

解説

新日本製鐵におけるこの20年間の耐火物技術の歩み

Improvement of Refractories Technology for These Twenty Years in Nippon Steel Corporation

松井 泰次郎*
Taijiro MATSUI

中村 幸弘
Yukihiko NAKAMURA

抄 録

新日本製鐵(株)におけるこの20年間の耐火物技術の歩みについて概説した。高級鋼比率が増え溶製方法が苛酷化するとともに粗鋼生産量が劇的に変化中、無機分野では各製造プロセス毎の耐火物材質、築炉、施工、補修、診断及び解体・リサイクル技術の開発成果を逐次実機化し耐火物原単位を着実に低減し、耐火物技術の更なる国際競争力向上・維持を図って来た。

Abstract

Outline of the improvement of refractories technology for these twenty years in Nippon Steel Corporation is described briefly. Refractories technology : Refractories material, brick-work, repair, diagnosis, demolish and recycle has took advantage, as result the refractory consumption has been decreased steadily in severe condition with the strict quality demand for steel products and the dramatically changing amount of steel production. The technology progress in NSC has been tried advance and kept the position in overseas market improvement.

1. はじめに

新日本製鐵におけるこの20年間の耐火物技術の歩みについて報告する。高級鋼比率が増加し溶製方法が苛酷化するとともに粗鋼生産量が劇的に変化中、無機分野では各製造プロセスごとの耐火物材質、築炉、施工、補修、診断及び解体・リサイクル技術の開発成果を駆使し、耐火物原単位を着実に低減し、耐火物技術の更なる国際競争力向上・維持を図って来た。

2. 耐火物技術を取り巻く鉄鋼生産の環境変化

2.1 鉄鋼生産量の上・下方弾力性への追従

世界、日本国内及び新日本製鐵の粗鋼生産量推移を図1^{1,2)}に示す。世界の粗鋼生産量は、原料市況品が高騰中、BRICsの旺盛な需要により12億トン/年に達する勢いで伸びて来ている。一方、国内及び新日本製鐵のそれは1992~1995年をどん底に徐々に回復基調となり、ここ数年は1億トンを超え、新日本製鐵としてもこれまでに経験のない3300万トン/年超の増産体制となり、グループ全体では4000万トン/年強へと拡大しつつある。この間、低生産量下での生産性の追及と上方弾力性への対応といった二極化する生産体制の工夫がなされて来た。その都

度、耐火物分野としても生産変動に追従すべく耐火物技術の開発及び耐火物整備作業の生産性向上対策と近代化を図って来た。

2.2 鋼の高品質・高機能化の要求ニーズの増加

薄板製品については、自動車用鋼板に代表される衝突安全性の追及や環境・エネルギー対策として軽量化、騒音の少なく高効率のモーター及び鉛フリーめっきなどのニーズに合わせ高張力鋼板いわゆる高強度化が進められて来ている³⁾。厚板製品では、耐候性鋼による無塗装の橋梁や世界の物流規模が大きく変化する中で6000TEU級の超巨大コ

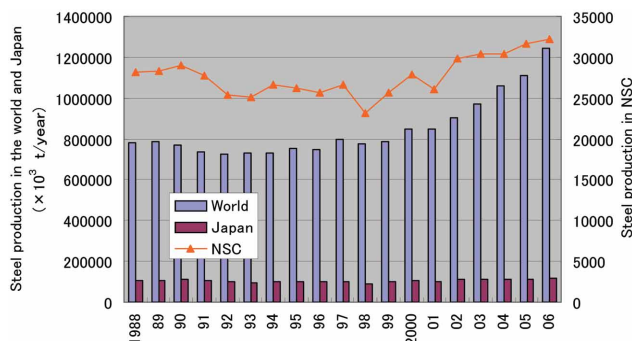


図1 粗鋼生産量推移
Transition of steel production

* 環境・プロセス研究開発センター 無機材料研究開発部 部長 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511 TEL:(0439)80-2840

