鐵 と 鋼 第二十一年 第七 號

昭和十年七月二十五日發行

論 說

銑鉄法と冷鉄法とに於ける平爐の熱効率に關して

深 堀 佐 市*

ON THE THERMAL EFFECT OF HOT AND COLD METAL PROCESS IN OPEN-HEARTH FURNACE

By Saiti Fukabori

SYNOPSIS:—As Asano Zōsen has blown down his unique blast furnace about 3 months for the timely repair last year, his steel work has been compelled to adopt, during this interval, the cold metal process instead of the conventional hot metal one.

The experiences with cold metal have proved, contrary to our expectations, so favorable for cold one, that the preoccupation, which prevailed there up to that time, the hot metal process should surpass the cold one exceedingly, has faded.

Why not the hot metal process so superior to cold one, as considered generally, or as calculated only thermally? The author found, after his several experiments, the answers.

Primary the hot metal process is less of cold materials than the cold metal process just by the amount of its molten pig. The decrease of cold materials charged in the furnace means directly the drop of the thermal efficiency of the furnace. (second experiment)

Secondary the cold materials below the surface of molten pig form one pasty huge block together with molten pig, which sticks all over the hearth bottom of the furnace, and this sticky block becomes thermally inactive zone (first experiment)

Therefore the thermal superiority of the hot metal process to that of cold metal ought to be the surplus of the advantage of heat amount brought from the outside of furnace by molten pig over the disadvantage caused by the forgoing two reasons. This is why not the hot metal process so advantageous as considered or calculated on desk.

Further the author assumed that the thermal efficiency should be proportional to the surface area of the heap which form the cold materials in the furnace, and found that the inductions derived from this assumption go well with practice.

I. 緒 言

淺野造船所では、從來熔鉄法を以て平爐を操業して居たのであるが、昭和9年8月から約3ヶ月間に亘つて、銑鑛爐が大改修のため、操業を中止したので、其の前後約5ヶ月間平爐では冷鉄法を取るの餘儀なきに至つた。

當工場では、從來銑鉄法は冷鉄法に著しく勝るものだと、の先入主が強く支配して居たが、此の5ヶ月間の経験は、此の先入主を覆すには至らないまでも、甚だしく弱いものにした。今其の成績を比較して見る(第1表)。銑鉄法は過去に於て最も成績の良かった昭和8年3月。冷鉄法は、冷

第1表 銑鉄法と冷鉄法との比較

		冷 鉄 法	銑 鉄 法	熔鉄法の冷鉄法に對する利益及利益率	
年 月		昭和9年12月	昭和8年3月		
銑 鉄 歩 合		25 %	33 %		
融 當 り 石 炭		244 kg	221 kg	23 kg	9 %
製 鋼 時 間	1 號 爐	6 ^h 49'	6 ^h 28'	21'	5 %
	2 號 爐	改 造 中	6 ^h 30'	—	—
	3 號 爐	7 ^h 09'	未 建 設	—	—
	4 號 爐	7 ^h 14'	未 建 設	—	—
	平 均	7 ^h 04'	6 ^h 29'	35'	8 %
最短製鋼時間		5 ^h 20'	5 ^h 15'	5'	—

* 淺野造船所製鐵部

鉄法5ヶ月のうち最も良成績な昭和9年12月を選んだ。銑鉄法は冷鉄法よりも、随當り石炭は23kg(9%)の利益、製鋼時間に於て、兩法に比較數を有する1號爐で僅か5%の縮小にしかない。全部の平均時間に於ても8%の縮小に過ぎない。最短の製鋼時間は、銑鉄法が僅か5分早い丈である。此處に於て筆者は、何故冷鉄法が銑鉄法に較べて一般に信じられて居る程には、熱的に劣つて居ないかを検討して見る好機會を得た。

先づ極めて大ざつばに計算すると、鋼1kgに就て鋼に280+滓に75kal=355kalの熱量を必要とする。1kgの銑鉄が260kalの熱量を有して居るものとすれば

$$33\% \text{ の銑鉄使用率では } (260 \times 0.33)/355 = 24\%$$

$$25\% \text{ の銑鉄使用率では } (260 \times 0.25)/355 = 18\%$$

即ち、20%内外の燃料の節約及び同%の時間の短縮になる筈である。

Osann¹⁾氏は、銑鉄法に就て次の様に述べてゐる。「計算によると100kgのsteelを作るには181,518kalの熱を使用する。今30%の銑鉄を使用し、1kgの銑鉄を溶かすのに280kalのネット熱量を要するものとすれば、これは $280 \times 30 = 8,400 \text{ kal}$ の節約になるから、總熱量の $8,400/181,518 = 4.6\%$ の熱量節約になり、従つて又略々同%の石炭の節約にもなる。併し此の僅かな石炭節約では、銑鉄法に起因する種々の爐の損傷を埋合せる事は出来ない。製鋼時間の短縮は別に起らない」と云つて、銑鉄法を否定して居る。併し此のOsann氏の計算は間違つて居るのである。何故なら、181,519kalは、100kgのsteelを造るために爐内に導入された全熱量であつて、實際爐内の装入物に吸収される熱量は此の何分の一に過ぎないのである。しかるに30kgの銑鉄を溶かすに必要な8,400kalはネットの熱量であつて、若し此丈の冷鉄を爐内で溶かすものとすれば矢張り此の何倍かの熱量を爐内に導入してやらなければならないのである。だから燃料の節約率を出すには、此の8,400kalを何倍かしたものを181,519kalで割らなければならない事になる。さうなれば其の結果は、筆者が最初大ざつばに計算した理窟及び其の結果と、結局同じものになるのである。

併しOsann氏は矢張り同書の中²⁾で、「併し、鑛石法に於ては、事情が異つて来る。此處では、銑鉄であるとい

ふ事が自明の條件になつて居る。」と云つて、鑛石法に於ける銑鉄の絶對的な價值を認めてゐる。

實際操業に於て、銑鉄法と冷鉄法を手廣く比較した文獻に、Fritz Weingelber氏の報告³⁾がある。これは獨逸國

第2表 銑鉄法と冷鉄法の比較 (Fritz Weingelber)

