

# 非磁性球状黒鉛鑄鉄の製造

## Manufacture of Non-magnetic Ductile Cast Iron

前橋良嗣\* 飯島史郎\*  
Yoshitsugu Maehashi Shiro Iijima  
小野裕\*\* 川又昭八\*\*  
Hiroshi Ono Shohachi Kawamata

### 要 旨

非磁性鑄鉄の引張強さの向上を黒鉛形状に着目し、片状黒鉛を球状黒鉛にすることを考え非磁性鑄鉄溶湯への黒鉛球状化処理を試みた。その結果、これまでの引張りおよび衝撃性質に比べかなりすぐれた材質が得られることがわかった。

### 1. 緒 言

変圧器用がい管締金具材として、今まで青銅鑄物 (BC-6) が使用されていたが、安価な材質を得ることを目的として Mn-Ni-Cu 形の非磁性鑄鉄への切替えを実施した。しかしこの種材質の引張強さ (以下強さと略記) は相対的に低く (30φ 試験棒 12~18 kg/mm<sup>2</sup>)、製品大形化の気運に合致しない難点が認められていた。そこで日常提起されている問題の解決とさらにはこの種材質の適用範囲の拡大を図るため、絶対材力の向上を考え種々の検討を重ねるに及んだ。幸いその一つとして実験室的な規模で検討した非磁性鑄鉄の黒鉛形状の改善 (片状黒鉛→球状黒鉛) は強さを増すとともに透磁率の低下にも関連があり好結果をもたらすことが判明した。

ここでは上述の基礎結果を工業的規模に適用した結果について紹介するが、実験は今日までの製造法による非磁性鑄鉄 (片状黒鉛) と新しい製造法による非磁性球状黒鉛鑄鉄 (球状黒鉛) について実体製品ならびに試験片で両材質の比較を試みたものである。

### 2. 試験鑄物の溶製

試験鑄物の溶製は酸性ライニングを施した 1 t 低周波炉で行なわれた。溶湯は通常非磁性鑄鉄の生産に用いられるものを対象とした。材質は非磁性鑄鉄 (以下 FCN と略記) と非磁性球状黒鉛鑄鉄 (以下 FCDN と略記) の 2 種である。表 1 は試験鑄物の目標成分 (日常製品の目標成分) ならびに球状化処理法を示したものである。

黒鉛球状化剤としては基礎実験で検討を重ねた各種黒鉛球状化剤のうち非磁性鑄鉄 (Mn-Ni-Cu 形) の黒鉛球状化に最も効果的なフッ化物系球状化剤を用いた。なお球状化剤の添加量および接種 Fe-Si 量は基礎実験結果に基づいてそこでの最適値をもって処理することにした。

試験片は JIS に規定される 30φ×500 mm l 試験棒、25 mm 幅 Y ブロックおよび図 1, 2 に示す肉厚 25~160 mm を有する階段試験片と製品 (締金具) の 4 種である。締金具の種類は図 3 に示すとおり種々あるが、ここで用いた形式のものは過去の実績からいわゆる透磁率不良を伴いやすい形状のものとした。なお試験片は採取を 3 回繰り返し、結果の再現性を確認した。

### 3. 試 験 項 目

#### 3.1 健全性

染色探傷およびサルファプリントにより締金具のマクロ的欠陥の有無を押湯直下 (S 形) および縦方向の肉厚断面 (L 形) で調べた。

表 1 試験鑄物の目標成分 (%) ならびに溶湯処理法

| 材 質     | 目標成分    | 処 理                      | 備 考                     |
|---------|---------|--------------------------|-------------------------|
| F C N   | C 3.2%  | ピンホール防止: Al 0.3%         | フッ化物系球状化剤のみ<br>出銑時湯流れ添加 |
|         | Si 2.2% | 接 種: Fe-Si, Si 0.3%      |                         |
|         | Mn 7.5% |                          |                         |
| F C D N | Ni 4.0% | 黒鉛球状化:<br>フッ化物系球状化剤 1.0% | フッ化物系球状化剤のみ<br>出銑時湯流れ添加 |
|         | Cu 3.3% | 接 種: Fe-Si, Si 0.3%      |                         |
|         |         |                          |                         |

