

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月27日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560289

研究課題名（和文） 分散電源を支える二酸化炭素回収式石炭ガス化MHD発電機の高性能化に関する研究

研究課題名（英文） Study on High Performance MHD Generator with CO<sub>2</sub> Liquefaction and Recovery Supporting Distributed Generations

研究代表者

石川 本雄（ISHIKAWA MOTOO）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：90109067

研究成果の概要（和文）：二酸化炭素を液化回収し、MHD発電機出口での温度はなおかなり高いため、その高温エネルギーを利用して、石炭をガス化するMHD発電システムの改良を提案し、酸素製造電力、二酸化炭素の液化電力を考慮しても、発電効率55%（高位発熱量基準）の可能性を示すことができた。石炭をエネルギー源とする発電システムで二酸化炭素を液化回収してもこのように高い発電効率を達成することは他の技術では非常に困難であり、重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：The power generation efficiency of 55% (Higher Heat Value base) can be predicted by the improved MHD power generation system, where coal is gasified by high temperature gas exhausted from MHD generator and CO<sub>2</sub> is liquefied and recovered. The power required for oxygen production and CO<sub>2</sub> recovery with liquefaction is included. Such a high efficiency for a power generation system using coal with CO<sub>2</sub> recovery with liquefaction is extremely difficult to be attained by other technologies.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：MHD発電、分散電源、二酸化炭素液化回収、電磁場流体相互作用、3次元解析

## 1. 研究開始当初の背景

化石燃料への過度の依存を軽減するため、再生可能エネルギーなどの分散エネルギー源の導入が必要であるが、太陽電池、風力発電などの再生可能エネルギーは電気出力の変動が激しく、安定した電力供給を確保する

ためには、分散エネルギー源をバックアップする安定した高効率で環境に適した大規模集中型電源が必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

分散エネルギー源の導入に不可欠な高効

率大規模集中型電源としての、石炭を原料とするガス燃焼MHD発電機内の電流集中現象、隣接電極間短絡現象および衝撃波の振舞いを、2、3次元解析により解明することにより、大きな電流密度で運転可能なコンパクトで高性能なMHD発電機の設計を行うと共に、二酸化炭素液化回収電力を含めて総合効率が50%（高位発熱量基準）を越える発電システムを提案すること。

### 3. 研究の方法

大型のMHD発電機においては電磁界と流体の3次元相互作用により、従来経験されていなかった現象が予想される。また、MHD発電機内の衝撃波の解明、及び、電流集中アーク現象・電極間短絡現象などの電極近傍現象は、いずれも高温高压の弱電離プラズマ内における電磁界と流体との複雑な相互作用に依存しており、高性能MHD発電機の設計指針を与えるためには、その強い相互作用の解明が必要であり、3次元解析により研究する。また、MHD発電機内の強い相互作用の解明に合わせて、高性能単独MHD発電システムの提案、解析とそのシステムに適合した高性能MHD発電機の設計のため理論的解析を行う。

### 4. 研究成果

地球環境問題を解決する一つの手段としての分散電源を支える高効率大規模集中電源としての二酸化炭素回収方式高性能MHD発電機を実現するために、二酸化炭素回収をめざしたMHD発電機内衝撃波、電流集中アーク現象・電極間短絡現象などの解明、および電磁界と流体との相互作用による2次流れの解明がかなり進んだ。このことにより、高性能MHD発電機設計の可能性を示すことができたことは重要な成果である。

また、二酸化炭素を液化回収し、MHD発

電機出口での温度はなおかなり高いため、その高温エネルギーを利用して、石炭をガス化するシステムの改良を提案し、酸素製造電力、二酸化炭素の液化電力を考慮しても、発電所効率55%（高位発熱量基準）の可能性を示すことができた。石炭をエネルギー源とする発電システムで二酸化炭素を液化回収してもこのように高い発電効率を持つことは他の技術では非常に困難であり、重要な成果である。

さらに、10mを越える大規模高性能MHD発電機を設計し、その動作特性を3次元解析により実行し、弱電離プラズマの振る舞いを解明し、3次元解析結果を1次元設計コードの改良に利用することができた。

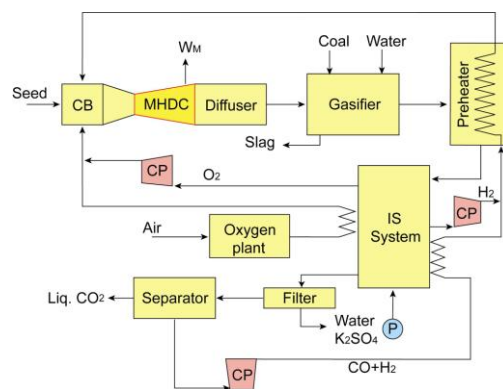
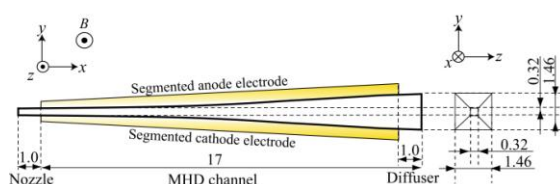


