The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	積分方程式法による電磁流体・粉体の現象に対する数値解析手法に関する研究
Author(s)	光藤, 健太
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72379
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　光　藤　健　太　）	
論文題名	積分方程式法による電磁流体・粉体の現象に対する数値解析手法に関する研究

論文内容の要旨

流体や粉体などのように大きな変形や移動を伴う対象に対して，外部の電界や磁界が作用して進行する現象は多岐にわたる。このような現象は，流動性や変形性を持ちながら電磁場に感応する特殊性を持つため，センサなどのデバイス，塗布などの工程など多くの応用例がある。そのように多くの応用例が存在するものの，先に挙げた現象は，流体の流れ・移動・あるいは分裂や粉体の閉塞・飛散や圧縮を伴う。さらにはこれらが電磁場と相互作用するため，非常に複雑なものとなる。このため，実際の施工上において，設計パラメータや工程などは実験などの試行錯誤によって設定されており，効率的であるとは言い難い。

近年では，電磁機器や構造体の実設計に先立って，数値計算を用いた事前評価が行われるようになった。その結果，設計開発コストの低減が可能となり，性能を最大限引き出すことが可能となってきた。一方で，流体や粉体と電磁場が相互作用する現象については，分裂や飛散・大変形を伴うため，従来から使用されている有限要素法を用いることが難しい。また，流体計算や粉体計算にはメッシュが不要な計算手法があるのに対して，電磁場の計算についても，メッシュを用いないことが求められる。

本研究では，流体計算や粉体計算と連成する電磁場計算手法として，従来の微分方程式を用いるものではなく，積分方程式を用いる手法を採用し，計算から計算点の再配置，メッシュ生成を含む一切のモデル変換を排した計算手法を提案した。

第１章では，流体および粉体が外部電磁場と相互作用する現象について示し，それぞれについて工学的な応用例を示した。また，それらの現象について，応用上の課題や問題点などを示し，それに対する現状の解決策，先行研究を示した。さらに先行研究の抱える課題を明らかにし，本論文の目的を示した。

第２章では，１章で示した先行研究の問題点を解決し，対象としている電磁流体・粉体現象のメカニズムを明らかにするために本研究で採用した計算手法を示した。流体計算，粉体計算、磁界計算それぞれについて手法を示し，それらを連成することの有用性・優位性を明らかにした。また，磁界計算として採用した積分方程式法について，計算自由度を落として計算コストを低減する高速化手法を提案した。

第３章では，電磁流体現象を実際に計算により再現した。代表的な電磁流体現象として磁性流体を選択し，磁性流体の変形に関するメカニズムを計算結果から明らかにした。また，実験結果と比較することによって本提案手法の妥当性・有用性を示した。さらに，磁性流体の挙動と寸法パラメータとの関係を，提案手法による計算結果を通して検討し磁性流体の挙動にパラメータが与える影響を明らかにした。以上の内容によって流体計算手法と積分方程式法を連成することの有用性を明らかにした。

第４章では，電磁場と粉体が相互作用する現象を計算により明らかにした。粉体は非連続体としてのふるまいをすることから，磁力計算における計算モデルを新たに導入した。そのモデルを用いて磁場中に置かれた磁性粒子の挙動計算を行った。実験との比較によって本手法の有用性を示し，粉体計算と積分方程式法を連成することの有用性を明らかにした。加えて，同様のモデルを用いて希土類ボンド磁石の成型過程のメカニズムを明らかにした。

第５章では，これまでの結果を総括し，流体・粉体に対して電磁場が作用する現象への計算手法として，積分方程式法を採用することの有効性と優位性を明らかにし，まとめとした。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　光藤　健太　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	平田　勝弘
	副 査	教授	倉敷　哲生
	副 査	准教授	宮坂　史和
	副 査	教授	中谷　彰宏
	副 査	教授	南埜　宜俊
	副 査	教授	浅田　稔
	副 査	教授	菅沼　克昭

論文審査の結果の要旨

磁場と流体，磁場と粉体の相互作用する現象は，非常に複雑な現象であるがゆえにその多様な用途にもかかわらずメカニズムに不明な点が多い。実験ベースでのメカニズムの解明も難しいため，数値計算によってメカニズムを解明することが求められている。本論文では，格子を用いないメッシュレス法の一つである粒子法・離散要素法と，積分方程式法の一つであるモーメント法を採用し，それらを連成する計算手法を提案している。それぞれの計算手法に関しての定式化に加えて，モーメント法単体での計算手法に関しての検証を行い，これらの手法が対象となる現象の計算に対して極めて有効であることを示している。また，積分方程式法の弱点である計算コストの低減手法を提案しており，その有効性を明らかにしている。本提案手法は積分方程式法がメッシュを使用しないという利点を活かしており，完全にメッシュフリーで数値計算が可能であり，その独創性は高い。

１章では本論文において対象となる，流体及び粉体の現象の用途や問題・それに対するアプローチに関する先行研究を挙げ，研究の背景と目的について述べている。

２章では，本研究で採用した数値計算法の詳細を説明し，簡単な数値モデルを用いて検証を行っている。また同時に積分方程式法で問題となる計算コストの低減法を提案し，積分方程式法の計算コストの大幅な低減に成功している。

３章では，流体と磁場が相互作用する物理現象について，積分方程式法と流体計算手法を連成したものを用いて数値解析を行っている。代表的な電磁流体現象として磁性流体を取り上げ，その物理現象を提案手法によって計算し，実験結果との比較を通じて提案手法の有用性を検証している。

４章では，粉体と磁場が相互作用する現象について，積分方程式法と離散要素法を連成したものを用いて数値解析を行っている。磁場下に置かれた磁性粉体の挙動について提案手法によって計算を行い，実験結果との比較を通じて提案手法の有用性を検証している。また，応用的な例として粉末磁石の圧縮成形過程における磁性粉体の配向に関する計算を行っている。

以上の通り，本論文では，マルチフィジックスに対する数値計算手法を提案し，実際に実験結果との比較を通しての有効性を示している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。