東北大学

H24年度地域ｲﾉﾍﾞｰｼｮﾝ事業　人材育成program

（2012/20th/Dec./東北大学）

「鋳鉄品の傷と部品実体での非破壊評価」

1. 被検物を知ろう。
    - 1.1. 自動車に使われている鋳物部品、
    - 1.2. 鋳鉄とは
    - 1.3. 鋳鉄の傷と原因
2. 非破壊試験・検査
3. 超音波試験
    - 3.1. 黒鉛組織の非破壊評価：音速法
    - 3.2. 内部傷の試験：UT
4. 評価の例：破壊靭性を使う

有限会社　日下レアメタル研究所　　博士（工学）鹿毛秀彦

1．被検物を知ろう
1.1．自動車に使われている鋳鉄品

- 鋳鉄製パワートレイン部品：

  エンジン、クランクシャフト、トランスミッションケース、カムシャフト、コンロッドetc.）
- 操作・制動部品：ステアリングナックル、ディスクブレーキ部品etc.
- その他：油圧部品etc.

自動車を支える鋳鉄鋳物部品

出典：鋳鉄の生産技術、素形材センター

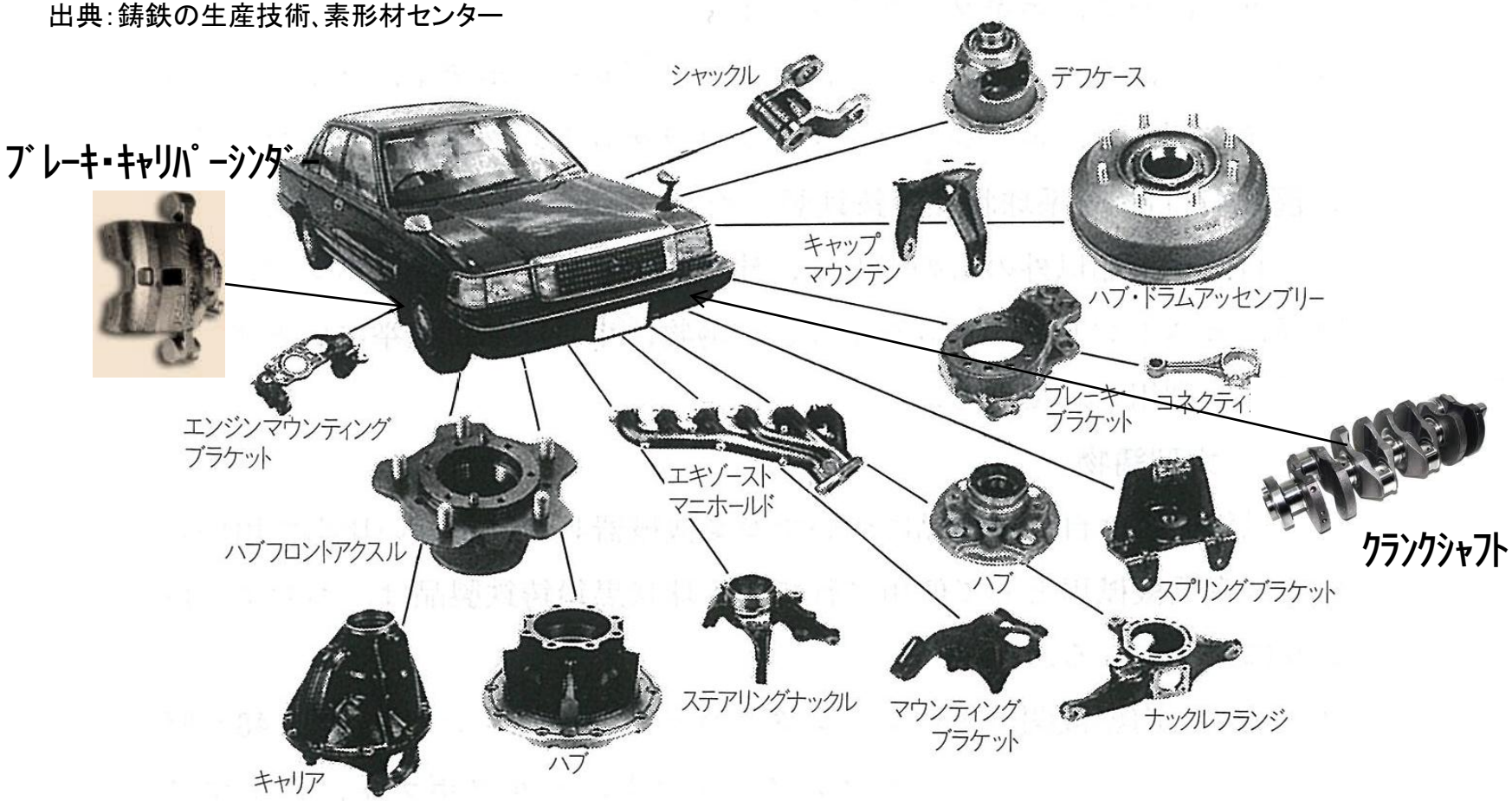
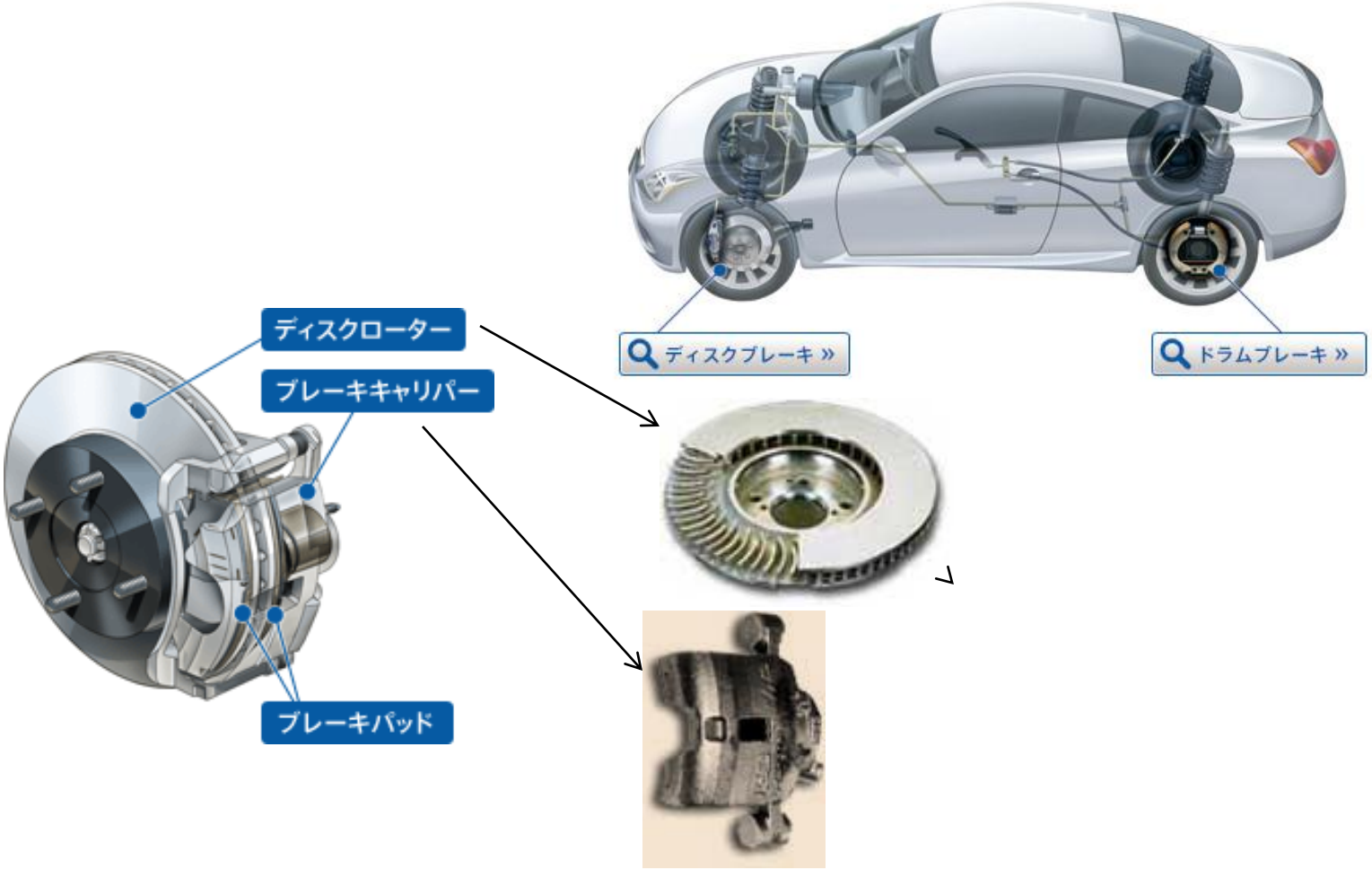


図2.46　自動車部品として用いられている主な球状黒鉛鋳鉄製品例

球状黒鉛鋳鉄製自動車部品
クランクシャフト

球状黒鉛鋳鉄製自動車部品
ステアリングナックルsteering knuckle

球状黒鉛鋳鉄製自動車部品
ディスクブレーキキャキパー　disk　brake caliper



ディスクブレーキ
キャリパー
（球状黒鉛鋳鉄）

ブレーキディスク
（片状黒鉛鋳鉄製）

ブレーキディスク（片状黒鉛鋳鉄），キャリパー（球状黒鉛鋳鉄）そしてホイール（アルミ合金鋳物）

1.2.　鋳鉄品：自然に出来た複合材料（鋼+黒鉛）

1．顕微鏡組織（黒鉛組織と基地組織）が鋳鉄の特性に大きな影響を及ぼす。特に黒鉛組織の影響が大きい。

2．黒鉛（非金属）が鋼の中に３次元的に分布、その形状と量が鋳鉄の機械的・物理的特性を決定する.

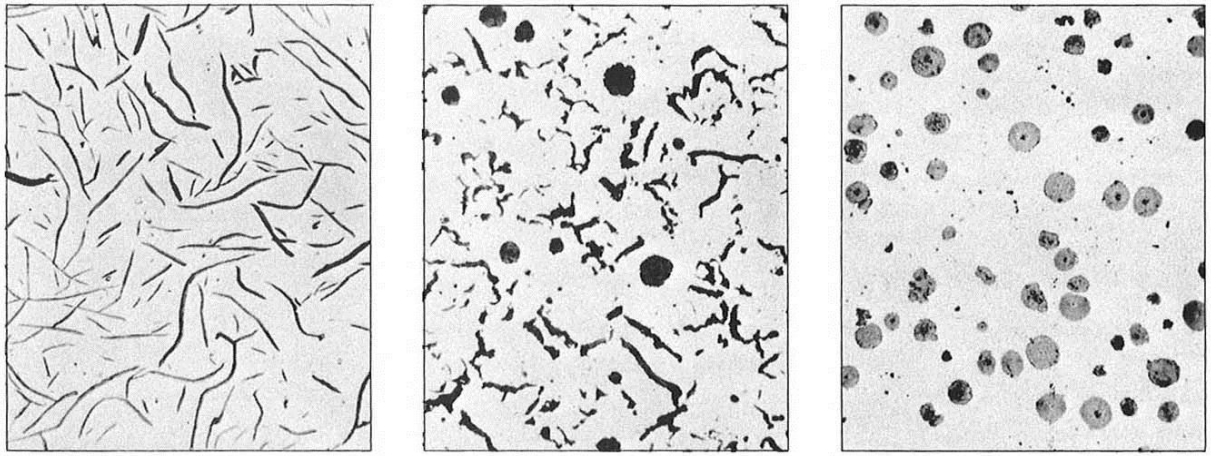
3．基地組織は、２次的に働く。

4．顕微鏡組織(黒鉛形状と基地)に影響を及ぼす因子
①化学組成,②溶湯処理,③凝固と冷却速度,④熱処理etc.

5．鋳巣：最終凝固部（厚肉や交叉部）に発生

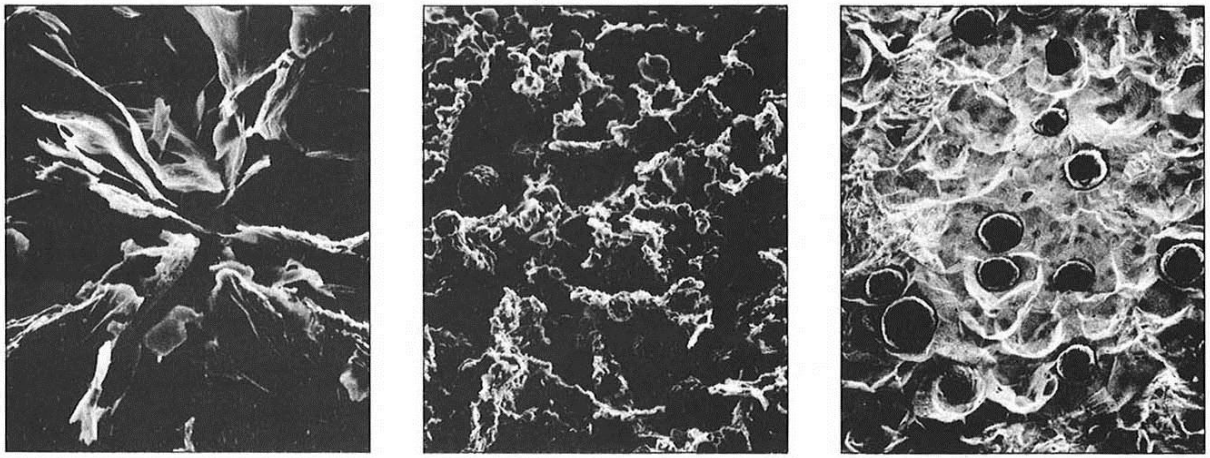
6．鋳放し品とその熱処理品：機械的物理的性質が変化
・熱処理：鋳放しFCD450品⇔FCD600品（熱処理で特性変化）！
・チル在り⇒チル無しにできる。

写真－1



顕微鏡写真（×125腐蝕せず）
平面的な黒鉛形状の比較、左より灰鋳鉄、コンパクトグラファイト鋳鉄、ダクタイル鋳鉄。

写真－2



走査電子顕微鏡写真（×125）
立体的な黒鉛形状の比較、左より灰鋳鉄、コンパクトグラファイト鋳鉄、ダクタイル鋳鉄。

鋳鉄品の黒鉛形態(ミクロ組織)

左から
FC:片状黒鉛鋳鉄
CV:CV黒鉛鋳鉄
FCD:球状黒鉛鋳鉄
上段:光学顕微鏡
下段:走査電顕組織

・黒鉛が鋼の基地に特徴ある形状で閉込められた状態にある。

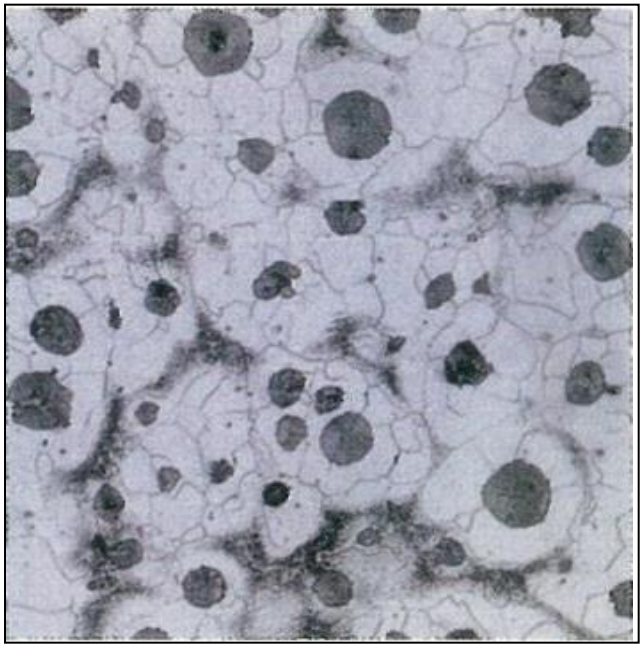
黒鉛形状を制御する溶湯処理技術

球状黒鉛鋳鉄の造り方：1500℃の溶湯をMgを添加する。
（熱せられた油に低沸点の水を注ぐようなもの）

＜Mg＞融点：650℃
沸点：1,091℃

1,500℃の溶湯に投入すると左図のようにMgは瞬時に気化、激しく反応（爆発的）する。
Mg蒸気は空中に飛散，空中の酸素と化合MgOの白煙が発生する。

Mg・Mg含有合金を添加（黒鉛球状化処理）：
処理せずに凝固させると片状黒鉛となる溶湯を、処理すると球状黒鉛に変化する。



代表的鋳鉄の顕微鏡組織
（左）片状黒鉛鋳鉄：片状黒鉛＋パーライト基地組織
（右）球状黒鉛鋳鉄：球状黒鉛＋フェライト・パーライト基地

黒鉛組織が主な機械的・物理的性質を支配する。
黒鉛球状化率と①引張強さ、伸びとの関係

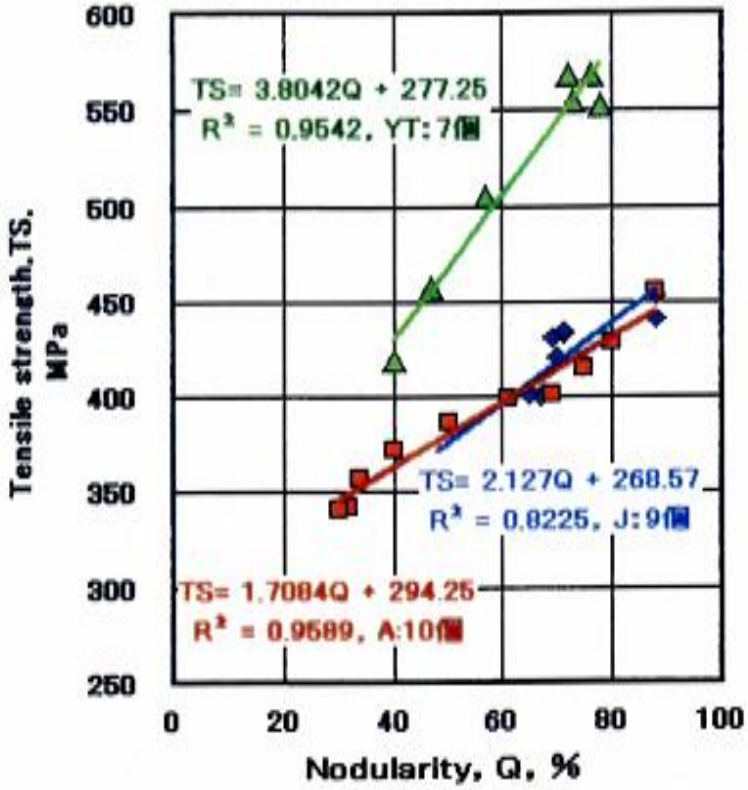


Fig. The relationship between Nodularity and tensile strength of the each fading samples

