

(2) 装置の設定条件として管球出力・コリメーターおよび波高分析条件などの検討を行ない、連続および日内繰返し精度の向上をはかった。

(3) りんおよびいおうのけい光X線強度にたいする試料熱処理の影響はほとんどなく、ただいおうについて鑄込み試料と圧延（または鍛造）鋼材の圧延（または鍛造）方向に平行面 および 垂直面間に 0.001% の差を認めたのみであった。

最後に本研究の遂行にさいしご協力いただいた理学電機工業(株)新井智也課長ならびに大同製鋼(株)平井工場大山蔵課長に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 河島：分光研究, 15 (1966), p. 43
- 2) 築山, 岩本：分化, 16 (1967), p. 967
- 3) 築山, 岩本：分化, 16 (1967), p. 1291
- 4) 上中, 足立, 伊藤：電気製鋼, 36 (1965), p. 265

543.272.1:543.53:669.14 速中性子放射化分析法の鉄鋼生産現場における 酸素含有量制御への適用について*

宮川一男**・志村一輝***・浅井 彰****

野村悦夫****・山岸正幸****

Application of a Fast Neutron Activation Method to the Control of Oxygen Content in Iron and Steel Making Process

Kazuo MIYAGAWA, Kazuteru SHIMURA, Akira ASAI,

Etsuo NOMURA and Masayuki YAMAGISHI

Synopsis

The determination of oxygen content in steel by the fast neutron activation method was investigated. The results are as follows.

- (1) The characters of this method are the rapidity and non-destructivity in the determination of oxygen content in steel.
- (2) The analytical values for the oxygen content between 0.1~0.001% by this method were in good agreement with those by the vacuum fusion method.
- (3) The reproducibility of this method was about $\pm 7\%$ in the standard deviation.
- (4) In the analysis of the oxygen content in molten steel, "the direct sampling method" was determined as the most reliable from the results of the test in which the values of sampling errors were compared between various sampling methods. It is necessary that the oxide film formed on the sample surface is ground off before shaping it.

(Received July 25, 1968)

1. 緒 言

中性子放射化分析法は近年原子力の利用とともに急速に発展した分析法であるが、1960年頃から T-D 反応を利用した中性子発生装置が導入されて以来、14.1 MeV 中性子線を利用した酸素の放射化分析法が注目されるようになった。14.7 MeV の速中性子線を利用した本法は酸素の定量に対し原理的にすぐれたものであることはい

くつかの報告^{1)~3)}からも明らかである。そのおもなものは分析の迅速性と非破壊性にある。

製鋼作業において溶鋼中の酸素含有量を調整することは製鋼技術の究極の目標である。すなわち、溶鋼中の酸

* 昭和40年10月本会講演大会にて発表

昭和43年7月25日受付

** 富士製鉄(株)広畑製鉄所 工博

*** 富士製鉄(株)本社

**** 富士製鉄(株)広畑製鉄所

素を C, Si などと同じように迅速に定量し, この結果から脱酸調整などの作業管理を行なうことにより品質, 歩留の向上から生産原価の低減が期待されている。

しかしながら, 鋼中酸素放射化分析法を製鋼作業の管理用として使用するためには, 装置としての信頼性の向上はもとより, 試料採取方法, 試料調製方法など未解決の問題が多かつた。

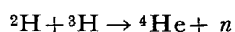
筆者らはこれらの問題解決のために早くから本法による鋼中酸素の分析に関する研究を行ない, 一部すでに報告⁶⁾⁷⁾してきたが, このほど実際の現場に本法による分析装置を設置することにより, さらに詳しい検討結果を得たので報告する。

2. 測定原理および装置

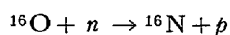
2.1 測定原理

放射化分析法とは高エネルギーの核粒子で物質を衝撃すると物質中の原子と原子核反応がおこり, 放射性核種が生成されるが, この放射能を測定することにより物質中の特定元素の含有量を求める分析法である。

鋼中酸素放射化分析装置は, 中性子発生装置と放射線測定装置よりなる。中性子発生装置はコッククロフトワルトン型のイオン加速器で 200 kV に加速した ^3H をトリチウムターゲット (^3H) に衝突させ



により 14.1 MeV の速中性子線を発生させる。この速中性子線を試料に照射すると, 試料中の酸素原子が次の反応により放射性同位体 ^{16}N に変換される。



