

明日を担う次世代のための 非破壊検査セミナー

最新開催時の公開座学資料

1

はじめに (明日を担う次世代のための 非破壊検査セミナーの概要)

- 機器・構造物の老朽化に伴う非破壊検査のニーズの増大
- 非破壊検査技術の進歩と多様化
- 欧米に比べて「非破壊検査」の社会認知度が低い



セミナーの目的

- 産業界を目指す工業系高校生及び高校教育での教職員に、産業資本、都市構造の安全を確保する非破壊検査を認識してもらうこと。
- 非破壊検査を認識した若者が社会のさまざまな分野で活躍する世代となったとき、非破壊検査を活用する分野はさらに広がり、社会認識の向上とともに都市の安全・安心に貢献する。

2

カリキュラム



座学
・非破壊検査の役割や検査に活用されている物理現象の簡単な紹介など



実習・実演
・主要な検査手法の体験
超音波探傷試験&放射線透過試験
磁粉探傷試験&浸透探傷試験
サーモグラフィ、コンクリート鉄筋検査、
歪振動計測、打音検査など

3

目次

- 1) 非破壊検査って何？
- 2) いくつかの事故例
- 3) 非破壊検査はいつごろ始まったの？
- 4) 非破壊検査はどんな仕組み？
- 5) 非破壊検査はいつどこで行われているの？
- 6) 非破壊検査を行う目的は？
- 7) 非破壊検査は誰が行っているの？
- 8) 非破壊検査を行わないとどうなるの？

4

非破壊検査とは

- ◆ 非破壊試験 (NDT)
素材や製品を破壊せずに、きずの有無、その存在位置、大きさや形状、分布状態などを調べる試験。
材質試験に用いられることもある。
- ◆ 非破壊検査 (NDI)
非破壊試験の結果から、規格等の基準に従って合否を判定する方法。

5

目に見えない、見えにくい欠陥を どのように発見するか ハンディショットムービー

- 念力 → ×
- 物理的現象の利用 → ○

■ 何らかの物理現象を利用して、見えない又は見えにくく、損傷を顕在化する手法

■ 広く活用されるには、再現性、手順化、定量化が必要

- 光
- 音
- 放射線
- 電磁気
- 毛管現象
- 電気抵抗
- 熱
- 圧力差
- その他



6

人類は悲惨な事故を経験してきた

- 今日の文明を手に入れる代償に、人類は多くの悲惨な事故を経験するとともに、これを克服してきた。(工学の歴史)
- 原因究明の過程で、材料(特に溶接部)の材質劣化の他に、破壊の起点となった欠陥(特に溶接欠陥)の存在が指摘されている。

事故を未然に防ぐため、欠陥を検出する技術が切望された。
=非破壊検査技術

7

大型船が静かな港で突然真っ二つに破壊する事故が連続



8

多くのノーベル賞学者など著名人が非破壊検査に寄与してきた

放射線発見の歴史

1789年 ウラン元素の発見 Martin H. Klaproth	X線 Wilhelm C. Röntgen	1805年 放射線をもつ物質の存在を発見 Antoine H. Becquerel	Y線 Paul U. Villard
1895年 X線の発見 Wilhelm C. Röntgen		1896年 ウラン鉱石の放射性物質を発見(ポロニウム、ラジウム) Pierre Curie, Marie A. Curie	
1896年 ウランから放射線の分離(α線、β線)が発生していることを発見 Ernest Rutherford	中性子線 Paul U. Villard	1900年 ウランから強い放射線(γ線)が発生していることを発見 Paul U. Villard	中性子線 Paul U. Villard
1928年 中性子線の発見と中性子の存在の証明 James F. Condon, Irene J. Curie, Sir J. Chadwick		1929年 中性子線の発見と中性子の存在の証明 James F. Condon, Irene J. Curie, Sir J. Chadwick	

超音波探傷試験の萌芽期

1801年 固体、液体、気体中の弾性波理論 John William Strutt (3rd Baron Rayleigh)	1800年 圧電効果の発見 Pierre Jacques Curie - Pierre Curie	1801年 流注電流線の発見 Gabriel Lippmann	1849年 水中で超音波を発生させることに成功 Paul Langevin
1849年 水中で超音波を発生させることに成功 Paul Langevin		1859年 金属中で超音波を発生させることに成功 S. T. Scholten	

引用:水谷義弘「非破壊検査の基本と仕組み(秀和システム)」
(人物はwikipediaより引用)

9

人類初のレントゲン写真



22 December (1895)

これが人類初のレントゲン写真なんだ!



