

第27回

千葉県非破壊検査研究会・研究発表会

講演資料

日時 平成25年2月9日(土)  
12:50~17:10

場所 JFEみやざき倶楽部ミュージックホール

## 目 次

### I 研究発表

1. X線ラインセンサーによるベルトコンベア補強ワイヤーの検査 ..... 1  
新日本非破壊検査(株) 関東支社 中村 友香
2. 最新の2D, 3D非破壊検査 ..... 11  
(株)リガク NDTイメージング事業部開発設計部 佐藤 貴久
3. 最新デジタルRT機器のご紹介 ..... 17  
GEセンシング&インスペクション・テクノロジーズ(株)  
非破壊検査機器営業本部 鈴木 啓之
4. 工業用専用CRケアストリームHPX-1デジタルシステム ..... 27  
ケアストリームヘルス(株) マーケティング本部 NDTグループ 山崎 昭二
5. マルチデバイス対応 X線画像処理ソフトウェア nPIAのご紹介 ..... 35  
ポニー工業(株)技術本部ソフト開発課 松尾 勉
6. コンピューテッドラジオグラフィの検査現場適用例と今後の課題 ..... 45  
(株)シーエックスアール千葉営業所 藤岡 克美

### II. 特別講演会

- 演 題 最近のデジタルラジオグラフィ技術と関連規格の動向について  
講 師 ものつくり大学特任教授 (JSNDI, ISO 委員長) 大岡紀一氏

# X線ラインセンサーによる ベルトコンベア補強ワイヤーの検査

平成25年 2月 9日  
新日本非破壊検査株式会社

発表者 中村 友香

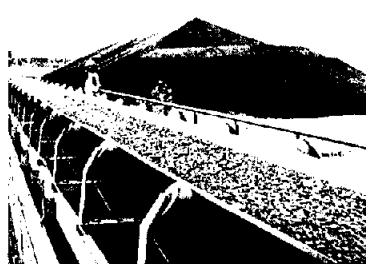
## はじめに

製鐵所を始め各種プラントには荷役運搬用にベルトコンベアが設置されている。

例: 石炭火力発電所、製鐵所における燃料や原料の搬送



製鐵所



石炭火力発電所  
(貯炭場)



採石所

ベルトコンベアが運転中に破断し、設備停止となった場合には莫大な費用が発生する。ベルトコンベアは長時間トラブルなく運転するために、定期的なメンテナンスが必要である。

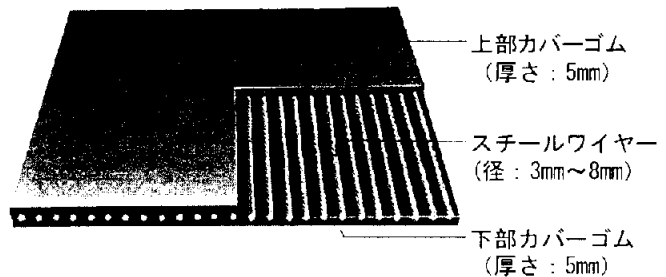
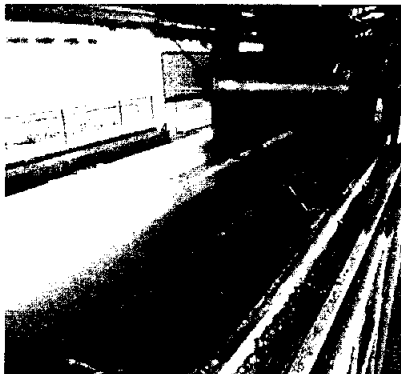
# ベルトコンベアの概要

多くのプラントでは、長距離にベルトコンベアが敷設されるため、ベルトコンベアが長尺化され、高い張力を必要とする。



高い張力  
長距離に適する

スチールワイヤー入りコンベアベルトが主に使用される。



新日本非破壊検査株式会社

# コンベアベルトの検査

原材料を搬送するコンベアベルト

搬送物の衝撃や原材料に混入した金属等により損傷を受ける場合がある。



定期的な検査・補修を実施

コンベアベルトの点検の現状

ベルトコンベアを停止させ、目視によりベルト表面の全面検査を実施している。

検出対象: 表面の凹凸、縦裂き、摩耗、耳切れ、折れ曲がりなど



耳切れ

ベルト表面の目視検査だけではベルトの破断に繋がる損傷をすべて検出することは困難。

新日本非破壊検査株式会社

# 目視検査による損傷検出例



目視検査では、内部のワイヤ破断状況は不明

新日本非破壊検査株式会社

## 経緯

コンベアベルトの損傷において、表面の凹凸が激しい箇所は内部ワイヤが破断している可能性がある。内部ワイヤが破断すると、その位置にかかる負荷が増大し、コンベアベルトの破断に繋がる。

内部ワイヤ破断原因: 搬送物の衝撃による破断  
カバーゴム表面の亀裂からベルト内部に侵入した雨水等による腐食



表面に凹凸が発生した場合は複数本のワイヤが破断したことが多い。現状では、目視で表面の凹凸箇所を検出しその状態により推定しているため、内部を定量的に評価することは困難である。



目視では検出できないワイヤ破断の検出や定量的な評価が必要である。

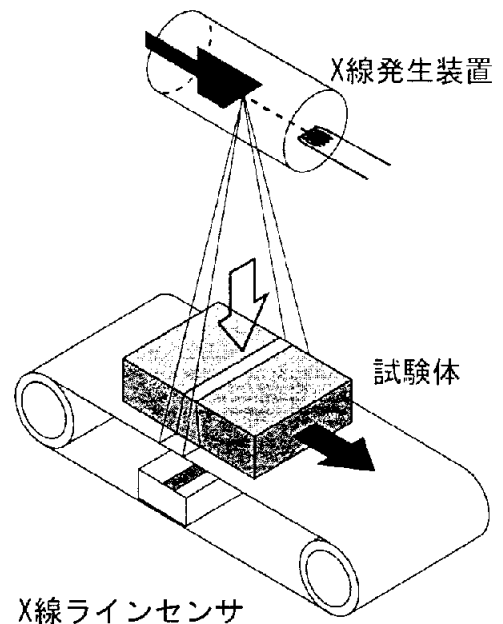


X線ラインセンサを用いた放射線透過試験の適用

新日本非破壊検査株式会社

# X線ラインセンサを利用した連続撮影方法

- X線発生装置とX線ラインセンサを対向させ、その間を物体が通り抜けるように配置する。
- 物体を透過したX線はX線ラインセンサでリアルタイムで電気信号として検出され、データ集積される。
- X線ラインセンサの信号は一系列のラインデータであるため、物体が移動しながら、定ピッチでデータ収集することで、物体の全体をカバーする透視画像が得られる。

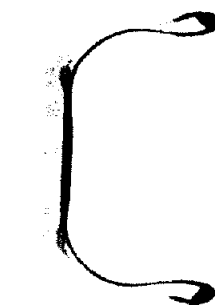
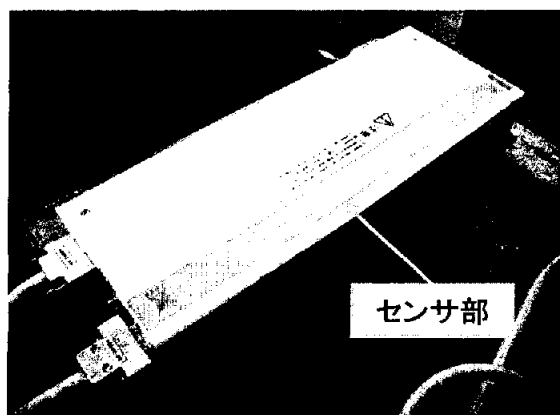


新日本非破壊検査株式会社

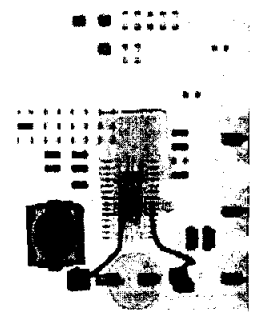
## X線ラインセンサとは？

表面にX線で発光するシンチレーション蛍光膜を蒸着した光電子変換素子を隙間なく一列に並べたもので、X線-光-電気信号へ変換する一次元の拡がりの検出域を持つX線センサである。

