

# コイルモータおよびコイルモータ 評価装置の開発

中国ポリテクカレッジ  
(中国職業能力開発大学校)

斎藤 誠二・佐渡 秀雄  
池本 和夫・安達 明史

## 1. はじめに

岡山県倉敷市を中心とする玉島工業会の傘下企業である倉敷化工株式会社は、除振・免震における産業機器や材料を開発・製造している。昨年度事業主団体研究開発事業として空気圧サーボ弁の開発に取り組んだ。その際コイルモータの開発に関する要望もあったが、昨年度着手することができなかった。そこで今回、コイルモータの設計に必要な要素（コイル線径，巻き数，磁石材質，形状，推力）を検討し，コイルモータの設計に取り組んだ。また既製品や新たに設計したコイルモータの特性を測定する評価装置の開発も取り組んだ。

## 2. コイルモータの動作原理

コイルモータの構造は，図1に示すようにヨーク，マグネット，ポールピース，コイルの4つの部品で構成されており，すべて円筒形となっている。コイ

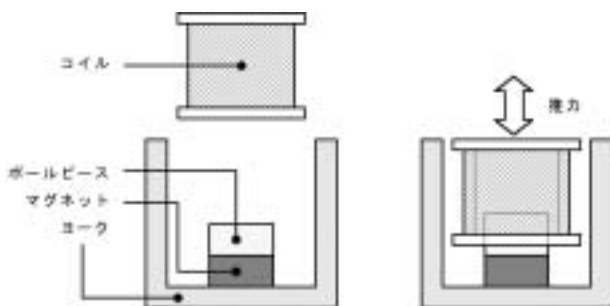


図1 コイルモータの構造

ルのボビンケースは空洞となっており，ヨークとマグネット・ポールピースが形成する空間にコイルボビンが収まる構造となっている。ヨークおよびポールピースは磁性体で，コイルに通電することにより，コイルボビン全体が上下運動し，推力が発生する。

コイルモータの推力Fは，(1)式により表され，推力はコイル電流および磁束密度の大きさに比例する。

$$F = B \cdot i \cdot l \quad [\text{N}] \quad (1)$$

B：磁束密度 [T]， i：コイル電流 [A]

l：磁場中のコイル線長 [m]

## 3. コイルモータの仕様と設計

### 3.1 仕様

コイルモータの性能を評価する特性は，下記の3特性があげられる。

- ① 電流－推力特性  
電流の増減に対する推力の変化特性
- ② ストローク－推力特性  
電流一定でコイル位置の変化に対する推力の変化特性
- ③ 周波数特性  
周波数の変化に対する推力の変化特性

今回製作するコイルモータの仕様を表1に示す。推力特性および周波数特性において厳しい性能が要求される。

表1 コイルモータ仕様

項目	仕様
定格電圧	10 [V]
有効ストローク	±3.0 [mm] 以上
発生推力	1.35 [N] 以上 (定格時)
周波数特性	0~100Hz (-3dB以内)
耐熱区分	E種

### 3.2 設計

コイルモータの推力は、ギャップ部の有効磁束密度に比例し、その磁束密度はコイルモータの形状および材質特性等を含む磁気回路により決定される。

今回の開発に当たり、ヨーク、マグネット、ポールピースを含む磁気等価回路の検討をはじめ、磁束密度シミュレーション等の解析を用い、仕様を満たすコイルモータの検討および設計を行った。

磁束密度シミュレーションは電磁場解析ソフトウェア (PHOTON製 PHOTO-MAG) を使用し、ヨークとマグネット・ポールピースが形成する空間 (ギャップ部) における磁束密度を解析した。モータの推力を大きくするためには、コイル電流と推力発生に大きく影響を受けるコイルの位置 (有効ストローク範囲) における磁束密度が大きければよい。したがって、ストローク有効範囲における磁束密度を解析しなければならない。なお解析においては、形状は既製品のコイルモータと同じとし、透磁率の変化による磁束変化を解析した。シミュレーション画面の一例を図2に示す。