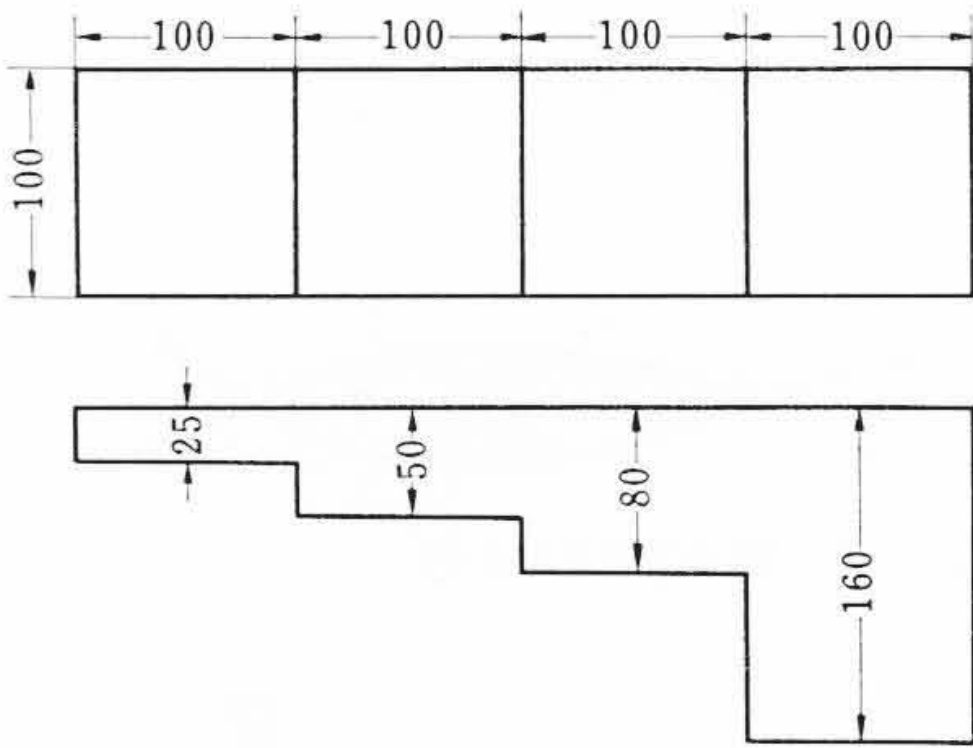


図 1 階段試験片の形状寸法 (mm), CO<sub>2</sub> 形

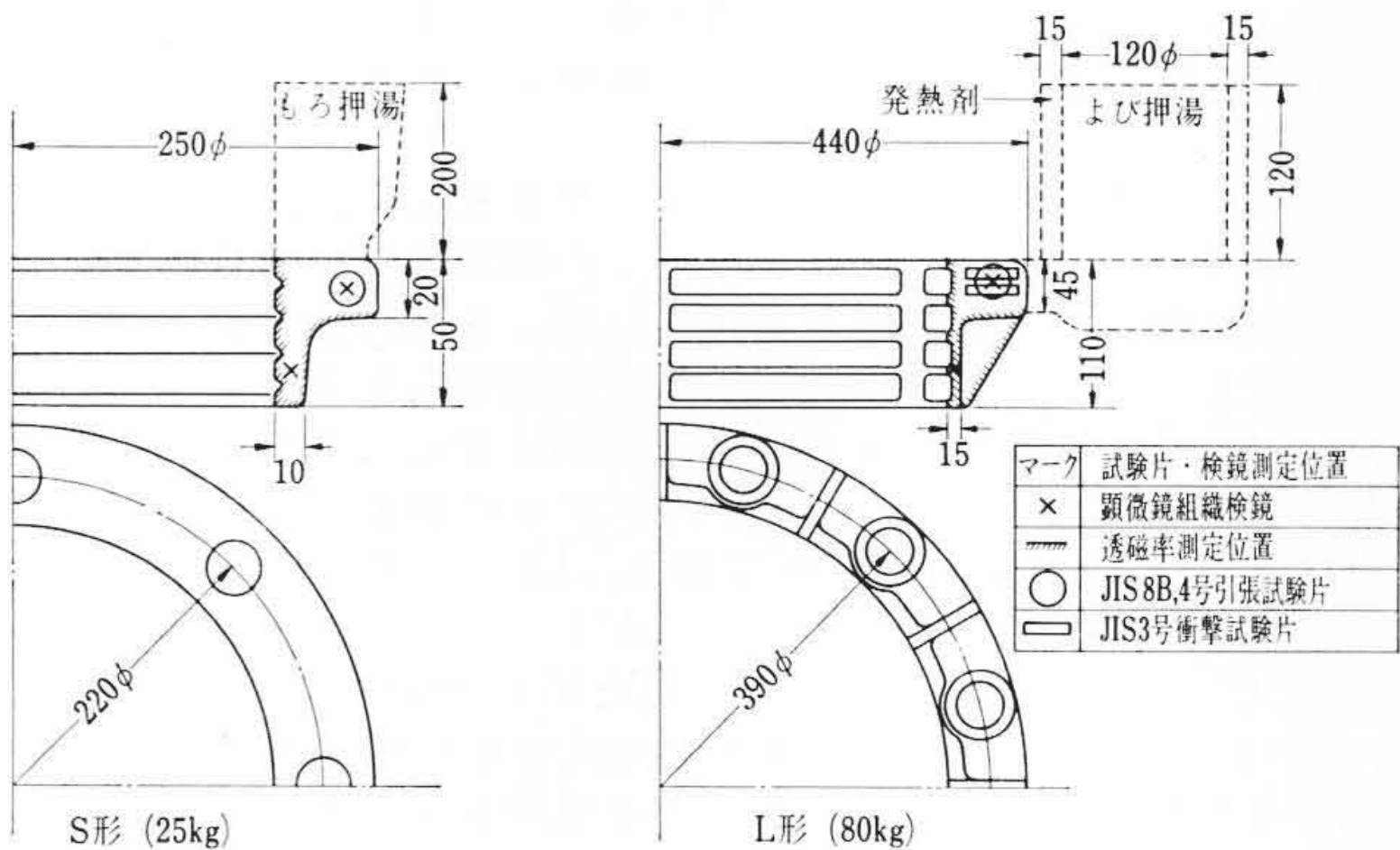


図 2 製品本体 (締金具) の概略形状および寸法 (mm), CO<sub>2</sub> 形

#### 3.2 透 磁 率

透磁率の測定はいずれも透磁率インジケータによった。各試験片は各鑄はだ面を左右上下の各部で測定し、締金具は各鑄はだ面を円周方向に 50~60 mm の間隔で 12 点測定した。