食品の異物検査、工業製品の製品検査、基盤検査等に利用されている。



タイヤの製品検査



基盤検査

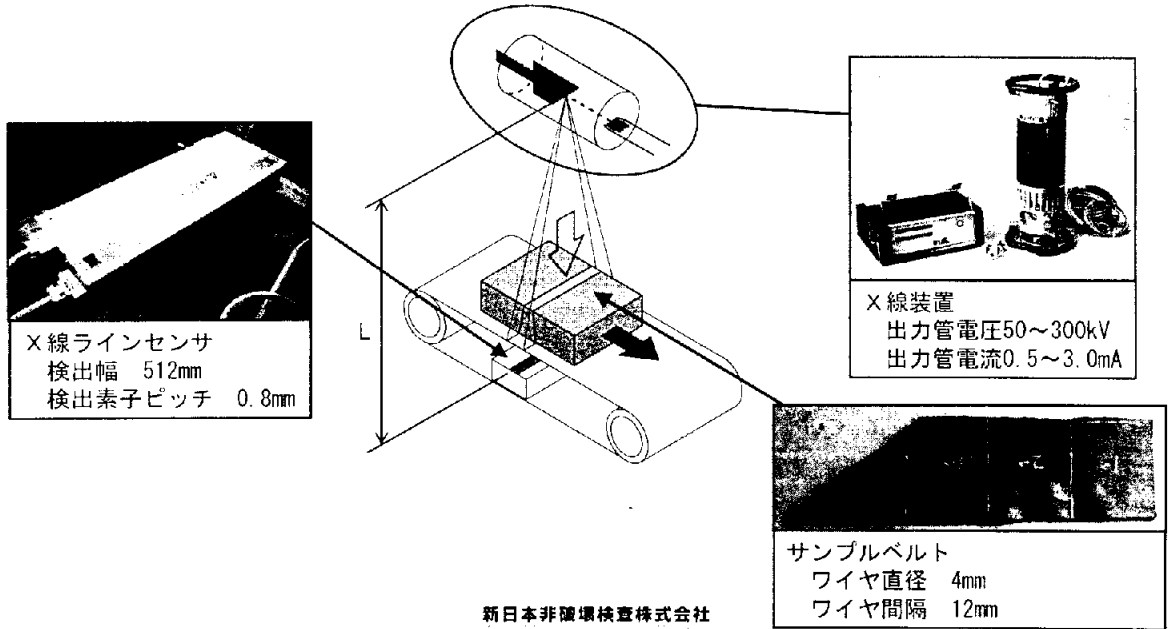
新日本非破壊検査株式会社

# コンベアベルトへのX線ラインセンサの適用実験

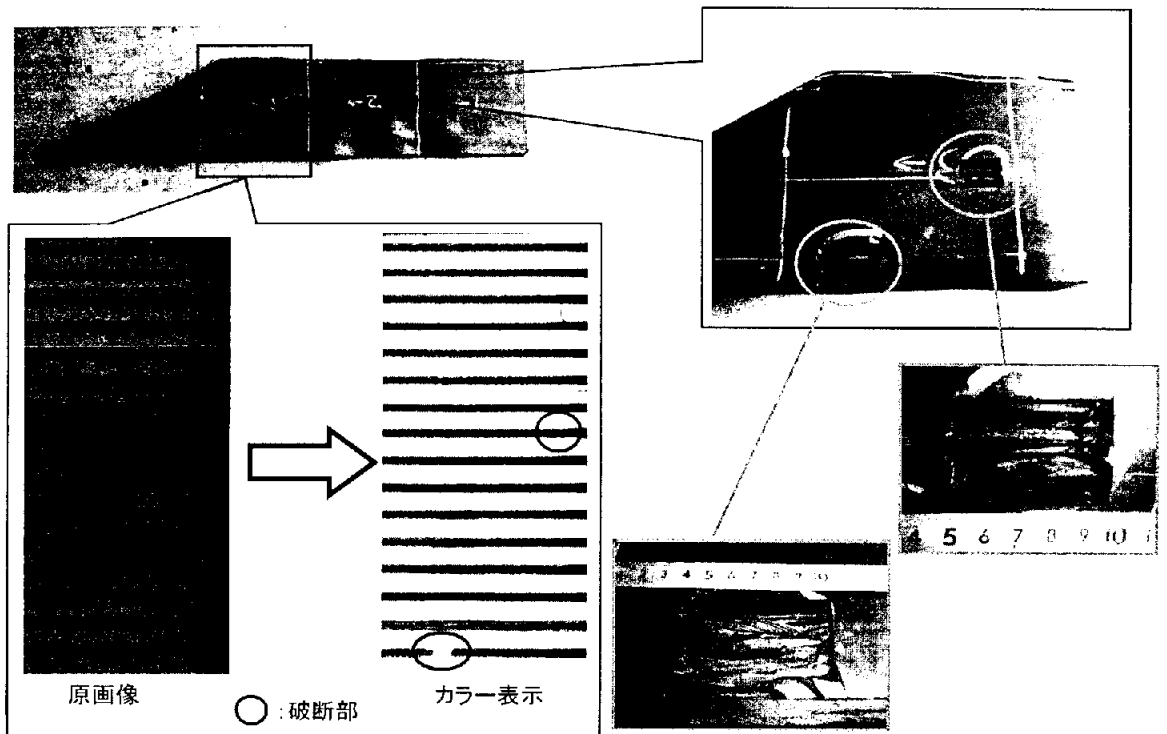
サンプルベルトに対して、X線ラインセンサを適用した撮影実験を行った。

撮影条件：焦点-X線ラインセンサ間距離 (L) 900mm

管電圧 150kV



# サンプルベルト撮影像



新日本非破壊検査株式会社

# サンプルベルト撮影結果

- X線ラインセンサを用いた放射線透過試験により、サンプルベルト内部ワイヤ破断を検出できた。
- 撮影像をカラー処理することで、内部ワイヤ破断箇所をさらに明瞭に検出できた。
- 検出したワイヤ破断位置は、実際の破断位置と良い一致を示した。



