海洋資源開発
利用プロジェクト創出研究会
報告書

はじめに

天然資源の少ないと言われているわが国ではあるが、世界第６位の面積を有する排他的経済水域内においては、熱水性鉱床、メタンハイドレートなど海底下における多くの資源の存在が有望視されている。特に、九州の近海には、長崎県や唐津市沖、福岡県、熊本県などにCBM（Coal bed methane、石炭由来天然ガス）、宮崎県、長崎県沖にメタンハイドレート、宮古島周辺に水溶性の天然ガス、更には鹿児島県から沖縄近海に架けての熱水鉱床等が存在するなど数多くの海底下資源が賦存しており、他地域に比べて、海底下資源開発に際しての立地条件に恵まれている。

海洋資源への関心が高まるなかで、大学や公的な研究機関において海洋資源開発に関わる基礎的研究がおこなわれつつある。しかしながら、その事業化・産業化は欧米に比べて後れを取っているのが現状である。欧米での事業化が進んでいる要因のひとつは、近海に石油・ガス資源があること、比較的水深が浅いことなど、海洋資源開発・海洋エネルギ利用の面で日本に比べて自然環境的に恵まれた点などが多くあるためではあるが、その外に、これまで海洋構造物を用いて稼働してきた実績が積み重ねられていることが強みとなって、欧米以外の海外プロジェクトにおいても有利な立場を築いている。すなわち、実績データを積み重ねることにより、自然現象である波浪荷重などの条件下での稼働限界を設定する技術が構築でき、各種設備、機器の過酷条件下での耐久性に関するデータなどを蓄積してきていることが、非常に大きな強みとなっている。

本研究会では、海底資源開発における基盤産業を九州地区において育成することを目的に、九州地区の近海に賦存する海底資源の採取を目標としたプロジェクトを創出することを提案するものである。本プロジェクトでは、海外からの技術に頼らず、わが国の自前の技術を自国の海底資源開発に適用して、我が国近海に賦存する海底資源を採取するとともに、その実績を積み重ねることによって、海外のプロジェクトにおいてもプライムデベロッパーとしての参画が可能となる産業基盤を構築することを目指している。

海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会委員長
九州大学大学院工学研究院海洋システム工学部門教授
工学博士　吉　川　孝　男

目　　次

概　要

1．「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」の位置付け …… 6

2．「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」の構成について …… 7

3．「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」メンバー …… 9

4．各WGの検討内容 …… 10

5．海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会　全体会議　概要 …… 11

6．研究会報告書作成のお願い …… 13

報　告

1．「海洋資源開発、利用プロジェクト創出研究会」の目的について …… 18

2．我が国における海洋資源開発の現状 …… 18

(1) メタンハイドレート（MH） …… 18

(2) 炭層メタンガス（CBM） …… 19

(3) 熱水鉱床 …… 22

(4) 水溶性天然ガス …… 23

3．本プロジェクトで目標とする海洋地下資源について …… 24

4．CBM の採取についての検討 …… 25

4.1　CBM 生産の概要 …… 25

4.2　世界および日本における CBM 採取の現状と採取方法 …… 26

4.3　大島炭鉱における炭層からのガス抜きと発電実績 …… 26

4.4　CBM 生産に関する数値シミュレーションモデル …… 28

4.5　CBM 生産に関する事業規模と採算性 …… 31

5．CBM 採取に向けた具体的な研究課題と開発スケジュールの検討 …… 33

5.1　資源探査技術 …… 33

5.2　資源採取技術 …… 37

5.2.1　CBM 資源調査と生産計画策定に関わる開発研究（初年度～第２年度） …… 37

5.3　浮体、ならびにサブシー技術 …… 39
5.3.1　サブシー技術の構築 …… 39
5.3.2　採掘用浮体の基本設計（浮体の設計、発電、送電設備などの検討） …… 41
5.3.3　大型浮体の係留技術の構築（係留系の強度検討、アンカー把駐力の評価） …… 43
5.3.4　サブシー機器のメンテナンス技術の構築 …… 44
5.3.4-1　メンテナンスなど海中技術の検討 …… 44
5.3.4-2　海中作業用 ROV の製作 …… 45
5.4　電力供給技術 …… 48
5.4.1　CBM 採取プロジェクトで適用する海洋再生可能エネルギーの選定 …… 48
5.4.2　海洋再生可能エネルギー利用に関する研究計画 …… 50
①　潮流発電システムの試作、実証 …… 50
②　波力発電システムの試作、実証 …… 50

6．まとめ …… 53

概要

1．「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」の位置付け
2．「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」の構成について
3．「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」メンバー
4．各ＷＧの検討内容
5．海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会　全体会議　概要
6．研究会報告書作成のお願い

1.「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」の位置付け

(1) 設立の目的

設立の目的は、海洋関連産業を新たな地域産業として育成・振興するため具体的プロジェクトの報告書を作成する。

(2) 産業育成の考え方

・海洋関連産業の育成を大きな問題意識に、「海洋」、「資源・エネルギー」、「環境調和」、「地域産業」をキーワードとして戦略的な組み合わせを図る。
・九州が持つ造船・鉄鋼・機械等幅広い関連産業と技術の強みを上記キーワードで統合化し、我が国のニーズに応えるとともに、将来は海外ビジネスにも結びつけていく。
・メタンハイドレード等の海洋資源・海洋エネルギーを重要テーマとし、海底・海中・洋上・陸上分野の多様な技術をパッケージ化した具体的なシステムの創出を目指す。

(3) 研究会の進め方

・研究会は、九州内の産学官の有識者や企業を中心に委員構成を行い、平成25年度内を目途に具体的なプロジェクト報告書の作成を検討する。
・検討にあたっては、大学等の知的資源の活用とともに、企業の参加等産業振興の観点を重視し、また、政府・地方自治体等に対する協力・支援の要請等を含んだものとする。
・本研究会の検討成果は、国家プロジェクトへの参加、関係機関に対するプロジェクトの提案、将来的な海外ビジネス展開などに結びつける。
また、今後、「九州地域戦略会議」への提案等により九州一体となったプロジェクトとしての位置付け化を図り、その具現化を推進する。

2.「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」の構成について

海底下にあるメタンハイドレート、炭層メタン、熱水鉱床、水溶性天然ガスなどの天然資源を探査、採取、輸送する技術開発。また、洋上浮体上での発電、送電技術開発　等を其々分科会として検討し、研究計画を策定するとともに、今後の研究費概算を行う。尚、研究対象として

九州近海に賦存する、コールベッドメタン（CBM）を対象とすることが、探査、採取、輸送利用の面から、最も信憑性があり、炭鉱跡として、資源調査区域も限定出来ると考えている。

(1) 資源探査技術検討分科会

① 海底資源探査技術に関して、その探査手法の選定を行う。
② 資源探査の対象海域を設定し、その海域の資源探査に最適な探査方法を検討するとともに、資源探査に要する期間、人員、費用についても検討する。
③ 海底および海底下資源の探査を行う水中ビークル（AUV）について、どのような機能を保有すべきかについて検討し、AUV の仕様を決定する。
④ AUV の活動基地としての浮体にどのような設備、機能が必要かを検討する。

(2) エネルギー資源採取、輸送技術検討分科会

① 海底下の天然ガス、石油、メタンハイドレート等のエネルギー資源を採取し、さらに海上、および陸上に輸送して、これを利用するシステムについて、仕様を決定する。
② 資源採取の計画を策定し、実施に必要な費用などを見積もる。

(3) 洋上浮体上電力供給システム検討分科会

① 洋上設備の設備稼働に不可欠な自立型電力供給システムについて、主に海洋における自然エネルギを利用した発電システムについて検討し、その保有すべき、性能、仕様、開発目標などを策定する。
② 自然エネルギー（再生可能エネルギー）を用いた発電システムを洋上浮体に設置する際の課題を明らかにし、その実現化の方法について検討するとともに、浮体に備えるべき機能要件を明らかにする。なお、隣接地域への電力供給用も視野に、発電用コージェネプラントの併用も考えながら、発電設備の仕様や送電の方法についても検討する。
③ 運用時のランニングコストを算出する。

(4) 海中作業技術検討分科会

① 海洋資源開発に必要な海底、海中設備の設置技術、およびメンテナンス、補修作業を実施するに際して備えるべき機能を洗い出し、それらに対処できる ROV などの保有すべき機能について検討し、その仕様を決定する。
② 海底から採取するシステムについて検討し、その保有すべき機能、性能、仕様などを決定する。
③ 資源採取の際の環境影響評価について検討する。

今後のスケジュール

① H25年度４月　全体委員会、各分科会のメンバーを決めて、活動内容の概要を決定する。
② H25年６月　第１回ステアリング会議（合同分科会会議）を開催し、全体および各分科会の活動に関して、課題を抽出し、目標、実施手順等を明確化する。
③ H25年７月　各分科会を発足して、活動を開始する。
基本構想策定、目標とマイルストーンの設定、研究実施体制
予算規模確定、浮体設置サイトの調査と関係自治体との協議
④ H25年11月末　各分科会の活動結果の報告会を開催し、レポートを作成する。
とりまとめは12月
⑤ H26、H27年度；要素技術の構築（設計、製造水槽を用いた試験等の実施）
⑥ H28年度～５年程度；試験プラントを用いた実地試験

研究成果の活用、波及効果について

(1) 九州地区での海洋関連産業の育成
・海洋資源探査企業の育成
・資源採取企業の育成
・海洋、海中機器製造、メンテナンス企業の育成
・海洋におけるエネルギー（風、潮流、波力）を利用した発電事業の育成
・海洋関連技術の研究開発促進
(2) 建造した大型浮体の活用
・海洋資源利用の基地としても活用
・離島などへのエネルギー供給基地としての活用

3.「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」メンバー

【メンバー】

機　関　名	役　職	出 席 者
プロジェクト委員長 九州大学大学院工学研究院 海洋システム工学部門	教　授 （海中作業技術）	工学博士 吉 川 孝 男
九州大学大学院工学研究院 地球資源システム工学部門 資源開発工学研究室	教　授 （エネルギー資源採取）	工学博士 佐々木 久 郎
九州大学大学院工学研究院 海洋システム工学部門 船舶海洋性能工学講座	教　授 （電力供給システム）	工学博士 梶 原 宏 之
九州大学大学院総合理工学研究院 流体環境理工学部門	教　授 （電力供給システム）	工学博士 経 塚 雄 策
九州大学大学院工学研究院 海洋システム工学部門 海洋システム設計学講座	教　授 （エネルギー資源採取）	工学博士 篠 田 岳 思
東海大学海洋学部 航海工学科海洋機械工学専攻	准 教 授 （海中作業技術） （エネルギー資源採取）	博士（工学） 渡 邊 啓 介
九州大学大学院工学研究院 地球資源システム工学部門 地球工学講座・物理探査学研究室	准 教 授 （海底資源探査）	工学博士 水 永 秀 樹
九州大学大学院工学研究院 海洋システム工学部門	准 教 授 （電力供給システム）	工学博士 安 澤 幸 隆
九州大学大学院工学研究院 海洋システム工学部門	准 教 授 （海底資源探査） （海中作業技術）	博士（工学） 山 口 悟
九州大学工学研究院 地球資源システム工学部門	助　教 （エネルギー資源採取）	博士（工学） 菅 井 裕 一
九州経済産業局 資源エネルギー環境部	次　長	岡 博 士
株式会社　ワイビーエム	会　長 （エネルギー資源採取）	工学博士 吉 田 哲 雄
旭海運株式会社	プロジェクト室　室長 （海中作業技術）	荒 平 一 也
一般財団法人 九州地域産業活性化センター	専務理事	鉄 川 洋

【事務局】

一般財団法人 九州地域産業活性化センター	調査部長	三 島 輝 寿
同上	プロジェクト推進部長	児 玉 孝 雄

4．各WGの検討内容

(1) 資源探査技術検討分科会

① 海底資源探査技術に関して、その探査手法の選定を行う。
② 資源探査の対象海域を設定し、その海域の資源探査に最適な探査方法を検討するとともに、資源探査に要する期間、人員、費用についても検討する。
③ 海底および海底下資源の探査を行う水中ビークル（AUV）について、どのような機能を保有すべきかについて検討し、AUV の仕様を決定する。
④ AUV の活動基地としての浮体にどのような設備、機能が必要かを検討する。

(2) エネルギー資源採取、輸送技術検討分科会

① 海底下の天然ガス、石油、メタンハイドレート等のエネルギ資源を採取し、さらに海上、および陸上に輸送して、これを利用するシステムについて、仕様を決定する。
② 資源採取の計画を策定し、実施に必要な費用などを見積もる。

(3) 洋上浮体上電力供給システム検討分科会

① 洋上設備の設備稼働に不可欠な自立型電力供給システムについて、主に海洋における自然エネルギを利用した発電システムについて検討し、その保有すべき、性能、仕様、開発目標などを策定する。
② 自然エネルギ（再生可能エネルギー）を用いた発電システムを洋上浮体に設置する際の課題を明らかにし、その実現化の方法について検討するとともに、浮体に備えるべき機能要件を明らかにする。
なお、隣接地域への電力供給用も視野に、発電用コージェネプラントの併用も考えながら、発電設備の仕様や送電の方法についても検討する。
③ 運用時のランニングコストを算出する。

(4) 海中作業技術検討分科会

① 海洋資源開発に必要な海底、海中設備の設置技術、およびメンテナンス、補修作業を実施するに際して備えるべき機能を洗い出し、それらに対処できる ROV などの保有すべき機能について検討し、その仕様を決定する。
② 海底から採取するシステムについて検討し、その保有すべき機能、性能、仕様などを決定する。
③ 資源採取の際の環境影響評価について検討する。

５．海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会　全体会議　概要

海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会　第１回全体会議　概要

日時：平成25年６月10日（月）　14：00～18：00
場所：共創館Ｄ会議室

議題

１．本研究会発足の趣旨説明（(一財）九州地域産業活性化センター　麻生渡会長）

２．自己紹介
参加メンバー、ならびにオブザーバーの自己紹介

３．研究会の進め方（(一財）九州地域産業活性化センター　田中常務理事）

４．研究会の基本構想（吉川委員長）

５．資源として何をターゲットとするかについて

６．シーズ技術の紹介

７．各 WG の検討項目について

海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会　第２回全体会議　概要

日時：平成25年８月21日（水）　13：30～17：30
場所：福岡合同庁舎本館６階　九州経済産業局　第Ｉ会議室

議題

１．前回議事録の確認、オブザーバー紹介（事務局）

２－①．サブシー技術について
２－②．試掘技術について

３．CBM について

４．各ワーキングの中間報告
①　海底資源探査　　②　エネルギー資源採取　　③　海中作業技術　　④　洋上浮体

５．今後の方針、計画について

６．次回の予定

海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会　第３回全体会議　概要

１．日　時：平成25年11月11日（月）　13：30～17：00
２．場　所：共創館３F　E 会議室

１　「苫小牧 CCS 大規模実証試験の概要」について（日本 CCS 調査㈱　阿部取締役技術統括部長）

（Q）　CO_2は、砂岩層の隙間に浸透していくのか？
（A）　３、４割は水へ溶解する、残りは砂岩層の隙間に浸み込む。

（Q）　CCS は10万 t/ 年、100万 t/ 年規模の貯留を考えているのか？　１万 t/ 年程度の小規模な CCS に取り組む可能性はあるのか？
（A）　化学プラント、精製プラント等が付近にある等　CO_2が手配しやすいところからやっていくことになる。10万 t/ 年、20万 t/ 年から始め大規模化していく。１万 t/ 年程度のものは価格的にスケールメリットが発生しない。

（Q）　漁業者との調整については？
（A）　苫小牧港湾内は漁業権の設定がない海域であるが、10m より浅いところはほっき貝がよく取れる。探査、環境調査等　その都度漁業者とは話をしながら事業を進めている。フェース to フェースで信頼関係を築いてきた。
　苫小牧は環境都市を目指しており、CCS もその一環として進められており、漁業組合もそのメンバーとして推進事業体に入っている。

（Q）　CO_2を圧入し石油を取りだすという方法は一般的か？
（A）　北米は、CO_2排出源が多く有るので、パイプライン網ができている。1970年代からこの方法で石油を取っている。北米以外は１か所ぐらいである。

（Q）　CCS は一般的に海でやるのか、陸でやるのか？
（A）　海は環境大臣の許可を受ければ建設できるが、陸上には建設しようにも法律がない。また、陸上は地権者が多いのでやりにくい。

２　今後の予定、お願いについて

・今後の予定は、12月中旬までに各 WG の凸凹を均し報告書を作成する。国への応募は来年早々に始める。
・先生方には、報告書を作成するにあたり、これからも追加資料の提出、報告書の確認等をお願をすることがある。

各 WG の委員の皆様へ

海洋資源開発、利用プロジェクト創出研究会
吉川孝男

6．研究会報告書作成のお願い

次回11月11日の第３回プロジェクト創出研究会では各 WG から其々の検討結果のまとめとして、研究会報告書を提出いただきたく思います。そこでそれを作成するうえで、各 WG の方向性を統一したいと思います。以下の文書をご覧いただき、それを参考に研究会報告書を作成いただけると幸甚に存じます。

よろしくご協力のほどお願いいたします。

現在、経産省ではＨ21年に海洋エネルギー・鉱物資源開発計画が策定されており、開発計画では、石油、天然ガス、メタンハイドレート、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、マンガン団塊が当面、開発対象とされ、JOGMEC 等で具体的な PJ が進められています。

このような状況の下、現時点でメタンハイドレート、あるいは海底熱水鉱床などを当面のターゲットとして、九州地区でプロジェクトの立ち上げを図って研究開発申請を行っても、現在進行中のプロジェクトとの関係から認められる可能性は低いと想定されます。

一方で九州地区には独自の資源として CBM が存在しており、第２回委員会での佐々木先生の資料にもありますように、かなりの賦存量が期待でき、経済的にも成り立つ可能性があります。

