

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	シードフリー-MHD発電のプラズマ挙動と発電特性
Title(English)	Plasma behavior and generation characteristics of seed-free MHD electrical power generation
著者(和文)	田中学
Author(English)	Manabu Tanaka
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10527号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:奥野 喜裕,堀岡 一彦,末包 哲也,長崎 孝夫,肖 鋒
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10527号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	田中 学	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	奥野 喜裕	教授	肖 鋒	准教授
	審査員	堀岡 一彦	教授		
		末包 哲也	教授		
長崎 孝夫		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「シードフリーMHD 発電のプラズマ挙動と発電特性」と題し、全6章から構成されている。

第1章「序論」では、まず本研究が対象とするシードフリーMHD 発電の特徴・意義について述べた後に、先行研究のレビューを行い、実用化へ向けた研究開発課題を述べている。高温希ガスプラズマ方式においては、リニア形状発電機ではディスク形状発電機に比べて幅広い運転条件で高い発電性能が期待できる一方で、一部の運転条件では電離不安定により発電性能が劣化するなど、それらの運転条件依存性が既往研究からは明確になっていないこと、また予備電離希ガスプラズマ方式では、作動流体の予備電離手法の検討とそこで消費される予備電離電力を含めた実効的な発電出力による性能評価が必要であることを指摘し、シードフリーMHD 発電のプラズマ挙動と発電特性の解明の必要性を述べ、本研究の意義と目的を明確にしている。

第2章「高温希ガスプラズマ MHD 発電の発電特性とプラズマ流体挙動」では、衝撃波管装置を用いてリニア形状発電機による高温希ガスプラズマ MHD 発電実験を行い、発電特性の運転条件依存性を明らかにし、ディスク形状発電機に比べて幅広い運転条件で高い発電性能が得られることを実証している。また低い入口全温度条件では発電機内プラズマが電離不安定に起因して筋状構造になるが、高い入口全温度では電離不安定が抑制されプラズマが均一になるとともに、シードプラズマ方式に匹敵する発電性能がシードなしでも得られることを明らかにしている。また二次元数値解析から、実験において観測されたプラズマの不均一構造をシミュレートするとともに、電子のクーロン衝突が支配的となるような高い入口全温度では電離不安定が抑制されプラズマは均一となり、高い発電性能が得られることを指摘している。

第3章「キセノンを作動流体とする高温希ガスプラズマ MHD 発電」では、キセノンを作動流体とした高温希ガスプラズマ MHD 発電の実験結果について述べている。キセノンの大きなモル質量に起因して、アルゴンに比べて MHD 相互作用が弱いことがリニア形状、ディスク形状いずれの発電機においても確認され、高い入口全温度では相互作用の不足によりアルゴンよりエンタルピー抽出率が低くなるものの、低いイオン化ポテンシャルに起因してより低い入口全温度においてアルゴンよりも高いエンタルピー抽出率が得られることを実証している。関連して電離不安定を抑制できる入口全温度も低減できることを高速度ビデオカメラによるプラズマ構造の撮影から明らかにし、キセノンを作動流体とすることの特徴を明確にしている。

第4章「高周波電磁界による予備電離の基礎検討」では、誘導コイルを用いた高速流中での高周波プラズマの生成・維持過程を実験ならびに数値解析により検討している。円筒流路を用いた超音速流中での実験的検討から、高周波電力の増加による、放電モードの遷移、結合の増加とインピーダンスの低下による力率の改善、電子系から重粒子系へのエネルギー輸送に伴う静圧の増加を明らかにしている。数値解析では、まず解析結果が実験結果とおおむね一致することを示した後に、亜音速流中と超音速流中のプラズマ構造を検討している。亜音速流中では温度境界層の影響が強く、プラズマは壁面から離れた位置で維持され力率が低い、超音速流中では、速度境界層の影響が強く、壁面近傍にプラズマが生成され力率が高いこと、またその際に斜め衝撃波による全圧損失が生じ得ることを示し、発電機への適用の際の留意点を明確にしている。

第5章「自励的ジュール加熱がディスク形 MHD 発電機の発電特性に与える影響」では、ディスク形発電機のノズルにおける自励的ジュール加熱による電離度の増幅と、それにより生成された予備電離プラズマによる MHD 発電機性能について、二次元数値解析により検討している。アルゴンを作動流体とした解析から、ノズルでの電離度の増幅は低い予備電離電力かつ高い印加磁束密度条件で顕著となり、このとき予備電離電力を効果的に削減できることを示し、解析対象とした発電機では流入エンタルピーの0.3%の低い予備電離電力で高い発電性能(実効的なエンタルピー抽出率25%、等エントロピー効率65%)が得られることを示している。また、キセノンを作動流体とする場合にはアルゴンと同様にノズルでの電離度の増幅が期待できるが、ヘリウムでは電離反応速度定数が低いことに起因して電離度の増幅が得られにくいことを指摘している。

第6章「まとめ」では、本研究より得られた知見をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

以上要するに、本論文は、シードフリーMHD 発電の実験実験と数値解析により得られた発電機内のプラズマ挙動と発電特性をまとめたもので、シードフリーMHD 発電の実現に向けて得られた新たな知見は特筆に値し、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。