの導入拡大においては、風力発電の導入が大きな推進力となると思います。とりわけ洋上風力発電は、これから増々注目されていくと思います(図-3.3.2)。

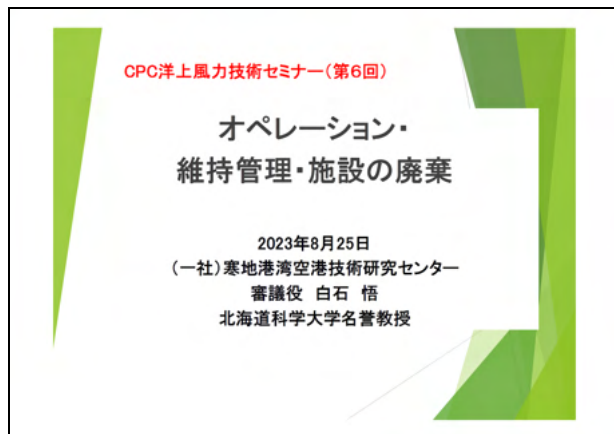


図-3.3.1

我が国では、海外より石油・LNG・石炭など大量の化石燃料を輸入しており、エネルギーの国内自給率は極めて低い状況に留まっております。再生可能エネルギーの導入拡大は我が国のエネルギー自給率の大幅な向上につながります。あわせて、再生可能エネルギーの導入拡大によりCO2を削減できるため、地球温暖化を抑止できる効果があります(図-3.3.3)。

まず、最初に前回の6月23日のセミナー以降の最近の話題について紹介いたします。6月23日以前のものでも、前回のセミナーでは紹介できなかった話題も含まれていることを最初にお断りいたします。

環境省では、「洋上風力発電の環境影響評価制度の最適な在り方に関する検討会」を立ち上げ、5月11日に第1回の検討会を開催しました。また第2回の検討会は6月1日、第3回の検討会は7月13日に開催されています(図-3.3.4)。これに加えて第4回の検討会が7月31日月曜日13:30~16:30で開催されています。この検討会で検討された内容については、後程具体的に紹介したいと思います。

経済産業省と国土交通省は「浮体式産業戦略検討会」を開催しております。第1回会議は6月23日に開催されま

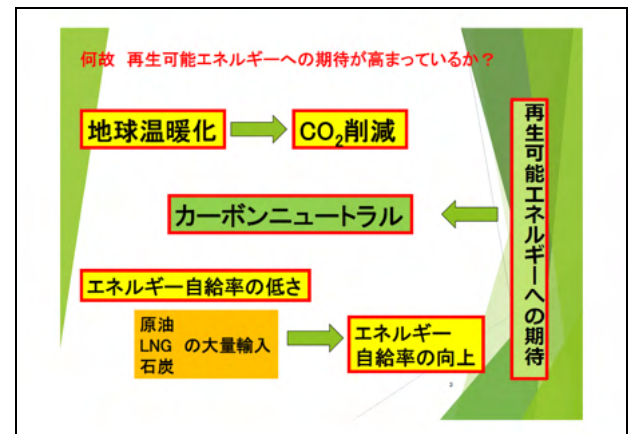


図-3.3.3

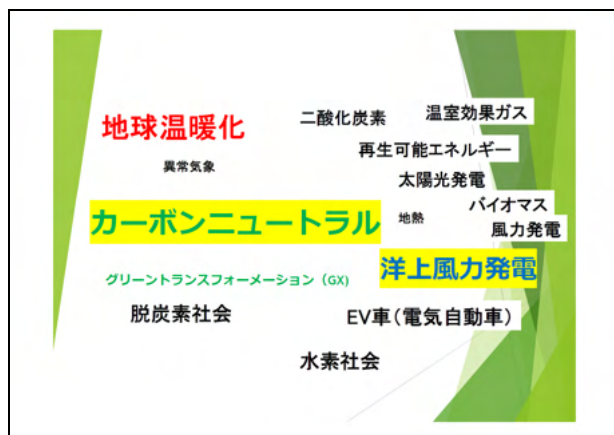


図-3.3.2

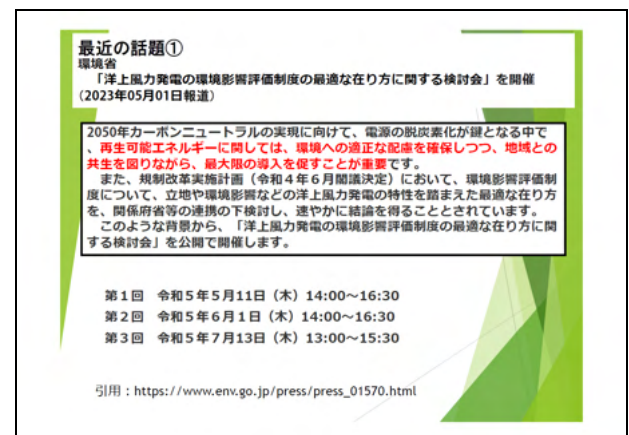


図-3.3.4

した。これは、令和2年(2020年)12月に策定された「洋上風力産業ビジョン(第1次)」の後の動向をふまえ、今後、普及拡大が期待される浮体式洋上風力に係る産業の在り方を検討することを目的に設置されたものです。この会議で検討された内容は「洋上風力産業ビジョン(第2次)」として取りまとめられる予定になっております(図-3.3.5)。

石狩湾新港の洋上風力向け作業員輸送船(CTV)である「RERAAS(レラアシ)」が運航を開始しました。このCTVは、石狩湾新港の港湾区域内に建設が進められている洋上風力発電の建設・運転・保守に従事する作業員の輸送に用いられます(図-3.3.6)。

風車のウェイクとは、風車背後の風の乱れと風速低下が、風下側の風車に与える影響を指します。風車のウェイクはウインドファーム全体の発電効率の低下につながります。この事業では、風車ウェイクに関する観測や評価を行うことにより、風車ウェイクについての指針を示し、ウインドファームの効率的な発電を実現することを目標にしております。実際の洋上ウインドファームを用いて、風車ウェイクの実観測を実施する事業者を公募するものです(図-3.3.7)。

最近の話題②
経済産業省・国土交通省 「浮体式産業戦略検討会」を開催
(2023年6月23日報道)

経済産業省及び国土交通省は、洋上風力発電の導入拡大に加えて、関連産業の競争力強化、国内産業集積、インフラ環境整備等の相互の「好循環」を実現するため、令和2年7月に「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」を設置し、同年12月に「洋上風力産業ビジョン(第1次)」を策定しました。

このビジョンにおいて、2030年までに10GW(ギガワット)、2040年までに30から45GWの案件を形成する目標を設定し、これまでに「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」に基づき、着床式洋上風力を中心に合計3.5GWの案件を創出しています。

更なる導入を図るため、今後、普及拡大が期待される浮体式洋上風力に係る産業の在り方等を検討することを目的に、有識者、業界団体、発電事業者、浮体製造事業者等から構成される「浮体式産業戦略検討会」を設置し、検討を進めます。

6月23日から、複数回にわたり検討会を開催したのち、官民協議会において「洋上風力産業ビジョン(第2次)」(仮称)を取りまとめる予定

<https://www.meti.go.jp/press/2023/06/20230623003/20230623003.html>

図-3.3.5

世界気象機関(WMO)は、2023年7月7日に世界平均気温が17.24℃を記録し、過去最高であった2016年8月16日の16.94℃を上回ったことを公表しました(図-3.3.8)。この記録の更新には人為起源の地球温暖化による気候変動とエルニーニョ現象が影響しているとされております。また、気象庁は7月の平均気温が平年を示す基準値、これは1991年から2020年までの30年間の平均であります。これを1.91℃上回り、統計を開始した1898年以降で最も高くなったことを発表しています。特に高温傾向は北日本で顕著であり、北海道では+2.9℃、東北では+2.7℃となっております。

7月14日、石狩湾新港の沖合で建設が進められている洋上風力発電所で風車タービンの設置作業が開始されました。設置工事には清水建設所有のSEP「BIUE WIND」が使用されております(図-3.3.9)。

7月20日に、札幌市において北海道洋上風力フォーラム2023が開催されました。5名の発表者による基調講演と4テーマのパネルディスカッションが行われ、北海道の洋上風力発電について様々な視点からの意見が発表され、また議論されました(図-3.3.10)。

本日の発表内容をここに示しております(図-3.3.11)。

最近の話題④
風車ウェイクの実観測公募
(2023年7月5日報道)

(1) 概要
2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、洋上風力発電においては、2030年までに1,000万kW、2040年までに3,000万から4,500万kWの案件を形成するという意欲的な導入目標が示され、洋上ウインドファームの導入拡大が進むなか、さらなる発電コストの低減が必要。

本事業では、風車ウェイクに関する観測手法の整理やウインドファームの発電効率向上に資する技術開発ニーズ等の調査を行い、洋上ウインドファーム等を活用した風車ウェイクの観測、評価を実施し、日本特有の自然環境を考慮した風車ウェイク観測手法の指針等を提示することで、ウインドファームの効率的な発電を実現する一助とする。

(2) 事業期間
2023年度から2025年度

引用: https://www.nedo.go.jp/koubou/FF2_100380.html

図-3.3.7

最近の話題③
石狩湾新港洋上風力発電向け作業員輸送船(CTV)「RERA AS」が運航開始
(2023年7月5日報道)

主船 : 27.10メートル
型幅 : 9.00メートル
総トン数 : 138トン
乗客定員数 : 12名
建造造船所 : PT Kim Seah Shipyard Indonesia (Penguin Shipyard International子会社)

洋上風力向け作業員輸送船(CTV)「RERA AS」(レラアシ)は、石狩湾新港で洋上風力発電設備の建設・運転・保守を行う世界的な風力タービンメーカー「Siemens Gamesa(シーメンスゲームサ)」と日本郵船の共同出資で設立された。7月5日、石狩湾新港で日本郵船からシーメンスゲームサ社への引き渡しが完了。

今後、本船は日本郵船グループの北洋海運株式会社からシーメンスゲームサ社との契約のもと、船舶管理と運航を担い、保守作業に関わる作業員輸送を7月中旬に開始する。本船は日本郵船グループとして保有・運航する初のCTVで、日本国内で現在運航中のCTVの中では最大の総トン数を誇る。

引用: https://www.nyk.com/news/2023/20230705_01.html

図-3.3.6

最近の話題⑤
世界平均気温過去最高(2023年7月10日報道)

2023年7月7日
世界平均気温
17.24℃

過去最高
2016年8月16日
16.94℃

The world just had the hottest week on record, according to preliminary data. It follows the hottest June on record, with unprecedented sea surface temperatures and record low Antarctic sea ice extent. The record-breaking temperatures on land and in the ocean have potentially devastating impacts on ecosystems and the environment. They highlight the far-reaching changes taking place in Earth's system as a result of human-induced climate change.

Global mean daily 2m temperature

"The exceptional warmth in June and at the start of July occurred at the onset of the development of El Niño, which is expected to further fuel the heat both on land and in the oceans and lead to more extreme temperatures and marine heatwaves," said Prof. Christopher Hewitt, WMO Director of Climate Services.

"We are in uncharted territory and we can expect more records to fall as El Niño develops further and these impacts will extend into 2024," he said. "This is worrying news for the planet," he said.

引用: <https://public.wmo.int/en/media/news/preliminary-data-shows-hottest-week-record-unprecedented-sea-surface-temperatures-and>

図-3.3.8

本日のテーマである「オペレーション」「維持管理」「撤去」を中心に説明させていただきます。それに先立ち、着床式と浮体式の洋上風力発電の比較、環境調査、日本の電力系統の課題等についてもふれてみたいと思います。

この図は、陸上風車と洋上風車を比較したものです(図-3.3.12)。洋上風車では海の中で風車とタワーを支える海洋基礎が必要になります。前の3回は、この海洋基礎について、モノパイル構造・ジャケット構造、浮体構造について、構造型式別にそれぞれ説明いたしました。



図-3.3.9



図-3.3.10

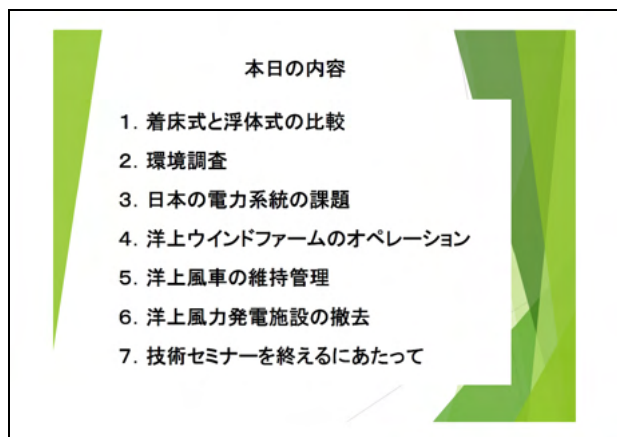


図-3.3.11

今回も説明の中で発電量の単位が出てきます。風車による電力の出力の単位は kW という単位で、これを時間で積分したものが kWh という単位になります。1kW の 1000 倍が 1MW という単位です。最近建設されている洋上風車の中心サイズは 8~10MW になります(図-3.3.13)。今後はさらに洋上風車が大型化されることが見込まれており、15MW サイズが新たな開発の中心サイズになると思います。風車は複数基配置されるのが一般的です。風車群のかたまりはウインドファームと呼ばれます。最近の大きな開発例では 1GW クラスの洋上ウインドファームが出現しています。1GW は kW の単位で示すと 100 万 kW です。これは平均的な火力発電所 1 基の規模にほぼ相当します。

最初に、洋上風力発電について着床式と浮体式の比較について述べていきたいと思います(図-3.3.14)。

この図は、陸上風車と洋上風車についてその基礎構造を水深別に示しております。洋上風車を浮体で支持する構造は、モノパイル構造あるいはジャケット構造では建設が難しくなるより深い水深における支持構造として採用されております(図-3.3.15)。

まず、ヨーロッパと日本の沿岸海域の条件を比較してみることといたします。ヨーロッパでは、特に北海海域では

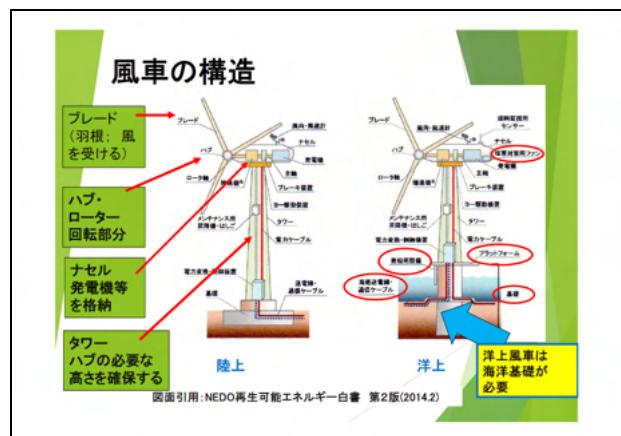


図-3.3.12

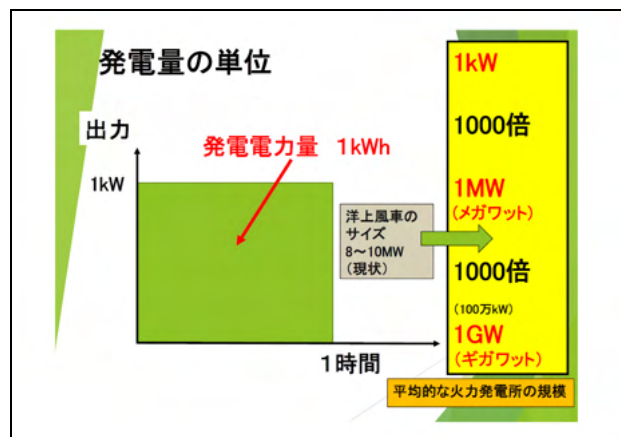


図-3.3.13

遠浅の海域が広がっております。したがって水深が約 40～50m より浅い海域では、これまでもモノパイル方式やジャケット構造による着床式の洋上風車が数多く建設されております。一方、日本では海岸付近の水深は急深であるため着床式の洋上風車の建設は限られた場所に限定されております(図-3.3.16)。

この図は世界の海洋の水深分布を示しております。この図に示されるように北海海域は水深が浅く高緯度であるため強風域になっております。また、中国沿岸においても

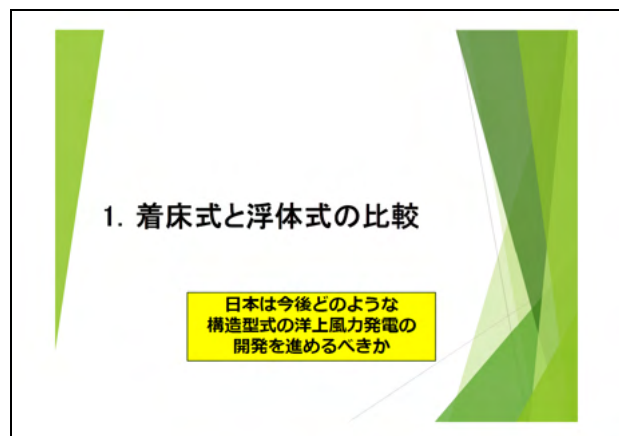


図-3.3.14

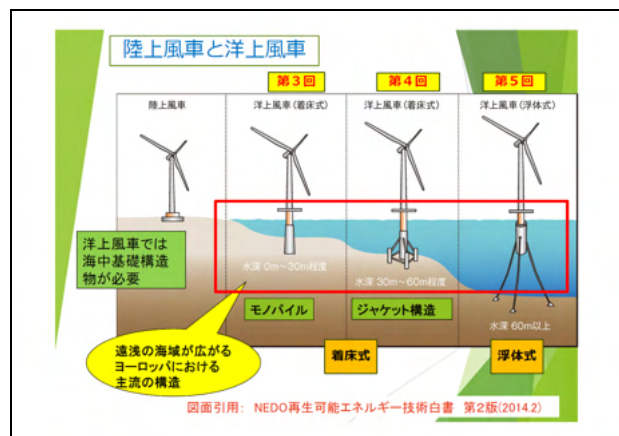


図-3.3.15



図-3.3.16

水深が浅い海域が広がっていることがわかります。したがって、これらの海域において着床式の風力発電施設が数多く建設されております(図-3.3.17)。

この図は日本近海的水深図を示しております。日本周辺では、水深の浅い海域は沿岸の限定された海域のみとなっております。こうした海域ではモノパイル構造やジャケット構造による着床式の洋上ウインドファームが建設されております。EEZ を含む沖合海域では水深が深くなってしまったため、洋上風力発電を建設しようとする、スパー型、セミサブ型、TLP 型などの浮体式構造にならざるを得ません。その点が着床式の洋上風力発電の建設が進む中国とは異なる条件であることがわかります(図-3.3.18)。

この図は北海道周辺の水深図と年平均風速を示しています。2023 年 5 月 12 日時点では、北海道沖合では、右下の図に示すように 5 カ所が再エネ海域利用法における「有望な区域」に指定されております。今後は水深が比較的浅く、強風域が広がる留萌管内や宗谷管内などにおける洋上風力発電の開発が期待されております(図-3.3.19)。

洋上風車の構造型式は、図の中央に示すモノパイルあるいはジャケット構造による着床式と図の右側に示す浮体式に大別されます。着床式はモノパイル、ジャケット構造

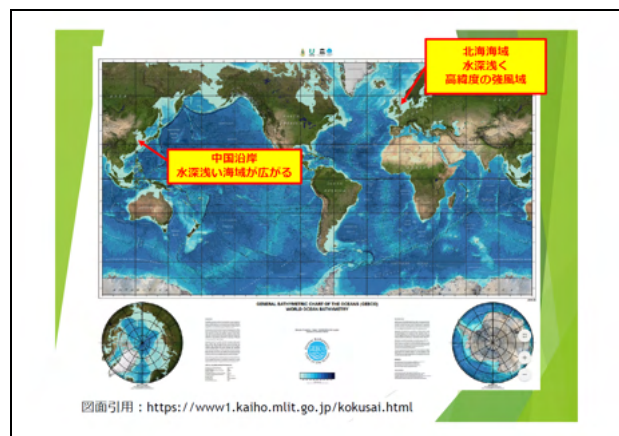


図-3.3.17

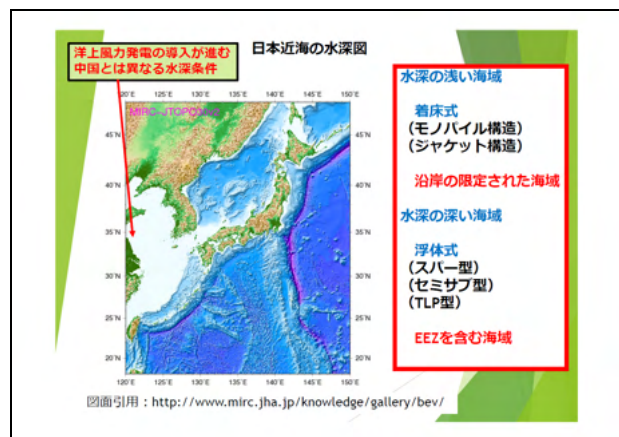


図-3.3.18

のいずれについても構造型式がほぼ確立していると言えます。一方、浮体式はこれから説明するように様々な形式が存在し、設計、建設等において、今後の技術開発の余地が残されております(図-3.3.20)。

この図は着床式のうち、水深が比較的浅い海域に建設されるモノパイル構造を示しています。この構造では、海中に打設された一本の杭構造の上に洋上風車を建設します(図-3.3.21)。モノパイルの打設や洋上風車の設置には自己昇降式台船(SEP)が使用されます。

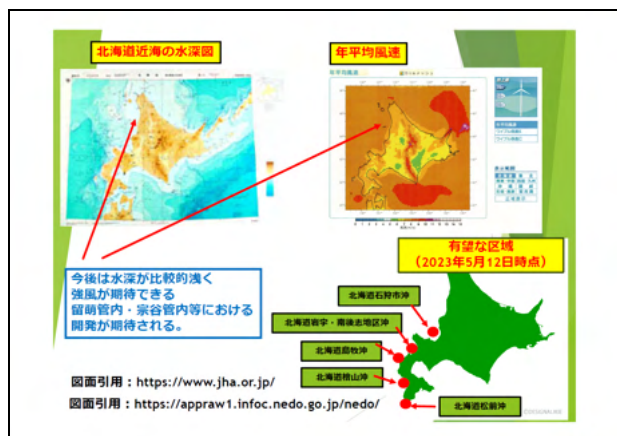


図-3.3.19

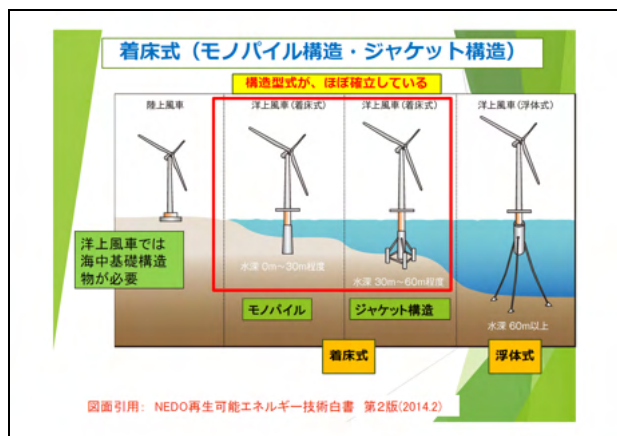


図-3.3.20



図-3.3.21

次に水深がやや深くなるとモノパイルではなくてジャケット構造の上に洋上風車を搭載する構造が採用されます(図-3.3.22)。ジャケット構造の建設コストは先程示したモノパイル構造に比べて一般的に高くなるため、設置水深の条件に加えて洋上風車の設置海域が高風速であることが求められます。

そして、水深がさらに深くなると着床式では建設が困難になる、あるいは着床式の建設費が高くなるため、期待される発電量と比較して、着床式では経済的に成立しなくなります。その様な海域で洋上風力発電施設を建設しようとすると、浮体式構造となります。浮体式構造は、水深条件等により構造型式が多様であるという特徴を有します(図-3.3.23)。

この図は、浮体式洋上風力発電の構造型式について代表的なものを示しております。図の左側からスパー型、セミサブ型、パージ型、TLP型について示しております。このように浮体構造の洋上風力発電施設の構造型式は多様であるということがわかります(図-3.3.24)。

この図は、スパー型について、浮体式洋上風力発電施設の設置水深による影響を示しています。水深が比較的浅い海域では、係留チェーン長は短くてすむため建設コストは

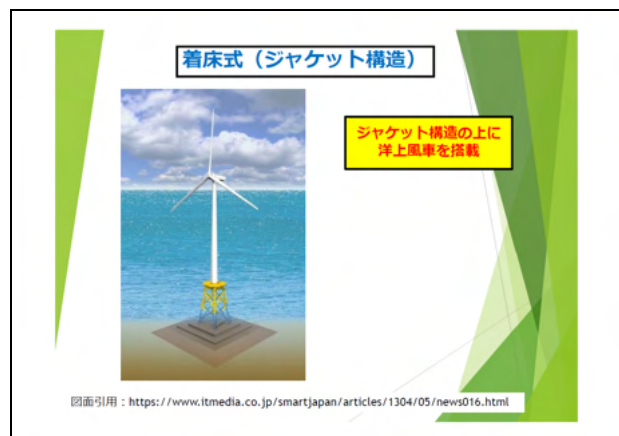


図-3.3.22

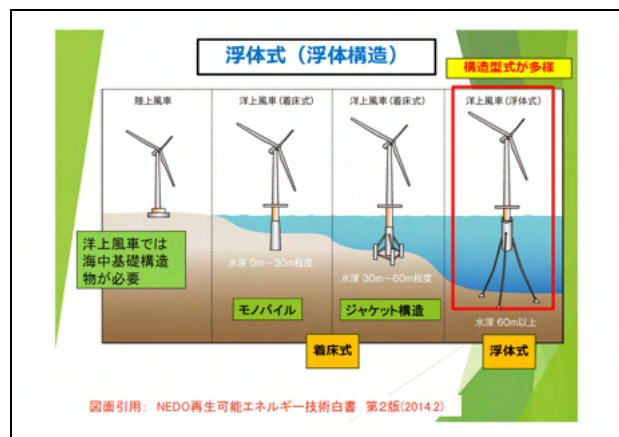
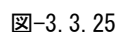
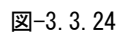
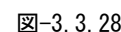
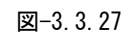


図-3.3.23

次に、洋上風力発電の計画における環境調査の位置付けについて説明したいと思います(図-3.3.27)。本来であれば、第3回から第5回の構造別の洋上風力発電施設の説明より前の段階で述べていなければならなかった内容です。



この図は、環境影響評価法および電気事業法に係る環境

图-3.3.26

アセスメント調査の概要を示しています。環境アセスメントは環境影響評価法に基づき、事業者自らが事業実施前に環境への影響を評価し、その結果を公表し、国、地方公共団体、国民からの意見を聞き、それらを事業に反映させていくことが求められております(図-3.3.29)。

これは、洋上風力発電に関するセントラル方式についての説明資料です。セントラル方式とは、洋上風力発電事業の案件形成に向けた風況・海底地盤等のサイト調査、系統接続の確保や環境影響評価、洋上風力発電事業の実施区域の指定や公募、地域調整や漁業実態調査に関して、政府や地方公共団体の主導的な関与により、効率的な案件形成を実現する仕組みです(図-3.3.30)。

これは、環境影響評価の流れを示しています。環境影響評価は、配慮書、方法書、準備書、評価書、報告書の順に資料が作成されます。実際には、当該海域において実施事業者が決定された後に行うのが適当ですが、現実には促進区域としての指定がなされる前に、その海域で開発を行おうとしている洋上ウインドファームの開発事業者によって先行的に開始されることが少なくありません(図-3.3.31)。

再エネ海域利用法では、促進区域に指定される前に地元

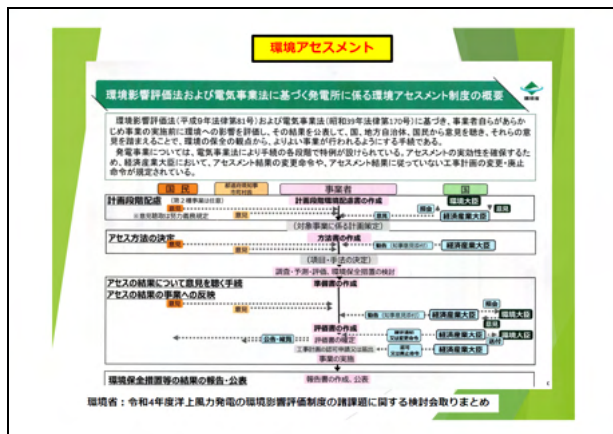


図-3.3.29

との合意形成が必要となります。また、促進区域選定過程における地元意見の聴取が必要となります(図-3.3.32)。

このことから、地元調整のための要素として、その海域での環境調査ならびに環境影響評価が求められることが少なくないのが現状です。

したがって、現実には再エネ海域利用法による区域の整理、促進区域となつてからの事業者選定のプロセスと環境アセスメントのプロセスが並行して進められているのが現状です。したがって、事業の実施が見込まれる区域の選定、具体的な事業計画に係る内容、などの面から環境影響評価が切り離せられなくなっております(図-3.3.33)。

また、再エネ海域利用法において、洋上ウインドファームの区域を指定する段階での環境配慮を確保するためには、どのタイミングで環境影響評価を行うのが良いのか、どのような環境配慮の仕組みを考えるのが妥当かについて整理しておく必要があります(図-3.3.34)。

したがって、洋上風力発電の促進区域の指定、事業者の選定の流れの中で、海域の先行利用者である漁業者や地元住民などの多様な関係者とのコミュニケーションの中で、環境影響評価の適切な位置付けを明確にしておく必要があります(図-3.3.35)。



図-3.3.31

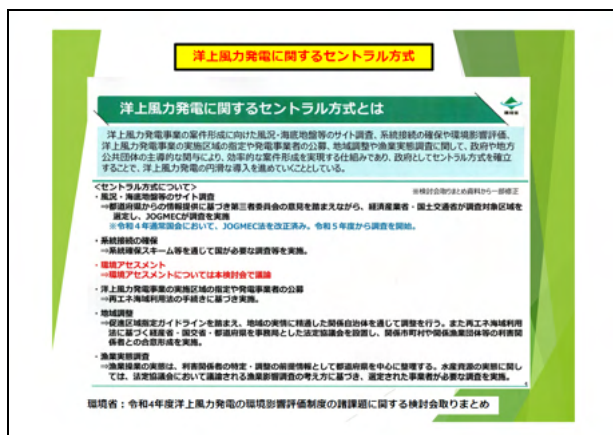


図-3.3.30



図-3.3.32

すなわち、再エネ海域利用法により促進区域として指定される前に、国が先行して行う環境影響評価、それと事業者が公募されかつ事業予定者が選定されてから行う事業者による環境影響評価を、適切にライン付けすることが重要となります(図-3.3.36)。

国が先行して調査を行うセントラル方式では、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が海域情報を先行して調査を行い、これらを当該海域で立地を検討している事業者に情報提供する仕組みが構築されておま

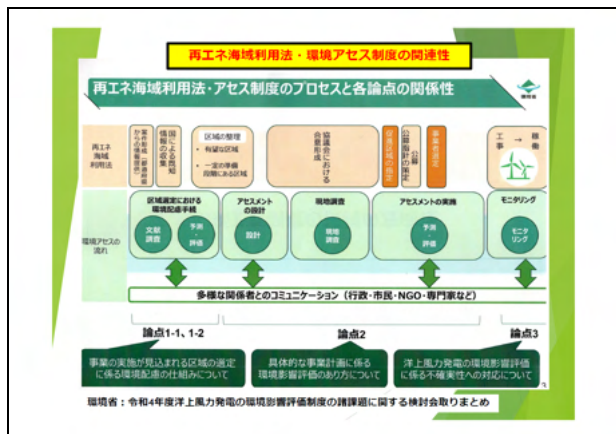


図-3.3.33

す(図-3.3.37)。この図は、JOGMEC がセントラル方式で行う風況調査、海底地盤調査等の海域調査のイメージを示したものです(図-3.3.38)。

洋上風力発電施設の計画やオペレーションに関連して、日本の電力系統の課題について説明を加えたいと思います(図-3.3.39)。

この図は、日本の電力ネットワークについて OCCTO（電力広域的運営推進機関）のホーム・ページより引用しています。日本の電力ネットワークは、基幹系統（特別高压）、

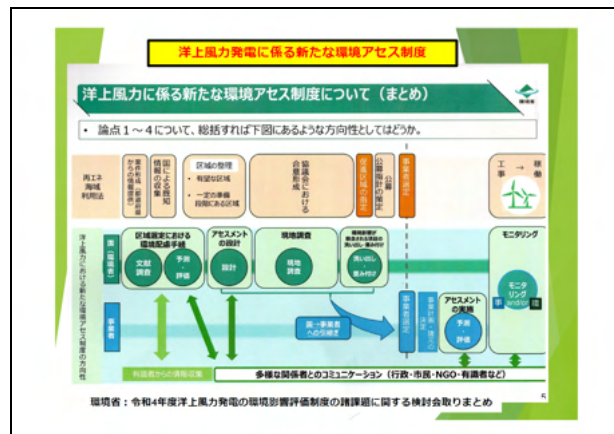


図-3.3.36

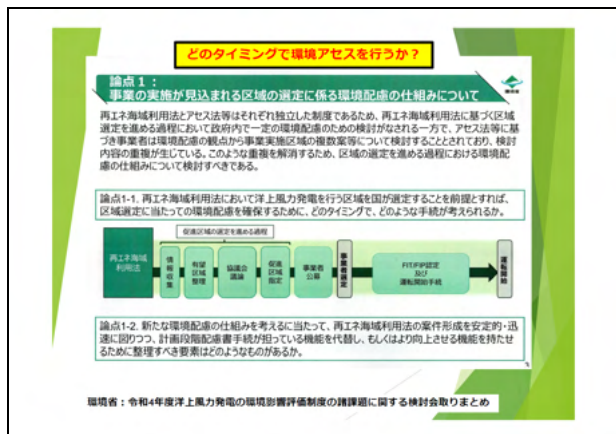


図-3.3.34



図-3.3.37



図-3.3.35



図-3.3.38

ローカル系統（特別高圧）、配電系統（高圧、低圧）から構成されています。電力会社間をつなぐのは、上段の基幹系統（特別高圧）になります(図-3.3.40)。

この図も OCCTO のホーム・ページより引用させていただいています。日本の電力ネットワークは北海道から九州に至るまで日本列島に沿って串団子状に配列されています。北海道と本州の間の送電線網は北本線という北海道本州間の送電線網によって繋がっています(図-3.3.41)。この北本線の送電容量では、今後、北海道で開発が期待される

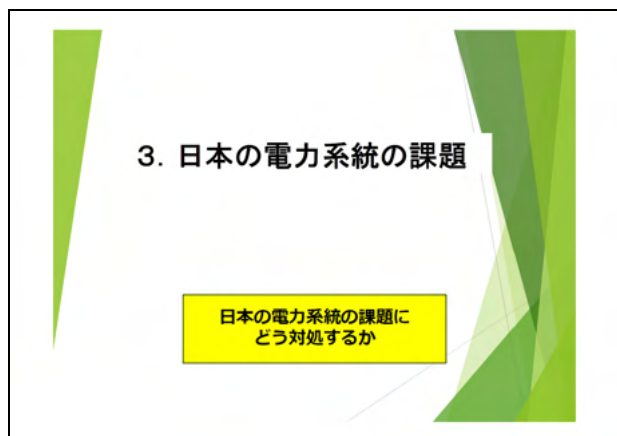


図-3.3.39

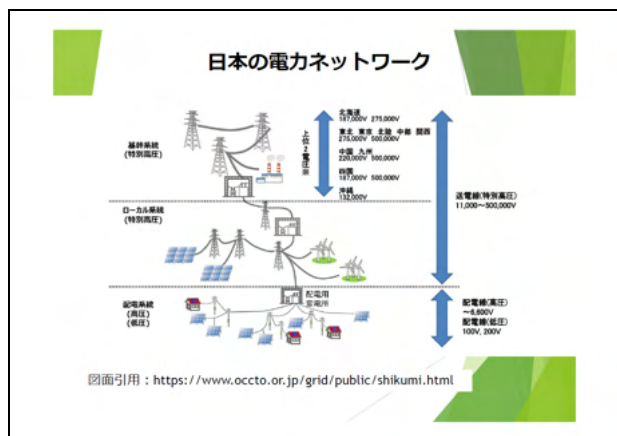


図-3.3.40

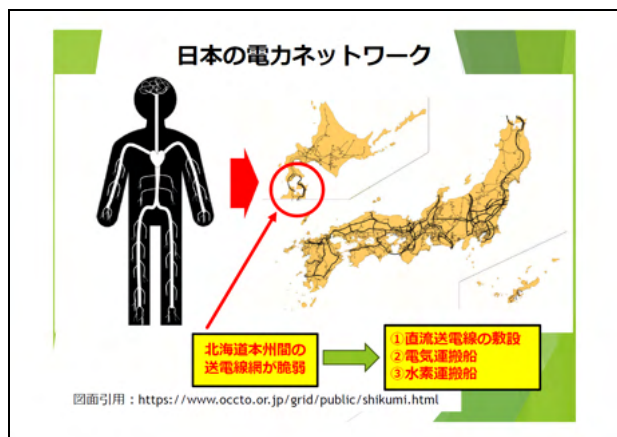


図-3.3.41

洋上風力発電の開発をサポートするには脆弱なものとなっています。したがって、直接電気で送るためには、新たな送電線の確保が必要であり、海底直流送電線の計画が検討されております。一方、こうした送電線によらない方法としては、蓄電池を利用した電気運搬船構想や、洋上風力発電による電力から水素を製造し、水素運搬船で輸送する方法などが考えられます。

この図は、洋上風力発電によるエネルギーの運搬の方法を示しております。図の上段は、蓄電池による輸送です。洋上風力発電による発電電力を蓄電船のバッテリーに充電し、船で海上輸送し、消費地で陸上送電線に接続するという考え方です。図の中央は、現状の送電線網では、容量不足で送電できない部分について、新たに海底直流送電線を敷設することにより消費地に送る考え方です。図の下段は、洋上風力発電による電力を用いて水素を製造し、それを水素運搬船で輸送し、水素として供給するものです(図-3.3.42)。この方法では、電力のように需要と供給のバランスを考える必要がないので、エネルギーとしての長期の需給調整が可能となります。

まず、送電線による電力輸送についてご説明します。

この図は、電力需給・系統の課題について示しております。

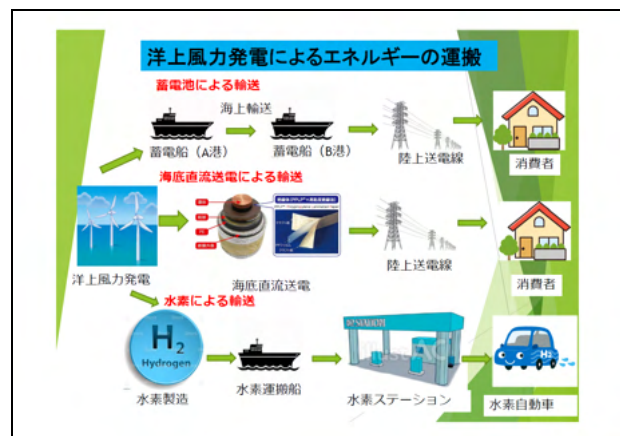


図-3.3.42



図-3.3.43

す。日本の場合、電力系統はくし型になっております。電力会社間の電力系統は隣りあわせの電力会社との間のみで繋がっている形です。すなわち北海道電力管内から直接、大消費地の電力会社である東京電力管内には送電できない形になっています。すなわち北海道の発電電力は、必ず東北電力管内の電力系統を経由しなければなりません。これに対してヨーロッパの電力系統は左側の下図のように網の目型になっており、電力の相互の融通性が高い電力供給システムとなっております(図-3.3.43)。

この図は少し古い資料となりますが、風力発電のさらなる連携拡大に向けた対応策について示しております。この時点における連携拡大については、蓄電池を活用することが主となっており、電力会社間の電力の相互の融通による連携拡大は、あまり重要視されておりました(図-3.3.44)。

北海道と本州の間の電力系統である北本線については、この図に示すように、その容量を90万kWから120万kWとする増強工事が進められております。しかしながら、この程度の増強では、今後の北海道における洋上風力発電の大幅な導入拡大が望めません。したがって新たなシステムの導入が必要になっております。一つは、電力系統の増強で、



図-3.3.44

新たに海底直流送電線を敷設する構想です。その他、送電線によらないシステムとしては、これまでも説明した様に電気運搬船や水素運搬船を活用する方法が考えられます(図-3.3.45)。

この図は、経済産業省の長距離海底直流送電の整備に向けた検討会において示されたものです。化石燃料を用いた従来型の発電から、再エネを活用した発電へ大きく転換するためには、北海道あるいは東北などの再エネのポテンシャルの高い地域と東京などの大消費地を結ぶ送電網の構築が必要になります。そのためには長距離海底直流送電線の敷設等による電力の広域連携システムの形成が必要になります(図-3.3.46)。

次に蓄電池による電力輸送について示します。この図は、電気運搬船の構想図です(図-3.3.47)。この構想では、船長140mの電気運搬船に搭載電池の容量として96個のコンテナ型電池を搭載して241MWhの電力量を輸送する計画です。

次に、水素によるエネルギー輸送について示します。この図は、水素運搬船の構想図です。全長約346m、幅約57m、喫水9.5mの船には40,000m³のタンク4基を搭載し、合計で160,000m³のタンク容量を持つ、水素運搬船の構想

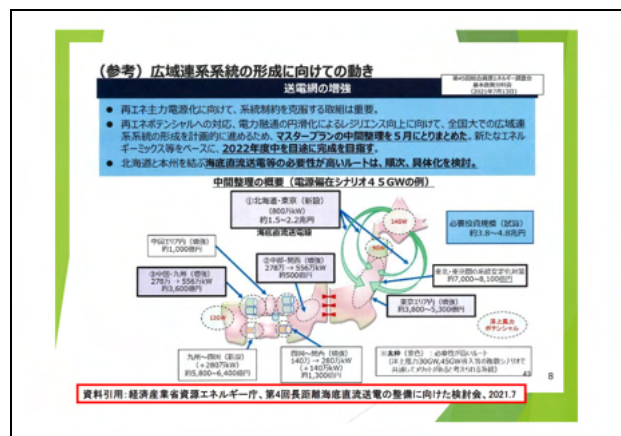


図-3.3.46



図-3.3.45



図-3.3.47

図です(図-3.3.48)。

前置きが少し長くなってしまいましたが、本日の説明の主要なテーマである洋上ウインドファームのオペレーションについて説明したいと思います(図-3.3.49)。

まず、個々の洋上ウインドファームのオペレーションについて説明したいと思います。個々の事業者においては、この図に示されているように洋上ウインドファームの近傍の陸上に設置された監視所に置かれた遠隔監視センターにおいて、洋上風力発電の運転状況を監視するのが一般的だと思います。陸上には陸上変電所が設置され、ここから陸上の送電設備へ接続されます(図-3.3.50)。

陸上の監視施設あるいは O&M 拠点は基地港湾に置かれるのが一般的です。データが少し古くなりますが、2019 年 9 月に調査した欧州の基地港湾の状況について紹介したいと思います(図-3.3.51)。欧州においては、基地港湾のネットワークとして、Offshore Wind Port Platform という組織があります。2019 年 9 月時点では 14 港がこのネットワークに加わっておりました。2023 年 8 月の時点では、このネットワークへの加入は 28 港まで拡大しております(図-3.3.52、図-3.3.53)。

まず、デンマークのエスビアウ港 (Esbjerg Port) 事例



図-3.3.48

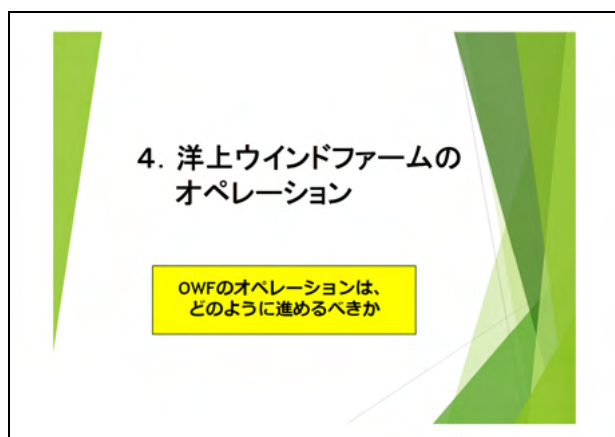


図-3.3.49

から紹介したいと思います。エスビアウ港は、デンマークのユトランド半島の西海岸の北海に面する港湾です(図-3.3.54)。この写真は、上段が基地港湾のエスビアウ港の全景を示しております。また左下は港湾管理者の事務所です(図-3.3.55)。基地港湾としての機能は、風車のプレアセンブルと積出、港湾における風車等の部品の荷役と出荷、O&M サービス、洋上風力関連の産業基盤の提供などです。エスビアウ港では、風車のプレアセンブル基地と O&M 基地は、図に示すように港の中で別の場所に位置しています