工場	試料數	爐の大きさ	銑鉄歩合%	冷鉄歩合%	銑鉄歩合に較べて下	製冷鋼時間法	冷鉄鋼時間法に較べて縮	時間當り銑鉄量	時間當り冷鉄量	時間増加率%	石炭使用量	燃料節約率%
A	60	65	20.0	9.7	7.48'	10.0	8.66	7.2	223	9.4		
B	700	60	21.3	2.1	6.15	10.1	9.15	10.8	195	9.5		
C	100	80	20.0	—	9.54	8.1	8.08	8.0				
D	數	30	31.7	12.0			4.46	14.3				
	ヶ	50	27.7	6.9			6.14	14.6				6.5
	月	70	23.6	4.7			8.15	12.4				
E	1,000	100	28.4	10.0	12.28	8.5	10.23	9.9				19.7 (18.0)

内の數多の製鐵工場からの報告を纏めて整理したもので、其の結果を第2表に引用した。これによると、銑鉄20~30%に於て、銑鉄法は冷鉄法に比して、製鋼時間で10%以下の短縮、燃料使用量で同じく10%以下(1個の例外あり)の節約、製鋼能力で14%以下の増加を示してゐる。

以上述べた所を見ると、カロリーで計算すると、銑鉄法が20%内外の燃料節約、時間の短縮になる筈であるのに實際の作業では10%以下の利益にしかない。これは何に起因するものであるか? 若し、銑鉄法に於ても、冷鉄法に於ても、爐内の熱的な情況が、全然同じものであるとすれば、銑鉄が外部から持込んだ熱量丈、即ちカロリーで計算した丈、燃料の節約となつて現れなければならない實際に於て、此丈利益が現れて來ない事は、此の兩法に於ける爐内の熱的情況が著しく異なる事を示すものである。即ち、銑鉄法、冷鉄法の熱的の優劣を論するには、銑鉄が外部から熱を持つて來ると云ふ外部要素の外に、爐内に於ける情況、即ち内部要素を無視する事は出来ないのである。そこで筆者は、此の内部的な要素、つまり兩法に於ける平爐の熱効果を、此の小論文に於て、解析的に研究して見た。

先づ大要を述べると、銑鉄法では其の銑鉄の量丈、冷鉄法よりも冷材の量が少ない。ところが平爐の熱効率、即ち

¹⁾ Osann, Lehrbuch der Eisenhüttenkunde Bd. II. S. 517

²⁾ Osann, Lehrbuch der Eisenhüttenkunde Bd. II. S. 466.

³⁾ Stahl und Eisen. 1930. S. 1489

爐内に導入される全熱量から装入物が熱を吸収し得る能力は、冷材の量が少なくなるにつれて段々低下する。これを實際に證明したのが第2實驗で、平爐の装入量を段々減らして其の熔解時間を調べた。次に鋸鉄を平爐に入れると、鋸鉄の湯面以下の冷材は熱的に動かなくなる、つまり熱的に不活帶となる事を、第1實驗に於て實際に推論する事が出來た。即ち鋸鉄法には、冷材の少ない事によつて起る熱効率の低下と、鋸鉄の湯面以下の熱的不活帶と云ふ二つの不利益がある。だから鋸鉄が外から、持つて來た熱量の利益から、此の二つの不利益を差引いたものが、始めて鋸鉄法の冷鋸法に對する利益となるわけである。

II. 實驗 第 1

此の實驗は昭和 10 年 1 月 14 日から、19 日まで 6 日間に亘つて行つたものである。實驗爐は第 4 號平爐。能力は 59 噸装入で 54 噸の良塊を取つて居る。天井 150 回。蓄熱室 393 回。發生爐 wood 式 heavy duty producer。此の實驗は A, B, C の 3 群に分れて居る。A 群は装入量を full 即ち 59 噸にした冷鋸法。B 群は矢張り装入量を full にした鋸鉄法。C 群は B 群の鋸鉄量 (16 噸) 丈を減らした装入量 43 噸で行つた冷鋸法である。何故 C 群の様な charge を作つたかと云ふに、これは B 群に於て装入すべき鋸鉄を、入れざる儘に冷材丈で熔解を續けて行つたら、其の熔解時間は B 群に較べて、どんなになるかを調べる爲である。しからば C 群は屑鐵丈でよい、冷鋸を混じてやる必要はないではないかと云ふ疑問が起る。しかし、大體鋸鉄と云ふものは①鉄鐵である事と、②其の鉄鐵が熔けた状態にある事が必要である。①の鉄鐵であると云ふ事は、屑鐵に適當量だけ鉄鐵を混合してやると、熱回りがよくなるのと、鉄鐵中の不純物が酸化するときに熱を發生する爲に、屑鐵の熔解を著しく早くする、と云ふ好影響を持つて居る。此の好影響は鋸鉄法、冷鋸法に共通なものである。問題は鉄鐵の熔けた状態が、他の冷材の熔解にどんな影響を及ぼすかであつて、これを知る爲に、C 群にも態々或割合の冷鋸を使つたのである。装入表は第 3 表。

第 3 表 第 1 實驗装入表

群	装入量	屑鐵					
		鉄鐵		計		レール	
		t	%	t	%	t	%
A	59 噸冷鋸法	15	26	44	74	30	51
B	59 噸鋸鉄法	16	27	43	73	30	51
C	43 噸冷鋸法	10	23	33	77	22	51

比較の爲には、装入物を成可く一定のものにして置く必要がある。其の爲に屑鐵として、レール材を出来る丈多量に全装入物の 50% 屑鐵の 70% も装入した。鉄鐵歩合は、鋸鉄事情を同一にする爲に、其の時の鉄鐵の成分に従つて装入鑛石又は装入スケールを全然使はずに、熔解後 500 kg 内外の鑛石を投入してやる程度のものにした。鉄鐵歩合は鋸鉄法の方が、冷鋸法よりも小さくて済むのが本當であるのに、此處では逆に鋸鉄法が餘計の鉄鐵を使用し、且熔解

