

「海風」からエネルギーを生み出す 建設業が拓く洋上風力発電の未来

いま日本のみならず、世界中で気候危機、異常気象という言葉が毎日のように聞こえてくる。主な要因は地球温暖化、CO₂の過剰排出であり、その打開策として真っ先に挙げられるのが「再生可能エネルギーの活用」であることは誰もが認識している事実だ。しかし、依然として日本の電力事情は火力発電に依存しており、環境保全や、温室効果ガスの排出削減に向けた世界的な枠組みにも不透明感が漂う。そうした現実に対峙し、建設業は何ができるか。広大な海を吹き渡る「風」から電力を生み出す洋上風力発電について、建設業のパイオニア精神が地球温暖化を緩和する、その可能性を探る。

洋上風力発電を 国策として進める

地球という球体の表面を絶えず吹き渡る「風」。この無限の資源からエネルギーを創る。風力発電は巨大な風車で風を受け、回転させて電気を生み出すシステムとして開発された。近年、陸上での風車建設のみならず、広大な海洋に吹く海風を生かした洋上風力発電が注目を集め、日本各地で実証事業が展開されるようになった。陸上と比較して風況が豊かで安定しており、立地的な制限、景観、騒音に対する影響も軽微なことが背景にある。いうまでもなく海に囲まれた日本ではその可能性が非常に大きい。

経済産業省資源エネルギー庁新エネルギー課の山本慎一郎課長補佐はこう説明する。「海洋における再生可能エネルギーの利用促進は、日本を取り囲む広大な海域の利用、開発において海洋政策上の重要課題として位置付けられています。昨年度、海洋基本計画、エネルギー基本計画の閣議決定もなされ、国策として洋上風力発電の可能性が

梶島は浮体式施設の設置に必要な水深一〇〇メートル以上の海域に囲まれ、風も強く実証事業には最適の環境下にあった。「しかし、梶島には漁業を生業とする方々が多く暮らしておられます。当然『魚が獲れんようになつたら、万一倒れでもしたら、どがんとくれつとや』というところへは戸田建設さんとともに何



福江島の海の玄関口、福江港にある漁船の係留施設。漁業は五島市の基幹産業の1つになっている。

度も足を運びました。詳細にわたって丁寧に、真摯に説明することで徐々にご理解いただけるようになったんです」と北川室長は話す。環境省の公的事業であることを説明し、騒音の測定や継続的な漁獲量調査も行った。そのデータを逐一漁業者にフィードバックした。そして何よりも訴えたのは、洋上風力発電は、かねてから「自然エネルギーの島」を標榜してきた五島の将来のためになるということだった。「一番肝要なのはそこに暮らす市民、漁業者をリスペクトすること。相手の立場になつて真摯に話し合いを重ねることです。最初にボタンを掛け違えてしまうと元に戻すことはできません」と北川室長は言い切る。

継続的な調査により、風車からの水中音は漁船よりも軽微で影響もなく、むしろ風車の支柱部に海藻が繁茂し、魚が集まることも確認できた。施設が漁礁、海洋牧場になる可能性も高まってくる。「漁業者の皆さんも風車に愛着がわいてきたようで、試験的に風車を止めると『今日は回つたらんが何かあったのか』と連絡してくれるようにま



五島市内の「道の駅」に設置された風力発電設備。市ではかねてから海に囲まれた立地を生かし風力、太陽光など再生可能エネルギーの導入を積極的に推進してきた。

でなりました」と北川室長は相好を崩す。

**豊かな五島の海を
取り戻す**

風車は環境省の実証事業の終了後に解体、撤去されることになっていた。しかし、その時が近づくにつれ、これを継続できないかという声が上がった。そこで二〇一四年に産官学が結集して協議会を結成、市独自のエネルギー構想を策定して実用化に挑むことになった。五島市が施設を所有し、事業の運営は戸田建設が出資する民間企業の五島フローティングウィンドパワー合同会社が担うというスキームを構築。

日本初！ 商用運転を開始した 浮体式洋上風力発電所

長崎県五島市で国の実証事業を受け継ぎ、国内初となる浮体式の洋上風力発電施設が営業運転を始めている。行政と市民、ゼネコンがタッグを組んだ洋上風力発電の可能性を探る。



(提供：戸田建設株)／©西山芳一

島の活性化を目指す 海の上の風車

九州の西端、長崎県の五島列島にある福江島の沖合約五キロメートルの海域に一基の巨大な風車が浮かんでいる。「はえんかぜ」と名付けられたこの風車は日本で初めて商用化に成功した浮体式洋上風力発電施設である。