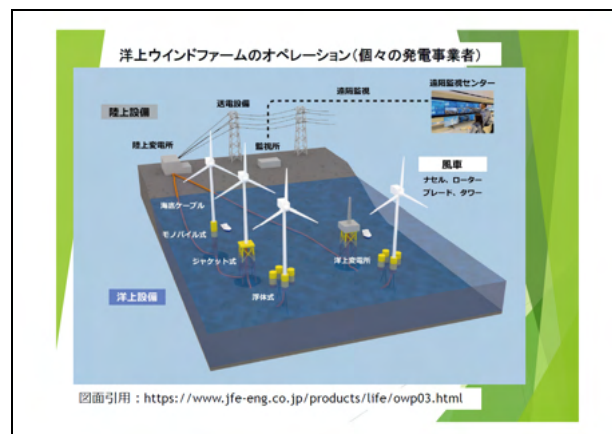


図-3.3.50



図-3.3.51

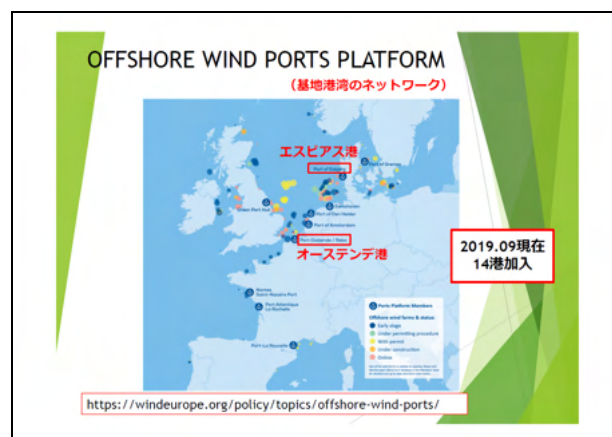


図-3.3.52

(図-3.3.56). この図はエスビアウ市における産業従事者数の推移を示しております. 1960 年以降, 北海海域における漁獲高の減少により水産業は衰退の一途をたどっております. また, 2010 年以降は, 北海におけるオイル・ガスの生産が減退しております(図-3.3.57). これに代わる産業として風力産業の成長が期待されています. この図はエスビアウ港と北海洋上ウインドファームまでのサイト距離を示しています. エスビアウ港は基地港湾としてカバーする海域として約 150km までを主たる距離と考えて

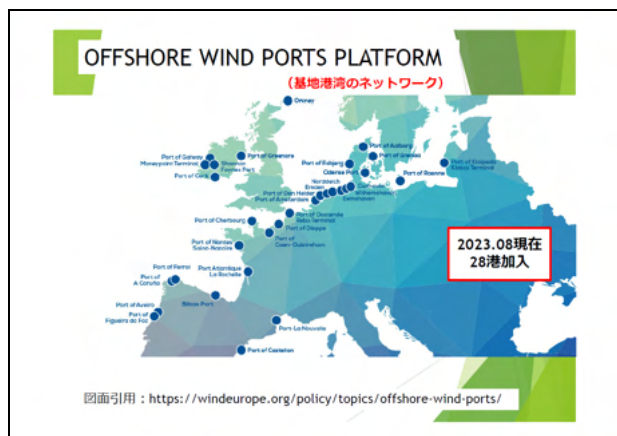


図-3.3.53

おります(図-3.3.58). これにはデンマーク, ドイツの EEZ が含まれております. この図はデンマークの EEZ 内における洋上ウインドファームの将来計画を示しております. 2018 年 12 月末の洋上風力発電の導入量は 1.33GW ですが, これに対して 2030 年の導入目標量は, ほぼ 10 倍の 12.4GW となっています(図-3.3.59). エスビアウ港では, 基地港湾としての機能を拡大するため, 現在使用されているプレアッセンブル基地に加えて, 将来の拡張計画を持っております. この図には, O&M 基地としての主要な施設を示して



図-3.3.56



図-3.3.54



図-3.3.57



図-3.3.55



図-3.3.58

おります(図-3.3.60)。このように O&M 基地としての機能のために様々な施設が必要となってきます(図-3.3.61)。

次にベルギーのオーステンデ港 (Oostende Port) について紹介します。オーステンデ港は、北海に面して位置しております(図-3.3.62)。オーステンデ港は、港湾としては、規模はあまり大きくありませんが、北海に面している地の利を生かして基地港湾として機能しております(図-3.3.63)。この図はオーステンデ港の平面図です。オーステンデ港は港湾としては規模が大きくありませんが、洋上

ウインドファームからの距離の近さをメリットとして、港湾の中に組立・積出基地であるとか、O&M 基地が存在しております(図-3.3.64)。この図は、オーステンデ港の洋上風力発電基地である REBO ターミナルを示しております。図の赤枠で囲った部分が洋上風力発電設備の組立・積出基地となっております(図-3.3.65)。REBO ターミナルでは、先程も示したように組立・積出基地と O&M 基地は図のように別の場所に配置されております(図-3.3.66)。この図も REBO ターミナルについて示しております(図-3.3.67)。風

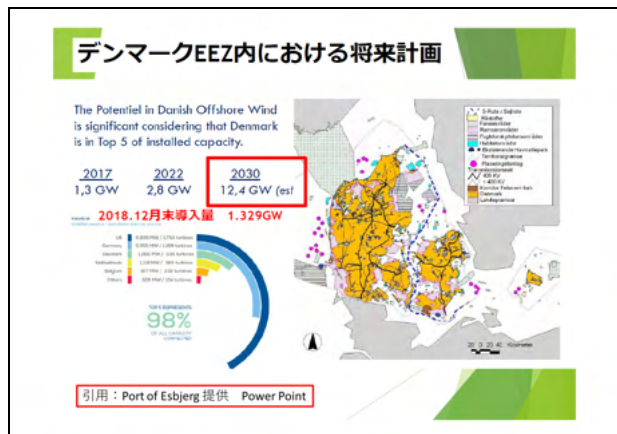


図-3.3.59



図-3.3.62



図-3.3.60



図-3.3.63



図-3.3.61

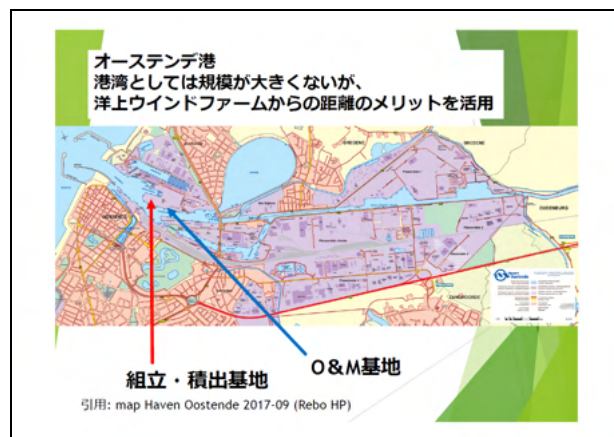


図-3.3.64

車タワーの組立と風車の設置は、岸壁強度を補強した前面の岸壁で行われております。この図は2019年時点のREBOターミナルへの出資者を示しております。地方政府資金が最多の40%を占めておりますが、港湾管理者、メンテナンス・設置作業会社、開発事業者、総合建設会社などが出資者となっております(図-3.3.68)。REBOターミナルのあるオーステンデ港のカバーする海域は、主としてベルギーのEEZ内を想定していますが、距離的にはオランダのEEZも想定に入っております(図-3.3.69)。ベルギーにおける

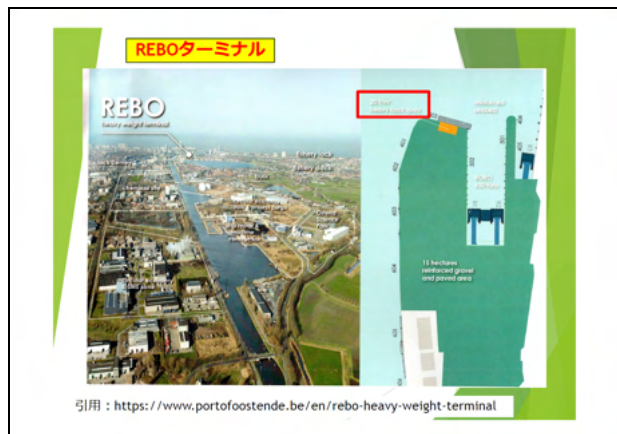


図-3.3.65

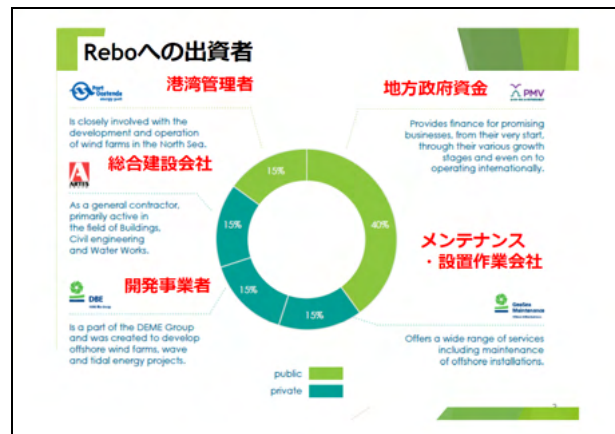


図-3.3.68



図-3.3.66

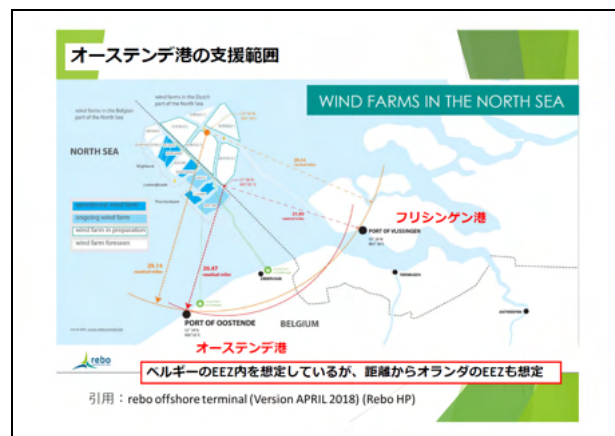


図-3.3.69



図-3.3.67



図-3.3.70

示したものです。赤枠で示している様に岸壁の地耐力は $20\text{t}/\text{m}^2$ に増強されております。写真は、この REBO ターミナルの洋上風車の建造状況を示しているものです(図-3.3.72)。

次にドイツのムクラン港 (Mukuran Port) の事例について紹介します。ムクラン港はドイツ東部に位置します。東西ドイツ統一前の旧東ドイツに位置しており、アルコナ洋上ウインドファームの建設は、ここを基地港湾として実施されました(図-3.3.73)。この図は、ムクラン港の洋上風



図-3.3.71



図-3.3.72



図-3.3.73

車の組立・積出基地を示しております。風車の組立・積出基地としては、一般貨物ターミナル (General Cargo Terminal) と洋上ターミナル (Offshore Terminal) が使用されました。洋上ターミナルは面積 $220,000\text{ m}^2$ を有し、その地耐力は $20\text{t}/\text{m}^2$ です。この洋上ターミナルには O&M 基地があります(図-3.3.74)。

次に、洋上風車の維持管理について述べていきたいと思っております(図-3.3.75)。

この図は、2020 年と 2030 年の英国における洋上風力発電施設の市場規模を示しています。この中で最も費用が大きいものが発電機で、2020 年に比べ 2030 年は約 1.7 倍になると予想されております。オペレーションとメンテナンスの費用の増加が顕著で約 2 倍となっています(図-3.3.76)。

この図は、2020 年から 2050 年までの英国における洋上風力発電の市場規模の推移について述べています。2020 年から 2030 年までは、洋上風力発電の市場規模は増加の傾向が顕著です。2030 年以降は、洋上風力発電の市場規模の増加はゆるやかであると想定されております。また、2030 年以降はオペレーションとメンテナンスの費用 (O&M 費) が増加することが想定されております(図-3.3.77)。



図-3.3.74

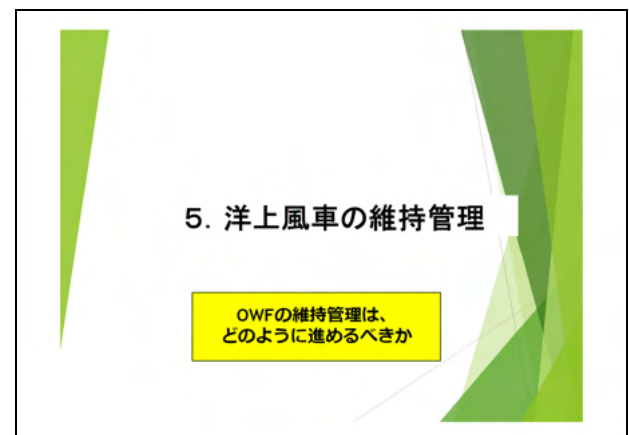


図-3.3.75

この図は、2020年と2030年の英国を除く世界の洋上風力発電の市場規模を比較しております。英国以外の市場では、発電機、基礎ほかの市場拡大が想定されています。また、オペレーションとメンテナンスの費用（O&M費）も増加することが想定されています（図-3.3.78）。

この図は、2020年から2050年までの英国を除く世界の洋上風力発電の市場規模の推移を示しております。2030年以降、オペレーションとメンテナンスの費用（O&M費）が増加していることがわかります（図-3.3.79）。

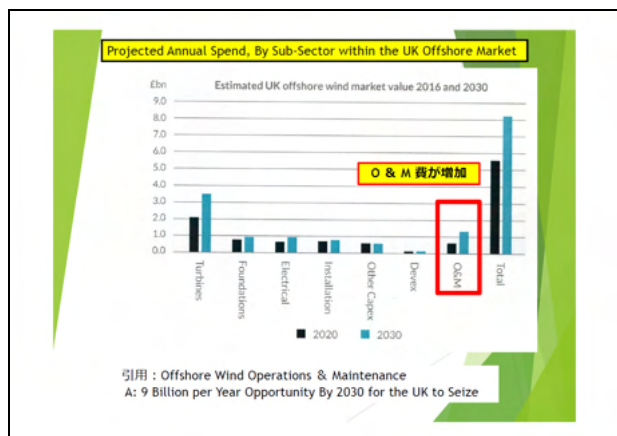


図-3.3.76

洋上風力発電設備の維持管理については、統一的解説が令和2年(2020年)3月に公表されております（図-3.3.80）。

これは、洋上風力発電設備の維持管理に関連する法規を一覧で示しております。関連する法律としては、電気事業法、港湾法、海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律、略称再エネ海域利用法と言われているものがあります（図-3.3.81）。

この図は、洋上風車の計画、建設、運用、廃棄までの一連の流れを示しております。洋上風力発電の維持管理は、

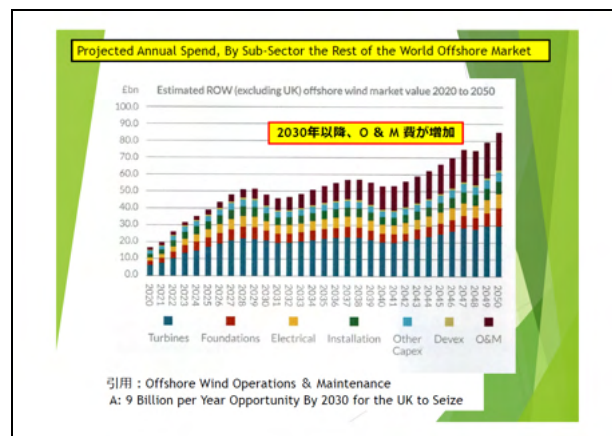


図-3.3.79

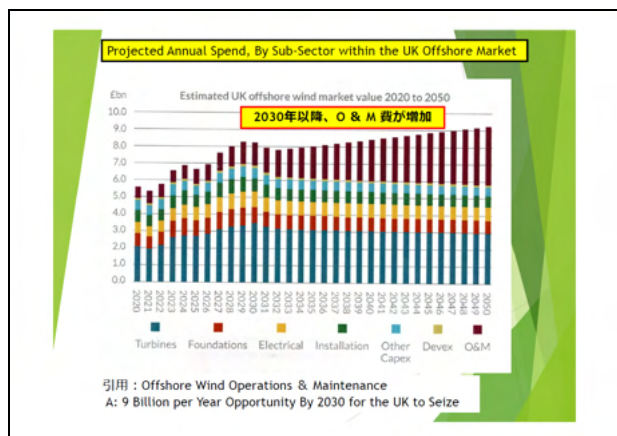


図-3.3.77



図-3.3.80



図-3.3.78

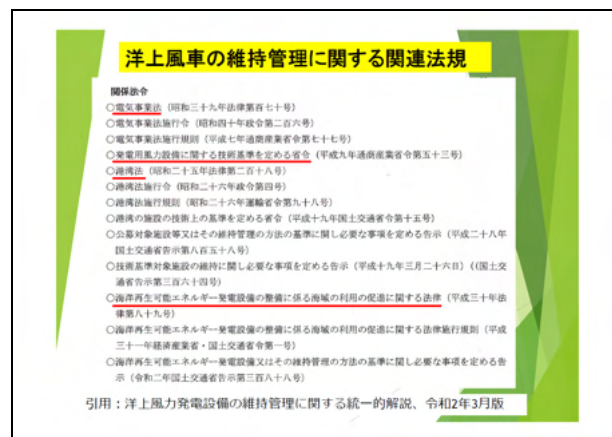


図-3.3.81

この一連の流れの中の図に赤枠で囲んだ部分となります(図-3.3.82)。

この図は、洋上風力発電設備の電気事業法及び港湾法における点検の位置付けを示しております。定期的な点検診断は、一般的な点検診断に加えて、電気事業法による法定点検、港湾法による一般定期点検診断が必要となります(図-3.3.83)。

この図は、電気事業法による定期安全管理制度の構成を示しております。風車の事業者が公共の安全確保に関する部位の定期点検を行い、社内で点検結果の合否判定を行います。それを国または登録安全管理審査機関にあげて定期安全管理審査を受けます。その結果は国に報告され評価を受けるという仕組みになっています(図-3.3.84)。

この表は、定期事業者検査の点検周知と点検項目について示しています。点検周期は、半年、1年、2年または3年となっており、その点検部位は、この表に示されているとおりです(図-3.3.85)。

この図は、維持管理計画の策定範囲とそのフローを示しています。点検は、日常点検、定期点検診断、臨時点検診断に分かれています。臨時点検診断は、地震や台風の後点検や日常点検時に変状が発見された時に行うもので

あります(図-3.3.86)。

日常のメンテナンスや定期点検には、洋上風車の場合には作業員輸送船(CTV)が使用されます。CTV 安全設計ガイドラインが今年3月に国土交通省海事局から公表されております。日本では、現状では沖合5~10kmの近距離の洋上ウインドファームしか存在しないため、このガイドラインはそれらを対象として策定されております(図-3.3.87)。

この図は、洋上風車の基礎について維持管理の部位を示



図-3.3.84

表-2.3.1.2 定期事業者検査の点検周期（出典：風力発電設備の定期点検指針）

周期	区分	部位
半年	安全停止系（過回転防止）	・ピッチ制御装置（ピッチ駆動系ブレーキ、ピッチ駆動装置、過回転系非常用装置、ピッチ軸受、非常用電源） ・翼端ブレーキ装置（ブレードディップ）
	安全停止系（過回転防止）	・ブレーキ装置 ・非常用電源装置（非常時ヨー機能維持） ・ブレード（表面、レセプター、ダウンロンダクター、目視、翼端部） ・ハブ（ボルト・ナット、ハブハウジング、スピナカー、遮音構造、ハブタセメント） ・ナセル内（ボルト・ナット、動力伝達装置、ナセル架橋、ナセルカバー） ・ナセル外部附属品（避雷レセプター、風向風速計等） ・タワー（ボルト・ナット、継手、昇・降アコーディング） ・ナセル内電気設備（主変圧器、発電機等）
1年	構造強度部材（腐蝕、落下、飛散防止）	・ナセル外部附属品（避雷レセプター、風向風速計等） ・タワー（ボルト・ナット、継手、昇・降アコーディング） ・ナセル内電気設備（主変圧器、発電機等）
	電気系統（火災等防止）	・安全停止系（過回転防止） ・構造強度部材（腐蝕、落下、飛散防止） ・ブレード（ダウンロンダクター（過速試験等）、ブレード内部（落下、飛散防止）
2年又は3年*	安全停止系（過回転防止）	・翼端ブレーキ装置（ブレードディップ・本体接合部、カーボンシヤフト） ・構造強度部材（腐蝕、落下、飛散防止） ・ブレード（ダウンロンダクター（過速試験等）、ブレード内部（落下、飛散防止）

※要対策重点地域は点検周期を2年とすることが望ましい。

表引用：洋上風力発電設備の維持管理に関する統一解説、令和2年3月版

図-3.3.85

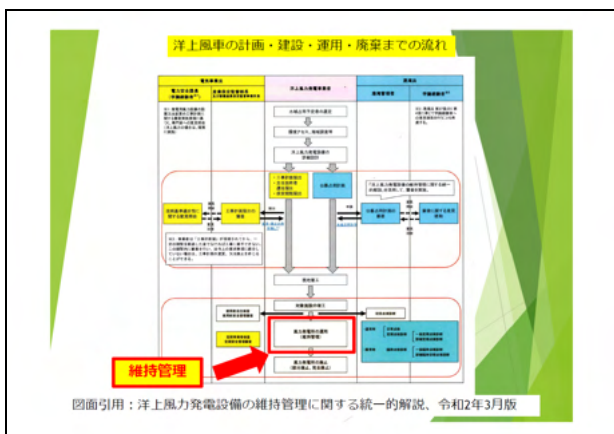


図-3.3.82

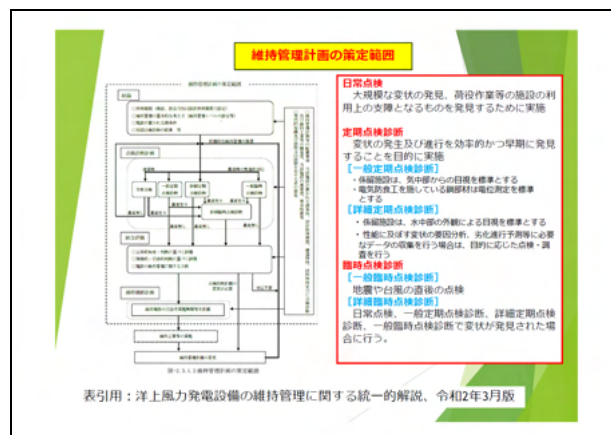


図-3.3.86

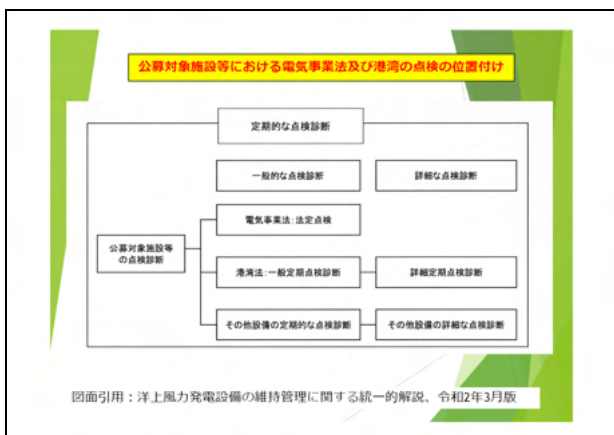


図-3.3.83

しております。維持管理は洋上風車の基礎構造物の気中部、水中部、海底ケーブル、海底地盤、洗掘防止工について行います。また、洋上変電所に対しても点検が必要になります(図-3.3.88)。

洋上風力発電所の維持管理は洋上風車だけではなく、その陸上設備についても必要となります。点検箇所は陸上変電所、送電線、監視制御設備等です(図-3.3.89)。

洋上風車の維持管理には作業員を洋上風力発電設備に輸送するCTVが必要となります。ここではそのCTVについて

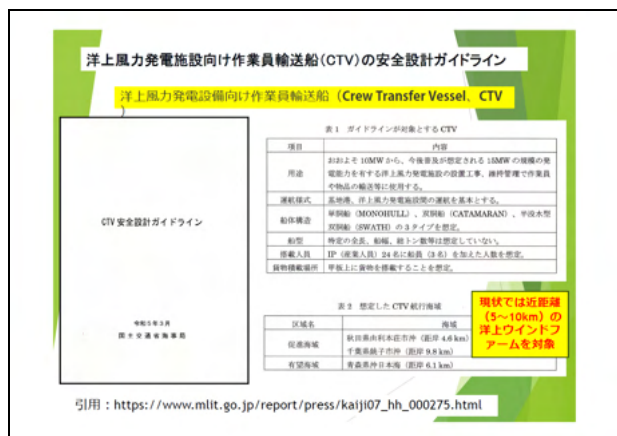


図-3.3.87

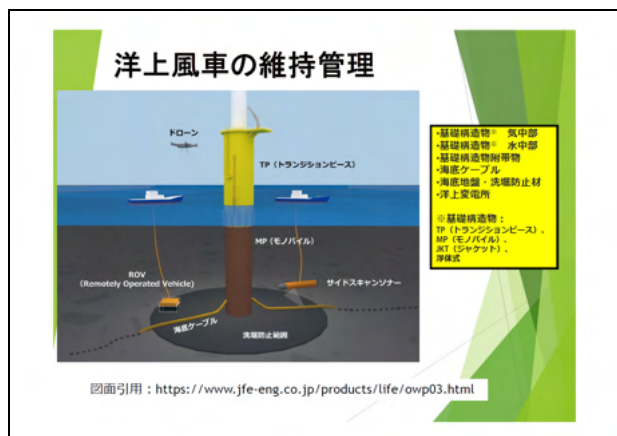


図-3.3.88



図-3.3.89

で示していきます(図-3.3.90)。

まず、最初にCTVについて、日本における事例を紹介していきます。これは、石狩湾新港の洋上風力発電設備のO&Mに使用されるCTVであるRERAAS(レラアシ)を示しております。このCTVは全長27.1m、幅9.0mで乗客定員は12名です(図-3.3.91)。

次に、欧州で稼働しているCTVの事例について紹介していきます。これはオランダで稼働しているCTVです。長さが25.75m、幅10.4m、喫水1.98mの双胴船です。乗員は12名、航行速度は22ノットです(図-3.3.92)。次に紹介するのは、ベルギーで稼働しているCTVです。長さ17.6m、幅5.2m、喫水1.5mの双胴船です。乗員は12名、航行速度は25ノットとなっています(図-3.3.93)。次に紹介するのはオランダで稼働しているCTVです。長さ19.5m、幅5.0m、喫水0.9mで、乗員数は12名です。この船の航行距離は300海里です。航行速度は22ノット、最大速度は30ノットです。航行距離が300海里と大きくなっているのは、欧州では洋上風力発電設備が洋上沖合のEEZ海域に展開されていることによると思われます(図-3.3.94)。

次に、洋上風車の維持管理について具体的事例をご紹介します。

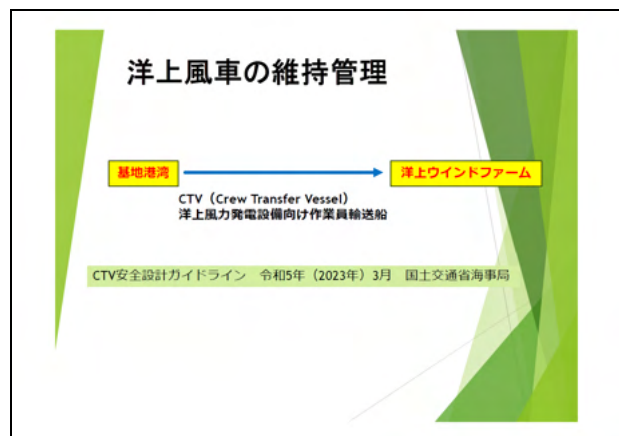


図-3.3.90



図-3.3.91

まず、最初に先程も紹介したムクラン港の事例を紹介し
ます。ムクラン港は先程も紹介したように、旧東ドイツ地
域に位置し、アルコナ洋上ウインドファームの基地港湾と
なっております(図-3.3.95)。この図は、ムクラン港を訪
問した2019年の前年にあたる2018年のヨーロッパの発電
事業者ごとの洋上風車の設置容量、同じく2018年12月末
の累積の設備容量を示しております。アルコナ洋上ウイン
ドファームの設置事業者であるE-on社は、2018年設置分
のヨーロッパにおけるシェアでは約11%、累積設備容量



図-3.3.92



図-3.3.93



図-3.3.94

では約8%を占めています。事業者別ではトップのエルス
テッドに次いで、欧州では第2のシェアを占めています
(図-3.3.96)。

この図は、2006年当時の資料から引用した図です。ド
イツでは、EEZにおける洋上風力発電は連邦海洋基本法な
らびに海洋設置法令に基づいて連邦海洋水理庁(BSH)か
ら認可を受けます。2006年時点では、北海では13箇所、
バルト海では2箇所が認可されておりました。アルコナウ
インドファームについては、事業者は2006年に海域の一
次認可を受けており、洋上風況などの調査に着手しており
ます(図-3.3.97)。

アルコナウインドファームは離岸距離35kmの水深23～
37mの海域において、専有面積39k m²を有するウインドフ
ァームです。建設までの経緯を表に示しております。2006
年にBSHより一次認可を受け、観測塔を設置し、洋上風況
などの観測を開始しております。また2015年には、3次
元音波探査により地盤調査を開始するとともに、このウイ
ンドファームにおける系統容量を確保しております。2016
年にこのウインドファームにも正式な投資の決定がなされ
、コーン貫入試験(CPT)による地盤調査が実施されまし
た。ウインドファームの建設は2017年と2018年の2カ



図-3.3.95

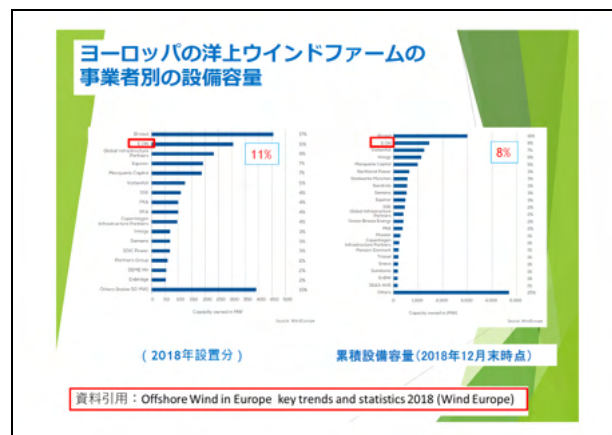


図-3.3.96

年で行われ、完成後の2019年にO&Mが開始されました(図-3.3.98)。私がこのウインドファームを訪問したのは、2019年の9月ですから、運用開始後、間もない時期に現地を訪問したことになります。

この図は、アルコナウインドファームの洋上風車の諸元を示しております。設置されている風車はローター径154mの6MW風車です。ウインドファームにおける風車の設置基数は60基です。風車部重量は412.3tで、内訳はナセルとハブが334t、ローターとブレードが78.3tです。風車のタワーは443t、トランジションピースが270tです。タワーとトランジションピースの総重量は713tとなります。設置されているモノパイルは800~1200tで、水深や地盤条件によって重量が異なっております(図-3.3.99)。

左上の写真はO&Mの事務所です。事務所内には左下のよう風速・波浪の予測結果を表示するモニターがあり、現地におけるメンテナンス作業の可否は風速・波浪予測の結果に基づいて判断されます。右下の写真はO&M用の資材置き場を示しています(図-3.3.100)。

この写真はアルコナウインドファームを見学したときに船上から撮影したものです。右下はトランジションピース

部を示しています。メンテナンスに際しては、CTVを接触させ、このはしごを登り、トランジションピースの踊り場に上がり、ハッチから風車タワー内に入り、必要なメンテナンス作業を行うことになります(図-3.3.101)。

次に洋上風力発電施設の撤去について説明いたします(図-3.3.102)。

この図は、洋上風車の計画、建設、運用、廃棄までの一連の流れを示しております。洋上風車の最後の段階が廃止・撤去ということになります(図-3.3.103)。

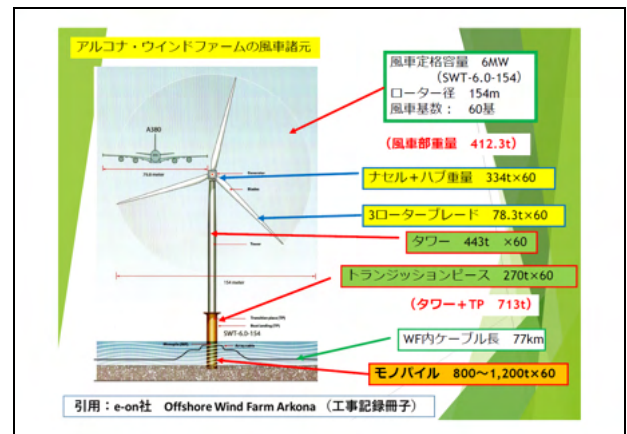


図-3.3.99

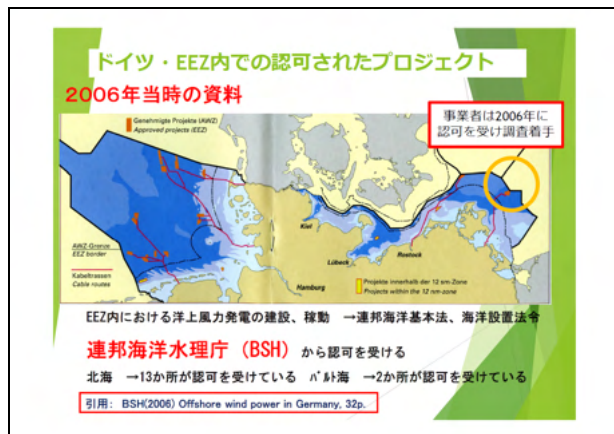


図-3.3.97



図-3.3.100

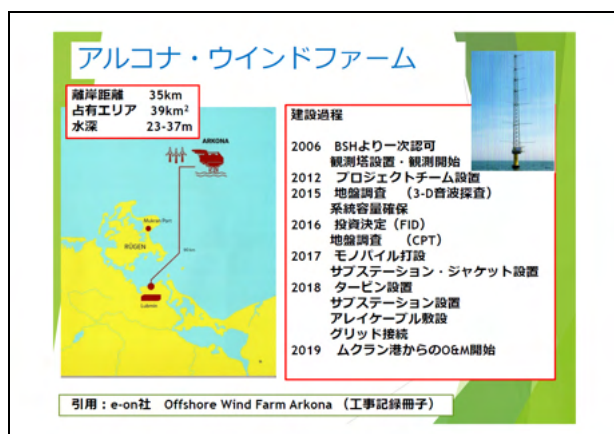


図-3.3.98

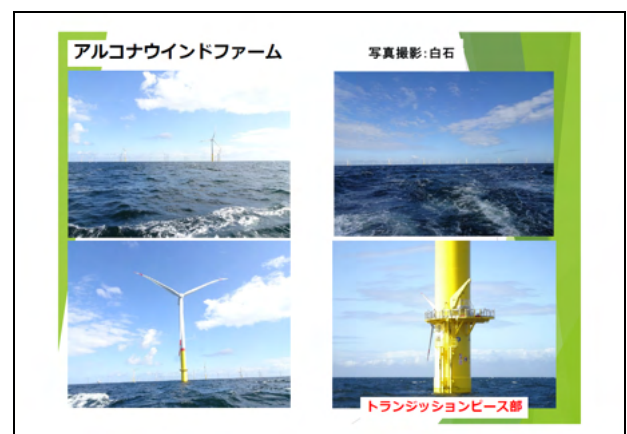


図-3.3.101

陸上風車は廃掃法により廃棄処分されます。廃掃法というのは昭和 45 年法律第 137 号廃棄物の処理及び清掃に関する法律を指します。陸上風車の基礎の撤去に関する解説の中で、洋上風車基礎の廃棄に関するコメントを記載している部分があります。洋上風車の撤去については、「洋上風力発電施設の廃棄許可に係る考え方」、令和 4 年（2022 年）9 月を参照することが記載されております（図-3.3.104）。

これは着床式洋上風力発電施設の廃棄許可に係る考え

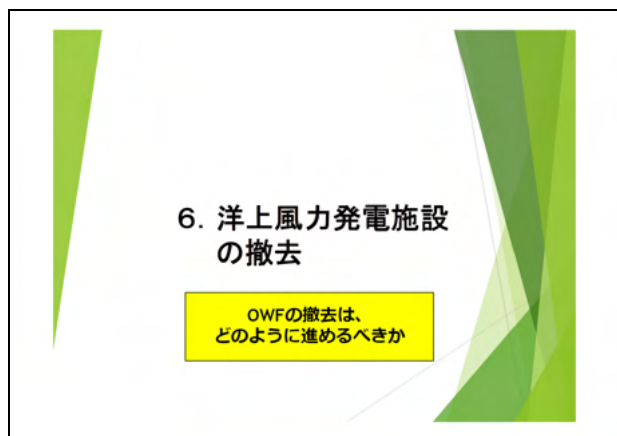


図-3.3.102

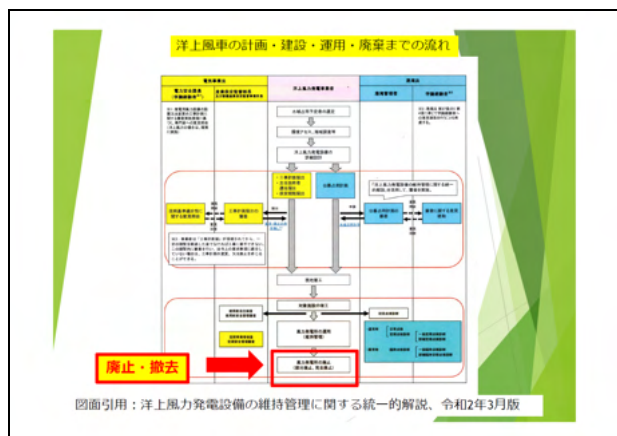


図-3.3.103

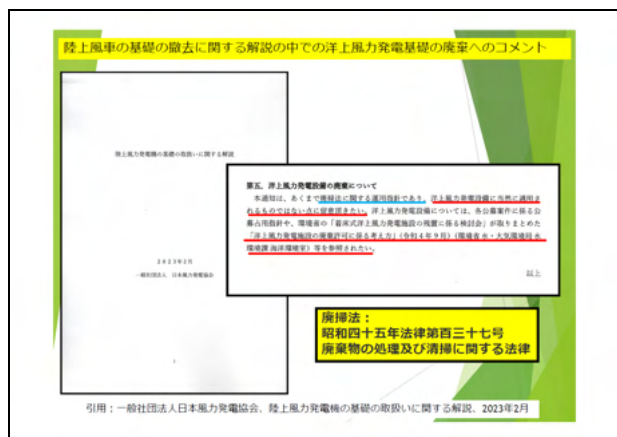


図-3.3.104

方を示しているもので、ここでは環境省より令和 3 年 9 月に公表されたものを示しております（図-3.3.105）。

この図は、海洋施設の廃棄許可に係る手続きの流れを示しております。許可申請から審査・許可、廃棄・監視までの流れを示しております。審査・許可の流れの中において、海洋汚染等防止法 第 43 条の 3 に許可の基準として三つの項目が示されております。一つ目が廃棄海域及び廃棄方法が環境省令で定める基準に適合するものであること。二つ目が当該廃棄海域の海洋環境の保全に著しい障害を及ぼすおそれがないものであること。三つ目として海洋に捨てる方法以外に適切な処分の方法がないもの。これら 3 項目について示しております（図-3.3.106）。

この図は、海洋施設・廃棄許可申請の手続きフローを示しています。申請の流れの中で申請者（風力発電事業者）、環境省、公衆（市民）の関係が示されております（図-3.3.107）。

これは、海洋汚染防止法第 43 条で定める海洋施設の廃棄の規則を示しています。基本的には「海洋に捨ててはならない」と規定されており、捨てる場合で認められるのは、第 43 条の 3 にあるように、「海洋に捨てる方法以外に適切な処分の方法がないもの」となります（図-3.3.108）。

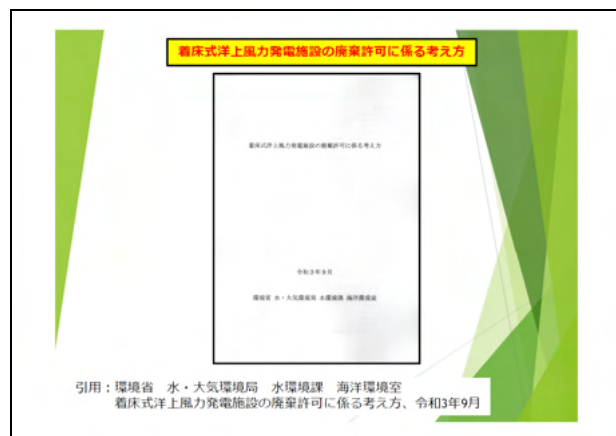


図-3.3.105



図-3.3.106

この図は、一般的な着床式の「洋上風力発電施設等」の構成要素を示しております。図に示すように左側の「海底ケーブル」から右側の「洋上風力発電設備」が構成要素となります(図-3.3.109)。

この図は、「残置」と「捨てる」の違いを定義したものです。「捨てる」とは、「既存の場所から撤去して、海洋の別の場所に廃棄することをいう」と定義されております。また、「残置する」とは、「既存の場所から撤去せずに廃棄することをいう」と定義されております(図-3.3.110)。ま

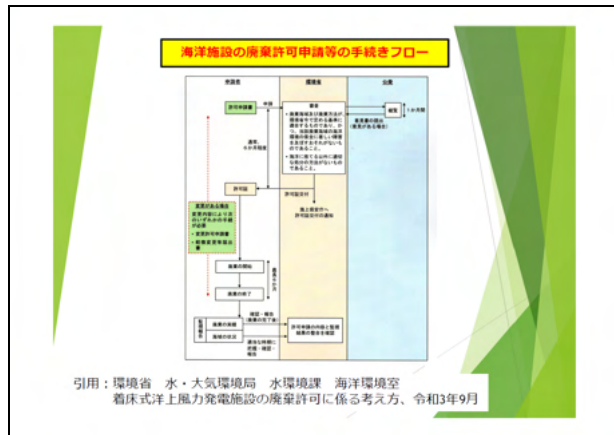


図-3.3.107

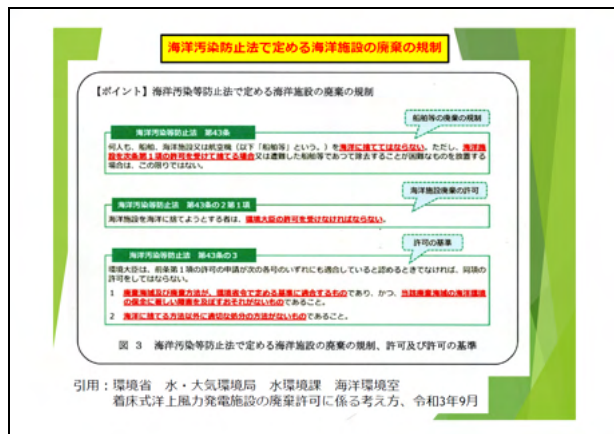


図-3.3.108

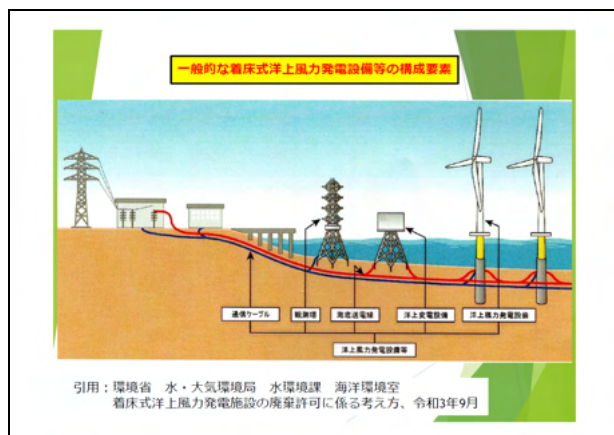


図-3.3.109

た、廃棄される海洋施設の最小化努力について示されており、施設の廃棄時には陸上処分の量と有効利用の量をできるだけ多くすることにより、廃棄される海洋施設の量をできるだけ少なくすることが求められております(図-3.3.111)。