CBM であれば、現在進行中の他のプロジェクトとのバッテイングもなく、また、九州の地域性の強みもあることから、開発プロジェクトとして発足できる可能性があります。

そこで、本研究会としては次のような方針で、研究会報告書を作成してはどうかと考えています。

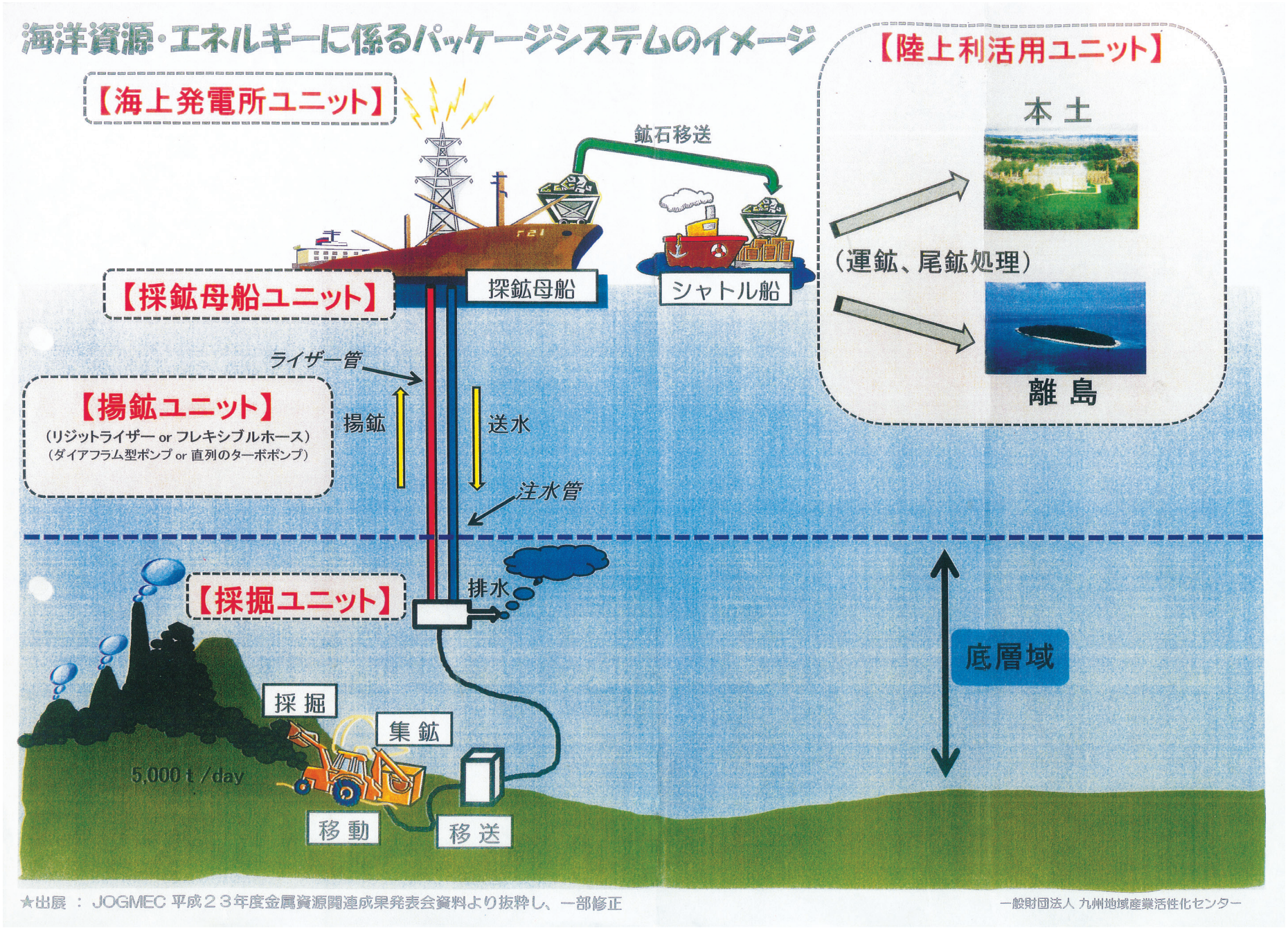
１）当面のターゲットとして、たとえば、長崎県の西彼杵沖、佐賀県の唐津沖、福岡県の大牟田沖などの海底下の CBM の採掘を目指す。
２）CBM の採取に際しては、今後の発展性（大深度の資源開発への適用性）を考えて、洋上浮体（FOSO タイプ）を基地とすることを想定し、洋上基地のコンセプト設計を行うことを報告書に含める。
３）CBM 採取に必要な技術（資源探査を含む）の開発、検証を行うことを目的とし、技術の検証試験を試験室、実海域レベルで行うことを提案する。（どのようなことを、どのような計画で行うのかを示す。）
（ベースとなる各技術の開発は本報告書とは別のところで行い、あくまで、本報告書では技術の実用化に向けた、検証、実証試験との位置づけとする。）
４）CBM の採取などに際してキーとなる機器を具体的にあげ、その開発計画（体制、期間、方策、費用など）を提示する。
５）浮体上には、採取したメタンガスを利用して発電する設備を設置して、陸地に電力輸送する案を検討する。
６）浮体を利用して自然エネルギーを用いた発電技術の実証、検証を行う案も報告書に含める。
７）将来、より大深度の資源（メタンハイドレート、海底熱水鉱床、石油、天然ガス）を採取するに際して必要となる技術を想定し、当面のターゲットである CBM の開発研究課題に反映させ、長期的な技術開発展望を示す。（開発、検証した技術が他の資源開発に必要不可欠であり、いかに活用できるかを明示する。）

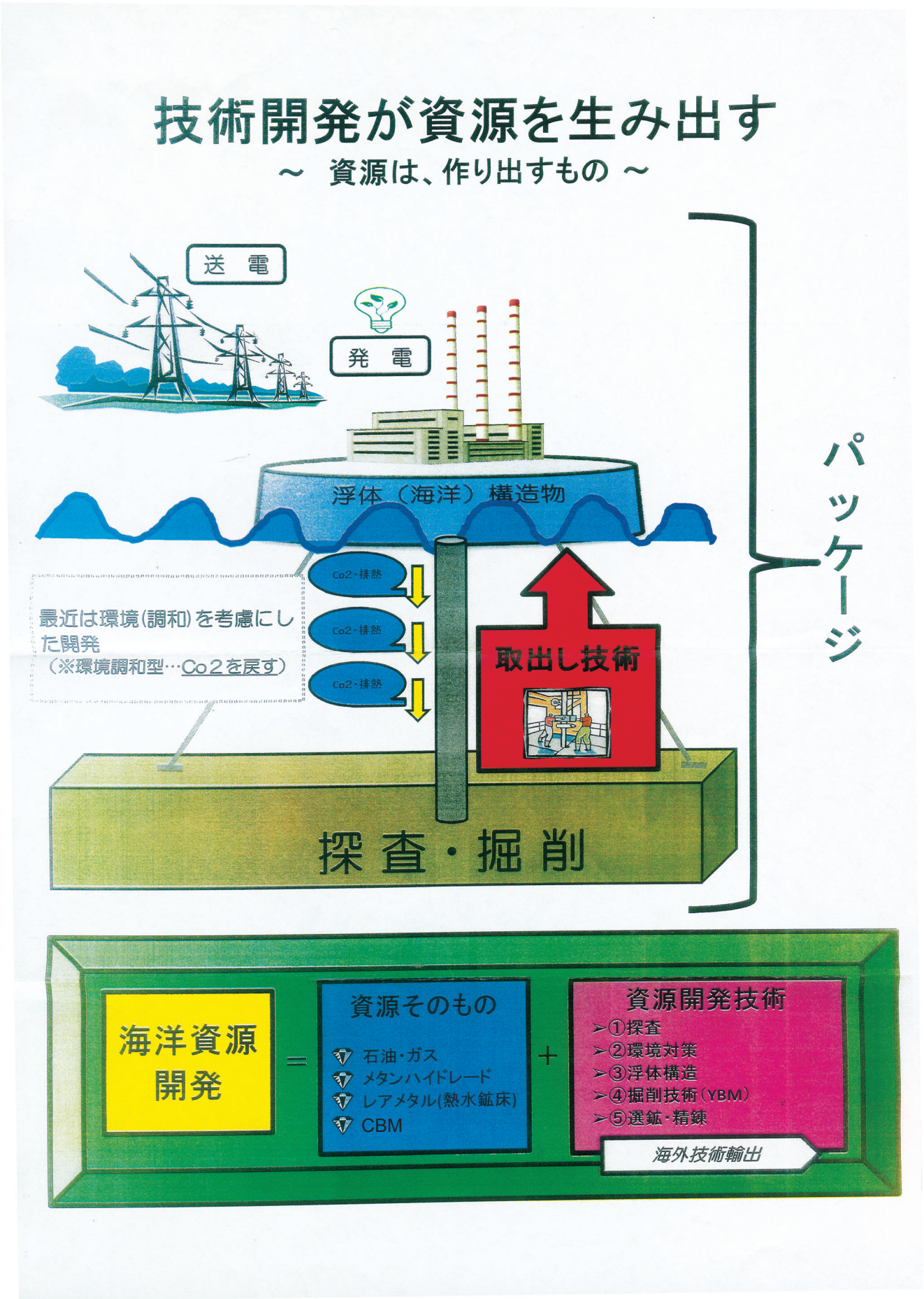
以上に示した方針のもと、各 WG で研究会報告書を作成いただきたく存じます。

なお、開発期間は３年とし、研究費の目安として、総額が５億円程度となることを想定いただけければ良いと考えています。（各 WG 間の凸凹は案が出てから調整させていただきます。）

また、この費用では浮体の製作は当然できないと思いますので、実海域試験を行う場合には、どのような方法で行うかもご検討いただければありがたく思います。

以上よろしくお願いいたします。


海洋資源・エネルギーに係るパッケージシステムのイメージ
【海上発電所ユニット】
鉱石移送
【陸上利活用ユニット】
本土
【採鉱母船ユニット】
探鉱母船
シャトル船
（運鉱、尾鉱処理）
ライザー管
【揚鉱ユニット】
（リジットライザー or フレキシブルホース）
（ダイアフラム型ポンプ or 直列のターボポンプ）
揚鉱
送水
注水管
離島
【採掘ユニット】
排水
底層域
採掘
集鉱
5,000 t /day
移動
移送
★出展 ： JOGMEC 平成２３年度金属資源関連成果発表会資料より抜粋し、一部修正
一般財団法人 九州地域産業活性化センター


技術開発が資源を生み出す
～ 資源は、作り出すもの ～
送 電
発 電
浮体（海洋）構造物
パッケージ
最近は環境(調和)を考慮にした開発
（※環境調和型…Co２を戻す）
Co2・排熱
Co2・排熱
Co2・排熱
取出し技術
探 査・掘 削
海洋資源開発
＝
資源そのもの
石油・ガス
メタンハイドレード
レアメタル(熱水鉱床)
CBM
＋
資源開発技術
➢①探査
➢②環境対策
➢③浮体構造
➢④掘削技術（YBM）
➢⑤選鉱・精錬
海外技術輸出

報告

１．「海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会」の目的について
２．我が国における海洋資源開発の現状
３．本プロジェクトで目標とする海洋地下資源について
４．CBM の採取についての検討
５．CBM 採取に向けた具体的な研究課題と開発スケジュールの検討

海洋資源開発、利用プロジェクト創出研究会の報告書

1．「海洋資源開発、利用プロジェクト創出研究会」の目的について

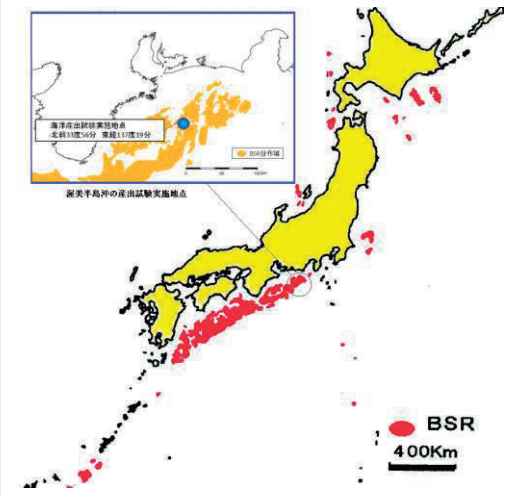
本研究会の目的は、九州地区において、海洋関連産業を新たな地域産業として育成・振興するための具体的プロジェクトを企画、立案することにある。そこで、海洋関連産業の育成を目標として、「海洋」、「資源エネルギー」、「環境対策」、および「地域産業」をキーワードとして戦略的なプロジェクトを提案する。また、九州地域が持つ造船、鉄鋼、機械分野など幅広い関連産業と技術の強みを統合化し、わが国におけるエネルギー資源の国産化のニーズに答えるとともに、将来は海外ビジネスに発展できるシーズ技術を構築する。

2．我が国における海洋資源開発の現状

まず、九州地区における利用可能な海洋地下資源についてその概要を以下に示す。

(1) メタンハイドレート（MH）

我が国近海には多くのメタンハイドレートが賦存することが、JOGMEC などによる海洋資源調査などで明らかになりつつある。その資源量は資源調査の進んでいる東部南海トラフだけでも日本の年間使用量の約７年分に相当する約5800億 m^3のメタン賦存量があると推計されている（図１参照）。九州の東側の宮崎県沖の海底下にもメタンハイドレードの存在が示唆される BSR が検出される海域が存在しており、メタンハイドレートからの天然ガスの開発に期待が集まっている。平成25年３月に渥美半島沖で約12万 m^3のメタンハイドレート層からの試験的な減圧法を適用したガス生産が地球深部探査船「ちきゅう」を用いて実施された。ただし、生産は坑井での細かい砂が詰まり６日間で終了している。今後、北米からのシェールガスやアフリカ沖の巨大ガス田などからの LNG の輸入に対抗するためには、熱効率と回収率を高めた新たな生産技術の開発やコスト低減などの課題の解決が求められている。



BSR；地震探査法で観測される海底疑似反射面を意味し、メタンハイドレードが賦存している可能性がきわめて高い地域
出典: Fujii ら(2008)

図１　メタンハイドレートの賦存域（BSR が確認された領域）と海洋産出試験実施海域

現在、JOGMEC が中心となって、10年後の平成30年後半における商業化を目指して全国の周辺海域でメタンハイドレートの賦存量調査が進められる。埋蔵量調査を2013年度から３年間で実施し、その後に商業化に関する総合評価が実施されるものと報道されている。今後３年間ほどは米国の凍土層での安定した生産試験で技術課題を探る予定とされている。

なお、佐々木ら（2007）は、減圧法に対して、図２に示すような海上発電設備の廃熱を利用し生成した熱水を循環させてメタンハイドレートの分解熱を連続的に供給するシステムを提案している。

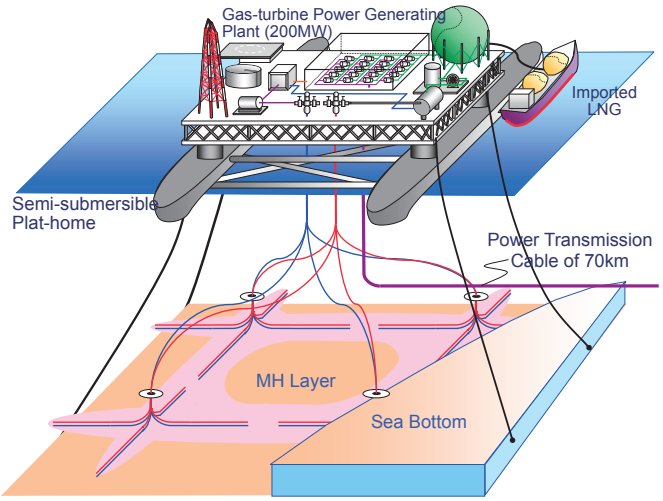


図２　熱電併給機能を付与した天然ガス発電所の廃熱をメタンハイドレートの分解熱に利用する統合化設備（佐々木ら、2007）

参考文献

T. Fujii, T. Saeki, T. Kobayashi, T. Inamori, M. Hayashi, O. Takano, T. Takayama, T. Kawasaki, S. Nagakubo, M. Nakamizu and K. Yokoi (2008) : Resource Assessment of Methane Hydrate in the Eastern Nankai Trough,. Japan, Offshore Technology Conf.2008OTC-19310.

佐々木久郎，菅井裕一，海老沼孝郎，成田英夫，山口勉（2007）：メタンハイドレート堆積層からの天然ガス生産設備と発電設備を具備する統合設備，日本国特許3914994

(2) 炭層メタンガス（CBM）

九州北部から西部ではかつて石炭採掘が活発になされていたこともあり、今なお未採掘の石炭層が賦存している。この石炭層にはメタンガスが多く包含されていることから、炭層メタンガス（コールベッドメタン，CBM）としてのガス生産と利用の可能性が指摘されてきている。図３に示すように、石炭層は九州地区のほか、北海道の石狩地域、釧路沖、常磐～東北にかけての太平洋岸などにも賦存し、全国で約27,000Gm^3（270,000億 m^3）の CBM が賦存していると推測されている。とくに、表１に示すように1200m よりも浅い炭層における生産可能と判断されるガス量は全国で約242Gm^3（2420億 m^3）と算定されている。そのうち，九州地区には96Gm^3（960億 m^3）の CBM が賦存するが、筑豊・福岡、三池・唐津、有明、松島・高島、西彼杵沖の深度300～1200m の浅深度域に比較的多くの CBM が賦存している（表１）。

西岸沖には石炭を含む古第三紀の地層が分布しており、旧池島鉱業所が操業した炭層が賦存している。地形的には、大村湾側には海岸段丘が、また東シナ海側は、火山岩頚や玄武岩の貫入で残ったかつて炭鉱として操業した島々がある。

岩田・亀尾（2001）によれば、北西九州とその周辺の海域に、６個の含炭古第三系堆積盆地が分布していることが知られている。その中に、五島列島とその東側の西彼杵半島との間に西彼杵沖堆積盆地がある。西彼杵沖堆積盆地の縁に、松島、大島、池島、高島、端島などで石炭の採掘が実施された海底炭田が存在する。

図３　CBM の賦存地域（日本全体の－1,200m 以浅、石炭賦存量：27Gt, CBM 賦存量：242Gm^3）

表１　九州地区に賦存する CBM のポテンシャル（－1200m 以浅）

	炭田浅部 0 ～－300m (Mton)	炭田中部 －300～－600m (Mton)	炭田深部 －600m ～－1200m (Mton)	総計 －1200m 以浅 (Gm^3)
筑豊・福岡	810	580	2,680	12
三池・唐津	1,210	920	2,570	23
有　　明		884	880	15
松島・高島	390	730	1,670	22
西彼杵沖	1,828	210	2,040	26
九　州　計	4,240	3,330	9,800	96
全　国　計	7,750	13,000	27,500	242

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1989) により、昭和57年～平成３年に探査が実施され、図４に示すように、高島炭田から崎戸・松島炭田まで、長崎県西彼杵半島の西側沖にほぼ連続して海底炭田が存在することが明らかになっている。また、堆積盆地の中心部の炭層は未開発のまま残されており、CBM 生産の対象領域となっている。なお、西彼杵以外の CBM 対象領域としては、唐津炭田と佐世保炭田の両陸域炭田を含み、南東方向に三池―有明炭田へと幅約50km で約100km 伸びている唐津堆積盆地などがある。なお、－1200m 以浅の夾炭層の合計の炭丈は約10m 程度と推定される。石油公団 (1998) による基礎調査基礎試錐によって、図５に示すように西彼杵沖・五島灘含炭堆積盆地層序が明らかになっており、炭層は表２に示すように松島層群と高島層群に存在している。

参考文献

地殻深部エネルギー開発利用技術研究会 (2005)：CO_2地中貯留と深部石炭・ガス複合資源開発

岩田尊夫、亀尾浩司 (2001)：北九州含炭堆積盆地におけるシーケンス層序と堆積過程、石油技術協会誌、Vol. 66-3, pp.278-291.