図1 提案したMHD発電システム

申請者等が開発した3次元コードは、大規模パルスMHD発電機（出力510MWを記録）の衝撃波、境界層相互作用を世界で初めて再現しており、多数の分割電極を持つ商用MHD発電機の本格的な3次元解析にも着



手することができた。

図2 設計したMHD発電機の形状

また、発電機後半部分に発生する巨大な渦電流の悪影響を減少し、さらに高性能ディフューザを実現するため、補助的ファラデー電極を設置することにより、MHDディフューザを提案、設計し、3次元解析により、その能を示すことができた。これは世界で初めての試みである。

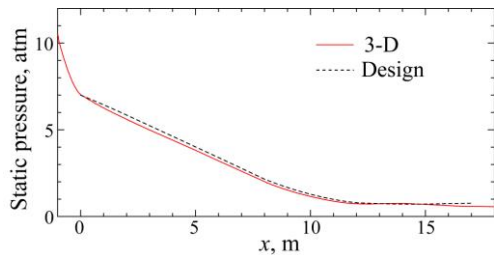


図3 設計条件と3次元解析の比較(圧力)

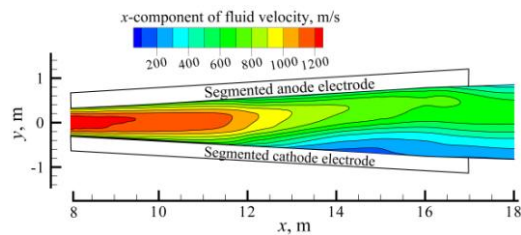


図4 MHD発電機後半部の流れの様子

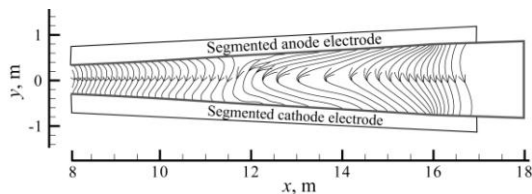


図5 MHD発電機後半部の電流分布

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 丹羽直之、高橋徹、藤野貴康、石川本雄、異なる断面形状を持つスクラムジェットエンジン搭載用DCW-MHD発電実験機の性能比較」、電気学会論文誌B、査読有、第132巻B、3号、220-225頁、2012年

3月

- ② 高橋徹、藤野貴康、石川本雄、PTO電極構成の変更によるダイアゴナル形MHD発電の性能改善に関する検討、電気学会論文誌B、第130巻B8号、査読有、737-742頁、2010年8月

[学会発表] (計23件)

1. N. Yoshimi, T. Takahashi, T. Fujino, and M. Ishikawa, "Three-Dimensional Numerical Simulation of Cylindrical Shaped Magnetohydrodynamic Generator under Strong Magnetohydrodynamic Interaction", 18th International Conference on MHD Energy Conversion, Honolulu, Hawaii, June 27-30 2011.
2. N. Niwa, Y. Nagakubo, T. Takahashi, T. Fujino, and M. Ishikawa, "Numerical Analysis of Generator Performance of Experimental DCW-MHD Generators with Circular and Square Cross-Section", 18th International Conference on MHD Energy Conversion, Honolulu, Hawaii, June 27-30 2011.
3. T. Yamashita, Y. Nagakubo, T. Takahashi, T. Fujino, and M. Ishikawa, "Conceptual Design and Three-Dimensional Analysis for Commercial-Scale Faraday-Type MHD Generator", 18th International Conference on MHD Energy Conversion, Honolulu, Hawaii, June 27-30 2011.
4. Y. Hamaguchi, N. Oya, T. Fujino, and M. Ishikawa, "Effect on Inlet Swirl on Performance of Commercial Scale Disk Magnetohydrodynamic Generator", 18th International Conference on MHD Energy Conversion, Honolulu, Hawaii, June 27-30 2011.

