未利用鉄鉱資源について*

正 会 員 松 井 堯 政**

On the Steel Un-utilized Iron-ore Resources

Akimasa MATSUI

In this paper, is described the progress of studies and practices in respect to iron-sand and pyrrhotite during the past ten years as follows:

- 1) Fundamental research of pyrrhotite.
- 2) Beneficiation of pyrrhotite.
- 3) Mechanical concentration of iron-sand.
- 4) Reducing roasting of iron-sand.

緒 言

わが国の鉄鉱石の国内依存度は次第に低下し、年々、輸入鉄鉱石の増加を見ているが、一方、国内の砂鉄、磁硫鉄鉱およびラテライトなどの埋蔵量は大きく、これらを未利用鉄鉱資源として温存することは経済上、好ましくない。砂鉄は昭和の初期においてはほとんど顧みられず未利用資源として放棄されて来たが、第二次大戦とともに年間 25~50 万 t の生産をみるようになり国内産鉄鉱石の 20% に達し戦後再び生産は年間 1 万 t を割り国内産鉄鉱石の 1% 前後になつたが朝鮮戦争勃発とともに年間 10 万 t となり、以後砂鉄の生産は増加の一途をたどり、最近国内産鉄鉱石を遙かに上まわるようになった。磁硫鉄鉱についても砂鉄と同じく戦前には資源としてあまり利用されなかつたが、それは黄鉄鉱に比べて含有硫黄分が少なく、また他の金属鉱物を微量ずつ含有して雑鉱型の鉄鉱石を作っていることと理由で硫酸原料及び製鉄原料としても利用価値が少なかつたのであるが戦後は硫安の増産が強行され、初めて磁硫鉄鉱は黄鉄鉱とともに硫化鉄鉱として注目され、これが開発及び利用に関する研究が始められたのであり、とくに主成分の 1 つである鉄分は黄鉄鉱よりも多いので鉄原料として取扱われるようになった。とくに鉄原料に有害な銅分を分離するための研究が進められ、工業的にも生産可能の域に達しているのである。本稿において以上の砂鉄及び磁硫鉄鉱を利用し得る未利用鉄鉱資源として選鉱工学上から見た進歩の跡を追つて見ることにした。

磁 硫 鉄 鉱

わが国の磁硫鉄鉱の埋蔵量は約 5,780 万 t (含鉄量 2,480 万 t) である。前記のように硫黄の品位はほぼ 37~38% であるために戦前は廃石として放棄されていたが戦後は流動焙焼法の研究が進み、硫酸及び鉄の重要な資

源となつたのである。したがつて磁硫鉄鉱が脚光をあびたのはほんの過去 10 年ほどのことであるので、その選鉱法についても、まだ未知の部分も多く付随銅鉱の分離についてすら十分に研究しつくされていないのが現状である。

磁硫鉄鉱は $Fe_n S_{n+1}$ の型で表わされる鉄の硫化物であるが、 n の数によつて多様な特性を示すのである。すなわち磁性の点についても、強磁性の部類に入るものもあり、またほとんど磁性を持たないものもあるので、磁鉄鉱がほぼ同じような強磁性を示すのに比較してはるかに複雑な性質を持つていたので、選鉱には非常に困難がともなうことが予想される。戦前、磁硫鉄鉱の選鉱については京都大学の山田の論文²⁾(1934 年)があり、これによると磁硫鉄鉱が特異な pH の緩衝作用を持つこと、すなわち、浮選剤の pH 値 3~11 の範囲では浮選後の pH 値は 7.5 内外の一定となる。これは化学試薬 $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 及び KCN の添加(添加量 0.01%)の有無に関係しない。磁硫鉄鉱の浮遊度は pH 7.5 付近では 2~3% 以下で、実験後の pH 4.6~5 以下、すなわち実験前の pH 1.8~2 以下の強酸性の場合にのみ 100% となる。磁硫鉄鉱の浮遊度に及ぼす $Fe_2(SO_4)_3$, $CuSO_4$ 及び KCN 等の影響は僅少であつて浮選後の pH 値の影響が大ききことを述べている。戦後の磁硫鉄鉱の選鉱の研究にふれる前に、ここに日本有数の含銅磁硫鉄鉱の鉱山である日本鉱業の河山鉱山の選鉱法の変遷をしらべてみたが、当鉱山の選鉱の過程は、すなわち、日本の磁硫鉄鉱の選鉱の変遷を示すこととなるものと考えられるからである。