既製品のギャップ部における磁束密度を測定し、

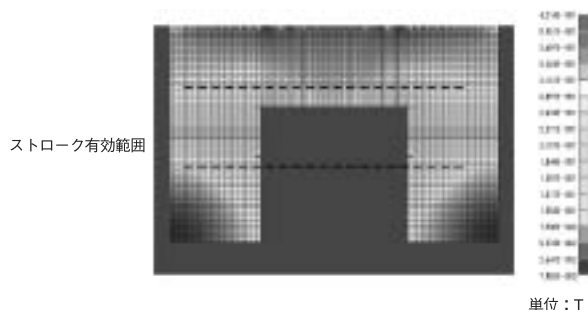


図2 磁束密度シミュレーション結果

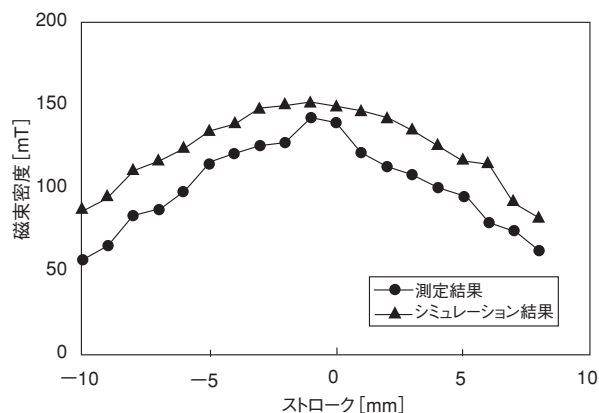


図3 磁束密度比較結果

磁束密度シミュレーション結果と比較を行った。比較結果を図3に示す。

シミュレーションによって得られたストロークー磁束密度特性は、既製品の特性にはほぼ近く、かつ磁束密度が高いという結果が確認できた。この結果を利用し、コイルモータの磁気回路における材質を選定し、試作に取り組んだ。試作したコイルモータを図4に示す。



図4 試作したコイルモータ

## 4. コイルモータ評価装置の開発

試作したコイルモータの特性および既製品の特性を評価するため、評価装置の開発を検討した。これらの特性を測定するためには、推力の測定、コイル電流制御、コイルの位置決め制御が必要とされる。これら制御内容を自動化するため、図5に示す評価装置を検討した。

評価装置の仕様を表2に示す。

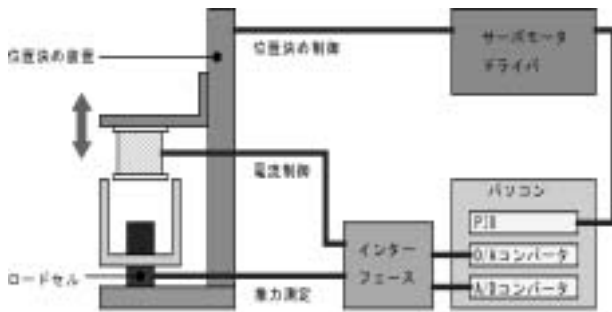


図5 評価装置ブロック図

表2 評価装置の仕様

項目	仕様
コントローラ	パソコン(Pentium4 3GHz)
位置決め装置	IAI社製RCP2-SA5 (位置決め制度±0.02mm)
ロードセル	共和電業製LUR-A-50NSA1 定格容量(±50N(±5.099kgf))
動ひずみ測定器	共和電業製DPM-711B 応答周波数範囲(DC~2.5kHz)
A/Dコンバータ	CONTEC製AD12-16(PCI)E 分解能12bit, 変換速度最大10usec/ch
D/Aコンバータ	CONTEC製DA12-4(PCI) 分解能12bit, 変換速度最大10usec/ch

位置決め制御，電流制御，各特性測定の自動化，測定結果の保存・グラフ表示を行うため，コントローラをパソコンとした。推力方向におけるコイルモータの位置決めはサーボモータで行った。ストローク-推力特性におけるストロークの間隔は0.1mmとするため，これ以下の位置決め精度が要求される。

ストローク-推力あるいは周波数特性の測定では，コイルモータに流れる電流を一定値にする必要があるが，コイルモータに電流フィードバックを施し，PI制御を行って定常偏差をなくすこととした。

推力測定にはDC成分の測定に適しているひずみゲージ型ロードセルを使用し，アンプからの出力電圧を校正し推力を得ることとした。各測定で得られたデータは，グラフ表示またはファイル保存が可能となるよう設計した。

