

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

〈CDIT座談会〉

洋上風力発電の未来

—沿岸、港湾域における洋上風力発電の技術課題、将来像について

牛山 泉 氏〔足利工業大学 理事長(工学博士)〕

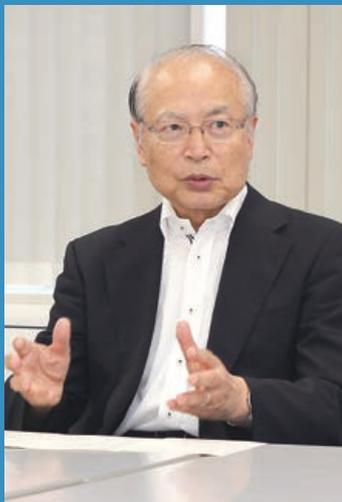
山崎 琢矢 氏〔経済産業省 資源エネルギー庁 新エネルギー課長〕

中崎 剛 氏〔国土交通省 港湾局 海洋・環境課長〕

関田 欣治 氏〔一般財団法人 沿岸技術研究センター 顧問〕

〈特集〉

洋上風力発電の未来



表紙写真

読者の皆様に機関誌「CDIT」の発信する情報を、よりダイレクトにお伝えするために、毎号ご紹介する記事内容より写真等を一部抜粋・掲載しております。記事内容ともども毎号新しくなる表紙写真にもご注目ください。

○座談会 P.3	○特集 P.14	○座談会 P.3
○沿岸 レポート P.26	○座談会 P.3	○沿岸 レポート P.29
○特集 P.23	○座談会 P.3	○特集 P.10

洋上風力発電の未来

—沿岸、港湾域における洋上風力発電の技術課題、将来像について

ゲスト

牛山 泉氏

足利工業大学 理事長(工学博士)

山崎 琢矢氏

経済産業省資源エネルギー庁新エネルギー課長

中崎 剛氏

国土交通省 港湾局海洋・環境課長

関田 欣治氏

一般財団法人沿岸技術研究センター顧問

10

特集

洋上風力発電の未来

10

洋上風力発電実用化に向けたこれまでの取り組み

石原 孟 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授

14

港湾における洋上風力発電の円滑な導入に向けて

国土交通省港湾局海洋・環境課海洋利用開発室

16

洋上風力発電導入拡大と安全対策について

榎本 宏 経済産業省 産業保安グループ 電力安全課

19

洋上風力発電プロジェクトの現状と今後の展望

千葉 政幸 秋田県 建設部 港湾空港課 副主幹

22

地域との共生・共創・共栄により
“市民の誇り”となる事業を目指して

穂山 泰治 ひびきウインドエナジー株式会社 代表取締役

24

洋上風力発電プロジェクトの現状と今後の展望(鹿島港沖)

石川 慎吾 茨城県 土木部 港湾課

26

沿岸レポート

26

「洋上風力研究室」を設置(7月1日)

岸 弘之 一般財団法人沿岸技術研究センター 研究主幹

26

ヨーロッパにおける洋上風力発電施設に関する調査

山本 修司 一般財団法人沿岸技術研究センター 参与・洋上風力研究室長

29

スペインの土木工学賞

岸 弘之 一般財団法人沿岸技術研究センター 研究主幹

30

民間技術の紹介

30

鋼管杭・鋼管矢板の機械式継手ガチカムジョイント

新日鐵住金株式会社

32

潜水作業支援システム

東洋建設株式会社

34

防舷材着脱式「CruTUシステム」

シバタ工業株式会社

36

内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線

〈←ECFストランド〉

住友電工スチールワイヤー株式会社
神鋼鋼線工業株式会社

38

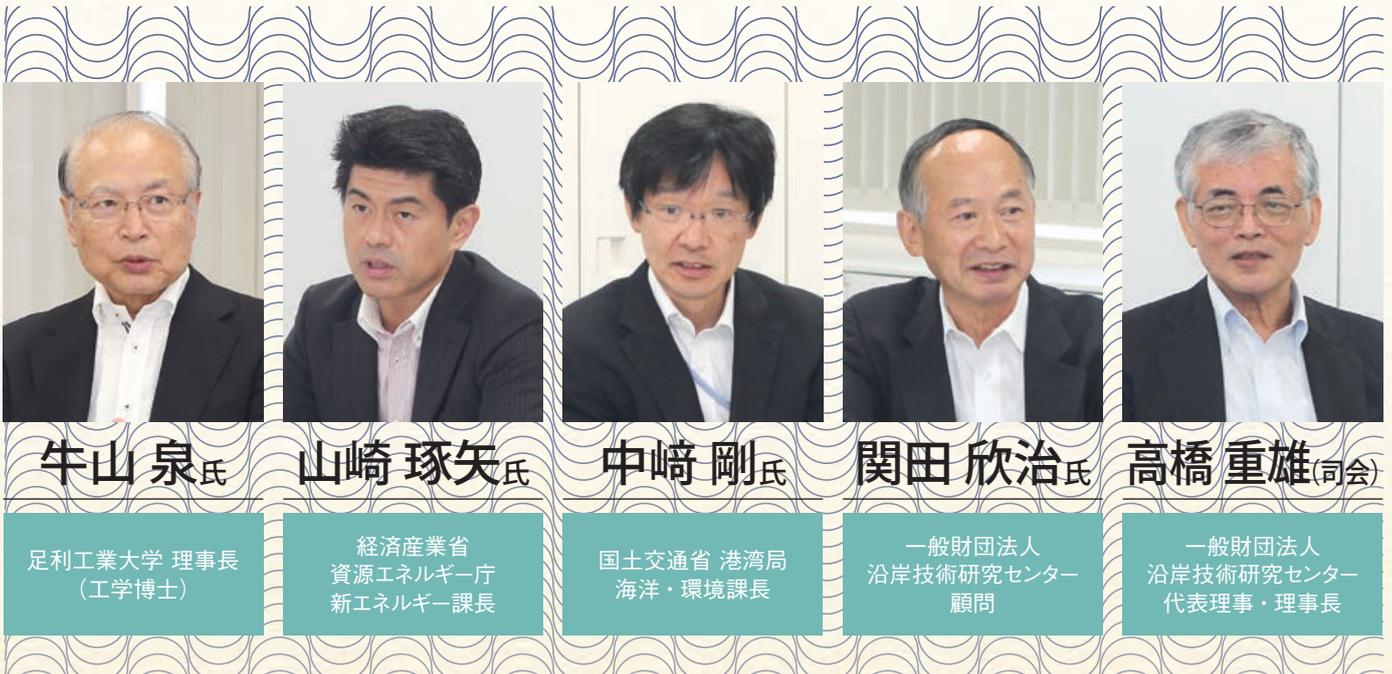
CDIT News

洋上風力発電の未来

—沿岸、港湾域における洋上風力発電の 技術課題、将来像について



地球温暖化への対策が世界的に求められている中、四面を海に囲まれた島国である我が国において、再生可能エネルギーとしてポテンシャルが大きい「洋上風力発電」の導入拡大に向け、日本政府一丸となって各種取組みを推進している。今回は、我が国における洋上風力発電の現状を踏まえた上で、未来に向けての技術開発のあり方について議論いただいた。



はじめに

高橋▷お忙しい中、沿岸技術研究センター（CDIT）の機関誌座談会にお集りいただきまして本当にありがとうございます。本日は長年再生可能エネルギーの研究に携わってこられ、特に風力発電の世界的な権威として日本の風力発電をリードしてこられた足利工業大学理事長の牛山泉先生をお迎えするとともに、経済産業省資源エネルギー庁新エネルギー課長の山崎琢矢様、国土交通省港湾局海洋・環境課長の中崎剛様、それに東海大学などで洋上風力発電を含む海洋構造物の研究に携わってこられ当センター元理事長の関田欣治顧問を交えて、「洋上風力発電の未来」というテーマでお話を伺って参りたいと思います。

さて、ご承知のように欧州では今世紀初めより洋上のウィンドファームが普及し始めていますが、我が国では洋上風力発電の歴史は浅く、ようやく導入促進に向けた環境が整備されつつある段階です。しかし、四面を海に囲まれた我が国においては、洋上風力発電のポテンシャルは非常に大きく、国の力を結集して導入促進を図る必要があると思っています。沿岸技術研究センターも、これまで蓄積した沿岸域の技術を活かすことでさまざまに貢献できるのではないかと考えております。

まず洋上風力発電の現状として、それぞれのお立場で洋上風力発電にかかわる取組みをご紹介いただきたいと思います。最初に牛山先生から世界の洋上風力の最新の状況などをお話し下さい。



洋上風力発電が 実用段階になっているヨーロッパ

牛山▷洋上風力の前に世界全体の風力発電の動きを概観しますと、陸上風力に関してはここ20年ぐらいの間に大きく増え、昨年末で473ギガ、おそらく現時点では500ギガワットぐらいの容量になっていると思います。原発が380ギガぐらいですから風力発電が原発を大きく上回っています。これは日本ではあまり知られていない事実ですが、そういう意味で風力発電は完全に実用の領域に入っていると思います。

その中で洋上風力はどうかと言いますと、10年ほど前はまだコストも高く採算性や技術面の課題もありましたが、今はそれを乗り越えて非常に順調に行っています。

現時点で洋上風力は世界全体で14ギガを超えていると見られます。風力発電全体からみると3%程度ですが、風車も大型化し1カ所の規模も大きくなりつつありますので、おそらく近年中には5~10%になると思います。洋上風力に力を入れているのはイギリスで、14ギガのうち5.2ギガぐらいを占めています。その次はドイツ、デンマークと続きます。14ギガということですから、北海に原発が14基並んでいるぐらいの感じですね。そういう意味でヨーロッパでは、もう完全に実用期に入っています。

目標もかなり大きくてEUでは、2030年までに6650万キロワット、つまり66ギガワットの洋上風力を導入しようという計画です。これが実現するとEU全体の電力の8%ぐらいを洋上風力で賄うことになります。現在、陸上はほぼ満杯になってきていますから、たぶん2020年ぐらいで頭打ちになりそれ以降は洋上風力が伸びていくと思います。

理由はいくつかあるのですが、北海は非常に遠浅で洋上建設が容易です。また海底油田開発をしていたので、関連する海洋構築物技術の蓄積もあってSEP船や風車を建てるのに便利な特殊船もたくさん抱えています。そうしたことも非常に有利に働いていますね。

ただ浮体式については日本が世界をリードしています。日本は、排他的経済水域は広くても浅い海が少ないので、福島沖実証試験施設の経験も含めて浮体式を、更に伸ばしていく必要があると思います。

高橋▷ありがとうございました。最初から将来が非常に広がったような気がします。次に洋上風力発電を含めて、我が国の再生可能エネルギー導入に向けたこれまでの取組みについて、山崎課長からお願いします。

エネルギーミックスに向けて 風力発電は重要な位置を占める

山崎▷まず我が国の再生可能エネルギー政策を申し上げますと、2012年7月に固定価格買取制度を導入しましたが、その当時と比べて現在の再生可能エネルギー量は2.5倍に拡大しています。この「急速に拡大している」というのが、まずポイントの一つです。

もう一つは2015年に政府で定めたエネルギーミックス、長期エネルギー需給見通しにおいて、我が国の電源構成は2030年度で再生可能エネルギーを22~24%にするという目安を設けました。2015年末で見ますと我が国の再生可能エネルギーの比率は14.6%です。そのうち水力が8.6%ありますから、風力、太陽光については合わせて6%の水準です。

仮に長期エネ見通しに上げている24%を目指すとする、今後約10%伸ばさなければいけないわけです。大型の水力は今後大幅には伸びない可能性を考えると、その他で現状より2.5倍のレベルに増やしていかなければいけません。ですから2012年から2.5倍に増えてはいるものの、少なくとも2030年度のエネルギーミックスに向けて、更に増やしていかなければいけないという状況にあります。

一方、2012年にスタートした固定価格買取制度による導入量は、相当太陽光に偏重してしまっていて9割以上が太陽光です。風力は我々も非常に期待しているのですが、現在のところ、固定価格買取制度開始後の伸び率は高くありません。現状における我が国の風力の導入量は3GWで、世界でも後ろから数えたほうが早いぐらいの状況です。エネルギーミックス上は、これを10GWまで増やそうという一つの目安を持って取り組んでいるところです。このため今後は太陽光に偏重してしまった再生可能エネルギーを、特に風力を入れながらどう多様化していくかというのが一つの大きな政策の流れになってくると考えています。

また洋上風力について言えば、立ち上げから商用化された洋上風力発電所は、日本においてはまだないのですが、経済産業省や環境省の実証実験というかたちでいくつかのサイトで行われています。まさにこれから洋上風力の世界が開けてくると思っています。



再生可能エネルギーは環境に優しく、エネルギー自給率の向上にも資するという意味での大切さがありますが、今まではコストが高くて、更に変動するということが導入が難しい電源だと言われていました。

しかしここ数年で、大きくコストが下がっています。最近では洋上風力も発電単価ベースですが、キロワットアワーあたり5円とか6円という数字がヨーロッパで出ています。洋上風力も含めた再エネは、世界では、他の電源に比べてもコスト競争力の高い電源になっています。

日本は残念ながら、たとえば陸上風力で言えば、いま我々が定めている調達価格は21円です。21円の世界と5〜6円になっている世界の差を早く埋めながら、量を拡大していくということが、再エネを持続的に拡大していくという意味でもきわめて重要だと考えています。

洋上風力拡大に向けた港湾の取組み

高橋▷ありがとうございます。本当に夢が多い話になってきたと思います。続きまして国交省の洋上風力発電導入促進に向けたこれまでの取組みについて、中崎課長からお願います。

中崎▷山崎課長のお話を伺って、洋上風力発電の分野はかなり期待が高いことを改めて実感いたしました。多くの港の背後には産業が立地しているため、電力需要が多く電気設備も充実していますので、洋上風力の適地として有望視されています。昨年7月に改正港湾法が施行され、水域の占用予定者を公募する制度ができ、これに基づく事業者選定が北九州港と鹿島港で行われるなど、少しずつ動き始めたところです。

港湾では、港湾管理者が定める港湾計画の中に洋上風力発電の導入区域を国の審査等を経て位置づけて、港湾管理者による公募を経て、その後民間の方々が事業を進めるといったスキームです。例えば北九州港では、平成34年度から現地着工するスケジュールと聞いています。

現在、港湾計画に洋上風力の導入区域を位置づけている港の数は全国8カ所あります。これらは、風況や地元の企業立地戦略、あるいは漁業者はじめ利害関係者との調整などの条件が整っているところから進んでおりますが、今後ほかのエリアに拡大していくためにも、現在進んでいるプロジェクトを成功させることが大事です。企業が儲かるのはもちろんのこと、価格が下がる方向で、かつ地元の方々の雇用や税収も増え、漁業者にとってもメリットのある事例を最初に作っていくことが非常に重要です。

高橋▷ありがとうございます。港湾域は洋上風力発電促進のコアになる可能性があると思っております。続きまして、

洋上風力発電の技術的な取組みについて関田顧問からお話しただけですでしょうか。

関田▷私は民間の海洋事業部門で海洋構造物の設計とか建設の開発に携わってきました。そういう中で廃坑が決まった石油プラットフォームの上に風車を建てられないかという検討をしましたが、そのとき初めて風力発電について関心を持つようになりました。

大学に移ってからは平成10年に数値シミュレーションを行って、風力発電の洋上立地が陸よりも優位であるという結論を得たことから爾来、風洞水槽で風や波に対する模型実験や洋上風力発電施設の耐震設計、動的応答解析、あるいはレベル2地震を想定した基礎構造物の変形性能がいかにあるかという研究などを行ってきました。

沿岸技術研究センターが実施した港湾沿岸域の風力発電推進研究、NEDOの着床式洋上風力発電の実証研究、資源エネルギー庁の福島の浮体式洋上風力発電の実証研究の委員としても、研究に参画させていただいています。

高橋▷ありがとうございます。洋上風力発電については、さまざまな技術的な取組みがなされてきたと思いますが、それらが実用化に向かってさらに進むことが期待されていると思います。再生可能エネルギーの導入加速については、平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画に基づいて、関係行政機関の緊密な連携の下、さまざまな支援策が講じられています。まず2012年に導入された固定価格買取制度についてですが、制度導入後5年が経過し、今般制度の見直しが行われたと聞いております。山崎課長にご説明を頂ければと思います。

山崎▷2012年の7月から固定価格買取制度を導入して再エネは2.5倍になっていますが、先ほども申し上げたように、太陽光に偏重して進んできました。また、この制度は全ての電気の需要家に対する賦課金という形の国民負担を前提として成り立っていますが、現在の賦課金総額は年間約2兆円となり、今後も増加していく見込みです。



このため「太陽光に偏重している」「国民負担の抑制と再生可能エネルギーの導入拡大をどう両立するか」という大きな二つの要請に応えるために、去年の通常国会で法改正をして、この4月から新しい制度を導入したところです。

新制度のポイントは二つあります。一つは、「長期安定発電事業化」です。要はメンテナンスをしっかりとやりながら、確実な事業計画の下で事業をやっていただくということです。今までは設備や土地があれば認定するという設備認定でしたが、事業計画を認定するという制度に変更したのが大きなポイントです。これによって単に投資目的ではなく、長期に安定的に発電する事業者として責任を持った形でやっていただくということです。

もう一つが国民負担の抑制とのバランスです。諸外国に比べてまだまだ高い我が国の再生可能エネルギーのコストをいかに早く、確実に下げていくかが課題です。今後は中長期的なトレンドを踏まえた価格設定、さらには競争的な価格導入のための入札制度の導入などを行いました。

なぜ太陽光に偏重した導入が進んだかという、太陽光は導入に関する障壁が、他の電源に比べて低いからだと思えます。風力発電は、立地制約があり、関係する地元との調整、さらには環境アセスメント等々、規制や関係する方々との調整が太陽光発電と比べ大変多いということがあります。この問題がリードタイムの長さを生んでいて、投資計画を立てづらいということだと思っています。今年5月から資源エネルギー庁で「再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会」を開催させていただきました。この議論の中でも洋上風力については期待する部分が大きく、その立地制約の多さに対応するためにも更なる導入促進策が必要だということで特出しをしています。

高橋▷ありがとうございます。今の立地制約の問題に関連しますが、占用公募制度について中崎課長からお話をお伺いしたいと思います。

中崎▷占用公募制度による水域占用の手続きについては、事業者の安定的な地位を確保するため、最大20年間にわたり認定計画が有効であるという、港湾法上の扱いになっています。港湾管理者は、占用公募で選ばれた事業者から認定計画に基づく占用の申請があった場合には、水域占用の許可を必ず与えることになっており、長期にわたる事業者の地位が法的にも明確になりました。

