

.....
論 文
.....

製鋼用各種転炉内におけるスラグと溶鋼中の成分の化学ポテンシャル

© 1985 ISIJ

後藤 和弘*・山口 周*²・永田 和宏*³

Chemical Potential of Components in Slag and Steel in Various Steelmaking Converters

Kazuhiro S. GOTO, Shu YAMAGUCHI and Kazuhiro NAGATA

Synopsis:

Chemical compositions of slags and steels at the blow-end of LD converter and various top and bottom blown converters have been collected. The number of the samples was 27 in the conventional LD, 75 in LD-OB, 30 in LD-AB, 23 in STB, and 4 in Q-BOP vessels.

The chemical potentials of P, Fe, Mn and O have been calculated in the slags as well as in the steels from the oxygen pressures in slag measured by oxygen sensors.

The magnitude of non-equilibrium between slags and steels tends to decrease with a decrease of carbon content in steels and with an increase of the amount of gas injected from the bottom.

1. 緒 言

溶鉄炉や各種転炉内におけるスラグと溶鉄間の不純物成分の分配比を支配する重要な因子は、温度と酸素ポテンシャルである。著者らはこれまで LD 転炉¹⁾、Q-BOP²⁾ および溶鉄炉³⁾ のスラグ中の酸素ポテンシャルを固体電解質酸素センサーを用いて測定してきた。その結果、溶鉄炉ならびに転炉のスラグ中の酸素ポテンシャルはいずれの場合にも溶鉄よりほぼ一桁高いことが判明した。本研究で実測してきたこれらスラグ中の酸素分圧のデータを使用すると、以下のような目的の研究が可能になる。

1) スラグと溶鉄間の平衡からのずれの大きさを定量的に表現するため、スラグ中の酸素分圧を用いてひとつの非平衡度の定義を提案する。

2) 製鉄各社から各種上底吹転炉の吹錬終点時におけるスラグと溶鋼中の組成の分析値を提供してもらい、この非平衡度を計算する。

3) 不純物成分の精錬反応の非平衡度を比較し、それぞれの反応容器の特性を明らかにする。

提供されたデータは、新日本製鉄(株)八幡製鉄所の 70 t LD-OB 転炉から 75 ヒート分、LD-AB 転炉から 30 ヒート分、住友金属工業(株)鹿島製鉄所の 250 t STB 転炉から 23 ヒート分、日新製鋼(株)呉製鉄所の 150 t

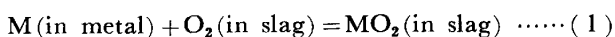
LD 転炉から 27 ヒート分である。その他、川崎製鉄(株)千葉製鉄所の 230 t Q-BOP 転炉に関する著者らの研究²⁾ から 4 ヒート分のデータを用い、合計 158 ヒートに関する解析を行った。

2. 非平衡度の定義

スラグとメタル間の非平衡度を次式で示す不純物成分 M の精錬反応のギブスの自由エネルギー、 ΔG_M で定義する。

$$\left[\begin{array}{c} \text{溶鋼中の} \\ \text{不純物成分} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{スラグ中} \\ \text{の酸化剤} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{スラグ中の不純} \\ \text{物成分の酸化物} \end{array} \right]$$

すなわち、スラグとメタルの界面での反応は、



$$\Delta G_M = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{MO_2}}{a_M \cdot P_{O_2}(\text{in slag})} \dots\dots (2)$$

で表される。ここで ΔG° は精錬反応のギブスの標準自由エネルギー、 a_M および a_{MO_2} はそれぞれ成分 M および MO_2 の活量である。

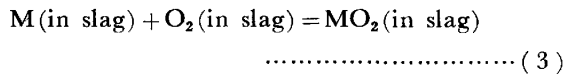
スラグとメタル内には各成分の濃度が均一でないので全体としては非平衡であるがそれぞれの相内の局部では常に化学平衡が成立しているという、いわゆる「局部平衡」を仮定してみよう。するとスラグ内の各部分部分では次の反応が平衡になつていられる。

昭和 59 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 59 年 7 月 18 日受付 (Received July 18, 1984)

* 東京工業大学工学部 Ph. D. 工博 (Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku 152)

*² 東京工業大学工学部 工博 (現: ペンシルバニア大学) (Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Now The University of Pennsylvania)

*³ 東京工業大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology)



