

# 平爐製鋼材料としての還元鐵に就て

The Reduced Iron used for the Raw Material  
on the Open Hearth Steel Making Process.

深 田 辨 三

## 目 次

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| I. 緒言—還元鐵の必要         | VII. 鹽基性 10 噸爐に於ける實驗   |
| II. 製鋼原料は凡て熔解すること    | VIII. 實驗の結果に就て         |
| III. 一様且短時間に熔解すること   | IX. 海綿鐵の炭素量—炭素量を基にする分類 |
| IV. 軟鋼屑には多く炭素を用意すること | X. 海綿鐵の組織              |
| V. 装入材料中には滿俺珪素の必要    | XI. 還元鐵固有の組織           |
| VI. 海綿鐵を平爐に使用した例     | XII. 結 言 (1927-2-25)   |

## I. 緒言—還元鐵の必要

平爐に使用される製鋼原料は大別して鉄鐵、鑄鐵屑、鋼屑及び鍊鐵屑等とする事が出来る。之等は夫々その品質大小に依り國地方乃至人により種々に分類等級を附して居るが多少異り世界共通の區別なく便宜取扱はれて居る。而し歐米では相當組織的事業として大體一定した形式を備へて居るが我國では鉄鐵以外屑鐵として分類し時價も頗る自由である。その中铁鐵と鋼屑が主で他は僅少であるが前者は已に知らるゝ通りであるから鋼屑に關しその使用上から少し成分上の事を考て見度い。尤も工業界ではその取扱上又經濟上箇々の屑の大小輕重の如何がその價格に關係があるが今は論外に置く。特種鋼も僅かであるから主として炭素鋼屑が平爐作用に及す事を述べて還元鐵に對する必要な性質を論ずる。

今日迄各種の直接製鐵法が發表されても永續せず大抵失敗に終り居る跡を吾々が考へると勿論別に原因あらむも亦當然と思はれる事もある。此の直接法と高爐より鉄鐵とする間接製鐵法との利害得失に就て俵博士<sup>(1)</sup>によるとその優劣は容易に決定されないが察する所直接法に多くの困難があるらしく思はれる。然るに今日の平爐製鋼法の立場から見れば殊に我國では或量の還元鐵の必要に迫られて居る事を感じる。所謂屑鐵は年々不足し價格は漸騰を辿る有様である。之を統計上から見ると鋼の生産額増加率の方が鉄鐵のそれより多い。之は世界的の大勢<sup>(2)</sup>で我國もその數にもれない事が數字に現れて居る。今我國で大正 14 年の産額に就て考へるに約鋼 130 萬噸、鉄鐵 92 萬噸中鋼は八幡製鐵所約 83 萬噸で主に鉄鐵鑛石法により残り 47 萬噸之に假りに陸海軍の分が入り居らずその量を 3 萬噸として少くとも 50 萬噸は鉄鐵屑鐵法による。その鋼の歩留率 90% とすれば約 60 萬噸の全材料が必要である。其の 70% を屑鐵とすれば 42 萬噸でその 20~30% を他から購入するとすれば 8.4~12.6 萬噸がいる。屑鐵の輸入は彼の歐洲大戰前は 2~3, 000 噸であるが其後急増し此の數年來 4 萬噸を越して居る

が餘り大差がないから差引 4~8 萬圓以上國內から求むる事になる。而し實際の量は不明であるが此の外八幡でも屑鐵を購入して居る。彼の鉄鐵鑛石法と鉄鐵屑鐵法とでは前者の方が結局生産費が高くなる事も各原料の價格を考ふれば殆んど察せられようが之は全く屑鐵の不足より來る止むを得ざる次第と思はれるから益々その不足、從て代用品として還元鐵の需要が起ることになる。將來我國で唯一の製鐵原料と頼み居るものは砂鐵であるが今日迄の之に關する研究は大抵鉄鐵を目的とする團鑛法の如き感がある。その團鑛とする迄の經費が塊鑛に比して高價なること及びチタニウムの除去に到着して停滯して居る様に思はれる。而し著者の考では已に天然に砂粒としてある砂鐵を殊更に團結せずともそのまま還元して所謂海綿鐵とするのが結局有利に此の問題を解決し得る一方法ではあるまいかと思惟する。

以て之を平爐に使用すれば最早チタニウムの問題は全然ない。元來チタニウムは鋼に有益な効果を及ぼすのであるが高價の爲に充分に使用し得ない現状にある。沉んや結合劑の必要もない。團鑛に成功したりとするも之を高爐に何割迄使用し得るかと云ふに餘り多量を望まれない様であるが海綿鐵とすれば平爐に 100% でも使用し得る。但しそれには必要な性質がある。

何れより考へても還元鐵は平爐の裝入材料として必要である。

## II. 製鋼原料は凡て熔解すること

之は餘りに明白な事であるが深く考へられて居らない様である。

鉄鐵が製鋼原料として良い所はその融點低く且つその中の炭素、珪素、滿俺等の燃焼熱が利用され得ることにあるから之等の少ないものはその價値を減ずることになる。然るに鋼屑は之に比して融點高く前記諸元素の量も少ないから熔け難い。低炭素鋼程甚しいのは明である。過般歐洲戰亂中屑鐵缺乏の爲めあらゆる屑鐵を使用した經驗によると低炭素鋼屑が如何に平爐作業を妨げたか知れぬ。平爐で恰も爐床の浮上した如く湯面に固塊となり居りて脱炭開始後も熔けないとがよくある。之は水中に急冷しても打破し難い極軟鋼となり居るとは實際家のよく知る所である。その由來は三様に考へられる。

(1)。0.1% C 以下例へばブリキ屑の如きものか又鍊鐵屑として裝入されたものである。

(2)。 (1) より高炭素鋼であるがその裝入當時の狀況不良で爐底が冷えた所へ投入し且つ爐熱の上り方が悪いと底部に附着して益々熔け難くなる。之が爐床材料と共に浮上する。此の甚しい場合は爐底全部に擴がりて操業を休止せざるを得なくなることがある。

