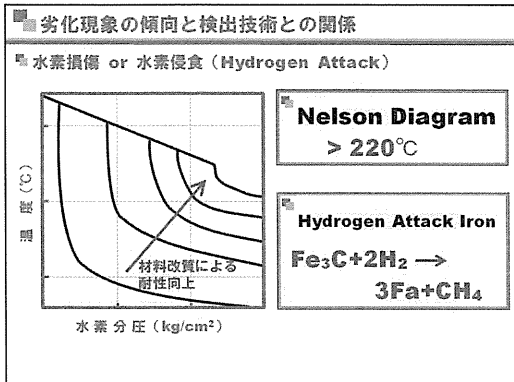
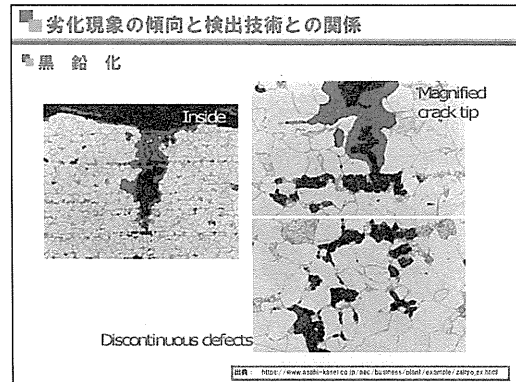


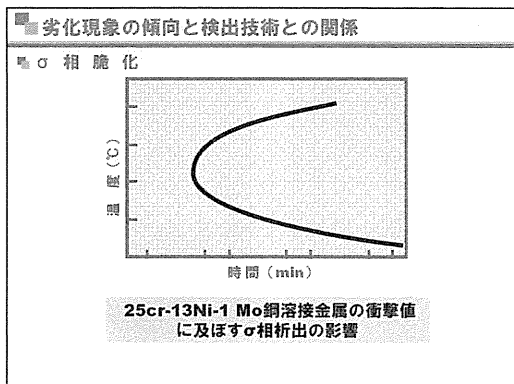
42



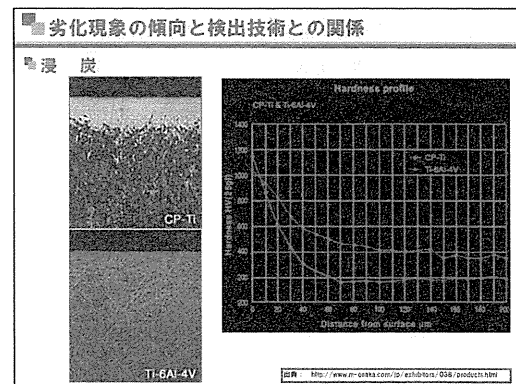
45



43



46



44

劣化現象の傾向と検出技術との関係

主な脆化現象

黒鉛化

炭化セメントが加熱によって分解し、グラファイトに変化する現象。生成温度は鋼材の化学組成にもよるが、450℃付近といわれている。

浸炭 (メタルダスティング)

炭化水素、CO、CO₂を高温で鋼材に接触させた場合、表面反応を介して炭素として鋼材に拡散し、連続的に、機械的性質が低下する現象。

メタルダスティングとは、浸炭で発生した炭素濃化層が酸化または熱収縮により剥離脱落現象を起こす現象を指す。

参考

47

劣化現象の傾向と検出技術との関係

⑦ 摩擦

定義

摩擦にともなって摩擦面から材料が少しずつ失われる現象

種類

凝着摩擦 (ex. 鉛筆と紙の関係)

固体間の接触は、摩擦面の巨視的形状とは無関係に表面の微視的な凹凸間に生じる微小な接触点のみにおいて起こる。潤滑剤は効果的。

アブレシブ摩擦 (ex. 鉄とヤスリの関係)

硬い物体による摩擦面の微視的な切削作用。潤滑剤の効果はなし。(例: エンジン内のダスト混入)

腐食摩擦

摩擦面の環境との化学反応で生じた反応生成物微塵が摩擦により除去されることで促進される。

48

劣化現象の傾向と検出技術との関係

⑧ クリープ

一定の応力・荷重のもとで、時間とともに塑性変形が進行する現象。

原子の拡散が無視できない温度を高温と呼ぶ
 目安：融点の絶対温度の約40%以上

51

劣化現象の傾向と検出技術との関係

様々な腐食形態（反応）

49

劣化現象の傾向と検出技術との関係

クリープ損傷形態

52

劣化現象の傾向と検出技術との関係

様々な腐食形態（反応）

①-1-21 http://www.nslu-nagoya.co.jp/fachno/v-03_00394.3.html
 ②-4 <http://www.kanbu.co.jp/psys/23fno/00ma/00photo1.htm>

