

材料計測学

①-③:組織・構造, ④-⑥:化学組成・結合状態

⑦:熱特性 ⑧⑨⑩:機械特性 ⑪:非破壊検査

動画11



担当: 鎌田

前回まで: 破壊力学 + 疲労試験

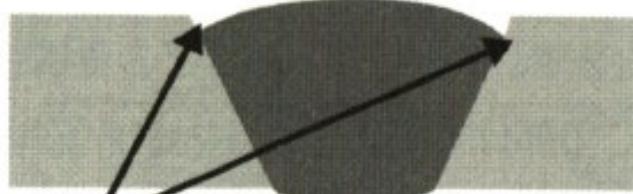
き裂は応力集中が起こるので危険

初期き裂のサイズがわかれば、パリス則から疲労寿命を予測

機器構造物の欠陥(き裂など)の評価が重要で、製造・利用の各段階で検査・試験が必要 (製品の品質評価や供用期間中の健全性の確認)

非破壊検査が有用 (参:破壊検査…検査すると廃棄)

目視



欠陥(きず)

- ① 浸透探傷試験 (penetrant test, PT)
- ② 磁粉探傷試験 (magnetic-particle test, MT)
- ③ 漏流探傷試験 (eddy current test, ECT)
- ④ 放射線透過試験 (radiographic test, RT)
- ⑤ 超音波探傷試験 (ultrasonic test, UT)



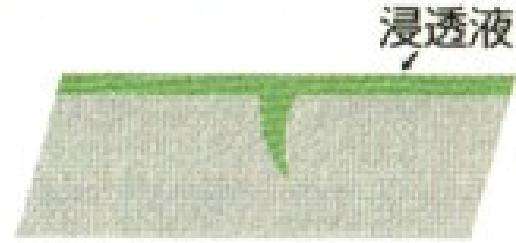
①浸透探傷試験(penetrant test, PT)

蛍光または着色染料(dye)を含んだ
浸透性の高い液体を表面の欠陥に浸透させる。

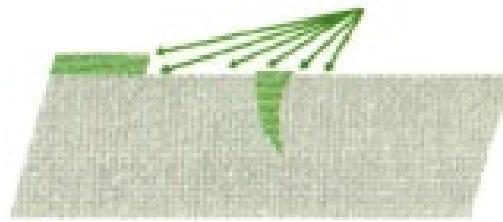
現像剤で吸い出して欠陥を検出(毛細管現象)
設備が簡単で、迅速かつ経済的。

参考動画より

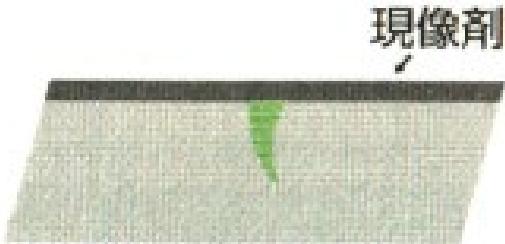
(a) 浸透処理



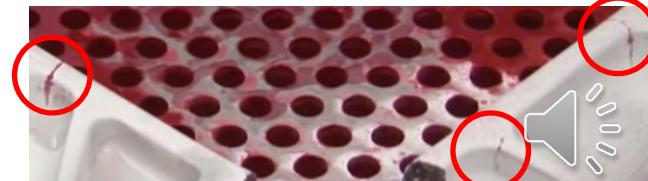
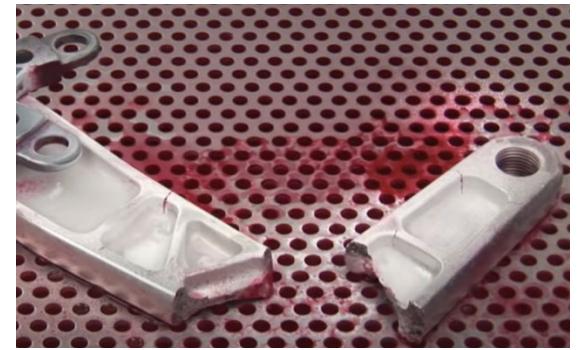
(b) 除去/洗浄処理



(c) 現像処理



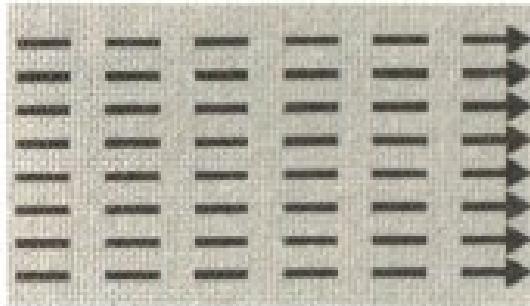
(d) 観察



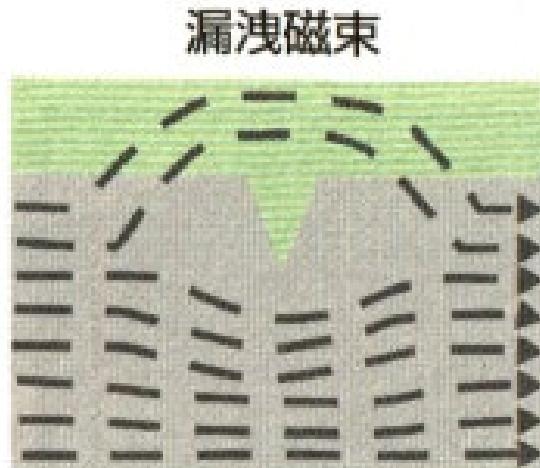
②磁粉探傷試験(magnetic-particle test, MT)

磁性材料に磁力線を通過させたとき、
表面または表面近傍に割れや欠陥があると、
磁束の一部が欠陥近傍で漏れだし、磁極をつくる。
鉄粉を近づけると欠陥部で模様をつくる。

健全な場合

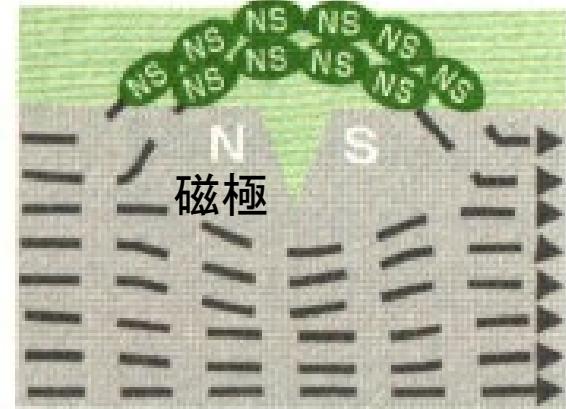


欠陥がある場合



漏洩磁束

磁粉が吸着



磁気センサーを使う場合も
(磁束漏洩法)