この他、洋上風力については、地元の利害調整が一つの立地制約になる可能性もありますが、港湾における水域の利害調整は、港湾管理者が一元的に行っています。現在動き出している北九州港、鹿島港の2件が予定どおりのスケジュール感で動くことで、港湾内で立地制約を下げていく推進力になるのではないかと思います。それがほかの地域やエリアの参考になって、手続きや利害調整などの制約を突破で

きるようになれば良いと期待しているところです。

国交省と経産省の連携で 洋上風力発電の普及推進

高橋▷ありがとうございます。占用公募制度を着実に運用していくためには、改正港湾法に基づく港湾区域の占用手続きと電気事業法の工事計画届出の審査が必要になってきます。国交省と経産省は今年度中に統一的な考え方による洋上風力発電施設の構造の審査基準を策定することになっていますが、それぞれのお立場からご説明をお願いしたいと思います。まず中崎課長、お願いします。

中崎▷公占用公募制度により洋上風力発電を導入する場合、港湾管理者による公募占用計画の審査と経産大臣による工事計画届出の審査が必要ですが、事業者の負担をできるだけ少なくするために国交省と経産省が連携し、統一的な考えに基づいた審査基準の検討を開始しました。牛山先生には、検討委員会の委員長としてご指導いただきながら、中間成果として今年の2月に「構造審査のあり方(骨子案)」を策定しました。

具体的には、洋上風力発電施設に要求される性能や設計条件などを示していて、洋上サイト特有の条件、あるいは地震や津波など我が国特有の厳しい条件のもとで、周辺海域を航行する船舶に対して安全性を確保するための規定もあります。海を利用する方々や事業者が安全に、長期的にコストに係るリスクを減らして運営できるようにという視点で骨子案をまとめさせていただいています。

また、これに関して、沿岸技術研究センターと港湾空港総合技術センターにおいて、それぞれ設計や施工について技術検討するための組織を整え、事業者を支援する取組みを始めていただいているようです。事業を開始する前の設計段階と工事が始まった後においてもコストが増大しないように、立地制約をできるだけ下げる方向で官民が協力するネットワークができつつあるので、これには非常に期待しているところです。





高橋▷ありがとうございます。山崎課長、お願いします。

山崎▷こういう取組みの目的や内容は、いま中崎課長からご紹介いただいた通りです。まさに両省が連携して、しっかりと安全なり海域の利用と電力の話が整合するように努めていきたいと思っています。追加でコメントさせていただくと、洋上の工事、特に風力発電の工事は我が国においては初めての世界です。いま港湾でやっていただいています、今後一般海域にも広がってまいりますと、非常に重要になってきます。何が重要かという、当然安全性や海域の利用との整合性は基本ですが、その中で可能な限りグローバルスタンダードに基づいた合理的なものにしていくべきだと考えています。国土交通省さんといろいろ相談させていただきながら進めていきたいと思っていますところ。

高橋▷ありがとうございます。この件については牛山先生にもいろいろご尽力いただいています、コメントをお願いします。

牛山▷日本で今後洋上風力を進めていこうとすると、国際的に日本がどういう面で貢献できるかということを考える必要があると思います。一つは北海あるいはヨーロッパの海域と日本は気象条件や環境条件がかなり違います。風力関係の技術基準はIEC(国際電気標準会議)がありますが、環境条件の評価の手法について「日本ではこういうことで、こう考えてやっている」と世界に発信して、「日本に持ってくるにはこういう風車でないと難しい」とはっきり言うべきだと思います。特に日本から発信できるのは、台風、風の乱れ、そして雷があることです。この三つについては、私はNEDOの日本型風力発電ガイドライン作成時の委員長をしましたが、あれを整えてから日本の風車の事故が随分減りました。

また先ほど発電単価コストで、日本で着床の場合は36円ということでしたが、ヨーロッパはもう10円を切り、更には先ほどあったように5~6円になっている。陸上に関しては3円などという値段も出ています。日本はなぜ高いかというと、事業者が変電所などに送電するための整備コストが高いことにあると思います。この部分の低コスト化が課題です。

山崎▷実は先ほど申し上げた大量導入時代の研究会の大きなテーマは系統問題です。系統問題にかかわる課題の一つは既存系統を最大限活用するということです。熱容量による先着優先のルールを見直し、一定の条件付きで既存の系統に接続する「日本版コネク・アンド・マネージ」の制度整備を進めるべきとの提言がなされています。二つ目は出力制御の最適化です。三つ目は増強が必要になった場合のコストの負担をどうするか、四つ目は適切な調整力の確保です。社会的なコストを最小化しながら、再エネ導入のための系統問題をしっかり解決していきたいと思っています。

牛山▷先ほどのことに加えて、これから日本で洋上風力を

やっつけていこうとすると人材育成が必要になると思います。スウェーデンは10年間で2000人という目標を立てて計画的に育てています。ハードウェアの開発はある程度目標があればできますが、人材育成は時間もかかるので、そこも含めて考える必要があると思います。

重点的に取り組むべき技術開発の方向

高橋▷ありがとうございます。それでは次の話題に移ります。洋上風力発電の事業コストを考えると、風力発電設備の大型化、事業規模の大型化の傾向は不可避だと思っています。一方で台風、地震、また気象・海象が欧州と大きく違うということ、あるいは欧州のような遠浅の海域が少ないということもあって、我が国独自の安全性、信頼性、経済性に優れた洋上風力発電が基礎を含めて求められていると思います。

そこで我が国が今後重点的に取り組むべき技術開発の方向性という観点で、まず牛山先生からお話しいただければと思います。

牛山▷メンテをするにも、洋上になると規模が大きくなればなるほど港から離れた場所になるので、遠隔地のメンテや運用状況を把握して、設備利用率を高めるということがどうしても避けられません。例えば機器の状況がどうなっているかを明確に把握できるようなかたちで、いま開発が進んでいます。ここは日本の得意な分野なので、それを明確にして開発を進めることが必要だというのが一つです。

また電力システムは建てた以上、長期に安定的に運用できないといけません。これを儲けの対象にしてもらっては困るので、本当に信頼できるものとしてやっていくために先ほどの設備認定、それから事業計画の認定をきちんとやる必要があります。

高橋▷洋上風力が進めば進むほど、技術開発ニーズも出てくると思います。関田さん、どうでしょうか。

関田▷一番コストがかかると思われる基礎構造の開発ですが、我が国ではオフショアの建設技術が成熟しなかったというハンディキャップはあったものの、NEDOの実証研究等を経て、これから中規模、次いで大規模のウィンドファームがつくられようというところまで至っております。欧州では、1970年代に始まった北海油田で培った海洋技術を洋上風力へ技術移転するとか、整備された海洋作業船等の建設インフラを洋上風力へ活用していくということと、新たな独自の技術革新を踏まえて今日のような商用化が図られたと思っています。しかし欧州も一挙に商用化が図られたわけではなくて、段階を踏みながら発展してきたのであって、我が国も同じような道を歩むだろうと思います。ですから

ハンディを補いながら、彼らが歩んできた道のりをよく学習して、不足する技術は導入して、我が国の自然あるいは社会環境条件にふさわしい基礎構造の開発を推進していく必要があると思っております。

またその際問題となる安全性、信頼性、経済性の要求に応えるためには、どこまでリスクを許容するかということをお我が国なりに決めていくことが重要だと思います。洋上風力発電は海洋石油プラットフォームのように、居住施設がないという条件を考慮しつつリスクレベルを設定して、第三者機関の認証にもかなうような適切な保守性を確保し、もう少し大胆に開発を進めていくべきだと思っています。

洋上風力発電の基礎構造において、一番競争力があるのはモノパイルで、現にいま75%ぐらいの実績を持って設置されています。ただこれからはモノパイルでもパイルの径が10mになるような計画がなされて、それには従来の設計法ではなくて、大口径の基礎に対応する新しい設計技術の開発が必要になります。これはヨーロッパでも同じだと思います。このほか水深が30数メートルを超えて十分な根入れが取れば、ジャケットやトリポッドが有力になります。また今後は堆積層が厚くない海底向けの基礎開発を進めないといけないと思っています。欧州では円筒のケーソンの上にタワーを建てるサクシオンバケット基礎が開発されています。開発者によると、施工期間は数日だそうです。また大きなクレーン船が不要で撤去も可能だそうです。こういった基礎をお我が国の厳しい自然・海象条件に持ってくるには、風や波、あるいは地震の繰り返しによって20年という期間中に蓄積される地盤の変形、傾き、沈下に耐えることを実証していく必要があると思っています。

新しい基礎の開発は製作費だけではなくて、現地までの輸送、施工まで考慮したトータルコストを最小にすることが不可欠ですが、実証研究等を通して安全性や信頼性を検証することは言うまでもなく、将来我が国独自の優れた基礎構造が開発されることを期待しております。



高橋▷ありがとうございます。それでは山崎課長、お願いします。

山崎▷発電側の技術については牛山先生から、海洋工事の技術については関田先生から網羅的にお話いただきました。本当にそう思います。その上で我々にとって重要だと思っていることを付け加えさせていただきます。

洋上風力はなるべくメンテナンスを不要にする、なるべくメンテナンス率を低くするということと、仮にメンテナンスが必要になってしまったときは遠隔で、それもなるべく早い段階で感知してやっていくということが重要になってくると思います。そういった技術開発というか、そういうサービスを事業者さんが導入することが必要でしょうし、欧州では既に事業化していると我々は理解しています。

そのうえで特に経済産業省的な視点から言うと、洋上風力では、陸上風力から積み重ねられてきたものも含めたビッグデータを分析し、陸上風力とシームレスに、いかにそれを製品開発、メンテナンスにつなげていくのかという視点がきわめて重要だと思っています。そういうサービスがスペックインされていくことが重要だということをまず申し上げたいと思います。

二つ目は、今回の大量導入の研究会でも大いに議論されたのですが、洋上風力も含めて再生可能エネルギーを電力市場に最大限、大量導入していくためには、再生可能エネルギー側が制御に関して一定の責任を持たないといけません。

系統に接続する条件として、制御に対する責任を取る。具体的に言えば、たとえば給電指令に迅速に応じられる。風車の場合にはピッチをコントロールすれば出力を制御できます。それをもう少し広域で管理する。要は制御にどれだけ応じ、系統に対する責任をどれだけ取っていけるかという技術が、今後はきわめて重要になってくると思います。また持続的に洋上風力がしっかりと根づいていくためには、価格が下がることがきわめて重要になってきます。マリコンの技術にしても、最後はコストをクリアしないと導入の拡大、持続的な大量導入にはつながっていきません。こういう視点を強調させていただきたいと思います。

洋上風力を王様にするためには 価格競争力が不可欠

高橋▷やはりコストが一番大切ですね。

牛山▷世界的にも風力が一番安いので、日本はそこをいかに下げていくかということだと思います。

高橋▷全体的なコストダウンと設備利用率、風況の問題ですね。

牛山▷北九州港は背後に産業集積があって電力需要があるので海底ケーブルも長い距離は必要ないですね。そういう

意味でもいいモデル地区になるのではないかと気がします。重要港湾は120ぐらいあるでしょうか。確かその半分ぐらいは平均風速が6m以上あるんですね。港湾から発信していくというのは、たぶんほかの国にはない発想ですから、これをあちこちでうまくやっていけば、地域との共生という日本型のモデルとして非常にうまく行くと思いますし、それが大量導入にもつながると思います。

中崎▷全国的な港湾の活用の話がありましたが、資機材の積出しに必要な岸壁や地耐力の強化などの条件を全ての港が持っている必要はありません。これから一般海域のプロジェクトも出てくると思うので、日常的なメンテナンスをするためのサービスポートのような小さな港も活用して、ある部品が必要なときはそれが得意な港から持ってくるというハブ・アンド・スポークのようなネットワークが形成されれば、かなりの港が活躍するのではないかと考えています。

また、洋上風力の長期安定的な発電にはメンテナンスが不可欠ですが、そのノウハウはまだ蓄えられていません。このためメンテナンスの人材養成のためにも、国内のどこかに人材を育成する機関を設置する必要があります。北九州港や鹿島港など先行的なプロジェクトで、人材も育成しながら日本流のメンテナンス技術を確立し、部材だけではなくて人材も育てていく必要があると思います。海外への輸出に際してもインフラシステム輸出として部材と設計施工、メンテナンスのノウハウなど一体化して持っていく。そうすれば経済的な洋上風力モデルとして、海外に提案できるのではないかと、今お話を聞いていて思いました。

高橋▷ありがとうございます。最後にコメントがあればお願いします。

牛山▷たとえば風況マップもそうですが、いままでNEDOやMETIからの委託の仕事でいろいろなことをやってきます。先ほど「シームレス」という言葉が出ましたが、日本はソフトウェアを含めて良いものを持っているので、これ

を活かさないといけないと思います。

高橋▷そのためには事業を前進させないといけませんね。多くの人がついてくれば連携もスムーズになって、どんどん進むことが期待できると思います。

牛山▷系統との問題が一番ですが、そこを上手にやってもう少し投資環境ができるようなかたちに持っていく必要がありますね。

高橋▷ポテンシャル的には洋上風力だけでも結構な量があると思いますから。

関田▷先ほど牛山先生が「いろいろなデータが蓄積されている」とおっしゃいましたが、NEDOも沿岸の風と地盤の表層のデータが検索できるシステムをつくっています。

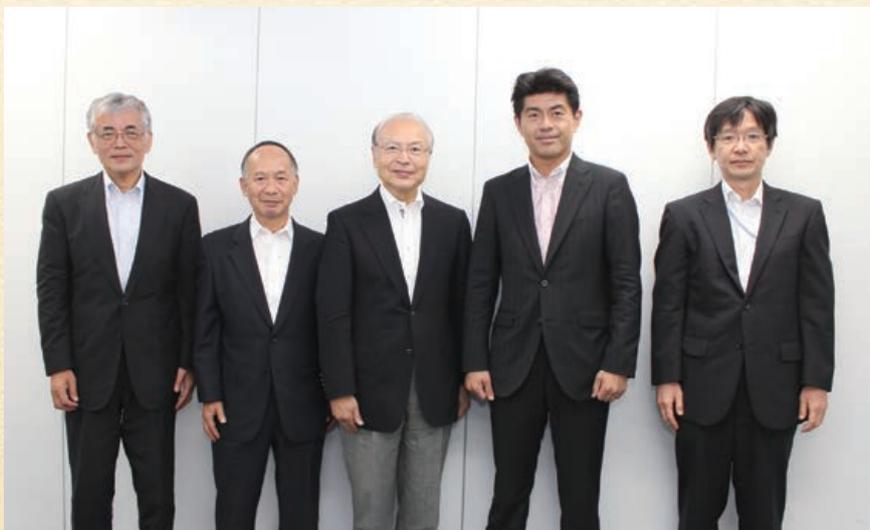
一方、港湾にはいろいろな蓄積があり、地盤調査もなされ土質データも蓄積されています。そういうデータと新たに調査するボーリングデータ、それから風況や水深、海底地形の統合的なデータベースが構築されると、事業者はもっと早い段階で計画や採算性の評価ができ、基礎の設置位置の変更があっても柔軟に対応できると思います。

山崎▷洋上風力は相当ポテンシャルがあると思っています。また先ほど牛山先生もおっしゃいましたが、私は浮体も十分戦えるレベルが来るのではないかと考えています。最近では着床でも水深40mぐらいまでできるようになっていますが、100mぐらいになると浮体も当然視野に入れないといけません。これも可能性があります。

いずれにしろ戦える価格になることがとにかく条件だと思っています。10GWという目標が少ないというのは、それを超えるためにはほかの電源と比べて価格に競争力があることが必要です。価格低減に向けた道筋をどれだけ官民連携して、みんなで協力して描いていけるかということが肝要だと思っています。

牛山▷まさに今日の結論ですね。

高橋▷本日はありがとうございます。





洋上風力発電実用化に向けた これまでの取り組み

石原 孟

東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授

世界と日本の風力発電の現状

2016年末に世界の風力発電設備容量は前年比5400万kW増の4億8680万kWに達しており、風力発電機1基で約2000kWの発電能力があることを考えると、2016年に新設した風車の数は約2万4340基になる⁽¹⁾。一方、2016年に世界の洋上風力発電設備容量は前年比222万kW増の1438万kWに達し、その約90%が欧州の洋上に設置されている。欧州の風力発電はいま陸上から洋上に移行し始めている⁽¹⁾。欧州風力発電協会の報告によると、2020年代の前半に欧州における洋上風力発電の年間投資額が陸上風力発電投資額を超える見通しである。

図1には2002年にデンマークに建設されたHorns Rev洋上風力発電所を示す。2000kWの風車80基は水深6~12m、海岸から14~20kmの地点に建設されている。この洋上風力発電所は世界初の大規模洋上風力発電所である。2013年に運開した世界最大級の洋上風力発電所London Arrayの設備容量は63万kWに達している。



図1 デンマークのHorns Rev洋上風力発電所⁽²⁾

洋上風力発電所大規模化の要因の一つは、コスト面からの要請である。近年欧州の大規模洋上風力発電は入札が主流であり、採算性を上げるためには規模の効果が重要である。2016年6月にデンマークの風力発電最大手Dong Energyが72.2ユーロ/MWh (8.1円/kWh) でオランダのBorssele洋上風力発電所(70万kW)を落札した⁽³⁾。また同年11月にスウェーデンの電力会社Vattenfallがバルト海上に建設するKriegers Flak洋上風力発電所(60万kW)を49.9ユーロ/MWh (5.7円/kWh)で落札した⁽⁴⁾。さらにデンマークの風力発電最大手のDong Energyは2017年4月にドイツ政府の入札で0ユーロ/MWh(市場価格との差額の補助)で落札し、政府からの補助金を得なくても、売電だけで事業が成り立つ世界初の洋上風力発電所となる⁽⁵⁾。いま洋上風力発電は他の電源と比較しても価格競争力のある電源となっている。