(3)。 之は爐底に熱不充分の所へ冷材普通鋼屑を裝入した時爐に熱が少なく熔解する迄に長時間を要し自然少々宛脱炭されて初めの炭素量益々低下して軟鋼となり一塊となりしもので、平常操業時間以上をその仕上げ迄に要することが休日次の日によくある類である。

以上の如くして浮上するものなら未だよいがその塊が大きいと搗きたての餅を板上に置く如く圓錐形で下程廣がり爐底に附着して瓦斯による上からの加熱が利かず單に溶かすのみに長時間を要する。之等の事實から見て低炭素鋼屑即ち純鐵程難溶性なることが知られる。之等を製品とするには到底瓦

斯加熱のみでは不可能で銑鐵、鏡鐵、滿俺鐵等を加へその含有元素の燃焼熱を利用しなければならぬ。此の爲に材料や燃料の徒費爐の損傷を考へると單に一回の製鋼時間の長くなる以外に種々の損失がある。而も良品とならないことが多い。平爐(固定式)では全部熔けない位では到底一部だけで製品を作ることは不可能である。

### III. 一樣且つ短時間に熔解すること

装入材料は全體として計算し配合するのであるからその一部分が早く熔け次で酸化脱炭するとそれを追加する必要があるから全装入量は可成短時間に而も出來得べくんば一樣に熔けることを要する。平爐の仕事が單に熔解だけならよいが精鍊と流鑄の必要上から更に高溫度にするので熔鋼の溫度が大切である。此の爲に材料中の各種元素の酸化熱が熔鋼に與ふる熱量は燃料瓦斯より生ずる熱量よりも製鋼の目的に對しては有効に働く。換言すれば材料が熔解した際に熔鋼の有する熱が製鋼には最も大切である。一樣に熔けても熱が精鍊に不充分であると瓦斯加熱のみでは非常に長時間かかる。理由はコツブの水を上面から加熱すると同じい。一部分がとけないと殊にその部を多く熱せむとして爐の僻を助長する。彼の大戰中支那産熟鐵(熟鐵試料 10 種平均分析結果 C=0.075, Si=0.17, Mn=0.015, P=0.181, S=0.036, Cu=0.010, 大正 8—2—5)を使用したのが之は鍊鐵で殆んど無炭素の爲め熔かすに苦心したことがあるが之等は爐の所謂平調を破るもので非常に悪い結果をば凡ての方面に及ぼすのである。故に平爐に使用する製鋼材料は成るべく短時間に且つ一樣に熔けることが必要なことである。即ち熔鋼に充分熱があればその精鍊作用も思ふ様に行はれ得ることになる。

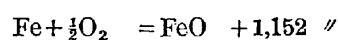
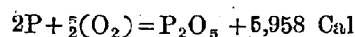
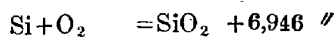
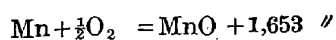
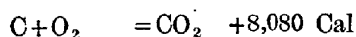
### IV. 軟鋼屑には多く炭素を用意すること

此の目的に對しては銑鐵の量を増加するか又は木炭乃至骸炭を過分に配合するを要する、而し今日の狀態では銑鐵は高價で制限せられるし殊に一般普通鋼製造には益々不經濟であるから骸炭等で補充するが熔解に長時間を要すると熔鋼中に熔け込むよりも爐中で自由に燃焼するから熔鋼の溫度を上げる目的に餘り叶はない。従て所謂熔けきりの際軟い湯になるので之を仕上げるのに非常に苦心を要することになる。之では鑛石を投入して Boiling を起させることも出來ず酸化熱を利用する爲に銑鐵、鏡鐵、珪素鐵、滿俺鐵等を使用する外に道がない。此の如く過分の炭素を用意すること、餘分の各種材料を消費することは非常に不利である上に種々工夫して後に出來た鋼は多くその分析結果は同様でも彈性限、抗張力、伸張率等が少く不良品となり易い。理由は別に論ずるが要するに熱不足に原因して精鍊作用不充分で酸化物瓦斯等の不純物が多く残留され易い爲である。勿論脱磷、脱硫も不充分であらう。故にその熱源をなす炭素を充分にするのに要する骸炭量が多くなるがそれが又容積大なる爲に種々故障の原因をなすのである。

### V. 装入材料中には滿俺珪素の必要

平爐の装入材料中には炭素以外に滿俺、珪素が必要なことは云ふ迄もないことでその酸化熱が大切なのは前述の通りであるがその酸化物は又滓として有効な作用をする、その 1 kg の燃焼熱は次の<sup>(4)</sup>

如し。



所が低炭素鋼或は純鐵に近いものは之等の熱源となるべき諸元素が少ないので之を補充するのに他から入れる必要がある、但し鹽基性爐で滿俺鑛石を使用するのは已に酸化物であるから意味が異なる、某官立製鋼工場の酸性爐では高級鋼の原料として殆んど絶對的必要として瑞典鉄鐵を使用して居るが何れの點に特長を認めて居られるか不明であるが此の鉄鐵中には、殆んど珪素と滿俺がない低磷低硫黄と共に珪素と滿俺の少ないことが特長である、而してその配合表には全装入物に對して 1%前後の珪素鐵と滿俺鐵とを用意することは興味ある事である、其他の鋼屑中にも滿俺珪素は少ないのであるから之等を補充する爲なる事は察するに難くない、之が酸性爐で高級鋼を製造する場合には殊に珪素滿俺の必要なことは著者も經驗したことである。

此等の關係は鹽基性爐材料としても必要のことであるのみならず轉爐にても從來の考に反して 1.5~2% 位の珪素が鉄鐵中にある方が有効であるとは八幡製鐵所で著者が聞いた事實で如何に之等が製鋼原料として必要であるか知られる。

以上の如く鋼屑中に相當の炭素、珪素、滿俺が含有し居ることは製鋼材料として必要條件であるから若しその含有率が少なければそれだけ別に補充する必要がある、即ちそれだけ餘分の材料を要することとなるのである。

