

Title	排熱エネルギー回収利用のための熱磁気エンジンの開発に関する研究
Author(s)	高橋, 豊
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/44243">https://hdl.handle.net/11094/44243</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	高橋 豊
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 17843 号
学位授与年月日	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	排熱エネルギー回収利用のための熱磁気エンジンの開発に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 西川 雅弘 (副査) 教授 田中 和夫 教授 飯田 敏行 教授 堀池 寛 教授 三間 罔興 教授 西原 功修 教授 朝日 一 教授 栗津 邦男 助教授 上田 良夫

#### 論文内容の要旨

本論文は高磁場での熱磁気相互作用を用いた、排熱エネルギーを回収利用することを目的とした熱磁気エンジンについて研究を行った結果をまとめたもので、全7章で構成される。

第1章は序論であり本研究の背景としてエネルギーの消費によって生じる排熱に関わる課題にふれ、熱磁気エンジンの研究意義について述べた。また熱磁気エンジンに用いられている感温磁性材料の研究開発についての概略について述べた。

第2章は熱磁気エンジンの概要として動作原理および高磁場下において磁性体に働く力を求める非線形解析の必要性を示し、熱磁気エンジンの構成材料である感温磁性材料の磁気特性および永久磁石について述べた。高磁場下の磁性体に働く非線形効果について検討を行った結果、熱磁気エンジンに発生する力を算出することができることを明らかにした。またローターに用いる感温磁性材料においては磁束密度の温度勾配は Ni 量 31.5% の Fe-Ni (31.5%) において最大値を得た。また磁界生成部に用いる永久磁石においては最大エネルギー積が大きな希土類磁石 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 磁石によって高磁場での熱磁気相互作用を用いることが可能となった。

第3章は円筒型ローターを用いて基礎実験を行い渦電流ブレーキ損の発生によって出力が抑制されるという問題について述べた。横型円筒型熱磁気エンジンでは最高出力 3.7 W 時の回転数 0.4 rps において、抵抗損は 1.7 W であり、全出力 5.4 W の約 25% を占めていることがわかった。抵抗損のうちローターに発生する渦電流ブレーキ損が全抵抗損の約 80% を占めており、円筒型ローターが回転するとき渦電流の発生による抵抗トルクによって出力が大きく制限されることが明らかになった。

第4章は熱磁気エンジンの解析を行うことによって渦電流ブレーキ損の発生が少ないローターの形状について述べた。ローターをディスク型にして多重構造となるような概念設計を行い、円筒型からディスク型へ形状変更を行ったことによる電磁ブレーキ損の抑制効果について解析した結果、ディスク型ローターにおいて電磁ブレーキ損は円筒型ローターの約 95% を抑制することが計算された。

第5章は熱磁気エンジンの解析結果をもとにディスク型熱磁気エンジンの設計、製作を行い、ディスク型熱磁気エンジンの動作特性について述べた。永久磁石の磁場領域を有効に用いるためにはローターの厚さ当りの出力が大きい

厚さ 0.5 mm のディスクが最適であることがわかった。ローターの温度差が等しい場合ローターのトルクはローターの体積に比例していることがわかった。

第 6 章では熱磁気エンジンによって発生した出力を評価する上で、ローターが吸収した熱エネルギーを運動エネルギーに変換する効率を求めた結果について述べた。熱磁気エンジンによって熱エネルギーが運動エネルギーに変換する効率を求めた結果、対向型磁石、0.1 mm 厚ディスク 50 枚を用いた場合 0.04% となった。

第 7 章に本研究において得られた主たる結果をまとめ、本論文の総括を行った。

## 論文審査の結果の要旨

本研究において環境及びエネルギー有効利用の観点から、排熱エネルギーを回収利用するために開発を行っている熱磁気エンジンの基本特性を評価し、高出力化を図ることを目的として研究開発を行っている。本論文で得られた成果を要約すると以下のとおりである。