コンベアベルトの検査において、X線ラインセンサを用いた放射線透過試験は有効である。



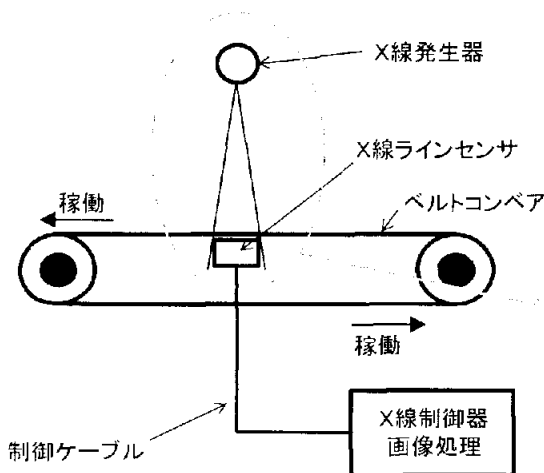
## 現場適用装置の開発

新日本非破壊検査株式会社

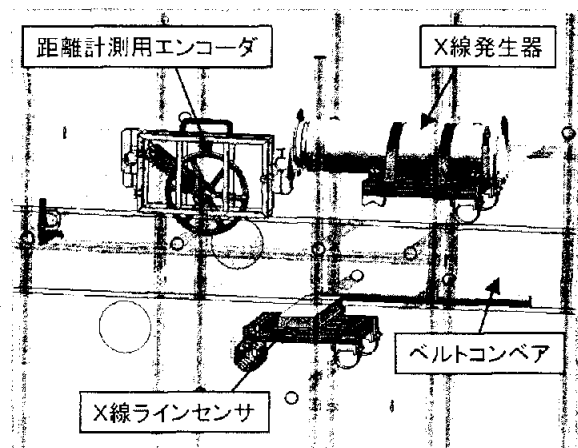
# 開発装置『ベルコンチェッカー』

### 開発の概要

- ベルトコンベア上部にX線発生器を設置する。
- ベルトコンベア下部にX線ラインセンサを設置する。
- ベルトコンベアを稼働させ、内部ワイヤを確認する。



装置断面図



装置全体イメージ

新日本非破壊検査株式会社



# 現場状況



コンベアベルト外観

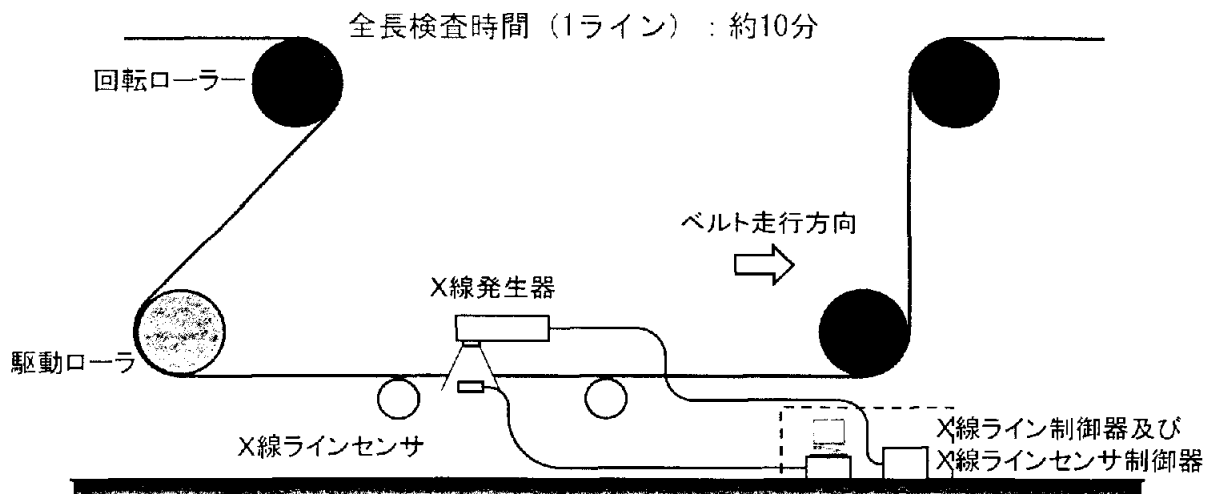


コンベアベルトの目視検査状況

新日本非破壊検査株式会社

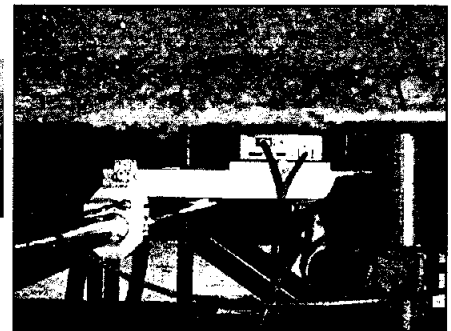
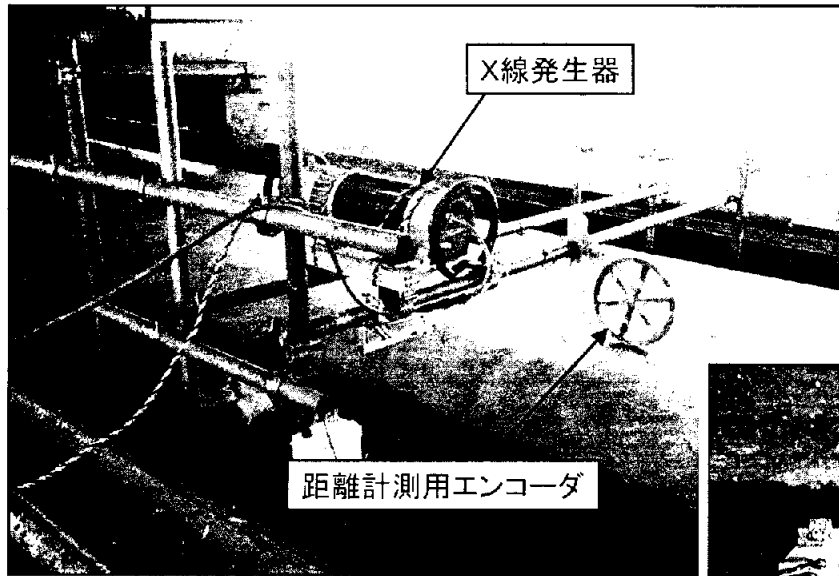
# 現場適用試験

