

## 高温超電導バルク磁石の実用的で高効率な、強磁場着磁法を開発 超電導バルク磁石のその場着磁が可能に、モ - タ - 開発にはずみ

福井大学工学部の杉本英彦教授、東京商船大学の和泉 充教授および北野精機株式会社(社長:北野雅裕氏)は、実機に装着したままで、高温超電導バルク体を簡便かつ高効率に着磁させる方法の開発に成功した。高温超電導バルク磁石のモ - タ - や発電機などの機器システムへの実装と実用化に大きなはずみがつくと期待される。

現在、高温超電導体のうち RE-Ba-Cu-O 超電導体(RE はGd, Sm, Yなどの希土類元素)は、液体窒素で簡易に冷却できる絶対温度77ケルビン(マイナス196 )付近で、高磁場中でも高い臨界電流密度を示し超電導が破れないことから、その実用化にむけての研究が活発化している。水浄化用の磁気分離装置や、実験用磁場発生装置などすでに商品化されているものもあるが、超電導モータや電動機などへの応用研究も進んでいる。

RE-Ba-Cu-O バルク超電導体は、原料中に、ピン止め効果を示す非超電導相を分散して溶融成長させた高温超電導体のかたまり(バルク)であり、高性能永久磁石よりも大きな磁場を捕捉(着磁)させることができる。ただし、このバルク超電導磁石を利用するためには、何らかの方法で着磁させる必要がある。

バルク超電導磁石の着磁法には、別に用意した超電導磁石の静磁場を用いる静磁場着磁法と、バルク体の周囲に置いたコイルにパルス電流を流してパルス磁界によって着磁するパルス着磁法がある。静磁場着磁法によれば、77ケルビンにおいて4テスラを超える大きな磁界を着磁できるが、着磁装置自体が大きく、高温超電導体を機器に組みこんだ後では、着磁が困難である。パルス着磁法は着磁コイルを高温超電導バルク体とともに機器に組みこみ後に着磁できるので実用性が高いが、従来の方法では77ケルビンで1テスラを超えることはなく、合金系永久磁石の発生磁界との差別化にはヘリウム冷凍機によってバルク体を77ケルビンより低温へ冷却しなければならない。

福井大学工学部電気・電子工学科の杉本英彦教授、本堂義記技官らは、着磁された高温超電導バルク体の磁場分布が中心で最大磁場をもつ円錐形になることに注目して、渦巻状に銅線を巻いたコイルにパルス電流を流すことによって円錐形の磁場分布を発生させ、77ケルビンにおいて、Gd系バルク高温超電導体<sup>2)</sup>に対して効率よく1テスラを超える高い磁界を着磁させることに成功した。この方法によって、従来ヘリウム

冷凍機や超電導磁石を用いて行われていた、1テラを超える着磁が、液体窒素を用いて簡便かつ高効率に行うことが可能となった。本実験では加えたパルス電流の大きさに比例して着磁の最大磁場が増えていくという関係が得られている<sup>3)</sup>。

この研究は、平成14年度東京都中小企業振興基金共同開発助成事業「小型船用強磁界回転界磁子冷却技術の開発」(代表:北野雅裕 北野精機社長、提携先:和泉 充 東京商船大学商船学部教授)に関わる共同研究として実施された。和泉 充教授と北野雅裕社長らは、杉本英彦教授の協力を得て、原動機で発電した電力をもちいてモーターによってプロペラ(スクリュー)を回転させる、環境にやさしい21世紀の次世代型船舶、エコシップと目される電気推進船に搭載できる高温超電導モーター同期機の要素技術開発を進めている。このようなモーターが実用になれば、強力な磁場によって大きなトルクを発生することができる。電力変換効率も高く、従来のモーターを格段に小型軽量化できる。地球環境の保全、海洋環境保全の観点から電気推進船は有望視され、欧州や米国では、ポッド方式の電気推進船の研究開発や実用化が進みつつある。本成果は、このような電気推進のプロペラを回す船用高温超電導モーター同期機<sup>3)</sup>において、着磁コイルと鉄芯レス電機子コイルとの併用を可能にするものであり、その設計と製作に大きく貢献する。

東京商船大学客員教授で、(財)国際超電導産業技術センター超電導工学研究所の村上雅人第1・3研究部長は、「これまでのパルス着磁法は、円柱状のバルク高温超電導体の側面に着磁コイルを巻いて行うなど多様な工夫がされてきたが、静磁場による着磁磁場に近づけるためには、どうしてもヘリウム冷凍機により、77ケルビンより低温に冷却することが必要であった。うずまき状の着磁コイルをもちいることによって印加磁界の向きがバルク体の優先方向に揃った結果、パルス着磁時の温度上昇も抑制されて高い磁界が着磁できたものと考えられる。77ケルビンでのバルク超電導磁石の機器への実装を考えたとき非常に重要なブレイクスルーである。また、この方法によるパルス着磁の捕捉磁場はまだ大きくなる可能性もある。」と語っている。超電導工学研究所は、高温超電導バルク体の磁石特性について東京商船大学と共同研究を行っている。

