

スラグの泡立ち現象のX線透視観察

小川 雄司*・徳光 直樹*²

X-ray Fluoroscopic Observation of Slag Foaming

Yuji OGAWA and Naoki TOKUMITSU

Synopsis : Slag foaming caused by slag/metal reaction in a graphite crucible was observed with X-ray fluoroscopic apparatus in order to make clear the effect of bubble size on the foam height and the distribution of bubbles in slag. It was observed that the foam layer was formed when CO bubbles evolved at slag/metal interface became less than approximately 2 mm in diameter. The foam height increased with the decrease of bubble size even in case of almost the same gas evolution rate. The size of bubbles decreased with the increase of iron oxide content in slag and the decrease of sulphur content. It is considered that the bubbles become smaller when slag is wettable with metal. Therefore, the physical properties of slag/metal interface also affect the foam height besides the surface tension or viscosity of slag because they change the bubble size.

Key words: slag foaming; X-ray fluoroscopy; bubble size; iron oxide; sulphur; slag/metal interface.

1. 緒言

鉄鋼精錬工程における熔融スラグの泡立ち現象は、転炉や溶銑予備処理、熔融還元、化石燃料を用いたスクラップ溶解等の上吹き酸素を使用するほとんどの精錬プロセスにおいて、その発生が認められる。スラグが激しく泡立つと、時として地金を伴い炉口より大量にスラグが逸出するスロッピングと呼ばれる現象が発生する。その鎮静化のためには操業を中断せざるを得ず、炉下等の復旧作業に幾時間も要し、生産性や作業性に著しい影響を及ぼすため、スロッピングの起因となるスラグの泡立ち現象の本質的な機構解明が望まれている。

スラグの泡立ち現象については古くから数多くの研究がなされているが、その多くはスラグの物性と泡の安定性との関係を調べたものであり、泡立ったスラグ内部の構造や泡立ちの直接の原因であるCO気泡の発生、分布挙動といった物理的な側面から調査した研究は少ない。

高温の炉内での反応挙動を直接観察する手法としてはX線透視法が広く用いられており、シリカの還元反応¹⁾や鉄鉱石の熔融還元反応²⁾、黒鉛による含酸化鉄スラグの還元反応³⁾を観察した例などが報告されている。スラグ中酸化鉄とメタル中Cのスラグ/メタル界面反応により発生するスラグの泡立ち現象を直接X線透視により観察した例についても、いくつか報告されている⁴⁻⁸⁾。特に寺島ら⁸⁾は、発生するCO気泡の寸法が泡立ちに重要な役割を果たすことを報告している。

本研究では、スラグの泡立ち過程および泡立ち発生時の

スラグ内部の機構を明確にするとともに、発生するCO気泡の寸法や気泡の分布状況、またそれらに及ぼすスラグやメタルの界面物性の影響を調べることを目的に、X線透視法による小型実験を行った。

2. 実験方法

実験装置の概略をFig. 1に示す。スラグとメタルの溶解には、炭化珪素を発熱体とする電気抵抗炉（ヒーター容量：10.5 kW、電圧：AC200V、最高加熱温度1773K）を用いた。炉の中心部に内径82 mm、外径90 mm、高さ600 mmのムライト製(SiO₂37%、Al₂O₃60%)の炉芯管があり、その中に約100 mmのストロークで昇降が可能なつぼ支持台を設け、X線画像の視野はつぼの昇降により調節することができるようにした。また、事前に熱電対で測定した炉芯

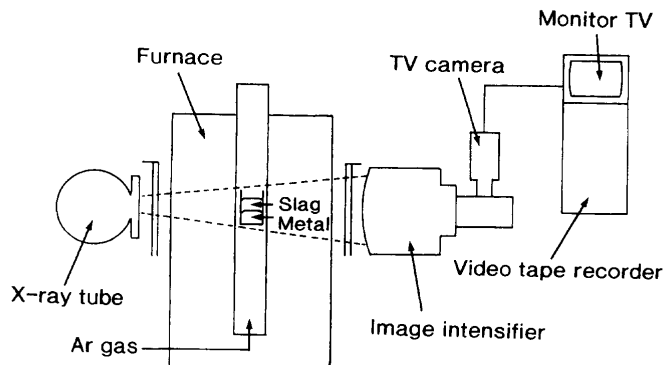


Fig. 1. Experimental apparatus for X-ray fluoroscopic observation.