測定対象：原料搬出用ベルトコンベア（全長1.2km、幅2.3m）  
検査速度：125m/分  
管電圧：110kV



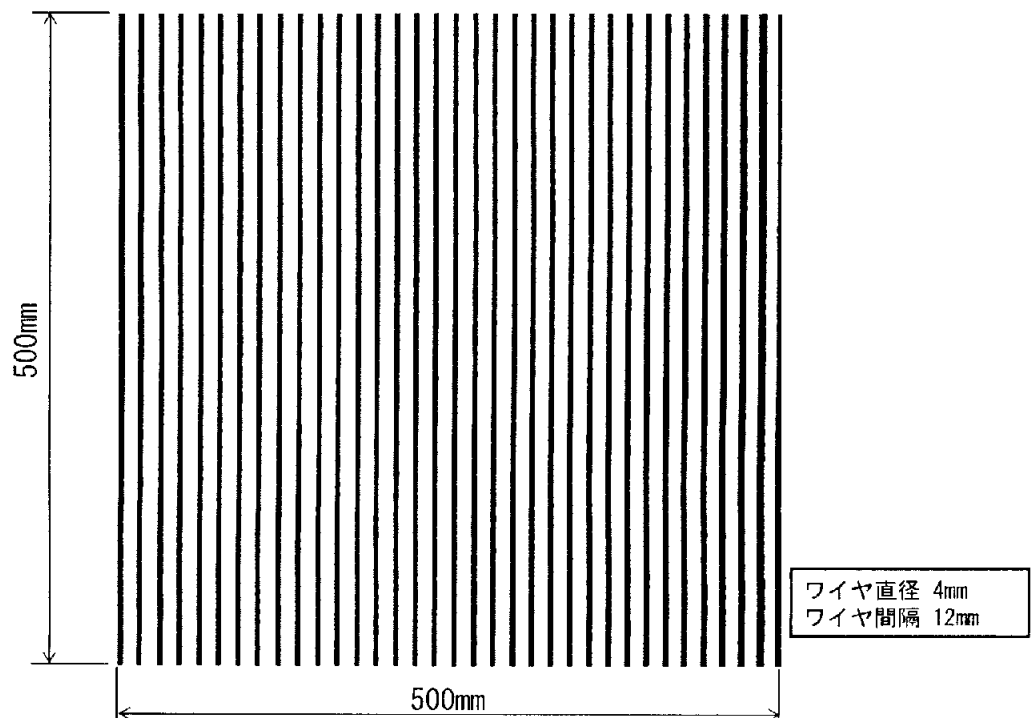
新日本非破壊検査株式会社

# 設置状況



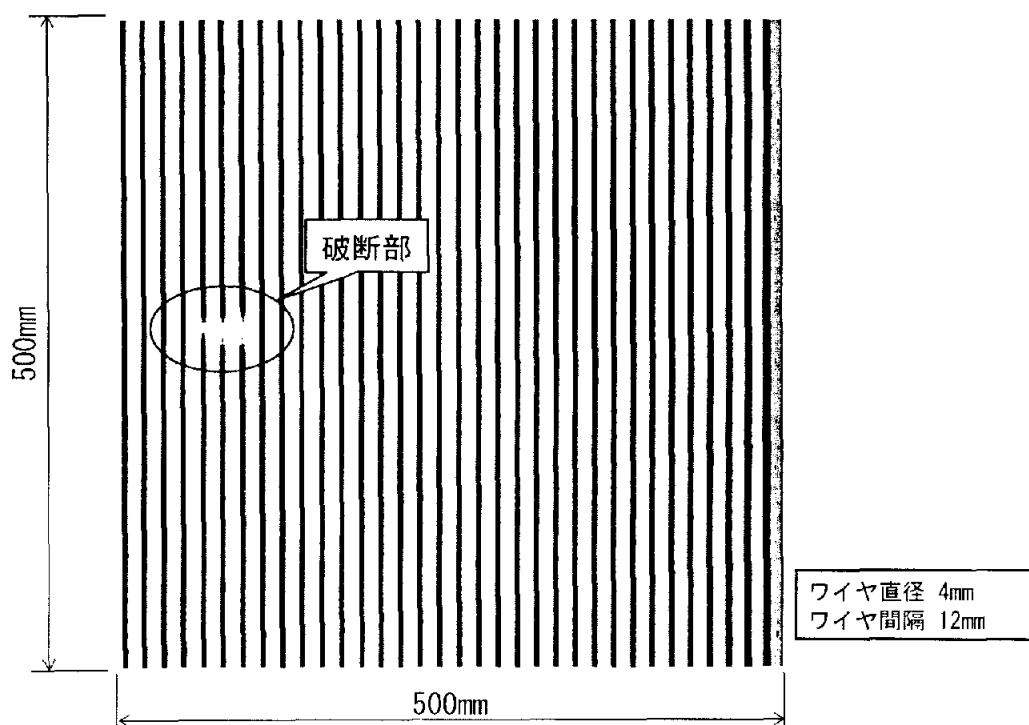
新日本非破壊検査株式会社

# 撮影結果（健全部）



新日本非破壊検査株式会社

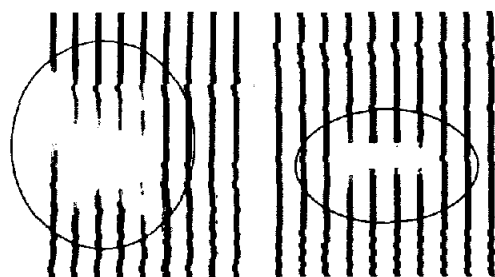
## 撮影結果（破断部）



新日本非破壊検査株式会社

## 内部ワイヤ破断状況と目視結果

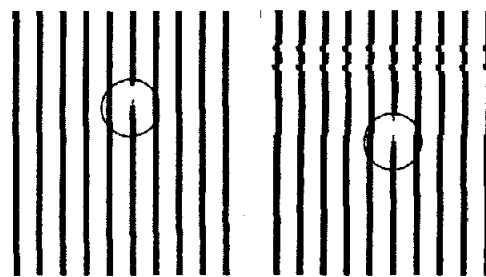
### 複数本の破断



- ベルコンチェッカーにより内部ワイヤが複数本破断していることを検出した。
- コンペアベルト表面に凹凸があった。

目視検査で検出可能

### 単独の破断



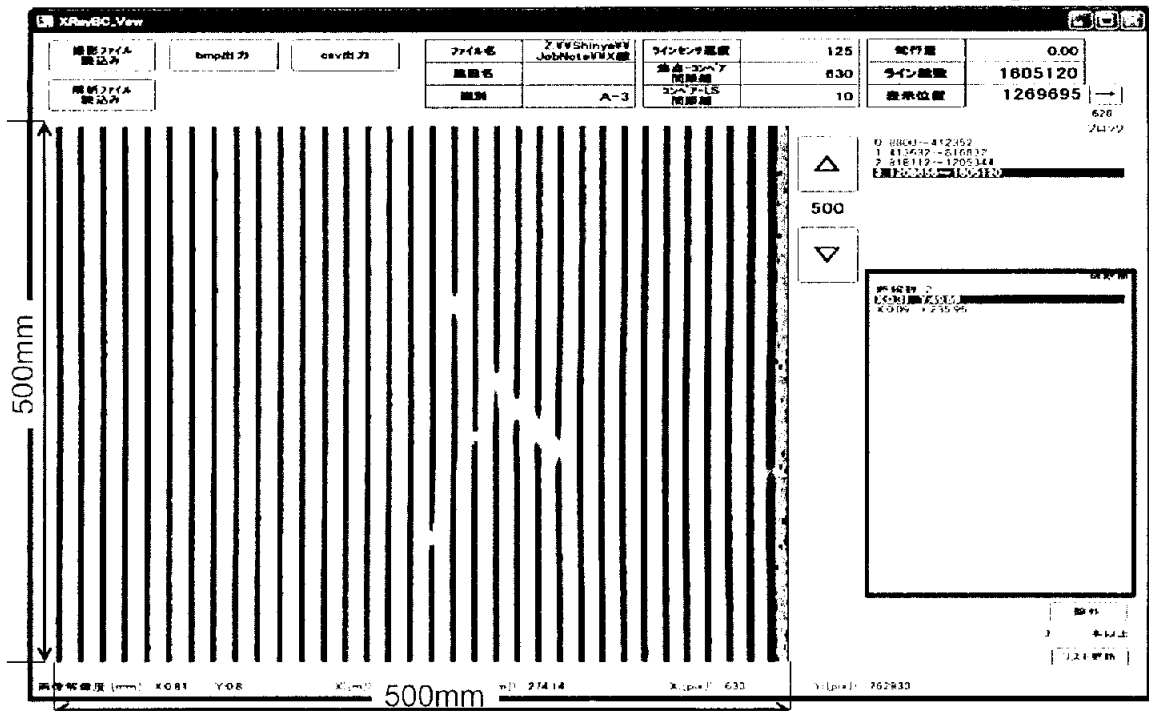
- ベルコンチェッカーにより内部ワイヤが単独で破断していることを検出した。
- コンペアベルト表面に凹凸は認められなかった。

目視検査では検出困難

新日本非破壊検査株式会社

# ベルトチェッカー出力画面

・破断個数及び破断位置を自動で解析



新日本非破壊検査株式会社

## まとめ

ベルトチェッカー（X線ラインセンサを用いた放射線透過試験）を開発し、スチールワイヤコンベアベルトに適用することにより、以下の事を確認できた。

- ▶目視検査では検出困難なベルト内部のスチールワイヤの初期破断を検出することが可能。
- ▶全長1.2kmのベルトコンベアの1回の検査時間が約10分であったことから、短時間での検査が可能。

ベルトチェッカーはコンベアベルトの損傷検出及びベルトコンベアの維持管理に有効な方法であると考えられる。

新日本非破壊検査株式会社

# 最新の 2D, 3D 非破壊検査

株式会社リガク ○佐藤貴久

## 1. はじめに

近年、X線での2次元画像/3次元画像による材料評価においても、新しい検出器や新しい観察技法の開発により、今までには無い高次元での画像観察ができるようになりました。

ここでは新しい検出器や検出技法と実際の画像について紹介します。

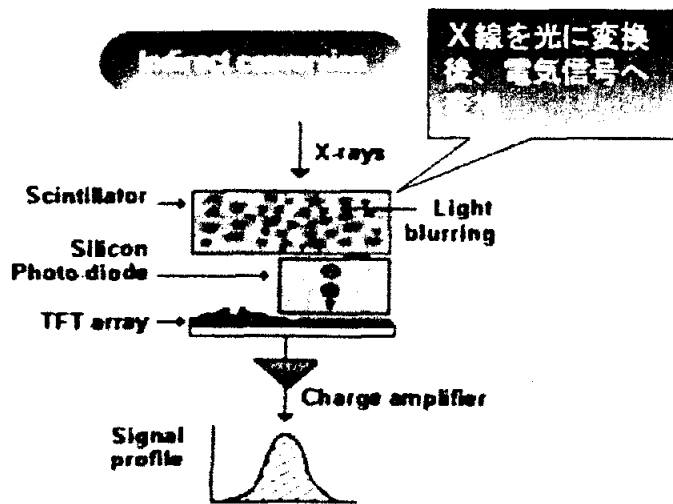
## 2. 2次元検出器の開発

一般的に、2次元検出器では蛍光体を使って、X線を光に変換し画像を得る方法が使われてきました。X線が光に変換される段階で光の拡散により、実際の画像が滲んで本来X線が持っている画像情報が失われていました。

