

Ba フェライト磁石について

A Study on the Ba-Ferrite Magnets

小柴 定雄* 原田 英樹**
Sadao Koshiba Hideki Harada

内 容 梗 概

業界各方面から期待の大きい Ba フェライト磁石の試作研究を行い、Br の高い異方性磁石 YFM-1, Hc に特色をもつ YFM-2, および減磁率の小さい等方性磁石 YFM-3 を完成した。その試作研究のうち、原料粉末の性質、成形圧力の影響、焼成条件などをまとめた。特に仮粒の性質は、その粒度および含有水分により、流動性および見掛密度を大きくかえるので、プレス成形する形状により最良の点を検討する必要がある。また吸着用磁石の着磁方向を片面に N, S 極があるようにすれば、吸着力が著しく増加すること、磁選機用磁石としての設計基礎についても検討した。

1. 緒 言

電気業界は重量の軽減、小形化および原価低減を目標として発展しつつあるが、その有力な材料の一つとして、酸化金属強磁性体 Ba フェライト磁石が発見され、改良されつつある。Ba フェライトは立方晶形に属する軟材料のフェライト(たとえば Mn-Zn フェライト, Ni フェライトなど)と異なり、六方晶系に属し、 $(BH)_{\max}$ は等方性の場合 $1.0 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$, 異方性の場合 $3.0 \times 10^6 \text{ G} \cdot \text{Oe}$ 程度を示す。この値は Alnico 系鋳造磁石より小さいが、安価でありしかも Hc が 1,500 Oe 以上という特色をもっている。日立社内においてもこのフェライト磁石の製造と応用に研究をかさね、種々の部品にも実用化されるようになり、その量産を開始した。つぎにフェライト磁石の基礎的研究の一部と二、三の応用例について報告する。

2. Ba フェライト原料粉末の性質

2.1 粒度および粒形

Ba フェライトはほかのフェライトと異なり、硬磁性材料、すなわち磁石であって、粒子間の凝集力は著しく強い。そのため粒度の測定には懸濁液の選択に苦慮する。酸化鉄および軟材料フェライトは一般に、ピロリン酸ソーダまたはヘキサメタリン酸ソーダの 0.03~0.2% 水溶液を用いて成功しているが、Ba フェライトには適用できない。湿式では流動パラフィンまたは 10% ポリビニールアルコール水溶液を用いると、第 1 図のように分散し検鏡できる。乾式法は、K. J. Sixtus の N_2 ガスジェットによる乾燥粉末付着法⁽¹⁾ が良好である。沈降法による簡便な粒度分布測定を行うためには、さらに磁氣的懸濁方法を試みる必要があろう。

粒形は微粉碎をボールミルによっているため、球状のものが多い、(1)~(3)。

2.2 見 掛 密 度

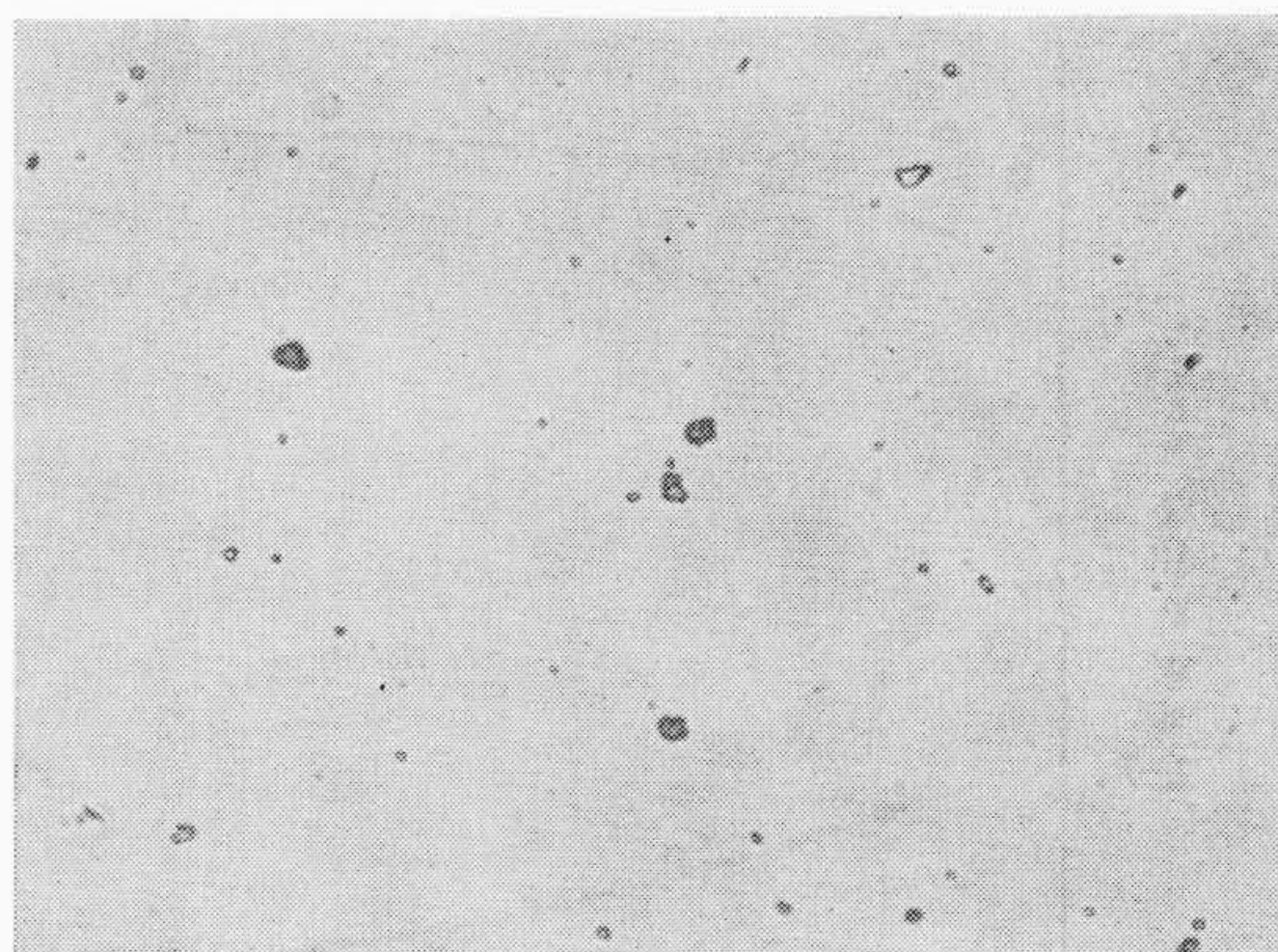
粉体工学にあって密度は粉体の保存、プレスなどの工程に重要な数値である。見掛密度⁽⁴⁾はこれをつぎのようにして求めた。

30 cc メスシリンダ中に 5 mm ϕ 漏斗穴を通し粉末試料 20 g を落下せしめる。表面をガラス棒で平坦とし、体積をよみ、仮称“落下見掛密度” ρ_{FA} を求める。さらにメスシリンダーの底面を繰返し、たたくと粉体は次第に体積を減じ、その減少過程より外そう法で限界体積を知る。それより仮称“見掛密度” ρ_A を求める。その測定過程を第 2 図に示す。

