



含ニッケル-クロム鐵鑛の處理に関する研究 (第II報)

(クロム分離の研究)

向山 幹夫*

ON THE TREATMENT OF IRON ORE, CONTAINING NICKEL AND CHROMIUM (II)

Mikio Mukaiyama, Kōgakuhakushi.

SYNOPSIS:—The iron ore, which contains nickel and chromium, may be taken as resources of the metals concerned. The mechanism of separation of chromium from nickel in the form of chromite with the aid of magnetism was explained, with special reference to the magnetic properties of nickel ferrate and the solid solution of nickel in magnetite.

目次

- I. 緒言
- II. 研究工程の説明
- III. クロム分離の機構
- IV. 工業化試験の實績
- V. 總括

I. 緒言

大東亞戰爭完遂の爲に必要な鑛産其他の資源利用の可能性はこれを戦前に比較せば霄壤も只ならざるものありて其の開発にはこれに應じたる態勢を整備する必要がある事を俟たざる所なり。特に從來我が勢力範囲内にて獲得する事至難とせられる護謨、燃料油等は元よりニッケル、コバルト、錫、鉛等の鑛産資源に至りては全く其の情勢一變せり。これ等はいづれも良質且つ富饒となり、其の精練或は加工方法も又これに對應して施設せらるべきものとなれり。

全く邦家のため幸慶にたへざる所なり。然れども靜かに國家百年の將來を考ふる時は前記燃料油又は金屬資源に於ては富饒資源としては自ら定まれる量ありて、これのみに倚賴する事を得ざるものあり。況くこれ等を保有する資源につきて豫め利用の策を立つるを要するなり。換言すれば鑛産に就ては貧饒利用の研究は今日に於ても其の重要性を失はず、益々育成し以て將來に備ふるを要するものと信ぜらる。

これは輓近諸兵器、航空機、艦船、諸機械等頗る大なる發達を爲しつゝあれども、これ等が其の目的を十分に達成する爲には構造用諸材料の發達形影相伴はしむるを要するに依る。而してこの諸材料の重要な要素をなすものは、

鐵、ニッケル、コバルト、クロム等なり。

フィリッピン、ボルネオ、ヤップ及我國内若狹、大島、大江山等各地に産出する粘土狀粉鐵鑛は、いづれも1~6%のクロム、0.3~1.5%ニッケル、0.1~0.5%コバルト、1~3%マンガン、35~50%鐵を含むと共に其の埋藏量は文字通り無限大と稱せらる。

これ等諸成分は誠に重要なれども、天然含量の儘製鍊する時は特殊鋼としても其の組成適當ならずして不得策なり。

例へばクロム分はクロム鐵鑛として微粒となりて混入し、直ちに製鍊する場合にはクロムの還元適量なるを保持し難く、難熔性熔滓を生ずる等の事ありて鑄鑛爐に單味使用し難きが如し。

更に無盡藏と稱せらるゝ該鑛石よりクロム鐵鑛(クロム源とす)ニッケル、コバルト、マンガン等を容易且つ完全に分離するを得ば同時に多量の良質鐵鑛をも得らるべし。さればこれ等諸成分の分離は、大東亞共榮圈内に産出する無限量の鐵鑛を有効に利用するか否かを決する重要な因子となる。

II. 研究工程の説明

1. 原鑛石

この種鑛石は前述の如く比較的鐵分低く粉土狀をなせどもいづれもニッケル、コバルト、マンガン、クロム等を少量ながら含有する事を特徴とす。赤紅色を呈し、紅土と稱せられ、其の埋藏量は一鑛床よく千萬t級にして時には幾億tと稱せらる。例へばフィリッピンスリガワ鑛山は1地域1鑛床にて埋藏量數億tと比島舊政府により大戰前發表せられたる所あるが如し。

* 大東亞省囑托

第1表 合ニッケル-クロム鐵鑛組成表

産地	Fe	Ni	Co	Cr	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃
ファイリツピン スリガヲ	43~52	0.5~1.0	0.08~0.15	2~5.0	2~3.0	2~5	5~8
ヒナトワン	47~55	0.6~2.0	0.08~0.15	2~7.0	2~3.0	2~8	5~10
ボルネオ スングドーア	43~48	0.3	アリ	3~5.0	1~3.0	2~5	—
セブタ	43~53	0.5	アリ	〃	〃	—	—
セレベス ラロナ	48~50	アリ	アリ	2.0~5.0	2~5.0	—	—
ニウカレドニア ゴロ	48~53	0.7~1.2	0.1~0.3	2.0~5.0	1.0~3.0	—	—

今この種鑛石に屬する類似鑛石の産地及び組成の數例を示せば上表の如し。

以上は二三の代表例なり。右の外苦土、石灰等の少量を含み磷は少きを通例とす。又結合水 10~15% を含み、附着水(吸着水)は 25~35% に達するものあり。附着水を乾燥せば鑛石は容易に微粉狀一煙塵となり易き缺點あり。

かくの如き附着水多き粉鑛は運搬上種々なる障害を生ずべし。

地質學者の説明を俟つ迄もなく、粉鑛中に數々発見せらるゝ未風化蛇紋岩の存在は、この鑛石が蛇紋岩の風化による二次生成鑛物たるを知るを得るなり。従つて母岩の組成によりニッケル、コバルト等の含有量に相當のひらきをみる。特にクロムはクロム鐵鑛として明かに鑛粒を認められるもの多し。

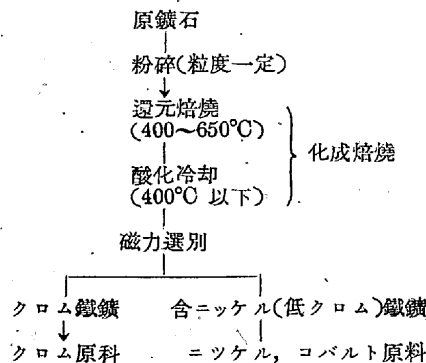
2. 主成分分離工程

この種鑛石の主成分をなすニッケル、クロム、コバルト、マンガン等はいづれも鋼及び特種鋼の主成分なるを以つて若しこれ等が製品中に存在を要求せらるゝ程度に適合する量にあるなれば直ちに熔融製鍊して利用し得る事明かなり。然れども、自然はかゝる安易さをゆるさず。然かのみならずマンガン、クロムの如きは熔融還元にあたり、熔滓組成或は製鍊温度等によりて殆んど製品金屬中に還元溶解せざる事も生じ、又時には意想外によく還元溶解する事あり。かくのごときは順調なる製鍊操作を著しく困難ならしむるを以つて、如何なる場合にも適應する製鐵原料を得るためにはもとより、單一金屬を有効に利用する點より考ふるも、其含有成分を出来る限りよく分離回収するを得策とすべきか。

