100℃に達した。30%のカセイソーダでアルミニウムの溶解性を調べた結果、未処理、500℃に加熱、20時間粉碎でカセイソーダ1 l中の溶解量はそれぞれ0.05

g, 0.1 g, 24 gであった。

水礬土ボーキサイトについても類似の結果がえられた。

磁化焙焼，磁選および電気選鉱における新技術

正 会 員 原 田 種 臣*

1. ま え が き

Session Bの7篇の論文は、内容的に見て第1表のように分類できる。

第1表 Session Bの論文の分類

論 文 内 容	技術分野	論文番号	国 名
新しい操業方式の確立	磁化焙焼，磁選，その他	B-3 B-4 B-5	米 国 ソ 連 フ ラ ンス
新型装置の開発	電気選鉱 磁選 紫外線による選鉱	B-1 B-6 B-7	イ タ リ ア オーストラリア フ ラ ンス
現象の理論的考察	静電選鉱	B-2	東 ド イ ツ

本稿では、標題に包含される5篇の論文(B-3, 4, 5, 1, 6)を対象にして、そこに述べられている研究の動向を紹介してみたい。

2. 新しい操業方式の確立

B-5 パイロットプラント規模での流動磁化焙焼

M. Boucraut, R. Guyot, L. Ivanier,
I. Toth: Grillage Magnétisant en
Fluidisation à l'Echelle Semi-
Industrielle (フランス)

IRSID(鉄鋼研究所)によるフランスの鉄鉱石の磁化焙焼の研究は、最初100~200 kg/hを連続処理する実験装置で、ついで1~2 t/hのパイロット設備を用いて行なわれた。1965年、IRSIDはBazailles鉱山で、250 t/日の磁化焙焼パイロットプラントの操業を開始した。この工場はつぎの3工程から成り立っている。

(1) 粉碎：鉱石の粒度を、磁化焙焼に適した粒度に調整するための工程で、まえて250 mm以下に粗砕された鉱石を、乾式自生ミルで粉碎する。ミルはカスケードミル(内径3.3 m)であり、これは空気分級設備と組合せになっている。

(2) 磁化焙焼炉(第1図)：この設備は以下のもので構成されている。

a 4×1 mの矩形断面をもつ焙焼反応炉。これは4個の直接燃焼バーナーを備えている。鉱石は反応炉を通過しつつ、4個のバーナーそれぞれから出る噴煙により、順次に流動化される。

b 1個の予熱室(0.6×6 m)と2個の冷却室(0.25×6 m)からなる熱交換器。

* 工博 早稲田大学教授 理工学部資源工学科

第1図 磁化焙焼炉説明図(原論文B-5, 第2図)

c 付帯設備。鉱石の受入と排出装置、煙の脱塵装置、温度・圧力・ガス分析に関する計器類などからなる。

(3) 焙焼後の処理

a 湿式選鉱(第2図)

第2図 湿式選鉱系統図
(原論文B-5, 第3図)

第3図 乾式選鉱系統図
(原論文B-5, 第4図)

第2表 処理鉄鉱石の化学分析値

	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ⁺⁺	CO ₂	H ₂ O	方解石	菱鉄鉱
ロレーヌ石灰質鉄 (Tucquegnieux 鉱山産)	31.0	7.7	19.4	3.6	6.1	17.9	6.4	32.0	4.0
ロレーヌ珪酸質鉄 (Bazailles 鉱山産)	36.8	23.4	3.4	4.7	8.8	7.0	8.0	6.0	6.1
西フランス菱鉄質鉄 (La Ferrière 鉱山産)	38.0	12.4	2.5	5.1	34.2	23.0	3.1	3.0	55.0

b 乾式選鉱 (第3図)

