

鐵 と 鋼 第十二年 第五號

大正十五年五月二十五日發行

論 說

粉鐵鑛の還元燒結理論の考察

(日本鐵鋼協會第十一回通常總會講演)

山 田 賀 一

目 次

緒 論

實驗に使用した材料

實驗裝置及び方法

熔融溫度の測定

鐵鑛の熔融溫度

熔融溫度と炭素との關係

熔融溫度と水分との關係

燒 結 試 驗

燒結鑛の組成

分 析 試 驗

顯 微 鏡 試 驗

還元燒結理論の考察

各國製鐵所に於ける燒結鑛

各種燒結法の比較

結 論

緒 論

粉鐵鑛を燒結或は製團する方法は種々ありますが、就中有名な方法としては、第1に粉鐵鑛に4—5%の炭素質燃料を混じ廻轉式管爐の中で灼熱して球狀の團粒に燒結する瘤結法 (Nodulizing Process) がある。此方法については本會誌上に八幡製鐵所平川良彦氏が製鐵所に於て實際に行はれて居る方法を詳細に發表されて居る。第2に粉鐵鑛に4—6%の炭素質燃料及び10%内外の水分を加へ、先づ炭素質燃料に點火して壓風を吹き込み、急速にこれを燃焼せしめ、依て生ずる高溫度で粉鐵鑛の燒結を行ふ燒結法 (Sintering Process) である。此方法中の特にドワイト、ロイド法について鞍山製鐵所の梅根常三郎氏が鞍山に於て試験された成績を詳しく本誌上に發表せられて居る。第3に粉鐵鑛に適當な水分を加へ先づ之れを壓搾機で製團し、次にこれを高溫度で灼熱して燒結せしめる製團燒結法である。これは即ち有名なグレンダール製團法であつて、我國でも本溪湖製鐵所及び其他で多年使用されて居る。最後に粉鐵鑛に種々の膠結劑を加へて單に壓搾製團する製團法等がある。以前には第3のグレンダール製團燒結法が各地で用ゐられ全盛を極めて居たが、其後グレンダール法は其費用が高い爲か、次第

に用ゐられなくなつて、是れに代るに最近では第2の焼結法、特にドワイト、ロイド法及びグリーナワルト法が最も普通に用ゐられて居る。

本研究は粉鐵鑛として細粉狀の鞍山磁選精鑛を用ゐ、これに3—9%の種々の炭素質燃料及び8%の水分を加へ、これを高温度で灼熱して還元性氣圈の下で焼結試験を行ひ、かくして得た焼結物の物理的及び化學的試験を行ひ、或は原料たる鞍山磁選精鑛の熔融温度の測定を行ひ、其結果焼結原料の配合に必要な炭素質燃料及び水分は、その焼結に對して如何なる役目を有するか、焼結温度と熔融温度との關係、焼結温度と焼結物の強さ及び有孔率との關係等を實驗的に定めた。更に進んでは實驗的に得た焼結物の化學的及び顯微鏡的組成と各國製鐵所で各種の焼結方法に依つて實地に作られた5種の焼結鑛の化學的及び顯微鏡的組成と比較研究して、極めて小規模に實驗室で得た焼結試験の結果はよく大規模に行はれた焼結の結果と一致する事を確め、次いで各種焼結方法の優劣を比較し、最後に還元性氣圈の下で行はれる粉鐵鑛の焼結理論を推論して居る。

實驗に使用した材料

實驗に供した粉鐵鑛としては、主として鞍山製鐵所より寄贈されたる磁選精鑛を使用した。其化學成分及び細粉度を示すと第1表の如くである。

第 1 表 鞍山磁選精鑛分析表

total Fe.	61,60%	MgO	0,090%	Screen Mesh	Weight
Feas Fe O	25,32	MnO	0,15	over 100	2,5%
SiO ₂	13,95	S	0,074	100—150	5,5
Al ₂ O ₃	0,198	P	0,030	150—200	18,0
CaO	0,164			under 200	73,0

鞍山より送り來れる精鑛は上表に示すやうに細粉で尙此外に多量の水分を含んで居る、故に先づこれを完全に乾燥して使用した。

實驗材料として粉狀磁鐵鑛を使用したのであるが、本研究に於けるやうに炭素質燃料を3—4%以上も混じて高温度に加熱し、著しい還元性氣圈中にて焼結試験を行ふ場合には、成生物は後に示すが如く常に磁鐵鑛より遙に酸化度の低いもので最初より磁鐵鑛を用ゐるも或は赤鐵鑛の如きものを使用するも、原鐵鑛の酸化程度には直接影響少く、鐵以外の不純物例へば硅石等の含有量さへ一定すれば、磁鐵鑛を使用して實驗したる結果は又赤鐵鑛等の他の鐵鑛の場合にも應用し得るものであると思ふ。

粉狀磁鐵鑛の熔融試験及び焼結試験を行ふ爲に特に添加せる炭素質燃料としては、主として煙臺無煙炭を使用した。如何なる種類の炭素質燃料が最も適當せるか比較のため、木炭粉、豐國八尺炭、骸炭粉、八幡製鐵所鑛鑪より得たる煙道灰及び全く灰分を含まざる純粹なる炭素質燃料を得るために、純粹な甘蔗糖を焼いて造れる甘蔗糖炭等を何れも65目篩以下に細粉して使用した。此等種々炭素質燃料の工業分析による成分を示すと第2表の如くである。

第 2 表 炭素質燃料工業分析

	煙道灰(八幡)	骸 炭	無煙炭(煙臺)	瀝青炭(豐國)	木 炭	甘蔗糖炭
固 定 炭 素 %	40.46	74.80	76.70	43.87	82.94	66.22
揮 發 物 %	4.58	3.84	12.84	40.74	5.80	33.54
灰 分 %	54.30	17.90	9.30	12.26	2.00	0.24
水 分 %	0.66	3.46	1.16	3.13	9.26	0.00

實驗装置及び方法

粉狀磁鐵鑛に炭素質燃料及び水分を適當に配合したもの、熔融溫度を見出す爲に先づ熱分析を行つた。其装置はダンマン管に約 10 瓦内外の試料を採りて白金ロジウム、サーモカップルを用ゐ、白金電氣爐を使用する普通の熱分析の装置である。特に高溫度を要する場合にはクリプトール電氣爐及びダンマン電氣爐等を使用した。

粉鐵鑛は強い還元性氣圈の下では攝氏約 1150°C で熔融し、熔融したるものはダンマン管及び絶縁管を侵蝕してサーモカップルを破損し易く大に困難した。特に釉藥を施した磁器は侵蝕されること甚しい。かゝる場合に屢々白金容器を使用することが本實驗の如く炭素質燃料を多量に加へ還元性氣圈で高溫に加熱する場合には用ゐられ得ない。故に絶縁管の下端に長さ 6 糎、直径 0.9 糎の軟鋼棒の中心に直径 0.5 糎、深さ 5.4 糎の孔をを穿ちこの中に絶縁管を入れて、侵蝕されることを防いだ。磁製タンマン管は侵蝕され易い爲に、比較的侵蝕に耐へる S. M. タンマン管(三保舎製)及びマグネシア管を使用した。燒結試験に使用したボートは普通の素燒ボートを主に使用したが、實驗の後半で當實驗室で硬燒マグネシア粉に木節粘土 5%、粉鐵鑛 5%を混じてボートの形を造り、これを 1000°C 内外で焼いたものを使用せるに割合に侵蝕に耐へて好成績であつた。

燒結試験にはベルテロー、マーラー測熱器に附屬せる壓縮器を使用して先づ團鑛を造つた。團鑛を造る場合の壓縮度を常に一定に保つ爲に、豫め完全に乾燥した鞍山磁選精鑛に 8%の水分及び各種の炭素質燃料の一定量を配合してよく混和したものを、型に一杯満す程度に入れ、唧子で軽く叩いて壓縮し、次に壓縮器の腕の回轉度を一定して、常に高さ及び直径共に 1.28 糎の圓壙形の團鑛を得た。出來た團鑛の重さをラフバランスで秤量して丁度 4 瓦のものを選び實驗に使用した。次にブリネル硬度試験器を使用して、同じ 4 瓦の試料を此形に壓縮するに要する壓力を確めて見ると 1 平方糎につき 230 珎であつた。即ち常に 1 平方糎につき約 230 珎の壓力で一定に壓縮して團鑛を得たと云ふことが出来る。

斯くして得た團鑛各々 5 個を一つのボートに乗せ、管狀白金電氣爐の兩端を軽く閉ぢ、豫め所要の溫度に加熱された中に、團鑛を豫熱することなく直に爐内に入れ、正確に 1 時間加熱した後に、取出してデシケーターの中で冷却した。

燒結せる團鑛は生團鑛の場合より普通多少收縮して居る。勿論ある場合には幾等か膨脹することもある。この收縮せるや或は膨脹せるやを知るためにマイクロメーターを使用して團鑛の直径を各所で

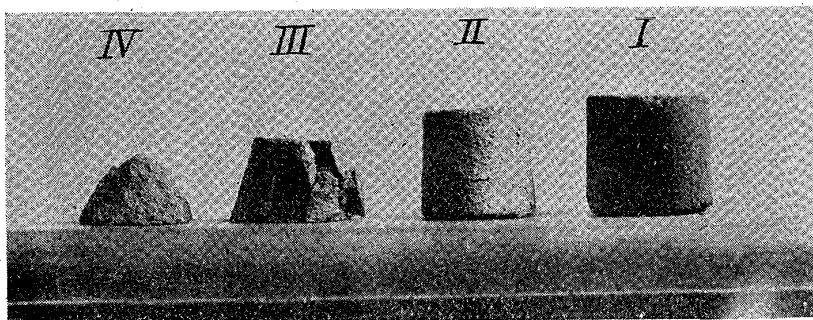
數回測定してその平均の値から斷面積を求めた。

燒結せる團鑛の有孔率の測定には且て（製鐵研究會記事第 73 號 36 頁）田所氏がアランダム耐火物の有孔率の測定に使用された次の如き方法を用ゐた。完全に乾燥した燒結鑛を極めて細い絹絲で結び、これを空氣中で秤量した重さを W_1 とする。次にこれを水の中に吊し、水を熱して沸騰點以下約攝氏 90 度で 2 時間靜に保ち、燒結鑛の有する凡ての氣孔中に水を浸漬せしめる。これを水から取出して常溫まで徐々に冷却し、これを空氣中（内部に吸収された水分が取れない程度に軽くその表面を拭いて）及び水中で秤量して夫々 W_2 及び W_3 とすると

$$\text{有孔率(\%)} = \frac{(W_2 - W_1) \cdot 100}{(W_1 - W_3) + (W_2 - W_1)} = \frac{(W_2 - W_1) \cdot 100}{W_2 - W_3}$$