第 4 表 第 1 實驗 結果

A. 59 噸装入冷鋸法 (冷鋸 15 噸)									
實驗 No.	鉄鐵歩合 %	熔解鑛石 kg	製鋼時間			装入時間 *			計 min
			熔解 min	精鍊 min	計 min	純装入 min	山下げ min	計 min	
1	24	500	255	100	355	35	45	80	
2	29	700	320	70	390	50	30	80	
3	24	1,200	310	75	385	50	50	100	
4	26	700	295	80	375	55	60	115	
5	29	0	310	110	420	45	75	120	
6	23	600	285	85	370	45	105	150	
平均	26	620	296	86	382	47	61	108	

B. 59 噸装入、鋸鉄法 (鋸鉄 16 噸)									
實驗 No.	鉄鐵歩合 %	熔解鑛石 kg	製鋼時間			装入時間 *			計 min
			熔解 min	精鍊 min	計 min	純装入 min	山下げ min	計 min	
1	26	0	280	85	365	40	40	80	
2	27	1,000	240	60	300	35	60	95	
3	28	500	260	40	300	50	65	115	
4	26	0	290	80	370	55	80	135	
5	28	200	265	55	320	55	25	95	
平均	27	340	267	63	330	46	54	100	

C. 43 噸装入、冷鋸法 (冷鋸 10 噸)									
實驗 No.	鉄鐵歩合 %	熔解鑛石 kg	製鋼時間			装入時間 *			計 min
			熔解 min	精鍊 min	計 min	純装入 min	山下げ min	計 min	
1	23	300	230	50	280	35	15	50	
2	23	500	235	40	275	30	35	65	
3	24	0	260	50	310	45	25	70	
4	23	500	235	60	295	50	20	70	
平均	23	320	240	50	290	40	24	64	

* 装入時間は熔解時間の中に含まれてゐる。

後も熔解鑛石 (第 4 表) が少なく済んで居るのは、鋸鉄法では鉄鐵が鋸鉄爐からの直送であるのに、冷鋸法ではストックから鉄鐵を持つて來る、従つて兩者の鉄鐵の成分に大きな差がある爲である。

實驗の結果は第 4 表。精鍊時間が、冷鋸法 (86 min) に於て、鋸鉄法 (63 min) よりもずつと長いのは、鋸鉄、冷鋸云々の爲ではなく、冷鋸法が熔解が硬かつた爲に熔解鑛石 (熔解後投入する鑛石) を多量に使用した爲だと思はれる。其の證據に、後出の第 2 實驗で、59 噸冷鋸法で多數の charge の精鍊時間が 61 分になつてゐる。此の論文を通じて、同じ鉄鐵歩合であれば、熔解後の情況は、鋸鉄冷鋸に關係なく、總て同じであると云ふ見地から、専ら熔解時間を問題にする事にした。解熔時間とは装入開始から全部熔解するまでの時間を云ふ。

第 4 表の熔解時間のみをグラフで表したものが第 1 圖で

である。C 群の溶解が 240 分で最も早く、次に B 群で 267 分、A 群が最も遅くて 296 分である。C と B との差は 27 分、B と A との差は 29 分となつて、B は A と C との殆んど中間に位して居る。即ち銑銑法は同じ銑銑歩合の冷銑法よりも早く溶解するが、入れるべき銑銑を入れざる儘に冷材の溶解を進めた場合よりも、溶解が遅いと云ふ事になる。これは銑鐵の溶けた状態が、他の冷材の溶解に無関係でないばかりか、反つて邪魔をして居る事を意味する。しからばそれは何故であるか？ 筆者は次の様に考へた。爐内に堆積せる冷材の山は、其の山の表面で瓦斯及び輻射の熱を受取り、其の熱が次第に山の内部に傳はりつゝ、堆積山の表面から段々滴をなして、溶解して行くのであるから、山の表面が白熱を帯びて居ても、山の内部殊に下積みになつてゐる部分は未だ熱が上つて居ない。そこへ銑銑を入れてやると、流動のよい銑銑は、冷材と冷材との間のあらゆる隙間を求めて潜り込んで行くのであるから、内部の冷材に急に熱を奪はれて銑銑自身の熱はぐんと落ちて冷え固まり、冷材を核とした一種の餅盤（ブロック）が出来上るのである。これが頑固なもので、總てが溶解した後、最後に熔けると云ふ事になる。此の現象の最も良い例としては、屑鐵の装入が全部済むか済まないかのうちに、直ぐ銑銑を入れてやつた場合、それが溶解し終る頃に、軟溶解の氣味があると云ふので、銑鐵追加の準備をして居るうち、ブローベを取るにつれて、段々湯が硬くなつて、終には鑛石を投入してやらなければならない事が屢々ある、これは前述の様に銑銑を餘りに早まつて入れた爲、例の頑固な銑鐵のブロックが爐底にこびりつき、他の冷材が全部溶解した後、徐々に熔けて浮かび上がる爲に、湯が段々硬くなつてゆくのである。兎に角銑銑を適當な時間に入れたにしても、内部の熱は左程に上つて居ないから、程度こそ異なれ、ブロックが出来る事は豫想される。即ち銑銑の湯面以下の部分は、他と較べて熱的に不活性のものになるのである。これが、銑銑が溶解終了まで無関係な態度にあり得ずして、少なからず他の冷材の溶解を遅らせる原因と思はれる。

これから考へると、銑銑は、冷材の装入が済んでから、出来る丈時間を遅らして入れた方が、不活帶の勢力が弱くなつて、溶解が早くなる。便宜上、屑鐵の装入が済んでから銑銑を入れるまでの時間を待機時間と呼ぶとすれば、待機時間は長ければ長い程よい、出来得べくんば屑鐵が全部

溶解して不活帶を皆無にしてから銑銑を入れてやると、熔

解作業は最も速かに終了する事になる。しかし、実際には屑鐵のみの溶解は前述の様に

甚だしく長時間を要するものであるから、此の點から見ると、待機時間には何處か適當な點があつて、それから早くても遅くても、溶解時間は長くなる。待機時間の此の便利な點の有無を實際作業成績について調べ、以て不活帶の推論の裏書を求める事にした。