当鉱山の選鉱場は戦争中の昭和 19 年に着手し、20 年 6 月試運転を行つたが終戦とともに中止、21 年 4 月から本操業を再開した。建設当初は磁硫鉄鉱を回収することはあまり重要視していなかつたので粗砕して手選の後、浮選で銅鉱を採取してウィルフレ・テーブルで磁硫鉄鉱

* 昭和 35 年 11 月 10 日 日本鉱業会第 22 回選鉱研究会において講演

** 資源技術試験所第 2 部

を比重選鉱する方法をとっていたのであるが、その後、磁硫鉄鉱の活用の研究が進み、これが重要な資源であることが認められたのでテーブルを廃止して浮遊選鉱に変更したのが 23 年 4 月であつた。ここで全面的に銅—硫化の優先浮選操業となつたのである。当時の処理鉱量は 3,000t/月であつたが、磁硫鉄鉱の選鉱法についての合理化の研究が実をむすび年々増加の一途をたどつたのである。28 年磁選法をとり入れ、手選→銅浮選→磁硫鉄鉱磁選→磁硫鉄鉱浮選の系統がとられ、処理鉱量も 11,000 t/月となり、29 年 4 月には重選設備が完成したので 16,000 t/月の処理量となり 31 年 4 月に粗鉱運搬設備合理化及び選鉱設備の完成によつて 21,000 t/月の処理量となつた。河山鉱山選鉱の変遷を示すと第 1 表の通りである。

第 1 表

年次(昭和)	選 鉱 の 変 遷	処理鉱量 (t/月)
19	建設に着手	
20	試運転開始	
21	手選、銅浮選、テーブルによる磁硫鉄鉱の回収	
23	テーブル廃止、浮選による磁硫鉄鉱の回収	3,000
28	磁選による磁硫鉄鉱の回収	11,000
29	重選採用	16,000
31	粗鉱運搬設備の合理化	21,000
33		22,000

このように処理鉱量は 23 年から 31 年までの 8 年間に 7 倍にまで増加したことは磁硫鉄鉱の選鉱が戦後急速に発展したということを物語っているものである。

元来、磁硫鉄鉱には浮遊性のよいものと悪いものがあることは今までに良くわかっているが、河山鉱山で浮選を行なつた初期においては、この点の解決に非常に苦心したのであつた。早稲田大学の早瀬・原田⁹⁾(昭和 26 年から昭和 32 年まで)はここに着目し磁硫鉄鉱の基礎的諸性質を解明し、磁硫鉄鉱の選鉱への指針をあたえたのである。両氏は磁硫鉄鉱は硫黄の原子率 52.8% で磁性のピークがあるという Juza 等の試験結果を天然産磁硫鉄鉱について確かめ、磁性と浮遊性との関係、また、比重と硫黄原子率との関係等について研究した結果、実験に使用した河山産磁硫鉄鉱には種々の硫黄原子率のものが混在していること、硫黄原子率が 50.0→52.8% の範囲までは各種物性値が連続的に変化し帯磁率は次第に値を増し、比重はその値を減少し、浮遊能力も減少する。鉱石は脆弱性となつて砕け易くなる。また、原子率が 52.8% より増加すると、この 52.8% の点を“Knick”にして帯磁率及び脆弱性は減少し、比重と浮遊能力は減少する等のことを解明している。

さらに、足尾及び秩父鉱山における磁硫鉄鉱の鉱床とその磁気的性質についての研究結果を見ると総体的にみて足尾鉱床のものは磁性が強く、磁鉄鉱を多く産する秩父の方が磁性が弱いこと、足尾では地並が弱くて地並より下部に行くにつれて磁性が強くなっていること、秩父では下部に産するものに磁性が強いものが若干見られる

にすぎないことを述べ、つぎに河山鉱山での平均帯磁率は足尾よりも低く、秩父よりも高いが河山鉱山では足尾及び秩父のように標高差による磁性の強弱の関係は認められず鉱床の中心部が弱く、辺縁部に近づくにしたがつて磁性が増大するが、柵原では、これと逆の傾向を持っている。これは Kiskyras が述べているように磁硫鉄鉱の磁性は、その晶出温度と関係があり高温で晶出したものほど磁性が弱く低温で晶出したものほど磁性が強いと考えれば矛盾なく理解できると結論している。