平成12年8月23日受付 平成12年10月6日受理 (Received on Aug. 23, 2000; Accepted on Oct. 6, 2000)

* 新日本製鐵(株)鉄鋼研究所(Steel Research Laboratories, Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futtsu 293-8511)

*² 新日本製鐵(株)(現:秋田工業高等専門学校)(Nippon Steel Corp., now Akita National College of Technology)

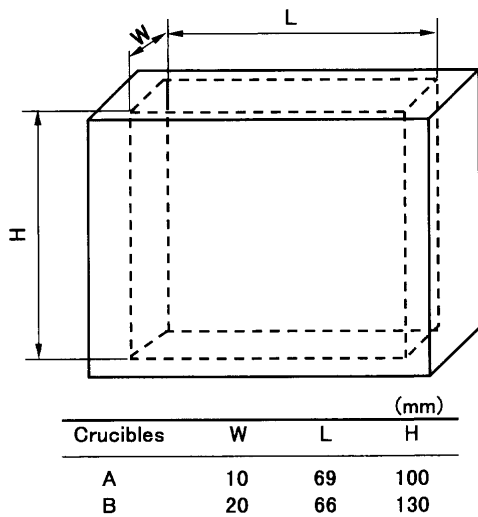


Fig. 2. Dimensions of graphite crucibles.

管内部の $\pm 20\text{K}$ の範囲の均熱帯は高さ方向で約150mmであった。X線強度の減衰をできるだけ防止するため、X線の通過部に沿って炉体の中心部にX線発生器側の内径が100mmでイメージインテンシファイア(X線画像増幅器)側の内径が110mmのX線通過孔を設け、熱遮蔽のために入口と出口のみ厚み約10mmの綿状の耐火材で塞いだ。つぼは、Fig. 2に示すような矩形断面を持つ薄い黒鉛性のものを使用した。

黒鉛のつぼ中に120gの電解鉄と100gの所定のフラックスを入れて溶解し、自動温度調節器により $1773\pm 10\text{K}$ に保持した。溶融した炭素飽和の鉄浴とスラグ浴中に上部から酸化鉄を添加し、溶鉄中炭素とスラグ中酸化鉄とのスラグ/メタル反応によるCO気泡の発生挙動およびそれに伴い発生するスラグの泡立ち現象をX線透視により観察した。X線発生装置は最大管電圧300kV、管電流4.0mA、X線焦点1.5mm角のものを使用した。なお、炉芯管底部からArガスを吹込み、Ar雰囲気中で実験を行った。

また、観察像はイメージインテンシファイアで増幅した後、S-VHS方式で毎秒60コマのVTRに記録した。動きの速いものを観察する際には、毎秒最大400コマの高速VTRを使用した。スラグ内部の気泡の寸法やスラグ高さは、記録したビデオ画像を処理して測定した。

気泡の寸法については、スラグ/メタル界面から発生した直後のほぼ球形となった気泡を静止画像から数個から十数個抽出し、その直径の平均値を求めた。同一時点で発生する気泡の直径は、後述するような泡沫層がスラグ/メタル界面まで到達した状態で大気泡と微細気泡が混在する場合を除いては、すべて平均値の $\pm 10\%$ 偏差以内であった。また、直径が1mm未満の微細な気泡については、定量的な測定はできなかった。

主な実験内容は下記の2種類である。

Table 1. Initial slag composition.

(a) Slag based on blast furnace slag

(mass%)							
CaO	BaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO	S
33.8	10.0	37.5	13.1	3.7	~1	~1	0.7

(b) Synthetic slag

(mass%)				
CaO	BaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
33.8	10.0	37.5	14.1	4.7

Table 2. Iron state of iron ore pellet used in the experiment with blast furnace slag.

(mass%)			
T. Fe	M. Fe	Fe ²⁺	Fe ³⁺
64.8	0.13	0.18	64.5

(1) スラグの泡立ちの発生過程観察

実プロセスに近い形でスラグの泡立ちの発生過程を観察するため、フラックスとしては高炉水砕スラグに無水ケイ酸試薬(特級)を加えたものを使用した。さらに、スラグと気泡のコントラストを強調して画像をより鮮明なものにするため、密度以外の物性にあまり影響を及ぼさないとと思われるスラグ量の10mass%のBaOをモル等価のCaOと置換した。配合スラグの計算上の組成をTable 1(a)に示す。また、酸化鉄としては直径11~18mm、質量3~8gの鉄鉱石ペレットを用いた。使用した鉄鉱石ペレット中の鉄の状態を分析した結果をTable 2に示す。酸化鉄の還元率は平均で0.29%(Fe₂O₃組成で0%, Feで100%)であり、酸化鉄のほぼ全量がヘマタイト組成である。鉄鉱石ペレットが全量溶解したときのスラグ中T.Fe濃度が15%となるよう、スラグ100gに対し、添加するペレットの総重量を30.1gに調整した。

(2) 硫黄添加が泡立ちに及ぼす影響

高炉スラグ中には溶鉄の表面活性元素である硫黄が0.7~0.8mass%含まれており、この硫黄が溶鉄中に移行して発生CO気泡の寸法や泡立ち高さに影響を及ぼすことが考えられる。そこで、試薬のCaO、SiO₂、Al₂O₃、MgOを配合し、上記と同じ要領でBaOをCaOと置換した計算上でTable 1(b)に示す組成となるフラックスをスラグとして使用した。スラグとメタルの溶融後に、スラグ重量の最大1mass%の硫黄をFeSの形で添加した。FeSを添加した10分後に酸化鉄を添加し、スラグ内部の状況をX線透視観察した。この実験で使用した酸化鉄は酸化第一鉄試薬(FeO 92.35mass%, 全Fe分71.79mass%)である。添加した酸化鉄が全量溶解したときのスラグ中T.Fe濃度が15mass%となるよう、スラグ100gに対し酸化鉄の添加量は26.4gと