この仮定が正しいとすると、(2)式右辺の MO_2 の活量と酸素分圧の比はスラグ相中の不純物成分Mの活量に置き換えることができる。このようにして、(1)式のギブスの自由エネルギー変化はスラグと溶鋼中のMの活量の比の関数で示される。一方、化学ポテンシャルの定義に従えば、この量はスラグと溶鋼中の成分Mの化学ポテンシャル差に等しくなる。すなわちこの関係は次式で示される。

$$\Delta G_M = RT \ln \frac{a_M^s}{a_M^m} = \mu_M(\text{in slag}) - \mu_M(\text{in metal})$$

..... (4)

ここで a_M^s 、 a_M^m はスラグおよび溶鋼中成分Mの活量、 μ_M は成分Mの化学ポテンシャルであり、またMの化学ポテンシャルの標準状態はスラグとメタルで同一のものをとる。この関係によれば、スラグと溶鋼間の非平衡度は不純物成分の化学ポテンシャル差で表現される。

すなわち、スラグ内の P_{O_2} と MO_2 の活量がわかれ

ば(2)式にしたがつて ΔG_M を計算でき、さらにこの ΔG_M は(4)式のような熱力学的な意味をもっている。

3. スラグと溶鋼間の成分の化学ポテンシャル差の計算法

Table 1 a), b) に各種転炉の吹錬終点時におけるスラグと溶鋼の化学組成、スラグの塩基度、スラグと溶鋼間のりん分配比を溶鋼の温度と共に示した。さらに、Table 1 c) に各種転炉から得たデータを示している。

溶鋼中の鉄の活量はラウール基準を用いて近似的に1と仮定する。また溶鋼中のりん、マンガン、酸素の活量は、それらの濃度と、大谷によつて「鉄冶金熱力学」⁴⁾にまとめられた相互作用助係数を用いて計算した。これらの活量の基準には重量パーセントで表したヘンリー基準を用いた。これらの計算の結果、活量係数はかなり1.0に近い値であることがわかった。

スラグ中のりん、マンガン、酸素および鉄の活量はスラグ中の酸化物の活量とスラグ中の酸素分圧から次式で計算した。

Table 1. Chemical compositions of slags and steels with various blowing conditions.

(a) Ranges of chemical compositions and basicity of slags and distribution ratio of phosphorus at blow-end of various converters.

Converter	%CaO	%SiO ₂	%T. Fe	%MgO	%Al ₂ O ₃	%P ₂ O ₅	%MnO	%S	CaO/SiO ₂	P ₂ O ₅ /P
LD	45-55	9-16	13-24	2-5	1-3	2.3-3.3	4.3-5.9	0.1	3.5-5.5	150-370
LD-AB	41-58	11-22	9-18	4-8	—	1.9-3.3	3.3-6.9	0.02-0.1	2.3-4.2	120-200
LD-OB	43-65	10-20	9-18	2-6	—	1.9-3.0	3.1-7.2	0.01-0.1	2.0-4.0	100-200
STB	43-55	10-19	7-19	5-8	1-2	3.5-4.5	2.7-4.9	—	2.0-4.0	150-300
Q-BOP	47-58	10-20	9-15	3-6	—	4.0-6.2	4.6-5.9	—	3.0-4.9	300-600

(b) Ranges of chemical compositions and temperature of steels at the blow-end of various converters.

Converter	%C	%Mn	%P	%S	O (ppm)	Temp. (°C)
LD	0.04-0.07	0.09-0.18	0.009-0.025	0.009-0.025	738-443	1624-1720
LD-AB	0.03-0.73	0.13-0.36	0.011-0.024	0.011-0.024	589-88	1600-1690
LD-OB	0.03-0.08	0.09-0.28	0.006-0.022	0.008-0.022	809-130	1600-1720
STB	0.05-0.10	0.10-0.27	0.010-0.069	0.006-0.017	499-199	1610-1670
Q-BOP	0.03-0.08	0.12-0.26	0.009-0.019	—	515-284	1589-1605

(c) Numbers of sample heats and the conditions of the bottom blowings of various converters.

