

超電導磁気軸受の性能解析(第 2 報)

大 高 理 秀*

1. 緒 言

超電導現象にマイスナー効果及びピン止め効果と呼ばれる現象がある。この現象を利用すると全方向無接触、無制御、損失の極めて少ない磁気軸受が実現できる。ここ数年、酸化物超電導体の出現により液体ヘリウム温度から扱い易い液体窒素温度で超電導現象が生じるようになった。

茨城県内企業にも超電導磁気軸受に関心をもつ企業がでてきたので、茨城県の機関として超電導磁気軸受について基本的な知識を得る必要性が生じた。

この様な背景から、超電導の簡単な性質から磁気軸受としての基本的な性能、問題点、簡単なモデルにおける有限要素法解析を学ぶことを目的として、電子技術総合研究所・超伝導応用研究室・岡野主任研究官の下で、研修を行った。

超電導磁気軸受の軸受形式としては、主に完全反磁性領域を利用する反発型とピン止め力を利用する反発吸引型がある。高温超電導体を用いた軸受では、反発吸引型が主流であり、今回の研修では、反発吸引型を採用した。

2. 研修内容

2.1 軸方向特性

円板上の超電導体を液体窒素中で超電導状態まで冷やし、上から円板状の永久磁石を近づけ実験を行った(図 1)。永久磁石を取り付けた軸に乗った荷重を増減させ、磁石と超電導体間距離(ギャップ)との関係を調べた(図 2)。ちょうどスプリングのように、荷重の増加にともない、ギャップは減少し、逆に荷重を軽減するとギャップは増加する。しかし、一度荷重を増加させると、元の荷重に戻しても、ギャップは以前より狭くなってしまった。

また、荷重を一定のままに、ギャップの時間的変化をみると徐々に変化するクリープ現象を確

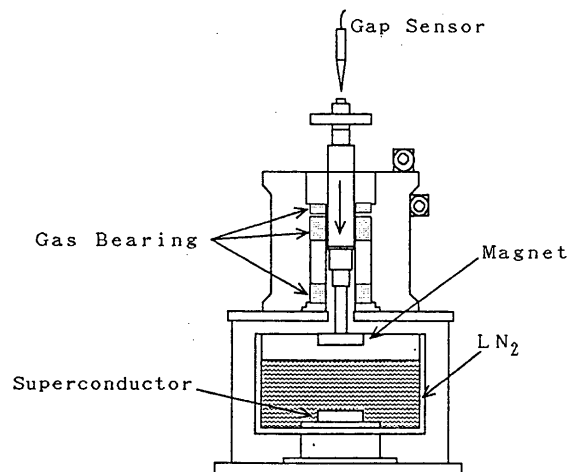


図 1 実験装置

*新技術応用部

認できた(図 3)。このクリープ現象は、荷重の増減の仕方により大きな違いがでる。例えば、荷重を増加させたときと軽減させたときを比べると、軽減させたときはあまりクリープは少ない。また、荷重と磁束密度との関係を図 4 に示す。X は、超電導体の中 L_c からの半径方向への距離である。荷重が増加するとギャップが小さくなり磁束密度が上昇する。しかし、同じ荷重でも軽減させたときの方が磁束密度が大きい。これは磁束が超電導体中に侵入した為と考えられる。