この例は、全撤去し原状回復する場合について示しております(図-3.3.112)。風車の基礎杭を含めて、すべてを撤去し原状回復するものです。次に、海底面化で一部残置する例です。海底面下、適切な位置で切断して、風車及び支持構造物の上部を撤去するものです。撤去後には海底の土中に杭の一部が残置されます(図-3.3.113)。その次の例は、海底面上で切断し、風車及び支持構造物の上部を撤去するものです。この場合は、海底面下の基礎杭が残置されることになります(図-3.3.114)。

次に、「着床式洋上風力発電施設の廃棄許可に関する考え方」の目次を示します。第1部として廃棄の許可申請に係る手続きが示されています。風力発電施設の廃棄許可の申請書類について具体的に示されております(図-3.3.115)。

次に、第2部と第3部の目次を示しています。第2部では廃棄許可に係る考え方が示されています。第3部は参考

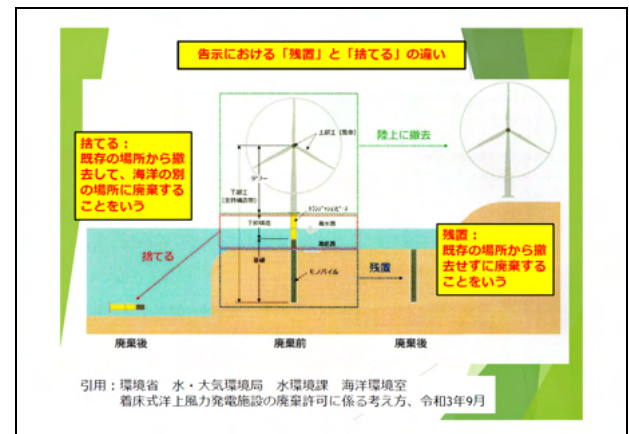


図-3.3.110

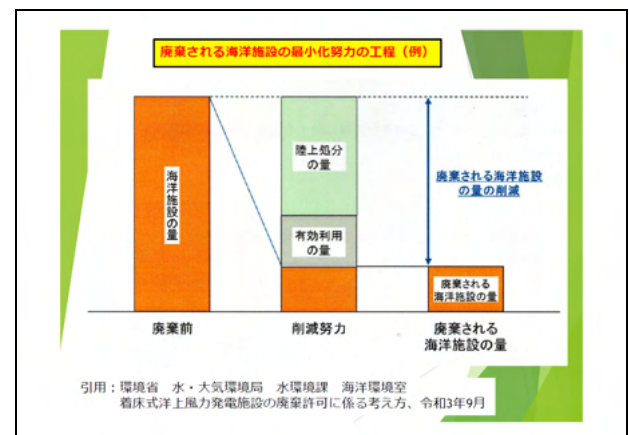


図-3.3.111

資料集です(図-3.3.116)。

これは、第3部の参考資料集に示されているもので、国連の海洋法条約についての規定です。これは、完全撤去を原則とした上で、非撤去又は一部非撤去を認める場合に加盟国が参考にするべきガイドライン基準を示しているものです(図-3.3.117)。

これは、先程の内容と同じものです。「放棄されまたは利用されなくなった施設または構造物は、権限のある国際機関がその撤去に関して定める一般的に受け入れられて

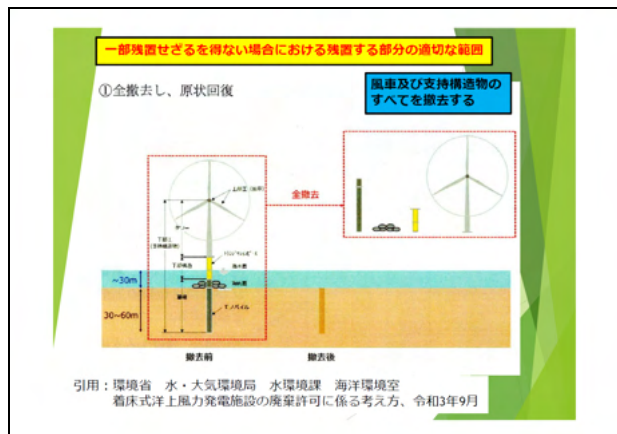


図-3.3.112

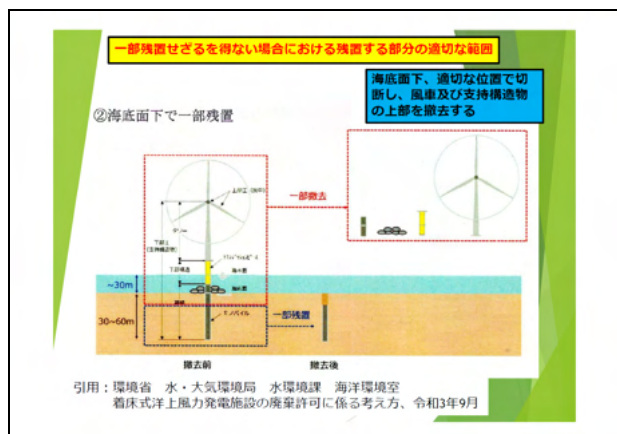


図-3.3.113

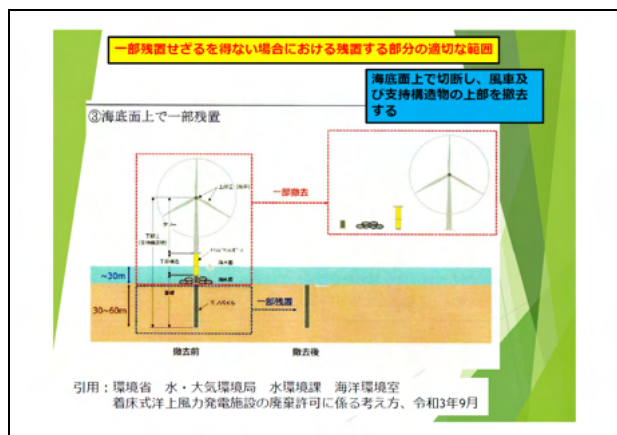


図-3.3.114

いる国際的基準を考慮して、航行の安全を確保するために除去する。」と記述されています(図-3.3.118)。

次に、廃棄に関するロンドン条約 1996 年議定書です。ここでも「陸上起源の廃棄物その他の物の海洋(海底下を含む)投棄及び洋上焼却を原則禁止」と記載されており、これもロンドン条約 1996 年議定書について示しております。海洋投棄は原則禁止ですが、「海洋投棄する場合には、当該廃棄物その他の物の海洋投棄が海洋環境にもたらす影響を予測・評価し、その上で規制当局が許可を発給

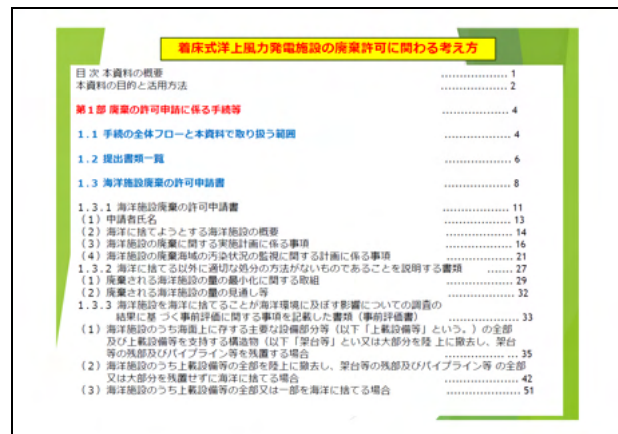


図-3.3.115

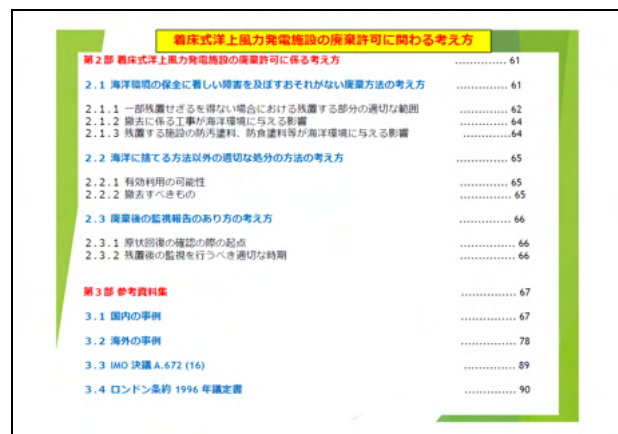


図-3.3.116

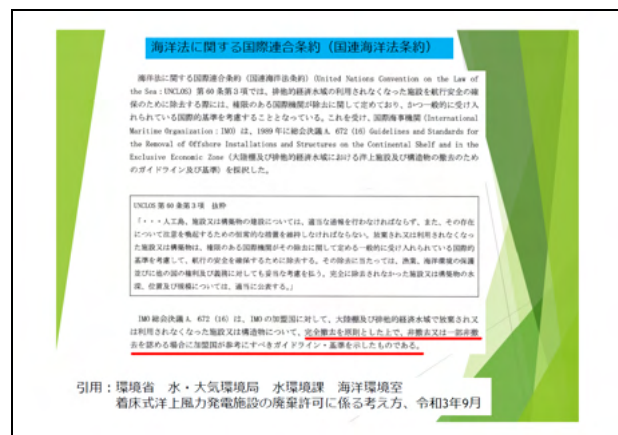


図-3.3.117

することを規定している。」と記載されております(図-3.3.119, 図-3.3.120)。

それでは次に撤去された洋上風車と撤去後に更新された洋上風車の事例を示していきたいと思います。紹介する事例について、一覧で、施設の設備容量、離岸距離、水深などの条件を示しております(図-3.3.121)。

まず、撤去された洋上風車の事例について示しております。この表は撤去された洋上風車の例について、設備や水深、離岸距離などの条件を示しております(図-3.3.122)。

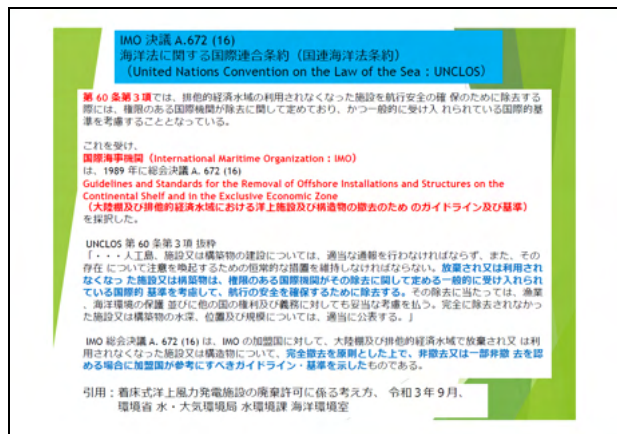


図-3.3.118

まず、最初にオランダの Lely Wind Farm について紹介します。この風車は淡水湖に建設された 0.5MW 風車 4 基から構成されています。1992 年に建設され、1994 年から運用されていた風車で、運用開始から 20 年後の 2014 年に撤去されました(図-3.3.123)。これは Lely Wind Farm の撤去の状況を示しております。まず、風車のブレード、ナセルが撤去されます。風車の基礎杭は図に示すように作業台船に搭載されたクレーンを用いて引き抜かれています(図-3.3.124)。このように完全撤去が可能であったのは、水



図-3.3.121

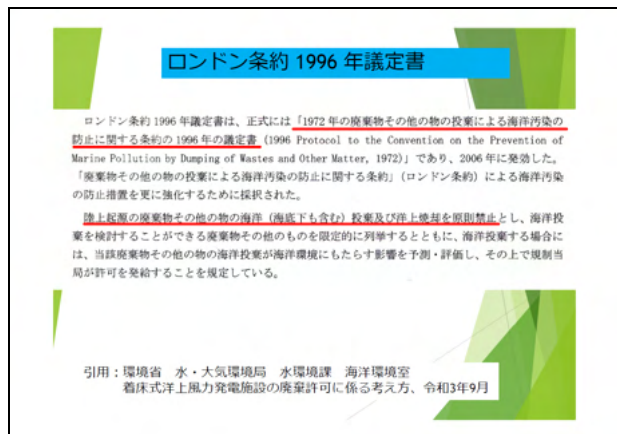


図-3.3.119

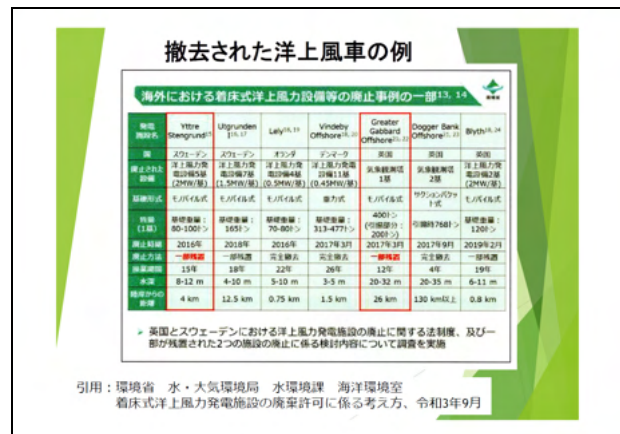


図-3.3.122

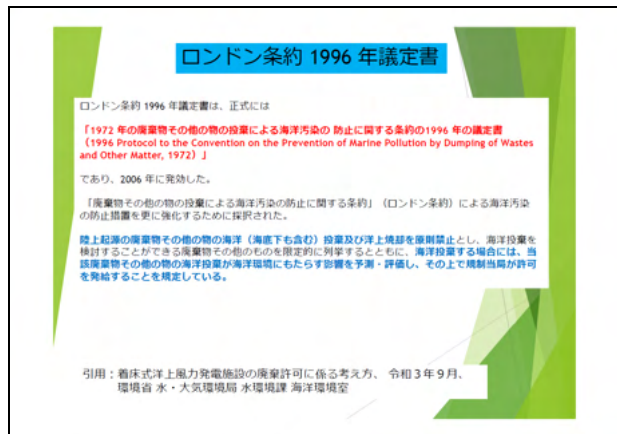


図-3.3.120

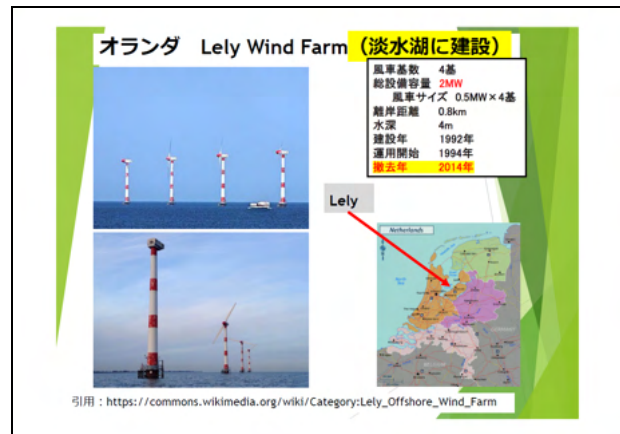


図-3.3.123

深 4mの浅い海域に設置された 0.5MW の小規模の風車基礎であったためです。

次の例はデンマークの Vindeby ウインドファームです。この風車は 0.45MW の規模で、水深 4m の海域に 11 基設置されていました。運用開始は 1991 年で、運用開始から 26 年後の 2017 年に撤去されました(図-3.3.125)。この写真は撤去の状況を示しているものです。撤去は風車の設置の時とは逆の手順で行われます。写真は、風車のブレードとナセルを一括して撤去している状況を示しております(図



図-3.3.124

-3.3.126)。

次に紹介するのは英国の Blyth ウインドファームです。2MW の洋上風車が 2 基設置されておりました。洋上風車の運用開始は 2000 年で、運用開始から 19 年後の 2019 年に撤去されました(図-3.3.127)。

次は、スウェーデンの Utgrunden ウインドファームです。洋上風車は 1.5MW で 7 基が設置されております。この洋上風車はスウェーデン本土とエーランド島の間のカルマル海峡の浅瀬部に建設されていました。この風車の運用開始

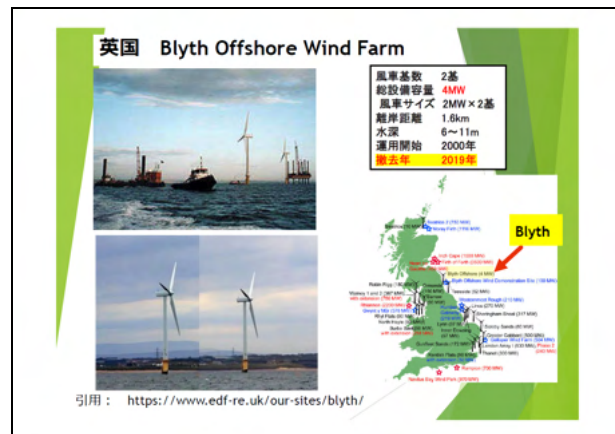


図-3.3.127



図-3.3.125

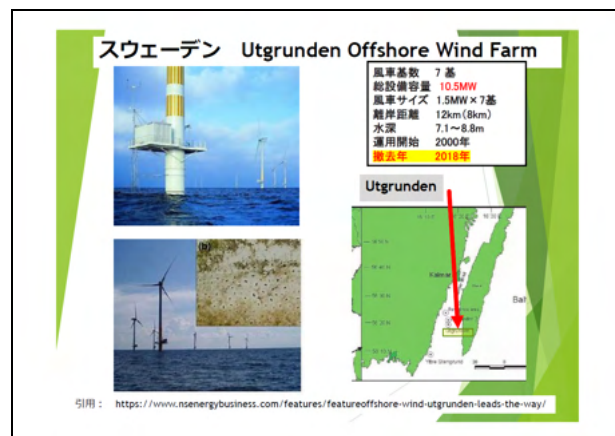


図-3.3.128



図-3.3.126

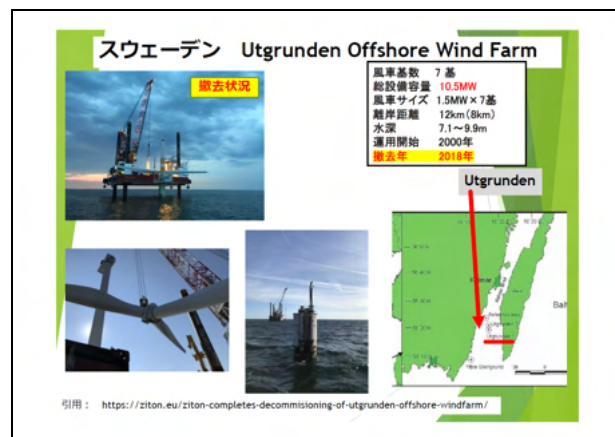


図-3.3.129

は2000年です(図-3.3.128)。私は2003年6月にこの風車を洋上から実際に見学したことがあります。風車の運用開始から18年後の2018年に撤去されております。この写真は撤去状況を示しています。風車はSEPを用いてブレードを撤去し、次いでナセル、タワーの順に撤去されます。中央下の写真はタワーを撤去した後にトランジションピースと基礎杭が残っている段階の写真です(図-3.3.129)。

次にスウェーデンの Yutre Stengurund 洋上ウインドファームの撤去について説明します。この風車のサイズは



図-3.3.130



図-3.3.131

2MWで、5基が建設されていました。運用開始は2001年で、運用開始から14年後の2015年に撤去されております(図-3.3.130)。これは Yutre Stengurund 洋上ウインドファームの撤去状況を示しています。これまで説明してきたように、風車の撤去は設置の場合と逆の手順で行われるので、撤去はまず風車ブレードからこのように開始されていきます(図-3.3.131)。

次に、既設の洋上風車が撤去された後に、新しい洋上風車が設置された事例について示します。

これは、スウェーデンの Bockstigen 洋上風力発電所です。0.55MWの洋上風車が5基設置されており、1998年から運用されておりました。このウインドファームは2018年に5MWの洋上風車10基に更新されました。更新により、この海域のウインドファームの設備容量は当初の2.75MW(0.55MW × 5基)から50MW(5MW × 10基)に増大しました(図-3.3.132, 図-3.3.133)。

今回で、全6回の洋上風力発電技術セミナーを終えることになりました(図-3.3.134)。全体をとりまとめ、今後の洋上風力発電設備についての展望について、ひとこと述べたいと思います。

これは全6回の講演タイトルと内容を示しております。



図-3.3.133

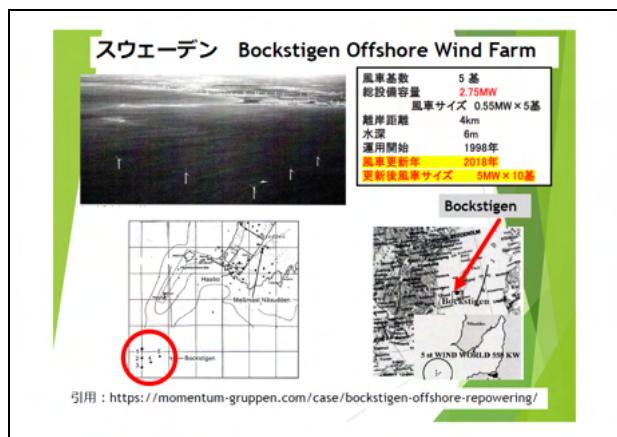


図-3.3.132

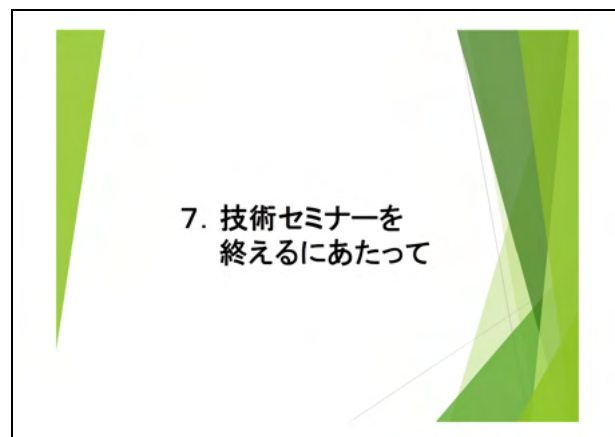


図-3.3.134

1回目と2回目は、2050年カーボンニュートラル実現のために必要な技術である洋上風力発電の国内外の動向について示しました。第3回から第5回は、モノパイル、ジャケット構造、浮体構造について、構造型式別の技術の現状や国内外の建設事例を紹介しました。そして、今回は実際の洋上風力発電設備のオペレーション、維持管理、施設の廃棄について紹介しました(図-3.3.135)。

我が国における風力発電の導入目標は、2030年までに10GW、2040年までに30GW～45GWとされております。それを実現していくためにはさまざまな課題があり、着実に技術開発を進めていく必要があります。ここには、計画・調査、国内生産体制、基地港湾の整備、建設コスト、技術者

の五つのカテゴリーについて課題となる項目を列挙しています(図-3.3.136)。これらは、単独に解決すれば良いものではなく、相互に関連して解決していかなければなりません。目標年次に実現すべき姿から時間を逆算して、今、何を進めていくか、どのように先行投資していくのか、風車のライフタイムにおけるコスト削減をどう図っていくのか、これらの課題を解決していくための残された時間はそう多くはないと思います。化石燃料によるエネルギー利用から再生可能エネルギーの利用への大転換は急がれます。この夏の猛暑、あるいは地球規模で生じている環境変化から残された時間は、そう多くないと私自身も感じております。

それでは全6回に渡り、長らくのご清聴ありがとうございました。

洋上風力発電技術セミナー			
回	タイトル	内容	会場
第1回 R4.10.24 (月)	カーボンニュートラルと洋上風力発電	・地球温暖化対策 ・カーボンニュートラル ・洋上風力発電の開発の歴史 ・世界における導入状況	京王プラザホテル札幌 (第6階) 15:30～17:00
第2回 R4.12.6 (火)	日本および道内における計画	・日本における研究開発 ・道内における開発 ・一般海域における開発	京王プラザホテル札幌 (第6階) 15:30～17:00
第3回 R5.2.16 (木)	モノパイル構造の計画・設計・施工	・モノパイル構造 ・開発の歴史 ・道内における建設状況 ・設計・施工	TKP札幌カンファレンスセンター(ホール3B) 15:00～16:30
第4回 R5.4.21 (金)	ジャケット構造の計画・設計・施工	・ジャケット構造 ・開発の歴史 ・世界における建設状況 ・設計・施工	TKPガーデンシティ札幌駅前(ホール3D) 15:00～16:30
第5回 R5.6.23 (金)	浮体構造の計画・設計・施工	・浮体構造 ・開発の歴史 ・世界における建設状況 ・設計・施工	TKP札幌カンファレンスセンター(ホール3B) 15:00～16:30
第6回 R5.8.23 (金)	オペレーション・維持管理・施設の廃棄	・風力発電施設のオペレーション ・維持管理 ・施設の廃棄	TKP札幌カンファレンスセンター(ホール3B) 15:00～16:30

図-3.3.135



図-3.3.136

「CPC 洋上風力発電技術セミナー（第4回）」 開催について

1 趣旨

再生可能エネルギーとして注目されている洋上風力発電について、カーボンニュートラルとの関係、世界や国内・道内における状況、施設の計画・設計・施工及び維持管理まで、幅広い内容を分かりやすく解説するセミナーを企画いたしました。

長年にわたり洋上風力関係の研究に携わってこられた、北海道科学大学名誉教授の白石悟氏（現在、一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター審議役）を講師として、全6回（別紙）にわたっての連続セミナーを開催いたします。皆様には広くお声掛けもしていただき、多数ご参加下さいますようお願い申し上げます。

2 セミナー（第4回）

日時： 令和5年4月21日（金） 15:00～16:30

場所： TKP ガーデンシティ札幌駅前 ホール3D

札幌市中央区北2条西2-19 TKP 札幌ビル3階

定員： 会場参加（定員50名）、オンライン（ライブ）参加（定員100名）

※CPC 会員の皆様限定で、後日 HP から録画視聴が可能です。

注意： 会場は、第3回から場所が変わっていますのでご注意ください。

3 次第

（1）開会

（2）講演

『ジャケット構造の計画・設計・施工』

北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏

（3）質疑応答

（4）閉会

4 その他

・公益社団法人土木学会の継続教育（CPD）認定プログラム（1.5単位）

・参加申込みは、令和5年3月24日（金）下記ホームページから開始、4月14日（金）締切予定です。

5. 参加申込： <https://www.kanchi.or.jp/>

6. 問い合わせ：（一社）寒地港湾空港技術研究センター（担当：杉山）

電話 011-747-1688 メール m_sugiyama@kanchi.or.jp

「CPC 洋上風力発電技術セミナー（第5回）」 開催について

1 趣旨

再生可能エネルギーとして注目されている洋上風力発電について、カーボンニュートラルとの関係、世界や国内・道内における状況、施設の計画・設計・施工及び維持管理まで、幅広い内容を分かりやすく解説するセミナーを企画いたしました。

長年にわたり洋上風力関係の研究に携わってこられた、北海道科学大学名誉教授の白石悟氏（現在、一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター審議役）を講師として、全6回（別紙）にわたっての連続セミナーを開催いたします。皆様には広くお声掛けもしていただき、多数ご参加下さいますようお願い申し上げます。

2 セミナー（第5回）

日時： 令和5年6月23日（金） 15:00～16:30

場所： TKP 札幌駅カンファレンスセンター ホール3B

札幌市北区北7条西2-9 ベルヴェオフィス札幌 3階

定員： 会場参加（定員50名）、オンライン（ライブ）参加（定員100名）

※CPC 会員の皆様限定で、後日 HP から録画視聴が可能です。

注意： 第4回から会場が変わっていますのでご注意ください。

3 次第

（1）開会

（2）講演

『浮体構造の計画・設計・施工』

北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏

（3）質疑応答

（4）閉会

4 その他

・公益社団法人土木学会の継続教育（CPD）認定プログラム （1.5単位）

・参加申込みは、令和5年5月26日（金）下記ホームページから開始、6月15日（木）締切予定です。

5. 参加申込： <https://www.kanchi.or.jp/>

6. 問合わせ：（一社）寒地港湾空港技術研究センター（担当：杉山）

電話 011-747-1688 メール m_sugiyama@kanchi.or.jp

「CPC 洋上風力発電技術セミナー（第6回）」 開催について

1 趣旨

再生可能エネルギーとして注目されている洋上風力発電について、カーボンニュートラルとの関係、世界や国内・道内における状況、施設の計画・設計・施工及び維持管理まで、幅広い内容を分かりやすく解説するセミナーを企画いたしました。

長年にわたり洋上風力関係の研究に携わってこられた、北海道科学大学名誉教授の白石悟氏（現在、一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター審議役）を講師として、全6回（別紙）にわたっての連続セミナーを開催いたします。皆様には広くお声掛けもしていただき、多数ご参加下さいますようお願い申し上げます。

2 セミナー（第6回）

日時： 令和5年8月25日（金） 15:00～16:30

場所： TKP 札幌駅カンファレンスセンター ホール3 B

札幌市北区北7条西2-9 ベルヴェオオフィス札幌 3階

定員： 会場参加（定員50名）、オンライン（ライブ）参加（定員100名）

※CPC 会員の皆様限定で、後日 HP から録画視聴が可能です。

3 次第

（1）開会

（2）講演

『オペレーション・維持管理・施設の廃棄』

北海道科学大学 名誉教授 白石 悟 氏

（3）質疑応答

（4）閉会

4 その他

・公益社団法人土木学会の継続教育（CPD）認定プログラム （1.5単位）

・参加申込みは、令和5年7月28日（金）下記ホームページから開始、8月17日（木）締切予定です。

5. 参加申込： <https://www.kanchi.or.jp/>

6. 問い合わせ：（一社）寒地港湾空港技術研究センター（担当：杉山）

電話 011-747-1688 メール m_sugiyama@kanchi.or.jp

付録D 洋上風力発電技術セミナー 写真



講師

北海道科学大学 名誉教授 ^{しらいし}白石 ^{さとる}悟 氏
((一社)寒地港湾空港技術研究センター 審議役)



会場の様子

Aug.28-29 in Sapporo, Hokkaido

NPARC 2023

North Pacific Arctic Research Community Meeting



Topics:

- Theme-1: Arctic Cooperation ~ Multi level of international cooperation over the Arctic, achievements of the AC's Asian observers, laws on the polar issues, science cooperation and governance,
- Theme-2: Scientific issues ~ Climate change, data science, traditional ecological knowledge, introducing new icebreaking research vessel,
- Theme-3: Sustainable Arctic ~ Climate change and sustainable development, trans-disciplinary research, sustainable Arctic shipping routes,
- Youth session : Scientific networking over the young scholars

Venue:

- Hokkaido University FMI Hall
(at Hokkaido University Global Center for Food & Medical Innovation)

Organizers



Co-Organizers





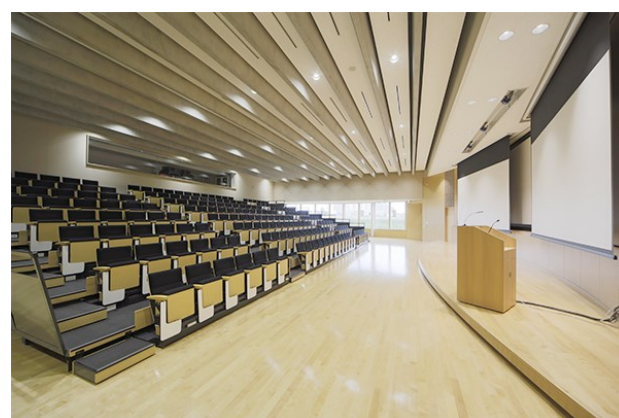
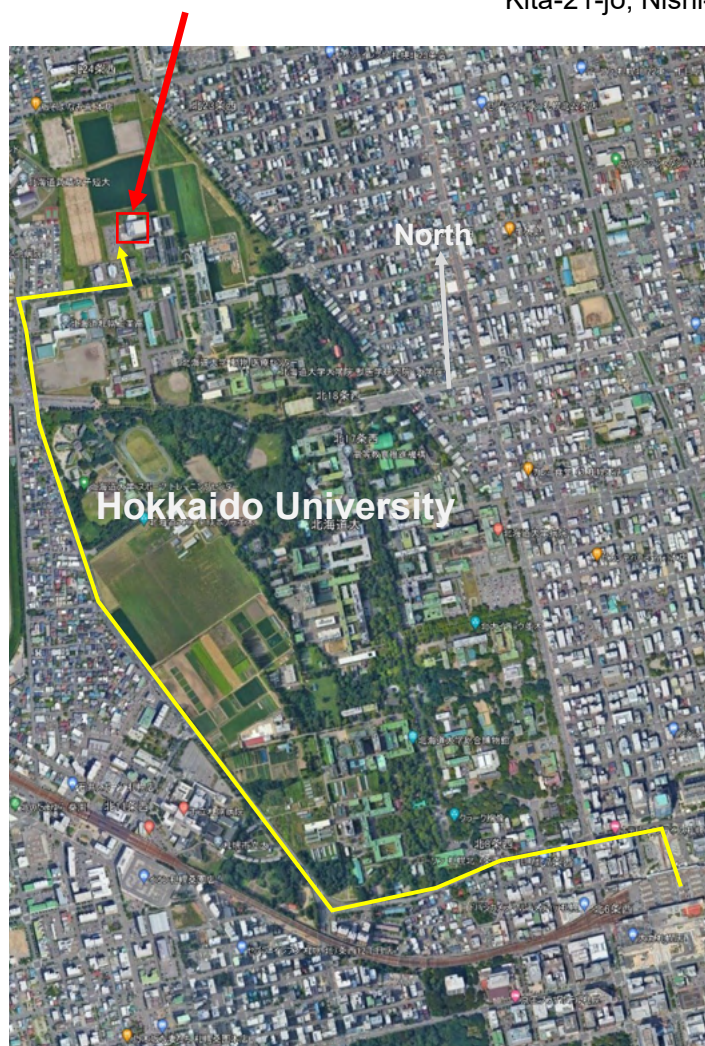
NPARC 2016 in Sapporo



NPARC 2019 in Sapporo

Venue:

Hokkaido University FMI Hall (Hokkaido University Global Center for Food & Medical Innovation)
Kita-21-jo, Nishi-11-chome, Kita-ku, Sapporo, 001-0020, Japan



Bus service from the Sapporo Station to the venue is provided

Local Contact : Hokkaido University Arctic Research Center
Natsuhiko Otsuka(natsuhiko.otsuka@arc.hokudai.ac.jp) and
Yuji Kodama(kodama.yuji@arc.hokudai.ac.jp)

Draft Program

Day-1(8/28)		chair
9:00~	Ice breaking <i>(meeting room is provided for ambassadors)*</i>	
9:30- 9:45	Opening Address (3min each from three institutions) 9:30-9:34 Welcome remarks: FUKAMACHI Y., Hokkaido University 9:35-9:39 Opening address: KIM Jong-Deog, KMI 9:40-9:44 Opening address: YANG J., SIIS	OTSUKA Natsuhiko (ARC)
9:45-10:20	Keynote session; Arctic and Asia 9:45- 9:50 Keynote speech 1: GAO Feng 9:50- 9:55 Keynote speech 2: PARK Chong-suk 9:55-10:00 Keynote speech 3: TAKEWAKA Keizo 10:00-10:20 Discussion	YANG Jian (SIIS)
10:20-11:55	Theme-1: Arctic Cooperation 10:25-10:35 ANIYA Masaru (Consular Office of Japan in Anchorage), "TBD; Over the Pacific, Cooperation between Alaska and Hokkaido" 10:35-10:47 LU Zhibo, "China's contributions and interests to PAME: past, present, and future" 10:47-10:59 KIM Bongchul, "Comparative study of the Laws on the Polar Issues in Japan-Korea-China" 10:59-11:11 SAKAGUCHI Hide(OPRI, SPF): "TBD;Arctic Circle Japan Forum" 11:11-11:23 TAKAHASHI, Minori (HGU): "Greenland at an Interseciton: Self- Reliance, Conservation and the Denial of Coequality" 11:23-11:35 XU Qingchao (CIIDS, "The role of international science cooperations for promoting the effectiveness of Arctic governance" 11:35-12:00 Discussion Kim Umji (KMI)	KIM Minsu (KMI)
11:55-12:00	Photo session	
12:00-12:50	Networking Lunch at the 2nd floor	
12:50-14:20	Theme-2: Arctic Science 12:50-13:02 YABUKI Hironori(NIPR):"Promoting Arctic data Science by Arctic Challenge for Sustainability II" 13:02-13:14 JIN Emilia Kyung (KOPRI), "Status and Prospects of Arctic Climate Change Research in Korea" 13:14-13:26 QU Feng (Liaocheng U), "Supports and Barriers: Traditional Ecological Knowledge in Arctic context" 13:26-13:38 KIMURA H. (JAMSTEC):"New Icebreaking Research Vessel" 13:38-14:10 Discussion LA Hyoung Sul (KOPRI)	UTO Shotaro (ARC)
14:10-14:25	Break	

14:25-15:45	Theme-3: Sustainable Arctic 14:25-14:37 KODAMA Yuji. (ARC) :” Hokkaido University Arctic Initiative for Future Earth and SDGs Project” 14:37-14:49 BAI Jiayu (Nankai U), “China’s Engagement in Arctic sustainable development based on international law perspectives” 14: 49-15:01 CHOI Su-Beom (Incheon N. U.), “Cooperation between three countries to foster sustainable Arctic Shipping Routes and secure Arctic Natural Resources” 15:01-15:13 XIA Liping (Tongji U), “Sino-U.S. relationship in addressing Arctic Sustainable Development and Climate change” 15:13-15:45 Discussion JEONG Seong-Yeob (KRISO)	OHNISHI F. (ARC)
15:45-16:05	General Meeting about NPARC activity	OTSUKA N. (ARC)
16:05-16:20	Break	
16:20-17:50	Youth Session (tentative program) 1)TANG Yao (PRIC), “Chinese young scientists and The International Polar Year” (online) 2)ZHANG Yiran (Dalian Maritime U.) “Trends in modern logistics with the Development of Arctic sea routes” (online) 3)SHIN Euichan (HUFS) “The EU’s Presence in Arctic Region: Focusing on EU’s Arctic Policy” 4)SHIM Minsub (HUFS) “A Study on the Polar Activities Promotion Act in Korea” 5)TOSHIDA Yuka (ARC, HU) “Keep Talking about the Arctic with various stakeholders – Activities of the Arctic Transdisciplinary Community of Practice - 6)MIKHAIL OVA Diana (Slavic & Eurasian Research Center, HU) “The Northern Sea Route at the crossroads? Its changing image in the Russian Strategic narratives” 7)Discussion KIM Bongchul (HUFS)	OTSUKA N. (ARC)
17:50-18:00	Closing Address SANADA Hitoshi: Cold Region Port and Harbor Engineering Research Center	
18:25	Bus will depart on 18:25	
19:00-21:00	Networking Dinner	

Day-2 (8/29)		
10:00-16:20	Study tour to “UOPPOY” The understanding of Japan’s Indigenous People ‘Ainu’. 9:15-9:45 Brief discussion about “UPOPOY” , its achievement, impact, and criticism. 9:45-10:00 Move to the group bus stop at the JR Sapporo Station 10:00 Bus will leave from the group bus stop (The same meeting point as Day-1) 11:30 Arrival at “UPOPY” , Lunch at Restaurant “Haru ran na” 12:30 Museum, Culture Exchange Hall etc. 13:30 Traditional Performing Arts “Sinot”/”Imeru” at Culture Exchange Hall 14:30 The bus leaves “UPOPY” 15:30 Stop by at New Chitose Airport 16:20 JR Sapporo Station group bus s	

List of Participants

No.	Name	Job Title	Affiliation
China			
1	YANG Jian	Vice President	Shanghai Institutes for International Studies
2	ZHANG Yao	Director	Center for Maritime and Polar Region Studies, Shanghai Institutes for International Studies
3	ZHANG Pei	Deputy Director	Center for Maritime and Polar Region Studies, Shanghai Institutes for International Studies
4	BAI Jiayu	Professor	Law School Nankai University
5	LU Zhibo	Professor	College of Environmental Science and Engineering, Tongji University
6	XIA Liping	Professor, Director	Center for Polar and Oceanic Studies Tongji University
7	QU Feng	Professor, Director	Arctic Studies Center Liaocheng University
8	PAN Xiaoli	Researcher,	Arctic Studies Center Liaocheng University
9	XU Qingchao	Research Fellow & Director	Center for Arctic Sustainability Studies China Institute for Innovation and Development Strategy
10	GAO Feng	Special Representative for Arctic Affairs,	Ministry of Foreign Affairs of China
11	Zhao Yujian	Third Secretary	Ministry of Foreign Affairs of China
12	Tang Yao (online)	Assistant Professor	Division of Polar Policy Studies Polar Research Institute of China
13	LI Jiaqi (online)	Post graduate	Dalian Maritime University

Korea

1	Kim Jong-Deog (online)	President	Korea Maritime Institute
2	Park Chong-suk	Ambassador for Arctic Affairs	Ministry of Foreign Affairs
3	Cho Minjung	Second Secretary	Ministry of Foreign Affairs
4	Kim Minsu	Deputy President	Ocean Economy Strategy Department Korea Maritime Institute
5	Kim Umji	Director	Northern and Polar Regions Research Division Korea Maritime Institute
6	Jeong Dahyeon	Researcher	Korea Maritime Institute
7	Kim Bongchul	Associate Professor	Division of International Studies Hankuk University of Foreign Studies

8	Choi Su-Beom	Visiting Research Fellow	Incheon National University
9	Seong-Yeob Jeong	Senior Researcher	Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering
10	Shin Euichan	Principal Researcher	Institute for EU studies Hankuk University of Foreign Studies
11	Shim Minsub	Researcher	Institute for EU studies Hankuk University of Foreign Studies
12	Kim Nakyeong	Intern	Ministry of Foreign Affairs
13	Jin Kyung	Principal Researcher	Division of Glacial Environment Research Korea Polar Research Institute
14	La Hyoung Sul	Principal Research Scientist	Korea Polar Research Institute

Japan

1	Otsuka Natsuhiko	Professor, Vice Director	Arctic Research Center Hokkaido University
2	Takewaka Keizo	Ambassador to the Arctic Affairs	Ministry of Foreign Affairs
3	Aniya Masaru (online)	Director	Consular Office of Japan in Anchorage Ministry of Foreign Affairs
4	Sakaguchi Hide	President	Ocean Policy Research Institute Sasakawea Peace Foundation
5	Gao Xiang	Research Fellow	Ocean Policy Research Institute Sasakawea Peace Foundation
6	Hataya Sakiko	Research Fellow	Ocean Policy Research Institute Sasagawa Peace Foundation
7	Takahashi Minori	Associate Professor	Faculty of Law Hokkai-Gakuen University
8	Uto Shotaro	Professor	Arctic Research Center Hokkaido University
9	Yabuki Hironori	Professor,	National Institute of Polar Research Organization of Information and Systems
10	Kimura Hajime	Technical Director	Institute of Arctic Climate and Environment Research Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
11	Kodama Yuji	Network Coordinator	Arctic Research Center Hokkaido University
12	Sanada Hitoshi	President	Cold Region Air and Sea Ports Engineering Research Center
13	Kitahara Shigeshi	Research Director	Cold Region Air and Sea Ports Engineering Research Center
14	Sugiyama Moriyuki	Director	Second Research Division

			Cold Region Air and Sea Ports Engineering Research Center
15	Fukamachi Yasushi	Professor, Director	Arctic Research Center Hokkaido University
16	Ohnishi Fujio	Associate Professor	Arctic Research Center Hokkaido University
17	Yoshida Yuka	Researcher	Arctic Research Center Hokkaido University
18	Mikhailova Diana	Researcher	Slavic Eurasian Research Center Hokkaido University
19	TBD	Assistant Professor	Graduate School of Engineering Hokkaido University
20	Hirata Takafumi	Associate Professor	Arctic Research Center Hokkaido University
21	Lomaeva Marina	Assistant Professor	Institute for the Advancement of Higher Education Hokkaido University

北太平洋北極圏共同体会議（NPARC）、日中韓の多様な専門家による北極圏のアジア的視点を発展させるプラットフォーム

大塚夏彦 1), 兒玉裕二 1), Kim Minsu 2), Yang Jian 3)

1) 北海道大学北極域研究センター、2) 韓国海事研究院、3) 上海国際問題研究所

概要

北太平洋北極圏共同体（NPARC）は、北極圏問題に対する非北極圏諸国、特に中国、日本、韓国のアジア諸国の関心の高まりから生まれたイニシアティブである。2014 年に設立された NPARC は、日中韓の学際的な研究と協力のためのプラットフォームとして機能し、北極圏における新たな課題と可能性に関する議論を促進している。過去 10 年間、NPARC は COVID-19 のパンデミックや地政学的な変化といった状況の変化に適応しながら、活動を続けてきた。本稿では、2023 年に日本で開催された最新の NPARC 会合の概要を紹介する。

