

## 技 術 資 料

### 鉄鉱石選鉱技術の最近の進歩\*

松 塚 清 人\*\*

#### Recent Developments of Iron Ore Concentration.

Kiyoto MATUZUKA

#### 1. 緒 言

わが国の粗鋼の生産高は、昭和38年度には 3,400万トンとなり、世界第3位に躍進し昭和 45 年度の生産目標 4,800 万トンも予定より早く達成される見通しとなった。また世界の粗鋼生産も著しく増大し、1961年には2億64百万トンとなり、長期的には今後ますます増大するものと予想される。

したがって、各国は増大する鉄鉱石の需要を満たすため、国内資源の利用はもちろん、遠く海外へ進出して富鉱地域の開発に協定を結ぶとともに、未利用鉄資源の開発研究に多大の努力を払っている現況である。

以上のような事情から、戦後各国競って鉄鉱石の選鉱技術の研究を行なつたために、すべての分野で長足の進歩をなし、これらに関する有益な報告があいついで行なわれた。リ<sup>7)</sup>。

鉄鉱石の選鉱はまずその品位をあげて、運賃を低減し、溶鉱炉の実質的容量を増加させるとともに、燐、硫黄、チタンなどの不純物を除去するためであるが、元来鉄鉱石はほかの非鉄金属の鉱石にくらべて、価格が低廉であるために、その作業にあまり費用のかからぬことが先決要件である。したがってその方法も、物理的方法が支配的となるが、物理的处理では不可能のものについては化学処理をすることになる。

一般に貧鉄鉱のなかでも、選鉱しやすいものから利用され、しだいに選鉱の困難なものが残されてゆくのが普通で、たとえば鉄鉱粒子の大きなものであれば、手選法やジグなどの簡単な比重選鉱が利用できるが、現在選鉱の対象となつている多くの貧鉄鉱は、粒子が小さく特別の工夫が必要となつてくる。

アメリカのタコナイトは鉄鉱粒子がきわめて小さく、たとえば-325 mesh が 80% になるように砕かないと脈石と分離しない、すなわち単体分離 (liberation) しないもので、しかもきわめて堅く選鉱からいえば難鉱

(refractory ore) に属するものであるが、アメリカは数10年を費してこの難鉱の選鉱に成功し、かつ微粒の鉄鉱粒子のペレタイジングによる利用を開発した。このことは選鉱産物が微粉となつても、溶鉱炉原料として障害でなくなつたことを実証したもので、鉄鉱石選鉱の利用範囲を拡大した点からも画期的な発明であつた。

しかしタコナイト利用も、現在は主として磁鉄鉱だけを含む magnetite taconite にかぎられ、赤鉄鉱を含む hematite taconite, あるいは磁鉄鉱、赤鉄鉱両方を含むタコナイトについては、その選鉱法が未解決である。これらについては今から述べようとする強磁力選鉱、還元焙焼-磁力選鉱、浮遊選鉱などの新しい方法が研究され、あるいはすでに pilot plant が建設され試験が行なわれている。

また不純物を含んだ褐鉄鉱も未解決のものが多く、開発研究の対象となつている。ラテライト型 (laterite type), ミネット型 (minette type) の褐鉄鉱がこれである。ドイツは Salzgitter のやはり粘土質の鉱石について、長期にわたつて研究をつづけ、あらゆる困難な問題を解決して生産をつづけているが、いまなお経済性の向上のため、種々改良が加えられつつある。フランスは Lorraine の貧鉄とくに硫酸分の多い溶鉱炉に不向きな鉱石の選鉱について、IRSID などが中心となり、各方面からの研究を進めており、遠からず経済的利用の方法を発見するものと思われる<sup>8)</sup>。このほかカナダ<sup>9)</sup>、スウェーデン、ソ連においても自国産貧鉄に最も適する選鉱法の発見に努力しており、最近では西アフリカ<sup>10)</sup>、濠州、南アメリカ、印度の貧鉄も選鉱の対象となり、一部 pilot plant による試験が実施されている。

本講演では、以上戦後著しく発展しかつ注目されている鉄鉱石の選鉱技術について、その概要を述べようと思

\* 昭和39年10月17日受付

\*\* 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所技術研究所、工博

う。

## 2. 磁力選鉱

### 2.1 弱磁力選鉱

#### 2.1.1 湿式

ここで弱磁力選鉱というのは、low-intensity magnetic separation のことで、普通一般に使用されている磁力選鉱のことである。鉄鉱石のなかで、磁鉄鉱の磁力選鉱は最も効果があり、しかも作業費が少なく、長い成功の歴史が記録されており、現在も広く用いられているが、技術的にも著しい進歩があつた<sup>11)12)</sup>。

この磁鉄鉱の磁力選鉱の最も利用されているのは、スウェーデン、ノールウエイ、アメリカ、カナダで、アメリカが magnetite taconite の処理に成功したのも、この磁力選鉱の有効な利用の賜であつた。

また、磁力選鉱には水を用いて選鉱する湿式と、水を用いない乾式とあるが、主として湿式が用いられている。

使用機械は drum type (Gröndal type), belt type (Crockett type) の2種が最もよく用いられ、粒子の小さいものには drum type, 粗いものには belt type が用いられるが、タコナイトには湿式の drum type が使用されている。

drum type は回転する非磁性の drum 内に、+ の極が交互に設置してある stationary magnet field が円周の4分の1の範囲にわたる構造を有し、給鉱は drum の回転に対し反対方向から実施する方法もあるが、同一方向に給鉱するのが普通採用されている。

磁石は電磁石 (electromagnet), 永久磁石 (permanent magnet) の両方が用いられているが、最近永久磁石の新しい材料の発見、たとえば Alnico No.5 または barrium ferrite を用いたいわゆる ceramic magnet の出現により、将来の多くの磁力選鉱機械は、永久磁石となる可能性が大きい。

永久磁石は設計が容易、故障が少ない、電力費が少ないなどの有利の点があるが、ただ磁力の強さに限度がありたとえば drum から2インチの距離で800 Gaussで、きわめて強い磁力を必要とする場合、また作業上磁力の強さを調節する必要がある場合には電磁石を利用する。

