

# 継目部鑄片における介在物の起源

中島 潤二\*・宮沢 憲一\*<sup>2</sup>・井元 浩一\*<sup>3</sup>・廣松 隆\*<sup>3</sup>

Origin of Nonmetallic Inclusions in Ladle Transition part of Continuously Cast Slabs

Junji NAKASHIMA, Kenichi MIYAZAWA, Kouichi IMOTO and Takashi HIROMATSU

**Synopsis** : In the continuous casting process, it is important to reduce the off-quality portion due to ladle exchange or variation in process parameters. In the present study, experimental investigation and thermodynamic calculation has been carried out for analysis origin of non-metallic inclusions in ladle transition part of continuously cast slabs.

The following results are obtained.

(1) In the present study, entrapped nonmetallic inclusions in the transition part of ladle exchange slabs are mainly spherical inclusions (CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

(2) According to thermodynamic calculation, origin of spherical inclusions are mainly ladle slag and tundish slag.

(3) Applying thermodynamic calculation for the equilibrium between slag and molten steel is useful for analysis origin of nonmetallic inclusions in the continuously cast slabs.

**Key words** : nonmetallic inclusions; thermodynamic calculation; continuously cast slabs; cleanliness; ladle exchange.

## 1. 緒言

自動車用外板に代表される、冷延、表面処理用薄板材では、要求品質の厳格化に伴い、表面欠陥が発生しない表面清浄性に優れた鋼の溶製が求められている。また、これらの薄板材は厳しい加工を加えられる用途が多く、優れた加工性も要求されている。製鋼工程では鋼の連続鑄造化により飛躍的に歩留まりが向上したが、連々鑄時の取鍋交換部のような非定常部鑄片の清浄性は定常部に比べて劣位であると見られており、品質の向上が求められている。更なる歩留まり向上、品質厳格化への対応の観点から、定常部鑄片の品質向上のみならず、連々鑄時の取鍋交換部に代表される非定常部鑄片の清浄性向上も重要である。これまで、取鍋交換部位の溶鋼清浄性に関して、タンディッシュ内での溶鋼清浄性悪化要因の解析が試みられ<sup>1-5)</sup>、タンディッシュ内の溶鋼の清浄性に関しては支配要因がかなり明確にされている。しかしながら、実操業では、タンディッシュから更に浸漬ノズル、連鑄鑄型を経て鑄造されるため、浸漬ノズルへの介在物の付着<sup>6,7)</sup> および脱落、鑄型内での介在物の凝集・合体<sup>8)</sup>、浮上の影響も考えられ、製鋼工程における最終製品である鑄片を用いて、取鍋交換部位鑄片の清浄性を評価することが重要である。従来、鑄片の清浄性評価には多くの作業と時間を要すること、清浄性が劣位である部位の評価には特に時間を要する事等のために、取鍋

交換部位の実鑄片での非金属介在物の挙動は、必ずしも明確になっていない。そこで、本研究では、製品工程において表面欠陥および内部欠陥生成の原因となる可能性が大きい、大型の介在物に注目し、同一連々鑄での定常部位と非定常部位（取鍋交換部位近傍の鑄片）での介在物を鑄造長さ方向に調査し、介在物の粒子径、個数密度にて清浄性を評価し、清浄性悪化部位の特定を試みた。また、評価した介在物組成を調査し、実操業で得られた溶鋼、スラグの組成を用い、スラグ（介在物）/溶鋼間の平衡解析プログラム<sup>9)</sup>を用いた計算結果と比較することにより、介在物の起源や鑄片継目部における清浄性悪化の要因の評価を行った。

## 1. 調査方法

### 1.1 製造条件

今回の調査には、転炉にて溶製した未脱酸溶鋼を、二次精錬設備にて真空脱ガス処理を行い脱炭、脱酸、成分調整した後、ロングノズルを用いて容量40tのタンディッシュに溶鋼を注入し2ストランドの垂直曲げ型スラブ連続鑄造設備にて鑄造した。本調査に供した低炭アルミキルド鋼の鑄造条件を Table 1 に二次精錬後とタンディッシュ内溶鋼の主成分の組成範囲を Table 2, スラグ組成範囲を Table 3 に示す。

平成18年10月11日受付 平成18年12月4日受理 (Received on Oct. 11, 2006; Accepted on Dec. 4, 2006)

\* 新日本製鉄(株) 環境・プロセス研究開発センター (EPC Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futtsu 293-8511)

\*2 名古屋大学大学院工学研究科 (Graduate School of Engineering, Nagoya University)

\*3 新日本製鉄(株) 君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

Table 1. Casting conditions.