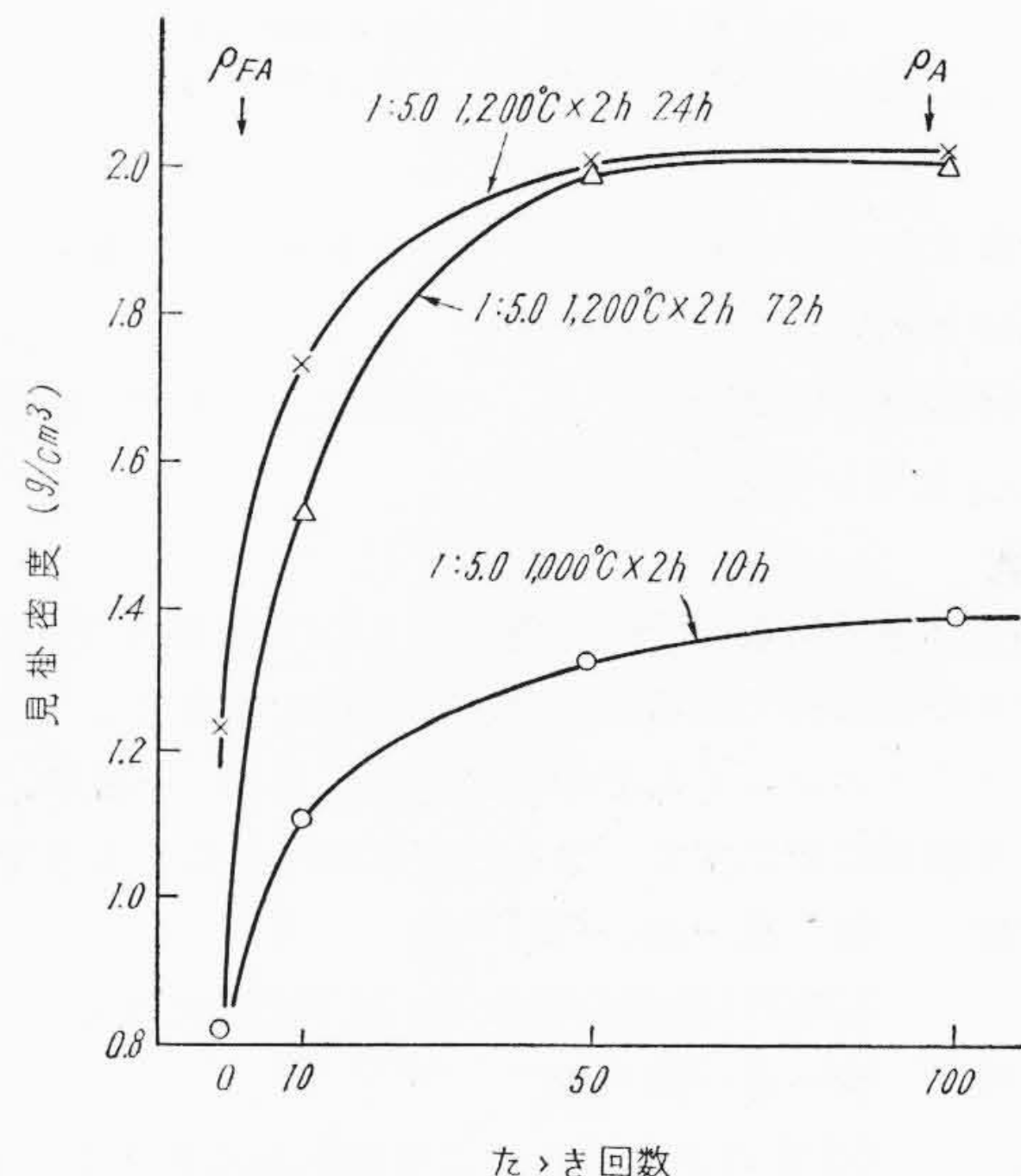
一次焼成温度による ρ_{AF} および ρ_A の変化を第 3 図に示す。粒度

