

# 鑄鉄熔解に関する二、三の考察

## Some Considerations Concerning Cast Iron Melting

宮下 格之助\*

Kakunosuke Miyashita

岩瀬 昌徳\*\*

Masanori Iwase

吉田 公隆\*\*\*

Kimitaka Yoshida

斎田 芳男\*\*\*

Yoshio Saida

### 内 容 梗 概

鑄鉄はたとえ同一化学成分に熔製されたとしても、使用原料、熔解方法などの相異により、著しくその性質が変化することが一般に認められており、この原因について現在まで種々研究および説明がなされてきたが、まだその本質に触れたと思われるものがなく、このような現象は鑄鉄製造業者にとって現実に大きな問題となつてゐる。そこで、実際作業上にこのような現象をいかに解釈し応用していくかを知るため、種々のガス中で実験熔解を行い実験結果を実際の色々の熔解炉における作業に応用適合させて考え、鑄鉄製造時に起る諸現象を可溶性窒素にてよく説明しうることを明らかにした。

### 1. 緒 言

鑄鉄製造時に木炭銑を使用するか、骸炭銑を使用するかで組織に大きな差異を生ずることおよび、熔解温度、熔滓の性質などの差によつて著しくその性質を異にする鑄鉄ができるなどの事実は、現在まで鑄鉄の熱履歴現象として一般に認められ、この原因究明のため多くの研究がなされ種々の説が発表されたが、まだこれといった確実な分析解明がなされておらず、今後の研究にまつところが大きい。現在までに古くは Johnson<sup>(1)</sup>, Eckmann & Jorden & Toming 氏<sup>(2)</sup>らにより、最近では本間<sup>(3)</sup>氏、真殿<sup>(4)</sup>氏による酸素説、Von Keil<sup>(5)</sup>, P. Baudenheuer & L. Zeyen 氏<sup>(6)</sup>らによる非金属介在物説、さらに Piwowarsky を先達として、P. Baudenheuer & L. Zeyen や H. Haneman 氏<sup>(7)</sup>らによる黒鉛核説、またその他窒素説<sup>(8)</sup>などが、これら現象の説明に用いられてきた。しかしこれら諸説の論拠となる種々のガス分析結果は、ガス分析法自体まだ不完全とされている事実からしても信頼できず、鑄鉄に起るすべての諸現象を説明できなかつたこともうなずける。

最近ことに酸素について多くの研究者の関心が向けられているが、現在に至るも酸素のみで鑄鉄製造時に起る諸現象を明快に説明し得ない理由は、熔融状態におけるごく微量の酸素が鑄鉄の性質に微妙な影響を与えることがわかつてはいても、その酸素の多少が熔融状態から冷却凝固されるまでにどのような状態になるか明らかでなく、そのために酸素の分析や存在形態の究明が確実でないことにあるようである。本間氏<sup>(9)</sup>は化学成分、冷却速度を一定にして含有酸素量を広い範囲にわたつて、ごく

微量ずつ系統的に、また再現的に変化せしめる実験を行い、鑄鉄組織に微妙な変化を与えるものは、Fe-C-O-Fe cluster として表わしうる酸素であることを述べている。著者らはこれら酸素説と並行して必ず窒素の影響についての考察を行わなければ、鑄鉄全般の実際問題を解決することはできないことを、実験的にもまた実際問題においても知つてゐる。

著者<sup>(8)</sup>の一人はさきに酸に溶解する窒素すなわち可溶性窒素 Ns にて木炭銑と骸炭銑の本質の差を究明したが、実際の鑄鉄製造の際の諸現象の解釈への応用を図るべく、まず基礎的実験として熱履歴現象の最も顕著な木炭銑と骸炭銑を取り上げて、種々のガス雰囲気中で熔解を行い、本来の性質の交互変換を行わせる実験をやり、両銑鉄の本質の差がどのようなガスにあるかを求め、次で間接的に鑄鉄に及ぼす諸種のガスの影響を調査し、これらの実験事実を基として、普通鑄鉄、チルドロール、マレブル鑄物において、実際に起る諸現象を説明し、これら鑄鉄熔解においていかなる材料を用い、またいかなる熔解方法をとるべきかについて二、三検討した結果を述べる。

### 2. 実 験 方 法

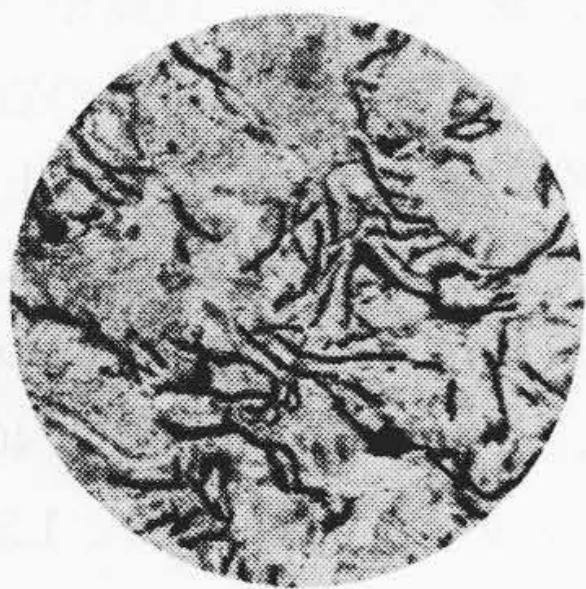
#### 2.1 予備的考察

鑄鉄組織について実験を行う場合は使用原料の熱履歴の影響を必ず考えておかねば、求めた結果に大きい誤差が生ずることは著者<sup>(10)</sup>らがすでに発表した。本報の実験に採用する木炭銑についてもまずこのことを考慮した。一般市販の木炭銑はその種類がきわめて多く、かつ同一熔鋸炉で熔製したものといえども、作業の状態で性質が著しく異なり、木炭銑本来のすぐれた性質をそなえぬものがあるので著者らは実際にチルドロール熔製に使用した木炭銑であり、しかも熔製したチルドロールがす

\* 日立金属工業株式会社取締役 工博

\*\* 日立金属工業株式会社戸畑工場

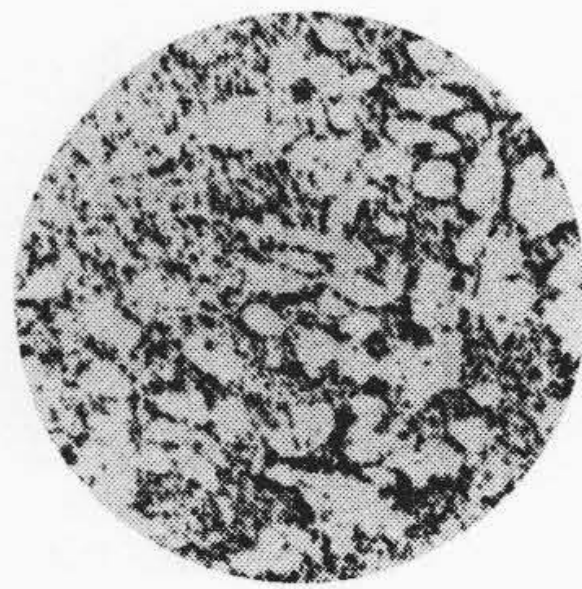
\*\*\* 日立金属工業株式会社若松工場



第1図 760 mmφ 薄板用チルドロールの中心部組織（木炭銑使用の場合）



第2図 760 mmφ 薄板用チルドロールの中心部組織（骸炭銑使用の場合）



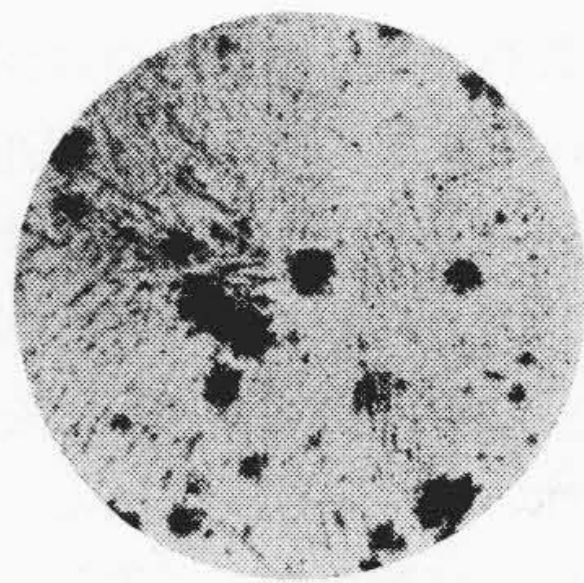
第3図 木炭銑使用鑄鉄の組織



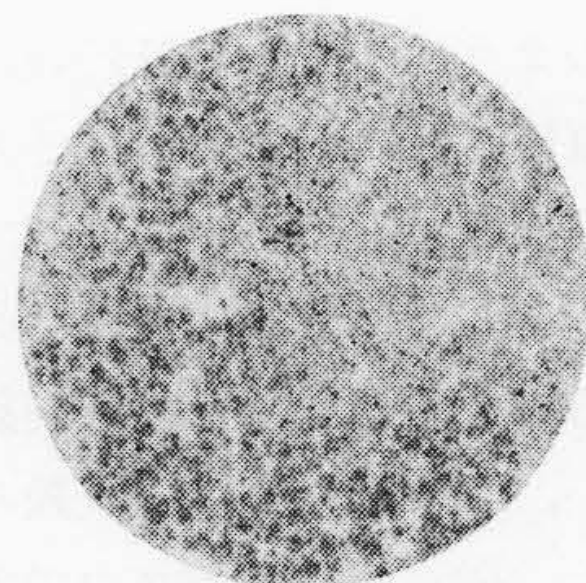
第4図 骸炭銑使用鑄鉄の組織

ぐれた圧延成績を有したものののみを実験試料とした。木炭銑と骸炭銑の性質の相異は昔からよく知られた事実であるが、これをロール製造時に使用すると製造されたロール自体に著しい性質の差異が生ずる。たとえば直径760 mm の二重薄板圧延用チルドロールを製作する場合、ロール表面に10~15 mm のチルを入れるために、木炭銑使用の場合は0.70~0.75%の珪素量で十分であるが、骸炭銑使用の場合は0.50~0.55%に低下させねばならず、またロール内部の黒鉛化の良否を化合炭素量で判断すれば、木炭銑使用の場合0.9~1.1%、骸炭銑使用の場合1.2~1.4%と大きな差がみられ、木炭銑をチルドロール熔製に使用すれば、ロール表面にチルが入りやすくしかもロール内部の黒鉛化が良好となる。この場合のロール内部の代表的な組織を第1, 2図に示す。このようなロールを実際圧延に使用した場合、過去の圧延成績の実績を統計的に取りまとめてみると、木炭銑チルドロールの場合平均1,300 t、骸炭銑チルドロールで450 tと著しい差を示す。このようにチルドロール製造上では、木炭銑は冷却速度に対してその黒鉛化が敏感で、骸炭銑はそれに比較して鈍感であると考えられる。このように実際の鑄鉄製造上、その鑄鉄の性質を変化させる木炭銑と骸炭銑を使用して、実際鑄鉄の場合と同様の变化を実験室的に再現させんとし、予備実験としてまずコークス炉で#10 黒鉛るつぼによる空气中熔解を行ってみた。

使用材料は、木炭銑および骸炭銑に八幡高珪素銑約10%とロールスクラップを使用し、ほぼ同一成分の鑄鉄を製作したが、まず低炭素(2.8~3.0%)鑄鉄の場合、



第5図 20 mmφ 砂型鑄込の破面組織（木炭銑使用の場合）



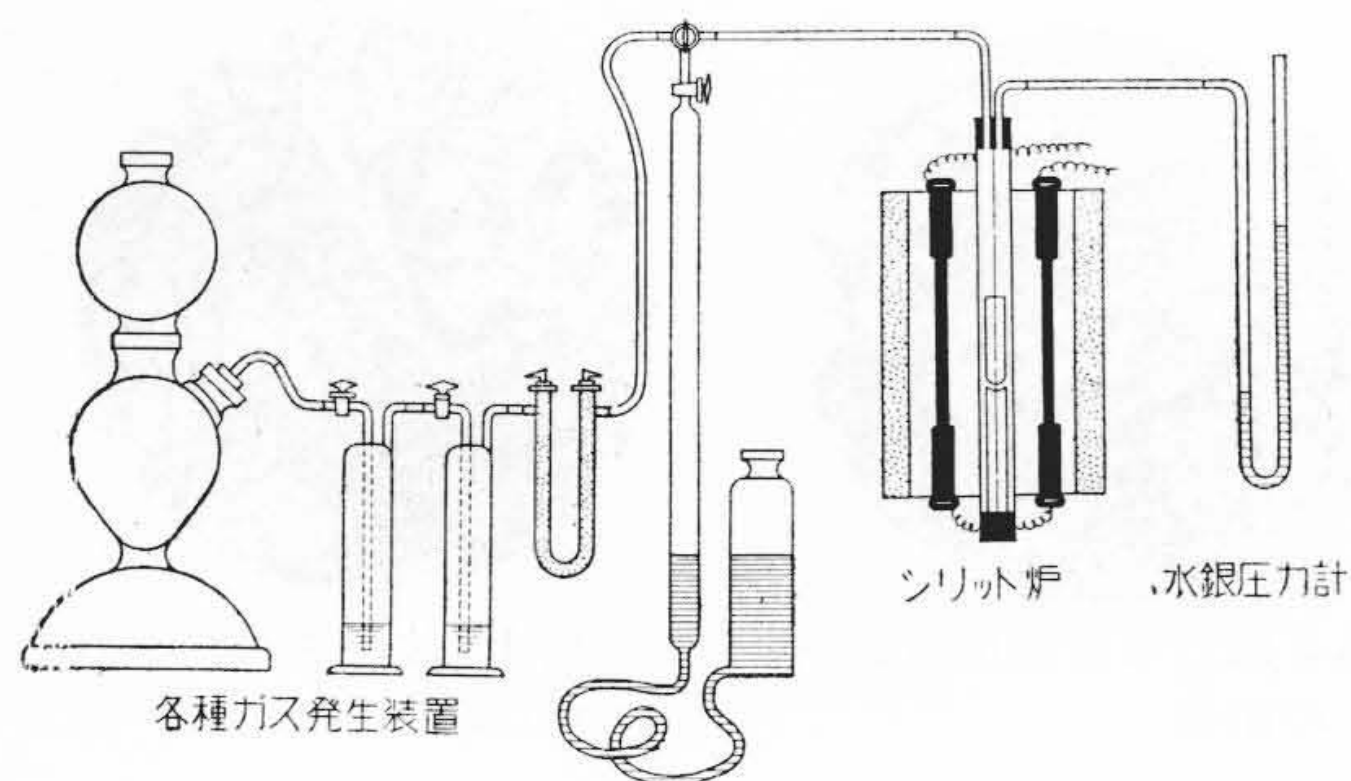
第6図 20 mmφ 砂型鑄込の破面組織（骸炭銑使用の場合）

その性質は熔解温度により異なり、木炭銑使用のものは低温熔解では黒鉛が微細で均一に分布し、かつフェライトを生ずるが、高温熔解を行うにつれて黒鉛が大型で不均一となり、フェライトの発生が少なくなる。骸炭銑使用の場合は熔解温度によつて変化せず、すべて黒鉛が大型に不均一に現われ、かつフェライトの発生が少ない。したがつて木炭銑を使用し低温にて熔解したものが、引張り力に対して最も強く、熔解温度を高めると次第に弱くなる。高炭素(3.2~3.3%)鑄鉄の場合も、ほぼ同様な傾向を示すが、実験結果の代表的なものを第1表に示す。とにかく両銑鉄の著しい特長は空气中で木炭銑を低温にて熔解すると微細な共晶黒鉛を生じ、高温熔解すると片状黒鉛となり、また骸炭銑はいかなる熔解でも常に片状黒鉛を生ずるということであるが代表的組織を第3, 4図に示す。

