

理法遂行上の重要事項であると同時に、拡張して炉操入物粒度関係にも適合するであらうことを指摘した。

終りに当り、本研究は 26 年度ベントイデング法工業化試験補助金関係実験に併行して行われたものであり関係各官の御協力と当冶金研究所長小柴博士の御指導のもとに為されたものである。又此の間元東北大学選鉱製錬研究所高橋愛知助教授よりも有益な御助言を頂いた。今これら諸氏に対し深甚なる感謝の意を表する次第である。(昭和 28 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) G. Sengfelder: St. u. Ei. (1950), 70, 18, 767
- 2) E. P. Barret, C. E. Wood: Bureau of Mines Report of Investigation (1950) 4569

- 3) 中村, 木村: 日立安來研報 (未発表) (1950), M-18, 563, 3
- 4) F. Wüst, P. Rütten: Circ. Infor. Tech., (1952) 9, 1, 11 [製鐵技術總覽(1952), 12]
- 5) 日本鑄物協會: 鑄物技術 (1950), 97
- 6) 統計科學研究會: 統計數値表 (1952), 附表
- 7) 一般に S で示されるが、粒度 (S) との混同を避けた。
- 8) 中村, 佐藤: 鐵鋼協會, 1953 年東京大會にて講演。
- 9) 中村: 未発表論文, 團鐵自身への拋物線則と構成粒子そのものへ該則が成立する。

熔鐵の流動性に關する研究 (I)

(昭和 27 年 4 月本會講演大會にて講演)

小 池 與 作*

STUDIES ON THE FLUIDITY OF MOLTEN IRON (I)

Yosaku Koike

Synopsis:

Research on the fluidity or the viscosity of the molten iron is important for the purpose of iron smelting or foundry practice. These measurements are, however, difficult, because they must be carried out at high temperatures.

In these studies the flowing property was measured by the weight which flowed out through the capillary (2.3mm diameter, 15mm length) at the constant pressure of the molten iron. These capillaries were made of pure magnesia. The capacity of the flowability were determined by the time required to let flow out a unit weight of mercury through this capillary at the constant pressure and temperature.

The effect of temperature, composition and degree of deoxidation of the molten iron were observed by various specimens which was melted in a high frequency furnace. The following results were obtained.

Here the time required to let flow out 0.3kg molten pig iron through the capillary was indicated by Z , that was nearly the reciprocal of the fluidity.

(1) The Z - T (temperature of the sample) relations of commonly used pigs were plotted in a almost linear relation and the inclination of curves were nearly similar. In general, the larger the percentage of $[C]+[Si]$ was and the higher the temperature is, so the smaller the value of Z became, when other compositions of pigs were nearly equal. But some specimens show the other different properties. The values of Z were about 7.5~9.5.

* 日本ニッケル株式會社

(2) When 0.7kg Al per 100kg pig was added to the molten pig before sampling, the value of Z increased to 13~15 from about 8. By addition of 2.0 kg ferro-silicon per 100kg pig, also the value of Z somewhat increased. When 0.5kg Fe₂O₃ per 100kg pig was added before sampling, conversely the value of Z decreased a little.

(3) When the percentage of [C]+[Si] in the molten pig was successively decreased to 4.3 from 5.3 by addition of steel scrap to the pig which was aelted in the furnace, the value of Z at each flowing test was decreased a little. This fact was opposite to the result of (1), but coincided with the result of (2)

(4) When the content of sulphur increased to 0.38% from 0.07% by addition of FeS to the molten pig iron, the value of Z increased only about 0.3.

I. 緒 言

熔鉄の流動性(粘性)は熔鉄の製鍊、鑄造等に大きな影響を有するのであるが、その測定には温度が高いため使用材料、実施方法等に種々困難がある。本研究は先づ銑鉄組成の部分について流出法によりその流動性を測定し、温度の変化、各種元素の含有量、脱酸程度の差異等の条件が流動性に及ぼす影響を調査した。