* 日立金属工業株式会社安来工場 工博

** 日立金属工業株式会社安来工場



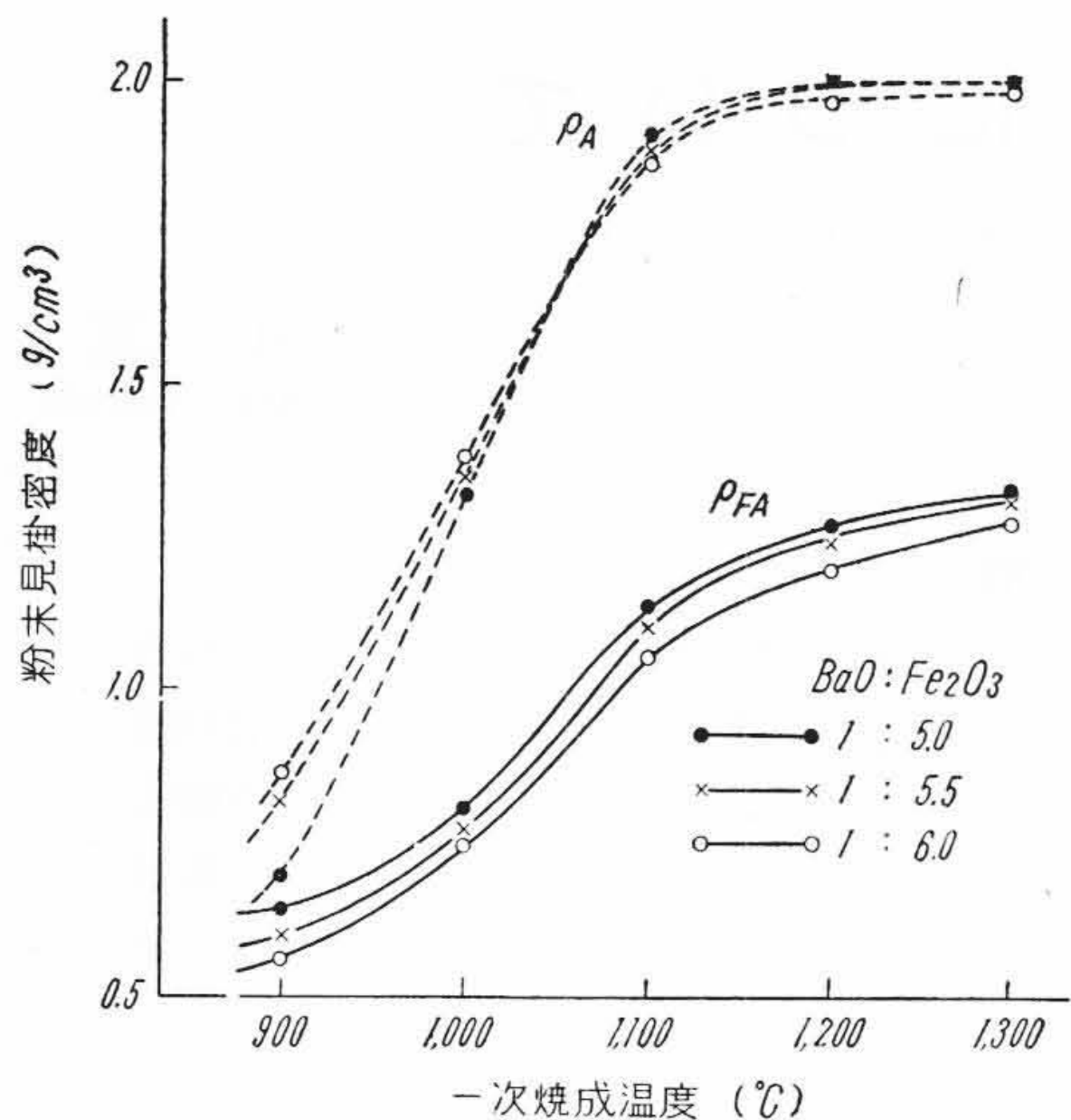
10% ゴーセノール中懸濁
第 1 図 ボールミルで粉碎した原料粉末



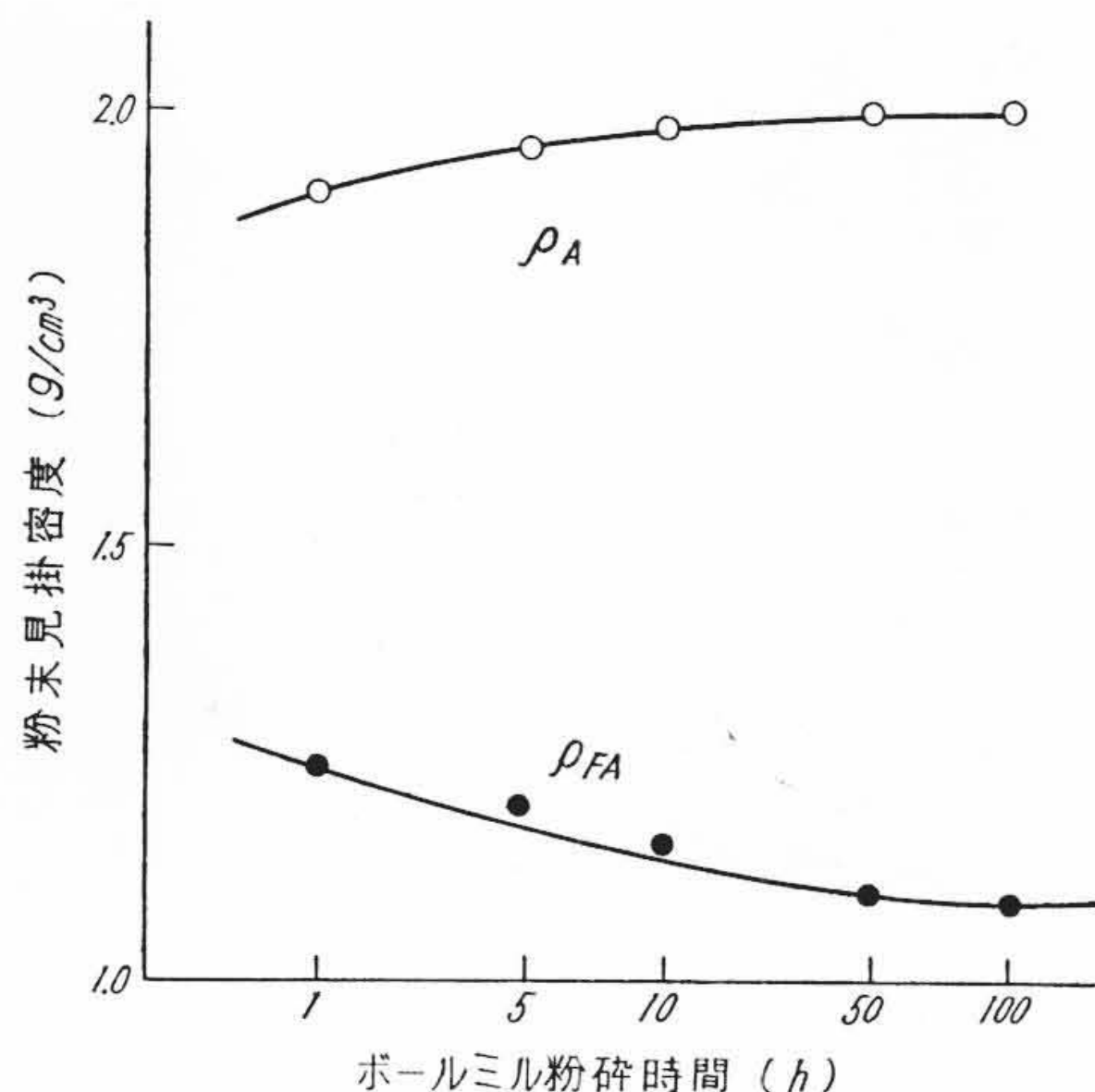
第 2 図 見 掛 密 度 測 定 法

および水分によってもこれらの値は変化するので、平均粒径 5μ になるよう粉碎時間を調整し、仮粒粒度を -100 メッシュ、水分 0.1% 以下とした。1,100°C を境として明確に差がみられるのは、色、磁性、その他の変化と共通している。すなわち 1,100°C 以上で Fe_2O_3 と BaO との反応が急激に進行するものと考えられる。

ボールミル粉碎時間をかえた場合の ρ_{FA} および ρ_A の変化を第 4 図に示す。粉碎時間の増加とともに ρ_{FA} は減小し、 ρ_A は増加する。すなわち粒度がこまかいほどふわふわした状態になりやすいが、詰



第 3 図 一次焼入温度による見掛密度の変化



成分比 1: 50 一次焼成 1,200°C×2h
第 4 図 粉碎時間による見掛密度の変化

めればすきまなく詰まりやすくなることを示している。この性質は
仮粒の場合と類似している。

一般の作業条件では粉体は ρ_{FA} の状態に近いので、容器の設計な
どには ρ_{FA} を用いる必要がある。

2.3 色

フェライト原量粉末の管理を色で行うのは有効な方法である。
フェライトの主原料である酸化鉄は色合わせで有名なベンガラであ
り、フェライトとなってもその色は粒度、水分、不純物、焼成温度
などにより顕著に変化する。おもな変化はつぎのとおりである。

粒 度 粗～黒→赤(→黄)～微

1,200°C 焼成の場合 2 μ 以下で赤になる。

水 分 少～赤→黒～少

0.5% の水分混入により明らかに差を生じる。

焼成温度 高～黒→赤～低

Ba フェライトの混合原料は 700°C 付近より変化す
る。

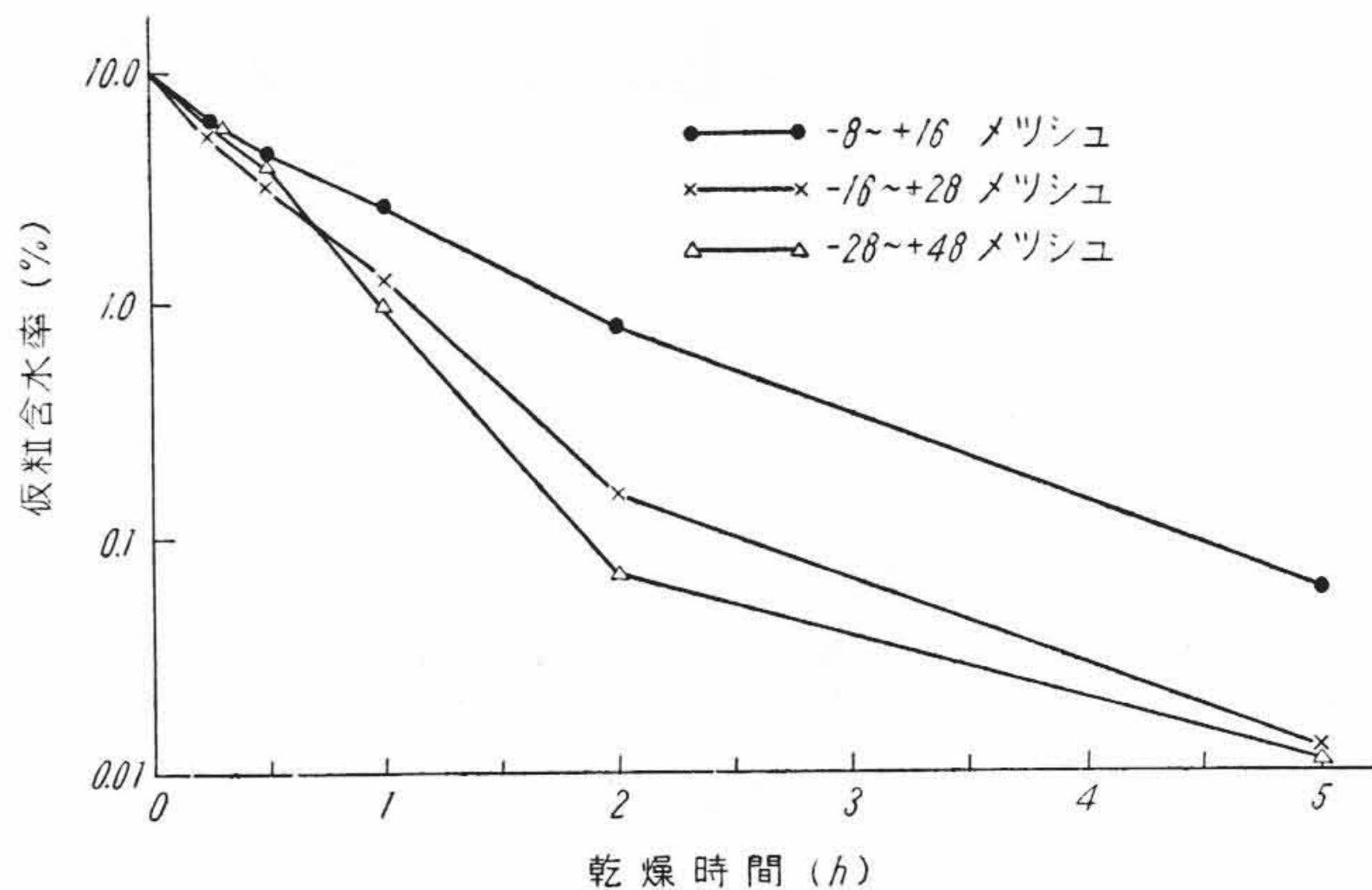
粉体温度 高～黒→赤～低 (500°C 以下の場合)

約 200°C にて識別可能。

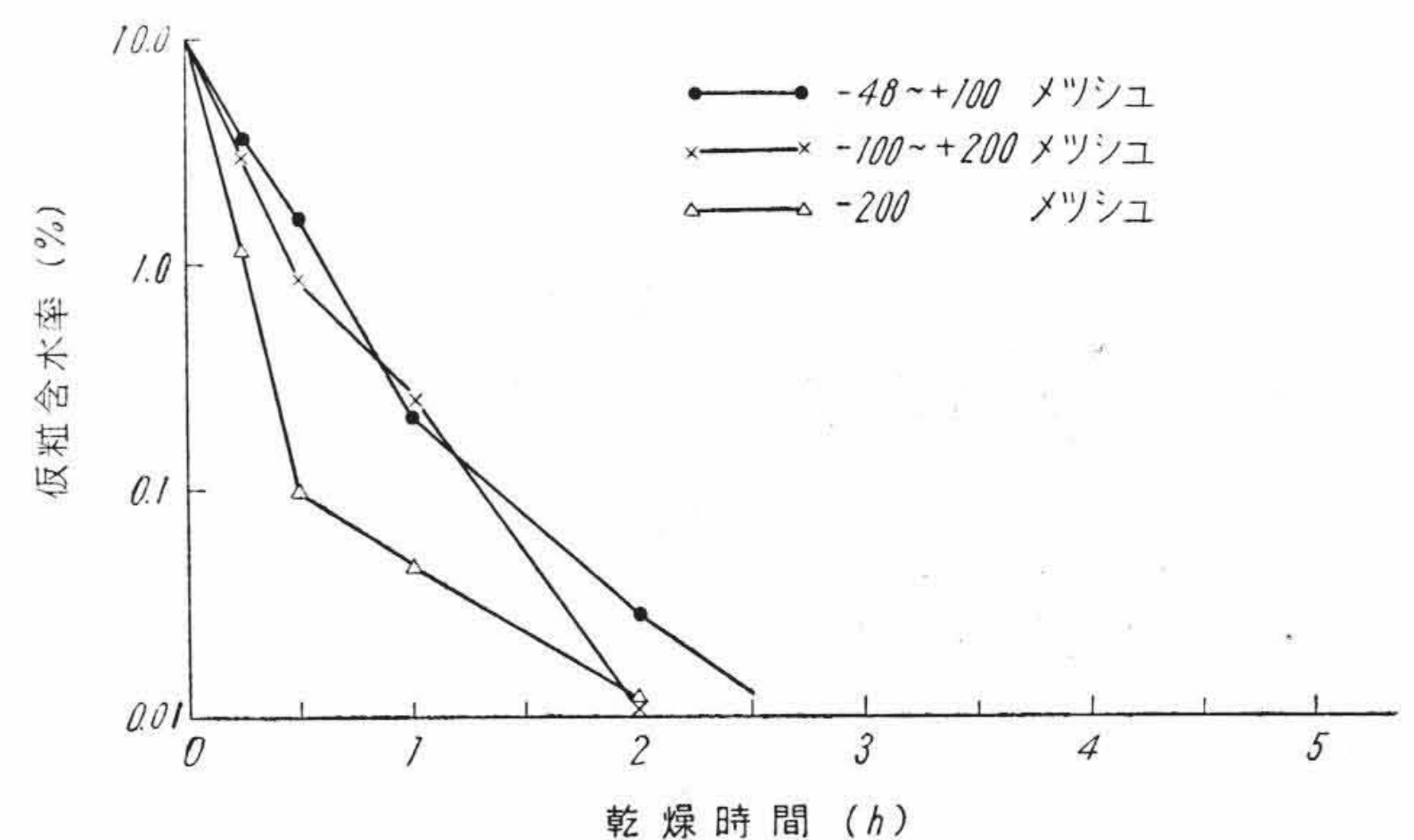
2.4 仮粒の性質 (集合粒の性質)

