204

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　高橋　学（新潟大院）　　正　石橋　達弥（新潟大）
正　大木　基史（新潟大）　　野坂　秀人（信越化学㈱）

Manabu TAKAHASHI, Tatsuya ISHIBASHI, Motofumi OHKI:
Faculty of Engineering, Niigata University 8050 2-no-cho Ikarashi, Niigata 950-2181, JAPAN
Hideto NOZAKA : SHINETSU CHEMICAL Co.,Ltd.

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

1. 緒言

現在工場や原子力・火力・地熱発電所及び温泉などから排出されている低位熱エネルギーである温排水は未使用のまま捨てられている。

本研究はこれらの低位熱エネルギーを、資源として有効に利用するため、形状記憶合金(Shape Memory Alloy:SMA)を用いて機械エネルギーに変換するヒートエンジンを考案し、比較的多量の温水と冷水がある場合を想定して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、駆動素子として板状及び、コイルスプリング状のSMA素子を用いたヒートエンジンを設計・製作し、その性能検定試験を行った結果について報告する。

2. エンジン動作原理

Fig.1に板状のSMA素子を使用した場合の熱源同期回転式ヒートエンジンの動作原理を示す。まず(a)ではSMAに冷水がかかりSMAは軟らかいマルテンサイト相の状態になる。ここでローターを回転させると(b)のように小さな力でローラーがSMAを変形させる。そして(c)のように、SMAのひずみが最大になった時点でSMAに温水がかかる。温水がかかったSMAは、硬いオーステナイト相の状態になり大きな回復力をともなって形状回復を起こし、(d)のようにローラーを押してローターを回転させる。この(a)-(b)-(c)-(d)を1サイクルとしてエンジンは回転する。

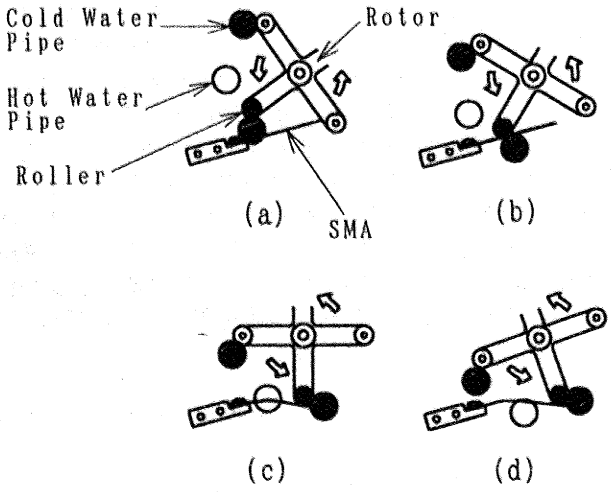

Fig.1 Schematic Motion of Heat Engine

3. 熱源同期回転式ヒートエンジン

3.1. 熱源同期回転式ヒートエンジン全体図

Fig.2は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、エンジンの回転に同期してSMA素子に温・冷水が交互にかかる仕組みになっている。また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。

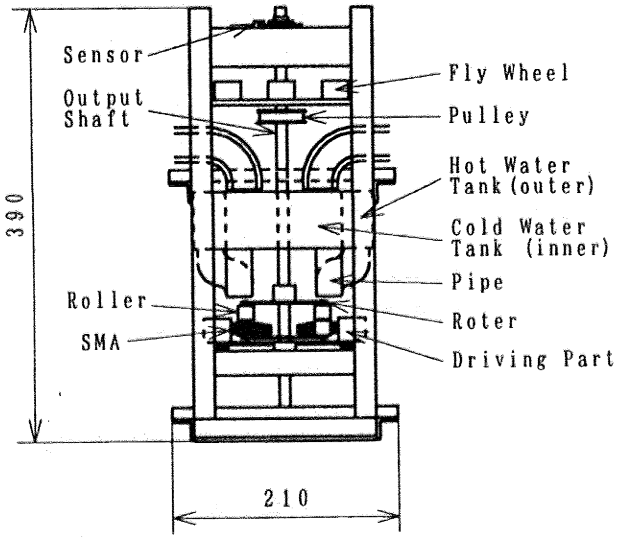

Fig.2 Schematic Illustration of Heat Engine (Front View)

3.2. 駆動部上面図

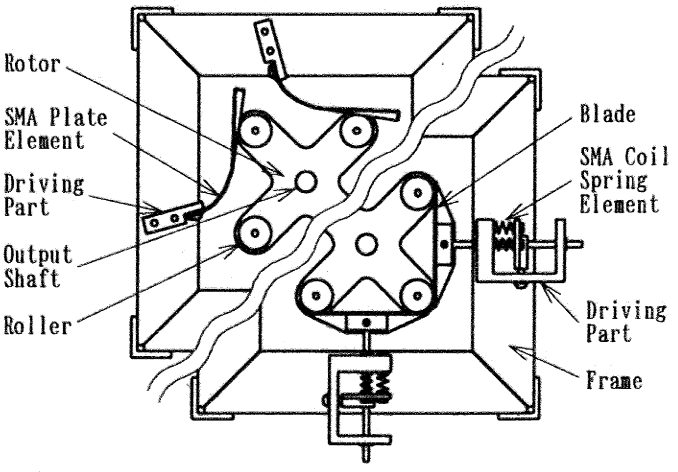

Fig.3 Schematic Illustration of Driving Parts and Rotor

Fig.3はエンジン駆動部の上面図である。 図の左側は板状SMAを使用した場合であり、SMA素子が駆動部1個に1枚ずつ取り付けられておりローラーを直接押すようになっている。 また、図の右側はコイルスプリング状SMAを使用した場合であり、SMA素子が駆動部1個に3本ずつ取り付けられておりブレードを介してローラーを押すようになっている。

