

それに由つたらよいと思ひます。方法がきまつて居ないと段々申上げました様に結果には大なる差異が在ります。同じ方法でも若干の相異は若し論争が御言葉の通り有りまして、方法上の差異によつて起りたる差異程大なるものでありますまい。又一定の方法にきめて分析者の不注意とか不慣によつて、生じた値は注意して行ふ人、慣れた人によつて訂正されます。おきめになります場合には相當に詳に規定される方がよからうと思はれます。

○會長(河村曉君) 色々と面白い御質問がございますやうでございますが、門限の時刻も過ぎました様でありますから、失禮ながら極めて概括的なことを申上げまして、一言御禮を申したいと存じます、總て化學分析が冶金工業、其他總ての工業に非常に重要なものであつて、學術的にも又工業的にも、又取引上に於ても總て此分析の結果を本として色々な計算が行はれて居る、其點から言ひますと分析者の責任と云ふものは非常に重大なものと考えますが、兎角分析の重要なことは誰も知りながら、遡つて分析のメソッドを深く研究すると云ふことが、閉却されて居る様に思ひます、之は或は分析と云ふことが極く地味な仕事であつて、人の眼に餘り着かぬと云ふやうなこともあるかも知れませぬが、兎角深く分析の方まで遡つて研究すると云ふことが等閑に附せられて居る遺憾があるやうに考へます、此點に付きまして博士の御研究は非常な刺撃を與へることと考へます、尙ほ唯今今泉博士から御話がありました通りに、本協會でもどうか一つ鐵や鋼の分析のメソッドのみならず、其メソッドのデテールを日本の分析法として統一して見たいふ云ふやうな考もございまして、成るべく早い機會を以て此事を始めたいと考へて居ります、それに對しましては今夕の御講演は非常に参考になるのみならず、此事業を行ひますに付て博士の御盡力御指導を仰ぐ點も澤山あると存じます、其點は今から御依頼申上げて置きます、今夕は御多用中の所を御繰合せ下さいまして、興味ある有益なる御講演を下さいまして、感謝の至りに堪へぬ次第でございます、一同を代表致しまして深く御禮を申し上げます。

(一同拍手)

鐵鑛の還元に就て

(大正十三年九月二十四日講演)

嘉 村 平 八

本題目と同じ題目に就て既に本會誌昨年第七月號に(其一)として掲載しました故其續稿を掲載すべきではありませんが、茲に本講演筆記を載せましたので自然其必要がない様になりました、従て著者の御希望もありました故、前掲載に對する續稿は載せないことに致しました、左様御諒承を願ひます。(編輯係)

講演者曰はく「本會誌大正十三年七月號の「鐵鑛の還元に就て」の續稿は本講演と重複する所がありますから掲載する事を止めます、然し研究に對する詳細なる結果は昨年十一月に明治専門學校學報第三卷第一號として出版しましたから、御希望の御方は同校へ御照會になれば送附します」。

今夕此席上に於きまして私の研究した大體の事を講演する機會を與へて貰ひまして、大變光榮に存する次第であります。

表題は鐵鑛の還元に就てと云ふことに致しましたですが、還元と申しても主として一酸化炭素の還元に就て御話したいと考へて居ります、夫れは茲に印刷にしたやうな事柄に就て極く大體の御話を申したいと思つて居るのであります、詰り私が此一酸化炭素を使つて鐵の鑛石を還元した結果から見

ますとダイレクト・レダクション——カーボンで直接還元するよりも非常に還元が容易い、其爲に迂頃御承知の通り能く雑誌などに出て居るダイレクト・プロセス、詰り鑛石を還元して直ちに鐵又は鋼にしやうと云ふやうな方法の可能性が理論的に見まして大いに有りはしないかと云ふことを申し上げたい積りであります。

一、製鐵法の歴史

就きまして此ダイレクト・プロセスを考へるに當りまして、製鐵法の昔から現在の製鐵法に發達して來ました徑路を考へて見ますと、御承知の通り古い時代には東西何れの國を問はず、非常にプリミテイヴな方法で、單に火床の中で鑛石と木炭とを混ぜて鞆で吹いて還元してロートアイオンを造つたのであります、ところがそれが段々高い熔鑛爐の形に發達して、それから今度は追々機械が發達してプレシュワーの高いブラストを送るとか、或はホット・ブラストを使ふとかさう云ふことになつて、現在行はれて居るベセマー、シーメンスなどの製鋼法が發達して、此熔鑛爐を使つて鉄鐵を造る方法とそれから今の製鋼法とが一緒になつて現在のやうな大量生産的方法に發達したのであります、併ながら此數千年以前已にまだ何等の科學的知識が無い時代に鐵の鑛石を單に鞆で吹いて得らるゝやうな、低い温度で還元することが出來て居つたのでありますからして、それから想像しても其還元温度と云ふものは極めて低いものでなくてはならぬと云ふことは略々想像が付くのであります、それを私が是から述べるやうな實驗の結果に依りますと、其間の關係が大變面白く感ぜられるだらうと思ふのであります。

二、鐵鑛の還元作用に於ける化學的反應

先づ還元と云ふことを述べるに當つて一番必要なことは鐵鑛の還元作用に於ける所の化學的反應であります、其反應は御承知の通り鐵冶金の方で能く本の中に説明してあるやうに、カーボンに依る直接還元と CO に依る間接還元との二つがあると云ふことを申して居るのであります、さうすると此反應は能く本などに書いてあるやうな、茲に印刷にしてあるやうな化學方程式で其反應を現すことが出來る、詰り普通吾々が鐵鑛として使つて居るものはマグネタイト又はヘマタイト、主としてヘマタイトの Fe_2O_3 の形であつて時にはマグネタイト Fe_3O_4 と云ふやうな形で、此二つの形が實際鑛石として出會すやうなものであるが、之を熱化學的に考へて見ますと、詰り酸化鐵のヒート・オブ・フォーメーションと、それから此反應に依つて生成する CO 又は CO_2 に依る發熱量とのサムメーションをやつて見ますと、次の化學方程式の下に書いて見たやうな結果になるのであります。

直接還元と間接還元の熱化學的比較

直 接 還 元				間 接 還 元			
$6 Fe_2 O_3 + C = 4 Fe_3 O_4 + CO_2 + 6,800$				$3 Fe_2 O_3 + CO = 2 Fe_3 O_4 + CO_2 + 22,810$			
$-(6 \times 195,600)$	$+ (4 \times 270,800)$	$+ 97,200$		$-(3 \times 195,600)$	$+ (2 \times 270,800)$	$+ 68,040$	
$2 Fe_3 O_4 + C = 6 Fe O + CO_2 + 5,660$				$Fe_3 O_4 + CO = 3 Fe O + CO_2 + 5,660$			
$-(2 \times 270,800)$	$+ (6 \times 65,700)$	$+ 97,200 - 50,200$		$- 270,800$	$+ (3 \times 65,700)$	$+ 68,040$	
$2 Fe O + C = 2 Fe + CO_2 - 34,200$				$Fe O + CO = Fe + CO + 23,40$			
$-(2 \times 65,700)$		$+ 97,200$		$- 65,700$		$+ 68,040$	

此二つの数字を比較して見ますと、直接還元の場合に於きましては……詰り Fe_2O_3 から Fe_3O_4 の形になる時には六、八〇〇カロリーの發熱量があると云ふことになるのであります、それから一方 CO に依る還元の場合を考へて見ると、それは Fe_2O_3 から Fe_3O_4 の形になるのは二二、八四〇と云ふ發熱量になるのであります、以下此三つの方程式に於きまして何れもカーボンに依る還元の場合よりも CO に依る場合の方が、詰り熱の發生する場合は熱が多い、吸収する場合は熱が少ないのであつて、熱化學的に申しまして CO の反應が易いと云ふことが言へはしないかと思ふのであります、勿論此化學式に書いてある所の化合熱と云ふものは、是は普通のルーム・テムペレーチュアで計つたものであるから、それを基礎として斯う云ふリアクションが起るのは御承知の通り非常に高い溫度である、其高い溫度で起る状態を詰り實驗室で計つたヒート・カロリーを使つてサムメーションを推定すると云ふことは、正確に言へば當を得ないかも知れませぬけれども、併し大體の推定はして差支ないと思ふのであります、是から申しますと詰り CO の還元力はカーボンよりも非常に強いと云ふことが言へるのであります、さうして又實際之を實驗して見てもさう云ふ結果になるのであるからして、是等のデータに依る推定が略ぼ間違無いと言ふことが出来るのであります、言葉を換へて見ると CO の還元はカーボンの還元よりも非常に低い溫度で出来ると云ふやうなことになるのであります、さうして此カーボンの還元の場合は單に鑛石と燃料とコンタクトした所にだけしか反應が起らぬと云ふことに、常識的に考へて言へるのであります、熔鑛爐の中などで考へて見ても、カーボンで起る還元はコンタクトするポイントだけである、併ながら CO の還元の場合は、瓦斯は僅の隙間があれば其隙間を這入つて作用するから、鑛石の表面全體に及ぶと云ふやうなことになるだらうと思ひます、さうして又一方には非常に高い溫度になると鑛石のエツキスパンションがあるし、又其の表面に色々なフラックが熱の爲に這入ると云ふことになつて來ます、それから CO が作用して表面が還元されて來ると段々ポーラスになつて、瓦斯が段々鑛石の内部に作用することが樂になるからして、さう云ふ結果から考へても CO の場合はカーボンよりも反應がうまく行くと云ふことになるだらうと思ひます、ところが實際の實驗の場合に於て此二つの反應をどちらが強いかと云ふことを比較するのはなかなか實驗的にむづかしい問題であります、是等の反應が單に前の化學方程式に示しましたやうな、斯う云ふ簡単な化學式で示すやうな反應であるかどうかと申しますと、決してさうではないのであります、詰り完全にカーボンが CO_2 の形になり、或は CO の形になるかと云ふとさうではないのであります、詰り化學平衡と云ふことを考へる必要が生じて來るのであります、此化學式で示しました此反應は必ず斯く云ふ式で示すやうな結果にならんで、いつも出來た瓦斯は CO と CO_2 の或割合から成つて居るのであります、そして各溫度に依つて其割合が變化することになるのであります。