調査に用ひたのは、昭和 10 年 1 月の成績である。此の 1 月中の銑銑使用の charge を全部（故障及び日曜修理後の charge を除く。）爐別に拾ひ上げ、それを待機時間で分類したのが第 5 表である。銑銑歩合は 25~30%。しかし是丈では未漠然として居るので、待機時間を 30 分毎に仕切つて、各グループに就て溶解時間、製鋼時間を平均した。（第 5 表大分）これをグラフに書表したものが第 2 圖であつて、此處で始めて明瞭な關係が現れて来る。即ち待機時間が 60 分までは、溶解時間は大體水平に進んで居るが 60 分以上になると急に下向し、待機時間 90 分前後で溶解時間は minimum を取り、それを越すと、逆に上向して溶解時間は長くなる一方である。即ち銑銑装入時の經濟的な點は存在す、而してそれは屑鐵の装入終了後 1 時間半である。此の經濟的な點の存在が、遡つて熱的不活帶の存在を證明して居る。製鋼時間に就ても亦、溶解時間と大體同じ事が云へる。

此の統計は銑銑歩合が最低の場合で、装入鑛石又はスケールを使用しないものに就てある。實際の場合、銑銑歩合が、段々増加して行くと、装入鑛石も殖えて行く、それに従つて銑銑装入時の湯面の上升も甚だしくなる。其故に銑銑は屑鐵の装入の済み次第入れてやらないと、これが遅れる事は、湯面の上昇を助長する爲に、前壁破出其他の思はざる不愉快事を惹起する事になる。故に 1 時間半といふ經濟的な銑銑装入時があつても、銑銑歩合が多くなると、其れを其の通り守るわけには行かなくなる。而して、銑銑の量が冷材の量に比して相對的に殖えてくると、此の熱的

第 5 表 待機時間と熔解時間との關係

待機時間 大分 小分 分		1 號平爐			3 號平爐			4 號平爐		
		熔解 時間 min	製鋼 時間 min	平均 數 min	熔解 時間 min	製鋼 時間 min	平均 數 min	熔解 時間 min	製鋼 時間 min	平均 數 min
0	5	250	310	1	275	345	1	255	345	1
1	10	253	320	2	352	425	2			
1	15	262	337	3	260	355	1			
30	20	260	350	1	268	365	2			
	25	260	350	1	260	335	2			
	30	250	328	3	272	362	3	260	350	1
平均	0~30	263	329	5	281	365	6	258	348	2
	35							268	340	2
30	40	287	353	3	265	333	3	270	363	4
	45				295	363	2	235	300	2
	50	273	368	2				238	309	4
60	55	280	370	1				253	343	2
	60	305	408	2	280	348	2	268	344	4
平均	30~60	286	375	4	280	349	3	255	334	6
	65	268	330	2	280	365	1			
60	70	265	330	2	293	383	2			
	75	250	350	1	272	350	3	233	328	3
	80	282	365	3	230	380	1	238	305	2
90	85	271	348	4	230	315	1			
	90	280	347	3				240	290	1
平均	60~90	269	346	6	261	358	5	237	308	3
	95	265	335	1	255	330	2	220	330	1
90	100				225	310	1	225	320	2
	105							240	325	1
	110	195	320	1	260	315	1	200	315	1
120	115				258	348	2	255	345	1
	120	281	354	4	310	398	4			
平均	90~120	247	336	3	262	340	5	228	327	5
	125	280	340	1	250	345	2	268	335	2
120	130	280	360	1	320	395	1			
	135	270	390	1						
	140				280	353	4	245	308	2
150	145	300	360	1						
	150	290	360	1	298	370	2	260	340	1
平均	120~150	284	362	5	288	366	4	258	328	3
	160	273	358	2	270	350	1	250	340	1
	165				368	398	2			
150	170							278	368	2
	175				330	375	1			
以	180	285	355	1				300	355	1
上	200				295	350	1			
	205	275	305	1						
	215	295	405	1						
平均	150 以上	282	356	4	322	370	4	276	355	3

不活帶も段々衰へて來るから、不活帶に關聯した此の便利な鋸鉄装入時も、段々問題にならなくなる譯でもある。

さて此の論文で考へてゐる熔解時間は、装入始めから全部熔解するまでの時間である。故に装入時間の長短が熔解時間に關係してもいい筈である。第 4 表で見る通り、純粹の装入時間は 3 群ともに 47 分、46 分、40 分といふ風に大體装入量に比例して居るが、前装入後装入との間に來る「山下げ」時間は、3 群で甚だしく違つてゐる。それも A 及び B 群では 61 分、54 分で大した差は無いが C 群では 24 分で、前二者とは 37 分、30 分の差がある。しかし此の「山下げ」時間は或る程度以内であれば、熔解時間

に影響を與へない立派な證據がある。第 2 實驗の 59 吨冷鉄法 A 群、(後出第 8 表)のうち「山下げ」のある charge と、「山下げ」の全然無いのとで、別々に其の熔解時間の平均を取つて見る(第 6 表)。

第 6 表 山下げ時間の有無と熔解時間との關係

平均數	熔解 時間	製鋼 時間	装入時間			
			純装入	山下げ	計	
「山下げ」無き群	5	4:55	5:49	1:08	0	1:08
「山下げ」有る群	7	4:49	5:55	1:03	33	1:36

山下げを 33 分行つた charge 群の方が、山下げのないものよりも、熔解時間が反つて 6 分も早い。又第 4 表に於ても A 群の No. 6 の charge の様に、山下げを 1 時間 45 分も行つて居るものが、他のものより斷然早く熔解して居るのを見ても、「山下げ」が 1 時間内外ならば、熔解時間には毫も關係しない。尤も「山下げ」の時間が餘り長くなると、此の時間自身が熔解時間に關係して來る事は勿論である。例へば極端に云ふと、「山下げ」が 4 時間だつたとすれば、純装入時間が 1 時間として、全装入時間が 5 時間になるから、5 時間ではもう熔解しない事になる。適當な山下げが何故熔解時間に關係せぬかと云ふに、筆者の考へでは装入物は一度に無理をして押込むよりも、途中で一應装入を中止して、材料に相當の熱を持たせた後、又其の上から冷材を覆ひ被せる、つまり冷材の山の内部に熱を包み込むと云ふ事が、熱廻りに反つて好影響を與へるものだと思はれる。此の熱廻りのよい事が、山下げ時間の間、其後に入る材料が、爐の外で熱せられずにあつた熱損失を償ふのに充分であるのだらう。然し「山下げ」が餘り長くなると、此の熱損失の方が遙かに大きくなるから、熱廻りの好轉も、これを償ひきれなくなるのだらう。