Casting velocity	1.2 m/min
Strand width	1.12~1.16m
Strand thickness	0.24m
Tundish capacity	40 t

Table 2. Chemical composition in molten steel. (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Al	O
Ladle	0.017 ~0.020	0.010 ~0.011	0.14 ~0.15	0.008	0.01	0.071 ~0.084	0.0022
Tundish	0.014 ~0.020	0.016 ~0.017	0.12 ~0.15	0.006 ~0.008	0.01	0.056 ~0.070	0.0026 ~0.0027

Table 3. Chemical composition in slag. (mass%)

	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Ladle	42.7 ~43.3	6.8 ~7.9	28.0 ~33.8	6.9 ~7.9
Tundish	4.1 ~18.9	24.1 ~42.2	28.6 ~38.0	3.1 ~5.9

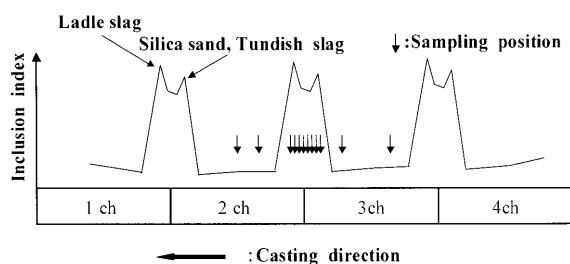


Fig. 1. Schematic diagram of sampling positions of continuously cast slabs.

### 1.2 試料採取位置

取鍋交換部位近傍の継ぎ目部銻片の清浄性の実態を明確にすることを目的に、同鋼種連々銻のキャストにて、Fig. 1に示す、チャージとチャージとの継ぎ目部（取鍋交換時の継ぎ目部）近傍の銻片を連続的に採取し、調査に供した。銻片試料は、後鍋溶鋼の注入を開始した時点でモールドメニスカス位置にあった銻片位置を0mとし-16.0m、-6.5m、1.5m、2.8m、3.8m、4.8m、5.8m、6.8m、7.8m、9.8m、17m、29.0mの各位置で銻片を採取し清浄性を調査した。前後チャージの定常部銻片として-16.0m、29mの銻片を評価した。また、継ぎ目部銻片清浄性劣化要因の検討のために、二次精錬後およびタンディッシュ出側にて溶鋼試料を採取するとともに、二次精錬後およびタンディッシュ湯落ち部（ロングノズル近傍）のスラグを採取し調査に供した。

### 1.3 清浄性調査方法

銻片清浄性の評価方法としては、Fig. 2に模式図で示したスライム抽出法を用いた。銻片試料はFig. 3に示すように、銻片の1/4幅部、1/2幅部の位置で、厚み方向に二等分して採取し、調査に供した。電解抽出にあたっては、銻片1/2厚部側に電極を接続し、銻片表層側を下側にして電解槽に浸漬し、一個約700gの試料当たりの電解量を約

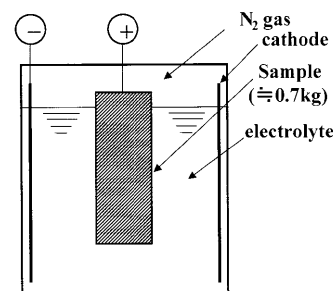


Fig. 2. Schematic diagram of slime method.

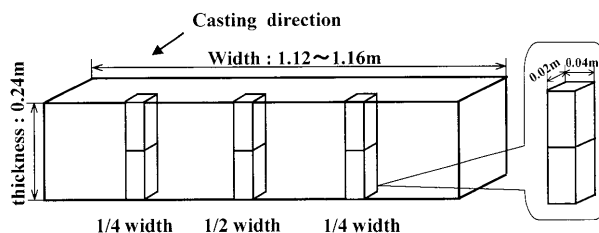


Fig. 3. Location of the slime samples in the slab.