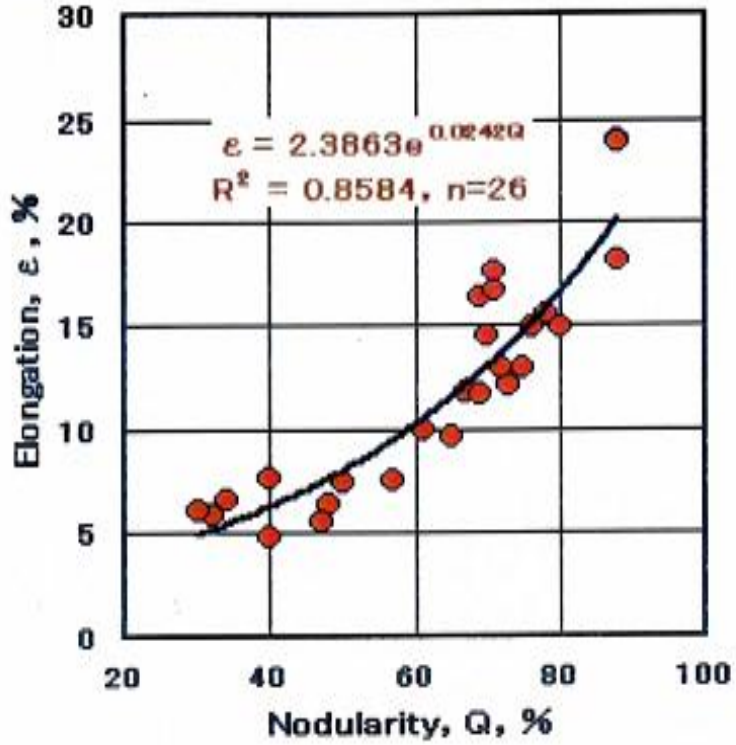


Fig. The relationship between Nodularity and Elongation of the all fading samples

基地組織(ferriteとpearlite)の影響：

黒鉛球状化率＞80％の条件で、パーライト基地の増加は、硬さと引張強さを増加させ、伸びを低下させる。基地組織（フェライト・パーライト率）を硬さで定量化し、引張強さ・伸びとの関係を以下に示した。

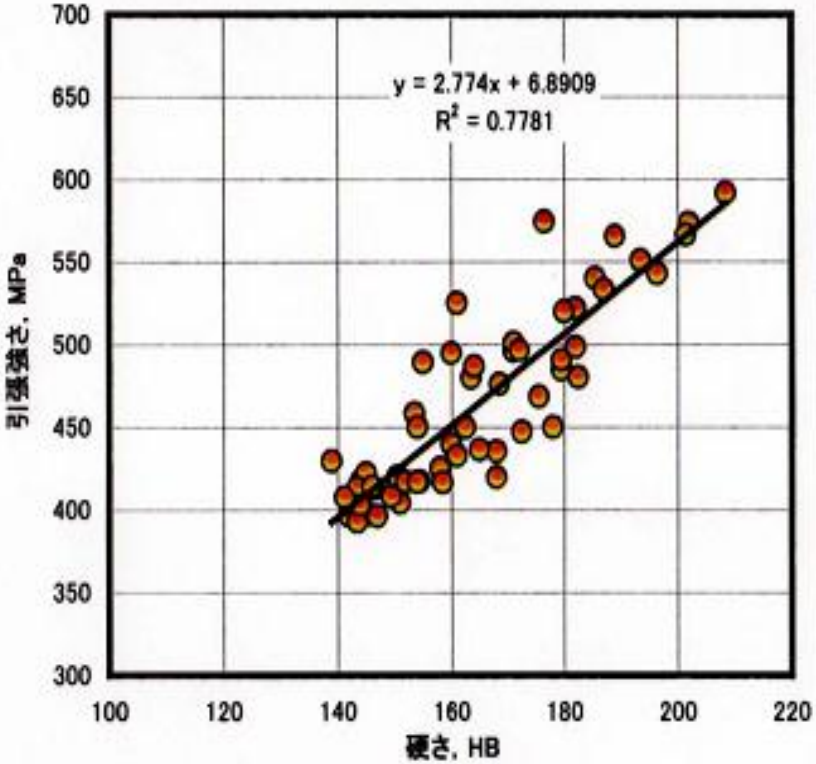


図4 硬さと引張強さとの関係

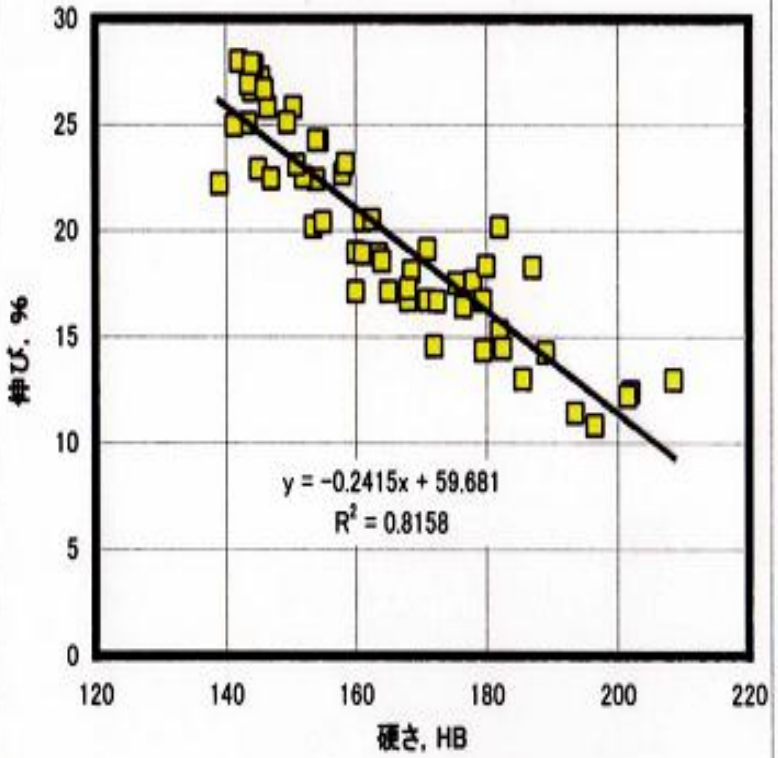


図5. 硬さと伸びとの関係／UBE58

まとめ：鋳鉄の機械的性質

1. 黒鉛形状∝機械的性質、ともに破壊試験

2. 黒鉛球状化率がある値（80%、JISG5502）を越えると鋳鉄の機械的性質は、ほぼ一定となる。
この時の機械的性質は基地組織のフェライト／パーライト率（∝硬さ）に依存するようになる。

黒鉛形状（切断研磨・検鏡・写真）

↓

超音波伝播速度（非破壊試験）

鋳鉄品のプロファイルはJIS規格

ねずみ鋳鉄品（片状黒鉛鋳鉄）：
JIS G 5501
球状黒鉛鋳鉄品：　JIS G 5502
球状黒鉛鋳鉄　：　ISO 1083
etc

工業製品の評価基準はJISが土台
球状黒鉛鋳鉄品はJIS G5502

JIS

球状黒鉛鋳鉄品

JIS G 5502 : 2001

(JCIA/JSA)

平成 13 年 4 月 20 日 改正

日本工業標準調査会 審議

(日本規格協会 発行)

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

Spheroidal graphite iron castings

JIS G 5502 : 2001

(JCIA/JSA)

Revised 2001-04-20

Investigated by

Japanese Industrial Standards Committee

Published by

Japanese Standards Association

定価：本体1,200円（税別）

ICS 77.140.80

Descriptors : spheroidal-graphite cast-iron, determination of content, chemical analysis and testing

Reference number : JIS G 5502 : 2001 (J)

球状黒鉛鋳鉄品規格の現状：JISG5502

(A)材料の評価：代替試験片や実体付き試験片での破壊試験
試験方法と評価基準を具体的に記載している.

5.化学成分（参考）

6.機械的性質：引張強さ,伸び, 0.2%耐力,衝撃特性（一部の種類）,
硬さ&基地組織(参考)

7.黒鉛球状化率⇒80%以上,

（B）鋳造品の評価：以下の8と10項には，試験法方法も評価
基準も記載無し．これが問題だ！

8.内部の健全性：鋳鉄品の内部には，使用上有害な鋳巣
などがあってはならない.

9.形状,寸法,寸法公差,削り代及び質量：鋳鉄品の形状及び寸法は,図面又は模型で指示
するものとし,寸法公差及び削り代は,特に注文者の指示がない場合JIS B 0403の
球状黒鉛鋳鉄による．鋳鉄品の質量は,受渡当事者間の協定による.

10.外観：鋳鉄品の外観は，使用上有害なきず,鋳巣などがあって
はならない.

＜以上,JIS原文抜粋＞

今のJISは、鋳鉄品の規格というよりは材料評価基準でしかない。鋳鉄鋳物の特徴から部品個々を実体で評価する必要がある。⇒非破壊試験・検査を導入すべき！

1．JISG5502の8項にUT関係のJISZ 2344と2353、RT関係のNDIS G0581を、そして10項にMT関係のJISZ 2320、VTのNDIS G0588を追記して良いと思われる。

2．材料評価基準は、まだ破壊試験値であるが、

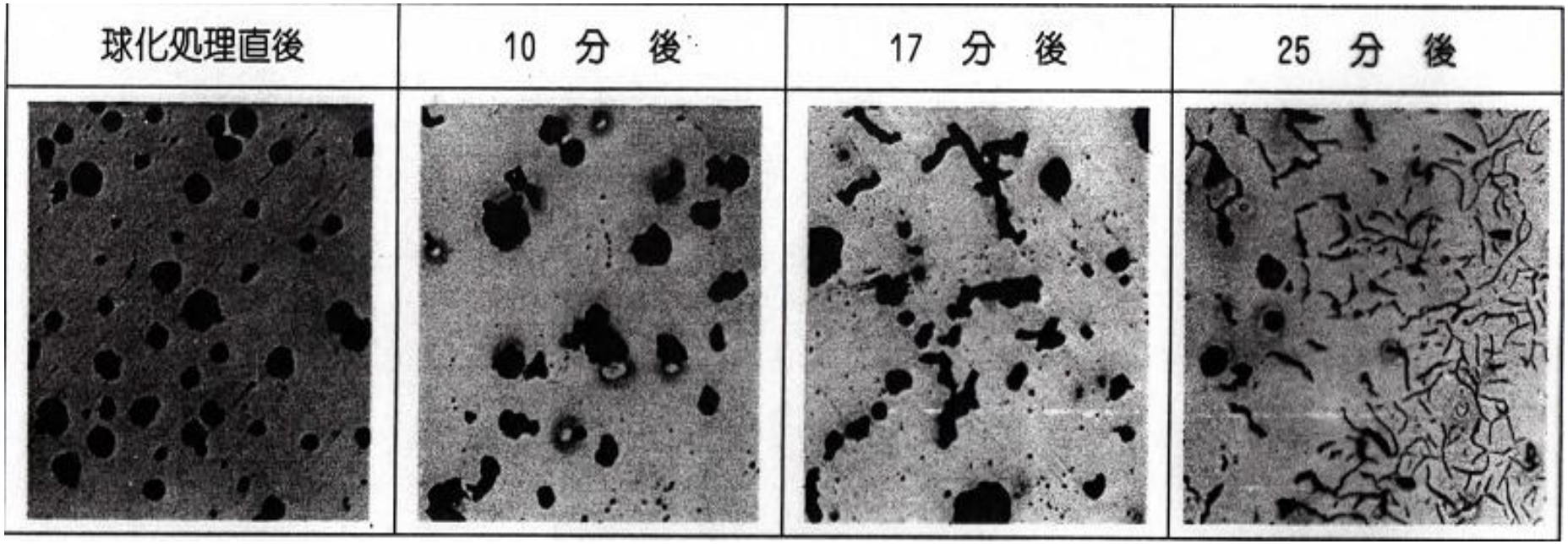
- 客の要求は実体評価による品質管理，品質保証へ
- それには，非破壊試験（NDT)が必要である。
- 非破壊試験の適用方法の確立
- 球状化率や鋳巣の価基準（有害/無害）の確立
- 人材：鋳鉄品NDT技術者の養成

1.3. 鋳鉄品の「傷」：液体から個体に変態する、凝固過程において以下のことが起こる。

1. 黒鉛は大きな「傷」：形状(球状化率), Chunky黒鉛, 表層微細異常黒鉛⇒UT音速でcheck
2. 内部傷：引け巣，ざく巣，点状巣，各種炭化物⇒UT，RT，MT でcheck
3. 表面傷：異常片状黒鉛，ピンホール，のろ・砂噛み，焼付き，差込み，湯境，チル(コーナー&エッジ)，打痕，肌粗さ(鋳肌，ショット肌，加工肌）etc.
⇒MT，ET，VT，PTでcheck

UT：超音波試験、RT:放射線透過試験、MT:磁気探傷試験、ET:渦流探傷試験、VT:目視試験、PT:浸透探傷試験

①黒鉛形状のフェーディング：
状化処理後、溶湯の状態が長く続くと凝固までに黒鉛形状が経時変化する現象がある。



②鋳鉄の肉厚感度、質量効果 （Section Sensitivity, Mass-effect）：

複雑形状の鋳物は、部分的に凝固・冷却速度が異なる。これにより黒鉛組織に変化が有り基地組織も変化する現象。

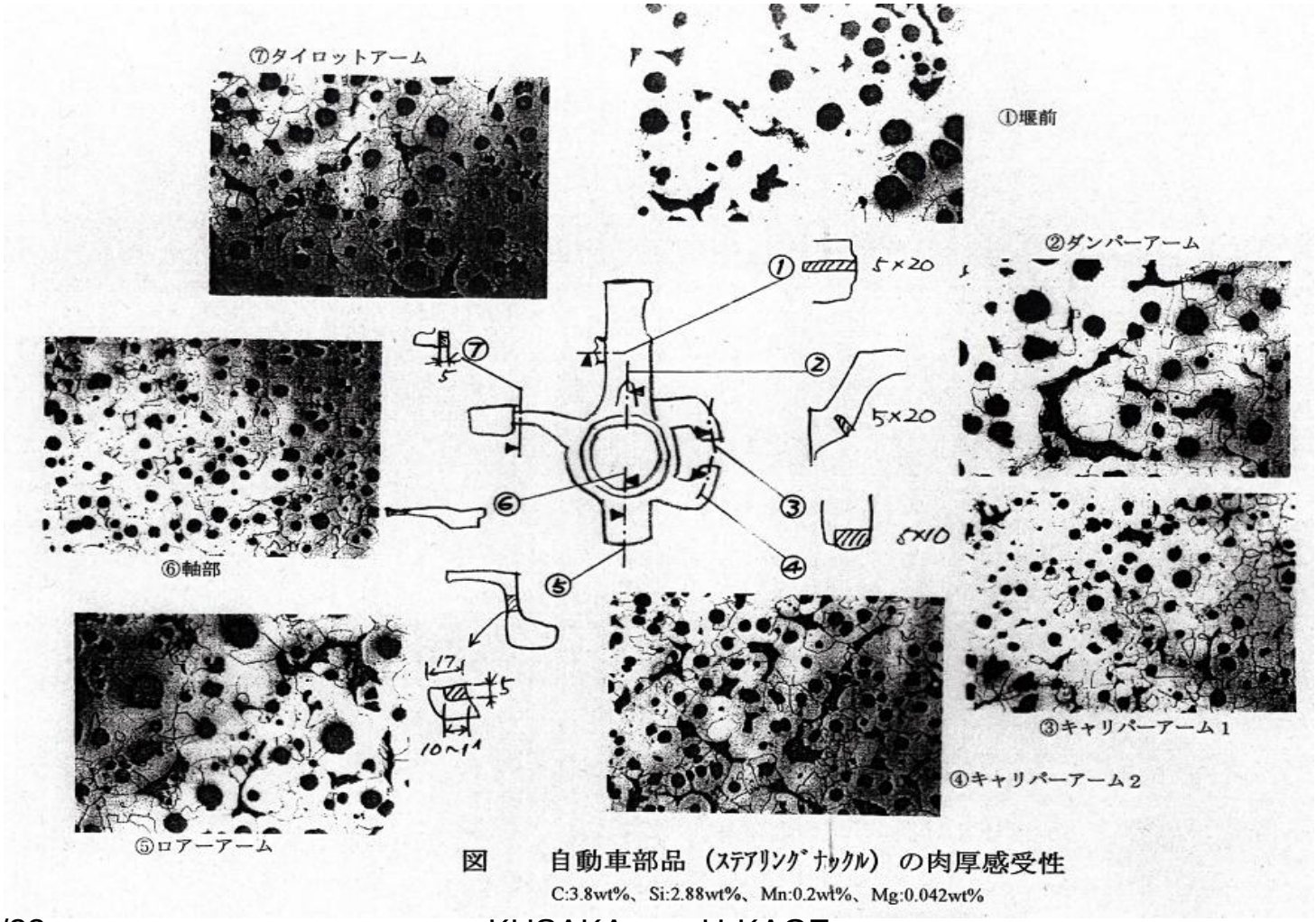
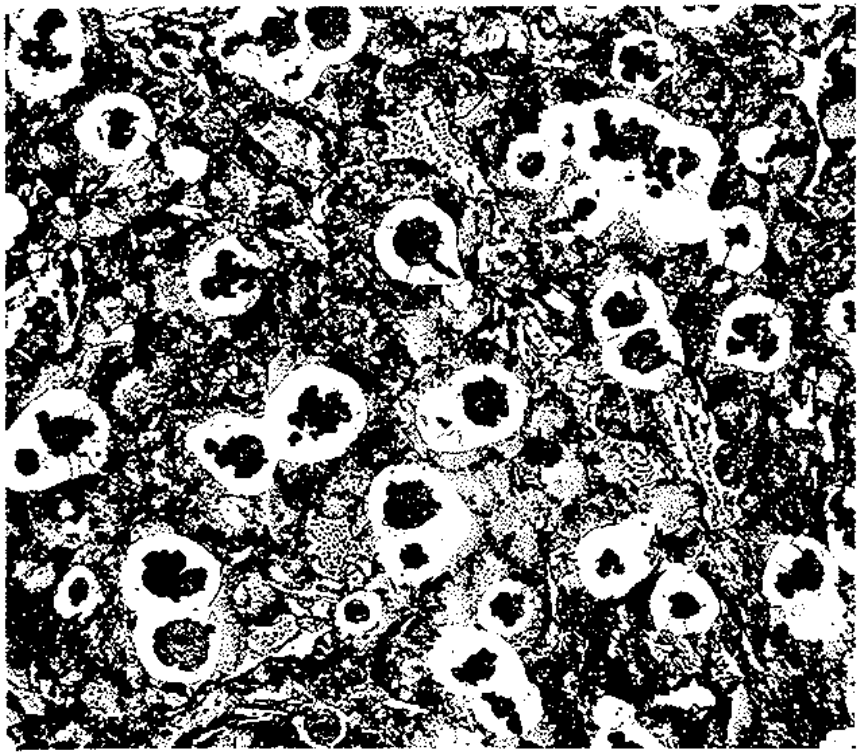


