

技術委員会より

内外 BM 技術動向

技術委員 大森賢次
(住友金属鉱山(株))

19th International Workshop on Rare Earth Permanent Magnets & Their Applications が北京の友誼賓館で 2006 年 8 月 29 日から 9 月 1 日にかけて開催された。

今回の会議は参加者への情報が非常に少なくかつ連絡不足が目立つものであり会議開催が危ぶまれたが、それでも 150 名の参加者を集め、何とか無事に終了した。中心になって会議を取り仕切る実務者が中国では不足していることが良くわかった。

Nano-Composite Magnets と Processing of Bonded Magnets について以下に簡単にまとめる。

Nano-Composite Magnets :

Dayton 大 (USA) の S. Liu らは、異方化したバルク状の Nanograin Composite 希土類磁石の研究開発を進めている。誘導加熱による急速熱間プレスを開発したことで 4at% 程度の低希土類量でフルデンスのバルク磁石が得られるようになった。粉末の混合技術と粉末のコーティング技術を改良することで Nd-Fe-B/ α -Fe または Nd-Fe-B/Fe-Co で nanograin の配向を高めて、40-55MGOe の異方性磁石を得た。ソフト相の大きさが 40 μ m でありモデルに比べて 1000 倍大きい。細かくすることでより高特性が得られると予測できると述べている。

National Chung Chang 大 (台湾) の W.C.Chang らは、Pr₂Fe₁₄B 系ナノコンポジット磁石の相の変化、微細組織、磁気特性に及ぼす C と Co の影響について報告した。Pr₉Fe₈₁Ti₄B_{11-z}C_z の急冷薄体で z = 0.5 とするとエネルギー積で 10% (18 MGOe) 向上できた。また、Pr₉Fe₈₁Co₁₀Ti₄B_{11-z}C_z の急冷薄体で z = 0 の場合には特に顕著な効果は見られなかったが、z = 1 とするとエネルギー積は 20% 向上 (20.2MGOe) できた。

Sheffield 大 (UK) の H.Davies らは、B リッチナノコンポジット磁石として RE_yTM_{90-y-x}Nb_xB₁₀ の磁気特性を報告した。(Nd_{0.75}Pr_{0.25})₁₀Fe₇₈Nb₂B₁₀ を一度過冷却した後熱処理することで、エネルギー積 140kJ/m³、保磁力 912kA/m、を得た。また、Fe を 10% Co で置換した結

果、エネルギー積 123kJ/m³、保磁力 1042kA/m と高保磁力が得られた。Nb の添加は結晶粒の微細化と α -Fe の割合を減らす効果がある。

Institute of Metal Physics(Russia) の A.G.Popov らは、過冷却した Nd₉Fe₈₅B₆ 液体急冷粉への高圧ねじり変形 (HPTD) の効果を報告した。6GPa 程度の圧力の下で HPTD を実施すると微細な α -Fe の析出が起こる。この試料を 600°C で熱処理すると α -Fe と Nd₂Fe₁₄B の微細粒 (それぞれ 13 および 22nm) が均一に分布することになり、HPTD なしで熱処理した場合に比べて、保磁力で 23%、残留磁束密度で 16% 向上することがわかった。

Magnequench Technology Center の Z.Chen らは、Pr₉Fe_{91-x}B_x ナノコンポジット磁石の微細構造と磁気特性について報告した。準安定相である Pr₂Fe₂₃B₃ 相を作らないよう x は 4-8% とした。その結果、Pr₉Fe₈₆B₅ 組成で均一な微細組織が得られ、高 B_r、(BH)_{max} および高角形性が実現できた。

Magnequench Technology Center の D.N.Brown らは、永久磁石用液体急冷粉の現状について報告した。一般的な機能と熱安定性が必要であれば RE₂Fe₁₄B 単相が適している。もし、比較的低温で高 B_r が必要であるならば RE₂Fe₁₄B/ α -Fe のナノコンポジット磁石粉が適している。また、800kA/m 以上の保磁力が必要であれば RE₂Fe₁₄B/RE の多相粉が適している。高 B_r と耐食性向上は Fe の Co 置換で対応し、高融点金属は高保磁力化を可能とする。粉末にあらかじめコートしたものは、ボンド磁石時に耐候性を高める。

Central Iron and Steel Institute(Beijing) の A.Li らは Pr₂(Fe,Co)₁₄(C,B) 系ナノコンポジット磁石の構造と磁気特性について報告した。Fe を Ti で置換すると非晶質生成能が高まる。15m/s のホイールスピードで Pr_{10.5}Fe_{69.5}Ti₂Co₁₀B₄C₄ を作製したところ、B_r=9.5kG、H_{cJ}=9.8kOe、(BH)_{max}=16MGOe が得られた。Ti の置換は熱処理時に 2:17 相の成長を抑え 2:14:1 相の成長を進