500gとした。塩化第一鉄水溶液中で介在物を電解抽出した後に、残渣の中から38μm以上の大きさの介在物を分取し、形態別および粒子径別に分類した後、個数を数えた。溶解量は上面側および下面側試料を合わせて各部位毎に約1kgとした。介在物調査結果は銻造位置毎に平均化し、各銻造長での清浄性調査結果とした。また、比較のために、スライム試料と銻造方向に隣接する位置より銻片全厚の顕微鏡試料を採取し、厚み方向に7等分し、全断面（約968cm<sup>2</sup>）の円相当径10μm以上の介在物個数密度を調査した。スライム調査と同様に、幅方向三カ所の試料の調査結果を各銻造長で平均し各銻造長での清浄性調査結果とした。

### 1.4 介在物組成調査

上述の清浄性調査により、取鍋交換部位の非定常部銻片清浄性は、主として球状介在物（塊状介在物を含む）の増加により悪化していることが分かったため、スライム法により抽出した球状介在物（塊状の介在物を含む）の中から銻片部位毎に、介在物量が少ない定常部位では全量、介在物量が多い取鍋交換部位ではその一部を選別し、一つの銻片位置で20~70個の介在物の組成を調査した。介在物組成の調査には主としてSEM-EDXを用い、一部F、Naの分析を実施するためにEPMAでの組成調査も行った。

## 3. 調査結果

### 3.1 スライム抽出法による介在物分布の調査結果

スライム抽出介在物（円相当径38μm以上）総量の銻造長さ方向の推移を形態別に分けてFig. 4に示す。介在物の形態としてはFig. 5に示す球状介在物（塊状介在物を含む）とFig. 6に示すアルミナクラスターとに分類した。また、

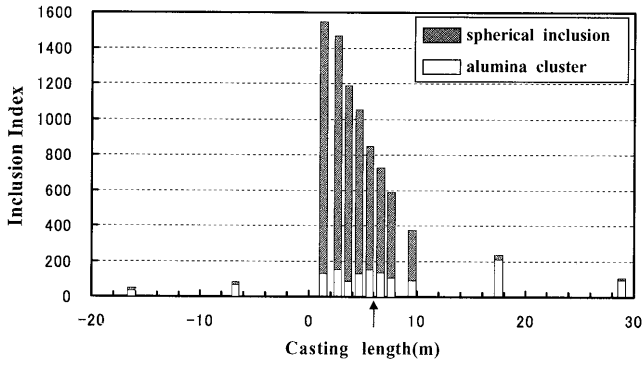


Fig. 4. Distribution of Inclusion Index.

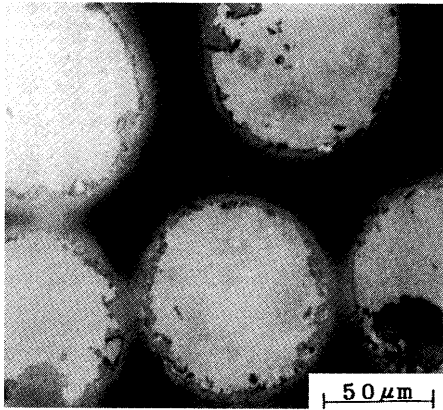


Fig. 5. SEM Micrograph of spherical inclusions.

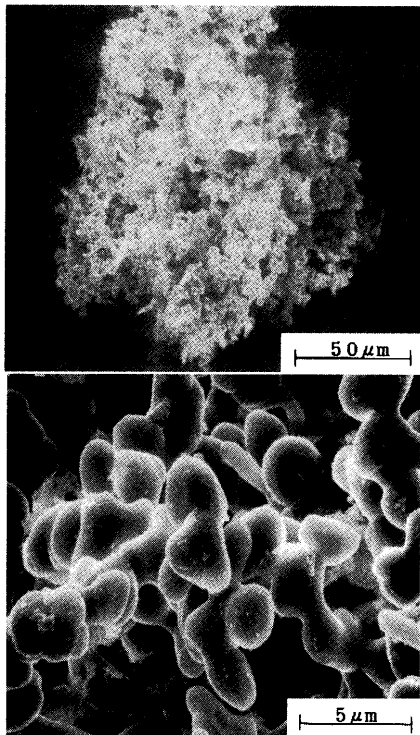


Fig. 6. SEM Micrograph of alumina cluster.

