

平成17年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

ふりがな（ローマ字）		SUZUKI HIDEYUKI					
①研究代表者氏名		鈴木 英之		②所属研究機関・部局・職 東京大学・大学院工学系研究科・教授			
③研究課題名	和文	天然メタンハイドレートの最適生産・輸送・貯蔵方式に関する研究					
	英文	Production, Transportation and Storage of Natural Methane Hydrate					
④研究経費		平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	総合計
17年度以降は内約額 金額単位：千円		17,100	11,600	15,600	9,400	2,600	56,300
⑤研究組織（研究代表者及び研究分担者）							
氏名	所属研究機関・部局・	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）				
鈴木 英之	東京大学・大学院工学系研究科・教授	海洋システム工学	総括、生産・輸送・貯蔵方式に関する基礎調査、最適化の予備検討、浮体式生産システム要素技術検討				
定木 淳	東京大学・大学院工学系研究科・講師	プロセス制御工学	生産・輸送・貯蔵方式に関する基礎調査、最適化の予備検討、ハイドレート生成試験装置製作				
岡 徳昭	東京大学・大学院工学系研究科・助手	海洋構造工学	最適化の予備検討、浮体式生産システム要素技術検討				
岡屋 克則	東京大学・大学院工学系研究科・助手	粉体工学	ハイドレート生成試験装置製作、ハイドレート粒子ハンドリングの検討				
松尾 誠治	東京大学・大学院工学系研究科・助手	プロセス制御工学	生産・輸送・貯蔵方式に関する基礎調査、最適化の予備検討、ハイドレート生成試験装置製作				
⑥当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）							
<p>天然メタンハイドレート資源は、南海トラフをはじめとして、我が国の排他的経済水域内の大水深に多量に存在することが明らかになっている。現在、天然メタンハイドレートの開発に向けた研究は、性状、賦存状況について試錐を始めとする基礎的研究が精力的に行われている段階にある。</p> <p>本研究は、生産施設とメタンの輸送形態を総合的に検討して、最も効率的と考えられる生産方式を抽出し、コスト面から天然メタンハイドレート開発の採算性について検討を加え、最終的に最適な生産・輸送・貯蔵方式を提案するものである。浮体式生産施設の専門家と、中小ガス田の開発に関して輸送・貯蔵法を検討している専門家の共同作業により、効果的な研究を行うことをねらったものである。</p> <p>生産方式としては、設置される海域が大水深であり、厳しい海象条件に曝されることを考慮して、浮遊式生産システムを発展させたものとする。また、輸送・貯蔵方式としてはガスで輸送する海底パイプライン、ガス以外の輸送方式として液化、ハイドレート化、GTLなどの技術により、液体あるいは固体で貯蔵し、船で輸送する方式について検討する。</p> <p>研究全体はつぎのように構成する</p> <p>(1) 生産・輸送・貯蔵全体システムの最適化 「生産・輸送・貯蔵方式に関する基礎調査」、「最適化の予備検討」、「生産・輸送・貯蔵方式の最適化」、「システム最適・基本設計」</p> <p>(2) 生産・輸送・貯蔵個別要素技術に関する検討 「ハイドレート生成試験装置製作」、「浮体システム要素技術検討」、「輸送・貯蔵方式に関する要素技術」、「浮体システムの要素実験」、「ペレット試験・ブロック力学試験法検討」、「ブロック試験・スラリー力学試験法検討」、「浮体評価試験の実施」、「スラリーシミュレーションモデル作成」、「浮体式生産システムに関わるスラリー・ペレット挙動の検討」</p>							

⑦これまでの研究経過（研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。）

平成15年度と16年度には、当初研究計画に従って基本的な検討を行うとともに、要素技術に関する研究を行った。

1. 生産・輸送・貯蔵方式に関する基礎調査（担当：鈴木英之、定木淳、松尾誠治）

（1）全体システムに関する検討

南海トラフを想定して検討を行った。生産を行う浮遊式生産システムについて南海トラフの海象条件下で船型、スパー、セミサブについて適用性を検討した（図1）。輸送・貯蔵方式については、ガス、LNG、NGH、CNGの輸送形態の特性に関する基礎的調査を行った（図2）。