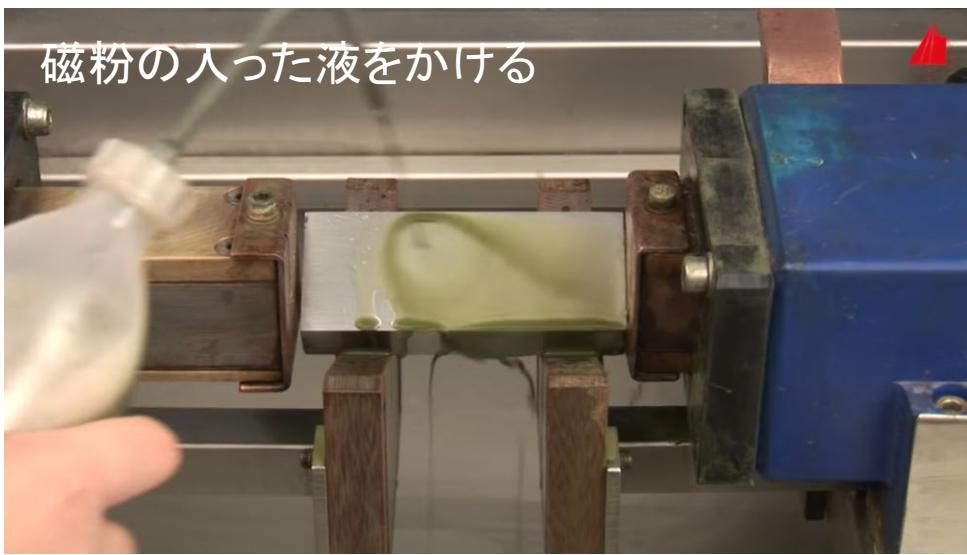


試験体を電磁石の間にに入る

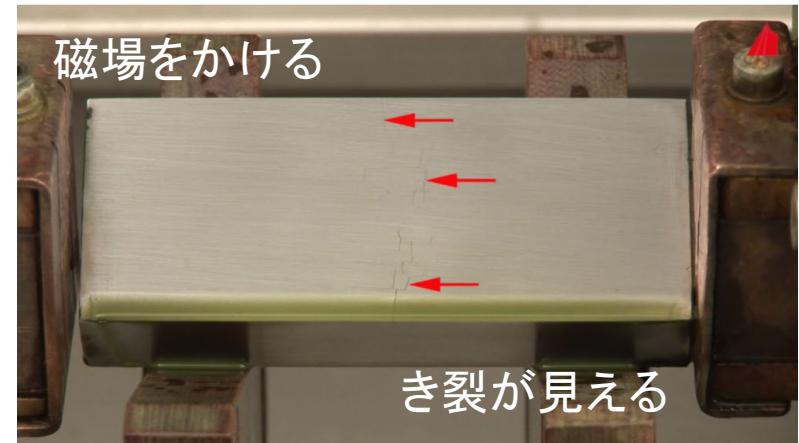


参考動画より

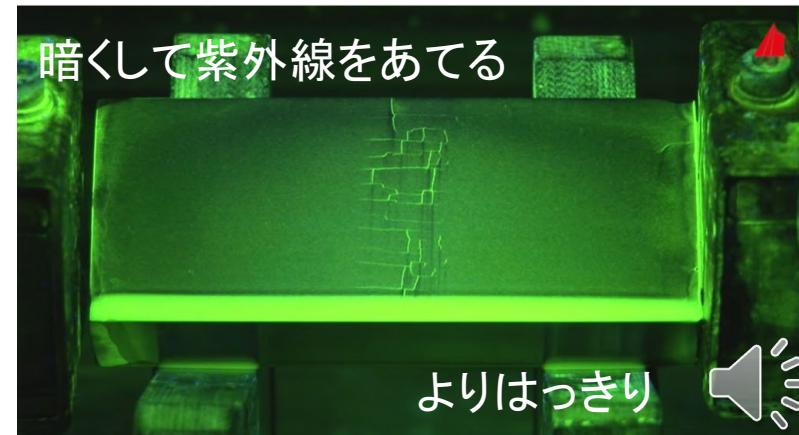
磁粉の入った液をかける



磁場をかける



き裂が見える

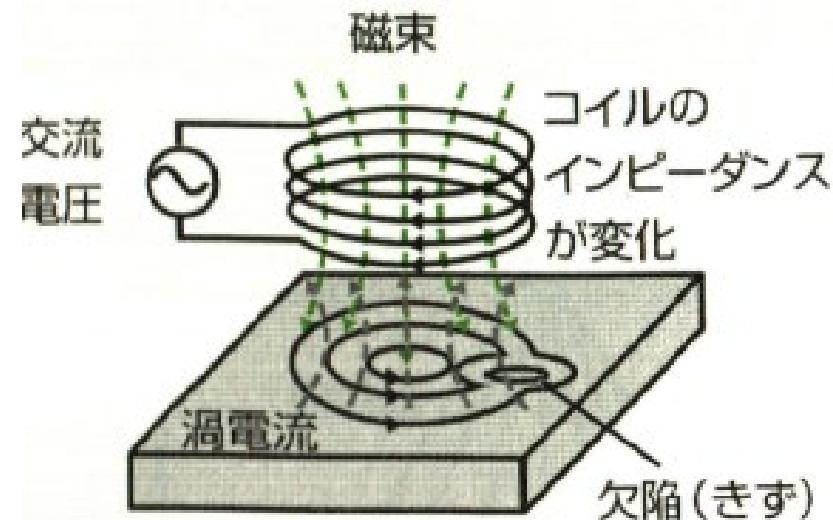
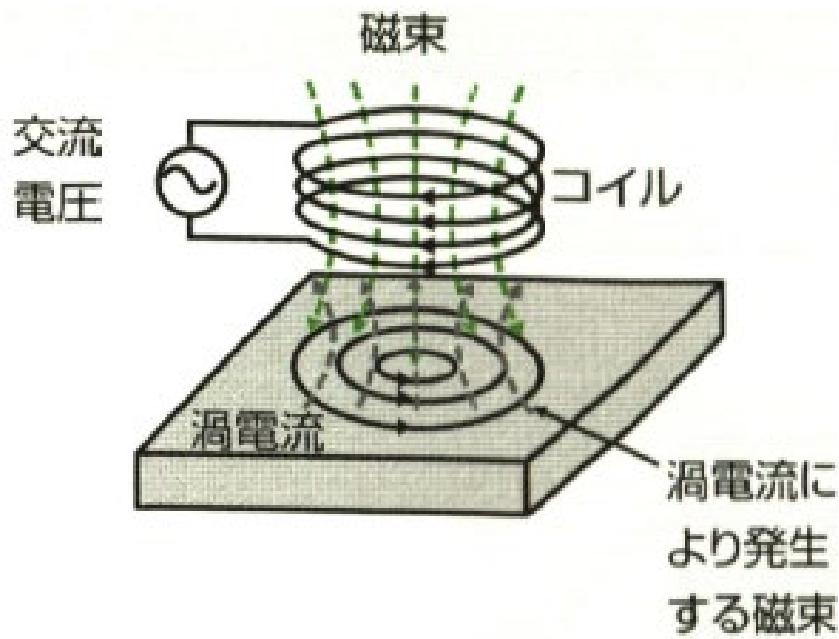