石油公団 (1998)：平成８年度　国内石油・天然ガス基礎調査基礎試錐「五島灘」調査報告書

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1989)：西彼杵沖地域総合解析報告書－石炭資源開発基礎調査

坂井ら (1997)：山口県西部および九州北・西部の第三系シークェンス層序と堆積盆の輪郭、日本地質学会学術大会講演要旨 104, 332

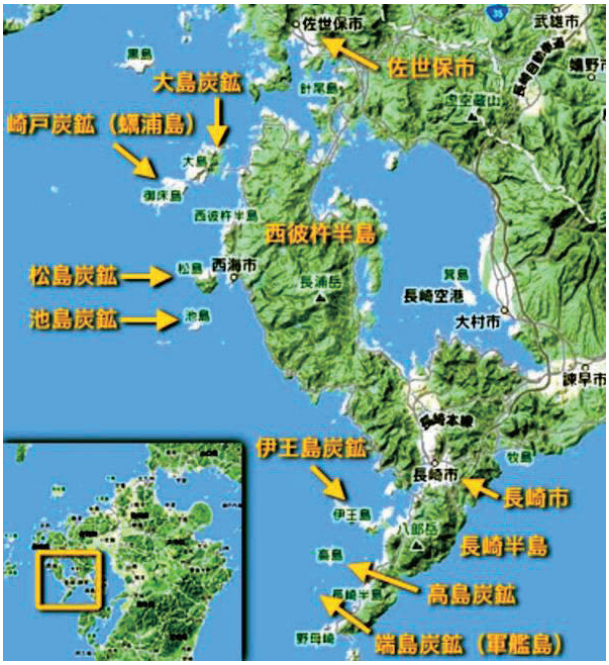


図４　西彼杵沖合海底下炭層を採掘・稼行していた島内炭鉱

（大島炭鉱は北端にあり、端島（軍艦島）は南端に位置する）

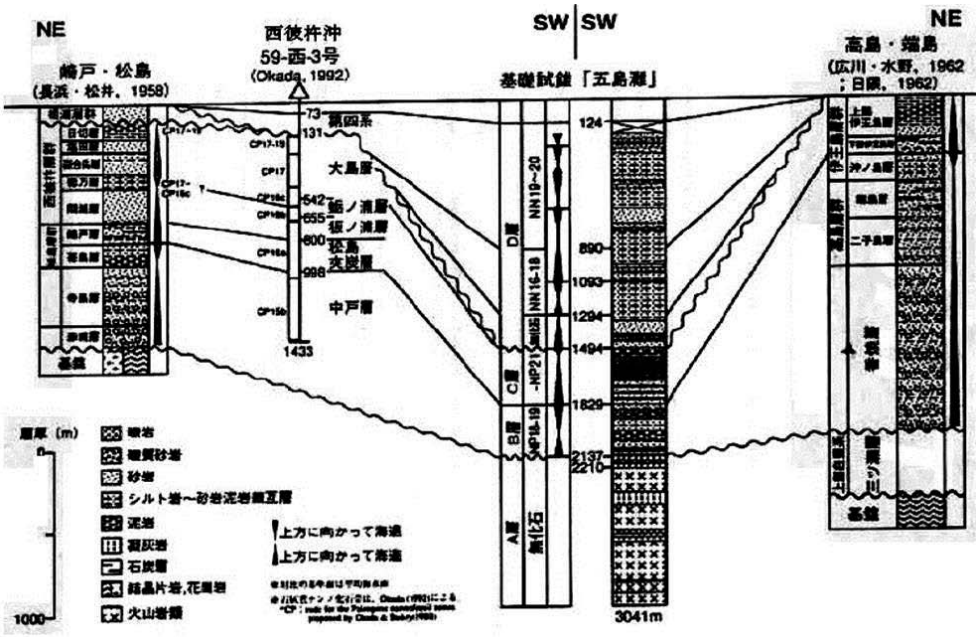


図５　西彼杵沖・五島灘含炭堆積盆地層序対比図（石油公団、1998）

表２　九州北西部地質層序（坂井ら、1997）

<table>
<tr><th colspan="2">地質時代</th><th colspan="2">高島炭田</th><th colspan="2">崎戸・松島炭田</th></tr>
<tr><td rowspan="11">第三紀</td><td rowspan="6">漸新世</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td><td rowspan="5">西彼杵層群</td><td>日切層</td></tr>
<tr><td>塩田層</td></tr>
<tr><td>百合岳層</td></tr>
<tr><td>徳万層</td></tr>
<tr><td rowspan="5">伊王島層群</td><td rowspan="2">大明寺層</td><td>間瀬層</td></tr>
<tr><td rowspan="2">船津層</td><td rowspan="2">松島層群</td><td>崎戸層　石炭</td></tr>
<tr><td rowspan="5">始新世</td><td>中戸層</td></tr>
<tr><td>馬込層</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>沖の島層</td></tr>
<tr><td rowspan="2">高島層群</td><td>端島層　石炭</td></tr>
<tr><td>二子島層　石炭</td><td colspan="2">寺島層</td></tr>
<tr><td colspan="2">赤崎層群</td><td>香焼層</td><td colspan="2">赤崎層</td></tr>
</table>

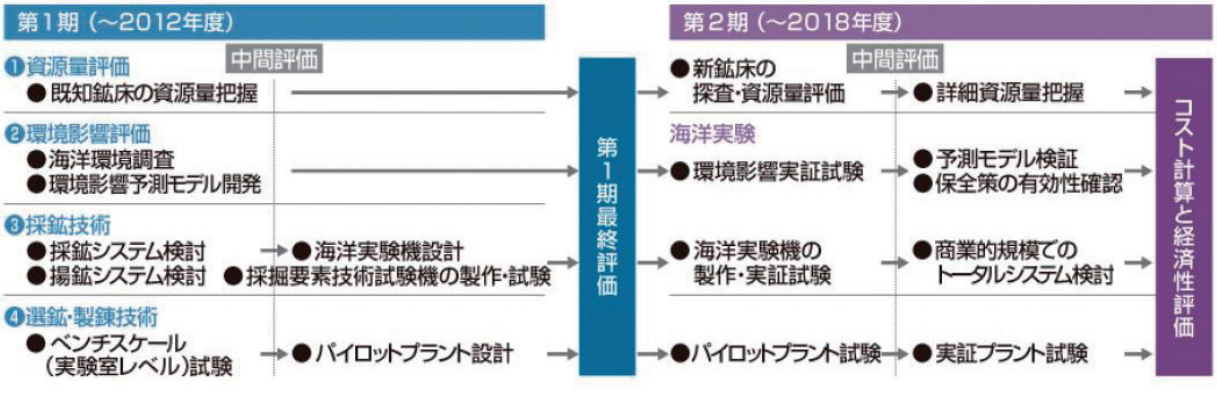
(3) 熱水鉱床

海底熱水鉱床は、地下深部に浸透した海水がマグマなどの熱に熱せられ、地殻に含まれている有用元素を抽出しながら海底に噴出し、それが冷却される過程で、熱水中の銅、鉛、金、銀などの重金属が沈殿したものである。

我が国においては、（独）海洋資源開発機構や（独）産業技術総合研究所などの科学調査や（独）石油ガス・金属鉱物資源機構による海洋資源調査によって、分布水深が700～1,600m の多くの海底熱水鉱床が発見され、これらのいくつかは広範囲に分布することが確認されている。

2008年度から JOGMEC が経済産業省の委託をうけ、民間企業、大学、研究機関の協力のもと、海底熱水鉱床の開発に向けて取り組み中である。このプロジェクトでは、１）資源量評価、２）環境影響評価、３）採鉱技術、４）選鉱・製錬技術の４つのテーマを設け、それぞれ並行して検討が行われている。表３に開発スケジュールを示すが、2019年度以降に商業化検討を行うとしている。

表３　JOGMEC における熱水鉱床に関する研究開発スケジュール



《出典：海洋エネルギー・鉱物資源開発計画（平成21年3月経済産業省）の概要より抜粋・簡略化》

これまでに、沖縄トラフの伊是名海穴、および伊豆・小笠原海域の明神海丘やベヨネーズ海丘において、広範囲（500m×500m 以上）で鉱床の兆候を確認するとともに、深海底鉱物資源探査専用船「第２白嶺丸」による集中的なボーリング調査を行い、鉱床の水平・垂直方向の連続性を確認し、その結果、両海域全体で、5,000万トン程度の概略資源量が見込まれることが判明している。なお、「第２白嶺丸」が搭載するボーリングマシンは海底着座型・掘削長20m のため、海底面の地形が急峻な場合や、海底下20m 以上の調査ができず、

より正確な資源量を算定するためには、鉱床の品位や広がり、厚さ、密度等を十分に調査できるボーリングマシンが今後は必要になる。

海底熱水鉱床を海底から採取するには、掘削システムの開発が不可欠であるが、これまでに国家プロジェクトや民間企業主体による一般海洋向けの掘削機や海底浚渫ロボットが開発されてきている。海外でも35度の急峻な海底でも歩行可能な浚渫機やダイヤモンド採掘機などが開発・稼働している。しかし、いずれも浅海域での掘削や海底での未固結の堆積物の浚渫などを行う目的で開発されており、水深1,000m 前後に分布する硬質の海底熱水鉱床の掘削がきるかどうかは不明である。

JOGMEC では、採鉱方法や鉱石を海上までパイプ輸送する揚鉱方法などの基礎的な調査研究を行なう一方で、特に技術開発要素の強い、採鉱技術の検証のための小型採掘試験機を製作中である。しかしながら、海底熱水鉱床は生成年代が若く結晶化が進展していないため、現状では有用鉱物の分離が困難であり、また、ヒ素等の不純物も多く含むなど選鉱・製錬上の課題も少なくないようである。

参考文献

経済産業省；「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画（案）」のうち、海底熱水鉱床等海底鉱物資源い係る開発計画（平成21年１月）

JOIGMEC；海水熱水鉱床開発計画第１期最終報告書（平成25年７月）

(4) 水溶性天然ガス

水溶性天然ガスは，付随水とともに産出する可燃性でメタンガスであり、油田の遊離天然ガスとは全く異なる成因をもつ。付随水は，海成の場合は堆積当時の海水を取り込むので，塩分濃度が海水に近い値である。日本の主な水溶性天然ガス鉱床は、地域的には、新潟県、千葉県、宮崎県、沖縄県等に分布している。とくに，千葉県の茂原地域のガス田は南関東ガス田と呼ばれており、生産量（平成20年度は平均126万 m^3/day)、埋蔵量ともに日本では最大規模であり、都市ガスとして利用されている。日本の水溶性天然ガスの特徴としては、砂岩と泥岩の互層中に昔の海水が地層の中に閉じ込められた「かん水」と呼ばれる付随水中にメタンガスが溶けた状態で存在する。かん水は通常の海水と比べて約2,000倍のヨード分を含む特徴を持つことから、茂原地域は世界有数の輸出用のヨード生産地としても知られており、天然ガスとヨードの両方を生産対象とする特色をもつ。

海底または湖底に有機物の遺骸が酸素の乏しい環境で堆積すると，これをバクテリアが分解してメタンを発生させることが成因とされている。メタンが水と結合して水和物となるので，散逸せずに地中に埋没する。これが埋没深度の増大とともに温度が上昇し，再びメタンガスとなり周辺の水に溶けて水溶性天然ガスとなる。このように長い年月をかけて地層中の水に少しずつ溶けこみ、濃度を増していったものと推測されている。千葉県の九十九里（茂原）地域の場合、有機物は第四紀と呼ばれる地質時代（氷河期が始まり、人類が出現したころ）に堆積した動植物と推定されている。

この南関東ガス田から産出される天然ガスは、メタンが約99％を占め、一酸化炭素や硫黄分等をほとんど含まないクリーンエネルギーで、熱量が高く、きわめて効率的なエネルギーとして都市ガス等に広く利用されている。

比較的新しい水溶性天然ガス資源として、沖縄本島中南部と宮古島の水溶性天然ガスがあり、水溶性ガス田である堆積層は島から海域にも連続していることが予想されている。その埋蔵量や採掘場所の調査が南城市や宮古島市など計約5500カ所で特殊車両と装置を使い地質構造調査が2011年に実施され、約14Gm^3= 140億 m^3の包蔵ガスポテンシャルがあると推計された。2012年度から、沖縄県県宮古島市、南城市、那覇市で、水溶性天然ガスの賦存状態を調べるため、試掘調査が宮古島を皮切りに２年間で実施されている。宮古島市では３カ所中で最も深い約2500m を掘削し，堆積層の地質調査、天然ガスの性質と成分などを分析し、その後に温泉水やガスの生産試験が実施される予定である。なお、３市の試掘調査（島内）の事業費として２年間で計約10億円の一括交付金を活用して実施されており、本海洋資源開発・利用プロジェクト創出研究会に

おいても参考となる情報である。

参考文献

沖縄県 (2012)：天然ガス資源開発調査報告書
宮古毎日新聞 (2014)：「３月から成分調査へ／天然ガス」（2014年１月21日付朝刊記事）
沖縄タイムズ (2013)：「南城で天然ガス試掘　県探査事業で２カ所目」（2013年９月１日付朝刊記事）

３．本プロジェクトで目標とする海洋地下資源について

まず、時系列的に開発が可能な海洋地下資源を示すと以下のようになる。

１．三池、唐津地区、ならびに西彼杵沖に賦存する CBM
２．宮崎県沖に賦存するメタンハイドレート
３．沖縄本島および宮古島近海の水溶性天然ガス
４．沖縄近海の熱水鉱床

以下、その理由、根拠を示す。

CBM の賦存している深さは、300m ～600m の浅深度域であり、採掘が比較的容易であると考えられる。また、採算性の観点からも、資源が陸地から近い距離にあり、その直接的な輸送、あるいは採掘したメタンガスを利用して発電した電力などを陸地に輸送する費用面から考えても、他のメタンハイドレートなどに比較し有利な点が多い。また、かつての炭坑などがあり、地層調査が進んでおり、その採掘に際して重要な地層データも明らかになっている地域が多く、資源調査の費用などが抑えられる。

次に、メタンハイドレートであるが、採取、あるいは利用可能なメタンガスの総量は CBM に比べて多く、わが国にとっては有望な海底地下資源であることは明らかである。現在、資源量調査や、紀伊半島沖での試験的な採取も試みられているが、深度が500m の海域のさらに200～300m の深さに賦存することが多く、CBM に比べて高度な採掘技術などが必要となり、また、海岸から50km 程度離れた海域であるため、資源、あるいは電力の輸送面でも解決すべき課題がある。

水溶性天然ガスについては、沖縄本島および宮古島などに賦存していることが知られているが、実際の開発・生産計画は今後策定される予定である。比較的浅海域からの採取が可能と推察されるため技術的に解決すべき課題はメタンハイドレートと同程度かそれ以下であると想定されるが、メタンハイドレートと同様な資源量調査などを優先して実施すべきと考えられる。

また、熱水鉱床については、伊豆、小笠原海域の明神海丘やベヨネーズ海丘、九州、沖縄地区ででは伊是名海穴において、深度700m ～1300m 程度の深海域に賦存していることが確認されており、さらに資源量調査が行われている。資源の賦存する海域が他に比べて少し大深度であること、固形の資源であることから、CBM、メタンハイドレート、および水溶性天然ガスなどに比較して採取、揚鉱などの技術面で解決すべき技術課題が多いこと、さらには熱水鉱床近くに生存する希少生命体の保護や資源採取時の廃棄物の処理の問題など環境影響評価の課題もあり、その開発は他の資源開発に比較して後年になるものと考えられる。

以上のことより、技術的観点から開発の容易な CBM の開発をまず実施し、そこで構築、実証した技術を、技術的な課題の多いさらに大深度でのメタンハイドレード、海洋性天然ガス、さらには熱水鉱床の開発につなげてゆくことが妥当であると考える。また、現状でのコスト見積もりの確実性が CBM の採取の場合が最も高く、さらに後で記述するように採算性の観点からも有望であることから、まず CBM の採取に向けて検討を行うことにした。

4．CBM の採取についての検討

4.1　CBM 生産の概要

石炭層から発生するガスはメタンが99％以上含まれ、エネルギー資源として、坑内採掘に伴うガス抜きで発生するガスや廃止鉱山からのガスは通気中のガス（Ventilation Air Methane）に分類される。とくに、炭層に対して生産坑井を掘削しメタンガスを生産する場合を一般的にコールベッドメタン（CBM）と呼んでいる。とくに、天然ガスのパイプラインが整備されている米国では、CBM の商業生産が実施されている。典型的な CBM プロジェクトにおける坑井と生産用配管および CBM 生産井の中のガスと水の流れのイメージを図 6 に示す。

