

共同研究会活動報告

UDC 666.762(047) : 669.1

耐火物部会活動状況について

太 田 豊 彦*

Report of the Refractory Committee of the Joint Research Society of ISIJ

Toyohiko OHTA

1. 概 要

熱経済技術部会桑畑一彦部会長より「均熱炉レキュペレーターの劣化防止」についてのテーマを採り上げるようとの要請に基づき、昭和 42 年 2 月熱経済技術部会耐火物分科会が発足した。

参加鉄鋼会社 13 社、参加人員 35 名の構成のもとに川崎製鉄(株)水島製鉄所、吉田英雄主査を中心に、上記テーマを統一議題として活潑な討議が行なわれた。約 5 年間にわたって(分科会開催回数 11 回)得られた成果の総纏めを完成、初期の目的を達成することができた。

この間に桑畑一彦部会長から新日本製鉄(株)山内仁部会長、更に同社片田中部会長へとの変遷があった。

その後、各委員の強い要望により、製鉄・製鋼用耐火物を主体とした共同研究を同メンバーで発足することとなった。(昭和 47 年 9 月)

昭和 48 年 5 月、吉田秀雄主査にかわり日本鋼管(株)鈴木驍一主査が就任「製鋼炉取鍋用耐火物」と「高炉炉前材」の諸問題を採り上げ、鉄鋼業における耐火物の基本的な重要部門である各現場の専門家も多く参画し約 55 名の参加人員の構成によって活潑な運営が行なわれた。

鉄鋼業の大型化などによる技術的發展に伴い、ますます耐火物への技術的向上の要請が高まり、本分科会としても当初の熱経済技術部会とは内容を異にした方向へと進んでおり、また世状に即するためにも部会昇格に関する意見が幹事会において議題となり種々検討された。各委員の賛同をえ諸手続を経た上で昭和 50 年 12 月、部会への昇格が実質的に認められた。

昭和 50 年 7 月、鈴木驍一主査は製鉄部会長へ転任、耐火物部会長として川崎製鉄(株)千葉製鉄所、太田豊彦副所長が新任した。

昭和 51 年 5 月、第 19 回(部会としては 1 回目)の部会が開備され今日に至っている。

以下、従来の技術的動向と討議内容について述べる。

2. 運 営 に つ い て

会議は製鉄・製鋼の 2 部門に分けられ、各部門ごと交

互に年 2 回開催される。(レキュペレーターのテーマに関する運営法については省略する)

製鉄部門では高炉・熱風炉および炉前材を、製鋼部門では一般造塊用取鍋および連続鑄造用耐火物の現状と問題点を統一議題としている。この議題の選定は、年 4～5 回の幹事会により各社のニーズ、技術的動向を中心として参加各社が可能な限り共通した条件で共通の命題となりうるものに重点をおき選定されている。なお統一議題として取り上げることができないテーマも生じうるので、これらは自由議題を設けて討議し消化するよう努力している。

また発表された議題の内容を更に深く絞り、あらかじめ委員より選定された座長を中心に、特定分野における耐火物の使用条件、設計評価法を含めた専門的な問題についてパネルディスカッションの時間を設け、会の締めくくりを行なっているが、このディスカッションは、かなり有効な成果をおさめているものと思われる。

統一議題に関連した特別講演を随時計画しているが、これは耐火物の動向、新技術、今後の方向などについて耐火物メーカー側からの講演を依頼し部会での理論と実際の結びつけに役立てている。

その他、製鉄製鋼工場ならびに耐火物メーカーの工場を見学しその見聞を深めるとともに懇親会の開催により相互の見知と意見の交換に多数の人々が参画し和気あいあいたる雰囲気の中で、本会の運営が行なわれている。

3. 技術的動向と部会での討論

昭和 38 年以降の鉄鋼業界は、設備の新鋭化・操業技術の飛躍的發展が示されたが、そのかげには使用される耐火物の品質と製造技術のたゆまざる努力の結集がある。耐火物に対する諸要請は、大別して「より苛酷な使用条件に適應するもの」「よりよい製品をうるための耐火物」更に「作業の円滑化・施工の省力化」へと推移している。これら要請に基づいて部会で討論された項目の中からおもなテーマについて以下述べる。

