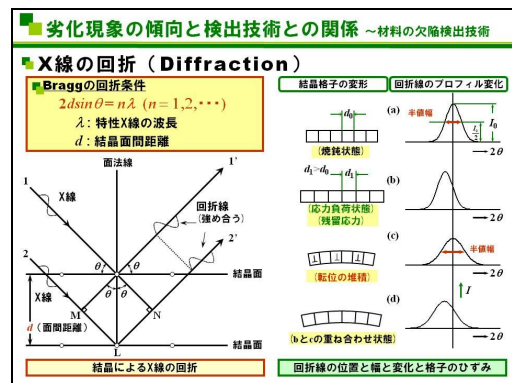
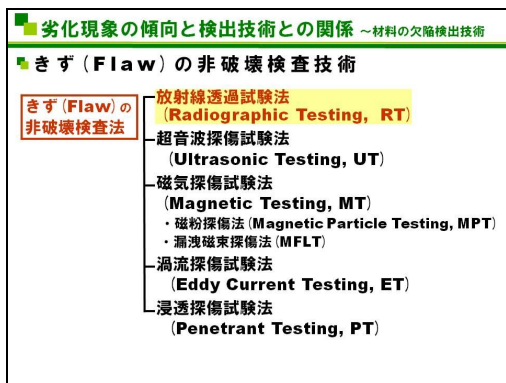
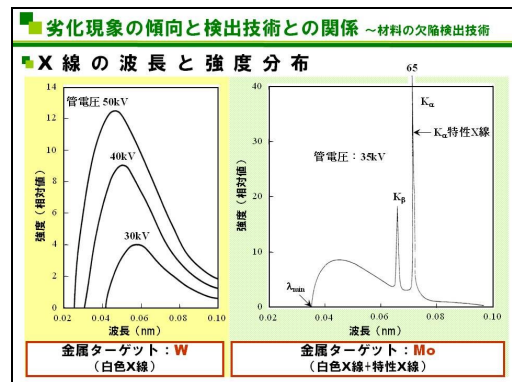
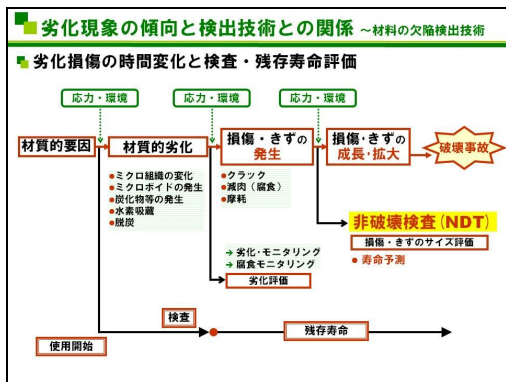
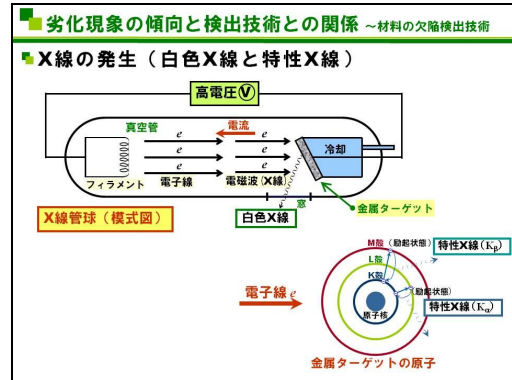


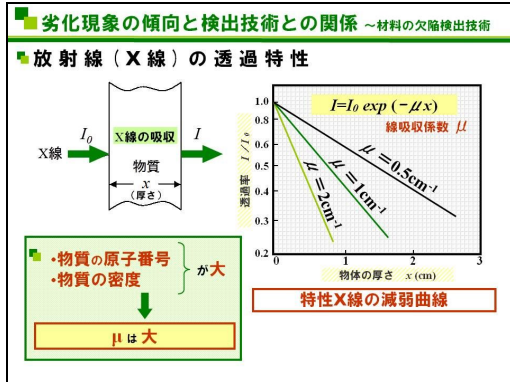
■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■材料変化の検出技術(モニタリング技術)