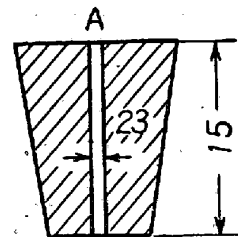
従来、鑄鉄の流動性測定については、一定温度に熔融した状態より凝固するまでに活動した長さを測定する方法が一般に用いられ、且つこの方法によつて生ずる各種の誤差を防止するため従来多くの研究者により夫々独特の研究がなされ幾多の貴重な資料が発表されている。この実験は出来るだけ高い温度に熔融した状態に於ける熔鉄の流動性測定を行うと同時に様々の熔融状態によつて生ずる流動性の変化とその原因を調査せんとしたものである。今回は大量の熔銑を使用し實際作業に近い状態に於て実験を行つた。因みに約 70g の銑鉄をタソマン炉中に密閉熔解し、一定温度に保つたまゝ今回と略々同様の方法で行つた実験結果についてはすでに前回発表¹⁾した。

II. 實驗装置及び實驗方法

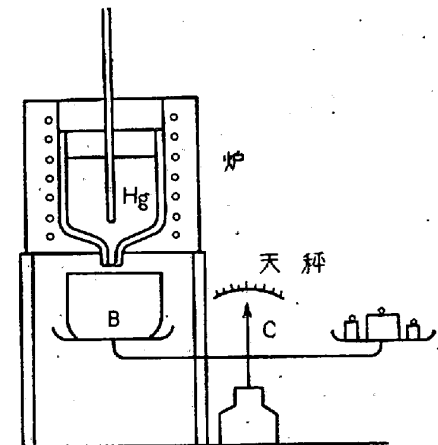
一定の径を有する流出孔を使用して熔銑の流出試験を行い、その流動性を調査するため次の如き装置と方法とを採用した。

(1) 實驗用流出孔

流出孔は純マグネシヤ製のもので第1図の如く孔径 2.3mm 長さ 15mm のものである。流出孔の流出能力は上記寸法のみにては一定とすることが困難であるため次の方法により決定した。即ち水銀の平均静圧 30mm の下で一定温度(20°C)に於ける 115g の水銀が流出する秒時を第2図に示す方法で測定した。底部に第1図の



第 1 圖

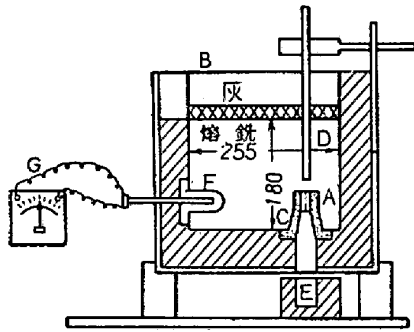


第 2 圖

流出孔を装備した容器 R の中に水銀を入れ、これに取りつけてあるストッパーによりその流出を止め 20°C に保つ。又受器 B は天秤の一方の皿にのせてある。ストッパーを除去し水銀が流出し始めてから 1154g の水銀が落下してバランス (C) の針が目盛の中心を通過するまでの秒時をストップウォッチにて測定した。流出孔より受器底部までの距離は 13.3cm とした。

理想的にはこの流出時間の測定値が完全に同一のもののみを使用すればよいのであるが、実際には困難であつたため 28~32 秒(平均 30 秒)の範囲にあるものについて極力同一値のものを一群として同一種類の實驗に使用した。

(2) 流出實驗用湯溜



第 3 圖

装置の概要を第 3 圖に示す。湯溜 B は厚さ 40mm の断熱耐火物を周囲につき固め、更にその内側に厚さ 15mm の高級中性耐火物（コールハートブラック）の粉末をつき固め約 600°C に加熱した。湯溜は約 65kg の熔銑を入れるように設計されている。

流出孔 (A) は器 (B) の底部より 55mm の高さに黒鉛製管 (C) の上に支えられている。又流出孔 (A) の上部には黒鉛製ストッパー (D) を装備する。又器 (B) は熔銑が一定量を超過した場合、あふれ出るような切欠を有する。更に実験後黒鉛製ストッパーを調査すると、熔湯に直接接触した部分に変色しているのにより湯の深さを直接測定して実験値の補正を行った。熔銑の平均静圧は 122mm (熔銑) とした。又注入重量を確認するため全装置を 500kg 台秤の上におき、しばしば検定した。

熔銑の温度は Pt-Pt-Rh 熱電対を石英管にておおい、黒鉛管 (E) に挿入し流出始めより 60 秒後の温度を測定した。熔銑は別の炉にて熔解され適当な温度でこの湯溜に注入される。熔銑は一定量の灰にて十分に表面をおおい温度の低下を防止した。

