

技術資料

UDC 669.1:666.76

最近の鉄鋼用耐火物の諸問題*

杉 田 清**

Current Problems of Steelplant Refractories

Kiyoshi SUGITA

1. ま え が き

鉄鋼業にとって、耐火物は必須不可欠の重要材料であり、鉄鋼業の進歩に伴って鉄鋼用耐火物も発展してきた。特に戦後の我国における鉄鋼業への耐火物の貢献は、周知のとおりであり、両者の関係はまさしく密接不可分であるといえる。石油危機を端緒とする我国鉄鋼業の情勢変化は、鉄鋼用耐火物にも質的、量的に反映しており、この意味で、鉄鋼用耐火物は一つの転換期を迎えていると考えられる。

鉄鋼用耐火物の技術は、製造技術と使用技術に大別され、両者の相互刺激と連帯が必要であるが、特に使用技術からの誘導が重要である。このことは、過去の鉄鋼用耐火物の変革進展の大部分が、ユーザー先導型であつたことから指摘できる。

以下に、最近の鉄鋼用耐火物にみられる傾向と、その問題点の集約を試みたが、その重点をユーザーの立場からの現状のマクロな分析と問題点あるいは今後の課題の抽出においた。技術データ等のより具体的詳細は、最近の他書¹⁾にゆずり割愛した。

2. 戦後の推移

高炉の大型化、平炉の転炉化、連続鑄造法の導入に代表される戦後の鉄鋼業における技術革新と高度成長は、鉄鋼用耐火物に大きな変革とめざましい進歩をもたらした。それらの経過²⁾を要約すれば、その特色として

- (a) 耐火物材質の高級化(高純化、緻密化など)
 - (b) 特殊機能、特殊形状の耐火物(スライディング・ノズル、ポーラスプラグなど)の出現
 - (c) 築炉補修法の機械化省力化と不定形耐火物の増加(スリンガー、吹付施工など)
 - (d) 新規材料の活用(窒化珪素など非酸化物、セラミックファイバーなど)
- などがあげられるが、この背景には、鉄鋼製造技術の変

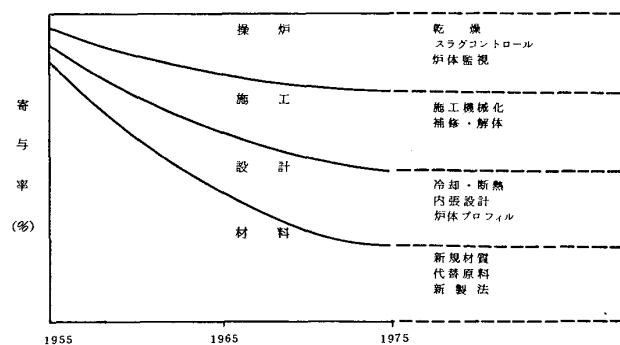
化のみならず、省力、省資源・エネルギー、環境改善など社会的な要因が大きく作用していることも見逃せない。

これら戦後の鉄鋼用耐火物の推移を、最も端的に示すものは、炉寿命の延長を主因とする炉材原単位の大幅な低減であろう。1955年当時の全国平均原単位(作業用)は50kg/t-steel前後であり、1977年のそれは15kg/t-steelである。最近では10kg/t-steel前後の製鉄所実績も出ている。

一方、我国の鉄鋼業の特異性にも影響され、世界的な鉄鋼用耐火物の標準的な動向から著しく偏倚した耐火物技術も定着した。高炉鑄床用耐火物(種材、出鉄口充填材)への炭化珪素など高級原料の多用、合成マグドロー原料とする転炉レンガ、取鍋へのジルコン質耐火物の大量使用などは、我国独特の方式といえる。

鉄鋼用耐火物の使用技術の構造にも変化が認められた³⁾1955年頃では、耐火物材質の改良開発が中心であつたが、最近では内張構造設計、耐火物施工法、操炉技術も重要な要素となり、従来の材質中心の技術構造では対処できなくなつている。

これら耐火物使用面の変化が、耐火物製造工業に大きな影響を与えたことはいうまでもない。需要構造の変化は原料、製造工程に影響し、工場立地にも変化がみられた。

図1 耐火物技術構成の推移³⁾

* 昭和54年2月7日受付 (Received Feb. 7, 1979) (依頼技術資料)

** 新日本製鉄(株) 工博 (Nippon Steel Corp., 2-6-3 Otemachi Chiyoda-ku 100)

表 1 鉄鋼用耐火物の生産・消費推移 (全国統計)

年度	粗鋼生産量 (t)	鉄鋼向け総出荷量 (t)			作業用出荷量 (t)			原単位 (kg/t-steel)		不定形化率 (%)
		レンガ	不定形	計	レンガ	不定形	計	総計	作業用	
1945	1 962 755	131 865						67		
50	5 297 741	461 220						87		
55	9 790 692	506 122	* 2 387	508 509				52		
60	23 161 008	1 093 026	*18 061	1 111 087				48		
65	41 296 200	1 126 490	**132 726	1 269 216	1 056 000			31		10.5
70	92 406 000	2 171 100	***505 691	2 676 791	1 845 000	425 184	2 270 184	29	25	18.9
71	88 441 000	1 742 716	***458 245	2 200 961	1 545 000	397 440	1 942 440	25	22	20.8
72	102 972 000	1 776 783	561 556	2 338 339	1 529 000	453 747	1 982 747	23	19	24.0
73	120 017 000	1 938 636	655 594	2 594 230	1 658 000	520 000	2 178 000	22	18	25.3
74	114 036 000	1 754 786	660 054	2 414 840	1 524 000	596 570	2 120 570	21	19	27.3
75	101 596 000	1 411 233	655 952	2 067 185	1 152 000	550 940	1 702 940	20	17	31.7
76	108 326 000	1 343 881	759 864	2 103 745	1 206 000	651 423	1 857 423	19	17	36.1
77	100 646 000	1 095 000	631 000	1 725 000	983 000	573 579	1 556 579	17	15	36.6

(注) ① 鉄鋼向け不定形材はレンガと同率とみて推計。
 ② 不定形化率は、建設用も含む。
 ③ * キャスタブル、プラスチックのみ。
 ④ ** キャスタブル、プラスチック、モルタルを含む。
 ⑤ *** スリング材を除く全ての不定形材。
 出所：耐火物協会報 (1967, 1972, 1978)

3. 最近の全般的傾向

各論に入る前に、最近の鉄鋼用耐火物に共通してみられる傾向について述べてみたい。

先述の戦後の推移の中に認められる諸傾向は、現在においても、一つの底流をなしていることは事実であるが、鉄鋼業の低成長傾向が定着しつつある最近では、多くの点で変化あるいはその兆がみられる。これは今後の鉄鋼用耐火物の方向を根底から変化させるものではないが、相当の軌道修正を招くことになろうと推測される。

最近の傾向の背景として特に注目されるのは、

- A: 鉄鋼製造コスト低減
- B: 設備建設改修コストの低減
- C: 高級鋼材製造のための製造プロセスの変化

であり、これらは従来からも認められている要因ではあったが、最近の諸情勢の変化により、一層顕著なものとなつている。そして具体的な事例としては、つぎのような諸点を指摘することができよう。

- (a) 高炉、コークス炉など大型窯炉の長寿命化
- (b) 転炉用など作業用 (整備用) 耐火物の原単価 (円/t-steel) の低減
- (c) 溶銑溶鋼の特殊処理用耐火物の重視
- (d) 加熱炉などでの熱効率向上のための断熱、熱交換器用耐火物の重視

特に、大型窯炉の延命と作業用耐火物コスト低減の両面に有効な対策として、各種の窯炉補修技術が検討され、材料、工法、装置の新規開発と実用化が進行している。実際の窯炉においては、その内張耐火物は必ずしも均一に損耗せず、その有効使用率は 60~70% で、残余は解体時に廃棄され、その一部が再使用されている⁴⁾。補修

