

鐵鑛の還元に就て (其一)

嘉村平八

目次

緒言

第一節 實際的に使用し得べき還元劑

第二節 還元作用に於ける化學平衡

一、鐵、酸素及炭素間に於ける化學平衡

二、炭素、二酸化炭素及び一酸化炭素の間に於ける化學

平衡

第三節 還元に適當なる溫度

第四節 還元試験

一、忠州鐵鑛

二、大平鐵鑛

三、久慈砂鐵

四、輪西砂鐵

五、山東鐵鑛

六、大冶鐵鑛

七、桃沖鐵鑛

八、利原赤鐵鑛

九、佐比内磁鐵鑛

第五節 鑛石の種類に依る還元速度の比較

第六節 鑛石の大きさと還元速度の關係

第七節 還元鐵の熔解

第八節 研究の結果に對する結論

緒言

二十餘年前初めて電氣爐に依り鐵鑛より直に製鐵を行はんとする方法の試みられて以來、歐米各國に於ては此等の大規模なる研究行はれ天然の水力豊富なる瑞典に於ては終に電氣

鑛鑛爐の完成を見るに至れり。

然るに此の電氣鑛鑛爐の發達が單に瑞典のみに限られたる根本的理由は、決して技術上の問題に非ずして、此の方法に依り製造せる銑鐵の生産費がコークス又は木炭を使用せる普通鑛鑛爐に於て製造せる銑鐵に比し極めて高價なる爲めなり、著者は先年瑞典に於ける電氣鑛鑛事業を視察せしに、其の操業せる十數基の電氣鑛鑛爐は、斯かる特種の狀況にある同國に於ても極めて電力の低廉なる特種の地方に限られたるの感ありき。

電氣鑛鑛爐に於ける生産費の主要なるものは原料鑛石還元に必要な燃料還元並に熔解に必要な熱を供給する電力其他電極勞金及び間接費等にして此等の費用中電力費は其の主要なる部分を占む、今假に銑鐵一噸の製造に必要な電力を二、五〇〇キロワット時間とすれば、本邦に於て電力の最も安價なりとせらるゝ地方に於ても尙一キロワット時間の電力の値は、七厘を下らざるが故に最低其の必要な電力費は、既に一七圓五〇錢となる、況んや本邦に於て現今一キロワット時間一錢以下の電力を得る事は極めて困難なるが故に到底電氣鑛鑛爐に依て製鐵事業の經濟的なる經營は望むべからず。

然るに電氣鑛鑛爐内に於ける熱量消費の狀況を見るに、其

の大部分の熱量は鑛石中の酸化鐵を金屬鐵の状態に還元するに使用せられ、爐頂より出づる瓦斯中には尙極めて多量の一酸化炭素を含有し此の電氣鎔鑛爐瓦斯の有するポテンシャルエナージーは殆ど爐内に於て消費せらるゝ電力の量に相當するが故に、此の瑞典式電氣鎔鑛爐に於ては爐の能率増進の目的を以て爐頂瓦斯を爐の熔解面上に循環せしむるも僅かに使用還元劑の少量なる減少を見るに止まる。

然るに鐵鑛は比較的低温度に於て還元せらるゝ、即ち鐵鑛又は銑鐵の熔融温度よりも遙かに低温度にして金屬状態に還元せらるゝ事は既に衆知の事實なり、著者は多年鐵鑛を固形燃料若しくは瓦斯に依て低温度に於て還元を行ひ所謂「スポンジ」鐵を製造し、酸化する事なく直に電氣爐に依て熔解を行ひ鐵又は鋼を製造するに於ては、製鍊上に於て熱量の消費最も大なる還元作業に於ては、普通の瓦斯又は石炭を燃料として使用する事を得、而して熔解作業に要する電力は電氣鎔鑛爐に於ける消費量に比して極めて僅少にて理論上足るべきが故に經濟的に成功の可能性あるべきを思ひ本研究を企て還元作業に於ける基礎的研究を終へたるが故に、茲に其の概要を發表し先輩諸氏の助言を仰がんとするものなり。

直接鑛石より鐵又は鋼を製造せんとする方法は、數十年以前に於て既に歐米諸國に於て多くの人々に依て試みられ、其の目的とする所は鎔鑛爐に於て銑鐵を作り更に銑鐵よりベツセマー法又はシーメンスマルチン法等に依り鋼を製造する方法よりも其の方法を簡單ならしめ一層經濟的なる製鍊法ならしめんとせり、佛蘭西のセノー(Chenof)獨逸のクルト(Gurtl)米國のブレイヤー(Blair)等の諸氏は以上の目的に對し種々

の方法を考案せしも實際的に應用せらるゝに至らず最近又佛蘭西のバッセー(Basset)英吉利のバウルウッド(Bourwood)法等あるも何れも未だ經濟的に成功するに至らず識者はダイレクトプロセスの到底經濟的に成功の不可能なるを説くものあり。

著者は是等の從來の研究者が、未だ冶金學上充分明かならざる基本的の學理の確立する能はず唯暗中摸索的なる方法を以てし、理論的の基礎に依り經濟上に於ける二つの方法を充分比較研究する能はざりしに鑑み、先づ其の基礎的研究を行ひ其の結果の如何に依り更に其の工業的方法の研究に歩を進めんとするものなり。

第一節 實際的に使用し得べき還元劑

鐵鑛の還元に於て還元劑として使用し得べきものを舉ぐれば、木炭、コークス又は石炭の如き固體還元劑若しくは水素、メタン、一酸化炭素等の如き、瓦斯還元劑なり。

木炭又は石炭を還元劑とし粉末鐵鑛と共に混合し坩堝中に還元を行ふときは、攝氏七五〇度の温度に於て既に鐵は金屬状態に還元せらるゝも其の反應は極めて緩慢にして八五〇度以上の温度に至れば著しく還元作用を速進し、約三時間にして約八〇%の還元率を得べし、然れども此等の固形還元劑を使用せる場合に於ては普通統一的の結果を得ること極めて困難にして満足なる還元作用を起さしむる爲めには、少くとも鑛石は一時に付三〇眼以下に粉碎するを要し、攝氏一、〇〇〇度以上の温度を必要とするが如し。瓦斯還元劑に於て最も還元力の大なるは水素(鐵と鋼第九年第十號著者稿水素に依る鐵鑛の還元に就て参照)にして一時に付二〇眼以内の

鑛粒に對しては攝氏六〇〇度の溫度に於て僅に一時間以内に於て殆ど完全なる還元を行ふを得べし。

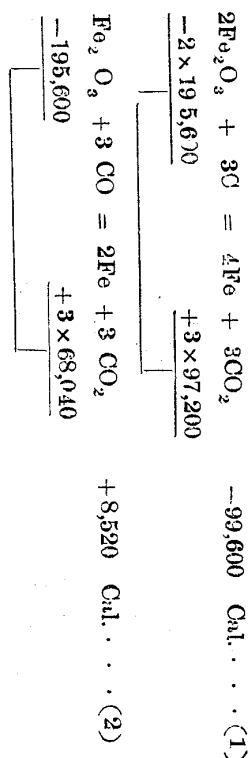
メタン CH_4 の還元力は水素に比し著しく弱く而して攝氏七〇〇度の溫度に至れば、メタン瓦斯は分解作用を起すが故に、満足なる鐵鑛の還元作用を行ふ能はず。

然るに一酸化炭素に於ては水素の如く低溫度に於て迅速なる還元作用をなす能はざるも攝氏一〇〇〇度以下の溫度に於て容易に満足なる還元を行ひ得べきは本研究の結果に依て明かなり。

