



高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究(第3報):  
解体高炉のシャフト下部および炉腹部レンガの損傷について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-05-27 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 田中, 章彦 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3160">http://hdl.handle.net/10258/3160</a>

# 高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究 (第3報)

解体高炉のシャフト下部および炉腹部レンガの損傷について

田 中 章 彦

## On the Cause of the Errosion and Deformation of the Blast Furnace Lining (III)

Some Observations of the Lining of the Under-part of the  
Shaft and Belly Part in the Blown-out Blast Furnace

Akihiko Tanaka

### Abstract

As for the errosion and deformation of the blown-out blast furnace lining, the present writer made some observations and examinations by means of the microscopic method, chemical analysis, and others, and published some of these results in the second paper of this report. In this paper, he has published the result concerning the under-part of the shaft and belly part.

The lining in these parts was consumed by the numerous and complicated causes. He studied these causes and arrived at the following conclusion:—

(1) The damage of the lining in these parts was caused by the errosion due to pottasium, sodium, and other elements in the high temperature zone and internal collapse due to the unhomoginity of the distribution of deposited carbon, and alkali-compounds. In most cases the latter cause was more significant.

(2) The mechanism of the errosion by alkali and other elements in the under-part of the shaft and belly part was the same as that in the upper-part of the shaft, although in the former case, the velocity of the reaction was faster and the tendency of the glassification was more distinctive. However, in these parts, the glassification in the junction between the bricks was made during the early stage of the furnace operation, and the permeation of the furnace gas into the lining was little. Accordingly, the outside bricks kept the comparatively sound state.

(3) Because of the small variation of temperature in these parts of the furnace, the distribution of the deposited or formed constituents tended to concentrate comparatively in the local part, and formed the very distinctive brittlized layer. It strengthened a tendency for the break-down of the lining.

(4) The tendency for the sheering rapture of the lining in the belly part as discribed in the first paper of this report was seen in this furnace, which resulted in forming the laxation of the joints between bricks, and influenced the distribution of the permeated constituent.

### I. 緒 説

製鉄用高炉がそのライニングの消耗により吹卸される諸因のうち、シャフト下部および炉腹部のレンガ積の食損およびこれにもとづくガス洩れ等の障害が統計的にきわめて多いことは

英国の高炉耐火物委員会による共同研究<sup>1)</sup>によっても例示されるごとくである。わが国においても、各製鉄会社の報告も多くこの部分のはげしいレンガ積の食損を報じている。

このシャフト下部および炉腹部のレンガ積の食損の原因ならびに対策に関する研究は、従来各社において高炉解体の都度おこなわれる調査とあわせて、いろいろな角度からの実験室的研究が多くおこなわれて来た。特にこの主因とみなされるライニング内の炭素の析出に関する P. P. Das & B. Chatterjee<sup>2)</sup>, W. R. Davis & G. R. Pigby<sup>3)</sup>, Frik Högberg & Sven Heden<sup>4)</sup>, アルカリの溶食に関する S. E. Mc Cune, T. P. Greaney, W. C. Allen & R. B. Snow<sup>5)</sup>, 亜鉛, チタン, 鉄その他の元素の影響についての H. M. Richardson & G. R. Rigby<sup>6)</sup>, K. G. Skinner, W. H. Cook & R. A. Potter<sup>7)</sup>, A. Muan<sup>8)</sup>, および溶食全般に関する H. M. Kraner<sup>9)</sup>, 杉浦・黒田<sup>10)</sup>, 兎玉・宮武・中村・加瀬<sup>11)</sup>, 等の各氏の研究はきわめて興味があり、最近のこの分野における研究の進歩をものがたるものである。しかしながら著者が前報<sup>12), 13)</sup>において指摘したごとく、この原因はきわめて複雑多岐であり、一つの障害が他の障害を誘発する場合が多く、したがって高炉の操業条件に多分に支配されるので、現在までの研究成果がかならずしも充分であるということができない。特に最近では世界的な鉄鋼需要の増大にともない、高炉の大型化、高圧送風、酸素富化送風等の採用など、高炉の設計および作業条件がいちじるしく変化しつつある。これに対応して、この面からのこの部分のライニングの溶食原因に関する問題は、今日改めて従来の研究を基礎として検討を必要とする。

著者はさきに富士製鉄株式会社室蘭製鉄所第1次第2高炉について一応の研究を完了し、その成果を発表した<sup>14), 15)</sup>。つづいて第2次第2高炉、第2次第1高炉の2基の炉について現在詳細なる調査研究を継続中である。第2報<sup>12)</sup>には前者のシャフト上部のライニングの損傷原因について報告した。今回はこれにつづく同炉のシャフト下部および炉腹部のライニングについての調査結果ならびにこの消耗原因について考察することとする。

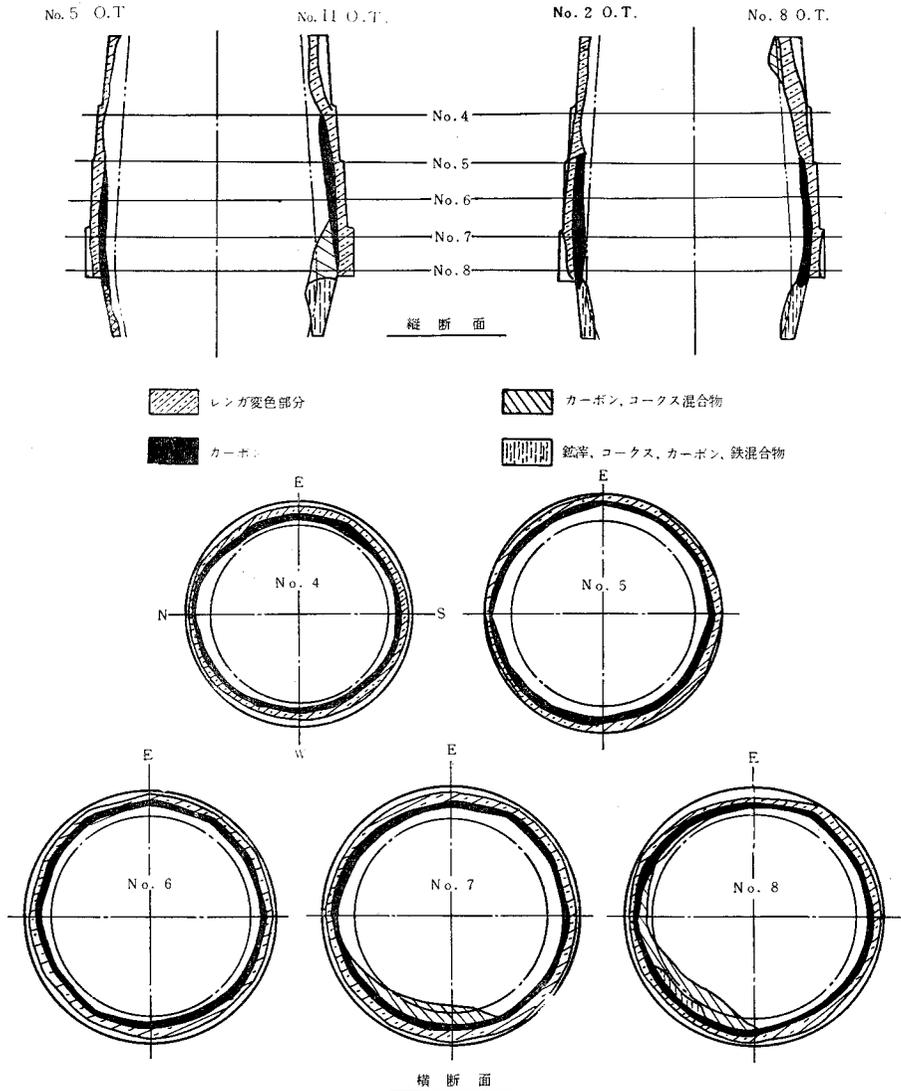
なお本調査をおこなった第2次第2高炉の操業経過、成績、解体時の状況等の資料については既に同社技師中島、田山両氏による詳細なる報告<sup>16)</sup>があるので今回はこれを省略する。

## II. 研究方法, 結果およびその考察

### 1. 試料とその採取

本炉のシャフト下部および炉腹部に用いたレンガはともに八幡製鉄所製耐火粘土レンガであり、その原料配合、物理的性質、耐火度などの諸資料もまた未使用のレンガ片も現在保存されてなく、その品質については一切不明である。したがって比較的外見上変化をうけていないライニングの一部から採取した試料よりこれを推測する他はない。

