

海洋メタンハイドレートからのガス商業生産に向けての課題

Challenges toward commercial gas production from offshore methane hydrates

ますだ よしひろ
増田 昌敬

東京大学大学院工学系研究科准教授

要 旨

経産省の「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」は、2018年度までにメタンハイドレート商業的産出の技術基盤の整備を行うことを目標としており、2013年1月～3月にかけて、渥美半島～志摩半島沖（第二渥美海丘）で世界初のメタンハイドレートからのガス生産実験が実施される。メタンハイドレート開発が実現すればその経済効果は膨大であるが、今回の海洋産出試験の成功後すぐに商業生産という単純な道筋ではない。将来の商業生産に向けて、プロジェクトの経済性を上げるための生産手法の高度化、開発費の削減に関する継続的な研究と、環境影響評価を含めた技術アセスメントが必要とされる。探査から生産に至るまでのリードタイムは長いので、シェール革命などの外的要因に左右されることなく、商業生産に向けての長期戦略と明確な目標を設定し、時間軸を考えた研究投資を行っていくことが望まれる。

I はじめに

海洋基本法の第17条と第24条には、海洋資源の開発及び利用の推進、海洋産業の振興及び国際競争力の強化のために国が必要な措置を講ずるものと定められている。日本周辺海域に眠るメタンハイドレートは貴重な国産資源であり、その開発を目指して、経済産業省は2001年7月に「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」をスタートさせた。本計画の最終目標はメタンハイドレート商業的産出の技術基盤の整備であり、フェーズ1（2001～2008年度）、フェーズ2（2009～2015年度）、フェーズ3（2016～2018年度）の3段階ステップから成る。現在は、渥美半島～志摩半島沖（第二渥美海丘）の東部南海トラフ海域でメタンハイドレートからのガス生産実験が実施される段階まで研究は進んでいる。

フェーズ1の研究では、東部南海トラフ海域における3次元物理探査・掘削調査の詳細解析が実施され、当該海域で16箇所メタンハイドレート濃集帯が発見された。静岡県から和歌山県沖にかけての海底地層中に存在するメタンハイドレートに含まれるメタンガスの原始資源量は約1.1兆 m^3 と推定され、これは2011年の日本のLNG輸入量約8千万トンの約11年分に相当する。さらに東部南海トラフ海域以外についても既存の地震探査記録が再解析されており、日本周辺海域全体では、メタンハイドレート濃集帯を示唆する特徴がエリア内に認められるBSR（Bottom Simulating Reflector：地震探査で観測されるメタンハイドレートの存在を示す疑似反射面）の総面積が66,000 km^2 と推定されている⁽¹⁾。この面積は東部南海トラフ海域のBSRの総面積4,687 km^2 と比較すると約14倍である。これらの海域では3次元物理探査による詳細解析はまだ行われていないため、日本周辺海域全体での原始資源量の数値は発表されていないが、海底地

(1) メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム『日本周辺海域におけるメタンハイドレート起源BSR分布図』
<http://www.mh21japan.gr.jp/pdf/BSR_2009.pdf>, [last accessed: 2013/2/18]

層中にあるメタンハイドレートは日本のエネルギーセキュリティ確保に貢献するだけの大きな資源ポテンシャル（資源量）の可能性を有していることに間違いはない。

実際のフィールドでのメタンハイドレートからのガス生産という観点では、2008年3月に実施された第2回陸上生産試験で永久凍土下のメタンハイドレート層から「減圧法」という生産手法を用いて6日間の連続ガス生産（累計ガス生産量13,000m³）に成功している⁽²⁾。これは世界で初めて生産手法としての減圧法の有効性を確認した試験であり、大きな技術革新である。このような状況を聞くと、海洋産出試験が成功すればすぐに商業生産が可能になると思われるかもしれないが、今回の海洋産出試験はガス生産を実証するための実験であり、単にガスを出すだけでは商業生産には至らない。資源開発は経済性と環境適合性の条件が満たされて商業生産に至る。

本稿では、資源量と埋蔵量の違いなど、今後のガス商業生産に向けてのメタンハイドレートの開発研究の方針を立案するにあたって理解すべき資源に関する基礎事項を解説した後で、メタンハイドレート開発の推進に向けての課題を整理した。

