

308. 形状記憶合金固体熱エンジンの動的特性の研究

A Study on the Dynamic Characteristics of
a Shape Memory Alloy Solid Heat Engine.

学	*尾崎 由周	(新潟大院)	正	石橋 達弥	(新潟大)
	高橋 幸久	(住友金属㈱)		田中 弼	(㈱ナカムラ)
学	加藤 哲也	(新潟大院)	学	嶋貫 博行	(新潟大院)

Yoshihiro OZAKI, Tatsuya ISHIBASHI, Tetsuya KATO, Hiroyuki SHIMANUKI :
Faculty of Engineering, Niigata University, Ikarashi 2-no-cho 8050, Niigata, 950 21
Yukihisa TAKAHASHI : Sumitomo Metal Co., Ltd.
Hiromu TANAKA : Nakamura Co., Ltd.

Keywords : Shape Memory Alloy, Solid Heat Engine

1. 緒言

形状記憶合金(Shape Memory Alloy:SMA)の変態点以上における強力な形状回復力を利用したヒートエンジンは、地熱発電所や工場・プラントあるいは温泉などにおける大量の温排水がもつ低品位な熱エネルギーを、機械エネルギーに変換できる機械として研究されている。

そこで本研究では、廃熱利用による固体熱エンジンの発電に関する研究として、多量の温水と冷水がある場合を対象とし、長時間連続運転可能な固体熱エンジンとして試作した熱源同期回転式固体熱エンジンに対し、その高出力化を図るにあたってのSMAエンジンの動的特性について基本的検討を行った結果を報告する。

2. 熱源同期回転式ヒートエンジン

2.1 熱源同期回転式ヒートエンジン

Fig.1に試作したヒートエンジンの全体図を示す。熱源同期回転式ヒートエンジンは2ステージタイプとし、ローターの上下各1ステージ当りの駆動部の数を4個、計8個とした。また高温状態のSMA駆動部の形状回復力の一部を貯蔵して低温状態のSMAを変形するために、出力軸に回転数変換部を介してフライホイールを取り付けてある。

SMA駆動要素としてはNi-Ti合金(Ni55.5wt%,厚さ0.5mm,幅20mm,長さ50mm,有効作用長さ30mmの日本ステンレス製)を用い、一次熱処理温度720℃で70分、二次熱処理温度400℃で4時間処理したものを使用した。

2.2 動作原理

Fig.2にこのヒートエンジンにおけるSMA-1駆動要素の動作原理を示す。

まず(a)の状態ではSMA素子6は低温状態(マルテンサイト相、ひずみ約1.25%)にあり、ここで回転子1を回転させると、SMA6はローラ2により(b),(c)の順に変形さ

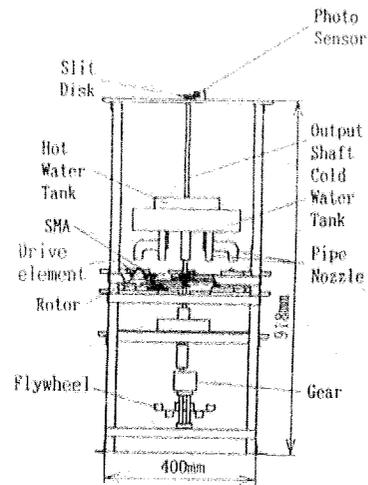


Fig.1 SMA heat engine (8-drive elements) synchronized with rotary heat sources

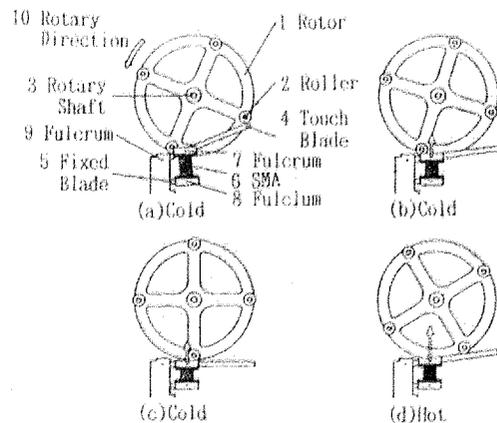


Fig.2 Motion principle of SMA heat engine (1-drive element)

れ、最終的にはSMA素子6は最大ひずみ(約2.6%)に達する。その後SMA6を加熱すると、(d)に示すように低温時での変形に要した力よりも数倍大きな形状回復力をとれない、SMA6が記憶していた形状(直線形状)に戻ろうとし、接触板4がローラ2を押すことにより回転子1に回転力が伝えられる。これがSMA素子の行う1サイクルとなる。