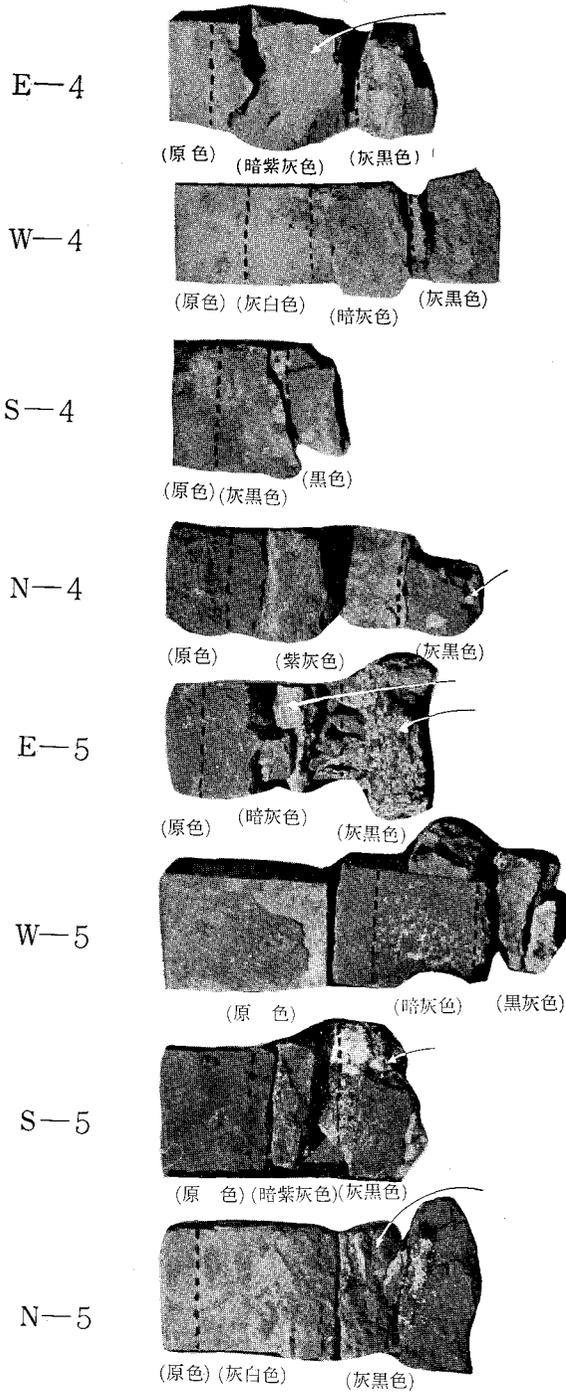
試験試料は第1図に示すごとく、シャフト下部より No. 4, 5, 6 の3水準、炉腹部より No. 7, 8 の2水準、計5水準について東西南北4方向総計20の採取位置を選び、炉内側すなわち高



第1図 第2次第2高炉溶食状態図  
附 試料採取位置

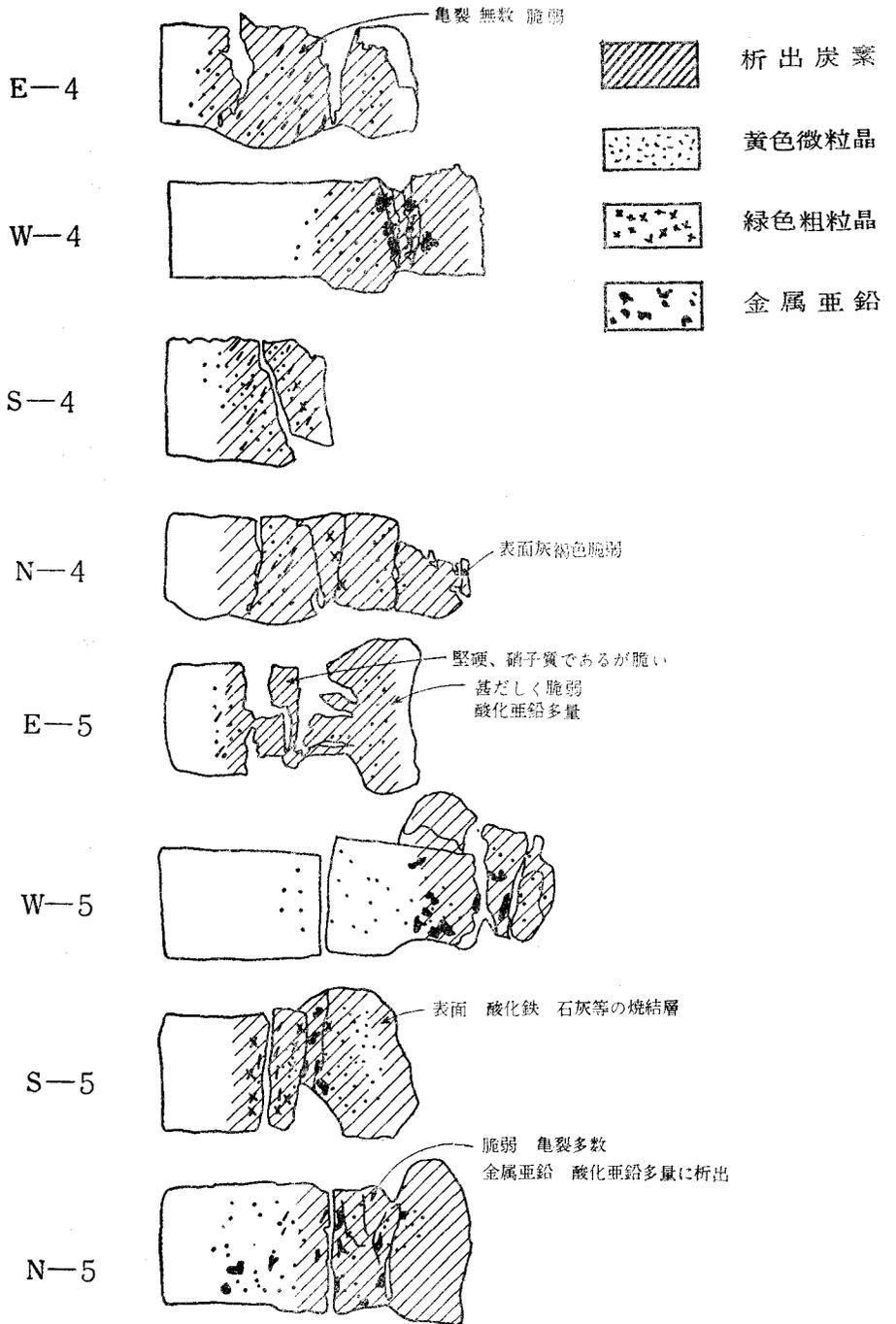
熱面より炉外側までとおしてそれぞれ数個ずつのレンガを採取した。これらの試料は第1, 2報とまったく同じ方法で番号を付した。たとえば西方向の第4水準の一系のレンガのうち、炉外側より炉内側にむかって25 cmの位置より採取した試片はN-4-25のごとく表わし、これを試料番号とした。ほかに炉内付着物、析出物、メチ等の試料をも多数採取したがこれは特に番号を付けることなく、本文において必要の都度明示することとする。