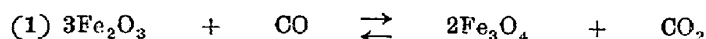
三、鐵、炭素及び酸素間に於ける化學平衡

それであるからして次に必要なことは化學平衡と云ふことであります、詰り鐵と炭素及び酸素間に於ける所の化學平衡と云ふことを考へる必要が生じて來るのであります。

此化學平衡は色々な人に依つて研究されて居るが、其の主なる文献は次の様なものがあります、
 Braithwaite (Chemical News, 72.1895.) Baur and Glaessner Z.Physik. Chem. 43.1903)
 Shenck, Semiller and Falcke (B.r. 40.1907 and 46.1913) E.D. Eastman (American Chem. Soc. 1922,1924)。

三四年前には京大の松原博士に依つても研究の發表されたものがあります、詰り次の (1) (2) (3) と云ふやうな三つの式で現すやうな化學平衡が生じて來て、此リアクションが起る。

鐵、炭素及び酸素間に於ける化學平衡



之は溫度に依つて CO と CO₂ のプロポーションが決まつて來ることになるのであります、ところで此色々の人に依つて決定された平衡の結果は、化學平衡の CO₂ と CO の割合は

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} = K$$

此 K と云ふ値は多くの人の試みた結果が各々違つて居つて、正確に一致して居ないやうであります、最近——千九百二十二年ですか、アメリカン・ケミカル・ソサイティーのジャーナルにイーストマンと云ふ人は、自分の研究の結果と、他の色々の人の研究の結果とを比較して、此平衡の一番適當な數字は斯う云ふ數字であると云ふことを印刷にしてあるやうな結果になるだらうと云ふことに斷定して居ります。

イーストマン氏に依つて與へられたる平衡恒數

(溫度攝氏)	700	750	800	850	900	950	1000
Fe—FeO	0.678	0.603	0.552	0.505	0.466	0.432	0.403
FeO—Fe ₃ O ₄	1.68	2.02	2.40	0.79	3.24	0.367	4.17

假に此平衡恒數を用ひますと……それからちよつと忘れましたが、一の平衡と云ふものは未だ誰も決定した人は無いやうであります、併ながら是は恐らく非常に低い溫度で、フェリツク・オキサイドからマグネテイツク・オキサイドに還元される溫度は非常に低いものだらうと思はれます、……さうするとイーストマンに依つて與へられた平衡恒數はこゝに書いたやうなものであつて、Fe—FeO, FeO—Fe₃O₄ の二つの平衡に於ける K の値は攝氏七百度、七百五十度、八百度、八百五十度に於て表に示せるやうになるのであります、それから K の値は次の様な關係になります。

$$\ln K = \frac{Q}{RT} + C$$

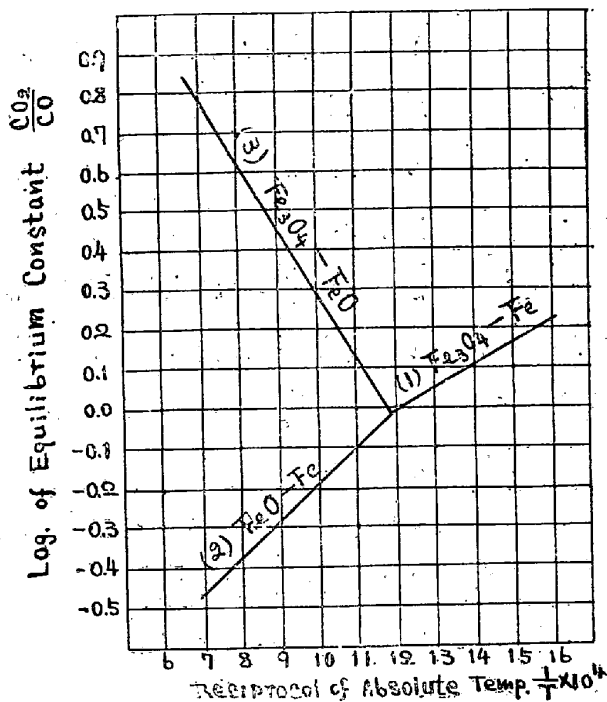
此の $\ln K$ は K の自然對數、Q は絶對溫度 T に於ける其の化學平衡状態に於けるヒートのサムメーションでありまして、R は瓦斯コンスタント、それから C と云ふのは一定の恒數でありまして、其値は反應にあづかる物質に依つて違ふと云ふのであります、即ちヴァント、ホツフの式から次の如くして此のアツプロクシメーションのフォーミュラを出す事が出來ます。

$$d \ln K = -\frac{Q}{RT^2} \quad d \ln K = -\frac{Q}{T} \cdot \frac{dT}{T^2} \quad \ln K = -\frac{Q}{R} \left(-\frac{1}{T}\right) + C \quad \therefore \ln K = \frac{Q}{RT} + C$$

吾々は此Kの對數と絶對溫度の逆數を直線を以て現すと云ふやうな事が言へるのであります、さう

第 一 圖

EQUILIBRIUM CONSTANTS AND TEMPERATURE IN THE SYSTEM Fe : C : O

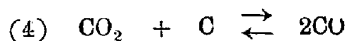


すると此イーストマンの與へた平衡恒數を基礎として Fe₃O₄-FeO 及び FeO-Fe に於ける平衡關係をトレースすると第一圖に示す様に直線になつて來るのであります、

此横の線は絶對溫度の逆數でありまして、こちらは普通の對數であります、それから、Fe₃O₄-FeO 及び FeO-Fe の平衡は圖面に在る (3) 及び (2) の直線で現はせる事になるのであります、それからイーストマンは斯う云ふことを言つて居るのであります、攝氏の五百七十度以下に於ては FeO と云ふものは存在しないと云ふことを言つて居るのであります、それであるからして FeO が生じても其 FeO は五百七十度以下になれば Fe₃O₄ と Fe の形になると云ふことを言つて居るのであります、其關係からして (1) と云ふ線が出て來るのであります、さうであるからして、斯う云ふ關係から實驗的に或二つ

の平衡恒數、即ち任意の溫度に於ける二つの平衡恒數が決すれば、それを結付けた此直線が決まつて來ることになるのでありますから、斯う云ふ關係からして第二圖に於ける様な曲線が畫かれます、一方に CO のパーセンテージを取り、一方に溫度を攝氏で現はすと此平衡關係は斯う云ふカーヴで現はせる、詰り FeO と Fe の關係 (2) 及び Fe₃O₄ が FeO (3) になる關係が現はせる、夫から先き申しました五百七十度以下に Fe が存在しないと云ふことは (1) なる曲線の形になつて來るのであります。

それから次に此還元の場合に必要なことは、詰り (4) の式で現はしました次の様な平衡であります。

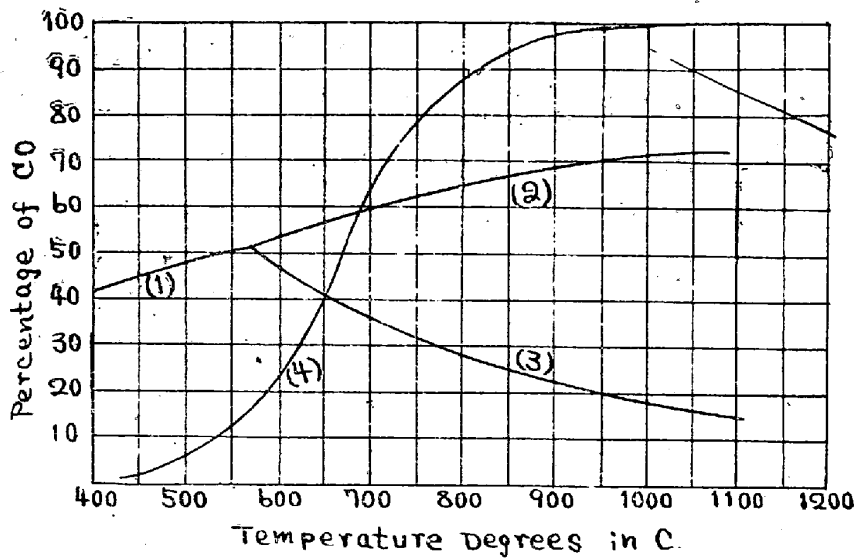
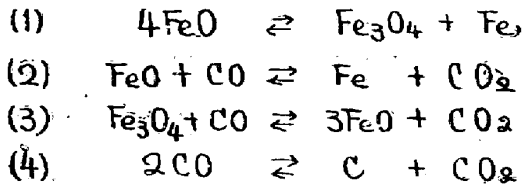


