

ラバー磁石製円形軌道上の高温超電導バルク体の簡易浮上・推進装置の試作

石郷岡 猛^{*1}, 二ノ宮 晃^{*2}, 中山 俊介^{*3}

Manufacture of Simple Levitation and Propulsion System of HTS Bulk on Circular Track Made by Rubber Magnets

Takeshi ISHIGOHA^{*1}, Akira NINOMIYA^{*2}, Shunsuke NAKAYAMA^{*3}

ABSTRACT: The authors have studied an simple and easy-to-make superconducting magnetic levitation and propulsion system. It is composed of bulk HTS (High Temperature Superconductor) and circular track made by rubber magnets. The HTS bulk is put in a light weight container made of styrofoam. Rubber magnets are commercially available low price ones. The levitator is propelled electromagnetically by on-ground coils fed by charged capacitor. The system would be one of the most simple and low-cost systems as a first-step demonstration model of superconducting magnetic levitation systems.

Index Terms : superconducting magnetic levitation, electromagnetic propulsion, low-cost demonstration model system.

(Received March 25, 2008)

1. はじめに

高温超電導体の発見以来、バルク高温超電導体と永久磁石との間のピンニング力を利用して、これを磁気浮上システムに応用しようとする試みがなされてきた。その多くは、残留磁束密度の高いネオジム磁石等の希土類永久磁石を地上軌道に用いたものであり、製作コストが高くなるという問題がある。今回、著者等は、安価なラバー磁石を地上軌道側に用い、間欠的に設置された地上固定コイルにより推進される方式の簡易磁気浮上システムを試作した。地上軌道は円形で、その上に高温超電導の薄板を収納した軽量の発泡スチロール製の液体窒素容器を浮上・推進させた。

2. 実験装置

2. 1 高温超電導バルク体

本実験では軽量化に留意し、浮上させる高温超電導バルク体には $30 \times 30 \times 2\text{mm}$ の薄板状 Y 系酸化物高温超電導バルク体を用いた。成分比は $Y : Ba : Cu = 1 : 2 : 3$ で、

溶融法 QMG 法で作られている。その形状を図 1 に示す。

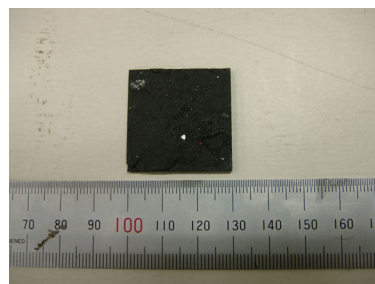


図 1 薄板状バルク高温超電導体

2. 2 低温保持容器

上述の高温超電導体を低温に保持するため、液体窒素が満たされた発泡スチロール製の低温保持容器を用いた。発泡スチロール板の厚さは 10mm である。この容器の底部に薄板状の高温超電導バルク体を設置した。その概観を図 2 に示す。

2. 3 ラバー磁石製円形軌道

前述の様に、地上の永久磁石軌道にはフェライト系のラバー磁石を用いた。ラバー磁石の断面形状は、 $15 \times 5\text{mm}$ で柔軟性があり円形軌道を構成しやすい。これを用いて、図 3 に示す直径 1m の円形軌道を製作した。

^{*1} : 電気電子工学専攻教授(ishigoka@st.seikei.ac.jp)

^{*2} : 電気電子工学専攻助教(ninomiya@st.seikei.ac.jp)

^{*3} : 電気電子工学科卒研究生(現在 関東電気保安協会勤務)

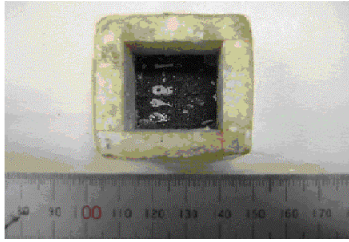


図2 発泡スチロール製低温保持容器



図3 ラバー磁石製円形軌道

円形軌道は、ラバー磁石8本を密着させて重ね合わせたもので、断面は幅40mm、高さ15mmである。予め超電導マグネットを着磁したものを、極性を考慮して図4に示す様に配列した。なお、その上面直上での磁束密度は最大約500ガウスで、実測した磁束密度分布を図5に示す。