製作した評価装置の外観を図6，7に，パソコンによる特性測定の画面を図8に示す。

既製品のコイルモータを利用し，評価装置にて各種特性を測定した。既製品のカタログデータと測定

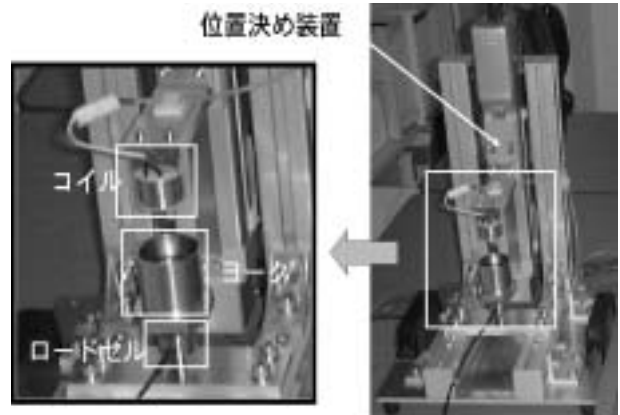


図6 位置決め装置の外観



図7 評価装置全体の外観

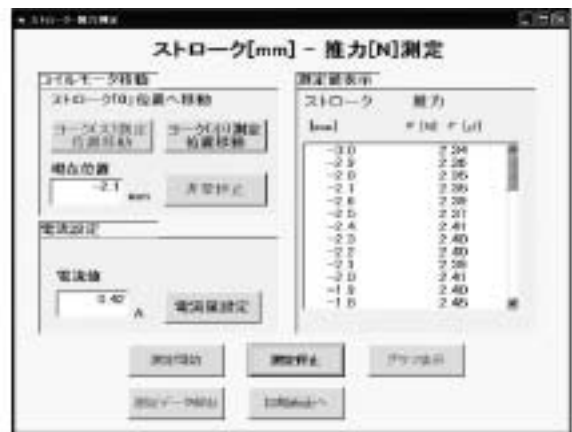


図8 特性測定画面

値を比較したところ，ほぼ同等の特性を得ることができた。これにより，試作したコイルモータの各種特性を測定できることが確認できた。なお特性測定ソフトウェアは，Microsoft Visual Basicで開発した。

## 5. 結果

製作した評価装置を使用し、既製品および試作したコイルモータの各特性を測定した。

### 5.1 電流－推力特性

測定方法：

- ・コイルを基準原点位置に固定
- ・電流値  $-0.45\sim 0.45\text{A}$ （定格電圧時約 $0.42\text{A}$ に対し、若干大きい値までを測定）
- ・電流値 $0.05\text{A}$ 刻みで推力を測定

測定結果を図9に示す。試作品は既製品に比べ、推力が10%程度向上している。また既製品と同様推力が電流に対し比例する特性が得られている。

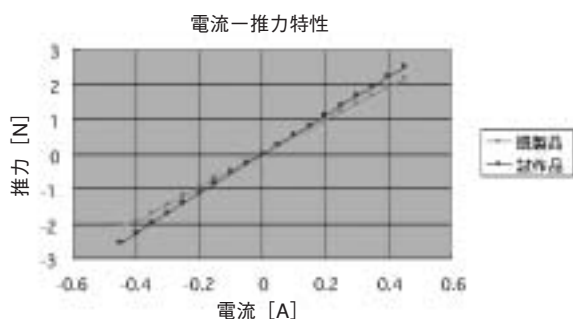


図9 電流－推力特性 測定結果

### 5.2 ストローク－推力特性

測定方法：

- ・電流値  $0.42\text{A}$ （定格電圧時）一定
- ・コイル位置  $-3\text{mm}\sim +3\text{mm}$ （有効ストローク）
- ・ $0.1\text{mm}$ 刻みでコイル位置を移動し、推力を測定

測定結果を図10に示す。

得られた推力は、

既製品の推力： $1.868\sim 2.003\text{N}$

試作品の推力： $2.190\sim 2.335\text{N}$

となり、電流－推力特性と同様に推力が10%程度向上している結果となった。また推力の目標仕様 $1.35\text{N}$ に対し、十分大きい推力が得られていることも確認できた。

