



製鋼用耐火物の昨今の動向

仙 波 喜 美 雄*

Recent Trends of Steelmaking Refractories

Kimio SEMBA

1. 緒 言

最近、鋼の高級化を始め省エネルギー、環境対策、歩留り向上等を目指す多くの新技術が開発されつつある。これらはそこに使用される耐火物にとって条件の苛酷化を招くことが多く、これに対処するため高性能、多様な耐火物が開発されつつある。ここでは製鋼用耐火物のうち溶銑予備処理、炉外精錬及び CC 用耐火物の動向について述べる。

2. 溶銑予備処理用耐火物

溶銑樋、溶銑鍋、混銑車等で脱硫、脱磷、脱珪を行う溶銑予備処理技術の発達に従って、炉材の損傷も大きくなり操業条件に適応する炉材の開発が要求されている。

脱硫剤としては主に Ca 化合物が使用され、最近ではカーバイドよりも石灰が多く使用されている¹⁾²⁾。従来、混銑車には高級粘土れんがが使用されていたが、脱硫処理比率が比較的低い場合はスラグラインに高アルミナれんがを使用して損耗バランスをとっていた。脱硫処理比率が高くなるに従い、高アルミナれんがは長期の使用中に構造的スポーリングにより剝離する傾向がある。その対策が種々検討され高アルミナ骨材を主体として炭化珪素、黒鉛を添加した焼成または不焼成の $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ れんがが好結果を示し、使用条件の苛酷化と共にその使用範囲が拡大している。その品質例を表 I に示す。

大石ら³⁾は石灰を用いた溶銑の脱硫処理用混銑車のスラグラインに不焼成 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ れんがを採用し、従来の高アルミナ質に比較して溶損速度は 1/3 以下に低下したと報告している。また、永井ら⁴⁾は溶銑脱珪、脱磷処理用炉材として $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC}$ 、 $\text{MgO} \cdot \text{C}$ 等 11 種の材質について検討し、耐酸化鉄性、耐高塩基度スラグ性、耐スポール性の炉材として不焼成 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ 質が最も優れた結果を得たと報告している。SiC の一部はガラス化して黒鉛を保護し空気及びスラグ中の酸化鉄等の酸化性物質に対する酸化抵抗性を与え、更にこれらの成分の侵入を防止するので、スラグに濡れにくく化学的安定性、容積安定性に優れているなどのカ

ーボンの特性が発揮されるものと推定している。

写真 1 は脱硫処理用混銑車内張りに使用された $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ 質れんがの稼働面附近のマイクロ組織である²⁾。SiC は粒子の周辺にカーボンを主体とした変質層が見られ、生成した Si の一部は Fe と共存するが大部分は酸化しガラスになっている。

混銑車湯当たりはスラグラインと同様使用条件が厳しいが、最近この部位にも $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ 質れんがの適用例も報告されている⁵⁾⁶⁾。

ソーダ灰等の Na 化合物は優れた脱硫、脱磷剤として使用されているが、 Na_2O は低粘性融液または気相でれ

Table 1. Properties of $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ brick.

Item	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ brick	
	Unburned	Burned
Chemical Analysis (%)		
SiO ₂	7	18
Al ₂ O ₃	59	55
SiC	18	9
C	10	16
Apparent specific gravity	3.13	2.82
Bulk density (g/cm ³)	2.78	2.63
Apparent porosity (%)	11.2	6.6
Cold crushing strength (kg/cm ²)	530	1117
Hot modulus of rupture at 1400°C (kg/cm ²)	52	196
Thermal expansion at 1000°C (%)	+0.48	+0.47



Photo. 1. The microstructure behind the working face of $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ brick.

昭和 57 年 4 月 20 日受付 (Received Apr. 20, 1982) (依頼解説)

* 黒崎窯業(株)技術研究所 (Technical Research Laboratory, Kurosaki Refractories Co., Ltd., 1-1 Higashihama-cho Yawatanishi-ku Kitakyushu 806)

んが中に侵透し、マトリックスに低融点の $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 等を生成してれんが組織を崩壊する⁷⁾。従つて極力 SiO_2 が少ない材質を選ぶ必要がある。成瀬ら⁸⁾は Na_2CO_3 による侵食試験で黒鉛含有スピネルれんがが $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ れんがより良好な耐食性が得られたのは SiO_2 が少ないためと推定している。梨和らは⁹⁾ マグネシア・スピネル・カーボンれんがをソーダ灰処理注鉄鍋のスラグラインに使用して良好な耐用を得たが、熱伝導率が高いので断熱対策が必要と報告している。この塩基性または塩基性に近い原料とカーボンを組み合わせたれんがでは $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiC} \cdot \text{C}$ 質より更に酸化対策が重要である。森本ら¹⁰⁾は操業方法の改善でこの問題を解決しているが、良好な耐食性、耐スポール性の特長を生かすため、更に改良を急ぐ必要がある。

インジェクションランス用耐火物としては耐熱衝撃性、耐浸潤性の点から Al_2O_3 70~90% のクレイボンドキャストブルが優れた耐用を示している。また、剝離損耗に対してステンレスファイバーの添加が有効であることが報告¹¹⁾¹²⁾されている。