パイロットプラントでは、3種類のフランスの鉄鉱石の試験が行なわれた。それらの鉄鉱石の化学分析値を第2表に示す。

パイロットプラントでの操業試験結果から、まず焙焼成績について考察すると、Fe₃O₄生成率は研究室での結果が再現され、熱消費はロレーヌ鉄1当り250~270テルミー、西フランス菱鉄質鉄1当り155テルミーで、これも研究室での予測が確認された。

湿式および乾式による選鉱成績と研究室でのデービステストを比較すれば第3表のようになる。

第3表 選鉱成績の比較

	研究室でのデービステスト		湿式回路		乾式回路	
	精鉱のFe品位 (%)	Fe実収率 (%)	精鉱のFe品位 (%)	Fe実収率 (%)	精鉱のFe品位 (%)	Fe実収率 (%)
ロレーヌ石灰質鉄	55.4	78.0	53.4	87.5	54.5	88.5
ロレーヌ珪酸質鉄	54.3	74.0	50.1	78.0	50.2 55.6	89.0 79.0
西フランス菱鉄質鉄	56.2	79.0	54.3	87.0	54.2	86.0

第3表を見ると、湿式選鉱での精鉱品位はデービステストに比べて劣り、ロレーヌ珪酸質鉄を処理した場合とくにその傾向が強い。一方実収率は、研究室に比べ工場の方が目立って高い。ロレーヌ石灰質鉄と西フランス菱鉄質鉄についての乾式選鉱成績は湿式の場合とほぼ同様であるが、ロレーヌ珪酸質鉄に対しては乾式法の方が良好な成績が得られている。

以上、Bazailles 鉱山に設置したパイロットプラントによる試験結果から、i) 本法の適用により工場管理が改善され、操業技術が簡素化される、ii) 鉱質に適した選鉱系統が樹立された、iii) 研究室で最適条件のもとに得られた焙焼成績が再現できる、などのことが結論される。

B-4 酸化した鉄鉱石の磁化焙焼と磁選

G.V.Gubin, A.Z. Izmailkov, V.S. Margulis, E.N. Rukasova, P.P. Yurov, V.I. Karmazin, V.G. Derkach, S.G. Yeysio-vitch, G.N. Dolgillo, V.M. Maliy:
Magnetic Roasting and Magnetic Separation of Oxidized Iron Ores (ソ連)

1. 酸化した鉄鉱石の磁化焙焼

ソビエト連邦は、酸化したマータイトと赤鉄鉱の貧鉄の莫大な資源をかかえている。製鉄に先立ち、これらの鉄鉱石を効果的に選鉱する手段を開発することは、選鉱界における最も重要な問題に数えられている。酸化した貧鉄のためのこのような方法の開発は、Krivorozhsky 鉄床と Kursk 磁気異常帯の磁鉄鉱鉱化地区における珪岩に対してとくに重要かつ緊急を要している。

酸化した鉄鉱石の選鉱性に関する多年の研究結果から、ソ連の研究機関は、磁化焙焼が良い結果を与え得ることを提示した。研究室および工業規模の試験により、異なる鉄床から産する鉄鉱石について結論された磁化焙焼に関する基本的性質をつぎに示す。

焙焼温度 T は(1)式で示される。

$$T = \frac{A}{B + \log \frac{\tau P}{c(D' + bR)}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 A と B はそれぞれ3666と4.76で係数。 b と c は鉄鉱石の性質にもとづく係数(Krivorozhsky 鉄床の含鉄珪岩 $b = 1.0 \sim 1.5$, $c = 2 \sim 3$)。 τ は還元時間(min), P は還元ガスの分圧(atm), D' は管状炉内のガス流速にもとづく係数($D' = 6 \sim 10$), R は鉄鉱石1粒子の半径(mm)。

燃料消費 P_r は(2)式で示される。

$$P_r = \frac{20T + 850H_2O}{K \cdot Q_r} + 0.07 [(FeO)_r - (FeO)_c] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 H_2O は粗鉄の水分(%), K は炉性能の熱係数(近代的な炉に対しては $K \geq 0.65$), Q_r は燃料のカロリー値(kcal/kg), $(FeO)_c$ と $(FeO)_r$ は粗鉄および焙焼鉄にそれぞれ含有される鉄分(%)。

