T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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,長﨑 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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	創造エネルギー　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	田中　学	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	奥野　喜裕
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文はシードフリーMHD 発電である高温希ガスプラズマ方式ならびに予備電離希ガスプラズマ方式について，実験と数値解析により発電機内のプラズマ挙動と発電特性をまとめたものである。

第 1 章“序論”では，研究対象とするシードフリーMHD 発電の特徴について述べた後に，先行研究のレビューを行い，実用化へ向けた開発課題についてまとめた。特に高温希ガスプラズマ MHD 発電ではリニア形状ファラデー形発電機ではディスク形状ホール形発電機と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これまでの研究からは明確になっていないことを述べた。予備電離希ガスプラズマ MHD 発電については，作動流体の予備電離段階まで含めた検討と，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述べた。以上のことを踏まえ，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た。

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，まず，リニア形状ファラデー形発電機による高温希ガスプラズマ MHD 発電について，衝撃波管装置を用いた発電実験より，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と比べて幅広い運転条件が得られることを示した。また，発電機内プラズマが低い入口全温度では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を用いずとも得られることを明らかにした。リニア形状ファラデー形，ディスク形状ホール形発電機を対象とした二次元数値解析から，実験において確認されているプラズマの不均一構造をシミュレーションでも示すとともに，高い入口全温度では電離不安定が抑制され均一なプラズマになり，高い発電性能が得られることを示した。

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，リニア形状ファラデー形，ディスク形状ホール形発電機によるキセノンを作動流体とした高温希ガスプラズマ MHD 発電の発電実験について述べた。キセノンの大きなモル質量に起因したアルゴンよりも弱い相互作用がリニア形状ファラデー形，ディスク形状ホール形発電機のいずれにおいても見られ，特に十分に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が，低いイオン化ポテンシャルにより動作温度を低下でき，入口全温度 5500K~7500K では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示した。また，電離不安定を抑制する入口全温度についても，作動流体のキセノンへの変更により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た。

第 4 章“高周波電磁界による予備電離の基礎検討”では，予備電離希ガスプラズマ MHD 発電における予備電離について，誘導コイルを用いた高周波放電を実験ならびに数値解析により検討した。実験からは，投入電力の増加により，とともに放電モードが遷移するとともに，結合の増加とインピーダンスの低下による力率の増加，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た。数値解析では，はじめに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予備電離を検討した。その結果，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生成され，このとき高密度の流体中で放電をすることから力率が低いが，超音速流中の放電では，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，このとき低密度の流体中で放電することから力率が高いこと，またその際の斜め衝撃波による全圧損失を示した。

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な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プラズマによる MHD 発電について，R-Z 2 次元数値解析により検討した。アルゴンを作動流体とした発電機の解析から，ノズルによる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に限って行われ，また，これにより予備電離電力が削減できることを示し，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た。また，キセノンならびにヘリウムを作動流体とした発電についても同様に解析を行い，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における電離度の増幅が得られるが，ヘリウムでは電離反応速度定数が低いことでノズルにおける電離度の増幅が得られないことを示した。

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，今後の課題ついて述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).
注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	創造エネルギー　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	田中　学	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	奥野　喜裕
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

Recently, MHD electrical power generation with seed free pure inert gas plasma is proposed for a high efficiency energy conversion system. In this study, the generator performance and plasma fluid behavior of two types of seed free MHD electrical power generation (high temperature inert gas plasma method and preionization inert gas plasma method) are discussed with experiments with shock-tunnel and time-dependent 2D numerical simulations.

The experiment of argon driven high temperature inert gas plasma MHD power generation revealed that the linear-shaped Faraday-type generator has wide operating condition than the disk-shaped Hall-type generator and the increase of the inlet total temperature suppress the ionization instability and enables the stable and high enthalpy extraction ratio. This suppression of the ionization instability is successfully simulated in 2D numerical simulation. Experiments of xenon driven experiment are also conducted and not only the decrease of the operating temperature but also the critical temperature to suppress the ionization instability can be decreased with the change of the working gas to lower ionization potential one.

The basic characteristics of plasma flow and discharge characteristics of preionization in preionization inert gas plasma MHD electrical power generation are discussed with a shock-tunnel driven experiment and 2D numerical simulation. It is revealed that the discharge mode and the power factor are changed with the increase in the input power and the plasma generated region is affected by the Mach number due to the influence of the thermal and velocity boundary layers.

The generation characteristics and the increase of the ionization degree with the self-excited Joule heating are examined with 2D numerical simulation. The self-excited Joule heating enhances the ionization degree only at low preionization power and high magnetic flux density. This increase of the ionization degree enables the decrease of the preionization power and the net enthalpy extraction ratio of 25% and isentropic efficiency of 65% are simulated for low preionization power of 0.3% of inflow enthalpy.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).