1ヶ月後にはより鮮明な写真を撮影しているよ!



23 January (1896)

引用:水谷義弘「非破壊検査の基本と仕組み(秀和システム)」
http://en.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_R%C3%B6ntgen

10

学問としての非破壊検査の誕生

- 1895: X線の発見
- 1913: 高真空熱陰極X線管の開発
- 1931: ASMEのボイラコード(溶接部のX線検査)
- 1941: 米国非破壊試験学会創立
(American Industrial Radium and X-ray Society)
- 1945: F.A.Firestoneが米国で超音波パルス反射法の特許を出願(今日のパルス反射式超音波探傷装置の基礎)
- 1952: 日本非破壊検査協会の設立
(日本非破壊検査研究会)

日本非破壊検査協会50年史(2002)(社)日本非破壊検査協会

11

今日、非破壊検査は更なる重要な役割を担っている

第二次オイルショックと共に高度成長時代の終焉

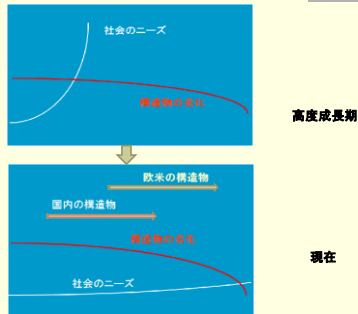
構造物の老齢化(長寿命化)