故に鋼屑に代用さるべき海綿鐵としては可成之等の元素を含有させることは必要なことである。

米國の採鑛冶金協會 Pittsburg Meeting<sup>(5)</sup> で平爐の問題を論せられた時に輕重鋼屑 (light scrap & heavy scrap) を鹽基性平爐に使用した例に就て P. H. Shaeffer 氏は次の如く述べて居る、輕物と重物とを平爐に使用した結果によると鋼塊生産率 4% の差があると。此の説に對して C. H. Herty, Jr. 博士は賛成し輕物屑中には重物屑中にあるより 4 倍も多量の酸化物が含有せられると附言して居る、以上が論争の中心となり多くの論客現はれた主なるもの次の如し。

C. W. Peirce 氏：兩者の經驗と區別なし、其工場では削り粉鐵、板屑の束、鑄床屑、等を使用して平均出鋼率 87.5% 配合は粉骸炭 2 箱、鑄物屑 10%、鉄鐵 30% を輕物屑に附加せりと。J. F. Reinartz 氏：重物屑なく、輕物屑は無鏽のものにて出鋼率 89.5%、R. L. Ashbough 氏は Peirce 氏に、F. A. King 氏は Reinartz 氏と殆んど同じ。

K. C. McCutcheon 氏：Metallic Charge は出鋼率の眞の根源なりと、R. L. Cain 氏：屑の形狀には無關係なり。

著者の研究によると鹽基性 30 廔と 10 廔爐で鉄鐵 30% 屑鐵 70% 使用、及び酸性 60 廔爐と 30 廔爐で鉄鐵 10~15% 其他屑鐵但し主として上等の 1 塊 1 廔以上のもの削粉 5~10% の使用したもの

で某年 1 ケ年間の平均成績次の如し。

出鋼成績表 (1)

種 類	出 鋼 率	出 鋼 率		製 品 率		
		熔損	銹屑 鋼塊又は銹物	製品屑	製品	
酸 性 爐	上	3.90	3.09	92.99	3.22	96.78
	下	3.71	2.65	93.64	2.75	97.25
	平均	3.81	2.87	93.32	2.98	97.02
鹽 基 性 爐	上	10.08	3.86	86.06	4.29	95.71
	下	8.66	4.45	86.89	4.96	95.04
	平均	9.37	4.15	86.48	4.63	95.37

但し出鋼率は装入量に對する比であるから此の際の出鋼率は實は屑と製品との合計であるから一般に言ふ場合にはその平均の合計で酸性爐 96.19、鹽基性爐 90.63 の成績となる。又製品率は全出鋼量に對する比である。即ち酸性爐は凡て材料が上等であるが鹽基性爐の方では小薄の屑が多く銹の多い事、酸化し易いことは事實でその爲に出鋼率に 6% の差が示されてある。

又鹽基性爐が酸性爐よりも不良の材料を使用すること。前者は精鍊に主きを置き不純物を酸化除去するが後者には此の事無きこと、作業状態は概して前者が亂暴で後者よりも過失度數多く之が出鋼率を下す原因となること等が考へられるが輕物屑がより多く酸化熔損することは滓の量多きことから察せられる、更に銹の多少に關係することも事實である、而し米國の例は著者の場合より屑が上等の様に思はれるが輕重屑に差のないとの論は何か他に原因があるのでなければ各論者の輕重標準の差、一回装入量即ち爐の大小、装入物と鋼塊量との比例の取り方の差等によるのではあるまいか。即ち装入量中に附加材料、鑛石、石灰、骸炭等を入れるのと否とある出鋼量と鋼塊量は異なる全出鋼量と製品量は必ずしも一致しない、殊に製品の大小が大に影響するから 5 匁 10 匁と鍛鍊を目的とする大鋼塊と 200kg 300 kg と云ふ如き壓延工場用の小鋼塊とでは屑に非常な差があるから上の各説はこの點を明にしなければ論ぜられないが確かに輕重屑に差はある、小薄のものは大厚のものより熔解中に酸化し易い、海綿鐵の如く多孔質のものは殊に酸化し易いから熔解損失の原因となるのは事實である。

## VI. 海綿鐵を平爐に使用した例

今日迄海綿鐵の如き還元鐵を平爐に使用した例を見たことがないから大正 8 年の春日本鋼管會社製海綿鐵を 200 匁餘を日本製鋼所で使用した實例を述べる。

彼の海綿鐵は磷、硫黄少く酸性爐用となる豫定で購入したのであるが初め酸性 50 匁爐で 1 回に 3 ~ 5 匁使用し、次で鹽基性 25 匁爐で少量使用したが次の如き理由で使用不可能として放置された。

- (1) 軽く嵩張ること 非常に有孔質で軽く爐内に嵩張り装入、操業共に困難であつた。
- (2) 熔解難と湯面に浮游すること 加熱進み他の部は熔解するも海綿鐵は熔け難く而も輕き爲め湯面に浮上し全部の熔解に長時間を要した。第 1 回に困り次には圓形のを數片に打破して他の材料の最下にして装入したのであるが同様難熔且つ浮游して苦しんだ。

(3) 爐床の浸蝕甚し 漸く熔解すると共に酸化鐵に富んだ滓となり湯面の殆んど全周(主として珪砂で作る酸性爐)浸蝕されたので非常に危険を感じた、それで次回後珪素鐵を装入物中に増加しても止まざりし事實で最も酸性爐で恐れられることである、即ち第一酸化鐵(FeO)が珪酸に出會ふと融點低き珪酸鐵を作る、 $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$  で 55% FeO, 45%  $\text{SiO}_2$  のものでは融點は實に 1,100°C であるから此の如き酸化鐵多き(これは海綿鐵より來る)滓が爐の周壁に接すると直に珪酸鐵となり浸蝕作用を起すことになる。

(4) 滓中に酸化鐵多過ぎること かく滓中に酸化鐵が多いので之を酸性滓にするに苦心した。以て(3)の爐床浸蝕作用を緩和するに必要にして其上熔鋼に充分熱を保たせるのには酸化鐵に富んだ所謂薄い滓では到底不可能であるから珪酸に富んだ所謂厚い滓にするを要するが酸性爐では熔解後滓の改造は一層困難である。珪素鐵を使用して或程度の目的を達し得たりとするも到底不安使用に堪へずとして中止された。尤も低磷低硫黃の點は此の位の使用率では餘り問題視するに及ばない。