50

劣化現象の傾向と検出技術との関係

⑨ 腐食

定義
 腐食とは、金属とそれがおかれた環境中の化学成分とが反応して化合物に変わることによって消耗し、金属製品の性質が低下し、ついに使用に耐えなくなる現象。

腐食が引き起こす経済損失

直接損失：GDP 2~3%
 間接損失：GDP 5~7%以上

53

劣化現象の傾向と検出技術との関係

様々な腐食形態（反応）

脱亜鉛腐食 (dezincification corrosion)

劣化現象の傾向と検出技術との関係

様々な腐食形態（反応）

▲ 図-1 腐食に生じた孔食 (Pitting corrosion on inner surface of copper pipe)

▲ 図-2 腐食に生じた応力腐食割れ (Stress corrosion cracking)

▲ 図-3 腐食に生じた孔食 (Cavitation corrosion)

▲ 図-4 微生物腐食 (bacterial corrosion on stainless steel)

出典：(財) 1) http://www.cosp-nippon.co.jp/techn/1/03/20194_31001
(財) http://www.kanri.co.jp/2016/11/06/1106_05_0109_01001

劣化現象の傾向と検出技術との関係

主な特徴的な面 **高分子材料の破壊・劣化**

膨潤・溶解

ポリマーと溶剤の分子極性が一致 → 溶剤はポリマー中に浸透して、溶媒粒が形成され、その結合の強さが分子鎖相互の凝集力より弱ると分子鎖を引離して溶剤分子が侵入する。 → さらに進むと溶解

* 膨潤・溶解はともに形態上の変化で、分子量は変化せず材質の変化ではない。

き裂（ソルベントクラック）

溶剤が浸透拡散されることによって分子鎖間に存在するファンデルワールス力が失われ、分子間の剥離が生じクラックに至る。

+ 内応力・残留応力

環境応力破壊：
ソルベントクラックと似かよっているが、結晶性ポリマーに表われ、非晶性ポリマーには表れない。

劣化現象の傾向と検出技術との関係

損失のとらえ方

直接損失

- 腐食により破損した装置の部品交換修繕費
- 装置の稼働率の低下
- 過大設計による浪費（過剰な腐れしろ）

間接損失

- 装置停止で得られるはずの利益が得られなくなる
- 腐食部分からの流出による製品逸失
- 腐食部分からの異物混入による製品の汚染
- 腐食が原因となり事故が発生し第三者に損害を与えることによる損失

劣化現象の傾向と検出技術との関係

高分子の化学劣化

- ◎ **熱酸化劣化**
- ◎ **熱劣化** （不活性雰囲気）
- ◎ **光劣化** （主にUV）
- ◎ **オゾン劣化**
- ◎ **水劣化** （酸・アルカリは触媒作用）

劣化現象の傾向と検出技術との関係

高分子材料の破壊・劣化

- ・脆性破壊 ◎ **膨潤・溶解**
- ・延性破壊 ◎ **き裂**
- ・疲労破壊 ◎ **化学劣化**

劣化現象の傾向と検出技術との関係

主な化学劣化

熱酸化劣化
熱による分子連鎖の活性化 + 酸素（酸化剤） → 主鎖切断 架橋、側鎖脱離

熱劣化
熱及び外部から加わるストレス（せん断力）によってラジカルが生成し劣化が進行する。 → ラジカルの生成により自動酸化が生じ、材料の酸化劣化が現れる。

光劣化
主にエネルギーの大きな紫外線の光が影響する（紫外線劣化）、油や金属イオンの存在でさらに加速されることもある。熱によっても加速される。

オゾン劣化
ゴムの低分子化、オゾンクラック

水劣化
加水分解反応、エステル基、カルボニル基など親水基が存在する場合、酸・アルカリは添加剤がそのような触媒となる。性質を有する場合に注意を要する。

劣化現象の傾向と検出技術との関係

コンクリートの破壊・劣化(1)

アルカリ骨材反応

炭酸化(中性化) CO₂による。

凍害 水による。凍結による体積変化約9%

塩害 Cl⁻による。既にひび割れがある海に近い場所ではきわめて深刻。

劣化現象の傾向と検出技術との関係

センサの概要

外部情報 → 五官に相当する部位とそこから得られる情報を数値化する部位からなる機器 情報変換 → コンピューター等 信号処理

外部情報 → センサ → 電気信号

センサ: 計測の心臓部(信号変換の要)

