

船舶海洋分野における今後の研究・開発の戦略

— 2030年、2050年に向けて —

公益社団法人 日本船舶海洋工学会

平成28年3月31日に開催された日本工学会会長懇談会において、他分野の学協会とともに研究・開発の戦略について議論する機会がありました。日本船舶海洋工学会理事会にて起草し、当日会長が発表した内容を、ここに転載します。

1. 船舶海洋分野の現状と課題

世界経済の拡大に伴い海上輸送量は継続して増大傾向にあり、今後も長期的には増加すると考えられる。日本ではアベノミクスによる円高是正により競争力が復活したことから2015年には新造船受注シェアが中国を抜いて第2位の29%となり、造船業が復活して来ている。また10年前の高齢化構造が改善し、造船業における20代から30代の割合が増加し若返ってきている。さらに、IT技術の進化による技術革新の機運が高まっており、船舶海洋分野においては技術イノベーションの実現に向けた動きが活発化して来ている。

一方、海洋開発では、日本は海外の海底油田・ガス田開発プロジェクトにおいて、FPSO事業等の特定分野で受注を獲得しているが、系統的な技術体系の構築は今後の課題である。加えて、近年の原油安により海外プロジェクトが打撃を受けて停滞している。国内での熱水鉱床の開発やメタンハイドレートの開発等を含め、この現況を打破するためには中長期的な研究・開発戦略を持つ必要がある。

2. 中期戦略（2030年に向けて）

【造船業・海運業の技術イノベーションに向けての研究開発】

IoTやビッグデータ等の利活用が進む中、船舶海洋分野においても積極的にこれらを活用した技術開発を加速する必要がある。造船業においては、シップヤードの生産性向上を目指した新たな設備やシステムの導入が進められているが、未だ船型開発から設計、建造、試運転までの一貫したシステムの構築にまでは至っていない。

日本の造船技術の国際競争力を維持するためには、欠けている要素技術を早急に研究・開発することが急務である。例えば、

- ・ CFDを用いた省エネ性能評価システムの確立による船型開発の迅速化、
- ・ 3D-CADデータの活用による現場組立作業の効率化と曲げや溶接等の加工工程の自動化、
- ・ AR技術、ICタグ、アシストスーツ等による現場作業支援等、

現在進行中の研究開発を加速して、一日も早く実用レベルで使える技術にまで高めると共に、3D-CADデータの標準化なども推進する必要がある。

一方、海運業においてはIoTやビッグデータを活用した船舶管理、運航管理が急速に進められている。いわゆるi-Shippingと呼ばれている動きである。船舶に種々のセンサーを取り付けてモニタリングすることは、これまで研究開発では行われてきたが、i-Shippingでは船舶の生涯を通じて

- ・ レーダー、ビデオカメラ、AIS 等のブリッジ情報、
- ・ 船体加速度や歪等の船体情報、
- ・ 主機・発電機の回転数や出力等の機関室情報

を収集することで、当該船舶の省エネ性能モニタリング、荒天航行時の安全管理、主機等の遠隔診断・メンテナンス等のきめ細かな船舶管理、運航管理を行う。

また、これらのデータを船陸間通信によりクラウド上にアップロード・蓄積・分析する仕組みも構築されつつあり、今後は航海機器メーカを巻き込んで非常に活発な研究開発が展開されると思われる。

i-Shipping の研究開発でも先行するアイデアを実現するために、まだ欠けている要素技術が多々あり、それらを早急に開発することが急務である。例えば、

- ・ レーダー、AIS、ビデオカメラ映像等を統合して周辺他船動向を認識する技術、
- ・ 衝突する可能性のある他船を識別し、人と同じレベルの操船判断を下せる AI 技術、
- ・ 主機の回転数、出力、トルク、燃料消費量等の情報を出波情報等と関連付けて監視する技術、
- ・ 実用的なレーダー波浪計の開発による海象計測とウェザールーティングとを組み合わせた船舶のパワーマネジメント技術、
- ・ クラウド上に蓄積したビックデータを分析し、有益な情報を抽出する技術等

が上げられる。

ビックデータの活用では、例えば

- ・ 個船毎のトンマイルあたりの燃費性能比較、
- ・ 船体表面汚損状況の定量的把握、
- ・ 個々の船舶が計測した周辺海域の波浪情報による海象予報の精度向上等