風車の直径は約八〇メートル、最大で二メガワットの発電能力を誇る。この風車によつて生まれた電力は、海底ケーブルによつて福江島に送電、受変電施設を経て島内で消費される。電気エネルギーの地産地消を実現した洋上風力発電の事例として大きな注目を集めている。

発端は二〇一〇年度から開始された五年間にわたる環境省の実証



五島市
地域振興部 再生可能エネルギー推進室
室長

北川 数幸 Kazuyuki Kitagawa

事業だった。戸田建設(株)を中心とする受託者グループが五島市梶島沖の海域で、ブレード(翼)の回転直径約二二メートル、一〇〇キロワットの浮体式洋上風力発電施設の設置に成功。この小規模試験機によって得られたデータを基に実証機となる回転直径約八〇メートルの大型風車を建造し、二〇一三年から、実用化を見据えた本格的な実証事業が始まった。

五島市地域振興部再生可能エネルギー推進室の北川数幸室長は当時のことをこう振り返る。「一〇年ほど前、五島市の最大の課題は、人口の流出でした。高校生は卒業すると大学進学や就職のために島を離れてしまう。公共事業も下降気味で地元の人たちの働く場が減少していました。洋上風力発電は新規事業の創出、島の活性化、雇用の確保に向けた切り札になるのではと考え、この実証事業に取り組み始めました」。戸田建設をパートナーとして選定したのは、病院や橋梁、道路など市民生活に直結するインフラの整備を、各地で地元住民と協働して行ってきた実績を鑑みてのことだという。

「はえんかぜ」を設置するまで



①岸壁で工場製作した鋼製の上部浮体とコンクリート製の下部浮体を接合する



②浮体を台船で組立海域に曳航



③大型起重機船で浮体を洋上に建て起こす



④浮体部に設備を艀装して風車完成
(いずれも提供：戸田建設(株))

風車は、鋼製の上部浮体を工場で作、岸壁のヤードに運搬し、コンクリート製の下部浮体と接合する。この円筒型の巨大な「浮き」を台船に載せて一旦、組立海域まで曳航する。次に大型の起重機船で浮体を

建て起こして海上に浮かべ、そこでタワー部やローターなどを艀装。完成した風車を更に設置海域まで曳航して係留チェーンで固定し、送電用の海底ケーブルを敷設する。浮体は海中で三本のアンカー付きチェーンにより定位置を保持している。戦後最大と言われた大型台風による波高一七メートルの高波、強風にも耐え、その安全性は証明されている。

「波間で揺れているペットボトルがなかなか海岸に漂着しない様子を見たことがありますか？『波

に流される』という言い方は厳密には正しくない。海面に浮いているものは風に促されて移動するんです。その海風を最大限に生かそうとするのがこの洋上風力発電です」と佐藤副事業部長が説明してくれた。最近、洋上風力発電研究の国際的権威であるIEC(国際電気標準会議)が日本における将来的な洋上風力発電のポテンシャルを試算し、その発電量は現在の洋上風力発電における電力使用量の九〇〇%に達するという報告もある。

これまで国内の風力発電は陸上の高い位置、山頂などに風車を立てる発想が主流だった。しかし資機材を運搬するには莫大な人力とコストがかかる。生活圏に近い陸上では設置場所に限界があり、風量もさほど大きくはない。その投資に見合った電力市場の存在も当時は未知数だった。佐藤副事業部長はこう言葉を継ぐ。「海上ならこうした課題もクリアできるのではないかと。日本は海に囲まれていて、その海面は風も豊かです。一〇年以上前からそう考えていましたが、なかなか研究、開発の手立てがなかつ