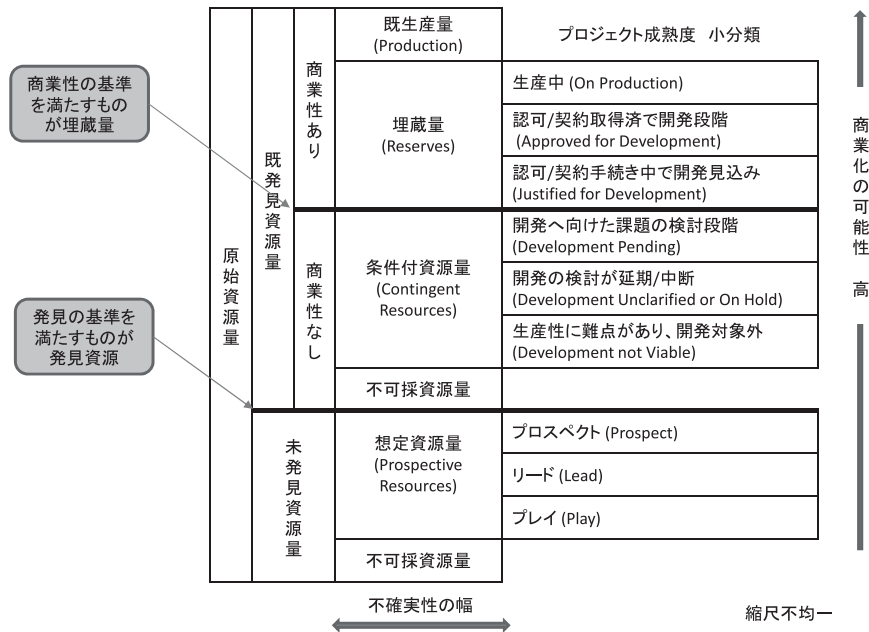
Ⅱ 資源に関する基礎事項

1 資源ポテンシャルと経済価値

一般的にメタンハイドレート資源という呼ばれ方をするが、資源という用語とすぐに開発できるものと誤解されがちである。ここで注意しなければいけないのは、メタンハイドレートの資源としての位置付けである。図1にPRMS（Petroleum Resources Management System）による資源量の定義・分類を示すように、資源は、既発見資源（Discovered PIIP）と未発見資源（Undiscovered PIIP）の2つに分類される。既発見資源というのは、実際に有望な地域があって、そこで坑井を掘削して産出試験を行って流体を出せることがわかっている、あるいは出した経験があった場合をいう。これに対して、未発見資源は、物理探査とか、井戸を利用した検層やコアの採取で調べて、その存在がわかっているだけのものを指す。存在がわかっているにもかかわらず、技術的あるいは経済的に取り出せないものは、厳密な分類では未発見資源である。海底地層中に存在するメタンハイドレートからはまだガスを取り出した実績はなく、その生産技術も確立されていない。従って、メタンハイドレートは膨大な資源ポテンシャル（量）を有するが、現状では未発見資源という位置付けである。

(2) 山本晃司・佐伯龍男「メタンハイドレート資源量評価と陸上産出試験」『石油技術協会誌』74（4），2009，pp.270-279.

図1 PRMS (Petroleum Resources Management System) による資源量の定義・分類

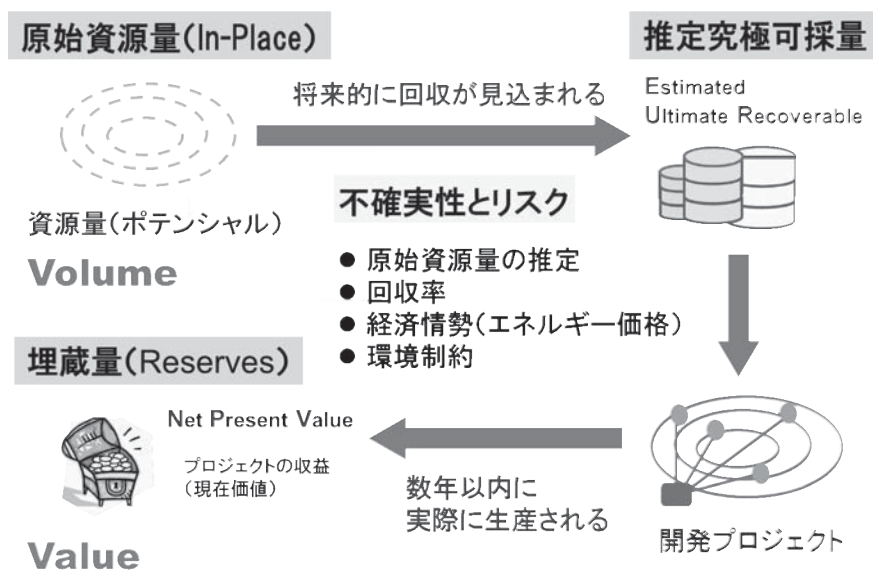


(日本語参考 http://oilgas-info.jogmec.go.jp/pdf/1/1899/200801_015a.pdf p.21)

(出典) Society of Petroleum Engineers (SPE) , American Association of Petroleum Geologists (AAPG) , World Petroleum Council (WPC) , Society of Petroleum Evaluation Engineers (SPEE) , Society of Exploration Geophysicists (SEG) , *Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System*, p.18. <http://www.spe.org/industry/docs/PRMS_Guidelines_Nov2011.pdf> , [last accessed: 2013/2/18] をもとに著者が日本語で作成。

図2に、資源ポテンシャル（資源量）から経済価値が生まれるまでの概念を示す。地下に存在する資源の総量は資源量（Resources）と呼ばれ、そのうちで将来的に採取が見込まれると予想される量が推定究極可採資源量（EUR：Estimated Ultimate Recoverable Resources）である。さらに、実際の開発プロジェクトで技術的にかつ経済的に開発可能な資源量が埋蔵量（Reserves）と呼ばれる。つまり、いかに膨大な資源量が地下に存在していても、それはあくまでポテンシャルであって、資源を開発して採取することができなければ、経済価値はゼロである。日本周辺海域の海底地層中にあるメタンハイドレートは、日本のエネルギーセキュリティ確保に貢献するだけの大きな資源ポテンシャル（資源量）を有しているが、それは在来型の天然ガスと異なり、地層の孔隙を埋める形で固体として存在する。このような形態のメタンハイドレートからガスを取り出し利用するというシステムが確立して、初めて埋蔵量にカウントできる資源になる。

図2 資源ポテンシャル（資源量）が経済価値（埋蔵量）に変わるまでの概念



(出典) 筆者作成。

石油・天然ガス開発ビジネスでは、探査・開発・生産・販売という過程を経て、地下に賦存する資源量を経済価値に変えていく。石油・天然ガスを胚胎している堆積盆（地質構造）のポテンシャル評価から始まり、その後、有望なプロスペクト（集積帯）の抽出、試掘井での生産による評価（実際に井戸を掘削して生産試験を行い、油ガス層の広がりなどを確認）を行う。それらのデータを基にして開発可能性の評価（フィージビリティスタディ）を行い、経済的に開発できると判断できれば、開発の許認可を受けて、生産・販売施設の設計・製作を行い生産・販売という過程に至る。メタンハイドレートは、まだ堆積盆のポテンシャル評価から有望なプロスペクトの抽出という探査の段階である。

