
永 久 磁 石 特 集

欧米磁石業界の現状.....	109
異方性合成樹脂磁石の特性.....	112
回転機用永久磁石の設計.....	117
磁石応用製品.....	128
バリウムフェライト磁石を用いたスピーカ磁気回路.....	139
冷間加工容易な永久磁石.....	148
回転子に永久磁石を用いた小形モータ.....	152

欧米磁石業界の現状
Present Situation of Magnet Manufacturing in Europe and U. S. A.

原 田 英 樹*
Hideki Harada

内 容 梗 概

1964年3月31日より約6ヶ月間粉末冶金および磁石製造技術習得のため、欧米へ出張した。本文はその概要をまとめたもので、これを資料として日立磁石の開発をさらに進めたい考えである。

1. 緒 言

粉末冶金および磁石に関する欧米の製造技術を調査するため、1963年3月31日より約6ヶ月間、ドイツ、フランス、イギリス、アメリカおよびカナダの粉末冶金および磁石に関する工場および研究所を訪問し、同時に滞在期間中開催された国際粉末冶金学会およびCo会議に出席した。主たる訪問先および製造または研究品種を第1表に示す。

2. 日立磁石の沿革および現状

日立金属工業株式会社で製造している日立の磁石は、日立長年の努力がみのり、今日ようやく量および質とも、世界にほこるべきところまで向上した。日立の磁石は計測器に用いられたのが初めてである。戦中戦後の焼入鋼時代に故辻田博士を中心とした日立多賀工場の応用品開発グループと故小柴博士を中心とした日立安来工場の材料グループの協力により、HJ, CHJ 鋼を用いたきわめて信頼性の高い日立の計測器が製造された。Alnico系YCM磁石、およびBaフェライトYBM磁石の開発が進むにつれ、磁石の応用範囲はスピーカをはじめとする家庭電気品および二輪車用ダイナモなどの回転機を中心として急速に広がり、需要家との協同開発に美しいハーモニーを演じつつ、安来工場の生産量は急増した。さらに磁石の仕事の第一歩は技術サービスにあるところから、磁石生産の大部分を、需要家に近い熊谷に移し、ここに日立の磁石の地盤が確立され、今日の発展をみるにいたった。現在量産中の磁石の磁気特性を第1~4図に、過去4年間の日立金属工業株式会社の生産実績を第5図に示す。

3. 欧米磁石業界の動向

自由世界の磁石業界はヨーロッパ大陸、イギリス、アメリカおよび日本の四大区分が可能である。この四地区はその発展の歴史、製造技術、主たる製品にそれぞれの特色がある。これをまとめたのが第2表である。この中にあった日本の技術は比較的高く、粉末冶金製品の一部をのぞけば、量および質とも世界をリードできる立場にあるといえよう。

3.1 ヨーロッパ大陸の現状

ヨーロッパ大陸の技術の中心はドイツおよびオランダの Philips 社である。イギリスに比べメーカーの数が少なく、一社当たりの生産量が多い。オランダの Philips、ドイツの DEW, Krupp Widia、および Bonn Magnet、フランス Ugine などが主たるメーカーである。生産されている磁石の50%がBaフェライト、40%が鋳造磁石、残10%が焼結アルニコおよびプラスチック磁石である。数年前の焼結アルニコの時代はすでに去っている。ドイツを中心として第二次世界大戦以降焼結アルニコが多量に生産されたが、その理由は鋳造高合金鋼の生産が戦後数年間禁止されていたこと、粉末冶金設備が超硬などの技術を通じて十分発達していたこと、粉末原料の

