A06 低温度差水平対向型スターリングエンジンの研究

A study on low temperature different and horizontally opposed type Stirling engine

○村松篤史 (日本大学) 正 田中誠 (日本大学)

Atsushi MURAMATSU, Makoto TANAKA Nihon University, 7-24-1 Narashinodai Funabashi-shi

This paper presents study on miniature Stirling engine. We made a α -type horizontally opposed type Stirling engine that worked at low temperature difference. The effects of phase angle of both pistons are discussed.

Key words : horizontally opposed type engine, low temperature difference, phase angle

1. はじめに

現在、各種熱エンジンや工場からの廃熱のカスケード利用として、スターリングエンジンが注目されている。工場廃熱の統計⁽¹⁾を見ると、排出熱量の約63%が200℃以下のいわゆる低品位エネルギーである。これらの廃熱の中でも蒸気タービンなどの手段によって回収することが難しい100℃以下の廃熱の有効利用を念頭におき、低温度差型のスターリングエンジンを試作し、自力駆動の可能性を検討した。試作した小型エンジンは α 型の水平対向型エンジンである。

2. 試作したエンジン

図1は試作したエンジンの全体を示す。2つのシリンダーが対向して配置されており、その間にはペルチェ素子を用いた熱源・再生器がある。2つのピストン単クランク機構によって駆動され、タイミングベルトによって連動している。また、ベルトを架け替えることによって、容易に位相差を変化できる。

入力した熱の逃げを防ぐため、シリンダーと熱源の外殻には熱伝導率の低いアクリル樹脂を使用した。ただし、シリンダーの摺動面には、厚さ1mmのステンレス製ライニングを取り付けてある。

図2は、シリンダーと熱源、再生器の配置を表す概念図である。シリンダー、加熱器、冷却器、シリンダーの順番に並んでいて、加熱器・冷却器の周囲に再生器が8本配置されている。作動流体が再生器を通過する流路を、図2の太い矢印によって示した。再生器は、気孔径1.3mmのニッケル製発泡金属を用いた。

熱源には、高温・低温ともにペルチェ素子を使用した。ペルチェ素子は板状の素子で、片面（放熱面）では熱を発生し、他面（吸熱面）では冷熱を発生する。ただし、冷熱源として使用する場合には、放熱面から発生する熱を取り去る必要があるため、ヒートパイプによって図1下方のペルチエクーラーまで熱を伝達している。また、加熱器・冷却器には剣山状のヒートシンクを組み込んで伝熱量の増加を図った。

試作エンジンの仕様を表1に示す。ボア×ストロ

ークは膨張側・圧縮側ともに40×20mmであり、掃気容積は約25cm³となっている。作動流体は常圧の空気である。エンジンの外寸は、350×200×120mmである。

Fig.1 Overview of engine

Fig.2 Cutaway illustration of engine

Table.1 Engine specifications

Engine type	Alpha-type
Bore×Stroke	40×20mm
Swept volume	25cm ³
Mean pressure	101.3 kPa
Working gas	Air
Heater source	Peltier module
Cooler source	Peltier module

3. 結果と考察

試作エンジンでは、膨張・圧縮シリンダー間にペルチェ素子を配置し、これに通電することにより両シリンダー間に温度差を発生させた。再生器は両シリンダーの外周に設置している。

まず、ペルチェ素子で発生した温度と作動流体の温度を計測した。この場合、作動流体の温度の計測は、熱電対をシリンダー内に挿入することにより行った。表2はその実験結果である。高温熱源温度（ペルチェ素子高温側温度）と高温シリンダー内流体温度間には26℃程度の温度差が生じており、必ずしもペルチェ素子と流体間で良好な熱交換が行われたとは言えない。このため今回の実験では、両シリンダー間流体温度の最大温度差は60℃程度と考えられる。今後、より一層の効果的な熱交換の方法を考える必要がある。

Table.2 Temperature of gas

	Heater	Cooler
Heat source temperature	108.1℃	16.0℃
Working gas temperature	82.6℃	26.0℃

これまで、水平対向型エンジンの研究例として、比較的溫度差の大きい場合（溫度差約400℃）の結果が報告⁽²⁾されている。この場合、ボア×ストロークが50×80mmで、最大出力約30Wを得ている。

試作エンジンでの運転実験は、低溫度差での自力運転の可能性を検討するためのものである。このため、トルク計を介してエンジンに接続したモーターで外部から仕事を加え、熱源の溫度差 ΔT とその時のモータートルク量を計測した。なお、無通電時のトルク量、即ちモーターのみのトルク量も計測した。この2つのトルクの差は、熱を受けた作動流体の働きによるものと見なせる。

図3は、熱源溫度差（受熱量）がエンジントルクに与える影響を、エンジン回転数 N を横軸にして示している。なお、この図でトルクが零以上になると自力回転が可能となる。非加熱時におけるモータートルクと比較して、ペルチェ素子溫度差が増加するに伴い、両シリンダー内溫度差も増加し、これに伴いモータートルクは減少し自力回転（正トルク）に近づく。しかし、今回の熱量範囲では僅かながら正トルクとはならなかった。

図4は、位相差がトルクにおよぼす影響を示した。位相差を90°よりも大きくすると、熱交換器を通過する作動流体の量が増加する。作動流体の移動量が増加すれば、熱源から作動流体に伝わる熱量が増加するので、出力も増加する。

α 型エンジンで位相差を変化させた研究⁽³⁾によれば、高温熱源溫度340℃の時に最高出力の位相差が

約130°であり、溫度差が減少するほど大きい位相差で出力が高まる傾向を示している。今回の実験では、これまでの実験結果と傾向を同じくして、高温熱源溫度110℃の時に約160°近辺でエンジンとしての性能が高まっていることが分かる。

Fig.3 Relationship between motor torque and engine speed

Fig.4 Relationship between motor torque and phase angle

4. まとめ

低品位エネルギーの有効利用を目指し、低溫度差水平対向式エンジンを試作し、自力運転の可能性を検討した。自力運転には到らなかったものの、適切な位相角の範囲を見つけ出すと共に、熱交換器の改良や、更なる摩擦ロスの軽減等により自力運転の可能性を見出した。

参考文献

- (1) 工場群の排熱実態調査研究 省エネルギーセンター (2000)
- (2) <http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/academic/kiriki/expse/index-j.html>
- (3) 平田ほか 第8回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集 p63・64