安心・安全な社会の設立

構造物の老朽化に対するメンテナンスの充実
合理的なメンテナンスに対する非破壊検査の重要性の増大

12

長寿命化に伴う非破壊検査への期待



13

検査の意味と価値

橋も人間と同様に、放置すると損傷（＝病気）が発生する。健全性（＝健康）を維持するためには、点検・耐震補強・補修などの適切な管理を継続して行うことが重要である。

<人間> **国土交通省キャンペーン** <橋>

定期健診

体質改善・治療

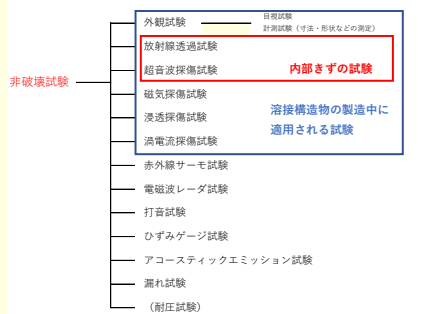
人間も橋も適切な管理を継続して行うことが重要

定期点検

耐震補強・補修

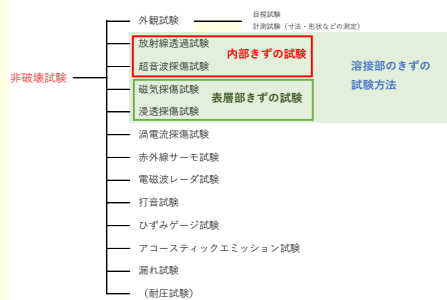
14

実用される非破壊検査手法



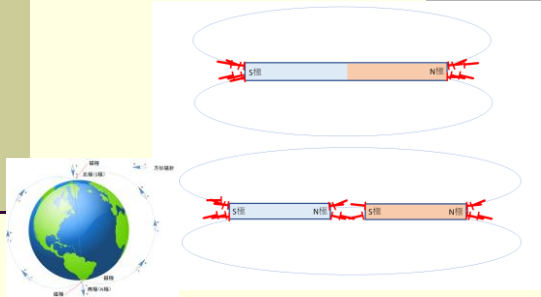
15

溶接部のきずの主な試験方法



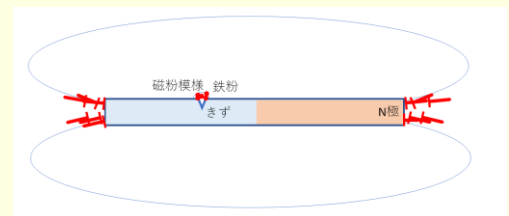
16

磁粉探傷試験とは？



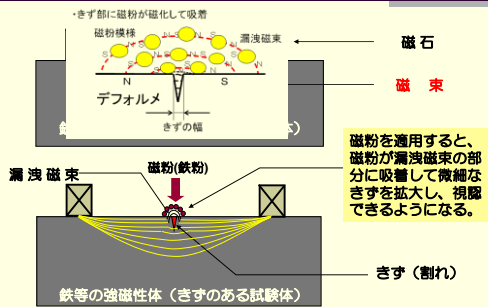
17

磁粉探傷試験とは？



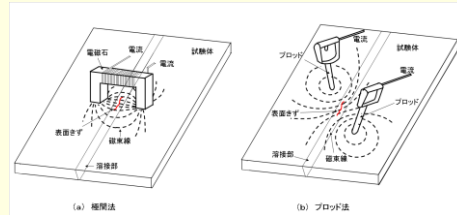
18

磁気探傷試験とは？



19

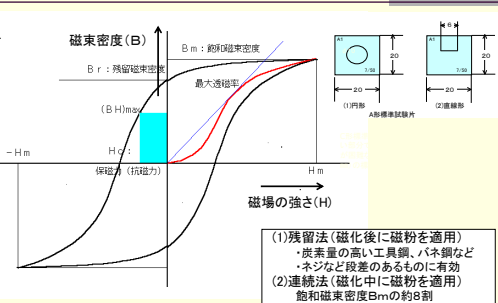
溶接構造物によく用いられる方法



磁粉の適用には、大気中に磁粉を散布する乾式法と、液体に磁粉を混ぜて散布する湿式法がある。磁粉には、蛍光顔料を塗布したものと非蛍光顔料を塗布したものが使われる。

20

磁化曲線と磁化方法



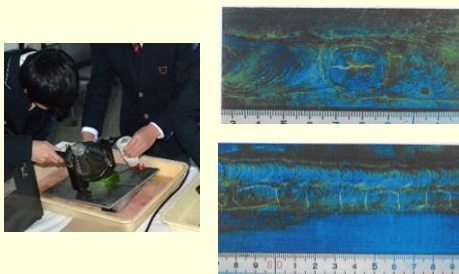
21

磁粉探傷試験の手順と留意点

手順	留意点	具体例
前処理	・きず部への磁粉の付着を容易にする ・きず以外への磁粉の付着を最小限にする	油脂、錆、塗料などの除去 表面粗さ、汚れなど
磁化	・試験品の損傷防止 ・磁化方法の選定	しゅう動面などへの磁粉の混入防止など 残留法、連続法 きずの方向と磁化方法 磁化条件の選定(電流の種類、電流値、通電時間)
磁粉の適用	・磁粉の種類を選定 ・磁粉の適用方法を選定 ・磁粉の管理	蛍光磁粉、非蛍光磁粉 粒子サイズなど(湿式では濃度など) 乾式法、湿式法
観察(判定、記録)	・観察環境の設定 ・疑似模様との識別	蛍光: 暗所で観察、非蛍光: 明るい場所 疑似模様の確認
後処理	・試験前の状態に試験品を戻す	脱磁 洗浄など

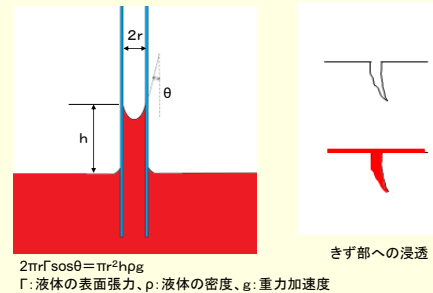
22

磁粉探傷試験状況・結果の例



23

浸透探傷試験の原理(毛細現象)



24

X線とγ線

熱電子 → 熱 → X線

X線の発生

X線装置

γ線装置

放射線透過試験とは？

線源・透過度計間距離: L_1

透過度計・フィルム間距離: L_2

カセット X線フィルム

欠陥部はコントラストの差がつく!

