

出鉄温度の測定結果に就て

(日本鉄鋼協会第 24 回講演大会講演 昭 15. 10)

海野 三朗*

RESULTS OF THE MEASUREMENT ON THE TEEMING TEMPERATURE

Saburo Umino, Rigakuhakushi.

SYNOPSIS:—The teeming temperature was measured with the lapse of time, and the distribution of temperatures in the molten bath of the blast furnace considered.

- I. 緒言
- II. 結論概要
- III. 測定状況
- IV. 測定結果
- V. 操業状況
- VI. 考察

- 1. 熔鉄, 熔滓の温度
- 2. i. 熔鉄の比重, ii. 熔滓の比重, iii. 熔鉄の温度, iv. 熔鉄及び熔滓の深さ, v. 比重より見たる高爐内の熔鉄及び熔滓, vi. 鑛石及び鉄鐵の比重.
- 3. 深さと温度勾配.
- 4. 温度勾配, i. 出鉄量と温度勾配, ii. 鑛滓と温度勾配.
- 5. 混鉄爐迄の間に於ける熔鉄の温度降下.
- 6. 熔鉄及び熔滓の含有熱量と熱損失.

I. 緒言

高爐内の温度を正確に知る事は最も難事であり、直接是が測定を行ふ事は甚だ困難である。従て装入物の種類又生産品に依りての爐内の最好調温度を決定する事も亦困難に屬する。夫れ故に此温度測定に付ての研究発表も誠に寥々たるもので著者の寡聞を以てしては僅かに其二三を知るに由ない。其内 Georg Eichenberg 及 Walter Eilender¹⁾ は Becher 会社の 420 吨の鑄物鉄鐵高爐に付て實驗せる結果、熱風温度は 650~700°C を以て最好調なりと報じ又 Wilhelm Lennings²⁾ に依れば鹽基性爐の熱風は 600~700°C 又酸性ならば最高 825°C を以て最好調となすと述べて居るが爐内温度には更に言及して居ない。又 W. A. Bone, H. L. Saunders, H. J. Tress³⁾ は高爐内のガスと鑛石との相互反應に付て 450~850°C 間に

於ける H_2 及び水蒸氣の影響に付て實驗的結果を報じて居るが装入物に對する熱風の温度乃至爐内温度には言及して居ない。又 A. Münd, J. Strecher 及び W. Eilender¹⁾ は熔鑛爐の朝顔及び爐床に於ける反應を Bochumer 会社の 500 吨高爐で實驗して居るが内部の温度に付ては更に言及して居ない。反應の速度は爐内に於て熱風に由るコークスの燃焼温度に依りて左右せらるゝ事は言を俟たない所である。従て爐内温度を正確に知る事は其第一歩として最も重要な事項である。由て著者は先づ熔鉄の湯出し温度を連続的に測定し、此結果からして爐内に於ける各層の温度分布を知り、是よりして製鉄温度を推知するに便ならしめんと企てた。出鉄温度の測定²⁾ は今日迄甚だ少ない感があるが、在來報告せられたる一、二³⁾ の結果と比較し以て製鉄作業上の参考に資せんと企てたものである。

II. 結論概要

- 1. 光高温計を以て時間に由る出鉄温度並に熔滓の最高温度を測定し、是より高爐内に於ける熔鉄、熔滓の兩水準面に於ける温度を求めた。
- 2. 出鉄當初の温度は種が低温なる爲めに一般に低いが出鉄開始後約 5 分にして定常状態に達する。其後に於ては種の長さ 1m. につき輻射によりて約 0.98°C の温度降下がある。
- 3. 出鉄温度は時間に依りて變化するから、出鉄温度には必ず出鉄後の時間を明記せねばならぬ。
- 4. 爐内熔鉄の平均温度は時間と共に測定した出鉄温度より種の低温による影響を除去したる平均値より求むる事が出来る。斯くして求めたる値は No. 1, 2, 3 及び No.

* 日鐵八幡製鐵所研究所

1) Stahl u. Eisen Sep. (1933), 28.

2) Stahl u. Eisen (1938), 25; 52.

3) Iron and Steel Inst. May (1938), Adv. Copy No. 2.

1) Stahl u. Eisen 48 (1931), 1449.

2) 海野, 製鐵所研究所受付研究, 鉄 9 (昭, 10), No. 40.

3) Frölich, Stahl u. Eisen Dez. (1936), 1473.

4 にありては夫々 1,427, 1,391, 1,419 及び 1,427°C であった。

5. 爐内熔銑面の温度よりも鑄滓面の温度は各爐共平均 34°C 高い。

6. 常温に於ける鑄滓の比重は平均約 2.90 であるが, 1,468°C の高温では約 1.8 となった。

7. 爐内温度は熔銑面より底部へ下るに従て何れも降下し, 羽口に接近するに従て熔銑熔滓共に上昇して居る。又羽口より底部に向ては順次降下して居るが, 其割合は鑄滓に於けるよりも熔銑の方が遙かに大である。

8. 爐内熔銑の温度が 1,411~1,465°C のときに爐底の温度は 1,245~1,277°C となつて居る事が分つた。

9. 羽口より下部の温度が比較的低温なるときは出銑量が減じ高温ならば多い。従て羽口以下を高温ならしむる事は出銑量を増す上に於て最も大切なる事項の一つである。

10. 爐底より 1~1.2m 迄の間に於ては冷却速度は大で爐底に近付くに従て直線的に増して居る。

11. 本測定に於ける 500~1,000t 高爐では湯槽の深さ 1m に付き爐底と熔銑面との温度差は約 185°C である。従て爐底よりの平均としては 10cm に付き上下兩水準面の温度差は約 18.5°C となる。

12. 出銑口より以上の湯槽の高さ 10cm 毎に平均として約 8°C の兩水準面の温度差がある。

13. 本測定に於ける 500~1,000t 高爐では出銑量 180~70t の場合は出銑口及び熔銑面の兩水準面に於ける温度差は平均約 90~60°C である。

14. 羽口前面に於ける爐内最高温度と鑄滓面の最高温度とは約 182°C の差あるを知ら。

15. 爐内熔銑が流れ落込に於ける輻射によりての温度降下は其距離 1m につき 0.98°C であるから 40m あれば約 40°C の降下あり。取鍋より混銑爐迄約 20 分ならば平均として降下温度は約 28°C である。

16. 爐内熔銑の含有熱量を 100% とすれば本測定の場合に於ては流れ落込に於て 97.54% 混銑爐注入時に於ては 95.83% の含有熱量となつて居る。

17. 熔銑が樋の低温なる爲めに失ふ熱量は全熔銑が爐内に於て保有する熱量の約 0.7% に相當する。従て流落込に 3.16%, 流落より混銑爐注入迄には 1.71%, 合計 4.87% の熱量の損失がある。従て混銑爐注入の時には其 95.13% の保有熱量となる。

18. 熔滓が保有する熱量は熔銑の保有熱量の 94.8% に

相當する。

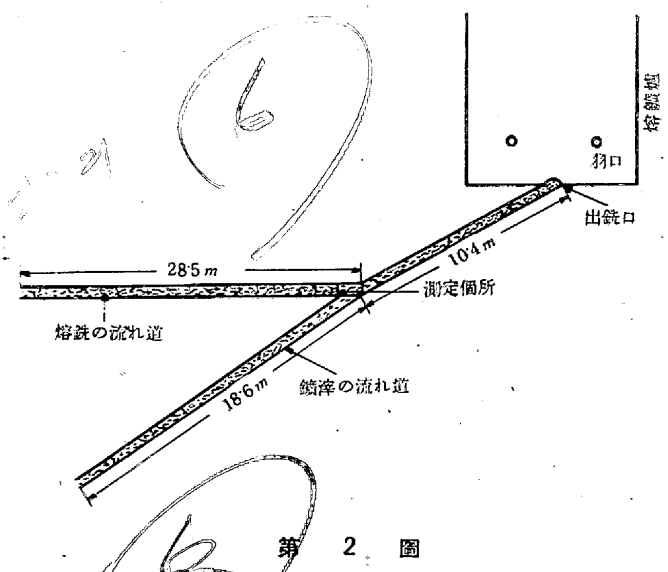
19. 比重より考ふれば No.4 に於ては爐底は 6.75, 熔銑面は 6.2 となり, 1.8 なる比重の熔滓と接し, 熔滓面に於ては 1.75 の比重となつて居る。

20. 熔銑及び熔滓の温度を正確に測定する事によりて爐況が如何なる方向に進みつゝあるかを知る事が出来る。

III. 測定状況

熔銑温度測定は昭和 14 年 5 月 10~13 日間に互り No. 1~4 迄の高爐の湯出しに付て行つた。測定位置は第 1 圖に示す如く熔銑と鑄滓とが分離する所即ちスキンマーに於て發煙なき場合に風上より補正¹⁾せる「ピロプト光高温計」に依り第 2 圖に示す如き位置より湯の表面温度を測定した。尙高爐の湯口よりスキンマー迄の距離は第 1 圖に示す如く約 10.4m であるから其間に於ける温度降下を知る爲めに著者が先きに定常状態に達せる後に於て樋と流れ落との

第 1 圖



第 2 圖



¹⁾ 海野, 鐵と鋼 23(昭, 12), 644; 製鐵所研究所研究報告 17(昭, 12), No. 1

2ヶ所に於ける熔鉄の温度¹⁾を測定した結果をも併せて記す事にした。

IV. 測定結果

實測値に補正す可きエミッシンピッチーの値としては著者²⁾が既に報告せる結果即ち熔鉄にありては 0.51 又熔滓にあ

第1表 出鉄温度 (No. 1)