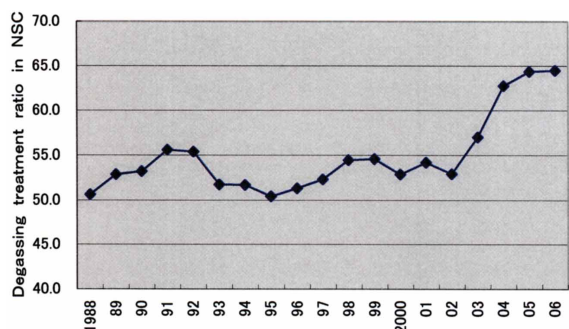


図2 新日本製鐵における脱ガス処理比率の推移
Transition of degassing treatment ratio

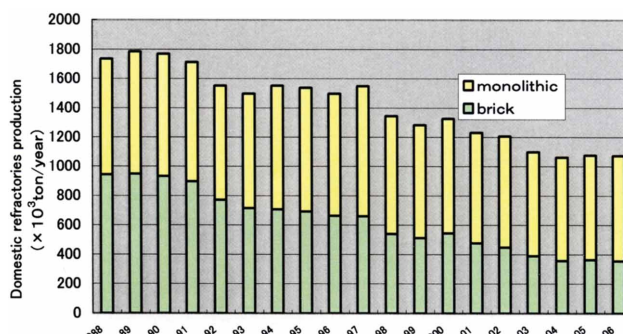


図3 国内耐火物生産量推移
Transition of domestic refractory production

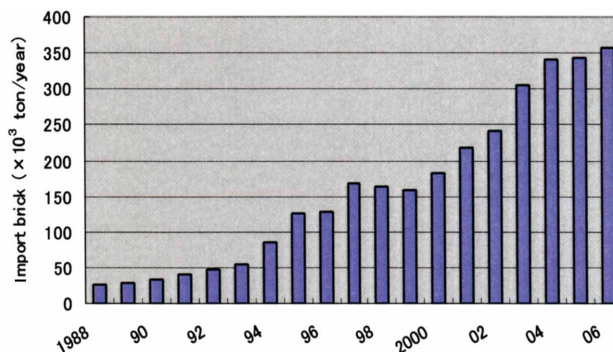


図4 輸入耐火物量の推移
Transition of amount of import refractory

耐火物消費原単位については、図5に示すようにこの20年間で約9.5kg/t-sから7.5kg/t-sへと約2kg/t-sへ削減を図って来た。そのひとつの原動力になったのが煉瓦から不定形耐火物への切り替えが大きく寄与している。図6はその不定形化比率の推移を示しているが、築炉作業の機械化、省力化及び熟練工不足の観点から1980年代から施工・材料技術の進展により急速にその比率が伸び、概ね70%近くまで進展した段階で現在に至っている。

3.3 新日本製鐵における築炉作業費推移

一方、築炉作業費としては、各築炉作業の機械化・省力化開発の実機化⁹⁾と分散配置されていた修理場の集約による作業要員のプール運用により、図7に示すように大幅に低減されて来た。しかし、実際の築炉作業に必要な熟練

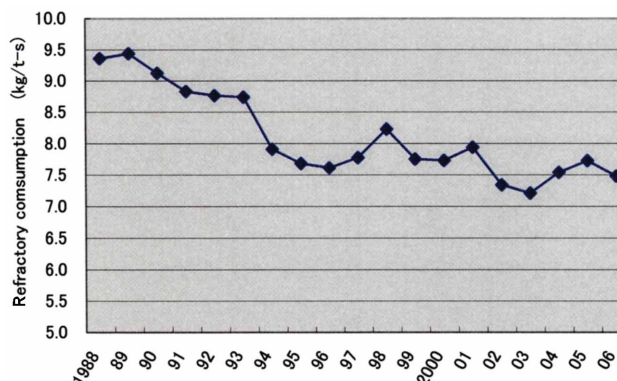


図5 新日本製鐵における耐火物原単位推移
Transition of refractory consumption in NSC

ンテナ船では耐腐食鋼板、タンカーにおいては、海洋での衝突事故時の環境汚染を防止する二重船殻構造(ダブルハル)の義務化にともなう孔食の進行速度を低減した耐孔食鋼板が要求されて来ている⁴⁾。

一方、今日の環境・エネルギー事情からクリーンエネルギー源として注目されている天然ガスを国際的に需給するための鋼管としてのパイプラインでは、高強度と低温靱性や現地での溶接性でしかも耐サワー性(耐水素誘起割れ性、耐硫化物応力腐食割れ性)が要求される高強度高靱性鋼板の要求が高い⁵⁾。一方、形鋼棒線ではスチールコードで代表されるように伸線時の非金属介在物起因の破断が許されないため、超高潔度度が要求されて来た⁶⁾。このような鋼品質への要求ニーズが厳格化される中で鋼の溶製プロセスは大きく変化してきた。その代表的な操業指標の一例として、新日本製鐵における脱ガス処理比率を図2に示す。この20年間で約15%増加してきており、特に直近、鋼品質の厳格化が増して来ており耐火物技術としても非常に大きな課題となって来ている。

3. 耐火物生産量と新日本製鐵の耐火物原単位・築炉作業費推移

3.1 耐火物生産量

粗鋼生産量とは、対照的に国内耐火物生産量は図3に示すように年々低下し⁷⁾、汎用の焼成粘土、高アルミナ煉瓦及び不焼成マグネシア-黒鉛質煉瓦などについては、図4に示すように⁸⁾中国を代表とした諸外国からの輸入煉瓦に代替されて来た。