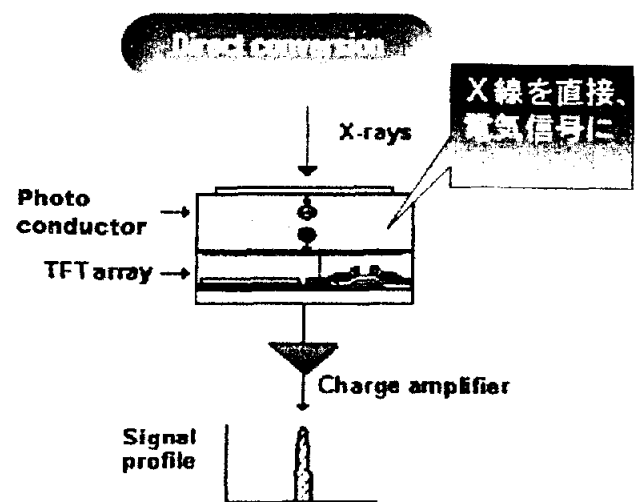
実際にはこの場合、十分な感度を得るために蛍光体(CsI,GOX等)の厚さを数百 $\mu\text{m}$ と厚くすることが求められてきました。X線で励起された光がフォトダイオードで電子に変換されるまでに、拡散して広がります。このため、実際のピクセルサイズよりも実質の空間分解能が大きく劣化していました。

近年、蛍光体を使わず、直接X線をデジタル信号に変える技術が開発されたため、光の広がりによる分解能の劣化がなくなり、ボケの無い画像を得ることができるようになりました。

以降、蛍光体を使ったX線の検出方式を間接変換型検出器といい、X線を直接電子に変換する方式を直接変換型検出器といい、以下に検出器の原理を紹介します。



<間接変換型検出器> 図1



<直接変換型検出器> 図2

このように、間接変換型の検出器の場合、蛍光体のなかで光が拡散して広がります。

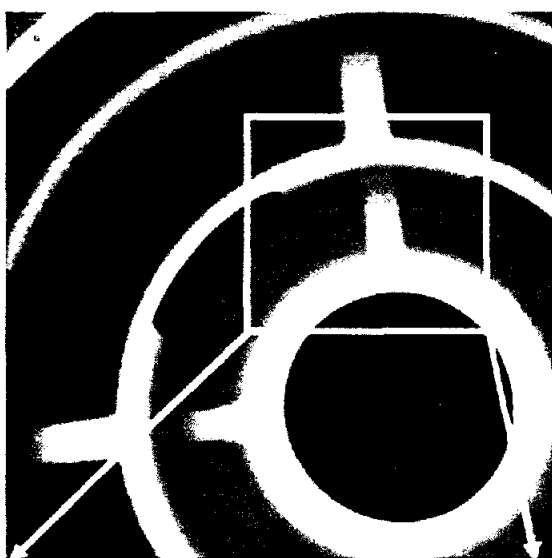
例えば、1ピクセル以下の非常に小さい照射野のX線が照射された場合を想定します。この時、X線の照射位置にあるピクセルにとってはシグナルとして観測されますが、拡散して広がった光は隣のピクセルにとってはノイズ（バックグラウンド）として観測されます。また拡散されることによりピークの強度も下がります。

このように、バックグラウンドの増加とピーク強度の減少という2重の要因により、小さなボイド、マイクロクラックなどは非常に確認しにくいものになっていました。

一方直接変換型の場合、X線はその場で電子に変換されるため、バックグラウンドの増加やピーク強度の減少などは一切起こりません。以下に撮影例を示します。

これは、アルミ鋳物の例です。X線の照射条件は全く同じにしてあります。

大きな巣はいずれの検出器でも確認できますが、直接変換型では、細かな巣まで明瞭に確認できます。



間接変換検出器 図3



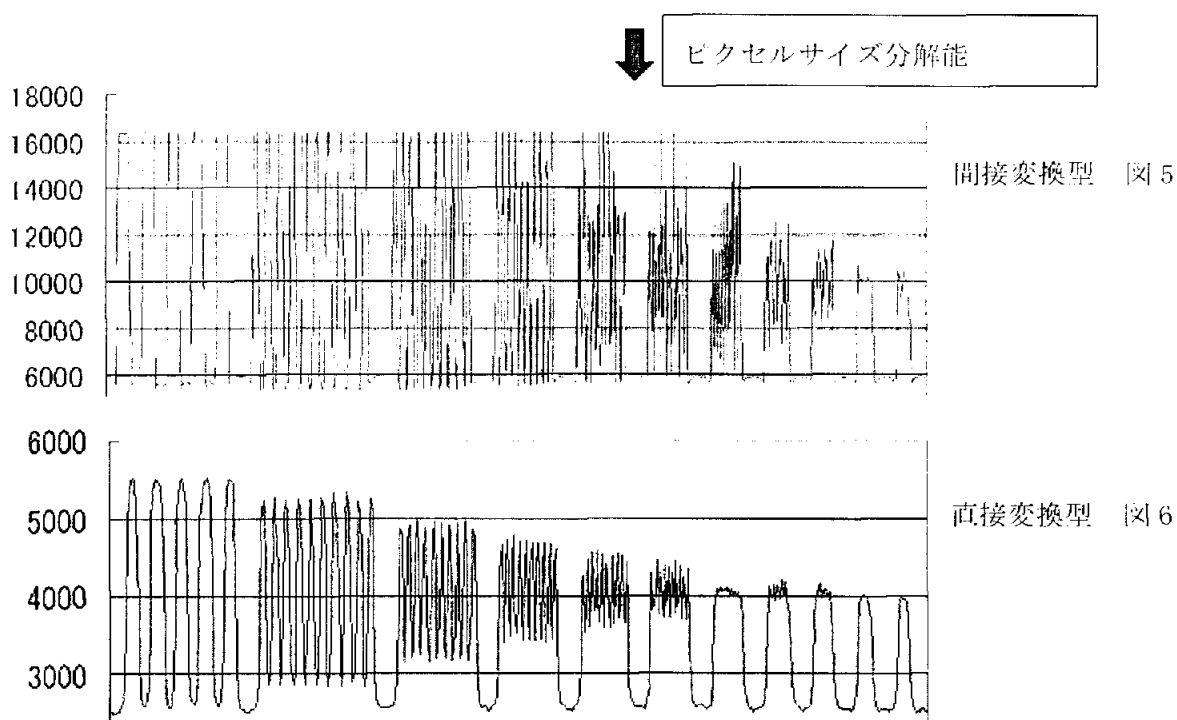
直接変換型検出器 図4

これらの分解能改善は、分解能チャートを撮影した結果で説明出来ます。  
以下に全く同一の条件で直接変換型と間接変換型で撮影した結果を示します。

間接変換型ではどんなに細いX線が照射されても、蛍光体により光が拡散し観測されます。つまり、近傍のピクセルでもその光が観測されることを意味します。また、拡散したシグナルは近傍のピクセルでも観察されるわけですが、そのピクセルにとっては本来の位置情報を持ったシグナルではないので、バックグラウンドとして観測されます。つまり、分解能チャートのスリット幅が狭くなればなるほど、ピークは低く、バックグラウンドは高くなります。

直接変換型の場合、シグナルが拡散しないので、そのピクセルの情報はそのピクセルで観察されます。よってスリット幅がピクセルサイズと同等までのサイズにおいてはピークの減少とバックグラウンドの上昇は見られません。

つまり、間接変換型の場合、検出対象が小さくなればなるほど、そのピークが低くなり、またバックグラウンドの上昇で判別が難しくなることを意味します。



注意：・ピクセルサイズについて

いずれの検出器でもピクセルサイズはほぼ同じサイズです。(127  $\mu$ m)

