

ゴム磁石の諸特性について

Magnetic and Mechanical Properties of Rubber Magnets

進 藤 吉 三 郎* 原 田 英 樹**
Kichisaburō Shindō Hideki Harada

内 容 梗 概

日立金属工業株式会社独自の方法で開発研究されたバリウムフェライト磁石は、残留磁気 Br および抗磁力 Hc がともにすぐれているので、密度を向上せしめる焼結を行わずとも、ゴムをバインダーとして成型したのみで、非常にすぐれた磁性を示す。磁性はバリウムフェライト磁石粉末の体積混入率に比例して増減する。機械的性質はバリウムフェライト磁石粉末の混入量の増加とともにゴムとしての特性を失う。特に重量比で 88%，体積比で 59%以上混入されると急激に弾性を失う。しかしゴム磁石はバリウムフェライト磁石粉末のいかなる混入比率の場合でも、通常の工具で容易に加工ができ、かつ可とう性をもっているため、パッキング、家庭用品、教材、ロールその他の用途に適しており、今後も需要が増大していくものと考えられる。

1. 緒 言

磁性材料粉末をゴム、プラスチックその他と混合成型せしめて、充てん材の性質と磁性材料の性質とをあわせもつものを製作せんとする試みは、かなり古くよりみられている。たとえば昭和初期にすでにゴムおよびプラスチックと鉄粉との結合体が発表され、その後も各所で充てん材および磁性材料粒子にいろいろのものが用いられ、改良が加えられている^{(1)~(6)}。充てん材としては有機物質のみでなく、金属を用いる例もあり、磁性材料としては磁心および磁石材料に应用されてきた。このような成型方法は最近では、Mn-Bi⁽⁷⁾、形状異方性を利用した Fe-Co⁽⁸⁾ 合金などの微粉末を磁石として成型するのに応用されている。

当社においては、多年の研究によりバリウムフェライト磁石の成分および製造方法に多くの改良を加え、等方性および異方性ともにすぐれた特性のものを製造できるようになった。このバリウムフェライト磁石は抗磁力 Hc および残留磁気 Br がともに高いため、充てん材に対する磁石の比率をかなりおとしても、すぐれた磁性が得られるものと期待され、充てん材をゴムとするバリウムフェライトゴム磁石の試作研究を行った。このゴム磁石の試作研究は日立金属および明治ゴム両社の共同研究により完成し、最近に至って実用応用製品の需要も漸次増加している。したがってここにバリウムフェライトゴム磁石の諸特性を報告し、諸賢の参考に供する。

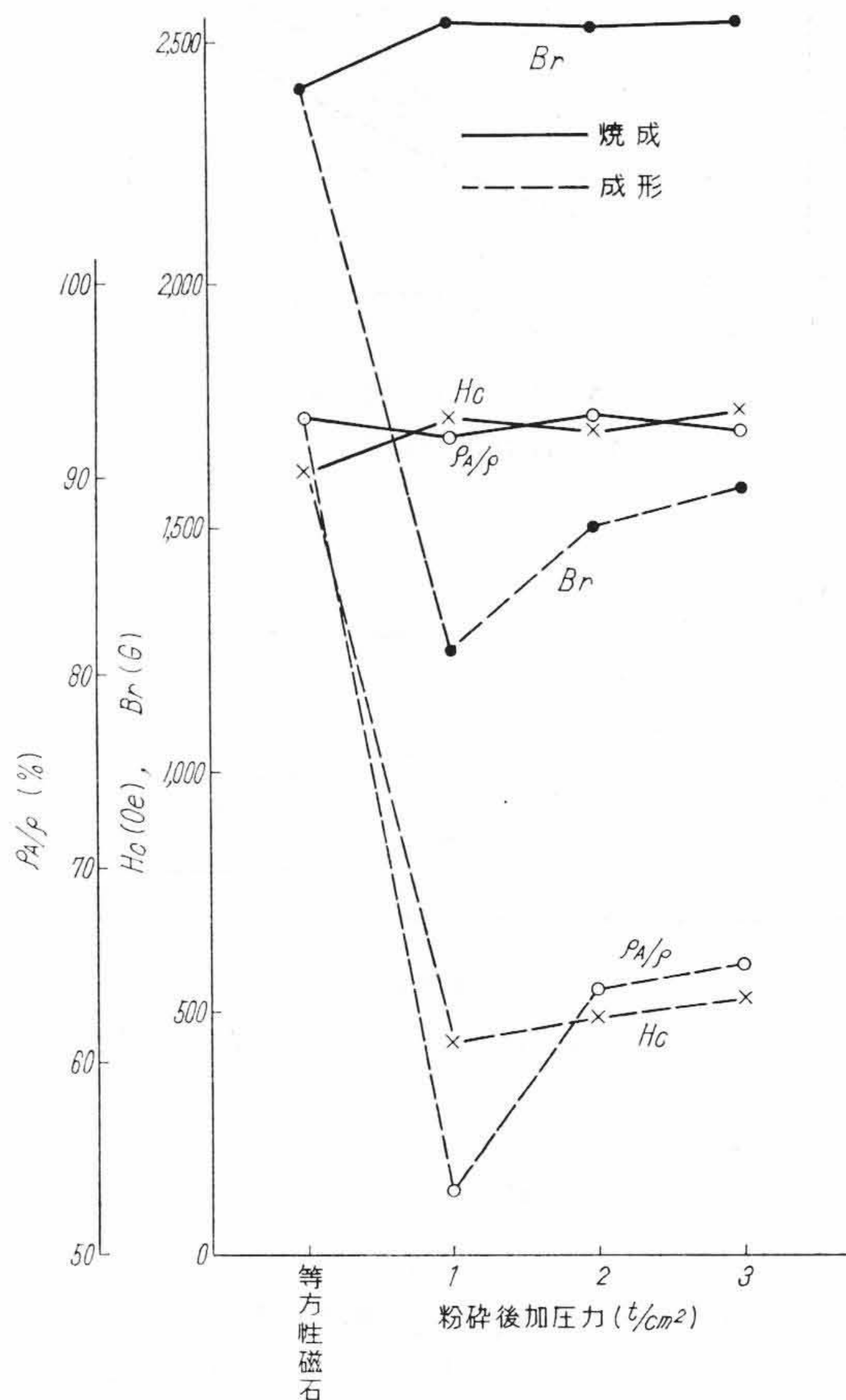
2. 試 料 の 作 成

ゴム磁石の試料は製品の一部から容易に切出すことができ、測定が可能であるが、標準的には次のように、磁気特性および機械的性質測定用試料を準備した。

ゴムの基礎配合に所定のバリウムフェライト磁石粉末とゴムとを混合し、磁気測定には 15φ丸棒を成型し、硬度その他の機械的性質測定には 7 mm 厚さの板を成型し、それぞれ所定の寸法に切断研磨して試料とした。

3. バリウムフェライト磁石粉末の特性

ゴムに混入するバリウムフェライト磁石粉末の磁気特性を第 1 図に示す。粉末の粒度はゴムに混入するに支障なく、かつ磁性に良好なものとした。見かけ密度による磁性の差を検討するため、加圧力を変え成型を行った。成型圧力の増加とともに見かけ密度は上昇し、密度比 63%，すなわち $\rho_A \div 3.3$ に達する。成型体の磁性は成型



第 1 図 バリウムフェライト粉体の特性

圧力の増加とともに増加し、3 t/cm² の場合、Br 1,550 G, Hc 520 Oe となる。これらの試料を焼成すると粉碎前よりも良好な特性を示し、かつ成型圧力の影響がほとんどみられない。これらの磁気特性を、密度比を X 軸として表示しなおすと第 2 図のとおり、Br は密度比に対してほぼ直線的に増減することがわかる。多孔質の見かけの Br_A より真の Br すなわち密度比 100% の場合の値は、(1) 式のように表示される。Br はほぼ 2,450 G と算出される。