はじめに

2013 年、北極評議会は北極圏以外の 6 カ国（中国、日本、韓国などアジア地域の 5 カ国が含まれる）にオブザーバー資格を拡大した。こうした北極圏に対する世界的な関心の高まりを受け、韓国海事研究院（Korea Maritime Institute: KMI）は、議論と情報交換のためのプラットフォームの設立を提案した。このイニシアティブは、北極圏における新たな課題と機会に関する地域的な学際的な研究を強化、研究成果を共有し、フォーラム、セミナー、北極圏に関する共同研究、人材育成など様々なレベルでの協力をメンバー間で強化することを目的としている。

NPARC の第 1 回会合は KMI の主催のもと、2014 年に韓国の済州島で開催された。参加機関は韓国の 4 機関（KMI、韓国極地研究所、韓国船舶海洋工学研究院、韓国海洋大学）、中国の 5 機関（上海国際問題研究所（SIIS）、中国極地研究所、中国海洋大学、大連海事大学、上海交通大学）、そして日本からは国際臨海開発研究センターが参加した。この会議では、北極圏の新たな課題に取り組むためには学術機関同士の協力が必要であること、自主的な参加と拘束力のないパートナーシップを重視した定期的なセミナーを開催すること、学術機関の所属に関係なく、北極圏内外の他の研究機関との協力の可能性を探ることなど、いくつかの合意事項が発表された。

その後、NPARC 会合は中国、日本、韓国の持ち回りで毎年開催されるようになった。組織委員会は現在、次記の 3 研究機関で構成されている： SIIS（中国）、北海道大学北極域研究センター（日本）、KMI（韓国）である。2023 年現在、NPARC は 9 回の会議を開催しているが、2020 年と 2021 年の会議は COVID-19 の流行によりオンラインで開催された。当初日本で予定されていた 2022 年の会議は、2023 年に延期された。これらの会合は、自然科学、工学、社会科学、人文科学、北極政策、アジア 3 カ国が行っている北極関連活動など、様々な分野にまたがる議論の場を提供してきた。

テーマ別セッション：

NPARC2023 会合は、発足 10 周年を記念して 8 月 28 日に札幌で開催された。中国から 13 名、韓国から 14 名、日本から 21 名を含む合計 48 名の専門家が参加した。この節目となるイベントでは、5 つのテーマ別セッションが開催された：

a. 「北極とアジア」

このオープニングセッションでは、中国、韓国、日本の 3 名の北極大使、Gao Feng 氏（中華人民共和国北極問題担当特別代表）、Park Chong-suk 氏（韓国北極大使）、竹若敬三氏（日本国際経済・北極問題担当大使）が登壇し、過去 10

年間の北極評議会（Arctic Council）におけるオブザーバー国の歩みと貢献について議論した。主なポイントは以下の通り。

- 10 年間の北極評議会オブザーバー国としての経験を通じて、中国、日本、韓国は北極評議会の活動への貢献と協力を達成してきた。
- 現在、アジア諸国は、中央北極海漁業協定に代表される国際協定のみならず、社会的、経済的、科学的、環境的影響という点で、北極圏の問題に大きな影響を与える可能性がある。北極評議会は現在休止中であり、中国、日本、韓国が北極問題に対して有意義な貢献を果たすことが可能であろう。
- 2015 年に開始された日中韓による北極に関するハイレベル対話も、東アジア諸国が北極の課題に共同で取り組むための重要なプラットフォームとして注目されている。
- また、北極評議会関連の活動だけでなく、北極サークルの総会（Arctic Circle Assembly）やフォーラム（Arctic Circle Regional Forum）などの北極圏関連のイベントも、北極圏の課題にアプローチし、アジア諸国から北極圏にメッセージを発信し、北極圏の課題への関与を深める良い機会となっている。

b. 「北極に関する協力」

このセッションでは、6 名の専門家が北極に関する協力の様々な側面についてプレゼンテーションを行った。また、アジア諸国の気候変動戦略への関与や、北極圏関連イベントへの積極的な参加の重要性が強調された。

- 安仁屋賢氏（在アンカレジ日本国領事事務所）は、アラスカと日本の姉妹都市における活動や、アラスカと日本の青少年や先住民の交流イベントについて紹介した。
- 同済大学の Lu Zhibo 氏は、北極評議会のワーキンググループの一つである PAME への中国の貢献と関心について紹介した。また、中国の新砕氷調査船 “Xuelong 2” についても紹介した。
- 韓国外国語大学の Kim Bongchul 氏は、極域における国際法と北東アジア諸国の極域活動に関する国内法について講演した。
- 笹川平和財団の坂口秀氏は、2023 年 3 月に東京で開催された北極圏日本フォーラムについて、特に日中韓セッションの意義について報告し、気候変動対策にはアジア諸国の協力・協調が重要であることを強調した。
- 高橋美乃梨氏（北海学園大学）は、グリーンランドの歴史的風土とデンマークの植民地統治について、自立、保全、共同性の否定の観点から講演した。
- 中国科学アカデミー大学の Xu Qingchao 氏は、北極圏ガバナンスの有効性を促進するための国際科学協力の役割について述べた。また、科学協力と科学外交の重要性についても言及した。

c. 「北極の科学」

このセッションでは、4 人の専門家が最新の研究成果を発表した。科学的知見と先住民の知恵のギャップを埋め、科学研究における 3 カ国の協力の重要性が強調された。

- 国立極地研究所の矢吹裕伯氏は、日本の極地プロジェクトのデータ管理プラットフォームである Arctic and Antarctic Data Archive System を紹介し、データ駆動型科学の促進を支援していることを述べた。
- 韓国極地研究院の Jin Emilia Kyung 氏は、韓国の北極気候変動プロジェクト（モデリング、観測、第 2 砕氷調査船など）について紹介した。
- 聊城大学の Qu Feng 氏は、先住民の伝統的生態学的知識について、その地域性、重要性、障壁、科学的知識との違いなどを語った。
- 海洋研究開発機構の木村元氏は、2026 年に進水予定の日本の新型砕氷調査船について紹介した。

d. 「持続可能な北極圏」

このセッションでは、4名のスピーカーが、学際的な北極圏研究、国際法とガバナンス、持続可能な開発への取り組みなど、様々なトピックを取り上げた。北極圏における持続可能性という複雑な課題の重要性が強調された。

- 兒玉裕二氏（北海道大学）は、地球環境科学の学際的統合・横断的研究の必要性に基づき、「Future Earth」やSDGsの推進における北海道大学の北極圏研究の取り組みについて語った。
- Bai Jiayu（南開大学）は地域レベルでの持続可能な発展のための国際法整備とガバナンスにおける中国の北極への関与について発表した。
- 仁川国立大学の Choi Su-Beom 氏は、LNG、コンテナ、プロジェクト貨物など、ロシアの北極海海運の現状について語った。
- 同済大学の Xia Liping 氏は、2023 年 6 月に中国で開催された第 6 回中米北極圏社会科学会議のトピックスであった、北極圏におけるガバナンス、航路開発、アラスカから中国への天然資源輸出、文化・観光・教育協力について発表した。

e. 「ユースセッション」

本セッションは、若手研究者間のネットワークを強化し、将来的な協力関係を築くことを目的とした。

- 中国極地研究院（Polar Research Institute of China）の Tang Yao 氏は、IPY1～4 への中国の参加と北極・南極研究の活動について紹介した。
- 大連海事大学の Zhang Yiran 氏は、現代物流発展の観点から見た北極海航路の現状と役割について紹介した。
- 韓国外国語大学の Shin Euichan 氏は、EU と北極の地政学的状況、EU の北極政策に焦点を当てて講演した。
- 韓国外国語大学の Shim Minsub 氏は、韓国の極地活動促進法について、国際的な法的根拠と合わせて発表を行った。
- 北海道大学の吉田由佳氏は、北極圏の環境、社会、多層的な問題に対する国民の理解を深めるための北極域実践コミュニティの活動について紹介した。
- ミハイロワ・ディアナ氏（北海道大学）はロシアの北極海航路開発戦略について、2022 年 2 月以前と以降の戦略的ナレーティブの違いを紹介した。
- 北海道大学の澤飛智氏は、寒冷地における建築環境について講演し、寒冷地と温暖地における建築環境と寿命の関係を明らかにした。

まとめ

NPARC は過去 10 年にわたり、北極圏における日中韓の協力体制を育んできた。北極圏がダイナミックな課題に直面し続ける中、NPARC はアジア 3 カ国による北極圏に関する議論を発展させるユニークなプラットフォームとなっている。

付録E NPARC 2023 Meeting in SAPPORO Photo(Meeting)



付録F NPARC 2023 Meeting in SAPPORO Photo(Member)



5. ザ・シンポジウムみなと in 石狩湾新港

5.1 開会挨拶

眞田 仁（ザ・シンポジウムみなと実行委員会 委員長）

本シンポジウムは毎年、道内港湾都市の持ち回りで開催しております。石狩湾新港をテーマに開催するのは 2018 年以来 5 年ぶりとなります。

本日のテーマは、「石狩湾新港の可能性と未来を語る」です。石狩湾新港は開港以来、札幌圏を背後に、順調に貨物量を伸ばしてきました。さらに、最近では北海道におけるエネルギー拠点としての機能も強化されております。

石狩湾新港では北海道初の本格的な洋上風力発電施設が、今年 12 月に運転を開始することになっています。背後地域では再生可能エネルギーを活用したデータセンターの立地が進められており、さらに石狩と札幌を結ぶ新しい交通手段の構想も生まれています。そのような石狩湾新港を舞台に、今後の港湾機能の高度化を目指した未来志向の議論が行われることは、まさに時宜を得たものと考えます。

本日は物流と環境のさまざまな課題に精通し国土交通省の運輸審議会や交通政策審議会の委員も務められている東京女子大学の二村真理子先生、そして潜水業を通して海洋人材育成や洋上風力発電と水産業との協調の問題に取り組まれている（一社）海洋エネルギー漁業共生センター理事の渋谷正信様にご講演いただきます。また、続くパネルディスカッションでは経済界や行政の立場から、3 名の専門家にも参画していただきます。どのような議論が交わされるのか、非常に興味深いところです。

短い時間ではございますが、有意義で示唆に富んだシンポジウムになることを祈念し、ご挨拶とさせていただきます。

5.2 共催者挨拶

石狩市長 加藤 龍幸 氏

石狩湾新港は都市経済の心臓部であり、極めて重要な拠点になっております。今年9月、港湾区域内に14基の洋上風力が設置されました。現在は12月の運転開始に向け、準備を進めています。これからの我が国のエネルギー問題に大きく寄与するプロジェクトであることに、大いに期待しています。今後は関連産業の集積、また地域内での有効な電力活用の手法を検討していきたいと思います。

さらに今年5月に、石狩湾沖が再エネ海域利用法に基づく「有望な区域」に指定されました。現在は資源エネルギー庁、北海道庁にご尽力いただき、法定協議会に向けてさまざまな準備を進めています。

本市は石狩湾新港の可能性と未来を探るための検討を続けています。その一つが洋上風力関連産業集積モデル構築に向けた検討です。発電事業の進展によって、どのような産業集積の可能性があるのかを調査しています。

また、石狩湾新港地域の豊富な再生可能エネルギーの需要先として、新たな軌道系交通導入の実現可能性に関する調査も進めています。軌道系交通の導入については、長年にわたる石狩市民の夢であり、交通利便性を高めるためにも、ぜひとも具現化に向けて努力していきたいと考えています。

石狩湾新港は再生可能エネルギーや新たな産業の集積により、さらなる進化を遂げようとしています。本日のシンポジウムを通し、石狩湾新港の可能性を共に考えていただき、その実現にお力添えをいただければと思います。

本日はよろしくお願いいたします。

5.3 共催者挨拶

小樽市長 迫 俊哉 氏

(代読 小樽市産業港湾部港湾担当部長 笹田 泰生氏)

ザ・シンポジウムみなとが石狩湾新港で開催されますことを、開催地の一つである小樽市を代表し、心から感謝申し上げます。

石狩湾新港は 1973 年から整備が始まり、1994 年に国際貿易港として開港して以来、外貿定期コンテナ航路の開設やリサイクルポートの指定、LNG 機能に係る日本海側拠点港に指定されるなど、北海道の日本海側における重要港湾として着実な発展を続けられています。特に港湾区域内の洋上風力は完成間近となっており、再生可能エネルギーの活用など、脱炭素化に向けたエネルギー基地として期待されています。また、港を核として背後に整備された石狩湾新港地域には製造業や流通業など 700 社を超える企業が進出しており、北海道経済の産業拠点として今後、いっそう飛躍する可能性があるものと感じております。

一方、小樽市は石狩湾新港と同じ石狩湾に面する小樽港も有しています。近年、太平洋側港湾への主力化が進められてきましたが、リスク分散等の観点から日本海側航路の重要性も再確認されており、特に「物流 2024 年問題」やカーボンニュートラル実現といった喫緊の課題においては、石狩湾新港と小樽港が日本海側の拠点港として果たすべき役割は大きいと考えています。本日のシンポジウムが石狩湾新港の今後のさらなる飛躍に向け、港の重要性を広く発信する機会となりますことを期待申し上げます。

参加者の皆さまにとって本シンポジウムが有意義なものとなりますことを祈念申し上げ、挨拶とさせていただきます。

5.4 石狩湾新港の紹介「石狩湾新港の整備効果と振興ビジョンについて」

(一社)寒地港湾空港技術研究センター 理事長 眞田 仁
冒頭の挨拶に引き続き2度目の登壇となります。

石狩湾新港が所在する石狩・小樽の市民や背後に控える札幌市も含め、地先にある重要港湾が物流やエネルギー面で重要な役割を担っていることをあまり認識されていないと言われていることもあり、シンポジウムを始める前に少し石狩湾新港の役割を説明したいと思います。

それから、私が理事長をしている(一社)寒地港湾空港技術研究センターに対して、石狩湾新港振興会から石狩湾新港の将来ビジョンを検討して欲しいとの依頼が2年前にありました。成果として「石狩湾新港振興ビジョン2050」を策定しました。ビジョンの検討は関係する業界や経済界の方々にお集まりいただいた「石狩湾新港地域の未来を語る会」において進めました。その座長をセンターの理事長である私が務めたこともあり、本日、その振興ビジョンの概要も説明したいと思います。

これは、石狩湾新港の before & after です。堀込みとともに埋立によりふ頭を整備したことが分かります(図1)。

石狩湾新港整備の始まりは、昭和45年の第3期北海道総合開発計画の閣議決定です(図2)。昭和57年に東埠頭に木材を輸入するための岸壁が完成しました。次に堀込みの中央水路が完成し、エネルギー基地となっている中央

埠頭、そして製紙の原料となるチップを輸入していた西埠頭が順次供用していきました。

港の背後にはいろいろな産業が立地しており、「石狩湾新港地域」と呼んでいます。こうやって航空写真で見ると、地域の横幅は、札幌中心部からここガトーキングダムに匹敵することが分かります(図3)。港湾背後の工業団地は並みの大きさじゃないということです。

石狩湾新港は昭和57年つまり1982年に供用して以来、順調に取扱貨物量を伸ばし、それに伴い背後地域の製造品出荷額等もリーマンショックやコロナ禍を除けば、ずっと増加傾向にあります(図4)。港湾開発の効果の一面だと言えます。

産業が発展するということは、すなわち雇用が生まれるということです。石狩湾新港地域は石狩市と小樽市に跨っていますが、石狩市だけの例をとってみても昼間人口比率が100を超えています(図5)。石狩市は札幌のベッドタウンと言われることも多く、それだけだと昼間人口比率が100を切ってしまいますが、実は、石狩湾新港地域に立地する企業の従業員らが札幌市北区をはじめ近隣地域から大勢通勤しているということなのです。

では、この地域にはどのような企業が立地しているのでしょうか。このスライドは、平成24年度以降の立地企業だけを表示したものです(図6)。日本経済が安定成長に入って久しいですが、ここ石狩湾新港地域では、新たな企業立地や事業拡張の勢いが衰えることなく続いています。



図1



図3



図2



図4

コンテナで輸入された貨物を保管したり販売するいわゆる流通業、LNGなどのエネルギー関係企業、アジア・中東の経済成長に伴う鉄需要を支えるスクラップの輸出を担う企業など様々です。

このスライドは、エネルギー関連の企業立地に限って表示したものです(図7)。北海道電力や北海道ガスをはじめ、陸上及び洋上の風力発電、バイオマス発電など様々な企業が立地しています。

このように、石狩湾新港は供用以来、貨物量を伸ばし、企業が立地し、雇用が増えており、石狩市及び小樽市の財政基盤を支えています。時系列的におさらいしてみましょう(図8)。木材船が初めて入港した1982年以降、札幌圏の人口増加を支える建築資材としての木材の輸入とコンクリートの原料となる砂利・砂の移入が大きな役割でした。

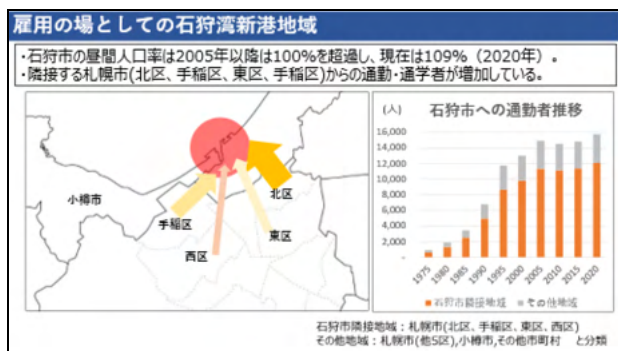


図5



図6



図7

1997年に外貿コンテナ航路が開設され、韓国そして急成長する中国との貿易を支えてきています。ここに食品の輸出とありますが、最近の大きな問題となっている中国における日本の水産品輸入に対する制約では、北海道産のホタテなどが輸出港となっている石狩湾新港でも大きな影響が出ていると思います。

また同時期に、鉄スクラップの輸出が増えてきています。皆さんが普段使っている自動車や家電製品などがリサイクルされ、アジア・中東に向けて大量に鉄資源として輸出されています。我が国の循環型社会を形成するとともに、成長著しい海外諸国の経済発展を支えていると言っても過言ではありません。

そして、2012年からサハリンなどからLNGを直接輸入するようになり、道内各地の都市ガス供給や全道の電力需要を賄う重要な役割を担っています。

次に、冒頭で触れた石狩湾新港振興ビジョン2050について説明します(図9)。このビジョンは、2050年までに石狩湾新港においてここに書かれていることが実現するという前提に策定されました。

先ほど説明したように、石狩湾新港では今年12月に11万2千kwの洋上風力発電が運転開始します。ここで生まれる電気は、化石燃料を燃やすのではなく、100%エコいわれる「グリーン電力」です。このグリーン電力を活用することにより、次世代エネルギーと言われる水素やアンモニアを製造することができます。技術的な課題はあります

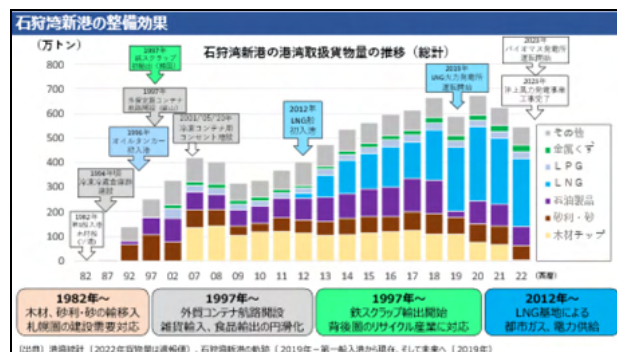


図8

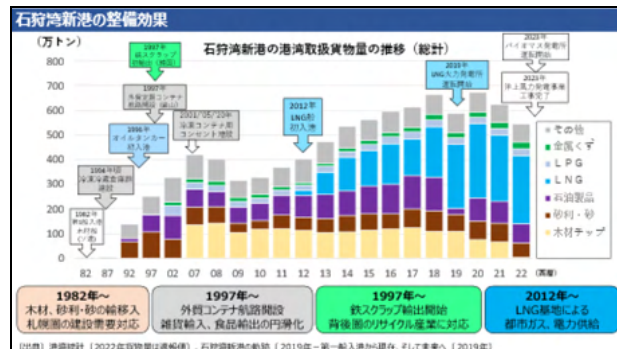


図9

が、国を挙げてこの次世代エネルギーの利活用に取り組んでいるところです。

ポイントは、このグリーン電力を電力需要の旺盛な首都圏に送るのか否かです。現段階では、このような洋上風力由来のグリーン電力は系統連系により本州に送ることが現実的とされていますが、できれば、地産地消したいのです。

今石狩では、このグリーン電力を使ってデータセンターの機能を大きく拡張させるプロジェクトが進んでいます。また、北極横断データケーブルがこの地域に接続されることにより情報ゲートウェイとしての優位性を活かした新たなデジタル関連産業の立地や IR や e スポーツの拠点形成などもあり得ます。

さらに、水素と工場や都市部で発生する二酸化炭素(CO2)から次世代エネルギーの一つであるメタノールを製造(メタネーション)したり、プラスチックを合成することにより、炭素循環・リサイクルの先端的な地域となることも想定されます。

一方で、アンモニアは、既存の火力発電所の燃料として混焼してCO2の排出を抑制することもできます。

グリーン電力は、交通手段の技術革新にも大きな影響を与えます。

石狩湾新港地域の自動車やトラック、皆さんが利用する自家用車やバスはEV、PHV、FC化され地球温暖化防止に大いに貢献します。

また石狩市で新たに検討されている新交通システムもグリーン電力を大いに活用できます。グリーン化が図られる石狩湾新港地域と石狩市の住宅街、札幌の地下鉄駅や丘珠空港を結ぶことにより、日常の交通需要を満たすだけでなく、データセンターなどをはじめとする最先端のデジタル関連産業やeスポーツで来道するお客を新交通システムで運ぶというシナリオも描けます。

国土交通省港湾局では、全国の港湾においてCNP(カーボンニュートラルポート)という施策を進めています。港湾にはかつて臨海コンビナートが形成され日本の高度成長を支えましたが、今やカーボンニュートラルの最先端地域として活躍が期待されています。グリーン電力や次世代エネルギーを「つくる」「ためる」「はこぶ」「つかう」の4つの機能が相まって我が国のカーボンニュートラルを支えることになります。

石狩湾新港では、洋上風力発電でグリーン電力をつくります。それを港湾背後の蓄電池でためることができますし、水素やアンモニアをつくることにも使えます。また、港湾の荷役機械は電気もしくは燃料電池で稼働させることも考えられます。そのことにより、AI、IoTを活用した「寒

冷地型次世代高規格ターミナル」が形成されます。

現在、CO2を多く排出する重油を使用している船舶の燃料も今後はLNG、メタノール、アンモニアに転換していきます。余った電気や水素は、港で電気運搬船や水素運搬船で積み込んで他地域に運ぶこともできます。

次世代エネルギーは一次産業の分野でも大いに活用できます。石狩湾新港における漁港機能も重要な役割です。皆さんが食べている秋鮭やニシンは石狩湾新港で水揚げされるものもあります。漁船のエンジンを電気もしくは燃料電池に転換するとか、洋上風力発電施設の海中部を漁礁化することも検討されています。

また、グリーン電力で稼働するデータセンターの機能を使って、AI(スマート)漁業もどんどん進展していくでしょう。

一方で、農業の分野にも夢は広がります。農産物を生産するために不可欠な肥料には3種類ありますが、その中の窒素系肥料はアンモニアから作ります。豊富なグリーン電力を使えば、水素からアンモニア、アンモニアから窒素系肥料ということで、輸入に依存している肥料の国産化も夢ではありません。

このように、洋上風力発電を軸にカーボンニュートラルの実現に向けて、大いなる可能性を秘めているのが石狩湾新港地域なのです。最後に、「Team Sapporo-Hokkaido」の設立について紹介します(図10)。

北海道が再生可能エネルギー供給の大きなポテンシャルを有していることから、これを最大限に活用し、世界中からGXに関する資金・人材・情報を集約する世界の金融センターを目指すべく、北海道の産業・学術・行政・金融界を代表する21機関からなる産・学・官・金のコンソーシアムであるTeamSapporo-Hokkaidoが去る6月23日に設立されました。

ここで検討されている8つのプロジェクトをご覧ください(図11)。水素、洋上風力発電、蓄電池、電気及び水素運搬船、海底直流送電網、データセンターという6つは、先ほど石狩湾新港振興ビジョン2050でご説明したことと完全にシンクロしています。

石狩湾新港の将来は、これだけ可能性に満ちているということの証左です。

今後は、Team Sapporo-Hokkaidoとタッグを組んで北海道のGXを先導していくのが石狩湾新港地域だと言えます。ご清聴ありがとうございました。



5.5 講演1「次世代物流・流通システムによる港湾の競争力の強化」

東京女子大学現代教養学部 教授 二村 真理子氏

本日は「次世代物流・流通システムによる港湾の競争力の強化」をテーマにお話しさせていただきます。

まず、港湾の機能を整理します（図1）。港湾は物流活動の場であり、後背地の都市の産業機能を支える存在でもあります。そして水産業の拠点であり、人の移動の結節点、さらに海に親しむ憩いの場、エネルギー創出という新たな側面、災害発生時の補給拠点という役割もあります。石狩湾新港も同様の機能を有していますが、今朝石狩湾新港を見学して、リサイクル拠点という側面を発見しました。

港湾関連の主要施策としては、国際コンテナ戦略港湾や国際バルク戦略港湾、AIターミナルなどの議論が進められています（図2）。近年はカーボンニュートラルポート、ブルーカーボン、洋上風力発電など、DX（Digital Transformation）やGX（Green Transformation）に関する議論が急速に高まっています。

石狩湾新港の魅力について考えます（図3）。まず物流拠点、輸出入の拠点であることです。中国2航路、韓国1航路というコンテナの定期航路があるのは、地方港として重要な港湾に位置付けられていることを意味しています。また、国内輸送の移出入拠点でもあります。

エネルギー創出の拠点としては、北海道の港湾でLNGの基地があるのは石狩湾新港だけで、さらに発電所も立地し

ていることから極めて重要な役割を担っているといえます。

石狩湾新港は水産業の拠点でもあります。さらに、にぎわいのある港湾空間・交流空間という側面では、後背地で音楽フェスや朝市が開かれています。さらに、釣りを楽しむ人が多いという情報もありました。ほかにも、安全・安心を守るという側面では、災害発生時の補給経路としての機能を果たしています。

次に石狩湾新港地域の特徴を紹介します（図4）。まず、港湾という物流拠点であることが大きな強みです。港湾の後背地に工業地域があることも特徴です。札幌に隣接し労働力の確保が容易で産官学の連携も可能、さらに近くに丘珠空港があります。特にカーボンフリー電力の利活用は、気候変動問題に敏感な企業が立地を考える上でかなり有利に働きます。

ここからは、日本が直面する2つの物流課題について考えます。

最初は「物流2024問題」です（図5）。2024年4月1日から、トラックドライバーの時間外労働は年間960時間に規制されます。規制後、約14.2%の輸送力が不足するといわれています。

もう一つが気候変動問題です（図6）。日本は温室効果ガスの排出量を2030年に2013年度比で46%削減、さらに2050年までにカーボンニュートラルを実現することを目標に掲げています。運輸部門はやや緩和されて35%減

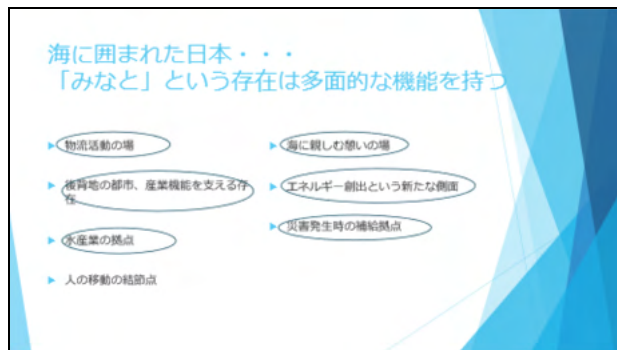


図1

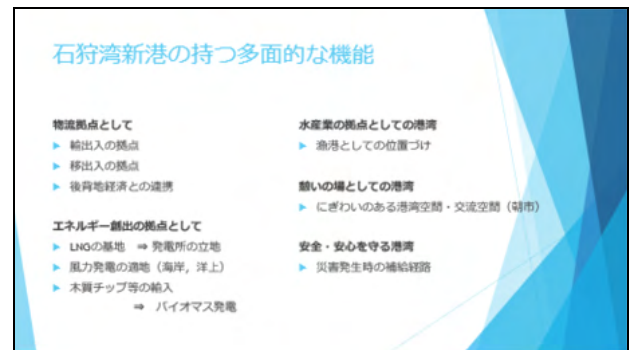


図3

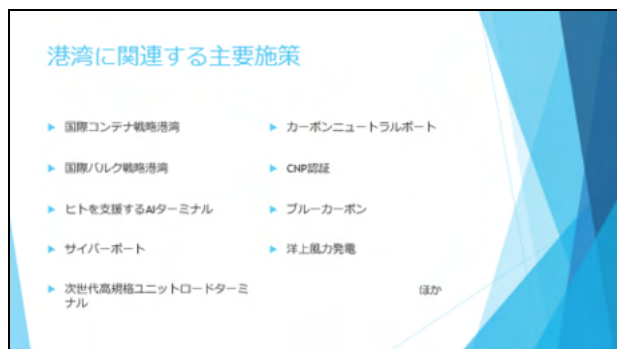


図2

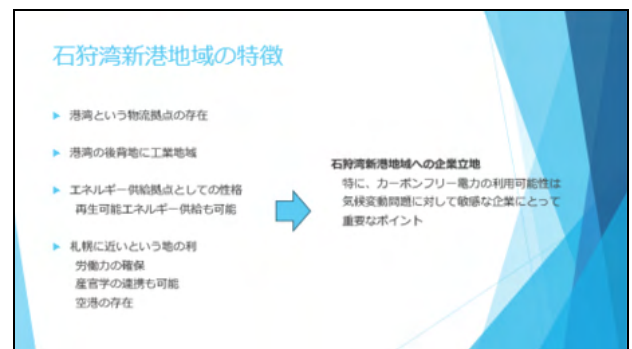


図4

ですが、その実現は安易ではありません。

この2つの問題の基本的解決策は類似しており、トラック輸送から鉄道や船舶へ転換するモーダルシフト、積載率を向上し輸送の効率化を図る物流効率化がポイントになります。気候変動問題については、輸送機器の環境性能の向上も重要です(図7)。

ここからは北海道の物流の現状について、2024年問題と絡めて考えていきます。2020年度の道内における貨物輸送に関する機関分担率は、トラックが約98%を占めています(図8)。移出入貨物の推移をみると、近年は移出量に比べて移入量が多くなっており、移出入の輸送手段は海運が中心になっています(図9、図10)。

北海道の貨物量の動向についてまとめると、道内では自動車の分担率が極めて高く、今後は共同輸配送が必要になると思われます。移出入貨物については近年、移入超過の

状況にあり、海上輸送の分担率が特に高くなっています。

トラックドライバー不足が北海道に与える影響について調べました(図11)。野村総合研究所の「北海道の物流実態調査」によると、2025年には約13%、2030年には約27%の輸送力が不足するとされています。また、札幌に限っても2025年に11%、2030年には24%という数字が示されています。このことから、道内の輸送に関しては、効率的な新たなシステムと共同輸配送が不可欠といえます。

北海道の輸送課題をまとめると、自動車の分野ではトラックドライバー不足の問題、鉄道の分野では北海道新幹線の延伸による並行在来線の存続問題や赤字路線の廃止計画などが挙げられます。こうした不安要素によって、海上輸送へのモーダルシフトの重要性がますます高まってきます。石狩湾新港は札幌に最も近い港湾として、今後は内

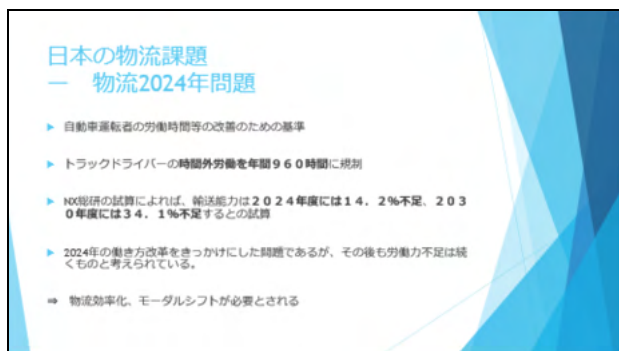


図5

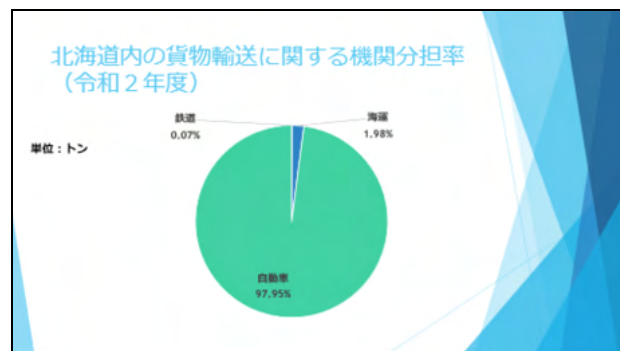


図8

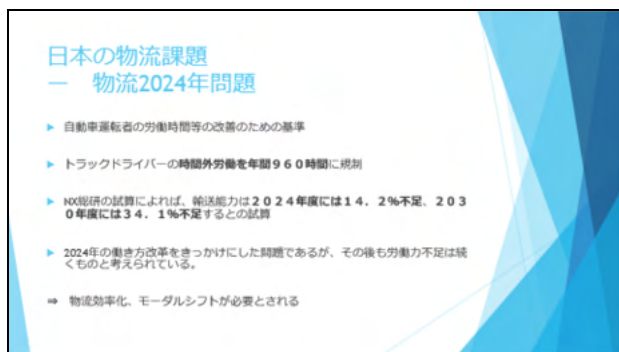


図6

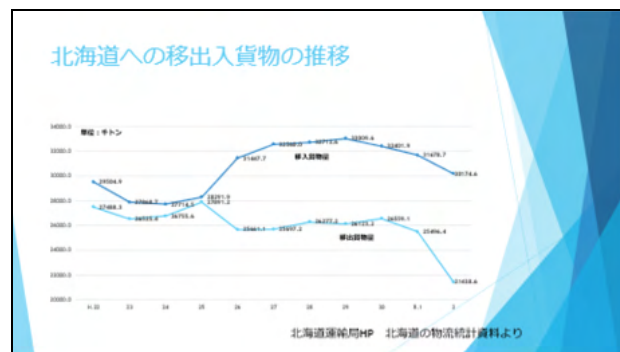


図9

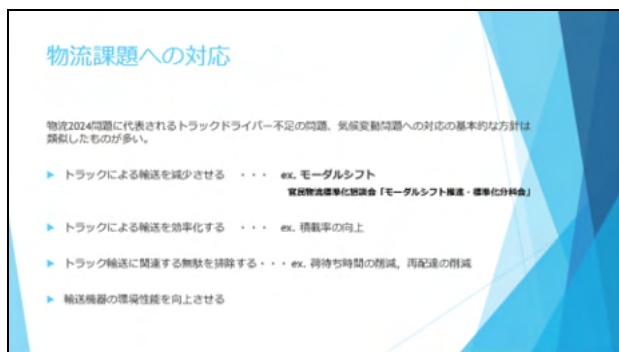


図7

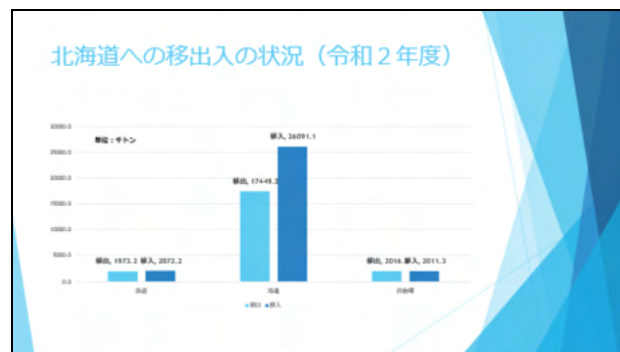


図10

質貨物への対応が急務だといえます。

次に石狩湾新港地域と気候変動問題について考えます。

企業は社会的責任（CSR）の一環として、CO2 排出削減への努力をアピールする必要があります。つまり、「見える化」することが求められます。そのためには、環境報告書や第三者認証の活用が考えられます。

現在、数多くの環境認証制度が乱立していますが、ここではその中の「SBT（Science-Based Targets）」を紹介します（図 12）。SBT はパリ協定の水準に沿って企業が設定する CO2 削減目標のことで、この認証を受けると環境意識の高い企業としてアピールできます。それによって、環境に配慮した企業に対し積極的投資を行う ESG 投資につながり、資金調達面で優位に立つことができます。

環境認証の取得を目指す企業では、サプライチェーンの CO2 排出量の見える化を取り入れています。サプライチェ

ーンの CO2 管理は、自社が直接排出した温室効果ガスの量の Scope 1、使用したエネルギー起源の間接排出量である Scope 2、製造や輸送などを含むサプライチェーン全体の排出量の Scope 3 の合計で示されます（図 13）。

電力の発電方法は企業にとって大きな関心事であり、洋上風力を持つ強みを最大限に生かすことが石狩湾新港地域の訴求ポイントになります。

最後に石狩湾新港の将来像についてお話しします。

石狩湾新港地域の優位性をまとめました（図 14）。200 万都市の札幌を背後圏に持ち、産官学の連携がとれる環境は非常に有利です。また、モーダルシフトの受け手としての海上輸送が可能な港湾があります。これまでは国際輸送の定期船に特化していましたが、今後は RORO 船の定期運航を呼び込むことで、物流課題にも対応できると考えます。ほかにも港湾地域への企業集積による輸出入・移出入拠点としての活用や、農産品・水産品の輸出拠点として食料安全保障を支えることができる地域性などもメリットです。

最大の強みはカーボンフリー電力の存在です。また、データセンターの増加に伴い人材の集積も期待できます。港湾周辺地域に多種多様な人材がそろえば新たなイノベーションが生まれる可能性も出てきます。さらに、余剰電力を活用した水素製造拠点という側面も見逃せません。

石狩湾新港の港湾競争力強化のために必要な投資と効率的な運用について考えます（図 15）。

石狩湾新港の強みは、コンテナやエネルギー拠点としての機能を備え、後背地に産業集積やカーボンフリー電力が供給できることです。これらは、国が推進するカーボンニュートラルポート実現化への十分な素地になります。

また、札幌・石狩・小樽を一体として捉え、港湾競争力の強化を図ることも大切です。その視点で考えると、近隣港との住み分けが最も重要になります。そのためには、フェリーターミナルとしての小樽港との差別化を進めるべきです。石狩湾新港はコンテナ港湾としての性格を強め、日本海側の RORO 船の航路誘致を目指すべきで、そのためには港湾の整備・拡張が必要になると思います。

最後に、今後想定される石狩湾新港地域の戦略をまとめます。繰り返しになりますが RORO 船の誘致、そして環境先進地域としてのブランド形成、背後圏の土地とカーボンフリー電力のアピール、さらに水素社会を見据えた戦略の推進、これらが一体となった戦略を推し進めれば、石狩湾新港地域やその周辺地域の繁栄につながると思います。

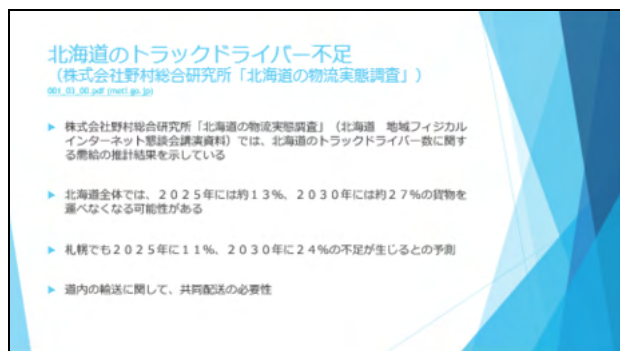


図 11

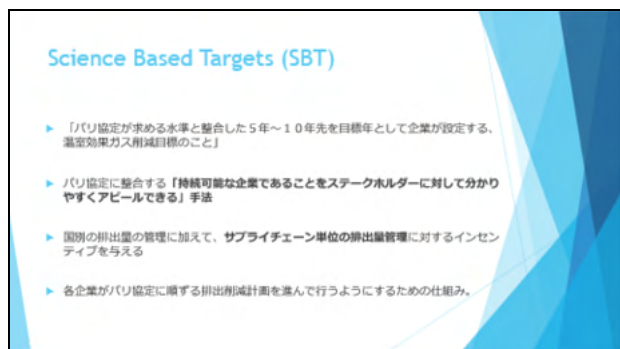


図 12

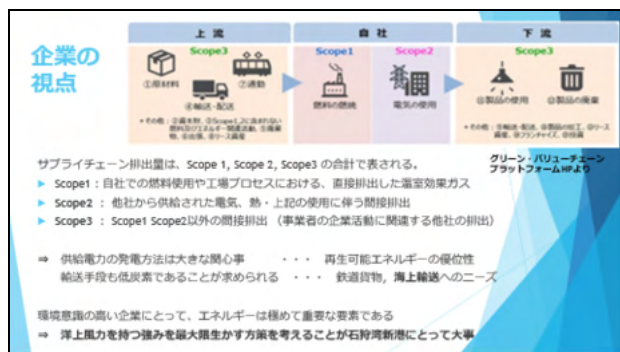


図 13

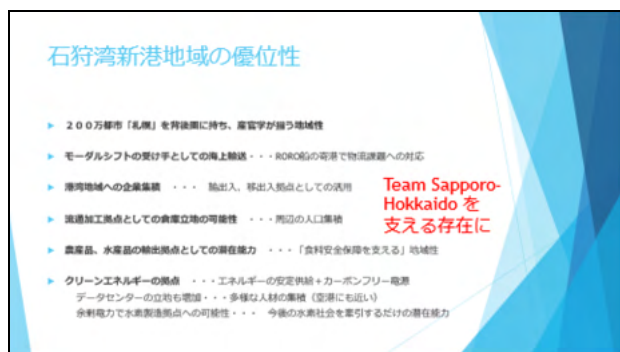


図 14

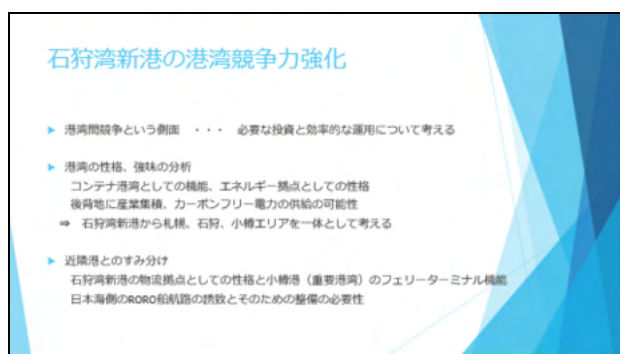


図 15

5.6 講演2「洋上風力の石狩湾沖展開と水産業の協調的発展」

(一社)海洋エネルギー漁業共生センター

理事 渋谷 正信 氏

本日は「洋上風力の石狩湾沖展開と水産業の協調的発展」というテーマに沿って、これまで私が経験してきたことを交えながらお話しします。

私は洋上風力と漁業の協調を図る上で、水の中の「見える化」がとても重要だと思います。「風力発電との共生」や「魚礁化」などと言っても、実際に水中がどのような状態になっているのかを見せない限り、なかなか理解してもらえません。私は何十年もの間、水中で構造物を造る仕事に携わってきた中で、海洋構造物が魚礁化するのを何度も見てきました。それを理解してもらうため実際に海に潜り、海洋構造物にたくさんの魚が生息している様子を撮影し発信しています。

私は北海道白糠町の出身です。水中工事や調査を行う潜水士に憧れて資格を取り、50年ほど前に潜水士として働き始めました。現在は、長崎県の海洋エネルギー漁業共生センターの理事を務めています(図1)。

30年ほど前、東京湾アクアラインの工事をしていたとき、脚柱の構造物を設置した次の日に海に潜ると、クロダイの群れが周りにいました。そこで「おや」と思ったのです。思い起こせば、海洋構造物の周りに魚をよく見かけていました。そこで個人的に海洋構造物の魚礁化の研究を始めました。

25年前からは、漁場藻場の調査・再生の事業にも取り組むようになりました。北海道増毛町の昆布の再生に携わったこともあります。13年前からは、海洋エネルギーと漁業との共生に取り組み、全国にある漁業共生センターの設立と運用のお手伝いをしています。ほかにも、千葉県の洋上風力促進協議会の副座長を務めています。また、漁業共生に関する調査も手掛け、五島の浮体式洋上風力や銚子の着床式洋上風力など全国各地で調査を行っています(図2)。