(5) 鹽基性爐にても爐床の浸蝕多し 爲に操業困難で使用を中止されたのである。

此所に於て著者はその使用法と海綿鐵の性質を研究する目的で鹽基性 10 匁爐に於て實驗することにした。その装入量 10~12 匁に對して初め 1 匁宛配合し種々の困難を経て次で 1.5 匁迄増加したのであるが之以上使用することは此の如き形式の海綿鐵では不可能である。平均 10~15% 使用したが 10% が安全と考へる。

10 匁爐に決定した理由は前述の如く酸性 50 匁、鹽基性 25 匁爐にて何れも絶對不可とされた位危険性ある材料であるが購入した以上處分する必要があるので或程度の失敗を豫期して失敗しても損失少き小型爐を選定した次第である。

## VII. 鹽基性 10 匁爐に於ける實驗

1 回装入量 10~12 匁の爐で鑄鋼品製造を目的とし當時の製品は全部鐵道省納輪心で主要成分は炭素 0.2% 滿庵 0.4% 珪素 0.3% 磷硫黃は共に 0.05% 以下を主眼とした。その操業上に現はれた所次の如し。

(1) 海綿鐵は軽く嵩張る 彼の海綿鐵は普通銑鐵 1 匁入りの裝爐箱に約 200 kg位しか入れられず銑鐵なら 1 箇で足りる場合に 5 箇の箱を要した。海綿鐵と骸炭又は木炭が嵩張る爲に 2 回に投入したので熔解時間も延長した。即ち此の海綿鐵の使用は装入當時は過多の材料装入の如き不利と熔解後は熔解損失多くして過少装入した時の如き不便となる。

(2) 炭素、滿庵、珪素の不足

海綿鐵中には之等が殆んどないから補充する必要に出合ふた。木炭、骸炭で炭素を補充したが工場の經驗に依るとその炭素の歩留り即ち鋼中に熔る量は平均 50% と考へて居るが鹽基性爐ではその率が低い。殊に材料の良否と熔解時間の長短が非常に關係する。實驗當時の事實であるが職工は熔解休止

すれば製鋼割増金が皆無となることを非常に恐れて著者が配合率を計算して木炭使用量を指定しても豫定通り入れないので故障の原因をなすから止むなく夜中監督の爲に裝入時間に立會した位である。之を銑鐵で補充すれば問題はないが之は經濟上許されないことであるから止むを得ず此の如く實行したのである。軟く嵩張ると爐の損傷は甚しいのである。

(3) 湯面を泡で蓋ふ この現象は酸性爐でも同様であるが海綿鐵を使用するとそれが熔けるに従ひ恰も蟹の泡の如き微細な泡状となりて湯面を被ひ Boiling を始める迄に時間を要した。その泡中には氣體があるから瓦斯加熱で充分鋼に傳導するのを妨げたのである。最初は此の現象をマグネシヤ爐床が浮上したものと思ひ非常に驚いた程である。海綿鐵が熔け難く長く後まで残留したことは云ふ迄もないことである。

(4) 酸化鐵多き滓となる 熔けて 酸化鐵多き滓となり而も熔鋼に熱が不足であるから鑛石や石灰石を投入して作用を進行させられない。それに比例して熔鋼中にも酸化鐵が多いので精鍊に時間がかかる。滓の調節困難、製品の品質悪化となつた。滓の量も多い。

(5) 爐床の浸蝕される原因 酸性爐々床や湯面の周壁が海綿鐵を使用して浸蝕される原因は全く前述の如く珪酸鐵の生ずる爲で非常な不安を爐の責任者が抱かれたので充分精鍊を完成しない中に急速に出鋼してから浸蝕箇所の修理に苦心した。而し鹼基性爐々床が浸蝕された原因は酸化鐵で無く主としてその中に混在してある珪酸の爲である。之等が爐床材料と熔け易い滓を作るのによる。

### VIII. 實驗の結果に就て

以上述べた通り平爐材料として海綿鐵が最も問題となるのはその鐵の形である。當時工場で分析した結果は次に示す通りであるがこの成績と實物とを比較して考へると此の残りは全部鐵とすることは出来ない。

之は酸性爐用材料を目的としてそれに必要なもの有害なものに重きを置き銑鐵の如く取扱はれたからである。且つ此の珪素は鐵中に無く滓中に混入して居るものである。鐵としてある部分、酸化鐵としてある量とその形等は最も重大な關係があるのである。全鐵量とその之等の關係を明にしなければ以上の如く實際平爐に使用して現れた事項を解決することが出来ないのである。

炭素の量に就ても熔けて鐵中にあるか機械的に混合してあるかに就て重大な意味のあるかは已に述べた通りであるから著者が分析した結果は後に記述する。

海綿鐵の分析(%)表 (2)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sum
1.	—	1.08	0.42	0.06	0.04	0.224	1.834
2.	—	0.92	.06	.064	.055	.220	1.319
3.	0.04	1.65	.16	.060	.038	.184	2.092
4.	—	1.70	.18	.108	.092	.072	2.152
5.	—	1.61	.26	.072	.086	.156	2.184

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Sum.
6.	0.02	0.83	0.10	0.040	0.095	0.164	1.249
7.	—	0.90	0.48	0.068	0.076	0.140	1.664
8.	0.08	1.70	0.26	0.088	0.046	0.160	2.334
平均	0.045	1.30	0.24	0.071	0.065	0.165	1.886

