内外 BM 技術動向

専務理事　大森 賢次

2016 年 8 月 28 日から 9 月 1 日に掛けてドイツのダルムシュタット工科大学で第 24 回 International Workshop on Rare-Earth and Future Permanent Magnets and their Applications (REPM 2016) が開催された。長崎大学の中野先生から資料をお借りしたので一部を紹介する。

MQP

Magnequench(Singapore) の Chen らは、アーク溶解後液体急冷法を利用することで $Nd_{11.5}Fe_{81.9}Nb_{1.0}B_{5.6}$ 合金を作製した。180 ℃まで使用可能な熱安定性に優れた磁石粉を Co や Dy を使用せずに Fe を Nb で置換することで得た。また、150 ℃まで使える磁石粉を、Ce を 50 %まで置換した磁石粉で得ることができた。B_r は 885 mT、H_{cj} は 945 kA/m、BH_{max} は 131 kJ/m^3　T_c は 310 ℃ , α (RT-180) は -0.163 %/ ℃、 β (RT-180) は -0.275 %/ ℃、Aging loss (180℃。/1000hr) は -19.4% となった。また、$_{26}Fe_{70.55}Nb_{2.5}B_{0.95}$ では、B_r は 862 mT, H_{cj} は 995 kA/m、BH_{max} は 126 kJ/m^3,T_c は 308 ℃、 α (RT-150) は -0.176 %/℃ 、β (RT-180) は -0.289 %/℃、Aging loss は -14.7 % となった。

Magnequench (Singapore) の Brown らは、高 B 量のナノコンポジット磁石 $Nd_2Fe_{14}B/Fe_3B$ を液体急冷法で Ti,C,Nb,Zr を添加物として試作した。$Nd_8Fe_{79}B_{11}Ti_{1.5}C_{0.5}$ 組成の場合、急冷速度は従来のものに比べて低い（13.0 m/s）条件で作製可能であり、B_r=843 mT、B_r/B_m=81 % という結果が得られた。ただし保磁力は510 kA/mで低い結果に留まった。

HDDR

東北大学の堀川らは、d-HDDR 法で作製する際に生じる結晶配向について Nd-Fe-B-Ga-Nb 粉で調査した。30 kPa の水素圧力下で行う HD 処理でα -Fe と NdH_{2+x} 粒間で [110] α -Fe//[110]NdH_{2+x} でありかつ (-110) α -Fe と (-220)NdH_{2+x} の点が同じところにあるという方位関係が見られた。再結晶粒の配向にはこの隣接するα -Fe と NdH_{2+x} の方位関係が重要であり、$Nd_2Fe_{14}BH_y$ の (001) が同じ方位であることが確認できた。この方位関係は 100 kPa で HD 処理した際には見られなかった。

UFSC (USA) の Eggert らは、Ca 還元拡散法と HDDR 処理を行うことでナノ結晶磁石を試作した。$Nd_{11.7}Fe_{82.3}B_{5.8}$ では、HDDR 処理なしで保磁力は 230 kA/m であったが、これに HDDR 処理をすることで粒子径を細かにした結果、380 kA/m に増大できた。また、$Nd_{15}Fe_{77}B_8$ では 500 kA/m の保磁力が実現できた。

愛知製鋼の Kawasugi は、d-HDDR 法で作製した NdFeB 異方性ボンド磁石の磁束損失の時間変化を大気中と 10^{-3} Pa の真空中、130 ℃の温度で測定した。大気中では初期損失後に対数で表した時間に対して放物線的な減少傾向を示し、かつ、再着磁で初期値に戻らなかった。一方、真空中では直線的に減少した後、再着磁で初期値に戻った。不可逆減磁は酸化の影響が大である。

UFSC(France) の Engerroff ら は、N42 クラスの Nd-Fe-B 合金に 820 ℃で d-HDDR 処理をした結果、B_r は 1.05 T、H_{cj} は 700 kA/m、BH_{max} は 80 kJ/m^3 配向度 80 %、結晶サイズ 300 nm が得られた。

SmFeN

NIMS の 平 山 ら は、複重合法で $Sm_2Fe_{17}N_3$ 異方性磁石粉を試作した。平均粒径は 0.69 - 3.49 μ m であった。保磁力は 0.6 μ m の平均粒径で 2.32 T であった。