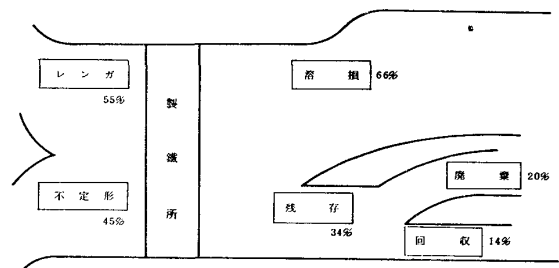


図 2 一貫製鉄所における耐火物物質収支 (例)⁴⁾

法の積極的な適用は、内張寿命延長のみならず、この有効使用率の向上にも結びつく。補修用材料としては、不定形耐火物が適しているため、この傾向は不定形耐火物の使用比率の増大に拍車をかけている。

一貫製鉄所における耐火物の消費パターンは、製鋼部門 (精錬、铸造) が主体を占めている点では、従来と同様であるが、転炉寿命の大幅な延長により、铸造での耐火物消費の比重が増大している。また製鉄部門 (主に高炉铸床用) の比重も高くなつてきている。

4. 高炉内張

4.1 炉壁耐火物 (シャフト下部)

最近の高炉内張の使用後プロフィールについての各種調査結果⁵⁾からもわかるように、最も損傷をうける部位は、シャフト下部であり、高炉内張の寿命はこの部位の損傷によつて決定されるといえる。これは冷却方式、炉容などにはほとんど無関係に、共通してみられる現象であるが炉内装入物の状態とは密接に関連している。

シャフト下部の内張耐火物の損傷機構としては、多くの要因が指摘されるが、化学的要素の大きいものとして、

- (a) アルカリの侵入とその反応

表 2 一貫製鉄所における耐火物原単位例 (1976実績例, 単位: kg/t-steel)

製 鉄 所		A	B	C	主 要 用 途
粗鋼年産(×1000 t)		3 170	4 280	7 256	
原 単 位	製 銑	3.25	3.18	2.53	樋材, マッド 混銑車, 取鍋 転炉, 取鍋, タンディッシュ 均熱炉, 加熱炉
	溶 銑 輸 送	0.79	0.76	0.32	
	製 鋼	11.43	9.30	5.95	
	圧延その他	0.48	0.02	0.21	
	総 計	15.95	13.26	9.01	

(b) Zn の侵入と ZnO の析出

(c) CO からのカーボン析出

(d) 炉内物質との高温相互反応

などがあり, さらに物理的, 機械的要素の大きいものとして,

(e) 炉内物質による磨耗

(f) 内張内発生応力による破壊

などがある。

これらの諸機構は, 実際には複合して進行しているが, 特に重視されているのはアルカリ侵入に起因する損傷である。アルカリは気相(金属蒸気, シアン化物など)で耐火物内に侵入し, 一定の温度領域において耐火物と反応し, 組織の脆化, 破壊をおこすといわれている。たとえば, シャモットレンガ ($Al_2O_3-SiO_2$ 系) では, Kalsilite ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) などの容積変化を伴う鉱物生成が起こる。

高炉に装入されるアルカリ (Na_2O+K_2O) は 2~3 kg/t-pig 程度であるが⁹⁾, 極端な低アルカリ装入は今後とも不可能であり, またアルカリの炉内蓄積を考えると, その対策は内張材質あるいはその構造に求めざるを得ない。

高炉内張侵食に関する KOENIG 等の理論⁷⁾ を採用すれば, アルカリとの反応開始温度が高く, かつ熱伝導率の高い材質が望ましいといえる。緻密組織, 高強度, 耐 CO 性など他の具備特性も重要なことはいうまでもない。これらの諸条件から, シャフト下部用として最近重視されている材質として, アルミナ質 (Al_2O_3 系), 炭化珪素-黒鉛質 (SiC-C 系), 炭化珪素質 (SiC 系) がある。これら材質は実炉での試用比較⁸⁾ もおこなわれ, また本格使用もおこなわれている。

特に炭化珪素質は, 欧米においても有望視されている材質⁹⁾ であり, シャフト下部での非酸化物系耐火物使用傾向の中心的材質となる可能性が大きい。炭化珪素質レンガは, そのボンド成分により, 特性に相当の差異を生ずるため, 窒化珪素 (Si_3N_4) ボンドなど各種の材質が検討されている。

これら諸材質を実用していく上で留意すべきことは, その経済性の評価と内張構造設計との整合である。炭化珪素質など上述の高性能耐火物は, 少なくとも現状では高価であり, 建設改修コストと長寿命メリットの総合評

表 3 高炉シャフト内張の損耗速度⁸⁾

(新日鉄・室蘭3高炉)

レンガ材質	損耗速度比 (シャモット:1.0)	実測値 (mm/D)
炭化珪素 (窒化珪素結合)	0.19	0.10
黒鉛-炭化珪素	0.46	0.24
純アルミナ	0.70	0.36
中アルミナ	0.80	0.46
炭化珪素 (シリケート結合)	0.97	0.50
シャモット	1.00	0.51

価が必要であろう。また内張設計面で特に重要なことは, 冷却方式と耐火物材質の適正な組合せである。たとえば冷却盤方式大型高炉 (4000m³ 級) ではアルミナ質 (90%) が良好な実績を示している¹⁰⁾。いずれにしても, 内張の冷却方式とその構造は, 耐火物材質と密接な関係にある。

最近, シャフト下部の損傷と内張内の発生応力分布の関係が, 高炉の大型化に関連して議論されているが¹¹⁾, この問題は内張構造設計の問題も含めて, 今後さらに検討されよう。

なお, 当然のことではあるが, 高炉の操業条件も内張損傷に大きく影響する。特に周辺流操業による炉壁の異常侵食は, 過去数多く経験されているところである。

4.2 炉底耐火物

炉底は, 高炉内張寿命への影響の点では, シャフト下部につぐ重要部位といえるが, 最近の比較的低い出銑比の操業では, 耐火物への負荷は軽減された感がある。しかし, 安定操業の見地からの重要性には変わりはない。

炉底用の耐火物としては, カーボンブロックを主体とする方式が定着しているが, カーボンブロックの品質および内張構造については, 今後とも検討が必要であり, 炉底においても冷却方式との関連は重要である。

炉底におけるカーボンブロックの損耗機構としては,

(a) 炉内よりの溶銑の気孔への侵入

(b) 溶銑による溶解, 磨耗

(c) 水蒸気などによる酸化

(d) 内張内発生応力発生によるき裂発生

などが, 使用後内張の調査¹²⁾ から指摘されており, 特に重視されるのは(a)および(b)であろう。

表 4 高炉・熱風炉用主要耐火レンガ品質例

材 質	高 炉				熱 風 炉			
	粘 土	アルミナ	黒鉛-炭珪	カーボン	粘 土	高アルミナ	珪 石	
嵩 比 重	2.37	3.17	1.99	1.60	2.17	2.59	1.83	
見掛比重大	2.72	3.69	2.35	—	2.62	3.14	2.32	
見掛気孔率 (%)	12.8	14.0	15.5	18.0*1	17.3	17.5	21.1	
圧縮強さ (kg/cm ²)	944	1 410	418	450	388	1 163	465	
荷重軟化点 (T ₂ °C)	1 645	> 1 700	—	—	1 500	> 1 700	1 675*2	
主要成分 (%)	SiO ₂	52.3	4.8	—	—	61.7	24.5	95.5
	Al ₂ O ₃	44.3	93.7	—	—	33.8	73.5	0.8
	F. C.	—	—	61.0	96.7	—	—	—
	SiC	—	—	22.0	—	—	—	—

*1 真気孔率, *2 T₁ 点

したがって、カーボンブロックの品質面の一つの方向としては、低気孔率かつ微細気孔（たとえば 10 μ 以下）の組織が望ましい。我国のカーボンブロックは、無煙炭一人造黒鉛系のいわゆる半黒鉛質であり、それら組織の改良と同時に、原料配合比やその他の製造条件も検討が必要となる。