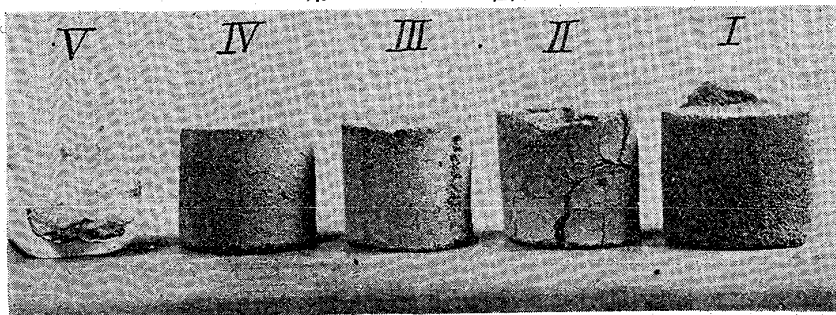
燒結鑛の抗壓力を測定するには最初はブリネル硬度試験器を使用した但種々試験の結果次の如き方法が比較的正確な結果を得るものとしてこれを用ゐた。オルセン 750 疋抗張力試験機を使用し、同時に燒結鑛の高さをダイヤルゲージ $\left(\frac{1''}{1000}\right)$ を用ゐて指示し、徐々に壓力をかけつゝ、燒結鑛の高さの方向のリニア、コンプレッション即ちダイヤルゲージの針の動きを注意し、或る壓力で荷負がそれ以上増さないのにゲージの針が益々著しく動いて、初めて燒結鑛が破壊されたことを示す壓力を求めた。注意すべきは燒結鑛は普通加熱後、收縮して圓壩形團鑛の上下兩面は凹狀に窪んで居る、或る場合には反對に膨脹して凸出して居る。故に抗壓試験を行ふ前に、兩面をグラインダーで靜に擦りて平面にして置く必要がある。又燒結鑛は加熱後裂罅を有し、眞實の抗壓力を示さないものがあるから、同時に燒結試験を行へる 5 個の團鑛中の 3—4 個を試験し、破碎後第 1 圖 IV に示すやうな圓錐形の心が

第 1 圖



- I. 9%煙臺無煙炭を混じて作れる團鑛
- II. 同上 1100°C で加熱せる燒結鑛
- III. 同上 抗壓力試験を行へるもの
- IV. 同上 破碎後その中心に残された圓錐形の心

第 2 圖



- I. 木炭 6%を混入せる團鑛を 950°C で燒結せるもの
- II. 同上 " 1000°C. "
- III. 同上 " 1050°C. "
- IV. 同上 " 1100°C. "
- V. 同上 " 1150°C. " (熔融せり)

残つた、比較的完全なものゝみに就てその平均を求めた。第 2 圖は木炭を混じて燒結試験を行へる團鑛で、膨脹、裂罅等の最も甚しい有様を示して居る。

熔融温度の測定鐵鑛の熔融温度

ランドル氏のテーブルによれば化学的に純粋な 4-3 酸化鐵及び第 2 酸化鐵の熔融温度及び天然に鑛物として産出する純粋な磁鐵鑛及び赤鐵鑛の熔融温度は Table. 3 に示すやうである。

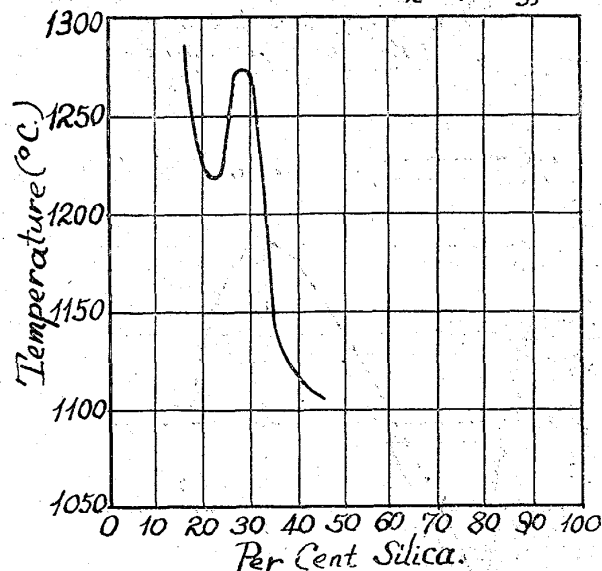
Table 3. Melting temperature of chemically pure and mineral rod oxides.

	Melting temp. °C.	
Chemically Pure Fe_2O_3	1548	
" " Fe_3O_4	1538	
	(I)	(II)
Mineral Hematite (Fe_2O_3)	1350	1400
" Magnetite (Fe_3O_4)	1190	1250

(I) = Beginning temperature of melting.

(II) = Completing temperature of melting.

化学的に全く純粋な酸化鐵の熔融温度は何れも 1500°C 以上であるが天然に鑛物として産出するものは、假令それが純粋な結晶であつても必ず少量の珪石及其他の不純物を伴へるが故に、熔融温度は著しく降下して居る。是等の不純物中で珪石が最も多量に存在して居て、熔融温度を降下せしむるに最も大なる影響を與へるものである。

Fig. 3: - Formation Temperature of FeO-SiO_2 (Hoffman)

第 1 酸化鐵と珪石とを或割合に混合したもの⁽¹⁾の熔融温度に就て Hoffman が研究した結果によると Fig. 3. に示すやうである。即ち 17—46% の珪石を含む範囲について研究し 45.5% の珪石を含む場合に最低熔融温度 1110°C を有し、17% の珪石を含む場合が最高 1280°C を有す。是等の中間に、圖に示すやうに最高及び最低の熔融温度を有するものがある。

⁽²⁾ステッフエは 17—55% の珪石を含む範囲で研究し Fig. 4. に示すやうな結果を得て居る。この結果によると 17—45.5% の珪石を含めるものは、其熔融温度約 1180—1170°C で大差なく、

45.5% を越えて尙珪石が増すと急に熔融温度が上り、56% の珪石を含む場合には 1335°C である。ステッフエの研究は電気抵抗爐を使用し窒素氣流中で加熱しルシャテリエー、オプチカルパイロメターを使用して測定せるもので、Hoffman が瓦斯爐で加熱しゼーケル三角錐を用ゐて測定せるものに比較

(1) Hoffman: Tr. A. I. M. E. 29, 700 (1889)

(2) Steffe: Doctorate Thesis, Berlin. (1908.)

Fig. 4 :— Formation Temperature
of FeO-SiO_2 (Steffe)

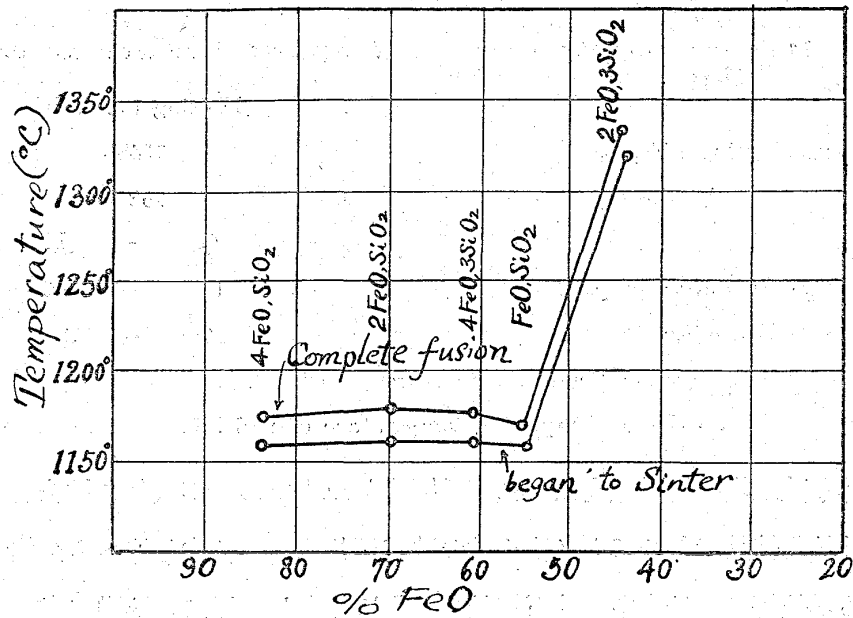


Fig. 5 :—
Approximate Equilibrium Diagram of
 FeO-SiO_2 (Whiteley and Hallimond)