自動プレスを行うには仮粒を用いるが、その性質の検討は重要で
ある。

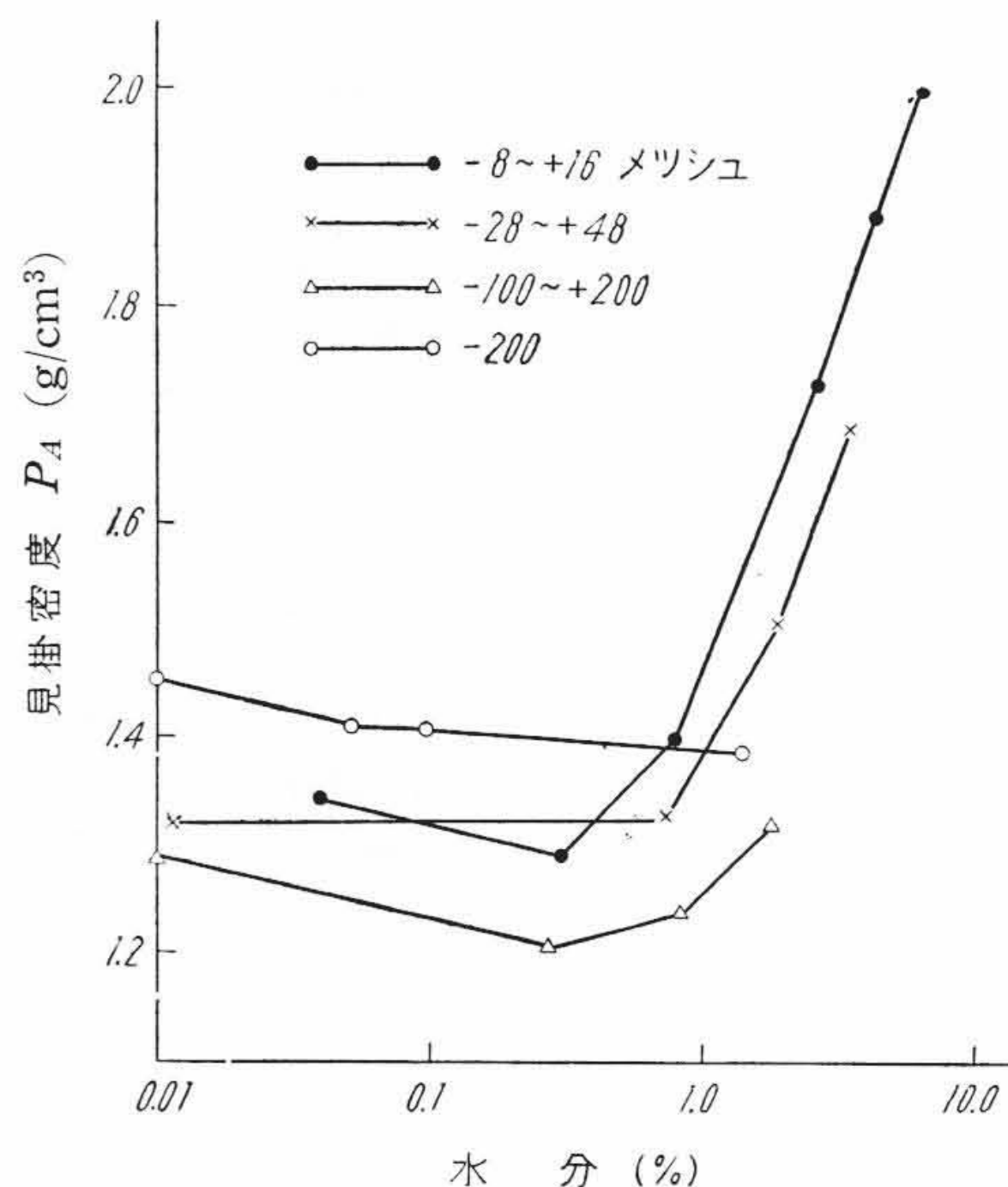
10% ポリビニールアルコール水溶液 10% を粉碎が終了せる粉に
混合し、-8~-200 メッシュにふるいわけ、100°C で 15 min~5 h 乾



100°C, 10%ポリビニールアルコール水溶液10%混入
第 5 図 乾燥保持時間の影響



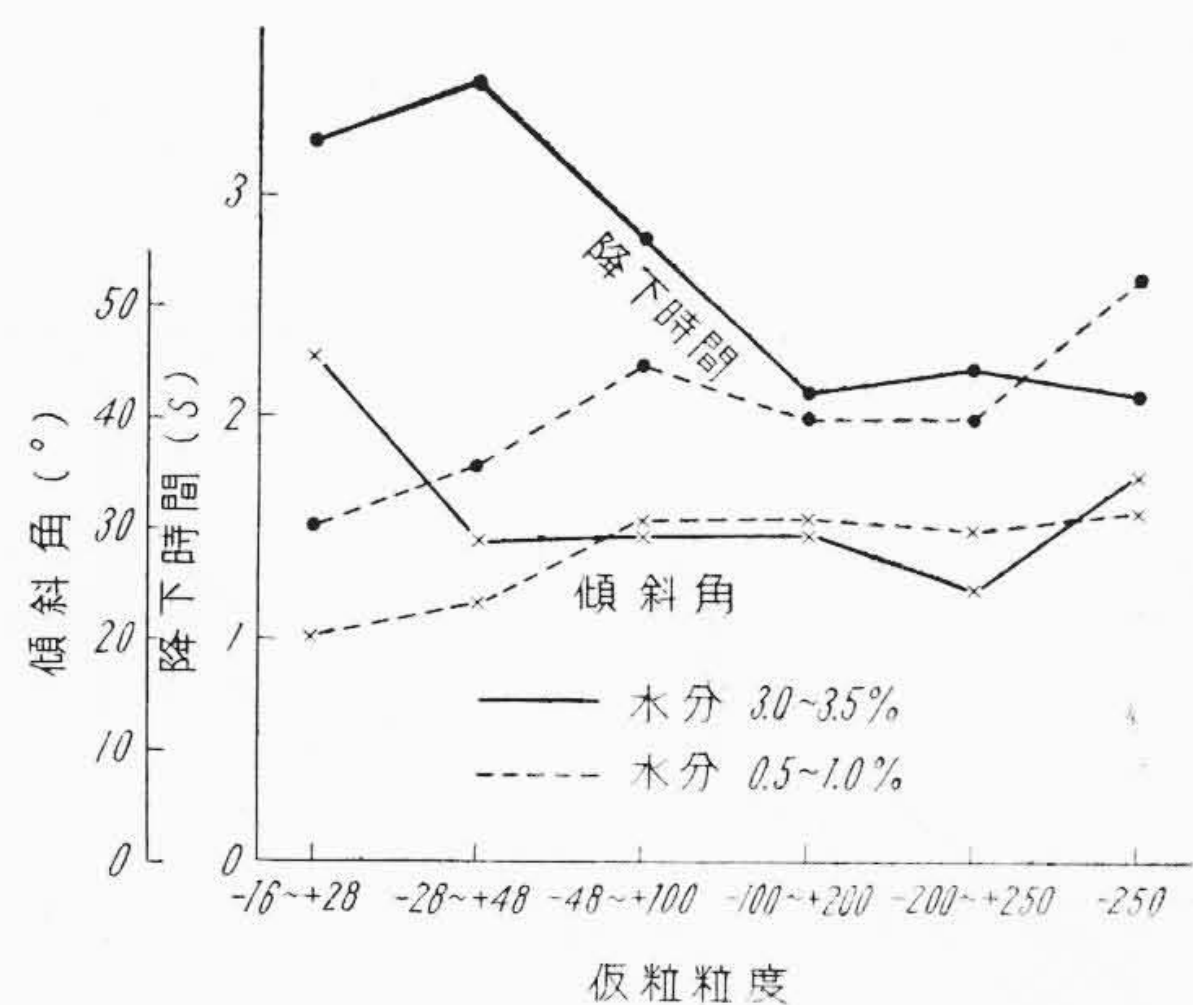
100°C, 10%ポリビニールアルコール水溶液10%混入
第 6 図 乾燥保持時間の影響