14, 5, 10 午前 10, 38		14, 5, 10 午後 2, 27		14, 5, 11 午前 11, 57		14, 5, 12 午前 10, 47		14, 5, 12 午後 2, 35	
経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)
2	1,319	1	1,351	3	1,346	3	1,329	1	1,395
3	1,357	2	1,379	5	1,373	4	1,368	2	1,395
4	1,368	3	1,395	6	1,401	6	1,390	3	1,406
5	1,379	4	1,412	7	1,406	8	1,401	4	1,423
7	1,406	5	1,428	8	1,412	10	1,412	5	1,423
9	1,412	6	1,434	10	1,412	12	1,423	6	1,428
10	1,423	8	1,434	12	1,428	14	1,434	7	1,439
11	1,445	9	1,451	14	1,434	16	1,445	8	1,445
14	出鉄終	10	1,462	16	1,434	17	1,456	12	出鉄終
—	—	—	—	18	1,444	21	出鉄終	—	—
—	—	—	—	22	出鉄終	—	—	—	—
熔滓最高 温度(°C)	1,484	—	1,484	—	1,458	—	1,474	—	1,463

第2表 (No. 2)

14, 5, 11 午前 8, 39		14, 5, 11 午後 1, 25		14, 5, 12 午前 8, 28		14, 5, 12 午後 0, 4		14, 5, 13 午前 11, 51	
経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)
1	1,313	2	1,324	2	1,313	2	1,226	3	1,346
3	1,357	4	1,357	4	1,351	4	1,324	5	1,357
5	1,357	6	1,357	6	1,362	6	1,329	7	1,373
7	1,357	8	1,368	8	1,373	10	1,329	9	1,395
9	1,368	10	1,373	10	1,373	14	1,351	11	1,395
11	1,428	14	1,373	12	1,401	18	1,368	13	1,406
13	1,412	16	1,384	14	1,401	22	1,384	15	1,412
15	1,401	18	1,384	17	出鉄終	24	1,390	17	1,412
17	1,406	20	1,395	—	—	30	1,390	19	1,417
19	1,406	22	1,384	—	—	32	1,401	20	出鉄終
21	出鉄終	25	出鉄終	—	—	38	1,401	—	—
—	—	—	—	—	—	40	1,406	—	—
—	—	—	—	—	—	46	1,428	—	—
—	—	—	—	—	—	66	出鉄終	—	—
熔滓最高 温度(°C)	1,447	—	1,442	—	1,452	—	1,447	—	1,442

第3表 (No. 3)

14, 5, 10 午前 11, 40		14, 5, 11 午前 11, 22		14, 5, 11 午前 7, 20		14, 5, 12 午前 11, 15		14, 5, 12 午後 3, 0	
経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)
2	1,357	3	1,401	3	1,357	2	1,368	2	1,346
5	1,362	6	1,395	6	1,362	5	1,346	5	1,379
8	1,379	9	1,390	9	1,373	8	1,362	8	1,412
11	1,412	12	1,401	12	1,379	11	1,423	11	1,434
14	1,406	15	1,406	15	1,379	17	1,423	14	1,434
17	1,434	18	1,423	21	1,379	19	1,439	17	1,445
20	1,428	21	1,428	24	1,379	21	1,439	19	出鉄終
23	1,451	24	1,428	27	1,412	22	出鉄終	—	—
26	1,462	30	出鉄終	30	1,434	—	—	—	—
32	1,473	—	—	—	—	—	—	—	—
38	1,467	—	—	33	1,445	—	—	—	—
40	出鉄終	—	—	35	出鉄終	—	—	—	—
熔滓最高 温度(°C)	1,458	—	1,479	—	1,463	—	1,452	—	1,463

第4表 (No. 4)

14, 5, 10 午前 9, 26		14, 5, 11 午前 9, 38		14, 5, 12 午前 9, 27		14, 5, 13 午前 8, 55		14, 5, 13 午後 1, 4	
経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)	経過時 間(分)	温度 (°C)
3	1,286	3	1,357	3	1,324	3	1,346	3	1,401
6	1,368	6	1,357	6	1,373	6	1,412	6	1,417
9	1,379	9	1,384	9	1,390	9	1,428	9	1,423
12	1,362	12	1,406	12	1,390	12	1,451	12	1,451
15	1,373	18	1,406	15	1,379	15	1,462	15	1,456
18	1,412	21	1,406	18	1,384	19	出鉄終	18	1,462
21	1,423	24	1,434	21	1,434	—	—	21	1,467
24	1,467	27	1,484	24	1,428	—	—	24	1,473
27	1,445	29	1,467	27	1,445	—	—	—	—
32	出鉄終	36	出鉄終	33	1,434	—	—	—	—
—	—	—	—	34	出鉄終	—	—	—	—
熔滓最高 温度(°C)	1,474	—	1,474	—	1,495	—	1,500	—	1,495

第5表 温度降下 (°C) (距離 13.3m)

番 場所	1	2	3	4	5	平均
樋	1,460	1,473	1,468	1,465	1,485	1,470
流落	1,448	1,456	1,458	1,450	1,475	1,457
降下温度	12	17	10	15	10	13

りては 0.67 を採用した。斯くして得たる熔鉄の温度と時間とを第 1~4 表に、又此関係を第 3~4 圖に示した。熔鉄の流るゝ間に於ける温度降下を知らんが爲めに樋及び流落の 2ヶ所に於て測定せる以前の結果を第 5 表に示した。

此際の 2ヶ所の距離は 13.3m で降下温度は 13° であるから
 $13 \div 13.3 = 0.98(°C)$

即ち 1m に付き約 0.98°C の温度降下がある。本測定の場合には出鉄口より測定位置迄の距離は 10.4m であるから
 $0.98 \times 10.4 = 10.2(°C)$

即ち約 10.2°C の温度降下を認めねばならぬ。第 3~4 圖に示す如く出鉄温度は時間の函数であつて一般には始め低温で時間と共に順次高温を示すが常態ではあるが、爐内及び湯口の状況等に依りて必ずしも温度對時間の曲線は同様ではない。従て出鉄温度を表示するには出鉄後の時刻を明記する必要がある。Frölich³⁾ は高爐より混鉄爐に至る間の熔鉄の熱損失の報告中に於て高爐の出鉄温度を 9 回の測定結果として 1,335~1,405°C を報じて居るが、是によれば毎回の出鉄温度は夫々一定して居る様であるが 第 3~4 圖に示す如く毎回の出鉄温度は時間の函数であつて始めと終りの出鉄温度差は出鉄量にも依るが今の場合には普通に 100°C を越えて居る事が知られるから、彼が報せる上記の出鉄温度と云ふのは出鉄後何分にして何所を測定したか又平均熔鉄温度とせる事に付ては更に吟味をせねばならぬ事が知られる。Frölich の測定は Ilseder Hütte 工場に

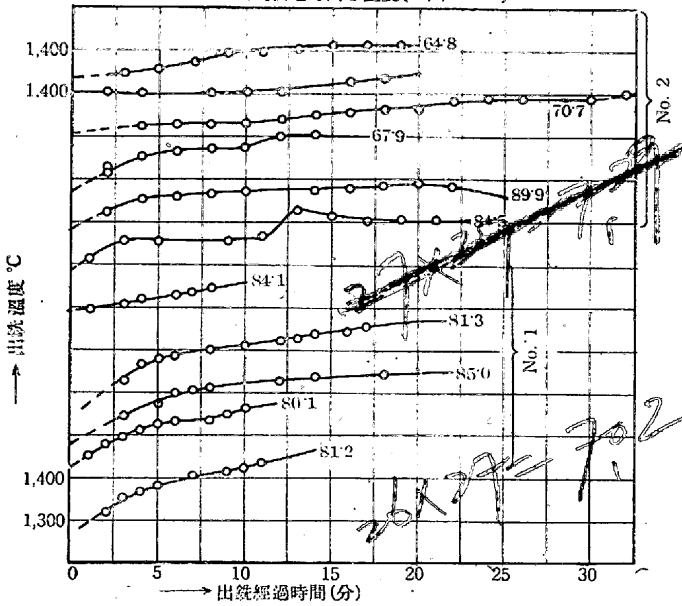
¹⁾ 海野, 製鐵所研究所受付研究, 鉄 9 (昭, 10), No. 40

²⁾ 海野, 鐵と鋼, 23 (昭, 12), 644. 製鐵所研究所研究報告, 17 (昭, 12) No. 1

³⁾ Stahl. u. Eisen Dez. (1936), 1473.

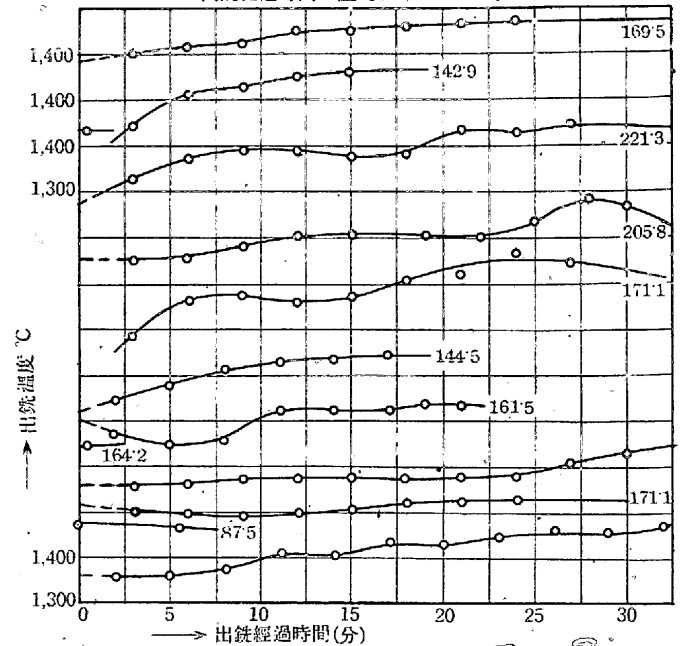
第 3 圖

出鉄經過時間と温度(14,5,10~13)



第 4 圖

出鉄經過時間と温度(14,5,10~5,13)