(3) 熔解炉

500kg 高周波炉を使用して、次の如く実験を行った。

熔銑温度と流動性との関係に就ては、先づ 450kg の銑鉄を熔解し 1460°C~1450°C に温度をあげ約 5 分間保った後、第 3 圖の実験用湯溜に順次出湯して高温の実験より逐次低温の実験を行った。

脱酸条件、成分元素の流動性に及ぼす影響については先づ炉内に於て、これらの条件又は元素調整を行った後実験用湯溜に出湯して流動性の測定を行った。

小型こしき炉を使用してこれらの影響を調査した場合は実験用湯溜に出湯後湯溜内にてこれらの諸条件を与え流動性の実験を行った。

III. 實驗結果

(1) 予備実験

(a) 流出孔の流出能力測定は前述の如き方法により同一流出孔に対して約 10 回の測定を行いその中最も適当に行われたもの 5 回の平均値を以て流出秒時とした。1154g の水銀の流出する時間は 28~32 秒である。これを概ね 28, 30, 32 秒の 3 群に分ち、同一群の流出孔にて同一種類の実験を行った。

純マグネシヤ流出孔の熔銑流出による孔径の変化を調査するため同一流出孔を使用し、同一熔解の銑鉄の 90 秒間の流出量を測定した。第 1 表はその結果を示す。

第 1 表

No.	水銀流出 秒時(sec)	温 度 (°C)	流 出 量 (g)	
			第 1 回	第 2 回
1	36.2	1390	2950	2957
2	28.0	1280	3505	3521
3	34.1	1300	3225	3218
4	35.0	1270	2738	2690
5	30.5	1250	3140	3074

第 2 回目の流出試験で流出量の減少しているのは流出孔に異物が附着して孔径が細くなったものであり、一般に銑鉄の流出により流出孔径の大きくなることは考えられない。

(b) 湯溜中に於ける熔銑温度低下の割合は、ここに用いた温度測定法では 30 秒につき 5°C で、90 秒間に 15°C の低下があつた。但し熔銑注入前の湯溜温度は 400°C にして熔銑温度は 1200°C~1420°C であつた。本実験に於ては熔銑流出始めより 60 秒後の温度を測定することとした。

(c) 熔銑流出前の熔銑の静圧は前述の如く極力一定となるように装置したが、実際測定の結果は 122mm±3mm 程度の誤差を生じたものもある。これに対しては静圧の平方根に比例して修正を行った。

第 2 表

水銀の平均静圧 (mm)	流出重量 (g)	流出秒時 (sec)	100g の 流出秒時 (sec)	平均静圧 の平方根
30	1154	29.2	25.3 (1)	5.48 (0.690)
63	1890	33.0	17.6 (0.695)	7.93 (1)

第 2 表に示す如く水銀静圧 30mm の場合と 63mm の場合とを比較すると、流出秒時は略々平均静圧の平方

根に反比例していることが分る。この結果を熔銑の場合に適用するために水銀の場合と熔銑の場合の Reynolds Number を比較すると第3表の如く大差がないので、

第3表

静 圧	流速 (V) (cm/sec)	徑 (d)	ν	R
Hg 30mm	69.7	2.3(mm)	0.00115	13950
" 68	101.2	"	0.00115	20250
Pig 125	127.7	"	0.00180	16300

熔銑の場合に 122mm 静圧に対して ± 3 mm 程度の範囲に於ては計算により流出秒時を補正しても差支えないと考えられる

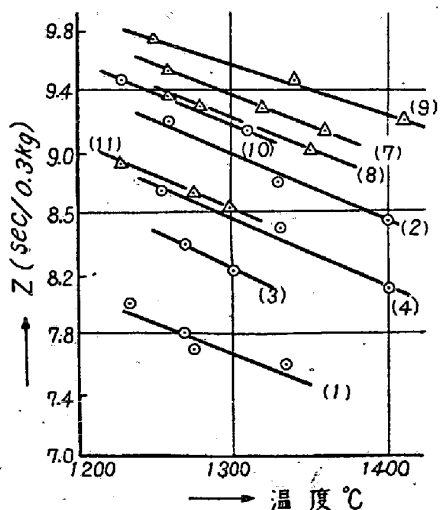
(d) 以下各実験に於て 0.3kg の熔銑が一定静圧 (熔銑にて 122mm) の下に流出する秒時を Z とする。