・グラフの強度について

間接変換型と直接変換型では測定器が異なるため、個別のユニットで出力されています。数字は無視してプロファイル形状を比較ください。

### 3. 直接変換型検出器の構造物への応用

首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 建築学域 松沢晃一助教の協力を得て、実際に直接変換型検出器を使ったコンクリートの劣化過程の研究を行っている例を示します。

コンクリートは高温加熱の影響を受けると、その強度が低下する。その要因として、高温加熱によるコンクリートを構成する水和物の変化、また、加熱によるコンクリート中の骨材の膨張と水和物の収の相反する挙動によるひび割れ発生などがある。今回は、高温加熱によるひび割れ発生をX線透過画像を用いて観察することとする。

観察する供試体は、呼び強度 27 の  $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$  のコンクリートとし、マッフル炉内で昇温速度

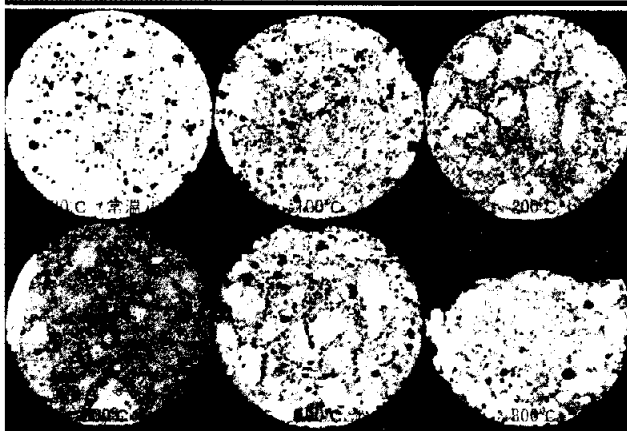
$0.5^\circ\text{C}/\text{min}$  で所定の温度まで上昇させた後、その温度を 1 時間保ち、電源を切り、炉内で常温まで温度が下がるのを待つ。その後、供試体中央の 20mm 程度をコンクリートカッターで切り出し、X線撮影を行なった。コンクリートの X線撮影（ひび割れ検出）に用いる造影剤として炭酸セシウム水溶液<sup>2</sup>を用いることが有効とされていることから、造影剤なしとありとで、撮影を行なった。なお、造影剤の有無に用いた供試体は同一ではない。詳しい内容は当日講演時に報告する。

#### 測定条件

観察時の装置の設定: 電圧 160kV 電流  $150\ \mu\text{A}$  照射時間 3sec

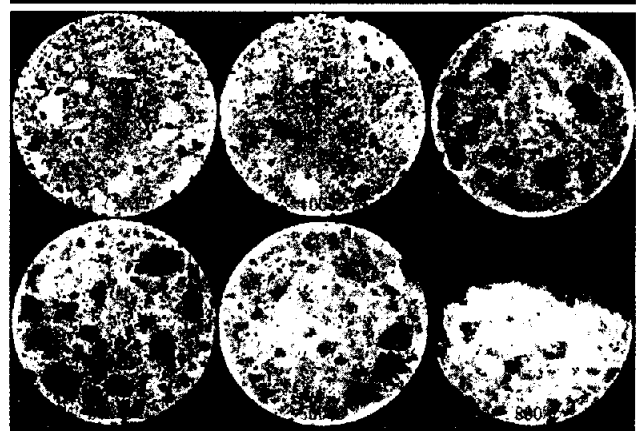
造影剤浸漬: 40%炭酸セシウム水溶液に 1 時間浸漬

造影剤なし (160kV/150  $\mu\text{A}$ /3sec) : 階調補正



造影剤なし 図7

造影剤あり (160kV/150  $\mu\text{A}$ /3sec) : 階調補正



造影剤有り 図8

### 4. 新しいCT撮影方法の開発

従来は、高分解能のCT画像を得ようとする、僅かなCT回転メカニズムの回転誤差や、X線フォーカスの揺らぎなどにより3次元で再構成された画像は不鮮明になったり、デフォーカスしたような画像になることが知られています。特にサブミクロンの分解能でCT撮影しようするとこれらの影響が顕著に表れます。

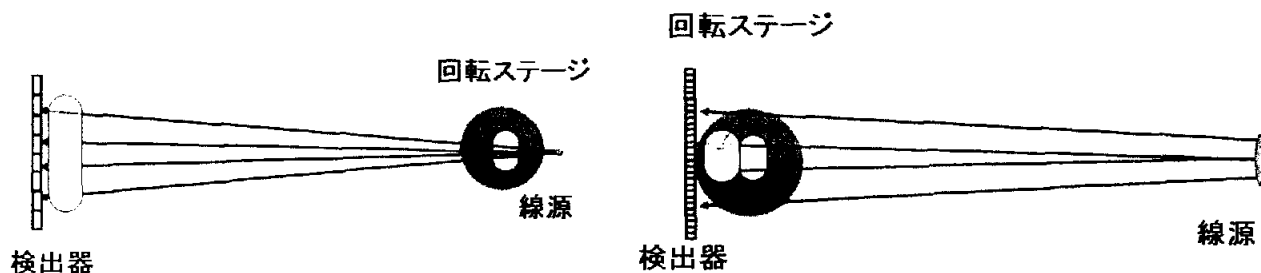
また、CT撮影の場合、タングステンターゲットを使い、60–160kVの電圧で撮影するため、コントラストの差が僅かなサンプルの場合、ほとんどその差を見分けることが出来ませんでした。

これらの欠点を改善するため、新しいCT撮影方法を開発したので報告します。



従来のCTでは、図9のように、X線源を小さくして、試料の位置を出来るだけX線源に近づけて撮影する方法をとっていました。

しかし図10のように、新しい技法では、検出器のピクセルサイズを270nmまで小さくした検出器を新たに開発しました。また、ピクセルサイズを小さくすることで減少する感度を補うために、回転対陰極を使用しています。



従来のCT撮影法 図9

新しいCT撮影法 図10

またコントラストの解像度を得るために、特性X線を利用することも併せて行いました。回転対陰極を利用しているため、W以外にもCu, Mo, Mn, Agなど様々な元素の特性線を利用することができるため、試料の特性に応じてターゲットを選ぶことが出来ます。これらの改善により、3次元CT画像において大幅に分解能とコントラストの改善を行うことが出来ました。

### 5. 高分解能高コントラスト

従来は殆ど不可能であった、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)の撮影例(図11)を紹介します。