センサとは「ある測定しようとする量を主に電気信号のような数値化できる量に変換する素子」

センサ(Sensor)の精選

ラテン語の "Sensus" → 英語の "Sense"

Sensor: 感知装置

Sense organ (感覚器官)

同義語

- トランスジューサー (Transducer)
- ピックアップ (Pick-up)
- ディテクタ (Detector)

劣化現象の傾向と検出技術との関係

コンクリートの破壊・劣化(2)

アルカリ骨材反応

$$\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$$

ナトリウムシリケート (膨潤性)

炭酸化(中性化)

$$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_2 \rightarrow 3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaCl}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$$

ひび割れ 不具合の補修

- ★エポキシ樹脂等による埋込
- ★表面コーティング
- ★脱塩・再アルカリ化工法

遊離 (塩害の原因)

劣化現象の傾向と検出技術との関係

センサ機能

外部情報 入力 → センサ → 出力 → 電気信号

- 物理量 (変位、力、速度、温度、圧力、光)
- 化学量 (濃度 pH, DO, ...)

測定量 X → 情報変換器 → 中間媒介量 Y=f(X) → 電気信号発生器 → 電気信号 Z=F₁(Y)=F₂(X)

センサ機能的成り立ち

劣化現象の傾向と検出技術との関係

コンクリートの破壊・劣化(3)

アルカリ骨材反応

コンクリート中のセメントが水化すると、それに含まれるNa, Kなどのアルカリ金属元素が組織内の毛細管空間やケル空間に溶出し、骨材の岩石を構成する低結晶性可溶性のシリカやシリケート鉱物のSiO₂分と水を介して反応して、カリウムシリケート、ナトリウムシリケートとなる。

$$\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$$

このケルの影響性がコンクリート組織内の空気にひび割れを発生させる。

炭酸化(中性化)

コンクリート中毛細管空間に侵入したCO₂ガスの関与する中和反応。コンクリートが海砂やClを含む混和剤等を利用している場合、塩化物イオンはフリーデル氏塩・硫酸イオンはエトリンガイトとして固定化されているが、CO₂との反応で分解すると塩化物イオン、硫酸イオンを遊離するため塩害の原因となる。

- フリーデル氏塩: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_2 \rightarrow 3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaCl}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$
- エトリンガイト: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_2 \rightarrow 3\text{CaCO}_3 + 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaSO}_4 + 29\text{H}_2\text{O}$

劣化現象の傾向と検出技術との関係

各種センサにおける情報変換の仕組み

ほとんど全ての物理効果、化学効果が利用可能

- 電力発生 (電流・電圧を発生する発電型センサ)
- L, C, Rの変化

測定量 X → 情報変換器 → 中間媒介量 Y=f(X) → 電気信号発生器 → 電気信号 Z=F₁(Y)=F₂(X)

【上記を単独プロセスとして情報変換できる物理効果】
 ピエゾ抵抗効果、圧電効果、ゼーベック効果、ホール効果、光起電力効果、光導電効果...

劣化現象の傾向と検出技術との関係

腐食プローブ (Corrosometer)

$R = \rho L / \pi r^2$

$\Delta r < r$ の場合
 $\Delta R = (\rho L / \pi r^2) (2 \Delta r / r)$
 $(\Delta R / R) = 2 \cdot (\Delta r / r)$

半径: r
 長さ: L

腐食性液体

X: 検知素子
 Y: 温度補償素子

シール管

Δr (浸食深さ)
 $\Rightarrow 0.2 \mu\text{m}$ まで検知可能

腐食性溶液を貯蔵している金属容器と全く同じ材質の金属棒

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

非破壊検査の使い方と目的

- ・ 機器・構造物 (もの) が健全かどうかを診断する
- ・ きずの進展や劣化の状態を監視する
- ・ 適切な維持管理や強度・防食対策を講じる

目的

きずを見つけることそのものが目的ではなく、
 機器・構造物・施設の安全性・強度信頼性の担保

“有害きず”を確実に見つける

劣化現象の傾向と検出技術との関係

センシング技術の保全分野への応用

目的

劣化と直接あるいは間接的に結びついた量を計測することで劣化現象を連続的にモニタリングできれば保全活動において極めて有効

例えは漏れ検知と考えると...