還元作用に於て固體還元劑と瓦斯還元劑との還元力を比較するに、還元劑が固體なる場合に於ては其の還元作用は、僅に鑛石と還元劑との接觸部に於てのみ行はるゝが故に鑛石粉碎の度合還元劑と鑛石の混合状態は還元作用に大なる影響を及ぼし鑛石粉末の度小にして還元劑との混合充分なる程、還元をして充分ならしむるを得べし、之に反し瓦斯還元劑の場合に於ては瓦斯と鑛石との接觸部に於て強烈なる還元作用の起ることは勿論にして、殊に固體內に瓦斯の滲透する作用は烈しきものなるが故に、固體還元劑の場合に於けるが如く鑛粒の大きさに大なる制限を受くる事なく瓦斯の滲透作用可能なる範圍内に於て鑛粒の大なるものを使用し得べし。固體還元劑を使用し鐵鑛の還元を行へる例は瑞典ホガナス (Höganas) に於ける Höganas-Billesholms に於ては Suerin Process と稱し鐵鑛のコンセントレイトを石炭と共に坩堝中に於て赤熱し還元を行ひ所謂スポンジ鐵を製出せり、然れども斯かる方法に依ては到底大量生産的の操業をなすことは不可能なるべし、工業的に近代式の大量生産主義の操業を行ふには必ず連

續的方法に依るを要するが故に、此の目的に於て瓦斯還元劑は固體還元劑に比し優り且つ燃料中の不純物の還元鐵中に入る事なき點に於て極めて優越なるものなり。

此等の瓦斯還元劑に於て其の還元力に於て水素は最も優秀なるも其の製造又は使用に對し幾多の困難を伴ふ、又コークス製造に於ける副産物として生ずる瓦斯又はタウン瓦斯の如きは、其の還元力に於て充分ならず本目的に對しては一酸化炭素を以て最も實際的に使用の可能性あるものと思惟するが故に、主として一酸化炭素に依る鐵鑛還元の研究を行へり。今還元作用に於ける炭素に依る直接還元と、一酸化炭素に依る還元とを比較せんに、此の二つの反應は次の如き化學方程式を以て現はすを得べし。

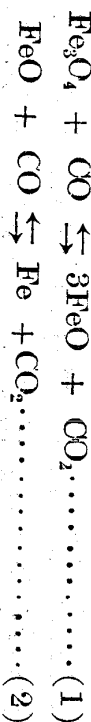


右の二つの反應に於て必要なる熱量の大小は、其の還元溫度の高低を意味するものと思惟するを得べし、即ち(1)式に於ては一瓦分子の還元鐵に對し二四、九〇〇カロリーの熱量を要し、(2)に於ては却て四、二六〇カロリーの發熱量あり、勿論此の常溫に於ける右の反應熱に依て實際反應を起すべき高溫度に於ける反應熱を推定するは不合理なるも大略其の比較を行ふは妨げなかるべし、即ち(2)の反應は(1)に比し低溫度に於て行はるゝものと思惟するを得べし、換言すれば一酸化炭素の酸化鐵に對する還元作用は炭素の還元作用に比し容易な

第二節 還元作用に於ける化學平衡

一、鐵、酸素及び炭素間に於ける化學平衡

鐵鑛即ち酸化鐵を炭素又は一酸化炭素に依り還元を行ふ場合に於て最も重要なものは其の反應に於ける状態を物理化學的に考ふる事にして還元作用に於て發生する瓦斯は常に一酸化炭素と二酸化炭素との混合せる者にして完全に二酸化炭素に變ずる事は不可能なり鑛鑛爐瓦斯中に於て此の二つの割合が常に $\frac{CO}{CO_2} = \frac{1}{2}$ 以下の割合なる理由は鐵、酸素及び炭素間に於ける化學平衡に依て明かにするを得べし。ポアウル (Baur) 及びグラエスネル (Glaessner) の二氏は攝氏三五〇度より九〇〇度に至る次の二つの化學平衡を決定し又シエンク (Schenk) 氏は此の二つの反應に就て攝氏五五〇度—七〇〇度の間に於ける平衡を研究し又最近京都大學松原教授は一層高温度に於ける平衡を研究せり。



即ち普通製鐵に使用せらるる鐵鑛は Fe_2O_3 又は Fe_3O_4 の形にて存在するが故に其の還元作用に於て Fe_2O_3 は先づ Fe_3O_4 となり更に FeO となり、 FeO は金屬鐵に還元せられ三段の化學變化を生ずるものと考えざるを得べし、故に上の二つの化學平衡の外 $3Fe_2O_3 + CO \rightleftharpoons 2Fe_3O_4 + CO_2$ なる平衡の存在すべきも其の化學平衡は未だ決定せられたるものなきが如し、鐵鑛還元に於て以上の平衡に於ける CO 及び CO_2 の割合は極めて重要な事にして前の化學式(1)及び(2)の平衡に於て各温度に於ける CO 及び CO_2 の割合を示せば次の如し。

$Fe_2O_3 + FeO$ の平衡に於ける CO 及び CO_2

温度	CO	CO_2
六二七	四三、五	五六、五
六六二	三九、七	六〇、三
七二〇	三五、二	六四、八
八六三	二五、五	七四、五
九六三	二〇、四	七九、六
一〇七〇	一六、四	八三、六
一一七五	一五、二	八四、八

$FeO + Fe$ の平衡に於ける CO 及び CO_2

温度	CO	CO_2
五六一	五三、六	四六、四
六二七	五七、〇	四三、〇
六六二	五八、四	四一、六
七二〇	六〇、七	三九、三
八六三	六五、九	三四、一
九六三	六九、二	三〇、八
一〇七〇	七二、四	二七、六
一一七五	七五、五	二四、五

二、炭素、二酸化炭素及び一酸化炭素の間に於ける化學平衡

次に二酸化炭素は赤熱せる炭素に接するときは一酸化炭素に還元せらる、又此の一酸化炭素は温度低下すれば炭素及び二酸化炭素に解離を起し次の如き化學平衡存在す、鐵又はニッケル等の如き酸化物が觸媒として作用するときは一層其解離の速度を早むるものなり。



ポアウドウアー氏は攝氏六五〇、八〇〇、九二五度の各温度に於ける右の化學平衡を測定せしに次の如き結果を得たり。

温度(攝氏) 六五〇度 八〇〇度 九二五度
 CO₂% 六一 七 四
 CO% 三九 九三 九六

以上の實驗結果に依れば(3)に於ける化學平衡は、次の如き式を以てあらはすを得べし。

$$\frac{2100}{T} + \log p + \log \frac{O_1}{O_2} = 21.4$$

F. 絶對温度 P. CO 及び CO₂ の合計壓力
 O₁O₂ ... CO₂ 及び CO の瓦斯中に於ける割合

右の式に依て計算せる平衡状態に於ける CO 及び CO₂ の割合は次の如し。

温度(攝氏)	CO ₂ %	CO%
四四六	九八	二
四九五	九五	五
五三八	九〇	一〇
五八八	八〇	二〇
六五一	六〇	四〇
六七八	五〇	五〇
七〇三	四〇	六〇
七三一	三〇	七〇
七四七	二五	七五
七六四	二〇	八〇
七八六	一五	八五
八一四	一〇	九〇
八三四	七、五	九二、五
八六一	五、〇	九五、〇
八七七	四	九六
八九七	三	九七
九二五	二	九八
九七七	一	九九
一〇三〇	〇、五	九九、五