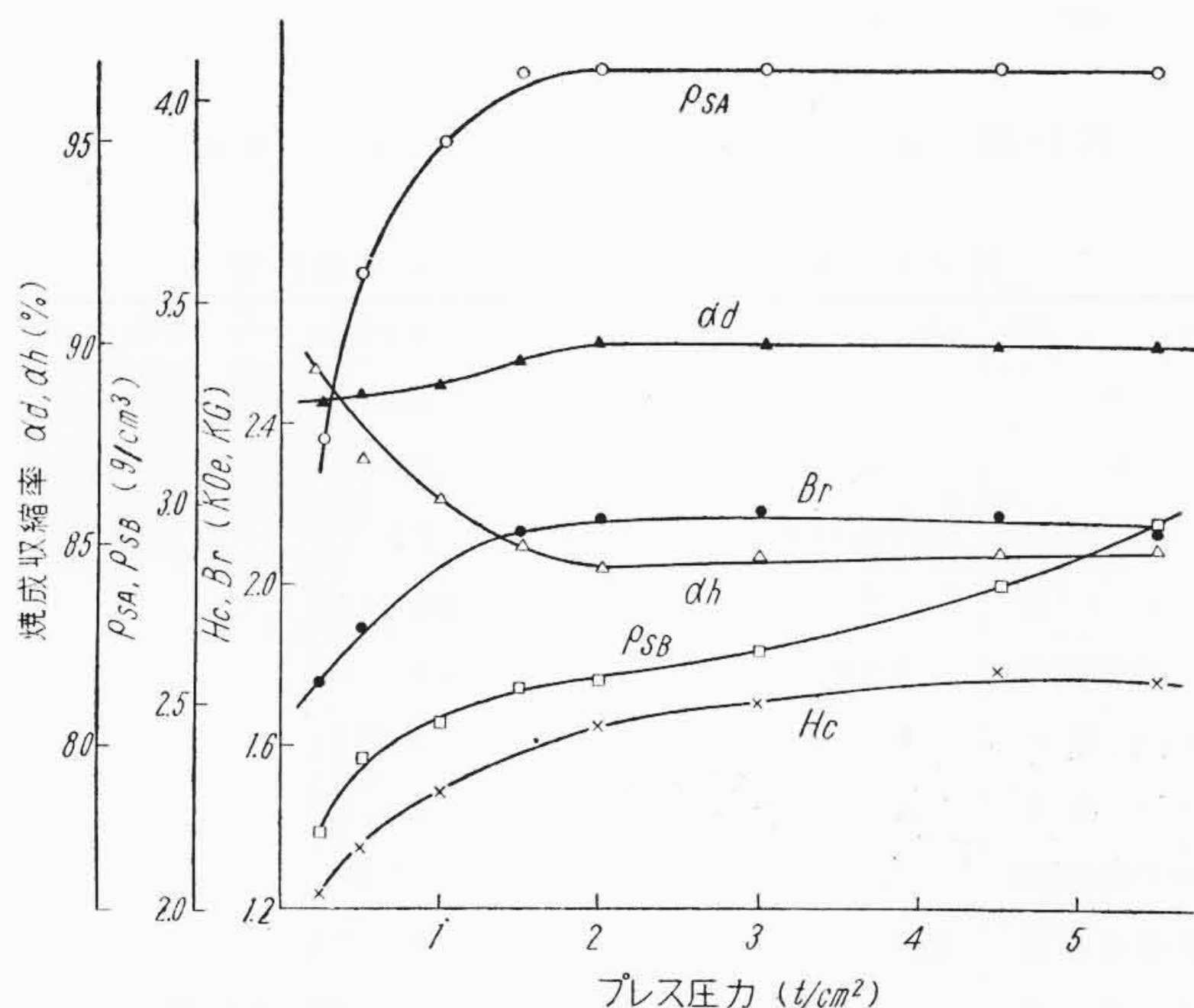
第 7 図 水分と見掛密度の関係

燥せるものを試料とし、 ρ_{FA} 、 ρ_A 、水分、ポリビニールアルコー
ル量および流動率を求めた。水分は赤外線乾燥 (100°C) による重量減
少量より算出した。ポリビニールアルコールは、100°C 短時間 (5 分
間) の加熱では分解しない。さらに 600°C×1 h 加熱し、重量減少量
よりポリビニールアルコール量を算出した。流動率は 3 mmφ 漏斗
を定重量が落下する時間および 45° 樋をすべり出す傾斜角より求め
た。

第 5~6 図は仮粒粒度、乾燥時間および水分の関係を示す。仮粒粒
度が大きいほど乾燥効率は悪くなる。



第8図 仮粒粒度と流動性

成分比 1: 50 一次焼成 1,000°C×2h
ボールミル 10h 二次焼成 1,150°C×0.5h
第9図 プレス圧力の影響

ρ_{FA} と水分との間にはほとんど相関がない。 ρ_A と水分との間には第7図に示すように、水分が多いほど、粒度が大きいほど ρ_A が大きい。すなわち水分が多く、仮粒が大きいほど、わずかの圧力で仮粒がつぶれやすいことを示している。また水分が 0.5% 以下はほとんど密度の変化なく、仮粒同志が接合しないことを示しているが、さらに水分が減少すると、微粉が発生し見掛密度がわずかに上昇する。

仮粒粒度、水分および流動性との関係を第8図に示す。流動性の測定方法により若干差を生じるが、粗粒は水分が多い場合、流動性が悪いが、水分が少なくなると急激によくなる。逆に細粒は水分が少なくなると、流動性が著しく悪くなり、落下しない場合も生じる。中間粒は流動性に差が少ない。

なお、十分混合を行えば、仮粒粒度によりポリビニールアルコール量に差は生じない。

3. 製造工程

3.1 基礎工程

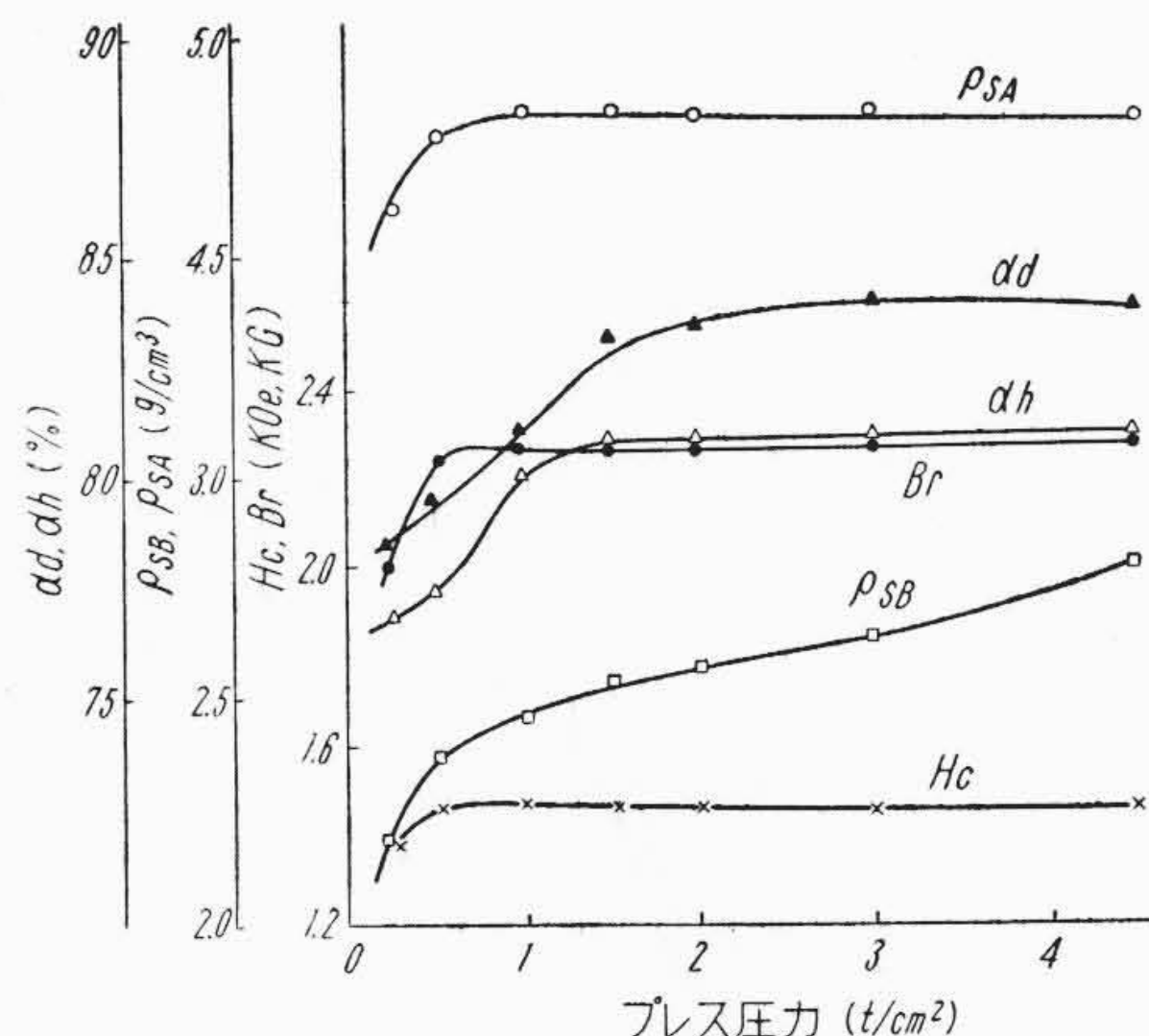
Ba フェライト磁石の基礎工程⁽⁵⁾ は粉末冶金の一般原則に従っており、つぎのようである。

