


## 学 位 論 文 の 要 旨

|   |                               |        |  |
|---|-------------------------------|--------|--|
| 専攻名   | 物質生産工学専攻                      | ふりがな氏名 | やまみちだいすけ<br>山道大介  |
| 学位論文題目  | Nd-Fe-B 系永久磁石の細線化と高保磁力化に関する研究 |        |  |
| <p>現在、医療分野では低侵襲医療が発展している。低侵襲医療とは、手術、検査などに伴う痛み、発熱、出血などを少なくする医療である。例えば、ドラッグデリバリーシステムや内視鏡、カテーテルなどがそれである。内視鏡やカテーテルによる医療行為にはかなりの技術習得が必要であり、医師の熟練度に応じて手術時間や成績は大きく変わる。このような状況において、磁気力を用いて容易に操作が出来る装置が開発されている。カテーテル手術用のガイドワイヤーの先端には微小な希土類永久磁石が取り付けられ、外部磁場によりガイドワイヤー先端の方向制御がなされている。</p> <p>著者らは外部磁場によるガイドワイヤー先端の方向制御を目的とした微小（直径 0.2mm、長さ 2mm 程度）な永久磁石の作製法の開発を行った。特性としては外部磁場により反転しない十分な大きさの保磁力と、大きな駆動力を得るための高い残留磁化が必要となる。既存の Nd-Fe-B 系焼結磁石は現在最もエネルギー積の高い永久磁石であり、体積を小さくしても十分に磁気エネルギーを得る事ができるが微小な希土類永久磁石の作製は非常に労力を要する。一般に希土類永久磁石は原料合金を粉末化することによって単磁区粒子を得、焼結によりバルク化し、高い特性を得ている。Nd-Fe-B 三元合金系には、永久磁石材料として重要な化合物 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B が発現する。しかし、焼結により密度は増加するが体積は減り、さらに異方性磁石作製の場合には粉末のプレス時に磁場をかけるため、磁粉が偏る。このような理由から焼結磁石の作製においては寸法精度が悪いために後加工を行なっている。微小な永久磁石の作製においても以上のような理由から、直接焼結体として得ることは難しい。よって現在ターゲットにしている程度の大きさの希土類永久磁石を作製するには、焼結体からの削り出しという方法をとられているが、原料粉末の歩留まりが低い事や微細加工に労力を要し、コストがかかるという欠点がある。このような理由により、より少ないプロセスで容易に高性能な微小永久磁石を得る事は非常に重要であるといえる。</p> <p>より簡便に微小永久磁石を作製するために、本研究では液体急冷法を用いる事によって、溶融合金から直径 0.2mm 程度の Nd-Fe-B 磁石細線の作製を試みた。磁石細線を作製することができれば、それを短く切断することによって微小永久磁石とすることができると考えられる。磁石細線作製への足がかりとして液体急冷法の一つである単ロール法を用い、Ar ガス雰囲気制御下と大気中で薄帯を作製し、Nd の大気中での酸化のし易さと、Nd の酸化がハード磁気特性の劣化を招くことを確認した。以上を踏まえて単ロール法の改良や、テイラー法、回転液中紡糸法を用いて同様の組成で細線を作製すると、回転液中紡糸法で作製した細線試料は薄帯ほどの保磁力は得られなかったものの、Nd リッチな組成になるほど保磁力が上昇した。これは細線内部に存在する Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 相の影響と考えられ、示差走査熱量計を用いて 310°C 付近に磁気相転移として確認することができた。回転液中紡糸法による Nd-Fe-B 細線の作製で</p> |                               |        |  |

