

© 1991 ISIJ

寄 書

鉄鋼製錬過程のスラグの泡立ちについての 二、三の考察

向 井 楠 宏*

Some Views on the Slag Foaming in Iron and Steelmaking Processes

Kusuhiro MUKAI

1. 緒 言

スラグの泡立ちの研究は、1959 年の COOPER and KITCHENER¹⁾ の論文に始まると考えられるが、現在もお、製錬過程における泡立ち現象の本質は明らかになっていない。溶融還元、溶銑予備処理等、新製錬プロセス、既存プロセスの開発、改良により、泡立ちについての新たな問題も生まれてきており、より合理的なプロセスの創造、発展のためには、泡立ち現象の根本的な理解の必要に迫られている。

本報告は、これまでに報告されているおもな研究結果を整理検討し、泡立ちの研究における重要点の考察をとおして、これからの研究の進め方についての一つの視点を示そうとするものである。

2. 従 来 の 研 究

従来の研究は、泡立ち現象を、主として、スラグ性質との対応関係から解明しようとするものであった。この方法は、暗に、スラグ性質が製錬過程の泡立ちの支配的因子であることを認めた上でのものである。しかし、こ

の種の対応で得られる結果のいくつかは、Table 1 の例が示すように、互いに矛盾する。

これらの矛盾する結果は、(1)製錬過程の泡立ち現象とスラグ性質との対応関係を、そのまま因果関係に結びつけることへの疑問、特に、製錬過程の泡立ちを支配する主要因子が、スラグの表面張力、粘度等のスラグ性質以外の別のところにもある可能性、(2)Table 1 の各研究を含めての実験室的研究から実操業にわたる各種条件下での泡立ちを、同一の泡立ち現象として扱えるか否かの疑問、を十分に検討する必要があることを示している。そのためには、まず、泡立ちの定義を明確にし、これまでに報告されている各種条件下で生じる泡立ちの位置づけを、適確な座標系を用いて、明確にする必要がある。そして、座標上に位置づけられた泡立ちを整理、解析し、ついで相互の関連を含めて、統一的に解明していくことが必要であろう。

3. スラグの泡立ちとは

各種製精錬プロセスで操業上問題とされる“スラグの泡立ち”とは、Fig. 1 に示すように、スラグの泡立ち(ま

Table 1. Conflicting results in literatures concerning foaming of slags containing FeO.

Properties of slag phase	Foam height	Foaming system	Literature
Basicity, C/S	Maximum around C/S=1~1.5 Minimum around C/S=1.2	Slag+Metal Slag	KITAMURA and OKOHIRA ²⁾ ITO and FRUEHAN ³⁾
	Decrease with decreasing C/S Increase with decreasing C/S Increase with decreasing C/S	Slag+Metal Slag Slag	KITAMURA and OKOHIRA ²⁾ ITO and FRUEHAN ³⁾ HARA <i>et al.</i> ⁴⁾
Viscosity Surface tension	Maximum at the lowest viscosity Increase with increasing viscosity Decrease with increasing surface tension Increase with increasing surface tension and viscosity	Slag+Metal Slag Slag Slag+Graphite	KITAMURA and OKOHIRA ²⁾ ITO and FRUEHAN ³⁾ HARA <i>et al.</i> ⁴⁾ SUGATA <i>et al.</i> ⁵⁾
Solid phase	Decrease due to the precipitation of solid phase Increase due to the presence of solid particle Increase due to the presence of solid suspension	Slag+Metal Slag BOF process	KITAMURA and OKOHIRA ²⁾ ITO and FRUEHAN ³⁾ KOZAKEVITCH ⁶⁾

C/S : (%CaO)/(%SiO₂)

平成 2 年 6 月鉄鋼基礎共同研究会第 10 回界面移動現象部会にて発表 平成 2 年 9 月 10 日受付 (Received Sep. 10, 1990)

* 九州工業大学工学部 工博 (Department of Materials Science and Engineering, The Kyushu Institute of Technology, 1-1 Sensui-cho Tobata-ku Kitakyushu 804)

Key words : slag foaming; iron and steelmaking processes; definition of slag foaming; bubble size; evolution rate of carbon monoxide; depth of furnace or vessel.