さらにかれらは磁硫鉄鉱の磁気的性質と浮遊性ならびに酸化特性との関係についての研究を発表している。その結果は浮遊性と磁性とは負の相関関係を示すことを確認し、磁性の弱いものには浮選を、磁性の強いものには磁選を適用するのが合理的であると考え、また酸化は磁性の高いほど早く反応が進み、浮遊性が減少するので実操業の場合には元来浮遊しにくい磁性の高いものに更に酸化という悪条件が重なっているため磁選と浮選の併用は合理的な方法であると述べている。さらに、X線ディフラクト・メータによる磁硫鉄鉱の化学組成—結晶構造—磁性との関係について発表している。その結果、磁性の強いものは X線ディフラクト・メーターの 2θ で 56° 付近の磁硫鉄鉱の最強ピークに分裂をおこすことを述べている。

武中^{4),9)}は鉱床の型別に磁性との関係をしらべ、また、電気比抵抗として $10^{-3} \sim 10^{-1} \Omega \text{cm}$ 程度あることを測定している。

原田⁹⁾は濡れと浮遊性とは負の相関関係にあつて、接触角 90° 以上の浮遊度(浮選実収率)が 100% を示すことを明らかにした。

石原、各務^{7),9)}は陰イオン捕収剤にて浮遊しやすい磁硫鉄鉱は陽イオン捕収剤にては浮遊しにくく、また、逆の場合もあるので磁選の代りに陽イオン捕収剤による浮選の可能性について述べている。また静電気選鉱において得られた精鉱は高電圧加圧の精鉱ほど磁性が強い。すなわち、電気伝導度の低いことを確認し、その測定値は $10^2 \sim 10^4 \text{ mho-cm}$ の範囲にあることを発表している。さらに石原⁹⁾は磁硫鉄鉱にはその磁性分布に 1 ピーク型と 2 ピーク型のあることを発表し、2 ピーク型のものは交代鉱床に多いこと、2 ピーク型のものも約 300°C 、30 分程度の酸化加熱により 1 ピーク型に移行することを述べ、磁化焙焼による回収の可能性の検討をしている。

最後に河山鉱山の磁硫鉄鉱の選鉱方法の改善について述べることにする。これについて久保¹⁰⁾が発表しているが、そのとくに著しいものは磁硫鉄鉱の磁選、精鉱酸化防止処理、亜鉛の採取、浮選パルプの中間濃縮、脱銅浮選及び重選等であつて、昭和 24 年頃 11% S もあつた廃石品位は浮選法の採用その他の改善によつて 6% 程度にま

で低下したが、さらに磁選の採用によつて 3% S にまで下げることができ、この結果 1 カ月 560t の増産となつた。また、磁選には、まず多段型磁化機を使用して磁化し、その残留磁気を利用したのであつて、これによつて磁選の実収率は約 10% 向上した。また、酸化防止対策としてはコール・タール 2kg/t が最良で 41 日後にも異状が認められなかつたとのことである。

最近のように脱銅技術の向上によつて、鉄および硫酸原料としても使用され、完全利用の域に達しつつあるが、さらに鉛および亜鉛と共生するものについても、選別、回収して利用し得るという点について選鉱技術の進歩により鉄資源として大いに期待が持てるのである。

