

昭和十年七月二十五日發行

論 說

銕銑法と冷銑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、從來銕銑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、銕鑛爐が大改修のため、操業を中止したので、其の前後約5ヶ月間平爐では冷銑法を取るの餘儀なきに至つた。

當工場では、從來銕銑法は冷銑法に著しく勝るものだと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)。銕銑法は過去に於て最も成績の良かった昭和8年3月。冷銑法は、冷

第1表 銕銑法と冷銑法との比較

		冷 銑 法	銕 銑 法	銕銑法の冷銑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		
銕 鐵 歩 合		25%	33%		
噸 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

銑法5ヶ月のうち最も良成績な昭和9年12月を選んだ。銑銑法は冷銑法よりも、砲當り石炭は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%の縮小にしかならない。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、銑銑法が僅か5分早い丈である。此處に於て筆者は、何故冷銑法が銑銑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。

先づ極めて大ざつぱに計算すると、鋼1kgに就て鋼に280+滓に75kal=355kalの熱量を必要とする。1kgの銑銑が260kalの熱量を有して居るものとすれば
 33%の銑銑使用率では(260×0.33)/355=24%
 25%の銑銑使用率では(260×0.25)/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、銑銑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%の銑銑を使用し、1kgの銑鐵を熔かすのに280kalのネット熱量を要するものとすれば、これは280×30=8,400kal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、銑銑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、銑銑法を否定して居る。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の銑鐵を熔かすに必要な8,400kalはネットの熱量であつて、若し此丈の冷銑を爐内で熔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、筆者が最初大ざつぱ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、銑銑であるとい

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

實際操業に於て、銑銑法と冷銑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 銑銑法と冷銑法の比較 (Fritz Weingelber)

工場	試料數	爐の大きさ	銑(冷銑)歩合%	冷銑歩合% (銑銑法に較べて)	製鋼時間(冷銑法)	冷銑時間(冷銑法) に較べて	時間當り製鋼量(冷銑法)	時間當り製鋼量(銑銑法) に較べて	石炭使用量(kg)	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	數ヶ月	30	31.7	12.0			4.46	14.3		
		50	27.7	6.9			6.14	14.6		6.5
		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、銑鐵20~30%に於て、銑銑法は冷銑法に比して、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、銑銑法が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らない。これは何に起因するものであるか? 若し、銑銑法に於ても、冷銑法に於ても、爐内の熱的な情況が、全然同じものであるとすれば、銑銑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、銑銑法、冷銑法の熱的の優劣を論ずるには、銑銑が外部から熱を持つて來ると云ふ外部的要素の外に、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、銑銑法では其の銑銑の量丈、冷銑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。次に銻銑を平爐に入れると、銻銑の湯面以下の冷材は熱的に動かなくなる、つまり熱的に不活帯となる事を、第1實驗に於て實際に推論する事が出来た。即ち銻銑法には、冷材の少ない事によつて起る熱効率の低下と、銻銑の湯面以下の熱的不活帯と云ふ二つの不利益がある。だから銻銑が外から、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、始めて銻銑法の冷銑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噸にした冷銑法。B群は矢張り装入量をfullにした銻銑法。C群はB群の銻銑量(16噸)丈を減らした装入量43噸で行つた冷銑法である。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銻銑を、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、冷銑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、大體銻銑と云ふものは①銑鐵である事と、②其の銑鐵が熔けた状態にある事が必要である。①の銑鐵であると云ふ事は、屑鐵に適當量だけ銑鐵を混合してやると、熱回りがよくなるのと、銑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。此の好影響は銻銑法、冷銑法に共通なものである。問題は銑鐵の熔けた状態が、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銑を使つたのである。装入表は第3表。

第3表 第1實驗装入表

群	装入量	銑鐵		屑鐵					
		t	%	計	レール	其	他		
A	59 噸冷銑法	15	26	44	74	30	51	14	23
B	59 噸銻銑法	16	27	43	73	30	51	13	22
C	43 噸冷銑法	10	23	33	77	22	51	11	26

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。銑鐵歩合は、銻銑事情を同一にする爲に、其の時の銑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500kg内外の鑛石を投入してやる程度のものにした。銑鐵歩合は銻銑法の方が、冷銑法よりも小さくて済むのが本當であるのに、此處では逆に銻銑法が餘計の銑鐵を使用し、且熔解

第4表 第1實驗結果

A. 59 噸装入冷銑法 (冷銑 15 噸)

實驗 No.	銑鐵歩合 %	熔解鑛石 kg	製鋼時間			装入時間 *		
			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、銻銑法 (銻銑 16 噸)

