

技術ノート

プランジャ形直流電磁石の磁界解析モデルの検討

牧野晃浩*

Study on a magnetic field simulation model of a plunger type dc electromagnet

Akihiro MAKINO

1. はじめに

近年、急速なコンピュータの発達と数値解析手法の進歩により、コンピュータシミュレーション技術の発展は目覚ましく、パーソナルコンピュータによるシミュレーションが可能となってきている。昨年度、市販のソフトウェアを用いて、ワイス形電磁石の二次元モデルについて報告した¹⁾。今回、プランジャ形電磁石を試作し、モデル作成の容易な軸対称三次元モデルの適用性について検討した。磁界解析において軸対称三次元場を適用する場合、モデルの形状は円筒形を想定しているが、実用的には、ヨーク形状を角形とすることが多いため、ヨーク形状が角形の場合について比較検討した。

2. プランジャ形直流電磁石の試作

試作した電磁石のヨークは、厚さ 3mm、幅 28mm、43mm、60mm、86mm の 4 種類とした。例として、ヨーク幅が 60mm の電磁石を図 1 に示す。また、プランジャは先端にテーパを付け吸引力特性を調整する場合があるため、図 2 に示す 3 種類 (P0, P-C3, P-C6) のプランジャを試作した。ヨークおよびプランジャ、コアの材質は電磁軟鉄とした。

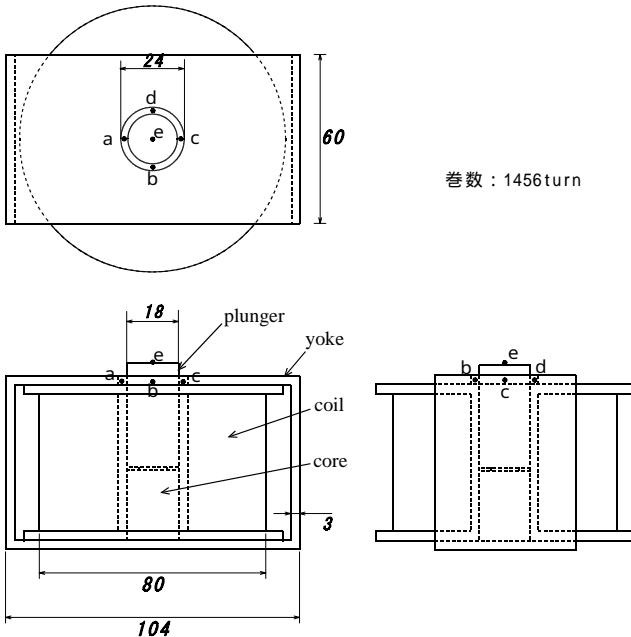


図 1 試作したプランジャ形電磁石

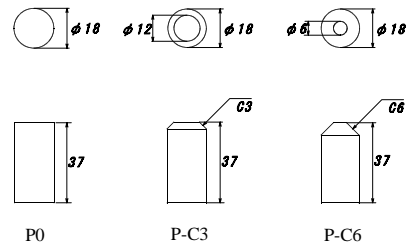


図 2 プランジャの形状

3. シミュレーション

図 3 に解析モデルを示す。図のように、軸対称三次元モデルでは、電磁石断面の右半分についてモデルを作成すればよい。各部の材質は、コイルが導電率 5.8×10^7 [S/m] の銅とし、ヨークおよびプランジャ、コアには、電磁軟鉄の初磁化特性を設定した。

図 4 に、モデル全体の要素分割の例を示す。要素分割の制御は特に行っておらず、自動メッシュ機能を用いた。要素数は 1114、節点数は 2575 であった。なお、ここで用いた市販のソフトウェアは、Maxwell EM 2D Field Simulator Version 7.0.04 である

計算は、吸引力およびヨーク穴部 (P 点) における磁束密度について行い、空隙長を 1 ~ 5mm とした。

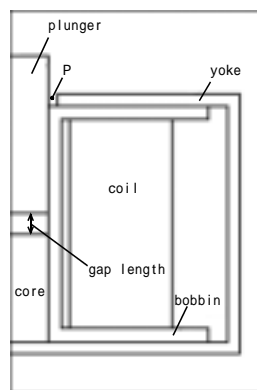


図 3 解析モデル

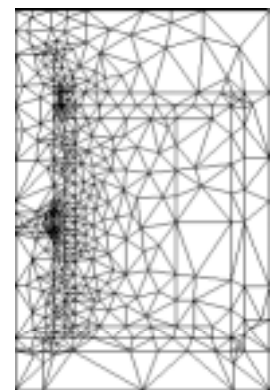


図 4 メッシュ分割図

4. 結果および考察

まず、ヨーク幅が異なる場合のヨーク穴部の磁束密度と空隙長の関係を図 5 に示す。磁束密度は、図 1 の a ~ d 点でホール素子を用いて測定し、測定値は各点の算術平均値とした。電磁石のプランジャはテーパなしの P0