2009年度から始まっているフェーズ2の研究では、次の5項目の研究目標が設定されている。

- (1) 海洋産出試験の実施による生産技術の実証と商業的産出のための技術課題の抽出
- (2) 経済的かつ効率的な採取法の提示
- (3) 我が国周辺海域でのメタンハイドレート賦存状況の把握
- (4) 海洋産出試験を通じた環境影響評価手法の提示
- (5) 我が国周辺海域のメタンハイドレート層が安全かつ経済的に開発できる可能性の提示

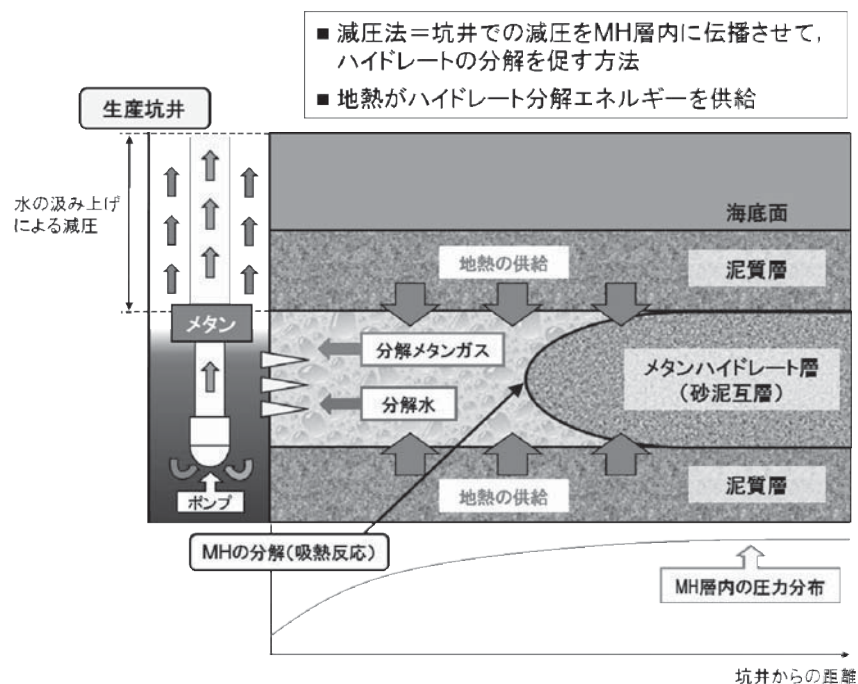
このうちで、最も重要な研究目標は（1）である。現在（2012年度に）第1回海洋産出試験、2014年度に第2回海洋産出試験が実施される計画であるが、第1回海洋産出試験で海底地層中のメタンハイドレートからガスを技術的に取り出せるかを確認し、第2回の海洋産出試験でより長期の試験を行い、経済性を含めた開発可能性を提示するのが、現在の国のフェーズ2研究の最終目標となっている。海洋産出試験は、日本周辺海域に眠る膨大な資源量から経済価値を生み出すことができるのかを決める重要なステップである。

2 資源の質（在来型資源との違い）と技術開発

メタンハイドレートは低温・高圧条件下で熱力学的に安定であり、水深1,000m程度の海域

では、海底面下約300~400mの地層内の孔隙を埋める形で固体として存在する。海底下からメタンハイドレートを掘り出すことは経済性と環境保全の両面から不可能であるため、在来型の天然ガス開発とは異なる概念の生産手法とそれを現場適用するためのフィールド技術の開発が要求される。地層内でメタンハイドレートを分解させてその際に発生するメタンを生産する方法をメタンハイドレート分解採取法と呼ぶが、そのなかでも「減圧法」が最も有効と考えられており、第1回海洋産出試験では、この方法を用いてガスの生産実験が行われる。減圧法という名称から、この方法はビール瓶の栓を開けたときのように急激に減圧してガスを出す方法と誤解されやすいが、そうではなく、井戸で圧力を下げてその圧力低下を地層内に伝播させてメタンハイドレートの分解を促し、その後は地熱を利用してハイドレートを分解させる方法である。図3に「減圧法」によるガス生産の概念を示す。減圧法では、生産坑井（地層からのガス運搬経路となる井戸）をメタンハイドレート層に掘り、井戸から水を汲み上げて地層圧力を低下させる。海底地層中のメタンハイドレートは低温・高圧の条件下で安定に存在しているが、圧力を下げると分解し始める。1モルのメタンハイドレートをメタンガスと水に分解するためには約52kJの熱を必要とするが、この熱エネルギーは地熱から供給される。減圧法では、常にメタンハイドレート層の圧力が初期の圧力よりも低く維持されるので、地層の崩壊を招くことなく環境に調和した開発が可能である。さらに、分解エネルギーは地層から自然に供給されるので、在来型天然ガスの場合と同程度のエネルギー利得率（EPR: Energy Profit Ratio；EPRとは、生産で得られるエネルギーを生産のために入力したエネルギーで割った値で、エネルギー生産の効率を表す指標）でのガス生産が可能になる。