此普通のカーボンモノオキサイドと云ふ瓦斯は非常に低い溫度では存在しない、詰り適當なるキヤタライザーがあると炭素と CO₂ の形になる、又溫度が上れば其の反應は方程式の右方へ進んで來るのであります、其平衡關係を曲線にすると、第二圖に於ける (4) の様なカーヴになつて來ます、詰り四百度附近では殆ど CO は存在しない、所が溫度が段々高くなつて來ると反對に CO₂ は存在しないと云ふやうな結果になつて來るのであります、御承知の通り普通鐵鑛は Fe₂O₃ の形で存在するものが多いのであります、先きも申しましたやうに Fe₂O₃ は最初に Fe₃O₄ の形になるのであります

けれども、それは恐らく四五百度以下の温度であらうと考へるのであります。

第 二 圖

Fig. 1. CHEMICAL EQUILIBRIUM CURVES



今此第二圖に就きまして還元の状態を御話いたしますと、(3)の平衡のカーヴと(4)の平衡のカーヴは約六百五十度で交叉して居るのでありますが、此還元の場合に就きましては(2)(3)(4)と云ふやうな平衡を同時に考へる必要が出て來るのであります。今 Fe_3O_4 がCOで還元されるとなると、詰り(3)と(4)は約六百五十度の温度で交叉して居るのであります、そこで此温度に於きましては此のCOのパーセンテージから言ひますと、COのパーセンテージが約四〇%即ち四〇%のCOがあれば、それで此式はどちらにも進まないことになりませんが、COが四〇パーセントよりも多くなると斯ふ云ふ場合には還元作用が起り、それよりも多い場合には今度は逆に斯ふ云ふ方向に反應が進み酸化作用が起つて來るのであります、同様に FeO から金屬鐵に還元される其平衡關係を考へて見ると……詰り(2)のカーヴと(4)のカーヴに就いて考へて見ると、此二のカーヴは約六百九十度で交叉して居るのでありますが、瓦斯のパーセンテージはCOが約五八%になつて居るのであります、それであるからして、COが五八%以上であれば還元の方に反應が進み、五八%よりもCOが少い、 CO_2 が四二%よりも多い場合は、鐵は酸化されると云ふことになつて來るのであります、さうしまして、此の(3)と(4)の場合を同時に考へますと温度が上れば上がる程COの割合は増加し(3)に於ては CO_2 の割合が多くなつて來ますからして、詰り温度が上がれば上がる程反應は右方に進むと云ふやうな結果になつて來るのであります即ち還元作用が起ります、(2)の場合に於きましてはそれが温度は上がつても餘り其影響は無いと云ふことが言へるだらうと思ひます、詰り此平衡の關係をざつと御話するとさう云ふ工合になるのであります、此平衡から見ますと温度は攝氏の約六百五十度で四〇%よりもCOのパーセンテージが高ければ $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ と云ふ様な反應が出來、更に六百八十度以上の温度になれば、COのパーセンテージが五八%よりも高ければ $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ なる反應が起ります、詰り固體相の中の酸素の割合で一定の温度に於けるCOの割合

今此第二圖に就きまして還元の状態を御話いたしますと、(3)の平衡のカーヴと(4)の平衡のカーヴは約六百五十度で交叉して居るのでありますが、此還元の場合に就きましては(2)(3)(4)と云ふやうな平衡を同時に考へる必要が出て來るのであります。今 Fe_3O_4 がCOで還元されるとなると、詰り(3)と(4)は約六百五十度の温度で交叉して居るのであります、そこで此温度に於きましては此のCOのパーセンテージから言ひますと、COのパーセンテージが約四〇%即ち四〇%のCOがあれば、それで此式はどちらにも進まないことになりませんが、COが四

が定まつて來ます、此 CO が高ければ還元出來ると云ふことが言へるのであります、是は理論的に考へてであります。

四、適 當 な る 還 元 溫 度

併ながら是は平衡から申しましたのでありまして、實際問題はどうかと云ふと、それをどうしても實驗的にやつて見なければ、或は平衡の場合は吾々は、其時間と云ふことを考へて居ない、時間即ち反應のヴェロシティーと云ふことを考へないで、時間は一晝夜二晝夜掛つても、最後に斯う云ふ結果になりさへすれば宜いと云ふやうな考の下にやると云ふやうな性質のものであるが、併ながら之を實際の場合に於てはさう長く時間が掛つては到底問題にならないのであります、如何に低い溫度で還元出來ても問題にならない、それであるから實際にどの位の溫度で吾々が實際的に應用し得るやうな時間で此反應が出來るかと云ふことを調べる必要が生じて來るのであります、さうして若しも此平衡で示すやうな、斯う云ふ反應が起るとすると、御承知の通り吾々は熔鑛爐で鐵を還元して居るのは、熔鑛爐の羽口の所の溫度は千六百度或は千六百五十度とか、さう云ふ高溫度にあるのであります。さう云ふ高い溫度を使ふ爲に吾々は單に鐵の鑛石から鐵だけを還元すれば宜いのであるが、其爲に鐵よりも還元し悪い磷だとか、滿俺だとか、シリコンだとか、さう云ふものが還元されるのであるからして、さうして非常に炭素の高い銑鐵が出來ると云ふことになるから、更に吾々は之を鐵又は鋼にするには製鋼法を施して此不純物を除去しなければならぬと云ふ二重の事をやつて居る、然らば前に申しましたやうに實際問題としてどの位の溫度で實際應用し得る位の時間内に還元が出來るかと申しますと、丁度私は三年ばかり前に其溫度を調べる爲に御承知の亞米利加のメサビの鐵鑛——ヘマタイトを使つて此還元の試験をしたことがあるのであります。其鐵鑛の成分は約六十四パーセント位の赤鐵鑛でありまして、それに就て還元試験をやつたのであります、其結果に依ると此第一表に示す様になります。

第 一 表

試験番號	試料 瓦	溫 度 (攝氏)	使用せし	重量の減少より	CO ₂ より計算	還元瓦斯中のCO ₂	
			COの容量 c.c.	計算せる還元率 %	せる還元率 %	始時 %	終時 %
8	1.0	700	1012	64.2	63	44.4	16.4
11	0.5	750	1242	87.6	85	40.0	14.4
14	0.5	800	1020	85.9	87	37.4	7.6
16	0.5	850	1300	93.5	94	37.0	4.0
17	0.5	900	1300	98.3	98	32.2	4.6
18	0.5	600	649	50.7	49	30.0	9.2

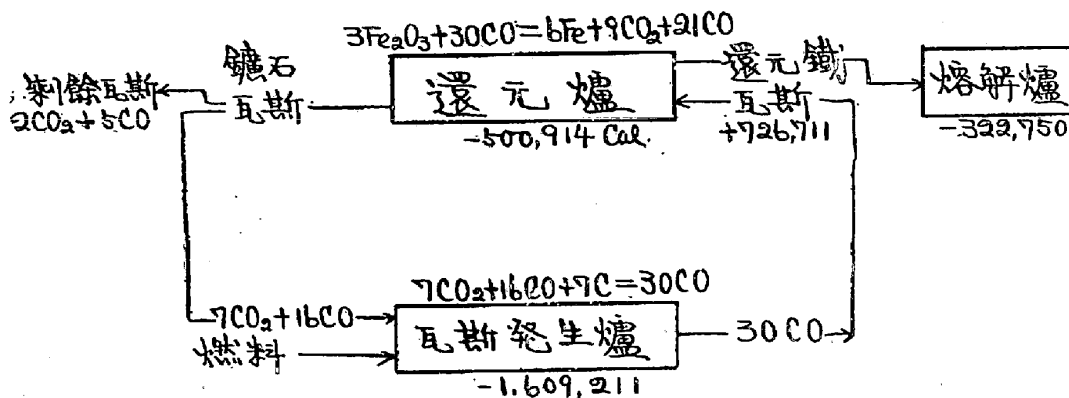
最初五百度位の溫度から出發して五百五十度位の溫度にしましたが、其溫度では唯 Fe₂O₃ の形が Fe₃O₄ ——詰りマグネタイトになるだけで、それ以上反應は進まないであります。其試験はどう云ふ工合にしてやつたかと云ふと、少量の鑛石を取つて一方から瓦斯を通してやつたのであります、普通のコムバツション・チューヴの中でやつたのであります、低い溫度の間は Fe₃O₄ は出來るけ

れども、メタリック Fe の形には還元されない、寧ろさう云ふ温度では斯う云ふ反應が起りまして、
 $-2CO \rightarrow CO_2 + C$ —カーボンがスートの形になつて表面に付いて來まして還元がうまくいかなかつたのであります。それから漸次六百五十度、七百度、斯う云ふ温度でやつて、段々還元率が表に示せる様に高くなる、九百度位になると……是は重量からやつた計算であります、それから是は瓦斯の分析からやつた計算でありますが、……殆ど百パーセントに近い還元が得られると云ふことになつたのであります、さうしてそれ以上に温度を高めても大した影響は無い、詰り九百度位の温度になれば殆ど一時間半か二時間位で完全に金屬の状態に還元されたのであります、

