

研究課題名 小型分散型電源用 MHD エンジンの開発
所属研究機関名 独立行政法人 産業技術総合研究所
研究者氏名 前田哲彦

・研究計画の概要

研究の趣旨・目的

家庭などの小規模なエネルギー需要化における電力の消費は、時間的変動が激しくまた最大電力と最小電力需要の比が大きく、このことが分散型電源を導入して省エネルギーを図るための大きな障壁となっている。このような変動の大きな需要家へ対して分散型電源を導入し、排熱利用を行うコージェネレーションによって省エネルギー化を図るためには、低出力から高出力まで広い出力範囲で高効率な発電機の開発が必要不可欠であると考えられる。そこで、本研究では、出力可変な発電機として可能性のあるMHDエンジンの開発を行う。ここで、MHD (Magneto-Hydro-Dynamics 電磁流体力学) エンジンとは、熱機関によって作られるピストンの駆動力を液体金属等の運動に伝え磁場の印加された流路に導き、ファラデーの法則により、直接電力に変換するものである。従来の熱機関を用いた発電機は、ピストンの駆動力を動力伝達部品によって回転運動に変換し電力に変換するものが多いが、MHDエンジンでは、このような部品が不要になる。また、ピストンの運動を液体金属に変換するのでダクト内部の液体金属の封入量を変化させることで、ピストンのストロークを変えることができ熱機関の排気量を調節することが可能となる。排気量を変化させることが可能なので、出力を効率を保ったまま変化させることができる可能性がある。本研究では、小型分散型電源へ導入可能な出力範囲の広いMHDエンジンの開発に向けて、使用する液体金属の種類、発電部分の液体金属流路の形状の最適化をはかり、液体金属内の流れの様子を明らかにする。また小型分散電源の導入先として考えられる家庭におけるエネルギー需要状態の実態を調査する。

研究計画の概要

液体金属を用いたMHDエンジンは、アメリカのHaalandらによって提案されているので、その提案内容を調査し、文献等による情報収集を行う(Haaland らの提案, US Patent No. 5473205 など)。また、液体金属としてHaalandらは、ナトリウムやナトリウムカリウムなどを用いているが、反応性の高いこれらの物質ではなく安定な低融点金属を用いることが可能であるか、物性を調べ検討する。検討にあたっては、まず流体の運動エネルギーを電力に変換するMHD発電部分に着目し、エネルギーの変換効率を検討する。

また、これらの予備的検討の後、熱機関によって液体金属MHDエンジンを駆動した場合におけるシステムの効率や特性を評価できる数値計算コードを開発し、検討する。また、液体金属のような高い電気伝導度をもつ流体を用いてMHD発電を行うと、発電することによって生じる電流によって作られる誘導磁場によって、外部から与えた磁場を打ち消すことが懸念される。また、その複雑な磁場分布によって流体がローレンツ力を受け流れ場に大きな影響を及ぼす可能性がある。よって、誘導磁場を考慮した流れ場をシミュレートできる数値計算コードを開発し、誘導磁場が発電性能に与える影響や、また流れ場や電磁場の様子を明らかにする。

さらには、この数値計算コードによって、発電流路形状、磁場分布、負荷条件などの最適化を図っていく。

上記のような数値計算による検討と並行して、実験装置を試作し本システムの技術課題を明らかにしていく。本研究では、内燃機関による駆動を模擬するための駆動装置、駆動装置によって運動を液体金属の運動に変換するためのシリンダー、磁石、電力に変換するための発電流路、発電した電力を消費するための抵抗などから構成される。これらの装置の設計、測定装置の構築を行い実験的研究を行う。

また実際の家庭等でのエネルギー需要調査を行い、実験結果と数値計算により検討を行う。

研究計画の詳細報告

(単位：百万円)