国内では鋼品質を決定するとも言える連続铸造用ノズルを主体とした機能性耐火物と生産性の高い不定形耐火物へと変化して来た。しかしながら、直近では中国の増値税問題、輸出関税の問題で安価化の魅力が薄れてきており、国産品戻しの傾向も見られる。

3.2 新日本製鐵における耐火物原単位と不定形化比率推移

鉄鋼業は耐火物の多量消費型産業と言われて来たが、新日本製鐵における製銑工程から圧延工程に至るまでの総合

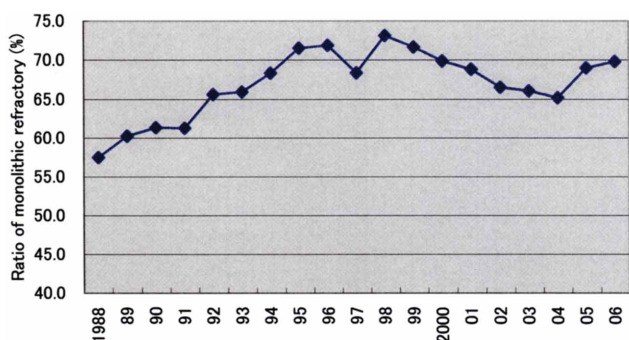


図6 新日本製鐵における不定形耐火物比率の推移
Transition of application ratio of monolithic refractory in NSC

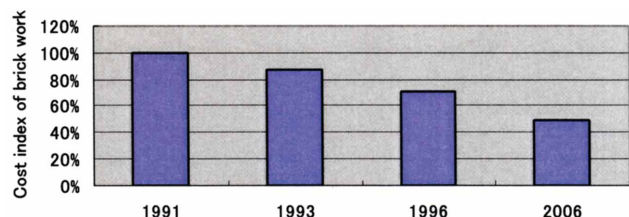


図7 新日本製鐵における築炉作業費の推移
Transition of cost index of brick work in NSC

築炉技能有資格者が減る一方で、修理・保全機器類のメンテナンスに係わる要員が必要とされる構造となり、作業職種多様化と高度化が必要とされるようになって来ている。

4. 新日本製鐵における耐火物技術部門の組織変遷と技術者・築炉作業者数の推移

4.1 耐火物技術者の推移

新日本製鐵における耐火物技術の組織としては、製鐵所における生産設備の保全、改善と開発案件の実機化を主体とする製鐵所部門と基礎研究、開発及び大規模プロジェクトのエンジニアリングを行う二箇所の研究開発、エンジニアリングセンター部門の双方から組織化されていた(表1参照)。

当時100人を越える大部隊であったが、粗鋼生産量の低迷とともに組織の再編が進み、製鐵所部門については設備部内から耐火物使用量の多い製鋼部門へと組織変更されて来た。一方、中央部隊については、ファインセラミックス応用と炉材開発に一旦役割分担したが、1991(平成3)年に総合技術センターに集約され現在の無機材料研究開発部へ一元管理組織として再編された。要員数については、上記組織再編ごとに当時の時代を反映された陣容へと合理化し、今日に至っている。絶対人数規模では20年前からすると約半分以下へと減少している(図8参照)。

4.2 築炉作業者推移と実態

製鐵所に従事している炉材整備作業者数の推移を図9に示す。一旦、1995(平成7)年頃には1100人レベルにまで省力化が達成されているが、生産量の増大に伴う窯炉設備基数の増加とともに絶対人員数は増えつつある。作業者一人当たりの築炉トン数で算出した値を労働生産性とした場合の推移を図10に示す。築炉作業の機械化、省力化を指向した結果、確実に生産性が向上していることが判る。一方、現在では労働生産性はもとより、築炉作業者の高齢化が進行しており、ベテラン技能者から中堅・若手作業者

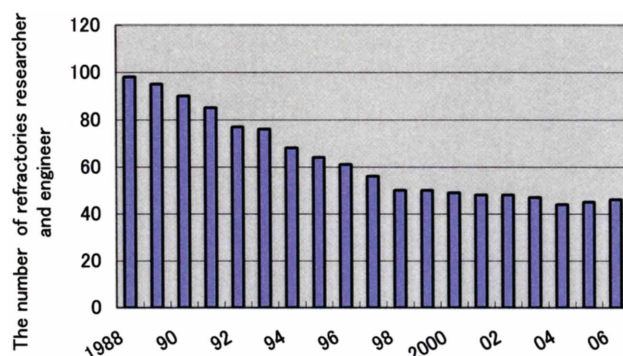


図8 新日本製鐵における炉材技術者数の推移
Transition of the number of refractories researcher and engineer in NSC

表1 炉材技術分野の組織変遷
Table 1 Transition of organization of refractories division in NSC

