

図3-1-2 砂層型メタンハイドレート開発の工程表（ロードマップ）
 （出典：『海洋エネルギー・鉱物資源開発計画（2019年改定）』）

施され、「第2回海洋産出試験実施」や「民間参入を促す仕組み作り」、「東部南海トラフで複数濃集帯候補の発見」などを新たな方針に挙げた。

満を持して行われた2017年の第2回海洋産出試験では、24日間で20万 Nm³と予定どおりにはガス生産量が伸びず、「生産の安定性阻害要因抽出と課題解決」などの課題を残した。その後、2018年に策定された第3期海洋基本計画では、「2023年～2027年に民間主導の商業化に向けたプロジェクトが開始されることを目指し、技術開発を実施する」とわずかながらも再度のトーンダウンがあり、続く2019年の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画改定では、2019年～2027年の長期的取組として、「オープンイノベーションによる生産量向上・コスト低減」、「周辺海域の資源量調査」、「商業化に必要な条件の検討」を新たに掲げた。

（2）第4期海洋基本計画に向けて

ここまでの取組みを俯瞰してみると、海洋産出試験は世界初であり、前人未到であった課題に果敢にチャレンジしたことは大いに評価されるべきである。これにより、出砂問題や予測を下回ったガス生産、逆に予測以上の水生産などの技術課題が抽出できたといえる。ただしこの間、中国は2017年と2020年に海洋産出試験を実施し、1か月連続で86万 Nm³のガスを生産しており、彼我の資金力の差はあるものの、技術力も先んじられた可能性がある。わが国においては、2023年度以降に予定されている第3回海洋産出試験での起死回生が望まれる。

一方で、2015年の方向性の確認と見直しで示された、「民間参入を促す仕組み作り」は重要である。これと相まって、2014年に日本メタンハイドレート調査（株）という、石油・天然ガス開発企業、エンジニアリング企業等の計11の民間企業のコンソーシアムが経済産業省の肝入りで設立されており、ある意味で技術開発の重要なアイテムとなる「オープンイノベーション」を実践する「仕組み」、あるいはプラットフォームができたといえる。海洋エネルギー・鉱物資源開発計画改定におけ

るロードマップ上ではすでに現実的な記述となっているものの、生産システムも輸送も技術成熟度（TRL：Technology Readiness Level）的には未熟であり、総合的な取組みに至っていない。まずは周知な準備を経て、第4期海洋基本計画期間中に第3回海洋産出試験を確実に成功させることが重要となる。そのためには、これまで実施した2回の海洋産出試験の課題を着実に克服することが求められるが、それには産官学のオールジャパン体制でのオープンイノベーションが肝要となる。これまでの海洋産出試験と同じ轍^(注4)を踏むことのないよう、民間との協働を真摯に進めることが求められる。



火力発電所

一方で、研究開発の中心となるMH21-S^(注5)のプロジェクト内に商業化に向けた検討チームができ、事業委託先の産学で検討が始まったことは期待できる。また、第2回海洋産出試験で生産量が予測どおりには上がらなかったことは、ひとえに予測技術のレベルに問題があったため、その高度化は中国との差別化にとっても重要となるだろう。さらに、メタンは石炭より少ないとはいえ二酸化炭素（CO₂）を排出するため、カーボンニュートラルへの対応が必要となる。これには後述のCO₂の分離・回収と貯留（CCS）との組合せが考えられる。単に火力発電にCCSを後付けするのではなく、むしろメタンハイドレート層にCO₂を圧入することで生産量を伸ばすことができるCCS-EOR^(注6)を目指すなど、コスト削減を図る工夫が求められる。

2 海底熱水鉱床

(1) これまでの施策

熱水鉱床開発においても、2009年の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画では「2018年に民間企業による商業化を促進する」としていたものを、2013年の第2期海洋基本計画で「2023年～2027年に民間参画の商業化を目指したプロジェクトが開始されるよう、既知鉱床の資源量評価、新規鉱床の発見と資源量把握、実海域実験を含めた採鉱・揚鉱技術開発、環境影響評価手法開発等を推進する」と、より現実的なロードマップが示され、また「技術的課題解決に有力な技術を有する民間企業も加えるなど、産業化に向けた検討推進する」としている。

続く2018年の第3期海洋基本計画では、「2023年～2027年以降に民間参画の商業化を目指したプロジェクトが開始されるよう、技術開発等を実施する」と時間軸をさらに後ろにシフトするとともに、「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の次世代海洋資源調査技術の活用も含め、資源量把握を実施する」とした^(注7)。

さらに2018年の課題の抽出・計画の見直しを経て、2019年の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画改定においては、「概略資源量5,000万トンレベル把握」や「商業化に必要な技術課題解決」などを遂行することにより、「2028年までに民間企業による商業化の可能性を追求する」とされた。

(2) 第4期海洋基本計画に向けて

第4期海洋基本計画策定を2023年に控え、2021年での現状を考えてみるに、沖縄

注4
第2回海洋産出試験のP3井は、第1回海洋産出試験で課題となった出砂で停止せざるを得なくなり、P2井へ移動した経緯がある。

注5
経済産業省資源エネルギー庁から委託を受けた「砂層型メタンハイドレートの研究開発事業」を適切、円滑かつ効果的に実施するため、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構・(国研)産業技術総合研究所・日本メタンハイドレート調査隊の3法人が組織するコンソーシアム。

注6
Enhanced Oil Recovery。但しメタンハイドレートの場合はoilではなくgas。

注7
戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）は、総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）が司令塔機能を發揮して、府省の枠や旧来の分野を超えたマネジメントにより、科学技術イノベーション実現のために2014年に創設した国家プロジェクトで、「強力でリードするプログラムディレクターを中心に産学官連携を図り、基礎研究から実用化・事業化、すなわち出口までを見据えて一貫通貫で研究開発を推進」することを目標とし、産業化のために民間の力を活用するとして第2期海洋基本計画を、さらに進める枠組みに変えていることに留意されたい。

注8
さらに、2018年の海底熱水鉱床開発総合評価結果で明示した、「経済性を見出しうる条件」を適用すると、把握量は実質ゼロということになる(本章第2節参照)。

海域の Hakurei サイトで740万トンと、経済性が見込める概略資源量5,000万トンレベルの把握には至っていない^(注8)。しかし、そもそも資源の「発見」に対し数値目標を設定することに不条理感は否めない。「商業化」の年限を決めて目標とし、「商業化」に必要な「発見」や「イノベーション」までを目的化してしまう、これまでのわが国の科学技術に対する姿勢を、15年にわたる基礎科学軽視の風潮とあわせて見直す時期に来ていると思われる。ロードマップは年々トーンダウンしたように捉えられるが、上述のノーチラス・ミネラルズ社の経営破綻が如実に物語る市場の厳しさを鑑みれば、現状を再認識し、より現実的な方向性を探ることになった点をむしろ評価する必要がある。

たとえば、電気自動車での銅使用量は既存の自動車の約4倍ともいわれており、銅やニッケルをはじめとした熱水鉱床から得られる金属資源は、カーボンニュートラルで大幅な需要増が見込まれる。また、過去にはニッケル鉱石の輸出国であるインドネシアが禁輸した事例もあり、供給や価格は資源ナショナリズムの動きに左右されがちである。そのため、将来に熱水鉱床から得られる金属資源を利用できるよう、その資源量調査を続行することは必須である。高品位資源の調査や、開発に係る国際ルールの策定、資源開発技術(採鉱・揚鉱・選鉱・製錬、環境影響評価)のコストダウンには、国主導のコンソーシアムを含む民間が担うという役割分担を基盤としたオールジャパン体制でのオープンイノベーションが重要となる。そのためプラットフォーム作りも必要となる。