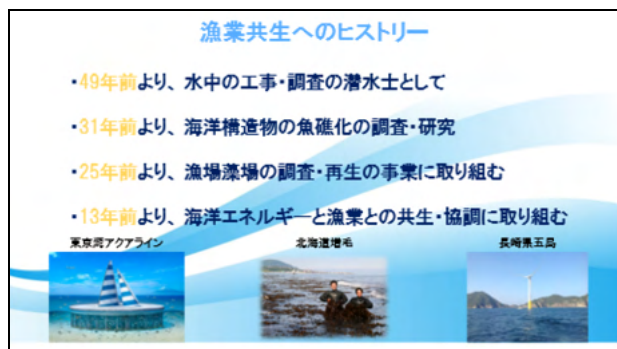


図1

私はもともと洋上風力に関心がありませんでした。海外に行ったとき飛行機の中から目にした海に多くの洋上風力が立ち並んでいるのを見て、「海中はどうなっているのだろう」と興味を抱きました。そこで、洋上風力の盛んな海外の国を回っては海に潜り、関連企業や展示会などに足を運び情報を収集しました。

私はこれまでに全国60カ所以上の海で漁場藻場などの調査を行いました(図3)。そこで目にしたのが、海藻がなくなる磯焼けです。特に太平洋側の房総半島以南で磯焼けが深刻でした。また、日本海側でも対馬や壱岐など南の方では磯焼けが進んでいます。さらに、北の方でも海藻が減少しています。こうした磯焼けや海藻減少は、25年前から確認できました。

海藻は魚の産卵場所であり、幼魚の隠れる場所や餌場などなくてはならない存在です。さらに、光合成で海中のCO2を吸収し酸素を排出する重要な役割を担っています。私は「このままでは危ない」というメッセージを当時から発信し続けています。では、日本で洋上風力の事業をどのように進めればよいのでしょうか。洋上風力事業を進める際、漁業者の存在を無視することはできません。漁業者に気持ち良く協力してもらえるように、いかに良好な関係を築くかが大きなテーマになります。

10年前、五島で洋上風力の実証実験を行うことになりました。それに併せて、漁業との共生・協調についての実証を行うことを長崎県に提案しました。これはまだ誰もや

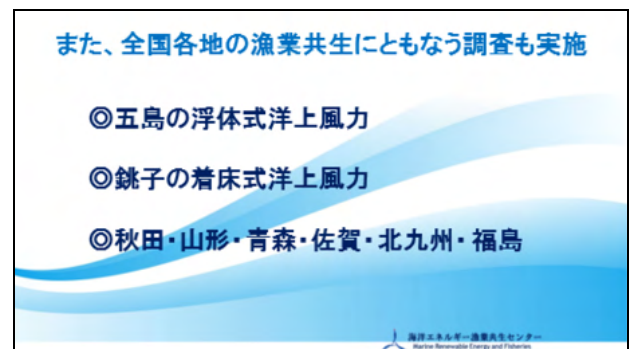


図2



図3

っていない未知の領域で手探り状態からのスタートでしたが、海洋構造物が魚礁化することを知っていたので、洋上風力にも可能性があると予想していました。

そこで、洋上風力の海中部と周辺海域の調査を行いました（図4）。洋上風力の浮体を海中に入れた後、しばらくは何も変化が起きませんでした（図5）。それが1年経つと、やわらかいサンゴに覆われ、そこには多くの根魚が確認できました（図6）。その様子を撮影して地元漁業者に見せたところ、組合長が「こんなになるのか」と驚いていました。その一言で洋上風力の事業が一気に動き始めたのです。その後の調査では伊勢エビのすみかとなり、回遊魚の群れが定期的に集まり、それを狙う大型の魚も確認できました（図7）。

漁獲調査も行いました（図8）。洋上風力の下、洋上風力から2 km 離れた人工魚礁、漁師がふだん漁をする天然

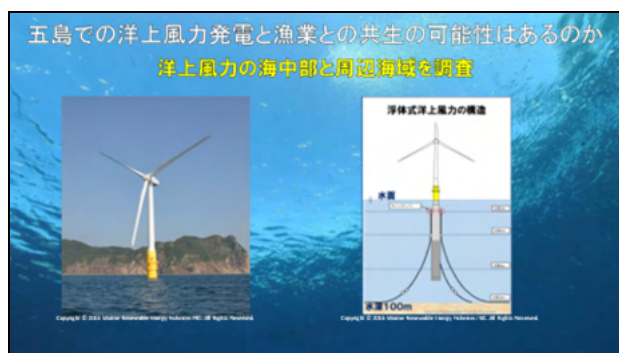


図4



図5



図6

魚礁の3カ所を対象に4年間にわたって調査したところ、漁獲量は洋上風力の下が最も多くなりました。その結果が洋上風力を不安視していた漁業者の気持ちを大きく変えました。漁業者と信頼関係を築けたことで、「磯焼けで消失したヒジキを再生させたい」という要望まで受けるようになりました。ヒジキの再生は洋上風力のある沿岸付近で取り組み、漁業者と協力しながら3年がかりで成功させました（図9）。

現在、五島の洋上風車は1基ですが、今後9基まで増設する予定です。「1基であれだけの効果なら、9基だともっと大きな漁場ができる」と期待されています（図10）。

次に、千葉県銚子の着床式洋上風力の例を紹介します。昨年から洋上風力と漁業との共生策をつくるための実態調査を行っています。銚子漁協の要望は、漁業に与える影響よりも、洋上風力の設置を機に銚子の漁業が持続的に豊



図7



図8



図9

最後になりますが、洋上風力は大きな発展をもたらすきっかけになります。さらに経済効果も見込めます。石狩の海に洋上風力ができることを機に、100 年先の未来を見据えて海や地域をともに豊かにする方法を見つけてほしいと思います。私も楽しみにしています。



5.7 パネルディスカッション「石狩湾新港の可能性と未来を語る」

○ 渡辺 これよりパネルディスカッションを始めます。石狩湾新港が日本だけではなく、世界からも注目される港になるにはどのような取り組みが必要なのか、物流や新たな企業誘致、港湾機能の高度化などの視点から話し合ってください。

最初に石狩湾新港地域と札幌圏を取り巻く物流について話を進めます。石狩湾新港で長年運輸事業に携わってきた紫藤さんに、現場の声をお聞きます。

○ 紫藤 当社は1988年に石狩湾新港に進出しました。以来この35年間、石狩湾新港は大きな発展を遂げました。しかし、海上輸送が盛況になる一方で、海と陸をつなぐ基本幹線の整備は遅れていると感じています。鉄路はなく、バスは撤退し、タクシーが公共交通機関の穴をカバーしています。現在は、デマンド交通という乗合交通の社会実験を行っています。

石狩湾新港の魅力をもっと引き出すなら、交通インフラの整備を進める必要があります。それを実現することで後背地に札幌があるメリットが生かされ、石狩湾新港の本来の機能が最大限に発揮できます。

○ 渡辺 次に折谷さん、港湾管理者の立場から石狩湾新港の物流の強みと弱みについてお話しください。

○ 折谷 強みの一つは札幌との近接性です。札幌の中心部から石狩湾新港までは約15km、車で30分程度です（図1）。道路整備が進んでいることも特長で、現在は新千歳空港方面に向けて道央圏連絡道路を整備中です。これが完成すると、道路交通ネットワークはさらに充実します。

また、韓国・中国向けの外貿定期コンテナ航路が週3便体制で就航しています（図2）。道内の港湾の中では便数、取り扱い数ともに苫小牧港に次いで2番目です。港のそばに冷凍冷蔵倉庫が集積していることも強みで、札幌への輸送コストの面で有利です。

一方、弱みですが、外国との定期コンテナ航路はありま

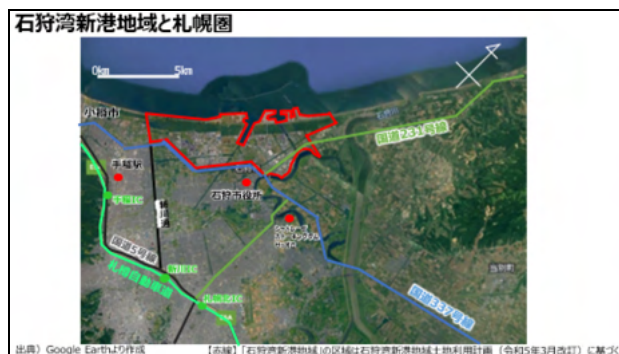


図1

すが、国内航路はありません。これはモーダルシフトを進める上で弱点だと考えています。近年、船舶の大型化が進んでいます。しかし、石狩湾新港には大型船が接岸できる岸壁が西地区に1つしかなく、今後は大水深の岸壁が必要になってきます。

○ 渡辺 稲垣さん、企業が物流倉庫や流通センターの立地を考える上で重視する条件とは何でしょうか。

○ 稲垣 今後、SDGsや低炭素、カーボンニュートラルというキーワードがますます重視される中、それを満たすGXが可能か否かが立地条件になります。

現在はこの企業も環境負荷低減というミッションを抱えているため、再生可能エネルギーを使えるというメッセージを発信することは、石狩湾新港に企業を誘致する上で大きなアピールポイントになります。

○ 渡辺 石狩湾新港はブランドになり得るということですね。

○ 稲垣 ぜひブランド化すべきです。そのためには、今のトレンドや社会情勢に合致したものを提供できる、ということを出す必要があります。石狩湾新港の特色を考えると、ブランド化は十分可能だと思います。

○ 渡辺 二村さんは、石狩湾新港地域の物流の効率化を実現するにはどうすべきだと思いますか。

○ 二村 今、起きている物流の問題は主に国内に関することです。それを解決するには、やはりRORO船のターミナルを整備し、定期便を誘致することが大切です。

また、石狩湾新港は移入が移出を大きく上回っている中で、移出を増やし両者のバランスを取ることが重要です。そうすれば、定期航路が安定的に継続する環境が整います。

○ 紫藤 二村さんのご指摘通り、道内では本州へ送り出す貨物量と運び込まれる貨物量のアンバランスが存在します。北海道から本州へ送るコンテナに入れる貨物が足りないという問題解決が、今後の大きなポイントです。

○ 渡辺 石狩湾新港の役割が変わることは、「物流2024年問題」の解決の糸口になるでしょうか。

○ 二村 2024年問題の解決策の一つに、鉄道や船舶への



図2

モーダルシフトがありますが、鉄道が危うい状況にある北海道の現状を考えると、やはり札幌に最も近い港湾として石狩湾新港の果たす役割は大きくなります。そのためにも国内定期航路の誘致が必要です。

○渡辺 続いてGX 関連産業の誘致について伺います。二村さん、GX とはどのようなものなのか、改めて説明をお願いします。

○二村 クリーンエネルギーを活用するための変革やその実現に向けた活動を通じ、経済・社会システムを大きく変える取り組みがGX です。これまでのような努力だけではカーボンニュートラルは実現できません。技術革新分野の発展を促しCO2 排出の大幅削減を可能にする技術を実現化し、それによって持続可能な成長を遂げながら雇用と所得を増やすのがGX の目的です。

○渡辺 GX にはどのような関連産業がありますか。

○二村 GX には特定の企業に限らず、ありとあらゆる企業が関係することになります。電力消費を伴うすべての企業でGX への取り組みが不可欠になるのがこれからの社会です。

○渡辺 渋谷さんはこれまで国内外で洋上風力のある海に潜り、現地調査をしてきました。洋上風力がある地域では、新たに産業や雇用が生まれていますか。

○渋谷 私が関わっている長崎では、海洋エネルギー事業に取り組むと同時に海洋産業の活性化を進めました。造船業が衰退したため、それに代わる産業を育てるのが狙いです。

当時、五島市は毎年人口が500人も減少する状況でしたが、洋上風力が1基できただけで、視察者が多いときで年間1万人近くにも上りました。それに伴い経済波及効果が生まれ、人口減少に歯止めがかかりました。

ドイツの洋上風力の基地、ブレーマーハーフェンでは洋上風力関連の施設を巡る観光コースがありました。洋上風力を一般の人に広く見てもらうことはとても大切です。例えば石狩湾新港に展望塔をつくり、洋上風力を間近で見ることができれば、より多くの人に洋上風力事業の面白い

や魅力が伝わるのではないのでしょうか。

○渡辺 観光資源になるなど、洋上風力の効果は多岐に渡るようです。では折谷さん、企業誘致にあたり、石狩湾新港の強みや課題を教えてください。

○折谷 石狩湾新港は5つの地区で埠頭整備を進めています(図3)。花畔地区は国際コンテナ基地、東埠頭地区はリサイクル基地、中央地区はエネルギーの供給拠点というように、それぞれに特徴があり、機能の特性に応じた企業誘致に取り組んでいます。外貿コンテナ航路の開設や、4基のLNGタンクや発電所の立地はこれまでの誘致活動の成果だと思います。

GX に関しては石狩市が昨年、環境省の脱炭素先行地域に指定されたことを受けて、「RE ゾーン」という区域では100%再生可能エネルギーで電力供給を目指す先進的な取り組みが行われる予定です。データセンターなどは大量の電力を消費するので、再生可能エネルギーの使用は大きなアピールポイントになります。

再生可能エネルギーの地産地消が可能な洋上風力発電を積極的に活用する気運が高まっており、石狩湾新港地域の価値は向上すると考えています。また、グリーン電力を求める企業が今後さらに増えるので、DX・GX 関連の新たな産業の集積も期待できます。

○渡辺 二村さん、企業誘致の面でも石狩湾新港は有利になりそうですね。

○二村 多くの企業が2050年までにカーボンニュートラルの実現を目標に掲げており、CO2 排出権を購入する企業が増えます。しかし、排出権の供給不足が見込まれるので今後、排出権の価格上昇が予想されます。こうした中、すでに利用権が付帯しているRE ゾーンのような場所は企業にとってかなり魅力的です。また、すぐ近くに洋上風力があるという好立地だと電力の由来がはっきりするので、企業イメージも良くなります。

○渡辺 新業態の企業を誘致する際、これまでとは違った視点が必要になりますが、稲垣さんはどう考えますか。

○稲垣 これは当社の例ですが、今後当社が設計・施工する物件はZEB Ready以上にする、基本的にすべての物件に太陽光を設置することをミッションに掲げています。また、低炭素やカーボンニュートラルに取り組もうとしている顧客と積極的に取引する方針が示されています。

社会全体がこうした方向に向かっていけると考えると、GX への取り組みがより重要になります。RE ゾーンにGX に取り組む企業が集積すると、その地区自体の価値がさらに向上します。

また、先ほど渋谷さんから提案があったように、観光資源として洋上風力をもっと活用してはどうでしょうか。例



図3

えば、洋上風力の羽根に LED 電球をつけて夜景を楽しめるようにすれば、話題になり若い人が大勢訪れるかもしれません。

○渡辺 これまでの工業団地というイメージとは、だいぶ変わってきますね。

○稲垣 もう一つのアイデアとして、地元以外の人に来たくなるような付加的機能を持たせてはどうでしょうか。そうすれば、港の魅力がもっと広まると思います。また、今は働く場所、住む場所、遊ぶ場所が近接する社会になってきています。石狩地域は働く以外の機能の充実化も必要です。

○渡辺 多くの人にとって魅力的な地域になる工夫が必要ということですね。紫藤さんは石狩湾新港への企業誘致をどのように考えていますか。

○紫藤 札幌に最も近い海の玄関口としてより多くの企業にアピールするには、多種多様な機能を持たせ、用途を広げる取り組みが大切です。ただ、企業や人が増えても交通アクセスが改善されなければ、本当の意味で魅力的な地域にはならないと思います。

石狩から苫小牧にかけてデジタル産業を集積する「北海道バレー構想」が打ち出されています。人流を支えるための交通アクセスの整備は喫緊の課題といえます。

○渡辺 皆さんのさまざまなアイデアを聞いて、二村さんはどう思いますか。

○二村 海にあれだけの洋上風力が並ぶ風景は、実に壮観です。日本では他にないという優位性をもっと強調すべきです。魅力をアピールすれば訪れる人が増え、SNS で拡散されます。展望塔という意見があったように、あの風景を生かした集客は工夫次第で十分見込めます。

GX については企業ニーズとしてエネルギーの優先順位が上がっていることから、クリーンエネルギーが使用可能な石狩湾新港は非常にポテンシャルが高いといえます。港湾地域だけではなく、クリーンエネルギーを柱に石狩・小樽・札幌が一体となったブランディングも考えられます。

○渡辺 港の価値を上げるには港自体の機能を高める必要があります。港湾機能を高めるために必要なことは何か。また、皆さんが思い描く石狩湾新港の未来像についてお聞きかせください。紫藤さんはどのように考えますか。

○紫藤 物流の結節点としての機能を強化していくことが必要だと思います。それが今後の石狩湾新港の発展につながると考えています。

○渡辺 稲垣さんはどのような未来像があると思いますか。

○稲垣 働いている人たちのコミュニティーを育む場があると効果的です。企業誘致を図る際のセールスポイント

としても、異業種交流ができる場合は今後重要になります。

○紫藤 人が集う、交流するという点では、夏の音楽フェスには道内外からたくさんの人が石狩に来ます。そうしたイベントを札幌と連携しもっと増やせば、さらなる集客が見込めます。

○渡辺 渋谷さんは石狩湾新港の未来について、アイデアや期待することはありますか。

○渋谷 洋上風力の価値を高める必要があります。例えば漁業者に海のデータを提供する、魚礁化で魚を増やす、藻場を形成してブルーカーボンによる CO2 吸収を促すといった取り組みが考えられます。

また、石狩湾新港は洋上風力の先進地として、後に続く地域に情報を提供することも大切です。

○渡辺 二村さん、皆さんの話を聞いてどう思いましたか。

○二村 今後、企業は環境認証を取得するだけでなく、それを維持継続する必要があります。石狩湾新港がカーボンフリー電力を提供できれば、非常に競争力の強い地域になります。また、SBT (Science-Based Targets) を志す企業がこの地域に集積すると、先進的で将来性のあるエリアになります。

○渡辺 折谷さん、石狩湾新港の未来像をお話してください。

○折谷 貴重なご意見をいただきありがとうございます。

港湾機能の高度化については、大型船の対応や機能拡充の重要性を改めて感じました。二村さんから提案いただいた RORO 船は、物流の効率化という点では確かに有効だと思います。また、紫藤さんから指摘がありました移出と移入のアンバランスについては、引き続きニーズの掘り起こしに努めます。新航路誘致のためにも、石狩湾新港の弱みを解消しなければなりません。

GX に関しては、北海道はゼロカーボンに向けて取り組んでおり、石狩湾新港もその一翼を担うよう港湾の脱炭素化推進計画を検討しています。また、石狩湾新港地域でつくった再生可能エネルギーの地域内使用は、具体化に向けた取り組みが必要だと考えています。

洋上風力の基礎部分に藻場創生の可能性がある、という渋谷さんのお話に興味を持ちました。魚が増えるという検証結果は、漁業と共生する未来が開けると感じました。

港湾機能の拡充を着実に進め、新たな視点で再生可能エネルギーやブルーカーボンへの挑戦に取り組むことで、石狩湾新港地域全体の価値や魅力が向上すると考えています。石狩湾新港が利用者から選ばれる港になることを目指し、さまざまなことに挑戦していきます。

○渡辺 ありがとうございます。今までの 50 年をベースにして、石狩湾新港はこれまでとは違った方向で新たな発展を遂げていくと思います。

それではここで質疑応答に移ります。ウェブ参加の方の質問を読み上げます。

○質問 石狩湾新港地域での洋上風力、RE ゾーンとその拡大に期待します。これを参考に各地でも電力の地産地消を進めることが可能だと思いました。二村さんにお聞きします。石狩湾新港で電力の余剰があれば、本州へ送電することは可能でしょうか。

○二村 北海道と本州の間の系統連系については、かなり強化が進んでいるので、電力を送ることは可能です。国としてもそれを政策として進める方針です。ただ、せっかく石狩でつくった電力を本州に送るのはもったいない、という気がします。将来的に充電池の性能が飛躍的に向上すれば、余剰電力を石狩湾新港地域で水素に変換する方法も選択肢の一つになります。

○渡辺 できれば地元で使った方が望ましいということですか。

○二村 電力を送る距離に比例して電力の損失が生じます。ロスを考えると、電気をつくったらすぐに使用することが最善です。

○渡辺 ありがとうございました。

以上をもちましてパネルディスカッションは終了となります。本日のパネルディスカッションが、今後の石狩湾新港の発展の後押しになることを願っています。



ザ・シンポジウム **みなと in 石狩湾新港**

石狩湾新港の可能性と未来を語る

【第1部】石狩湾新港の紹介



石狩湾新港の整備効果と振興ビジョンについて

一般社団法人 旭地産開発技術研究センター 理事長 **眞田 仁 氏**

【第2部】講 演



次世代物流・流通システムによる港湾の競争力の強化

東京女子大学現代経営学部 教授 **二村 真理子 氏**



洋上風力の石狩湾沖展開と水産業の協同的発展

一般社団法人 海洋エネルギー・漁業共生センター 理事 **渋谷 正信 氏**

【第3部】パネルディスカッション

石狩湾新港の可能性と未来を語る

パネリスト



東京女子大学 現代経営学部教授 **二村 真理子 氏**



旭地産工業部 新倉 隆 **紫藤 正行 氏**



石狩湾新港振興組合 専任 船運 係 **折谷 篤弘 氏**

コーディネーター



フリーアナウンサー 元NHKアナウンサー **渡辺 陽子 氏**



同時開催

みなとパネル展

主催：NPO法人 北海道みなと文化振興機構



令和5年 **10月5日 木** **13:30-17:00**

会場：シャトー・ゼ ガトーキングダム サッポロ
札幌市北区東茨戸 132 番地
アクセス (<http://www.gateaukingdom.com/access/>)



ご参加方法

会場への参観、ライブ配信の視聴は、いずれも下記の「お問合せ先」ホームページから申込み願います。

締切りは、令和5年9月27日(水) 17:00

お問い合わせ先

「ザ・シンポジウムみなと 実行委員会事務局」

一般社団法人 旭地産開発技術研究センター
札幌部 TEL 011-747-1600
<https://cpd.te-entry.net/>

※ 会場での撮影及びライブ配信（VTR）は、ご遠慮ください。土中での撮影（VTR）は、ご遠慮ください。



洋上風力発電場の建設



コンテナターミナルでの積卸



LNG船の入港



石狩湾のサケ漁



食スクラップの輸出

〇主催／「ザ・シンポジウムみなと」実行委員会：北海道経済連合会、（一社）北海道商工会議所連合会、北海道港湾協会、（一社）旭地産開発技術研究センター、（一社）旭地産工業部、旭地産開発技術センター、北海道、国土交通省北海道開発局
 〇共催／小樽市、石狩市、石狩湾新港振興組合、石狩湾新港外貨貿易利用促進協議会
 〇協賛／（一社）北海道開発局、（一社）北海道開発局技術センター、北海道港湾振興四仲連合会、石狩湾新港振興会、北海道港湾立港建設協会、北海道ポर्टエンジニアリング協会、（一社）日キリン事業協会、NPO法人北海道みなと文化振興機構
 〇後援／毎日新聞北海道支社、毎日新聞北海道支社、読売新聞北海道支社、北海道新聞社、NHK札幌放送局、HBC北海道放送、STV札幌テレビ放送、HTB北海道テレビ、UHB北海道文化放送、TVhテレビ北海道

145

プログラム

令和5年10月5日(木)

時 間	内 容
13:30～13:50	開会あいさつ ザ・シンポジウムみなと実行委員長 小樽市長 石狩市長 眞田 仁 迫 俊哉氏 加藤 龍幸氏
13:50～14:05	第 1 部 石狩湾新港の紹介 石狩湾新港の整備効果と振興ビジョンについて 一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター 理事長 眞田 仁
14:05～15:05	第 2 部 講 演 ・次世代物流・流通システムによる港湾の競争力の強化 東京女子大学 現代教養学部 教授 二村真理子氏 ・洋上風力の石狩湾沖展開と水産業の協調的発展 一般社団法人 海洋エネルギー漁業共生センター 理事 渋谷 正信氏
15:05～15:20	休 憩
15:20～16:55	第 3 部 パネルディスカッション テーマ 石狩湾新港の可能性と未来を語る パネリスト ・東京女子大学 現代教養学部 教授 二村真理子氏 ・一般社団法人 海洋エネルギー漁業共生センター 理事 渋谷 正信氏 ・札幌商工会議所 副会頭 紫藤 正行氏 ・大和リース株式会社 北海道支店 支店長 稲垣 仁志氏 ・石狩湾新港管理組合 専任副管理者 折谷 徳弘氏 コーディネーター ・フリーアナウンサー、元HBC アナウンサー 渡辺 陽子氏
17:00	閉 会

登壇者の略歴

- 眞田 仁(さなだ ひとし)
・2020年 一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター 理事長
- 二村真理子(ふたむら まりこ)氏
・2016年 東京女子大学 現代教養学部 教授
・(公職) 運輸審議会委員、交通政策審議会交通体系分科会計画部会委員、北海道開発分科会計画部会委員
- 渋谷正信(しぶや まさのぶ)氏
・1980年 株式会社 渋谷港水工業 社長
・2015年 一般社団法人 海洋エネルギー漁業共生センター 設立

- 紫藤正行(しどう まさゆき)氏
・1991年 ダイコクグループ 代表取締役
・2016年 札幌商工会議所 副会頭
- 稲垣仁志(いながき ひとし)氏
・2017年 国土交通省PPPサポーター
・2022年 大和リース株式会社 北海道支店 支店長
- 折谷徳弘(おりたに のりひろ)氏
・2021年 北海道 建設部土木局長
・2023年 石狩湾新港管理組合 専任副管理者
- 渡辺陽子(わたなべ ようこ)氏
・1989年 北海道放送 (HBC) アナウンサーとして入社
・2013年 HBC退社後、フリーアナウンサー



開会挨拶
ザ・シンポジウムみなと実行委員会 委員長 ^{きなだ}眞田 ^{ひとし}仁



共催者挨拶
石狩市長 ^{かとう}加藤 ^{なつゆき}龍幸 氏



共催者挨拶
小樽市長 迫 俊哉 氏
(代読 小樽市産業港湾部港湾担当部長 笹田 泰生氏)



石狩湾新港の紹介
(一社) 寒地港湾空港技術研究センター 理事長 眞田 仁



講演 1

東京女子大学現代教養学部 教授 ふたむら まりこ 氏



講演 2

(一社) 海洋エネルギー漁業共生センター 理事 しぶや まきのぶ 氏



パネリスト
東京女子大学現代教養学部 教授
二村 真理子 氏



パネリスト
(一社)海洋エネルギー-漁業共生センター
理事 渋谷 正信 氏



パネリスト
札幌商工会議所 副会頭
紫藤 正行 氏



パネリスト
大和リース株式会社 北海道支店
支店長 稲垣 仁志 氏



パネリスト
石狩湾新港管理組合
専任副管理者 折谷 徳弘 氏



コーディネーター
フリーアナウンサー
渡辺 陽子 氏



パネルディスカッション



会場の様子



同時開催した「NPO法人 北海道みなとの文化振興機構パネル展」

廣告

ザ・シンポジウムみなと in 石狩湾新港

風力発電の推進で注目を集める石狩湾新港と周辺地域の可能性や未来を語る「ザ・シンボジウム」は、石狩湾新港が10月5日に札幌市北政のホール「シヤトレイサトーキ」シアタマツボロで開かれた。北海道経済連合会などをつくる行政委員が主催。物産に詳しい経営者、人の質とハード施設カシラを通して地域の強みや課題を考え、インターネットでもライブ配信した。

◆講演・パネリスト

東京女子大学教授

◆パネリスト

札幌商工会議

石狩灣新港管理組合專任副管理者

フリーアナウンサー

渡	折	稻	紫	波	二
辺	谷	垣	藤	谷	村
陽	徳	仁	正	正	真
子	弘	志	行	信	子
氏	氏	氏	氏	氏	氏



— ■ 講演・パネリスト —
二村 真理子氏



■講演・パネリスト■
渋谷 正信氏

クリーンエネの拠点 重要性増す海上輸送

[illegible]

海中構造物が漁礁化
発電と漁業の共生へ

[illegible]

石狩の風力発電に大きな未来



シンポジウムにはオンライン視聴を含め約 530 人が参加



11-10-1994

大平、北海道放送（HBC）にアナウンサーとして入社。2013年からフリーとなり、テレビの情報番組などにも出演している。

お問い合わせ先
シンボジウムの動画は、二巻、巻頭論文
空母技術研究センターのホームページで
1月4日から公開する。問い合わせ先は
「ザ・シンボジウムおきなわ」事務局（航空
歴史）（担当：一岡シスター）総機務費で01
1-747-16888へ

[illegible]

交通インフラ整備に課題
人が集う場所あるといい
先進的な風景生かしたい
風車を増やし魚も増やす
電気の地産地消できれば

紫藤 穂垣 二村 波谷 折谷

[illegible]

いぶがき、ひとし
リースが中野の議員としての事業を再開する
大和リース北関東支店長。会社工事に終
業後の入庫を促される機会にも度々ある。

おりに、のりひる
北大大学院工学部材料科修了。道の建設
土木局長などを歴任。今年6月から石
川市建設委員会委員に就任。

6.1 講演「気候変動による防波堤の安定性低下と順応的対策」

(国研) 寒地土木研究所寒冷沿岸域チーム 上席研究員
平野 誠治 氏

寒地土木研究所の平野でございます。本日は貴重な発表の機会を頂きまして、誠にありがとうございます。

「気候変動による防波堤の安定性低下と順応的対策」ということで、網走で今年行われました海洋開発シンポジウムで、こちらに名前の挙がっている方々と一緒に論文を発表させていただきましたものに、若干の追加情報を加えて本日の発表とさせていただきます(図-6.1.1)。

本日の講演の流れでございます。まず気候変動適応策の必要性、なぜ必要かということ。あるいは波浪や潮位の増大、こちらに関する既往の研究について紹介をさせていただきますと思います。

次に、北海道の近年の主な被災事例から特に防波堤で大規模な被災、延長のうち数十%が被災するような被災を例として挙げまして、大規模な被災が生じやすいような条件、単発でこの防波堤は被災した被災しなかったではなくて、どのような条件であれば被災がしやすいのか、そういうところを検証していきたいと思います。

続きまして、今回の報告の中の一番大きな部分でございますが、合田による波圧算定式でございますけれども、皆さんが御存じのいわゆる合田式です。その合田式の中で当

CPC講演会(令和5年11月28日)

気候変動による防波堤の安定性低下と順応的対策

(国研) 土木研究所寒地土木研究所	平野 誠治
北日本港湾コンサルタント(株)	奈良 俊介
国土交通省港湾局海岸・防災課	水口 陽介
国土交通省北海道開発局港湾計画課	早川 哲也
国土交通省国土技術政策総合研究所	本多 和彦
京都大学防災研究所	森 信人
北海道大学大学院工学研究院	渡部 靖恵
室蘭工業大学大学院工学研究科	木村 克俊

図-6.1.1

本日の講演の流れ

- 気候変動適応策の必要性及び外力増大に関する既往研究紹介。
- 防波堤の被災事例から、大規模な被災が生じやすい一般的な条件を検証。
- 合田による波圧算定式(1973)における係数等(α_1 , α^* , H_D)の感度分析により、波浪(沖波)増大により波圧が増大しやすい条件を検証。
- モデル防波堤を設定し、気候変動(海面上昇及び波浪増大)後の安定性を照査。
- 数10年かけて徐々に上昇する海面や、増大する波浪に対して、手戻りなく、順応的に対応できる防波堤の設計法を提案する。

図-6.1.2

然設計波高Hというのも入ってますし、重複波圧を表現する α_1 という係数、あるいは砕波圧を表現する係数 α^* とありますが、このような係数等の感度分析によって、気候変動によって沖波が増大したときにどのような条件で波圧が増大しやすいかを検証したいと思います。

また、モデルの防波堤です。これは想定したフィクションの防波堤ではございますけれども、気候変動、海面上昇と波浪増大が起こった後、どのような条件で安定性が損なわれる可能性が高いかということを、モデル防波堤を使って検証したいと思います。

最後に、設計法の提案でございますけれども、数十年かけて気候変動は進行し、徐々に海面上昇と波浪増大というのは進行していきますけれども、これらに対して手戻りなく順応的に対応できる防波堤の設計を提案するというものでございます(図-6-1.2)。

まず、既往の研究と気候変動対応策の必要性でございます。例えば、最近は100年に一度の発生確率の高潮、こちらIPCCの2023年の報告書から引用させていただいておりますが、右上の図にある大きい丸がアニュアルイベントなので、100年に一度の高潮が1年で発生する海域、それが10年、20年というふうに、100年に一度の確率のそういう高潮が世界各国でも、こうやって10年、20年、あるいは1年で頻発しているという現象が起きているということです。

また、下のグラフでいきますと、RCP2.6というのは、今我々ができ得る対応策を取った場合の気候変動の温度上昇のグラフで、RCP8.5というのが全く対応策を取らなかった場合の温度の上昇ですが、仮に我々が対策を取ったとしても、30年ほどは気候変動で温度上昇が続いていくというような状況になっています。

そのため、温度上昇が続くのであれば、全ての施設を均等に対策することは非現実的でございますので、被災リスクの高い条件を見いだして、そちらの対策を優先的に取る必要があるというふうに思っております。

また、進行しつつある気候変動へ対応するに当たっては、

本日の講演の流れ

- 気候変動適応策の必要性及び外力増大に関する既往研究紹介。
- 防波堤の被災事例から、大規模な被災が生じやすい一般的な条件を検証。
- 合田による波圧算定式(1973)における係数等(α_1 , α^* , H_D)の感度分析により、波浪(沖波)増大により波圧が増大しやすい条件を検証。
- モデル防波堤を設定し、気候変動(海面上昇及び波浪増大)後の安定性を照査。
- 数10年かけて徐々に上昇する海面や、増大する波浪に対して、手戻りなく、順応的に対応できる防波堤の設計法を提案する。

図-6.1.3

順応的に適応していく必要があるというふうに考えております(図-6.1.3)。

こちらは、オホーツク海におけるこれまで40年にわたる波浪の増大について、寒地土木研究所の岩崎研究員が報告した成果でございます。冬季にオホーツク海の氷がだんだんと減っているというのは、もう皆さん御存じのことだと思いますが、その氷は波のパワーを低減するという効果、天然の防波堤のような効果がありますが、そのような氷が少なくなることで、冬季における波パワーが10年あたり12%から15%程度も増大しているということを解明したものでございます。

40年でございますので、単純にこの4倍程度の波パワーがオホーツク海においては冬季に増大してきているということで、過去の現象の検証によって、これを証明したということでございます。(図-6.1.4)

続きまして、将来における波高の上昇についての既往研究がこちらでございます。RCP2.6の条件下で志村たちは、有義波高については減少するという傾向を示していますが、右上の図にあるように、オホーツク海については赤い色が塗られていると思います。こちらについては、将来においても海水の減少が続き、吹送距離が増大して有義波が高くなる可能性があることを示されております。

また、設計に使う50年確率波については、野村らが2022年に発表した論文でございますが、北海道の苫小牧、紋別、留萌において計算して、ここでは苫小牧の

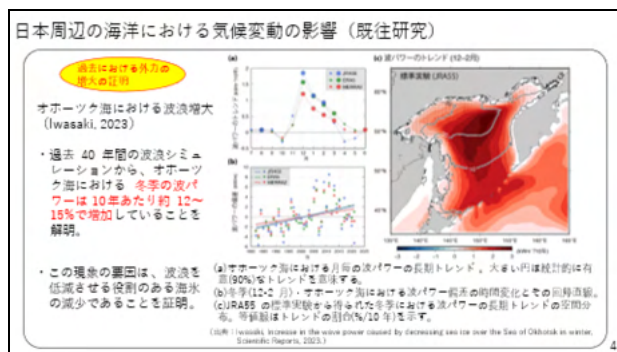


図-6.1.4

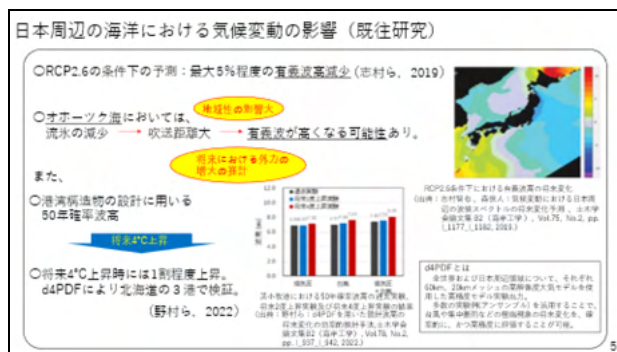


図-6.1.5

図を示してございます。

例えば、台風のときの50年確率波については、将来平均気温が現在に比べて4度上昇した場合には、1割程度の波高が増大するであろうということが、将来の予測計算として示されているというところでございます(図-6.1.5)。

このような将来における外力の増大に対して、我が国でどのような動きを取っているかというところでございますが、海岸保全事業につきましては、国土交通省の海岸保全のあり方検討委員会による提言では、「気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換する」というふうに示されているところでございます。港湾整備事業につきましては、国土交通省交通政策審議会の中で、「将来の気候変動による外力増大を考慮した施設設計が必要」ということで答申がなされたところでございます。

実際に東京都では、このような高潮対策について示している適応計画の中で、「気候変動による影響を踏まえた海岸保全施設の整備を推進する」というふうにしかりとうたわれているところでございます(図-6.1.6)。

防波堤の被災事例の分析に入りたいと思います(図-6.1.7)。ここは、北海道内における1987年から2016年までの防波堤の主な被災事例で大規模なものを示しています。

ここに挙げているように様々な条件があり、海底勾配であれば100分の1から7分の1の緩勾配から非常な急勾配まで、砕波帯の内側と外側、被災時の沖波波高であつ

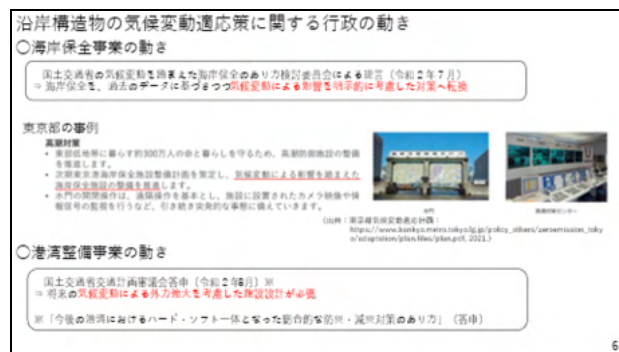


図-6.1.6



図-6.1.7

たり水深、そして被災率ということで整理してます。被災率というのは、防波堤の総延長に対する滑動あるいは転倒した延長ということで定義しており、中には90%以上の被災率と大きいものもございます(図-6.1.8)。

被災の要因について検証したのがこのグラフです。グラフの横軸は海底勾配で、右に行くほど急勾配です。縦軸は水深と換算沖波波高の比で、上に行くほど水深が深く、沖波波高が小さいというグラフになっています。

Hの事例でいうと、100分の1勾配と非常に緩勾配ではありましたが、非常に水深が深く、設計上のあるいは被災時の換算沖波が小さいということです。水深が深く、かつ想定波が小さい場合、例えば湾内の防波堤などでございますけれども、入射する波が大きくなると砕波しないで、そのまま大きいまま入ってくるということで、被災が拡大しやすいということを示していると考えられます。

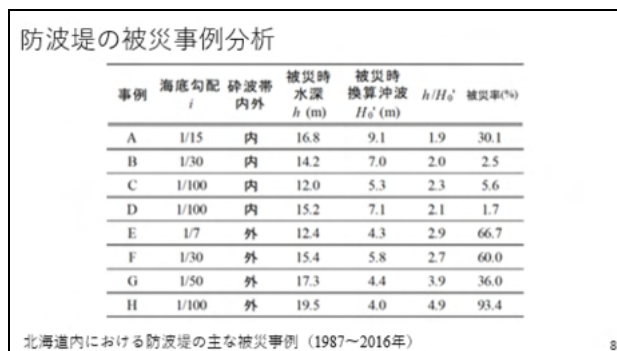


図-6.1.8

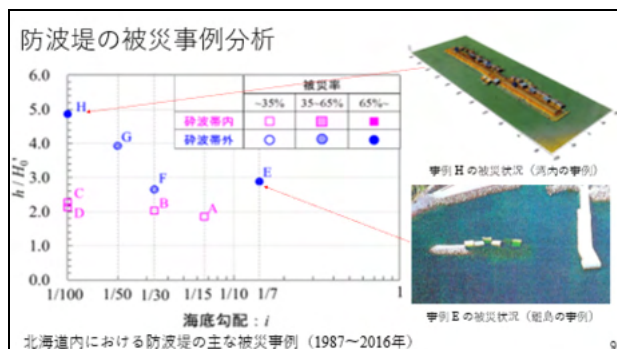


図-6.1.9

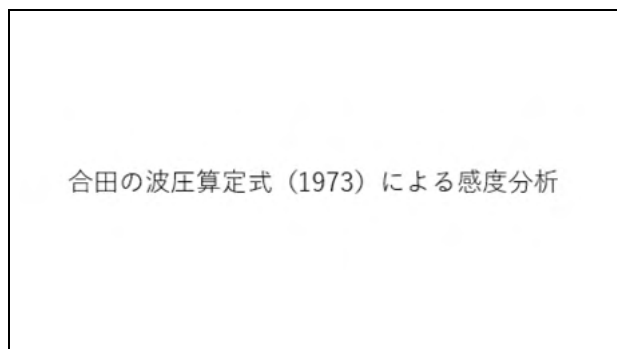


図-6.1.10

一方、Eは離島の事例でございますが、勾配7分の1と非常に急勾配の条件については、砕波する波高も大きくなりますし、砕波時の衝撃的な波圧も大きくなるということで、被災が拡大したというふうに考えられます(図-6.1.9)。

次に、合田先生の波圧算定式による感度分析に入りたいと思います(図-6.1.10)。合田式については主に混成堤の防波堤です。マウンドがあって、その上にケーソンなどが置かれている重力式の防波堤に対する波力を表すものとして広く使われており、横から作用する波圧と下から作用する揚圧力で外力を定めているものがございます。

p_1 と書いてます静水面上の波圧がこちらに示す式で与えられており、波力というのはこの p_1 におおむね比例するというふうに考えることができると想定しております。

p_1 の感度分析は、この設計波と重複波の係数 α_1 、砕波の係数 α_2 が沖波の増大によって、どの程度変化するかというところを調べたというものでございます(図-6.1.11)。

まず設計波 H_{max} を使いますが、換算沖波波高が増大したときに設計波がどれだけ増大するかというのを調べたのが左上のグラフでございます。

水深10mの条件で海底勾配を変えた値でございますが、換算沖波波高が横軸、縦が H_{max} で、例えば7mの換算沖波波高のときに12mの設計波だと砕波するというグラフでございます。

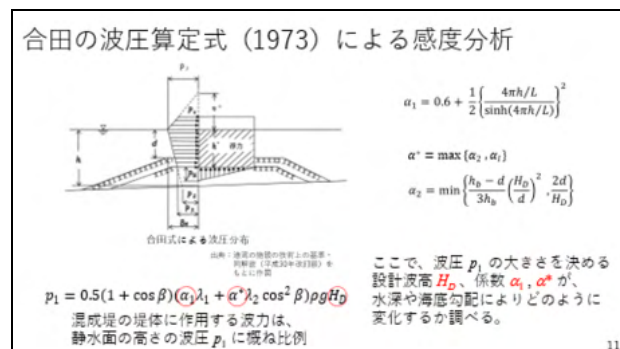


図-6.1.11

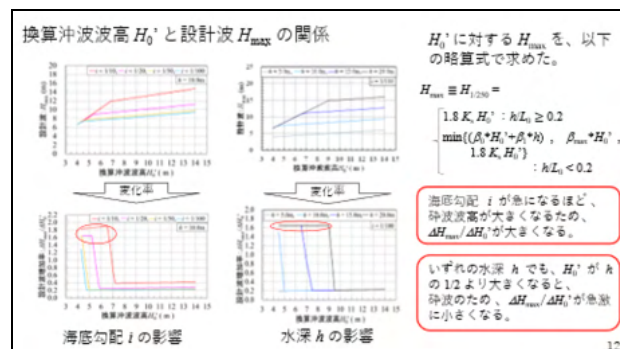


図-6.1.12

左下のグラフは、換算沖波波高1m当たりの設計波の増加率を見た場合で、海底勾配が急であれば急であるほど、例えば、換算沖波波高が6mから7mに増えたときに設計波は1.8倍程度、1.8m程度上がる、そういうグラフでございます。

水深hの影響を見ると、同じく換算沖波波高が増大したときの、設計波の増大率を示したのが中央下のグラフでございます。勾配は100分の1でございますけれども、水深が20mというかなり深い条件において、かつ入力される換算沖波波高が小さい条件のときに、設計波が非常に高くなるということです。例えば、換算沖波波高が6mから7mに増えたら、設計波が1.6m程度増える、そういうグラフでございます。