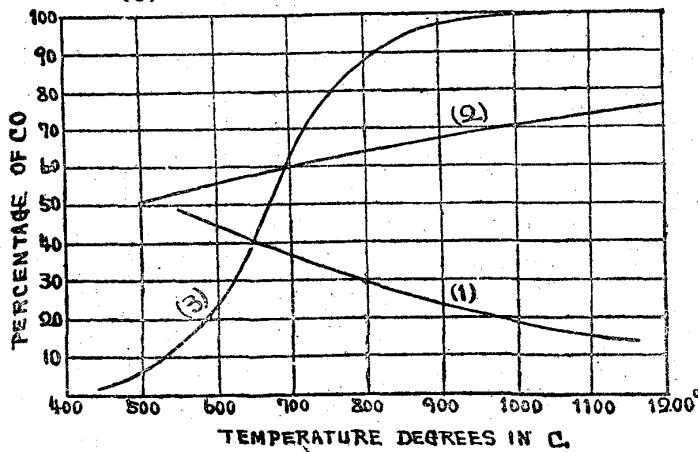
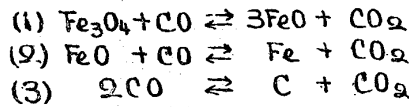
鐵鏡の還元就て

又リード及びホイラーの二氏は一層正確なる實驗を行ひ高温に於ける平衡を測定せしに次の如き結果を得たり。

温度(攝氏)	CO ₂ %	CO%
八五〇	六、二三	九三、七七
九〇〇	二、二二	九七、八八
九五〇	一、三二	九八、六八
一〇〇〇	〇、五九	九九、四一
一〇五〇	〇、三七	九九、六三
一一〇〇	〇、一五	九九、八五
一二〇〇	〇、〇六	九九、九四

第一圖

FIG. 1. CHEMICAL EQUILIBRIUM CURVES.



今(1)、(2)及び(3)式に於ける化學平衡に於て、各温度に對する CO 割合を曲線に依て示せば第一圖に於けるが如し。

即ち(1)及び(3)に於ける平衡曲線は攝氏六五五度に於て交叉せるが故に攝氏六五五度に於て瓦斯相に於ける FeO の割合を絶えず四〇、五%以上に保つときは Fe_2O_3 は完全に FeO の形に還元するを得べく、温度の高まるに従ひ曲線に依て明かなるが如く FeO の割合は低下するも還元するを得べし。

又(2)及び(3)の曲線は約攝氏七〇〇度に於て交叉せるが故に、此の温度に於て瓦斯相に於ける FeO の割合を六〇%以上に保つ時は FeO より金屬鐵への還元進行し温度の高まるに従ひ FeO の割合を増加するを要す、即ち攝氏七〇〇度以上の温度に至れば瓦斯相中の FeO の割合を(2)なる曲線に示せるが如き適當なる割合に保つときは完全に金屬鐵の状態に還元を行ひ得るを知るべし。

第三節 還元に適當なる温度

前節に於て述べたる鐵鑛の還元作用に於ける化學平衡に依れば、攝氏七〇〇度以上の温度に於て、瓦斯中に於ける FeO の割合を平衡曲線に現はれたる割合以上に保つときは酸化鐵は一酸化炭素に依り還元せらるべきも、凡そ化學平衡に於て吾人は其の平衡點に達するに要する時間即ち其の反應速度を考へず、然るに此等の反應が實際に應用せらるゝ場合に於ては、其の反應速度を考ふる事は極めて肝要なり、以上の如き低温度に於て鑛石より金屬鐵を還元し得るとするも其の還元極めて長時間を要するが如き場合には實際的に應用する事不可能なるが故に、適當なる時間内に於て完全なる還元を行はしむるに適當なる温度を實驗的に決定するは本問題の研究に於て最も重要な事なり。

故に一酸化炭素に依る鐵鑛の還元に於て適當なる温度を先

づ決定すべく次の如き成分を有する米國ミネソタ州メサビ鐵鑛に就て還元試験を行へり。

Fe Fe_2O_3 Al_2O_3 P_2O_5
 六四、四八 四、五六 〇、六八 〇、〇五九%

鑛石の大きは一時に付三〇—五〇眼にして〇、五瓦又は一、〇瓦の試料に就き純粹なる FeO 瓦斯を以て還元を行へり試験 NO_1 及び NO_2 に於ては攝氏五五〇度の温度に於て一、〇〇立方糶の FeO を通過せしに還元後の瓦斯中に於ける FeO の割合は三〇—四〇%にして冷却後の試料を取り出せしに表面に多量の粉狀炭素の附着せるを見たり、之れ前章に於て述べたるが如く $\text{NO}_1 + \text{O} + \text{FeO}$ なる反應に依り FeO 瓦斯の解離の結果なるべし、 NO_2 に於ては試料一瓦を取り攝氏六〇〇度に於て六〇〇立方糶の FeO を通過し各一〇〇立方糶毎に瓦斯の分析を行ひしに最初の FeO 立方糶中に於ける FeO の割合は三八、二%にして最後に於ては二九、〇%に低下し試験後の試料は表面炭素の沈着せるを見其の重量の減少は僅に〇、〇三三六瓦なりしを以て酸化鐵が或る程度に還元せられたる後前と同様に FeO の解離作用起り還元後の瓦斯中に於ける FeO の大部分は FeO の解離に依て生ぜるものなる事を知るべし、尙炭素の沈着が試料の表面のみに限られたるは此の FeO の解離に對して酸化鐵が觸媒作用をなす爲めなる事を知るべし、次に金屬鐵の状態に満足なる還元を得るには尙一層高温度を要する事を知り得たるが故に次の表に示せるが如く漸次高温度に於て還元を行へり。

第一表

試験 番號	試料 溫度	使用 CO の容量	重量の減少 より計算せ る還元率%	CO より 計算せる還 元率%	還元瓦斯中の CO %	開始時	終時
八	1.0	700	1011	64.2	63	44.4	164
一一	0.5	750	1131	87.6	85	50.0	141.5
一四	0.5	800	1010	85.9	87	37.5	76
一六	0.5	850	1000	92.5	90	37.0	40.0
一七	0.5	900	1100	96.3	96	33.1	46.6
一八	0.5	950	1090	95.7	94	30.0	9.1

右實驗の方法は試料を素燒製ポット中に取りニクロム線電氣抵抗爐内に於ける燃燒管中に入れ所要の溫度に達するに及び約一〇〇〇°C.の CO を導き數分間の後此の瓦斯をユデオメーター中に採取し同時に燃燒管の他の一端よりアスピレーター中に蓄へたる CO が入る様にす此の作業を數回繰返し其の都度採取瓦斯の分析を行へり表中に於て減少せる重量より計算せる還元率及び還元後の瓦斯中に於ける CO の量より計算せる還元率は略ぼ一致せり還元溫度は攝氏六〇〇度より九〇〇度に及べるが溫度低き場合に於ては或る程度の還元行はるれば以後還元の進行極めて緩漫にして還元の度合は溫度の高まるに従ひ増加し攝氏九〇〇度に取りれば殆ど一〇〇%還元率に達し之れより低き溫度に於ては充分なる還元度合に達する能はざりき。