3 コバルトリッチクラスト

(1) これまでの施策

コバルトリッチクラストは、2013年の第2期海洋基本計画で「資源量調査と生産関連技術について、国際海底機構(ISA)が定めた探査規則を踏まえつつ調査研究に取り組む。特に海底熱水鉱床の取組みの成果も踏まえ、具体的な開発計画を策定する」とされ、より具体的には2018年の第3期海洋基本計画で「ISAの規則に定められた期限までに鉱区の絞り込みを行う」、「採鉱及び揚鉱等の要素技術の検討を行うとともに採鉱システム及び揚鉱システムの概念設計の検討を行う」とされた。

2018年の課題の抽出・計画の見直しを受け、2019年の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画改定では、「2028年末までに、資源量評価、採鉱・揚鉱・選鉱・製錬の技術開発を総合的に評価・検証し、民間企業による商業化の可能性を追求する」とされ、「資源量調査：ISAとの探査規則に基づき2021年に第1次絞り込みを行い、2023年12月までに鉱区を最終的に絞り込む。大陸棚については、南鳥島周辺の拓洋第5海山のポテンシャルを評価する」ほか、採鉱・揚鉱・選鉱・製錬の各技術の実証実験の実施、「環境影響評価：南鳥島沖の大陸棚で掘削性能確認試験に係る環境影響を評価、事後モニタリングを実施する。ISA鉱区では海域全体の環境特性の把握に向け環境基礎を調査し、ISAの地域環境管理計画等、国際的なルール作りに貢献する」としている。

(2) 第4期海洋基本計画に向けて

上述のロードマップについては、2028年末までに追求するのは「商業化の可能性」とすることで、ある意味適切なものとなっている。また海洋エネルギー・鉱物資源開発計画改定で挙げられた実施項目も適切なものと評価できる。そのなかで2020年

に南鳥島沖水深900mでコバルトリッチクラスト採鉱に成功し、コバルト88年分、ニッケル12年分の賦存量推定ができたことは、次につながる特筆すべきニュースであったといえる。

リチウムイオン電池の正極となるコバルトは、今後のカーボンニュートラルによって需要の増加が見込まれる。こちらも熱水鉱床と同様、採鉱・揚鉱、選鉱・製錬、環境影響評価の技術開発の低コスト化を行うため、民間が主体となるオープンイノベーション体制の確立が必要となる。一方で国は規制緩和や促進に関する法整備、国際ルール策定を担当することになるだろう。

4 レアアース泥

(1) これまでの施策

レアアース泥は2013年の第2期海洋基本計画から取り上げられるようになり、「将来の資源としてのポテンシャルを検討するための基礎的な科学調査・研究に取り組む。2013年～2015年で概略資源量・賦存量調査を実施し、将来の開発・生産を念頭に広範な技術分野の調査・研究を実施する」とされた。より具体的になるのは2018年の第3期海洋基本計画からで、「将来の開発・生産を念頭に各府省連携の推進体制の下で、SIP 2^(注9)「革新的深海資源調査技術」において、賦存量の調査・分析を行うとともに、広く海洋鉱物資源に活用可能な水深2,000m以深の海洋資源調査技術、生産技術等の開発・実証のなかで取組みを進める」とされ、続く2019年の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画改定にて、「わが国周辺海域のレアアース泥が資源として開発できる可能性が示されれば、安定供給に寄与し、再生可能エネルギー等の先端産業分野の国際競争力の確保や新用途・産業分野の創出にも貢献できる。現状では濃集帯の分布状況が不明、高粘度特性や5,000mを超える深海底からの採泥・揚泥技術が未確立、環境影響の及ぶ範囲等が不明など、多くの課題がある」としたうえで、「今後は、基本計画に従い、将来の開発・生産を念頭に、各府省連携の推進体制の下で、SIP 2において賦存量の調査・分析を行うとともに、広く海洋鉱物資源に活用可能な水深2,000m以深の海洋資源調査技術、生産技術等の開発・実証の中で取組を進める」とされた。

そして2018年度から始まったSIP 2「革新的深海資源調査技術」では、「レアアース泥を含む海洋鉱物資源の賦存量の調査・分析」、「深海AUV複数運用技術、深海ターミナル技術」、「レアアース泥の採泥・揚泥技術」、「深海資源調査・開発システムの実証」という4つの柱を立て、それぞれについて着実な進捗が図られているように見受けられる。特に賦存量把握については、数字は非公表ながら将来の商業化に必要な概略資源量レベルまでが確認できたことは意義深い。

(2) 第4期海洋基本計画に向けて

第4期海洋基本計画に向けた課題としては、コロナ禍で機材の納品遅れが生じ、その影響で予定より計画が遅れている3,000m水深域での揚泥性能確認試験を成功させることが挙げられる。さらにその結果を受けて水深6,000mからのレアアース泥回収能力をシミュレーションで確認することなども挙げられる。今後、4つの柱の残りの3つの技術開発は、レアアース泥に限らずさまざまな深海開発技術の商業化に資することが期待される。これらの技術開発を確実に達成し、SIP 2の後継となるSIP 3において実際に6,000mからの回収という課題に果敢にチャレンジして

注9
2014年に創設された戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の後継となる第2期のプログラム。

