

## 静電気を利用せる選別について

森 棟 隆 弘\*  
佐 藤 恒 義\*\*

Ore Dressing With Our Electrostatical Separators.

Takahiro Morimune  
Tuneyoshi Sato

We tried the electrostatical dressing of chrome sand and low grade hematite ore, with our new dry and wet separators. The dry separator is a drum type one; the pole vary from two to four, and the applied voltage is 4000—100000, This is quite low as compared with those in usual case. In the wet separator, we use solutions of low dielectric constant, wherby clean separations of ores are acquired.

The grain size of ores giving good results is 30—48 mesh, although any similar size meets the purpose as well.

The temperature and the wetteness of ores affects largely; these effect may be beneficially utilized for giving good conditions and further, for making the dressing possible in the case where the separation is difficult.

### I. 緒 言

静電気利用の一方面として鉱物或は粉体相互の分離乃至選別は、静電気的特性に依り、一般の選鉱法とは全く別個の原理で行われるので、通常の選鉱で困難を感じる石英、蛇紋岩の様なものが別け易いと云う様な現象が出て来る。従つて此の選別法を浮選又は比重選鉱と結合したり、又これ単独での処理法が完成すれば、原料処理の方面に大いなる進歩が期待出来る。

本事項についての研究は米国に於ける Johnson<sup>1)2)3)</sup>の研究がその基本と成り得るとも云い得るので、選別機は大小2個のドラムから成る普通のものであるが、鉱物に依り正負の帯電あるのを利用し、且つ各種の鉱物及び岩石の反撥する電圧を実験的に定めたのが大いなる功績である。即ちこれが吾々の研究にも大いに役立つ、その上著しく静電選別の技術を向上せしめたと云つて過言で無い。吾国に於ては真島正市、作井誠太氏<sup>4)5)6)</sup>は平板の極に対し長い円筒の極を縦に対立させ微粉を円筒内を通過せしめて上昇せしめることについて、及び帯電粒子を電極に衝突せる場合の運動、円筒の直径と粉の上昇との関係について研究した。鳥山四男氏<sup>7)</sup>は板状2極間に半導体又は導体を入れたものについて、静電気及び交流高電圧を用いた基礎実験である。同じく鳥山、佐々木、山川氏等<sup>8)9)</sup>は不導体及び半導体ベルトを用いた選別と、平行ならざる電極間、平行2極間に金網を入れた時の粉体の運動を調べた。佐々木正人学士<sup>10)</sup>は傾斜平板に対し多数の針状電極を用いた場合の黒鉛の運動、並びに優良黒鉛を選別採取する事について報告した。著者及び林克済学士<sup>11)</sup>はクロム砂鉱の静電選別につき、特殊の装置を考案して選別し<sup>12)</sup>、又湿式法を始めて行い好成績を得た。金谷秀一博士<sup>13)</sup>は傾斜ベルト式のものを考案し、黒鉛の選別を工業的規模に迄進めた。

本報告はクロム砂鉱及び低品位赤鉄鉱を取り扱つたもので、この試料について実験を行つたのは

\* 富山大学工学部教授 (金属工学教室)

\*\* 不二越鉱業株式会社

従来之等の選鉱成績が比較的良く無かつたから静電的に試みたのである。前者は砂鉄であるから角の鋭い部分が少なく粉碎したものに比し帯電が一樣であるから、理論的にも良く分れる。又赤鉄鉱の方は粉碎したので、前者の様な好条件は得られないが、石英と赤鉄鉱両者の電気的性質の差異から、分け易いと考えたものである。

## Ⅱ．静電気に依り選別されるものの説明

静電気に依る選別の原理は導体と不導体との関係であつて、前者は帯電状態が自由に物体内を移動し、或る分布を為して平衡状態に達し、即ち極と同一帯電となる為反撥される。然し不導体はこの様な静電気状態に達するには時間を要する為、一定の給鉱速度では反応せずそのまま送り出される為分離される。

その他分離される因子としては Johnson<sup>14)</sup>の発表した正、負による鉱物の帯電性の影響も大きい。が、鉱物が反撥されるに至る電圧が鉱物に依り異なる事が選別に最も利用される。

特に静電気状態に達する迄の時間は導体と半導体、不導体この間に明らかな差があり、混合鉱物を処理する際には、導体の反撥した後半導体が極めて小な時間差であるが、後れて反撥するのが見える。勿論導体である金属等でも  $10^{-6}$  秒位の時間で充分帯電すると推定されているから<sup>15)</sup>、うまく此の反応を捉えれば、選別に利用し得る丈の差があり得る筈である。不導体の方はこれに達するには少し時間が長いから、変化が無く、重力に依り落下して行く。