わが国においても風力発電の導入が進んでおり、2016年度末の設備容量は338万kW、総設置基数2203基に達した。1基当たりの平均設備容量も毎年増加しており、風車の大型化が進んでいる。最近完成した新青山高原風力発電所の総出力は8万kW、国内最大規模の施設となっている。一方、わが国の洋上風力発電所は2004年4月1日に建設された瀬棚洋上風力発電所が初めてである。この洋上風力発電所は600kWの風車2基が海岸から約700m離れた水深13mの瀬棚港内に建設されている。また同年山形県酒田市にサミット風力発電所が建設され、2000kWの風車5基が水深4mの水路内に設置された。さらに2009年及び2012年に茨城県神栖市にウィンド・パワーかみす第1と第2洋上風力発電所(図2)が建設され、2000kWの風車15基が堤防から40-50m沖に建設されている。このように、わが国に建設されている洋上風力発電所は欧州に比べ、その規模が小さく、海岸までの距離も短い。今後本格的な洋上風力発電所を建設するために、洋上風力発電所の計画、設計、施工、維持管理に関する様々な研究開発を行う必要がある。

図2 ウィンド・パワーかみす第2洋上風力発電所⁽⁶⁾

風力発電の大型化の歴史

風力発電量は風車ローターの面積に比例するため、ローターを大きくする程、取得エネルギーは増大する。現在、陸上で多く用いられている風車の大きさは、定格出力は2000kW、タワーの高さは60～80m、ローターの直径は80～90mになる。風車ローターの直径は1985年の15mから現在の170m、定格出力は当時の50kWから現在の9500kWに増え、過去30数年間に風車ローターの直径は約11倍、定格出力は190倍に増えている。図3には現在世界最大級の7000kW風車を示す。風車ローターの直径は167m、タワーは105m、風車ブレードの先端の高さは189m、高層ビルの高さにもなる。

風車の重量がローター直径の3乗に比例するのに対して、取得エネルギーはローター直径の2乗に比例することから、風車のコストは直径の3/2乗に比例して増加する。つまり、単純に風車を大型化するだけでは、風車本体のコストが低下しないことが分かる。風車の大型化によって、風車を支える支持構造物のコスト、建設費、送電ケーブルのコスト、メンテナンス費用

図3 世界最大級の7000kW洋上風車⁽⁷⁾

を大きく低減できるため、発電単価を低減させる効果が期待できる。特に洋上風力発電の場合は、これらのコストは風力発電システムの全体コストに占める割合が70%に達するため、風車の大型化による全体コストの削減が期待されている。前述したBorssele洋上風力発電所の採算達成には8MW風車が必須であり、ドイツの洋上風力発電所では出力13～15MWの風車が必要となる。

陸上から洋上へ

一般に洋上の風速は強勢で乱れが小さいことから、風力発電に適している。また大都市では風が弱いが、近隣する洋上の風は強く、膨大な風力エネルギー賦存量がある。陸上に比べ、洋上では景観や騒音等の環境問題が少ないという利点がある。さらに道路等の制約条件を受けないため、大型風車の運搬・設置が容易である。その他、洋上敷地の制限も少なく、大規模風力発電所を建設でき、風車の大型化とウィンドファームの大規模化によるコスト低減が可能である。さらに大電力消費地の近くでは電力系統が強く、大規模洋上風力発電所の系統連系が容易である。

このことから、欧州においては約30年前から洋上風力発電の研究開発が行われてきた。1990年にスウェーデンの洋上に設置された1基の定格出力220kWの風車(Nogersund洋上風力発電所)が洋上風力発電の始まりと言われている。その後、2000年にデンマークに世界初の本格的な商業洋上ウィンドファーム(Middelgrundens洋上風力発電所)が建設され、2000kWの風車20基が海岸から2km地点に建設されている。その後、欧州を中心に導入が進み、2016年末に世界で1438万kWの洋上風力発電が導入されている。欧州では2020年までに2350万kW、2030年までに6650万kWの洋上風力を開発するというロードマップが発表され、現在世界で最も注目されている洋上風力発電の市場となっている。

洋上風力発電建設の動きは、欧州ではなくアジアでも始まっている。アジアにおいて最も進んでいるのは台湾である。台湾政府は2030年までに400万kW洋上風力を開発する計画を発表している。この計画は国際的にも高く評価され、2兆円を見込んでいた投資に対して、合計1.8兆台湾ドル(約6兆7000億円)の投資申請が来ている。台湾と中国本土の間にある台湾海峡は、世界的に見ても風の強い海域であり、年平均風速は10m/sに達している。

一方、わが国では洋上風力発電の導入促進のために、2013年に洋上風力発電の固定価格の買取区分が新設された。また2016年7月1日に施行する改正港湾法で、港湾への洋上風力

発電施設の導入円滑化を後押ししている。認定した事業は20年間で可能になる。全国の港湾で商業ベースの着床式洋上風力発電の導入計画が始まっている。

洋上風力発電の研究開発

これまでにわが国の洋上風力発電等技術研究開発は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) を中心に行われてきた⁽⁸⁾。表1にはNEDOで行われている洋上風力発電等技術研究開発の一覧を示す。2009年から実施してきたわが国初の外洋における洋上風況観測システムおよび洋上風力発電システム実証研究で大きな成果が得られている。図4には2013年の秋に銚子沖に建設された観測タワーと洋上風車を示す。本実証研究では、銚子沖の波浪の厳しい海域と、北九州市沖の台風の影響を強く受ける海域において洋上風況観測タワーおよび基礎部の設計・施工技術を開発するとともに、稼動後は洋上風況観測タワーの運転保守や観測データ解析手法等の研究開発も実施した。本実証研究の技術内容に関する詳細情報については文献9を参照されたい。



図4 銚子沖国内初外洋上の洋上風力発電所

本実証研究で得られた成果や知識を広く共有するため、国内外の学会、一般向けセミナー、展示会等様々な場で発表を行ってきた。またIEC (国際電気標準会議) などの国際標準に提案した。本実証研究の成果や知識を広く発信することにより、我が国の洋上風力発電技術のさらなる発展や国際競争力の向上に貢献することを期待している。本実証研究に関する詳細な情報および得られた成果は、新エネルギー・産業技術総合開発機構のホームページに掲載している⁽⁸⁾。

2011年度からは、洋上ウィンドファームフィージビリティスタディーも開始し、今後の大量導入が期待される国内洋上

ウィンドファームにおける事業性及び実現可能性を評価すると共に、洋上ウィンドファームの開発における様々な課題を検討してきた。さらにわが国の周辺海域においては急峻な海底地形が多く、着床式風力発電のみならず浮体式風力発電の導入を早期に実現する必要がある。2011年度には様々な浮体式洋上風力発電の形式を体系的に整理し、技術的な課題等を取りまとめると共に、2014年度から浮体式洋上風力発電実証研究が開始した。

最近では、洋上風況マップの研究開発を行い、高精度のシミュレーションから得られる風況情報に加え、水深、海底地質等の自然環境情報、港湾区域、航路等の社会環境情報など、洋上風力発電を計画する上で必要な種々の情報を一元化したマップを作成・公開し、洋上風力発電の事業化を検討する際の有効なツールとして期待されている。さらに、日本で開発された風力発電技術を国際展開するために、日本型洋上風車の台湾における実証前調査事業も開始された。

表1 NEDOの洋上風力発電等技術研究開発の一覧

年度	研究開発テーマ
2006	洋上風力発電導入のための洋上風況精査に係わる調査
2006	洋上風力発電導入のための技術的課題に関する調査
2007	洋上風力発電FS調査に係わる先行調査
2008	洋上風力発電実証研究F/S評価
2009	洋上風況観測システム実証研究
2010	洋上風力発電システム実証研究
2011	超大型風力発電システム技術研究開発
2011	洋上ウィンドファーム・フィージビリティスタディー
2011	浮体式洋上風力発電FS調査
2013	地域共存型洋上ウィンドファーム基礎調査
2013	着床式洋上ウィンドファーム開発支援事業
2013	洋上風況観測技術研究開発
2014	次世代浮体式洋上風力発電システムの実証
2015	洋上風況マップ
2016	日本型洋上風車の台湾における実証前調査事業
2017	低コスト施工技術調査研究

浮体式洋上風力発電への期待

わが国の周辺海域においては水深の深い場所が多いため、浮体式風力発電の導入を早期に実現する必要がある。商業風車を用いた浮体式洋上風力発電は、ノルウェーやポルトガルで8年前から実証研究が始まったばかりである。2009年に開始したノルウェーのHywindプロジェクトではSiemens社の2300kW風車搭載のスパイ型浮体式洋上風力発電設備を用い、また2011年に始まったポルトガルのWindFloatプロジェクトではVestas社の2000kW風車搭載のセミサブ型の浮体式洋上風力発電設備を用いている。いずれの実証研究でも浮体式洋



上風力発電設備1基のみの建設であり、将来大規模浮体式洋上ウィンドファームを実現するためにはいくつかの技術的な課題が残されている。

そこで、東日本大震災で甚大な被害を受けた福島県の復興のために、2012年に経済産業省による福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業が開始された⁽¹⁰⁾。福島県沖合20kmに浮体式サブステーション(変電所)及び出力2MW、5MW、7MWの浮体式洋上風力発電設備3基で構成される実証施設が設置された(図5)。2013年にサブステーション及び2MW浮体式洋上風力発電設備、2015年に7MW浮体式洋上風力発電設備、2016年9月に5MW浮体式洋上風力発電設備を設置して全施設が完成した。浮体式洋上ウィンドファームの実証研究は世界初の取り組みである。また、浮体式の洋上サブステーションの開発も世界初である。

福島県沖合の実証研究では、世界最大級の7000kW風車を用いることにより、浮体式洋上風力発電の事業性の検証を可能にし、また世界初の25MVAの浮体式洋上変電設備および66kVの大容量ライザーケーブルを開発することにより、浮体式洋上ウィンドファームの建設を可能にする。さらに本実証研究では世界初の浮体式洋上観測システムを構築し、浮体の動揺を考慮した気象・海象の観測手法を確立すると共に、浮体式洋上風力発電の性能評価を可能にする。複数タイプの風車と浮体を用いることにより、各種浮体式洋上風力発電システムの特性および制御効果を明らかにし、腐食および疲労に強い高性能鋼材の開発も行う。現在、丸紅、東京大学、三菱重工業、ジャパンマリンユナイテッド、三井造船、新日鉄住金、日立製作所、古河電気工業、清水建設およびみずほ情報総研の10社からなるコンソーシアムは、経済産業省から委託を受け、実証研究を実施している。



図5 福島沖世界初の浮体式洋上ウィンドファーム⁽⁷⁾

このように、わが国は浮体式洋上風力発電において先進的な取り組みを推進し、世界に先駆けて浮体式洋上ウィンドファームの技術を開発した。これらの浮体式洋上風力発電の技術は世界的に発展可能な技術であり、浅海域が少ないわが国においては特に重要な技術である。現在、欧州でも浮体式洋上ウィンドファーム建設の計画が進み始めている。一方、わが国においても世界のトップランナーとしての位置を維持するため、コスト低減のための更なる技術開発を始めている。速い潮流や台風襲来等、世界で最も厳しい我が国の海洋環境においても低コストで設備製作、施工、維持管理に関する技術を確立できれば、競争力の高い洋上風力発電産業として海外へ展開していくことも可能になる。浮体式洋上風力発電に係る様々な分野の技術力を結集し、これまでの先駆的な取り組みにより蓄積した技術を着実に発展させることが大切である。

これまでの実証研究から多くの知見が得られたが、わが国の洋上風力発電はまだ緒に就いたばかりである。今後洋上風力発電を本格導入するためには、風況・波浪の予測、安全性・経済性の高い支持構造物と施工法の開発、環境影響評価・航行安全性・漁業との共存等の社会受容性問題の解決が不可欠である。これまで海洋土木で培った高い技術力とノウハウを活かし、わが国の洋上風力発電の導入拡大並びに海洋再生エネルギーの利用に先導的な役割を果たすことを期待したい。

参考文献

- (1) GWEC : GLOBAL WIND STATISTICS 2016, <http://www.gwec.net/>
- (2) EWEA : Oceans of Opportunity, 2009, <http://www.ewea.org/>
- (3) Recharge: Field open for 8MW giants as Dong mulls Borssele options, 2016
- (4) WINDPOWER OFFSHORE : Vattenfall wins Kriegers Flak with €49.9/MWh bid, 2016
- (5) offshoreWIND.biz : DONG Secures German Offshore Wind Trifecta, Places Two Zero Bids, 2017
- (6) ウィンド・パワーかみす 第2洋上風力発電所, <http://www.komatsuzaki.co.jp/windpower/kamisu2.php>
- (7) 福島洋上風力コンソーシアムホームページ : <http://www.fukushima-forward.jp/>
- (8) 新エネルギー・産業技術総合開発機ホームページ : <http://www.nedo.go.jp/fuusha/index.html>
- (9) 石原孟 : 着床式洋上風力発電実証研究の現状と今後の展望, 日本風力エネルギー学会誌, Vol.36, No.2, pp.215-223, 2012.
- (10) 石原孟 : わが国の洋上風力発電実証研究の全体像, 日本風力エネルギー学会誌, Vol.37, No.2, pp.134-136, 2013.



港湾における洋上風力発電の 円滑な導入に向けて

国土交通省港湾局海洋・環境課海洋利用開発室

1. 洋上風力発電を取り巻く情勢

我が国では、2030年の電源構成のうち再生可能エネルギーの割合が22～24%（うち風力発電は1.7%程度）と見込まれており、政府全体で再生可能エネルギーの導入に向けた取組が進められています。このうち洋上風力発電については、洋上は陸上に比べて強く安定した風が吹くことから設備利用率が高いなどの利点があります。また、洋上は風車の大きさに関する制約が少ないことから、陸上よりも大型の風車の設置が可能です。5メガワット級（年間発電量約1,300万kWh、一般家庭約4,210世帯分に相当）の洋上風力発電施設は、ブレードの最高到達点は約150m、回転翼の直径は約130mに達する非常に大型の施設となります。

港湾は管理の仕組みや港湾インフラが整っていることなどから、洋上風力発電の導入適地として多くの民間事業者から期待され、今後大規模な民間投資が見込まれています。

2. 港湾法の改正

こうした背景を受けて、平成28年7月施行の改正港湾法により、港湾の機能を維持しつつ港湾区域内水域等の有効活用を図るため、当該区域の占用許可の申請を行うことができる者を公募により決定する占用公募制度が整備されました。本制度は、公募により事業者選定の手続きを透明化するとともに、長

期間の占用を担保することで事業者の地位の安定化を図る点が特徴です。制度の概要は、以下の通りです。

- ①港湾管理者が公募占用指針を策定
- ②事業者が港湾管理者に公募占用計画を提出
- ③港湾管理者は、最も適切な計画の提出者を選定し、当該計画を認定（認定の有効期間は20年以内）
- ④事業者は、認定計画に基づき占用の許可を申請
→港湾管理者は、占用を許可

北九州市は、占用公募制度を国内で初めて適用し、平成28年8月に北九州港における洋上風力発電事業者の公募を開始し、本年2月に「ひびきウインドエネルギー」を占用予定者として選定しました。

○北九州港響灘洋上風力発電事業

・選定グループ

コンソーシアム名 ひびきウインドエネルギー

〈構成員〉

代表企業：九電みらいエネルギー株式会社

構成企業：電源開発株式会社、株式会社北拓、
西部瓦斯株式会社、株式会社九電工

・計画概要（予定）

風車基数：最大44基

総事業費：1,750億円程度



北九州港響灘周辺海域の洋上風力発電施設のイメージ(北九州市提供)



スケジュール：平成34年度～着工、順次運転開始

また、茨城県は、全国2例目として同制度を適用し、本年3月に鹿島港の洋上風力発電事業者の公募を開始し、7月に「鹿島洋上風力コンソーシアム」を占用予定者として選定しました。

○鹿島港(南側区画)における洋上風力発電事業

・選定グループ

コンソーシアム名 鹿島洋上風力コンソーシアム

〈構成員〉

代表企業：株式会社ウィンド・パワー・グループ

構成企業：日立ウィンドパワー株式会社

・計画概要(予定)

事業規模：総出力93.6MW (5.2MW×18基)

総事業費：約490億円

3. 洋上風力発電施設の審査に係る基準の策定

港湾に導入する洋上風力発電施設は、港湾法に基づく港湾管理者による公募占用計画の審査と、電気事業法に基づく経済産業大臣による工事計画届出の審査が必要とされています。各法に基づく審査の効率的な実施と事業者の負担の軽減を図るためには、港湾法と電気事業法の統一的な考え方による基準が不可欠であり、国土交通省は経済産業省と連携し、平成28年9月に「港湾における洋上風力発電施設検討委員会」を設置し、洋上風力発電施設の構造審査基準等の策定に向けた検討を開始しました。

平成29年2月には、本委員会による検討の中間成果とし

て「港湾における洋上風力発電施設の構造審査のあり方(骨子案)」が取りまとめられ、両省より公表しました。この骨子案では、洋上風力発電施設等に要求される性能として、外力に対して安全な構造であることを規定しており、具体的には風圧や波浪、レベル1地震動等の作用に損傷せず発電施設としての機能を満足するとともに、レベル2地震動や設計津波等の偶発作用により、施設が倒壊、崩壊しないものとされています。また、港湾機能を阻害しない洋上風力発電施設の設置とするため、港湾施設等との十分な離隔の確保や、船舶からの視認性の向上といった要件も規定されています。一方、設計条件として、波浪荷重や水の流れによる荷重のように洋上特有の外力のほか、津波荷重や地震荷重など日本特有の条件を考慮するものとしています。同委員会においては、上記の骨子案を踏まえ、構造審査のあり方(詳細版)を本年度中に策定することとしており、これを受けて国土交通省及び経済産業省は、各法に基づく構造審査の基準を策定します。このほか、同委員会においては、平成29年度中には工事実施の方法の審査指針を、30年度中には維持管理の方法の審査基準の検討を進めることとしています。

これらの取組は、平成29年4月に開催の再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議において策定された「再生可能エネルギーの導入拡大に向けた関係府省庁連携アクションプラン」にも記載されており、再生可能エネルギーの導入促進に向けて関係府省庁が連携して取り組む施策として位置づけられています。

今後も、港湾における洋上風力発電が一層円滑に導入されるよう、関係府省庁等とも連携し、占用公募制度の充実・深化等所要の取組を進めていきます。

港湾における洋上風力発電施設検討委員会(H28.9.30 設置)

牛山 泉	足利工業大学 理事長(委員長)
清宮 理	早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 教授
石原 孟	東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 教授
経済産業省	商務流通保安グループ電力安全課長、資源エネルギー庁新エネルギー課長
国土交通省	港湾局技術企画課長、海洋・環境課長

設計技術ワーキンググループ(H28 年度～)

