

506. 熱源同期回転式SMAヒートエンジンに関する研究

Studies on the Shape Memory Alloy heat engine synchronized with rotary heat sources

学 *尾崎 由周 (新潟大院)

正 石橋 達弥 (新潟大)

学 長谷部 浩 (新潟大院)

瀧川 賢久 (三菱自工(株))

高橋 幸久 (日本スチル(株))

今井 久 (日本精機(株))

Yoshihiro OZAKI, Tatsuya ISHIBASHI and Hiroshi HASEBE

Faculty of engineering, Niigata University 8050 2-no-cho Ikarashi, Niigata 950-21.

Japan ; Yoshihisa TAKIGAWA, Mitsubishi Motor Co.

Hisashi IMAI, NIPPONN SEIKI Co.; Yukihisa TAKAHASHI, NIHON STAINLESS Co.

Key Words : Shape Memory Alloy, Solid Heat Engine, Synchronized Rotary Heat Sources

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。

しかし、これまでに開発されたヒートエンジンはSMA駆動部が回転軸と機械的に結合されている構造のため、疲労等によるSMA駆動要素部の破損に際しては、エンジン回転を停止して交換する必要がある、実用的・商用的な面で大規模化を図ることが困難であった。¹⁾

そのため著者らは、回転中にもSMAの駆動要素部を交換し得る構造のフィクストブレード型SMAヒートエンジンの研究を行ってきたが、今回さらに簡単な構造により大量の温水をバルブ等を用いずにSMA駆動要素部に吐出させることのできる方式として、出力軸と一体となって回転する温・冷水槽を有する構造の「熱源同期回転式SMAヒートエンジン」を試作し、その出力特性実験を行ったので報告する。

2. ヒートエンジンの動作原理

2.1 フィクストブレード型ヒートエンジンの作動原理

フィクストブレード型ヒートエンジンの作動原理図をFig.1に示す。初め(a)の状態ではSMA要素部は低温状態(マルテンサイト相)にあり、この状態から回転子1を回転させると、SMA要素部はローラにより(b)、(c)の順に変形される。そして(d)でSMA要素部を加熱すると、低温時での変形に要した力よりも大きな形状回復力により接触板5を介して回転子1に回転力が伝えられる。この行程を繰り返すことによりエンジンは回転する。

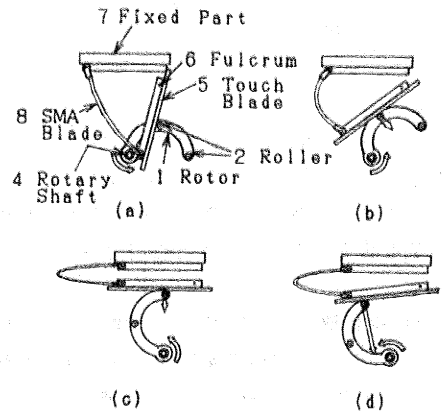
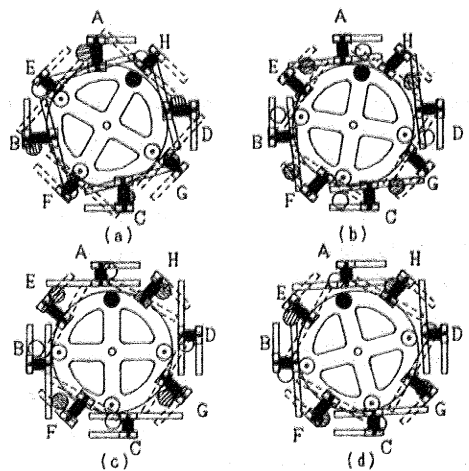


Fig.1 Motion principle of the Fixed Blade type Heat Engine



● Emitting pipe nozzle from Cold Water Tank
○ Emitting pipe nozzle from Hot Water Tank

Fig.2 Motion principle of the heat engine

Synchronized with rotary heat sources

2.2 熱源同期回転式ヒートエンジンの作動原理

Fig.2に今回試作したヒートエンジンの回転部と駆動部及び作動原理を示す。まず(a)は、上側駆動部A、B、C、DのSMA要素部には冷水が、下側駆動部E、F、G、HのSMA要素部には温水がかかっている状態を示している。駆動部E、F、G、Hの駆動要素部は加熱されることにより形状回復を起こし、図のように接触板はローラを押し回転子を回転させる。このとき回転子の回転と共に軸と一体になっている温・冷水槽も回転する。(a)、(b)、(c)と回転が進むにつれ、駆動部A、B、C、Dの接触板はローラに押しされ、SMA要素部が変形を受ける。(c)は駆動部A、B、C、DのSMA要素部が最大ひずみを受ける状態を示している。この点をすこし過ぎると、いままでとは逆に、駆動部E、F、G、HのSMA駆動要素部には冷水が、駆動部A、B、C、DのSMA要素部には温水がかかり、駆動部A、B、C、DのSMA要素部は形状回復を起こし、その結果エンジンは同一の方向に回転を続ける。

