

# 鐵と鋼 第五年 第十號

大正八年十月二十五日發行

## 砂鐵の還元と溫度との關係

大河内正敏

眞島正市

### 一 實驗裝置

各種の酸化鐵が一酸化炭素、水素、木炭、或はコークス等によりて還元される場合には、是を何度の溫度に加熱する必要ありや、語を換へて謂へば酸化鐵の還元は何度の溫度より始まるにや、又還元劑によりて還元溫度に差異ありやとの問題は、已に、化學者、冶金學者等によりて從來度々研究された問題である。製鐵事業に於て生産費を節約する一つの方法は、最少限度の熱量と、最廉價なる還元劑とを用ひて各種の鐵鑛を還元する事を研究するのであると信ずる。併し小規模なる實驗室内の研究が此種の問題の解決に何程の貢獻があるかは、覺束ない事と考へるが、兎に角從來の研究方法以外の遣り方で實驗をして見たから、其結果を爰に報告するのである。若し萬一是れが實際の製鐵工業に何等かの參考になる點が見出されば、著者等に取りては、望外の幸福と謂はなければならぬ。

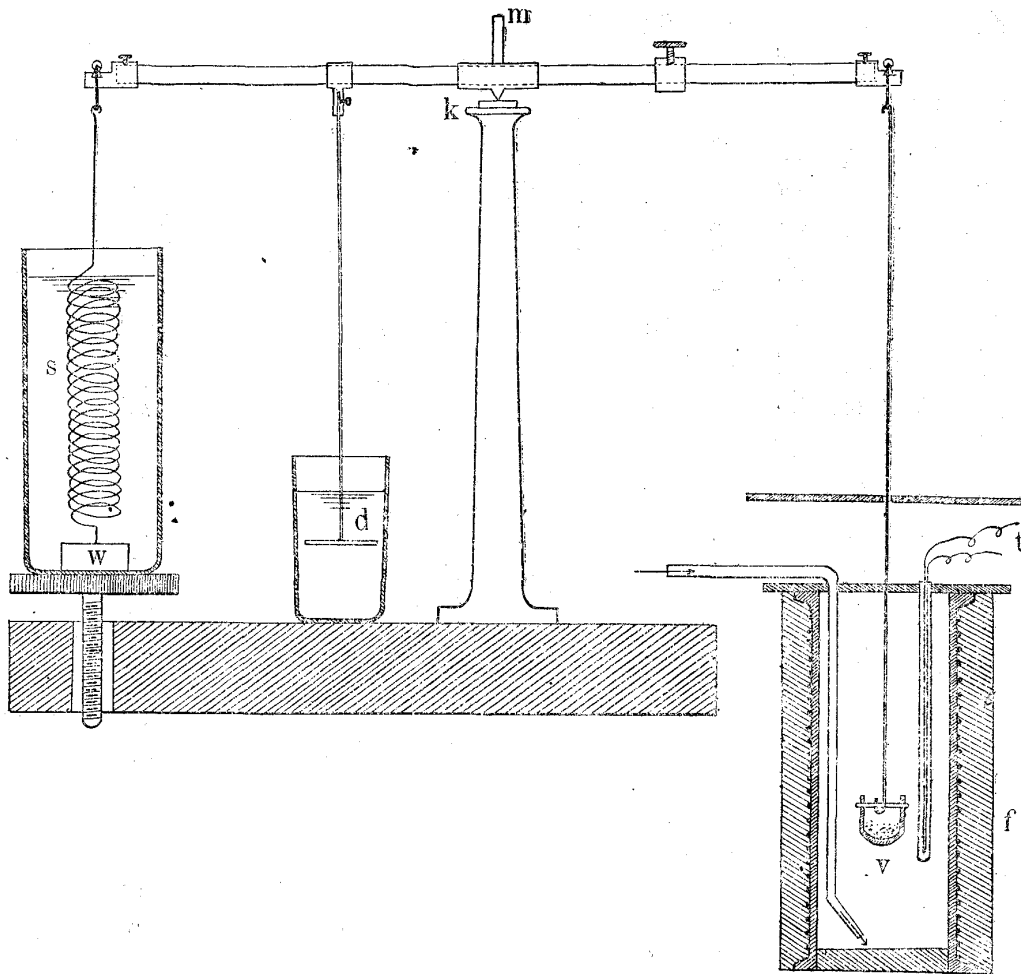
從來各種の酸化鐵が高溫度に於て還元される現象を攻究するには、先づ一定量の試料を採り、是を一定の溫度に於て炭素或は其他の還元劑と共に加熱するか、若しくは還元瓦斯中に於て加熱し、一定の時間を経たる後取り出して分析し、若しくは重量を測定し、夫れ等の加熱前の結果と比較して還元程度を判定する。此の如くして例へば  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  或は  $\text{FeO}$  とか云ふ物が炭素或は一酸化炭素によりて攝氏何百度から以上では還元し得ると謂ふ事を慥める事は出来る。併しながら是等の還元劑により

2 還元される現象の速度を見出す事は殆ど不可能である。例へば一の酸化鐵が炭素によりて攝氏七百度で五分間に還元する量と、八百度で同じ時間に還元する量とに幾何の差異ありやと云ふ事は試料を其温度に迄加熱する途中に還元が起る爲めに正確の比較が出来悪くなる。更に九百度に加熱された酸化鐵が漸々冷却しながら還元される模様等を觀測するにも從來の方法では不便を免れない極めて精確な結果を得る事は困難である。

以上の如き加熱間若しくは冷却間に試料の還元する速度を知るには其還元現象を時々刻々に其温度に於て即ち室内温度迄冷却せず連續觀測をする事が必要である。此爲めに第一

圖の如き熱秤を用ひた。(東北帝國大學科學報告四卷二號九十七頁本多博士論文參照)秤りの兩腕は熱膨脹係數の少いシリカ管であつて中央に眞鍮管を固定し之に附したる硬鋼の刃物にて瑪瑙板の上に水平に置かれる。腕の一端には極めて細き螺線撥條Sと重りWが連結され夫れを全部温度の急