写真1は永久磁石を使用した drum type の工場の例で、ノールウエイの Sydvaranger 工場である<sup>13)</sup>。drum は長さ1,750mm 直径600mmで、ゴムで被覆された stainless steel で製作されている。

#### 2.1.2 乾式

湿式には莫大な水が必要で、ROE<sup>14)</sup>の計算によれば、

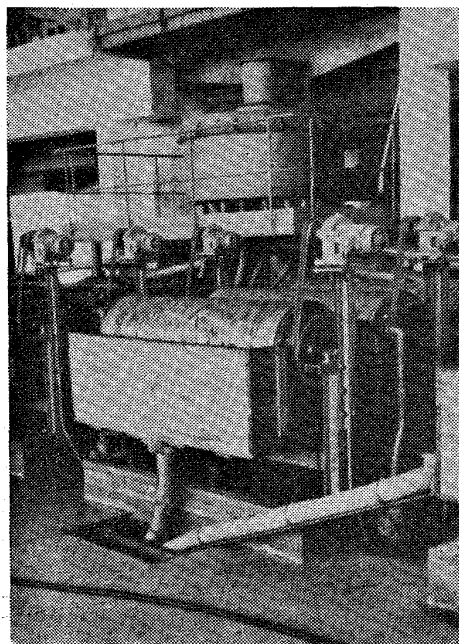
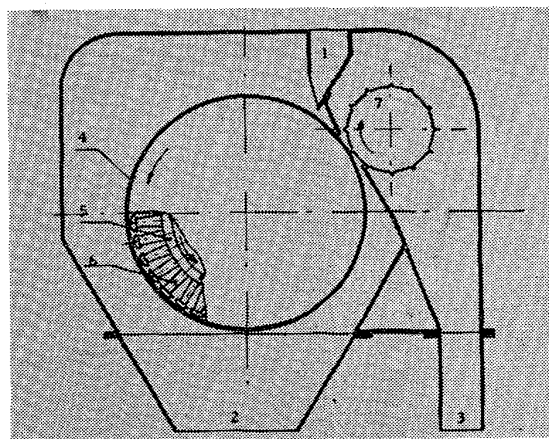


写真1 Sydvaranger 磁選工場 (Norway)

水の消費量は精鉱1tについて1,891-3,785m<sup>3</sup>にも達するという。したがって水資源の問題、あるいは循環、脱水の設備費の問題があり、このほか水の少ない極地では乾式が必然的となる。また鉄分70%のいわゆる super concentrate を得て、海綿鉄製造の原料とする場合には乾式が利用される。

以上のような理由から、乾式は主としてカナダ、スウェーデン、ノールウエー、フィンランドで研究されているが、現在工業的に大規模に実施されているのは、世界でフィンランドの Otammäki 工場1箇所である。

ここで採用している乾式の磁選機は発明者の名をとり Laurila separator とよばれるもので、第1図にその原理を示す<sup>15)</sup>。給鉱は(1)から入れる。普通 rotating drum (4) は magnet carrying wheel (6) の約2倍



第1図 Laurila Separator の構造 (U. RUNOLINNA<sup>15)</sup> より)

の速さで同一方向に回転し, induction roller (7) はこれと反対の方向に回転して精鉱を (3) から, 脈石を (2) から排出する. 湿式で磁選した精鉱を, この乾式にかけて 70% Fe の高品位を得た.

## 2.2 強磁力選鉱

### 2.2.1 乾式

赤鉄鉱, 褐鉄鉱分離のための強磁力選鉱 (high-intensity magnetic separation) が, 最近各国で研究され注目されている. 元来鉄の磁性の強さは鉄を 100 とすれば, 磁鉄鉱は 40.18 であるが, 赤鉄鉱 1.32, 褐鉄鉱 0.84 というようにきわめて弱いために, これらの磁力選鉱には強い磁力が必要である.

したがって, 分離区域における磁場の強さは 20,000 ガウスの order を必要とし, これは普通きわめて強い磁力をもつた 2 極間に設置された, いわゆる induction separator によつて行なわれる<sup>16)</sup>.

ドイツはこの分野で大なる貢献をした. すなわち Salzgitter では 20 年前から, この方法を研究してこの地方の褐鉄鉱を工業的に開発した. その方法は強い磁極の間に, 長さ 762 mm, 直径 140 mm の 2 個のロールに 400 r.p.m. の回転を行なわせて分離するもので, 容量は 30 t/hr である. フランスでは Lorraine の鉱石中にある oolites (魚眼鉱石) の分離にこの方法が研究されている.

### 2.2.2 湿式

赤鉄鉱, 褐鉄鉱の乾式磁力選鉱は, 以上のごとく一応成功しているが, この方法は操業費が高く, また 100 mesh 以下の粒子には正確でないことから, 湿式で磁選する方法が最近考案され注目されている.

そのひとつはカナダの Jones wet magnetic separator<sup>17)</sup>で, カナダの赤鉄鉱, 菱鉄鉱のために考案されたもので, すでに 6 t/hr のテストを終り, 40 t/hr の計画がすすめられている. その原理は強力な磁場にある鉱に溝を作つた, いわゆる grooved plate のなかに, 鉱粒と洗浄水を流し, 磁場の強さと洗浄水の流速の両方の調節によつて分離するものである. 磁鉄鉱, 赤鉄鉱のミクロン程度の粒子のもの, 粒子不揃いのもの, 粘土質の赤鉄鉱に利用でき, しかも作業が経済的であるとされている.

次はフランスの Forrer magnetic separator (IRSID Forrer) で<sup>18)</sup>, これも Lorraine ore の中にある魚眼鉱石の分離のためのもので, 平均 10% の水分を含む鉱石の乾燥費を節約し, しかも乾式よりも好結果をうることを目的としたもので, その原理は JONES のものとほぼ同様で, magnetic corridor とよぶ強力かつ不均

一の磁場を有する装置と, 洗浄水の組合わせで分離するもので, 乾式では処理困難な 100~150  $\mu$  の粒子も処理できるとしているが, 未だ pilot plant の域を脱していない.