した。

これらの実験では、高強度のX線を使用するため、実験装置は鉛壁で隔離された部屋に設置されており、スラグのサンプリングが行えなかった。そこで、試薬を用いて硫黄を添加した実験では、X線を使用しない全く同じ実験を別途実施し、スラグの連続サンプリングを行ってスラグ中T.Fe濃度の変化を分析した。

3. 実験結果および考察

3.1 スラグの泡立ちの発生過程

高炉スラグを用いた実験において、スラグの泡立ちの発生過程を観察した。

鉄鉱石ペレットを添加すると、添加直後からペレットの周囲に微細な気泡が多数発生した。鉄鉱石ペレットは、Fig. 3にX線透視画像を示すように、この発生ガスに包まれた状態となり、その浮力のため最後までスラグ表面で溶解した。静止画像での判定は困難であるが、VTRで動的に観察するとペレットを包むガスは一つの膜にはなっておらず、微細な気泡が多数集積している状態であった。なお、

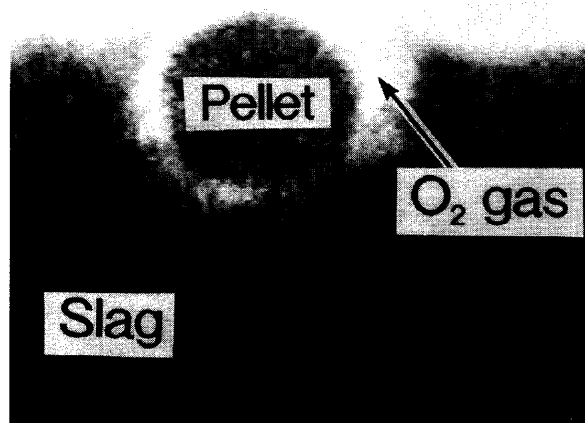


Fig. 3. X-ray fluoroscopic image of iron ore pellet dissolving in the slag.

X線画像から判断されるペレット添加から溶解完了までの時間は2分~2分30秒であった。

この鉄鉱石ペレットを溶融スラグ中に添加したときに発生する気泡のガス成分を質量分析計により測定するとO₂ガスと同定された。Fe-O系の状態図⁹⁾からも、実験を行った1773Kでは空気中でもマグネタイト組成までは熱分解が進行すると考えられる。実験は更に酸素分圧の小さいAr雰囲気中で行っており、ペレット中のヘマタイトが熱分解によりマグネタイトになるときに発生するO₂ガスと推定される。

この鉄鉱石ペレットの溶解時に発生する酸素ガスの微細な気泡により、スラグの上面のみ泡立ちが起こる現象が観察された。この泡立ちはペレット添加後約2分30秒で収まったが、その後、スラグの泡立ち現象の本質であるスラグ/メタル界面から発生するCO気泡による泡立ちが観察された。その泡立ちの過程のX線透視画像を模式図と併せてFig. 4に示す。

鉄鉱石ペレットを添加すると、ペレットの溶解に伴いスラグ中の酸化鉄濃度が徐々に増加していくと思われるが、ペレットを添加して約30秒後に、スラグとメタルの界面から、直径約6mmのCO気泡が離脱・浮上し始めるのが観察された。このとき、スラグ/メタル界面は中央部がやや盛り上がり、界面の端部、すなわち黒鉛るつぼとスラグ、メタルの3相の境界を核として発生したと思われる気泡が成長しつつ界面上を中央部へと移行してくる様子が観察された。その途中で単独で成長するものも、あるいは界面上で合体するものも認められたが、約6mmのほぼ同じ大きさになった段階で、界面から離脱していった。気泡の発生頻度は徐々に高くなっていき、スラグ中の酸化鉄濃度が増加して還元反応によるCOガス生成速度が増加している段階と思われる。また、この初期の段階では、Fig. 4(a)に示すように、気泡が溶融スラグ内を自由に浮上する気泡分散層となっており、泡沫の形成は観察されなかった。