AIST の 高 木 ら は、低酸素条件で $Sm_2Fe_{17}N_3$ 粒を作製して SPS で固形化した結果、保磁力の低下が起こらないことが分かった。粉末粒子の表面に形成される酸化膜の Fe 酸化物が固化時の温度に晒された際に Sm 原子によって還元されて Fe になってニュークリエーションサイトになるため保磁力低下が起こっていたとの傍証となる。

AIST の岡田らは、サブミクロン粒径の $Sm_2Fe_{17}N_3$ を還元拡散の温度を下げることで得た。粒径が小さくなるに伴い保磁力は増大した。0.6 μ m の平均粒径で 22.8 kOe となった。

京都大の佐藤らは、Fe_3O_4 ナノ粉とサマリウム (III) アセチルアセトナート 水和物を 1- オクタデセン中 300℃で 1 時間処理することで Fe_3O_4-SmO_x のコアシェルナノ粉とし、これを Ca で還元拡散することで Sm_2Fe_{17} 粉にした。窒化処理後、平均粒径 1 μ m で 13 kOe の保磁力を得た。

TnMn12 型

Delaware 大 (USA) の Hadjipanayis ら は、$ThMn_{12}$ 型の磁石の開発を進めた。メカノケミストリー法を利用して $Sm_{0.7}Zr_{0.3}Fe_{10}Si_2$ のサブミクロン粉を作製した。残留磁化は 8.4 kG、保磁力は 10.8 kOe、BH_{max} の計算値は 13.8 MGOe となった。

静 岡 理 工 科 大 の 小 林 ら は、ストリップキャスト法で $(R_{0.7-0.8}Zr_{0.3-0.2})(Fe_{0.75}Co_{0.25})_{11.5}Ti_{0.5}$ 合金を作製した。Ti は Fe の 8i サイト、Zr は R の 2a サイト、Co は Fe の 8j と 8f サイトを置換していることが球面収差補正走査透過型電子顕微鏡で分かった。R が Nd の場合、N_x(x=0.6-1.3) で J_s=1.67 T、H_a=5.25 MA/m(室温) となった。また、R が Sm の場合　J_s=1.58 T、H_a=5.90 MA/m（室温）、J_s=1.50 T、H_a=3.70 MA/m　(473K 時）となった。

Delaware 大 (USA)　の Gabay ら は、$Zr_{0.7}Sm_{0.3}Fe_{10}Si_2$ 組成の合金を液体急冷法で作製した。最適熱処理後の保磁力は 2.4 kOe であり、計算で求めた BH_{max} は 4.6 MGOe となった。また、酸化物前駆体をメカノケミカル法で還元して得た異方性の粉末 $Zr_{0.3}Sm_{0.7}Fe_{10}Si_2$ と $Zr_{0.4}Ce_{0.3}Sm_{0.3}Fe_{10}Si_2$ の保磁力と BH_{max} はそれぞれ 10.8 kOe(13.8 MGOe)、5.2 kOe(10.1 MGOe) となった。Zr が $ThMn_{12}$ 構造の安定化に寄与していると考えている。

NCSR Demokritos(Greek) の Gjoka ら は、$Nd_{1-x}Zr_xFe_{10}Si_2$(0.1 ≦ x ≦ 0.8) 合金をアーク溶解で作製した。熱処理なしで x ≧ 0.3 で安定した $ThMn_{12}$ 構造が得られたが、x<0.3 では六方晶の $CaCu_5$ 構造になった。T_c は x=0.1、0.8 でそれぞれ 574 K, 558 K となった。飽和磁化は x=0.1 で 145 emu/g、x=0.4 で 145 emu/g, x>0.4 で減少した。異方性磁界も同様な傾向となった。

TU Darmstadt(Germany) の Komori らは、ストリップキャスト法で $NdFe_{11}Ti$ 合金を作製し、723 K で N_2 または CH_4 ガス中で窒化または炭化処理を行った。処理前の異方性磁界は 1.9 T であったが、N 侵入型磁石の異方性磁界は 4 T となり、C 侵入型磁石の異方性磁界は 8.9 T となった。

N 侵入型では飽和磁化の変化は見られなかったが、C 侵入型では 140 Am^2/kg から 107 Am^2/kg に減少した。Fe の 8i サイトを C が占有するためと推定している。

BCMaterials(Spain) の Martin-Cid らは、液体急冷法で $Sm_{1-x}Ce_xFe_9Co_2Ti$ 薄帯 (x=1, 0.75, 0.5, 0.25) を作製し、700-800℃で熱処理した。$CeFe_9Co_2Ti$ を 35 m/s で作ると非晶質で保磁力が小さく、15 m/s の場合は 540 Oe となった。一方、$Ce_5Sm_5Fe_9Co_2$ の場合は 15 m/s で 1,404 Oe となった。熱処理後はそれぞれ 778 Oe と 2,010 Oe となった。