五、鑛石の還元速度

然らば還元速度はどの位の時間が掛つたならば宜いかと云ふことをもう少し調べる必要があるのであります、此結果で略々九百度であれば大抵還元が出來ると云ふことになつたのであります、其還元の色は、色々鑛石の種類によつても違ふし、色々の關係がありませうからして、實際問題に當つてさう云ふことを調べる必要があると考へましたので、其爲には斯う云ふ一瓦や二瓦の試料でなくして、もう少し澤山の試料を取つて試験をやつて見る必要があると考へまして、五十瓦から或は百五十瓦位の鑛石を取つてやつて見たのであります、ところがさう云ふ多量の鑛石になると、御承知の通り鑛石の百瓦を還元するには CO の瓦斯の用量と云ふものが非常に大きなものになつて來るのであります、さう云ふ多量の瓦斯を實驗室で造ると云ふことはなかなか困難なことになつて來るのでありますからして、私は斯う云ふことをやつて試験したのであります、詰り是は唯普通のコムバツジョンチューヴに電氣爐を使つてやつたのであります、大體斯う云ふ第三圖に示す様なダイヤグラムにな

第三圖 低温還元法系圖



ります、鑛石を斯う云ふ還元爐の中に入れて一方瓦斯發生爐……瓦斯發生爐と云ふのは木炭を電氣爐の中に入れて置いて、此の還元爐と瓦斯發生爐の間に送風機を一つ入れました其送風機はエヤー・タイトのもので爐が適當なる温度になつた時に、送風機を回轉すると、最初發生爐の中から幾分の CO が出て來ることになるのであります、さうすると其 CO が還元作用をなすし、其結果の瓦斯は CO₂

と CO の混つたものになつて來るのであります、其一部分を更に此爐の中に廻すと斯う云ふ ($\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$) 反應になりまして、 CO_2 は全部 CO の形になるのであります、尙或は幾分の CO_2 が残るかも知れないのでありますからして、そこには CO_2 を普通の苛性加里で吸込ませるやうにしてやつたのであります、さうして瓦斯を循環する装置にしまして、大平、大冶、山東……山東と云ふのは非常にリツチなヘマタイトであります……沖、利原、輪西、佐比内、さう云ふ七つの鑛石に就て、試験をやつたのであります。

試験 番號	鑛石の 種類	還元鐵の 種類	還元 時間	使用CO 容量c.c.	一分間に於 けるCO瓦 斯速度c.c.	重量の減少 りよ計算せ る還元率%	還元鐵の分 析より計算 せる同%	CO ₂ 中のO ₂ より 計算せる同%
87	大 平	72.530	3—15	173.660	890	96.4	95.0	95.0
73	大 冶	74.0056	4—00	173.870	725	99.8	88.8	93.6
88	山 東	70.1668	4—45	238.790	838	96.8	93.6	96.0
94	桃 沖	71.9750	4—30	248.345	920	94.9	91.5	91.5
90	佐比内	82.8500	4—55	199.361	676	78.8	73.7	85.9
89	利 原	78.4278	4—00	221.982	925	82.5	82.0	81.3
79	輪西(50gr)	4.7065	5—00	109.816	732	90.5	75.5	75.1

其の實驗の結果の代表的なものをこの第二表に出したのであります、此内に五十瓦位の試料を取つたものもありました、大體斯う云ふやうな結果になつたのであります、是が通過した瓦斯の容量であります、是は鑛石の中の成分、是は還元した後の鐵の重量、さうすると其還元率は此分析に依つたメタリツクの鐵から斯う云ふ結果になる、重量から斯う云ふ結果になる、それから瓦斯の中に出來た CO_2 から計算すると斯う云ふ結果になつて、多少違つて居るが、大體に於て一致して居るのであります、さうして還元の時間は三時間十五分、長いので五時間と云ふやうになつて居りますが、此表に依りますと四時間位の時間で、利原及び佐比内の鐵鑛と輪西の砂鑛を除くの外、大體九〇パーセント以上、良いのは九五パーセント位の、還元率になつて來たのであります。さうして瓦斯の速度をもつと速めるともつと短い時間で九〇パーセント以上の還元が十分得られたのであります。

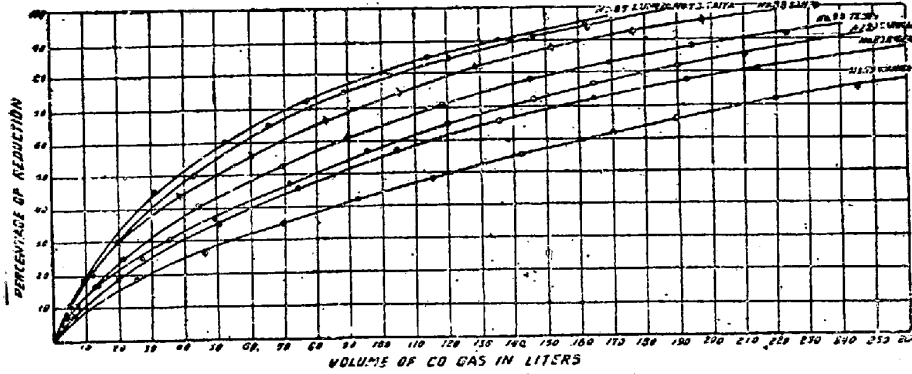
六、鑛石の種類に依る還元速度の比較

次に此七つの鑛石に對する還元の速度の比較をして見たらどうかと云ふことを考へて、其實験をやつた七種類の鑛石に對する還元の結果を比較して見ました、ところが比較するに就きまして、御承知の通り鑛石に依つて斯う云ふ風に含有の鐵分が違つて居るし、又實驗的に瓦斯の速度をコンスタントにすることが……温度だけはコンスタントにすることは容易であるけれども、速度をコンスタントにすると云ふことはなかなか困難な問題でありますから、嚴格な比較を爲すと云ふことはなかなかむづかしいこととあります、それで成るべく瓦斯の速度を一定にするやうにして還元をやつたのであります。さうして温度は九百度と云ふことにしてやつたのであります、然らば此比較をどう云ふ工合にやつたら宜いだらうと云ふことを考へて、時間でやつた所でさう云ふ工合に鐵分が違つて居るし、瓦斯の速度が違ふし、さう云ふ工合であるからして瓦斯のヴォリュームを横の線、還元率を縦の線に取

つて比較しますと第四圖の様な結果になつたのであります、詰り此結果に依ると瓦斯のヴォリューム

第 四 圖

COMPARISON OF THE RATE OF REDUCTION
ON THE DIFFERENT KIND OF ORES



ではリットルで現はしたのであります、第一の大平の場合には、瓦斯の容量は百七十で殆ど百パーセントに近い還元率が得られた、大冶の場合はもう少し瓦斯の容量が殖えて百九十リットル、山東のヘマタイトの場合は二百二十、それから

以下斯う云ふやうな関係になつて來たのであります、さうして普通の鑛石の場合では利原の鐵鑛が一番還元が困難で、其次が第七の輪西の砂鐵と云ふやうな順序になつたのであります、然らば還元の世界斯う云ふ関係になつたのはどう云ふことが原因して居るかと思ふことを考へたのであります、御承知の通り普通能く本などにも書いてある通り、又實際熔鑛爐をやつて居る人の説に依ると、マグネタイトは赤鐵鑛や褐鐵鑛に比較して非常に還元が困難であると云ふことに皆の説が一致して居るやうであります、ところが前に申しました化學平衡から申しますと、ヘマタイトは必ず一度マグネタイトのステージを通つて行く、 Fe_2O_3 は一度 Fe_3O_4 の形になるのであります、さうするとマグネタイトが還元し悪くいのは、甚だ受取れないと云ふやうな結果になつて來ます、それで私は考へるに、其の還元の難易は化學的の成分でなくして、寧ろ鑛石の物理的性質ではないかと考へたのであります、化學的性質でなくして、物理的性質である、密度に關係したものでないか、一般に御承知の通りマグネタイトは非常にコンパクトでデンスなものが多いのであります、それで多分其結果ではないかと考へたのでありまして、それで此鑛石の比重と還元速度とを比較して見たらどうかと思ふことを考へて、其鑛石の比重を計つて見ました結果は斯う云ふ結果になつたのであります、大平の鐵鑛が一番比重が少くて、砂鑛が一番比重が多いと云ふ結果になつて來たのであります、ところが此比重と申しましても鑛石の含有鐵分が違つて居るからして、鐵分の多いのは比重が多いと云ふことは分り切つた話であるから、鑛石中の酸化鐵の比重を比較しなければならぬと思ふことに理論上なるのであります、それが爲には普通御承知の通り此鐵鑛の中にはあとの不純物としては重なるものはシリカ、アルミナ、それが大部分を占めて居りますからして、さう云ふものの平均比重を二・七としまして、酸化鐵の比重を調べて見ますと、第三表の様な結果になります。

第 三 表

	含有鐵分	酸化鐵として	Gangue	S.G.	計算に依る鑛石中酸化鐵の比重
大 平	55.26	78.99	21.01	3.25 (3.956)	3.42 (4.31)

大 治	59.64	84.98	15.02	3.80 (4.426)	3.99 (4.73)
桃 沖	62.02	88.54	11.46	4.38 (4.492)	4.60 (4.72)
山 東	67.55	96.46	3.54	4.53 (4.743)	4.6 (4.81)
佐 比 内	52.95	73.29	26.71	4.56 (4.616)	5.23 (5.31)
利 原	57.82	82.45	17.55	4.57 (4.511)	4.97 (4.89)
輪 西	49.63	$TiO_2 + Fe_3O_4$ 78.38	21.62	(4.900)	(5.50)

(表中括弧内の數字は Picnometer に依て計れるものなり)