精鉄の歩留 ν は(3)式で示される。

$$\nu = \left[100b_1 - b_2 \left(\frac{FeO}{Fe} - 0.43b_3 \right)^2 \right] \frac{\alpha}{\beta} \% \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 b_1 , b_2 , b_3 は係数(Krivorozhsky 鉄床の酸化した含鉄珪岩については $b_1 = 0.94$, $b_2 = 400$, $b_3 = 1.11$), α は粗鉄の含鉄量, β は精鉄の含鉄量。

精鉄の含鉄量 β は(4)式で示される。

$$\beta = \alpha + \eta_1 + \eta_2 (\beta_r - \alpha) \% \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 β_r は焙焼鉄の含鉄量(%), η_1 は鉄物の単体分離に関する系統の優秀さの度合($\eta_1 = 1.01/F$, F は単体分離度), η_2 は精鉄の機械的汚染についての係数($\eta_2 \geq 0.96$)。

2. Krivorozhsky 採鉄—選鉄中央コンビナートにおける工業規模の鉄石磁化焙焼

第4図 ロータリーキルンへの天然ガスの供給 (原論文B-4, 第5図)

第5図 粗粒子が不均一に分布する鉄石の選鉱系統図(Krivorozhsky 採鉄—選鉱南部コンビナート) (原論文B-4, 第6図)

第6図 粗粒子が不均一に分布する鉄石の選鉱系統図(Krivorozhsky 採鉄—選鉱中央コンビナート) (原論文B-4, 第7図)

第7図 磁鉄鉱・マータイトが微粒子状の鉄石の選鉱系統図(Kursk 磁気異状帯の鉄石用) (原論文B-4, 第8図)

磁化焙焼は 3.6×5.0 m のロータリーキルン内で行なわれる(第4図)。天然ガス($Q_H = 8500 \text{ kcal/Nm}^3$)が燃料として使われる。還元はそれと褐炭(鉄石重量の3~4%)でなされる。炉内に2.5~3時間滞留後、鉄石(25~10 mm)は $750^\circ \sim 800^\circ \text{C}$ に加熱され、磁鉄鉱に還元される。

3 磁選および磁選と他の方法との組合せ方式による鉄鉱石の選鉱

比重選鉱、浮選と組合せたり、それらを組合せないで、多勾配フィルタ型磁選機による、種々のタイプの酸化した鉄鉱石の選鉱系統図を第5~7図に示す。

B-3 Mesabi地方の鉄鉱石の選鉱方法についての技術的ならびに経済的評価

James E. Lawver, Ronald M. Hays:
A Technical and Economic Appraisal
of Methods of Beneficiating Mesabi
Range Iron Ore (米国)

1. 歴史的展望 20世紀に入り、ミネソタ州Mesabi地方の鉄鉱床は、アメリカの製鉄用鉄石の主要な供給源となってきた。この地方の鉄鉱石は、酸化変質の度合により性質を異にしているため、第4表のように分類されている。

第4表 Mesabi 鉄鉱石の分類

	初成 タコナイト	酸化した タコナイト	セミタコナイト	洗浄および 重選鉱	直送鉄
Fe %	30 ~ 33	33 ~ 35	35 ~ 50	45 ~ 55	> 55
SiO %	50	50	50 ~ 20	25 ~ 12	< 12
鉱物の 変化	磁鉄鉱 → 赤鉄鉱 鉄の炭酸塩 → 針鉄鉱 鉄の珪酸塩 → 針鉄鉱	赤鉄鉱 安定な針鉄鉱 安定な針鉄鉱	安定な赤鉄鉱 一部赤鉄鉱化 →		