砂 鉄

砂鉄は元来火成岩が風化分解、運搬、淘汰されて生じた産物であるが、砂鉄を構成する鉱物は磁鉄鉱、赤鉄鉱、チタン鉄鉱、石英、長石、雲母、輝石、角閃石、橄欖石、石榴石、ジルコン、金紅石、榍石、クロム鉄鉱、燐灰石、砂金などからなつてゐる。しかし、鉄資源あるいはチタン資源として重要なものは、主として磁鉄鉱、赤鉄鉱、チタン鉄鉱、金紅石であつて、 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-FeO-TiO}_2$ 系鉱物類である。中間的存在である $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、強磁性の $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ がみられるが、選鉱学、冶金学及び岩石磁気学の立場から磁鉄鉱と赤鉄鉱との混溶度はきわめて低い。砂鉄は水成堆積作用によつて各地質時代の地層中に層状またはレンズ状をなして堆積賦存しているもので、第三紀及び第三紀以前と第四紀洪積世の砂鉄とに大別できる。第三紀及び第三紀以前の砂鉄は一般に山岳地帯に分布することが多く、開発にあつて主として坑道掘りによらなければならないが、また、鉱石も緻密塊状堅硬で、選鉱する場合には粉碎及び摩砕処理を必要とするが第四紀洪積世の砂鉄は一般に丘陵地または段丘地にほぼ水平に近く層状をなし、固結も著しくないで、選鉱に際しては磁選及び比重選によつて容易に濃縮が可能である。ついで現世の砂鉄はその大部分が地質時代の砂鉄と同様に水成堆積作用によつて海岸、湖岸、海底、湖底あるいは川床などに堆積賦存したもので、これらの他に母岩の風化分解に起因する原地残留砂鉄や風成作用による砂丘砂鉄鉱床もある。以上述べた砂鉄の埋蔵量は未利用鉄資源開発調査の結果によると、わが国の総埋蔵量は約 658,319 千 t (含有鉄量 59,512 千 t) である。

砂鉄は戦後、狭小な国土の鉄鉱石資源を有効に利用しようとする見地から僅か 10 数年の間に急速に関心が持たれ、これが調査、開発、採掘及び利用について飛躍的な発展をもたらしたのである。最近数年間の砂鉄精鉱の生産量を示すと第 2 表の通りである。

この表のように最近過去数年間に毎年 10 万 t ないし 20 万 t の増加を示している。

第 2 表 砂鉄精鉱の生産量

生産年次 (昭和)	29	30	31	32	33	34	35
生産量 (万 t)	50	70	80	100	120	(推定) 148	(計画) 155

つぎに、昭和 35 年度におけるわが国の鉄鉱石の自給計画を見ると砂鉄の国内鉄鉱石に対する自給度は 35% である。いまこの計画を第 3 表に示す。

第 3 表 昭和 35 年度の鉄鉱石自給計画表 (単位・千 t)

国内鉄鉱石原料					輸入鉄 石原料	(合計)
鉄鉱石	砂鉄	硫酸焼淨	雜原料	国内原料 小計		
1,290	1,550	1,550	2,000	6,390	13,625	20,015

このように砂鉄は鉄鉱石の自給に大きな役割を果たして来たが、元来、砂鉄は採掘、選鉱は人力のみによつた原始的鉱業であつて選鉱方法も単なる猫洗し式の繰り返しによつて行われてきた。終戦後の砂鉄鉱業は機械化され次第に生産量は増加して来たが、経験年数浅く実収率は他の鉱物に比べて著しく低く、現状のままで増産のみを目標として進むならば、全く貴重な砂鉄資源は 10 年以内に涸渇するであろう。

わが国の砂鉄はとくに多量のチタン分を含んでいるのでこの分離に多くの試験がなされて来た。一般に砂鉄原鉱を低磁選で選別すると多量のチタン分が鉄精鉱中に逃げるが、いま原鉱中のチタン分の鉄精鉱中への分布率を砂鉄生成期別に見ると沖積層では約 56%、洪積層では約 61%、第三紀層では約 66% となつてゐる。

代表的な砂鉄原鉱について磁選した結果を示すと第 4 表の通りである。

第 4 表の結果から算術平均した、各産物中の TiO_2 の品位を求めると、原鉱石 (F) 中の品位は 6.5% (TiO_2)、鉄鉱石 (C) 中の品位 12.8% (TiO_2)、尾鉱 (T) 中の品位 3.5% (TiO_2) となり、鉄精鉱中の TiO_2 の品位が著しく高くなることが判る。

このようなチタン分を含んだ砂鉄精鉱をそのまま製鉄炉に入れると、チタン分はチタン・スラッグとして回収

第 4 表 砂鉄の磁選結果

産地名	産物名	Fe (%)	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)
黒 津	F	34.30	10.80	29.10
	C	54.13	20.04	1.21
	T	17.50	3.90	49.90
津 代	F	20.10	5.00	44.40
	C	54.13	14.35	4.73
	T	11.90	2.60	53.80
国 縫	F	36.20	4.60	32.80
	C	60.20	8.50	2.30
	T	22.20	2.30	50.40
大 畑	F	44.60	7.60	20.30
	C	58.55	9.43	4.17
	T	24.30	4.90	43.10
天 間 林	F	25.50	4.50	39.90
	C	57.00	11.50	5.45
	T	20.50	3.80	44.80