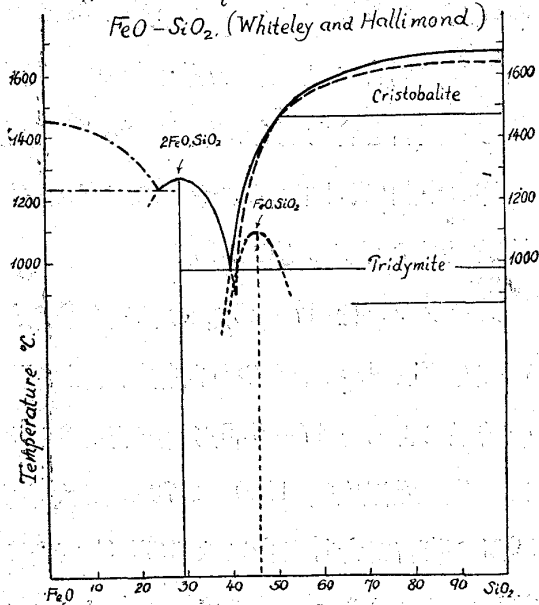
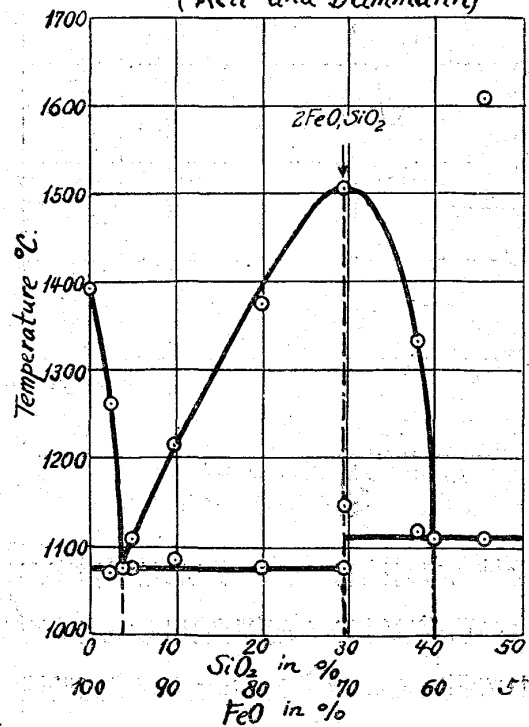


Fig. 6 :—
Equilibrium Diagram of
 FeO-SiO_2 (to 45% SiO₂)
(Keil and Dammann)



して優つて居る。

(3)

ホイットレー及びハリモンドが酸性平爐の鑛滓を化學的及び顯微鏡的に種々研究した結果第1硅酸鐵^{オーソ}($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)及び第2硅酸鐵^{メタ}($\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)が化學的に存在し、その熔融溫度及び鑛滓中には第2硅酸鐵が現れて來ないといふ事實から他を想像して Fig 5. の如き、第1酸化鐵と硅石との間の化學平衡圖を作つた。これによるを硅石を 24.5% 及び 40% 含んだ二つのユーテクトックが存在し、夫々 1240°C 及び 980°C 最低の熔融溫度を有して居る。

(4)

カイル及びダンマンは化學的に純粹な硅石及び第1酸化鐵を混じ熱分析によりてその熔融溫度を測り、0—45% の硅石を含む範圍について Fig 6. の如き化學平衡圖を造つた。これによると第1硅酸鐵($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)は 1503°C の熔融溫度を有し、硅石を約 4% 及び 40% を含む二つのユーテクトックが了つて夫々 1075°C 及び 1115°C の最低熔融溫度をもつて居る。

本研究に於ては約 14% の硅石を伴へる鞍山磁選精鑛に煙臺無煙炭を加へ強い還元性氣圈の下に熱分析を行ひ熔融溫度を測定せるに Fig 7. (I) に示せるが如く 1150°C に於て熔融することを知れり。此實驗を幾回も繰返して行へるに鐵鑛が熔融する際及び熔融狀態から凝固が始まる際に幽かな音を立てて沸騰するが如き狀態を呈することを認めた。この現象はその際急激に瓦斯の放出及び吸収が行はれる爲であらう。

熔融溫度と炭素との關係

熔融溫度と添加せる炭素の質及び量との關係を確めるため、鞍山磁選精鑛に 8% の水分を加へ炭素質としては煙臺無煙炭、豐國炭、骸炭、木炭、鎔鑛爐煙道灰及び甘蔗糖炭等を使用し、添加せる量を 3—15% の範圍に於て實驗せるに第 4 表の如き結果を得た。

第 4 表

添加炭素の種類	量%	熔融溫度	添加炭素の種類	量%	熔融溫度
添加せず(磁鐵鑛のみ)	—	Over 1350°C	煙臺無煙炭	9	1150°C
煙道灰	5	1150°C	豐國炭	3	同
同	10	同	同	6	同
同	15	同	同	9	同
骸炭	3	同	木炭	3	同
同	6	同	同	6	同
同	9	同	甘蔗糖炭	3	1140°C
煙臺無煙炭	3	同	同	6	同
同	6	同			

この實驗の結果によると全く炭素質を添加しない場合には 1350°C に於ても尙熔融せず僅に燒結する。然るに種々なる炭素質を添加して熔融溫度を測定すると、炭素質の幾何及び量の多少に拘らず約 1150°C で熔融する。種々なる炭素質に伴ふ灰分即ち無機物の影響を知るために、純粹な化

(3) Whiteley and Hallimond: Jour. I. & St. Inst., 99, 212 (1919-1)

(4) Keil und Dammann: Stahl u. Eisen, 45, 890 (1925)

學用甘蔗糖を低溫度で炭化して造つた甘蔗糖炭を用ゐた。この場合に融熔溫度は僅に降下して 1140°C を示した。

熔融せる鐵鑛が尙ほ保有せる殘留炭素を定量せるに、添加せる炭素物質の多少に拘らず、約 0.06—0.09% の炭素を殘留せることを見出した。

此實驗結果を綜合するに磁鐵鑛即ち 4-3 酸化鐵の形にある鐵鑛を強い還元性氣圈の下に於て高溫度に熱するとホフマン及びステツフェ等の研究によりて明なるが如く、先づ第 1 酸化鐵に還され、これが鑛石中に存在せる硅石と化合して第 1 硅酸鐵となり、更らに第 1 酸化鐵と第 1 硅酸鐵とのユーテクトチックを造るが故に、 1150°C といふ比較的低温で熔融する。カイル及びダンマンの研究によるユーテクトチックが 1075°C の熔融溫度を示せると多少異なるが、彼は化學的に純粹なる材料を使用し、我は磁選精鑛を使用せる爲であらう。添加せる炭素の質及び量に關係せず全く一定せる熔融溫度を示せるは、本實驗に於るが如き比較的に高い溫度では炭素物質の種類に關係せず容易に 1 酸化炭素に酸化し、又添加せる量もかゝる装置では既に 3% で充分強い還元性氣圈に保つことが出来、それ以上に添加することは全く無意味なるものゝ様である。

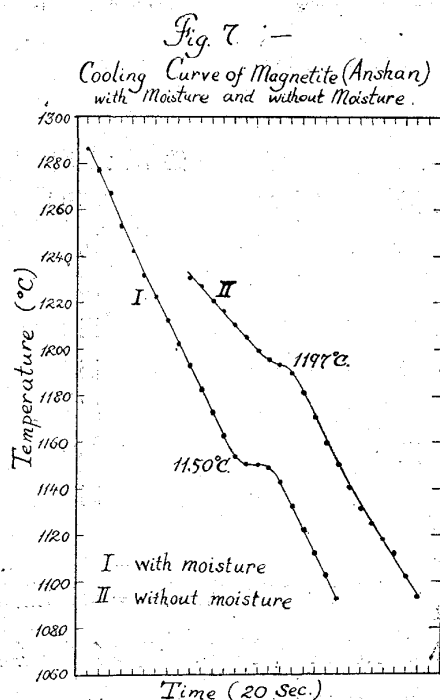
熔融溫度と水分との關係

粉鐵鑛の如何なる種類の燒結法に於ても常に或量の水分を配合することを必要として居る、この水分が鐵鑛の熔融溫度に關係せることなきやを知るために水分を全く添加せず、使用せる鞍山磁選精鑛及び煙臺無煙炭をもグリセリン乾燥爐で完全に乾燥したる後、鐵鑛に對して 4% の無煙炭を加へて熱

分析を行へる Fig 7 (II) に示せるが如く 1197°C の熔融溫度を得た。即ち水分を約 8% 添加せる (I) に比較して約攝氏 47 度熔融溫度が高い結果を得た。勿論斯くの如くダンマン管を使用して熱分析を行ふ場合は試料中の水分は豫め完全に除き置くも大氣中の水分が多少混入することを完全に防ぎ得なかつた爲に、此實驗結果は完全に水分を謝斷せる場合には適合せざるも、大部分の水分を除去せる場合に己に斯くの如く 47°C の差異を生じた。即ち鐵鑛の燒結に際して添加せる水分は、粉鑛の取扱、成形等に便利であり、燒結法に於ては粉鑛の或る厚さの層を通して吸氣が均等に行はれる等利點の外に鐵鑛の熔融溫度を低下せしめるためにも亦役立つものであることを知り得た。

燃 結 試 験

鐵鑛の熔融溫度を測定せる結果鑛石に炭素質及び水分を添加すると其熔融溫度を著しく降下する事を知つた。然るに鑛石の燒結溫度はこの熔融溫度と甚だ密接な關係があつて Landolt: Physikalisch-chemische Tabellen. には Erstarrungs-temperature と稱して普



通熔融溫度より僅に低く與へられて居る。實際に粉狀の鐵鑛はその熔融點以下の溫度で相當な固さに燒結する性質がある。燒結溫度と燒結する固さとの關係、炭素質及び水分の添加が燒結度に與ふる影響、燒結物の固さ及び有孔率、斷面收縮等の關係を明にするために次の如き實驗を行つた。

前に示した實驗裝置及び方法に依て鞍山磁選精鑛のみで何等炭素質を添加しない場合及び炭素質として、鎔鑛爐煙道灰、骸炭、煙臺無煙炭、豐國八尺炭、及び木炭等を添加して燒結試驗を行つた結果第5表に示す成績を得た。これを一層見易くするために圖表にして見ると Fig 8—13 の如くである。

