

## 審査の結果の要旨

氏名 河田裕子

近未来のエネルギー資源として期待されるメタンハイドレートの開発研究と導入を効率的に進めるには具体的な技術目標や政策が必要であり、その検討のためにはメタンハイドレート供給の将来シナリオを描くことが不可欠となるが、現在までにこの観点からメタンハイドレートの評価を行った報告例は皆無と言ってよい。本論文はこのような状況に 대응するために、まず具体的なメタンハイドレート開發生産コンセプトを明らかにしてプロジェクト評価を行い、さらに競合関係になり得る各種化石燃料の供給量とコストについても細密に分析して、将来の世界のメタンハイドレート供給に関する数種の具体的・定量的なシナリオを提示した。その上で、導入に向けた具体的な技術目標や日本における導入促進プロジェクトについて提案した。メタンハイドレート資源化への具体的な指針を示した先導的研究として高く評価される。

本研究では、まず現段階で入手できる希少な技術情報をもとに、原始埋蔵量の95%以上を占める海域におけるメタンハイドレート開発について、垂直坑井を用いた減圧法、水平坑井を用いた減圧法、熱水圧入法の具体的な生産コンセプトモデルを設定し開發生産コストおよびCO<sub>2</sub>排出量の算出に至るまでの一連の流れを構築して、プロジェクト評価を行った。今後解明される精密なデータの投入によって、より深みのある検討を可能とする基礎モデルを構築した点、現在までに発表された評価は具体性が欠如しCO<sub>2</sub>排出量まで評価していなかった点において新規性がある。さらに評価結果をもとに次に示す具体的な技術目標を提示している。想定した水深1000mの海底下のメタンハイドレート層に対しては、水平坑井を用いた減圧法が最も優れた生産手法であるが、商業化を目指すには2000m程度の水平長を持つ水平坑井仕上げ技術が必要であり、さらに掘削費と海底生産システム費、坑井の修繕費の50%程度の削減が必要である。なお、熱水圧入法ではCO<sub>2</sub>排出量が石油に匹敵する程大きくなるため、システム全体の熱効率改善が必要となる。

次に将来のメタンハイドレート供給を分析するため、化石エネルギー分析型モデルを開発した。本モデルの最大の特徴は、従来の需要サイドから詳細に世界エネルギーシステムを表現し競合的な供給予測を行った超長期世界エネルギーフローモデルに、各種化石燃料のコスト供給曲線を導入して化石燃料供給サイドからの詳細な分析も可能とした点にある。コスト供給曲線は地域別、賦存状態別にフィールドサイズレベルから検討したもので、過去に例の無いものである。なお、メタンハイドレートについては上記プロジェクト評価結果を基礎に減圧法と熱水圧入法に区別して曲線を導入し生産手法別の分析を可能とした。モデル分析によりメタンハイドレート供給量に対し次の結果を得ている。基準ケースの供給は、資源量の豊富なアメリカや中南米の生産が半分以上となる形で21世紀後半に開始

され、当初は減圧法が主流であるが次第に熱水圧入法が増加していく。厳しい炭素課税導入により、21世紀後半の供給増加は認められるが21世紀前半の導入は促進されない。技術的可採量に対する熱水圧入法適用率が増加すると供給量は抑制され、導入が遅延される傾向にある。21世紀前半における導入には海域メタンハイドレートの場合、年率6%以上の飛躍的な技術進歩によるコスト削減が必要となる。低コストの在来型天然ガスがまだ豊富にあるため、21世紀前半における導入は容易ではないと言える。

ただし日本においては国産資源確保の観点から早期のメタンハイドレート導入に利点が存在するため、本論文では最後にメタンハイドレート開発の導入促進プロジェクトを提案した。メタンハイドレートとLNGを使用燃料とし開発海域に近い沿岸にLNG火力発電プラントを建設して発電を行うプロジェクトである。特に、熱水圧入法ケースでは熱水製造に発電プラントの廃熱を利用してハイドレート層まで断熱輸送する開発方式を考案し、CO<sub>2</sub>排出量とコストの削減が可能となることを示した。なお、本プロジェクトは発電規模の拡大、操業年数の延長、CO<sub>2</sub>排出権取引の利用によって経済性が得られる可能性があるが、石炭火力からの転換を促進して導入を図るには、高額なCO<sub>2</sub>排出権取引価格を要するため、他の税制優遇措置などの政策も必要となることが分かった。やはり第一に技術進歩が求められるが、本プロジェクトによる導入はガス市場に直接導入するより容易でリスクが小さいため、メタンハイドレート早期資源化の一方策となり得る。

本研究は、個々の技術的側面を検討し世界のエネルギー需給全体を見据えた上で、メタンハイドレート資源化への具体的な指針を示した先導的研究として高く評価される。また、需要側からの検討が主流であったエネルギー需給モデルに化石燃料の枯渇にともなう供給コスト上昇による制約要素の導入を行った点において、本研究は地球システム工学の新たな可能性を示唆したものでもある。河田氏が世界に先駆けて行なった本研究は、わが国で進行中のメタンハイドレート開発研究の効率化に大きく寄与するものと期待される。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。