

ロボットを活用した 先進X線・中性子非破壊検査技術

産業技術総合研究所 鈴木良一

シンポジウム「インフラメンテナンスにおけるロボット活用シンポジウム
—完全無人化に向けて—」
2020/1/30 @土木学会講堂

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

共同研究者

産業技術総合研究所 加藤英俊、藤原健

NEDOインフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
(平成26年度～30年度)

日立パワーソリューションズ 服部行也、浅見研一

静岡大学 青木徹、小池昭史

三菱ケミカル 三浦到

科研費

九州大学 古賀信也

非破壊検査

壊さずに内部の状況を検査する手法

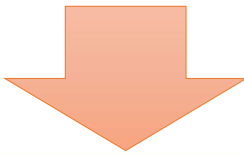
老朽化したインフラなど現場でのニーズが高い

X線や中性子線等の放射線

利点 非破壊で内部を調べることができる
課題 安全性、作業効率



小型・軽量・高性能な線源・検出器
とロボット技術の融合



インフラ等の検査の飛躍的効率化

ロボット対応X線源の開発

従来のX線源

ヒーターやフィラメントを用いた真空管

予熱が必要なため、必要な時すぐにX線を発生できない

X線を出していない時でも電力を消費

X線管の他に絶縁トランス等が必要で大きく重い

一般的な高電圧電源ではX線のON/OFFの時間がかかる



カーボンナノ構造体冷陰極X線源

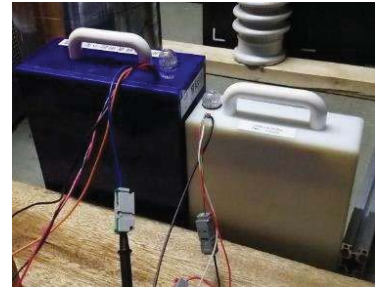
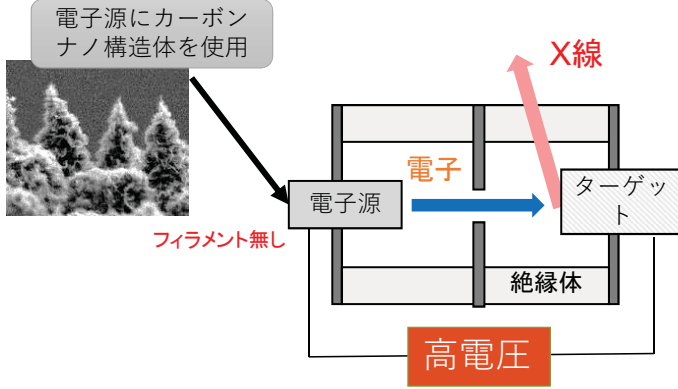
ヒーターやフィラメント不要で、小型化・軽量化・省電力化が可能

バッテリー駆動

予熱が不要なため電圧を印加してすぐX線を発生

一般的な高電圧電源回路で高速のX線ON/OFF可能

小型X線源の開発



1.6 L ⇒ 0.8 L
単三電池1本でも駆動可能



2009.3

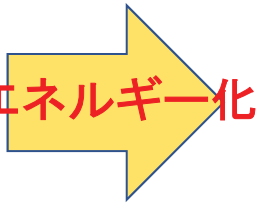
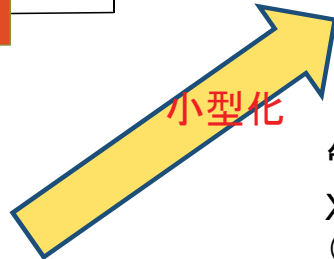
管電圧 120 kV

2014.6



管電圧 150 kV

寿命 1000万ショット以上



管電圧 200 kV: 12-15 V 電池
X線透過 鉄 ~10 cm
(高エネルギーX線対応検出器との組み合わせ)



ロボット対応X線検出器の開発

従来のX線検出器

X線フィルム
イメージングプレート

セッティング・現像に人手・時間がかかる

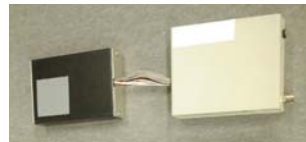
フラットパネル(医療用を転用)

