

## 快削鋼の熔製に就て

(昭和 28 年 3 月 本会講演大会にて発表)

北 島 一 男\*・杉 野 導 人\*・加 藤 健\*\*

## ON MANUFACTURING HIGH SULPHUR FREE-CUTTING STEEL

Kazuo Kitajima, Michito Sugino and Takeshi Kato

## Synopsis:

High-sulphur free-cutting steel with specification C:0.07~0.15%, Si<0.10%, Mn 0.80~1.20%, P 0.07% and S 0.2~0.3%, was successfully manufactured in semi-killed ingots by a 60t basic open hearth furnace aiming at high tapping temperature and short track time.

The greater part of ferro-manganese was found preferably to be added in the ladle because of stability and improvement of the yield of manganese.

There was a limit, however, of the amount of ferro-manganese to be added in the ladle from the standpoint of the ununiformity of elements and the temperature drop of the molten steel in the ladle.

Granulated pure sulphur of about 20mm size, packed in paper bags was added to the ladle. The yield of them was 62.9% in the average.

The segregations in the ingot were the same as ordinary semi-killed steel ingots and kinds and distributions of inclusions in the ingot were the same as the other examples reported in literatures of other authors on this steel.

The return scrap was to be used again as material for the steel of this sort.

Most part of its manganese ran into slag and the greater part of its sulphur into slag and atmosphere, while a small part of the latter remained in the molten bath until the end of refining period, but no trouble was found in the use of the return scrap in operation.

## I. 緒 言

昭和 27 年 10 月より 12 月にかけて輸出向として第 1 表の如き成分規格の高硫黄快削鋼を熔製した。熔製に当つては諸文献或は当所の過去の記録等を参照して標準作業案を作成し、熔製実績に基いて順次改良した。特に大きな問題として考えた事は、成分的中に關連して S 及び Mn の歩留、多量に添加される Fe-Mn による C の上昇に關して Mn 前の [C] %、脱酸の程度、高 S なる事から予想される鋼片の表面疵に關連して鋼塊の肌、戻り屑処理、快削性を附与する介在物の鋼塊に於ける分布状況等々であつた。本稿は熔製実績に基き、これ等の諸問題を調査した結果の報告である。

## II. 熔 製 作 業

## 1. 熔製目標

規格成分及びそれより定めた目標成分、製鋼炉、鑄型等を第 1 表に示した。規格成分から見てセミキルド鋼と

して出鋼する事とした。

第 1 表

	C %	Si %	Mn %	P %	S %
規 格	0.07 ~0.15	<0.10	0.80 ~1.20	<0.070	0.2~0.3
目 標	0.12		1.00		0.25
熔 製 爐 使用燃料 使用鑄型 鋼塊單重 脱酸形式	固定式鹽基性 60t 平爐 發生爐ガス C61 型上 620mm 角下 610mm 角高さ 2100mm St 800 セミキルド				

## 2. 精 鍊 作 業

本鋼種は可成り高目の出鋼温度が望まれて居るようである<sup>1)</sup>から特に高熱精鍊を主眼とした。熔落ちの [C] % は 0.50~0.70 を目標とし、Fe-Mn を多量に投入する