その他静電感应又は静電履歴現象を利用して行ふ選別法もある。

此の静電選別の帯電は初期では摩擦で帯電せしめて居たが、後には静電発電機や、高圧変圧機で昇圧し真空管で整流するのが普通となつた。又高周波高電圧、単なる交流高電圧を用うる特殊なものもある。

又電媒常数の低い然も鉱物より回収し得る液体を用いても選別が猶お良く行えるが、之も同様に説明し得る。

鉱物粒の表面に吸湿水があると、鉱物の静電感受性が変わってしまうので、一定状態迄乾かす必要があり、又粒子が互に附着すると選別効果が悪くなる事等から乾かさねばならない。そして粒子が附着する場合は通常稍々大きい粒に粉が着くのであるが、此の場合は外面に附いた粉の電気的性質に従つて分けられてしまう。従つて良く選別するためには乾燥と除粉が行われねばならぬ。この乾燥は Flashdrying 程度で充分で、内部に 2～3% の吸湿水があつても良いとされている<sup>16)</sup>。更に装置に依つては原鉱の粒が不揃いであれば、反撥距離が粒の大小で同じものでも違うので、選別結果が悪くなるから、予め篩で分粒して置くと結果が良い。

給鉱する場合の鉱物の温度の影響はかなり大で、例えば石英の如く常温で容易に反撥するものも、不導体の如く反撥せぬ様になる。又逆の場合も生じて、加熱した為に分離を良くする様な事がある。猶お之に関して目下詳細に実験を進めつゝある。

## Ⅲ．実験試料

砂クロムは北海道宗谷国浜屯別産のもので、品位は  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  として 5.5% である。蛇紋岩、石英を主体とし、此の中に小粒の砂クロム、砂鉄、砂金、イリドスミンを含有する。砂クロム粒<sup>17)</sup>は硬度 5.5～6、比重 4.18～4.56 (原砂鉄の平均比重は 2.63) の美しい結晶で、純度高く鉄合金製造用として歓迎されるものである。

表-1 低品位赤鉄鉱成分

Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	S
42.99	30.52	5.05	1.53	1.37	0.05	0.025

赤鉄鉱は低品位のもので、組織が大きく、脈石は石英から成る満洲産のものである（第1表）。

#### IV. 実験装置

実験の電源は100ボルト交流を使い、その電圧をスライダックスで加減して高压部分の電圧を変え、KN154の真空管で整流し、4,000～15,000ボルトの直流を得て、選別機に送った。整流は半波整流であるから良い直流と迄は行かないが、実験上は特に不都合は無かつた。

実験に使った選別機は著者等の考案した<sup>18)</sup>四極式静電選別機で使用電圧も低く、能率も良い。これは大小2個のドラムを用い、大形ドラムは廻転し、給鉱し、又負に接地され、第2の小ドラムは必要に依りては廻転する様に作られ、高電圧が通されている。此の両ドラムの表面距離は1cm内外で、電圧を低くする様工夫せられている。又他に2或は3個の極を取り付けて選別した鉱石を誘導する。

#### V. 実験結果

##### §1. 砂クロムの選別実験

###### (イ) 試料の篩別

試料を篩別すると第2表の様な結果であつてCrの大部分は30～100メツシュの間にある。猶お+30メツシュのものは鏡下でクロム砂鉄を認めなかつたので分析を行わなかつた。又-200メツシュのものは実験対照としなかつた為に分析しなかつた。

表-2 試料の分粒

メツシュ	重量%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %
10	13.30	—
30	28.85	—
48	31.65	3.43
60	11.20	15.36
100	10.20	6.08
200	3.72	4.20
-200	1.08	

###### (ロ) 乾式及び湿式を併用せる選別

先ず乾式で粗選して蛇紋岩を除き、次に湿式で精選した。第3表は其の結果で、給鉱は各5gである。従来試みられた方法では両極の間隔は50～100mmで20000～30000ボルトの高压を要し、絶縁その他に面倒な点が少くなかつたが、本法に於ては両極を更に接近せしめて10～14mmとしたので電圧も4000ボルト程度で済み、種々の点で簡易化され、危険性も無くなつた。又之に伴い鉱粒の運動状態も従来のものとは甚だ趣を異にしている。乾式では、蛇紋岩の跳び得る範囲で電圧をなるべく低く保つた方が、尾鉱品位は低くなる。湿式では鉱粒が電場内に置かれる時間が乾式より長い為に、一層精密な分離が可能である。此の精選の際精鉱品位を下げるも

