

Development of a gradient magnetic field generator for collecting magnetic particles

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/2354

磁性微粒子を対象とする磁気分離用傾斜磁界コイルの開発

前田 航¹・山田 外史²・岩原正吉¹

¹ 〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学大学院自然科学研究科電子情報工学専攻；² 〒920-8667 金沢市小立野 金沢大学自然計測応用研究センター

Wataru MAEDA¹, Sotoshi YAMADA² and Masayoshi IWAHARA¹: Development of a Gradient Magnetic Field Generator for Collecting Magnetic Particles

1. はじめに

ゲノム配列の解明から生体物質の特定へと社会の関心が移っており、それに伴い、近年生体物質にマーカを付与する技術が急速に進展している [1]。これを受け、操作性の向上に着目した磁気マーカを付与する技術も長足の進歩を遂げている。

本稿では、このような磁気マーカを付与された物質を効率良く回収するための磁気分離用磁界発生装置について報告する。

2. 傾斜磁界発生方法

磁性及び非磁性物質の混在するものから磁性物質だけをより分ける方法として、磁気分離装置が用いられる。この装置では、特定の部分に磁性物質を引き寄せると装置内の磁界に傾斜を付けて、一方向へ磁性物質を引き寄せる方法が用いられる。本稿では、磁性及び非磁性物質の混在する液体を想定し、その中から連続的に磁性物質を分離することを目的として、分離装置の動径方向に向かって一様な傾斜磁界を持たせ、かつ角度方向に回転可能な傾斜磁界発生装置について述べる。

本稿では、一方向へ磁性物質を引き寄せる傾斜磁界を発生させるために、図 1(a) に示す均一磁界 H_u と図 1(b) に示す傾斜磁界 H_g を合成するという方法をとる。