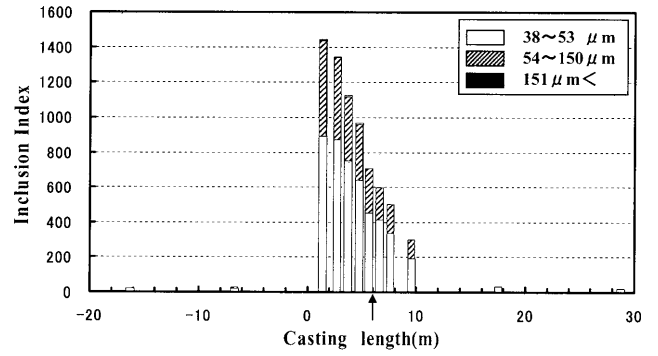


Fig. 7. Distribution of Inclusion Index (spherical inclusions).

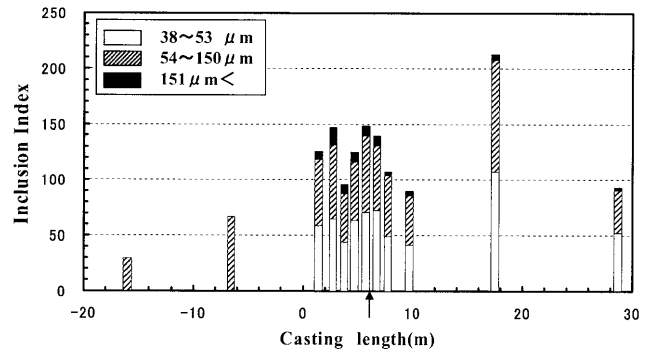


Fig. 8. Distribution of Inclusion Index (alumina cluster).

時点でモールドメニスカス位置にあった銑片位置を0mとし、後チャージの銑造長さを正の値の方向に取った。Fig. 4では銑造長29m位置の後チャージの定常部銑片の介在物量（個数密度）を100として各銑造長の清浄性を規格化した。図中の矢印は前後チャージの境界を示し、前鍋の最後に注入された溶鋼がタンディッシュ内で後鍋の溶鋼と混合しないと仮定した場合に（ピストンフローとなると仮定した場合）、銑型内のメニスカス位置へ到着した時点での銑片位置である。

図より明らかなように、スライム法により評価される銑片の清浄性は、後鍋溶鋼の注入を開始した時点でモールドメニスカス位置にあった銑片位置(0m)の近傍で最も劣位となっており、前チャージ側の継ぎ目部近傍に清浄性が最も劣位の部分がある。スライム抽出介在物個数の総数で評価した介在物指数は定常部銑片位置と比較して10倍以上となり、清浄性が劣位となっている。取鍋交換時のタンディッシュ内の溶鋼清浄性は、前鍋の取鍋スラグ流出および後鍋溶鋼注入に伴う取鍋詰め物の流出とタンディッシュスラグ巻き込みの影響で、二つのピークを持って悪化すると報告された例があるが、今回の銑片調査では、明確な二つのピークを持った介在物量の増加は観察されなかった。これは、前鍋注入終了から後鍋注入開始までの時間が1~3分と比較的短時間であるために、タンディッシュから浸漬ノズル、モールドを経て連続銑造設備内で凝固するまでの過程にて、溶鋼の混合・拡散が起り、溶鋼の清浄性

銑造長さ方向における球状介在物（塊状介在物を含む）とアルミナクラスターの量の推移を各々 Fig. 7, Fig. 8 に分けて示す。なお、便宜上、横軸は後鍋溶鋼の注入を開始した

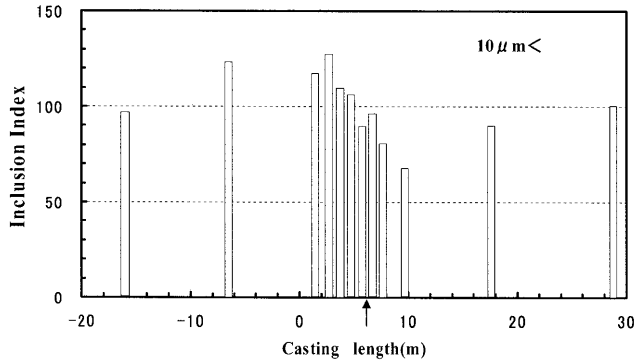


Fig. 9. Distribution of Inclusion Index (microscope).

