

## 高勾配磁選機による県内カオリンの精選とその利用

神野好孝, 蘭田徳幸, 石橋修\*, 陣内和彦\*, 恒松絹江\*, 立山博\*,  
 広末英晴\*, 木村邦夫\*, 西村聡\*, 河口純一\*\*, 寺崎信\*\*

### Purification of Kaolin Producing in Prefecture by High Gradient Magnetic Separator and Application of the Products

Yoshitaka KAMINO, Tokuyuki SONODA, Osamu ISHIBASHI\*,  
 Kazuhiko JINNAI\*, Kinue TSUNEMATSU\*, Hiroshi TATEYAMA\*,  
 Hideharu HIROSUE\*, Kunio KIMURA\*, Satoshi NISHIMURA\*,  
 Junichi KAWAGUCHI\*\* and Makoto TERASAKI\*\*

高勾配磁選機（以後HGMSとよぶ）による県内カオリンの精選とその利用を検討した。  
 その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 入来カオリンに含まれる鉄鉱物は粗粒域に多く含まれているので除去され易いが、チタン  
 鉱物は微粒域に多いので鉄鉱物より除去されにくい。
- 2) 本実験における入来カオリンの脱鉄限界は0.55%程度であり、脱チタン限界は0.57%程度  
 である。
- 3) 大口カオリンはHGMSによる精選は困難である。これは鉄やチタンが球状ハロイサイトの  
 結晶格子にとりこまれているためであると推察される。
- 4) 入来カオリンのHGMS処理産物はパイライト浮選処理産物よりも白色度が増加する。
- 5) 有田焼の配合原料として入来カオリンのHGMS処理産物を使用する場合、TiO<sub>2</sub>含有  
 率が多いため、白色度、透光性が低減する。
- 6) 薩摩焼の原料として入来カオリンのHGMS処理産物を60%程度配合すると、市販の薩摩焼  
 坏土より優れた性能の坏土が得られる。

### 1. はじめに

通商産業省工業技術院は九州地方の重要地域技術研究開発のテーマとして、「低品位窯業原料の有効利用技術の研究開発」（昭和57～62年）を取り上げた。この研究は高品位陶石の枯渇化に対処するため低品位未利用陶石及びカオリン資源から不用成分を除去する高品位化技術と、各種陶石を

配合して品位を安定させる均質配合技術の確立とから構成されており、九州工業技術試験所を中心として産官13機関が参加して共同研究体制のもとに推進された。

本県は県内カオリンの高品位化と陶磁器原料としての利用を目標としてこれに参画した。

県内には、数ヶ所の粘土鉱山があるが、現在稼行しているものは入来カオリンと大口カオリンの2鉱山である。いずれも採掘後精選を行ない、主として製紙用充填材及びコーティング材として出荷されている。

\* 工業技術院九州工業技術試験所

\*\* 佐賀県窯業試験場

\* Government Industrial Research Institute,  
 Kyushu

\*\* Saga Prefecture Ceramic Research Institution

入来カオリン鉱山は、カオリナイトを主体とした浅熱水性粘土鉱床であり、東西約150m、南北約100mの露頭鉱床があり、昭和39年より製紙用カオリンとして生産を開始し、今日ではコーティング用として550 t/月、フィルター用として250 t/月程を出荷している。

この鉱床はパイライトの有無により硫化帯と酸化帯に大別され、硫化帯のカオリンは浮遊選鉱によりパイライトを除去した後、次亜塩酸ナトリウムで漂白して精製を行なっている。しかし入来カオリンには精製後も微粒のパイライト ( $Fe_2O_3$  として1~2%) やチタン鉱物 ( $TiO_2$  として1~2%) が存在するために、これを焼物に利用した場合焼成後イルメナイトを生成し灰色に着色するので陶磁器原料として使いづらい原因となっている。

一方、大口カオリンは安山岩を覆った流紋岩が変質作用を受け粘土化したもので球状のハロイサイトを主体としている。大口カオリンも採掘後精製されて製紙用クレーとして出荷されているが、これも  $Fe_2O_3$  として2~3% を含有し陶磁器用原料としてはあまり利用されていない。

そこで入来カオリンや大口カオリンの不用鉱物をHGMSにより除去し、陶土の配合原料として利用する研究を行なった。当所は分担研究としてHGMS処理精鉱の評価を分担し、製紙用原料及び有田焼、薩摩焼の原料として用いる場合の白色度、陶土特性、焼成特性などについて検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 装置の原理と構成

高勾配磁力選鉱法<sup>1)</sup> (HGMS: High Gradient Magnetic Separation) は、米国マサチューセッツ工科大学とサラグループとの共同開発によって完成された高勾配磁場を利用した選別法である。従来の磁力選鉱機は、鉄および磁鉄鉱等の強磁性物質でしかも比較的粗粒子を分離するのに有効な方法として、一般的に利用されてきた。これに対し、HGMSは約二十年前からカオリンの精製用として開発が進み、実用化されたもので非常に磁性の弱い微細な粒子であっても分離処理

出来るところが特徴である。

HGMSの理論には、力平衡モデルと粒子航跡モデルとがある。ここでは力平衡モデル(図1)によって説明する。

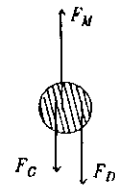


図1 粒子に働く力の釣合(力平衡モデル)