第 5 表 燒 結 試 驗 成 績

添加炭素質及其量	加熱溫度°C.	直 徑 耗	斷面積平方糎	耐壓力坩/平方糎	有 孔 率%
炭素質を添加せず (單に磁鐵鑛のみ)	1100	12,72	1,27	0	34,1
	1150	12,65	1,26	0	34,7
	1200	12,52	1,23	81,2	32,3
	1250	12,52	1,23	252,0	34,1
	1300	12,50	1,226	244,0	36,3
	1350	12,48	1,22	92,0	31,8
煙 道 灰 5%	950	13,05	1,347	0	44,0
	1000	12,94	1,315	0	40,4
	1050	12,94	1,315	64,7	39,4
	1100	12,49	1,25	83,0	28,6
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
	950	13,0	1,327	0	48,2
同 上 10%	1000	12,6	1,247	68,5	47,9
	1050	12,0	1,132	119,0	39,7
	1100	11,0	0,95	763,0	11,4
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
同 上 15%	950	13,05	1,33	0	47,2
	1000	12,9	1,305	0	52,9
	1050	12,15	1,16	123,0	40,0
	1100	11,1	0,97	620,0	16,6
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
骸 炭 3%	950	12,77	1,28	0	40,25
	1000	12,47	1,22	0	39,5
	1050	12,25	1,18	110,0	36,6
	1100	12,2	1,178	382,0	26,8
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
同 上 6%	950	12,7	1,265	0	41,3
	1000	12,45	1,22	45,1	46,8
	1050	12,1	1,15	56,5	44,1
	1100	11,7	1,05	118,5	37,1
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融

同 上 9%	950	12,7	1,265	0	44,6
	1000	12,5	1,23	0	46,2
	1050	12,0	1,13	132,5	45,4
	1100	11,3	1,005	224,0	36,4
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
煙臺無煙炭 3%	950	12,5	1,23	0	43,3
	1000	12,3	1,19	0	37,9
	1050	12,25	1,18	46,7	39,5
	1100	11,8	1,095	448,0	30,6
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
煙臺無煙炭 6%	950	12,6	1,245	0	48,6
	1000	12,3	1,19	0	45,9
	1050	12,0	1,133	80,0	44,3
	1100	10,4	0,848	147,0	33,9
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
同 上 9%	950	12,85	1,3	0	50,7
	1000	12,3	1,16	0	50,7
	1050	11,6	1,075	97,5	39,0
	1100	10,7	0,9	378,0	31,9
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
豐國八尺炭 3% (瀝青炭)	950	—	1,228	0	40,0
	1000	—	1,275	39,2	44,8
	1050	—	1,17	128,0	36,8
	1100	—	1,175	187,0	31,7
	1150	—	熔融	熔融	熔融
同 上 6%	950	12,7	1,268	0	45,1
	1000	12,5	1,23	0	43,4
	1050	12,2	1,17	94,0	39,0
	1100	11,75	1,085	175,0	37,0
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
豐國八尺炭 9%	950	13,4	1,41	0	56,4
	1000	12,6	1,245	0	52,7
	1050	12,2	1,17	47,0	44,1
	1100	10,3	0,83	900,0	22,4
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
木 炭 3%	—	—	—	—	—
	1000	12,61	1,25	0	43,6
	1050	12,54	1,235	0	40,6
	1100	12,6	1,247	0	42,8
同 上 6%	1150	熔融	熔融	熔融	熔融
	950	15,0	1,77	0	64,3
	1000	14,54	1,655	0	60,8
	1050	13,3	1,39	0	66,9
	1100	12,7	1,268	0	50,0
	1150	熔融	熔融	熔融	熔融

Fig. 8. - Concentrate only.

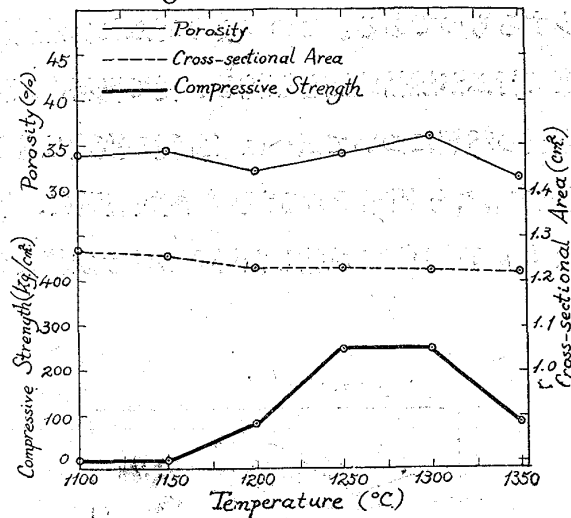
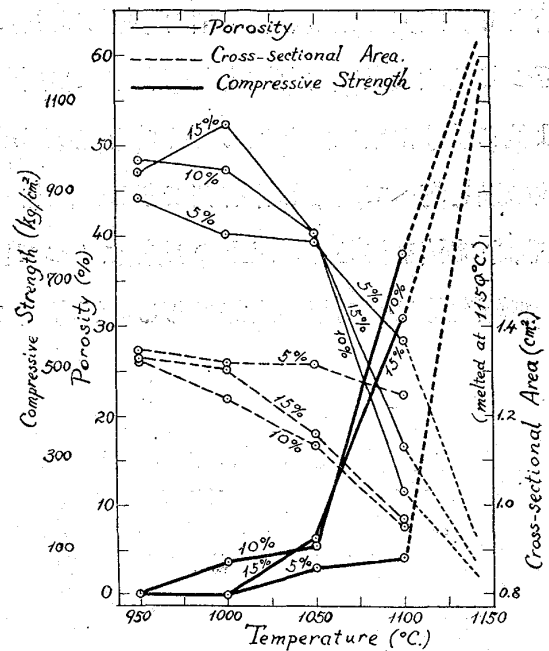


Fig. 9. - Flue Dust



以上焼結試験の成績を見ると、鞍山磁選精鑛のみで何等炭素質を添加しない場合には 1150°C 以下では全く焼結鑛は抗圧力を有せず、全く焼結しないと云ふことが出来る。1200°C 以上で 100—250 庇の強度を得るも、焼結温度を上げた割合に強度を増して居ない。有孔率及び断面積等も 1100—1350°C の範囲では大した相違がない。然るに種々の炭素質を添加して焼結試験を行つた結果は、略 1000

Fig. 10. - Coke

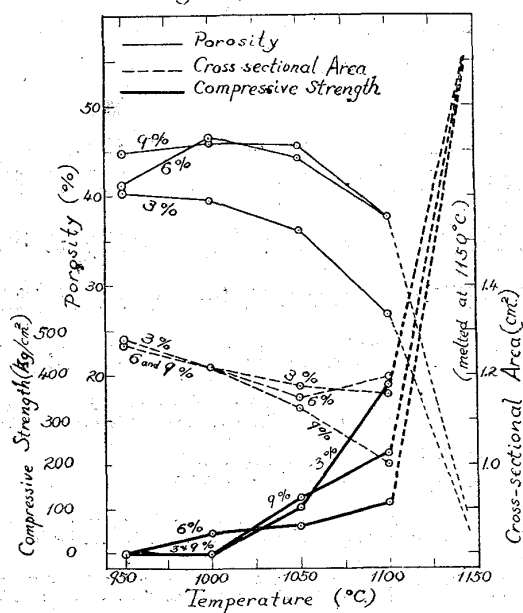
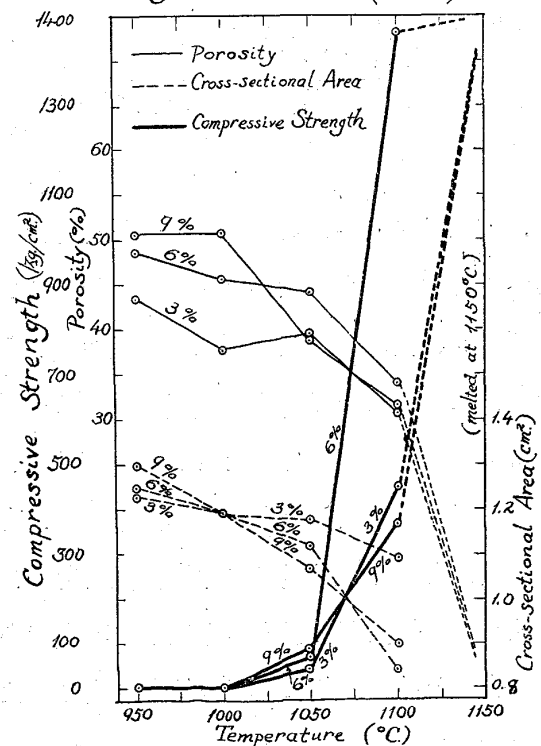


Fig. 11. - Anthracite (Endai)



℃で焼結が始まつて 1100℃ではかなりの程度に焼結を行ふことが出来る。1150℃では焼結物の熔融が始まる。圖表を見ると、抗壓力が増すと共に有孔率、斷面積等が次第に減少する。熔融點に近づくに至つて急激に抗壓力を増大し有孔率及び斷面積が減少するものである。この點より考ふれば焼結溫度は他に妨げがない限り成る可く熔融溫度に近い高溫度で行ふが焼結時間を短縮し、従て燃料の經濟其他の點を考へて著るしく有利である。添加さるゝ炭素質の種類について云へば（此種の實驗は著るしく異なる成績を得易く、以上の成績によつて直ちに斷定すること困難であるが）鎔鑛爐煙道灰、骸炭、無煙炭等は其結果が良好である。瀝青炭については 9% 1100℃で焼結した場合の外は成績良か

Fig. 12 :-
Bituminous Coal (Hokoku)