但し C% の平均は 3, 6, 8, 3 種平均とす、他は無か分析せざりしか不明に附平均値に入れず。而し多分ないものであらう。

(1) 酸化鐵前述の爐の状態から見て第一に思はれるのは酸化鐵の存在である。之があれば熔鋼中に來り炭素、珪素、滿庵、燐、硫黃等の酸化の源をなすべき酸素の供給源となる效があるが過多では困る。彼の海綿鐵は 1,000 °C 以下の溫度で還元して製造されるのであるから鑛石も残留して居るのは相當に第一酸化鐵の形となり居るべく他の形の酸化鐵でも平爐の熱では第一酸化鐵になるであらう。彼の滓中に酸化鐵の多いのは此の如き酸化鐵が熔けたのであらう。之が自由状態で滓中に來ると非常に珪酸と化合し易い強い親和力を有するから酸性爐床の浸蝕されたのは當然である。若しこれがその溶解の途中鐵の酸化で出來たものとすればその他は日頃と同じ様な材料であるからその出所は海綿鐵の酸化である。而も全回を通じて同様であるから疑問の餘地はない。而し此の多量の全部が酸化で生じたとすれば日頃の操業の時よりも酸化鐵が多いだけ酸化熱を生ずるから熔鋼の熱が高く作用も早くて然るべきであるが事實は反對であるから海綿鐵中に未還元酸化鐵が残留しあることは承認される。

(2) 純鐵及純鐵よりの製鋼海綿鐵中には酸化鐵があるが又鐵が多量にある。假りに之を純鐵と云ふことにする。平爐で他の材料溶解後その上に浮上して残ること、他の材料と比較して相當純粹な鐵であることは先に述べた。純鐵の融點は 1,530 °C でその融點降下に効果のあるのは炭素であるが 4.3% 炭素の共晶で融點 1130 °C と云ふ如く連続的に下る。

平爐では一部分だけ特に高溫度にすることは殆んど不可能で爐全體が熱が上り初めて全體熔けることになるから(勿論瓦斯の當る所は早くその融點に達して先にとけるが之は餘り自由に調節出來ない)純鐵の如く高融點を有する材料は困る。之が殊に感ぜられるのは新設爐で充分爐に熱のない時や修理期に近い老境の爐に出會ふ事實である。

装入鐵材の純度が高ければ單に溶解してそれに必要物を附加すれば製鋼の目的は達せられることになるが平爐では此の純度高き鐵材のみを用ひて製鋼する事は容易でない。技術的方面から考へて平爐の装入材料に純鐵 50% 以上使用することは困難である。第一は軽く嵩張ることと到底鋼屑や鉄鐵の塊位に壓縮することは望まれない。次は融點高きことである。最近川崎の葺合工場で採用して居る Ruppmann 法或は小型鑄鋼を得意とする所の Boshhardt<sup>(6)</sup> 爐の如きは從來の平爐に比して樂に高温が得らるゝ由であるから或は心配は少ないかも知れないが未だ耐火物、爐の命數其他に關して幾多研究すべきことがあると思はれる。平爐では装入物を溶解し之を所要の高溫度に達せしむる迄に時間がか



かる。その精鍊の道程に於て Boiling が非常に輕微な時は充分鑄鋼に必要な熱に達せしめることが甚だ困難である。此の Boiling はその精鍊作用に缺くべからざるのみならず又熔鋼の熱を上げるにも必要で之は主に鋼中の炭素の酸化によるが純鐵からは之が望めない。即ち此の缺點を補ふ必要がある。

(3) 爐床の損傷と滓の悪化此の點に就ては先に詳論した通りである。

(4) 多孔質と酸化 海綿鐵は多孔質である爲めに爐中で酸化し易い。

著者が純鐵約 70% を含有する海綿鐵 2 種から試料 2 箇宛取りて測定した結果は次の様である。

海綿鐵の比重表 (3)

名 稱	試料 A	試料 B
真 比 重	5.9	5.6
見 掛 比 重	4.8	3.9
有 孔 率	20%	30%

之を普通の平爐材料に比較すれば次の如くである。但し鐵と鋼は日本製鋼所にて測定せる結果による。

製鋼材料の比重表 (4)

名 稱	炭素量(%)	比重	名 稱	炭素量(%)	比重	
炭 素 鋼	0.16	7.841	鑄 鐵	2.97	7.227	
	0.29	7.847		磁 鐵 鑄	0.654	4.3~5.2
	0.35	7.848			赤 鐵 鑄	5.2
		褐 鐵 鑄		3.6~4.0		

彼の海綿鐵は同一片でも部分によりて多孔の度異なるが大體平均の値と信ずる。之等からみると海綿鐵は赤鐵鑄乃至磁鐵鑄に近い比重を有する事が知れる。

此の如く多孔質で而もその融點高き純鐵であるから裝入後熔解迄に非常に酸化し易い。之を有効にするには更に壓縮する必要がある。

### IX. 海綿鐵の炭素量—炭素量を基とする分類

以上實驗の結果海綿鐵は純鐵、酸化鐵、珪酸鹽の塊であることが知れる。而し還元用の炭素の使用量如何によりて任意の炭素量をその中に含有せしめ得る由であるが平爐の製鋼原料としては之は最も重大な關係がある。1,000 °C 附近の溫度で製造されるのであるから滲炭され得ることは事實であるがそれに必要な溫度、熱量、大氣の性質、CO, CO<sub>2</sub> 瓦斯の割合 H<sub>2</sub> 其他炭水化物、炭酸鹽等の媒介物の有無自由炭素量及び鐵と酸化鐵等の間の平衡狀態如何によるのであるから實際問題としては相當複雑した關係があることと信ずる。その上に經濟觀を加味すると愈々六ヶ敷い。

今日迄著者は未だ海綿鐵中に炭素の必要を述べた例を見ない位であるからその含有率も區々である。大抵は 1.0% 以下殊に 0.1% 以下が多い様である。除磷、除硫に重きを置く事は悪いことではない必要であるが普通鋼の原料がその目的であるならば余り問題視せずともよいが炭素量は是非共 0.3% 以上を必要とすると絶叫し度い。勿論 0.2% 以上あればよいが出来ることなら 0.3% 以上が

望ましい次第であるが 0.2% 以下では困る。

而して之は混合では不可で鐵中に結合せしむることを要する。還元鐵の性質としてその製品の比重を増すことは困難が伴ふので或程度の多孔質は全く止むを得ない故爐中で可成酸化損失を減少するには少くとも炭素含有量を 0.3% 以上にしてその融點を下げ以て早く熔解せしむることは凡ての點から考て必要である。