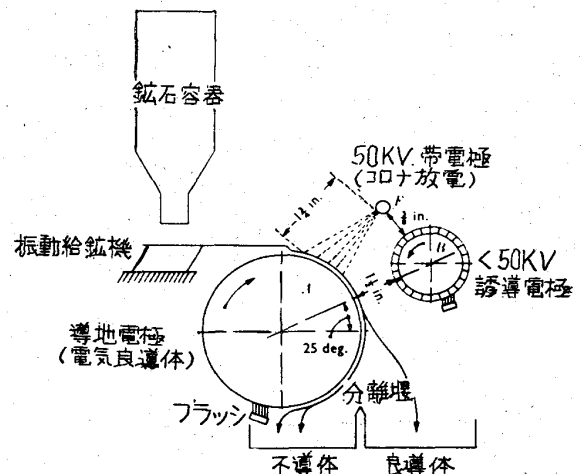
## 3. 静電気選鉱

鉄鉱石が電気の良い導体であることを利用して選鉱する静電気選鉱 (electrostatic separation) も, 現在注目されている選鉱法のひとつである<sup>19)</sup>. それは従来この方法が, static field で実施されていたものが, 戦後アメリカで改良され, high tension separation と呼ばれるところの, ionisation field の導入に成功したからである.

第 2 図はその原理を示す略図であるが<sup>20)</sup>, grounded rotating roll に対して, プラスチックで絶縁された electrode と電氣的に連結された電線との間に ionisation field を発生させて, 給鉱に charge を与え, 鉄鉱石と脈石の電気伝導度の差により分離が行なわれる.

この方法による最もよい例をあげると Quebec で赤鉄鉱の 38% Fe のものを 69% にあげ, 実収率 97.5% を得た. 鉱石は -20 mesh に破碎したものを, 200 mesh で篩別して別々に行なつた. また RANA の赤鉄鉱<sup>21)</sup>を 40% Fe に予備選鉱して, 静電気選鉱にかけた結果, 65% Fe 実収率 90~95% で, 同時に除磷の目的を達した.

以上のように, hematite-quartz ore のごとく脈石が単に石英であるというような単一鉱 (simple mineral composition) には最も効果があるが, まだこの方法を工業化する段階にはいたっていない. それはこの方法では, 鉱石が完全に乾燥されていること, 容量が少な



第 2 図 静電気選鉱の原理  
(L. SUNDELIN<sup>20)</sup>より)

いこと、細粒には不適当であることなどの欠点があるためである。

しかし、乾式で粉碎したものを、強磁力選鉱によりあらかじめ給鉱量を減じておけば、静電気選鉱により super concentrate をうる工業の可能性も考えられ、要するに現在の段階では、鉄鉱石の静電気選鉱の将来を決定することは尚早である。

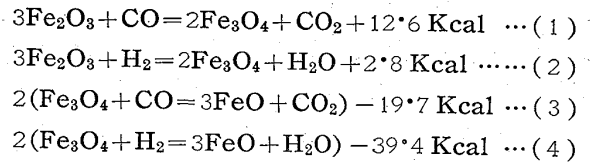
4. 還元焙焼—磁力選鉱

非磁性の鉄鉱石に磁性を与えて、磁力選鉱する試みは、かなり早くから行なわれていたが、始めて成功したのは菱鉄鉱の焙焼で、ドイツの Siegerland の Füsseberg で工業的に長く実施された。

赤鉄鉱、褐鉄鉱についても、現在まで多くの研究や試験が実施されたが<sup>20)</sup>、まだ工業的には完成されていない。それは赤鉄鉱、褐鉄鉱の鉄はすべて3価で、しかも褐鉄鉱には結晶水が含まれており、この水分を除去し鉄分を還元して磁鉄鉱とするには、多量の燃料、還元剤を必要とし、不経済となるからである。

いま各国で試験されている還元焙焼の方法を述べるまえに、少しく鉄鉱石還元の基本問題に触れてみたいと思う。第3図は珪酸の存在において、CO、CO<sub>2</sub> 混合ガスならびに H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 混合ガスと酸化鉄の還元平衡を示したものである<sup>21)</sup>。この図からわかることは (1) 還元の温度が低いほど、また CO/CO<sub>2</sub>+CO、H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O+H<sub>2</sub> の価が小さいほど Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> は安定するが、(2) 2CO<sub>2</sub>⇌CO<sub>2</sub>+Cの曲線から、CO の分解を防ぐためには、低い温度を避ける必要があるので、結局鉄鉱石の還元焙焼には、還元力の弱い lean gas を使つて、むしろ高い温度を選んだほうがよい結果が得られることになる。

また酸化鉄の還元は 25°C で次の式により起こる<sup>2)</sup>。



この式からわかるように、磁鉄鉱への還元はわずかに発熱であるが、さらに FeO への還元は吸熱である。したがつてこの吸熱反応が炉の一部に起これば、炉内の温度の均衡が破れ、sticking などが起こり故障の原因となる。

そこでこの還元焙焼—磁力選鉱を成功させるためには、まずこの過還元 (over-reduction) を防止するとともに、経済的観点からはできるだけ燃料の節約できる焙焼炉、ならびに操業法を見出すことが必要である。以下現在各国で採用されている焙焼炉ならびに作業結果について略述しよう。

4.1 堅型炉

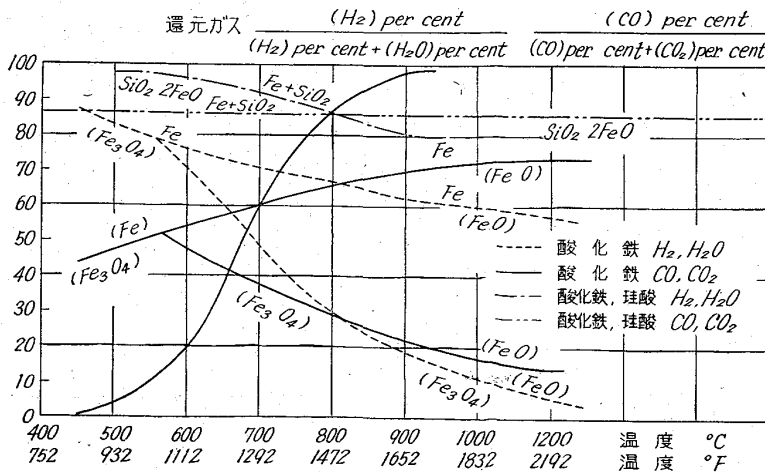
鞍山の貧鉄鉱を還元焙焼して磁力選鉱する方法の採用が、当時の鞍山製鉄所設立の基礎となつたことは周知のことで、現在中共によつてこの作業が継続され、目下世界で還元焙焼—磁力選鉱の方法が工業的に実施されている唯一の工場である。