響を受けない理想的な形状なんです」と佐藤副事業部長は話す。それにしても巨大な海洋構造物。豊かな海風を受けて回るその雄姿に船上から目を見張った。

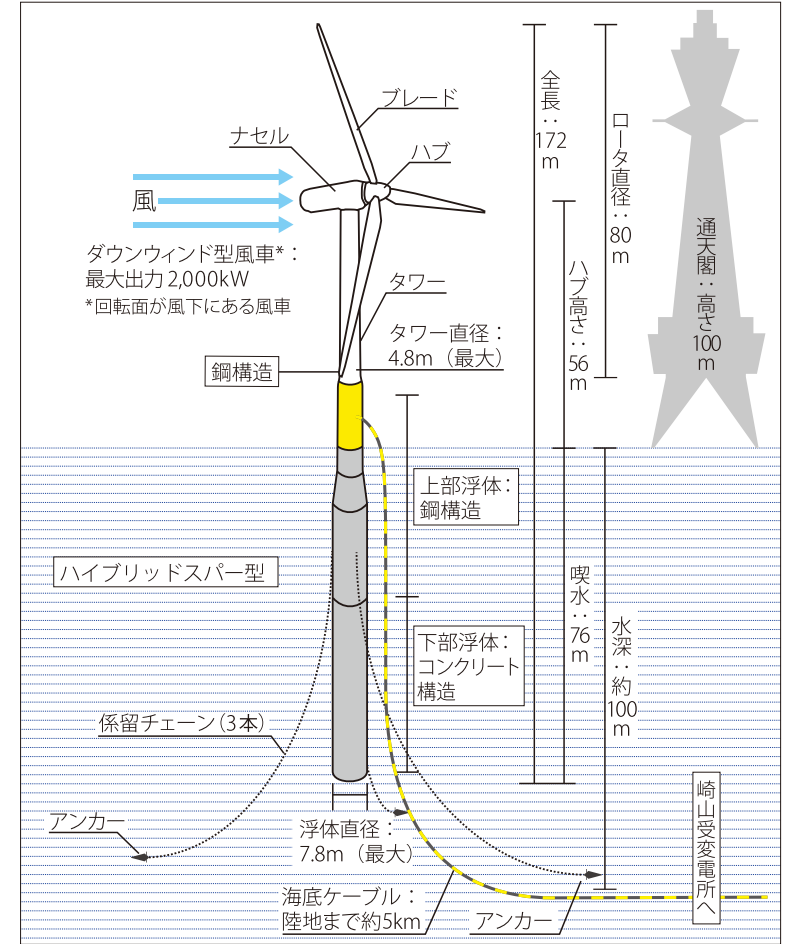
信念と期待を 追い風に回る風車

技術屋としてこの地域のために 何ができるか



戸田建設株式会社
戦略事業推進室 エネルギー事業部 副事業部長

佐藤 郁 Iku Sato



「はえんかぜ」の全体構成 (提供：戸田建設(株))

発電事業による地方創生のモデルケースになります」と北川室長は確かな手応えを感じている。

そして最後にこう付け加えてくれた。「五島の海は相変わらず美しいが、豊かな海とは言い難い。海藻類が枯れてしまう磯焼けが起これ、魚介類が減ってしまった。私が子どもだった頃のように磯で魚や貝を捕らえ、その場で味わうことができた『豊かな海』を後世に残したい。これもCO₂排出を抑制し、環境保全を可能とする洋上風力発電の大きな目的の一つなんです」。

海上にそびえる

一〇〇級級の発電タワー

五島の港から海上タクシーで「はえんかぜ」に向かった。強い潮風にあおられて波が高く、船体が上下に大きく揺れる。それでもこの巨大風車の生みの親の一人、戸田建設エネルギー事業部の佐藤郁副事業部長の言葉は止まらない。「釣りをする時に使う浮きのような構造です。ブレードの背後から風を受けて回るダウンウィンド型で、風揚げ

の要領で安定する。ブレードが海面に対して垂直方向を維持することで受風面積が最大になり、傾いたとしても、起き上がり小法師の原理でピタリと元に戻ることでできる」。遠浅の沿岸域が多い欧州では建設コストが低廉な着床式が主流だが、日本の多くの海岸域は水深が深く、浮体式が適していると言われている。目の前の海面からブレードの先端までを含め一〇〇級近い巨大風車がそびえていた。錘となる底部を水圧や錆に強いコンクリート、上部を強度のある鋼材で造った円筒状のハイブリッドスパー型風車だ。水中部を含め全高は一七二メートル、海中の円筒部直径は最大で七・八メートル、総重量は三、四〇〇トンに達する。釣りをする時に竿を振り、細長い浮きを池に投げ入れた時、それが水面にひよつこりと立ち上がる様を思い浮かべた。その浮きの先端に風車がついている構造だ。

「河川に架けられた橋を見ると、その橋脚は必ず川の流れを避けるように工夫した造りになっていますよね。この風車も海面に近い部分は細く造られている。最も風と波の影



写真右手から風を受ける「はえんかぜ」。風車のタワーは、ブレードが最大の風量を受けるよう海面に対し垂直を維持するよう傾斜する。浮体式風車の大きなメリットの1つだ。



戸田建設が2009年に初の実海域実験を行った際の1/10スケールの試験機（左）。2012年の1/2スケール、100kWの小規模試験機（右）は系統連系した国内初の浮体式洋上風力発電施設となった。（いずれも提供：戸田建設株）



