

605 形状記憶合金を用いた四段型熱源同期回転式 ヒートエンジンに関する研究

Study on 4-Stage Type Heat Engine Using SMA with System of Synchronized Rotating Heat Sources

○学 清水 啓 (新潟大院) 正 石橋 達弥 (新潟大)
尾崎 由周 (いすゞ自動車株) 松久 宏樹 (新潟大)

Satoshi SHIMIZU, Tatsuya ISHIBASHI, Hiroki MATSUHISA:
Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho 8050, Niigata, 950-21 JAPAN
Yoshihiro OZAKI: ISUZU MOTORS Co., Ltd.

Keywords: SMA (Shape Memory Alloy), 4-stage Type Heat Engine

1. 緒言

現在未使用のまま捨てられている温泉や原子力・火力・地熱発電所及び工場などの多量の温排水の熱エネルギーを、資源として有効に活用しようという研究の一環として、形状記憶合金を利用したヒートエンジンによるものがある。本研究は、廃熱利用によるヒートエンジンの発電に関する研究の基礎として比較的少量の温水と冷水がある場合を想定し、長時間連続運転可能なヒートエンジンを開発する事を目的としている。今回は、本ヒートエンジンのスケールアップを図るにあたり駆動部の多段化を行い、四段型熱源同期回転式ヒートエンジンを設計・製作し、性能検定試験をおこなった。

2. SMAの基本動作

SMAは高温では硬い母相(オーステナイト相)、低温では軟らかいマルテンサイト相という2種類の結晶構造を有している。この母相とマルテンサイト相の応力-ひずみ線図をFig.1に示す。図に示すようにSMAに同じひずみを与えたときの応力は、低温では σ_1 であるのに対し高温では σ_2 となる。つまりSMAは低温時には小さな外力により変形され、それを高温にすることにより大きな形状回復力を得ることが出来る。この原理をヒートエンジンに利用したものを模式的に示すとFig.2のようになる。

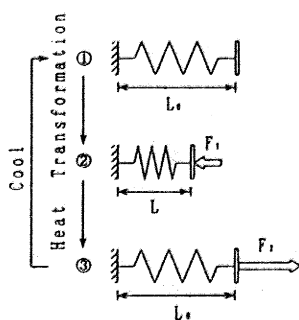
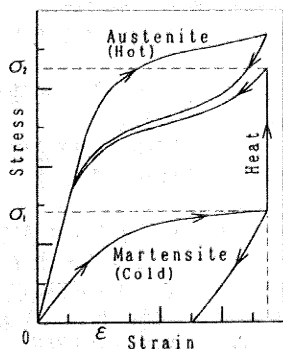


Fig.1 Diagram between Stress and Strain of SMA

Fig.2 Schematic Motion of SMA

最初①のように長さ L_1 に記憶したSMAに低温状態で F_1 の力を与え、②のように長さ L まで変形する。

次にSMAを加熱することで③のように形状回復力 F_2 が生じる。この形状回復力 F_2 は変形に要した力 F_1 よりも大きな力で元の長さ L に戻る。そして、冷却することにより①の状態に戻る。

この①→②→③→①の変形・加熱・回復・冷却を1サイ

クルとすれば、この1サイクルを行うことで変形に要した力 F_1 と形状回復力 F_2 との差($F_2 - F_1$)の力がエンジンの駆動力の一部となる。

3. 四段型熱源同期回転式ヒートエンジンの基本構成

Fig.3は四段型熱源同期回転式ヒートエンジンの正面図である。回転軸と一体となって回転する温冷水槽により、エンジンの回転に伴いSMA駆動素子に温冷水が交互にかかる仕組みになっている。また、上下に取り付けたフライホイールが、冷却時のSMA駆動素子の変形と回転軸を滑らかに回転させる役割を担っている。