3-1 レキュペレーター劣化防止対策について

最近の圧延工場は高性能・大容量化とともに圧延用炉

* 日本鉄鋼協会共同研究会耐火物部会部会長 川崎製鉄(株)千葉製鉄所副所長

表1 部会統一議題とパネルディスカッションおよび其他事項

回	開催年月	統一議題	パネルディスカッション	特別講演	見学	備考
1	昭42年4月	組織・運営方針・均熱炉				
2	〃 6月	均熱炉レキュペレーター				
3	〃 11月	同 上				
4	昭43年5月	均熱炉レキュペレーター及び炉の設計と築炉上の問題		電鑄れんがの現在と将来(旭硝子-K.K.)	東芝モノフラスクス社	
5	〃 11月	同 上				
6	昭44年5月	均熱炉レキュペレーター、チューブ			旭硝子・伊保工場 日本プライブリコ(株)茅ヶ崎工場 八幡製鉄所・黒崎窯業	
7	〃 11月	同 上				
8	昭45年5月	同 上		不定形耐火物の現状		
9	昭46年3月	同 上				
10	〃 10月	同 上				
11	昭47年3月	同 上				レキュペレーター総括
12	〃 9月	加熱炉用耐火物・耐火物の購入・検査・保管			品川白煉瓦・岡山工場	
12	昭48年5月	高炉本体・熱風炉及び炉前材				
14	〃 11月	製鋼・圧延設備における吹付け補修について		製鋼用其他各種炉における吹付け補修の海外状況(ファイザー)	筑波無機材研究所	
15	昭49年6月	省エネルギーから見た耐火物の考察・高炉炉前材について	高炉炉前材の品質と評価法	新しい高級耐火物(品川)	日本鋼管福山製鉄所 品川千田工場	
16	〃 11月	とりべ用不焼成・不定形及び特殊高級品の使用状況	とりべ用れんがの試験方法	とりべ内張耐火物の将来方向(黒崎)	住金小倉製鉄所・和気耐火工業	
17	昭50年6月	高炉樋材について	樋材の品質評価と試験法		日新呉製鉄所・中国れんが・昭和鋳業 神戸加古川製鉄所・品川炉材	
18	〃 11月	連続鑄造用耐火物の現状の問題点			品川炉材	
19	昭51年5月	熱風炉用耐火物の現状と問題点			中山製鋼・黒崎窯業 岸和田工場	部会昇格

の設備・操業技術の著しい進歩が示されている。

分科会で採りあげられた表題テーマは約40件の資料が提出され討議された。その内容を以下に要約する。

レキュペレータのクレツ発生の原因は、アルカリとの反応による膨張に起因すると報告が多く耐アルカリ性耐火物の開発が必要である。

当面の対策としては、耐火物チューブ内面にガラス質をコーティングしアルカリの進入を防ぐ方法、ジルコンの添加およびアルミナ質耐火物の適用などがあげられている。

操業面からの考察として、熱衝撃によるクレツの発生すなわち急速昇熱による内部歪と繰返し加熱の熱疲労、更にアフターバーニング・熱負荷のアンバランスなどを阻止することである。

要は、設備構造・操業・築炉面での十分な検討とともにチューブの膨張性・肉厚などの考慮が必要である。品質的には、圧縮強さ/曲げ強さの比である「脆さ指数」が0.5以下であることが品位を評価するに有効な目安となるなどの報告もあり、劣化防止対策の一方が指示された。

加熱炉・均熱炉での全般的傾向としてプラスチック不定形耐火物の適用範囲拡大に関する内容が多く、不定形耐火物の品質向上の要請が強い。

3.2 製鉄用耐火物

近年における製鉄技術は目ざましい進歩を示し、大型高炉の出現をみるに至った。これは単に炉容拡大だけでなく、高能率化に伴う重油吹込み、酸素富化、高温送風、高圧操業などの技術発展により、出銑時間の延長・出銑速度の増大、溶銑温度の上昇など操業条件が苛酷となったため炉前材の損耗が増加し、樋の経持補修作業に使える時間が短く、高熱下での作業を余儀なくされるようになったそのため耐火物としては、より高級な高性能を有するものが要求されるようになった。