なお第2図の各写真は採取した諸試料の外見を示す。

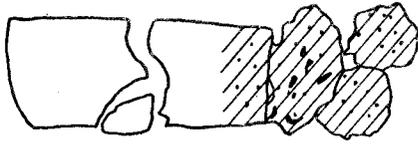


第2図 採取試料の肉眼的観察





E-6

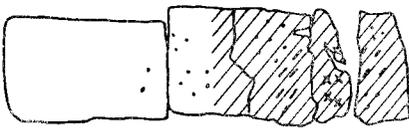


W-6

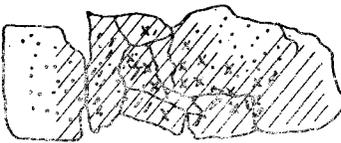


隣接レンガとの融着塊  
多量の亜鉛を含む

S-6

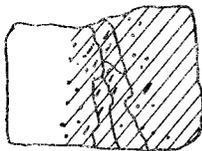


N-6

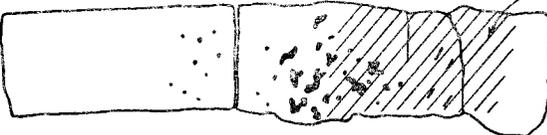


脆弱 亀裂 析出物多量

E-7

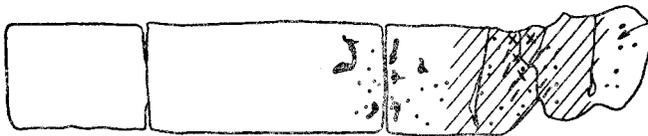


W-7



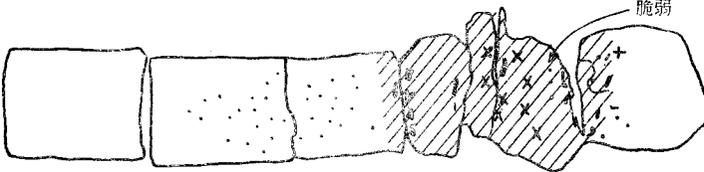
硝子化緻密堅硬

S-7



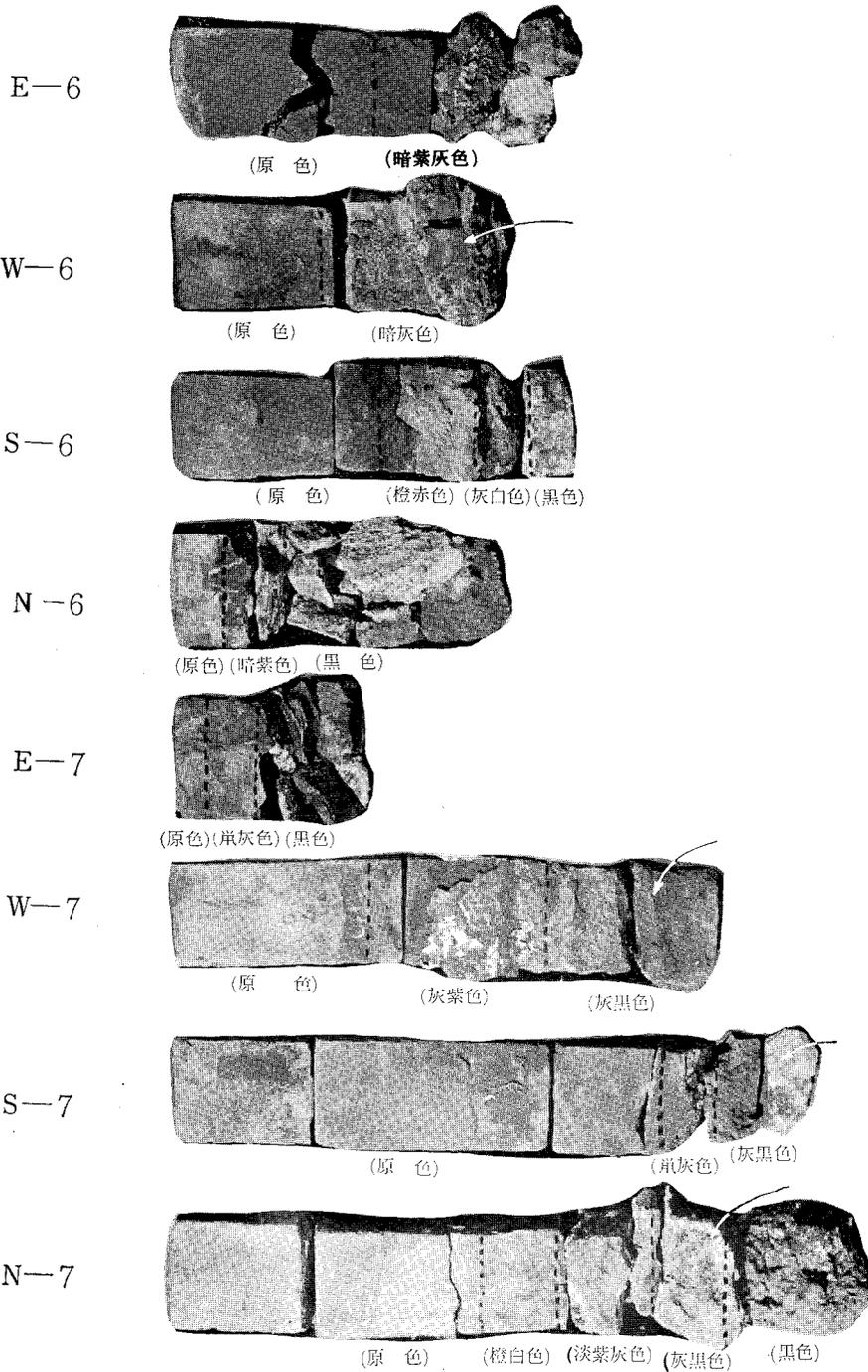
附着物

N-7

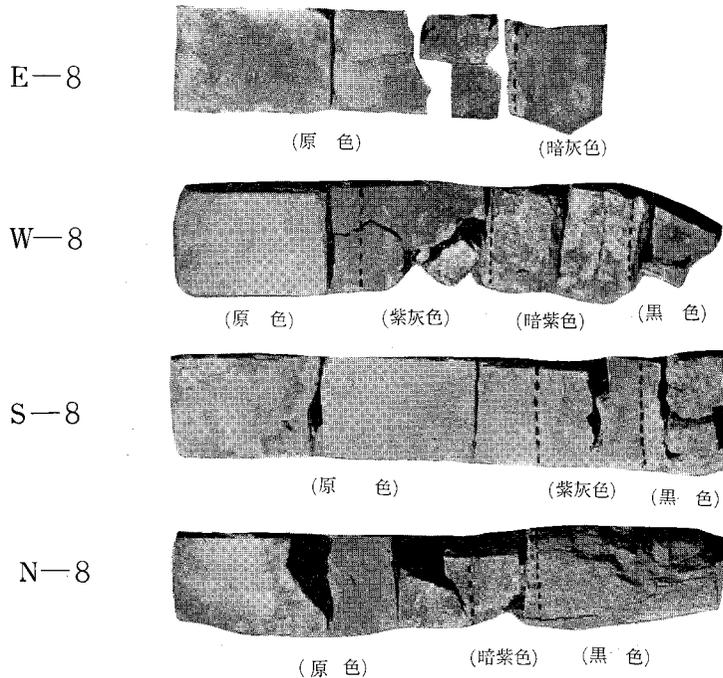


脆弱





第2図-続 採取試料の肉眼的観察



第2図-続 採取試料の肉眼的観察

## 2. 試料の肉眼的観察

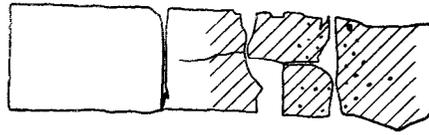
採取した試料について、著者はあらかじめレンガの変質状況、メチの性状密着度、析出物の種類分布状況、亀裂の有無方向などについて詳細な肉眼的観察をおこなった。レンガの変質程度を大略示す破断面の色は第2図の各試料の写真の下に、析出物の分布、レンガの崩壊状況、亀裂の主なるものは同図に付した透視紙に簡略に示した。

シャフト下部および炉腹部のライニングは一般に激しい侵食をうけ、シャフト受の No. 8 試料以外は残存しているレンガわづか1乃至1枚半程度である。かつまた残留レンガも高熱面からの溶食と内部における炭素、亜鉛化合物の析出がひどく、さらに内外の温度差および成分の不均一にもとづく亀裂の生成により変質脆化している。

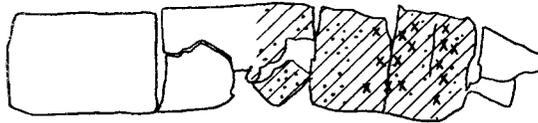
前報<sup>12)</sup>においてシャフト上部のレンガの変質状況を観察し、著者が便宜上命名した(1)未変質層、(2)中性雰囲気層、(3)還元性雰囲気層、(4)ガラス質層、(5)高熱表面層の順に比較的規則的に各々特徴ある性質をもつ層が配列していることを述べたが、シャフト下部および炉腹部では炉外側より5~10 cm程度の未変質層およびこれにつづく、少しく還元褪色した淡灰色乃至淡紫灰色を呈する中性雰囲気層の一部をみとめ得る程度で、これより炉内側の各層の配列状況は肉眼的観察のみをもってしても不規則かつ複雑である。シャフト下部ライニングのさらされた