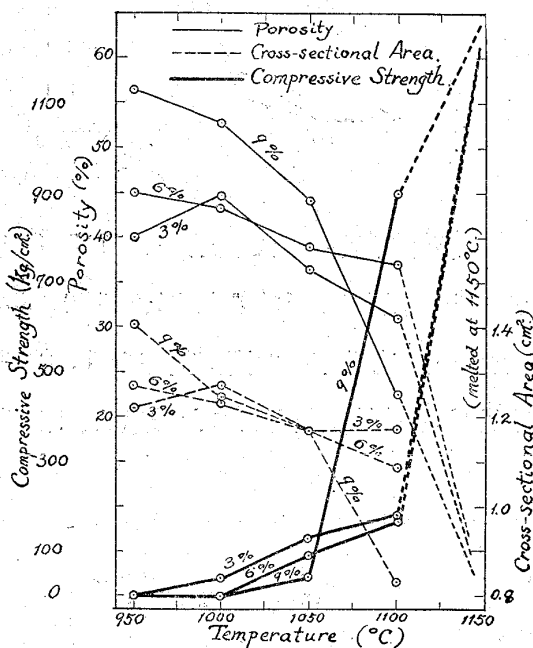
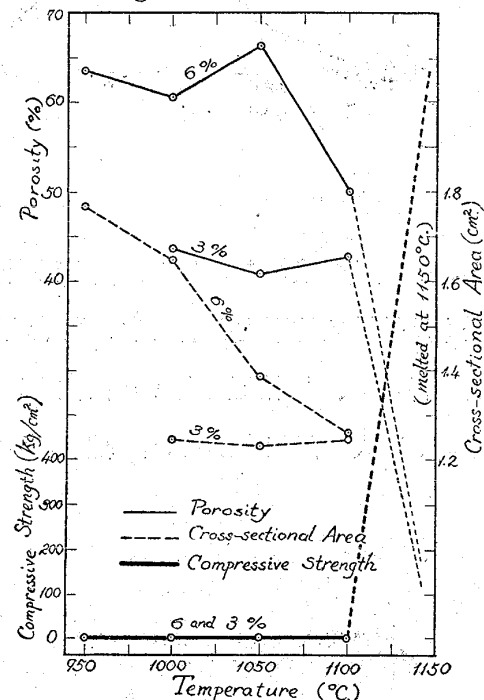


Fig. 13 :- Charcoal



らず、木炭については著しく悪い結果を得た。多分木炭は燃焼し易い爲に團鑛に著しい膨脹、列罅等を與へる爲であらう。必要な炭素質の量については、比較的燃え難い骸炭、無煙炭等では已に 3%で充分であり、燃え易い瀝青炭及び炭素質を含むことの多い煙道灰等については 9—10%以上を添加した場合に成績が良好である。尙圖表を見て注意を惹くことは比較的低温度の 950℃で焼結した場合に於ては勿論炭素質を多く添加したもの程、有孔率、斷面積は多いのであるが、焼結溫度が高くなるに従ひこれと正反對に炭素質を多く加へたもの程、有孔率、斷面積は減少することである。

此結果によると熔融溫度に迄焼結溫度を高めると抗壓力を著しく増すと共に有孔率を甚しく減ずる。此事は焼結物が熔融する迄は確な事實であるが、焼結物の一部分が熔融すると熔融溫度の測定の部分で述べた様に、急に瓦斯の放出が盛に行はれ、爲に熔融した焼結物は尙相等な有孔率を保有するものである。

燃 結 鑛 の 組 成

分析試験 焼結試験を行つた團鑛が如何に其化學的組成を變じたかを知る爲に其分析を行ひ、これを原鑛即ち鞍山磁選精鑛の分析成分と比較して掲げると第6表の如くである。

第6表 焼結團鑛の分析成分

分 析 資 料	焼結温度 °C	金屬鐵 (%)	第1酸化鐵 鐵量 (%)	第2酸化鐵 鐵量 (%)	全鐵量 (%)	不溶殘渣 (%)	殘留炭素量 (%)
焼結團鑛、3% 骸炭	950	0.44	30.18	28.72	59.34	14.12	0.42
同 上	1000	0.52	34.98	24.98	60.12	14.33	0.10
同 上	1050	0.52	36.75	23.29	60.56	14.56	0.09
同 上	1100	0.56	42.14	18.63	61.33	15.10	0.04
同 上	1150	0.74	48.22	10.16	59.12	17.23	0.06
同 6% 骸炭	1100	19.14	35.28	9.53	63.98	15.96	0.17
同 9% 骸炭	1100	31.84	23.62	13.10	68.56	17.44	0.24
同 上	1150	38.98	18.93	6.61	64.52	18.24	0.08
原 鑛 (鞍山磁選精鑛)	—	0.10	22.33	36.67	59.10	14.21	當實驗室分析
	—	0.00	25.32	36.28	61.60	14.66	鞍山製鐵所分析
純粹なる磁鐵鑛 (Fe ₃ O ₄)	—	0.00	24.15	48.30	72.45	0.00	計算による

原鑛は嚴密に云へば純粹なる磁鐵鑛よりも尙聊か酸化度の低いものであるが、大體磁鐵鑛に近いものであると云ふことが出来る。然るに焼結團鑛は甚しく還元せられ第1酸化鐵が増し、第2酸化鐵が減じて居る。殊に少量の金屬鐵を還元し、骸炭 6%以上添加せる場合には其量を著しく増して居る。一般に還元を受ける度合は、添加炭素質の量を増すと共に及び焼結温度が高くなると共に甚だ増加する。因に金屬鐵の存在する場合に焼結鑛中の金屬鐵、第1酸化鐵及び第2酸化鐵の分析法は⁽¹⁾ シムスの方法を使用した。シムスの分析法に記述せる、全く中性な硫酸銅溶液を造ることが困難であつたから、再結晶を繰返して精製せる硫酸銅溶液を使用した。

焼結温度と殘留炭素質との關係を知らん爲め、焼結團鑛中に殘留せる炭素の量を乾式燃燒法によりて測定した。普通殘留炭素の量僅少なりし爲資料として 4—5 瓦を1回に採り過酸化鉛を加へて燃燒法を行つた。其結果は第7表に示すやうである。

第7表 焼結團鑛中の殘留炭素分析

添加炭素質及其量	焼結温度 (°C)	殘留炭素 (%)	添加炭素質及其量	焼結温度 (°C)	殘留炭素 (%)
煙 道 灰 5%	950	0.77	同 10%	950	1.75
	1000	0.15		1000	0.22
	1050	0.09		1050	0.17
	1100	—		1100	0.10
	1150 (熔融)	0.07		1150 (熔融)	—

(1) C. E. Sims & B. M. Larsen; Ind. Eng. Chem., 17 (1925) 86-88

同	15%	950	3.55
		1000	1.92
		1050	0.09
		1100	0.08
		1150 (熔融)	—
骸	炭 3%	950	0.42
		1000	0.12
		1050	0.09
		1100	0.04
		1150 (熔融)	0.06
同	6%	950	1.29
		1000	0.63
		1050	0.25
		1100	0.17
		1150 (熔融)	0.08
同	9%	950	2.90
		1000	1.15
		1050	0.42
		1100	0.24
		1150 (熔融)	0.08
煙臺無煙炭	3%	950	0.45
		1000	0.09
		1050	0.08
		1100	—
		1150 (熔融)	0.07
同	6%	950	1.62
		1000	0.75
		1050	0.39
		1100	0.11
		1150 (熔融)	0.06
同	9%	950	2.68
		1000	1.51
		1050	0.34
		1100	0.11
		1150 (熔融)	0.08

豐國八尺炭 (瀝青炭)	3%	950	0.37
		1000	0.22
		1050	0.17
		1100	0.09
		1150 (熔融)	0.06
同	6%	950	0.49
		1000	0.23
		1050	0.11
		1100	0.07
		1150 (熔融)	0.06
同	9%	950	1.92
		1000	0.91
		1050	0.23
		1100	0.09
		1150 (熔融)	0.09
木炭	3%	950	—
		1000	0.15
		1050	0.14
		1100	0.13
		1150 (熔融)	0.09
木炭	6%	950	0.33
		1000	0.26
		1050	0.20
		1100	0.10
		1150 (熔融)	0.09
甘蔗糖炭	3%	1100	0.12
		1140 (熔融)	0.09
同	6%	1140	0.14
		1140 (熔融)	0.07

分析表中——印を附したるは資料の都合上分析し得ざりしものである。

残留炭素の分析結果によると、炭素質の種類では木炭、瀝青炭等は燃焼し易く、煙道灰、骸炭、無煙炭等は比較的燃焼し難く、此等が還元焼結用の炭素質燃料として適當なるものである。焼結温度が高くなると益々多くの炭素質を燃焼し、従つて残留炭素の量が減する。熔融點まで焼結温度を高めると添加した炭素質に關せず、殆ど全部の炭素質を燃焼し盡し、常に僅少な即ち 0.06—0.09%の略一定量の炭素質を残留する。因に此炭素燃焼測定法にあるブランク、テストの結果は 0.002%である。

顯微鏡試験 焼結團鑛を顯微鏡で試験した結果は第 14—18 圖に示すやうである。第 14 圖は無

煙炭 3%を加へ 1000°C で焼結試験を行つた團鑛の組織 (倍率 100) であつて、焼結温度が尙低い爲に僅に焼結したのみで、未だ明な組織を見ることが出来ぬ。第 15 圖は 1100°C で焼結した團鑛の組織 (倍率 100) であつて、前の 1000°C で焼結したものより遙に焼結程度が進んで居る。これを尙明にする爲に 300 倍に擴大したものを第 16 圖に示して居る。これによると既に 2 種の異つた色彩を有する組織を認め、一部分熔着した事を示して居る。第 17 圖は熔融點即ち 1150°C に加熱して熔融した團鑛の組織 (倍率 100) を示すもので、特に多數の氣泡を有して居るが大部分が熔融したことを示し、白い金屬質の強い光澤を有する球狀或は樹枝狀の析出物及び素地の中に細い組織を認めることが出来る。第 18 圖はこれを更に 300 倍に擴大せるもので、樹枝狀の初期析出物と帶狀の第 2 次に析出せるものと、第 1、第 2 の細く混在せるユーテクトック組織を有する素地との 3 種の析出物を明に認める。