#### 3.3 引張りおよび衝撃性質

引張試験は採取した各試験鑄物および締金具の全数について行な

\* 日立製作所日立研究所  
\*\* 日立製作所勝田工場

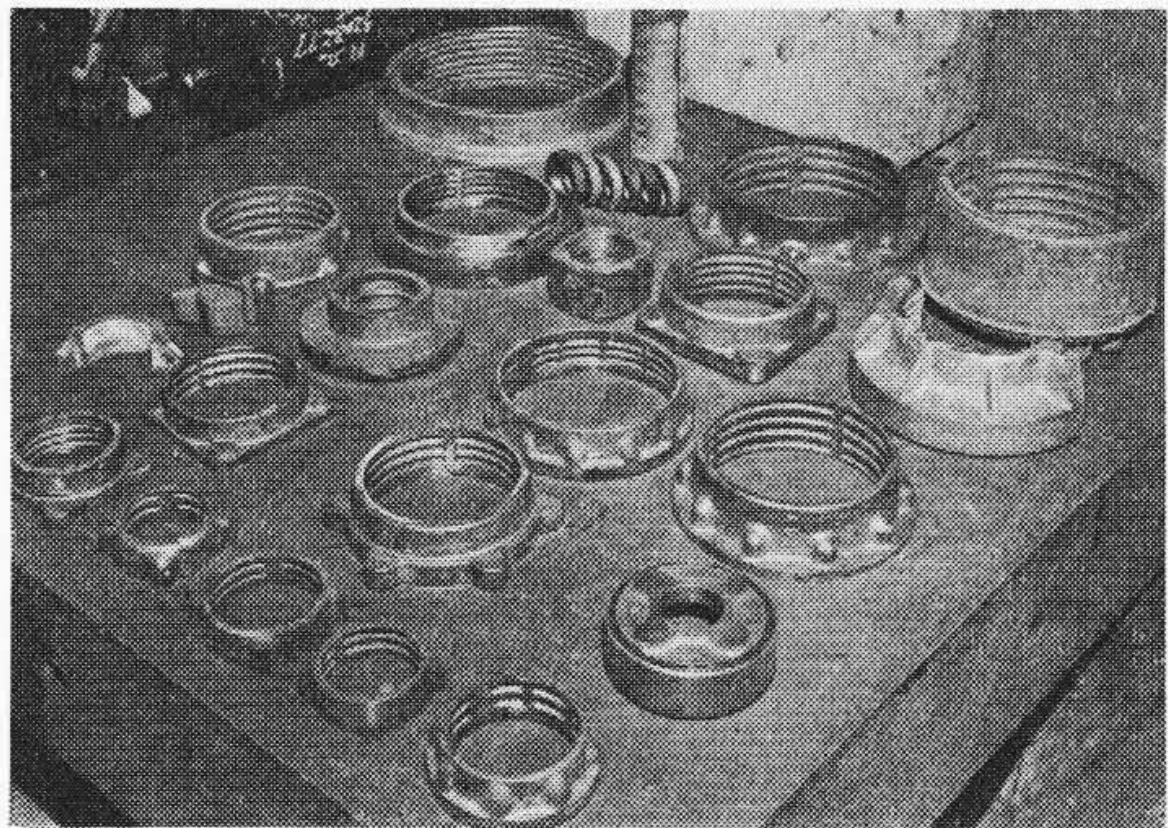


図3 締金具の代表例

| 表2 試験片ならびに実体製品の化学分析結果(%) |      |      |      |       |       |      |      |      |       |
|--------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 成分<br>材 質                | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cu   | Ni   | Cr   | Al    |
| F C N                    | 3.25 | 2.37 | 7.36 | 0.063 | 0.013 | 3.82 | 4.22 | 0.06 | 0.277 |
| F C D N                  | 3.25 | 2.63 | 7.46 | 0.067 | 0.014 | 3.81 | 4.20 | 0.06 | Tr    |