があるが、他にもアイデア次第で素晴らしい利用法を秘めている可能性があり、ビックデータを宝の山と出来るのかは知恵次第であろう。耐久性があるセンサー類の開発も地味ではあるが重要であろう。

i-Shipping の普及には建造費の増大に見合うメリットが必要であるため、環境面と安全面から種々のインセンティブの検討が必要で、パワーマネジメントによる燃費の削減、船体モニタリングによる疲労寿命の評価や荒天航行時の安全性向上等のメリットに加え、i-Shipping のレベルに応じた船舶の格付けと保険料への反映等の社会システムの構築も不可欠であろう。

技術イノベーションにより 2030 年頃までには i-Shipping は格段の進歩を遂げると推察できるが、造船所には

- ・ インテリジェントな航海機器を集積したスマートブリッジの開発、
- ・ 各種センサー類の設置、喫水トリム等に応じた船舶の推進・耐航・操縦性能 DB の提供、
- ・ モニタリング機能を備えた主機と発電機の搭載、
- ・ 船内隅々までの LAN 環境の構築等

が求められることになろう。造船業においても i-Shipping に対応するための技術開発が不可欠であり、いかに付加価値の高い船舶が建造できるかが競争力の鍵となろう。

【海洋工学におけるブレイクスルーの創出】

人類は陸域を、持続的資源利用可能範囲を超えて利用してきた。これにより地球温暖化や異常気象などの自然からのしっぺ返しを受けている。陸域の持続的利用可能量以上の利用は海域にも弊害を及ぼす。赤潮や青潮、海洋表層酸性化などである。一方海洋には食料、エネルギーなどの資源が豊富に存在するため、海洋の資源開発は、持続可能ラインを超えて利用している陸域への負荷を減らすことができる。特に深海には、熱水鉱床、メタンハイドレート、レアアースなどエネルギー・鉱物資源が存在し、その開発は新たな産業を興し、新たな雇用を生む。日本の排他的経済水域（EEZ）を対象にこれらの深海エネルギー・鉱物資源開発の技術を開発すれば、国益となるだけでなく、その技術をもってアジアやアフリカなどの途上国の経済発展に寄与することが可能となる。

2015年初夏、2030年の電源構成に関する政府案が発表され、再生可能エネルギーは22～24%とされ、ほぼ倍増となることが期待されている（火力発電は天然ガス・石炭・石油合わせて56%）。一方で政府は、同年11月のパリ国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）にて、2030年までに温室効果ガス排出量を2013年度比で26%削減すると宣言した。今世紀初頭から続く、地球温暖化とそれにまつわる自然災害の深刻化へのこのような危惧は、直接的・間接的に海洋再生可能エネルギー実用化への基盤となっている。

また2010年から数年間続いた原油価格高騰も海洋エネルギー推進に追い風となった。2008年に一時的でもバレル当たり140ドルを突破した原油価格は2009年に下落はあったものの、2010年から2014年途中までコンスタントに100ドルを超えて推移した。さらに、2011年の東日本大震災に伴う福島原発事故は、我が国のエネルギー政策の根本的変革を促した。これらが追い風となり、段階だった様々な海洋再生可能エネルギーの検討のうち、いくつかはより具体的な開発課題となり、実証実験フェーズへと進んでいる。

このうち福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業は、第1期（2011年～2014年）として、2MWのダウンウィンド型浮体式洋上風力発電設備1基、浮体式洋上サブステーション、大容量ライザーケーブルを設置し、浮体式洋上風力発電の事業性の検証を行っている。設置後2年目の稼働実績は、平均設備利用率30.4%であった。また第2期（2015年～2020年）として、5MWおよび7MWの浮体式洋上風力発電設備2基を新設し、大型化を図っている。

そのほか、2011年度から黒潮を対象として海中に水中タービンを係留し、海流を利用して発電する「水中浮体式の海流発電システム」に必要な要素技術を開発し、実海域実証実験を経て、将来の海流発電の実用化を目指すプロジェクトも開始されている。さらに2014年から5年間、潮流発電技術実用化推進事業が開始された。必要な要素技術の開発から始め、実海域実証試験を実施し、2018年までに実用化に向けた発電システムの確立を目指している。地元の漁業関係者などから合意が得られていることが条件で、発電設備は1基あたり出力500kW以上になるもので、国内の海域に広く適用できる仕様となる予定である。

これらの海洋再生可能エネルギーは、コストと安定供給がネックである。2030年までに実証実験を通じて、いかにこの両者が産業化に見合うだけのレベルを達成できるかがキーとなる。