$$Br = Br_A \times \frac{\rho}{\rho_A} \dots \dots \dots (1)$$

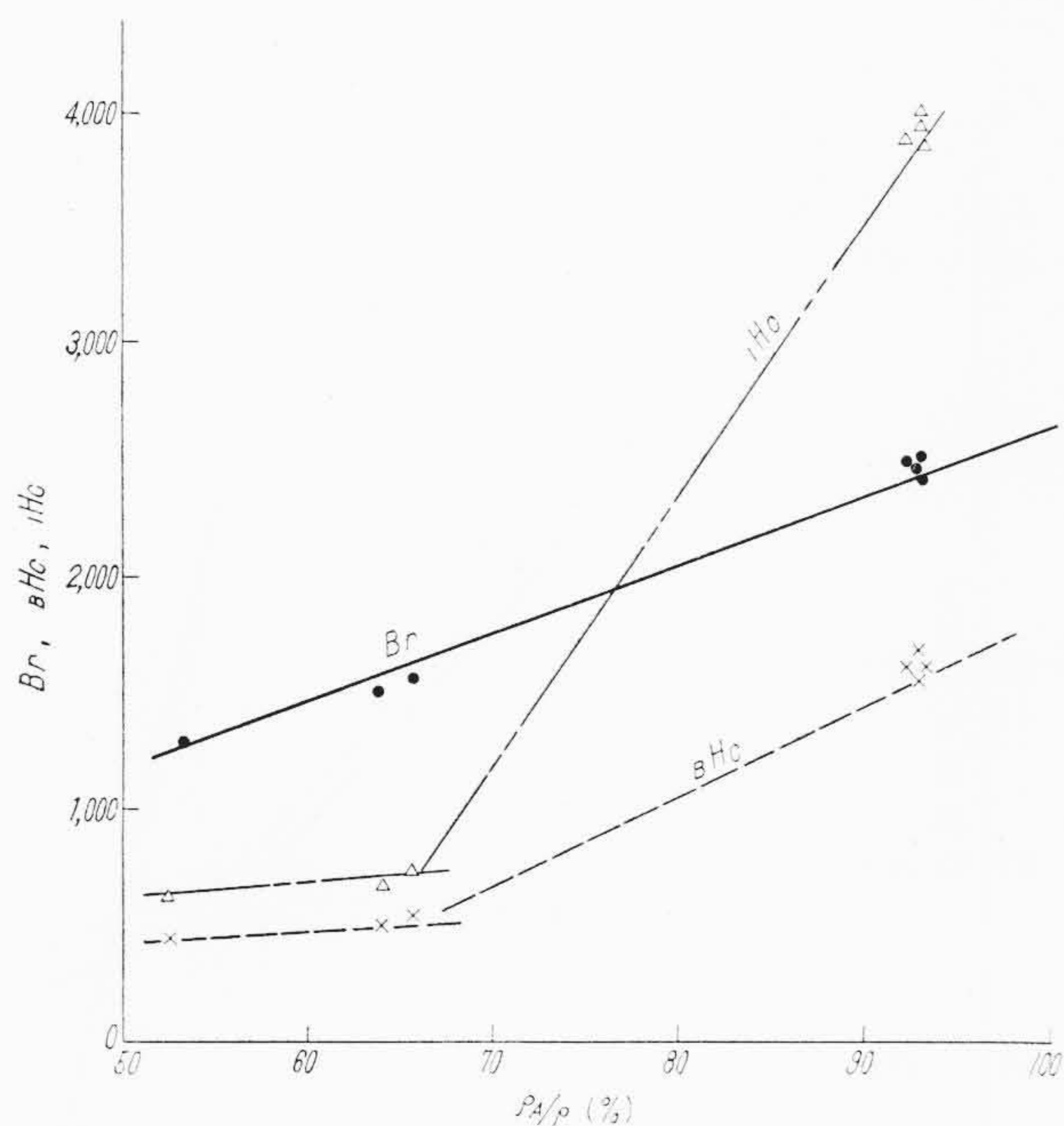
ここで、 ρ : 真密度

ρ_A : 見かけ密度

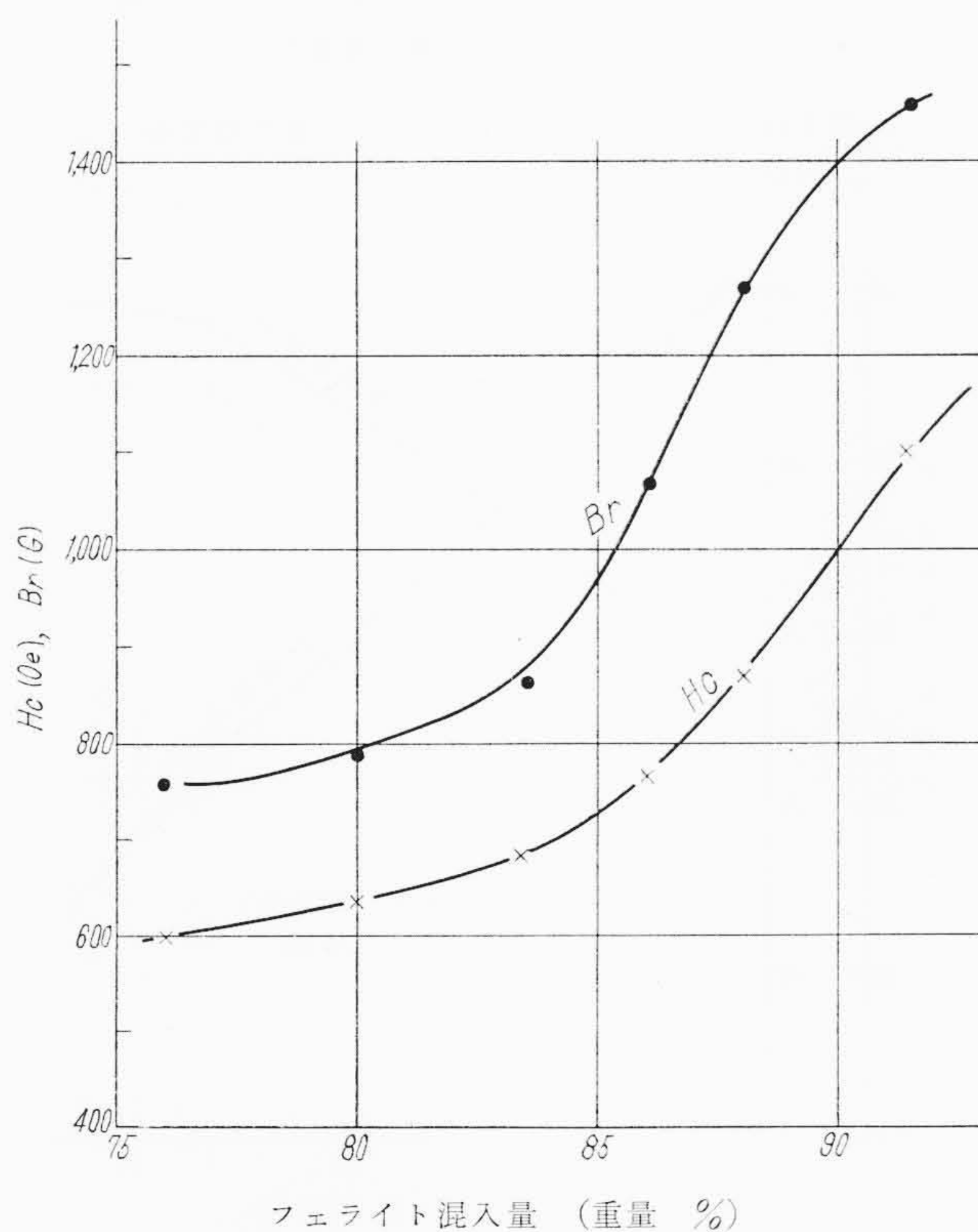
成型体の Hc は密度比の増加とともにわずかに増加するが直線関係になく、Br のように ρ_A の値から密度比 100% の Hc を見かけの Hc