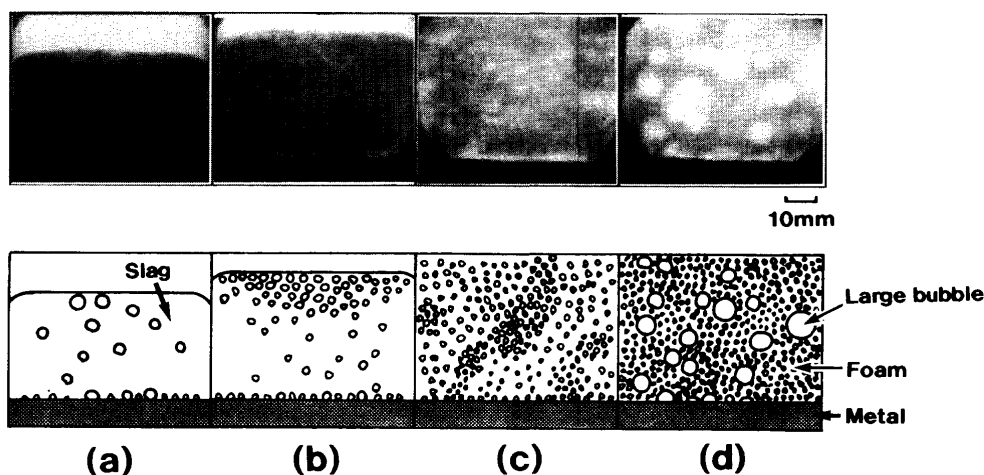


Fig. 4. X-ray fluoroscopic images of slag foaming after addition of iron ore pellets.

その後、時間経過とともにスラグ/メタル界面から離脱するCO気泡の寸法は益々減少し、Fig. 4(b)に示すように、ペレット添加約3分後からスラグ上部から泡沫の層が形成され、気泡分散層との2層になるのが観察された。CO気泡の寸法が減少するのは、後述するように鉄鉱石ペレットの溶解に伴い、スラグ中の酸化鉄濃度が増加し、スラグ/メタルの界面物性が変化するためと推定される。また、上部の泡沫層は2mm以下の微細な気泡によって形成されていた。

上部の泡沫層が形成され始めて約30秒後（ペレット添加約3分30秒後）には、泡沫層はスラグ/メタル界面まで到達した(Fig. 4(c))。微細な気泡の発生・離脱は周りの泡沫層により観察できなくなったが、この時点から直径10mm以上の非常に大きな気泡が時折スラグ/メタル界面から離脱し、泡沫の中を上昇していくのが観察された(Fig. 4(d))。この大気泡の生成原因は明らかではないが、微細気泡が最密充填構造的に詰め込まれた泡沫の中に更に大量の気体が入り込もうとするときに、気体分率が大きくなれるよう、大気泡となってから離脱するものと考えられる。この大気泡は、スラグ中を速やかに抜けていき、大気泡の生成開始後すぐに（ペレット添加約3分40秒後）スラグ高さは減少に転じているため、泡立ち高さにほとんど寄与していないものと推定される。

泡立ちの減衰過程に入ると、泡沫層から流れ落ちてきたスラグが下部から次第に溜まってきて、再びFig. 4(b)のように泡沫層と気泡分散層との2層に分かれるのが観察された。それとともに、界面から発生するCO気泡は徐々に大きくなり、再び直径6mm程度になった。泡沫層の厚みは徐々に小さくなり、ペレット添加後約11分にほぼ消滅した。泡沫層が存在する間は、スラグ/メタル界面から発生する直径5~6mmの気泡は、気泡分散層から泡沫層を速やかに抜けていく様子が観察され、やはり泡立ち高さにはほとんど寄与していないと考えられる。また、その気泡は、分散層から泡沫層中に入り込むと直ちに直径10mm程度まで膨張するのが認められた。この理由も、上述の大気泡の生成原因と同一と考えられる。なお、泡沫層中の微細気泡同士の合体は観察されなかった。

3.2 気泡寸法が泡立ち高さに及ぼす影響

Fig. 5に上記の実験におけるスラグ高さとしてスラグ/メタル界面から発生するCO気泡の直径の経時変化を示す。横軸は、鉄鉱石ペレット添加からの時間を示す。また、スラグ高さは、鉄鉱石ペレット添加前の初期スラグ高さ H_0 との比で表した。

スラグ/メタル界面からの発生CO気泡径が2mm以下になると、スラグ高さが急激に増大し、初期高さの3倍以上となった。その後、気泡が再び大きくなっていくにつれてスラグ高さも減少し、鉄鉱石ペレット添加後約10分以降は、気泡の直径は約6mmで一定となり、スラグ高さも

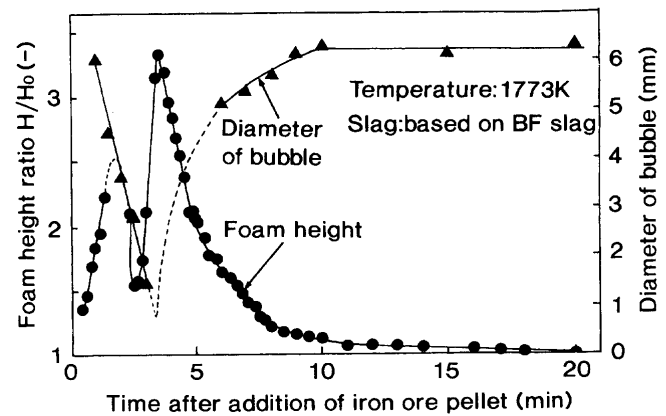


Fig. 5. Change in foam height ratio and bubble size evolved at slag/metal interface in case of the experiment using blast furnace slag and iron ore pellets.