#### 図の説明

- 1) 酸化物超電導バルク材料 Gd1Ba2Cu3O6.9 70.9wt.%, Gd2Ba1Cu1O5.0 19.2wt.%, Pt0.5wt.%, Ag9.4wt.%直径46mm、厚さ15mmおよび直径60mm、厚さ20mm (図1参照)
- 2) パルス電流ピーク値と最大捕捉磁束密度との関係(図2参照)
- 3) 船用高温超電導モーター同期機概念図(図3参照)
- 4) 新しい着磁法における着磁コイル兼対向電機子とバルク高温超電導磁石の配置(図4参照)

## 用語の説明・解説

絶対温度:絶対零度は氷点下 273 であり、これが世の中のもっとも低い温度である。この温度を 0 ケルビンと呼んでいる。77 ケルビンは、絶対零度よりも 77 高い温度で、マイナス 196 である。

液体窒素:空気中に 8 割存在する窒素ガスを冷却して液体状態にしたもの。この液体の沸点がマイナス 196 、77 ケルビンである。

超電導:ある種の金属や酸化物などを冷却すると、ある温度以下で電気抵抗がゼロになる現象である。この超電導になる温度を臨界温度と呼んでいる。

1986 年に、ある種の酸化物(La-Ba-Cu-O)が、世界最高の臨界温度である 30K を記録したことで世界的な大フィーバーとなった。

RE-Ba-Cu-O 超電導体:1987 年に発見された酸化物超電導体で、世界ではじめて臨界温度が液体窒素温度である 77K を更新した。

RE: 希土類元素、Ba:バリウム、Cu:銅、O:酸素

今回の実験に使用した超電導体の希土類元素は Gd(ガドリニウム)である。

臨界電流:超電導体に電流を流すと、ある臨界値で超電導がこわれてしまう。この限界を臨界電流と呼んでいる。超電導体の実用化にとっては、最も重要な特性である。

RE-Ba-Cu-O 超電導体は、高温での臨界電流特性にすぐれているため、その実用化が期待されている。

テスラ:磁場の大きさの単位。正確には磁束密度の大きさである。10000 ガウスが1テスラに相当する。地磁気の大きさは約 0.5 ガウス、健康器具のピックアップ版が 800 ガウスである。世界最高の永久磁石の表面磁場は約 5000 ガウス、つまり 0.5 テスラ程度である。

ピン止め効果:磁力線をピンで止めるように固定する現象である。超電導体の中に常電導相が分散していると、磁力線は、この部分に固定される。

超電導体に電流を流すと、磁力線が動いて抵抗が発生するが、ピン止め効果があれば磁力線の動きを止めて、電気抵抗ゼロで大電流を流すことができる。

バルク超電導磁石:超電導磁石には超電導線をコイル形状に巻いて磁場を発生するタイプと、超電導のピン止め効果を利用して、バルク(かたまり)の状態です超電導体に磁力線を固定し、磁石とするタイプがある。後者をバルク超電導磁石と呼んでいる。

コイルは電流を流して着磁するが、バルク超電導磁石は外部から磁場を印加することで着磁させる。よって、

いかにバルク超電導磁石をうまく着磁させるかが開発課題となっている。

モータ: 電流と磁場の相互作用を利用して軸を回転させる電動機。出力は(電流) × (磁場)で与えられるので、大きな磁場があれば出力はそれだけ大きくなる。よって超電導磁石を利用すると大きな出力を得たり、小型で強力なモータをつくることが可能となる。

パルス着磁: コイルなどに瞬間的に大電流を流して、大きな磁場を発生させて着磁させる方法である。

電気推進船: 商船船舶からの二酸化炭素やNO<sub>x</sub>等の排出による環境負荷の逓減と省エネルギー、より高い経済性、高い安全性と輸送力増強、操船性・居住性の向上を目的として、ディーゼル機関で発電した電力でモータを動かして、直結したプロペラを回転させる船の推進方式。これにより、減速器が不要となり発電機をパワーステーションとして船の全電化、モジュール化を可能にする。このモーターに高温超電導モーターを採用することによって、モーターの低騒音化、小型軽量化、高トルク、低コスト化が可能になる。とくにその効果はポッド式電気推進方式において著しいとされている。現在、国内に現存する電気推進船は、砕氷船「しらせ」、クルーズ船「クリスタルハーモニー」や特殊目的の調査船にかぎられているが、ポッド推進方式を採用した欧州の実績が著しい。