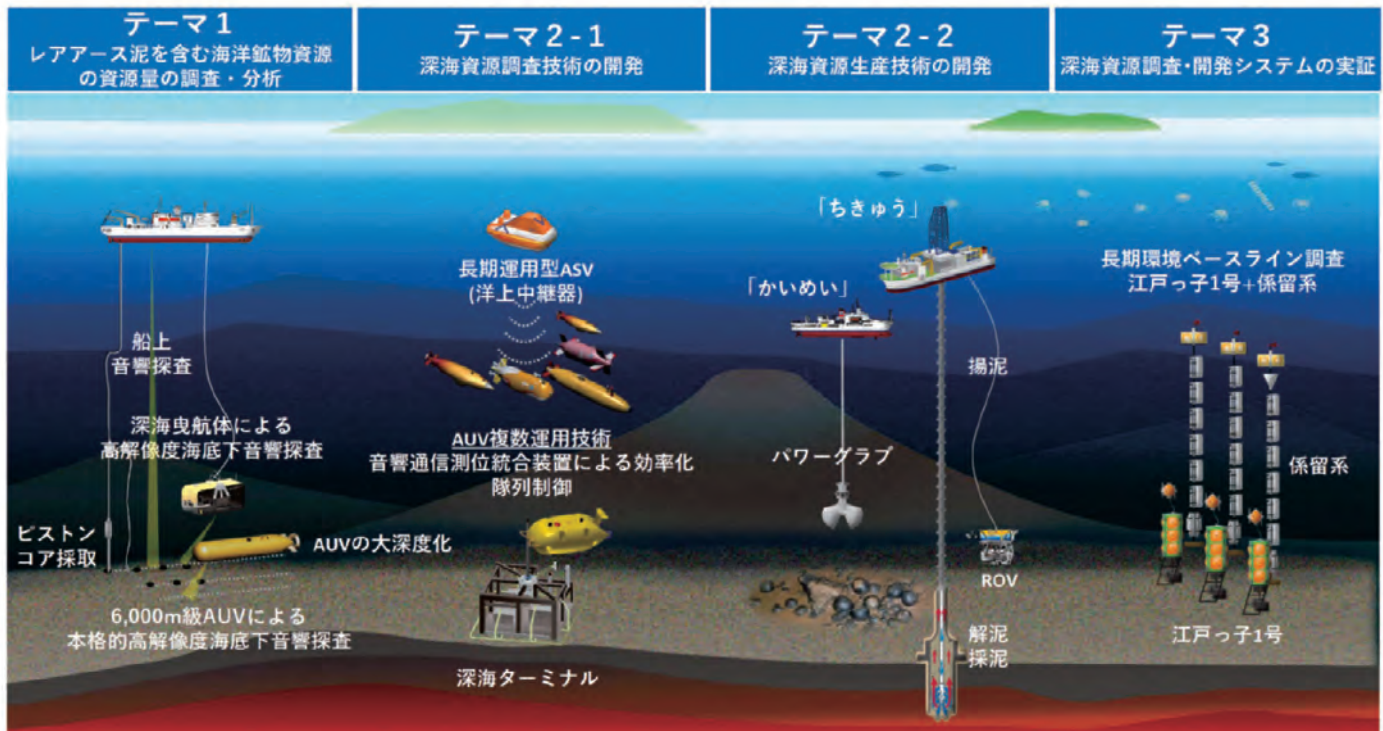


図3-1-3 SIP 2「革新的深海資源調査技術」の計画概要
(提供：SIP 革新的深海資源調査技術)

ほしい。

5 洋上風力発電

(1) これまでの施策

技術開発や普及において周回遅れとなった日本の着床式洋上風力発電は、2050年カーボンニュートラルの切り札として大いに着目され、風車自体は海外技術に依存することになるものの、地域のサプライチェーンの構築が地方経済活性化に資することが期待されている。ここではまず、なぜ周回遅れとなったのかを振り返りたい。「設置コストの低減、耐久性の向上のための技術的課題とともに、環境への影響を評価する手法の確立等に取り組む」といった、いわば応援演説的だった2008年の第1期海洋基本計画に続き、2013年の第2期海洋基本計画では、「洋上風力発電の早期の実用化・導入拡大や海洋エネルギー発電の要素技術の確立・実証を通じた実用化を推進」を謳い、銚子沖および北九州沖、長崎県沖(浮体式)福島県沖(浮体式ファーム)の各種実証研究を実施し、さらに「浮体式洋上風力発電施設について、2013年までに安全ガイドラインを策定するとともに国際標準化策定を主導する」とした。安全ガイドライン策定は2020年となったものの、ほぼ上述のとおり実施された。しかしその間、欧州では水深の浅い北海にて着床式が商用化され、風車の大型化、ファームの大規模化が進み、ついにはその発電コストは10円/kWhを切るに至った。日本が本気で洋上風力発電を顧みたのは、2020年の菅義偉内閣総理大臣による2050年カーボンニュートラル宣言を待たねばならなかった。

ただしその間もわが国は手をこまねいていたわけではなく、法整備や実証研究は進んだ。特に前者に関して、2019年に「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(再エネ海域利用法)」を制定し、これに基づ

いて海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域に係る公募を実施した。この結果、2021年9月時点での指定数は、促進区域6（五島市(浮体式)、由利本荘市北側、南側、銚子市、能代市・三種町・男鹿市、八峰町・能代市）、有望区域7、準備区域10となっている。



洋上風力発電

民間の活用というオープンイノベーションの点では、2020年に「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」が設立され、洋上風力発電の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップが提示された意義は大きい。それによると、着床式と浮体式を併せて2030年に100万 kW、2040年に3000万～4500万 kW を導入し、コストは8～9円/kWh を目指すとしている。ただし、現状では浮体式についての具体性は乏しく、2030年前後の商用化につなげるために、風車・浮体・ケーブル等を一体とした実海域実証試験を2025年前後に実施するという程度にとどまっている。

(2) 第4期海洋基本計画に向けて

まず着床式は、官民協議会の掲げたロードマップに従って着実に進めていく必要がある、そのためにもサプライチェーンや法制度、ガイドライン、港湾、作業船、海中送電網などを整備することは重要である。これが地方創成にもつながっていく。一方で、電源システムの確保と海域利用の調整が今後の課題となる。実際に、前述の再エネ海域利用法のもとでの準備区域（2020年時点）であった北海道の2区域について、既存の太陽光発電や陸上風力発電により北海道内の電力ネットワークの空き容量が無いということと地元漁業者との調整がネックとなり、2021年の有望区域への格上げは見送られている。

電気システムについては、2022年1月に、岸田総理大臣が2兆円をかけて再生エネルギーの普及のための送電網整備を打ち出している。このことは、発電拠点が地方に多く、発電量の変動の大きな洋上風力の普及に大きく資することになる^(注10)。

海域利用調整の課題については、ステークホルダー間、特に漁業者との調整が重要である。再エネ促進区域に係る公募には、ステークホルダーの協議会設置が条件となっている。漁業者もその多くは地球温暖化の問題を真剣に考え、地元の協議会に積極的に参加している模様である。そこでこれからは単なる漁業調整ではなく、漁業との共生、あるいはさらに一歩進めて漁業との共栄として考えられないだろうか。そのひとつの可能性として挙げられるのがデータサイエンスの共有利用である。地元海域の気象、海象データから始まって、水温、塩分、溶存酸素量や栄養塩の空間分布、さらにそれらを使った魚類の空間分布のシミュレーション結果までデータ化し、共有することで漁業も成長産業化させることが可能になると考えられる。

一方で、広大な面積と安定した風環境のある沖合 EEZ への進出は必然であり、そのために肝心なのは浮体式の推進であり、国はこのための施策の構築を急ぐ必要がある。現在の再エネ海域利用法の空間的範囲は領海内のみであるため、まずこれを EEZ に拡大する必要がある。そのための法整備は急務である。欧州や韓国の風車メーカーや浮体メーカーが日本市場を虎視眈々と狙っている現況において、着床式では周回遅れの日本としては、まだ勝負できる可能性の残る浮体式において国内

注10
送電網を実質独占管理する地域ごとの大手電力会社が発電量の変動を気にせずに、大きな範囲で電力を融通することができ、再生可能エネルギーへ送電網の割当てを増やすことが可能となる。

注11
Carbon dioxide Capture
and Storage

産業化を推進すべきである。国内企業を動かすためにも、浮体式洋上風力発電の導入目標を明確化することが強く求められている。2022年1月には、スコットランド沖の浮体式ウィンドファームを日本の商社が、英電力大手やデンマークの投資会社と連合を組んで落札した（10GWのうち2.6GW分）。いつまでも浮体式は予見性がないと言ってばかりはられない状況になったようだ。

6 二酸化炭素（CO₂）の分離・回収と貯留（CCS^{注11}）

（1）これまでの施策

2013年の第2期海洋基本計画で、「海底下二酸化炭素回収貯留の調査・取組を推進する」という掛け声だけだったCCSも、2012年から2014年にかけての苫小牧沖における実証実験の成功を受け、2050年カーボンニュートラルを支える技術のひとつとして大きく取り上げられるようになった。2018年の第3期海洋基本計画には、「事業者が円滑に事業を実施できる制度の下、技術の確立及びコストの低減に向けた（中略）技術開発及び実証を着実に進める」、「関係省庁は貯留適地の確保に努める」、「社会的受容性を獲得するため、関係省庁・事業者等は社会的認知向上に取り組む」、「海外市場の獲得も視野に入れながら国際展開に取り組む」、「日本近海における生態系並びに海水及び底質の科学的特性の調査を実施するとともに、適切な事業実施に向けた監視技術の適用方策について検討する」などを盛り込んでいる。

