

- 12) 私信. (1923) 321.
 13) J. P. Morris and R. C. Buehl: J. Metals, Feb. (1950) 317. 16) A.I.M.E. (Iron Steel Div.): Basic Open Hearth Steel Making, (1951) 573.
 14) J. Chipman, R. M. Alfred, L. W. Gott, R. B. Small, D. M. Wilson, C. N. Thomson, D. L. Guernsey and J. C. Fulton: Amer. Soc. Metals, (1951) Preprint No. 4W. 17) 同上, 646.
 18) 同上, 678.
 19) 同上, 573.
 20) O. Ruff u. E. Förster: 前出.
- 15) O. Ruff u. E. Förster: Z. anorg. Chem., 134

鹽基性平爐鋼滓のパンケーキテストによる判定法

(昭和 27 年 11 月本會講演大會にて講演)

堀 川 一 男*

ESTIMATION OF BASIC OPEN-HEARTH SLAG COMPOSITION BY PANCAKE TEST.

Kazuo Horikawa

Synopsis:

Sampling molten slag with a spoon out of the furnace at several stages of O-H steel refining operation and casting it into a mild steel plate mould, with a diameter of about 75mm and a height of about 10mm, the author examined the relation between the surface texture (top, bottom and fracture) and the components of slag.

The results showed that surface texture of slag pancake could be classified into five groups (I. creased, II. intermediate, III. furrowed, IV. spider web, V. concave or flat) according with its basicity. And it was found that in each group, surface texture differed according to the differences in basicity and other components. Consequently it was confirmed that if a standard sample was prepared in advance, components of non-determined sample could be presumed by comparing with it and its basicity could be estimated with an error of 0.1 or 0.2~0.3 respectively at under or above $2.5 V_p (= CaO/SiO_2 + P_2O_5)$. Estimation of FeO, MnO and P_2O_5 was also possible to some extent. The time required in the estimation being within 2~3 minutes and an intricate apparatus or skill being not particularly required, so this method is at present regarded as the most proper one for slag control in O-H operation.

I. 緒 言

製鋼反應に於ける鋼滓の重要な役割に關しては此處に改めて述べる迄もない。

製鋼作業に携る者は常に鋼滓の調節に注意を拂つており、その目安として鋼滓の成分を急速且正確に判定する方法を望んでいる。

鹽基性平爐鋼滓の急速判定法としては現在迄に各種の急速化學分析法の他に凝固鋼滓の外観(所謂パンケーキ法)^{1)~5)}によつて判定する方法や、凝固鋼滓から薄片を作製して岩石學的に組成を判定する方法^{6)~12)}、反射顯微鏡を用いてその組織から判定する方法^{13)~18)}、或は粉末としてその色調によつて判定する方法^{19)~21)}、滲出液のpH^{22)~24)}や電氣傳導度²⁵⁾から推定する方法、又比重²⁶⁾磁氣的性質²⁷⁾から推定する方法等が發表されている。尙熔融鋼滓の粘性²⁸⁾から判定する方法も古くから行われてい

