MURC (Multi-Refining Converter) 法における中間排滓中の流体挙動に及ぼす各種因子の影響の基礎的検討

内藤 憲一郎^{1,5)*}・浅原 紀史²⁾・若生 昌光³⁾・松宮 徹^{4,5)}

Fundamental Study on Effects of Various Factors on Fluid Behavior during Intermediate Deslagging of MURC (Multi-Refining Converter) Process

Ken-ichiro NAITO, Norifumi ASAHARA, Masamitsu WAKOH and Tooru MATSUMIYA

Synopsis : To achieve high-efficiency intermediate deslagging in MURC (Multi-Refining Converter) process is an important issue. In order to obtain the basic knowledge concerning the fluid behavior during intermediate deslagging, simulation using water model was carried out and the effects of tilting pattern, properties of liquids and the shape of vessel mouth (installation of weir) were evaluated. As the results, the followings were observed.

- 1) The metal starts spilling before reaching the inclined angle that is geometrically calculated from the remaining volume inside the vessel due to the uplift of metal edge.
- 2) Reduction of deslagging time with the same deslagged amount becomes possible by using the slowdown pattern in tilting rate near the end of deslagging.
- 3) Metal is easy to spill when slag viscosity is high and the density difference between metal and slag is small.
- 4) Deslagging is improved by installation of weir to the vessel mouth.

Based on the results, a simple model was built by focusing on the balance between shear force and gravitational force (buoyant force) and the metal-spill-point and deslagged amount were estimated. Furthermore, from the detailed analysis using computational fluid dynamics, the above-mentioned phenomena were reproduced.

Key words : hot metal treatment; converter; MURC; deslagging; fluid flow.

1. 緒言

1980年代以降、高純度鋼の安定製造や精錬効率化によるコスト削減を狙い、溶銑予備処理が開発、導入されてきたが¹⁾、従来のトーピードカーや溶銑鍋等を反応容器として利用する方式は、フリーボードが小さいためスロッシングが発生しやすく、気体酸素の使用制限（酸化鉄の使用、処理時間延長）や高塩基度操業（事前脱珪必要）等の制約を受け、転炉の熱裕度低下という問題を抱えていた。さらに、ふっ素の環境規制を受け、従来の高塩基度操業では必須であったホタル石の使用が制限され、また、原料事情の変化に伴い溶銑中 [Si] が上昇するなどの問題も徐々に顕在化し、1990年代後半以降、転炉型溶銑予備処理への転換が急速に進展した。転炉型溶銑予備処理では、転炉の容積の大きさを利用してスロッシングを防止しつつ、気体酸素の高

速送酸や強攪拌による反応促進が可能となり、熱裕度や生産性が大幅に改善された。また、高速送酸により酸素ポテンシャルを高位に維持できるため、低塩基化によるふっ素レス化も可能となった。

転炉型予備処理は、脱珪・脱りん後に出湯排滓を伴う方法（例えば、LD-ORP法：LD Converter-Optimized Refining Process, SRP法：Simple Refining Process）²⁻⁵⁾、脱珪・脱りん後に出湯せずに排滓し、脱炭を連続的に行う方法（MURC：Multi-Refining Converter）⁶⁻⁸⁾ に大別される。MURC法では、メタルを炉内に残したまま転炉を傾動して上層の脱珪・脱りんスラグを排滓するため、出湯排滓を行うLD-ORP法やSRP法に比べてスラグの分離性に劣る反面、熱裕度、重量スクラップ使用、固定費等の面で優位となっている。一方、MURC法の脱珪・脱りんスラグの排滓工程（以降、中間排滓と称する）において、排滓時間の短縮、排滓量の向上等

平成25年7月31日受付 平成25年10月24日受理 (Received on Jul. 31, 2013 ; Accepted on Oct. 24, 2013)

1) 新日鐵住金(株) プロセス研究所 (Process Research Laboratories, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, 20-1 Shintomi Futtsu Chiba 293-8511)