ほぼ初期の高さに戻った。したがって、微細な気泡の発生が泡立ちが増大する時期とほぼ一致している。

ただし、本実験はスラグ中の酸化鉄の還元反応によりCOガスが発生しており、ガス発生速度も時々刻々変化している。すべての鉄鉱石ペレットの溶解完了が約2分30秒であり、最もスラグ中酸化鉄濃度が高くなりガス発生速度も高いと思われる時期に泡立ちが増大し始めており、泡立ち高さが減衰する時期には還元が進みガス発生速度が低下していると思われる。そのため、泡立ち増大の要因としては、気泡の微細化とガス発生速度の増大の両方が考えられる。

一方、スラグ高さの最初のピークは前述した鉄鉱石ペレットから発生する酸素気泡による泡立ちを示している。この場合、ガス発生速度はそれほど大きくないにも関わらず泡立ちが大きく、酸素気泡が微細なことが泡立ち増大の要因と言える。

また、泡立ちが減衰する過程においては、①スラグ/メタル界面から発生するCO気泡は直径10mm程度の寸法で泡沫層中を速やかに抜けていくこと、②この大きなCO気泡がスラグに対して占める体積割合は高々10%であることから、この時期に発生するCO気泡は泡立ち高さにあまり寄与しないと考えられる。そこで、発生ガス量は0に等しいと仮定すれば、立川ら¹⁰⁾やItoら¹¹⁾と同様にスラグ高さの減衰速度から(1)式を用いて泡の寿命を求めた。

$$\frac{dH}{dt} = -\frac{H-H_{\infty}}{\tau} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 H はスラグ高さ(m)、 t は時間(s)、 H_{∞} は最終のスラグ高さ(m)、 τ が泡の寿命(s)である。

Fig. 6に泡立ちの減衰過程におけるスラグ高さの経時変化を片対数目盛で示す。スラグ高さは一次反応的に減衰しており、(1)式の妥当性を示している。この実験における泡の寿命は約2分と推定された。この値は、Itoら¹¹⁾が報告した10秒以下という値と比較して10倍以上大きい。本実

験での泡沫を形成する気泡の直径は2mm以下の微細なものであるのに対し、Itoらの実験はガス吹込みによる実験であるため、発生する気泡の直径は約1cmと大きなものであった。泡の寿命の違いは、この気泡径の差に起因しているものと推定される。

次に、Table 1(b)に示した試薬を配合したスラグを用い

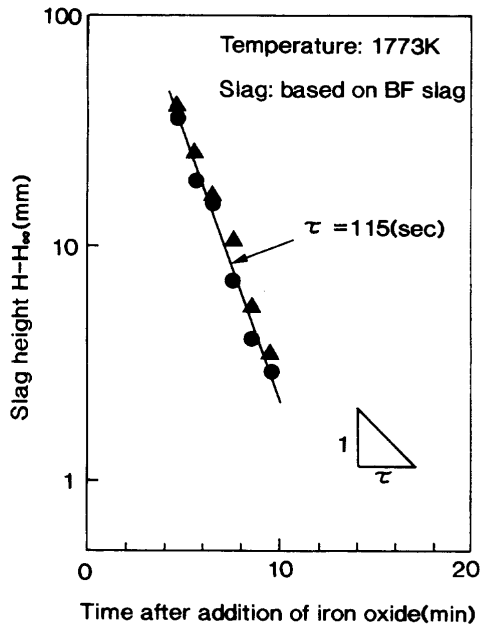


Fig. 6. Change in slag height with time. (τ is the calculated foam life.)

た実験において、硫黄添加量を変えたときのスラグ高さの経時変化をFig. 7に示す。実験点の種類はそのときスラグ/メタル界面から発生したCO気泡の大きさを示している。硫黄を添加しない場合は、Fig. 8(a)に示したX線透視画像のように極めて微細な気泡群が煙のように発生し、泡立ち高さが大きかった。硫黄添加量を増大すると発生するCO気泡の直径は増大し、それとともに泡立ち高さは小さくなった。Fig. 8(b)に、硫黄をスラグ量の0.4 mass%添加したときの気泡発生状況を撮影したX線透視画像を示す。