5. 長久保優、山下督士、藤野貴康、石川本雄、商用規模ファラデー形MHD発電機における三次元的振る舞いの基礎的検討、電気学会研究会新エネルギー・環境研究会、2011年3月10日、産業技術総合研究所、茨城県
6. 井上真、高橋徹、藤野貴康、石川本雄、スクラムジェットエンジン駆動MHD発電機の性能改善における研究、電気学会研究会、新エネルギー・環境研究会、2011年3月10日、産業技術総合研究所、茨城県
7. 吉見尚也、高橋徹、藤野貴康、石川本雄、円筒形連続電極ファラデー形MHD発電機の3次元数値シミュレーション、電気学会研究会、新エネルギー・環境研究会、2010年8月27日、電気学会会議室 東京都
8. 山下督士、長久保優、高橋徹、藤野貴康、石川本雄、商用規模ファラデー形MHD発電機入口部の三次元数値解析、電気学会研究会資料、新エネルギー・環境研究会、2010年8月27日、電気学会会議室 東京都
9. 長久保優、山下督士、高橋徹、藤野貴康、石川本雄、小型MHD発電機の電氣的構成の違いによる動作特性への影響、電気学会研究会資料、新エネルギー・環境研究会、2010年8月27日、電気学会会議室 東京都
10. 井上真、高橋徹、藤野貴康、石川本雄、極超音速機搭載用MHD発電機の電極配置の違いによる発電特性の検討、電気学会研究会資料、新エネルギー・環境研究会、2010年8月27日、電気学会会議室 東京都
11. Y. Nagakubo, T. Yamashita, T. Takahashi, T. Fujino, M. Ishikawa, "Comparison of Generator Performance of Small-Scale Diagonal and Faraday MHD Generators", 41st Plasmadynamics and Lasers Conference, Chicago, Illinois, June 28- July 1, 2010.
12. Makoto Inoue, Hideumi Ohkuma, T. Takahashi, K. Mizumura, T. Fujino, M. Ishikawa, "Study of Effects of Electrode Configuration of Full-Scale Scramjet Driven DCW MHD Generator with Three-Dimensional Analysis", 41st Plasmadynamics and Lasers Conference, Chicago, Illinois, June 28- July 1, 2010.
13. T. Takahashi, K. Mizumura, T. Fujino, M. Ishikawa, "Performance Comparison Between Hall and Diagonal Magnetohydrodynamic Generator with Circular Cross Section", 41st Plasmadynamics and Lasers Conference, Chicago, Illinois, June 28- July 1, 2010.
14. 成重大輔、高橋徹、藤野貴康、石川本雄、商用規模ファラデー形MHD発電機の二次元解析、電気学会 電力・エネルギー部門 新エネルギー・環境研究会、2010年3月10日、筑波大学、茨城県
15. 小南晋、藤野貴康、石川本雄、高周波プラズマを備えた商用規模ディスク形MHD発電機の2次元数値解析、電気学会 電力・エネルギー部門 新エネルギー・環境研究会、2010年3月10日、筑波大学、茨城県
16. K. Mizumura, H. Ohkuma, T. Takahashi, T. Fujino, and M. Ishikawa, "Study of Generator Performance of a Small-Scale Hall Type MHD Generator with Circular Cross-Section by Three-Dimensional Analyses", 17th International Conference on MHD Energy Conversion, Kanagawa, Japan, 14-17 September 2009.
17. Y. Takayama, T. Yoshino, T. Fujino, and

- M. Ishikawa, "Numerical Analysis of On-board Surface Hall MHD Generator under Various Flight Conditions", 17th International Conference on MHD Energy Conversion, Kanagawa, Japan, 14-17 September 2009.
18. T. Yoshino, T. Fujino, and M. Ishikawa, "Influence of MHD Flow Control on Radiative Heat Transfer in Super-orbital Reentry Flight", 17th International Conference on MHD Energy Conversion, Kanagawa, Japan, 14-17 September 2009.
19. T. Fujino and M. Ishikawa, "Numerical Simulation of MHD Flow Control in Mars Entry Flights", 17th International Conference on MHD Energy Conversion, Kanagawa, Japan, 14-17 September 2009.
20. I. Inoue, Y. Inui, T. Iwashita and M. Ishikawa, "Numerical Analysis of Transient Stability Control of Diagonal Type MHD Generator Connected to Power Network", 17th International Conference on MHD Energy Conversion, Kanagawa, Japan, 14-17 September 2009.
21. S. Kominami, T. Fujino, M. Ishikawa, and Y. Okuno, "Numerical Analysis of Performance and Plasma Flow of Commercial Scale Nonequilibrium Disk MHD Generator", 17th International Conference on MHD Energy Conversion, Kanagawa, Japan, 14-17 September 2009.
22. T. Takahashi, T. Fujino, and M. Ishikawa, "Effects of Temperature Non-uniformity on Scramjet Engine Driven DCW-MHD Generator of Experimental Scale", 17th International Conference on MHD Energy

Conversion, Kanagawa, Japan, 14-17 September 2009.

23. D. Narishige, M. Yamada, T. Takahashi, T. Fujino, and M. Ishikawa, "Performance Analysis of Commercial Scale Faraday Type MHD Generator", 17th International Conference on MHD Energy Conversion, Kanagawa, Japan, 14-17 September 2009.

[その他]

ホームページ等：

<http://dec1.kz.tsukuba.ac.jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

石川 本雄 (ISHIKAWA MOTOO)  
筑波大学・システム情報系・教授  
研究者番号：90109067

##### (2) 研究分担者

藤野 貴康 (FUJINO TAKAYASU)  
筑波大学・システム情報系・准教授  
研究者番号：80375427

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：