* 日本鋼管川崎製鐵所技術研究所

第1表 パンケーキ試料の化學成分

寫眞 No.	化 學 成 分 (%)										備 考
	V_p	V	CaO	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	
1	1.15	1.54	26.98	17.47	14.92	2.36	22.37	3.53	3.09	5.91	鹽基度に伴う パンケーキ外觀の變 化
2	1.36	1.66	30.95	18.61	15.66	5.38	12.87	5.07	3.07	4.17	
3	1.63	2.01	35.54	17.62	13.71	4.17	11.94	4.58	2.76	4.17	
4	1.77	2.40	32.08	13.39	16.53	4.03	18.55	3.71	2.28	4.66	
5	2.15	2.80	38.15	13.70	15.59	3.57	15.26	4.59	2.26	4.05	
6	2.60	3.30	40.81	12.41	16.26	4.70	12.57	5.12	2.38	3.30	
7	3.04	3.73	45.77	12.24	16.00	3.73	8.16	6.70	3.05	2.78	
8	3.46	4.30	43.94	10.22	17.74	4.18	8.96	8.51	2.99	2.47	
9	4.95	5.63	39.51	7.02	17.04	15.36	3.78	12.91	1.98	0.95	
10	1.01	1.36	23.51	17.36	18.28	1.14	23.26	3.40	3.36	5.79	I類滓の表面狀況に 及ぼす MnO の影響
11	1.13	1.32	27.01	20.49	18.62	3.59	12.07	4.13	3.17	3.40	
12	1.13	1.50	25.28	16.88	21.51	3.25	22.37	2.81	2.22	5.53	I類滓の断面狀況に 及ぼす FeO の影響
13	1.15	1.54	26.98	17.47	14.92	2.36	22.37	3.53	3.09	5.91	
14	1.63	2.18	31.20	14.42	16.53	4.50	19.22	3.31	3.18	4.67	III類滓の断面狀況に 及ぼす FeO 及び MnO の影響
15	1.63	2.01	35.54	17.62	13.71	4.17	11.94	4.58	2.76	4.17	
16	1.92	2.20	35.80	16.25	21.24	4.69	12.01	2.95	2.47	2.38	
17	3.17	3.95	43.28	10.95	18.15	4.29	8.96	7.86	2.59	2.72	IV類滓の表面狀況に 及ぼす P ₂ O ₅ 及び FeO の影響
18	3.19	4.10	45.76	11.11	15.59	4.33	10.77	4.85	2.21	3.21	
19	2.15	2.80	38.15	13.70	15.59	3.57	15.26	4.59	2.26	4.05	
20	2.73	3.95	38.00	13.99	15.86	2.92	15.41	4.63	2.07	3.95	
21	3.41	4.01	38.45	9.59	21.93	6.90	5.22	11.91	1.73	1.69	V類滓に及ぼす酸化 鐵の影響
22	3.46	4.30	43.94	10.22	17.74	4.18	8.96	8.51	2.99	2.47	
23	4.13	4.84	34.23	7.07	26.03	12.80	3.78	11.22	1.73	1.21	
24	4.22	5.14	48.91	9.51	14.91	4.32	6.58	9.02	2.57	2.08	

る。

然し實際に現場作業に利用するためには、精度の高いことも勿論必要であるが、複雑な装置や技術を要しないで、短時間に簡単に判定が出来て而も信頼性の高いことが最も大切な条件である。この意味から現在歐米で可成り使用されていると云うスラグパンケーキ法が現段階に於ては最も適當と考えられたので、検討を行った。

II. 試験方法

當所の鹽基性平爐の製鋼作業中、精鍊の各時期にスプーンにて爐内より熔滓を汲取り*、徑約 75mm 高さ約 10mm の軟鋼板製鑄型に鑄込んで所謂パンケーキとなし、その表面、裏面及び破断面の色調、光澤、模様、組織、氣泡等の狀況を調査記録すると共に、同一試料について化學分析を行いその結果と比較検討した。

鋼滓の成分とパンケーキの狀況を論ずる場合に、P₂O₅、MgO、MnO、FeO などが少ない場合には従來行われていたように $V = \text{CaO}/\text{SiO}_2$ をとつて鹽基度としても差支な

いが、P₂O₅、その他が相當含有されている場合にはこれらの影響も無視出来ないので、ここでは假に $V_p = \text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)$ を以て鹽基度を表す數値とした。然し従來 V に慣れているので V との関係についても觸れてある。

調査した試料の總數は約 100 個に及んだ。

III. パンケーキの外觀と成分の関係

パンケーキの外觀は鹽基度と最も密接に關係していて、鹽基度の低いものから高いものに移行するにつれて外觀も次第に變化する。然し平爐滓には CaO、SiO₂ の外に FeO、Fe₂O₃、MnO、其他も可成り含有されていて此等含有成分によつても影響を受ける。従つて鹽基度が等しくてもパンケーキの外觀には相違が認められるので、細部に亘つて示すためには非常に多數の例を挙げる必要があるわけであるが、これは實際問題として困難である。そこで代表例のみを寫眞で示すこととした。代表として選んだ試料の化學成分は第1表に示す通りである。

