



Title	ガスリフト法による表層型メタンハイドレート揚収に向けた固気液三相流の一次元流動解析および直接数値計算手法の開発
Author(s)	木高, 佳周
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/105527
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 木高 佳周 ）	
論文題名	ガスリフト法による表層型メタンハイドレート揚収に向けた固気液三相流の一次元流動解析および直接数値計算手法の開発
論文内容の要旨	
本研究では、ガスリフト法による表層型メタンハイドレート（MH）揚収を対象とし、MHの相変化およびガスの圧縮性を考慮した一次元平均化方程式に基づき、流動解析を行った。具体的には、揚収管径、ガス吹き込み深度、ガス吹き込み量などの設計・運転条件を変化させ、効率的かつ安全にMHが揚収可能な範囲を探索した。まず、MHがほとんど分解しない条件に着目し、揚収管径とガス吹き込み位置の組合せに対して運転可能領域を整理するとともに、MH揚収量が揚収管径の増加、ガス吹き込み位置の低下、ガス吹き込み量の増加に伴って増大することを示した。さらに、ガス吹き込み量とMH揚収量の関係をフルード数により無次元化することで、統一的なスケーリング則が得られることを示した。次に、MH粒子径の影響を調査し、粒子が微細化すると相変化に伴うガス生成量が増大し、自己ガスリフト効果が顕著になることで、前述のスケーリング則が成立しなくなることを明らかにした。また、自己ガスリフト効果の大きさはMHと周囲の水との伝熱係数に敏感であることから、より高精度な予測のためには伝熱係数の精緻化が必要であることを示した。さらに、MH回収システム運転時の非定常過程における出口部液相流速のオーバーシュートの抑制およびMH揚収効率化を目的として、揚収管径の出口部を拡大させたテーパ管および複数位置からのガス吹き込みを検討した。その結果、ガス吹き込み位置を二か所とし、テーパ管と組み合わせることで、出口部液相流速を大幅に低減しつつMH揚収量を増加させ得ることを示し、新たな設計指針を提案した。最後に、一次元の平均化方程式では捉えにくい、気泡—粒子間の相互作用を明らかにするため、気泡と粒子を含むオイラー型の固気液三相流の直接数値計算手法（VOF-IB法）を開発した。気泡の運動をVolume of Fluid（VOF）法で、粒子の運動を埋め込み境界（Immersed Boundary: IB）法で表現し、粒子の濡れ性も考慮した。開発した手法を基に、気泡—粒子相互作用に関するパラメータ解析を行った。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (木高 佳周)			
		(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授	杉 山 和 靖
	副 査	教 授	川 野 聡 恭
	副 査	教 授	河 原 源 太
	副 査	教 授	後 藤 晋

論文審査の結果の要旨

本論文は、ガスリフト法による表層型メタンハイドレート（MH）揚収を対象として、MHの相変化およびガスの圧縮性を考慮した流動解析法を用いて、システム設計に資する有用な知見を得ること、および、気液界面への粒子の付着・輸送を伴う固気液三相流の直接数値計算（DNS）の方法を開発し、気泡・粒子間の相互作用に関するパラメータ解析を通じて、その力学的特性を明らかにすることを目的としている。

MHは新たな国産エネルギー資源として期待されている。わが国では、2030年度までに民間企業主導の商業化プロジェクトを開始することを目指している。海底に露出して存在する表層型MHの揚収手法としては、構造が単純で堅牢なガスリフト法が提案されている。この方式は、揚収管内にガスを吹き込み、生じた密度差を駆動源としてMHを輸送するものである。しかし、深海からの大規模な揚収は実験的検証が困難であり、数値シミュレーションによる設計指針の策定が不可欠である。特に、輸送中のMH分解が流動に与える影響や、起動時の急激な流速変化の抑制など、揚収効率と安全性の両立に向けた詳細な解析が課題となっている。

本論文はこれらの課題に取り組むものであり、全9章から構成されている。第1章では、日本周辺海域の表層型MH埋蔵状況と国家プロジェクトの動向を概説し、ガスリフト法によるMH揚収に関する先行研究を紹介している。そして、設計・運転条件の最適化や気泡・粒子間相互作用の解明といった残された課題を提示し、本論文のテーマと目的を明確にしている。第2章では、固気液三相流の解析手法として、MHの相変化およびガスの圧縮性を考慮した一次元多流体モデルについて詳述している。第3章では、一次元モデルの妥当性を検証するとともに、MH揚収における典型的な流動挙動について述べている。第4章では、相変化がほぼ生じない条件で数値解析を行い、揚収管径とガス吹き込み位置の組合せに対する運転可能領域を整理した上で、ガス吹き込み量とMH揚収量の間にスケーリング則が成立することを見出している。第5章では、相変化が揚収特性に及ぼす影響を調査し、自己ガスリフト効果による揚収性能の向上や、それに伴うスケーリング則の破綻について言及している。また、予測精度のさらなる向上のため、伝熱係数の精緻化の必要性を提言している。第6章では、ガス吹き込みの複数化や揚収管出口のテーパ化がシステムの安全性および経済性に寄与することを示し、新たな設計指針を提案している。第7章では、微視的な解析に焦点を当て、オイラー型の固気液三相流DNS手法を開発し、その定式化について述べている。第8章では、気泡・粒子相互作用のパラメータ解析を行い、3種類のプロセス（付着、分離、非衝突）を相図として整理するとともに、各挙動に至る力学的機構について考察している。第9章は「結論と今後の展望」であり、本研究の意義と今後の課題について述べている。

本論文の内容は、ガスリフト法を用いた表層型MH揚収技術の高度化に資するものであり、十分な新規性を有している。特筆すべき成果には、(i) 実用的なMH回収システムの設計・運転指針を提示したこと、(ii) 自己ガスリフト効果を解明したこと、(iii) 非定常過程における出口部液相流速のオーバーシュート抑制と、MH揚収の効率化に向けた新規方策を提案したこと、(iv) 気泡・粒子間相互作用のDNSを実現するVOF-IB法を開発したことが挙げられる。以上より、本論文は博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。