このサンプルは競技用自転車に使用されているもので、表面の保護コート層の下に、編みこまれた炭素繊維1本1本が明瞭に確認することが出来ます。

CFRP撮影例 図11

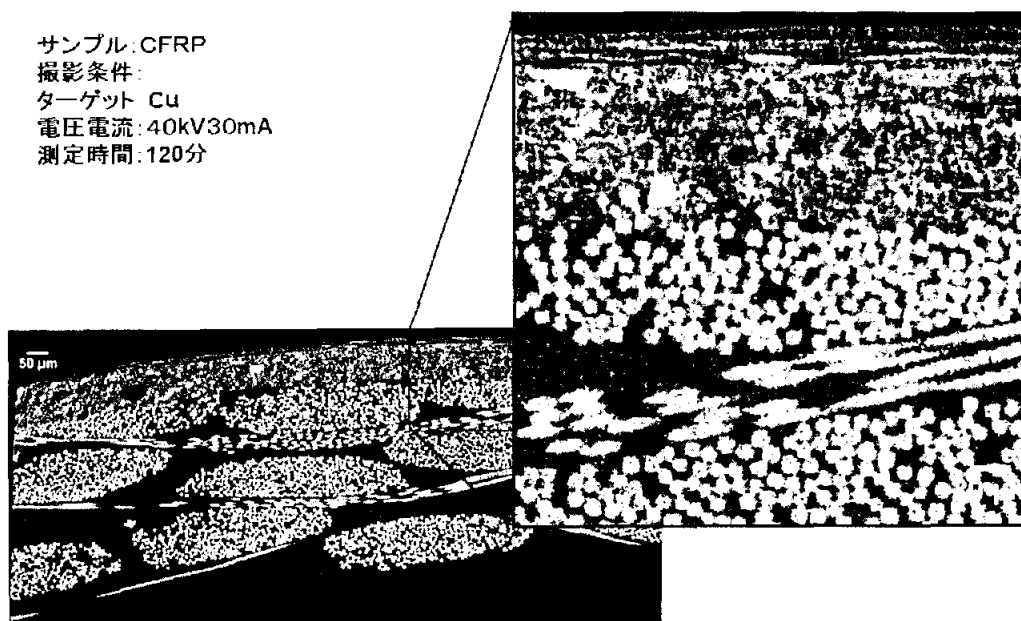


図 12 にアルミ SiC 合金の CT 画像例を示します。

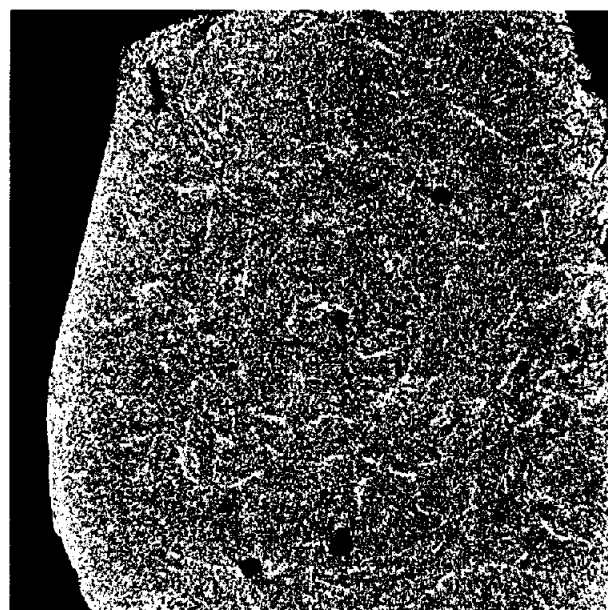
アルミと SiC の密度は、それぞれ

アルミ密度  $2.70 \text{ g/cm}^3$

SiC 密度  $3.22 \text{ g/cm}^3$

と大きな差はありません。しかし、アルミ中に密度の高い白っぽい構造が確認できます。いままでの CT 画像ではこのようなアルミ中に見られなかった構造を見ることができるようになりました。