III. 實驗 第 2

第 2 實驗は、昭和 9 年 12 月 17 日から約 8 日間に亘つて行つたものである。實驗に使用した平爐は 1 號爐。59 吨装入のメルツ式。天井 95 回。蓄熱室 338 回。

若し平爐の熔解効率が、装入量に無關係なものであれば装入量が減るに比例した丈、熔解時間も、從つて燃料消費量も減少して行かなければならない。實際果して然るかどうかを知る爲に、實際の爐で段々装入量を full から減じて行つて、其の熔解時間を調べたのである。装入物の内容は第 7 表。

第 7 表 第 2 實驗裝入表

裝入量	冷鉄 %	屑鉄 %	屑鉄内譯(100%)	
			レール %	其 他 %
A. 59 裝入	24	76	49	51
B. 50 裝入	25	75	40	60
C. 45 裝入	24	76	50	50
D. 40 裝入	23	77	50	50

此の實驗は全部冷鉄法で、其の鉄歩合は、第 1 實驗と同じく、裝入鑛石を使用しない最低の鉄歩合である、裝入量は 40 吨まで減じた。其以上は現場の都合上出来なかつた。50 吨、45 吨、40 吨裝入法、總て 2 回づゝ行つた實驗の結果は第 8 表。純裝入時間は大體裝入量に比例して減少して居る。熔解時間は裝入量の減るにつれて、段々と早くなつてゆく。之を圖示すると第 3 圖 AB 線になる。(製鋼時間は CD 直線)。

若し平爐の熱効率が、裝入量の如何に拘らず一定のものであるとすると、熔解時間は正確に裝入量に比例して減少

第 8 表 裝入量と熔解時間との關係

A. 59 吨 裝入 (冷鉄法)

實驗 番號	鉄歩 合 %	熔解 鑛石 kg	製鋼時間			裝入時間		
			熔解 min	精鍊 min	計 min	純裝入 min	山下げ min	計 min
1	* 28	600	285	75	360	65	30	95
2	* 29	800	310	60	375	80	0	80
3	21	800	300	60	360	75	0	75
4	25	0	320	30	350	80	30	110
5	24	500	280	70	350	80	30	110
6	* 28	300	340	60	400	70	20	90
7	23	100	300	55	355	75	0	75
8	20	300	275	45	320	65	0	65
9	23	800	290	55	345	70	30	100
10	22	800	275	105	380	55	40	95
11	25	300	310	70	380	60	50	110
12	18	300	290	50	340	45	0	45
平均	24	550	298	61	359	68	20	88

B. 50 吨 裝入 (冷鉄法)

實驗 番號	鉄歩 合 %	熔解 鑛石 kg	熔解 min	精鍊 min	計 min	純裝入 min	山下げ min	計 min
1	* 28	500	275	60	335	60	55	115
2	22	500	280	55	335	60	30	90
平均	25	500	278	57	335	60	42	102

C. 45 吨 裝入 (冷鉄法)

實驗 番號	鉄歩 合 %	熔解 鑛石 kg	熔解 min	精鍊 min	計 min	純裝入 min	山下げ min	計 min
1	25	600	265	55	320	55	60	115
2	23	800	265	80	345	60	0	60
平均	24	700	265	67	332	57	30	87

D. 40 吨 裝入 (冷鉄法)

實驗 番號	鉄歩 合 %	熔解 鑛石 kg	熔解 min	精鍊 min	計 min	純裝入 min	山下げ min	計 min
1	23	650	240	55	295	35	15	50
2	23	650	250	75	325	45	40	90
平均	23	650	245	65	310	40	30	70

* 鑛鐵車輪 (25%) を多量裝入したるを以て鉄歩合高し

する筈である。しかる時は、40 吨裝入で、其の熔解時間は

$$298 \text{ min} \times 40/59 = 202 \text{ min}$$

此の假想的な關係を表したものが、第 3 圖の直線 AB'。

同様に 40 吨裝入の製鋼時間は

$$359 \text{ min} \times 40/59 = 244 \text{ min}$$

で、直線 CD' になる。

しからば、實際線 AB と假想線 AB' との間隔が

第 3 圖 裝入量と熔解時間との關係

第 4 圖

裝入量を減した爲に平爐の熱効率が低下する事に起因するものである。しかも此の遅れ (lag) が直接熱効率

の低下を意味して居るものである。但、製鋼時間の方には實際裝入吨數に比例しない精鍊時間が入つて居る爲に、此の lag が直接熱効率の低下を意味して居るとは云へない。此處で問題にして居るのは、熔解時間の方である。

此の熱効率の低下をもつと明瞭にする爲に、時間當り熔解吨數を出して見た。(第 9 表)

第 9 表 時間當り熔解吨數

裝入量 吨	59	50	45	40
時間當り製鋼吨數 t/h	9.1	8.2	7.5	7.1
時間當り熔解吨數 t/h	11.9	10.8	10.2	9.8

時間當り製鋼吨數は良塊歩留を全部 92% として計算した。

若し平爐の熱効率が裝入吨數の如何に拘らず、常に一定のものであれば、時間當り熔解吨數も亦 full の裝入の時の儘で、即ち 11.9 吨で、裝入吨數には關係なく進んで行く筈である。此の關係を圖示すると第 4 圖となる。

圖中假想線 AB' たるべきものが、實際には平爐の熱効率が裝入吨數と共に減る爲に、實際線 AB まで下がる。即ち AB' と AB との間の lag が、直接平爐の熱効率の低下を示すものである。

以上の事に依つて、一定の裝入量を入れる様に設計された平爐を、それより少ない裝入量で操作するときは、平爐の熱効率は低下する。而して其の低下の量は、裝入量が少くなる程、著しくなるものだと云ふ事が、實際に證明された。

IV. 實驗からの推論

第 1, 及び第 2 實驗から得た結果は、

1. 鋸銑法は冷銑法よりも熔解が早い、鋸銑の量丈減じた装入量の冷材法よりも遅い。
2. 即ち鋸銑は、他の冷材の熔解に無關係でないばかりか反つて邪魔をする。
3. これは鋸銑面以下の冷材が、熱的に不活性になるからである。
4. full の装入量から、段々装入量を減らしてゆくと、平爐の熱効率も段々低下する。即ち装入量が減る割合に、熔解時間は減らないで、装入量の減少と、その熔解時間の減少との間には、段々大きくなる lag が存在する。