欠陥名	断面形状	X線透過写真
ブローホール	球状	暗い円形
融込み不良	線状	暗い線
溶込み不良	線状	暗い線

フィルムに残る標準試験片

O2Fは、最大の針金直径が0.2mmであることを示す。Fは針金の材質で、鋼製製品用であることを示す。

20形

0.2

20

20

規格値

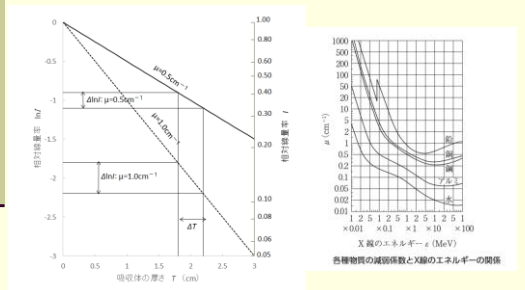
階調計に挿した母材部分の濃度 - 階調計中央の部分の濃度

階調計に挿した母材部分の濃度

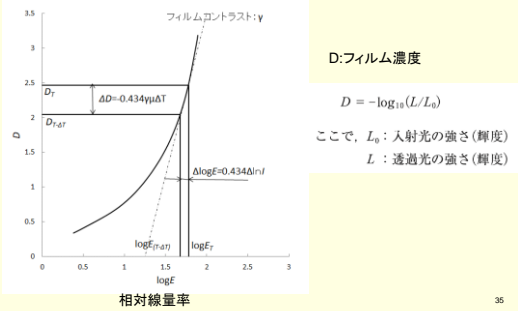
階調計の例 (母材厚さ20mm超え40mm以下の場合)

一般形の針金形透過度計の例

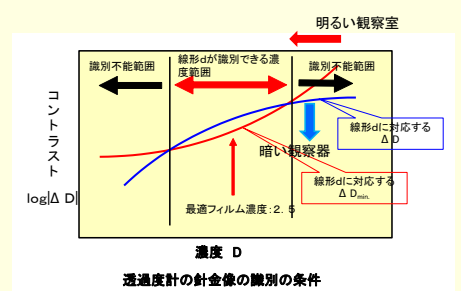
フィルムのきず部の濃淡差をより大きく (線源の影響)



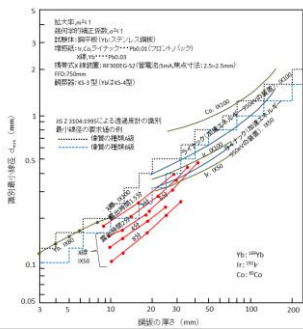
フィルムのきず部の濃淡差をより大きく (フィルムの影響)



より小さな濃度まで識別するために (最適フィルム濃度)

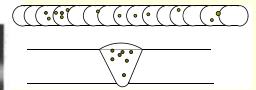
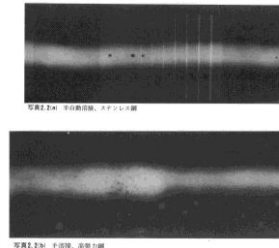


種々のエネルギーによる鋼板の厚さと識別 最小線形の例



37

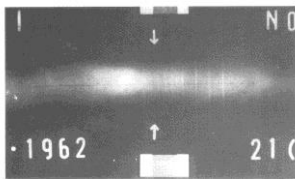
ブローホール



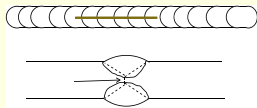
溶接時に発生したガスが凝固中に外に抜けきれずに溶接金属中に球状として残ったもの。
ブローホールは溶接線上に不均一に存在する場合と、連続して存在する場合がある。

38

溶込み不良



溶接部の放射線透過試験技術に関する写真集 1991
(社)日本非破壊検査協会 より抜粋



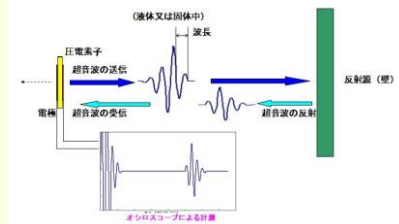
溶接金属がルート部まで達しなかったために、母材と母材の間に生じた融合不良の特別な例。

39

超音波探傷試験とは？

超音波：人間に聞こえない周波数の高い音(可聴20~20kHz)

音波による計測



ヤッター(送信波)に山彦(反射エコー)が答える。
(距離計測、欠陥検査……)

40

電極を取り付けた圧電素子からの 超音波の送受信



41

超音波利用のメリット:直進性

低周波数



どこでも聞こえる



本当か？

超指向性スピーカー(秋葉原フランド自作)を聞け!