が平準化されたことによる可能性が考えられる。また、Fig. 7, Fig. 8 に示すように、形態別に介在物量の推移を見てみると、今回調査した低炭アルミキルド鋼の場合の継ぎ目部鑄片の清浄性が劣位となった主要因は球状介在物（塊状介在物を含む）の増加であることが明らかである。アルミナクラスターの増加も見られるものの、球状介在物ほど顕著ではなかった。但し、粒子径分布を見てみると、球状介在物の主体が38~53 μmと、スライム抽出介在物の中では比較的小型の介在物の割合が高いのに対し、アルミナクラスターの場合には54 μm以上、特に151 μm以上の大型介在物の割合が高くなっていることが特徴である。

3.2 顕微鏡法による介在物の調査結果

Fig. 9 に顕微鏡法により調査した鑄片清浄性の調査結果（円相当径10 μm超を評価）を示す。スライム法による調査結果と同様に横軸は後鍋スタート時にメニスカス位置にあった鑄片の位置を0mとした鑄造長である。鑄造長29m位置の介在物量を100として各鑄造長の清浄性を規格化した。顕微鏡法による調査結果でも鑄造長0mから10mにかけての清浄性の変化はスライム法による評価と同様の傾向が見られるものの、前チャージ側の定常部位の鑄片と取鍋交換部位近傍の非定常部位鑄片の清浄性との差異は明確ではない。顕微鏡法では100 μmを超える大型介在物の検出されなかった。従って、粗大な介在物が顕著に増加する、非定常部鑄片清浄性の評価に顕微鏡法を用いるには代表性の観点から課題があるものと考えられる。

3.3 介在物組成の調査結果

スライム法により抽出した球状介在物について、種々の鑄片位置にて粒子径別の介在物組成を調査した結果をCaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の三元状態図上に記した。非定常部鑄片の例としてFig.10 (+1.5 m), Fig.11 (+3.8 m), 定常部鑄片の例としてFig.12 (+29 m) に示す。また図中に、本実験の際に採取した連鑄フラックス、取鍋スラグ、タンディッシュ湯落ち部のスラグ組成範囲を実線で囲んで示した。定常部鑄片では球状介在物量は少ないが、Fig.12 に示すように、抽出した介在物は主としてCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物である。図中の破線で囲んだ領域に存在する塩基度 (CaO/

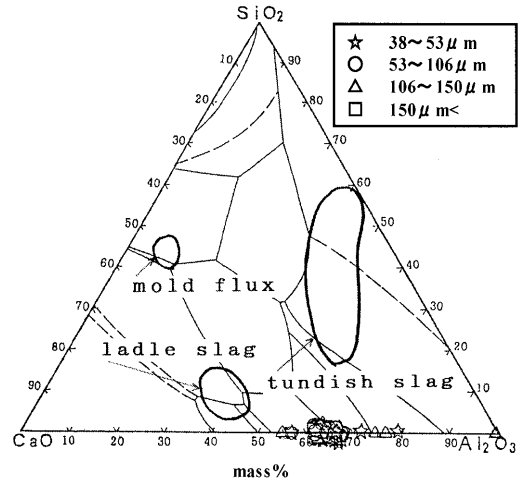


Fig. 10. Chemical composition of spherical inclusions (+1.5 m).

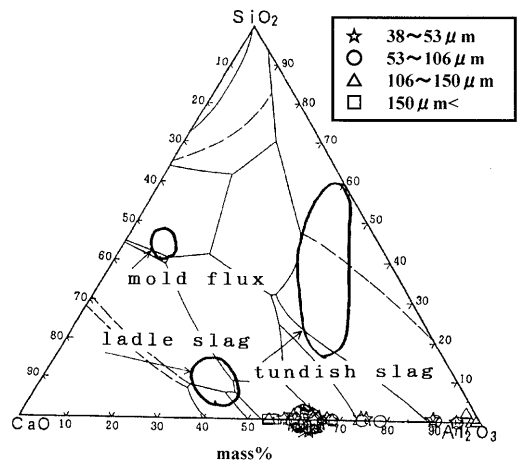


Fig. 11. Chemical composition of spherical inclusions (+3.8 m).

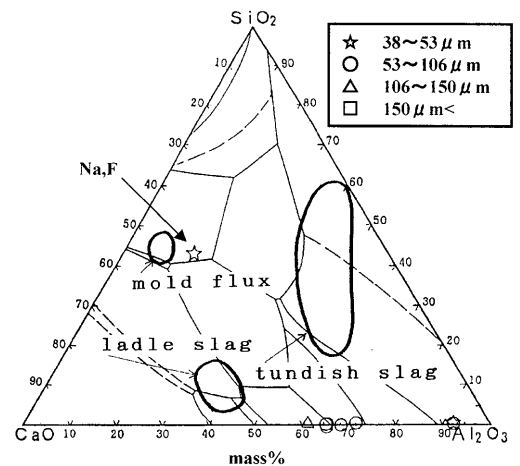


Fig. 12. Chemical composition of spherical inclusions (+29 m).

