論 說

原鐵製造廻轉窯用耐火煉瓦について

(日本鐵鋼協會第 29 回講演大會講演 昭 18. 4. 於東京)

長 崎 勸*

REFRACTORIES FOR THE ROTARY KILN MAKING THE RAW
IRON FOR STEEL MANUFACTURE

Isawo Nagasaki

SYNOPSIS:—The technique of making "gentetu" (the raw iron for steel manufacture) with a rotary kiln has played an important role in the gentetu production and remarkably made progress for the past several years. The Renn-process and the sponge process are developing so far in each field of the research, and require the corresponding study of the refractories used for this purpose. The author has dealt once with refractories for the Renn-process as representative method. However, there remains still a number of difficulties relating to bricks for Luppe zone from viewpoint of physics and chemistry. In the present report, the author studied Mullite bricks made by electric melting which proved to be fairly successful, and discussed the improvement of some remaining difficulties.

I 緒 言

廻轉窯を以て原鐵を製造する技術には、高爐或は他の方法による製造法に比し、作業の特異性と共に耐火物に對する要求も可成り多い様に考へられる。高爐による鉄鋼一貫作業には、建設に當りコークス爐、高爐、熱風爐、平爐等一連多量の耐火煉瓦の必要であるに比し、廻轉窯に依る時は品種的にも數種のものにて足り、數量的にも高爐系一基に相當する廻轉窯は單位出鋼のもとには、或は數基の建設が可能かも知れない。

但し取替補修用として消費せらるゝ煉瓦の數量は、けつして少量のものではあり得ない。

こゝに工場立地の立場より、簡単に検討してみると、第一に燃料方面よりすれば、高爐には先づ堅固なるコークスを必要とするが、廻轉爐法では無煙炭或は軟質の原炭を以てすることが出来る。原礦では、前者は堅牢なる塊鐵、或は團鐵を必要とするが、後者は遙に軟質粉鐵の如きを以てすることが可能である。かかる特異性がある一面、熱積算

に於ては、前者に劣ることがあるかも知れないが、適切な利用により、資源開發には後者も、亦將來重要な役割を持つ可きものと考へられる。

この廻轉窯作業には、耐火煉瓦としてもつ負擔も可成り大きい様に考へられるし、更に原鐵の品質改良、生産の増強に伴ふ無理な作業もせらるゝだらうし、一層耐火煉瓦の耐久力が要求せられる次第であり、從來一部關係して來た問題につき検討し、更に研究しつゝある點について、少しばかり説明を加へて、御參考にしたいと考へるものである。

II 廻轉窯による原鐵製造法

その代表的のものを挙げると、スポンジ法、ルツペ法、バツセー法等にして、バツセー法は鉄鐵とセメントを同時に製造するのを主眼としてゐる様であるが、餘りこれが隆盛をみない様であるのは残念である。スポンジ法、ルツペ法では、鐵石より直接立派な原鐵を製造して居り、屑鐵の代用品としても優秀なるものである。何れも粉末狀として、裝入口より還元用無煙炭、並に石灰石等と共に連續給

* 九州耐火煉瓦株式會社

養されるものであり、豫熱、還元等の過程を通り、海綿鐵では低温還元にて、スラグは恰も海綿狀となり、その間に鐵片を混在し、レン法ではスラグ中に鐵がコアギュレートされて、3/8~1"(但しボールミルにてスラグを粉碎除去した場合)の小塊として混在する。バツセー法では、熔銑は表面スラグの皮膜にて蔽はれ、下部を流動して、キルンエンドの附近の出銑口より流出させるスラグは、水硬性セメントなるもので、キルンエンドより排出せられる。

