

## 未来の永久磁性材料を占う

広島大学 総合科学部  
教授 藤井博信



最近の希土類ボンド磁石の進歩は目覚ましいものがある。結晶粒の微細化技術の向上と相まって、 $(BM)_{max} = 20 - 25 \text{ MGe}$  を目標とした開発研究でしのぎを削っている。ここでは、材料開発の研究に携わってきた立場から、これまでの希土類磁石の歴史を振り返り今後を占ってみる。

私が希土類磁石と関わりを持つようになったのは約28年前にさかのぼる。当時、希土類金属はキュリー点が室温以下と低いが、磁気モーメントは大きくかつ極めて大きな結晶磁気異方性をもった材料であることが判り、磁性研究者にとって興味を引くものであった。鉄、コバルト、ニッケルと合金化することによって、キュリー点を上昇させ上記特性を生かした磁石材料の開発研究が開始された。私達は、希土類R-コバルトCo系化合物に注目し、 $\text{RCO}_5$  単結晶の特気特性の系統的的研究に着手した。その中で、サマリウム・コバルト化合物 $\text{SmCo}_5$  が異常に大きな一軸磁気異方性を有し、特異な異方性の温度依存を示すことを明らかにした。 $\text{SmCO}_5$  化合物が磁石として実用化されたのも同じ時期であったと記憶している。その後 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  化合物中に $\text{SmCO}_5$  を網の目状に析出させた、いわゆる析出硬化型磁石が発見された。これを機会に、希土類磁石の需要は1992年を除くと年々成長を続けている。中でも、ボンド磁石は複雑な形状や薄肉の形状を良好な寸法精度で作製できることから、コンピューターやOA機器の軽量小型モーター用として飛躍的な伸びを示してきた。

1980年代に入ると、資源的に問題のあるコバルトやサマリウムを含まない、より安価な磁石材料の開発を目指した研究(鉄をベースにした希土類化合物)が開始された。一般に、希土類と鉄の二元系化合物は総じてキュリー点が低すぎ実用材料にはなりえなかった。そこで、第3元素を導入することによって鉄-鉄間の距離を増加させ、キュリー点と磁気モーメントの上昇をねらった三元系希土類鉄化合物の探索研究が始まった。1983年ついに $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  をベースに

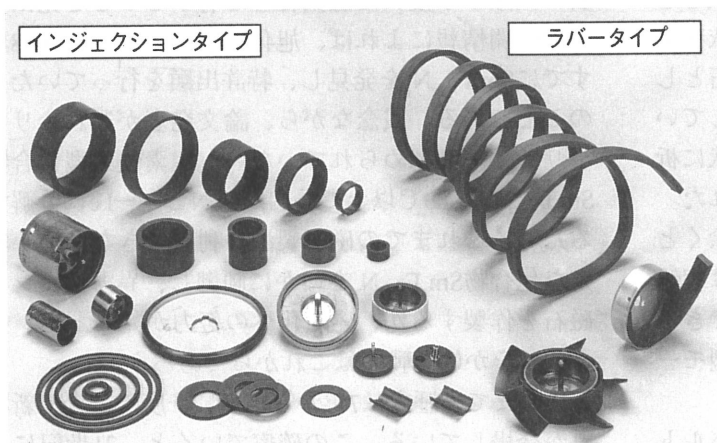
したネオジウムNd-鉄Fe-ボロンB焼結磁石が元住特金の佐川らによって開発され、同時に米国GM社のクロートらによって超急冷Nd-Fe-B系等方性ボンド磁石が開発された。この希土類磁石が現在最強磁石として広く利用されている。こうした新規永久磁石材料の開発研究に刺激されて、ヨーロッパ共同体では1985年に新しい永久磁石材料の開発を目指したプロジェクト研究CEAMをスタートさせた。従来の溶解による製法ではR-Fe-X (X: 金属系、非金属系第3元素) 系合金中にNd-Fe-B系永久磁石材料を越える程の磁気特性を有する金属間化合物を見出せなかった。そこで、第3元素の添加を溶解法から原子半径の小さいH, B, C, Nなど非金属元素を気相固相反応によって二元系化合物中に侵入させる製法に方向転換した。その結果、1990年CEAMのコーディネーターであるCoeyらのグループは $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  がNd-Fe-B磁石に匹敵する優れた磁気特性を有することを見出した。公開情報によれば、旭化成のグループは1988年すでに $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  を発見し、特許出願を行っていたとのことである。残念ながら、論文発表が遅れオリジナリティーは認められていない。窒素侵入型化合物 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  は $600^\circ\text{C}$  以上で $\text{SmN}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$  と $\alpha\text{-Fe}$  に分解するため、これまでの磁石製法は利用できない。準安定な化合物 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  をいかに制御し、異方性ボンド磁石を作製するか、磁石化への努力が始まった。生き残りをかけた戦いはこれからであろう。

これまでの歴史は7年から10年に一度の割合で新材料が登場している。この確率でいくと、21世紀に入ると次世代材料が開発されることを予想させる。最近、 $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$  中の鉄は $3\mu_B$  のジャイアント磁気モーメントをもつことが確認された。もしこれが正しいなら、現在の一電子近似による電子構造の解析では説明できない。酸化物中で見られるように電子相関が強い化合物中では $3\mu_B$  の鉄のモーメントは十分予想される。その場合、電気伝導性が低いため伝導電子を媒介にした希土類モーメントと鉄モーメントの相互

作用が弱く、磁気異方性の低下につながる。従って、電子相関があまり強すぎても永久磁石材料にはなりえない。そこで、酸化物、セレン、イオウ化合物ほどには電子相関が強すぎない $X=B, C, N, P, Si, Bi, Sb$ を含む化合物を考えるのが妥当であろう。鉄族元素としてはマンガン $Mn$ や鉄 $Fe$ を含んだ化合物( $T=Mn, Fe$ )が大きな飽和磁化につながる。従って、軽希土類化合物 $R-T-X$ 三元系または四元系化合物が考えられる。又、これまでの合金製法では限界がある。製法にも新しいブレイク・スルーが必要となろう。こうした探索研究や製法の開発は長いスパンで地道に進める事によって達成されよう。こうした地道な研究は、我々大学人のターゲットなのかもしれない。

# インジェクションタイプ & ラバータイプ

## 高性能



インジェクションタイプ (代表グレード)

品名	残留磁束密度	保磁力		最大エネルギー積
	Br(G)	bHc(Ce)	lHc(Ce)	(BH)max
NT-192 (フェライト系)	2820	2650	3200	1.9
NT-212 (フェライト系)	3000	2410	2660	2.1
NT-562 (ネオジウム系)	5420	4050	7192	5.7

ラバータイプ (代表グレード)

品名	残留磁束密度	保磁力		最大エネルギー積
	Br(G)	bHc(Ce)	lHc(Ce)	(BH)max
8E-37	2560	2220	3280	1.4
8E-180	2800	2270	2820	1.8
8E-230	3120	2320	2460	2.3

■主な扱い品目●押出、異方性プラスチックマグネット●マグネットシート●射出成形 (フェライト・ネオジウム) プラスチックマグネット

プラスチックマグネットの専門メーカー



株式会社 **マジックス**

本社 東京都中央区日本橋堀留町1丁目2番地15号  
(第3朝日ビル)

〒103 TEL.03-3664-6281 (代表) FAX.03-3664-9783