圖 一 第



變に感じない様に油の中に浸す。重りの位置は螺子によりて油槽と共に上下に調整し得可く秤の右端V中に入れられた試料の重さ大なる時は平衡を保たせる爲に重りの位置を下げ撥條の張力を増して常に秤の兩腕は水平にある様に調整し得るのである。試料を盛る器Vは素焼の短い試験管であつて横に穴を穿ち素焼の棒を通じ夫れを又素焼の細い長い棒で秤の一端に垂下する。而して是等のものに觸れない様に電氣抵抗爐fを裝置し試料の温度は直ぐ傍にある温度計で測定し得可く試料

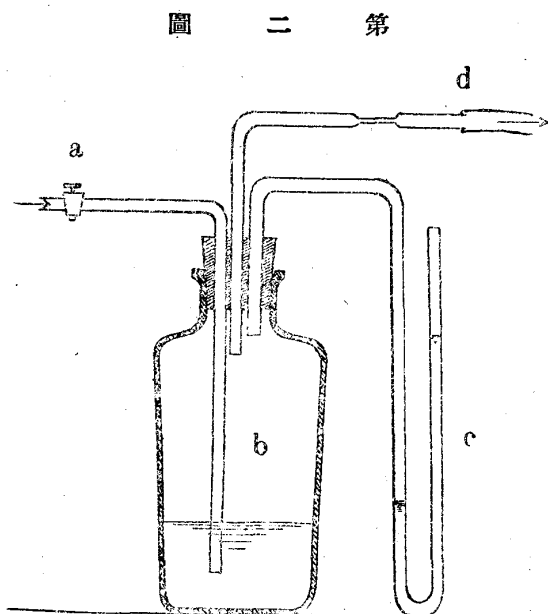


圖 二 第

を還元する瓦斯は爐の上端から管で爐の下端に迄導かれる。是等の瓦斯は爐の口元で大氣に逢ひ燃焼する爲めに其焰及び熱氣により秤が吹かれぬ様に石綿板の蓋を置く。尙秤の振動を防ぐ爲に中央の柱と撥條の中間に防振器dを置く。是は眞鍮の圓板を秤の腕から垂下したもので圓板は油槽中に浸されて居るから小振動は防止される。又秤の平衡を適當に調整する爲めに中央の柱と試料の中間に眞鍮の滑子を置き是れを左右に滑らして秤を水平に保たしめる。試料が還元さるれば夫れだけ重量の輕減があるから秤は傾斜する。其角を測るには中央に取り附けられた垂直の鏡mを用ひる。即ち別

別に此鏡と適當の距離を置いて垂直の尺度を立て其目盛りを鏡に寫し、尺度の近傍に置かれた望遠鏡で其目盛りを讀めば極めて僅かな鏡の傾角をも正確に測定する事が出来る。還元用の瓦斯が爐中に入りし試料を還元する場合に最注意しなければならぬのは、瓦斯は常に一定の速さで試料の上を通過せなければならぬ事である。即ち試料中の酸素と瓦斯が化合して出來たものが早く試料から逃げ去るのと、遅く流れ去るのとでは還元

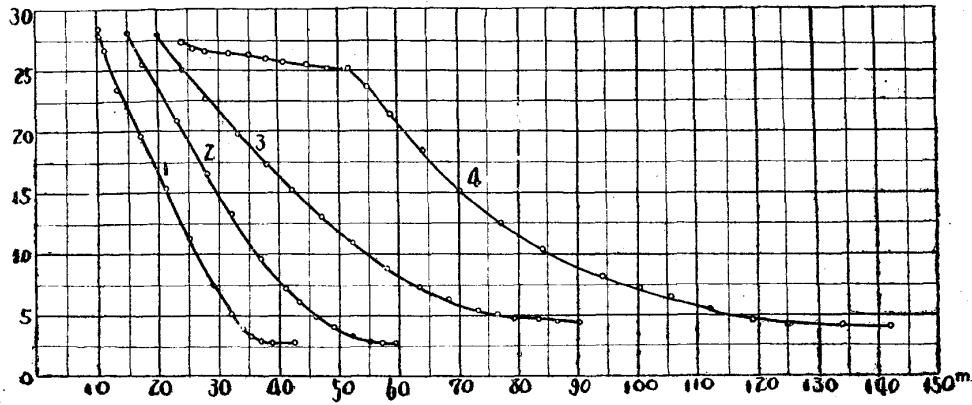
4  
瓦斯の性質を一定して置いて種々の溫度に於ける還元速度を比較するには瓦斯の流れる速さを一定にして還元瓦斯の速さによる影響を除かなければならぬ。夫れには瓦斯が爐に入り來る速度即ち壓力を一定して置く事が必要である。第二圖は此目的の爲めに瓦斯の壓力を一定にする装置である。稍大なる硝子瓶に苛性曹達の溶液を盛り瓦斯發生器から出て來た瓦斯は硝子管で其底に導かれる。そして水蒸氣とか硫酸の粒子とか其他のものは洗ひ落されて硝子瓶の上部に集まる。夫れを上部の他の硝子管で爐中に送るのである。其時の瓦斯の壓力は簡單な水或は水銀の壓力計Cで讀まれるから其壓力は全實驗を通じて常に不變である様に發生器と硝子瓶の中間のコックaで調整される。

## 二 第二酸化鐵を水素にて還元する場合

實驗方法の精度を見る爲めには複雑なる化學的組織を有する鐵礦或は砂鐵の還元實驗を行ふ以前に先づ最簡單にして單純なる酸化鐵を以て試験的の實驗を行ふ必要がある。單純なるものを用ひて數回の實驗を繰り返す時は装置の何れに缺點があるやと謂ふ事を發見するに便利である。單純なる酸化鐵を得る爲めに先づ純粹に近き蓆酸鐵を取り是れを攝氏九百度以上で焼く時は殆ど純粹の $Fe_2O_3$ のみになるから是を試料とし用ひた。試料を第一圖の素焼皿Vに入れて爐中に垂下する前に先づ適當の電流を通じて爐の溫度を一定の溫度迄高め不變になりたる時に試料を爐中に垂下し夫れが爐の溫度と等しくなりたる時を見計ひて前きに記述した通り一定壓力の下に水素瓦斯を通過せしめる。此時を時間の原點に取り一分を經過する毎に秤の傾斜即ち鏡の傾きを尺度と望遠鏡で測定する。秤の感度は一密瓦が尺度の約一耗に相當する。