磁場内に置かれた磁性物粒子に働く磁気吸引力  $F_M$  は(1)式で表わされる。

$$F_M = \pi / 6 D^3 \rho \chi H dH / d\chi \quad (1)$$

$F_M$  (dyne) 磁気吸引力  $D$  (cm) 粒子直径

$\rho$  ( $g/cm^3$ ) 粒子密度

$\chi$  (emu/g) 粒子帯磁率

$H$  (Oe) 磁場の強さ

$\frac{dH}{d\chi}$  (Oe/cm) 磁場勾配

一方、磁気吸引力に対抗する力  $F_C$  は重力  $F_G$  と流体抵抗力  $F_D$  であり、次式で表わされる。

$$F_C = F_G + F_D \quad (2)$$

$$F_G = \pi / 6 D^3 \rho g \quad (3)$$

粒子が細かく流速があまり大きくない層流範囲では、流体抵抗力はストークス式によって(4)となる。

$$F_D = 3 \pi \eta D \nu \quad (4)$$

$F_G$  (dyne) 重力  $F_D$  (dyne) 流体抵抗力

$g$  ( $cm/s^2$ ) 重力加速度  $\eta$  ( $g/cm$ ) 粘性

$\nu$  ( $cm/s$ ) 流速

式の(1)(2)において着目粒子が磁気吸引されるためには  $F_M > F_C$  でなければならない。

ところで  $D$ ,  $\rho$ ,  $\chi$  は粒子側の条件、 $\eta$  は流体側の条件であるのに対し、 $H$ ,  $dH/d\chi$  は機械側の条件であり、また  $\nu$  は操作側の条件となっている。

いま(1)式の磁気吸引力に最も大きい影響を与えている機械側の条件  $H$ ,  $dH/d\chi$  および  $H dH/d\chi$  につき、各種磁力選鉱機別に比較してみたのが表1である。

表1および(1)式でわかるように、 $H dH/d\chi$  が大きくなれば  $D$ ,  $\chi$  が小さくても大きい磁気吸引力  $F_M$  が得られることになる。高勾配磁気分離装置においては  $H dH/d\chi$  を非常に大きくとれる構造となっている。

表1  $H, \frac{dH}{dx}, H \frac{dH}{dx}$

区 分	磁選機名	磁場 $H$	磁場勾配 $\frac{dH}{dx}$	磁界条件 $H \frac{dH}{dx}$ ※	
		$O_e$	$O_e/cm$	$O_e^2/cm$	
Conventional Low-intensity	Drum	$0.5 \times 10^3$	$0.5 \times 10^3$	$0.25 \times 10^6$	
	Davis Tube Tester	$4 \times 10^3$	$4 \times 10^3$	$1.6 \times 10^6$	
High-Power	High-intensity	Frantz Ferrofilter	$10 \times 10^3$	$100 \times 10^3$	$1.000 \times 10^6$
		Jones	$20 \times 10^3$	$200 \times 10^3$	$4.000 \times 10^6$
	High-gradient	HGMS (SALA)	$20 \times 10^3$	$2000 \sim 20,000 \times 10^3$	$40000 \sim 400,000 \times 10^6$

※  $H \frac{dH}{dx}$ は磁界条件としたがForce index あるいはForce density ともいわれる。

磁場内におかれた磁性体粒子は図2に示すように両端に磁極を生じ、 $F_N, F_S$  の力を受ける。(a)の均一磁場の場合は $F_S = F_N$  となり、みかけ上力が働かない。一方、(b)の不均一磁場の場合は $F_S < F_N$  となり、 $F_N$  の向きに $F_N - F_S$  だけの磁気力で吸引される。

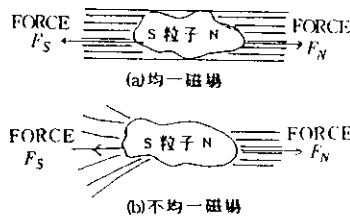


図2 磁場内の粒子に作用する磁気力

本装置では、図3に示すように、電磁石に直流を流した場合発生する均一内部磁場そのものを磁気分離空間とし、そこに強磁性細線（マトリックス）をつめた容器（キャニスター）を入れることによって、均一磁場を攪乱し、細線表面に磁場勾配  $dH/dx$  の非常に大きい場所を多数形成する。マトリックスとしては耐摩耗、耐蝕性のエキスパンドメタル、スチールウールを用いている。ソレノイド状のコイルは外部をリターンフレームという鉄棒で囲まれ、磁気回路を形成しているので、磁気漏洩が殆んどない。