3. 炉外精錬用耐火物

炉外精錬の中でも取鍋精錬法は種類が多く操業条件も多様でライニングは一様でないが耐火物にとつて苛酷な条件であり特にスラグライン部の損傷が著しい。例えば VOD 取鍋では高温真空下で比較的低塩基度スラグによる侵食と間欠操業による激しい熱変化を受けて耐火物は熱的・構造的スポーリングにより剝離損耗する。これまでに検討された材質としてセミリボンド、リボンドマグクロ質[†]及びマグドロ、ドロマイト、石灰質の石灰含有れんががあるが、使用条件の若干の差異により結果が異なっており¹³⁾¹⁴⁾寿命もまだ短く今後の開発が急がれている。

VAD 取鍋と LF 取鍋のスラグラインにも、当初はマグクロまたはマグドロ質れんがを使用していたが最近ではマグネシアカーボン (MgO-C) れんがを適用して好結果を得ているとの報告が多い^{15)~19)}。その特徴は変質層が少なく構造的スポーリングがない点で損耗は溶鋼、スラグによる侵食摩耗と黒鉛の酸化に律速されている。黒鉛の酸化には気相酸化とスラグ、溶鋼中の酸化性成分による液相酸化が考えられるが、 CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , MgO 等を主成分とするスラグでは液相酸化が少なく良好な耐用が得られている¹⁶⁾。

図1は酸化性成分の異なるスラグを用いて、MgO-C とマグクロセミリボンドの耐食性を比較したもので酸化鉄、 MnO , Cr_2O_3 等の酸化性成分を含むスラグに対しては MgO-C の耐食性は劣るが酸化性成分を含まないスラグでは逆の結果を示している。 Cr_2O_3 の原子間引力

† セミリボンドは電融マグクロクリンカーを一部配合したれんが。リボンドはほとんど電融マグクロクリンカーのみのれんが。

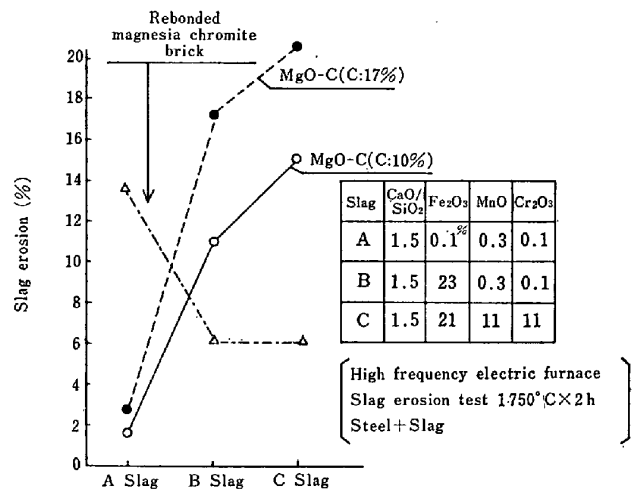


Fig. 1. The results of MgO-C brick slag erosion test.

は FeO , MnO の約 2 倍で酸化性はやや小さいが黒鉛に対する影響は十分大きくこれがステンレス製鋼スラグではそれ程好結果が得られない理由であろう¹⁶⁾。MgO-C れんがはカーボン量が多い程スラグ中の酸化性成分の影響を受けやすく耐食性は低下するが、耐スポール性に対しては逆の傾向になるのでその兼ね合いが重要である(図1)。

取鍋精錬用取鍋下部一般壁にはマグクロれんがも使用されるが、高アルミナ質不焼成れんがの適用例が多い。また、敷はジルコン質がほとんどである。ジルコン質のような酸性れんがは生成した珪酸質融液が MgO-C 中のマグネシア粒を選択的に侵食するので張り合わせ使用する場合には境界面の接触反応に注意する必要がある²⁰⁾。

RH 脱ガス槽では下部槽及び浸漬管を中心としたライニングの損耗が大きい。下部槽内張りは真空下での溶鋼、スラグによる表面からの溶損もあるが熱的、機械的応力変化のために稼働面に平行に生ずるき裂が損耗を律速すると考えられている。従つて耐真空性、耐スポール性に優れたダイレクトボンドマグクロれんがが主に使用されているが、今後操業条件が苛酷化する場合に、セミリボンド、リボンドれんがの適用も検討されるものと思われる。

AOD 炉では一般に高温下で流動性の高いスラグと接し、しかも羽口側では攪拌の影響を強く受けるため耐火物には多量のスラグが浸透して組織劣化を招き、剝離や溶損により損耗するので特に耐食性に優れた高性能の材質が必要とされる。比較的低塩基度スラグ操業の場合にはマグクロ質れんがが優位性を示し当初はダイレクトボンドれんがが使用されたが、最近では更に高耐食性の高級セミリボンド及びリボンドれんがが使用されている。これらは電融マグクロクリンカーを多く配合し、高圧成形による緻密な素地を超高温度焼成したれんがで 2 次スピネルが多く生成し、ダイレクトボンドの発達が良好で高熱

間強度, 高耐食性等の優れた高温性状を有している. 写真2にリボンドれんがのマイクロ組織を示す. またスラグ組成や操業条件によつては, マグドロレンが等の石灰系れんがが使用されている例もある²¹⁾. これは CaO が高

