リニアモータと磁気浮上

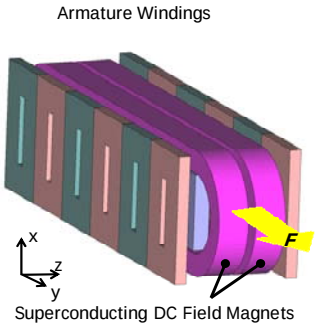
■産業分野で活躍するリニアモータ

リニアモータは歯車や車輪などの伝達機構を介さず，駆動対象へ「非接触」で「任意の方向」に推進力を与えることが出来ます．また「設計の自由度が高い」ため，様々な形状のリニアモータが開発され，あらゆる産業分野へ応用されています．

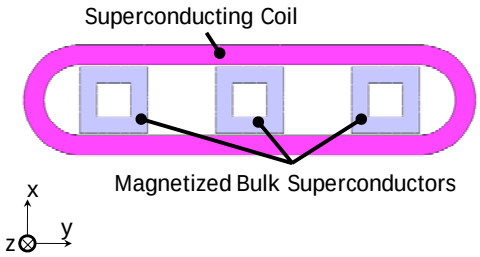
■超電導リニアモータ

超電導体は直流抵抗がゼロであるため，大電流を流すことが出来ます．これにより強磁界が発生可能で，その強さは永久磁石の数倍です．この強い磁界を「推進力」として利用したのが超電導リニアモータですが，鉄道への応用に限らず，工作機械をはじめとした様々な産業機器への応用が期待されています．

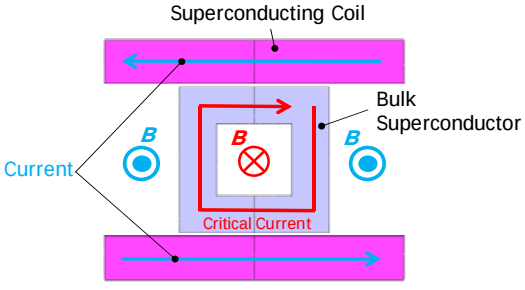
本研究室では，高温超電導コイルとバルク超電導体を併用したリニアモータを提案しています(図 1(a))．界磁コイル部分に高温超電導コイルとバルク超電導体を用います(図 1(b))。まず，高温超電導コイルに電流を流し，コイルによる磁界発生環境下でバルクを冷却し，着磁します．次に超電導コイルに今までとは逆方向に電流を流し，バルクと超電導コイルの二つで N-S 極をつくりだします．このリニアモータについて有限要素法を用いた解析を中心に，電磁設計を進めています(図 1(d))．



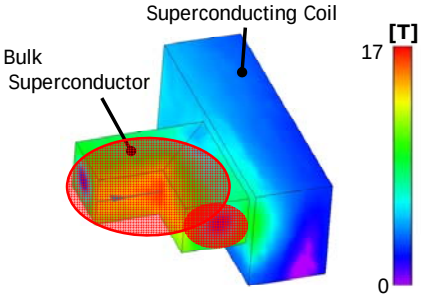
(a) リニアモータ全体図



(b) 界磁コイルの概要図



(c)界磁コイルでの磁界発生概要



(d) 界磁コイル部分の電磁界解析

図 1：高温超電導コイル及びバルク超電導体を用いたリニアモータ

■サーフェスモータ

従来の多自由度アクチュエータは，1 自由度アクチュエータを積層して構成される場合がほとんどです．

これに対して我々は，平面内の駆動と回転が可能な，新しい駆動方式のサーフェスモータを提案しました．可動子はハルバッハ配列の永久磁石で構成され，1 辺が 11 mm とコンパクトです．電機子は 2 層にパターニングされた導体で構成され，独立の電流で駆動されます．可動子の位置は，周囲に配置されたレーザー変位計で測定します．実際に装置を製作して実験を行ったところ，並進運動，回転運動とも，指令値に追従することが示されました．さらに，斜め方向の導体をもう 1 層追加することで，浮上を含めた 6 自由度の運動制御を実現することを目指して，動作解析や実験を進めています．