豊田中央研究所の佐藤らは、マグネトロンスパッターで $NdFe_{12}N_x$ を試作した。下地を Cr や Mo にした場合には Nd_2Fe_{17} 相が主に生成した。一方、V を下地にした場合には $NdFe_{12}$ 相が生成できた。ただし、軟磁性相で飽和磁化は 1.2 T であった。これを 500 ℃で窒化処理した結果、飽和磁化は約 1.7 T、異方性磁界は 64 kOe となった。

静岡理工科大の久野らは、永久磁石として期待される $(Nd_{0.7}Zr_{0.3})(Fe_{0.75}Co_{0.25})_{11.5}Ti_{0.5}N_{\beta}$ (β =0.6-3.4) 化合物の窒化のメカニズムについて調べた。24 時間でβ =1.0 にするためには、N_2 と N_2-H_2 ガスでは 673 K 必要だが、NH_3-H_2 では 498 K で十分である。活性化エネルギーはそれぞれ 100 kJ/mol と 40 kJ/mol である。

TU Darmstadt (Germany) の Ener らは、液体急冷法で作製した $(Sm,Zr)(Fe,Co)_{9-12}$ 化合物の窒素導入前後の構造及び磁気特性を調べた。$(Sm,Zr)(Fe,Co)_9N_x$ の飽和磁化は 153 Am^2kg^{-1}、異方性磁界 1.5 T であり、$(Sm,Zr)(Fe,Co,Ti)_{12}$ の飽和磁化は 148 Am^2kg^{-1} であった。

Ce 利用磁石

CNITECH (中国) の Fan らは、2 合金法で Nd-Ce-Fe-B 焼結磁石を試作した。50 wt% の $Nd_{30.5}Fe_{bal}Al_{0.1}Cu_{0.1}B$ と 50 wt% の $(Nd_{0.5}Ce_{0.5})_{30.5}Fe_{bal}Al_{0.1}Cu_{0.1}B$ を混合して作製した焼結磁石は、$(Nd_{0.75}Ce_{0.25})_{30.5}Fe_{bal}Al_{0.1}Cu_{0.1}B$ の単一組成で作製した磁石に比べて、保磁力が 10.3 kOe から 12.1 kOe、残留磁化が 13.1 kG から 13.3 kG、BH_{max} が 39.44 MGOe から 40.56 MGOe に向上できた。また、温度変化率もαが 0.12 %/℃から 0.10 %/℃へ、βが 0.59 %/℃から 0.56 %/℃へわずかに改善できた。

トヨタ自動車の矢野らは、液体急冷法で $Ce_{13.8}Fe_{75.7}Co_{4.5}B_{5.7}Ga_{0.4}$ 合金を作製後熱間加工で異方性磁石にした。これを 40 wt% の Nd-Cu と一緒にして熱処理した結果、保磁力が 0.03 T から 0.64 T に高めることができた。結晶粒径は c 軸が 317 nm、c 面が 570 nm であった。主相の表面付近の Ce は Nd で置換されていた。

CISRI(中国) の Feng らは、$Nd_{30.5}Fe_{bal}B_1$ を $(Ce_{0.6}RE_{0.4})_{30.5}Fe_{bal}B_1$ と混合して 2 相微細組織の Ce-Nd-Fe-B 焼結磁石を試作した。BH_{max} は 50 wt% Ce で保磁力が≧ 10 kOe で BH_{max} が 21 MGOe、20 wt% Ce で保磁力が≧ 12 kOe で BH_{max} が 45 MGOe となった。近くにある高保磁力の Nd-Fe-B 粒によって $(Ce_{0.6}RE_{0.4})$-Fe-B の保磁力が高められると考えている。中国では Ce 磁石が 2015 年には 2000 トン生産されており、2016 年には 5000-6000 トンに達すると報告している。

華南理工大 (中国) の Zhao らは、Ce 置換の $(Nd_{1-x}Ce_x)_{25}Fe_{40}Co_{20}Al_4B_{11}$ 磁石を注入型の鋳造法で試作した。Ce 置換量が増えると保磁力が 1,140 kA/m(x=0) から 591 kA/m(x=0.15) に減少し、その後 863 kA/m(x=0.3) まで増大した後に再び減少する結果となった。x>0.4 で保磁力が減少するのは異方性磁界の減少のためと考えている。