める効果がある。

Processing of Bonded Magnets :

住友金属鉱山の大森らは、Sm-Fe-N 異方性磁石の進歩について報告した。Sm-Fe-N 磁石の母合金は還元拡散法で作製した。Sm 組成を 0.5wt% 低減することで従来粉に比べて磁化の増大を実現した。粉碎および表面処理により、減磁曲線の角形性、経時変化、耐熱性を向上した。磁石粉で 292kJ/m^3 が得られ、 80°C 90% R H 下で 300 時間保磁力は安定であった。この磁石粉を用いて射出成形で 141kJ/m^3 のエネルギー析が得られた。経時変化は従来の MQP- B と同等であった。耐熱温度 (T-5%) は Sm-Fe- N 磁石で $125\text{-}150^\circ\text{C}$ 、フェライトとのハイブリッド磁石で $150\text{-}170^\circ\text{C}$ であった。HDDR Nd-Fe-B ボンド磁石は Sm-Fe-N 粉で置換することで改善された。不飽和ポリエステルを用いた新しい射出成形法で薄肉リング磁石を作ることができるようになった。

愛知製鋼の本蔵らは、MAGFINE を用いた自動車用モーターについて報告した。2002 年に異方性 NdFeB を用いたエネルギー積 25MGOe の開発に成功した。2005 年に自動車用パワーシートモーターとして、大きさを 50%、重量を 40% 減らしたものが搭載された。耐熱温度を 100°C から 130°C まで改善した。磁石粉へのコート技術を確立した。準径方向の 4 極の薄く長い磁石を開発した。異方化のメカニズムを研究することで量産規模の拡大が可能になった。自動車用小型 DC モーターとして期待できるところに来た。

Instituto de Magnetismo Aplicado(Spain) の J.J.Romero らは、マイクロモーターおよびマイクロジェネレータ用の異方性厚膜ボンド磁石について報告した。NdFeB の微細な異方性粉 (HDDR 粉) $80\text{vol}\%$ を PMMA と一緒に混練して、低磁界の下で $100\ \mu\text{m}$ オーダの厚さの膜を作製した。すべての作業は室温で行った。90% 異方化のために必要な配向磁界は 125Oe であった。得られた厚膜の保磁力は 1.2T であった。巨視的な異方性は保磁力の温度変化を測定することで評価した。基板の影響は特に無かった。多極の状態および垂直方向の磁極の状態は 0.5mm 厚さのロータで定義した。接着性および表面粗さなどはまだ改善の必要がある。

明治大の山元らは、Didymium-Fe-Co-Nb-B 系の液体急冷薄体、そのボンド磁石およびブラシレス振動モ

ーターの試作について報告した。 20m/s のホイール速度で作製した $\text{Didymium}_{12.5}\text{Fe}_{70.5}\text{Co}_{10}\text{Nb}_1\text{B}_6$ 薄体を 625°C で 5 分間熱処理して結晶化したところ、 $(\text{BH})_{\text{max}}$ が 126.1kJ/m^3 、 H_{cJ} が 1048.8kA/m となった。圧縮成形で 6.3Mg/m^3 に成形したもので 91.0kJ/m^3 が得られた。不可逆減磁は 125°C で -2.34% であった。ブラシレス振動モーターにして評価したところ、低電圧での回転速度の安定性は改善され、 10000rpm での振動力は MQP-O を用いた場合に比べて良好であった。

Institute of Precision Mechanics(Poland) の D.Derewnicka らは、Die-upset で加工した Nd-Fe-B 磁石の構造および磁気特性について報告した。たとえ高変形させたとしても完全に配向したものにはならず、配向の乱れた領域が残ることがわかった。磁化容易軸は変形方向から 20° 傾いたものがあり、これらは磁区構造にも反映される。