先づクロム分は後に述ぶるが如く特殊なる化合形をなすを以つて他の金屬と第一段に分離する事として、之がために特殊なる焙焼法を考察せり。この焙焼は單なる還元焙焼にあらずして、特別なる還元化學變化と之に伴隨する酸化

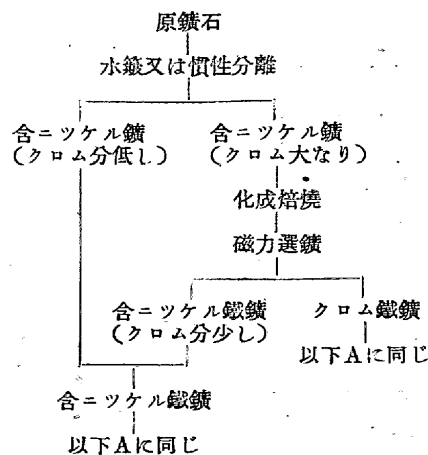
作用とよりなるを以つて化成焙焼と名付けたり。之を圖示すれば次(A)の如し。焙焼完了後は磁力選鑛を施すものなれども之には特殊なる粉末用選鑛機を必要とするなり。(之は未完成なり)。

(A) 化成クロム分離系統



通常のものにては鑛石中のクロム分は後に説明する如く、極めて微小粒となれるを以つて、全部を合ニッケル鐵鑛と分離する事は困難なり。依つてある量を犠牲とし精鑛中に残し、製鍊に際し熔滓中に除去するものとするの已むなき場合生ずべし。かゝる場合には化成焙焼は大粒のものにのみ適應するなり。(B)はこの場合の運轉系統案なり。

(B)



次にこれ等に基づいて合ニッケル、クロム鐵鑛よりクロム鐵鑛の分離に關して研究結果の要領を報告せんとす。

III. クロム分離の機構

1. クロム分離に関する考察

既に述べたる如く筆者等の取扱ひたる各種鑛石に於ては明瞭にクロム鐵鑛粒の存在を認められ、屢々米粒又それ以上のものを抽出し得るなり。ニツケル、コバルト等は其の混入の狀況肉眼にては認識し得ざるは勿論、鑛物顯微鏡によつても同様なり。母岩構成上より酸化化物、水酸化物又は珪酸鹽等となるものと推定せらる。

今南洋産鑛石及大島等の篩分に依るクロム又は(不溶性分)の分布等次の如し。

第 2 表 大島鑛石篩分分布表 (規定乾燥試料にてクロム)

(1) 大島鑛石

粒の大きさ M	重量%		Cr%		Cr%分布%	
	A	B	A	B	A	B
+10	19.3	21.0	0.52	0.68	8.5	9.0
10~30	3.5	3.0	2.33	2.50	6.5	6.4
30~60	2.7	3.0	3.20	3.00	7.0	7.8
60~100	4.5	2.5	2.85	2.56	10.5	5.4
-100	70.0	70.5	1.20	1.15	67.5	70.0

(2) 比律賓ヒナトアン其他(規定乾燥試料にて不溶分)

産地	粒の大きさ M	重量%	同中鹽酸不溶分%	原鑛への%	備考
フィリピン	+24	76.6	—	—	不溶分は大部分クロマイト
	24~35	4.2	8.8	0.37	原鑛中には
	35~45	2.2	9.1	0.2	6.5%
	45~60	2.2	9.5	0.21	
	60~100	3.6	8.3	0.2	
	-100	7.6	5.6	0.43	
ヤツプ	+24	69.0	—	—	不溶分は珪酸とクロマイト
	24~35	11.0	7.3	0.8	量的に約半々
	35~45	5.0	8.6	0.43	なり原鑛中には
	45~60	4.0	9.4	0.37	7.0%
	60~100	6.0	7.3	0.43	
	-100	5.0	3.4	0.17	
ニウカレドニア	+24	—	—	—	珪酸多くクロマイトは%
	24~35	71.0	4.54	0.27	位
	35~45	6.0	4.70	0.4	なり原鑛中には
	45~60	3.0	5.30	0.4	4.5%
	60~100	5.7	6.10	0.34	
	-100	11.0	7.14	0.79	

(2) に示したる鑛石は容易に粉状となり、乾燥すれば押潰せる程度である。例へば簡単に碎くに -100 M 以下のものが次の様な割合に増加せり。(第 3 表)

以上の諸點より Cr は各種粒子群に略均等に分布し、又これは碎粉の程度によつて生ずる粉量に比例して分布するものなるを知る。

ニツケル其他の諸金屬もクロムと同様に各種粒度に涉りて分布す。1種の鑛石に就きてこれを例示すれば、第 4 表の如し。

第 3 表 押潰しによる粉細表

鑛種	最大の大きさ M	重量% (-60以上 M)	同(-100 M以下)
フィリピン	-10	24.9	13.6
	-24	57.7	40.0
	-35	80.3	56.3
	-60	100.0	72.0
ヤツプ	-35	66.3	38.3
	-45	84.4	52.7
	-60	100.0	89.0
ニウカレドニア	-24	52.4	35.0
	-45	85.3	55.3
	-60	100.0	63.3

第 4 表 ニツケル其他の分布表

粒の大きさ M	重量%	Ni %	同分布%	Mn %	同分布%
+10	18.5	0.53	15.25	1.65	18.25
10~30	3.5	0.83	4.80	1.00	2.25
30~60	5.5	0.80	4.65	0.98	2.25
60~100	4.0	0.75	4.95	1.30	3.35
-100	70.5	0.60	71.35	1.65	73.90

一般にこの種鑛石にては珪酸の含量少なるを特長とするも、礬土は稍々多量なり、此種鑛石の平均組成例次の如し。

第 5 表 南洋産鑛石(粉鑛乾燥試料)組成例表

番號	Fe	Ni	Co	Mn	結合水	SO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S
1	51.30	0.93	0.26	0.75	11.55	4.03	5.90	0.60	—	0.01	0.31
2	50.50	0.83	0.35	0.82	14.95	4.58	3.60	0.73	—	0.01	—
3	46.20	0.70	0.20	0.86	12.20	2.16	8.80	0.96	0.68	0.03	0.20
平均	49.00	0.82	0.27	0.81	12.90	3.59	6.10	0.73	0.68	0.02	0.25