2.3 エンジン構造

Fig.3にエンジン全体図を示す。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要素部の形状回復力エネルギーの一部を貯蔵して低温状態のSMA要素部を変形するために、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。

Fig.4に駆動部の実寸法を示す。図においてはローター上部のステージのSMA要素部は、ローラに接触した接触板によって最大ひずみを呈した状態にある。接触板の形状は縦160mm、横8mmのL型であり、支点1を中心に約30°の回転幅をもつ。ローラは直径20mmで厚さ5mmの形状をなし、中心から90mmのところろに配置されている。

3. SMA駆動要素

SMA駆動要素としてはNi-Ti合金板(Ni77.5%、厚さ0.5mm、幅20mm、長さ50mm、有効作用長さ30mm、日本ステンレス製)を用い、それに対し一次熱処理温度720℃で70分、二次熱処理温度400℃で4時間の熱処理により、一方向性形状効果を生じさせたものを使用した。

4. 実験

4.1 実験方法

出力軸と一体になって回転する温・冷水槽をエンジン上部に設置し、そこから温水・冷水を各SMA要素部にパイプで送った。トルクの測定は山崎式回転トルクメータを用い、また回転数の測定はストップウォッチによった。水温は5℃であった。

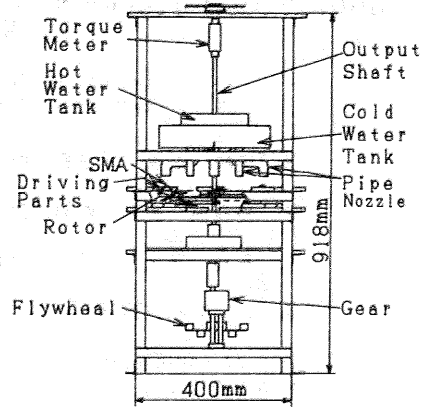


Fig.3 Front view of a heat engine

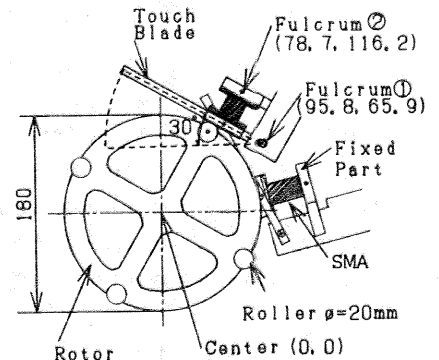


Fig.4 Actual sizes of driving parts and rotary parts of a heat engine

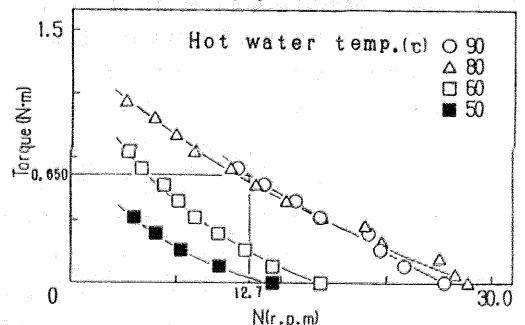


Fig.5 Relationships between Revolution speed and Torque

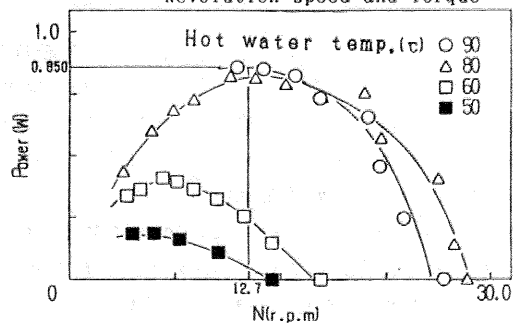


Fig.6 Relationships between Revolution speed and Power

4.2 実験結果及び考察

Fig.5にトルク-回転数図を、Fig.6に出力-回転数図を示す。

湯温が50, 60, 80℃と高くなるほど、大きな出力が得られる。また最大出力となる回転速度は、湯温の上昇と共に高回転域に移動する傾向を示す。これはFig.7の温度-荷重-ひずみ線図に示されているように、SMA要素部の回復力が温度の増加と共に大きくなることに起因している。90℃における出力の低下はSMA素子の記憶ばげによるものと考えられる。