還元焼結理論の考察

焼結試験及び焼結團鑛の顯微鏡試験によつて焼結温度が高くなると共に焼結度の進む有様を知り、且つ熔融點以下の加熱温度でも既に焼結鑛の一部は熔着することを顯微鏡下で認めた。

熔融した焼結鑛の顯微鏡的組織は、白い金屬質のやうな強い光澤を持つた第 1 次析出物が樹枝狀に不規則な形に或は球狀をなして點在し、次に灰色の弱い光澤を持つた第 2 次析出物が廣い帶狀に或は細い紐狀をなして存在して居る外にユーテクトック組織を有する素地の 3 種の組成成分から成立つて居ることを知つた。

この事實を熔融せる焼結鑛の化學的成分、磁性試験及びカイル及びダンマンが研究せる第 1 酸化鐵と珪石との間の化學平衡圖等と合せて考察すると白い金屬光澤を有する第 1 次析出物は第 1 酸化鐵より尙酸化度の高い酸化鐵で磁性を有し、略、原鑛に近い化學成分を有して居るやうである。特に不規則な形や球狀をしたものは原鑛の尙熔融せざる部分或は化學的に侵蝕を受けて尙残つた部分でないかと思はれる。灰色の弱い光澤を有する第 2 次析出物は多分第 1 珪酸鐵であり、第 3 の素地は第 1 酸化鐵と第 1 珪酸鐵とより成るユーテクトックであらう。

即ち還元性氣圈の下で粉鐵鑛の焼結を行ふ時は比較的低い熔融温度を有する第 1 酸化鐵と第 1 珪酸鐵のユーテクトックが先づ一部分出來て、これが他の未だ酸化度の高い酸化鐵即ち原鑛の結合劑となつて粉鐵鑛の焼結を容易ならしめるものである。又同時に水蒸氣が焼結に際して存在することは焼結鑛の熔融温度を低下せしめ、従つて焼結を容易ならしめることに役立つものである。

各國製鐵所に於ける焼結鑛

以上實驗室に於て研究せる結果を各地の製鐵所に於て實地に作製された焼結鑛の性質と比較し、同時に各種の焼結方法を化學的に比較研究せんと思ひ、第 8 表に示す 5 種の焼結鑛を蒐集した。第 19 圖は是等各焼結鑛の外觀を示して居る。

第8表 各區製鐵所に於ける燒結鑛

種 類	燒 結 方 法	製 作 場 所	原 鑛	配 合
レバノン燒結鑛	グリーンワルト法	米國ペンシルベニア州レバノンベスレヘム製鐵會社	磁選精鑛	水分 = 6—7% 無煙炭 = 4% 煙道灰 = 10—20%
瑞典燒結鑛	グリーンワルト法	瑞典ウツデホルム製鐵會社 ハックホルス工場	同 上	—
鞍山燒結鑛	ドワイトロイド法	南滿洲鞍山製鐵所	同 上	水分 = 10% 無煙炭 = 5%
本溪湖燒結團鑛	グレンダール法	南滿洲本溪湖製鐵所	同 上	水分 = 10%炭素質 燃料を配合せず
八幡燒結鑛	ノデユライダング法	八 幡 製 鐵 所	殷栗褐鐵鑛	炭 粉 = 5% 煙 道 灰 = 5% 熔鑛爐水滓 = 5%

是等燒結鑛より高さ及び直徑共に約 1.28 厘の圓壙形の資料數個を採り、其抗壓力、有孔率等を測り、數個の資料につき測定せる値の平均價を示すと第9表の如し。

第9表 各種燒結鑛の抗壓力及び有孔率

種 類	抗壓力(廷/平方厘)	有孔率(%)	燒 結 溫 度
レバノン燒結鑛	1228.	20.66	—
瑞 典 燒 結 鑛	—	39.80	—
鞍 山 燒 結 鑛	1027.	30.89	1150°C
本 溪 湖 燒 結 團 鑛	407.2	47.63	1350—1400°C
八 幡 燒 結 鑛	1277.	22.15	—

此結果によりて見るにレバノン、鞍山、及び八幡燒結鑛は前燒結試験に於ける 1100°C 以上即ち約熔融溫度で燒結せるものに匹敵し、本溪湖燒結團鑛はその有孔率よりすれば約 1000°C、抗壓力より云へば約 1100°C 内外で燒結せるものに匹敵する。實際にレバノン、鞍山及び八幡のものは熔融せる證跡を明に認めることが出来る。

次に是等各種燒結鑛の分析成分を表にして掲げると第10表の如くである。

第10表 各種燒結鑛の分析成分

種 類	金 屬 鐵 (%)	第1酸化鐵鐵量 (%)	第2酸化鐵鐵量 (%)	全 鐵 量 (%)	不溶殘渣 (%)	硅 石 (%)	殘留炭素 (%)
レバノン燒結鑛	0.20	23.10	37.63	60.93	8.23	7.32	0.04
瑞 典 燒 結 鑛	0.78	9.59	51.63	62.00	8.06	6.28	0.02
鞍 山 燒 結 鑛	0.56	25.02	35.42	61.00	15.95	14.72	0.12
本 溪 湖 燒 結 團 鑛	0.00	9.17	56.89	66.06	3.39	2.91	0.00
八 幡 燒 結 鑛	0.72	33.36	13.41	47.49	18.58	16.59	0.98

各種燒結鑛の分析成分を見ると瑞典及び本溪湖燒結團鑛は原鑛である 磁選精鑛が酸化を受けたもので、従つて燒結度は尙不充分で有孔率は甚だ高く抗壓力は比較的弱い。レバノン、鞍山及び八幡燒結鑛は順次還元を受けた程度の高いもので、有孔率は比較的小さく、抗壓力は甚だ強い、燒結度の充分なものである。然し其化學成分は密閉せる装置の中で燒結試験を行へる前實驗に比較して還元を受けた程度は尙低い。是等各種燒結鑛の化學試験の結果は、前實驗に依つて得た還元性氣圈の中で燒結

ふが有利であると云ふ結果を明に證明したものである。

是等焼結鑛の組織を顯微鏡で試験せる結果は第 20—30 圖に示すやうである。第 20、21 圖はレバノン焼結鑛の有する組織（倍率 100）で多角形をなせる白い強い光澤を有する第 1 次析出物甚だ多く、其間を灰色の弱い光澤を有する素地が填めて居る。第 22 圖は灰色の素地の一部分に第 1 次析出物が三角形に或は樹枝狀に析出し、恰もユートクチックの如き組織を示して居る。これ以外にはレバノン焼結鑛には適當な腐蝕或は擴大によつても灰色の素地中にユートクチック組織を有するものを認めず、白い金屬光澤を有する第 1 次析出物と灰色の素地との 2 種の組成分から成立つて居る。

第 23 圖は鞍山焼結鑛が有する顯微鏡的組織（倍率 100）で白い強い光澤を有する第 1 次析出物が多數に點在し、其他は灰色の弱い光澤を有する素地である。この素地中に灰色の第 2 次析出物と、其間を填めた第 3 のものと幽かに區別することが出来る。第 24 圖は是れを稀鹽酸で腐蝕して得た組織で第 1 次析出物と第 2、第 3 のものと一層明確に區別して認めることが出来る。第 25 圖はこれを 300 倍に擴大した組織で、第 1 次析出物は多少丸みを帯びた不規則な形を有し、灰色の弱い光澤を有する第 2 次析出物は菱形又は多角形をなし、第 3 の素地は明にユートクチック組織を有することを認めることが出来る。

第 26 圖は八幡焼結鑛が有する組織（倍率 100）で、第 27 圖はこれを稀鹽酸で腐蝕して得た組織で鞍山のものと同じく、第 1 次、第 2 次の析出物とユートクチックの 3 つに區別することが出来る。第 28 圖はこれを 300 倍に擴大せる組織で前同様第 1 次、第 2 次の析出物及びユートクチックを明に認めることが出来る。

第 29 圖は本溪湖焼結鑛の有する組織（倍率 100）で、尙僅に焼結したのみで、前焼結試験に於ける約 $1000-1100^{\circ}\text{C}$ で焼結せる團鑛の組織に匹敵するものである。即ち焼結温度は $1350-1400^{\circ}\text{C}$ といふ高温なりしに拘らず、熔融せず焼結度は極めて貧弱である。勿論原鑛である本溪湖磁選精鐵は、鞍山のものに比し其硅石含有量極めて少く、従つて焼結温度も相當高きことを要するも、本研究の最初に鞍山磁選精鑛につきて實驗せるが如く、還元性氣圈を用ゐず却て酸化焼結を行ひたるに因る。

各國製鐵所に於て實地に作製された各種の焼結鑛の顯微鏡的組織は、全く我が焼結試験に依て得た團鑛の有する組織とよく一致して、白い強い金屬光澤を有する第 1 次析出物と、灰色の弱い光澤を有する第 2 次析出物と、ユートクチックとの 3 種の組成分に區別することが出来る。是等 3 種の組成分が如何なる化學成分を有するかは、既に前述せるやうに第 1 の組成分は第 1 酸化鐵より尙酸化度の高い酸化鐵で磁性を有し、その多くは原鑛の尙熔融せざる部分或は化學的侵蝕を受けて尙残つた部分である。従つて略原鑛に近い化學成分を有して居るやうである。第 2 の組成分は多分第 1 硅酸鐵で磁性を有して居ない。第 3 の組成分は第 1 酸化鐵と第 1 硅酸鐵とから成るユートクチックで多分磁性を有して居ない。

以上各種焼結鑛の顯微鏡的組成分の化學成分を確める爲に、次の如き磁力選別を行ひ、原焼結鑛、磁性物質及び非磁性物質について各々化學分析を行つた。即ち各種焼結鑛各 20 瓦を先づ全部 100 目