この炉は堅型炉の両側に燃焼室が設けられ、上方から装入された鉱石は、1000°C の高熱ガスで予熱されて600°C となり、下方の還元帯で上昇する還元ガスにより還元され、8hr の後に排出される。容量は 40~50t/day/m<sup>2</sup> of shaft area で石炭の消費量は鉱石の 4~5% である。

しかし堅型炉は熱経済の点は有利であるが、欠点として鉱石の降下が均一でなく、炉内ガスの分布が不均一となり一部過還元を招き、炉の操業が不安定を免れない。赤鉄鉱、磁鉄鉱の両者を含む大弧山鉱石で辛うじて操業が継続されている。

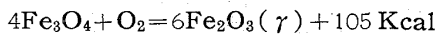
なおアメリカの Cooley、スエーデンの Striberg でも堅型炉が建設されたが、同じ欠点のため中止された。ただ最近アメリカの De VANNEY<sup>20)</sup>が円型の堅型炉で、還元ガスと鉱石の流れを反対にした pilot plant の試験を終り、南濠州にある jaspilite ore を処理するための試験工場が操業中であるが、まだ結果は発表されない。

なおこの堅型炉を用いて、燃料節約のための特殊の方法、Battele process が考案された<sup>21)</sup>。これは Reduction-Oxidation process ともよばれるもので、いつたん赤鉄鉱が磁鉄鉱に還元されたものを、ある条件のも



第3図 酸化鉄の還元平衡 (L. SUNDELIN<sup>21)</sup>より)

とで酸化すれば、磁性のある  $\gamma$ -hematite になるが、この反応は発熱反応であるため、この熱を原鉱石の加熱に利用するものである。



この方法によれば、一度作業が始まれば、外熱の必要がなく、実験例によれば 20% Fe 以上を含む Mesabi の hematite taconite に対する試験でよい結果を得た。しかし操業の調節に困難があり、いまだ工業化にはいたっていない。

#### 4.2 回転炉

回転炉を還元焙焼に利用すれば、粉鉱の処理ができて各種の還元ガスを利用しうる長所があるが、熱の利用が不経済で、作業の調節が困難という欠点は免れない。

ドイツで Lurgi process が開発された。炉は加熱、還元、冷却の3部からなり、鉱石とガスの接触をよくするため lifter が設けられ、また炉内温度の調節のための一連のガスバーナーが設置されている。Salzgitter で褐鉄鉱の還元焙焼のため長さ 50 m、直径 3.1 m、容量 1,000 t/day のものが戦前 8 基、戦後 2 基稼動したが、不経済のため目下廃止され、ほかの選鉱法に変更された。

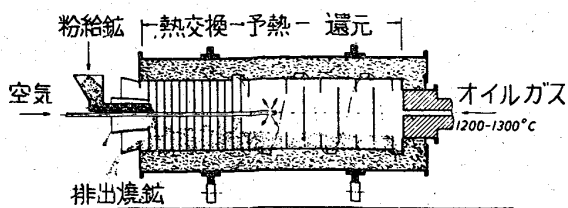
しかし最近アメリカで Lurgi 式の炉が Oliver mining Co. で 2 t/hr、Hanna Co. で 10 t/hr の pilot plant が設けられ試験されているが、両方の結果はまだ発表されていない。

最近スエーデンの EKETORP<sup>22)</sup> によつて新しい構造の回転炉が発表された。この方法は炉の一部を蓄熱式にして、焙焼鉱がもつている熱を新しく装入した鉱石に回収しようとするもので第4図にその略図を示す。この試験結果によれば、普通回転炉の熱損 50% のものが、この炉によれば 15% に下がり、排出鉱の温度も約 100°C であつた。

しかし鉱石の予熱帯ならびに還元帯に、比較的高価の材料を使用するため、その損耗の程度が問題で、これは次の工業的規模の試験によつて決定される。

#### 4.3 移動グレート炉

移動グレート炉 (travelling grate roaster) は Mi-



第4図 蓄熱式回転炉  
(S. EKETORP<sup>22)</sup>より)

nesota 大学の Mines Experiment Station で試験された方法で<sup>23)</sup>、ペレットの焼成の場合と同様に、移動グレートの上で鉱石を運びつつ還元焙焼するものである。このために移動グレートは乾燥、加熱還元、冷却の3部からなり、必要な熱量は鉱石 1 tにつき 150,000~230,000 Kcal(net)、容量はグレートの面積の 1m<sup>2</sup> について 21.5 t/day で目下 150 t/hr の工場で試験中である。

#### 4.4 流動焙焼炉

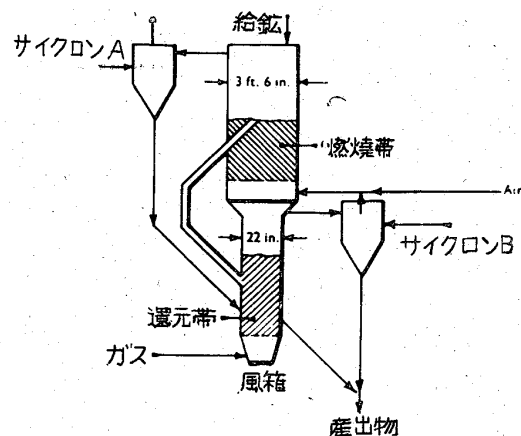
流動焙焼炉 (fluidized bed roaster) はガスと鉱粒との接触がよく、しかも温度の調節が容易という長所があり、鉄鉱石の還元焙焼のため試験されている<sup>24)</sup>。

第5図はアメリカの Cleveland Cliffs で、試験された方法を示す略図である<sup>25)</sup>。reactor はまったく隔離された加熱帯と還元帯の2部からなり、ほかに細粉を捕収するサイクロン A、Bがある。reactor の直径 3 ft、処理量 1 t/hr、精鉱 60~65% Fe、実収率 95% であつたが、燃料の消費が多く、また技術的にも工業的に発展させる十分の資料が得られなかつた。