\* 八幡製鐵所製鋼部

\*\* 同技術研究所

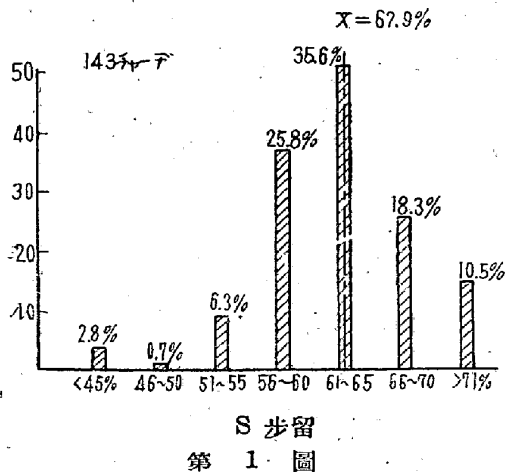
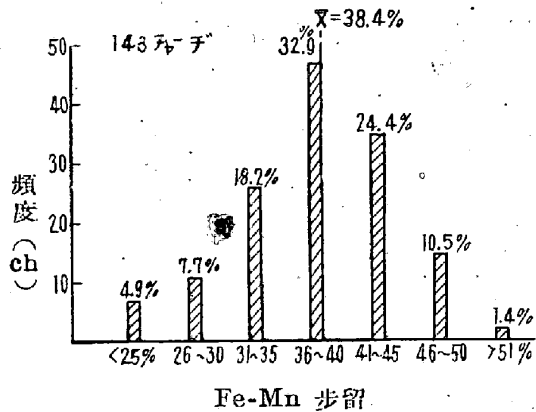
必要のために Mn 前の [C] % は可成り低目とせざるを得ない状況を考え、過酸化防止の意味で Mn 鉱石の追加投入を行つた。更に精錬後期には lance pipe による酸素製鋼を行い、湯熱の上昇を計つた。Mn 前の [C] % は可成り低目とせざるを得ないが、余り低くすれば Fe-Mn の歩留の低下を来す事となり、高目とすれば低 C Fe-Mn の使用を要し、cost が大きくなる。これ等を勘案して [C] = 0.065 % を目標とした。

所定の [C] % に達すれば Fe-Si-Mn 300kg/ch を炉内に投入して予備脱酸を行い、Mn, S 等の歩留の安定を期した。Fe-Mn は大部分を炉内投入とし、開孔状況に応じて不足分を取鍋に投入した。S は 20mm 位に小割したものを紙袋に入れてすべて取鍋投入とし、比較的燃焼し易いものである事を考慮に入れて、樋先から落下する溶鋼流に巻き込まれる如く投入した。使用した S は 99.81 % の精製硫黄である。

Fe-Si 投入量は高 Mn, S による脱酸との関連で予め定める事はむづかしかったが、一応文献を参照して 25 kg/ch としたが、鋼塊頭部状況から判断して後には更に減少せしめた。

### 3. Mn 及び S の歩留

143 チャージの Mn 及び S の歩留をヒストグラムに

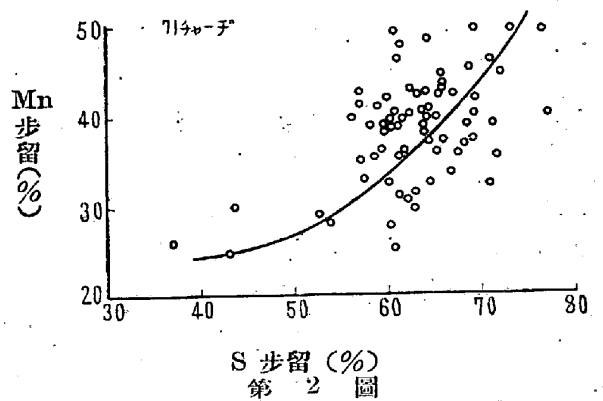


第 1 圖

て示すと第 1 図の如くである。Mn の歩留は平均 38.4 % で、比較的low目であるのは炉内投入を主としたためであらう。当所の他の 60t 平炉で Fe-Mn 投入を炉内：取鍋 = 4:6 (Si-Mn は除く) とした場合には Mn の歩留は平均 54.1 % を示して居る。そこで取鍋投入を主とする事が考えられるが、その場合には次の如き短所が考えられる。

- (a) 湯熱が低下する。
- (b) S の投入量も多いので作業的の困難が増す。
- (c) 取鍋内に於ける溶鋼成分の均一性が劣る。(後述) 従つて炉内投入と取鍋投入との適当な割合が問題となりこれについては尙検討すべき余地が多い。取鍋投入を最高 600kg 迄実施してみたが、この程度が限界ではないかと考えている。

S の歩留は平均 62.9 % で当所の過去の実績<sup>2)</sup> 62 % と同じ値を示している。第 2 図に示す如く、S の歩留は Mn



の歩留と可成り関係が認められるようである。S は大量に投入せねばならぬので、その投入法、投入時期によつて歩留は可成り変動する。S の添加法としては棒状のものを投入する方法、Fe-S を炉内に投入する方法<sup>3)</sup>、或は鋼片の肌を良好ならしめる為に Mn-S 合金を使用する方法<sup>4)</sup>等が行われているようであるが、上記の方法で作業的に重大な支障を認めなかつたので、これ等の添加法は試みていない。