2) 新日鐵住金(株) 八幡技術研究部 (Yawata R&D Lab., Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

3) 旧 新日本製鐵(株) (現：秋田工業高等専門学校) (Previously Nippon Steel Corporation, now Akita National College of Technology)

4) 新日鐵住金(株) (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

5) 金沢大学大学院自然科学研究科システム創成科学専攻 (Division of Innovative Technology and Science, Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University)

* Corresponding author : E-mail : naito.b7s.kenichiro@jp.nssmc.com

DOI : <http://dx.doi.org/10.2355/tetsutohagane.100.522>

は生産性向上, 副原料削減, スラグ削減等に直結する重要な課題であり, そこに改善の余地が残されているのも事実である。

そこで, 本研究では, 中間排滓中の流体挙動に関する基礎的知見を得ることを目的に, 傾動が可能な転炉型容器を用いた水モデル実験, 簡易モデル, 数値流体解析 (CFD: Computational Fluid Dynamics) により, 中間排滓をシミュレートし, 中間排滓中の流体挙動に及ぼす各種因子 (傾動パターン, 物性, 炉口形状) の影響を基礎的に検討することを試みた。

2. 水モデル実験

2・1 実験方法⁹⁾

傾動が可能な転炉水モデル装置の概要をFig.1に示す。モデルのスケールは実機転炉の約1/24であるが, 容器製作の簡便化のため, 炉底部は平面, また炉口傾斜部は八角錐台状の亚克力製容器とした。モデルメタル (以降, “メタル”と称す) として水または塩化亜鉛水溶液を, モデルスラグ (以降, “スラグ”と称す) として3種類のオイルを使用し, 観察しやすいようメタル層は着色した。メタルとスラグの量は, 実機転炉のメタルおよびスラグの体積相似で装入した。

実験では60°傾動させた状態からスラグの排出が始まるようにスラグを装入し, そこを排滓開始点, その後傾動して排滓を行い, メタルが流出し始めた時点を排滓完了点とし, 排滓開始から排滓完了までの排滓時間, 排滓量, メタル

Fig. 1. Experimental apparatus for water model.

ル流出開始角度を測定した。ただし, 炉口に堰を設置した実験では排滓開始時の傾動角度が60°よりも大きくなるため, 排滓開始を確認した時点をもって排滓開始点とした。

また, 実験条件として, 傾動パターン (傾動速度, 変速傾動時の切り替えタイミング), 炉口形状 (堰の設置), メタル, スラグの物性 (密度, 粘度) を変更して, 排滓挙動を調査した。条件の詳細をTable 1~3に示す。

2・2 実験結果

2・2・1 観察結果

堰のない条件の実験で観察された現象の模式図をFig.2に示す。排滓前期 (Fig.2 (a), 傾動角度=60~70°) では上層のスラグのみが排出され, 特に下層のメタルへの影響は見られないが, 排滓中期 (Fig.2 (b), 傾動角度=70~75°) になると, スラグ厚さが薄くなり, 下層のメタル先端部が

Table 1. Tilting patterns in the experiments.

Tilting pattern	Tilting rate (deg/min)	Remarks
Constant tilting rate	60, 30, 20, 15, 10	
Variable tilting rate	Combination of above-mentioned tilting rate (Slowdown pattern)	Slowdown timing was changed

Table 2. Vessel mouth shapes (with/without weir) in the experiments.

Weir height (mm)	Weir height/Vessel mouth diameter ratio (%)	Remarks
0	0	Without weir
30	19.0	With weir

Table 3. Properties of model liquids.

(a) Density of model metal.

Model metal	Liquid	Density (kg/m ³)
	Water (tap water)	1000
	ZnCl ₂ aqueous solution	1400

(b) Properties of model slag.

Model slag	Liquid	Density (kg/m ³)	Kinematic viscosity (m ² /s)
	Silicone-50cSt	940	50 x 10 ⁻⁶
	Silicone-100cSt	950	100 x 10 ⁻⁶
	Liquid paraffin	860	150 x 10 ⁻⁶

Fig. 2. Schematic illustration of visually observed fluid phenomena.