第四節 還元試驗

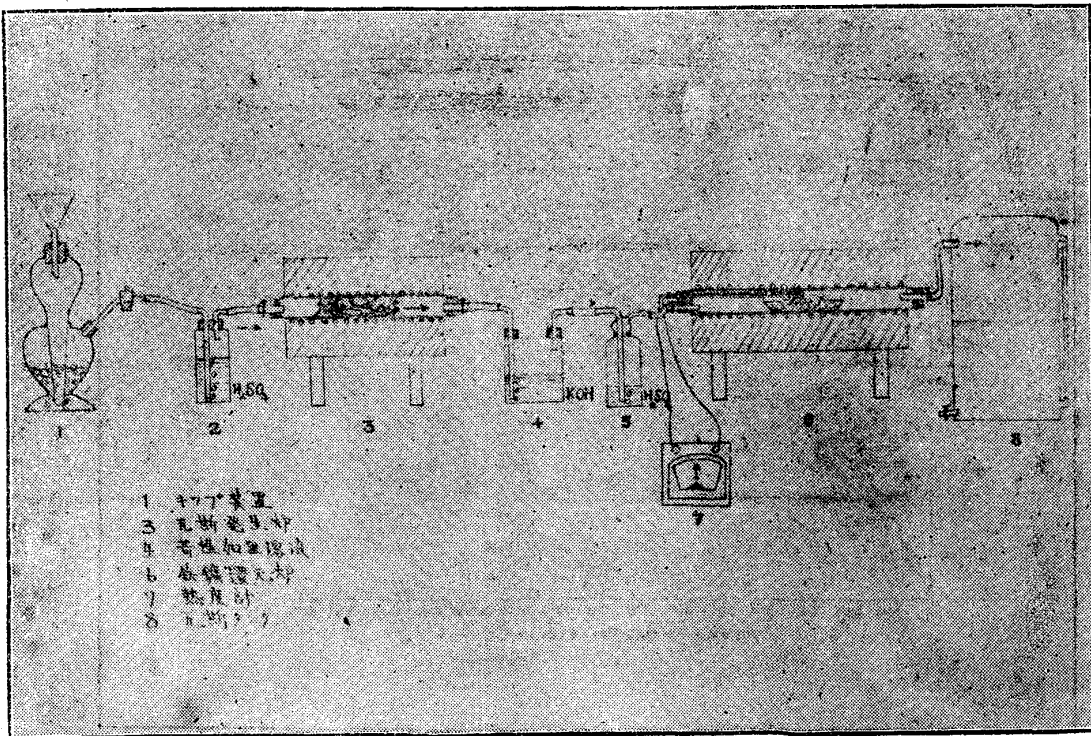
以上の實驗に依て略ぼ還元に適當なる溫度を決定し得たるが故に更に進んで試験試料の重量を増加し以下記述せるが如き種々の鑛石に對し大正十一年七月より明治専門學校研究室

鐵鑛の還元就て

に於て鐵鑛還元に関する研究を繼續せり。

試験装置は第二圖に示せるが如くにして、(3)及び(6)は約攝

第二圖



氏一〇〇〇度を得らるゝニクロム線電氣抵抗爐にして、還元

用一酸化炭素の製法は、先づキップ装置(1)中にて石灰石に鹽酸を注ぎ炭酸瓦斯を發生し、硫酸(2)を通過せしめCO₂中の水分を除去したる後、爐(3)の磁製素燒管中に充填せる赤熱せる木炭中を通過せしむるが故に大部分の炭酸瓦斯は一酸化炭素に變化せらるゝも尙少量のCO₂を含有するが故に、苛性加里(4)の溶液中を通過し含有せるCO₂を吸収せしめ再び硫酸を通過せしめ乾燥後還元を使用する様にせり、爐内の溫度は燃燒管の一端より突き込みたる石英硝子管中の白金、ロヂエームサーモカップル及び高溫度計(7)に依て測定し、還元後の瓦斯は瓦斯採取器(8)に導き時々此の還元瓦斯の分析を行ひ還元作用の進行状態を知る様にせり。

一、忠州鐵鑛

試料

還元試験に用ひたる鑛石は何れも粉末にして一時に付一〇—二〇眼、二〇—三〇眼及び三〇—五〇眼の三種の大きさのものに就て行ひ各試料の分析を示せば次の如し。

鑛粒 (Fe付)	SiO ₂	Fe ₂ us	Fe ₂ ns	Total Fe	CaO	S	P	Mn	Al ₂ O ₃
10—10	10.79	11.86	4.53	6.10	0.101	0.014	0.006	0.13	0.76
20—20	9.6	13.66	4.84	6.50	0.136	0.031	0.006	0.17	0.68
30—30	9.4	12.3	5.67	6.60	0.136	0.031	0.006	0.13	0.68

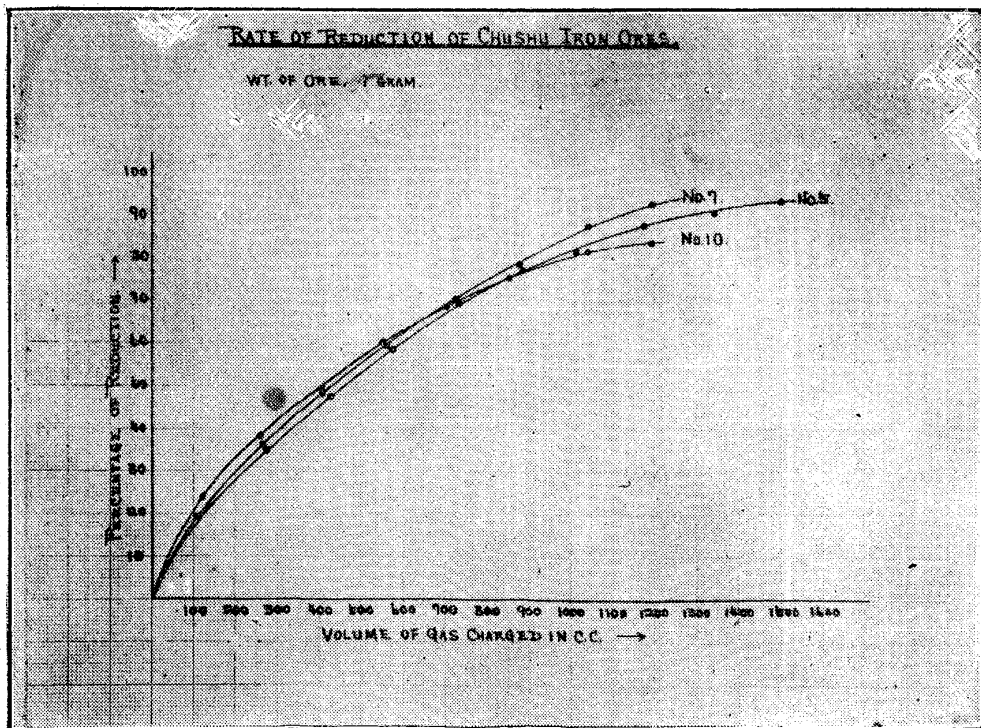
即ち含有鐵分は大部分 Fe₂O₃の形にて存在する所謂磁鐵鑛を含有する赤鐵鑛 (Magnetic hematite) に屬するものなり。

還元成績

還元溫度は何れも攝氏九〇〇度とし一時乃至三時間の時間を費せり、還元速度及び鑛粒の相違に依る還元難易を見る積なりしも或る還元の場合に到達するには一定量の瓦斯を

必要とするが故に先づ供給瓦斯の速度を一定にし各實驗の結果を比較する事必要なるも斯かる装置を施す事頗る困難にして、目的の如き正確なる結果を得る能はざりき。實驗の結果