高エネルギーX線に対して感度が低い
長時間露光できない



開発した検出器

CdTe 2次元検出器
直接変換型
素子厚 1mm
ピクセルピッチ 0.1 mm
44 mm x 48 mm



いずれも
バッテリー駆動
PCにデータ取り込み
表示可能

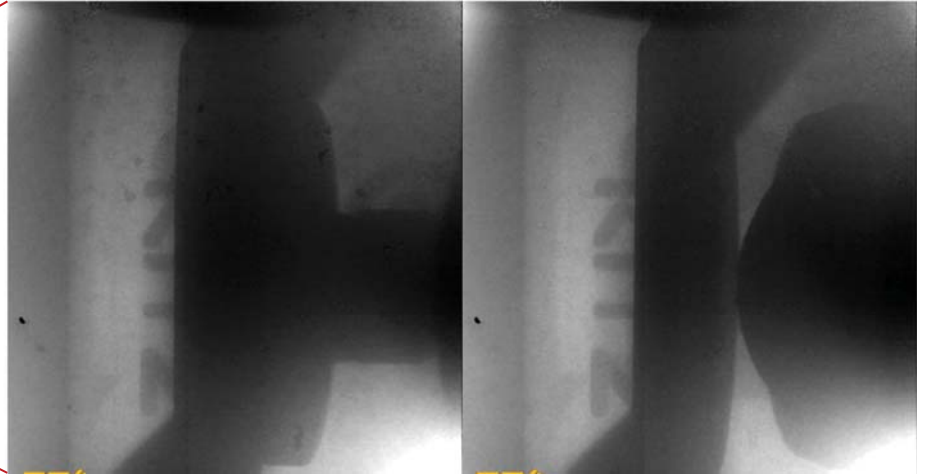
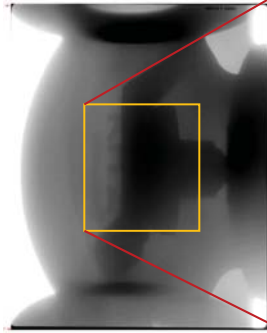
大面積フラットパネル検出器
間接変換型・シンチレータ利用
高感度低ノイズ
430 mm x 350 mm
長時間露光可能



X線透過像撮影例

鉄製鋳物バルブ
肉厚25 mm
(200 kV X線源
+大面積フラットパネル)

露光時間~1秒



非破壊検査用ロボット

プラント配管検査用ロボット(NEDO)

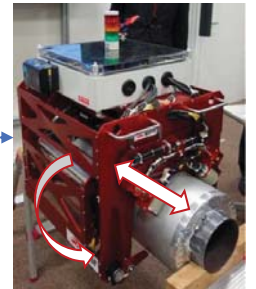
配管減肉詳細検査用X線源・検出器搭載ロボット
鞍型 直進、360度回転、回転中心微調整、水平度調整

配管減肉スクリーニング検査用中性子水分計搭載ロボット
鞍型 直進、360度回転

配管検査用直線移動ロボット
コの字型 直進

垂直構造物CT検査用ロボット(科研費)