福江港のフェリーターミナルに設置されている「はえんかぜ」の模型は、構造や形状を忠実に再現しており、来館者の注目を集めている。模型は国内外の展示会などにも「出張」しPRに役買っている。

月に1回ほど定期点検、保守にあたるため海面に近い浮体部に乗込施設が2ヵ所設けられている。側面に設置された航路標識灯には同じく浮体側面の太陽光パネルから電力を供給している。

の奨励特別賞を受賞するなど、多方面から高い評価を得ている。そして現在、戸田建設は福江島沖で最大一〇基の風車による二二メガワットの発電プロジェクトを計画している。佐藤副事業部長に今後の展開に向けた課題を聞いたところ「ハイドルは決して高くはない。技術的な問題、法的な規制などほとんどの課題は必ずクリアできる」と断言した後、少し間を置いてこう話してくれた。「あえて言うなら洋上風力発電に関わるプレーヤー、仲間を増やしていくことです。出資者が多ければ一〇〇基、一、〇〇〇基と整備することができます。コストも低減できるでしょう。そうすれば洋上風力発電は日本の主力電源になるポテンシャルを秘めています。今後は土木エンジニアとして『量産』に対応できるだけの体制を整え、日本のエネルギーを支える覚悟を持つことも必要になると感じています」。

洋上に浮かぶ数百の風車。佐藤副事業部長の話聞いてみると、そうした期待感も現実味を帯びてくる。地産地消の発電事業は地産外商を達成し、日本のエネルギー事情を大きく変える可能性がある。しかし、投下した資本を回収し、メンテナンスなどに費やす運転維持費用を売電収入で賄い続けることは容易ではない。加えて、そこで生まれた利潤を地域に還元する行政システムの構築など、課題は少なくないはずだ。だが、ゼネコンには建設を通して地元企業や市民と協力しながら地域ごとに最適なスキームを構築し、これを遂行し続けてきたノウハウがあると、佐藤副事業部長はこう話す。「ステークホルダーと実際に整備される施設、構造物の間に立ち、そこに付加価値を持たせて提案することが我々技術者の本懐です。土木は利潤の追求だけで成り立つ仕事ではありません。この事業に賛同してくださった地域とそこに暮らす皆さんにどう貢献できるか。耐用年数を迎える二〇年後、風車を撤去する時に『この風車を造って良かった』と言われるようなものになければ。その時、我々はここにいないかもしれませぬけれどね」。佐藤副事業部長はそう言いながら清々しい笑みを見せた。

た。そんな時に海洋構造物の研究者である京都大学の宇都宮智昭准教授（当時）に再会したんです。同じ考え、夢を抱く先生とともに共同研究を始めました」。研究開始当時は業務時間外の研究だったが、佐藤副事業部長の熱意が会社を動かし、ほどなくして戸田建設と京都大学の共同研究が動き始めた。二〇〇七年のことである。日本の発電は石油や石炭といった輸入資源に依存している現状があった。更に東日本大震災を目の当たりにして、再生可能エネルギーによる電力の安定供給が大きな貢献になると強く自覚したという。

か、多様な利害関係者との合意形成の難しさは容易に想像できた。しかし、その経緯を振り返りながら佐藤副事業部長はこう話す。「苦労は全く感じなかった。説明できることは必ず実現できるという信念がありました。議論が進むにつれ漁業者や商工会議所、そして行政の理解が深まり結末が強固になって、一つひとつ課題を共にクリアしてきました。その過程で洋上風力発電の可能性を感じていただけたのだと思います」。

「はえんかぜ」という名は幸福、幸運を運んでくる南風に由来するという。佐藤副事業部長の確固たる自覚、自信が周囲に共感の輪を広げ、大きな期待と海風を追い風に巨大な風車が回っている。

ゼネコンのノウハウを最大限に活かす

「はえんかぜ」は浮体の建造だけでも六〇社以上の企業が参画し、地域において四〇〇名以上の雇用を創出した。事業自体も環境大臣賞や、（一財）エンジニアリング協会



響灘の実証施設撤去作業。(提供:五洋建設株)