第三圖



を總合するに必要量の還元瓦斯を通過するに二時間以内にては充分なる還元割合に達する能はず、又鑛粒の相違が還元速度に及ぼす影響は本試験に使用せるが如き僅少なる差のも

のに於ては、殆ど何等の相違を認むる能はず、第三圖に示せる曲線は時に付き一〇—二〇眼及び二〇—三〇眼試料の還元速度を比較せるものにして其の相違は鑛粒の大小に非ずして主として供給瓦斯の容量に關係せるを知るべし、各供給瓦斯の容量に對する還元の度合は次の表に示せるが如し。

第二表

試験番號	時 間	二	三	四	五	七	九	一〇
還元瓦斯の使用量CC	1,107	1,077	1,070	1,300	1,196	1,396	1,143	1,143
還元の度合	八二、二	四八、二	九四、二	八九、一	九二、九	七九、九	八三、五	

以上は試料一瓦に對する試験にして、右の表に於ける結果に依て明かなるが如く充分なる還元の度合に達するには、鑛石一瓦に對し一、二〇〇CC以上の〇〇瓦斯を通ずる事必要にして、前節に於て述べたるメサピ赤鐵鑛含有鐵分六四、〇%のものを使用し九〇〇度の溫度に於て一、三〇〇CCの〇〇を要せると其の結果に於て略ぼ一致す、次に試験第一六に於ては、時に付一〇—二〇眼の忠州鐵鑛一〇瓦を取り瓦斯の容量を測定する事なく二時間二〇分に亘る還元を行ひしに次の如き結果を得たり。

第三表

時 間	還元開始時	二五分	五分	廿分	二五分	一五分	一四〇分後
還元後瓦斯中に於ける〇〇% 還元後瓦斯中に於ける〇〇%	六八、八	五〇、〇	三三、六	二九、二	二二、二	二〇、八	一〇、〇
還元後五中に於ける〇〇%	一四、八	四六、四	五八、〇	六四、四	八四、〇	八四、八	八五、六

還元鐵の分析

還元後の試料中に於ける金屬鐵の定量法は、昇汞を用ひ水銀と鐵とを置換し金屬鐵を鹽化鐵となし定量せり、試験一六

鐵鑛の還元に就て

に於ける還元後の試料の分析は次の如し。

金屬鐵	全鐵	分析に依る還元率%	重量よりの還元率%
六八、八	八三、三	三、三	一、六〇
		八、三	九、七

二、太平鐵鑛の還元

試料

鑛石は一二—一三%の化合物を有する褐鐵鑛にして鑛粒一時に付四—一〇眼の大きさのもの、分析は次の表に示せるが如く硫黄の含有量大にして何れも一%以上なり。

水分	化合物	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	P	S
〇、三	二、六〇	五五、二六	四九、四	五、〇二	〇、六五	〇、四五	一、三七	〇、九四	一、〇七

此の實驗に於ては前の場合に比し試料量を増加し著者の考案せる第四圖に示せるが如き實驗裝置に依り還元瓦斯を循環せしめ試験を行ひ次の如き結果を得たり。

第四表

試験鑛粒	試料還元	還元	還元後の試料%	分析に依る還元率%	計算に依る還元率%	終時瓦斯中の〇〇%
二四	二〇	九〇	三〇	—	—	四六、〇
二五	四〇	九〇	二一、三	七〇、五	八〇、六一	七九、九
二六	四〇	九〇	四一、〇	六六、六	六六、六	七九、五
	二〇	九〇	四一、〇	六六、六	六六、六	七九、五

試験第一四及び第一五に於て満足なる還元を得る能はざりしは瓦斯の循環に使用せし送風機に於て空氣洩入の爲めなり連續還元作用を行ひ必要の瓦斯を循環せしむるに於ては二時間内外に於て充分なる還元を行ふ事容易なり、本試験の結果に於て特筆すべきは原鑛中に於て一%以上の硫黄を含有せるも還元鐵中に於ける硫黄は僅に微量を認むるに過ぎざる事なり。

三、久慈砂鐵

試料

次の如き成分を有し鑛粒は一時に對する三〇眼以下の微粒にして、約九〇%のチタン酸を含有す。

Fe	FeO ₂	SiO ₂
六二、七七六	九、二五	五、七五

試験第一七に於ては太平鐵鑛の場合に於けると同様の装置に依り還元を行ひ還元後の瓦斯の容量を測定せり、第一八、及び第一九に於てはピストン式送風機を使用し還元瓦斯の循環を行へり試験に依て得たる結果は次の如し。

第五表

試験 番號	試料 量	還元 溫度	還元 時間	還元後の試料中		計算に依 る還元率	終時還元 瓦斯中の CO ₂ %
				金屬鐵	全鐵		

瓦	攝氏	時分					
一七	九〇〇	二一四	一三、三六二	六三、二五	五五、四	八、九	
一八	九〇〇	二一五	一六、八四九	六五、九八	三〇、四	九、一	
一九	九五〇	二一四〇	二二、八四	六六、二五	三九、五	二二、六	
二〇	九〇〇	—	七、二四〇	七二、一八五	七、五	四、八	
二一	九〇〇	四一五	四六、六五	七二、七五	六、四	一一、二	
二二	九〇〇	三一五	五五、三三	七二、四六	九、三	四、八	
二五	九〇〇	三一〇	五二、六	七二、七三	六、九	五、二	

表中に於ける還元率は還元後の試料の重量より計算せるものにして、第五圖は試験第二三及第二五に於ける還元率と通過せしめたる瓦斯の容量との關係即ち還元速度を示せる者にして、此の砂鐵の場合に於ては他の種の鐵鑛に比し還元極めて、困難にして、同一なる還元溫度に於て多量の還元瓦斯を必要とす即ち還元後の瓦斯中に於ける二酸化炭素の割合少く完全なる還元を行ふには攝氏九五〇度以上の溫度を適當とす。

四、輪西砂鐵

試料

Fe as Fe ₂ O ₃	Fe as FeO	Total Fe	FeO ₂	SiO ₂
三一、六六	二一、〇八	五三、七四	一〇、五〇	一五、六五

以上の分析より此の砂鐵中のチタニウムは主としてイルメナイトとして存在する事を知るべく、還元後此のイルメナイトは何等の變化を受くる事なく存在せるを認めたり。

試験成績

試験 番號	試料 量	還元 溫度	時間	攝氏	還元試料中		分析に 依る還 元率%	計算に 依る還 元率%	還元終時に 於ける瓦斯 中のCO ₂ %
					金屬鐵	全鐵			

瓦	時分	攝氏							
二四	四一五	九〇〇	四〇、二六	六八、三〇	六、八	二四、二	五、五		
二五	二一五	九〇〇	二二、七六	六五、六〇	三、九	三五、四	—		
二六	三一四〇	九〇〇	三六、〇七	六四、九一	五、七	九五、二	四、三		
二七	五一五	九〇〇	四三、七〇	五四、五〇	八、〇	九二、二	五、七		

還元の困難なるは久慈砂鐵と同一にして赤鐵鑛又は褐鐵鑛に比し是等の砂鐵の還元極めて困難なるは主として質の緻密なるに依るべし、第六八に於ては時々鑛石を入れたる磁製管を回轉し瓦斯との接觸を容易ならしめたるに試料の量多かりしに係はらず良好なる結果を得たり。