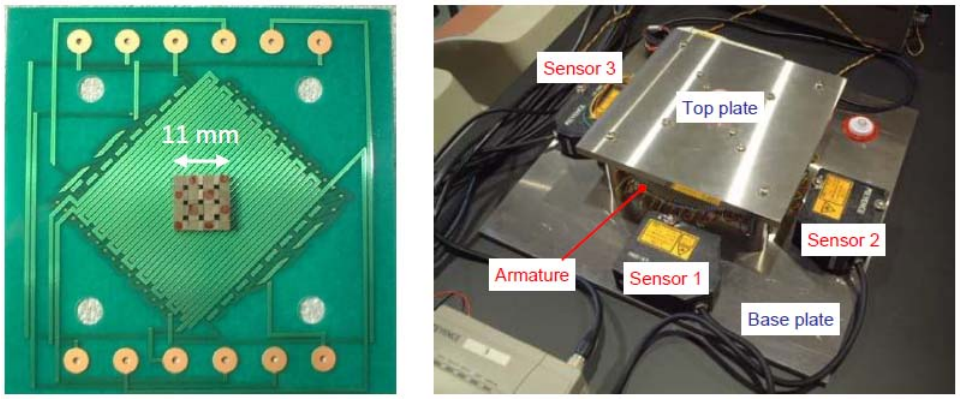


図 2：コンパクトな可動子で多自由度・大変位が可能なサーフェスモータ

■3 次元磁界分布測定システム

超電導体の性能評価の中で，磁界分布の測定は極めて重要です．このためには，測定試料と，ホール素子などの磁気センサとを，相対的に変位させながら，磁場強度を記録していきます．駆動装置は，重心の移動による歪みが生じないように十分な強度が必要であり，さらに，超電導体が発生する磁界を乱さないように，超電導体に近い部位は非磁性材料のみを使って製作することが重要です．

本研究室で独自に製作した磁界分布測定システムでは，超音波モータを備えた非磁性ステージを使って測定試料を駆動するため，磁界を乱す心配がありません．信号記録系にも，測定ノイズを低減するための様々な工夫が施されています．修士課程の学生が，自身の手で，これらの設計と製作を行いました．

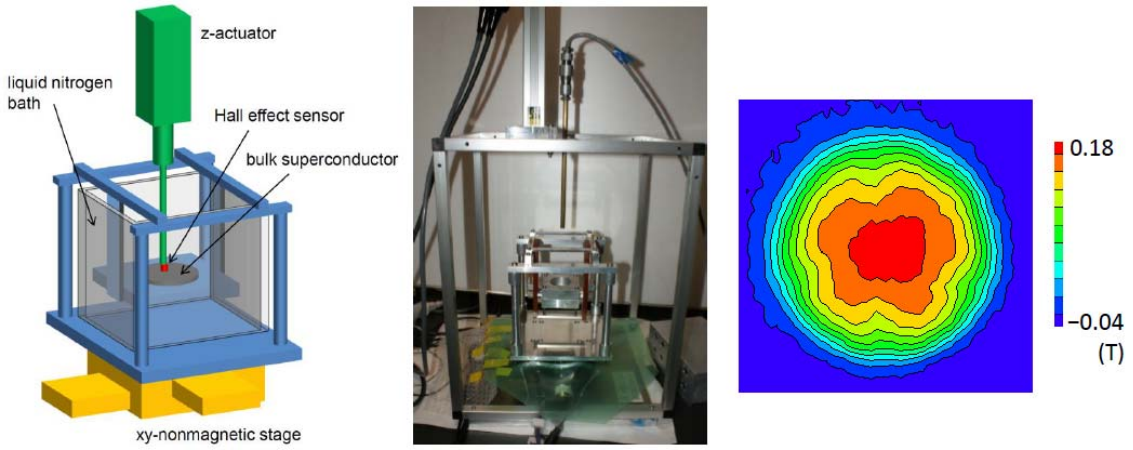


図 3：研究室で独自に製作した 3 次元磁界分布測定装置(左，中)と，これを使って測定した高温バルク超電導体の捕捉磁界分布(右).

■発表文献

1. Y. Terao, M. Sekino and, H. Ohsaki: "Design Study of Linear Synchronous Motors using Superconducting Coils and Bulks", International Power Electronics Conference (IPEC-Sapporo2010), Sapporo, Japan, June, 2010
2. Y. Terao , M. Sekino and, H. Ohsaki: "Design Study of High-Thrust Superconducting Linear Motors", The 9th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA 2009), Incheon, Korea, September, 2009
3. Y. Ueda and H. Ohsaki, "A planar actuator with a small mover traveling over large yaw and translational displacements," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, pp. 609-616, 2008.
4. Y. Ueda and H. Ohsaki, "Six-degree-of-freedom motion analysis of a planar actuator with a magnetically levitated mover by six-phase current controls," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, pp. 4301-4304, 2008.
5. M. Sekino, H. Yasuda, A. Miyazoe, and H. Ohsaki, "Concentric slitting of a ring-shaped bulk superconductor for a reduction in circumferential inhomogeneity of the trapped magnetic field," IEEE Transactions on Applied Superconductivity (in press).