E-8



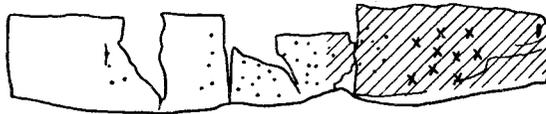
W-8



S-8



N-8



雰囲気はシャフト上部より勿論温度は高く、ガス成分に若干の変化があるにしても本質的な相違があるわけではない。したがって炉の操業初期におけるライニングの侵食の経過も上部の場合と類似しており、前報同様の各変質層が生成したものと推定される。かくして一次的に生成した各変質層のうち前報において指摘したごとく、還元性雰囲気層は特に脆弱であり、炉内側の各層はこの部分よりわづかな衝撃または熱応力により崩落する傾向にある。この第一次の崩落後残留した各層は崩落前の溶食歴を保有するとともに、また新たな前よりも高温でかつ還元性の強いガス雰囲気に直接さらされることとなり、その溶食変化および生成層は崩落前の第一次の変化層にくらべて相当に複雑となる。さらに第2次第3次とそれぞれの脆化層よりの崩落がかさなるにしたがい、各層は数次の異なった条件のもとでの雰囲気にさらされ、その結果生成する変質層は各々の溶食履歴にしたがって複雑多様な変質層を形成するものと考えられる。

レンガ内およびメヂ、レンガ間の空隙、亀裂内の析出物の分布もしたがってシャフト上部のごとく規則的ではない。析出物の大部分は炭素と酸化亜鉛であり、酸化亜鉛は炉外側より白色粉状、黄色細粒、緑色粗粒乃至柱状の各晶態をなしておおよそ配列されているが、所により大きく不連続な分布を示すことがある。また上述のごとく溶食履歴が複雑なため時に異常な晶状を呈することが認められる。これらは晶出後熱的、化学的二次変化をうけた形跡もいちじるしく、X線分析によりジンコフェライト、ジンクシリケートの生成が認められる。金属亜鉛は粒状、板状、樹枝状をなし、シャフト上部に比べてその量も多く、レンガ1,2枚間のメヂ付近まで滲透析出している。一般にレンガ高熱面付近のガラス化は著しく緻密硬質な組織を呈しているが、崩落直後の部分は脆化層がそのまま露出し高熱表面層、ガラス質層をかいている。また、脆化層が融着し、亜鉛、酸化亜鉛等の析出物が脈状をなしてガラス質層中に存在し、亀裂の融着のあとを示す組織もしばしば見られる。水冷をほどこしてある炉腹部はレンガ内部に特に伝熱方向に直角な多数の微細な亀裂を有する部分があり、炭素、酸化亜鉛の析出がいちじるしく、また時に潮解性を有し放置されてあった試料は湿潤している。

メヂは炉内側高熱面はシャフト上部にくらべて、強固に焼結ガラス化され、炉内ガスのメヂをとほしての滲透をふせいでいる。ただし炉腹部の水冷をうけた部分の炉外側のレンガ間のメヂは脆弱で、多くは乾燥した粉末となっている。

第1報<sup>10)</sup>において述べたレンガ積の膨張にもとづく炉腹部ライニングの持ちあがり現象と炉内装入物の荷重とによるレンガ積の屈曲剪断はこの炉では実測し得なかったが、横方向のメヂが約1~2 cm程にも弛み、この中に夥しい析出物を含む事実から、この原因による破壊の傾向も多分に認められる。

### 3. 化学分析

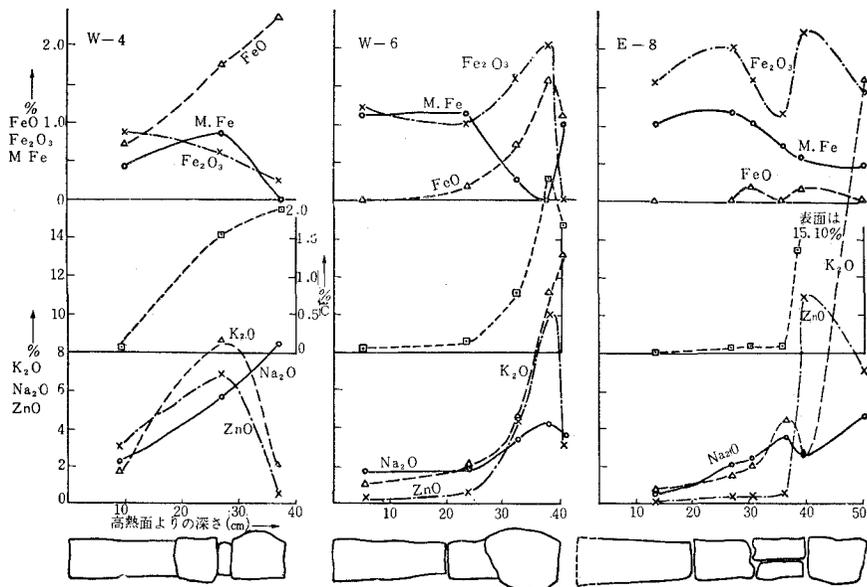
採取した各系列の試料より分析試料を適当に選出し、金属鉄、FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、

ZnO, および全炭素量の各滲透・溶食成分について化学分析をおこない, それぞれの分布状態を調べた。これを各採取位置について各成分の分布曲線を求めた。この数例を第3図に示す。またこの曲線にあらわれた数値以外に特色ある分析値を示すと第1表のごとくである。

第1表 主要採取試料化学分析値

	M. Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	T. C
E-4- 2	1.00	0.184	1.23	0.38	1.46	1.48	0.05
E-4-23	0.859	1.84	0.614	6.34	5.43	8.33	1.69
S-4-16	Tr	2.63	1.02	12.76	2.67	5.03	0.99
N-4-S	1.15	1.84	Tr	5.96	1.99	3.26	0.07
E-5- 9	0.859	0.553	1.02	1.80	1.46	1.93	0.13
W-5-32	1.00	0.368	0.819	0.34	2.73	5.78	0.49
S-5-21	Tr	2.95	Tr	11.46	1.91	4.16	1.16
E-7- 8*	Tr	1.84	Tr	28.18	3.13	7.59	1.24
E-7-S**	0.286	1.47	0.409	5.37	5.48	17.30	2.29
E-7-S***	Tr	1.29	0.819	10.10	3.46	5.24	1.73
W-7-57	0.429	0.553	1.64	5.24	2.79	7.36	1.25
S-8-57*	Tr	1.66	1.64	8.42	4.67	1.41	14.60

註 \* メヂ部, \*\* 高熱にさらされた表面層, \*\*\* 表面層の背部



第3図 介入成分の分布曲線例

これらの分析値は試料の採取位置付近の状況, 特にメヂとの接触面からの距離, 亀裂の方向分布, 付近の滲透成分の析出条件如何によりいちじるしく変動があり, かつまたシャフト下

部においては上部と比較して、その溶食履歴によりわづかな採取位置の移動が化学分析値に大きな影響をおよぼす場合が多く、試料採取位置の適否が大きな問題となるために、ここに得られた分布曲線をもってただちに溶食過程を論ずることは危険であるが、一応の考慮の基礎となし得るものと思う。

次に各滲透成分別にその挙動およびライニングの溶食におよぼす影響について考察することとする。

### (i) 鉄の挙動

残存しているレンガ内の鉄の分布および酸化度は第3図に示すごとく数例によって見ることが出来る。他の滲透成分の多少により M. Fe, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の各分布曲線は著しく上下しているが、より数多くの試片において最終崩落後の推定経過期間、周辺の物理的状态、試料採取条件を考慮に入れて考えるとき、第2報でのべたシャフト上部における鉄の酸化度に関する著者の見解は、そのままシャフト下部においても説明し得ることがわかる。すなわち Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は原則として炉外側が高く炉内側は著しく減ずる。FeO は逆の傾向を示す。ただし、高熱面の一部は装入物の鉱粉がレンガのガラス質層に溶入した亀裂、メヅ内において焼結し幾分 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が高く FeO が低い。E-8 の中間層において Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が低く、ガラス質層において高い傾向を示すのは採取位置がシャフト受部という特殊な環境によるためであり、この部分の沈積炭素がきわめて多い事実とあわせて興味がある。またこの試料は採取後長期間保存したため、特に亀裂の多い部分、細粉化した部分、および潮解性を示す部分の含有鉄は相当に酸化し、一般に FeO は低く、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は高くあらわれているように思われる。M. Fe は通常炭素および金属亜鉛の析出部および高熱面において高い値を示す。