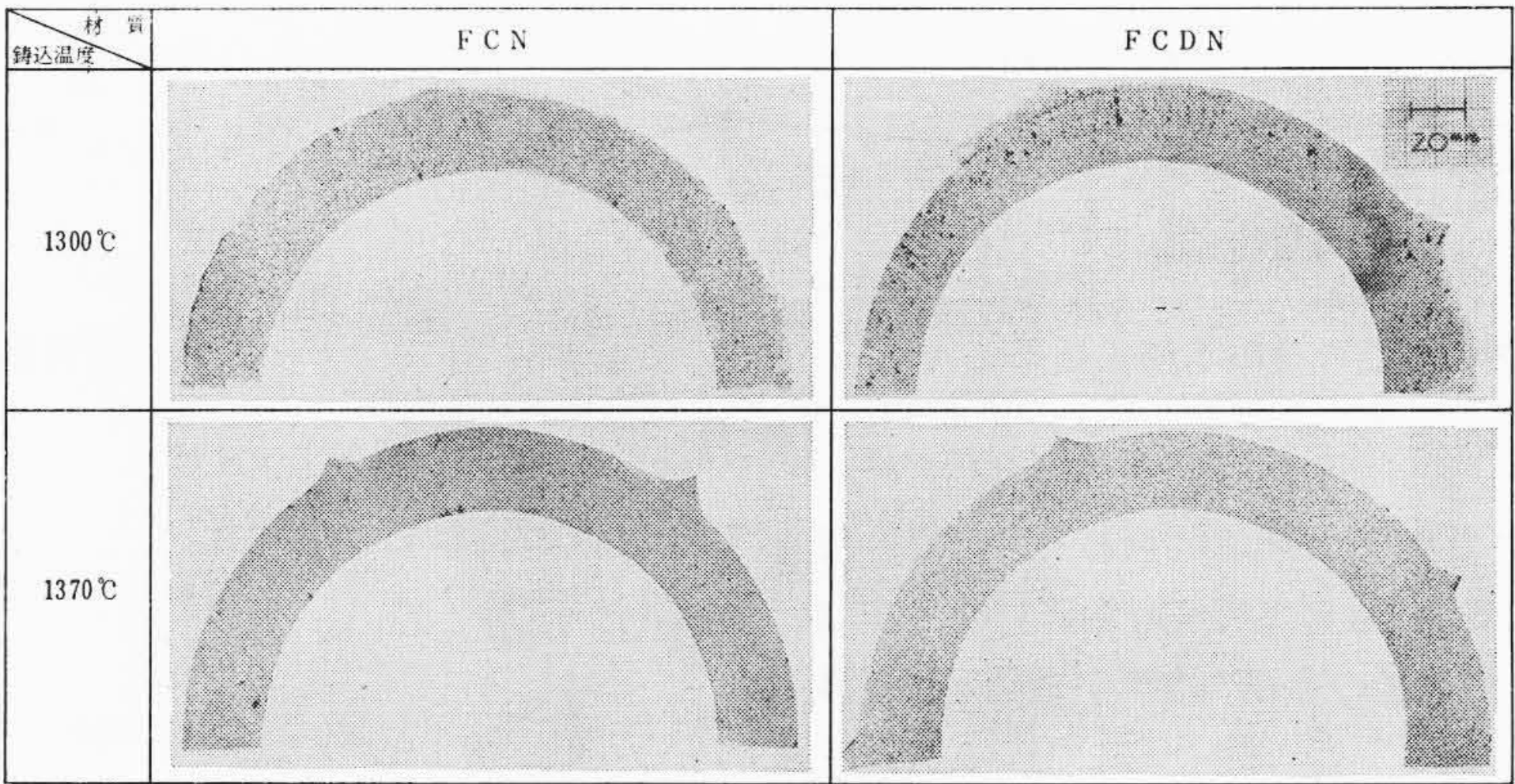


図4 実体製品(S形)におけるマクロ偏析と鑄込温度の関係

われた。引張試験片の形状および寸法は被試験片によりおのずから異なるが、それらの形状および寸法の概略は下記のとおりである。

30φ試験棒：JIS8C試験片(平行部20mmφ)……………1本

Yブロック：JIS4号試験片(平行部14mmφ，  
標点距離50mm)……………1本

階段試験片：JIS8B試験片(平行部12.5mmφ)，  
各肉厚1×4……………4本

締金具(S形)：JIS8B試験片(平行部12.5mmφ)……………1本

締金具(L形)：JIS8B，JIS4号試験片……………各1本

衝撃試験は締金具(L形)のみについて行なわれ，JIS3号試験片(10×10×55-2mmUノッチ)が-190~100℃にわたる種々の温度で試験された。

なお、引張りおよび衝撃試験片の採取位置は締金具については図2に示すとおりであり、30φおよび階段試験片は肉厚中心から、また、Yブロックは下部から25mmまでの中心からそれぞれ採取された。

3.4 顕微鏡組織

顕微鏡組織の観察は各引張試験後の残材のつかみ部で行なわれ、締金具は図2に示す薄肉部と厚肉部の2個所で検鏡された。

4. 試験結果とその検討

表2は各試料の化学分析結果を示したものである。FCDNのSi量はFCNのそれに比べて黒鉛球状化処理によって高くなっている。

4.1 健全性

染色探傷によっては各締金具とも微細引け巣などなら欠陥は認められなかった。

図4は締金具(S形)のサルファプリント結果を示したものである。

サルファプリントではFCNの場合、鑄物の内外部に相違は認め

られず、マクロ的な偏析はなく、いずれも健全な鑄物を呈している。一方、FCDNでは鑄込温度に左右される傾向が認められたが鑄込温度1,370℃の場合にはSの濃淡部は認められなくなり、均一に分布した健全な鑄物が得られた。

4.2 透磁率

本材質の使用条件下では磁氣的漏えいを防止するため透磁率は極力低いことが望ましい。がい管締金具としてのその社内検査規格は現状3.0μ以下としている。ここで、透磁率を左右する因子としては鑄物の鑄はだ直下1mm範囲にわたって生成するマルテンサイト組織による影響が最も大きく、またショットブラストによる加工の影響も非磁性をそこなう主要因の一つにあげられる。このほか幾つかの要因もあげられるが、透磁率が3.0μ以上で検査規格をはずれたとしても局所的なもので、その領域も鑄はだ表層部にとどまるため軽度の研削作業で除去することができる。しかし、研削という工数増加の点からして鑄物の品質管理上は一応不良として扱っている。

図5は締金具(L形)の透磁率測定結果を抜粋して示したものである。

本結果は透磁率不良(>3.0μ)を最も招致しやすい部分の結果(10mm厚リブ)であり、日常たえず関心の払われている部分である。

同図から明らかなおとおりFCNは部分的に3.0μ以上を有し、透磁率不良を示している。また前述したショットブラストの影響を加味すれば1.6μ以上のものは3.0μ以上に達するおそれがある。それに対しFCDNでは最も強い透磁率でも1.2μでありFCNに比べかなり弱くしかも安定しており、その取扱いは簡単であることが示されずぐれている。このことは対象とした他の締金具および他の測定点においても同様である。