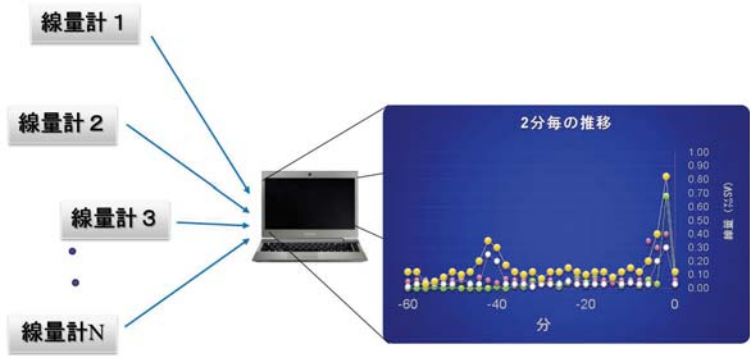
垂直軸を中心に360度回転
回転ステージを分割し現場に持ち込み可能



いずれもバッテリー駆動

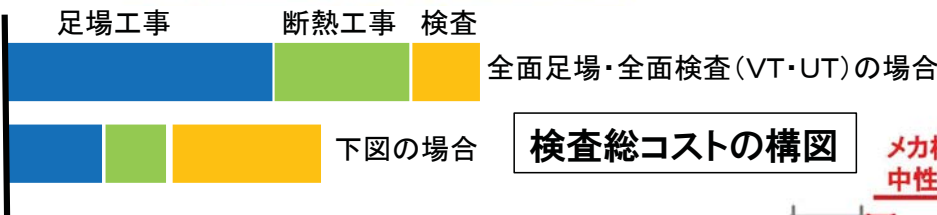
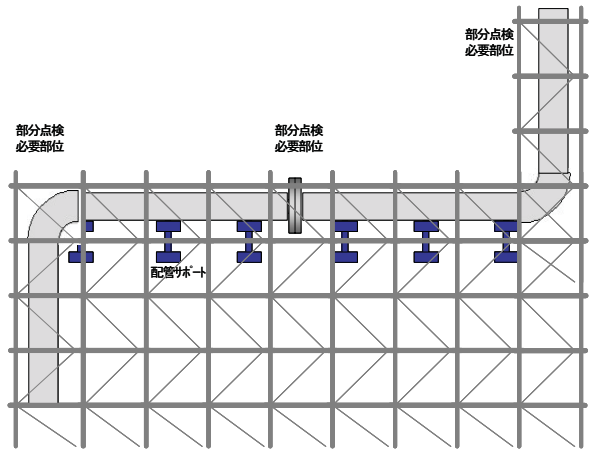
X線検査装置の安全対策

- 必要最小限のX線発生
 - ⇒ パルスX線発生を制御
 - ⇒ 高感度検出器の利用
 - ⇒ 解析技術の高度化（その場解析）
- 線量計による環境及び作業員の線量リアルタイムモニタリング

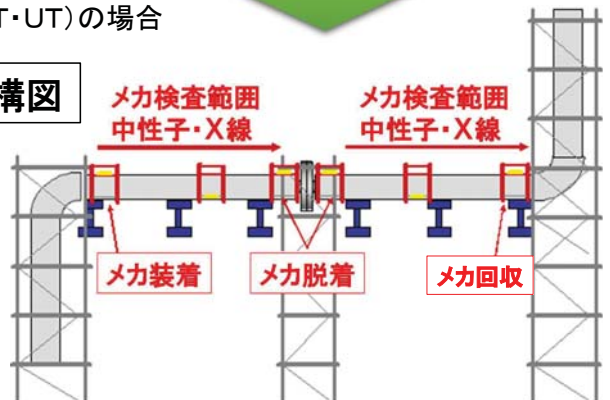