混合: Fe_2O_3 , BaCO_3 , Bi など原料混合

焼成: 1,000°C 前後

粉碎: 粗, 微粉碎

成形: 異方性では特殊成形

成分比 1: 50 一次焼成 1,000°C×2h
ボールミル 10h 二次焼成 1,250°C×15 min
第10図 プレス圧力の影響

第1表 プレス成形品の位置による性質の差

プレス圧力 (t/cm²)		2		3		4	
測定時		焼成前	焼成後	焼成前	焼成後	焼成前	焼成後
ρ g/cm³	上	3.04	4.81	3.14	4.61	3.22	4.87
	下	2.77	4.70	3.02	4.94	3.00	4.98
α_h (%)	上	87.0 (13.0)		89.2 (10.8)		89.5 (10.5)	
	下	85.5 (14.5)		88.5 (11.5)		88.5 (11.5)	
α_d (%)	上	86.4 (13.6)		85.0 (15.0)		86.5 (13.5)	
	下	84.2 (16.8)		85.9 (14.1)		86.4 (13.6)	

注: 成分比 1: 5.0 一次焼成 1,000°C×2h ボールミル粉碎 10h
二次焼成 1,200°C×15 min 高さ 40 mm

焼成: 900~1,300°C

その他磁性の改良のため、種々製造工程に変更が加えられている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

3.2 プレス成形

プレス成形は粉末冶金製造工程中工数、製造能力その他の点で特に重要な部門である。中でも異方性磁石の製造に際しては磁性を決定するもっともたいせつな工程となる。

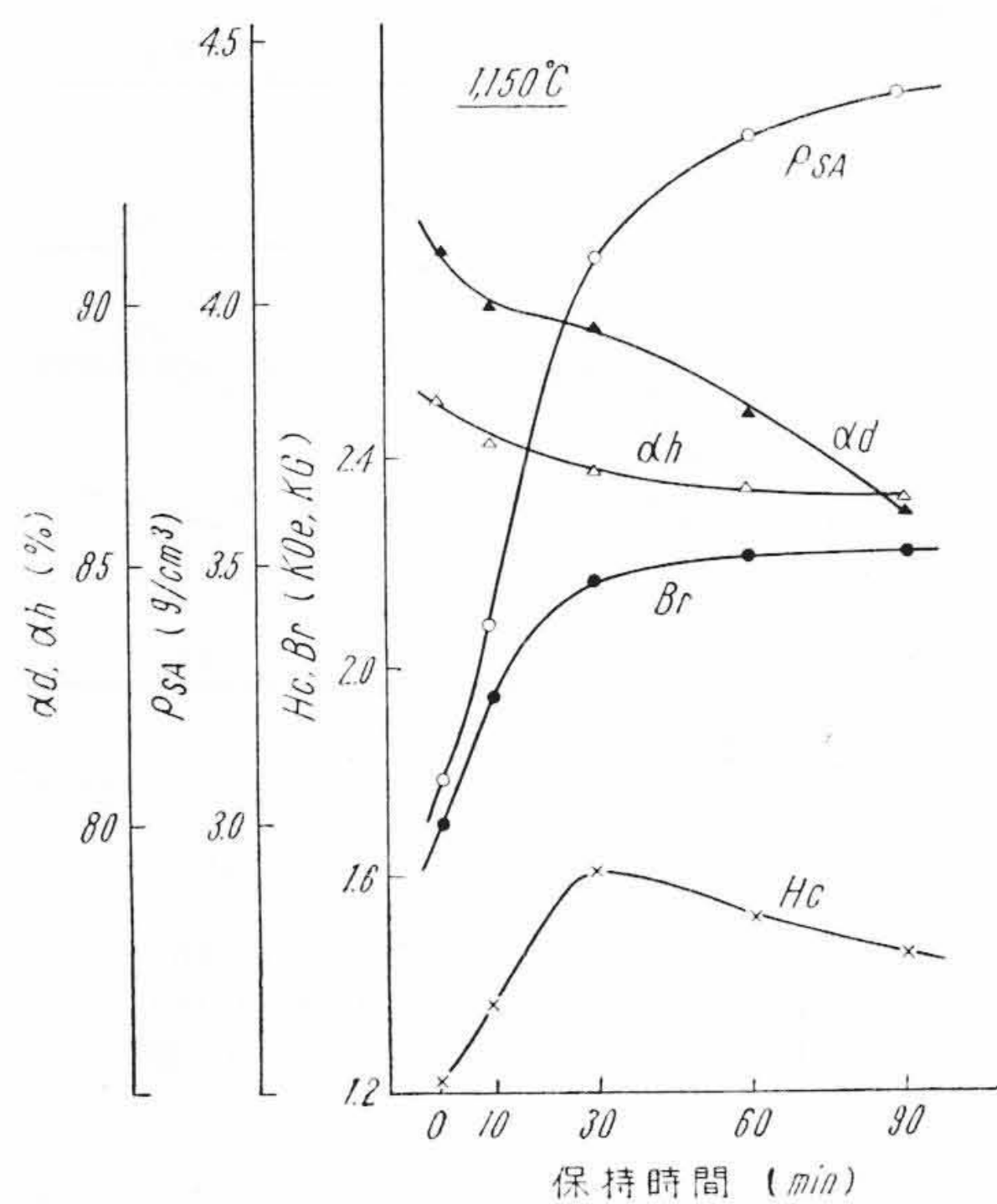
等方性磁石のプレス圧力による磁性 (H_c , B_r), 焼成前後の見掛密度 (ρ_{SB} , ρ_{SA}) および焼成収縮率 (径方向 α_d , 高さ方向 α_h) の変化を第9~10図に示す。試料は 10φ である。焼成温度がやや不足と考えられる 1,150°C×30 min の場合、圧力の少ない箇所では α_h が α_d より大きくなり、 ρ_{SA} が低下し、 B_r , H_c も悪い。焼成温度を 1,250°C まで上げると、1.5 t/cm² の圧力で磁性は飽和し、 α , ρ の変化も少なくなる。一般に加圧方向、すなわち高さ方向の収縮が大きいのは、プレス成形と異方性との関係のあることを示している。

試料の高さを増すと圧力の伝達が十分でない箇所を生じ、焼成後完全円筒のものが得られなくなる。10φ にて約 40 mm の試料を成形し、その焼成前後の位置による見掛密度、収縮率を第1表に示す。プレス成形は金型、プレス共片押とした。焼成前は上下位置により密度に明確な差があるが、焼成後は収縮により改善され、密度の差は少ない。

