

701 熱源同期回転式形状記憶合金ヒートエンジンの基礎的研究

Study on Heat Engine Using SMA with System of Synchronized Rotating Heat Sources

○学 野坂 秀人 (新潟大院)
 正 大木 基史 (新潟大)
 清水 啓 (湖北精工(株))

正 石橋 達弥 (新潟大)
 学 高橋 学 (新潟大院)

Hideto NOZAKA, Tatsuya ISHIBASHI, Motofumi OHKI, Manabu TAKAHASHI:
 Faculty of Engineering, Niigata University 8050 2-no-cho Ikarashi, Niigata 950-21, JAPAN
 Satoshi SHIMIZU : KOHOKU SEIKO Co.,Ltd.

Key words: SMA(Shape Memory Alloy), Heat Engine, Synchronized Rotating Heat Sources

1. 緒言

現在未使用のまま捨てられている工場や原子力・火力・地熱発電所及び温泉など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(Shape Memory Alloy:SMA)を利用したヒートエンジンによるものがある。

本研究は上述した低位熱エネルギーを、SMAを用いて機械エネルギーに変換するヒートエンジンの研究の基礎として、比較的多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の開発を目的としている。本論文では、ヒートエンジンの駆動部分の構造を単純化することにより、これまでより高回転を目的とした小型な熱源同期回転式ヒートエンジンを考え、その設計・製作・性能検定試験を行った結果について報告する。

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-ひずみ線図の例を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できる。この原理をヒートエンジンの駆動力に利用したものを模式的に示すと、Fig.2のようになる。

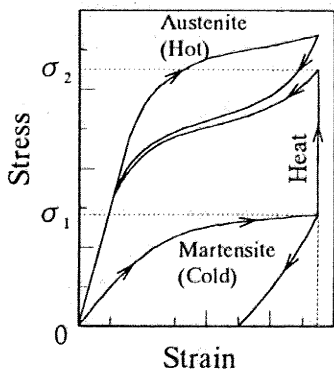


Fig.1 Diagram between Stress and Strain of SMA

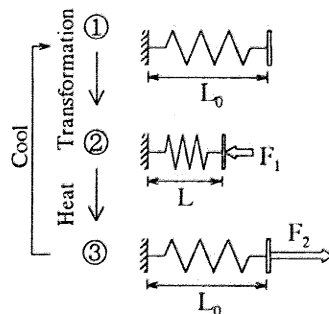


Fig.2 Schematic Motion Principle of SMA

すなわち、最初①のように長さ L_0 に記憶したSMAに、低温状態で F_1 の力を加え、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_0 に戻る。その状態で冷却することにより、再び①の状態となる。

したがって、この①→②→③→①の変形・加熱・回復・冷却を1サイクルとして、この1サイクルをSMAに適用することにより、変形に要した力 F_1 と形状回復力 F_2 の差： $(F_2 - F_1)$ がエンジンの駆動力の一部となる。

3. 駆動部単純化型熱源同期回転式ヒートエンジン

3.1. ヒートエンジンの基本構成

Fig.3は駆動部単純化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。エンジン上部には回転数測定用のフォトセンサとスリットディスクを取り付けてある。

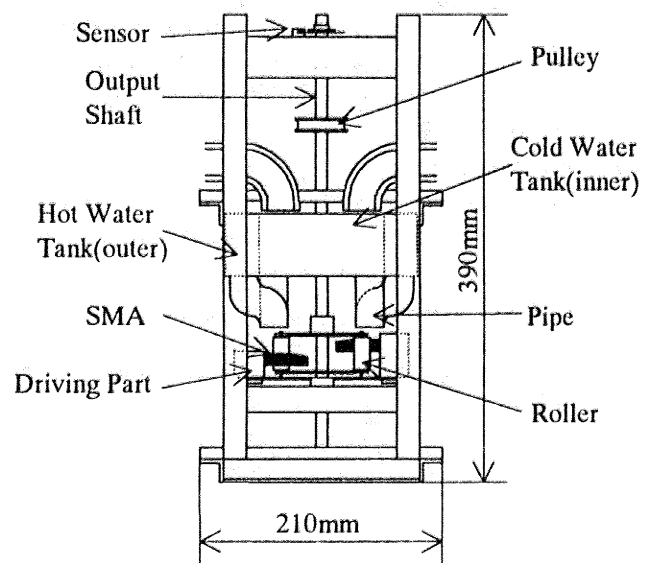


Fig.3 Schematic Illustration of SMA Heat Engine(Front View)

Fig.4はエンジン駆動部の上面図である。SMA駆動素子は最大8個まで取り付けることが可能であり、各駆動素子には1枚あるいは2枚のSMAが取り付けられる。また、隣接したSMAの動作の干渉を避けるため、各SMA素子の取り付け位置の高さを変えている。

3.2. SMAの諸元

使用したSMAはNi濃度55.75wt%のNi-Ti合金で、長さ75

mm、幅10mm、厚さ0.22mmの板材を直線形状に記憶したものである。またFig.5の駆動要素のように、先端から40mmまでの部分を外側に折り曲げて使用することで、駆動に関するSMAの部分は図中に示す有効部分となるようにした。

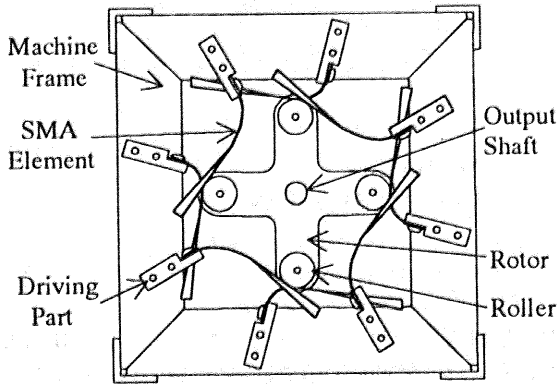


Fig.4 Schematic Illustration of Driving Parts and Rotary parts(Top View)