ニツケル、コバルト等に対し硫黄量は過硫酸化物を作るためには遙かに僅少なり。故にすでに大部分變化し其他の化合物となれるものと想像せらる。

かくのごとき種類の鑛石に對して第 1 に考へらるゝは重力を應用する選鑛法なり。(B) に示せる水籤法等に依りて或程度のクロム分離は可能なるも其の原鑛石が餘りに微粉となるを以つて實施上種々なる困難を生ずるを免れず。クロム以外の金屬に就きては遺憾ながら重力を應用する研究の成功を見ざるなり。これは今後の研究に俟つものならん。

今機械的操作を離れてこの種鑛石に化學的變化を與へし場合を考察せむ。例へば稀鹽酸にて浸出すれば鐵、ニツケル、コバルト、マンガン等は容易に侵蝕されて液體となるも、珪酸及びクロム鐵鑛は犯さるゝ事なく、不溶性残渣としてクロム分を分離し得。然れども溶液となれる鐵、ニツケル其他の混合物の處理は容易ならざるなり。

從つて主旨としては各成分が個々に分離し得るが如き方法を案出する事が肝要なり。この具體的方法の一つとして前節の記載の如きを考案せる所以なり。クロム分にのみにつき考ふればこの種鑛石を一酸化炭素にて還元し、其の溫度を低きに保てば、クロム鐵鑛に化學變化をうけざるに、

鐵は部分的還元によつて強磁性體となり、同時にニッケル、コバルト、マンガン等と結合して強磁性體を作り、非強磁性體クロム鐵礦と分離し得るに至るべし。これ本研究に於ける骨子の一つたり。

即ち筆者は2價の金屬中亞鉛の如き容易に強磁性鐵酸鹽を作る事實より推し、ニッケル、コバルト、等も又亞鐵酸鹽又は其固溶體を作るべしとの考への下に實驗研究し、昭和11年(特許願8071號)に發表せり。

この研究の結果に依れば酸化鐵と共存するニッケル、コバルト、マンガン等の氧化物等は少量なれば四-三酸化鐵中に吸収せられ、亞鐵酸鹽又は其固溶體を作り強磁性を帯ぶるなり。この磁性を應用して前記諸金屬を含む酸化鐵とクロム鐵、鐵珪酸等と磁氣分離を行ふなり。

近年諸學者の研究によりて、この考察は甚だ合理的なりとせらるるに至れり。古來金屬氧化物にて最も磁性の強きは磁鐵礦(Fe_3O_4)なり。これは $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ なる化合物とも考へらる。

この FeO を二價の金屬 M の氧化物 MO にて置換する場合は大抵強磁性を帯ぶる事が明かにせられ、これを鐵酸鹽又は亞鐵酸鹽と呼稱するに至れり。

例へば銅は $\text{CuO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ となりニッケルは $\text{NiO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、コバルトは $\text{CoO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、マンガンは $\text{MnO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ となり夫々亞鐵酸銅、亞鐵酸ニッケル等と稱す。この外 PbO 、 BaO 、 MgO 等も同様なり。亞鐵酸鹽の加水物も亦強磁性を呈すと云ふ。更にこれ等一群の強磁性體化合物は Al_2O_3 とか Cr_2O_3 とか SiO_2 とかを少量固溶するも亦強磁性體たる性質を失はずと云ふ。これ等の理論的研究の結果を考ふれば強磁性酸化第二鐵(ferro-magnetic oxide)の構造理論に照合して筆者のクロム鐵礦分離並にニッケル等の集約案は當然なる道行きなりとなすを得べし。

この實際的手段が次に述ぶる化成焙焼にして、人工的に鐵磁性體を作り以て非磁性體との分離に便するなり。

(或種の鑛石には天然の儘にて5~10%位感磁性のものあるも、これは殆んどニッケルを含まず。これも化成焙焼にて他と均一に混和して後には區別がつかず)。

2. 化成焙焼と焼成物の性質

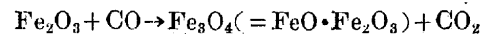
化成焙焼とは強磁性酸化第二鐵を變成するために還元及酸化冷却を相伴ふ焙焼法に筆者の名付けたるものなり。この化成焙焼法を證明せん。

先づ鑛石を豫熱乾燥し、續いて $400\sim 700^\circ\text{C}$ の範圍に於て還元焙焼を行ひ連續して冷却する際 600°C 以下(主に

400°C 以下)に於て徐々に酸化して常溫に至らしむ。還元のためには石炭ガス、發生爐ガス等を用ゐ。冷却酸化には空氣を送るなり。この二つの組合せによりて適當に強磁性を與へ後續する磁力選礦に供するなり。

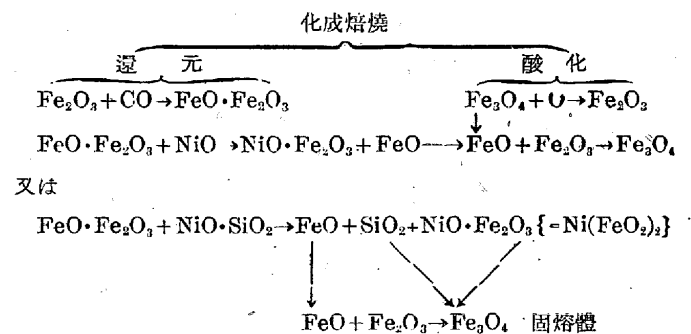
この化成焙焼に依りて含水酸化鐵は亞鐵酸鹽の固溶體を含む四-三酸化鐵となり。更に二-三酸化鐵となり。赤紅色を呈するなり。而してこの際原子格子構造に變化を生ぜず。且つ強磁性體なるを特徴とす。この事實はこの種鑛石の處理に極めて重要な事項にして、單に磁力選礦に便するのみならず、濕式處理にてニッケル等を浸出する場合には溶液内二價鐵鹽の生成を妨げ、不溶性酸化鐵を生ずるの因となりて極めて好都合なり。