大平が一番少くて、次が大治、桃沖と山東は同一、それから山東、さうして輪西が一番重いと云ふことになつたのであります。大體に於て比重と還元とが一致して、さうして利原は例外で比重の割合よりも還元がし悪くて、あとは大體此順序に従つたやうな結果になつたのであります、さうして大治と桃沖とを比較すると眞比重(ピクノメーターにて計れる者)は殆ど一致して居りますが、其還元と速度に於ては大治と桃沖は斯う云ふ差が出来て來たのであります。是は表で御覽の通り桃沖の鐵鑛は大治よりも非常に見掛け比重が大きい即ち鑛石が緻密で結晶質であるからであります。それから利原の鐵鑛が比重の割合に還元がしにくいのは丁度結晶片岩みたやうな形をして居る非常な結晶質のものであるからであります。それで私は斯う云ふ二つの例外があるのは必しも比重でなくして、結晶質の高い鑛石は還元がし悪くないのではないかと考へるのであります。大體の事から申しましてさう云ふ例外はありますが、要するに酸化鐵の比重の高いものは還元がし悪くない、さうして比重が軽いものは還元が容易であると云ふことは此還元試験の結果から言へるだらうと思ひます。それであるから、熔鑛爐で使用する鐵鑛では其鑛石の成分と云ふものは製鐵上に非常に關係があることは勿論であります、其還元と難易と云ふことも一つの非常な要件になつて來ます、其關係は鑛石の比重、それから酸化鐵の比重と云ふことから大體推定が出来ると思ひます。

七、還元に適當なる鑛石の大きさ

それから次に、大抵の鑛石は九百五十度以下で吾々が實際應用し得る所の時間内に還元が出来ると云ふことになつたのであります、併しながら凡そどの位の鑛石が宜いかと云ふことになりまして、其鑛石のサイズに對する試験をやつて見ました、以上申し上げた試験は大抵佐比内の鑛石を除く外は皆二メツシュから四メツシュの鑛石であつて、佐比内は四メツシュから十メツシュの鑛石になつて居るのであります、其位の鑛石までは此試験で十分得られると云ふことになつたのであります、まだそれ以上の大きな鑛石でも容易に還元が出来るとは思ひません、色々のサイズのものを取つてやつて、それで鑛石のサイズに依つて還元と差がありはしないかと云ふことに考へまして、四メツシュ位から始めまして二メツシュ位に及びましたが、大した區別が無いやうに考へました。さうしまして更に大きなものを取りまして、約一吋位の物の試験をやつたのであります。詰り大治と桃沖の二つの鑛石に就きまして其内の代表的の物を此第四表に示したのであります、鑛石は色々の

形をして居ります。

第四表 塊鑛の還元成績

試験 番號	鑛石の種類	重量、瓦	還元 時間	一分間に於け る瓦斯速度c.c.	最終還元瓦 斯中 CO_2 %	還元電の 重量、瓦	重量より計算 せる還元率
70	a. 大 冶	41.4165	7—00'	—	3.4	29.3000	97.9
	b. 桃 冲	43.2600				31.5400	87.4
83	桃 冲 (2個)	69.2150	5—15'	798	5.2	49.4490	93.9
84	大 冶 (3)	91.6981	4—55'	780	3.2	65.5035	93.9
85	大 冶 (1)	42.3030	3—45'	11.34	—	30.7890	87.5
86	大 冶 (3)	106.3227	3—20'	1.021	4.1	76.3293	91.8
91	大 冶 (1)	32.8700	2—40'	1.297	4.6	24.2245	80.7
92	大 冶 (1)	31.9900	2—00'	2.381	3.3	23.9045	74.7
93	大 冶 (1)	30.9545	1—50'	1.925	4.3	22.6270	84.3
94	大 冶 (1)	39.3028	1—30'	2.720	3.7	28.3921	89.3

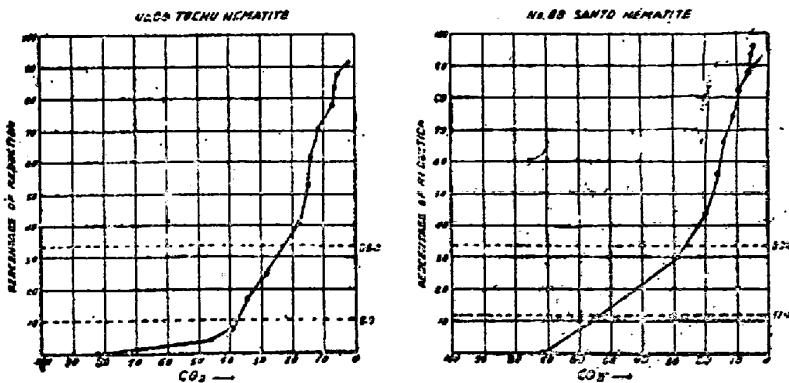
唯其サイズで言ふことは出来ないで重量で現はしました、夫でありますから同じ重量のものでも其の表面積に色々相違があります。鑛石の一塊の重量は三十瓦乃至四十五瓦位のものに就てやつて見ました。還元時間は表にある通り七時間、五時間十分、四時間五十五分、二時間或は、一時三十分と云ふ工合になつて居ります。其の次の行は瓦斯の一分間の速度であります、さうして還元率は大體重量から計算しまして最後の行に示した様になつて來たのであります、此の結果に依つて見ますと、鑛石の大きさは一時位のものでも瓦斯のヴェロシティーを相當大きくすれば三時間以内位の時間で九〇パーセント以上の還元が出來ると云ふことになつたのであります。

八、還元後の瓦斯中に於ける二酸化炭素の割合

それから次に還元後の瓦斯の中の二酸化炭素の割合、實際の場合に其瓦斯の割合はどう云ふ工合になるかと申しますと……詰り平衡の関係から申しますと、第二圖に示しましたやうなカーヴから推定することは出來ますが、此實驗でやつた場合にも個體相の成分は刻々に變つて行く、還元が進んで行くと固體相の成分は、即ち酸化鐵中の酸素は段々減つて行くのであります、さうして瓦斯は或唯僅の時間の間鑛石の上を通過するのでありますから、決して平衡點に達した様な瓦斯の成分は得られない

第五圖

RELATION ON THE PERCENTAGE OF REDUCTION AND THE PERCENTAGE OF CO_2 IN THE GAS



のであります、其一二の例を申しますと、……瓦斯の成分は斯う云ふ工合に變る、こちらは還元のパーセンテージで、下の方は CO_2 のパーセンテージであります、最初桃冲の鐵鑛の場合で還元を始めるときには CO_2 の割合八〇パーセントのパーセンテージであつたのを段々殖えて九〇パーセントに達

すると CO₂ は二パーセントに達する、それから山東の鐵鑛の場合であります、最初 CO₂ が七〇パーセント位で Fe₂O₃ から Fe₃O₄ の成分になると、六五%進んで FeO の形になりますと、二七%であつたのが終には五パーセント位の割合になつたのであります。

九、還 元 鐵

それから還元に使つたのはスポンヂ鐵であります、其還元鐵は還元が進むと表面が黒くなつて、表面に幾分カーバイドが出来るのであります、詰り $3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$ ——斯う云ふ反應が起りまして、此場合にカーバイドが非常に出来るのであります、それは單に表面だけでありまして、還元したスポンヂ鐵の分析をやつて見ますと、大抵炭素は千分の一から二位に止まつて、之を溶かしますと熔融點が非常に高い、殆どビューア・アイオンに近い、さうしてそれを熔解し鐵の分析をして見ますと、其成分はロート・アイオンのやうな成分を持つて居るのでありまして、大體斯う云ふやうな成分のものが得られたのであります。

第 五 表

試験 番號	原 鑛	還元率%	C %	Si %	Mn %	S %	P %	Slag中のP %	原 鑛 中 の S %	原 鑛 中 の P %
35	山 東	71.9	0.061	0.094	0.306	0.060	0.014	0.017	0.028	tr
41	同	90.75	0.034	0.113	0.118	tr	0.084		0.038	tr
62	桃 冲	95.4	0.112	0.132	0.173	tr	0.039	0.039	0.014	0.036
66	大 冶	97.6	0.137	0.094	0.044	tr	0.094		0.118	0.042
68	輪 西	92.0	0.158	0.225		0.025	0.389			
69	佐比内	88.6	0.131	0.085	0.087	0.030	0.089		0.031	0.091
72	大 平	91.1	0.289	0.141	0.379	0.080	0.528		1.075	0.945
73	大 冶	88.8	0.065	0.188	0.175	0.030	0.090		0.118	0.042
74	山 東	85.0	0.055	0.009		tr	0.0056		0.038	tr
76	桃 冲	92.0	0.123	0.028		0.020	0.0111		0.014	0.036
80	同	95.1	0.137	0.244		0.020	0.0167		0.014	0.036
84	大 冶	91.1	0.437	0.042		tr	0.0333		0.188	0.042

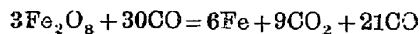
詰りカーボンの高いもので千分の三乃至四、大抵千分の一内外のカーボン、シリコンは非常に高い、殆どロート・アイオンの成分に近いものが得られたのであります、さうして此鑛石の中のサルファーは高いものでも還元した鐵の中のサルファーは非常に減ると云ふやうな事になつて來て居るのであります。

それから磷の關係は一概に言へませぬが、大體磷は減ると云ふ結果になつて居ます。非常に減つたものは約半分位になると云ふやうなものもあるのであります。詰り此實驗の結果から申しまして約千度以下の溫度で吾々は鐵鑛を金屬鐵の形に十分還元することが出來て、それを熔解すれば殆ど軟鋼に匹敵するやうな鐵が得られると云ふことになるのであります。