### 4. 脱酸

高硫黄快削鋼の脱酸形式としてはキャップト鋼からセミキルド鋼、キルド鋼迄ある<sup>1)</sup>が、前述の如くこの規格成分に対してセミキルド鋼とする事にした。Mn, S が更に高い場合に Fe-Si も Al も全然用いずに押湯付キルド鋼塊としている例もある<sup>3)</sup>ので、脱酸の程度は最も問題とされた。前述の如く Fe-Si-Mn 300kg/ch を炉内に予備脱酸的に用い、Fe-Si 25kg/ch を取鍋に投入する事としたのであるが、その結果の鋼塊の頭部状況から見て脱酸過度と判断され 20kg/ch とした。本鋼種は

低Cであり乍らもこのように少量の脱酸剤で済むのは Mn, S の脱酸作用のためと考えられる。

尙高硫黄快削鋼は強脱酸を行わない事が必要である<sup>5)</sup>とも言われているが、Al を多量に用いて細粒鋼とする場合もあるようである<sup>1)</sup>。本稿の鋼塊はこの程度の脱酸で圧延上も特に支障なく、満足すべきものであつた。当所では Al で強脱酸した高硫黄快削鋼も製造されているが、これも満足すべき結果を示して居る様である。

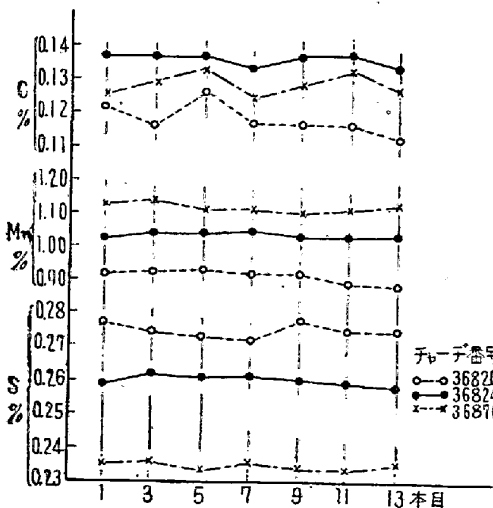
### 5. 造塊作業

鑄型は第1表に示した下広角型で、これに上注した。注入温度は文献を参照して<sup>1)</sup> 少々高目を狙い、1610~1635°C (光高温計) とした。湯口は 40mm のものを使用し、湯上り速度を 1,300mm/min とした。

本鋼種は均熱炉に急送される事を要件とし、<sup>1)6)</sup> 注入終了より装入迄の時間は 45 分が限度ともされている<sup>1)</sup>ので極力これに努めた。良好な鋼片表面を得るためにはこれが必要とされている<sup>7)</sup>のであるが、結果は良好であつた。冷塊とする事の不可なる事は鋼塊調査の際にも認められた。

鋼塊頭部は概して flat であり、中には若干 concave のものもあつたが、分塊歩留は良好であつた。

本鋼種は多量の産物を必要とするので、取鍋内に於ける溶鋼成分の均一性、従つて鋼塊毎の成分差が一応危惧された。注入時に鋼塊隔本毎に試料を採取して分析した結果は第3図の如くであり、3回の試験結果では取鍋内



第3図

での成分の不均一性は極めて少く、Mn は殆んど均一であり、C, S も最も大きな差を示した場合でも夫々 0.004%, 0.005% で問題とするに足らぬ程度であつた。しかし前述の当所の他の 60t 平炉で取鍋投入 Fe-Mn を多くした場合では S, Mn に夫々  $\pm 0.04\%$ ,  $\pm 0.01\%$  位

の成分差を示した。取鍋投入 Fe-Mn の多い事がこれに関係しているものかと思われる事は前述した所である。

### III. 鋼塊の性状

鋼塊に於ける諸成分、特に S の偏析については一応危惧した所であり、又介在物状況も快削鋼に適うものであるや否やについても関心が持たれたので鋼塊 1 本を冷塊とし縦断調査した。

本鋼塊の属するチャージは第4図の如き精錬状況のもので、初期のものであつたため成品 [C] % の高過ぎる事を恐れ、Mn 前 [C] % は低目になり過ぎて居り、又成品 [Mn] % は規格の下限に近く、[S] % は上限に近い。