今日銑鐵には珪素量による 1 號 2 號等の級別があるが還元鐵に於ては炭素量を基にして 1.0% 以上を 1 號 0.5% 迄を 2 號以下を 3 號とする如くしては如何と提案する。勿論此の%は確然と之にする必要はないが少くともそれ位に炭素含有量の價値を認むるものである。

此の事は平爐以外の製鋼法に於ても同様に必要な事項である。

扱實際平爐で使用したものの炭素量は表(2)に示す如く 0.02, 0.04, 0.08% を平均して 0.045 として置いたがあれは全炭素量で鐵中のものと混合のものとの和である。著者が分析した所によると結合炭素は 0.007% (試料A) であるが 1.0 瓦の試料に對してあるから無として宜しい。自由炭素は(A)は 0.42, (B)は 0.43 である。後者は明に肉眼でも見らるゝ木炭石炭等の炭素量であるが所によりて差異は免れないが大體平均値と信ずる。此のことは顯微鏡によれば更に明瞭する。

著者が A B 兩種に就て分析した平均値は次の通りである。

還元鐵の化學分析表 (5)

試料別	Metallic Iron	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Total Carbon	Sum
A	69.0	8.60	11.10	10.81	0.42	99.94
B	72.02	9.91	15.30	2.10	0.43	99.76

但し CaO, MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> trace,  
其他のものは分析せず。

上の結果と表(2) とを對照すれば還元鐵の性質が知らるゝ如く平均 70% の純鐵と 30% の其他の酸化物と大體見ることが出来るのである。尙ほ酸化鐵の量は約 20~25% で可なりの量であるし珪酸は B の方が非常に少ないのであるが先づ A の方が使用上の結果からみて代表的のものではないかと考へるが之等が種々の作用を爐中であることが知られる次第である。

## X. 海綿鐵の組織

2 種の試料に就て研究したる結果は大體差異なき故試料 A に就ての結果を述べよう。現品は何れも小片であるが記憶によると原形は直徑約 1 尺の圓形である。厚さ約 30mm 強で肉眼的にも明に木炭、石炭、鑛石、滓等が區別出来る。而し破面を見ると灰黒色で表面に見ゆる鏽は 1~2mm 以上に浸入して居らぬ、尤も破面の所々に赤鏽の點在するのがあるが微量である。殊に B の方は製造後 8 年中その大部分は戶外にあり見本として工場内に入りしは 2—3 年前と信ずるから案外酸化の心配が少ないと思はれた。A より試料を取りて檢鏡した結果次の如し。

第 1 圖、原試料を磨いたまゝで割合充實せる部を示す、白色部は地鐵 (假りに孔、滓等以外の鐵の

部を云ふ) 灰黑色部は滓乃至酸化物、地鉄の周其他大部分の黒部は孔である。

第2圖、硫酸のアルコール溶液 (5 c.c.  $\text{HNO}_3$ , 100 c.c. Alcohol) で 30 秒間腐蝕したものの大形白部はフェライト點々は腐蝕像でパーライトなし、微小黒點が玉狀セメントイトの疑問ありて次の實驗をした。小白粒の點續せるものは滓、黒部は空孔である。油を利用して更に 1,000 倍以上にして檢鏡したが地鉄中に炭素が見當らず。フェライトはアルムコ鐵 (比較に用ゐたるは炭素量 0.03 と稱するもの) よりも純鐵であつた。而し結晶粒の境は發見出來なかつた。腐蝕もピクリン酸を使用しても又時間を 10~120 秒浸しても別のものが現はれなかつた。又一般の面より深く腐蝕されて早く黒褐色になる部がある。圖中白色を圍み灰色の部がそれでその中に灰黑色の點々がある。之は鐵粒が中にフェライトが周にある所を見ると中は末還元の鑛石周は還元された許りで他の完全のフェライト程エネルギーを取らないから酸より浸蝕され易いものと思はれる。又鑛石粒を伴はない而も早く腐蝕されるフェライトもある。之等は此の海綿鐵の還元されて製造される道程を考へればあり得ること面白いことである。滓、鑛石、鐵等が何等關係なく雜然と混合して居ることは機械的加壓成型の跡と見られる。以後の試料は特記無き限り皆 400 倍(次に示す寫眞は 250 倍に縮小して示す)に廓大したものである。

第3圖、Picrate Boiling したものの(3 分間)、セメントイトなし。フェライト中の微小粒が黒くあるのは滓か酸化鐵である。白色部はフェライトで寫眞の圓形が缺けて居る所も同様である。此の腐蝕時間を 2~6 分間に種々試みたのであるが余り變化が認められない。何れにするも炭素は認められない。

更に眞空 (0.5mm. 水銀柱)電氣抵抗爐中で 1 時間 30 分で 930 °C に達し 30 分間保持後爐中冷却し標準化した。試料の大小 10×10×30mm。若し炭素あらば波來土にし度い目的であつたが全々豫期に反して出ない。

第4圖。標準化したものを硝酸で 30 秒間腐蝕したものである。

第5圖。原試料其儘を同倍率にして示す。(次に示す眞寫は 250 倍)

此の2種で殆んど變化がない純鐵の様が見られよう。而し加熱した試料中の滓は明に熱の爲に作用されて周圍にある地鉄から擲出された様に見える。

又標準化したものを Picrate Boiling したがセメントイトは現はれない。之等の研究の結果によりて此の地鉄が眞に純鐵であることが知られる。その純度は 0.03% C アルムコ鐵よりも數等純粹であることが明にせられたのである。

## XI 還元鐵固有の組織

今迄の顯微鏡的研究の結果明にしたことは此の海綿鐵は純鐵、鑛石、木炭、石炭、滓等が混合して居る多孔質の塊であること、其の鐵は純鐵なるにも係はらず鐵固有の多角形の結晶境が見られないことである。故に此の事實をば著者は次の如く解釋して次の如き實驗をなした。

此の純鐵にはアルムコ鐵に見る如き鐵の多角形が現はれないのはアルムコ鐵等今日一般に取扱はれる鐵は大抵熔融狀態より冷却結晶して形成せられたものであるが海綿鐵は 900 °C 邊で鑛石から還元