3. 動的特性実験

3.1 実験方法

SMA素子1枚の作動力と変位(SMA板材の長手方向における板の端と端との距離)および回転軸における回転数の変化との関係を調べるための測定装置を製作した。その測定部の上面図及び側面図をFig. 3-1, Fig. 3-2に示す。

作動力測定部は、エンジンの回転中におけるSMA素子の作動力を固定端部に取り付けたロードセルにより検出し、変位測定にあたっては接触板後部にポテンシオメータのシャフトを取り付け、接触板の各変位を直線変位としてポテンシオメータにより測定した値を、SMA素子取り付け部の変位に換算することで算出した。回転数の変化は回転軸に取り付けたスリット円盤とフォトセンサにより測定する構造とした。なお、これらの測定には、4chのデジタルオシロスコープを用いて行った。

またSMAの加熱と冷却は回転軸と一体化された温冷水槽によっておこなわれる。このように熱源と回転軸を一緒に回転させることを熱源同期回転式といい、このときのローラとバルブのずれを同期角度と定義する。同期角度はSMAが最大ひずみに達した瞬間に温水がかかる状態を 0° とし、そこから温水のでるタイミングが遅くなる方向に 5° づつずらしていき、最高 20° まで角度を変えて測定した。なお、実験で使用した温水は $70 \pm 2^\circ\text{C}$ 、冷水は 20°C に設定した。

3.2 実験結果及び考察

SMA駆動素子の作動力・変位-時間線図(同期角度 0°)をFig. 4に示す。(変位はSMAが変形する方向を+とした。)横軸のa点まではSMA素子は低温状態にあり、ローラによりSMA素子は変形されている状態にある。この点でSMA素子が最大ひずみに達すると同時に温水がかかると、加熱されたSMAは形状回復を起こすため、作動力は急激に上昇し、b点で最大力に達する。それと同時にSMA素子も元の形状に戻ろうと徐々に伸びていく状態が示される。そしてc点においてSMA素子に冷水がかかると作動力は急激に下がり、変位が0になるとともに作動力も0となっていく。

次に作動力・回転数-時間線図(同期角度 0°)を

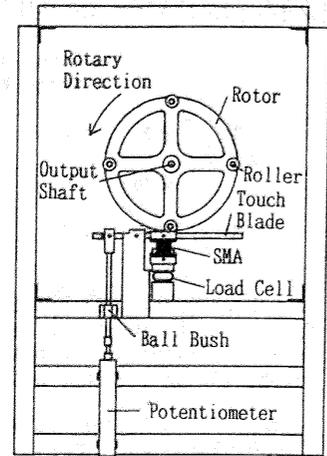


Fig. 3.1 Measuring equipment (Top view)

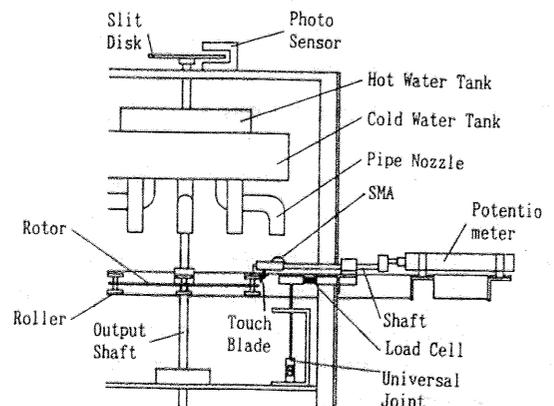


Fig. 3.2 Measuring equipment (Side view)

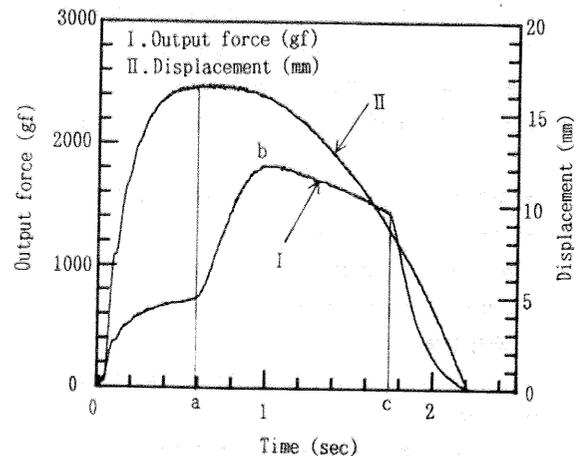


Fig. 4 Relationships between output force or displacement and time (synchronized angle= 0°)