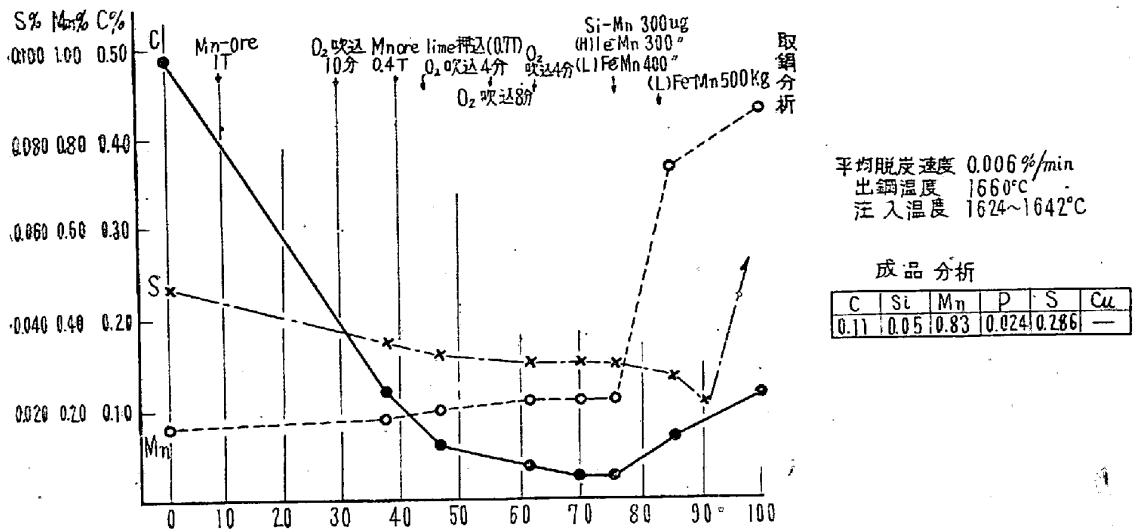
この鋼塊の偏析、介在物状況の詳細については別報<sup>8)</sup>の如くであるが、重複を避け作業的見地からこれを述べれば、

(a) 鋼塊表面は鑄型に若干のクレージングがあつたので必ずしも良好ではなかつたが、sub-surface には skin hole も全く認められず極めて良好であつた。微細な亀裂が若干認められたが、分塊圧延の際にはこれに相当する鋼片の表面疵は殆ど認められなかつたので、これは冷塊としたために生じたものと推察される。前述の如く track time を短くする必要の強調される所以であろう。又本鋼種は鑄型使用回数 80 回以上となると分塊歩留の低下する事が報ぜられており<sup>9)</sup>、肌割を誘発する如き鑄型内面のクレージング其他の疵にも特に注意を払う必要があるであろう。