* 明治ゴム製造所

** 日立金属工業株式会社安来工場



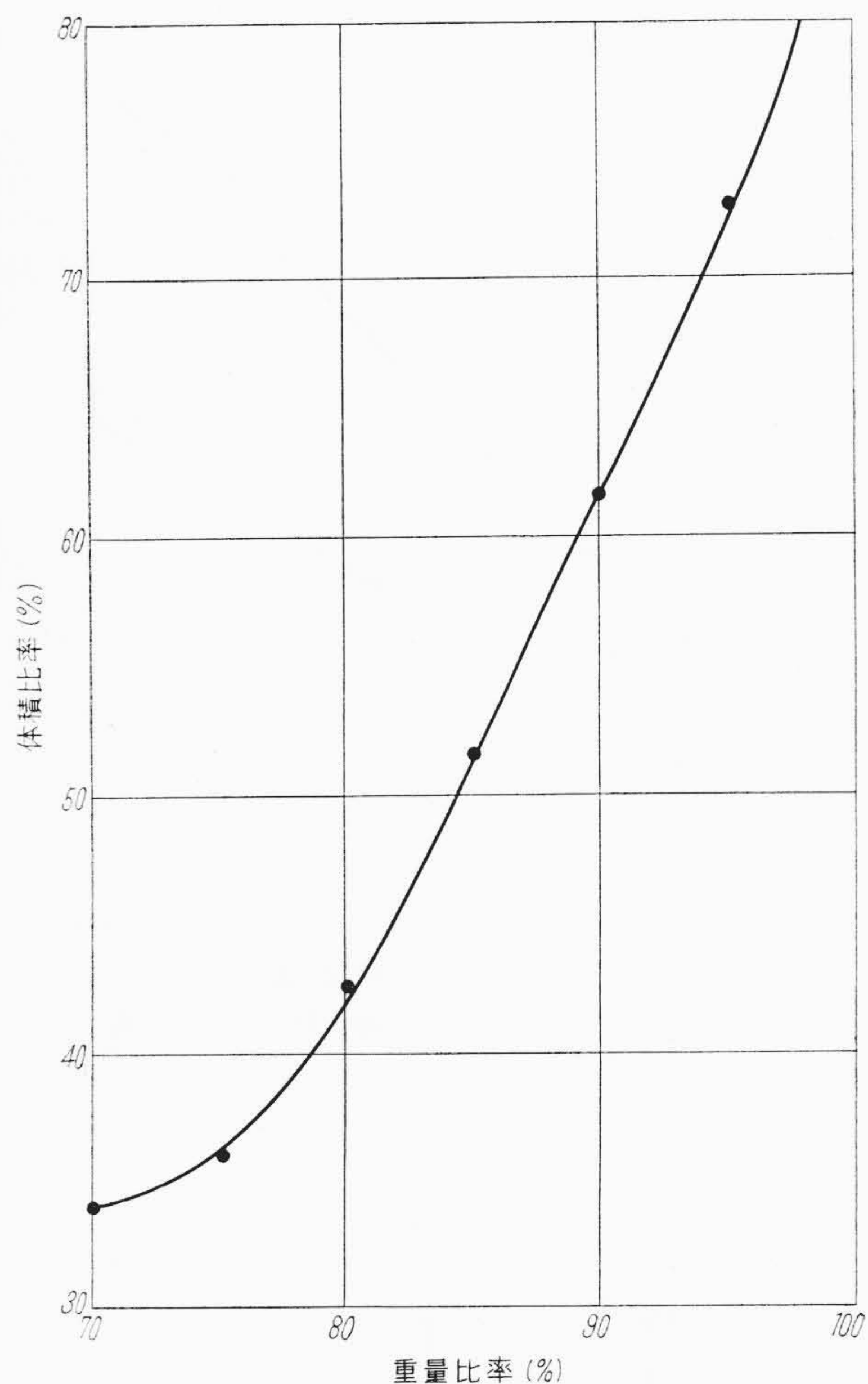
第2図 バリウムフェライト成型体および焼成品の密度比と磁性の関係



第3図 バリウムフェライト磁石粉末を混入せるゴム磁石の磁性

から算出できない。 iH_c を用いても同様である。この結果は単磁区となっているバリウムフェライト微粒子が、成型体内部で部分的に接合しているため、減磁場が作用するにあたって磁区回転に隣接粒子の影響を受け、外見上 H_c が P_A/ρ に比例しないものと考えられる。

バリウムフェライト磁石の空げき占有率(成型体の場合 P_A/ρ 、ゴム磁石の場合体積比率)は成型体の場合 50~60%に変化するにすぎないが、空げきにゴムを満たすことにより、機械的にも強度を増し、かつ35~65%と広く変化させることができる。



第4図 バリウムフェライトゴム磁石の重量比率と体積比率の換算図

4. ゴム磁石の磁性

バリウムフェライトを混入せるゴム磁石の特性を第3図に示す。フェライト混入量は重量比で示した。これをゴム磁石に関する重量比と体積比の関係図、第4図よりフェライト混入量を体積比率に表示しなおすと、第5図のような直線関係が得られる。ゴム磁石の場合、 Br および H_c とも正確にフェライト混入体積比率に対し直線となり、100%の場合 Br 2,450 G, H_c 1,600 Oe となる。これは Br に関しては第2図の成型体の結果とほぼ一致する。すなわち成型体の空げきに非磁性体の空気の代りにゴムが充てんされたと考えてさしつかえない。

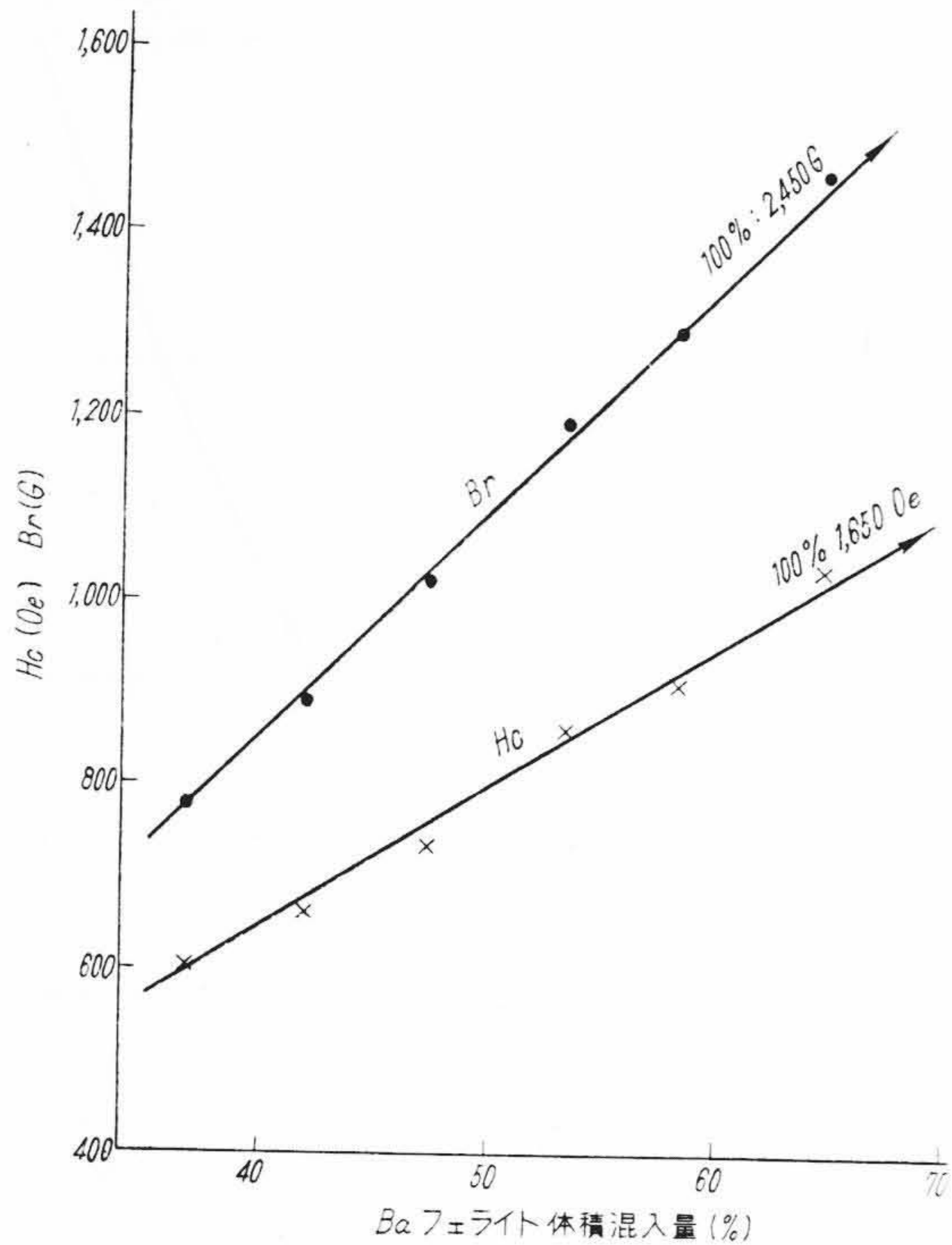
H_c に関しては第1図の 2 t/cm^2 で成型したのに相当するバリウムフェライト混入率 60% の値を比較すると、成型体では 500 Oe であるが、ゴム磁石とすると 950 Oe 以上を示し、かつ体積比率に対し直線関係となる。これは明らかにゴム磁石とすることにより得られた大きな効果であって、単磁区微粒子の表面がゴムで被覆されており、成型体のままのように部分的接合が起らず、したがってバリウムフェライト磁石本来の特性が発揮されているものと考えられる。