Fig.5に示す。横軸のa点において温水がSMAにかかると作動力は急激に増加するに対して、回転数はa点から約0.22秒後に上昇を始めるのがわかる。

次に各同期角度による作動力-変位線図をFig.6に示す。同期角度5°の場合を例にとると、曲線OAはローラがSMA素子を変形するのに要した力であり、曲線ABCは逆にSMA素子がローラを押し出した力である。よって閉曲線OABCに囲まれた部分の面積がSMA素子の成した仕事量となる。

以上の結果より同期角度による回転数、作動力、仕事量の関係をTable.1に示す。

同期角度が5°のときSMAの作動力は最大となるが、回転数及び仕事量は15°で最大値をとった。これは同期角度0~5°の範囲において、SMAの形状回復力のほとんどが回転体の半径方向に作用しているため (Fig.6参照: A点で加熱された後、変位が変わらず、作動力のみが増加している。) である。よって、この部分の回復力は有効な仕事をしていないことになり、そのため回転数、仕事量が少ないと考えられる。また同期角度が20°の場合、仕事量が高い割に回転数、作動力が低いのはSMAが変形過程に入る前に冷却が十分でないためであり、つまりは硬さの残った変形しづらいSMAを変形させねばならず、その変形に要する力が増えたため回転数が下がったと考えられる。

よって回転数、仕事量の観点からすると、実験に使用した1駆動要素SMAエンジンは同期角度を15°付近に設定した時に最大値が得られることがわかる。

4. 結言

SMA熱エンジンの回転中におけるSMA素子の作動力と変位、及び回転数との関係について測定を行った結果は次の通りである。

- (1) エンジン回転中のSMA素子1サイクルにおける作動力、変位及び回転数と時間の関係を求めることができた。
- (2) 特性実験に用いた1要素タイプのエンジンでは、同期角度15°付近でSMAの仕事量と回転軸の回転数は最大となる。
- (3) 今後の課題としては、
 - ① SMAの作動力を効率よく回転部に与えるためのメカニズムの改良。
 - ② 測定したSMA駆動要素の基本的動特性を基にして、SMAエンジン各部の要素定数を含んだ形で最大出力を得るための設計式の開発などが考えられる。

最後に本研究に御協力頂いた4年生の清水啓君に感謝する。

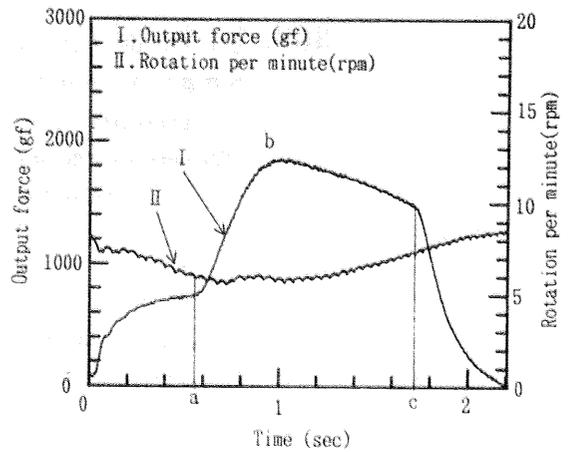


Fig.5 Relationships between output force or rpm and time (synchronized angle=0°)

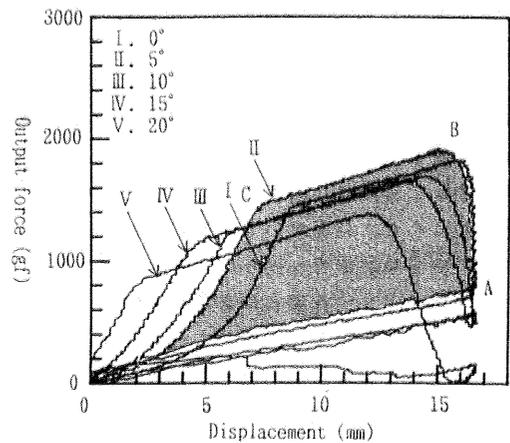


Fig.6 Relationships between output force and displacement

Table.1 Dynamic characteristics of SMA heat engine (1-drive element)

Angle (deg)	Output Force (Kgf) _(max)	rpm (max)	Output Work (kgfcm)
0	1.88	8.58	1.06
5	1.92	8.79	1.18
10	1.74	9.03	1.24
15	1.63	9.54	1.36
20	1.50	8.25	1.33