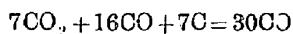
十一、低溫還元法に於ける必要なる熱量

それから此還元の溫度が普通の場合に比較して低いからして私は低溫還元と申しましたのですが、

然らば此還元法に於きまして、それならば理論的に實際必要な熱量の計算をして見たらどうであるかと云ふことを考へました、ところが此還元法の瓦斯の成分は鑛石の種類で色々違があるが、大體に於て還元の最初に於きまして七〇パーセントから八〇パーセント、而して還元が進むに連れて五パーセント位になります、ところで此還元法に於きまして第三圖に示すやうな連続的に操業する方法を考へて見ます、即ち一方還元爐に鑛石を連続的にチャージして、それから還元された鐵は熱い儘で熔解爐の中に溶かす、それから一方瓦斯發生爐を用ひて瓦斯は還元爐の中を鑛石と逆な方向に循環させます、さうすると循環的にやつて、さうして鑛石を絶えず斯う云ふ工合にチャージすると、其瓦斯の成分は約三〇パーセントから、三五パーセント位になるであらうと云ふ事が、實驗の結果からして推定出來ます。御承知の通り熔鑛爐のトップ瓦斯を分析して見ますと、CO₂とCOの割合は略と一と二位の割合になつて來るのが普通であります、尤も熔鑛爐の場合は熔劑として使ふ石灰石からCO₂が割合に多量に出て來るから比較的CO₂の割合が多いと云ふことになつて居りますが、此場合に於て還元後の瓦斯の中のCO₂の割合を三〇パーセントに見たら實際に間違ないだらうと思ひます、さうすると其反應はどう云ふ工合になるかと云ふと斯う云ふ關係になるのであります、Fe₂O₃なる成分の鑛石を使つてCOで還元した場合に實際的の反應をケミカル・フォーミュラで書きますと……………



斯う云ふ關係になるのであります、さうすると還元後の瓦斯の一部分を此の瓦斯發生爐の中に返します、さうして其の中のカーボンでCO₂が再び還元されて、さうして又三〇ヴオリュームのCOが還元爐の中に這入ることになつて來るのであります。



さうして此の一酸化炭素の三〇容量を發生するに必要な還元後の瓦斯は右の化學方程式に示す様な割合になるのであります。

今此式から、此瓦斯爐の溫度を千三百度、それから實際瓦斯爐から出て行くときは千二百度位の溫度で出て行つて途中で冷えるものとしまして、還元爐の中にCOが千百度位の溫度で這入ると假定する、さうして推定すると還元の際には六分子の鐵に對して一六八、三〇七カロリーのヒートが必要になつて來るのであります、それから瓦斯發生爐に於きまして其必要な熱量は二七二、一六〇カロリーが鐵の六分子に對して要ることになつて來ます、そして此のCO瓦斯が千百度で還元爐に入るとして其のセンスブルヒートとして持つて行く熱量は、一噸に對し七二六、七一一カロリーになるのであります、それから還元した鐵は約九百度位の溫度で直ぐ熔解爐に這入るとする、而して此中に適當なフラックスを入れて溶かすとします、さうすると鐵の解けるに必要なヒート、それから生成したカラミに必要なヒートを計算すると約三二二、七五〇カロリーのヒートが必要になつて來るのであります、さうすると一噸の鐵に對してどれだけの熱量が必要になつて來るかと申しますと、此還元爐に於きまして五〇〇、九一四、夫から瓦斯發生爐に於きまして一、六〇九、二一一、是は詰り一噸の鐵

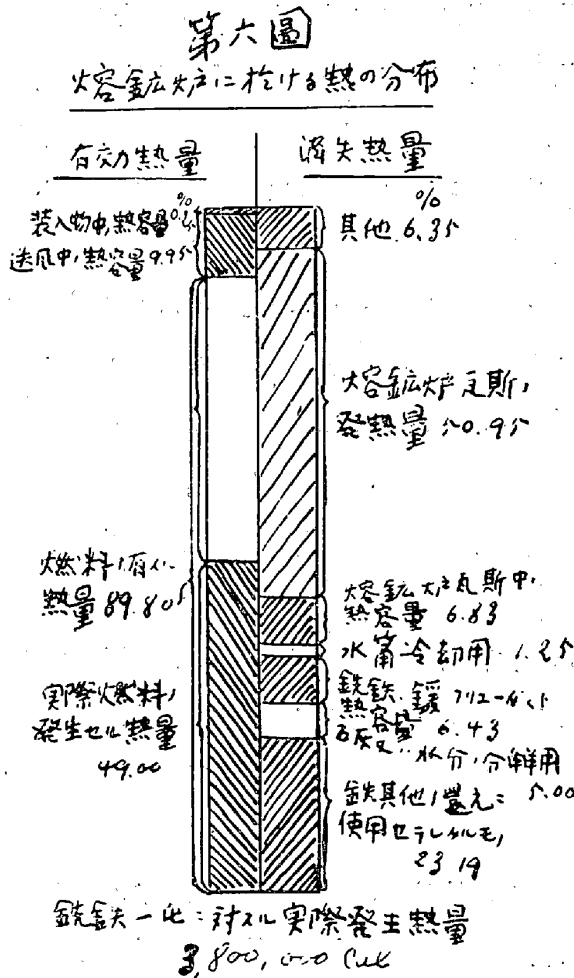
に對してであります。それから熔解爐で必要な熱量が三二二、七五〇、さうすると全體のヒートを計算すると、一噸の鐵が出来るのにどれだけのヒートが還元爐から熔解爐迄の間で要るかと云ふと、計算したものが一、七〇六、一六四カロリーと云ふやうな數字になつて來るのであります。即ち理論的に此實驗から申しまして、斯う云ふ方法でやるとすると、約一噸の鋼塊を作るのに百七十萬カロリーの熱量が必要であつて、さうして約四百三十六立方米の斯う云ふ成分 ($9CO_2 + 21CO$) の瓦斯が餘つて其瓦斯の持つて居るヒート・カロリーが約八十三萬カロリーの熱量を持つて居ると云ふやうなことになるのであります。

十二、熔鑛爐に於ける必要なる熱量

さうすると次に然らば現在使つて居る熔鑛爐でどの位のヒートが理論的に要つて居るか云ふことを之を勘定して見ますと、それは鑛石の種類、裝入、操業の状態、それから爐の設計などで色々違ひ

ますが、普通一噸の鉄鐵に對して三百四十萬から三百九十萬位の熱量になつて居るのであります。即ち此方法に比較すると理論的に要るヒートは約二倍のヒートが要ると云ふやうなことになるのであります。

此第六圖は熔鑛爐に於けるヒート・バランスを極く分り易く斯う云ふ工合に書いたのであります。此データは千九百十四年のケミカル・アンド・メカニカル・エンジニアリングの亞米利加のシドニー・コーネルと云ふ人の計算を基礎としたのであります。其の計算に依りますと、此場合は熔鑛爐に鉄鐵一噸に對して約一噸のコークスを使つて居る場合であるが、其コークスの發熱量とそれからブラストの持つて來るヒート



トータルが百パーセントとすると、其のトップ瓦斯の成分は CO_2 13.06, CO 25.70, H_2 3.69, N_2 57.48% の割合になつて居るからして、其燃料はコンプリート、コムバツションをやつて居ないことになる、それであるから、實際此燃料の持つて居るヒートは全有效熱量の八九・八〇%であるが、其發生したヒートは約四九パーセント、それと熱風爐から來る約十パーセント、此總計になるのであります。今度は此消費熱量の方から調べて見ますと第六圖の右の方に示した様な事になります。鐵、シリコン、其他の還元に使はれたものが、二三・一九%、それからライム石の分解裝入物中の水分を蒸發させる

爲に費された熱量が五・〇%、それから銑鐵、カラミ、それからフリー・ダストの持つて行く熱量が六・四三%、水筒冷却用が一・二五%是だけのヒートが實際に必要なやつて來るのでありますが、トツプ瓦斯のセンシブルヒートが六・八三%さうすると熔鑛爐のエフイーシェンシーから申しますと熱風爐の中で回収せられた九・九五%と、消失熱量中のこれから(圖を示す)下の、1.2.3.の熱量が實際有効に消費せられたことになりますから、それを計算して四四・五七パーセントと云ふことになるのでありますが、實際燃料コークスに依て發生せられた熱量が三百八十萬カロリー、それから有効に使はれた熱量が三百四十萬カロリーと云ふことになつて居るのであります、さうしますと此の低温還元の方法に比較しまして理論的に約二倍の熱量が要ると云ふことになつて居るのであります。

十三、結 論

以上申しました實驗の結果に依りますと、九百度或は九百五十度位の溫度で、鑛石の種類に依つて多少還元の困難なものゝ容易なものがありますが、一酸化炭素に依つて殆ど完全に金屬鐵の状態に還元が出來ると云ふことが明かになりました、併ながら此實際に應用すべき鑛石の大きさは最大約一寸位までであらうと思ひます、詰り一寸以下位の鑛石だつたらば三時間か四時間位の時間で前に申したやうな溫度で還元が出來るだらうと思ふのであります、さうしまして理論的に立脚しました此方法に於ける熱量を計算すると、前に申しましたやうに熔鑛爐の約半分になつて居るのであります、さうして現在に於ける所の熔鑛爐の熱の能率は四四%乃至五五%位の熱のエフイーシェンシーになつて居りますが、若も此低温還元に於きまして四〇%位の熱のエフイーシェンシーが得られると假定すれば、熔鑛爐に使つて居る約六割位の熱量で鑛石から直ちに鑛塊が出來ると云ふ理窟になるのであります。