$$Z = 90 \text{秒} \times 0.3 / 90 \text{秒間に流出した熔銑重量 (kg)}$$

(2) 一般に使用されている熔銑についての Z

高周波炉により略々一定の履歴を有する銑鉄を普通の方法にて熔解し、特に酸化又は還元を行わないものについての流出試験の結果をまとめたものが第4表である。又 Z と熔銑温度 T との関係を求めたものが第4図である。

第4図より明らかな如く、各試料とも温度の変化に対する曲線の傾きは殆んど一定で、直線に近いものである。又他の含有元素に大差がないときは、一般に [C]+[Si] の大なる程、Z は小であり流動性は良好となるが試料の状態によつては異なる傾向を示すものもあつた。この点については次項に於て研究する。



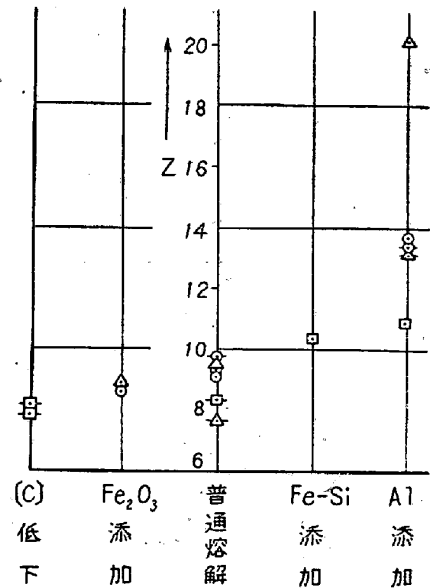
第4図

黒鉛化率と流動性の間には明瞭な関係は認められな

つた。

(3) 出銑前脱酸剤 (Al, Fe-Si), 酸化剤 (Fe_2O_3) 及び硫化物を加えた場合の影響

a) 出銑直前熔銑 100kg に対して Al 0.7kg を添加した場合は第5図の如く流動性は著しく減少し、Al 添加前の Z が 8.0 程度の場合、Al 添加により Z は 13~15 程度に増加した。第5表にこれら試料の化学成分並に実験過程を示した。



第5図

b) 熔銑 100kg に対して Fe-Si 1.5~2.0kg 出銑直前に添加した場合は第5図及第5表の如く流動性はやや減少し、Z の値は 0.8~1.0 程度増加した。Fe-Si の添加量が熔銑 100kg に対して 0.5kg 程度の場合には試料の状態によつては逆に流動性が多少大きくなつた。

c) 熔銑 100kg に対して Fe_2O_3 約 0.5kg 添加した場合は第5表及第5図の如く流動性は一般に僅かながら増加した。

d) 高周波炉にて熔解せる銑鉄に逐次鋼屑を添加し、その都度 Z の値を測定した。第5表及第5図に示すように [C]+[Si] を 5.3 より 4.3 まで減少させた場合 Z は 8.37 より 7.95 まで減少した。即ち、流動性は僅かに増加した。これは (2) に述べた実験結果とは全く相反する結果となつたのであるが、前項 a) b) c) に示す如く、出銑前脱酸元素を、ある量添加した場合は流動性は減少し、逆に熔銑中に存在する脱酸元素が減少するような操作をした場合は流動性はむしろ増加すると言う傾向とは一致している。