一方、硫黄添加量によるスラグ中酸化鉄の濃度変化の影響をFig. 9に示す。泡立ち高さが最大となる酸化鉄添加後

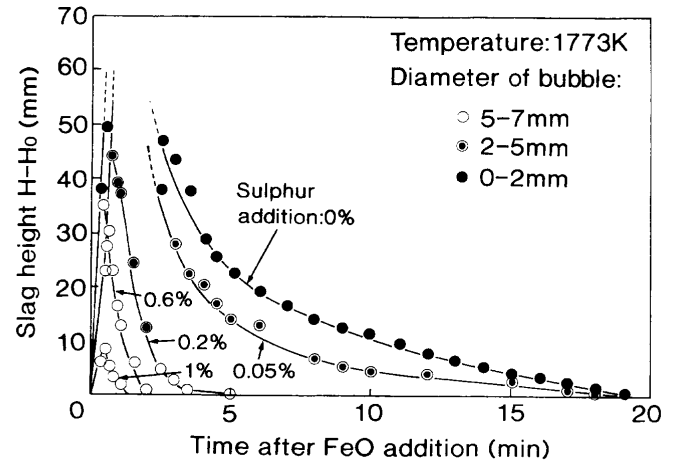
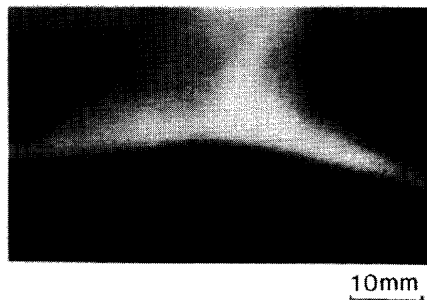
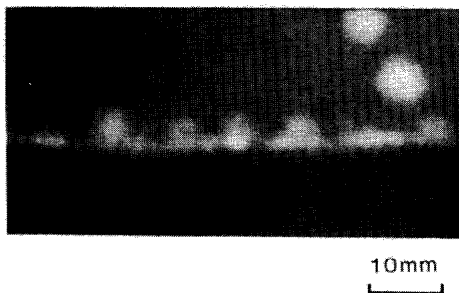
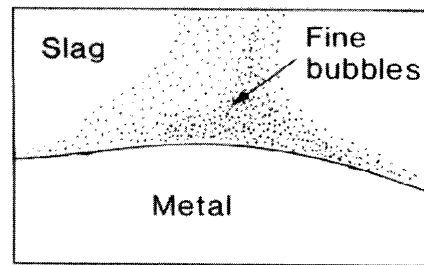


Fig. 7. Effect of sulphur on foam height.



(a) without sulphur addition



(b) with sulphur addition (0.4 mass% of slag)

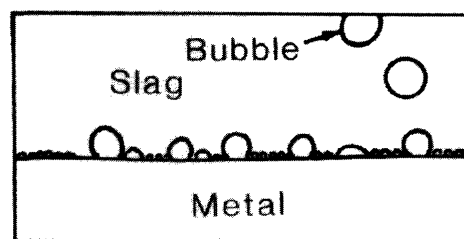


Fig. 8. X-ray fluoroscopic images of bubbles evolved at slag/metal interface.

2分以内の時間においては、硫黄添加量によるスラッグ中酸化鉄の還元速度には大きな差は認められない。したがって、硫黄添加量による泡立ち性の相違は、COガスの発生速度が変化したためではないものと言える。

また、スラッグ中酸化鉄の還元の進行によりスラッグの物性も変化する。この物性変化も泡の寿命に影響を及ぼすと考えられる。そこで、Table 1(b)に示した組成のスラッグにFeOが20%、10%添加された場合とFeOのない場合の3ケースについて、スラッグの粘度、表面張力、密度を推定し、Itoら¹²⁾がCaO-SiO₂-FeO-Al₂O₃系スラッグについて導出した下式で示されるフォーミングインデックスΣを用いて、泡の寿命に対するFeO濃度の影響を検討した。

$$\Sigma = 5.7 \times 10^2 \frac{\mu}{\sqrt{\rho \gamma}} \dots\dots\dots (2)$$

ここでスラッグの粘度μ (Pa·s)の推定にはUrbain¹³⁾が導出した式を、表面張力γ (N/m)と密度ρ (kg/m³)の推定にはMillsら¹⁴⁾が提示した式を用いた。ただし、BaOを含む系については各物性値の推定式が適用できないため、BaOをCaOとモル等価で置換する前のスラッグ組成を用いて計算を行った。

計算結果をTable 3に示す。スラッグ中FeO濃度の増加とともに、粘度は減少し、表面張力と密度は増加するため、

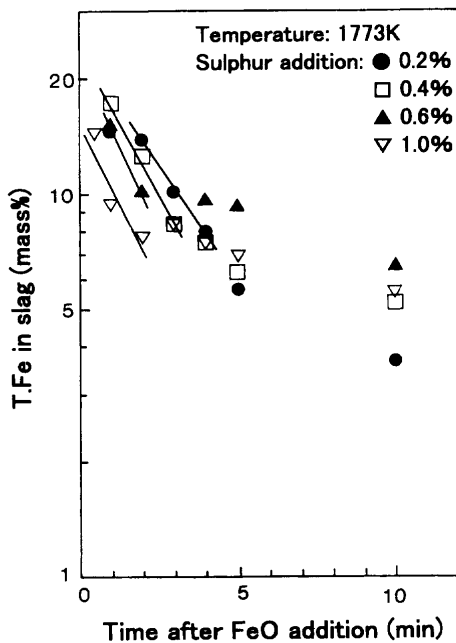


Fig. 9. Influence of sulphur addition on the reduction rate of iron oxide in slag.

