



Title	有限要素法・粒子法連成による高粘性電磁流体现象及びイオン飛散現象の数値解析
Author(s)	山本, 竹志
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/67140
rights	
Note	

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 (山本 竹志)

論文題名

有限要素法・粒子法連成による高粘性電磁流体现象及びイオン飛散現象の数値解析

論文内容の要旨

本稿では、広範囲かつ非定常のイオン飛散現象を予測するための数値解析手法を提案した。放電電極の先端形状や周囲の誘電体形状が電界強度やイオン発生量にどのように影響するかを定量化することで、イオン同士の相互作用を含む現象のメカニズムを明らかにした。また実験結果との比較によって手法の妥当性を示した。従来の有限要素法 (FEM) などによる数値解析手法では、泳動、拡散、対流を含むイオンの移動と、電荷密度の連続性を解析領域全体で計算するため計算コストが高く、広範囲かつ非定常のイオン飛散を扱うことが難しかった。それに対して本稿が提案する手法では、イオンを計算点 (粒子) に離散化するイオン軌跡計算と、各イオンが持つ電荷をFEMの節点に真電荷として配分する電界計算を連成するため、各時刻でイオンが存在する領域のみで相互作用を計算することが可能であり、広範囲かつ非定常のイオン飛散現象を扱うことができる。

また本稿では、放電電極の先端形状がイオン飛散に与える影響を検討するため、その先端形状を制御する方法として高粘性電磁流体の変形現象に着目した。高粘性電磁流体は、ペースト等の溶媒中に金属粒子を拡散させた流体であり、電界中で流体を変形させた後に焼成することでパターン電極作成などに応用されている。微小な放電電極の先端形状を通常の研磨方法で任意に制御することは難しいが、電界中の高粘性電磁流体の変形では、電極の印加電圧を調整することで、流体に作用する外力がバランスした準安定形状を得ることが可能である。本稿では、針電極の先端形状にこの準安定形状を用いた場合と、半球形状を用いた場合の比較によって、放電電極の先端形状がイオン飛散に与える影響を検証した。高粘性電磁流体の変形現象もまた、微小流体の界面大変形とそれに伴う電界変化を伴う複雑な複合現象であり、従来の数値解析手法や実験ベースでの現象のメカニズム解明が難しい。本稿では、近年提案されている粒子法・FEMの連成解析手法に粘性項の陰的な計算手法を導入することで、高粘性な電磁流体を扱うための数値解析手法を開発した。実験結果との比較によって手法の妥当性を示し、電界中の高粘性電磁流体に作用する外力のバランスを明らかにすると共に、準安定形状を得るための条件を導出した。

第1章では、研究の背景について述べた。放電現象や電磁流体现象の数値解析の先行研究例を示し、本稿で扱う広範囲かつ非定常のイオン飛散現象と、高粘性電磁流体の変形現象を扱うための問題点と解決すべき課題を述べ、研究の目的及び方針を明確にした。

第2章では、イオン飛散現象を扱うための数値解析手法と計算結果を述べた。空中イオンが持つ電荷、周囲の誘電体の帯電、飛散したイオンの金属体への吸着を考慮したイオン軌跡計算と電界計算の連成解析手法について述べ、実験結果との比較による手法の妥当性検証を行った。

第3章では、高粘性電磁流体を扱うための数値解析手法と計算結果を述べた。粘性項を陽的・陰的に扱う場合を比較し、実験結果との比較による手法の妥当性検証を行った。そこで得られた高粘性電磁流体の準安定形状を針電極の先端形状とした場合と、周囲の誘電体形状を変えた場合のイオン飛散の計算結果を比較し、それらが現象に与える影響を検証した。

第4章では、各章で得られた成果を要約し、全体のまとめとした。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (山 本 竹 志)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	平田 勝弘
	副 査	教授	荒井 栄司
	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
	副 査	准教授	宮坂 史和

論文審査の結果の要旨

本論文は、広範囲かつ非定常のイオン飛散現象を扱うための数値解析手法について述べている。従来の FEM のように解析領域全体で電荷密度分布を計算するのではなく、イオンを粒子として離散化し、イオンが持つ電荷を電界計算で考慮することで計算コストを低減させ、数十 mm 先の金属体へのイオン到達を含む広範囲な現象を計算している。また、実験結果との比較では、空中のイオン電荷や誘電体の帯電を考慮した計算結果と、それらを無視した計算結果の比較によって、前者が実験結果により近いことを示し、本論文が提案する手法の妥当性を示している。また、放電電極の先端形状を制御するために電界中の高粘性電磁流体现象に着目し、従来の粒子法・FEM 連成の流体計算方法を改良することで、現象を扱うための数値解析手法を開発している。ここで得られた準安定形状を放電電極の先端形状とした場合のイオン飛散計算により、放電電極形状の影響が示されている。

第 1 章では、研究の背景が述べられている。放電現象、電磁流体现象の数値解析に関する先行研究例を示し、それらの問題点と解決すべき課題を述べ、研究の目的及び方針が示されている。

第 2 章では、本論文が提案するイオン飛散の数値解析手法について述べられている。イオン軌跡計算と電界計算の具体的な連成フローや、イオン移動度による終端速度を非定常なイオン飛散現象に用いることの妥当性が説明されている。解析結果では、針・円筒電極によるコロナ放電において、放電開始前からの電界強度の時系列変化や、周囲の誘電体の帯電量変化などが提示され、イオンが持つ電荷の影響で短時間で電界分布が大きく変化することが示されている。また実験結果との比較では、空中のイオン電荷や誘電体の帯電の影響を考慮することで、計算結果が実験結果と良く一致している。

第 3 章では、電界中の高粘性電磁流体の変形現象を扱うための数値解析手法が述べられ、電界中で安定した形状を得るための条件が示されている。具体的には、ナビエ・ストークス方程式の粘性項を陰的に計算する手法を導入することで、高粘性の電磁流体に対応している。ここで得られた準安定形状を用いて、放電電極の先端形状がイオン飛散に与える影響を検討し、電極形状が誘電体の帯電量や電界強度などに与える影響が明らかにされている。

以上のように、本論文で提案された数値解析手法は、広範囲かつ非定常でのイオン飛散現象を予測し、放電電極の先端形状など各要因の影響を定量化するのに有効であると言える。また、今後様々な放電現象の解明に貢献することが期待でき、従って本論文は博士論文として価値あるものと認める。