図　自動車部品（ｽﾃｱﾘﾝｸﾞﾅｯｸﾙ）の肉厚感受性

C:3.8wt%、Si:2.88wt%、Mn:0.2wt%、Mg:0.042wt%

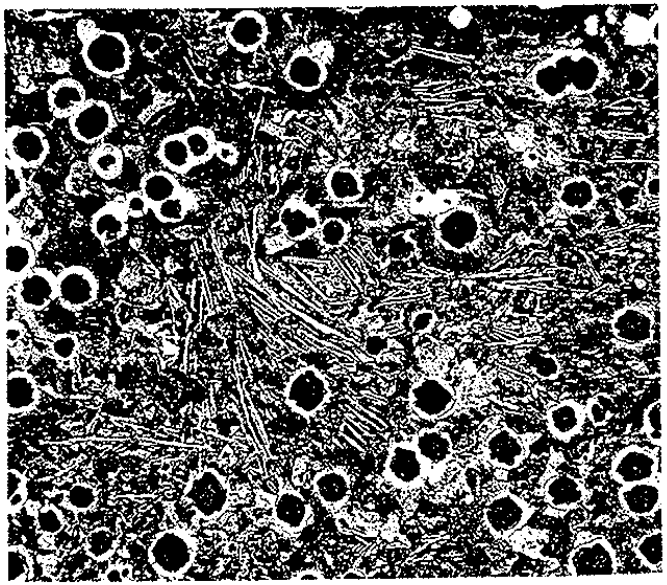
③チル：遊離セメンタイト（Fe_3C, レデブライトと逆チル）

凝固速度が大き過ぎると溶湯は、黒鉛を出さずに、硬く脆い炭化物となる。



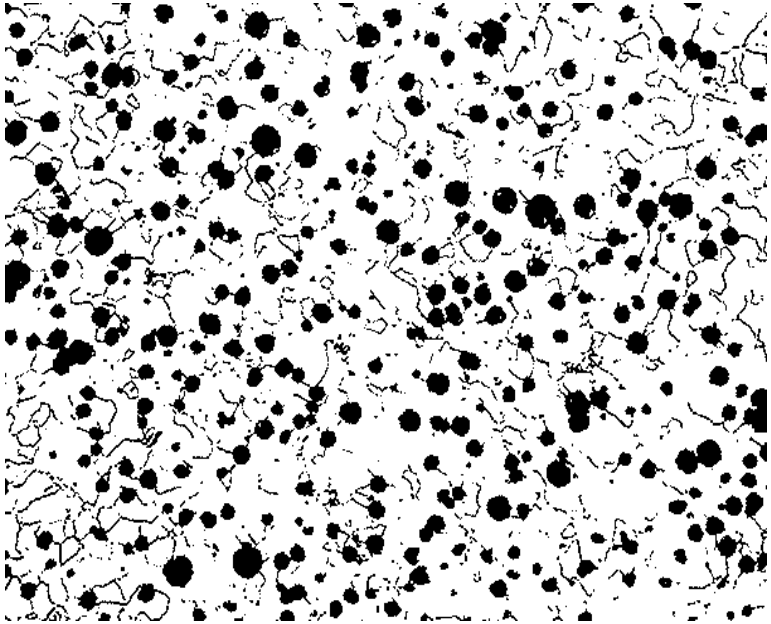
第２４図　ダクタイル鋳鉄に見られる第１型（レーデブライト）炭化物 ×１００　ナイタール腐蝕

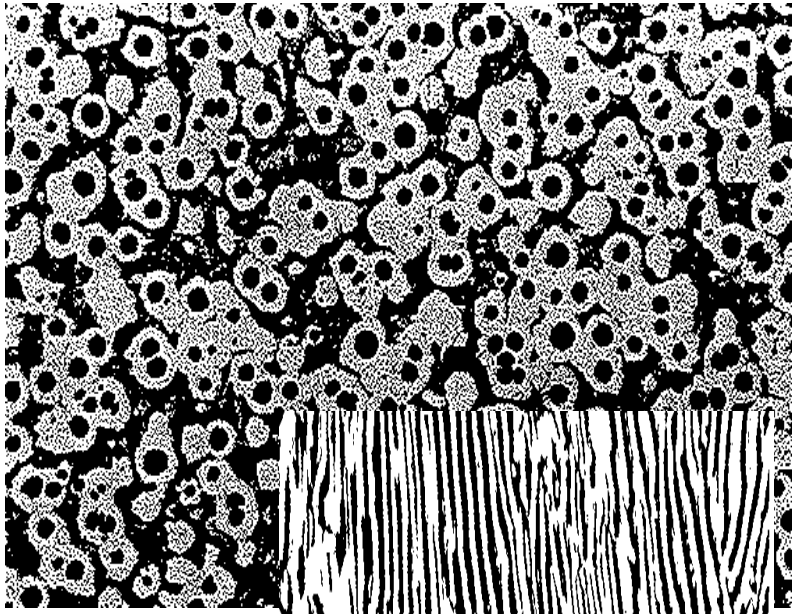
第２５図　低シリコンダクタイル鋳鉄にみられる第２型炭化物　×５００　ナイタール腐蝕

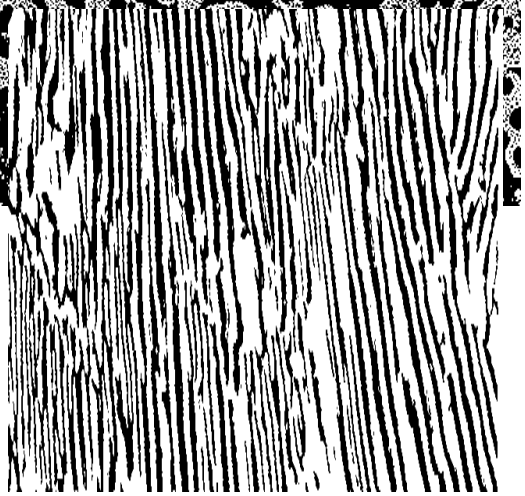


第２６図　ダクタイル鋳鉄にみられる第３型（セル境界）炭化物 ×５００，ナイタール腐蝕

④球状黒鉛鋳鉄の基地組織：黒鉛と鉄の健全な凝固終了後、高温の個体（γ鉄）は室温迄冷却されるが、冷却速度が大きい程、基地組織はパーライト化する。（共析変態）

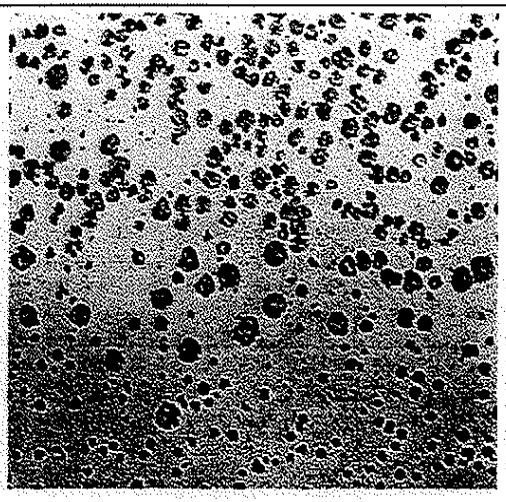




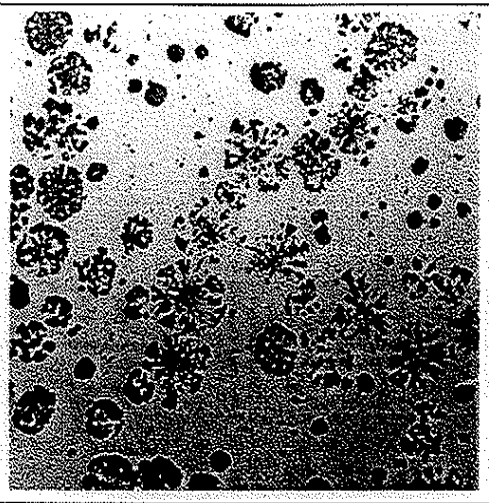


左上：フェライト（冷却速度が小さい）
右上：フェライト/パーライト（〃大きい）
右　：パーライト相の拡大組織

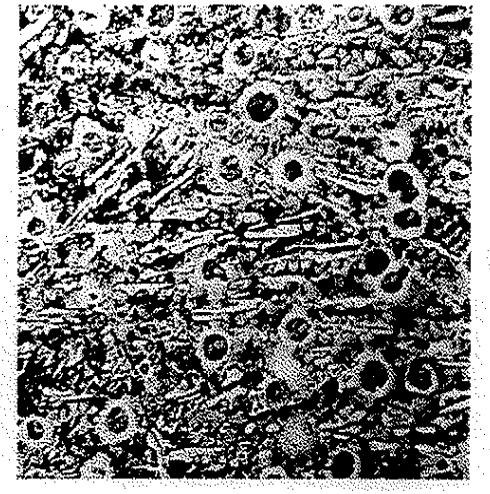
⑤鋳鉄の異常顕微鏡組織：鋳鉄は約1,150℃で凝固するが、化学組成や凝固条件により以下の様な異常組織が現れる。



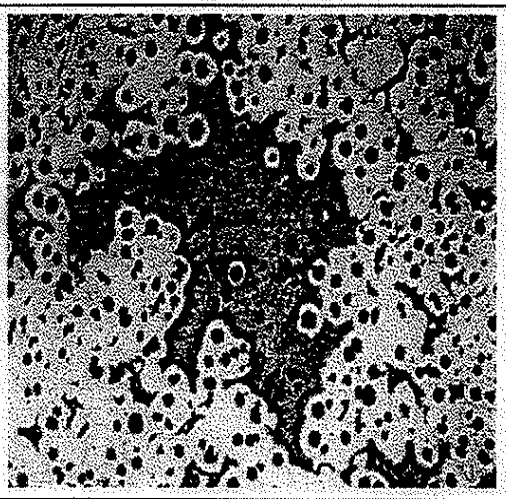
①浮上黒鉛



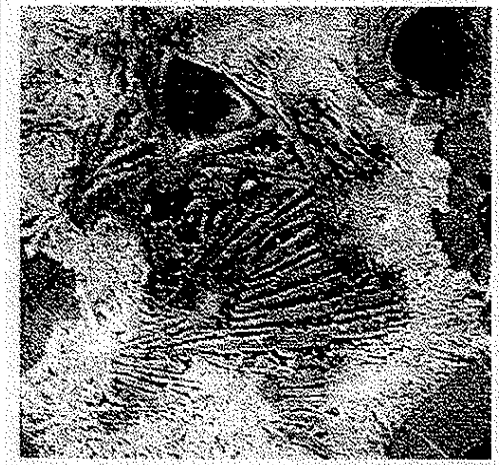
② 爆発状黒鉛



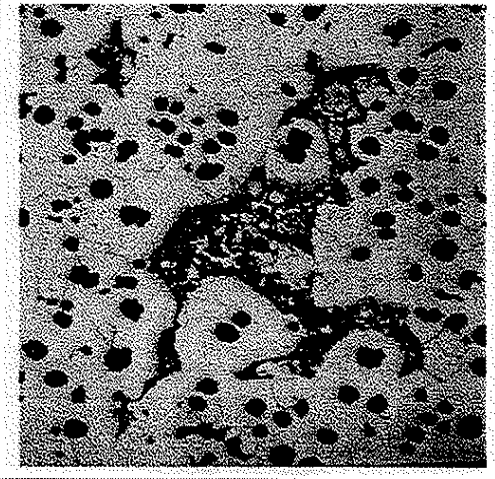
③レデブライト



④ 逆 chill



⑤逆 chill 部の拡大



⑥ステダイト

⑥「ばらし」時間と顕微鏡組織変化

- 「ばらす」：鋳型から鋳物を取出す事である。
- 鋳型に注がれ凝固した直後の高温の鉄（γ）を「ばらす」と、急激に冷却され基地はマルテンサイト変態する。
- もう少し長く鋳型内に放置し、鋳物の温度は下がるが共析変態温度（約730℃）以上で「ばらす」とパーライトが多くなる。以下ならば顕微鏡組織は変化しない。