Period	Outline of organization of refractories division in NSC
June in 1972	Refractories Sect., Yawata and Hirohata Refractories Development Dept., Heat Technology Div., Plant Engineering & Technology Bureau
November in 1976	Refractories Dept., Yawata and Hirohata Refractories Development Dept., Heat Technology Div., Plant Engineering & Technology Bureau
July in 1988	Refractories Development Dept. and Fine Ceramics Development Process Development Div., Plant Engineering & Technology Bureau
November in 1991	Reorganization to Refractories & Ceramics Process Technology Research Laboratories, Technical Development Bureau
July in 1994	Mechanical Technology & Refractory Development Center, Process Technology Research Laboratories
July in 1997	Refractories Engineering Group transfer to Engineering Dept., Mechanical Div., Plant Engineering & Technology Center
July in 1999	Reorganization to Refractory Ceramics R&D Div., Steel Research Laboratories, Technical Development Bureau
April in 2002	Refractory Ceramics R&D Div., Environment & Process Technology Center

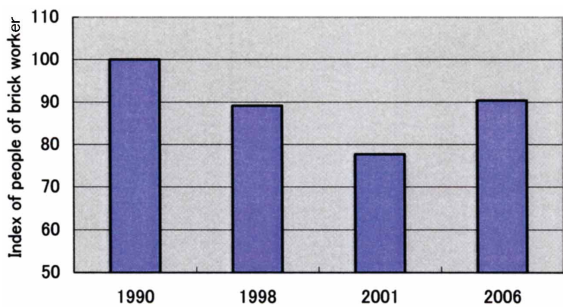


図9 築炉作業人数の推移
Transition of the number of brick worker in NSC

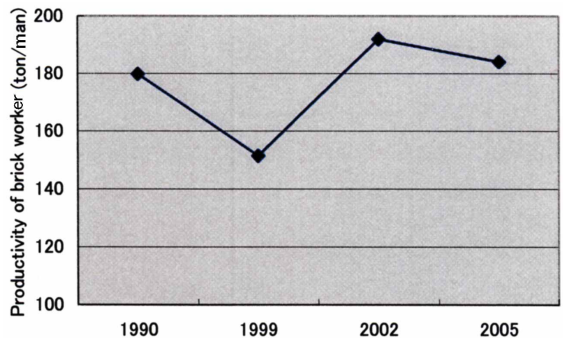


図10 築炉作業の労働生産性指数の推移
Transition of productivity index of brick worker in NSC

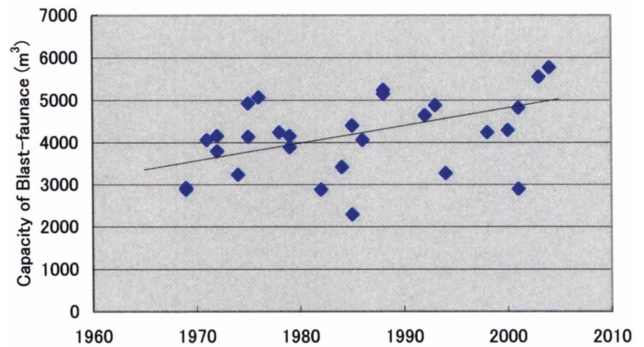


図11 新日本製鐵における高炉炉容の推移
Transition of capacity of blast-furnace in NSC

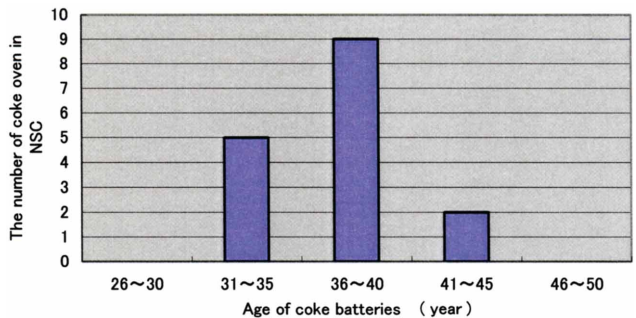


図12 新日本製鐵におけるコークス炉の炉齡
Age of coke-batteries in NSC

への技能・技術伝承と作業員自身の養成確保が急務となつて来ている。

5. 新日本製鐵における鉄鋼製造プロセスの新設、廃止の推移

5.1 製鉄工程

1988(昭和63)年戸畑第4高炉の休止を皮切りに釜石、堺及び広畑と順次高炉休止を断行し、13基から9基体制にシフトした。その後、図11に示すように高炉改修毎に炉容拡大を図り5000m³超の大型高炉が主流となり、炉底カーボンブロック^{10,11)}に代表されるように大型高炉での高出鉄比に堪え得る耐火物技術が重要視されて来ている。一方、コークス炉の平均炉齡¹²⁾が図12に示すように37年を超え、押し詰まりトラブルや炭化室煉瓦の破孔トラブルが発生し、生産性を低下させるに至っている。今後、コークス炉の延命対策の推進と新設、リフレッシュの検討がなされて来ているなかで補修・診断技術はもとより、国内で生産されなくなった珪石煉瓦の大量の海外調達については、品質安定性、需給面で大きな課題と言える。

