

鑄鉄の黒鉛組織に及ぼすガスの影響 (第3報)

—Fe - C (飽和) 系の組織に及ぼす水素の影響 (その 2)—

Effect of Gases on Graphites Distributed in Cast Iron (3rd Report)
—Effect of Hydrogen on Graphites in Fe - C (Saturated) System (Part 2)—

添 野 浩*
Kō Soeno

内 容 梗 概

本報告は数種の Fe-C 系の原料を黒鉛坩堝およびアルミナ質坩堝を用いて、同様な熔解条件で熔解し、その組織の差を検討することによつて、アルミナ質坩堝を用いた場合、熔湯中の酸素成分が十分除去されないと思われる点を指摘した。
従来の諸研究者の多くは酸化物系の坩堝を用いて水素中で熔解し、組織変化を観察しているが、これでは酸素成分の影響を十分除去できず、酸素の影響を水素の直接作用と判断したため、区々たる結論に導かれたのではないかと思われる。

〔I〕 緒 言

著者は、鑄鉄の黒鉛組織に及ぼすガスの影響を研究する手始めとして、さきに Fe-C (飽和) 系の真空熔解組織について検討を加え、極度に脱ガスされた試料の凝固組織はレデブライト組織や球状黒鉛組織と密接な関係にあることを報告⁽¹⁾した。引続き水素ガスの影響を研究した実験において、なんら脱ガス処理を行わない Fe-C (飽和) 系の試料も、真空熔解によつて作製した試料と同様、精製水素中で再熔解を繰返した場合、その最終組織は、水素処理前の試料をさらに脱ガスした組織に一致することを確認することができた。よつて水素の黒鉛組織に及ぼす影響は、含有酸素量に対する水素の影響を媒介とした間接的なもので、黒鉛組織に直接的な影響を有するのは熔湯中に存在する酸素成分ではなかろうかと考えるに至つた⁽²⁾。

本報告では、黒鉛坩堝と良質のアルミナ坩堝とを用い

て、この中に同一試料を装入し、同一熔解条件の下に水素中で再熔解を行い、両者の組織の差を検討することによつて、既報⁽²⁾の推論を確認するとともに黒鉛片の粗大化^{(3)~(9)}、あるいは微細化⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾またはセメントイト発生⁽¹²⁾の助成などを水素の影響と認めた従来の諸説についてもあわせて考察した。

〔II〕 実 験 方 法

(1) 試 料

第1表は実験試料の作製法および組織を示す。NV, NV' および V の熔製に用いた電解鉄および C 粉末は既報⁽¹⁾⁽²⁾と同じである。

(2) 実験方法および装置

第1表の各試料を適当な大きさに切りだし、表面を清浄にし、毎回 5 g ずつ水素中で熔解し、組織変化を追求した。熔解炉はすでに第1報⁽¹⁾と第2報⁽²⁾で詳細報告した装置で、タングステン線による抵抗加熱炉である。水素