五洋建設株式会社
土木部門 船舶機械部 船舶企画グループ長
室田 恭宏 Yasuhiro Murota

自分で船を造り、
希代のプロジェクトに挑む

れた洋上に二基の風力発電施設を建設した実績がある。ハブの高さは基礎から約四〇㍑、ローター直径四七㍑の風車だ。単機発電能力六〇〇㍑ワットは当時として国内最大級。国内初の本格的な洋上風力発電施設として注目を集めた。「瀬棚での工事が当社の洋上風力発電のスタートでした。以来、この分野におけるパイオニアとしての自負があります。しかし、当時は専用のSEP船

もなく、自ずと施工は複雑な工程を踏むことになりました」と室田グループ長は振り返る。四本のレグを持つSEP船の上で、陸上で使用する移動式のクレーンを搭載して施工海域まで曳航する。風車の部材を積載するスペースや重量的な余裕がなかったことから運搬専用の台船を別途調達した。更に、これをハンドリングする船も必要になる。SEP船上には施工スタッフが常駐する施設がないため多くの職員、作業スタッフは小型の通船で陸の工事事務所と海の現場を往復した。二〇一三年に福岡県の北九州で行われた新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の実証事業では、響灘ひびの灘の沖合約一㍑の外洋で二基の洋上風車と観測塔の建設を担った。陸上からかなり離れた海域だ。通常の台船だと大きく揺れてしまうため、複数のSEP船を併用し、部材や機材は瀬取り(洋上で積み荷を船から船へ移すこと)をしながら施工した。予定していた工期を全うすることが非常に困難な状況で、社内でも施工体制、効率

世界市場における中古船の調達、海外企業との連携など様々な解決策を模索したが、欧州では洋上風力発電のプロジェクトが増加傾向にあり、出口はなかなか見えなかった。そこで今から四年ほど前に新造船の計画を決意する。国内での洋上風力発電に対する期待感には更に高まっており、将来の日本のマーケットを見据えた英断だったと室田グループ長はこう話す。「当社の歴史、文化が背景にあるのだと思います。自社で船を所有して、自分たちで施工する。半世紀以上前のスエズ運河改修工事にしても自社の浚渫船を造って乗り込んでい

無い船は新たに造る

的な作業船の開発などに向けた問題意識が高まったという。「欧州では一隻の作業船で施工現場まで部材を運搬、施工するスタイルが確立されていました。すべての工程をこなす船が既に主流になっていたんです。猛勉強を始めました。あらゆる可能性を探ったのもその頃です」と室田グループ長は話す。



海上にせり上がる「巨大ステージ」SEP船

建設会社各社で大型の洋上風力発電施設の建設を見据えた作業船の建造計画が進む。その先陣を切って国内最大、最先端の技術を搭載したSEP船が稼働を始めている。

実績と教訓から生まれた
巨大SEP船

二〇一八年十二月、かつてない大型クレーンを搭載したSEP型多目的起重機船が海洋土木業界にデビューした。五洋建設(株)のCP-8001だ。SEPとはSelf-Elevating Platformの略で、海上で自ら昇降可能なステージを持つ作業船だ。設計は欧州において同様の作業船の七割以上を手掛けるオランダのグスト(Guust MSC)社、クレーンはこれも欧州を代表するハウスマン(Huisman)社とタッグを組んだ。CP-8001の船体は長さ七三㍑、幅四〇㍑、国際総トン数七、四五六ト、主甲板面積は一、七五〇平方㍑に及ぶ。船上に最大吊能力八〇〇トクレーンを擁する国内初的大型クレーンを搭載したSEP船は自ら風車の部材を搭載、運搬し、海上での施設建設を一手に担う。

風車の基礎部を海底面に固定する着床式洋上風力発電の場合、計画される港湾区域の最大水深が三〇㍑であることから、SEP船の脚

部となるレグの長さは六六㍑。海水面から約三五㍑まで自らの船体を持ち上げることができる。更に深い一般海域での建設も想定し、レグの長さは八六㍑まで延長可能になっている。今後、活況が見込まれる洋上風力発電プロジェクトを見据え建造された。

「多様な施工に対応できるよう、あらゆる機能を備えた多目的SEP船ともいえますが、あくまでも洋上風力発電施設の建設を前提とした作業船です」と胸を張るのは五洋建設船舶機械部の室田恭宏船舶企画グループ長だ。CP-8001の設計から建造、運用までを引き受けてきた。

同社は二〇〇四年に北海道瀬棚町で、岸壁からおよそ七〇〇㍑離



(提供:五洋建設株)