配管検査用非破壊検査ロボット

産業インフラ:検査箇所が膨大
プラント配管の維持・管理
特に**水平部の維持・管理**が必要



検査総コストの構図



計測品質

人による検査 ばらつきが大きい → ロボットによる検査 再現性高い

プラント配管非破壊検査

外面腐食 配管や塔槽類の外表面に発生する腐食(CUI)
CUI: Corrosion Under Insulation



【20年経過】 部分検査
【40年経過】 全長検査

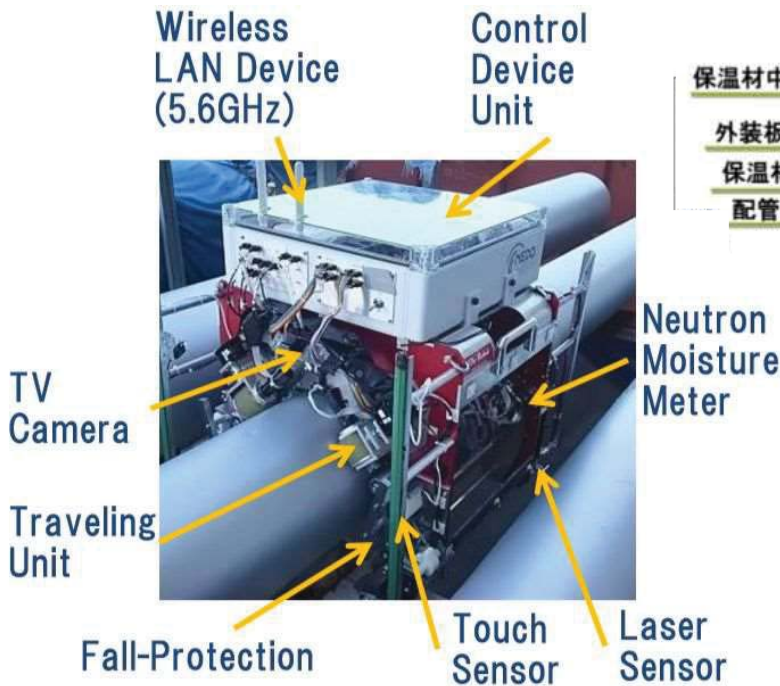
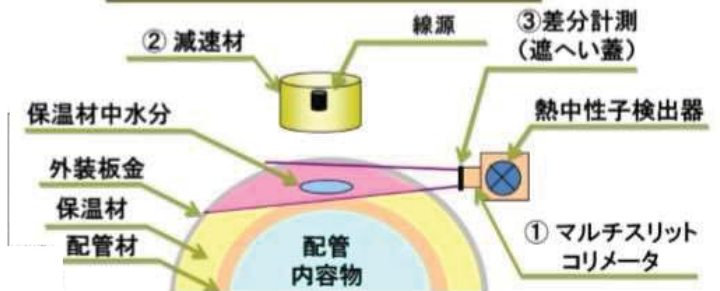
CUI発生リスク例