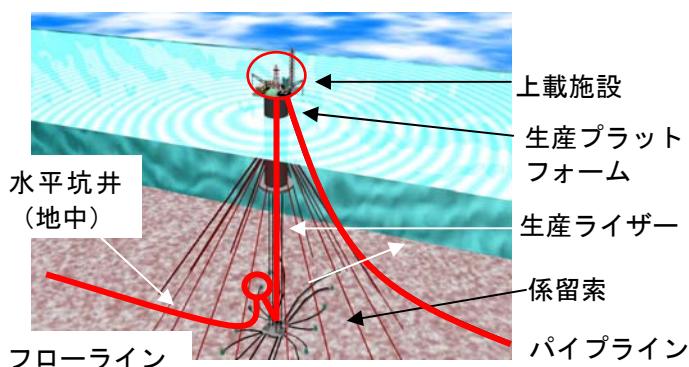


図1 浮遊式生産システムによる生産

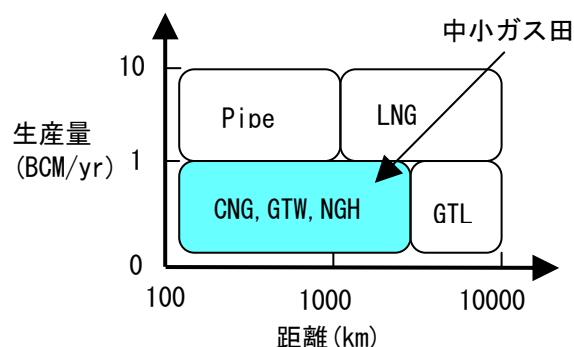


図2 各輸送方式の成立条件

（2）複合施設とする検討

メタンハイドレート単体での開発は採算性が悪いことが指摘されており、詳細検討の前に各種システムとの複合化による採算性の向上の可能性を検討した。

再生可能エネルギー生産	風力発電、波浪発電、海洋温度差発電
地球環境問題対策	CO2 海洋隔離
その他	沖合い養殖、レジャー

（3）コスト評価法について

経済性評価の基本となる、コスト評価の基礎データについては、文献による調査、企業への聞き取り調査により情報を収集した。生産システムについては掘削、浮体、係留処理施設のコストを調査した。輸送・貯蔵については、天然ガスをLNG、CNG、NGHの各形態で輸送する場合について、プラントコスト評価のための基礎データの調査を行った。これらの調査を総合してコスト評価プログラムを作成した。

2. 最適化の予備検討（担当：定木淳、鈴木英之、岡徳昭、松尾誠治）

各輸送形態について、成立可能な浮遊式生産システム、輸送・貯蔵方式の組み合わせについて得失を評価し、生産・輸送・貯蔵システムの全体構成について予備的な経済性の検討を行なったところ、現在の天然ガス価格での採算性が低いとの結果を得た。さらに、複合施設とする試みとして、生産・輸送・貯蔵の一貫システムのうち、輸送・貯蔵の部分、現在検討されている、中小ガス田開発とNGHを用いた天然ガスチェーンと共有化することにより、成立性の向上を図る可能性についても検討した。

（1）生産

生産については、厳しい海象下で成立するスパー型浮体を採用することで、処理施設を搭載するプラットフォームに求められる良好な動揺特性を実現した。

（2）輸送

輸送については、中小ガス田の開発に関してNGHを用いた天然ガスチェーンの検討が行なわれており、開発した天然ガスの輸送をこのチェーンに加えることで効率を高めることも検討対象とした。