表-3 乾式及び湿式を併用せる選別試験

給鉱粒度 メツシュ	粗 選					精 選 (湿式)					実収率 %
	両極間隔 mm	電圧(ボルト) 及び処理回数	精 鉱 %	尾 鉱		電 圧 (ボルト)	精 鉱		尾 鉱		
				%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %		%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	%	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	
48～60	12	4050 (4回) 3750 (4回)	69.6	30.4	0.36	8250	38.2	37.43	31.4	3.04	93.06
48～60	12	4800 (2回) 4500 (2回)	50.6	49.4	2.65	8250	29.2	46.97	21.4	2.39	88.30
48～60	14	4200 (2回) 3900 (2回)	58.8	41.2	1.93	8250	31.6	44.58	27.2	2.30	90.73
30～48	10	4800 (5回)	40.4	59.6	2.05	8250	4.6	45.80	35.8	0.23	61.37
60～100	12	3900 (2回) 3300 (4回)	53.0	47.0	0.01	8250	15.8	34.26	37.2	1.78	89.09
30～100	12	4500 (2回) 3900 (2回)	78.0	22.0	0.18	8250	10.0	37.27	68.0	1.16	81.77

(電圧及び処理回数の欄で前に記載してある数字は電圧で一番始めのもので云へば4050V4回) 処理後、3750Vで4回処理したことを示して居る。

のは、粗選で残つた蛇紋岩である。尙お選別に先立ち原鉱の吸湿水を除去して置いた方が結果が良い。給鉱の粒度は 48 ~ 60 メツシュのものが最良の成績を示し、之より粗いと実収率が悪く、細かいと精鉱品位が低下する。-200 メツシュの微粉に就ては未解決である。

#### (ハ) 湿式のみによる選別

湿式のみによる結果は第 4 表に示す様に稍々大粒の 30 ~ 48 メツシュのものは、精鉱品位は少し良いが、実収率は 67 % で低い。此の同じ電圧で 48 ~ 60 メツシュ及び 60 ~ 100 メツシュのものは精鉱品位は少し下がるが収率が良い。100 ~ 200 メツシュのものは動き過ぎて両極間を往復する様な状態になる為に良い結果が得られなかつた。然し全部の鉱粒を含んだ -20 メツシュのものは何等かの総合効果があるのか良い精鉱と高い収率を取めた。然し精鉱品位が上らないのは此の方法では

表-4 湿式のみによる選別試験の結果

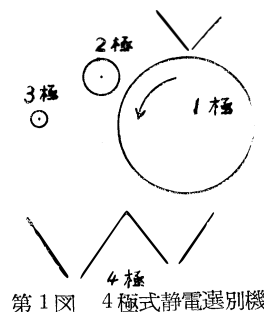
給 鉱 粒 度 メ ッ シ ュ	電 圧 ボ ル ト	精 鉱		尾 鉱		実 収 率
		重 量 %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	重 量 %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	
30 ~ 48	6750	5.6	41.62	94.4	1.17	67.90
48 ~ 60	6750	40.4	39.24	59.6	0.60	97.82
60 ~ 100	6750	16.4	32.93	83.6	0.67	90.57
100 ~ 200	6750	11.0	18.81	89.0	1.53	60.36
-20	6750	9.6	41.90	90.4	0.39	91.98

蛇紋岩の除去が不十分だからである。使用液としては工学的に使用、回収の可能なものを使った。

#### §2. 赤鉄鉱の選別実験

此の赤鉄鉱の静電選別は比較的困難なので、最も分れ易い粒大である 80 ~ 100 mesh を採用して実験した。実験に使う鉱石は 5 瓦を単位とし、電圧は諸種の実験から 10500 ボルトとした。装置の原理は第 1 図に示される様に 4 極式の乾式のものを用いた。

此の実験機を使い得られた実験結果は第 5 表の様なものである<sup>19)</sup>。



第 1 図 4 極式静電選別機

表-5 赤鉄鉱の静電選別

繰返し選別 回 数	精 鉱		尾 鉱		鉄 収 率	使用電圧 (V)
	Fe %	重 量	Fe %	重 量		
10	55.72	3.15	17.97	1.85	81.65	10500
10	54.52	3.50	16.09	1.50	88.77	10500
10	53.14	3.65	15.55	1.35	90.23	10500
8	52.56	3.48	21.08	1.52	85.09	10500
8	54.30	3.59	14.20	1.41	90.69	10500
5	57.14	3.34	14.50	1.66	88.76	10500