高勾配磁気分離装置にはサイクリックタイプ（図4）とカローセルタイプ（図5）とがある。サイクリックタイプは着磁物含有率の比較的小な

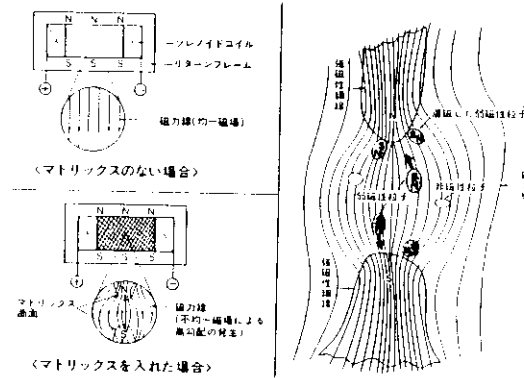


図3 高勾配磁気分離装置の原理

い原料を処理する場合、たとえば粘土の精製に用いられる。カローセルタイプは着磁物含有率の多い原料を処理する場合、たとえば鉄鉱石の選鉱に用いられる。

今回用いた実験装置は九州工業技術試験所所有のSALA-HGMSサイクリックタイプ（10-15-20型）で、マグネット内型10cm、マトリックスの厚さ15cm、最大定格磁場強度20KGである。図6に装置の概要を示す。基礎実験に用いたマトリックスは微細スチールウール（FW線径約75  $\mu$ m）が内径3.94cm、高さ15cm充填（充填率47%）されたものである。また、有田焼、薩摩焼の配合

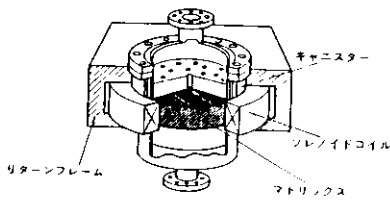


図4 サイクリックタイプ

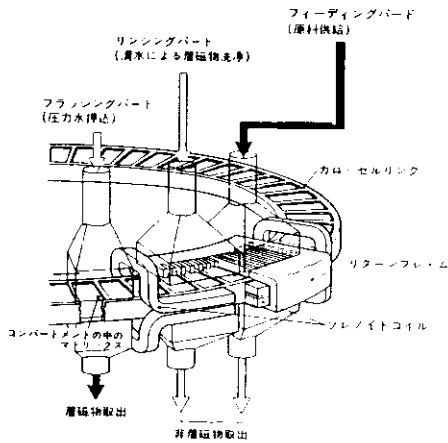


図5 カローセルタイプ

原料としての試験を行うために、内径8.49cm、高さ15cmの微細スチールウール製マトリックスを用いてカオリンの大量処理を行った。処理は九州工業技術試験所で行った。

給磁のスラリー濃度は20%とし、分散剤としてはトリポリリン酸ナトリウムを0.2%の割合で用いた。スラリーの最適分散剤濃度は、試料調整後、スラリーを一日放置し、その粘度をB型粘度計で測定し、最小粘度を与える濃度を求めた。

HGMSのパラメータとして、磁場の強さ、マトリックスローディング（試料重量をマトリックス体積で除した値  $g/cm^3$ ）などを変えて実験を行い、処理後、全量を乾燥し、マトリックスローディング、精磁の歩留と鉄分含有率、チタン分含有率および鉄分除去率、チタン分除去率などを求めた。<sup>2)</sup>

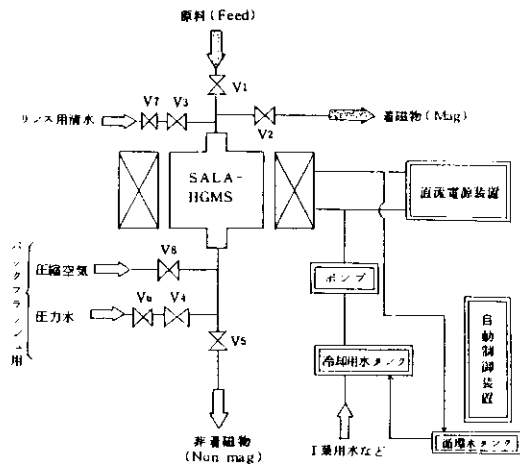


図6 HGMS装置の概要

## 2.2 実験に用いた試料

### 2.2.1 入来カオリン

実験に用いた入来カオリンは、パイライトおよびチタン鉱物を含有する硫化帯のカオリンで、次の二種類である。一つは原磁を湿式解砕後、トロンミルにより500  $\mu m$ 以上の粒子を除去したものをアトリションミルで摩磁し、分級により44  $\mu m$ 以下にした試料（以下、原磁と呼ぶ）である。他の一つは、アトリションミルで摩磁後、浮遊選磁によりパイライトを除去し、さらに分級により44  $\mu m$ 以下にした試料（以下、浮選産物と呼ぶ）である。試料の化学組成を表2に、SEM写真を図7に示す。

表2 給磁試料の化学組成 (wt%)

試料	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
原磁	46.8	33.6	1.48	1.22
浮選産物	47.9	33.7	0.89	1.13
CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	lg.loss
0.17	0.08	0.04	0.08	13.8
0.11	0.12	0.01	0.08	13.8

陶磁器原料としてよく用いられるニューージーランドカオリンのFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は0.3%程度、TiO<sub>2</sub>

は0.08%程度の含有に対して、本試料は $Fe_2O_3$ 、 $TiO_2$ を相当量含有している。浮選産物はパイライト浮選により $Fe_2O_3$ がかなり除去されているが、 $TiO_2$ 分はほとんど原鉱と変わっていない。