炭層にガス生産用の坑井を掘削し、水を汲み上げることで生産井の圧力が低下し、ガスの生産が増加するプロセスとなる（図 7）。

①排水期、②安定生産期、③生産減退期

の主に 3 段階に CBM を生産時間プロセスは分類される。

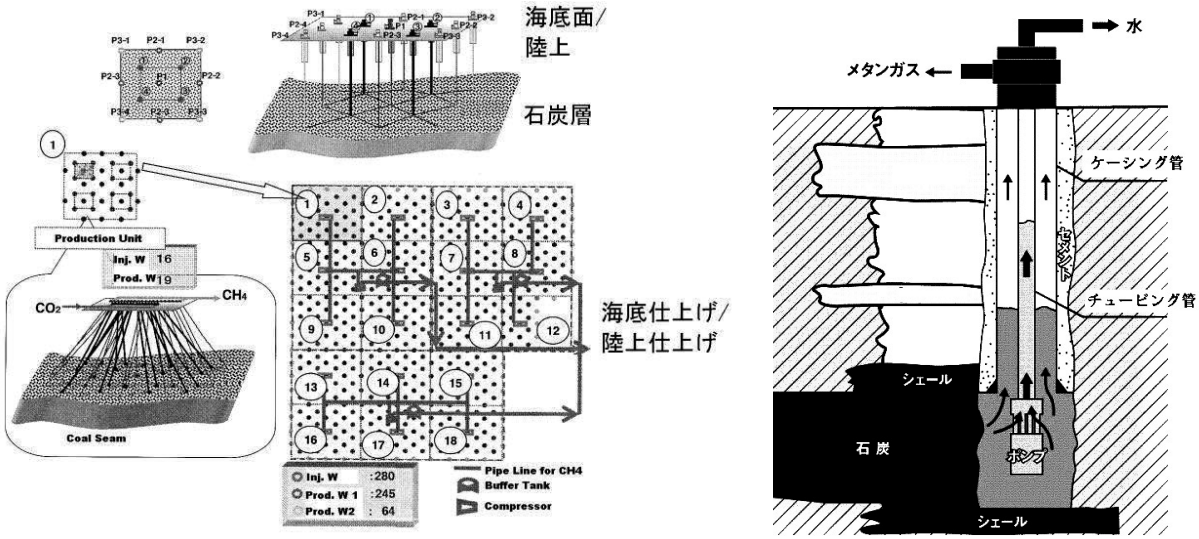


図 6　典型的な CBM プロジェクトにおける坑井と生産用配管（左）および CBM 生産井の中のガスと水の流れのイメージ（右）

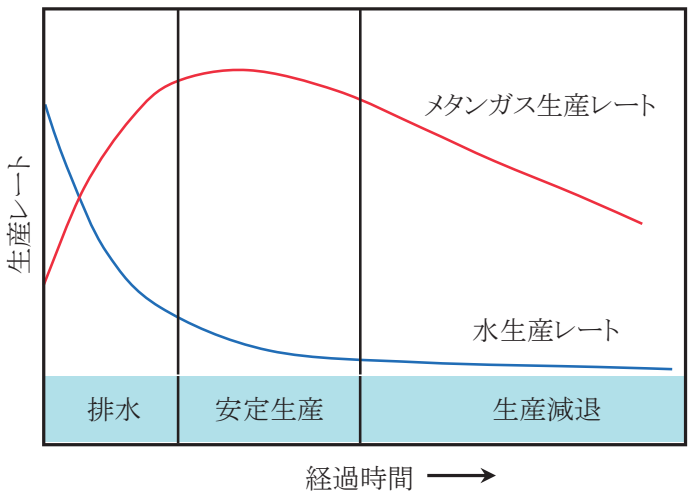


図 7　CBM 生産における水とメタンガスの生産量の履歴の模式図

石炭層には、クリ―トと呼ばれる天然のき裂群が形成され、ガスはミクロ孔隙内に吸着している。ガスの生産は、減圧によってミクロ孔隙表面からメタンガスを脱着させ、石炭マトリックスやミクロ孔隙内で拡散した後、き裂や炭理を通って流出させるという２段階を経て実施される。炭層にCO_2ガスを圧入することで、CO_2ガスの吸着によってCH_4ガスの脱着を促進する方法はCO_2-ECBM と呼ばれ、CO_2の固定とCH_4の生産による高い経済性が見込まれることから、世界で技術開発が進められている。

まず、１本の坑井による CBM 生産プロセスを３段階のステージに分類すると、図７に示すように排水、安定生産、生産減退となることが知られている。すなわち、初期的には、水の生産が多く、次第に水生産が減退することでガス生産量が増加するプロセスを示す。

4.2　世界および日本における CBM 採取の現状と採取方法

米国では非在来型の天然ガス資源としての CBM の商業生産がすでに実施されている。米国のサンファン地域では1000本以上の垂直坑井が掘削され、堆積盆の炭層から CBM の生産が行われている。

日本では、ガス湧出量が大きい北海道や九州の炭鉱において、安全対策を主とした炭層からのガス抜きが実施されている。大島炭鉱において、60,000m^3/day のガスタービン発電が日本において初めて実施され、その後北海道の炭鉱においても実施されているが、炭層のガス浸透率が低く、炭層からのガス抜きに苦労した状況にあったと報告されている。

石炭採掘と独立した試みとしては、旧赤平炭鉱の廃止鉱山の坑道に湧出したメタンガスを利用したマイクロガスタービン発電機による発電が実施されているが、本格的な CBM ガス生産は実施されていない。

夕張市において、CO_2炭層固定化予備試験が実施され、CO_2による CBM の増進回収がなされたが実用化に至らなかった。夕張市の旧大夕張炭鉱跡地に近い深度約900m の炭層の浸透率が0.1mD と低かったことから、CBM の生産量およびCO_2の圧入量が当初の計画に比較して1/10程度であったことが報告されている。これに対して、九州地区の炭鉱での浸透率は比較的高く、水平方向で10mD 程度であると推定され、単位体積当たりのメタンガス包蔵量は1/2程度であってもメタンガスの生産レートは夕張の場合に比較して大きいと推定される。

CBM の生産は図７に示すように、地下水を組みあげで減圧し、ガスを脱着し回収・生産する。効率的に CBM を採取するには炭層の浸透率の改善が必要であり、地下での水圧破壊などの処理が必須である。そのほか、空気あるいは窒素ガスを用いて坑井に加圧・除荷を繰り返し、オープンホール（裸孔）仕上げの坑壁の破壊・拡大ならびにき裂の成長を促進させて浸透率を高める刺激法などが採用されている。

4.3　大島炭鉱における炭層からのガス抜きと発電実績

かつて、西彼杵沖の島において、大島炭鉱から端島炭鉱までの７つの石炭鉱山が稼行し，海底下炭層からの石炭採掘が実施されていた。この中で、三井松島産業が操業した大島炭鉱では稼行炭層からのガス抜きを実施し，ガスタービン発電による所内売電と売電を大島ガス発電所（図８）における操業記録（三井松島産業（株）社史）が残されている。この記録から以下のデータが算定された。

- 最大ガス供給量：42m^3/min = 60,500m^3/day
- 最大発電設備容量：6250kW（オープンサイクル，発電効率23%，平均稼働率約80%）
- 裸孔のガス抜きボーリング１本あたりのガス生産量：1000－1500m^3/day
- 石炭生産量：1600－1800ton/day
- 生産石炭１ton あたりのガス抜き量：20～27m^3/ton
- ガス抜きボーリング孔の稼行本数：40～60本

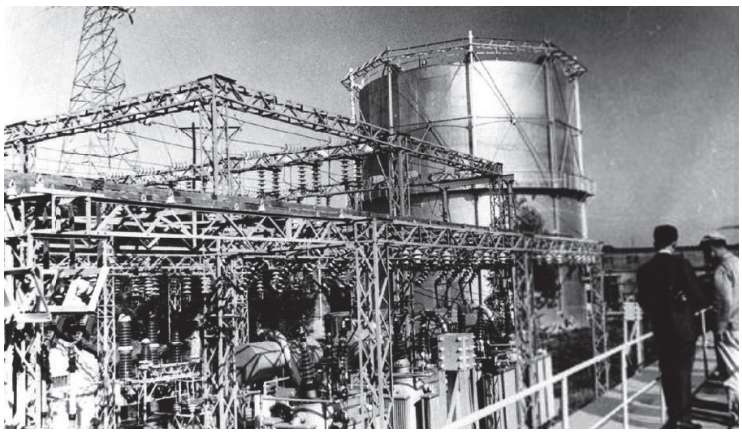


図８　炭層ガスを利用し1961年に稼働した大島ガス発電所
（出典：三井松島産業（株）社史）

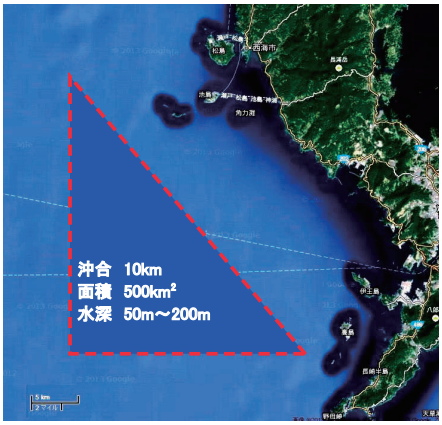


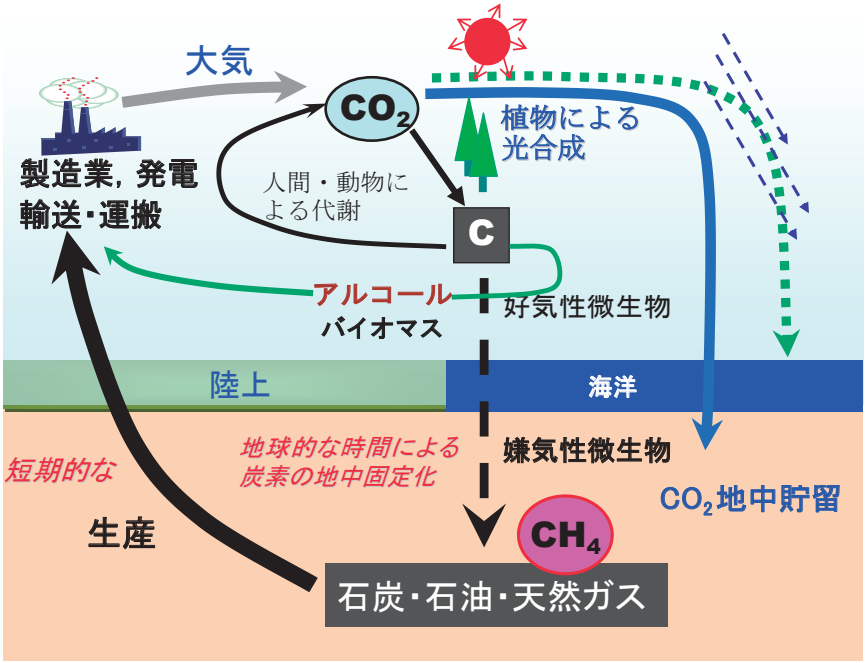
図９　CBM 生産の対象となる西彼杵沖の未採掘炭層領域の例（水深50m－200m、領域：500km^2）

これらの推計値は、図９に示す西彼杵沖領域の未採掘海底下炭層からの CBM 生産計画において有効な基礎データとなり得る。ただし，炭鉱の内部から炭層に穿孔する場合では切羽の炭層が応力変化により亀裂の生成が進み浸透率が増加している条件でのガス解放量である。したがって、１か月程度の短期間のガス抜きボーリングでの実績として算定された石炭１ton あたりのガス量 =20～27m^3/ton は、一般的な長距離掘削坑井による長期間の CBM 生産に比較して炭層ガスを有利に抜くことができた結果と判断される。CBM 生産プロジェクトにおける生産計画のリスクを低減するためには、1/2から1/3のガス量 = ７～10m^3/ton に割引いて予測シミュレーションを実施することが妥当と判断される。

なお，九州においては、石炭発電所において試験的に CO_2回収を実施しているプロジェクト（例えば、(株)シグマパワー有明三川発電所での東芝による10tonCO_2/day の分離回収）もあり、CH_4生産井の中央に配置した圧入井から CO_2を圧入することで、CH_4を増進回収する CO_2-ECBM を試験的に実施する余地を有している。

炭素の循環

大気中では CO_2，地下では CH_4が安定したガスとして存在



4.4　CBM 生産に関する数値シミュレーションモデル

九州大学工学研究院の資源開発研究室で実施した数値シミュレーションモデルと、石油生産シミュレータ ECLIPS^{TM} を用いた予測結果の例を、いくつか紹介する。

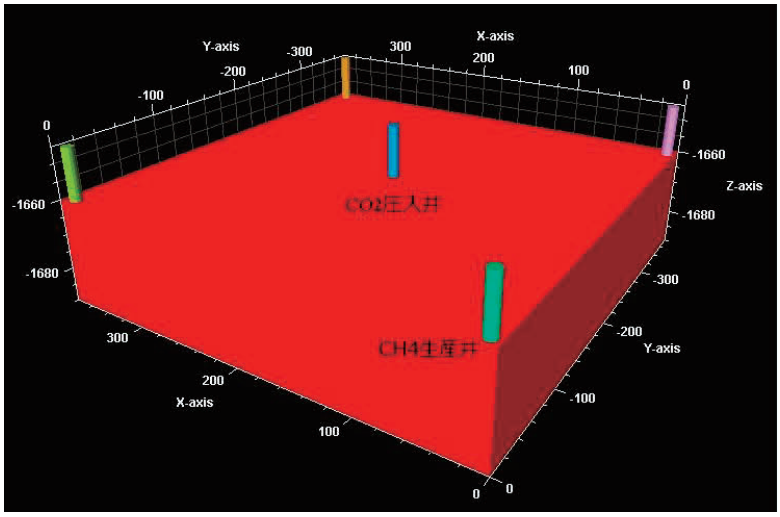


図10　スポットによる CO_2-ECBM の坑井配置　（CBM 生産井戸間隔：350m）

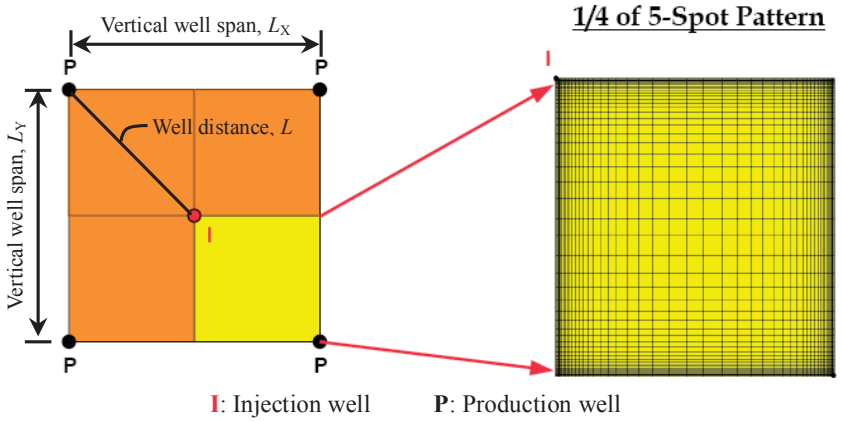


図11　スポット坑井群によるガス生産の数値モデルと数値計算ブロックの模式図

図10は５スポットブロックモデルである。図11に示すように、CBM だけの生産を１ブロックの角の４本の坑井の実際の数値モデルは、1/4の CH_4生産井と1/4の CO_2圧入井で簡略化できる。また、図12は、想定した石炭層における CH_4と CO_2ガスの Langmuir 型吸着等温線のモデルを表し、石炭からのメタンガスの放出量を７m^3/ton とした場合で、CO_2飽和吸着量は CH_4の２倍程度吸着するモデルを仮定した。さらに、CBM/CO_2-ECBM 生産における数値シミュレーションにおける主なパラメータを表４にまとめて示す。

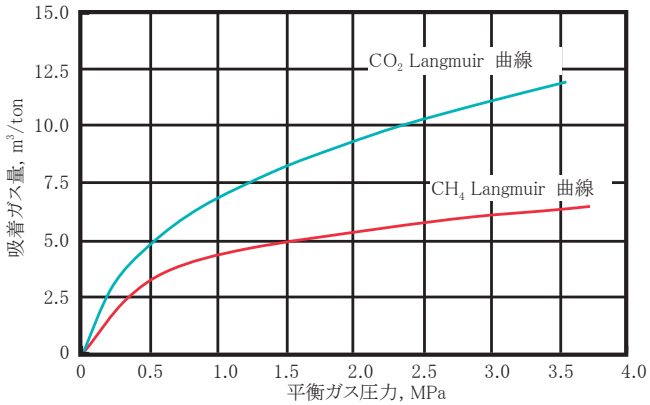


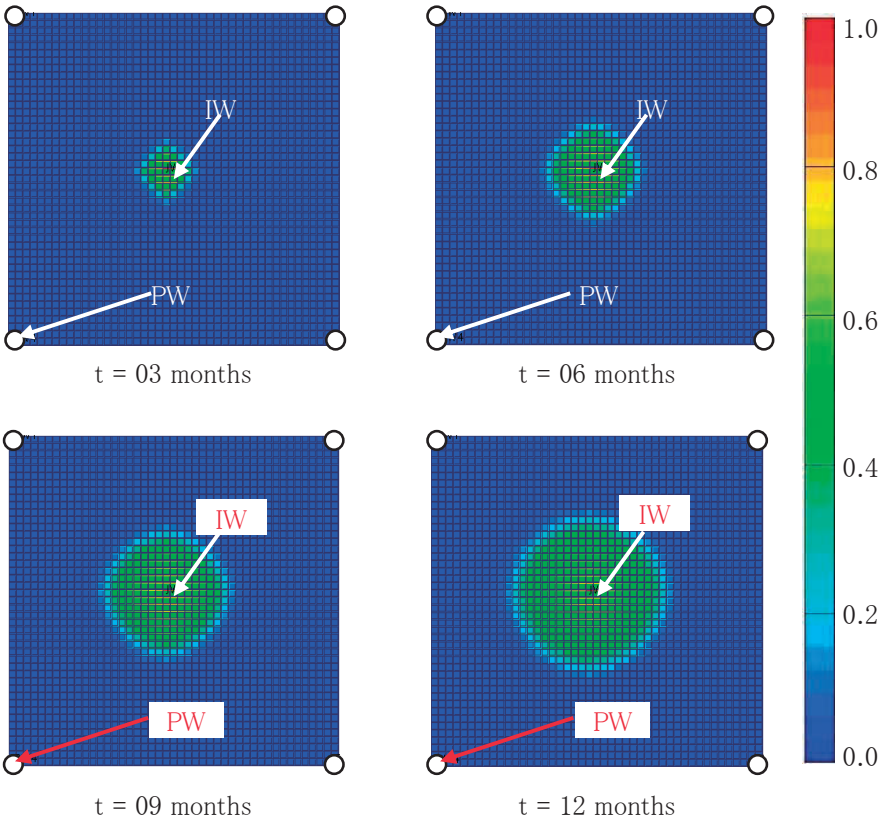
図12　想定した石炭層における CH_4 と CO_2 ガスの Langmuir 型吸着等温線

（石炭からのメタンガスの放出量を 7 m^3/ton とした場合で、CO_2 飽和吸着量は CH_4 の 2 倍）

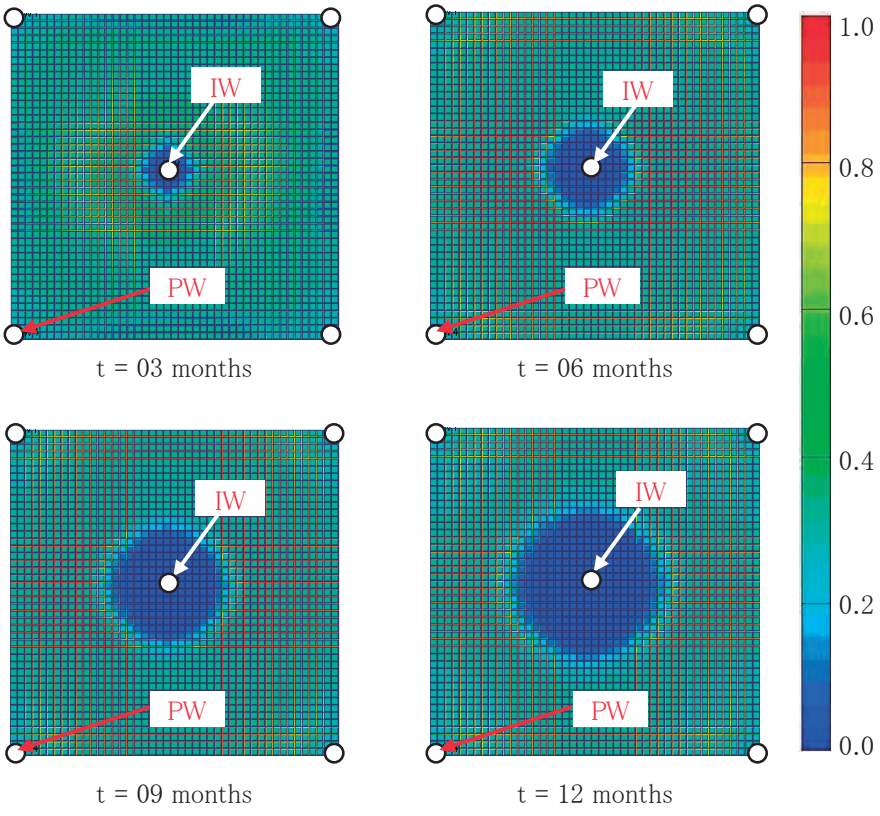
表４　CBM/CO_2-ECBM 生産における数値シミュレーションのパラメータ.