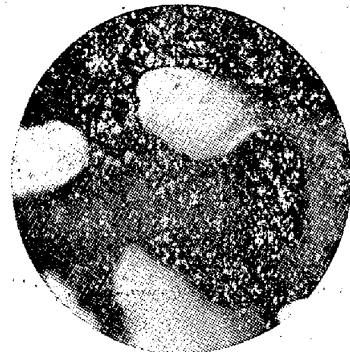
第一圖 約×30  
原試料のまゝ。白色部は地鉄他は氣孔又は滓



第五圖 約×250  
試料のまゝ、腐蝕せず



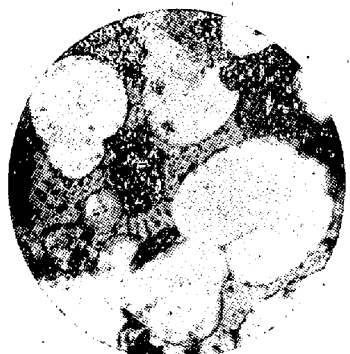
第二圖 約×250  
硝酸のアルコール液にて腐蝕 白はフェライト  
其中の點々は腐蝕象



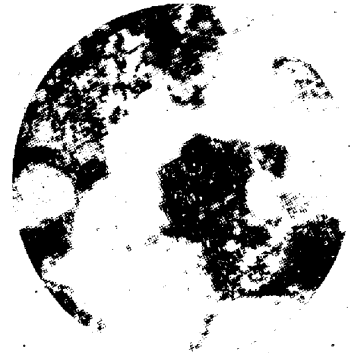
第六圖 約×250  
950 °C で真空中に 8 時間加熱。硝酸、腐蝕  
白はフェライト、灰は滓、黒は孔



第三圖 約×250  
Picrate Boiling せるもの白はフェライト、黒  
は孔又は滓



第七圖 約×250  
第六圖同様處理、腐蝕  
但し加壓せるもの、白はフェライト、灰は滓、黒は孔



第四圖 約×250  
標準化したものと二圖同様硝酸にて腐蝕  
白黒は第三圖に同じ



第八圖 約×250  
木炭と CO 瓦斯中で 900 °C に 3 時間保持滲  
炭せしむ、波來土、フェライト滓、空所等は先  
の圖に同じ、硝酸で腐蝕

せられて酸素を取り去られ鐵分だけ残留したもので還元爐でそれ以上作用するに至らず爐から出されたのであるから純鐵が固有の結晶形を取れなかつたものであらう。即ち換言すれば熔融源 (Melt Origin) の鐵と固形源 (Solid Origin) の還元鐵とではその形に差があり得る。

若し此の假定が眞なりとすれば此の海綿鐵に相當の熱と時間を與ふるならば成長して鐵本來の多角結晶形となるべき筈である。著者は斯く信じて次の如く真空電氣抵抗爐中で加熱してその組織を検査したのである。真空電氣抵抗爐 (0.5 mm 水銀柱) 中に  $10 \times 10 \times 30$  mm の試料を入れ  $950^\circ\text{C}$  に 4 時間加熱して爐中冷却をした。同時に一旦原試料を碎き直徑 10mm 長さ 20mm に充分加壓變形したのもをも同一爐中で同様處理をなした。然る所その組織は大分改善せられて何れも原試料の如く細長網状の地鐵は多角形になり鐵固有の結晶形と同様の形を呈するに至る。更に同一方法で 8 時間加熱したるに次の如し。

第 6 圖、同様爐中で  $950^\circ\text{C}$  に 8 時間加熱したものを硝酸で腐蝕して示したのであるが之では多角形を通り越して圓形を呈して居る。その影響が滓部にも現はれて居る。

第 7 圖、第 8 圖と同様取扱をしたる加壓成形した試料である。之ではそのフェライトの圓形化が一段と著しく現はれて居る。箇々點在せるフェライトが美事な圓形を呈して居るし且つその境も明瞭に見られる。

尙ほ此の如き加熱の爲に組織の變化したことは更に  $800^\circ\text{C}$  に 4 時間加熱した際にも多角形化したのであるから之は先のものが A。以上に加熱したから現はれたとも考へられない。

## XII. 還元鐵と加炭法

還元鐵として今日迄あるものが大抵炭素含有が少ない殊に著者が平爐で使用したものは事實純鐵なりし事而して之に炭素を入れてその融點を下す必要あることを先に述べた。然らば如何にすべきかと云ふに之は固體鐵に滲炭するのであるが彼の試料海綿鐵を電氣抵抗爐中で種々實驗した所では單に 99% 以上の CO ある瓦斯中で加熱しただけでは溫度は  $700^\circ\text{C}$  ~  $1,000^\circ\text{C}$  間で  $1,000^\circ\text{C}$  に 30 分を最短として 30 分乃至 4 時間で滲炭せしむることが出来なかつた。尤も之は實際透入した筈だけであるが事實不然恐れがあるから Armco Iron を同時に爐中に入れて平行に取扱ひたる結果も同様滲炭せられなかつた。之に依りてみると單に彼の如くして製造せられた海綿鐵のその爐中で長時間置くのみでは滲炭不可能のことが察せられる。況んや彼の還元爐の大氣を 99% 以上 CO 瓦斯とすることは不可能であるから益々困難である。

次に試料を木炭粉にて包み同様 CO 瓦斯を通じて加熱した所が  $800^\circ\text{C}$  ~  $1,000^\circ\text{C}$  何れでも 2 時間で滲炭せられ顕微鏡下の状態で判斷すると 0.2% 以上の炭素量になり居ることが知られ就中  $900^\circ\text{C}$  ~  $950^\circ\text{C}$  のものが滲炭量が多いことを示して居る。而して同時に爐中に入れたアルムコ鐵の滲炭されるのと餘り大差がないが概して海綿鐵の方がよく炭素が滲入して居るが多孔質であるから當然のことと思はれる。以上は 20 種の試料で得た結果であるが詳細を記す迄でないから略する。時間は特別の場合の外