e) 熔銑は S 含有量によつて流動性を著しく低下すると称されているが、出銑前硫化鉄を添加して S を 0.07

第4表 一般熔銑の流動性

No.	流出孔 水銀秒時 (sec)	流出孔 熔銑秒時 (sec)	流出溫度 (°C)	流出重量 (g)	換算流出 重 (g)	Z	化 學 成 分					C+Si	黒鉛化 率
							C	Si	Mn	P	S		
1	32.8	89.2	1395	3220	3550	7.60	3.42	2.10	0.49	0.356	0.066	5.52	0.77
	31.9	90.5	1275	3318	3510	7.60							
	32.0	91.3	1265	3290	3460	7.81							
	32.3	91.0	1235	3170	3375	8.00							
2	28.8	92.0	1400	3355	3155	8.56	3.17	1.63	0.40	0.320	0.102	4.80	0.81
	29.5	89.5	1330	3108	3070	8.80							
	29.4	89.1	1760	2970	2935	9.20							
3	29.1	92.1	1300	3460	3280	8.23	3.52	1.75	0.49	0.320	0.075	5.30	0.79
	29.0	91.6	1270	3390	3216	8.40							
4	32.1	91.1	1400	3150	3330	8.11	3.73	1.47	0.40	0.273	0.048	5.20	0.75
	31.8	90.8	1330	3032	3181	8.49							
	32.2	90.1	1255	2385	3090	8.74							
7	30.7	91.3	1360	2925	2945	9.16	0.325	1.55	0.46	0.359	0.103	4.80	0.72
	31.2	90.6	1320	2810	2903	9.30							
	31.8	90.2	1260	2670	2823	9.56							
8	29.3	90.9	1350	3100	2998	9.01	3.36	2.13	0.47	0.188	0.061	5.50	0.85
	30.2	91.0	1280	2916	2900	9.32							
	29.6	92.1	1260	2590	2800	9.38							
9	28.3	91.5	1410	3164	2935	9.20	3.16	1.87	0.47	0.295	0.101	5.03	0.80
	29.0	91.8	1340	3023	2853	9.46							
	28.4	91.3	1250	2971	2770	9.75							
10	30.5	91.2	1310	2940	2950	9.15	3.34	1.63	0.50	0.221	0.079	4.97	0.67
	29.8	90.9	1230	2900	2850	9.47							
11	32.0	90.3	1300	2950	3132	8.62	3.34	1.78	0.45	0.344	0.103	5.12	0.79
	31.0	90.5	1275	3010	3098	8.72							
	30.2	91.2	1230	3053	3021	8.94							

第5表 熔銑の脱酸又は酸化の影響

No.	流出孔 水銀秒 時 (sec)	流出孔 熔銑秒 時 (sec)	流出 溫度 (°C)	流出實 重 (g)	換算流 出重 量 (g)	Z	化 學 成 分						記 事
							C	Si	Mn	P	S	Al	
(a)	31.0	91.2	1255	2900	2960	9.12	3.60	1.75	0.41	0.365	0.103	0.27	熔銑 65kg につき Al 200g 投入 " " 酸化鐵 200g 投入
	31.2	90.7	1245	1922	1985	13.60	3.59	1.74	0.44	0.349	0.108		
	31.8	90.1	1230	2928	3100	8.70	3.50	1.70	0.41	0.356	0.105		
(b)	30.4	91.6	1260	2836	2824	9.55	3.39	1.68	0.39	0.341	0.113	0.19	" " Al 300g 投入 " " 酸化鐵 300g 投入
	31.0	91.9	1210	1308	1324	20.20	3.31	1.67	0.37	0.343	0.099		
	32.4	91.3	1210	2827	3010	8.95	3.12	1.65	0.35	0.304	0.113		
(c)	33.4	90.9	1220	2611	2880	9.37	3.65	1.68	0.37	0.323	0.107	0.23	熔銑 200kg につき Fe-Si 5kg 投入 熔銑 65kg につき Al 200g 投入
	34.4	75.2	1280	1927	2645	10.21	3.30	3.51	0.39	0.352	0.105		
	34.1	89.0	1210	2170	2495	10.82	3.61	1.60	0.39	0.329	0.109		
(d)	28.3	90.7	1250	2956	2770	9.75	3.15	1.99	0.46	0.285	0.104	0.25	熔銑 160kg につき Ag 900g 投入
	28.6	79.2	1320	1846	2000	13.50	3.14	1.99	0.47	0.284	0.101		

(e)	31.8	89.0	1300	3265	3500	7.71	3.33	1.77	0.43	0.320	0.118		
	29.3	89.3	1320	2066	2035	13.30	3.34	1.79	0.43	0.317	0.115	0.27	〃〃 Al 900g 添加
(f)	34.1	94.6	1285	2974	3220	8.37	3.37	1.96	0.37		0.099		} Scrap を逐次添加 C を低下す熔
	33.8	92.2	1295	3088	3397	7.95	2.94	1.88	0.38		0.099		
	35.1	89.5	1290	2825	3322	8.12	2.64	1.80	0.37		0.093		
	34.5	92.0	1280	3025	3390	7.97	2.59	1.76	0.37		0.090		