Converter	Numbers of heats	Capacity of converters	Gases of bottom blowings	Injection rates*
LD	27	150 t	none	zero
LD-AB	30	70 t	Ar-O ₂ -N ₂	0.22-0.29
LD-OB	75	70 t	O ₂ -Hydrocarbon	0.22-0.44
STB	23	250 t	CO ₂	0.11
Q-BOP	4	230 t	Pure oxygen	3.0

* Injection rates are given in Normal m³/min · t of hot metal.

$$a_M(\text{in slag}) = \frac{a_{\text{MO}_2}}{P_{\text{O}_2}} \exp\left(\frac{\Delta G^\circ}{RT}\right) \dots\dots\dots (5)$$

ここで ΔG° は (3) 式で示した反応の標準自由エネルギーである。以下にその値を示す。単位は cal/mol である。

$$\begin{aligned} \text{O}[\text{wt}\%] &= 1/2\text{O}_2(\text{g}) \\ \Delta G_1^\circ &= 27\,990 + 0.810T^{(5)} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fe}(\text{l}) + 1/2\text{O}_2(\text{g}) &= \text{FeO}(\text{l}) \\ \Delta G_2^\circ &= 55\,620 - 10.83T^{(6)} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2\text{P}[\text{wt}\%] + 5\text{O}[\text{wt}\%] &= \text{P}_2\text{O}_5(\text{l}) \\ \Delta G_3^\circ &= 771\,700 - 133.0T^{(7)} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn}[\text{wt}\%] + \text{O}[\text{wt}\%] &= \text{MnO}(\text{l}) \\ \Delta G_4^\circ &= 58\,390 - 25.8T^{(8)} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

FeO の活量は TURKDOGAN と PEARSON⁹⁾、MnO の活量は TURKDOGAN と PEARSON⁹⁾ の ((CaO+MgO+MnO) - (SiO₂+P₂O₅) - (FeO)) 擬三元系中の等活量線より推定した。ここで FeO と MnO の活量の温度依存性は小さいため無視した。P₂O₅ の活量は水渡と井上¹⁰⁾ による CaO-MgO_{sat.}-Fe₂O-SiO₂-P₂O₅ 系スラグ中の P₂O₅ の活量係数の最新の推定式を用いた。本研究で調査した転炉スラグの組成範囲は水渡らの式の適用範囲外にあるが、外挿して近似的な値を推定した。また、一部のスラグでは固液共存相になっている可能性もあるが、これらは全分析値を用い外挿により活量係数を求めた。CaF₂ を含有するスラグでは CaO と CaF₂ の P₂O₅ の活量係数に及ぼす影響はほぼ同一と考えられるので⁹⁾、すべて CaO として活量係数を計算した。

4. スラグ中の酸素分圧

本研究ではスラグ中の酸素分圧が一番重要な基礎データである。そこで、本研究におけるこの重要性に鑑み、著者らがすでに発表してきたスラグ中の酸素分圧の測定結果を以下に示す。

Fig. 1 は Q-BOP 吹錬中の気相、スラグおよび溶鋼中の酸素分圧変化を示した図である²⁾。Fig. 2 は LD 転炉と Q-BOP 転炉のスラグと溶鋼中の酸素分圧を溶鋼中の炭素濃度の関数で示した図である²⁾。また Fig. 3 は溶鉱炉のスラグと溶鉄の酸素分圧を 1979 年から 1981 年にかけて測定した結果である。図中、白丸点線はスラグ中、黒丸実線は鉄中の P₂O₅ を示し、水平線はすべて平衡酸素分圧を示す³⁾。

Fig. 2 に示すように、100t LD 転炉のスラグ中の酸素分圧は 1.0×10⁻⁸ atm で、これは吹錬終点時における炭素濃度にはほとんど依存しない。

さて本研究で解析する LD-AB, LD-OB および STB

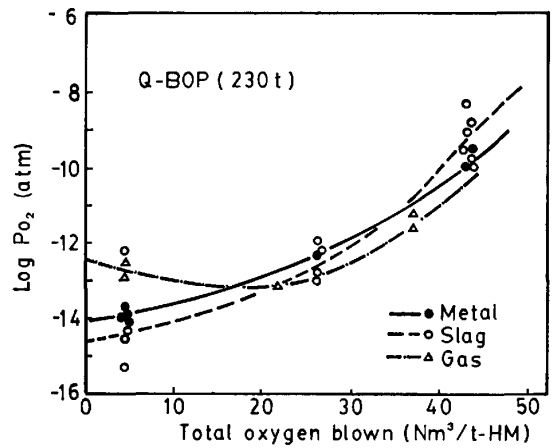


Fig. 1. Changes of oxygen pressures in gas, in slag, and in metal during the blowing of the 230-t Q-BOP converter of Kawasaki Steel Corporation²⁾.