### (ii) 炭素の析出

炭素は分析の結果、炉外側のレンガにおいても微量の析出がみとめられるが、中性雰囲気層付近において急激な上昇を示し、表面層のわづか内側において最高値に達し、高熱面においては逆に幾分降下する傾向を示している。ただし高熱面において最高値を示す部分も時にみとめられるが、これは崩落後あまり時日を経っていない部分と推定される。

炭素分析値と FeO の値とは割合によく比例し、またこれらの値の高い位置は通常小亀裂が多数に生成し、レンガはいちじるしく脆化している。これは炭素析出における FeO 触媒説を一応うらづけ得るものであるが、逆にレンガの脆弱部の多数の小亀裂内に炭素が析出し、レンガ内の Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を還元する現象も認められ、これらの関係を量的に解析し結論することは現在のところ困難である。

### (iii) 亜鉛の挙動

鉱石中の微量の亜鉛の蒸気は炉ガスにともないライニング内に滲透し、析出位置の雰囲気、温度に応じてそれぞれ酸化亜鉛、金属亜鉛稀に硫化亜鉛として析出する。酸化亜鉛はシャフト

上部の場合と同じく概して炉外側未変質層，中性雰囲気層に多く析出するが，還元性雰囲気層にも多く，またガラス質層にもガラスに溶封されて存在する。これは崩落前の溶食履歴を示すものと考えられる。金属亜鉛はきわめて還元性の高い気圏内で析出したものでその量の多少，析出位置付近のレンガの物理的状況如何により板状，樹枝状，粒状をなし，主としてメチおよび亀裂内に多量に存在する。硫化亜鉛は高熱面の一部，高熱面に近いメチ中および析出炭素にまざって微量がみつめられる。

レンガ中の亜鉛の分析は，その採取位置付近の亜鉛の存在量を代表するとき試料採取が実際上困難である。すなわち大粒の亜鉛の一粒を試料に入れるか入れぬかで分析値に大きな差ができ，部分的な偏差が大きい。したがって大粒の金属亜鉛はこれをとりのぞいて分析したため，実際には分析値よりはるかに高い亜鉛含量を示すものと考えられる。亜鉛の分布曲線において極度の起伏があるのは，シャフト上部にくらべてこの部分は金属亜鉛の量が多いことにもよるが，本質的にシャフト下部の亜鉛の分布は溶食履歴にもとづき複雑となっているものと見なすことができると思う。

#### (iv) アルカリ元素の挙動

分布曲線の多くが示すごとく， $K_2O$ ， $Na_2O$ は高熱面およびガラス質層において著しく上昇し，時に両者あわせて30%にも達する。両者中特に $K_2O$ の影響はいちじるしくレンガをガラス化し，そのガラス中に溶けこむとともに，多様のレンガ-アルカリ溶食生成物を形成する。この生成物は炉ガス中の水蒸気と一部作用し含水生成物を作り，または時に潮解する現象もみとめられる。アルカリは又炉ガスにともないライニング内に深く滲透し，炭素とともに析出し一部レンガと作用するが，量的にはシャフト下部，炉腹部においては少ない。ただしレンガが脆化し，亀裂内に多量の炭素の沈積を見る箇所においては，相当に高い分析値を示すことがある。

### 4. 偏光顕微鏡による観察

20系列のレンガ中より適当に試料を選び薄片を製作し，偏光顕微鏡による観察をおこなった。主要組織の各採取位置による変化を表示したものが第2表である。表中A, B, C, Dなる記号は構成する諸相の量的関係を多少の順に示すものであるが，この判定の基準の詳細については前報<sup>12)</sup>と同様であるので省略する。ただこれらの記号は一つの相の多少を示すに過ぎぬもので異なった相間の量的比較の対象にはならない。

また，第4図は代表的な組織および特に興味ある組織の顕微鏡写真であり，これに簡略な説明を加えた。したがって本文には各試料の個々の観察結果の詳細な記述は省略し，総合的な傾向およびこれに対する著者の見解を記すこととする。

前述のごとく，シャフト下部および炉腹部に用いた八幡製耐火粘土レンガはシャフト上部の室蘭製レンガに比べて，大体同程度のものと推定される。一次ムライトは十分に細く発達し

ているが残存する石英が相当に多く、組織は全般的に不均質である。シャフト下部では炉外側の未変質層も使用中一時は相当の高温にさらされた形跡があり、一次ガラスが消失し一次ムライトが微細に縦横に発達している。石英は熱歪により粒子内に亀裂を生じ、亀裂面にそってガラス化もしくはクリストバライト化している。ガラスは酸化鉄をはらみ、やや褐色化し、粘土粒子を周縁からおかしつつある。これに対して炉腹部では、水冷により大きな熱変化はなく、未変化石英が多量に残存している。

メチはシャフト下部においては相当にガラス化が進行し、若干の析出物も見られ、十分に焼結され緻密強固な組織を呈しているが、炉腹部では水冷の影響により焼結されず、また組織に操業中に熱変化をうけた形跡は少く、多く脆弱で時に粉末状をなし、一見粘土物質が乾燥された程度に見える。未変質層においてもシャフト下部、炉腹部ともに組織内に炭素、酸化亜鉛、アルカリ化合物の析出およびこれらとレンガ物質との作用がわづかながら開始されている。したがってこれらの介入物のレンガの組織におよぼす影響については、成分別に以下論ずることとする。

#### (i) アルカリの作用

前報<sup>12)</sup>において詳述したアルカリのレンガにおよぼす作用は、シャフト下部および炉腹部においてもまったく同様の機構のもとにおこなわれると推定される。ただ上部に比べて高温のため、その反応速度がガラス内の拡散速度もいちじるしく早い。しかし一面において、高熱のために表面層およびメチ部が早期において半熔融焼結して、炉内ガスのライニング深部への滲透をさまたげるため、アルカリの作用は比較的高熱面近くにとどまり、ライニング深部に至るにしたがい急速に衰える。また炉腹部は  $K_2O$  とともに  $Na_2O$  の作用がまし、表面層に多量のアルバイトの析出を見る。

アルカリ化合物のレンガに対する作用は、シャフト下部および炉腹部においては次の過程をもっておこなわれるものと推定される。

1. レンガの細隙内に沈積したアルカリは周辺のガラスに溶解し、ガラスの融点を低下せしめ、このガラスが石英および粘土粒を周縁部より溶解し組織全体をガラス化する。

2. かくして生成したアルカリを多量に含むガラスより二次ムライトが再析出し、同時に残ったさらにこれによりアルカリの濃化したガラスはリュウサイト、ネフェリンに変化する。または種々の条件の相異により、カリオフィライト、アルバイト等の粘土質鉱物を晶出する。この間の体積変化はライニングの膨張、亀裂生成の原因となる。

3. アルカリを含むガラスおよびある種の含アルカリ粘土鉱物は水蒸気を吸収し、ゼオライト、セリサイト等の含水鉱物に転ずる。またときによりいちじるしく潮解性の生成物を形成し組織を分解脆化する。