*計測応用技術グループ

とし、起磁力を 1500AT とした。図5より、ヨーク幅が 43mm 以上では、ほぼ同じような特性を示すことがわかる。これは、プランジャの断面積の半分が ($1.27 \times 10^4 \text{m}^2$) がヨーク幅 43mm の場合のヨーク断面積 ($1.29 \times 10^4 \text{m}^2$) とほぼ等しいことから、プランジャに生じる磁束がヨーク穴部で局部的に飽和することなくヨークに磁束が生じるためと考えられる。したがって、プランジャの断面積がヨークの 2 倍以下であれば、角形ヨークについて、軸対称三次元モデルの適用が可能と推定できる。

この結果をふまえて、以下では、ヨーク幅が 60mm の電磁石について考察する。図6および図7は、ヨーク穴部の磁束密度の実測値と計算値を空隙長および起磁力の関係で比較したものである。図より、すべてのプランジャ形状についてほぼ同じような傾向を示すが、計算値は実測値よりも約 20%大きくなった。これは、ホール素子が大きいために測定位置と計算位置にずれがあること、材料の磁化特性が実際との違いがあること、プランジャとヨーク穴部の偏心のために磁束密度が均一でないこと等が考えられる。

図8は、吸引力特性を実測値と計算値で比較したものである。実測値はバネ秤を使用して簡易に測定した。図より、空隙長が 3mm 以上ではほぼ同じような傾向を示すが、2mm 以下では非線形性を示し、差が大きい。これは、偏心の影響や磁化特性のほか、シミュレーションでは、電磁軟鉄の保磁力や残留磁束密度について考慮していないことが考えられる。特に、空隙長が小さい場合には、残留磁気やプランジャとコア間の磁束分布の不均一性の影響が大きいと考えられる。

5. まとめ

角形ヨークのプランジャ形電磁石について、軸対称三次元モデルで磁界解析を行ったところ、プランジャの断面積がヨークの断面積の 2 倍以下の場合に適用が可能と推定できた。したがって、電磁石の設計において、このモデルで、容易に性能評価を行うことができる。

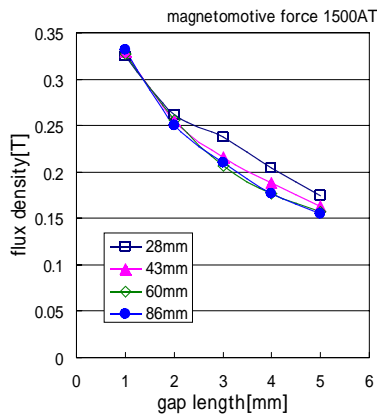


図5 各ヨークの穴部の磁束密度と空隙長の関係

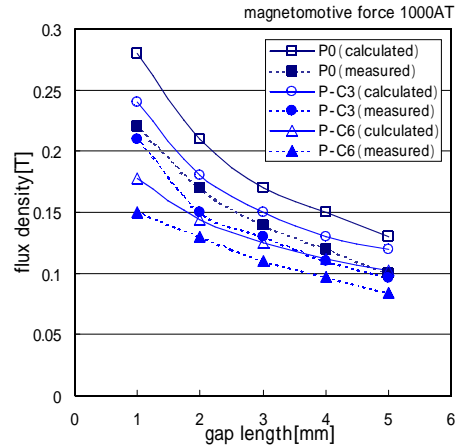


図6 空隙長に対するヨーク穴部の磁束密度

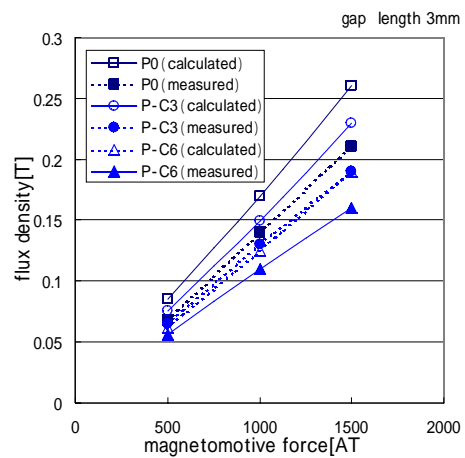


図7 起磁力に対するヨーク穴部の磁束密度

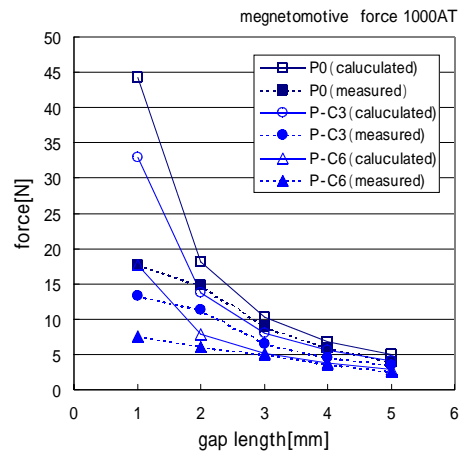


図8 プランジャ形電磁石の吸引力特性

参考文献

1) 牧野晃浩：汎用有限要素法プログラムによるワイス形電磁石の二次元解析モデルの構築，都立産業技術研究所研究報告, 33-36 (2000).

(原稿受付 平成 13 年 7 月 27 日)