高周波数



正面でしか聞こえない

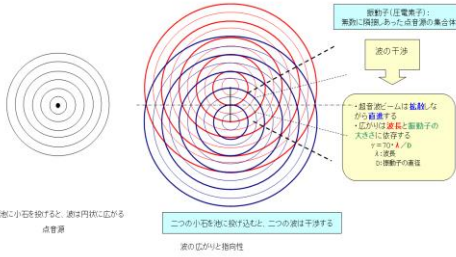


超音波の性質
(特定の方向だけ伝わる)

42

超音波は波である

波が干渉して超音波ビームを形成する



垂直探傷と斜角探傷

垂直探傷子
斜角探傷子

接触媒質を塗布

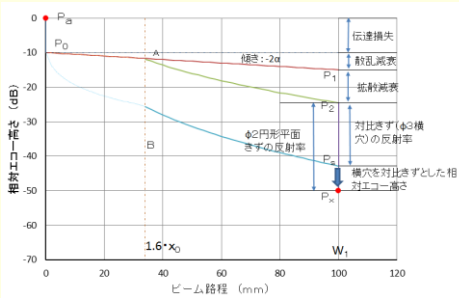
原則:縦波
原則:横波

板厚:200mm
板厚:200mm

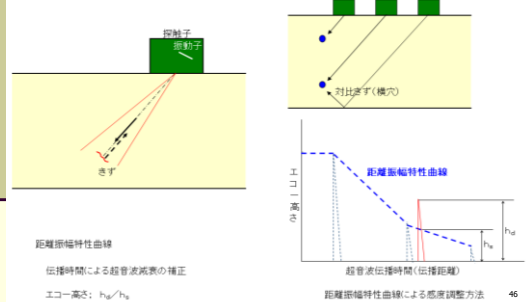
垂直探傷(2C20N音場解析結果)
斜角探傷(2C20A45音場解析結果)

実際に使用される波はパルス波であるが、パルス波の作る各位置での音の強弱を数値計算したもの

相対エコー高さの距離による損失・減衰の様子(知りたい情報はきずの反射率)

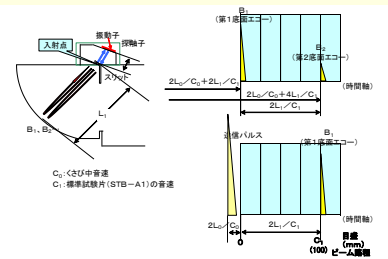


探傷感度調整の例



探傷波形の横軸:時間軸

知りたい情報は、どの位置から超音波が試験体に入射し、入射点から何mmの位置にきずがあったか?