暗くして紫外線をあてる

よりはつきり

③渦流探傷試験(eddy current test, ECT)

交流電流を流したコイルを金属材料に接近させると渦電流が発生



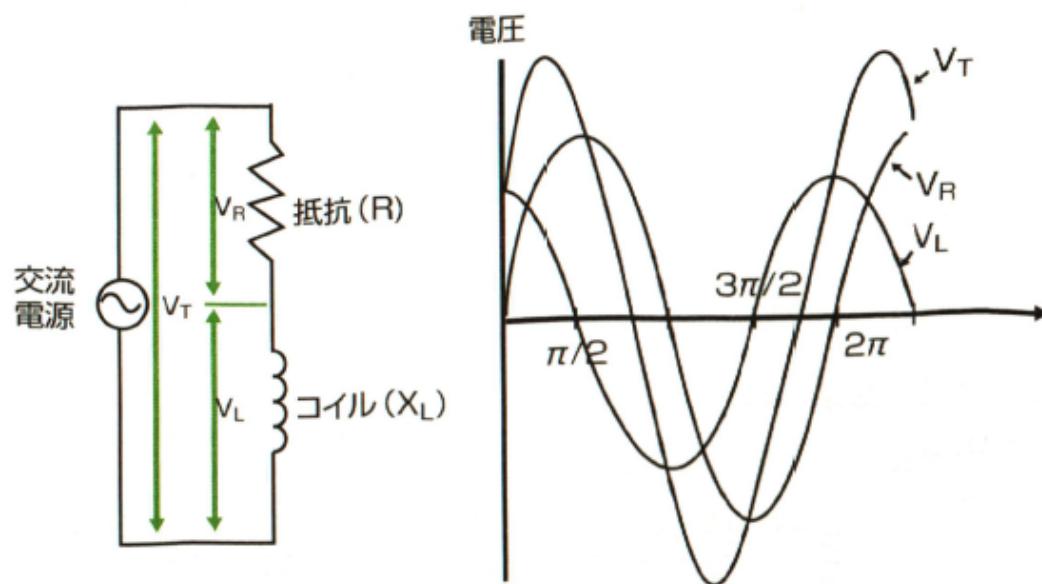
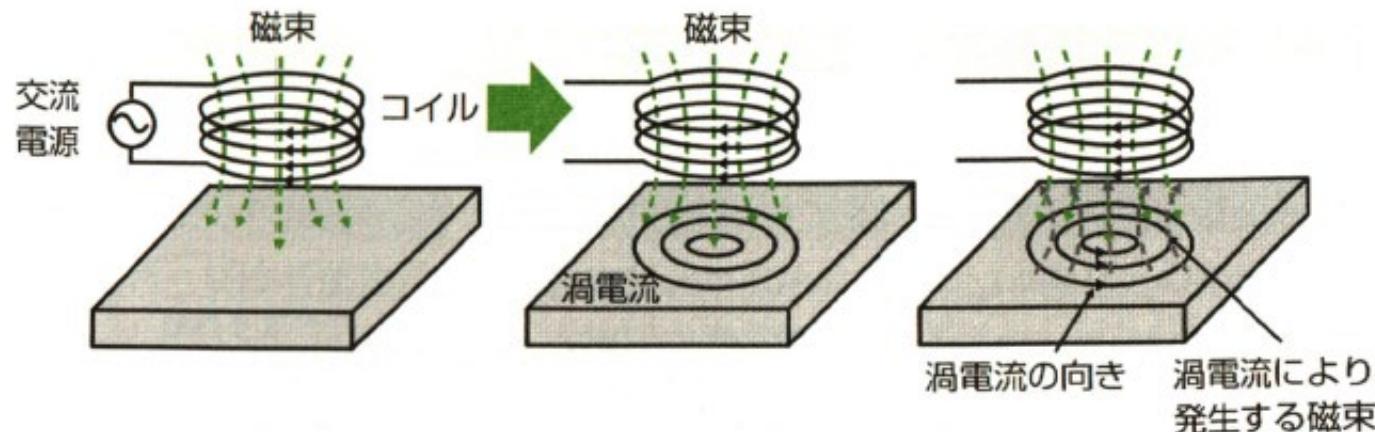
欠陥が存在すると
渦電流が乱れ、
インピーダンスが変化