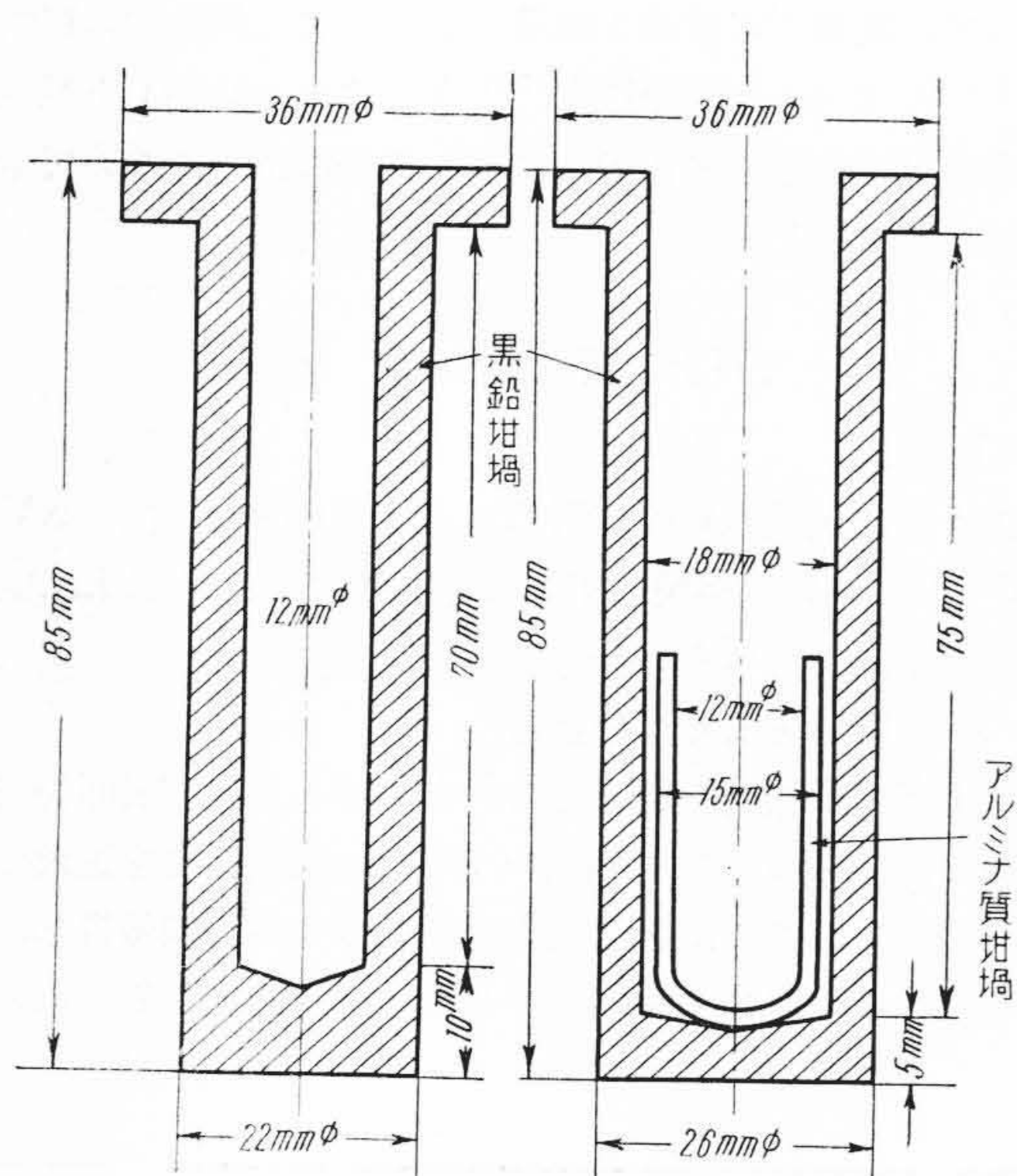
第1表 実 験 試 料

記 号	熔 製 法					冷 却 速 度	組 織	備 考
	原 料	熔解温度	熔け落ち までに要した時間	熔解温度 に保つた時間	熔解の際の 雰囲気	化 学 成 分		
NV	電解鉄*+C粉末**	1,300°C	20min	30min	比較的 CO に富む大気中	C 約 4.41%	不 明	多量のセメントイト+微細黒鉛+粗片状黒鉛
NV'	電解鉄*+C粉末**	1,300°C	20min	30min	比較的 CO に富む大気中	C 約 4.46%	不 明	逆チル。鼠銑部は上に同じ。
NV''	電解鉄*+NV'	1,300°C	25min	30min	比較的 CO に富む大気中	C 3.71%	不 明	逆チル。鼠銑部は上に同じ。
V	電解鉄* 10 g を黒鉛坩堝***に装入 真空熔解を 4 回行い 40 g を熔製	1,450°C	—	60min	真空 2×10 ⁻⁴ ~5×10 ⁻⁵ mmHg	Fe-C(飽和)系	凝固点附近の冷却速度 330°C/min	第1報 ⁽¹⁾ 第2表の G-240 と同一組織
コークス鉄	鑄物用釜石鉄	C 4.06	Si 1.44	Mn 0.45	P 0.16	S 0.056%		

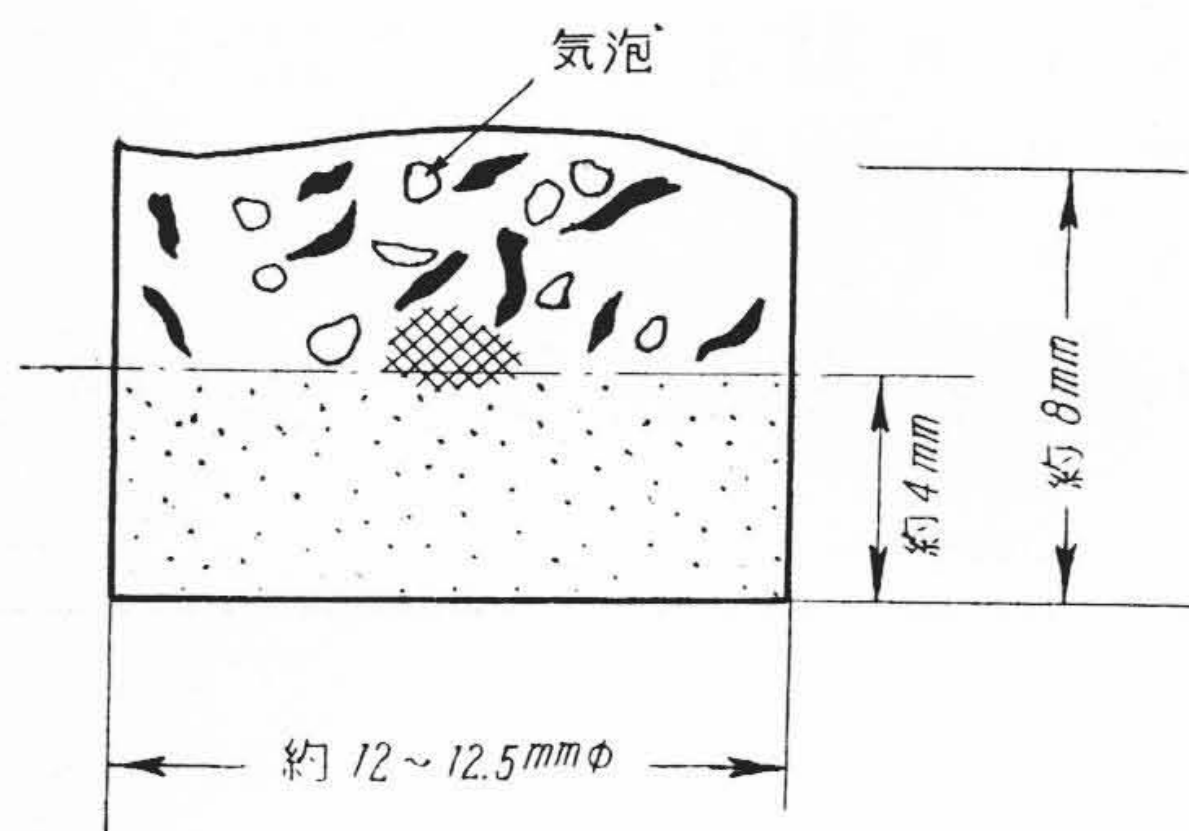
* 電解鉄の分析成分 Si 0.022 Mn 0.019 P 0.0032 S 0.0021%
** 日立化工株式会社製 PD-2 99.95%
*** 日立化工株式会社製 PD-2 99.95%

* 日立製作所日立研究所

の精製回路および水素中の熔解方法も第 2 報⁽²⁾に報告したとおりである。水素を最初装置内に導入したときの圧力(水素導入圧と称した⁽²⁾)は 485mmHg で、熔解炉の加熱および冷却にともなう水素圧の変化も、また熔解後の試料の冷却速度も第 2 報⁽²⁾に報告したとおりである。異なる点は熔解用坩堝だけである。第 2 報の実験は黒鉛坩堝を用いて行つたのであるが、本報告の実験では二種の坩堝を用いた。すなわち従来の実験に用いた黒鉛坩堝と、材質はこれと同じでやや大型に作った黒鉛坩堝の中に良質のアルミナ坩堝を入れたものとの二種で、第 1 図はこれらの寸法を示す。アルミナ坩堝は珪酸分の少ないきわめて緻密なもので半融アルミナ坩堝として市販されているものである。V 試料は 10g ずつ 4 回に分けて真空熔解により調製したもの計 40g で、これを 5g ずつに分けて水素中での再熔解の実験に用いた。



第 1 図 試料熔解用坩堝



第 2 図 試 料 の 形 状

坩堝はいずれも水素中での再熔解に先立ち、第 2 報と同じ条件(1,550°C, $2 \sim 3 \times 10^{-4}$ mm Hg 程度)で空焼した。また再熔解温度はいずれも第 2 報と同様 1,300°C である。

第 2 図は水素中で再熔解を行い凝固させた試料の概略の形状を示す。これらの試料の組織の検討は原則として中央縦断面について行つた。

〔III〕 実 験 結 果

水素中で再熔解を行つた試料の組織は、全般的にみて上半分の領域に水素に起因する気泡巣および初晶黒鉛が介在しているほか、上部と下部とで著しい組織の差異は認められなかつた。