5.2 製鋼工程

1979(昭和54)年頃から鑄床脱Siと混鉄車での溶銑予備処理¹³⁾(ORP)、転炉の上底吹き化¹⁴⁾(LD-OB)が各所で開始され、製鋼工程の今日のプロセスフローがほぼ出来上がったと同時に、複合素材を原料に使用したマグネシア-黒鉛質¹⁵⁾、アルミナ-炭化珪素-黒鉛質等¹⁶⁾の不焼成

煉瓦が、これらの精錬プロセスとともに発展してきた材料技術と言っても過言ではない。

一方、二次精錬については、図13に示すように高級化、多様化する鋼品質ニーズに伴い各種の処理プロセスが誕生しており¹⁷⁾、マグネシア-クロム質の電鍍煉瓦、リボンド煉瓦¹⁸⁾、セミリボンド、ダイレクトボンド煉瓦¹⁹⁾が適用されて来た。連続鑄造設備においても双ベルトや図14に示すストリップキャスター²⁰⁾などの新しい連続鑄造機の開発が推進され、連続鑄造用耐火物は単に鑄造時の溶鋼の分配、断気、溶鋼飛散防止の機能ではなく、高品質を保持し安定鑄造を行うための連続鑄造マシンの重要部品としての役割を成すに至っている。これら精錬プロセス及び新

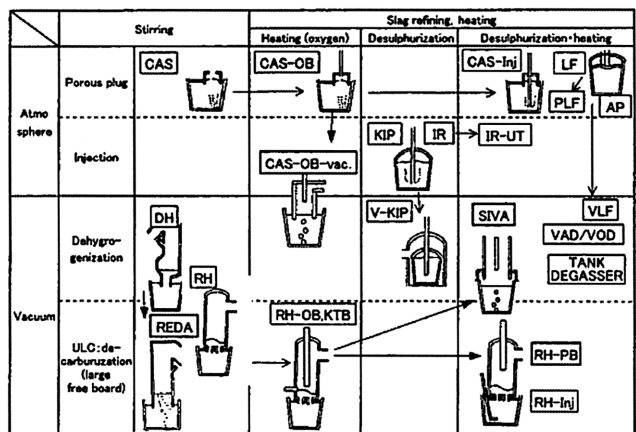


図13 二次精錬プロセスの分類図
Classification of second refining process in steel making

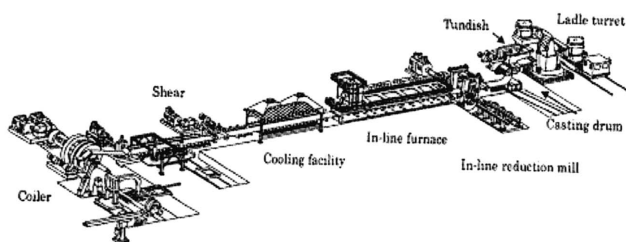


図14 ツインドラム式ストリップキャストの概略
Outline of strip castor by twin-drum

連続鋳造機の開発とともに耐火物技術も大きく進展した。

5.3 圧延工程

圧延用加熱炉については、自動車用鋼板の供給対応を反映し連続亜鉛めっきラインが増設され、加熱炉については、省エネルギーの観点からリジェネレーションバーナ化とセラミックファイバー化²¹⁾が各所とも急速に進展したが、炉内に飛散する酸化スケールによるセラミックファイバーの損傷、健全性を診断するための稼働監視技術及びアスベスト問題に事を発し、セラミックファイバーに関する環境・人体安全性などが課題²²⁾となって来ている。

5.4 その他

新鉄源プロセスとしては、図15に示す各社様々なプロセスが開発着手されているが²³⁾、新日本製鐵としては、1993年に広畑製鉄所において冷鉄源溶解(SMP)プロセス²⁴⁾、1998年に八幡製鉄所に誘導加熱付き貯鉄炉²⁵⁾、2000年にダスト再資源化を目的とした回転炉床法²⁶⁾(RHF)、と次々に実機化されると同時に、各プロセスに見合った新しい耐火物技術が開発されて来た。文字どおり、耐火物の材料技術はプロセスとともに培われていくことが改めて示していると言える。