於て行はれたもので高爐の能力は300噸前後のものゝ如くである。次に彼は熔銑運搬中の熱損失として高爐と混銑爐との距離 6.8km, 所要時間平均 18mn 此間の温度降下を 41° と報じて居る。著者¹⁾が測定せる結果は流れ落より混銑爐へ注入する迄の經過時間は平均約 20mn を要し此間の降下温度は 28° であった。故に比降下割合は Frölich の 18mn に對する 41°C より小である事が知られる。是は其距離が短き結果であらう。此著者の測定の場合の取鍋量は 1 回約 20t であった。尙流落と取鍋とに於ては平均 27°C の降下があつたが夫れは先きには比較的低温の湯が流れ込み順次温度は上昇するから其平均として表はるゝ温度は流落ちの温度よりも 27°C も低温を示すのである。最も取鍋に失はるゝ事によりて多少の降下あるは勿論である。

し参考に供した。 $27 \times 27 = 729$

No. 3

原料	5,10日9日 丙装入(t)	5,11日10日 丙装入(t)	5,12日11日 丙装入(t)
上比燒濠	73'500	71'400	98'800
坡島結州	112'000	108'800	121'600
濠洲	35'000	34'000	38'000
濠洲	52'500	51'000	57'000
ヅングン	35'000	40'800	60'800
桃冲	108'500	105'400	117'800
印度	28'000	27'200	30'400
大治	0	27'200	0
利原	0	27'200	0
計	444'500	438'600	505'400
平爐滓	35'000	34'000	38'000
コークス	280'000	272'000	304'000
石灰石	116'550	114'240	129'960

No. 4

原料	5,10日9日 丙装入(t)	5,11日10日 丙装入(t)	5,12日11日 丙装入(t)	5,13日12日 丙装入(t)
上比燒濠	102'500	112'500	116'000	116'000
坡島結州	123'000	135'000	132'000	132'000
濠洲	41'000	45'000	44'000	44'000
濠洲	73'800	81'000	79'200	79'200
ヅングン	82'000	90'000	88'000	88'000
桃冲	110'700	121'500	118'800	118'800
大治	41'000	45'000	44'000	44'000
計	574'000	630'000	616'000	616'000
平爐滓	41'000	45'000	44'000	44'000
コークス	328'000	360'000	352'000	352'000
石灰石	148'830	163'350	155'320	155'320

V. 操業狀況

此際の装入物、熔銑の成分其他の狀況を第 6~7 表に示

第 6 表 装 入 物

No. 1			No. 2				
原料	5,10日 9日丙 装入(t)	5,11日 10日丙 装入(t)	5,12日 11日丙 装入(t)	原料	5,11日 10日丙 装入(t)	5,12日 11日丙 装入(t)	5,13日 12日丙 装入(t)
上比燒濠	30'000	32'000	33'000	上比燒濠	36'300	35'200	37'400
坡島結	57'000	60'000	62'700	坡島結	62'700	60'800	61'200
濠洲	18'000	19'700	19'800	濠洲	19'800	19'200	20'400
濠洲	30'000	32'000	33'000	濠洲	33'000	32'000	34'000
桃冲	60'000	54'400	56'100	利原	46'200	44'800	44'200
印度	60'000	64'000	66'000	印	49'500	48'000	51'000
錢滓	3'000	3'200	3'300				
計	258'000	265'300	273'900	計	247'500	240'000	248'200
平爐滓	24'000	25'600	26'400	平爐滓	29'700	28'800	30'600
コークス	150'000	160'000	165'000	コークス	181'500	176'000	187'000
石灰石	75'000	79'360	81'840	石灰石	81'500	74'040	81'940

第 7 表 銑鐵の成分 (No. 1)

年月日	時 刻	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)
14, 5, 10	午前 10, 38~52	4'55	0'96	2'06	—	0'085	—
14, 5, 10	午後 2, 27~37	4'22	1'40	2'52	0'258	0'099	—
14, 5, 11	午前 11, 57~0, 19	4'71	1'08	2'52	0'222	0'029	0'084
14, 5, 12	午前 10, 47~11, 08	4'30	0'98	1'96	—	0'038	—
14, 5, 12	午後 2, 35~47	4'23	0'94	1'93	0'222	0'047	0'076

¹⁾ 海野, 製鐵所研究所研究報告, 前掲

第7表 銑鐵の成分 (No. 2)

年月日	時刻	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)
14, 5, 11	午前 8, 33~9, 02	3.82	1.44	1.93	—	0.067	—
14, 5, 11	午後 1, 25~50	4.06	1.25	2.01	0.288	0.059	0.084
14, 5, 12	午前 8, 28~45	4.00	1.18	2.48	—	0.045	—
14, 5, 12	午後 0, 04~1, 10	4.10	2.21	2.48	0.300	0.044	0.080
14, 5, 13	午前 11, 51~	0.11	3.67	1.06	2.09	0.300	0.060

(No. 3)

14, 5, 10	午前 11, 40~	0.20	4.04	1.28	2.84	0.234	0.041	0.088
14, 5, 11	午前 7, 20~7, 55	4.58	1.03	2.76	—	0.045	—	
14, 5, 11	午前 11, 22~11, 52	5.69	1.34	2.88	—	0.039	—	
14, 5, 12	午前 11, 15~11, 37	3.92	0.71	2.10	—	0.053	—	
14, 5, 12	午後 3, 00~3, 19	4.10	0.48	1.73	0.252	0.053	0.140	

(No. 4)

14, 5, 10	午前 9, 20~9, 58	3.67	0.72	2.19	—	0.047	—
14, 5, 11	午前 9, 38~10, 15	4.05	0.72	2.64	—	0.019	—
14, 5, 12	午前 9, 27~10, 01	3.95	0.78	2.15	—	0.037	—
14, 5, 13	午前 8, 55~9, 14	4.59	1.23	2.27	—	0.034	—
14, 5, 13	午後 1, 04~1, 38	4.55	0.80	2.21	0.246	0.034	0.148

第8表 操業表 (No. 1)

年月日	14, 5, 10	5, 10	5, 11	5, 12	5, 12	平均
風 壓 g/cm^2	870	900	790	880	820	852
風 量 m^3/min	1,166	1,182	1,198	1,100	1,100	1,161
温 度 (°C)	670	670	610	610	590	630
爐頂熱 (°C)	180	240	220	200	200	208
爐頂ガス { CO_2 (%)	10.2	—	9.4	10.0	—	9.9
{ CO (%)	30.2	—	31.2	31.6	—	31.0
出銑量 (t)	81.180	80.100	85.000	81.300	84.100	82.300
鑛滓成分 { SiO_2 (%)	29.92	29.14	29.34	29.08	31.60	29.82
{ CaO (%)	43.73	45.70	44.25	45.50	44.77	44.79
{ Al_2O_3 (%)	17.50	—	19.76	20.60	—	19.29
鑛滓概量 (t)	105	118	113	109	109	111
羽口数 { D=160mm 11本	—	—	—	—	—	—
{ D=180mm 1本	—	—	—	—	—	—
突出=400mm	—	—	—	—	—	—

(No. 2)

年月日	14, 5, 11	5, 11	5, 12	5, 12	5, 13	平均
風 壓 g/cm^2	860	830	850	840	760	828
風 量 m^3/min	1,281	1,281	1,281	1,281	1,281	1,281
温 度 (°C)	610	610	670	650	650	638
爐頂熱 (°C)	190	210	320	270	300	240
爐頂ガス { CO_2 (%)	8.2	—	8.2	—	8.4	8.3
{ CO (%)	32.8	—	32.2	—	33.6	32.9
出銑量 (t)	84.500	89.900	67.900	70.700	64.800	75.600
鑛滓成分 { SiO_2 (%)	33.44	33.66	—	33.22	33.54	—
{ CaO (%)	42.79	60.60	—	43.00	40.08	—
{ Al_2O_3 (%)	17.20	—	—	15.94	16.90	—
鑛滓概量 (t)	105	117	100	113	90	105
羽口数 { D=170mm 12本	—	—	—	—	—	—
突出=300mm	—	—	—	—	—	—

(No. 3)

年月日	14, 5, 10	5, 11	5, 11	5, 12	5, 12	平均
風 壓 g/cm^2	1,200	1,280	1,250	1,140	1,130	1,200
風 量 m^3/min	1,700	1,600	1,800	1,850	1,850	—
温 度 (°C)	650	590	560	600	630	—
爐頂熱 (°C)	200	200	250	250	300	—
爐頂ガス { CO_2 (%)	12.2	11.6	—	11.0	—	—
{ CO (%)	29.6	29.8	—	30.2	—	—
出銑量 (t)	87.500	171.060	164.200	161.520	144.500	145.600
鑛滓成分 { SiO_2 (%)	31.64	—	31.66	30.98	31.28	—
{ CaO (%)	45.03	—	45.60	46.22	45.08	—
{ Al_2O_3 (%)	16.92	—	18.88	17.70	—	—
鑛滓概量 (t)	119	201	225	222	164	186
羽口数 { D=180mm 12本	—	—	—	—	—	—
突出=400mm	—	—	—	—	—	—
休風 32min	—	—	—	—	—	—

(No. 4)

年月日	14, 5, 10	5, 11	5, 12	5, 13	5, 13	平均
風 壓 g/cm^2	1,240	1,280	1,320	1,460	1,220	—
風 量 m^3/min	1,950	1,950	1,950	1,950	1,950	—
温 度 (°C)	530	530	620	650	620	—
爐頂熱 (°C)	120	100	200	200	300	—
爐頂ガス { CO_2 (%)	14.0	14.2	13.4	13.8	—	—
{ CO (%)	26.2	26.2	27.6	26.4	—	—
出銑量 (t)	171.100	205.800	221.340	142.940	169.500	182.100
鑛滓成分 { SiO_2 (%)	33.32	—	—	33.86	—	—
{ CaO (%)	43.52	—	—	43.52	—	—
{ Al_2O_3 (%)	16.88	—	—	17.01	—	—
鑛滓概量 (t)	103	132	224	188	—	163
羽口数 { D=180mm 12本	—	—	—	—	—	—
突出=400mm	—	—	—	—	—	—