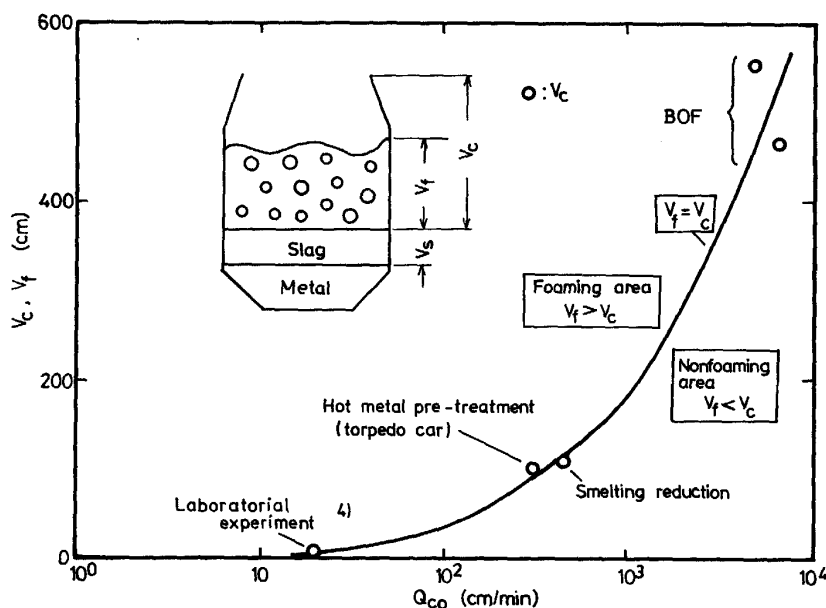


Fig. 1. Slag foaming in various metallurgical processes expressed on the map containing two coordinate axes, Q_{CO} and V_c , V_f .

たは膨張) 高さ V_f が、容器または、炉の深さ V_c を超える場合であり、この状態が、実操業での泡立ちの定義に相当すると考えられる。従来の実験室的研究では V_f がるつば深さ V_c を超えぬ場合でも、 V_f の大小で、泡立ちの程度を表示してきた。この場合、るつばをより浅くしないと“スラグの泡立ち”にはなりえない。それゆえ、Fig. 1 の実験室的研究は、図に示す V_c より小さい値での“泡立ち”を対象としていることになる。なお、 V_s は、泡立ち前のスラグ相の厚さである。

FeO を含むスラグ泡沫の寿命は短く、不安定泡沫とみなせる⁴⁾ので、泡立ちの主因の一つは、起泡力、すなわちスラグ融体への気体の供給速度にあると考えられる。また、泡沫の安定性は小気泡ほど大きくなることが知られており⁷⁾、小気泡を高速で供給することが、泡立ちの促進に有効に作用すると考えられる。(FeO) と C との反応により発生する CO 気泡は小さいものが多いと考えられる⁸⁾。そこで、各種プロセスのスラグ-メタル間の単位界面積をととしてスラグ相内に供給される CO 気泡の速度 Q_{CO} と V_c との関係を示したのが Fig. 1 である。なお実験室的研究の代表例として示した原ら⁴⁾の研究の Q_{CO} には、細管より供給されるアルゴンガスの速度を用いた。図で、実線より上の範囲は、 $V_f > V_c$ であり、“泡立ち”の発生領域にある。

Fig. 1 より、泡立ちの主因をなす Q_{CO} は、実験室的研究の泡立ちを含めると、1~数百倍の範囲の値をとり、 V_c 、すなわち“泡立ち”に必要なスラグ泡沫の高さも1~数十倍の範囲の値になる。そのうえ実験室的研究の Q_{CO} , V_c は、実操業の泡立ちの値とは、はるかに離れたところにある。同様のことは、スラグ体積の膨張比 $1 + V_f/V_s$ についてもいえる。また、小さなるつば中での

泡立ちには、新しい因子としてのるつばの内径が影響する可能性もある⁹⁾。実操業の場合でも、たとえば、溶銑予備処理炉で問題となる“泡立ち”が、転炉の場合には、同じ Q_{CO} では、問題にならないであろう。