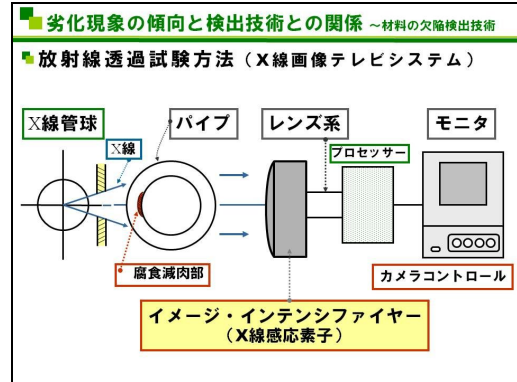
物理現象	劣化検出手法	対象
光	・目視法(レプリカ法、スンプ法) ・レーザホログラフイー	・組織変化・粒界腐食 ・塑性ひずみ、疲労損傷
放射線	・X線回折 ・X線回折プロファイルの半値幅 ・オージェ分光分析 ・陽電子消滅法	・残留応力、 ・歪結晶のミスオリエンテーション ・疲労、クリープ ・熱処理によるぜい化 ・水素ぜい化、塑性変形
超音波	・減衰法 ・音速変化 ・散乱法 ・波形、周波数解析 ・磁気AE法	・結晶粒粗大化、水素ぜい化 ・疲労、クリープ ・結晶粒粗大化、腐蝕 ・クリープ損傷、 $\sigma$ 相ぜい化 ・クリープ損傷
電磁気	・渦流法 ・電気抵抗法 ・磁化曲線(B-H曲線) ・ハルクハウゼン効果	・クリープ損傷、第2相粒子の析出 ・炭化物析出、クリープ疲労 ・硬度変化 ・残留応力
その他	・エキゾ電子放射 ・電気化学計測 ・赤外線放射	・疲労損傷、塑性変形 ・炭化物析出(鋭敏化) ・疲労



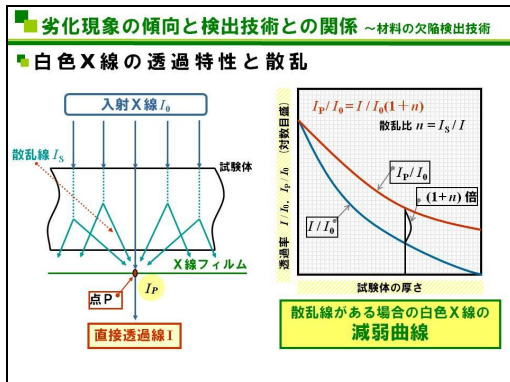
66



69



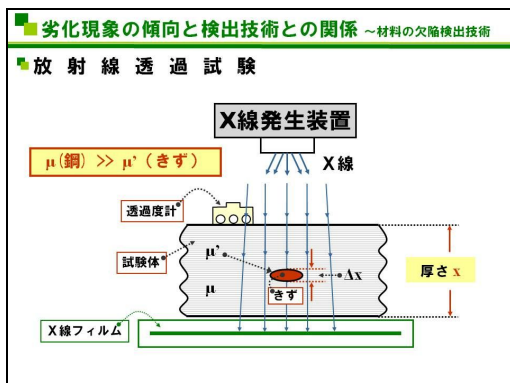
67



70

- 劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術
- きず (Flaw) の非破壊検査技術
- きず (Flaw) の非破壊検査法
- 放射線透過試験法 (Radiographic Testing, RT)
  - 超音波探傷試験法 (Ultrasonic Testing, UT)
  - 磁気探傷試験法 (Magnetic Testing, MT)
    - 磁粉探傷法 (Magnetic Particle Testing, MPT)
    - 漏洩磁束探傷法 (MFLT)
  - 渦流探傷試験法 (Eddy Current Testing, ET)
  - 浸透探傷試験法 (Penetrant Testing, PT)

68



71

- 劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術
- 超音波とは？
- 概要
- 「人間の耳には聞こえないほど周波数の高い音」である。従って、一般に可聴音波の上限である20kHz以上の周波数の音波を超音波と呼んでいる。超音波探傷に使用されるものは1~10MHzが多い。
- 特徴
- 波長が短い (指向性が鋭く、光の性質に似ている)
  - 弾性的性質を持つ (音響物性変化の大きな境界面から反射する)
  - 固体中の伝播が良好 (熱エネルギーへの変換損失が少ない)
- 利用方法
- 医療診断、工業材料の探傷・物性評価、魚群探知機等の検査・探査分野や、超音波のエネルギーを利用した超音波加工・洗浄などに広く利用されている。