尙 No. 1~1 迄の高爐の火入年月日は第8'表の如くである。

第 8' 表

番 號	火入年月日	火止年月日	火入年月日
1	13, 9, 27	—	—
2	8, 10, 16	14, 7, 30	15, 3, 18
3	12, 2, 15	15, 10, 19	—
4	13, 4, 27	—	—

各高爐内の侵蝕程度は是等の年月日と對照して想像し測定温度には是等を参照せられたい。

VI. 考 察

1. 熔銑, 熔滓の温度 第3~4圖に示せる出銑温度對經過時刻の關係を見るに、出銑始めは殆ど何れも低温を示し、時間の經過と共に順次上昇して居る。出銑口は高爐内底より約 41.5cm の高さの所にあり、此部分の熔銑より流れ出し順次上層の湯が流出するのであるから始め比較的低温を示すは當然ではあるが、此外に始めの出銑温度の低下は、桶の低温なる爲めに生ぜる結果である。併し乍ら高温の熔銑が相當時間桶を流るれば桶は加熱せられて此部分に尖はるゝ熱量は順次減じて定常の状態に達する。此時間を第3~4圖の曲線より求むるに、出銑後約 5mm となる。據て出銑後 5mm の所に於て其曲線に切線を引き是を逆に延長して經過時間零即ち出銑當初の温度を求むれば、此温度は即ち桶の低温なる事によりての冷却なき時の熔銑の温度と見做す事が出来る。又高爐内に於ては最上層部の熔銑が下部の熔銑よりも羽口に近く其結果高温である可きであるから、出銑温度對經過時間を示す曲線よりして其最高温度を求むれば此温度は即ち高爐内熔銑の最上層部の最高温度と見做す事が出来る。第3~4圖上實測温度を(○)で示し曲線の延長は出銑時間の延長を示したものである。又鑛滓は比重の關係上常に熔銑の上部に位する筈である。従て熔滓の最高温度として讀める値は鑛滓口より以下で羽口に最も近き上層部にありし鑛滓の温度と見做す事が出来るのである。

高爐内に於ては爐況に依り平川博士¹⁾の述べられたる如き熔融帯の存在する場合の外に装入物の柱を生ずる場合も可能なる可きも、何れにせよ高爐内では上層部に鑛滓あり其下部に熔銑が溜て居るものと考へ下部より上層部迄の温度の分布を測定の結果より推測して見ることにした。先づ出銑後約5mn 經過後の曲線の延長よりして出銑當初の温度を第3~4圖の曲線より求めて示せば第9表の如くなる。

第9表 出銑當初の熔銑の温度(°C)

番號	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
回数 1	1,340	1,355	1,360	1,355
2	1,390	1,340	1,400	1,350
3	1,380	1,340	1,355	1,340
4	1,350	1,365	1,320	1,380
5	1,390	1,330	—	1,400
平均	1,370	1,346	1,359	1,365

又熔銑並に熔滓の鑛滓口以下に於ける最高温度を求めて示せば第10表の如くなる。それ等の温度を夫々銑温及び滓温として示した。

第10表 熔銑及熔滓の最高温度(°C)

番號	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		
	銑温	滓温	差	銑温	滓温	差	銑温	滓温	差	銑温	滓温	差
回数 1	1,430	1,484	44	1,405	1,447	42	1,450	1,458	8	1,460	1,474	14
2	1,450	1,484	24	1,385	1,442	57	1,425	1,479	54	1,480	1,474	-6
3	1,440	1,458	18	1,400	1,452	52	1,435	1,463	28	1,450	1,495	45
4	1,440	1,474	34	1,400	1,447	47	1,420	1,452	32	1,465	1,500	35
5	1,440	1,463	23	1,415	1,442	27	1,440	1,463	23	1,475	1,495	20
平均	1,440	1,473	29	1,401	1,446	45	1,434	1,463	29	1,466	1,488	22

高爐内の狀況が異なるが故に其差も各々相異なるは當然の結果であらう。即ち各高爐の爐底の廣狹及び爐底の侵蝕程度によりて湯の高さも異なり又羽口の高低によりても其附近が同一高熱源なりとするも熔銑及び熔滓に及ぼす温度の影響は夫々相異なつて來る道理である。前記の出銑當初の熔銑の温度及び熔銑、熔滓の最高温度には爐外にて桶を流るゝ間に降下せる温度の補正が入て居ないから前の(4)に於て示した距離より來る温度の補正をしなければならぬ。斯くして補正せる結果は第11表の如くなる。

第11表 爐内に於ける熔銑、熔滓の補正平均最高温度(°C)

番號	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
位置 出銑口の高さの熔銑	1,380	1,356	1,369	1,375
熔銑の最高層部	1,410	1,411	1,444	1,476
熔滓の最高層部	1,483	1,476	1,473	1,498

此結果を通覽するに爐底の狀況及び其他の條件が異なるから之等の條件を同一にして置なければ豫斷を許さないが、併し乍ら No. 1 は 500 吨であり No. 2 は 700 吨爐で

¹⁾ 平川: 製鐵研究 123 (昭, 5) 331.

あるから出銑量は No. 2 は No. 1 を凌駕して居なければならぬ筈であるが平均1回の出銑量は夫々 No. 1 及び No. 2 は 82.3t 及び 75.6t となつて居る。最も No. 2 は吹き落し前であつたと記憶するが併し乍ら温度から見れば熔銑、熔滓共に No. 2 は No. 1 よりも低い。又 No. 3 及び No. 4 は共に 1,000 吨高爐であり熔銑の種類も殆ど同じなるにも拘はらず、1回の平均出銑量は夫々 145.6t 及び 182.1t となつて居る。温度より考察すれば第11表に示す如く爐内に於ては No. 3 は No. 4 よりも相當低温にある事が知らるゝ。即ち爐底に熱が集結して居ないか又は爐底侵蝕の爲めに熔銑が羽口より遠ざかつて居る結果であるかも知れないが兎に角熔銑の温度が低い場合は出銑量は減少して居ると云ふ結果になつて居る事が判かる。最も羽口よりの距離にも依る所大なるものがあるから次に熔銑の層及び熔滓の層の高さを計算し高さによる温度の變化を求めて見よう。

2. 熔銑、熔滓の比重と爐内温度分布並に

出銑量 熔銑、熔滓の高温に於ける比重の變化を考察し、又爐内に於ける熔銑の平均温度を求め高爐内の深さに依る温度差を知りて各爐の同じ深さに於ける温度を比較し爐内温度が出銑量と關係ある事を論じ、爐内に於ては比重より考察すれば如何なる分布をなすかあるかを追求したものである。最も高爐の爐

底は各研究者¹⁾により既に示された様に年數により各々侵蝕の程度が異なつて居るであらうが只今は火れを豫定する事が出來ないから原形に就て計算を試みる事とした。

i. 熔銑の比重 各高爐の爐底内部の直径は第12表に示す如くである。

第12表 爐底内部の直径

番號	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
直径(m)	6	7	7.2	7.2
半径(m)	3	3.5	3.6	3.6
面積(m ²)	28.25	38.50	41.10	41.10

銑鐵の收縮²⁾は其含有成分によりて多少相違する。従て其比重は又多少相違す可きであるが、熔銑としての比重を測定せるものは甚だ稀である。熔銑の容積計算に當りては高温に於ける熔銑の比重³⁾が大切であるので本多、遠藤⁴⁾

¹⁾ 平川: 製鐵研究 147 (昭, 10) 137; 垣内及山本: 鞍山鐵鈔會雜誌 73 (昭, 15) 31; 野田: 製鐵研究 170 (昭, 15) 89.

²⁾ Bardenheuer, P. u. C. Ebbefeld: Mitt. a. d. Kais.-Wilh.-Institut. für Eisenforschung 4 (1925) 45.

³⁾ Benedicks, C., N: Ericsson u. G. Ericsson; Archiv f. d. Eisenhüttenwesen 3 (1930) 473.

⁴⁾ 金研. 3 (昭, 元), 176.

博士が既に發表せる値を茲に引用する事とした。此際用ひられた試料は

C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)
3.9	0.08	0.1	0.002	0.002

なる試料よりして

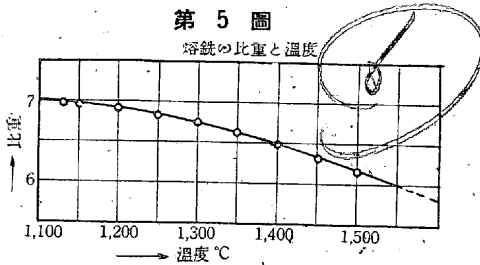
T.C 4.1~4.3% 石墨 2.8~3.0% Si 1.8~2.3%

なる試料を作りて試験せられたるものであるが今各温度に於ける比重を示せば次の如くである。

熔銑の比重 (本多, 遠藤兩博士による)

温度(°C)	1,130	1,150	1,200	1,250	1,300	1,350	1,400	1,450	1,500
比重	6.98	6.97	6.92	6.85	6.75	6.62	6.48	6.32	6.15

此熔銑の比重と温度との關係を第5圖に示した。



之に依れば 1,200°C 附近より温度上昇と共に其比重は急激に減少して行く事が判かる。

ii. 熔滓の比重 次に熔融状態にある高爐滓の比重を知る必要がある。著者は不幸にして未だ高温に於ける高爐滓の比重の測定報告に接して居ないので止むなく茲に推定せざるを得ないのである。著者¹⁾は常温に於ける高爐並に平爐滓の比重を既に發表してある。其結果を見るに平均として夫々 2.90 及び 3.38 を得て居る。又 Luigi Bruno²⁾は平爐の理論的建設なる論文中に於て熔融鋼滓 1m³ の重量として 1.92t を示して居る。依て著者の常温に於ける値よりして比例に依りて高爐滓の熔融せる時の概略の比重を求むる事にした。即ち