いずれもフォーミングインデックスΣを減少させる方向に働く。すなわち、スラッグ中FeO濃度の増加は、スラッグのバルク物性としては泡立ちを減少する作用があると推定される。しかしながら、本研究での試薬を配合したスラッグを用いた泡立ち実験においては、酸化鉄が溶融しスラッグのFeO濃度が高い段階では泡立ち高さが大きい。これはCOガス発生速度が大きいことと発生気泡が微細になっているためであると言える。

以上のことから、試薬を配合したスラッグを用いた実験において硫黄添加量を少なくするほどスラッグの泡立ち高さが増大したのは、発生するCO気泡の寸法が小さくなったのが主要因であると結論できる。

また、上記の検討のように、スラッグの泡立ち性をスラッグのバルク物性だけでは論ずることはできず、COガスの発生速度と発生気泡の寸法を同時に考慮する必要があることは明白であり、スラッグの泡立ち高さを予測する場合に発生気泡径の予測も極めて重要であることが再認識された。

3.3 スラッグ/メタル界面物性が発生気泡の寸法に及ぼす影響

硫黄添加量とスラッグ中の酸化鉄濃度がスラッグ/メタル界面から発生するCO気泡の直径に及ぼす影響を整理したものをFig.10に示す。酸化鉄濃度はスラッグ中のトータル鉄分濃度(T.Fe)で示してある。硫黄をスラッグの0.4 mass%以上添加した場合、すべてのCO気泡は直径約6mmの大きな気泡であった。硫黄濃度が減少するほど、またスラッグ中T.Feが増加するほど気泡径は減少し、硫黄を添加しない場合は直径1mm以下の気泡しか発生しなかった。

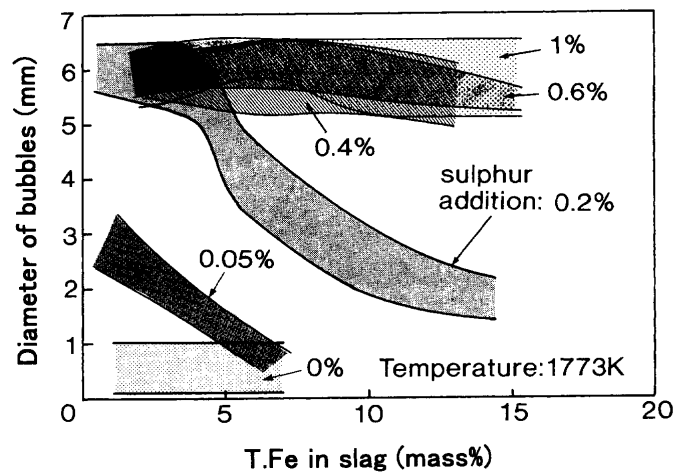


Fig. 10. Effects of iron oxide and sulphur in the bubble size evolved at slag/metal interface.

Table 3. Relationship between the content of iron oxide in slag and foaming index Σ.

Slag composition (mass%)					μ (Pa·s)	γ (N/m)	ρ (kg/m ³)	Σ (sec)
FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO				
0	40	40	15	5	0.821	0.481	2740	12.9
10	36	36	13.5	4.5	0.596	0.495	2870	9.0
20	32	32	12	4	0.446	0.510	3010	6.5

阿野ら⁷⁾のX線透視観察では、硫黄濃度等の界面活性成分の濃度は明記されていないが、スラグ中FeO濃度が高いときにはスラグ/メタル界面からは微細な気泡が発生し、それが合一して大気泡となっており、FeO濃度が低いときに気泡径が増大する様子が観察されており、定性的には本研究の結果と一致する。また、天辰⁶⁾の観察では、スラグ中酸化鉄濃度が低い場合でも微細な気泡が発生しており、本研究での硫黄を添加しなかった時の観察結果と一致する。天辰の観察において、スラグ中FeO濃度が高く気泡が激しく発生しているときに泡沫層内部で直径5~20mmの大気泡が観察されるのは、本研究において泡立ちの発生過程を観察した際、泡沫層がスラグ/メタル界面まで達したときに認められた大気泡の発生と同一の現象と考えられ、界面での微細気泡の発生は継続しているもののスラグ全体が泡沫層になっているために識別できなかったのではないかとと思われる。

また、寺島ら⁸⁾のX線透視観察の結果では、反応する2相間の濡れ性が発生気泡の寸法に大きな影響を与えており、スラグと濡れにくいカーボンロッドとの界面から発生する気泡の寸法は大きい、スラグと濡れやすい溶鉄との界面から発生する気泡寸法は小さいことを報告している。