* 日立金属工業株式会社

第1表 磁石関係の主たる訪問先

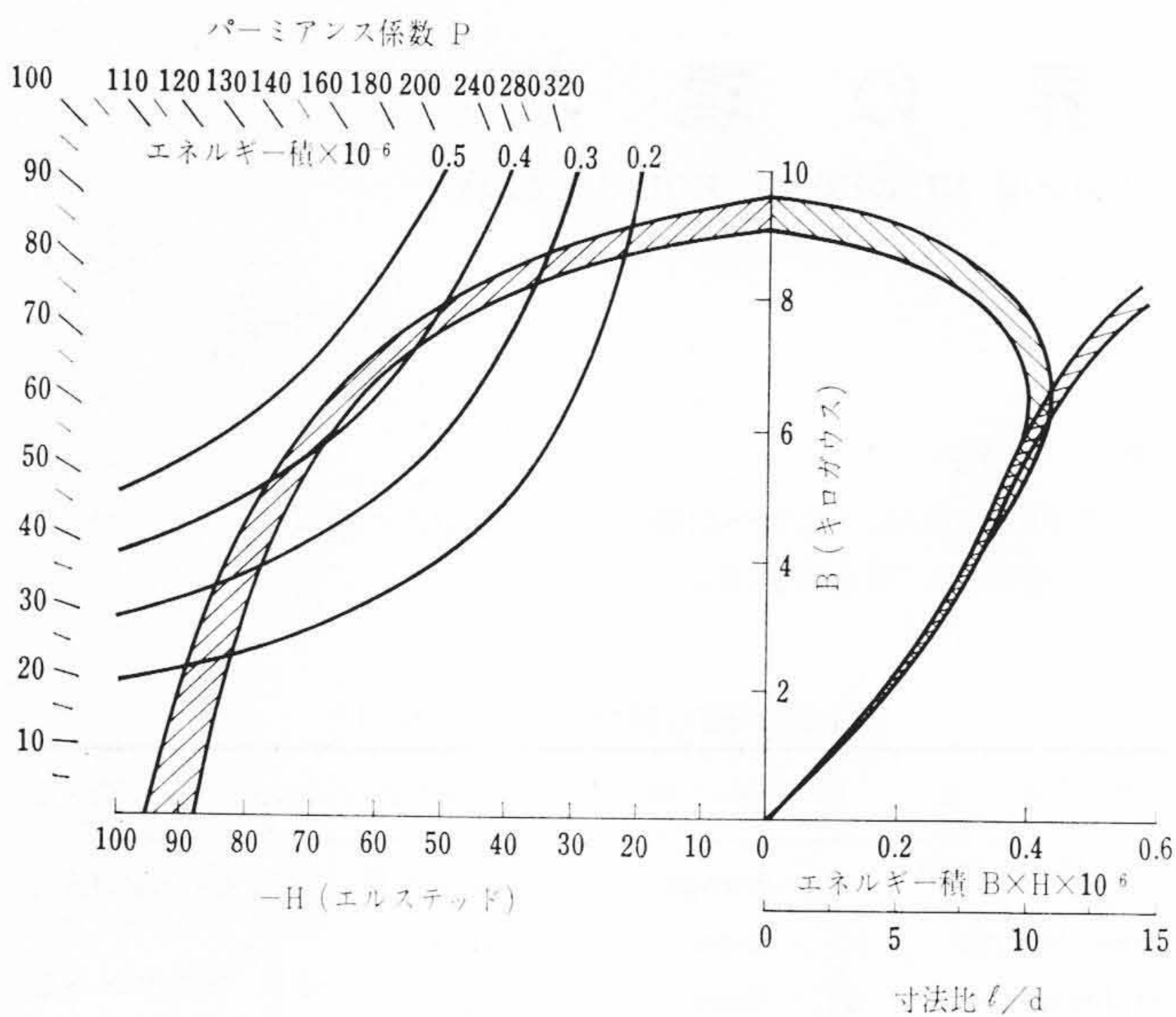
訪 問 先	所 在 地	主たる面接者	主生産または研究品種
Max Plank Institute	ドイツ Stuttgart	Rothenbach 氏	磁石、核材料、非鉄研究
Bonn Magnet	ドイツ Bonn	Heimke 所長	鋳造、フェライト磁石
Wallram	ドイツ Essen	Wild 社長	超硬、特殊粉末冶金生産
SEMAG	フランス Grenoble	Phanchard 所長	鋳造磁石の研究
Ugine	フランス Grenoble	Chontean 工場長	鋳造、フェライト磁石
Permanent magnet Association	イギリス Sheffield	Gould 所長	鋳造、フェライト磁石の研究
Mullard	イギリス London	McDongal 所長	鋳造、フェライト、トランジスタの生産
Parkin Elmer	イギリス London	Perker 部長	核磁気共鳴装置生産
G. E. Research Lab.	アメリカ Schenectady	Hibbard 部長	金属、セラミックの研究ほか
G.E. Edmore	アメリカ Edmore	Geoge 事業部長	鋳造、Lodcx の生産
Crusible Steel	アメリカ New Jersey	Haber 部長	鋳造、フェライト磁石
Indiana General	アメリカ Vipalaiso	Tenzer 部長	鋳造、フェライト磁石