一方、大型高炉での操業安定の面から樋材補修時間短縮の必要性、労働条件の改善の面から補修作業の機械化による樋材耐久性の向上に重点が置かれている。このような情勢に対応して、炉前材に関する問題を採りあげ討論を重ねている。以下それぞれの概要について示す。

3.2.1 熱風炉用耐火物について

近年、高炉の送風温度上昇がコークス比を節減し、ま

表 2 討議テーマの分類 (数字: 件数を表す)

分 類		42年	43年	44年	45年	46年	47年	48年	49年	50年	51年	計			
製鉄関係	高熱溶出高炉						6	1 1 4 12	2 2 1 7 11		10	3 19 1 12 36			
	混転 銑 炉							1 4		1		2 4			
	電気炉							3 1 1	1		1 1	4 2 5			
	連脱ガ ス							1	1		6 5 5	8 5 7			
製鋼関係	一塊鋼 造取						2	2	14 4		1	16 4 3			
	ノズル 取鍋全 スライド ゲート														
均熱炉	レキ 炉不 其	9 2 4 10	13	9 3 6 4	4 2 6 5	3 3 3 5	1 1 3					39 13 29 43			
	ペレー 定							1 4 7							
	ター 床 形 他								1		2				
耐火物全般	れんが 不規 購入	1	1 2	2 2	1 2		3	10				3 6 2 13			
	が形 特 受入れ 保管														
合 計		26	27	26	20	14	16	29	25	23	26	11	21	15	279

た重油吹込みの熱補償に不可欠なことが判明している。

これら高温送風を可能にする高温熱風炉用耐火物の問題点とその対策について検討した。その主な項目について以下にまとめ示す。

ギッターれんが割れ要因は、下部れんがへの熱衝撃作用によるれんが片の脱落によって、その上部に生じたれんが積みの傾斜、旋回に起因した偏荷重の作用によるもので、対策としては下部れんがの低温域で転移するクリストパライトを含まない高アルミナ質れんがが比較的良好のようである。またれんが崩れの原因隣が接れんがの接触面積が小さいことにあるとすれば、れんが形状が問題であり、フライン型にすれば崩れ防止対策となろうと報告している。ギッター上部2～3段はダストとの反応により軟化・ガラス化を示しているが、この対策として高アルミナ質れんがのグレードアップが必要。その他としてギッターれんがのバイパス溝が変形を大きく助長するので、バイパス溝の廃止、ギッター穴 19 を7穴とし強度をもたせる。ラップ積の実施などが提示された。

燃焼室内巻きれんがが変形に対しては、高アルミナ質れんがのグレードアップと上部へ珪石れんがを使用、仕切壁れんがと燃焼室内巻れんがの間にクッション材を挿入リーク防止のためダボ付れんがの採用、燃焼室側鉄皮の

温度上昇ときれつ発生については、不定形耐火物の注入が効果あり、などの報告があった。

側壁とドームれんがは、れんがのクリープと鉄皮との膨張不足による変形が主で、その対策として珪石れんがの採用、ドームれんがの落ち込み防止と施工法改善のため段付きれんがの使用範囲拡大とダボ付れんがの採用、ドームれんがと連結管れんがとの接続部に間隙を生じ、ドームれんがが脱落する。その対策として接続部の測温管理に重点をおき、設備仕様より 50°C 下げて操業しているとの報告があった。

要は、適正な炉構造とれんが形状、炉材の選定、更に築炉技術の充実を図ることが急務と考えられる。

なお、実験室的研究により、炉材設計に重要な耐火れんがのクリープ特性を調査した結果、荷重増加による安全使用温度の低下率について明示した。また一般に目地モルタルを使用しないれんが積み構築体においては、目地によるれんが寸法、形状の調整作用がないため、集中荷重が発生して構造体の強度が低下する。すなわちれんが積み段数 $[x]$ とれんが1個当りの破壊開始荷重 $[y]$ との間には、 $y = Kx^{-n}$ なる関係がある事²⁾を示した。

ここに、 K は $x = 1$ の時の y の値、 n は関係直線の勾配を表わす指数常数を示す。

3.2.2 高炉出鉄口閉塞材について

各社とも各様の操業条件であるので、これといった方向づけは困難であるが現場の経験から材質的には、シャモット系骨材よりコランダム系骨材への品位を向上、また配合物の水分、揮発分をできるだけ少なくし、マッドガン能力の許す限りマーシャル値* を高め耐久性の延長をはかっている。