^{16}N の放射能強度 A は

$$A = N_0 f \sigma \{1 - \exp(-0.693t/T_{1/2})\} \dots \dots \dots (1)$$

で表わされる。ここに N_0 は ^{16}O の原子数, f は中性子線束密度 ($n/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$), σ は核反応断面積 (cm^2), $T_{1/2}$ は生成した ^{16}N の半減期 (7.4 sec), t は中性子照射時間 (sec) である。したがって中性子照射量を常に一定に制御し, ^{16}N の放射能強度 A を測定することにより試料中の酸素含有量を知ることができる。生成した ^{16}N は半減期 7.4 sec で β 壊変し, β 線と同時に 6.13, 7.10 MeV という高エネルギーの γ 線を放出する。 ^{16}O 以外の核種が放射化されて放出する γ 線は高々 4 MeV であるから, ^{16}N の放射能は scintillation counter と波高選別器 (discriminator) を組み合わせて ^{16}N 以外の γ 線を除去することにより感度の高い測定ができる。 ^{16}N の半減期が 7.4 sec と非常に短いので, 生成放射能 A は (1) 式からも明らかなように 30 sec 程度の照射で飽和値 $N_0 f \sigma$ に近づき, それ以上の照射を必要としない。

また放射能測定も 30 sec 程度以上は必要ない。

2.2 装置

測定装置として東芝製 NAT 200 型 ACTIVAC³⁾ を用いた。使用したターゲットは銅板に蒸着した Ti 膜に ^3H を吸着させたものである。自動測定装置は分析試料を測定位置と中性子照射位置の間を迅速に圧送する気送装置と scintillation counter よりなる。測定操作は試料を内径 12.5 mm ϕ のポリエチレンカプセルに封入して試料挿入口に入れてボタンを押せば, 自動的に中性子照射・測定が行なわれ, 測定結果を数字で表示する。中性子発生装置は厚さ 1.2 m のコンクリートでまわりをかこんだ照射室の中に設置してある。

1 試料あたりの分析所要時間は照射約 20 sec, 測定 30 sec である。

3. 実験結果および考察

3.1 ディスクリレベルの選定

^{16}N の γ 線スペクトルには, 6.13 MeV と 7.10 MeV の 2 点に光電ピークを有する。 ^{16}O 以外の元素から生成される放射性核種からの γ 線はそのほとんどが 4 MeV 以下なので波高選別回路のディスクリミネータレベルを適当に設定すると ^{16}N のみの γ 線を測定できる。ディスクリレベル設定の方法としては, ディスクリレベルを順次変え, 各ディスクリレベルについて同一試料を一定時間の間隔で繰り返し照射・測定を行なうことにより,

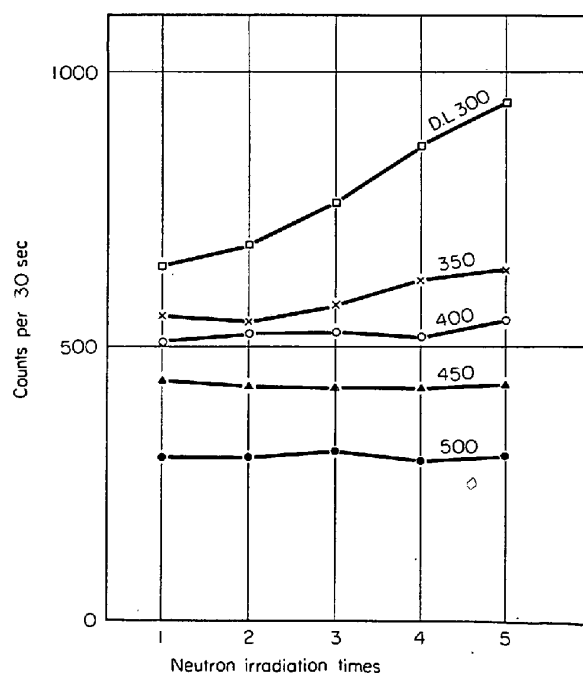


Fig. 1. Relation between discir level and "pile up" activities induced by sample matrix.