もう一つの大きな特長である白銑化の難易を実験室的に再現するため、両銑鉄を同一条件で熔解して20 mm 径の砂型に鑄込んで白銑化の差異を見出してみると、第5, 6図に示すように木炭銑を使用したものが著しく白銑化しやすいことがわかる。このようにるつぼ熔解においても実際ロールとまったく同様な傾向を両銑鉄に見出すことができ、木炭銑の本来の特性はチルしやすいことおよび共晶黒鉛を生じやすいことであることがわかるが、

第1表 鑄鉄の抗張力と熔解温度の関係

| 熔 解 温 度 (°C)                       | 低炭素鑄鉄 |       |       | 高炭素鑄鉄 |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 1,300 | 1,400 | 1,500 | 1,300 | 1,500 | 1,300 | 1,500 |
| 木炭銑使用の場合の抗張力 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 31.2  | 24.0  | 23.3  | 26.3  | 24.0  | 26.9  | 22.2  |
| 骸炭銑使用の場合の抗張力 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 23.7  | 21.9  | 22.8  | 20.8  | 17.2  | 18.9  | 21.5  |



第 7 図 実験装置の略図

このように木炭鉄と骸炭鉄に本質的に差異があるのは何に原因するのかを見出すことは、熱履歴の解明とも関連し重要なことである。そこで先述のような理由で熱履歴の明らかな木炭鉄、骸炭鉄を使用し、これらを種々の既知なるガスで処理を行い、両鉄の性質の交互変換実験を行い、まず定性的に両鉄の特性の差の原因を求めんとした。従来種々のガス中で実験的に熔解を行つて黒鉛の変化を研究した例は多くあるが、いずれも処理ガスそのものの直接の影響を論じたものであり、しかも特殊ガスによる処理方法や真空処理は、工業的に現在の段階では実施不可能であり、実際製品と結びついた結果を実験的に得るには必ず空气中熔解における、各種鉄の挙動を観察する必要がある。そこで以下に述べる実験はいずれも、ガス処理を行つて炉冷し、まず鑄鉄の性質を色々と変化させておき、これをふたたび空气中で熔解したものにつき、種々検討を加え鑄鉄の性質を支配する鉄鉄本来の特性はいかなる因子により決定されているかを究明せんとしたものであり、このような実験結果から実際に木炭鉄、骸炭鉄を使用して製造した鑄鉄の特性を推測することは誤りでないと考えられる。そこで共晶黒鉛に関する実験と白鉄化に関する実験に大きく分け、共晶黒鉛を生じやすく、かつ白鉄化しやすい木炭鉄の熔解を行い、ついでこれに種々のガス処理を施して、骸炭鉄と同様の鉄鉄に変化させる方法および、逆に骸炭鉄をして、木炭鉄のような性質をもたせる方法につき実験を行い、これから両鉄の性質の差の原因をみつけだし、先述のように空气中熔解実験をもあわせ行つて一般鑄鉄の性質の差が何に原因するかに論及した。

## 2.2 実験方法

実験装置は第 7 図に示すようなシリット炉を使用し、種々のガス中熔解の場合にはほかに設けた種々のガス発生装置との間をゴム管で結び、炉内の圧力は炉と直結せる水銀圧力計にて読みとり、常に

水銀柱 320 mm になるように保つた。また何種類のガスでも連続処理を行う場合は、先の処理ガスを後の処理ガスで押し出す方法を取り、空気に触れるのを防止した。また実験中に述べる空气中熔解というのは、ガス発生装置と炉体を結ぶゴム管を取りはずして熔解を行つたものである。試料はいずれも、ことわらない限り 40 g を磁性管状のつぼに入れて、シリット炉内に入れ 1,350°C にて熔解した。また炉冷というのは試料熔解後平均 15°C/min で冷却したものである。試料は冷却後切断検鏡して組織の変化を調査した。また実験データ中の Ns はケルダール法によつて分析した可溶性窒素の分析値を示し、この Ns の値は真空熔解法により分析される窒素成分と同じような値を示すもので再現性が特に著しいものである。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 共晶黒鉛の発生について

共晶黒鉛の発生原因およびその機構に関しては、従来多くの研究結果が<sup>(11)~(15)</sup>発表されているが、共晶黒鉛を発生させる方法としては、高温熔解、鋼屑の多量の使用、白鉄の使用、脱酸剤の使用、フェロチタンの添加、チタン-CO<sub>2</sub> による熔鉄処理、チタニウム酸化物の添加などが考えられている。しかしこのように種々の方法をとらずに、木炭鉄は骸炭鉄に比して本来共晶黒鉛を生じやすいということが一般に認められているが、この原因についての一考察は著者の一人<sup>(8)</sup>がすでに発表したけれど、木炭鉄といえども製造過程のいかんでは共晶黒鉛にならないことも事実である。そこで共晶黒鉛を発生しやすい性質をもつ木炭鉄を使用して実験を行う必要上まず予備実験として種々の木炭鉄を使用して空气中でシリット炉熔解を行うこととし、試料 40 g を 1,350°C に熔解し 30 分間保持した後 1,300~1,000°C 間を約 20 分で徐冷し、その後を炉中冷却したものにつき破面組織を調査した結果が第 2 表である。この結果からもわかるように、製造熔解過程に高温の履歴を有した熱風木炭鉄とか電気炉木炭鉄などはいずれも片状黒鉛を生じるものである。そこで実験試料としては過去に高温履歴を有せずしかも先述のように、実際チルドロール熔製に使用したものでしか

第 2 表 各種木炭鉄の空气中熔解結果

| 試料番号      | 使用材料   | 化学成分 (%) |      |        | 黒鉛形状  |
|-----------|--------|----------|------|--------|-------|
|           |        | C        | Si   | Ns     |       |
| No — 1255 | 冷風木炭鉄  | 3.71     | 0.41 | 0.0008 | 共晶    |
| No — 1254 | 冷風木炭鉄  | 3.77     | 0.31 | 0.0013 | 共晶    |
| No — 1252 | 熱風木炭鉄  | 3.98     | 0.19 | 0.0021 | 共晶+片状 |
| No — 1253 | 電気炉木炭鉄 | 4.00     | 0.09 | 0.0045 | 片状    |
| No — 1256 | 骸炭鉄    | 3.69     | 0.42 | 0.0036 | 片状    |

# 鑄鉄熔解に関する二、三の考察

第3表 冷風木炭銑のガス処理

| 試料番号      | 熔解温度   | 処 理 方 法                                | 化 学 成 分 % |      |        | 黒鉛形状 |
|-----------|--------|----------------------------------------|-----------|------|--------|------|
|           |        |                                        | C         | Si   | Ns     |      |
| No — 1366 | 1350°C | H <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷 → 空气中再熔解     | 3.42      | 0.58 | 0.0019 | 共 晶  |
| No — 1365 | 1350°C | CO <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷 → 空气中再熔解    | 3.45      | 0.93 | 0.0018 | 共 晶  |
| No — 1350 | 1350°C | CO <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷 → 空气中再熔解    | 3.42      | 0.84 | 0.0022 | 共 晶  |
| No — 1367 | 1350°C | 真空中 1 時間 保持後炉冷 → 空气中再熔解                | 3.41      | 0.83 | 0.0017 | 共 晶  |
| No — 1351 | 1350°C | N <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷 → 空气中再熔解     | 3.51      | 0.90 | 0.0026 | 片 状  |
| No — 1380 | 1350°C | N <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷 → 空气中再熔解     | 3.54      | 0.84 | 0.0024 | 片 状  |
| No — 1397 | 1350°C | N <sub>2</sub> 中 2 時間 ・ 保持後炉冷 → 空气中再熔解 | 3.30      | 0.64 | 0.0023 | 片 状  |

第4表 冷風木炭銑のガス処理

| 試料番号      | 熔解温度   | 処 理 方 法                                                   | 化 学 成 分 (%) |      |        | 黒鉛形状 |
|-----------|--------|-----------------------------------------------------------|-------------|------|--------|------|
|           |        |                                                           | C           | Si   | Ns     |      |
| No — 1395 | 1350°C | H <sub>2</sub> 中30分保持—N <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解   | 3.36        | 0.77 | 0.0018 | 共 晶  |
| No — 1384 | 1350°C | H <sub>2</sub> 中38分保持後真空中にN <sub>2</sub> 中1時間保持後炉冷→空气中再熔解 | 3.53        | 0.76 | 0.0015 | 共 晶  |
| No — 1368 | 1350°C | H <sub>2</sub> 中30分保持—N <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解   | 3.49        | 0.77 | 0.0016 | 共 晶  |
| No — 1372 | 1350°C | 真空中30分保持—N <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解                | 3.53        | 0.88 | 0.0018 | 共 晶  |
| No — 1393 | 1350°C | CO <sub>2</sub> 中30分保持—N <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解  | 3.51        | 0.82 | 0.0025 | 片 状  |
| No — 1945 | 1350°C | O <sub>2</sub> 中30分保持—N <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解   | 3.32        | 0.82 | 0.0025 | 片 状  |
| No — 1416 | 1350°C | CO 中30分保持—N <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解               | 3.40        | 0.78 | 0.0018 | 共 晶  |
| No — 1404 | 1350°C | CO <sub>2</sub> 中30分保持—H <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解  | 3.49        | 0.92 | 0.0013 | 共 晶  |
| No — 1448 | 1350°C | CO <sub>2</sub> 中30分保持—H <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解  | 3.56        | 0.68 | 0.0015 | 共 晶  |
| No — 1450 | 1350°C | CO <sub>2</sub> 中30分保持—H <sub>2</sub> 中 1 時間保持後炉冷→空气中再熔解  | 3.56        | 0.68 | 0.0013 | 共 晶  |

も良好な圧延成績を示した実績をもつ冷風木炭銑を使用して実験を行った。

## 3.1.1 冷風木炭銑による実験

第2表で明らかなように、共晶黒鉛を発生しやすい性質をもつ冷風木炭銑に約 10 % の高珪素を加え、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO、N<sub>2</sub>、真空中で 1,350°C にて熔解を行

い、炉冷したものをふたたび空气中で再熔解し炉冷後の破面組織を比較した。

第3表にその結果を示すが N<sub>2</sub> 中で熔解したもののみは木炭銑は本来の性質を失い、片状黒鉛を生ずるようになる。そこで N<sub>2</sub> の影響についてさらに第4表に示すように N<sub>2</sub> 処理を行う前に H<sub>2</sub>、CO、ガスで還元したものと O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> ガスで酸化した熔湯につき同様の実験を行つてみたが、還元した熔湯に対して N<sub>2</sub> の効果は現われず酸化した熔湯に対する N<sub>2</sub> の効果は著しい。すなわち木炭銑はまず酸化しておいて、N<sub>2</sub> ガスで処理すると片状黒鉛を生ずるようになることがわかり、酸素もまた窒素の効果を促進するようである。

しかし CO<sub>2</sub> ガスで酸化したものをふたたび H<sub>2</sub> 中に保持して還元してやると木炭銑は本来の性質にもどる。ただしこの場合酸素単独の効果について実験は行っていないので酸素の効果について云々することはで

第5表 骸炭銑のガス処理

| 試料番号    | 熔解温度   | 処 理 方 法                             | 化 学 成 分 (%) |      |        | 黒鉛形状 |
|---------|--------|-------------------------------------|-------------|------|--------|------|
|         |        |                                     | C           | Si   | Ns     |      |
| No—1413 | 1350°C | 真空中 1 時間保持後炉冷                       | 3.25        | 0.75 | 0.0017 | 共 晶  |
| No—1409 | 1350°C | 真空中 1 時間保持後 CO <sub>2</sub> 30分加え炉冷 | 3.22        | 0.78 | 0.0030 | 小形片状 |
| No—1410 | 1350°C | 真空中 1 時間保持後 CO 30分加え炉冷              | 3.43        | 0.63 | 0.0034 | 片 状  |
| No—1411 | 1350°C | 真空中 1 時間保持後 H <sub>2</sub> 30分加え炉冷  | 3.52        | 0.62 | 0.0024 | 片 状  |
| No—1412 | 1350°C | 真空中 1 時間保持後 N <sub>2</sub> 30分加え炉冷  | 3.42        | 0.77 | 0.0025 | 片 状  |

きない。この場合はただ N<sub>2</sub> の効果を促進することのみを論ずるにすぎない。

第3、4表の結果から総合して考察されることは従来共晶黒鉛を生じやすい性質を有する木炭銑に窒素ガスを吸収させると、本来の特性を失い片状黒鉛を生じようになり骸炭銑に似た性質のものになるし、酸素処理を組合せると、さらにその効果が顕著であり、Ns の分析結果から明確に結果を解釈することができる。したがって木炭銑と骸炭銑の本質の差は窒素ガスにあると一応考えられるようである。そこでさらにこの結果を確認する意味で骸炭銑を用いてこれに種々のガス処理を行い、木炭銑と同様の性質をもたせることができるか否かを実験することとした。

## 3.1.2 骸炭銑による実験

骸炭銑は本来片状黒鉛を生じやすいものであるが、これを使用して共晶黒鉛を生じさせるには、急冷する

第 6 表 骸 炭 鉄 の ガ ス 処 理

| 試 料 番 号   | 熔 解 温 度 | 処 理 方 法                                              | 化 学 成 分 (%) |      |        | 黒 鉛 形 状 |
|-----------|---------|------------------------------------------------------|-------------|------|--------|---------|
|           |         |                                                      | C           | Si   | Ns     |         |
| No — 1435 | 1,350°C | 真空中熔解後炉冷 → 空气中再熔解                                    | 3.46        | 0.73 | 0.0025 | 片 状     |
| No — 1459 | 1,350°C | CO 中 30分間保持後炉冷 → 空气中再熔解                              | 3.39        | 0.46 | 0.0028 | 片 状     |
| No — 1460 | 1,350°C | N <sub>2</sub> 中 30分間保持後炉冷 → 空气中再熔解                  | 3.34        | 0.56 | 0.0036 | 片 状     |
| No — 1461 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 30分間保持後炉冷 → 空气中再熔解                  | 3.35        | 0.61 | 0.0022 | 片 状     |
| No — 1775 | 1,350°C | CO 中 1 時間保持後真空中に保持して後炉冷 → 空气中再熔解                     | 3.66        | 0.77 | 0.0025 | 片 状     |
| No — 1781 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 1 時間保持後真空中に保持して後炉冷 → 空气中再熔解         | 3.87        | 0.76 | 0.0034 | 片 状     |
| No — 1784 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 1 時間保持後真空中に保持して後炉冷 → 空气中再熔解         | 3.83        | 0.78 | 0.0025 | 片 状     |
| No — 1782 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 1 時間保持後→CO 中 30分保持→真空中にして後炉冷→空气中再熔解 | 3.78        | 0.72 | 0.0033 | 片 状     |

第 7 表 骸 炭 鉄 の イ ル メ ナ イ ト 処 理 結 果

| 試 料 番 号   | 熔 解 温 度 | 処 理 方 法                                                     | 化 学 成 分 (%) |      |        | 黒 鉛 形 状 |
|-----------|---------|-------------------------------------------------------------|-------------|------|--------|---------|
|           |         |                                                             | C           | Si   | Ns     |         |
| No — 1769 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 3.82        | 0.59 | 0.0037 | 片 状     |
| No — 1757 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 3.89        | 0.83 | 0.0027 | 片 状     |
| No — 1754 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 3.62        | 0.99 | 0.0026 | 片 状     |
| No — 1753 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 3.54        | 0.59 | 0.0029 | 片 状     |
| No — 1752 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 3.63        | 1.00 | 0.0026 | 片 状     |
| No — 1759 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 3.80        | 0.71 | 0.0019 | 片 状     |
| No — 1770 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 3.62        | 0.60 | 0.0014 | 共 晶     |
| No — 1758 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 4.18        | 0.86 | 0.0015 | 共 晶     |
| No — 1760 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を空气中熔解                                           | 4.07        | 0.81 | 0.0016 | 共 晶     |
| No — 1765 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を H <sub>2</sub> 中 30分保持後真空中にし炉冷→空气中熔解           | 3.78        | 0.95 | 0.0015 | 共 晶     |
| No — 1768 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を CO 中 30分, H <sub>2</sub> 中 30分保持後真空中にし炉冷→空气中熔解 | 3.67        | 0.71 | 0.0016 | 共 晶     |
| No — 1771 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を H <sub>2</sub> 中 30分保持後真空中にし炉冷→空气中熔解           | 3.78        | 0.78 | 0.0020 | 片 状     |
| No — 1764 | 1,350°C | イルメナイト処理骸炭鉄を CO 中 30分保持後真空中にし炉冷→空气中熔解                       | 3.66        | 0.68 | 0.0016 | 共 晶     |