(1) 黒鉛坩堝を用いた実験

(a) NV' 試料を用いた実験 第 2 表および第 3 図は NV' 試料を黒鉛坩堝を用い水素中で再熔解した結果を示す。第 3 図の Photo. 1 はこの場合の代表的な組織であり、Photo. 2 はその微細黒鉛をさらに拡大して示したものである。この試料中に介在する初晶黒鉛は、既報⁽²⁾の G-278 (水素中で 45 分ずつ 6 回繰返し再熔解した試料) について詳述したいいわゆる大型塊状黒鉛(既報⁽²⁾ Photo. 10 参照)であるが、Photo. 3 に示すようなものも介在していた。

以上の結果は、これと類似の試料を用いて行つた既報⁽²⁾の結果とほぼ同様であり、黒鉛坩堝を用い水素中で再熔解を行えば、真空熔解組織と同様な組織が得られることを示している。ただ既報⁽²⁾の組織と多少の差異がみられるのは、原料が異なるための当然の結果と考えられ、水素処理の延長にともなう組織変化の方向が、真空熔解組織に向つているという点では、既報⁽²⁾の結果と一致している。

(b) 市販コークス銑を用いた実験 第 3 表および第 4 図は市販コークス銑を黒鉛坩堝を用い水素中で再熔解した結果を示す。

得られた組織の概況は第 3 表に記載したとおりであるが、45 分ずつ 6 回再熔解した G-292 試料と 12 回再熔解した G-293 試料の組織を比較して特に注目される点を列記すると次のようである。すなわち G-293 は G-292 より組織が微細化していること、この微細黒鉛部の組織は Photo. 7 から明らかなように真空熔解した既報⁽¹⁾(Photo. 6 および 7 参照)の組織に似ていること、初晶黒鉛中にも特異な形状のものが介在していることなどである。

(2) アルミナ坩堝を用いた実験

(a) NV' 試料を用いた実験 第 4 表および第 5 図は NV' 試料をアルミナ坩堝を用い水素中で再熔解した試料についての組織を示す。これらの試料は再熔解を繰返

してもほとんど組織上の変化が認められなかった。第5図のPhoto. 10はこれらの代表的な組織である。

(b) V試料を用いた実験
第5表および第6図はV試料をアルミナ坩堝を用い水素中で再熔解した試料についての組織を示す。原試料Vの組織は既報⁽¹⁾のG-240とまったく同様であるが、これを水素中で再熔解した組織と比べると次の諸点が特に異っている。すなわち、(i) 水素中の再熔解試料の方が粗大黒鉛組織部分が広いこと、(ii) 微細黒鉛組織部分に介在している球状黒鉛の形状も、水素中で再熔解した試料の方に不完全なものが多く、微細黒鉛組織部も拡大してみると既報⁽¹⁾のG-240試料で認められたような粒状的特質をやや失い、細長い片状に伸びたものが増加していることなどである。

これらのことは特に10分の再熔解試料で顕著に認められるが、全般的な傾向としては、アルミナ坩堝を用い水素中で再熔解することによつて、真空熔解で得られた組織上の特質(既報⁽¹⁾ G-240 参照)がやや失われるようである。

(c) NV試料を用いた実験
第6表および第7図はNV試料をアルミナ坩堝を用い水素中で再熔解した実験結果を示す。各試料はいずれも粗大片状黒鉛組織であ

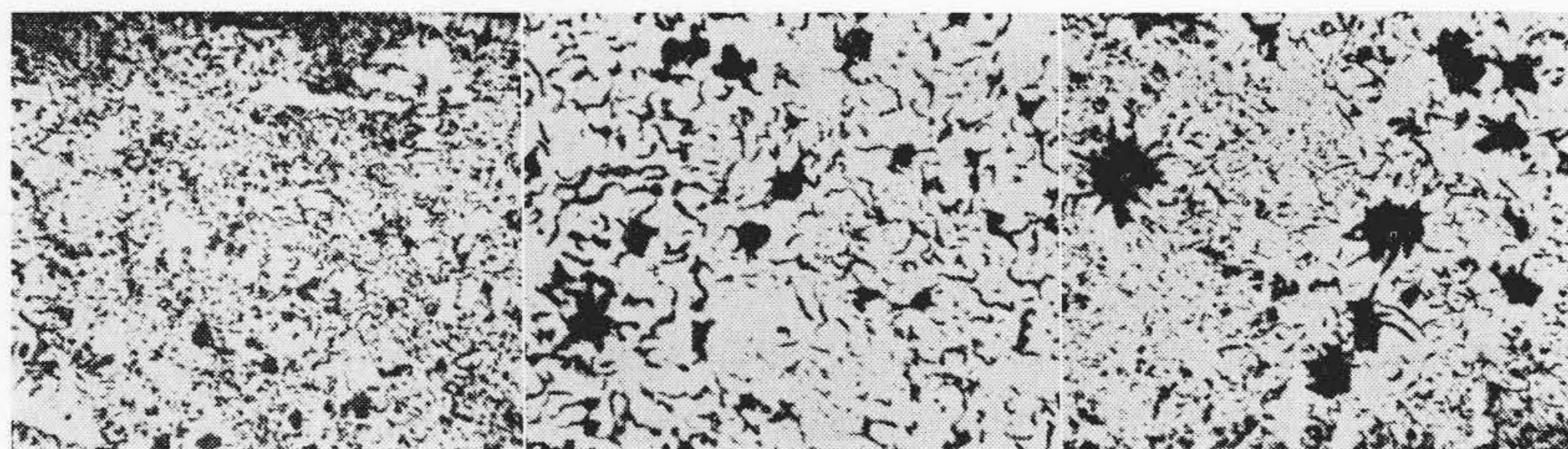

 Photo.1 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

 Photo.2 400× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

 Photo.3 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

第3図 第2表の試料の組織説明図

第2表 NV' を原料とし黒鉛坩堝で水素中再熔解した結果

No.	熔解時間	組織写真	組織の説明
G-284	45 min ずつ2回*	第3図 Photo. 1, 2, 3 参照	微細共晶黒鉛組織中に初晶黒鉛が混在している。Photo. 1, 2, 3 参照。 マトリックスは全部パーライト。 G-284 に同じ。
G-294	45 min ずつ6回*		