順序として先づ鹽基度との關係について検討し、次に他の成分の影響について論ずることとする。

(I) パンケーキの外觀と鹽基度の関係

* 學振制定の迅速分析用熔滓試料採取方法に準じて行う。

鹽基度以外の成分の影響を考慮して、一應 FeO 15% 内外のものを擇んで検討を行った。その結果鹽基度によつて大體次の如く5種類に分類出來た。

i) 第I類 $V_p < 1.30$, $V < 1.50$

寫眞1に示す如く、梅干の皺のようなヒダがある。所謂 creased slag であつて、表面は灰黒色で金屬光澤を呈している。 V_p が高くなるにつれて多少ヒダは荒くなる傾向がある。裏面は虹色の光澤がある。断面は黒色でガラスの破面又は無煙炭の破面によく似ていて、脂染みた光澤を有し、非晶質の組織をしている。氣泡は餘り多くなく、氣泡の内面は滑かで丸味を帯びている。

ii) 第II類 $V_p 1.35 \sim 1.50$ $V 1.60 \sim 1.90$

寫眞2に示す如く、I類の特徴である表面の梅干状のヒダは痕跡程度に減少して、緩やかな丘のようなシワの上に葉脈状の肌として残る程度となる。色は黒色で金屬光澤を呈し、ガサガサした肌ざわりである。

裏面は虹色の艶がある。

断面は褐色味を帯び、微細ではあるが粒狀品を呈している。氣泡は稍その數を増加し、内面は餘り滑かでない。Creased slag と次に述べる furrowed slag の中間滓 (intermediate slag) とも稱し得るものである。

寫眞	1	2	3
表面			
裏面			
断面			

iii) 第III類 $V_p 1.60 \sim 2.00$ $V 2.00 \sim 2.40$

寫眞3及び4に示す如く、表面は黒色乃至灰黒色に輝いて緩やかな丘のような大きなシワを有する所謂 furrowed slag である。鹽基度の低い側ではシワの數が多いが、鹽基度の高い側ではシワの數が波り逢には唯一個のシワしか認められないもの (ring furrowed slag) となる。

裏面は鹽基度の低い側では明瞭に虹色の光澤が認められるが、鹽基度の上昇に伴い次第に薄れ、或は虹色を呈する部分の面積が減少して $V_p 2.0$ 附近では遂に灰褐色となり光澤は消失する。

断面は一般に粗鬆な感じであり、氣泡の形狀は長く伸び、内面は粗くて光澤を呈さないのが特徴である。然し他の成分や精鍊状況の影響を受けるものゝようで、鹽基度の變化による影響は餘り明瞭でない。

寫眞	4	5	6
表面			
裏面			
断面			

iv) 第IV類 $V_p 2.10 \sim 3.40$ $V 2.50 \sim 4.10$

寫眞5、6及び7に示すように、表面は灰黒色で金屬光澤或は曇つた艶を有し、龜甲狀の模様のある所謂 spider web slag である。鹽基度の低い側では細かい網目状であるが、鹽基度の増加に伴つて蜘蛛巣状或は更に荒い龜甲狀に變る傾向がある。

裏面は黒褐色乃至鉛色で全然虹色の艶は認められない。

断面は石狀の細かく緻密な破面を呈し、キラキラと光る箔狀の點が認められる場合が多い。氣泡は稍その數を減じ、丸味を帯びて來るが、内面は滑かでない艶はない。

尙鹽基度が此の範圍に在つても龜裂の現れない場合もあるが、この點については後述する。

寫眞	7	8	9
表面			
裏面			
断面			

v) 第V類 $V_p > 3.45$ $V > 4.15$

寫眞8及び9に示す如く、表面にはヒダ、シワ、龜裂

等の模様が無く、キタないアバタ状で、灰黒色乃至銀色の concave 或は flat slag である。

裏面は灰褐色でガサガサした感じのする曇つた状況を呈している。

断面は V_p が 3.5 附近 ($V=4.3$) の、鹽基度の比較的低い場合は第Ⅳ類に近い緻密な組織をしている。氣泡は丸味があつて内面には艶がある。然し鹽基度が高くなるにつれて次第に茶褐色となり、脂肪のようにキラキラした光澤を有する幅の広い柱状晶となり。氣泡は殆んど認められなくなる。