72

**劣化現象の傾向と検出技術との関係** ~材料の欠陥検出技術

■ 超音波の波長 (λ)、音速 (C) と周波数 (f) の関係

$\lambda = C / f$

■ 鋼中の縦波音速  
 $C_L: 5900 \text{ (m/s)}$   
 $(C_s = 3230 \text{ (m/s)})$

■ 周波数 5MHz の場合  
 $\lambda = 1.2 \text{ mm}$   
 ■ 検出可能な最小寸法  
 波長(λ)の1/(3~5)

■ 超音波の波の種類

波の種類	粒子の動き	進行方向
(a) 縦波	粒子の動き: 縦方向に振動	進行方向: 縦方向
(b) 横波	粒子の動き: 横方向に振動	進行方向: 横方向
(c) 表面波	粒子の動き: 表面に沿って振動	進行方向: 表面に沿って

■ 超音波測定に用いる波形と周波数・波長

$f = 2 \text{ MHz}$   
 $f = 5 \text{ MHz}$

75

**劣化現象の傾向と検出技術との関係** ~材料の欠陥検出技術

■ 超音波探傷法の原理 2-斜角探傷法-

探触子 ぐさび  
 入射角 θ  
 反射角 θ  
 傷の深さ  
 傷の長さ W  
 ぐさび内の遅れ W/F

73

**劣化現象の傾向と検出技術との関係** ~材料の欠陥検出技術

■ 超音波の送受信の仕組み

探触子に入っている振動子を振動させ、超音波を送受信する。振動子にはセラミックス・ポリマー・水晶などの圧電効果を持つ材料（圧電材料）が使用されている。

■ 圧電効果について

振動子（圧電材料）の両面に電極を付け、電圧をかけると振動子が伸縮する。  
 ⇒これを圧電効果(ピエゾ効果)という。

逆に、超音波の音圧が振動子を伸縮させると電極間に電圧が発生し、これを電気信号として、超音波を受信することができる。

通常はパルス状の電圧をかける

電圧 10V~300V

76

**劣化現象の傾向と検出技術との関係** ~材料の欠陥検出技術

■ 超音波簡易厚さ計の原理

■ 遅延式分割型探触子と板厚測定のための送信パルスとエコーの関係

音響分割面 振動子 表面 裏面  
 遅延材  
 T (送信パルス)  
 S (表面エコー)  
 B<sub>1</sub> (第1底面エコー)  
 B<sub>2</sub> (第2底面エコー)  
 時間軸  
 T<sub>0</sub> T<sub>1</sub> T<sub>2</sub>  
 遅延 T  
 時間

74

**劣化現象の傾向と検出技術との関係** ~材料の欠陥検出技術

■ 超音波探傷法の原理 1-垂直探傷法-

音響インピーダンス  
 $Z = C \text{ (音速)} \times \rho \text{ (物質密度)}$

接触媒質 (水・マシン油)  
 測定物  
 探触子  
 振動子 表面  
 底面で反射  
 底面で反射

ハルサー/レシーバーに接続

送信パルス 底面エコー  
 傷のエコー  
 W<sub>p</sub> W<sub>d</sub>

■ 垂直探傷法

■ オシロスコープの探傷図形

77

**劣化現象の傾向と検出技術との関係** ~材料の欠陥検出技術

■ コーティング上からの超音波板厚測定

渦電流センサー 超音波センサー  
 コーティング  
 腐食部  
 鋼板  
 T<sub>ut</sub> T<sub>et</sub> T<sub>t</sub>

$T_t = T_{ut} - K \cdot T_{et}$  S-B<sub>1</sub>方式 (R-B<sub>1</sub>)

ここで  
 T<sub>ut</sub> 測定された厚さ  
 K 金属とコーティングの超音波音速比  
 T<sub>et</sub> 電磁厚さ計によるコーティング厚さ