(3) 貯蔵

貯蔵については、エネルギー安全保障の観点から今後必要となると考えられる天然ガス備蓄に関連させ、かつ天然ガスチェーンに加えることで効率を高めることも検討対象とした。また、貯蔵は消費地近くでの立地が限られる可能性が大きいことを考慮して、洋上で行うためのセミサブ型浮体についても検討した。

以上をまとめ、全体像を図3のように想定した。

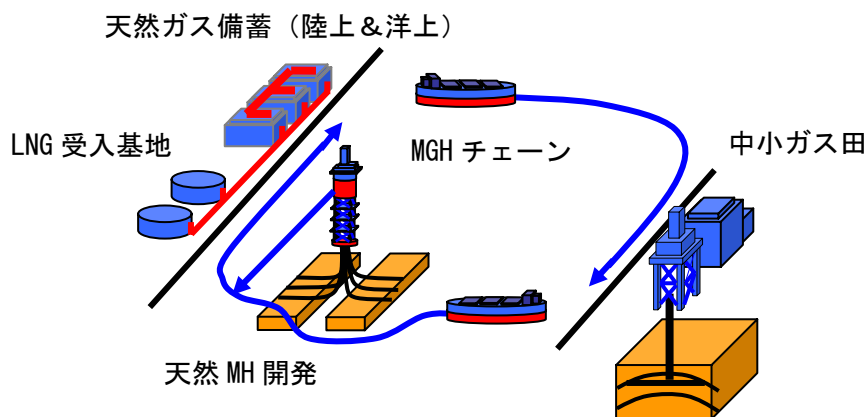


図3 メタンハイドレートの生産・輸送・貯蔵を加えた NGH 天然ガスチェーン

3. ハイドレート生成試験装置製作（担当：定木淳、岡屋克則、松尾誠治）

ハイドレート生成試験装置の設計・製作、低温実験チャンバー（図4）の設置を行った。また、ハイドレート生成装置およびペレタイザー（図5）を製作し、実験を実施した。



図4 低温実験チャンバー



図5 ペレタイザー

4. 浮体式生産システムの要素技術検討（担当：鈴木英之、岡徳昭）

生産用浮体と貯蔵用浮体としてスパー型浮体およびセミサブ型浮体に着目し、前者については動揺計算プログラムを開発するとともに、プログラムで必要とされる浮体と浮体を構成する構造体の付加質量係数、減衰力係数を求める要素実験を行った。さらに、大水深係留の要素実験を行い、最適化に向けた検討を行い、南海トラフに適した新しい浮体形式が得られた。セミサブ型浮体については応答特性を改善するために、リスクの概念に基づく最適化を提案し検討を行った。

5. 輸送・貯蔵方式に関する要素検討（担当：定木淳、鈴木英之、岡屋克則、松尾誠治）

本検討では、これまでに得ているメタンハイドレートペレットの物性に基づき、分解生成について熱収支や設備の制御性の観点から検討した。さらに、輸送効率にかかわるペレットの充填率に関して、球形および非球形粒子の充填率の検討を実験とシミュレーションにより実施し、非球形粒子の充填率が向上することを明らかにした。また、貯蔵に関して、メタンハイドレートによる長期の備蓄の可能性の基礎的検討を行った。これは備蓄基地を LNG 受入基地に併設して LNG の冷熱を利用して備蓄を行うという、新しい発想によるもので、備蓄による BOG を無くすことで長期の備蓄を可能とするものである。

6. 流動性に関するペレット力学実験（担当：定木淳、岡屋克則、松尾誠治）

輸送・貯蔵で必要となるペレットの流動性については、少ないエネルギーによるペレットの固着破断が必要であり、実験と離散要素法モデルによるシミュレーションにより評価を行った。また、実際のシステムで必要になる破断エネルギーの見積もりに成功した。さらに、このエネルギーレベルが実現可能なレベルであることを明らかにした。