図3 減圧法によるMH分解採取法の概念

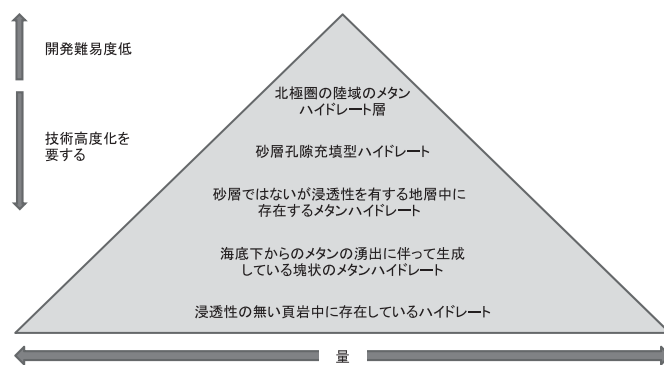


(出典) 筆者作成。

資源の質という観点からみると、メタンハイドレートは在来型の天然ガス資源と比べて明らかに劣る。技術的に容易に採取でき開発コストが安いほど良質な資源と呼ばれる。在来型天然ガスは良質な資源であり、井戸を掘るだけでガスは自噴してくるので、低コストでの開発ができる。例えば、米国アラスカのノーススロープでは日量20万 m^3 、メキシコ湾では日量250万 m^3 程度のガスを1本の井戸から生産できるので、井戸の掘削にかかる費用を削減でき、開発費は安くなる。一方、メタンハイドレートから分解採取法でガスを生産する場合は、固体として存在するメタンハイドレートの分解速度がガス生産レートの最大値を決めてしてしまうので、質は悪くなる。しかし、在来型の天然ガスと比べて生産性が悪いからといって悲観することはない。最近注目されているシェールガスの場合は、井戸1本あたりの生産量は日量3万 m^3 程度である。水圧破碎法の適用によって、最近では日量20万 m^3 の最大生産量が出せる程度にまで技術は進歩している⁽³⁾。第1回海洋産出試験において減圧法でメタンハイドレート層からガスを生産できるという技術実証に成功すれば、次の研究課題は開発の経済性を向上させるための技術開発であり、産官学の連携による技術革新が期待される研究領域である。

ところで、メタンハイドレートの開発経済性を決める重要な要因として、ハイドレートの賦存形態（産状）が挙げられる。資源としての開発の難易度はハイドレートの産状に依存する。安価で技術的難易度の低い地域から資源開発は進むのが自明であり、石油開発の場合も、歴史的に開発しやすい陸上油田から海洋油田へ主体が移ってきた。それに伴って開発コストも上昇したが、技術革新に支えられて、メキシコ湾や北海油田が開発されてきた。海域に存在するハイドレートについては、様々な産状（砂層孔隙充填型ハイドレート、表層型ハイドレートなど）が存在する。図4はメタンハイドレートの質を説明するために良く利用されるResource Triangleであり、技術的に容易に採取でき開発コストが安いほど良質であり、Triangleの上側に位置付けられる。

図4 ガスハイドレート資源の開発難易度（Gas Hydrate Resource Triangle）



(出典) International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2009*, pp.411-412.をもとに筆者が日本語で作成

北極圏の陸域のメタンハイドレート層（Arctic sandstone reservoirs）が最上位に位置付けられているが、米国のアラスカ・ノーススロープ地域の永久凍土下に賦存するメタンハイドレートの場合は、ハイドレート層直下に大きなフリーガス層が存在することが確認されており、井

(3) Massachusetts Institute of Technology, *The Future of Natural Gas: An Interdisciplinary MIT Study (MITEI Natural Gas Report 2011)*, p.32. <<http://mitei.mit.edu/publications/reports-studies/future-natural-gas>>, [last accessed: 2013/2/18]

戸からフリーガスを生産することによってハイドレートを自然に分解して生産ができるからである。この地域では在来型の油田開発に対するインフラも既に整っているため、初期投資額を抑えることができ、ハイドレート層からの安価なガス生産が可能になる。米国地質調査所(USGS)は、アラスカ・ノーススロープ地域のメタンハイドレートから2.4兆 m^3 のガスが技術的に回収可能であると評価している⁽⁴⁾。

その下位に位置付けられているのが海洋メタンハイドレートであり、砂層孔隙充填型ハイドレート (Marine sandstone reservoirs)、砂層ではないが浸透性を有する地層中に存在するメタンハイドレート (Non-sandstone marine reservoirs with permeability)、海底下からのメタンの湧出に伴って生成している塊状のメタンハイドレート (Vent site related massive hydrates)、浸透性の無い頁岩中に存在しているハイドレート (Marine shales with no permeability) の順になる。下位に位置する産状のハイドレートの開発ほど、より高度の技術開発が必要となることを示している。地層中に塊状に貫入して存在しているようなハイドレートを地層の健全性を保ちながら開発することは難しく、第一の開発対象になる産状は砂層孔隙充填型ハイドレートと考えられる。

現在、日本のメタンハイドレート開発研究では、東部南海トラフ海域をモデルフィールドに選定して、砂層孔隙充填型ハイドレートの開発技術基盤の確立を目指している。まずは海洋産出試験でガスを出すことが第一優先課題ではあるが、日本周辺海域のメタンハイドレート分布で抽出されている有望エリアのうちで、各海域のメタンハイドレートの開発可能性がどの程度であるかが明らかにされていない。技術基盤の確立後は、実際の開発プロジェクトの段階に進んでいくと思われるが、その際にはどの海域のメタンハイドレートを第一の開発対象にすべきかが問題になる。技術開発と並行して日本周辺海域のメタンハイドレートの産状と分布の調査・解析を進めて、将来の開発対象となり得るメタンハイドレートがどの海域に存在しているのか、どのような産状のハイドレートが存在しているのかのマッピングを行い、開発フィールド候補を設定するなどの研究方針が望まれる。将来の技術革新によって開発対象になり得るかを明確にすることによって、研究目標を絞り込んだ研究開発が可能になると思われる。