か、真空熔解を行う必要がある。しかし本実験のように低珪素にて共晶黒鉛を生ぜしめるにはやはり真空熔解を行うよりほかに方法はないので、まず真空熔解を行つたものおよびその後に CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> を加え処理したものを炉冷した結果が第 5 表である。このように真空熔解では共晶黒鉛を生ずる骸炭鉄も CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ガスを加えるとふたたび片状黒鉛となり、これらガスによつて骸炭鉄本来の性質を変化させることができない。さらに種々の処理後、空气中で再熔解を行つた結果が第 6 表であり、真空処理後空气中再熔解で片状黒鉛を生ずることは空气中よりなんらかのガスを吸収した結果とも考えられる。

これらの結果と 3.1.1 にて述べたように、木炭鉄が窒素ガスにて骸炭鉄に似た性質のものになることをあわせ考えれば N<sub>2</sub> ガスを骸炭鉄からなんらかの方法で除いてやれば木炭鉄と同様の性質に変化させてやることができるのではないかと思考せられる。そこで一般に脱窒を行うときに用いられるイルメナイトを使用して骸炭鉄を熔解したものを、空气中で再熔解した結果が第 7 表である。これらの結果からはイルメナイト処理の良好に行われたもの、すなわち空气中熔解後の Ns % 低いものは共晶黒鉛を生じており、イルメナイ

ト処理のむづかしさはあるが、骸炭鉄も良好に脱窒すれば、共晶黒鉛を生ずるようになることがわかる。

3.1.1 と 3.1.2 の実験結果から考えて木炭鉄と骸炭鉄の本質の差は Ns の多少にあり、両鉄の性質の交互変換が Ns の増減で可能であることが定性的に証明されるわけである。そこで次は白鉄化の差について両鉄を用いて同様の実験を行つてみた。

### 3.2 鑄鉄の白鉄化について

鑄鉄熔湯が凝固するとき白鉄組織になるのはまず熔湯が過冷却する場合で、物理的には冷却速度の速い場合、化学的には熔湯中の熔解酸素が多くなるほど、また Mg, Ce などの金属元素の添加、あるいは非金属元素 S, Te の添加 Cr, W, Mo, V などの炭化物生成金属の増加などが考えられているが、ロール鑄物やマレブル鑄物では同一冷却速度で同一化学成分の場合でも（特に珪素量が高くても）白鉄組織が得られやすい性質が望まれ、そのために使用される原料に非常に注意が払われており、木炭鉄を使用すると骸炭鉄を使用した鑄鉄よりも、チル化しやすい特長があるので木炭鉄の使用が推奨されている。

ではなぜ木炭鉄の方がチル化しやすいか、その原因はどこにあるかを見出すために種々のガス処理を行つて骸

# 鑄鉄熔解に関する二、三の考察

第8表 各種鉄鉄の空气中熔解

| 試料番号      | 使用材料   | 熔解温度    | 処 理 方 法        | 化 学 成 分 (%) |      |        | 破 面 |
|-----------|--------|---------|----------------|-------------|------|--------|-----|
|           |        |         |                | C           | Si   | Ns     |     |
| No — 1147 | 冷風木炭鉄  | 1,350°C | 空气中 30 分間保持後炉冷 | 3.88        | 0.31 | 0.0010 | ○   |
| No — 1133 | 熱風木炭鉄  | 1,350°C | 空气中 30 分間保持後炉冷 | 3.84        | 0.38 | 0.0012 | ○   |
| No — 1134 | 電気炉木炭鉄 | 1,350°C | 空气中 30 分間保持後炉冷 | 4.07        | 0.34 | 0.0033 | ●   |
| No — 1059 | 骸 炭 鉄  | 1,350°C | 空气中 30 分間保持後炉冷 | 3.94        | 0.06 | 0.0059 | ●   |

第9表 木炭鉄, 骸炭鉄のガス処理

| 試料番号      | 使用材料  | 熔解温度    | 処 理 方 法                      | 化 学 成 分 (%) |      |         | 破 面 |
|-----------|-------|---------|------------------------------|-------------|------|---------|-----|
|           |       |         |                              | C           | Si   | Ns      |     |
| No — 1148 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 30 分間保持後炉冷  | 4.13        | 0.26 |         | ○   |
| No — 1149 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | CO <sub>2</sub> 中 30 分間保持後炉冷 | 3.97        | 0.27 | 0.00096 | ○   |
| No — 1150 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | N <sub>2</sub> 中 30 分間保持後炉冷  | 4.04        | 0.26 | 0.0016  | ○   |
| No — 1118 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | 真空中 30 分間保持後炉冷               | 3.95        | 0.23 | 0.00096 | ○   |
| No — 1067 | 骸 炭 鉄 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 30 分間保持後炉冷  | 3.70        | 0.06 | 0.0032  | ●   |
| No — 1069 | 骸 炭 鉄 | 1,350°C | CO 中 30 分間保持後炉冷              | 3.77        | 0.04 | 0.0038  | ●   |
| No — 1070 | 骸 炭 鉄 | 1,350°C | CO <sub>2</sub> 中 30 分間保持後炉冷 | 3.57        | 0.07 | 0.0021  | ○   |
| No — 1068 | 骸 炭 鉄 | 1,350°C | N <sub>2</sub> 中 30 分間保持後炉冷  | 4.04        | 0.05 | 0.0050  | ○   |
| No — 1028 | 骸 炭 鉄 | 1,350°C | 真空中 30 分間保持後炉冷               | 4.12        | 0.01 | 0.0018  | ●   |

第10表 木炭鉄のガス処理

| 試料番号      | 使用材料  | 熔解温度    | 処 理 方 法                             | 化 学 成 分 (%) |      |        | 破 面 |
|-----------|-------|---------|-------------------------------------|-------------|------|--------|-----|
|           |       |         |                                     | C           | Si   | Ns     |     |
| No — 1550 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 2 時間保持後炉冷 → 空气中再熔解 | 3.95        | 0.31 | 0.0063 | ○   |
| No — 1519 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | N <sub>2</sub> 中 2 時間保持後炉冷 → 空气中再熔解 | 3.88        | 0.31 | 0.0014 | ○   |
| No — 1845 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | O <sub>2</sub> 中 2 時間保持後炉冷 → 空气中再熔解 | 3.74        | 0.32 | 0.0011 | ○   |

第11表 木炭鉄のガス処理

| 試料番号      | 使用材料  | 熔解温度    | 処 理 方 法                                                             | 化 学 成 分 (%) |      |         | 破 面 |
|-----------|-------|---------|---------------------------------------------------------------------|-------------|------|---------|-----|
|           |       |         |                                                                     | C           | Si   | Ns      |     |
| No — 1688 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | CO <sub>2</sub> 中 30 分, N <sub>2</sub> 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解           | 3.45        | 0.34 | 0.0019  | ●   |
| No — 1839 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | O <sub>2</sub> 中 30 分, N <sub>2</sub> 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解            | 3.51        | 0.28 | 0.0032  | ●   |
| No — 1706 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | 赤鉄鉱を加え30分熔解後 N <sub>2</sub> 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解                      | 3.72        | 0.42 | 0.0019  | ●   |
| No — 1704 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | CO <sub>2</sub> 中 30 分, 真空中 30 分, N <sub>2</sub> 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解 | 3.52        | 0.52 | 0.0011  | ○   |
| No — 1696 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | CO 中 30 分, N <sub>2</sub> 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解                        | 3.93        | 0.29 | 0.0013  | ●   |
| No — 1691 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 30 分, CO <sub>2</sub> 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解           | 3.84        | 0.48 | 0.00096 | ○   |
| No — 1426 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | O <sub>2</sub> 中 30 分, CO <sub>2</sub> 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解           | 3.99        | 0.39 | 0.0011  | ○   |
| No — 1843 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | O <sub>2</sub> 中 30 分, H <sub>2</sub> 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解            | 4.13        | 0.31 | 0.0011  | ○   |
| No — 1689 | 冷風木炭鉄 | 1,350°C | CO <sub>2</sub> 中 30 分, CO 中 30 分保持後炉冷→空气中再熔解                       | 3.89        | 0.47 | 0.0011  | ○   |

炭鉄のそれと比較してみる。

それに先だち、ほぼ同一の化学成分の鑄鉄でも使用鉄鉄の相違により白鉄化が違ふことを示したものが第8表で、冷風木炭鉄は本来白鉄化しやすい性質を有するが、電気炉木炭鉄、骸炭鉄は白鉄化しにくいことがわかる。そこでこの両鉄鉄を用いて H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, 真空中で 1,350°C で熔解を行い、そのまま炉冷した結果が第9表で、冷風木炭鉄はこれらガス処理によつて本来の性質を失なわないが、骸炭鉄は CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 中で白鉄, CO および真空中では鼠鉄となることがわかる。このように本来白鉄化しやすい木炭鉄を鼠鉄とし骸炭鉄を白鉄化させるべ

く以下に種々の処理を行つた結果について述べる。

## 3.2.1 木炭鉄の白鉄化

予備的考察でも述べたように実験結果を実際の場合に応用して考えるために、まず種々のガス処理熔解を行い、炉冷したものを空气中で再熔解を行つた結果が第10表で、やはり冷風木炭鉄は白鉄化の傾向を失なわない。そこで種々の処理方法を組合せて実験を行つてみた。第11表の結果より木炭鉄を鼠鉄化できるガス処理方法は、N<sub>2</sub> 処理を行つたものに限られ、しかも N<sub>2</sub> 処理を行う前に CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 赤鉄鉱を加えたものにその傾向が強いことがわかるが、#1704 のように

第 12 表 予 備 処 理 し た 木 炭 鉄 の ガ ス 処 理

| 試 料 番 号   | 使 用 材 料     | 熔解温度    | 処 理 方 法                             | 化 学 成 分 (%) |      |        | 破 面 |
|-----------|-------------|---------|-------------------------------------|-------------|------|--------|-----|
|           |             |         |                                     | C           | Si   | Ns     |     |
| No — 1716 | 酸化した木炭鉄     | 1,350°C | N <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷→空气中再熔解    | 3.79        | 0.42 | 0.0018 | ●   |
| No — 1821 | 酸化した木炭鉄     | 1,350°C | N <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷→空气中再熔解    | 3.71        | 0.41 | 0.0017 | ●   |
| No — 1719 | 酸化した木炭鉄     | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷→空气中再熔解    | 3.77        | 0.34 | 0.0011 | ○   |
| No — 1655 | 高温熔解した木炭鉄   | 1,400°C | 空气中熔解                               | 3.93        | 0.41 | 0.0025 | ●   |
| No — 1662 | 高温熔解した木炭鉄   | 1,400°C | H <sub>2</sub> 中 時間保持後真空にし炉冷→空气中再熔解 | 3.83        | 0.46 | 0.0024 | ●   |
| No — 1650 | 赤血塩処理の冷風木炭鉄 | 1,350°C | 空气中熔解                               | 3.50        | 0.50 | 0.0024 | ●   |

第 13 表 骸 炭 鉄 の ガ ス 処 理

| 試 料 番 号   | 熔 解 温 度 | 処 理 方 法                                                            | 化 学 成 分 (%) |      |        | 破 面 |
|-----------|---------|--------------------------------------------------------------------|-------------|------|--------|-----|
|           |         |                                                                    | C           | Si   | Ns     |     |
| No — 1879 | 1,350°C | N <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷→空气中再熔解                                   | 3.97        | 0.54 | 0.0053 | ●   |
| No — 1881 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷→空气中再熔解                                   | 4.12        | 0.38 | 0.0043 | ●   |
| No — 1908 | 1,350°C | CO <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷→空气中再熔解                                  | 3.59        | 0.36 | 0.0046 | ●   |
| No — 1886 | 1,350°C | CO 中 30分保持後炉冷→空气中再熔解                                               | 4.02        | 0.37 | 0.0058 | ●   |
| No — 1914 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 30分保持後真空 1 時間後炉冷→空气中再熔解                           | 3.62        | 0.36 | 0.0033 | ●   |
| No — 1727 | 1,350°C | H <sub>2</sub> 中 30分保持後真空 1 時間, 後 N <sub>2</sub> 中 30分保持後炉冷→空气中再熔解 | 3.78        | 0.25 | 0.0045 | ●   |
| No — 1526 | 1,350°C | N <sub>2</sub> 中 30分保持後真空 1 時間, 後炉冷→空气中再熔解                         | 3.79        | 0.09 | 0.0069 | ●   |

CO<sub>2</sub> で酸化しておいても、その後に真空処理をして N<sub>2</sub> を加えると木炭鉄は本来の性質は変化せずに白鉄となる。しかし #1426 のように O<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> を組合せて熔湯を処理しても、木炭鉄は鼠鉄とならない。この場合酸素と窒素の間には交互促進作用があるように考えた方が妥当のようである。そこでさらに酸化が N<sub>2</sub> ガス吸収を促進するか否かを確かめる意味で木炭鉄に酸化予備処理を行つてみた。

すなわち、以上に述べた実験結果がいずれもシリット炉内における磁性管状るつぼ熔解であり、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> ガスで酸化したとしても十分でない場合が考えられるので、#10 黒鉛るつぼを使用してコークス炉中にて酸化鉄を加えて、十分に木炭鉄を酸化せしめた試料、および高温熔解を行つて酸化した試料および赤血塩を使用して窒素を増加せしめた試料につき実験を行つた結果が第 12 表である。

これからみて、木炭鉄は十分酸化せしめて後 N<sub>2</sub> ガスで処理すれば鼠鉄に変化するが、H<sub>2</sub> 中に保持して還元を行えばふたたび白鉄になることからみて、酸素が窒素の効果を促進せしめることが明らかである。しかし高温酸化した木炭鉄を H<sub>2</sub> で還元しさらに真空処理したものを空气中再熔解すると鼠鉄となる結果から想像すれば、高温熔解による酸化はまた別の意味を含むとも思考せられる。これらと別に赤血塩処理による窒素富化処理は木炭鉄の性質を著しく変化させるようである。

以上の実験結果から考えられることは、木炭鉄を骸

炭鉄と同様の性質に変化させるには、N<sub>2</sub> ガス処理とか赤血塩使用とかによつて N<sub>2</sub> を加えることが必要であり、熔湯を酸化して N<sub>2</sub> を加えるといつそうその傾向が強まるようである。したがつて木炭鉄と骸炭鉄の性質の相違に影響するものはやはり Ns らしいことが定性的にわかる。

### 3.2.2 骸炭鉄の白鉄化

第 9 表に示したように骸炭鉄は空气中熔解では鼠鉄となるが、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> ガスで処理熔解をし炉冷すれば、白鉄化する傾向がうかがわれる。そこでこの場合にも木炭鉄にて行つたと同様空气中で再熔解を行う実験を行つてみた。