画像センサ	蒸気漏れ	気密試験
赤外線センサ	ガス漏れ、漏洩部の温度変化	
超音波・音波センサ	漏れ音	
圧力センサ	漏れによる圧力低下	
ガスセンサ	ガス漏れ	
電気抵抗検知電極	液体漏れ	
光センサ	水中浸漬した容器からの気泡漏れ	
熱伝導度センサ	ヘリウム充填容器からのヘリウム漏れ	

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・ひび割れ等の破損検知

- 放射線透過法
- 超音波探傷
- 渦流探傷法
- PAS (光音響)、音響センサ、AEセンサ
- AP (音パルス)、振動センサ
- 磁粉探傷
- 漏洩磁束探傷
- 熱的現象の利用 (赤外線サーモグラフィ含む)
- 浸透探傷
- レプリカ法
- 電位差法

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

非破壊検査

Non-destructive testing (NDT)
 Non-destructive Inspection (NDI)

内容

物を壊さないうで見えないところのきずの有無やその場所およびその形状・大きさを調べる技術

人間では健康診断検査に相当する。

参考

- 非破壊試験 \longleftrightarrow 破壊試験
- 状態監視 (オンラインモニタリング) \longleftrightarrow 定時監視

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

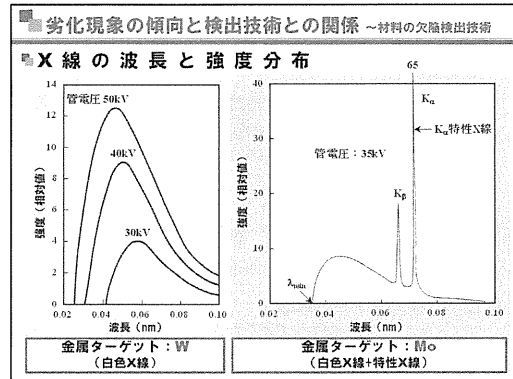
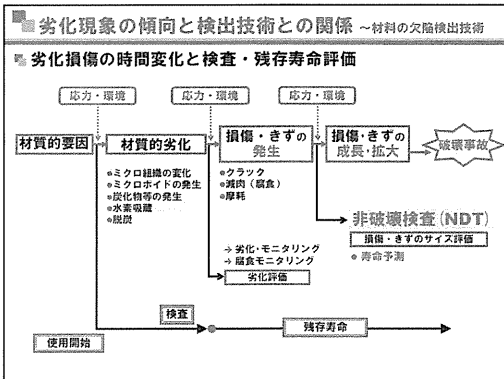
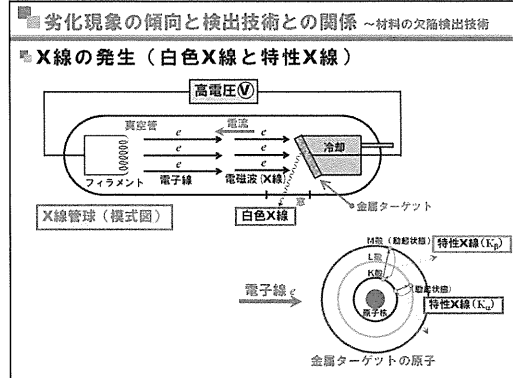
きず検出非破壊検査技術

物理現象	試験法	対象きず
放射線	X線および線透過試験 (X線や線を試験体に透過し、きず像をフィルム上に影射して写す)	内蔵きず
音響振動	超音波探傷試験 (試験体に超音波パルスを投入し、きず面からの反射パルスを検出する) アコースティックエミッション法 (AE法) (試験体中で割れの開口および伝播時に発生する弾性波を検知する)	きず 割れの開始と伝播
電磁気	磁粉探傷法 (試験体を磁化し、きず近傍空間に生じた漏れ磁界に磁粉を付着させ、きずを顕微鏡として検知する) 渦流探傷法 (電磁誘導法) (交流を流したコイルによってつくられる渦電流のきずによる“乱れ”をコイルのインピーダンス変化としてとらえ、きずを検知する) 漏えい磁束探傷法 (きずによる漏えい磁場をホール素子、磁気テープなどで検出する) 電気抵抗測定法 (試験体に電流を流し、きずによる抵抗変化を調べ検知する)	表面きず 表面きず 表面きず 表面きず
光	目視 光学的検査	表面開口きず
浸透	浸透探傷法 (試験体表面に開口したきずを浸透液を塗り込み、それを現象液で洗いだし、きず指示薬を観察する)	表面開口きず

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

■材料劣化の検出技術(モニタリング技術)