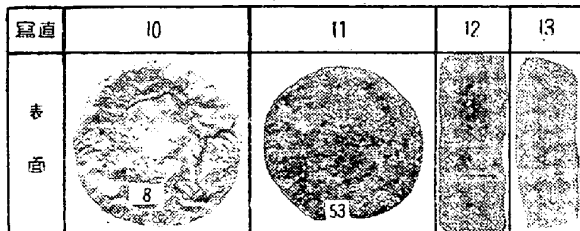
(2) パンケーキの外観と FeO, MnO, P₂O₅ 等の關係

FeO, MnO, P₂O₅ 其他の影響は、鹽基度によつて著しく現れる場合と、夫程明瞭でない場合とがあるので、次に各鹽基度別に分類して検討を行った。

i) 第Ⅰ類 $V_p < 1.30$ $V < 1.50$

この部類は所謂 creased slag であるが、MnO が高いと表面の梅干状ヒダの深さが深くなり、反対に MnO が低いと浅くなる。寫眞 10 及び 11 は此の影響を示したものであつて 11 は MnO が低いために MnO の高い 10 に比較して著しくヒダが浅くなつてゐる。

又 FeO は破面の氣泡析出状況に影響を及ぼし、寫眞 12 は FeO が高いために、FeO の低い寫眞 13 に比較して氣泡の数が多くなつてゐる。

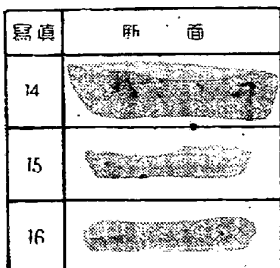


ii) 第Ⅱ類 $V_p 1.35 \sim 1.50$ $V 1.60 \sim 1.90$

試料数の不足で、明瞭な傾向が掴めなかつた。

iii) 第Ⅲ類 $V_p 1.60 \sim 2.00$ $V 2.00 \sim 2.40$

この部類は大きな滑かなシワのある所謂 furrowed slag に屬してゐて、断面は一般に粗鬆であるが、MnO が著しく高い場合には破面は粗い柱状晶を呈し、FeO の



高い場合は氣泡が長く伸び且つ大きく現れる。寫眞 14 は MnO の高い場合、16 は FeO の高い場合、15 は普通の場合を示したものである。

表面及び裏面に對する影響は餘り明瞭ではない。

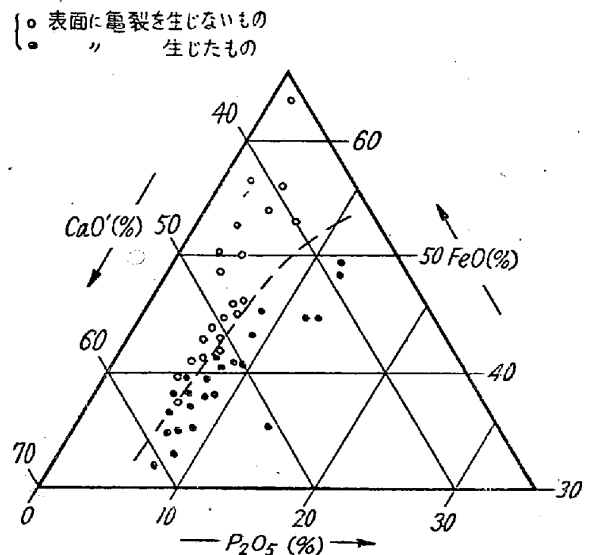
iv) 第Ⅳ類 $V_p 2.10 \sim 3.40$ $V 2.50 \sim 4.10$

この部類に入るものは表面に龜甲狀の龜裂を有する所謂 spider web slag であるが、鹽基度がこの範囲内にあつても龜裂が認められないで、平滑で灰色の金屬光澤を呈する所謂 spangle slag となる場合がある。又 spider web と spangle が同一試料内で共存している場合もある。

spider web の出現或は消滅が、成分と如何なる關係にあるかを検討してみた。影響を及ぼすことの豫想される成分としては、鹽基度、FeO, P₂O₅ 等である*。

そこで、鹽基度-FeO-P₂O₅ 三元系及び FeO-MnO-P₂O₅ の三元系の圖上に龜裂を生じたものと、生じないものをプロットして検討することとした。鹽基度を V_p 或は V で現したのでは三元圖上にプロットすることが出来ないもので、顯微鏡組織から考えて SiO₂ はすべて 2CaO·SiO₂ を形成しているものと見做してその分だけの CaO を差引いた CaO'† を以て鹽基度に代用した。