区分	含水量 vol%	
A	<5	Non-Corrosion
B	≤10	Gray-Zone
C	≤15	
D	≤25	Corrosion
E	>25	

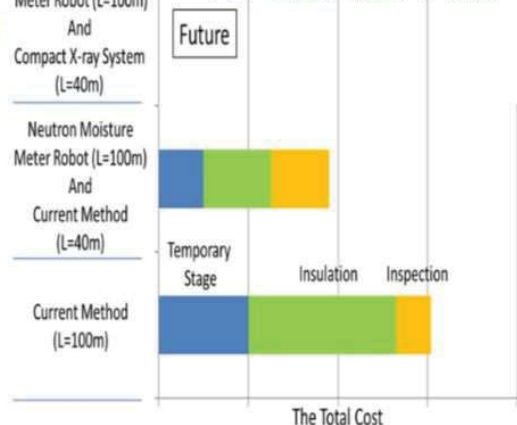
中性子水分計測：スクリーニング
X線配管肉厚計測：詳細検査

中性子水分計搭載非破壊検査ロボット

ノイズ低減型中性子水分計の概要



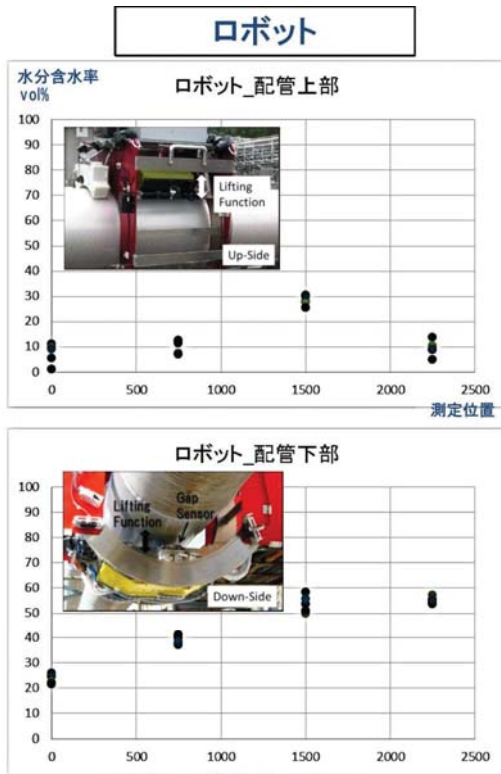
X線エッジ撮像式管厚計搭載ロボットでさらに総コスト削減



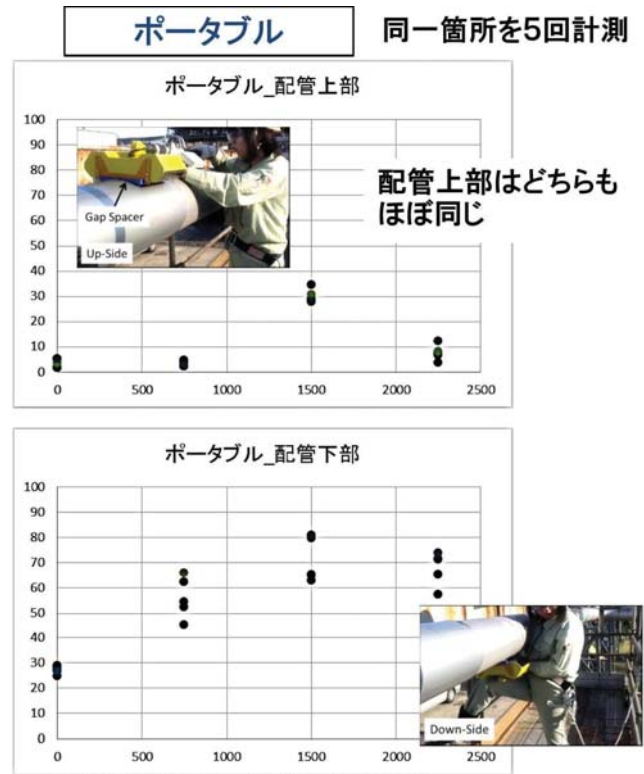
配管CUI検査総コスト削減効果

外形寸法	510(W)×520(D)×580(H)mm
本体質量	25kg
適用配管	150A 断熱材厚さ50mm

中性子水分計搭載ロボットフィールド試験



ロボット搭載水分計は、再現性の高い計測が可能



配管下部はポータブル水分計の値のばらつき大(計測体勢安定性)

X線非破壊検査ロボット

Control Device Unit

Wireless LAN Device (5.6GHz)

TV-camera

Traveling Unit

40 cm Touch Sensor

Laser Sensor

Battery

X-ray System

Fall-Protection

超小型X線源

最大7 cm

検出器

保温材

配管

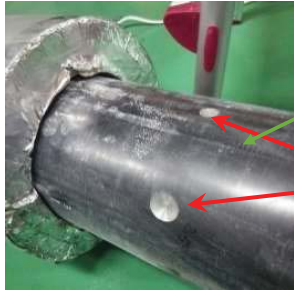
従来X線源

直接変換型検出器

夜間運用試験

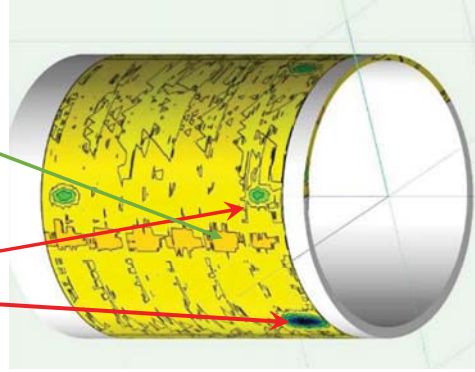
X線非破壊検査ロボットの性能評価

外側エッジ



触診では判別
できない凸部

人工的な
凹み

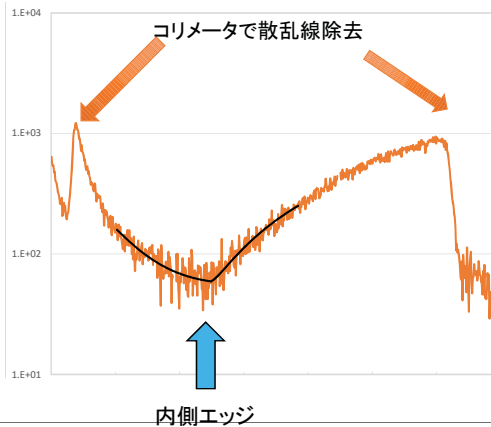


保温材被覆配管のX線透過イメージから求めた配管の凹凸
(等高線間隔 0.1 mm)