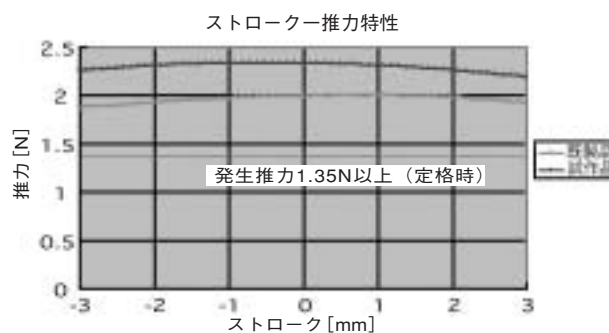


図10 ストローク－推力特性 測定結果

### 5.3 周波数特性

測定方法：

- ・コイルを基準原点位置で固定
- ・電流値  $0.1\text{A}$ （実効値）一定
- ・周波数  $1\sim 300\text{Hz}$ の範囲で推力を測定

測定結果を図11に示す。周波数 $1\text{Hz}$ 時における推力を基準とし、各周波数における推力のゲインを表している。既製品と試作品の特性はほぼ同じ結果となった。

周波数特性の目標仕様は周波数 $1\sim 100\text{Hz}$ におけるゲインが $-3\text{dB}$ 以内であり、仕様を満たしていることが確認できた。しかし $100\text{Hz}$ を超える周波数においては、部分的に仕様から外れる現象が見られた。

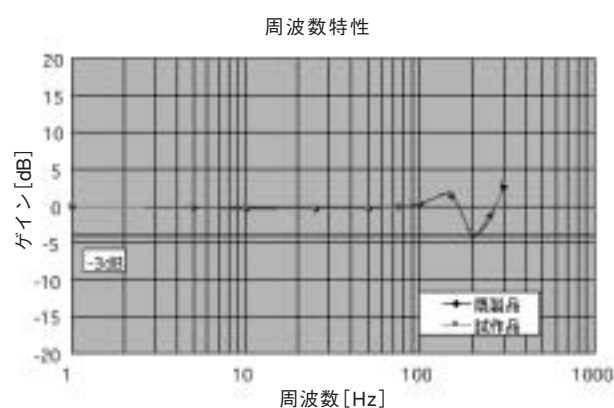


図11 周波数特性 測定結果

## 6. 考察

試作したコイルモータの各特性の測定結果より、仕様を満たすコイルモータは完成したと思われる。

しかし今回の試作に当たっては、コイルモータ磁気回路の材質に重点を置き、形状やコイルの線径といったコイルモータの要素すべてに対しての検討はできていない。今後企業からの要望がある場合は、検討が必要と思われる。

評価装置においては、コイルモータの性能を評価する3つの特性を測定できることが確認できた。また、位置決め装置のストロークやロードセルなどの推力測定装置における測定可能周波数範囲や許容荷重などを考慮すると、当初の測定対象である既製品および試作コイルモータの性能を十分な精度で測定できる。形状寸法や電気的仕様の異なるモータなどに対しては、モータ取り付け部のアタッチメントや測定ソフトウェアの変更などにより対応可能である。1個当たりの検査に要する時間も短いため、実際の生産ラインにおける検査工程への導入にも対応できると考える。



図12 中国ブロックポリテックビジョンでの展示風景

## 7. まとめ

今回倉敷化工株式会社からの要望に応えるコイルモータの分析およびコイルモータ評価装置を開発することができた。貴社に対し、2月に試作したコイルモータおよび評価装置を提示し、実用性が高いとの評価を得た。今後は本装置を実際に使用していただき、コイルモータを利用した新規製品の開発に取り組んでいただく予定である。また今回の開発に関連した能力開発セミナー（磁場解析シミュレーションほか）を来年度予定している。

今回開発したモータおよび評価装置は2月に開催された中国ブロックポリテックビジョン2005において、発表・展示を行った。

## 8. おわりに

事業主団体研究開発事業は本年度から廃止された。そのため本テーマは、特別にプロジェクトチームを編成し、開発に取り組んだ。能力開発セミナー、企業人スクールといった在職者訓練の実績向上は当然のこと、専門課程、応用課程の学生や離職者訓練の受講生の就職開拓など、当大学の業務発展のためには、企業との共同研究は大きな柱となる。今後も地元地域の企業のニーズを調査し、新たな業務展開を図らなければならないと思われる。

最後に本テーマの開発に当たり、多大なご協力を賜りました、倉敷化工株式会社の守安様、岸本様に厚く御礼申し上げます。