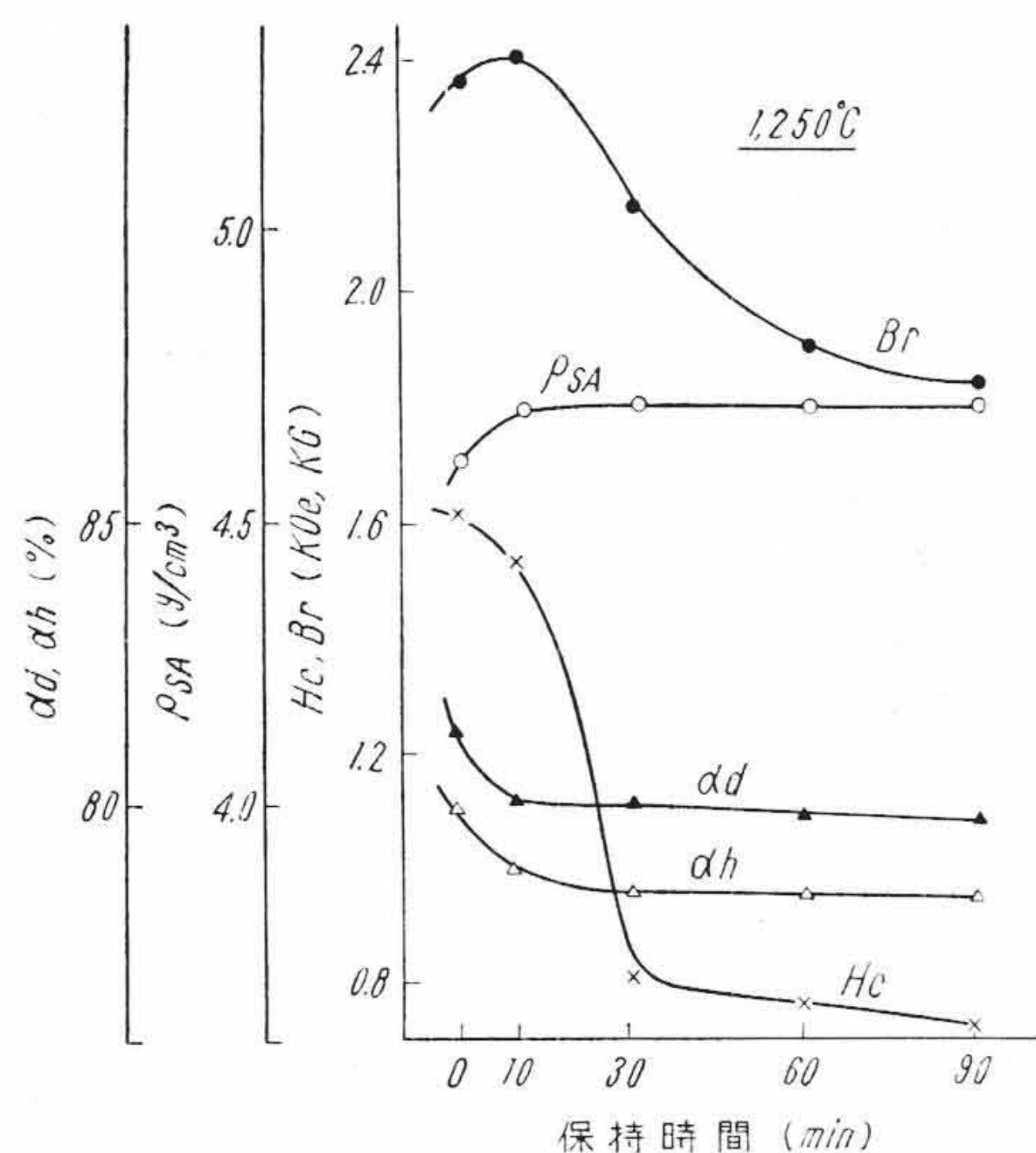
3.3 焼成

焼成作業は電力費、寸法精度、磁性などの点からプレス作業にとらず重要な工程である。

等方性磁石の場合、二次焼成保持時間の影響を第11~12図に示す。温度の低い場合保持時間による磁性の変化は少ないが、収縮率は大きく変化する。焼成温度の高い場合は逆に磁性の変化が大きい、収縮率は一定となる。



成分比 1: 50 一次焼成 1,000°C×2h
ボールミル粉碎 10h プレス圧力 2 t/cm²
二次焼成 1,150°C
第 11 図 二次焼成保持時間の影響



成分比 1: 50 一次焼成 1,000°C×2h
ボールミル粉碎 10h プレス圧力 2 t/cm²
二次焼成 1,250°C
第 12 図 二次焼成保持時間の影響

4. 製品および応用例

4.1 製品

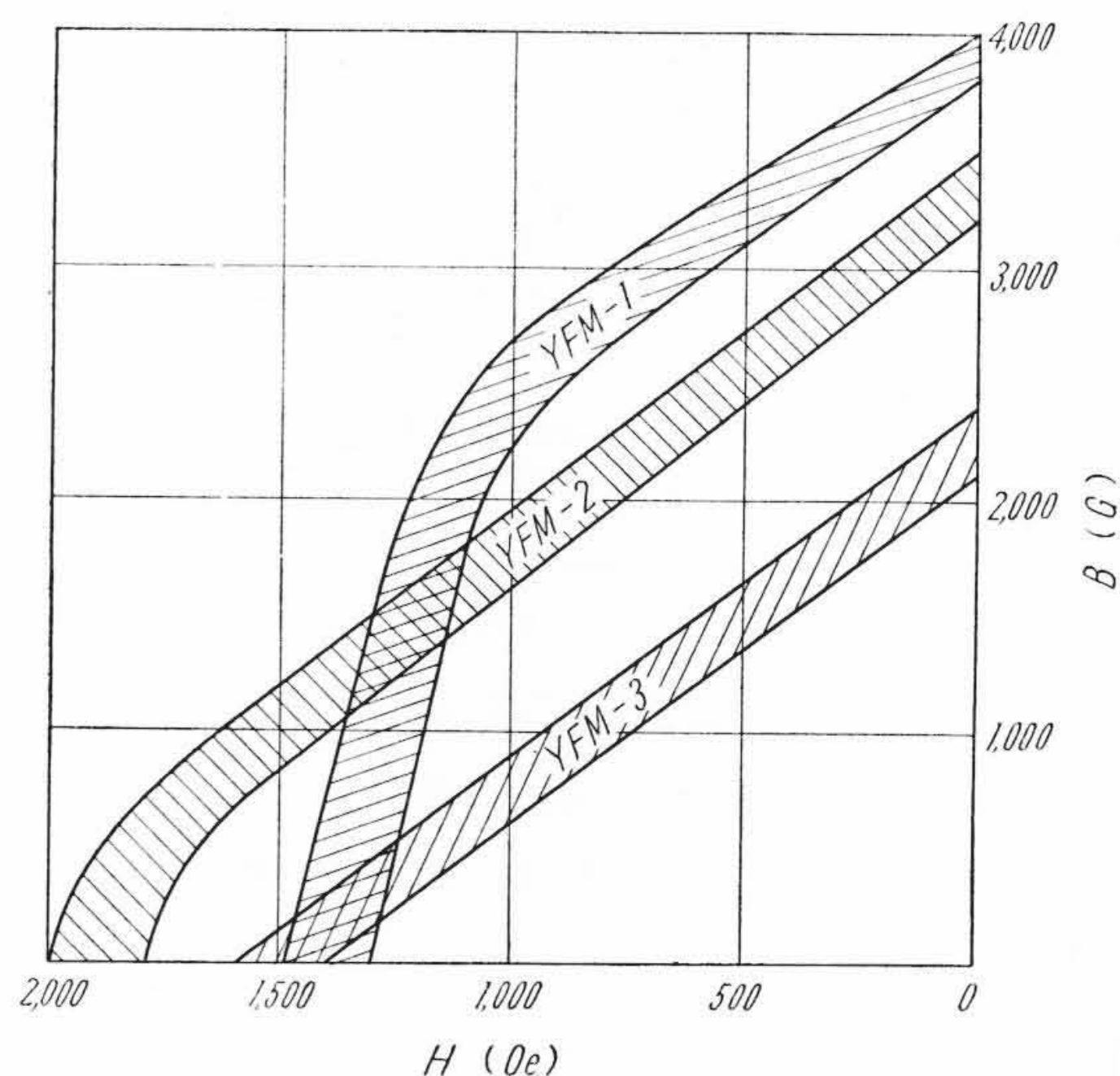
以上のように種々検討し量産せる磁石の磁性を第 13 図に、その諸性質を第 2 表に示す。これらの諸性質の詳細は追って報告する。

YFM-1 は異方性で、もっとも (BH)_{max} の高い磁石である。Hc を若干犠牲にし、Br を高くし、パーミアンス係数の大きいスピーカなどに利用されるよう製造している。

YFM-2 も異方性磁石であるが、Br を低くし、Hc を著しく大きくして、減磁の諸因子に対しても抵抗力をもたせたものであって、磁選機、チャック、ギャップの大きい発電機などに適する。

YFM-3 は等方性磁石であって、その減磁曲線は直線であり、かつマイナーループがそのごく近くを通るため、着磁後、磁気回路を組立てても、減磁はほとんど問題とならない。ゆえに小形モータ、玩具、レシーバ、家庭用品などに有効に利用されよう。

第 2 表に示すとおり、機械的強度はほかの金属磁石に比し若干劣



第 13 図 量産にて得られるフェライト磁石の減磁曲線

第 2 表 量産 Ba フェライト磁石の諸性質

性 質	単 位	YFM-1	YFM-2	YFM-3
Br	G	3,777~4,000	3,200~3,500	2,100~2,400
Hc	Oe	1,300~1,500	1,800~2,000	1,400~1,600
BH(max)	G・Oe×10 ⁶	2.6~2.9	2.0~2.2	0.8~0.9
キュリー点	°C	450 ~ 465		
可逆導磁率	G/Oe	1.1 ~ 1.5		
電気抵抗	Ω-cm	>10 ⁶		
見掛密度	g/cm ³	4.6 ~ 5.0		
Brの温度係数	%/°C	0.18		
熱膨脹係数	%/°C×10 ⁻⁴	1.0 ~ 2.5		
抗折力	kg/cm ²	100 ~ 200 (支点 20mm)		