均一磁界 H_u 及び傾斜磁界 H_g を発生させるベクトル・ポテンシャル A_u, A_g は、次のように与えられる [3]。

$$A_u = (A_x, A_y, A_z) = (0, 0, \alpha y) \quad (1)$$

$$A_g = (A_x, A_y, A_z) = (\alpha yz, -\alpha xz, 0) \quad (2)$$

ここで、 α は任意の定数である。ベクトル・ポテンシャルと電流分布の間には以下のような関係がある [2]。

$$A = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i}{r} dv \quad (3)$$

ここで、 r は dv と A の間の距離である。従って、均一磁界及び傾斜磁界を発生させる電流分布 i_u, i_g を円筒座標で表すと以下ようになる。

$$i_u = (i_r, i_\theta, i_z) = (0, 0, \beta r \sin \theta) \quad (4)$$

$$i_g = (i_r, i_\theta, i_z) = (0, -\beta rz, 0) \quad (5)$$

ここで、 β は定数である。

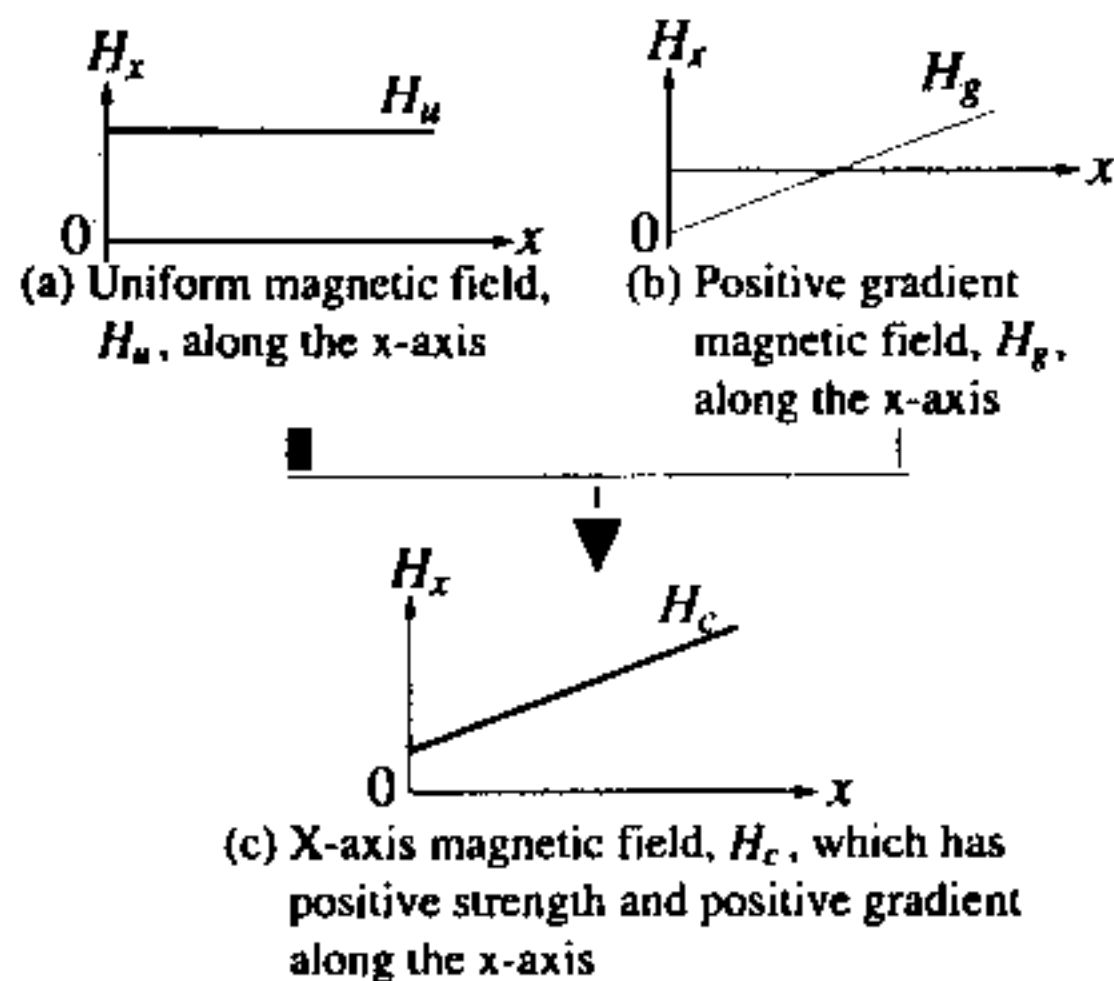


図 1 磁性物質回収のための傾斜磁界

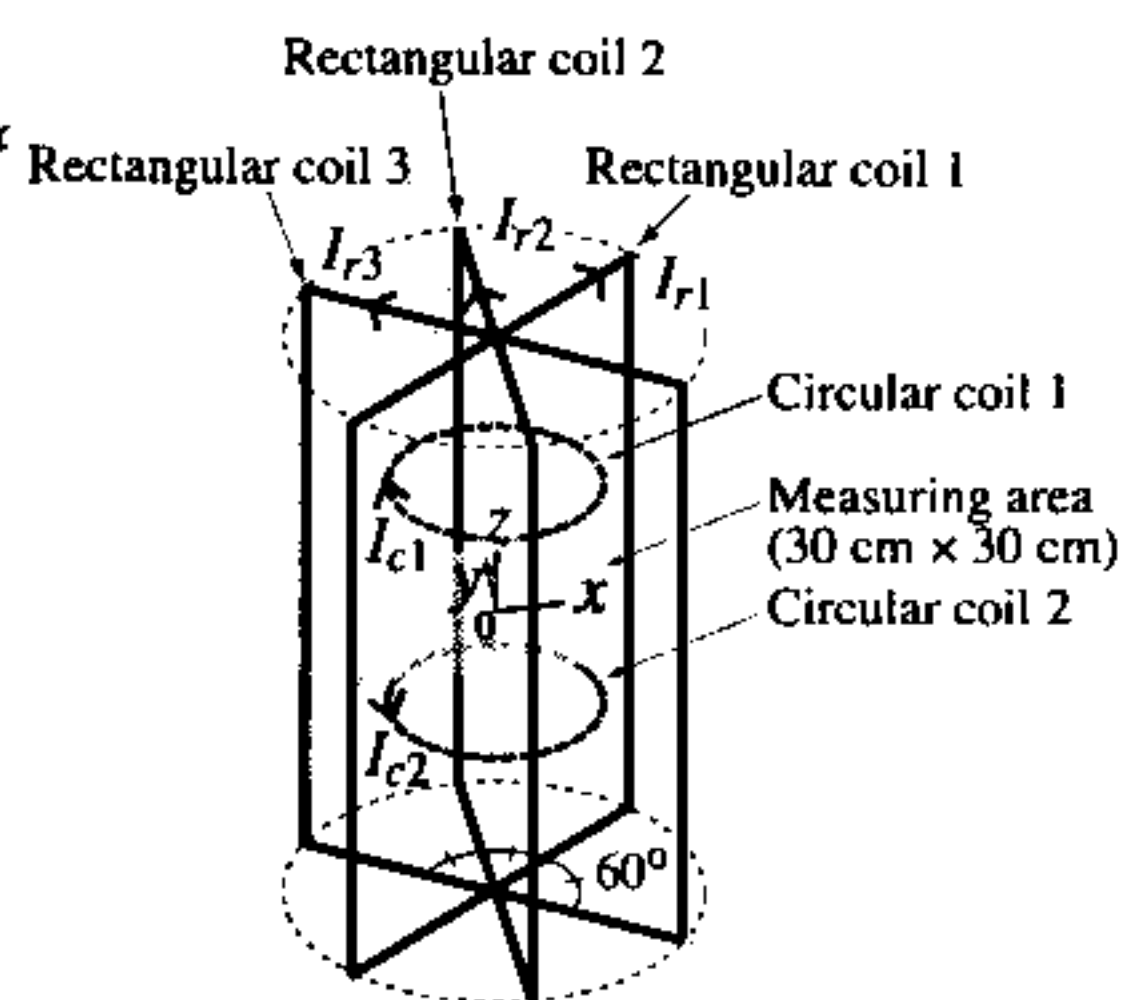


