



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究(第4報):

シャフト下部および炉腹部のライニングの溶食におよぼす水冷の影響について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-05-28 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	http://hdl.handle.net/10258/3173

高炉ライニングの溶食・変形原因に関する研究 (第4報)

シャフト下部および炉腹部のライニングの溶食に
およぼす水冷の影響について

田 中 章 彦

On the Cause of the Erosion and Deformation
of the Blast Furnace Lining (IV)

Influences of Water Cooling on Erosion of Lining
of the Lower Part of the Shaft and the
Belly in a Blast Furnace.

Akihiko Tanaka

Abstract

In his third paper on this subject, the present writer has published the observations and examinations of the erosion of the lining in the under part of the shaft and the belly part in the blown-out blast furnace, and has expressed his opinion on the mechanism of the erosion in these parts. In this paper, he declares the results concerning the erosion of the same parts in another blast furnace which has been water-cooled on the under-part shaft lining.

By comparing these results with the previous data, he has arrived at the following conclusion :—

1) As the furnace body was enclosed by the steel shell by the establishments of the cooling boxes, the atmosphere in the furnace lining became remarkably reducible. Accordingly, the deposits of the carbon, zinc and others increased, and the lining bricks were embrittled.

2) By the water-cooling, the transmutations by the thermal effect—for example, transformation of the clay materials, grassification of the brick structure, etc.—were delayed, and the erosion by the alkali compounds decreased.

3) The joint materials between bricks were not sintered and became porous. Accordingly, the furnace dust permeated deeply in the lining, the transmutation and the erosion consequently proceeded.

4) As the result of the water cooling, the temperature gradient was steep, and the erosive constituents were concentrated into the distinct narrow band. This led to the formation of cracks and collapse of the lining.

I. 緒 言

著者は前報^{1),2)}において、富士製鉄 KK 室蘭製鉄所の第2次第2高炉の解体調査結果にもとづき、従来の内外の諸報告を参照して、シャフト下部および炉腹部のライニングの侵食崩壊機構を考察し、得られた結果を報告した。つづいてこの炉と全く同一型、同一能力をもちほと

んど類似の条件下で作業された同所第2次第1高炉の吹卸し解体にあたり、全く同様の調査をおこない、之を完了した。ただこの2炉の構造上の相異点はシャフト下部の炉壁に炉腹部と同様な冷却箱を数段設けライニングに水冷をほどこした点にある。したがってこの2炉の解体調査結果を比較することにより炉壁水冷の効果あるいは得失の大凡が推察し得る点に興味もたれた。事実、侵食成分の滲透分布状態、顕微鏡組織等に相当の相異が認められ、水冷の影響を顕著に示していた。最近高炉の操業条件の変化にともない、各所で新設あるいは改築される炉は多く炉頂部近く迄水冷をほどこす傾向にあり、設計の資料として、この水冷のレンガの溶食におよぼす影響を知ることはきわめて重要なことと考えられるので、本報では、この解明に重点を置き本炉の解体調査結果を考察することとする。

富士製鉄第2次第1高炉は、昭和28年5月26日に吹入れされ、同34年8月10日吹卸された。この間炉況その他の原因により時に休風もおこなわれたが、大体順調な経過をたどり、2260日の操業において総出銑量167.5万屯に達し、従来の各炉の成績と比較して大体良好な成果を納め得たものといえることができる。解体修復の直接原因はシャフト下部および炉腹部のレンガ積のはげしい消耗にもとづくガス洩れによるものであり、解体の結果、図-1に示されるごとくこの部分のライニングが顕著な消耗を示していることがわかった。この現象は過去の何れの炉においてもみられる一般的なものといえることができるが本炉においては特にシャフト頂部よりその全高の2/3程度の位置において明瞭な線をなして以下急激な消耗を示していることおよびこの線が本炉においてはじめて実施したシャフト部水冷の最上端に大体一致することが注目される。

図-2はこの部分の写真であり、1つの線を境界としてレンガ壁の厚みが急激に減少し、冷却箱がその先端を炉内に突出しているのが見られる。図-3は炉腹下部のレンガ積の消耗を示す写真で、残留するレンガは更にうすく殆んど全部の冷却箱が炉内に露出しているのが見られる。

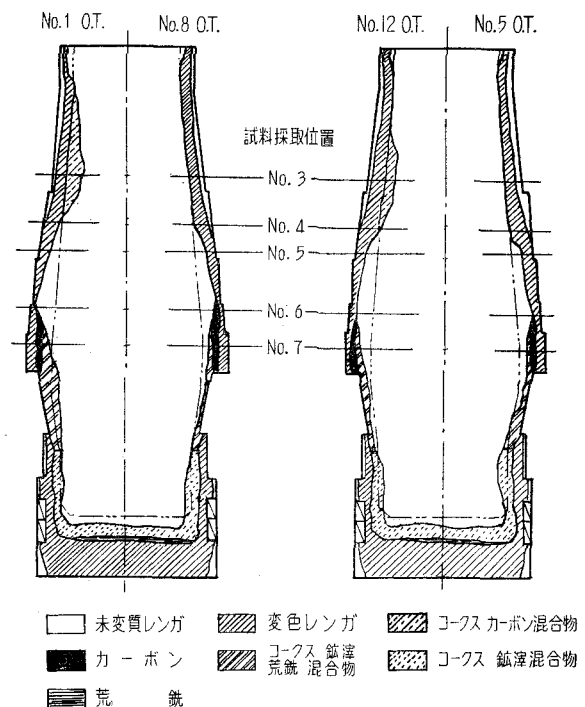


図-1 第2次第1高炉ライニング溶食図
付 試料採取位置

II. 研究方法, 結果およびその考察

1. 試料とその採取

本炉のこの部分に使用されたレンガは Harbison Walker 社製耐火粘土レンガで、この組成、物理的性質、機械的性質等は記録もなく、未使用の残品も保存されてないので現在これを知ることはできない。

図-1に見られるごとく試料は最もはげしい侵食を示すシャフト下部および炉腹部の No. 5, 6, 7の3水準と比較試料としてのシャフト中部 No. 3, および前二者の間すなわち残留レンガの厚みに急激な変化を示す境界部の近くにあたる No. 4, あわせて5水準について各東西南北4方向合計20系列の試料を炉内の高熱に直接さらされた内面から炉の外壁までとおして幾枚かつ採取した。試料番号は著者が従来^{1)~6)}の報告に慣用してきた方向を示す記号(E, W, S, N)-上下位置を示す番号(図-1)-外壁より炉内側に向っての該当位置までの深さ(cm)をもって表示した。たとえばN-5-20は北方向 図-1におけるNo.5の水準, 外壁から炉内にむかって20cmの深さの位置より採取した試料であることを示す。なお外壁からの深さを示す項にSを用いた試料番号は炉内の高熱にさらされていた表面から採取した試料であることを示す。

以上の外に沈積物, 付着物, レンガ間のメチ, 水冷却との接触面等より数十個の試料をも合せて採取し, 試験をおこない参考⁷⁾に供した。

2. 肉眼的観察

採取した各試料の外見は 図-4の写真に示す。

同図にあわせて透視紙を付し破断面の変色状態, 沈積物の分布状態, 亀裂の有無方向等を記した。図において明瞭であるごとく No. 4以下になると急激にその残存レンガが厚みを減少している。この著しいレンガの消耗は高熱面からの熱的⁸⁾化学的溶食により, 漸次消耗を重ねたものでなく, レンガ壁の特定な位置に亀裂が生成し, 更に組織全体が脆化することによって一時にその位置から崩落したもの



図-2 シャフト下部水冷位置の溶食



図-3 炉腹部下端の溶食

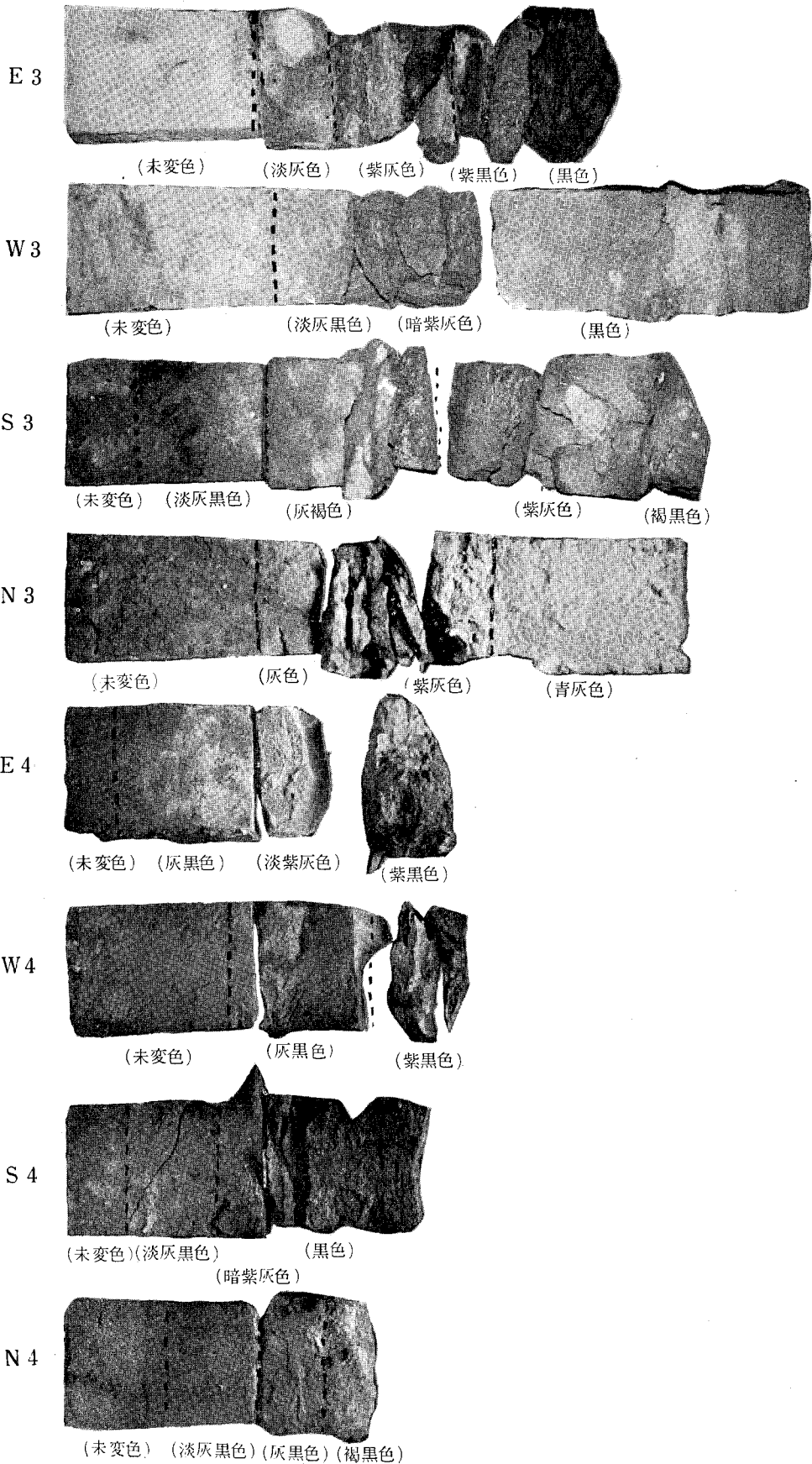
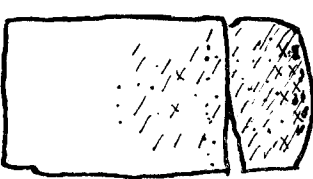
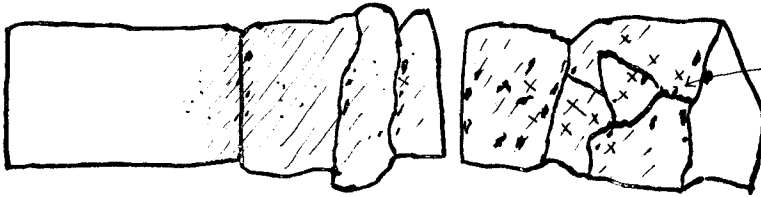
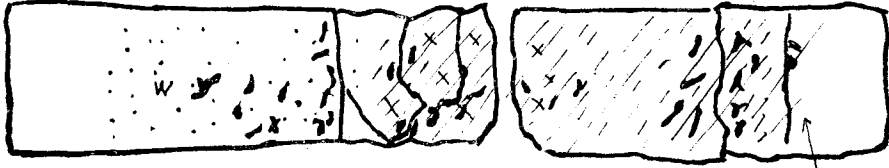
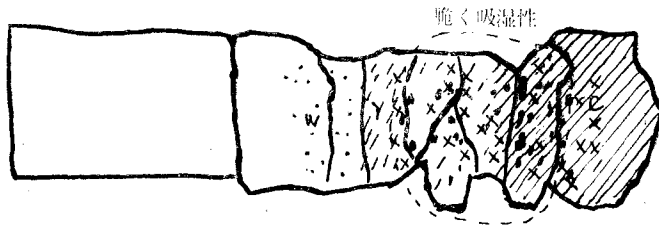
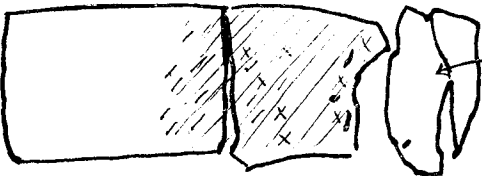