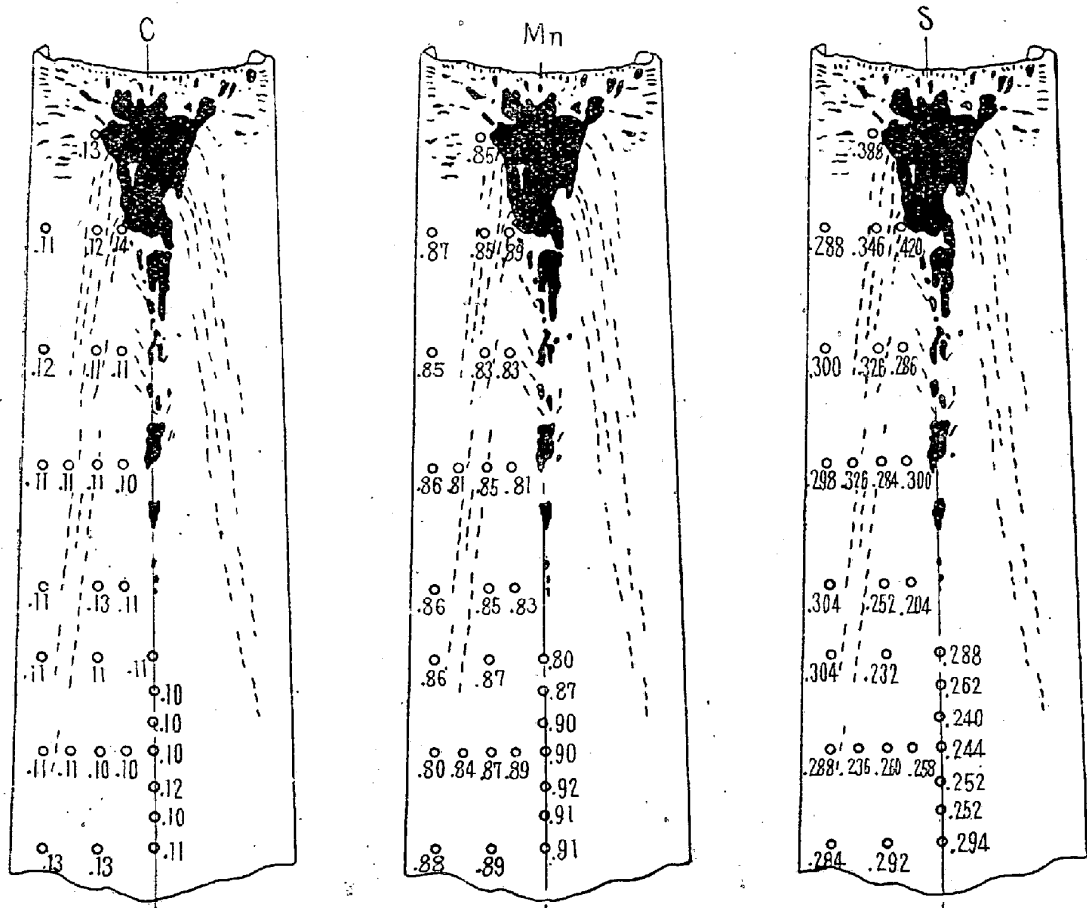
(b) 頭部は concave を示し、パイプが可成り深い。本チャージの分塊歩留は良好で、このパイプによつて切捨てが多くなつては居ないのであるが、セミキルド鋼塊としては脱酸過度と思われ、Fe-Si 投入量を減らした。

(c) 鋼塊上部 (パイプ周辺) の正偏析、 $\wedge$  及び V 偏析、鋼塊下部中央附近の負偏析の出現は全く一般のセミキルド鋼塊、キルド鋼塊と同様である。但し Mn, Si, O 等は他の元素と若干異つた偏析状況を示す。それは珪酸塩の特殊の挙動のためである事は別報<sup>8)</sup>に述べられている所である。

(d) 第5図に見る如く C の取鍋分析値 0.11% に対し、鋼塊各部位では 0.10~0.14% を示し、その偏析程度は一般のセミキルド鋼塊に於けると同様である。Mn は取鍋分析値 0.83% に対し、0.80~0.92% でこれも偏析程度は大きくはない。最も偏析の大きい S でも取鍋分析値 0.286% に対し、鋼塊下部中央附近の最近値で



第4圖 經過時間(分) (圖中上 Si-Mn 300 ug があるは Si-Mn 300 kg の誤 (H)le-Mn 300.. は (H)Fe-Mn 300..) の誤



第 5 圖

0.232%, パイプ周辺の最高値で 0.420% であつて一見その偏析は極めて大きいようであるが、これとでもその程度は一般のセミキルド鋼塊と大差はない。例えば (最高値)-(最低値)/(平均値) を、同程度の 0% の一般のセミキルド鋼と比較して見ると、前者で  $0.420 - 0.232 /$

$0.286 = 0.658$ , 後者では  $0.025 - 0.014 / 0.016 = 0.688$  となり、大差はない。しかし一般に普通の鋼では S は上限のみ規定されているので、規格より下目が狙われ問題はないが、快削鋼では上、下限が規定されて居るので、限界近くの取鋼分析値を示した場合には一応の注意が必