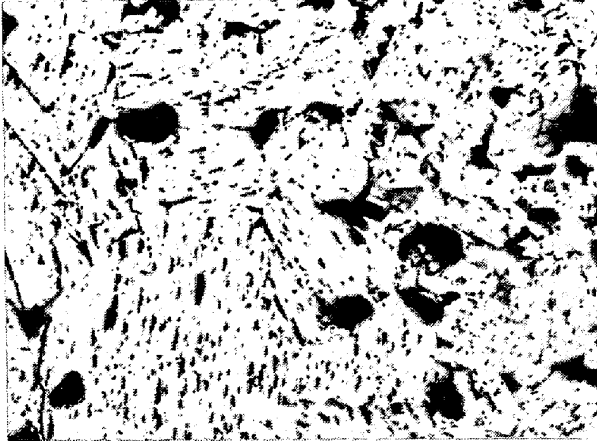


Photo. 2. The microstructure of magnesia-chromite rebond (fused co-clinker) brick.

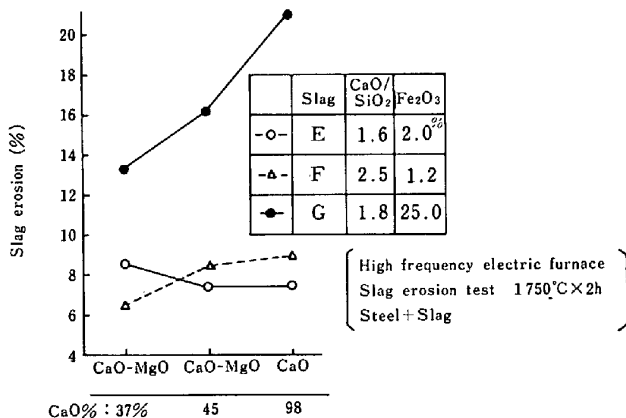


Fig. 2. The results of MgO-CaO brick slag erosion test.

温で応力緩和性を有するので熱的スポーリングに強く, CaO が多い程その特徴が発揮されるが, 逆に熱間強度は CaO が多い程小さく, 耐食性も低下する. 特に鉄酸化物を多く含むスラグではウォラストナイト (Wollastonite, β -CaO·FeO·SiO₂) 等の低融点, 低粘性スラグとなるので侵食性が增大する. 従つてれんがの選定には石灰量 (%) を含めた品質と使用条件の関係を十分考慮する必要がある.

図2に塩基度と酸化鉄 (%) の異なるスラグを用いて, 石灰量の異なるマグネシア石灰系れんがの侵食試験を行った結果を示す. 塩基度 1.5 と 2.5 では被食率は大きくないが, FeO を多く含むスラグでは大幅に被食率が增大し, しかも石灰の多いれんが程, その傾向が大きい. 石灰れんがの寿命向上を図るため高温焼成された低フラスクドロマイトクリンカー, 電融または焼結石灰クリンカーなどの高純度, 高級原料を使用したれんがも試験されているが²²⁾²³⁾, 更に高品位の材質の開発が求められている. これら炉外精錬用として使用されているれんがの品質例を表2に示す.

4. 連続铸造用耐火物

連続铸造 (CC) の発展に伴いそこに使用される耐火物は従来の安価な大量消費の造塊用耐火物と全く異なつた高機能を有する高級耐火物に変ぼうしている.

4.1 スライディング・ノズル (SN) 用耐火物

スライディング・ノズルは本格的に使用され始めてから十数年になるが, その間耐火物及び摺動装置の改良と使用技術の改善により急速に普及した. SN は溶鋼取鍋から始まつたが現在ではタンディッシュ (TD) の溶鋼流量制御, 溶銑予備処理鍋, 更には非鉄の分野にも拡大している. 特に TD への適用は多連铸 (Sequence-Continuous Casting : SCC) の普及に伴う铸造速度自動制御の採

Table 2. Properties of secondary steelmaking refractories.

Item	Magnesia-Chromite				Magnesia-Dolomite		Magnesia-Carbon	High-alumina (unburned)	Zircon
	Direct bonded	Rebonded		E	F	G	H	I	
		Partially fused co-clinker	Fully fused co-clinker						
A	B	C	D						
Chemical analysis (%)	SiO ₂	0.4	1.3	1.1	1.2	0.5	0.5	9.3	30.6
	Al ₂ O ₃	2.5	10.5	8.4	6.5	0.1	0.2	85.4	12.0
	Fe ₂ O ₃	5.3	9.4	5.6	6.5	0.4	0.5		
	CaO	0.6	0.7	0.6	0.6	25.7	44.7		
	MgO	78.7	53.8	61.9	64.4	73.3	51.1	77.8	
	Cr ₂ O ₃	12.4	24.3	22.0	20.8				1.8
									ZrO ₂ 53.0
Apparent specific gravity	3.71	3.87	3.80	3.77	3.43	3.43	2.98	3.51	4.19
Bulk density (g/cm ³)	3.14	3.29	3.37	3.22	3.03	3.08	2.88	2.92	3.51
Apparent porosity (%)	15.3	15.0	11.3	11.9	11.3	10.3	3.2	16.9	15.4
Cold crushing strength (kg/cm ²)	690	530	1 250	1 080	790	985	470	795	700
Hot modulus of rupture at 1480°C (kg/cm ²)	80	98	150	130	3.8	3.3	1 400°C	1 400°C	
Thermal expansion (%) at 1500°C			1.8	1.8	2.1	2.0	1.8	1.6	0.7
Use	RH, DH Ladle refining	RH, DH Ladle refining	AOD	AOD	Ladle refining side wall	AOD Ladle refining slag line	Ladle refining slag line	Ladle refining side wall	Ladle refining bottom