第1圖は鹽基度-FeO-P₂O₅ 三元圖上にプロットした結果である。第1圖をみると P₂O₅ の低い時及び FeO の高い時には龜裂を生じないで spangle slag になるこ

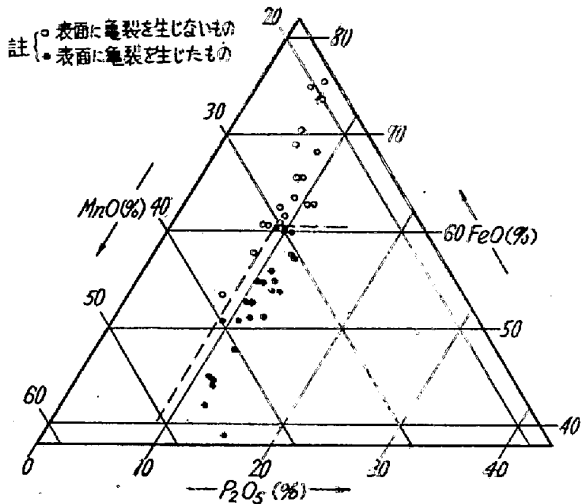


第1圖 CaO-FeO-P₂O₅ 三元圖上にプロットした第4類スラッグのパンケーキの外観

* 其他の成分には殆んど差異がなかつた。
† 一種の excess lime 或は free lime に相當する値

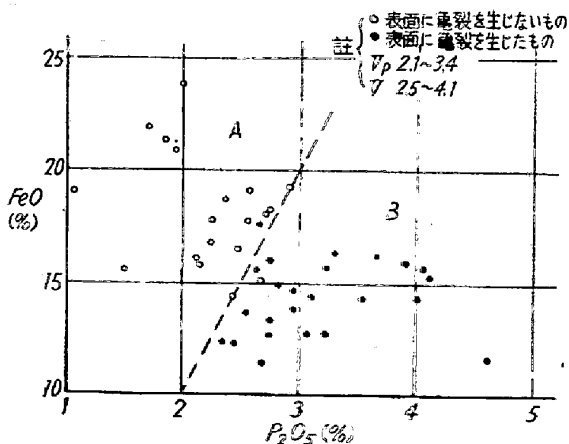
とが判る。

鹽基度の影響は明瞭でない。第2圖は FeO-MnO-P₂O₅ 三元圖にプロットした場合であつて、同様に P₂O₅ の低い時及び FeO の高い時に龜裂を生じないことが判る。MnO の影響は餘り明瞭ではない。



第2圖 FeO-MnO-P₂O₅ 三元圖上にプロットした第4類スラグのパンケーキの外観

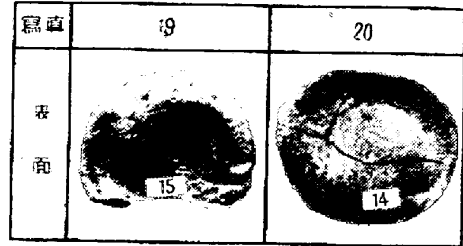
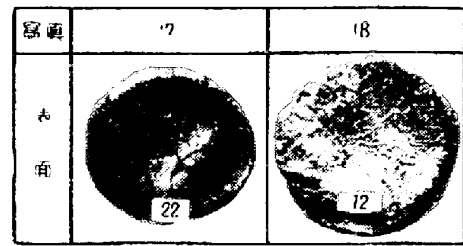
以上により龜裂出現の有無は FeO と P₂O₅ によつて大體決定することが判つたので、分析値によつて第3圖の如くプロットしてみた。第3圖をみると、試料の FeO が高く、P₂O₅ が低くて範圍Aに入ると龜裂を生じないが、FeO が低く、P₂O₅ が高いと範圍Bに入つて龜裂が現れることを示している。



第3圖 FeO 及び P₂O₅ と第4類スラグのパンケーキの外観

寫眞 17 と 18 及び 19 と 20 は夫々 FeO が高目で P₂O₅ の低目な 17 及び 20 が、18 及び 19 に比較して龜裂が現れ難くなつてゐることを示したものである。