以上の結果に従つて、鋸銑法を分解して考へて見る。先づ屑鐵のみを考へると、これは装入量を鋸銑量丈減らしたものと同じであるから、それ丈 full の冷銑法よりも、冷材の熔解効率が落ちて居る譯である。次に之に鋸銑を入れた場合を考へると、鋸銑面以下の冷材は熱的に不活性な状態になる。即ち鋸銑法では、1) 冷材が少ない爲に起る熔解効率の低下と、2) 鋸銑面以下の熱的不活帯の不利益が起つて来る。従つて鋸銑法の利益は、鋸銑が外から持つて入る熱量から、此の兩者に起因する熱量の不利益を差引いた残高になるわけである。これ即ち緒言に於て筆者の示したカロリーによる計算量丈、鋸銑法が燃料を節約する事が出来ないで、實際は之よりずつと利益が少なくなる理由である。若しカロリーの計算のみによると、鋸銑の量が増す程、熔解するまでの鋸銑法の利益はぐんぐん増加する筈であるが、實際にはそんな風に簡単に行かないのは、此の二つの因子を考慮に入れた場合に、合點される事である。

V. 第 2 實驗の補充

第 2 實驗では、装入量を 40 吨まで減らして行つたが、其以下は現場の都合で、實驗を進める事は出来なかつたので、之から先は或る假定の許に實驗結果を推し進める事にした。

先づ平爐の熱効率を數字で表して見やう。こゝで云ふ熱効率とは、平爐に導入される全熱量から、冷材が吸収する熱量の率を云ふのであつて、嚴密に云ふなら、装入鐵材のみの熔解に關しての平爐の熱効率と云ふ意味である。

石炭 1 kg から、1,400 kal/m³ の發熱量を有する發生爐

瓦斯 3.6 m³ を發生し、その燃焼に 5.2 m³ の空氣を必要とする。しかして瓦斯空氣共に蓄熱室で 1,200°C に豫熱され、瓦斯の比熱 0.37 空氣の比熱 0.34 だとすると、

$$\text{瓦斯の燃焼に依つて} \quad 3.6 \times 1,400 = 5,040 \text{ kal}$$

$$\text{瓦斯の顯熱} \quad 0.37 \times 3.6 \times 1,200 = 1,600$$

$$\text{空氣の顯熱} \quad 0.34 \times 5.2 \times 1,200 = 2,100$$

石炭 1 kg から平爐に導入される全熱量 8,740 kal

25% 内外の銑鐵歩合の冷銑法で full の装入の場合、良塊躰當り 240 kg の石炭を焚くものとす。其の時の熔解時間 5 時間、精鍊時間 1 時間、合計製鋼時間 6 時間とすれば平爐に入る瓦斯量は始終均一なりと見て、熔解に必要な石炭は

$$240 \text{ kg} \times 5/6 = 200 \text{ kg}$$

故に熔解のために平爐に導入される全熱量は

$$8,740 \text{ kal} \times 200 = 1,748,000 \text{ kal}$$

1 kg の屑鐵及銑鐵を溶かすのに、簡單のため何れも 270 kal を要するものとすれば 1 吨の冷材を熔解するには

$$\text{正味} \quad 270 \text{ kal} \times 1,000 = 270,000 \text{ kal}$$

あれば宜しい事になる。故に 25% 内外の冷銑法で、full の装入の場合に於ける平爐の熔解効率は

$$270,000/1,748,000 \times 100 = 15.5\%$$

さて、然らば同じ銑鐵歩合で装入量を段々減らして行つた場合には、此の熔解効率は、どんな工合に減つてゆくか著者は下の諸假定の許に計算を推し進めて行つた。

1. 熔解中、冷材が爐内で瓦斯熱及び輻射熱を吸収する能率、つまり平爐の熔解効率は、冷材の堆積山の表面積に比例す。

2. 冷材は爐内では爐底を底面として、一方の噴出口から他まで其の峰が續いて居る二等邊三角形の山脈を形成す(第 5 圖)。

3. 冷材の堆積比重を 1.45 とす。

装入量が 59 吨のときの材料の山が ABCE の山脈を形成し、装入量が full に對して x% のとき A'BCE' の山脈を形成するものとす、其の時の熱効率を y% とする。

50 吨平爐の有効爐底面は 4m × 8m であるから

$$(4 \times 8 \times AD)/2 = 59/1.45$$

$$\therefore AD = 2.54$$

$$(4 \times 8 \times A'D)/2 = (59 \times x/100)/1.45$$

$$\therefore A'D = x/39.3$$

$$\frac{x\% \text{ 装入の場合の堆積山の表面積}}{100\% \text{ 装入の場合の堆積山の表面積}} = \frac{\sqrt{A'D^2 + BD^2}}{\sqrt{AD^2 + BD^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{x^2 + 6,178}}{127.3}$$

故に、假定により

$$\frac{\sqrt{x^2 + 6,178}}{127.3} = \frac{y}{15.5} \quad y = 0.122\sqrt{x^2 + 6,178}$$

之即ち装入量と熔解効率との關係を示す方程式にして、圖示すると第6圖になる。圖中×印は第2實驗の結果にして、これは、熔解効率と熔解時間は逆比例するものと見て第2實驗の結果たる第3圖から熔解時間を熱効率に換算したものである。圖で見る様に、假定の許に計算した推定線は實際の結果とよく一致して居る。これを逆に考へると、最初の假定、即ち冷材の堆積山の表面積の比を以て、平爐の熱効率の比とする考へは、或る程度の正しさを持つものと思はれる。これから推して考へると、緻密な重い材料で堆積比重の大きいもの、例へばレール等よりも、粗雑なバラバラの材料の方が、熱効率はずつとよい事になる。但此の場合は、後者の方が前者よりも遙かに長い純装入時間を要するので、此の悪因子が熱効率の良さを遙かに打消して仕舞ふ事になる。尙、機械装入と手装入とは、考へ方が違つて来るのは當然である。装入が大量的に而も矢繼早やに行はれる機械装入に於ては、個々の冷材の表面積が熱効率に關して考慮に入つて来る餘裕は殆んど無くなり、前述の様に、専ら装入終了後の冷材の山の表面積のみが關係して来るが、手装入に於ては、冷材が僅かづゝ投入されるので、個々の冷材の表面積が重要因子となり、従つて装入が終了するのと熔解するのとが同時に起ると云ふ事もあり得る譯になる。