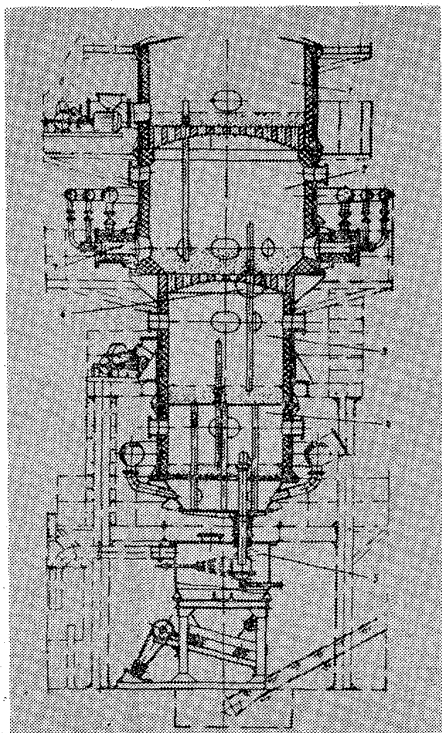
以上のごとく反応塔一段では熱の利用が不経済であるため、ソ連の Krivoi Rog では硅酸質鉄鉱を処理するため、反応塔を4段にした。第6図に示す。(1)は予熱帯、(2)加熱帯、(3)還元帯、(4)冷却帯である。結果は燃料消費量を 10~12% から 3~4% に減じ、しかも均一の焙焼産物が得られた。

なお、ここで各炉について鉄鉱石の還元焙焼を実施した結果によれば、原鉱石が 25 mm 以上の整粒したのものには堅型炉、3 mm~25 mm の粒子不揃いのものには回転炉、2~3 mm で比較的粒子の揃ったものについては流動炉が適当であると結論している。

これを要するに、還元焙焼-磁力選鉱の方法は、(1)還元焙焼は原鉱に比べて破碎費が低廉である。(2)能率



第5図 流動焙焼炉 (Cleveland Cliffs)



第6図 流動焙焼炉 (Krivoi Rog)

のよい弱磁選機を有効に利用することができるという長所があるが還元剤を含めた燃料の経済性の点で問題があり、いまだ多くは試験工場の域を脱していない。しかしこの点も遠からず解決されるものと思われる、貧鉄鉱処理の有力な方法として期待できるであろう。

## 5. 浮遊選鉱

浮遊選鉱 (flotation) は、今から約60年前、始めて硫化鉱の工業化に成功して以来、急速な発展をとげ、非鉄鉱業界に革命を来したといわれたほど利用されたが、満俺鉱、螢石などの非硫化鉱物の選鉱に利用されるにいたつたのは、1925年頃、石鹼浮遊選鉱法 (soap flotation) の発見以後のことである。

石鹼浮遊選鉱というのは、浮選剤 (flotation reagent) として、石鹼の原料である脂肪酸を使用するものであるが、脈石との分離が不十分で、硫化鉱のような好結果をあげるには、いろいろ浮選剤の選択や作業に工夫が必要である<sup>25)</sup>。

鉄鉱石の浮遊選鉱もこの部類に属するもので、現在採用されている方法を、次の3通りに分類できる。

(1) 鉄鉱石を浮かせて、脈石の石英や硅酸鉱物を沈下させる。これは浮選剤のアニオンが鉄鉱石のカチオンに吸着して、鉄鉱粒子を泡につきやすい親気性 (aerophilic) にする。これを鉄鉱石の anionic flotation という。

(2) 脈石を浮かせて、鉄鉱石を沈下させる。この場合は浮選剤のカチオンが鉄鉱石に吸着して、親水性 (hydrophilic) となり沈下する。鉄鉱石の cationic flotation という。

(3) 石英などの脈石を浮かせるのに、Ca イオンで活性化して浮遊させ、鉄鉱石を沈下させる。この方法も anionic flotation に属する。

現在、鉄鉱石の浮遊選鉱で、工業的に用いられているのは anionic flotation だけで、それは cationic flotation に比べて、経済的でしかもより安定した作業が得られるからである。

また鉄鉱石の中で、最も浮遊選鉱に適しているのは、赤鉄鉱ことに結晶質の鏡鉄鉱 (specular hematite) で、次に磁鉄鉱も浮かせることができる。褐鉄鉱のように結晶水を含むものについても、目下ドイツ、フランスで研究されているので、遠からず可能となるものと思われる。戦後、鉄鉱石に対し多くの浮選工場が建設された。アメリカで5以上、スウェーデン2、ノールウエー1、ソ連1以上となつている。

アメリカでも Michigan の鏡鉄鉱が最も適するといわれ、Humbolt, Republic, Groveland の3浮選工場が操業中である。しかし現在これらがすべて成功裡に操業しているとはいえないが、この中で Humbolt が最もよい成績で、34% Fe の貧鉄を 62% Fe にあげ、実収率 90% を得ている。スウェーデンでも硅酸質赤鉄鉱に対する研究が進められているが、ここではむしろ脱燐のための燐灰石の浮遊選鉱が実施されている。

演者<sup>26)</sup>らは戦前鞍山貧鉄鉱の浮遊選鉱による利用を企て、10年余の基礎研究と4年間試験工場運転の結果、鞍山地方の赤鉄鉱を含む石英片岩の貧鉄を処理し、35% Fe のものを 64% Fe にあげ、実収率 90%、また25% Fe のものを 57% Fe にあげ、この試験を昭和20年5月終了した。

この好結果の原因は、もちろんこの鉄鉱石が脈石に石英のみを含む単一鉄鉱石であることによるが、その主なるものをあげると、(1) 浮選剤として凝固点の低いリノール酸を主成分とする、大豆油脂肪酸を発見したこと、(2) しかも浮選剤をして十分の効果をあげさせるため、これをエマルジョンとして添加し、(3) 浮選機の攪拌翼の回転をはなはだしく低減して、物理的に脈石が鉄鉱粒子に混入するのを防止したこと、これらの改良は現在も欧米において、同様の方法が採用されている<sup>27)28)</sup>。(不確認の報道であるが、ソ連に撤去された大弧山選鉱工場には年40万トンといわれる浮選工場が完成し、昭和30年から操業を開始し、将来100万トンに拡張されるとのこと