トヨタ自動車の伊東らは、液体急冷法で $Ce_{13.8}Fe_{75.66}Co_{4.46}B_{5.66}Ga_{0.38}$ を作製した。その後熱間加工で厚さを 80 % 減ずることで配向磁石とした。配向度は 0.9 であった。970 K の温度で 360 分間液状の $Nd_{70}Cu_{30}$ を粒界に浸透させた。保磁力は、10 wt% 時 0.41 MA/m、40 wt% 時 0.67 MA/m となった。

Fraunhofer ISC (Germany) の Poenaru らは、液体急冷法で $(Nd_{1-x}Ce_x)_{13.6}Fe_{73.6}Co_{6.6}Ga_{0.6}B_{5.6}$(x=0,0.1,0.2,..0.5) を作製後 725 ℃でホットプレスした。Ce 量が増加すると磁化は単調に減少し、保磁力も減少するが、x=0.3 で突然一度保磁力は増加し (11.5 kOe) その後再び減少する結果となった。

NIRDTP (Romania) の Grigoras らは、30 m/s のスピードの液体急冷法で $Ce_{14}Fe_{80}B_6$ 薄帯を作製し 700 ℃で 20 分熱処理した。保磁力は 5.2 kOe、角形性は 0.67、飽和磁化は 133 emu/g で BH_{max} は 4.8 MGOe となった。

CNITECH(中国) の Chen らは、SC 法で $Pr_{4.4}Nd_{17.6}Ce_{8.5}Al_{0.1}Cu_{0.1}Fe_{68.3}B_1$ (wt.%) 合金を作製して 3 μ m の微粉にした後、1 wt% の $Ce_{92}Fe_8$(wt%) 粉末 (1.4 μ m) と混合して焼結磁石を試作した。B_r は 12.46 kG、保磁力は 14.02 kOe、BH_{max} は 34.77 MGOe となった。粒界の厚さは 8.4 nm であった。$Ce_{92}Fe_8$ は Nd リッチ相の融点より低い温度で分解することがポイント。

熱間加工磁石

大同特殊鋼の秋屋らは、熱間加工で作られる MQ3 の保磁力を高めることを目的に、主相間の磁気的な結合を弱めるため低融点共晶合金を粒界に浸透させる試みを行った。その結果試料厚さが 20 % ほど膨らむことになる。520 ℃の共晶温度を有する $Nd_{70}Cu_{30}$ を 650 ℃で 3 時間処理した。量が多くなれば保磁力は増大するが逆に磁化は減少した。

TU Darmstadt (Germany) の Sawatzki らは、熱間加工磁石の保磁力を高めるため Dy や Tb の粒界拡散を試みた。その際、$Dy_{70}Cu_{30}$ や $Tb_{70}Cu_{30}$ の合金の融点は $Nd_{70}Cu_{30}$ に比べて高いため、$Dy_{20}Nd_{50}Cu_{30}$ や $Tb_{20}Nd_{50}Cu_{30}$ にして融点を下げて使用した方が効果が高いと報告している。

釜慶大学校 (韓国) の Kim らは、$Nd_{13.6}Fe_{73.6}Co_{6.6}Ga_{0.6}B_{5.6}$ 熱間加工磁石の電気抵抗を高めるため DyF_3-LiF 共晶塩を使用した。5 wt% 付けることで B_r11.8 kG、H_{cj}18 kOe、ρ 400 μΩ・cm となった。(処理前は 13 kG、12.5 kOe、180 μΩ・cm)

CISRI(中国) の Guo らは、$(Nd,Pr)_{28}Fe_{bal}Co_4Ga_{0.5}B_{0.9}$(wt%) 熱間加工磁石の保磁力向上のため $Pr_{85}Cu_{15}$(wt%) で処理した。添加無しで H_{cj}9.4 kOe、BH_{max}51.6 MGOe の磁石が 3 % 添加することで Hcj15.1 kOe、BH_{max}44.6 MGOe となった。

交換スプリング磁石

三徳の後藤らは、液体急冷法で交換スプリング磁石 $Nd_9Fe_{81-x}B_{10}Ti_x$(x=0,3,4 at%) を試作した。保磁力は 0.26 T (x=0)、0.84 T(x=4) となった。