第 2 表

		装入量	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cu%	Fe%
入	主原料	銑鉄 36,000 40,000 76,000	3.82 0.12 —	1.10 0.01 —	0.99 0.98 —	0.414 0.025 —	0.044 0.251 —	0.26 — —	—
	装 入	鉄 銑 石 生 石 灰 石 5,500 2,000 3,600			0.31		0.015 0.109 0.013		68.62
	追 加	鉄 銑 石 滿 掩 鐵 石 石 灰 石 1,500 1,000 0,700			0.31 22.91		0.015 0.033 0.013		68.62 35.35 —
		フロマイト	2,500				0.040		1.00
	合 金 鐵	Fe-Mn Fe-Si Si-Mn S 1,650 0,022 0,300 0,190			76.00 0.55 57.80		0.022 0.025 0.019 99.50		17.57 27.12 26.81 —
	入 量 合 計	—	—	—	—	—	—	—	—
出 量	出 鋼 量	72,100	—	—	—	—	0.268	—	—
	鋼 滓	10,000	—	—	—	—	0.38	—	17.33
	其 他 計	—	—	—	—	—	0.52	—	14.75
	合 計	—	—	—	—	—	—	—	—

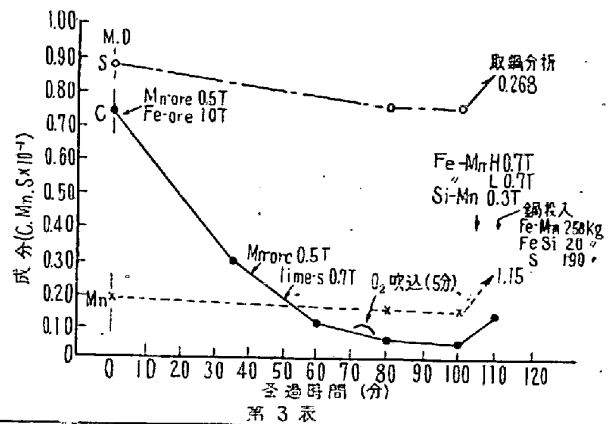
要であろう。

(e) 介在物は丸型或は不規則形状の MnS を主体とするものが圧倒的に多く、珪酸塩と MnS の混合した球状介在物も可成り認められる。この介在物状況はこの種の快削鋼鋼塊の他の調査例<sup>21)</sup>と全く同様である。紐状の MnS が肌近くに僅か認められたが問題とする程度ではなかつた。この規格の範囲で、このような脱酸方式で熔製する限り、介在物について問題を生ずる事はないと考えられた。尚鋼片を調査した結果ではこれ等介在物は圧延方向に伸び、圧延時にも鋼片には危惧された割れも認められず、機械試験値も尾部のものが若干伸がよかつた他は鋼塊の頭部・中部・尾部に相当するもの間に差異が認められなかつた。

IV. 戻り屑使用の問題

本鋼種は高Sであるだけに、その残塊 croup end 等は一般の scrap と區別して、本鋼種の原料にのみ使用したが、特に scrap としてこの戻り屑のみを使用した場合の S, Mn 等の挙動を調査した。

使用した主原料、副原料、製出鋼、鋼滓の各実秤量及び分析値は第2表の如くである。これを基として S, Mn 等の balance sheet を作つて見た。第6図、第3表はこのチャージの精錬板況である。



第 3 表

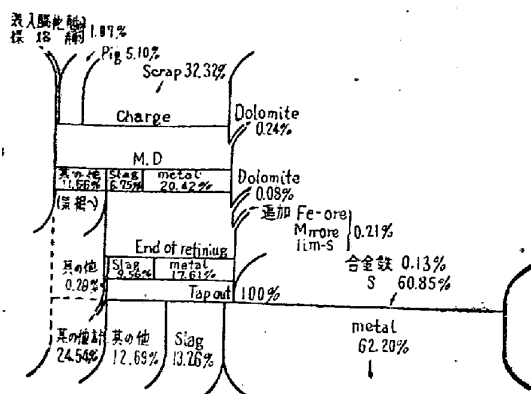
溶 湯	鋼					鋼 滓										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	SiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Fe <sub>2</sub>
0.74	0.01	0.19	0.024	0.003	0.19	—	11.90	15.20	4.22	10.18	7.64	42.59	6.67	3.92	0.19	3.06
Fe-Mn 鋼塊	0.05	0.01	0.16	0.018	0.078	0.19	12.01	20.84	2.71	20.85	2.74	39.52	6.04	3.00	0.27	3.28
成 品	0.14	0.02	1.15	0.028	0.268	—	12.60	18.43	3.25	13.31	2.37	31.40	5.64	2.47	0.36	3.26
溢 出 (鋼)	—	—	—	—	—	—	18.96	10.96	3.25	17.04	6.20	32.85	7.67	1.89	0.62	1.73