右の如き方法で第一回には爐の溫度を攝氏五百五十度に保ち試料一、〇〇三七瓦を素焼皿に入れて垂下し試料が五百五十度になつた時に前記の装置で直ちに水素を通過せしめる。此通過し始めた時を時間の原點に取り一分毎に尺度を望遠鏡で讀んだ結果は第三圖1の通りである。是等の圖は凡

圖 三 第



再還元が始まつたのであるが面白い事には其還元速度が甚遅い事である、温度の低い四百六十度の時よりも尙一層遅いのは注目す可き現象であつて特に終りに八%許りを還元するに四十分を費して遂に完全に還元する事が出来ない。全體に於て九十四、二%の還元を終つて居る。

て縦坐標が尺度の目盛りで單位は糶、横坐標が時間を分て現はす。故に此曲線の正切が還元速度に正比例する事になる。水素を通し始めてから殆ど不變の速さで還元されて行くが約二十二分を經過して還元が遅くなり遂に二十八分間で完全に還元される。即ち酸化鐵を  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  として計算すると百一%還元された事になる一パーセントの誤差は恐らく試料が完全に乾燥されて居なかつた爲めと考へられる。

次ぎに同様の方法で四百九十度に於ける還元模様を見た。夫れは第三圖 2 に示してある。此場合には全重量の七十八、四%を還元するに要した時間は二十四分、で還元が盛んである、次ぎに十三、七%を還元する時間が六分即ち全還元に四十一分を要して居る。更に尙一層低温度の還元を試験する爲めに、爐の温度を四百六十度に下げた時の試験は第三圖の 3 に示す。七十分間を要して尙完全に還元する事が出来ない。即ち四百六十度では或程度迄還元が出来て夫れ以上は還元が出来ないと云ふ事になる。重量の上で八十四、三%迄還元が出来るが夫れ以上は殆ど不可能になる。此の如き現象は還元温度の低い程甚しいのである、例へば爐の温度を更に僅か二十度下げた場合は第三圖の 4 に示す通りである。此の温度では全重量の十%を還元し得るのみであつて夫れ以上は非常に長い時間を要する。故に二十八分の後其儘爐の温度を五百三十度に迄高めた爲めに

## 三 還元狀況の想像

以上の實驗の結果から純粹に近い第二酸化鐵が水素瓦斯によりて還元せられる狀況を想像して見る事は複雑なる種々の酸化鐵其他の化合物の混合せる砂鐵の還元さるゝ狀況を研究する第一歩と考へる。併しながら吾々の推考想像する事は化學の智識を十分に取り入れる事が出来ないから主として物理的考索に片寄る恐れがある。従つて専門家の隔意なき批判論難を乞ふ者である。

先づ第一に試料の還元は如何なる方向に進むかと云ふ問題である。例へば底のある圓筒中に砂狀になつた試料を盛り是を水素瓦斯で還元する際に其還元は先づ圓筒の上部から起り漸々底部に及び擴散(デフュージョン)の速度を還元されて行く速さよりも遅いと考へて見ると此場合は試料が砂狀であらうが棒形であらうが粒狀であらうが其一つ一つの形狀に關係なく常に圓筒の横斷面積に等しい面積が還元されて行くのである。故に $v$ を以て所謂還元速度とし圓筒の内半徑(即ち試料が圓筒中に充實されて居るから試料の半徑と謂つても宜しい)を $r$ とすれば任意の時間 $t$ に於ける試料の還元された容積は

$$\pi r^2 v t$$

であつて一定の溫度と壓力に於ては速度は常數であるから還元された容積は單に時間に正比例する。而して此容積に酸化鐵中に存在する酸素の比重を乗ずれば還元された重量となる。故に先きの還元曲線は必ず直線でなければならぬ。唯素燒筒の底に近ければ還元される面積が減じて來るから曲線とならねばならぬ。然るに圖に於て唯還元溫度の高い場合にのみ還元曲線は稍直線に近いが夫れとても委しく檢すれば始めから直線になつては居ない。還元溫度の低い場合は一層能く初めから曲率が示されて居る。従つて以上の如き還元狀況の想定は不當であると謂はねばならぬ。次ぎに想像すべきは素燒筒の中へ試料が盛られて居る場合でも還元は決して上の表面からのみ始まらずして還元

瓦斯は能く内部に迄も侵徹するものと見るのである。是は恰も一塊の鑛石が其表面の何れの部分からも還元が内部に向つて進む様に酸化鐵の小粒が如何に小なりとは謂へ還元作用は其小粒の全表面から内部に向つて進むものであつて、小粒其物の位置には關係が無いと考へるのである。各の小粒は同時に各其表面から還元されるものと考へる。丁度熔鑛爐中に投入された鐵鑛の塊が還元される場合の様に、同一温度にある鑛石は凡て同様に各塊皆其表面から内部に向つて還元作用が進むものと考へるのである。語を換へれば擴散の速さを還元速度と比して大なるものと假定する。

今此想定に基いて酸化鐵の各粒が還元されて其重量の一部を失ふ狀況を計算するには計算を簡單にする爲めに粒の形狀を大體正立方體若しくは球と假定する。Rを以て正立方體の一邊の長さ若しくは球の半径とすると各粒の容積は

$$R^3 \quad \text{若しくは} \quad \frac{4}{3}\pi R^3$$

て現はされる。今 $\delta$ を酸化鐵中に存在した儘の酸素の密度とする。即ち $\delta$ は遊離酸素の密度ではなく酸化鐵の密度へ  $\frac{O_3}{Fe_2O_3} = \frac{48}{160} = \frac{3}{10}$  を乗じたものである。而して或時間の後酸化鐵が還元されて正立方體の邊若しくは球の半径が $r$ となりたりとする。されば其時に還元の爲めに失はれた重量 $q$ は

$$q = (R^3 - r^3)\delta \quad \text{若しくは} \quad q = \frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3)\delta$$