* 第2報の結果と同様に1回の熔解が終わるごとに常温に冷却して水素を更新し、さらに熔解を繰返すという回数。以下もすべて同様である。

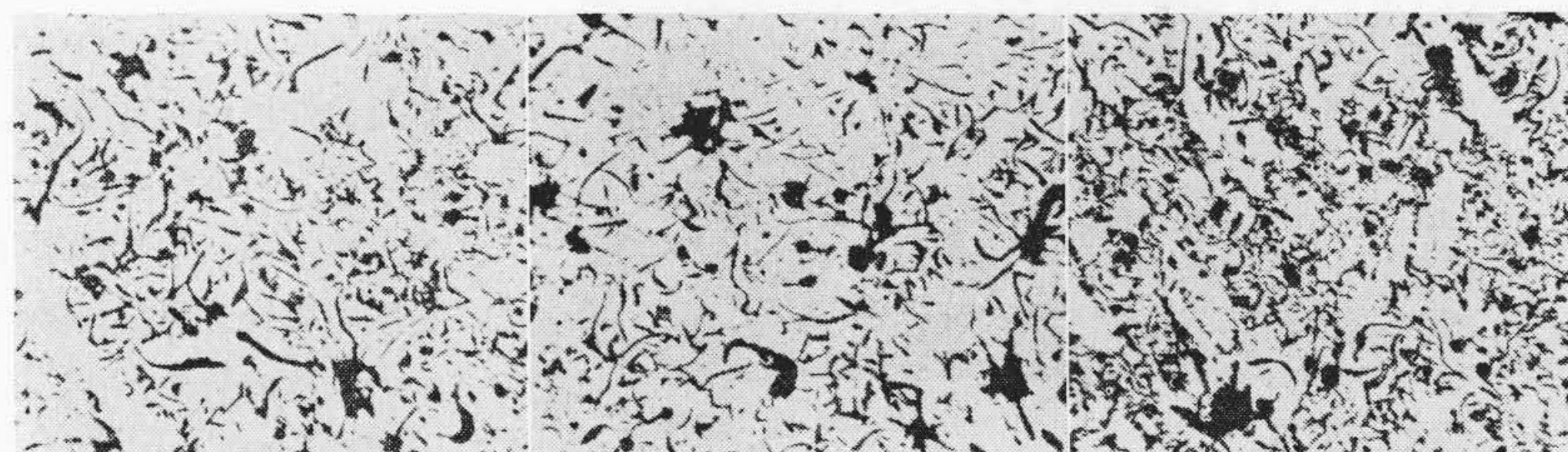

 Photo.4 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

 Photo.5 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

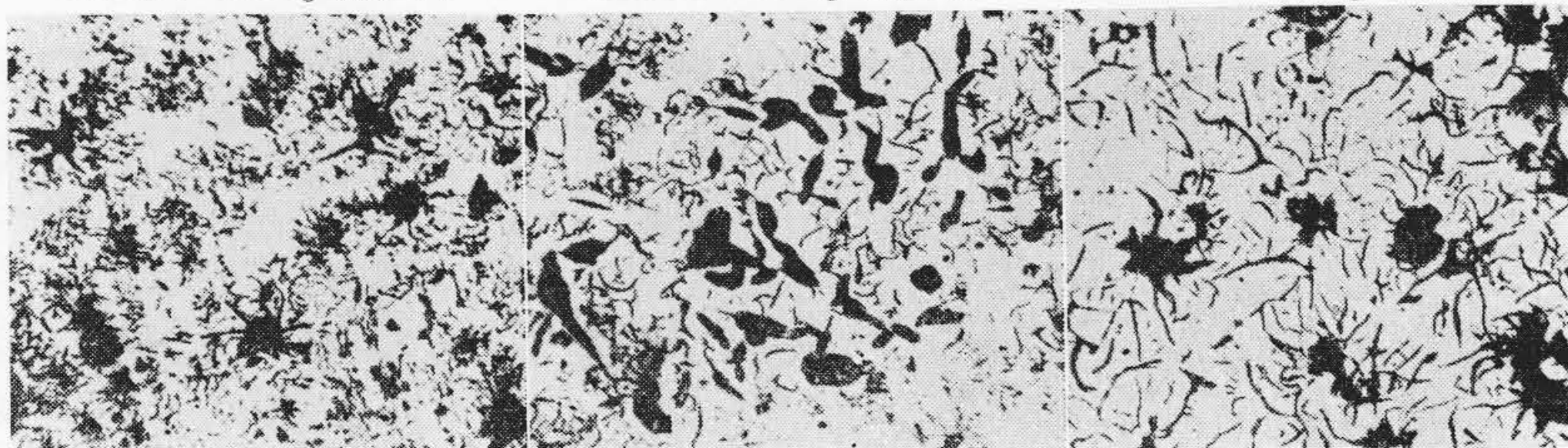
 Photo.6 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

 Photo.7 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

 Photo.8 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

 Photo.9 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

第4図 第3表の試料の組織説明図

第3表 コークス銑を原料とし黒鉛坩堝で水素中再熔解した結果

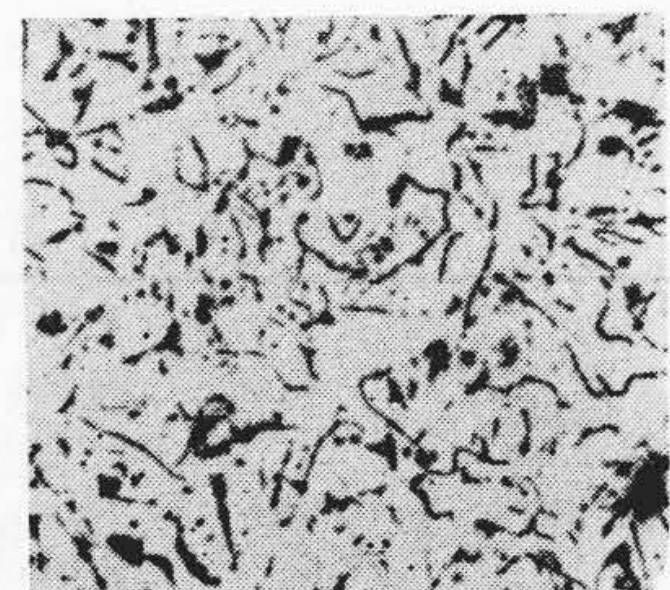
No.	熔解時間	組織写真	組織の説明
G-292	45 min ずつ6回	第4図 Photo. 4, 5, 6 を参照	全試料面の大部分が、Photo. 4, 5 に示すような粗大片状黒鉛組織であるが、ところどころに Photo. 6 に示すような比較的微細黒鉛部が混入している。 マトリックスは全部パーライト。 G-292 に比較すると Photo. 7 に示すような微細黒鉛部が増加し、また初晶黒鉛には従来真空熔解によつて容易に得ることができた Photo. 8, 9 は示すようなものが存在した。 マトリックスは全部パーライト。
G-293	45 min ずつ12回		

第4表 NV' を原料としアルミナ質坩堝で水素中再熔解した結果

No.	熔解時間	組織写真	組織の説明
G-283	45 min	第5図 Photo. 10 参照	粗大片状黒鉛組織 Photo. 10 参照。マトリックスは全部パーライト組織である。
G-281	45 min ずつ2回		
G-282	45 min ずつ6回		