図8に試料のX線回折パターンを示す。図より入来カオリンに含まれる鉱物は、カオリナイト、

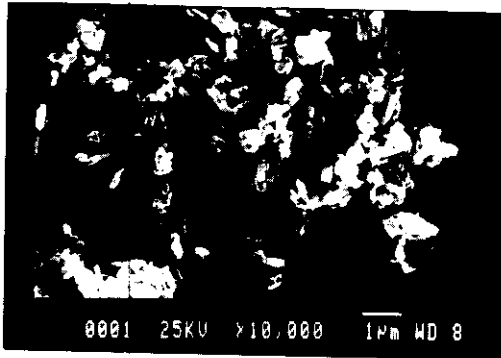


図7 入来カオリンのSEM写真

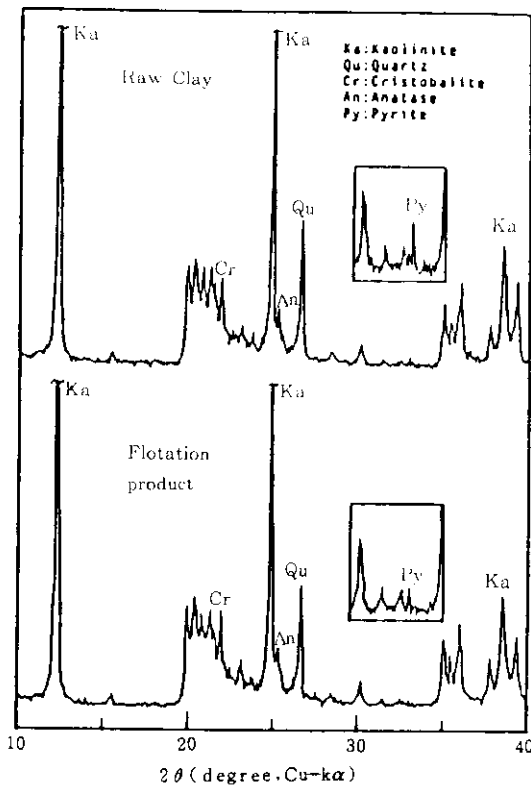


図8 給鉱のX線回折パターン

石英、クリストバライト、パイライト、アナターゼなどである。また浮選産物はパイライトが浮選によりかなり除去されていることが判る。ノルム計算によると約85%がカオリンである。

原鉱の粒度別の重量割合および $Fe_2O_3$ 、 $TiO_2$ 含有率を表3に、X線回折パターンを図9に示す。この試料は1  $\mu m$ 以下の粒子が約59%含まれる微細な試料であることが判る。 $Fe_2O_3$ の含有率は5~10  $\mu m$ に一番多く、10~44  $\mu m$ および3~5  $\mu m$ にも相当量含まれている。粗粒域の鉄分は主にパイライト<sup>3)</sup>によるものである。一方、 $TiO_2$ の含有率は1~3  $\mu m$ の粒度で多くなっておりこれはアナターゼ<sup>3)</sup>によるものである。

表3 原鉱の粒度別の比率と化学組成 (wt%)

粒径範囲 ( $\mu m$ )	重量%	$Fe_2O_3$	$TiO_2$
10~44	10.6	2.08	0.60
5~10	9.1	2.40	0.84
3~5	6.6	2.18	0.94
2~3	4.7	0.57	1.37
1~2	9.9	0.53	2.05
-1	59.1	0.74	1.12

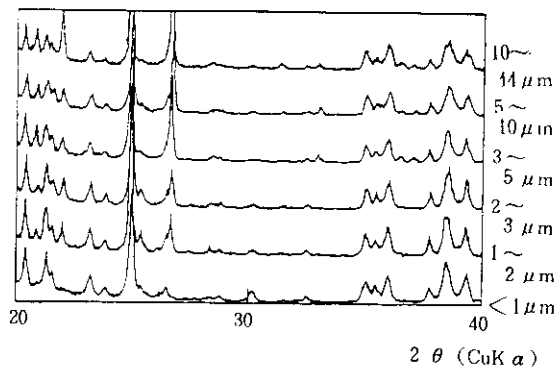


図9 原鉱の粒度別のX線回折パターン

2.2.2 大口カオリン

実験に用いた大口カオリンの化学組成を表4にSEM写真を図10に、X線回折パターンを図11に示す。これより大口カオリンは球状の加水ハロイサイトであり、また鉄は鉱物としては存在していないことが判る。

2.3 HGMS処理物の評価方法

白色度の測定は「JIS M8016 製紙用ろう石クレーの試験方法」に準じた方法で測定した。

表4 大口カオリン給鉱の化学組成(wt%)

SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		TiO <sub>2</sub>	
44.3		36.2		3.38		0.52	
CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O		I g.loss		
0.22	0.08	0.07	0.24		14.4		