^{16}N に比し半減期の長い共存元素のパイルアップ現象が少なく、しかもできるだけ計数値の大きい点にディスクリレベルを設定する方法をとった。Fig. 1 にその測定結果を示す。この図からディスクリレベルは 420 目盛に決定した。なおディスクリレベル 420 目盛は γ 線エネルギーの 6.0 MeV に相当することを 200 channel pulse-height analyser と pulser を使用して確認した。

3.2 試料適正サイズの選定

従来まで文献^{1)~4)}に示されているとおり、12 mm ϕ $\times$ 35 mm の試料の中心軸に対し直角方向から中性子線を照射していた。しかしこの方法では、中性子線束密度の空間分布が試料に対し均一でなく、試料の一部に酸素の偏析がある場合に測定値のバラツキが大きくなりやすいことが判明し、中性子線の方向と試料中心軸とを一致させるように試料の気送方法を変更した。この方法でまず試料形状(長さ)による差を調べるため、同一試料からそれぞれ 12 mm ϕ $\times$ 10 mm と 12 mm ϕ $\times$ 5 mm との試料を切り出し、放射化分析による酸素の定量を行なった。

測定結果を Table 1 に示す。試料の長さが 2 倍になつても計数値は平均で 1.41 倍にしかならないのは中性子線束密度の分布の差によるものである。

次に均一な鋼板から切り出した試料について、試料の長さや径の変化による計数値の変動を調べた結果を Fig. 2 に示す。この結果から、試料形状による計数値の変動は試料の長さ方向に対する変化が大きく、径方向への変動では計数値はほぼ重量に比例していることがわかる。このことは、中性子線束密度の試料付近の空間分布がビーム方向に対し急激に減少し、ビームと直角方向にはあまり変動がなく、均一な分布を有するものであることを示すものである。この結果によれば、試料はある程度以上長くしてもむだである。これらの測定結果から試料の適正サイズは 12 mm ϕ $\times$ 10 mm とした。以降の実験においてはすべてこの形状に統一した。

3.3 真空溶融法との対比

本研究で検量線を作成する際の標準試料としては最初グラファイトと砂糖の粉末を混合したものを用いた。す

なわち分光用グラファイト粉末に JIS 試薬特級のサッカロース($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) 粉末を分子式から計算して一定酸素量になるように秤量して添加し、これを均一化した後被検試料と同じ形状に圧縮成形したものを標準とした。

ところで、この方法は標準試料と被検試料とが中性子線の吸収率および γ 線の自己吸収率が同じでないために鉄鋼試料と標準試料との間の検量補正をしなければならないので少し複雑である。また標準試料は何度も圧送および照射を繰り返すため、耐久性に乏しかった。この結果、酸素分析法として最

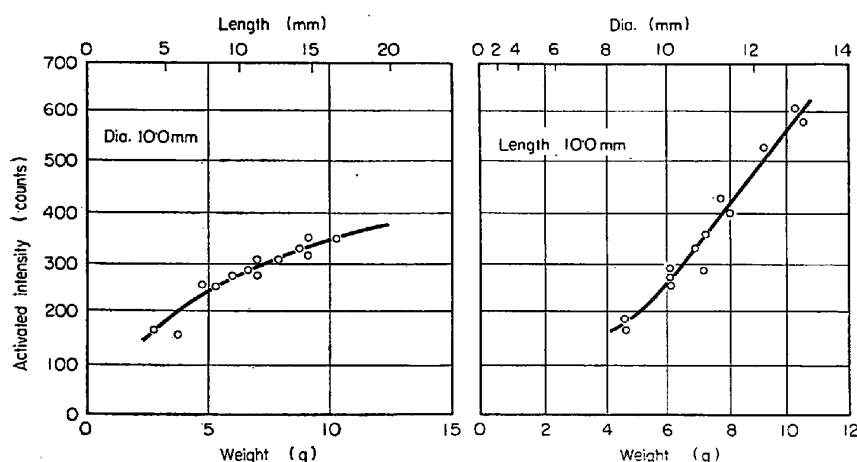


Fig. 2. Effect of sample size to the activated intensities.

Table 1. Effect of sample size to the radioactivities (counts/30 sec).