(備考) F: 砂鉄原鉱, C: 鉄精鉱, T: 尾鉱

不能のまま放棄され、また、炉内の流れを悪くし、かつ炉壁を損耗するので、是非とも前処理によつて TiO_2 を分離することが望ましいのである。

まず砂鉄中の含有鉱物の選鉱学的特性を調べてみると第5表のようである。この表から明らかなように比重選鉱、静電選鉱および浮遊選鉱ではチタン鉄鉱と磁鉄鉱はその選鉱学特性が類似している点から分離は非常に困難であり、また、不可能であると考えられる。しかし、これら鉱物と脈石の分離は可能である。

第5表 各種含有鉱物の選鉱学特性

	チタン鉄鉱	金 紅 石	磁 鉄 鉱	脈石鉱物	(備考)
比重選鉱	4.3~4.9	4.18~4.25	4.9~5.2	2.0~3.5	* はオレイン酸浮選における場合
静電選鉱	良導体	良導体	良導体	不良導体	
浮遊選鉱	浮遊	浮遊	浮遊	浮遊せず	
	0.0015	<10 ⁻⁵	3.07~0.12	<10 ⁻⁵	

すなわち、チタン鉄鉱または磁鉄鉱を除けば、それぞれの鉱物と脈石を分離することができる。また、磁鉄鉱とチタン鉄鉱の分離には磁力選鉱が最も適している。これらの選鉱系統を次に示す。

チタン砂鉄の選鉱法

(第1法)

(第2法)

第1法の原鉱から鉄精鉱を採取する方法は、鉄精鉱の実収率が極めて良い利点がある。また、第2法の原鉱を比重選鉱で濃縮する方法は、原鉱の品位が低いとき、その実収率を落さぬようにして、ある程度品位をあげ、原鉱量を $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ にして選鉱できる利点がある。

以上のような選鉱法を適用するに先立つて、わが国の含チタン砂鉄の構成をみると、磁鉄鉱、チタン鉄鉱、赤鉄鉱の単体とそれらの共晶体および脈石が構成鉱物になっているが、単体のものは少なく、多くは共晶または固溶の状態をなしており、脈石も複雑で、その選鉱はかなり難しいものと考えられる。また、粒度分布を見ると浜砂鉄の場合は細かい粒度にチタン分が多く、珪酸鉱物は比較的粗い粒度の方に濃縮しているが地質年代が古くなるにしたがつて、それが不明瞭となり、古生層砂鉄では全く単体分離が不可能な状態となっている。

まず物理選鉱について当試験所にて行なつた試験結果¹³⁾を述べることにする。

含チタン砂鉄の選鉱はまず低磁力選鉱で磁鉄鉱を鉄精鉱として採取し、その尾鉱、すなわち、チタン鉄鉱と珪酸鉱物の混合物から粗選によつて比較的軽い酸性の脈石を除去し、精選によつて比重の大きな塩基性の脈石を除

去しチタン精鉱を得た。含チタン砂鉄から磁鉄鉱を採取するには普通はクロケット型、またはグレンダル型磁選機を使用するが、その時の磁束密度は 500 ガウス前後で鉄精鉱の Fe 品位は 50~60%、実収率は 50~70% である。これはチタン鉄鉱と磁鉄鉱との共晶体または固溶体の鉱粒があるためで、鉄精鉱中へのチタンの分布率は 50% 以上になるのが普通である。また磁選尾鉱からチタン精鉱を採取するとき、初めにチタン鉄鉱を濃縮するために -100mesh40% 程度の粒度のものにはスパイラル、パンナーが良く、-100mesh10% 程度の粒度の大きいものに対してはジグの使用がよい。このように粗選を行つたチタン粗精鉱は塩基性脈石を含むが、種々試験した結果、静電選鉱、浮遊選鉱が良い成績を取めた。すなわち浮遊選鉱では原鉱を -200mesh85% に粉碎し、捕集剤としてオレイン酸、抑制剤として弗化ソーダを用い、pH 4~5 のとき、最も良く、精鉱の品位 TiO_2 31.8%、 SiO_2 4.2%、実収率 76.8% の成績を得た。静電選鉱では印加電圧 2 万 V の時が最も良く、1 回の処理で SiO_2 品位 6~28.7% のものを 3.8~0.4% までに除去できた。なおテーブルも手軽であつて 65% 位の実収率をあげ、精鉱中の SiO_2 品位も 3% 程度までに下げることができた。