【委員】	
清宮 理	早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授(座長)
菊池 喜昭	東京理科大学 理工学部 土木工学科 教授
白石 悟	北海道科学大学 工学部都市環境学科 教授
善 功企	九州大学大学院 特任教授
関田 欣治	(一財)沿岸技術研究センター 顧問
高橋 重雄	(一財)沿岸技術研究センター 理事長
山本 修司	(一財)沿岸技術研究センター 参与
下迫健一郎	(国研)海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 特別研究主幹
宮田 正史	国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室長
【オブザーバー】	
坂本 登	電源開発(株)土木建築部 審議役(港湾技術)
福本 幸成	東京電力ホールディングス(株)経営技術戦略研究所 技術開発部 洋上風力発電技術グループマネージャー
【事務局】	
経済産業省	商務流通保安グループ 電力安全課
国土交通省	港湾局 海洋・環境課
洋上風力発電導入円滑化技術研究会	

施工技術WG(H29年度～)

維持管理技術WG(H30年度～)

洋上風力発電施設の基準等の検討体制



洋上風力発電導入拡大と 安全対策について

榎本 宏

経済産業省 産業保安グループ 電力安全課

1. 洋上風力発電について

日本では売電を目的とした陸上風車による発電が平成7年頃から開始されており、既に20年以上が経っていますが、2016年末での発電設備容量は3.2GW。発電電力量は0.52GW（2013年度）。これは、日本の総発電量の0.5%程度を占めています。

しかしながら、エネルギー基本計画が定める2030年の電源構成に占める割合1.7%程度の達成には、約4倍の1.82GWの発電電力量が必要です。

風力発電は、今後とも再生可能エネルギーの固定買取制度（FIT）により、順調な設置が進むと考えられる一方で、山がちで、欧米のように平坦で一定の風が吹く地域がほとんど無い我が国においては、立地適地は限られています。そのため、我が国で採用している風車等では、台風などの一時的な強風による損壊を防ぐ技術なども適用されており、欧米よりも厳しい環境でも立地は可能になっていますが、今後適地を探すという意味では、陸上のみならず洋上への展開も重要な選択肢となります。

洋上への設置の場合、港湾地域など比較的陸地に近い海域の海底に支持物を固定する「洋上着床式」と、水深が深いところ

でも立地可能な「洋上浮体式」があります。

既に、技術実証という観点から小規模な風力発電所が海上に設置されていますが、今後は商用発電設備としての立地も始まります。

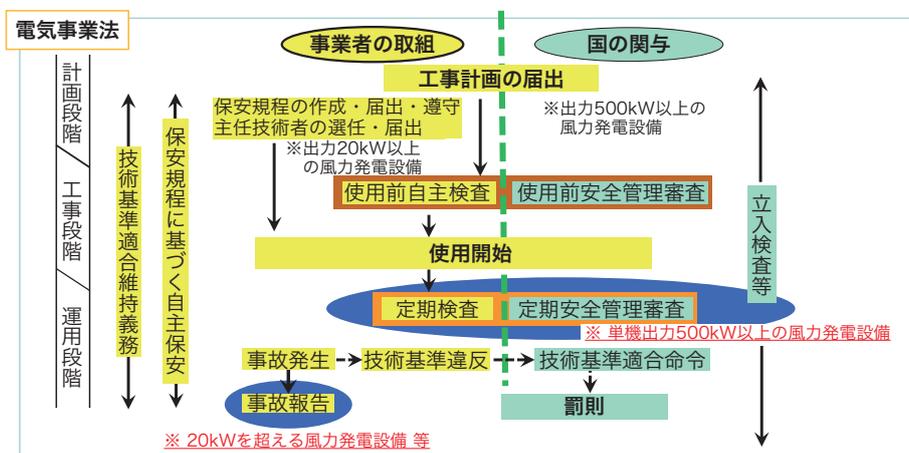
2. 港湾地域での合理的な規制の在り方について

現在、洋上風力発電の導入適地としては、港湾が有望視されており、北九州港など我が国の複数の港湾で、洋上風力発電のプロジェクトが計画されています。

一方、港湾に洋上風力発電施設を設置する場合、港湾法及び電気事業法の基準に適合していることが必要となります。

このため、国土交通省と経済産業省は連携して、各法に基づく構造審査の効率的な実施等のため、平成28年9月に「港湾における洋上風力発電施設検討委員会」を設置し、検討を進めてまいりました。

本年2月に同委員会による検討の中間成果として、「港湾における洋上風力発電施設の構造審査のあり方（骨子案）」がとりまとめられました。今後、この骨子案をもとに「港湾における洋上風力発電施設の構造審査のあり方（詳細版）」を検討していく予定です。



事業用電気工作物の安全規制体系について



3. 風力発電設備の安全規制について

(1) 風力発電設備の安全規制体系

電気事業法に基づく事業用電気工作物の安全規制は、事業者の自主保安を大前提としており、発電設備の規模に応じ、安全確保の取り組みについて国が確認することとしています。

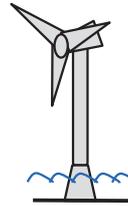
縦軸が計画、工事、運用の各段階を示しており、点線を境に左側が事業者の取り組み、右側が国の関与を示しています。全ての電気工作物は「技術基準への適合維持義務」が生じます。

発電設備が20kw以上の場合、「保安規定の作成・国への届出」、及び「電気主任技術者の選任・国への届出」が必要であり、500kw以上の場合、さらに国への「工事計画の届出」と「使用前自主検査」の実施、国による「使用前安全管理審査」を受審することが必要となります。

(2) 風力発電設備の工事計画審査

平成26年3月まで、風車の支持物は、国土交通省が建築基準法に基づく審査を行っていましたが、平成24年4月の「エネルギー分野における規制・制度改革に係る方針」において、

電気事業法の審査に一本化することを閣議決定し、電力安全小委員会で審議された後、平成26年4月1日から電気事業法の審査に一本化されました。



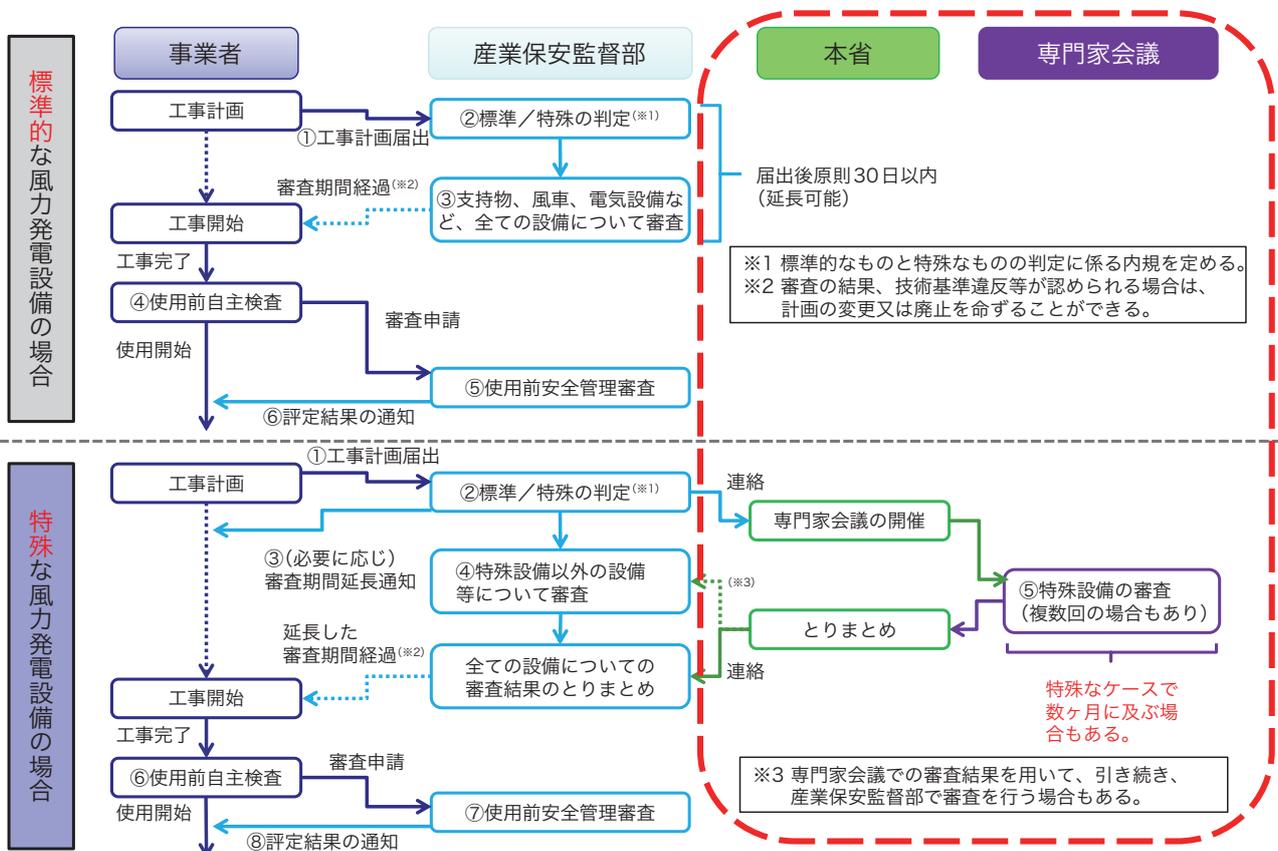
○着底式(着床式)
経済産業省(産業保安監督部)に工事計画届が出された後、本省で開催する専門家会議にて審査

○浮体式
浮体が船舶として扱われるため、国土交通省海事局にて審査後、経済産業省に工事計画届が出された後、電気工作物として審査

洋上風力発電設備の安全審査について

洋上風力発電設備の場合、着床式、浮体式という形式によって審査の主体が異なっており、着床式は、陸上の風車と同様に経済産業省で審査を行います。浮体式は、まず、浮体部分と支持物を国土交通省が船舶として審査し、その後、経済産業省が風車部分など電気工作物の審査をしています。

次に発電用風力設備の工事計画届の安全審査の流れについて説明します。



風力発電設備の審査体制について

標準的な風力発電設備、特殊な風力発電設備とも工事計画の届出は、風力発電設備の設置場所を管轄する産業保安監督部へ行うこととなります。

特殊な風力発電設備は、工事計画届に高度な解析や技術的な判断が必要となる事項が含まれ、その妥当性を審査している産業保安監督部で技術基準への適合の有無が判断できないものについては、本省で専門家による技術的な助言を得ながら審査を行っており、月1回程度、審査会議を開催しています（洋上風力発電設備は、「特殊な風力発電設備」にあたります）。例えば、JIS規格に規定されていない部材を風力発電設備に用いる場合や、風車の設計が土木学会が発行している「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説」の“指針”によらない設計及び構造とする場合などが該当します。この場合、審査会議において、申請者自らが要求性能を満たしていることを証明する必要があります。また、専門家から出された指摘事項に対する事業者の回答や回答の裏付けとなる資料をしっかりと準備することが肝要です。

専門家による審査は、ケースにより、数ヶ月に及ぶ場合もあります。

4. 今後の動向について

風車はまだ発展途上の技術です。下の左グラフを見て頂くとわかるように、平成12年以降、風力発電設備は大きく伸びてきました。

下の右グラフは、風力及び火力発電設備の事故時点の供用年数を示したのですが、風力発電設備は、火力発電設備と比較

し、供用開始から時間が経過するにつれて、事故の件数が増えていき、10年ぐらいでピークを示し、急激に下がっています。これは、下の左のグラフで説明したとおり、10年以上前は、風力発電設備の数が少なかったことによります。

近年、風力発電設備の事故は増加傾向にあり、また、その原因を究明すると整備不良であった事例もありますので、事故防止に向けて、事業者による積極的な取り組みが求められています。

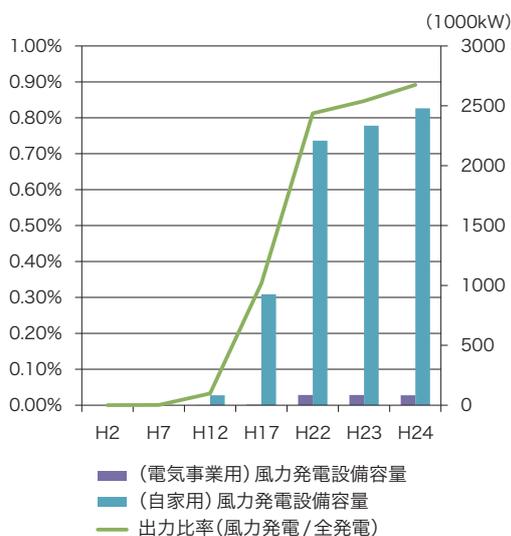
事故の増加を受け、平成29年4月から、風力発電設備は定期安全管理検査制度の対象となりました。具体的には、3年に一度、登録安全審査機関により、法定6項目（検査実施の組織や、検査の方法、工程管理、検査記録の管理及び検査に関する教育訓練など）について審査が行われます。一方で、日常的な保守管理体制が充実しており、過去6年間重大事故を起こしていないなど保安力水準が高い事業者には、定期安全管理審査の間隔を延長するインセンティブが与えられる制度も、同時に導入しました。

5. 最後に

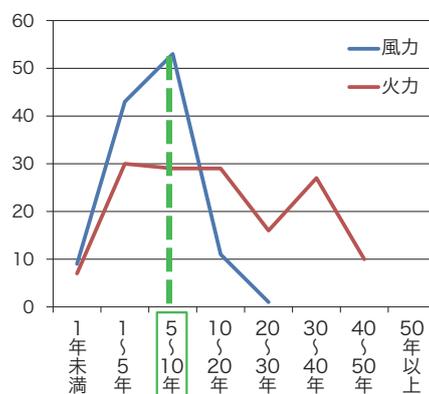
風力発電設備は、動力部分のブレード（翼）が露出し、風車を支えている支持物は、重量物を常に頭上に乗せています。さらに日本では、台風・強雷・地震等の極めて過酷な自然環境の中で安全に運転し続けることを要求される発電設備です。

これは、現在普及が進んでいる陸上風力だけではなく、洋上風力でも同様であることを強く意識して頂き、何よりも事故防止という観点から、今後の事業計画を進めて頂くようお願いをいたします。

【風力発電設備の設置推移(電気事業便覧(平成25年版))】



【発電設備の事故時点の設備供用年数(アンケート調査) (H15～H24FYに事故があった設備)】



(出典)平成25年度次世代電力システムに関する電力保安調査(保安実績・分析)調査報告書

※:平成26年10月17日開催 産業構造審議会 保安分科会 電力安全小委員会 第5回新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ資料から抜粋



特集

洋上風力発電の未来



洋上風力発電プロジェクトの現状と今後の展望

千葉 政幸

秋田県 建設部 港湾空港課 副主幹

1. はじめに

秋田県では、再生可能エネルギーの導入拡大を新たな産業振興と捉え、平成23年5月に、「秋田県新エネルギー産業戦略」を策定。その後、平成28年3月には、「第2期秋田県新エネルギー産業戦略」を策定し、目指す姿として《国内最大級の新エネルギー供給基地と関連産業集積拠点の形成》を掲げ、県を挙げて取り組んでいる。

その間、国においては、東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故等を踏まえ、エネルギーを取り巻く状況は大きく変化し、新しいエネルギー基本計画や長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）において、エネルギーの安全性の確保、自給率の向上、温室効果ガス排出量の削減等を図るため、再生可能エネルギーの最大限の導入拡大を目指して、固定価格買取制度（FIT制度）や各種規制緩和等が実施された。

こうした中、本県においても、再生可能エネルギーの導入が着実に増加するとともに、洋上風力発電など新たな取組も進んでいる。そこで本稿では上述した状況を踏まえた洋上風力発電プロジェクトについて紹介する。

2. 港湾内洋上風力発電の取組状況

風況に恵まれ、風力発電の大きなポテンシャルを有している本県の平成29年3月末時点の風力発電導入量は約35.5万kWで全国第2位となっている。海域においても遠浅の海底地形である本県沖は、ヨーロッパ等で大規模導入が進められている着床式による洋上風力発電において、我が国有数の適地とされていることから、洋上風力発電の導入に向けた取組を進めている。

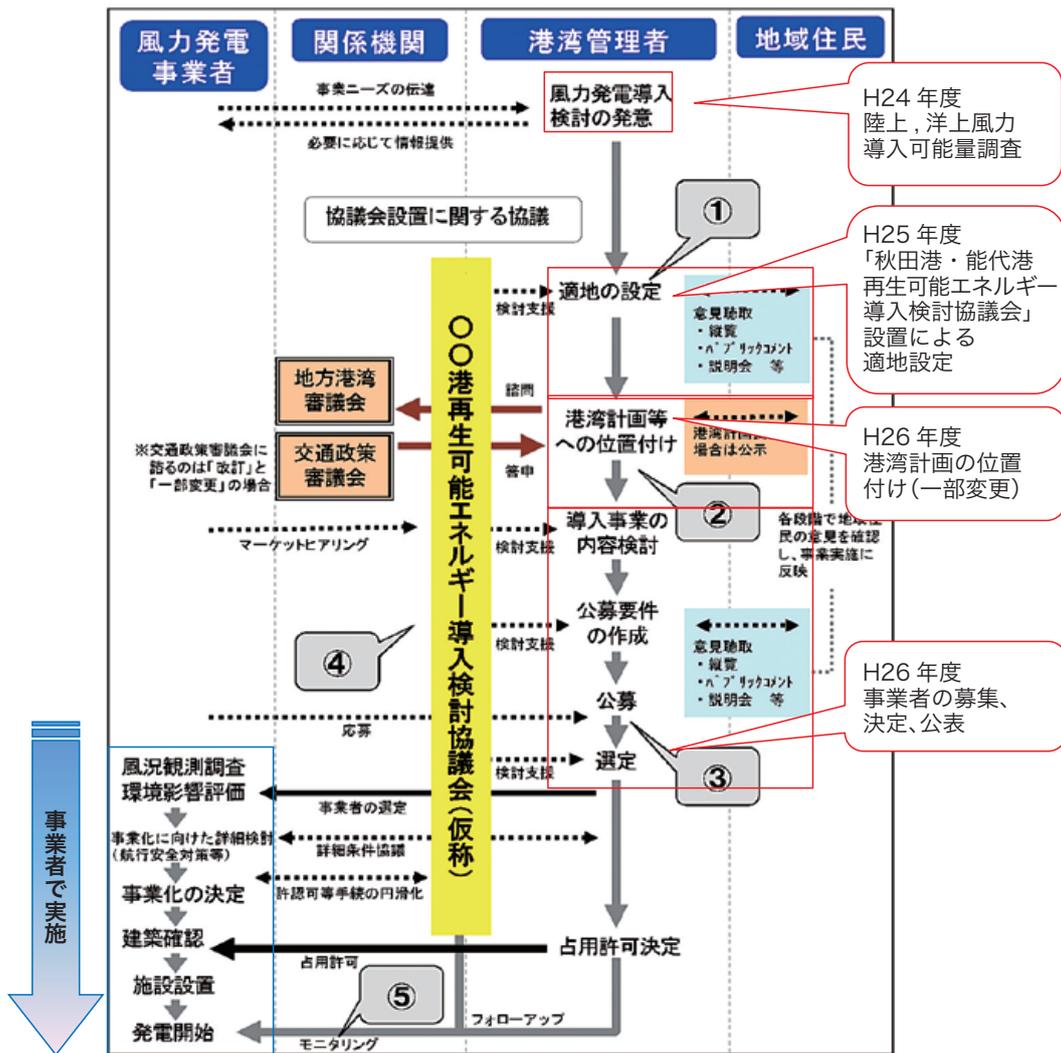
平成24年6月に、国土交通省と環境省が連携し、港湾の管理運営と整合のとれた洋上風力発電の導入の円滑化・温室効果ガスの排出削減に資することを目的に、港湾における洋上風