Advanced Technology and Materials(China) の L.Jiang は Nd-Fe-B 系ボンド磁石の現状について報告した。JABM の統計によれば中国は 2001 年から世界第一の生産国になったようになってきているが、実際はやはり日本が最大の生産国である。日本の 2 つの大きな会社がある。一つは、セイコーエプソンである。日本から上海エプソンに 2003 年に全ての生産を移した。2004 年には三環会社が最大の株保有 (70%) 会社となった。また、VAC と 50 - 50 のジョイントベンチャーとした (SANVAC)。もう一つは大同である。タイと中国の広東省に工場を有している。東南アジアのデータは殆どが日本企業の生産量になる。市場の拡大が遅い。モーターの工場はさらに低コストの磁石を必要としているためである。ただ、MQI の独占であるため磁粉の価格は低下せず、磁石の低価格化は進まない。中国の工場は以下の 4 - 5 であり、Galaxy(in Chendu), Qiaozhi(in Dongguan), High Mag(in Shenzhen)(2003 年に AT&M と合併した。AT&M の保有株は 60% である。), Daoyou (in Ningbo), Yunsheng(in Ningbo), Jinbin(in Tianjin) である。Galaxy が最大であり、Jinbin は生産を中断している。中国の生産キャパは大きい、生産量は少ない。価格は日本製に比べてかなり低価格である。

住友金属鉱山の大森らは $\text{Sm}_2(\text{Fe},\text{Mn})_{17}\text{N}_x$ の構造解析ということで報告した。保磁力の発生メカニズムを理解するため、TEM トモグラフィーを使って結晶内に見られるアモルファス相の構造を明らかにした。アモ

ルファス相は Sm-Co 磁石に見られる薄いプレート状ではなく、5nm 程度の直径の微細なワイヤー状になって 20nm 程度の間隔で結晶相内に均一に析出していることがわかった。

National Chung Cheng 大 (台湾) の C.W.Chang らは液体急冷法で作製した $(\text{Fe}_{0.5+y}\text{Pt}_{0.5-y})_z\text{B}_{100-z}$ の磁気特性と微細構造について報告した。Fe-B/FePt 系のナノコンジット薄体であり強い交換相互作用と永久磁石特性が得られる。500°C の熱処理で 25-35nm 大きさの結晶粒を持った γ_1 , Fe₂B, Fe₃B が生成される。 $(\text{Fe}_{0.6}\text{Pt}_{0.4})_{82}\text{B}_{18}$ で H_{cJ} が 12kOe 以上で Br 6.6kG, (BH)_{max} 8.9MGOe、 $(\text{Fe}_{0.675}\text{Pt}_{0.325})_{84}\text{B}_{16}$ で H_{cJ} が 7.5, Br 9.4kG, (BH)_{max} 14.0MGOe が得られた。軟磁性相である Fe₂B, Fe₃B がマトリックス中にあることは高分解能 TEM で確認された。

上海大の Y.Li らは異方性 Nd-Fe-B ボンド磁石を圧縮成形法で製造する際の印加磁界について報告した。混合工程で粒子を互いに離すため NdFeB による静磁界を印加した。SEM 観察の結果は予期した結果が得られた。異方性磁石の成形は 2.5T の磁界印加の下で、バインダーの粘性低下、圧縮時の粒子配向向上、高密度化のため温間で行った。温度上昇に伴い保磁力は低下するため、適度な温度で磁気特性に必要な配向磁界、機械的強度。固化は 4T のパルス磁界を印加して行った。その結果、15% のエネルギー積の増加が見られた。d-HDDR 粉を用いて 2.5T の印加磁界中 90

°C で試作した異方性磁石の磁気特性は Br 8.55kG, H_{cJ} 12.08kOe (BH)_{max} 14.57MGOe であった。

Advanced Technology and Materials(Beijing) の X.Cheng らは、射出成形 NdFeB ボンド磁石の特性に及ぼすバインダーと添加物について報告した。バインダー量を減らすことは磁気特性を高めても機械特性を低下させること、また成形しにくさに繋がる。今回の試験では 9wt% で最も良いものが得られた。幾つかのカップリング剤を添加することで磁石粉とバインダーの親和性、適合性が増し、磁石内の空孔を減らすことができ機械強度向上に繋がる。うまく適合した酸化防止剤は明らかに磁気特性を改善する。潤滑剤の添加は効果的に溶融粘性を下げ成形しやすくするが、機械特性の低下に繋がる。0.3wt% が良好であった。

上海大の Y.Li らは、NdFeB 系異方性ボンド磁石を射出成形で試作することを試みた。磁石の磁氣的、機械的な特性に及ぼす粉末の供給量、粉末サイズの影響、高分子樹脂の影響、成形条件の影響について検討した。適当な粉末量は 60vol%、粉末粒度は 75-106 μm、バインダーは PA1010 であった。コンパウンドの混練条件は 205 – 215°C であり、射出時の温度は 265°C、圧力は 5 – 6MPa、成形時間は 5 秒、金型温度は 80°C であった。d-HDDR 粉で Br 0.72T, H_{cJ} 983kA/m, (BH)_{max} 75kJ/m³ が得られた。