還元帯に於ける爐内温度は、三者共大きな開きはないが各々装入原料の成分に相違あり、操作にも可成り趣きを異にする。還元帯より下流にゆくに従ひ、爐内温度も次第に高くなるが、スポンヂ法、レン法、バツセー法の順序に爐内温度は高い様である。従つて爐の操作も温度上昇と共に困難を加へる向がある。レン法は酸性スラグであるが、バツセー法は可成り強い鹽基性であり、温度も高い等、製造目的を異にすると共に操作も異なる點がある。製造法より言つても、中庸をとつてゐるレン法について、耐火煉瓦を論じ、煉瓦としては比較的負擔の軽いスポンヂ法、又負擔の重過ぎるバツセー法に於ける煉瓦の研究に指針を與へたいと考へるものである。

III レン法廻轉窯操作と耐火煉瓦

窯上流より給養される原料は、粉末原鐵と無烟炭、石灰石、これにレン法自身の造つたスラグを回収して一部混じてゐる。これ等の配合割合は、各工場に於て幾分相違するものがある。その1例を挙げると、通常 60m 程度のキル

第1表 ルツベの分析表

珪酸	礬土	酸化鐵	第二金屬 酸化鐵	石灰	苦土	マン ガン	其他
% 51.20	5.44	16.62	4.62	1.62	8.94	2.43	0.43

ンを使用してゐる様であり、豫熱、還元、粒銑帯の3帯に區別して考へられてゐる。窯の廻轉速度と原料装入量との間には、一定の比率あり、窯内容物の層は略均衡が保たれてゐる、キルンエンドより吹込まれる1次空氣の量と、微

粉炭は、セメント焼成にみる如く連續、且完全燃焼をしてゐるものとは、稍趣きを異にしてゐる様考へられる。爐内温度の變化が、他の廻轉窯に比較して、可成り著しいと考へられるが、これが耐火煉瓦としては大きな負擔であり、窯の機械的構造より受ける負擔と併せて、重大視しなくてはならない點である。

豫熱帯に於ける煉瓦は、1000°C 以下の低温に曝されてゐるが、温度の急變に對して敏感ならざることを必要とし、良く焼締つてゐて、殘存收縮の少いスポーリングに強い、普通粘土質煉瓦で適當と考へる。煉瓦相互の振動により、磨滅して緩み脱落しないことが希望せられる。

還元帯にては 1000°C 以上の温度の還元氣流に常に曝されて居り、殊にこの部分にはタイヤー並に齒車等のあるを普通とするを以て、機械的振動が煉瓦に傳はる部分であり、眞に複雑した外力が加はる部分で、煉瓦も餘程重要となつてくる。ここでは先づ機械的強度として、耐壓強度の 300kg/cm² 程度を保たせることが望ましい。同時に弾性の大きなることも必要である。又煉瓦が炭化作用を受けて、切角安定せる酸化鐵が不安定となる關係上、鐵分の含有量の少いことを可とする。更にこの部分、或は尙下流の部分では、爐の操作上コーチングの附着脱落の現象が可成り頻繁で、煉瓦の受ける熱衝撃は著しいものがあり、スポーリング耐性の強力なものを選ぶ可きである。ルツベ帯に於ては、還元鐵がスラグの軟硬宜しきを得て、この部分にてコアギュレートされるのであり、レン法の技術は全くここに存在するものであると考へる。コーチングの附着脱落の最も著しく、且微粉炭燃焼の斷續性のため、著しい高温下下に於ける熱變化を直接受ける煉瓦面は、先づスポーリングに對して強力であることを考へねばならない。

次にレン法では、スラグは酸性であるが、化學的侵蝕性の強いと言ふよりも、流動するスラグの磨滅に對して強いことが必要と考へられる。例へば軟質のシャモット煉瓦が、短時間の間に削り取られてしまふと言ふ様に、この磨