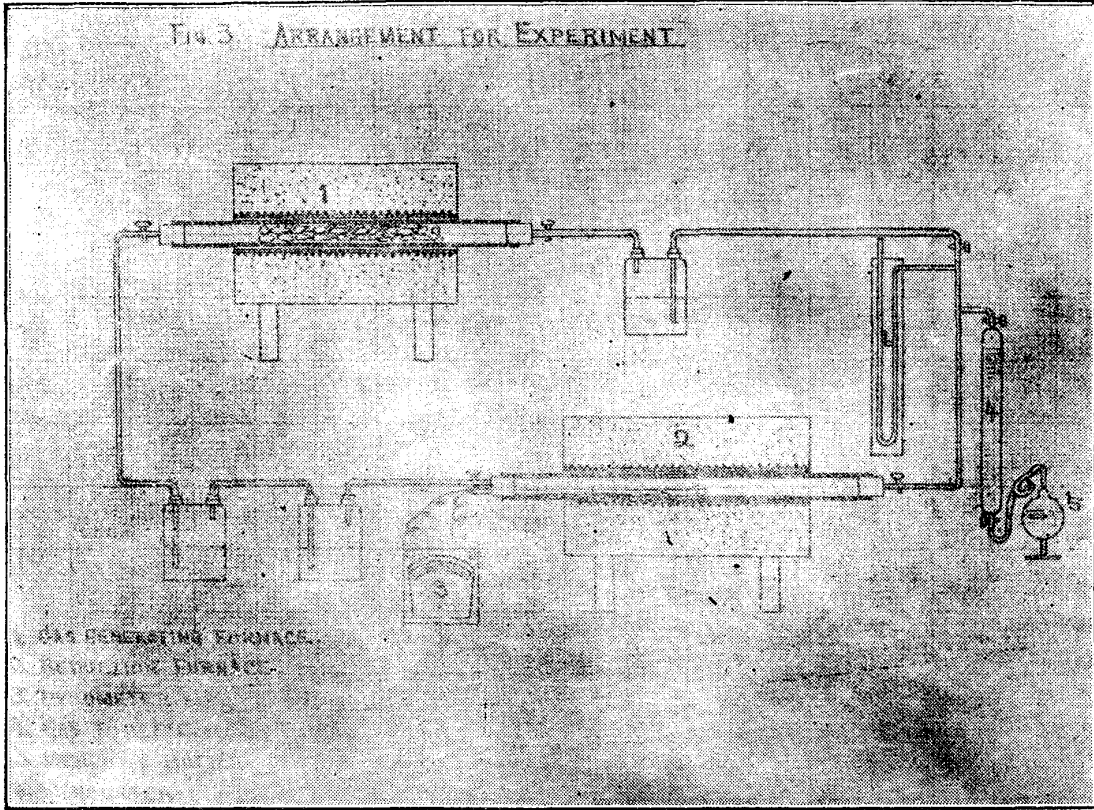
五、山東赤鐵鑛

試料

水分	Fe loss	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mn	MgO	P	S
0.77	1.14	63.48	7.03	0.93	0.11	0.11	0.11	0.01	0.01
0.10	0.04	76.25	8.81	0.61	0.11	0.11	0.11	0.01	0.01

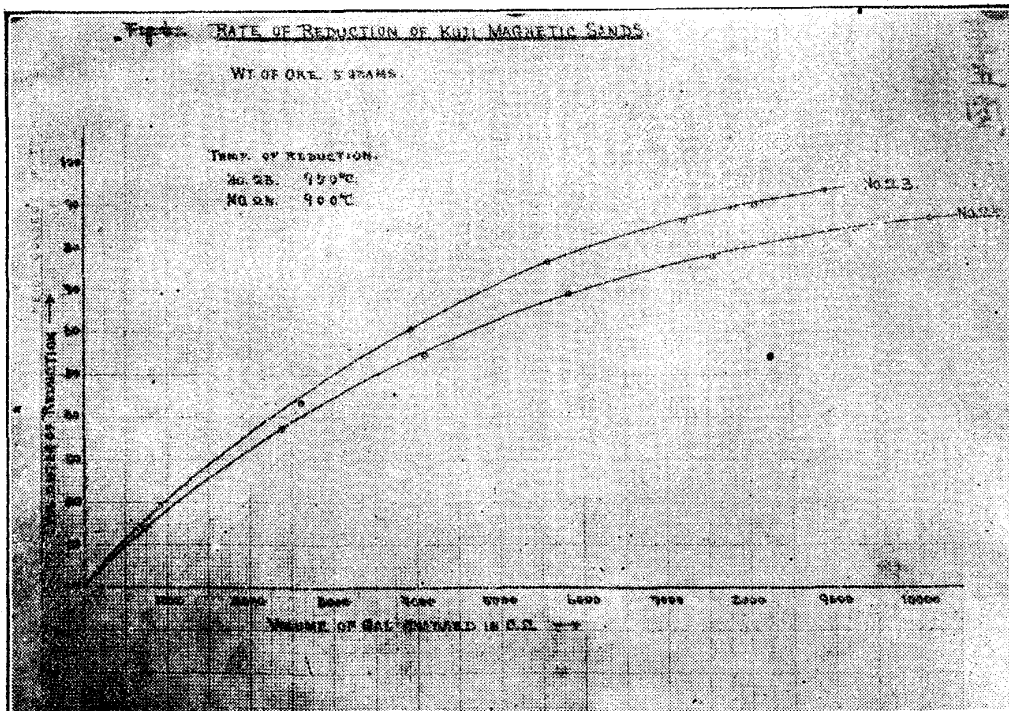
質極めて緻密にして鐵分の含有に富み優良なる赤鐵鑛なり

第 四 圖



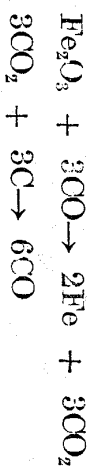
鐵鐵の還元にあつて

第 五 圖



四八五

此鑛石に對しては最も多數の試験を行へり、第二六に於ては鑛石二〇瓦を取り還元瓦斯の循環を行ひ第四圖に示せるが如き装置に依り、直流電動機に直結せる實驗用送風機を用ひ絶えず還元瓦斯を循環せしめ還元作業を行ひ約六〇%の還元率を得、更に第二七第二八に於ては九〇%以上の還元率を得たり、瓦斯の循環を始むると共に漸次瓦斯中に於けるCO₂及びCO₂の合計量は増加す之れ次の化學式に依て明かなるが如く還元瓦斯の容量の増大を意味するものなり。



還元の進行に伴ひ鑛石中の鐵と結合せる酸素の量は減少するが故に還元瓦斯中に於けるCO₂の割合は漸次低下しCO₂及CO₂の合計量に對しCO₂の割合五%以下となるに及び始めて完全に近き還元状態に鑛石は到達し得べし、試験装置に於ける一酸化炭素の發生に使用せる電氣爐に於て得らるべき温度は最高一〇〇〇度なるが故に前に述べたるCO₂及CO₂の化學平衡に於て攝氏一〇〇〇度に於て得らるべきCO₂の割合は九九、四%なるも、實際の場合に於てはCO₂のCOに依りて還元せらるる速度を考慮するを要す、本装置に於てCO₂の赤熱木炭上を通過するに要する時間は循環瓦斯の速度に依つて異なるも、今五秒を要するものと假定すれば赤熱木炭を通過せる後の瓦斯中に於けるCO₂及CO₂の合計中のCO₂は九〇%となりCO₂は還元爐に至る途中に装置せる苛性加里に依りて吸収せらるる故に還元爐を通過せる還元後の瓦斯中に於けるCO₂の量一〇%以下となれば循環瓦斯の總量は減少し内部に於ける氣壓減少し送風機に於て空氣の洩入を來すに至る、從