實驗 No.	%	kg	製鋼時間			装入時間 *		
			min	min	min	min	min	min
1	26	0	230	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、冷銑法 (冷銑 10 噸)

實驗 No.	%	kg	製鋼時間			装入時間 *		
			min	min	min	min	min	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、銻銑法では銑鐵が銻鑛爐からの直送であるのに、冷銑法ではストックから銑鐵を持つて來る、従つて兩者の銑鐵の成分に大きな差がある爲である。

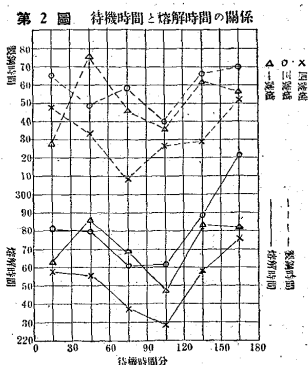
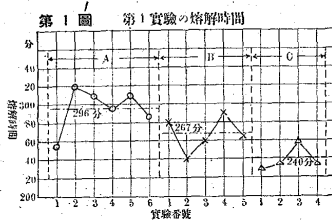
實驗の結果は第4表。精鍊時間が、冷銑法(86 min)に於て、銻銑法(63 min)よりもずつと長いのは、銻銑、冷銑云々の爲ではなく、冷銑法が熔解が硬かつた爲に熔解鑛石(熔解後投入する鑛石)を多量に使用した爲だと思はれる。其の證據に、後出の第2實驗で、59 噸冷銑法で多數のchargeの精鍊時間が61分になつてゐる。此の論文を通じて、同じ銑鐵歩合であれば、熔解後の情況は、銻銑冷銑に關係なく、總て同じであると云ふ見地から、専ら熔解時間を問題にする事にした。解熔時間とは装入開始から全部熔解するまでの時間を云ふ。

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 群の熔解が 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熔解するが、入れるべき銑銑を入れざる儘に冷材の熔解を進めた場合よりも、熔解が遅いと云ふ事になる。これは銑鐵の熔けた状態が、他の冷材の熔解に無關係でないばかりか、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、熔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、總てが熔解した後、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、それが熔解し終る頃に、軟熔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、プ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、他の冷材が全部熔解した後、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、銑銑が熔解終了まで無關係な態度にあり得ずして、少なからず他の冷材の熔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、不活帯の勢力が弱くなつて、熔解が早くなる。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

熔解して不活帯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、實際には屑鐵のみの熔解は前述の様に

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、熔解時間は長くなる。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、以て不活帯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、各グループに就て熔解時間、製鋼時間を平均した。（第 5 表大分け）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、熔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 分前後で熔解時間は minimum を取り、それを越すと、逆に上向して熔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、遑つて熱的不活帯の存在を證明して居る。製鋼時間に就ても亦、熔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である。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騰も甚だしくなる。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		1 號平爐			3 號平爐			4 號平爐		
大分 け	小分 け	熔解 時間	製鋼 時間	平均 數	熔解 時間	製鋼 時間	平均 數	熔解 時間	製鋼 時間	平均 數
min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min
0	5	250	310	1	275	345	1			
	10	253	320	2	352	425	2	255	345	1
	15	262	337	3	260	355	1			
	20	268	365	2	268	365	2			
	25	300	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
	40	287	353	3	265	333	3	270	363	4
	45	295	363	2	295	363	2	235	300	2
	50	273	368	2				238	309	4
	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			
	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
	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
	100				225	310	1	225	320	2
	105							240	325	1
	110	195	320	1	260	315	1	200	315	1
	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
	130	280	360	1	320	395	1			
	135	270	390	1						
	140				280	353	4	245	308	2
	145	300	360	1				260	340	1
	150	290	360	1	298	370	2			
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			
	170				330	375	1	278	368	2
	175									
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

不活帯も段々衰へて来るから、不活帯に關聯した此の便利な銑鉄装入時も、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ゝ筈である。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 噸冷銑鉄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		計	
			純装入	山下げ		
「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、「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、其後に入れる材料が、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 噸装入のメルツ式。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、従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、其の鉄鐵歩合は、第 1 實驗と同じく、裝入鑛石を使用しない最低の鉄鐵歩合である、裝入量は 40 噸まで減じた。其以上は現場の都合上出来なかつた。50 噸、45 噸、40 噸裝入法、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 噸 裝入 (冷鉄法)