⑧特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

新たに得られた知見と考案

(1) メタンハイドレート開発の採算性

本研究では、南海トラフにおけるメタンハイドレート開発に関して、既存の研究成果を調査した。また、減圧法、熱刺激法などの生産性に関して、シミュレーションをベースにした研究成果を調査した。その上で、コスト、熱収支の観点から減圧法によるメタンハイドレート生産に着目し、必要な設備構成を明らかにした。さらに、生産システムの経済性を評価するための、各設備のコストを調査し、コスト評価プログラムを作成した。その上で、設備構成にしたがってコストを評価し、さらに、生産計画に従って生産量を評価し、経済性を評価した。その結果、現時点で採算性が低いことがわかった。

(2) メタンハイドレート生産用浮体の開発

南海トラフの大水深でかつ厳しい自然環境条件に対応できる浮体として、耐波生に優れたスパー型浮体に着目して、動揺計算プログラムを開発した。さらにプログラムで用いる付加質量係数、減衰力係数を求める要素実験を行いプログラムの精度向上を図った。その上で、南海トラフの自然環境条件下で動揺特性の改良と最適化を行った。この結果、南海トラフに適した新しい形式のスパー型浮体の開発に成功した。

(3) メタンハイドレートペレット輸送における輸送効率（充填率）向上方策

NGH 輸送に関しては、サイズの異なる球形ペレットを配合することにより、充填率が向上するとの知見を得ている。今回は、単一サイズではあるが、非球形（回転楕円体）粒子を用いることで（単一サイズの）球形粒子と比較して3~6%程度充填率が向上するとの知見を得た。これはエネルギー輸送からすると画期的といえる。

(4) メタンハイドレートペレット輸送における固着破断エネルギー評価

NGH 輸送では輸送中にペレット同士が固着し、排出時にペレットの流動性が失われることが明らかになっている。今回、固着破断方案を検討するため、氷ペレットを用いて低温下で固着破断実験を行なった。その結果、固着破断に必要な衝撃力エネルギーは見かけの固着ペレット体積に比例し、約1kJ/m³と見積もることができた。固着破断の際の力学的法則が初めて明らかになり、エネルギーを見積もることができたことは画期的といえる。

(5) メタンハイドレート開発の効率化に関する新提案

南海トラフにおけるメタンハイドレートの開発を効果的に行い、メタンハイドレート開発の採算性が低いことを補うため、中小ガス田の開発で提案されている NGH チェーンと複合化し、メタンハイドレート開発の輸送・貯蔵の部分を共有することで生産性を向上させる方式の基本構想を提案した。さらに、現在石油のみで行われている備蓄について、LNG 受け入れ基地で生み出される冷熱を利用した、メタンハイドレートによる天然ガス備蓄方式を考案し、長期にわたる備蓄の可能性を検討した。また、天然ガス備蓄を NGH チェーンに加えることで柔軟性に富んだシステムとする可能性について検討した。

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

1. 学術誌発表

- 1) 中田諭志, 鈴木英之 : "セミサブメガフロートの応答最適化に関する研究", 日本造船学会論文集, 第196号, 2004, pp.207-215.
- 2) 所千晴, 岡屋克則, 定木淳, 柴山敦, 劉克俊, 藤田豊久: 流動層を用いた乾式比重分離法に関する基礎的研究, 資源と素材, Vol.120, No.6,7, 2004, 388-394.

2. 学会発表

2. 1 全体システムに関する成果発表

- 1) 鈴木英之, 今埜隆文, 久保真一郎: "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, 2003, pp.431-438.
- 2) 鈴木英之: "メタンハイドレート開発へのスパー型生産システム適用の技術・経済的可能性" 資源・素材学会2004年, 春季大会講演集 (I) 資源編, 2004.
- 3) 朴洗憲, 山崎哲生, 鈴木英之: "ハイブリッドシステム化によるCO2海洋隔離と深海底資源開発成立の可能性評価" 第18回海洋工学シンポジウム, 2005.
- 4) 鈴木英之: "メタンハイドレート開発"核融合科学研究所NIFSシンポジウム-核融合エネルギーの開発戦略と社会受容性-, 2004, pp.15-25.
- 5) 所千晴, 溝呂木茂, 伊藤賢志, 松尾誠治, 岡屋克則, 定木淳: NGH輸送・貯蔵システムに関する基礎的研究, 資源・素材学会2004年, 春季大会講演集 (I) 資源編, 2004, 137-138.