6. 新日本製鐵における主な耐火物技術の変遷

上述した外部環境と生産設備の変化に対応すべく、新日本製鐵におけるこの20年間の主な耐火物技術について表2にまとめ、主な新技術の発表件数推移を図16に示す。最

近の技術動向としては、材料単独の技術に比べ、リサイクルを含めた施工技術と評価技術に関する技術報告が増えていけると言える。

耐火物技術というともすれば、設備投資が伴わない耐火物材料技術のみが重視されがちであるが、これらの材料技術単独では限界があり、築炉構造、施工技術、補修・診断技術、リサイクル及び評価・解析技術が総合的に駆使されてはじめて鉄鋼窯炉設備の安定稼働に貢献でき、高品質を支えるものと言える。

この20年間で耐火物材料単独としては、高炉のカーボンブロック、アルミナ-炭化珪素-黒鉛質不焼成煉瓦²⁷⁾、アルミナ-スピネル質不定形流し込み材²⁸⁾、アルミナ-黒鉛質還元焼成ノズル、高温用結晶質セラミックファイバー²⁹⁾等が主な成果があった案件といえるが、非常に低生産時期になった1994(平成6)年から2002(平成14)年頃には、皮肉にも輸入原料、輸入耐火物による変動費削減が大きく貢献してきたと言える。

築炉・機械化技術としては、大容量溶射³⁰⁾、不定形化とマイクロ波乾燥³¹⁾、転炉における築炉装置³²⁾、炉底分離等が挙げられる。補修・診断技術としては、乾式吹付けからロータリーショットクリート工法³³⁾、レーザー式プロフィールメーター、小型化された赤外線温度計の適用技術等が挙げられる。

解体・リサイクル技術としては、高効率はつり機³⁴⁾、破碎・磁力選別・分級及び配合技術³⁵⁾が大きな役割を果たしている。特に剛性ばねモデルを用いた煉瓦構造解析³⁶⁾、計算状態図などの評価・解析技術については、今後とも高温溶融物を取り扱う無機分野としては、高温状態での固-気-液間の物質移動と溶融金属が攪拌流動する運動場がともなう複雑な事象を如何に定量的に支配要因を同定し、改善指針を見出していくかの根幹をなすものであり、これまで特に使用前後の耐火物調査から使用中の損耗メカニズムを仮想しながら改善指針を見出して来たが、今後更に先進技術を駆使し稼働中の損耗状態をダイナミックに解析し進化させていく必要がある。

Reducer		Source of iron		Lump of mineral ore	Fine mineral ore		
		Coal as raw material	Caking coal		Pellet	Sinter ore	(apply to directly)
Coke	Slak coal	Lump of coal	Blast furnace method	Kiln method ex. (SN/RN)	Corex (hot metal)		
		Brequet coal					Finex (hot metal)
		fine coal			Fastmet Inmeteco		Hismelt (hot metal)
			ITmk3		(DIOS) (hot metal)		
Natural gas			Midrex Hyl III			Finmet	