て現はされる。而して還元が完全に行はれた時の失はれる重量をQとすれば明かに

$$Q = R^3\delta \quad \text{若しくは} \quad Q = \frac{4}{3}\pi R^3\delta$$

である。故に其比を取ると何れも

$$\frac{q}{Q} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^3 \dots\dots\dots (1)$$

8 而して還元は各粒の面積の大小に依る事勿論であるから此時の表面積を考へると正立方體にありては

$$S = 6r^2 \quad \text{球の場合} \quad S = 4\pi r^2$$

である。故に還元の始まる前の面積を $S_0$ とすれば夫れ々

$$S_0 = 6R^2 \quad S_0 = 4\pi R^2$$

$$\therefore S = S_0 \left( \frac{r}{R} \right)^2 = S_0 \left( 1 - \frac{q}{Q} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (2)$$

となる。而して還元が進む方向は常に表面に垂直に進むものと考へなければならぬ。故に極めて短い時間 $t$ に酸化鐵が還元されて失ふ重量を $dq$ とし其還元層の進入する速度を $v$ とすれば

$$dq = S_0 \cdot v \cdot dt \quad \text{或は} \quad \frac{dq}{dt} = S_0 \cdot v \left( 1 - \frac{q}{Q} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (3)$$

而して式中速度 $v$ は溫度及水素瓦斯の壓力に比例するものであつて吾人の場合には兩者とも常數であるから速度 $v$ も又常數である。故に(3)式を積分すると還元によりて失はれる重量と時間の關係が出て來る。即

$$\int_0^q \frac{dq}{\left( 1 - \frac{q}{Q} \right)^{\frac{2}{3}}} = S_0 v \int_0^t dt \quad \text{或は} \quad \partial S_{\text{rel}} = 3Q \left[ 1 - \left( 1 - \frac{q}{Q} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\text{或は} \quad 1 - \left( 1 - \frac{q}{Q} \right)^{\frac{1}{3}} = \frac{\partial S_{\text{rel}}}{3Q} t \dots \dots \dots (4)$$

即ち此式は酸化鐵の各粒が各同時に其表面から内部に向つて還元されて行くものと見ての還元の見込み込む速さと時間等の關係を現はするのであるから若し酸化鐵の粒の大きさか非常に小さい時は全還元に要する時間も非常に小さい事となるのである。

實際の場合を想定すると熔鑛爐中の鑛石の如く加熱された還元瓦斯が自由に其鑛石の各塊の周



圍を吹き上る場合には(4)式を用ひて計算する事が出来るが吾々の實驗の如く非常に細粒の酸化鐵が素燒筒の中に盛られてある場合には初めに想定した場合即ち還元は其上層から始まつて漸々下層に層又層に進んで行く場合と、後の想定即ち各粒は各其表面から還元されると云ふのと兩極端の中間になくしてはならぬ。一部の還元は上層から始まり擴散(デフュージョン)によりて還元瓦斯は内部に進入し同時に各粒は其表面から還元されて行くのである。故に實驗の結果は此兩者の中間を示すのである。併し若し同じ大さの粒子を取り其還元さる比例が溫度によりて如何に變化するやを考へるには(4)式を用ひて十分である。何となれば實驗の結果から $q$ と夫れに相當する $t$ を求めて $v$ を計算し若しくは全還元時間を計算して溫度の影響を見るのであるから、上に述べた擴散の速さを取り入れた $q$ の値を實驗の上から知る故に、同じ大さの粒の比較には差支へないのである。擴散の速さは粒子の大さと壓力及び溫度によりて變化するのであるが還元速度の方が遅いと假定すれば一定の粒子に對して $t$ と $q$ の關係は溫度にのみよる事となる。従つて(4)式によりて還元速度を比較する事が出来る。

例へば第三圖の曲線1 2 3に就て還元を始めてから二十分の後即ち(4)式中の $t$ を二十分とし夫れ夫れ計算し兩者の比を取つて見ると

$$\frac{v_{450}}{v_{550}} = 0.3934$$

となる。而して此の如き還元速度は完全に還元せられる全時間を測定しても見出される。即(4)式中の $q$ を $Q$ とし $t$ を $T$ として全還元時間を現はすと

$$v = \frac{3Q}{\partial S \partial T} = \frac{3 \text{ Volume}}{\text{Surface} \cdot T} \dots\dots\dots (5)$$

9 五百五十度の場合と四百六十度の場合との完全還元の時間は第三圖の曲線3では夫れ夫れ二十八

10 分と七十分であるから(5)式は

$$\frac{0.460}{0.550} = 0.4$$

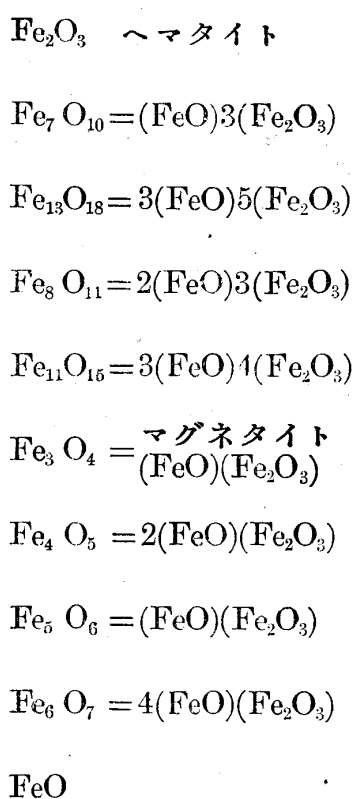
となる。即先きに述べた通り四百六十度では七十分間でも尙十分の還元が出来なかつたのであるから(4)式による計算と能く一致したものである。同様に四百九十度の場合の還元速度は(4)式から

$$\frac{0.460}{0.590} = 0.6829$$

となる。

更に第三圖の曲線4の場合に就て考へると二十八分の還元で其重量は僅々十%を還元して居る今(4)式によりて完全に還元せらる可き時間を計算すると四百七十九分四を要する事となる。而して夫れから先き五百三十度の温度でも還元速度が甚遅いのは何故であるかと云ふ事を考へて見ると次の様に説明される。元來二酸化鐵が鐵に還元せられるのに如何なる経路を取るかと謂ふに今日知られて居る酸化鐵の種類を酸素の量によつて順序に書き列べると