ついで鉱床別に考察するに、鉄精鉱としては、沖積層洪積層のものは鉄の実収率が良好で、中生層、古生層のものになると単体分離が悪く採取困難となり、珪酸分の含有量も非常に多くなる。鉄精鉱の対象となるのは第三紀層のものまでが限界である。またチタン精鉱は砂チタン鉱床がもつとも良く、品位も 40% をこえ、実収率 70% 以上にもなるが、沖積層の廃砂からのチタン精鉱は TiO_2 品位 30% を容易に越えるものは少なく実収率も原鉱に対して 30% 程度である。洪積層になるとさらに不良でチタン精鉱の採取はまず困難である。

以上述べたように、まず鉄精鉱をとり、その尾鉱からチタン精鉱を採る方式であつたが鉄精鉱中へのチタン分の逃失は 50% 以上になり、チタン精鉱の原鉱に対する TiO_2 は 20~30% にすぎないのである。

このようにチタン分の分離は一応物理的選鉱では良くないので、精鉱を約 3 時間 CO ガス中で約 1,000°C にて還元焙焼し、鉄精鉱中の酸化鉄を金属鉄とし、それを微粉碎して低磁力選鉱によりチタン精鉱を分離することで、一例を示すと TiO_2 品位 10%、Fe 品位 57% の磁鉄鉱の精鉱を還元焙焼した後、低磁選を行なうと Fe 品位 85.2% の鉄精鉱 (実収率 97%) と TiO_2 品位 41% のチタン精鉱 (実収率 61.7%) が得られた。

さらに焙焼実験について述べると¹⁴⁾、まず原砂鉄から採取した鉄精鉱中の TiO_2 の賦存状況を顕微鏡、その他で調べるとつぎの A 鉱及び B 鉱の 2 種類に分けることが

できる。

A 鉱：強磁性のイルメナイト、高品位のチタン鉱物及び磁鉄鉱中に共晶固溶の状態ではチタン鉱が含有されているもので TiO_2 の含有量が 14% 以上であるもの。

B 鉱：大部分のチタン鉱物が磁鉄鉱中に共晶固溶の状態になっているもので TiO_2 含有量が 10% 内外のもの。

したがって、これらの鉄精鉱から物理的選鉱にてチタン分を分離することは容易でなく磁性鉱物は焙焼によって、それぞれ固有の磁性が変化するので、この特性を利用して試験することが有利と考えられる。まず焙焼試験に供した試料は各産地の砂鉄原鉱を 600 ガウスで磁選した鉄精鉱である。焙焼実験としては弱還元及び強還元の 2 種類に分けて行なつた。

弱還元焙焼(焙焼温度：900°C 前後)：還元剤として木炭粉を被還元物の 20% 添加し、焙焼は窒素気流中に行い同じ気流中にて急冷し、焙焼産物は 200 ガウス O.P マグネットでは磁選すると A 鉱では非磁着率が 30% で多いものは 52% にもなるが、B 鉱では非磁着率が最高で 10% にすぎない。この場合に非磁着部中チタン分の回収率が最大になる条件は焙焼温度で 850~900°C(還元時間が一定のとき)、の還元温度 900°C で一定のときの還元時間は 90min である。また、還元産物を磁選する場合の磁束密度は 200~1,000 ガウスが適当である。つぎに還元産物を -200mesh(約 80%) に粉碎して 200 ガウスで磁選すると、非磁着量は 60% に達し、 TiO_2 品位は低下し、Fe 品位は増加した。