SiO<sub>2</sub>) が1近傍で Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 濃度が10%程度の介在物は F, Na<sub>2</sub>O を含有しており、連鑄フラックスの組成に近いことから、モールドにおいて巻き込まれた連鑄フラックスを起源とし

ていると推定される。Fig.10, Fig.11 に示した非定常部位の銹片では SiO<sub>2</sub> をほとんど含有しない Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 濃度 60~70% の CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系介在物を主とし、一部 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 濃度が 90% 以上の CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系介在物も見られる。この高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 濃度の CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系介在物は Fig.10 より铸造長が大である Fig.11 の方が多く見られる。なお、このような高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 濃度の CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系介在物は定常部銹片ではほとんど観察されない。

#### 4. 介在物起源の熱力学的検討

従来の研究<sup>1-5)</sup>では取鍋交換部の非定常部銹片清浄性悪化の原因として、(1) 前鍋スラグの流出、(2) 後鍋溶鋼注入に伴うタンディッシュスラグの巻き込み、(3) 取鍋詰め物の巻き込み等が報告され、実態の解明手段としてはタンディッシュ内溶鋼中介在物個数および形態調査結果が用いられてきた。しかしながら、取鍋スラグ、タンディッシュスラグ、取鍋詰め物の巻き込みの発生が推定される、取鍋交換部において、非定常部銹片の介在物の起源を明確にするためには、二次精錬からタンディッシュにかけてのスラグおよび溶鋼の組成変化を把握し、タンディッシュにて取鍋スラグ、タンディッシュスラグが巻き込まれた場合に、どのような組成変化が生ずるのかを明確にしておくことが重要である。

今回の調査により確認した非定常部銹片の清浄性の悪化に関し、CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系および高 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度の CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物の起源を明らかにするために、溶鋼中にスラグが懸濁した場合の平衡組成を熱力学計算により求めた。計算に当たっては、山田らが開発したスラグ(介在物)/溶鋼間の平衡解析プログラム<sup>9)</sup>を用いた。計算プログラムにおける各相の活量は、酸化物の熔融相の各成分に関しては Gayeらのセルモデル<sup>11)</sup>を用い、固相は理想溶体を仮定し、溶鋼は相互作用助係数を用いて算出した。介在物生成の場所としてタンディッシュ湯落ち部を仮定し、反応に関与するものとして、二次精錬後の取鍋溶鋼、取鍋スラグおよびタンディッシュスラグを考慮した。計算に当たっては、Table 4に示した、二次精錬後の取鍋溶鋼に Table 5に示した取鍋スラグ、タンディッシュスラグ、珪砂が一定量懸濁したとして、タンディッシュ溶鋼温度での酸化物の平衡組成を求めた。スラグ成分として CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO を考慮した。スラグ懸濁の指針としてスラグ懸濁量を変化させて平衡計算した後の溶鋼中の [Si] 濃度を用いた。計算結果の Si 濃度が Table 4 に示す実績のタンディッシュ出側での溶鋼中の [Si] 濃度に等しくなるように取鍋スラグおよびタンディッシュスラグの懸濁量を規定し、その場合の酸化物の平衡組成を求めた。

##### 4.1 取鍋スラグが流出した場合

真空脱ガス処理後の取鍋溶鋼 1t に対して真空脱ガス処

Table 4. Chemical composition in molten steel. (mass%)

	C	Si	Mn	Al	O
Ladle	0.020	0.011	0.14	0.07	0.0022
Tundish	0.017	0.017	0.15	0.06	0.0026

Table 5. Chemical composition in slag. (mass%)

	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Ladle	43.3	6.8	33.8	7.9
Tundish	4.1	42.2	28.6	3.0
Silica sand	0.0	97.4	1.5	0.0

Table 6. Calculated results (ladle slag). (mass%)

initial condition		calculated results					
		slag(inclusions)				molten steel	
molten steel (t)	ladle slag (kg)	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Al	Si
1.0	5.0	45.2	0.20	46.4	8.2	0.043	0.026
1.0	1.9	44.5	0.08	47.3	8.1	0.059	0.017