Sample name	Sample size: 12 mm ϕ $\times$ 10 mm					Sample size: 12 mm ϕ $\times$ 5 mm					A/B
	Weight (g)	1	2	3	Mean, A	Weight (g)	1	2	3	Mean, B	
H5	8.68	54	67	67	63	4.36	44	41	48	44	1.43
SK	8.54	437	550	519	502	4.41	284	238	239	254	1.98
V4	8.53	14	24	15	18	4.28	12	11	17	13	1.34
N4	8.54	1197	1127	1160	1195	4.39	953	901	822	892	1.34
N5	8.65	987	835	974	932	4.42	534	650	564	583	1.60
N6	8.59	776	823	785	795	4.43	607	523	563	564	1.41
N7	8.73	312	327	345	328	4.41	237	207	235	226	1.45
N8	8.72	98	114	121	111	4.43	87	69	78	78	1.44
NA1	8.81	1167	1227	1178	1191	4.40	842	883	876	867	1.37
NA2	8.80	106	96	98	100	4.41	65	80	68	71	1.41
K1	8.97	1244	1327	1346	1306	4.33	876	907	851	878	1.49
K2	8.76	85	107	104	99	4.35	70	73	74	72	1.37
K3	8.66	67	80	73	73	4.28	55	60	54	56	1.20

も信頼性の高い真空溶融法⁹⁾との対比から検量線を作成した。

酸素含有量の異なる 11 個の試料から、12 mm ϕ $\times$ 10 mm の試料を切出し、放射化分析 (3 回) を行なった後ガス分析用試料を切出し、真空溶融法によるガス分析を行なった。真空溶融法による鉄鋼中の酸素分析法においては酸素量の低いもの、あるいは Mn, Si, Al などの共存元素の多い試料については、その蒸着膜に一酸化炭素が吸着されて分析値の低値の原因となることが知られている⁹⁾。この対策のためにスズ添加を試みた。すなわち試料中に Mn+Si が 1% 以上含まれる場合、または 1% 以下でも特に酸素が低い (Al が高い) と考えられた試料については浴にスズ添加を実施した。添加量は常にスズが試料投入量の 30% 以上を含めるように試料ホルダーの中に交互に配列し、スズを坩堝中に投入してから 2 min 間スズ自体の脱ガスを行なった後、試料を投入した。

このようにして、酸素含有量の異なる 11 個の試料について放射化分析結果と真空溶融法による分析結果を比較

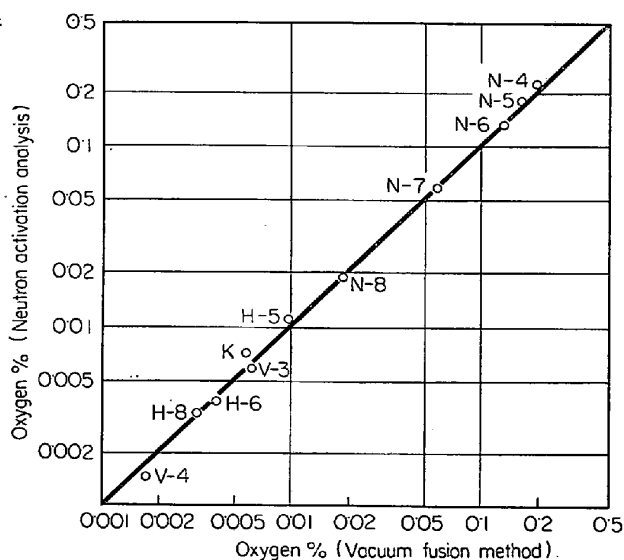


Fig. 3. Comparison of neutron activation analysis with vacuum fusion method.

Table 2. Reproducibilities of the determination oxygen by the fast neutron activation method (unit, ppm).

Oxygen level (ppm)	~400 ppm	400~500 ppm	500~ ppm
$\frac{n}{\bar{x}}$	30	30	30
$\frac{\bar{R}}{\bar{x}}$	357.8	451.0	585.8
$\sigma (= \bar{R}/d_2)$	30.2	31.0	31.9
CV (%)	26.8	27.5	28.7
	7.5	6.1	4.9

すると Fig. 3 に示すように酸素含有量が 0.001~0.1% にわたってかなりよい一致が得られた。

これらの結果から、放射化分析法は真空溶融法との対応がよく、十分に信頼できることがわかった。

3.4 分析精度

(1) 繰り返し精度

転炉の吹止試料 90 本を酸素含有量によって 3 グループに分け、個々の試料を連続 2 回放射化分析したときの分析値の差 R から標準偏差および変動係数 (CV) を求めた。測定結果を Table 2 に示す。