上述の A 鉱は弱還元焙焼によつて TiO_2 を容易に回収することができたが、なお鉄精鉱中のチタン分の 30~40% が磁着部に残り、B 鉱からのチタンの回収はわずかに 10% 前後であつた。C のように B 鉱から TiO_2 は弱還元焙焼によつて回収されないで固溶態となつて入っているチタン分を強還元焙焼によつて分離することを試みた。すなわち、酸化鉄の大部分を金属鉄まで強還元し、還元鉱を 200mesh (80% 前後) に微粉碎し磁選した。強還元焙焼の際に還元剤として木炭粉を被還元物の 5%、接触剤として NaCl を被還元物の 4% を混合してタンマン炉に入れ 4 時間焙焼を行つた結果、非磁着部の TiO_2 品位 41%、実収率 61.7% で磁着部の Fe 品位 85.2%、実収率 97% となつた。この際の金属鉄の生成率は 94.6% である。還元産物の磁着部と非磁着部は見掛けの比重及び粒度にかなりの相違があるので比重選鉱にも適している。また、水素ガスによる強還元焙焼を行なつたが余り良結果を得られなかつた。一般に水素還元はタンマン炉還元に比して低温短時間にて金属鉄生成率 84~86% に達するが、金属鉄の生成状態が非常に微細なため -200mesh(80% 前後) の粉碎では単体分離が悪く選別成績は劣る。したがって高温で長時間還元し金

属鉄の粒子を生長させなければ良い選別は得られない。

このように還元焙焼によつて砂鉄からチタン分の分離回収について一応の効果を収めたのである。

最後にわが国の砂鉄の現状を見るに海浜砂鉄のような比較的採掘及び選鉱の容易なものは砂鉄ブーム時にほとんど掘り尽されて、今後は山砂鉄¹¹⁾へと移行し行くのであるが、これは選鉱に際して海浜砂鉄と異なり、前処理としてクラッシャー、ボールミル、及びアトリッシュマシンを用いなければならない。したがって操業の安定化と能率を最高度に発揮するために原鉱品位の均一化、一定鉱液濃度の保持、廃石品位の低下等である。鉱廃水処理及び補償費の問題も考慮しなければならないので、これらの点についてはまず試料採取の正確度及び分析技術の向上であつて、最近迅速分析として X 線蛍光分析装置¹²⁾及び携帯用着磁品位迅速直示測定器¹³⁾が考案され¹⁴⁾発達して来たのである。また、ここ 1,2 年前より海底砂鉄¹⁵⁾の採取が活発となり、鹿児島湾をはじめとし、全国的に広がつて来る状況であるが、これの選鉱についても一段と考慮が払われるようになった。すなわち、採取船上にて選鉱作業が行われるので船体動揺のため作業に安定性がなく、これが海底砂鉄の選鉱に対する重要課題である。目下のところ、海底砂鉄選別採取機なるものが考案され海底にて直接、磁性体によつて磁選、採取を行なう方法をとつているが、まだ完全とはいえない現状である。

以上、磁硫鉄鉱及び砂鉄についての選鉱上の進歩について述べたが、わが国には未利用鉄資源としてさらに「ラテライト」がある。これは選鉱工程において多くの隘路があり、とくに Ni, Cr の除去が困難であること、鉄分品位が低いこと、外観以上に化合水の多いこと等であるが計測技術の進歩に伴なつて容易に磁化焙焼(700°C)され確実に磁鉄鉱に富化され磁力選鉱にて分離し、単味の使用も可能となるのではないかと思う。現下の状況は最良の時期にあるので、ラテライトも砂鉄及び磁硫鉄鉱と同じく選鉱技術の進歩改善によつて完全に活用される日も近い将来と考える。

引用並びに参考文献

- 1) 服部・高島：地質調査所報告特別号(E)昭和35年10月
- 2) 山田：水産会誌 8 巻 4 号 1934年
- 3) 早瀬：日本鉱業会誌 昭和26年3月、同27年7月、同27年11月
昭和28年4月、同32年8月
- 4) 武中：日本鉱業会誌 昭和30年10月・11月
- 5) 武中：〃 昭和31年8月
- 6) 原田：〃 昭和31年1月
- 7) 石原：〃 昭和34年4月
- 8) 石原：〃 昭和35年1月
- 9) 石原：〃 昭和36年3月
- 10) 久保：〃 昭和32年11月
- 11) 大山：特殊製鉄(特殊製鉄協会)1960—2月、3月、4月
1961—5月
- 12) 大町：〃 1961—5月
- 13) 山本：資源技術試験所報告(40号) 昭和33年7月
- 14) 鈴木：〃 受託研究報告(No. 27) 昭和34年3月