5. ゴム磁石の機械的性質

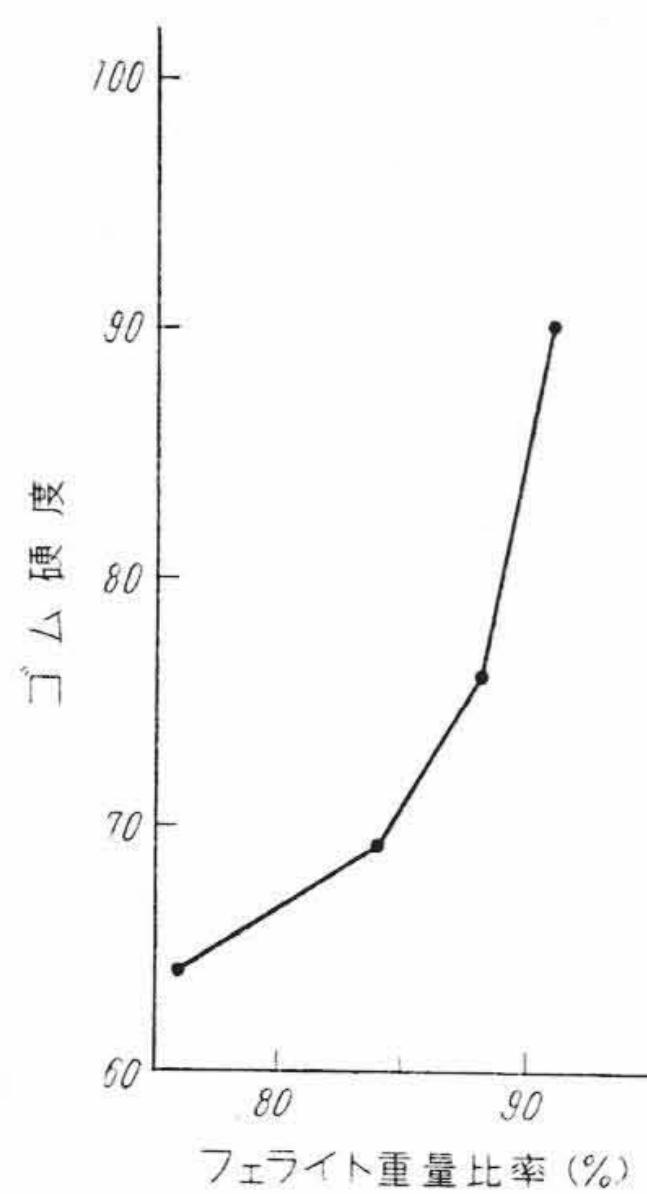
5.1 原試料の特性

バリウムフェライトゴム磁石のゴム硬度を第6図に示す。フェライト混入量の増加とともにゴム硬度は増加し、混入量 91.5% (65 vol %)にてゴム硬度は 92 となる。

引張り強さのバリウムフェライト混入率による変化を第7図に示



第5図 バリウムフェライト磁石粉末体積混入量と磁性の関係



第6図
ゴム磁石の硬度
フェライト重量比率 (%)

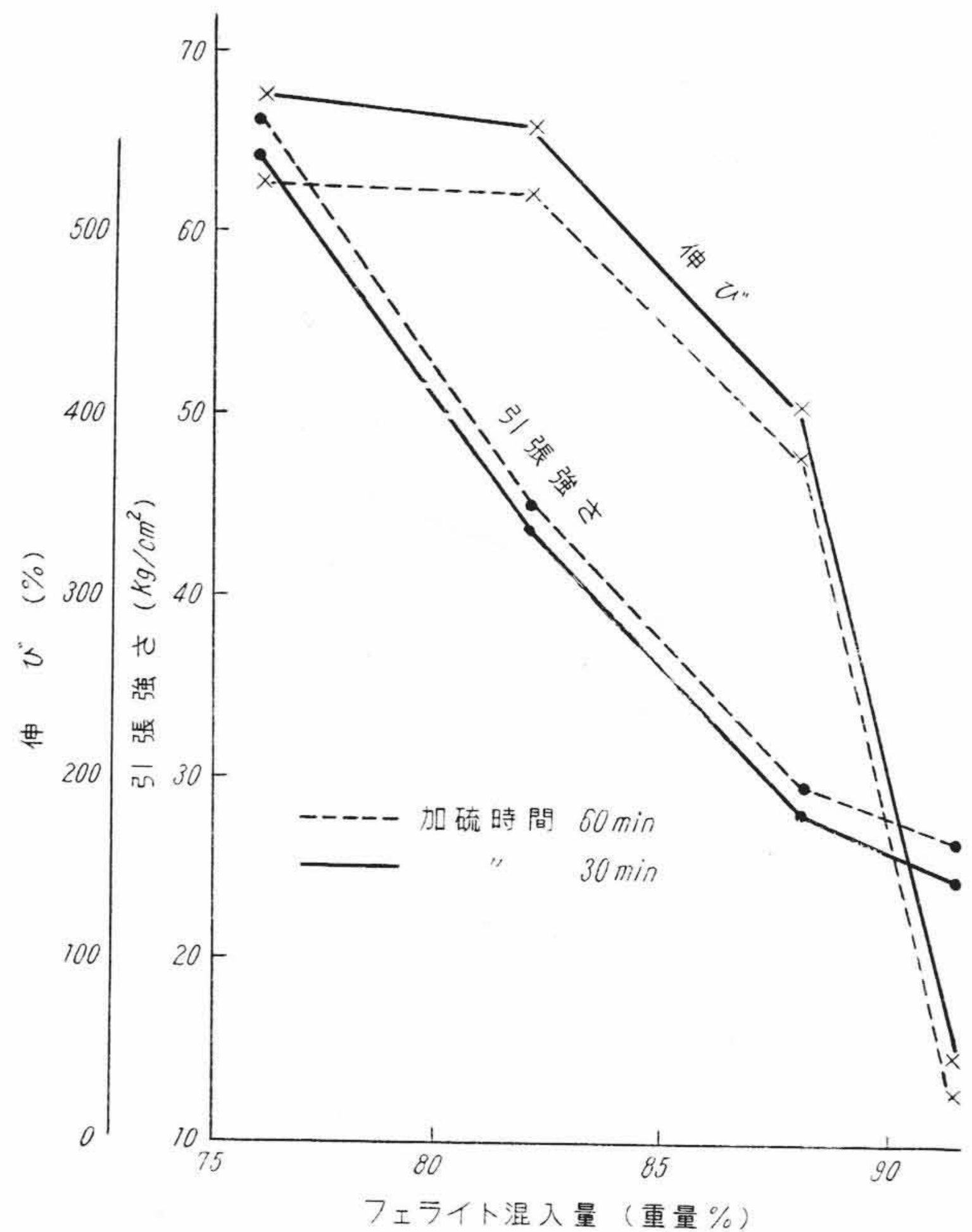
す。フェライト混入量の増加によりほぼ直線的に減少し、91.5% 混入によって 25 kg/cm^2 となる。伸びの値は混入量が 88% を過ぎると急激に減少し、混入量 91.5% では約 20% の伸びを示すにすぎない。

フェライト混入量によるゴム磁石の反発弾性の変化を第8図に示す。反発弾性は混入量の増加によってほぼ直線的に減少し、混入量 75.5% では 51%, 91.5% では 18% となる。25% 圧縮し、そのまま 70°C に 24 h 放置後の残留圧縮永久ひずみを第8図に示す。フェライト混入量が 88% 以上となると圧縮永久ひずみは 90% 以上となり、圧縮ひずみはほとんど回復しないことを示す。