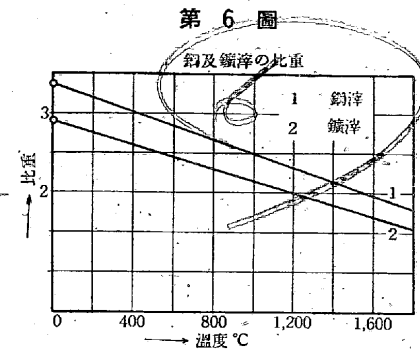
$$3.38 : 2.90 = 1.92 : x \quad \therefore x = 1.65$$

但し此際の温度は 1,650°C で高爐よりも高温なる場合であるからこの 1.65 は第 11 表の平均高爐滓の温度 1,478°C に於ては如何になるかを求むるに

$$x = 1.25 \times 1,478 / 1,650 = 1.11 \quad \text{即ち } 2.9 - 1.11 = 1.8$$

約 1.8 の比重と見做す事が出来るのである。元來鋼滓又は鑛滓何れにせよ生産品の種類, 装入物等に依りて各々相異なる可きは當然であるが, 凡ての點より考察して 1,478°C 附近の上記の如き高爐滓の比重は約 1.8 に最も近いと考へられるから, 此値を用ひて高爐内の高爐滓の高さを算出

する事にした。尙實際家の参考に資せんが爲めに斯くして



求めたる鋼滓及び鑛滓の比重と温度との關係を第 6 圖に示した。嚴密には多少の相違あらんも大體を知るに足らん。

iii. 熔銑の平均温度 高爐内にある

熔銑の温度を考ふるに底部は低く, 又爐壁は羽口の先端より低く上層羽口に接近するに従ひ温度は上昇して居る道理であつて, 出銑温度は時間により同一ならざる事は第 3~4 圖に示せる曲線の如くである。又湯口は始め小さく出銑量と共に順次多少増大するから流るゝ量は時間によりて同一ではない。併し乍ら本研究に於ては常に一樣に流るゝものと考へ第 3~4 圖の曲線よりして各出銑毎に於ける湯槽の平均温度を求めて第 13 表に示し計算に便ならしめた。流るゝ距離に對する温度の補正をなせる事は前と同様である。

第 13 表 湯槽内熔銑の平均温度(°C)

回数	番號	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1		1,408	1,387	1,427	1,401
2		1,403	1,372	1,415	1,407
3		1,429	1,377	1,395	1,401
4		1,414	1,380	1,399	1,427
5		1,429	1,390	1,411	1,450
平均		1,417	1,381	1,409	1,417
補正温度		1,427	1,391	1,419	1,427

高爐滓は最高温度を測定せるのみであるから平均値は求められなかつたが最低は湯に接して居る部分即ち湯の最高温度と同一なる事は想像に難くない。従て鑛滓の平均温度としては此兩者の平均温度を求めた。

iv. 熔銑及び熔滓の深さ 出銑温度は毎回同一でないから其平均値を採用する事にした。先づ No. 1 に就き計算せんに第 8 表の平均 1 回の出銑量 82.300t は直径 6m の高爐内にては幾何の高さに達して居るかを考ふるに

$$x = 82.3 / 6.4 \times \pi r^2 = 82.3 / 6.4 \times 28.25 = 0.455(m)$$

熔銑の平均温度を第 12 表より求め此温度に於ける熔銑の比重 6.4 は第 5 圖より求めたものである。斯くして同様の計算に従へば No. 2, 3 及び No. 4 は夫々 30.1, 55.1 及び 69.2 cm となる。爐内に装入物の柱状を生ぜる場合は夫れに應じて湯の高さは夫々増加す可きは當然である。高爐滓は熔銑 1t に對し平均として約 70% の鑛滓を發生

¹⁾ 海野: 製鐵所研究所研究報告 7(昭, 12) No. 8; 東北理科報告 17(昭, 13) 985.

²⁾ La construction rationnelle des fours Martin-Siemens. Revue de Métallurgie 35 (1938) 52, 131.

するものとせば No. 1 に於ては平均として

$$82.3 \times 70 / 100 = 57.4(t)$$

57.4t の熔滓と考ふる事を得、故に熔滓の高爐内の層の高さ x は

$$x = 57.4 / 1.8 \times \pi r^2 = 57.4 / 1.8 \times 28.25 = 1.13(m)$$

同様の計算に依りて No. 2, 3 及び No. 4 に於ては夫々 1.05, 1.38 及び 1.73m となる。依て各爐底よりの高さとして各層の水準面の最高温度とを示せば第 14 表の如くなる。此際出鉄口よりの熔滓は鑛滓口以下に残存せる熔滓が流出するものと考ふる事とした。

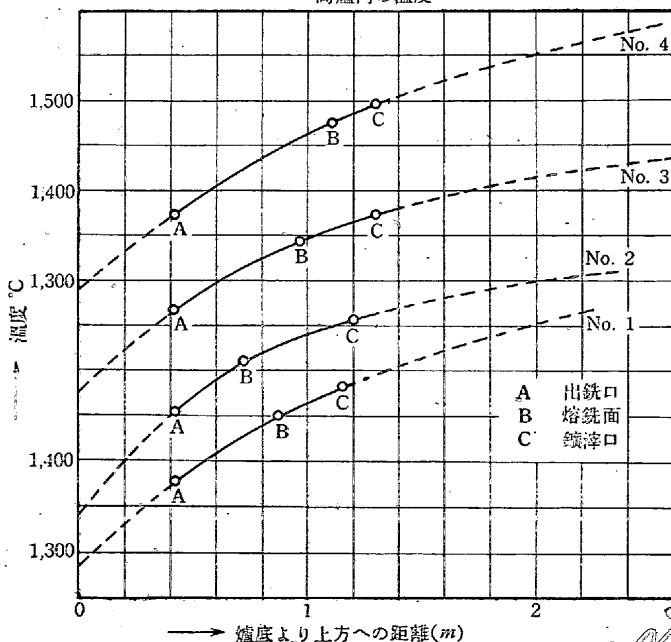
第 14 表 高爐内各水準面に於ける温度(°C)

番 號	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4	
	爐底より (m)	温度 (°C)	爐底より (m)	温度 (°C)	爐底より (m)	温度 (°C)	爐底より (m)	温度 (°C)
爐底	0	1,277	0	1,245	0	1,267	0	1,290
出鉄口(A)	0.415	1,380	0.415	1,356	0.415	1,369	0.415	1,375
熔鉄面(B)	0.870	1,450	0.716	1,411	0.966	1,441	1.107	1,476
鑛滓口(C)	1.150	1,483	1.200	1,456	1.300	1,473	1.300	1,498
羽口中心	2.300	—	2.400	—	2.600	—	2.600	—

上記は第 11 表の温度と爐底より羽口中心迄の高さ及び熔鉄、熔滓の層の高さ等を集めて示せるものであつて此各水準面に於ける最高温度と位置との關係を示せば第 7 圖の如くなる。柱状が有る際は是に多少の補正が必要である事は當然である。出鉄口、熔鉄面、熔滓面の位置を夫々 A, B 及び C とし同圖上に示した。三點を通過する曲線は一般には圓の一部ではあるが今の場合羽口附近の温度は少なくとも高爐滓の最上部の温度より低くはないと云ふ條件を

第 7 圖

高爐内の温度

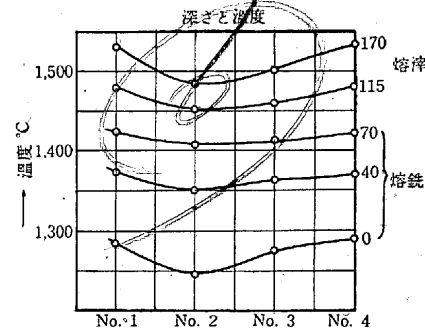


加味すれば大體第 7 圖に示せる如き温度對距離の曲線となる。依て此曲線を逆に點線にて延長し爐底に於ける温度として第 14 表に併せて記す事とした。之に依れば各爐底に於ては何れも 1,245~1,290°C の間にあるから熔鉄の成分より考ふれば未だ凝固の域に達して居ない事が知られる。尙第 7 圖の曲線よりして No. 2 は 700 吨高爐なるにも拘はらず No. 1 の各點の温度よりも凡て低くなつて居る事が氣付かれるし、又 No. 3 及び No. 4 共に 1,000 吨高爐なるにも拘はらず平均出鉄量に於ては No. 3 は No. 4 に及ばない。各點の温度も亦 No. 3 は凡て No. 4 よりも低温を示して居る。此差異を明示する爲めに同じ深さに於ける温度の比較を第 15 表に示し、此關係を第 8 圖に示した。

第 15 表 深さと温度

爐底よりの高さ (cm)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	備考
0	1,277	1,245	1,267	1,290	熔 鉄
40	1,374	1,352	1,365	1,370	
70	1,425	1,409	1,413	1,422	
115	1,482	1,453	1,462	1,481	鑛 滓
170	1,533	1,487	1,502	1,533	

第 8 圖



是に據れば熔鉄熔滓各部の温度は同じ高さの位置に於ては No. 2 最も低く No. 3 之に亞ぎ No. 1 及び No. 4 の順序になつて居る。依て各高爐

に對し其平均出鉄量を公稱吨數にて除して其値を比較して見る事とした。第 16 表は夫れである。

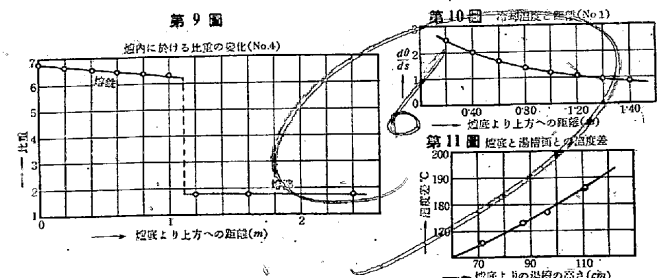
第 16 表 出鉄量と温度との關係

公稱能力 (t)	平均 1 回の出鉄量 (t)	出鉄量公能	出鉄量よりの順位	温度よりの順位
500	82.3	0.1644	2	1
700	75.6	0.108	4	3
1,000	145.6	0.1456	3	2
1,000	182.1	0.1821	1	1