成品分析欄の鋼滓分析は出鋼時鍋より溢出した鋼滓の分析値

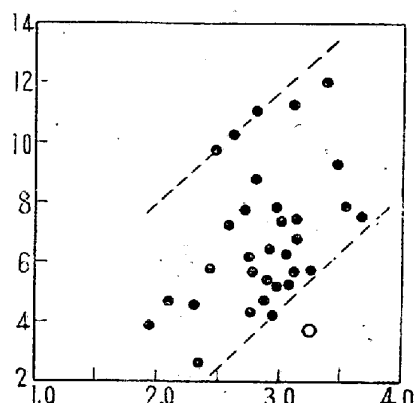
第 6 図 (第 3 表鋼滓欄中に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> とあるは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の誤り)

1. S の 挙 動

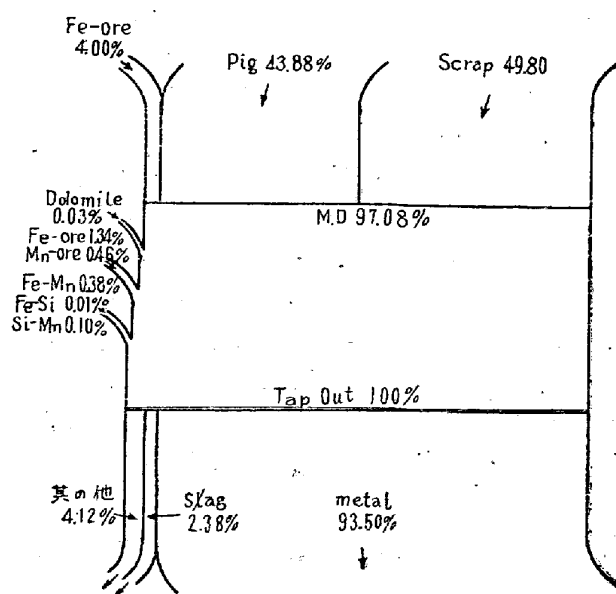
Scrap として全部快削鋼屑を使用したため第3表に見える如く、熔落ち [S] % は勿論高い。しかしその割には低目であつて、第7図の S の balance sheet に示されているように、装入 S の 11.56% が消失して居る。これは気相中に逸散したものと考えられる。精錬中は熔鋼よりスラッグへの S の移動はあるが、気相中への逸散は僅



S balance  
第 7 圖



Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>  
當工場普通鋼の試験結果  
第 8 圖



Fe balance  
第 10 圖

快削鋼屑は高 Mn であるが、熔落ち [Mn]% は低い。第 9 図に見る如く Mn はスラッグ中に入るものが極めて多い。其他 8% は鋼滓室への鋼滓の逸散、秤量、成分の誤差等によるものであろう。スラッグへの損失の多い事は Mn の歩留向上にとつての要点で、スラッグ量の検討の他、取鍋投入を考える必要があるが、これには他の支障のために限度がある事は前述の如くである。

### 3. 製出鋼歩留

Fe の挙動は第 10 図の如くである。S, Mn 等の成分を考えれば製出鋼歩留は第 4 表の如くなる。良好な歩留を示しているのは鑄片屑、成品(角材)屑等のみで形状が良好であつたためである。

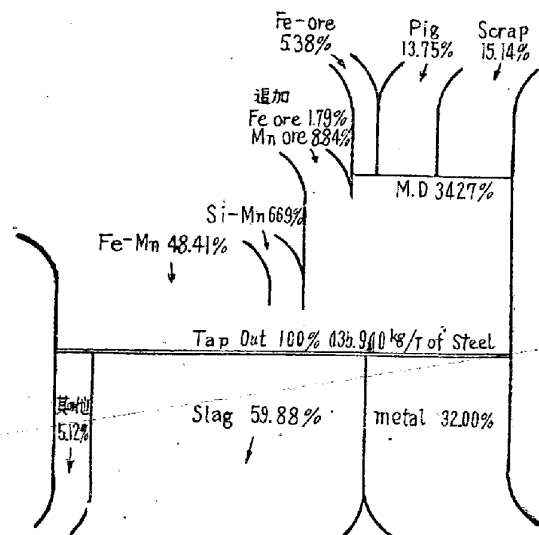
第 4 表

良塊歩留		製出鋼歩留	
良塊/(A)	良塊/(B)	製出鋼/(A)	製出鋼/(B)
89.7%	92.3%	92.3%	95.0%

(A)……熔銑+屑鉄+合金鉄  
(B)……熔銑+屑鉄

尙このように屑鉄を全部快削鋼屑としても精錬上何等の支障は感ぜず、又成品にも異常はなかつた。但し Mn は殆んど鋼中に温存されず、又 S は気相及びスラッグに逃げるものが多いとは云え若干は鋼中に残るので、添加量を若干少くし得る。