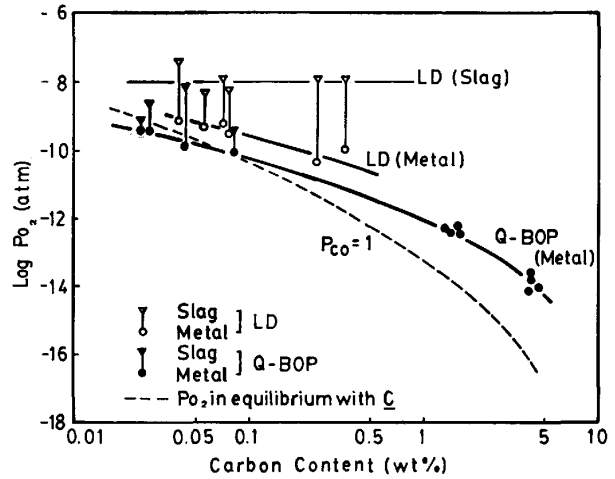


Fig. 2. Oxygen pressures in slags and steels at the blow-end of converter and at the initial, intermediate, and blow-end of Q-BOP converter as a function of carbon content²⁾.

各転炉におけるスラグ中の P₂O₅ は実測値が無い。これらの転炉の吹錬条件はそれぞれ異なっているため、スラグ中の P₂O₅ もそれぞれ異なると思われる。しかし (1) 底吹ガス量は上吹酸素の数%と少ない、(2) 上吹酸素は常に上部よりスラグに吹きつけられているという二つの事実より LD の場合の実測値の 10⁻⁸ atm と等しいと仮定した。しかしこの点は重要な問題点で今後の課題として考えねばならない。

Q-BOP 転炉のスラグ中の酸素分圧は Fig. 2 に黒塗り三角印で示した吹錬終点時の測定値 4 点を用いた。これらの値は 10⁻⁹ atm 程度であり、LD 転炉のスラグより一桁小さい。

以上に示した酸化物の活量、酸素分圧および各反応の ΔG° を用い、(5) 式によつてスラグ中の成分 M の活量

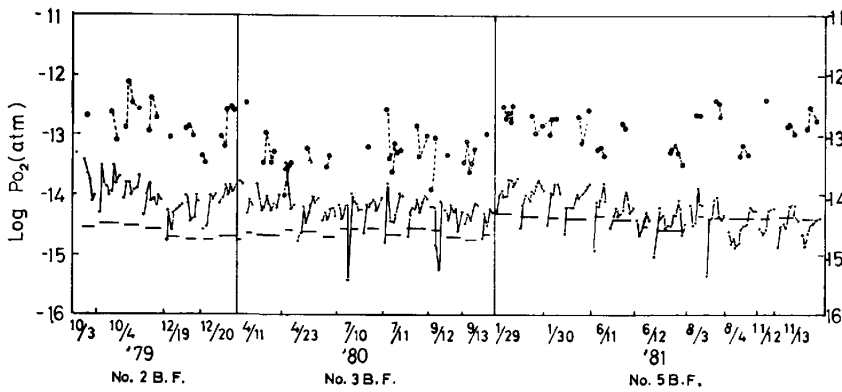


Fig. 3. Oxygen pressures in slag and pig iron flowing out from the blast furnaces of Kawasaki Steel Corporation. (Small horizontal lines mean the equilibrium pressures. $\circ \cdots \circ$ means P_{O_2} in slag. $\bullet - \bullet$ means P_{O_2} in pig iron.)³⁾

を計算した。さらに溶鋼中の不純物成分Mの活量と共に(4)式を用いて非平衡度の一つの指標である ΔG を計算した。

この計算にはスラグの温度も必要であるが、Q-BOP法や複合吹錬ではメタルとあまり温度差がなく、LDではかなりあると考えられるが計算ではスラグの温度はメタル中と同一として計算した。

5. 転炉吹錬終点時のスラグと溶鋼間の非平衡度の計算結果

Fig. 4 から 8 にはそれぞれ LD, LD-OB, LD-AB, STB および Q-BOP 法に関して、吹錬終点時におけるスラグと溶鋼間の非平衡度を、その時の溶鋼中の酸素の分析値であるが、活量と等しいと考え a_O で示した。縦軸は(4)式で定義した非平衡度であり、横軸は吹錬終点時に溶鋼に炭素と共に溶解している酸素の活量を ppm で表した。