4. シャフト下部および炉腹部では、これらのガラスおよび生成物がレンガ内の雰囲気、

第 2 表 顕微鏡観察によるレンガ組織の変化

	粘土粒内の組織および析出物					石英粒の状態					粒間または亀裂内の析出物					備 考		
	一次ガラス	一次ムライト	炭素	シリサイト	リニサイト	カリオフライト	二次ムライト	二次ガラス	ガラストリデマイト	クリストバライト	残留石英	ガラス化の痕跡	フエライト	セリサイト	ゼオライト		ブラチオクレシス属	酸化鉄
E-4-8	B	B	D	D	B	C	—	D	B	C	C	C	D	D	D	D	D	
E-4-23	D	D	B	B	C	A	B	D	B	C	C	C	C	C	D	B	C	D
W-4-9	B	B	A	C	A	B	C	D	B	B	D	D	C	C	C	C	C	B
W-4-9	B	B	A	C	A	B	C	D	B	B	D	D	C	C	C	C	C	B
W-4-16	B	B	A	C	A	B	C	D	B	B	D	D	C	C	C	C	C	—
W-4-20	C	C	B	C	B	C	A	B	C	B	D	D	C	C	C	C	C	—
W-4-22	C	C	B	C	B	C	A	B	C	B	D	D	C	C	C	C	C	—
W-4-22	C	C	B	C	B	C	A	B	C	B	D	D	C	C	C	C	C	—
W-4-25	C	C	B	C	B	C	A	B	C	B	D	D	C	C	C	C	C	—
W-4-31																		
W-4-33																		
W-4-S																		
S-4-11	B	B	C	D	C	D	B	B	—	D	D	D	B	C	—	D	D	
S-4-S	D	D	A	D	B	A	B	D	—	D	—	—	C	C	C	C	C	D
N-4-S	—	—	D	D	A	A	B	A	A	D	D	D	A	A	C	A	C	D
N-4-S	D	D	C	—	A	C	A	B	D	C	D	—	C	C	C	C	C	—
E-5-9	D	C	A	A	C	D	B	B	C	C	D	D	B	—	—	C	B	B
S-5-13	B	A	D	D	C	C	D	D	C	D	C	D	C	D	—	D	C	—
S-5-16	B	B	C	D	C	D	B	C	D	—	D	D	B	B	D	D	D	D
S-5-21	B	B	B	D	C	B	C	D	D	—	D	D	B	A	C	B	A	—
S-5-21	C	C	B	D	C	B	A	B	D	B	C	D	B	A	C	B	C	B
S-5-25	C	D	A	C	B	B	A	B	C	B	D	D	B	A	C	B	A	D
S-5-S	—	—	A	D	B	B	A	C	C	B	D	D	B	B	A	C	B	D
S-5-S	—	—	A	D	B	B	A	C	C	B	D	D	B	B	A	C	B	D
E-6-S	—	—	B	C	A	B	A	B	D	C	D	D	B	B	D	B	C	D

周縁部  
深部, エピドート微量

メヂ部

メヂ部

粒界不明瞭

粒界不明瞭

粒界不明瞭

金属亜鉛多量析出

粒界不明瞭



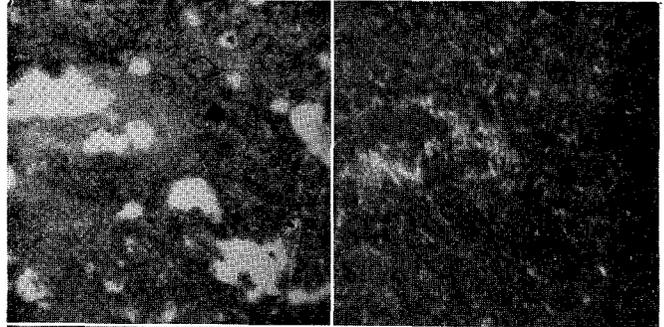
## 第4図 溶食をうけたレンガの顕微鏡写真 (×150)

平行ニコル

直交ニコル

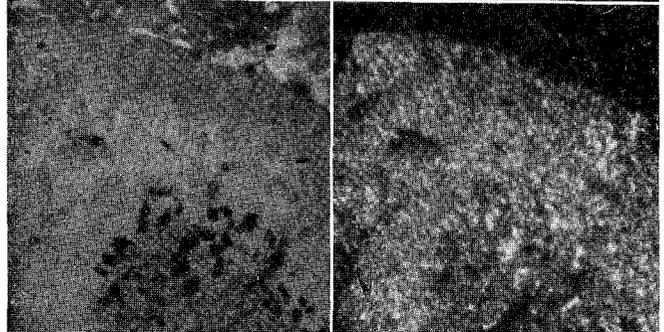
## 写真1 W-4-9

未変質層の組織 幾分ガラス化し微細な一次ムライトがよく発達 僅か炭素斑あり、石英粒子ガラス化消失し、その周辺にトリデマイト二次ムライト発達している。



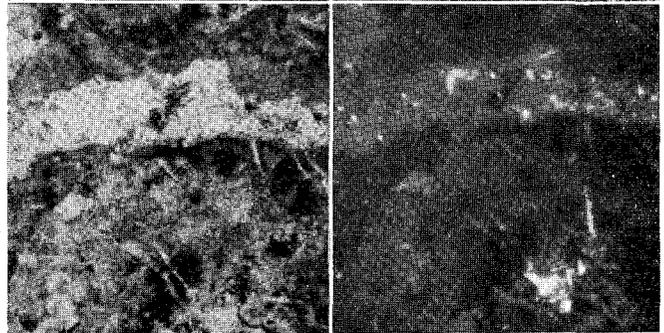
## 写真2 W-4-16

粘土粒子内の二次ムライトの発達 周縁部より晶出し、中央部にガラスおよび炭素片を残している 粒子外は写真1に比べて著しく硝子化している。



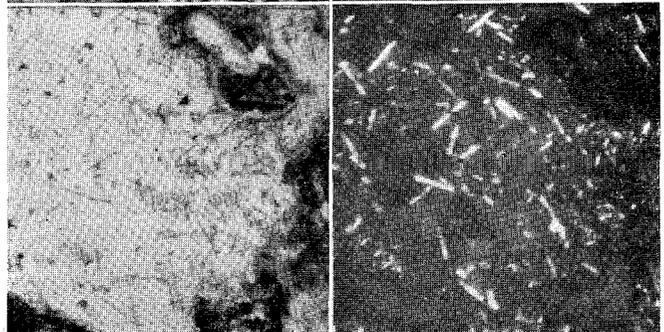
## 写真3 E-4-23

ガラスの中に多量の炭素を溶入している。下方に粗大な二次ムライトの発達を見る。粒界もガラス多量、中に二次ムライトおよびゼオライト、ネフェラライト晶出。



## 写真4 N-4-S

高熱面のガラス質層 僅かな粘土粒の痕跡および炭素を含むガラス、リニューサイト中に粗大な二次ムライトの発達を見る。



第4図-続 溶食をうけたレンガの顕微鏡写真(×150)

平行ニコル

直交ニコル

写真5 N-4-S

高熱面の組織 不透明部は酸化鉄および炭素, 右側内層部は粘土粒の残溶物を含むガラス, 晶出物はカリオフィライト, カルサイト, ネフェリン, ゼオライト, ジンサイト等。