即ちこの選別法で Fe 42.9 % の原鉱の品位を Fe 52.5 % 乃至 57.1 % に逆上昇せしめる事が出来た。然し粒の大きさが 80 ~ 100 メツシュと云う様な比較的大きい粒であるため、尾鉱の Fe 分は 14.2 % 乃至 17.9 % で稍々高いが、これは猶お片刃等を分けて再粉碎して処理すれば解決する。然し鉄の収率は比較的高く、大多数 88.7 乃至 90.6 % である。電圧も 10500 V であるから絶縁その他の取



扱いが易しい。

第6表は此の選鉱機の極数を変更した場合の精鉱収量及び鉄収率を求めたものである。

即ち1極及び2極の場合は精鉱収量は58%で低いので鉄収率も78%で低い。然し使用極数を増すに連れ精鉱収量と鉄収率を増し、極を全部使った場合(第1図参照)には鉄収率は90.2%となる。これから見ると多数の極を使い精鉱を誘導するのが良い様である。

表-6 選鉱機の極数を変えた場合の成績

使用極数	精鉱収量	鉄収率
1, 2 極	58.00	78.51
1, 2, 3極	67.12	85.55
1, 2, 4極	66.20	84.19
全 極	73.00	90.23

## Ⅵ. 結 論

静電気を用い、砂クロム及び低品位赤鉄鉱の選鉱を乾式或は湿式、又はそれを併用して行い、工業的に稍々価値ある結果を得た。

1. 乾式静電選別機としては著者等の考案になる4極式のものを用い、極間電圧を従来より低く、第2の極に反撥せしめて選別した。
2. 電媒常数小なる液を用うる湿式装置を考案し、実用化の可能性を示した。
3. 選別と粒との関係は30～48メツシュが最良であるが、100メツシュ迄は著しい差は無い。その前後は乾式では少し落ちるが、湿式では余り差が無い。
4. 使用電圧は乾式で4000～10000ボルト、湿式で8000ボルト前後で、従来の方式の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ で、危険性が少ない。
5. 乾式の選別理論は導体、不導体の帯電の差と、静電気感応を利用し、湿式は導体、不導体の帯電の差とジョンソンの反応を取り入れた。
6. 温度及び湿度に対する影響は大なるも、之は適當の装置に依り反つて選別に利用し得る。

猶ほ本報告は昭和22年10月鉄鋼協会秋期大会で講演したものである。

## 引用文献

- 1) Herbert Bank Johnson : E. M. J. 1938. 9月. P. 37.
- 2) Herbert Bank Johnson : E. M. J. 1938. 10月. P. 42.
- 3) Herbert Bank Johnson : E. M. J. 1938. 12月. P. 41.
- 4) 真島正市, 作井誠太: 静電場に於ける分粒(1) 応物, 17年, 205頁.
- 5) 真島, 作井: 同上(2) 応物, 17年, 374頁.
- 6) 真島, 作井: 同上(3) 応物, 12巻, 10頁.
- 7) 鳥山四男: 静電場における粉体の運動について; 応物, 昭16年, 299頁.
- 8) 鳥山, 佐々木, 山川: 静電場に依る粉体分離, 応物, 11巻, 574頁.
- 9) 鳥山, 佐々木, 山川: 静電氣的粉粒に関する二, 三の実験, 応物, 13巻, 5頁.
- 10) 佐々木正人: 日本鉱業会誌, 昭19年.
- 11) 森棟隆弘, 林克濟: クロム砂鉄の静電選鉱に就て; 日本鉱業会誌, 昭20年, 23頁.
- 12) 林克濟, 森棟隆弘: 特許第171549号, 四極式静電選鉱機.
- 13) 金谷秀一: 特許第166305号, 傾斜ベルト式磁選機.
- 14) E. M. J. sep., 1938. 12月. 43頁.
- 15) 谷安正, 菅井準一: 物理学概説 III. 電気磁気学, 11頁.
- 16) Herbert Bank Johnson : E. M. J. 1938. 12月. 44頁.
- 17) 森棟隆弘: 鉄と銅, 昭16年, 825頁.
- 18) (12)の特許
- 19) 詳細は文献(12)参照.