第2表 レン法廻轉窯内張煉瓦の一般的性質

區分	耐火度 SK	氣孔率 %	嵩比重	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	耐壓強度 kg/cm ²	殘存收縮 1350°C×5h %	スポーリング 試験 1350°C 5回減量率%	荷重軟化點		品 種
									T ₁ °C	T ₂ °C	
豫熱帶	31~34	20~25	1.85~2.05	30~50	2.0~2.7	150~250	-0.3 以下	0	1250以上	1380以上	又は煖石 シャモット
還元帶	33~35	22~25	2.05~2.25	50~55	2.0~2.5	180~300	-0.2 以下	0	1300 "	1400 "	"
出口煉瓦	33~34	22~25	2.05~2.20	50~55	2.0~2.6	150~200	-0.2 以下	0	1300 "	1380 "	シャモット
ルツベ帯と 還元帯との 中間	35以上	25以下	2.20 以上	—	2.3 以下	300 以上	0	0	1350 "	1450 "	高級シャ モット
ルツベ帯	35以上	23以下	2.25 以上	—	2.2 以下	400 以上	0	0~2.0	1400 "	1500 "	" 又は特殊

減に対しては、緻密質で、堅硬なるを要する。

ここに考へられる化学的侵蝕性は、フェライト $[2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2]$ 或はオリビン $[\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2]$ の如き煉瓦が、スラグと作用して特殊の結晶構成による質的変化であると考へられるが、又一面流動性に富むスラグが、煉瓦の氣孔に侵入して、煉瓦表面より逐次軟化點を低下してゆくか等につき、検討を進めてゐるが、先決問題として、質緻密であることが最も重要であると思ふ。獨逸産天然石煉瓦にして、數年前本邦でも極一部使用せられ、研究もせられたカルツレーハーの如き、案外に好成绩であつたと聞いてゐる。非常に緻密質の絹雲母を含んだ珪石である。この部分では、化学的には酸性又は中性の耐火材料たるべきものである。以上の如く、スポーリングに強く、アブレーションに對しても十分耐久力のある煉瓦、と言ふ結論になるが、一見相容れ難い感あるも、何れをも略満足し得る煉瓦を希望するものである。スラグはその原料成分割合にもよると思ふが、或所で軟化してルツベの構成に最適當な温度が見出される、と考へられ、アブレーションに對する煉瓦の負擔よりすれば、可及的低温度にてルツベ構成を望む次第である。SK 34 番級のシャモット煉瓦にて、可成り使用に差支へない窯もあるとのことであるが、専門外の我々としては、この邊の事情を知る由もないけれども、スラグの成分に影響ある所ありて、ルツベ構成の温度が、煉瓦の負擔を比較的軽減する役割を演じてゐるのではないかと考へられる。これがために、コーチング附着の便がある等の如くこの因果關係が負擔を軽減してゐると思ふ。私共はかかる意味から、化学的には煉瓦は寧ろ中性であり、質緻密にして、その軟化點は珪石煉瓦相當の高度のものにして、尙且 1350°C 以上の温度に於けるスポーリング耐性の大きなものを製造することに依り、可成り煉瓦には無理な操作だと考へられる場合でも、使用に堪へる様にと考へて研究を進めてゐる次第である。

我々はこのルツベ帯へ、人工ムライト質の煉瓦をもつて、從來シャモット質煉瓦では面白くなかつたのに比し、遂に成績良好であつた經驗を有するが、尙これだけでは満足しなかつたのである。と言ふのは、その當時このムライト煉瓦は、アブレーションに對しては満足すべきものがあつたが、スポーリング耐性の脆弱な點があつた。この缺點は使用中に生じた龜裂が擴大されて、遂に破片となつて脱落し、煉瓦が薄くなつてゆくと言ふ現象で、若し徐々に磨滅してゆけば、更に數倍の煉瓦壽命となると考

へられるものである。

ムライト結晶 $[\text{Mullite } 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2]$ 自體は、眞にすばらしい特性を有するもので、化学的耐性並に軟化點高く、スポーリングに對しても非常に強力な特殊耐火物である。然らば何故にこれを主體とした煉瓦が、十分な満足と與へ得なかつたかについて研究した。結局極く少量ではあるが、存在する硝子質の作用に依ると考へたので、如何にしてこれを取除くかに苦心したのである。この除去方法については、別に詳細報告することとするが、かかる方法にて製造された煉瓦は、遙に優秀な性質を發揮するものである。