第2表 世界の磁石業界の特色

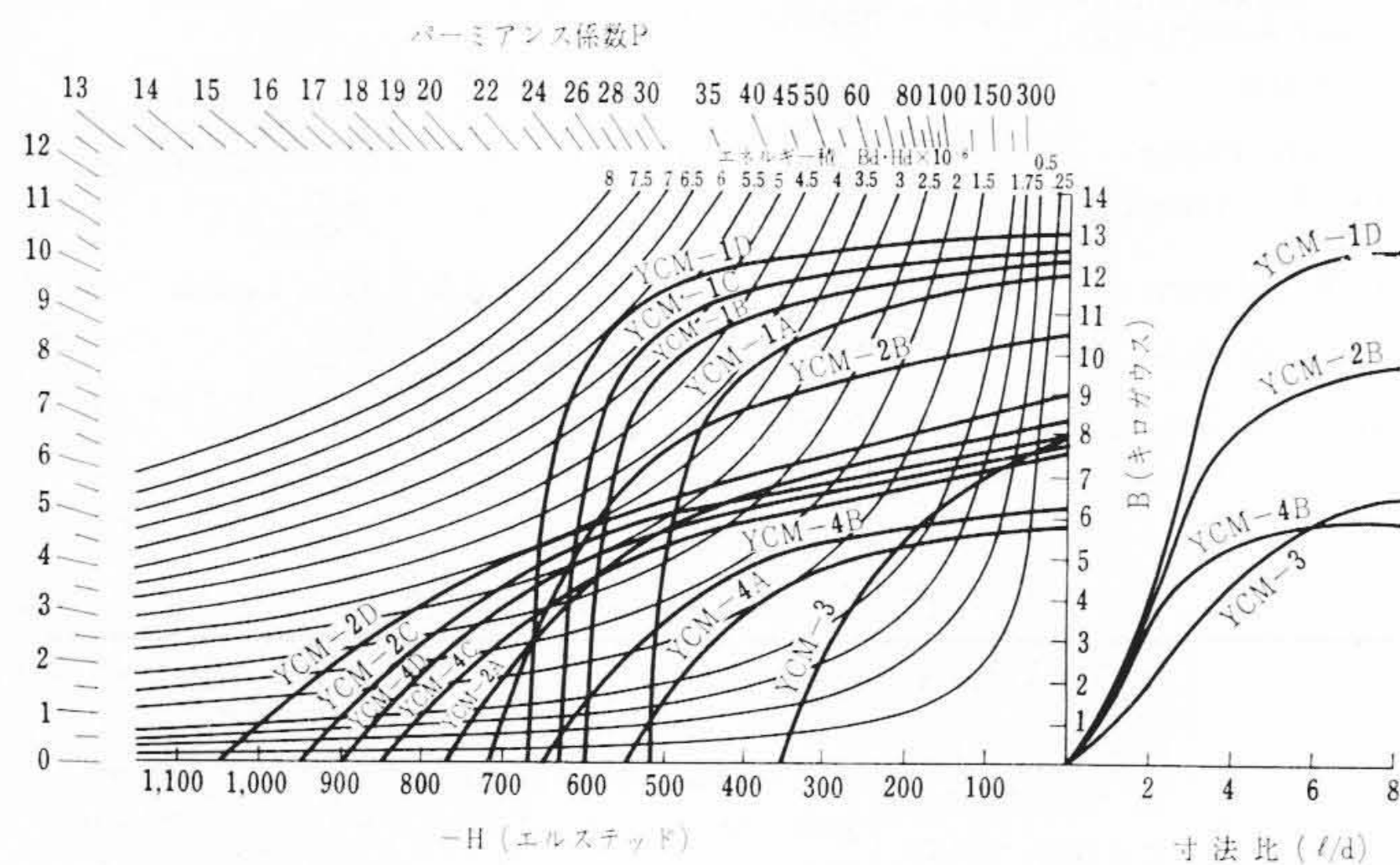
地 区 名	生産方式の特色	生産技術の特色	主 製 品	生産比率(%)
日 本	鋳造磁石を主体とし、大企業中心による量産、磁石単体販売	シエル 鋳込。連続 磁場冷却。乾式 磁場中プレス。	鋳 造 磁 石 フェライト磁石 ゴ ム 磁 石	80~85 15~20 0~5
ヨーロッパ大陸	フェライト磁石を主体とし、大企業中心による量産、磁石およびその加工品販売	磁石加工品加工技術乾式および湿式 磁場中プレス。プラスチック磁石	フェライト磁石 鋳 造 磁 石 プラスチック磁石 焼 結 アル ニ コ	50~60 30~40 10~20
英 国	鋳造磁石を主体とし、中小企業による生産。磁石単体販売	高性能大形磁石。 湿式磁場中プレス	鋳 造 磁 石 フェ ラ イ ト	75~85 15~25
米 国	鋳造磁石を中心とするが、フェライトの伸著しい。大企業中心、磁石およびその加工品販売。	高性能磁石。大形 湿式プレスフェライト磁石。	鋳 造 磁 石 フェライト磁石 ゴ ム 磁 石	70~80 20~30 5~10

在庫が豊富であったことなどによるのであって、特に焼結アルニコが必要とされたのではないようである。しかし現在の磁石の需要の数%の焼結アルニコは必然の需要であって、小形および異形品の分野にみられる。