此結果からして次の事が云はれる。本測定の場合の如き操業法の下に於ては爐内即ち羽口より以下の温度が降れば出鉄量は低下する。出鉄能力をあげる爲めには熱を下部に集中する必要があると考へられる。出鉄量の多少と爐内の底部の温度の高低と相一致する事は注目値する。残されたる問題は如何にして熱を下部に集中す可きかの事であらうかと考へられる。

27 x 27 = 711

v. 比重より見たる高爐内の熔鉄及び熔滓 高爐内に於ける熔鉄、熔滓の各水準面に於ける温度分布は第7圖に示す如くであり、又夫れ等の各温度に於ては第5圖及び第6圖に示す如き比重の變化があるから爐の深さと比重との關係を求めて第9圖に示した。是に依れば爐底に於ては熔



鉄の其密度は最も大であつて是より温度上昇するに従ひ其比重は順次減少して居る。熔滓に於ても同様上方に到るに従て順次其密度は減少して居る。温度によりて比重が斯くの如く變化して居る當然の結果として、取鍋の内容を占むる容積よりして直ちに其重量を考ふる事は大なる誤差を生ずるものである。取鍋内にある熔鉄の平均温度よりして其比重を第5圖より求むれば其内容積よりして其重量を知る事を得。容積よりして其吨数を推定せんか、次の如き誤差を生ずる場合がある。例へば熔鉄の温度が1,300及び1,500°Cとせんか、實際の比重は夫々第5圖よりして6.75及び6.15となる。従て其差は

$$6.75 - 6.15 = 0.60$$

となりて約10%となる。重量に於ける10%はNo.4の場合に於て

$$182.100 \times 10 \div 100 = 18.21(t)$$

約18t餘の相違となる。即ち容積より推定すれば實際の重量に於て18t餘の差を生ずる事になる。此事は注目すべき事項であらう。熔滓に於ても同様であつて單に容積からして其吨数を推定する事は甚だ危険である。何となれば前に示せる如く、常温に於ける鑛滓の比重は2.9なるも1,500°Cに於ける熔滓の比重は第6圖よりして1.77である。従て

$$2.9 - 1.77 = 1.13$$

$$1.13 \div 2.9 \times 100 = 39(\%)$$

1,500°Cに於ける熔滓の容積は夫れが冷却して常温に達せる時の容積に比して約39%だけ膨脹して居るわけである。冷却せる時と熔融せる時の比重の變化即ち容積の變化は特に注目すべき事項であらう。第8表に鑛滓の概量として示せる値は出鉄量に比して甚だ多量である。由て是等の平均値及び各爐の出鉄量の平均を求めて見るに

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	平均
出鉄量	82.3	75.6	145.6	182.1	121.4
鑛滓概量	111	105	186	163	141.0

鑛滓量は其装入物よりして出鉄量の約70%と推定して居るのであるから平均として

$$121.4 \times 70 / 100 = 85.3(t)$$

85.3tの鑛滓を生じて居る事になつて居る。然るに其比重よりすれば1,500°Cに於ては39%だけ熔滓が膨脹して居る事になるから、上記鑛滓概量141.0tは

$$141.0 \times 61 / 100 = 86.0(t)$$

が鑛滓が冷却せる時の眞の重量と云ふ事になる。して見れば第8表に示した鑛滓概量は高温の熔滓の容積からして推定した値であると云ふ事が推知せられるし又1,500°Cでは其容積が39%ばかり膨脹して居る事、即ち熔滓の比重は著者が算出せる値が可なり眞に近い値であると云ふ事が判明するわけである。

vi. 鑛石及び銑鐵の比重 次に装入鑛石の比重を考へて見る。先づツングステン及び上坡の兩赤鐵鑛の常温に於ける比重測定の結果は第16'表の如くである。

第16'表 赤鐵鑛の比重(ツングステン及び上坡)

番 名 稱	1	2	3	4	5	6	7	平均
ツングステン	4.2175	4.3596	4.3154	5.0551	4.6900	4.5982	3.9937	4.4614
上 坡	4.6594	4.7562	4.2290	4.2370	3.6661	4.5188	4.4950	4.3202

此際試料は各々2~7g迄種々なる重量のものを作りて測定した。若し是等の鐵鑛が不溶解の儘落下せる時は多少の比重の減少は温度によりて生じつゝあらんも概して熔滓の下、熔鉄の上部に浮遊しつゝある可きである。コークス¹⁾の比重は30°Cに於て1.74前後であるから高温に於ては更に小である。従て熔滓の下に侵入する事は爐内に装入物の柱を生ぜる場合以外は考へられない。従て鐵鑛石が不溶解のまま落下すれば還元は行はれず熔鉄の上層に存在する事になり單に熱のみによりて熔解が進行する事となるのである。其結果として酸化鐵が多量に熔滓中に殘存する結果とならう。次に銑鐵の比重を計算に依りて求めて見る。

第7表 No. 2の銑鐵の平均成分は

3.93% C, 1.43% Si, 2.20% Mn, 0.296% P, 0.055% S, 0.087% Cu であるから是等の成分の混合よりなると見做せば

$$C \dots \dots 0.0393 \times 1.67^2 = 0.0656$$

$$Si \dots \dots 0.0143 \times 2.33^3 = 0.0333$$

¹⁾ 海野: 製鐵所研究所研究報告 17 (昭, 13) No. 4.

²⁾ Arndt, K. u. Pollack: Zs. anorg. Chem. 201 (1931) 89

³⁾ Bedel: Ann. Chim., 20 (1933), 439.

Mn.....0.0220 × 7.24 ¹⁾ = 0.1595
 P.....0.00296 × 1.824 ²⁾ = 0.0054
 S.....0.00055 × 2.056 ³⁾ = 0.0011
 Cu.....0.00087 × 8.937 ⁴⁾ = 0.0078
 合計..... = 0.2727
 又 Fe.....0.92002 × 7.8672 ⁵⁾ = 7.2450
 數學的合計の比重..... = 7.5177

然るに數學的に算出した比重は實測の比重より約 0.02%⁶⁾ だけ小さいからして No. 2 の鉄鐵の平均成分は

$$7.5177 \times 10,002 / 10,000 = 7.5192$$

即ち此 7.5192 の比重に最も近いと考へて差支はない。依て比重より考へれば

$$0^\circ\text{C} \dots\dots 7.52$$

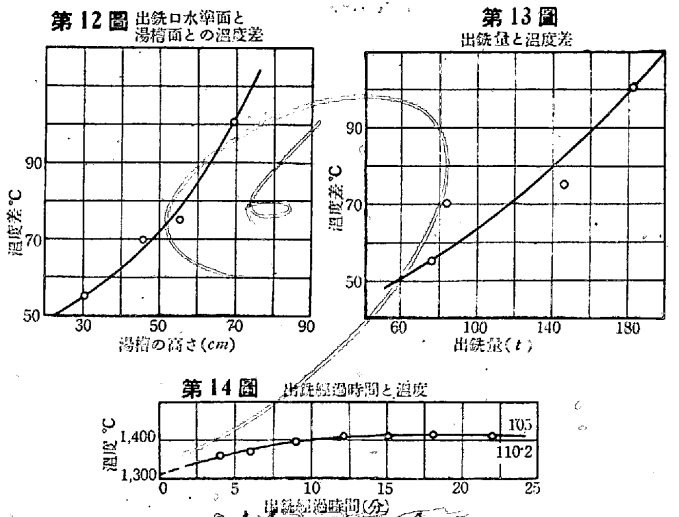
$$1,300^\circ\text{C} \dots\dots 6.75 \dots\dots -0.77 \dots\dots 10.2(\%)$$

$$1,500^\circ\text{C} \dots\dots 6.15 \dots\dots -1.37 \dots\dots 18.2(\%)$$

1,300°C 及び 1,500°C に於ける熔鉄は夫れが零度に於ける體積に比して夫々 10.2 及び 18.2% だけ膨脹して居ると云ふ事が想像せらるゝのである。嚴密に云へば既に本多博士⁷⁾ の述べられたる如く鉄鐵が凝固する際に於てはセメントタイトの分解程度に依りて收縮及び膨脹の程度が異なるのであるが今の場合としては大體を知る程度を示したに過ぎない。

3. 深さと温度勾配 第7圖の曲線を見るに爐底に接近するに従て温度は益々降下して居る事が分かる。今是等の曲線に就き温度を θ とし距離を S とすれば $d\theta/dS$ は其位置に於ける冷却速度を表はす。依て各點に於ける此値を求むれば即ち爐底より 1cm 上昇する毎に幾何の温度降下あるやを知る事が出来る。依て No. 1 の曲線に就き $d\theta/dS$ を求め爐底より上方への各點に就き此値との關係を示せば第10圖の如き曲線を得る。是に依れば冷却速度 $d\theta/dS$ は爐底より遠ざかり上方に進むに従ひ其減少仕方が順次減少する。即ち爐底に近づくに従ひ冷却速度は順次増加すると云ふ事である。換言すれば上部に於ては熱風及び燃燒熱に依りて絶えず熱の補給があるから冷却速度は餘り大ではないが下部に降れば降る程熱源に遠ざかる事の外に爐底より放散する熱量が比較的大であると云ふ事である。次に第14