図15 新鉄源プロセスの分類
Classification of new iron-making process

表2 新日本製鐵における主要耐火物技術の変遷
Progress of new refractories technology in NSC

	1998	1999	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Material	<ul style="list-style-type: none"> Self-modifying type Al_2O_3-SiC brick for TPC Alumina-spinel castable for teeming ladle Low elasticity module lance material for iron pretreatment MgO-C brick with high purity technique of sintering MgO Clinking alumina nozzle for steel casting with high oxygen 	<ul style="list-style-type: none"> $ZrSiO_4-SiC-C$ brick for iron pretreatment $Al_2O_3-SiC-C$ brick with the addition of amorphous carbon for TPC Inhibited oxidation technique of sintering MgO Prevention of clinking alumina nozzle for steel casting with submerged 	<ul style="list-style-type: none"> $Al_2O_3-SiC-C$ brick with salt Non-Al castable for TPC Desilicization lance castable with mullite and silica 	<ul style="list-style-type: none"> Applying of plasma spray technique to ZrO_2-C 	<ul style="list-style-type: none"> Low thermal conductivity for MgO-C 			<ul style="list-style-type: none"> Nano-tech. MgO-C 	<ul style="list-style-type: none"> Carbon block with TIC for BF Insulating refractories for RF 	<ul style="list-style-type: none"> Chromite-free brick for second refining process
		<ul style="list-style-type: none"> Longer life technique for teeming ladle High-strength Al_2O_3-C for CC nozzle 	<ul style="list-style-type: none"> MgO-C with MgO MgO-ZrO₂-SiO₂ castable for line of teeming ladle Prevention of alumina clogging by the use of CaF₂ Mechanism of alumina adhesion to $ZrO_2-CaO-C$ for the bottom of BF 	<ul style="list-style-type: none"> $Al_2O_3-SiC-C$ castable for stainless steel 	<ul style="list-style-type: none"> Barrier formation type ZrO_2-C for CC 					
Construction of brick lining	<ul style="list-style-type: none"> Monolithic lining technique for tundish 	<ul style="list-style-type: none"> Round type tuyere for teeming ladle and tundish 	<ul style="list-style-type: none"> Monolithic lining technique for VOD ladle 	<ul style="list-style-type: none"> Monolithic lining technique for iron ladle High thermal conductivity carbon block for BF near-bottom 	<ul style="list-style-type: none"> Improvement of brick lining technique for the bottom of RH 				<ul style="list-style-type: none"> Monolithic lining technique for RH degassing 	<ul style="list-style-type: none"> Improvement of brick lining technique for corn of BOF
Mechanization of brick work	<ul style="list-style-type: none"> Mechanization of brick work for BOF lining 	<ul style="list-style-type: none"> Mechanization of brick work for BOF lining 	<ul style="list-style-type: none"> Casting method of torpedo ladle mouth 	<ul style="list-style-type: none"> Mechanization of brick work for BOF lining 	<ul style="list-style-type: none"> Recasting repair method by castable for RH 			<ul style="list-style-type: none"> Microwave drying, I for monolithic refractories 		<ul style="list-style-type: none"> Microwave drying, II for monolithic refractories
Repair and diagnosing technique	<ul style="list-style-type: none"> Flame gunning repair for HS material for degassing 	<ul style="list-style-type: none"> Gunning repair method for improved castable for RH Hot repairing for throat of DH degassing Hot injection repair with low cement castable for RH degassing 	<ul style="list-style-type: none"> High-ability flame gunning repair for BOF Mechanization of labor and saving refractory repair shop 	<ul style="list-style-type: none"> Flame gunning repair for top-hole of BOF 	<ul style="list-style-type: none"> Application of flame gunning repair technique for iron and steel making process 				<ul style="list-style-type: none"> Rotary shot repair method 	<ul style="list-style-type: none"> Repair and diagnosing technique for coke-oven chamber
Demolish and recycle technique	<ul style="list-style-type: none"> Repair technique of sliding plate 	<ul style="list-style-type: none"> Repair technique of sliding plate 					<ul style="list-style-type: none"> Recycle technique for refractories in NSC 		<ul style="list-style-type: none"> Auto-tipping machine for refractory maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> Recycle technique for refractories in Niigoya, Oita and Yawata works
Evaluation method		<ul style="list-style-type: none"> Evaluation of alumina adhesion to CO-nozzle material by use of Ar bubble pump 	<ul style="list-style-type: none"> Characteristics of MgO-C brick Behavior of the characteristics of Cr_2O_3 brick by the thermal-shock test 	<ul style="list-style-type: none"> Application of fractal analysis to refractory microstructure Dynamic evaluation of corrosion resistance 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluation of heat spalling by the flame gunning method 	<ul style="list-style-type: none"> X-ray photography method for slag penetration in magnesite brick 		<ul style="list-style-type: none"> The design of Al_2O_3-C ladle shroud suitable for long-time use and reuse Analysis of brick structure using the rigid bodies-spring model 	<ul style="list-style-type: none"> Basic study of alkali resistance in atmosphere Evaluation of MgO-C brick characteristic image of Al_2O_3-C by TEM 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluation of cyclic thermal treatment for corrosion resistance of MgO-C brick Evaluation of characteristic image of Al_2O_3-C by TEM

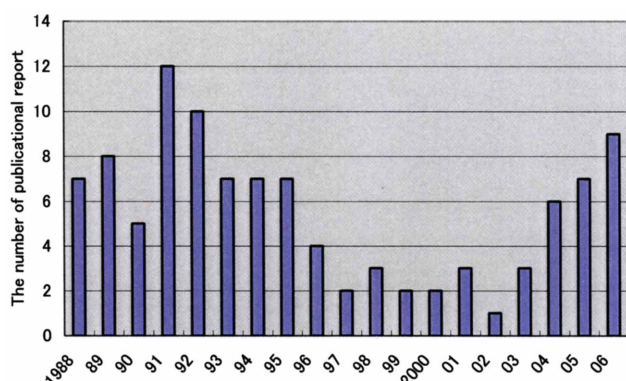


図16 新日本製鐵における主要耐火物技術の発表件数推移
Transition of the number of publication report on new refractories technology in NSC

7. まとめ

新日本製鐵におけるこの20年間の耐火物技術の歩みについて総説した。高級鋼比率が増え溶製方法と粗鋼生産量が劇的に変化中、無機分野では各製造プロセスごとの耐火物材質、築炉、施工、補修、診断及び解体・リサイクル技術の開発成果を駆使し、耐火物原単位を着実に低減し、耐火物技術の更なる国際競争力向上・維持を図って来た。