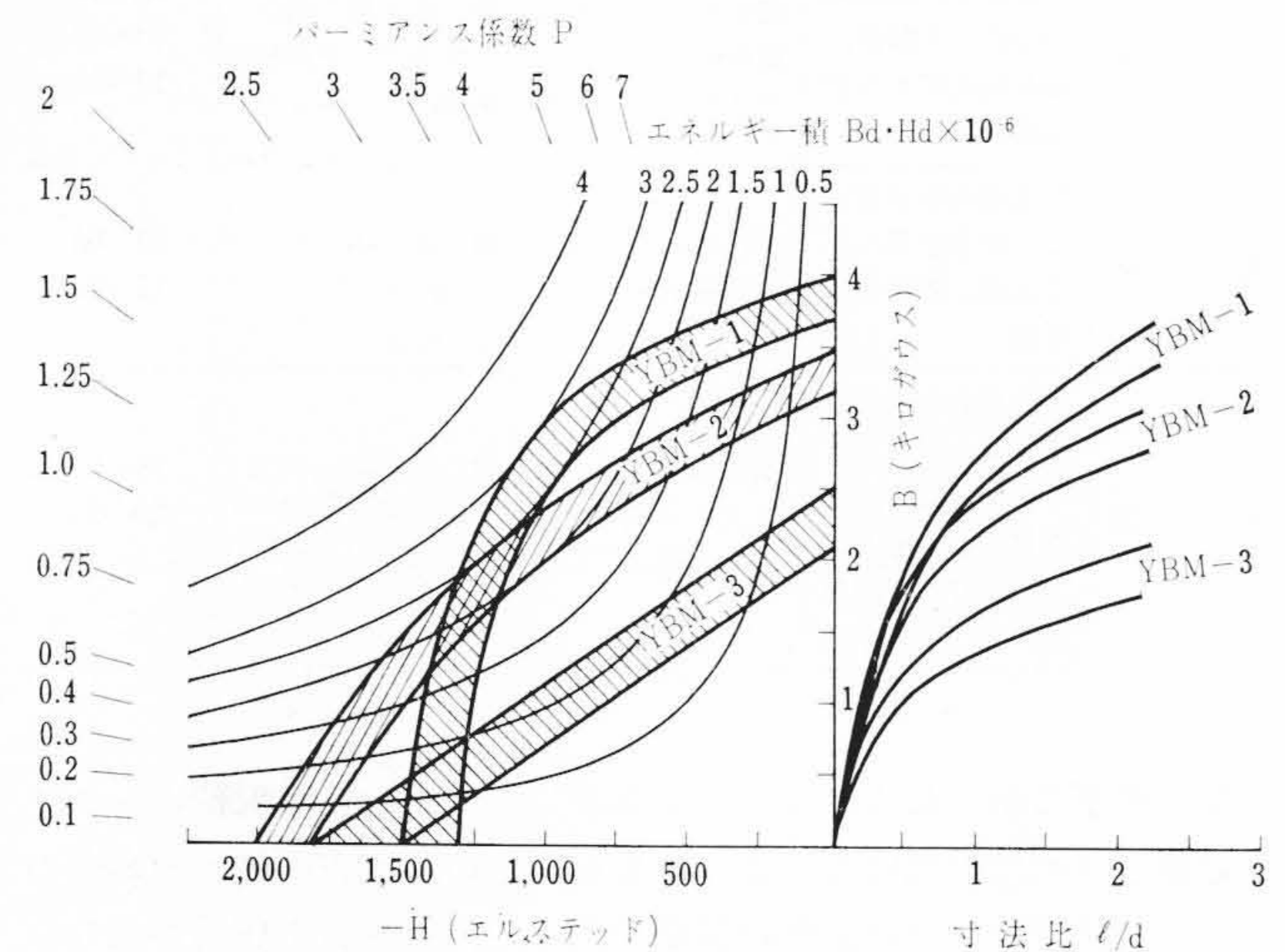
ヨーロッパ大陸特にドイツおよびフランスでは、磁石単体で磁石メーカーより販売されるよりも、磁気回路を付して販売されるものが多い。たとえばスピーカ用磁石はその70%がBaフェライトであるが、磁気回路をプラスチックで固化したものが磁石メーカーより出荷されている。したがって工場内部は磁石を製作する工場よりもその応用品を製作する工場のほうが大きいのが普通である。またDEWは特に回転機への研究に力を入れており、磁石式で鉄損0の1/2 HP 程度までのモータの開発を行なっている。工具用治具に磁