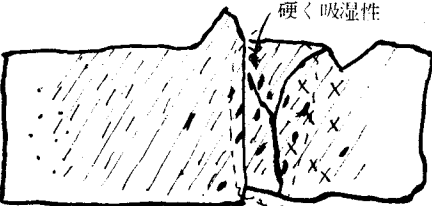
図-4 (I) レンガの溶食状況



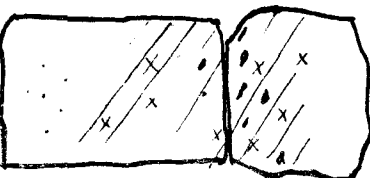
横亀裂無数 析出物多量



ガラス質



硬く吸湿性



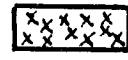
炭 素



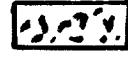
白色析出物



黄色析出物

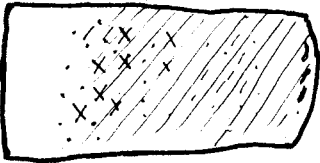
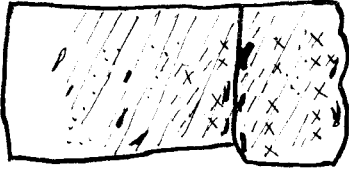
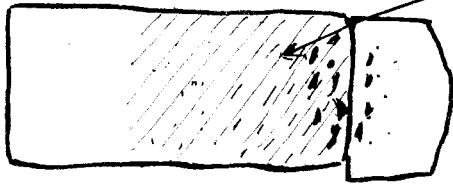


緑色析出物



金属亜鉛

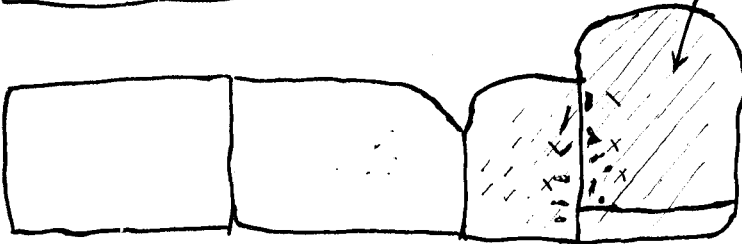
微小亀裂無数に生成



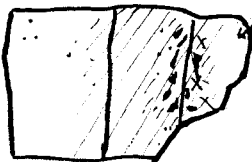
炭素多量に含み脆弱な表面層碎片

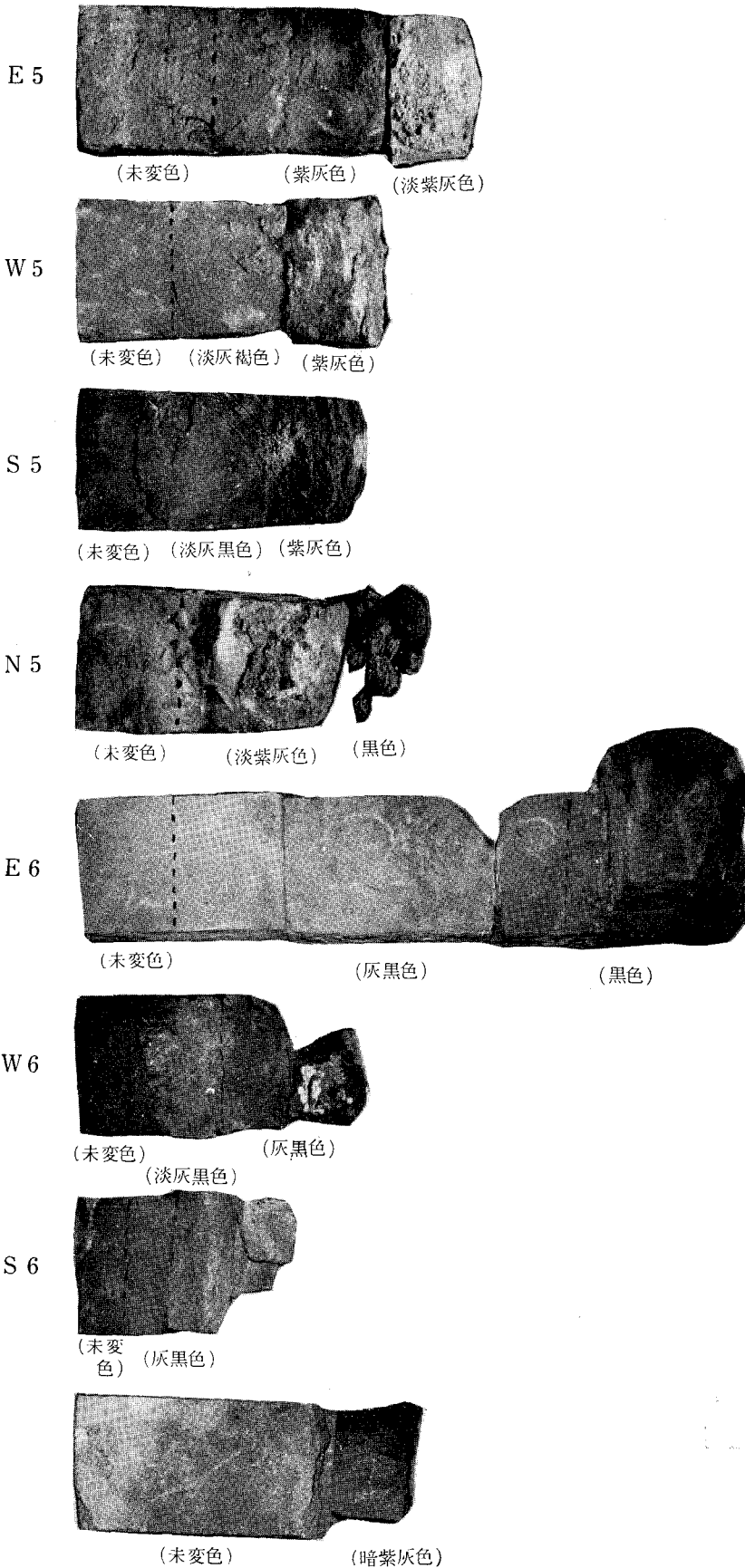


隣接レンガ密着



表面層破片





図—4 (2) レンガの溶食状況

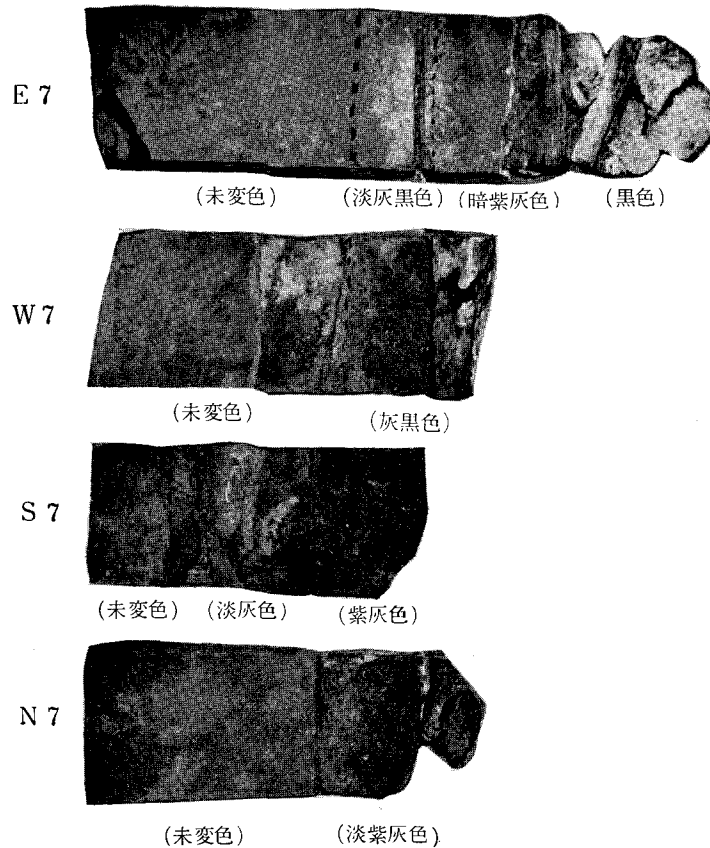
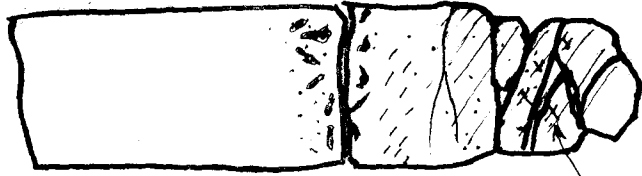


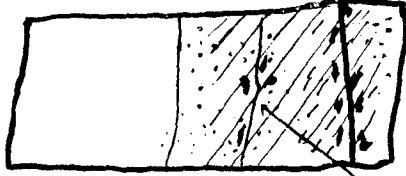
図-4 (3) レンガの溶食状況

と推定される。したがって No. 4 以下のレンガの溶食状況は崩落前後の溶食条件が重なり、各試料についてかならずしも一様でなく、かつ個々の試料については相当複雑な変化を示している。高熱にさらされた炉の内表面の肉眼的組織を見ても、脆弱多孔質のもの、ガラス質の緻密堅硬なもの、ほとんど崩壊した炭素質砂状のもの等多種の様態を示している。これらは崩壊した個所およびその後の侵食期間に左右されたものと思われる。またシャフト上部にくらべて中性雰囲気層およびガラス質層がレンガ壁全体の厚みに比してきわめて薄く、不明瞭であり、時にはこれを欠いていることが特徴である。これは炉の水冷にともないレンガ積は鉄皮によって外気と遮断され、全体が強い還元性気圏の中にあること、および水冷により炉壁の温度勾配が急になっているためと思われる。

亀裂内およびメチにおける析出物は No. 5 以下では酸化亜鉛を主体とした酸化物系析出物が漸減し、沈積炭素、金属亜鉛の量が急増する。特に炭素は炉の最外側レンガにまで到達している。レンガ組織の亜鉛の析出による被害はシャフト上部よりも一層いちじるしく図-5の写真に見られるごとく、縦横に無数の小亀裂を生成し、かつレンガ組織を還元脆化せしめている。