この結果、繰り返し精度は CV で 7.5~4.9% である。 CV が酸素含有量が多くなるにつれ小さくなるのは放射能測定における統計揺動のためである。

すなわち、一般に放射能測定における計数値は、原子核の崩壊が at random な現象であるため、一定にならず、その分散はポアソン分布で与えられる。したがって、放射能計数値には常に標準偏差 $\sqrt{n}$ で表わされる統計揺動がつきまとう。そこで、Table 2 の $\bar{x}$ の値からその放射能計数値を算出し、この統計揺動を計算するとその CV は 3.6~4.9% となり、Table 2 に示した分析の繰り返し精度 CV 4.9~7.5 の 65~74% に相当することがわかる。ゆえに、分析の繰り返し精度のうち、放射能測定によるバラツキが大半を占め、分析装置および分析操作によるバラツキは比較的少ないと判断される。

(2) 日間変動

放射化分析法においては、一連の測定にさきだつて標準試料を使用して検量線のチェックを行なっているが、この場合においても日間変動は無視できない。そこで種々の酸素範囲の試料について日間変動を求めた。

実験は 1 週間ごとに 1 日ずつ 4 週間にわたって行なった。測定結果を Fig. 4 に示す。この結果、酸素量 0.015~0.2% 付近では 40 回以上もの繰り返し変動が 4~5% という良好な結果であることがわかった。この程度の安定性は、迅速分析用として現場作業管理に使用する場合十分信頼できると考えられる。

3.5 溶鋼試料採取法

(1) 溶鋼試料採取法の比較

溶鋼中の酸素含有量を定量する場合、試料採取方法の差による酸素含有量の差は無視できない。溶鋼中のガス含有量を正確に示す試料採取法については、学振 19 委鉄鋼ガス分析協議会において詳しい検討がなされ、いくつかの標準採取法が決められている¹⁰⁾。放射化分析法に適用できる溶鋼試料採取法としては、これらの改良したもので次の 3 つを挙げることができる。

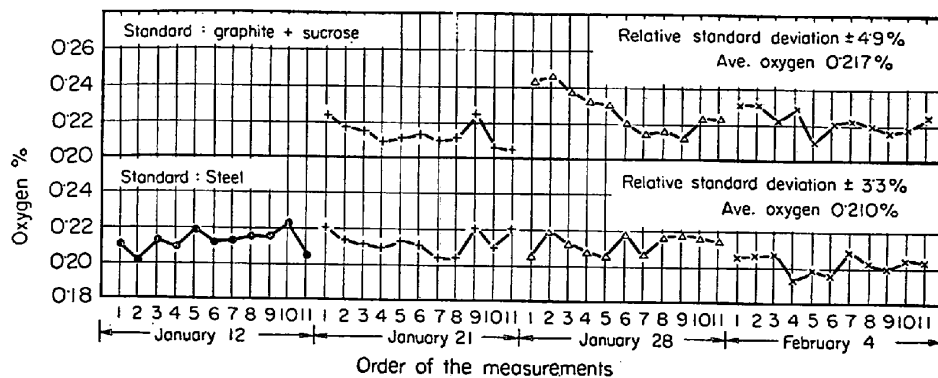


Fig. 4. Deviation of results by neutron activation analysis for the specimen with high oxygen content.