(減磁曲線, エネルギー積, 寸法比と見掛けの残留磁石密度)
第 1 図 日立鍛造マグネット CHJ 鋼の磁気特性



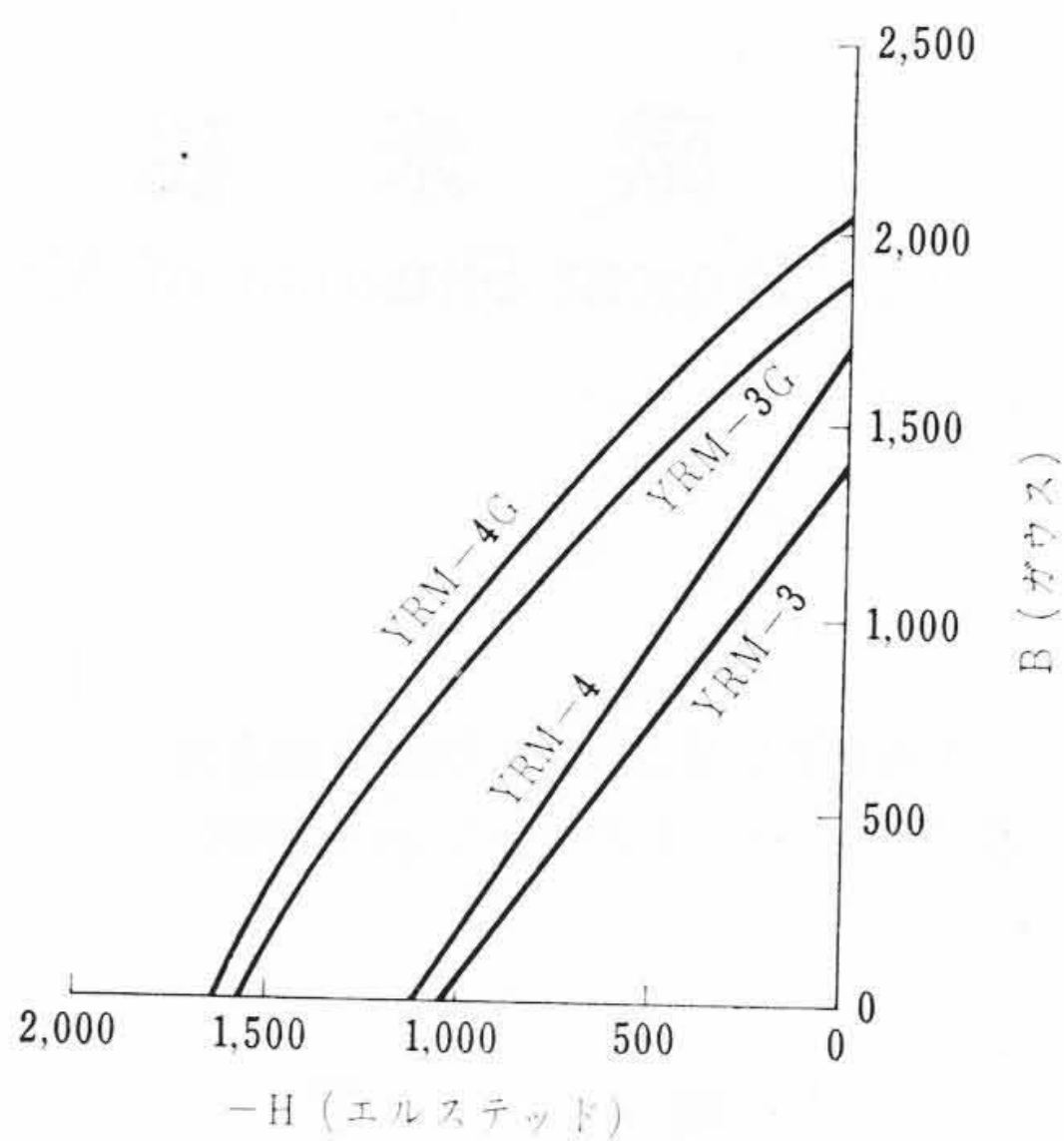
第 2 図 日立鑄造マグネットの標準磁気特性および寸法比と見掛け残留磁束密度



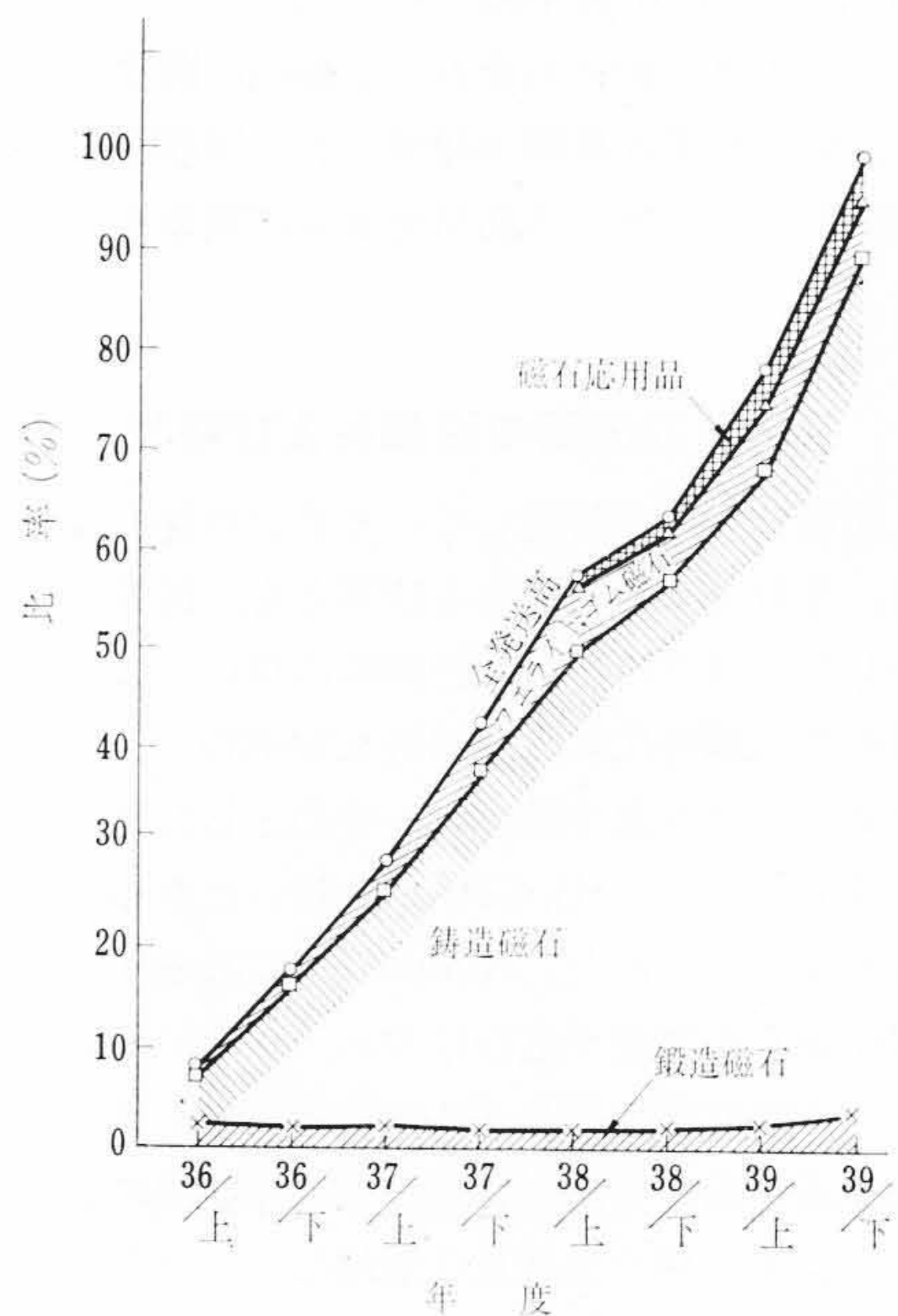
第 3 図 日立フェライトマグネットの磁気特性

石を応用することも活発である。

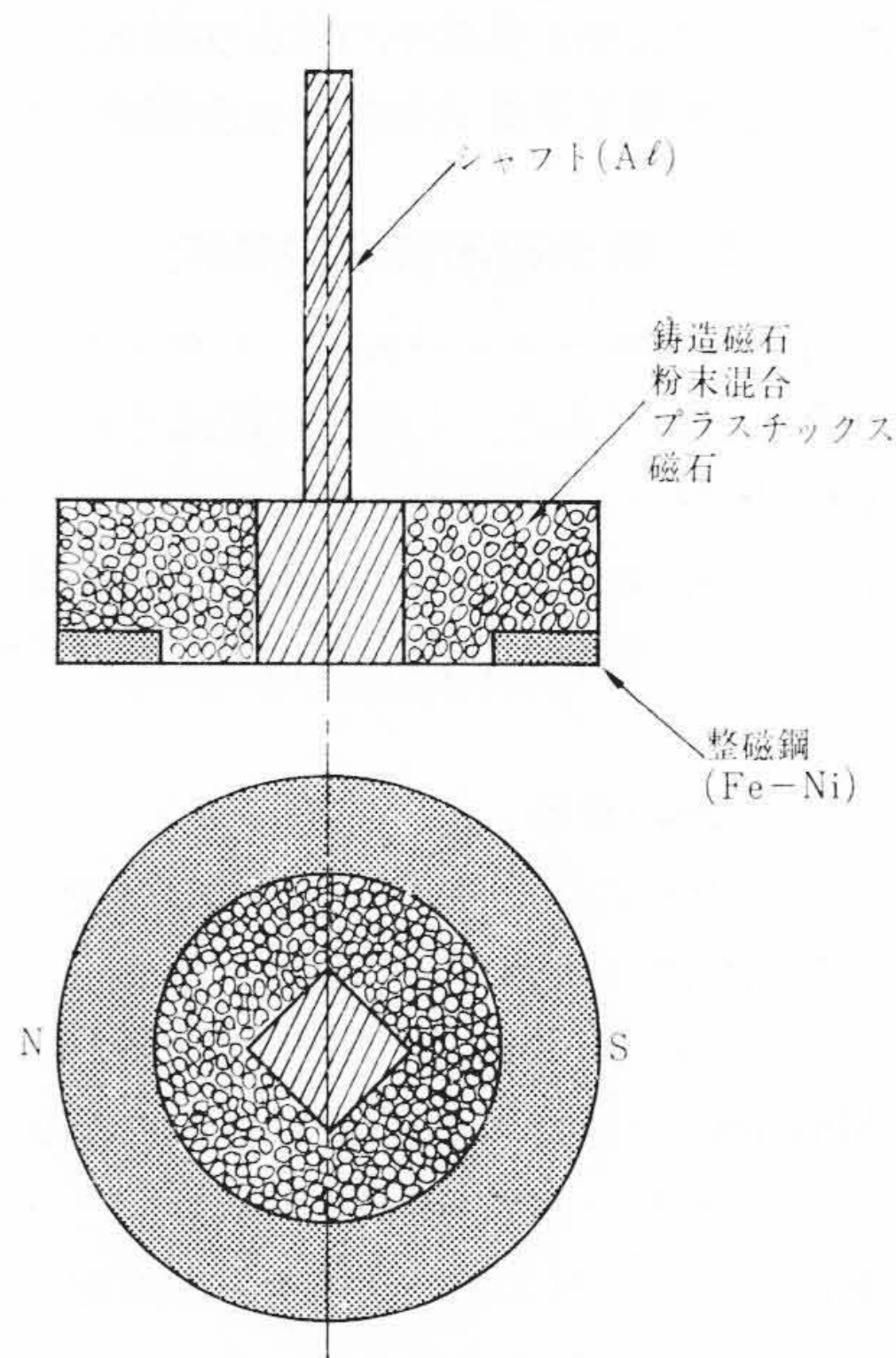
プラスチック磁石の進出も著しい。混入する磁石粉末には Ba フェライトの場合と鑄造磁石の場合とある。冷蔵庫用ひも磁石、マーク用磁石などは熱可塑性樹脂をバインダとし、押出による Ba フェライト粉末を混入したものである。スピードメータ、マイクロモータなど寸法精度を要するものには、鑄造磁石粉末を 95% 程度混入した、熱硬化性樹脂バインダの磁石が全盛である。特にシャフトや



第 4 図 ゴムマグネット (ヒメネット) の減磁曲線



第 5 図 日立金属の磁石生産発送実績



第 6 図 整磁鋼シャフトをともに成形せるプラスチック磁石

整磁鋼を成形時に固定せしめる技術は十分参考とすべきであろう。その実例を第 6 図に示す。