NUST MISiS(Russia) の Savchenko らは、液体急冷法で $Nd_{10.4}Zr_{4.0}Fe_{75.1}Co_{4.1}B_{6.4}$ 合金を作製した。$Nd_2Fe_{14}B$ の他にα -Fe、Nd_2Fe_{17} 軟磁性相が存在する。520-550℃で熱処理した結果 H_{cj} は 700-750 kA/m が得られた。

南昌航空大 (中国) の Huang らは、液

体急冷法で作製したナノ結晶 NdFeB 磁石粉 45 μ m の粒子の固化を SPS で試みた。0.83 T、1,516 kA/m, 118 kJ/m^3 の等方性磁石が得られた。

高保磁力化

DMEGC(中国) の Hao らは、Dy や Tb を使わずに結晶粒の微細化により高保磁力化を検討した。$(Pr_{25}Nd_{75})_{31}Cu_{0.1}Co_{1.5}$-$Al_{0.3}B_1Fe_{bal}$(wt%) で B_r=13.22 kG、H_{cJ}=19.01 kOe、$(BH)_{max}$=43 MGOe $(Ce_{50}Pr_{12}Nd_{35}Ho_3)_{33}B_1Fe_{bal}$(wt%) で B_r=10.77 kG、H_{cJ}=9.61 kOe、$(BH)_{max}$=26.66 MGOe が得られた。

日立製作所の山本らは、NdFeB 焼結磁石の粒界幅と保磁力の関係を調べ、平均の粒界幅が約 1.2 nm から 2 nm に広がるにつれ保磁力は約 700 kA/m から 1,100 kA/m に増大する結果を示した。LLG シミュレーションに合う結果であるとしている。

国立中正第 (台湾) の Shih らは、NdFeB 焼結磁石の保磁力を高めるためスパッタ用いた GBD 法を検討した。初期値 16 kOe が $Dy_{85}Cu_{15}$ と $Dy_{94}Al_6$ を 6 μ m 付けて処理した結果、BH_{max} の低下を抑えて、それぞれ 21.3 kOe、21.9 kOe が得られた。

フェライト

Siemens (Germany) の Rhein らは、保磁力向上を目的として 45-808 nm 粒径の $SrFe_{12-x}Al_xO_{19}$ 粉を作製するプロセスを開発した。x=0 の場合 H_{cj}=440 kA/m、B_r=74 Am^2/kg が x=4 で H_{cj}=779 kA/m、B_r=23 Am^2/kg が得られた。

ARCI(India) の Gautam らは、粉砕後 1 μ m のメッシュで篩った後 1000-1200 ℃で熱処理することで球状で保磁力 440 kA/m、飽和磁化 70 Am^2/kg を有する $SrFe_{12}O_{19}$ 粉末を作製した。

磁石加工法

長崎大学の中野らは、PLD 法で Si 基板上に Nd-Fe-B 膜を作製した。ダイシングで剥離などが起きない 160 μ m 厚さの試料を作製することに成功した。

Birmingham 大 (Germany) の Farr らは、ハードディスクで使われた VCM 用焼結磁石のスクラップを用いて射出成形磁石の試作を行った。スクラップは水素処理で粉末にしてハードディスクから取り出し、不純物を取り除いた後 90 μ m 以下に分離し、900 ℃ 1200 mbar で HDDR 処理をした。原料組成は $Nd_{25.7}Pr_{3.4}Dy_{1.3}Al_{0.3}Fe_{66.8}Co_{1.3}B_1$(wt%) であった。PA-12 と混合して 500 mT の磁界印加でボンド磁石とした。B_r=0.64 T, H_{cj}=623 kA/m, BH_{max}=61.7 kJ/m^3 が得られた。BH_{max} の SD 値は 0.34 kJ/m^3 であった。

北京工業大 (中国) の Liu らは、ケイ酸ナトリウムをバインダとして使うことで Nd-Fe-B 高耐熱用途ボンド磁石を開発した。従来のエポキシ系ボンド磁石に比べて磁化および保磁力の温度係数が良好であり、200 ℃以上の温度で使用可能かつ、耐候性にも優れていると報告している。

OBE(Germany) の Burkhardt らは、水素処理で得た NdFeB 焼結磁石のリサイクル粉を用いて MIM 法で磁石を試作した。特殊なバインダーを用いて希ガス中で取り扱い、ヘプタンでバインダー除去を行うとともに、加熱速度を 0 . 5 K/min とすることで炭素と酸素を十分取り除くことができた。その結果、等方性品で、B_r=0.57 T、H_{cj}=970 kA/m の磁石が得られた。