力発電の導入に係る標準的な手順を示した『港湾における風力発電についてー港湾の管理運営との共生のためのマニュアルー』が策定されたことから、本マニュアルの港湾における風力発電導入の手順に合わせ、平成24年度に本県では『風力発電導入可能量調査』を実施し、翌年には、秋田港・能代港の洋上風力発電の導入に向けた『洋上風力発電適地選定調査』を実施した。

平成25年度は、先行的な導入を目指す秋田港・能代港の港湾区域について、学識経験者、水産業関係者、水域利用者、港湾関係者、立地企業、放送事業者、行政関係機関から構成する『秋田港・能代港再生可能エネルギー導入検討協議会』を設置し、3回開催した協議会では、洋上風力発電施設の設置に伴う課題等の整理事項として、「風力発電施設導入に必要な関係者との調整、環境アセスメント等は発電事業者が実施」「これまでの陸上風力発電施設において実際に影響が確認された自然条件や社会条件について、現状を整理し、適地設定の課題となりうる状況かどうかを確認」「その結果具体的な調整が必要とされる内容については、付帯事項として明示」などを取りまとめた上で、導入適地として、秋田港351.4ha、能代港378.0haのエリアの設定を行った。

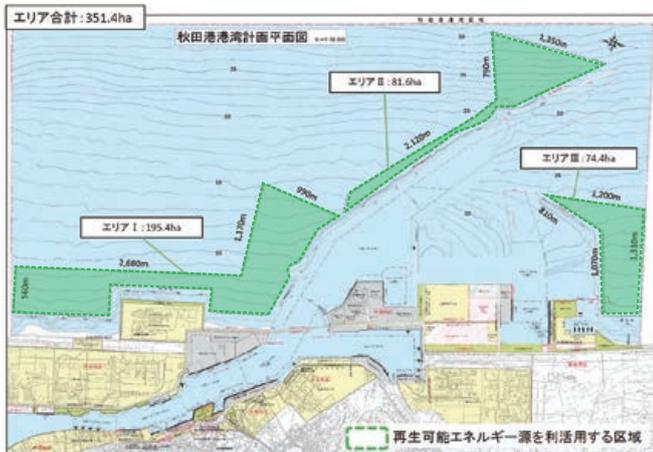
平成26年度は、前年度の『秋田港・能代港再生可能エネルギー導入検討協議会』で設定された秋田港及び能代港における洋上風力発電導入適地に基づき、秋田港及び能代港に出入港する大型船や小型船の航行ルート、漁業権設定水域及び防波堤等既設構造物との離隔距離を考慮、能代港においては火力発電所の放水口を考慮することなどの考え方を、第34回秋田県地方港湾審議会（平成26年9月3日開催）及び交通政策審議会第58回港湾分科会（平成26年11月14日開催）に対して諮問し、その答申を受け港湾計画の一部変更を行った。

その後、秋田港及び能代港における洋上風力発電事業者の公

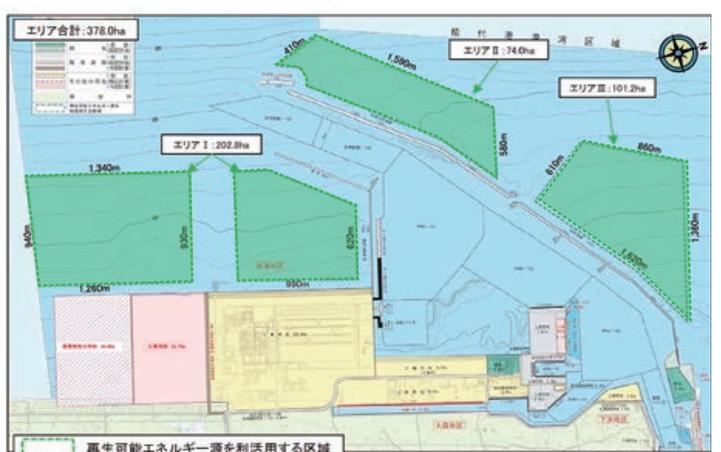


【出典：港湾における風力発電について(平成24年6月 国土交通省港湾局 環境省地球環境局)】

秋田港 一部変更の内容



能代港 一部変更の内容 (再生可能エネルギー源を活用する区域)



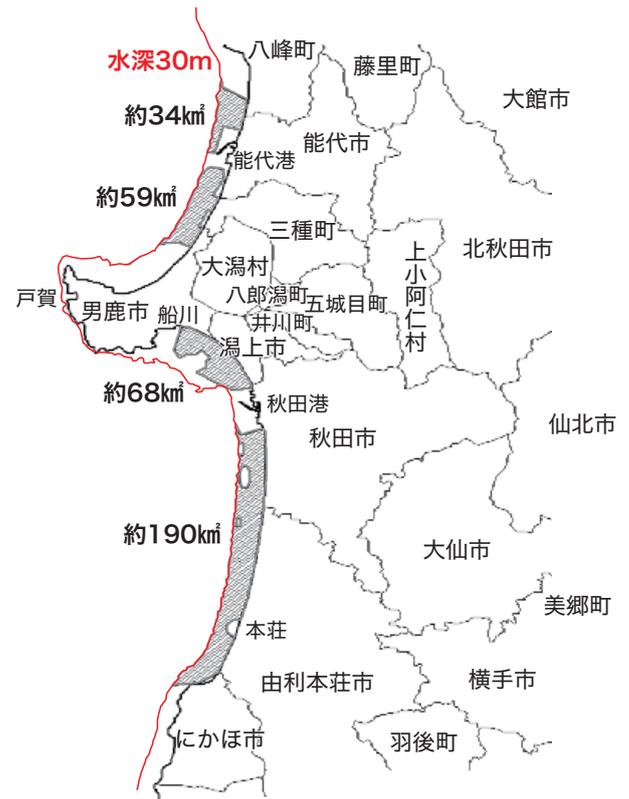
【出典：秋田県建設部港湾空港課資料】



全景写真【秋田港】



全景写真【能代港】



【出典：秋田県産業労働部資源エネルギー産業課資料】

募を行い、評価委員会において応募者のヒアリングを実施し、平成27年2月5日に事業者の決定・公表がなされた。

事業者においては、現在まで、風況調査、環境影響評価（方法書まで完了）、海底地盤調査等各種調査を実施し、平成33年の運転開始に向けた準備を行っている。

3. 沖合への本格的な導入に向けた取組状況

本県の沖合における本格的な洋上風力発電の導入を促進するため、沿岸市町村、国関係機関、漁業関係者、大学、商工団体、金融機関、東北電力等の27団体で、平成25年度に、『あきた沖合洋上風力発電研究会』を設立し、一般海域についての検討を進め、次の条件設定のもと候補海域の設定を行った。①水深30m以内、②港湾区域を除くこと、③年平均風速7.0m/s以上、④区画・定置漁業権区域を除くこと、⑤底引き網禁止ラインの陸側、⑥魚礁・藻場を除くこと、⑦自然公園周辺5kmを除くこと、⑧船舶航行分布域を除くこと。

前述を踏まえて着床式洋上風力発電に適した候補海域（約351km²）は図のとおりである。

一般海域における洋上風力発電計画の状況は、県北部沖（男鹿市、三種町、能代市）のエリアにおいて事業者が計画検討を進め、環境影響評価など各種調査を実施している。また、県南部沖（由利本荘市）のエリアにおいても、他の事業者が計画検討を進め、同じく環境影響評価を実施している。

4. 今後の展開

洋上風力発電など、再生可能エネルギーによる発電事業は、豊富な自然エネルギーを活用した秋田県ならではの産業であり、建設工事は、県内経済を活性化する大きな設備投資で、運転開始後は、長期間にわたる安定した地場産業となる。

このことから、港湾関係者や漁業関係者を始めとする海域利用者等との調整を図りながら、秋田港及び能代港における港湾内洋上風力発電及び一般海域における洋上風力発電における事業化を促進するとともに、洋上風力発電関連産業への参入可能性が高い県内企業の連携促進等を目的とする「あきた洋上風力発電関連産業フォーラム」を設立し、洋上風力発電の風車設備、建設工事、メンテナンス等関連産業の企業間連携の促進を図っている。

今後は、全国に先駆けた洋上風力発電の事業化に合わせ、建設工事やメンテナンス等の関連産業への県内企業の参入拡大を進め、県内企業におけるノウハウの蓄積を図ることにより、将来的には、県内はもとより、県外における事業化案件にも参画できるような企業の育成を目指します。



地域との共生・共創・共栄により “市民の誇り”となる事業を目指して

穂山 泰治 ひびきウインドエナジー株式会社 代表取締役

当社は、北九州市の「響灘洋上風力発電施設の設置・運営事業者公募」において、占用予定者（優先交渉者）に選定された特別目的会社です。本年4月17日の会社設立を機に事業化に向けた調査および具体化検討（FS）を開始しましたので、公募への提案内容と合わせ、私達の取り組みを紹介いたします。

1. 公募概要とコンソーシアムの基本姿勢

同公募は昨年7月の改正港湾法施行に基づき、8月に国内で初めて実施されました。港湾区域内の約2,700haに渡る広大なエリアを活用した洋上風力発電事業に加え、平成22年度から北九州市が推進している「グリーンエネルギーポートひびき」事業の実現に向けて、風力発電関連産業の総合拠点化に対する具体的な貢献について提案するものでした。

日本では本格的な洋上ウインドファームの実現例が無く、欧州のOil&Gasのような海洋サプライチェーンの整備も遅れていることから、洋上風力発電事業は手探りの状態で進んでいます。

加えて、洋上風力発電は大規模事業かつ事業期間が20年以上の長期にわたる大きなチャレンジとなります。

こうした未知の壁に挑みつつ、総合拠点化に対しても貢献を果たすには、コンソーシアムメンバー間の厚い信頼関係のもと、地域と共に学びながら事業を創るという思いの共有が不可欠です。

そのためコンソーシアムを組成する際には、発電事業に対する使命感・責任感に加え、各々が事業の役割と責任を果たしながら地域と一体となって事業を創る“地域共生・共創・共栄”の姿勢を重視し、下記の5社が構成員として集うこととなりました。

コンソーシアム構成員と主な役割

構成員名	主な役割
九電みらいエナジー（株）	プロジェクトマネージャー 事業計画立案など
電源開発（株）	共同プロジェクトマネージャー 環境アセスメントの推進など
（株）北拓	O&M/産業拠点化の推進など
西部ガス（株）	地域共生の推進など
（株）九電工	海底ケーブル/電気設備施工など

九電みらいエナジー（株）と電源開発（株）の発電事業者2社を中心に、O&Mで豊富な実績を有し響灘地区に拠点を開所した（株）北拓、エネルギー事業者として永く地域を支え若松地区に風力発電所を有する西部ガス（株）、地域の電気設備と工事に精通する（株）九電工が構成員となり、合わせて風車メーカーや海洋工事会社など計5社を協力企業に迎えたことで、建設から運営に亘るサプライチェーンを網羅し、総合拠点化に向けても具体的な貢献策の提案が可能な体制となっています。

2. 洋上風力発電の計画概要

このメンバーで提案した計画は風車を最大44基配置するというものであり、既存文献等に基づき、風車の離隔距離、水深、藻場、漁礁等を考慮して、下図のように各エリアに配置することを想定しています。



公募占用区域及び風車配置計画（北九州市公募占用指針を引用）

具体的な風車配置は、風況調査や7月から開始した海域調査などの結果を踏まえて決定しますが、B～Dエリアについては、藻場や既設海底ケーブルなど、詳細な調査及び調整が必要となります。

このため私達としては、条件が整っているAエリアを優先開発計画と位置づけ、日本の洋上風力のモデルとなるべくスピーディに計画を実現するとともに、併行してB・C・Dエリアの開発に着



手する段階開発の計画としました。

主要設備につきましては、国産で単機出力が大きい(株)日立製作所製の5MW級風車と、ジャケット式基礎を想定しておりますが、欧州で高い信頼性を有するMHI Vestas製の4MW級風車や重力式基礎なども選択肢に入れてFSを進めています。

公募提案時の計画概要は下記のとおりですが、最終的には、事業性に優れ、信頼性の高い方法を選択し、また、更なる合理化検討も行う予定です。

公募提案時の計画概要

項目	内容	備考
風車基数	最大44基	総出力で最大約22万kW
総事業費	1,750億円程度	最大44基の場合
発電量	約5.3億kWh	一般家庭約17万6千世帯分

今後は4年間のFSで海域調査、環境アセスメント、風況調査を進め、平成33年3月に事業化決定、平成34年4月に着工というマイルストーンを経て、全基運転開始を平成39年度末に予定しています。HSEマネジメントを導入し、安全・安心を第一とした運営に努めつつ、予防保全やスマートメンテナンスの採用によりライフサイクルコストの最適化にも努めてまいります。

今後のスケジュール

	H29	H30	H31	H32	H33	H34	H35	H36
海域調査	海域地形・地質調査		全数ボーリング(Aエリア)		全数ボーリング(B～Dエリア)			
環境アセス	環境影響評価手続き							
風況調査								
設備設計等	基本設計		詳細設計		着工準備			
建設工事					着工、順次運転開始			

3. 風力発電関連産業の総合拠点化に向けて

もう一つの課題である総合拠点化については、以下3つの面から提案を行いました。

① 風車積出拠点の形成

欧州先進港をモデルとしたプレアッセンブル(仮組立)及びプレコミッションング(出荷前点検)拠点の設置と、ヤードオペレーター(港湾荷役)の事業創出

② 輸出入/移出入拠点の形成

主要部品の輸入/移入、風車製造及び部品調達に地元企業を採用することによる輸出入/移出入の拠点化

③ 産業集積

コンソーシアムメンバーによるO&M拠点の設置や、地元の協力企業による風車基礎製作、増速機など部品製造拠点の設置検討

こうしたハード面での拠点化に加え、長期かつ安定的に事業を運営していくためにはソフト面の充実が不可欠です。特に人材育成は急務と考えており、(株)北拓のO&M拠点を活用したトレーニング機会の創出や、地元の大学・各種団体と協働した技術者の育成支援などにより、北九州から洋上風力全体のサプライチェーンを支える人材を送り出せるよう、取り組んでまいります。



(株)北拓のO&M拠点 (写真提供: (株)北拓)

洋上風力は計画立案、環境アセス、工事設計、製造、建設工事、運用・保守に至る長大なサプライチェーンを有する事業です。総合拠点化の取り組みで風力発電関連産業と海洋産業の育成に尽力することは、地域の発展に寄与するだけでなく、本事業の実現を近づけることにも直結します。

充実した港湾インフラと広大な産業用地を有する響灘地区は、洋上風力のマザーポートとしての機能を備えるだけでなく、古くから築かれてきた周辺地域の工業集積と合わせ、国内随一とも言うべき風力関連の産業基地となる可能性を有しています。

Reach (Renewable Energy Promotion Association of Industrial Cluster in HIBIKI)などの各種団体、風車メーカーや地元企業等と共に事業の実現と総合拠点化の取り組みを深めることで、北九州市の「グリーンエネルギーポートひびき」事業を具体化し、地域の持続可能な発展を目指す所存です。

4. 今後に向けて

私達は、当事業を日本の洋上風力の飛躍に向けたトリガーとするだけでなく、クリーンエネルギー供給基地としての響灘地区の価値を向上させ、環境意識の高い企業の誘致などにつなげることで、より一段高いレベルで地元の魅力を高めていきたいと考えています。

私達が建てる風車が市民の誇りとなるような事業に育てていきたいと考えていますが、洋上風力は日本では未知の挑戦であり、日本全体の知恵を結集して取り組むべき一大プロジェクトと言っても過言ではありません。

多くのご示唆を賜りながら、困難な課題にも後戻りすることなく、一歩ずつ事業化へのプロセスを進めてまいりたいと存じますので、ぜひ皆様にも私達の思いをご理解いただき、引き続きのご支援を賜りますよう、お願い申し上げます。



洋上風力発電プロジェクトの現状と今後の展望(鹿島港沖)

石川 慎吾 茨城県土木部港湾課

1. 鹿島港沖の再生可能エネルギー源を利用する区域の設定

茨城県では、東日本大震災以降のエネルギー需給の逼迫などを踏まえ、鹿島港の洋上において民間事業者による風力発電の導入を促進していくため、平成24年7月に港湾計画の一部変更を行い、鹿島港の洋上に「再生可能エネルギー源を利用する区域」を設定しました。この区域の設定に当たっては、船舶が多数航行しているエリアを除外し、水域施設(航路、泊地及び船溜まり、外郭施設(防波堤、護岸など))などや既存の風力発電施設からの離隔を考慮しております(図1)。