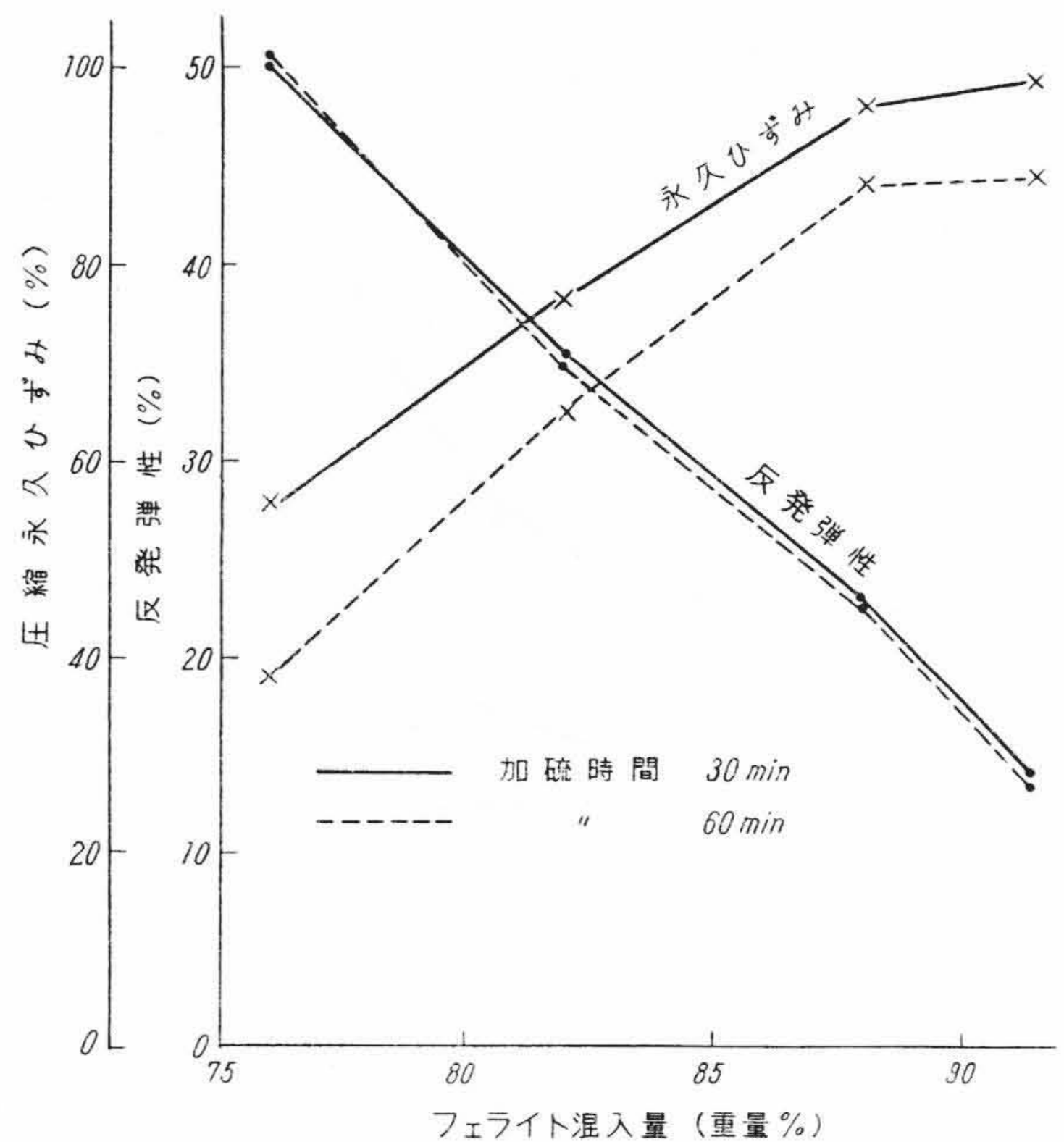
5.2 老化特性

70°C 150 h 加熱による老化後の硬度および老化前の硬度に対する増加率を第9図に示す。老化により硬度は増加し、増加率は 5~7% に達する。フェライト混入量に対する増加率の変化には系統立ったものがない。

引張り強さの老化による変化を第10図に示す。老化により引張り強さは、各フェライト混入率に対してすべて減少する。減少率はフェライト混入量が 88% の場合最も大きく、91.5% になるとかえっ