- (1)高磁場下の磁性体に働く非線形効果について検討を行った結果、熱磁気エンジンに発生する力を算出することができることを明らかにしている。またローターに用いる感温磁性材料においては Fe-Ni 整磁合金を用い Ni 量が 30% 付近において磁気特性が大きく変化することに着目して組成比の異なる整磁合金の磁化測定を行い、磁束密度の温度勾配は Ni 量 31.5% の Fe-Ni (31.5%) において最大値を得ている。また磁界生成部に用いる永久磁石においては最大エネルギー積が大きな希土類磁石  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  磁石によって高磁場での熱磁気相互作用を用いることが可能となっている。
- (2)加熱冷却方式の簡単な縦型円筒型熱磁気エンジンの加熱冷却について評価を行い、その結果を踏まえて製作した横型円筒型熱磁気エンジンを用いて基本特性の測定及び考察を行っている。最高出力 3.7 W 時の回転数 0.4 rps において、抵抗損は 1.7 W であり、全出力 5.4 W の約 25% を占めていることを示している。抵抗損のうちローターに発生する渦電流ブレーキ損が全抵抗損の約 80% を占めており、円筒型ローターが回転するとき渦電流の発生による抵抗トルクによって出力が大きく制限されることを明らかにしている。
- (3)円筒型熱磁気エンジンにおいて計算を行い、解析結果と実験結果の比較を行った結果、回転数 0.4 rps において出力は 3.4 W となり実験値 3.7 W とほぼ一致することを示すことにより熱磁気エンジンについての解析についての妥当性を明らかにしている。ローターをディスク型にして多重構造となるような概念設計を行い、円筒型からディスク型へ形状変更を行うことによる電磁ブレーキ損の抑制効果についての解析結果より、ディスク型ローターにおいて電磁ブレーキ損は円筒型ローターの約 5% 以下に低減できることが計算されている。ディスク型ローターのディスク幅を増加させ出力に与える影響についての解析結果より、単位体積当りの出力はディスク幅 40 mm において最大となることを示している。
- (4)ディスク型エンジンでは渦電流ブレーキによる損失は円筒型エンジンの約 1/30 となっている。全抵抗を比較すると水から受ける抵抗の増加よりも渦電流ブレーキの減少のほうが大きいのでディスク型エンジンでは円筒型エンジンに比べ約 50% が減少している。ローターが受ける抵抗を小さくできるためディスク型エンジンの最高出力は円筒型エンジンの最高出力の約 1.6 倍となっている。
- (5)厚さ 0.5 mm のディスクを用いたときローターの厚さ当りの出力が最大となっている。永久磁石の磁場領域を有効に用いるためにはローターの厚さ当りの出力が大きい厚さ 0.5 mm のディスクが最適であることを明らかにしている。ローターの温度差が等しい場合 0.5 mm 厚ローターのトルクは 0.1 mm 厚ローターの約 5 倍、0.2 mm 厚ローターのトルクは 0.1 mm 厚ローターの約 2 倍となりローターのトルクはローターの体積に比例していることを示し

ている。また、対向型磁石を用いることによって同温度差から得られるトルクが約2倍となることを示している。

(6)熱磁気エンジンによって熱エネルギーが運動エネルギーに変換する効率を求めた結果、対向型磁石、0.1 mm厚ディスク 50枚を用いた場合 0.04%であることを示している。熱磁気エンジンにおいては熱エネルギーから磁気エネルギー、磁気エネルギーから運動エネルギーへとエネルギー変換を行っている。熱エネルギーから磁気エネルギーへの変換効率は 0.33%になる。また磁気エネルギーから出力への変換効率は9%になっている。スピンの熱振動のために使われる熱量よりも材料を加熱冷却するのに使われる熱量が大きいため、熱エネルギーから磁気エネルギーへの変換効率が低いことを示している。今後、高磁場を用いることや磁束密度の温度勾配の大きな磁性材料を用いることにより出力の向上が可能であることを示している。

以上のように、本論文は、感温磁性材料をエネルギー変換に利用し、高性能永久磁石を用いて感温磁性材料へ飽和状態まで磁場を印加することにより高出力を得ることが可能であることを示したことは大きな成果である。この成果は 100℃以下の環境に廃棄された熱の有効利用への道が拓け、省エネルギーや環境保全の分野において貢献できるものと考えられる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。