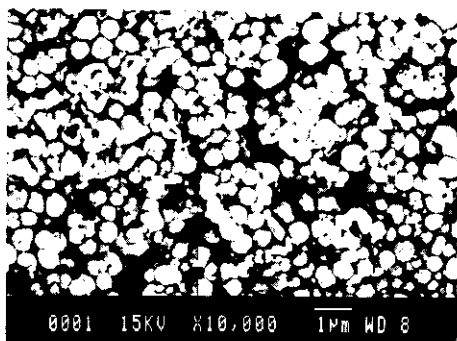


図10 大口カオリンのSEM写真

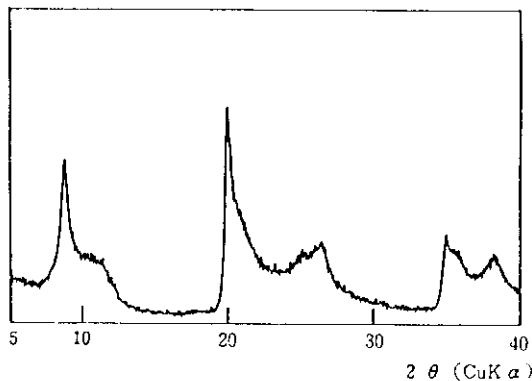


図11 大口カオリンのX線回折パターン

配合試験は乾土換算で配合後、解こう剤として0.2~0.4%の水ガラスを添加し、含水率が30~35%になるように泥しようを調整した。成形は常圧排泥鑄込み法で行ない、焼成は有田焼の場合1300℃、還元炎焼成、24時間、薩摩焼の場合1250℃、酸化炎焼成、8時間で焼成し、それぞれ物性を測定した。薩摩焼における貫入の観察は、画像解析装置ルーゼックス5000を用い3×3cm<sup>2</sup>の貫入の面積と粒度分布を測定した。

3. 結果及び考察

3.1 HGMS処理

3.1.1 入来カオリンの場合

入来カオリン原鉱のマトリックスローディングと精鉱歩留およびFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>含有率との関係を図12に示す。右縦軸上の記号□、△はそれぞれ給鉱のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>である。図によると、lが大きくなるほど精鉱歩留は大きくなるが、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>の含有率も大きくなる。このことは、lが大きくなるにしたがって1回当りの給鉱量が増加するため、マトリックスに着磁可能な粒子が着磁されないで精鉱に混入することによるものと推察される。実験範囲のlにおいて、

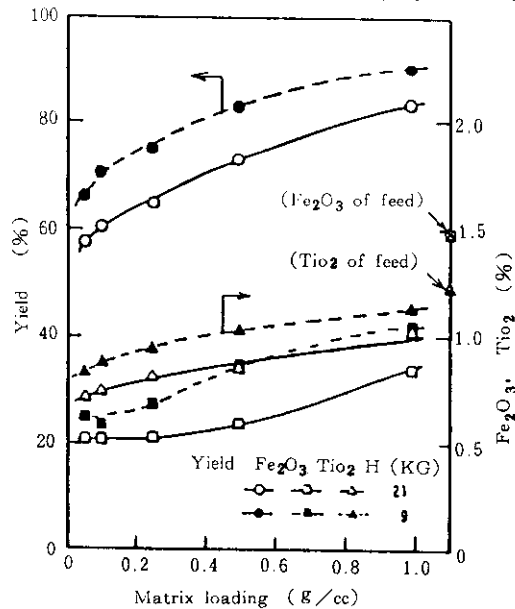


図12 入来カオリン(原鉱)のHGMS処理結果

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> には破過現象 (break through) は認められないが、TiO<sub>2</sub> には破過の傾向が認められる。次に、同一の *l* において、磁場の強さ *H* による影響を比較すると、*H* が大きくなるほど Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> の含有率は小さくなるが歩留も小さくなる。これは *H* が大きくなると見かけの帯磁率が小さい片刃粒子が着磁することや尾鉱中への粒子の噛み込みが多くなることなどによるものと思われる。

浮選産物のマトリックスローディング *l* と精鉱歩留および Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub> 含有率の関係を図13に示す。浮選産物の場合は、表2、3に示したようにパイライト浮選により粗粒部の鉄分が相当に除去されているため、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の低下率は原鉱の場合より小さい。しかし、パイライト浮選で除去されなかった残存の鉄分もHGMSによりさらに除去されることが判る。TiO<sub>2</sub> については、原鉱の場合とほぼ同様である。以上の結果より、本実験範囲における入来カオリンの脱鉄限界は0.55%程度、脱チタン限界は0.57%程度である。

原鉱および浮選産物のマトリックスローディング *l* と精鉱の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 除去率、尾鉱 (着磁鉱物)

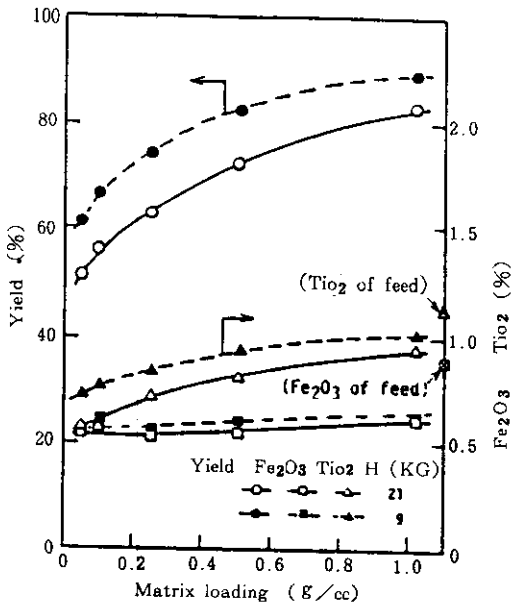


図13 入来カオリン (浮選産物) のHGMS 処理結果

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有率との関係を図14に示す。左縦軸上の記号□、○はそれぞれ原鉱および浮選産物の給鉱の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> である。図によると、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 除去率は、磁場の強さ *H* が大きく、かつマトリックスローディング *l* が小さいほど大きくなっており、通常の磁選結果と一致する。一方、尾鉱中の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有率は *l* の増加とともに直線的に増加している。このことは、図12で述べた精鉱の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有率が破過の傾向が認められないこととも関係しており、以下の理由によるものと推察される。