クレーン施設からCP-8001の全景を望む。この巨大クレーン、ヘリポート、デッキ部の部材も詳細に検討し、軽量化を図った。

岸壁に係留されたCP-8001は作業船というより、海上要塞。海に浮かぶ工場の様相を呈している。最初に目につくのはやはり巨大なクレーンだ。設計上最も腐心したのは船体の自重をいかに軽量化して大型クレーンを搭載するかということだった。船が軽くなれば資材を積載する重量をより多く確保できる。ステップや床板を重量のある鋼材から、ガラスや炭素の繊維で強化したFRP素材などに変更して自重の軽量化を図った。ヘリコプターのデッキもアルミ製だ。子細な仕様や部材の変更により、クレーンそのものの軽量化も実現し、コンパクトで強力、センチ単位で駆動する高性能のクレーンを設置することができた。

グスト社が開発した船体を持ち上げるための連続式油圧ジャッキシステムも大きな特徴だ。従来のように船体の昇降操作を止めてジャッキのピンを挿し替える必要がなく、複数のピンの操作を自動的にずらしながら文字通り連続的に船体を上昇、降下させる。このシステムによって昇降時間を約四〇％短縮できた。

こうした最新鋭のシステムを擁するSEP船に乗り込むスタッフは若手の技術者が中心になった。「一五名の職員はほとんどが二〇代、三〇代です。やはり最先端の技術がふんだんに施されているため、正直なところ過去の知見が生かしくいという現実があります。若いスタッフがここで新たな経験を積み上げていくことで、新たな海洋土木を開拓していくのだと思います」と室田グループ長は複雑な表情を見せながらも自信をもってこう明かしてくれた。

室田グループ長は現在、シンガポールで新造船のプロジェクトも率いている。「二隻目の建造に向けた道は既に見えています。海外の造船企業による建造で、品質や工期に対する考え方が日本とは違う点もありますが、CP-8001の建造で得られた知見が大きな武器になる。洋上風力発電は一つの事業で結果を残すことができれば次々と広がっていくはず。その現場で活躍し、事業を牽引する作業船を世に送り出していきます」と、もう一度胸を張った。



連続式油圧ジャッキシステムは、4本のピンのうち常に3本でレグを昇降させ、残りの1本のピンが挿し替え作業を行うことで昇降を止める必要がない。

船の動きを制御するブリッジでは、船体の位置を維持するDPS（自動船位保持装置）をはじめ、船内に施されたあらゆる機器、センサーの運転状態を集中監視する。



120名のスタッフが長期滞在可能な居住施設。食堂、厨房はもちろんフィットネス室や女性専用の個室、更衣室も備える。最上階が作業船の頭脳ともいえるブリッジになっている。

室田グループ長に案内していただいたCP-8001は北九州での作業を終え、兵庫県相生市の造船所に係船し、次の工事の準備をしていた。「北九州の響灘での、実証事業で使用した海上施設を撤去する工事でした。海上構造物は建設よりも撤去において高度な技術が求められますが、予定通り一カ月半ほどで順調に完了することができました。グスト社のスタッフから『お前たちはいつも難しいことから仕事を始める』と笑われました」と室田グループ長も笑う。

洋上風力発電を牽引するSEP船

とから、申請をはじめ法律的な基準や事例も不明確な点が少なくなかった。認可が下りなければ国内で動かすことはできない。国土交通省や関係団体に何度も足を運び、既存法の解釈について研究を重ねた。建造着手から二年あまりを経てCP-8001は完成する。その間の室田グループ長の心理的プレッシャーは想像に難くない。

きました。先輩たちのそうした気概が今回のCP-8001建造の背景にもあると感じています」。かつて、日本の海洋土木会社は、アジアをはじめとする海外の施工現場で、最新の作業船、先端的な技術を駆使して施工にあたる欧州の同業他社に大きな刺激を受けたという。海洋でクリーンな電力を創出する。来るべき新たなエネルギー時代を自社の船、自国の技で担う。CP-8001はその強固な意志を体現している。

自社名義で建造する初めての大型SEP船である。設計はグスト

社と強固な連携体制を組むことから始まった。「正直なところ当初は一〇〇億円を超える船を手探りで造っている感覚がありました。グスト社は『ペンタオーシャン（五洋）』の名を知っており、一目置いてくれたんです。自国のオランダやベルギーの企業と比肩する日本の海洋土木会社の存在感に彼らにも伝播していたのだと思います。当社との初めてのコラボレーションとは思えないほど親身に技術的なサポートを尽くしてくれました」と室田グループ長は感謝の意を隠さない。

新しいスタイルの作業船であるこ