今後、中国、インド、ブラジル等のいわゆるBRICs諸国の追従が著しい中、更に新日本製鐵の耐火物技術が世界をリードし、国際競争力向上・維持するためには、これまでの課題の追従型からシーズ提案型に業務運営スタンスを変えて行く事が肝要である。具体的には、

- (1) 消耗資材の提供型から製造プロセスの変革に繋がる提案型への移行
- (2) 脱中国原料対策(黒鉛、マグネシア、アルミナ、SiCなど)の立案・実行
- (3) 環境・省エネルギー対策(特に断熱、中低温熱回収)のシ・ズ創出
- (4) 築炉作業者の技術・技能担保と作業の簡素化、機械化(自動化)
- (5) 診断技能のシステム化による寿命予測精度向上と計画保全。

一方、これら技術課題をより迅速に確実に克服していくためには、強靱な陣容とその人材育成が必須であり、産学官の連携強化も積極的に推進すべきと考える。最後に、本報告が次世代を担う中堅・若手技術者の一助となれば幸いです。

参考文献

- 1) 鉄鋼新聞社編:鉄鋼年鑑平成18年度版 24 鉄鋼新聞社 2006
- 2) 新日本製鐵(株):新日鐵ガイド 38 2007
- 3) (社)日本鉄鋼協会:ふえらむ 8(4), 210(2003)
- 4) (社)日本鉄鋼協会:ふえらむ 9(11), 770(2004)

- 5) (社)日本鉄鋼協会:ふえらむ 9(1), 2(2004)
- 6) 新日本製鐵(株)編集:カラー図解 鉄の未来が見える本 初版 .日本実業出版社 2006 p.66
- 7) 耐火物協会:耐火物資料協会会報 685(5) ,15(2007)
- 8) 耐火物協会:耐火物資料協会会報 685(5) ,28(2007)
- 9) 麻生誠二 ,原田茂美 ,筒井康志:耐火物 48(6) ,301(1996)
- 10) 中村倫 ,石井章生 ,藤原茂 ,田草川豊 ,若狭勉:CAMP-ISIJ 8 , 243(1995)
- 11) 新田法生:新日鉄技報 (384) ,111(2006)
- 12) (社)日本鉄鋼協会:ふえらむ .10(4) 242(2005)
- 13) 佐々木清和ら:鉄と鋼 69(15) ,1818(1983)
- 14) 森玉直徳:耐火物 37(9) ,496(1985)
- 15) 島田康平ら:耐火物 40(9) ,550(1988)
- 16) 片岡厚一郎ら:CAMP-ISIJ 5 237(1995)
- 17) 松野英寿:ふえらむ .10(4) ,32(2005)
- 18) 石川英行 松尾三郎 松井泰次郎:耐火物 48(8) ,436(1996)
- 19) 浅野敬輔ら:耐火物 42(11) ,705(1990)
- 20) 中嶋ら:CAMP-ISIJ .15 208(2002)
- 21) 木船勲ら:鉄と鋼 .73(4) ,S320(1987)
- 22) 大霜紀之:セラミックス 42(5) ,364(2007)
- 23) (社)日本鉄鋼協会:ふえらむ .10(4) 245(2005)
- 24) 松宮徹監修:Nippon Steel Monthly (6) ,13(2004)
- 25) 高崎義則ら:CAMP-ISIJ .13(7) ,48(2000)
- 26) 織田博史 茨城哲也 ,安部洋一:新日鉄技報 (384) ,134(2006)
- 27) 島田康平 河野幸次:製鉄研究 (331) 20(1988)
- 28) 島田康平ら:鉄と鋼 .71(4) ,S230(1985)
- 29) 木船勲 樽崎誠治 真沢正人 兼松勤治 福岡弘美 萩原武 松本義文:製鉄研究 (331) ,34(1988)
- 30) 前田一夫 石井章生 原田茂美:耐火物 46(11) ,577(1994)
- 31) 平初雄ら:耐火物 55(1) ,19(2003)
- 32) 筒井直樹 中川仁 倉吉:CAMP-ISIJ (7) 238(1994)
- 33) 今川浩志 河野幸次 後藤潔 内田貴之 中井栄:耐火物 58(1) , 22(2006)
- 34) 内田貴之ら:耐火物 57(3) ,116(2005)
- 35) 花桐誠司ら:CAMP-ISIJ (7) ,958(2005)
- 36) Yamamura, K et al.:Proceedings UNITECR 2003 Congress . Osaka Japan 2003-10 p.384



松井泰次郎 Taijiro MATSUI
環境・プロセス研究開発センター 無機材料
研究開発部 部長
千葉県富津市新富 20-1 〒 293-8511
TEL:(0439)80-2840



中村幸弘 Yukihiro NAKAMURA
環境・プロセス研究開発センター 無機材料
研究開発部 炉材エンジニアリンググループ
グループリーダー