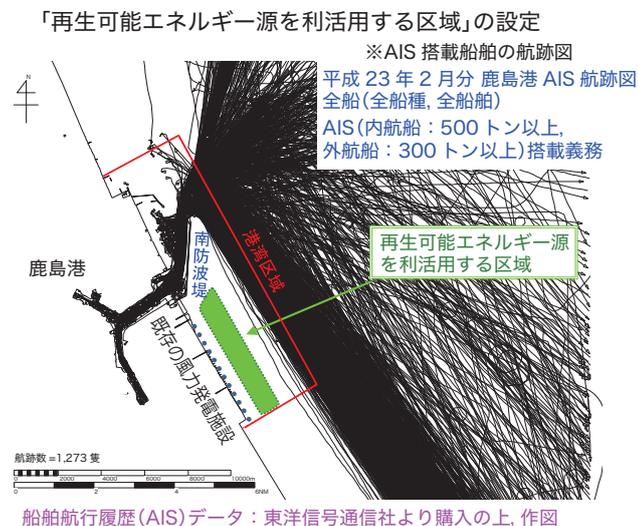


図1 AIS搭載船舶の航行軌跡, 水域施設及び既存風力発電施設的位置

また、洋上での風力発電が成り立つための条件は、風速6m/秒以上の安定した風が吹いていることであり、本県では、鹿島港の周辺海域がこの条件に当てはまる最も有利な区域となります(図2)。このため鹿島港周辺では、鹿島臨海工業地帯の電力需要や整備された送電網、風況の条件等から陸上部や沿岸部で既に風力発電施設の建設が進んでおり、現在、鹿島港港湾区域及び臨港地区で約30基が稼働しております(図3)。

鹿島港周辺の洋上風況マップ (NEDOホームページ)

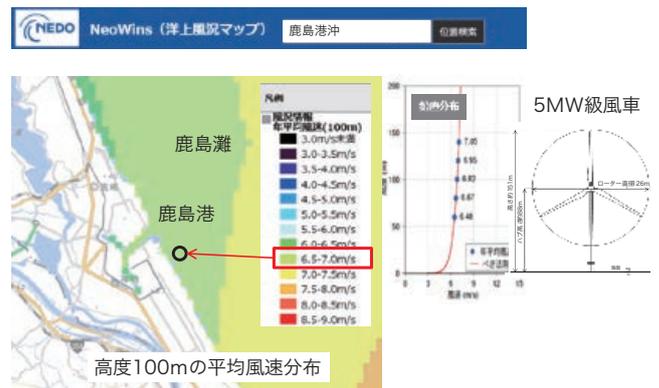


図2 鹿島港周辺の風況マップ



図3 沿岸部の風力発電施設

2. 事業者の選定について

- ・平成24年7月に鹿島港港湾計画の一部を変更し、「再生可能エネルギー源を利用する区域」を設定。
- ・平成24年7月6日から7月13日の間で公募受付を行い、株式会社ウィンド・パワー・エナジー、丸紅株式会社の2者が応募。
- ・平成24年8月1日に事業予定者選定委員会を開催し、2者ともに事業予定者として適正と判断し、推薦。
- ・平成24年8月28日に事業予定水域680haを北側区画、南側区画に2分割し、それぞれの水域の事業予定者を選定・公表。



○北側区画(約340ha)

事業者：株式会社ウィンド・パワー・エナジー

発電出力：100MW(5MW級×20基)

(全体計画25基のうち第1期分)

事業費：約530億円(税抜)(第1期分20基の事業費)

○南側区画(約340ha)

事業者：丸紅株式会社[※]

※丸紅株式会社については、開発期間を通じて精査した事業採算が、当初想定した事業採算の水準を下回り、投資決定をすることが難しいという判断に至ったことを理由に、平成28年12月に事業取り止めの申し入れを受け、本県は事業予定者を取消し、平成29年3月から再公募手続きを実施。

・北側区画の株式会社ウィンド・パワー・エナジーへは平成27年2月に建設に係る水域の占用許可を与え、事業に着手しています。

・現在は、風車メーカーが5MW級風力発電機の型式認証を今年2月に取得したことから、金融機関等とファイナンス組成の手続きを進め、手続きが整い次第、EPC契約、製品発注などを経て、本格的に事業が推進される見込みとなっています。

3. 改正港湾法に基づく再公募の実施(南側区画)

南側区画について、改めて占用予定者を選定するため、平成28年7月施行の港湾法の一部を改正する法律(以下改正港湾法)の第37条の3の規定に基づき、公募占用指針を策定・公示し、公募者から提出された公募占用計画を審査・評価した上で、占用予定者を選定した点が前回の公募と異なっています。

公募占用指針の策定や占用予定者選定のための評価にあたっては、学識経験者等で構成される「鹿島港の洋上風力発電事業に係る評価・選定委員会」を平成29年2月に設置しました。

3.1 公募の経過

- ・公募占用指針の配布、参加登録の受付：平成29年3月2日～3月16日
- ・公募占用計画の受付：平成29年4月3日～5月8日
- ・審査・評価：平成29年5月～6月
- ・選定結果公表：平成29年7月3日

3.2 南側区画(約340ha)の占用予定者選定結果

公募占用計画は2者から提出があり、「鹿島港の洋上風力発電事業に係る評価・選定委員会」における評価結果及び意見を

踏まえ、以下のグループを占用予定者として選定しました。

コンソーシアム名：鹿島洋上風力コンソーシアム

コンソーシアム構成員

代表企業：株式会社ウィンド・パワー・グループ[※]

構成企業：日立ウィンドパワー株式会社

発電出力：93.6MW(5.2MW級×18基)

事業費：約490億円(税抜)

※株式会社ウィンド・パワー・グループは北側区画の事業者株式会社ウィンド・パワー・エナジーの関連会社。

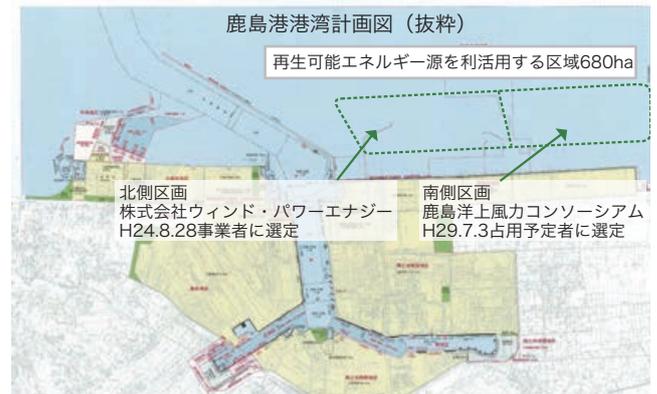


図4 鹿島港における再生可能エネルギー源を利活用する区域

4. おわりに

鹿島港の南側区画の再公募は、改正港湾法に基づく占用公募制度を全国で初めて適用した北九州港に次いで2番目の事例となっております。今後、各種調査やSEP台船の建造等、様々な課題を克服しながら事業が進むことにより、各地で導入予定の洋上風力発電事業の先導的な役割を果たすよう本県としても関係機関と連携しながら取り組んでいきます。

今後、北側区画と南側区画について、イメージ図5のように、洋上風力発電施設の建設が進み、安定的な電力の供給はもとより、観光資源として地域活性化にも寄与することを期待します。

図5 洋上風力発電施設のイメージ
株式会社ウィンド・パワー・エナジー提供



研究

沿岸レポート

「洋上風力研究室」を 設置 (7月1日)

一般財団法人沿岸技術研究センター
研究主幹 岸弘之

沿岸センターでは7月1日付で「洋上風力研究室」(室長山本修司参与)を新たに設置しました。

洋上風力発電に関しては、これまで様々な調査研究や導入促進のための取り組みを進めてきましたが、この度、当センター内の体制を強化して精力的に活動することとしました。「洋上風力研究室」では洋上風力発電施設の構造設計に係る調査研究の実施、構造基準の策定支援に取り組みます。

昨年5月、洋上風力発電施設に対する港湾管理者による水域の長期占用許可の新たな仕組みが港湾法の改正で導入されることを踏まえ、関係団体とともに「洋上風力発電導入円滑化技術研究会」を設立しました。また、昨年からは国土交通省及び経済産業省が設置した港湾における洋上風力発電施設検討委員会の設計技術WGに参加しており、「洋上風力研究室」では、この構造審査のあり方の作成に協力する他、プロジェクトの促進を図るため、同じく「洋上風力推進室」を設置した(一財)港湾空港総合技術センター(SCOPE)と(一財)寒地港湾技術研究センターとともに洋上風力発電円滑化技術研究会に「認証企画室」を設置し、欧州の洋上風力発電プロジェクトで制度化されているプロジェクト認証^{*1}とマリンワランティサーベイ^{*2}の企画について進めていく予定です。

当センターの「洋上風力研究室」の活動にご期待下さい。

※1) 第三者機関が風力発電設備全体について、設置場所の条件に対して計画設計、建設、運転を含め、技術規格への適合性を確認・認証

※2) 第三者機関が海上工事の安全性、確実性を確認



国際

沿岸レポート

ヨーロッパにおける 洋上風力発電施設に 関する調査

一般財団法人沿岸技術研究センター
参与・洋上風力研究室長 山本 修司

1. はじめに

洋上風力発電施設の港湾への立地については、海洋基本計画(H25.4.26閣議決定)において「港湾区域においては、洋上風力発電が港湾の管理運営や諸活動と共生していく仕組みの構築によって、引き続き導入の円滑化に取り組む」とあります。また、長期エネルギー需給見通し(H27.7経済産業省決定)では、「大規模風力の活用等により最大限の導入拡大を図る」とあります。これらを受けて、改正港湾法がH28年7月に施行され、港湾区域等の占用の許可の申請を行うことができる者を公募により決定する制度(占用公募制度)が創設されました。

国土交通省は、経済産業省と連携して電気事業法及び港湾法の統一的な考え方に基づく洋上風力発電施設の構造審査基準を策定し、審査手続きの合理化(具体的には、港湾法に基づく港湾区域の占用手続きと電気事業法の工事計画届出の審査の一本化)や事業者の負担軽減を図ることとしています。

当センターでは、国土交通省港湾局から「着床式洋上風力発電施設の構造審査基準」の策定調査を受託し作業を進めています。

2. 構造審査基準の策定

洋上風車に関する国際規格としては、IEC61400-3:2009、Wind turbines-Part3: Design requirements for offshore wind turbinesがあります。それをJISに翻訳したものがJIS C1400-3:2014 風車—第3部: 洋上風車の設計要件です。一般的に、国内規格を策定する際に既に国際規格が存在するか策定中である場合には、その国際規格をベースにすることがWTO/TBT協定で定められています。そのため、構造審査基準の策定にあたっては、IEC61400をベースに検討したいと考えています。

同規格の特徴的な事項は以下のとおりです。

- ①風の基準風速により風車カテゴリー（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、S）を定める。
- ②風車は「通常安全クラス」と「特殊安全クラス」のいずれかに従って設計される。
- ③設計荷重は構造動力学モデル（structural dynamics model）を用いて算出する。
- ④波に関する設計状況は、通常海況、高波浪時海況及び極値海況とする。
- ⑤波浪荷重は非線形不規則波の時刻歴解析により算出する。
- ⑥風と波の設計状況に応じた作用のランク分け及び風と波の方向の不一致性の考慮。
- ⑦設計荷重効果に関する2種類の計算法 Approach 1 及び2。
- ⑧荷重抵抗係数法による設計照査。

なお、地震作用、津波作用、洗掘作用、基礎の設計に関する具体的記述は無く、国際的あるいは国内的に認知された規格（例えば、基礎の設計はISO19900,19901-4,19902,19903など）によるものとされています。

3. 欧州調査

構造審査基準の策定作業を進める中で、

- ①IEC61400の基本的な考え方
- ②日本であまり経験のないモノポール基礎の設計
- ③コーン貫入試験（CPT）の適用
- ④氷作用、洗掘作用に関する最新の知見
- ⑤日本が考える耐震設計
- ⑥設計計算ツール
- ⑦欧州でのコスト削減の取り組み
- ⑧プロジェクト認証制度

などについて認識を深める必要があると感じたので7月の中旬に主要機関を訪問し意見交換してきました。訪問先は表1のとおりです。意見交換で得た主な知見は次のとおりです。

3.1 タワーと基礎の設計作業

ロータ・ナセル・アセンブリー（RNA）とタワーの設計はタービンのサプライヤーが、基礎の設計は基礎設計会社が担当し責任の分担を明確にしているようです。タービンサプライヤーは風荷重と風を制御する力について空力弾性応答解析を行い基礎との境界面における断面力の時刻歴を求めます。基礎設計会社その断面力に波荷重の時刻歴を加算してジャケット等の基礎の断面力を算定し諸元を決定します。両者は、この作業を繰り返して、RNAとタワーが共振をおこさない構造諸元を設定するとともに、終局・使用・疲労の各限界状態の安全性を照査します。

表1 訪問先

MVOW (MHI Vestas Offshore Wind A/S)	基準、設計条件、風車設計
Ramboll	基準、設計条件、基礎設計
DNV GL	基準、設計条件、風車、基礎設計、 認証制度 建設現場見学



写真1 デンマークのウインドファーム※1

※1) ウインドファームにおける風車の一般的な大きさは以下のとおり。

- タワーの高さ：約40～60m
- 風車の直径：約90m
- タワーの間隔：約400m
- 風車一基当たりの発電能力：約2～8MW



写真2 船積みを待つナセル※2

※2) ナセル：風車の心臓部を収納する大きなボックス。風の力を電気に換える増速機や発電機、翼の角度を自動的に変えることができるコンピューターなどが収められている。

時刻歴解析の計算ケースは8,000ケース以上になりますが、通常の設計業務では珍しいことではないそうです。

3.2 設計計算法

IEC61400-3では、計算法としてアプローチ1及び2が定義されています。前述の時刻歴解析ではアプローチ1を使用しているとのこと。アプローチ2は、設計作業の初期段階において、構造全体を静的解析（地盤の非線形性は考慮）する場合に適用するようです。

IEC61400-3では、波と風が同時に作用する場合の荷重係数（partial safety factors for loads）は明確に定義されています。しかし、基礎や地盤など抵抗側の抵抗係数（partial safety factors for resistances）は、信頼性における国際規格に従ってよいとの記述があるだけです。設計実務においてどのような係数を使用しているか聞きましたが、明確な回答を得られませんでした。コンサルタント契約（有償）を結べば、専門家を集めて回答するとのことでした。



写真3 Rambollの技術者とのディスカッション

3.3 風力発電施設専用港湾

MVOWやSiemensが洋上風力発電施設の組立、積み出しを行うEsbjerg港を見学しました。タワー（約350トン）は岸壁エプロンのすぐ近くで鉛直に組立てられ、セップ船のクレーンで鉛直のまま積み込まれます（写真4）。ナセル（約200トン）は蔵置ヤードから岸壁まで専用の運搬車で移動させます（写真2）。タワーの建て込みヤードは安全率を考慮して30-50t/m²の極限支持力が必要になります。地盤改良をやっているのか専用の杭基礎があるのかは確認ができませんでしたが何らかの対応が必要になるでしょう。このような専用港湾はコスト縮減と工期短縮に大きく貢献しているとのこと。



写真4 セップ船と船積みを待つタワー

4. おわりに

日本では、鹿島港において陸に近いところで実機が稼働中ですが、水深の大きいところでの着床式風力発電施設は、NEDOにおける実証実験が行われている段階です。一方、欧州の洋上風力発電は20年以上の実績があります。調査、設計、建設及び運用において一日の長があると感じました。また、IEC61400では緻密に計算ケース（D.L.C）が規定されていますが、まだ設計実務としての基準書としては改善の余地があると思います。

洋上風車の設計は、作用と抵抗が風、波、流れ、地震、地盤、使用材料が鉄、コンクリート、ゴム、構造解析が動的解析、非線形不規則波、材料非線形、幾何学的非線形、設計照査が終局、使用、疲労、衝突等の各限界状態と多岐にわたっています。土木構造物の設計のあらゆる要素が入っているので、大学の授業の一つに入れると土木に関する総合的な視野を養うのに役立つのではないのでしょうか。



国際

沿岸レポート

スペインの土木工学賞

一般財団法人沿岸技術研究センター
研究主幹 岸弘之

沿岸技術研究センターの高橋重雄理事長が、スペインのホセ・エントレカナレス・イバラ財団から土木工学賞を受賞しました。海岸工学と防災の分野において卓越した研究成果をうみ出すとともに、東日本大震災では被害調査をいち早く実施し、早期の復旧・復興に貢献したと評価されました。3月13日にマドリード工科大学で授賞式が行われ、フェリペ6世スペイン王国国王陛下から表彰楯が授与されました。写真1は授賞式の様子であり、写真2の中央の長身の男性が、フェリペ6世国王陛下です。授賞式にはスペインの公共事業大臣、水上正史駐スペイン日本大使も出席されました。授賞式の様子はホセ・エントレカナレス・イバラ財団のホームページ (<http://www.fentrecanalesibarra.es>) でご覧いただけます。

土木工学賞は、マドリード工科大学と同財団が主体となり、土木工学の発展に貢献した専門家に贈られる賞です。2006年に創設され、3年ごとに1人を表彰しています。マドリード工科大学は、1802年に公共事業省の技術学校として設立された歴史ある大学で、港湾や海岸工学の創始者のひとりであるイリバ



写真1



写真2

レン教授など著名な研究者を輩出しています。同財団はホセ・エントレカナレス・イバラ氏の遺族により設立された非営利団体であり、エントレカナレス氏は同工科大学で28年にわたり教鞭を執った学者であり、スペインの大手建設会社・エネルギー会社のアクシオナの前身、エントレカナレス・イ・タボラの創設者の一人です。

高橋理事長は、運輸省港湾技術研究所（現国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所）で長年、海洋工学、沿岸防災の研究に取り組み、2011年より理事長に就任、2016年より沿岸技術研究センター勤務。土木学会の研究業績賞など多くの賞を受賞し、2012年には米国土木学会より国際海岸工学賞が贈られています。

スペインは伝統的に海の工学が盛んで、日本の技術にも大きな興味を持っています。今回の受賞は港湾空港技術研究所の研究が認められたと同時に、日本の港湾工学や海岸工学の技術の高さが評価されたと考えられます。東日本大震災の津波で甚大な被害を受けた日本への励ましもあると思われます。この表彰は、港湾空港技術研究所の理事長時代の2015年に決定しており、高橋理事長は「震災からの復旧・復興に努力していた研究所を代表して受賞した」と考えているとのこと。

授賞式の後、マドリード工科大学で『津波減災・縮災－東日本大震災の教訓』をテーマに記念講演もありました。350人ほどいた聴衆の関心は高く、沿岸の防災はスペインでも重要なテーマです。2004年のスマトラ島沖地震で大津波が発生し、ワーストケースに備えることの大切さを教訓として世界の人々は学びました。しかし、日本では、ワーストケースに備える制度(体制)が出来たのは、東日本大震災の厳しい経験の後でした。世界では、議論はされていますが、制度の確立に至っている国は、残念ながらまだありません。日本のみならず、世界の技術者にとって東日本大震災の教訓を生かし、減災・縮災にむかって、制度の改善を含めて努力することは大切なことだと思います。