これらの図中の点は異なつたヒートの結果であり、厳密には相互に比較できないが、図中の実線の曲線で示す

ように一定の傾向がある。すなわち、各点が一つの曲線の上にはぼのつているので溶鋼中の酸素濃度の増加を吹錬時間に対応していると考えられる。すると吹錬時間の経過に従つて非平衡度は零に近づくこと

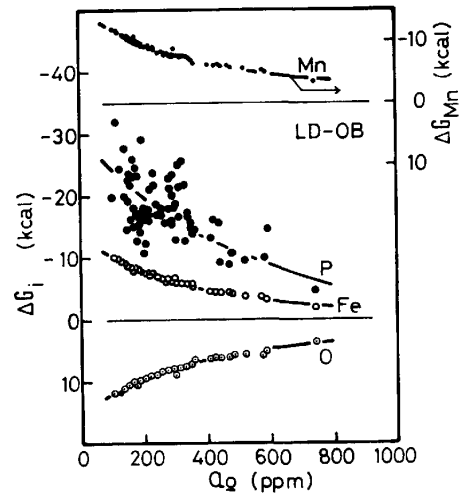


Fig. 5. Magnitude of non-equilibrium between slag and steel in LD-OB converter as a function of oxygen activity at blow-end.

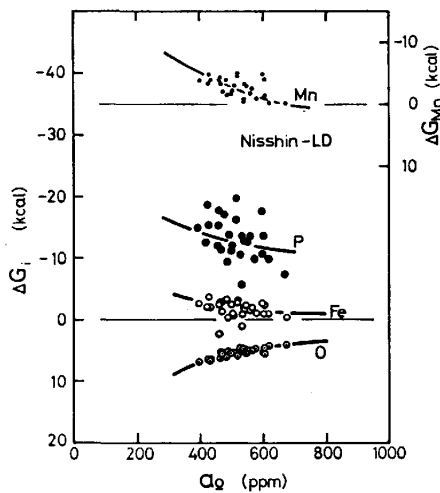


Fig. 4. Magnitude of non-equilibrium between slag and steel in LD converter as a function of oxygen activity at blow-end.

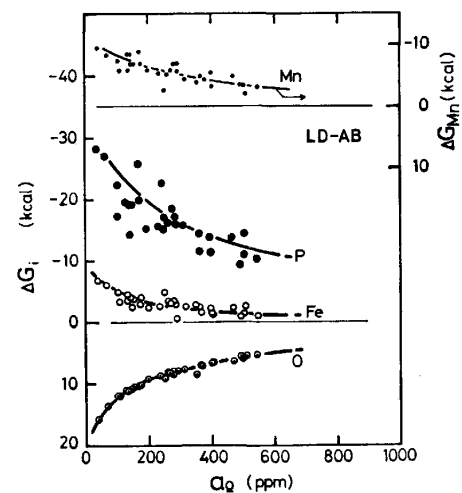


Fig. 6. Magnitude of non-equilibrium between slag and steel in LD-AB converter as a function of oxygen activity at blow-end.

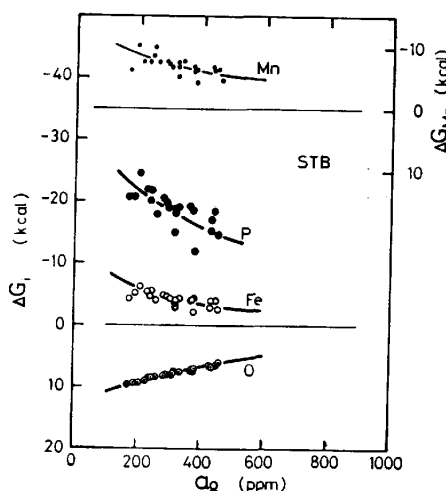


Fig. 7. Magnitude of non-equilibrium between slag and steel in STB converter as a function of oxygen activity at blow-end.

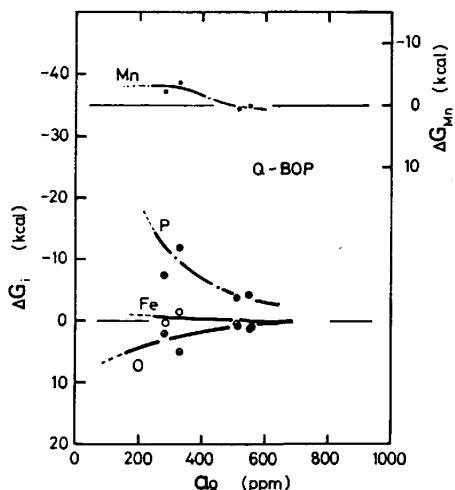


Fig. 8. Magnitude of non-equilibrium between slag and steel of Q-BOP as function of oxygen activity at blow-end.