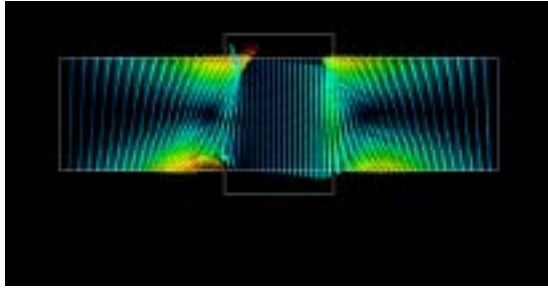
研究項目	所要経費				
	13年度	14年度	15年度	16年度	合計
1. 液体金属MHDエンジンの 数値計算	3	1	2.5		6.5
(1) 数値計算コードの開発	3	0.5	0.5		4.0
(2) 数値計算による解析		0.5	2		2.5
2. 液体金属MHDエンジンの 発電実験	6.8	14.5	12		33.3
(1) 駆動装置の設計試作 および運転調整	6.8	0.2			7.0
(2) 発電用電磁石の設計 製作		6.2			6.2
(3) 発電流路, シリンダー 等の設計試作と調整		6	4		10.0
(4) 発電実験		2.1	8		10.1
3. 民生用エネルギー需要の 測定	2	1.6	1.2		4.8
(1) 測定機器設置及び 測定	2	1	0.5		3.5
(2) データ解析		0.6	0.7		1.3
所要経費(合計) (間接経費を含む)	11.8	17.1	15.7		44.6

研究成果の概要

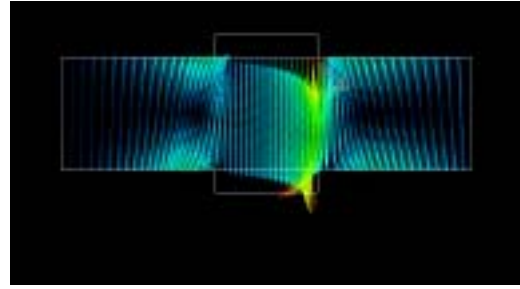
研究成果の概要

液体金属の駆動に空気オットーサイクルを用いた場合において、液体金属の流体摩擦損失やピストンシリンダーの摩擦損失等を考慮し、時間発展的にその運動特性を数値計算を用いて計算した。磁場強度2テスラの場合、発電効率45～46%程度、1テスラの場合、26～30%程度となる試算結果を得た。

さらに、液体金属MHD発電部分に焦点を絞り、流体及び電磁場をシミュレートする数値計算コードを開発した。電磁流体を記述するためには、非圧縮性流体部分にSMAC法、電磁界を解析するためにMAC法と呼ばれる数値計算手法を用いた2次元の計算プログラムを開発し、検討を行った。このプログラムでは、発電することによって発生する電流がつくる誘導磁界をも考慮している。数値計算の結果の一例を下図に示す。その結果、負荷抵抗が小さいときには、誘導磁場によって外部印加磁界が弱められ発電性能が低下すること、また負荷抵抗が高いときには、発電回路内に渦電流が生じ外部に取り出せない電力が生じていることがわかった。



負荷率が高いときの電流分布(負荷率 0.94)



最適負荷率のときの電流分布(負荷率 0.83)

液体金属MHDエンジンを駆動する内燃機関によるピストンの駆動を模擬するために駆動装置、液体金属MHD発電回路、シリンダー装置を試作した。また、発電回路に磁界を印加させるための磁石を磁界分布の計算を行い、設計製作した。また本システムは、電流型の発電機であり、大電流を発生するために、外部に出力として取り出すためには、接続する負荷の抵抗を小さくする必要があり、実験を行う上では、小さい抵抗値を精度良く調整するためにカーボン抵抗を用いた負荷抵抗装置を試作した。またこれらの実験をおこなってデータを収集するための装置を設定した。

また、本装置は、ダクト内部の液体金属の封入量を変化させることで、ピストンのストロークを変え排気量を調節でき、変動の激しい電力需要にあわせて、出力を変化させることが大きな特徴であり低出力から高出力まで高い効率で運転できる。家庭規模のエネルギー需要は非常に変動が激しく分散型電源の稼働率を上げコージェネレーションを効果的に行うためには、低出力時から高出力時まで幅広い範囲で高効率な発電装置の開発が必要であり、その目的ため家庭規模のエネルギー需要を知る必要がある。個人宅及び集合住宅(マンション)における秒単位の電力と熱需要の計測を行い、札幌市内の集合住宅に記録装置を取り付け、データを継続的に収集した。

