

# CMA-ES による永久磁石式磁場源の回転パターン最適化

佐久間洋志  
(宇都宮大)

Optimization of Rotation Patterns of Magnetic Field Source with Six Magnets using Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy

H. Sakuma  
(Utsunomiya Univ.)

## はじめに

円柱型の永久磁石を用いたローラー型永久磁石式磁場源による、1 方向磁場<sup>1,2)</sup>およびベクトル磁場<sup>3)</sup>の発生が報告されている。この磁場源において、最大磁場を発生する永久磁石の角度は Halbach シリンダーに対応する角度であり、磁場の均一性に優れる。一方、プラスの最大からマイナスの最大まで連続的に中間的な磁場を発生するための磁石角度は自明ではない。本研究では、進化的計算の一種である Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy (CMA-ES)を用いた磁石回転パターンの最適化について報告する。

## 構造と計算方法

径方向に着磁した 6 本の円柱型ネオジウム磁石を正六角形の各頂点に配置したローラー型磁場源を考える。磁石の直径は 25 mm, 磁石中心間の距離は 31 mm, 磁石の磁束密度は 1.29 T とした。目的関数を、 $f = |B_x - B_x^t| + |B_y - B_y^t| + 3B_{std}$  と設定した。ここで、 $B_x, B_y$  は中心における磁束密度の  $x, y$  成分、 $B_x^t, B_y^t$  はその目標値であり、 $B_{std}$  は中心付近の  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  の領域における磁束密度の大きさの標準偏差である。ある磁石角度の組み合わせにおける  $B_x, B_y, B_{std}$  を 2 次元有限要素法により求め、 $f$  が最も小さくなるように 834 世代の最適化を行った。CMA-ES のアルゴリズムは文献 4 を基にした。

## 計算結果

Fig. 1 (a) に、 $B_x^t = B_y^t = 0$  とし、独立に 10 回の最適化を行った結果を示す ( $f$  の順に並べてある)。青い矢印は各磁石の角度を示している。これらの結果は 3 つのグループに分けられる。すなわち、放射状のパターン、平行に近いパターン、向かい合う磁石が反対を向くパターンである。 $f$  が最も小さくなるのは放射状のパターンであり、Fig. 1 (b) に示すような無数の角度があり得ると考えられる。発表では、中間的な強度の磁場を生じる磁石角度についても報告する予定である。

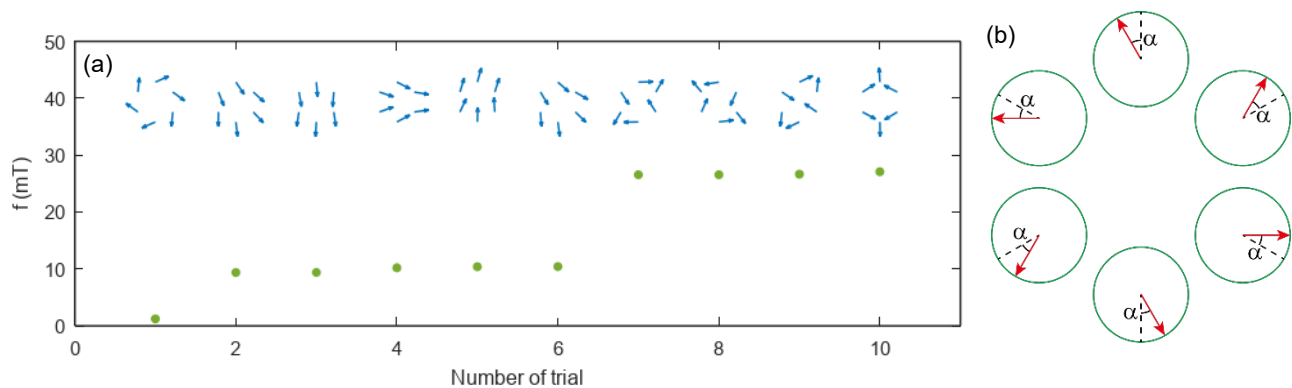


Fig. 1 (a) Results of 10 trials of optimization for  $B_x^t = B_y^t = 0$ . (b) Magnetization direction of magnets for the lowest  $f$ .

## 参考文献

- 1) R. Bjørk *et al.*, *J. Magn. Magn. Mater.* **322**, 3664 (2010)
- 2) 佐久間洋志, 日本磁気学会論文特集号 **3**, 43 (2019)
- 3) H. Sakuma, *J. Magn. Soc. Jpn.* **44**, 21 (2020)
- 4) N. Hansen, arXiv: 1604.00772 (2016)