隆起を始める。さらに傾動角度が大きくなるにつれ、メタルが炉口傾斜部を遡上し、排滓末期 (Fig.2 (c), 傾動角度 $78 \sim 82^\circ$) にメタル流出が始まり、排滓完了となる。準静的に傾動した場合、幾何学的な炉内の残容積からは 84° でメタル流出が始まるが、上記のようにメタル先端部が隆起して傾斜部を遡上するため、実際には 84° よりも浅い傾動角度でメタルが流出する。

2・2・2 傾動パターンの影響

Fig.3に傾動パターンの影響を示す。実線は定速傾動パターン、破線は所定角度まで定速傾動した後に、そこから減速 (ただし、変速後の傾動速度は一定) した変速傾動パターンを表す。また、各線の終点はその時点でメタル流出が始まったこと、即ち排滓を完了したことを表す。傾動速度の遅いパターンほど排滓時間は延びるが、深い傾動角度までメタル流出なしに排滓できていることがわかる。また、排滓中に減速したパターンでは、切り替えタイミングが十分早い場合、初期に高速で傾動していてもその影響がほとんど見られず、深い傾動角度までメタル流出なしに排滓できることがわかる。一方、切り替えタイミングが遅れると、より浅い傾動角度からメタル流出が始まるが、これは切り替え前の流動の慣性の影響やスラグ流出の駆動力となる炉口部分でのスラグ高さの位置エネルギー (流出ヘッド) の影響が残るためであると考えられる。

Fig.4に各傾動パターンにおける排滓時間と排滓量の関係を示す。尚、ここで排滓量とはメタルが流出するまでに排滓されたスラグ量である。図中の大きなマーカーは定速傾動パターンのデータ、それ以外のプロットは変速傾動パターンのデータを表す。排滓時間が短く、排滓量が多いほど、即ち、グラフの左上側ほど高効率で排滓できていることになる。Fig.4においてもFig.3と同様、傾動速度の遅いパターンほど排滓時間は延びるが、排滓量が向上していることがわかる。また、排滓中に減速したパターンでは、切り替えタイミングが十分早ければ、同一排滓量で排滓時間の短縮が可能であることがわかる。しかし、切り替えタイミ

Fig. 3. Effect of tilting pattern on deslagging.

ングが遅れると前述した理由でメタルが流出してしまうため、それらを考慮した切り替えタイミングの最適化が必要である。

以上より、メタル流出を抑制した排滓量の向上と排滓時間の短縮と両立するためには、流動の慣性や炉口部分でのスラグ高さの位置エネルギーを考慮した傾動パターンの制御が必要であると考えられる。

2・2・3 メタル、スラグの物性の影響⁹⁾

Fig.5にメタルおよびスラグの物性 (密度、粘度) を変更した際の排滓時間と排滓量の関係を示す。尚、傾動は定速傾動である。また、図中のマーカーは実験による実測値、線は後で述べる簡易モデルによる計算結果を示す。

モデルメタルが水の場合において、モデルスラグがシリコーン 50 cSt とシリコーン 100 cSt の条件を比較すると、スラグ粘度の高いシリコーン 100 cSt において、メタル流出が生じやすく、排滓量が低下していることがわかる。このことから、メタル流出にはスラグの粘度に起因するせん断力が寄与しており、粘度が高いほどせん断力が大きくなるため、メタルがスラグに引きずられて流出しやすくなるものと思われる。尚、Fig.2で示したメタルが炉口傾

Fig. 4. Relation between deslagging time and deslagged amount under various tilting patterns.

Fig. 5. Relation between deslagging time and deslagged amount under various liquid properties.