スラグ/メタル界面から離脱する気泡の大きさは、スラグバルクの流動や界面の擾乱などから気泡が受ける力が無視できるとすると、気泡の浮力と界面への付着力の静的な釣合いにより決定されると考えられる。この考えに基づいた理論計算については著者らが既に報告している¹⁵⁾が、スラグ/メタル間の接触角が小さくなるほど気泡径が小さくなることが判明している。

向井ら¹⁶⁾は、含FeOスラグと溶鉄との接触角を測定し、スラグ中FeO濃度が高くなるとスラグと溶鉄の濡れ性が良くなり接触角は急激に小さくなることを示した。また、Crambら¹⁷⁾は、Gayeら¹⁸⁾の測定を基にスラグとFe-S-O融体との接触角に対するメタル中の酸素濃度と硫黄濃度の影響をまとめているが、それによると、いずれも溶鉄の表面張力を下げる界面活性元素であるが、メタルの表面張力とスラグ/メタル界面張力に与える影響の度合いの差から、メタル中酸素活量は増加するほど硫黄活量は減少するほど、スラグとメタルの濡れ性は良くなり接触角が減少する。したがって、メタル中の硫黄濃度が低いほど、またスラグ中の酸化鉄濃度やメタルの酸素濃度が高いほど、スラグ/メタル間の濡れ性が良くなり、発生する気泡が小さくなることと推定できる。

4. 結言

X線透視法を用いて、スラグ/メタル間反応によるスラグの泡立ち現象の観察を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

(1) スラグのバルク物性やCOガスの発生速度の他に、気泡の寸法が泡立ち高さの重要な支配因子であることが明確になった。気泡が直径2mm以下の微細なものになると泡沫層が形成されるのが認められた。また、ガス発生速度がほぼ同程度の場合でも、発生気泡径が小さいほど泡立ち高さは大きくなった。

(2) スラグ/メタル界面から発生するCO気泡の寸法はスラグ中酸化鉄濃度の増加、メタル中S濃度の減少に伴い減少する傾向にあった。スラグとメタルの濡れ性が良いほど、発生する気泡の寸法は小さくなると推定される。すなわち、これまでスラグ泡立ちの支配因子として考慮されていなかったスラグ/メタル界面の物性は、発生するCO気泡寸法を変化させることを介して、泡立ち高さに大きく影響を及ぼすと思われる。

文 献

- 1) K.Ogino and A.Nishiwaki: *Tetsu-to-Hagané*, **65** (1979), 1985.
- 2) F.Tsukihashi, M.Amatatsu and T.Soma: *Tetsu-to-Hagané*, **68** (1982), 1880.
- 3) S.Hara and K.Ogino: *Tetsu-to-Hagané*, **76** (1990), 360.
- 4) E.W.Mulholland, G.S.F.Hazelden and M.W.Davies: *J. Iron Steel Inst.*, (1973) Sep., 632.
- 5) K.Ogino, A.Nishiwaki and T.Yagi: *Tetsu-to-Hagané*, **62** (1976), S565.
- 6) 天辰正義: 金属製錬プロセスにおける高温界面移動現象, 鉄鋼基礎共同研究会界面移動現象部会編, 日本鉄鋼協会, 東京, (1991), 12.
- 7) T.Ano, Y.Kashiwaya and K.Ishii: *CAMP-ISIJ*, **1** (1988), 1134.
- 8) H.Terashima, T.Nakamura, K.Mukai and T.Odawara: *Shigen-to-Sozai*, **108** (1992), 737.
- 9) M.Tatsukawa, M.Shimada, M.Ishibashi and K.Shiraishi: *Tetsu-to-Hagané*, **60** (1974), A19.
- 10) 第3版鉄鋼便覧I, 日本鉄鋼協会編, 丸善, 東京, (1981), 78.
- 11) K.Ito and R.J.Fruehan: *Metall. Trans. B*, **20B** (1989), 509.
- 12) K.Ito and R.J.Fruehan: *Metall. Trans. B*, **20B** (1989), 515.
- 13) G.Urbain: *Steel Res.*, **58** (1987), 111.
- 14) K.C.Mills and B.J.Keene: *Int. Mater. Rev.*, **32** (1987), 1.
- 15) Y.Ogawa, D.Huin, H.Gaye and N.Tokumitsu: *ISIJ Int.*, **33** (1993), 224.
- 16) K.Mukai, H.Furukawa and T.Tsuchikawa: *Tetsu-to-Hagané*, **63** (1977), 1484.
- 17) A.W.Cramb and I.Jimbo: *Steel Res.*, **60** (1989), 157.
- 18) H.Gaye, L.D.Lucas, M.Olette and P.V.Riboud: *Can. Metall. Q.*, **23** (1984), 179.