78

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■超音波簡易厚さ計による測定

塗膜上から測定した場合、簡易厚さ計が示す数値は材料自体の実際の厚さにはならない。

材料部分のみの厚さを知るためには、補正が必要になる。

■本実験において

実際の厚さ = みかけの厚さ -  $\frac{\text{塗膜の厚さ} \times \text{鋼中の音速}}{\text{塗膜上の音速}}$

(約 35.2 mm) (約 36.7 mm) (約 0.6 mm) (約 6000 m/s) (約 2400 m/s)

簡易厚さ計を用いて測定した見かけの厚さから実際の材料部分のみの厚さを求めることができる。

81

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■UT板厚連続面計測法

300mm (25mm × 12pieces)

Movement Direction

25mm

32mm

Effective sensor width (25mm)

79

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■超音波厚さ計

デジタル型の簡易厚さ計

6.5cm

18cm

82

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■Method of data expression (1):

Movement

Measuring unit

Segment (25mm × 5mm)

300mm

80

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■UT板厚計測における異常値表示について

探触子

振動子

コーティング

鋼板

超音波パルス

反射波

腐食 (局部腐食の曲率が大きいとき)

T S B<sub>1</sub> B<sub>2</sub>

ゲート

83

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■Method of data expression (2):

5mm

25mm

The lowest measured value represents the data for this segment.

A measured thickness

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■きず (Flaw) の非破壊検査技術

きず (Flaw) の非破壊検査法

- 放射線透過試験法 (Radiographic Testing, RT)
- 超音波探傷試験法 (Ultrasonic Testing, UT)
- 磁気探傷試験法 (Magnetic Testing, MT)
  - 磁粉探傷法 (Magnetic Particle Testing, MPT)
  - 漏洩磁束探傷法 (MFLT)
- 渦流探傷試験法 (Eddy Current Testing, ET)
- 浸透探傷試験法 (Penetrant Testing, PT)

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■磁化方法の種類

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■磁粉探傷法 (MPT) の原理

“表面開口きず”ならびに“表面下のきず”による磁束の漏洩と磁粉模様

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■交流携帯型極間式磁化器による溶接部の探傷試験

鋼板表面付近の磁場分布 (ベクトル表示)

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■磁粉探傷法の原理 1

きず存在下で磁化すると、漏洩磁束が発生

磁粉の適用 (散布)  
(流体に乗せて、漏洩磁界近傍に送り込む)

磁粉がきず部分に吸着され、磁粉模様が形成される

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■きず上の空間漏洩磁界の解析モデル

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\phi(X, Y) = 0$$

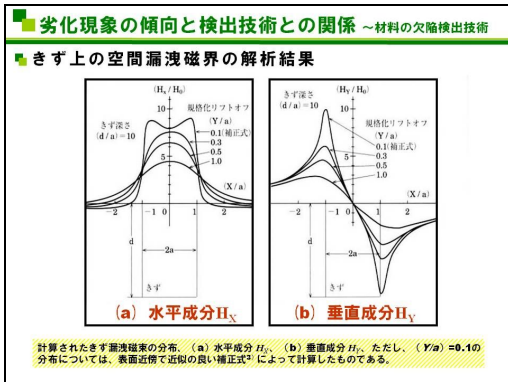
Magnetic potential

点(X, Y)