斜部を遡上して流出する現象は、メタルがスラグ流出時のせん断力に引きずられた結果生じたものであると考えられる。

一方、モデルスラグがシリコーン-50 cStの場合において、モデルメタルが水と塩化亜鉛水溶液の条件を比較すると、メタル密度の大きい(=メタルとスラグとの密度差が小さい)塩化亜鉛水溶液において、メタル流出が生じにくく、排滓量が増加する傾向があることがわかる。これは、メタルとスラグの密度差が大きいほど、メタルにかかる重力が大きく(浮力が小さく)なり、メタルがスラグに引きずられにくくなるためと考えられる。

最後に、モデルメタルが水の場合において、モデルスラグがシリコーン-50 cStと流動パラフィンの条件を比較すると、大きな差異は認められない。流動パラフィンとシリコーン-50 cStに比べて粘度が高いため、メタルを引きずるせん断力が高い一方、密度が小さいため、メタルにかかる重力が大きく(=浮力が小さく)なり、メタルがスラグに引きずられにくくなっており、両者の影響が相殺しているものと考えられる。

2・2・4 炉口形状(堰設置)の影響

Fig.6に炉口部に堰を設置した際の排滓時間と排滓量の関係を示す。尚、傾動は定速傾動である。また、図中のマーカーは実験による実測値、線は後で述べる数値流体解析(CFD)による計算結果を示す。

炉口部への堰設置により、同一排滓時間でも排滓量が向上しており、堰の設置は排滓の高効率化に効果があると考えられる。

堰の設置によるメタル流出抑制機構としては、Fig.7に示すように、メタルの遡上をブロックする効果(Fig.7(a))の他、スラグ流出部の断面積が増加することで流出部のスラグ高さが低下し、その位置エネルギーで駆動されるスラグ流出の流速が低下するため、メタルに作用するせん断力が低減する効果(Fig.7(b))。図は容器を炉口側から見た際の炉口付近の状況を表す)があると考えられる。

Fig. 6. Relation between deslagging time and deslagged amount with/without weir.

3. 簡易モデルによる考察

3・1 メタル流出限界

水モデル実験結果に基づき、メタル流出はスラグの粘度に起因するせん断力に引きずられて発生すると考えられる。そこで、Fig.8に示すような、せん断力と重力(浮力)のバランスを考慮した簡易モデルに基づき考察を行う。

まず、メタル先端部に作用するスラグ流出時のせん断力は、スラグの流速に比例し、スラグ流出部とメタル先端の距離に反比例すると考えられ、(1)式のように表される。一方、メタル先端部に作用する重力は、メタルの遡上を妨げる方向に働き、メタルとスラグの密度差に比例すると考えられ、(2)式のように表される。

$$\text{せん断力} : \tau = \mu_s \frac{u}{l-s} \quad \text{..... (1)}$$

$$\text{重力} : B = (\rho_m - \rho_s)gs \quad \text{..... (2)}$$

ここで、 τ はせん断力、 μ_s はスラグ粘度、 u は炉口部スラグ流速、 l はメタル面-炉口間距離、 s はメタル隆起高さ、 B は重力、 ρ_m 、 ρ_s はそれぞれメタル密度、スラグ密度、 g は重力加速度を表す。

尚、それぞれの力は傾斜部の形状に沿って分配されるた

Fig. 7. Suppression mechanism of metal spill by weir.

Fig. 8. Schematic view of simple model for metal spill.

め、傾斜部で力の釣り合いは、(3)、(4)式で表される。また、それらの力が釣り合う位置が、メタルの隆起高さ s となる。

$$\tau \cos \alpha = B \sin \alpha \quad (3)$$

$$\mu_s \frac{u}{l-s} \cos \alpha = (\rho_m - \rho_s) g s \sin \alpha \quad (4)$$