然らば斯う云ふやうな理論的な事實をどうして實際に實現させることが出來るかと申しますと、是はなかなか大きな問題でありまして、まだ今後もう少しさう云ふ方向に研究をやつて見やうと私も考へて居りますけれども、まだ確定した何等の成案はありませぬ、併ながら今後吾々の努力如何に依つては、此理論から考へて見ると、鑛石から銑鐵を造らずに直ちに鐵又は鋼を造ると云ふやうな、詰りダイレクト・プロセスの方向に製鐵の方法が將來實現される可能性が大いに有りはしないかと、私は考へるのであります。

長い間つまらぬことを御話しました、併ながら此私の研究の結果が、多少でも斯う云ふ方面にインテレストを持たれた御方々の参考ともなりましたならば大いに光榮に存する次第であります。(終)

質 疑 應 答

○會長(河村曉君) 唯今の御講話に付きまして御質問なり御意見のあります方はどうぞ御提出を願ひます。

○今泉嘉一郎君 ちよつと御禮を申し上げ且御尋したいと思ひます、唯今の御講演を承りますと、是は主義に於ては丁度スポンザ・アイヨンの最近の製鐵法と合致して居るやうに思はれます。私は大正六年の歐洲戰爭中一寸瑞典に參つて、例のヘガネスのスポンザ・アイヨンの製鋼法を研究して其專賣權を取つて參りまして、歸朝後直ちに日本鋼管の川崎工場に實施することに致しまして一年餘の間に二三萬噸の製品を造りましたが、それは御研究の製産物と主義に

於て矢張り同じてあるのであります即ち最も低い温度に於て經濟的に鐵鑛を還元して、其物を直ちに平爐の原料として屑鐵同様に、用ゆるのであります唯スポンヂ・アイオンは御話のやうに自働的に平爐に入れるのではなかつたのであります、御講演のやうな方法は此點から云ふと彼の佛蘭西のバセットの製鋼法に近いもので、是は御話のやうに還元爐に直結した平爐を用ゆるもので還元爐はロータリー・キルンであつて是から出て來た還元鐵が其儘平爐に落込んで熔解されることになつてゐるのであります、然し此法は一昨年でありましたが、私が巴里に參りました時に同地のバセットの試験工場では經濟的に失敗したと申すことを聞きました、今日迄のところでは實際製鐵上に役に立つてゐる直接製鐵法はヘガネスのスポンヂ・アイオンの方法が殆ど唯一のものでありませうが、此スポンヂ・アイオンを製造すると云ふ上に於ても其原料たる鐵石が完全に還元され得るものでないといふかぬ、又完全に還元されるばかりでなく、鐵分以外の夾雜物が選鑛法で樂に離れ得るものでないといふと、最後に出來た製品がブーアなアイオンになる選鑛法はマグネティック・セパレーション即ち磁力選鑛でやるのであります、併し磁力選鑛で夾雜物をうまく取つてしまへる鐵石が日本に餘りない、日本の何處産の磁鐵鑛でもマグネティック・セパレーションで完全に別けられると云ふ譯に行かない、私の研究では唯一つ釜石の鐵石が頗る此選鑛に適當して居るだけで今日までの試験では其他のものはなかなかそれが經濟的に出來ない唯此處に安い鐵石で割合に夾雜物が少くて而も其夾雜物はチタンの如きもので、平爐に入れても差支ないと云ふ砂鐵があるだけのことであります、此砂鐵と云ふものはマグネティック・セパレーションでシリコンでチタン以外の夾雜物は容易に別けることが出来るから、先づそれを別けて去り、精鑛をスポンヂ・アイオンのプロセスにかけたら宜からうと思ひまして大分試験して見ましたが、唯今の御話のやうに還元に時間が掛かると、熱も高くなければならぬのと、夫れでもなかなか完全に還元しないので、今日までまだ實際利用の方法が付いて居ないのであります、其後尙ほ色々な方法で砂鐵利用を研究して見やうと思つて居つたのであります、唯今御講演を伺ひまして御研究上の結果からマグネタイトはヘマタイトよりも酸化程度が低いのに拘らず、殊に砂鐵などになると何よりも還元がし悪くいと云ふのは全く其質がコンパクトである爲めであると云ふ御説であります私も其御説には全く御同意する次第であります、然らば此のコンパクトの砂鐵をどうすれば宜いかと云ふことになりませんが、矢張り是は一旦焼いて使つたらどうであるか焼けば其質が多少ポーラスになることは想像に難くない、又焼いた爲めに磁鐵が酸化の程度を増して Fe_2O_3 になるとしても御研究の結果から考へて見ると却て還元し易いものに變るやうに思はれるのであります、殊に御講演のやうな装置であるとすれば廢氣瓦斯が熔鑛爐のやうに充分出て來る譯ですからさう云ふものを利用して砂鐵のやうな鐵石は先づ以て焼いて、而して後に還元爐に入れると云ふ風にしたらどうであらうかと云ふ考がまあ直ぐ起る譯ですが、どう云ふものでありませうか、兎も角も御講演に依つて私は私の目下研究中である「砂鐵をスポンヂ・アイオンに使用する」と云ふ事に關して非常に参考になることを承りました。

○嘉村 平八君 私は此砂鐵の場合に於きまして先きは輪西の砂鐵のみに付て申しましたが、實は久慈の砂鐵に付てもやつて見ました、ところが久慈の砂鐵は輪西の砂鐵よりもずつと還元がし易いのであります、こゝで申しました實際の結果には久慈のは出て居ないのであります、久慈の砂鐵は殆ど九百度で瓦斯が鐵石の中を通りさへすれば完全に還元が出來たのであります、併ながら輪西の鐵石は御承知の通りチタニウムの含有が多いのであります、勿論久慈のものもチタニウムがありますけれども、輪西の砂鐵はチタニウムがイルミナイトの形で存在するものが多いやうに思はれまして、化學的に他のものと結び付かずして TiO_2 の形で存在するものは非常に少いのであります此の砂鐵の中最も還元しにくいのはイルメナイトの形即ち $FeO \cdot TiO_2$ として存在するものでありまして、さう云ふ部分であつたらば九百度或は千度、もつと高い温度を使つて焼いて見ても其の化學成分に變化は受けないのではないかと考へて居るのであります、勿論 Fe_3O_4 として存在するものは Fe_2O_3 となつて幾分ポーラスになつて還元が容易になり

ませう然しながら焙焼をすると其方かなり多くの熱量が要るやうになつて來まして、なかなか經濟的に困難なものになるだらうと思はれます。

○今泉嘉一郎君 其久慈の砂鐵と云ふのは久慈の山奥にある坑内堀の砂鐵ですか、或は海岸に層を成して居る赤い露出層の方ですか。

○嘉村 平八君 黒い分でありませう、サンプルは製鐵所から貰ひましたので、果してどこから採つたか分りませぬが、赤い分も這入つて居りましたが、大部分は黒い方です。

○今泉嘉一部君 其の赤いのは多分露出層の砂鐵の方で、大部分水酸化して居るものでありませう、それから、尙伺ひますが一般に鑛石を還元したものを直ちに溶かす方法が……ダイレクト・スチール・メーカーの英吉利の試験所にあると云ふことの御話でありませうが選鑛しない鑛石には必ず多少の(例へば一〇%とか又はそれ以上の)夾雜物がある故に冶金上から言ふとかやうに夾雜物を有して居るものを其儘用ひると假令鐵分だけは還元されるにしても、十%なら十%の夾雜物(主として珪酸)が矢張り其儘残つて存在して居りますからスチール・メーカーに際してスチールの熔解經濟が許さないことになりは致しませうか。

○嘉村 平八君 還元した鐵を熔解する事から申しますと此一〇%の不純物を取り除く事が困難な問題になるだらうと想像して居ります、それであるから餘り貧鑛などには應用し悪くい、成るべくリッチな鑛石の方が宜いだらうと考へて居ります。

○梅津 七藏君 オアを還元された場合に、其後でメタリックのアイオンを得られる時間を置いてやられましたたせうか、直ぐやられましたたですか。

○嘉村 平八君 それは御承知の通り非常に酸化し易いものであるから、成るべく酸化しないやうに密閉して器の中に入れて置いてやつたのですが、多少酸化されて居ないとも限らぬだらうと思ひませう。

○梅津 七藏君 それでは私の申す其タイムをどの位置いたら宜いかと云ふ時間を御測りにならなかつたせうか、實驗上或時間(熱度計はルーム・テムペレーチュアまで下がつても猶或時間置いて、さうして分析されたか否やの時間)即ち試料を還元後或時間置かれれば酸化するとか酸化しないとか云ふやうなことがありはしませぬか。

○嘉村 平八君 それは別段實驗的に調べては見なかつたが、もつと還元が出来たらうと思はれるやうな場合に分析から出た結果で還元の成績が悪ければ數回分析をやつたこともあります、其サンプルは壘の中に密閉してあつたのが五日も一週間も経つてから分析をやるかと云ふやうなこともありませうが、其結果は餘り大した變化はありませぬでしたから、空氣中に曝されさへしなければ大した酸化の憂はないかと思つて居ります。