第3表 1963年西独の磁石生産実績

年 間 生 産 量	48,585 (K 個)	41,246 (KDM)
輸 出	307	6,214
輸 入	160	3,185

第4表 米国が1963年に輸入したスピーカ部品
(主として磁石)

輸 出 国	金 額 (\$)
カナダ	404
デンマーク	142
英国	5,962
フランス	20,128
西独	7,720
イタリア	758
日本	444,902
合 計	479,569 (\$)
	172,500 (k¥)

フェライト磁石は各社とも Philips の特許を用いて製造している。湿式異方性プレスは Philips 社の直系工場のみで行なわれており、一般は乾式異方性プレスによる $(BH)_m 3.0 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ 程度のものを量産している。

高性能鑄造磁石はゾーンメルト法および加熱型鑄造法は原価的に合わない結論されている。したがって各社とも発火鑄造型に研究の主力をおいている。しかし量産しているところは一社もない。Alnico 5 は鑄型の構造を改善して $(BH)_m 6.0 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ 以上を量産で実現し、また加工をはぶいて採算の向上をはかっている。湯口研摩の行なわれていない磁石をつけたスピーカが多い。第3表は西ドイツの1963年生産実績である。

3.2 イギリスの現状

イギリスは日本と同じように磁石研究の歴史が古く、メーカーの数も10社以上あり、一社当たりの生産量はヨーロッパ大陸の各社より平均して少ない。中でも Philips の子会社 Mullard と、Permanent Magnet Association の主力会社である Swiftlevik が大きい。イギリスでの特色は計器用高性能磁石の量産を行なっている点にある。核磁気共鳴用大形磁石の生産はすでに安定に行なわれている。需要量は鑄造磁石75%、フェライト磁石25%で、焼結アルニコおよびプラスチック磁石はまったくみられない。また磁石応用品の開発は特殊なものにかぎられ、スピーカ用磁気回路を磁石メーカーで製造する場合はまれである。鑄造磁石が生産の主力であるため、高性能磁石への研究意欲もきわめて盛んである。イギリスにおいてもゾーンメルト方式および加熱鑄型方式は採用されず、発火鑄型で一部量産されている。Alnico 5 系ばかりでなく、Alnico 8 の高性能化に力が入れられており、 $(BH)_m 9.0 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ のものが試作されている。

