

# 微小トルク計測の試み

○福森 勉<sup>1</sup>, 澤木弘二<sup>1</sup>, 齋藤 彰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学 全学技術センター (工) 装置開発技術系

<sup>2</sup>名古屋大学 全学技術センター (工) 環境・安全技術系

## 1. はじめに

これまで名古屋大学工学部創造工学センターでは学内・学外「ものづくり講座」などで模型スターリングエンジンの製作をおこなってきた。また、それらの製作したスターリングエンジンを「熱力学」などの講義において授業の教材として学生へ展示し、動作実演なども実施してきた。その中で教員や学生より「模型エンジンの出力の計測はできないのか」との意見が多くあり、出力の計測の方法を検討してみた。本報告では、特に微小トルクの計測方法について試みたので報告をおこなう。

## 2. 微小トルクの計測について

模型スターリングエンジンの特徴として、構造が簡単で、製作するのに比較的容易であるが、その出力を計測することは数mW～数100mWと微小なため非常に難しい。製作した模型スターリングエンジンの性能を評価する上ではトルク、回転数、温度、などの測定が不可欠となる。なかでもトルクの計測はカップリングや摩擦、計測・測定針の負荷質量などの影響によりもっとも測定が難しい。そこで、永久磁石を用いて渦電流を利用することでカップリングを用いないで機械的・電氣的に計測する方法を組み合わせる試みた。微小トルク計測装置を開発することは、他の小型モーターなどを使った装置への計測にも応用でき有意義と考えているが、まだ本計測方法は、試行錯誤の段階である。

## 3. 計測装置の製作と計測実験

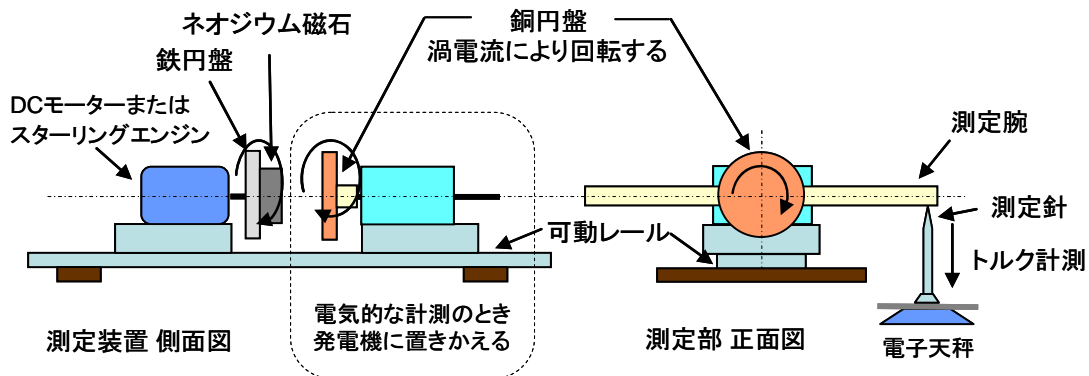
図1に示すような微小トルク計測装置を製作した。動力回転部に鉄製の円盤(φ25×2mm)を製作しネオジウム磁石(5×10×5mm, 磁力3300 Gauss)2個取り付け、渦電流側円盤も同じ大きさに製作し摩擦が無く、軽く回転するようにして、両方の円盤どうしが向かい合っており取り付けられている。動力側のネオジウム磁石が回転すると、磁場が変化し渦電流が発生して計測側円盤も回転する。このとき理論上は動力側のトルクは損失無く計測側円盤に伝えられることになり、機械的な方法と電氣的方法を用いてトルク計測を行なえるようにした。動力側の測定対象はスターリングエンジンまたは小型DCモーターのどちらも取り付け可能で、可動レール上を平行移動でき円盤間の距離が調整できるようにした。機械的方法は図1のように計測側円盤の軸心からバネ製の腕を出し電子天秤により荷重と非接触回転計により回転数を測定する。電氣的方法は計測側円盤軸に風車発電機の軸を取り付けて出力される電流・電圧と回転数などを計測する。

本装置で以下のことについて実験、検証をおこなった。

- ①渦電流発生側円盤の材質(銅, アルミニウム, 真鍮)の違いの比較。ネオジウム磁石の磁力や形状による渦電流の発生の違い。回転数の同期とトルクの検証。
- ②出力特性の解っているマブチモーター社製の小型DCモーターを利用して本測定方法の誤差・精度の比較と検証。
- ③機械的エネルギーから電氣エネルギーに発電機を利用して電氣的トルク計測の可能性。変換した際の効率を求める。  
電氣エネルギー >> 効率(η%) >> 機械エネルギー

$P = V \times I = T \times \omega$  <エネルギー> = <電流×電圧> = <トルク×角速度ω> 関係式より発電量からトルクを測定。

( P : エネルギー[W], I : 電流 [A], V : 電圧 [V], T : トルク [Nm], ω : 角速度 [rad/sec] )