である。)

また、ソ連では鞍山鉱石と同じ種類とみられる、Kri-  
voi Rog 地方の硅酸質赤鉄鉱の浮選結果を報告<sup>29)</sup>して  
いるが、浮遊選鉱が還元焙焼-磁力選鉱の方法よりも、よ  
り経済的で有利であるとしている。

要するに、前述したように、褐鉄鉱についてはまだ研  
究の過程にあるが、脈石が単一でしかも細粒の鉄粒子の  
場合、赤鉄鉱の浮遊選鉱は経済的に処理が可能であると  
いえる。

## 6. 化学処理

鉄鉱石の選鉱は緒言で述べたように、費用の点からで  
きるだけ簡単な物理的方法がまず取上げられるが、特殊  
な鉱石に対しては、化学処理が必要である。スウェーデン  
で脱燐のための、燐灰石を含む磁鉄鉱の酸処理もこの例  
であるが、ここでは現在注目されている2方法について  
述べよう。

### 6.1 塩酸ガス法

イギリスで、低品位でしかも粘土質のミネット型の鉄  
鉱石に対し、1955年 REEVE<sup>30)</sup>が塩酸ガス処理を発表した。  
この方法は、(1)まず 300°~350°C で塩酸ガスの  
気流中で、鉱石の塩化作用を行ない、できた塩化鉄を蒸  
溜により回収する。(2)この塩化鉄を水蒸気によつて加  
水分解し、純粹の酸化鉄と塩酸ガスを得て、塩酸ガスは  
再び使用する。

この方法によれば、できた酸化鉄は純粹で、しかも回  
収率 90% 以上となり、ことに塩酸ガスの回収という長  
所があるが、残渣に塩素が残り、これからのガス回収の  
ための設備を必要とするなど、工業的採用までには多く  
の問題の解決を必要とする。

### 6.2 ソーダ処理法

フランスの重要鉄資源であるミネットは、石灰質と硅  
酸質の両種があり、石灰質は自溶性で比較的品位の  
よいものは現在利用されているが、これは今後10年  
で枯渇するといわれ、硅酸質は20億トンの埋蔵にも  
かかわらず、利用法が解決されていない<sup>31)</sup>。そこで  
IRSID が中心となり、今まで述べた各種の物理的  
選鉱が研究されているが、化学処理も取上げられて  
いる。

その方法は、苛性ソーダで鉱石中の硅酸そのほか  
の不純物を溶解除去するのであるが、この苛性ソー  
ダ液は、温度 125°C ~ 140°C、濃度 40~50%、鉱  
粒 50~200 g/l として、1/2~3 hr 浸漬する。こ  
の結果は Fe 品位 30~50% 向上、Fe 実収率 95%、  
硅酸除去率 60~80%、アルミナ除去率 80~90%、

硫黄と燐は全部除去された。

この方法<sup>31)</sup>の特色は、鉱石を苛性ソーダで溶解する際  
に鉄分は磁気変態を起こして磁性を帯び、磁力選鉱によ  
つて容易に鉄分を溶液から分離できる点にある。利用面  
は以上のミネットのほか、アルミナの多い鉄鉱石 (イン  
ドアルゼンチン)、燐を含んだ満俺鉱 (濠州)、赤泥など  
をあげている。

しかし、製鉄原料に残留するソーダ成分の除去、副産  
物の完全なる回収は、この方法の当面の研究課題となつ  
ている。

## 7. 新しい選鉱機械

鉄鉱石の選鉱技術の進歩とともに、新しい選鉱機械が  
各部門にわたって考案され利用された。いまその主なるも  
のについて簡単に触れてみよう。

### 7.1 自生ミル

自生ミル (autogenous mill) は、以前の hadsell  
mill に端を発したものであるが、最近にいたり改良さ  
れ、その利用が急激に広まり、乾式を aerofall mill<sup>32)</sup>  
湿式を cascade mill といい、鉄鉱石の破碎にも広く用  
いられている。写真 2 は後者の外観を示したものであ  
る。

これらのミルの特長は、鉱石自身の落下によつて破碎  
するために、大なる drum dia (5~22 ft) を有し、破  
碎産物を急速に排出するための短い length (2~8 ft)  
を有し、回転は critical speed の 80~90% で普通よ  
りも少し早い。

このミルの利益は、一般の rod mill などと異なり、  
大塊を直接給鉱して微粉まで破碎ができることで、いわ  
ゆる multiple stage crushing の必要がない。また鉱  
石の単体分離ができ過粉碎を防止し、電力、労賃、設備  
費も少なく、ことに機械の磨耗が著しく少ない。アメリ

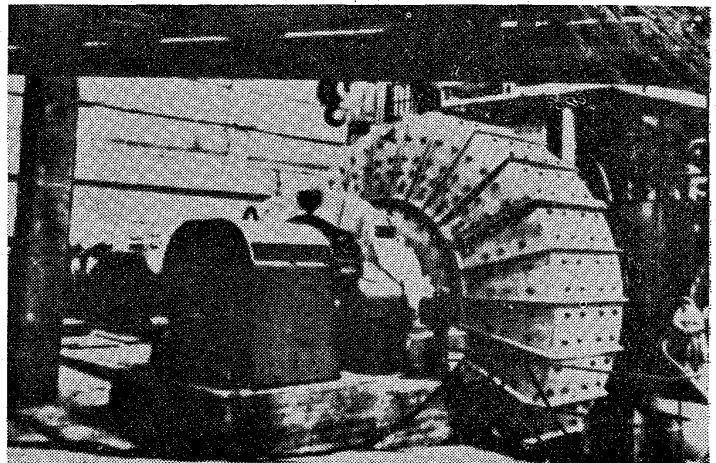


写真 2 自生ミル工場 (6m. dia. cascade)