ができるようである。

りん, マンガン, 鉄の非平衡度は負になつており, これらの成分は溶鋼からスラグへ移行する傾向にあるが, 一方, 酸素の非平衡度は正であり, スラグから溶鋼へ移行する傾向にある。

非平衡度と溶鋼中の酸素の活量との関係を各種転炉ごとに比較してみると興味ある結果が得られる。すなわち Q-BOP の各不純物成分の非平衡度は, 他のどの転炉の不純物成分の非平衡度と比較しても溶鋼中の酸素の活量が低い範囲から非常に小さいことである。このことは LD, LD-OB, LD-AB, STB ではスラグ中 P_{O_2} を 10^{-8} atm と同一の値を仮定したための誤差かもしれない。しかしこれら転炉では純酸素を大量に上吹きしているため, スラグ中の酸素分圧が高くなっているのかもしれない。

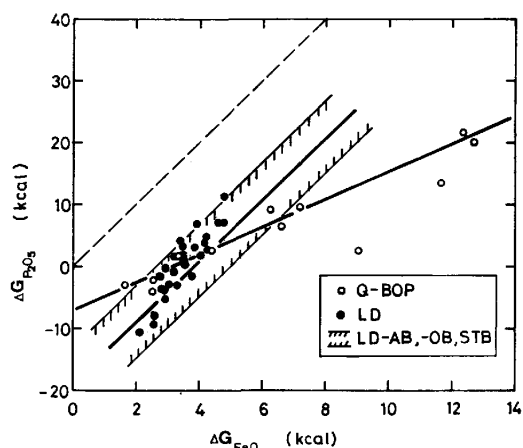


Fig. 9. Comparison between chemical potential differences of P_2O_5 and FeO in slag and those in steel. The broken line shows the relation for the true equilibrium between slag and steel.

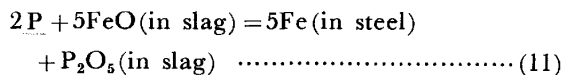
いし, また攪拌が Q-BOP に比較して弱いなどいろいろな条件に由来しているとも考えられる。

このように転炉の種類による特性をもう少し明らかに解析するために, スラグと溶鋼間の酸化物成分の化学ポテンシャル差を考えてみる。すなわち,

$$\Delta G_{MO_2} = \mu_{MO_2}(\text{in slag}) - \mu_{MO_2}(\text{in metal}) \quad \dots (10)$$

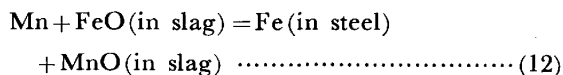
この(10)式で示される ΔG_{MO_2} はスラグ中の酸化物成分の活量と溶鋼中の不純物成分および溶解酸素の活量から計算される。なお式(4)は元素Mの化学ポテンシャルの差であり(10)式とこの点が異なる。

Fig. 9 には, スラグと溶鋼の間の P_2O_5 と FeO の化学ポテンシャル差の関係を示した。図中, 斜線で示した領域には, LD-AB, LD-OB および STB のデータ 128 点のうち 95% が含まれる。また白丸で示した Q-BOP の点のうち左の4点は吹錬終点時のデータであり, 他は吹錬初期と中期のデータである。破線は次の反応が完全に平衡にある場合の関係を示す。



図中のすべての点は破線より下にあり, このことは上式の反応が脱りん方向に進む傾向があることを意味している。

同様に Fig. 10 にはスラグと溶鋼の間の MnO と FeO の化学ポテンシャル差の関係を示した。斜線で示した領域と白丸で示した点の意味は Fig. 9 と同様である。破線は次の反応が平衡にある場合の関係を示す。