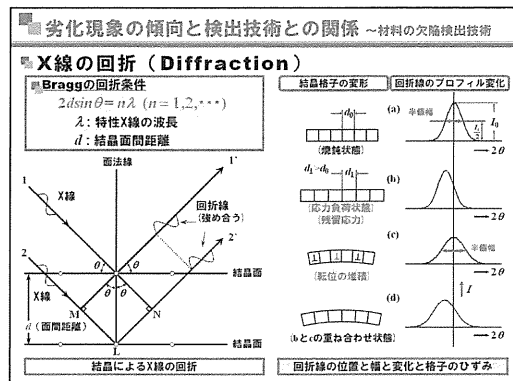
特徴現象	劣化検出手法	対象
光	・目視法(レプリカ法、スンプ法) ・レーザーホログラフィー	→組織変化・粒界腐食 →塑性ひずみ、疲労損傷
放射線	・X線回折 ・X線回折プロファイルの半値幅 ・オージェ分光分析 ・陽電子消滅法	→残留応力、 →結晶のミスオリエンテーション →疲労、クリープ →熱処理によるぜい化 →水素ぜい化、塑性変形
超音波	・減衰法 ・音速変化 ・散乱法 ・波形、周波数解析 ・磁気AE法	→結晶粒粗大化、水素ぜい化 →水素アタック、クリープ疲労 →結晶粒粗大化、偏析 →クリープ損傷、 σ 相せい化 →クリープ損傷
電磁気	・渦流法 ・電気抵抗法 ・磁化曲線(B-H曲線) ・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	・エルク電子放射 ・電気化学計測 ・赤外線放射	→疲労損傷、塑性変形 →炭化物析出(銀酸化) →疲労

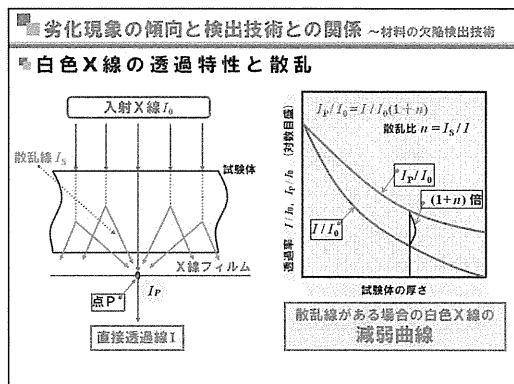
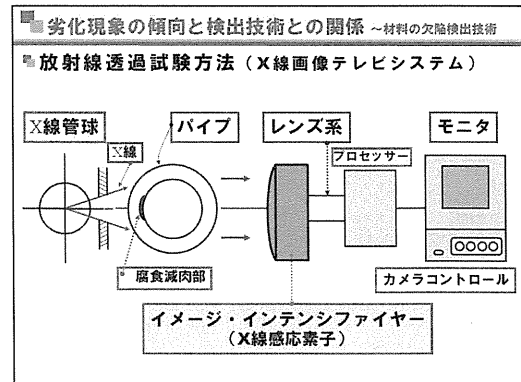
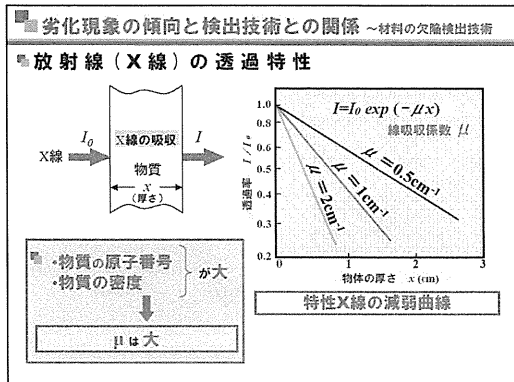


劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

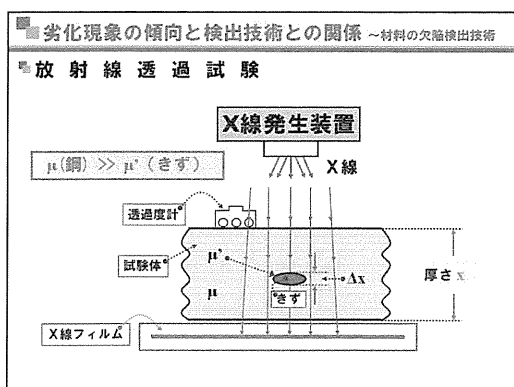
■きず(Flaw)の非破壊検査技術

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
- きず (Flaw) の非破壊検査技術
- 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