表よりして爐底より爐内熔鉄面迄の距離と其間の温度差とを各高爐に就きて求め此關係を第 11 圖に示した。是によれば爐底より湯槽の高さ増すに従て上下兩面上に於ける温度差は増大する。湯槽の高さ 60cm ならば約 160°C 又 1m 位ならば 180°C の温度差がある事が分かる。以上は平日作業上には餘り關係が薄いが湯槽の高さと温度差を知る事が必要であらうと思ふ。尙此際注意すべきは爐底の直径同一ならざる高爐ではあるが、第 12 圖に見る如く殆ど同一曲線上に各點が存在して居る事である。是は第 12 表に示せる如く爐底の直径は各爐共 No. 1~3 迄は異ても出鉄口より以上の湯槽の高さに従て上下兩水準面の温度差と云ふものは今の如き爐底の大きさに於ては殆ど同じ割合になつて居ると云ふ事である。湯槽の厚さ小ならば上下兩面の



温度差は小さいが、出鉄量が大ならば湯槽の深さは大になるから従て上下兩水準面の温度差は増大すると云ふ事である。出鉄口よりの湯槽の高さが判かれれば上下兩水準面に於ける温度差は第 12 圖からして求むる事が出来る。即ち出鉄口より以上、湯槽の高さが 80cm にも達すれば出鉄口と湯槽上面との温度差は 120°C にも達する事が推知せらるゝ。次に出鉄量と温度差の關係を求めて見る。第8表よりして出鉄量を知り、第 14 表よりして温度差を求むれば此兩者は第 13 圖に依りて表はされる。此際爐底の直径は第 12 表に示す如く同一ではない。従て各點は同一の曲線上に乗て居ないが、是等の各點の平均曲線よりして大體を知る事が出来る。是に依れば其出鉄量を知れば出鉄口と湯槽表面の上下の水準面に於ける温度差を知る事が出来るのである。出鉄量 60t ならば上下兩水準面の温度差は約 50° であり、1 回の出鉄量が 100~200t ならば、出鉄口及び熔鉄面の兩水準面上に於ける最高温度差は 65~110°C と

1) Westgren, Phragmen, Zs. Phys. 33 (1925) 777.
 2) Sapper, Blitz: Zs. anorg. Chem., 198 (1931) 184.
 3) Owen, Iball: Phil. Mag. (7) 13 (1932), 1020.
 4) 茅誠司: 金屬の研究, 4(昭, 12) 81.
 5) 海野: 製鐵所研究所研究報告 18(昭, 13) No. 3.
 6) 金屬の研究 6 (昭, 4) 274.

云ふ事になって居る。従て此範圍に於ては

$$(110-50) \div (200-60) = 0.428^{\circ}\text{C}$$

出銑量約10t 増加する毎に上下兩水準面に於ける温度差は

$$0.428 \times 10 = 4.28 \approx 4.3^{\circ}$$

約4.3 づゝ増加する割合になつて居る。是等の事實及び第1表の結果よりして出銑温度を正確に測定する事によりて爐況が何れの方角に進みつゝあるかを豫知する重要な事項の一つで有るのは特に注目に値する事柄であらう。

4. 温度勾配

i. 出銑量と温度勾配 以上の實驗に於ては羽口の視野より内部の温度を測定しなかつたので昭和15年9月3日 No. 2 の高爐に付き實測をなした其結果は第17表の如くである。

第17表 No. 2

15, 9, 3, 午前 9, 40 經過時間	温度(°C)	名稱	測定量
4	1,368	熱風温度(°C)	680
6	1,378	風 壓	770 gr/cm ²
9	1,403	風 量	1,449 m ³ /min
12	1,411	羽口内温度(°C)	1,645
15	1,409	出銑量(t)	105
18	1,415	鑛滓量(t)	73.5
22	1,415	装入物降下速度	3.2 m/h
24		出銑終	

スキンマーの所にて測定せる事前と全く同様である。此出銑經過時間と温度とを求めれば第14圖の如くなる。此曲線より考へれば出銑爐況は相當順調なりと見做す事が出来る。是よりして出銑當初の冷却及輻射による影響なき時の温度として1,355°Cを得る。又同様にして熔銑の最高温度として1,430°C 而して熔銑の平均温度としては曲線よりして1,415°C, を得る。是等よりして先きの如く計算して爐底及び出銑口熔銑面, 熔滓面等の各水準面に於ける温度を求むる事を得, 斯くして求めたる結果は次の如くである。

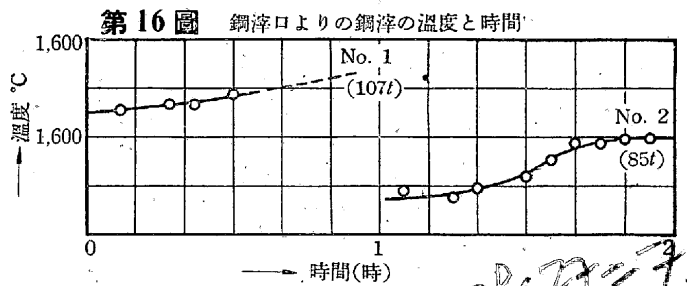
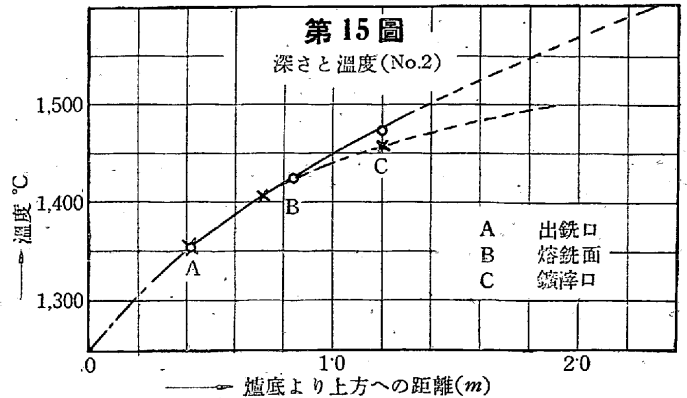
第18表 No. 2

位 置 距離	温度(°C)	位 置 距離	温度(°C)
爐 底 —	1,250	鑛 滓 面 1:200	1,475
出 銑 口 0:415	1,355	羽口の中心 2:400	1,645
熔 銑 面 0:838	1,425		

熔銑の最高温度と鑛滓の最高温度は第10表に於ける No. 2 の第1~4 回目温度差の平均 50° を採用した。此距離と温度との關係を求めれば第15圖の如くである。

参考の爲めに先きに求めた平均値即ち第17圖の No. 2 の値を (×) にて第15圖上に記入する事とした。之に依れば熔銑槽の温度は兩者殆んど相似たる如き曲線であるが熔滓を結ぶ曲線を考ふれば甚しき相違ある事が知られる。即

ち出銑量相違すれば爐内に於ける湯槽の温度勾配は異なり又熔滓面を考へれば全く異りたる温度勾配である事が判明する。又羽口の中心の視野よりの温度測定に依れば熱風に



よりてコークスが燃焼しつゝある温度は1,645°C で又第15圖の曲線の延長は羽口の中心では1,565°C に達して居るから羽口の前では熔滓の最高温度よりも

$$1,645^{\circ}\text{C} - 1,565^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{C}$$

80°C の高温にある事が想像される。第15圖の曲線よりして考へらるゝ事は出銑量低下せる時は熔滓の最高温度は低いと云ふ事である。即ち羽口に接近せる鑛滓が低温であると云ふ事は熱が下部に集結して居ない, 即ち爐が冷えて来て居ると云ふ事が判明する。従て熔滓の温度を正確に測定して居れば高爐は如何なる方向に進行しつゝあるかを想像し, 推定せられる事は注目に値する。

ii. 鑛滓と温度勾配 出銑口よりの熔滓の温度を測定して其最高温度を以て爐内熔滓面の温度即ち鑛滓口の高さに於ける熔滓の温度とした。昭和15年10月4日 No. 1 及び No. 2 に付き鑛滓口よりの熔滓の温度を測定した。其結果は第18' 表の如くである。

第18' 表 鑛滓口よりの熔滓の温度(°C) No.1(107 吨)

時 刻	3,03	3,10	3,20	3,25	3,33
温 度	開始	1,528	1,533	1,533	1,544

No. 2 (85 吨)

時 刻	0,45	1,50	2,00	2,05	2,15	2,20	2,25
温度°C	開始	1,544	1,539	1,549	1,560	1,577	1,593
時 刻	2,30	2,35	2,40	2,45			
温度°C	1,593	1,599	1,599	中止			

是に依れば鑛滓口よりの鑛滓の温度は時間と共に上昇して居る。此關係を第 16 圖に示した。No. 2 は曲線の形狀から見ると羽口に近い部分が高温に達し夫れ以下は比較的低温である。前に述べた如く羽口以下が一般に低温にあれば爐況が悪い事が分かる。700 吨高爐及び 500 吨高爐の出鉄量は夫々 1 回で 85 及 107t で No. 1 の曲線は出滓始めより既に温度の上昇が時間と共に順調である事が推定せらるゝ。是に依れば是等兩曲線の延長は 1,600°C 附近に達す可き事は想像せらるゝから、羽口附近の鑛滓の温度は相當に高い事が分る。之より下部に下るに従て温度は降下して居るが其降下の割合が急である場合は爐況が宜しくない方向に進みつゝある事を推斷せらるゝのであつて此の事は熔銑に於ても同様な事は前述せる通りである。尙 No. 2 では此際鑛滓口より取鍋に 3 杯、出鉄時に 0.6 杯の鑛滓を出して居るから之より計算すれば熔滓の取鍋 1 杯の重量は約 16.54t となる。

5. 混銑爐迄の間に於ける熔銑の温度降下 本測定の結果と著者が先きに行へる測定とよりして出鉄後流落迄に失はるゝ熱量と流落を経て取鍋より混銑爐迄運ばれ注入せらるゝ迄に失はるゝ熱量を計算せん。

出鉄口より流れ落迄の距離 = $10.4 + 28.5 = 38.9 \approx 40(m)$ 従て出鉄始めに於て樋を加熱する爲めに失はるゝ熱量を除去すれば出鉄口より流れ落ち迄約 40m あるから其間の降下温度は約 40° である。今 No. 1 の場合に就き第 13 表の補正温度を考へるならば流れ落ちに於ては

$$1,427^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C} = 1,387^{\circ}\text{C}$$

1,387°C である。之より混銑爐注入迄の時間を約 20 分とすれば平均降下温度は 28°C であるから混銑爐注入時の平均温度は

$$1,387^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C} = 1,359^{\circ}\text{C}$$

此兩者を見るに樋を流るゝ間の降下温度は 40°C で混銑爐注入迄の分 28°C に比し可なりの差がある。之は樋を流るゝ間に外氣に觸るゝ表面積が大であり、従て其冷却速度は熱源體の表面積に比例するから當然であり、又取鍋に注入せられたる後に於ては外氣に觸るゝ表面積は急に縮少する當然の結果であらう。

- 高爐内に於ける熔銑の平均温度……1,427°C
- 流れ落ちに於ける熔銑の平均温度……1,387°C
- 混銑爐注入時の熔銑の平均温度……1,359°C

熔銑の熱量計算に便ならしめんが爲めに著者¹⁾の既に發

¹⁾ 海野、製鐵所研究所研究報告 13(1934) No. 2; 理科報告 23 (昭, 10) 665.