第 3 表 原料及びムライトクリンカーの化学分析

種 別	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	gloss
高礬土質頁岩	(1)	8.76	68.17	5.08	0.33	0.17	— 14.45
	(2)	7.44	75.57	0.57	0.50	0.15	2.14 13.66
	(3)	18.06	63.97	1.01	0.75	0.12	1.95 14.16
ムライトクリンカー	(1)	22.71	73.55	2.76	—	—	—
	(2)	21.58	74.08	3.06	—	—	—
	(3)	19.33	76.13	1.80	0.12	0.42	2.91 —

上記の如き高礬土質頁岩を豫め煨焼し、これを電氣熔融したキヤスティングしたものにして、旭硝子社のコルハートブラック、九州耐火のムレツクスイーシーがある。鑄込をせずに、クリンカーとして一度冷却したもの、を、破碎粉碎して、これに適宜の粘結材を加へて成形焼成したものが、旭硝子社のコルハートホワイトと、九州耐火のムレツクスである。

IV ムライト質耐火煉瓦

電鑄ムライト煉瓦は、ムライト結晶を主體としてゐるのであるが、これにコランダムの結晶、並にガラスの少量を混融してゐるし、質は非常に緻密にして、殆ど氣孔なく、機械的強度大にして、常温に於ける耐増強度 2000 kg/cm^2 に及ぶものあり、耐火度 SK 38 位を有し、化学的耐侵性も亦大である。軟化點も可成り高く、 $T_2=1600^\circ\text{C}$ に及ぶものあり、但し鑄造の際に生ずるブローホール問題は、煉瓦使用上困難を生ずる。又少量ではあるが、硝子分の存在は、スポーリング耐性を脆弱にする傾向あり、從來硝子熔融タンクフアーネス爐壁に使用して、優秀な効果をあげてゐるのである。

コルハートホワイト或はムレツクスの如き、ムライトクリンカーを一度粉碎、成形、焼成處理した煉瓦を、電融煉瓦と稱する。これは矢張耐火度 SK 37、或は 38 なるも、製造様式よりして幾分氣孔度は高くなり、従つて熔融物に

對する化學的侵蝕性は、前者に比して稍劣ると考へねばならない。耐壓強度も $500 \sim 1000 \text{ kg/cm}^2$ となる。スポーリング耐性は、前者よりも強く、電鑄煉瓦にみるブローホール
の悩みはなくなるのである。

かくの如く相互に一長一短あるも、何れも高温度下にて、化學的安定性を有する結晶を取扱ふと言ふ點に於て、製鋼爐材としても優秀なものであると言ふのみならず、他の部門に於ても、高温爐材として利用價值は既に一般に認められてゐる状態である。唯主なる問題は、スポーリング耐性の強化であり、數年間に亘り、我々は電融煉瓦の構成を如何に改良するかに依つて、軟化點と化學的侵蝕性を低下させずに、一面スポーリング耐性の強いものを作らんと努力して來たのである。これにはムライトクリンカー自体に含まれてゐる硝子分の除去の研究、或はムライトクリンカーに置換し得るシリマナイトの研究、粘結材の選擇等數十種類に亘る試作試験を繼續して來てゐるのである。