2. 2 要素技術に関する成果発表

(1) 生産システム関係

- 1) Suzuki,H. and Nakada,S. : "Optimization of the Dynamic Response of a Semi-Submersible Type Megafloat", Techno-Ocean'04, 2004, pp.1073-1079.
- 2) Suzuki,H. and Nakata,S. : "Optimization of a Semi-Submersible Type Mega-float using a Risk Based Objective Function", 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE2005-67089, 2005.
- 3) 渡辺喜保, 安藤裕友, 鈴木英之, 稲崎洋一 : "CFRP製ライザー管の継手構造に関する研究", 日本造船学会論文集, 第195号, 2004, pp.271-281.
- 4) 中田諭志, 鈴木英之 : "セミサブメガフロートの応答最適化に関する研究", 日本造船学会論文集, 第196号, 2004, pp.207-215.

(2) 輸送・貯蔵関係

- 1) 中川剛直, 溝呂木茂, 所千晴, 岡屋克則, 定木淳: 非球形粒子の充填率に関する研究, 資源・素材学会2005年
- 2) 溝呂木茂, 岡屋克則, 定木淳: 天然ガスハイドレートの輸送・貯蔵のためのハイドレートペレット排出に関する研究, 資源・素材学会2005年
- 3) 松尾誠治, 白井直人, 岡屋克則, 定木淳: 天然ガスハイドレートの産業有効利用のための再ガス化システムの解析, 化学工学会第70年会 3, (2005)
- 4) 松尾誠治, 稲津和喜: セメント焼成プロセスのMLD (Mixed Logical Dynamical) システムを用いたハイブリッド制御, 化学工学会第69年会, pp310, (2004)
- 5) 木ノ元真彦, 定木淳: ペトリネットを用いたハイブリッドシステムのモデル化と, その最適制御, 資源・素材学会2004年, 春季大会講演集 (I) 資源編, 2004, 145-146.
- 6) 定木淳: 不等式制約条件のある離散時間最適制御, 計測自動制御学会制御部門大会, 第4回制御部門大会資料, 2004, 163-168
- 7) Seiji MATSUO, Kazuki INATSU, Katsunori OKAYA and Jun SADAHI: "Modeling of the Re-Gasification System in Natural Gas-Hydrate and Application to the Cement Manufacture Process," The Fifth International Conference on Gas Hydrates (ICGH 5), Trondheim, Norway, (2005).
- 8) Seiji MATSUO, Kazuki INATSU: "The Dynamic Analysis of Air-Cooling System in a Cement Manufacture Process Using Gas Hydrate," 7th World Congress of Chemical Engineering (WCCE7), (Chemical Engineering Research and Design V), Glasgow, U K, (2005).
- 9) Seiji MATSUO, Kazuki INATSU: "Hybrid Modeling of the Cement Kiln Process in the Mixed Logical Dynamical System," The 10th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCChE2004), Kitakyushu, Japan, E121-127,(2004).
- 10) Chiharu TOKORO, Katsunori OKAYA and Jun SADAHI: "Application of Discrete Element Method to Natural Gas Hydrate Transportation/Storage System," The Fifth International Conference on Gas Hydrates (ICGH 5), Trondheim, Norway, (2005).

3. 解説論文, 総合報告等

- 1) 定木淳, 鈴木英之: メタンハイドレートの海洋生産・輸送システム, 機械学会誌, vol. 107, No. 6, 2004, 450-451

4. 特許および発明

- 1) 粉状体の保管用あるいは輸送用装置、粉状体の積み込み方法及び粉状体の積み下ろし方法、特願2003-087197