1



而して第二酸化鐵が還元される時には大體右の順序を経てFeOとなり遂に鐵に還元されるものと

考へるのが至當かと思はれる。重量の上で謂ふならばヘマタイトが其全酸素量の十一%を失つてマグネタイトとなると此物は還元の困難な物であるから温度を高めて五百三十度としても速度が遅かつたのであると考へられる。然らば何故に曲線1、2及び3等の場合に右の様な現象が起らないかと謂ふ疑問が起る。語を換へて謂へばヘマタイトが還元される場合に必ず一度マグネタイトとなり更に夫れが分解還元されて行くのであるから其時マグネタイトが出来た時に還元速度が遅くなるのなれば夫れが1、2及び3等の曲線の上にも現はれて來なければならぬと謂ふ疑問である。是に對しては發生機の元素が化合力が強いと同じ様に $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の中の一部の酸素が取れて $\text{Fe}_3\text{O}_4$ となり更に又夫れが $\text{Fe}_3\text{O}_4$ となつて行く場合に遂に $\text{Fe}_3\text{O}_4$ のヘマタイトが出来ても夫れは普通のヘマタイトとは異り尙未だ安定の分子配列を取る暇がないから容易に其中の一部の酸素が失はれて $\text{Fe}_2\text{O}_3$ となるのであると思はれる。然るに第三圖4の場合では四百四十度で極めて緩漫に還元されて丁度ヘマタイトが出来ても夫れが已に安定の分子配列を取つた爲めに今度は温度を高めても還元速度が比較的遅いのであると考へられる。

#### 四 砂鐵の還元

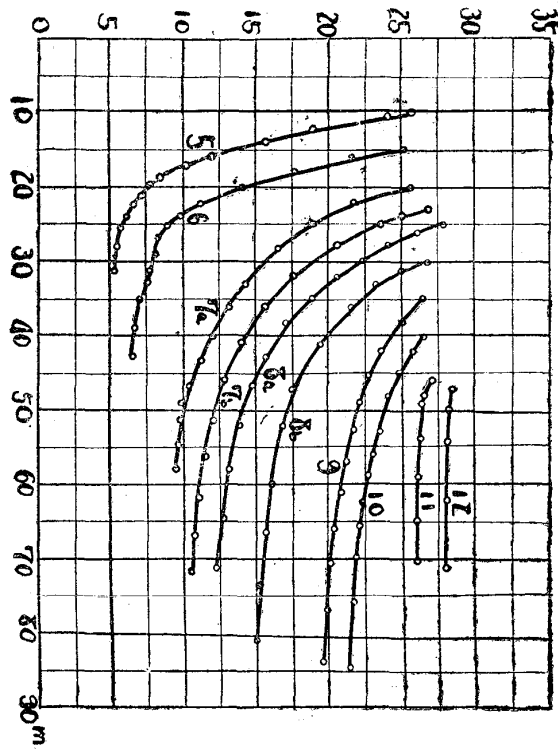
以上の實驗によりて略酸化鐵の還元狀況を考究する事が出来たから次ぎに本邦各地の産に係る砂鐵の水素による還元狀況を實驗した。A試料と名づけるのは伊豆地方の産であつてチタニウムを多量に含むものである其分析の一つの結果を參考の爲めに擧げると

砂鐵	$\text{FeO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{SiO}_2$	P.	S.
A	18.9	58.35	16.10	5.95	0.010	0.025

されば酸化鐵以外の酸化物を含有して居る爲めに勿論全部の還元は一定温度以下では不可能である。先づ初めに攝氏九百度で水素瓦斯で還元した場合を見ると曲線5に示す通りである。實驗の方法

12 は先きに述べた純粹の酸化鐵の場合と全く同一方法である。而して試料全部が第二酸化鐵であると假定して還元された割合を見ると八六・五%となる。同じ試料を八百度で還元した場合は曲線6であつて其還元量は七八・一%である。此の如く種々の温度で其還元の状態を測定した結果は凡て曲線12に迄に現はされて居る。圖中縦坐標は尺度の読み、横坐標は單位が分てある。今是等を便宜の爲め表にして見ると。

第四圖



第一表

No	温度	試料全部を第二酸化鐵としての還元量%	二十分間に還元せられたる量%
5	900°	86.5	84.5
6	800	78.1	76.1
7 <sub>a</sub>	700	61.8	58.2
7 <sub>b</sub>	700	61.8	57.2
8 <sub>a</sub>	614	60.3	55.0
8 <sub>b</sub>	614	45.3	41.3
9	550	26.1	21.2
10	500	19.7	16.9
11	450	3.4	0.42
12	400	1.1	0.21

但し表中にある全還元量は正確なものでない。尙一層長時間を費せば還元出来るのであるが非常に長時間を要するから還元現象が非常に遅くなつた時で止めてある。故に長時間を費せば尙少しは還元が出来る。併し注意すべきは純粹の酸化鐵の場合には五百度内外の温度でも完全に還元が出来るに係はらず砂鐵の場合には約二十%位より還元が出来ない。是は砂鐵中に多量のマグネタイトが