直送鉄が初めて採掘されたのは1892年で、それ以来Mesabi地方は、鉄鋼業に対して20億t近くの直送鉄を供給してきた。しかし今日、この鉄石はほとんど掘りつくされた状態にある。洗浄鉄は洗浄により精鉄が得られる鉄石で、1910年最初の処理工場が建設されて以来、約4億tの鉄石がMesabiから出荷されている。重選鉄は、以前はジグを、今日では重選機を主装置として処理

がなされる鉄石で、1924年最初の処理工場が操業を始めて以来、1億8千5百万tの精鉄が生産されている。しかし洗浄鉄および重選鉄も、1955年頃より急激に生産量が低下しつつある。一方、上記の生産の低下と反比例して、産額が上昇しつつあるのは初成タコナイトで、これは磁鉄鉱質であるので、マグネタイトタコナイトともいわれている。マグネタイトタコナイトは通常湿式の低磁力選鉱機で処理されたのち、造粒・焼成され、ペレットとして製鉄所に供給される。今日ミネソタにはマグネタイトタコナイトを処理する工場が6箇所あり、ペレットの年産総能力は3千2百万tに達する。マグネタイトタコナイトの埋蔵量は数10億tである。

Mesabi鉄鉱石の将来を考えた場合、残された資源であるセミタコナイトと酸化したタコナイトの選鉱方法を確立することが大切な問題となる。この種の鉄石の埋蔵量は、マグネタイトタコナイトとはほぼ同程度である。

上記の理由から、セミタコナイトについて研究された

第8図 高磁力湿式磁選—浮選パイロットプラント系統図(原論文B-3, 第9図)

第9図 4極式Gill高磁力湿式磁選機の構造
(原論文B-6, 第1図)

結果を、以下に考察してみる。

Mines Experiment Station で、第8図のような、高磁力湿式磁選-浮選回路による処理方法が考案され、パイロットプラントによる試験が行なわれた。さらに、これとの比較の意味で、磁化焙焼-低磁力選鉱-陽イオン浮選回路による方法、陰イオン浮選単独による方法の試験が行なわれたが、技術面、経済面から総合的に評価すると、高磁力湿式磁選-浮選法が最も有力と考えられる。目下この方法の最適化計画が進行中である。

3. 新型装置の開発

B-6 Gill高磁力湿式磁選機

S.B.Hudson: The Gill High-Intensity Wet Magnetic Separator (オーストラリア)

1. Gill 磁選機の構造 本機は、基本的には、電磁石の間に設置された垂直軸をもつローターから成り立っている。ローターの円周部には歯が刻んである。機械は連続的に運転し、分離帯内で、給鉱は増大する磁場の強さの影響下におかれ、そして給鉱は抱き込みを最少にするようにして流れる。4極式Gill磁選機の構造が第9図に示されている。給鉱バルブは、磁極の導入端近くの、ローターと磁極間の先細の間隙にフィードされる。給鉱バルブがその間隙を通過するとき、磁性粒子は歯部に吸引され、非磁性粒子は降下を続け間隙から出て樋に捕集される。洗浄水は中央付近に作用させ、もぐったり残留する非磁性粒子をローターから取り除くために、磁極のへりを清掃する。洗浄物は非磁性粒子と合流する。隣接する磁極間隔がゼロの点に作用させたウォータージェットにより、磁性粒子はローターから除去されて分離樋に入る。

Gill磁選機の原型のものはローター上に垂直の歯を備えていたが、これはローター速度が適度であっても、洗浄物の一部を磁性粒子用の樋へ運ぶ欠点のあることがわかった。このことは、平均ローター速度において非磁性粒子と洗浄物がおよそ垂直に落下するように、歯を傾斜させることにより克服された。

本機の性能は、給鉱バルブ濃度、磁場の強さ、ローター速度および洗浄水の流速などに左右される。磁場の強さは、磁石のコイル電流を変えるか、ローターを上下させてローターと磁極の間隙を変えることにより変化される。