るが、再熔解時間が長く繰返し回数の多いほどやや粗い傾向である。

第5図 第4表の試料の組織説明図


 Photo. 10 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

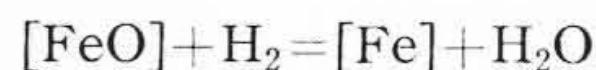
〔IV〕 結果の考察および結論

既報の実験⁽²⁾と本報告の実験とを通じ、それぞれ同じ原試料ごとに黒鉛坩堝を用いた場合とアルミナ坩堝を用いた場合とを比較して見ると (NV 試料については本報告の第 2 表と第 4 表, NV 試料については既報⁽²⁾の第 3 表と本報告の第 6 表, V 試料については既報⁽²⁾の第 2 表と本報告の第 5 表を参照), いずれも水素中で再熔解されているにかかわらず, その組織の間に著しい差異が認められる。

そこでこれらの差異の原因について考えてみたい。

まず熔湯と水素との関係を考えてみると, 水素は拡散速度が大きいから比較的短時間で熔湯に飽和し, 一方熔

湯に対して次のような機構⁽⁷⁾⁽¹⁶⁾で還元作用をいとなむ。



したがって水素を更新しながら水素中で再熔解を繰返せば酸化物が少なく, 水素で飽和した Fe-C が得られる。アルミナ坩堝の場合, 熔湯中の炭素は幾分減少してくると思われ, 還元さるべき酸化物が熔湯から除かれればその減少はやむ⁽⁷⁾。

還元という点に関しては炭素の作用を無視することはできない。それは, 第 8 図⁽¹³⁾に参考のためにあげた熱力学的計算からもわかるように, 炭素の還元力は高温になるほど強くなり, 水素のそれは減ずる。1,300°C の熔解温度では, 水素の還元力よりは炭素による還元力の方が強く, 熔湯は主として炭素によつて還元されると考えられる。したがって試料が黒鉛坩堝の中で熔解される場合はアルミナ坩堝の中で熔解される場合よりも炭素による還元作用が容易に進行し, 熔湯中の酸素成分の減少も特に著しいものと期待されるが, 水素単独の場合には炭素ほどの強い還元作用は期待できない。そこでアルミナ坩堝の場合と黒鉛坩堝の場合との組織上の差異は, 熔湯中の酸素成分の多少によるものと思われる。