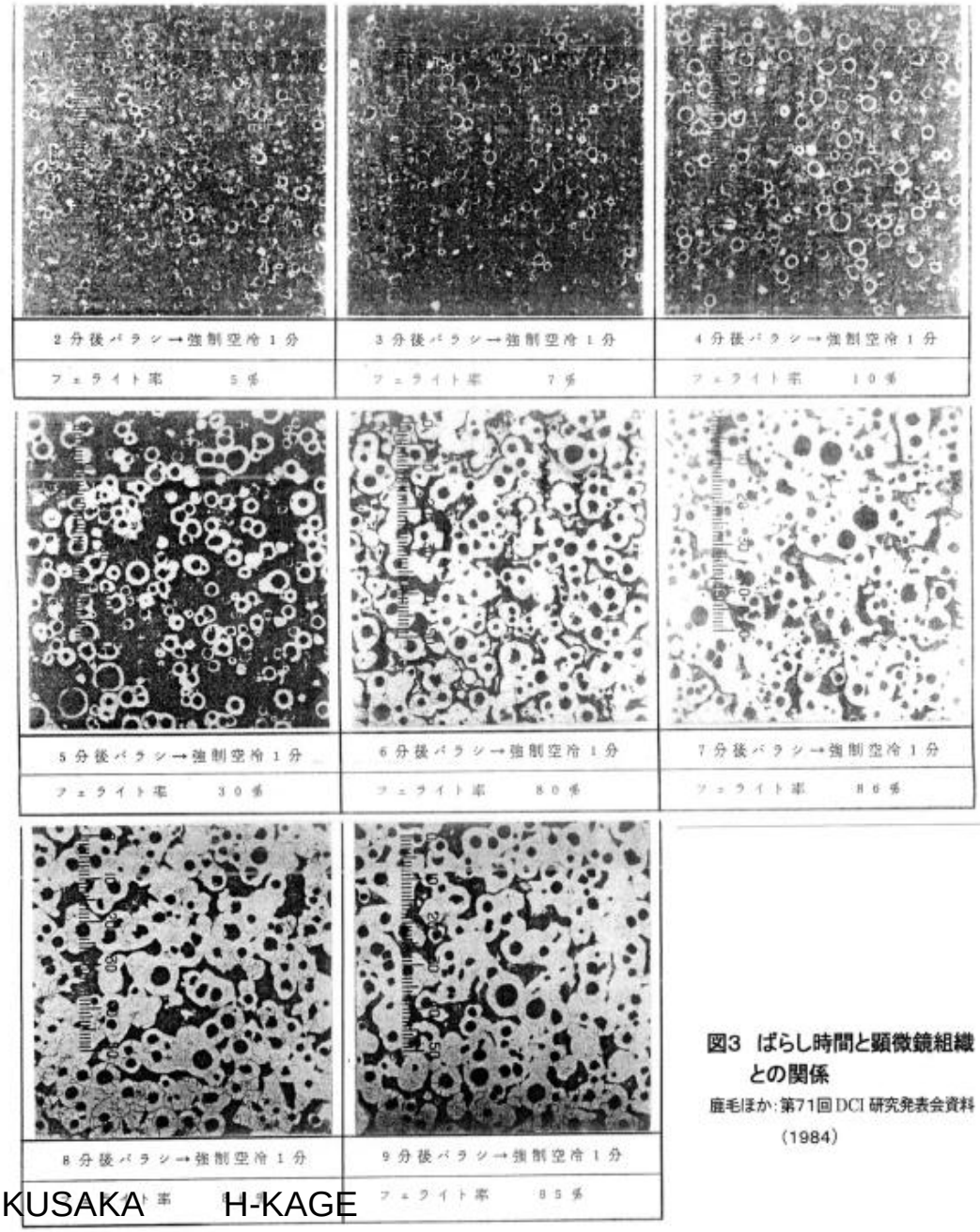


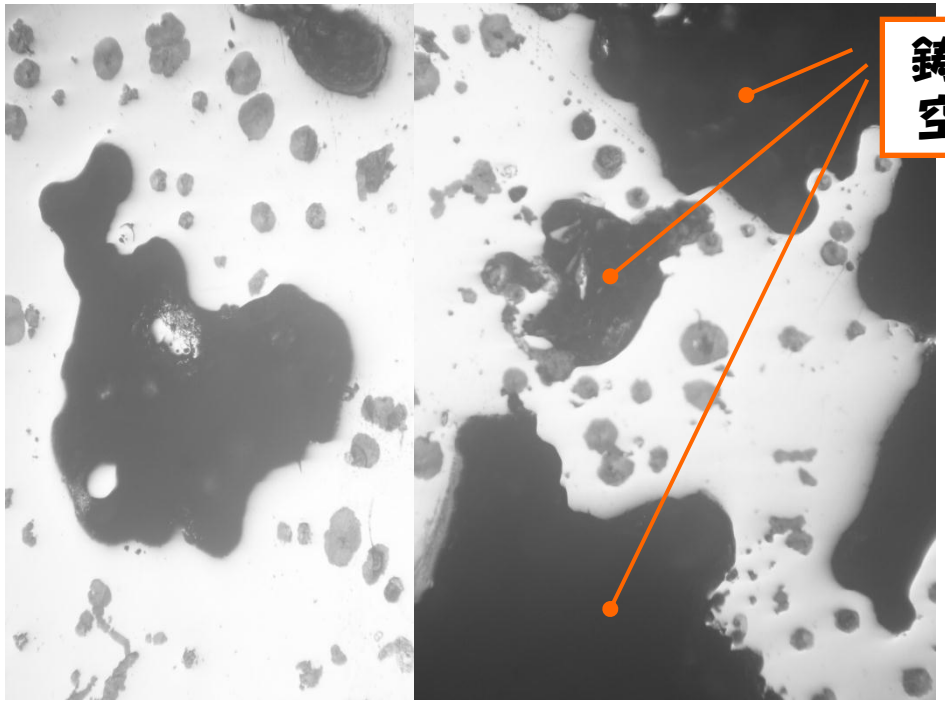
図3 ばらし時間と顕微鏡組織との関係

庭毛ほか：第71回DCI研究発表会資料（1984）

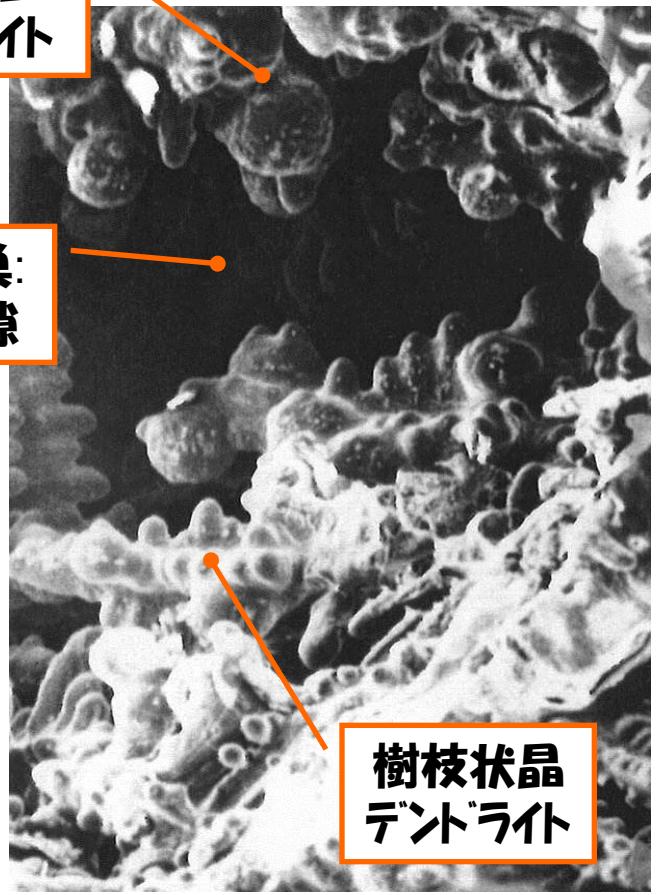
⑦内びけ巣：鋳型に鋳込まれた溶湯は、外側から内部に向って凝固する。内部に閉じ込められた液体は、温度低下とともに収縮し、体積は減少する。そのため、最終凝固部では、溶湯が足らずに空隙ができる。

- FCDに現れた収縮孔
- 凝固時の溶湯不足

金属顕微鏡観察



電子顕微鏡観察



同じ溶湯でも凝固・冷却過程の違いで別物に
そんな鋳鉄品の品質管理・保証の変遷

1. 材質の評価：Y-blockなどの代替試験片

⇩

2. 材質の評価：実体切出し(肉厚効果,fading)

⇩

3. 実体抜取り評価：非破壊試験（NDT・NDI）
（MT, RT, UTなど）

⇩

4. 実体の全数検査：非破壊試験

2. 非破壊試験(Non･Destructive Testing)

鋳鉄品のきずを実体で調べる

※内在する黒鉛形状により以下の3種類に大別。
※黒鉛形状が鋳鉄品の機械的物理的性質を決定。

- ねずみ鋳鉄（片状黒鉛鋳鉄，ずく，FC）
- CV黒鉛鋳鉄（ｺﾝﾊﾟｸﾄﾊﾞﾐｷｭﾗｰ鋳鉄，CV）
- 球状黒鉛鋳鉄（ﾀﾞｸﾀｲﾙ鋳鉄，FCD）

非破壊試験と検査

より一層の品質管理や品質保証の要求
・・破壊試験では
鋳物実体の品質評価出来ない・・

- 製品実体での試験・検査
  従来の破壊試験(DT)⇒非破壊試験（NDT）へ
- 非破壊試験（NDT）の実施が不可欠
  それには、
  ①被検物とNDTの基礎を知る人材の育成
  ②非破壊検査（NDI）基準の確立

被検品（鋳鉄品）を知る
＜鋳鉄品の○△□欠陥は，すべて有害か？＞

- 使用中に破壊⇒「有害なきず」＝「欠陥」
- 破壊しなければ「無害なきず」⇒「良品」
- 非破壊試験では，これらを「傷」と呼ぶ
- 非破壊試験とは，「傷」の定量化
- 検査：定量化された値で，有害・無害を判定
- 判定基準：破壊力学の破壊靭性値（K_{IC}，ΔK_{th}）から

試験と検査は違う

＜試験＞：「データ取り」

使用する装置の原理と、検査対象を良く知って，
正確で公正なデータ取り作業のことである。

＜検査＞：「合格か不合格か」の判定

検査目的を十分理解した上で、正確な試験データと
製品規格とを比較して、公正な判定を下すことである。

※仕様＝製品規格：

国家規格JIS＋客先が要求する仕様など

JISG5502 ＝球状黒鉛鋳鉄品の試験方法
及び製品規格

検査(Inspection):Good/No Good

試験結果：成分，機械的性質，寸法，
有害な《きず》 etc

比較検討＝検査 → Good/NG判定

社内管理値 ← 客先仕様＝顧客満足度

3. 超音波試験

3.1. 超音波伝播速度測定の基本

3.2. 超音波探傷試験の基礎と事例

鋳鉄品の探傷手順，基準試験片の作り方

パルス反射法（Aｽｺｰﾌﾟ表示）

フェーズドアレイ探傷（A, B, Cｽｺｰﾌﾟ）

超音波とは?

1. 音である。我々の声と同じもの
2. 試験で使用する周波数は：1～10MHz

※(1)聞こえない（可聴音は15Hz～20KHz）

※(2)指向性を有する。＝発振方向だけに伝わる。

※(3)スネルの法則が成立する。

3.1. 超音波伝播速度（音速）の測定

・JIS Z 2353
超音波パルスによる
固体の音速測定法

・JFS-NDE001-2004
鋳鉄品材質評価音速
の測定基準書

超音波探傷器+探触子+ケーブル

鋳鉄品の超音を予測する！

超音波伝播速度（音速：C）
物質内を粒子の運動が伝わって行く速さ
波動方程式と運動方程式から
伝播媒体の体積弾性率：Ｋと密度：ρを用いて

$$C = \sqrt{(K/\rho)}$$

そこで，以下の各種鋳鉄の物性値を上式に代入してみるよう！

種々の鉄系物質の弾性係数と密度

	密　度 (g/cm³)	ヤング率 (GPa)	備　考
*FC	7.0～7.5	75～155	DIN1961による。
*FCV	7.0～7.2	140～155	フェライト基地組織
*FCD	7.1～7.3	165～185	DIN1963による。
鋼（参考）	7.8	210	

*出典：Alfred Holzmuller, Wetzlur: Giesserei (1976) Nr. 10. SZ81/Z85

音速に影響を与える因子

1．黒鉛形状：音速が黒鉛球状化率に比例，

式(1)より、片状＜CV状＜球状の順で高くなる。

2．熱処理：焼鈍，焼準，焼入れなど

ｵｰｽﾃﾅｲﾄ化後の熱処理品の音速は大幅に低下する。

3．黒鉛量：基地中の黒鉛量

多いと音速は僅か低下する。

4．基地組織：化学成分，肉厚感度，熱処理に依存

音速は，以下の順で大きくなる。

マルテンサイト＜フェライト＜セメンタイト

5．測定誤差：肉厚測定，伝播時間測定

音速測定原理

音速測定：鋳鉄品の平面と平行部で

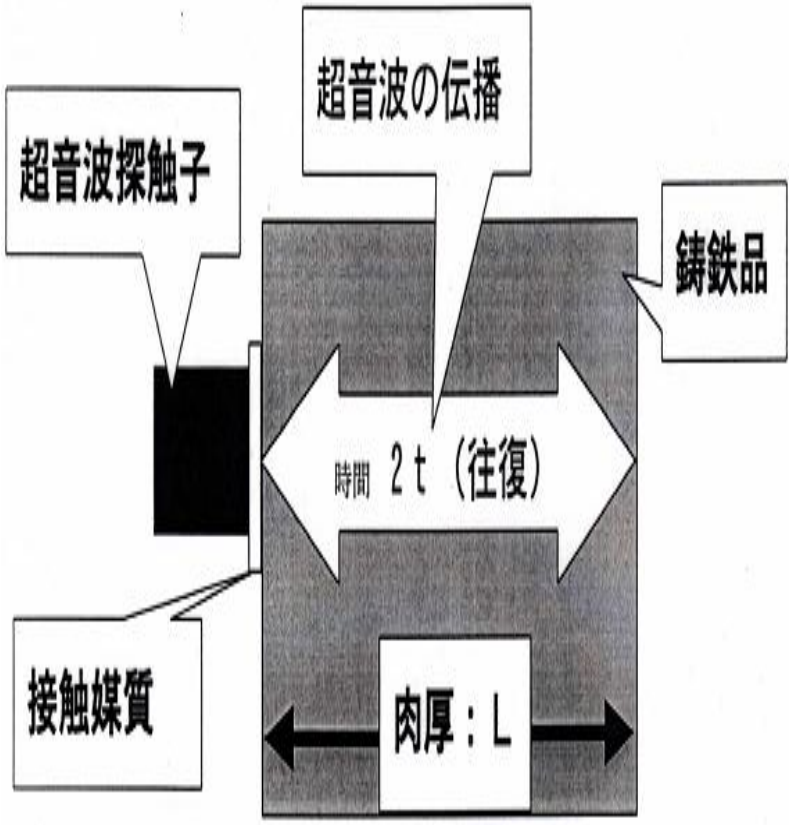
①肉厚測定

②伝播時間測定：超音波探触子を当てる.

音速（V），測定部の肉厚（L），伝播時間（t）

$$V = L / t \quad \cdot\cdot(2)$$

超音波は探触子から接触媒質を通して鋳鉄中を伝播し，底面で反射，反射波は探触子で捕らえられ，発振から受信までの伝播時間が測定される.



音速と黒鉛球状化率に与える影響
肉厚測定誤差

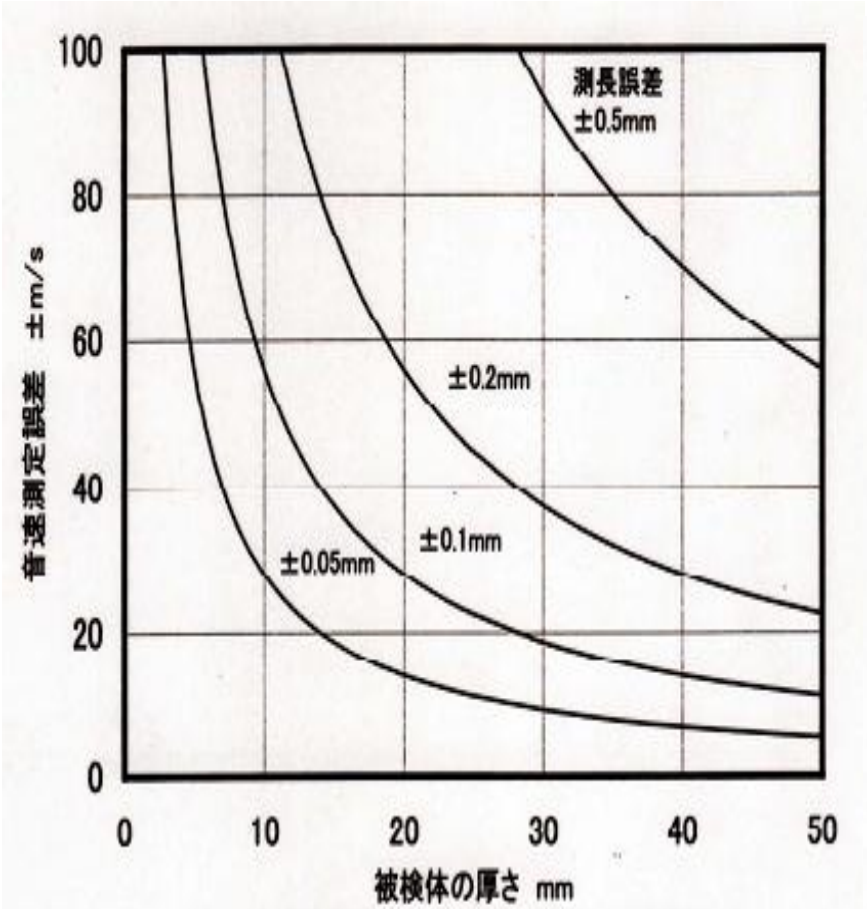


図4 測長誤差が音速測定値に与える影響

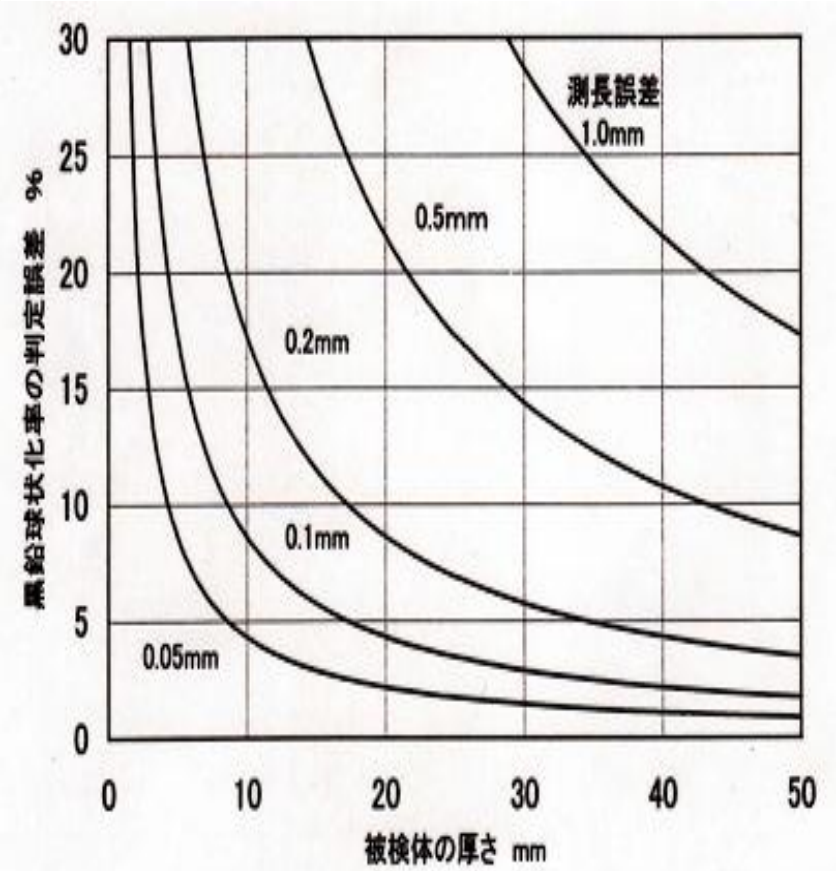


図5 測長誤差が黒鉛球状化率の判定誤差に与える影響

音速と黒鉛形状

- 5,200～5,700m/s で黒鉛形状係数と音速は比例関係
- 片状黒鉛鋳鉄は 4,000m/s台の音速
- 球状黒鉛鋳鉄：5,600～5,700m/s
- CV黒鉛鋳鉄はこれらの中間にある。