(4) 式を隆起高さ s で整理すると、(5) 式の s の二次式となる。

$$s^2 - ls + \frac{\mu_s u}{(\rho_m - \rho_s) g \tan \alpha} = 0 \quad (5)$$

メタルが流出するということは力のバランスが失われること、即ち、(5) 式を満たす隆起高さ s が存在しないということにほかならない。従って、メタル流出防止条件は、(5) 式において s が実数解を持つこと、即ち、(5) 式の判別式が0以上となることであるが、それは(6) 式で表され、(6) 式を満たすような傾動速度制御により、メタル流出が防止できると考えられる。

$$D = l^2 - \frac{4\mu_s u}{(\rho_m - \rho_s) g \tan \alpha} \geq 0 \quad (6)$$

(6) 式から、スラグ粘度 μ_s と流速 u が小さく、スラグとメタルの密度差 $(\rho_m - \rho_s)$ 、傾斜部角度 α 、メタル面-炉口間距離 l が大きいくほど、メタル流出が生じにくいことがわかるが、実験結果の傾向は本モデルで説明できる。

尚、(4) 式のせん断力と重力の関係を隆起高さで整理すると、Fig.9のようになり、両者が釣り合う隆起高さは2点あり、それぞれが(5) 式の解に対応する。ただし、隆起高さが低い方の点近傍においては隆起高さが高くなるに従い、重力が大きくなり、せん断力が小さくなるため、復元作用があるのに対し、隆起高さが高い方の点近傍においては反対の関係となり、復元作用がないため不安定となる。従って、実質的にメタル流出が防止できる条件は隆起高さが低い方の点のみとなる。

ここで、流速 u が未知パラメータとなるが、これは傾動

Fig. 9. Relation between uplift height and shear force/gravitational force.

速度や炉口部分でのスラグ高さの位置エネルギーと関係すると考えられる。そこで、定速傾動でメタル流出限界を測定した実験結果と本簡易モデルからフィッティングで流速 u を求め、それらとの関係を調査した結果、Fig.10に示すように、傾動速度にほぼ比例する結果となった。

2・2・3の実験結果と本簡易モデルによる計算結果および後で述べる数値流体解析による計算結果との比較をFig.11に示すが、メタル流出角度、排滓量ともに実験結果と概ね一致している。尚、モデルメタルが塩化亜鉛水溶液のケースでは実測値と本簡易モデルによる計算値の乖離が他の条件に比べて大きく、また、実測値と数値流体解析結果の乖離がそれに比べて小さいのは数値流体解析では考慮されているが、本簡易モデルでは考慮できていない慣性力の影響が表れているものと考えられる。さらに、炉口先端部に向かって容器がすぼまっていることから、炉口先端部付近ではモデルメタル単位体積当たりと接触する壁面積が大きくなるため、界面物性の影響が無視できなくなった可能性もある。一般にWe数(=慣性力/界面張力) $\gg 1$ の場合、界面物性の影響は無視できるとされているが¹⁰⁾、今回使用した水モデルの炉口付近でのWe数は、 10^{0-1} のオーダーであり、界面物性の影響が完全には無視できない可能性がある。その場合、水に比べて、塩化亜鉛水溶液はモデルスラグとの界面張力が小さく¹¹⁾、容器と濡れやすいため、流出しやすくなる方向であり、乖離の傾向とは合致する。

ここで、モデルメタルの流出判定は、実験では目視、簡易モデルと数値流体解析では実験結果とのフィッティングで流出判定のパラメータを決定しており、界面物性の影響を考慮せずに水の条件でフィッティングしたため、相対的に塩化亜鉛水溶液では実験値と計算値に乖離が生じたものと思われる。尚、実機のWe数は 10^{3-4} のオーダーとなり、界面物性の影響は無視できる。

また、前述のFig.6で堰を設置した場合、実測値と数値流体解析結果にも若干の乖離が見られるが、これも同様に界面物性の影響と思われる。堰が無い場合は、炉口先端部付

Fig. 10. Relation between tilting rate and slag flow velocity at vessel mouth.

(a)Case1: Water + Silicone-50cSt

(b)Case2: Water + Silicone-100cSt

(c)Case3: Water + Liquid paraffin

(d)Case4: ZnCl₂ aq. + Silicone-50cSt

Fig. 11. Comparison between observed and calculated values of tilting angle at metal-spill-point and deslagged amount.