Ⅲ メタンハイドレート開発の促進に向けての課題

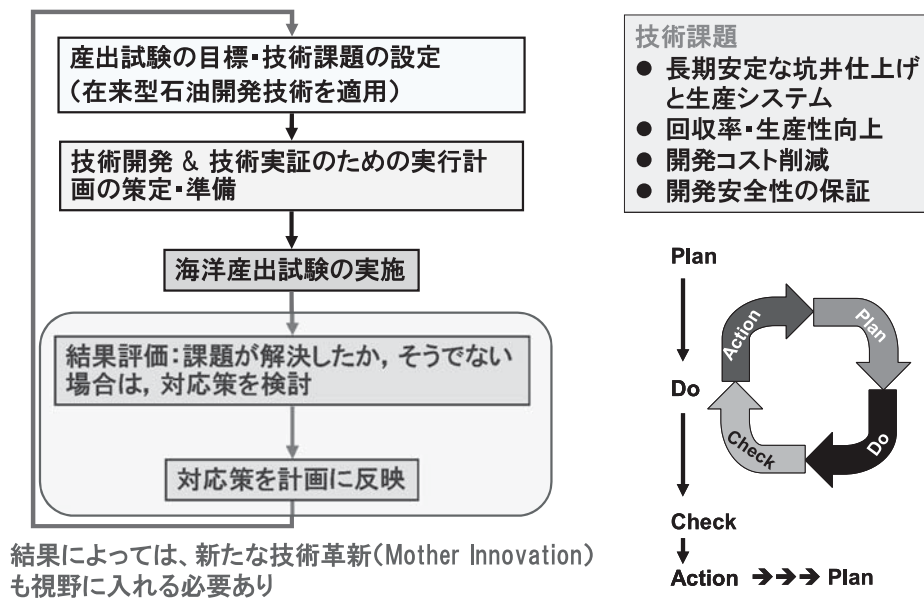
メタンハイドレートは将来の長期エネルギー供給を可能にする重要な国産資源であるとともに、その開発段階で培われる日本独自のメタンハイドレート開発技術は、民間企業の技術力を向上させて、技術の海外展開も視野に入れた新たな産業分野を生み出す。メタンハイドレート開発研究の最終目標は、民間企業が継続的な投資によって収益を生み出す段階まで事業を推進することと考えられる。この商業生産段階を早期に実現するためには、現在の開発研究プロジェクトで計画されている第1回海洋産出試験と第2回海洋産出試験を円滑に実施し、試験結果によってはそれを加速するための方策が必要である。事業化の見通しが明確になった後は、官民一体型プロジェクトによるガス生産プロジェクトを実施することで、実フィールドでのエンジニアリングが培われ、官主導から民間企業主導の事業移行が可能になる。

(4) International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2009*, pp.411-412.

1 現行プロジェクトにおける海洋産出試験の重要性とその課題

海洋産出試験の実施前の段階ではデータが不足しており、開発可能性に関しては不確定な要素が多く議論はできない。まずは、第1回海洋産出試験において減圧法でメタンハイドレート層からガスを生産できるという技術実証を行うことが商業化生産に向けた第一歩である。そこで留意すべき点は、結果に対応した柔軟な研究計画と予算執行と思われる。海洋メタンハイドレート層からのガス生産技術の実証は世界で初めての試みであり、予期せぬ新たな技術開発課題が見つかるかもしれない。図5に示すように、海洋産出試験によって新たな課題が発見された場合には、次に何を解決すべきかを考えて目標を再設定するPDCAのサイクル思考が重要である。第1回・第2回海洋産出試験において得られた結果を適切に評価して、適切な対応策を講じていくことが重要である。

図5 海洋産出試験におけるPDCAサイクル思考



(出典) 筆者作成。

現行の経産省のメタンハイドレート開発計画フェーズ1の7年間の研究では約297億円が支出されており、平均すると約40億円が年間投資されたことになる。額だけみると非常に大きくみえるが、実際には東部南海トラフ海域での3次元物理探査と掘削調査、カナダの陸上産出試験への予算投入、コア試験装置などの実験装置設置への投資などにその多くが使われており、宇宙や原子力関係の予算に比べると一桁小さい。フェーズ1は基礎研究段階なので予算的にはさほど問題はなかったが、これから商業化実現に向けての研究段階ではより多くの予算を必要とすると思われる。特に海洋産出試験は重要な鍵となる実験になるので、そこで予算削減になって中途半端な試験（例えばモニタリング項目や試験日数を減らすなどの試験になり目標を達することができない）に終わることは避けなくてはならない。まだ世界で誰も確立していないメタンハイドレート開発技術は、現場で試行錯誤的に改良を重ねていくことが重要なので、フレキシブルな予算執行形式でないと対応が難しい。

国の予算執行にあたっては成果が問われる。これは当然のことであるが、国の予算要求は「Aという目的を達するために〇〇年度に〇〇円を要求する」という形式であって、試験期間中に何か予期せぬことが起こった場合に対応できる予算枠を持っていない。またAという目標が達したかどうかということばかりが評価の主眼になってしまうため、失敗をすることは悪のように捉えられる。そのため、失敗ではないが産業化につながらないプロジェクトが多く輩出されてしまう結果となる。新しいシステムを実用化するためには、失敗を生かすPDCAのサイクル思考に基づくプロジェクト評価と立案、つまり、失敗しない科学技術政策ではなく、失敗を生かす科学技術政策の立場からの考え方が重要になる。

2 商業生産に向けての課題

図6にメタンハイドレート商業生産に向けての研究課題を示す。海洋産出試験に成功した後の課題は、収益に直接関係する項目（原始資源量の大きさ、回収率・ガス生産性の向上）、現場技術に関係する項目（安全を保障する技術、コスト削減技術）、環境影響・対策に関する項目（リスクの定量化など）である。現段階で最も進んでいるのが資源フィールドの特性把握技術であり、海洋産出試験と生産手法の高度化に関する研究の進捗、および環境リスクの対応策の確立によって、商業化に向けた技術整備がなされる。メタンハイドレートの商業生産は、これらの個別要素技術のシステム化によって実現する。