内側エッジ

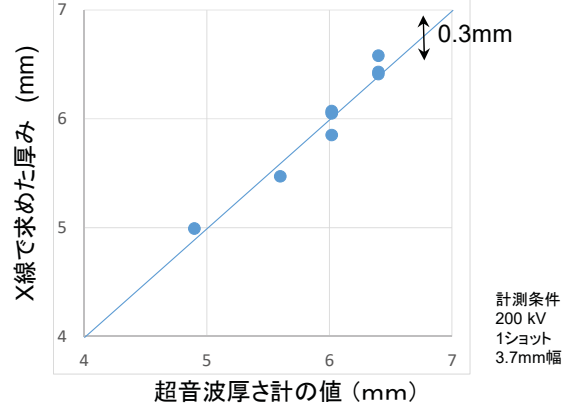
内側エッジは、信号
強度が弱く、散乱
X線の影響大

散乱X線を抑える
ため計測部分以外
が隠れるように
コリメータを設置



内側エッジ

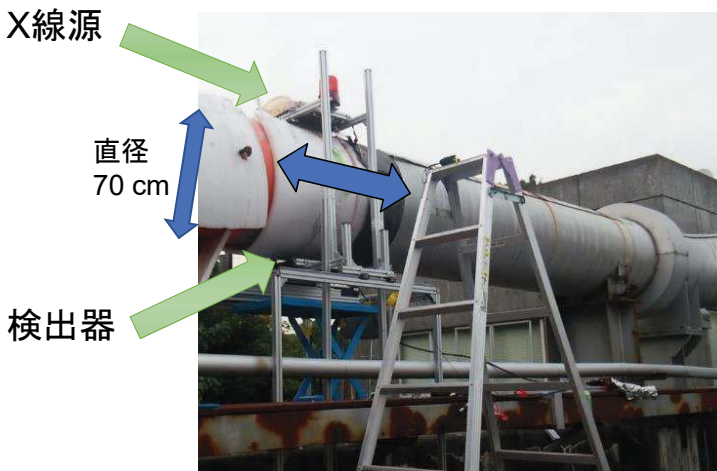
肉厚計測



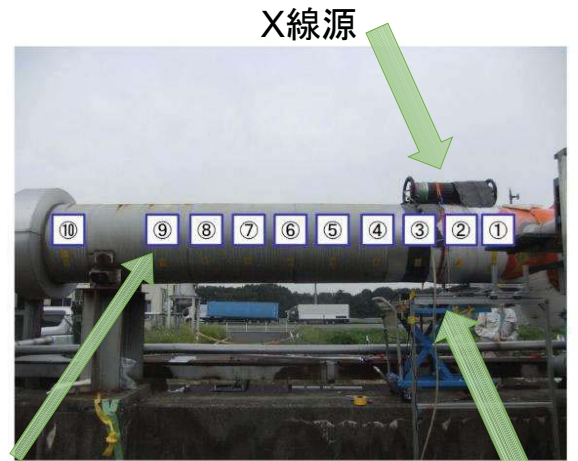
大型配管のX線非破壊検査試験

開発したX線検査装置

一般的なX線非破壊検査(IP検査)



コの字型ロボット
X線源 最大管電圧 200 kV
検出器 低リーク電流フラットパネルイメージ
ディテクタ
3秒間X線を照射/5秒露光
1カ所撮影 1分程度

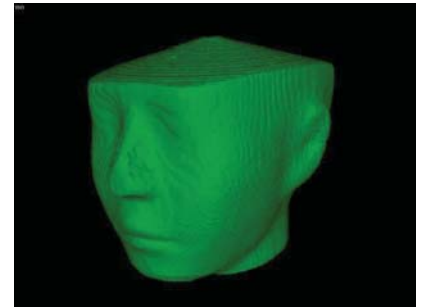
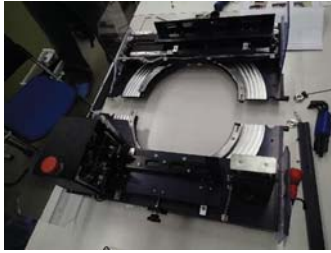
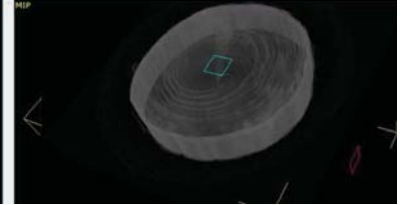
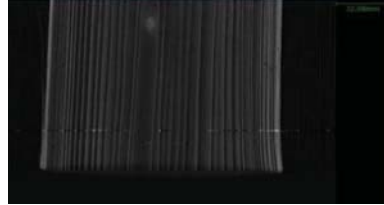
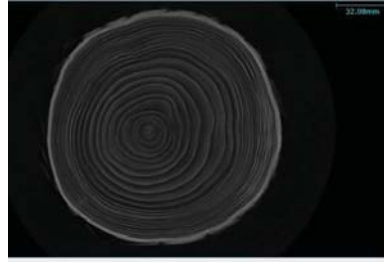


検査位置 イメージングプレート
X線源 300 kV 3 mA
検出 イメージングプレートフィルム 半切サイズ
作業車内で画像読取
60 秒間X線を発生して撮影
画像読取: 数分
1枚撮影10~20分

漏洩X線による被ばく 0.1 μ Sv

2.5 μ Sv

垂直構造物用可搬型X線CT装置



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

まとめ

バッテリー駆動ロボットに適した非破壊検査用線源・検出技術を開発

インフラ等の現場対応ロボットに搭載して実証試験

作業効率

計測の精度・再現性

安全性

} 優れていることを確認

YouTube 内 NEDO Channel
超小型X線及び中性子センサを用いた
インフラ維持管理用非破壊検査装置開発
<https://www.youtube.com/watch?v=pWOUk0owAC0>