これらは着実に実行されつつあり、2022年1月に（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）は「CCS事業実施のための推奨作業指針（CCSガイドライン）」の案のパブリックコメントを行った。また、適地確保には至っていないものの、経済産業省と環境省による適地調査事業は2014年から行われている。国際展開については、経済産業省は、2021年にアジア全域でのCCUS^{注12}活用に向けた知見の共有や事業環境整備を目指す国際的な産学官プラットフォーム「アジアCCUSネットワーク」を立ち上げた。さらに、環境省は2006年に「海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律（海洋汚染防止法）」にCO₂海底下貯留を追加した後、「特定二酸化炭素ガスの海底下廃棄の許可等に関する省令」により、継続的に海域調査を実施している。

注12
「CCUS」は、「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」の略で、分離・貯留したCO₂の利用（Utilization）を含む。

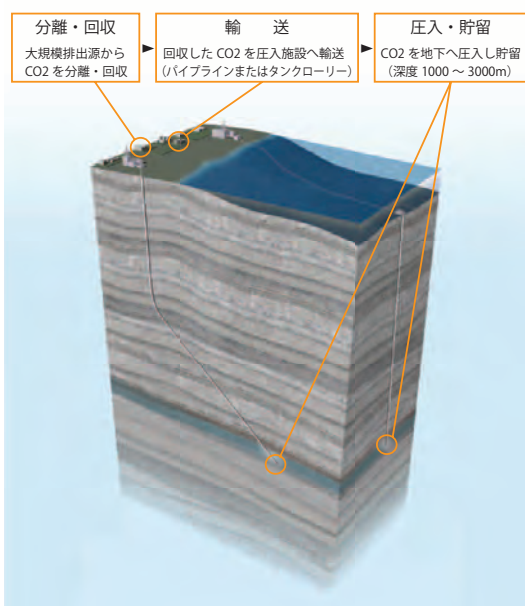


図3-2-4 CCSの概念図(沿岸から海底下にCO₂貯留の場合)
(出典：日本CCS調査(株))

（2）第4期海洋基本計画に向けて

CCSの今後の課題として、コスト低減、貯留キャパシティー（貯留能力）の確保、社会的受容性の獲得の3点が挙げられる。コストについては、石炭火力の発電コストを12.3円/kWhとすると、パイプラインを使ったCCSのコストが7,900円/トンであれば、kWhあたりのCCSのコストは6.3円となり、計18.6円/kWhとなる。水力発電や原子力発電の約10円/kWhに比べると割高感は否めないものの、石油発電の30.6円/kWh、陸上風力発電

の21.6円/kWh、メガソーラーの24.2円/kWhとは十分対抗し得る^(注13)。

一方で洋上風力が2040年に10円/kWhを切る目標を掲げていることを考えれば、さらなるコストダウンは必須で、そのためには全コストの60%を占める分離・回収技術のコストダウンが重要なポイントになる。CO₂を選択的に透過させる膜分離法など、新たな技術のイノベーションに期待したい^(注14)。

貯留キャパシティーについては、現在石炭火力からのCO₂排出量が約2億トンであることから、これが段階的に減っていくとして、年間数千万トン、少なくとも1千万トンの海底下貯留が必要となる。経済産業省による苫小牧沖での実証実験では年間10万トンの貯留レートであったが、ノルウェー近海のスライプナーでは1996年から年100万トン規模で貯留し続けており、日本の貯留適地でも同等の貯留レートが可能と仮定すると、数十か所の貯留サイトが必要となる。物理的貯留キャパシティーは、沿岸域で1,000億トン規模、沖合でも同等以上という試算もある。ただしCCSが洋上風力以上に地域の社会的受容性が問題になるとすれば、物理的に貯留適地であっても社会的に貯留できないケースも起こり得る。そこで陸上からパイプラインで岸に近い海底下に貯留する苫小牧の方式ではなく、沖合の洋上施設から海底下への貯留も十分考える必要がある。水深によってはCO₂ハイドレートが形成されるため、ハイドレート状のCO₂貯留も期待できる。また海外との連携も重要で、日本が海外のCCS事業に協力すれば、二国間クレジット制度を活用して一定量のCO₂を日本の削減量としてカウントすることができる。さらにCO₂を越境させて海外で貯留することもロンドン条約で2019年に暫定的に承認されており、視野に入る。

一方で、社会的受容性の獲得に関する進捗はほとんど見られていない。2020年の2050年カーボンニュートラル宣言以降、さまざまなメディアでCCSという言葉を目にする機会は増えたものの、まだまだ一般社会への浸透は不足している。特に、実証実験により開発したモニタリング技術を駆使した環境影響評価を進め、これを踏まえてアウトリーチ活動を推進することが肝要である。また地元の受容性としては、海洋再エネ促進区域に倣った協議会を作ることも重要となる。

3 第4期海洋基本計画における海洋科学技術のあり方（横串）

民間の自由な参入を促して、縦串である個別の技術開発が産業化と商業化の間の「死の谷」に落ち込むことを防ぐためには、縦串を支える情報インフラ整備、促進法や規制緩和などの法整備、海洋空間計画に基づく海域利用の合意形成、人材育成の仕組み作りなどの横串、すなわち海洋産業のインフラ整備が必須となる。以下では各横串につき、課題と今後の進め方を考えてみる。

1 人材育成、人材確保

2015年に安倍内閣総理大臣（当時）は「2030年までに海洋開発技術者数を現在の2,000人から1万人へ増やす」と表明した。仮に1万人を、25歳から60歳までの35年で割ると1学年285人となる。日本の大学にかつて船舶工学科は8つあった。これらが将来、洋上風力工学科に変わるかどうかは置いておくとして、これに海洋土木や機械系を加え、学科換算で20あるとすると、1学科15人程度を海事産業に輩出する勘定になる。これを、定員内なので問題ないとするのは大きな間違いである。

注13

CO₂船舶輸送や浮体設備などで10,000円/トンとなってもCCS-readyの石炭火力は約20円/kWhであり、桁が変わるわけではない。

注14

ただし、CCSはCO₂という廃棄物の処理であるため、利益追求型のビジネスとは異なり、公共投資は必要である。電力料金に課するだけでなく、カーボンプライシングによる資金投入も必要であろう。

注15

中国の浙江大学では、2009年に、新しく作った舟山キャンパスに海洋関連の理学系と工学系の学部、学科を集め、海洋学院を作った。そのなかで海洋情報学部が学生の人気が高く、卒業生の多くは海洋と関係がない情報産業へ就職すると聞く。逆に考えれば、情報産業に就職したいが、情報工学系の学科に行けない学生が海洋情報学科に入学するともいえる。

注16

川辺みどり、妻小波、日高健、新たな界面利用開発に対する漁業者の受容過程とその要因分析—福島沖浮体式洋上風力発電実証事業をめぐる一、沿岸域学会誌30 (2017) 101-112

注17

合意形成の場として、「ワイガヤ協議会」を提案する。洋上風力発電では海域再エネ促進区域に係る公募の応募条件に協議会の設置がある。この協議会を洋上風力などのある特定の技術に対してではなく、さまざまな海洋利用産業に関する恒常的な海洋利活用協議会とし、各種産業の勉強会も兼ねた、結論を急ぐことのない、多様なステークホルダーが継続的に集まった、「ワイガヤ」的会合とすることが望まれる。

日本の少子化を考えると、人材育成もさることながら、その前に人材の奪い合いになることは必至である。大学の船舶海洋工学関連の学科や専攻での就職先を見ると、その人気はシンクタンク・商社・コンサルに次いで、造船を含むメーカーとなることが多いようだ。そういうところで海事産業が勝てるのかということが問題であり、さらにこれからIT産業やデータ産業が大きな競争相手として出てくると、残念ながらこれは勝負にならない^(注15)。