FCNとFCDNの材質による透磁率の差異の原因は、現時点ではなお検討の余地が残されているが、鑄はだ面直下の顕微鏡観察によ

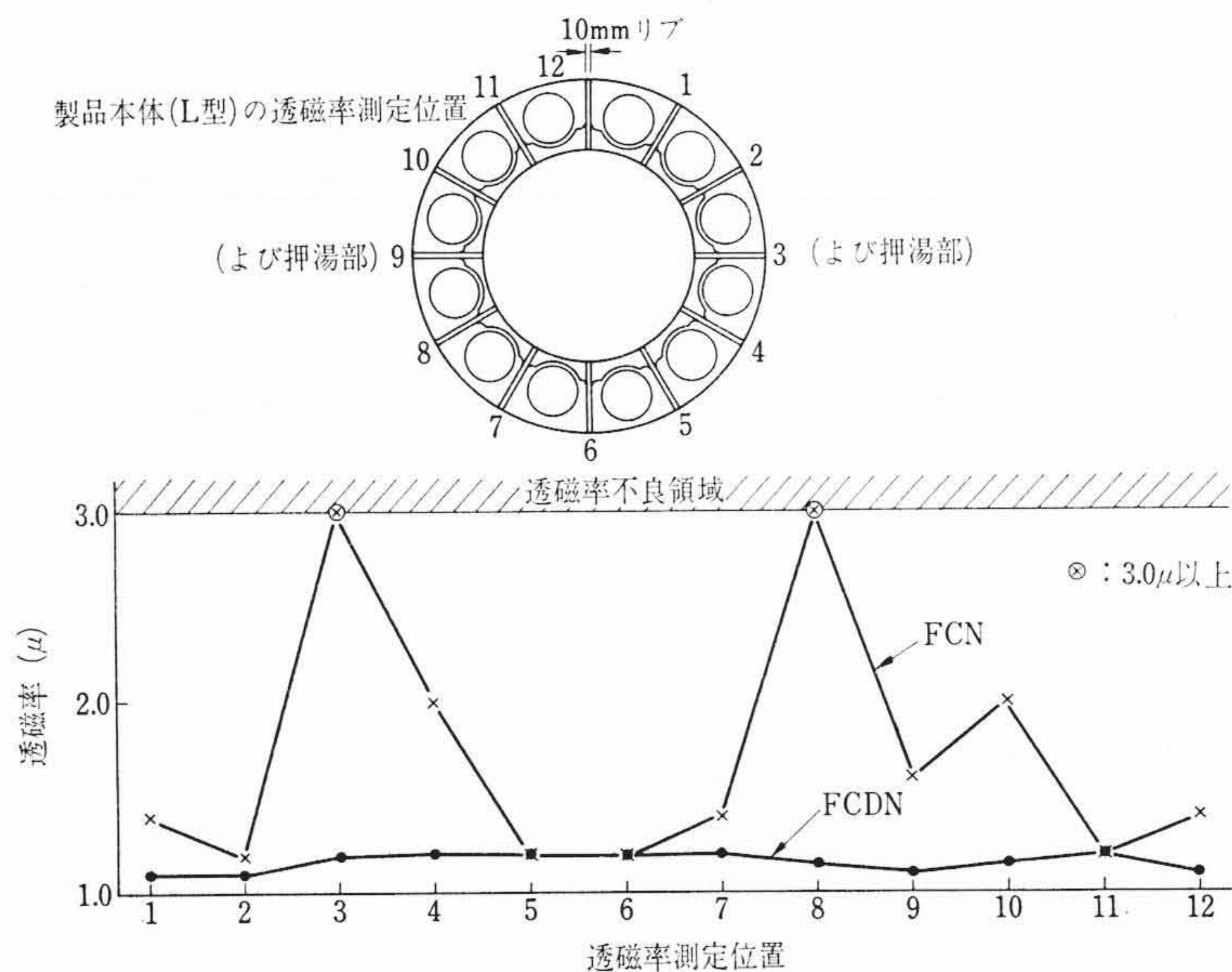


図5 実体製品の透磁率測定結果

ればFCNでは透磁率不良領域で黒鉛の生成は著しく阻止されていた。これに対してFCDNでは各部とも球状黒鉛あるいは芋虫状黒鉛の存在が認められ、こうした黒鉛の存在の有無が透磁率に差異を生じた一つの背景と考えられる。

また同時に測定した30φ試験棒など各試験片の透磁率は階段試験片の厚肉部で強い傾向が認められたが全般に弱い( $<1.4\mu$ )結果が得られ実体铸件とはその様相を異にしている。

#### 4.3 引張りおよび衝撃性質

図6は引張試験結果を肉厚との関係で示し、Yブロックおよび縮金具の結果をも併記したものである。

ここで30φ試験棒は凝固時間がそれぞれ15mm厚の無限大平板と同じであるのでその点に変えてプロットし、階段試験片における相当肉厚部とした。

両材質の強さの絶対値はFCNに比べFCDNで高く、FCDNはFCNの約3倍も高いレベルにあり、黒鉛球状化処理による著しい強さの改善が示される。このことから黒鉛球状化がじゅうぶんに図られたことは容易に想定されよう。

強さと肉厚の関係では肉厚を増すほど強さは漸次低下するが、低下の度合いは両材質ほぼ等しく、一般の普通鉄鋳および球状黒鉛鉄に比べて小さい。

伸びはFCNの0.5~1.3%に対してFCDNでは4.8~8.6%を有し、Yブロックの引張性質はJISに規定されるFCD45に対応する。

縮金具の強さはその製品の形状により異なるが、FCNでは30φ試験棒よりさらに低い10kg/mm<sup>2</sup>以下である。それに対しFCDNでも肉厚増加に伴って強さは低下するが実体製品でもほぼ30kg/mm<sup>2</sup>以上の強度が得られまた伸びもすぐれている。

なお、両材質のばらつきの程度はFCNに比べFCDNで大きい傾向にあるが、これはFCNについてのランニングの溶湯を用いての試作段階であり、今後より安定した結果を得ることができると考えられる。

図7は両材質の縮金具の衝撃試験結果を衝撃遷移曲線として示したものである。

まず最高衝撃値はFCNの0.68kg-m/cm<sup>2</sup>に対してFCDNでは1.2kg-m/cm<sup>2</sup>とFCDNのほうがすぐれ、黒鉛球状化処理による衝撃靱(じん)性の改善も認められる。一方、先述したFCDNのFCD45(Yブロック)相当の引張性質からすればここに得られた最高衝撃