設定項目	単位	設定
２本の生産井間隔、L	m	250
生産井圧力（BHP）	MPa	0.14
初期炭層ガス圧、P_{int}	MPa	5.5
水平方向の浸透率、K_x	mD	3.0
垂直方向の浸透率、K_z	mD	1.0
炭層温度 T	℃	45
CO_2–ECBM 時の CO_2 圧入圧（BHP）	MPa	8

数値シミュレーション結果の一例を図13および図14に示す。図13はガスの飽和度の時間推移を示し、図14は、ガスおよび水の生産レートと累計生産量の時間推移を示す。平均的には2000m^3/day 程度の CH_4 ガス生産レートが得られるものと推定される。CO_2 圧入を実施することで、メタンガス生産量は約 2 倍強に増加することがわかるが、圧入坑井を生産坑井と同一本数掘削することが必要とされるため、経済性の観点からは、格段に有利となるわけではないが、CO_2 の固定という環境面での特色が得られる。



(a) CO_2飽和度の数値シミュレーション結果



(a) CH_4飽和度の数値シミュレーション結果

図13　メタンガスの飽和度の予測例（CO_2-ECBM 生産井戸の坑井間隔：350m）

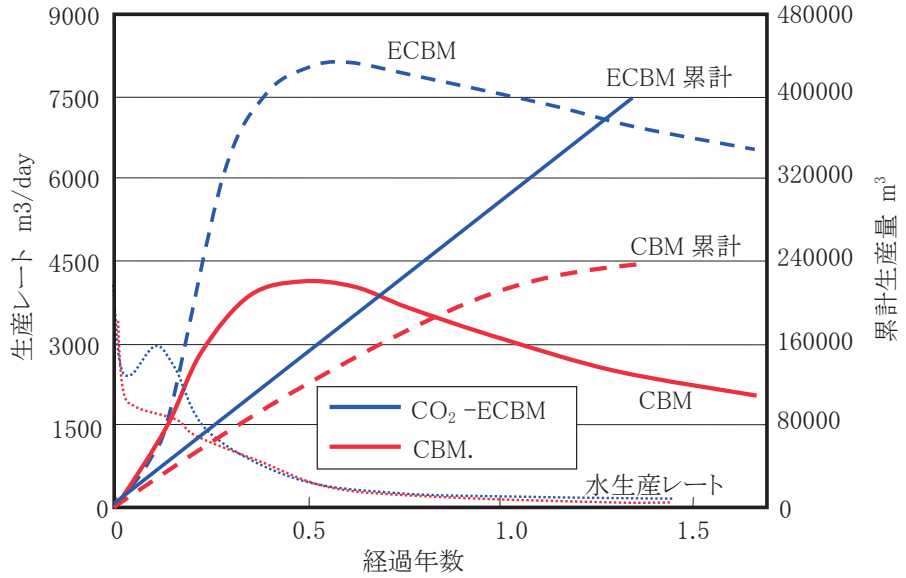


図14　CBM と CO_2を圧入する ECBM における水およびガス生産量の比較
（CBM 生産井戸の坑井間隔：350m）

4.5　CBM 生産に関する事業規模と採算性

経済性評価モデルを、大島炭鉱の実稼働ガス生産量の約 2 倍の 100,000m^3/day と設定する。表 5 に、CBM 生産プロジェクトのモデルと設定パラメータの例を紹介する。賦存している石炭 1 ton 当たりの生産可能ガス量を、大島炭鉱の例（20～27m^3/ton）を参照し、かつ安全を見て 7 m^3/ton と1/3以下に低く見積もった場合のモデルを示している。面積7.8km^2（2800m×2800m）をもつ 1 ブロックの垂直坑井数を50本とし、生産するモデルを想定した。なお、前述したように西彼杵沖のポテンシャル領域として500km^2であることから、7.8km^2の計画は十分な余裕がある。

本プロジェクトモデルの課題は、経済性の評価にある。CBM などのメタンガス資源の開発・生産においては、

1）資源探査・坑井掘削費用
2）ガス生産および処理施設の建設費用
3）営業経費（含む利益）

の主要な経費が見込まれるものの、その割合は賦存条件に大きく依存するが、おおまかに見積もってそれぞれ1/3程度と想定されている（図15）。その中でも、資源探査井と生産井の掘削費は大きな影響をもっている。沖縄県の水溶性天然ガスの調査井の費用を参照した場合、坑井掘削・仕上げ費用として、1 本1.6億円、合計80億円と低く設定している点にある。本数が多くなるにつれ、掘削費用の低減は見込まれるものの、掘削技術向上によるかなりの作業効率化が必要と判断される。

また、生産を目標とする生産レートとしてプロジェクトを設計すると、ガスの賦存条件の不確定性を吸収できないため、図16に示すように、目標値である10,000m^3/day の1/5程度の生産から始めることが望ましく、以下 3 期に分けたプロジェクトモデルを示す。

第１期の CBM ガス生産計画

- 第１期の生産ガス生産量の目標：20,000m^3/day
- 垂直生産井１本当たりの目標：1,400m^3/day
- 水平生産坑井１本当たりの目標：3,000m^3/day
- 生産井の寿命（生産年数）：15年
- 垂直生産井の掘削費用：1.6億円 / 本 ×10本 =16億円
- 水平生産井の掘削費用：3.2億円 / 本 × ５本 =16億円
- 地上生産施設、および既存ガスラインへの接続費用（20,000m^3/day）：４億円
- 年間施設保守、操業費用（20,000m^3/day）：2,000万円 / 年
- 年間収入（第１期）：約3.4億円 / 年

第２期の CBM 追加生産計画

- 第２期 追加生産ガス生産量の目標：30,000m^3/day
- 第２期 垂直生産井の掘削費用：1.6億円 / 本 ×15本 =24億円
- 地上生産施設および既存ガスラインへの接続費用（30,000m^3/day）：７億円
- 追加年間収入（第２期）：約5.1億円 / 年
- 年間施設保守・操業費用（20,000m^3/day）：3,000万円 / 年

第３期の CBM 追加生産計画

- 第３期 追加生産ガス生産量の目標：70,000m^3/day
- 第３期 垂直生産井の掘削費用：1.6億円 / 本 ×35本 =56億円
- 地上生産施設および既存ガスラインへの接続費用（70,000m^3/day）：９億円
- サブシー仕上げによる生産施設 （75カ所） 費用7.5億円
- 年間施設保守・操業費用（20,000m^3/day）：5,000万円 / 年
- 追加年間収入（第３期）：約12億円 / 年

表５　典型的な CBM 生産モデルの想定（１サイトでのメタン生産レートの目標：100,000m^3/day）

サイトの水深：130m
海底面からの炭層深度：370m、石炭層厚さの合計：10m、石炭の密度1.2ton/m^3
単位面積当たりの炭層のメタン埋蔵量：8.4m^3/m^2面積
１坑井からのガス生産量：約2,000m^3/day/ 坑井（水平井：×２）
１サイトの坑井数：約50本（水平井：25本）、ライフ：15年
坑井間隔：350m
１サイトの面積：約7.8km^2（サイト内包蔵メタンガス量 =6.6億 m^3 = 0.66Gm^3）
ガス生産量　100,000m^3/day = 0.365億 m^3/ 年
坑井掘削・仕上げ費用：80億円、プラント設備他：80億円
年間ガス生産量：28.8Mm^3/ 年、都市ガスとして販売する場合の収入：15億円 / 年
ガスの全量をガス火力発電所に利用した場合の発電容量の見込：18MW

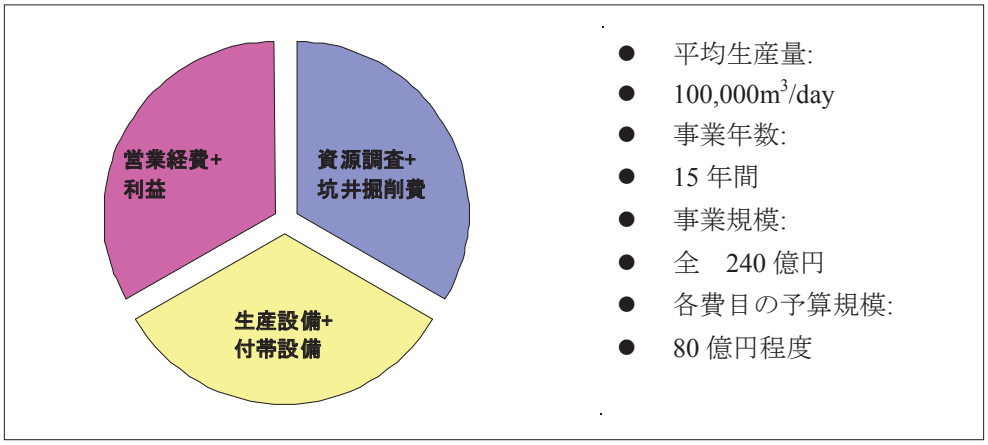


図15　天然ガス生産に関わる経済性評価における経費概要

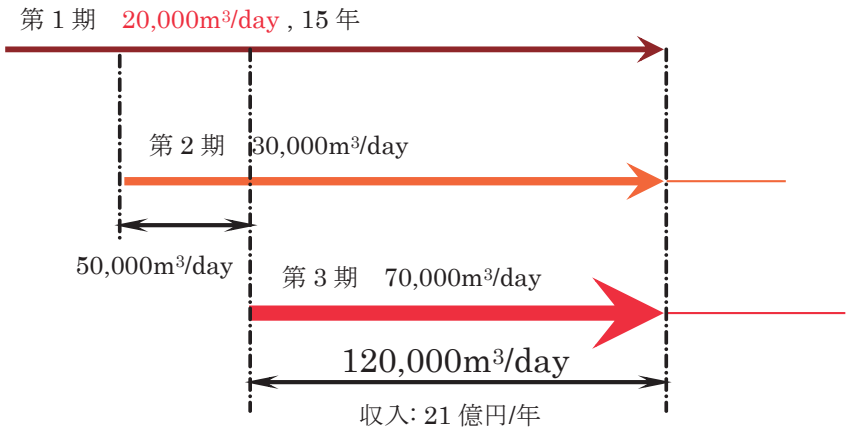


図16　段階的生産拡張モデル（平均100,000m^3/day）

参考文献

松島興産株式会社（現、三井松島産業（株））(1983)：社史「松島興産七十年史」

P.Q. Huy, K. Sasaki, Y. Sugai, K. Maneeintr, T. Babadagli (2010): Numerical Simulation of CO_2 Enhanced Coal Bed Methane Recovery for a Vietnamese Coal Seam, Journal of Novel Carbon Resource Sciences, Vol.2, 1-7

佐々木久郎，安並哲，菅井裕一 (2009)：CO_2-ECBMR における石炭マトリックスの膨潤による浸透率低下を考慮した数値解析モデルおよび数値シミュレーション，Journal of MMIJ, Vol.125 (12), 605-613

5．CBM 採取に向けた具体的な研究課題と開発スケジュールの検討

5.1　資源探査技術

海洋資源開発の第一段階では、海洋資源の賦存量の正確な把握が重要であるが、深度方向の存在範囲については未だに不明な点が多い。例えば、深度方向の分解能力が高い３次元地震探査によってメタンハイドレートの下限と考えられている BSR（海底擬似反射面）は捉えられるが、資源量評価に必要なメタンハイドレート層の上面の特定までには至っていない。

近年、従来の地震探査では検出できないメタンハイドレート層の上面や、大水深下のさらに深部の石油貯留層を探査するための海洋電磁探査が注目を集めており、その研究開発が進められている。海洋電磁探査とは、OBEM（Ocean Bottom Electromagnetometer）を海底に投入・着底させ、海底での電磁場変化から海底下の深部比抵抗構造を調べる方法である。

OBEM を用いた海洋 MT 法（地磁気地電流法）や海洋 CSEM 法（海洋電磁探査法）は、一部では実用化されているものの、探査コストが高く解析技術が未成熟なため広く普及しているとは言えない。海洋 MT 法や海洋 CSEM 法の学術的な課題は、データ解析の際の解析精度と計算コストである。３次元地下構造を推定するためには、高測点密度で測定された大量のデータを、３次元インバージョンと呼ばれる方法で一括して解析する必要があるが、地下構造を細かく分割して解析を行えば未知パラメータ数が膨大となり、データ解析に多大な時間がかかってしまう。一方、海洋電磁探査の実用面での課題は作業コストである。例えば、OBEM による海洋 MT 法を広範囲で行うためには、調査船による OBEM の投入・計測・回収・移動を繰り返すか、同時に多数の OBEM を海底に設置する必要があり、探査にかかる多大な時間とコストが現在の課題となっている。また、海洋電磁探査の普及を妨げているコスト増大の要因の一つが、測定に使用される OBEM そのものにある。現在使われている OBEM には、海底での微弱な電場を測定する電場センサと、低周波の磁場を観測するための大型インダクションコイルが搭載されているが、海底における計測のために防水・耐圧を考慮する必要があり、OBEM は大型で高価なものとなっている。さらに、搭載されているインダクションコイルは低周波数での磁場感度が極めて悪いため、海底電磁探査で最も重要な低周波での電磁場変動の観測が困難な場合が生じる可能性がある。

本研究グループでは、物理探査に利用できる磁場センサの開発を2004年度から継続して行っているが、開発中の磁気インピーダンス効果を利用した MI センサは小型（センサ全体で数 cm 程度）で且つフラックスゲート磁力計と同程度の感度を有し、インダクションコイルと違って低周波での感度が優れているため、海洋電磁探査への応用が期待できる。さらにこの磁気センサを応用して、シューマン共振帯（ELF 帯）の電磁場観測を行う小型の ELF-MT 探査計を既に開発している。

また、探査計を搭載するための自律型海中ビークル（AUV）として、長期間の連続航行に適したグライダー型 AUV の要素技術の開発を継続して行ってきた。ここでは、これらの研究開発の成果を融合し、グライダー型 AUV に小型の電磁探査計を搭載した自律型海洋電磁探査システムを提案する。これにより、従来は固定点での計測のみに用いられていた OBEM に移動能力が付加されることになり、これまでになかった低コストで効率的な海洋資源探査が実現すると考えられる。具体的な自律型海洋電磁探査システムの開発手順は以下のとおりである。

まず始めに、現状の海洋電磁探査法の課題を克服するため、低周波磁場を高感度で計測できる磁場センサを開発する。続いて、アナログデジタル混在 IC を用いたコンパクトな計測回路を設計し、小型、省電力の電磁探査計を試作してその性能試験を実施する。

探査計の開発と並行して、グライダー型 AUV の設計と試作を行う。OBEM を用いた海底資源探査においては、着底状態で計測を実施する際の電磁センサの位置と方位を正確に測位することがデータ解析のために不可欠である。ここでは、グライダー型 AUV の運動を制御し、その着底位置と姿勢を精密に推算・計測するために、機体計画と運動方程式の導出、運動シミュレーションの実施と制御システムの設計、水槽実験と実海域試験による着底位置精度の評価を実施する。

さらに、探査計で得られる大量の探査データを処理するデータ処理プログラムと、高速な３次元インバージョン等のデータ解析プログラムを開発する。また、開発した小型電磁探査計とグライダー型 AUV で構成される自律型海洋電磁探査システムの実海域における有効性をシミュレーション計算によって評価し、実海域の探査計画を立案する。

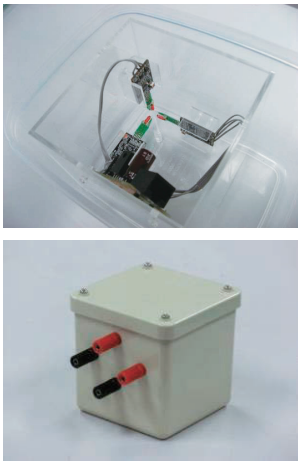


図17　MI センサを用いた3軸磁場センサ (上) と電磁探査計 (下)

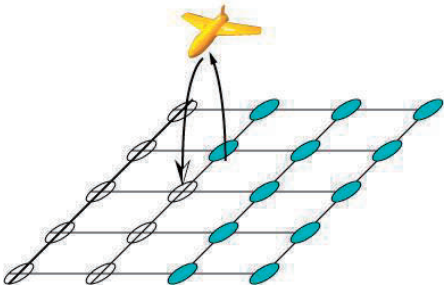


図18　グライダー型 AUV の開発

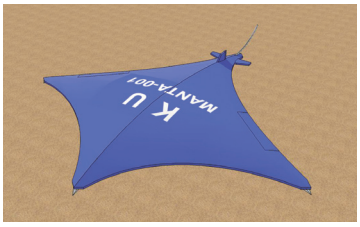


図19　自律型海洋電磁探査システムの性能解析と探査計画

［初年度］

海中ビークルに搭載可能な小型電磁探査計の試作、グライダー型海中ビークルの設計、海洋電磁探査データの解析プログラムの開発に重点を置いて研究を進める。具体的な研究手順は以下の通りである。

A．小型電磁探査計の設計及び試作

1）低周波数での感度が悪いインダクションコイルに代わる磁場センサとして、MI センサを用いた省電力・高感度の電磁探査計の設計及び試作を行う。

2）探査機単体で電磁場データが収録できる外部メモリーと、基地局に無線でデータを伝送できる機能を備えたデータ収録システムを設計し、テスト回路で基礎実験を行う。

3）3軸磁場センサからの磁場と非分極電極からの電場を高精度で計測するために、自己ノイズレベルの小さい計測回路の設計を行う。

4）すべての回路の実験終了後、それらを組み合わせた小型電磁探査計1号機の試作を行う。

B．グライダー型 AUV の設計

1）OBEM を用いた MT 計測法においては、自然起源の電磁波を計測し、これを複数計測点について繰り返して得られた計測データを処理することにより対象とする海域の海底下の構造を明らかにするが、本観測手法においては、OBEM の海底における位置と電磁センサの方位、すなわち OBEM を搭載した海中ビークルの機体の位置と姿勢が重要であり、海底下構造を決定するために、これらの精度の高い情報が不可欠となる。しかし、GPS による高精度測位が可能である陸上、空中、海上とは異なり、海中における高精度測位には様々な課題が存在する。一方で、ビークルの機体形状としては、OBEM の4本の電極を一定距離以上離して配置することが求められ、同時に、探査計およびデータ処理システム、水中重量調節装置、機体運動制御系、データ通信装置を搭載することが必要である。これらのグライダー型 AUV に要求される様々な項目を検討し、最適な機体を計画する。