Table 7. Calculated results (tundish slag). (mass%)

initial condition		calculated results					
		slag(inclusions)				molten steel	
molten steel (t)	tundish slag (kg)	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Al	Si
1.0	5.0	3.6	0.0	93.3	3.1	0.0550	0.026
1.0	0.4	3.4	0.0	93.5	3.0	0.0591	0.017

理後のスラグの懸濁量を変化させ、懸濁スラグの平衡組成を計算した結果の一例を Table 6 に示す。懸濁量を変化させることにより、溶鋼組成も変換する。Fig.13 に初期条件に用いたスラグ組成と平衡計算結果とを球状介在物の実態調査結果と併せて CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の三元系状態図上に図示した。(1)式に示す反応により



スラグ中の SiO<sub>2</sub> が溶鋼中の [Al] によって還元されて減少し、CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系の介在物組成となり、タンディッシュ溶鋼中の Si 濃度が上昇する結果となる事が分かる。取鍋スラグの懸濁量に応じて計算結果の酸化物組成は変化する。

##### 4.2 タンディッシュスラグが巻き込まれた場合

真空脱ガス処理後の溶鋼 1t に対してタンディッシュスラグの懸濁量を変化させ、懸濁スラグの平衡組成を計算した結果を Table 7 に示す。また、Fig.13 に初期条件に用いたスラグ組成と計算結果とを CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の三元状態図上に図示した。取鍋スラグの場合と同様に、計算結果の酸化物組成はスラグの懸濁量により変化するが、同じく(1)式に示す反応でスラグ中の SiO<sub>2</sub> が鋼中の [Al] によって還元されて減少し、少量の CaO を含有した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系の介在物組成となる。

上記 4.1, 4.2 の計算結果はスラグ等の懸濁量により多

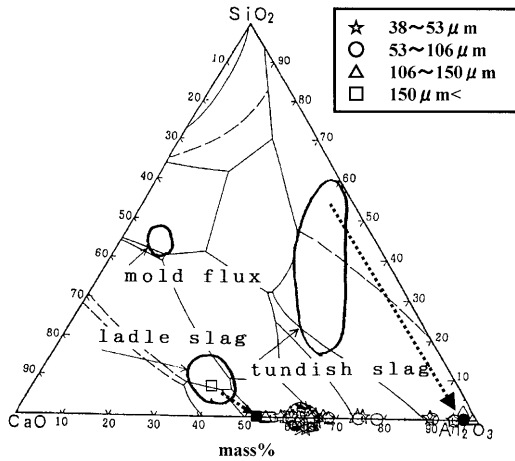


Fig. 13. Thermodynamic calculation results (+3.8 m).

少変化するが、反応生成物の組成比に大きな差はない。従って、鑄片中に見られる球状介在物の中で、CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系の介在物はタンディッシュに流出した取鍋スラグが溶鋼中の[Al]によって還元されたものであり、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度が90%以上のCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物はタンディッシュスラグがタンディッシュ溶鋼中に巻き込まれて生成した可能性が高いものと考えられる。

4.3 ケイ砂が巻き込まれた場合

Table 8 に真空脱ガス処理後の溶鋼に対してケイ砂（主成分はSiO<sub>2</sub>で少量のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を含有）を懸濁させ、平衡組成を計算した計算結果の一例を示す。ケイ砂(SiO<sub>2</sub>)は溶鋼中の[Al]によって還元されて減少し、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が生成する。ケイ砂が溶鋼中に懸濁した場合にはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≒100%となるので、CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物との凝集体を考えなければ、球状介在物の増加ではなく、アルミナクラスターの増加に寄与するものと考えられる。

4.4 連鑄フラックスが巻き込まれた場合

今回の介在物組成調査においてCaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物にNa, Fを含有するものを、連鑄フラックスの巻き込みであると考えた。取鍋スラグ、タンディッシュスラグが溶鋼中に懸濁したと考えて、平衡組成を計算した場合には、スラグ中に存在したSiO<sub>2</sub>成分は、すべて[Al]によって還元されるという計算結果となっていることから、今回観察された、鑄片中の連鑄フラックス起因の介在物は、連鑄鑄型内のメニスカス近傍で巻き込まれた、連鑄フラックスの熔融相が溶鋼と反応できない程度の比較的短時間にて鑄片に捕捉されたものと推定される。