コイルに電流を流すと
磁束が発生

磁束の変化により
渦電流が発生

渦電流の方向はコイルで
発生した磁束を
打ち消す方向



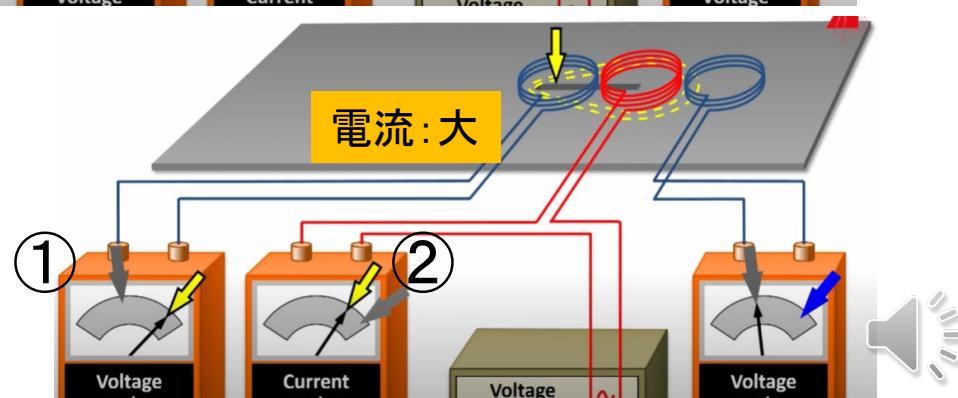
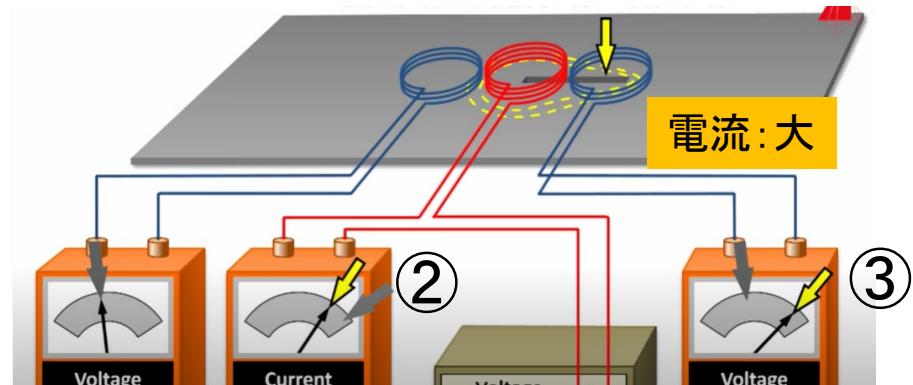
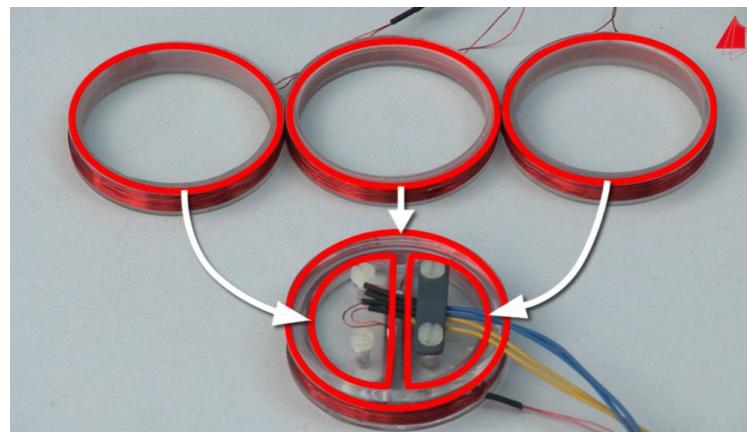
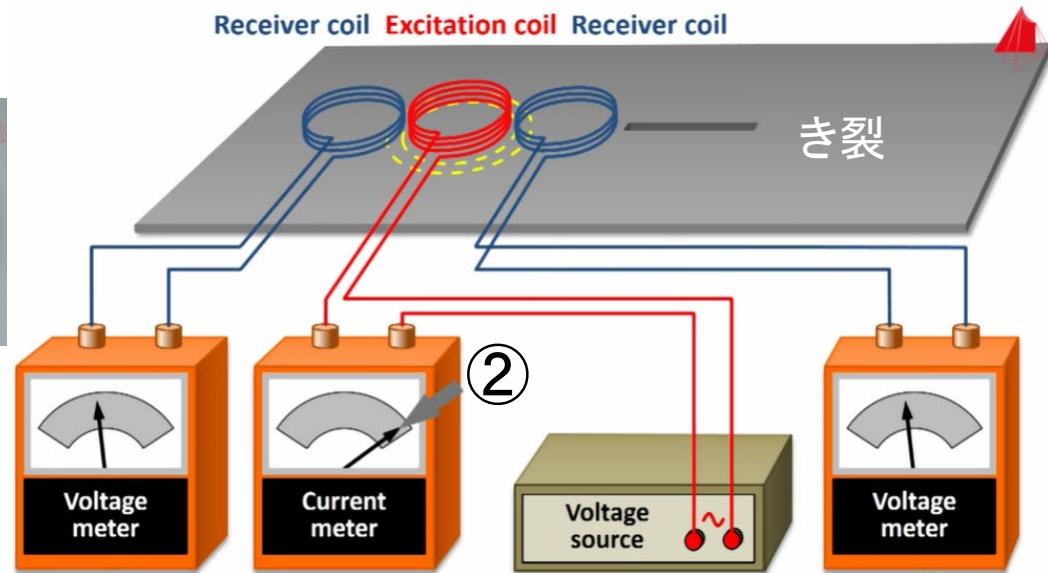
$$\begin{aligned}V_T &= \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \\&= \sqrt{(I \cdot R)^2 + (I \cdot X_L)^2} \\&= I \sqrt{R^2 + X_L^2} \\&= IZ\end{aligned}$$

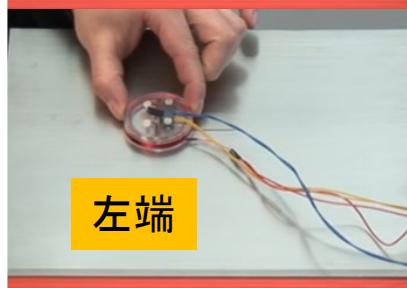
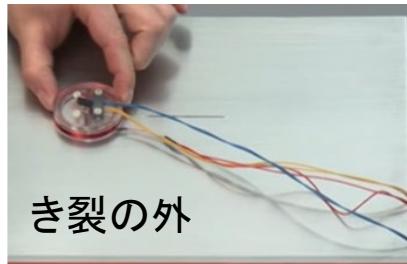
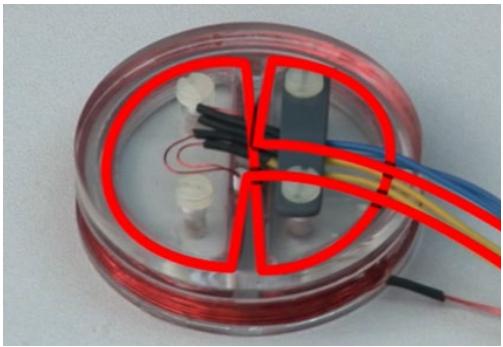
ただし

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (\text{インピーダンス})$$

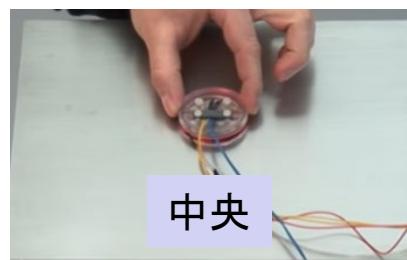
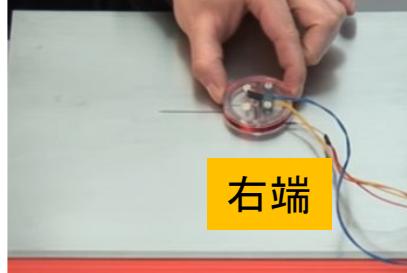