その結果を第 13 表に示すがいずれも鼠鉄にて、骸炭鉄はいかなるガス処理を行つても、空气中再熔解で白鉄にすることはできない。共晶黒鉛を発生させる方法として先述のように、イルメナイト処理を行つて好結果を得たので、ここでもその方法を採用して、同様の実験を行つてみた。その結果を第 14 表に示す。これからイルメナイト処理により、うまく脱窒ができて Ns % の低いものが 1,400°C の高温熔解であるにもかかわらず、白鉄化することがわかり共晶黒鉛発生のために行つたイルメナイト処理が白鉄化にも必要かつ有効である結果となつた。

この結果と 3.2.1 の木炭鉄に Ns を多くするように熔解すれば、骸炭鉄に似た性質のものになることとあわせ考えれば、共晶黒鉛実験の場合とまったく同様の結論が得られ、木炭鉄と骸炭鉄の本質的差は Ns の多

第14表 イルメナイト処理炭鉄の空气中熔解

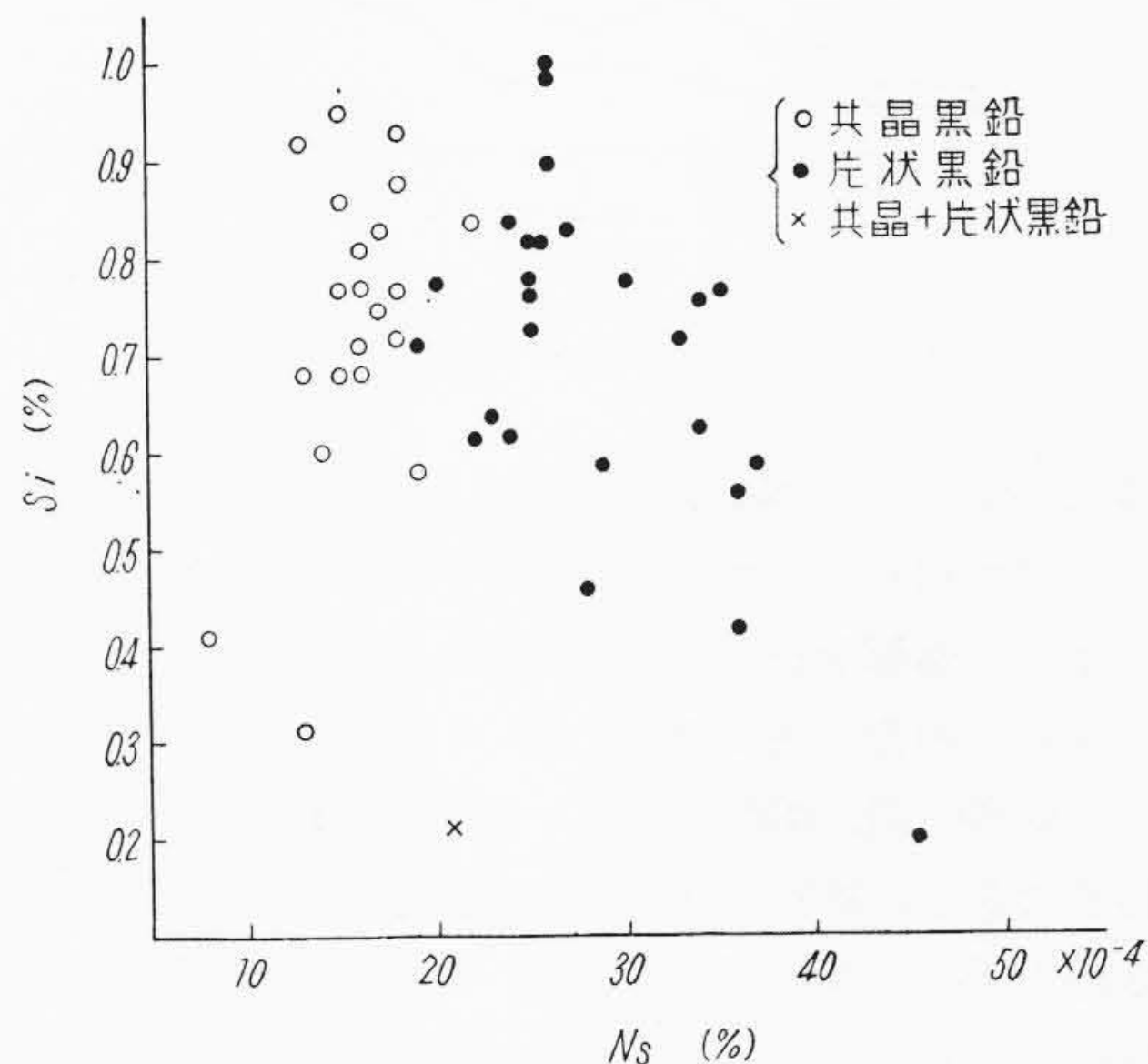
| 試料番号      | 使用材料       | 熔解温度    | 処理方法  | 化学成分(%) |      |        | 破面 |
|-----------|------------|---------|-------|---------|------|--------|----|
|           |            |         |       | C       | Si   | Ns     |    |
| No — 1649 | イルメナイト処理炭鉄 | 1,400°C | 空气中熔解 | 3.71    | 0.23 | 0.0026 | ●  |
| No — 1825 | イルメナイト処理炭鉄 | 1,400°C | 空气中熔解 | 3.53    | 0.30 | 0.0046 | ●  |
| No — 1623 | イルメナイト処理炭鉄 | 1,400°C | 空气中熔解 | 3.66    | 0.42 | 0.0014 | ○  |
| No — 1644 | イルメナイト処理炭鉄 | 1,400°C | 空气中熔解 | 3.73    | 0.44 | 0.0036 | ●  |
| No — 1663 | イルメナイト処理炭鉄 | 1,400°C | 空气中熔解 | 4.07    | 0.41 | 0.0011 | ●  |
| No — 1670 | イルメナイト処理炭鉄 | 1,400°C | 空气中熔解 | 3.67    | 0.39 | 0.0011 | ●  |

少にあることが定性的に結論づけられる。

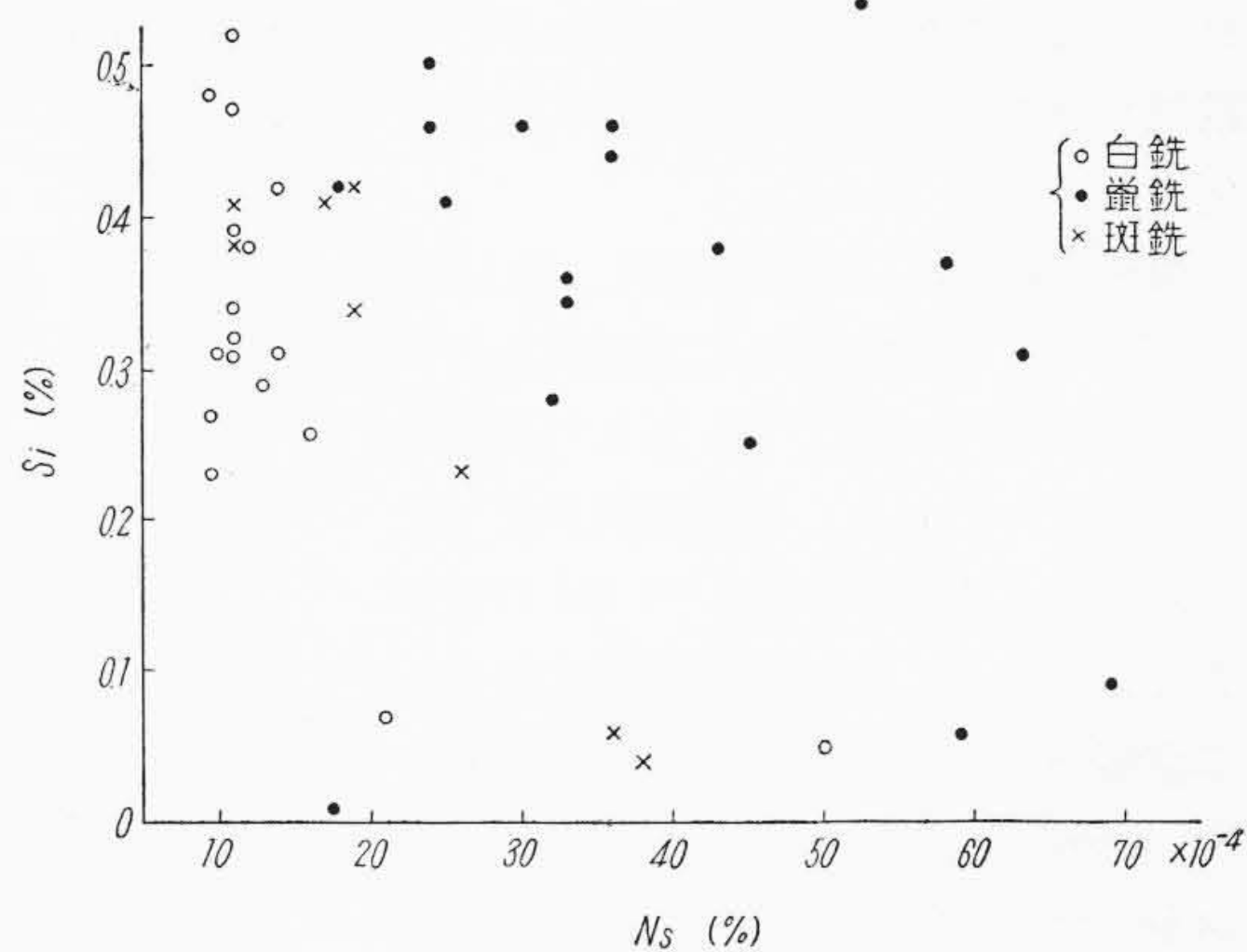
では Ns の多少でこのような推論を行うことが妥当か否かという問題であるが、これは Ns の分析法の精度いかににかつてくる。窒素ガス分析法については酸素分析法と同様現在でも種々問題があり、全窒素ガスで鑄鉄に起る種々の問題を解釈すると、解決がつかないことが多い。しかし酸に熔解する窒素 Ns の分析は比較的簡単でしかも再現値がよく一致し、确实性の点からはこれほどよい方法はなく、Ns にて鑄鉄に起る諸問題を解釈するとよく説明できる。今まで述べてきた各種の実験結果には、いずれもこの Ns 値を記入しているが、現在までの論議はいずれも定性的な解釈のみしか行っていないので Ns の値を用いて今までの実験結果をまとめてみると次のようによく説明をすることができ、定量的に解釈を行うことができるのである。すなわち Ns と共晶黒鉛の関係を第8図に示したが、いかなるガス処理を行つても Ns が 0.0020% 以下であれば共晶黒鉛を生ずることがわかり、Ns の通常高いとされている炭鉄も脱窒により共晶黒鉛を生ぜしめ得ることがわかる。また Ns と白鉄化の関係は第9図に示すようであり、やはり Ns を 0.0020% 以下に保てば比較的 Si % を高くしても白鉄化することができる。すなわち、Ns が 0.0020% 以下の鑄鉄は共晶黒鉛を生じやすく、また白鉄化しやすいことが定量的に示されるわけで、従来 Ns の少ないとされている木炭鉄の使用はこの効果を如実に示すので非常に多方面にわたって利用されているのである。このように鑄鉄のもつ一般的性質は Ns の多少により実験的にも実際的にも定性的また定量的に説明ができるのである。そこで以下に実際的問題を例にあげて説明を加えることとする。

### 3.3 種々の熔解炉における窒素の吸収について

反射炉熔解は普通酸化性火焰にて作業が行われるが、電気炉、平炉などに比べて熔解温度が低く、その上比較的厚い熔滓で熔湯表面がおおわれているので窒素の吸収は比較的少なく、第10図に示すように熔解時間とともに窒素量は増加するが増加度は他種熔解炉に比べて小さく、装入材に窒素含有量低きものを用うれば製品材質に



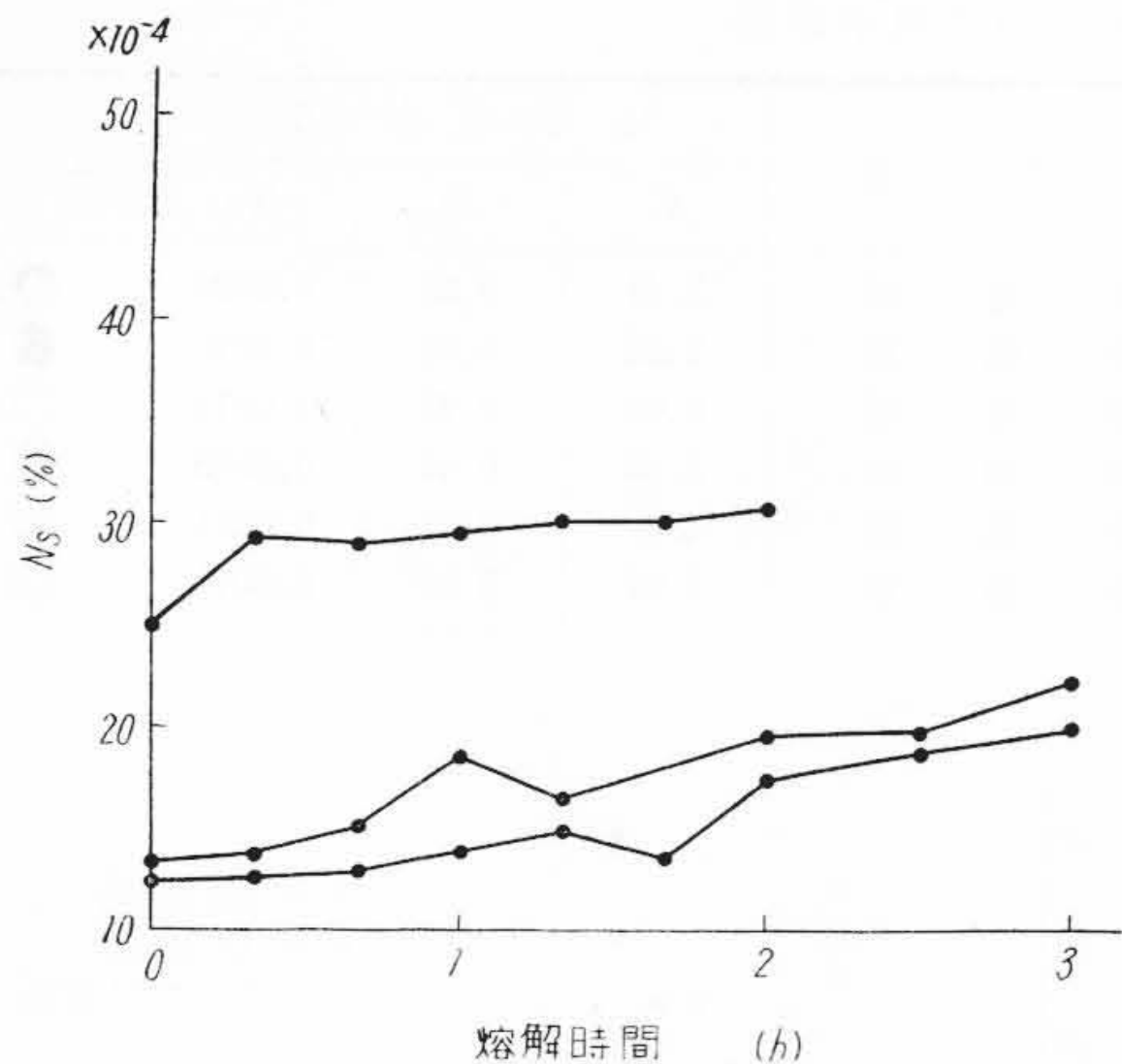
第8図 Ns %と共晶黒鉛の関係



第9図 Ns %と白鉄化の関係

も窒素含有量低きものがえられることがわかる。木炭鉄のように窒素の低い材料が反射炉熔解に使用されると製品に木炭鉄の特性が残るので、木炭鉄の特性を生かすチルドロール熔製などに反射炉が愛用されるわけもまたここにある。