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。

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

$$\lambda = c / f$$

C: 音速
f: 周波数
λ: 波長

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
 $\lambda = 1.2 \text{ mm}$
 = 検出可能な最小きず寸法
 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	縦方向の往復運動	進行方向
(b) 横波	横方向の往復運動	進行方向
(c) 表面波	表面沿いの運動	進行方向

超音波測定に用いる波形と周波数・波長

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: 大きさ
 0: 屈折角
 大きさ内の遅れ: W/F

受信: T (送信)
 F (きずエコー)

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

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

受信 送信
 音響分割面
 遅延材
 振動子
 表面
 表面

T (送信パルス)
 S (表面エコー)
 B₁ (第1底面エコー)
 B₂ (第2底面エコー)

時間軸
 T₀ T₁ T₂
 遅延 時間

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
 $Z = c (\text{音速}) \times \rho (\text{物質密度})$

探触子
 振動子
 表面
 接触媒質 (水・マン油)
 測定物
 きず面で反射
 底面で反射

垂直探傷法

送信パルス 底面エコー
 きずエコー

オシロスコープの探傷図形

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

Tut
 Tet
 Tt

$Tt = Tut - K \cdot Tet$ S-B₁方式 (R-B₁)

ここで
 Tut: 測定された厚さ
 K: 金属とコーティングの超音波音速比
 Tet: 電磁厚さ計によるコーティング厚さ

90

■ 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

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

(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出来る。

93

■ 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)

91

■ 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

8.5cm

94

■ 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

92

■ 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

探頭子

振動子

コーティング

超音波パルス

鋼板

反射波

腐食 (局部腐食の曲率が盛しどき)

T S B₁ B₂ ゲート

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

● Method of data expression (2):

5mm

25mm

Movement

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

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

携帯用交流極間式磁化器による溶接部の探傷

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)

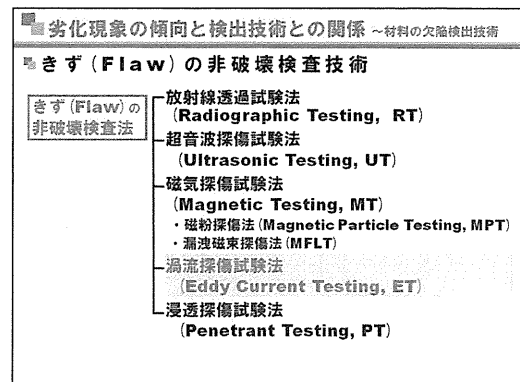
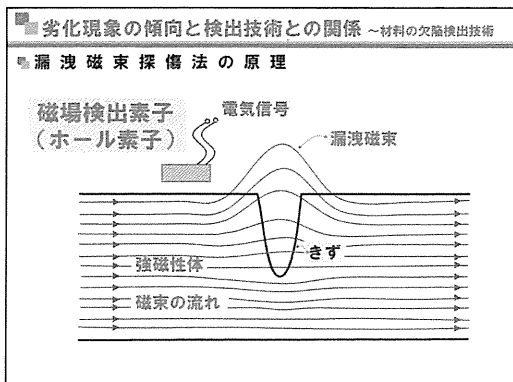
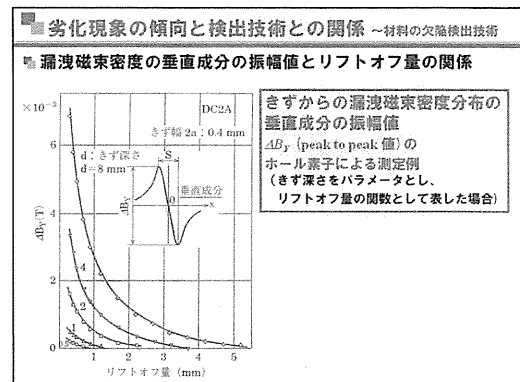
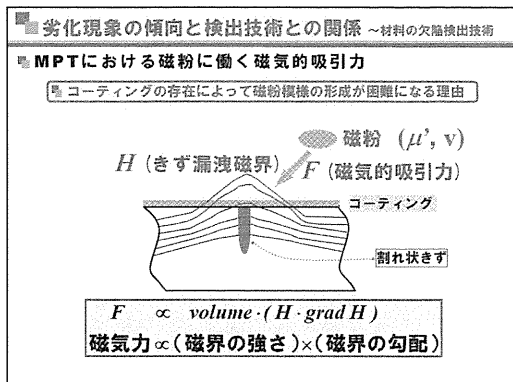
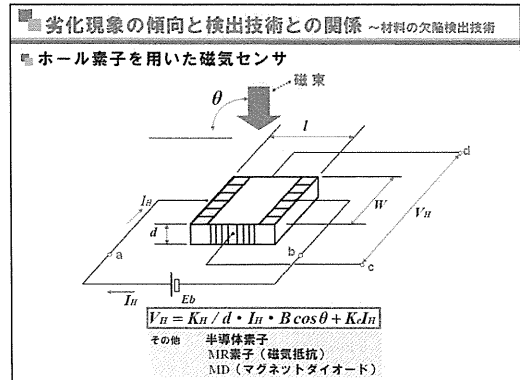
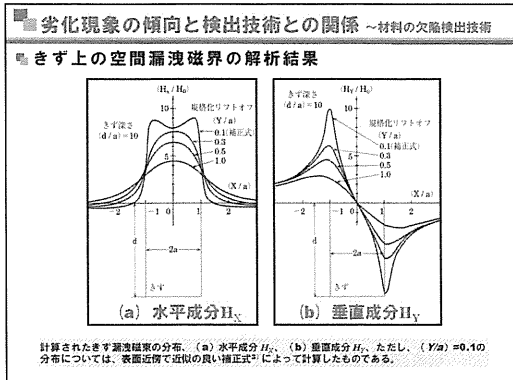
磁粉がきず部分に吸着され、磁粉模様形成される