本工程に於ける還元作用は汎く知られたる還元法則に従ひ次の反應によるべし。



この際生成したる四-三酸化鐵は磁鐵礦と同じ格子をとり。強磁性體となり。これを比較的低温にて徐々に酸化すれば、其原子配列を攪亂せらるゝ事なく酸素を吸収して化學的には Fe_2O_3 と同じ性質となる。(勿論極めて高温 750°C 以上の如きにては容易に原子配列を變化すべし)。

強磁性 Fe_2O_3 の生成と共に共存するニッケル、マンガン等の氧化物等はこの内に吸収せられて亞鐵酸鹽を作り、これが又 Fe_2O_3 中に固溶體となる。(かくのごとくなればこの程度の焙焼にては化學變化をうけざるクロム鐵礦等とは強力選別をなし得る事となる)。即ち



と考ふる事は亞鐵酸鹽が生成理論より推して誤りなかるべく、又低温にて徐々に酸化する場合は固溶體も又酸化作用をうくるものならん。

化成焙焼に依りて得たる焼成酸化物の性質は鑛石によつて當然多少の差異は免れざるも、次に示す數例によりて其一般を推定し得べし。これに依りて一度磁化せられたる鑛石が實際選礦にあたり如何なる影響を及ぼすべきやを推定し得べし。例へば選礦にては試料の性質と磁場の質及強さ

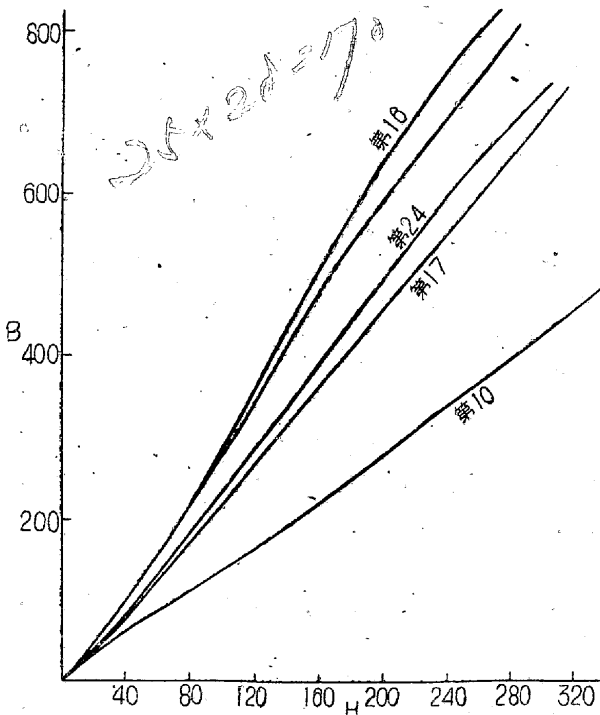
とが相互的に非常に密接なる関係をもつが如し、特にこの種鍍石の如く微粉末となれる場合には一層甚し。

第 6 表 化成焙焼條件と鐵の分布

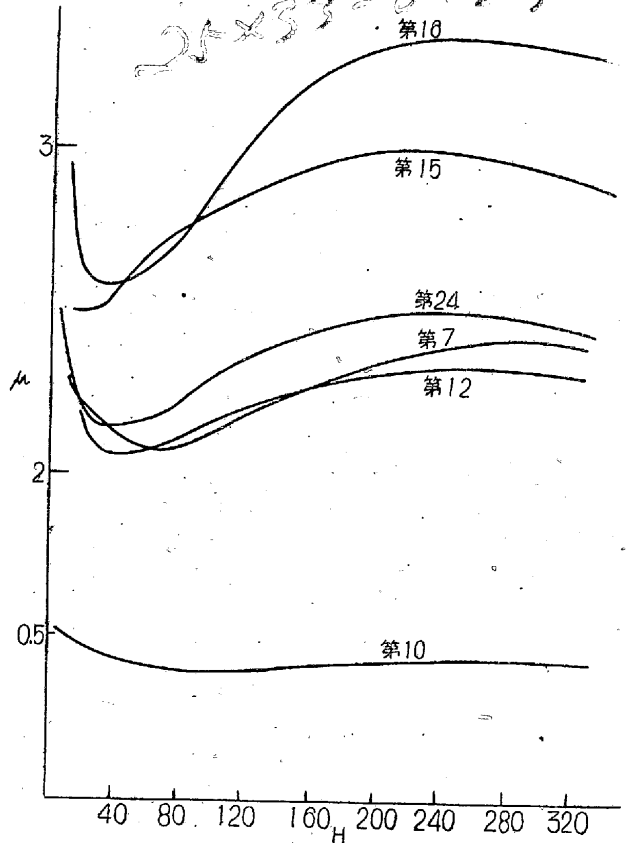
番 號	還元圈		酸化圈		鐵の分布		
	溫度°C	時間h	溫度°C	時間h	全量%	Fe ⁺⁺ (=)%	Fe ⁺⁺⁺ (≡)%
5	550	2	—	—	47.5	28.5	71.5 (1)
6	—	—	—	—	—	—	—
7	600	7.5	—	—	48.6	41.5	58.5 (2)
8	400	8	—	—	47.5	25.6	74.4 (3)
9	750	7	—	—	51.5	100.0	0
10	750	3	—	—	50.3	94.0	6.0 (4)
11	400	3	—	—	47.2	31.5	68.5
12	600	3	—	—	48.4	41.0	59.0
13	—	4	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	46.5	1.9	98.1
15	600	4	400	2	45.6	1.3	88.7
16	400	3	600	2	45.8	1.2	98.8
17	400	3	750	2	47.3	1.5	98.5
18	750	3	400	2	45.8	1.5	98.5
19	500	3	450	—	45.5	0.8	99.2 (5)
20	350	5	200	—	46.5	2.8	97.2 (6)
21	—	—	—	—	—	—	—
22	350	3.5	100	5	46.3	3.7	96.3 (7)
23	—	—	—	—	—	—	—
24	350	9.0	100	5	45.8	6.5	93.5

備考 (1) 第 9, 10 は, (2) 殆んど FeO, (3) 第 5, 8, 11 等は Fe₃O₄, (4) 第 14 以下は殆んど Fe₂O₃, (5) 酸化は自然に任す, (6) 酸化は自然に任す, (7) 還元後 1 晝夜おく。