○梅津 七藏君 先きの方法で、重量は直ぐ御計りになつたのですか。

○嘉村 平八君 さうです。

○梅津 七藏君 それで重量の方の還元率と分析で出されました還元率があつて見ると多少違ふやうですが、其差はさう云ふことで來たのではないかと思ひましたので、ちよつと御尋ねした譯ですが。

○嘉村 平八君 嚴格に理論的に申せば矢張り其影響は全然無いこともないだらうと思ひませう。

○梅津 七藏君 それから先きにチタンのことが出ましたが、あなたの御説の通りに彼の異つた鑛石のコムパクトのものを還元するに矢張り比重の関係とか云ふやうなことが非常に影響するやうに仰しやつたやうに思ひませうが、其外に鐵以外のイムピリティーである、殊に輪西の如きは重なるイムピリティーはチタニウムであると思ひませう、其チタニウムの量に依つて大いに還元率が違つて來るやうな風に御實驗の結果が出ませぬでせうか。

○嘉村 平八君 チタニウムの影響と云ふ事に就て特に實驗はやつて見ませぬが、併し私の考へてはチタニウム

がイルミナイトの形であると云ふと……詰り先きも今泉博士の御質問に對して御話したやうに九百度或は九百五十度位の温度で還元しても、此還元した輪西の砂鐵はルーペで見ると殆ど還元以前の鐵石と同様な状態を保つて居たのであります、多分さう云ふものがイルミナイトの形で存在するものと思ひます、さうすると $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ と云ふ様な形であるとしますると此を還元するには先づ FeO と TiO_2 とを引き離されなければなりません、夫には非常に多くのヒートエネルギーが必要で従て $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ をぶちこわす爲にはもつと高い温度であるか又は CO よりももつと還元力の強いものを用ひる様にしなければ還元作用を行ふことが出来ないだらうと思つて居ります。

○梅津 七藏君 バツヒマン氏もやつて居りますが、イルミナイトの還元は四百八十度位から還元し始めると言つて居ります、私もハイテムペレーチユアである程宜いと思ひますが、此結晶イルミナイトを有する砂鐵の如きは結晶が外のオアアよりも非常に完全な結晶をして居るやうに顕微鏡で見ると思はれるのであります、或量のチタンを含んで居る砂鐵の如きは非常に立派な結晶を成して居るのであります、其結晶の立派な結晶を成して居るものの還元率は却つてちよつと還元が宜いやうに思はれるのであります、さう云ふのは先き御話になりましたやうにロースティーンクを有すると云ふことになるのと其完全な結晶が毀れるとか何とか云ふ、組織上の關係が一つは働かないかと思はれる點もありますが、又チタンが餘計あるからと言つて、還元率が絶対にプロホーンヨナリーに悪いと云ふやうな點が見付からなかつたが、其等のことに付てあなたの久慈の砂鐵を取扱はれたと言はれますが、御氣付になつた所はありませぬか。

○嘉村 平八君 單にチタニウムの含量から申しますと、久慈のものも約五パーセント位の TiO_2 があつたのであります、チタニウムの含有量から申しますと久慈の方では還元に影響が無かつたやうに思はれます、之はチタニウムがイルメナイトの形ではいて居らない爲めだらうと思ひます、ところが一方輪西のはチタニウムも久慈のものより多く且つ主としてイルメナイトの形で存在する爲めに、今申しましたやうに還元が非常に困難であるのだらうと考へます。其區別は別段私も深く研究はやつて見なかつたのであります、併ながら想像する所——是は唯私の考へてあります、輪西の鐵石の中のチタンの酸化物と鐵の酸化物とは化學的に或るコンパウンドの状態で在りますから TiO_2 と FeO とのコムバインして居るのを引き離すことが出来ない爲に還元が困難である、若も是等の酸化物を別々に引き離すことが出来ると FeO は當然酸化鐵の還元試験の結果から推して金屬鐵に還元されると云ふことになるのであるからして、チタニウムを含有せる（イルメナイトとして存在せる）砂鐵が還元が困難なのは TiO_2 と FeO とが非常に分離し惡くい爲ではなからうかと私は考へて居ります。

○梅津 七藏君 私の實驗でイルメナイトの持つて居る Fe は絶対に還元しないものとして還元から計算しました、計算しますと云ふと、どうしても其結果はチタンがイルメナイトの形で、其化學式であると計算しまして、其鐵分はどうしてもイルメナイトの有する鐵分が來なければならぬやうな結果を得たのであります、それは矢張り四百八十度附近の所からさうなるのであります、其結果を出したのは美濃の砂鐵でイルメナイト、それを分析計算すると殆どイルメナイトのあの化學式に當嵌まるやうなチタンを含んで居る砂鐵をやつたのであります、其砂鐵から考へますと、矢張り四百八十度位から以下でやると還元に影響する、それ以上の温度でやると餘り影響が無いやうに、あのイルメナイト中の鐵も、ずつと還元して來る、さう云ふ點は私も實驗して見付かつて居る譯であります。

○嘉村 平八君 さうしますと四百八十度位で詰り金屬が得られたと云ふことですか。

○梅津 七藏君 それで FeO がそれより以上の所では分解し始めぬかと私は想像するのであります……

○嘉村 平八君 其點に付て特別に私共の方では深い研究をやつて居ませぬがそんな低い温度で金屬状態への還元が出来ると云ふ事はどうだらうかと思ひます。

○梅津 七藏君 全部すると云ふ譯ではなくして、それからし始めはせぬかと私は考へる、其點に付て……

○嘉村 平八君 さうすると云ふと、あなたの御考では、此輪西の鐵石が非常に還元し悪くいと云ふのはどう云ふ爲であると御考へになるのでありますか。

○梅津 七藏君 それは矢張りチタンの單にイルメナイトの影響もありませうが、其結晶の組織の物理的にも大いに影響して居る、それとハイ・テムペレーチュアなればなる程……其ハイ・テムペレーチュアと云ふのは四百八十度からずつと還元し始めて、さうして或ハイ・テムペレーチュアになれば其イルメナイトの影響は無くなつて來るのぢやないかと思ふのであります。

○嘉村 平八君 ……どの位の溫度になると金屬状態に還元されるのでありますか。

○梅津 七藏君 まあ私の實驗から申しますと、……正確な數字を今覚えませぬけれども、六百五十度位からもう殆ど還元するやうであります。

○會長(河村隲君) まだ御質問が長く続きますかも知れませぬが、時間の都合もありますから、尙ほ御質問の點は書面で以て鐵鋼協會へ御出し下さることに致しまして、又御返答いたすことに致しますが、尙ほ簡単な御質問でございますならば……御質問がございませぬければ私はちよつと極めて概括的に此日本の鐵鑛の研究問題の近來の來歴を申し上げまして嘉村君に御禮を申したいと思ひます、鐵鑛の研究が製鐵事業に必要なと云ふことは申上げるまでもないことでありまして、歐米諸國では非常に多量に鐵石があるにも拘らず、著々と此鐵鑛の研究が始終行はれて居るのであります、我國のやうな鐵鑛の資源の非常に少い所では一層鐵鑛の研究に努力をしなければならぬ譯であります、我國で鐵鑛の研究と云ふことが始めて著目されましたのは七八年前からのやうに私は考へます、今夕御出でになつて居りませぬが、侯博士が主唱されたのであります、成程工場で此鐵石は熔かし悪くとか、熔かし易いとか云ふ熔鑛爐的研究は出來て居るが、併し一つ一つの鐵鑛の性質に付て十分基礎的研究が出來て居ないのは甚だ遺憾だと云ふことから七八年前に大學の教室で鐵冶金の學生に色々問題を御授けになつて、さうして或は北海道の沼鐵鑛でありますとか、或は釜石の磁鐵鑛、それから朝鮮殷栗、兼二浦の褐鐵鑛などの焙燒或は還元率などに付て、屢々研究せられまして、其結果は鐵と鋼及び日本鑛業會誌に度々出まして、それから進んで工學士小澤重明君、理學士川口正名君などの一酸化炭素の氣流中に於ける鐵鑛の還元に就てと云ふやうな論文が最近も度々鐵鋼協會の會誌に出て居りました、其外梅津君の砂鐵の御研究とか、或は滿洲の梅根君の鞍山の貧鐵鑛の御研究とか云ふやうなことが近頃色々盛になつて來まして、當業者を啓發されたことは多大なるものがあつたと考へます、嘉村君は又此鐵鑛の還元問題に就て非常に御熱心でありまして、一昨年暮も水素に依る鐵鑛の還元と云ふ題で鐵鋼協會誌に御寄稿を下さいましたし、又昨年七月にも此題と同じやうに「鐵鑛の還元に就て」と云ふ題で有益なる論文を下されたのであります、殊に今回はわざわざ九州から御出張になつて、此有益なる鐵鑛の還元に就て御話下さいましたことは感謝の至りに堪へませぬ今の御話は詰り從來の鐵鑛の還元の御研究に更に一段の光彩を添へるものでありまして、殊に先程の御趣意のやうに歐羅巴でダイレクト・プロセス乃ち直接に鐵石から鋼を造ると云ふことが幾度か唱へられて、まだ實行困難とされて居る此問題に對しまして我國で其解決に歩を進めると云ふやうな氣運になりましたならば、非常に愉快なことだらうと思ひます併し其實現に就ては色々な困難も伴ふ事と考へますから、尙一層嘉村君の御研究と御努力を希望する次第であります、嘉村君に感謝すると同時に嘉村君の御出張及び御講演を許された所の明治鑛業會社の幹部の御方に深く感謝の意を表します。(拍手)