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



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

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： $\delta(m) = 1 / \sqrt{\pi f \mu \sigma}$

f (Hz)：交流の周波数、 μ (H/m)：導体の透磁率、 σ (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

信号振幅 (V, 0dB 基準)

位相角 (deg)

○	外周検出方向	50°
□	外周検出方向	90°
△	内周検出方向	120°
▲	内周検出方向	90°
●	内周検出方向	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

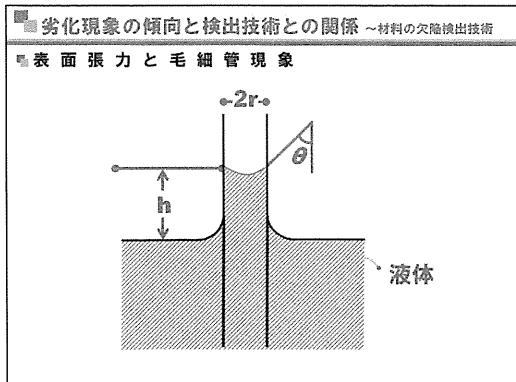
劣化現象の傾向と検出技術との関係 ~材料の欠陥検出技術

きず (Flaw) の非破壊検査技術

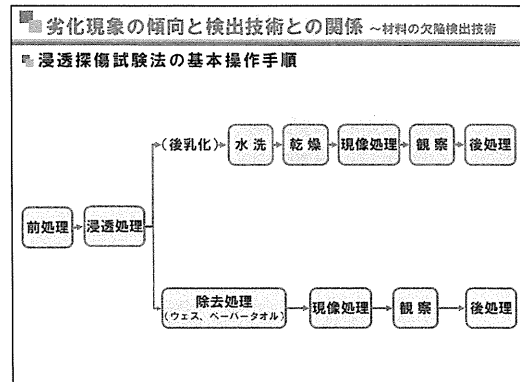
きず (Flaw) の非破壊検査法

- 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)

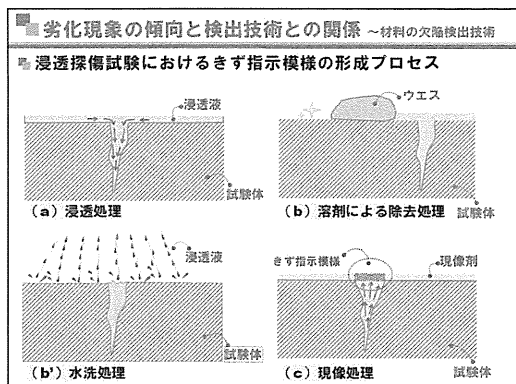
114



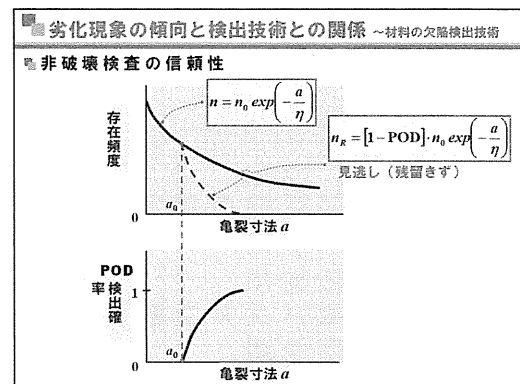
117



115



118



116

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

119

- 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

120

■ 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

121

■ 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

第5章 まとめ

平成 25 年度は、平成 24 年度に開発した総合的な安全工学教育プログラムを強化し、これを修得した学生のエンプロイアビリティの向上に資するために、主に京浜京葉工業地帯に所在するモノづくり企業に対するアンケート及びヒアリング調査を行い、就業前教育として企業ニーズに合致しているかを評価するとともに情報の抽出を行った。