海洋温度差発電（OTEC）は、2005年に佐賀大学に全国共同利用施設として海洋エネルギー研究セン

ターが設置され、発電出力の70%が正味出力として外部供給可能な新世代プラントが開発され小規模ながら OTEC 実験設備が整備された。更に 2013 年から沖縄県久米島に実海域実験用新世代 OTEC プラントが設置され試験運転を開始している。離島においては、電力の供給はディーゼル発電に依存しており、そのコストは内地の数倍である。電力供給を地先の海水のみで行えれば、CO₂や NO_x、SO_xを出さず、また深層と表層の温度差が常に一定の熱帯亜熱帯地方であれば、供給量も定常的・連続的であり、良質な電力を供給できる。今後は、経済的に表層と深層の温度差が 20°C以上必要な現状を、いかに打破できるかがポイントである。

2008 年から開始された JOGMEC の海底熱水鉱床開発プログラムでは、資源量探査、採鉱・揚鉱、選鉱・製錬、環境影響評価が実施されており、さらに 2017 年には、伊是名海穴の水深 1700m における採鉱・揚鉱実験および、採鉱活動の影響によってダメージを受けた生態系回復を調べる攪乱試験が予定されている。ただし、海底鉱物資源を経済的に開発するためには、いくつかの技術的ブレークスルーが必要である。特に、気象および海象悪条件下でも稼働可能な揚鉱設備によるシステム稼働日数の確保と、海底での鉱物選別による陸上投棄廃棄物量の削減が重要である。

また 2001 年から始まった「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」は、メタンハイドレート資源開発コンソーシアム（通称「MH21」）によって推進されている。2013 年 3 月の 6 日間、紀伊沖にて JAMSTEC の「ちきゅう」を使って海洋産出試験を実施し、出砂などの生産時の課題を明らかにした。現在、この対策技術の開発と共に、第 2 回海洋産出試験に向け準備中である。2008 年から始まっている MH21 のフェーズ 2（2015 年度まで）の開発課題は、海洋産出試験実施、海洋開発システム、生産手法高度化技術、生産挙動評価技術、地層特性評価技術、資源量評価、環境影響評価、経済性評価に関する研究があげられる。安定的なガス生産、経済性、環境影響評価がポイントとなる。

上述のように 2015 年発表の、2030 年度電源構成に関する政府案は、化石燃料の使用が依然 50%を超えている。その一方で、同年パリでの COP21 では、政府は 2030 年までに温室効果ガス排出量を 2013 年度比で 26%削減すると約束した。ここに、時代の過渡的な技術として、CO₂海域地中貯留の重要性がある。2016 年から苫小牧沖で、水深 200m 以浅の海底下数千 m の深部塩水層（帯水層）に超臨界状態の CO₂を注入する実証実験が実施される。しかし一方で、沿岸域での CO₂大量貯留実現に関しては、排出源と沿岸域貯留サイトを一对一で結ぶため、物理的に貯留が可能なサイトであっても、地元の社会的受容性など一筋縄ではいかないことも想定される。地元漁業関係者の受容性の問題になる可能性もある。そこで漏洩リスクが少なく、沿岸との距離も離れた大水深（水深 500 m 以上）の沖合での CO₂ハイドレート貯留等の検討が今後の課題であろう。

熱水鉱床からの貴金属（金、銀、銅など）や希金属（レアメタル：リチウム、イットチウムなど）類、海底土中のレアアース採掘については、現在資源量調査および調査技術開発の研究プロジェクトが走っている。地上の金、銀、銅などの主要金属資源は約 25 年で枯渇すると言われている。一方で海底鉱山の含有率は 1.5%~20%と高く、海洋の金属資源開発は、地上の数倍のコストまで低減できれば、一気に産業化に結び付く。

一方で、アメリカでのシェールガス生産が本格的に始動し、2012 年の天然ガス生産は世界の 1/3 となり、ロシアを抜いて世界一位になった。2013 年には日本向け輸出申請が認可され、テキサスに液化工場

が建設中である。ところが、安価なシェールガス・オイルに対抗して、サウジアラビアが石油増産に踏み切ったことを皮切りに、2014年後半から原油価格は下落に転じ、2015年は1年間を通してバレル40～60ドル程度の安値で推移した。これは我が国のメタンハイドレート開発はもとより、再生可能エネルギー開発や、さらには造船業にも影響を及ぼす。特に実業である造船は、例えばドリルシップなどの海洋開発用途の船舶の受注減や契約破棄が相次ぎ、中国やシンガポール、韓国でもドックが埋まらない状況となっている。2016年初頭には、原油価格下落の直撃を受け、そこに石油公社であるペトロブラスと政権内の汚職事件が重なったブラジルから、我が国の造船業、鉄鋼業などが撤退という運びとなった。メタンハイドレートや再生可能エネルギーは現在、国プロとして実証実験段階ではあるが、産業化を目指す海洋資源・エネルギー開発にとって原油価格の推移は重要である。