海事産業がデータ産業に就職人気で勝つことが難しいとすれば、海事産業がデータ産業と一体化するしかないであろう。そのためにもカリキュラムを変えるなど大学の改革は非常に重要で、これにより学生たちを海洋工学に引き入れ、海事産業に人材を輩出するというシステムを構築することが重要となる。これを他業種に後れを取ることなく進めることが求められる。

また、社会人のリカレント教育も重要である。これから大学で人材輩出するのは2030年には間に合わない。カーボンニュートラルやデジタルトランスフォーメーション(DX)で産業構造が大きく変革すると、他の産業から余剰人材が出るかもしれない。そういった技術者を再教育して、海洋産業で迎え入れることが必要となる。大学でのオンラインを活用したリカレント教育が重要な意味を持つことが推測される。

2 海域利用の調整振興（日本独自の海洋空間計画）

東日本大震災からの復興事業の一環として行われた福島沖の浮体式洋上風力実証実験の例は典型的である。川辺ら^(注16)によると、福島では、漁協への正式説明の前のマスコミによるリークが漁協との信頼関係を損ない、また当該海域での賛成派漁協と反対派漁協の分裂などにより交渉は難航した。そこで自治体が協議会を設置することで、漁業従事者を含む各種ステークホルダーの意見発信の場が提供され、さらに社会的受容性の専門家による粘り強い交渉によって、実証プロジェクト終了後の撤去を条件に承認を得たという経緯がある。

洋上風力や海底資源開発、CCSなど、第4期海洋基本計画において確実に取り上げるべきあらゆる海洋産業において課題となる沿岸域の海域利用は、漁業のみならず航路や港湾施設、防衛、レジャー、海洋保護区などとの共生を意味する。その管理手法は、海域ゾーニングと合意形成を両頭とした海洋空間計画と呼ばれている。海外の例で良く見られる地図上の区画整理的なゾーニングは恐らく日本の海域利用にはそぐわず、漁業も含めた各産業の発展を前提とした共栄が肝心である。そのため時空にまたがり、オーバーラップも許容するゾーニングなど、日本にふさわしい海域利用のあり方について議論していく必要がある^(注17)。

EEZを利用するには、ステークホルダーが複数県にまたがるなど広域にわたる。石油ガス開発やメタンハイドレートの海洋産出試験では、複数の県漁協を通じて当該海域の関連する漁協に声掛けして時期や海域を細かく説明することで、大きな困難もなく協議ができたと聞く。広域ゆえに関連漁協を特定することに多少の手間がかかるものの、共同漁業権のある沿岸と比べて沖合での調整は特に難しいわけではないようである。とはいえ、EEZの利用には海域調整は必須であり、法の整備や送電、水素輸送などといったインフラ整備とともに重要な課題として考えていく必要がある。

3 海のデジタルトランスフォーメーション (DX)

AIをはじめ、データサイエンスの近年の進展には目を見張るものがあり、海のデータは、新たな産業基盤となり得る。ベンチャーやスタートアップにとって、ほぼ手付かずの素材の宝庫といえる。国家的なDX推進政策に相まって、第6期科学技術イノベーションで推奨されたイノベーションエコシステムの構築を核に「海のDX」を世界に先駆けて促進することで新たな産業が生まれ、GAF^(注18)のようにそれが国家を支えるほどの規模に成長する可能性がある。すでに国際海運や養殖を含む水産業などで、衛星情報や海象・環境データ、数値シミュレーションをベースとしたデータサイエンスを活用した若い産業が勃興しつつある。

そのために「海のDX」の基軸となる情報インフラ整備は重要である。情報インフラ整備には、データを取る、送る、まとめる、使うという段階における科学技術イノベーションへの期待が大きい。日本の海洋データ産業をさらに発展させるためにどのようなインフラ(法整備や国の投資)があったらよいか、あるべきかにつき、今後、社会の要請を注意深く読み取り、適切な施策へ結びつけていく必要がある。

4 おわりに

2021年12月に開催された第61回総合海洋政策本部参与会議にて、田中明彦座長から「経済安全保障をめぐるいくつかの論点について」という資料^(注19)が提出されている。そのなかで、経済安全保障を実現する手段には、「わが国の国民生活及び社会経済活動の維持に不可欠な基盤を強靱化することにより、いかなる状況の下でも他国に過度に依存することなく、国民生活と正常な経済運営というわが国の安全保障の目的を実現すること」という戦略的自立性と、「国際社会全体の産業構造の中で、わが国の存在が国際社会にとって不可欠であるような分野を戦略的に拡大していくことにより、わが国の長期的・持続的な繁栄及び国家安全保障を確保すること」という戦略的不可欠性があることとしたうえで、「各省庁の現在実施している施策がすべて経済安全保障で正当化されないか」、「政策決定者のペットプロジェクトのみが重視されないか」、「戦略的不可欠性を到底持ち得ない技術への無駄な投資が行われないか」という問題提起が行われた。海洋産業振興が、その目的から近い将来の商業化を外さざるを得なくなった場合、経済安全保障を盾にペットプロジェクトに落ち込みはしないか、戦略的自立性と戦略的不可欠性について慎重に考える必要がある。

カーボンニュートラル、DXといった国家の浮沈を決定するほどの産業構造の大変革を迎えるこの10年は非常に重要な時期となる。日本の科学技術力強化のためには、常にエマージング(新興の)テクノロジーに対する鋭敏な感覚を持ち、さらなる技術革新への挑戦を怠ってはならない。海洋産業は、この動きに乗り遅れることなく、むしろフロンティアとしてその先端を走ることができれば、他産業に技術のスピナウトができるような一大基幹産業となる可能性を秘めている。

(佐藤 徹)

注18

「Google」「Amazon」「Facebook(現Meta)」「Apple」の4つの会社の頭文字を取った言葉。世界的な巨大IT企業であり、ITを活用したサービスのためのインフラを提供している。

注19

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/sanyo/dai61/61index.html>

コラム 06 無人運航船プロジェクト「MEGURI2040」

現在、日本の内航船員の半数以上が50歳以上であり、高齢化が社会的な課題である。また、船舶事故の8割がヒューマン・エラーといわれ、事故低減に向けた取り組みが検討されているが、劇的な事故減少には至っていない。人工知能（AI）技術や情報通信技術（ICT）の進展に伴い、陸上では自動車の無人運転システムなどの急速な開発が進んでいる。そうしたなか、海でも近い将来、無人で運航する船（無人運航船）が普及することを予想して、日本財団では、無人運航船がもたらす20年後の日本の経済・社会変化の定量的・定性的な分析を行い、課題を整理、無人運航船実現のための提言を2019年4月に行った。2040年に内航船の50%が無人運航船となった場合の経済効果は、国内年間1兆円と試算した。

このような分析を踏まえ、日本財団では、

- ① 2021年度までに世界初、既存航路において無人運航を実現する
- ② 2025年に無人運航船を本格的に実用化する
- ③ 2040年までに内航船の50%を無人運航船とするという目標を掲げた無人運航船プロジェクト「MEGURI 2040」を2020年2月に開始した。プロジェクト名の「MEGURI」については、日本語の「めぐり（循環）」という言葉が語源となっている。無人運航が実現することによって、流通、人、コスト、交通などの循環が良くなって便利になるとし、無人運航を実現するメリットを「日本の循環が良くなること」と考えたものである。