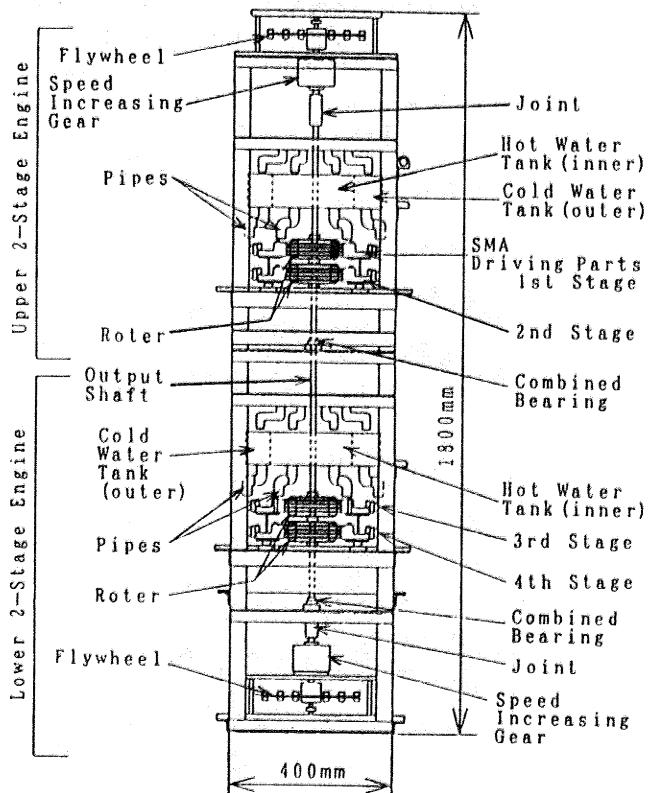


Fig.3 4-Stage Type SMA Heat Engine (Front View)

Fig.4はエンジン駆動部の上面図である。1ステージとは16個の駆動部を全て同一プレート上に回転軸を中心に22.5度の間隔で並べたものであり、各駆動素子間での動きが干渉しないように、接触棒の取付け位置の高さを変えている。

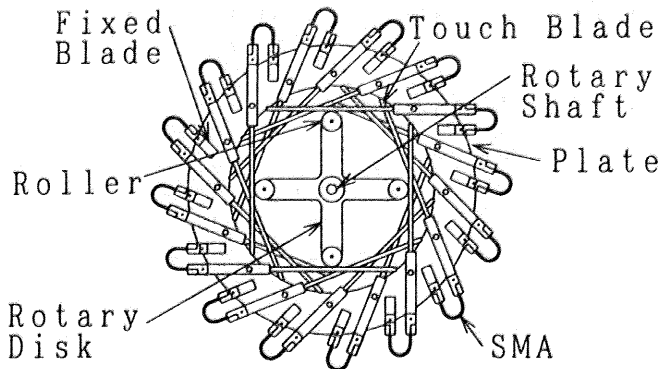


Fig.4 Driving Parts(Top View)

4. 実験

4.1. 実験方法

エンジン下部の出力軸のジョイントに取り付けたプーリーを介して負荷を与えながら回転させ、そのときのトルクと回転数を測定し、出力を算出した。

実験の範囲は以下のである。

- (1) 上下2段の各エンジンをそれぞれ独立に回転させ、ギヤ比を7.5と同一にして出力特性を比較した。
- (2) 同様に、増速比(ギヤ比)と出力の関係を比較した。
- (3) 2段エンジンの場合と、4段エンジンの場合とで出力特性を比較、検討した。

4.2. 実験結果および考察

Fig.5は上部および下部エンジンの出力-回転数線図を示している。上部エンジンは最高出力0.43w、最大トルク3.9kgf・cmであり、下部エンジンは最高出力0.45w、最大トルク5.74kgf・cmとなりどちらも下部エンジンの方が大きい。次に、この下部エンジンについて増速比を5、7.5、15と変化した時の出力-回転数線図をFig.6に示す。この図より、増速比によって出力が変化することがわかる。増速比15では、ギヤボックス内にかかる負荷が大きくなり、増速比5になるとフライホイールの影響が小さいため回転力の周期的変動が起こり、回転数は減少すると考えられる。したがって、下部エンジンは7.5の増速比が適切であることが示された。