篩を通る程度に細く碎き、これを水の中で強い棒磁石に吸引せられるものと、全く吸引せられないものとに磁力選別を行つて、各々其量を測り、又夫々是等の化學分析を行つた。此磁力選別及び化學分析を2度繰返して行ひ、其結果を平均したものが第11表に示すやうである。

第11表 各種焼結鐵磁力選別試験

		磁力選別	化 學 分 析				
		重量 %	不 溶 性 物 質 %	金 屬 鐵 %	第 1 酸 化 鐵 鐵 量 %	第 2 酸 化 鐵 鐵 量 %	全 鐵 量 %
レバノン燒結鐵	原 燒 結 鐵	100	8.55	0.20	23.10	37.63	60.93
	磁 性 物 質	96.9	7.85	0.23	20.76	40.39	61.38
	非磁性物質	3.1	29.99	0.00	23.59	21.51	45.10
鞍 山 燒 結 鐵	原 燒 結 鐵	100	15.95	0.56	25.02	35.42	61.00
	磁 性 物 質	81.4	15.27	0.71	23.64	38.49	62.84
	非磁性物質	18.6	23.70	0.00	25.80	27.20	53.00
八 幡 燒 結 鐵	原 燒 結 鐵	100	18.58	0.72	33.36	13.41	47.49
	磁 性 物 質	77.4	18.04	0.84	30.21	16.22	47.27
	非磁性物質	22.6	20.77	0.00	41.30	6.04	47.34
本溪湖燒結團鐵	原燒結團鐵	100	3.39	0.00	9.17	56.89	66.06
	磁 性 物 質	59.2	2.45	0.00	14.00	55.47	69.47
	非磁性物質	40.8	4.74	0.00	1.99	63.32	65.31
純 磁 鐵 鐵	磁 性 物 質	100	0.00	0.00	24.15	48.30	72.45
純 赤 鐵 鐵	非磁性物質	100	0.00	0.00	0.00	69.94	69.94
第 1 硅 酸 鐵 ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$)	非磁性物質	100	2.92	0.0	55.1	0.0	55.1

磁力選別試験の結果を見るにレバノン焼結鐵は殆ど大部分磁鐵鐵に近い化學成分を持つた磁性物質から成り、選別し得た非磁性物質は僅に全體の 3.1% で第1硅酸鐵に近い成分を示して居る。此結果は顯微鏡的組織の試験とよく一致して居る。

鞍山焼結鐵は其 81.4% が磁性物質から成り、其化學成分は磁鐵鐵に近いもので原鐵即ち鞍山磁選精鐵と殆ど等しい成分を持つて居る、即ち原鐵が餘り變化を受けて居ない。残り 18.6% が非磁性物質から成り、其化學成分は第1硅酸鐵より 尙硅酸度の低いもので相當多くの第2酸化鐵を含んで居る。これは其顯微鏡的組織に見るやうに非磁性のユーテクトックが多量に混在するからであらう。

八幡焼結鐵は原鐵として褐鐵鐵を使用し、配合中に骸炭粉の外に 5%宛の鎔鐵爐煙道灰及び水滓を混じて居る爲に、不溶性残渣を含むこと多く、僅に 77.4% の磁性物質を有し、其酸化度も磁鐵鐵より著しく低い。残り 22.6% を構成せる非磁性物質は 20.7% の不溶性残渣と 41.3%の第1酸化鐵6%の第2酸化鐵より成る。これは多分其顯微鏡的組織に於て認めたるが如く、多量の第2組成分即ち第1硅酸鐵と比較的少量のユーテクトックとが混在せる爲である。

本溪湖焼結團鐵は以上のもの等と異り、グレンダール法により強い酸化性氣圈の中で焼結されたものであるから、原鐵即ち磁選精鐵は著しく酸化を受けて多量の赤鐵鐵を生じて居る。磁力選別の結果

がこれを證據立てて居る、即ち全體の 59.2% の磁性物質は既に磁鐵鑛より一層酸化度の高いもので、磁鐵鑛と赤鐵鑛との中間に位するものである。残り 40.8% は非磁性物質で其化學成分は大體赤鐵鑛に近いものである。

各種焼結法の比較

本研究に使用した各國製鐵所に於て實地に作製された焼結鑛を、物理的、化學的及び顯微鏡的に其組成を試験して得た結果から、是等焼結鑛を造つた各焼結方法を其設備及び實作業上の事は別にして、單に焼結方法の化學的立場から、簡単に比較して見ようと思ふ。

レバノン焼結鑛及び鞍山焼結鑛を造つた、グリーンワルト法及びドワイトロイド法は共に粉鐵鑛に 4—5% の炭素質燃料、7—10% の水分を調合して、強い還元性氣圈の中で焼結を行ふ方法であつて、本研究によつて確められた凡ての好い條件を具へて居て、兩者の間には大した優劣はないやうである。鞍山焼結鑛はレバノンに比較して多量の不溶性物を含んで居るが、これは原鑛の差異に因るので止むを得ない。是等の焼結法に於ても不適當な配合或は操業等に依つては瑞典焼結鑛に於て見るやうに却つて原鑛の酸化焼結を行ひ、爲に其焼結度を甚しく悪くしたものが有りますが、是れは瑞典國情からして燃料として木炭を使用する爲であらうと考へて居ります。

八幡焼結鑛を造つたノデュライジング法は骸炭粉 5% 及び煙道灰 5% の如き適當な炭素質燃料を配合して、還元性氣圈中で焼結されたもので有孔率及び抗壓力も共に申分のない立派な焼結鑛を得て居るが、焼結鑛の化學成分から云ふと、少し多量過る炭素質燃料を配合して高溫度で長時間加熱して焼結する爲に過還元が行はれて居る。次に 5% 宛の骸炭粉及び煙道灰を配合する以外に尙 5% の鎔鑛爐水滓を配合して居る爲に全鐵量は 47.5% に下り、比較的不溶性物質の含有量が多い。ノデュライジング法の操業上果してかく多量の炭素質燃料及び不溶性物質を添加する必要ありとすれば、是れが又他の方法に比し一籌を輸する點であらう。

本溪湖焼結團鑛は有名なグレンダール法によりて團鑛焼結されたもので、強い酸化性氣圈で焼結するが故に 1350—1400°C といふ高溫度で焼結した割合に焼結不充分で有孔率甚だ高く抗壓力も比較的弱い。其化學成分は原鑛が磁鐵鑛であつたに拘らず殆ど赤鐵鑛から成立つて居る。かゝる酸化焼結を行ふが故にグレンダール法は以前は廣く使用された粉鐵鑛の焼結法であつたが最近次第に其影を潜めるに至つたのも誠に故ありと云ふことが出来る。

結 論

本研究によつて得たる結果を綜合して見ると次の如き諸點に歸する。

- (1) 鐵鑛の熔融溫度は其珪石含有量によつて大に異なる。
- (2) 鞍山磁選精鑛につきて實驗せる處によると、全く炭素質を添加しないで即ち酸化性氣圈では 1350°C に加熱しても尙熔融せず僅に焼結したものが、炭素質燃料を直接配合した即ち還元性氣圈では約 1150°C で熔融する。

- (3) 鐵鑛の熔融溫度は水分が適當に存在する場合は、水分を遮斷して加熱した場合に比して僅に降下する。
- (4) 適當な燒結度を得る爲の粉鐵鑛の燒結溫度は其熔融溫度に正比例して上下する。他に妨げない限り成る可く熔融溫度に近い高溫度で燒結を行ふが有利である。例へ少々熔融溫度以上に加熱されることありても、熔融に際し急に多量の瓦斯の放出ありて相當なる有孔率を失ふことなし。
- (5) 粉鐵鑛の燒結には酸化燒結法よりも、水分の存在の下で還元燒結を行ふが著しく有利である。
- (6) 粉鐵鑛の還元燒結の爲に添加する炭素質燃料は骸炭、無煙炭等の比較的燃え難いものが最も適當し、添加量は 3-5% で充分で、餘り多量に添加することは燒結時間を長くし、過還元を行ひ單に燒結の目的からは無意味なものやうである。
- (7) 還元燒結法に於ては、鑛中の珪石が第 1 酸化鐵と化合して、熔融し易い第 1 珪酸鐵と第 1 酸化鐵とのユーテクトクを造り、これが原鑛の結合劑となつて良好な燒結鑛を作るものである。此點が فرانケの半融説或は グレンダールの結晶説等によりて説明されて居る、酸化燒結法と全く其の趣を異にする所である。(完)

本研究を行ひ得たるに就いては貴重な御助言を賜つた齋藤教授、研究資料を寄贈された鞍山製鐵所梅根常三郎氏、八幡製鐵所平川良彦氏及び諸實驗を行ふに多大の助力をなされた久米猪之助氏及び脇寛氏に對し深く感謝の意を表したい。(大正十四年十一月十九日稿)