最初の目標である①について「無人運航船の実証実験にかかる技術開発共同プログラム」として無人運航船実証実験を実施することを2020年6月に公表した。

無人運航船実証実験は、以下に示す5件6隻の異なる船舶、航路において2022年3月までに実施した。なお、それぞれに「世界初」要素を組み込んだ実証実験とした。無人運航船の実証は一企業のみで実施できるものではないので、複数の企業・団体の共同体としたコンソーシアムとして募集を行った。コンソーシアムの構成については、従来の海事分野企業のみならずAI企業などの異分野企業を加えた形とし、延べ約50の企

業・団体が参画した。

無人運航船@横須賀市猿島

丸紅（株）が代表となり、横須賀市の新三笠棧橋から猿島間の小型観光旅客船「シーフレンド Zero」を実験船とし、既存の小型船を安価で手軽に無人運航化できる技術を開発するものである。日本国内には、小型船による離島航路も多く存在するため、広く小型船に適用可能な自動操船技術の実現となれば、その波及効果は非常に大きいものになる。2022年1月11日に、小型観光旅客船として、世界初の無人運航の実証を行った。カメラによる障害物検出システムはAI技術を活用し、船員の目視の代わりとなって他船を自動でよけるシステムと連動させ、自動で操舵室のレバーが動き、無事に離棧から着棧までの無人運航の実験は成功した。



図2 小型観光旅客船「シーフレンド Zero」と操舵室のレバー

スマートフェリーの開発

三菱造船（株）が代表となり、横須賀港から新門司港を航行するカーフェリー「それいゆ」を実験船とし、自動離着岸や自動避航を含む無人運航の技術開発・実証に加え、将来の機関部故障予知実現に向けた監視強化のシステムの開発を進めた。こちらのプロジェクトでもカメラによる他船検出などに加えて、後進や回転を含んだ自動離着岸システムを開発した。2022年1月17日に、新門司港～伊予灘～新門司港の240kmにわたり実験を行った。「それいゆ」は、全長222m、最高速度50km/hであり、世界初の大型船での高速航行で

無人運航船プロジェクト
MEGURI
2040



図1 MEGURI2040ロゴマーク

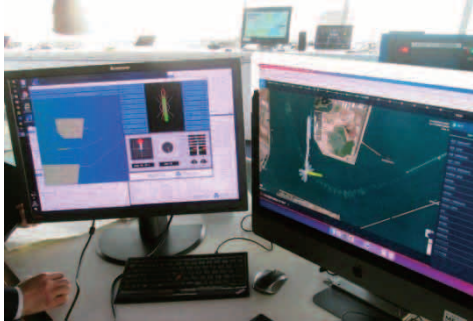


図3 「それいゆ」と自動離着岸システムの画面

の実験で、無事に無人運航の実験は成功した。

コンテナ船とカーフェリーに抛る無人化技術実証実験

(株)商船三井が代表となり、敦賀港から境港を航行するコンテナ船「みかげ」と苫小牧港から大洗港を航行するカーフェリー「さんふらわあ しれとこ」を実験船とし、カメラによる他船検出、離着栈の詳細距離計測システムの技術開発等を行った。また、係船支援として無人ドローン利用の技術開発も行った。コンテナでは世界初の「みかげ」の実験は、2022年1月24日～25日に行った。冬の日本海で、船体が35度も傾くなか、計画どおりの航路を進み、他船の避航も実現した。境港着栈時には、無人ドローンがヒービングライン（岸壁に係留する係留索をたぐりよせるためのロープ）を自動で岸壁に運ぶことも成功した。「さんふらわあ しれとこ」の実験は、2022年2月6日～7日に行った。苫小牧～大洗間の750km、18時間の長距離、長時間の無人運航の実証は世界初であり、自動離栈、自動航行、自動避航を行い、大洗港に自動着栈した。

無人運航船の未来創造

(株)日本海洋科学が代表となり、東京湾から伊勢



図4 「みかげ」の着栈時にヒービングラインを運ぶ無人ドローンと大洗港に自動着栈する「さんふらわあ しれとこ」

湾を航行するコンテナ船「すざく」を実験船とした。本コンソーシアムでは、自動運航分野で国際的にも豊富な実績を有する多彩な専門家集団による新時代の国内物流社会の実現を目標とし、オープンコラボレーションで、国内約30社が参画するDFFAS (Designing the Future of Full Autonomous Ship) コンソーシアムが形成された。自動離着栈や他船検出からの自動避航の技術開発に加えて、陸上による監視により、無人運航機能の不具合時には、陸上から遠隔操船を行う陸上支援センターの開発も行った。実証実験は、2022年2月26日に東京国際クルーズターミナルを出港し、伊勢湾まで航行し、東京湾内に3月1日に帰港した。本実証実験の世界初要素は、船舶の通航量が多い輻そう海域（東京湾）を航行するものであり、すべての実験のなかでも、最も難しいものであった。国内30社の協力体制で臨み、無事に世界初の輻そう海域の無人運航は成功に終わることができた。

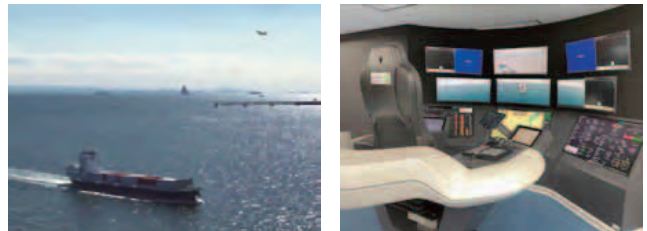


図5 東京湾を航行する「すざく」と陸上支援センター

水陸両用無人運転技術の開発

ITbook ホールディングス (株) が代表となり、八ッ場あがつま湖で水陸両用船「八ッ場にやがてん号」を実験船として、その自動運航を、オープンソースの自動車の自動運転プログラムを拡張して開発した。また、陸上での監視のための通信には、ローカル5G通信を用いた技術開発を行い、4K画質動画を2画面同時に送受信することなども行った。実証実験は、2022年3月14日に行われ、陸上からの入水、計画航路にあわせた追従、湖面上の障害物の回避、再び陸上に戻るまで、水陸両用船として世界初の無人運航実証実験を行った。

(丹羽 康之)

※<https://www.nippon-foundation.or.jp/what/projects/meguri2040>

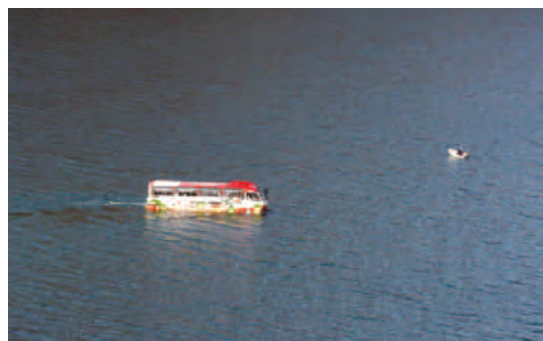


図6 障害物をよける「八ッ場にやがてん号」

第2節 海底資源開発の変革に向けた可能性

1 海底資源開発の必要性と経緯

国内にエネルギー（化石燃料）、鉱物資源の供給源をほとんど有しない日本の社会・産業構造の脆弱性は、1970年代半ばの第1次オイルショックのころから指摘されてきた。1980年代初めの第2次オイルショックを経て、エネルギーの安定供給と供給先の分散は、日本の最重要課題であると位置付けられてきたといっても過言ではない。1990年代は比較的落ち着いていたエネルギー、金属の価格は、BRICS^(注20)などの新興国の経済発展に伴って、2000年代半ばごろから、1990年代の2～3倍程度で推移することが多くなってきた。一方、気候変動に伴う異常気象の頻発や、新型コロナウイルス感染症の蔓延などの影響を受けて、物流が停滞し、その影響がエネルギー、金属の供給にまで及ぶという事態も発生するようになってきている。これに伴って、社会・産業の安全と安定を確保するため、エネルギー、金属のみならず、食料、医薬品、材料、部品などを含む、安定的なサプライチェーンの確保が、今後の日本の重要な政策課題となってきた。