継続操業として考えれば装入 scrap 中、快削鋼屑を使用すべき割合は 30% 程度である故戻り屑の消化は殆



Mn balance

第 9 圖 (圖中「其他 5.12%」は 8.12% の誤り)

少である。取鍋に投入した S は大氣中及びスラッグ中に逸散する量が可成りある。尙 Mn 前に於ける (S)/[S] は第 8 図に示した如く、同じ塩基度の普通鋼の場合より低目の値を示して居る。

### 2. Mn の挙動

んど問題でない。

V. 總 括

1. 高硫黄快削鋼を熔製するに当り、高熱精鍊と均熱炉への急送を目標として作業した結果、極めて満足すべき結果を得た。
2. Fe-Mn 投入を炉内・取鍋何れに重点を置くかについては歩留の良否、取鍋内熔鋼の均一性の良否、湯熱、作業上の難易等から尙検討すべき余地は多いが、取鍋投入 Fe-Mn は 600kg 位が限界ではないかと考えられた。
3. S の歩留は平均 62.9% で当所の過去の実績は 62% であり、又当所の他の平炉に於ても 65~66% 位の歩留であるから、純 S 粒を紙袋に入れて取鍋に投入した場合の S の歩留として一般にこの程度であると考えて良いであろう。
4. 本鋼種は 300kg の Fe-Si-Mn を炉内予備脱酸に用い、取鍋には僅かの Fe-Si を投入するのみで勿論 Al も用いずにセミキルド鋼塊となる。
5. 取鍋投入 Fe-Mn が多くない限り、取鍋内の熔鋼成分の不均一性は取るに足らぬ程度である。
6. 鋼塊に於ける偏析は特異な点はなく、その程度も一般のセミキルド鋼塊に於けると同様であるが、S 等の偏析の絶対値は勿論大きい。介在物状況も同種の鋼の他の調査例と同様であつた。

7. 戻り屑の処置には問題が起きない。装入 scrap に戻り屑を多くすると、Mn は殆んどスラッグ中に逃げ、S は気相中及びスラッグ中に多く逃げ、鋼中に若干残る。(昭和 28 年 12 月寄稿)

文 献

- 1) U. S. Corp. Carnegie Illinois Co 1941-43 の標準作業
- 2) 八幡製鐵所舊第一製鋼工場快削鋼製造報告(昭20-7)未發表
- 3) E. Gregory, J. H. Whiteley: Jnl. I. & St. Inst. CXLIV—ii (1941) 9
- 4) L. R. Silliman: Open Hearth Proc. 31(1948) 245
- 5) 3) の Discussion
- 6) A. F. Mohri: Blast Furnace & Steel Plant.
- 7) G. G. Blean: Iron & Steel Eng. Apr. (1952) 109
- 8) 加藤健: “鋼塊偏析研究への高硫黄鋼の利用” 鐵と鋼第 39 年第 12 號 Dec. (1953) 1317
- 9) First Report of the Ingot Surface Defects Sub-Committee: Jnl. I. & St. Inst. 165-1 (1950) 41
- 10) D. J. Carney, E. C. Rudolph: Journal of Metals, Aug. (1953) 999

— 正 誤 表 —

昭和 28 年 12 月号所載「鋼塊偏析研究への高硫黄鋼の利用」中下記の如く訂正す(加藤 健)

頁	行	正	誤
1317	(Synopsis) 下7行目	While that of Mn, Si, and O <sub>2</sub>	While that of Mn, S, and O <sub>2</sub>
1319	(第5図) 左及右図	Σ Si%	[Si]%
1321	(第7図)	○ 珪酸塩の認められる視野 //// 全面にあり	○ 珪酸塩の認められる視野 //// 全面にあり 気 泡