尙 FeO の高い程 spangle は明瞭となり、又 Fe₂O₃ の高い場合には断面に現れる氣泡の内面が輝いて見える傾向がある。



v) 第V類 $V_p > 3.45$ $V > 4.15$

この部類は表面が平又は凹型で艶のないガサガサした flat 或は concave slag に相當するが、FeO が 20~22% 以上に高くなると表面にスケールの粉を撒いたような狀況を呈する。寫眞 21 と 22 は鹽基度 3.4 附近のもので、寫眞 23 と 24 は 4.1 附近のものであるが、何れも FeO の著しく高い 21 及び 23 が、22 及び 24 に比較してスケール粉狀の外観を呈していることが判る。FeO+Fe₂O₃ の高い場合は凹型となる。寫眞 22 及び 24 の断面に比較して寫眞 21 及び 23 の断面が凹型を呈していることがよく認められるが、この現象は第IV類でも認められる。

(3) パンケーキの外観と成分の關係の總括

i) 分類圖

以上に検討したパンケーキの外観を CaO-(SiO₂+P₂O₅)-(FeO+Fe₂O₃+MnO)の三元圖上に於て示すと第4圖に示す通りであつて、第IV類は P₂O₅, FeO が強く影響するので (FeO+Fe₂O₃+MnO) の低い側では spider web と spangle が共存しているが、其他は大體に於て鹽基度によつて、はつきり區別されることが判る。

ii) 分類表

第2表は調査結果を總括して表示したものである。

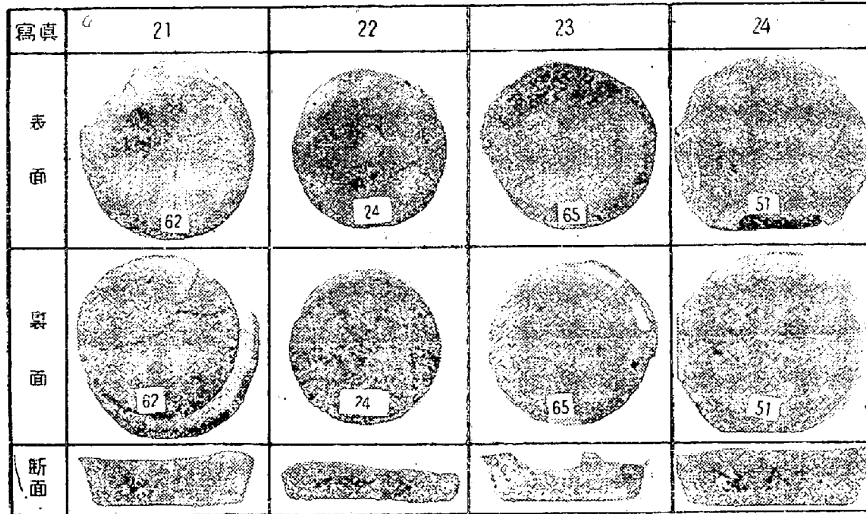
IV. パンケーキテストの判定精度

以上の調査結果によつて、パンケーキの外観は化學成分、特に鹽基度の變化に伴つて順次變化することが明かになつたので、豫め標準試料について撮影しておけばそれと比較することによつて未知の試料の鹽基度其他を推定することが可能な筈である。