日本の排他的経済水域（EEZ）・大陸棚には、東部南海トラフの一部海域のみで、原始資源量が日本の10年分のLNG輸入量に匹敵する^(注21)とされるメタンハイドレート^(注22)、世界第1位と世界第2位の潜在的賦存量を有するといわれている海底熱水鉱床とコバルトリッチクラストが存在する^(注23)。また、南鳥島周辺には海底面のマンガン団塊と堆積層中のレアアース泥の共存海域が、北海道よりやや小さい程度の面積にわたって分布することがわかっている^(注24)。これだけ多種の未利用の海底資源に恵まれている国は、日本しか知られておらず、これらを前記の安定的なサプライチェーンの確保のなかで、根幹をなすエネルギー、金属の供給源とすることが期待されてきた。

2008年に策定された海洋基本計画（第1期）においては、メタンハイドレートと海底熱水鉱床について、「今後10年程度を目途に商業化を実現」という目標が提示され、詳細な調査や技術開発が実施された。その後、第2期および第3期の海洋基本計画においては、前節で取り上げたように、商業化の目標時期が10年、あるいはそれ以上先と受け止められる記述に変化した。調査や技術開発が進展するに伴って、課題が浮かび上がり、実現時期が先送りされることは起こりうることはあるが、エネルギー、金属の自前の供給源となることへの期待が大きかった分、商業化の目標時期の先送りに対する落胆は大きい。そこでここでは、前節で取り上げた海洋産業の課題のうち、海底資源開発の商業化に向けた課題の根幹を取り上げて、ブレークスルーによる課題解決策について、その可能性を展望する。

2 商業化への課題

メタンハイドレートと海底熱水鉱床に共通する課題の根幹は、商業化の実現に不可欠な経済性の確保にあるといえる。いくら国内産で、安定的な供給源であっても、生産活動が巨大な赤字を生み出す源となることは許されない。最低基準は収支均衡

注20
2000年代以降に著しい経済発展を遂げたブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカの5か国の総称。

注21
日本周辺全域ではその10倍以上の賦存が予想される。

注22
<https://www.jogmec.go.jp/news/release/release0076.html>

注23
玉木賢策（2006）「海底資源開発で世界をリードしよう」、Ocean Newsletter, 第150号

注24
<https://www.it-chiba.ac.jp/topics/20191211/>

表3-2-1 経済性確保のためのメタンハイドレート濃集帯の規模と生産レート

原始資源量 坑井生産レート (8年平均値)	大規模 約500億 m ³ (約 2 TCF) 以上	中規模 約100億~500億 m ³ (約0.4~ 2 TCF)	小規模 約100億 m ³ (約0.4TCF) 以下
高 15万 m ³ /日程度以上	◎ (優先順位：高)	○ (優先順位：中)	× (対象外)
中 5万~15万 m ³ /日程度	○ (優先順位：中)	△ (優先順位：低)	× (対象外)
低 5万 m ³ /日程度以下	× (対象外)	× (対象外)	× (対象外)

注：上記の数値は JOGMEC において、LNG の価格見通しや、これまでに得られた地質データやシミュレーション結果等に基づいて試算したものであるため、一定の幅を持って見るべき数値であることに注意が必要。
(出典 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/pdf/022_03_00.pdf)

が実現することであり、それによって、安定的供給実現、雇用機会創出、周辺産業振興などの総合的視点から、商業生産を実施するというストーリーが生まれる。

メタンハイドレートは過去20年間にわたって実施してきた研究開発のまとめとして、2019年の「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」の「フェーズ2及びフェーズ3総括成果報告書」^(注25)において、経済性評価の結果を示している。すなわち、砂層型メタンハイドレートについて、表3-2-1に示した濃集帯の規模と生産レートの場合に、予想される天然ガス価格で経済性が成立するという見通しを示している。一方、海底熱水鉱床は過去10年間にわたって実施してきた研究開発のまとめとして、2018年の「海底熱水鉱床開発計画総合評価報告書」に、経済性評価として、経済性が成立する鉱床の金属含有率、技術レベル、金属価格条件を提示している^(注26)。これらの経済性検討結果は、メタンハイドレート、海底熱水鉱床のいずれも、既知の賦存域（濃集域や鉱床発見箇所）で、現状と同等レベルの価格条件・技術条件の下で開発した場合には、経済性の確保は困難であることを示唆している。メタンハイドレートの場合は、生産レートと生産坑井の寿命という2点で、これまで実施した2回の海洋産出試験では達成できていない技術レベルが要求されている。また、海底熱水鉱床の場合は、金属含有率と金属価格という自力達成が不可能な2点において高いレベルが要求されている。このため、従来の技術開発概念の枠組みを大きく打ち破った考え方で、課題の解決策を見出す「ブレイクスルー」が達成されなければ、商業化の実現見通しが立たない。海底熱水鉱床と同様の、ライザーパイプ^(注27)と海底採鉱機器を使用した、流体ドレヅジ方式^(注28)を生産モデルとして想定しているコバルトリッチクラスト、マンガン団塊、レアアース泥の場合についても、経済性の確保は困難であるといえる。これらの有用金属含有率や金属価格は海底熱水鉱床よりも低く、水深も深いため、経済性が悪くなることは明らかだからである。

3 商業化実現のためのブレイクスルー

上述のように、海底資源の商業化を実現するためにはブレイクスルーが必要となる。ここでは、各資源について、その可能性を考察したい。

注25 <https://www.mh21japan.gr.jp/report/report.html>

注26 <https://www.jogmec.go.jp/content/300359550.pdf>

注27 海底の油ガス田などから生産する際に、海底から海上まで産出した原油や天然ガスをくみ上げるのに利用されるパイプ

注28 海底でコバルトリッチクラストやマンガン団塊といった鉱石を自走式の採掘装置で集めて、それをパイプの中に発生させた水流を通して海面まで輸送する、採掘・揚鉱の方式

1 メタンハイドレート

固体状であるメタンハイドレートから気体であるメタンを取り出す（分解する）ためには、熱を供給して温度を高くするか、圧力を低くする必要がある。既存の研究開発では、圧力を低くして分解を促進する減圧法を確立することを最大の課題として取り組んでいる。では、その次に、商業化を目指すために必要なことは何かということになる。メタンハイドレートの表3-2-1に示したような規模の大きな濃集帯の発見は、対象海域を日本周辺全域に拡大して調査を実施することによって達成されることである。そのため、研究開発におけるブレイクスルーの対象は生産レートと生産坑井の寿命^(注29)となる。過去2回の図3-2-1に示したような海洋産出試験における生産レートという視点での最高記録は日量2万m³（6日間）であり、生産坑井の寿命という視点では日量8,300m³（24日間）となる。これらの最高記録のうち、24日間という長寿記録は、生産が継続できなくなる現象が発生した他の場合と異なり、生産プラットフォームとして使用した船舶の傭船期間の終了に伴うものであったため、継続期間としては24日間以上を期待できるが、ここでは簡単のため1か月間が長寿記録ということにする。まとめると、生産レートで10倍程度、生産坑井の寿命で50～100倍程度のブレイクスルーが必要ということになる。それでは、どのようにすれば生産レート等を向上することが可能になるのか。