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有  無

は Nd の酸化抑制は容易ではないが、Nd 量が多い方が、酸化せずに保磁力に寄与する Nd 量も多くなるといえる。この考えに基づくと、より Nd リッチな組成で細線を作製すれば保磁力が増大すると考えられるが、Nd リッチにすると細線の作製が容易でなくなるため、それを避ける対策が必要となる。そこで希土類の量を一定とし、Nd の一部を室温で大きな異方性磁界をもつ Tb に置換することで保磁力の増大を試みた。また Al の添加により保磁力の増加もなされた。さらに、回転液中紡糸法で作製した細線試料断面の観察や粉末 X 線回折を行うことで、薄帯試料に比べ保磁力が低下する原因を特定した。本論文では以上の検討の中で明らかにした細線磁石の作製法、並びに得られた細線の保磁力が低下する原因を報告する。

更なる特性の改善は必要であるが、本プロセスによって簡便に永久磁石細線を作製することができるので、ドラッグデリバリーシステムや、カテーテル手術用ガイドワイヤーの方向制御等様々な応用が期待できる。また磁石応用範囲も更に広がるものと思われる。

## 学位論文審査結果の要旨

| 専攻  | 物質生産工学専攻                     | 氏名 | 山道大介 |
|---|------------------------------|----|------|
| 論文題目  | Nd-Fe-B系永久磁石の細線化と高保磁力化に関する研究 |    |      |
| 主査  | 榎園正人                         |    |      |
| 審査委員  | 長屋智之                         |    |      |
| 審査委員  | 豊田昌宏                         |    |      |
| 審査委員  | 佐久間俊雄                        |    |      |
| 審査委員  | 戸高孝                          |    |      |
| 審査結果の要旨 (1000字以内)   |                              |    |      |
| <p>近年、低侵襲医療として注目されている DDS (Drug Delivery System) は、医療手術並びに検査などに伴う痛み、発熱、出血が少なく、次世代医療として注目されている。しかしながら、高額医療技術として位置づけられ、手軽に多くの患者に提供するわけにはいかない。この原因はガイド役を果たす微小マグネット (マイクロマグネットと称し、そのサイズは 0.2mm x 2mm 程度で必要とされる保磁力は 5000 Oe 程度が要求される) の作成の困難さに起因し、一個当たりの価格が非常に高いことにある。本研究はこのマグネットを 1 ドル以下に抑えた低価格で作成できる技術の確立にある。そのため、磁石材料の中で保磁力の最も大きい Nd-Fe-B 系永久磁石を取り上げ、直接に 0.2mm 径のワイヤ細線化する技術の確立を模索し研究が行われてきた。試みられた方法は単ロール法、テイラー法、回転液中紡糸法で、単ロール法はこれまでも研究報告はあるが、該当のサイズでの検討結果はない。また、テイラー法や回転液中紡糸法は全く報告がない。それらの検討結果、回転液中紡糸法によって細線化は可能でその条件を明らかにした。</p> <p>他方、Nd-Fe-B 系永久磁石はバルク材では高保磁力を示さない。単ロール法による作成ではアモルファス状態となり、それを結晶化させることによって、高保磁力を得ることができるが、細線化ができない。また、回転液中紡糸法では所望のサイズの細線を得ることはできたが保磁力は MK 鋼程度 (Nd-Fe-B 系磁石の 1/10 程度) で必要な磁気特性を満たさない。本論文では細線化とこの高保磁力化に向けた研究成果をまとめたものである。高保磁力化には Nd の酸化による Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 相の減少を食い止めること、結晶粒の微細化のための第 3 元素の添加が有用であることを明らかにした。</p> <p>本審査では細線の構造、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 相の出現過程、急冷速度の定量化並びに、所望磁気特性の根拠について質問が行われ、それを客観的に示すことが要求された。これに関して、公聴会では改善され、また、本研究の意義についても簡潔にまとめられ全体が統一されていた。公聴会では熱処理と結晶構造の関係について、キュリー点の測定に関して、磁力計法と示差熱分析法との間でズレがある点について質疑がなされたが、いずれも的確に答えられ、十分な研究資質を備えていることを示した。</p> <p>以上の審査結果を踏まえて、本研究は今日における医工技術の発展に大きく寄与するものであると高く評価できる。よって、審査委員会は本研究論文が工学博士の学位論文として相応しいものと判断した。</p> |                              |    |      |