て瓦斯中に於けるCO₂及CO₂の合計量は減少するに至る事實験の結果に依りて明かなり、次の第六表に於ては山東赤鐵鑛に對する試験の成績を示す。

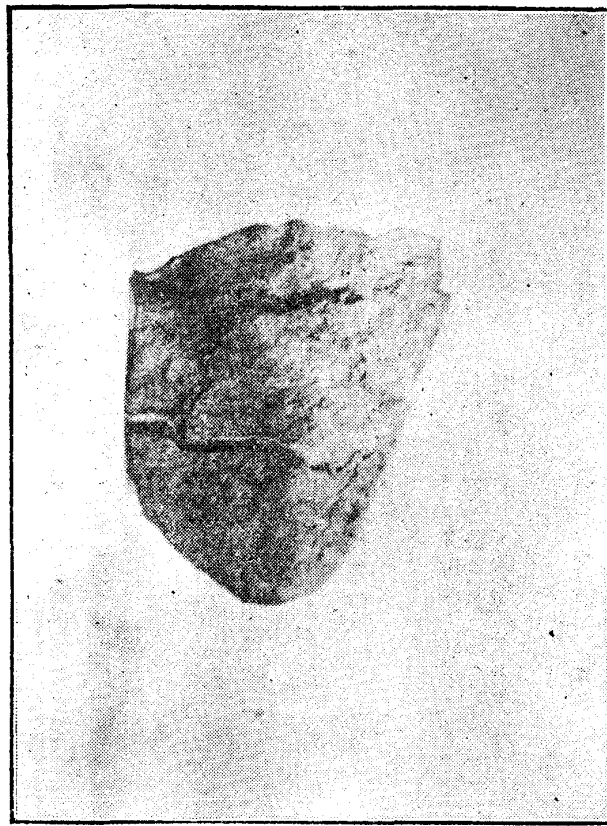
第六表

試驗番號	試料量	還元溫度	還元時間	還元鐵中		分析に依る還元率%	計算に依る還元率%	還元終時瓦斯中のCO ₂ %
				金屬鐵%	全鐵%			
一	九〇	—	五、五二	八四、〇三	〇、五七	六、三	六、四	—
二	九〇	—	八、五九	八、〇三	〇、五九	九、六	九、四	九、四
三	九〇	五、一〇	七、八三	八、二七九	一、一六	九、三	九、三	四、七
四	九〇	五、一〇	五、二六	八、〇、五九	一、二二	六、九	六、六	—
五	九〇	五、一〇	五、〇四	七、九、五三	〇、五九	七、四	七、四	三、七
六	九〇	四、一〇	五、〇、五五	八、〇、五九	〇、五七	六、七	七、一	三、五
七	九〇	三、一〇	六、〇、九五	八、四、八四	〇、四九	七、八	七、七	三、〇
八	九〇	五、一〇	七、〇、三	八、四、六二	〇、七三	八、〇	七、三	二、二
九	九〇	三、一〇	六、〇、七	九、四、七一	一、二八	九、六	九、五	四、九

以上示せる結果に依りて明かなるが如く還元度の瓦斯中に於けるCO₂の割合は還元の進行に連れ減少するが故に、屢々瓦斯の分析を行ひ還元の進行状態を測知せり、此の瓦斯中に於けるCO₂及CO₂の割合は鑛石の化學的並に物理的性質に依りて多少の相違あり、此問題に關しては後に各種類の鑛石に對する試験の結果を比較し記述すべし、山東赤鐵鑛の場合に於ては還元瓦斯中CO₂の割合五%に達したる際に於て九〇%以上の還元率に達するを得べし、循環瓦斯に依る試験の場合に於て還元後の瓦斯中CO₂及CO₂を合計せる割合少ないは送風機に於ける空氣洩入に依り窒素の存在する爲めなり、以上の如く一時に付き四眼以下の大きさの鑛石に對しては三時間乃至五時間の間に於て還元瓦斯の状態良好なる場合に

於ては容易に九〇%以上の還元率を得瓦斯の循環速度を増大し得るに於ては一層還元時間を短縮し得る事明かなり、余は更に進んで如何なる程度の鑛石の大きさ迄斯かる短時間に於て充分なる還元を行ひ得べきかを試験せんが爲めに第三七に於ては一糎内外、第三八に於ては一、五糎、第三九に於ては二、五糎の塊鑛に就て還元を行ひ何れも良好なる成績を得殆ど完

第六圖



全に近き還元度合に達せり、第六圖は還元後の塊鑛の試料にして第七圖は研磨後の顯微鏡寫眞なり、質極めて堅緻なりし鑛石が還元により酸素を奪取せられ質粗となり多孔質の海綿状をなせる組織を認め得べし、塊鑛に對する試験の結果は下表に示せるが如くにして鑛石の大きさは其の重量に依て現はせり。

鐵鑛の還元に就て

第七圖



第七表

試驗番號	鑛石の重量	還元溫度	還元時間	還元後の試料中		分析に依る還元率%	計算に依る還元率%	還元終時瓦斯中のCO ₂ %
				金屬鐵%	全鐵%			
三七 a.	二、五三三	—	—	—	—	—	—	—
三七 b.	二、五六一	—	—	—	—	—	—	—
三七 c.	一、七九六	—	—	—	—	—	—	—
三七 a.	二、九三三	—	—	—	—	—	—	—
三七 b.	一、九九〇	—	—	—	—	—	—	—
三七 c.	二、二七〇	—	—	—	—	—	—	—
三七 d.	二、〇二七	—	—	—	—	—	—	—
三七 a.	一、〇五五	—	—	—	—	—	—	—
三七 b.	一、〇七〇	—	—	—	—	—	—	—
三七 c.	一、〇七〇	—	—	—	—	—	—	—
三七 a.	二、五三三	—	—	—	—	—	—	—
三七 b.	二、五六一	—	—	—	—	—	—	—
三七 c.	一、七九六	—	—	—	—	—	—	—
三七 a.	二、九三三	—	—	—	—	—	—	—
三七 b.	一、九九〇	—	—	—	—	—	—	—
三七 c.	二、二七〇	—	—	—	—	—	—	—
三七 d.	二、〇二七	—	—	—	—	—	—	—
三七 a.	一、〇五五	—	—	—	—	—	—	—
三七 b.	一、〇七〇	—	—	—	—	—	—	—
三七 c.	一、〇七〇	—	—	—	—	—	—	—

六、大治鐵鑛

試驗料

試驗に使用せる鑛石中主としては鐵分はFe₂O₃の形にて存在しFeCO₃として存在するものは三—四%にして約四%の灼熱減量は主として化合水の存在に依るものなるが故に褐鐵鑛として存在する鐵分を含有する事を知るべし。

鑛粒 時付 Ig loss. Total Fe as Fe₂O₃ SO₂ Al₂O₃ CaO MgO Mn S Cu P

四一〇	三、六	五、七六	二、九三	五、六六	二、四四	〇、七二	〇、三〇	〇、一八	〇、一八	〇、〇六	〇、〇五
四一四	四、三	五、六	四、五五	五、五〇	二、七〇	〇、七三	〇、三五	〇、一八	〇、一八	〇、〇六	〇、〇三

