

学生番号	15676122	氏名	平松 佑太
論文題目	超伝導バルクを用いた磁気浮上工具の 有限要素法による電磁現象解析に関する研究		

## 1. はじめに

自動車や航空機等の進歩に伴い使用される内部部品も、複雑な部品へと変化している。これらの部品加工には、旋盤加工や磁気研磨法を始めとした様々な手法が利用されるが、従来の加工法では部品内部の複雑な切削研磨加工までは不可能である。一方で、Fig. 1に示すような超伝導バルクと永久磁石間に働く磁気力を用いた、非接触な磁気浮上工具 SUAM(SUPERconductive Assisted Machine)が考案されている。このSUAMでは、磁束ピンニング力を用いてバルクの空中上部で永久磁石を固定することで、バルクを回転させると、空中で固定されている磁石も回転する。したがって、この空中固定された磁石を加工対象材料の内側から押し付けることによって、材料の内部研磨加工が可能になる。また、磁束ピンニング力は横方向の復元力を持つことから、研磨のみでなく切削も可能である。

本研究では、SUAMの重要な特性である磁気浮上力と復元力について、磁気ポテンシャル $A$ と電気スカラーポテンシャル $\phi$ を未知数として解く $A$ - $\phi$ 法を有限要素法によって計算した。着磁位置を変化させた場合の影響やバルクの配置の変化による磁気浮上力と復元力への影響についても解析を行なった。さらに、電磁界解析を用いて、SUAMの性能向上についても議論した。

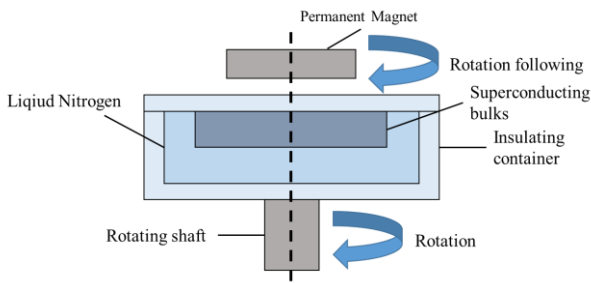


Fig. 1: SUAM (SUPERconductive Assisted Machine)

## 2. 解析方法

超伝導バルクの空中上部で永久磁石を磁束ピンニング力で固定するためには、バルクを磁化する必要がある。このため、バルクが常伝導状態時に磁界を加え、その後超伝導状態に移行させる磁界中冷却プロセスによる磁化を考慮した。具体的には、常伝導状態の電気抵抗率に対して超伝導状態の電気抵抗率を小さくすることによって、超伝導体内の磁界侵入を再現した。また、解析に必要な電界-電流密度( $E$ - $J$ )特性の計算には $n$ 値モデルを使用し、この材料の典型的な値である $n = 10$ を用いた。磁束ピンニング機構を考慮するために臨界電流密度の磁界依存性( $J_c$ - $B$ 特性)が必要となるが、ここでは同様なバルクの実験結果を用いた[1]。また、バルクのサイズは縦横の幅が 35 mm、厚さが 10 mm の四角柱で、4 つ組み合わせている。また、磁石は内径 10 mm、外径 29 mm、厚さ 10 mm のリング状ネオジウム磁石である。この磁石はバルクの回転に追従回転できるように、回転

角方向に N 極と S 極が交互に配置される片面 4 極型となっている。磁石の表面磁界は 450 mT、重さは 186 g である。この重さによる重力は 1.8 N となる。以上を考慮した有限要素法解析には、JSOL 社製 JMAG を使用した。

## 3. 結果および考察

Fig. 2 に超伝導バルクの上部 10 mm で着磁した場合の引力及び反発力における実験結果と FEM 計算の結果の比較を示す。Fig. 2 より、バルクと永久磁石の距離が 10 mm 以近では磁石に反発力が発生する。これに対して、10 mm 以遠となった場合、磁石には下方方向への引力が働く。切削加工の際には反発力が、研磨加工の際には引力が利用される。計算による最大引力はバルク上部 15 mm で 1.5 N であるが、実際には磁石には重力があるため、磁石に働く総引力は 3.3 N となる。この力により発生する研磨圧力を磁石の接触面積を考慮して求めると、1.8 kPa となる。この値は一般的な研磨工具の最低研磨圧力の約 1/5 である。そのため、ここでは磁石の質量を増やすことによる研磨圧力の向上に注目した。上記の解析手法から磁石の重量を 186 g から 1.0 kg まで増加させた場合、研磨圧力は 5.0 kPa まで向上できる。更に、重量を 2.3 kg まで増加させることによって、研磨引力を 10 kPa まで向上させることができ、一般的な研磨方法と同等の研磨圧力が得られることを明らかにした。

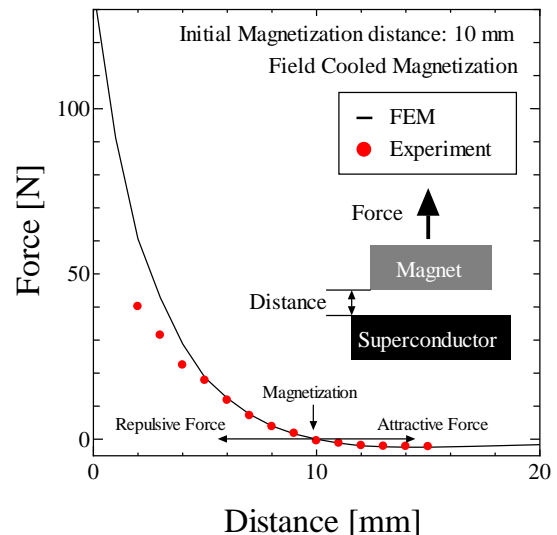


Fig. 2: Repulsive and attractive force of SUAM when magnet levitates 10 mm above superconducting bulks

## 参考文献

- [1] W. Zhai et al, Cryst. Growth Des., (2015) 15 907 – 914