参考動画より





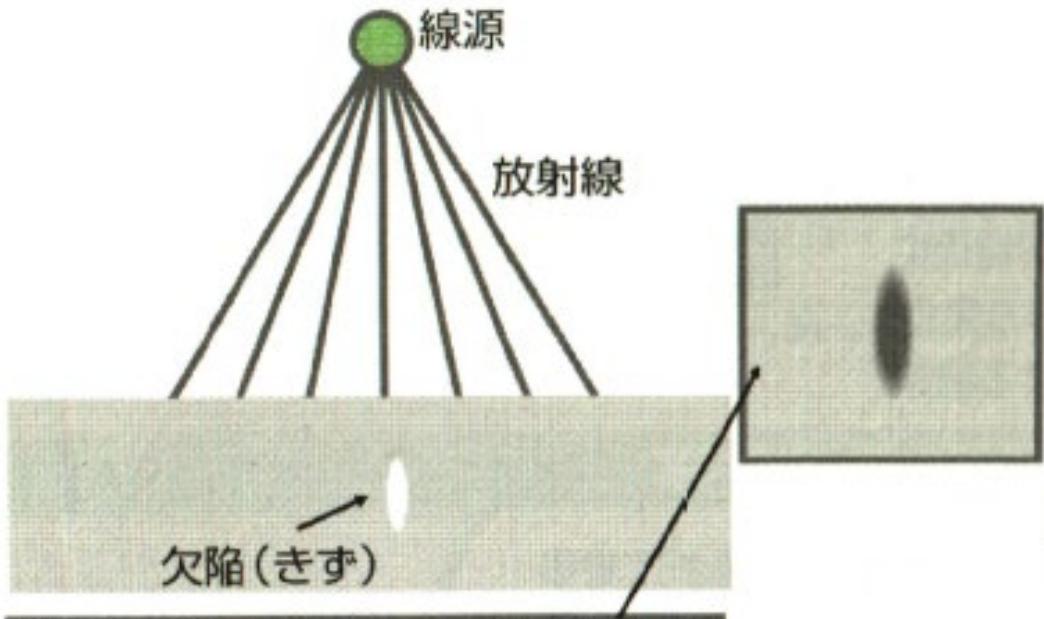
センサーを
90度回転



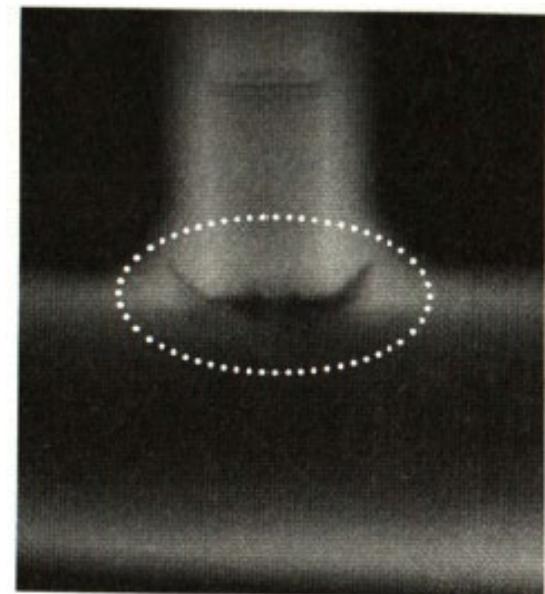
電流:大

④放射線透過試験(radiographic test, RT)

X線、 γ 線などで被検査物を透過させ内部の欠陥を検出
空洞・異物があると吸収量が異なり、透過線の強さが変わる
写真フィルムやイメージングプレートで、位置・形状・大きさを同定



X線フィルム、イメージングプレートなど



溶接不良

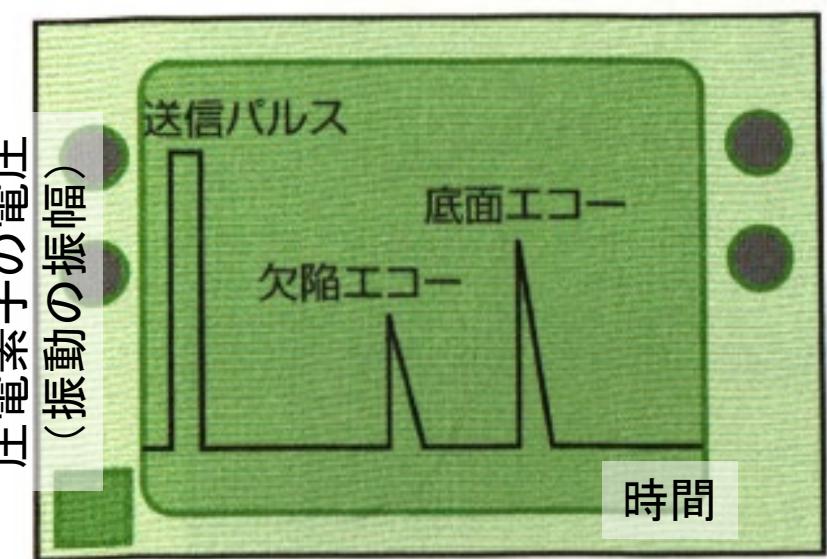
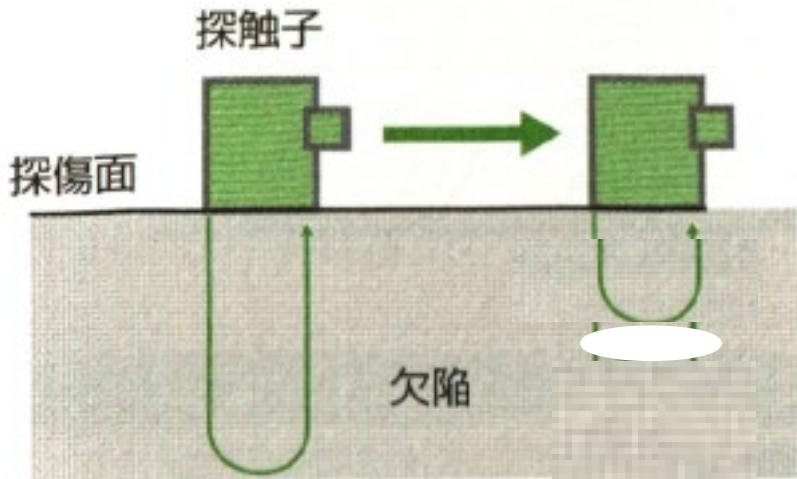


⑤超音波探傷試験(ultrasonic test, UT)

超音波を被検査物に送信し、欠陥により反射されたり、透過を阻害された超音波を受信して欠陥を検出する

パルスエコー法: 被検査物に探触子を当て、電気信号を超音波振動に変換して物体に送り込む。欠陥があると、超音波パルスの一部は欠陥に当たり、そこで反射して探触子に戻る

垂直探傷

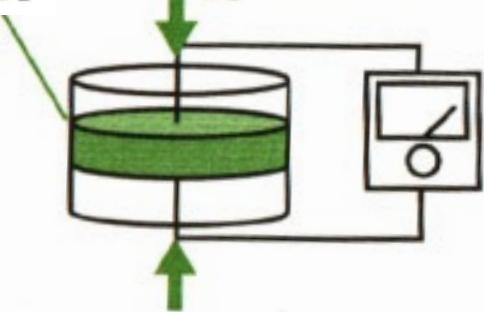


受信(振動検知)

圧電効果

圧電素子

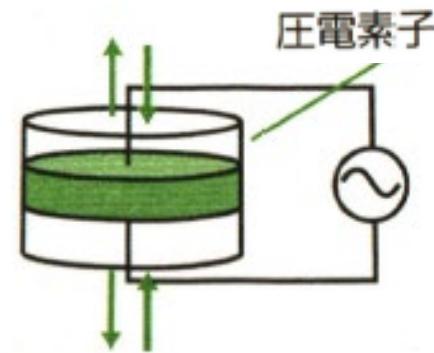
力



力をかけると電圧が
発生する

送信(超音波発生)