図中のほとんどの点が破線より下にある。このことは上式の反応がマンガンの酸化方向, すなわち, マンガン

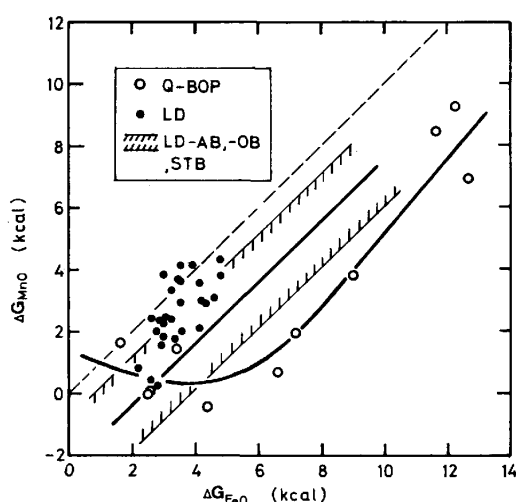


Fig. 10. Comparison between chemical potential differences of MnO and FeO in slag and in steel. The broken line shows the relation for the true equilibrium between slag and steel.

が溶鋼からスラグへ移行する傾向にあることを意味している。

Fig. 9 と Fig. 10 を比較すると、(12)式による反応の方が(11)式による反応より平衡に近いことがわかる。これは、Fig. 4 から 8 に示した非平衡度とも良く一致している。すなわち、スラグと溶鋼間のマンガン分配比は、りんの分配比より常に平衡に近いことがわかる。

Fig. 9 と Fig. 10 に示したスラグと溶鋼間の酸化物の化学ポテンシャル差を各種転炉ごとに比較すると、Q-BOP の結果が他と異なっていることは明らかである。すなわち、Q-BOP の場合は、化学ポテンシャル差が非常に小さいということである。このことはやはり、Fig. 4 から 8 に示した非平衡度の結果とも一致している。Q-BOP のこの傾向は種々の因子によると考えられるが一番大きい因子は底吹きガス流量が大きいことではないかと考えられる。

6. 考 察

6.1 計算に含まれる誤差

スラグと溶鋼間のりんの化学ポテンシャル差には ± 6.0 kcal の比較的大きな誤差が含まれている。この誤差の大部分は、水渡らが提案した式を用いてスラグ中の五酸化りんの活量を推定する際に、温度と組成の関数で外挿した手法から生じている。

鉄の化学ポテンシャル差の誤差は約 ± 2.0 kcal と考えられ、これは酸素の化学ポテンシャル差の誤差と同程度である。マンガン化学ポテンシャル差の誤差は約 ± 3.0 kcal と推定される。

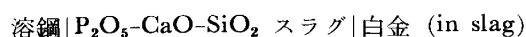
これらの誤差の大きさは、(6)式から(9)式に示す反応の標準自由エネルギーに含まれる誤差と、スラグ中に含まれる酸化物の活量を推定する際に生ずる誤差から推定される。ゆえに、この程度の誤差が Fig. 4 から 8 の各点に含まれていることになる。

本研究で計算に用いたスラグ中の酸素分圧が実際と異なっている場合には、さらに重大な誤差を生ずる。例えば Fig. 4 の場合、スラグ中の酸素分圧を 10^{-9} atm と仮定すると、りんの化学ポテンシャル差の値は 20 kcal 正の方向へ移動する。一方酸素は 4 kcal 負の方向へ移動する。そうすると溶鋼中に溶解している酸素濃度が 200 ppm 以上の範囲で、りと鉄は共にスラグから鋼浴へ移行する傾向にあることになる。また、同じ範囲で酸素とマンガンはスラグと溶鋼間で平衡の近傍にあることになる。ゆえにスラグや溶鋼の試料を採取する際に、LD や LD-AB, LD-OB, STB, Q-BOP 各転炉内のスラグ中の酸素分圧を常に厳密に直接測定しておくことが非常に重要である。本研究では過去に測定した酸素分圧を計算に用いたため、誤差の絶対値を推定するのは非常に困難である。

6.2 スラグ/メタル間の非平衡度とガルバニ電池の起電力の対比

本研究では、スラグと溶鋼間の成分の化学ポテンシャル差を非平衡度を表す一つの指標として定義した。この物理的意味をもう少し別の角度から考えてみる。

いま、スラグ相を電解質とし、一方の電極を溶鋼、他方の電極をスラグ中に浸漬した白金板とする電池を想定する。するとその電池式は次のようになる。



スラグ中のカルシウムイオンの輸率がほぼ 1 であることがわかっているため、スラグ中の酸化カルシウムの濃度勾配が非常に小さい場合には、(13)式の正味の電池反応は正味としては酸素の移行反応になる。この正味の電池反応の自由エネルギー変化より、(13)の電池の起電力 E は

$$E = \frac{\Delta G}{2F} = \frac{1}{2F} (\mu_{\text{O}}^{\text{s}} - \mu_{\text{O}}^{\text{m}}) \dots \dots \dots (14)$$