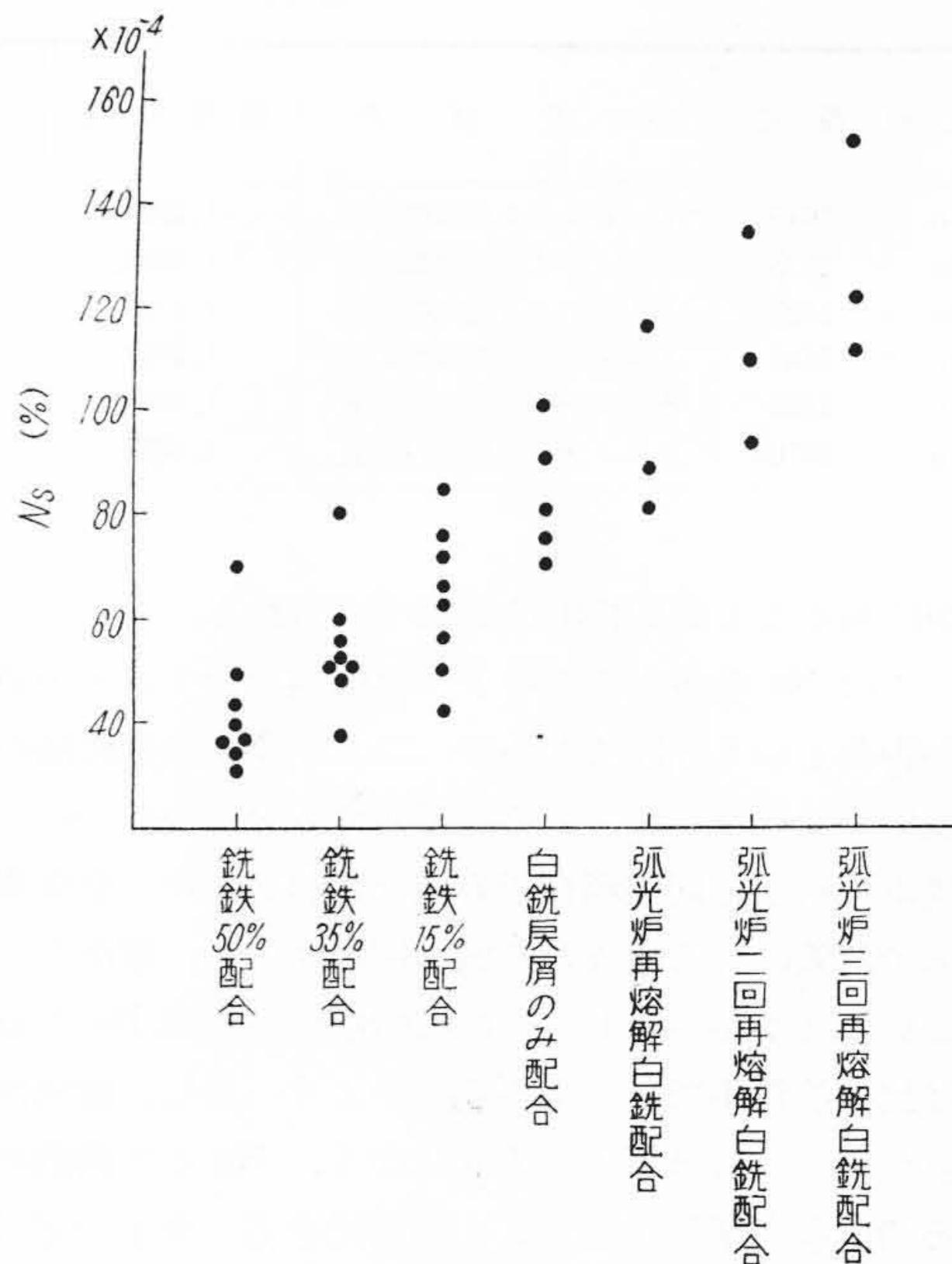
第11図は高周波炉で同一熔解温度で熔解を行い、材料配合のみを変化させたときの Ns 量の変化具合を示したものであるが、鉄鉄配合比の異なる場合は鉄鉄使用量



第 10 図 反射炉における Ns の吸収状態

が少ないものほど Ns % が多く、また弧光炉で熔解製作した白銑を材料として加え熔解を行つた場合は、何度も繰り返えし熔解を行つた、すなわち高温履歴の多い材料を使用した場合の方が Ns が高い。高周波炉熔解の場合には、熔解時間、熔解雰囲気、熔解温度の調節はきわめて容易であり、材料は外部より加熱され、熔解後には熔湯は絶えず攪拌されているので、これらの熔解中の諸条件はすべて同一とみなすことができる。したがって熔解中のガス増減については同一条件にあるものとみなしうるので、この熔解を行つた場合 Ns がどのように吸収されるかという検討にはならないが、使用材料すなわち銑鉄配合比および白銑炭の性質に注意すべきだというよい例である。

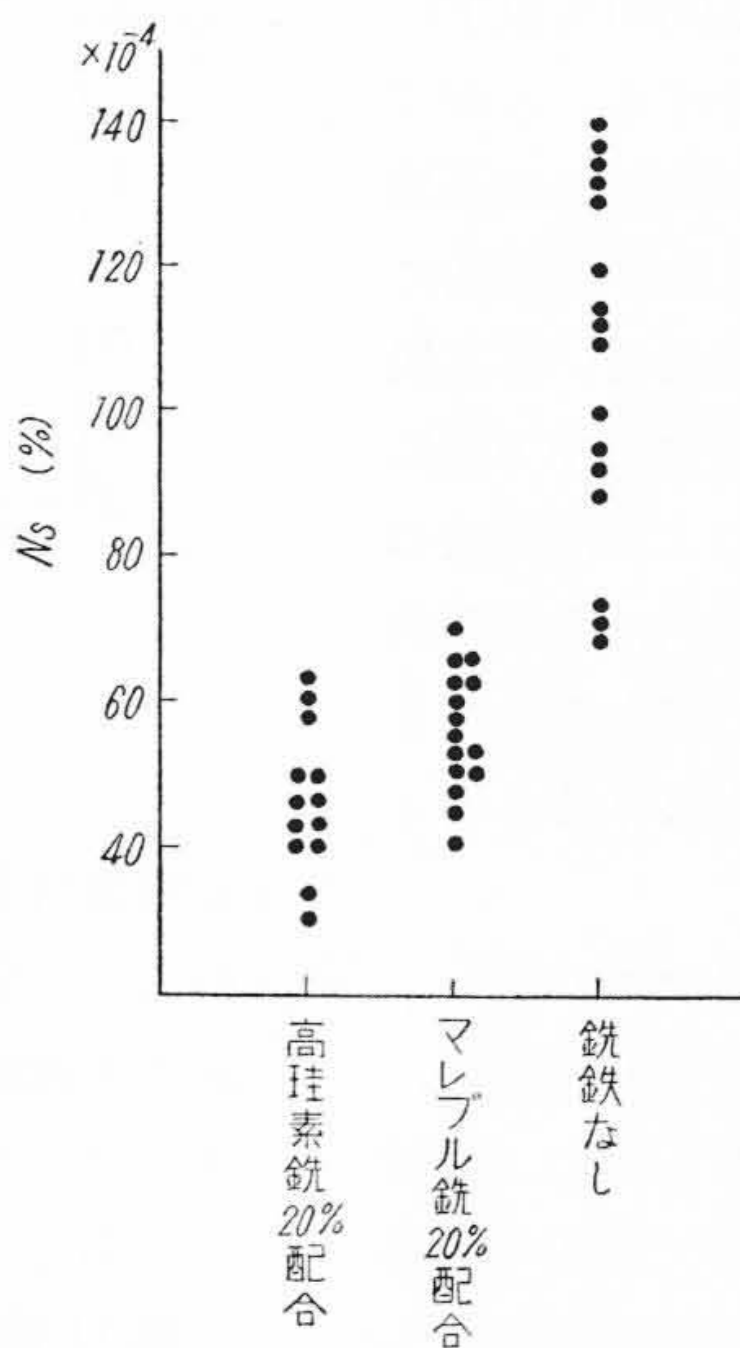
第 12 図はキューボラ電気炉、第 13 図はキューボラるつぽ炉の二重熔解を行つた場合の使用材料と Ns % との関係を示したものであり、使用材料がまったく同じでも熔解炉の違いで Ns の量が異なっていることがわかる。すなわち二重熔解において電気炉を使用すると Ns の吸収が激しいことがわかる。第 14 図はキューボラ熔解における Si 酸化損失 % と Ns 吸収量との関係を示すが Si 損失 % の多いもの、すなわち酸化が激しいものが Ns % が高いことがわかり、一般にキューボラ熔解において材料の良否、大きさ、また風圧、風量、コース比、羽口比などの相違により炉内酸化状態が異なることが知られていることから、なるべく酸化度を少ないように熔解を行えば良質の鋳鉄が製造されるという事実の裏付けともなり、還



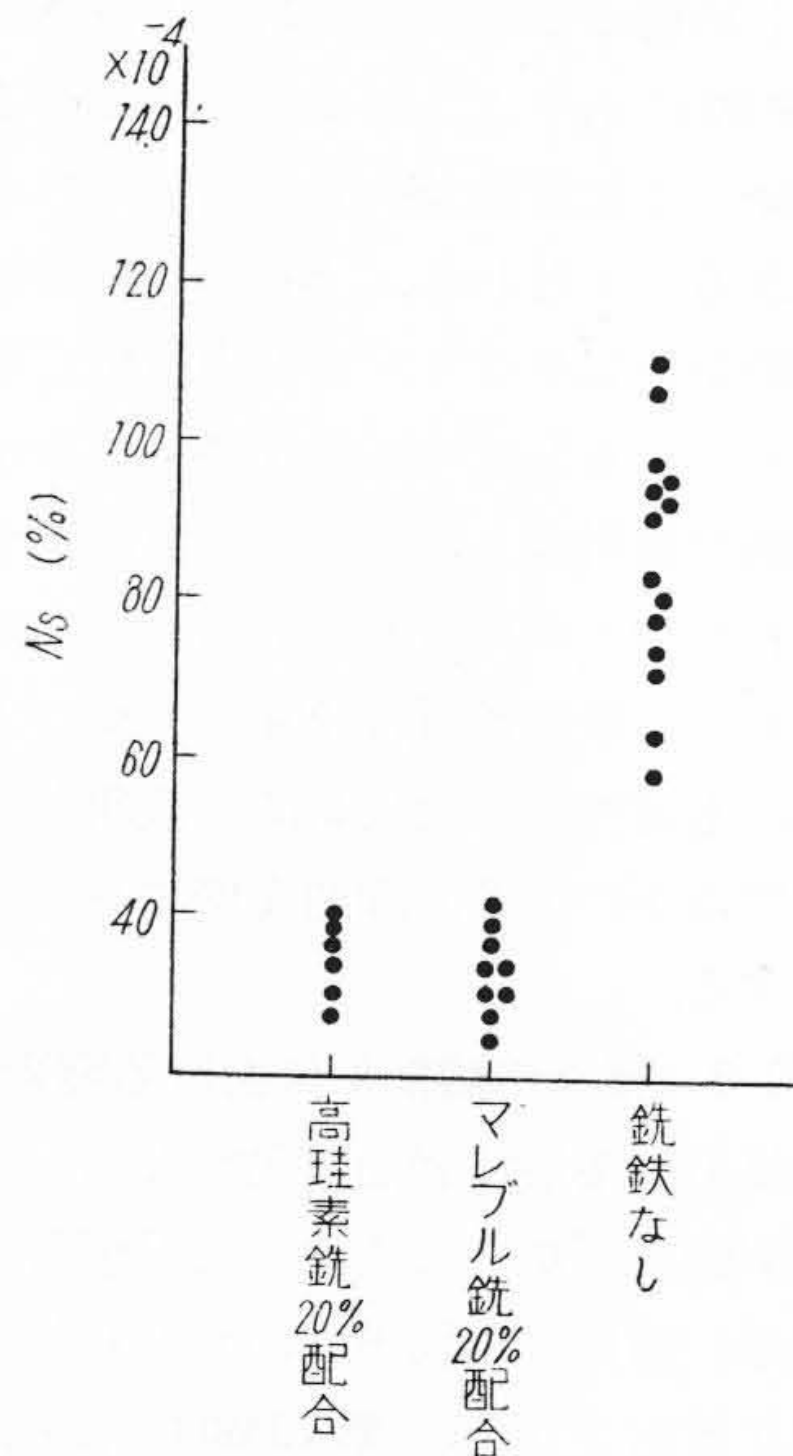
第 11 図 高周波炉における使用材料と Ns との関係

元熔解の必要性が強調される説明にもなる。第 15 図は電気炉における熔解時間と Ns 吸収の関係を示すが、熔解時間とともに Ns % が増加しその増加度も第 10 図の反射炉熔解の場合と異なり著しく高い。

このように一般に熔解炉の相違によつて Ns の吸収状況が異なり、また使用材料の相違によつて Ns の吸収状



第 12 図 キューボラ・るつぽ炉二重熔解における材料と Ns の関係



第 13 図 キューボラ・電気炉二重熔解における材料と Ns との関係

況が異なってくる。だから木炭銑のように本来  $Ns$  の低い良質の銑鉄を使用する場合は、熔解炉および組合せ使用材料に注意しなければ、木炭銑の本来の特質を損じるようになり不利となる。

また一般に鑄鉄中の  $Ns$  を増加させるような熔解法を行わない方が良質の鑄鉄ができることはよく経験されているが、しかしこの原因を  $Ns$  のみの影響と決めるにはまだ問題がある。そこで以下に一般鑄鉄、チルドロール、マレブル鑄物などの製造に種々経験する事から  $Ns$  にて説明してみる。