第5圖は縦軸にパンケーキの外観から判定した鹽基度を採り、横軸に同一試料を化學分析して算出した鹽基度

第2表 鹽基度平濃滓のパンケーキの外観總括

類別	I	II	III	IV	V	
鹽基度	V_p	<1.30	1.35~1.50	1.60~2.00	2.10~3.40	>3.45
	V	<1.50	1.60~1.90	2.00~2.40	2.50~4.10	>4.15
表面	creased slag 梅干状のヒダがある。MnOの高い程ヒダは深い。金屬光澤あり	intermediate slag 緩かなシツの上に細かいヒダが残っている。金屬光澤	furrowed slag 黒又は灰黒色で緩かな大きなシツあり。鹽基度の高い程シツの数が減り平になる。	spider web slag 龜裂が現れる。鹽基度の高い程龜裂は大型となる。P ₂ O ₅ の低い時、FeOの高い時は龜裂は現れないでspangleとなる。	flat or concave slag ガサガサした肌ざわりで模様はなく曇っている。FeOの高い時はスケール粉を撒いたようになり、酸化鐵の高い時は凹型となる。	
裏面	虹色光澤あり	虹色光澤あり	虹色光澤は鹽基度の増加と共に消え $V_p=2$ でなくなる	褐黒色で光澤なし	灰褐色乃至鉛色で光澤なし	
断面	黒色でガラスの破面の如し。艶がある。氣泡は内面が滑かで丸味がある。数は少いがFeOの高い程多くなる。	褐色味を帯び微粒組織である。氣泡は数を増し内面は滑かでない。	粗鬆で氣泡は長く伸び、内面は滑かでない。MnOの高い時は柱狀晶を呈し、FeOの高い時は氣泡の数を増す。	石狀で緻密であるキラキラした小點を認めることがある。Fe ₂ O ₃ の高い時は氣泡内面が輝いてみえる。	鹽基度の低い時はIV類に似ているが高くなると茶褐色で脂肪の様にキラキラした粗い組織となり、多くは幅廣の柱狀晶を呈する。	



準試料を準備することが望ましい。

V. 結 言

以上に述べた如く、スラグパンケーキの外観は、鹽基度によつて大體5種類に大分類され、各類別内に於ては更に鹽基度及び他の含有成分の高低に従つて變化するものである。従つて豫め標準試料を準備しておけば、これと比較することによつて未知試料の成分を推定することが可能であり、その精度は鹽基度 V_p が2.5以下の範圍では約0.1の誤差で、又 V_p が2.5以上では0.2~0.3の誤差で

を採つてプロットしたものである。圖を見ると、 V_p が2.5以下 (V では約3以下)の範圍では判定誤差は平均0.1位であり、これより鹽基度の高い側では精度が稍落ちて誤差は0.2~0.3位となつている。この程度の精度であれば、實用上十分に使用可能であらう。

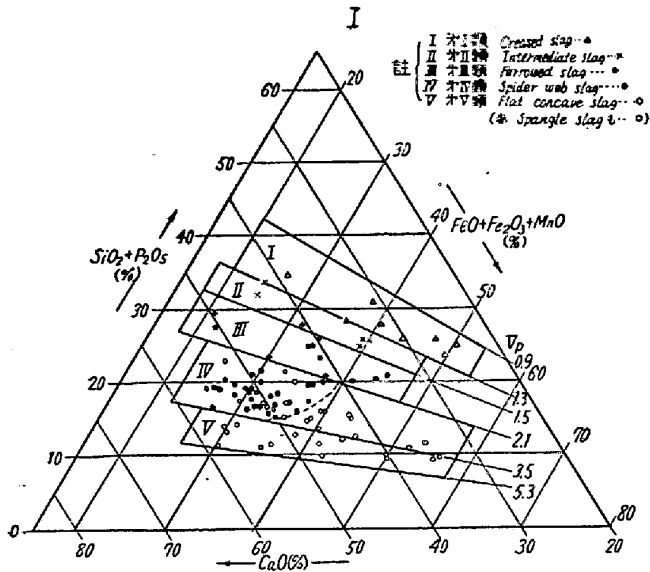
尙 FeO, MnO 等も5%位の誤差で判定が可能であつた。

判定精度は標準試料の数が多し程高くなるわけであるが、實地に應用する場合には工場毎に MnO, P₂O₅, Al₂O₃, MgO 等の量が異なるので、これらの影響も考慮して各工場毎に、要すれば精鍊方法を異にする鋼種毎に標

鹽基度が判定出來、FeO, MnO 其他も或る程度の判定が出来る。

判定所要時間は2~3分であつて極めて短かく、且全然複雑な装置や熟鍊を必要としないから、パンケーキ法は現段階に於ては、鹽基性平爐の實際作業に於て鋼滓の調節及び管理上最も適當した判定方法であると考えられる。