Fraunhofer IFAM (Germany) の Weck らは、MIM 法で Nd-Fe-B 焼結磁石を試作した。バインダーにはポリエチレン、ワックス、ステアリン酸混合物を用いた。脱バインダーは水素雰囲気で 0.1 K/min の速度、焼結はアルゴンガス中 1080 ℃で行った。58 vol% で行った場合、密度 7.47 g/cm^3、配向度 93、B_r1.19 T、BH_{max}261 kJ/m^3、 60 vol% で行った場合、密度 7.49 g/cm^3、 配向度 90、B_r1.12 T, BH_{max} 229kJ/m^3 重希土を含まない場合は、58 vol% で行った場合、密度 7.57 g/cm^3、配向度 96、B_r1.25 T、BH_{max} 281 kJ/m^3 となった。

その他

国立中正大 (台湾) の Chang らは、Co_7Hf 基の薄帯を液体急冷法 (45 m/s) で作製し $Co_{88}Hf_{12}$ と $Co_{85}Hf_{12}B_3$ の磁気特性の比較をした。H_{cj} は 1.5 ⇒ 3.1 kOe、BH_{max} は 2.6 ⇒ 8 MGOe T_c は 790 K⇒830 K となった。B は Co_7Hf にインターシティシャル準安定相を形成する。

Aalen 大 (Germany) の Goll らは、$(Fe,Cr)_3Sn_2$ 金属間化合物を調べた。飽和磁化は J_s ～ 0.9 T 、異方性は K1~1.7 MJ/m^3、キュリー温度は T_c~612 K でかつ、K_1 は 373 K から 573 K の温度範囲で直線的に増大することが分かった。

UrFU(Russia) の Kudrevatykh らは、液体急冷法で Sm_5Fe_{17} 薄帯を作製し直径 4.8 ㎜高さ 4 ㎜、密度 7.29 g/cm^3 の円盤に成形した。50 kOe での着磁で Br 4.37 kG、H_{cj} 24.5 kOe、BH_{max} 4.3 MGOe となった。また、150 kOe の着磁でも飽和出来なかったが、B_r 4.57 kG、H_{cj} 26.5 kOe、BH_{max} 4.7 MGOe となった。

Texas 大 (USA) の Gandha らは、Co ナノワイヤー 15 nm 径 , 200 nm 長さで 12.5 kOe の保磁力が得られた報告している。この試料で 44 MGOe の BH_{max} になるとしているが、密度を上げたら駄目になることを理解していないのではないかと思われる。

Vacuumschmelze(Germany) の Uestuener らは、$Sm(Co,Fe,Cu,Zr)_x$ 型の磁石の欠点である低飽和磁化を改良するため Co を Fe で置換し Cu 量を減ずる試みをした。Fe 1 wt% 当たり 0.01-0.02 T 増加し、また Cu 1 wt% 当たり 0.05 T 減少することが分かった。Fe 量が多くなるとセル構造が見られなくなり、保磁力が減じ角形性が悪くなるため難しいが、最適条件で B_r=1.2 T、BH_{max}=262 kJ/m^3、H_{cb}=870 kA/m が得られた。

NCSR Demokritos(Greek) の Glannopoulos らは、FeCo 薄膜の磁気特性を検討した。[$Fe_{45}Co_{55}$(3 nm)/$Au_{30}Cu_{70}$(1 nm)]12 層をマグネトロンスパッタ法で作製した。FMR で求めた結晶磁気異方性は 0.4 MJ/m^3 であり、保磁力は 850 Oe であった。

三菱製鋼 (タイ) の松下らは、Fe-15%Co-21Cr-0.8~1%V-1%Ti 組成の合金の熱処理条件を検討することで、高 Br 磁石の商品化に成功した。B_r は 15.0-15.5 kG H_c は 550-610 Oe BH_{max} は 5.5-6.5 MGOe である。

BRATS(Brazil) の Campos らは、ここ 2 年でブラジルの 2 箇所の鉱山で希土類酸化物の分離が可能になったと報告した。CBMM では 75%Nd25%Pr のジジムを年に 20,000 トン生産可能であり、Serra Verde は多量の重希土類を含むイオン吸着鉱である。金属のジジムとネオジムも電解法で作製する技術が開発済みである。ブラジルでは Pr や Nd は Nd と Ta の副産物であり、Td や Dy も Sn 鉱からの副産物として産出されるため経済的メリットがある。今後ブラジルで生産される希土類磁石はブラジルの原料を使って作られることになる。