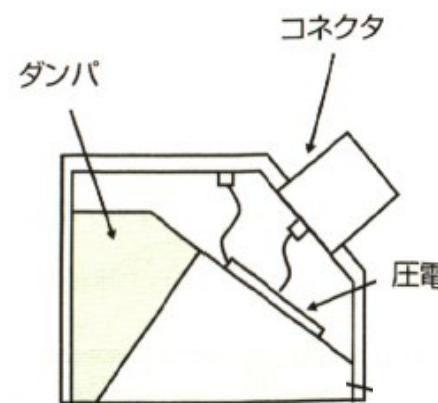
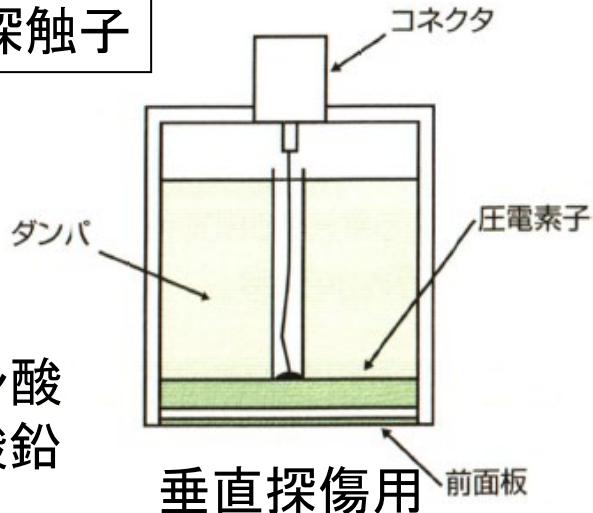
逆圧電効果



電圧をかけると素子
が伸び縮みする

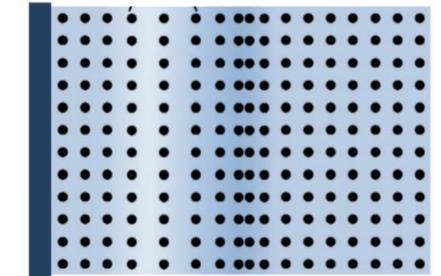
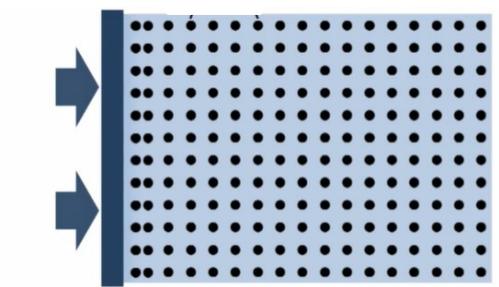
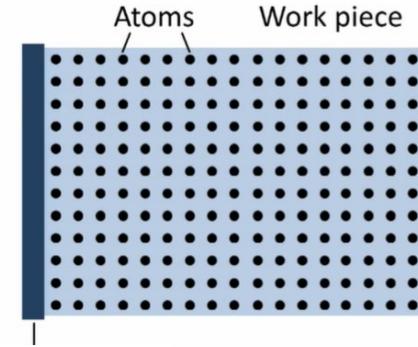
圧電探触子