表面層破片



龟裂



炭素質脆弱

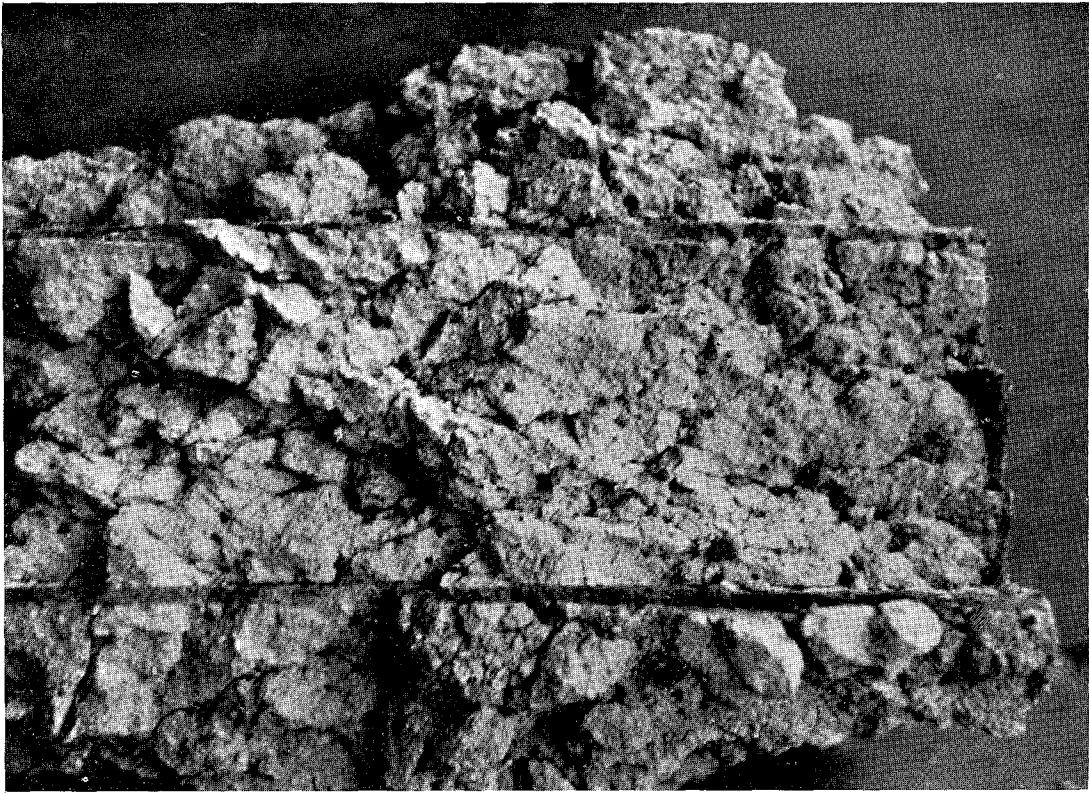


図-5 亜鉛析出による脆化部 (シャフト下部)

析出物の分布はシャフト上部にくらべて幾分不規則であり、かつ急勾配をなして変化している。これは前述の崩落前後の雰囲気に関連し、また温度勾配の急なことにも帰因すると思われる。またメチは前報の第2高炉の2回の調査結果¹⁾と²⁾と比較して、シャフト下部では水冷の結果一般に充分なるガラス化および強固な焼結がおこなわれることなく脆く多孔質であり、その組織内に多量の炭素を混入している。

3. 化学分析

図-1 に示す総計 20 の位置より採取したレンガ試料について主要溶食成分と推定される M. Fe, FeO, Fe₂O₃, T. C, TiO₂, K₂O, Na₂O の 7 成分の化学分析をおこなった。この結果を図示したものが図-6 の (1) から (5) までの分布図である。この分析試料の採取には特に厳密な注意をはらい、メチに露出している表面は各種の析出物が密集しているために結果が不安定になりやすく、これは極力削りおとすこととした。従って得られた結果はレンガの深部の値を示すものと考えてよい。ただし亀裂が極めて多く、かつ微細にレンガの深部に入りこんでいるものによってはこの析出物を除去することが困難であり、多少の混入もやむを得なかった。

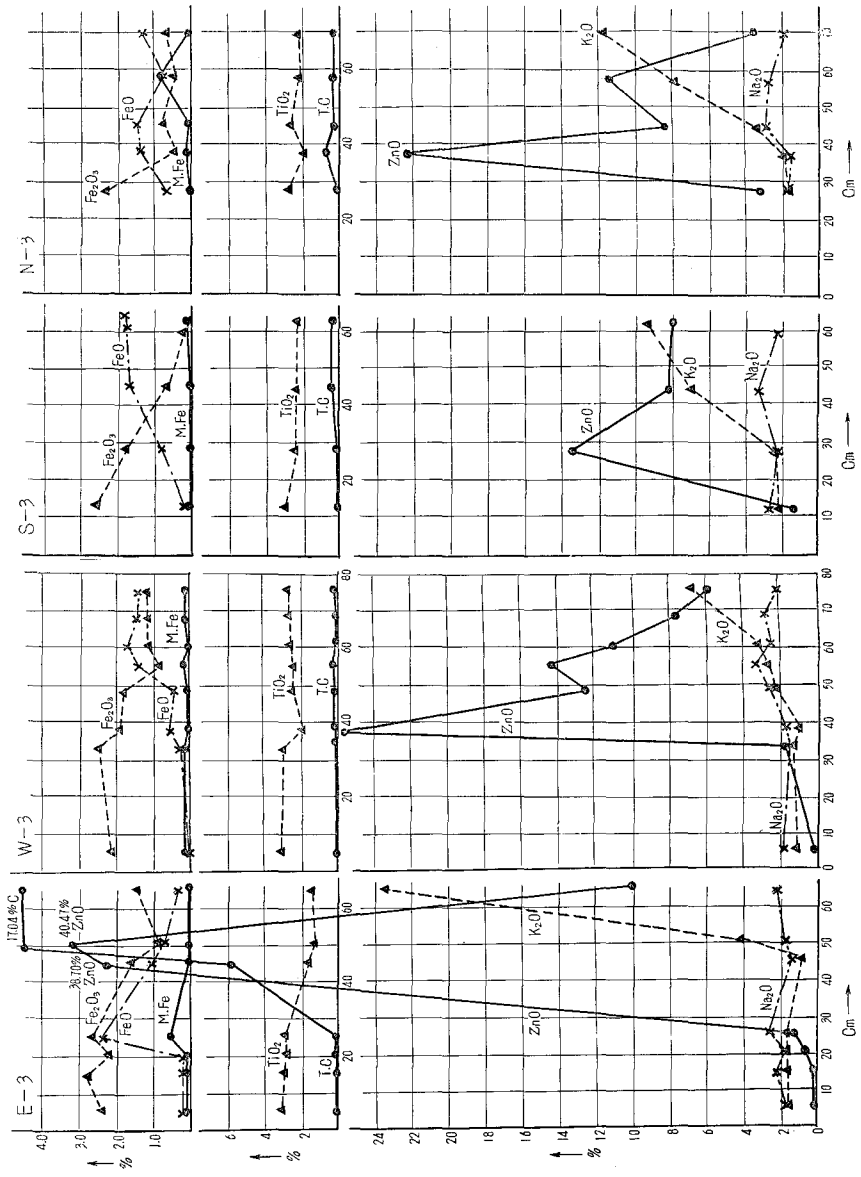


図-6 (1) レンガ内の溶食成分の分布 (No. 3)

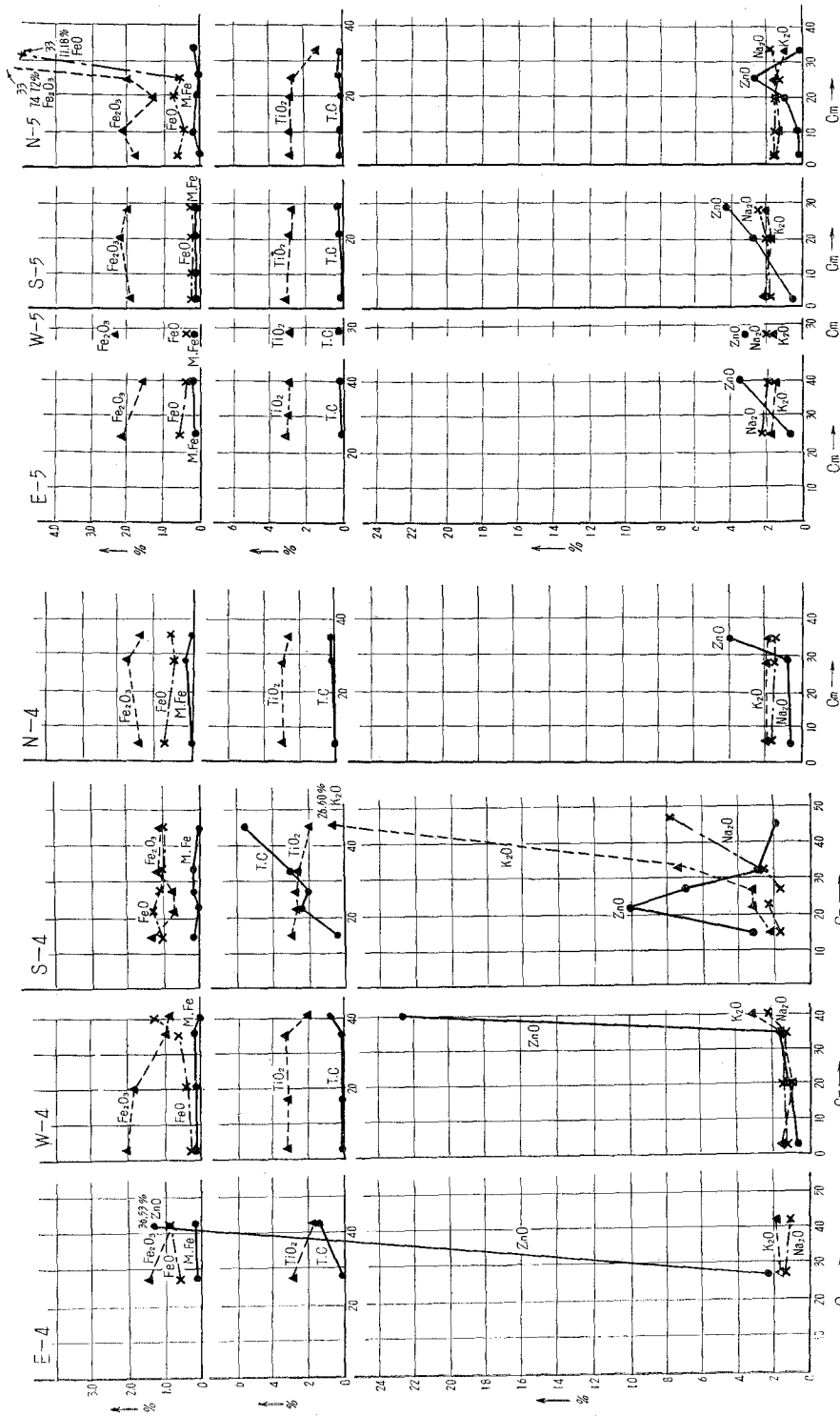


図-6(3) レンガ内の溶食成分の分布 (No. 5)

図-6(2) レンガ内の溶食成分の分布 (No. 4)