このように、急勾配の条件、あるいは水深が深いという条件のところで、換算沖波波高の増加による設計波の増大率が大きくなるということが分析されます(図-6.1.12)。

次に、係数 α_1 の分析でございます。 α_1 というのは入射する波が重複波、砕波しないときの波の成分を主に取りだした係数でございます。 α_1 の式では、0.6プラス括弧の中の二乗の2分の1とあり、括弧の中はゼロから1の間を取りますので、 α_1 は0.6から1.1の間となります。波長Lが非常に大きいときには括弧の中は1になりますので、 α_1 は最大の1.1となり、波長が長ければ長いほど α_1 は大きくなります。

今回は換算沖波波高を入力パラメーターといたします

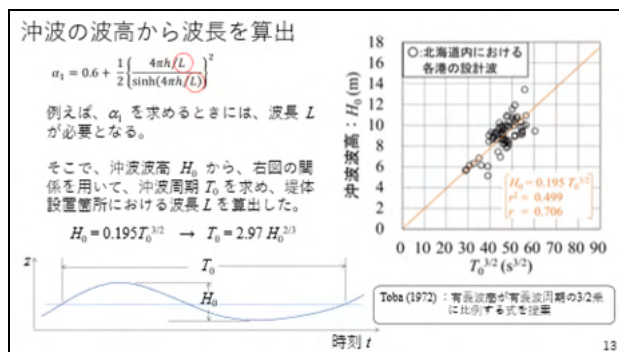


図-6.1.13

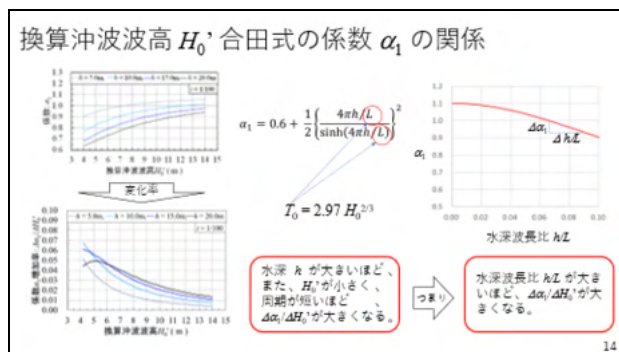


図-6.1.14

ので、換算沖波波高を波長に置き換える必要がございます。そこで Toba さんが1972年に発表された2分の3乗則という考えを使いまして、道内の設計波の周期と波高の関係を求めたところ、ここにある関係式が得られたということです。この関係式から波高を波長に換算して、 α_1 の分析を行いました(図-6.1.13)。

結果を申しますと、換算沖波波高は小さい7, 8m未満ぐらいの領域においては、特に水深が大きい場合が特に顕著でございますけれども、 α_1 が増大する率が高くなっています。水深が大きい場合、周期が短い場合、また波高が小さく周期が短い場合ほど、 α_1 の増大率は大きくなるということでございます(図-6.1.14)。

次に、砕波の係数 α_2 の分析については、海底勾配に非常に感度が高い結果となっております。

グラフで、10分の1勾配から100分の1勾配までを色分けして書いておりますが、換算沖波波高が6m, 7mぐらいのときを見ますと、水深が10mですので砕波帯になります。砕波するあたりでは、非常に係数 α_2 の増加率が高くなっているということです。

よって、水深が10mの場合ですと、海底勾配は急な10分の1のケースであれば、砕波帯では α_2 の増加率が大きいということで、砕波の要因が主に支配しているということが分かりました(図-6.1.15)。

左図の様に、 h/H_0' が大きい条件、すなわち水深が深く波が小さい場合では、換算沖波波高が1.2倍に増えたと

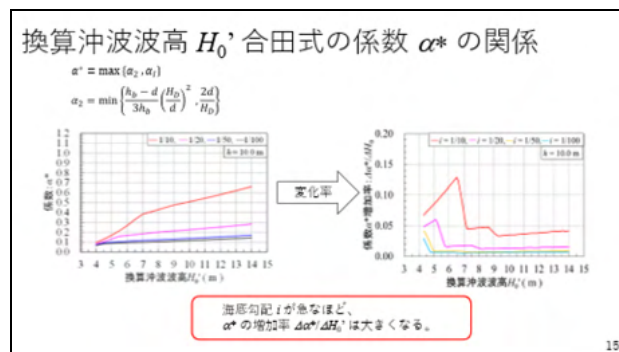


図-6.1.15

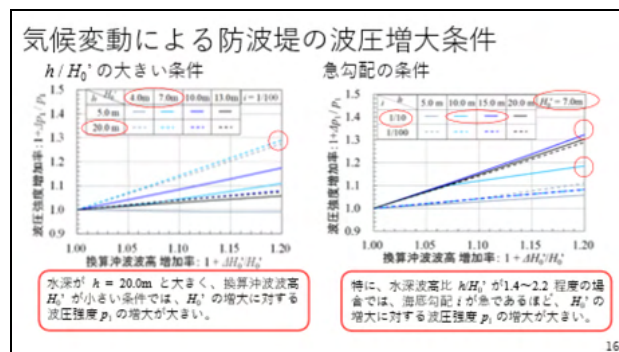
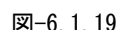


図-6.1.16

安定性の照査では、作用耐力比という考え方を使っていますので、安全率とは逆数になり、数字が大きいほど不安

一般的に消波ブロック被覆堤を考えたとき，例えば気候



17

图-6.1.17

モデル防波堤による安定性の照査

图-6.1.18

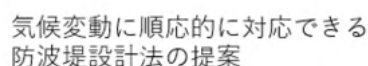


图-6.1.20



图-6.1.21

変動で2度上昇あるいは4度上昇したときには、当然潮位と波高が上がるわけですので、その潮位と波高の上昇量に見合ったかさ上げが必要になります。

このかさ上げは堤体もかさ上げを行いますし、消波ブロックにもかさ上げを施すということになります。その結果、この堤体部分のかさ上げ工の費用と、防波堤のブロックの天端のかさ上げによる積み直しが発生します。

さらに4度上昇まで気温が高くなったときには、現状に比べて0.8mの海面上昇と波高が0.7mも上がるということなので、堤体の胸壁は、現在気候よりも1.2mかさ上げしなければいけなくなります。

さらに、消波工もかさ上げが必要になるのですが、従来、10トンのブロックを積んでいるものに対して、15トンのブロックが必要になったとします。そうすると、10トンのブロックを2層厚剥がして撤去し、さらに15トンのブロックを追加で設置するということが必要になります。

また、気候変動で増加した波高と波圧に対して、消波ブロックがあれば当然波圧は減りますけれども、消波ブロックが広ければ広いほど波圧が減るというふうな設計に今なっていないので、堤体の拡幅が必要になるということになります。この例の場合では、1.5mの堤体拡幅が必要になるということです(図-6.1.21)。

コストの比較を行いますと、今までの一般的な対策ですと、2度上昇と4度上昇の合計で、m当たり660万円の費用がかかります。

それに対して、順応的に対応できる防波堤の案というのは、まず2度上昇のときに堤体のかさ上げを行わなくても消波工の拡幅のみで越波量を低減できるというような研究成果がありますので、かさ上げしなくても越波量は低減可能です。

さらに、4度上昇したときには、ブロックを撤去しないで追加するだけでできないかということでございます。左のグラフは寒地土研で2年前にやった研究成果ですけれども、ブロックの肩幅が横軸、縦が越波を現わす波高伝達率でございます。

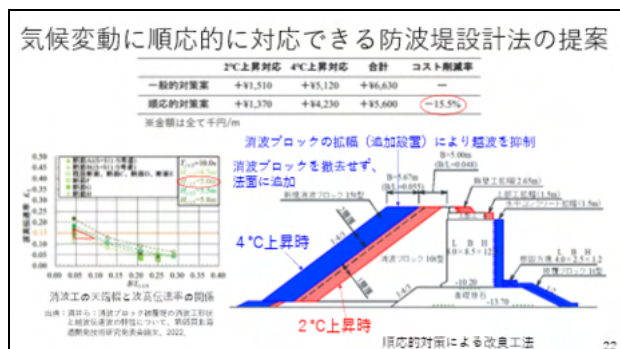


図-6.1.22

当然ブロックの肩幅が広いほど波高伝達率は小さくなります。越波量が少なくなるということでございます。現在の設計ですと、消波ブロックの拡幅はあったとしても、波圧低減率に寄与しないというふうになっているので、ケーソンの腹付け拡幅も必要になります。それらに対して順応的対策だと、コストは15%程度減ってくるという計算になっております。

また、寒地土研で最近行った実験では、消波工を拡幅すれば気候変動で沖波が1m、2m上がっても波圧は抑えることができるというような実験結果も出そうでございますので、ケーソンの腹付けも必要なくなるかもしれません。そうすると、さらにコスト削減に寄与できるというふうに考えております(図-6.1.22)。

まとめでございます。

被災規模で考えますと、急勾配な条件、あるいは湾内に設置している水深の大きい条件で、被災規模が大きかったということです。

合田式で感度分析を行ったところ、水深が大きく沖波波高が小さい防波堤で波圧が大きくなる。あるいは、急勾配に設置された防波堤で波圧が大きくなっていくということです。

モデル防波堤の検証結果では、4度上昇の場合、波圧強度としては大体1割から2割増加しておりました。

気候変動に対して、消波ブロック被覆堤において、手戻りのない、撤去の必要のない拡幅のみの順応的な対策を行った場合、約15%のコストが削減できるというような結果でございます。この消波工の拡幅をすることで波圧が低減できることを示すことができれば、ケーソンの腹付けも必要がなくなり、さらにコスト削減に寄与する効果はさらに大きくなるものと考えるところでございます。

以上で、私の報告を終わらせていただきます。ありがとうございました。(図-6.1.23)。

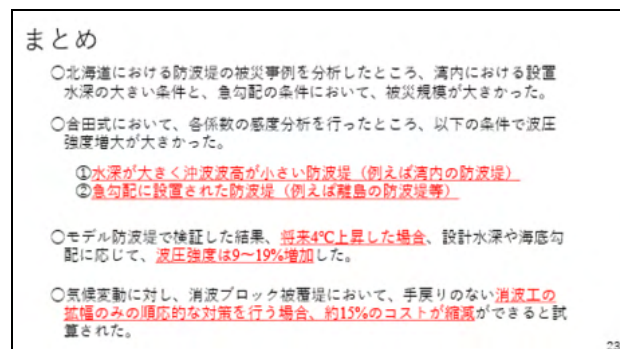


図-6.1.23

6.2 成果報告

(1)「港湾等において発生する浚渫土砂の有効活用方策」

(一社) 寒地港湾空港技術研究センター 調査研究部

研究員 白鳥 夏生

ただいまご紹介いただきました寒地港湾空港技術研究センターの白鳥と申します。本日はよろしくお願いいたします。本日は、「港湾等において発生する浚渫土砂の有効活用方策に関する調査研究」につきまして、整理した報告書の概要版として発表させていただきます(図-6.2.1)。

本研究の背景についてです。北海道の港湾・漁港においては、以前から漂砂の流入により航路及び泊地に大きな影響を及ぼしています。そのため、船舶や漁船の安全な航行を保持するため、継続して浚渫を実施している港が多いということです。それらに関する費用は膨大であり、国や港湾など漁港管理者はその対応に苦慮しているのが現状です。一方、近年では、最終処分場の確保が陸上や海面処分を問わず、費用や環境保持の観点から多くの問題が提起されているとともに、浚渫土砂は細粒分が多く、また塩分を

含んでいるため塩害による環境面などの制約から、関連用地の埋立て以外での陸上での流用は極めて少ない状況になっております。こうしたことから、浚渫土砂の処分方法は従前にも増して非常に大きな問題になるものと予測されております。

主な研究内容については、港湾・漁港において、今後発生すると予想される浚渫土量の調査、有効活用を行う上での考え方をまとめたフロー図の作成、北海道で多く施工されている防波堤改良事業について、施工条件や背後盛土の安定照査方法、造成した浅場に繁茂した海藻によるCO₂吸収量などの整理、有効活用するために必要な固化材について調査するとともに、工事のCO₂収支について整理しています。また、フロンティア漁場の整備事業への有効活用の可能性を整理するとともに、サンドバイパスやサンドリサイクルに関して、浚渫土砂を直接リサイクルする方策について事例を整理しております。最後に、釧路港の島防波堤に代表される水産協調型防波堤など、過去の有効利用の事例について取りまとめております(図-6.2.2)。

全体の報告内容について、第1章は、浚渫土砂の有効活用方策のための法令の整理。これについては、有効活用する上で考え方や検討の手順、やむを得ず海洋投入処分をすることになった事例などを整理しています。第2章の資料収集整理では、港湾・漁港における浚渫土量の予想や浚渫土砂の有効活用実績などを整理しています。第3章の浚渫土砂の有効活用方策の概括については、有効活用の内容と考え方などについてフロー図で整理しています。第4章の防波堤背後盛土についての検討では、防波堤背後盛土の施工条件を整理して、各港湾での候補地を抽出し、背後盛土の安定性照査方法を整理しており、工事におけるCO₂収支を算出するとともに、浅場に繁茂した海藻によるCO₂吸収量を整理しています。第5章の浚渫土砂の海洋構造物への適用可能性については、道外の事例を参考にして、

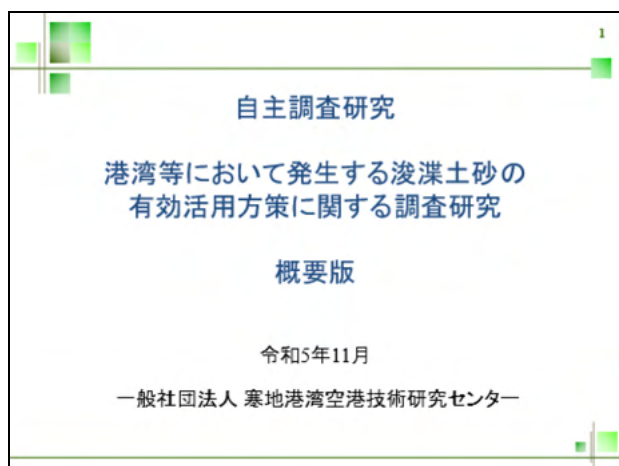


図-6.2.1

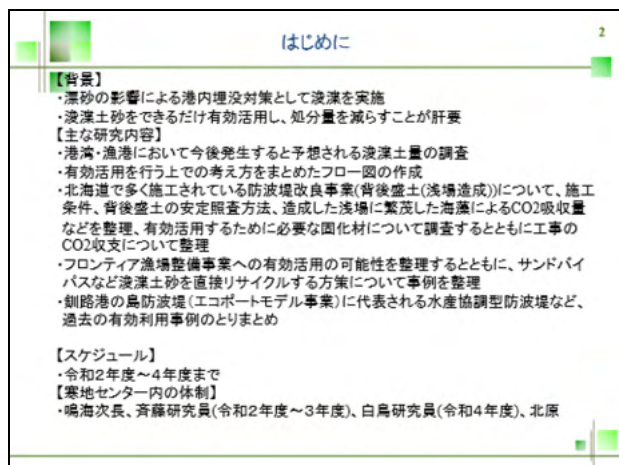


図-6.2.2

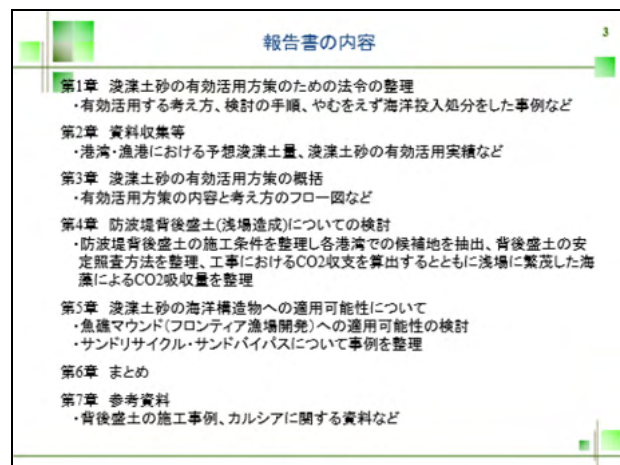


図-6.2.3

魚礁マウンドへの適用可能性の検討やサンドリサイクルとサンドバイパスについての事例を整理しています。第6章では全体のまとめを整理し、第7章では参考資料の一部をまとめています(図-6.2.3)。

浚渫土砂の有効活用方策のための法令について、整理したポイントを説明させていただきます。浚渫土砂の再利用方策がない場合に行う海洋投入処分を制限する法令として、1972年にロンドン条約が制定され、それ以降の国内法令について経緯などを整理しました。次に、港湾局や水産庁の浚渫土砂有効活用の考え方や適用についてと、有効活用するための検討の手順や内容を表やフロー図で整理しました。さらに、有効活用できる浚渫土砂の重金属などの基準、平成29年から実施されたサロマ湖漁港における浚渫土砂の海洋投入処分を例に、申請から許可までの流れを実施計画に基づき整理しました(図-6.2.4)。

次は、浚渫土砂などの有効利用に関する検討の手順についてです。最初に、浚渫土砂の有効利用、覆砂や養浜、浅場・干潟の造成などを行う対象海域を選定します。次に現況と変遷の把握として、地域開発計画などの上位関連計画

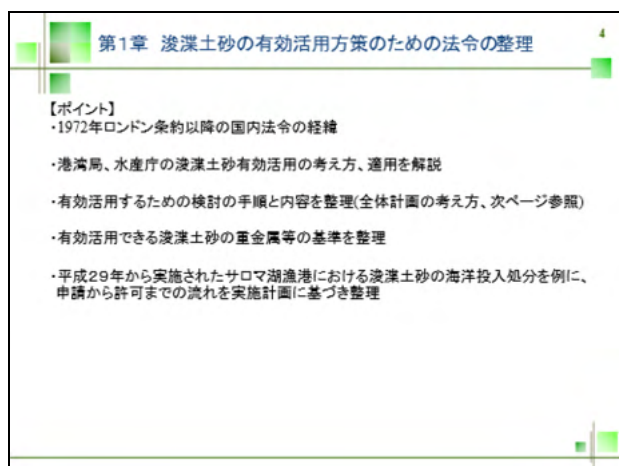


図-6.2.4

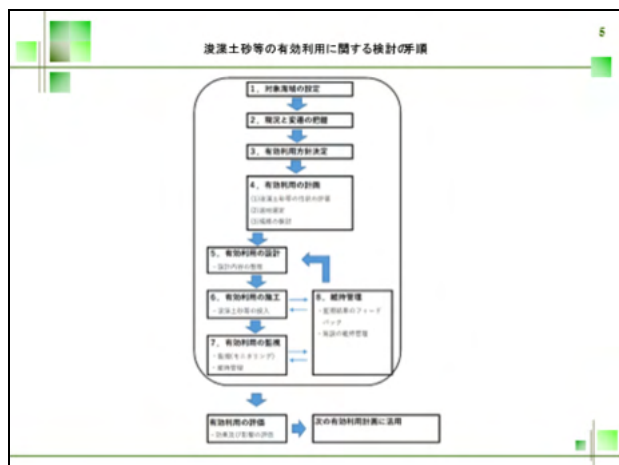


図-6.2.5

を整理して整合を十分に図るとともに、過去から現在までの自然条件の変遷及び社会条件の把握をした上で、有効利用する目的や方策などの方針を決定します。有効利用の計画策定では、浚渫土砂の性状の評価として、有効利用方策に応じて必要とされる土質及び汚染物質の含有量、また生化学的、生物学的特性も把握し、浚渫土砂の性状による具体的な有効利用方策を整理します。適地選定においては、自然条件及び水域利用に関わる社会条件について総合的に判断を行います。規模の検討では、自然条件、社会状況及び浚渫土砂の発生量などを総合的に判断します。次に、有効利用計画の検討結果から、投入した際の断面形状などの具体的な設計を行います。施工においては、環境に配慮して設計に基づいた浚渫土砂の海域への投入を行います。土砂投入後には、利用目的や環境状況に応じて、水質や底質、水生生物などの項目の監視、モニタリングを行います。監視結果は、有効利用の設計や施工にフィードバックし、必要に応じて施設の改良などを実施するとともに、監視方法の見直しなどにも活用します。また、施設の維持管理は、事業者、研究者や市民が協働で行うべきとなっています(図-6.2.5)。

資料収集では、道内港湾や漁港の浚渫土砂量を整理し、浚渫土砂の有効活用事例として、海底の深掘箇所の埋め戻し、浅場の造成、ケーソンの中詰材へのカルシア改良土の使用などについて、埋立浚渫協会北海道支部からヒアリングしました。インターネットで公表されている資料や論文などからは渫土砂の有効活用事例121件を整理しました。また、函館港における浚渫土砂のカルシアによる改良について、発注者、受注者からヒアリングをし、カルシアを選択した理由や供給先、改質土の設計思想や施工時の課題などについて整理するとともに、日本製鉄やJFEスチールからカルシア、フライアッシュの利活用についてのヒアリングも行いました(図-6.2.6)。

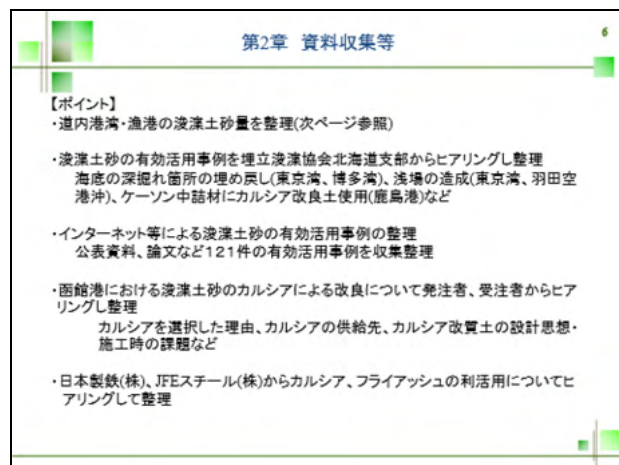


図-6.2.6

次のページでは、道内の港湾・漁港における予定浚渫土量についてグラフで整理しております。なお、左のグラフは道内港湾における浚渫土量（予定）と書いていますが、予定ではなく実績のグラフとなっております。申し訳ございません（図-6.2.7）。

浚渫土砂の有効活用方策の概括として、図-8の表では、

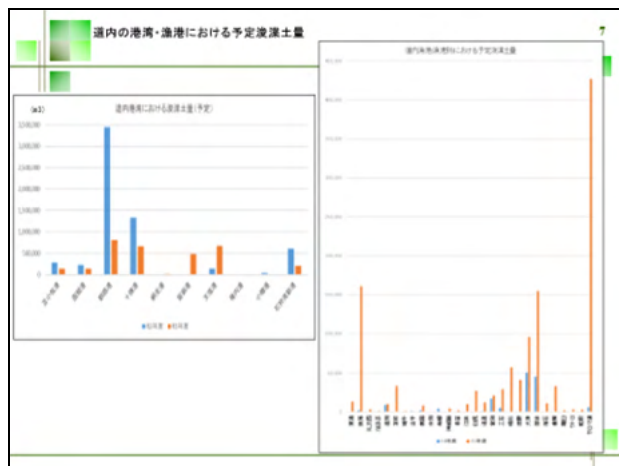


図-6.2.7

第3章 浚渫土砂の有効活用方策の概括

【ポイント】

- リサイクルガイドライン、技術基準、漁港関係図書から浚渫土砂の有効活用方策について整理(以下の表を参照)
- 有効活用の適否を判断するためのフローを整理(次ページ以降参照)

工程	名称	砂質土系	粘性土系	備考
施設築造工	バーナードドレーン及びサンドマシナリ	△	△	
築造工	サンドコンクリート、セメント、セメントセメント、セメントセメント、セメントセメント	◎	◎	
築造・築造工	表込材	◎	◎ (改良土)	
	表成材	◎	◎ (改良土)	
土工	鎮土材、覆土材、編み鎮土材	◎	◎ (改良土)	
	埋立材	◎	◎ (改良土)	
橋梁工	鎮土材	△	◎	
防波堤等(内り側)	防波堤背後盛土材	◎	◎ (改良土)	第4章参照
ブルーカーボン事業	浅場造成(浅場造成)	◎	◎ (改良土)	第4章参照
	干潟造成、埋立材、人工砂浜等	◎ (浅場、干潟、埋立、人工砂浜)	◎ (浅場、干潟、埋立)	
その他	道路、橋脚等の止水壁(固化処理土)	◎ (固化処理土)	◎ (固化処理土)	
	人工石	◎ (固化処理土)	◎ (固化処理土)	
	砂マシナリ	△	△	

【注】

- ◎：常に適宜用途に使用し、品質基準が設けられる事が可能
- △：標準材料と同等、または利用可能な用途があるが、品質基準が設けられる事が難しい
- ◎：利用可能な用途があるが、品質基準が設けられる事が難しい

図-6.2.8

リサイクルガイドラインや技術基準、漁港関係図書から浚渫土砂の有効活用方策について整理しました（図-6.2.8）。

浚渫土砂の有効活用の適否を判断するためのフローについては、先に図-5で示した有効利用に関する検討手順とほとんど変わらないですが、このフロー図では陸揚げ処分・海洋投入処分までの適否の検討も整理してます（図-6.2.9）。

次は、防波堤背後盛土の検討についてです。防波堤背後に盛土を施した構造物は、近年はブルーカーボン事業としての側面や津波の越流対策としての粘り強い構造に脚光が当たっており、浚渫土砂の有効活用方策として有望視されております。本研究では、防波堤背後盛土を施工できる条件として、航路・泊地に近接していないことと、港内が狭隘でないことの二つを条件として、道内港湾の平面図に背後盛土構造の候補地として可能性のある場所を図示しました。下の図は、実際に施工された釧路港島防波堤です（図-6.2.10）。

防波堤背後盛土構造の施工可能性のある港として、苫小牧東港区、函館港、釧路港を示していますが、このほかに、

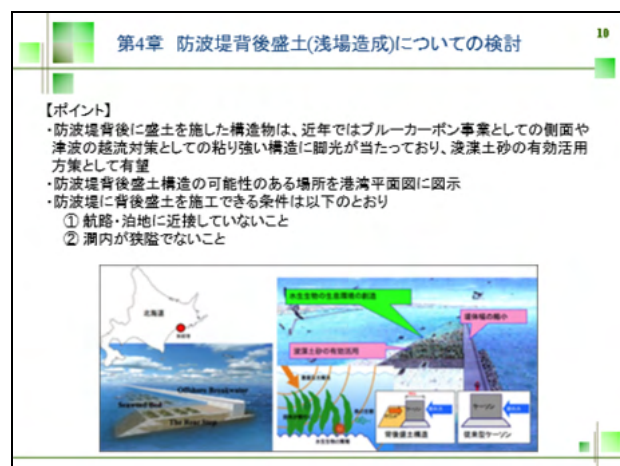


図-6.2.10

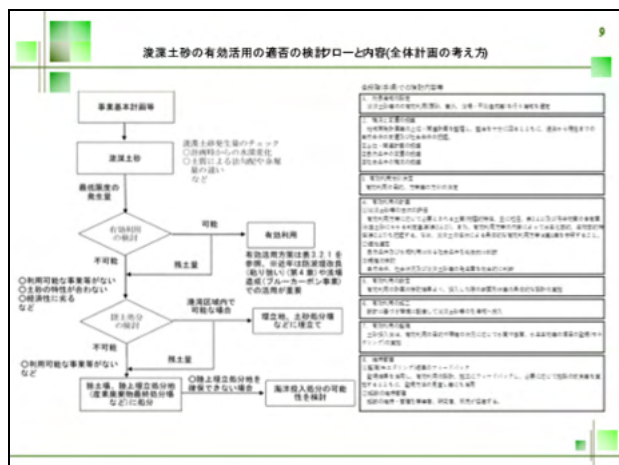


図-6.2.9

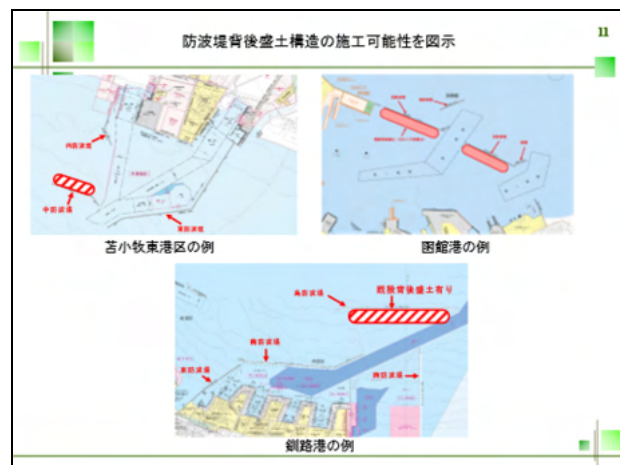


図-6.2.11

稚内港, 手塩港, 小樽港, 白老港など, 計13港を背後盛土構造の施工可能性がある港としています(図-6.2.11).

浚渫土を活用した防波堤背後盛土構造の安定照査方法について. 左上の図は防波堤の背後に浚渫土を活用していない構造で, 右上の図は浚渫土を活用している複合構造です. 複合構造の破壊モードの模式図とGeoFemによる最小主応力分布図に示すように, 背後盛土とカルシアなどで改良した浚渫土を活用している背後盛土の複合構造の場合, ケーソンの変位により背後盛土が盛り上がり, 浚渫土の活用部分の角部が持ち上げられ, 引張クラックが発生すると解析で確認されております. この場合, 安定評価においては, 砕石部分の剪断強度のみを見込んでおり, 浚渫土の活用部分については重量のみを見込んでおります. また, に, 砂質土を用いて直接盛土する場合は, 割れ破壊が生じないので通常どおりφで評価します(図-6.2.12).

防波堤背後盛土造成工事におけるCO₂収支については, 浚渫土砂を用いて浅場や干潟を造成した場合のCO₂の封じ込め量と工事からのCO₂発生量を定量的に評価しました. , 函館港の事例では, 浚渫土砂を用いて防波堤背

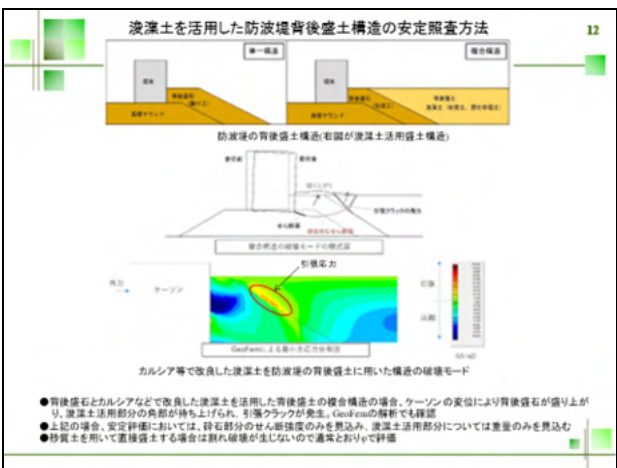


図-6.2.12

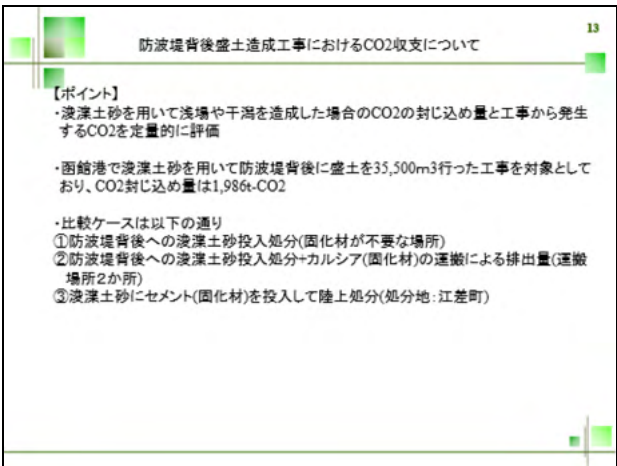


図-6.2.13

後に35,500m³の盛土を行った工事で, CO₂封じ込め量は1,986トンとなっております. 工事による排出量の比較ケースは, 防波堤背後への浚渫土砂投入処分(固化材が不要な場所)と, 防波堤背後への浚渫土砂投入した分プラス, カルシアの運搬による排出量, 最後に浚渫土砂にセメントを投入して陸上げ処分, この場合処分地は江差町としています(図-6.2.13).

ケース別にCO₂封じ込め量と排出量の比較表を見ますと, 函館までカルシアの海上運搬を福岡の八幡から行ったため, CO₂の封じ込め量に比べてCO₂の排出量が大きくなっていますが, 仮にカルシアを室蘭から函館へ海上運搬した場合は, CO₂封じ込め量がCO₂排出量の2倍となっております. 固化材の調達先によって排出量が大きく変動するので, カルシアの道内調達が可能であれば, カーボンニュートラルにつながる可能性があることが示唆されております(図-6.2.14). 造成された浅場に形成される藻場によるCO₂吸収量について, 試算に用いた釧路港の島防波堤の図と写真を示しています(図-6.2.15).

CO₂の吸収量につきまして, CO₂の吸収係数と面積を

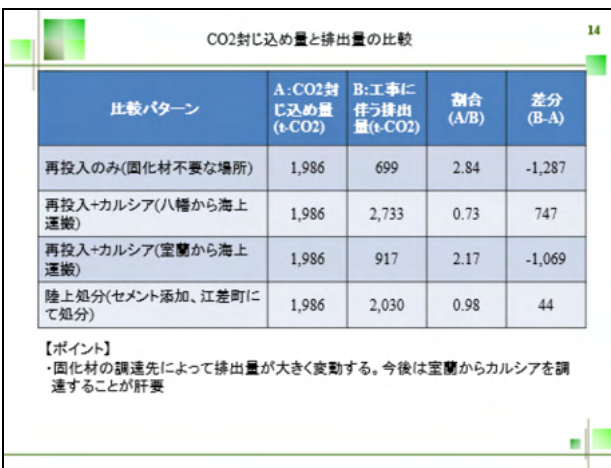


図-6.2.14



図-6.2.15

乗じた算定式を基に求められます。試算結果から、釧路港島防波堤の海藻によるCO₂の吸収係数は、森林のCO₂の吸収係数約2.4倍に相当すると言えます(図-6.2.16)。

次に、浚渫土砂の海洋構造物への適用可能性について整理しました。海域の水産資源の生産力を向上させて、水産物の安定供給の確保を図ることを目的として、フロンティア漁場整備事業による湧昇流を発生させる魚礁マウンドがあります。魚礁マウンドは、平成22年度から事業が始まった五島西方沖地区をはじめとして、対馬海峡や隠岐海峡、大隅海峡の計4地区の構造諸元とその材料について把握しました。五島西方沖地区と隠岐海峡地区については、水産動植物の増加傾向なども整理されており、五島西方沖地区ではサバ類の漁獲量が整備前後で約2倍に変化しており、隠岐海峡地区ではマアジやマイワシの漁獲量が約1.4倍に増加しています。また、苫小牧港の西港沖に築造された土砂マウンドや道外の魚礁マウンドの事例の把握と、北海道近海における魚礁マウンドの候補地も検討しております(図-6.2.17)。

魚礁マウンドの整備効果のイメージを図にしています

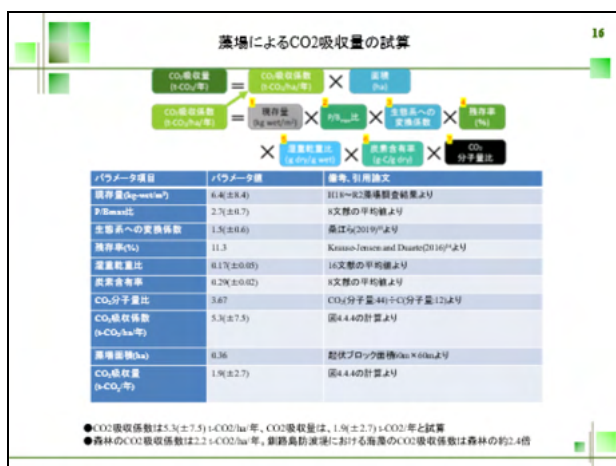


図-6.2.16

(図-6.2.18)。

先ほど述べた北海道近海での魚礁マウンドの候補地として八つの条件で整理しております。

堆、海脚、海嶺など流動環境が多様な場所に近接して起伏のない平坦な海域であること。波、流れにより洗掘、埋没、転倒などが生じない地盤であること。湧昇効果が期待できる程度の流れがあること。密度成層が比較的弱いこと。水深が50から150m程度あること。排他的経済水域内であること。TAC魚種が対象であり効果が想定されること。最後に、近傍に浚渫土砂の発生源があることが候補地選定の条件です。これらを踏まえた上で選定したのが、海底地形図に図示した適地1と適地2です。適地1は手壳・焼尻沖に位置する武蔵堆付近で海底変化の頂上部とみなして、水深も浅いため湧昇流構造物の適地としてしました。適地2は北見大和堆や網走の海底谷、斜里海底谷が付近にあり、海底変化が比較的大きなため適地として選定したものです(図-6.2.19)。

次に、サンドバイパス工法とサンドリサイクル工法についての研究です。道内でサンドバイパス工法とサンドリサ

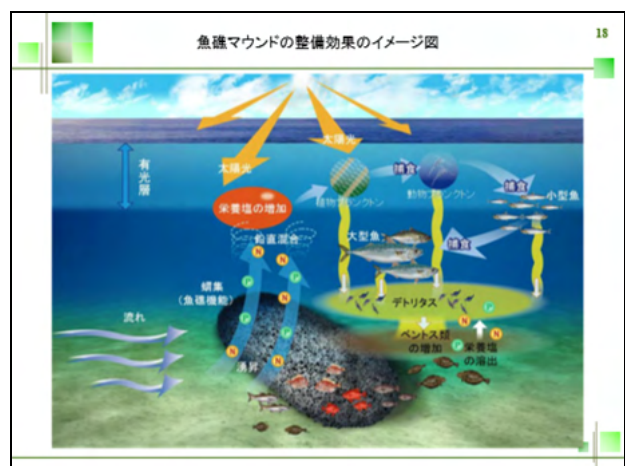


図-6.2.18

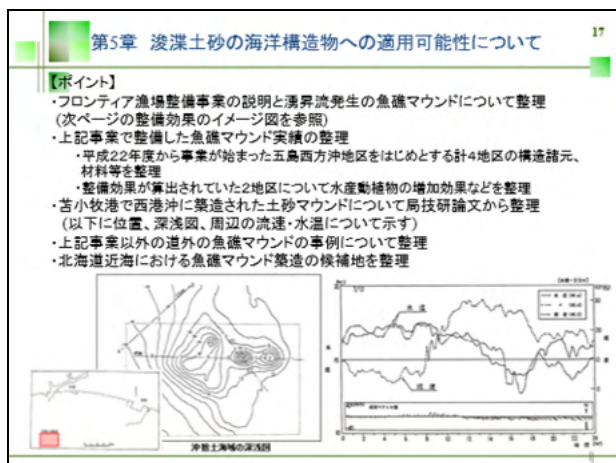


図-6.2.17

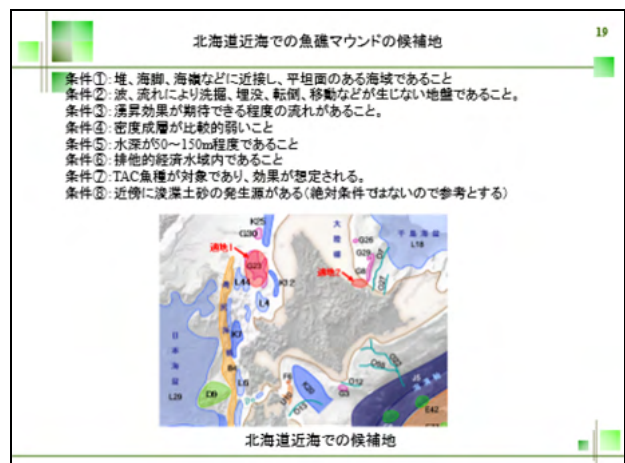


図-6.2.19

イクル工法が採用できる条件を整理しております。①は、入射波の影響による一方向性の卓越した沿岸漂砂が定期的に発生していること。②は、沿岸漂砂を遮断する構造物があること。③では、河川からの土砂供給量が減少傾向の場合、侵食・堆砂現象が顕著になること。④が、河川からの出水による土砂供給が過多の場合、堆砂現象が顕著となることで侵食現象も増進することです（図-6.2.20）。

道外の事例として、静岡県福田漁港の浅羽海岸で実施されたサンドバイパス事業の具体的な事例を図で示しています（図-6.2.21）。また、サンドバイパス事業を行った後の汀線変化のグラフを整理しております（図-6.2.22）。本調査研究の内容を、図-23 と図-24 でまとめております。とりまとめにおいては、現場で港湾や漁港の整備に携わる技術者を対象として考えており、そのため、イメージをつかみやすいようできるだけ事例を多く記載するようにしました（図-6.2.23、図-6.2.24）。

以上で終了いたします。ご清聴ありがとうございます。

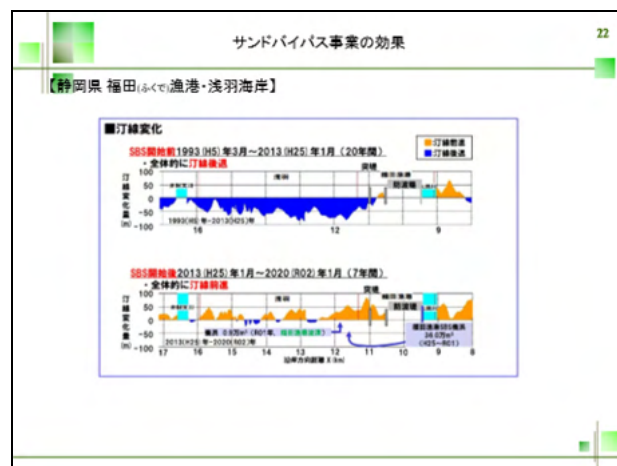


図-6.2.22

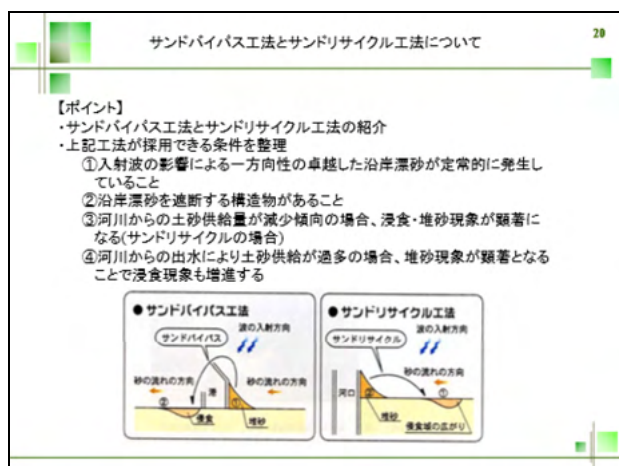


図-6.2.20

第6章 まとめ(その1)

【ポイント】
はじめに
本報告書は現場港湾事務所に勤務する港湾技術者を対象としている。
このため、イメージをつかみやすいようできるだけ事例を記載するよう心掛けた。

1. 港湾事業からは令和2年度までに約600万m³、令和3年度以降に約300万m³、漁港事業からは令和4年度に約14万m³、令和5年度以降に約120万m³の浸漬土砂が発生する
2. 有効利用方策の全体の考え方を、「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン(改訂版)」を用いて整理
3. 有効活用方策事例をインターネット検索して121件を抽出し、今後の参考資料として活用できるよう概要とURLを整理。
シルト分の多い浸漬土砂を改良するスラグ系改質材のカルシアを活用している函館港西防波堤工事について現地ヒアリングを行い、工事内容や有効性について整理
4. より具体的な有効活用の適否及び有効活用フローを整理
5. 北海道で施工事例の多い防波堤背後盛土方式について施工条件からみた適地を明示

図-6.2.23



図-6.2.21

まとめ(その2)

【ポイント】

6. 背後盛土方式の安定照査方法を整理
7. カルシア改質土を用いた工事を対象に二酸化炭素収支を試算
その結果、カルシアの運搬から発生するCO₂排出量が多く、最短の製鉄所から調達するとカーボンニュートラル実現の可能性あることを整理
8. 防波堤背後盛土部分に繁茂した海藻によるCO₂吸収量について釧路港島防波堤の例を整理。海藻のCO₂吸収量は森林の約2.4倍
9. フロンティア漁場整備事業における湧昇流発生マウンド礁について整理
北海道の例として昭和40年代に苫小牧西港で施工されたマウンド礁における湧昇流の発生状況や水産資源量の状況などを整理
10. 同一海岸内で砂収支の均衡を図るサンドバイパスやサンドリサイクル事業について事例を紹介し、それらを導入できる自然条件についても整理
11. また、カルシアについては鉄鋼メーカーからもヒアリングを行い、その性状や今後の産出状況等について整理