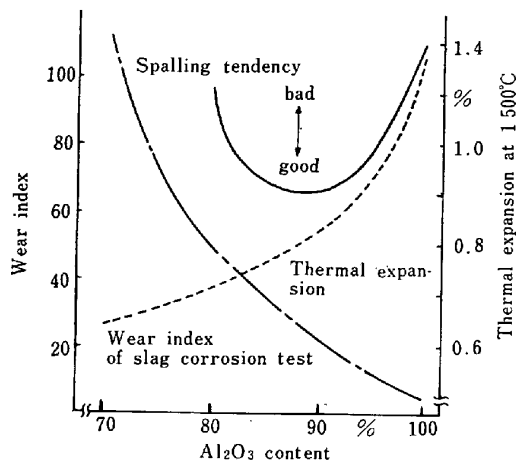


Fig. 3. The Al₂O₃ content of ordinary ceramic bonded plate brick related to its spalling resistance, thermal expansion and slag attack²⁵⁾.

Table 3. Properties of slide plate brick.

Item	Carbon bond		Ceramic bond			
	A	B	C	D	E	
Chemical analysis	Al ₂ O ₃	77	77	95	93	87
	SiO ₂	8	8	4	6	12
	C	11	12	—	—	—
Apparent specific gravity	3.11	2.91	3.76	3.61	3.43	
Bulk density(g/cm ³)	2.76	2.85	3.14	2.95	2.89	
Apparent porosity (%)	11.5	2.1	16.4	19.5	15.8	
Cold crushing strength (kg/cm ²)	1 770	1 880	1 680	1 500	1 530	
Hot modulus of rupture at 1 400°C	110	150	100	95	80	
Thermal expansion at 1 500°C (%)	1.00	1.00	1.20	1.07	0.98	
*Corrosion index						
Slag-metal interface	43	—	88	96	100	

$$* \text{Corrosion index} = \frac{\text{Wear rate of another one}}{\text{Wear rate of sample E}} \times 100$$

用により急速に増加している²⁴⁾。

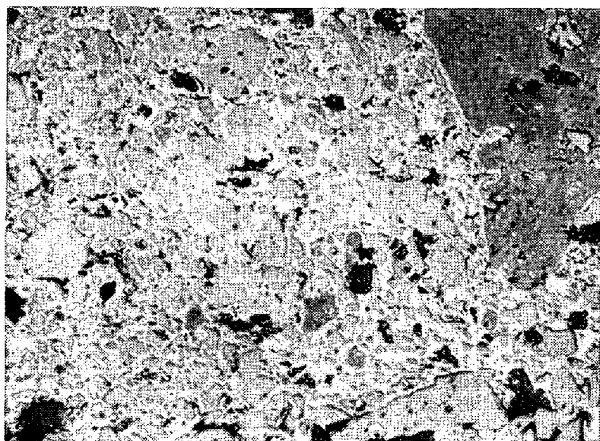
SN 用耐火物の中で溶鋼流量を制御するプレートレンが SN の寿命を決定する特に重要な部分で一般に焼結アルミナを主体にした熱間特性の優れた高アルミナ質

にタールを含浸したプレートレンが多く使用されて来た。高アルミナ質レンがの Al₂O₃ 含有量とプレートレンの基本特性との間には図 3 のような関係がある²⁵⁾。摺動回数が多い上注ぎには熱膨張率が小さく耐スポール性に優れた Al₂O₃ 86~88% のプレートレンが、絞り注入が多用されノズル孔エッジの耐久性が要求されるタンディッシュには Al₂O₃ 90% 以上の高耐食性のプレートレンが適用される傾向にある (表 3)。

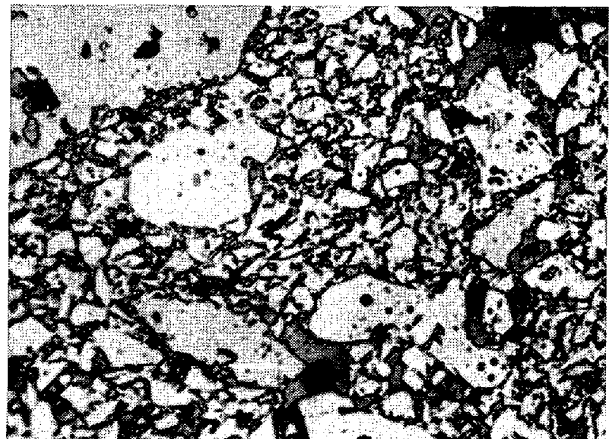
プレートレンの寿命に及ぼす残存カーボンの影響は大きく²⁶⁾²⁷⁾、このため高ピッチタール、高圧含浸並びに繰り返し含浸などが実施されている。しかしタール含浸プレートレンが使用中にタールが表面に滲出し多量の黒煙を発生し作業環境上好ましくない。この対策が1975年頃から検討され始め無発煙のアルミナ-カーボン系プレートレンが開発された²⁸⁾²⁹⁾。この特徴は溶鋼に難溶解性の無定形カーボンを約 10% 含有し、気孔径が非常に小さく緻密な組織を有し (写真 3, 4 図 4) 耐食性に優れている。使用実績は従来のタール含浸プレートレンがより 20~30% の寿命向上が認められている。また最近これに若干のジルコニア (単斜型) を配合し更に耐スポール性を改善したプレートレンがも実用に供されている³⁰⁾。