3.3. SMAの諸元

使用したSMA素子は板状（日本ステンレス製Ni55.75wt%）のNi-Ti合金で、長さ75mm、幅10mm、厚さ0.22mmの板材を直線形状に記憶したものであり、Fig.4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、駆動に関与するSMAの部分は図中に示す有効部分となるようにした。

コイルスプリング状のものはφ0.5mmのSMAワイヤー（日本精線製Ni55.10wt%）をコイル径5mm、長さ3mmのコイルスプリング状に形状記憶させたものである。

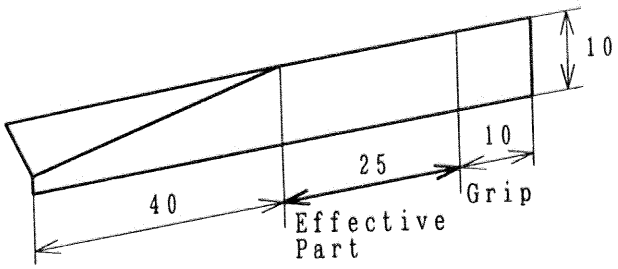

Fig.4 Schematic Illustration of Plate Type SMA element

また、SMAの諸元をTable1に示す。

Table1 Factor of SMA Specimen

	Number of SMA Elements	Total Weight(gf)	Maximum Strain (%)
Plate Type	4	1.5	1.38
Coil Spring Type	12	0.6	3.40

4. 実験

4.1. 実験方法

実験は、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。

(1)板状のSMA素子を1枚取り付けた駆動部を4組使用した場合。

(2)コイルスプリング状のSMA素子を3本取り付けた駆動部を4組使用した場合。

4.2. 実験結果および考察

Fig.5は、板状及びコイルスプリング状SMA素子を使用した場合のSMA1gf当たりのトルク－回転数線図、Fig.6は出力－回転数線図を示している。コイルスプリング状SMA素子を用いた場合は、板状に対して最大出力時の回転数はやや低いが、トルクが約6倍、出力が約5倍となった。

また、実際の最大出力時のトルク、最大出力は、それぞれ板状SMAを用いた場合が、0.13kgf・cm、0.053w、コイルスプリング状SMAを用いた場合が、0.31kgf・cm、0.111wとなった。

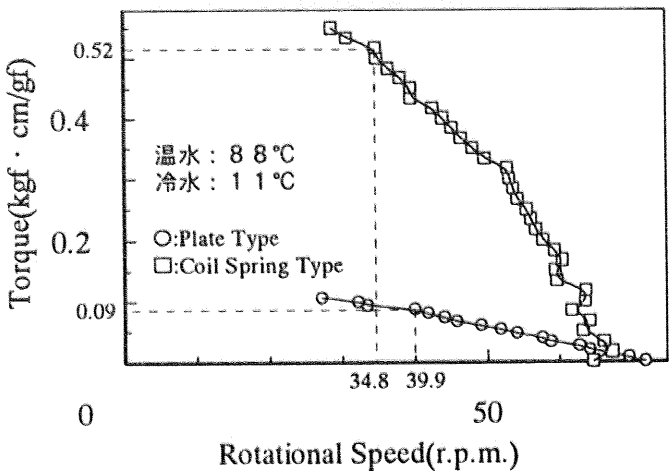

Fig.5 Relationships between Torque of SMA per gram・force and Rotational Speed

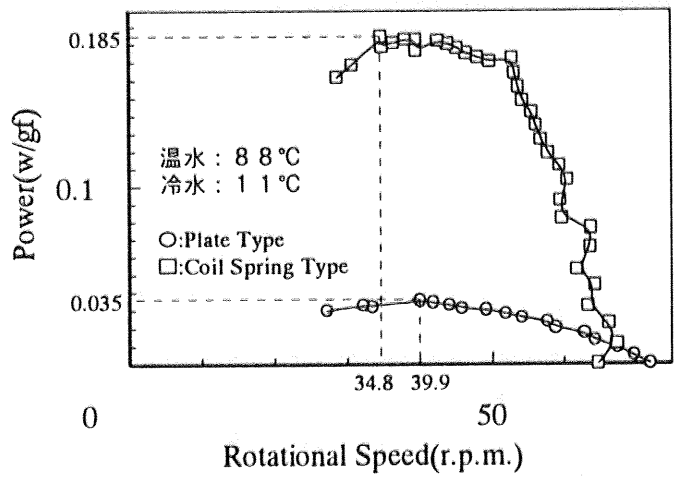

Fig.6 Relationships between Power of SMA per gram・force and Rotational Speed

5.結言

(1)板状及び、コイルスプリング状のSMA素子を用いたヒート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。

・板状SMA素子を用いた場合は、駆動部が単純なため高回転が得られると思われたが、実際にはフライホイールの使用により得られるトルクが小さく、負荷をかけた際の回転数の低下が大きくなり出力は低くなった。

・コイル状SMAを用いた場合は、板状SMAに比べSMA1gf当たりのトルクが約6倍、出力は約5倍と高出力が得られた。これは、SMA素子に与えたひずみが板状の1.38%に対して3.40%と大きいこと、及びコイル状SMAの製法が固相拡散法による強度増加のためと思われる。

(2)今後の課題と展望

・今回は、温冷水の供給に回転水槽を用いたが、これは温冷水の供給タイミング、及び供給時間の適正化が難しいため、今後は出力の増加をはかるために温冷水の供給にバルブを用いることを検討する。

最後に、本研究にご協力いただいた4年生の小平弘和君、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〉

1)野坂、石橋、他：山梨講演会講演論文集('97-10-25,甲府) P.185～186