2）機体の運動方程式を模型実験等により導出する。ビークルの推進方式としては滑空方式を採用することとする。すなわち、潜航時には主にエルロン、ラダー、エレベータの各動翼を用いて機体運動を制御し指定された測点への着底を行う。さらに、水中重量と機体重心を調節することで、より精密な着底位置制御が可能になると考えられる。そこで、ビークル機体の計画と運動方程式の定式化においては動翼、水中重量調節装置、機体の重心の各要素を個別に検討し、正確な運動モデルの構築を目指す。

3）グライダー型 AUV に搭載する、海底における精密位置制御システムの開発を実施する。決定された機

体形状とその6自由度運動方程式に基づき、潜降浮上時の機体運動のシミュレーションプログラムを作成し、運動制御システムの設計を行う。波浪や潮流などの外乱の影響を考慮し、最適制御理論に基づく状態フィードバックを導入する。

C．海洋電磁探査データの処理及び解析プログラムの開発

1）小型電磁探査計で観測した大量の電磁場データを効率よく処理するためのデータ処理プログラムの開発を行う。

2）海洋MT法の高速な3次元シミュレーションプログラムの開発を行う。

［次年度以降］

初年度の研究成果を用いて、小型電磁探査計、グライダー型AUV、データ解析プログラムの開発を継続し、提案するシステムの性能解析と実海域の探査計画を立案する。

A．小型電磁探査計の開発

1）初年度に試作した電磁探査用の3軸磁場センサの計測実験と実験結果を基にした改良を行う。

2）試作1号機の性能を調べるため、初年度に購入するMTU-Aを用いて比較実験を行う。

3）試作1号機の問題点を改良した試作2号機の試作を行い、陸上や海中で基礎実験を実施する。

4）試作2号機の性能実験の後、海洋電磁探査計の完成版の製作を行う。

B．グライダー型AUVの開発

1）水槽実験用の小型模型の製作及び性能実験を実施する。水槽実験で機体模型の滑空・浮上試験を実施し、運動シミュレーションに用いる機体運動方程式の精度を確認する。また、水槽における機体の着底試験を実施し、開発された運動制御系の着底位置制御性能を調査して、機体運動制御法の有効性を確認する。さらに、波浪、潮流等の影響を考慮した実海域での制御性能をシミュレーション計算により調査する。

2）実海域用の大型模型の製作と実海域試験を実施する。実海域試験用機体は着底位置制御性能の確認を行うことを主目的とし、水中重量調節装置の耐圧深度は200mとして計画する。波浪や潮流等の外乱下における機体性能を確認するため、母船に備え付けるGPS、トランシーバ装置とビークルに装着するトランスポンダにより構成されるUSBL位置測位システムにより、海中におけるビークルの絶対位置を連続的に計測する。この結果と、ビークルに装備される加速度、角速度、流速センサに基づく慣性航法による着底位置の推測結果を比較し、着底位置推定法の有効性について調査する。

C．海洋電磁探査データの解析プログラムの開発

1）初年度に開発した3次元シミュレーションプログラムをベースとした3次元インバージョンプログラムの開発を行う。

2）実用的な計算時間で解析ができるように、GPUを用いた3次元インバージョンプログラムの高速化を行う。プログラム開発にはGPUを備えたパーソナルワークステーションを利用する。

D．自律型海洋電磁探査システムの性能解析と探査計画

1）自律型海洋電磁探査システムによる海底資源探査の有効性をシミュレーション計算により検討する。計算に用いるシミュレーションモデルは、水中重量調節装置等の動特性を含むグライダー型AUVの運動方程式、対象海域の海底地形、潮流モデルによって構成される。機体の運動方程式は実海域試験結果を用いたシステム同定によりその精度を評価する。また、対象海域の潮流モデルとしては、対象海域の流れを非構造格子モデルFVCOMにより計算し、シミュレーション用にモデル化したものを使用する。

2）シミュレーション計算により、対象とする海域で自律型海洋電磁探査システムを運用する際に必要となる観測期間と着底位置精度を算出し、着底位置制御性能がMT法による海底下構造の計測精度に与える影響について考察する。シミュレーション結果に基づき、実海域で海底探査を実施するための計画を立案し、提案する計測システムによる自律海底資源探査の実現可能性を確認する。

必要経費について

3年間の総額として4,700万円程度

1）人件費

海洋電磁探査計の製作を担当するポスドク研究員等：1,074万円

2）旅費

国内、調査研究等：150万円

海外、調査研究等：150万円

3）MT法計測ユニット：900万円

4）水槽試験用機体模型：650万円

5）実海域試験用機体およびUSBL測位装置：1283万円

6）陸上、実海域試験実施費用（消耗品費を含む）：435万円

資源探査技術検討分科会の研究計画

研究の内容	初年度		2年度		3年度	
小型電磁探査計の開発						
・磁場センサの開発	―	―	―	―		
・計測回路の試作		―	―	―	―	
・試作機の改良				―	―	―
グライダー型AUVの開発						
・水槽実験用模型の設計	―	―				
・模型による水槽実験			―	―		
・実海域用模型の設計				―		
・実海域実験					―	―
解析システムの開発						
・データ処理プログラム	―	―	―			
・3-Dフォワードプログラム		―	―	―		
・3-Dインバージョンプログラム				―	―	―

5.2 資源採取技術

5.2.1 CBM資源調査と生産計画策定に関わる開発研究（初年度～第2年度）

1）長崎県の西彼杵沖、福岡県の唐津沖、大牟田沖などから一か所を選定する作業を実施する。

2）海底下炭層をターゲットとし、陸域または近海の島からCBM資源調査坑井（小口径、2000mから3000m程度）を次頁図20のように掘削し、地質柱状図の作成および坑井検層を実施する。掘削調査における費用の概算としては、1mあたり10万円程度の予算が組まれていることを参考にすると、2500mの掘削井の費用は2億5000万円程度と見込まれる。

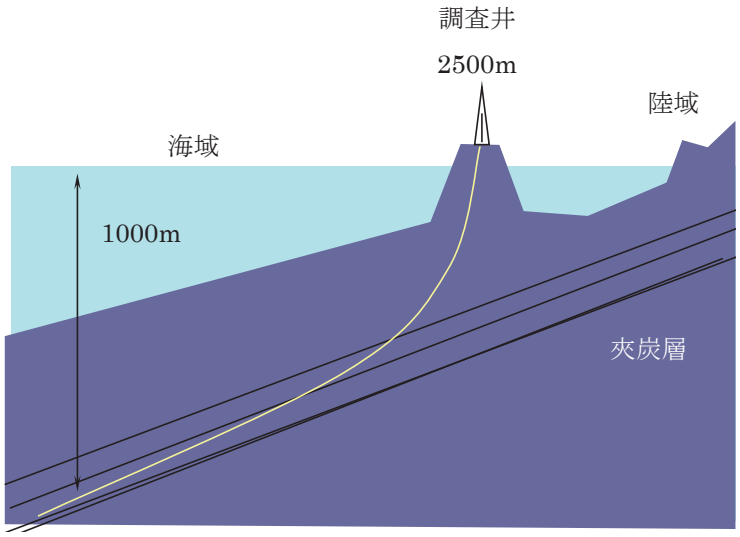


図20　調査井のイメージ

図21　宮古島での掘削調査井の例：高さ38m の掘削用やぐらによる天然ガス調査（深度2500m まで）

3）シール層および炭層からはコアサンプルを抜き、包蔵量（m^3-CH_4/ton-Coal）および孔隙率、浸透率、水分析などの基礎特性を測定する。

4）地質坑井を利用したフォール・オフ試験による現位置における浸透率の測定を実施する。

- 炭層の数値モデルを構築
- CBM 調査井のヒストリーマッチングの実施
- 20,000m^3/day 生産の数値シミュレーションの実施
- CBM 生産坑井の比較（垂直井 or 水平井）
- CBM 生産のパラメータの感度分析（埋蔵量、浸透率）
- 地上施設との取り合い条件の予測（ガス圧、温度）
- 生産ガスの燃焼熱量：778GJ/day = 9 MW（生産ガスを発電に利用した場合：3.6MW）

5）CBM 生産にあたり解決すべき技術課題（特に問題となること）

・坑底機器、坑口機器の仕様の策定
・生産パイプラインの仕様の策定
・水処理（還元井）の仕様の策定

6）資源調査と生産計画策定に関わる開発研究費用

・資源調査・小口径調査井掘削費用　一式：２億5,000万円
・コアおよび水サンプル分析費用：５万円 ×100個 =500万円
・各種設計ソフト・ライセンス費用：500万円 / 年 × ３年間 =1,500万
・CBM 生産・数値シミュレーションソフト・ライセンス費用：500万 / 年 × ３年間 =1,500万
・プロジェクト要員の雇用費用３名 × ３年間 =2,000万円
・設計および数値シミュレーション基盤研究費：300万円 × ３研究課題 × ３年間 =2,700万円

研究開発期間の３年間に要する開発研究費の総計　３億3200万円

5.3　浮体、ならびにサブシー技術

5.3.1　サブシー技術の構築

海洋資源開発において、サブシー技術はその根幹をなすものであるが、わが国には海洋資源の実質的な開発経験がなく、数少ないこれまでの開発においても、サブシー技術は海外技術を用いているのが実情である。今後、CBM のみならず、さらに深海のメタンハイドレートや石油ガス開発を行ってゆくためにはサブシー技術の獲得は必須項目である。本研究では、国産のサブシー技術の構築をめざし、サブシー機器の中でも最も需要なウェルヘッド（噴出防止装置を含む）、および採取した資源から必要な成分を分離するセパレータの開発を行う。

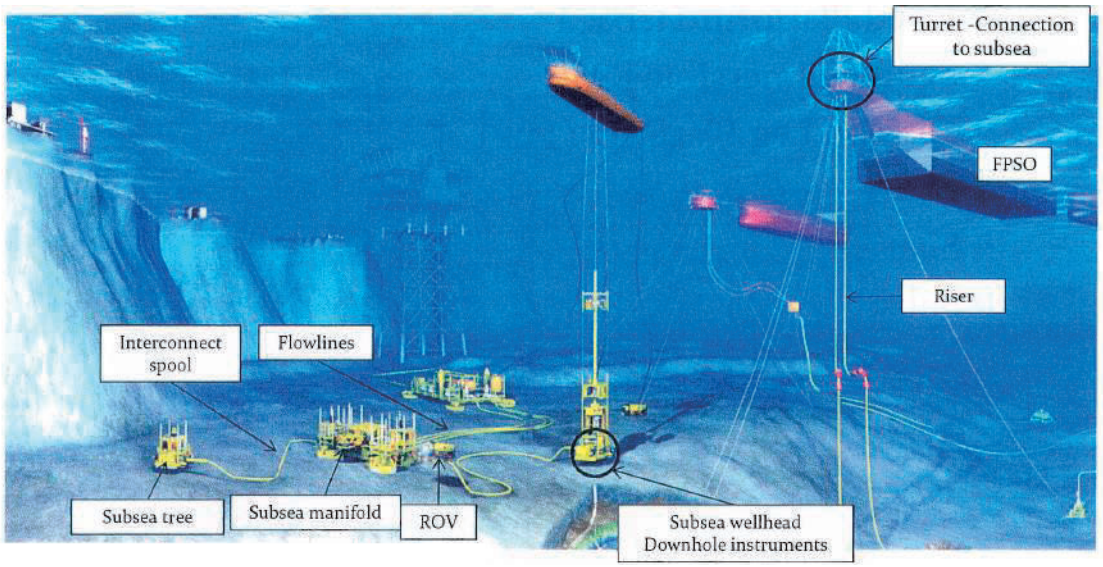
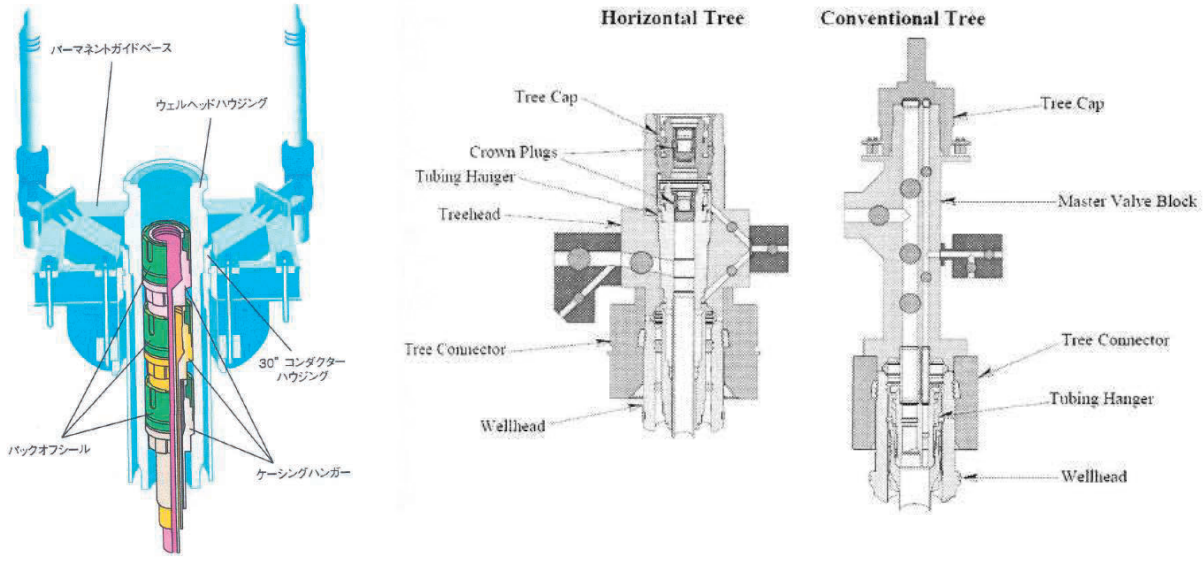


図22　サブシーシステム

（新日鉄住金資料、日本船舶海洋工学会、S11研究委員会）



(a)　　(b)

図23　海底坑口装置（ウェルヘッド）

出典（a）；北村龍太、稲田徳弘、新開掘削概論、石油・天然ガスレビュー Vol44, No.6 (2010)
（b）；Y. Bai, Q. Bai, Subsea Engineering Handbook, Gulf Professional Publishing

［初年度］

1）海外技術調査

既存技術の調査のため、海外、特に石油の海底掘削に関する知見を多く保有しているヒューストンのコンサルタントを通じて情報を収集し、必要に応じて日本語に翻訳し、設計に活用できる技術資料を作成する。

2）サブシー機器の開発

サブシー機器には、ウェルヘッド、クリスマスツリー、セパレータ、マニホールドなどがあるが、このうち安全面や技術革新の必要性の観点から早急に国産化が必要と考えられるウェルヘッド（噴出防止装置 BOP を含む）とセパレータの開発を目指し、その設計、製作を行う。

（詳細は別紙）

3）サブシー機器の購入

クリスマスツリー、マニホールド、ジャンパーなどの資源採取に必要なサブシー機器のうち、開発を行わない機器については、CBM 採取に必要な性能、仕様を決定し、それに適合する海外機器を購入する。

［２年度］

1）開発機器の機能確認試験

開発、製作したウェルヘッド（噴出防止装置 BOP を含む）とセパレータについて、その機能を確認するために実験室レベルでの試験を行う。これに必要な試験装置（漏れを確認するための高圧タンク実験設備など）の設計製作を含めて実施する。

2）個々の機器の性能が確認できた後、購入機器を含めて陸上にてサブシーシステムを構築し、システムとして問題なく機能するかどうかを試験により確認する。

試験結果から問題点が見つかれば、改良型の設計を行い、製作する。

［３年度］

1）改良試作したサブシー機器について実験室レベルで試験を行い、問題がないことを確認したうえで、実

海域での作動試験を行う。また、さらなる深海域で使用した際に考えられる問題点を抽出し、その解決策を検討する。

必要経費について

３年間の総額として12,000万円程度

１）人件費

上記の検討を行う設計技術者を２名程度雇用することが必要（年間1000万 × ２程度)。

２）海外調査費

技術調査費；３件 ×150万円、他旅費（25万 × ３名 × ２回）

（ウェルヘッド＋クリスマスツリー、セパレータ＋ブースター、

設置作業＋フローアシュアランス（含むメンテの現状）

３）ウェルヘッド、セパレータ―製作費；1000万円

４）試作改良費；500万円

５）サブシー機器の購入；2000万円

６）試験装置製作費；1000万円

７）陸上、実海域試験実施費用（試験装置製作費を含む)；700万円（含む人件費）

など

5.3.2　採掘用浮体の基本設計（浮体の設計、発電、送電設備などの検討）

CBM を採掘して、さらに採取した CBM を処理してメタンガスを取り出し、さらにこれを液化、貯蔵するとともに、採取したメタンガスを利用して洋上で発電を行うことを想定している。

浮体として具備すべき機能は以下の通りである。

① 浮体を基地に資源採取を行う。　② 採取した資源を不純物と分離し、一時貯蔵する。

③ 発電を行う。　④ 再生可能エネルギなどを利用した発電設備を具備する。

⑤ 電力を陸上に供給する。

以上のことを実現するに際して浮体構造に具備すべき設備、装置を抽出するとともに、その必要な機能、容量、重量評価、価格などを詳細に調査するとともに、浮体の大きさ、必要排水量、機器配置などの基本設計を行なう。