カ、カナダ<sup>33)</sup>、フランス<sup>34)</sup>ドイツ<sup>35)</sup>などで試験され、広く工業的にも利用されている。

### 7.2 弧状スクリーン

弧状スクリーン (D.S.M. Sieve-bend) は最近開発されたもので<sup>36)</sup>、重力または遠心力によらず、特別の曲面を利用するもので、篩と分級機の中間の粒子、8mesh~48mesh に有効であるが、150 mesh 程度の微粒にも利用できるといわれる。写真3にその外観を示す。容量は 48 mesh の場合スクリーン 0.3048m に対し 10 t/hr で、1,000hr 以上の life があり、スパイラル、サイクロン、分級機の代用になるといわれる。

### 7.3 湿式サイクロン

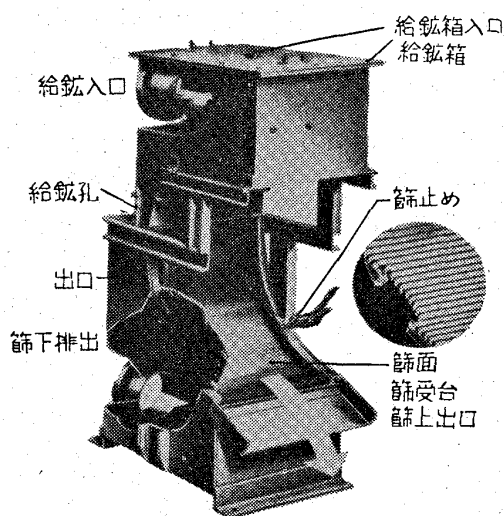


写真3 弧状スクリーン (Dorr Oliver)

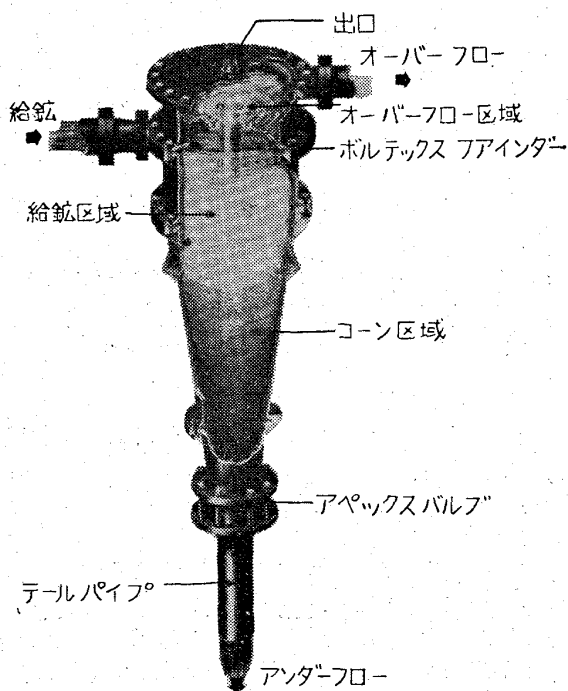


写真4 湿式サイクロン

湿式サイクロン (hydraulic cyclone) は、鉄鉱石の分級用としてまた選別用として広く用いられている。これは 1939 年オランダの M. G. DRIESSEN によつて、始めて cyclone thickener の名で発表されたもので、その構造は気体中の粒子の捕集用として、広く用いられた gas cyclone とほぼ同様の装置に、鉱粒を懸濁する液体を圧入して、分級、濃縮、清澄、選別の各種の目的に使用できる、きわめて便利な機械である。

写真4はその内部の作用を示したもので、鉱粒を含んだパルプが切線方向に供給されると、vortex が長壁に沿うてできる。粒子の粗いものまたは重いものは、コーンの壁に達し、ここで圧力を減じ下方に向つて放出される。細粒や軽い粒子は中央の低圧部に集まり、vortex finder と呼ばれる管に集められて、中央の出口から溢流となつて放出する。

構造が簡単で、しかも処理量がきわめて大であるために、所要動力と摩耗の大きい欠点にもかかわらず、その利用は急速に広まっている。

最近、Salzgitter の Calbecht 工場の場合のように、このサイクロンに重液選鉱を併用して、フェロシリコンまたは磁鉄鉱を使用した重液を用いて、細粒の鉄鉱石を選別する、いわゆる重選サイクロン (heavy media cyclone) として利用することも行なわれている<sup>37)</sup>。

### 7.4 ハンプレイ スパイラル

ハンプレイ スパイラル (Humphreys spiral) は<sup>38)</sup>、すでに戦時中から欧米で広く鉄鉱石の選鉱に用いられ、1953 年にはアメリカで 4,500 個が用いられ、スペリオ湖区域だけでも 760 個に達したという。この機械はきわめて簡単な構造で、その主要部分は扇形 (quadrant) の断面を有する樋 (trough) の 3 回または 5 回転からなる。1 回転の高さは 13 インチである。写真5は Cleve-

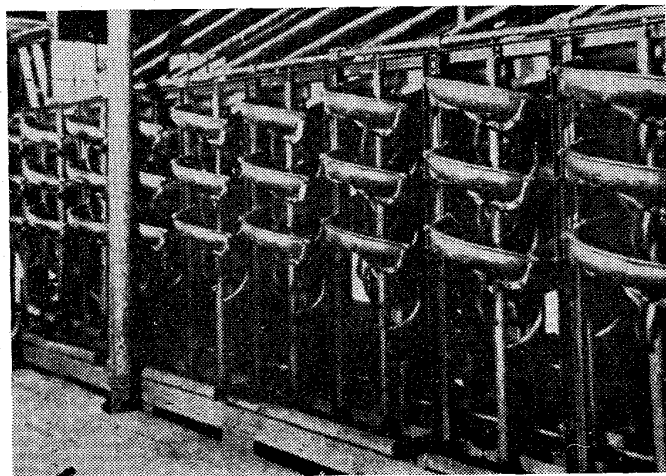


写真5 ハンプレイ スパイラル (Cleveland-Cliffs)



land-Cliffs のスパイラル工場を示したもので、3回転を精選に利用した場合である。

スパイラルの選別作用は、鉱粒が水とともにスパイラルに沿って流下すると、遠心力と比重選鉱の複雑な作用により、重い鉄鉱は中心のほうへ集められて、脈石と分離される。20~100 mesh の間に厳密に分粒したものに最も効果があるといわれ、動力を必要とせず、操業が簡単でしかも使用水量が少ないという長所がある。