HGMS処理において、*l* が増加することは給鉱時間が長くなることを意味している。すなわち、給鉱時間が長くなると、一度マトリックスに着磁した弱い磁気吸引力を受ける粒子は、後続する粒子の衝突や流体によって剥離される。その結果、大きい磁気吸引力を受ける粒子 (比較的粒径が大きい粒子で帯磁率が大きい粒子) が選択的にマトリックスに着磁するものと考えられる。

次に、原鉱と浮選産物の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 除去率を比較すると、粒径 3~44 μm にパイライト粒子を含む原鉱の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 除去率が浮選産物の除去率より大きくなっている。これは、マトリックスに捕捉される

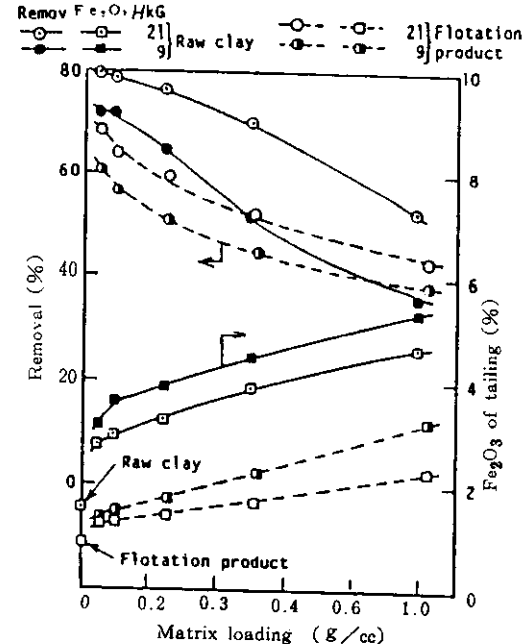


図14 入来カオリンの脱鉄状況

粒径Dの単一粒子の磁気吸引力 $F_M$ が式(1)で表わされるので、Dの3乗に比例した磁気吸引力が働くことによる。また尾鉱中の $Fe_2O_3$ 含有率は原鉱の場合が浮選産物の場合より大きくなっている。この差は、表2に示した原鉱と浮選産物の $Fe_2O_3$ の差0.59%が粗粒域のパイライトによるもので、原鉱を処理した場合、その $Fe_2O_3$ のすべてが尾鉱に回収されたと仮定して求められる値とほぼ一致している。

原鉱および浮選産物のマトリックスローディング $l$ と $TiO_2$ 除去率、尾鉱の $TiO_2$ 含有率との関係を図15に示す。左縦軸上の記号 $\bullet$ ,  $\square$ はそれぞれ原鉱および浮選産物の給鉱の $TiO_2$ である。図によると、 $l$ と $H$ による $TiO_2$ 除去率の傾向は、図14の $Fe_2O_3$ の場合とほぼ同様であるが、 $l$ が増加すると $TiO_2$ の除去率は急激に低下している。また、尾鉱の $TiO_2$ 除去率は、 $Fe_2O_3$ の場合と異なり、 $l$ が小さい範囲では $l$ の増加とともにわずかに増加しているが、 $l$ が0.5以上ではほとんど変化していない。このことは、チタン鉱物は鉄鉱物の場合と異なり、非常にマトリックスに捕捉されにくいこと、また、一度マトリックスに着磁した粒子が剥離され、その粒子が変わって新しく着磁された粒子も $TiO_2$ 含有率は変わらないこと、すなわち、破過点に達してい

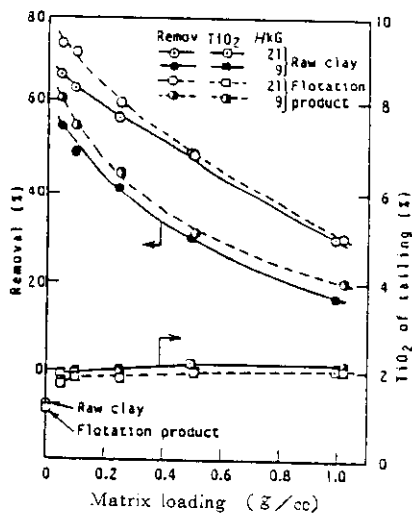


図15 入来カオリンの脱チタン状況

ることを表わしている。このようにチタン鉱物が鉄鉱物に比較して除去されにくいのは表3に示したように、チタン鉱物であるアナターゼが微粒域に多く含まれていること、およびパイライトの帯磁率がアナターゼの帯磁率より数十倍大きいことなどにより、式(1)で与えられる磁気吸引力が小さくなることによると推察される。