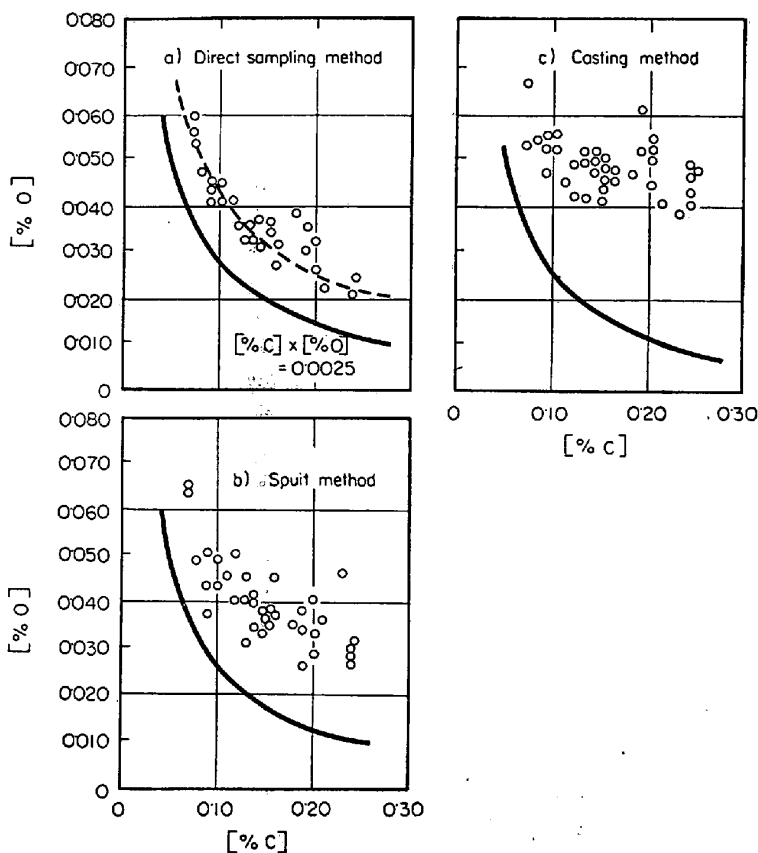


Fig. 5. Relation between the carbon content and oxygen content in the molten steel bath.

- 1) ヒシャク内鎮静鑄込法
- 2) ヒシャク内鎮静スポイト吸上法
- 3) 炉内直接採取法

1) と 2) は試料外径を 13 mm とした以外は学振法と全く同じである。3) は筆者らが特に放射化分析用試料採取法として確立したものである。すなわち鑄込法にしても、スポイト吸上法にしても、Al で鎮静したときの Al_2O_3 の浮上分離、または slag からの酸素の還元、空気酸化などの誤差がつきまとうので、製鋼炉内から直接試料を採ることによってこの誤差を最小にしようとする

ものである。

これら 3 種の試料採取方法の優劣を比較するために、転炉吹止チャージから同時にそれぞれの試料採取法により試料を採取し、それぞれの試料について放射化分析法による酸素含有量と発光分光分析 (Quantvac) による炭素含有量との対応を求めた。Fig. 5 にその結果を示す。この図からプロットは炉内直接採取法において、理論的な C-O 平衡曲線 (VAT-CHER-HAMILTON 値) の最も近くに分布することが明らかで、炉内直接採取法が最も信頼できる試料採取法であると推定する。スポイト吸上法、あるいは特に鑄込法においては、一般に酸素値が高くなりやすいのは空気酸化の影響と考えられる。

(2) 直接採取法の検討

1) 試料内偏析

溶鋼試料を採取したとき、試料内の酸素のバラツキを求めておくことは、サンプリング誤差を評価する上で重要な問題である。そこで前述の 3 つの試料採取法で取ったそれぞれの試料について試料内の酸素の偏析を調べた。

炉内直接採取法によつて採取した試料の top 部から bottom 部に連続 5 個の試料を切出し、各試料につき、放射化分析を 3 回行ないその平均値から試料内偏析を調べた結果を Table 3 に示す。同一試料内の top から bottom にかけて酸素濃度の分布に傾向は見られず、試料内のバラツキは試料によつてはかなり大きいですが、平均すれば $\pm 7.4\%$ 程度である。

全く同様に、ヒシャク内鎮静鑄込法、ヒシャク内鎮静スポイト吸上法における試料内バラツキの平均はそれぞれ 8.1%, 11.0% で、いずれも直接採取法より大きいことがわかった。炉内直接採取法は試料内偏析が小

Table 3. Segregation of oxygen in the samples tapped by direct sampling method (unit $\times 10^{-3}$ %).

Sample name	(Top) Sample position (Bottom)					mean $\bar{x}$	Stand. deviation $\sigma (= \overline{R}/d_2)$	CV (%)
	1	2	3	4	5			
7A	36.1	34.9	37.1	32.7	36.5	35.5	2.2	6.7
9B	36.4	33.3	30.0	29.1	32.3	32.2	3.1	9.6
10A	24.2	25.3	25.7	23.9	22.8	24.4	1.3	4.4
11A	27.1	22.7	26.7	22.9	28.5	25.6	2.6	10.2
16A	31.9	32.1	30.4	30.3	32.1	31.4	1.0	3.2
26B	43.2	36.1	39.3	36.2	38.9	38.6	3.4	11.9
34A	52.3	44.9	52.0	46.7	48.3	48.8	3.4	7.0
36A	31.4	36.7	35.1	33.6	33.5	34.1	2.2	6.4
							mean	7.4