マグネシア質プレートレンがは日本での使用例³¹⁾は少ないが、欧州では主として酸素レベルの高いピレット用にダイカルシウム・シリケート・ボンドの熱間強度の高いマグネシア質プレートレンががかなり使用³²⁾ (プレートレンがの約 30%) されている。

SN 下部ノズルは上注の場合、ロータリータイプでは孔径の異なつた 2 つの下部ノズルにより溶鋼ヘッド圧の変化に対応できる。これに対してレシプロタイプではプレートレンがの絞り注入が必要であつたが図 5 のように下部ノズルを中間ノズルと孔径を絞つた下段ノズルに分割し、下段ノズルの材質を溶損タイプとする方法が採用され³³⁾プレートレンがの摺動回数が少なくなりレンがの



Carbon bond A ×165



Ceramic bond E ×165

Photo. 3. The microstructure of slide plate brick.

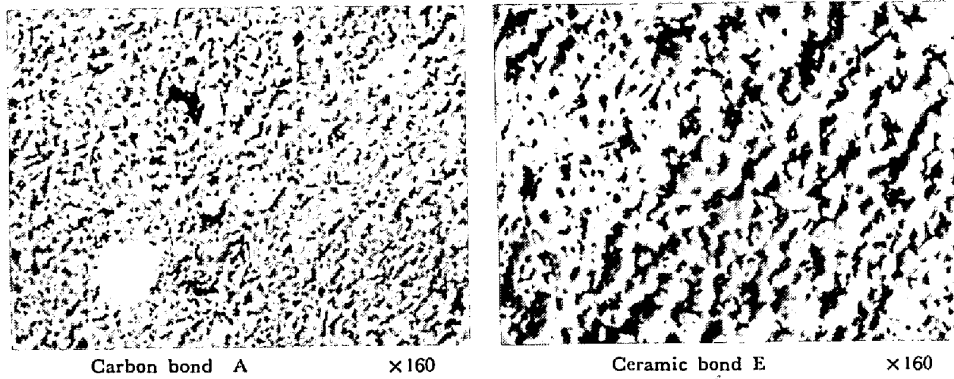


Photo. 4. The surface structure of plate brick.

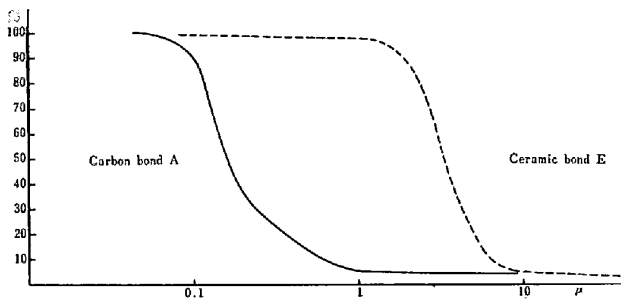


Fig. 4. Pore radius distribution.

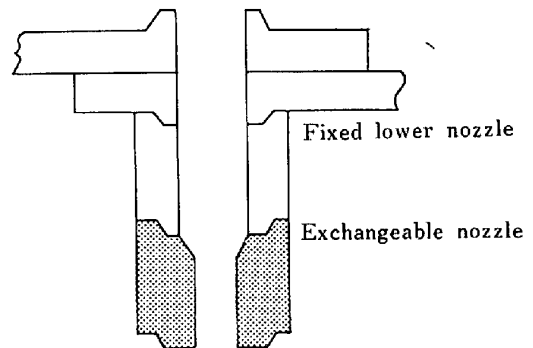


Fig. 5. Schematic design of double-decker lower nozzle³³⁾.

寿命延長が可能になった。

最近レジンバインダー不焼成下部ノズルが開発され従来の焼成品に替わって良好な実績が得られており³⁴⁾今後上部ノズルも不焼成化が推進されるものと思われる。

SN 装置は導入当初のプレートレンガを単に摺動させる装置から自動制御による SCC を支える主要なシステムに発展している。図 6³⁵⁾は SN を用いた自動制御 SCC システムの一例である。モールド湯面は従来のマニュアルに比べて非常に良くコントロールされ(±5 mm 以内)鋼の品質の向上に効果が大きいと言われている³⁶⁾。

4.2 浸漬ノズル、ロングノズル

取鍋-TD 及び TD-モールド間に溶鋼の酸化防止、非金属介在物の減少及びモールド内での溶鋼流の安定のためロングノズル (Shroud)、浸漬ノズルが使用されており (図 6)、両者共基本的には鱗状黒鉛、溶融アルミナを主原料に、耐スポール性付与原料として溶融シリカが配合されている。最近これに加えてムライト-ジルコニア系の原料が両ノズルの性能向上に有効であると言われている³⁷⁾。