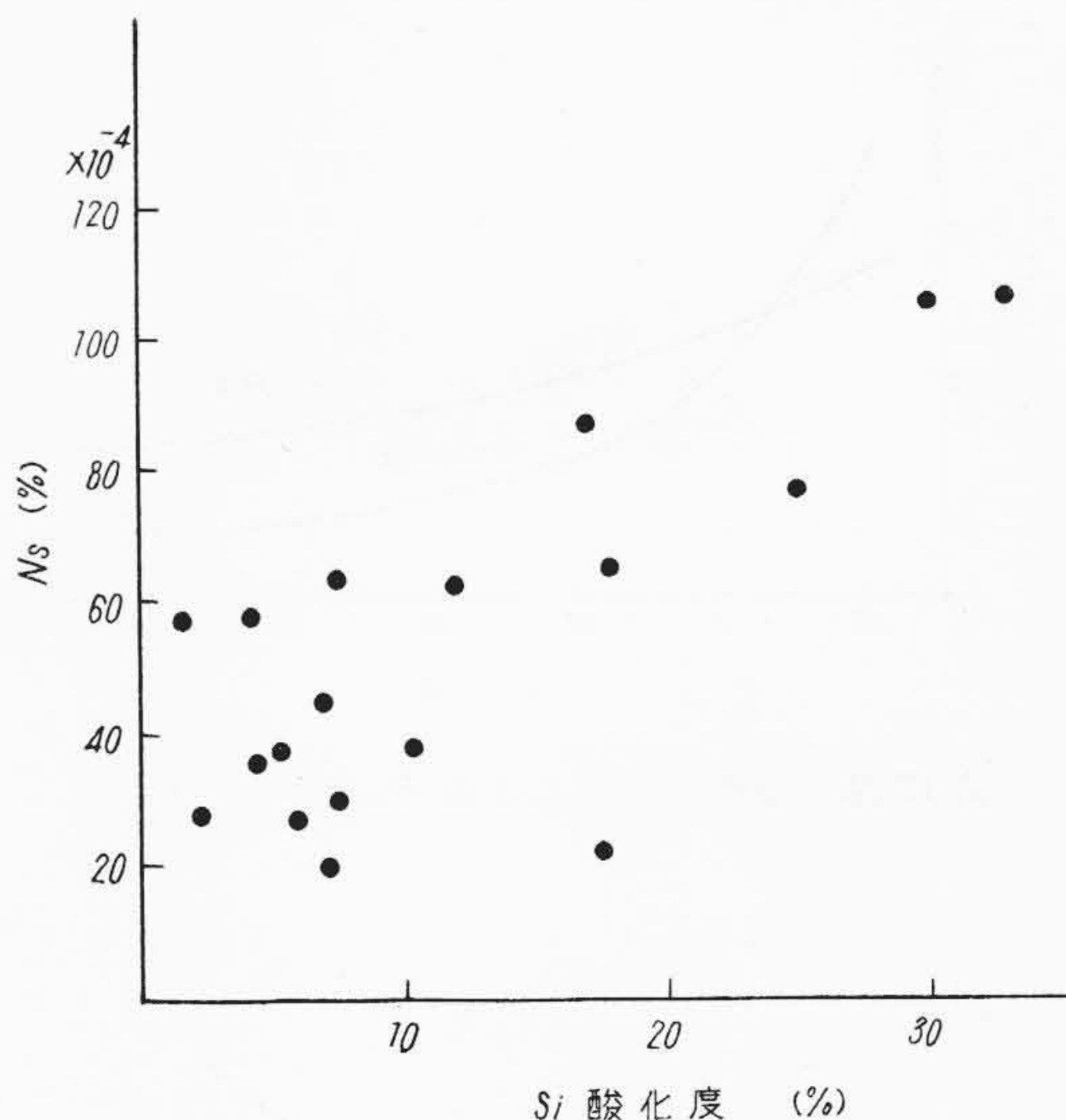
### 3.4 各種鑄鉄に対する $Ns$ の影響について

#### 3.4.1 普通鑄鉄

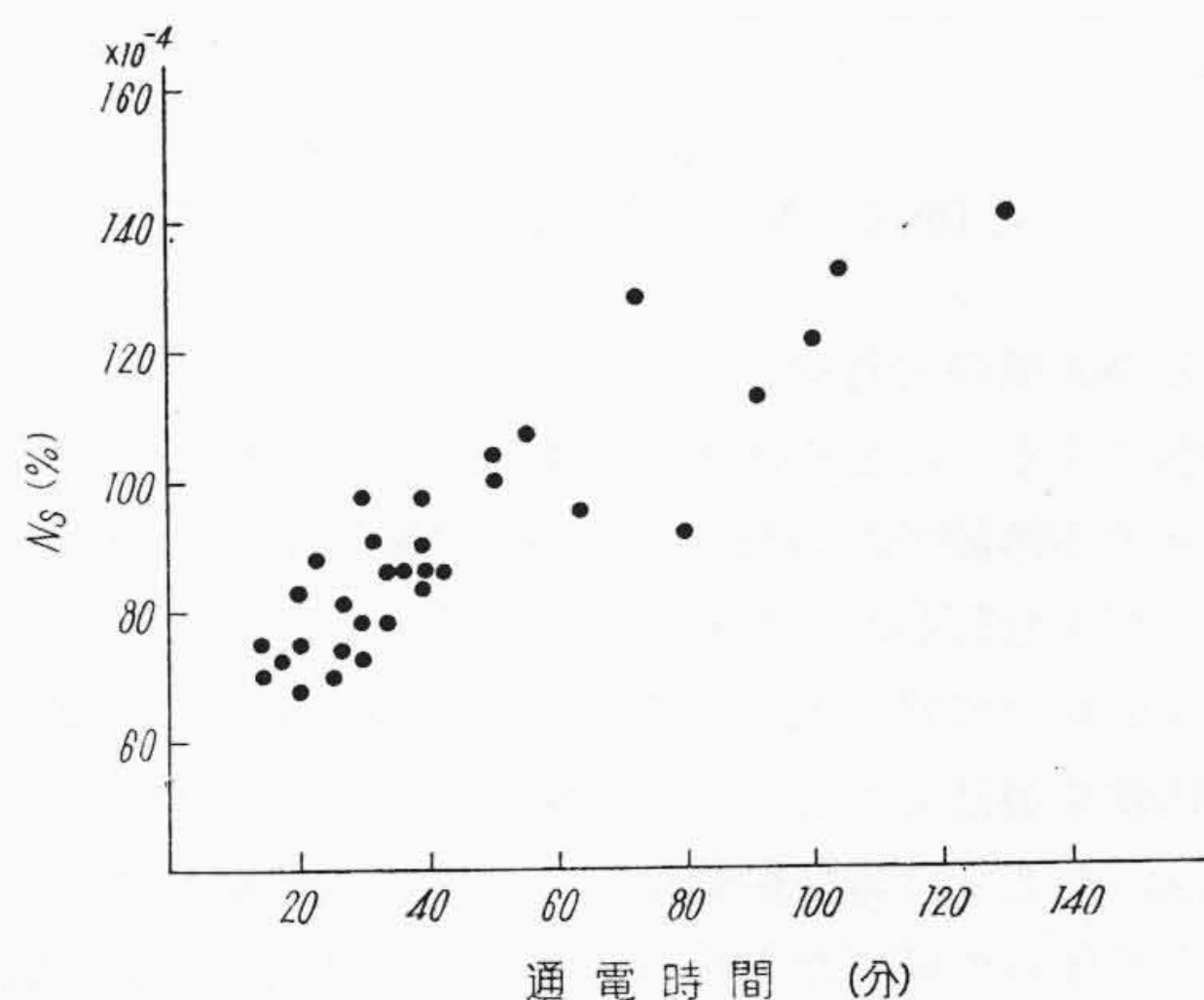
C 3.1~3.2%, Si 1.4~1.6% のセミスチールの多くの試料について、抗張力、化合炭素、 $Ns$  を測定し  $Ns$  0.0015~0.0040% のものについてそれらの間の関係を求めたものが第16図である。 $Ns$  が 0.0015~0.0020% と低いものは黒鉛が微細でかつ均一に分布し、抗張力も 30 kg/mm<sup>2</sup> 程度を有するが、 $Ns$  が増加するにつれて黒鉛が粗大化し抗張力も 20 kg/mm<sup>2</sup> 程度に低下する。また  $Ns$  が 0.0025% 以上になると黒鉛化が次第に困難となり、ふたたび黒鉛は微細化するが、そのためふたたび抗張力は増す。

化合炭素は  $Ns$  の増加とともに増し、そのため硬度は次第に増加する。 $Ns$  が 0.0020~0.0025% 程度のもものは黒鉛は大型によく発達し、抗張力が最も低くこの付近がいわゆる  $Ns$  の臨界点とも称すべき点で、同一化学成分の場合も目的に応じた鑄鉄を熔製せんとすれば、この点を常に考慮すべきである。しかしこの臨界点はもちろん鑄鉄の化学成分と冷却速度により変化し、黒鉛化しやすい成分および冷却速度では、臨界  $Ns$  も高くなってくるようである。第17図には  $Ns$  と Ferrite 発生難易の関係を示したものであるが木炭銑を使用すれば 1.4% Si と比較的低い珪素量にて Ferrite を発生する。これに反し木炭銑に比べて  $Ns$  の高い骸炭銑を使用すれば 1.7% Si と比較的高い珪素量でなければ Ferrite を発生しない。また先述のセミスチールのように C 3.1~3.2%, Si 1.4~1.6% のほぼ同一の化学成分の鑄鉄について  $Ns$  % と Ferrite の発生状況の関係を図示すれば第18図のようになり、 $Ns$  の低いものの方が Ferrite の発生が容易であることがわかる。この場合も先述と同様  $Ns$  の臨界点は黒鉛化しやすい化学成分では高くなってくる。