#### 4. 渦電流側円盤の材質による違いについて

渦電流損を考慮して非磁性の金属である銅、アルミニウム、真鍮の3種類の渦電流側円盤を作り回転数について回転計で計測した結果、回転数の同期についてはどれも大差がなかった。また、回転数の同期は両円盤の間隔が磁石から5mm程度が制動力との関係により最も回転効率が良かった。ただし、アルミニウムについては、ネオジウム磁石側に回転しながら引き付けられた。これはアルミニウムが常磁性体であり磁場の向に弱く磁化されるためと考えられる。以上の結果から渦電流側円盤は、最も電導性が良く反磁性体材料の銅を利用し磁石との間隔を5mm程度で調べることにする。

#### 5. 模型スターリングエンジンの軸トルク計測

創造工学センターものづくり講座（参考文献2）において製作した計で計測した結果、模型スターリングエンジンの性能を調べた。加熱ヘッドに電気ヒーターと温度センサーを取り付け、図2に示すように加熱し加熱ヘッドの温度、回転数、荷重の計測を行った。本実験を3回行い、温度上昇時における回転数と荷重値、加熱を止めた後の温度加工時における回転数と荷重値を記録したが差がなかった。得られた値をもとに回転数と軸トルクとの関係を図3のグラフに示す。本スターリングエンジンの性能は、温度差が400℃程度で、最高回転数が2500rpm、最大トルクは2100rpm時  $340 \times 10^{-6}$  Nmという結果が得られた。

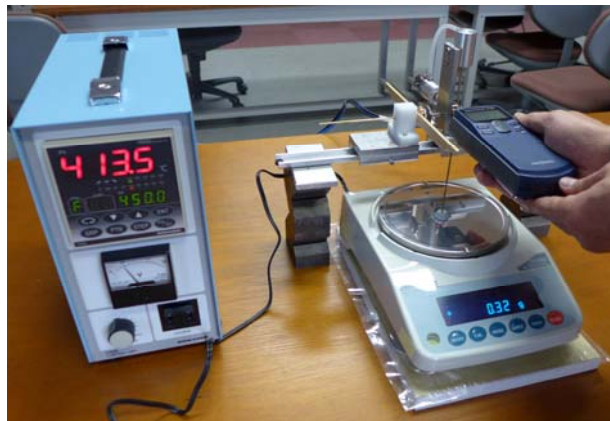


図2. 実際の模型スターリングエンジン軸トルク計測

#### 6. 本測定方法の検証について

本計測方法の精度検証のために、出力性能の解っているマブチモーター社製の小型DCモーターRF-500TBを使い模型スターリングエンジンと置き替えて、上記と同様の実験を行ってメーカー値と実測値を比較した。得られた性能特性（回転数-軸トルク）の関係を図4に示す。

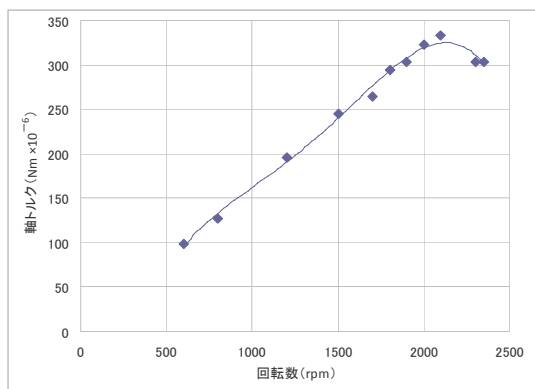


図3. スターリング性能特性（回転数-軸トルク）

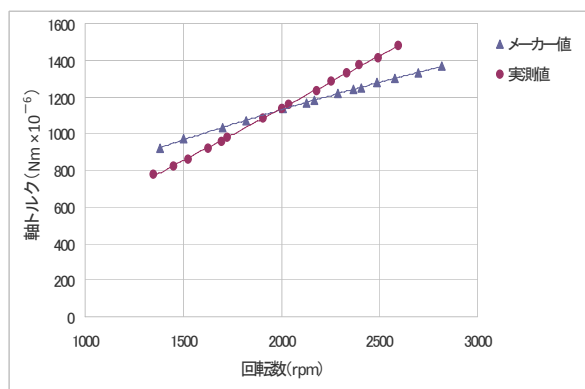


図4. モーターによる比較検証（回転数-軸トルク）

#### 7. まとめ

図4の検証結果より、メーカー値と実測値とも直線上にあることから、比較的近い値が得られていることが解る。しかし、データは2000rpm付近で交差しておりこのグラフから両者間の関係を見出すことはできない。したがってマブチモーターによる検証方法についてはさらに詳細な検討が必要と考えられ、渦電流を用いた本計測方法による精度評価については、現時点では正しく測定できているかを断定できない。今後、他の方法による精度検証も考えてみる必要がある。あと、③のエネルギー変換による計測方法については、現在、実験準備中であり実験・実習研究会において報告を予定している。

#### 謝辞

名古屋大学工学研究科 道木研究室梨木政行（工学博士）氏に計測方法についてご助言をいただきました。心より感謝申し上げます。また、小型モーターをご提供いただいたマブチモーター(株)営業本部 南様に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 模型スターリングエンジン, 岩本昭一監修, 濱口和洋, 平田宏一, 松尾政弘, 戸田富士夫, 山海堂
- 2) 電気ヒーターを熱源とした教育教材「スターリングエンジン試作」, 名古屋大学工学研究科, 中木村雅史, 山本浩治, 立花一志, 千田進幸, 梅原徳次, 平成22年度総合技術研究会, 2011,3 熊本大学