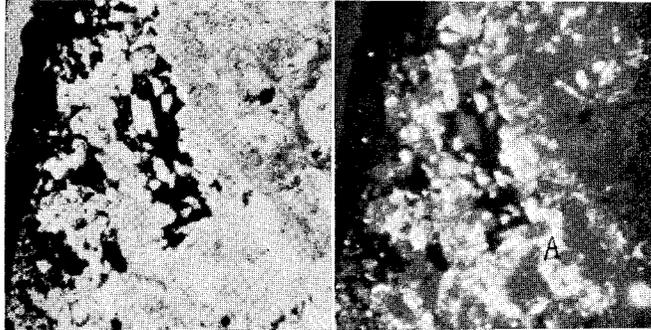


写真6 S-5-21

メチ部の組織 粘土粒の周辺はあまり溶食をうけていない。粒間を大量の析出炭素が充填している炭素内にジンサイトおよびアルカリ化合物を含む。

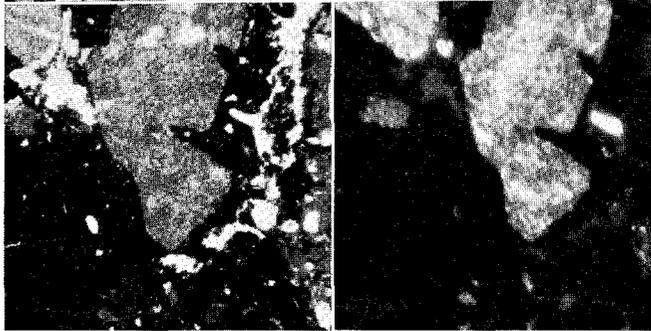


写真7 S-5-S

粘土粒の形を残存しているが, 内部はほとんど硝子化, 二次ムライトの析出により移動した炭素のあとを示す。周辺はガラスおよび炭素。

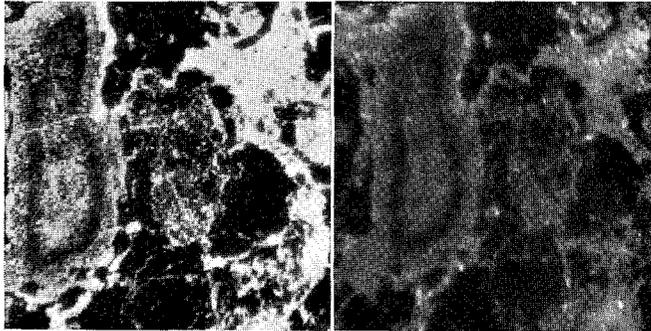
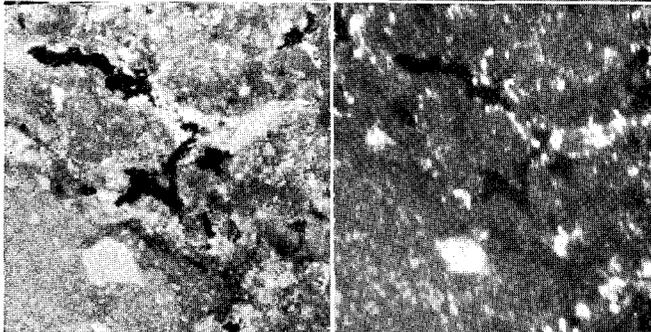


写真8 E-7-2

炉腹部は水冷の影響により, レンガはあまり熱の作用をうけていない残留石英も存在, ただ空隙小亀裂多く, 中に炭素が析出している。



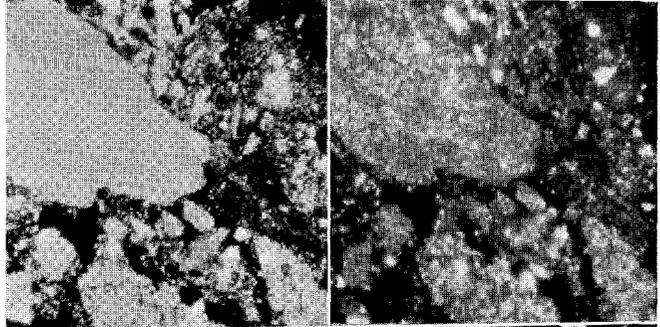
## 第4図-続 熔食をうけたレンガの顕微鏡写真(×150)

平行ニコル

直交ニコル

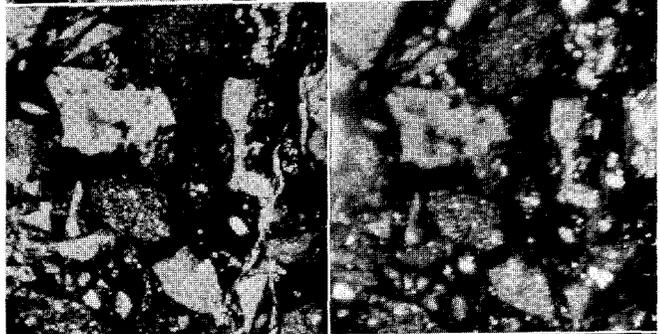
## 写真9 E-7-9

水冷により粒子自体は熔食の進行を認めず、粒間に多量の炭素、少量のジンサイトおよびアルカリ化合物が析出している、ガラス量も少ない。



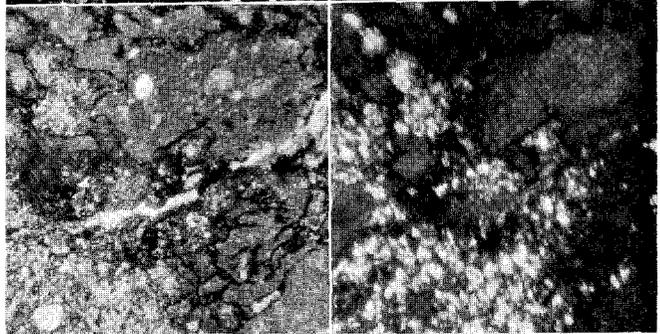
## 写真10 E-7-9

メデの組織 粒子周辺は熔食されず、粒間は殆んど炭素により充填されている。ジンサイト相当に多量、その他アルカリ化合物。



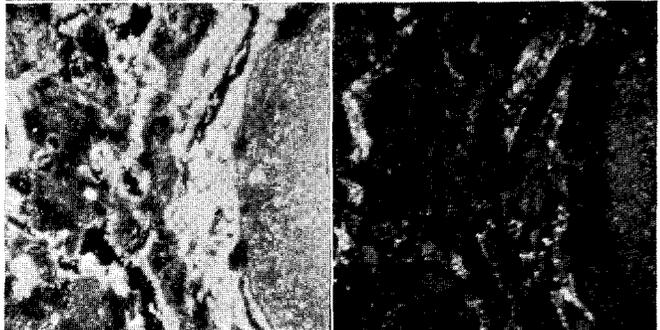
## 写真11 N-7-59

粒子周辺よりガラスに溶解し、ガラスには多量のカリオフィライト、ネフェリン、二次ムライト晶出、炭素はそのため粒子の周縁に押され、明瞭な粒の輪廓線を形成する。



## 写真12 E-7-S

高熱面の一組織 右側残溶粘土粒子、炭素は碎片状に集積し、そのまま硝子にとけている。アルカリ化合物晶出、硝子は酸化鉄を含み茶褐色を呈す。



第4図-続 熔食をうけたレンガの顕微鏡写真(×150)

平行ニコル

直交ニコル

写真13 N-7-C

高热面上の付着物 主としてネフェリン、アルバイト、カリオフィライト、ジンサイトおよび炭素したがってこれも耐火物の変質物と見なし得る。

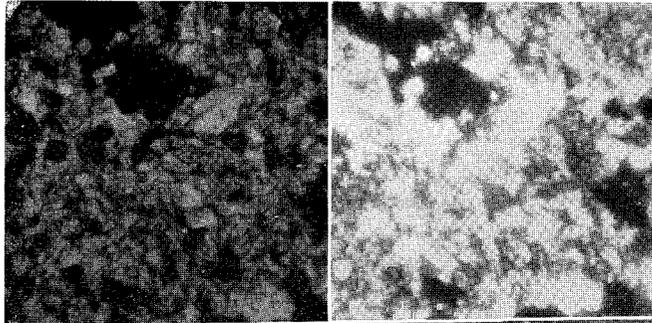


写真14 W-8-43

水冷の影響なく、粒子周縁は熔食が進行している。粒間はガラスと共に大量の炭素析出、粒子内に熱による亀裂を認む。

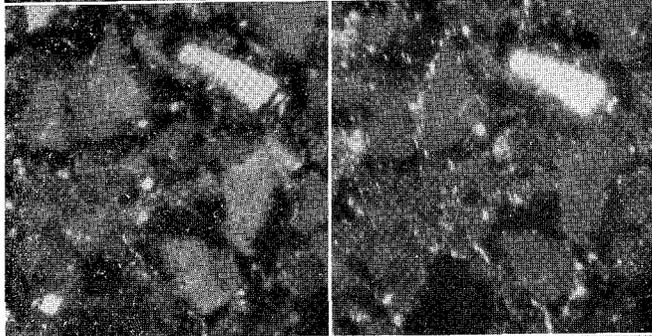


写真15 W-8-43

レンガの縁部、ガラス化著しくガラス内にアルカリ化合物析出、左側の脈状結晶は亀裂内に析出したジンサイトの結晶群。

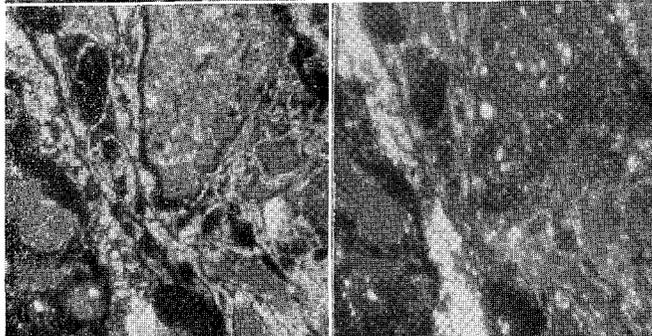
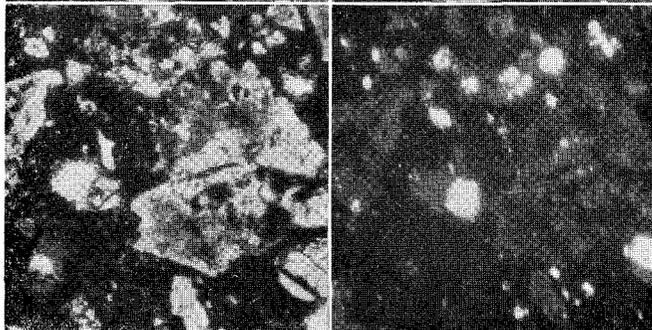