さいことから望ましい試料採取方法である。

2) 炉内酸素含有量の偏析

溶鋼中の酸素含有量を制御する場合に、転炉内の酸素含有量を1本の試料の定量で代表させられるかどうかの検討を行なった。

100 t 転炉60チャージについて、各チャージから直接採取法で2本採取し、2つの酸素含有量の差の平均値から100 t 転炉内の酸素含有量の偏析を推定した。この結果炉内変動の CV は 7.8% であった。この値は $\sqrt{7.8^2 - 7.4^2}$ で求めた試料内変動 7.4% を含んだ値であるので、ここに求めた値のうち正味の炉内酸素含有量の変動は $\sqrt{7.8^2 - 7.4^2}$ すなわち 2.5% 程度と推定される。

試料内偏析 7.4% に比し、炉内変動は小さく問題にななくてもよいと考えられる。今後はさらに試料内偏析の小さい試料を採取することが切に望まれる。

3) 黒皮試料の検討

直接採取法で取った試料には表面に薄い酸化皮膜が生成されるが、試料調整時間を短縮するために、この酸化皮膜を研磨しない場合の酸素値について検討した。

実験方法は直接採取法で取った試料 (12 mm ϕ) から分析用試料を4個切出し、黒皮のままです放射化分析を行ない、以後エメリーペーパー (#280) で表面の皮膜を少しずつ研磨しては化学天秤で研磨重量を測定するとともに放射化分析することを繰り返した。1回の研磨につき放射化分析を5回行ない測定誤差を ± 10 ppm 以下とした。測定結果を Fig. 6 に示す。この図から、最初の黒皮試料と黒皮をとり除いた試料 (15 mg 以上) とは明らかに差を示すものと、ほとんど差を示さないものもあることがわかる。明らかな差を示す試料の表面の黒皮は、肉眼観察で酸化層の厚い部分であり、ほとんど差を示さない試料は酸化層のごく薄い部分である。

この試料表面の酸化層を 400 倍の顕微鏡で断面を観察すると、酸化層はいずれも 1 μ 程度であることがわかつ

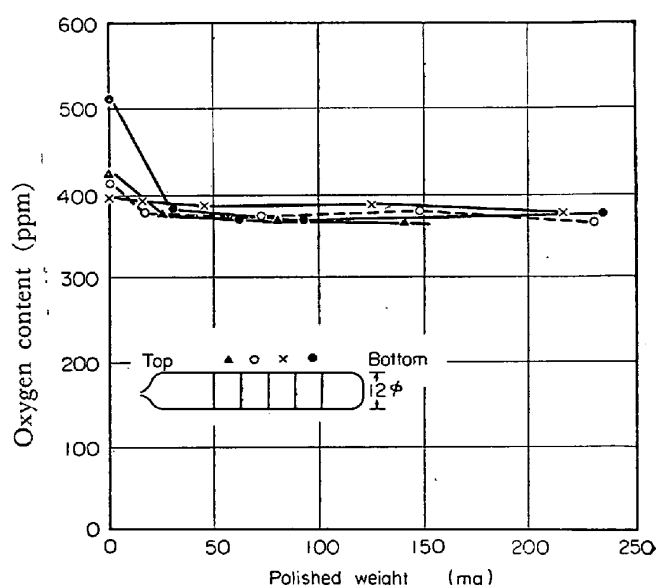


Fig. 6. Effect of the oxide film formed on the sample to the oxygen content.

た。

そこで 1 μ の酸化層を Fe_2O_3 と仮定して 12 mm $\phi \times 10$ mm の試料の円周表面にある酸素量を計算すると 50 ppm となり、試料内酸素含有量 400 ppm の 13% に相当することになる。このことは Fig. 6 の研磨後の計数の低下をよく説明できる。

これらの結果から黒皮皮膜は完全に研磨すべきであると考えられる。なお、現在黒皮研磨に要する時間は約 25 sec である。

4. 放射化分析法と他の分析方法との比較

4.1 分析所要時間

放射化分析法において、現在筆者らが実際に行なっている分析所要時間を Table 4 に示す。試料成形から酸素含有量決定まで 3.5 min で完了し、試料調整を除いた正味の分析所要時間は 2 min 以内である。

Table 4. Required time for determination of oxygen content by neutron activation method.