そにその中の數種試作品につき、その性状を示し参考としたい。

第 4 表 試作ムレックス煉瓦の性状

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
化學成分							
SiO ₂ %	23.5	31.4	23.5	24.4	24.0	32.1	28.5
Al ₂ O ₃ %	72.5	65.1	71.6	71.6	73.1	63.6	67.5
Fe ₂ O ₃ %	2.3	1.3	1.7	2.2	2.2	2.1	2.0
CaO% MgO%	.8	1.9	2.9	.6	.6	.7	.8
物理性状							
耐火度 SK	37	37	37	38	38	38	38
眞比重	3.32	3.26	3.23	3.22	3.33	3.10	3.12
見掛比重	3.25	3.19	3.17	3.05	3.25	2.98	3.03
嵩比重	2.61	2.43	2.66	2.28	2.18	2.29	2.28
吸水率%	8.7	9.9	6.1	11.0	15.1	10.1	10.9
氣孔率%	19.0	23.9	16.1	25.2	32.8	23.2	24.9
常溫耐壓強度 kg/cm ²	565	433	910	585	418	407	539
軟化試験							
T ₁ °C	1300	1475	1350	1500	1445	1450	1450
T ₂ °C	1445	1535	1480	1660	1635	1640	1680
T ₃ °C	1540	1544	—	1710	1740	1760	1800
スポーリング同 試験 1350°C%	2	2	2	3	3	5	2
スポーリング 試験 1300°C	8.0	5.0	12.0	2.0	1.0	0	4.4
スポーリング パネル試験 1300°C	不良	小龜裂 を生ず 不良	直線的 龜裂生 ず不良	龜裂生 ずも 稍良好	龜裂稍 生ず も良好	龜裂僅 良	—
熱間耐壓強度 kg/cm ²							
800°C	887	342	970	733	—	—	—
1000°C	690	115	308	496	—	510	—
1200°C	12	13	29	109	52	115	—

上記表に於て (1), (2), (3) は初期, (4) 以下は最近の試作品であり、初期に比し一般に品質向上の傾向を呈してゐる。

V 廻轉窯用耐火煉瓦に望まれる試験法

1. 定例試験としては耐火度, 比重, 氣孔度, 耐壓強度

の測定。

2. 荷重軟化試験これは各種煉瓦共重要視すべきと思ふ。

3. 熱間耐壓試験, 高温の部が特定の煉瓦に必要。

4. スポーリング試験, 次の 2 項目にて検討のこと。

(A) 加熱浸水試験

(B) パネルスポーリング試験

5. 鑄造試験 坩堝式, 或は懸錐式による侵蝕状態判定

6. 弾性率の測定 重要性あり

7. 熱傳導度の測定 特定の煉瓦には必要

8. 磨滅試験 同上

以上の各種試験には相當の日時と勞力と資材を要するが試験結果を綜合して、研究進歩の目安とするには、是非必要である。

VI 結 論

1. 原鐵製造法に於ける廻轉窯利用は、原料燃料等の點より考へて、眞に有意義な方法にして、これに要する耐火煉瓦も將來重要な役割をもつものと考へられる。

2. これに要する耐火煉瓦の説明を、クルツブレン法に依つて行つたのであるが、豫熱帶, 還元帶に於いては, SK 31~34 番級の良く焼いたシャモット煉瓦が十分であるが、ルツベ帶附近の煉瓦は、化學的耐侵性を有し、アブレーションに抗力をもち、且スポーリングに強力なる等、相當複雑した特性をもたねばならない。

3. 我々はこのルツベ帶に使用する耐火煉瓦に對して、人工ムライト結晶を主體とする煉瓦を以てして、可成りの良成績をあげ、尙幾分その性質に補正を要す可き點について、數年來研究を進めてゐる。それには、先づスポーリング耐性を、更に強化することが肝要と考へて、先の人工ムライトクリンカー中の硝子分の除去法について研究し、一方人工ムライトに幾分の天然ムライト(シリマナイト系)を置換する等の方法を考案して、多數の試作品を作つてゐる中に、この程可成り優秀な性状の煉瓦を製造し得たのである。

4. 原鐵製造廻轉窯耐火煉瓦に望まれる試験法をのべた以上の説明は誠に簡單ではあるが、原鐵製造用廻轉窯は、冶金操作の上爐内温度が出来るだけ低くて、立派な品質の原鐵を多量生産し得るならば、耐火煉瓦のもつ負擔は、眞に輕くて済むと思ふのであるが、製煉法の進歩向上は、必ずしも耐火煉瓦の負擔を輕減するものとは斷定し難い。従つてこれに追隨して煉瓦の製造研究をも進めてゆく必要がある。これには双方技術者の間に連絡ある研究が大切であると考へるものである。