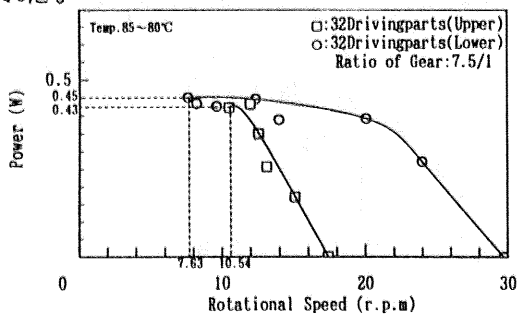


Fig.5 Diagram between Output Power and Rotational Speed

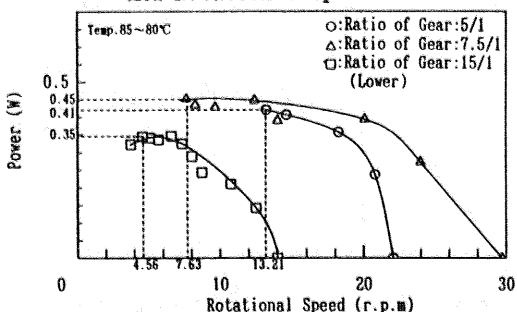


Fig.6 Diagram between Output Power and Rotational Speed

次に、下部2段のみを駆動させた時の2段型エンジンと4段型エンジンの出力比較を行った。それぞれの出力、およびトルク-回転数線図をFig.7, 8に示す。4段型エンジンの出力は下部2段型エンジンの場合のほぼ2倍となり、線形性を示した。

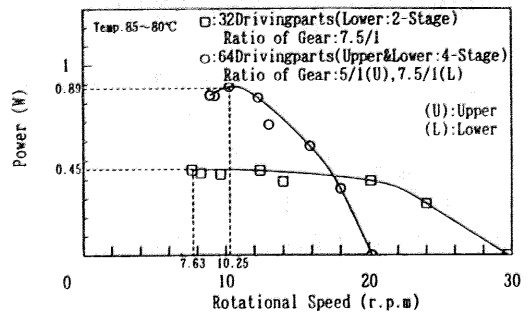


Fig.7 Diagram between Output Power and Rotational Speed

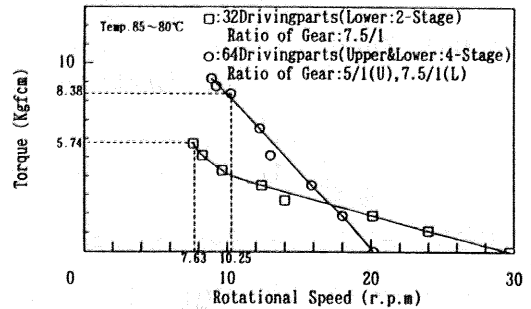


Fig.8 Diagram between Torque and Rotational Speed

また、4段型エンジン(64駆動要素全てを用いた場合)のギヤ比を変化させた時の出力-回転数線図をFig.9に示す。この実験では、上部エンジン(U)に増速比7.5、下部エンジン(L)に増速比5のギヤボックスを使用した場合に、出力の最高値を示した。

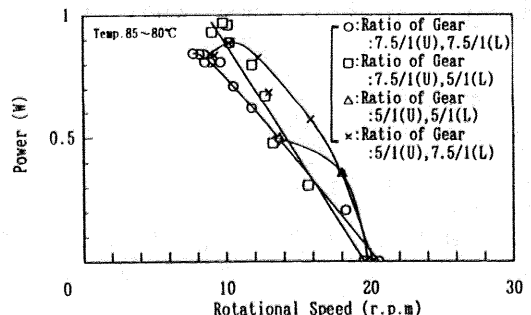


Fig.9 Diagram between Output Power and Rotational Speed

5. 結言

4段型エンジンの出力特性実験を行った結果は次のようになる。

- (1) エンジンに適正な増速比を持つギヤボックスを使用することで、最適な出力特性が得られる。
- (2) 従来の2段型エンジンとの出力の関係はほぼ2倍となり、駆動部の段数と出力の関係は線形を示す。

本エンジンの問題点としては、

- 上部エンジンの駆動部とフライホイールまでの距離は下部エンジンのものに比べて長く、フライホイールの作用効果の影響が相違していることの問題点
- 回転軸が長く、また偏心しており、軸にたわみとねじりが生じている、などの設計・製作上の問題点
- 今回の実験で小さい出力しか得られなかったのは、用いたSMAの特性と、各エンジンに十分な温水が得られなかった、などの材料特性の問題点および温冷熱源供給装置の不十分さの問題点

が考えられ、今後更なる検討を行う予定である。最後に、本研究に御協力いただいた4年生の野坂秀人君に感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) 尾崎、石橋、他：山梨講演論文集('93-10-30,山梨) P.109~P.110