黒鉛坩堝を用いて水素雰囲気中で Fe-C (飽和) 系を

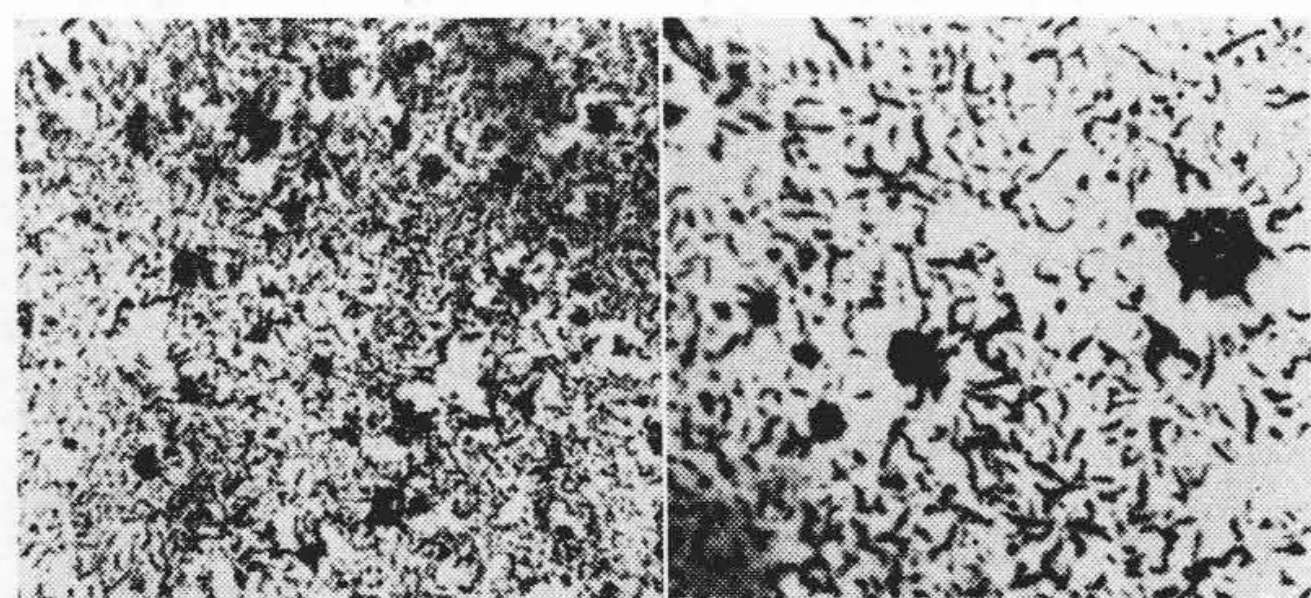


Photo.11 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

Photo.12 400× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

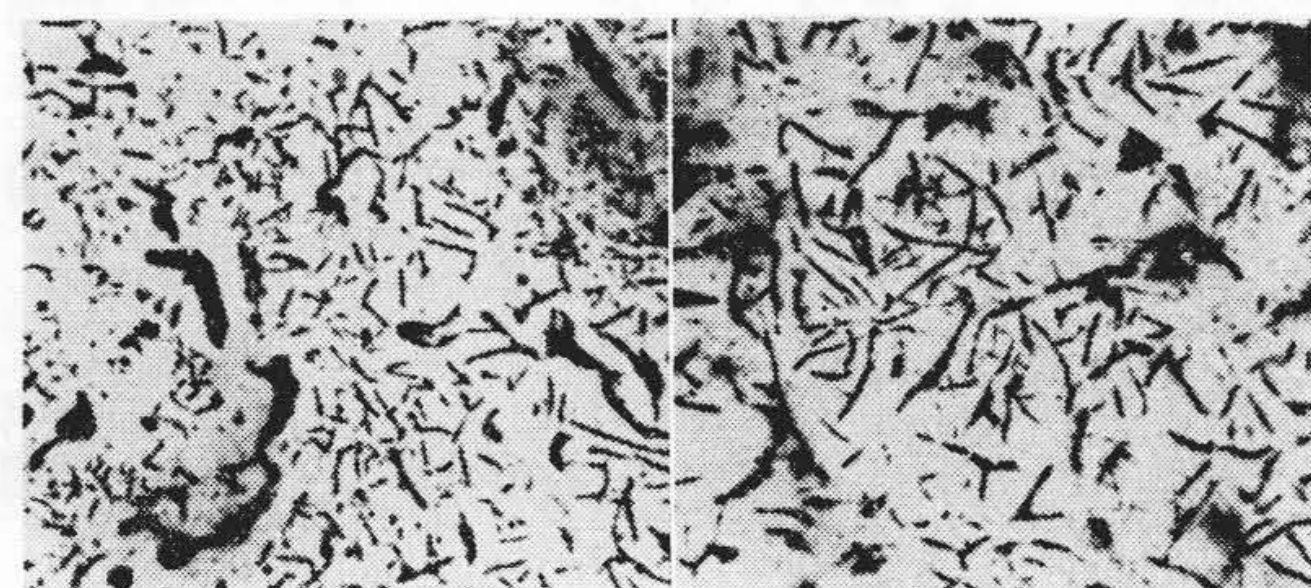


Photo.13 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

Photo.14 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

第 6 図 第 5 表の試料の組織説明図

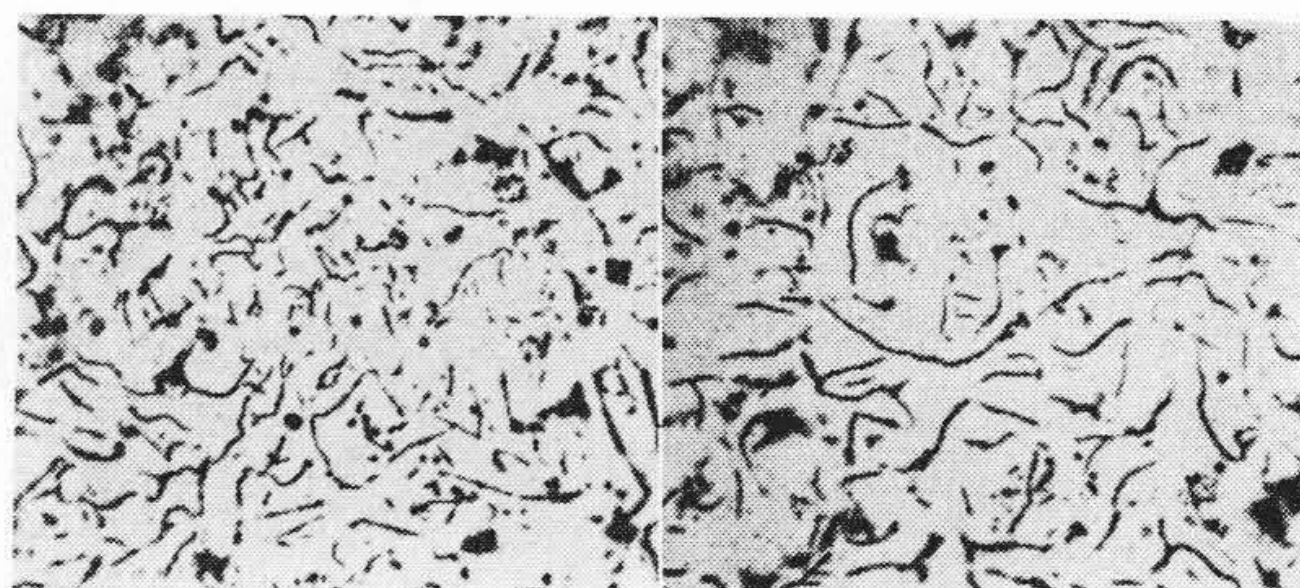


Photo.15 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

Photo.16 100× $\frac{2}{3}$ 腐蝕せず

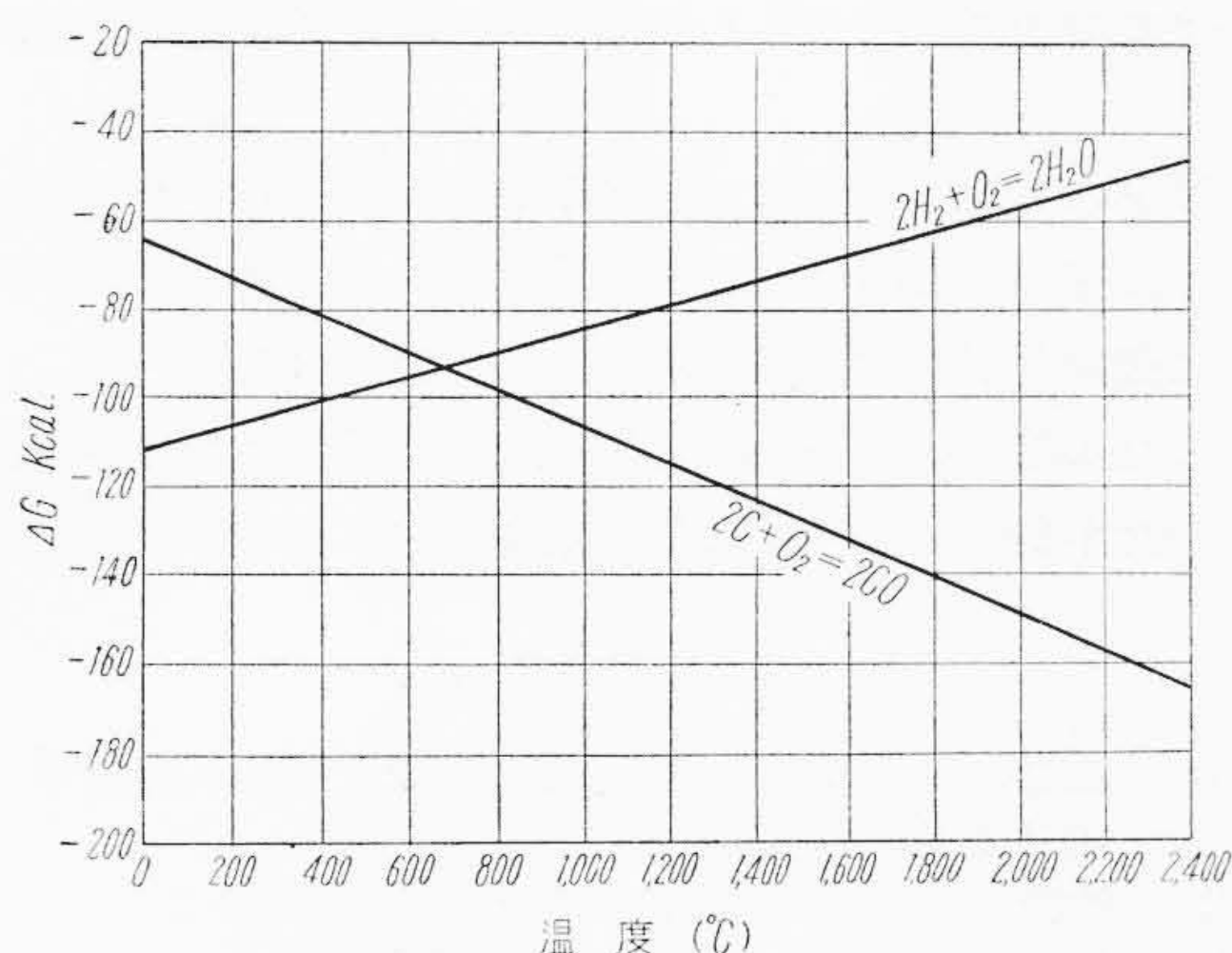
第 7 図 第 6 表の試料の組織説明図

第 5 表 V を原料としアルミナ質坩堝で水素中再熔解した結果

No.	熔 解 時 間	組 織 写 真	組 織 の 説 明
G-288	10 min	第 6 図 Photo. 11, 12, 13, 14 参照	試料の検鏡面の約 1/3 位は Photo.11 あるいは Photo.12 に拡大して示した微細な黒鉛組織によつて占められているが, ほかの 2/3 位は Photo. 13 あるいは 14 に示すような粗大黒鉛組織によつて占められている。マトリックスは全部パーライト組織。
G-289	30 min		試料の検鏡面の約 1/2 は Photo. 11 あるいは Photo. 12 の微細黒鉛組織によつて占められているが, 残り約 1/2 あるいはこれより多少すくない部分が Photo. 13, 14 のような粗大黒鉛組織によつて占められている。この粗大組織は第 2 図に斜線をつけた部分に特に多く偏在している。マトリックスは全部パーライト組織。
G-290	30 min ずつ 2 回		
G-291	45 min ずつ 2 回		

第 6 表 NV を原料としアルミナ質坩堝で水素中再熔解した結果

No.	熔 解 時 間	組 織 写 真	組 織 の 説 明
G-287	10 min	第 7 図 Photo. 15 参照 第 7 図 Photo. 16 参照	粗大片状黒鉛組織。Photo. 15 参照。 マトリックスは全部パーライト組織。