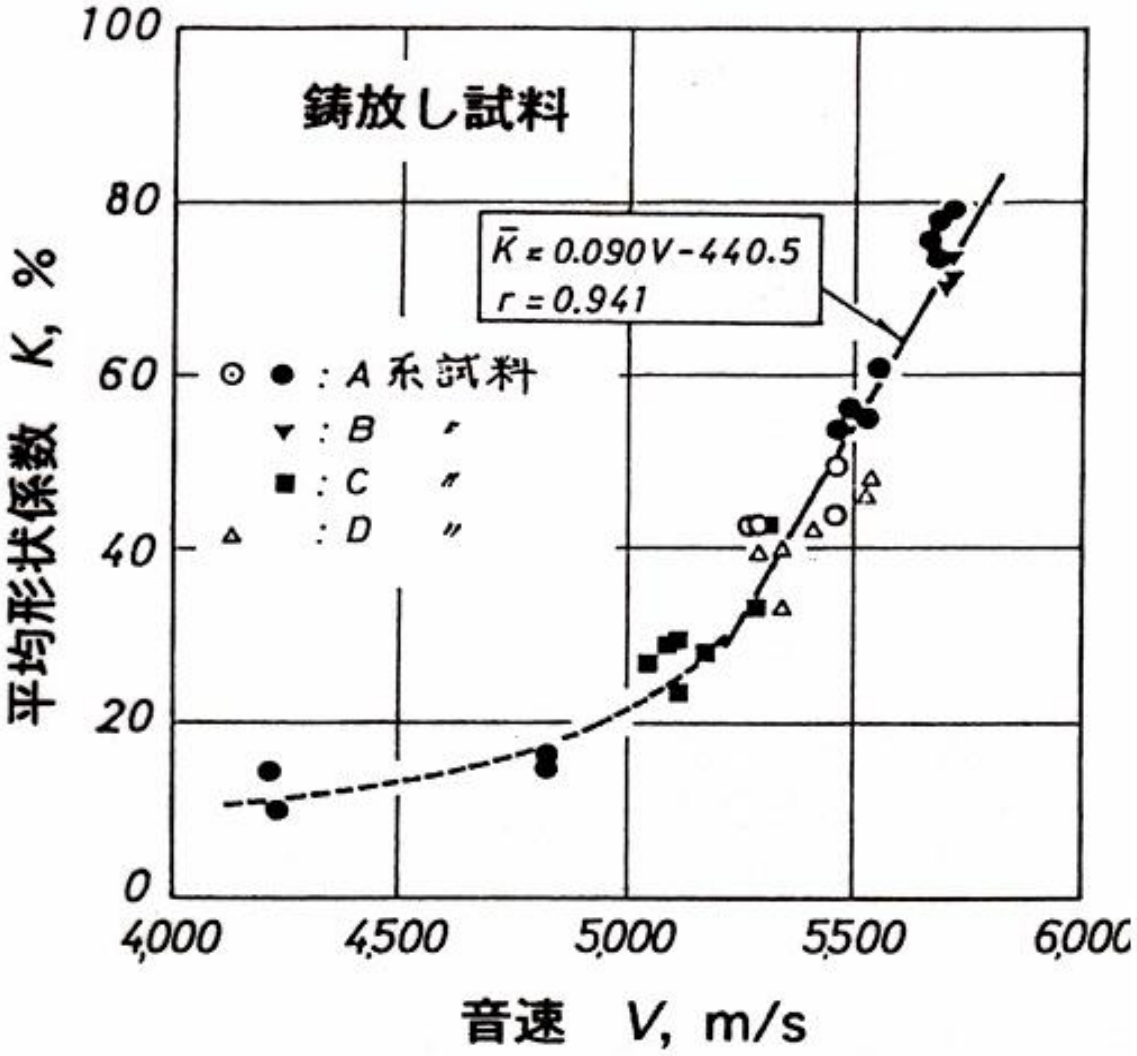
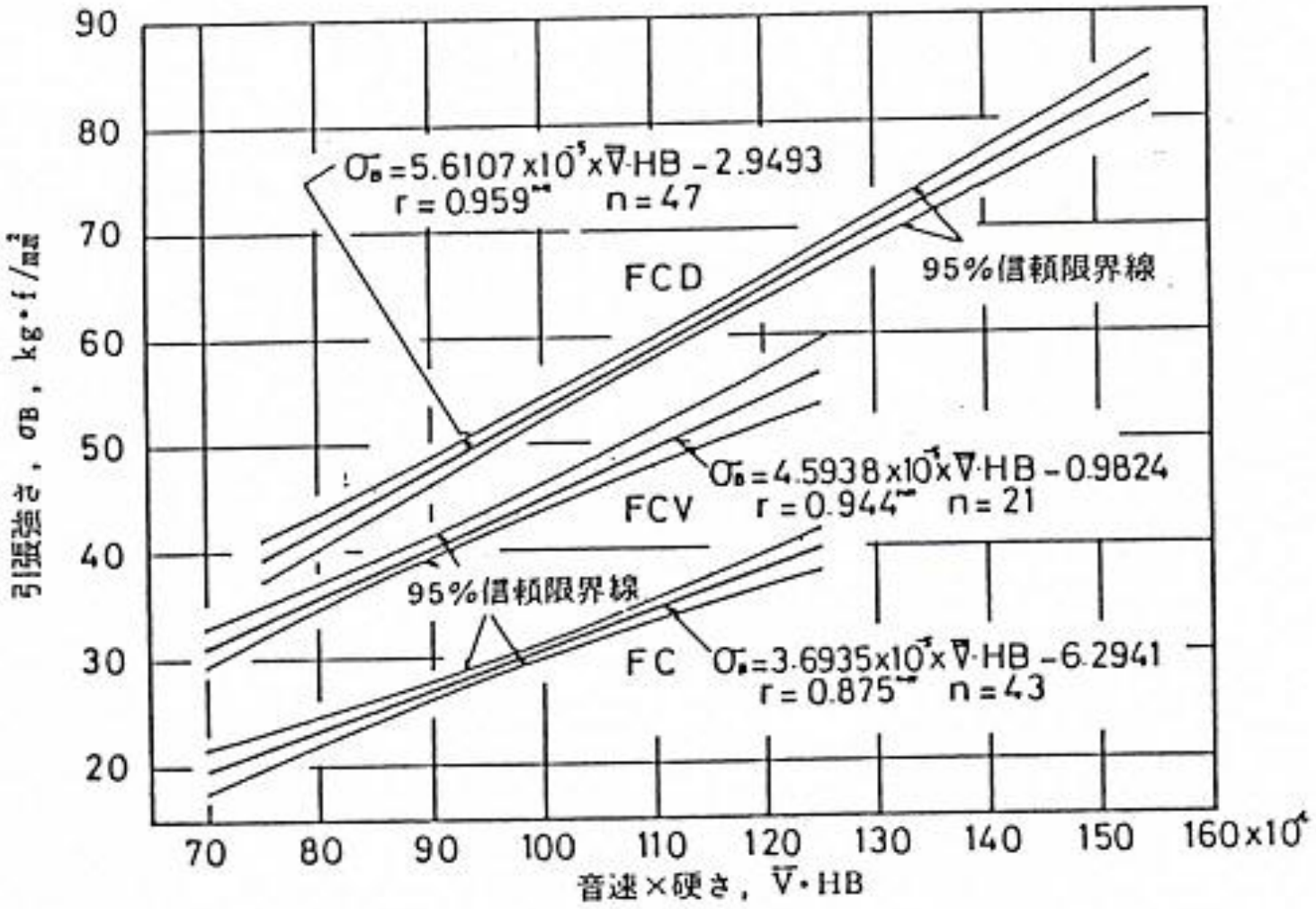


図6 各種鋳放し試料の平均黒鉛形状係数と音速の関係

出典：鋳物、vol56(1984)7,408

各種鋳鉄の引張強さと「音速ｘ硬さ」との関係



出典：(社)日本鋳物協会、研究報告47(1987)P63

機械的特性と音速：基地組織一定試料

フェライト基地

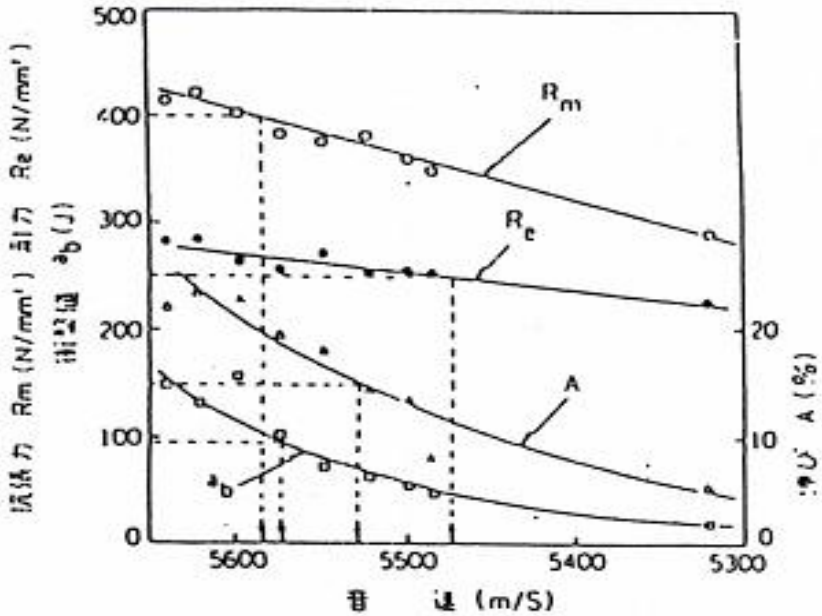


図 7　フェライト系ダクタイル鋳鉄の機械的性質と超音波速度との関係例
（1 kgf・m＝9.80665 N・m または J）

パーライト基地

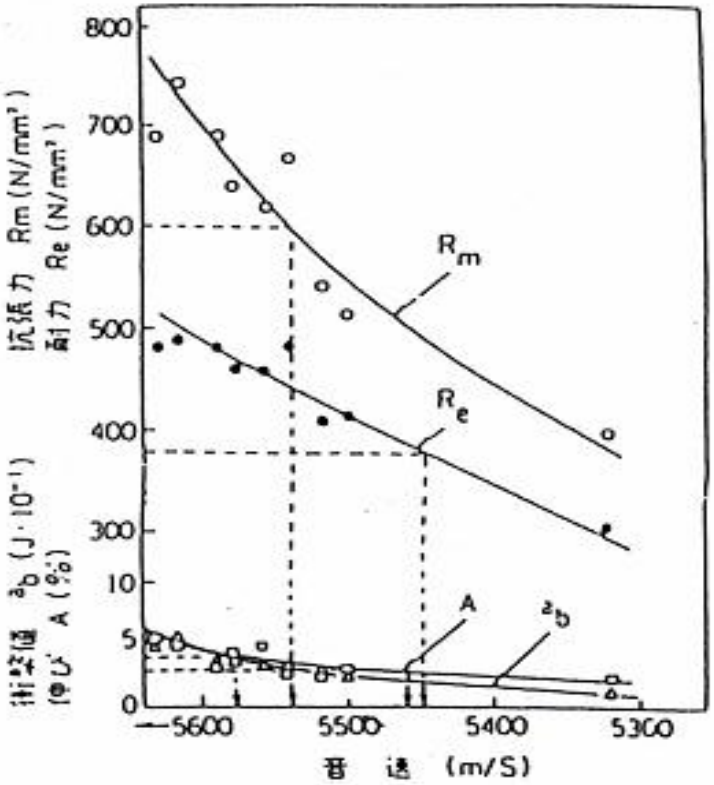


図 8　パーライト系ダクタイル鋳鉄の機械的性質と超音波速度との関係例

3. 2.
超音波試験
探　傷

超音波探傷器+探触子
+探触子ケーブル

JIS Z 2344
金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験通則

超音波探傷試験と検査

- 《傷》エコー情報

①横軸の立ち位置：傷深さ（探傷面からの距離）
②《傷》エコーの形：単独傷，密集傷
③Fエコー範囲：平面的な広がり
④Fエコー高さ：対比試験片人工傷との比較

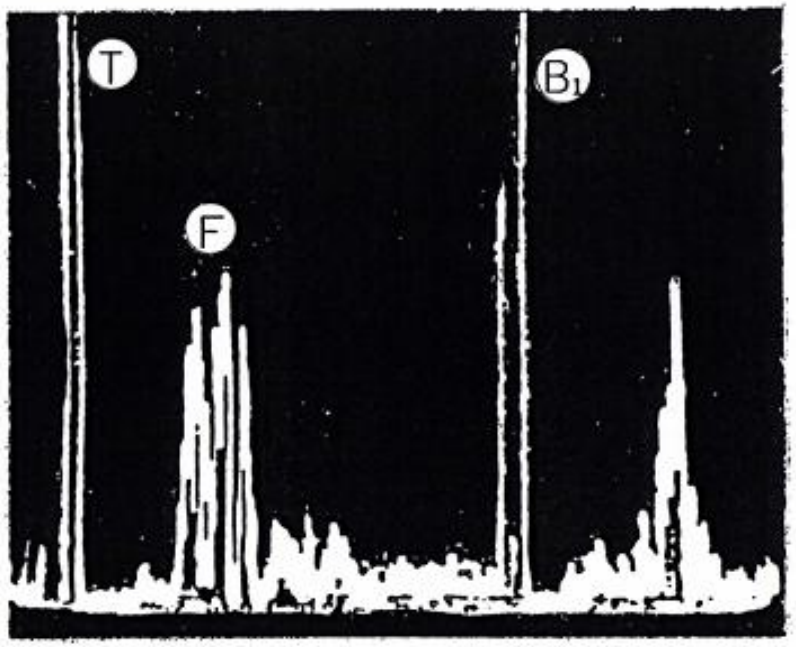
比較 → 判定

- 《傷》の仕様

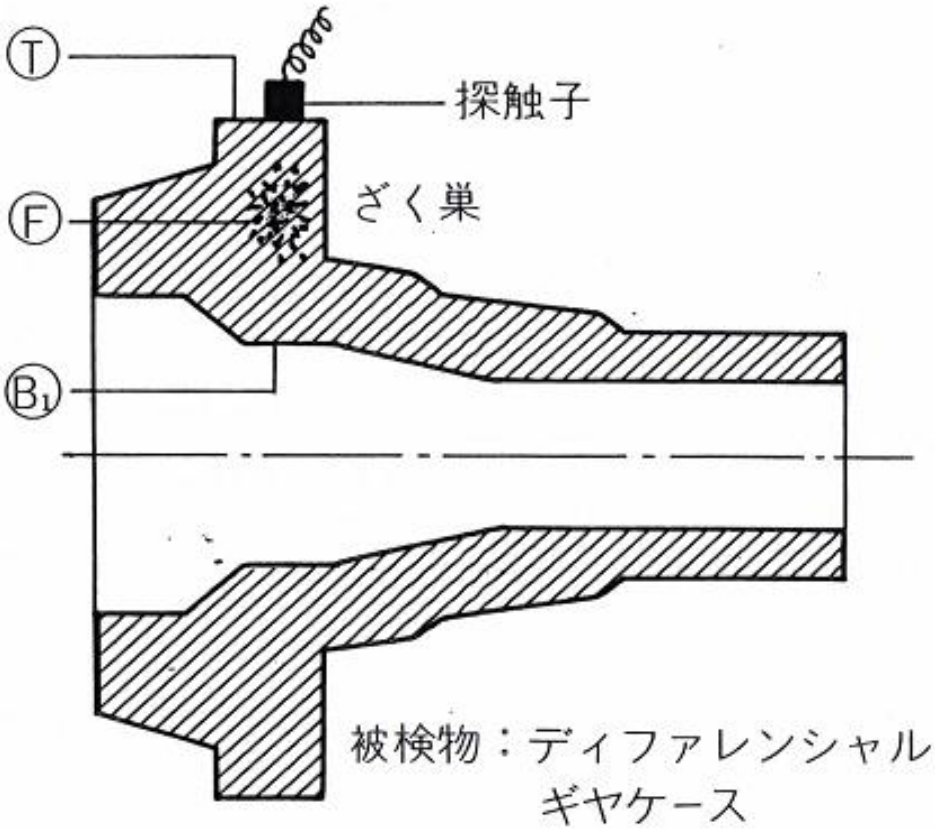
①大きさ：○△□mm
《傷》位置での作用応力と
破壊靭性値：K_{Ic}, J_{Ic} ΔK_{th}との比較
②使用環境(温度，湿度など)

超音波探傷試験（パルス反射法）説明図

T：発信波
F：欠陥からの反射波
B_1：底面反射波



探傷器のブラウン管写真



KUSAKA H-KAGE

超音波パルス反射法の説明

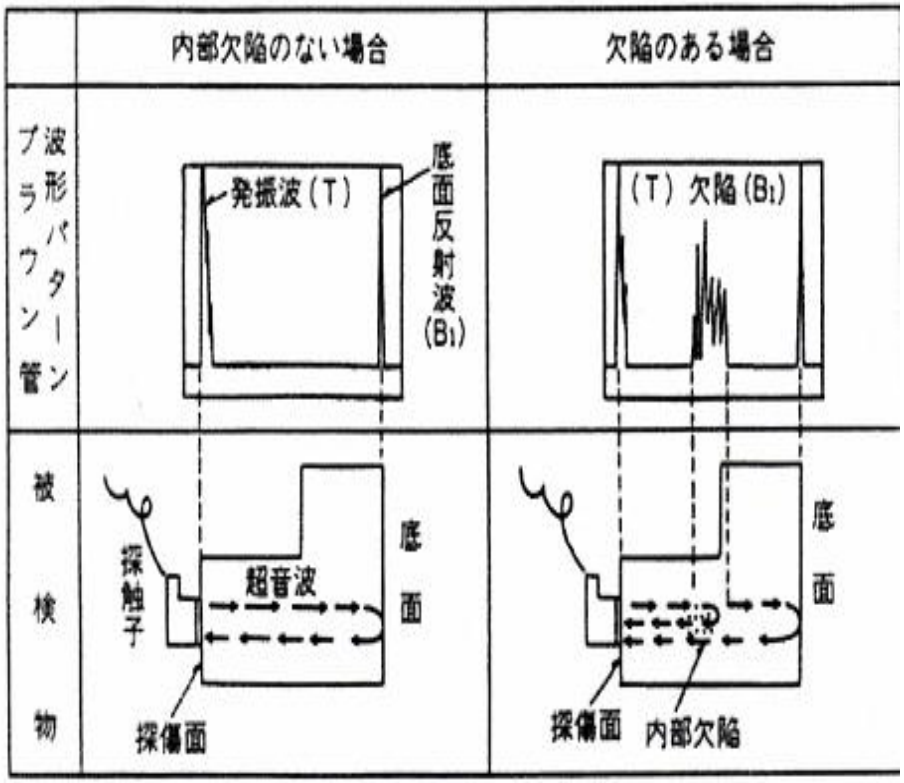


図　超音波探傷法の原理（T：発振波，B_1：第1底面反射波，F：内部欠陥からの反射波）

横軸：時間軸の調整は音速測定と同じ

位置：深さは横軸から読み取る。

デジタル探傷器は自動計測表示する。

《きず》大きさ：Fエコー高さで推定する。

人工《きず》との対比から

反射波の高さは反射面積に比例

$(距離)^2$に反比例する。

《きず》の種類：Fエコーの形状で推定する。

《きず》の範囲：探傷面での探触子走査できめる。

（例：$F_{H最大}$～$1/2F_{H最大}$の範囲）

超音波探傷手順（垂直縦波パルス反射法）

1. 試験検査箇所：検査箇所を受渡し当事者間で決める。
   客先が要求する場所、交差部、厚肉部、押し湯下及び堰の付近などの最終凝固部
2. 試験手順
   ①どの方向から試験するかを決める。
   ②探傷面（探触子を当て試験する面）を探す。
3. 受渡し当事者間で協議して評価基準を作る。
   「傷の大きさ」の評価基準：例）平底ドリル穴（FBH)径など
   材料の破壊靭性値と検査箇所の作用応力から計算する。
4. 対比試験片（基準試験片）を作る。
   ①原則として健全な被検品を使用するのがよい。
   ②対比試験片の探傷面あらさ：
   ・被検物と同じであること。
   ・ショット肌でもよいが、試験精度を上げるには、軽くグラインダーがけの面が良い。