調整方法1

仮定の音速5900m/sを入れてみる

測定範囲 26.0dB

STB-N1 標準試験片
音速:5920±30m/s
板厚:25.0±0.1mm
JIS Z 2345-3:2018

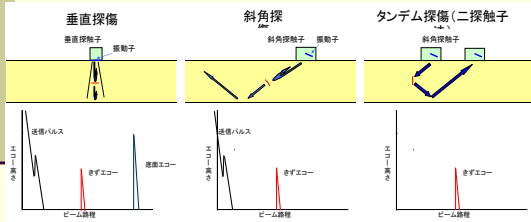
0点調整 0μs
受信周波数 5

基本 ゲート1 ゲート2 斜角 保存

W₂-W₁=52.1-27.2=24.9mmとなり、音速が違っていることを意味する。
W₂-W₁=25.0mmとなるように音速を修正する。

第1回音エコー (W₁)
第2回音エコー (W₂)
W₂-W₁=25.0mm

探傷方法と探傷波形例



49

自動超音波探傷装置の例



50

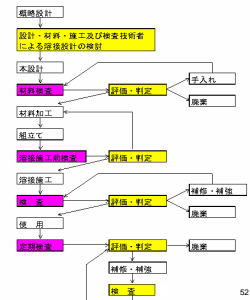
試験方法	磁粉探傷試験	浸透探傷試験	放射線透過試験	超音波探傷試験
きず検出の原理	磁気吸引作用 (磁気吸着) 漏れ磁界が生じ欠陥に磁粉が吸着する 磁粉懸液の層 磁粉 きずの幅	(浸透作用) 浸透液が浸透する 浸透液 (溶剤洗浄) 現像剤	(透過性) 健全部ときず部の透過量の差によりきずをよきずを検出する 放射線 健全部 きず 透過方向 放射線透過像	(超音波の反射・パルス反射法) 一般に、きずにより反射された超音波を受信してきずを検出する 探頭 探針 きず 斜角探傷 探傷箇所
対象欠陥の位置	表層部	表面	内部	内部
適用材料	磁性材料	ほぼ全部	全部	全部
検出しやすいきずの形状	割れ	開口きず	透過方向に長きがあるきず	超音波探傷方向の直交方向に拡がりがあるきず

51

検査はいつおこなわれるか？

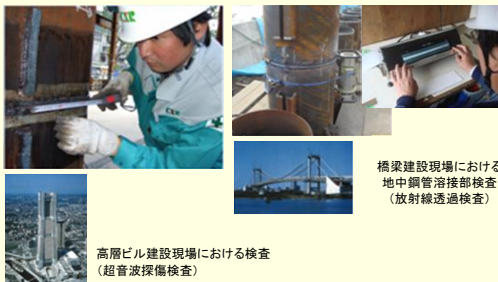
- 素材入荷時、機械加工後、溶接前後等
(必要に応じ不具合は正目的で検査実施。)
- 構造物使用時も定期的に検査を行なう。
(老朽化、故障対策)

溶接構造物における検査の位置づけ



52

構造物製造時の検査の例



高層ビル建設現場における検査
(超音波探傷検査)

橋梁建設現場における
地中鋼管溶接部検査
(放射線透過検査)

53

供用中(使用中)検査の例



化学プラントにおける定期検査
(熱交換器の過流探傷検査)
(株)シーエックスアル殿提供

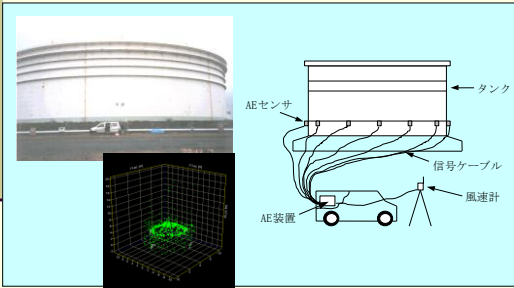


耐圧配管の超音波探傷検査(TOFD)

ボイラチューブ保護皮膜(清射)の健全性評価
ボイラにおける定期検査
IICレビュー-38,40号より

54

構造物診断の例



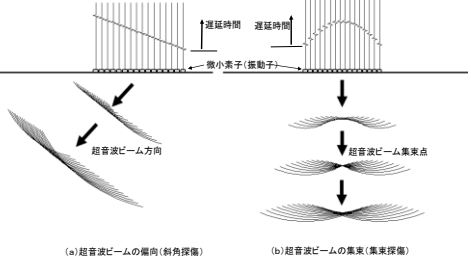
AEによるタンク内部腐食のグローバル診断

55

非破壊検査は進化する(新技術)

微小素子からの波を干渉させて超音波ビームを操る

沢山の圧電素子を並べ送受信の位相を制御する



(a) 超音波ビームの偏向(斜角探傷)

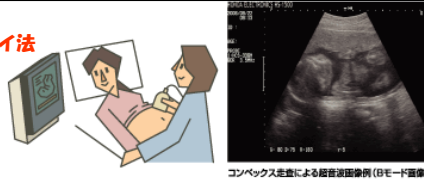
(b) 超音波ビームの集束(集束探傷)