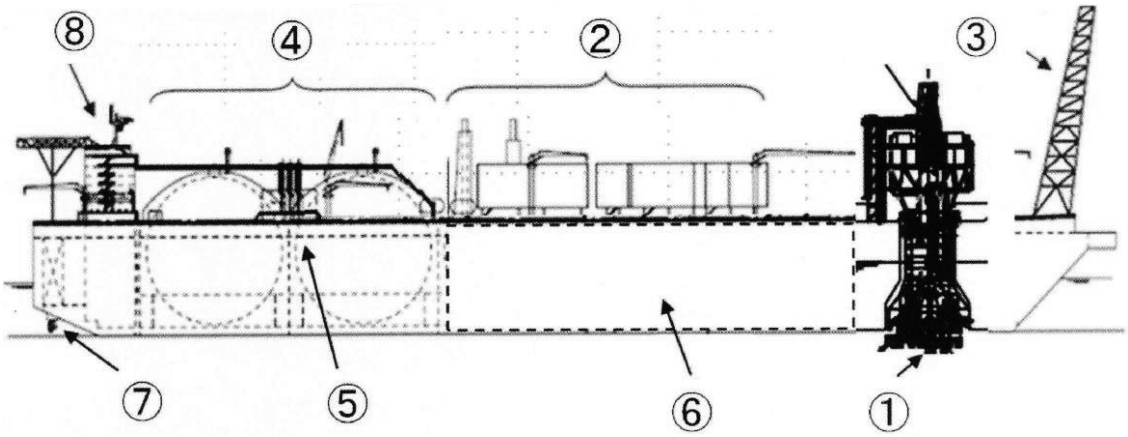


図24　CBM 掘削用浮体構造

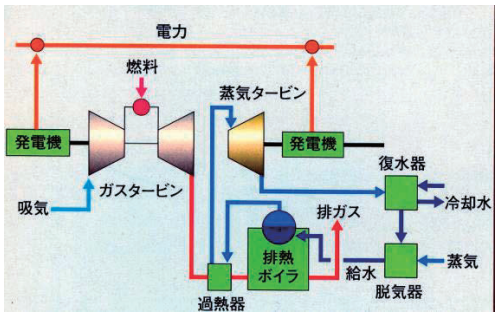


図25　ガスタービン発電システムの例

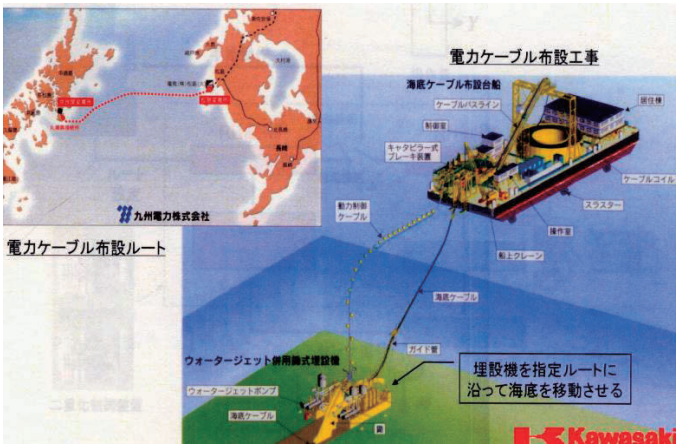


図26　海底電力ケーブルを敷設状況（川崎重工業提供資料）

［初年度］

1）CBM を採取するに必要な機器のうち、浮体上に設置するポンプユニット、コンプレッサーのほか、ガス液化装置、液化ガス貯蔵タンク、発電設備、送電設備などの機器類についてその必要性能、容量を確定し、重量、容量、価格などを算定する。なお、浮体上に設置する機器類については、基本的に国内で調達可能、あるいは既存製品の改良で対応可能と考えている。

　また、そのほかに浮体として具備すべき設備（安全設備、位置保持、あるいは係留に必要な洋上設備、運用者の居住設備、陸上とのアクセスに必要な設備などについても検討し、その機器配置を決定する。また、浮体の運動計算に必要な浮体の運動性能基礎データを算出する。

［２年度］

1）浮体の基本設計を確定し、波浪下での浮体の運動計算を行い、CBM 採掘時の稼働率などを算定する。また、必要に応じて浮体の乾舷などを見直す。さらに、浮体の運動計算結果をもとに、係留系のカテナリー運動計算を行い、係留索、アンケーの強度設計を行う。

2）CBM 採取量の計画値をもとに、発電量を算定し、発電設備（ガスタービン）稼働時のメンテナンス計画を策定する。（ガスタービンは２年に一度は動翼、バーナー、ケーシングなどの高温部材の点検、交換を行う必要がある。）

3）発電した電力を陸上に送電するに必要な機器のうち主として海底ケーブルについて、敷設計画（敷設ルート、陸上側受入れ設備、敷設方法、期間、コスト評価など）を策定する。

［３年度］

1）再生可能エネルギ発電との連携について検討し、常時発電するに際して必要な設備などについて検討する。すなわち、CBM がなんらかの要因で採掘できない場合（採掘前、トラブル発生時）にも定常的に発電、送電量を確保する仕組みについて検討する。液化天然ガスを洋上で払い出し、受け入れる設備についても検討する。

2）FPSO 型の浮体であるメリットを生かし、災害時に移動して被災地に電力を緊急的に供給する設備として利用できないか、またそのためにどのような機能の追加、改良が必要かについて検討する。

必要経費について

３年間の総額として2300万円程度

1）人件費

　上記の検討を行う設計技術者１名を２年程度雇用することが必要（年間1000万程度）。

2）調査検討に年間300万程度の経費が必要。

5.3.3　大型浮体の係留技術の構築（係留系の強度検討、アンカー把駐力の評価）

国内では、洋上風力発電浮体のアンカリングが問題となった事例もある。CBM などの海底資源に使用する浮体構造はこれらに比べて大型となるため、より大きな係留力が必要となりその係留技術、アンカリング技術の構築が不可欠である。海外では FPSO などの浮体係留用のアンカーなどが開発されており、その把駐力のデータなども示されているが、海底土壌の違いにより、把駐力は変化するものと思われる。

本研究では、想定海域での波浪データをもとに浮体運動計算で行い、得られた浮体の運動計算結果や、潮流、風荷重作用下での係留系の挙動を数値計算を用いて評価する。また、アンカー部に作用する力をもとに必要な把駐力を評価する。

次に、この必要把駐力を満足するアンカーについて検討する。まず、海外で海洋資源採掘用浮体向けに開発された既存アンカーを購入し、把駐力を実験室レベルで計測し、さらに実海域での把駐力の確認試験を行う。各種形状のアンカーの把駐力を精度よく推定ことが可能な個別要素法を用いた数値解析手法（別途開発中）などの計算結果を参考に、把駐力の向上が期待できるアンケー形状を検討する。さらに高把駐力アンカーを試作し、試験により性能確認を行う。また、実海域でアンカーを効果的に設置する施工技術を構築し、実海域にて確認する。

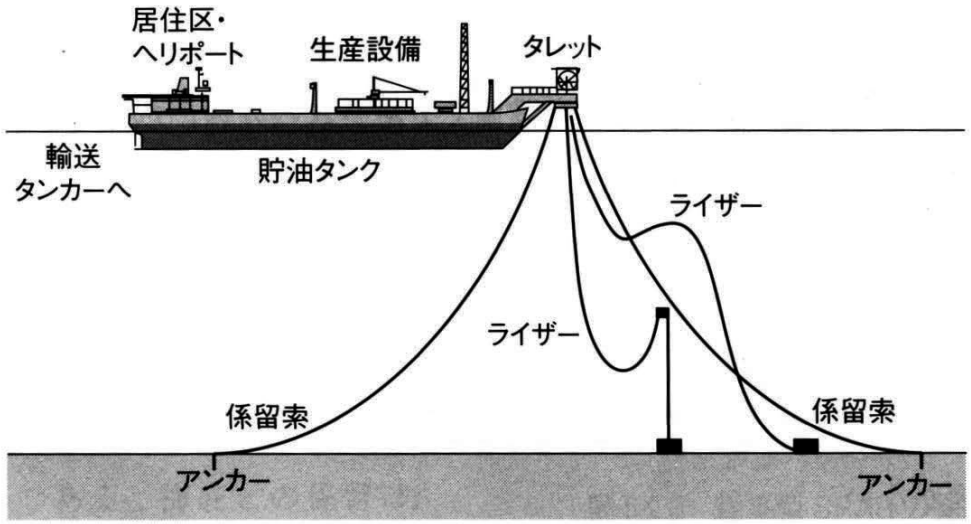


図27　浮体の係留システム

（海洋底掘削の基礎と応用、日本船舶海洋工学会編、成山堂書店）

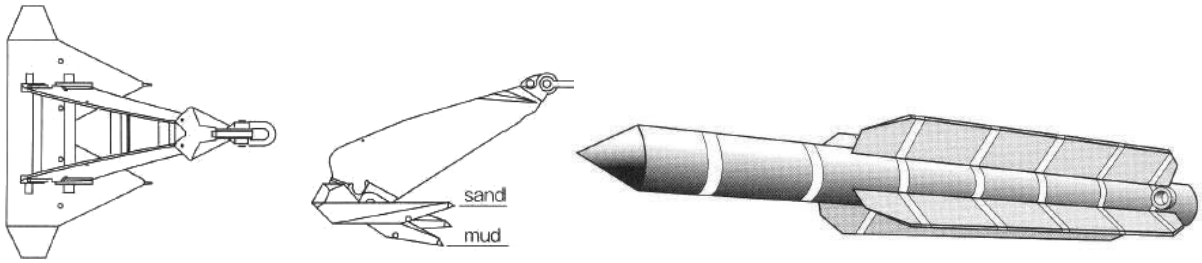


図28　アンカーの形状の例

（海洋底掘削の基礎と応用、日本船舶海洋工学会編、成山堂書店）

［初年度］

1）係留系の強度検討

想定海域の潮流、風向、風速の年間統計値、波高頻度分布を入手し、波浪下での浮体の運動を評価する。具体的には、ストリップ法を用いて浮体の運動を周波数領域で計算する。次に、想定海域の波高頻度分布

をもとに最も厳しい海象を選定する。さらに、ストリップ法による計算結果をもとに、最も厳しい海象での浮体の運動を時刻歴で求める。

さらに、浮体の運動計算結果を入力として、係留系の動的挙動をカテナリー計算で求め、係留ケーブルに生じる張力の計算結果をもとに強度照査を行う。なお、解析手法は構築済みである。

また、船体運動のほか、潮流、風速、風向を外力として係留系の挙動を評価し、アンカリングに必要な把駐力を評価する。

2）把駐力評価

把駐力評価に必要な実海域の海底土壌を採取し、物性値などの特性を評価し、アンカーの把駐力を実験室レベルで確認する。また、その際、海底土質の違いでどのように把駐力が変化するかを明らかにする。

［2年度］

1）把駐力評価

実海域でアンカーの把駐力を実測する方法を構築し、浮体係留に用いられている各種アンカーの把駐力を実海域で求める。また、個別要素法を用いた解析手法を用いて、アンケー形式の違いによって把駐力がどのように変化するかを把握する。各種アンカーの把駐力の違いを評価し、数値計算をベースに把駐力発生のメカニズムを解明し、検討結果をベースに把駐力の大きな改良型アンカーを考案し、試作する。

［3年度］

1）開発した高把駐力アンカーの把駐力評価試験を実海域で行うとともに、アンカーを効果的に設置する施工技術を構築し、実海域にて確認する。

必要経費について

3年間の総額として1000万円程度

1）アンカーの購入費、試作費；400万円

2）アンカー把駐力評価用試験設備の製作；400万円

3）実海域での試験（要請費用を含む）;200万年

5.3.4　サブシー機器のメンテナンス技術の構築

5.3.4-1　メンテナンスなど海中技術の検討

海洋資源の開発には、サブシー機器の設置技術やメンテナンス技術を構築することが必要となる。本研究では、主として海底下で機器を設置するに際して、あるいはメンテナンスや突発的な事故に対応するに際して、必要となる ROV の保有機能について検討し、その解決策などを検討する。

［初年度］

1）サブシー機器の設置、メンテナンスなど、海中作業の調査

サブシー機器の設置作業、およびメンテナンスに必要な海中作業について海外技術調査を行い、必要な海中作業を洗い出し、CBM 採掘時のサブシー機器設置、メンテナンスを行う際の作業工程表を作成し、それに要する費用の算定手法を構築する。

必要な海中作業としては、セパレータやクリスマスツリーへのフローライン、アンビリカルの接続作業、バッテリーなどの交換作業、フローラインの保護（底引き網漁業などからの）のための埋設作業、保護装具の着脱作業などがあげられる。

また、メンテナンス作業としては、フローアシュアランスのためのフローラインの内部的な検査手法の構築などがある。

［２年度］

１）突発事故対応技術の構築

海中機器のトラブルなど想定される突発事故を洗い出し、それに対応するシナリオを策定する。また、突発事故に対応可能に ROV に備えるべき機能要求（ROV で容易に脱着できる機構の検討も含めて）を明確化し、それに必要な技術の検討を行う。

２）大水深への機器の設置手法の検討

大水深への応用を考え、自動制御による機器の設置手法を検討し、実験室レベルでの検証試験を行う。

［３年度］

１）突発事故対応技術の構築

突発事故に対応可能な ROV などの必要技術の検討を行う。

２）大水深への機器の設置手法の検討

大水深への応用を考え、自動制御による機器の設置手法を検討し、実海域での設置試験を行う。

必要経費について

３年間の総額として2000万円程度

１）人件費

上記の検討を行う設計技術者を１名、全期間で１年程度雇用することが必要（1000万程度）。

２）自動制御設置手法の開発費（試作、実海域試験費用）；1000万円

5.3.4-2　海中作業用 ROV の製作

海中機器の設置とメンテナンス作業には海中ロボットの一種である ROV（Remotely Operated Vehicle）が実用化され、機器投入時の設置位置の調整とその後の各種ケーブルの接続作業、ビデオカメラによる機器の点検作業等に使用されている。一方で、これらの海中作業では、運用コストの増大、潮流中での ROV の位置保持が困難、マニピュレータによる海中作業には高度な操縦技能が不可欠でその作業内容も制限される、といった課題がある。

そこで本研究では、機器設置位置の調整、各種ケーブルの接続、海中機器の点検といった ROV の作業項目を対象として、機体の位置保持能力を向上させ、マニピュレータによる複雑な作業を可能とするために、各種の新技術を導入した高性能 ROV の機体の計画とその運用について調査し、実海域試験により提案する機体の有効性を確認する。

［初年度］

平成26年度には ROV に必要とされる機能の検討を行い、これに基づく機体計画と試作機の製作を実施する。

はじめに、機体の位置保持能力を向上させ、マニピュレータによる複雑な作業を可能とするために、国際宇宙ステーションの姿勢制御などに使用されている CMG（Control Moment Gyro）を利用した ROV 用姿勢制御法の適用について検討する。従来の ROV の機体姿勢は、運動の各自由度方向に取付けられたスラスタを作動させることで制御されているが、その反応速度は遅く、ROV の精密な姿勢制御には熟練技術が必要となる。また、水流が周囲の沈殿物を巻上げてカメラによる操縦を妨げるといった問題点も抱えている。本研究で導入を検討する CMG は、高速回転するフライホイールとその回転軸に直交する軸を有するモータで構成されており、モータでフライホイールに角速度を与えることにより、フライホイール軸、モータ軸に直交する軸周りにジャイロモーメントを発生させることが可能となる。このため、CMG の搭載により、周囲の沈殿物を巻上げること無く機体に与えるモーメントを精密に制御することが出来、機体運動の反応速度が増加し ROV の姿勢制御が容易になることが期待出来る。

次に、機体運動とマニピュレータ操作のための自動制御系の搭載について検討する。現在のROVによる海中作業には高度な操縦技能の習熟が不可欠であり、海中工事のコストの上昇にもつながっている。そこで、機器の設置、ケーブル接続、点検といったROVによる作業項目のそれぞれを高度に自動化し、操縦者が簡単な指示を入力することで、希望の作業を実施出来る制御システムの構築を目指す。これにより、ROV操縦の習熟期間が大幅に短縮され、海中作業のコスト削減が期待出来る。また、得られる作業結果の精度も高まり、工事の信頼性も保証される。

さらに、複数のROVによる、高度な協調作業を実現するためのシステムについて検討する。ROVを用いた機器設置、点検作業において、単一機体で実施可能な内容には限界がある。今後、海中機器の大型化、複雑化が予想されるが、これに対応するためには、複数のROVによる共同作業が不可欠となると考えられる。そこで、群制御理論に基づき複数の機体を制御するためのシステムを調査し、機体に求められる性能を決定する。

以上の3項目についての検討結果を基に海中作業用高性能ROVを設計し、試作機の機体を製作する。

［2年度］

平成27年度には、海中作業用高性能ROVの試作機の作動試験を実験水槽において実施し、試験結果に基づく改良設計と改良機体の製作を実施する。

試作機の操縦性能についての試験を、九州大学工学研究院の船舶運動性能試験水槽で実施する。本水槽は長さ38.8m、幅24.4m、水深2mであり、造波装置を用いた外乱下におけるROVの水平面内運動の各種試験が実施可能である。また、7mの水深を有する九州大学応用力学研究所の深海機器実験水槽を用いて、鉛直面内運動の試験と、実際の海中機器の設置、点検作業を想定する作動試験を実施する。本水槽も造波装置が設置されており、外乱下での運動試験が実施可能である。

以上の試験結果を解析し、提案するCMG装置、各種作業の自動制御系、複数機体による協調作業システムの性能を調査し、機体および制御システムの再検討を行い、改良機体を製作する。

［3年度］

平成28年度は改良機体の性能確認試験と実海域試験を実施し、提案する海中作業用高性能ROVの有効性を確認する。

前年度の改良点について、機能・性能確認試験を九州大学の船舶運動性能試験水槽と深海機器実験水槽において実施する。試験内容としては実際の海中作業を想定した動作に重点を置き、海中機器の設置、ケーブルの接続、海中機器の点検作業を模擬した試運転を実施する。

次に、実海域における高性能ROVの運用試験を実施する。試験海域としては、長崎県西彼杵沖、佐賀県唐津沖、福岡県大牟田沖を候補とする。試験では、開発したCMG装置、各種作業の自動制御系、複数機体による協調作業システムの性能を調査し、これを用いた海中機器の設置、ケーブルの接続、海中機器の点検作業の各動作を計測し、海中作業用高性能ROVの性能を総合的に確認する。

必要経費について

3年間の総額として7000万円程度

1）ROV試作費（3000万円）
　試作費（機体製作費、運動制御システム、CMG装置、マニピュレーター；2000万円）、
　改造費（USBL装置、位置測位用同様センサーなど；1000万円）
2）実域試験経費など（800万円）
3）その他実験用消耗品購入、修理費用など（200万円）