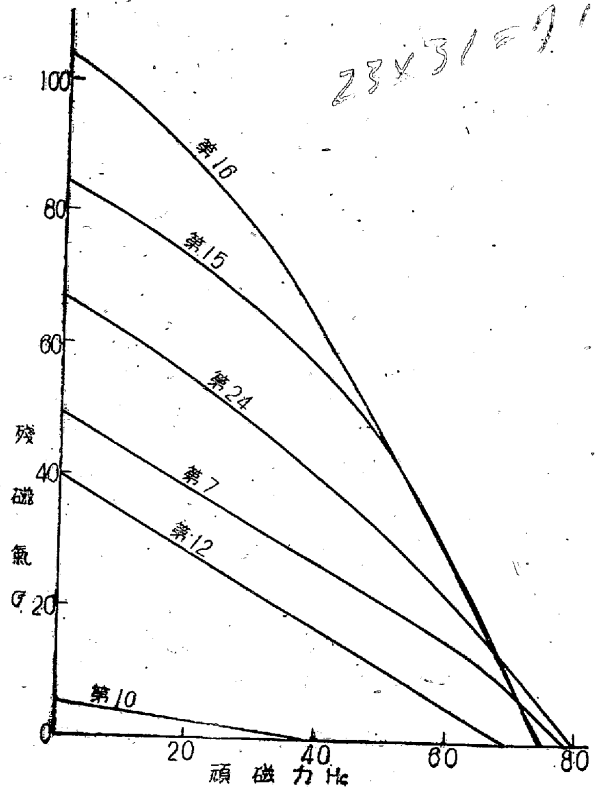
この表は化成焙焼の條件と焙焼後鐵の存在する状態とを示したるものにてこの化學的 Fe₂O₃ が示す磁氣的性質は次の如くなり、磁氣試料は -45 M 粒以下にせるものに 10% のアラビアゴム 1% を加へて固め、十分に乾燥したるな



第 1 圖 B-H 曲線



第 2 圖 μ -H 曲線



第 3 圖 亞鐵酸鹽成分の磁性

り、これを通常の磁氣測定法によりて測定せる結果次の如し。

磁氣感度 B と磁場の強さ H との關係を第 6 表に示す試

表 22

料に就て求めた結果を第1圖に示す。(勿論各試料に就ては重量、長さ、直径と見掛比重を測定して十分なる厳しさとせり) 透磁率 μ は上記の B/H の比なるを以て上記より容易に求め得るなり。これを第2圖に示す。これ等兩圖より還元せる儘のものとなし化成焙焼にて還元酸化せるものとを比較すれば、完全に化成焙焼を行ひたる方、却つて磁氣的性質が強く現れたり。これは甚だ注目すべく、且つ面白き現象なり。

次に抗磁力 (Coëfforare force) を測定せる結果は第3圖なり。これは残留磁氣の大きさを知る目安となり、小微粒に於ける吸着の現象と相俟つて選別作業に重大なる影響を與ふるなり。化成焙焼に依りて得たる焼成鑛を一定強磁場にて選別し、其際に於ける Fe, Ni, Cr, Mn 等の分布状況を檢出せる1例は第7表なり。

更に前述の磁氣的諸性質は明かに化成焙焼の進行状況に依つて變化するものと推定せらるゝを以て十分なる注意を要するなり。

第7表 化成焙焼に依る Fe, Ni, Cr 等の分布

物質	強磁性體				非磁性體			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Ni	0.98	1.10	1.08	1.12	0.22	0.46	0.35	0.25
Mn	1.02	1.10	1.15	1.15	0.43	0.46	—	—
Cr	1.30	1.15	1.05	1.55	18.50	20.30	20.50	16.88
Fe	63.20	60.80	62.0	63.36	35.5	33.8	33.8	20.20

以上に依つて化成焙焼によつて筆者の案が實現し得べき所以を明にせり。

3. 磁力選鑛

前節記載の諸理由に基きニッケル、マンガン、コバルト等を亞鐵酸鹽又は其固溶體に變成し、變化せざるクロム鐵鑛と磁力選別をなす事とせり。ここに於て磁力に直流磁場及び交流交番磁場併用等の得失を研究せり。

先づ原鑛石を乾燥後還元溫度 550°C 酸化溫度 500°C 以下として化成焙焼を -30 M 以下に鑛石を砕きたる試料に施す。

一臺の選鑛機装置にて磁場の強さを勵磁電流にて表はし、これに應ずる分離生成物は 3N 稀鹽酸にて處理し、そ

第8表 直流磁場の影響

磁場の強さ	分離回数	非磁性量 %	強磁性體中の不溶性量 %
2~3 amp	4	5.08	3.57
2.4	6	5.50	2.8
2.5	5	5.50	2.5
2.8~3.0	3	4.50	3.1
2.6	3	5.60	3.1
1.0	3	4.50	2.8

の不溶成分の檢出を行へたり。

直流磁場に於ける實驗結果の1例を示せば次の如し。

これは平均例の一に過ぎぬが原鑛石より得たる精鑛中の不溶性分を 2.5% 以下となす事は困難なる事を示し、これは強磁性體間に非磁性體の微小粒が懸垂し、抱擁せらるるためならん。依てこの吸着をさくするために交番磁場を重疊せしめて電氣的磁氣振動を與へたる結果は次の如し。

第9表 交番直流重疊磁場の影響

磁場の強さ		分離回数	非磁性量 %	強磁性體中の不溶性量 %	備考
A.C.	D.C.				
0.2	1.6	6	19.4	1.68	Belt 速度
0.3	1.6	4	16.7	2.00	6~9mm
0.2	1.5	5	12.0	1.75	
1.0	2.0	5	10.0	2.15	
0.2	2.3	6	16.6	2.0	
0.2	2.0	6	17.5	2.25	
0.3	2.0	4	19.8	2.50	
0.2	2.2	5	19.0	2.16	