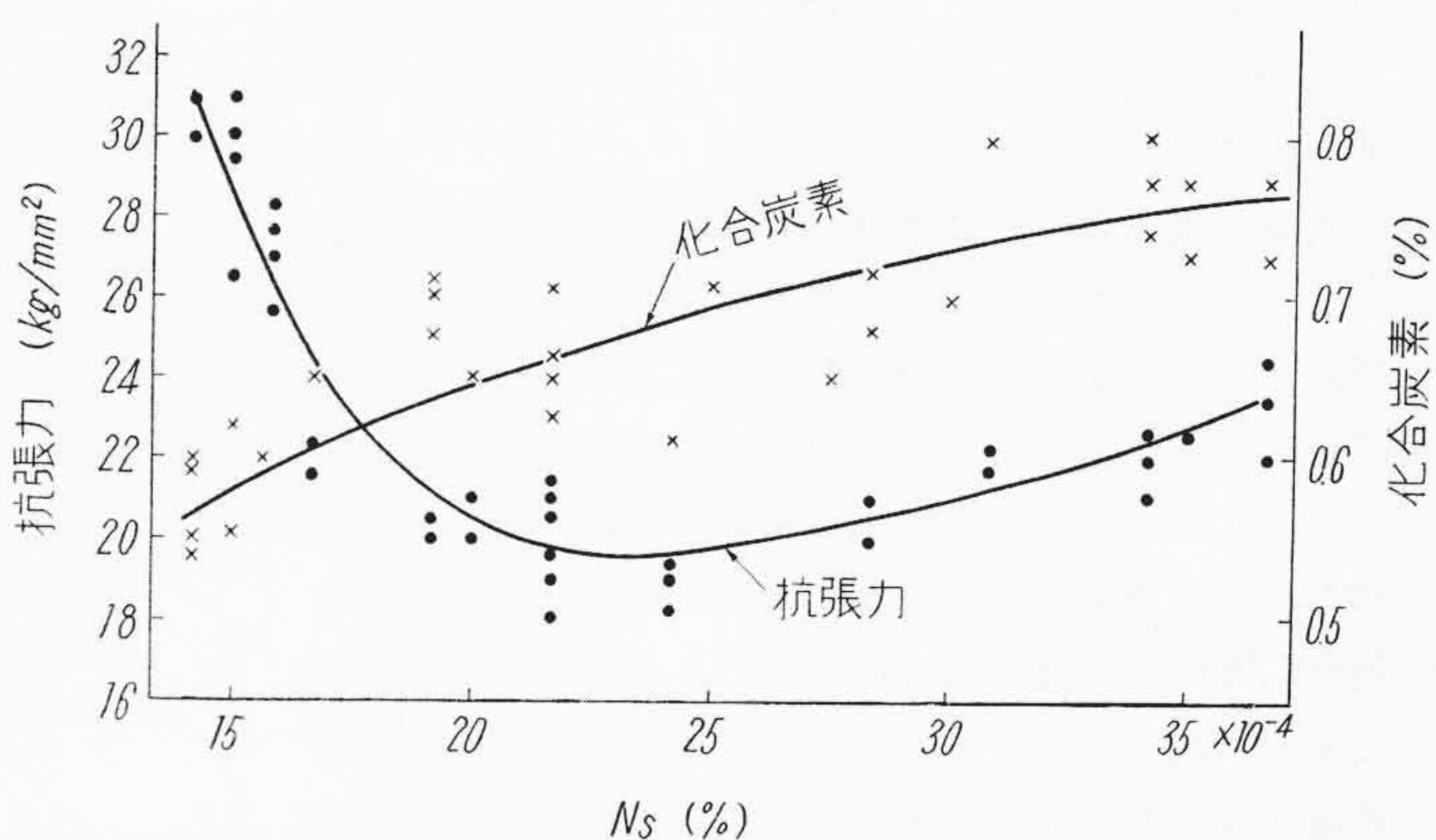
以上のように鑄鉄の性質は化学成分



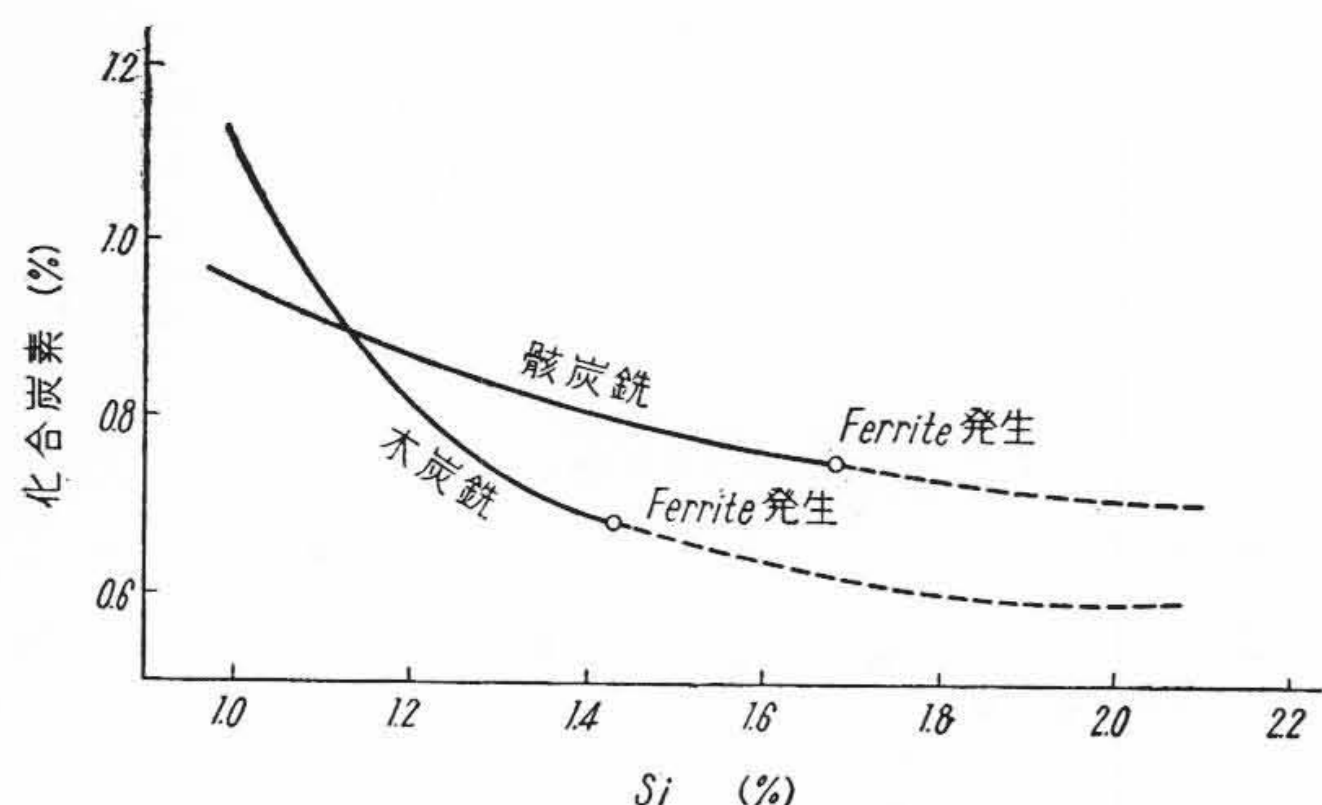
第14図 キュボラ熔解における  $Ns$  吸収と Si 酸化の関係



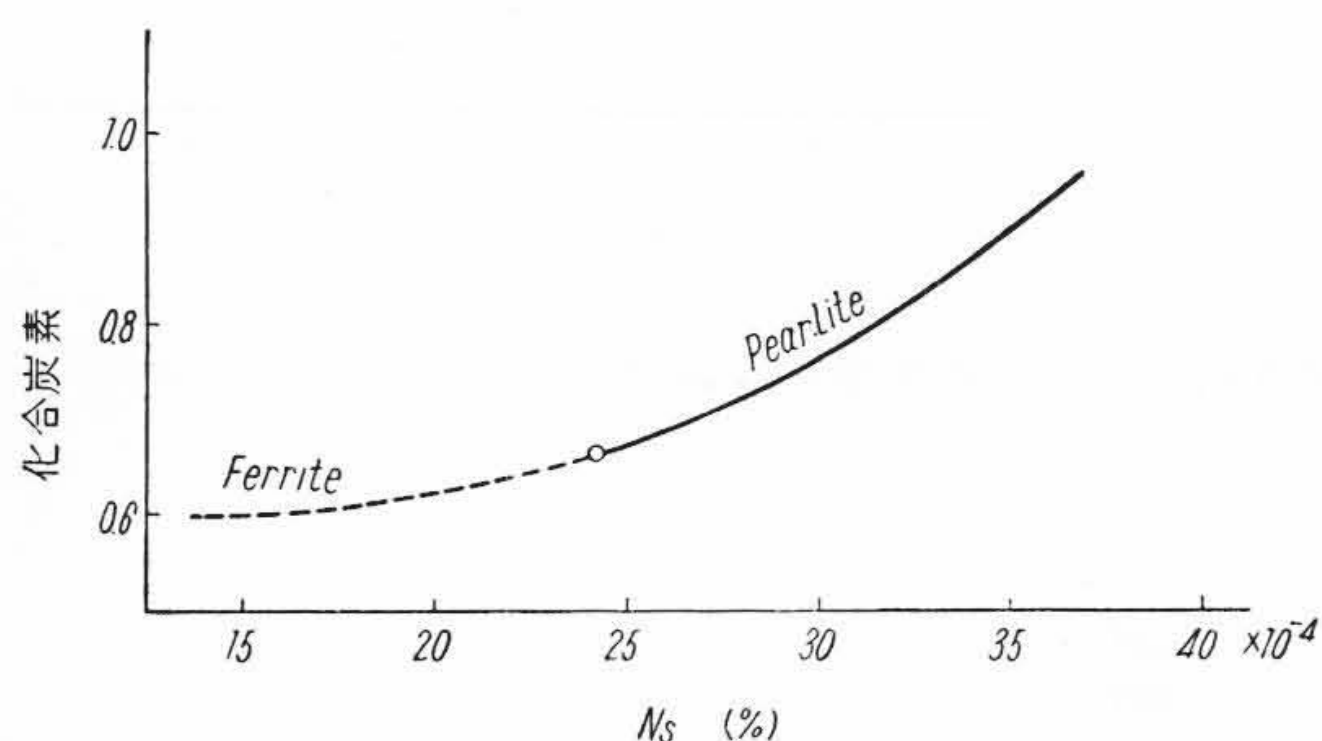
第15図 電気炉熔解における通电時間と吸収  $Ns$  の関係



第16図 セミスチールにおける  $Ns$  と抗張力、化合炭素の関係



第 17 図 銑鉄の相異による Ferrite 発生状況



第 18 図 Ns と Ferrite 発生の関係

と Ns 量の両者をよくあわせ考えることによりよく理解できる。たとえば黒鉛が微細であり同様の抗張力を有する鋳鉄であつたとしても、Ns の低いものは黒鉛化が十分行われており、落下抗力を測定すれば Ns の高いものに比べ大である。したがって同じ化学成分の鋳鉄を製造したとしても Ns を増加させるような熔解法、たとえば電気炉熔解、高温度繰返熔解およびこれらの戻屑の使用などを行えば、使用銑鉄が木炭銑鉄の場合でもその特性を失う結果となる。しかし鋳鉄もその製品の使用目的に応じて色々の性質を要求されるので、酸炭銑鉄使用の場合も木炭銑鉄にて出し得ない性質を出しうる利点もあることを常に考え、目的に応じて種々の材料を使用し、色々の熔解炉を用いて熔製する必要がある。

電気炉製木炭銑鉄が酸炭銑鉄と同様な性質を有する事実およびこれが原因については既述したが、電気炉製鋳鉄がキューポラ製鋳鉄に比べ、非常にもろくかつ湯流れ状態も非常に悪い事実をも Ns にて比較的よく説明できる。ミーハナイト法は鋼屑を多量に使用して、高温熔解により Ns を比較的高く保つように熔製し、冷却速度に関係なく黒鉛を微細化し、パーライト地を得ることを目的としているので、この場合は多量の銑鉄を使用することは今まで述べてきたことからかえつて不利であることがわかる。しかしインゴットケースは

黒鉛化を十分行わせてフェライトを出させ靱性をもたせることを必要とするので、銑鉄を多量に使用し酸化を少なくするようなキューポラ熔解を行うことを利としているが、これはとりもなおさず Ns を少なくせんとする方向をとっているものである。また反射炉鋳物がキューポラ鋳物に比して、靱性が大であることの原因も Ns 分析結果で明確に説明できる。このように普通鋳鉄における多くの現象は Ns によつて比較的容易に説明しうるようである。

### 3.4.2 チルドロール

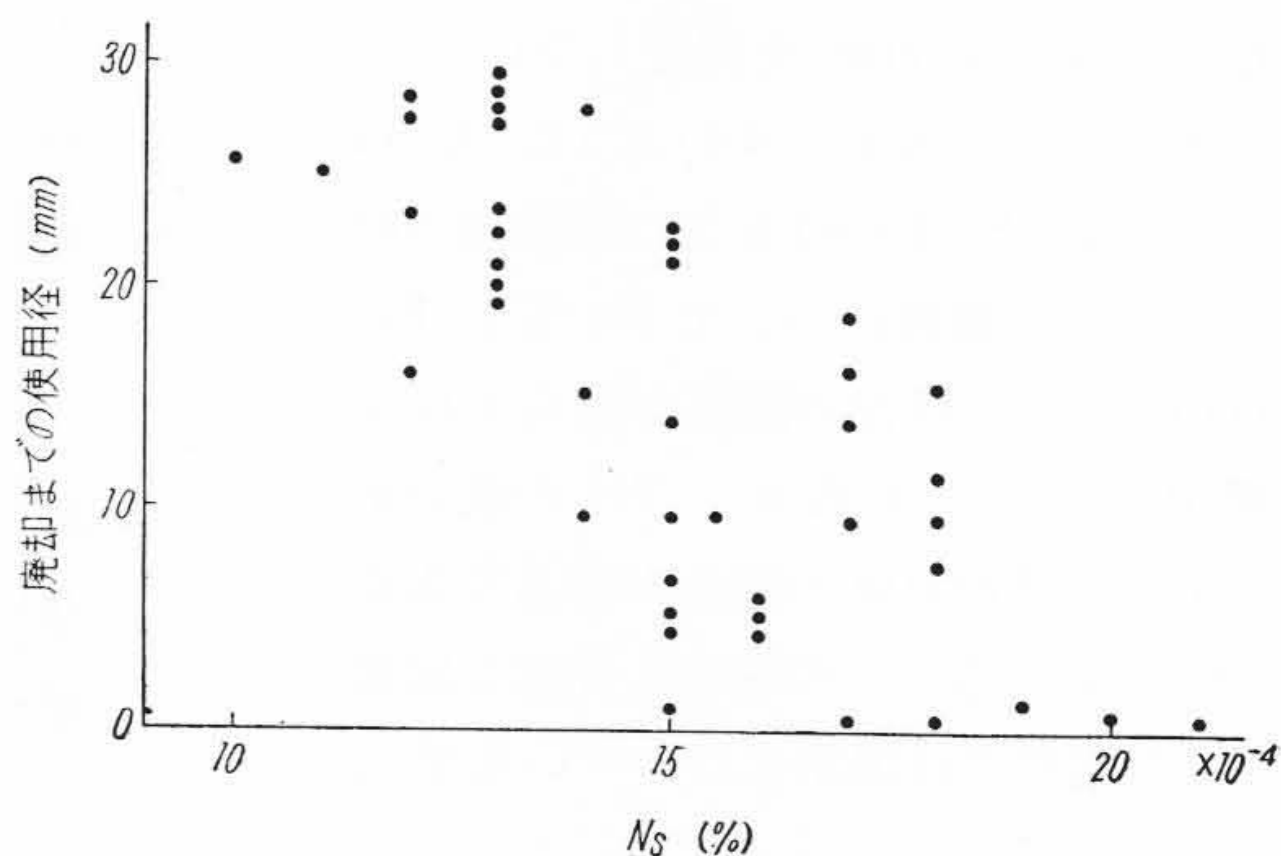
チルドロール熔製には反射炉熔解が推奨され、銑鉄として木炭銑鉄が使用される理由は、予備的考察においてくわしく述べたが、結局 Ns を少なくする方向へ熔製すれば良質のチルドロールができるわけで、今一例として薄板用チルドロールの Ns と圧延成績の関係を示せば第 19 図のようであり、これは同一化学成分のチルドロールについての圧延成績である。すなわち同一化学成分の場合でも Ns が低いのはチルが入りやすく、しかもロール内部黒鉛化が十分であるので折損事故を起すことなく使用回数が増加し圧延トン数が増す。Ns が多くなるとチルが入りにくくなり、しかも内部黒鉛化が不十分となるので折損事故などを起すので圧延成績が減る。

特別のロール製造方法として、ロール材をキューポラにて加炭し、イルメナイトにて脱窒を行つた高炭素の熔湯を木炭銑鉄の代用として、反射炉に加えて熔解を行う二重熔解法を採用することにより、高価な木炭銑鉄を減らし、Ns を低く保ち、圧延成績を向上させる方法が現在行われているが著しく安価でしかもすぐれたロールが製造できる。

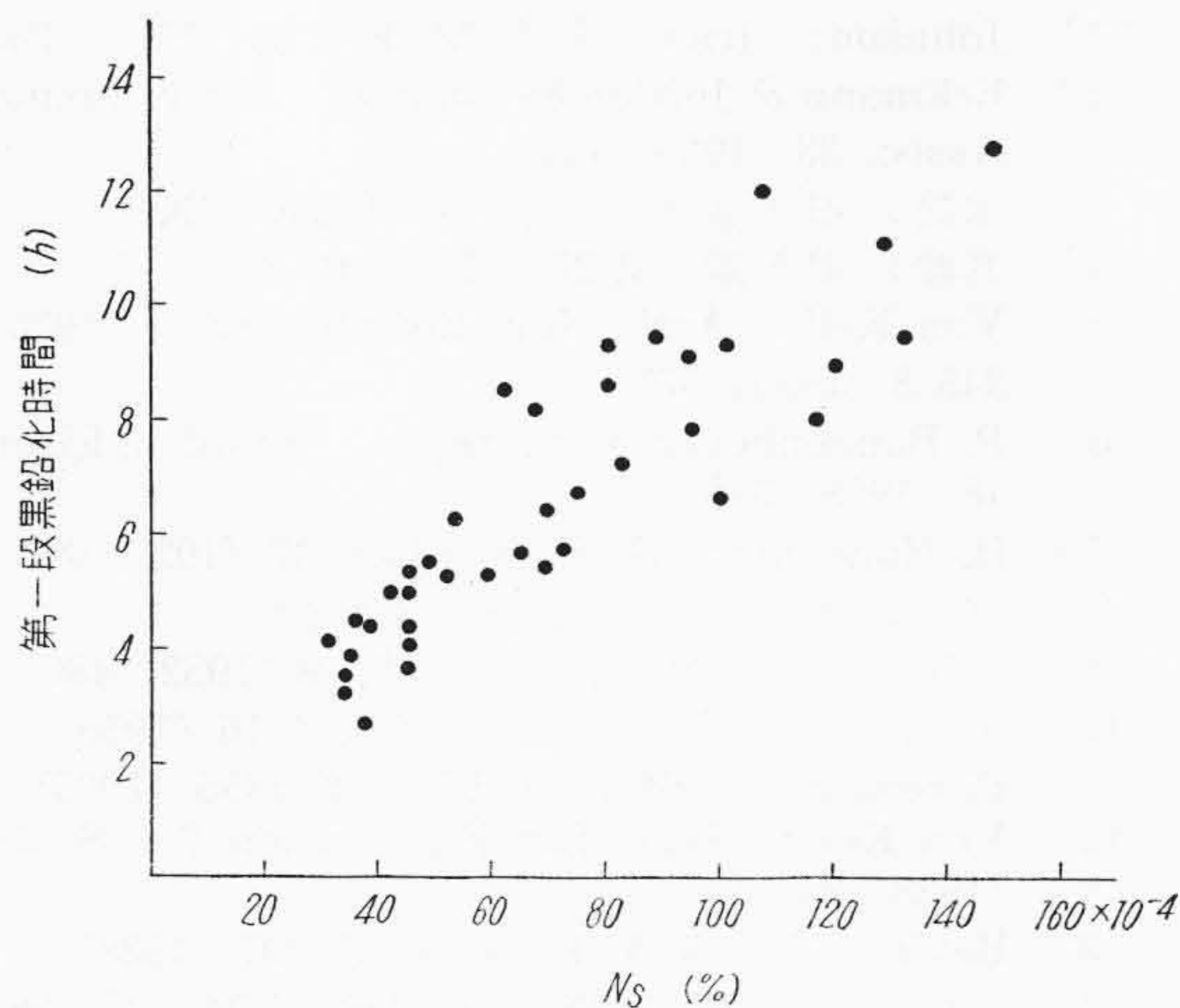
とにかくチルドロール熔製にあつては Ns を低くすることを目標として熔解を行えばほぼその目的は達せられる。