写真16 W-8-53

粘土粒子は僅かな残溶物を残すのみ、炭素をはらむガラスを形成これよりアルバイト等のブラデオクレースを晶出、ネフェリン、ゼオライト等も存在。



温度の急勾配によりその分布曲線も急勾配となり、温度の変化にともなない膨張係数の差から伝熱方向に多数の亀裂を発生する。

以上、それぞれライニングの寿命を短縮する原因となるが、この位置ではアルカリによる被害は比較的高熱面の近くにとどまるようである。

#### (ii) 炭素の作用

炉内ガス中の CO は FeO を触媒とし分解し堆積するが、レンガ内の酸化鉄は CO による還元の結果、この分解反応に好条件となり、シャフト下部および炉腹部に大量の炭素の析出を見る。これらの炭素は初期においてはレンガ内の空隙を充填するにとどまるが、次第にガラス中にとけ込み移動する。ガラス内では最初は斑状をなすが、これが拡散し輪状となり、ガラスの再結晶にともない碎片状あるいは針状となりレンガ内に細く分布し、ついには全体を黒く汚染するにいたる。これは勿論レンガ自体の結合を弱め亀裂の原因となる。炭素は主として還元性雰囲気層において析出しじりしくレンガ積崩落の主因となる。また炉体膨張の一因ともなる。しかしこれは炉腹部の下部以下では比較的高熱面付近に堆積し実害が少ないようである。

#### (iii) 亜鉛の作用

亜鉛は主としてメヂ部および亀裂中に多量に析出する。還元性雰囲気層においては特に金属亜鉛の析出がいじりしく、ジンサイトは炉外側中性雰囲気層より高熱面まで広く分布している。これらはメヂを弛緩せしめライニングの膨張の主因となることは既述のごとくであるがシャフト下部および炉腹部では、ガラス化層において周辺のガラスにより再び溶封されているのをしばしば見ることができる。酸化亜鉛は粘土物質および酸化鉄と作用し珪酸亜鉛、ジコフェライトを形成するが、その量はきわめて少ない。珪酸亜鉛の生成の際活性の FeO が生じ炭素析出の触媒となる作用が認められているが、本観察においてもこれを実証する組織もみとめられたが珪酸亜鉛の生成量はわづかであり、量的には問題とするにあたらない。

#### (iv) その他の介入物の作用

鉱塵とともに酸化鉄はレンガ組織中に運びこまれ、ガラス中に溶解しいわゆる褐色ガラスを生成することはレンガ内の鉄量の増加より推定できる。これは特にメヂのガラス化に大きな影響をもつ。また、高熱面は装入物中の鉄を多量に吸収し、厚さ 1~2 cm の強固な層を形成する。チタンは炉腹部以下においてわづかな影響がみられ、顕微鏡下にチタナイトの晶出をみとめる。石灰も高熱面およびその近くのメヂの中に相当量入り、カルサイトとして単独に、あるいは反応して微量ながらアノーサイト、ゲーレナイト等として晶出している。また、ガラス中に入りレンガの軟化温度に影響をあたえていることは十分に推定される。

### 5. 耐 圧 試 験

参考として、シャフト下部、および炉腹部の使用後の変質をうけたレンガ片について、冷

間耐圧試験をおこなった。シャフト下部および炉腹部では残存しているレンガはうすく、かつ複雑なうすい数多くの層をなし、内部に伝熱面に直角な小亀裂が無数に存在するため、6×6×6 cmの無疵な標準耐圧試験片を各層から切り出すことが困難であり、したがって炉内側の溶食のはげしい部分の試験はおこなうことができなかった。

試験結果は第3表のごとくである。

第3表 変質層の耐圧試験値

試料番号	採取位置 (炉外側よりの深さ cm)	耐圧強度
W-6	0~10	475
S-6	5~15	435
N-7	5~15	344
N-7	18~28	148
S-8	20~30	330

前述のごとく、八幡製耐火粘土レンガの使用前の性能はその記録がなく、この結果を使用前と比較することができないが、炉外側未変質層は使用前とくらべて冷間耐圧強度にさほどの降下を示さず、むしろガラス化の進行により強化される傾向を示すものと考えられる。これに対して中間層はわづか一例であるが、相当に脆化していることが示された。

### III. 結 言

以上のごとく吹卸した高炉のシャフト下部および炉腹部のライニングの溶食状況を調査研究した結果、多くの興味ある事実を知ることができた。個々の問題については本文中随所にて考察してきたので重複をさけ、ここでは二三の総合的な結論を記す。

1. この部分のライニングの損傷は高熱面からの熱的、化学的溶食作用と、炭素、亜鉛などの析出と諸生成物の分布の不均一にもとづく、レンガ内部からの崩壊との二つの原因に大別されるが、多くの場合後者の原因による間歇的な崩落がより重大である。

2. アルカリその他の介入物による溶食の機構は前報<sup>12)</sup>にのべた場合と全く同様であるがより高温であるため、反応および拡散速度が早く、高熱面においてガラス化の傾向がいちじるしい。しかしその反面において表面層およびメヅ部の焼結が早期におこなわれるため、炉内ガスのライニング内への滲透は少なく、炉外側レンガは比較的健全な状態を保つ。

3. シャフト上部に比べて炉内温度の変動が少ないため、析出物生成物の分布は比較的局所に集中しやすく明瞭な脆化層を形成する。これはライニングの崩落の傾向を強める。

4. 第1報で述べた炉腹部ライニングの膨張に起因するレンガの屈曲および剪断破壊の傾向はこの炉においても幾分は認められ、レンガ壁の環状方向のメヅを弛め、これが滲透成分の

分布にも相当の影響をあたえる。

本研究は富士製鉄 K.K. 室蘭製鉄所の委託研究費によるものであり、同社研究所長森永氏、池野氏その他の諸氏、製鉄部の諸氏よりあらゆる面に御協力いただいた。又顕微鏡組織の判定は室蘭工業大学佐藤教授の御指導に負うところが大きい。あわせて感謝する次第である。

(昭和36年5月1日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) H. M. Richardson and G. R. Rigby: Iron & Steel Institute, Special Print, No. 51, 1 (1939)
- 2) P. P. Das and B. Chatterjee: Ceram. Abstr., **38** (1955)
- 3) W. R. Davis and G. R. Rigby: Trans. Brit. Ceram. Soc., **56**, 67 (1957)
- 4) F. Högberg and S. Heden: Ceram. Abstr., **38** (1955)
- 5) S. E. McCune, T. P. Greaney, W. C. Allen and R. B. Snow: J. Amer. Ceram. Soc., **40**, 187 (1957)
- 6) H. M. Richardson and G. R. Rigby: Trans. Brit. Ceram. Soc., **52**, 405 (1953)
- 7) K. G. Skinner, W. H. Cook and R. A. Potter: J. Amer. Ceram. Soc., **36**, 349 (1953)
- 8) A. Muan: J. Amer. Ceram. Soc., **41**, 275 (1958)
- 9) H. M. Kraner: Amer. Ceram. Soc. Bull., **34**, 173 (1955)
- 10) 杉浦孝三, 黒田泰弘: 日本窯業協会誌, **65**, 249 (1955)
- 11) 児玉惟孝, 宮武和海, 中村直人, 加頼正司: 鉄と鋼, **44**, 1159 (1958)
- 12) 田中章彦: 室工大研報, **3**, 135 (1960)
- 13) 田中章彦: 鉄と鋼, **46**, 1096 (1960)
- 14) 田中章彦, 及川 弘: 室工大研報, **1**, 515 (1953)
- 15) 田中章彦: 鉄と鋼, **39**, 169 (1953)
- 16) 中島長久, 田山 昭: 富士鉄技報, **7**, 168 (1953)