ロングノズルは予熱して多数回使用を目的とした高耐食性のものと非常用として予熱無しで使用可能な耐スポール性のものの 2 種が必要とされている。前者は溶融シリカを必要最小限に抑えマトリックスの主成分の溶融アルミナの粒度分布を精密に制御することにより耐溶鋼摩耗性の改善を図り、溶鋼浸漬部を黒鉛-ジルコニア質で補強することにより寿命は平均 6~7 ヒート/本が達成され、20 ヒート/本を越えるものも珍しくない。非常用

ロングノズルは溶融シリカの泥しよう鑄込み品が一般に使用されていたが、最近黒鉛-アルミナ質に溶融石英を若干多く配合した耐スポール性のロングノズルが開発され実用化されている。

浸漬ノズルは SCC の一般化、鋼種の多様化 (リバンド~キルド鋼) により従来に増して、(1)パウダーに対する耐食性、(2)酸素レベルの高い溶鋼に対する耐食性、(3)ノズル閉塞対策の 3 点が重要になっている。モールドパウダーは CaO/SiO₂ 比が約 1 でアルカリ金属酸化物及び弗化物を多く含んでいるため浸食性が強い。この対策として浸漬ノズルとパウダーとの接触部を同時成形した黒鉛-ジルコニア質で補強する方法が普及し、その耐食性が改良されたことによりパウダー部の溶損によるトラブルはほとんどなくなった。

現在の浸漬ノズルの最大の問題はノズル閉塞である。ノズル閉塞は鋼種、脱酸材、鑄造条件等により閉塞発生位置、閉塞生成物の組成が異なりまだ完全な解明はなされておらず、防止対策はノズル閉塞の状況を見ながら対症的に対処することが多い。材質面では溶損性材質を配合し、ノズル孔径の溶損拡大により防止する方法、または溶鋼に濡れにくい BN、サイアロン等の原料を使用することも検討されているが卓効は得られていないようである。ガス吹き込みによる溶鋼の攪拌は最も有効な手段としてポーラス・リング方式、マイクロ・ポア³⁸⁾方

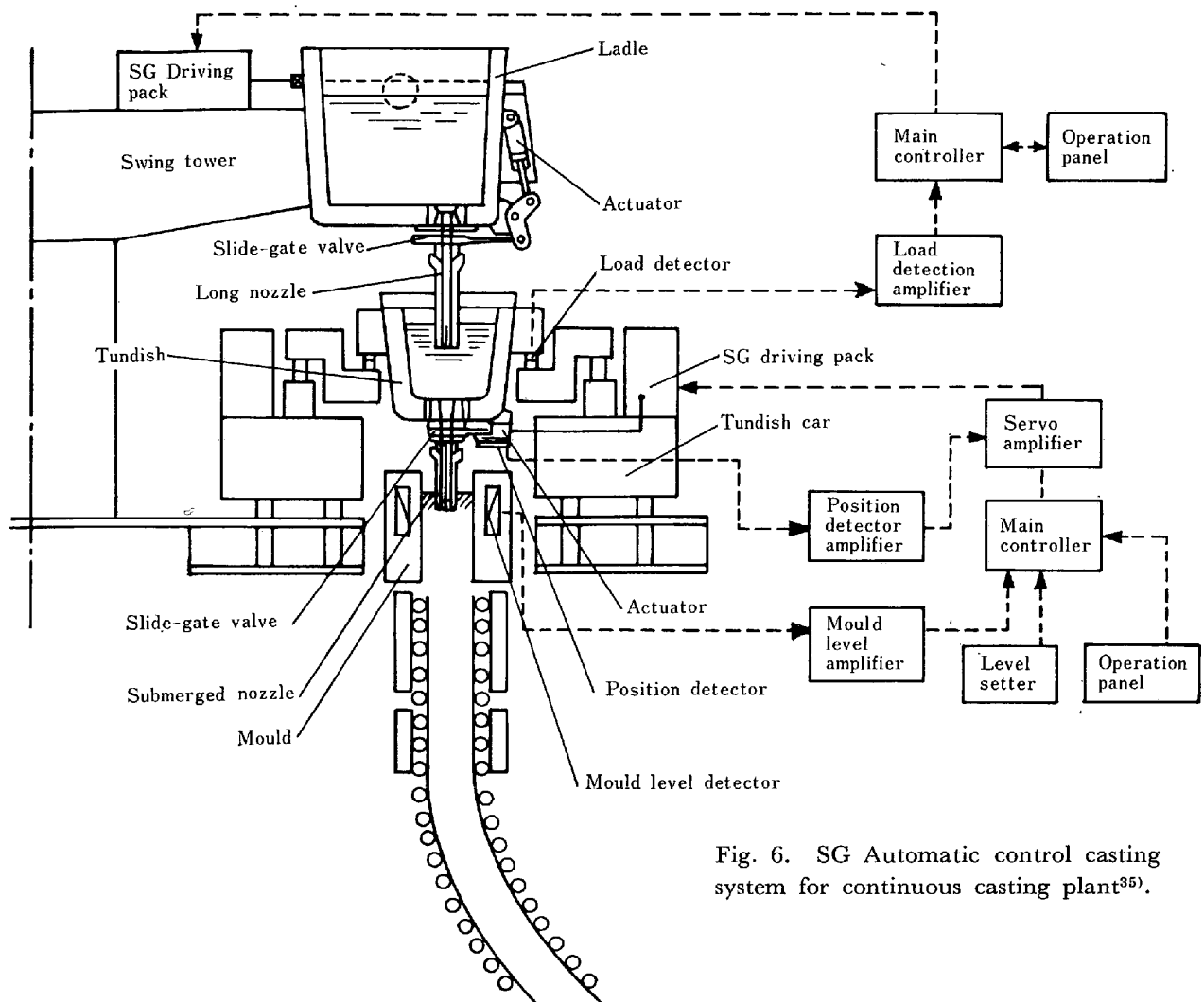


Fig. 6. SG Automatic control casting system for continuous casting plant³⁵⁾.