### 3.1.2 大口カオリンの場合

大口カオリンのマトリックスローディング $l$ と $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ 含有率の関係を図16に示す。図中の右縦軸上の記号 $\square$ ,  $\triangle$ は給鉱の $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ 含有率である。図によると $l$ が小さくなるほど、 $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ の含有率は小さくなるが、程度は入来カオリンの場合と比較すると極めて小さい。このことは図11からも判断できるが、大口カオリン中の鉄やチタンは鉱物としては存在せず、球状加水ハロイサイトの結晶格子の中にとりこまれているため、単一粒子の帯磁率が小さく、よって式(1)の磁気吸引力 $F_M$ が小さいためと推察される。

### 3.2 HGMS処理物の利用

HGMS処理物のうち、大口カオリンは処理効果が殆んど期待できないので、利用研究は入来カオリンについてのみ実施した。

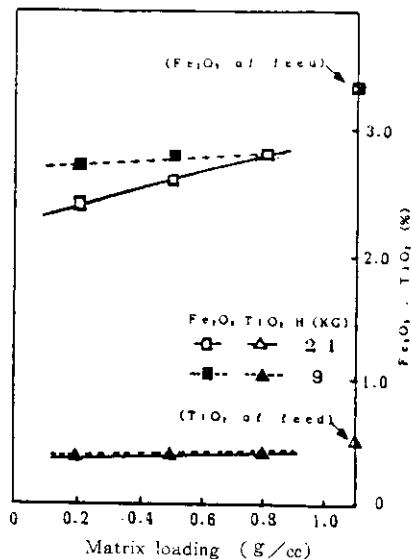


図16 大口カオリンのHGMS処理結果



一般にカオリンを製紙用コーティング材として用いる場合、鉄分、チタン分の含有率よりもその白色度が問題となる。原鉱をHGMSで処理した場合の白色度を表5に示す。

表5 HGMS処理カオリンの白色度

磁場の強度 (KG)	マトリックスローディング (g/cc)					原鉱
	0.05	0.10	0.25	0.49	0.99	
21	85.1	85.2	84.4	83.2	82.2	80.6
9	84.4	83.7	83.7	82.3	81.9	80.6

白色度は、磁場強度Hが大きく、マトリックスローディングIが小さいほど向上している。カオリン精製工場、浮遊選鉱によりパイライトを除去した場合、白色度が約2.8増加し、さらに、次亜塩素酸ナトリウムで漂白すると白色度が約2.5増加する。一方、HGMS処理産物は白色度が、最大4.6増加した。また、HGMS処理産物を漂白すると、さらに白色度が2~2.5増加することが調べられており、パイライト浮選処理の場合よりも白色度が向上し、従来品より上級の製紙用原料となることが判る。

HGMS処理カオリンを有田焼素地の配合原料として利用することを目的として、天草選上陶土の代替試験を行なった。さらに入来カオリン（入来配合素地）の評価のために、ニュージーランドカオリン（NZ配合素地）を使用し比較した。各素地の配合割合を表6に、HGMS処理産物及び他の配合原料の化学組成を表7に、焼成性状を表8に示す。

表7 HGMS処理カオリンと配合に用いた原料の化学組成

原 料	(wt%)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Ig. loss	
HGMS処理産物	48.05	36.15	0.56	0.66	0.18	0.21	0.05	0.07	13.57	
ニュージーランドカオリン	48.46	36.60	0.25	0.08	t r.	t r.	0.04	0.03	14.21	
インド長石	65.59	18.53	0.10	t r.	0.18	0.09	3.31	12.15	0.26	
天草選上	75.53	16.98	0.54	0.04	0.13	0.03	0.44	2.96	3.70	

表6 有田焼素地の配合割合

原 料	天草選上素地	入来配合素地	NZ配合素地
	天草選上	100	60
インド長石	-	17	17
HGMS処理産物	-	23	-
ニュージーランドカオリン	-	-	23

成形性では、泥しよの流動性、安定性は良好であったが、型離れが悪く作業性が劣った。しかし、乾燥後の削り作業性には問題はなかった。素焼後、下絵付を施し、さらに、珪灰石染付釉を施し、本焼成を行なった結果、キレ、ブクなどの欠点は観察されなかったが色相が少々黒みを帯びていた。また入来配合素地は、天草選上素地に比べて、収縮率、耐火度、吸水率については差が認められないが、軟化変形が小さくなっている。しかし、白色度は天草選中程度、透光性は天草選下程度である。これは、酸化鉄、酸化チタンが素地の白色度、透光性を阻害する成分であり、入来カオ

表8 有田焼配合素地の焼成性状

焼 成 性 状	天草選上素地	入来配合素地	NZ配合素地
乾燥収縮 (%)	5.80	5.34	5.50
焼成収縮 (%)	15.0	14.7	14.6
ベンディング (mm)	6.2	2.6	1.4
耐火度 (SK)	27+	26	28
白色度	86.0	80.4	87.4
透光性	○	×	△
吸水率 (%)	0.08	0.03	0.43