さらに、企業において新卒社員や中堅技術者の安全意識を向上させる教育プログラムがどのような形で実践されているかを調査した。また、石油化学系企業の安全活動においては、ワーストケースシナリオの構築としての影響度スクリーニング評価手法、安全性評価手法や事故事例データベースを用いたリスク低減対策に関連した各種教育活動へのニーズが高いことが分かった。

特に、近年の化学物質製造施設の爆発火災事故調査によれば、直接原因に対する要因として、技術伝承の不足、安全管理力の低下、ルールの軽視、リスクアセスメント不足などが指摘されており、社内教育の充実により安全を担う人材育成の強化が急務であるという指摘があった。さらに、その根底にあるのは産業現場における世代の移り変わりにより、KYT 等で若者が危険を想像できなくなっている状況があり、体感教育やグループ討論の有効性が教育プログラムにおいて重要となっていることが示唆された。また、国外調査として米国化学プロセス安全センター、米国化学事故調査委員会、米国ウェストバージニア州教育省等の調査を行い、教育プログラムに盛り込むことができる教材や教育システムに関する情報を収集した。

本事業の研究チームが保有する教育資源を活用して開発した安全工学教育基盤モジュール

は、化学安全・環境安全・材料安全とそれを包括するリスクに関する教育カリキュラムから構成される。この教育プログラムは安全に関する高い意識をもった技術者の育成とその結果としての労働災害の減少に十分資するものと考えられる。

さらに、我が国の先端技術の安全レベルや信頼性向上が一層向上すれば、国際競争力強化と雇用促進の一助にもなると考えられる。また、各企業においてOJTを実施する体力が減少している近年の経済情勢の中、卒業後に産業界にて主体となって活動する将来の技術者に対して、適切な安全についての教育を事前に実施することができるため、各企業における労働災害自主管理に貢献するものと期待される。

特に、労働安全衛生法第 19 条の 2 第 2 項の規定に基づいて、事業者が行うべき能力向上教育に関する指針が公表されているが、本教育プログラムは、当該業務に関する能力向上を図るための基盤教育として位置付けられ、大学等で実施できる体系的かつ教育効果の高いプログラムパッケージとして利用されることが期待できる。

第6章 今後の課題

平成 26 年度は当該研究の最終年度にあたるため、総括的な検討を行うとともに具体的な点については下記に示すような重点的な取組を行う。

平成 24 年度に開発した安全工学教育プログラムの改訂・充実化を図り、安全衛生管理者、若手技術者の安全意識をさらに深化させるような浸透力の強化を行う。具体的には、平成 25 年度に行った米国における安全工学に関連した教育プログラムの調査や日本における産業界へのアンケート及びヒアリング調査結果から抽出された情報を反映させた上で、これまでに提案した安全工学教育プログラムの各ユニット部分の更なる拡充と教育教材の導入に関する検討を行う。特に座学と併用される演習・実習教材等について不足しているコンテンツや問題点を明確にするとともに、有効な学習教材の探索や開発を行う。

また、関係学協会や公的研究機関の協力を得て、先進的事例調査等の提供を依頼するとともに教育プログラムへの組み込みを行う。さらに、特定の業界に所属する若手技術者を試行的に受け入れる専門的技術講座において、その有効性に関する情報を得る。その結果をもとに、若手技術者向けの安全工学教育としての適用性を調査し、実践的な職業人教育としての教育プログラムのあり方を明確化する。

さらに、本プロジェクトで得られた研究成果を社会に公開・発信し、そこからのフィードバック結果を参考に、カリキュラム内容等のブラッシュアップを図る。以上の得られた知見に基づき、総合的かつ工学的安全センスを効率良く体得できる体系的プログラムを示す。

なお、将来的にこれを各企業における労働災害自主管理に資する教育プログラムとして普

及させるためには、大学、産業界、学会等が適切な役割を担って行うのが効果的であるが、最終年度においては、その役割と連携を化学産業に特化した形となるが例示したい。