図6 メタンハイドレート商業生産に向けての研究課題

目標	商業化のために必要とされる項目	要素技術・学問
1. 資源フィールドの特性把握	原始資源量の評価手法の確立 高精度の貯留層モデリング 良質のMHフィールド抽出	3次元物理探査 検層・コア解析 堆積学, 地質統計学
2. 生産手法の高度化	回収率の向上 坑井のガス生産性向上	室内実験 数値シミュレーション 油層工学
3. 最適な生産手法を適用するためのフィールド技術開発	安価で安全な坑井仕上げ 最適な生産機器の設計 海底生産システムの設計	坑井掘削・仕上げ技術 岩石力学 ポンプなどの機械 流体力学, 海中工学
4. 環境に調和した開発	地滑り・海洋生態系への影響などの生産に伴うリスクの定量評価 水処理などの環境対策	MH分解モニタリング 数値シミュレーション 海洋環境モニタリング 環境影響評価手法
5. 開発経済性を有する開発	ガス価格の予測 コスト削減技術の適用	最適化 システム工学

技術のシステム化

経済性
環境適合性
技術アセスメント

(出典) 筆者作成。

(1) プロジェクトの経済性と技術開発課題

海洋開発は陸上開発に比べて多額の初期資本投資額と操業コストがかかるので、それに見合った大きな埋蔵量と高い坑井生産能力（埋蔵量の早期回収）が要求される。メタンハイドレー

トの商業開発を実現化するには、次の5つの条件を検討する必要がある。

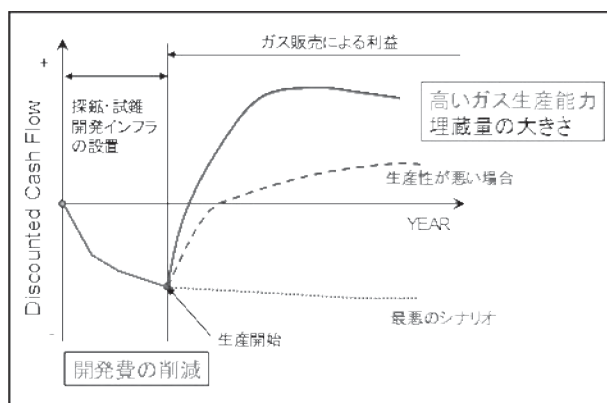
- ハイドレート賦存量の大きさ
- 開発初期段階での高いガス生産レートとその後の連続生産
- 初期投資額の削減（開発経費の削減）
- ガスマーケットの存在
- 環境に調和した開発

図7にガス開発プロジェクトのキャッシュフローの時間的推移の概念を示すように、海洋開発の場合は、探鉱・掘削・開発インフラの設置に大きな初期投資額を要する。この間の資金は銀行や株主からの融資で賄われる。ガスの生産・販売段階になると、ガスの販売収益が得られるようになるので、収益から操業費を引いた純利益が上がるようになる。初期投資額に相当するだけの利益が得られる時点、つまり、収支がゼロになるまでに要する期間はペイアウトタイムと呼ばれる。また、プロジェクトの純利益を総投資額で割ったものがプロジェクトの収益率（ROR）である。

民間企業が継続的な投資によって収益を生み出す段階においては、ペイアウトタイムと収益率が重要になる。前述したように、米国アラスカ・ノーススロープのように在来型の油田に対するインフラが既に整っている永久凍土地域では、インフラ設置に要する初期投資額が小さいので、ハイドレート層からのガス生産は経済的に成立する。一方、日本の場合のようにインフラのない海域でメタンハイドレート層からのガス開発プロジェクトを経済的に可能にするには、初期投資額に見合うだけのハイドレート賦存量（ガス埋蔵量）とフィールドからの高いガス生産レート（ガス生産性）が要求される。例えば、メタンハイドレートからのガス生産が可能になっても生産性が低い場合は、1日あたりの販売収益が低いので、図中の最悪のシナリオに示すように、銀行からの融資に対する金利や操業費を差し引いた純利益はマイナスになってしまう可能性もある。

逆に、ペイアウトタイムが小さく収益率が高く見込まれる開発プロジェクトが実現できれば、これは投資家にとっても大きな魅力であり、大きな経済効果が期待される。初期資本投資額を早期回収してプロジェクトの現在価値（NPV：Net Present Value）を正にするためには、小さな初期投資額で、かつ生産開始段階に高いガス生産（販売）レートを実現するような開発システムを構築できるかがプロジェクト成功の鍵を握る。

図7 ガス開発プロジェクトのキャッシュフローの時間的推移



(出典) 筆者作成。

ハイドレートからのガス生産手法が確立していない段階で、その経済性を議論するのは時期尚早ではあるが、例えば、海底下に厚さ50mのハイドレート層（地層の孔隙率 ϕ が0.4、ハイドレート飽和率 S_H が0.6）が連続して5km四方の矩形領域に存在するフィールドを想定してみる。この領域内に存在するメタンハイドレート体積 V_B は、 $V_B = \phi \times S_H \times 50 \times 5,000^2 = 3$ 億 m^3 である。1 m^3 のメタンハイドレートは大気圧の標準状態で約164 m^3 のメタンガスを含有するので、このフィールドのメタンガス原始資源量は492億 m^3 （ $= 3$ 億 $m^3 \times 164$ ）である。ガス回収率 R （原始資源量のうちで経済的に回収できる量の割合）を0.5とすれば、その埋蔵量は246億 m^3 （ $= 492$ 億 $m^3 \times 0.5$ ）となり、ガス販売価格が1 m^3 あたり40円であれば、割引率を考えない場合のフィールドから得られる収益は9,840億円である。つまり、このフィールドの場合は、この収益で経済性が得られるような初期投資額で開発しないと純利益は上がらない。一方で、このようなフィールド開発が数多く日本周辺海域で実現した場合は、その経済効果は膨大になる。仮に200箇所のメタンハイドレート濃集帯が開発可能になったとすれば、全体で約200兆円規模のプロジェクトになる。投資額のうちで大きな割合を占めるのは坑井掘削・仕上げなどにかかる費用であり、ハイドレート開発の商業化の段階では、開発費の削減技術が大きな課題と考えられる。