以上、装入物の堆積山の表面積に關する考へ方は、装入量が餘りに少なくなると勿論適應出來なくなる。何故なら装入量が少なくなると、装入物が山脈をなすと云ふ假定が段々成立しなくなるからである。圖では40% 装入率まで進んで、其以上は考へなかつた。

VI. 鋸銑法の熱効率

前章に於て、冷銑法の場合、装入量を段々減らして行つたときの熔解効率を推定したが、此の結果は鋸銑法に於ける冷材の熔解に直接當嵌るものである。但、鋸銑法では更に鋸銑面以下の冷材の熱的不活帶の影響を考慮に入れなければならない。故に此の不活帶を考慮に入れて、鋸銑法の熱効率を推定して見る。

冷銑法で full (59 噸) 装入の時の山が ABC それから鋸銑法で、屑鐵 $x\%$ 鋸銑 $(100-x)\%$ のときの屑鐵の山が A'BC 其の時の鋸銑面を GH とする。(第7圖) 又鋸銑面は鋸銑 10 噸 (17%) に付き 100mm の割合で上昇するものとする、(即ち鋸銑 1% に付き 6mm)

$$(100-x)\% \text{ の鋸銑面の高さ } FD = (100-x) \times 0.006m$$

$$A'D = x/39.3 \text{ (前出)} \quad A'B = \sqrt{(x/39.3)^2 + 4} \text{ (前出)}$$

$$\text{故に } A'G = A'B \times \frac{A'F}{A'D} = A'B \times \frac{A'D - FD}{A'D}$$

$$= \sqrt{(x/39.3)^2 + 4} \left\{ 1 - (0.6 - 0.006x) \frac{x}{39.3} \right\}$$

$$= \frac{1}{39.3} \sqrt{x^2 + 6,178} (1.236 - 23.6/x)$$

此の鋸銑法の熱効率を y とし、有効表面積の比を以て、矢張り熱効率の比とすれば、

$$AB = \sqrt{(2.54)^2 + 4} = 3.24 \text{ (前出)}$$

第5圖 冷材の堆積山

第6圖 装入率と熔解効率との關係

第7圖

第8圖 鋸銑法の熱効率

第9圖 熔解率と製鋼時間との關係

であり、其の時の熱効率が 15.5% であるから

$$\frac{A'G}{AB} = \frac{\sqrt{x^2 + 6,178 \cdot (1,236 - 23.6/x)}}{39.3 \times 3.24} = \frac{y}{15.5}$$

$$\therefore y = \sqrt{x^2 + 6,178 \cdot (0.15 - 2.88/x)} \dots (1)$$

これを圖示すると第 8 圖曲線 AB となる。曲線 AC は入れるべき熔鋸を入れざる儘に熔解を進めた冷鋸法の熱効率であるから (前章) AC と AB との間隔が熔鋸の害になる譯である。

次に熔鋸率が (100-x)% の場合に 1 吨の冷材を熔解する時間を z 分とする。熱効率が 15.5% のときの冷材 1 吨の熔解時間が 298 min/59 = 5 min であるから、熱効率と吨當り熔解時間は反比例するものと見て、

$$y/15.5 = 5/z, \quad \therefore y = 77.5/z$$

これを (1) 式に代入すると

$$z = \frac{77.5}{\sqrt{x^2 + 6,178 \cdot (0.15 - 2.88/x)}}$$

故に x%(59 x/100 t) の屑鐵の熔解時間、即ち (100-x)% 熔鋸法の熔解時間 T は

$$T = Z \times 59 x/100 = \frac{45.7 x}{\sqrt{x^2 + 6,178 \cdot (0.15 - 2.88/x)}}$$

之即ち熔鋸率と熔解時間との關係にして、圖示すると第 9 圖 AB 曲線となる。此の曲線の限界を吟味するに、熔鋸が段々殖へて行つて、或る程度を越すと、冷材に對する熔鋸の相對量が増す爲に、不活帶の不活性も段々小さくなくなて行くから、熔鋸 60% 以上は取らない事にする。これから先は又別の事情が支配するであらう。又熔鋸が段々減つて、最小鉄鐵量を超しても、此の式は適用されない事は明らかであるから 20% 以下も取らない事にした。

此の曲線 AB で見ると、熔鋸が殖へると、それにつれて其の charge の熔解時間は減小して行く。しかし其の減小率は極めて僅かなもので、例へば 20% 熔鋸から 40% 熔鋸になつても、熔解時間は 14 分短縮されるに過ぎないこれは 14/285 = 5% の短縮である。

最後に精鍊時間であるが、當所の記録に依ると、鉄鐵 25% 内外までは、精鍊時間は大體 60 分、又 65% 鉄鐵 (40% 熔鋸 25% 冷鋸) では精鍊時間 120 分を要して居る。今鉄鐵 25% から 65% の間は、精鍊時間は鉄鐵率に比例するものとする、鉄鐵率と精鍊時間との關係は第 9 圖 CD 線となる。

製鋼時間は、熔解時間と精鍊時間との和であるから、此の兩者を圖の上で加へ合せると製鋼時間曲線 EFG が出

来る。熔鋸率 20% 以下は豫想線として點線で示した。EFG 線で見ると、製鋼時間は、熔鋸率 25% で極小を示し、それより下ると時間は急に長くなり、逆に 25% 以上では 60% あたりまで矢張り徐々に時間は長くなつてゐる。

此の結果を比較して見る爲に Killing 氏* の實驗結果を引用する。圖中×印が Killing 氏の 60 吨平爐に於ける實驗結果であつて、それを曲線で結びつけたものが E'F'G' 線である。25% 附近で最小値を取り、線勾配も前記曲線と相似である。