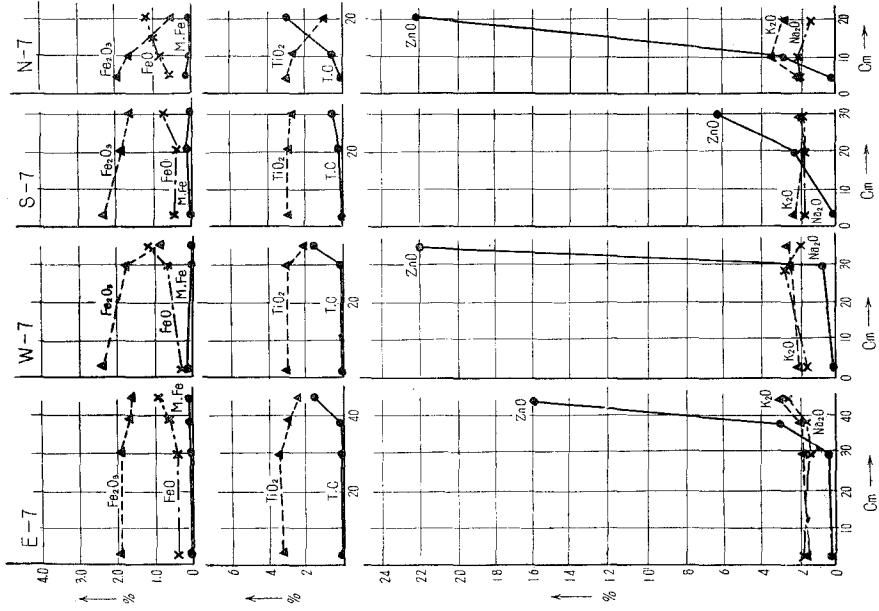


図-6 (5) レンガ内の溶食成分の分布 (No. 7)

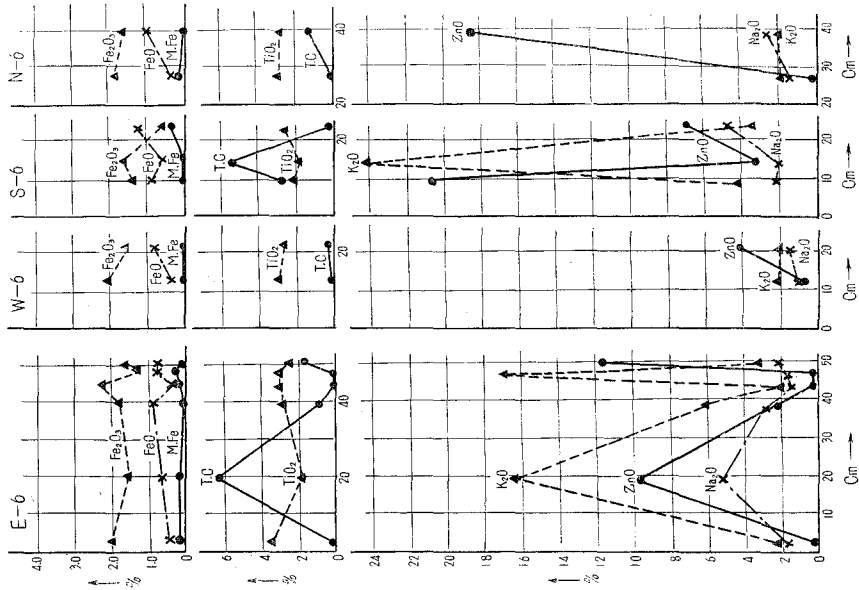


図-6 (4) レンガ内の溶食成分の分布 (No. 6)

図において特定の成分が異常な高い値を示すのは多くこの理由によるものである。

以下成分別にその分布の特徴をあげ、考察を加えることとする。

(i) 鉄および酸化鉄の分布

比較試料として採取した 図-6(1) に示す No. 3 の 4 試料系については前報²⁾ 第 2 高炉のシャフト上部において示された傾向と全く同じく、炉内の強還元性雰囲気と炉外の大気とのそれぞれの作用により 4 試料系とも炉外側から炉内側にむかって Fe_2O_3 は減少し FeO は上昇する一般的な傾向^{3),4)} を示す。特に S-3 はその典型的な曲線といえることができる。図-6(2) に示す No. 4 においても、この傾向は多分に残存していると認められるが、この試料はレンガの深部より採取したため雰囲気の影響は曲線に強く表現されていない。図-6(3) の No. 5 ではレンガ厚がうすく、析出物の状態から見て外側まで強い還元性雰囲気にあるため最外側まで FeO が高く Fe_2O_3 が低く現われることが期待されたが、結果は No. 3 の未変質層、中性雰囲気層の値をそのまま、あるいはそれに近く残留し、還元性雰囲気層以上が崩落消失したものとなった。これは崩落後吹き止めまでの期間が短かったことを示すように思われる。しかしながら 図-6(4) の No. 6 にいたると炉内側がいちじるしい Fe_2O_3 の減少 FeO の上昇を示し崩落後残留したレンガ壁内であらためてあらたなレンガの還元が進行していることがわかる。しかもこの変化はレンガ層がうすく、水冷の効果もつたが、曲線が急勾配をなしている。もし各レンガ試料を更に表面近くより採取したならば還元はより進行し、No. 7 ではほとんど最外側まで FeO が高い値を示すものと推定される。図-6(5) は実際の No. 7 におけるレンガ深部の酸化鉄の還元状態を示している。下層ほど崩落後の二次的還元が進行しているのは、炉内温度、雰囲気の差とともに崩落が時期的に下部にはじまり、次第に上方に進行していったものと推定できる。

前報の第 2 高炉で見られた炉外側の金属鉄の上昇は今回はその傾向がほとんどなく、特に現象として注目する程のものでないことがわかった。又全鉄量を計算した結果炉内ガスから煙塵としてレンガ組織内に鉄分が滲透した形跡は表面層を除いてはわづかであり、メヅ部および亀裂内に主として沈積しレンガと作用している。

(ii) 沈積炭素の分布

レンガの深部に滲透した炭素は、ガラスを媒体として伝播し、組織を広い範囲にわたって暗紫色内至黒色に汚染するが、量的にはきわめて微量にすぎない。図において異常に高い値を示すのは、レンガの亀裂空洞内に時に密集して蓄積された炭素によるものと思われる。これらの異常な値を除くとシャフト下部以下では炉の内表面に多く密集しているとみなすことができる。これはひとつには最初のレンガ積の炭素の密集した所謂還元性雰囲気層を中心として崩落がおこり、炭素の最も濃密な部分が崩落後の表面層として残ったことによるものであることが推定される。しかしながら崩落の時期、崩落個所、崩落後さらされた雰囲気は採取位置ごとに相異があり、これが炭素の分布曲線を複雑なものとしている。したがってこの位置では CO_2

分解の触媒と一般に見なされている Fe_2O_3 量との関連も明瞭に見出すことは困難である。

(iii) 酸化チタンの分布

各試料系のレンガの深部に存在する TiO_2 の量は大体 2~3% 程度に一定したもので、これはレンガ自体に最初から含有していたものと考えられ、特に装入物からレンガ中に侵入した形跡はこの位置では全く認められない。炉の高熱にさらされた表面は多くの試料においてかえって若干の低下を示している。これは他の溶食成分の増加、特に炭素および亜鉛量の激増にともなう百分率としての単なる数値の上の減少であろうと思われる。

(iv) 亜鉛の分布

前節で述べたごとく、ライニング中に亜鉛は酸化亜鉛および金属亜鉛として含まれておりシャフト上部においては前者が多くシャフト下部炉腹部と位置がさがるにしたがって前者は減少し、後者の量が増加する。特に水冷をほどこし、鋼板で被覆した部分になるとこの変化は著しい。分析値はこの二者の含量を示すものであるが、大粒の金属亜鉛は試料採取にあたり意識的に取り除いたため、実際より低い値を示すものと考えべきである。大略の傾向として、亜鉛は炭素にともなうもので分析値も炭素の分析値に比例する。更に細かく観察すれば、酸化亜鉛は炭素よりやや深部に至り析出し、金属亜鉛は炭素量の最も多い位置に析出する傾向にある。炭素量が前述のごとく崩落の前後の雰囲気の違いにより幾分不安定な分布をしているのでこれにともなう亜鉛も各試料ごとにやや不規則な分布を示している。特にレンガ中の亀裂の多い部分は ZnO も異常に高い値を示している。

(v) アルカリ金属の分布

シャフト上部にくらべアルカリ金属のレンガ深部への滲透量はむしろ低い結果を示している。これは後述の顕微鏡観察の結果と合わせて考えるに、水冷の結果アルカリ金属のガラスへの溶解が少ないためと推定される。したがってアルカリは表面層およびメヅ内に多くとどまり深部への滲透はシャフト上部にくらべてきわめて少ない。図-6においても、大体の傾向として K_2O も Na_2O も表面層近くに多く集る傾向にあり、その量は多くて 4~5% 程度が標準であると思われる。この位置では K_2O が Na_2O に比して約 2 倍程度の含有量を示す。ただしこれらの元素も炭素、亜鉛等と同じく、崩落前後の雰囲気の違いおよび採取位置付近の亀裂、間隙の有無多少等の諸条件にいちじるしく左右され、時に異常に高い値を示すことがある。この異常点は炭素、亜鉛の含有量と照合して見るとき大きな関連があることがわかる。

以上各元素の分布を見るに、シャフト下部に水冷を行なった結果これを行なわなかった第 2 高炉の場合と比較^{1),2)}して次のような差異を認めることができる。

1. 炉内外の雰囲気を鉄皮により遮断した結果、レンガ壁全体の雰囲気が還元性となり、レンガ組織は変質しやすく、炭素金属亜鉛等の析出量は増大する。しかし酸化亜鉛等の酸化物系統の析出物はいちじるしく減ずる。

2. 水冷の結果、メヂはガラス化および焼結されず脆弱多孔質となり、メヂを通してのガス成分の滲透が容易におこなわれ、メヂ内の析出物量は増大する。

3. 水冷の結果、レンガ内の温度勾配は急になり、レンガの深部は比較的低温にとどまり、組織のガラス化、侵食成分のガラスへの溶解、レンガ成分と侵食成分との反応が緩慢となり、アルカリ金属等の深部への拡散速度はおそく、化学的侵食が阻止される。

4. 急な温度勾配のために侵食成分は局部的に一その多くは表面層に一集中しやすく、表面層の剝離、成分の不均質にもとづくスポーリングの原因をつくりやすい。

4. 顕微鏡組織

シャフト下部ならびに炉腹部の溶食状態をしらべるために、図-1 に示される No. 5, No. 7 の両水準より4方向、これと比較考察の必要上シャフト中部の No. 3 水準より4方向計12系列の試料を採取し、各薄片を製作し、偏光顕微鏡により観察を行なった。検鏡は微細な析出物およびレンガの組織変化を知る必要上、約600倍の高倍率を用い、マトリックス内の微細な変化も把握することに努めた。

表-1 は比較試料 No. 3 水準の主要組織変化の概略を示す表であり、表-2 はシャフト下部および炉腹部すなわち No. 5, No. 7 両水準の試料の同様の表である。また図-7 はこれらの変化を実際に示す顕微鏡写真である。

まず、これらの表および図により各水準の試料の一般的な変化を以下説明することとする。

(i) 比較試料 No. 3 の変化

レンガの最外側すなわち未変質層は、ガラスと一次ムライトの組織であるが、相当な熱作用を受け、一次ムライトはガラスに溶解しつつあり、石英粒も熱歪を受け、局部的なクリストバライト化が進行しつつある。メヂとの接触部付近では写真-1 に見るごとく微量の炭素が粒間に沈積しているが組織内にまだ深く滲透していない。微量のアルカリの影響により写真に見るごとく局部的なガラス化が進行し、二次ムライトの析出を見る。ところによりエディングサイトの析出も見られる。中性雰囲気層に近づくと、一次ムライトのガラス化消失、石英のクリストバライト化、トリヂマイト化が更に進行し、また写真-2 に見るごとく周縁部では炭素の沈積がいちじるしく組織内にも滲透し、アルカリの作用によるガラス化、二次ムライトの析出が多量におこなわれている。さらに二次ムライトの析出にともないガラス中のアルカリ濃度が増加し局部的にリユースサイトを生ずる。写真-3 は中性雰囲気層に相当し、ガラス化の傾向いちじるしく、また Fe_2O_3 の滲透により、ガラスが褐色に汚染している。炭素量もいちじるしく増大し、これがガラス内を移動し斑状をなして組織内に深く分布する。アルカリの滲透量も増大し局部的に縦横に交叉した充分発達した二次ムライトの結晶群を見ることができるとともに、