現在2形式の機械が製作されている。ひとつは研究室向または小規模操業用の4極式装置で、他は10極式である。両者のローターの直径は、それぞれ30および90cmである。小型機の処理能力は450~2300kg/h、大型機のそれは900~9000kg/hである。

2. Gill磁選機の適応性 Gill高磁力湿式磁選機は、非磁性粒子の抱込を極力少なくした状態で、強磁性から弱磁性にいたる範囲の粒子を回収することができる。

本機は、オーストラリア東海岸の海浜砂処理工場で、チタン鉄鉱と他の磁性鉱物との分離に、とくに有効であることが証明されており、1967年7月現在、23台の10極式装置が稼動中である。

なお研究室における試験結果では、i) Queensland産海浜砂試料の磁選精鉱中の不用品磁性鉱物の分布率は72%、非磁性有用鉱物としての金紅石とジルコンの分布率はわずか0.1%、ii) 西オーストラリア産海浜砂試料の磁選精鉱のチタン鉄鉱の品位99%、分布率70%という好成績が示された。

B-1 コロナ荷電または摩擦荷電を用い、微細粒の範囲まで拡張された、気流中の電気選鉱

M. Carta, G. Ferrara, C. Del Fa,
R. Ciccu: La Séparation Electrique
des Minerais en Suspension en Milieux
Gazeux Etendue aux Fines Granulométries avec Charge Ionique ou
Triboélectrique (イタリア)

1. 研究経過 過去6年にわたり電気選鉱の研究に取り組み、その間に多くの論文を発表してきたわれわれの研究所は、近年、この技術の発展のため、2つの基本的問題の研究に努力を結集させた。そのひとつは微粒子処理の問題、他のひとつは表面および容積の導電率に大差のない鉱石の電気的挙動に差をつける問題である。第1の問題の研究では、鉱石を気流中に懸濁させて行なう電気選鉱法を導入した。第2の問題に対しては、鉱物表面の条件づけの技術の研究したのち、用いる技術を完全化させてそれを気流式分離機に適用させるため、われわれの研究は、接触による帯電現象すなわち摩擦電気集中された。

上記の目的にしたがい、われわれは種々のタイプの気流式分離機を製作し検討した結果、「エレクトロサイクロジェット(Electrocyclojet)」とよぶ装置を開発するにいった。

2. エレクトロサイクロジェット分離機 第10図は本機の水平断面図である。本機は基本的には閉回路を形成する矩形断面の導管からなっている。導管内には、鉱粒が分離されて排出するまでそれを懸濁状態に保つような気流束が設定される。

所定圧力の空気は導管①から流入し、扉②で調節可能の間隙を通過する。鉱石は、外部に対し負圧になった箇所③からフィードされる。もし装置がコロナ帯電により作動する場合(第10図のような場合)には、1個のイオ

第10図 エレクトロサイクロジェット分離機
(原論文B-1, 第1図)

ン化電極④と1個の接地電極⑤が配備される。電極⑤だけを備えたCD部分が導電性粒子の電荷の符号の反転という目的をもつに對し、回路のBC部分は粒子を帯電させる役目をもつ。BCとCDの長さは、処理の対象となる鉱物の性質に応じて変更される。もし摩擦電氣による帯電の場合には、④と⑤の電極がはぶかれ、接触による粒子の帯電は、特別の被覆物でおおわれた内壁ABCD全体で行なわれる。粒子が帯電したあとで通過する分離帯では、粒子の進路に對し遠心力が交差するのを行なうことができるだけにするために、導管は直線的であることが必要となる。電極⑥および⑦は静電界をつくり出すが、この静電界は、粒子の電荷の種類に応じて、粒子をそれぞれ出口⑧および⑨の方向へ向かわせる。もし、粒子を導電率の差によって分離しなければならぬときは、電極⑥を接地させ、非導電性粒子しか⑧の方へ集めないようにする。