図 2 傾斜磁界発生装置

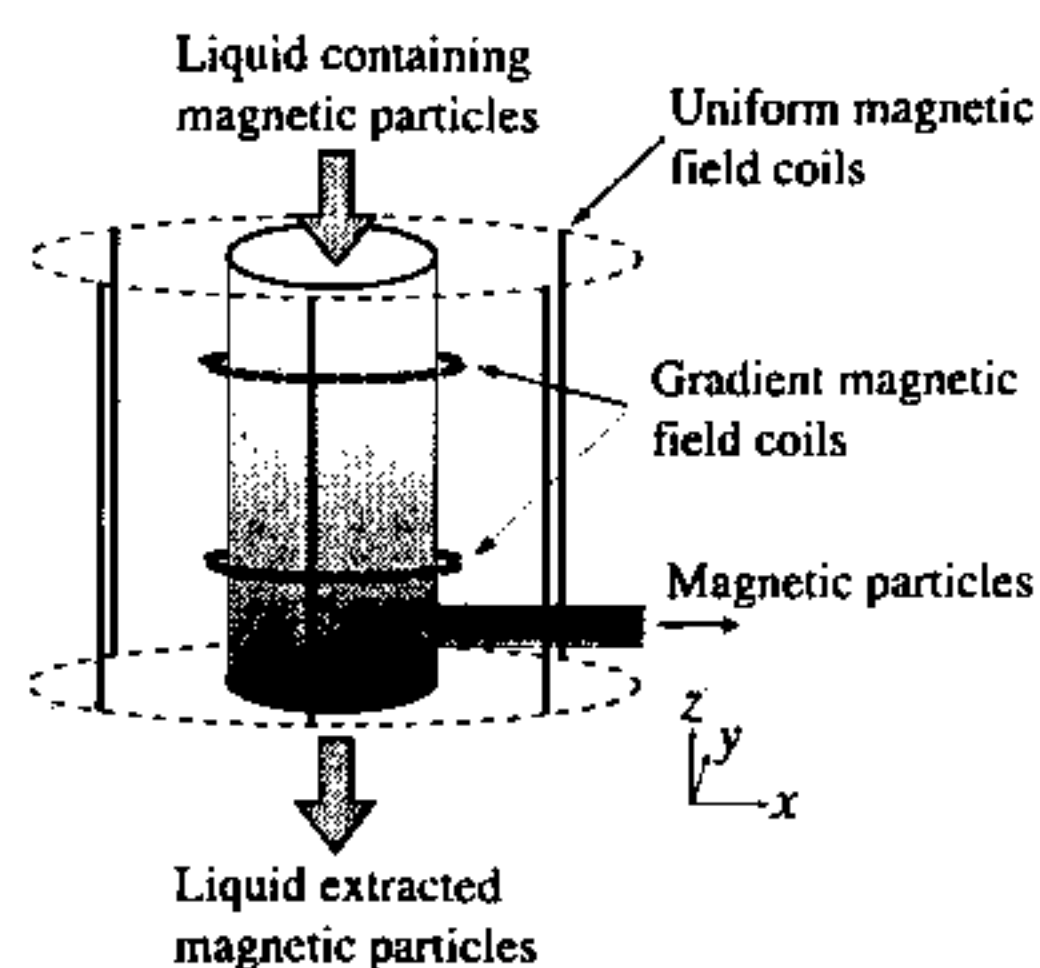


図 3 磁性物質回収装置の概観

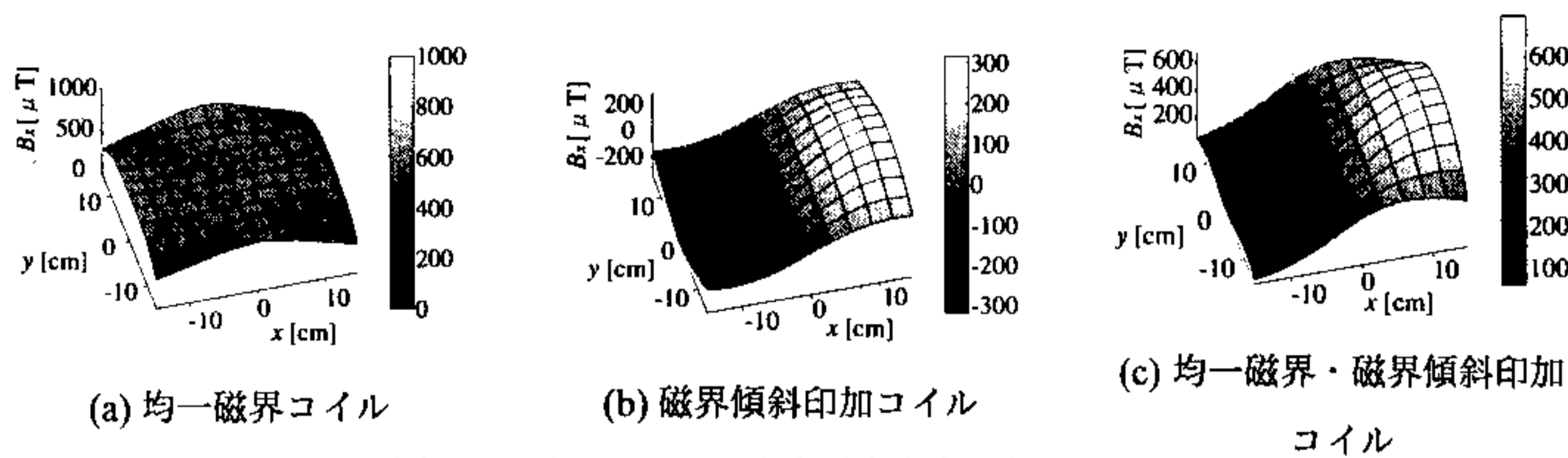


図4 コイルによる x 方向磁束密度分布 ($z = 0 \text{ cm}$)

式 (4) を近似的に満たす電流分布は図 2 に示す 3 個の長方形コイルにより発生させる。長方形コイル 1, 2, 3 の電流強度の比は、それぞれ 1:2:1 とする。式 (5) を近似的に満たす電流分布は図 2 に示す 2 個の円形コイルにより発生させる。円形コイル 1, 2 の電流強度の比は同じで、電流の方向はそれぞれ反対とする。