表-1 比較試料 (No. 3) の顕微鏡組織

	粘土粒子内の組織及び析出物										石英粒の晶状				粒間及び亀裂内の析出物																		
	一 次 ガ ラ イ ト	一 次 ム ラ イ ト	炭 素	ジ ン サ イ ト	リ ユ ー サ イ ト	ネ フ エ ラ イ ト	カ リ オ フ イ ラ イ ト	二 次 ガ ラ イ ト	二 次 ム ラ イ ト	プ ラ ヂ オ ク レ ー ス 属	酸 化 鉄	コ ラ ン ダ ム	残 留 石 英	ク リ ス ト バ ラ イ ト	ト リ ヂ マ イ ト	ガ ラ ス 化 の 痕 跡	リ ユ ー サ イ ト	ネ フ エ ラ イ ト	ガ ラ イ ト	二 次 ム ラ イ ト	炭 素	ジ ン サ イ ト	プ ラ ヂ オ ク レ ー ス 属	ゼ オ ラ イ ト 属	セ リ サ イ ト	フ エ キ ラ イ ト	酸 化 鉄	エ ヂ ン グ サ イ ト					
E-3-3	A	C	C	-	D	D	-	-	-	C	-	B	C	C	D	C	D	C	C	C	C	-	-	-	-	-	-	D	C	B			
15	A	C	C	-	-	-	C	C	-	D	D	B	C	D	D	C	D	C	C	C	C	-	-	-	-	-	-	-	D	C	B		
23	A	C	C	-	-	C	D	B	C	-	C	-	B	C	-	B	D	C	C	B	C	-	-	-	-	-	-	-	D	D			
23s	A	B	C	-	B	D	-	-	-	D	D	B	C	-	A	B	D	C	D	D	D	-	D	-	-	-	-	D	-	-			
26	A	A	B	D	C	D	C	C	-	C	D	-	D	C	A	B	D	C	C	C	C	-	C	-	-	-	-	C	-	-			
40	A	B	C	C	B	D	B	B	-	D	-	-	-	-	A	B	D	C	B	B	A	-	-	-	-	-	-	C	-	-			
43	C	D	B	B	D	D	A	C	-	D	-	B	C	-	A	C	B	B	B	B	A	C	B	-	-	-	-	D	-	-			
51	-	-	A	B	D	D	A	C	B	D	-	-	-	-	A	C	C	A	C	A	A	B	D	-	-	-	-	C	-	-			
S	-	-	A	C	D	A	D	C	B	D	-	-	-	-	-	B	A	C	C	A	D	B	C	D	-	-	-	D	-	-			
W-3-2	A	B	D	-	C	-	D	D	-	-	-	C	C	-	C	D	-	C	C	D	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-			
15	A	B	C	-	C	-	C	-	-	-	-	C	C	-	B	C	D	C	C	C	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-			
33	B	B	C	-	C	D	C	C	-	D	-	C	C	C	B	C	C	B	C	C	-	D	D	-	D	D	D	D	D	D			
40	B	B	B	D	B	D	B	B	-	D	-	C	B	C	B	B	C	B	B	B	-	D	D	-	-	-	-	D	-	-			
45	C	C	B	A	B	D	B	B	D	D	D	-	B	-	B	B	C	A	B	B	A	D	D	-	D	D	-	D	-	-			
55	C	D	C	B	B	D	A	C	-	-	-	-	B	C	B	B	B	A	C	B	A	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
68	D	D	C	D	B	C	A	C	-	-	-	C	C	C	B	B	B	A	B	C	C	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
68s	-	D	C	D	B	C	B	B	B	C	-	B	B	B	A	B	A	B	B	C	D	B	C	-	-	-	-	D	B	-	-		
S	-	-	C	-	B	B	A	A	D	D	-	D	B	C	A	B	A	A	B	C	-	D	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S-3-15	B	B	D	-	C	-	B	A	-	C	-	A	B	-	D	C	D	B	B	B	-	-	-	-	-	-	-	-	C	C	-		
33	C	C	B	D	C	D	B	C	D	C	-	A	C	D	B	C	D	B	B	C	D	D	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33s	C	C	C	-	B	-	B	B	-	D	-	B	C	D	B	B	D	B	B	C	D	D	-	-	-	-	-	-	D	-	-		
50	C	C	B	C	B	C	A	B	-	-	-	B	B	C	B	B	C	B	B	B	B	D	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S	D	-	B	-	B	B	A	A	-	C	-	-	C	C	A	A	B	A	A	B	B	B	C	D	-	-	-	-	C	C	-		
N-3-30	B	B	D	-	C	-	B	C	-	-	-	C	C	D	C	C	D	C	B	C	D	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
40	C	C	B	C	C	C	A	C	-	C	-	C	B	D	B	C	C	B	B	B	A	C	C	-	D	C	D	D	D	D	-		
44	D	C	B	C	C	B	A	B	D	D	-	B	B	D	B	B	C	A	B	C	A	C	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
58	D	C	C	C	B	B	A	B	C	-	-	C	C	C	B	A	B	A	B	B	B	B	-	-	-	-	-	D	-	-	-	-	
60s	D	-	D	C	B	B	A	C	C	D	D	B	B	D	A	A	B	A	C	C	C	B	C	D	D	D	-	-	-	-	-	-	-
S	-	-	C	-	A	A	A	A	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注 A, B, C, D なる各文字は各組織を構成する結晶の量的比較を示す。その一応の基準は次の如くである。

- A: 主要構成組織をなすもの。
- B: 試料中広範囲に分布し、または相当多量に存在するもの。
- C: 微量、または局部的にわずかに認め得るもの。
- D: 結晶が微細で光学的に確認し得ぬもの。

リユーサイトや時によりネフェライトも晶出しはじめる。写真-4は二次ムライトが大量に均一に発達している状態を示す。この位置の付近では周縁部におびただしくジンサイトが析出しメヂとの接触部では厚い層をなし、その一部が空隙にそってレンガの内部に滲透している。

また写真-5で見るとく炭素、ジンサイトとともにアルカリが滲透しリユーサイト、ネフェライト、カリオフィライトおよびこれらの変質生成物ゼオライト、セリサイト等の結晶群が見られる。還元性雰囲気層では大量の炭素がメヂよりレンガの深部まで滲透し、亜鉛もレンガの深部まで粒状、樹枝状をなして析出する。写真-6はメヂ内に析出した金属亜鉛(右半黒色部)が酸化亜鉛の脈をへだててレンガと接触している部分を示す。さらに炉内側に至ると炭素は脈状に多量に侵入し、レンガは一次ムライトをかすかに認め得る程度になる。アルカリの作用によりこの部分は高温ではほとんど全部がガラスよりなるものと推定され、顕微鏡下ではカリオフィライト、ネフェライト、リユーサイトが主体でアルバイトもわずかに認められる。炉内の高温にさらされていた表面層は高温ではなかば溶融したガラス質層をなしていたものと考えられ、その冷却条件の相異により顕微鏡下ではアルカリと粘土成分との化合物すなわちリユーサイト、カリオフィライト、ネフェライトおよびブラジオクレス属の諸生成物等が見られる。ブラジオクレス属は主としてアルカリに富むアルバイト側のもので写真-9は明瞭な双晶を示すアルバイト結晶群である。

(ii) シヤフト下部試料 No. 5 の変化

未変質層は No. 3 と同様ムライトとガラスよりなる組織であるが No. 3 よりもムライトのガラスへの溶解、石英の転移も遅れている。炭素、ジンサイトその他確認不能の微細な析出物が結晶粒間の空隙を充填しているが、これらとガラスとの間の反応はほとんど見られない。写真-10はこの位置の写真である。中性雰囲気層は No. 3 や前報の第2高炉の場合¹⁾にくらべてきわめて薄く、または全然存在せず、これより炉内側に至るにしたがい沈積炭素は急増し、酸化亜鉛が減少する反面、すでに粒状、板状の金属亜鉛の析出を見る。メヂは充分なる焼結がおこなわれず、乾燥収縮によって生じた空隙を炭素や亜鉛がみたく程度できわめて脆弱である。写真-11はメヂの写真で視野の大部分はジンサイトその他の析出物でわずかな粘土粒を含むが、これと析出物との間の反応生成物としてはリユーサイトおよびわずかなネフェリンを見る程度である。レンガの横亀裂は無数に存在し、写真-12のごとくこの中にジンサイトが充填し、わずかな金属亜鉛粒を含んでいる。このあたりよりアルカリの侵食がいちじるしく、レンガ内の粘土粒子はガラス化し、写真-13に見るとくネフェリン、リユーサイト、カリオフィライト、アルバイトの晶出を認める。ガラスは褐色を呈してくる。表面層に近づくにしたがい、炭素の析出量が増し、これがガラス中を移動し、レンガ組織全体にひろがる。写真-14に見るとく粘土粒はまったくその形態を失い、高温では多量のガラスとして存在するが、顕微鏡下では各種のアルカリ化合物の析出を認める。表面層では写真-15のごとく、炭素は深く滲透し組織は

表-2 シャフト下部 (No. 5) 炉腹部 (No. 7) 試料の顕微鏡組織

	粘土粒子内の組織および析出物										石英粒の晶状			粒間および亀裂内の顕微鏡組織														
	一 次 ガ ラ ス	一 次 ム ラ イ ト	炭 素	ジ ン サ イ ト	リ ユ ー サ イ ト	ネ フ エ ラ イ ト	二 次 ガ ラ ス	二 次 ム ラ イ ト	プ ラ ヂ オ ク レ ー ス 属	酸 化 鉄	コ ラ ン ダ ム	残 留 石 英	ク リ ス ト バ ラ イ ト	ト リ ヂ マ イ ト	ガ ラ ス 化 の 痕 跡	リ ユ ー サ イ ト	ネ フ エ ラ イ ト	ガ ラ イ ト	二 次 ム ラ イ ト	炭 素	ジ ン サ イ ト	プ ラ ヂ オ ク レ ー ス 属	ゼ オ ラ イ ト 属	セ リ サ イ ト	フ エ ヤ ラ イ ト	酸 化 鉄	エ ヂ ン グ サ イ ト	
E-5-40	C	D	C	D	B	D	A	A	C	D	D	B	B	C	B	A	D	A	B	C	D	B	C	—	D	—	—	
W-5-20	C	C	C	C	C	—	A	B	—	D	—	B	B	C	C	B	D	A	B	B	C	C	C	D	—	—	—	
-S	D	C	B	B	B	D	A	A	C	D	—	B	B	D	C	B	C	A	A	B	B	B	C	D	—	—	C	
S _c	C	C	C	A	B	C	B	C	C	—	—	B	B	C	B	B	D	B	B	B	A	B	C	—	—	—	C	
S-5-3	A	B	D	—	C	—	C	C	—	D	D	A	C	C	C	C	—	B	C	C	—	—	—	D	—	—	—	
18	B	C	C	—	B	—	B	B	D	C	—	B	B	C	B	B	D	A	B	C	—	C	C	D	—	C	D	
S	B	C	B	C	B	C	B	B	—	—	—	B	B	C	B	B	C	A	B	C	C	C	C	—	—	—	C	
N-5-12	B	B	C	—	C	—	B	B	—	—	—	B	B	C	C	B	D	B	B	C	—	C	D	—	—	—	D	
20	C	C	C	—	B	—	A	A	—	C	D	C	B	C	B	B	C	B	B	C	—	D	D	—	—	—	B	D
27	C	C	B	C	B	D	B	B	—	C	—	C	B	C	B	B	C	A	B	B	B	D	C	D	D	C	D	
E-7-25	B	C	C	—	B	D	A	B	D	C	—	B	B	D	B	B	C	A	A	C	D	C	D	—	—	—	C	D
30	B	C	C	—	B	C	A	B	—	B	—	B	B	C	B	B	C	A	B	D	D	C	B	C	D	C	—	
38	C	C	C	D	B	—	A	C	—	—	—	B	B	C	B	B	B	B	B	C	C	B	D	—	—	—	—	
44	C	C	B	D	B	D	A	B	D	C	—	B	B	D	B	B	A	B	A	A	C	C	D	D	—	C	—	
W-7-30	C	C	C	D	B	C	B	A	C	D	—	B	B	C	B	B	B	B	B	B	D	B	C	D	—	D	—	
S	D	D	B	D	A	C	A	B	C	D	—	B	A	C	A	A	B	B	A	A	C	B	C	D	—	D	—	
S-7-20	B	B	C	D	B	—	C	C	C	D	—	A	B	D	C	B	D	B	C	B	D	C	C	D	—	B	—	
S	C	C	C	—	B	D	A	B	D	C	—	C	B	C	B	B	C	A	C	B	—	D	C	D	—	—	—	
N-7-25	C	C	B	—	C	C	B	A	C	—	—	B	B	C	B	B	B	D	B	—	C	C	D	—	—	—	—	
S	C	C	B	D	B	C	A	B	—	C	—	C	C	B	A	B	A	B	A	B	D	D	—	—	—	—	—	