存在して居る爲めと考へられる。

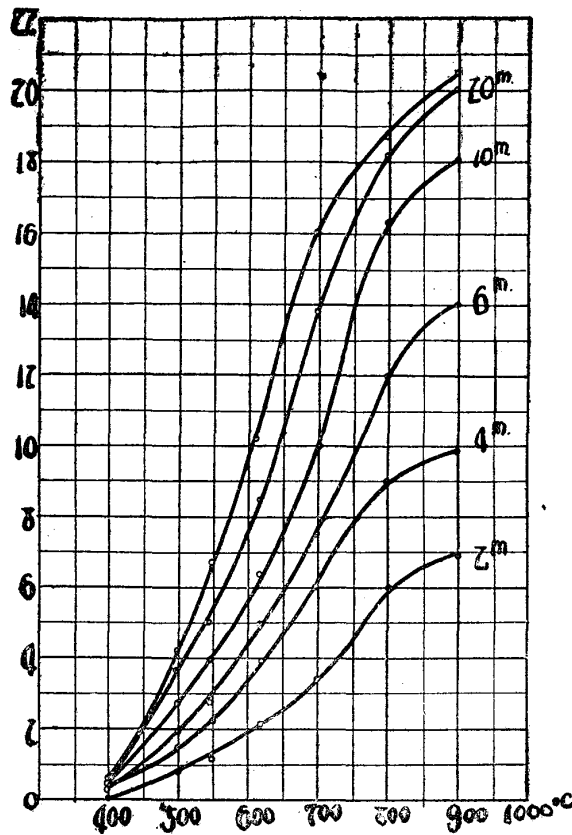
先きの(3)式を假りに用ひて九百度のときと五百五十度の時との還元速度の比を計算して見ると

$$\frac{V_{900}}{V_{550}} = 0.1384$$

となり非常の相違がある。

更に各曲線の上から同一時間に還元された重量を取り是を縦坐標とし還元温度を横坐標に取つ

第五圖



て曲線を作ると同一時間に還元される量が其時の還元温度により如何に變化するやを一見して判定することが出来る。此の意味に於て二分、四分、六分、十分及び二十分の曲線を作ると第五圖の様な曲線が得られる。即ち此曲線によりて温度の増すに従つて其還元能率が如何に増加するやを知る事が出来る。九百度以上に於ては増し方が少いが七百度附近では少し温度を増しても還元能率が著しく増加する事を證據立てるのである。従つて比較的低温度に於て長

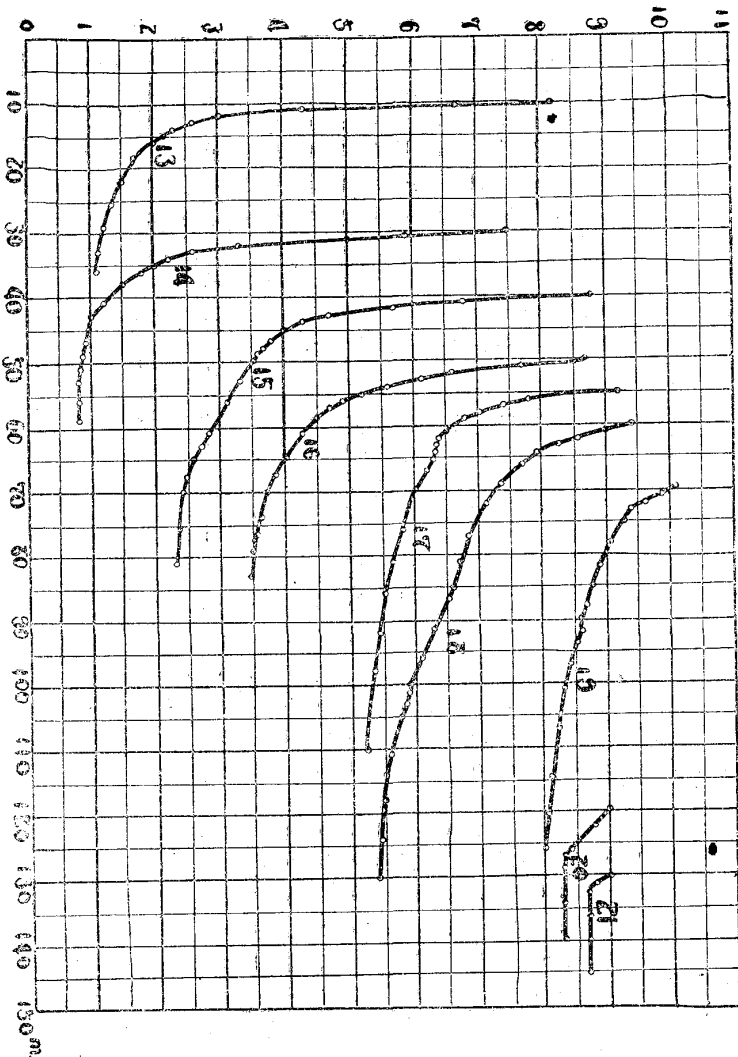
時間を要し還元する場合と、高温度に於て短時間に還元する場合と何れが燃料其他に經濟なるや等の問題をも右の如き方法を以て各鑛石に就きて比較研究し得ることと考へる。以上の研究に使用した砂鐵は工學士笠次雄君の寄贈である。

次ぎに左の如き特にチタニウムを多量に含有する砂鐵に就て實驗を試みた。

砂鐵	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	P.	S.
B	17.33	22.42	51.00	8.10	0.011	0.360

故に九百度以下の温度では還元せられる酸化物は前の實驗と比べて甚少いのである。其實験結果は第六圖の曲線13から21迄に示してある。而して前の如く試料全部が第二酸化鐵であると假定して還元せられた量と温度との關係を表にすると次の通りである。

第六圖



第二表

No.	温度	試料全部を第二酸化鐵としての還元量%
13	900	28.3
14	800	26.3
15	700	25.2
16	600	20.6
17	550	16.2
18	500	15.3
19	450	8.0
20	400	2.7
21	350	1.16

而して五圖の如く一定時間に一定温度で還元された量を曲線で現はすと第七圖の如き物が得られる。是は還元を始めてから二分、四分、六分、十分及び二十分に還元せられた量と温度との關係である。以