現在は、海洋産出試験を実施することによって、一つの井戸からどのくらいのガスが出せるのかを把握している段階である。メタンハイドレート層からのガス生産挙動を予測するために生産シミュレータ（MH21-HYDRES）が開発されており、東部南海トラフ海域のメタンハイドレート層に減圧法を適用した場合に得られるガス量は、一つの井戸から日量数千～数万 m^3 と報告されている⁶⁾。生産レートの数値に幅があるのは、地層の性状に関して不確実なパラメータが入っているためであり、海洋産出試験での実証によって、より信頼性の高い生産レートや回収率の予測が可能になってくる。メタンハイドレート層のガス生産能力とフィールドからの回収率は、ガス販売による収益に直結する項目であり、経済的な開発システムを検討していく上で重要なパラメータとなる。海洋産出試験でガス生産性と回収率を把握するとともに、経済性を向上させるための生産手法の高度化に関する研究も進めていく必要がある。

(2) 環境倫理と技術アセスメント

技術は人の生活を豊かにするためにあるが、新技術を適用する場合には、未知のリスクが内在していても気が付かない場合がある。メタンハイドレートが開発に移行した段階では、民間企業が主要なプレーヤーになるので、民間企業が環境面のリスクを負うことになる。そのため、商業生産に向けては十分な技術アセスメントが必要となる。

現行のメタンハイドレート開発計画フェーズ2の目標には、海洋産出試験を通じた環境影響評価手法の提示が設定されており、環境に調和した開発を目指して、海洋産出期間中に長期的な海域環境のモニタリング調査が継続的に実施されている。また、メタンハイドレートの分解が海底地盤の変形に及ぼす影響、メタンの漏出が海底生態系に及ぼす影響、海底地滑りが起こった場合に生じる津波の影響など、予測される環境リスクを抽出して、メタンハイドレート開発に伴う環境影響評価手法の確立に取り込んでいる。これらの取り組みをまとめた環境影響

(5) 大内久尚・栗原正典・佐藤明彦・増田昌敬・成田英夫・海老沼孝郎・佐伯龍男・藤井哲哉・小林稔明・下田直之、「東部南海トラフメタンハイドレート層三次元貯留層モデルの構築と産出試験挙動の予測」『石油技術協会誌』75（1）、2010、pp.72-83。

評価書の概要版は、経産省のHP「メタンハイドレート開発実施検討会第22回」⁽⁶⁾からダウンロードできる。海洋産出試験の進行とモニタリング結果に応じて、環境影響評価書の内容は改定されていくことになるが、海洋産出試験の実施後の開発可能性提示の段階では、メタンハイドレートの開発によって得られる恩恵とそのリスクがどの程度であるのかの情報を積極的に開示して、一般市民に技術の実践に対する正しい理解をしてもらうことが重要である。

メタンハイドレート開発が環境に及ぼす影響に関連しては様々な意見を言われる方がいる。例えば、メタンハイドレートの開発が海底地すべりや地球温暖化を引き起こすのではないかという意見もある。しかし、実際はメタンハイドレートの分解は核分裂反応などとは異なり非常に反応速度が遅く、どのように反応速度を高めて経済的に見合うだけのガス生産レートを得るのが生産手法の一番重要な研究課題になっていることからわかるように、地球規模の環境変動のように急激な刺激（トリガー）を与えない限りは、開発行為が海底地すべりや地球温暖化を引き起こす心配はないと考えられる。しかし、万が一何かが生じた場合の影響も含めて、得られる恩恵とそのリスクの大きさを情報開示するのが環境倫理である。商業化生産の時期やガス生産量の導入目標を固定した形で設定して、無理矢理にプロジェクトを加速させるのは危険である。旧エネルギー基本計画においては、2030年までの原子力エネルギー導入の目標量を設定して環境倫理の問題を疎かにしてしまった。この失敗例に学ばなくてははいけない。

現場技術の向上には海域のフィールドエンジニアリングが重要であり、開発研究の進捗に対応して海洋産出試験の規模も大きくなる。今後実施される第2回海洋産出試験などを円滑に進めるためには、研究開発を促進するための法整備も重要である。開発行為によって何らかの環境影響が生じた場合には、一民間企業ではその保証は難しい。民間企業がより多く参入できる体制を可能にする法整備が望まれる。

(3) 目標を明確にした長期戦略

前述したように、資源は発見されてからその開発までのリードタイムが長い。単に海洋のメタンハイドレートからガスを出すのは発見資源になる段階であって、経済性と環境適合性などの条件を満たして商業化に至る。通常の在来型ガス田の開発においても、そこに天然ガス田があると発見されてから開発に移行するまでには5～10年の年数を要する。これは、ガス田を発見後に行う詳細な貯留層の広がり調査、それに基づく開発コンセプトの設計（ガスの生産計画やガス販売先の確保なども含む経済性の検討も含む）、パイプラインやプラットフォームの建設に時間を要するからである。そのため、開発を促進するためには、シェール革命のような外的要因に左右されずに、国として商業生産に向けての目標をしっかりと設定して、時間軸を考えた研究投資を行っていくのが良いと思われる。

日本近海には大きな在来型石油・天然ガス田が存在しないため、島国である日本は、天然ガスを利用するためには、LNGの形態でガスを輸入する手段しか持たない。将来メタンハイドレート開発が実現した場合には電力会社やガス会社などがガスの買い手になるが、安定的なエネルギー供給という観点から、これらの会社では資源調達に関する長期戦略を立てて、海外と個別にLNG契約を結んでいる。いつ頃までにどのような段階を経てメタンハイドレートの商