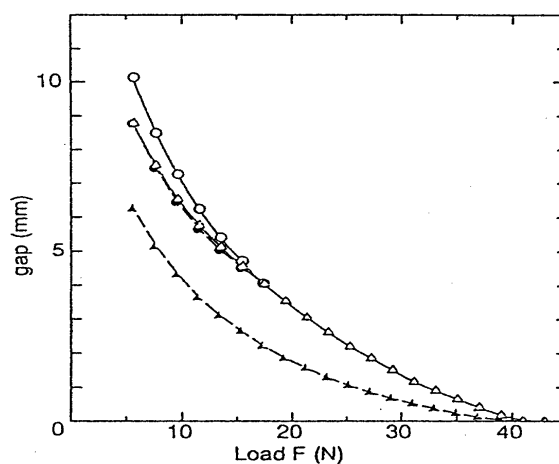


図 2 F-gap 曲線

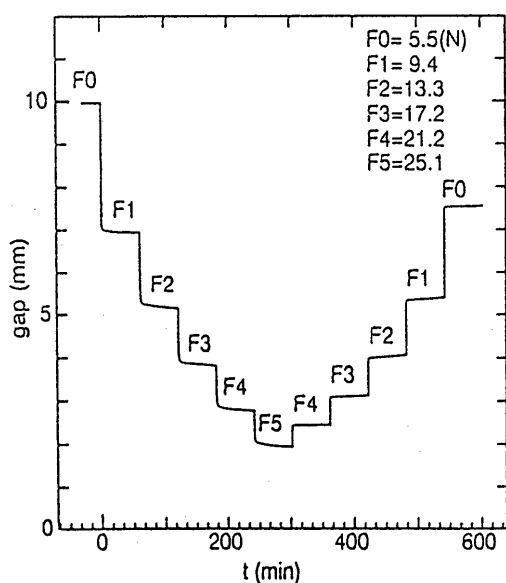


図 3 クリープ現象

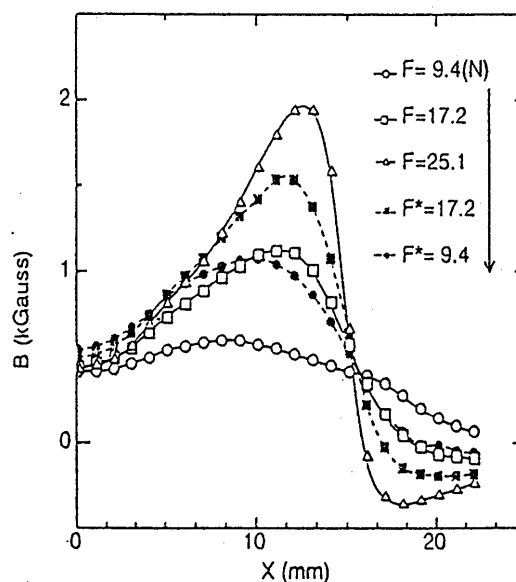


図 4 磁束変化

この実験の結果、最良の超電導体と永久磁石でも、軸受剛性は、一般の産業規模の軸受に比して 2~3 桁ほど小さいことが分かった。反発吸引型軸受は、ピン止め力を利用するものであり、高い軸受剛性を得るには、強いピン止め力、すなわち高い臨界電流密度 J_c を有する材料が必要になる。また、磁石や超電導体は機械的強度が弱く、加工中や回転中の接触により壊れる可能性が大きいことも分かった。

図 5 に有限要素法による磁場解析の結果を示す。この解析は、超電導体を完全反磁性体として取り扱った。解析結果から、ギャップが小さくなることによって、超電導体の端面近傍に磁束が集中することが分かった。