G-285	45 min		G-287 に比較して幾分大きい粗大片状黒鉛組織。Photo. 16 参照。 マトリックスは全部パーライト組織。
G-286	45 min ずつ 6 回		



第8図 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$, $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ の標準自由エネルギーの温度による変化⁽¹³⁾

繰返し熔解すれば、原料があらかじめ真空熔解されたか否とにかかわらず、いずれも真空熔解組織に近づくことはすでに⁽²⁾繰返し述べてきたが、その組織変化の原因を主として熔湯の炭素による還元過程に対応する酸素成分の変化に依存すると考え、黒鉛組織に対し水素自体はほとんど直接的な影響を与えず、熔湯中の酸素成分に対する影響を媒介とした間接的な作用が主であると推論してきたが、本報告の実験結果とあわせて比較対照することにより、これらの推論をさらに確めることができたと考えている。

第3表のコークス銑を黒鉛坩堝を用い水素中で再熔解した場合も、同様な論拠から炭素による強い還元作用の効果が組織変化の有力な一因になったものと思われる。もしアルミナ坩堝を用いる場合は、以上の実験結果が示すように、もつとも還元しやすいと考えられた Fe-C (飽和)系でさえも酸素成分の影響を除きにくいから、まして複雑な還元しにくい酸化物を含む市販銑ではなおさら酸素成分の影響を除くことが困難となるので、組織上にも当然この影響が現われるものと考えられる。

V 試料をアルミナ坩堝を用い水素中で再熔解した第5表の結果において、やや真空熔解組織の特質が失われたということは、前述の論旨と矛盾するようで、水素の影響を考える上に重要な点であるが、既報⁽¹⁾⁽²⁾でも述べたように原試料を熔製する真空熔解も脱酸とい

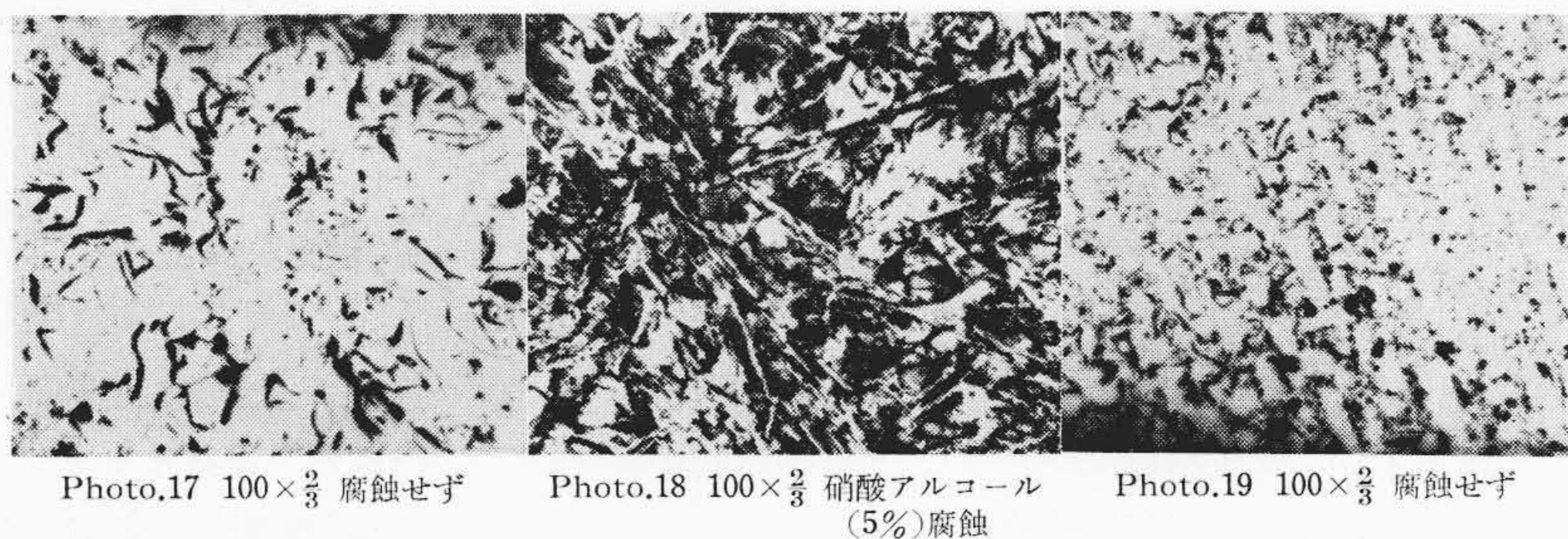
う点では完全とはいいいにくい上に、この試料から水素中で再熔解するための試料を調製する際に一度空気中に取り出しており、汚染を避けるためにかなり注意しても完全とはいいいにくいので、酸素成分のわずかな増加ということも考えられる。したがって組織の上で若干の変化を示したのもこれらの原因によるものと思われる。

次にマトリックスのフェライト化という問題であるが、強度に脱酸、脱ガスされた Fe-C (飽和)系では、黒鉛組織が微細化し黒鉛とマトリックスとの接触面積を増加するので、マトリックスのフェライト化の傾向が強められるものと考えられる。従来の研究結果⁽⁴⁾⁽¹²⁾から考えると、水素はこのフェライト化の傾向に対し妨害作用を呈するものと思われるが、この点については深くは論じないことにしたい。