5. 探触子及び接触媒質の選択：

・試験箇所、対象とする傷の大きさと探傷面からの深さ及び探傷面の状況を考慮する。選択の基準を以下に示す。

①大型で厚肉物⇒周波数が低く、接触面の大きな探触子

②探傷面近くにある傷⇒分割型探触子（2振動子型探触子）

③探傷面がショット肌で粗い場合：ゴム被膜付探触子

④接触媒質：探傷面が粗いほど粘性のあるもの（グリスなど）を使用する。その他市販の接触媒質が探すと良い

6. 試験システム：探傷器＋探触子

対比試験片の人工傷からのエコー高さ80%にした時、感度(dB)余裕が大きく、S/N比が良いこと。

7. 探傷器の校正：時間軸（横軸）を対比試験片で校正する。

・使用する探触子の交換や被検物が変わるたびに必ず校正を行うこと。

・校正されると、被検物の固有音速が得られ、探触子のディレーが自動的に修正される。

8. 探傷試験手順：

①探傷感度を決める：探触子を接触媒質のついた対比試験片に密着させ、任意の人工傷からの最大エコー高さが、80%になるように感度調整する。これが**基準の探傷感度**である。

②この感度で被検物の試験・検査箇所を探傷する。

③被検物の内部からのエコー（反射波）があれば、その高さと横軸の位置を記録する。デジタル式探傷器では、探傷器の内部メモリーに探傷画像・探傷条件・傷エコー高さ(%)と深さ(mm)を丸ごと保存・任意に再生できる。その後、他の記憶媒体やPCに転送、試験結果をプリントアウトできる。

④得られた傷からのエコー高さと対比試験片人工傷エコー高さ80%から、この傷の大きさを推定する。

＜例＞人工傷の直径が5φ、探傷試験で見つかった傷エコー高さが40%とすると、反射面積が1/2の傷で傷の直径Rは、人工傷の面積$S_0 = \pi 2.5^2$だから

$\pi(R/2)^2 = \pi 2.5^2/2 \Rightarrow R/2 = 2.5/\sqrt{2} \Rightarrow R = 2.5\sqrt{2} = 3.5\text{mm}$

傷の大きさを測定する。ここまでが超音波探傷試験である。

対比試験片：Reference　Block

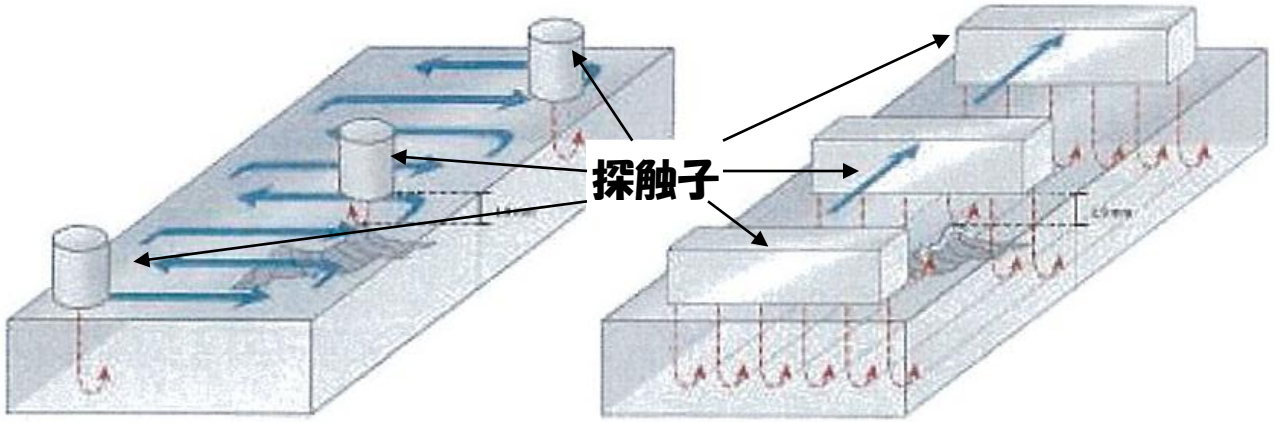
- 客先と検査箇所を決め，そこの作用応力と被検物のK_{IC},ΔK_{th}などを考慮し，で当事者間協議し人工傷の穴の径を決定する。
- 同材質，できれば健全な被検物（製品）でRBを作る。
- 検査に適した位置と深さに人工傷（平底ドリル穴：FBH）をあける。

　探傷感度は、RBの人工傷よって調整
この人工傷からの傷エコー（Fエコー）を80%にする感度を基準探傷感度として被検物の探傷試験を実施する。

これからの超音波探傷法
フェーズドアレイ機能搭載超音波探傷器

- 医療用超音波診断技術を
- 工業用超音波探傷器に搭載
- カラー画像（Ｂ又はＣスコープ）で表示，
  ⇒傷の検出率を大幅アップ
- ポータブル，直接接触形フェーズドアレイ探触子で
  より広い範囲を探傷試験できる．
- 傷の位置・形状など短時間で，より分かりやすく把握できる．