品質面では、気孔率が低いこと、揮発分放出にさしつかえない範囲で通気率が低いこと、1450~1600°C加熱後の強度は高いほどよい。また1200°C加熱後の強度は炭素結合の良否を掴む目安になるなどの報告が多かった。

近年の環境対策として、タールに替えてフェノール樹脂バインダーによる新材質の開発、この新材質は早強性のため、マッドガン保持時間が約10minですみ、能率的な炉前作業が可能となった。さらに耐食性が向上、出鉄時間にして約20%の延長となる。黒煙の発生が激減し異常発塵の発生が従来の4~5回/月発生頻度が皆無となった。との報告があった。その他タール使用量を極力減少し、SiCの添加によつて耐食性を経持する方法などについて示された。

以上のように、閉塞材は高炉操業条件により材質の異なつたものが使用され、その品質に対する評価法の確立に重点がおかれている。

3.2.3 高炉出鉄樋材について

出鉄樋は、樋材の物性・樋形状・勾配・ケーシングの冷却・熱間補修法・施工法・炉況などと複雑な要因が錯合しているので樋材物性のみで解決されるものではない。特に樋材は樋各部に適合した材質の使い分けと選定が必要である。

出鉄量の増にしたがつて、従来のろう石質からSiCを添加、更に高アルミナ質へと品位を高めることによつて、スキンマー部での寿命を2倍以上に延長、原単位も0.6から0.3~0.35kg/tへと低減したとの報告がある。炉内容積の拡大にしたがつて樋材成分もAl₂O₃含有量が増し、更にSiC、Si₃N₄などの添加によつて高級品化されている。

出鉄口カバー材質では、プラスチック施工から炭珪質れんがに切りかえ、更にカマボコ型より亀ノ甲型に形状変更することによつて3~4倍の寿命延長をみた、との報告がある。

施工法では、人力によるスタンプ方式からローラーバイプレッションの導入によつて約2倍の寿命延長が示されているが、これは人力による施工むらをなくしたことが要因の一つとも考えられる。今後、機械化が大きく進展すると思われるが、使用される材料も更に充填性・粒度構成、バインダーなどの検討が必要となる。

* マッド材の軟度を表わす数値で、ホッパー型式に予熱したマッド材を挿入、上から加圧し下から任意の速度でマッド材を押し出した時の加圧力(押し抵抗)をkg/cm²で表わした値

材質としては、800~1350°Cの中間温度で安定した強度を有するもの、タール練り材では、使用後硬く焼結されているものほど寿命が長い。更に主樋での施工体は50kg/cm²以上が必要であるなどと指摘している。

閉塞材と同様、樋材としての品質評価法の確立はいまだ解明されていないが、1350°Cでの熱間曲げ強さ、線変化率が溶損との相関性を有する。また施工良否判定について、物性値と通鉄量の関係を調べた結果、等比重、残存膨張収縮率、加熱後の曲げ強さ、スラグ侵食深さ(mm)および貫入抵抗値が通鉄量と相関性ありと報告されている。

3.3 製鋼用耐火物

LD転炉の普及と大型化、真空脱ガス処理、連続 Casting 法、電気炉の大型化とUHP操業、スライディングノズルの開発など技術革新の発展により、耐火れんがの高品質化と新製品の開発が要請されている。また省力化を目的としたサンドスリンガー工法の適用、築炉施工の機械化、炉材の不定形化などにより窯炉の多様化と高能率化の方向へと進みつつある。

このような情勢に対応して討論されたおもな内容を次に示す。

3.3.1 吹付補修について

各窯炉の大型、連続化は炉の設備休止時間が大幅に制約されるので、その対策として吹付補修が広く適用されている。

転炉では、炉体寿命の延長と原単位の低減を主目的とし、この吹付けは転炉稼動初期から行なう方法と末期から行なう方法があるが、末期補修での効果について検討した報告が多かった。吹付け効果の一例として、転炉寿命500回から800回に延長、補修費が30%低減、原単位も0.9kg/tへと低下したという報告がある。