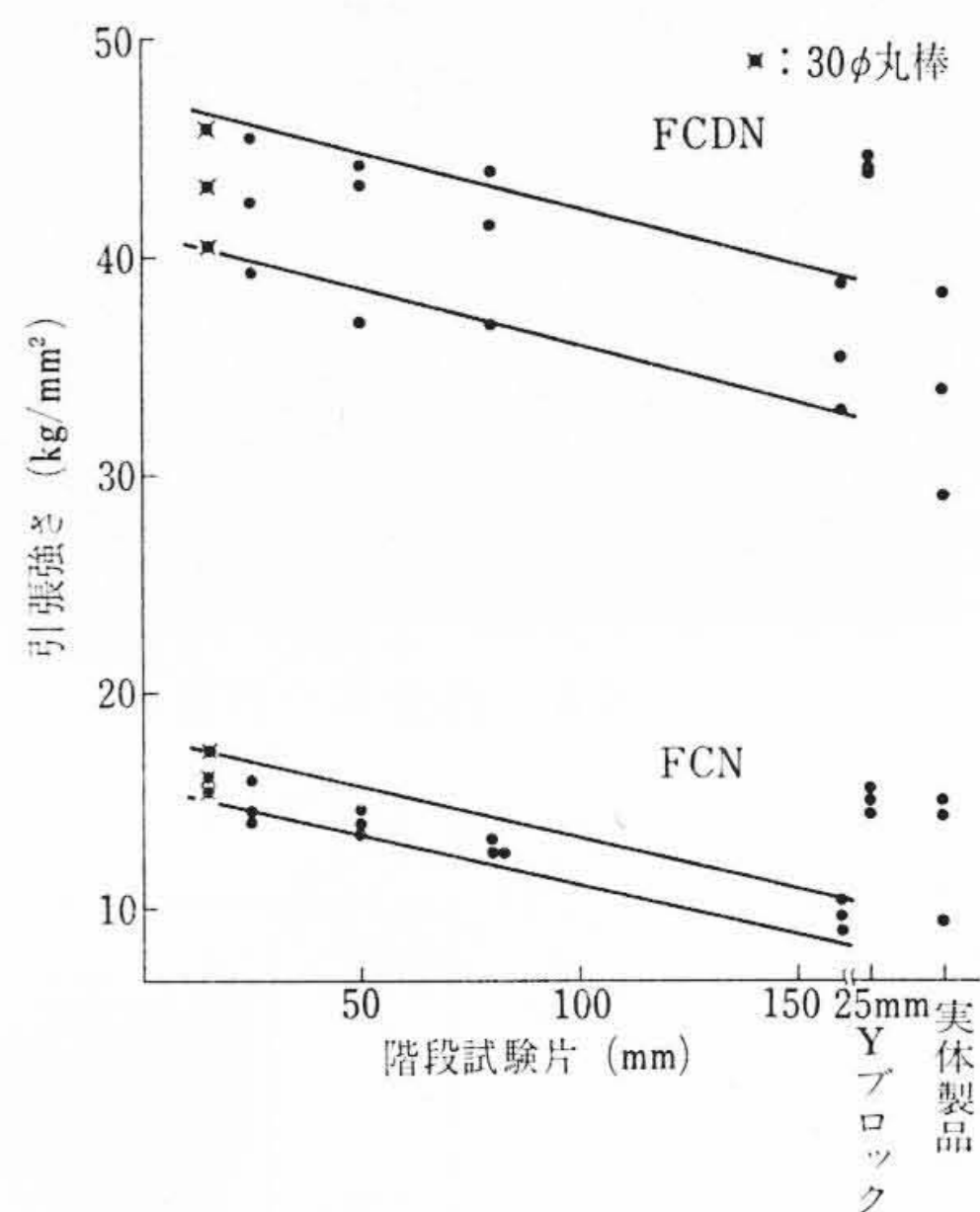


図6 引張強さと肉厚の関係

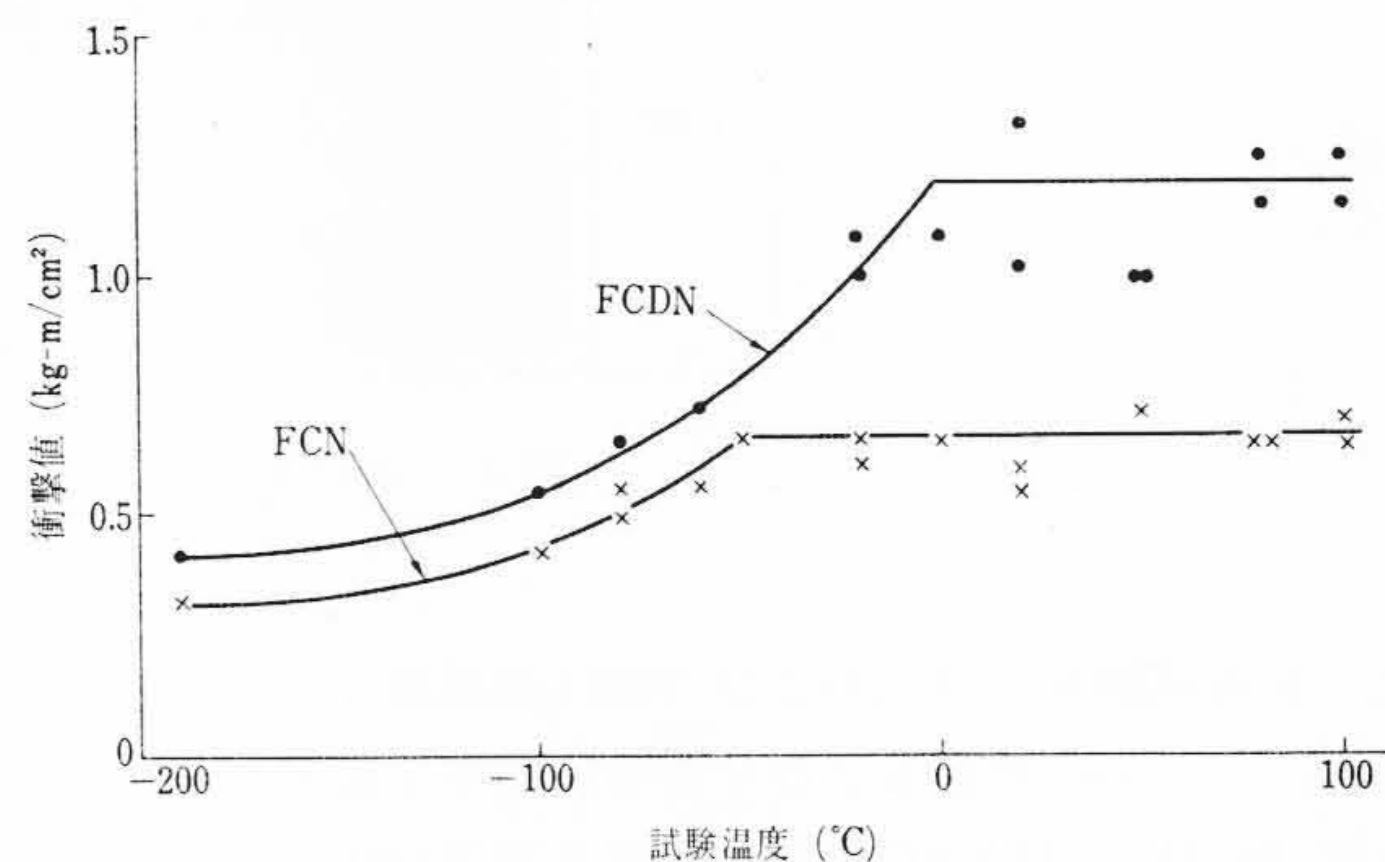


図7 実体製品(L形)の衝撃遷移曲線

値は低きにすぎる感もある。しかし、試験条件が実体製品(縮金具)についてであること、また成分、組織の面では高Siでかつ後述のように炭化物残留量の多いことなどをあわせ考えると首肯しうるものでもあり、今後の靱性向上は困難な問題ではない。