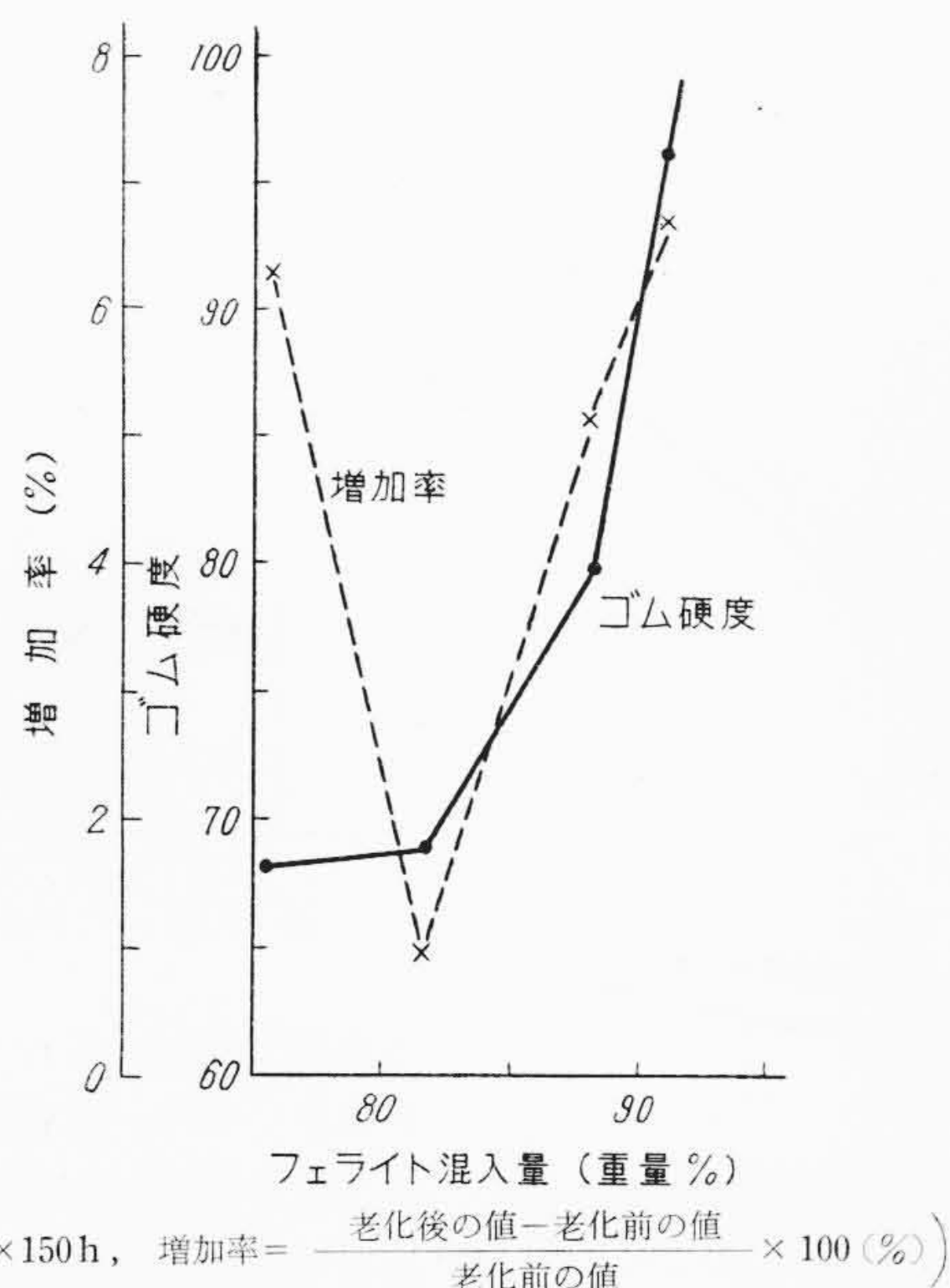
第7図 ゴム磁石のフェライト混入量に対する引張り強さと伸びの関係



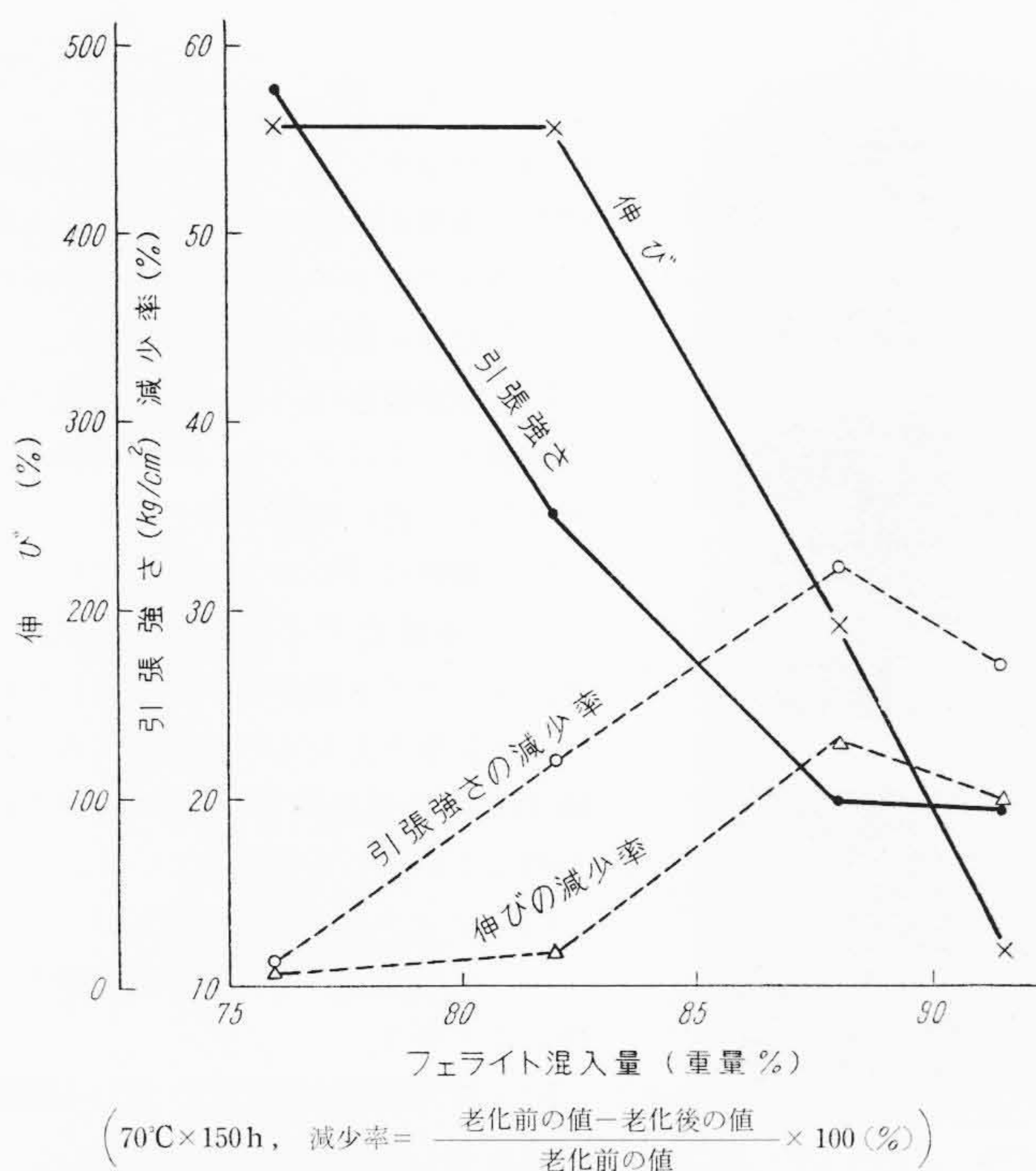
第8図 ゴム磁石のフェライト混入量に対する反発弾性と圧縮永久ひずみ

て減少する。伸びの老化による変化を第10図に併記した。伸びも老化により減少するが、その変化率はフェライト混入量が 88% の場合最も大きい。

以上の機械的性質より検討して従来のゴム板の用途をそのままこのゴム磁石におき替える場合には、フェライト混入量は 85% 程度以下にする必要があると考えられる。さらに混入量の多い場合は、可とう性を有することおよび容易に機械加工ができる点では同一であるが、従来のゴム板の用途をゴム磁石のみで置き換えるのは困難で、普通ゴム、塩化ビニールなどのホルダに埋め込み、または保持せしめて用いる必要がある。



第9図 老化によるゴム硬度の変化



第10図 老化によるゴム磁石引張り強さおよび、のびの変化

6. 規格製品の諸特性

6.1 規格製品

以上の実験結果を参考とし、日立金属工業株式会社規格製品の標準の磁気特性および機械的性質を第11図および第1表に示す。フェライトを91.5%以上混入せしめることは可能ではあるが、実用上はゴムとしての特性を失うため採用しなかった。なお YRM は Yasuki Rubber Magnet の略である。

6.2 吸引力特性

ゴム磁石の最大の需要は密閉または自動吸引を必要とするパッキングにあると考えられる。パッキングにゴム磁石を応用すると配管作業の能率を向上せしめ、戸開きにはラッチを省くことができるようになる。

断面が5×8mmの細長いパッキング用ゴム磁石の単位長さ(1

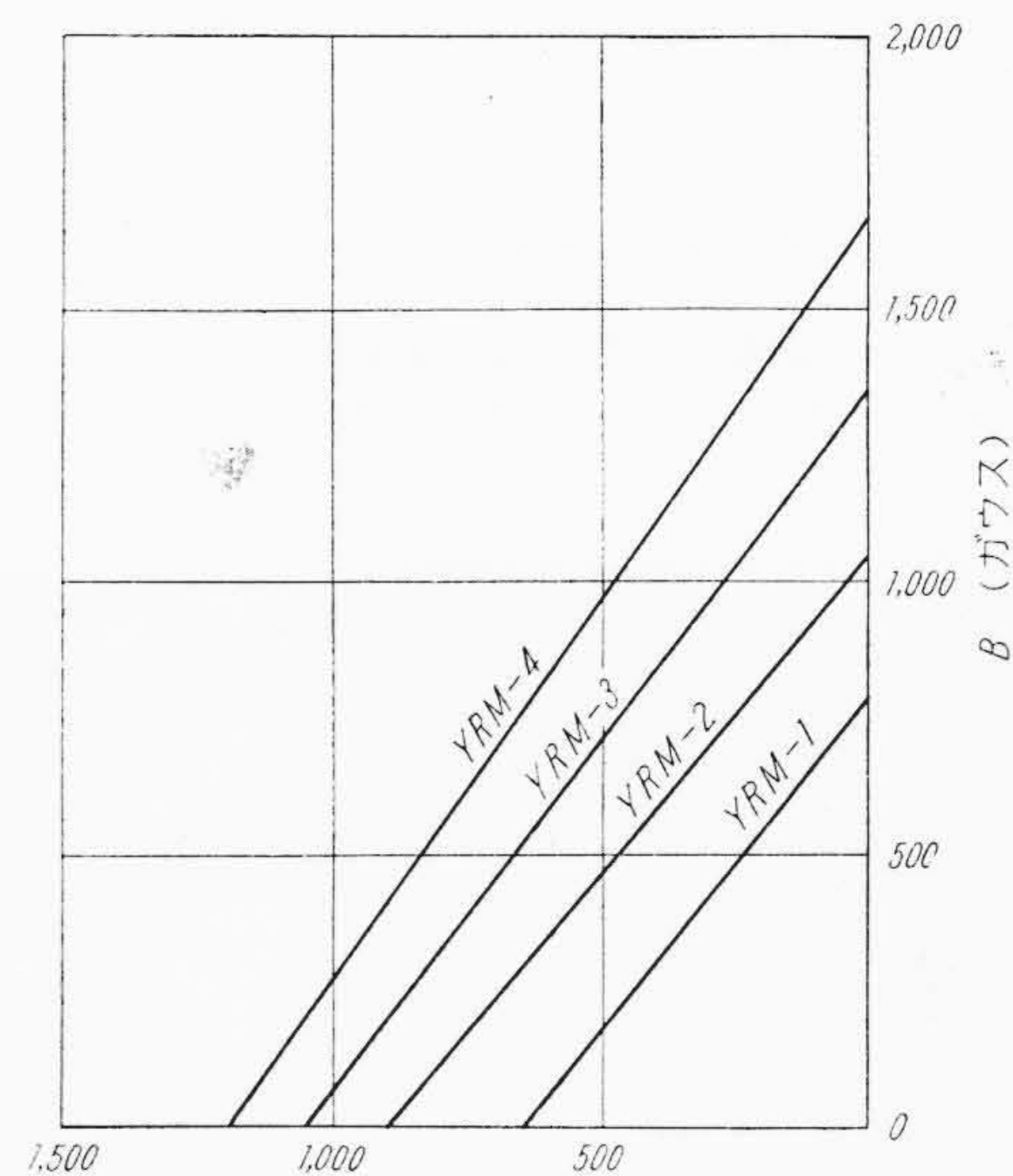
第1表 ゴム磁石規格製品の諸特性

性 質	種 別	YRM-1	YRM-2	YRM-3	YRM-4
残留磁束密度* Br	ガ ウ ス	700~800	1,000~1,100	1,300~1,400	1,550~1,650
抗 磁 力* Hc	エルステッド	550~650	850~950	1,050~1,150	1,100~1,200
最大エネルギー積* (BH) max	×10 ⁵ ガウス エルステッド	1.0~1.3	2.1~2.4	3.8~4.1	4.8~5.1
比 重**		2.4~2.6	2.8~3.0	3.3~3.5	3.7~3.9
ゴ ム 硬 度**		63~65	68~70	75~78	89~93
引 張 り 強 さ**	kg/cm ²	55~65	35~45	20~30	15~25
伸 び**	%	500~550	480~530	300~350	30~80
反 発 弾 性**	%	48~53	35~40	20~25	12~17
圧縮永久ひずみ***	%	50~60	65~75	85~95	90~100