従来多くの研究者⁽³⁾⁻⁽⁹⁾によつて水素は黒鉛組織を粗大化するといわれてきたが、これは酸素の影響を十分除くことができなかったためと考えられる。

また一方黒鉛組織の微細化を認めた結果も発表⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾されているが、これらの場合にはいずれも酸化物系を主体とした坩堝が用いられているので、同じ微細組織といつても筆者の得た組織とはかなり差異があるのではないかと考えている。これらの点は熔湯中の Cluster とも関係があるので、以下に詳述したい。

第7表および第9図の実験はこれらの点をさらに確めるために行つたものである。この実験に用いた原試料 NV'' は第1表に示した熔製条件および炭素量の点から見て、NV' 試料より含有酸素量が少いものとは考えにくい、第4表と第7表に示すように、これらを水素中で再熔解した結果は明らかに異つている。すなわち NV'' を45分ずつ6回繰返し熔解したものは黒鉛組織の微細化



第9図 第7表の試料の組織説明図

第7表 NV'' を原料としアルミナ質坩堝で水素中再熔解した結果

No.	熔解時間	組織写真	組織の説明
GG-283	45 min	第9図 Photo. 17, 18 参照	粗大片状黒鉛組織。Photo. 17 参照。 マトリックスはパーライトとセメンタイトの混合組織 Photo. 18 参照。
GG-281	45 min ずつ2回		黒鉛組織は若干微細化の傾向あれど GG-283 と大差なし。 マトリックスも GG-283 と大差なし。
GG-282	45 min ずつ6回	第9図 Photo. 19 参照	黒鉛組織は微細化。Photo. 19 参照。 マトリックスは GG-283 と大差なし。

が認められるが、NV' では認められない。しかしながら強い還元力をもつ炭素の含有量は NV'' の方が NV' よりも少いので、NV'' についての第 7 表の結果が、還元反応が特に進行した結果と考えることはむずかしい。

鑄鉄熔湯中の酸素成分がどのような機構で黒鉛組織に影響するかは後報に譲るが、鉄原子、炭素原子および酸素原子相互の間で構成するいわゆる cluster が組織を支配するとの岩瀬、本間両教授⁽¹⁴⁾らの主張は著者の経験からしてもたしかに重要な因子を明確化したものと考えられる。

このような Cluster は熔湯中に介在している酸化物、たとえば von Keil⁽¹⁵⁾氏らのいう silicate slime のようなものが、熔湯内の炭素によつて還元される過程で増加する時期があり、この還元反応が徐々に進行する場合は、Cluster が増加した状態の組織を得やすいと思われる。もちろんさらに還元作用が進むと破壊される。また還元反応が急速である場合は Cluster の増加した状態の組織は得がたい。Cluster の増加により、熔湯は凝固の際過冷し、黒鉛組織が微細化し、あるいは白鉄化すると思われる。

第 7 表にあげた微細組織は、著者の得た極度に酸素成分を除いた結果発生したものとは異なり、上記のような Cluster が増加した状態の組織と思われる。なぜならば第 3～6 表の結果から明らかなように、アルミナ質坩堝で熔解を繰返した場合、熔湯中の炭素量が NV'' より多い試料でもその還元反応は進行せず、組織が安定化している。NV'' のみが黒鉛坩堝中で熔解した場合のように、特に強く還元されたとは考えにくい。これは微細化した黒鉛の様相やマトリックスの状態からも首肯されると思う。

簡単な Fe-C 系でもこのように考えられるから、市販銑鉄の場合にも、酸化物系の坩堝を用いて水素中で熔解し、微細化された組織が得られたとしても、やはり Clu-

ster の増加に起因すると考えてよいのではないかとと思われる。

以上の実験は筆者が日立製作所川崎工場清水工場勤務中に行つたもので、御指導を戴いた広田課長および実験に御協力下された岡村隆氏に厚く御礼申上げる。

また本稿をまとめるにあたり絶えず御指導と御鞭撻を賜つた小野主任研究員に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 添野、岡村：日立評論別冊第 16 号金属特集号第 2 集 65 (昭 31-10)
- (2) 添野、岡村：日立評論 39, 91 (昭 32-2)
- (3) 田中：鉄と鋼 18, 690 (昭 7-7)
- (4) 田中：鉄と鋼 22, 487 (昭 11-7)
- (5) 田中：鉄と鋼 27, 932 (昭 16-12)
- (6) 宮下：木炭銑鉄の研究，日立金属若松工場 (昭 19)
- (7) 吉田：鉄と鋼 36, 337 (昭 25-3)
- (8) A. L. Norbury & E. Morgan: J. Iron & Steel Inst., II, 327 (1936)
- (9) A. Wm. Schneble, D. Ohio, & J. Chipman: Trans. Am. Foundrymen's Ass' 52, 113 (1944)
- (10) A. Boyles: Trans. Am. Inst. Min. & Met. Eng. 125, 141 (1937)
A. Boyles: Trans. Am. Foundrymen's Ass. 46, 297 (1938)
A. Boyles: Trans. Am. Inst. Min. & Met. Eng. 135, 376 (1939)
A. Boyles & C. H. Lorig: Trans. Am. Foundrymen's Ass, 49, 769 (1941)
- (11) 沢村：水曜会誌 6, 212 (昭 4)
- (12) 斎藤、沢村、森田：金属材料および其加工法 (昭 28) 丸善
- (13) F. Richardson: J. Iron and Steel Inst., 160, 261 (1948)
- (14) 岩瀬、本間：日本金属学会誌 16, 111 (昭 27)
- (15) von Keil: Arch. Eisenhütt. 4, 245 (1930)
von Keil: Arch. Eisenhütt. 8, 579 (1934)
- (16) 田中：鉄と鋼 23, 857 (昭 12-9)

日立 評論 別冊特集号 No. 19 圧縮機，送風機，ポンプ特集号

—— 9 月 20 日 発行 予定 —— (1 部 定価 100 円)

- ◎ バランス型圧縮機
- ◎ オイルレス圧縮機
- ◎ 可搬式多翼型回転圧縮機について
- ◎ 東京ガス株式会社納高圧ガス圧送機
- ◎ 最近の高速ターボコンプレッサ
- ◎ 日立大型ボイラファンについて
- ◎ 可変ピッチプロペラファン
- ◎ 吸引方式空気輸送機の特長について

- ◎ ポンプ製作および応用技術の最近の展望
- ◎ 農地用揚排水ポンプとその計画
- ◎ 2,200 HP 炭鉱用主排水ポンプ
- ◎ 最近の上下水道ポンプ
- ◎ ボイラ給水ポンプ設備の計画と保守について
- ◎ 固型物含有液輸送用渦巻ポンプ
- ◎ 最近のポンプの自動運転
- ◎ 軸流ポンプの性能に及ぼす吸込管の影響について

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸ノ内 1 丁目 4 番地 振替口座東京 71824 番
取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 振替口座東京 20018 番