となる。これはスラグと溶鋼間の酸素の化学ポテンシャル差に比例し、スラグ/メタル間の非平衡度を電圧で考えてみた場合の関係式である。また(14)式は局部平衡を仮定すれば次式で表すこともできる。

$$E = \frac{\Delta G}{2F} = -\frac{1}{5F} (\mu_{\text{P}}^{\text{s}} - \mu_{\text{P}}^{\text{m}}) + \frac{1}{10F} (\mu_{\text{P}_2\text{O}_5}^{\text{s}} - \mu_{\text{P}_2\text{O}_5}^{\text{m}}) \dots \dots \dots (15)$$

右辺の第一項はスラグと溶鋼間のりんの化学ポテンシャル差であり、りんの移行による正味の電池反応の自由エネルギー変化を意味する。これはりんの非平衡度に等しい。また酸化物の化学ポテンシャル差は拡散ポテンシャルに等しいことがわかる。

本研究で求めたいわゆるスラグ/メタル間の非平衡度を、ひとつの類似の現象として「メタル|スラグ|白金」というガルバニ電池の起電力と対比して考えてみたが、これは今後の研究の発展の助けになるのではないかと考えられる。

7. 結 言

本研究では、スラグと溶鋼間の成分元素の化学ポテンシャル差を非平衡度の一つの指標として定義した。そして、種々の製鋼用転炉の吹錬終点時における非平衡度をスラグ中の酸素分圧の測定値を用いて計算し、次の結果を得た。

1) りん、マンガンおよび鉄に関する非平衡度は常に吹錬時間の経過と共に減少する。

2) 非平衡度は LD, LD-AB, LD-OB および STB 転炉ではほとんど同じ大きさであるが、Q-BOP 転炉の場合は非常に小さい。

3) スラグと溶鋼間の酸化物成分の化学ポテンシャル差は Q-BOP 転炉と LD 転炉の場合で異なつた特性を示している。

4) 吹錬終点時においてスラグは比較的大きな酸化力を有しており、LD, LD-AB, LD-OB, STB 法の場合、鋼浴からりんや鉄をスラグに移行させる傾向にある。

以上の解析結果は転炉内で起きている自然現象をより深く、より精緻に理解する上で有益であると信じられる

が、しかし本研究で用いたスラグ中の酸素分圧は、厳密には転炉吹錬中に連続的に測定したものではない。転炉の吹錬中に厳密にスラグ中や溶鋼中の酸素分圧の分布が測定できれば、もつと厳密な解析と考察ができるはずである。このような点は将来の研究課題と考えられる。

本研究を遂行するにあたり、貴重なデータを提供された川崎製鉄(株)江見俊彦氏、住友金属工業(株)丸川雄浄氏、新日本製鉄(株)梶岡博幸氏、日本鋼管(株)川上公成氏ならびに中村英夫氏、(株)神戸製鋼所 成田貴一氏、日新製鋼(株)森谷尚玄氏に深く感謝する。なお、本研究は第 12 回(昭和 58 年度)石原浅田研究助成金によつて行われた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- 1) M. KAWAKAMI, K. S. GOTO and M. MATSUOKA: Metall. Trans., 11B (1980), p. 463
- 2) 永田和宏, 中西恭二, 数土文夫, 後藤和弘: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 277
- 3) 永田和宏, 榎谷暢男, 角戸三男, 後藤和弘: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 2271
- 4) 大谷正康: 鉄冶金熱力学 (1971), p. 210[日刊工業新聞社]
- 5) 盛 利貞, 一瀬英爾, 諸岡 明: 鉄鋼便覧 I, 基礎 (日本鉄鋼協会編) (1970), p. 19 [丸善]
- 6) O. KUBASCHEWSKI and C. B. ALCOCK: Metall. Thermochem., 5th ed. (1979), p. 380 [Pergamon Press]
- 7) E. T. TURKDOGAN and J. PEARSON: JISI, 175 (1953), p. 398
- 8) E. T. TURKDOGAN and J. PEARSON: JISI, 175 (1953), p. 217
- 9) E. T. TURKDOGAN and J. PEARSON: JISI, 175 (1953), p. 393
- 10) 水渡英明, 井上 亮: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 186