* 計測学会永久磁石標準測定研究会の方法による。

** J I S K6301(1958)の方法による。

*** 25% 圧縮 70°C×22h 保持後の値。



第11図 ゴム磁石規格製品の減磁曲線

m) 当りの吸引力を、吸引用軟鋼板との距離の関数として第12図に示す。軟鋼板は0.3mm以上の厚みがあればほとんど同一の吸引力を示す。YRM-1は密着せしめた場合1mで約1.3kgの吸引力を示すが、YRM-2では1.6kg、YRM-3では3.0kg、YRM-4では4.1kgとなる。これらの値とパッキングの自重とを比較すれば第13図に示すように13~27倍に達し、パッキングの垂直管に対する設置にも十分な値であろう。

6.3 たわみ試験

実用製品にはどの程度まで曲げたら折れるかということが問題になることが多い。特にゴムとしての特性の少ないYRM-3および4に関し、第14図に示すようなたわみ試験装置により破壊に至る経過を観察しつつたわみ試験を行った。その結果を第2表に示す。破壊は主として厚みによって変化し、破壊比率 L/L_0 と厚さの間には(2)式のような関係がある。

$$\left(\frac{L}{L_0}\right)^2 = at \dots\dots\dots (2)$$

ここで、a : 定数

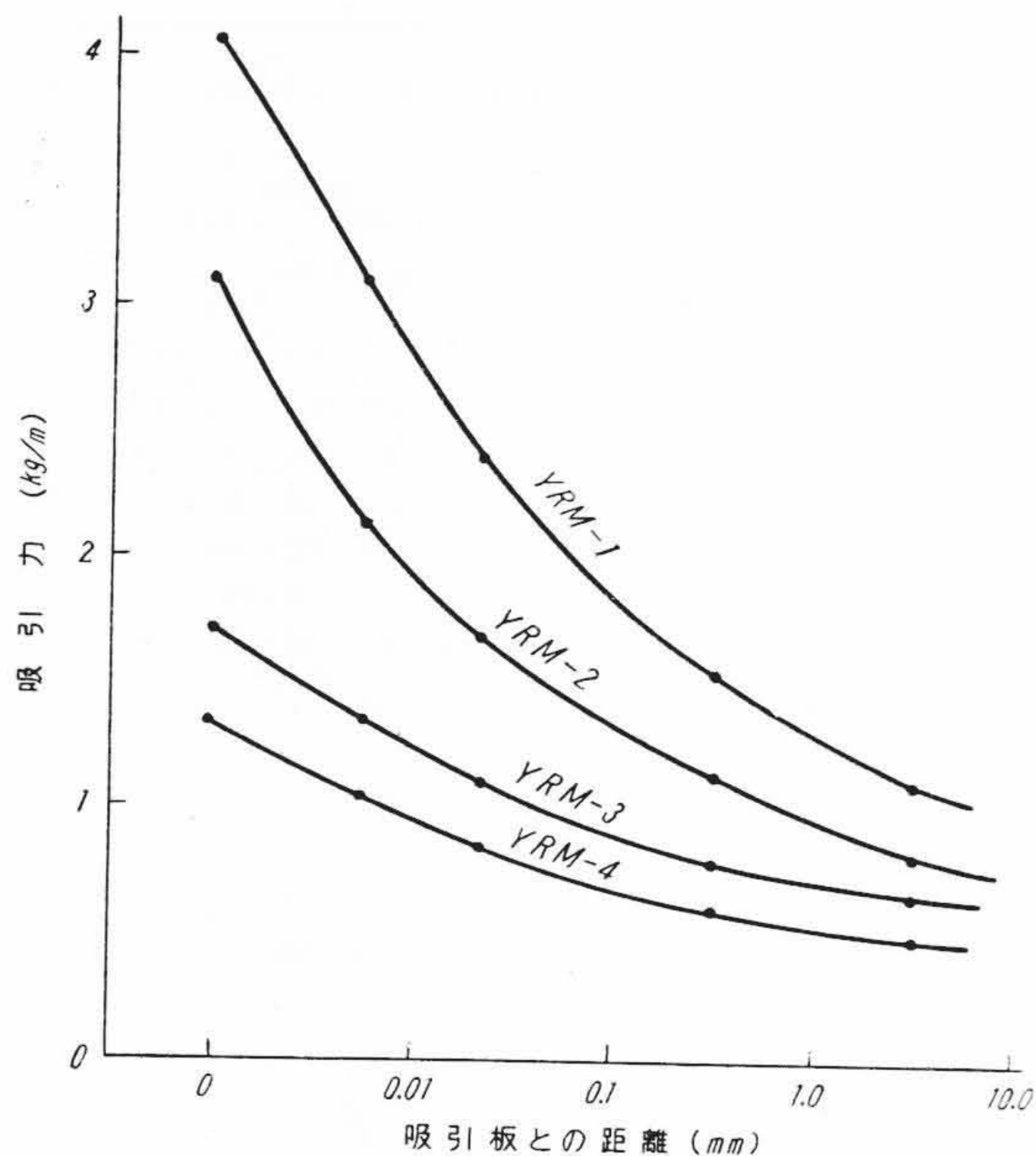
YRM-3の場合 $a \div 0.065$

YRM-4の場合 $a \div 0.12$

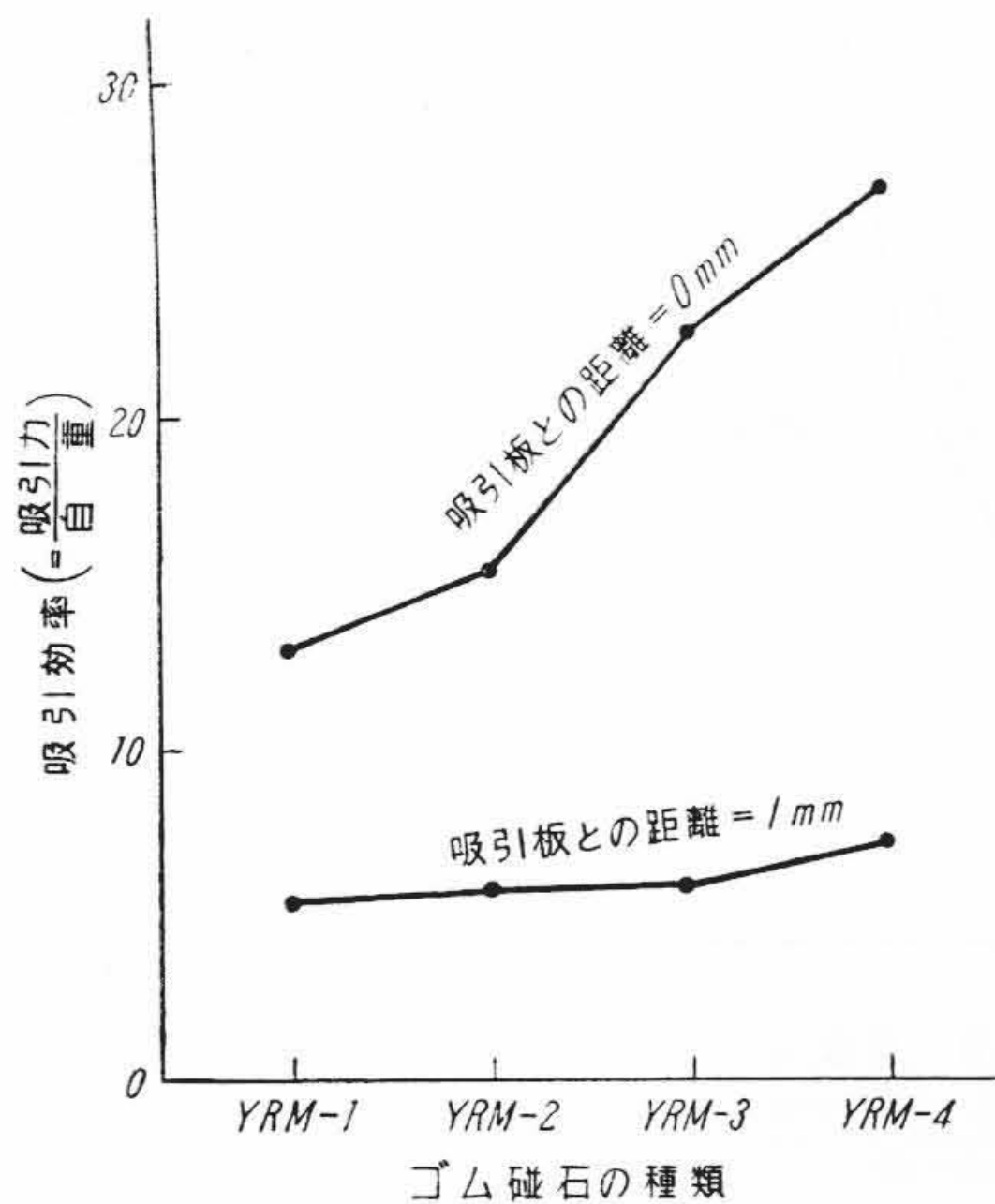
t : 厚さ(mm)