式、スリット方式等いろいろの方法が試みられているが、最近の傾向としてノズル内孔の広い範囲からガスが噴出するスリット方式が主流になりつつある。また、水モデル実験によりノズル孔内の流れの状態を検討しており新しいノズル形状³⁹⁾も提案されている。このような対策の他に閉塞が生じたノズルを鑄込みを中断することなく交換する装置が開発、実用化され迅速交換が可能になっている⁴⁰⁾。

ロングノズル及び浸漬ノズルと SN 下部ノズルの接合部には耐火モルタルあるいは耐火ファイバシート等通気率の高い材料が使用され接合部のシーリングに対して関心が薄い傾向にあったが、最近接合部にポーラス・リングを装着し Ar ガス・シールを行うかまたは気密性と耐食性に富んだ新しいジョイント材⁴¹⁾⁴²⁾を使用する等溶鋼の酸化防止についてきめ細かな対策が実施されつつある。

連鑄用炉材としてはこの他に取鍋（親鍋）TD ほかがある。取鍋は高珪酸質低気孔率蠟石れんがが使用されていたが CC 比率の増加、取鍋内処理等による操業条件の苛酷化に伴い高アルミナ、ジルコン質の使用が増加

し、また最近では焼成マグネシア-スピネル質、不焼成マグネシア-カーボン質等塩基性も検討され使用条件によっては良好な実績を得ている。一方不定形化についてはサンドスリンガー方式が導入されたが施工体の充填度の点から現在は流し込み、ラミング、振動成形 (VF) 等の方式が変わつて来た。特に流し込み方式は施工後の養生が必要であるが設備費が安く継ぎ足し施工⁴³⁾が容易で炉材の有効利用率が高い⁴³⁾。また、材質的にもジルコン、塩基性等に適用可能である。

鍋底れんがは従来蠟石質れんがが使用されているが、溶鋼の衝撃、摩耗、熱衝撃、地金除去時の機械的衝撃等、耐火物にとって難しい条件がある。最近高アルミナ、珪石-ジルコン質等検討されているが十分な効果をあげていない。今後の方向の一つとして最近開発された湯当たり用の高強度大型ブロック（プレキャスト品）が注目されている⁴⁴⁾。

タンディッシュには主にマグネシア質ボードまたはコーティング材が使用されている。ボードは断熱性に優れ比較的軽予熱で使用できるので省エネルギー効果が大きい。施工に技術を要し、解体時の発塵が大きく高価な点が

欠点とされていた。最近はいンダーの改善、目地材の改良等により解決されつつあるようである⁴⁵⁾。コーティング材は耐食性に優れ、施工が容易で安価なので広く使用されており、最近は断熱性のものも開発されている⁴⁶⁾⁴⁷⁾。施工面でも自動施工機の開発が進んでいる。

5. 結 語

最近特に注目されている溶銑予備処理、特殊精錬、連続铸造用耐火物の主なものについて概要を述べた。ただし、転炉用耐火物については林氏の講演⁴⁸⁾で詳しく述べられているので省略した。また、取鍋、タンディッシュ、不定形耐火物等については紙数の関係上ほとんど省略せざるをえなかつた。これらはまた、別の機会に譲りたい。上述のように現在の製鋼用れんがは $MgO-C$ 、 Al_2O_3-C 等の炭素含有耐火物及び塩基性高温焼成れんがが中心を占めている。今後どのような耐火物が要求されるか予想は難しいが、鉄鋼の技術革新に伴いますます高機能、高性能の炉材が求められると思われるので、一層新しい耐火物の開発に努力したい。

文 献

- 1) 仙波喜美雄, 鹿野 弘, 堀 平和: 耐火材料, 121 (1975), p. 55
- 2) 古海宏一, 仙波喜美雄, 小野典璋: 耐火物, 30 (1978) 248, p. 527
- 3) 大石 泉, 宮川三郎, 本町 勉: 耐火物, 33 (1981) 249, p. 617
- 4) 永井春哉, 佐藤高芳, 井手秀夫: 耐火物技術協会第 67 回製鋼炉用耐火物専門委員会資料 No. 3 (1981)
- 5) 山本 力, 岡本孝雄, 東原 健, 広田哲生: 耐火物, 32 (1980) 267, p. 202
- 6) 成瀬庸一, 古海宏一, 八木琢夫, 鎌田義行, 阿部雅夫: 耐火物技術協会第 67 回製鋼炉用耐火物専門委員会資料 No. 1 (1981)
- 7) 平橋敬資, 福岡弘美, 加山恒夫: 耐火物, 32 (1980) 266, p. 153
- 8) 成瀬庸一, 古海宏一, 八木琢夫, 小野典璋, 阿部雅夫: 耐火物, 33 (1981) 286, p. 626
- 9) 梨和 甫, 橋尾守規, 島村剛三: 耐火物, 33 (1981) 281, p. 334
- 10) 森本忠志, 中村敏男: 耐火物, 33 (1981) 286 p. 623
- 11) 丸川雄浄, 広末伸好: 金属, 51 (1981) 7, p. 7
- 12) 大石 泉, 小笠原一紀, 山口智広, 坂本義弘: 耐火物, 34 (1982) 289, p. 91
- 13) 新見高保, 村山義明, 林 武志, 渡辺二郎, 西尾英昭: 耐火物, 30 (1978) 242, p. 167
- 14) 塩田政利, 林雄一郎: 耐火物, 31 (1979) 254, p. 129
- 15) 島田康平, 能美征一, 中村 倫: 耐火物, 32 (1980) 273, p. 577
- 16) 雨宮美英, 林雄一郎: 耐火物技術協会第 10 回製鋼炉用耐火物専門委員会分科会資料 No. 7 (1980)
- 17) 足立達彦: 耐火物, 33 (1981) 281, p. 326