全体がガラス質となる。ただしこの表面層は崩落前後の雰囲気および侵食条件によっていちじるしくその組織を異にし、各方向毎に幾分の差異がある。

写真-15 は大体還元性雰囲気層が崩落の際表面に残り、これが幾分ガラス化をうけた程度の組織と見ることができる。

(iii) 炉腹部試料 No. 7 の変化

No. 5 の組織と全般的に見ていちじるしい差異は認められない。写真-16 はガラス内に二次ムライトが析出し、残留ガラスの一部がリユースイトに変じた部分でガラスの中に拡散していた炭素がこれらの再結晶作用にともない細く片状に分裂し、比較的均一に分布している。写真-17 は多量の炭素が密集した部分で粘土粒子もいちじるしくガラス化している。写真-18 はレンガの周縁部メダと接触している個所で多量のジンサイトと褐色ガラスからなる。炭素はガ

ラス内を環状をなして拡散している。写真-19では粘土粒は全く褐色ガラスに変じ、この間隙を多量の炭素が充填し、これに沿って多種類のアルカリ化合物の微晶があらたに析出している。写真-20はさらに炭素は拡散し、ガラスから再び粗大な二次ムライトが析出するとともにこれがリニューサイト、ネフェライト、カリオフィライトに転じている。

上述の結果から見るに、シャフト下部のレンガの溶食の原因、機構はシャフト上部^{1),2)}と比較して本質的にはなんら異なつた点がなく、レンガ内の析出物も反応生成物も大体同じものである。しかしながら、さらされる温度およびこれにともなう温度勾配の差は溶食条件をより苛酷にし、生成物量を増加せしむる。特に炉腹部においてはげしい。さらに操業中のレンガ壁の崩落はその前の溶食条件に崩落後の条件を加味する結果となり、溶食組織は複雑になり、各試料間の組織の相異が著しくなっている。

前述のごとく本炉はシャフト下部に冷却箱をそなえ、水冷をほどこしている。この結果は第2高炉の場合に比べてレンガの溶食組織に若干の影響をあたえている。化学分析結果よりの結論としても述べたので重複する点もあるが、特に注目すべき差異をのべると次のごとくである。

1. 未変質層は強い還元性雰囲気のために比較的うすくなっているが、水冷の結果熱的な変質すなわち石英の転移、ガラス化、一次ムライトのガラスへの溶解はシャフト上部より遅れている。

2. メズは全般的に焼結せず、多孔質で脆く炭素、亜鉛等はレンガ壁の最外部まで多量に滲透している。

3. アルカリ金属はレンガ壁の表面近くに密集し、組織をガラス化し、多量の粘土成分と反応生成物をつくるが、レンガの深部に滲透しても水冷の結果比較的低温に保たれているためガラス化および粘土成分との反応は少ない。この意味で水冷はアルカリのレンガに対する溶食を防止する。

4. 前述のごとく、レンガ壁は外気と遮断されるため雰囲気は全般に還元性となり、中性雰囲気層もうすく、またはなくなり、酸化亜鉛少く金属亜鉛が深部において析出し、レンガの結合を弱めている。

5. 水冷の結果ガラス質層はきわめてうすく炉内ガスが滲透しやすい。

6. 温度勾配が急なため、析出物の分布も、変質組織も急変し熱的に横亀裂を生じやすい。

III. 結 言

製鉄高炉シャフト下部および炉腹部の溶食の機構は、熱的、化学的にはシャフト上部の溶食機構と類似しているが、その条件は一層苛酷であり、多くの炉においてこの部分は特にげしいレンガ壁の消耗を来している。この消耗はさらに著者が既報^{1),2)}に論じたこの部分の力学的条件も考慮せねばならぬが本報告ではこれを除外した。

本報告で特に力点をおいたレンガの消耗におよぼす水冷の影響については、本文において随所に第2高炉の結果と比較考察してきたので、詳細についてはここで重複をさけるが結論としてこの研究によって得られた結果から著者の所見を述べると次のごとくである。

シャフト下部の水冷は単にレンガの溶食作用の面から見ると、炉の外壁近くの温度を下降せしめ、その熱転移を遅延せしめ、各炉ガス成分による溶食反応を阻止する面できわめて効果がある。特に粘土成分のアルカリ金属による溶食は強熱される内表面にとどまり、シャフト上部にて見るときレンガ深部での組織のガラス化および溶食反応はいちじるしく減少する。しかしながら水冷によりメチ部のガラス化および焼結も遅れ、表面層の近くに生成するガラス質層はきわめて薄く炉内の還元性ガスはこの部分より脆く多孔質な結合の弱いメチを通じて深部に滲透し、レンガを変質せしめるとともに、多量の炭素を析出せしむる結果となる。また水冷の当然の結果として、レンガ壁内外の温度勾配が急になり、加うるに組織および析出物の分布の変化がはげしく伝熱面に平行に熱亀裂を生じやすくなる。

以上の外に水冷の得失はさらにいくつかあげることができるが、著者の見解では水冷は第一次の崩落の時期を早めるが、一二枚残留したレンガの消耗は相当に遅延せしめ得るものと思う。従って実際の炉の作業如何により影響されるところがきわめて多い。

近時高圧操業、酸素富化操業の採用にともない、シャフト部の水冷は漸次不可欠のものとなる傾向にあるが、水冷にともないあらたに発生するライニングの諸問題は充分に研究され、築炉上また耐火物の性質の改善など、実際面において充分な対策が講ぜられることが望ましい。本研究はきわめて疎略なものであり、多くの未解決の問題を残しているが今後の研究の一助となれば幸である。

脱稿にあたって本研究に御後援いただいた富士製鉄KK室蘭製鉄所研究所および製鉄課の諸氏、特に研究所長森永氏、前同所員池野氏に深謝する。また組織鑑定には室蘭工業大学地質教室佐藤教授に負うところが多い。

なお、本研究は富士製鉄KK株式会社室蘭製鉄所委託研究として採用いただき、費用その他の御便宜をいただいたこともあわせて感謝する次第である。 (昭和37年4月30日受理)

文 献

- 1) 田中章彦：室工大研報，3，769 (1961).
- 2) 田中章彦：鉄と鋼，47，1936 (1961).
- 3) 田中章彦・及川 弘：室工大研報，1，515 (1953).
- 4) 田中章彦：鉄と鋼，39，169 (1953).
- 5) 田中章彦：鉄と鋼，46，1096 (1960).
- 6) 田中章彦：室工大研報，3，135 (1960).

注 溶食におよぼす水冷の影響については特に参照すべき論文は見当たらないが、本論文で幾多の溶食機構に関する内外の論文を参考とした。これらについては1)において既にに詳記しその末尾に記載してあり、ここにはこれを省略したので、1)を参照されたい。

平行ニコル

直交ニコル

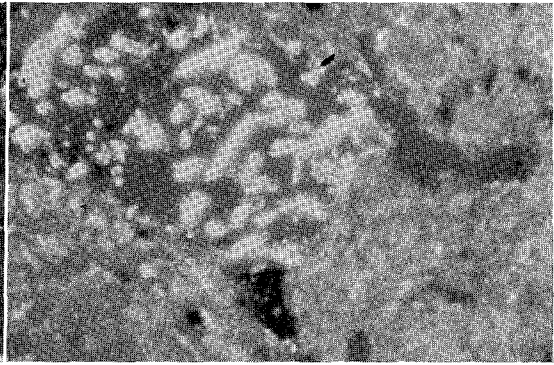
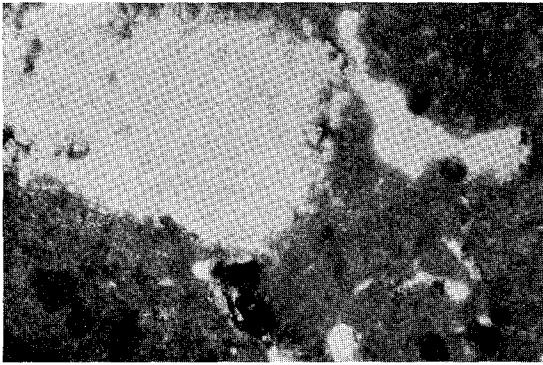


写真-1 W-3-2

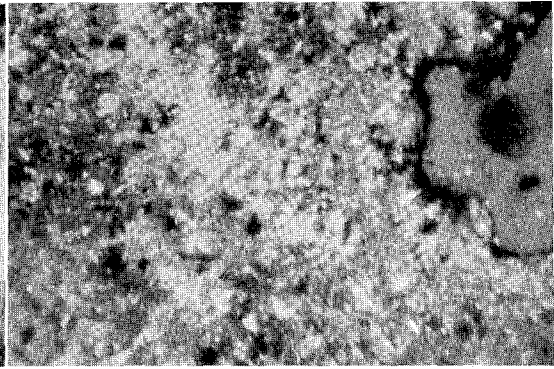
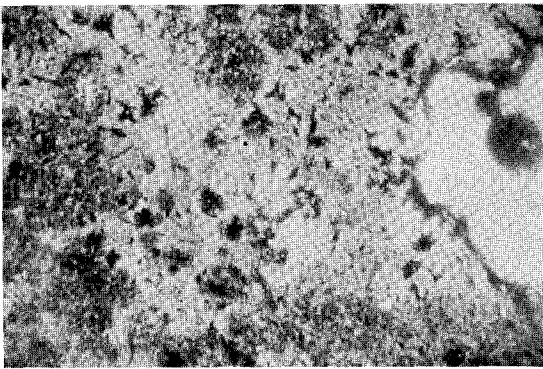