図-6.2.24

(2)「苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法」

(一社) 寒地港湾空港技術研究センター 調査研究部
次長 山内 功

ただいま御紹介にあずかりました、寒地港湾空港技術研究センターの山内と申します。「苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法」と題しまして、発表させていただきます。こちらの内容につきましては、先に京都で行われた海岸工学講演会で発表した内容を少し修正したものとなっております(図-6.3.1)。

まず背景ですが、苫小牧港西港区では2012年に航路埋没が確認され、船舶の航行への支障が懸念されました。そこで、漂砂検討が同年から行われておりまして、内容といたしましては、2012年から現地調査及び漂砂解析がスタートいたしまして、2015年には漂砂モデルの中に吹送流を導入いたしまして、モデルの向上を図ってきたというような経緯があります(図-6.3.2)。

一方、苫小牧港では港内の長周期波対策として、東防波堤の港内側の部分で長周期波対策工が設置されておりまして、漂砂の検討を行うに当たっても静穏度というもの

に注意しなければいけないという状況にありました。

その中で、当初漂砂検討に当たりましては、天端を水面より上に上げた防砂堤を考慮しておりましたが、静穏度解析によって港内静穏度が悪化するというような結果が得られたことから、2017年より天端水深を水面下に下げた潜堤式防砂堤に対策を切り替えて検討を行ってきました。本研究では、潜堤式防砂堤について、漂砂解析を行い、その効果検証を行うという内容となっております(図-6.3.3)。

今回、漂砂解析で使用した計算モデルは、波浪でまず底質を巻き上げまして、海浜流、潮流、吹送流、これらの外力をもって浮遊砂を輸送して地形変化を評価するというようなモデルを使用しております。計算領域は、苫小牧港周辺の領域で波高、海浜流、潮流というのを計算しておりまして、地形変化、浮遊砂の計算も行います。吹送流につきましてはもう少し広い範囲の、胆振海岸全体、日高まで入るような計算領域で計算を行っております(図-6.3.4)。

次に鉛直層厚です。最初に設定した潜堤ですけれども、断面で図示しておりますように、割石に被覆ブロックというような形状で、天端水深を5mと設定しております。この天端水深につきましては、この上を漁船が航行できるよ

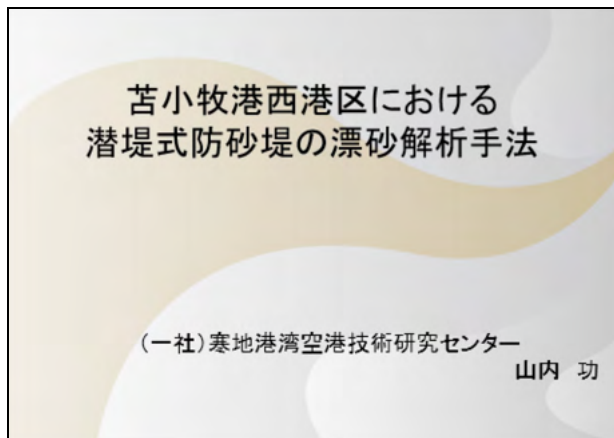


図-6.3.1



図-6.3.3



図-6.3.2

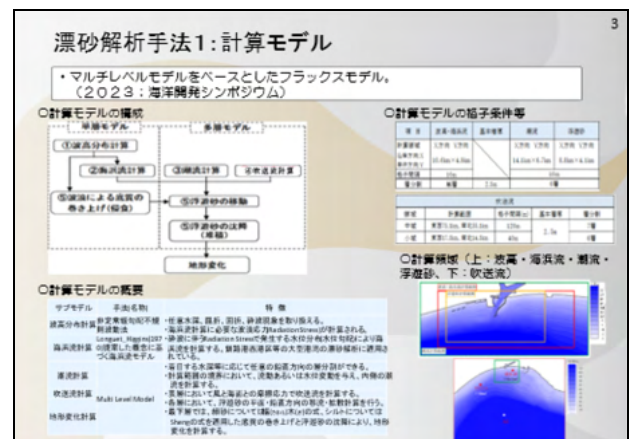
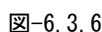
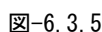


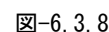
図-6.3.4

また、モデルの特徴といたしましては、外力としまして低気圧の移動ルート进行分析しまして、それを七つのパターンに整理しまして、それぞれ波高と風速のカップリングモデルというものを作成しております。このように、低気圧が通過することによって波高が徐々に発達して、通過後に減衰する。また、それと同時に風のほうが若干波高よりも早く強くなって、また減衰するというような時系列モデルというものを外力として取り入れ、さらに将来予測計算に



こちらの図は、苫小牧港西港区の航路周辺の位置図を示しております。赤くハッチングした部分は、堆砂が確認された範囲となっております。苫小牧港につきましては、航路の両側から砂の移動というのが確認されておりますが、主に西側からの漂砂移動というのが支配的な状況となっております。その対策といたしまして、潜堤を航路の両側に、東側は東島防波堤と東防波堤の間、西側は土砂処分場から南に伸ばして、そこから航路に沿って折り曲げるというような形状としております。西側潜堤の形状につきましては、この形状に至るまでも複数の形状を検討して、最も効果が高い形状をこのような形としております(図-6.3.7)。

图-6.3.7



潜堤の前面で土砂がトラップされるということが確認されます。また、航路内を見てみますと、比較的広い範囲で青く若干堆積量が減少するというような結果が得られました。右のグラフが、航路の領域を9分割して、それぞれの領域で潜堤のありなしで堆積量を比較した結果となります。こちら見てみますと、領域C、F、H、I、この図面でいきますと、航路の港内側と航路の西側で顕著な堆積量の減少というのが確認されました。航路内全域の総量で見ても、無対策に比べて約47%の堆積量減少というのが計算で確認されました(図-6.3.8)。

ただ、潜堤となりますと、設置をいたまして、そこから長期的に前面に土砂が堆積しますと、徐々にそれを乗り越えて港内に入っていくというような、潜堤としての防砂対策機能の劣化というものが心配されました。そこで、まず計算上で潜堤の機能劣化というのを表現するために、5年ごとに地形を更新して行って、30年後までの地形変化というものを計算しました。こちらの図は、潜堤の部分の断面を示しております、ゼロ地点というのが計画航路の端部を取っていますので、潜堤は約50m付近に位置していることになります。経過年ごとに示しておりますけれども、大体距離、200から250mから潜堤に近いところで土砂が堆積しているという状況が見られまして、距離100m付近で見ても、約5年間で1m土砂が堆積して地盤が上昇しているというような状況となっております。5年以降、徐々に堆積速度というのは減少していくのですが、30年後でもまだ、5年間で0.5m程度の土砂堆積量というのは確認されておりました(図-6.3.9)。

その際の航路内での土砂堆積量を無対策と経過年で比較したものです。潜堤設置直後というのは、47%の土砂対策効果、低減効果というものが確認されましたが、これが経過年ごとに徐々にその効果というのが落ちていきまして、10年後では20%まで落ちている。約6割程度、

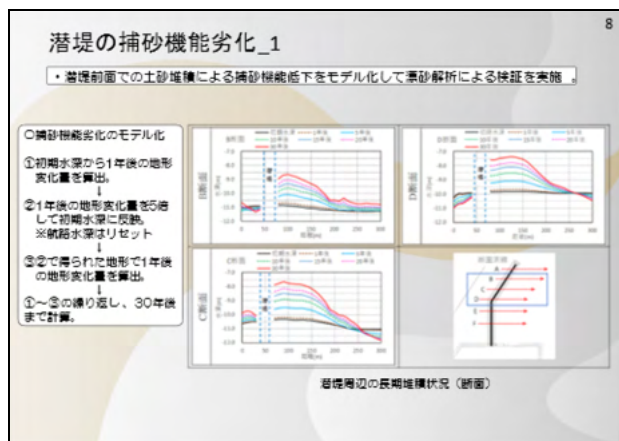


図-6.3.9

漂砂対策効果というのが落ちるのが確認されました。25年後まで行きますと、ほぼ無対策と同じ程度のものということで、潜堤を配置しても長い時間では徐々に機能が劣化していくということから、この潜堤の効果を長期間維持するために、潜堤の前面にサンドポケットを設置した場合、どれくらいの漂砂対策の維持効果があるのかというのを計算上で検証を行いました(図-6.3.10)。

潜堤の前面、赤い点線部分というのがサンドポケットを配置した部分になりますけれども、このサンドポケットのあるなしでの地形変化量の差分を示したのがこちらの図になります。サンドポケットを配置しますと、潜堤前面の部分が黄色となっており、土砂がここでトラップされます。さらに航路内を見てみますと、航路の西側部分で土砂の堆積量が減少しているということが確認できます。サンドポケット配置の検討の際に、サンドポケットの深さというのを1mと1.5m、この2種類で検証しました。1mから1.5mに変えた際には、航路内の堆積量の差というのは約3%程度であったというような結果となっております。右下の図は、先ほど示した図と同じように潜堤周辺の断面を示しており、無対策、サンドポケット1m、サンドポケット1.5mの同じ期間の断面図となります。こ

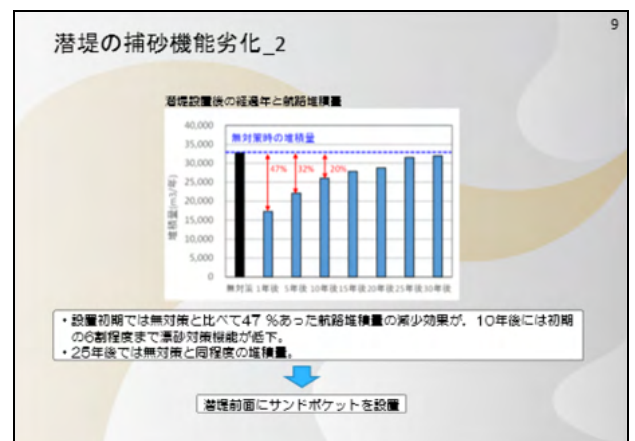


図-6.3.10

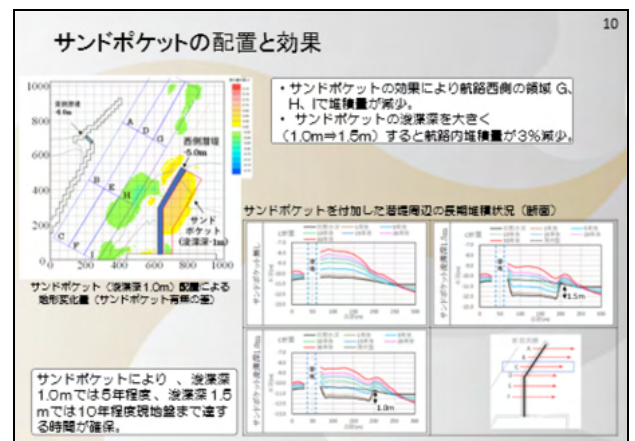


図-6.3.11

らを見てみますと、現地盤まで戻る期間といたしましては、サンドポケット1mの深さの際には約6年程度、サンドポケット1.5mの際には約10年程度、現地盤まで戻る時間が確保できることが確認されました。このように潜堤にサンドポケットを配置することで、ある程度の潜堤の漂砂対策効果が維持できることが期待されます(図-6.3.11)。

ただ、潜堤とサンドポケットを配置したとしても、港内に入る土砂量というものは完全にストップすることはできませんので、長期的には航路内でも維持浚渫というものが必要となってきます。ただ、苫小牧港に关しましては、航行管制を行っている影響で航路中央部の浚渫をする際には、夜間浚渫を行わなければいけないというような実態があります。これまでの浚渫実績から計算しますと、航路の両側を浚渫するよりも航路の中央部を浚渫する際には、浚渫単価が約2.5倍程度上がるということがありまして、経済的なことを考えますと、できるだけこの航路中央部の堆積量というのを減少させたいというようなことがあります。そこで、このように航路内の中央部の中でも特に堆積量が多い領域F、ここを減らすことを目的として、その漂砂の上手側である領域I、この部分に航路内サンドポケットを配置して、それでどのようになるかということの検証を行いました。右図は、航路内サンドポケットの設置有無による地底変化量の差分を示しております。結果を見てみますと、サンドポケット内で黄色い色がついており、土砂のトラップが行われております。その隣のF領域とさらにB領域、E領域で土砂の減少というのが確認できまして、当初想定していた、狙っていた効果が出るだろうということで、航路内での土砂量全体としての変化はないのですけれども、浚渫費用という経済的な観点からは、航路内ポケットの設置ということも非常に効果的ではないかということが確認できました(図-6.3.12)。

これまで、潜堤とサンドポケットの配置ということで、

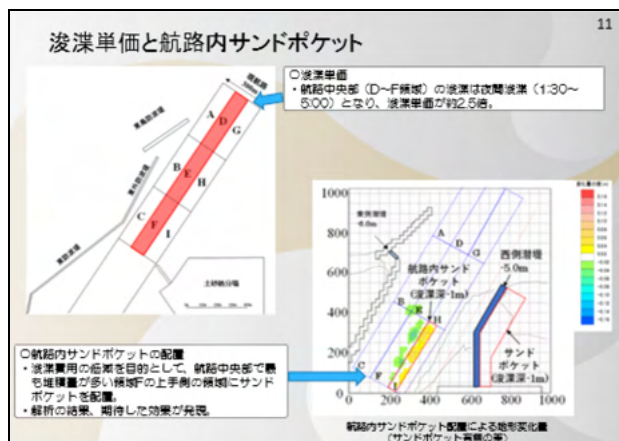


図-6.3.12

漂砂対策効果をいろいろ検討してきましたが、それらに無対策を含めた全4ケースで、50年間のLCC、ライフサイクルコストの検討を行いました。検討ケースは、無対策と潜堤のみと潜堤プラスサンドポケット、そのサンドポケットの深さを1mと1.5mの2種類で、計4種類でライフサイクルコストの検討を行いました。

検討の条件として、浚渫のタイミングとしては、航路内では最初に計画水深1.5mを掘った状態、1.5m掘る際には余掘りも考慮して1.5.6m掘りますので、余裕幅としては0.6m、これが埋まって計画水深1.5mに達した段階で港内は浚渫する。港外側のサンドポケットではそれぞれ1m、1.5m掘りまして、それが周辺現地盤に達した段階で掘るというような設定でLCCの検討を行いました。

結果を見ると、初期コスト等を含め対策を行った場合には、約24年目で無対策との逆転が発生します。最終的に50年目で比較しますと、無対策に比べて潜堤のみの配置では約17%の費用低減効果、これにサンドポケットを追加した際には25%程度の費用低減効果が確認できました。潜堤プラスサンドポケットの深さの1mと1.5mの比較を見てみますと、これは非常に微妙なラインで、このグラフだけでは分からないのですけれども、最終的にサンドポケットの深さ1.0mのほうが約1%程度費用が安くなるということで、最終的には赤いライン、潜堤プラスサンドポケット1.0mというのが最も効果がある港形であるという結論となりました。ただ、あくまでこの検討としてはサンドポケット1.0mが最もよいという結論になっておりますけれども、これが今後施工まで進んでいった場合、この漂砂モデル自体の誤差であったり、将来的な地球温暖化による外力変化等によって、このLCCの結果と若干異なってくる可能性というのは十分考えられます。今後整備に至る段階では地形変化等を小まめにチェックしながら順応的に管理していくということが、最終的にLCCの縮減につながっていくのではないかと考えています。

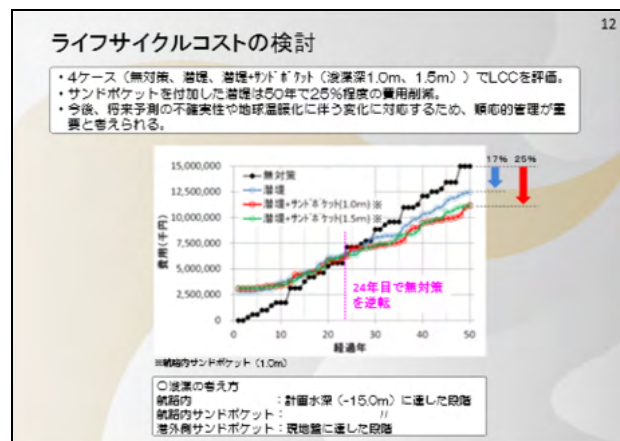


図-6.3.13

られます(図-6.3.13)。

最後に、この潜堤式防砂堤が静穏度に対してどのような影響があるのかというのを、ブシネスク方程式でチェックしました。最終港形として、ちょっと港形は違うのですが、比較対象としては防砂堤天端を水面より上げたタイプの静穏度解析結果を示しております。下の表がその結果で、この静穏度の評価というのは無対策に対する波高比の増減率で評価しております。潜堤プラスサンドポケットの対策としましては、通常波、長周期波ともに若干現状よりも1%程度悪くなるという結果ではありますが、実際の波高に換算しますと数センチ程度ということで、現況から大きく悪化させないであろうということが確認されました。それに対して防砂堤というのは、通常波に対しては若干静穏度を上げる効果があるのですが、長周期波に対しては3割近く悪化するというような計算結果になりますので、やはり静穏度の観点から考えますと、潜堤式防砂堤のほうが苦小牧港としてはいいのではないかとということが考えられます(図-6.3.14)。

最終的なまとめといたしまして三つありまして、まず漂砂解析モデルによりまして、潜堤による漂砂対策効果とい

いうことがまず一つ目。二つ目につきましては、潜堤前面にサンドポケットをすることで、LCCとしては約25%費用低減が見込まれたということが確認されました。三つ目としては、漂砂対策効果とともに静穏度対策、静穏度の両面が維持できるということが確認されました(図-6.3.15)。以上で、発表を終了させていただきます。

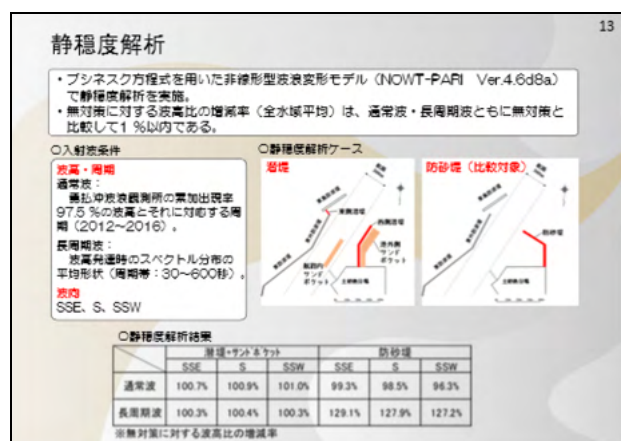


図-6.3.14

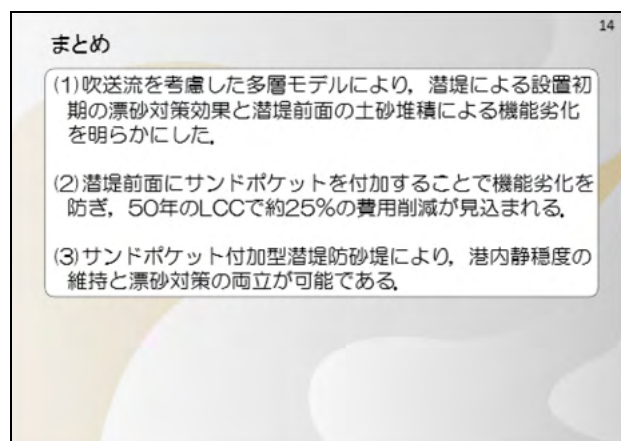


図-6.3.15

うもの、これには機能劣化も含めて効果を明らかにしたと

(3)「北海道水産物の輸出促進に向けた取り組み」

(一社) 寒地港湾空港技術研究センター 第3 調査研究部
部長 田中 淳

寒地センターの田中でございます。今まで内容としてハード系の研究が3 題ありましたが、私のほうからはソフト的な研究ということで、水産物の輸出促進というテーマで発表したいと思います。自主調査研究で水産物の輸出促進をやっておりますが、この中で米国向けの試験輸出というものをしておりますので、今日はその内容と結果について御報告したいと思います。また、今日発表する内容は、苫小牧高専の松尾先生、それから中央大学の片石先生にも御協力、御指導いただいて研究を進めていまして、昨年と今年の水産工学研究講演会でも発表している内容を2 年分ありますので、それを今回まとめて発表するというような形で説明したいと思います(図-6. 4. 1)。

まず研究の背景でございます。輸出促進ということで、農水産物・食品の海外へのマーケットの拡大というものを目指していこうということで、輸出額の目標値が政府とか北海道開発局、北海道の中でいろいろ決められております。目標値として、政府としては農林水産物・食品の輸出拡大実行戦略というものを立てておりまして、2025 年、令和7 年、2 兆円、さらに、2030 年、令和12 年には5 兆円を目指そうと、これが国の方針でございます。一方、北海道のほうでは、北海道開発局が第8 期北海道総合計画の中で、2025 年の令和7 年に1,500 億円を目指そうという目標を掲げております。道庁のほうでも、北海道食の輸出拡大戦略というものを立てておりまして、第1 期のところでは2018 年、平成30 年に1,000 億円を目指しましょうと。それがクリアできて、第2 期では2023 年、令和5 年に1,500 億円を目指していこうというような目標値を立てているというような状況が

あります。一方で、国土交通省のほうの施策、港湾局の施策の中で、輸出促進に関して、2017 年、平成29 年度予算で、農水産物輸出促進基盤整備事業、こういう事業の予算を確保したと。これは何かというと、輸出拠点港湾、それから輸出水産業の集積港湾、水揚連携港湾の中で、いろいろな整備を支援しますよという制度でございます。北海道の6 港湾が連携して、農水産物輸出促進計画というものを策定して、それが全国初の認定案件となっております。これが平成29 年5 月ですね。このほか、清水港や八代港でもこの北海道に次いで認定されているというような状況がございます(図-6. 4. 2)。

輸出促進計画の概要です。先ほど6 港と申しましたが、苫小牧、石狩、増毛、枝幸、紋別、根室の6 港です。苫小牧港は輸出拠点港湾でもあり水揚連携港湾でもあります。石狩湾新港は輸出拠点港湾、その他の増毛、枝幸、紋別、根室は水揚連携港湾ということで、苫小牧とほかの5 港で屋根付き岸壁というものが整備されています(図-6. 4. 3)。

これが実際の写真でございます。ここにおられる方々は

2

1. 研究の背景

■輸出促進に向けて……農林水産物・食品の海外マーケットの拡大
＜輸出額の目標値＞
 ○政府：農林水産物・食品の輸出拡大実行戦略(R2年11月、関係閣僚会議)
 2012(H24)4,497億円 →2019(R1)9,121億円 →2025(R7)2兆円 →2030(R12)5兆円

○北海道開発局：第8期北海道総合開発計画(H28年3月、閣議決定)(R3年2月中旬点検)
 ー農林水産業・食関連産業の振興／食の海外展開ー
 2014(H26)663億円 →2019(R1)664億円 →2025(R7)1,500億円

○北海道：北海道食の輸出拡大戦略(第Ⅰ期：H28年2月)→(第Ⅱ期：H31年1月)
 2014(H26)663億円 →2018(H30)1,000億円 →2023(R5)1,500億円

＜国土交通省港湾局の施策＞
 ○2017(H29)年度予算で「**農水産物輸出促進基盤整備事業**」を創設
 ＊輸出拠点港湾→小口貨物積替円滑化支援施設やリーフターコンテナ電源供給設備の整備
 ＊水産物の集積港湾(連携水揚港湾)→水産物輸出力を高めるための**屋根付き岸壁**等の整備

○道内6港湾で「**農水産物輸出促進計画**」を策定 →全国初の認定案件(H29年5月認定)
 【苫小牧港、石狩湾新港、紋別港、根室港、枝幸港、増毛港】
 このほか清水港(H30年2月)、八代港(R2年2月)で認定

図-6. 4. 2

1

R5年度CPC講演会

令和5年11月28日
@TKP札幌駅カンファレンスセンター

北海道水産物の輸出促進に 向けた取り組み

～米国向け試験輸出の実施事例より～

(一社)寒地港湾空港技術研究センター
調査研究部 田中 淳

図-6. 4. 1

3

農水産物輸出促進計画(北海道)の概要

本計画における各港の計画

出典：国土交通省HP(報道発表資料、平成29年5月19日)

図-6. 4. 3

私よりも屋根付き岸壁のことに詳しいかと思いますが、苫小牧と増毛では完成して全面供用ということで、それからほかの枝幸、紋別、根室、これらは全計画のうちの一部が完成して暫定的にそれらが供用されているというような状況でございます(図-6.4.4)。

先ほど輸出の目標額を、北海道では1,500億円を目指しているというお話をしましたが、実際の推移がどうなっているのかというところをグラフ化したものでございます。縦軸に輸出額、それから横軸が年です。これは道庁のほうで輸出拡大戦略の報告書がございまして、そこから引用させていただきました。基データは財務省の税関統計で、その中から北海道の港湾空港から輸出されたもの、その金額を示したというようなグラフでございます。大体600億円から700億円ぐらいで推移しており、そして令和4年になって989億円と、ぐっと伸びております。989億円のうちの833億円が水産品、青が水産品、緑が農畜産物、その他加工品というのはグレーで示しておりますが、輸出額のほとんど、84.2%ですね、それが水産品になっております。水産品の中でどんな品目かという



図-6.4.4



図-6.4.5

ますと、ホタテ貝、これが74.2%、618億円、それからナマコ、それからサケ・マスというようなものが上位品目になってございます。増加している要因としては、ホタテ貝の中国や欧米での需要回復、それから単価の上昇、サケ・マスの豊漁などがあり、令和4年については1,000億円に迫る勢いの輸出額が記録されたというような状況でございます(図-6.4.5)。

こちらは同じ輸出額ですが、地域別に見たものです。地域別といいますか、輸出先ですね。青が中国、台湾、香港、韓国、いわゆる東アジアですね。それから緑色がASEAN、それから肌色っぽいのが欧米ということで、欧米にはロシアも含まれています。それからその他ということで、グラフを書いております。どういう割合になっているか、令和4年の状況で申し上げますと、東アジアが731億円の73.9%、7割がアジアに行っている。どんな品目かといいますと、ホタテ貝、ナマコ、サケ・マスです。ASEANのほうは10.5%ですが、サケ・マス、その他菓子類、それからサバ。欧米のほうは14%ぐらいで、ホタテ貝、その他調整食料品、そしてカニ、こんなものが上位3品目というような輸出の現状でございます(図-6.4.6)。

これまでの背景から、研究の目的でございます。北海道の水産品輸出先はアジアが主流です。ホタテとかナマコ、サケ・マスが輸出されていて、輸出促進の研究をやるに当たって、もちろんアジアはいっぱい輸出されていますので、そこを深掘りするという手もあるのですが、新たな輸出先として調査事例の少ない米国、アメリカに着目してみようじゃないかということでアメリカへの試験輸出を行ったというところでございます。まず、アメリカを対象とするに当たって、どんな水産物の需要があるのかというのをこの研究の中で調べております。アラスカ沖が全漁獲量の6割を占めて、北海道と類似する冷水性の魚種が多い。

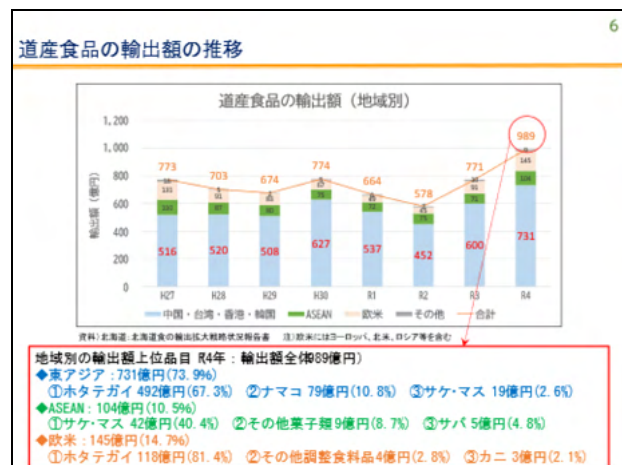


図-6.4.6

それから、水産物の消費量の50%以上を輸入で賄っていて、その中で日本は第12位ぐらいにランクしているというようなことで、ブリとか冷凍ホタテが日本から輸出されています。そして、訪日米国人観光客が年々増加しております。ということは、日本食への関心とか、日本食を食べたことがあるという経験が増加しているという状況もうかがえますし、それから米国内で日本水産物を使用した本格的な日本料理店の需要が拡大しているというような状況で、米国での日本水産物の需要増加もあるのではないかと、こういった状況の中からアメリカに輸出をやってみよう。目的としては、米国におけるニーズを把握し、道内の生産者や港湾関係者らが新たな輸出先として、具体的な計画立案に資するようなことを成果に生かせたらいいねということで、調査内容として、先ほどの屋根付き岸壁が整備されております苫小牧港で水揚げされた水産物を、アメリカのロサンゼルス・LAの日本料理店等へ試験的に輸出する。その中で、輸送条件の把握を行ったり、水産物の需要・評価を行っていきこうと、こういった内容で試験輸出を行ったということでございます(図-6.4.7)。

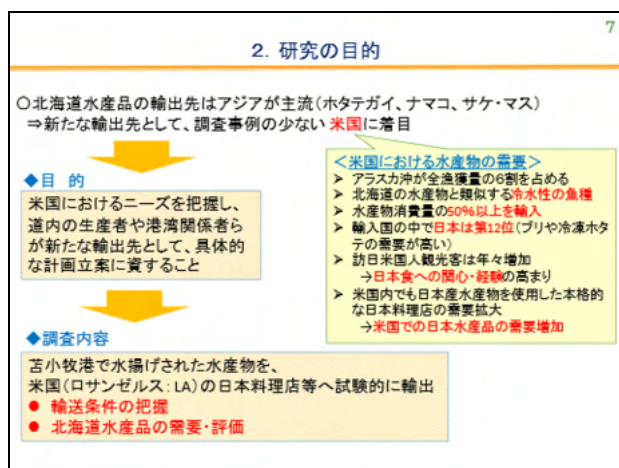


図-6.4.7



図-6.4.8

具体的な内容でございます。試験輸出は、2021年、令和3年度と、2022年、令和4年の2回実施しております。水産物の調達先は苫小牧の漁業協同組合さん。それから、輸出者が豊洲の卸売業者の新石商店という仲卸業者さん、輸出の経験があるということで、豊洲の業者さんに協力をしていただきました。それから、輸入者がOkumura Planningというロサンゼルスに在住している日本人の方で、新石商店さんと輸出・輸入のパートナーになって組んでやっている方で、ここを輸入者としていうということです。それから、輸出先はロサンゼルスのお寿司屋さん、それからドライエージング店といって、薫製ではないのですけれども、干物みたいな感じで熟成させるようなお店、それから中華系のスーパーへの卸売業者さん、ここは令和4年だけですが、こういったところに水産物を送って評価していただく。お寿司さんはミシュランにも載っているようなお店ということですし、それから右下がドライエージング店ですね。こんな干物みたいな感じで、ちょっと熟成させるというような商品を提供しているというようなところでございます(図-6.4.8)。

実際に輸出した水産物です。令和3年度の1回目の実験では、寿司店とドライエージング店に送りました。寿司店には北海道らしい旬の魚、それから少し珍しい魚ということでババガレイとかクロソイ、マツカワとか、珍しくはないのですけれどもユニですね、こういったものを送りました。それからドライエージング店には熟成向けのちょっと大型の魚ということで、スケトウダラとかキンキ、アキサケ、それからホッケを送りました。試験輸出の中で、温度・衝撃を測るデータロガーを入れまして、魚の上に、氷には触れないようにして置いたり、魚の口の中に入れたりとかして、温度や衝撃も測っていたというような状況でございます。令和3年度にやった1回目の結果を先に御報告いたしますが、寿司店の評価としては、マツカワとクロソイは



図-6.4.9

非常に好評でした。歯応え、うまみがあり、それからクロソイは非常にこの中では一番おいしかったと。一方で、ウニは残念ながら見た目も甘みももうちょっと、いまいちだったという評価であったり、ババガレイは生だと臭みがあってあまり受けなくて、火を通して提供したと。ドライエージング店では、こちらはキンキとホッケがやはり好評でして、良質な脂があった。それからホッケも程よい脂ということで、軽く熟成して焼き物にしたというようなことでした。一方で、アキサケとスケソウはちょっと評価が低くて、アキサケは淡泊すぎると、養殖サーモンに慣れている米国人にはちょっと淡泊だなという評価であったり、それからスケソウは腹に虫がいたみたいで、すごく抵抗があり、客受けしなかったと、お店の評価です。先ほどのOkumura Planningの方の個人的な感想では、自分は鍋にして食べたけれども、ホッケもすごくおいしかったよとは言ってくれましたが、すし店とかドライエージング店の評価はこんな感じでした(図-6.4.9)。

そこで、2回目、令和4年にもう一回試験輸出を行ったのですが、そのときには令和3年度の評価を踏まえて、写真のようなものを送りました。すし店、ドライエージング店、それと中華系スーパーにも送っております。マツカワ、ヒラメ、ホッケ、キンキ、それからクロソイを送って、それから、中華系スーパーだけに令和4年度は冷凍品も追加しようということで、苫小牧特産のホッキですね、それを湯引きして瞬間冷凍してパック詰めした商品を開発していましたので、それを送ってみよう。それからもう一つ、ブリですね。苫小牧で天然のブリが水揚げされるようになってきているので、それを何とか活用できないかということで、ブリをロインの切り身にして、これも瞬間冷凍をかけて、たしか静岡県の業者さんに作ってもらったという試験品ですけれども、そういったものを試験的に送ってみようかということで行いました(図-6.4.10)。



図-6.4.10

輸送日程でございます。1回目、令和3年は11月8日に出発して11月11日到着。苫小牧から千歳空港に送って、そこから羽田に行って、大田市場で輸出の箱詰め、梱包仕立て直しをして、豊洲経由で成田空港に運び、成田からハワイ経由でロサンゼルスに行ったという、こんな流れで、結局70時間もかかってしまいました(図-6.4.11)。

それから、2回目です。2回目は大田市場は経由させないで、梱包はこちらでできましたので、苫小牧から千歳空港、羽田空港、そして豊洲に送って、輸出のラベルとかを貼り付けて、成田に送り、成田からロサンゼルスへ直行便で行って、各店舗へということで、3日、直行便で今回45時間ということで、前回に比べると25時間ぐらい短縮されたような時間で行ったというような状況でございます(図-6.4.12)。

温度推移の結果、1回目、令和3年の結果です。縦軸温度で0度がオレンジのラインになり、緑色の線、これはカレイが入っている箱だったのですが、マイナス2度ぐらいをずっと記録していて、0度以下になっていて、ロサンゼルス到着時に一部の鮮魚が凍結していました。軽い凍結で

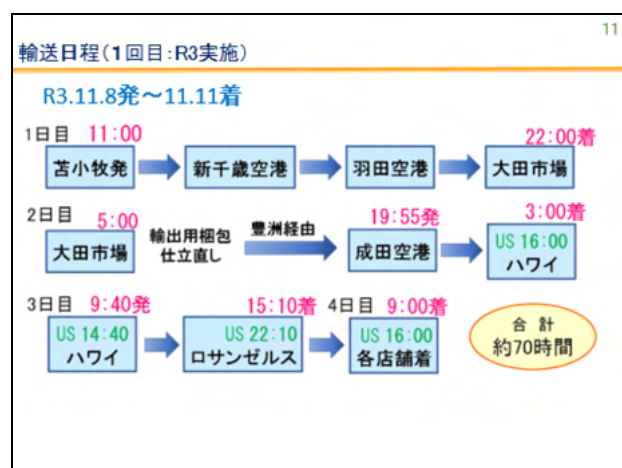


図-6.4.11

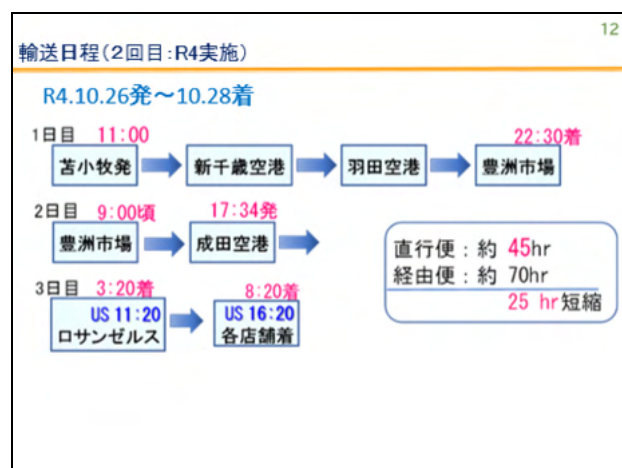


図-6.4.12

すが、凍結していたという状況で、保冷剤の適正量の把握が非常に重要だという反省点が出てきました(図-6.4.13)。

そこで、保冷剤の量をきちんと適正量を把握しようということで、令和4年のときに送った鮮魚は、鮮魚の重量に対して3分の1の保冷剤を入れようと、7.4kgですから保冷剤を2.5kg入れました。それから冷凍品、ブリとホッキは総重量の2分の1ぐらい、3.5kgあったので約半分の2kgぐらいのドライアイスを入れましょうと。冷凍品の適正温度はマイナス18度以下というふうになっていますので、これをキープできるようにしましょうということで、保冷剤の量を検討したというところでございます(図-6.4.14)。

その結果ですけれども、令和4年の温度の推移を見ると、生鮮品はずっと3から5度をキープしているという状況でした。それから冷凍品ですね、マイナス18度以下というのが適正温度で、それ以下をずっとキープしています。温度が下がっている部分、多分これ豊洲の仲卸業者さんのところに行くときに、夜に着いたものですから冷凍庫

のほうに一回入れて箱を開けて中の保冷剤とかきちんとなっているかというような状況を確認したと思うのですね。それで、ぐっと温度が下がったのではないかと考えていますが、いずれにしても適正温度をキープして輸送できたという状況でございました(図-6.4.15)。

それからもう一つ、衝撃も測っております。X、Y、Zの3方向で、いずれか10ガル以上になった場合に計測するように設定しています。グラフを見ますと、ちょうど豊洲の市場に着いたとき、あるいはロサンゼルスのお店に着いたときに大きな数字が出ていまして、やはり積荷の積卸し時に多少の衝撃は計測されたのですが、水産物への影響は特に見られず、荷物の取扱いは良好であったというふうなことが推察されます(図-6.4.16)。

ここから評価に入ります。評価に当たって、先ほど御紹介した輸出先の店舗ですが、もう一度その情報を整理します。おすし屋さん、先ほどミシュランにも掲載されているということで、客単価がすごく高いです。300ドルぐらいということ、今150円で計算すると4万5,000円ぐらいするので、結構気軽には行けないお店でした。

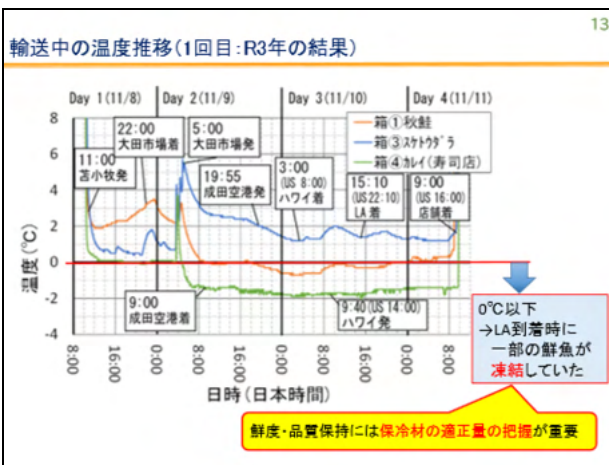


図-6.4.13

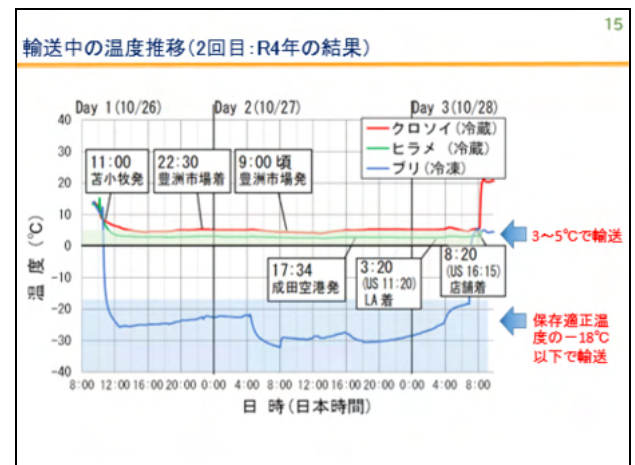


図-6.4.15

保冷材の量の見直し

1回目(R3年)の試験輸出の結果を受けて、2回目(R4年)は保冷材の適正量を検討した。

鮮 魚			冷 凍		
魚 種	個 数	重 量 (kg)	冷凍品	個 数	重 量 (kg)
クロソイ	2尾	2.20	ブリロイン	6切	2.60
キンキ	4尾	1.46	ホッキガイ (300g/箱)	3箱	0.90
ヒラメ	1尾	1.32			
マツカワカレイ	1尾	1.08			
ホッケ	2尾	1.34			
	計	7.40		計	3.50

保冷剤 = 魚重量 × 1/3 ↓
保冷剤 (500g) 5個 2.50

保冷剤 = 総重量 × 1/2 ↓
ドライアイス (1.0kg) 2個 2.00
※適正温度 -18°C以下

図-6.4.14

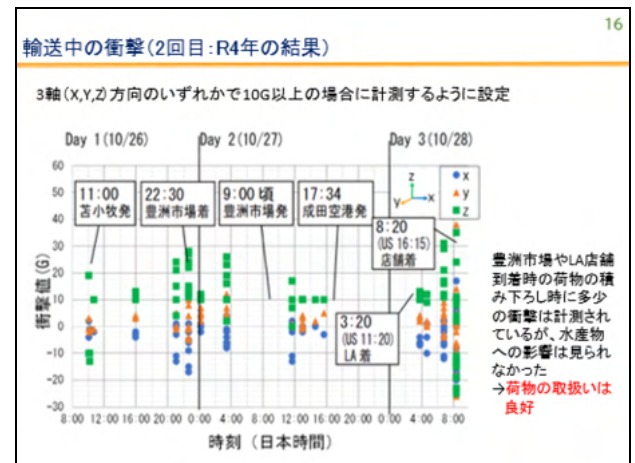


図-6.4.16

それからドライエージング店は80ドル、それから卸売業者、中華系スーパー向けですが50ドルということで、こういうお店に評価していただきました。令和3年度にすし店にウェブアンケートしたとき、日本の水産物を購入する理由は何ですかと聞いたときには、やっぱり鮮度がよいとか、客のニーズがある、日本でしか獲れない魚だから、だから日本から輸入するのだよというような話を伺っております(図-6.4.17)。

実際に令和4年度の評価ですけれど、①がすし店、②がドライエージング店、③が卸売店で、キンキ、マツカワ、ヒラメ、クロソイ、ホッケの評価を、A、B、C、Dの4段階で評価していただきました。キンキはAがついていて、やっぱり今回も好評だったと。それからB評価ではありますが、その他の魚も結構それなりにいい評価です。それから②のドライエージング店がちょっと辛口でして、Cがついていますが、他産地のものと変わらないということで、令和3年度のときはもうちょっと評価よかったのですが、今回は厳しい評価になりましたが、悪いという評価はなかったというような状況でございます(図-6.4.18)。

輸出した水産物の評価			
以降は試験輸出2回目(R4実施)の結果より			
輸出先の店舗情報			
店名	①	②	③
	The Brother Sushi	The Joint Seafood	Caille Trading
業種	寿司店	ドライエージング店 (レストラン)	卸売業者 (中華系スーパー向け)
客単価	\$250~300	\$80	\$50
店で人気のある水産物	熟成したサーモン寿司	カンパチ キンメ シマアジ マダロ	ウニ 冷凍品
北海道産に徹している水産物	ウニ	ウニ 天上ブリ(余市産)	ウニ
日本の水産物を購入する理由	鮮度が良い、客のニーズがある、日本でしか獲れない魚だから (R3寿司店webアンケートより)		

図-6.4.17

評価として、鮮魚に対するコメントをすし屋さんから頂いていますが、米国人顧客は魚種などにあまり詳しくない人が多くて、彼らに魚種の価値を伝えて販売するのは非常に難しいとのこと。ただ、今回味ではキンキが最もおいしくて、最も売りやすいという商品なのだけれども価格次第というところがある。それから、販売・提供しやすいものというのは、比較的メジャーで分かりやすく、脂が多い魚というようなお話を伺っています。

写真が実際の調理例です。キンキの炙りずしにしていたり、マツカワのカルパッチョにしていたり、提供されたということでございました(図-6.4.19)。

それから、冷凍品ですね。冷凍品を卸売店に送って評価していただきましたが、ブリはサイズと厚みはいいのだけれども、そのほかはD評価で、他産地のほうがよいと。他産地というのは九州の養殖物を使っているようなのですが、あまり今回よくなかったと。一つには色が悪い、それから血合いの部分が残っていたり、それからこれは天然だったのですけれど、養殖で脂乗りのよいものが好まれるので、今回ののはあまりよろしくなかったという評価でした。