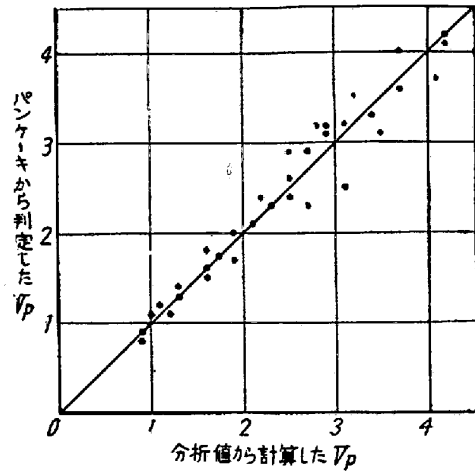
終りに、本研究につき多大の御指導並に御援助を賜つた東京大學芥川助教授、當所製鋼部天明技師技術研究所分析係の諸氏に深甚なる謝意を表す。



第 4 圖 CaO-(SiO₂+P₂O₅)-(FeO+Fe₂O₃+MnO) 三元圖による鹽基性平爐滓の分類

文 献

- 1) E.J.Janitzky: Year Book, Am. Iron and Steel Inst., (1929) 415; Cf. Stahl u. Eisen 50 (1930) 110.
- 2) R. Back: Stahl u. Eisen, 51 (1931) 351, 360
- 3) R. Back: Stahl n. Eisen, 45 (1934) 945.
- 4) C. R. Funk: Blast Fce. Steel Plant, 35 (1947) 1098.
- 5) C. R. Funk: Blast Fce. Steel Plant, 36 (1948) 332, 539.
- 6) T. M. Ferguson: Iron and Coal Trade Rev., 130 (1935) 170; Cf. Stahl u. Eisen 55 (1935) 933.
- 7) W. J. McCaughey: A. I. M. E. Open Hearth Proceedings, 21 (1938), 167.
- 8) E. C. Smith: Trans. A. I. M. E. 116 (1935)13.
- 9) J. T. Singewald: Trans. A. I. M. E. Open Hearth Proceedings, 19 (1936) 219.
- 10) J. L. Mauthe and K. L. Fetters: Year Book, Am. Iron and Steel Inst. (1947) 264.
- 11) C. R. Funk: Blast Fce. Steel Plant, 35 (1947) 1940.
- 12) C. R. Funk: Blast Fce. Steel Plant, 36 (1948) 539.
- 13) 松浦: 鐵と鋼 29 (1943) No. 6, 508
- 14) M. Tennenbaum and T. L. Joseph: Iron Age (1941) Feb. 27. p. 62.



第 5 圖 パンケーキテストで判定した鹽基度と化學分析値から計算した鹽基度の比較

- 15) M. Tennenbaum: Blast Fce. Steel Plant 29 (1941) 403, 522, 545, 551.
- 16) W. O. Philbrook and A. H. Jolly Jr.: Blast Fce. Steel Plant, 32 (1944) 793, 938.
- 17) N. T. Grant and J. Chipman; Year Book, Am. Iron and Steel Inst. (1949) 469.
- 18) 渡邊, 大江: 學振 19 委 (1951) No. 2543
- 19) 前川: 學振 19 委 No. 1470.
- 20) 金森: 鐵と鋼 35 (1949) 294.
- 21) W. Bischof: Arch. für Eisenhütt., 13 (1940) 325.
- 22) W.O. Philbrook, A.H. Jolly and T.R. Henry: Trans. A. I. M. E. 162 (1945) 49; Metals Technology 12 (1945) T. P. 1862.
- 23) M. Tennenbaum and C. C. Brown Jr.: Trans. A. I. M. E. 162 (1945) 61; Metals Technology 12 (1945) T. P. 1863.
- 24) C. W. Sherman and N. T. Grant: J. of Metals (1949) 898.
- 25) W. A. Smith, J. Monaghan and W. Hay: J. Iron and Steel Inst. 160 (1948) 121.
- 26) I. N. Goff: Blast fce. and Steel Plant 22 (1934) 693.
- 27) B. A. Rogers and K. O. Stamm: Trans. A. S. M. 25 (1937) 420.
- 28) C. H. Herty Jr.: Physical Chemistry of Steel Making (1934) Bull. 68, p. 26, Carnegie Inst. of Technology.

(昭和 27 年 11 月寄稿)