波及効果、発展方向、改善点等

分散型電源の発電システムにはマイクロガスタービンや燃料電池が主流である。本研究は、負荷追従性の高い発電システムを構築できるMHDエンジンを開発し、新たなシステムのひとつとして提案することにある。MHDエンジンは、機械的稼働部が少なく非常に簡単な構造であるだけでなく、低出力から高出力まで高い効率で電力へ変換することが可能なシステムである。このような発電装置は、変動の激しい家庭規模の電力需要に追従させて運転することが可能となり、分散型システムの利用率を高め、排熱利用を同時に行うことでエネルギー消費量を削減できることを数値計算による検討から示すことができた。今後は、より詳細な現象を扱える数値計算コードを開発し、検討すること及び実験的に計算で得られたことを示していくことにある。

また、非圧縮性の電磁流体を解析するための数値計算手法として、非圧縮流体で用いる手法をそのまま電磁場の解析に用いて解析を行うことを提案しそのプログラムを開発し、電磁流体流れにおける電磁場の解析では、差分法や有限要素法の解析が主流であったが、この手法によってより簡単に誘導磁界を考慮した解析ができるようになった。この数値解析により、負荷抵抗が高い場合に渦電流が生じることがわかったが、これは、印加磁界分布の最適化や分割負荷を用いることで改善できる可能性があり、今後その検討を計算及び実験にて検証していく予定である。

・研究成果発表等の状況

(1) 研究発表件数

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国 内	0 件	0 件	4 件	4 件
国 際	0 件	0 件	0 件	0 件
合 計	0 件	0 件	4 件	4 件

(2) 特許等出願件数

合計 0 件 (うち国内 0 件、国外 0 件)

(3) 受賞等

0 件 (うち国内 0 件、国外 0 件)

(4) 主な原著論文による発表の内訳

国内誌 (国内英文誌を含む)

なし

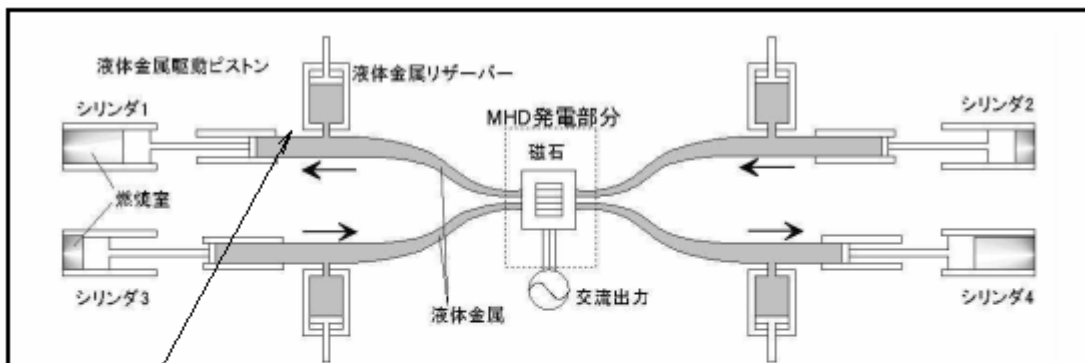
国外誌

なし

(5) 主要雑誌への研究成果発表

Journal	Impact Factor
なし	

小型分散型電源用 MHD エンジンの開発



液体金属リザーバーを調節し、ダクト内部の液体金属の封入量を変化させることで、ピストンのストロークを変え排気量を調節できる。

本研究では、燃焼室を模擬する往復運動発生装置を製作して、液体金属の運動エネルギーを電気に変換するMHD発電部分における電磁流体现象の解明と最適化のための指針をしめす。