実験室的研究の泡成ちは、 Q_{CO} が非常に小さく、 V_f が V_c を超えることがほとんど無い領域での現象であるので、“泡成ち”，あるいは泡成ち高さへのスラグ性質の寄与が重要になると考えられる。しかし Q_{CO} を大きくしていつて、 $V_f \gg V_c$ となり、スラグ性質を変えるだけでは、“スラグの泡成ち”を抑えることができなくなった場合、“泡成ち”に対するスラグ性質の寄与はほとんど考慮する必要がなくなる。激しくスラグを噴出する溶銑予備処理炉での“泡成ち”は、Fig. 1 で Q_{CO} が増大して右側へ移動し、 $V_f \gg V_c$ の状態に近いことを示唆する。

したがって、“スラグの泡成ち”を調べる場合には、Fig. 1 のどこの、どのような状態の泡成ちなのかを明確にし、実験と解析を進めることが重要になる。

4. これからの研究のポイント

以上の考察より、製錬プロセスにおける“泡成ち”の主因は Q_{CO} が大で、しかも Q_{CO} が、大部分、小気泡の形で供給されることにあると考えられる。これまでの実験室的研究、すなわちスラグ融体に細管から気泡を供給する実験では、 Q_{CO} 、気泡の大きさ、 V_c 等が、実操業の場合と著しく異なる。Table 1 に例示された矛盾の幾つかは、このことに原因すると考えられる。

これからの研究では、それゆえ、(1)(FeO) と C との反応における CO 小気泡の高速発生メカニズムの解明、(2)(1)の CO 発生反応条件下で生じるスラグ

の泡立ち現象の解明, が重要と思われる。(2)の状態でのスラグの泡立ちに対する主要因子が明らかになれば, 実操業における“泡立ち”防止策の基本方向も明らかになるものと思われる。

すでに, CO 小気泡の高速発生については, 著者らにより, スラグとメタルとの濡れ性が良いこと¹⁰⁾と, 両相界面でのマランゴニ効果による界面攪乱の生起⁸⁾が主因とする考えが提出され, それについての実験的解明も一部^{11)~13)}なされつつある。さらに, 最近になり, 徳光ら^{14)~16)}により, (FeO)とCとの反応によるCO小気泡の発生状態の鮮明な観察結果が報告されつつある。

本報告をまとめるにあたり, 貴重な討論をいただいた, 日本鉄鋼協会鉄鋼基礎共同研究会界面移動現象部会各委員(部会長東北大選研徳田昌則教授), および九州工業大学中村 崇助教授に感謝致します。また, Fig. 1の作成に際して, 貴重なデータをいただいた新日鉄八幡技研の北村信也氏に感謝致します。

文 献

1) C. F. COOPER and J. A. KITCHENER: Iron Steel Inst., **193** (1959), p. 48

- 2) 北村信也, 大河平和男: 第 71 回日本金属学会, 日本鉄鋼協会九州支部合同学術講演会講演概要 (1990), p. 63
- 3) K. ITO and R. J. FRUEHAN: Metall. Trans. B, **20** (1989), p. 509
- 4) 原 茂太, 生田昌久, 北村光章, 荻野和巳: 鉄と鋼, **69** (1983), p. 1152
- 5) 須賀田正泰, 杉山 喬, 近藤真一: 鉄と鋼, **58** (1972), p. 1363
- 6) P. KOZAKEVITCH: J. Met., **21** (1969), p. 57
- 7) J. J. BIKERMAN: Foam (1959), p. 42 [Reinhold Publishers]
- 8) 向井楠宏: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 260
- 9) 原 茂太, 河合浩之, 荻野和巳: 私信 (1990 年 6 月)
- 10) 寺島英俊, 中村 崇, 向井楠宏: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 1132
- 11) 寺島英俊, 中村 崇, 向井楠宏: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 98
- 12) 中村 崇, 横山光一, 野口文男, 向井楠宏: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 100
- 13) 向井楠宏, 野崎博司, 有川孝俊: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 137
- 14) 小川雄司, 徳光直樹, 石川英毅: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 173
- 15) 辻野良二, 荻林成章, 徳光直樹, 小川雄司, 相田英二: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 1065
- 16) 小川雄司, 徳光直樹, 石川英毅: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 99