(6) 経済産業省『第21回メタンハイドレート開発実施検討会（平成24年3月30日）参考資料 第1回メタンハイドレート海洋産出試験に係る事前掘削作業の環境影響検討書』<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/021_s01_01.pdf>, [last accessed: 2012/2/15]

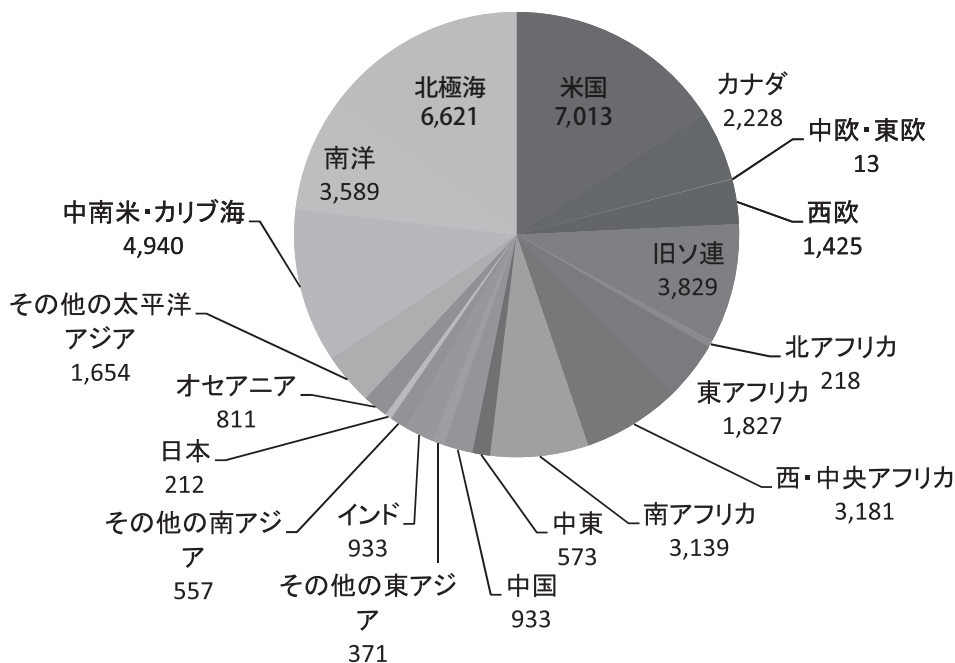
業生産が実現するののかの長期ビジョンを示さないと、買い手側にとってメタンハイドレートは魅力的な資源にはならない。

また、民間企業は収益の一部を将来の研究開発に投資していくので、政府が長期戦略を提示することによって、新日鉄住金エンジニアリングや日揮などの石油開発のエンジニアリングノウハウを有する日本企業の開発事業参入への意思決定に大きな意味を持つ。

(4) 技術者の育成と海外展開

Johnson⁽⁷⁾が報告しているように、世界の砂層中に賦存するメタンハイドレートが有するメタンガス原始資源量は43,311tcf（約1,226兆m³）と推定されており、量的には、日本よりもメキシコ湾や北極海などにメタンハイドレートは多く存在する（図8）。インド、韓国、中国でもメタンハイドレート開発研究は行われているが、海洋産出試験まで漕ぎ着けているのは日本だけであり、日本がトップランナーを走っている。海外にメタンハイドレート資源が豊富に存在していることは、日本周辺海域のメタンハイドレート商業生産を目指した研究成果が海外に展開できるということを意味する。

図8 砂層中のメタンハイドレートが有するガス原始資源量の推定 [単位：兆tcf]



(出典) Arthur H. Johnson, "Global Resource Potential of Gas Hydrate-A New Calculation", *Fire in the Ice (Methane Hydrate R&D Program Newsletter)*, The National Energy Technology Laboratory (NETL) US DOE, Vol.11 (2), 2011, p.1. <<http://www.netl.doe.gov/technologies/oil-gas/futuresupply/methanehydrates/newsletter/newsletter.htm>>, [last accessed: 2013/2/18] をもとに著者が日本語で作成

(7) Arthur H. Johnson, "Global Resource Potential of Gas Hydrate-A New Calculation", *Fire in the Ice (Methane Hydrate R&D Program Newsletter)*, The National Energy Technology Laboratory (NETL) US DOE, Vol.11 (2), 2011, pp.1-3. <<http://www.netl.doe.gov/technologies/oil-gas/futuresupply/methanehydrates/newsletter/newsletter.htm>>, [last accessed: 2013/2/18]

通常の石油開発では、石油開発企業がオペレータとなり個々の作業（掘削、セメンチングなど）はコントラクターに請け負わせて開発を行っていく。メタンハイドレート開発を促進するためには民間企業の参入が必要であるが、残念ながら現在はコントラクターの技術・ノウハウを有する日本企業は数少ない。日本の周辺海域には大きな油ガス田は存在しないので、コントラクターに対するニーズが極めて小さいからである。油井用鋼管や、ROV、海底生産システムなどに使用される部品については日本企業が生産・提供しているものも多いが、それらを組み合わせてシステム化する技術や現場で作業できるオペレータは持ち合わせていないために、日本企業が生産した様々な製品は、最終的には海外のコントラクターやオペレータによって海底石油・ガス開発・生産システムに組み込まれて商品利用されているのが実情である。

売り手（資源開発企業）、買い手（電力会社・ガス会社などの企業）、作り手（製造業などのメーカー、エンジニアリング会社などの企業）が揃って、新産業は創出されていく。今後の日本周辺海域でのメタンハイドレートの開発フィールドを技術者・技術力育成のための実験場として積極的に活用していければ、国内産業の育成・振興が図られる。さらに、そこで培われる日本独自の技術は、海外のメタンハイドレート資源開発をターゲットにした技術の海外展開につながると思われる。