實驗 番號	鉄鐵 歩合	熔解 鑛石	製鋼時間			裝入時間		
			熔解	精鍊	計	純裝入	山下げ	計
1	28%	600 kg	285 min	75 min	360 min	65 min	30 min	95 min
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 噸 裝入 (冷鉄法)

實驗 番號	鉄鐵 歩合	熔解 鑛石	製鋼時間			裝入時間		
			熔解	精鍊	計	純裝入	山下げ	計
1	28%	500 kg	275 min	60 min	335 min	60 min	55 min	115 min
2	22%	500	280	55	335	60	30	90
平均	25%	500	278	57	335	60	42	102

C. 45 噸 裝入 (冷鉄法)

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

D. 40 噸 裝入 (冷鉄法)

實驗 番號	鉄鐵 歩合	熔解 鑛石	製鋼時間			裝入時間		
			熔解	精鍊	計	純裝入	山下げ	計
1	23%	650 kg	240 min	55 min	295 min	35 min	15 min	50 min
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鐵歩合高し

する筈である。しかる時は、40 噸裝入で、其の熔解時間は

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

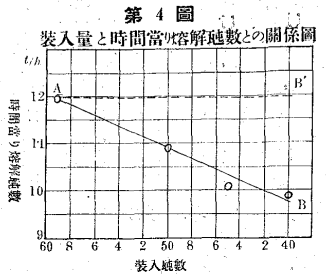
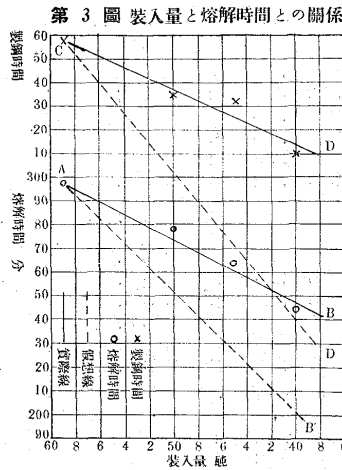
此の假想的な關係を表したものが、第 3 圖の直線 AB'。

同様に 40 噸裝入の製鋼時間は

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

で、直線 CD' になる。

しからば、實際線 AB と假想線 AB' との間の間隔が



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噸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、時間當り熔解噸數を出して見た。(第 9 表)

第 9 表 時間當り熔解噸數

裝入量 噸	59	50	45	40
時間當り製鋼噸數 t/h	9.1	8.2	7.5	7.1
時間當り熔解噸數 t/h	11.9	10.8	10.2	9.8

時間當り製鋼噸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噸數の如何に拘らず、常に一定のものであれば、時間當り熔解噸數も亦 full の裝入の時の儘で、即ち 11.9 噸で、裝入噸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噸數と共に減る爲に、實際線 AB まで下がる。即ち AB' と AB との間の間隔が、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業するときは、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. 銑銑法は冷銑法よりも熔解が早い、銑銑の量丈減じた装入量の冷材法よりも遅い。
2. 即ち銑銑は、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. これは銑銑面以下の冷材が、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、銑銑法を分解して考へて見る。先づ屑鐵のみを考へると、これは装入量を銑銑量丈減らしたものと同一であるから、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。次に之に銑銑を入れた場合を考へると、銑銑面以下の冷材は熱的に不活性な状態になる。即ち銑銑法では、1) 冷材が少ない爲に起る熔解効率の低下と、2) 銑銑面以下の熱的不活帯の不利益が起つて来る。従つて銑銑法の利益は、銑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、銑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、銑銑の量が増す程、熔解するまでの銑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 噸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 1kg から、1,400 kal/m³ の發熱量を有する發生爐

瓦斯 3.6m³ を發生し、その燃焼に 5.2m³ 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、

$$\begin{aligned} \text{瓦斯の燃焼に依つて} & 3.6 \times 1,400 = 5,040 \text{ kal} \\ \text{瓦斯の顯熱} & 0.37 \times 3.6 \times 1,200 = 1,600 \\ \text{空氣の顯熱} & 0.34 \times 5.2 \times 1,200 = 2,100 \end{aligned}$$

石炭 1kg 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、良塊噸當り 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 の屑鐵及銑鐵を熔かすのに、簡單のため何れも 270 kal を要するものとすれば 1 噸の冷材を熔解するには

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

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 噸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し、其の時の熱効率を y% とする。

50 噸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では、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、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と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. 鑄鉄法の熱効率