リンの場合、他の原料に比べてTiO<sub>2</sub> が著しく多く入来配合素地においてもTiO<sub>2</sub> が0.18%で天草選上素地の0.04%、NZ配合素地の0.04%よりも多いことによる。以上の結果より、HGMS処理カオリンはTiO<sub>2</sub> が多いため白磁用の原料としては問題があるが、白色度、透光性をそれほど必要としない場合は配合原料として利用できるものと思われる。

入来カオリンを薩摩焼(白薩摩)素地の配合原料としての評価を行なうために、素地を調整し、市販品との比較試験を行なった。配合素地の割合(%)を表9に、配合原料の化学組成を表10に、配合素地及び市販品の化学組成を表11に示す。素地は泥のように調整後、成形し、素焼を行なった後通常の合成土灰釉を施釉して本焼成を行なった。焼成性状において、HGMS素地は市販品より収縮率がいくらか増加しているが、吸水率は減少している。また白色度は、入来1級素地や薩摩A陶土より増加している。更に釉薬の貫入の個々の面積及びその分布は図17に示すように、HGMS素地お

表9 薩摩焼素地の配合割合

原 料	HGMS素地	入来1級素地
HGMS処理産物	60	-
入来1級カオリン	-	60
笠 沙 陶 土	40	40

表10 薩摩焼配合原料の化学組成

原 料	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig.loss
HGMS処理産物	48.6	36.4	0.58	0.66	0.08	0.15	t r.	0.08	13.7
入来1級カオリン	48.4	36.1	1.08	0.99	0.04	t r.	t r.	t r.	13.3
笠 沙 陶 土	67.6	21.3	0.57	0.07	0.06	0.14	0.28	5.28	4.7

表11 薩摩焼配合素地の化学組成

配合素地	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig.loss
HGMS素地	55.7	29.5	0.52	0.39	0.09	0.10	0.14	2.13	10.1
入来1級素地	57.0	29.4	0.81	0.59	0.07	0.06	0.16	2.22	9.7
薩摩A陶土	58.3	28.3	1.19	0.66	0.21	0.39	0.31	1.67	8.9
薩摩B陶土	62.4	24.5	0.56	0.17	0.07	0.09	2.01	2.91	7.3

表12 薩摩焼配合素地の焼成性状

焼成性状	HGMS素地	入来1級素地	薩摩A陶土	薩摩B陶土
焼成収縮 (%)	14.0	16.5	11.0	10.0
白色度	62.8	55.8	61.1	71.7
吸水率 (%)	0.7	0.7	7.5	2.3

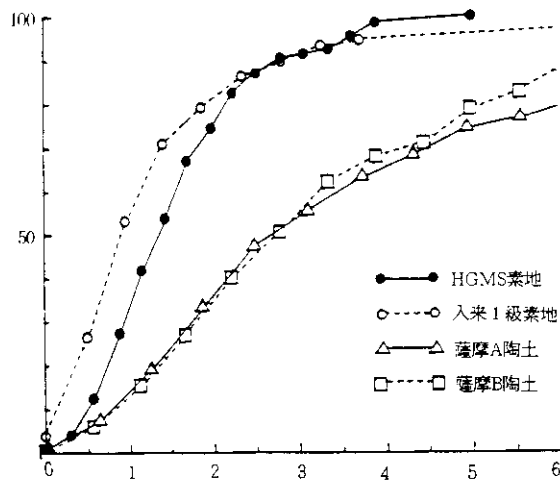


図17 貫入の面積分布累積曲線

よび入来1級素地は市販品より微細である。以上のことより、HGMS処理カオリンは薩摩焼の配合原料として利用が可能である。

#### 4. おわりに

高勾配磁選機により入来カオリン、大口カオリンの鉄分、チタン分の除去実験を行った。さらに入来カオリンの精製物を有田焼、薩摩焼の配合原料に用いて、製品評価を行った結果、次のことが明らかになった。

1)入来カオリンに含まれる鉄鉱物は粗粒域に多く含まれているので除去され易いが、チタン鉱物は微粒域に多いので鉄鉱物より除去されにくい。

2)本実験範囲における入来カオリンの脱鉄限界は0.55%程度であり、脱チタン限界は0.57%程度である。

3)大口カオリンは、鉄分、チタン分が球状加水ハロイサイトの結晶格子にとりこまれていると推察され、HGMSによる脱鉄、脱チタンの効果は小さい。

4)入来カオリンのHGMS処理物はパイライト浮選処理産物よりも白色度が増加する。

5)有田焼の配合原料として入来カオリンのHGMS処理産物を使用する場合、 $\text{TiO}_2$ 含有率が多いため、白色度、透光性が低減する。

6)薩摩焼の原料として入来カオリンのHGMS処理産物を60%程度配合すると、市販の薩摩焼坏土より優れた性能の坏土が得られる。

#### 参 考 文 献

- 1) (財)九州工業技術協会：高勾配磁力選鉱法 (HGMS) 研修会テキスト (1981)
- 2) 石橋修，陣内和彦，恒松絹江，立山博，広末英晴，木村邦夫，西村聡，神野好孝，河口純一，寺崎信：九州工業技術試験所報告，**40**，2605～2611，(1988)
- 3) 恒松絹江，立山博，石橋修，広末英晴，陣内和彦：日本鉱業会誌，**103**，[1191]，309～314，(1987)