写真-2 E-3-15

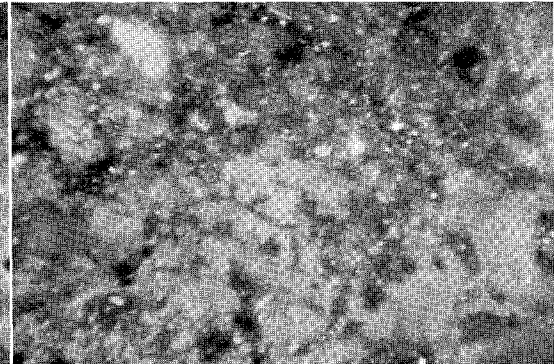
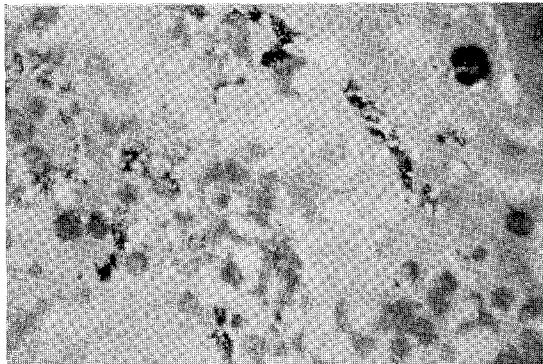


写真-3 E-3-23

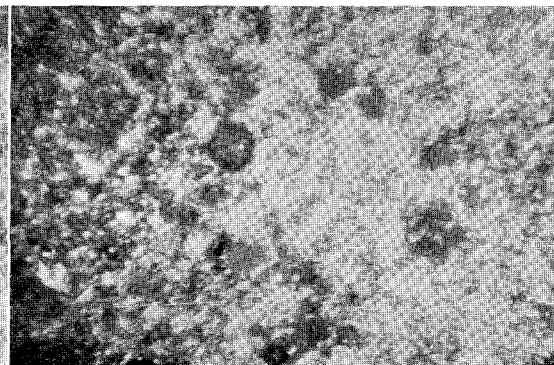
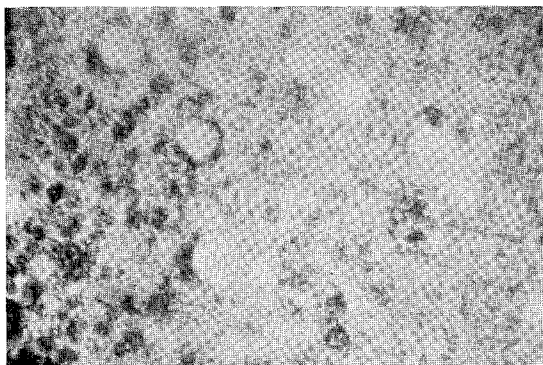


写真-4 E-3-26

平行ニコル

直交ニコル



写真-5 N-3-27

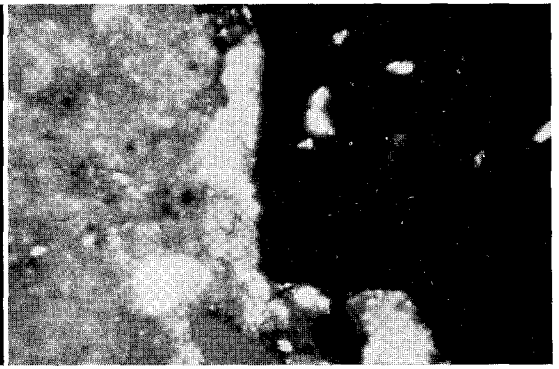
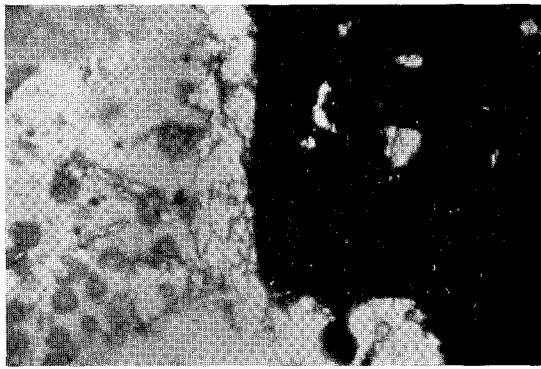


写真-6 E-3-40

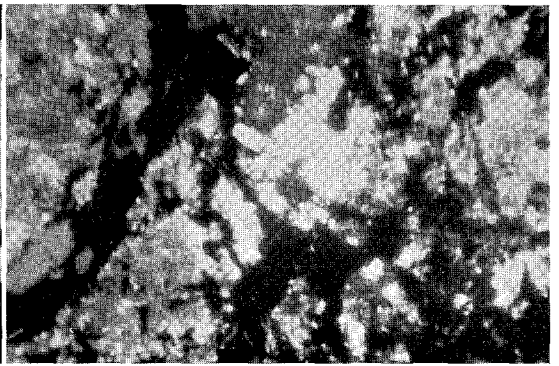
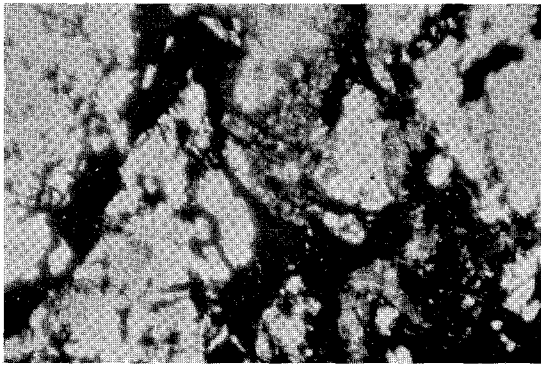


写真-7 E-3-51

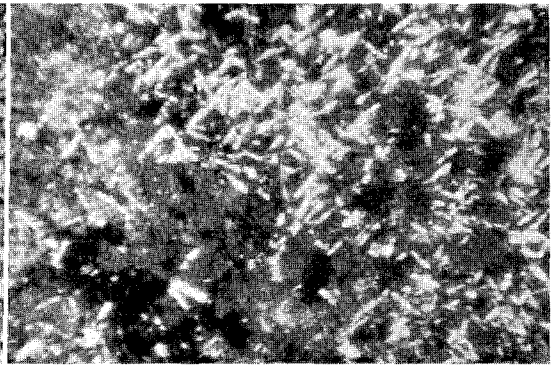
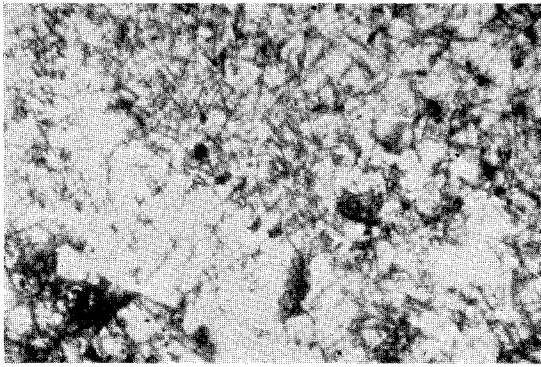


写真 8 S-3-S

図-7 (2) 溶合試料の顕微鏡組織 (×150)

平行ニコル

直交ニコル

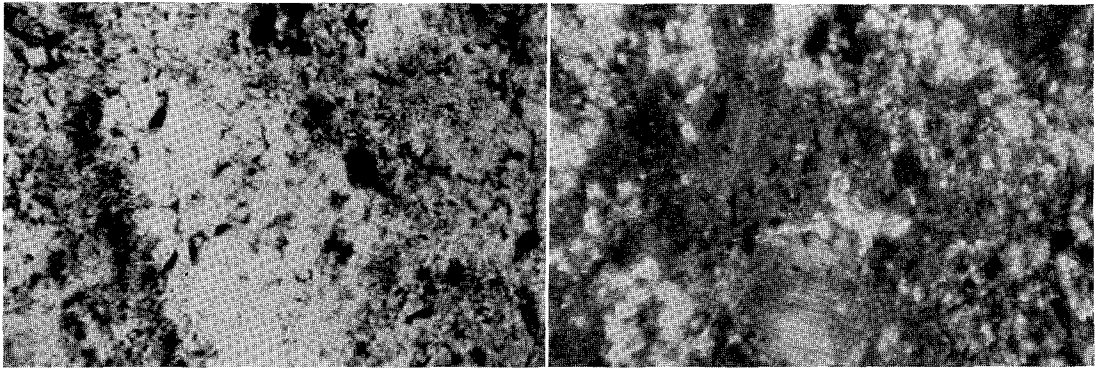


写真-9 N-3-27

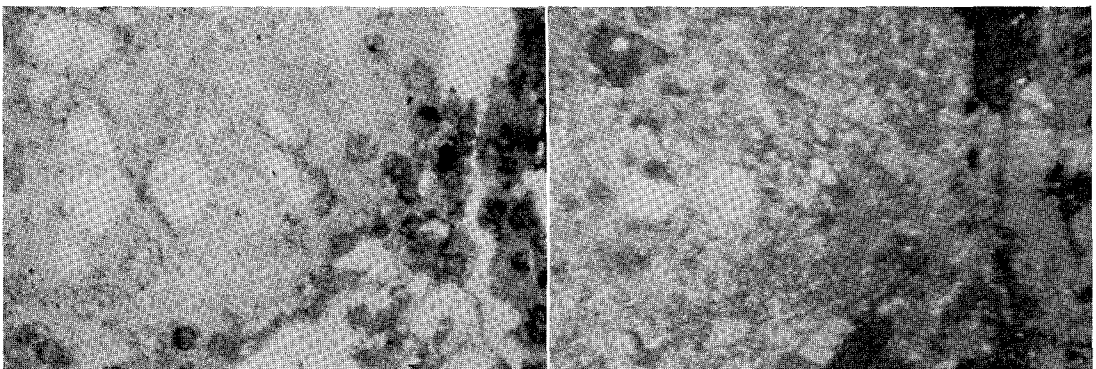


写真-10 S-5-S

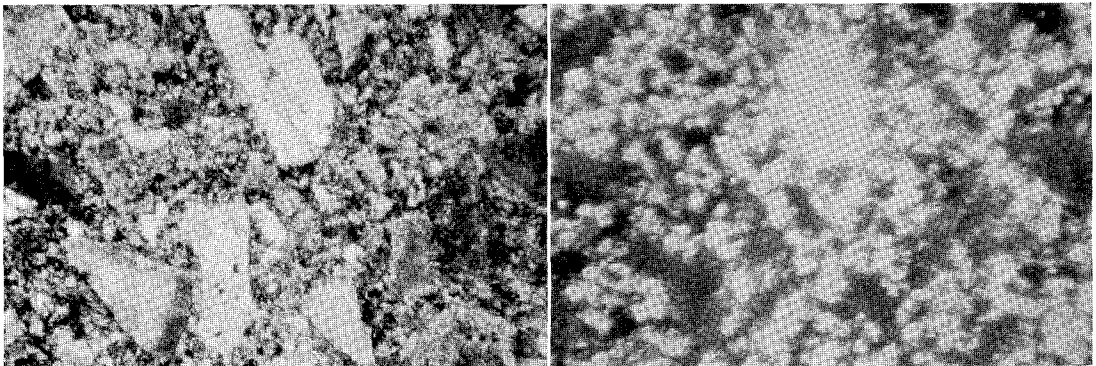


写真-11 S-5-18

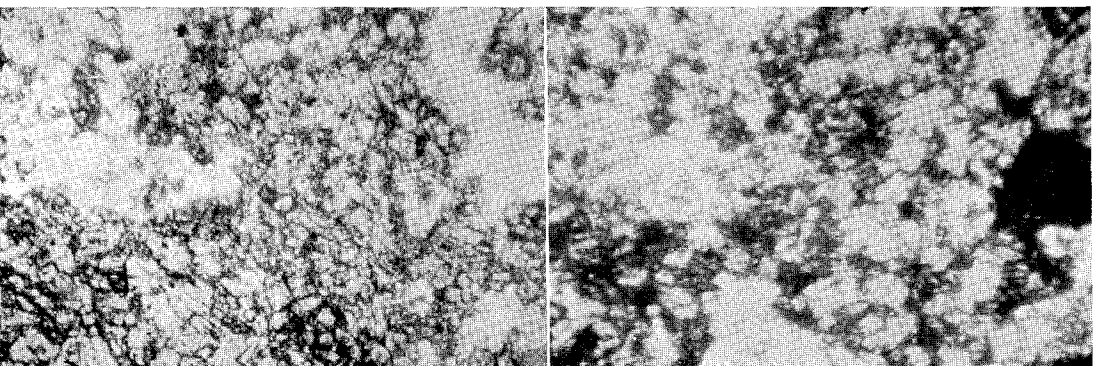


写真-12 W-5-20 (亀裂面)