次に駆動部の数を1, 2, 4, 8個と変化させエンジン出力特性実験を行った結果をFig.8に示す。図より、駆動部の数が増加すると出力は直線的(比例)に大きくなる。また直線と縦軸との切片は本エンジンがもつ機械的損失だと考えられる。

また、駆動部1個当りの出力と駆動部の数との関係はFig.9に示す。図より駆動部の数が増加するにつれて、曲線の傾きは小さくなっている。つまり駆動部1個当りの出力増加量は小さくなっていることがわかる。これは駆動部の数が少ないと駆動部1個当りのエンジンの内部の機械的損失(エンジンを回転させるのに必要最小限の力)の割合は大きい、駆動部の数が多くなれば駆動部1個当りの機械的損失の割合は小さくなるためである。

5. 結言

実用的ヒートエンジンの目的で開発された熱源同期回転式SMAエンジンの試作・出力特性実験を行った結果は次のようである。

- (1)トルクと回転数の関係は、右下がりの直線を示す。その結果、出力と回転数の関係は、上に凸の曲線を示す。
- (2)駆動部の数を増やすことにより、エンジンの回転は滑らかになると同時に駆動部1個から取り出せる出力は大きくなる。
- (3)大規模化を図るための今後の課題としては、最適なエンジン設計を行うための①SMA駆動要素部の特性②要素数やエンジンの寸法諸元と出力の理論的關係について詳細な検討が必要である。

本研究に御協力いただいた4年生の加藤哲也君、嶋貫博行君に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) T. W. Duerig, K. N. Melton, D. Stöckel, C. M. Wayman; Engineering Aspects of Shape Memory Alloy, Butterworth-Heinemann, (1990) pp. 193.

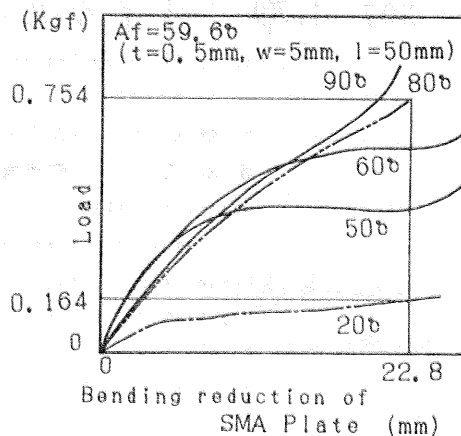


Fig.7 Diagrams between Temp. Force, Reduction of SMA plate

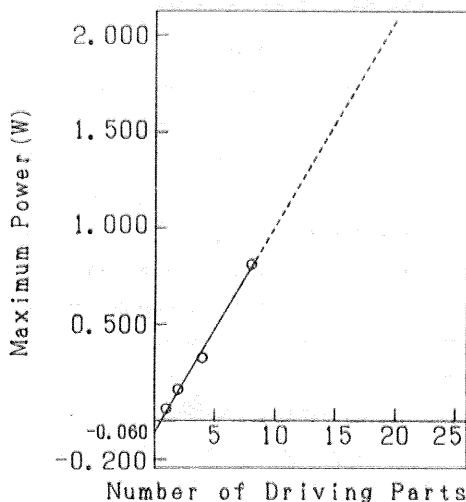


Fig.8 Relationships between maximum Power and number of driving parts

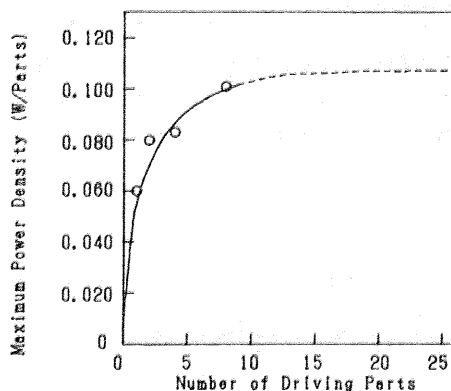


Fig.9 Relationships between maximum Power density and number of driving parts