3.3 アメリカの現状

アメリカでは磁石の需要はきわめて大きい、製造メーカーの数は比較的少ないため、一社当たりの生産量はきわめて大きい。主たるメーカーは General Electric, Crucible Steel および Indiana General である。Ba フェライト磁石の特色が認識され、大形の8インチ以上のスピーカは Ba フェライトに変わった。需要量は鑄造磁石70%、Ba フェライト磁石25%程度で、その他各種の磁石がみられるが量は少ない。またアメリカの研究態勢はきわめてすぐれており、磁石の設計、新材質の発見および理論の各分野に参考とすべき

第5表 諸外国で量産されている代表的磁石

種 類	商 品 名	メーカ	磁 気 特 性			備 考
			B_r (G)	H_c (Oe)	$(BH)_m$ (G·Oe)	
焼結アルニコ	Oerstit 200	D E W	5,600	1,250	2.6×10^6	アルニコ V 相当
	Oerstit 300	D E W	7,000	800	2.4	
	Oerstit 400R	D E W	11,000	650	4.4	
鑄造アルニコ	Alnico I	各 社	6,600	540	1.4	等 方 性
	Alnico II	各 社	7,250	580	1.7	
	Alnico V	各 社	12,500	685	5.5	
	Alnico V	各 社	13,200	580	5.5	柱 状 晶
	Alnico VDG	各 社	13,100	700	6.5	
	Alnico VDG	各 社	14,200	610	6.5	
	Columax	イギリス	13,000	700	6.5	
	Alnico VI	各 社	10,500	760	3.65	
	Alnico VII	各 社	7,500	975	2.75	
	Alnico VIII	各 社	8,700	1,450	4.50	
	Alnico IX	Indiana General	10,700	1,500	9.0	
E S D	Lodex 31	G. E.	5,000	1,150	2.3	
	Lodex 32	G. E.	6,600	1,080	2.8	
	Lodex 41	G. E.	3,500	970	1.1	
	Lodex 42	G. E.	4,600	810	1.3	
Ba-フェライト	Indox I	Indiana General	2,200	1,825	1.0	等 方 性
	Indox V	Indiana General	3,750	1,900	3.4	異 方 性
	Oxit 100	D E W	2,200	1,600	0.8	等 方 性
	Oxit 300R	D E W	3,750	1,900	3.4	異 方 性
	Oxit 300K	D E W	3,600	2,200	3.2	
プラスチック	プラスチック	Bonn Magnet	3,200	640	0.6	鑄造磁石粉末
	ゴム磁石	Indiana General	2,000	1,500	0.8	Ba-フェライト粉末

点が多い。1963年のアメリカの磁石輸入実績は第4表に示すとおりである。

G. E. 社は Alnico 磁石の理論的研究の過程で針状微粉末 (E. S. D) 磁石 (Lodex) を実用化し、現在すでに量産中である。特に寸法精度の高い異形磁石への進出に期待をかけている。その公称公差はプレス方向 $\pm 0.004''$ 、径方向 $\pm 0.0005''$ である。しかし特性は焼結アルニコより悪く、生産ののびはかならずしもよくない。さらに蒸着法による ESD 磁石などへ研究の主力をおいている。ESD 磁石は今少し量産方式に改善が必要であろう。

Indiana General は高性能鑄造磁石の研究に力を入れている。特に $(BH)_m 9.0 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ のものを Alnico 9 として公表し量産にはいった。この製法も発火性鑄型の鑄造によっている。G. E. 社と同様基礎研究がさかんであり、Ba フェライトに関して、粒子の磁歪、形状異方性および結晶成長にみるべきものがあつた。

磁石の応用開発に対する研究は磁石メーカーにより強力に進められており、需要家への技術サービスとともに、自社内または協力会社の磁石応用品設計に合理的な値を与えている。Ba フェライトを使用した自動車用電装品、たとえば自動車用各種直流モータ、交流ダイナモなどの実用化が世界にさきがけて完成していることは、その一つの成果であろう。

最後に世界で量産している代表的磁石の諸特性を第5表に示す。

4. 結 言

以上のような欧米磁石業界の実情を参考とし、日立の磁石開発の歴史のうえに立って、今日および明日の発展を期したい。

最後に今度の海外出張に当たり種々ご指導にあずかった金材研橋本所長、東北大学白川博士、東京計器牧野博士、電気試験所長島博士、日立製作所および日立金属工業株式会社幹部各位その他関係諸氏に衷心より謝意を表する。