民間技術の紹介 1

鋼管杭・鋼管矢板の機械式継手 ガチカムジョイント

新日鐵住金株式会社

ガチカムジョイントは鋼管杭・鋼管矢板の現場接合に用いる機械式継手であり、現場での溶接接合作業の負荷軽減と品質の安定を目的に開発された。

ガチカムジョイントの概要

ガチカムジョイントは、打撃工法、パイプロハンマ工法、回転杭工法等で施工される鋼管杭・鋼管矢板の現場接合に用いる機械式継手である。継手は4段のギアによる構造で、従来の継手に比べコンパクト化、部品数も大幅削減されている。適用範囲は大径杭（φ1600まで）、高強度の鋼管（引張強度570N/mm²）にも対応している。

ガチカムジョイントの構成

本継手の構成及び各部位の名称を図1に示す。本継手はピン継手、ボックス継手、回転抑止部材で構成される。ピン継手は外面に、ボックス継手は内面にそれぞれ4段のギアを有しており、これらのギア同士が噛み合うことで荷重を伝達する構造である。ピン継手とボックス継手はあらかじめ工場にて鋼管と溶接で取り付けられており、施工現場での接合作業は、ボックス継手のギア溝にピン継手のギアを挿入した後にピン継手を回転させ、回転抑止部材を取り付けることで完了する。回転抑止部材は、施工中にピン継手とボックス継手が相対的に回転してギアの噛み合いが外れることを防止するために取り付けられるものである。

使用材料

表1 ガチカムジョイントの使用材料

	鋼種又は強度区分	降伏点又は耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	板厚 (mm)
ピン継手 ボックス継手	SFCM880R SFCM880R-M	705以上	880~1030	13以上	50未満*
		675以上			50以上 100未満*
		655以上		12以上	100以上 200未満*
回転抑止部材	SS400	245以上	400~510	17以上	16未満
		235以上		21以上	16以上 40未満
	SCM440	705以上	880以上	9以上	—
	強度区分**10.9	940以上	1040以上	9以上	—
回転抑止プラグ	強度区分**12.9	1100以上	1220以上	8以上	—

*：熱処理時供試部厚、**：JISB1051に記載される強度区分



写真1 ピン継手



写真2 ボックス継手

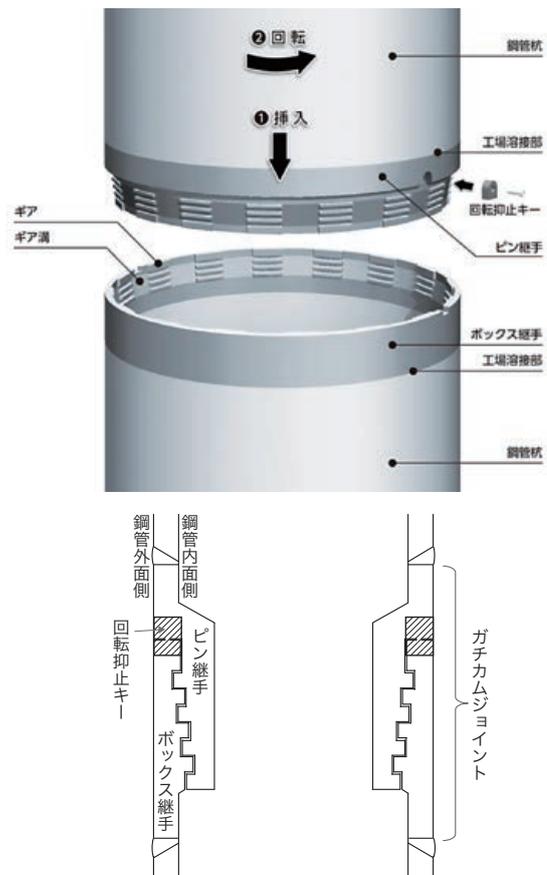


図1 ガチカムジョイントの構成及び各部位の名称 (回転抑止キーを使用した場合の例)

適用範囲

(1) 接続する鋼管の範囲

鋼管鋼種：SKK400(SKY400)、SKK490(SKY490)、SM490Y、SM570

鋼管径：φ400mm～φ1600*mm

※インチサイズの場合は1625.6mm以下とする

鋼管板厚：t6mm～t30mm

(2) 適用工法

- ・打撃工法・パイプロハンマ工法
- ・埋め込み杭工法 (中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法)
- ・回転杭工法・回転切削圧入工法・圧入工法

ガチカムジョイントの特長

(1) 鋼管本体と同等以上の耐力

ガチカムジョイント付き鋼管の引張・圧縮・曲げ・せん断耐力は、継手がない鋼管と同等以上で、変形性能は同等である。



写真3 曲げ試験(外径1600mm, 板厚19mm, SKK400)

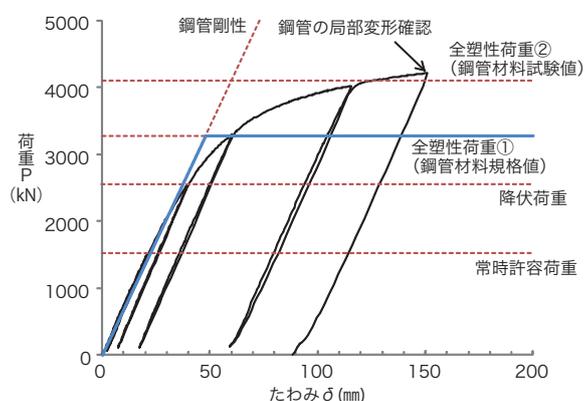


図2 荷重-変位関係(外径1600mm, 板厚19mm, SKK400)

(2) 施工時間の短縮

部品数が少なく接合作業に特殊な治具が不要で、溶接に比べて短時間で接合可能である。写真4は実施工での接合手順である。



写真4.1 接合手順1(継手の位置合せ)



写真4.2 接合手順2(継手の挿入)



写真4.3 接合手順3(継手の回転)



写真4.4 接合手順4(抑止キー位置を合せ、回転抑止キーを取付け接合完了)

(3) 施工性に優れた継手構造

4段のギアが噛み合う継手構造で、打撃工法、パイプロハンマ工法、回転杭工法等に対して適用可能である。



写真5 パイプロハンマでの施工試験状況



写真6 施工試験後の継手外観(左:ピン継手、右:ボックス継手)

潜水作業支援システム

東洋建設株式会社

潜水作業には減圧症の危険が伴うため、潜水計画に基づく管理が必要である。そこで、複雑な減圧計算を伴う潜水計画の立案や変更作業の簡略化と潜水時間・潜水水深の正確な管理を実現するため、潜水作業支援システムを開発した。

潜水作業支援システムの概要

港湾・海洋工事において潜水士による潜水作業では、「高気圧作業安全衛生規則」により、作業深度と作業時間によって浮上停止深度と停止時間が定められている。従来は、潜水士が「潜水業務用時間表」を基に作業予定から浮上停止深度と停止時間を求め、1日潜水作業タイムテーブルとして潜水作業計画書を手作業で作成していた。潜水作業中に作業時間が変更されたときの浮上停止時間は、船上の連絡員が手作業で実際の潜水作業時間と作業最大深度から求め直していた。変更が多いと、浮上停止時間を求めるのに時間が掛かり、速やかな作業予定の変更ができず、間違いをおこす危険もある。このような背景から、潜水作業計画を容易に作成でき、計画に従って潜水作業を管理するシステムを開発した。本技術「潜水作業支援システム」は海洋工事における潜水士による潜水作業についてPCや各種センサーを使うことにより、潜水計画の立案及び潜水作業をリアルタイム管理する技術である。

本システムは、平成27年4月に改正された高気圧作業安全衛生規則に基づき刊行された「潜水作業マニュアル」の空気潜水の減圧表等のデータを搭載しており、潜水計画時には減圧表等を参照し適正な計画の立案が可能である。また、潜水作業実施時には、潜水士が携帯する水圧センサーのデータ値をリアルタイムで計測することにより、潜水計画との差異を逐次再計算、適正な浮上時の水深・停止時間の更新を行い、連絡員が操作する管理用PCにガイダンス及び警告を通知する機能を実現している。

本システムは以下の特徴を有する。

- ①日本潜水協会の潜水作業マニュアルに則った潜水計画を開始時間、作業時間及び作業深度の3項目の入力で作成できる。
- ②潜水時間、潜水深度、浮上停止時間、および水面待機時間を自動計測することで、送気員や安全管理者が潜水状況をリアルタイムに監視できる。
- ③潜水作業時に作業時間や作業深度が計画より変更された場合、②で計測された潜水情報にもとづき、浮上停止時間を減圧表よ

り参照し更新できる。

- ④作業中の潜水士の心拍数および送気圧が船上でリアルタイムに監視できる。

システム構成

潜水作業支援システムは、潜水士に水深センサーを携帯させ、潜水開始から浮上までの作業時間と潜水深度を計測することで、潜水最大深度と水中の作業時間に応じた浮上停止深度と、浮上停止時間を連絡員に通知するものである。2回目以降の潜水作業では、実際の潜水記録をもとに浮上待機時間を再計算し、事前にシステムに登録された潜水計画を自動修正する。図-1、図-2の通り、システムは制御用PCと水圧センサーおよび3色警告灯で構成されている。さらに、心拍検出センサー、送気管センサーにより心拍数および送気圧がリアルタイムに監視できる。

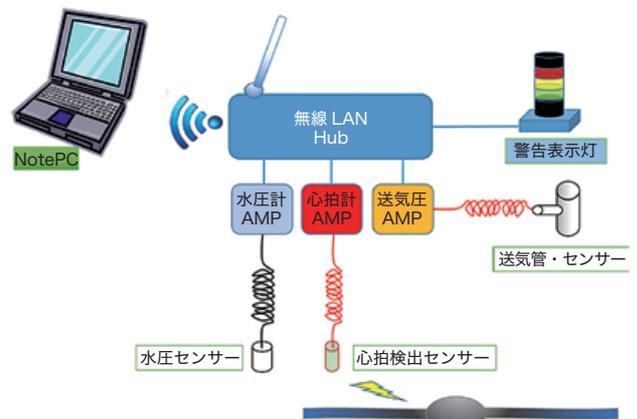


図1 システム構成図



図2 システム機材一式

潜水計画の作成

港湾工事等の潜水作業においては、加圧と減圧を繰り返すことによって健康障害を引き起こしやすいことから、労働安全衛生法にもとづいて高気圧作業安全衛生規則が定められ、この規定にしたがって作業を行うことが求められる。この高気圧安全衛生規則の改正が行われ、平成27年4月1日から施工されることになり、

減圧時間の管理方法が安全性向上の観点から大きく見直された。本システムは、日本潜水協会の減圧表をシステム内部に取り込んでおり、水中での計画作業時間や作業深度を事前に入力することで潜水作業計画を作成する。



図3 計画入力画面

潜水作業の自動計測

潜水士に水深センサーを携帯させ潜水開始から浮上までの作業時間と潜水深度を計測し、リアルタイムにシステムへデータを送信し、その結果をPC画面上に表示する。計測した潜水最大深度と水中における実際の作業時間に応じて浮上待機深度と浮上待機時間をリアルタイムに船上の連絡員に知らせ、作業時間及び浮上時間における待機水深・時間を画面上に表示すると共に3色警告灯の点灯・点滅及びアラームにて通知する。



図4 深度・作業時間の表示画面

潜水計画の更新

繰返し潜水やマルチ潜水については、前回までの潜水実績データを反映して適宜、減圧深度や時間、さらには作業時間の修正を

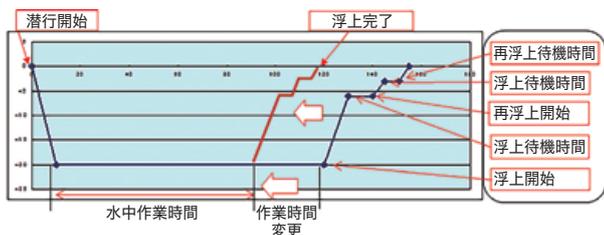


図5 潜水計画自動修正イメージ



図6 変更潜水計画作成(実績値反映)

行う必要がある。本システムにおいて2回目以降の潜水作業までは、1回目の潜水開始から浮上までに計測した作業時間と潜水深度を取り込み、浮上待機深度と浮上待機時間を再計算し、事前にシステムに登録された潜水計画を自動修正する。

潜水作業支援システム活用事例

本システムを用いることで潜水作業計画記録が自動作成できる。本システムの活用事例として図-7に実施工の潜水作業計画・記録を、図-8に潜水士の潜水深度と心拍数の計測記録を示す。

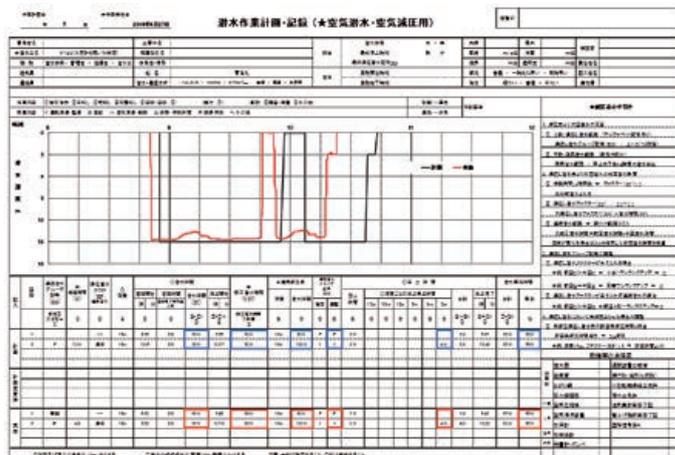


図7 潜水作業計画記録

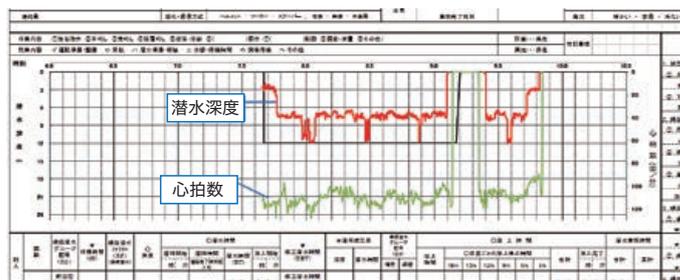


図8 潜水士心拍数計測結果

防舷材着脱式 「CruTUシステム」

シバタ工業株式会社

防舷材を着脱可能にすることにより、必要な箇所にスポット的に防舷材を設置でき、大型船の接岸を可能にする。

概要

近年、大型クルーズ船の誘致の活発化により高接岸エネルギーの不定期便が増加している。この場合、既設よりも大きな防舷材サイズが必要となるが常用船舶には大きすぎるため、大型船の不定期な寄港時のみに取付けが可能な防舷材が要望されていた。

「防舷材着脱式 CruTUシステム」は、岸壁の用途に応じて、Vシリーズ防舷材やサークル型防舷材・受衝板付き防舷材等を簡易に着脱可能な構造にした防舷材システムである。常設の防舷材に代わって機能する大型防舷材を短時間で設置・供用することが可能である。

これにより大型クルーズ船の不定期な寄港への対応、あるいは防災拠点港などにおける緊急時の接岸・係留において、必要な箇所にスポット的に防舷材を設置することを可能とし、現有施設の大幅な改修をすることなく船舶の大型化に対応可能となる。また、小型船に対応する小型防舷材にも適用できる。

特長

- ・大型の防舷材をスポット的に取付けることが可能で、不定期便や緊急接岸に対応が可能である。
- ・防舷材を容易に着脱できるよう、事前に取付台座を岸壁に設置しておき、大型船の寄港時のみ防舷材を取付台座に着脱できるようにした。(写真1)
- ・クレーンやフォークリフトを用いて容易に短時間で着脱が可能である。(写真2)
- ・防舷材を吊り下げると脚部が開き、取付け台座への挿入が困難になるため、防舷材を鋼板にボルト止めすることで広がり抑制した。(写真3)
- ・取付台座に防舷材を設置後、台座から防舷材が飛び出さないよう台座に蓋を設けた。
- ・取付台座は、既設防舷材を常用船舶が使用した際に、船舶と取付け台座が接触しないよう極力高さを低く抑えた。(写真4)

- ・使用時以外の保管を屋内もしくはシートによる養生により、紫外線劣化を抑えることができる。
- ・管轄する複数岸壁で同じ着脱式防舷材を共有することにより、コストを抑えることができる。