フェーズドアレイ探傷

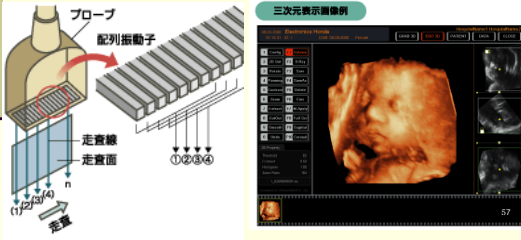
56

映像化技術 フェイスドアレイ法

医療分野



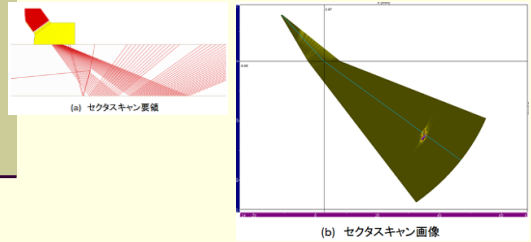
コンベックス走査による超音波断層像例 (Bモード画像)



三次元表示画像例

57

画像を見ながらの探傷 (セクタスキャン)



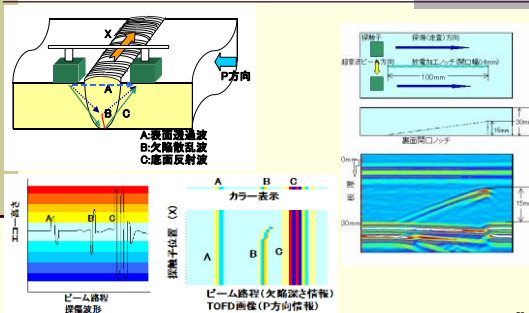
(a) セクタスキャン原理

(b) セクタスキャン画像

Civaソフトによる数値シミュレーション画像

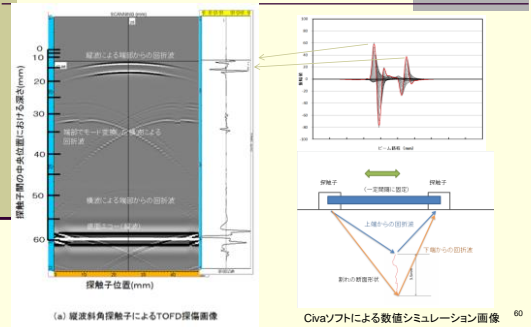
58

TOFD探傷(原理と探傷例)



59

TOFD探傷画像の例



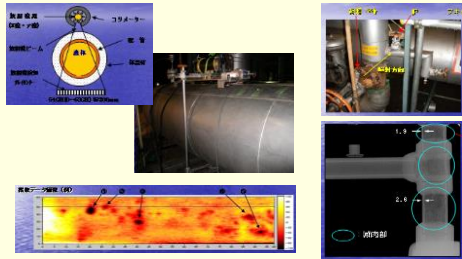
(a) 縦波斜角探傷によるTOFD探傷画像

ラテラル波は計算していない

Civaソフトによる数値シミュレーション画像

60

合理的な検査手法の開発(1)

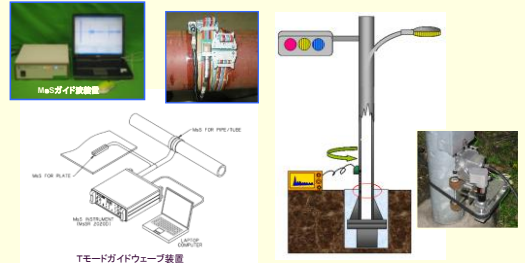


保温材の外部からの減肉検査

配管減肉量の検査
(株)シーエックスアール殿提供

61

合理的な検査手法の開(2)