これより判斷すれば非磁性體の量を多く分別して、然かも精鑛中に不溶性體の混入を減少するの利あるを知る。

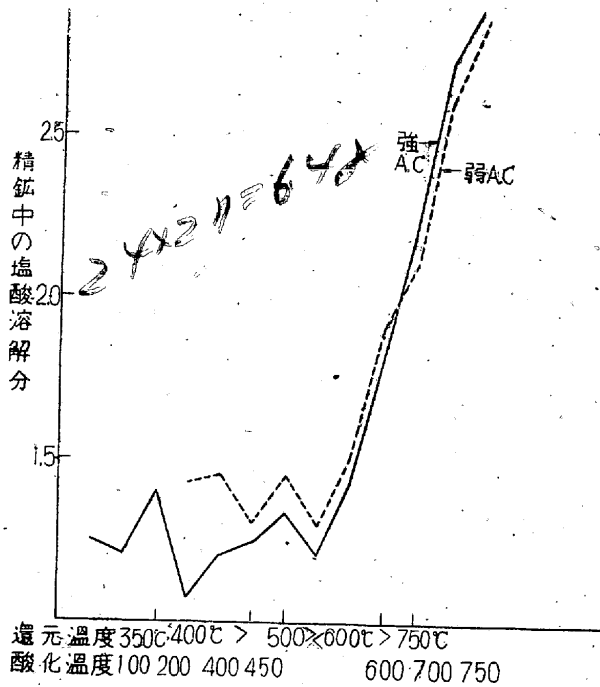
以上より先づ適當なる磁場内にて大なる殘磁氣を残さぬ程度に磁化し、強弱種々なる交番磁場にて電氣的振動を與へ、再び強磁力吸着を行はしむる時はよく分別し得べき理なり。この構想の下に實驗せる1例は第10表なり。

第10表 磁場効果と分離(試料番號第6表と同じ)

試料番號	磁場状況	分離回数	分離量 %	精鑛中鹽酸不溶分 %
第7	第1回 D.C.=2.5amp	4	13.3	1.50
8	第2,3,4	4	9.6	1.45
11	D.C.=1.7~1.8	4	10.5	1.42
12	A.C.=1.2	4	19.5	1.30
9	第1回 D.C.=5.0amp	4	32.5	2.50
10	第2,3,4 { D.C.=2.8 A.C.=1.2	4	33.7	3.00
7	第1 D.C.=2.5	4	17.0	1.42
8	第2,3,4 A.C.=1.7, D.C.=1.0	4	13.6	1.20
11	第1 D.C.=2.5	4	14.1	1.06
12	第2,3,4 A.C.=1.7, D.C.=3.5	4	20.7	1.20
9	D.C.=5.0	4	21.0	2.88
10	A.C.=1.7, D.C.=3.5	4	21.0	3.20
15		4	23.0	1.30
16		4	17.8	1.90
17	D.C.=1.7	4	24.0	2.60
18	A.C.=0.9 D.C.=1.2	4	19.0	2.10
19		4	20.7	1.45
15		4	15.6	1.24
16	第1回 D.C.=2.0	4	13.0	1.86
17	第2,3,4回	4	15.6	2.72
18	A.C.=1.7, D.C.=0.8	4	11.5	2.20
19		4	11.2	1.33
20	第1回 D.C.=2.~2.5	4	18.6	1.40
22	第2,3,4回	4	22.0	1.25
24	A.C.=1.7, D.C.=1.0	4	13.0	1.20

これに依りて D.C. の強さを一定せる場合 A.C. の強さが生ずる電磁振動が如何なる効果を生ずるかを窺ふに足る。即ち A.C. による交番磁場が強き事が一つの要件なり。而して更に焙焼の條件が甚だ重要な因子なる事を併

示し、高温度焙焼のさくべきものなるを表す。更にこれを圖示すれば第4圖の如くなり、最も適當なる化成焙焼は



第4圖 温度による精鑛品位

還元温度 500°C 内外とし、従つて酸化はこれ以下となすべきなり。

4. 精鑛及非磁性分離物

化成焙焼による生製物の組成に就ては第7表に其1例を掲げたり。かゝる組成を有し、其の化學的及電磁的性質も又既に説明せる所なり。

一般的に強磁場にては非磁性體のクロム含有量は増加すべく特に D.C. 磁場にて著し。

IV. 工業化試験の實績

1. 化成焙焼

原鑛土は -80 M の如き微細粉より成れども、水分のために土塊状となり、應々にして未風化の原石を含むなり。依つて 5mm 内外の篩にて得たる篩下を廻轉爐に装入して發生爐ガスを以て還元焙焼し、續いて低温度にて酸化せしめて鑛石中の Fe, Ni, Mn, Co 等を強磁性化合物となせり。燒成物は粉細して磁力選鑛機によりて含ニッケル鐵鑛(精鑛)と含クロマイト鑛(分離鑛)となしたり。

廻轉焙焼爐の構造は筆者等の工夫を加へ種々通常のものと同違せる點もありて齒車組合せ装置、タイヤ上煉瓦止め等に著しき特長ありて、還元爐と酸化爐とを組合す。還元爐は長さ 10m, 外徑 1.6m, 内徑 1m にてシャモツト煉瓦

のみを使用す。傾斜 4°, 廻轉數毎 mn 4~6 にして 20M 内外の粉鑛の通過時間約 45mn なり。含水量 40% の粉鑛にて毎 h 700~1000 kg 迄は焙焼し得。酸化爐は長さ 10m 内徑 1m にして裏付けなく還元爐と連續す。(この焙焼にはガスの性質が非常に影響あり。試験期を通じて餘り良好ならず。ために數多の非常なる困難ありき)。

第 11 表は化成焙焼例なり。

第 11 表 化成焙焼成績表

(イ) -15mm 南洋産鑛

月 日	キルン 使用ガ ス量 m ³	發生爐 用石炭 kg	CO ₂ %		廢ガス 温度 °C	原鑛裝 入量 kg	化成鑛 kg
			生 ガス	廢 ガス			
10. 24	3670	1020	—	—	200	—	—
25	17700	4930	6.2	—	230	14500	9800
26	20000	5600	4.0	—	230	14400	9800
27	20000	5610	6.9	—	230	15800	10700
28	19500	5440	6.1	11.5	230	14300	9800
29	19000	5270	6.0	—	230	12600	8550
30	19300	5355	3.6	—	250	1600	10640
31	18700	5185	3.0	—	250	16900	11000
11. 1	4100	1105	—	—	250	2340	1600
2	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—
5	15500	4335	6.0	—	250	9400	6490
6	18500	5015	—	—	260	16200	11200
7	18500	5015	7.5	—	260	17650	11800
8	19000	5270	—	—	260	19000	12800
9	17800	4930	—	—	260	18200	12300
10	17000	4845	—	—	260	18700	12400
11	19000	5270	—	—	260	19800	13300
12	19900	5250	—	—	260	18950	12400
13	10800	4975	6.4	—	270	2300	1500
14	19200	5440	4.8	—	250	15700	9900
15	23500	6250	4.8	—	250	13300	8800
16	7900	2210	7.5	—	260	—	—
17	2700	595	5.0	—	230	—	—
18	4900	1360	—	—	240	—	—
19	19000	5200	6.3	—	260	15500	10300
20	18360	5100	5.1	—	240	14700	9800
合計	319460	109195	—	—	—	306240	204880
平均	—	—	5.6	11.5	247	—	—