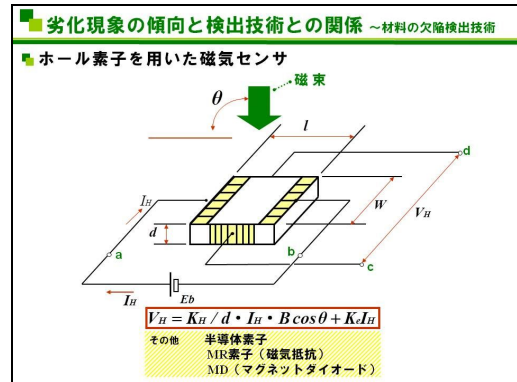
Magnetic charge

Two dimensional dipole model for rectangular slot

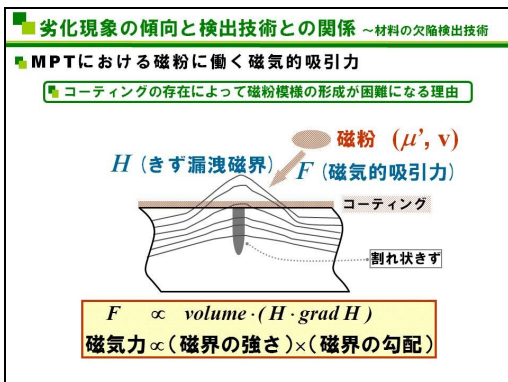
90



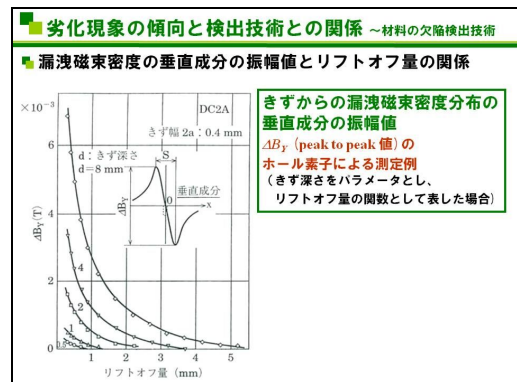
93



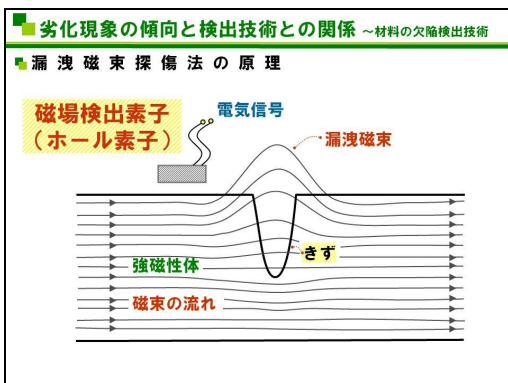
91



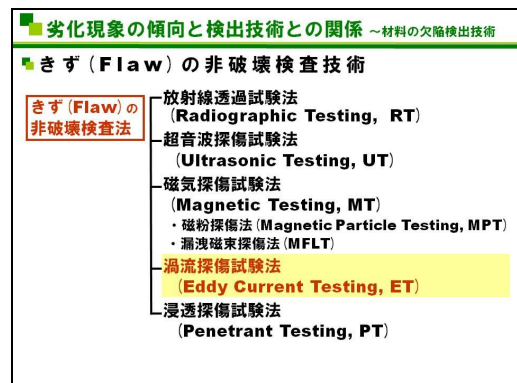
94



92



95



■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■渦流探傷試験法の原理 I

電磁誘導の法則：起電力 $\propto$ 磁束の変化量

(a)上置コイル (b)貫通コイル

磁束 $\Phi$ 、コイル、渦電流、導体、磁束、渦電流、きず、きずがある場合、きずがある場合

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■表皮効果

■表皮効果とは・・・  
 導体内部に浸透するにつれ、  
 渦電流密度が指数関数に従って  
 減衰する現象

表面からの距離 $x$ における渦電流密度  
 $J = J_0 \exp(-x/\delta)$

どの程度の表面きずを検出  
 できるかに関係

表皮効果による表皮厚さ： $\delta(m)$   $\delta = 1 / \sqrt{\pi f \mu \sigma}$

$f(Hz)$ ：交流の周波数、 $\mu(H/m)$ ：導体の透磁率、 $\sigma(S/m)$ ：導体の導電率

磁束密度が表面の約37%になる深さ → 表皮厚さ

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■渦流探傷試験法の原理 II

自己比較方式・貫通コイル

自己比較方式・貫通コイル (充填率 $\eta = (b/a)^2$ )

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■ET (貫通コイル) による配管のきず評価

試験周波数 128 kHz

きずの種類	位相角
○ 外面きず	80°
□ 内面きず	80°
△ 内面きず	120°
▲ 内面きず	90°
● 内面きず	120°

貫通コイルによる各種きず信号の位相特性

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■渦流探傷試験法の原理 III

■内挿コイルによる渦流探傷試験法の原理

外面きずまたは減肉、渦電流、直接磁場、渦電流、きずまたは減肉、内面きずまたは減肉

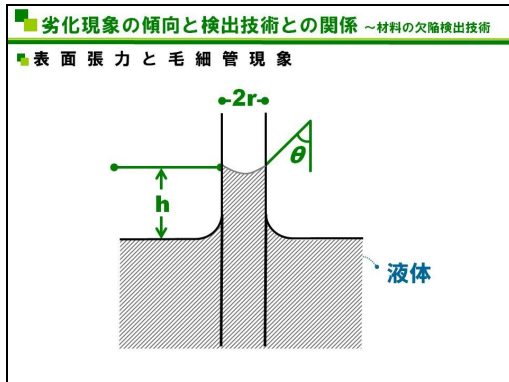
■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■きず (Flaw) の非破壊検査技術