4.5 取鍋交換部位の清浄性の推移

Fig. 4 に示される、今回の連々鑄時の取鍋交換部位鑄片清浄性調査結果より、継ぎ目の清浄性が、前鍋の取鍋スラグ流出および後鍋溶鋼注入に伴う取鍋詰め物の流出とタンディッシュスラグ巻き込みの影響で、二つのピークを持って悪化する結果とはならなかったことを3.3にて述べたが、上述の4.1から4.4で検討した結果に基づいて

Table 8. Calculated results (silica sand). (mass%)

initial condition		calculated results					
molten steel (t)	silica sand (kg)	slag(inclusions)				molten steel	
		CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Al	Si
1.0	0.20	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0567	0.020
1.0	0.13	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0609	0.017

Fig.10, Fig.11 の結果を見直すと、鑄片清浄性を悪化させている主要因は取鍋スラグ流出の影響であるが、鑄造長+1.5mのFig.10ではタンディッシュスラグ巻き込み起因と推定される高Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>濃度のCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物が少なく、鑄造長+3.8mのFig.11では増加している。従って、個数密度としては二つのピークは見られていないものの、取鍋スラグ流出の影響が顕在化した後に、タンディッシュスラグ巻き込みの影響が発現しているものと考えられる。

5. 結言

表面欠陥や内部欠陥生成の原因となる可能性が大きいと考えられる大型の介在物に注目し、取鍋交換部位近傍の鑄片中介在物を調査し、鑄片清浄性、介在物組成を評価、解析した結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 同鋼種連々鑄時の継目部鑄片清浄性悪化部位は、後鍋注入開始時にメニスカス位置近傍にあった鑄片部位であり、前チャージ側の清浄性も悪化している。これは従来報告されているタンディッシュ内溶鋼の調査結果<sup>1,2)</sup>と定性的に一致する。

(2) 低炭アルミキルド鋼の同鋼種連々鑄時の鑄片継目部では、球状介在物（塊状介在物を含む）の個数が顕著に増加する。

(3) 今回調査した低炭アルミキルド鋼の継目部鑄片の清浄性を劣位にしているCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物は、スラグ/溶鋼の平衡計算結果により、主として溶鋼中に混入した取鍋スラグが溶鋼により還元されて生成したものであり、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が90%以上のCaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物はタンディッシュスラグ溶鋼中に巻き込まれ、還元されて生成したものと推定される。

(4) 今回の検討にて、鑄片介在物の組成を調査し、二次精錬後のスラグ、タンディッシュスラグと溶鋼との熱力学的平衡計算結果を比較することにより、介在物起源を明らかにすることが可能であることが分かった。介在物起源を推定するためにスラグ/メタルの平衡計算を用いることは有効である。

(5) 同鋼種連々鑄時の継目部鑄片の清浄性向上のためには、タンディッシュへの取鍋スラグの流出防止、タンディッシュでのスラグの巻き込み防止が重要である。

## 文 献

- 1) H.Tanaka, A.Imamura, I.Kitagawa and Y.Nishihara: *CAMP-ISIJ*, **4** (1991), 1391.
- 2) Y.Arai, M.Mori and H.Yamamura: *CAMP-ISIJ*, **4** (1991), 1321.
- 3) Y.Higuchi, Y.Tago, S.Fukagawa, T.Kanai and A.Mutoh: *Tetsu-to-Hagané*, **85** (1999), 375.
- 4) K.Sasai and Y.Mizukami: *ISIJ Int.*, **40** (2000), 40.
- 5) K.Sasai: *CAMP-ISIJ*, **16** (2003), 820.
- 6) K.Sasai and Y.Mizukami: *CAMP-ISIJ*, **13** (2000), 968.
- 7) K.Sasai and Y.Mizukami: *CAMP-ISIJ*, **14** (2001), 76.
- 8) W.Yamada, A.Kiyose, J.Nakashima, J.Fukuda, K.Okazawa and K.Miyazawa: *CAMP-ISIJ*, **12** (1999), 682.
- 9) W.Yamada, T.Matsumiya and A.Ito: Proc. of 6th Int. Iron and Steel Cong., ISIJ, Tokyo, (1990), 256.
- 10) G.Eriksson: *Acta Chem. Scand.*, **25** (1971), 2651.
- 11) H.Gaye and J.Welfringer: Proc. of 2nd Int. Symp. Metallurgical Slags and Fluxes, AIME, Warrendale, (1984), 357.