3. 長期戦略（2050年に向けて）

【造船業・海運業の長期戦略】

i-Shippingは2030年頃にはかなり普及し、運航支援では衝突・座礁の自動回避や荒天時航行支援等によるヒューマンエラーの防止が可能になり、新たな技術開発の段階を迎えると思われる。いわゆる自律運航が可能な船舶の開発である。昭和49年には57,000人近くいた日本人外航船員は今では2,000程に激減していることから、自律船の開発は自然な流れであろう。

EU域内でも船員数の激減は日本と同じで、MUNINやRevolt等の自律船開発プロジェクトが先行して進められており、Rolls Royceは2024年までに無人船を実現するとアナウンスしている。日本での自律船の開発は、EUの動向によっては2030年より前倒しする必要がある、今から長期戦略を検討しておかないといけない。

自律船の開発は、日本では外洋航行の自律化からスタートすると考えられる。

自律船では、船員の居住区画や厨房等の施設が不要である反面、完全に独立した主機と推進器2系統が必要になるなど、これまでの船舶とかなり異なる設計になるであろう。自律船に適した船型、推進器の検討、主機を含む推進プラントの検討、自律船に求められる操縦性能、停船性能等の要件、航海機器の要件、船陸間通信の要件等検討課題は山積しており、具体的に自律運航を行う船種、航路等が絞り込まれた時点で、試設計を行い具体的な課題を洗い出すことになる。

自律船は、最初は必ずしも無人船でなくてもよく、船員は通常時は操船から解放されて船内で監視作業、メンテナンス作業、事務作業等を実施し、異常があれば操船や修理等にあたることになると思われるが、技術開発の目標は外洋無人運航を目指すべきである。陸上からのリモートモニタリングや、リモートオペレーション技術の開発にも並行して取り組まないといけない。

【海洋工学における長期戦略】

2030年までの中期目標期間は、技術開発と実海域実証実験を経て、産業化の道筋が見えてくる。このころには陸上で採掘する原油のうち、経済的にペイするようなものはほぼ枯渇し、天然ガス価格がエネルギー市場を支配するようになると推測される。中東に代わって、シェールガス田やガス田（海底下含む）を持つアメリカ、中国、ロシア、ブラジル、インドネシアなどの国々による政治的な駆け引きも続

くであろう。2030年までの様々な実海域実証実験が成功すれば、2030年以降は、コスト競争に生き残った技術の産業化の時代である。産業化は新たな技術開発シーズを生み、それが新たな研究開発プロジェクトとなる。

再生可能エネルギー技術を進展普及させるためには、海洋に限らず、エネルギー保存技術の格段の進展が必須となる。二次電池の効率化・小型化および、水素やエタノールなど多様な媒体での蓄エネルギーなどの技術の高効率化が求められる。

海洋構造物のコストには浮体の割合が小さくない。浮体のコストを削減するには、素材の革命的变化が必須となる。いわゆる「百年浮体」である。あるいは構造物の「医療（メンテナンス、修復）技術」の進歩が「百年浮体」を成立させるかもしれない。これには実海域でのセンシング技術、大量データを取り扱うIT技術、その通信に欠かせない衛星とリモートセンシング技術、極限地域で作業するロボット技術などの進歩は欠かせないであろう。

また、大水深海域での浮体の位置保持技術も安全性、コストに大きく影響する。沖合ウィンドファームを構成する風車浮体同士の漂流や衝突は懸念事項の大きな項目である。深海係留技術、DPS（ダイナミックポジショニングシステム）技術の進展・普及は重要である。

環境影響はさらに国民の関心を呼ぶであろう。センサーと通信の発達により誰もが沖合や深海で起きていることを身近にモニタリングすることができるようになるため、適切で納得のいく環境影響評価なしに社会的受容はないといってよい時代となる。またデータ同化の寄与が大きくなり、予測シミュレーションの精度が格段に高まる（完全シミュレーション）。人間の活動は、生態系を含む環境を変化させるが、それが許容できるものであることが不可欠である。予測と観測により常に監視し、持続的利用可能ラインを守りながら、事業を進めていくこととなる。また生態系保全のため、遺伝子保存技術（遺伝子バンク）も必要となるかもしれない。人間活動を予定している現場の遺伝子を保存し、いつでも復活できるようにしておくことは一種の保険となる。

このように海洋工学は、他の工学分野を含む、海洋化学や農学、水産学、生命科学、地勢学など様々な学問領域と融合、もしくは連成していくことになる。このような人材育成もまた必要となるであろう。