- 18) 玉應雄一郎, 鈴木啓二, 前 仏 忠, 星野俊介: 耐火物, 33 (1981) 287, p. 680
- 19) 岩村貞光, 鶴飼 敦, 齊藤泰郎: 電気製鋼, 50 (1979) 4, p. 246
- 20) 渡辺 明, 草下幸雄, 林 純生: 耐火物, 32 (1980) 267, p. 223
- 21) 杉田 宏, 八木重器: 耐火物, 30 (1978) 242, p. 162
- 22) 吉野成雄, 早瀬雅博, 杉本弘之: 耐火物, 31 (1979) 262, p. 574
- 23) 吉野成雄, 市川健治, 杉本弘之: 耐火物, 32 (1980) 272, p. 518
- 24) 柴田英俊, 高島利康, 浅井浩実, 藤田昌之: TAIKABUTSU OVERSEAS, 1 (1981) 2, p. 42
- 25) 古海宏一, 仙波喜美雄, 鹿野 弘, 岩田俊彦: 耐火物, 30 (1978) 249, p. 562
- 26) 古海宏一, 仙波喜美雄, 鹿野 弘: 耐火物, 28 (1976) 226, p. 501
- 27) 古海宏一, 仙波喜美雄, 鹿野 弘, 上野治幸: 耐火物, 29 (1977) 237, p. 523
- 28) 山広実留, 萩原 武, 藤江英雄, 松尾照元: 耐火物, 30 (1978) 243, p. 233
- 29) セラミック・データブック (1979), p. 163 [工業製品技術協会]
- 30) 田中 功, 鎌田修治, 阪本克彦, 仙波喜美雄, 鹿野弘, 原田 力: 耐火物技術協会第 59 回造塊用耐火物専門委員会資料 No. 12 (1981)
- 31) 柘植正臣, 市川健治, 竹端美視, 安藤光和: 耐火物, 32 (1980) 269, p. 342
- 32) P. JESCHKE, U. MUSCHNER, M. OBERBACH, and J. PIRDZUN: Inter Ceram, 27 (1978), p. 280
- 33) 古海宏一, 仙波喜美雄, 鹿野 弘, 岩田俊彦: 耐火物, 31 (1979) 255, p. 197
- 34) 古海宏一, 鹿野 弘, 原田 力: 耐火物, 32 (1980) 274, p. 616
- 35) 柴田英俊, 高島利康, 浅井浩実, 藤田昌之: TAIKABUTSU OVERSEAS, 1 (1981) 2, p. 42
- 36) 岡本 穆, 田中哲三, 大岩太郎, 辻川 宏, 西峰保: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 656
- 37) 片瀬伝治, 松尾照元, 本多偉展, 加治信彦: 耐火物, 34 (1982) 288, p. 24
- 38) 落合常巳, 香春陸夫, 齊木五郎, 島尾輝男, 山広実留, 三井英明: 耐火物, 32 (1980) 267, p. 179
- 39) 浅野 貞, 京田 洋, 南波安利, 倉科幸信: 耐火物技術協会第 39 回造塊用耐火物専門委員会分科会資料 No. 5 (1981)
- 40) 江本寛治, 児玉正範, 前田瑞夫, 中村一吉, 大宮茂, 飯田義治: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 658
- 41) 京田 洋, 前 仏 忠, 浅見 肇: 耐火物, 32 (1980) 268, p. 288
- 42) 成瀬庸一, 仙波喜美雄, 鹿野 弘, 原田 力: 耐火物, 34 (1982) 288, p. 29
- 43) 山口 力, 永樂益夫, 八百井英雄: 耐火物技術協会第 34 回造塊用耐火物専門委員会分科会資料 No. 3 (1979)
- 44) 成瀬庸一, 市山広重, 石松繁樹, 上出希安: 耐火物技術協会第 58 回造塊用耐火物専門委員会資料 No. 8 (1981)
- 45) 前 仏 忠, 浅見 肇: TAIKABUTSU OVERSEAS, 1 (1981) 2, p. 70
- 46) 特許公報 昭和 53-47251 (1978)
- 47) 公開特許公報 昭和 52-62128 (1977)
- 48) 林 武志: 鉄と鋼, 67 (1981) 7, p. 841

^{†2} 表面のスラグ、地金等を取り除き残材はそのままにして新しい材料を継ぎ足し施工する方法。