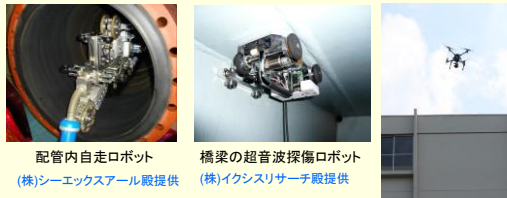


配管の長距離伝搬ガイド
ウェブによる広域同時検査

埋設配管部の腐食検査

62

検査ロボット・ドローンの活用



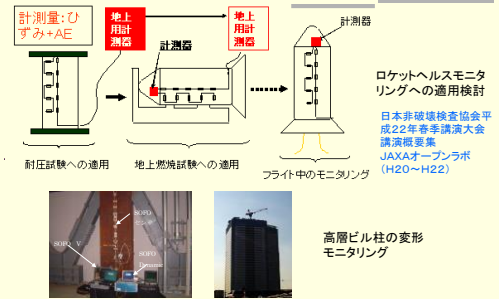
配管内自走ロボット
(株)シーエックスアール殿提供

橋梁の超音波探傷ロボット
(株)イクスリサーチ殿提供

ロボット開発は非破壊検査と密接に関係
・福島の高炉措置、社会インフラの非破壊検査……

63

光ファイバーセンサなど新センシング 技術の開発



耐圧試験への適用

地上燃焼試験への適用

フライト中のモニタリング

ロケットヘルスモニタリングへの適用検討
日本非破壊検査協会平成22年春手講演大会講演概要集
JAXAオープンラボ(H20~H22)

高層ビル柱の変形モニタリング

64

非破壊検査を行う目的は多種多様

- 新製品・新材料開発のスピードアップ
- 製造コストダウン
- 出荷前の材料・製造物の品質管理、品質保証、安全性保証
- 使用中の材料・構造物の安全性保証、寿命評価・余寿命予測
- 返品材料・部品の不良解析

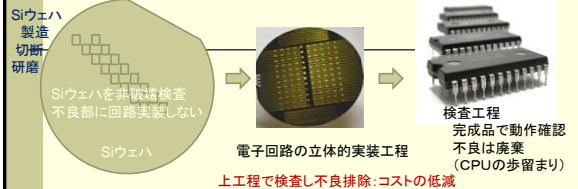
検査の目的で検査の内容も変わる

健康診断も若者と年寄りでメニューが異なる

65

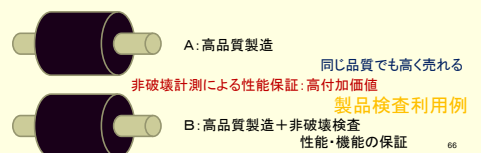
非破壊検査の使い方の例

1. ICの検査



上工程で検査し不良排除:コストの低減

2. 圧延ロールの品質



66

誰でも検査できるの？



資格の重要性

あなたが、病院へ行って
検査をしてもらう時、
資格のない人に検査して
もらいますか？
いやですよね!!

67

多くの検査資格者が安心・安全を支えている

8.5万件の資格者！

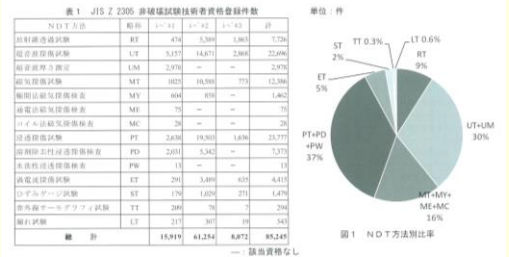


表-1 非破壊試験技術者資格登録件数(2021.04.01 現在)

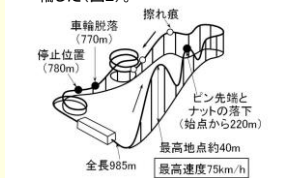
(一社)日本非破壊検査協会 提供

68

非破壊検査を行わないとどうなるの？

風神雷神の呪い

- 事故の概要：ゴールデンウィークの午後、千里万博公園「エクスボランド」のジェットコースターで、ジェットコースターの車輪が突然レールから脱輪し、車体が傾き、搭乗者1名が車両と左側の鉄柵に頭を挟まれて死亡、負傷者21名の犠牲者を出した。車輪を支える軸のねじ部が疲労破壊で、切断したため、車輪がレールから脱輪した(図2)。



出典：
<http://www.sozogaku.com/fk/d/cf/CZ0200802.html>
失敗知識データベース
事例ID：CZ0200802

69

事故調査



70

事故原因

ボルトの疲労き裂：検査していれば十分防げた



出典：
<http://www.sozogaku.com/fk/d/cf/CZ0200802.html>
失敗知識データベース
事例ID：CZ0200802

71

まとめ 非破壊検査

- ・物を壊さないで検査する
- ・検査するための装置を開発する

これが私たちの仕事です



・社会インフラの老化加速
・品質や安全性への要求は厳しくなる

必要とされる
喜びがあります

72