PZT:
ジルコン酸
チタン酸鉛



斜角探傷用

参考動画より

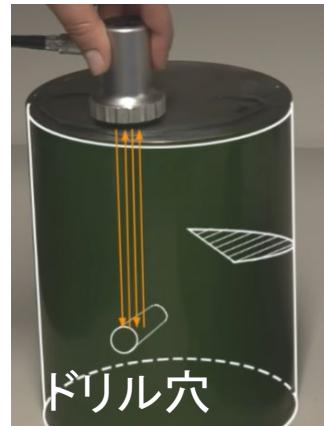


弹性波が進行
端面で反射

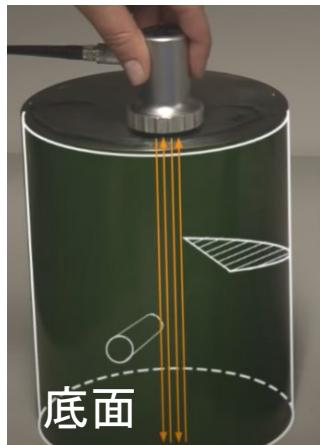
①



②



③

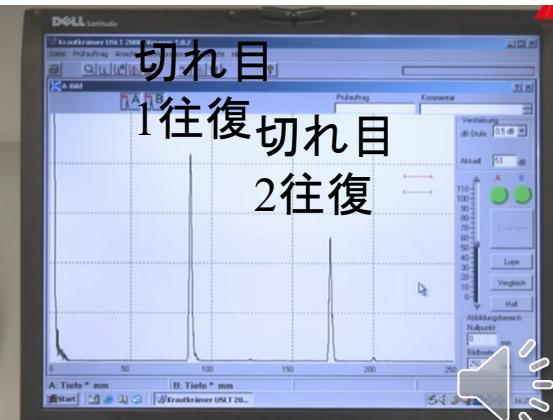


参考動画より

④

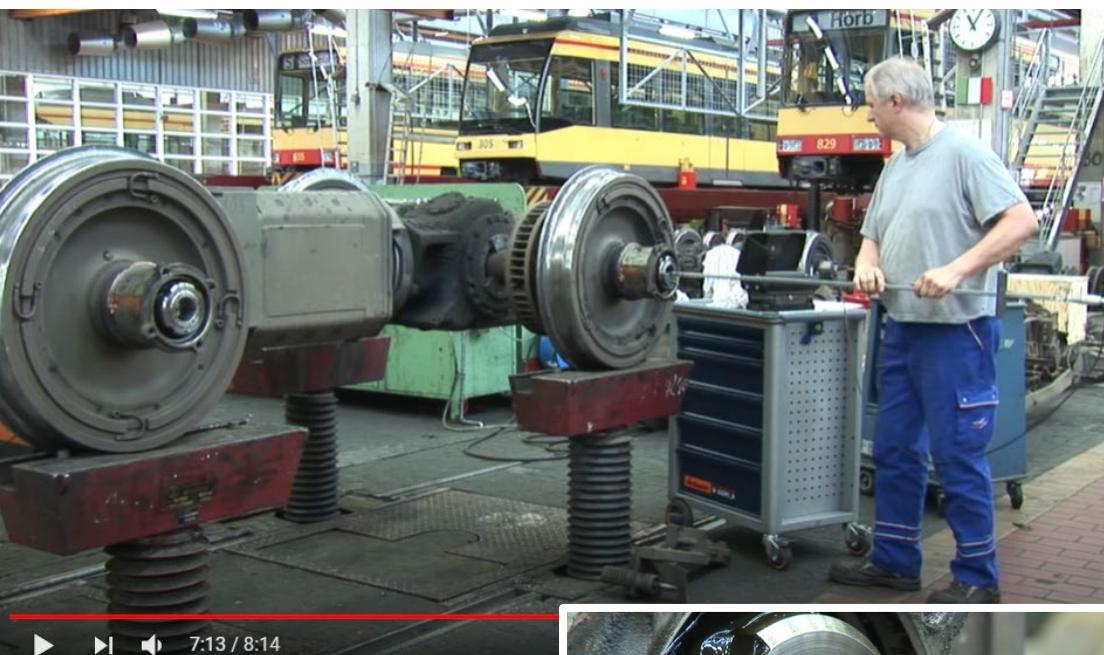


⑤

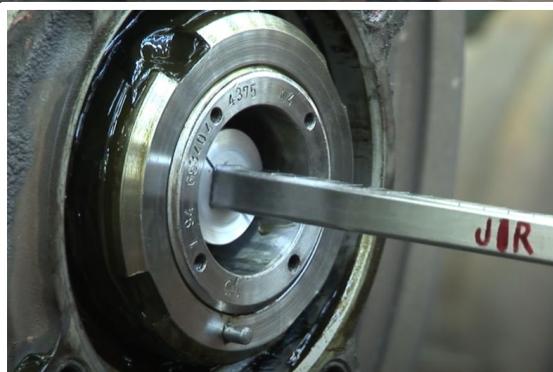


参考動画より

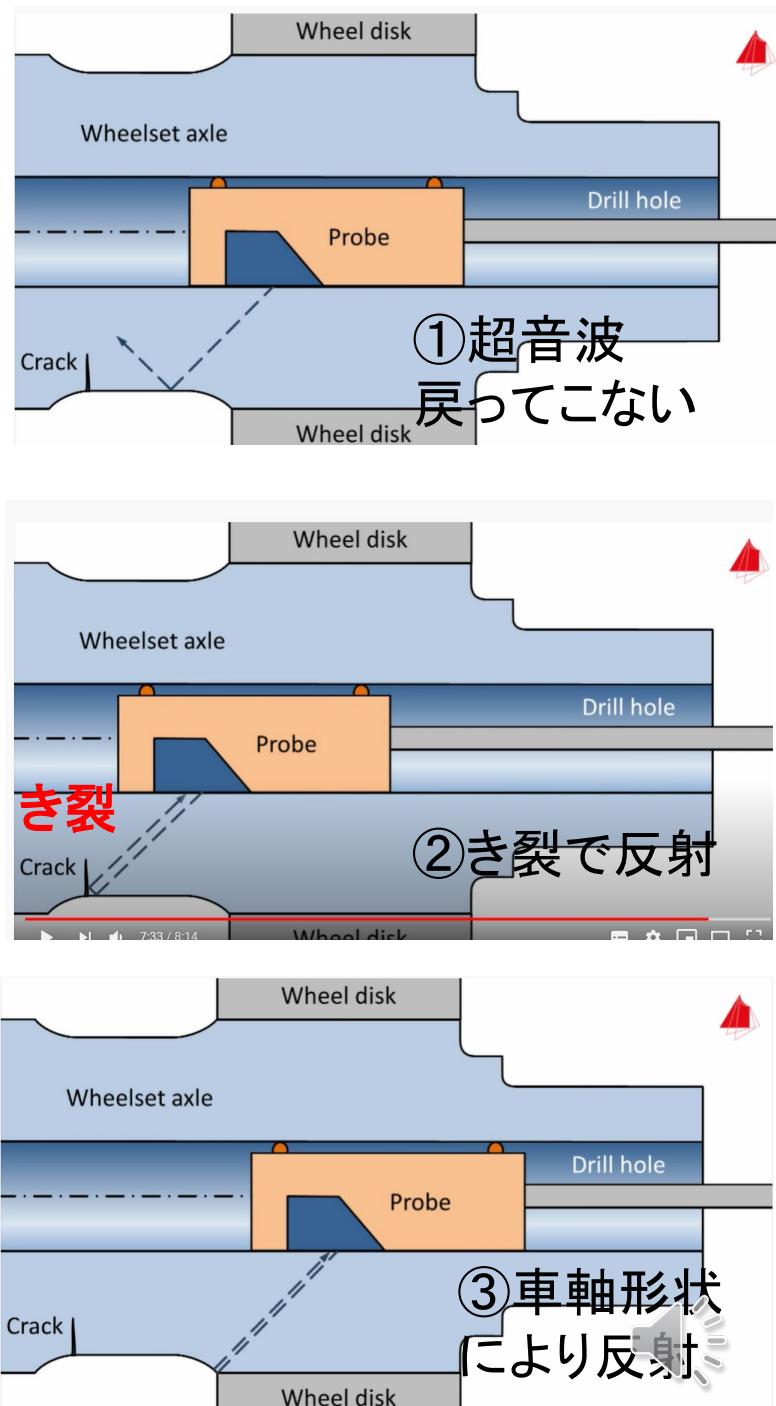
電車の車軸の非破壊検査



▶ ▶ 🔍 7:13 / 8:14



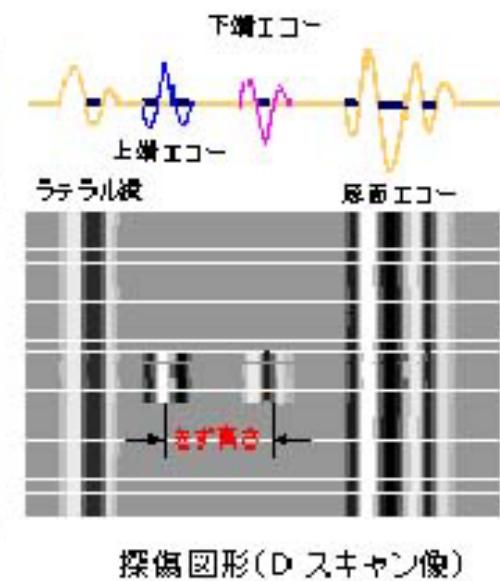
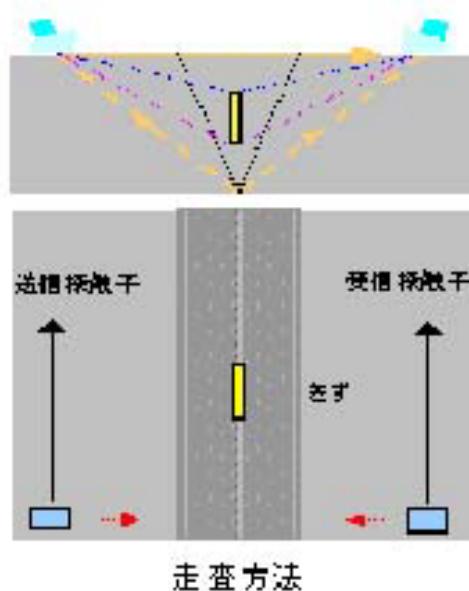
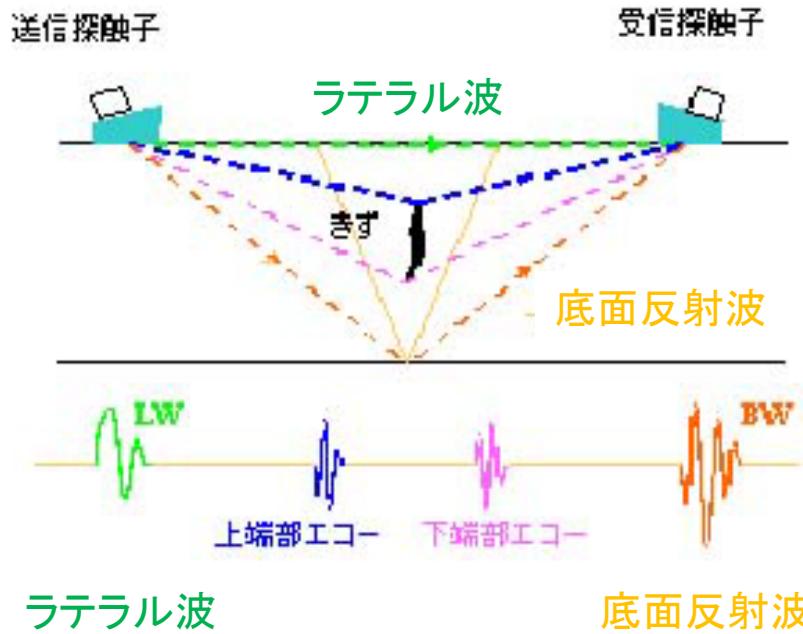
超音波プローブを
回転しながら
挿入する