3. 磁性粒子に働く磁力

図 1(c) のような磁界中の磁性物質には以下の力が働く。

$$F_m = \left(M_x \frac{\partial H_x}{\partial x}, 0, 0 \right) \quad (6)$$

ここで、 M_x は磁性物質の x 方向磁化強度であり、磁性物質の材質・体積・周囲の磁界強度により決まる。 H_x は磁性物質の周囲の x 方向磁界強度である。

この力を考慮した磁性物質回収装置の概観を図 3 に示した。図中の管路の上部から磁性物質を含んだ液体を通すと、磁性物質は図 1(c) のような傾斜磁界領域を通過することにより、 x の正方向へ引き寄せられ、管路の分岐部分に集められ、取り出される。

4. 試作装置の特性

所要の傾斜磁界が得られるか確かめるため、装置を試作した。試作装置の長方形コイル 1, 2, 3 の導体の中心部の高さは 79 cm, 87 cm, 95 cm, 幅は 53 cm, 巻き数は 180 ターンとした。円形コイルの半径は 13 cm, 2 個の円形コイルの間隔は 26 cm, 巻き数は 200 ターンとした。

4.1 均一磁界コイル

電流 $I_{r1} = I_{r3} = 0.6$, $I_{r2} = 1.2 \text{ A}$ により長方形コイルを励磁し、 $z = 15, 0$ (コイルの z 方向の中心)、 -15 cm の各平面の図 2 の測定領域で x, y 方向各 3 cm 刻みで x, y, z 方向磁束密度を測定した。その結果、 $-9 \leq x \leq 9 \text{ cm}$, $-9 \leq y \leq 9 \text{ cm}$ において、 x 方向磁束密度平均は $564.4 \mu\text{T}$ で 10% 以内の均一性を有することが示された (図 4(a))。また、これらのコイルに対称三相交流を印加し、回転磁界も得られた。

4.2 磁界傾斜印加コイル

電流 $I_{c1} = I_{c2} = 1 \text{ A}$ により円形コイルを励磁し、磁束密度を測定した。その結果、 x 方向に対して正の傾斜を持つ x 方向磁界分布を得た (図 4(b))。

4.3 均一磁界・磁界傾斜印加コイルの合成

電流 $I_{r1} = I_{r3} = 0.4$, $I_{r2} = 0.8$, $I_{c1} = I_{c2} = 1 \text{ A}$ により長方形コイルと円形コイルを励磁し、磁束密度を測定した。その結果、コイル内に x 方向に対して強度と傾斜がともに正の x 方向磁界分布を得た (図 4(c))。ただし、 x 方向磁界に比べ磁界の絶対値としては小さいものの y, z 方向に対してそれぞれ傾斜を持つ y, z 方向傾斜磁界も同時に発生しており、磁性物質の回収に際しては障害となる可能性がある。

5. まとめ

本稿の実験では、製作した磁界発生装置について磁界の測定を行った結果、1) x 方向均一磁界、2) 回転磁界、3) x 方向傾斜磁界、4) x 方向に対し強度と傾斜がともに正の x 方向磁界が得られた。4) の結果より磁性物質回収に有効な分布を持つ磁界が得られていると判断できる。

ただし、製作した磁界発生装置は拡大モデルであるため、磁性物質に働く力は小さく、現時点では磁性物質回収には不要な磁界も存在しており、それが磁性物質の運動に及ぼす影響については調査をする必要がある。今後は、磁性物質を含む液体を通すための管路の配置などを検討する必要がある。

参考文献

- [1] 澤上一美, 磁性体粒子を用いた核酸抽出法: Magtration Technology の応用と展開, 第 13 回 生物試料分析学会大会, Available: <http://www.higo.ne.jp/anal-bio-sci13/NewFiles/manjou.html> (2003)
- [2] 竹山説三: 「電磁気学現象理論」, 丸善, pp.302-303 (1950)
- [3] Paul Glover: "RF and Gradient Coils", 6th International Conference on Magnetic Resonance Microscopy, Available: <http://www.magres.nottingham.ac.uk/conferences/2001/icmrm/ICMRMglover.ppt> (2001)