以上より、必要経費の総額は、23,300万円となる。

海中作業技術検討分科会の研究計画

			初年度上半期	初年度下半期	２年度上半期	２年度下半期	３年度上半期	３年度下半期	
1	サブシー技術の構築（CBM採掘にキーとなる機器、安全面から国産化すべき海底、海中機器の開発）	ウェルヘッドの開発（含む、噴出防止装置）	海外技術などの調査	設計、製作（機能確認試験装置も含む）	機能確認試験（実験室レベル）	改良型設計、製作	機能確認試験（実験室レベル）	実海域設置試験	必要人員（1名、専任研究者） 試作費(2回)、試験装置製作費 実験費用(特に、実海域試験)、調査旅費
		セパレーターの開発	海外技術などの調査	設計、製作（性能確認試験装置も含	性能確認試験（実験室レベル）	改良型設計、製作	機能確認試験（実験室レベル）		必要人員（1名、専任研究者） 試作費(2回)、試験装置製作費 実験費用(特に、実海域試験)、調査旅費
		その他機器	調達方法の検討、価格調査	購入作業	作動試験、性能試験（陸上試験）	作動試験、性能試験（改良項目抽出）	改良型設計、製作（必要なもののみ）	作動試験、性能試験	必要人員（上記人員と兼任、試験要員は学生雇用） 機器購入費、作動試験・性能試験費(2回) 試作費(特に、実海域試験)、調査費
2	採掘用浮体の基本設計（発電、電力供給用としての機能も具備）	浮体の設計	具備すべき設備、装置の洗出し容量設定、重量評価、価格調査	機器一般配置の決定	浮体の基本設計の実施				必要人員（1名×全期間のうち2年程度、設計技術者）
		発電、送電設備			発電容量設定、メンテナンス計画策定	送電のための海底ケーブル敷設計画の策定	再生可能エネルギ発電設併設の検討	災害時支援用浮体としての活用方法の検討	必要人員（1名、設計技術者）
3	大型浮体の係留技術の構築	係留系の強度検討	波浪下での浮体の運動評価（初期検討）	係留系の強度検討：カテナリーの運動計算を実		浮体の運動評価　係留系の強度検討			必要人員（修士学生で対応） 特に大きな費用は必要なし
		アンカー把駐力の評価		実海域把駐力実測方法の検討 海底土壌の採取、特性評価 深海係留用のアンカーの海外からの購入	実海域把駐力評価手法の構築実海域試験	改良型設計、製作	実海域試験 大深度での設置方法の検討	大深度アンカー設置 海中作業技術の構築	必要人員（修士学生で対応、実験要員は学生雇用） 試作費(数体)、実海域試験(2回)、 土壌サンプリング費
4	サブシー機器のメンテナンス技術の構築	メンテナンスなど海中作業技術の検討	海中必要作業の抽出抽出 海外技術の調査	サブシーメンテナンスの作業工程検討	突発事故を想定した対応シナリオの検討	突発事故に対応できるROV等必要技術の検討	突発事故に対応できるROV等必要技術の検討	解決すべき課題に対する検討（問題のある場合）	必要人員（1名×全期間のうち1年程度） 試作費(2回)、試験装置製作費 実験費用(特に、実海域試験)、調査旅費
			設置作業の海外技術調査			大水深への機器の設置手法の検討（実験水槽レベル）		実海域設置試験	
		海中作業用ROVの製作	ROV必要保有機能の検討、設計	ROVの製作	作動試験（実験室レベル）	改良設計、製作	機能・性能確認試験（実験室レベル）	実海域設置試験	試作費(2回) 実験費用(特に、実海域試験)、調査旅費

5.4　電力供給技術

本プロジェクトにおいては、CBM の本格的な生産において洋上において図29に示すような FPSO タイプの浮体から CBM を採取する方式を検討しているが、そのためには浮体上の採取に必要な機器などを稼働するためにその電力を供給することが必要となる。

電力供給の方法として、採取したメンガスを燃料として浮体上に設置したガスタービンなど用いて発電することが考えられる。さらに、洋上機器の稼働用に電力を供給するだけでなく、浮体を設置する海域の周辺地域への電力供給を行うこともメリットが大きいと考えられる。ガスタービンを用いた発電は実績も多く、そのシステムを構築することは比較的容易であると考えられるため、ここでは研究対象としていないが、ガスタービンを用いた発電では CBM の採取量は軌道に乗るまでは不安定であることもあり、安定的な電力を行うためには別途電力源を確保することが必要となる。

一方、海洋では風力、波力、潮力などの再生可能な自然エネルギーに恵まれており、ガスタービンによる発電を補完するうえでこれらを活用することが考えられる。また、海上に設置した浮体を活用して、自然エネルギーを利用した発電を行うメリットも大きいと考える。

以下では、洋上での再生可能エネルギーを用いた発電方式に関して、その開発、実証の計画を検討することにした。以下、検討結果を示す。

5.4.1 CBM 採取プロジェクトで適用する海洋再生可能エネルギーの選定

海洋再生可能エネルギー利用としては、洋上風力発電、潮流発電、波力発電が考えられる。

まず、洋上風力発電については、九州大学において、レンズ型風車（図30）に対して小規模の実海域実証試験（博多湾）が進められ、大規模な実海域実証試験（玄海沖）を目指している。また、長崎県沖ではスパー型風車（図31）の実海域実証試験が実施されており、将来的にレンズ型風車とスパー型風車の洋上ウィンドファームが九州地区では実現する可能性がある。

つぎに、国内では波力発電、潮流発電について様々な装置が開発されているが、九州大学においても潮流発電と波力発電に関して独自の研究シーズを有している（図32、図33）。また、電力ケーブルなどに使用される水中線条構造物に関して外部流体・内部流体影響評価技術の構築とその実海域実証試験なども実施されている。

これらの海洋再生可能エネルギーのうち、比較的小型で洋上浮体上、あるいは近接して設置が比較的容易と考えられる波力発電、潮流発電についてについて、試作を行い実海域での実証試験を行うことを検討する

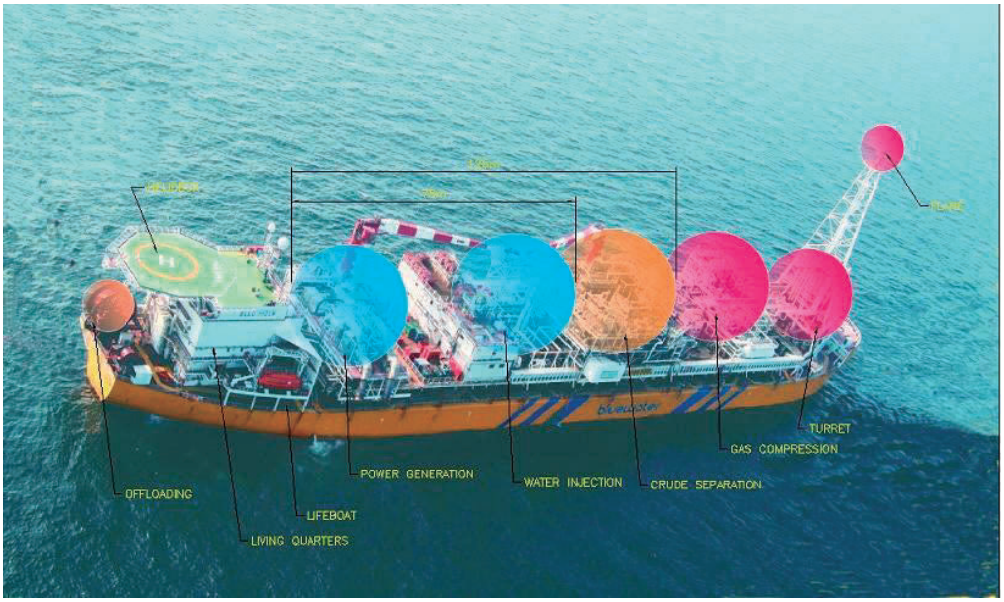


図29　FPSO における生産設備・電源設備の配置の例（Bluewater）

ことにする。

また、レンズ型風車については小型の電力供給として有望であるが、すでに実証試験も行われつつあり、その成果を活用して今回の CBM 掘削用浮体への電力供給源としての適用性について検討することにする。なお、スパー型風車は大型化に向けての研究が進められており、FPSO タイプの浮体ではまずは比較的小規模の発電設備でよいこともあり、検討対象から除外することにした。

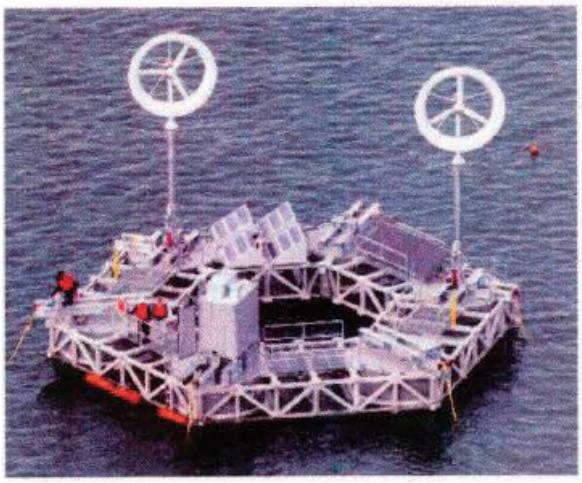


図30　レンズ型風車

図31　スパー型風車

図32　潮流発電実験装置

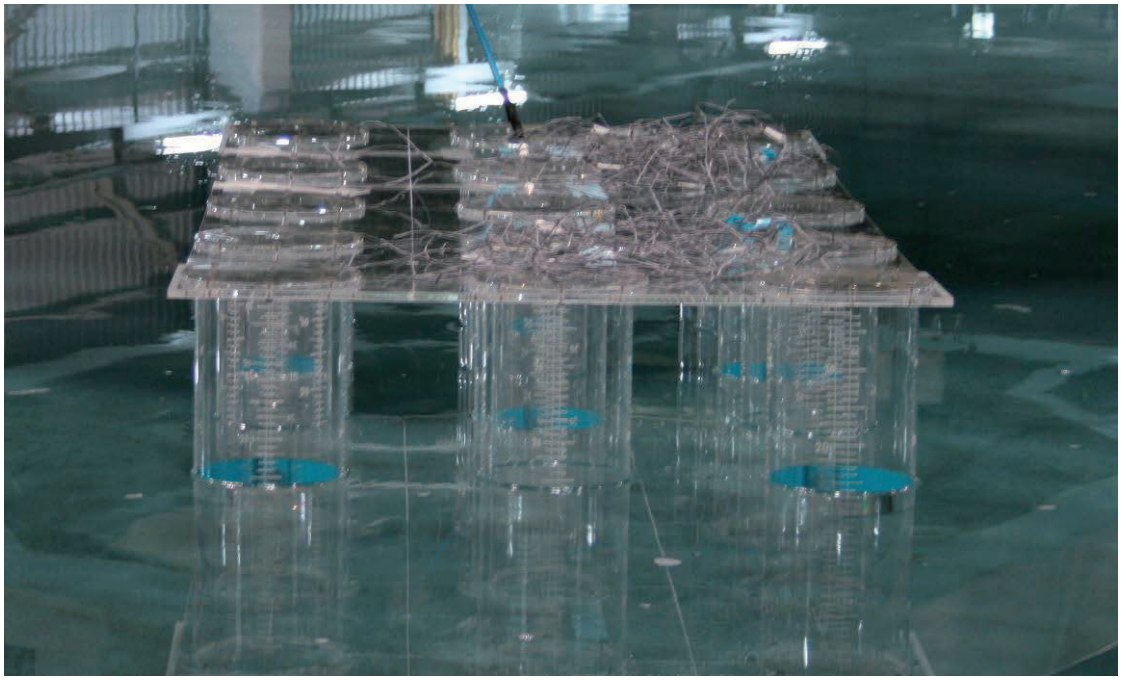


図33　波力発電実験装置

5.4.2　海洋再生可能エネルギー利用に関する研究計画

①　潮流発電システムの試作、実証

浮体を係留する海域において、まず留意すべきことは海流あるいは潮流の流速が小さなことであろう。流速が大きな海域では強力な係留システムが必要となってくるからである。このことは、潮流発電とは真反対の立場であるが、流速が小さな海域においても潮流発電を可能とするためのひとつの方法として水車周りに増速装置を付加することが考えられる。つまり、図34のようなダリウス形水車の両側に増速器を配置して流速を上げる装置であり、浮体の底面から水車システムを突き出すことで潮流と浮体の相対流速によって発電する装置である。ダリウス形水車は流れの方向には無関係であるが、増速器の方向は相対流速の方向に合わせて制御することになろう。

図34　増速器付ダリウス形水車

また、ダリウス形水車のブレードの動的迎角制御法、増速器のサイズと形状による増速率などについて、CFD計算と模型実験によって研究開発を行う。

②　波力発電システムの試作、実証

マルチカラム型波力発電浮体システムは、複合利用性（デッキ面に資源開発用の各種機器等を搭載可能）、メンテナンス性、構造安全性などを考慮して考案した波力発電システムであり、沖合設置に適している。これまで、発電用円筒型 OWC（振動水柱）カラムユニット単体に対して、アクリル製の試験体を用いた模型実験及びシミュレーションにより規則波中のエネルギー

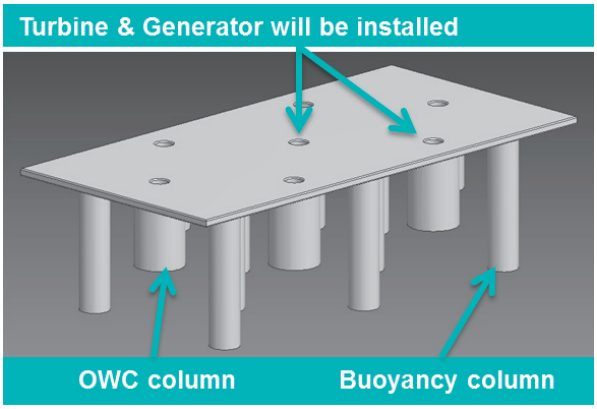


図35　マルチカラム型発電浮体

１次変換性能を評価している。また、波方向に直列に並んだ２個の円筒型 OWC カラムユニットのエネルギーの１次変換効率は、ユニット単体の場合のおよそ２倍になることを実験により確かめ、変換効率の優位性を確認している。

実現化を目指し、波浪中の発電性能および波浪中の応答を評価・予測するためのツールを開発し、実機の1/30～1/10スケールの浮体（発電機付き）を設計・製作し、波浪中水槽実験を行って性能評価、運動性能、および構造安全性評価を行うとともに実海域試験による実証試験を行う。

［初年度］

１）潮流・波力発電ユニットの設計および数値解析

設置海域の海象条件をもとに、これまで実施してきた実験的試験、ならびに数値計算を援用して、最も発電効率の良い発電用円筒型 OWC（振動水柱）のカラム直径、間隔、配置を検討し、設計を行う。同様に、潮流発電システムに関しては実績結果に基づいて設計を行う。また、上記２つの発電システムが補完し合えるようなシステム設計を行なう。

［２年度］

１）潮流・波力発電ユニットの製作および水槽試験

実海域での実証試験に向けて、潮流・波力発電ユニットを製作し、九州大学保有の大型水槽試験設備を用いて、性能確認試験を行い、実海域で設置した場合の発電量などを評価するとともに、改善すべき問題が発生した場合には、さらなる改良を行う。

［３年度］

１）潮流・波力発電ユニットの実海域実証試験およびコスト評価検証

必要経費について

3年間の総額として5,300万円程度

1）人件費（ポスドク、3年間）：2,000万円

2）製作費、試験費：3,000万円

3）水槽、実海域試験実施費用；300万円

電力供給技術検討分科会の研究計画（平成26年～平成28年）

		初年度上半期	初年度下半期	2年度上半期
5	潮流・波力発電装置の試作とその（小規模）実海域実証試験	→ 潮流・波力発電ユニットの設計	→ 潮流・波力発電ユニットの数値解析	→ 潮流・波力発電ユニットの製作
6	水中線条構造物の流体影響計測ユニットの設計および数値解析	→ 水中線条構造物の流体影響計測ユニットの設計	→ 水中線条構造物の流体影響計測ユニットの数値解析	→ 水中線条構造物の流体影響計測ユニットの製作

2年度下半期	3年度上半期	3年度下半期	
→ 潮流・波力発電ユニットの水槽試験	→ 潮流・波力発電ユニットの実海域実証試験	→ 潮流・波力発電ユニットのコスト評価検証	必要人員（1名、専任研究者） 試験装置製作費 実験費用（特に、実海域試験）
→ 水中線条構造物の流体影響計測ユニットの水槽試験	→ 水中線条構造物の流体影響計測ユニットの実海域実証試験		必要人員（1名、専任研究者） 試験装置製作費 実験費用（特に、実海域試験）

６．まとめ

本研究会では、九州地域周辺における利用可能な海洋資源について、九州地域の産業振興を目的に、産学官の有識者を中心に委員構成を行い、３回の全体会議、数度に及ぶ事務会議を重ねて来た。

当初は、九州地域周辺に賦存する海洋資源開発という多岐に亘る資源開発を研究課題に掲げ、協議を行なう中で、国の「海洋基本計画」に基づく、海洋エネルギー・鉱物資源の開発の基本認識として

・調査、研究を継続しつつ、事業化のための開発、研究を強化する段階へ移行。
・我が国周辺海域の資源ポテンシャルを把握するための技術開発と広域科学調査、資源探査を継続的に実施。
・楊鉱、石油、天然ガス、メタンハイドレート、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、及びマンガン団塊、レアアースについては、継続した試掘調査や平成30年度を目途とした民間企業による商業化、又　30年度以降の実現を目指して、開発計画が策定されており、本研究会としての研究課題について結論を導くまでに時間を要した。

それを受けて、本研究会の目的を踏まえ

・海底資源の探査、資源量調査から採取、浮体構造物、及びサブシー技術、電源供給技術開発をパッケージ化したシステムとして構築するために、九州北部に多く賦存する CBM の採取に、まず資源を絞り、共通課題とした。

以下、九州地域周辺に賦存する海洋資源開発については、その概要を調査するとともに、調査結果に基づき時系列的に開発が可能な海洋地下資源を検討した結果、以下の順序で開発を進めることが妥当との結論を得た。

１．三池、唐津地区、ならびに西彼杵沖に賦存する CBM
２．宮崎県沖に賦存するメタンハイドレート
３．沖縄本島および宮古島近海の水溶性天然ガス
４．沖縄近海の熱水鉱床

そこで、三池、唐津地区、ならびに西彼杵沖に賦存する CBM の開発に的を絞り、国内外での CBM 採取の実績の調査を行うとともに CBM 採取、生産についての概略検討を行い、数値シミュレーションを用いたガス生産レートの概略評価を実施した。これらの検討結果に基づき、CBM 生産に関する事業規模と採算性についての初期検討を実施し、ほぼ事業として成立し得ると考えるが、詳細な調査は国に期待する所である。

さらに、CBM 採取に向け、１）資源量調査技術、２）資源採取技術、３）浮体および、サブシー技術、４）電源供給技術の４項目について、WG を設置して検討した。これらの WG では、CBM 採取に際して必要となる技術の構築、ならびに陸上での実証試験の実施の計画（３年程度の開発期間を想定）を策定しており、その開発実施内容、スケジュール、および開発費用などを算定した。

なお、CBM 採取プロジェクトにおいて開発した資源開発技術は、水深が50m ～150m 程度の海域で実証することになるが、その開発実績が、メタンハイドレード、水溶性天然ガス、および熱水鉱床の開発に際して必要となり更に深い水深での資源開発技術の構築に資するものと考える。

これらの検討結果が、今後の九州地域周辺での海洋資源開発の為の産業振興に寄与する内容であり、是非共関係機関での参考資料としての活用を期待し、平成25年度の活動報告とする。

海洋資源開発利用プロジェクト創出研究会報告書

平成26年３月　発行

編集者および発行者

一般財団法人　九州地域産業活性化センター

〒810-0004　福岡市中央区渡辺通2-1-82
（電気ビル共創館６階）

TEL：092-713-6735　FAX：092-713-4292

印刷・製本　城島印刷株式会社

無断転載・複製を禁ずる