ジグ選別、水力分級、遠心分離における 新しい考案と凝集に関する研究

正 会 員 諫 山 幸 男*

Session. Cは比重選鉱に関するもので、提出論文数は6つである。そのうちジグ選別に關する論文はN.N. Vinogradov(ソ連)らによるジグ選別理論を取扱った論文と、F. Špetl(チェコ)らによるジグの選別過程を実験的に追求した論文である。前者はジグベッドを統計力学の法則で支配されるひとつのMassとして眺めて、大胆な選別理論を展開している。これに反して後者は実験によって複雑な成層過程を追求しようとしており、とくに興味があるのはこのために使用した新しい実験装置、試料および実験方法である。

F.B. Michell (イギリス) は近年とくに廃水の沈降・濃縮、ろ過、脱水で注目されている界面動電現象の効果がスーパーパンナーによる錫石の選別効率にどのように

*工博 九州工業技術試験所資源開発部2課長

第5表 Mauritania 産赤鉄鉱の、コロナ帯電による、エレクトロサイクロジェットの分離成績(粒度0.21~0mm)(本論文B-1, 第2表)

産 物	重 量 (%)	品 位 (%)		分布率 (%)	
		Fe	SiO ₂	Fe	SiO ₂
精 鉱	82.1	66.50	3.00	96.7	14.7
尾 鉱	17.9	10.51	79.50	3.3	85.3
給 鉱	100.0	56.48	16.69	100.0	100.0

第6表 重晶石鉱石の、摩擦帯電による、エレクトロサイクロジェットの分離成績(粒度0.5~0mm)(本論文B-1, 第3表)

産 物	重 量 (%)	品 位 (%)		分布率 (%)	
		BaSO ₄	SiO ₂	BaSO ₄	SiO ₂
精 鉱	56.56	98.36	1.05	96.89	1.43
尾 鉱	43.44	4.10	93.72	3.11	98.57
給 鉱	100.00	57.41	41.30	100.00	100.00

この場合導電性粒子は、高電圧発生機の正または負極に接続した電極⑦に引きつけられ、⑨へ向って集まる。

十分に帯電されなかった粒子は繰返し処理される。仕切板⑩は、進行方向にしたがって粒子をそれさせる。また仕切板は、産物の品位を制御するため、調節が可能になっている。

4. む す び

以上見たごとく「新しい操業方式の確立」に関する3篇の論文は、いずれも非強磁性鉄鉱石の選鉱をテーマとするものであった。世界屈指の鉄資源国であり、一流工業国であるところの米国・ソ連・フランスにおいて、その国々の鉱石の性質に合致した選鉱方法の研究が大規模になされ、それぞれ独自の方式が確立されつつあることは誠に興味深い。また、磁力選鉱に関する新型装置として、高磁力湿式磁選機のひとつのタイプのものがオーストラリアに生まれた。電気選鉱の新型装置としてイタリアで開発されたエレクトロサイクロジェットは、従来困難とされていた微粒子の電氣的選別を可能にしたもので、その分離成績はきわめて優秀である。今後、本機による選鉱の新しい分野の開拓が期待される。

現われるかという問題について検討している。

R.T. Hukki 教授(フィンランド)は水力分級、湿式サイクロンにおける分級精度を向上させるために、粗粒サンド中に迷い込む微粒子の除去方法についての新しい考案を示している。

V.S. Kaminsky (ソ連)は炭鉱で使用されている遠心脱水機に関する資料を集め、脱水効果を向上させるための方法を提案している。

R.W. Slater(イギリス)らは高分子凝集剤による凝集機構を化学的観点から解釈しようとしている。

以上6篇の論文はもちろんそれぞれの分野における新しい考案なり、研究方向を示しているが、そのうちでもとくにHukki教授による改良された分級機とŠpetlらによる細粉炭ジグの成層過程に対する実験的研究は興味