第6表 熔鉄に硫化鐵添加の影響

No.	流出孔 水銀秒 時 (sec)	流出孔 熔鉄秒 時 (sec)	流出 温度 (°C)	流出實 重量 (g)	換算流 出重量 (g)	Z	化 學 成 分					記 事
							C	Si	Mn	P	S	
(a)	28.0	95.0	1210	36.50	3230	8.35	3.58	1.60	0.43	0.342	0.092	熔鉄 65kg につき Fe-Si 400g 添加 熔鉄 130kg につき F-S 1.5kg 添加
	28.5	91.3	1205	34.30	3210	8.41	3.52	1.68	0.41	0.349	0.097	
	28.5	87.3		32.50	3180	8.50	3.51	1.61	0.41	0.324	0.134	
	28.0	95.8	1225	36.70	3175	8.52	3.47	1.51	0.38	0.357	0.381	
(b)	31.2	91.4	1285	30.55	3140	8.60	3.58	1.45	0.39	0.244	0.07	熔鉄 65kg につき Fe-S 300g 添加 熔鉄 65kg につき Fe-S 200g 添加
	32.5	90.0	1282	29.70	3220	8.38	3.57	1.43	0.39	0.216	0.130	
	31.8	89.0	1288	29.60	3180	8.49	3.53	1.44	0.39	0.219	0.104	
(c)	30.8	89.2	1240	26.96	2795	9.66	3.26	1.50	0.52	0.294	0.080	熔鉄 65kg につき Fe-S 200g 添加
	29.0	91.6	1220	29.25	2780	9.72	3.27	1.48	0.48	0.310	0.112	

%より 0.38% まで増加した場合、第6表の如く流動性は僅かに減少し、Z の値は 0.3 程度増加するのみであつた。但し、これは出鉄前添加したものであるから他の異なる状態で含有されるものについては不明である。

以上の結果より、熔鉄の流動性は C, Si, Mn, P, S 等の含有量によつてのみ左右されるものでなく、熔融元素の平衡状態、瓦斯、非金属介在物等の含有量によつても大いに影響されることが認められた。

IV. 總 括

直径 2.3mm 長さ 15mm の MgO 製流出孔を使用して流出法により熔鉄の流動性を調査した結果は次の通りであつた。

(a) 一般に実用されている熔鉄の流動性は化学成分が類似の場合は温度が上昇すると共に減少する。又温度一流動性の逆数曲線は殆んど直線に近いものが多く、その傾きは特別の試料を除いては殆んど同様であつた。平衡に近い状態にあると考えられる熔鉄の流動性は他の成分がほぼ同様であれば、[C]+[Si] の増加と共に流動性は大となる。

(b) 出鉄直前 100kg の熔鉄につき 0.7kg の Al を添加した場合は流動性は著しく減少する。出鉄直前100

kg の熔鉄につき 1.5~2.0kg の Fe-Si を添加した場合も流動性は減少する。又出鉄前 100kg の熔鉄につき 0.5kg の Fe₂O₃ を添加した場合は逆に僅かながら流動性が増加した。

(c) 高周波炉で熔解した鉄鉄に、逐次鋼屑に添加することにより熔鉄中の [C]+[Si] を連続的に低下せしめ、その都度流動性を測定すると、流動性は多少増加の傾向を示す。これは (a) の如き平衡状態に近いものについての実験結果とは相反したが、(b) の如き平衡状態よりはなれたものについての実験結果とは一致している。

(d) 出鉄前 Fe-S を添加することにより、熔鉄中の S を 0.07% より 0.38% まで増加せしめ、その都度流動性を測定した結果は僅かに流動性が低下した。

本研究は更に広範囲に就て実験中であり稿を改めて報告する予定である。研究遂行に当りては東北大学の湯教授の御懇切なる御指導を賜り、尙又日本ニッケル株式会社関係各位の多大なる御援助を頂いた。ここに厚く感謝の意を表す。(昭和 28 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) 小池: 日本金屬學會分科會報告, V-B, p 20