また衝撃遷移曲線から明らかとなおり両材質とも低温脆(ぜい)性が認められ、低温における基地組織の不安定性が示されている。これは低温における組織変態(オーステナイト→マルテンサイト)を示唆するものであり、本材質の特性である非磁性をそこなう原因にもなるが、日常の使用条件下ではあえて取り上げて問題になるものではない。

#### 4.4 顕微鏡組織

図8、9は各試験片および縮金具の顕微鏡組織の代表例を示したものである。

まず標準試験片(30φ丸棒、Yブロック)の黒鉛形状についてみるといずれも完全球状であり、フッ化物系球状化剤のすぐれた球状化能が示され、機械的性質の改善が首肯される。

階段試験片では各肉厚部とも黒鉛の形状に崩(くず)れはなく、一般の球状黒鉛鉄ほどには冷却速度による影響は少ない傾向にあることが認められた。このことは厚肉化に伴う強さの低下の少ないことにも関連するものである。

次いで実体製品の縮金具でも上述の結果と同様であり、製品形状および铸件肉厚に関係なく球状化処理の効果はむらなく認められ、いずれも良好な球状黒鉛を呈している。

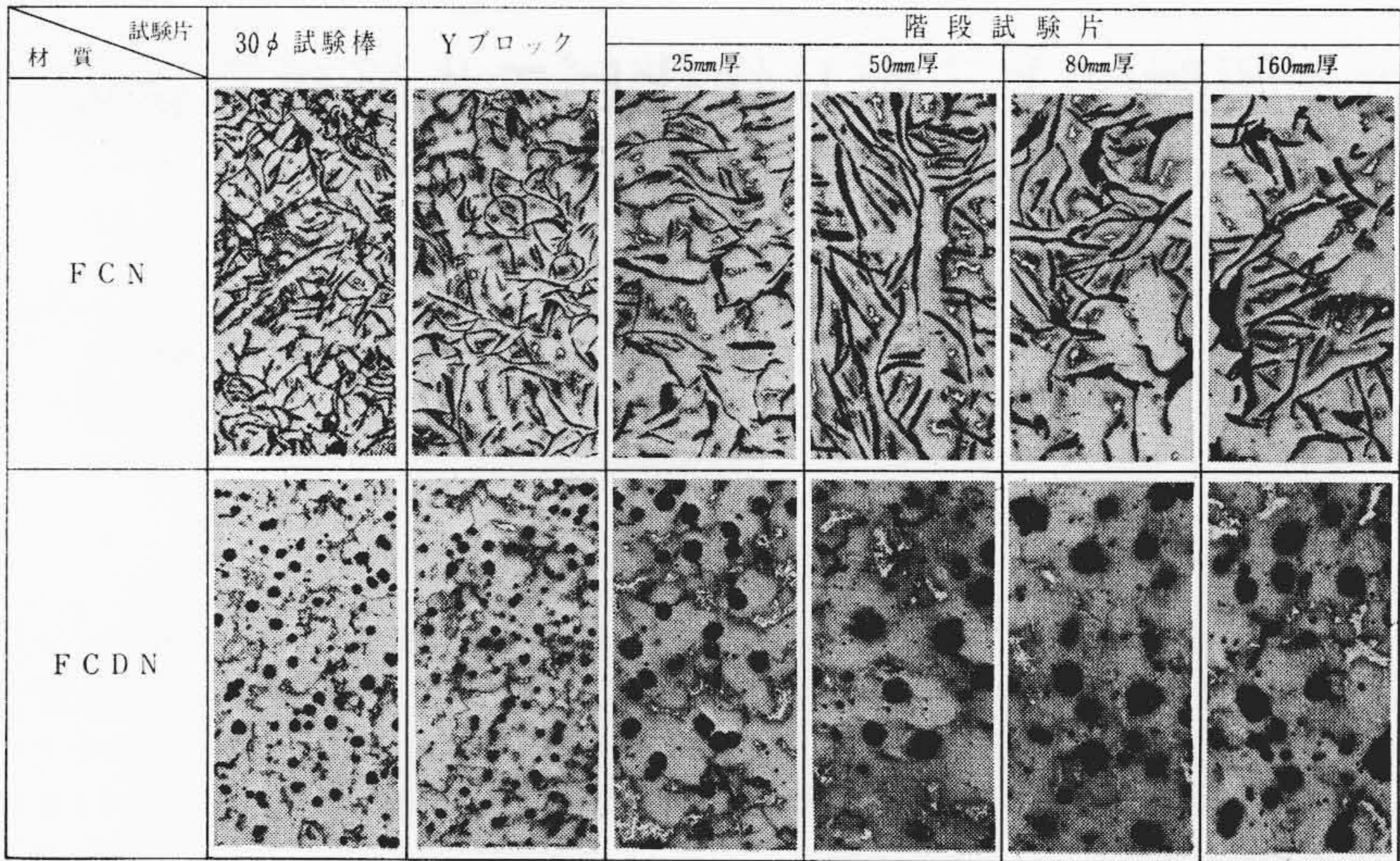


図8 各試験片の顕微鏡組織例 (×50×1/2)