圖 八 第

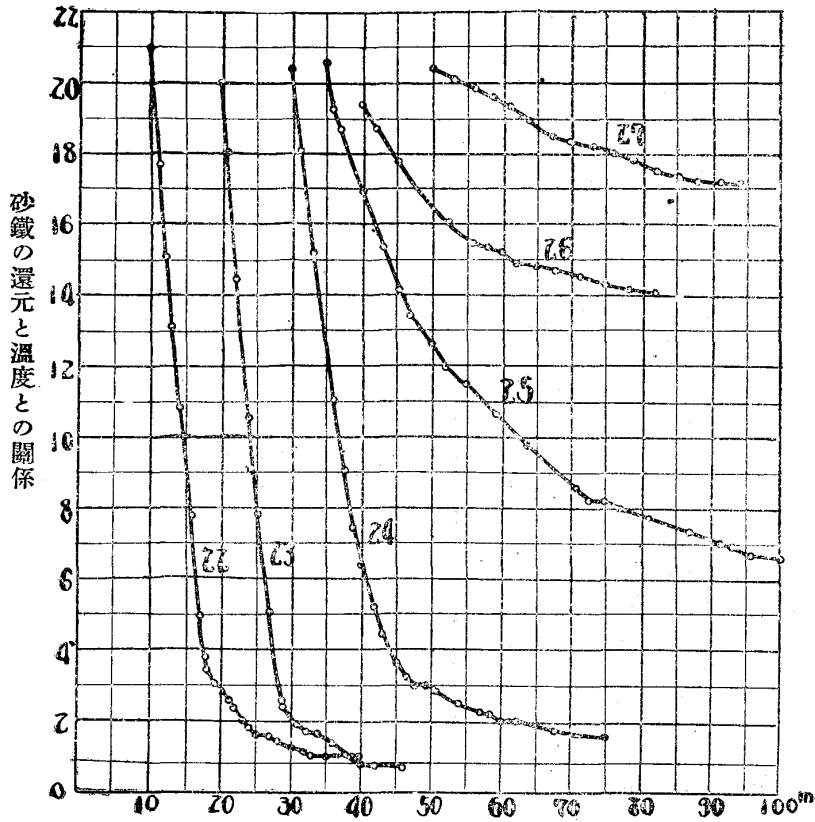
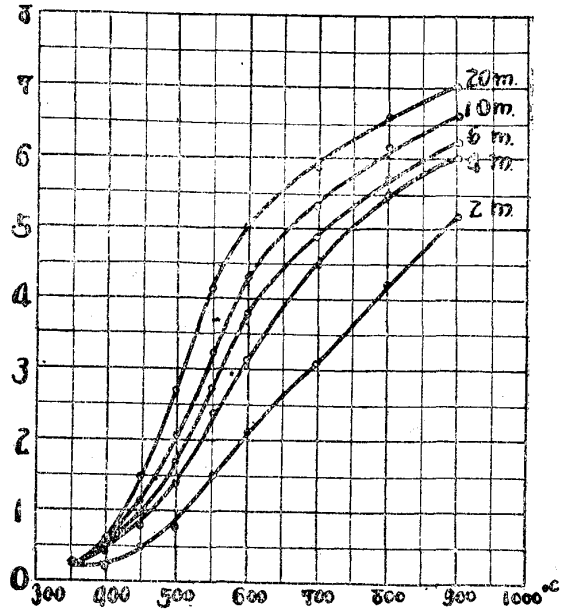
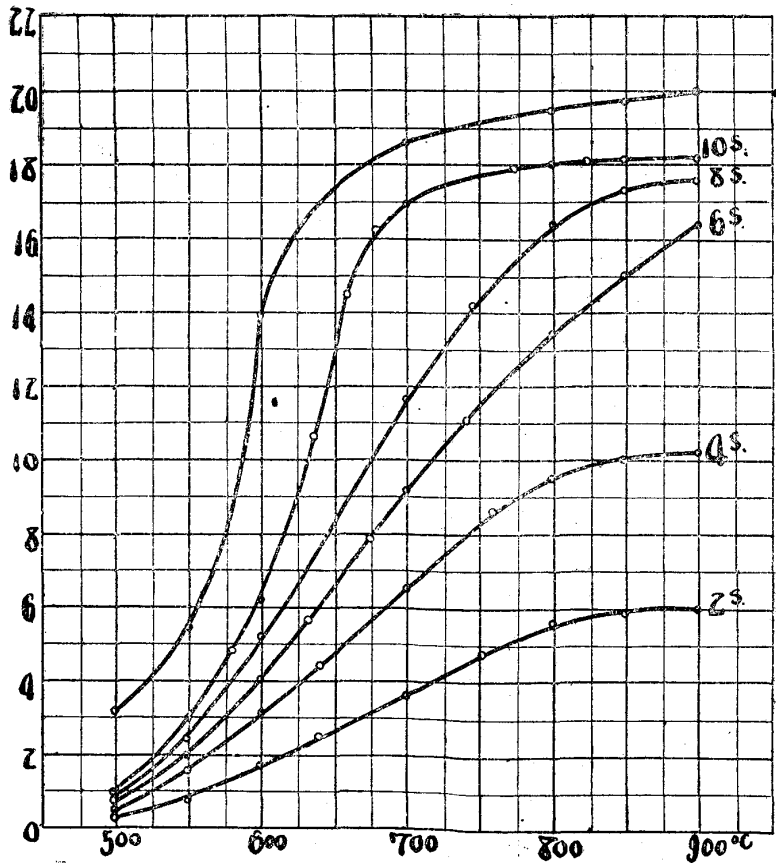


圖 第

圖 七 第



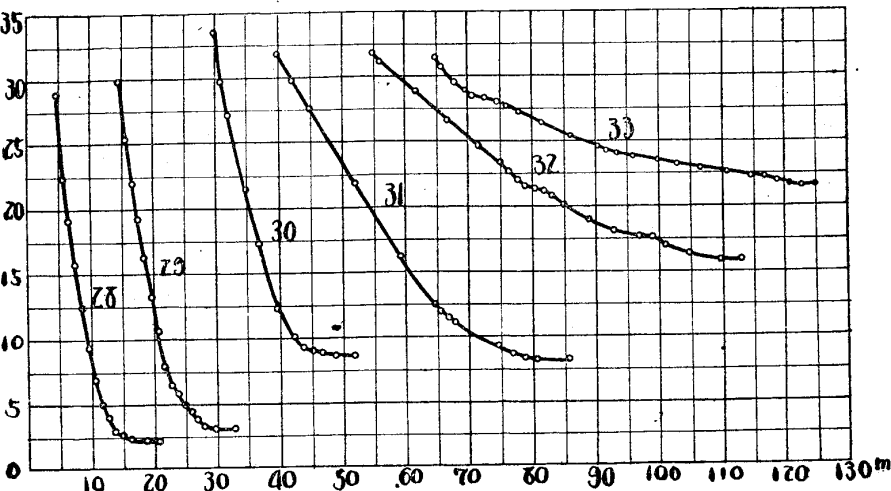
上の試験に供した砂鐵は東京帝國大學の桂教授が特にチタニウム含有量の多い砂鐵を寄贈されたものである。第三の試料は北海道の噴火灣の砂鐵であつて日本製鋼所の寄贈にかゝるものである。其實験結果は第八圖の曲線22乃至27に示してある。第九圖は一定時間に還元されたる量と溫度との關係を示すのである。