(ロ) 大島鑛(-15mm)

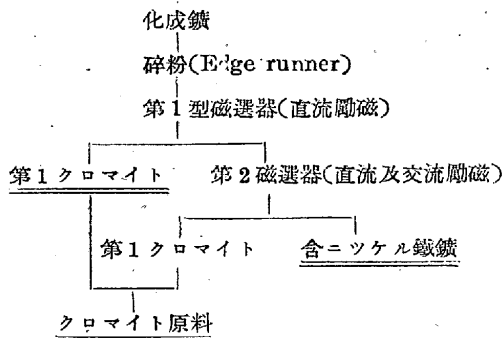
月 日	ガス量 m ³	發生爐 用石炭 kg	CO ₂ % 生ガス	廢ガス 温度 °C	装入量 kg/h	原鑛量 kg	化成鑛 kg
9. 21	9800	2720	—	140	260	2100	1130
22	11620	3250	5.6	210	340	5300	2870
23	11320	3145	—	170	240	5800	3240
24	11930	3315	—	165	270	6300	3520
25	12250	3400	—	175	270	6100	4000
26	11600	3230	6.2	160	370	4300	2780
27	9500	2635	—	180	180	2100	1350
合計	78020	21695	—	210	—	32000	18390
平均	—	—	—	180	276	—	—

これ等より明かなる如く 30% 近き附着水あるものを化

成焙焼するとせばこの程度のものなるべく、石炭消費量は原鑛石の重量として約 33% なり。

2. 磁氣選鑛

化成鑛は磁氣的性質を得たる二-三酸化鐵を主體とし、これにクロム鐵鑛、珪酸等を包括するものなり。今これに磁力を應用して選別せんとす。計畫當初に於ける操業順序次の如し。焙焼鑛を粉細し、前章記載の主旨に副はしむる様、一段直流勵磁選別をなし、微粉状のものは交直兩様の勵磁によりて分離せんとす。



この際塵粉塵を夥しく生ずるを以つて十分これが準備を要す(これを缺き非常に困難せり) ポール・ミルの如きを適當とすべし。

この困難を除くために後には粉碎及び選別にポールそれとコロケット式濕式選鑛機を使用せり。然れどもこれ等はいづれもこの目的のために特に製作せるに非らざるを以て種々なる難點を有す。十分なる選別結果を得ざりし如き主としてこれに基くものなり。

乾式磁力選鑛の結果の一例を示せば次の如し。

第12表 乾式磁力選鑛成績表

(イ) 南洋産鑛石

運轉時間 h. mn	給鑛速度 kg/h	選別重量kg			磁選鑛品位Cr%				クロム收率 %	供給鑛粒 度M
		給鑛	クロマイト	精鑛	給鑛	クロマイト	精鑛	中鑛		
9. 30	69	644	44	600	2.71	14.32	2.64	5.35	26.3	-40
17. 15	100	1721	141	1580	3.64	14.90	2.59	5.42	33.6	"
9. 10	97	880	80	800	3.82	21.70	2.83	—	51.5	-15
19. 40	130	2547	137	2410	2.83	22.10	2.44	7.11	42.0	"
11. 50	139	1668	174	1494	3.56	17.90	2.83	5.18	52.4	"
8. 40	140	1170	135	1035	4.14	17.05	3.00	3.92	23.2	"
8. 35	245	2045	320	1725	4.17	14.85	2.61	4.22	55.6	"
11. 15	327	3310	390	3220	3.25	19.70	2.29	3.61	65.0	-40
22. 00	305	4505	305	4200	3.30	18.15	2.64	3.88	44.0	"
11. 30	95	1671	61	1610	3.89	21.85	2.60	5.22	20.4	"
1. 30	153	260	30	1230	2.58	13.97	2.26	4.25	62.6	"
21. 25	100	2150	245	1905	3.22	13.60	2.36	4.11	48.2	"
10. 40	77	800	200	600	3.64	11.40	2.84	—	35.5	"
11. 30	180	2068	113	1955	3.90	19.57	2.24	3.15	37.0	"
15. 40	250	3947	152	3795	3.38	19.50	2.37	4.48	44.3	"
16. 05	194	3128	138	2990	3.21	19.45	2.61	3.41	36.4	"
29. 40	140	2980	185	2795	3.22	16.81	2.60	4.36	29.5	"
平均	150	—	—	—	3.50	17.46	2.58	—	41.5	—

(ロ) 大島鑛石

運轉時間 h. mn	給鑛速度 kg/h	選別重量kg			磁選鑛品位Cr%				クロム收率 %	粒度 M
		給鑛	クロマイト	精鑛	給鑛	クロマイト	精鑛	中鑛		
18. 10	162	2932	157	2775	3.43	18.55	2.81	5.03	27.0	-40
7. 20	68	487	37	450	3.02	15.47	1.15	—	38.8	"
5. 30	62	332	17	315	3.01	17.85	1.75	6.37	30.0	"
20. 30	88	1797	76	1721	3.65	18.30	2.41	7.78	21.8	-14
22. 50	57	1324	135	12'0	2.75	22.81	1.65	6.76	40.0	"
19. 40	134	2525	177	2348	3.31	21.56	2.71	4.16	34.6	"
18. 40	117	2147	61	2070	3.38	19.87	2.58	3.56	48.3	"
21. 00	88	1846	245	1785	3.07	18.88	1.98	6.78	20.3	"
21. 25	100	2150	161	1905	3.22	17.67	2.01	4.11	62.5	"
12. 30	94	1171	—	1070	3.45	16.90	2.67	4.01	67.4	"
平均	93	—	—	—	3.23	18.80	2.17	—	39.1	"