初期の複数の開発モデルの想定においては、厚さ数十メートルのメタンハイドレート胚胎層^(注30)において、生産坑井多数を水平展開する生産モデルが提示されている^(注31、注32)。これらの生産モデルは、経済性を確保するための生産レートを実現するという必要性から、逆に導かれたために、技術的実現性をあまり考慮していない。メタンハイドレート研究開発を担う「MH21-S 研究開発コンソーシアム」（旧MH21コンソーシアム）は、現在、生産技術の根幹となる減圧法の確立に集中しているが、次に解決すべき課題と目標はすでに認識されており、2015年の段階で、取り組みも複数検討され、模型実験やシミュレーションも実施されている^(注33)。



図3-2-1 地球深部探査船「ちきゅう」(左)とその船上でメタンハイドレート海洋産出試験のための海底設置機器を海底に降下するための最終確認の様子(右)

(出典 MH21-S 研究開発コンソーシアム)

これらのうち、「浸透性向上」、「強減圧法」、「CO₂圧入法」、「傾斜坑井（水平坑井を含む）」、「深部温水吸引法」などに可能性があると考えられている。その後の検討結果についての続報があるのは、「浸透性向上」と「強減圧法」である^(注34、注35)。分解を促進するために、より強力に減圧する方法や胚胎層への熱供給を増加させる方法に力点が置かれていたことはやむを得ないが、米国において「シェールガス革

注29
固体であるメタンハイドレートは1か所の井戸で採取可能な量に限界があるため、石油・天然ガスと異なり生産坑井の寿命も大きな課題となっている。

注30
メタンハイドレートが存在している地層。

注31
(財) エネルギー総合工学研究所、「平成8年度非在来型天然ガス基礎調査報告書」、1997年3月号。

注32
鈴木英之・今埜隆史・久保真一郎(2003)「メタンハイドレート生産用スパー型システムの成立性に関する研究」、第17回海洋工学シンポジウム、pp. 431-438

注33
長尾二郎(2015)「メタンハイドレート生産回収増進法の開発」、メタンハイドレートフォーラム2015発表資料。
https://www.mh21japan.gr.jp/mh21wp/wp-content/uploads/mh21form2015_doc02.pdf

注34
天満則夫(2018)、「MH21総括成果報告：生産手法開発グループフェーズ2、フェーズ3の主な取り込み」、メタンハイドレートフォーラム2018発表資料。
https://www.mh21japan.gr.jp/mh21wp/wp-content/uploads/mh21form2018_doc04.pdf

注35
伊藤高敏(2020)、「MH21総括成果報告：微粒子を用いた砂層内フラクチャー伸展の制御技術とCTによる可視化実験」、メタンハイドレートフォーラム2020発表資料。
<https://www.mh21japan.gr.jp/pdf/mh21form2020/doc07.pdf>

命」という画期的な技術革新につながった技術のひとつである、「傾斜坑井（水平坑井を含む）」については続報がない。しかし、偏距掘削^(注36)の実績記録^(注37)からは、メタンハイドレート胚胎層に十分適用できると予想される。このため、前述の経済性を確保するという原点に立ち返ると、「傾斜坑井（水平坑井を含む）」の実現を図ることも一考に値する。一方、2050年のカーボンニュートラル達成という、日本の新たな目標を考慮すると、「CO₂圧入法」は一石二鳥といえる方法である。CO₂ハイドレート^(注38)を生成する際に発生する熱を利用したメタンハイドレート分解の促進と、CO₂貯留が同時に実現できるからである。これは、二酸化炭素回収・貯留(CCS)^(注39)とガス増進回収(EGR)^(注40)を同時に行うことを意味する。この「CO₂圧入法」を効果的に行うためには、「傾斜坑井（水平坑井を含む）」の実現が不可欠であるため、両者の組み合わせによる最適化を図ることも重要課題のひとつといえる。

2 海底熱水鉱床

海底熱水鉱床の経済性確保のためには、深海底から鉱石を運ぶ揚鉱と呼ばれるプロセスと、それ以降のプロセスの効率化が鍵となる。そのためにはまず、鉱石の「海底選別」プロセスを採鉱システムに組み込むことが必要である。これは、金属含有率が高い鉱石は比重が大きいという特性を利用して、比重が小さい金属含有率が低い岩石に近いものを、物理的手段によって排除することで、選別後の回収鉱石の金属含有率を人為的に高めると同時に、鉱石の量を減らすプロセスである。採掘された鉱石を破碎、分級（粒子サイズを揃える）し、その後、比重差を利用したサイクロン選別、揺動テーブル選別、ジェット噴流選別などを施して、比重の小さい岩石に近いものを、30%ないし50%の割合で鉱石から除去するプロセスを導入するのである。海底で選別し、より金属含有率の高い鉱石にすることで、揚鉱以降のプロセスの効率化が可能となる。

開発対象となる海底熱水鉱床は、数百万トンという鉱体の規模を有しているため、半径数百メートルの範囲内に数年間留まって採掘を行うことになる。このため、陸上資源開発と同様の破碎、分級、選別機能を組み込んだ海底プラントを設置することが可能であり、「海底選別」の実現性は十分あると考えられる。この「海底選別」には、以下のような得失が想定される。

- ① 選別後の鉱石量が減少するため、それ以降の処理設備となる揚鉱装置、採鉱船（海上プラットフォーム）、輸送船、選鉱設備等を小規模化することができる
- ② 揚鉱される鉱石の金属含有率を高めることができる
- ③ 選鉱後に出る岩石等の廃棄物処理費用を削減できる
- ④ 海底プラントの移設費用と数か月間の操業停止が数年ごとに発生する

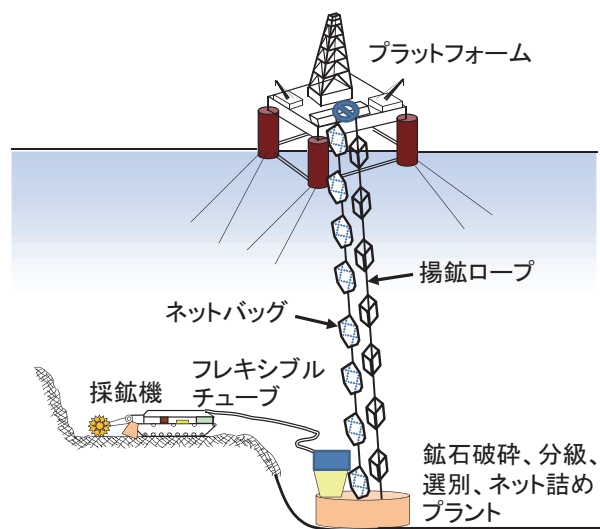


図3-2-2 「海底選別」プロセスを組み込んだ海底プラントと「機械式揚鉱」を組み合わせた海底熱水鉱床採鉱システムの概念

注36

石油や天然ガスを掘削する坑井を、垂直方向に掘るのではなく、斜め方向に掘る方法。陸上から斜めに掘削した効率的な海底下の石油・天然ガス採取を可能とする。また、1か所の洋上拠点から多方向に掘削して効率的にメタンハイドレートを採取することも可能となる。

注37

長縄成実 (2006)「最新の坑井掘削技術 (その1)」、石油開発時報 No. 148

注38

メタンハイドレートと同様のガスハイドレート（水包接化合物）。水分子のカゴの中に二酸化炭素分子を閉じ込めたもので、低温・高圧力で生成される。

注39

Carbon dioxide Capture and Storage

注40

Enhanced Gas Recovery