S	S	N	N	N	N	S	S
N	N	S	S	S	S	N	N

図4 ラバー磁石製円形軌道断面構造図

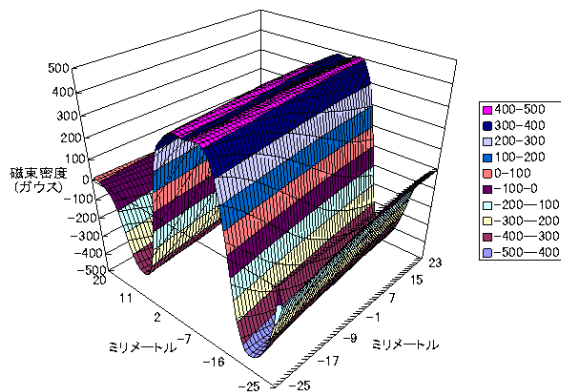


図5 ラバー磁石製円形軌道断面構造図

2. 4 推進用コイル

円形軌道上に浮上した浮上体を推進するため、パルス電流を通電する推進コイルを用いた。コイルは矩形で、0.6mm φ の銅線を300ターン巻いた。その外側寸法は50mm×50mmである。その概観を図6に示す。

この推進用コイルを円形軌道の直下に6個設置した。

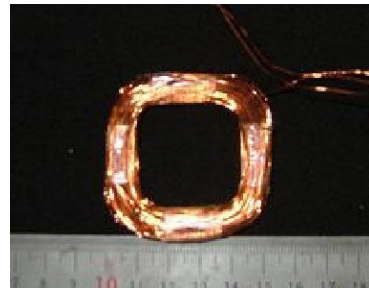


図6 推進用コイル

2. 5 フォトトランジスタとLEDによる位置検出装置

浮上体がコイル上に来た時に前述の推進用コイルにパルス電流を流して推進する。このため、浮上体の位置検出用にフォトトランジスタとLEDによる位置検出装置を用いた。その構成を図7に示す。

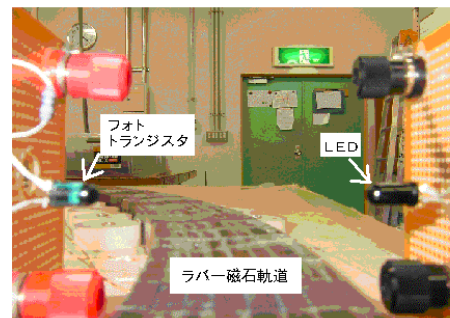


図7 フォトトランジスタ/LED 位置検出装置

2. 6 推進ユニット

前述の推進用コイルと光位置検出装置、およびコンデンサを組み合わせる推進ユニットを構成した。推進ユニットの構成を図8に示す。この推進ユニットを図9に示す様に、6ユニット軌道上に配置した。

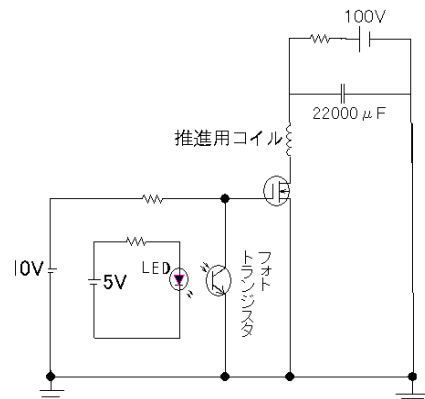


図8 推進ユニットの構成

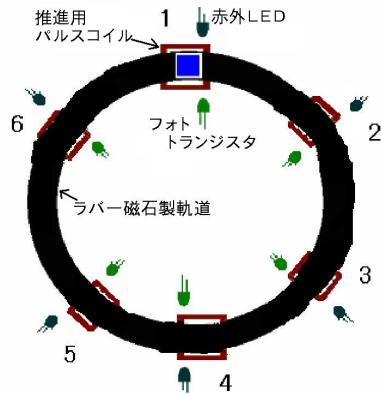


図9 推進ユニットの配置図

3. 実験方法

3. 1 フィールドクーリング

高温超電導バルク体を着磁し軌道に安定に浮上させるため、フィールドクーリングの手法を用いた。すなわち、高温超電導の薄板を収納した低温容器を、ラバー磁石軌道上の一定位置に固定した状態で、低温容器に液体窒素を充填して冷却し、磁束を高温超電導体に貫通させて着磁した。ラバー磁石と高温超電導体との間の初期ギャップは11mmに設定した。