一方、炉底内張での応力発生についても検討が試みられているが¹³⁾、経済性も考慮した炉底構造の設計は今後とも研究が続けられよう。

4.3 内張補修と不定形化

高炉長寿命化への要請から、その補修に対する関心が高まっている。従来特に欧米で多用されてきた補修法は中間改修法であり、高炉を一度吹止めたのち、内張（主に炉壁中部）を主として吹付材で補修し、再稼働させる方法である。この方法は高度成長期の我国では、ほとんど採用されなかつたが、今後見直される可能性はあろう。

他方、高炉を稼働させた状態で補修する方法は、高炉の性格からも魅力のあるものである。すなわち、高炉を

外部から補修する方法の一つとして、圧入補修法が最近広範囲に実用されている¹⁴⁾。この方法は、鉄皮の開口部から補修材をポンプで圧入するものであり、補修材としては高アルミナ質などが使用される。この方法は、今後とも有力な補修法として活用されるものと思われるが、材料、装置、工法の全般にわたって改良の余地がある。また補修法の本格的な採用には、内張侵食状態の検出手段についても十分な研究が要望されよう。

高炉への補修法の積極的な応用は、高炉内張の不定形化につながるものである。高炉内張の不定形化は、各国で古くから議論されてきた。高炉の原形ともいべき古代の製鉄炉が、現代でいう不定形耐火物であつたことから当然の発想である。近代大型高炉を建設の段階から、不定形耐火物で内張りした例は、欧州の一部でシャフト中部に、高アルミナ質キアスタブルを試用した例などを除けば、皆無であるといえる。これは内張耐火物に対して、格別に高度の信頼性を要求する高炉の場合、現在の不定形耐火物の技術レベルからみてやむをえなかつたといえよう。

不定形耐火物の特長である一面構造（目地なし）や施工機械化への適性などは、高炉においても発揮されることが期待できる。しかし、信頼性のある不定形内張として実用されるまでには、材料、工法ともに検討されるべき課題が少なくない。

5. 高炉鑄床耐火物

5.1 出鉄口充填材（マッド）

現在我国で使用されている充填材は、タールを結合剤とし、炭化珪素や電融アルミナなど高価な耐火物を相当量配合したものが多く、これは高炉の操業条件の変化に追随してきた結果であり、一応満足すべき性能が得られている。しかし、その性能改良を高価原料の使用に頼りすぎたきらいがある。

充填材は、充填性や開口性などの作業性と早期硬化性や耐溶銹スラグ性などの特性が要求されるため、その材

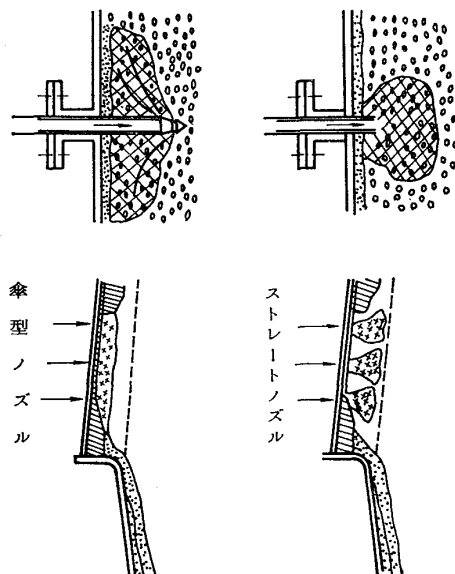


図 3 高炉の圧入補修¹⁴⁾

料設計の困難な材料であり、高炉の操業条件、ガンの能力など対象高炉への適合も容易でない。また、高炉炉底内張への保護効果も期待されている。使用条件との対応が特に複雑な材料であるだけに、未解明の問題が多い¹⁵⁾。

最近、早期硬化性、高耐食性ととも黒煙発生が無い充填材として、フェノール樹脂を結合剤とするものが開発され、実用されている¹⁶⁾。

今後さらに各種の新しい充填材の開発が期待されるが、そのためには、使用中の損耗機構や材料評価のための試験法など研究すべき余地が残されている。安価原料の活用も重要な課題である。

5.2 出鉄樋材

鋳床の各種樋（大樋、中樋、枝樋など）には、それぞれの使用条件に応じた各種の樋材¹⁷⁾が使用されているが、特に条件の苛酷な大樋などには、炭化珪素、窒化珪素など合成原料を多量配合した高価な材料が使用されている。これも出鉄口充填材と同様に、高炉の発展に材質面から追従してきた結果であるが、その炉材コストに占める比重は高く、材質に見合う寿命、原単位は必ずしも達成されていないと思われる。これはその損耗機構をはじめ、材料設計面の基礎がまだまだ確立されていないためと考えられる。不定形耐火物であるための困難さも一因であろう。

材料の評価方法も種々検討されているが^{15) 18)}、これも材料設計技術の今後の向上のために、引続き研究が望まれる。熱間の容積安定性をはじめ、耐溶銑スラグ性など多くの具備特性を満し、かつより経済性の優れた材料の開発が要望されている。

樋材の問題として、さらに重要なのはその施工法であり、最近の傾向として、施工法と材料を組合せた技術が注目される。その背景には、樋施工の省力化、作業環境の改善もあるが、高価な現在の材料を施工法によって、より有効に使用し、樋材コストの低減を計りたいという課題がある。

樋内張の施工には、従来より平打ランマー成形が多用され、一部の工場では自動ランマー装置も使用されているが、最近、ランマー方式（スタンプ方式）に代る方法が種々開発され実用されつつある。それらは、スタンプ方式に比べ、施工作業の能率向上、成形体の緻密化均質化を狙ったものであるが、中間補修（つぎ足し補修）にも使用でき、樋材原単位の低減、樋寿命の延長に有効である点が注目されている。

その具体例として、振動成形法（たとえば VF¹⁹⁾、流し込み法（たとえば N-CAST²⁰⁾ などがある。いずれも実績が確認されており、移動樋、固定樋をとわず適用できる。

今後、これらの改良や他の新しい方式の出現が期待されるが、材料と施工の適正な組合せによる、より経済性の高い方式が望まれる。

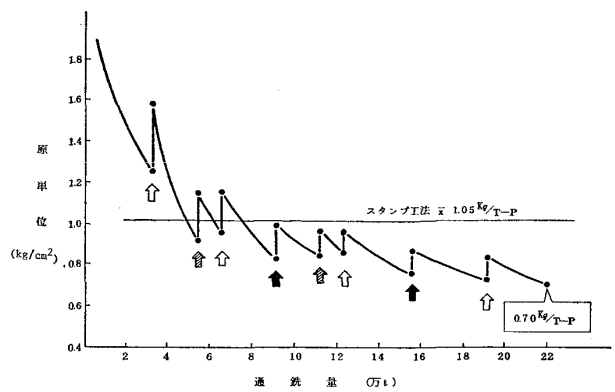


図4 高炉出鉄樋の N-CAST 施工・補修と原単位 (矢印：中間つぎたし補修)

表 5 各種出鉄樋材の品質例

施工方式		スタンプ	V F	N-CAST
化学組成 (%)	SiO ₂	2~4	3.1	3~4
	Al ₂ O ₃	73~75	76.7	67~68
	SiC	11~13	13.0	17~18
	C	3~5	4.2	5~6
添加水分 (%)		3~4	5.0	9.0
一般物性	見掛気孔率 (%)	17.6	17.2	21.8
	嵩比重	2.74	2.92	2.63
	圧縮強さ (kg/cm ²)	165	183	150
	曲げ強さ (kg/cm ²)		51.3	12.7

6. 高温熱風炉耐火物

統計によれば、昭和 35 年の送風温度の全国平均は 790°C であり、昭和 43 年には 1000°C となった。そして最近では 1200~1300°C の送風温度で操業される熱風炉が多い。送風温度の上昇は、高炉製鉄能力の向上のみならず、コークス比の低減に有効なため、最近の大型高炉では高温送風が一般化している。

熱風炉の高温化は、その大型化とあいまつて、耐火物にも多くの問題を投げかけてきた。同時に炉構造も、高温大型炉に適した設計のものが使用されており、特に燃焼室と蓄熱室を分離した、いわゆる外燃式がその主流となつている。また旧来の内燃式を高温化した設計も現れており、IJMUIDEN 型熱風炉²¹⁾はその代表例といえる。