Fig. 12. Relation between tilting angle and deslagged amount classified by tilting rate.

Fig. 13. Schematic view of simple model for deslagged amount.

近ではモデルメタル単位体積当たりと接触する壁面積が大きいのにに対し、堰を設置した場合はそれが小さく、界面物性の影響を受けにくくなる。容器との濡れ性が悪い水の場合は、堰を設置した条件の方が流出しやすくなる方向であり、乖離の傾向とも合致する。

ここで、排滓量については、水モデル実験で測定した傾動角度と排滓量の関係を傾動速度別に整理したものを Fig.12 に示すが、モデルスラグの種類によらず、排滓量は傾動速度と傾動角度の関数として表すことができ、これをもとに算出した。尚、傾動速度が速い場合は、炉口部分でのスラグ高さが高くなり、同一傾動角度でもその分のスラグが炉内に残るため、排滓量が低位となる。

3・2 排滓速度

スラグ流出の駆動力は炉口部分でのスラグ高さの位置エネルギー（流出ヘッド）であり、また水モデル実験の容器の炉口形状は角形であるため、Fig.13 に示すように、三角堰からの流出とみなして排滓速度を整理できると考えられる。

流体 dz の高さを持つ微小面積 dA から流出する体積流量 dQ は、トリチェリの定理から (7) 式で表される。

$$dQ = v dA \propto \sqrt{2gz} (h - z) dz \quad (7)$$

$$Q = \int dQ \propto \int_0^h \sqrt{2gz} (h - z) dz \propto h^{2.5} \quad (8)$$

ここで、 v は微小面積 dA から流出する流速である。(7) 式を z について 0 から炉口部分でのスラグ高さ h まで積分すると、(8) 式が得られ、理論的には排滓速度は炉口部分でのスラグ高さ h の 2.5 乗に比例することになる。

水モデル実験における炉口部分でのスラグ高さ h と排滓

Fig. 14. Relation between slag height at vessel mouth and deslagging rate.

Fig. 15. Relation between tilting rate and deslagging rate.

速度の関係を Fig.14 に示すが、排滓速度はほぼ h の 2.0～2.5 乗に比例している。実際の炉口部は切り立った堰ではなく、傾斜しているため、慣性の影響もあると考えられるが、簡易的には十分整理できることがわかる。

尚、水モデル実験で得られた定速傾動時の傾動速度と排滓速度の関係を Fig.15 に示すが、流体種に依らず、ほぼ比例関係にあった。

4. 数値流体解析 (CFD 解析) による検討

4・1 数値流体解析方法

数値流体解析により水モデル実験結果の再現を試みた。主な数値計算条件を Table 4 に示す¹⁰⁾。尚、最大メッシュ間隔 (2, 5, 10mm)、解析範囲 (容器外の考慮有無) を変更して解析を実施したが、解析結果に影響は見られなかったため、最大メッシュ間隔は 10 mm、解析範囲は容器内として解析を実施した。また、界面物性は考慮していない。

4・2 数値流体解析による計算結果

実験結果と計算結果の比較として、モデルメタルの動きを Fig.16 に示す。水モデル実験による観察結果とよく合致している。

Fig. 16. Comparison between observed and calculated contours of model metal.

Table 4. Main CFD calculation conditions.