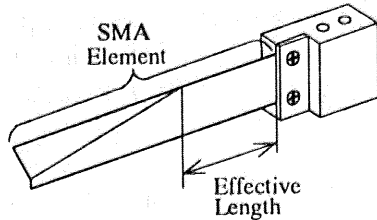


Fig.5 Schematic Illustration of Driving Part

4. 実験

4.1. 実験方法

エンジンの出力軸に取り付けたプーリーを介して一定の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。

実験は以下のような条件について行った。

- SMAを1枚取り付け付けた駆動要素を2、4、8個用いた場合の実験を行い、それぞれの出力特性を比較した。
- 同様に、SMAを2枚組にした駆動要素についての出力特性の比較を行った。

4.2. 実験結果および考察

Fig.6は4.1.(a)の条件での出力-回転数線図を示している。駆動要素2個の場合は最高出力0.03w、最大トルク0.072Kgf·cmであり、4個の場合は最高出力0.07w、最大トルク0.156Kgf·cm、8個の場合は最高出力0.13w、最大トルク0.240Kgf·cmとなった。駆動部数が2倍、4倍になると、最大トルク値、最高出力値もおよそ2倍、4倍となっている。

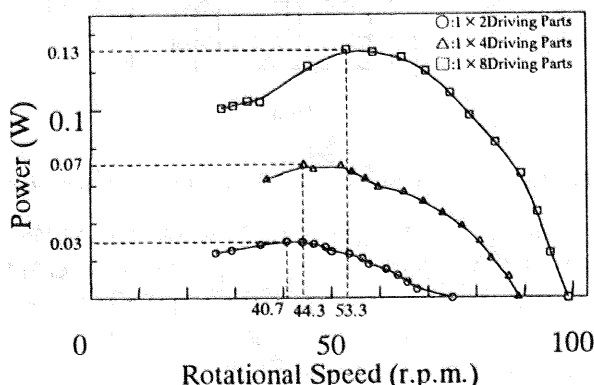


Fig.6 Diagram between Output Power and Rotational Speed

Fig.7は4.1.(b)の条件での出力-回転数線図を示している。

駆動要素2個の場合は最高出力0.05w、最大トルク0.120Kgf·cmであり、4個の場合は最高出力0.10w、最大トルク0.2Kgf·cm、8個の場合は最高出力0.22w、最大トルク0.360Kgf·cmとなった。SMA1枚付き駆動部を使用した時と同様な出力における比例関係を示している。

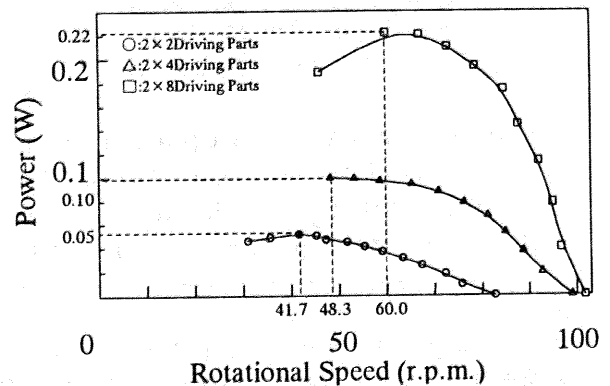


Fig.7 Diagram between Output Power and Rotational Speed

Fig.8はSMA1枚付き駆動要素8個使用の出力-回転数線図とSMA2枚付き駆動要素8個使用の出力-回転数線図を比較したものである。SMAの数は2倍になっているが、得られた出力値は1.7倍程度にとどまっている。これは、SMA2枚付き駆動部の場合には2枚重ねの状態で使用しているため、SMAの冷却効果が低下したためと思われる。

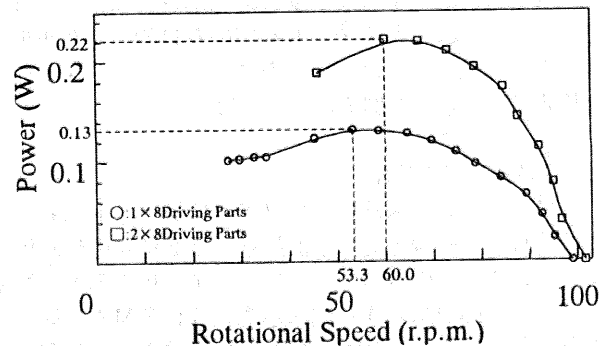


Fig.8 Diagram between Output Power and Rotational Speed

5. 結言

(1)駆動部単純化型熱源同期回転式ヒートエンジンの出力特性実験を行った結果は、次ようになる。

- 今回製作した熱エンジンは無負荷の場合約100rpmの回転数が得られ、目的とした熱エンジンの高回転化は構造の単純化により達成されることを確認した。
- 駆動部数を2倍、4倍にすると出力もおおよそ2倍、4倍となり、駆動部数と出力は比例関係を示した。

(2)問題点及び今後の課題

- エンジンを高回転化すれば、SMAに温・冷水が供給される時間は短くなる。そのため、冷水の温度が出力に多大な影響を与える点が問題となり、またSMAを重ねて使用する場合の効果的な冷却法も考える必要がある。
 - SMAの先端部を折り曲げて使用する場合、全長に対する折り曲げ部の長さの割合についての検討が必要である。
- 最後に、本研究に御協力いただいた4年生の五十嵐麻由美さん、および機械工場技官の方々に感謝申し上げます。

(参考文献)

- 清水、石橋、他：山梨講演会講演論文集(95-10-28,甲府)