高温大型熱風炉での耐火物の諸問題の中で、特に重要なのは高温部（上部位）に使用する耐火物の挙動である。すなわち、この部位（ドーム、上部壁、上部チエッカーなど）に使用する耐火物には、高温に加えて大型構造体としての強度、容積の安定性が要求される。したがって、耐火物の具備特性として、高温荷重下での長時間の容積安定性（変形抵抗性）が特に重視され、その測定法としてクリープ試験が一般に使用されている。試験条件としては、使用温度で荷重 2kg/cm²、時間 50 h で

の変形率を測定する方法が一般に採用されている²²⁾。

耐クリープ性の高い耐火物の材質として、現在多用されているのは、高アルミナ質と珪石質であり、特に高温用としては珪石質が主流となつている。珪石質の特色は

- (a) 耐クリープ性が高温域まで得られる。
- (b) 高温域での熱膨張係数が低く、耐スポール性が大きい。
- (c) 比重が低く、かつ安価であり、建設コストが低い。
- (d) 熱伝導が比較的 low であり、銑皮熱放散防止に有効である。

一方、珪石質の欠点は、その低温域での容積安定性、耐スポール性の低いことであり、これはその主要構成鉱物(トリヂマイト、クリストバライト)の急速変態によるもので、珪石質の本質的特性である。実炉の加熱冷却におけるこの変態に基く諸問題は、炉の設計と操業によつて対策されており、経験の蓄積²³⁾により今後さらに合理的な対策が期待できよう。

珪石質、高アルミナ質以外の材質として、純アルミナ質、ジルコン質、マグネシア質などが考えられるが、いずれも経済性をはじめとして、技術的にも問題は多い。しかし、熱風炉の熱交換用装置としての機能から考えれば、蓄熱用チェッカーの材質については、今後検討の余地はあり、すでに欧米ではマグネシアレンガの部分適用が研究されている²⁴⁾。すなわち、熱伝導率、熱容量など熱交換特性からみれば、各種の他材質がチェッカー用として検討の対象となりうる。炉内での熱交換機構も含めてさらに研究が必要である。

また熱風炉も長寿命化が強く要請されており、そのためには、高温部位のみならず、セラミックバーナーも含めて全般的な検討が望まれる。特に耐火物構造特性の究明に基く設計面の改良と不定形耐火物などによる補修技術の開発が期待される。

7. 溶銑の輸送と予備処理

高炉転炉の両工場を結ぶ溶銑輸送設備として、取鍋あるいは混銑車が使用されているが、最近の傾向として、これら設備を利用して、溶銑の予備処理が広く実施されるようになった。なかでも、溶銑の脱硫処理は、高炉の原燃料事情と製品鋼材品質の両面から、今後とも不可欠な工程と考えられており、各種の処理プロセスが採用されつつある。そして、いずれの方法においても耐火物面での対策が要請されている。

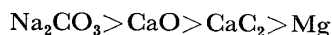
溶銑の脱硫には、脱硫剤(ソーダ灰、カルシウムカーバイドなど)と溶銑の混合攪拌による相互反応が必要であり、古くから用いられている注湯法(入置法など)のほかに、最近では強制攪拌方式として、機械的攪拌法(KR法など)ガス攪拌法(上吹法、底吹法など)などが実施されている。耐火物の問題は、容器内張のみならず、攪

拌のためのインペラーやランスなども関連する。

溶銑脱硫用耐火物の損耗に共通してみられる機構は、

- (a) 脱硫剤を含むスラグとの反応
- (b) 強力な溶銑攪拌に伴う磨耗
- (c) 気孔、き裂、目地への溶銑侵入と地金付着

であり、耐火物の選択は、各プロセスの諸条件に応じて検討する必要がある。各種脱硫剤の $Al_2O_3-SiO_2$ 系耐火物に対する侵食性は、つぎの順位と考えられる。



そして、 Na_2CO_3 は Na_2O によるフラックス作用、 CaO はそのフラックス作用と共に生成する $FeO(FeS+CaO \rightarrow FeO+CaS)$ の作用、 CaC_2 は還元作用と生成する CaO のフラックス作用が侵食の主因となる²⁵⁾²⁶⁾。

最近特に重視されているのは、混銑車での上吹脱硫処理比率の上昇に伴う内張寿命の低下である。カルシウムカーバイドによる上吹脱硫の場合、100%の処理比率では、寿命は従来の内張では50~70%にまで低下するものと予想されている²⁷⁾。その対策として、高アルミナ、炭素含有高アルミナ、炭化珪素など各種材質が試用されており²⁸⁾、また内張の補修技術も種々に検討されている。塩基性耐火物²⁹⁾も含めて、今後さらに研究が進められよう。

溶銑の予備処理技術の今後の進展に伴い、上述の混銑車脱硫問題にとどまらず、耐火物の問題は一層重要となろう。その際もこれら現在までの技術経験は、十分活用できるものと思われる。

8. 転炉用耐火物

8.1 長寿命化の背景³⁰⁾

最近の我国の転炉寿命は、1000~4000回が一般的実績となり、長寿命は定着した。LD転炉導入の当初からの寿命推移は、つぎの4期間に分類できよう。

	(年代)	(寿命)	(耐火物系単位)
I	1957~1960年	100~400回	6.0~12.0kg/t-steel
II	1961~1965年	300~600回	3.5~7.0 kg/t-steel
III	1966~1972年	500~1000回	2.0~4.0kg/t-steel
IV	1973~	1000回~<	3.0 kg/t-steel

すなわち、過去20年の転炉の歴史の中で、最初の15年間は、レンガ材質、築造法、操業法の模索改良がおこなわれ、特にレンガ材質は、我国特有の合成マグドロを使用した焼成マグドロレンガの技術が定着した。1000回を超える寿命は、吹付補修法、スラグコントロールなどの新しい技術が実用化されることにより達成された。この間、溶銑鋼種の拡大、連続鑄造の採用、脱ガス工程の付加など、操業条件は転炉寿命を短縮する方向に変化してきたことは留意しておく必要がある。

LD転炉を、耐火物の面から考えると、他の製鋼用炉に比べて、つぎのような特色がある。

表 6 長寿命転炉実績例 (Dec., 1978 新日鉄)

工 場	炉 容 (t/heat)	期 間	寿 命 (heats)	原 単 位 (kg/t-steel)		
				Brick	Mix	Total
広畑 No. 1	100	May 3, 1975~Aug. 12, 1975	5 888	0.31	1.60	1.91
君津 No. 1	250	Aug 30, 1975~Nov. 10, 1975	10 110	0.20	1.19	1.39
君津 No. 2	300	May 27, 1975~Dec. 1, 1975	5 035	0.39	0.87	1.26
室蘭 No. 2	100	June 16, 1976~Jan. 30, 1977	5 425	0.45	0.94	1.39
君津 No. 2	300	Sept. 1, 1976~Feb. 4, 1977	4 365	0.45	0.69	1.14
広畑 No. 1	100	Oct. 17, 1975~Feb. 5, 1977	5 572	0.74	1.90	2.64
広畑 No. 1	100	June 10, 1976~May 1, 1977	4 436	0.89	1.64	2.53
堺 No. 1	170	Oct. 28, 1976~May 29, 1977	4 632	0.46	0.92	1.38
君津 No. 2	300	May 23, 1977~Nov. 16, 1977	4 105	0.50	0.62	1.12

- (a) 火点 (最高温度発生点) が、炉の中央部にあり内張耐火物への熱的負荷が低い。
- (b) 炉体のプロフィールが単純で、内張内の応力分布が均等であり、築造も容易である。
- (c) 操業はバッチ方式であるが、熱的には連続方式に近い。
- (d) 炉内雰囲気は CO 雰囲気であるため、MgO-CaO 系の耐火物に有利であり、耐火物原料面の制約が少ない。
(雰囲気と耐火物侵食の関連は、状態図的に立証されている³¹⁾。)