此等の曲線によつて見ると、熔鋸が殖へると、製鋼時間も徐々に長くなるが、しかし其は大した影響ではなくて、時間當り製鋼吨數も、EFG 線の 50 吨平爐では 9 吨 Killing 氏線の 60 吨平爐では 10 吨内外の所を動いて居る。

併し此等は熔鋸法自體の性能を、云はゞ抽象的に考へたものであつて、實際連續的に作業を行ふときは、熔鋸が殖へるに従つて、時間當製鋼量が急激に落下する事 Killing 氏に依る年間統計第 10 圖に見る通りである。これ即ち鉄鐵量が増加するに従つて、一つの charge と次の charge との間に挟まる trouble が急激に増加する事を意味して居るのであつて、熔鋸法自體の性能にはこれが現れて來ない爲である。

VII. 總 括

50 吨平爐にて種々實驗の結果、次の事を結論した。

1. 熔鋸法の熔解は、冷鋸法のそれよりも早い、熔鋸の量丈減じた裝入量の冷材法よりも遅い。
2. これは熔鋸が他の冷材の熔解に無關係でないばかりか、邪魔して居る事を意味する。即ち熔鋸面以下の冷材が熱的に不活帶になるからである。但し、熔鋸量が相對的に殖へて來ると、此の不活帶は段々認められなくなる。
3. 更に冷鋸法で裝入量を段々減らしてゆくと、其の熔解効率は段々悪くなる。
4. 故に熔鋸法で、熔鋸の持つて入る熱量の利益から、冷材の減少によつて起る熱効率の低下及び熔鋸面以下の不活帶に起因する熱量の不利益を差引いた残りが、始めて熔鋸法の冷鋸法に對する熱的の利益になる譯である。これ、

* St. u. Ei. 1929. S. 1821. "Der Unterschied zwischen festem und flüssigem Roheiseneinsatz im Siemens-Martin-Ofen" von Erich Killing

カロリーのみによる計算量丈、熔銑法が利益にならない理由である。

5. 冷材の熔銑効率は、爐内に於ける冷材の堆積山の表面積に比例するものとし、これを土臺として、熔銑率と製鋼時間との関係式を誘導すると Killing 氏の 1929 年に於ける實驗結果とよく一致する。

尙、以上の外に

6. 熔銑法で、熔銑を装入する時間は、冷材の装入後

1.5 時間内外が最も効果的で、其以前でも其以後でも、冷材の熔解時間が延びる。

7. 前装入と後装入との間にある「山下げ」時間は、熔解時間に關係はない。

最後に此の論文に發表の御許可を賜はり、且種々御教示下すつた淺野造船所重役末兼要氏、尙何呉れと御鞭達御便宜を賜つた先輩江口喜一氏、並びに田中國雄氏に茲に厚く御禮申し上げます。以上

フープアイオン・スケルプミル及び ブルーミングミルに就て

ベルンハルト・ブルデウイック*

宗 田 太 郎*

DIE BANDEISEN-UND ROEHRENSTREIFENSTRASSE UND DAS 750 ER
TRIO-BLOCKWALZWERK DER KAWASAKI DOCKYARD CO.

Von B. Burdewick und T. Soda.

Die Bandeisenindustrie begann mit der Beendigung des grossen Weltkrieges in dem Wirtschaftsleben der Voelker eine von Jahr Zu Jahr an Bedeutung immer mehr zunehmende Rolle zu spielen, die Bedarfszunahme in Bandeisen steigerte sich mit einer ungeheueren Geschwindigkeit. Ursache hierzu war die gewaltige Entwicklung der Blech-Metallwaren-Stanz-Fahrrad-Automobil-und Flugzeug-industrien, die in ihrem Bestreben die Herstellungskosten zu senken von der Verwendung von Blechtafeln, wo es nur moeglich war, abgingen, um an deren Stelle Bandeisen treten zu lassen. Diese Entwicklung zeigte sich auch in der japanischen Industrie und kommt in der sehr schnell steigenden Einfuhr zum Ausdruck (Abb. 1.) Ausgesprochene Bandeisenwalzwerke bestanden bisher in Japan noch nicht. So fassten die Kawasaki Dockyard Co. den Entschluss ein Bandeisenwalzwerk zur Herstellung von Bandeisen von 70 bis 250mm Breite zu errichten. Um dieses Walzwerk stets wirtschaftlich betreiben zu koennen, wurde es so bestellt, dass auch Roehrenstreifen von 70 bis 250mm Breite und ausserdem Platinen bis 250mm Breite darauf hergestellt werden koennen.

Ausser diesem Bandeisenwalzwerk wurde auch noch gleichzeitig ein 750er Trioblockwalzwerk aufgestellt, um auch die verschiedenen Knuessel bzw. Platinen, die fuer das Bandeisenwalzwerk als Ausgangsmaterial erforderlich sind, im eigenen Werke herstellen zu koennen. Auf diesem Blockwalzwerk werden auch erstmalig fuer Japan quadratische Rohrknuessel von 90-190mm ϕ wie sie fuer die Herstellung nahtloser Rohre nach dem Ehrhardt Verfahren notwendig sind, gewalzt.

Beide Walzwerke wurden im August und September vorigen Jahres in Betrieb genommen

I. 緒 言

帶鐵（フープアイオン）工業は世界大戰の終了と共に再興し、年と共に發達して今日では重要工業の一つとなり、その需要も加速度的に増加してゐる。この原因は薄板製品プレス、自轉車、自動車、飛行機等の諸工業の非常なる發達に伴ひ、生産費の低下に努力が拂はれ、その結果材料經濟に着眼して、從來の薄板の代りにこの帶鐵が使用される

に至つた爲である。我國に於ても同様の経過を経てその需要額が激増し、今日鋼材品輸入中一番多量となつてゐる。

しかも尙年と共に需要増加の傾向あるに鑑み（第1圖参照）當社に於て我國に於て始めて、昭和9年8月この帶鐵工場を新設した。このミルに於て製造し得る帶鐵は幅 70~250 mm 厚さ 1mm 以上のものである。尙このミルは同様幅 70~250 mm のスケルプ及び幅 250 mm 迄のシートバーをも壓延する事が出来る。このフープアイオン・スケルプミルと同時に 750 mm 三段ロール機のブルーミングミルを新

* 川崎造船所製鐵工場