輸出した水産物の評価	
鮮魚に対するコメント ● 米国人顧客は魚種などに詳しくない人が多い ● 彼らに各魚種の価値を伝えて販売するのは難しい ● 味ではキンキが最も売りやすいが価格次第	
提供・販売しやすいもの ● 比較的メジャーな魚 ● わかりやすい魚 ● 脂質が多い魚	輸出品の調理例 

図-6.4.19

輸出した水産物の評価						
鮮魚の評価						
魚種	①寿司店			②ドライ店		
	①店	②店	③店	①店	②店	③店
キンキ	A	C	B	A	B	B
マツカワ カレイ	B	C	B	B	C	B
ヒラメ	B	C	B	B	C	B
クロソイ	B	C	B	C	C	B
ホッケ	B	C	B	C	C	B

A:非常に良い B:良い C:他産地のものと変わらない D:悪い



図-6.4.18

輸出した水産物の評価		
冷凍品(ブリ、ホッキガイ)の評価(③店のみ)		
項目	ブリ	ホッキガイ
普段の仕入産地	九州(養殖)	米国、日本
普段の調理法	刺身、寿司、焼き物	刺身、寿司
外観	D	A
サイズ	A	A
厚み	A	A
色	D	A
味	D	A
食感	D	A
脂のり	D	—
熟成度	C	—
日持ち	D	—
顧客の好み	D	A

輸出品に対するコメント

<ブリ>

- 色が悪い
- 血合い部分がある
- 脂のりの良い養殖が好まれる



<ホッキガイ>

- 日本風のパッケージが良い
- 味も良く、顧客に好まれる
- 販売しやすい



A:北海道産のほうが非常に良い B:北海道産のほうが良い
C:他産地のものと変わらない D:他産地のほうが良い

図-6.4.20

最後にまとめとして、試験輸出の関係でいいますと、輸送時間は1回目は70時間でしたが、直行便で45時間に納めることができました。それから、保冷剤の適正量は、鮮魚は魚の重量の3分の1で3から5度をキープ、冷凍品は総重量の2分の1でマイナス18度以下をキープというような状況が分かりました。米国人の需要として、メジャーで分かりやすく脂が多い魚が好まれます。今回の試験輸出の中ではキンキ、クロソイ、マツカワ、ホッケといった脂の乗りのよいお魚が好まれるし、それから冷凍ホッキも非常に好評だったというような状況でございます。米国飲食店のニーズとして、やはり日本産水産物を扱う店では比較的高級な水産物を輸入していて、そのため高鮮度で高品質の輸出、輸送が求められるということが分かりました。北海道水産物の輸出促進と拡大のためには、米国人の嗜好に合う商品の提案や、付加価値を高めることも必要でしょうし、オール北海道での取組、「北海道」の知名度のさらなる向上というのが求められるかと思います。私も寒地センターも、オール北海道の一員となれるように、また研究を進めていきたいと思っております。以上でございます。ありがとうございました(図-6.4.21)。

4. まとめ

1) 試験輸出

- 輸送時間: 約70hr (R3ハワイ経由) → 約45hr (R4直行便)
- 保冷材の適正量: 【鮮魚】魚重量の1/3 → 3~5℃で輸送
【冷凍】総重量の1/2 → -18℃以下で輸送
- 米国人の需要: メジャーな魚・分かり易い魚・脂質が多い魚
- 高評価の魚種: ケンキチ、クロソイ、マツカワ、ホッケ → 脂のりの良い魚
冷凍ホッキ → 日本風パッケージや味も良く、客に好まれる

2) 米国飲食店のニーズ

- 日本産水産物を扱う店では、比較的高級な水産物を輸入
- 高鮮度高品質の輸出(輸送)が求められる

3) 北海道水産物の輸出促進・拡大のためには

- 米国人の嗜好に合う商品の提案、付加価値を高めることも必要
- オール北海道での取り組み、「北海道」の知名度のさらなる向上

178

付録Ⅰ 令和５年度 CPC 講演会 開催案内

「令和５年度 CPC講演会（札幌）」の開催案内について

寒地港湾空港技術研究センター（CPC）の事業について、日頃よりご支援・ご高配を賜り誠にありがとうございます。当センターにおける調査研究の内容を広く知っていただくとともに、積雪寒冷地の港湾及び技術等に関する情報提供を目的として、講演会・講習会等を開催しております。今般、下記の内容で「令和５年度 CPC講演会（札幌）」を開催致しますので、お忙しい時期ではありますが、多数のご出席を賜ります様ご案内申し上げます。

記

1. 開催日時 令和５年 11 月 28 日（火） 15：00～16：50
2. 開催会場 TKP札幌駅カンファレンスセンター ホール３Ａ
札幌市北区北 7 条西 2—9 ペルヴェオフィス札幌 3 階
3. 講演内容 (1) 「気候変動による防波堤の安定性低下と順応的対策」
寒地土木研究所寒冷沿岸域チーム 上席研究員 平野 誠治
(2) 「港湾工事において発生する浚渫土砂の有効活用」
寒地港湾空港技術研究センター 調査研究部研究員 白鳥 夏生
(3) 「苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法」
寒地港湾空港技術研究センター 調査研究部次長 山内 功
(4) 「北海道水産物の輸出促進に向けた取り組み」
寒地港湾空港技術研究センター 第 3 調査研究部長 田中 淳
4. 受 講 会場参加のみ（WEB のライブ配信は行いません） 参加費は無料
5. 申 込 先 寒地港湾空港技術研究センター 杉山 TEL 011-747-1688
・別紙の参加申込書へ記入の上、11 月 22 日（水）まで下記 FAX かメール
でお申込み下さい。
【FAX】 011-747-0146 【e-mail】 m_sugiyama@kanchi.or.jp
6. その他 ・公益社団法人土木学会の継続教育（CPD）認定プログラム【1.7 単位】
・なお、本 CPD プログラムを受講し、土木学会以外の建設系 CPD 協議会加盟
団体へ CPD 申請を行う場合、申請が認められない場合や単位換算が異なる
場合等がありますので、申請先団体のルールをよくご確認ください。

一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター
第2調査研究部 杉山 宛て

氏 名	所 属	電話番号	CPD 希望
(記載例)			
寒地 太郎	寒地港湾空港技術研究センター	011-747-1688	○

[illegible]

付録J 令和5年度CPC講演会 写真



(国研)寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム
上席研究員 平野 誠治 氏



CPC研究員
白鳥 夏生



CPC次長
山内 功



CPC部長
田中 淳

7.1 講演「ICT計測機器を用いた効率的な水中部点検」

(株) クマシロシステム設計 解析設計部

部長 阿部島 直哉 氏

ただいま、御紹介に預かりましたクマシロシステム設計の阿部島と申します。本日は、「ICT計測機器を用いた効率的な水中部点検」ということで、30分程お話しさせていただきますいただければと思います(図-7.1.1)。

まず、背景でございます。現状、水中部の老朽化調査というのは、左側にありますように、潜水士が実際に潜って、目視で変状を確認するというのを基本に実施されております。しかしながら、左下のグラフにありますように、潜水士も高齢化が進んでおりまして、このあと人手が不足していく、実際に全道で点検が重なると潜水士さんが不足しているという事態ももう既に起こっています。こういったことから、例えば国交省とか水産庁では、右にあるようなICT機器を使って点検を効率的にしていこうということを今模索しているような状況でございます(図-7.1.2)。

ICT機器とは何かというお話なのですが、大きく



図-7.1.1



図-7.1.2

く分けて二つございます。一つは上段にありますように、音響機器と呼ばれるものでございます。そのなかの一つは水中3Dスキャナー。また右側のほうには、深淺測量等にも一般的に使われているマルチビームがあります。この二つは、原理的には基本的にほとんど同じなのですが、周波数が違う等がありまして、スキャナーのほうが若干解像度が高くデータをとれます。また、マルチビームは水面付近をなかなかうまくとれなくて、それに対してスキャナーのほうはとれるという若干の違いはあります。ただ、水中3Dスキャナーというのは、まだ国内にあまり出回っていないくて、調達性という面ではちょっと劣るというものになります。一方、下の段にありますのは、光学機器でございます。左側のカメラ、これはGoProとか、いわゆるアクション系のものであれば、こういった点検にも活用することができます。例えば、ぶら下げて撮ったり、棒の先につけて撮るといったことがありますけども、なかなか作業としてはしんどくて、広範囲を撮るとするのは難しいというところがあります。そこに、近年、水中ドローンというものが、非常にたくさん種類も出てきて価格も安くなってきています。一定程度、動かして撮ることもできるということで、この辺りの機器を使って効率的に点検をしていこうという状況にあります(図-7.1.3)。

ICT機器を使おうといった場合に、いくつか確認しておくてはいけないことがあります。一つは計測の精度、先ほどのような機器でどのくらいの変状まで抽出できるかということ。また計測効率、これは潜水士作業に対して当然効率的じゃなくてはあまり意味がないので、とはいえどれだけ効率的なのだというのは実際よく分かっていない。また、こういった現場、例えばこういうふうに濁っているところとか、流れがあったり、波があったりするような場所で本当にちゃんと使えるのだろうかということが、よく分かっていないというような状況にありました(図



図-7.1.3

-7.1.4).

そこで、令和4年と5年に、これは北海道開発局の水産課発注の業務の中で、フィールドを遠別、美国、厚岸という三つの漁港で実際に試験をやってみて、先ほど、三つほど挙げた課題を確認していこうということで進めてきました。フィールドの特徴としては、美国は非常に透明度が高く、流れとかの影響もない。遠別は、若干砂の影響とかがあって透明度が低いような場合があり、流れはほとんどない。それに対して厚岸というところは、透明度が低く、厚岸湖と厚岸湾の行き来の潮流の影響もあって流れが強いということがあります。そういったフィールドの特徴も踏まえながら、この透明度や流れ、こういったものに対するICT機器の適用性、計測の精度や効率性というのを検証していくということを行いました(図-7.1.5)。

この調査結果と、精度、効率性、適用性、また水中ドローンの調査をいろいろこの2年間やってみて、なかなか思うようにならないところ、あるいはこういうふうに工夫したらいいのではないかとあるところがありましたので、それについて御紹介していければと思っております(図

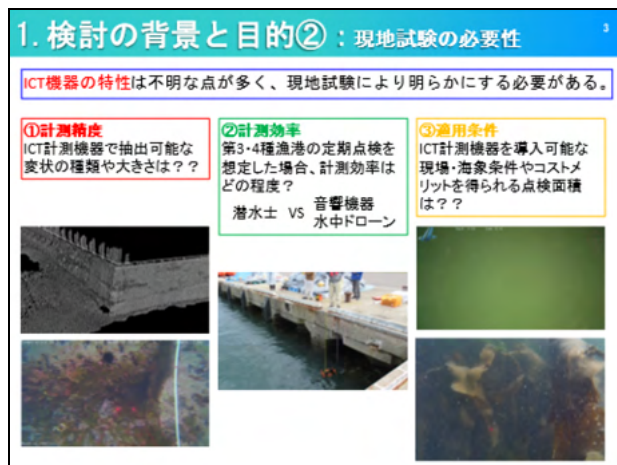


図-7.1.4

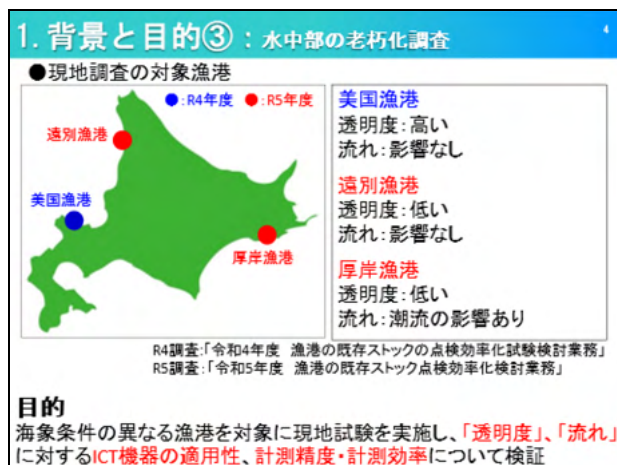


図-7.1.5

-7.1.6).

調査の概要です。まず、美国漁港というところでは、港内の係留施設、また防波堤を含め、黄色いラインをつけたところの施設を調査しました(図-7.1.7)。

遠別につきましては、南防波堤という第一線の防波堤の港内側を、厚岸漁港に関しては、二つ岸壁をやりまして、

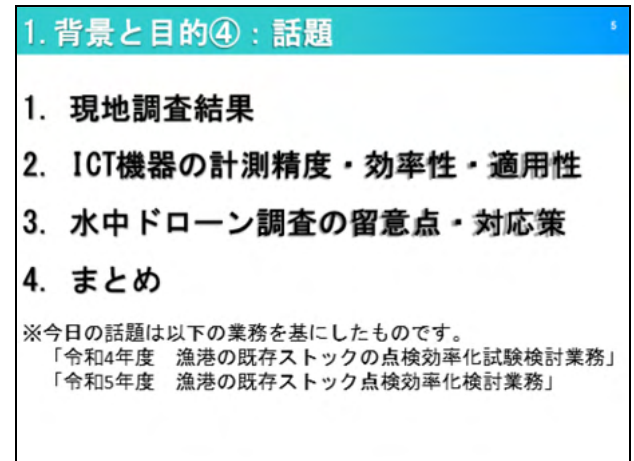


図-7.1.6



図-7.1.7



図-7.1.8

特に3m岸壁は先ほど言いましたように、厚岸湖と厚岸湾を行き来する流れが非常に強い場所です。こういったところを対象に、先ほどのICT機器、それと潜水調査で、ヨーイドンで競争するような感じで調査を行ったということになります(図-7.1.8)。

調査の方法をこちらにお示ししています。潜水目視に関しては通常のやり方と一緒に。まず、スパン割をして、実際に潜水士が潜って目視をして、その場でスケッチをとって、最終的には変状図というものを作成するという形で行っています。通常、潜水士2名、陸上作業員3名の5名体制で調査を行っております(図-7.1.9)。

次に、水中ドローンの調査している状況を示しております。真ん中で白い服を着ているのが操縦士で、実際に今操縦しているところです。もう1人、手前側にケーブル補助と書いていますが、海側に水中ドローンが入ってしまっていて、このケーブルがドローンとつながるものになっています。記録員というのが1人おりますが、操縦士が変状等を見つけたタイミングとか場所、そういったものを記録しておいて、会社に戻って内業で変状図を作るといった形で、

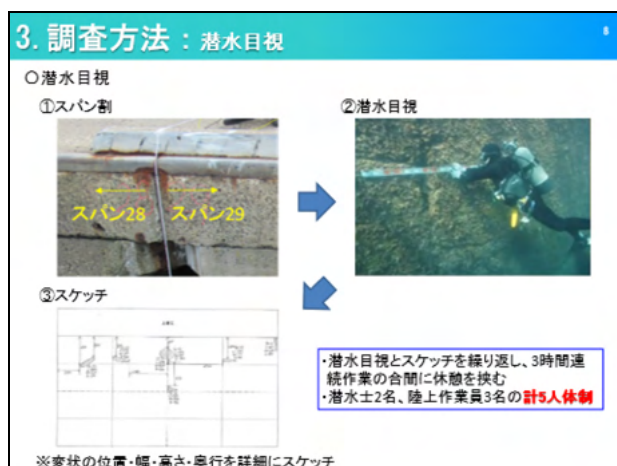


図-7.1.9

基本的にはこの3名体制で調査を行っています(図-7.1.10)。

水中ドローンも基本的には潜水目視と同じで、スパン割をして、水中ドローンを実際に操作して動画ないしは画像を撮ります。変状の位置と時刻に関しては、外業であまり細かいことをやると結構時間がかかってしまうので、本当にポイントだけ、この時刻にここに変状がありましたというメモレベルのものを作ります。それを会社に戻ってから、スナップショット化して変状図を作成するという形で調査をいたしました(図-7.1.11)。

水中3Dスキャナーとマルチビームに関しては、ほぼ同じような形でやっています。まず、機材を積み卸して機器を接続し、それを船に機装します。大体この機装までで早くて2、3時間、朝行って昼までの午前中に機装が終わって、午後から計測できるかなというような感じです。計測自体は、船でその対象とする場所を行き来するだけ。大体1.5ノットぐらいで撮ります。できるだけ何回か繰り返し撮らないと、点群の漏れが出てきてしまうので、三、四回繰り返すような形で計測します。ただ船で走るだ



図-7.1.11



図-7.1.10



図-7.1.12

けなので、計測自体はすごく早いです。なので、例えば先ほどの遠別の防波堤なんかもあっという間に計測が終わってしまいます。ただ、基本的には作業員3名と船を操縦する方が必要、あとは岸壁から5mぐらいの距離を保ちながら計測しなくてはいけないというところ。また、船が止まっていたり、浅場があったりすると、なかなか計測が難しい場合があるというような状況でございます。左下ののように、実際に計測している状況を見ながらデータを取っていくという形になります(図-7.1.12)。

こちらは実際に水中ドローンと3Dスキャナーで調査した結果の図をお示ししています。上の左側、美国での重力式の岸壁の欠損を水中ドローンで写真を撮ったあとに、会社に戻ってから、どこが欠損かというのを確認して図にしています。右側は、矢板式岸壁の陽極がこういうふうに曲がっているような状況とかを確認しているということになります。右の写真の中に赤い点が二つあるのが分かるかと思います。これは水中ドローンから10cm幅のレーザーを出していて、あとで写真を見たときに、変状が何cmあるかというのを、このレーザーの間隔を物差しに

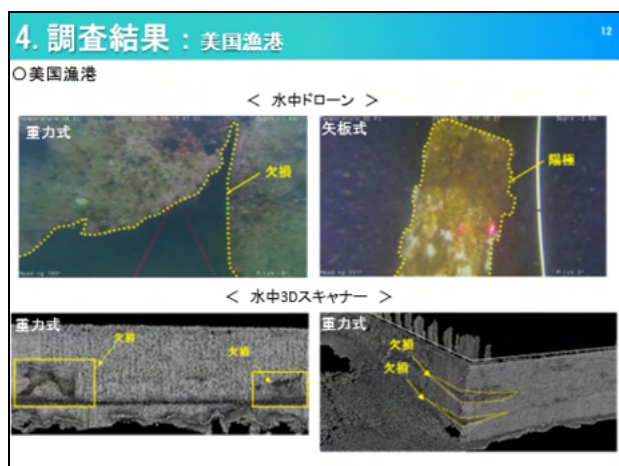


図-7.1.13



図-7.1.14

して、戻ってから変状サイズを決めるための物差しみたいな形で使っています。下のほうは、水中3Dスキャナーの結果になります。左側の図にありますように、大きな欠損であればこういう形で、目で見てすぐ分かるような形で確認することができます。右下のほうも、岸壁のちょうど角のところで大きな欠損がありますけれども、これも確認できます。さらに、スキャナーで撮ると点群データという形でデータを取得していますので、このまま例えば、BIM・CIMモデルに反映することも、少し加工すれば簡単にできるというような状況です(図-7.1.13)。

こちらは、遠別でのドローンの調査結果です。左側は岸壁の欠損状況で、右側は消波ブロックが飛散している状況を捉えたものになります。下の図はスキャナーで、防波堤から少し出ている消波ブロックの傾斜堤のような場所の、法(のり)がどうなっているかというのを確認したことになります。こちらも点群でデータを取得しているという状況です。(図-7.1.14)。

こちらは、厚岸での結果になります。上がドローンで、重力式の岸壁と矢板式の岸壁をこのように撮っています。厚岸は調査したときは透明度がかなり低めで、ちょっと見づらいような画像になっているかと思います。ぎりぎりこれでも後処理をすれば変状を確認できるかなというようなレベルです。右側のほうはスキャナーで撮ったもの。矢板の岸壁なので、陽極がきちっと配置されているというのが、こういうふうに確認できるという状況です(図-7.1.15)。

今までお見せしたのが、実際に撮った試験結果ですが、適用性がどうなのだとこのところをもうちょっとお話ししていきたいと思います。一つは、水中ドローンの画像というのが、今お見せした写真を見ても分かる通り、濁りの影響をかなり受けます。北海道の特に太平洋側ですと、クロロフィルaの濃度が高いときに濁りが高まるとい

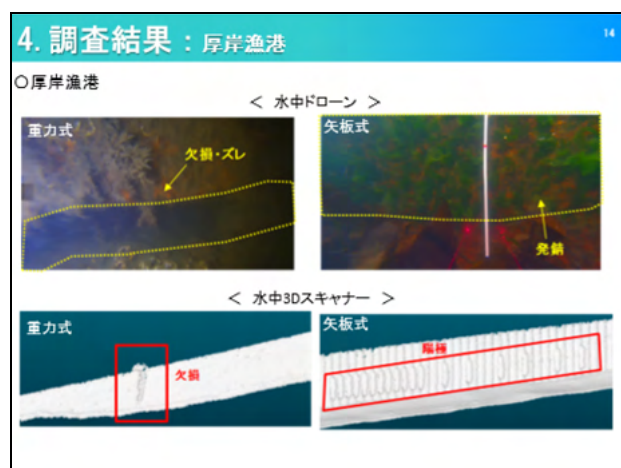


図-7.1.15

うのはよく知られておりまして、下にグラフがあります。これは、厚岸で長期の水温とクロロフィルa濃度を計測したデータがあり、それをお見せしたものです。青いのが水温で、緑がクロロフィルaの濃度になっています。青いのが高くなっている、水温が高くなっているのが大体8月、9月と。この水温に連動してクロロフィルaの濃度がぱつと上がるので、基本的には夏場の8月、9月ぐらいの濁り、透明度が低いというような状況になります(図-7.1.16)。

実際に透明度を確認しながら、水中ドローンの画像を並べてみたものがこちらになります。左上が美国漁港で、調査した日の透明度が3.8m ということで、かなりくっきり見えるのが分かります。右上の遠別も、この日は透明度が遠別にしては高くて、透明度3.3m と、このぐらいであれば、十分変状を確認できます。しかしながら、下段の二つ、これは厚岸で撮ったときです。特段何も処理をしないと、透明度1.8m とか1.1m だと、もうこういう真っ暗な状態で、撮ったはいいいけど変状はもう全然分からないよねというような状況になってしまいます(図-7.1.17)。

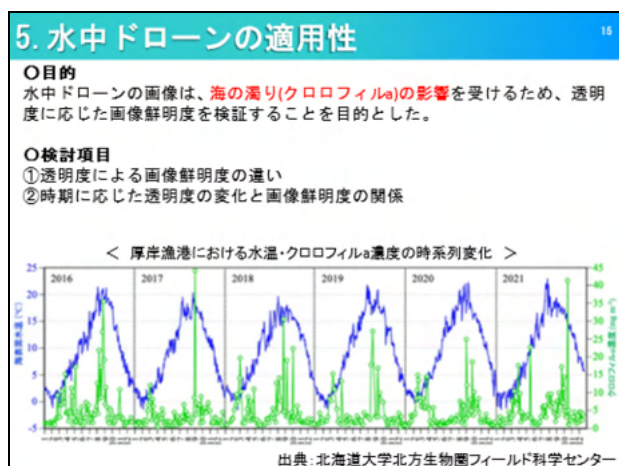


図-7.1.16



図-7.1.17

しかし、これは同じ厚岸の同じ場所で、8月の透明度が低いときと、10月末のクロロフィルaの濃度が大幅下がった時期で撮ったものです。同じ場所でも見て分かる通り、透明度が2mぐらいを超えてくると、こういうふうにかなりはっきりとした画像を撮ることができます。ということで、調査に当たって透明度を確認するというのももちろんですけれども、あらかじめ、このように時期で撮れ方が全然変わってくるということも踏まえながら、調査の時期を決めていくということも重要なのではないかなということが確認できました(図-7.1.18)。

続きまして、流れに対する話です。左下の動画、これは厚岸で実際に水中ドローンのスクリーンを回しながら、大体10cm ぐらいの流れに刃向いながら、流れの流下方向の画像を撮っているような状況です。基本的には、水中ドローン出力がそんなにないので、流れに逆らって移動するというのはかなり難しいです。ですので、基本的にはこういう流れがある場合に、姿勢を制御しながら流下方向に向けて撮影をするというのは、何とかぎりぎりできるかなということです。実際に、いくつかの海象でやってみた感



図-7.1.18

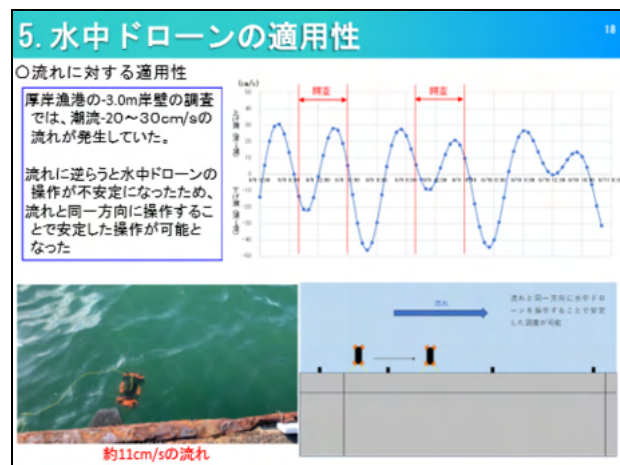


図-7.1.19

じですと、今、弊社が使っているものと、30cm 毎秒ぐらいの流れがぎりぎり、もうちょっと出力が上がった機械とかが出てくると、4, 50cm ぐらいまでは何とか耐えられるのかなといった状況です。ですので、流れに対する適用性というところでは、港の中だと多分大丈夫です。潮が強いところ、あるいは潮が強いタイミングだと調査の効率が落ちたり、うまく撮れなかったりということがあるということに留意していただければと思います(図-7.1.19)。

次は、実際に外業と内業で作業効率がどうなのだというのをまとめたものになります。数字が入っていますが、まだ精査している最中なので参考程度に見てください。結論として、外業に関しては、3Dスキャナーは先ほど説明した通り、艀装さえすれば船で走るだけで計測できるので、作業効率が一番高いというのは当たり前です。水中ドローンは、わずかにですけど、潜水目視よりも外業の効率としては高いという傾向が見てとれます。一方で内業は、調査した結果を会社内で変状図に起こしたりという作業なのですけども、3Dスキャナーについては、計測したデータがもう既に点群データなので、そのデータを、例えばフィルター処理とかパソコン上で処理するだけでデータとして仕上がるので、作業効率は内業でも高いです。水中ドローンに関しては、結局画像を撮ったものを会社に戻ってもう一度見て確認しながら、どの場所にどういった変状があったかというところを起こさなくてはいけなくて、その分、内業の効率は現時点では悪いです。潜水目視は、逆に現場でラフスケッチでも取るので、その分内業時間というのは、水中ドローンよりも少し少ないというところ。ただ、この部分は、現状では画像の処理をかなりの割合で人力に頼ってしまっていますが、例えば今話題のAIとか、ああいったものを活用することで、学習させて変状が変状ではないかというのを判断させるような

ことができるようになってくると、効率としては上がってくるのではないかなというふうに考えています(図-7.1.20)。

ここからは、計測の精度の話をする。図が小さくて見づらいのですが、左側中段の図が潜水目視のスケッチでとった変状図になります。これ皆さんよく見たことがあると思いますけれども、どの場所にどのぐらいのサイズの欠損、クラック、ひび割れがありますよというような図ができます。水中ドローンも基本的には同じことをするわけですから、左下のように変状図というのは同じような形で出てきます。一方、3Dスキャナーとかマルチビームに関しては、点群データからミリ単位でX, Y, Zの値が出てくるのですが、もともと法線がこうだっただろうという仮定で、そこからの差引きで今は変状を出しています。ですので、実際とは若干乖離がある場合があるのではないかなと思っていますが、大きな変状であれば、この点群データを取って出来形を想定した中で、その差分を取ることで変状として扱うことができるというような状況です(図-7.1.21)。

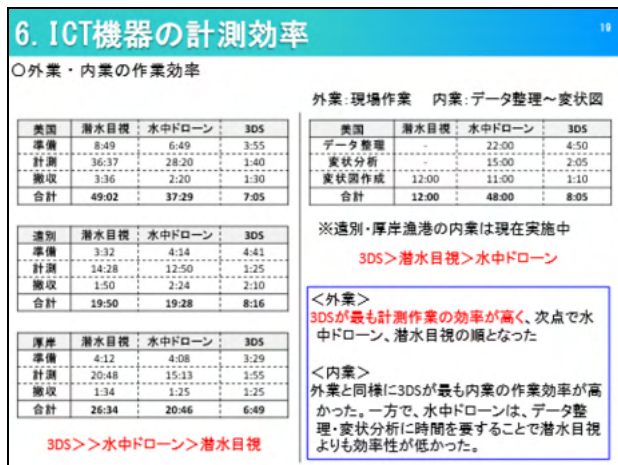


図-7.1.20



図-7.1.22

実際に精度を確認したのがこの表になります。表の見方としては、潜水目視で幅、高さ、深さを計測した値。これに対して、ドローン、スキャナー、マルチビームで計測した値。これの比を右側のほうに示しています。潜水目視を100%としたときの整合率というふうに見てください。これを見ると、幅等に関しては概ね、マルチビームでちょっと低いところありますけれども、大体98%とか9割以上の確率で整合するということです。高さに関しては、8割以上程度でどの計測方法も整合率が得られているということになります。一方深さのほうは、まず水中ドローンは画像なので深さが取れないという欠点があります。さらにマルチビームは若干周波数等の関係もあるので、深さ方向の精度が少し落ちているかなというところ。幅と高さに関しては、これらのICT機器で一定程度の、潜水目視と同程度の精度で確認できるということまでは、検証したというような状況になります(図-7.1.22)。

まだ現在取りまとめ中なので、これは案なのですが、ICT機器の適用範囲と区分ということで表をお付けしています。3DSとかナローマルチビームのような音

22

7. ICT機器の適用条件

OICT機器の適用範囲・区分表

3DS・NMBの音響機器は、老朽化度a、b1の変状は検出が可能。一方で、水中ドローン・垂下式カメラは老朽化度a～dに対応できるが、透明度2.0m以下は適用が困難である。
ICT機器の計測効率は、潜水目視よりも効率的であるが、垂下式カメラは作業効率が低い。

①計測精度

	透明度	流れ	老朽化度				
			a	b1	b2	c	d
3DS	—	—	○	○	×	×	×
NMB	—	—	○	○	×	×	×
水中ドローン	2.0m以上必須	可能 (30cm/sまで確認)	○	○	○	○	○
垂下式カメラ	2.0m以上必須	—	○	○	○	○	○

②作業効率

	外量 (m/日)	内量 (m/日)
潜水目視	1,200	1,800
3DS	2,300	2,650
NMB	3,600	2,650
水中ドローン	1,500	450
垂下式カメラ	680	450

図-7.1.23



図-7.1.24

響測量機器に関しては、老朽化度でいくと、b1以上、数cm以上の変状の場合には十分適用可能かなと思います。ただ、ミリ単位のひび割れとかb2みたいなものになると、現状だとまだちょっと難しいかなというところ。それに対して画像に関しては、b2等も画像の鮮明度さえ確保できれば把握できますので、一定程度の老朽化度まで確認できるのではないかとということで整理しております。一方、作業効率に関しては、先ほど申しました通り、音響測量機器は非常に外業の効率がよくて、ドローンも潜水目視よりはるかに効率的というところ。しかし、内業に関しては、現状水中ドローンの内業効率が結構悪いので、今後ここをいかに改善していくかが、ドローンをうまく使っていく上で必要な部分かなと思っています(図-7.1.23)。

ここからは、ドローンを実際に使っていった中でいろいろトラブル等もありましたので、その紹介と対応方法について少し説明していきたいと思います(図-7.1.24)。

まずドローンを使って一番困ったのが、釣り糸とか浮遊しているものです。特に左下の流れ藻がこんなふうに付いている状況だと、ドローンを入れられないような状況になってしまいますので、こういったものが非常に支障になりました。特に釣り糸がスクリーンに絡んでしまうと、ドローンにはスクリーンが8個ぐらい付いているのですが、1個でもああいふふうになってしまうともう操縦ができません。ほとんどコントロールがきかなくなってしまうので、こうなったら1回引き上げてスクリーンを交換という形になります。スクリーンも結構高くて1個8,000円から1万円ぐらいします。1日2個とか壊すと結構悲しいものがあって、大体一現場で何個かはこういうふうになって交換という形になっておりました。

できるだけタモとかで邪魔なものをよけたり、船が止まっているようなときには若干よけてもらったりとか、右下にあるように少し余裕を持って係留してくれれば、これぐ



図-7.1.25

らいたの間があればドローンは十分入るので、何とか調査ができるというような状況もありました(図-7.1.25)。

ドローンを操縦するときは、左側の写真にあるように、コントローラーにiPhoneやiPadとかモニターをつけて、モニターを見ながら操縦するのですが、外で天気がいいと全然モニターが見えないということがあります。そのため右側の写真にあるように、高輝度モニター、かなり明るく天気のよい外でも、モニターがはっきり見えるようなものが売っておりまして、こういうものを使うことで作業効率が上がるかなというところですよ(図-7.1.26)。

続きまして、濁りへの対応です。冒頭述べましたように、水中ドローンの撮影画像は、濁りがあるとかなり変状とかが確認できなくて、それを解消できないかということで、画像鮮明化装置というものを今回調査でも導入しました。水中ドローンと画像を保存する間にこの画像鮮明化装置というのを挟むと、左側の写真と右側の写真は、これは同じものをこの処理の有り無しで示していますが、ちょっとコントラストを強めてくれて、濁って暗いのを解消してくれます(図-7.1.27)。

これは同じ動画です。左上が処理なし、右下が鮮明化処理をしたもので、発色が結構ビビットになるのですが、ちょっと濁って暗くて見づらいというものを若干でも解消できます。ただ、機械は結構高く、あの機械で200万ぐらいします。なので、現場で使うときには大事に使わないといけないというところがありました(図-7.1.28)。

濁りに対する話では、水中ドローンのオプションで、光量が非常に強い外部ライトとかもありますので、外部ライトをつけることでわずかでも画像を鮮明にすることができます。パワーポイントで見るとあまり変わらないのですが、ライトがない場合と比べてライトをつけることで、少しでも解像度を上げて、さらに先ほどの鮮明化装置とかを使うと、何とかぎりぎり変状を確認できるような状況になりました(図-7.1.29)。

水中ドローンの弱点としては、水面に近いところでスクリーンを回してしまうと、左上の写真にあるように自分のスクリーンで気泡がばあっと出てしまっただけ撮れないということがあります。また機器の特性で説明した通り、マル



図-7.1.26

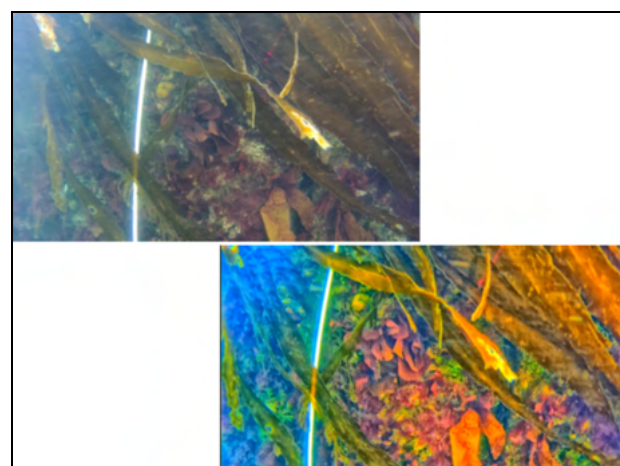


図-7.1.28



図-7.1.27



図-7.1.29

チビームでは水面の近くの変状が取れないので、そういったときには、右上の写真にあるように補足的に垂下式カメラを使って、右下ぐらいのレベルが撮れるので、潮間帯などはこういったカメラもうまく併用しながらカバーしてやるというのが、対応としていいのではないかなと思っています(図-7.1.30)。

ここからは、こういった調査の結果を、今後、BIM・CIMモデルとかに反映していく中で、今いろいろトライしていることが二つほどありますので、その例をお示ししています。一つは、水中ドローンの欠点として奥行きが分からないというところがありますが、それを何とか改善できないかというところで、左の写真にあるようなドローンで撮った動画、これをSFM解析というものを使って重ねることで、三次元モデル点群データに変換するという取り組みを今やっています。実際に作った点群データの動画をお見せしますが、写真では当然分からない奥行きを一定程度確認できるようになります。精度的にはミリまではちょっと難しいのですが、1cm未満ぐらいまでは、データの精度としても確保できそうなので、これをうまく使ってやる



図-7.1.30

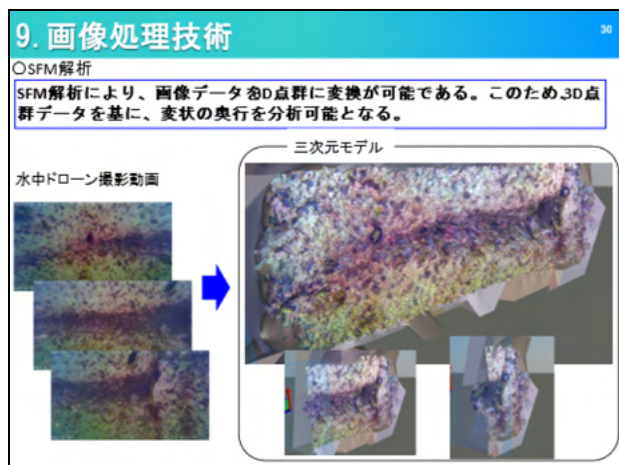


図-7.1.31

ことで、水中ドローンの画像を基にした変状の点群データというのを作っていけるのではないかなというところで、今いろいろ試行錯誤しています(図-7.1.31)。

もう一つが、こういった撮ったデータを、次の施設点検をやるときの現場に上手く活用していけないかということもやっています。(ここから動画放映)

この動画は、BIM・CIMモデルに変状図をサーフェスで持たせて、それを現場でARで確認しながら調査できないかというのを、ちょっと取り組んでやってみたものです。今見えているのは左側の人がタブレットで見ている画面と一緒にあります。今は位置合わせをしているはずで、位置合わせをし終わると、過去に作成した変状図をその場で確認しながら、もうちょっと進みます。これはARを現場で見るときに、要するに裏側から透視して見ているような状況になっています。ここに変状があるよとか、ここに段差があるよとかいうのを、普通は調査に行ったときに図面で見ながら過去の変状がどこにあるかを探すと思うのですが、こういったものを使うことで、視覚的に分かりやすい形で確認しながら調査に活かせるのではないかと、これは今、変状図なのでこういう感じなのですが、ここには先ほどの点群データ化したものとかも持たせることで、データを現場で確認できるように、変状がどこにあるかを見ながら水中ドローンなりで確認していくとか、潜水目視に入ってもらいたくとかいうところに活用していけるかなということに取り組んでいる状況になります(図-7.1.32)。

最後にまとめです。まだ今年度の調査結果が取りまとまっていないところなので、定性的なまとめになっています。精度としては、水中ドローンとか音響測量機器というのは、老朽化度のaとかb1くらいの変状は潜水目視と同程度で計測ができるということ。効率に関しては、音響機器は非常に外業の効率がよくて、水中ドローンも潜水目視



図-7.1.32 (動画)

よりは効率よく外業をこなせる。ただし、水中ドローンの内業に関しては、画像解析の時間というのが今は非常にネックになっているので、この部分の改善というのを今後やっていかなくてはいけないなというところです。また適用条件に関しては、音響機器に関しては船に艀装して船が走れば撮れるというところで、船が航行できれば海象条件の影響というのは基本的には受けないと思います。ただ、水中ドローンに関しては、まず透明度が2m以上はぎりぎり欲しいなというところ。これに関しては調査の時期とかもうまく調整することで、できるだけ透明度が高い時期にやることで対応できるのではないかな。また濁りの影響に関しては、ライトを使ったり画像鮮明化装置を使ったりというところで、できるだけ緩和していくことで、何とか変状を確認できるレベルで運用できるのではないかなというところです。結局、ICT機器を使うことで、潜水調査の代替というのは一定程度可能であるというところです。ただ、調査の目的とか調査範囲、例えば音響測量機器というのを狭い範囲で使うと非常に効率が悪い。できるだけ広範囲なところを早く撮るという意味では音響機器がいいですし、水中ドローンは狭くても持っていてすぐに見られるとか、その機器の特性とか調査の目的、調査範囲、規模に応じて、どの機器を使ったら効率的かというところを今後もう少し詰めていかなくてはいけないのかなと考えています(図-7.1.33)。私の発表は以上になります。ありがとうございました。

11. まとめ
33

①計測精度

- ・水中ドローン、音響測量機器は、老朽化度a、b1程度の変状は潜水目視と同等の精度で計測が可能である。

②計測効率

- ・音響測量機器>>水中ドローン>潜水目視の順である。
- ・水中ドローンの内業は、画像解析に時間を要するため、改善が必要である。

③適用条件

- ・音響測量機器は、海象条件の影響を受けない。
- ・水中ドローンは透明度2.0m以上の海象条件で適用が望ましい。
(5～6月、10～12月はクロロフィルa濃度が低下し透明度が向上)
- ・濁りの影響は、外部ライト・画像鮮明化装置により緩和が可能である。

ICT機器により、潜水調査の代替は一定程度可能であり、調査の目的や調査範囲・規模に応じた機器の選定が必要！！

図-7.1.33

7.2 成果報告

(1)「港湾等において発生する浚渫土砂の有効活用方策」

CPC 調査研究部 研究員 白鳥 夏生

(2)「苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法」

CPC 調査研究部 次長 山内 功

(3)「北海道水産物の輸出促進に向けた取り組み」

CPC 第3 調査研究部 部長 田中 淳

「6.2 成果報告 (1)～(3)と内容が同じことから略

付録K 令和5年度CPC技術講習会(苫小牧会場) 開催案内

「令和5年度 CPC技術講習会(苫小牧)」の開催案内について

寒地港湾空港技術研究センター(CPC)の事業について、日頃よりご支援・ご高配を賜り誠にありがとうございます。当センターにおける調査研究の内容を広く知っていただくとともに、積雪寒冷地の港湾及び技術等に関する情報提供を目的として、講演会・講習会等を開催しております。今般、下記の内容で「令和5年度 CPC技術講習会(苫小牧)」を開催致しますので、お忙しい時期ではありますが、多数のご出席を賜ります様ご案内申し上げます。

記

1. 開催日時 令和5年12月12日(火) 15:00~16:50
2. 開催会場 苫小牧市文化交流センター(アイビー・プラザ) 2F 講習室
苫小牧市本町1丁目6番1号
3. 講演内容

(1)	「ICT計測機器を用いた効率的な水中部点検」	
	クマシロシステム設計 解析設計部長	阿部島 直哉
(2)	「港湾工事において発生する浚渫土砂の有効活用」	
	寒地港湾空港技術研究センター 調査研究部研究員	白鳥 夏生
(3)	「苫小牧港西港区における潜堤式防砂堤の漂砂解析手法」	
	寒地港湾空港技術研究センター 調査研究部次長	山内 功
(4)	「北海道水産物の輸出促進に向けた取り組み」	
	寒地港湾空港技術研究センター 第3調査研究部長	田中 淳
4. 受講 会場参加のみ(WEBのライブ配信は行いません) 参加費は無料
5. 申込先 寒地港湾空港技術研究センター 杉山 TEL 011-747-1688
・別紙の参加申込書へ記入の上、12月6日(水)まで下記FAXかメール
でお申込み下さい。
【FAX】 011-747-0146 【e-mail】 m_sugiyama@kanchi.or.jp
6. その他
 - ・公益社団法人土木学会の継続教育(CPD)認定プログラム【1.7単位】
 - ・なお、本CPDプログラムを受講し、土木学会以外の建設系CPD協議会加盟団体へCPD申請を行う場合、申請が認められない場合や単位換算が異なる場合等がありますので、申請先団体のルールをよくご確認ください。
 - ・講習会終了後に意見交換会(18:00 場所未定)を予定しています。

別 紙

一般社団法人 寒地港湾空港技術研究センター
第2調査研究部 杉山 宛て

令和5年度 CPC技術講習会（苫小牧） 参加申込書

氏 名	所 属	電話番号	CPD 希望	意見交換会
(記載例) 寒地 太郎	寒地港湾空港技術研究センター	011-747-1688	○	○

会 場



付録 L 令和 5 年度 CPC 技術講習会(苫小牧会場) 写真



(株)クマシロシステム設計
解析設計部長 阿部島 直哉 氏



CPC 研究員
白鳥 夏生



CPC 次長
山内 功



CPC 部長
田中 淳