したがって、転炉は本質的に長寿命化の可能性の大きい製鋼炉であつたといえるが、最近の長寿命実績の背景には、さらに新しい技術が貢献している。

長寿命化に貢献した主要な技術要因としては、

- (a) スラグコントロールの採用
- (b) 吹付補修・スラグコーティングの強化
- (c) 吹錬制御技術の進歩
- (d) 炉体点検技術の向上

があげられよう。特にスラグコントロールは中心的な役割を果たしており、MgO 源として身近な原料であるドロマイト (通常軽焼ドロマイト 10~20kg/t-steel) を装入する方式であるため、容易に実施できたと思われる。またダイナミックコントロールに代表される吹錬制御精度の向上も無視できない要因である。

8.2 操業条件の影響

転炉の長寿命が定着した現在においても、操業条件の内張寿命に対する影響は大きい。特に吹止温度の影響は大きい。スラグコントロールの強化など、従来に比べれば対策の自由度は大きくなっている。

他方、最近の傾向として、転炉稼働率 (heats/day) の低下は、炉寿命延長の一つの障害となりうる。稼働率低下に伴う補修強化との調和の問題でもあり、炉寿命面からも適正な稼働率があるといえよう。

転炉の操業条件は、今後とも後工程の影響を特に大きく受ける。すなわち、最終鋼材品質、連続鑄造比率、脱ガス処理比率などが、転炉操業条件に関連しており、そ

表 7 転炉寿命への操業要因の影響

	要 因	影響度*	重要度
溶 銑	[Si]	-	B
	[Mn]	+	C
	[Ti]	-	C
	溶銑配合率	-	C
スラ グ 副 原 料	スラグ Total Fe	-	A
	スラグ塩基度 (CaO/SiO ₂)	+	B
	CaF ₂ 使用量	-	B
	MgO	+	A
	Al ₂ O ₃	+	C
	砂鉄添加量	+	C
操 業	石灰添加量	+	B
	吹止温度	-	A
	吹錬時間	-	B
	稼働率 (heats/day)	+	B
	スラグ量	-	C
	雰囲気 (CO/CO ₂)	+	C
設 備	石灰装入のおくれ	-	B
	炉 容	+	C
	炉錐傾斜角	+	C
	ラ ン ス	多孔ランスがよい	

* 要因特性値が増加したとき寿命低下のものは (-)

の意味では、苛酷になる方向にあるといえよう。

8.3 長寿命化に伴う問題点と課題

長寿命記録 10 110 回 (新日鉄・君津) をはじめ、5 000 回を超える記録も少なくない現状であるが、この飛躍的な寿命の伸長は、また新しい問題を提起しており、その解決が今後の課題でもある。それらを列挙すれば、

- (a) 転炉の最適寿命
- (b) 長寿命を前提とする製鋼工場設備計画
- (c) 炉体 (内張) の点検監視技術
- (d) 高 MgO スラグによる精錬およびスラグ利用
- (e) スラグコントロール技術の改良
- (f) 内張レンガ材質の再検討
- (g) 転炉耐火物の製造、貯蔵、供給方式
- (h) 内張築造解体の方式

これらは、いずれも長寿命化の影響を受けて発生している課題であるが、必ずしも一般化して検討できるものば

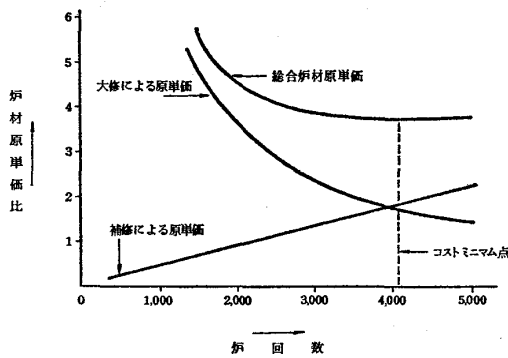


図5 転炉寿命と炉材原単価の関係³²⁾
(5035回寿命実績例)

かりではなく、工場ごとに検討すべきものもある。

転炉の最適寿命については、総合的な経済性の見地から検討されており、5000回を超える長寿命が必ずしも有利でない場合もある³²⁾。最適寿命の設定には、耐火物コストミニмумの観点からのみならず、生産操業、設備保全などより広い視野からの検討が必要であろう。炉寿命の適正化に関連して、スラグコントロール材の適正使用量も重要な課題である。軽焼ドロマイト 15 kg/t-steel 付近³³⁾が適正使用量とされる場合が多いようであるが、今後とも研究が必要である。

転炉用耐火物の消費パターンも大きく変化した。すなわち、耐火物原単位の激減、不定形耐火物（補修材）の比率増大、そして高品位レンガ材質の重要性の低下である。原単位は 1kg/t-steel を割る記録（たとえば、新日鉄・堺 0.77kg/t-steel）も出はじめている。また、補修材（主に吹付材）が原単位の過半を占める場合が多く、補修材の品質のみならず、吹付装置なども含めた補修技術の改良開発が重要となつている。現用の吹付補修材では、吹付後の気孔率が 30~50% もあり³⁴⁾、さらに耐食性を向上させる余地がある。補修装置も自動化を計つたものが実用されているが³⁵⁾、さらに改良が期待できよう。

炉体点検技術も、補修の合理化、炉寿命判定の上で、長寿命転炉にとっては不可欠の技術となつている。炉内測定（レーザー法など）と炉外測定（赤外線カメラ法など）が実施されているが、今後の進歩が大きく残されている課題といえる。また、この技術は、補修技術とともに、転炉以外の各種窯炉への応用の点でも重視する必要がある。

内張の解体、築造の頻度は、長寿命化により減少したが、解体築造の機械化に対する諸研究は、環境、安全の面からも今後とも必要であろう。

9. 底吹転炉・特殊精錬炉

9.1 底吹転炉

最近注目されている傾向の一つとして、Q-BOP、AOD

表8 転炉用熱間吹付け補修材の品質

種別	湿式		乾式	
	マグネシア質	マグネシア質	ドロマイト質	ドロマイト質
化学成分 (%)				
SiO ₂	3.0	3.0	2.4	
Al ₂ O ₃	0.4	0.4	0.5	
Fe ₂ O ₃	0.3	0.3	0.7	
CaO	1.0	1.0	11.0	
MgO	90.5	91.0	79.8	
粒度 (%)				
3~1 mm	10	45	20	
1~0.125 mm	60	35	50	
<0.125 mm	30	25	30	
添加水分 (%)	15~17	15~17	10~17	
1200°C 処理付着体物性				
見掛気孔率 (%)	40~45	35~40	32~37	
かさ比重	1.9~2.0	2.0~2.2	2.1~2.3	
圧縮強さ (kg/cm ²)	20~30	20~30	25~35	

表9 AODスラグの組成例³⁸⁾

	A		B		C	
	初期	還元期	初期	還元期	初期	還元期
塩基度 (CaO/SiO ₂)	1.04	1.29	0.77	1.55	0.60	1.21
化学組成 (%)						
SiO ₂	31.1	35.3	30.4	32.6	32.0	35.4
Al ₂ O ₃	5.8	3.0	7.6	2.9	8.5	3.1
Fe ₂ O ₃	3.6	0.8	5.2	0.5	4.8	1.2
Cr ₂ O ₃	7.6	2.5	9.9	2.0	12.5	2.6
CaO	32.1	45.4	23.2	49.2	19.1	42.7
MgO	14.3	9.0	14.3	8.7	8.9	11.4
MnO	4.7	2.5	7.5	2.2	9.8	2.3
TiO ₂	0.9	0.4	1.7	0.5	1.4	0.6
合計	100.1	98.9	99.8	98.7	97.0	99.3

などの底吹（横吹）転炉がある。いずれも、その特徴の一つとして、二重管構造羽口を使用することにより、従来の底吹転炉にみられる羽口部での耐火物溶損を軽減している。しかし、この場合でも、内張耐火物の溶損は、火点に近い部分、すなわち羽口近辺が大きい。

Q-BOP 用の耐火物としては、LD 転炉と同様に MgO-CaO 系のもが一般に用いられている。耐火物の損耗機構も本質的には LD 転炉に類似しており、MgO-CaO-Fe-oxide 系の高温反応が主体である。したがって、長寿命化のための技術的対策も LD 転炉に準じたものが活用できる。