脱ガス装置では、れんがが費を約70%低減、環流管部への熱間圧入によつて寿命を約2倍に延長、吹上管では15~20%に向上し補修回数を約20%減少した実例報告がある。

電気炉では、周期補修の確保を主目的とし、吹付けによる炉修時の労力軽減に効果を示すほか、炉寿命も約70%上昇、原単価が約10%低減したという発表があつた。

その他、混鉄炉、加熱炉、均熱炉への吹付け効果などについても討議された。

3.3.2 取鍋内張用耐火物について

溶鋼取鍋用炉材費は、転炉用炉材費について大きく、鍋使用寿命の延長は、製鋼業での炉材費節減の面から効果的である。取鍋用れんがの改良や新規な試みは、従来から数多く行なわれ、それなりの成果をおさめているが製鋼技術の進歩にともなつて要求される具備特性も厳しく、ジルコン質れんがもかなり多く使われるようになった。しかし一般的には安価な材質をできるだけ広く使用しながら最大限の効果を狙う点に難かしさがある。他方

この数年間に不定形化のライニングが開発され、スリンガー法、その他のマシンによるスタンピング法などの技術がおおむね確立し製鋼用取鍋ライニングについて新たなページが書き加えられた。

一般造塊用取鍋は、ろう石質からアルミナ質、更にジルコン質へと高級品化しなお築炉法、使用法の対策によつて寿命の延長と原単位の低減に努力している。例えばろう石質よりジルコン質に切りかえ約3倍の寿命延長がはかられた。また側壁湯当り部の厚みを110mmから150mmと厚くすることによつて1.8倍の寿命延長、修理回数も取鍋一代について約1/2に減少、れんが費は11%増加したにもかかわらず修理、乾燥費が減少したため原備的には若干の低減となつた。またジルコン質れんがの廃却部をろう石れんがに置きかえることにより、寿命は若干低下するが原単位は0.5kg/tと減少した。などの結果が報告されている。

スリンガープロセスの導入は、鍋修理作業の機械化と省力化を目的とし、れんが施工に比し約60%の施工時間の短縮、これは大型取鍋になるほど効果が顕著である。材料費では約20%の合理化、要員は約1/4に減員が可能とのことである。

自動スタンプ法による施工は、省力、作業環境改善などの目的は達成したが、コスト的にまだ改善の必要があると述べている。

省エネルギー対策の一環として、焼成れんがから不焼成れんがへの傾向があり、実用試験結果では耐食性は焼成れんがとほぼ同程度で将来性が認められるに至つた。

取鍋敷部は、保湯時間が長く、溶鋼温度の低下などにより地金付きが多くなり敷の寿命を短かくしていた。れんが目地への地金喰込みを解決するためラミング材などの不定形耐火物による底張りを行ない大幅なコスト低減をおさめた報告がみられた。

塩基性れんがの一般造塊用取鍋での適用は、昭和34年ころ一連の試験が行なわれたが、地金・ノロ付きが激しく使用に適さないとして中断された時期があつた。昭和48年、資源ナショナルリズムの台頭によりジルコン原料の大幅な値上げに対応するため、また脱ガス・連続鑄造などの増加によつて、出鋼温度の上昇・溶鋼滞留時間の延長、アルゴンバブリングの実施などによつて内張材の極度な溶損などから塩基性れんがの見直しが再び行なわれるようになった。

塩基性れんがの実用試験結果では、いぜんとして構造的、熱的スポーリングなどの欠点により Al_2O_3 60%級の高アルミナ質れんがと同程度の成績であるが、 ZrO_2 60%級のジルコン質れんがより劣るとの報告に対し、側壁部での地金・ノロ付きはなく実使用の可能性を見出した。との明るい試験結果も報告された。

取鍋用れんがの試験法については、かなり深く討議さ

れてるが、使用上の要因がどの程度影響しているのか定量的に明確でなく、耐火物としての損傷要因がそれぞれ錯綜し結果を非常に複雑にしていることなどから、耐火物としての品質評価法の確立はいまだ残された問題である。