平行ニコル

直交ニコル

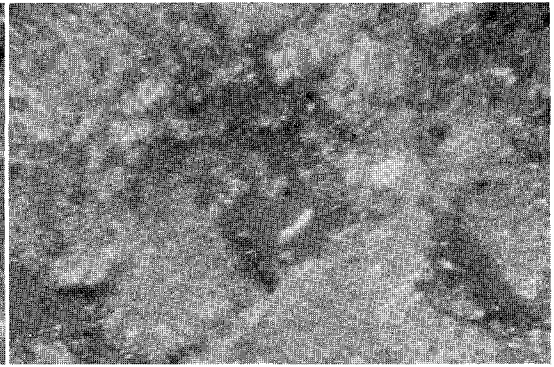
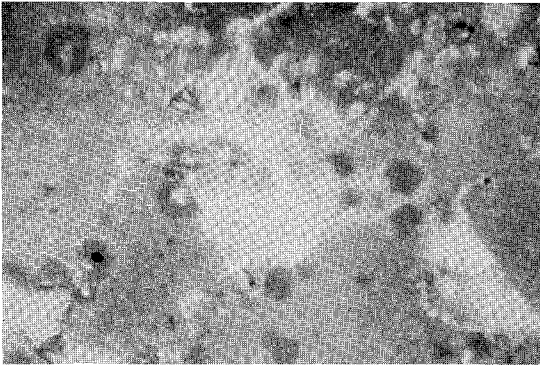


写真-13 E-5-25

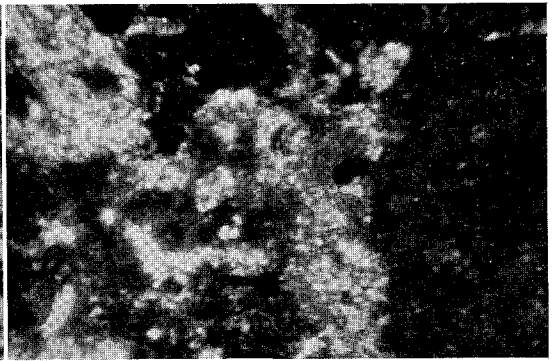
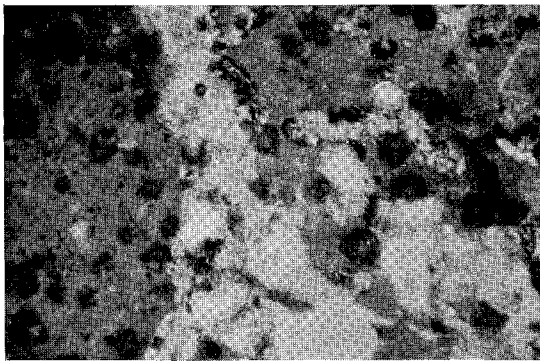


写真-14 E-5-40

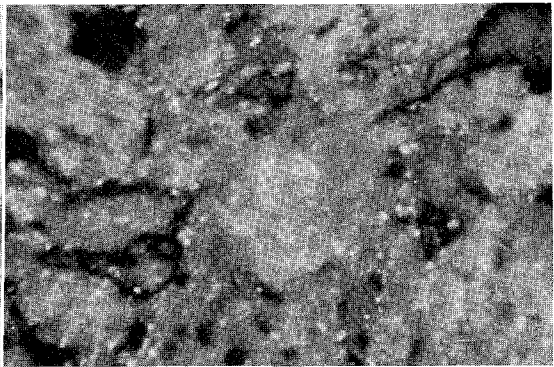
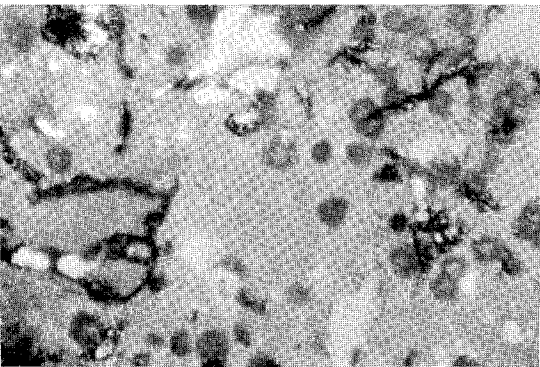


写真-15 W-5-S

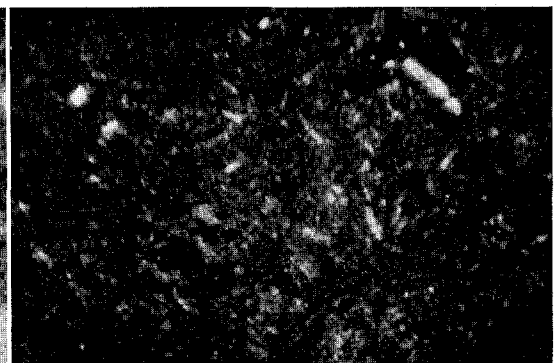
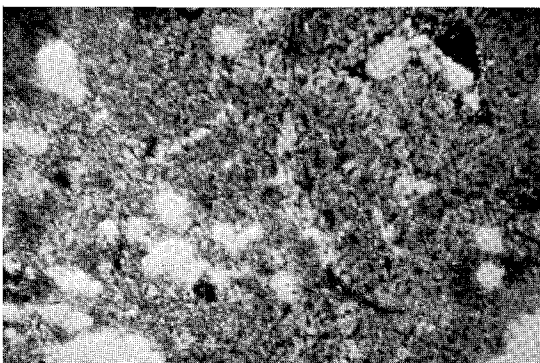


写真-16 E-7-30

図-7 (4) 溶解試料の顕微鏡組織 (×150)

平行ニコル

直交ニコル

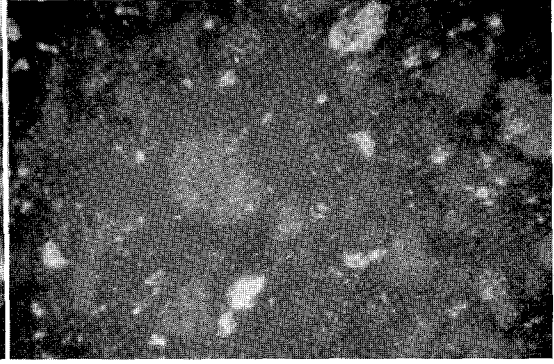
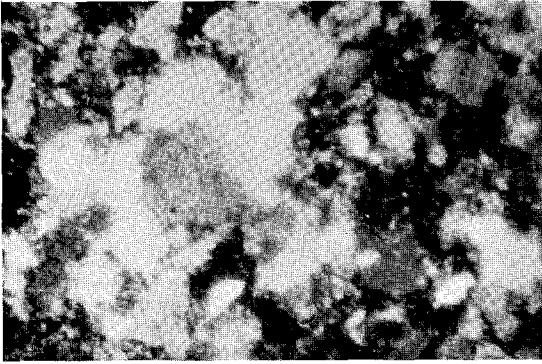


写真-17 W-7-30

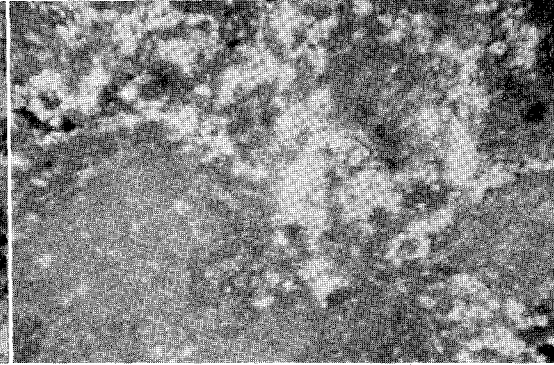
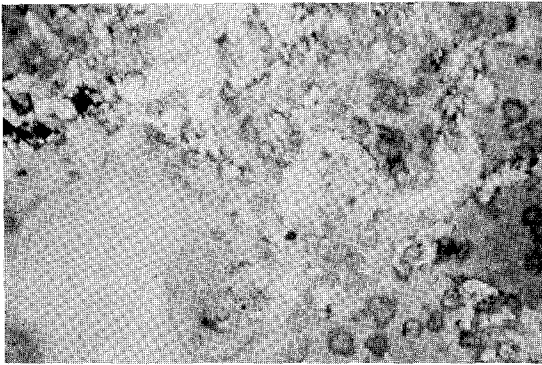


写真-18 E-7-38

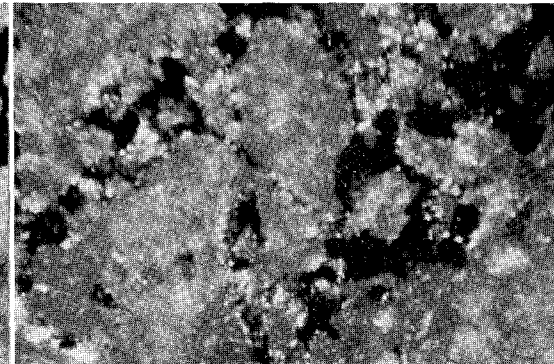
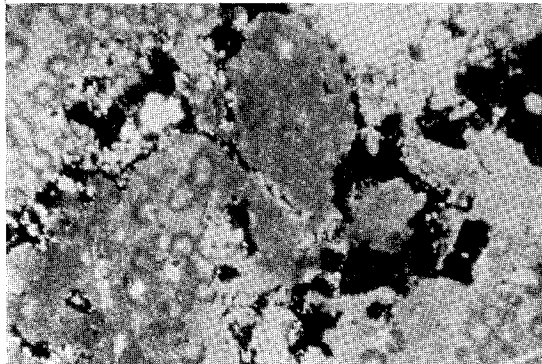


写真-19 E-7-44

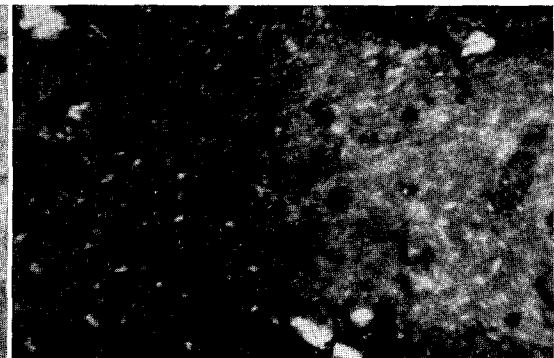
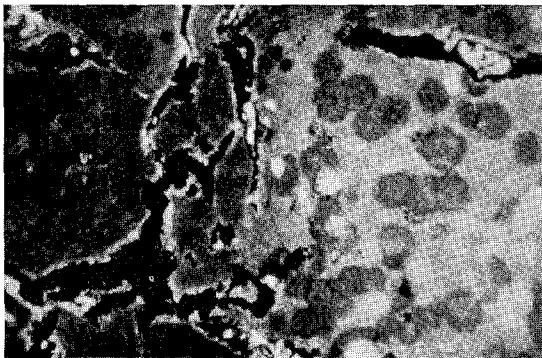


写真-20 N-7-S