(かつて「ヤマト」の名称で試作された電磁推進船とはまったく異なる推進方式である。)

高温超電導モーターとポッド推進システム: 電気推進方式では、発電機とプロペラを回転させるモーターの位置関係に制約がないので、モーターに直結したプロペラをポッド(いんげんのさやの意、繭)におさめて、船外に出して装着する。このポッドは360°回転できるので、舵として機能するので舵も不要となる。推進効率と船型の思いきった改良が可能となり、燃料消費効率の向上につながる。欧州では、大型タンカーや高速商船むけにアジポッドの名前で商品化されて実績が著しい。国内では、独立行政法人海上安全技術研究所においてス・パ・エコシッププロジェクトとして研究されている一方、平成14年6月には、瀬戸内海において中谷造船・吉祥海運がポッド式電気推進による内航ケミカルタンカー「千祥」を進水させた。20%の燃料節減、排出CO<sub>2</sub>は20%、NO<sub>x</sub>は34%の削減が見込まれている。イニシアルコスト(建造費)が割高でもランニングコストが安いというメリットがある。これらのメリットは高温超電導モーターの採用でさらに著しくなる。米国では、将来の動力源としての燃料電池に位置付けもあり、米国運輸省海事局、国防総省で船舶の全電化とあわせて高温超電導モーター同期機のポッド推進への搭載を研究開発している。2メガワットの推進モーターが一部公表され、来年には完成する。高温超電導の船舶への応用は、発電機、電力貯蔵、海水や赤潮の浄化のための磁気分離システム、高度情報通信素子としても期待されている。

## 添付資料

図1 酸化物超電導バルク材料(仕込み組成 Gd<sub>1</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>6.9</sub> 70.9wt.%, Gd<sub>2</sub>Ba<sub>1</sub>Cu<sub>10</sub>O<sub>5.019</sub> 19.2wt.%, Pt0.5wt.%, Ag9.4wt.%) 側面は自己破壊抑制のためのステンレスの側帯をつけている。



図2 パルス電流ピーク値と最大捕捉磁束密度との関係

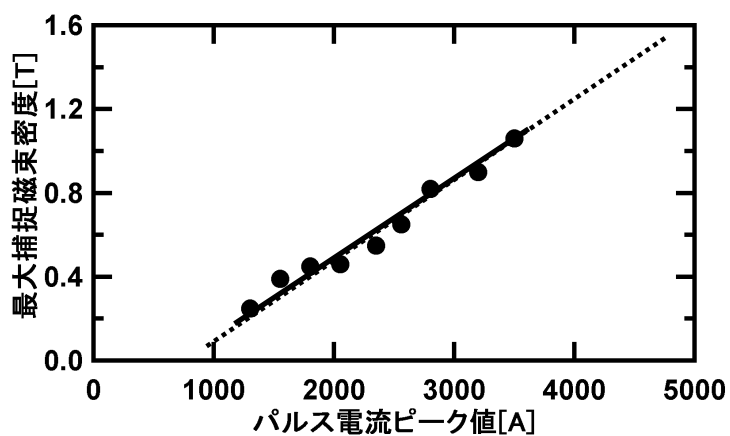


図3 船用高温超電導モーター同期機概念図



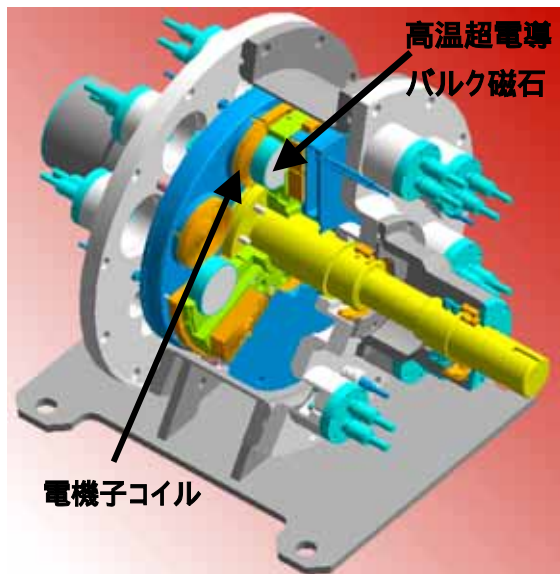


図4 新しい着磁法における対向した渦巻き形着磁コイル兼電機子コイルとバルク高温超電導磁石の配置