TOFD法 Time of Flight Diffraction Technique

- ・送信用と受信用の探触子を一定距離を隔てて対向させる
- ・送信用探触子から全厚さ方向に超音波を入射すると、
表面波(ラテラル波)と**底面反射波**を受信する
- ・内部にき裂があると、**き裂上下端部での回折波**が生じる
- ・探触子を走査することで、き裂の板厚方向寸法(き裂深さ)と位置を測定

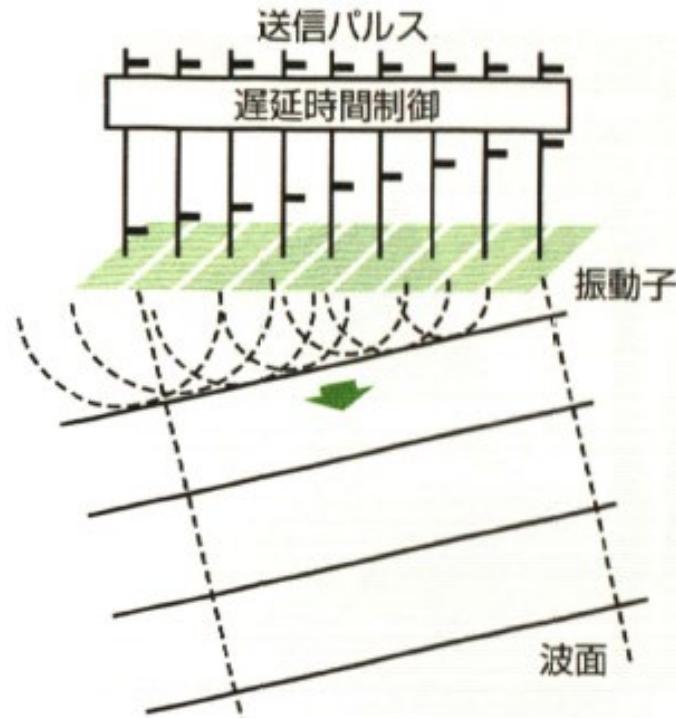
(日鉄住金テクノロジーの
参考資料を読んでください)



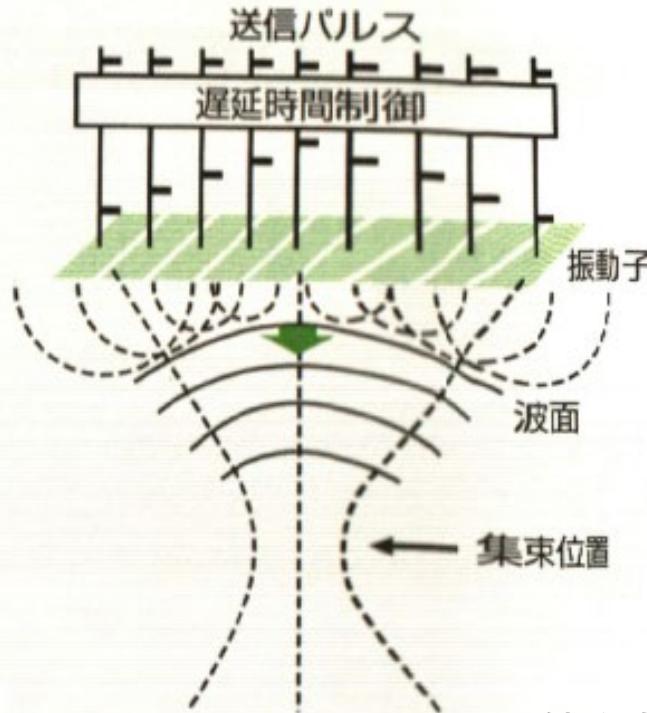
フェーズドアレイ法

アレイ探触子(多数の振動子を配列)で、個々の超音波のタイミングをずらし、合成波を任意の方向に集束・走査
→ 複雑な形状の部材にも適用可能

入射方向の制御



集束位置の制御



(日鉄住金テクノロジーの
参考資料を読んでください)

各種非破壊検査法で検出可能な欠陥の特徴と適用可能な材質

	適用のタイミング	検出可能な欠陥の位置	検出可能な欠陥形状	適用可能材質
目視試験 (VT)	欠陥発生後	表面	すべて	すべて
浸透探傷試験 (PT)	欠陥発生後	表面	表面に開口している形状	ほぼすべて
磁粉探傷試験 (MT)	欠陥発生後	表層部	主に割れ形状	磁性材料
渦電流探傷試験 (ET)	欠陥発生後	表層部	長さや容積がある形状	導電材料
放射線透過試験 (RT)	欠陥発生後	主に内部	放射線透過方向に奥行きがある形状	すべて
超音波探傷試験 (UT)	欠陥発生後	主に内部	超音波が反射もしくは回折する形状	すべて
アコースティック・エミッション試験(AT)	欠陥発生中	すべて	すべて(ただし、外力負荷により成長する形状)	すべて
赤外線サーモグラフィ試験 (TT)	欠陥発生後	表層部	すべて	すべて



**①-③:組織・構造, ④-⑥:化学組成・結合状態
⑦ 熱分析 ⑧⑨⑩:機械特性 ⑪:非破壊検査**

浸透探傷、磁粉探傷、渦流探傷、放射線探傷、超音波探傷

参考動画

<https://www.youtube.com/watch?v=xEK-c1pkTUI>

Dye Penetrant Inspection 3:28

<https://www.youtube.com/watch?v=qpgcD5k1494>

Magnetic Particle Inspection 3:52

<https://www.youtube.com/watch?v=oriFJByl6Hs>

Eddy Current Testing 17:15

<https://www.youtube.com/watch?v=lcWjZbXiFkM>

X-ray Inspection and Industrial Computed Tomography 12:28

<https://www.youtube.com/watch?v=UM6XKvXWVFA>

Ultrasonic Testing 8:14

その他の参考書:

- ・非破壊検査の基本と仕組み 水谷 秀和システム 2010
- ・ミクロの傷を追う 岸・志波 丸善 1989