Software	FLUENT 6.3
Dimension	3D
Turbulent model	Standard k- ω model
Mutliphase flow model	Volume of Fluid model
Time step	0.001~0.01 sec
Maximum mesh interval	10 mm

また、メタル、スラグの物性の影響や炉口形状（堰設置）の影響について、実験結果と計算結果の比較は先に述べた Fig.11 および Fig.6 中に示すが、ほぼ実験結果を再現できていることがわかる。以上により、数値流体解析の妥当性が確認できた。

5. 結言

傾動が可能な転炉型水モデルを用いて MURC の排滓現象のシミュレーション実験を行い、1) 傾動パターンの影響、2) メタル、スラグの物性（粘度、密度）の影響、3) 炉口形状（堰の設置）の影響を評価した。さらに、その結果に基づき簡易モデルを構築し、メタル流出限界や排滓量を予測するとともに、数値流体解析により、より詳細な検討を行った結果、以下のことがわかった。

1) 傾動パターンの影響を調査した結果、傾動速度の遅いパターンほど排滓時間は延びるが、排滓量が向上する。また、初期に高速で傾動していても、排滓途中で減速することにより、切り替えタイミングが十分早ければ、同一排滓量下で排滓時間の短縮が可能となる。

2) メタル、スラグの物性の影響を調査した結果、スラグ粘度が大きく、スラグとメタルの密度差が小さいほど、メタルが流出しやすく、排滓量が低下する。この結果から、メタル流出にはスラグ粘性によるせん断力と重力（浮力）が影響すると考えられる。

3) 炉口形状の影響を調査した結果、炉口部への堰設置により、排滓性は向上する。堰の設置によるメタル流出抑

制機構には、メタルの遡上をブロックする効果、スラグ流出部の断面積が増加することで流出部のスラグ高さが低下し、位置エネルギーで駆動されるスラグの流速が低下するため、メタルに作用するせん断力が低減する効果があると考えられる。

4) 水モデル実験結果に基づき、メタル流出限界や排滓速度を予測する簡易モデルを構築し、排滓中の流体挙動を再現できた。

5) 数値流体解析でも、水モデル実験結果を再現でき、数値流体解析の妥当性が確認できた。

尚、本論文で示したように、MURC 法の中間排滓にはメタル、スラグの物性が大きく影響するが、実プロセスのスラグは気泡、フラックス固相、晶出固相、粒鉄等が分散したマルチフェーズスラグであり、その物性が排滓性に大きく影響すると推察される。今後、マルチフェーズスラグ中の各種相の存在形態（サイズ、存在箇所等）の解明が進めば、本論文の知見をもとに実プロセスでの排滓現象の定量的な予測が可能になると考えられる。

文 献

- 1) S.Kitamura, Y.Mizukami, T.Kaneko, T.Yamamoto, R.Sakomura, E. Aida and S.Onoyama: *Tetsu-to-Hagané*, **76**(1990), 1801.
- 2) K.Kato, M.Kojima, K.Kojima, Y.Akabayashi, Y.Nakamura and S.Onoyama: *CAMP-ISIJ*, **4**(1991), 1153.
- 3) K.Kato, H.Yamauchi, S.Onoyama, M.Oita, T.Sado and M.Ina: *CAMP-ISIJ*, **4**(1991), 1154.
- 4) T.Matsuo and S.Masuda: *Tetsu-to-Hagané*, **76**(1990), 1809.
- 5) K.Yoshida, I.Yamazaki, Y.Tozaki, N.Aoki, J.Yoshiyama and K.Arai: *Tetsu-to-Hagané*, **76**(1990), 1817.
- 6) Y.Ogawa, M.Yano, S.Kitamura and H.Hirata: *Tetsu-to-Hagané*, **87**(2001), 21.
- 7) H.Hayashi, M.Arai, H.Ishii, N.Masumitsu, Y.Ogawa and F.Koizumi: *CAMP-ISIJ*, **15**(2002), 139.
- 8) K.Kume, K.Yonezawa, M.Yoshimi, H.Hondo and M.Kumakura: *CAMP-ISIJ*, **16**(2003), 116.
- 9) K.Naito and M.Wakoh: *Scand. J. Metall.*, **34**(2005), 326.
- 10) Volume of Fluid (VOF) Model Theory, FLUENT 6.3 User's Guide, Chap. 23.3, Fluent Inc., Lebanon, New Hampshire, (2006).
- 11) Z.Lin and R.I.L.Guthrie: *Metall. Mater. Trans. B*, **25B**(1994), 855.