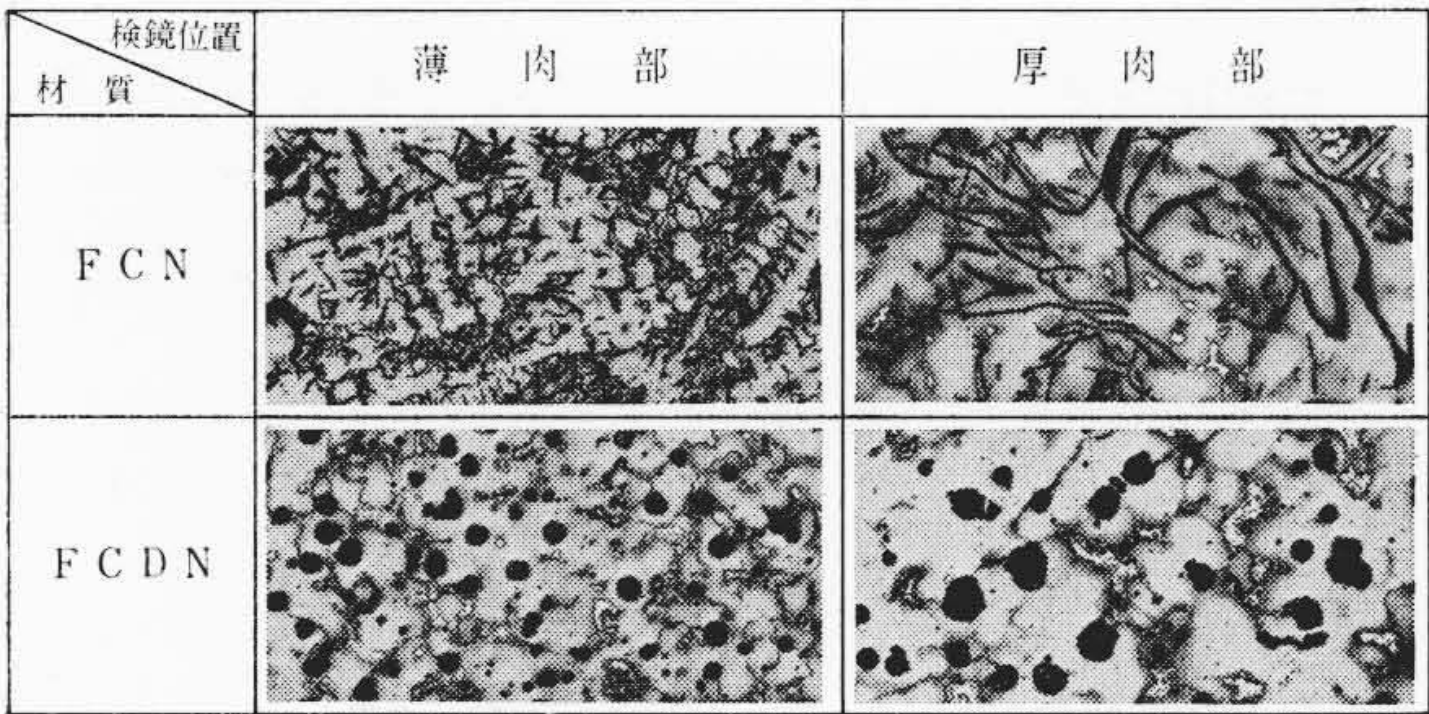


図9 実体製品(L形)の顕微鏡組織例 (×50×1/2)

なおFCNに比べFCDNは全般に炭化物を多く残量している。  
以上、非磁性鑄鉄の黒鉛球状化は従来の耐食、耐熱性に加えて、引張りおよび衝撃性質の向上さらに透磁率の低下など、非磁性材としての適用範囲をさらに拡大しうる見通しを得た。また非磁性球状

黒鉛鑄鉄の製造は日常の生産技術上特に問題となるものではなく容易に製造しうることも判明した。

5. 結 言

非磁性鑄鉄の材力向上を黒鉛形状に着目し、非磁性鑄鉄の黒鉛球状化処理を試み、透磁率および機械的性質などについて実体製品の非磁性鑄鉄ならびに非磁性球状黒鉛鑄鉄の両材質で比較検討した。その結果、

- (1) 黒鉛球状化剤として用いたフッ化物系球状化剤は階段試験片の最大肉厚160mmならびに実体製品の黒鉛球状化に対してじゅうぶんな役割を果たしている。
- (2) 製品本体の引張りおよび衝撃性質は非磁性球状黒鉛鑄鉄のほうがいずれもすぐれている。
- (3) Yブロック試験片における非磁性球状黒鉛鑄鉄の引張性質はJISに規定されるFCD45にほぼ対応する。
- (4) 透磁率は非磁性球状黒鉛鑄鉄で弱く、安定している。

特 許 と 新 案

日立製作所所有の特許(主要特許のみを抜すい)

■ 金属加工機械(圧延機、連続鑄造等)

| 登録番号     | 公告番号     | 名 称             | 登録番号     | 公告番号     | 名 称                        |
|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------------------------|
| 特 416174 | 38-14478 | 圧延機用圧下装置        | 実 704042 | 37-9334  | 巻取機及び巻戻機の先端支持装置            |
| 実 851251 | 43-362   | 圧延機用油圧圧下装置      | 特 553311 | 44-5751  | 材料揃え装置                     |
| 特 552105 | 42-6969  | 鋼塊転回装置          | 実 851243 | 43-364   | 巻取巻出胴のアタッチメント組込装置          |
| 特 468151 | 39-25887 | 球状黒鉛を含む鑄鋼コイル製造法 | 実 754388 | 39-1713  | 巻取機のストリップ噛込装置              |
| 実 869999 | 41-11158 | 鋼塊転回装置          | 実 891843 | 44-14668 | 垂直壁の水平溶接装置                 |
| 特 421322 | 38-18218 | コイル搬出搬入装置       | 実 891825 | 44-15515 | シヤージージにおける移動軸受の停止装置        |
| 特 400385 | 36-20563 | 巻取機のストリップ噛込装置   | 実 754399 | 39-17138 | アッブコイラー                    |
| 特 407948 | 38-619   | 巻取機及び巻戻機の先端支持装置 | 特 552118 | 44-3753  | 走間鋸断機                      |
| 特 458118 | 40-8809  | 巻取機の改良          | 特 402719 | 37-10355 | オイルシール                     |
| 特 555836 | 44-8641  | 連続鑄造装置          | 実 868534 | 40-17948 | 帯鋼巻出機                      |
| 実 849255 | 42-21714 | 巻取兼巻出機のドラム交換装置  | 実 859905 | 43-11606 | スピンドルギヤーカップリング             |
| 実 717071 | 37-19553 | ストリップ巻取機        | 実 825419 | 41-22167 | 連続鑄造設備における引出棒頭部の鑄込みボルト保護装置 |
| 特 541689 | 40-22246 | 冷間圧延装置          |          |          |                            |
| 実 778185 | 40-3636  | 噛込調速付ベルトラッパ     |          |          |                            |
| 実 825423 | 41-22209 | 長軸体の中間支持装置      |          |          |                            |