写真1 取付台座設置



写真2 クレーン使用状況



写真3 鋼板へのボルト止め状況

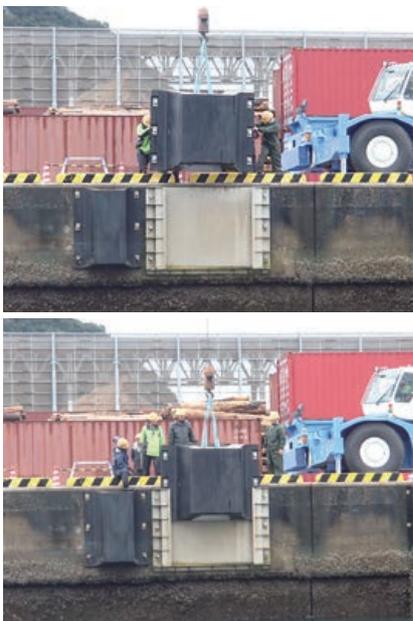


写真4 取付台座高さ

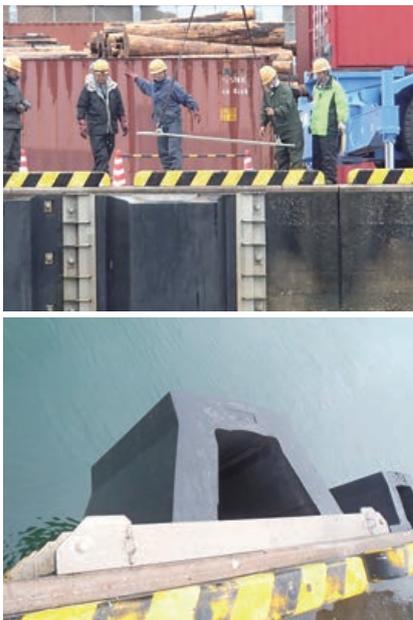
性能確認

(1) 「陸側からの作業のみで防舷材が着脱可能である」ことを、事前に設置した取付台座に挿入して確認。

①防舷材を取付台座挿入部に合わせて底板にあたるまで挿入する。



②蓋を取付ける。



③防舷材設置完了



取外しは①～③を逆手順で行う。

以上①～③により、「陸側からの作業のみで防舷材が着脱可能である」ことを確認した。

(2) 「防舷材の着脱が短時間で可能な構造である」ことを現場施工試験によって確認。

吊上げ時に取付脚部が広がり、着脱が困難になるのを防ぐため、防舷材を鋼板にボルト止めすることで脚部の広がりを抑え、取付台座への着脱を容易にしている。

現場施工試験による防舷材の取付け台座への設置時間は15分であった。同サイズの先付防舷材を設置するには3～4時間程度を要する。

このことにより、「短時間で防舷材の着脱が可能な構造である」ことを確認した。

(3) 「一般的な防舷材と同等の利用が可能である」ことを取付台座に用いる後付アンカーの強度計算によって確認。

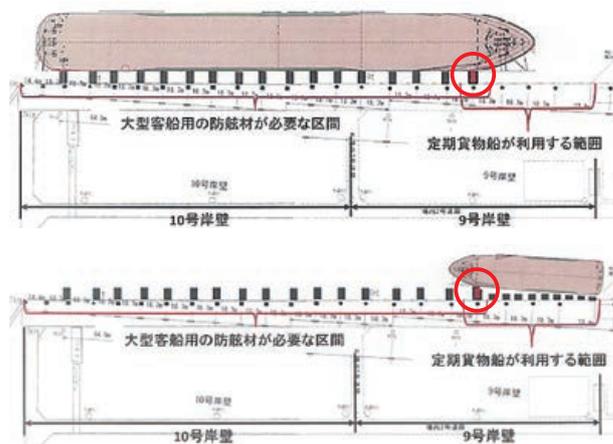
防舷材仕様、取付台座形状、取付金具仕様に基づき、使用鋼材の許容応力度と外力を計算し、アンカーボルトのせん断力及び引き抜き力の検討を行った。

使用するボルト径及び本数は、通常の後付施工する際に用いる物と同じ規格・本数にて対応可能である。

このことにより、「一般的な防舷材と同等の利用が可能である」ことを確認した。

納入実績

CruTUシステムは、宮崎県油津港で大型クルーズ船の寄港対応として、隣接する貨物船バースへスポット的に設置した実績がある。



CruTUシステム設置箇所
※赤丸部分に防舷材着脱式CruTUシステムを使用

内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線 — ECFストランド —

住友電工スチールワイヤー株式会社 神鋼鋼線工業株式会社

強靱で耐食性に優れたエポキシ樹脂をPC鋼より線に被覆し、各素線間の隙間部にも充てんしたPC鋼材です。被覆が厚くピンホールフリーで、土木学会規準(案)に規定の性能を満足しています。

ECFストランドの概要

従来、コンクリートにプレストレスを与えるPC鋼材はコンクリートのかぶりやシース内のグラウトによって防錆されていました。しかし近年、港湾地域において塩害によるPC鋼材や鉄筋の腐食が発生し、構造物が著しく損傷する事例が確認されています。

『内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線 (ECF (Epoxy Coated and Filled) ストランド)』は、エポキシ樹脂を用いてPC鋼より線の表面を被覆し、かつ各素線間の隙間部を充てんした、土木学会規準 JSCE-E 141 (案) に規定の性能を有する高機能PC鋼材です(図1)。工場内で管理された製造ラインにて、強靱かつ防食性に優れたエポキシ樹脂を被覆することにより、品質が一様かつ安定し、高い耐食性を有しています。

ECFストランドには、主に外ケーブルに用いられる被覆表面が平滑な「標準型」、内ケーブルやプレテンション方式に使用されるコンクリートとの付着性を向上させた「付着型」、紫外線直射や厳しい塩害地域向けにエポキシ樹脂被覆の外側に高密度ポリエチレン(以下、PE)被覆を押し出し成形した「PE被覆型」の3種類があります(図2)。これらは土木学会指針(案)^{*1}に規定され、用途に応じて使い分けすることができます。サイズは9.3mm~21.8mmと豊富で、9.3mmのECFストランドはプレテンション

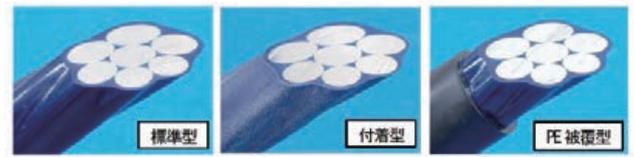


図2 ECFストランドの種類

方式のPC版、12.7mm~15.7mmは橋梁の内ケーブルおよび外ケーブル、17.8~21.8mmは橋梁の横締め主に適用されています。また、12.7mm、15.2mmについては、PC鋼より線の化学成分値を調整し、低リラクゼーションのECFストランドも提供可能です(表1)。

表1 ECFストランドのサイズと機械的性能

種別	呼び径 (mm)	最大試験力 (kN)	0.2%永久伸びに対する試験力 (kN)	伸び (%)	リラクゼーション (1,000hr後) (%)
JIS規格強度品	9.3	≧88.8	≧75.5	≧3.5	≦6.5
	12.7	≧183	≧156	≧3.5	≦2.5 ≦6.5
	15.2	≧261	≧222	≧3.5	≦2.5 ≦6.5
高強度品	15.7	≧335	≧285	≧3.5	≦6.5
JIS規格強度品 (19本撚り)	17.8	≧387	≧330	≧3.5	≦6.5
	19.3	≧451	≧387	≧3.5	≦6.5
	21.8	≧573	≧495	≧3.5	≦6.5
高強度品 (7本撚り)					

ECFストランドの特長

ECFストランドの特長を以下に示します。

(1) エポキシ樹脂の被覆が耐食性に優れ、遮蔽性、可とう性および耐衝撃性等を有しており、沿岸や港湾・空港などの腐食環境下における耐久性に優れています。

- ・PC鋼より線の各素線間に樹脂が充てんされているため、端部からの腐食促進因子の侵入を抑制できます。
- ・エポキシ樹脂の被覆厚さは各クラウン部で400~1200 μm、クラウン部の平均で400~900 μmと厚膜で、かつピンホールフリーを実現しているため、高い耐久性を有しています。
- ・エポキシ樹脂の強固な被覆により塩化物や薬品に対する遮蔽性が高く、また樹脂強度が高いため疵が付きにくく、防錆性能に優れています。

(2) JISに規定されたPC鋼より線と同等以上の機械的性質および疲労強度を有しています。

- ・エポキシ樹脂がPC鋼より線と強固に密着し素線同士の相対移動を抑制するため、曲げ配置部でのフレットング性能や定着部の疲労性能が向上します。また同様に引張性能も向上します。

(3) 沿岸や港湾・空港などの腐食環境下におけるコンクリート構造物等に高耐食性ケーブルとして適用できます。

- ・PC構造物の内ケーブルや斜ケーブルとして使用する場合、グ

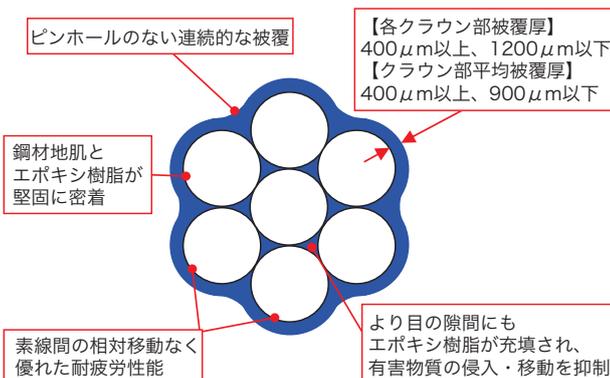


図1 ECFストランドの特長

ラウトおよび樹脂製シースとの併用で多重防食システムを形成します。「道路橋示方書・同解説」に示される塩害対策S区分のような厳しい使用環境において、万一予期せぬひび割れが発生した場合でも構造物の耐久性への影響を著しく減じます。

・耐食性が高いため、外ケーブルとしてノングラウト形式で使用でき、保護管組立作業やグラウト作業の省略に伴う施工上の省力化、工期短縮、ケーブル重量の削減等により、生産性向上に大きく寄与します。

・PC鋼材に防錆処理がされているため、配置後すぐにグラウトをするといった施工スケジュール上の制約が少なくなります。

(4) 公的な規準である『土木学会指針(案)』^{*1}および『高強度指針』^{*2}を満足した製品です。

・土木学会指針(案)では設計耐用年数100年間の使用に耐えられるものとしてよい、とされています。

・高強度PC鋼より線を用いることで、ケーブル本数を減らし、省力化、省人化、急速施工により生産性向上に大きく寄与します。また原材料の低減が図れ、省資源に有効で、製品の製造から運搬、架設までの全工程で工数を減らすなど省エネも実現できます。さらに部材を縮小化し、構造物の重量低減が図れ、下部構造のスリム化が図れるなどのメリットがあります。

ECFストランドの性能確認試験

塩水噴霧試験では3600時間後においても鋼材に発錆は認められませんでした。1000時間経過時の各種PC鋼材との比較例を図3に示します。また、被覆密着性試験(曲げ試験および引張破断試験)では公称径の32倍以下の直径を有する円盤に180°巻き付けても亀裂やひび割れはなく、引張破断後においても被覆の飛散は認められず、エポキシ樹脂とPC鋼より線が強固に密着していることが確認されました(図4)。

『高強度指針』やISO 6934-4に規定された疲労試験では、規定の繰り返し回数後に破断せず、また定着具と組み合わせた疲労試験でも鋼材および定着部に健全性が確認されました。また、土木学会規準JSCE-E 734に規定されるフレット疲労試験において、ECFストランドは300万回繰り返し後に破断や鋼材の露出がないことが確認されました(図5)。偏向部圧縮試験では、外ケーブルで腹圧力が作用する場合においても被覆の割れ、剥がれおよび鋼材の露出等の異常が無いことが確認されました(図6)。

施工実績

ECFストランドは、橋梁のポストテンション方式内ケーブルや外ケーブル、プレテンション方式などを中心に累計500件以上、5万トン以上採用されています。その内、港湾や沿岸、塩害地域においても100件以上と多数の実績があります。またECFストランドは、省力化、工期短縮および長期耐久性を実現できるPC鋼材として、NETISに登録されています(TH-120019-A、TH-130006-A)。

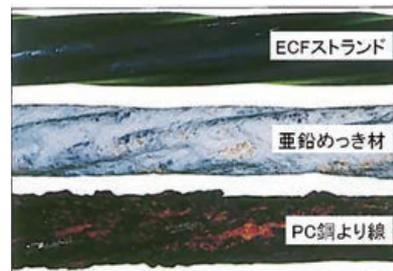


図3 塩水噴霧試験1000時間経過時の外観比較例



(a) 曲げ試験状況 (b) 引張破断試験後

図4 被覆密着性試験



(a) 試験状況

項目	内容
ケーブル	ECFストランド 19S15.2
下限荷重	0.6Pu (2975.4kN)
応力振幅	50±1MP
ケーブル配置	曲げ半径3m
繰り返し載荷回数	300万回

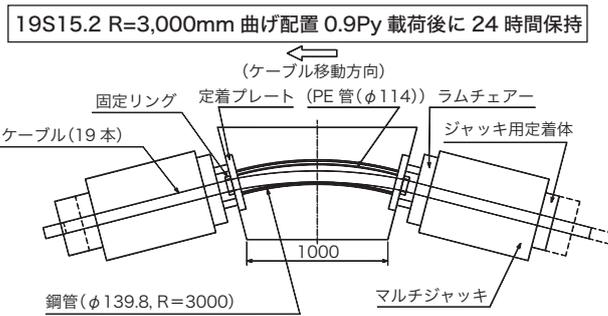
(土木学会 JSCE-E 734-2010)

(b) 試験条件



(c) 試験後のECFストランド外観

図5 フレット疲労試験



エポキシ樹脂: 残存しており
鋼材の露出なし

(a) 標準型ECFストランド



PE: 薄くなっている
エポキシ樹脂: 十分保たれている

(b) PE被覆型ECFストランド

図6 偏向部圧縮試験

※1: 「エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案)」(土木学会 コンクリートライブラリー 133)

※2: 「高強度PC鋼材を用いたPC構造物の設計施工指針」(プレストレストコンクリート技術協会、現プレストレストコンクリート工学会)

BOOKS 01

カルシア改質土利用技術
マニュアル

港湾工事においては、航路や泊地の浚渫工事により、大量の浚渫土が発生し、その処分地の確保が大きな課題となっています。そのため、浚渫土をリサイクルし減容化するための各種研究が進んでいます。

一方、鉄鋼の生産過程において副産物として発生する転炉系製鋼スラグは、年間約1,100万トン（平成27年度実績）が生産されており、従来からリサイクル材として、道路用路盤材やサンドコンパクション材等に活用されてきました。

「カルシア改質土技術」は、転炉系製鋼スラグによって軟弱な浚渫泥土を海域環境修復材料として有効活用する技術です。この技術により、転炉系製鋼スラグを海域で安全に使用することが可能となり、エネルギー使用の合理化と海域環境の改善に資することができます。

本マニュアルは、カルシア改質土研究会との共同研究により、



これまでの研究成果を取りまとめるとともに、カルシア改質土を安全に使用できる方法を明記し、設計時の取扱方法と活用事例を記載しております。カルシア改質土の設計・施工に携わる技術者の方々にとって、本マニュアルが有効に活用されるものと確信しております。（定価5,556円（税別））

NEWS 01

コースタル・テクノロジー 2017の開催予定

当センターが実施した調査・研究等に関する報告を行う毎年恒例の「コースタル・テクノロジー」を開催致します。

今回は、平成29年度の研究成果等に関する報告及び特別講演を予定しております。詳細は、決まり次第当センターホームページにてお知らせいたします。

日時：平成29年11月16日（木）10：00～17：30予定

場所：イイノホール&カンファレンスセンター

（〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-1-1）

特別講演：高知工科大学 学長 磯部雅彦 様

参加の申込みにつきましては、10月頃に当センターホームページにて受付を開始する予定です。

NEWS 02

平成29年度

「海洋・港湾構造物 維持管理 資格更新研修会」

「海洋・港湾構造物 維持管理士 資格認定試験」

「海洋・港湾構造物 設計士 資格認定試験」

に関するお知らせ

平成29年度の資格試験等について、下記のとおり予定しております。実施の詳細や募集の案内につきましては、当センターホームページ（URL <http://www.cdit.or.jp/>）に適宜掲載しますので、ご確認ください。

平成29年度 海洋・港湾構造物 維持管理
資格更新（CPD単位不足者向け）研修会

開催時期：平成29年10月14日（土）開催予定

開催場所：東京23区内を予定しています。

半日間の研修会です（少人数の場合は、個別面談方式となる場合があります）。

- CPD単位が250単位以上ある方 →受講する必要はありません。
- 平成25年4月1日～平成30年3月31日の有資格者で、資格更新CPD単位が250単位に満たない方 →受講をお勧めします。
- 資格失効後1年未満（資格有効期限が平成29年3月31日）で更新を希望する方 →受講をお勧めします。

研修会申込みにあたっては、事務局にご相談下さい。

申込受付期間：7月24日～8月末で受付をしています。

研修会前にレポートを提出していただきますが、詳細は当センターホームページでご確認ください。

平成29年度 海洋・港湾構造物維持管理士 資格認定試験

時期：平成29年11月5日（日）開催予定

開催場所：東京23区内、大阪市内、福岡市内、札幌市内の4会場にて実施を予定しています。

試験日程：択一試験問題数を減らし、午後に択一試験及び筆記試験を受けていただきます。

申込受付期間：8月下旬～9月末（当センターホームページにて募集を行います）

平成29年度 海洋・港湾構造物設計士 資格認定試験

【設計士補試験及び設計士筆記試験】〈既に実施済〉

申込受付期間：平成29年4月11日（火）～5月19日（金）

開催時期：平成29年7月2日（日）

開催場所：東京23区内、大阪市内、福岡市内

設計士面接試験

申込受付期間：平成29年9月中旬～10月中旬

開催日程：平成29年12月中旬開催予定

開催場所：東京23区内

受験資格：設計士補試験及び設計士筆記試験合格者（両試験の合格年度は同年度の必要はありません）

その他：面接項目の一つとして事前に「技術課題」が設定されます。詳細については、受験資格者にご案内します。



民間技術評価事業・評価証授与式の開催

平成29年5月18日(木)、沿岸技術研究センターにおいて、民間技術評価事業評価証授与式をとり行いました。

今回は、平成28年度下半期の表彰で、善功企九州大学大学院特任教授を委員長とする「港湾関連民間技術の確認審査・評価委員会」にて審査・評価を行い、その結果を踏まえて、以下の6件について評価証を交付しました。

新規(4件)



新日鐵住金株式会社
鋼管杭・鋼管矢板の機械式継手-ガチカムジョイント-



東洋建設株式会社
潜水作業支援システム



シバタ工業株式会社
防舷材着脱式 CruTU システム



住友電工スチールワイヤー株式会社
神鋼鋼線工業株式会社
内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線-ECFストランド-

更新(2件)



沖縄電力株式会社、日本国土開発株式会社
頑丈土破砕材(石炭灰を有効利用した埋立て材料)



五洋建設株式会社
NDR工法-橋脚耐震補強用仮締切-

上記の4件の新規技術につきましては、本文の30~37ページで紹介しております。

沿岸技術研究センターは、今後の誌面づくりに反映させるため、皆様のご意見や感想をお待ちしております。詳細は沿岸技術研究センターHPをご覧ください。

URL:<http://www.cdit.or.jp/>

【編集後記】

欧州と比べると我が国の洋上風力発電プロジェクトは歴史が浅く、ようやく導入促進に向けた制度環境の整備が整いつつあるというのが現状です。一方、四面を海に囲まれた島国である我が国は、洋上風力発電導入のポテンシャルは大きく、今後、関係者の横の連携が一層重要になってくるものと思われます。当センターとしましては、港湾関係全体での技術の発展を通じて、洋上風力発電導入の円滑化に貢献して参ります。(HA)

CDIT

Coastal Development Institute of Technology

発行 一般財団法人 沿岸技術研究センター
〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2 新橋エス・ワイビル5F
TEL. 03-6257-3701 FAX. 03-6257-3706
URL <http://www.cdit.or.jp/>
2017年8月発行