Q-BOP 転炉の寿命は、下部（ボトム）内張の寿命で決定されるため、ボトム寿命の向上が重要な課題となつている。最近では 1000 回を超える実績（川鉄・千葉）³⁶⁾も報告されており、今後とも検討が続けられよう。

AOD 転炉は、ステンレス鋼溶製用として世界的に広く普及しつつある転炉（横吹、二重管構造羽口）で、その操業コストに占める耐火物の比率が大きいいため、各社で耐火物の研究が進められてきた。AOD の場合も、内張溶損は、羽口近辺が最も激しい。Q-BOP の場合、二

重管羽口に使用される冷却ガスが、炭化水素系であるの
に比べ、AOD ではアルゴンガスが冷却に使用されてい
る。いずれも火点の発生点が内張に近いが、AOD では
横吹方式であるため、Q-BOP に比べ内張への負荷は大
きいといえる。

AOD 用の内張耐火物としては、ドロマイト系(MgO-
CaO系)かマグクロ系(MgO-Cr₂O₃-Al₂O₃-Fe₂O₃系)
が主要部分に使われており、この両者の選択は経済性も
含めて、いまだ検討の残されている課題である。しかし、
AOD スラッグの特性、特にその塩基度(CaO/SiO₂)が、
比較的低い(通常 1.0~1.5)ことから、耐食性の見地か
らはマグクロ系が適していることは、理論的に推定でき
る。

マグクロ系の問題点の一つは、スラッグの侵入に伴う構
造的スポーリングである。スラッグのレンガ組織内への侵
入防止は、溶損速度の低減、構造的スポーリングの防止
の両面に有効であり、この見地からダイレクトボンド構
造組織の豊富なマグクロレンガ(ダイレクトボンドある
いはリボンド系)が望ましいといえよう。また雰囲気変
化(特に還元性)に安定なスピネル固溶体相が形成され
ていることも重要であろう。

AOD 炉の寿命は、最近 200 回を越す実績もでてお
り、耐火物のみならず、操業条件の改善も含めてさらに
進展するものと思われる。特に AOD におけるスラッグ
コントロール³⁷⁾³⁸⁾の普及は注目されよう。

9.2 脱ガス用耐火物

各種の溶鋼脱ガス処理法のなかでも、大量処理に適し
ているといわれる DH 法、RH 法は、従来の特殊処理
工程から脱却して、汎用の処理法となりつつあり、その
使用法も多様化している³⁹⁾。したがって、その耐火物も
使用条件に応じたものが必要であり、一般化して論ずる
ことは容易ではないが、しいて耐火物としての具備特性
の重要なものを示せば、

- (a) 高温溶鋼に対する耐磨耐食性
- (b) 高温スラッグに対する耐食性
- (c) 減圧雰囲気中での安定性(溶鋼との反応も含む)

通常の RH 設備を例にとれば、耐火物面で特に重視
されるのは、槽下部、還流管(浸漬管)である。材質と
してはマグクロ質が最も多用されており、レンガ組織と
してはダイレクトボンド、リボンドあるいは電鍍方式の
ものなどが使用されている。また浸漬管の外用に使用さ
れる不定形耐火物も高アルミナキアスタブルを中心に各
種の材質が検討されている。

今後の脱ガス用耐火物の課題としては、重要部レンガ
材質の改良開発とともに、内張構造設計面の検討も重視
されよう。また熱間補修法もさらに改良される必要があ
る。

9.3 取鍋精錬

上述の脱ガス処理も含め、最近の取鍋精錬は、その用

表 10 各種耐火物の耐スラッグ性⁴¹⁾
(ASEA-SKF スラッグ)

耐火物	主成分	溶損mm/kgスラッグ
マグネシア(1)	96.2% MgO	4.5
マグネシア(1) (タール浸漬)	〃	10.7
マグネシア(5)	87.8% MgO	8.8
マグクロ(1) (焼成)	77.9% MgO	9.1
マグクロ(1) (不焼)	68.2% MgO	9.0
クロマグ (焼成)	49.0% MgO 23.7% Cr ₂ O ₃	10.6
クロマグ (不焼)	55.7% MgO 22.9% Cr ₂ O ₃	5.6
ドロマイト	38.2% MgO 59.2% CaO	9.2
ドロマイト (焼成・タール)	〃	11.3
塩基性スタンプ	94.6% MgO	4.9
高アルミナ(1)	68% Al ₂ O ₃	28.3
〃(2)	85% Al ₂ O ₃	17.7
〃(4)	90% Al ₂ O ₃	12.9

スラッグ: 50% CaO+25% SiO₂+25% Al₂O₃
温度: 1750°C

途、設備、操業条件が著しく多様化しており、VOD、
ASEA-SKF、LF、CAS、TN など各種の方式が実施さ
れている⁴⁰⁾。Secondary Steelmaking の別名にみられ
るように、この場合取鍋は精錬用容器とみなされよう。

耐火物面からみて、その技術的特徴をあげると、つぎ
の諸点のいくつかを各方式とも備えている。

- (a) 溶鋼の強力な攪拌(ガス攪拌など)
- (b) 雰囲気の制御(減圧など)
- (c) 精錬材の使用(合成スラッグなど)
- (d) 外部からの加熱
- (f) 耐火物による汚染の制約(鋼中酸素など)

したがって、その耐火物はこれらの使用条件に対応させ
る必要がある。

ASEA-SKF を例にとれば、その耐火物の選択の基準
例として、スラッグの性状によりつぎのようになる⁴¹⁾。

- (a) スラッグ塩基度 1.6~1.7 以上…高 MgO 質
- (b) 低塩基度スラッグ…含クロム質
- (c) 低塩基度、高 Al₂O₃ スラッグ…高アルミナ質

耐火物の選択は、その耐食性(寿命)に左右されるこ
とは当然であるが、取鍋精錬の場合には耐火物による溶
鋼の汚染も重視される。特に SiO₂ を多量含有する取鍋
耐火物からの鋼中への酸素汚染は種々経験されている。
たとえば、RH 処理⁴²⁾でのロー石レンガとアルミナレン
ガ、LF 処理⁴³⁾でのジルコンレンガと高アルミナレンガ

表 11 取鍋耐火物の品質材質例

材 質	レンガ				不定形		
	高珪酸	ジルコン	特殊塩基性	塩基性	スリングー	スタンプ	
嵩比重	2.22	3.52	3.19	2.84	2.01*	2.87*	
見掛気孔率 (%)	13.5	17.0	14.0	17.8	15.6*	15.4*	
圧縮強さ (kg/cm ²)	450	760	860	403	42	96	
荷重軟化点 (T ₂ °C)	1370	1650	—	—	1380	>1500	
化学成分 (%)	SiO ₂	78.5	35.5	11.0	6.3	91.1	54.2
	Al ₂ O ₃	19.0	3.5	53.5	30.5	4.9	11.7
	Cr ₂ O ₃	—	—	17.5	—	—	—
	ZrO ₂	—	56.5	—	—	—	30.5
	MgO	—	—	8.5	58.7	—	—
	CaO	—	—	—	—	—	—

* 1500°C×2h 焼成後

における鋼中酸素レベルの差異が報告されている。

今後の取鍋精錬の推移は、取鍋用耐火物の動向を大きく作用する要因の一つであるが、同時にスライディングノズル、ポーラスプラグなど付帯する耐火物の諸問題にも密接に関連するといえる。

10. 取鍋内張

最近の我国での取鍋内張には、二つの大きな技術動向があると思われる。一つはその耐火物材質に関するものであり、他は内張施工法に関するものである。両者は相互に密接な関連があるが、一方、耐火物材質は冶金的操業条件に、施工法は設備保全条件に関連している。このため現状は、材質と施工法の多様な組合せが実施されており、明確な技術動向として把握できない印象さえ感じられる。しかしながら、その底流をなしているのは、鋼材品質、省資源エネルギー、省力、環境改善などの諸要因を包含した形での総合的経済性の、材質・施工の両面からの追求であるといえる。