フェーズドアレイ超音波探傷方法の概要



従来の探傷方法

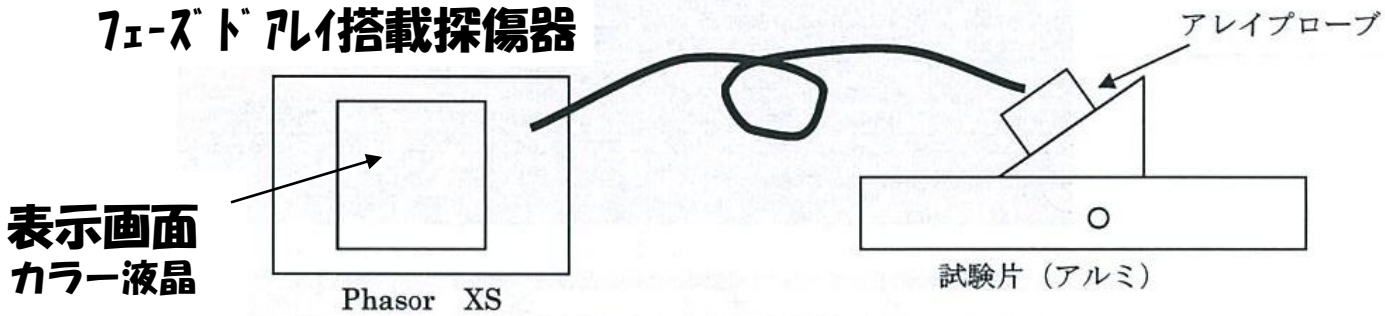
フェーズドアレイ探傷方法

一個の探触子に幾つもの振動子が取付けられ，それぞれの送信･受信の管理と記録，そして映像化が出来る．

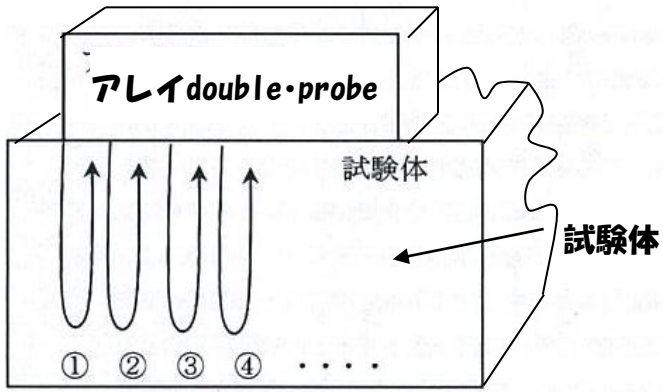
GE imagination at work

想像をカタチにするチカラ

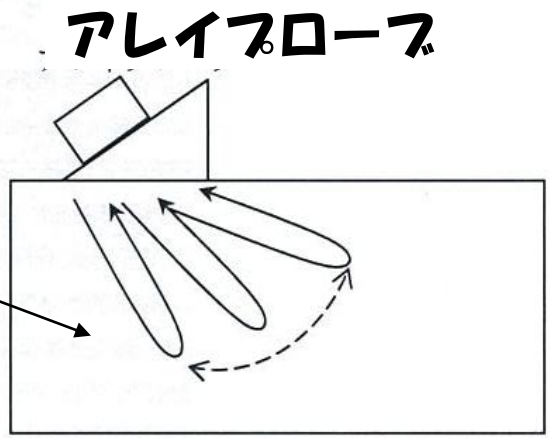
ﾌｪｰｽﾞﾄﾞｱﾚｲ探傷の原理



リニアスキャンとセクタスキャン

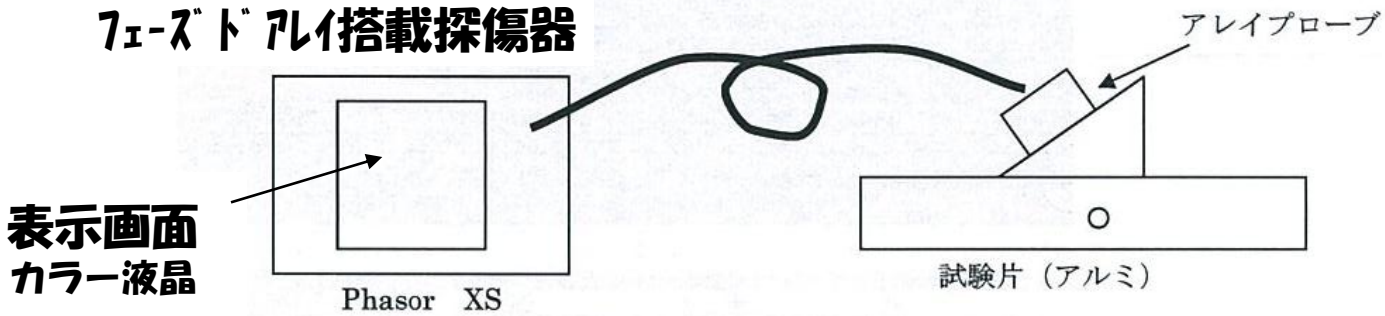


リニア・スキャンの概要

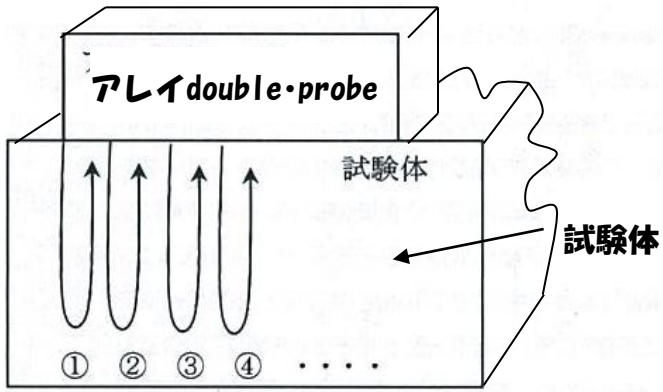


斜角セクタ・スキャンの概要

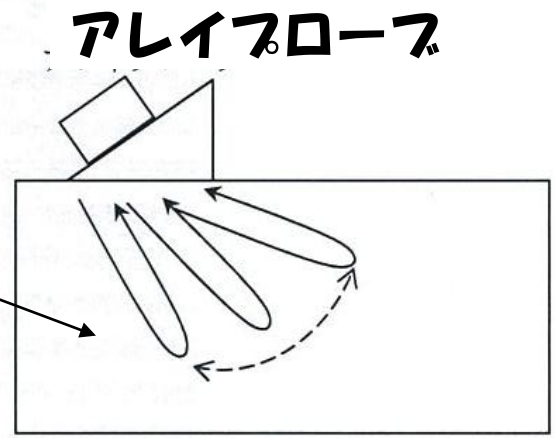
ﾌｪｰｽﾞﾄﾞｱﾚｲ探傷の原理



リニアスキャンとセクタスキャン



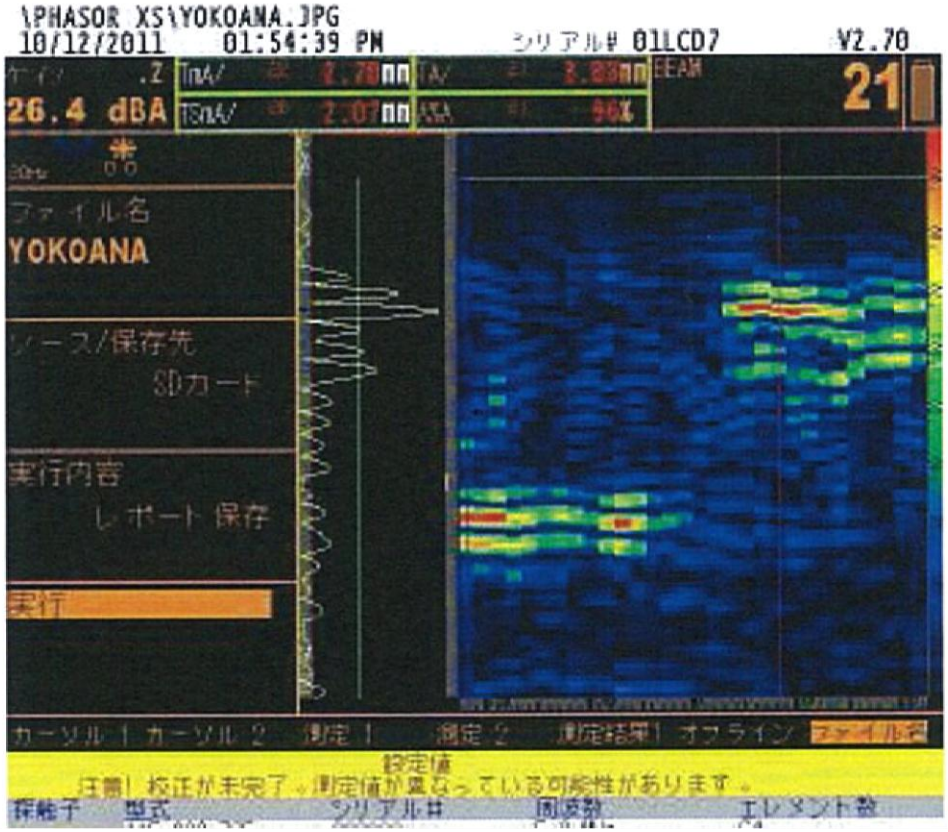
リニア・スキャンの概要

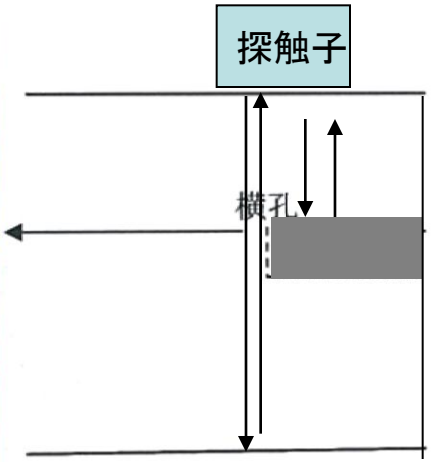


斜角セクタ・スキャンの概要

5MHz,32エレメント,二振動子型アレイプローブ
リニアスキャン　データ

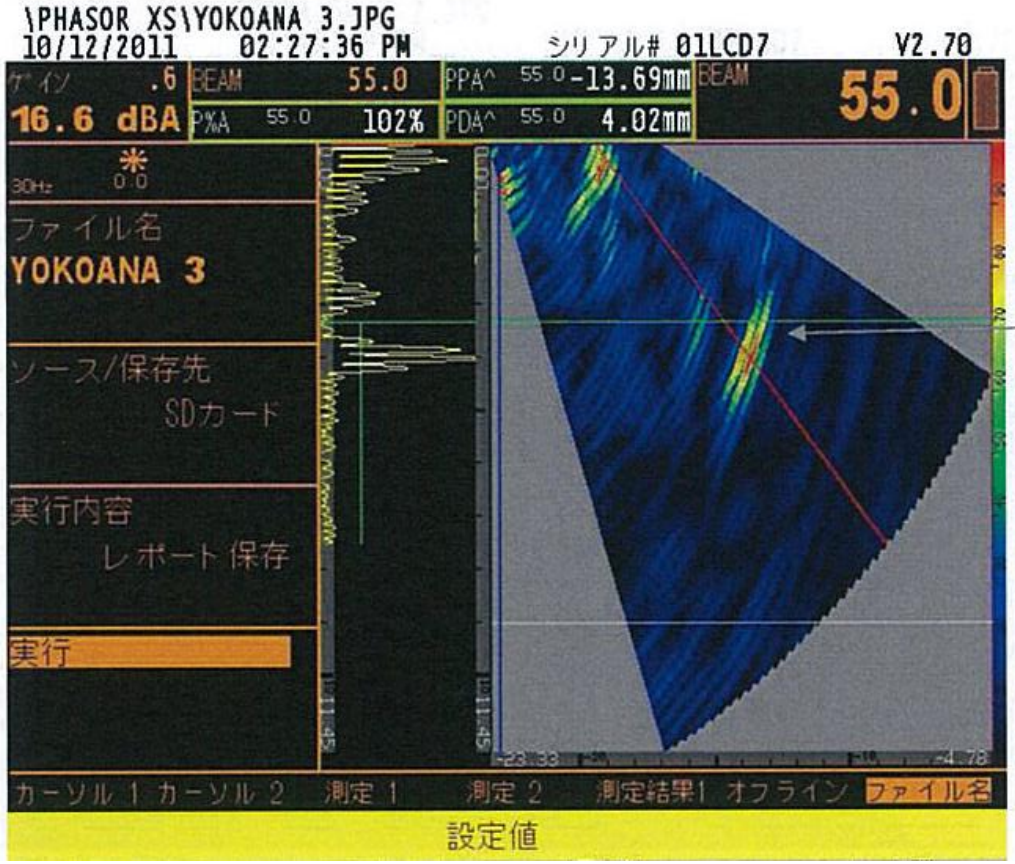
5MHz、32 エレメント　二振動子型アレイプローブ　リニアスキャンデータ

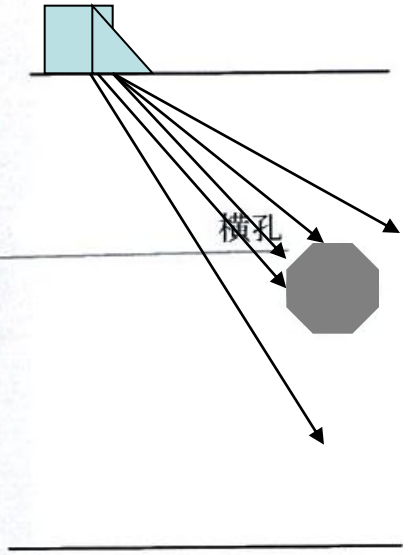




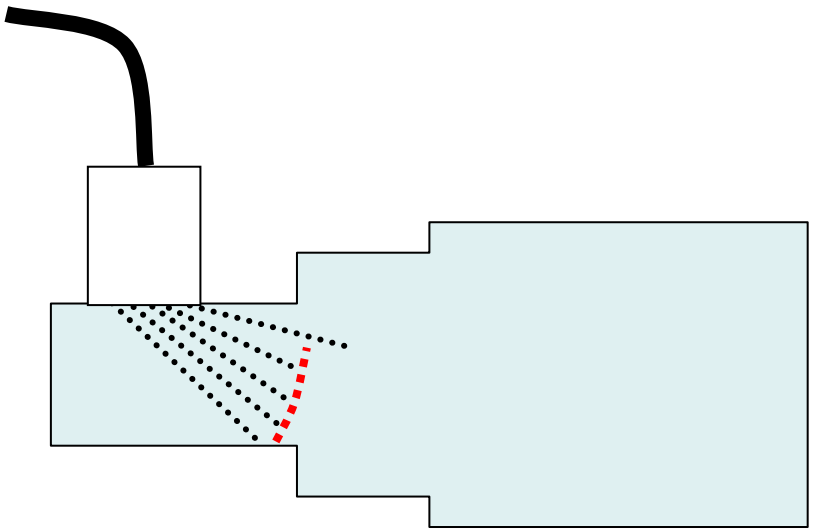
5MHz,32エレメントアレイプローブ
斜角セクタスキャン　データ

5MHz　32エレメントアレイプローブ　斜角セクタスキャンデータ



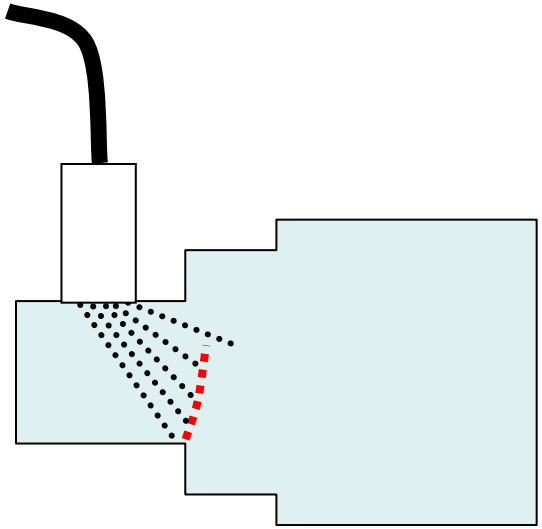


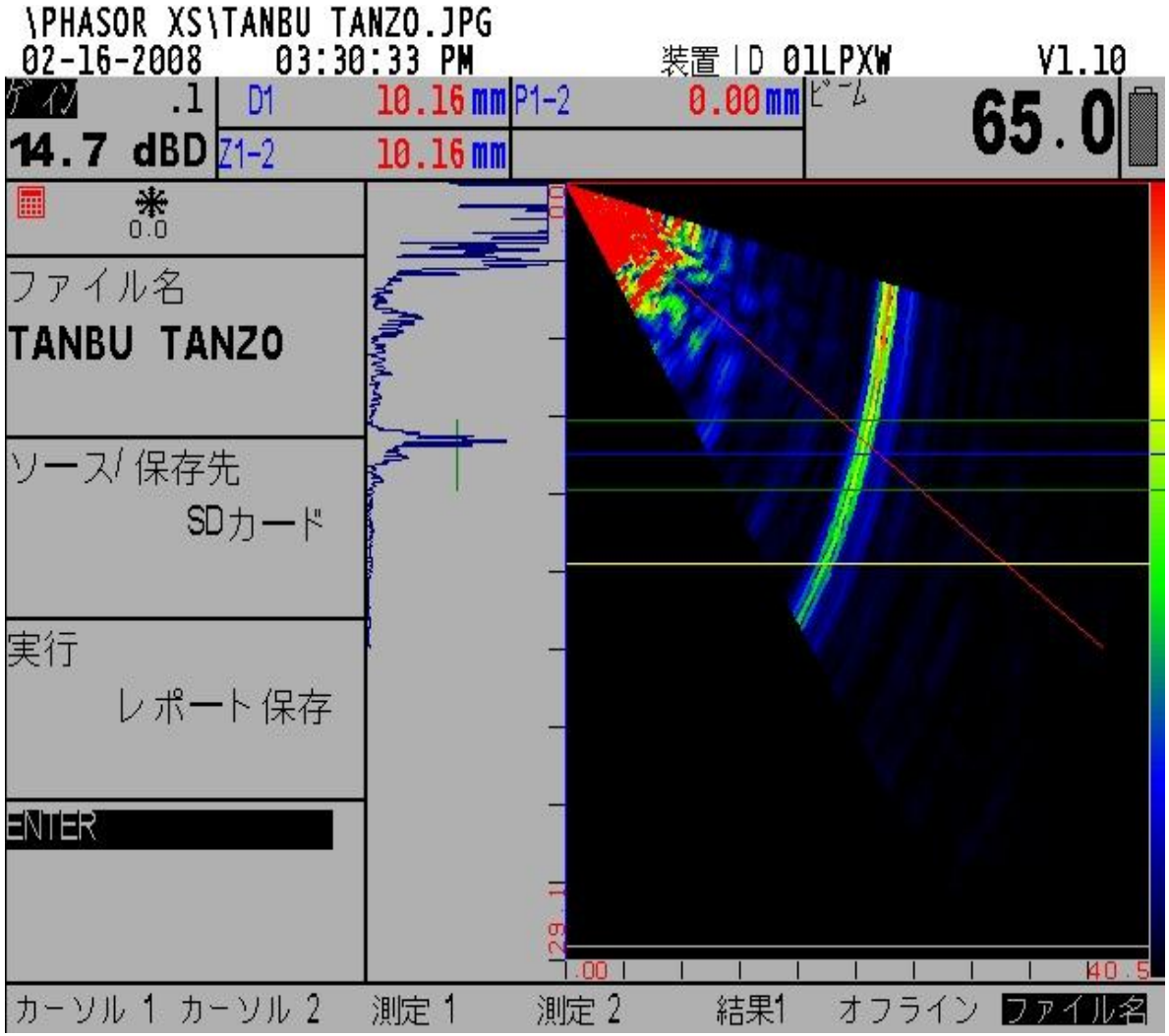
機械部品への適用例



本資料記載内容は製作者に許可無く
開示・複写・転載・改作を禁じます。

機械部品への適用例

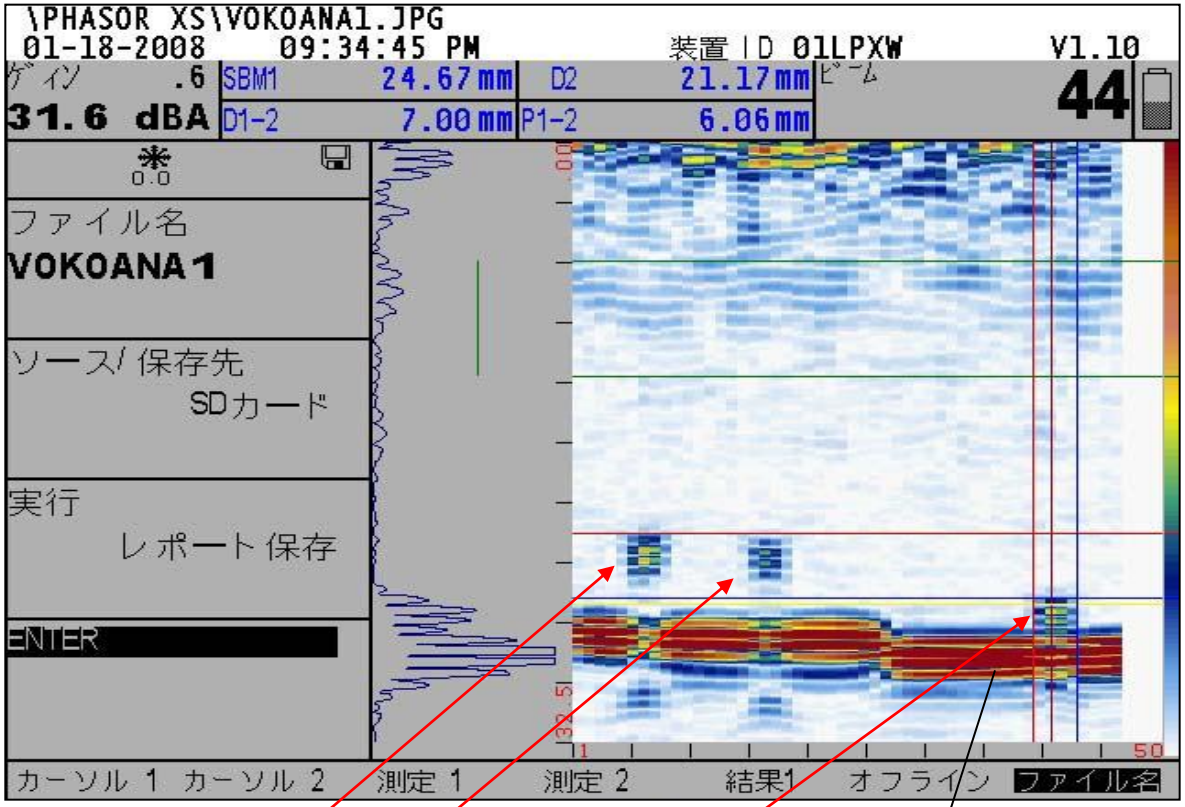


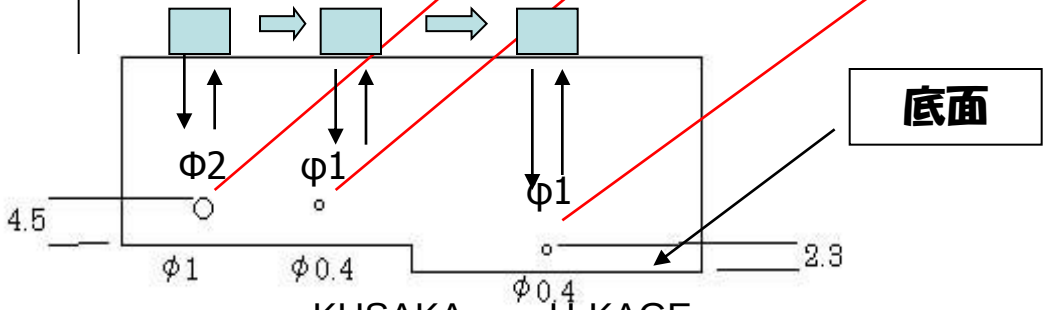

\PHASOR XS\TANBU TANZO.JPG
02-16-2008 03:30:33 PM
装置 ID 01LPXW
V1.10
ゲイン .1
14.7 dBD
D1 10.16 mm
Z1-2 10.16 mm
P1-2 0.00 mm
ビーム
65.0
0.0
ファイル名
TANBU TANZO
ソース/保存先
SDカード
実行
レポート保存
ENTER
.00
40.5
カーソル 1
カーソル 2
測定 1
測定 2
結果1
オフライン
ファイル名

本資料記載内容は製作者に許可無く
開示・複写・転載・改作を禁じます。

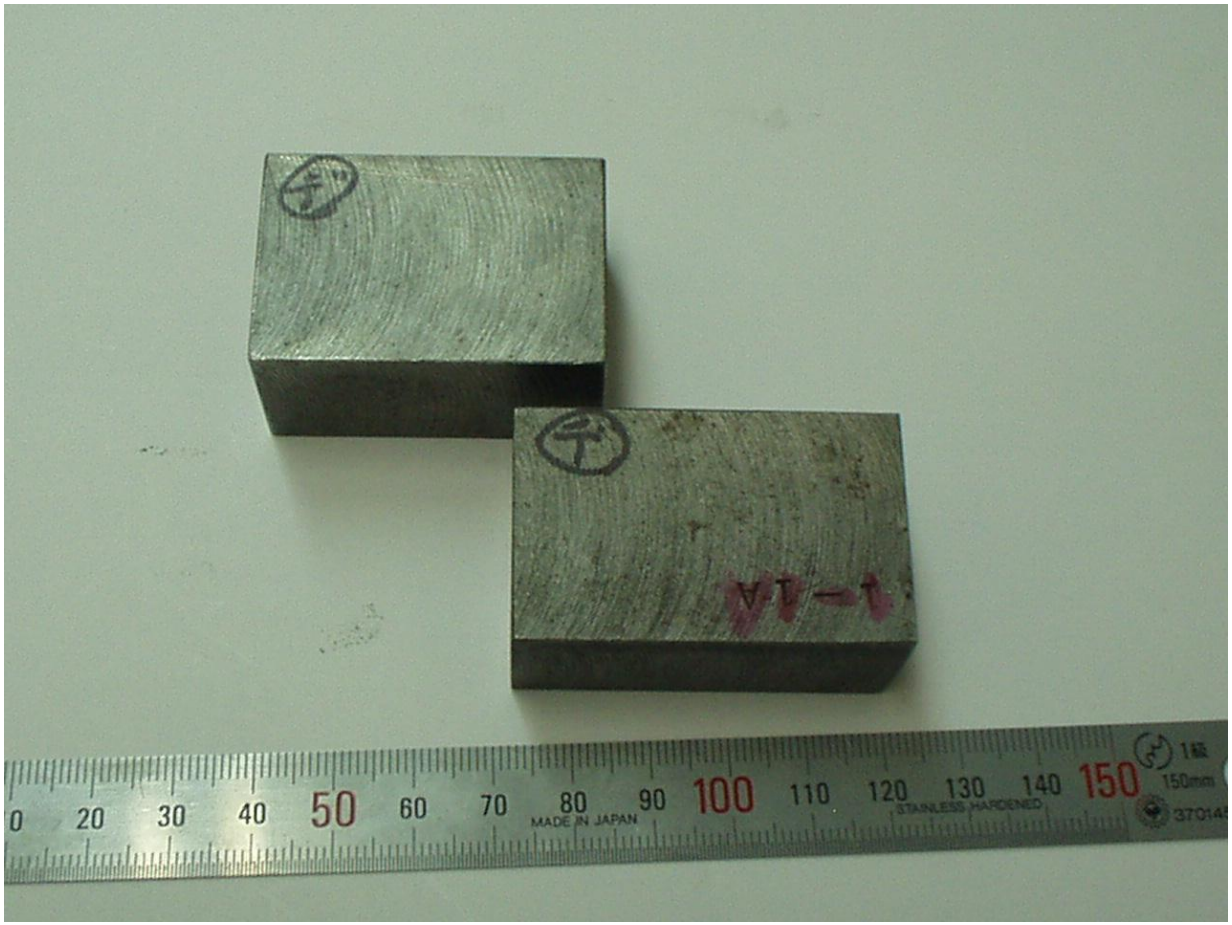
リニアスキャンの探傷結果

φ1,φ2の横穴と底面の形状がBｽｺｰﾌﾟでカラー表示されている.