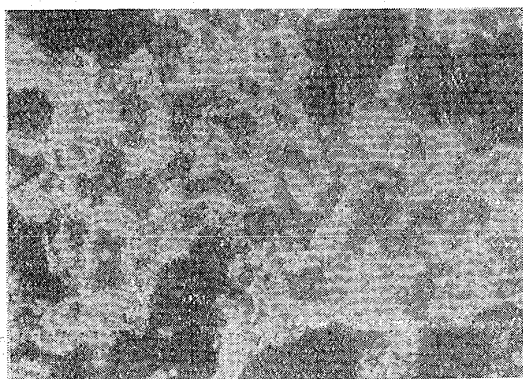
× 100

第 14 圖 1000°C で加熱せる燒結團鑛



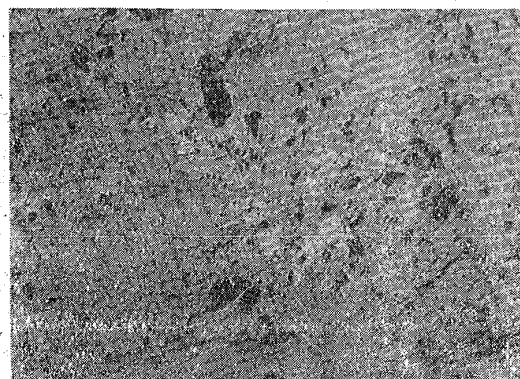
× 300

第 16 圖 1100°C 燒結、稀鹽酸腐蝕



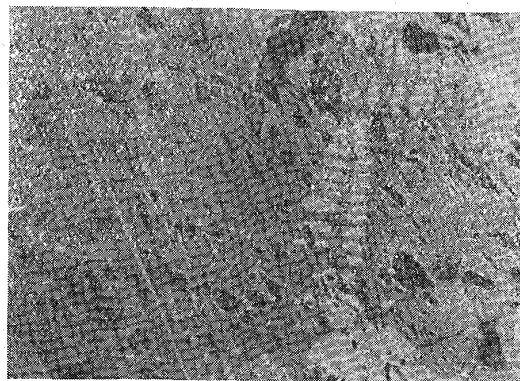
× 100

第 15 圖 1100°C で加熱せる燒結團鑛



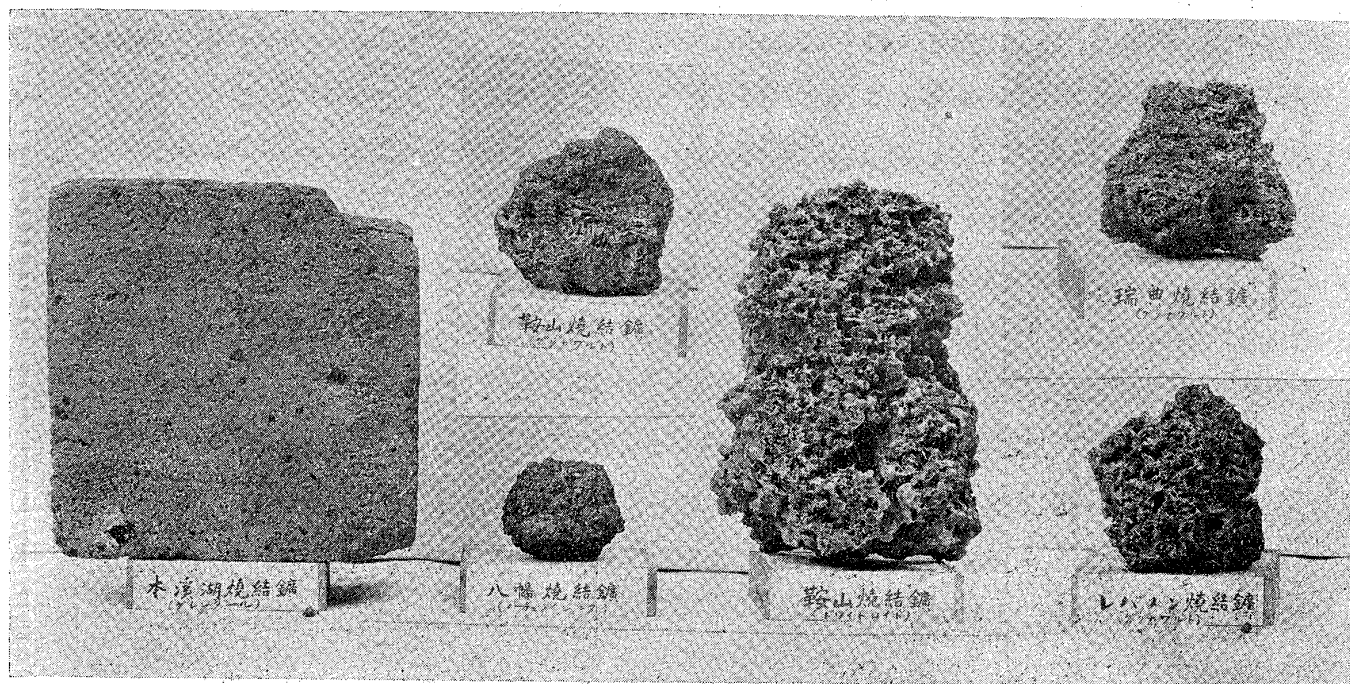
× 100

第 17 圖 1150°C で熔融せる燒結團鑛

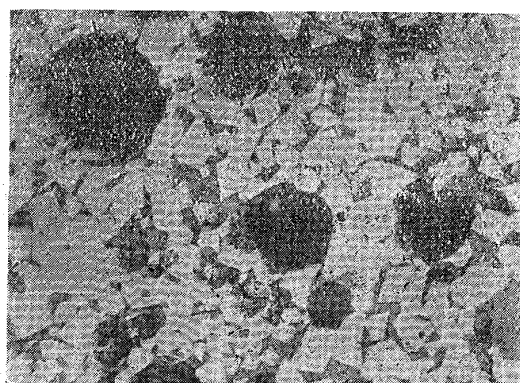


× 300

第 18 圖 1150°C 熔融、稀鹽酸腐蝕

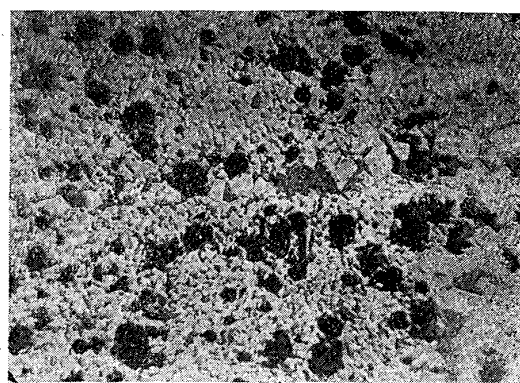


第 19 圖 各種焼結鑛



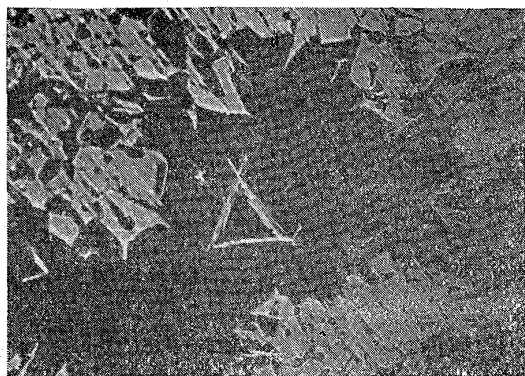
× 100

第 20 圖 レバノン焼結鑛



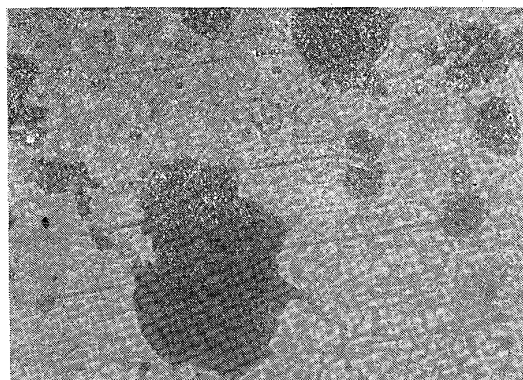
× 100

第 21 圖 レバノン焼結鑛、稀鹽酸腐蝕



× 100

第 22 圖 レバノン焼結鐵、稀鹽酸腐蝕



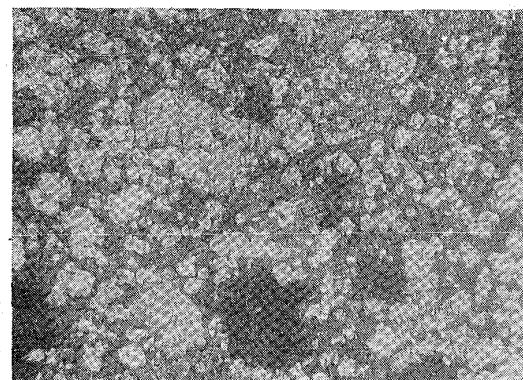
× 100

第 26 圖 八幡焼結鐵



× 100

第 23 圖 鞍山焼結鐵



× 100

第 27 圖 八幡焼結鐵、稀鹽酸腐蝕



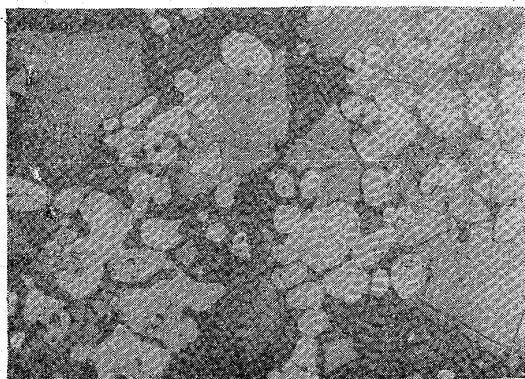
× 100

第 24 圖 鞍山焼結鐵、稀鹽酸腐蝕



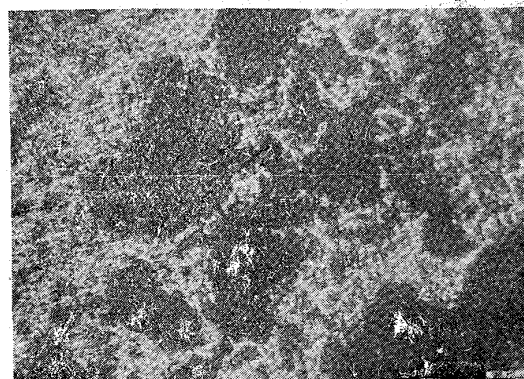
× 300

第 28 圖 八幡焼結鐵、稀鹽酸腐蝕



× 300

第 25 圖 鞍山焼結鐵、稀鹽酸腐蝕



× 100

第 29 圖 本溪湖焼結團鐵