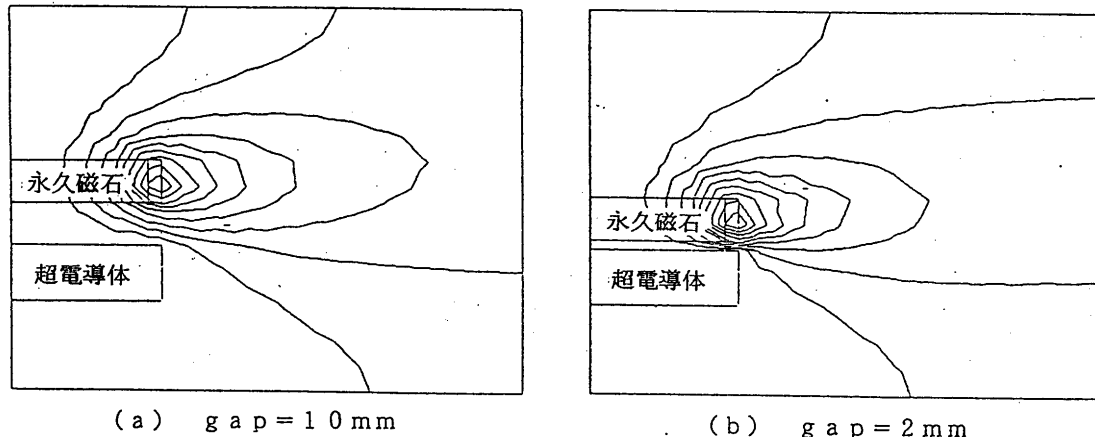


図5 有限要素法

2.2 超電導軸受の能動制御

2.1 で述べたように超電導軸受では、一般の軸受に比べて軸受剛性が極めて低く、実用化への大きな障害となっている。そこで、軸受剛性の改善を目的として、超電導体と永久磁石で構成する反発吸引型軸受に電磁コイルを付加し(図6)、能動制御を試みる実験を行った。この結果を図7に示す。フィールドクーリングで設定された軸受すきよそ保つように制御が行われ、ゆっくりした荷重の変化に対しては、ほぼ無限大の剛性を示した。

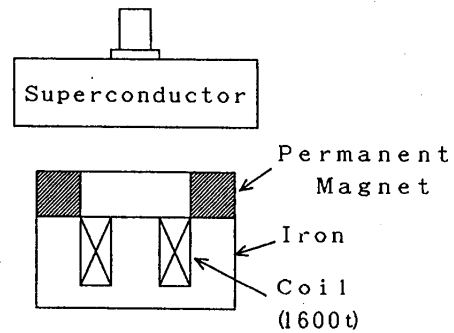


図6 コイル付加超電導軸受の構成

しかし、荷重の増加に従い制御電流が増加するため、コイルの発熱が大きくなり制御できなくなった。

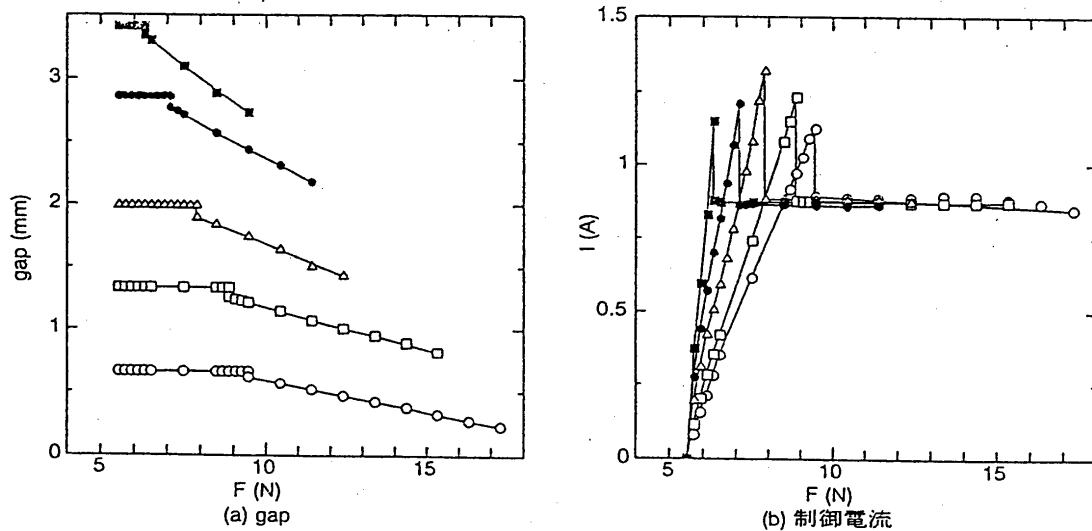


図7 能動制御

3. 結 言

今回の実験において、超電導の簡単な性質から磁気軸受としての基本的な性能、問題点、簡単なモデルにおける有限要素法解析を理解することができた。また、実験をとおして、測定のノウハウや測定機器の取扱いを学ぶことができた。

今回の超電導磁気軸受が小型のモータなどに利用されるまでには、臨界電流密度 J_c 、機械的強度、加工、温度などの問題点があるが、研究が進みこれらの問題点を解決していくことにより、全方向無接触、無制御、軸受損失の極めて小さい軸受ができることになる。今後、期待される技術あり、続けて学んで行きたい。

最後にこの研修に関して、ご指導と数々のご助言をいただいた超伝導応用研究室・岡野主任研究官に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大高理秀:茨城県技術センタ-報告 第 20 号(1992)