ドイツは西アフリカ、リベリアの Bong Range 地方の赤鉄鉱、磁鉄鉱を含む貧鉄鉱開発のため、自生ミル、湿式サイクロン、ハンフレイスパイラルという一連の新しい選鉱機械を利用して、37.8% Fe のものを 67.3% にあげ、目下年 300 万トンの計画をたてているが、近く 500 万トンに拡張すると伝えられる<sup>39)</sup>。

## 8. 結 言

以上述べたように、各国は鉄資源確保のため国内のみならず、遠く未開発地にも進出して、新しい選鉱技術により、未利用鉄資源の開発に長期の計画をたて、一部にはすでに開発に成功している。

最近鉄鉱石の富鉄の入手が容易となるとの考えから、将来を楽観するむきもあるが、富鉄の埋蔵には限度があり、また予測できぬ事情から入手困難となることもあつて将来好むと好まざるにかかわらず、無尽蔵にある貧鉄の利用を迫られることも予想される。鉄鉱石需給の変動期にあたり、目前の事実にとわかれず、貧鉄処理の長期の計画が望まれる次第である。

ラテライトの利用については、すでにその研究経過が発表されており<sup>40)</sup>ここでは省略したが、東南アジアに大量に埋蔵量される未利用鉄資源の開発は、日本にとつてはいろいろの意味で、解決を迫られている、宿命的課題である。

しかしこれを完全に活用するまでには、やはりアメリカがタコナイトに対し、ドイツがザルツギッターの鉄石に対し、フランスがローレンのミネット鉄石に対し、すでに払つた、また現在払いつつある大規模の、また長期の研究努力が必要であることを、これらの鉄石に対する選鉱技術の進歩の過程を通じて了解できると思う。

最後に、在学中ラテライト利用を熱心に推進されたと伝えられる、八幡製鉄株式会社、故渡辺義介前社長にあらためてここに敬意を表し、本講演を終りたいと思う。

(昭和39年3月7日日本鉄鋼協会九州支部主催、渡辺義介記念講演会にお年ける講演)

## 文 献

- 1) G. E. DAVIES: *Mine & Quarry Eng.*, 26

- (1962) 4, April
- 2) O. BURGHARDT: *Stahl u. Eisen*, 81 (1961) 22
- 3) L. SUNDELIN: *Mine & Quarry Eng.*, I (Feb.), I (March), II (April), 1962
- 4) A. A. DOR: *Min. Eng.*, June, 1962
- 5) F. W. STARRAT: *J. Metals*, (1962) April
- 6) D. W. SCOTT: *Min. Congr. J.* I (May), II (June), III (July), 1963
- 7) S. S. COLE: *Int. Mineral Process Congress*, Cannes, May, 1963
- 8) *Steel & Coal*, (1963) August 2
- 9) D. E. PICKETT & P. O. R. MALBY: *Can. Min. & Met. Bull.*, (1962) May
- 10) C. DANIELSSON & S. IVARSSON: *J. Metals*, (1963) May
- 11) F. D. DEVANEY: *Int. Mineral Process. Congress*, (1960) April
- 12) J. E. FORCIEA, L. G. HENDRICKSON & O. E. PALASVIRTA: *Min. Eng.*, (1958) Dec.
- 13) *Mining & Dressing of Low-grade Ores in Europe*, published by OEEC. 1955
- 14) L. A. ROE: *Min. Eng.*, (1958) Dec.
- 15) U. RUNOLINNA: *Int. Mineral Dress. Congress*, 1957
- 16) O. E. PALASVIRTA: *Min. Eng.*, (1959) Dec.
- 17) G. H. JONES: *Int. Mineral Process. Congress*, 1960, April, W. J. D. Stone, Can. *Min. & Met. Bull.*, (1961) Sept.
- 18) J. DEROBERT & L. CASNABET: *Int. Mineral Process. Congress*, (1960) April.
- 19) R. E. BARTHELEMY: *Eng. & Min. J.*, (1958) Dec.
- 20) F. D. De VANEY: *Trans. AIME, Min. Eng.*, (1952) Dec.
- 21) F. M. STEPHENS, B. LANGSTON & A. C. RICHARDSON: *J. Metals*, (1953) June.
- 22) S. EKETORP: *Int. Mineral Process. Congress*, London, 1960
- 23) H. H. WADE & N. F. SCHULZ, *Min. Eng.*, (1960) Nov.
- 24) R. J. PRIESTLEY: *AIME, meeting*, New York, 1954
- 25) E. WOTTGEN: *Neue Hütte*, (1962) April
- 26) 松塚清人, 葛原大策: *日本鉱業会誌*, 56巻664号, 57巻677号  
松塚清人, 葛原大策, 後藤有一: *同誌* 58巻681号
- 27) Z. S. BOGDANOVA, S. I. GORLOVSKY & B. M. LAKOTA, *Int. Mineral Process. Congress*, 1960
- 28) P. G. KIHLESTEDT: *Int. Mineral Dress. Congress*, Stockholm, 1957
- 29) Z. A. KULAGINA: *Stal*, (1961) June.
- 30) L. REEVE: *J. Iron & Steel Inst. (U.K.)*, (1955) Sept.
- 31) E. HERZOG & L. BACKER: *Int. Mineral*

- Process. Congress, (1963) May.
- 32) D. WESTON: Int. Mineral Process. Congress London, 1960
- 33) B. S. CROCKER: Can. Min. & Met. Bull., (1963) Oct.
- 34) M. M. PASQUET & M. G. JOCO: Int. Mineral Process. Congress, (1963) May
- 35) W. JACOBS & J. FEIK: Int. Mineral Process Congress, (1963) May
- 36) W.R.V. SLYKE: J. S. Tukul & L. Keller, Min. Eng., (1958) Oct.
- 37) W.R.V. SLYKE: Amer. Min. Congress, 1961
- 38) J. S. HUBBARD: Min. World, (1953) May
- 39) W. JACOBS & J. FEIK: Erz Metall, Bd. XV, H. 12, 1962
- 40) 和田亀吉, 石光章利, 古井健夫: 八幡製鉄株式会社製鉄研究, 239 号  
小菅高, 古井健夫: 鉄と鋼, 50 (1964) 2
-