は 2 時間宛規定温度に保持した。その例は第 8 圖の如し。

次に平爐中で鉄鐵と共に装入せられる場合を想像して普通鉄鐵粉に試料を包みて CO 瓦斯中で同様温度と時間とを變更して加熱した結果は木炭粉中の實驗結果と大差が無いことが知れた。而し兩者の場合粉上に置いたのと包んだのとでは滲炭程度に差があることから考へると實際平爐中でその材料が溶解する迄に何程の滲炭をも望まれなと思ふ。還元鐵に平爐中で滲炭せしむることはなし得る可能性は理論的にはあるのであるが實際には六ヶ敷い故に如何にしても還元鐵の製造される時に滲炭せしむることが必要である。

扱先の CO 瓦斯中加熱で滲炭せられず木炭粉乃至鉄鐵粉中の加熱 (CO 瓦斯中で) で容易に滲炭せられることに就て考へるに前者の場合は後者の場合より酸化鐵を還元すに困難があり爲に之等の間に容易に平衡が保たれない爲めであると思はれる。之は理論的に當然のことであるが兩者を比較して反應速度を考へる時滲炭の理論に就て之を實際に應用する場合に如何に困難であるか察するに餘りある。之を實用化するとしても到底海綿鐵を包む程多量に木炭粉等を使用することは許されないことは明である。尤も滲炭期を成形前にする場合には又多少容易の様でもある。而しながら還元鐵に加炭する方法として單に滲炭による外にも道があることと思ふ。依教授より此の點に關して有益な注告を受けたが未だ公表するに至らない。

Williams<sup>(8)</sup> 氏等の大小兩種の研究結果によると熔解點以下で木炭を還元劑として鑛石から直接鐵を得た所によれば可能範圍は  $875^{\circ}\sim 1,025^{\circ}\text{C}$  で就中  $950^{\circ}$  が理想的とある、且つ大規模の實驗では原鑛は石炭粉と  $900\sim 1,000^{\circ}\text{C}$  間に平均 30 分間置かれ完全に還元せられ後磁力選別すると平均 1% C と 65~90% Fe を含有すると。Hornsey<sup>(9)</sup> 氏が Chesterfield で實驗されたのによると爐からの排氣で装入物は  $800^{\circ}\text{C}$  に豫熱せられる。製品の炭素は 0.01~0.04% Langenberg<sup>(10)</sup> 氏が市街瓦斯で鐵に滲炭の實驗をされた結果によると  $725^{\circ}\sim 810^{\circ}\text{C}$  間では全然滲炭されないと云ふて居るが之は著者の場合に一致して居る。

以上種々の實驗に依るも所謂理論的の現象の何れの間を實用とすべきは多くの事項を考に入れると益々困難になる。

## XII. 結 言

本論文の要旨は次の如くなる。

1. 諸方面から考て平爐製鋼原料として還元鐵は必要なる事。
2. 砂鐵の處理法としては之から還元鐵を作り製鋼原料とする事は必要であるから結局此の法で有利に解決され得る日あるであらう。
3. 屑鐵を種々平爐に使用した經驗から製鋼原料としては之に相當の炭素量含有し居る事を要する事。其他滿俺、珪素の必要。
4. 第 3 項の必要事項が還元鐵にも亦本目的に對して必要な性質である事。殊に炭素を 0.3% 以上

含有せしめて鐵の融點を下す必要ある事。従て、還元鐵はその必要な炭素量を基にして銑鐵の如く等級を附する事の提案。

5. 海綿鐵を平爐に使用した結果によると、

(1) その純鐵である爲に難熔性で操業の故障の原因をなす事。

(2) 酸化鐵、珪酸ある事、及び多孔質なる事が製鋼作業に有害なる事。

(3) 多孔質で軽く嵩張る爲に爐の故障を起す事、熔解損失大なる事、故に更に壓縮する事。

6. 以上平爐に於て使用上故障を生じたる原因をその試料を得て、比重の測定有孔度の測定、含有元素乃至化合物の化學分析、顯微鏡的組織の研究等によりて確めたる事。實地の考と一致した。

7. 還元鐵と熔融源の鐵とでは差異ある事。

8. 還元鐵に對する加炭法の研究の一つとして滲炭法の實驗の要領。

以上の如くして著者は益々不足しつゝある製鋼用の屑鐵の代用品として還元鐵が實用に供せらるゝ日を期待する次第である。

尙ほ從來の Sponge Iron 海綿鐵なる詞はその質の多孔質なる事を直感せしめて面白くないから、反つてその原の Reduced Iron 還元鐵と云ふか或は其他かゝる氣分のしない詞に変更さるゝ事を提案する。

終りに本研究に對して東京帝國大學俵教授及び東北帝國大學大石教授から御懇篤なる御指導を受けたことを謹で御禮申上ます。

〔註〕

(1) 俵國一：鐵と鋼第 12 年第 9 號 pp. 733~747

(2) Iron Age : Jan. 7, 1926, p. 27.

(3) 商工省鑛山局：鐵と鋼第 13 年第 1 號附錄

(4) Landolt-Börnstein : Physikalisch-Chemische Tabellen(1923)pp. 1496~1527.

(5) Iron Age : Oct. 14, 1926, p. 1060.

(6) Iron & Coal Trade Rev. March 5, 1926.

(7) 東北帝國大學金屬工學科教室にて研究自大正 15 年至昭和 2 年(深田辨三)

試料 A は東北帝國大學金屬工學科教室標本として大正 15 年 12 月日本鋼管株式會社寄贈のもの

試料 B は先に著者が實地に使用したるもの、殘留品で日本製鋼所長井技師より昭和 2 年 2 月寄贈

(8) Williams, Barrett, Larsen: United States, Bureau of Mines; Iron Trade Rev. Jan. 29, 1925. Vol. 26. pp. 344~347

(9) Hornsey: Echo des Mines et de la Métallurgie Oct. 1, Dec. 1. 1924 pp. 424~425. 520~521.

(10) Langenberg : Journ. Iron & Steel Inst. 1917, I, p. 145.