### 3.4.3 マレブル鋳物

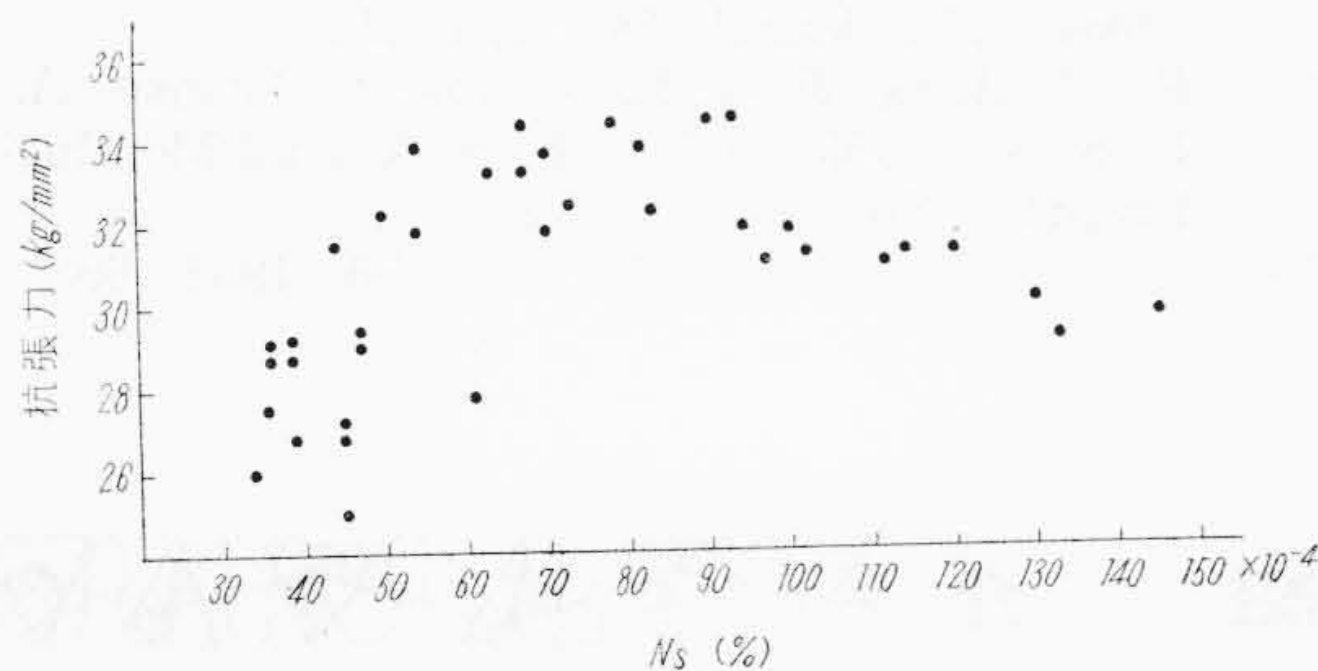
マレブル鋳物に窒素ガスが色々の影響をもつこと



第 19 図 ホットロールの Ns と圧延成績との関係



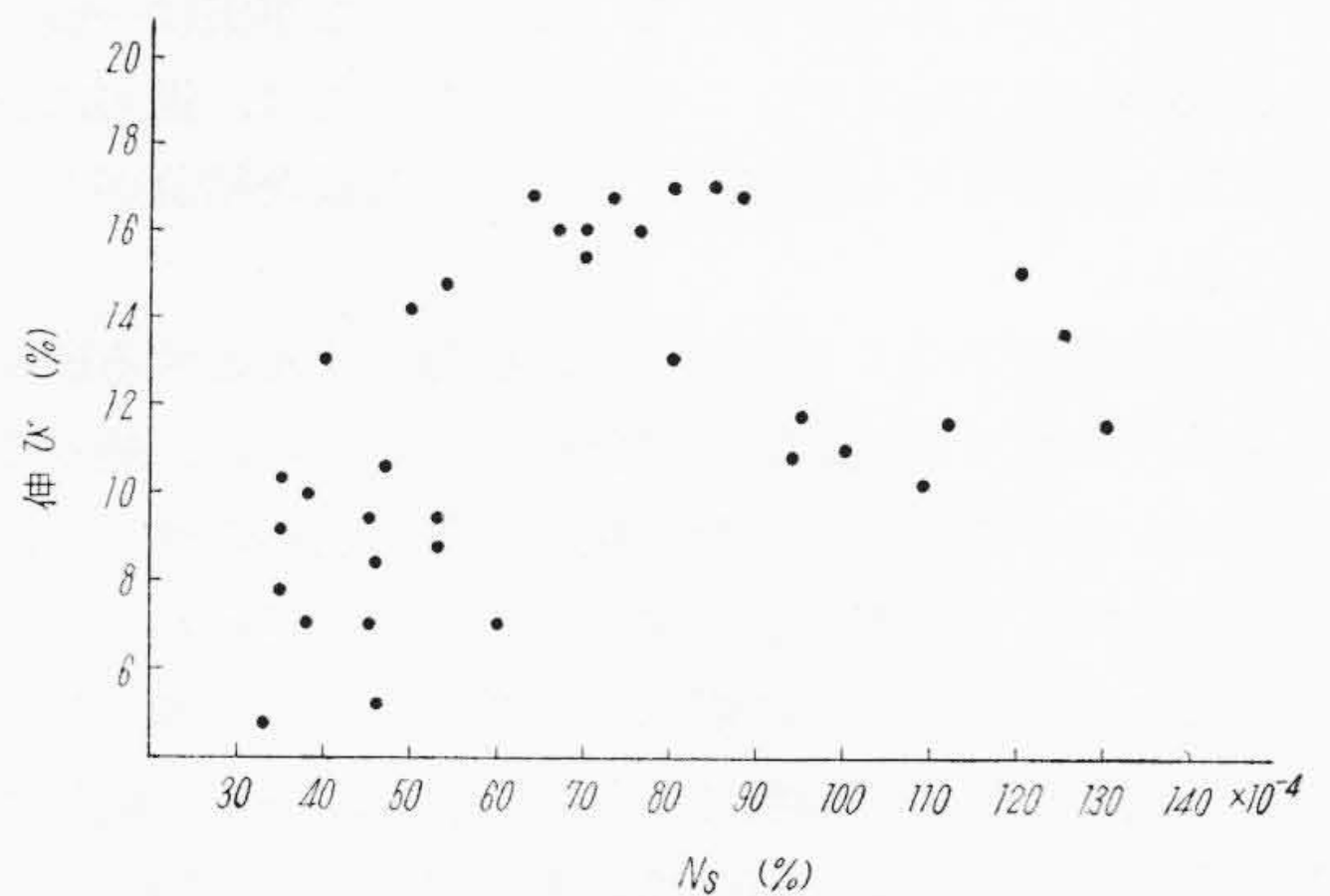
第20図 マレブル鑄物のNsと第1段黒鉛化時間の関係



第21図 マレブル鑄物における抗張力とNsの関係

は、昔からよく知られていたが最近欧米において、マレブル鑄物の焼鈍の難易に窒素ガスが影響をもつことが問題とされ Dowson Bach氏<sup>(16)</sup> Heinse氏<sup>(17)</sup>らが可溶性窒素の影響について種々論じている。このことは事実のようで著者の一人が行った実例では第20図に示すように、第一段黒鉛化時間がNs増加とともに長くなっている。また第21図と第22図にNsと抗張力、伸びの関係を示すが、Ns 0.0040%付近では抗張力26~30 kg/mm<sup>2</sup>、伸び8~12%程度で組織も temper Carbon が星状を呈し、Nsの低いものは著しく炭素の拡散が早いことが知られる。さらにNsが増して0.0060~0.0080%くらいでは抗張力も34~36 kg/mm<sup>2</sup>、伸び15~20%と非常に良好になる。しかし0.0100%以上ともなると焼鈍が困難となり、パーライトが一部残留し、機械的性質が低下するのみならず、白縁を生じて加工性が悪くなってくる。

また流動性の問題でも普通鑄鉄におけると同様、Nsの高いものは流動性悪く、実際に鑄造する場合には、高温鑄造を行わねばならず、鑄肌が悪く、巣、くされ、



第22図 マレブル鑄物における伸びとNsの関係

きれなどの欠陥を発生しやすくなる。

マレブル鑄物熔解はわが国においては、キューポラ電気炉の二重熔解が大部分であるが、アメリカにおいては大部分がキューポラ反射炉にて行っている。焼鈍時間もこのため、アメリカでは60~80時間、わが国で150~200時間と著しく差があり、炉の構造のみならず、白鉄のNs%がわが国のものが著しく高いことが主原因のようである。ナショナルマリアブルのKrang氏は1912年にキューポラ電気炉の二重熔解法を考えたが、低炭素にすることのできないことと焼鈍時間が長くなるために失敗し、キューポラ炉-ベッセマー炉-電気炉の三重熔解を考えて、化学成分の調整には成功したが、やはり焼鈍時間の問題で行きづまったことがあるが、これもやはり材料中のNsの問題である。現在G、Mのキューポラ電気炉二重熔解法は特殊の方法であり、キューポラで高温熔解によつて低炭素熔鉄を作り電気炉ではわずかに5分間通電しているにすぎず、電気炉にてのNsの吸収を防ぎNsを約0.0060~0.0080%に保つて焼鈍時間の短縮を計っている。

このような事実からも、マレブル鑄物において問題となる焼鈍時間の短縮は、材料のNsおよび熔解方法のいかんによるNs吸収の問題を解決することが最良であることがわかる。

以上のように実際に鑄鉄製造時に起る諸現象をNsにて説明すると比較的容易に説明できる。もちろん、酸素、水素などのガスの影響もあると考えねばならないが著者らが行った実験結果からでは、酸素は窒素の作用を促進するものだと考えた方が妥当のようである。

#### 4. 結 言

鑄鉄は化学成分からだけで、その性質を判断することは不可能で、熔解に使用した鉄鉄、スクラップ、熔解方法などが異なれば、たとえ同一成分であつてもその鑄鉄

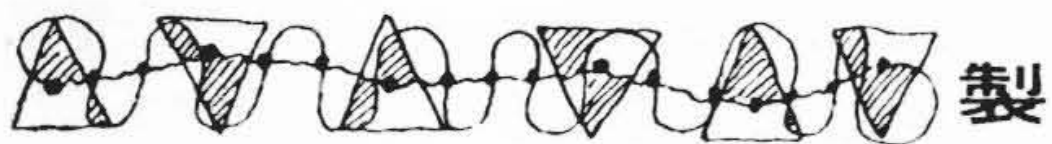
の性質は著しく異なるもので、このような事実は一般によく認められているが、この原因については、過去における多くの研究にもかかわらず、まだ明確な結論がえられてない。

最近酸素によつてこれらの問題を解決せんとする研究が多く行われているが酸素の分析値なるものに、絶対の信頼性を持つに至っていない現在の分析法からすれば、酸素のみでこの原因を解決するのは困難と思われる。著者らはこの酸素のほかに窒素の影響をもあわせ考えねば鑄鉄一般の諸現象は解釈できないと思い、分析が簡単でしかも再現性の強い、可溶性窒素にて、この問題を解釈せんと試み、まず木炭銑と骸炭銑を用いて実験的に両銑鉄の性質の差が、Ns によつて説明できることを明らかにし、ついで一般鑄鉄、チルドロール、マレブル鑄物などによる実際上の諸問題を Ns との関連性をもつて容易に説明できることを述べた。

これらのことから著者らは目的に応じた組織をもち、性質をもつ鑄鉄を得るためには、単に化学成分の調節のみならず、原料、熔解方法などを巧みに組合せる必要性を痛感し、このためには Ns の測定値が有力な手がかりとなり得ることを知りえた。

### 参 考 文 献

- (1) Johnson: Trans. A. I. M. E. 50 (1914) 344
- (2) Eckmann & Jorden & Joming: Amer. Found Assoc. 33 (1925) 431
- (3) 本間: 日本金属学会誌 16 P. 547 (1952)
- (4) 真殿: 鉄と鋼 第 27 年 11 号 P. 8
- (5) Von Keil: Arch. für Eisenhütten 4 (1930) 245 8 (1934) 579
- (6) P. Bandenheuer & L. Zeyen: Stahl u. Eisen 48 (1928) 515
- (7) H. Haneman: Stahl u. Eisen 47 (1927) 693
- (8) 宮下: 木炭銑の研究, 日立若松資料
- (9) 本間: 日本金属学会誌 第 16, 9 (1952) 486
- (10) 宮下, 吉田, 斎田: 日立評論別冊 16 (1956)
- (11) Piwowarsky: Stahl u. Eisen S 1455 (1925)
- (12) Von Keil: Arch. für Eisenhütten 7 S 579 (1933~34)
- (13) Boyle: Trans A. F. A. 43 P. 297 (1938)
- (14) 沢村: 鉄と鋼 第 38 年 P. 150 第 39 年 P. 984
- (15) Garber: J. of Iron & Steel December P. 291 (1955)
- (16) Dawson, Back & Swith: Foundry Trade Journal March 4 (1954) 223, March 11 (1954) 275, March 18 (1954) 302
- (17) R. W. Heine & G. E. Kempka: Trans. A. F. S. 61 (1953) 107 A. F. S. Annual Meeting-Preprint No. 54-50 (1954)
- (18) 山本, 岩瀬, 正本: 日立評論 36 (1954) 692



製

品

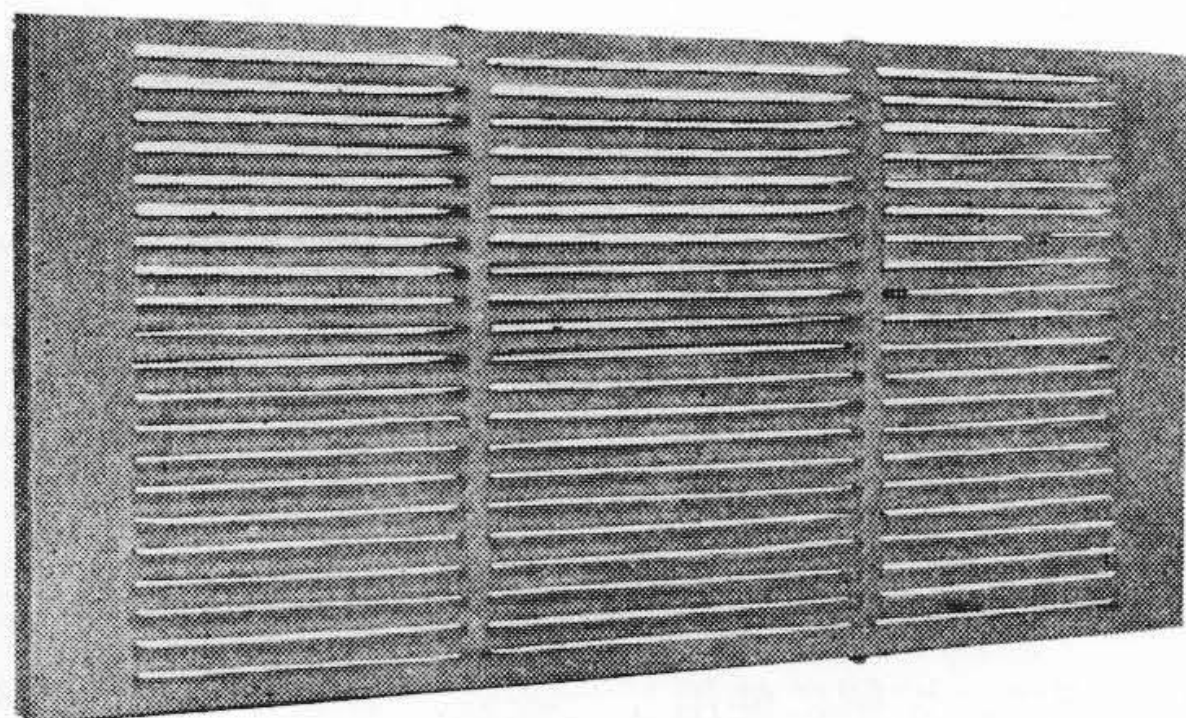
紹

介



### 焼 結 鋳 篩 分 用 金 網

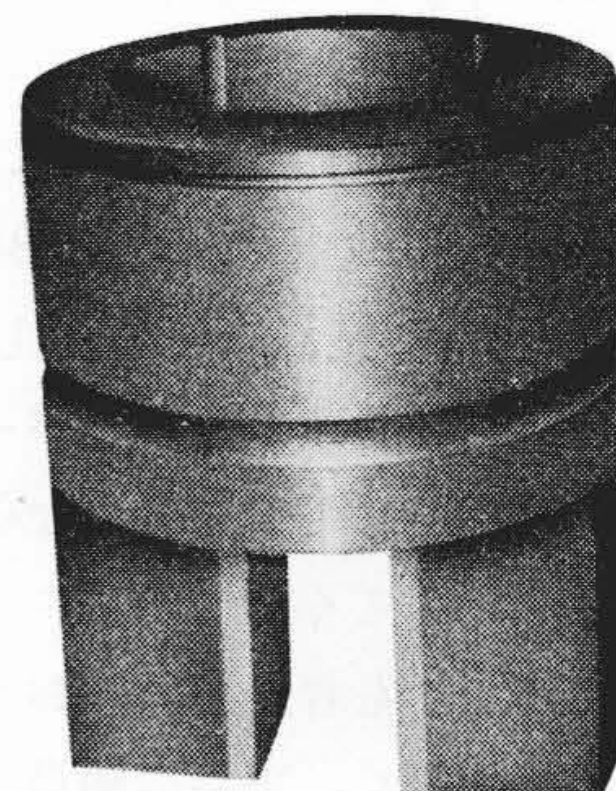
製鉄工場におけるドワイトロイド型焼結機の焼結鋳用の篩金網は従来丸鉄、レールなどをそのまま杵に熔接して用いられている。日立金属工業株式会社では耐熱耐摩耗性のすぐれたダクタイル鑄鉄により焼結鋳篩金網を製造しているが、比較的高温度と著しい焼結鋳による摩耗に耐えてすぐれた成績がえられている。写真はそのダクタイル製金網を示す。



第 1 図 焼結鋳篩分用金網

### 鑄 造 ロ ー ル カ ッ プ リ ン グ

圧延機ロール用のカップリングは従来鍛造品で製作されていたが、最近ではこれに代つて鑄鋼品が製造されている。日立金属工業株式会社では機械的性質と精度のすぐれたCr-Mo鑄鋼によるカップリングを製作している。写真はそのカップリングを示す。



第 2 図 鑄造ロールカップリング