Step	Required time (min)
Shaping	1.50
Cleaning	0.25
Weighing	0.35
Setting in the capsule	0.40
Neutron irradiation	0.40
Measurement of radio activity	0.50
Determination of oxygen content	0.10
Total	3.50

一方従来の代表的な酸素分析である真空溶融法ならびに不活性ガス送気法での分析所要時間はいずれも、試料調整と分析操作を合わせて最低15 minかかる。空焼き時間を含めるとさらに大きくなる。分析時間のこの差は原理的な差異によるもので、このことが従来の酸素分析計が現場の作業管理に使用できない理由であつた。放射化分析法は分析の迅速性と非破壊性が最大の利点である。

4.2 分析精度

放射化分析法における繰り返し精度は3. に述べたが1回の測定におけるバラツキのCVは $\pm 5 \sim 7.5\%$ である。一方通常の酸素分析計の精度については、学振製鋼第19委鉄鋼ガス分析協議会が行なつた各社の酸素分析装置について比較した結果があるが、1回の測定における分析値のバラツキはほぼ $\pm 5 \sim 10$ ppmと推定される。これらのガス分析装置においては、同一試料についての繰り返し分析が不可能なため、厳密な精度を論ずることはむずかしい。

放射化分析法では、試料は非破壊のため、連続して測定を繰り返すことが可能で、精度はかなり上げることができる。いずれにしても、放射化分析法の精度は現行の酸素分析方法に対しほぼ同程度の精度を有していると考えられる。

4.3 分析コスト

放射化分析法は現行の酸素分析装置に比し設備費は大きい、ランニングコストではむしろ小さい。鋼中酸素放射化分析装置は中性子発生装置（イオン加速装置）と中性子遮蔽用構築物が必要であることから、現行の酸素分析装置に比し約1桁高価となつている。一方ランニングコストで大きいものは ^3H ターゲットの消耗である。現在 ^3H ターゲットの交換は1000~1300 定量に1回交

換しなければならないが、寿命が長く、安価なターゲットの製造が要請される。しかし現行の真空溶融酸素分析装置に必要な試料溶解用黒鉛ルツボの消耗に比較すれば、ランニングコストははるかに低い。

5. 結 言

鋼中酸素放射化分析法を用いて鉄鋼中の酸素含有量を定量し、鉄鋼生産管理に利用するための技術的な諸検討を行なつた結果、次のことが明らかになつた。

(1) 鋼中酸素放射化分析法は、鋼中酸素の現場分析用として十分な迅速性と良好な精度を有する。この方法による酸素分析値と真空溶融法による分析値とは広い酸素含有量範囲においてよい一致を示す。

(2) 本法を溶鋼中の酸素含有量の管理に利用するため、溶鋼試料採取法およびそのサンプリング誤差を比較した結果、炉内直接採取法が最も信頼できるサンプリング法であると判断した。また試料表面の酸化皮膜はやはり研磨するほうがよいと考える。

放射化分析法による酸素含有量の定量は分析の迅速性に最大の特長を有し、試料採取法の改善により鉄鋼生産現場の広範な分野に今後ますます利用されうるものと考えられる。

終わりに、本研究を行なうに当たり、終始実験方法についてご指導いただいた東大名誉教授宗宮尚行博士、早くから本装置を製鋼技術に適用するために多大のご鞭撻を賜つた富士製鉄広畑製鉄所副所長渡辺省三氏、同所研究所長内田弘氏に深甚なる謝意を表する。

また、実験に協力された広畑製鉄所分析課、製鋼部、研究所の諸氏および中央研究所の諸氏に厚く御礼申上げる。

文 献

- 1) COLEMAN: Analyst, 87 (1962) July, p. 590
- 2) CRAWFORD et al.: The Radio & Electronic Engineer, 26 (1963) 3, p. 251
- 3) 藤井他: 分析化学, 13 (1964) 3, p. 249
- 4) 藤井: 原子力工業, 10 (1964) 9, p. 11
- 5) 藤井: 分析化学, 13 (1964) 10, p. 1054
- 6) 藤井: 分析化学, 16 (1967) 1, p. 56
- 7) FUJII et al.: Anal. Acta, 34 (1964) p. 146
- 8) 志村他: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p. 2178
- 9) 柳沢他: 分析化学, 15 (1966) 11, p. 1277
- 10) 学振製鋼第19委員会編, 分析全書, 第8巻(1963)