3. 2 パルスコイルによる推進

浮上体に推進力を与えるため、図10に示す様に、浮上体に収納されている高温超電導薄板の後縁がコイル内に残留している瞬間に、コンデンサに蓄えられている電荷をコイルに放電させて推進した。実測によれば、高温超電導薄板の後縁がコイルの中心線上にある瞬間に放電する場合が最も有効に推進できた(図11)。なお、タイミングは前述のフォトトランジスタと赤外線LEDを用いた光センサーを用いて検出した。

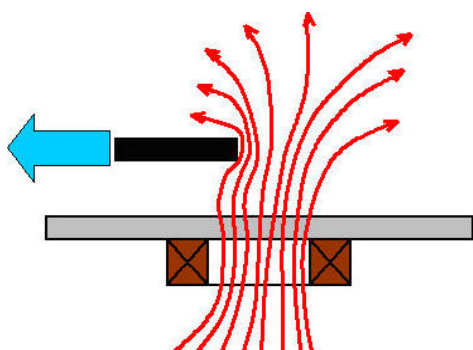


図10 パルスコイルによる推進原理

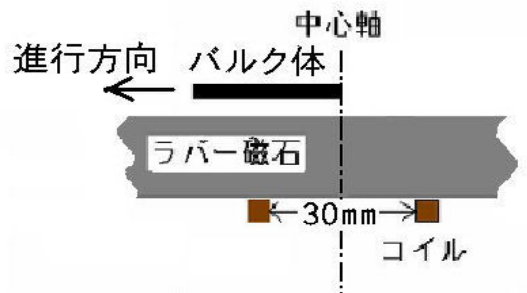


図11 パルスコイル放電の最適タイミング

4. 実験結果

4. 1 浮上特性

前述のように、ある初期着磁ギャップに高温超電導薄板を固定してフィールドクーリングにより着磁した場合、固定治具を取り去ると浮上体はある程度沈下して定常的な浮上位置に落ち着く。その場合の、初期着磁ギャップと定常浮上状態におけるギャップの関係を表1に示す。

表1 初期着磁ギャップと定常浮上ギャップ

初期着磁ギャップ(mm)	定常浮上ギャップ(mm)
1	0
2	0
3	1
4	2
5	3
6	4
7	4
8	4
9	5
10	5
11	6
12	6
13	7

その後の実験で、初期着磁ギャップ11mmの場合が最も安定な走行特性が得られたので、初期着磁ギャップを11mmにして実験を行った。

4. 2 加速特性

推進用パルスコイルを用いて浮上体を推進した場合の加速特性を図12に示す。同図から、最終速度は約0.9m/s(3.2km/h)になることが判る。なお、運転時間200秒付近で、速度の低下が見られるが、これは液体窒素の蒸発により高温超電導体の温度が上昇して浮上力が低下し

浮上体の底面が軌道と接触し始めたこと，および繰り返して通電によるコイルの過熱に依るものと思われる。

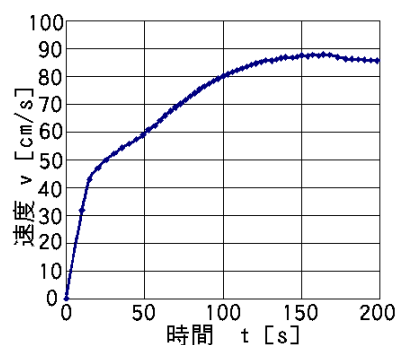


図 12 パルスコイルによる加速特性

5. むすび

本実験に用いたラバー磁石は安価であり，また弾力性があるため容易に曲げ加工が可能で任意の形状の磁気軌道を作り易い。本研究が，簡易な超電導のデモンストレーション用の装置作成の一助となれば幸いである。