材質面からみれば、現用耐火物には高珪酸質（ロー石質など）、ジルコン質（セミジルコン質を含む）が、レンガ、不定形ともに主流をなしており、高アルミナ質、特殊塩基性（MgO-Cr₂O₃-Al₂O₃-SiO₂系）も使用されている。ジルコン質を多用する我国の特異性は、原料資源面からの問題もかかえているが、制約された工場レーアウトの中で、使用条件の苛酷化、高能率生産を達成するための材質対策としてジルコン質の多用が必要となつた背景は見逃せない。

取鍋耐火物は、全国平均単位として約 3kg/t-steel の大量消費型の耐火物の一つであり、その意味で、その材質が今後急速に変更されるとは考えられないが、今後の材質動向に大きく影響することが予想される要因として、

(a) 取鍋精錬の推移

(b) 耐火物原料の動向
があげられよう。

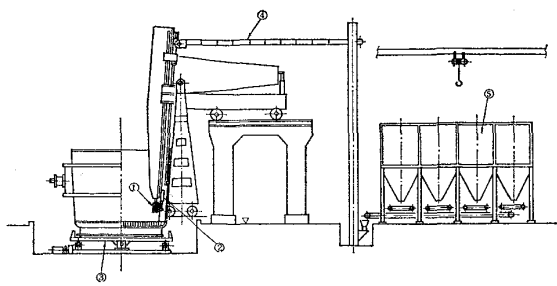
取鍋精錬の普及は先述のように、高品位の耐火物を要求する傾向にあり、特に塩基性取鍋への移行に拍車をかけることになろう。塩基性取鍋は海外⁴⁵⁾でも、我国⁴⁵⁾でも取鍋精錬用を主対象に検討され使用されている。一方、取鍋耐火物の長寿命化、低コスト化の面からも期待される材質の一つである。しかし、今後その普及が実現するには、耐火物品質のみならず、内張設計、等炉法、加熱方式など多くの技術課題を解決する必要がある、単に従来の酸性取鍋の延長としては扱えない。

耐火物原料の動向も無視できない。海外資源（ジルコンなど）への依存度の高い現状を考えると、今後の原料事情による材質変更の可能性は常に留意しておくべきであり、ジルコンに対する特殊塩基性の代替使用⁴⁶⁾など、代替材質の検討も必要であろう。

取鍋内張の施工法の検討は、その機械化、省力化の面で比較的早くから着目され実施されてきた。レンガ内張を前提とするレンガ自動積機も一部で試験されているが、主流は不定形耐火物を使用する施工法である。

現在実用されている不定形施工法としては、スリングー法⁴⁷⁾、スタンプ法⁴⁸⁾、流し込み法⁴⁹⁾などがあり、いずれも取鍋側壁を対象としており、鍋底はレンガ内張である。これらの各工法に使用する不定形耐火物材質は、基本的にはレンガ材質に対応類似したものであるが、不定形化に伴う耐食性の低下（通常レンガの約 80%）を補償するため、若干品位を上げている場合が多い。これら諸工法のうち、今後さらに新しく開発される工法も含めて、いずれが中心的工法になるかは、各工法の相互比較評価の定まらない現状での判定は困難であるが、将来においても各製鋼工場固有の諸条件への適応性が、重要な選択基準となる可能性は大きい。

取鍋内張の不定形化の背景には、築炉作業の省力、環境改善など築造面のニーズとメーカーでの耐火物製造面でのニーズ（生産性、省エネルギーなど）があるが、さらに注目されるのは、いわゆる「つぎたし補修」による耐火物使用効率の向上である。この方法により、1300回



- ① キャタピラーフォーマー
- ② ランマー
- ③ ターンテーブル
- ④ 材料フィーダー
- ⑤ 材料ホッパー

図 6 取鍋自動スタンプ施工装置⁴⁸⁾

を超える内張寿命実績例 (新日鉄・八幡)⁵⁰⁾も得られている。

すでに述べたように、取鍋耐火物の今後の動向は、特に使用条件と施工法によつて大きく左右される。予想される一つの方向として、取鍋精錬など苛酷な使用条件には高品位 (塩基性など) レンガ取鍋が、一般用には不定形内張取鍋が使用され、いわば取鍋耐火物が二極分化していくことも考えられよう。いずれにしても、耐火物材質のみならず、施工、乾燥、内張設計、使用条件など総合的な取組みが要請される。

11. 鑄造用耐火物・圧延用耐火物

取鍋内張以外に、溶鋼鑄造 (上注ぎ、下注ぎ、連続鑄造) に使用される耐火物にも問題は多い。なかでも、連続鑄造比率が増大しつつある昨今では、連続鑄造に関連する耐火物の重要性は高い。これら鑄造用耐火物に要求される条件として、単なる耐久性や経済性に加えて、溶鋼品質への影響が重視される。溶鋼の凝固直前に使用されるため、非金属介在物など溶鋼品質への悪影響が特に問題視される。

連鑄用耐火物には、内張り用、流量制御用、雰囲気制御用など各種の機能の耐火物が使用されており、最近のそれら耐火物の進展には著しいものがある。特に長尺大型ノズルなどの普及には、耐火物製造技術面の貢献は大きい。しかし、今後の傾向として非金属介在物の一層の低減、多連鑄操業の拡大が予想され、耐火物への要求は、耐火物コストの低減も含めて、さらに増大すると考えられる。たとえば、タンディッシュ内張に多用されつつあるコーティング材もさらに改善が必要であり、また内張の施工法も VF 法⁵¹⁾ のように種々の開発が期待される。常時タンディッシュ (マグネシアレンガ内張) を高温に保持して使用する方式も、海外では試みられている⁵²⁾。

いずれにしても、鑄造用の耐火物は単に材質のみでなく、その製造法 (特に成形法)、装置構造設計、施工法も含めてさらに進展が望まれる分野である。

圧延関連の窯炉にも耐火物の問題は少なくない。特に

省エネルギーの見地から、セラミックファイバ利用による断熱強化、あるいは炭化珪素質など高性能レキュペレータによる熱回収効率の向上などが計られつつあるが、それらの詳細は省略する。

12. 今後の課題

以上の外に、コークス炉、電気炉など割愛した各種の窯炉設備も含めて、鉄鋼用耐火物に残された課題は多いが、それらの中で特に重視する必要があると思われる全般に共通した諸点を以下に要約してみたい。

まず使用者側では、耐火物の使用 (操業) 条件の耐火物への影響についての解明がまだまだ不十分である。これは耐火物の材料設計、材質選択の基本をなすものであり、溶銑、溶鋼、スラグ等と耐火物の相互反応機構、損耗機構や操業要因毎の影響度の定量化などがあげられる。

また、炉内張プロフィールも含めて、耐火物構造体の設計技術の向上も、内張施工、補修、解体の技術とともに使用者側が主体となるべき課題と考えられる。

つぎに、製造者側に要望したい課題としては、まず耐火物製造技術 (プロセス、設備) の改良開発である。すでに多くの改良開発が実施されてきたことは周知のとおりであるが、戦後の耐火物における技術進歩は、一貫して材質主体に偏つたものであつたと思われる。材質面の進歩に比べれば、製造プロセスや設備の技術的変革は少ないと考えられる。製造コストの低減、安定した製品品質の確保のためのみならず、優れた性能あるいは特徴のある物性の耐火物を得るためにも、この分野での進歩に期待するところは大きい。新しい原理に基づく製造プロセスや設備による耐火物の出現を待望したい。

耐火物技術の性格からも当然のこととして、製造者と使用者の協同を必要とする課題は多い。長期の展望にたつた原料資源の選択、確保や試験法を含む規格標準類の整備充実などは、両者の協調を前提にはじめて可能である。合成原料、高価原料に傾斜した現在の原料構造の是正や永年の懸案ともいわれるレンガ形状の標準化の推進などはその具体例といえる。鉄鋼技術の国際化に伴う耐火物面からの対応についても、両者の連携は必要である。

基礎科学の充実も今後の重要課題の一つであり、学界の一層の支援が望まれる。非酸化物系耐火物の拡大使用、粉体工学をベースとする不定形耐火物の改良開発など、今後の耐火物技術はその背景となる各種基礎科学に依存するところが大きい。関連基礎科学の充実は、他分野技術の耐火物技術への移植にも有効であろうと考えられる。