注：～の範囲は磁石形状により多少異なるため示した

第 3 表 着磁方向による吸着力の変化

鉄板との距離 (mm)	着磁方向 ↑	着磁方向 ↗
0	166.5	275.0
1.75	56.5	91.5
5.30	14.5	17.5
10.61	3.2	3.5

↑ 片面N, 他方S極

↗ 片面にNおよびS極

るが、形状を改善し、または他の物質で補強すれば、高速回転するものに利用しても安全確実である。

Br の温度係数は铸造磁石の約 10 倍であるが、その直線性がすぐれているので、温度補償も容易である。

またフェライト磁石は粉末冶金の方法で製作されるため、小さいものも、複雑な形状のものも容易に量産ができる点は、工業的にも非常に有利である。

4.2 応用例

4.2.1 吸着用磁石

100 g 程度の物体を固定する磁石として、YFM-3 20φ×5 mmt の磁石が用いられているが、その着磁方向と吸引力の関係を第 3 表に示す。片面に N および S 極がともに出るよう着磁するとその吸着力は、従来の高さ方向の着磁に比し約 1.5 倍に著しく上昇する。固定用としてはこのように、片面に N および S 極がともに出るようになるのが有利である。

4.2.2 磁気選別機

磁石式磁気選別機は極の反転により不純物を選別し、かつ排鉛

に良品が逃げないように、できるだけ遠い距離まで強い磁場を示すことが必要である。従来は鑄造磁石またはOP磁石を、「コ」の字形にまげたり、ヨークで組立てたりしているが、ベルト表の面で磁束密度は構造上 1,000 G 以上にするには困難であった。Ba フェライト磁石の場合は $(BH)_{\max}$ 点がパーミアンス係数 B/H で 1.5~2.5 にあるため寸法比 L/D 1~2 で $(BH)_{\max}$ を示す B_d をうる経済的設計が可能である。

簡単な磁気回路でもって、YFM-3 の場合ベルト上 1,000 G, 10 mm はなれ 300 G, YFM-2 の場合ベルト上 1,450 G, 10 mm はなれ 450 G の実用製品を試作することができた。

5. 結 言

- 1) Ba フェライト磁石は性能、価格、製造などの諸点から広く各業界からの期待にそいうる発展性ある磁石である。
- 2) Ba フェライト磁石粉末は凝集力が著しいので、粒度測定に際し分散方法を注意しなければならない。
- 3) 真粒度が小さいほど落下見掛密度は小さく、見掛密度は大きい。
- 4) 仮粒粒度と乾燥効率、見掛密度、流動性などとの間に相関が

大きい。自動プレス成形に際し、これらの諸関係より最良点を求める必要がある。

- (5) プレス成形圧力の影響は圧力が 1.5 t/cm^2 以下および焼成温度が低い場合に著しい。
- (6) 焼成温度が比較的低い場合磁性は安定であるが収縮率に変化が大きい。高い場合は収縮は安定するが、磁性が保持時間の影響を受けやすくなる。
- (7) 種々の製造研究により、異方性磁石 YFM-1 および YFM-2, 等方性磁石 YFM-3 を量産することができる。
- (8) 磁性および二、三の応用製品の性能を示した。

参 考 文 献

- (1) K. J. Sixtus: PB レポート第 121865 号
- (2) 小川: 粉体科学序説 (1957-4 日刊工業新聞社)
- (3) 森: 粉体工学 (昭 32-12, 日刊工業新聞社)
- (4) 粉末冶金技術研究会: MPA 規格 (昭 31-4)
- (5) 牧野: 最近の磁石とその応用 (昭 33-10 アグネ社)
- (6) Philips 社: 日本特許 第 210007 号
- (7) 理化学研究所: 日本特許 第 256800 号



新 案 の 紹 介



登録新案第 493036 号

青 木 勝・森 幸 治

杵形ジブコールカッタにおける杵形ジブのロック装置

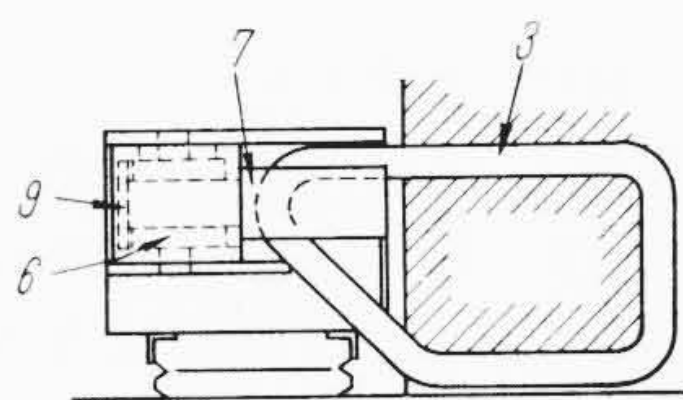
構 造

この考案のロック装置は、旋回ブロック 6 に支持した杵形ジブハンガー 7 が旋回ブロック 6 の水平旋回にもない水平軸を中心として回転するよう構成した杵形ジブコールカッタにおいて、杵形ジブを自動的にロックするもので、つぎのような構造からできている。

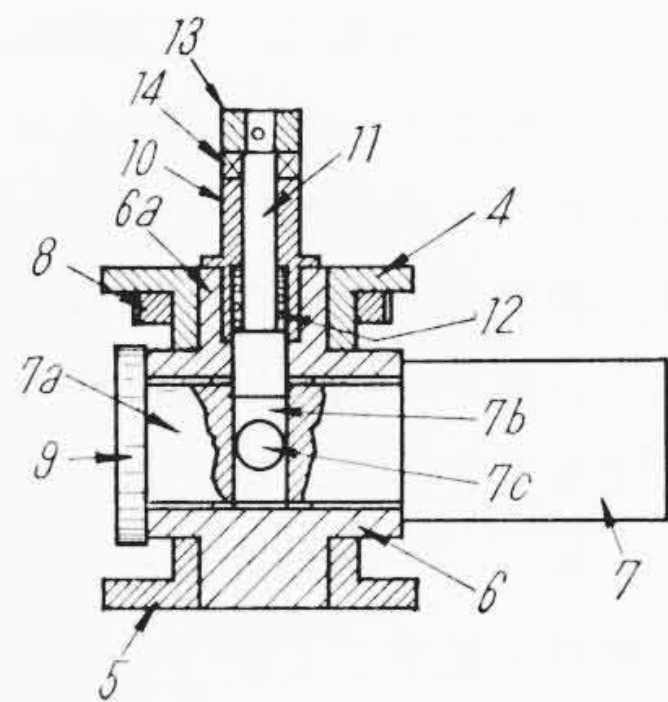
- (1) 旋回ブロック 6 の上方軸部 6a に筒体 10 を固定し、その内部にバネ 12 をロック方向に作用させたロックピン 11 をおさめる。
- (2) ロックピン 11 の上端に固定した操作キャップ 13 の下端と筒体 10 の上端とに、互いにかみ合ったときロックピン 11 がロック方向に動くことができ、またかみ合いがはずれたときはロックピン 11 が拔出し状態に保持されるようにして制御突起 14 を形成する。
- (3) ロックピン 11 の直下における杵形ジブハンガー 7 の軸部 7a に互いに直交するロック用穴 7b, 7c を設ける。

作 用

ロックピン 11 が穴 7b にはまっている図の状態から杵形ジブの旋回および回転を行うには、まず操作キャップ 13 とともにロックピン 11 を引上げ、制御突起 14 のかみ合いを解くと同時に操作キャップ 13 を少し回して制御突起のかみ合いが起らない状態に保つ。そこで旋回機構を介して旋回ブロック 6 に旋回運動を与えると、固定歯車 8 と大歯車 9 との間の連動歯車群を経て杵形ジブハンガー 7 が回転させられる。このとき操作キャップ 13 をもとにもどして制御突起 14 のかみ合いが起る状態とする。したがってロックピン 11 の下端は軸部 7a の外周面にバネ 12 により押しつけられる。この状態で旋回ブロック 6 をさらに旋回させると、杵形ジブ 3 が水平状態になったところでちょうど穴 7c がロックピン 11 の直下に



透視時の正面図



ロック装置の断面図

変位し、バネ 12 の力によりロックピン 11 が穴 7c に自動的にハマりこむ。そして杵形ジブハンガー 7 が旋回ブロック 6 を介して上、下ヘッドロックハンガー 4, 5 に固定される。このようにして杵形ジブのロックが行われる。

効 果

この考案によれば、杵形ジブ 3 が切截位置にきて機体と垂直になった時、また移設時杵形ジブ 3 が機体の延長線上に水平になった時、それぞれ 1 個のロックピン 11 によりジブハンガーの水平旋回および水平軸を中心とする回転運動に関連して自動的に確実にロックができ、かつその際操作キャップ 13 が下方におりることによりロックによる固定終了を確認できるので、炭壁崩落の危険の多い杵形ジブに近接することなくジブの固定作業を安全確実にすることができる。

(富 田)