球状黒鉛鋳鉄への適用例：

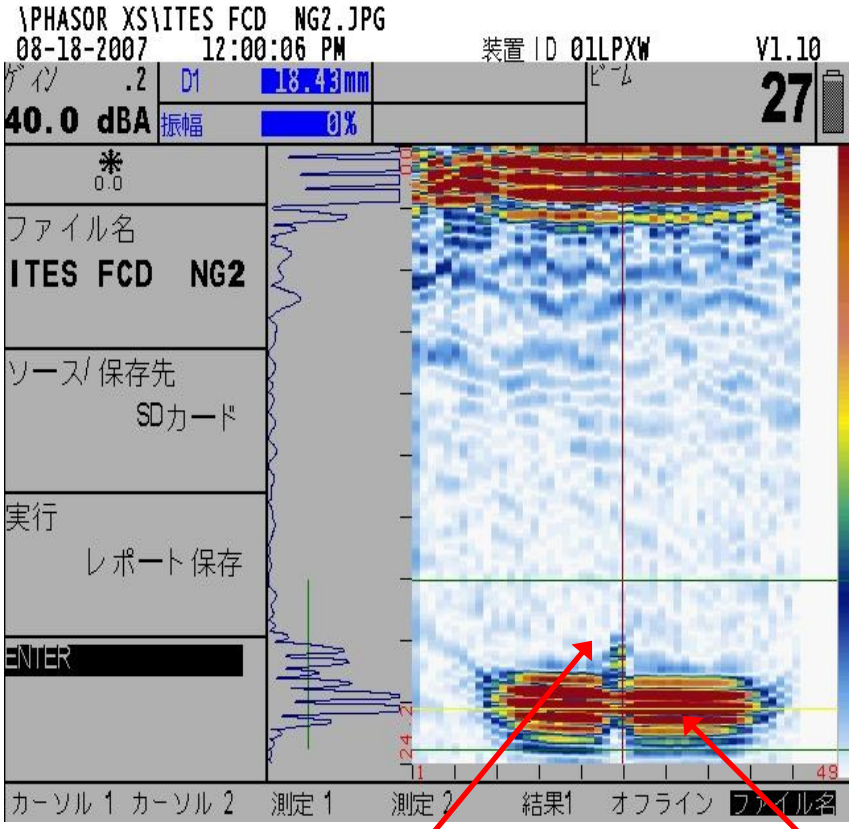


本資料記載内容は製作者に許可無く
開示・複写・転載・改作を禁じます。

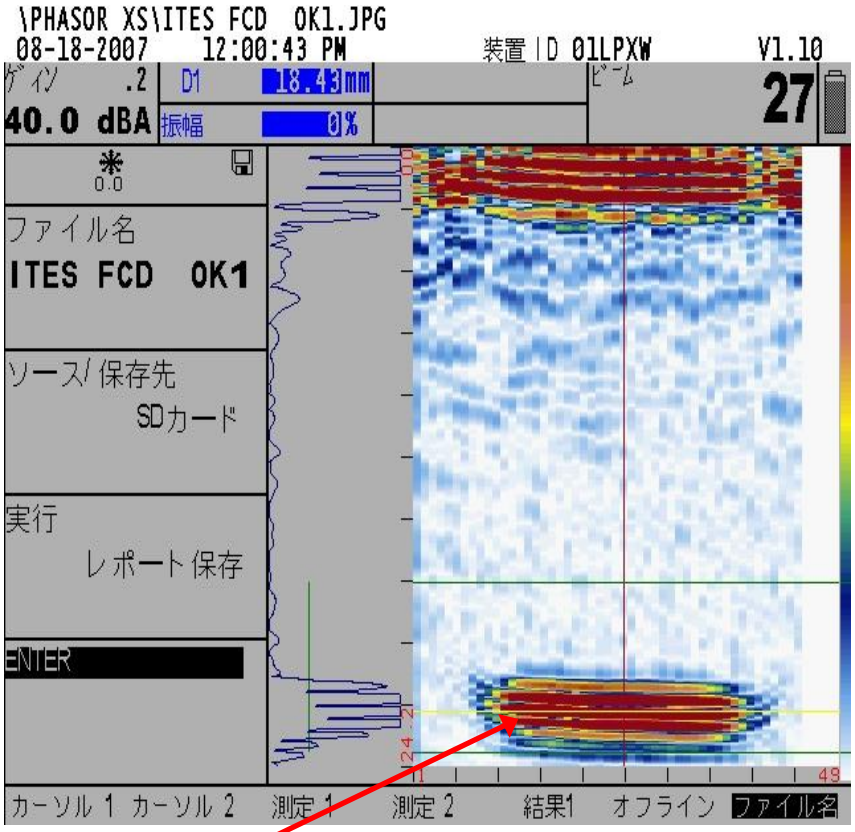
球状黒鉛鋳鉄品への適用例

本資料記載内容は製作者に許可無く開示・複写・転載・改作を禁じます。

傷在り



傷無し



自然きず

底　面

4．傷の評価（鋳鉄は延性材料として扱える）

この世に「完全無欠な構造材料」は存在せず，
①破壊力学を用いて傷の有害性を
応力拡大係数：K_I（作用応力と“傷寸法”から計算）と
その材料破壊靭性値K_{IC}やΔK_{th}との比較から！
②傷寸法は非破壊試験で（超音波探傷試験や放射線試験など）

＜K値の計算式＞

1）静的破壊 ⇒ $K_I = \beta \sigma \sqrt{\pi a}$

K_I：応力拡大係数，β：比例係数≒1，σ：引張り応力，
π：円周率，a：きれつ長さ

有害な”傷”/$K_I > K_{Ic}$:破壊靭性値(材料定数)

2）疲労破壊 ⇒ $\Delta K = \psi \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$

ΔK：応力拡大係数幅，ψ：係数，$\Delta\sigma$：応力振幅，

有害な傷/ $\Delta K > \Delta K_{th}$ ：疲労での破壊靭性（下限界応力拡大係数幅）
（材料定数）

判定基準：K_{Ic}とΔK_{th}は材料定数

1）静的破壊

FC：K_{Ic}＝5～30（MPa√m）

FCD：K_{Ic}＝55～100（MPa√m）

有害傷：$K_I \geqq K_{Ic}$：破壊靭性値（材料定数）

2）疲労破壊/ FC＆FCD：ΔK_{th}＝～3（MPa√m）

有害なきず：$\Delta K \geqq \Delta K_{th}$：下限界応力拡大係数幅（材料定数）

※鋼のΔK_{th}＝6（MPa√m）

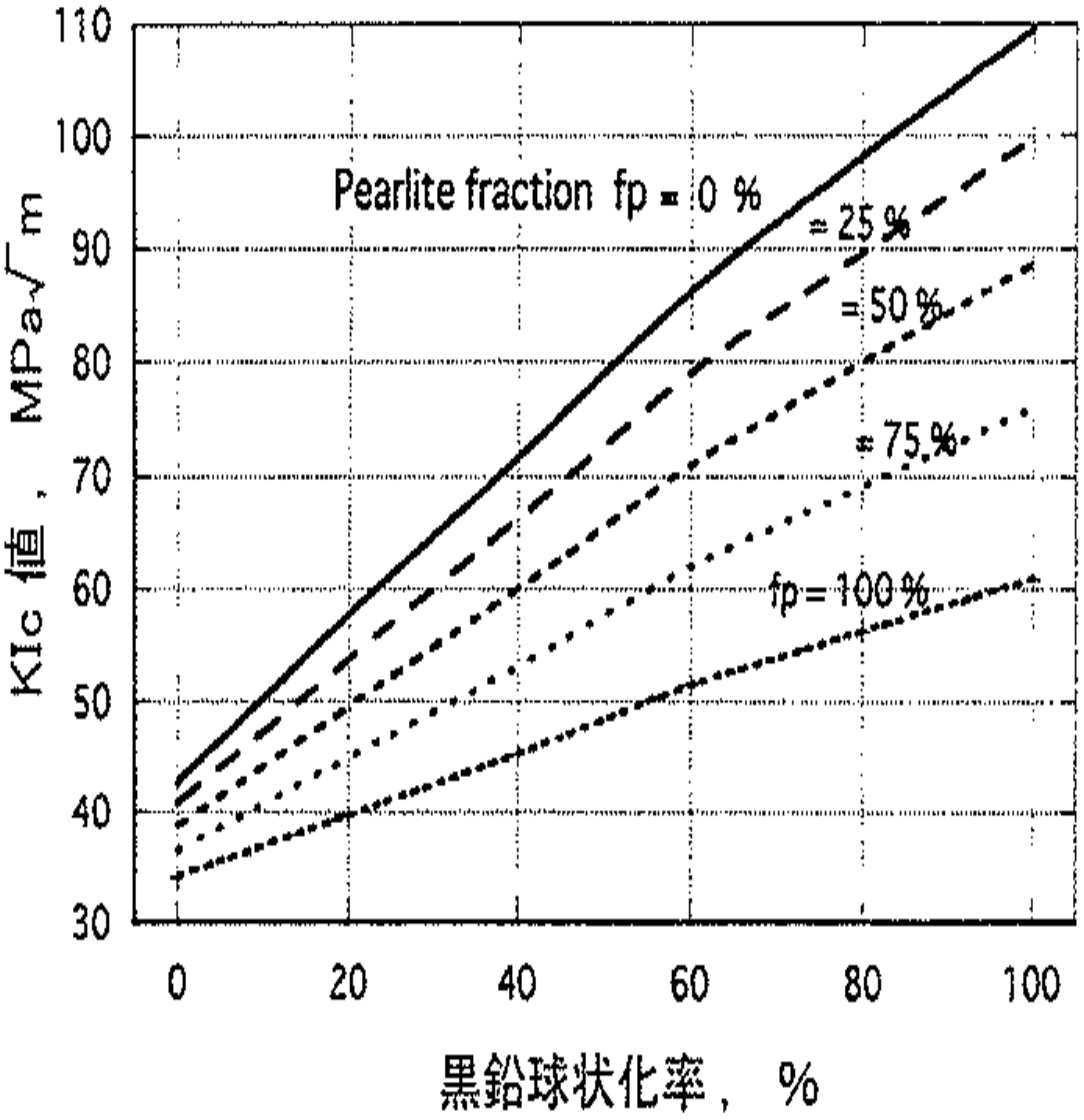
※ $K_I = \alpha \cdot \sigma \sqrt{\pi a}$, $\Delta K = \omega \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$

基地組織の異なるFCDのK_{IC}と黒鉛球状化率＆パーライト率

（※K_{IC}はJ_{IC}より換算）

- 黒鉛球状化率とK_{IC}は比例関係にある。
- パーライト率f_pが増加するに伴いK_{IC}は低下する。
- 球状黒鉛鋳鉄は、黒鉛球状化率80%以上でのK_{IC}である。

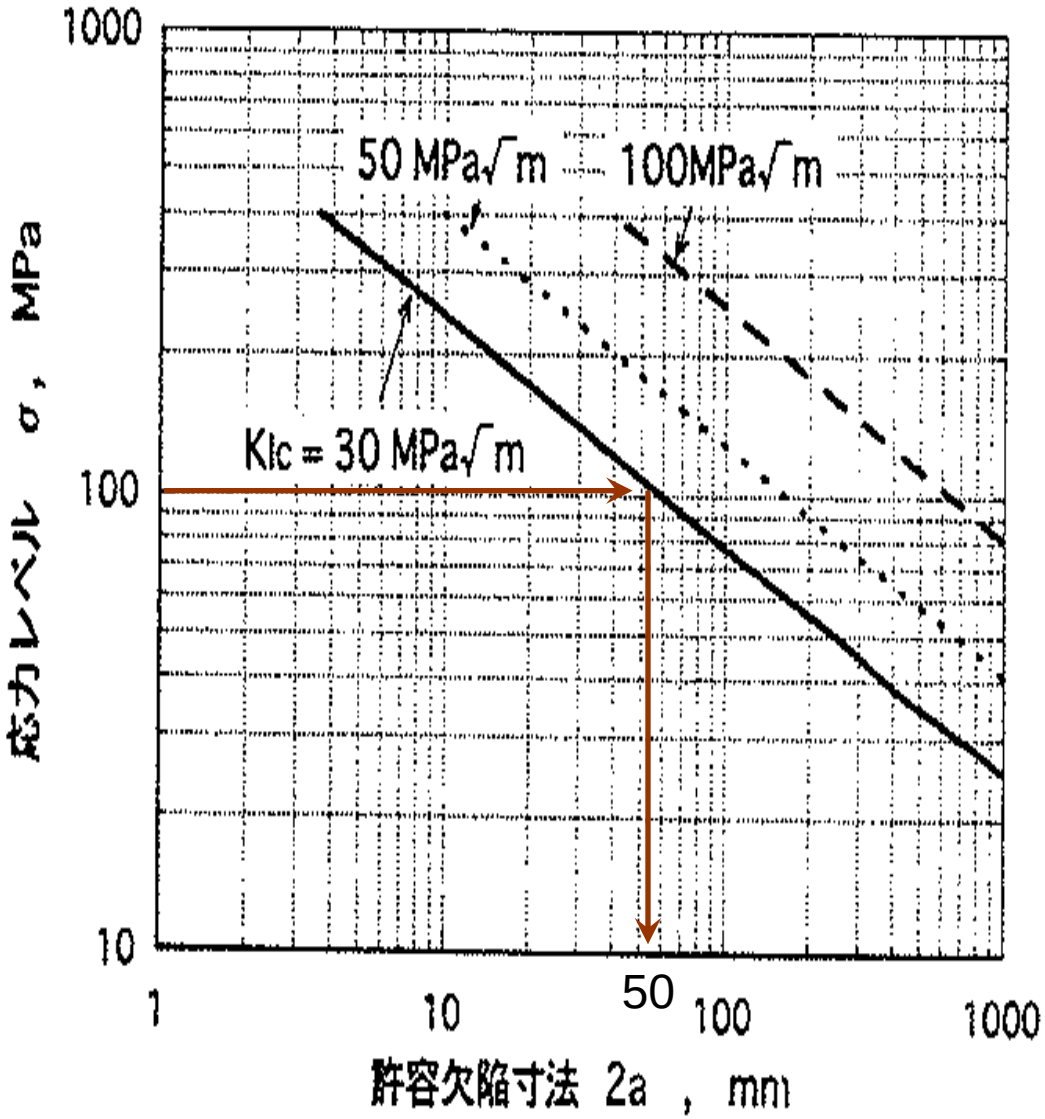
「鋳鉄品の超音波試験技術者養成講習会テキスト」p10
野口徹



FCDの破壊靭性
任意のK_{IC}に於る作用応力と許容欠陥寸法

「鋳鉄品の超音波試験技術者養成講習会テキスト」p10
野口徹

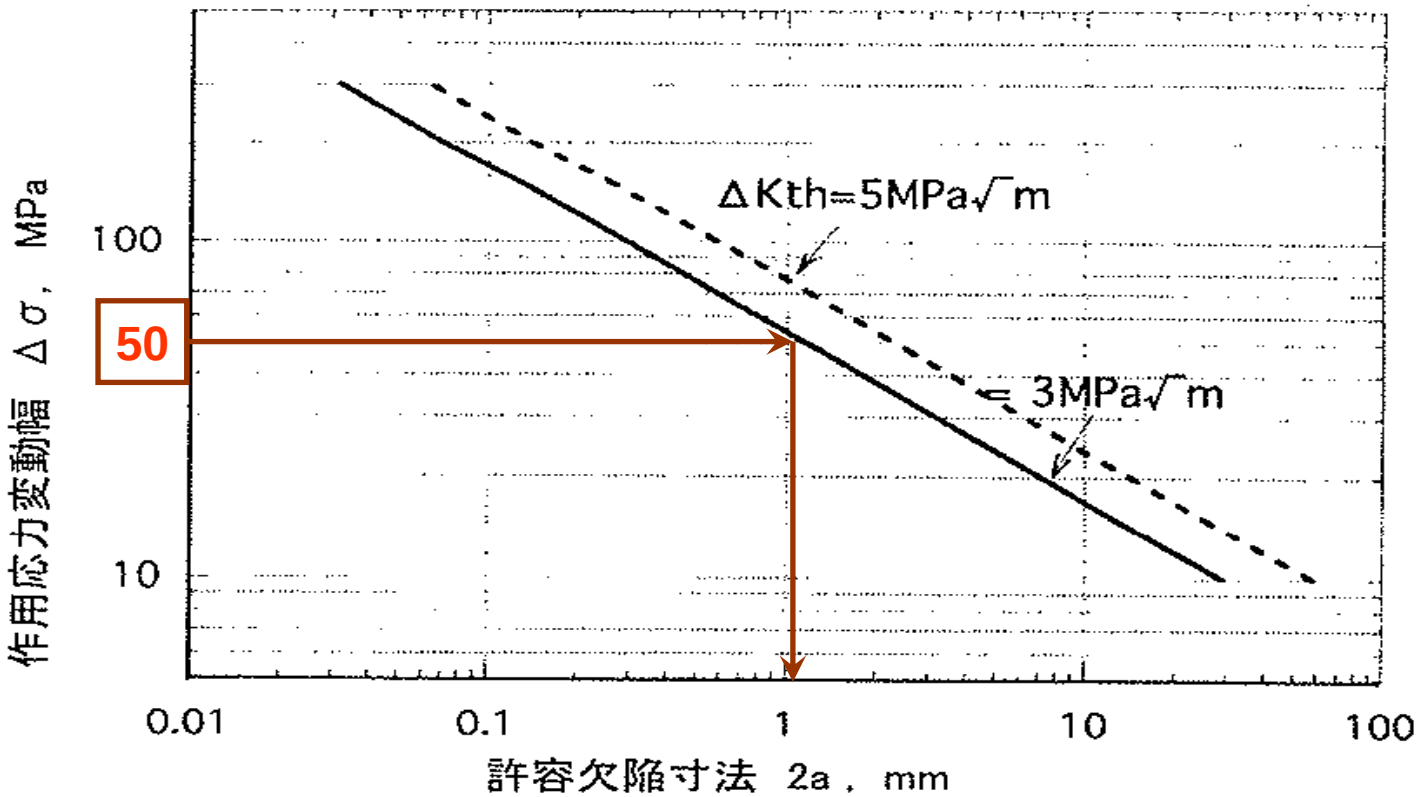
- K_{IC}＝30MPa√mの材料の球状黒鉛鋳鉄部品試験部に100MPaの静的作用応力がかかったとする。
右図より許容最大寸法は、内部傷なら50mm、外部なら25mmとなる。



疲労破壊：⊿Kthに対する作用応力振幅と許容欠陥寸法

出典：鋳鉄品の超音波試験技術者養成講習会テキストp11,野口徹

・疲労の場合、⊿KthはKICの1/10で、作用応力振幅50MPaのとき、内部に存在するきずの大きさは1mm、外部だと0.5mmと大変厳しい。



非破壊試験の特徴と注意

- 非破壊試験は破壊試験の代替試験である。
- 検査基準、規格はすべて破壊試験値
- UT試験で黒鉛球状化率，引け巣のｻｲｽﾞ定量化
- 検量線（破壊試験値との関係を明確に）を作る。
- 検量線から非破壊検試験値での合否を判定

- 原理を良く知る。装置の管理・メンテが大切。
- 数値にだまされないこと

おわりに

- 人生はものづくり，
  「有難うと言われるもの」を作れる人に！
- 違いの分かる人＝検査のできる人に！
- 品質管理は便所掃除である。
  掃除を出来る人に！
- 人間も「いもの」，大切なのは環境（鋳型）
  PDCAを回し品質を上げよう！

ご静聴有難うございました.