この磁力選鑛に於ける一連の組成の變化を検出せる1例は第13表の通りなり。

第13表 精鑛、分離鑛(クロマイト)組成代表例

鑛種成分	ニウカレドニア鑛			大島鑛		
	給鑛	クロマイト	精鑛	給鑛	クロマイト	精鑛
Fe	49.07	16.50	56.10	48.80	17.30	54.35
Ni	0.83	0.45	0.89	0.56	0.30	0.71
Co	0.28	0.21	0.29	0.11	—	0.12
Mn	0.81	0.27	0.86	1.40	0.75	1.53
Cr	3.43	17.90	2.58	3.23	18.80	2.97
SiO ₂	3.59	6.56	3.85	5.98	—	—
Al ₂ O ₃	6.10	6.34	9.36	10.62	—	—
CaO	0.73	0.25	0.71	0.73	—	—
MgO	0.68	1.34	0.87	3.27	—	—
S	0.31	—	—	0.73	—	—
P	0.03	0.03	0.01	0.04	—	—

次に操作時に生ずる塵塵の問題を解決する一方式として濕式磁力選鑛を試みたり。この時の選鑛機は前記の如く船

第14表 濕式磁力選鑛成績表

(イ) 南洋産鑛(-40M)

運轉時間 h. mn	給鑛速度 kg/h	選別重量			鑛石品位(Cr%)			Cr收率 %
		給鑛	クロマイト	精鑛	給鑛	クロマイト	精鑛	
16. 40	320	5400	300	5100	3.31	6.77	2.26	11.4
18. 05	340	6100	450	5650	3.06	6.61	2.19	16.4
10. 30	360	2100	100	2000	2.88	11.39	1.91	15.6
5. 20	400	3720	220	3500	2.99	7.21	2.27	14.3
7. 40	380	2900	900	2000	3.28	6.99	1.63	72.0
3. 50	310	1200	70	1130	2.70	6.38	2.20	13.8
6. 10	340	2100	330	1770	3.20	6.83	2.46	33.4
17. 00	230	3910	660	3250	2.97	8.12	2.54	45.4
12. 50	390	4830	240	4590	3.35	8.42	2.70	13.7
12. 50	480	6100	480	5620	3.69	7.01	2.60	15.1
平均	346	—	—	—	3.20	8.26	2.34	25.6

(ロ) 大島鑛石(-40M)

15. 20	260	4000	560	3440	2.01	3.85	1.55	27.2
17. 20	170	3000	560	2440	2.34	4.95	1.61	39.0
18. 30	280	5100	720	4380	2.33	6.95	1.82	42.0
18. 00	240	4275	1000	3275	2.27	3.87	2.00	40.0
16. 00	200	3200	800	2400	2.33	5.91	1.84	63.4
平均	230	—	—	—	2.26	5.10	1.77	42.0

底型 (コロケツト式) にて茂山等に於て使用せるものの小型なり。この式に依るものにては設備の關係に十分なる試験を續行し得ざりしも、其の試験結果の 1 例を示すべし。

濕式に於ては著しく選別能力と云ふが實際の成績が上らずして頗る遺憾なり。これは全く選鑛機の構造に基くものにして、かくのごとき目的に適合するものを工夫する事を先決要件となすなり。

以上乾濕兩式とも精鐵中の Cr% は 2% を下る事少なくこれが低下は全く今後の研究に俟たざるべからず。

依つてクロム分離とクロム鐵鑛の品位上昇を求むるために、精鑛を再焙焼して再び磁力選鑛をなせり。これに依つて成分其の成績を上昇し得たれども、燃料其他を考ふればなほ研究の餘地大なり。

今この再焙焼による選鑛結果の一例を示せば次の如し。

第 15 表 再化成焙焼選鑛試験表 (-14M)

月日	運轉時間 h. mn	給鑛速度 kg/h	選鑛重量 kg			磁選量 Cr%			クロム收率 %	
			給鑛	クロマイト	精鑛	給鑛	クロマイト	精鑛		中鑛
12.22	20.20	117	2365	180	2185	4.68	19.95	3.09	6.12	29.7
23	9.00	112	1006	83	920	7.36	18.56	2.01	8.21	21.6
28	5.00	105	828	23	805	2.86	14.99	2.79	4.09	14.6
1.6	3.00	41	123	8	115	3.83	6.83	2.69	3.73	—
8	22.00	174	383	38	345	5.72	21.89	4.29	6.14	35.6
14	22.30	179	4006	286	3720	4.81	15.37	3.01	4.60	22.8
15	24.00	115	2770	130	2640	2.10	8.23	1.54	5.17	18.0
16	14.40	120	1751	71	1680	4.17	23.90	3.16	9.48	23.3
17	5.00	143	716	26	690	3.20	12.70	2.83	7.90	14.3
合計	105.50	—	13948	848	13100	—	—	—	—	—
平均	—	123	—	—	—	4.19	16.40	2.70	6.22	22.5

即ち第 1 回の化成焙焼と同様の手續きを第 1 圖クロマイト分離鑛の成績悪しきものに施して合クロム量高きクロマイトを選別し得ることは確め得たり。

然れどもこれには上記の如き重大なる缺點を伴ふ。

このためには少くとも次の條件を解決すべきものならん。

1) 鑛石を粉細の方式について解決する事、クロマイトは成る可く大粒の儘、含ニツケル鐵鑛とする分は成る可く少粒なるを要求するを以てこの目的に副ふごとき粉細法を求むる事。

2) この種鑛石の如き微粉末となるものは一旦磁化されるれば残留磁氣のために容易に連鎖状をくづさず、その連鎖の間に微粒クロマイトを抱擁するを以て、これを單に再三磁場に曝すも容易に分離さざる缺點あり。

3) クロマイト自身の内にはニツケルは含まざるも附着する粒中には含有せらるるを以て上の分離完全ならざれば、ニツケルの收率も又従つて低下するを免れざるなり。

以上各種の實驗研究を通じてもの結論を得たり。

總 括

1. 化成焙焼中還元焙焼の爲めに使用するガスは十分なる還元力を持つ事を要す。發生爐ガスは CO を少くとも 20% 以上含むを可とすべし。

2. 還元焙焼を行ふに原鑛中に水分夥多ならば還元爐はこゝに使用せるものより遙かに長きを選ぶべし。

3. 化成焙焼にて十分に鐵ニツケルと鐵クロムとの兩酸化結合體を形成し得れども、これが選別は鑛石の種類に應じ夫々適當なる策を樹つるを要す。特に豫備選鑛を必要とす。

4. 本工業化試験に於てはクロム回收率漸く 40% 内外にすぎざるもこれは選鑛機と粉碎方法とへの工夫がこれに適當せざりし爲ならん。この種鑛石に對するこれ等特殊機械を研究工夫するを先決要件とす。