3.3.3 連続鑄造用耐火物について

連続鑄造用耐火物は、連続鑄造の生産性、品質に大きな役割をもっており、近年特に造塊工程の連続比が多くなり耐火物に対する要求度も厳しくなつてきた。

特に、浸漬ノズルの果たす役割は非常に重要で、溶鋼流の空気酸化を防ぎ、鑄型内での浮上物の巻き込みをさけ、鑄片表面が平滑で良好な肌となるなど数多くの利点を有している。

このノズルは操業条件に応じて溶融石英質やアルミナ-グラファイト質が使用されている。

部会では、最近連続鑄造用耐火物の現状と問題点を採りあげ今後の討議に関する方向性把握にとりかかつた。

第1回目における討議内容を以下に列記する。

Alなどの脱酸剤で処理した溶鋼を連鑄する場合に、脱酸生成物がタンデッシュ及び浸漬ノズル内面に付着成長し、しばしばノズル閉塞の現象を起し、操業に大きな障害となる。

ノズル閉塞の原因と対策について以下に示す。

ノズル口の閉塞は耐火物の熱伝導率・溶鋼に対する耐食性・ぬれ性などのかね合いによつて決まるため、熱伝導率の小さい材料・ある程度溶鋼に溶損される材料の選定が必要、として耐火物材質の面から検討しているところと、ノズル詰りは溶鋼と耐火物の反応、耐火物のポアを通して拡散してくる O_2 (空気)による酸化、ノズルにおける溶鋼の温度低下、溶鋼中に存在する脱酸生成物の影響などによるもので、その対策としては、鑄込温度を上げる、ノズルの予熱を十分に行なう、溶鋼中の脱酸生成物の低減、溶鋼流の均一化など、操業管理を強化し検討を進めているところもある。更に閉塞の解決手段としてガススリーブノズルを導入し良い結果を示した報告もある。

いづれにしてもノズル閉塞機構の究明は、耐火物の材質面と操業管理面の双方からの検討が重要である。

浸漬ノズルは、接合部の形状変更、肉厚の増大などによつても寿命延長が計られている。

ノズルのパウダーラインの溶損率については、パウダーの塩基度および鑄込時間の影響が大きいと思われるが塩基度1のパウダーを用いた場合の溶損率(mm) y は次の関係式を示す³⁾。 $y = -5.2 + 0.141 \times \text{鑄込時間 (min)}$ 。ノズルの内部溶損については通過鋼量の影響が大きく、内径拡大(mm) y は次の関係式を示す³⁾。 $y = 7.38 + 0.084 \times \text{通過鋼量 (T)}$ 。以上のほか、パウダーの塩基度が大きくなるほど溶損傾向は大となること、鋼中Mn量と溶損速度の関連性についても明示された。

連続鑄造操業は、小断面、急速凝固法という特異な凝固形態をとるため、特に鑄片表層直下に巨大介在物が捕捉される問題がある。この介在物が耐火物に及ぼす影響について報告されたほか、タンデッシュの鑄込終了後における冷却時間短縮に関する整備作業についてもあわせて示された。

4. 結 言

本会の活動が回を重ねるごとに充実してきた状況は上述のとおりであるが、分科会から部会へ昇格して未だ日が浅いので、今後ますます活発な活動を行なうことにより、歴史の古い他部会に劣らない立派な部会に育成していくよう努力しなければならない。そのためには、耐火物自体の研究課題の究明のほかに、製鉄部会や製鋼部会などの他部会から当部会に対して種々の要求を出して頂くようお願いしたい。

耐火物部会の今後の主要議題としては、さしあたり、

製鉄関係では高炉本体の耐火物を、製鋼関係では最近の目覚ましい転炉寿命の延長成果などを取り上げていきたい。

今後とも鉄鋼業と切り離すことのできない耐火物の開発と推進に、皆様の御指導と御援助を切に希望するものである。

文 献

- 1) 第3回耐火物分科会資料「耐火物の品位判定に有効な品質特性について」
- 2) 第19回耐火物部会資料「れんが積み構築体の破壊現象に関する一考察」
- 3) マッド材の軟度を表わす数値で、ホッパー型式に予熱したマッド材を挿入、上から加圧し、下から任意の速度でマッド材を押出した時の加圧力（押出抵抗力）を kg/cm^2 で表わした値。
- 5) 第18回耐火物分科会資料「浸漬ノズルの溶損について」