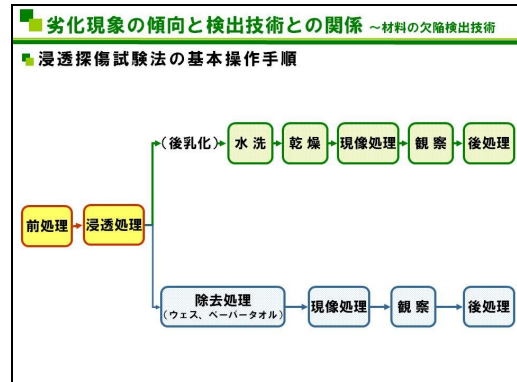
きず (Flaw) の非破壊検査法

- 放射線透過試験法 (Radiographic Testing, RT)
- 超音波探傷試験法 (Ultrasonic Testing, UT)
- 磁気探傷試験法 (Magnetic Testing, MT)
  - ・磁粉探傷法 (Magnetic Particle Testing, MPT)
  - ・漏洩磁束探傷法 (MFLT)
- 渦流探傷試験法 (Eddy Current Testing, ET)
- 浸透探傷試験法 (Penetrant Testing, PT)

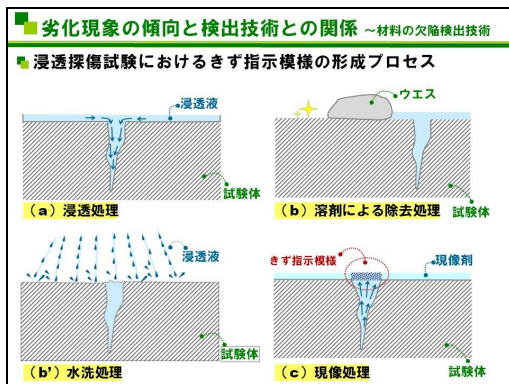
102



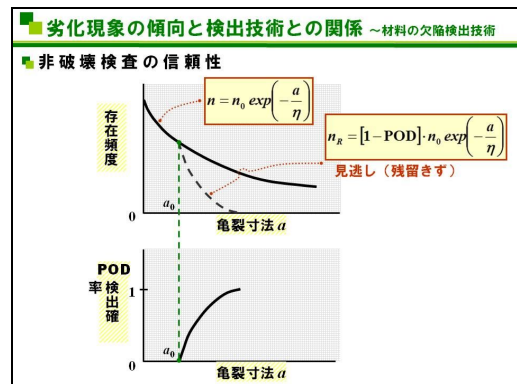
105



103



106



104

■劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

■浸透探傷試験法の種類

(1) 染色浸透探傷試験	(2) 蛍光浸透探傷試験
a) 溶剤除去性染色浸透探傷試験	a) 溶剤除去性蛍光浸透探傷試験
b) 水洗性染色浸透探傷試験	b) 水洗性蛍光浸透探傷試験
c) 後乳化性染色浸透探傷試験	c) 後乳化性蛍光浸透探傷試験

107

- 劣化現象の傾向と検出技術との関係
- コンクリート診断法
- ◎ 可視画像処理
  - ◎ レーザー法
  - ◎ サーモグラフィ法
  - ◎ レーダー法
  - ◎ 打音法
  - ◎ 超音波法
- ひびわれ・はくり等の検出



108

■劣化現象の傾向と検出技術との関係

■腐食速度の検出・評価

- ◎ 電気抵抗法
- ◎ 溶出金属イオンの分析
- ◎ 水素発生量の分析
- ◎ 酸素消費量の分析
- ◎ 電気化学的測定法の適用

109

■材料の欠陥検出技術

■設備診断技術

「設備の現在の状態を同定し、  
その将来を予測する技術」

■検査技術・故障検出

- ① 状態変数の測定
- ② 信号処理
- ③ 特徴抽出
- ④ 特徴パターン照合
- ⑤ 評価予測