No.	溫度	試料全部を第二酸化鐵として還元量 %
22	900	78.9
23	800	76.5
24	700	73.5
25	600	55.0
26	550	22.2
27	500	12.6

次に砂鐵の代りに褐鐵鑛に就て實驗した。此褐鐵鑛は長野縣諏訪郡北山村の産て泥炭の如き相を呈して居る。故に容易に粉末にすることが出来るから砂鐵の様に粉末にして實驗した。原料は凡て内藤燃料研究所工學士内藤游君の寄贈になるものである。同所の分析結果は次の如きものである。

北山村 褐鐵鑛	水分	Fe.	S.	P.
1	20.6	51.24	1.94	1.025
2	20.49	52.42	0.28	1.284
3	19.52	52.42	0.39	0.690



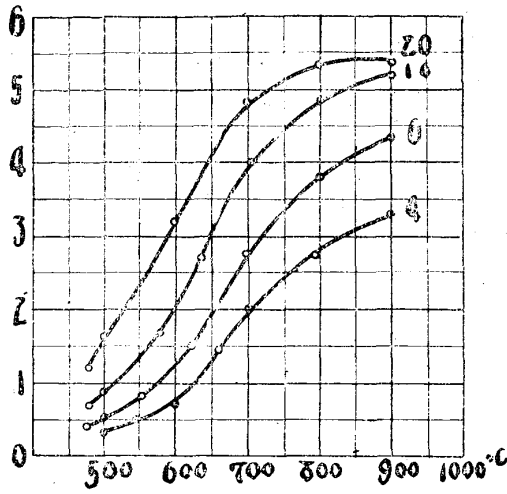
此試料を前述の如き方法で水素瓦斯を用ひて還元した結果は第十圖の曲線28乃至33に示してある。此結果から見ると前記三種の砂鐵と比べて其還元速度が極めて早い。即ち還元が容易なことが其特徴である。同時に低溫度でも能く還元される。前の如く試料全部を第二酸化鐵と假定して計算して見ると。



第四表

No.	溫度	試料全部を第二酸化鐵としての還元量%
28	900	98.6
29	800	98.6
30	700	9.20
31	600	86.7
32	500	59.5
33	480	36.2

第十圖



但し試料は全部空氣中にて九百度に永く加熱して水分等は悉く發散せしめたものである。更に一定時間に還元された量と溫度の關係を見ると第十圖が得られる。

### 五 結 論

以上の研究は鐵の酸化物が還元される場合の一小部分の研究に過ぎないが今後此現象を一層科學的に研究して遂に最經濟的なる方法を見出す順序の一步である事と信ずるのである。何となれば從來の方法が直ちに鐵鑛石其物に就て實驗を行ひ來つた爲めに其結果から大體を總合する上に於て困難の場合が多かつたと信ずるのである。鐵鑛其物が複雑な物であるから唯簡單の還元現象が起る場合にも甲のものが先づ還元されて乙に及ぼしたか或は甲、乙、丙、丁等の酸化物が同時に還元されたのであるか全く混雜して仕舞ふのである。故に先づ純粹の第一酸化鐵若しくは第二酸化鐵或は其他の水酸化物等に就て夫れが還元せられる狀況を尙一層組織的に分解的に攻究せなければならぬと考へる。而して各種の還元劑によりて實驗する必要がある。即ち一酸化炭素、木炭、コークス或は其他の瓦斯によりて還元される狀況を尙委しく吟味する必要がある。實際此方面に於ける吾人の知識は尙極めて漠然たる様に思はれる。

一酸化炭素による還元狀況の研究は特に必要と考へて著者等は同じ装置を用ひて實驗をした。併し此有毒瓦斯を處置する適當の設備を缺く爲めに徹底的の研究が試みられずに終つたのは甚残念である。尙又燈火用瓦斯を用ひても其還元作用を實驗したが温度の高くなるに従つて分解し炭素が素燒管に附着する爲めに試料の重量は反つて増すかの如き現象を呈し此熱秤の装置では完全の研究が出来なかつたのである。

試料を粉末狀態でなく是を適當の形に固めて實驗することも必要と考へる。而して此場合にも其還元速度は(4)式或は(5)式によりて計算する事が出来る。特に此の如き場合には試料の初めの表面と容積を正しく知る事が出来るから甚便利である。

要するに如何なる方法によりて鐵鑛を最少き費用で還元し其還元された物を熔解するかを研究するのは一面に於て其物理的研究と相待て爐の構造の研究が必要である。吾人は今日の熔鑛爐に何時迄も満足して子々孫々に遵奉す可きや鐵を得る爲めの熔鑛爐にありて今日は已に鐵其物が副産物であるかの如き觀を呈したと謂ふ事は、一面に於ては熔鑛爐から出る瓦斯其他の利用法の研究進歩であつて今日の工業に對する科學の大なる貢獻であり、大改良であること申す迄もないが更に根本に溯つて考へるならば製鐵法其物の大なる缺陷ではあるまいか。鐵を得る爲めに他の物質を多量に生産する事を餘儀なくされつゝあるのである。鐵を得んとするに當りて鐵其物が副産物であると謂ふ事は慥に熔鑛爐による製鐵法の根本に缺陷があり、無駄があることを語るものである。電氣製鐵法にしても或はスポンヂ鐵式の製鐵法にしても還元現象の科學的研究は今日極めて必要であると信ずるのである。

以上の研究に要した材料の寄贈家に對し爰に其厚意を謝し同時に此研究は理化學研究所の仕事の一部として爲されたものであることを附記する。(大正八年八月造兵學實驗室に於て)