13. む す び

鉄鋼用耐火物の最近の傾向、問題点について概説し

た。鉄鋼業の近況を反映して、耐火物も多くの課題をかかえているといえる。高度経済成長型技術の修正と同時に、技術の多様化と高度化への一層の対応努力が、耐火物に要請されている。

本稿は、我国の鉄鋼用耐火物の現状をきわめてマクロに分析考察したものであり、変動の激しい現状からみても、その内容的確な把握は期すべくもない。あくまで鉄鋼用耐火物の一断面として参考にしていただきたい。

耐火物の製造技術と使用技術がよく連動し、調和した鉄鋼用耐火物技術として、今後とも進展していくことを切望するものである。

文 献

- 1) たとえば、日本鉄鋼協会：第48・49回西山記念技術講座、「鉄鋼業における耐火物の最近の進歩」(1977)；耐火物技術協会：耐火物工学の展開，(1977)
- 2) たとえば、林 武志：鉄と鋼，56(1970)8, p.1089；杉田 清：セラミックス 6(1971) 5, p. 25；宗宮重行：鉄と鋼，60(1974) 5, p. 557
- 3) 片田 中，杉田 清，水谷吉蔵：製鉄研究，283 (1975)，p. 1
- 4) 杉田 清：耐火物，29(1977) 3, p. 8
- 5) たとえば、平櫛敬資：耐火材料 (1974) 120, p. 32；落合常己，平櫛敬資，藤原 茂，谷山光哉：製鉄研究，(1975) 283, p. 4
- 6) 神原健二郎，重見彰利：製鉄研究 (1976) 288, p. 37
- 7) G. KOENIG, C. WEIDEMUELLER, and G. PIETZKO: Stahl u. Eisen, 91(1971) 2, p. 63
- 8) K. HIRAGUSHI, K. MIZUTANI, and T. NAGAI: Iron Steel Eng., 55(1978) 6, p. 47
- 9) たとえば、R. H. HERRONS, K. A. BAAB: Arn. Ceram. Soc. Bull., 54(1975) 7, p. 654；J. T. Van KONYNENBURG, J. Van LAAR: Iron Steel Eng., 53(1976) 6, p. 57
- 10) 平櫛敬資，楯岡正毅，中原康夫，青山和輝：鉄と鋼，64(1978) 4, S 63
- 11) たとえば、加藤一郎，森田喜保，河嶋寿一：鉄と鋼，64(1978) 4, S 65；西 正明，小木正路，小山保二郎：鉄と鋼，64(1978) 11, S 506
- 12) 平櫛敬資，樋渡幸夫，青山和輝：鉄と鋼，60(1974) 10, A 75；島田信郎，小山保二郎，小林基伸，伊沢哲夫，池田晴一，竹元克寛：鉄と鋼，63(1977) 11, S 500
- 13) たとえば、平谷達雄：セラミックス，11 (1976) 11, p. 1004
- 14) 大庭 宏：耐火物工学の展開(耐火物技術協会編) (1977)，p. 188 [耐火物技術協会]
- 15) 星出雄二，落合常己，糸井英信，安藤貞一，高橋幸敏，樋渡幸夫：製鉄研究，(1975) 283, p. 35
- 16) 落合常己，糸井英信，安藤貞一，及川清通，服部順平：鉄と鋼，62 (1976) 3, p. 29
- 17) たとえば、亀井四郎：セラミックス，11(1976) 8, p. 709
- 18) K-R. HUESIG, M. KOLTERMANN: Stahl u. Eisen, 97 (1977) 1, p. 23
- 19) 落合常己，清水 博，今井弘之，及川清通：鉄と鋼，61 (1975) 12, p. 9
- 20) 田中英雄，榊原路昭，島田康平，井上明彦：第21回耐火物部会資料，21-2-10 (1975)
- 21) J. Van LAAR: Stahl u. Eisen, 92(1972), p. 154
- 22) 大庭 宏，平櫛敬資，小川知康：製鉄研究(1972) 272, p. 154
- 23) たとえば、矢部茂慶，倉重一郎，石川克己，寿原康紘：鉄と鋼，64 (1978) 4, S 67
- 24) M. KOLTERMANN: Stahl u. Eisen, 95(1975), 18, p. 847
- 25) 杉田 清，島田康平，松尾正孝：耐火物，25 (1973) 1, p. 9
- 26) 新谷宏隆，福田利明，川上辰男：鉄と鋼，64 (1978) 4, S 64
- 27) Y. NAKAHARA and K. SUGITA: Tonind-Ztg., 100 (1976) 4, p. 151
- 28) たとえば、有川和夫，藤元貞久：製鉄研究(1975) 283, p. 43；新日本製鉄：第 23 回耐火物部会資料，耐 23-12 (1978)；古海宏一，仙波喜美雄，小野典璋：耐火物，30 (1978) 9, p. 527
- 29) 滑石正幸，松村龍雄，安達秀男，細川清弘：耐火物，30 (1978) 9, p. 545
- 30) 杉田 清：耐火物工学の展開(耐火物技術協会編) (1977)，p. 160
- 31) R. E. JOHNSON and A. MUAN: J. Amer. Ceram. Soc., (1965) 7, p. 359
- 32) たとえば、中原康夫，鈴木康成，内藤俊太：第20回耐火物部会資料，耐 20-4 (1976)
- 33) 久我正昭，三原迪夫，塚本雅彰：鉄と鋼，62 (1976)，11, S 535
- 34) 西川泰男：セラミックス，11 (1976) 8, p. 702
- 35) 藤江英雄，渡辺敏郎，藤田昌之，久保末記：耐火物，28 (1976) 3, p. 29
- 36) 三枝 誠，永井 潤，数土文夫，山田純夫：鉄と鋼，64 (1978) 11, S 591
- 37) 吉田圭治，岸田 遠，荒木 宏，田中勇次：鉄と鋼，63 (1977) 11, S 533
- 38) J. W. KAUFMAN and C. E. AGUIRRE: Indust. Heat. (1978) 4, p. 12
- 39) 松永 久：第54・55回西山記念技術講座，脱ガスプロセス (1978)，p. 59 (日本鉄鋼協会編)
- 40) 飯田義治：第54・55回西山記念技術講座，取鍋精錬総論 (1978)，p. 25 (日本鉄鋼協会編)
- 41) B. SJÖDIN and K-O JONSSON: Tonind.-Ztg., 95 (1971) 12, p. 341
- 42) 松永 久，富永忠男，王寺陸満，田中英雄：鉄と鋼，63 (1977) 13, p. 1945
- 43) 梅沢一誠，楯岡博幸：鉄と鋼，63 (1977) 13, p. 2034
- 44) たとえば、H. COMES and H. WAGEMANN: Stahl u. Eisen, 94 (1974) 9, p. 386
- 45) たとえば、島田信郎，宮本 明，小林基伸，高橋

- 忠明, 水野良親, 栗林章雄, 豊田剛治: 鉄と鋼, 64 (1978) 11, S 670
- 46) たとえば, 新信倫人, 西川泰男: 耐火物, 28 (1976) 6, p. 267
- 47) たとえば, 後藤完爾, 永楽益夫, 八百井英雄: 製鉄研究, (1975) 283, p. 71
- 48) *H. SHIBATA, A. TABATA, E. TAKEMURA, and K. SUGITA*, 20th Int. Colloq. Refractories, Aachen (1977), *Inter Ceram*, 27 (1978), p. 304
- 49) 片山平太, 松田安弘, 京田 洋, 葉石秀機: 耐技協, 造塊用耐火物専門委員会, 資料, No. 2 (昭 53. 6.), 田中英雄, 永楽益夫, 古海宏一: 耐火物, 30 (1978) 4, p. 19
- 50) 新日鉄: 第 24 回耐火物部会資料, 耐 24-12 (1978)
- 51) 新日鉄: 第 24 回耐火物部会資料, 耐 24-16 (1978)
- 52) *F. HOFER and P. G. MANTEY*: CONCAST News, No. 2 (1976)