6.4 応 用

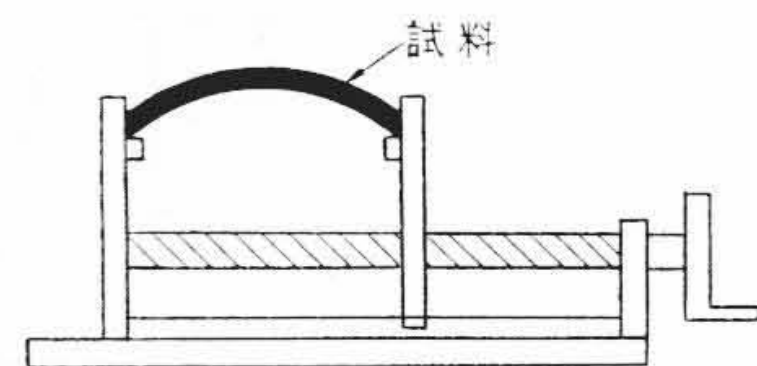
応用製品の実例を第15図に示す。用途は冷蔵庫用パッキング、水道およびガス配管用パッキング、家具および建築用品、家庭用品、おもちゃ、教材、コンベアベルトおよび選鉱用ベルトなどであ



第 12 図 ゴム磁石規格製品の断面 5 × 8 mm, 1 m 長さのものの吸引力特性



第 13 図 ゴム磁石規格製品の断面 5 × 8 mm, 1 m 長さのものの吸引力特性



第 14 図 たわみ試験装置

磁曲線と重なっており、かつ H_c が大きいので一度着磁すればその磁気は、鉄板との吸着、離脱、交流磁場の作用などでもゴム磁石固有の減磁曲線に沿って作動点が上下するのみで、ほとんど減磁しないためである。

7. 結 言

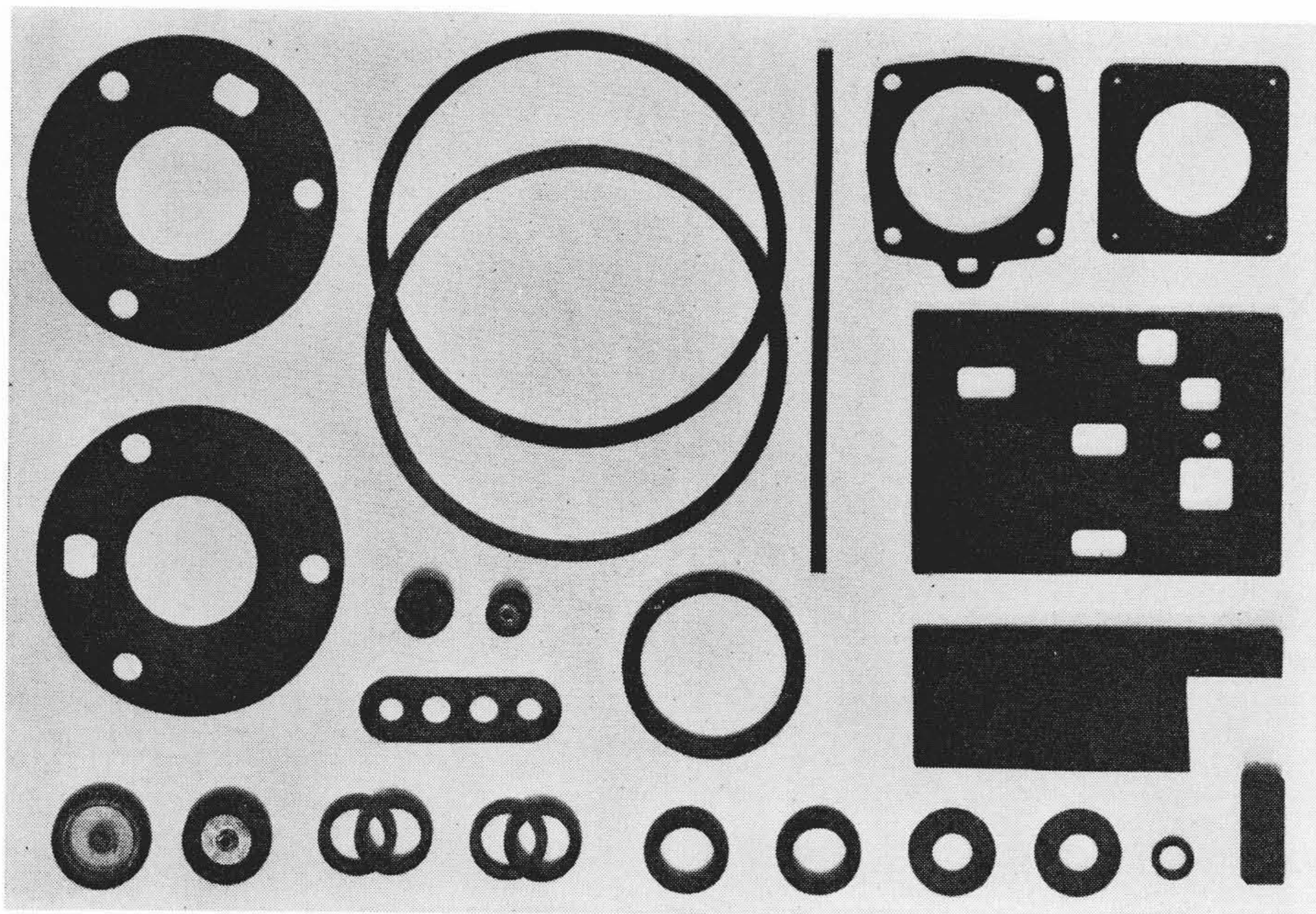
- (1) パッキング、ベルトおよび家庭用品に需要が多量にあると考えられるバリウムフェライト磁石粉末をゴムに混入したゴム磁石を試作完成した。
- (2) その特性は、フェライト混入量の増加とともにゴムとしての機械的性質を失い、逆に磁性は向上する。
- (3) 磁性は Br および H_c ともフェライト体積比率と直線混入関係にあり、フェライト粉末のみを成型して同一混入比率としたものと比較すると、 Br は同一の値を示すが、 H_c はゴム磁石のほうが著しくすぐれている。
- (4) フェライト混入量 85% 以上において、ゴムとしての特色である弾性をほとんど失う。
- (5) 実用製品の吸引力、たわみ試験結果を示した

本報告を終るにあたり、終始適切なる

ご指導をいただいた日立金属工業株式会社山本常務、佐々木部長、小柴所長、明治ゴム製造所山田課長そのほか実験に協力された各位に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 加藤、武井：日本特許出願公告、昭 15-3273 (昭 15-6)
- (2) 塩見、ほか：日本特許出願公告、昭 14-2431 (昭 14-5)
- (3) S. G. ハルほか：日本特許出願公告、昭 15-6258 (昭 15-10)
- (4) S. H. バックレー：日本特許出願公告、昭 26-1635 (昭 26-3)
- (5) 井上：日本特許出願公告、昭 33-10291 (昭 31-12)
- (6) 東芝：日本特許出願公告、昭 33-5186 (昭 33-7)
- (7) P B レポート 121730 (1952-5)
- (8) J. A. P: Conference of Magnetism & Magnetic Materials (1957~1959)
- (9) JIS k 6301 (1958)



第 15 図 ゴム磁石応用製品例

第 2 表 たわみ試験結果

試料	長さ L_0 (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	破壊はじめ (mm)	表面全破 (mm)	完全破壊 L (mm)	破壊比率 L/L_0	$(L/L_0)^2$	a^*
YRM-3	45.5	7.7	3.0	27.0	22.5	20.0	0.44	0.19	0.063
	45.5	7.7	3.8	27.8	25.5	23.2	0.51	0.26	0.068
	45.5	7.7	4.8	30.0	29.0	26.0	0.57	0.325	0.068
YRM-4	45.5	8.2	3.0	35.2	32.0	26.8	0.59	0.35	0.118
	45.5	8.2	3.8	37.3	34.6	29.0	0.64	0.41	0.108
	45.5	8.2	5.4	43.5	38.5	36.5	0.80	0.64	0.119

(注) 第 2 式の比例定数

る。それぞれの用途によって最適の着磁方法を考案する必要がある。一般にはバリウムフェライト磁石と同様着磁したまま納入される。これはゴム磁石の可逆磁場に対する磁束密度の変化すなわちマイナーループが、等方性バリウムフェライト磁石 YRM-3 と同様減