前章に於て、冷鉄法の場合、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、此の結果は鑄鉄法に於ける冷材の熔解に直接當嵌るものである。但、鑄鉄法では更に鑄鉄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、鑄鉄法の熱効率を推定して見る。

冷鉄法で full (59 噸) 装入の時の山が ABC それから鑄鉄法で、屑鐵 $x\%$ 鑄鉄 $(100-x)\%$ のときの屑鐵の山が A'BC 其の時の鑄鉄面を GH とする。(第7圖) 又鑄鉄面は鑄鉄 10 噸 (17%) に付き 100mm の割合で上昇するものとする、(即ち鑄鉄 1% に付き 6mm)

$$(100-x)\% \text{ の鑄鉄面の高さ } FD = (100-x) \times 0.006m$$

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

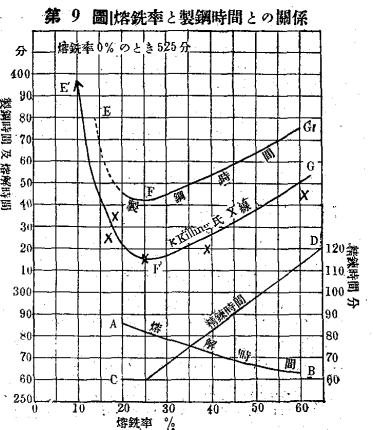
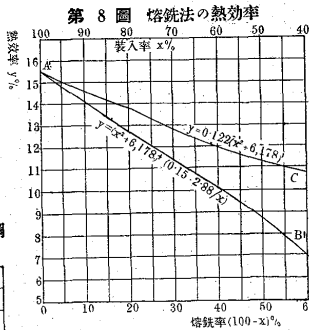
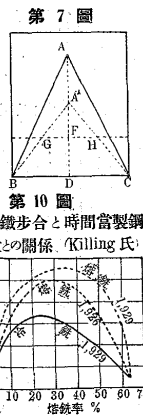
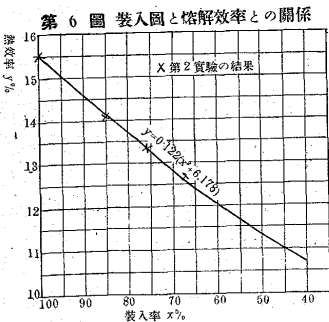
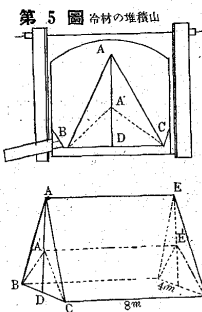
$$\text{故に } A'G = A'B \times \frac{A'F}{A'D} = A'B \times \frac{A'D - FD}{A'D}$$

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

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

此の鑄鉄法の熱効率を 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、

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



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 は入れるべき熔鉄を入れざる儘に熔解を進めた冷鉄法の熱効率であるから (前章) AC と AB との間隔が熔鉄の害になる譯である。

次に熔鉄率が (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 $298 \text{ min}/59 \div 5 \text{ min}$ 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%(59x/100 t) の屑鐵の熔解時間、即ち (100-x)% 熔鉄法の熔解時間 T は

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

之即ち熔鉄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、熔鉄が段々殖へて行つて、或る程度を越すと、冷材に對する熔鉄の相對量が増す爲に、不活帶の不活性も段々小さくなつて行くから、熔鉄 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。又熔鉄が段々減つて、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、熔鉄が殖へると、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% 熔鉄から 40% 熔鉄になつても、熔解時間は 14 分短縮されるに過ぎないこれは $14/285 \div 5\%$ 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% 熔鉄 25% 冷鉄) 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。熔鉄率 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、熔鉄率 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、熔鉄が殖へると、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。

併し此等は熔鉄法自體の性能を、云はゞ抽象的に考へたものであつて、實際連続的に作業を行ふときは、熔鉄が殖へるに従つて、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、熔鉄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. 熔鉄法の熔解は、冷鉄法のそれよりも早い、熔鉄の量丈減じた装入量の冷材法よりも遅い。
2. これは熔鉄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。即ち熔鉄面以下の冷材が熱的に不活帶になるからである。但し、熔鉄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. 更に冷鉄法で装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. 故に熔鉄法で、熔鉄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鉄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、始めて熔鉄法の冷鉄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關係式を誘導すると 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、且種々御教示下さ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 750ER 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. Sofassten 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 Kneuppel 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 Rohrknueppel 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70~250mm 厚さ1mm 以上のものである。尙このミルは同様幅70~250mm のスケルプ及び幅250mm 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750mm 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