試驗成績

此の鑛石に對しては時に付き四眼以上のものに對する試驗を行へり、實驗室電壓の變化に依り送風機の回轉を一定にする能はざりし爲め還元瓦斯中に於けるCOの割合低く第四二第四三、第六〇に於ては満足なる還元を得る能はざりき。

第八表

試驗番號	試料量	還元溫度	還元時間	還元鑛石中		分析に依る還元率%	計算に依る還元率%	還元終時瓦斯中のCO%
				金屬鐵%	全鐵%			
四二	八〇	九〇〇	五、三〇分	四〇、三五	六、八五	〇、二八	六、二六	四四、九
四三	六〇	九〇〇	五、三〇	四七、九三	七、四九	〇、七二	六、〇三	三七、三
五一	一〇〇	九〇〇	四、五五	七六、四〇	八、五〇	—	九、二	六、一
六〇	一〇〇	九〇〇	—	四四、三〇	七、〇〇	〇、〇五	六、三	六、九
六一	一〇〇	九〇〇	—	七二、七五	八、七五	〇、一八	八、〇	一七、〇
六二	一五〇	九〇〇	五、一〇	八〇、三〇	一、五三	—	九、七	五、二

第五一並に第六六に於ては極めて良好なる結果を得たり是れ他の場合に比し還元瓦斯の状態良好なりし爲めにして畢竟還元瓦斯中に於けるCOの割合多くCO₂の含有少き程満足な

る結果を得る事極めて明かなり前に述べたる如く還元後の瓦斯中に於けるCO₂の割合は還元の進行状態を最も明瞭に語るものにして前記の表に於ても還元終時に於けるCO₂の少き程環元率の高まれるを知るべし。

七、桃冲鐵鑛

試驗

鑛粒 時付 Ig loss. Total Fe as Fe₂O₃ SO₂ Al₂O₃ CaO MgO Mn S P

四一〇	二、七	四、八	四、二	六、〇	一、〇	〇、七	〇、五	〇、一	〇、一	〇、〇	〇、〇
四一四	二、二	六、〇	三、七	六、四	一、〇	〇、三	〇、一	〇、一	〇、一	〇、〇	〇、〇

試驗成績

第九表

試驗番號	鑛粒試料量	還元溫度	還元時間	還元試料中		分析に依る還元率%	計算に依る還元率%	還元終時瓦斯中のCO%
				金屬鐵%	全鐵%			
四二	八〇	九〇〇	二、一五	二四、五〇	四、七四	〇、一〇	三、一	一六、一
四三	六〇	九〇〇	三、一五	四三、四〇	六、七五	〇、〇〇	五、五	一四、二
五一	一〇〇	九〇〇	四、一五	五二、六〇	七、四〇	〇、二八	六、六	一〇、八
六〇	一〇〇	九〇〇	—	三五、七〇	七、三〇	〇、一五	六、二	一〇、八
六一	一〇〇	九〇〇	—	三四、六五	七、七〇	—	四、六	三、三
六二	一五〇	九〇〇	四、一〇	四一、三〇	七、七五	—	五、四	一三、〇
六三	一〇〇	九〇〇	六、一〇	八三、三五	八、八五	〇、三〇	九、二	一四、九
六四	一〇〇	九〇〇	三、一〇	五二、八〇	八、三三	〇、〇〇	六、七	一三、二
六五	一〇〇	九〇〇	三、一五	七四、七〇	八、五〇	一、〇六	八、五	一五、四

此の鑛石に對する試験の結果餘り良好ならざりしは送風機の工合悪く空氣洩入し瓦斯の状況を良好に保つ事能はざりし爲めにして、第六二以後の試験に於ては新規の送風機に取り換へたる爲め他の種類の鑛石の場合に於けるが如く満足なる

結果を得たり。

八、利原赤鐵鑛

試料

鑛粒 時に付	Total Fe ₂ O ₄	Fe as Fe ₂ O ₄	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S
四一〇	六、六三	二、四三	一四、八四	Fr.	Fr.	〇、〇三	〇、〇二	Fr.
〇四	五、八二	一、四〇	一五、八六	Fr.	Fr.	〇、〇三	〇、〇二	Fr.

此の鑛石は質極めて緻密にして他の赤鐵鑛に比し還元頗る困難なるが如し、鑛粒一時に付四以上の大きさのものに對し一回の試験を行ひ次の如き結果を得たり。

第十表

試験 番號	試料 量 瓦	還元 溫度 攝氏	還元 時間 時分	還元鑛石中		分析に 依る還 元率%	計算に 依る還 元率%	還元終時 瓦斯中の CO ₂ %
				金屬鐵%	全鐵%			
六一	100	200	三、五〇	五、五〇	六、七五	〇、六九	八、二〇	七、一
六二	100	200	三、五〇	五、五〇	六、七五	〇、六九	八、二〇	七、一

九、佐比内磁鐵鑛

試料

鑛粒	Fe as Fe ₂ O ₄	Fe as Fe ₂ O ₃	Total Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P
四一〇	四、五	三、四	三、五	九、六一	一、五	三、三	〇、三	〇、〇三	〇、〇三

磁鐵鑛に對する還元試験は此の鑛石を以て初めとす質極めて緻密にして赤鐵鑛又は褐鐵鑛に比し還元頗る困難なるも、左に示せる試験の結果に依れば前と同様なる還元溫度に於て還元時間長き時は稍満足なる結果を得るもの、如し。

第十一表

試験 番號	試料 量 瓦	還元 溫度 攝氏	還元 時間 時分	還元鑛石中		分析に 依る還 元率%	計算に 依る還 元率%	還元終時 瓦斯中の CO ₂ %
				金屬鐵%	全鐵%			
六一	100	200	五、一五	五、七〇	六、二五	〇、三二	八、五	八、九
六二	100	200	五、一五	五、七〇	六、二五	〇、三二	八、五	八、九

(未完)

◎比島に於ける鑛山業狀況

(六月十日附在マニラ帝國總領事杉村恒造)

今般比島科學局鑛山課の公表に據れば、比律賓群島は到處種々有用なる鑛石に富み鑛山業は頗る有望、目せられ居るも、是等鑛石を埋藏する地方は概れ交通極めて不便の僻地に在り、且つ之が採掘に従事せんと欲せば巨額の資本を注入せざるべからざると共に、之に要する労働者亦乏しきを以て自然未掘の儲蓄られ居る姿なりと云ふ今製鐵に關する鑛山業の就業狀況を記せば左の如し。

鐵 比島は目下の處鐵の産出は極めて尠く之が採掘に従事し居るものとしてはプラカン州アングット地方に一會社を數ふるに過ぎず然れども科學局側にては島内には之が埋藏尠しとせず、層脈をなし

居る所ありと稱し、カランバヤン諸島、北カマリネス州、スリガオ州、ダヒカン灣附近等を擧げ居り、殊にダヒカン灣の如きは有望にして埋藏見積額約五億噸位あらんと傳へ居れり。

銅 比島の銅産出に關しては比島科學局は之を肯定し居るも米國領有となりて以來殆ど銅の採掘を見たること無し、然れどもマウンテン州、マンカヤン、マリンドローケ島及びマスバテ島は該品の主要埋藏地なりとす。

滿俺 産出多く主要産地はイロコス・ノルテ、パンガシナン、タラック、マスバテ及びバラワンの諸州なりとす。

亞鉛 マリンドローケ、マスバテ、セプーを以て産地とす。

石炭 群島中處々に産するも主要産地はバダン、セプー、シグナイ等にして、ミンダナオよりも産出しつゝあり、然れども概して品質良好ならずと云ふ。