表せる數値を茲に引用する事とした。其結果は第 19 表の如くである。

第 19 表 熔銑の含有熱量(cal/g)

温度(°C)	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	1,500
炭素量(%)						
3.00	163.37	179.87	241.05	276.97	294.92	312.95
3.50	162.83	179.32	253.81	276.50	294.11	—
4.20	162.03	178.74	258.00	275.82	294.03	—
4.81	161.80	178.56	250.49	276.01	293.62	311.40

含有 C 量及び温度が第 19 表に示せる以外の値なる時は此表によりて比例配分を行つて求むべきである。成分中少量の珪素及び Mn 等の含有物あるも是等は銑鐵の比熱を餘り變化させないで極めて熔銑に近い値であるから只 C 量に重きを置いて其含有熱量を求むれば宜しいのである。第 7 表に示せる No. 1 高爐の銑鐵の平均炭素量は 4.40% であるから第 19 表より比例によりて求むれば第 20 表の如くなる。

第 20 表 銑鐵の含有熱量(cal/g)

温度(°C)	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	1,500
C(%)						
4.40	161.98	178.70	256.50	275.86	293.95	312.46

是よりして各温度に於ける含有熱量を求むるに

$$4.40\%C \cdots 1,427^{\circ}\text{C} \cdots 298.95\text{cal} \cdots 100(\%)$$

$$\cdots 1,387 \cdots 291.60 \cdots 97.54(\%)$$

$$\cdots 1,359 \cdots 286.52 \cdots 95.83(\%)$$

従て高爐内に於ける熔銑の保持する熱量に比べて流落ち迄に失ふ熱量は

$$(298.95 - 291.60) \div 298.95 \times 100 = 2.46(\%)$$

又 1,427°C より混銑爐注入迄即ち 1,359°C 迄 68° の温度降下に對しては

$$(298.95 - 286.52) \div 298.95 \times 100 = 4.17(\%)$$

即ち夫々 2.46 及び 4.17% の含有熱量を失ふ結果となる。含有熱量の損失は輕少なるが如く見ゆれども、此失へる熱量を恢復せんが爲めには約 5~7 倍の長時間と多量の燃料とを要するが故に可及的迅速に熔銑の運搬をなす可きものである。尙含有熱量の割合を併せて上記の熱量に併記する事とした。

6. 熔銑及び熔滓の含有熱量と熱損失 出鉄當初に於ては樋の冷却せる爲めに始めは低温を示し順次高温となり出鉄後約 5 分にして定常状態に達する現象を第 7 圖に見た。依て樋の冷却せる事の爲めに失はるゝ熱量を計算せんに、先づ 5 分の時間以後の曲線を逆に延長して時間零を切る所の温度を求め経過時間 5 分の所に於ける温度との平均を採

り、此値を以て樋の冷却に依らざる時の平均温度と見做す又時刻零より5分の所迄の各温度の平均をとりて冷却せられたる熔銑の平均温度とす。又出鉄時間中は熔銑は一樣に流るゝものと考へる事とせん。今 No. 1 の出鉄量 81.2t なる場合に付きて考へるに第7圖の曲線よりして樋の冷却なき時の温度及び冷却せられたる平均温度として夫々 1,363 及び 1,328°C を得る。此間に流出せる熔銑の量は出鉄時間は 14 分なるを以て

$$81.2 \times 5/14 = 29.4 \text{ (噸)}$$

1,363 及び 1,328°C に於ける含有熱量は第 20 表より比例によりて求むるに夫々 287.26 及び 280.93 cal となる。

従て温度差による含有熱量は

$$287.26 - 280.93 = 6.33 \text{ (cal)}$$

故に其降下温度に依る熱損失は

$$6.33 \times 29.4 = 186.1 \text{ (cal)}$$

186.1 cal である。然るに第 13 表に示す如く熔銑の平均温度は 1,408°C であるから其含有熱量は 295.43 cal である。従て冷却なき時の含有熱量は

$$295.43 \times 81.2 = 23,989 \text{ (cal)}$$

従て樋の冷却による熱損失割合は

$$186.1 \div 23,989 \times 100 = 0.78 \text{ (\%)}$$

同様にして No. 1 高爐の第 7 圖の曲線に付き計算すれば第 21 表の如くなる。

第 21 表 樋の低温による熱損失 (No. 1)

番號	冷却なき平均温度 (°C)	冷却せる平均温度 (°C)	差 (°C)	熱損失 (cal)	含有熱量 (cal)	損失率 (%)
1	1,363	1,328	35	186.1	295.43	0.78
2	1,408	1,381	27	167.3	294.51	0.71
3	1,375	1,333	42	150.4	299.32	0.59
4	1,365	1,315	50	175.0	296.54	0.73
平均	—	—	—	169.7	—	0.697

是に依れば樋の低温なる爲めに失はるゝ熱量は熔銑全體の

含有熱量の約 0.7% に相當して居る事が分かる。従て考察 5 に述べし結果と結合して考へれば熔銑が出鉄口を出て流れ落迄に於て樋の低温なる爲め及び輻射に依る熱損失は

$$2.46 + 0.70 = 3.16 \text{ (\%)}$$

又混銑爐注入迄の損失は……… = 1.71 (%)

合計 = 4.87 (%)

4.87% の熱損失となる。次に熔銑が幾何の熱量を持ち去るかを見るに第 10 表に示せる如く熔銑及び鑄滓の最高温度に於ては平均 34° だけ熔滓は高温にあるから、熔滓の平均温度としては第 13 表 No. 1 の補正温度 1,427°C よりして

$$1,427 + 34 = 1,461 \text{ } ^\circ\text{C}$$

1,461°C を採用する事にした。熔滓の比熱は著者の報告¹⁾によれば同温度に於ける含有熱量は 405.05 cal となる。熔銑に比し熔滓は平均約 70% なるを以て 1,427°C に於ける熔銑 1g に付きては 298.95 cal であるから

$$405.05 \times 70/100 = 283.54 \text{ (cal)}$$

熔銑の 70% の熔滓ではあるが熔銑 1g に付き 283.54 cal の熱を持ち去る事になつて居る。夫れ故に熔銑の持ち去る熱量に對しては

$$(283.54 \div 298.95) \times 100 = 94.8 \text{ (\%)}$$

94.8% の熱量に相當する。熔銑の持ち去る熱量 100% に對し實に 94.8% の熱を熔滓が持ち去るのである。混銑爐迄行く間に失はるゝ熱量は 4.87% であるから始めの含有熱量に對しては

$$100 - 4.87 = 95.13 \text{ (\%)}$$

其の 95.13% の熱量しか保有して居ない。従て此時に於ては熔滓が持ち去りし熱量 94.8% に殆ど相似たる結果となる。熔滓の持ち去る熱量實に大なりと云ふ可きである。

¹⁾ 海野：製鐵所研究所研究報告 7 (昭, 2) No. 8; 理科報告 17 (昭, 3) 985.

熔鑄爐操業に酸素を用ひる事に関する外國文獻

Die Verhüttung der Eisenerze auf alten und neuen Wegen. Von Durrer, R: St. E. 60(1940) S. 877.

Gaserzeugung unter Sauerstoffverwendung nach dem Thyssen-Galocsy-Verfahren. St. E. 60(1940) S. 934.

Stahl u. Eisen 52(1932) S. 1073.

Morawe, F: Giesserei 17(1930) S. 132, 155; St. E. 50(1930) S. 452.

Brüninghaus, A: Stahl u. Eisen 45 (1925) S. 737.

Seigle, J: Rev. Mét. Mém. 21(1924) 260.

Schenck, R: St. E. 44(1924) 621.

Davis, F. W: Iron Steel Eng. 1(1924) 339.

Anonym: Chem. Met. Eng. 30(1924) 520.

Seigle, J: Rev. Mét. Mém. 20(1923) 481.

Derclaye: Rev. Mét. Mém. 20(1923) 830.

Davis, F. W: Iron Trade Rev. 73(1923) 1619.

Davis, F. W: Chem. Met. Eng. 29(1923) 264, 272, 276.

Davis, F. W: Bur. Mines Rep. Invest. Serial 2502 (1923).

Mathesius, W: St. E. 36(1916) 695.

Blome, H: St. E. 35 (1915) 1028.

Trasenster, G: J. Iron Inst. 88(1913) 226, 230.

Edwards, Ch. A: Iron Coal Tr. Rev. 86(1913) 92.

Lürmann, F. W: Berichte der Hochofen-Kommi. Ver. deutsch. Eisenhüttenleute Nr. 18 (1911)

以上主として Durrer, Erzeugung von Eisen u. Stahl より.