アルミ SiC 合金 CT 画像例 図 12



## 6. まとめ

新しい、検出器や測定技法の開発の結果、今まででは見ることが出来なかった、高分解能画像で高コントラスト画像が得られるようになりました。

特に炭素繊維や軽金属およびそれらの複合材に新しい評価法のひとつとなると思われます。ひいてはこれらの材料評価が実際の構造物の検証に役立つことを期待します



GE  
Measurement & Control

# 最新 デジタルRT機器 ご紹介



GEセンシング&インスペクション・テクノロジーズ株式会社  
非破壊検査機器営業本部  
鈴木 啓之

## GEのデジタルRT製品



CR<sup>x</sup>Flex



CR<sup>x</sup>25P



FS50B



DXR500L



Rhythm



DXR250P/V



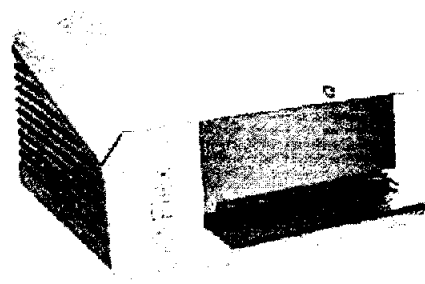
GE Measurement & Control  
1/29/2013



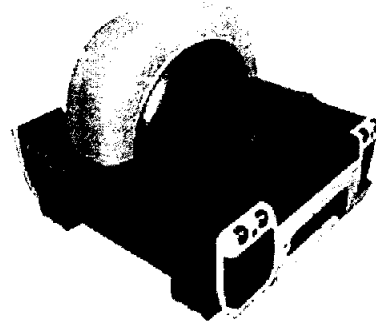
imagination at work

# GEのコンピュータッドラジオグラフィ

## CR<sup>x</sup>Flex                      CR<sup>x</sup>25P



見たいものが  
見える安心

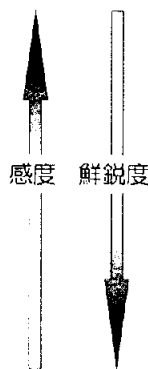


20kgの軽量ボディで  
17μmの高精細スキャン

GE Measurement & Control  
1/28/2013

# GEのコンピュータッドラジオグラフィ

## 選べるイメージングプレート



### IPC2B: 高感度イメージングプレート

Agfa-D7/D8 (Fuji IX100)と同等画質

使用用途: 一般用途/コンクリート/配管肉厚/その他

### IPS: 一般用高精細イメージングプレート

Agfa-D5 (Fuji IX80)と同等画質

使用用途: 溶接部検査/铸造・鍛造品検査

### IPU: 超高精細イメージングプレート

Agfa-D4 (Fuji IX50)と同等画質

使用用途: 航空機向け

非破壊検査用途に特化して開発。

撮影対象に合わせた最適なイメージングプレートの選択が可能です。

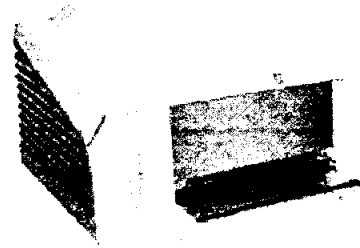


コンピューテッドラジオグラフィ

# CR<sup>x</sup>Flex

特徴

- ① 世界画質
- ② 選べるイメージングプレート
- ③ 使いやすい Rhythmソフトウェア
- ④ φ30μmレーザスキャニング
- ⑤ 高防塵性



見たいものが  
見える安心



5  
GE Measurement & Control  
1/26/2013

# CR<sup>x</sup>Flex

- ① 世界画質

• BAM (ドイツ連邦材料研究試験機関) 認証

CRxFlex & IPS : class IP 1/80 or IP Special/80

CRxFlex & IPU: class IP 1/50 or IP Special/50

• ASTM E2446

• EN14784-1

**BAM** Design-type tested

Certification-No.: BAM/ZBA/002/09

航空機エンジンメーカーが承認・採用



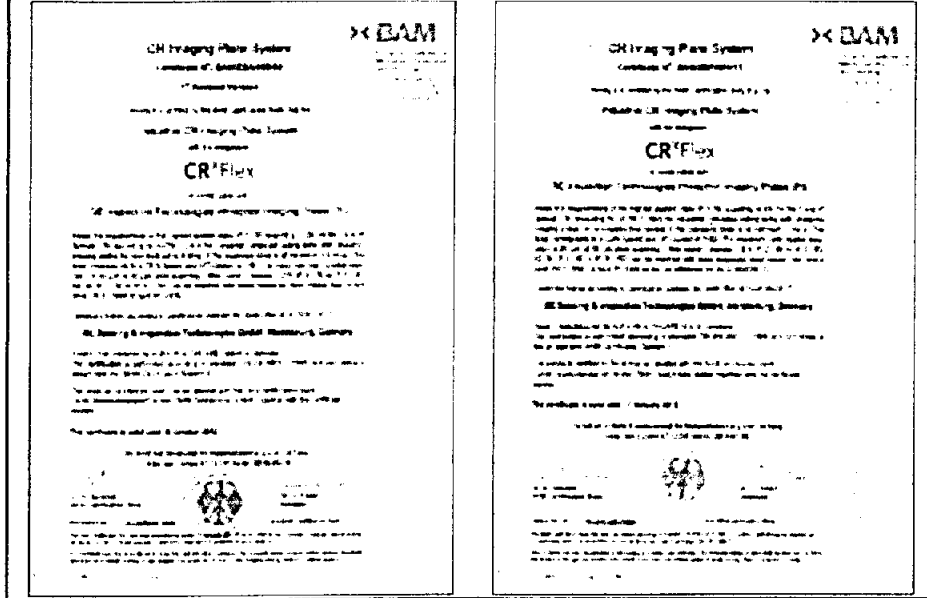
Rolls-Royce



6  
GE Measurement & Control  
1/26/2013



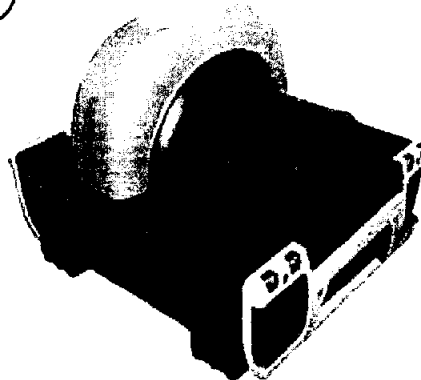
# CR<sup>x</sup>Flex ① 世界画質 : BAM認証書



## CR<sup>x</sup>25P ポータブルCRスキャナ

### 特徴

- ① 最小ピクセルサイズ17 $\mu$ mの  
超高精細スキャニング
- ② 質量20kgの軽量  
コンパクトボディ
- ③ 世界画質



GE Measurement & Control  
1789/9013



# CR<sup>x</sup>25P

③ 世界画質

**BAM** Design-type tested

Certification-No.: BAM/ZBA/002/09

BAM (ドイツ連邦材料研究試験機関) より製品認証を取得

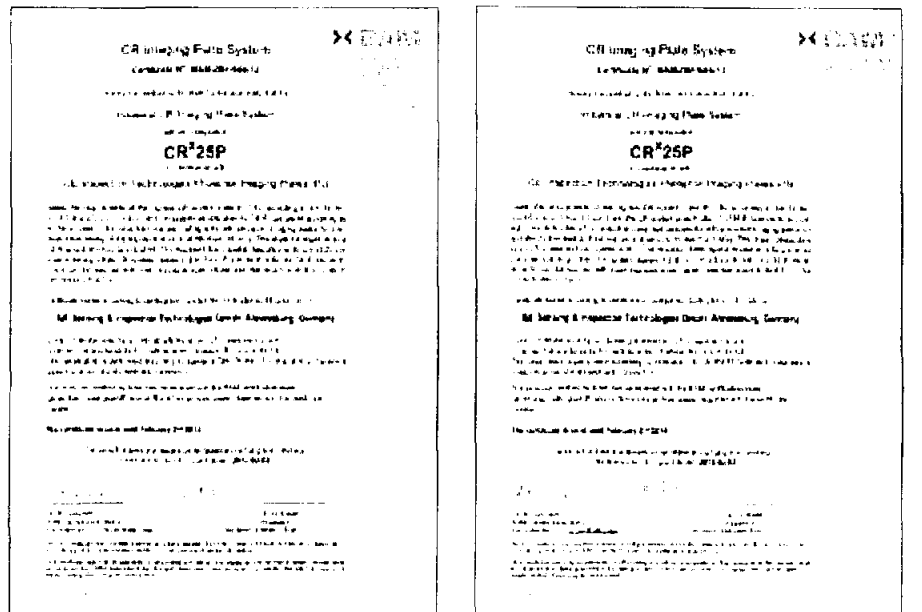
- ISO16371-1: 2011
- EN14784-1: 2005
- ASTM E2446

CR<sup>x</sup>25P & IPU : class IP 1/40 or IP Special/40



GE Measurement & Control  
1/26/2013

# CR<sup>x</sup>25P ① 世界画質 : BAM認証書

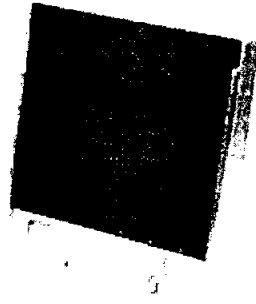


imagination at work

# GEのフラットパネルディテクタ

## DXR500L

## DXR250P/V



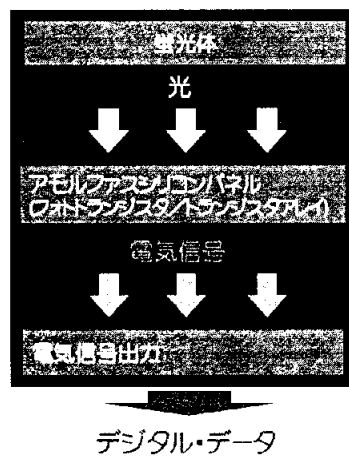
超高精細大型FPD



ポータブルFPDの  
ベストセラー

11  
GE Measurement & Control  
1/26/2013

## フラットパネルディテクタの原理



▶ 蛍光体がX線粒子を吸収し光に変換します。

▶ ロー・ノイズ・フォト・ダイオード・アレイが光を吸収し電気信号を蓄え、蓄えて電気信号を出力します。

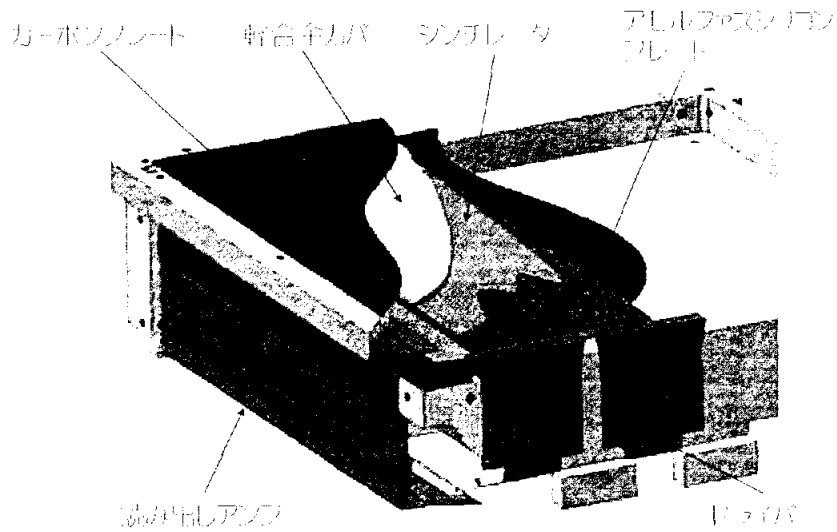
▶ それぞれの画素分の蓄えられた電気信号がロー・ノイズ・デジタル信号として出力されます。

12  
GE Measurement & Control  
1/26/2013





## フラットパネルディテクタの構造



13  
GE Measurement & Control  
1/28/2013

## DXRシリーズ

タイプ 形式	DXR500E	DXR500	DXR2500T	DXR2500P	DXR2500V
技術方式	アセチルアクリルアミン CaI(チフ化チウム)	アセチルアクリルアミン CaI(チフ化チウム)	アセチルアクリルアミン CaI(チフ化チウム)	アセチルアクリルアミン CaI(チフ化チウム)	アセチルアクリルアミン CaI(チフ化チウム)
フロントパネル厚 [有効領域 (mm/inch)]	307 x 240 (12 x 9)	230 x 190 (9 x 7)	208 x 205 (8.2)	410 x 410 (16 x 16)	410 x 410 (16 x 16)
ピクセル数	2871 x 2408	2364 x 1920	1884 x 1824	2848 x 2848	2848 x 2848
ピクセルサイズ	100µm	100µm	200µm	200µm	200µm
ダイナミックレンジ	18,000:1	18,000:1	18,000:1	18,000:1	18,000:1
A/D 変換 ビット数	14 bits	14 bits	14 bits	14 bits	14 bits
画素 幅 x 高さ	80 x 80	80 x 80	80 x 80	80 x 80	80 x 80
最小画素ピッチ [mm]	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
冷却方式	風ファン冷却 水冷	風ファン冷却 水冷	風ファン冷却 水冷	自然放熱	自然放熱
使用環境温度	10 ~ 35°C	10 ~ 35°C	10 ~ 35°C	10 ~ 35°C	10 ~ 35°C
使用湿度範囲	10 ~ 90% 結露なきこと	10 ~ 90% 結露なきこと	10 ~ 90% 結露なきこと	10 ~ 90% 結露なきこと	10 ~ 90% 結露なきこと
外形寸法 (W x D x H [mm])	356 x 248 x 122.5	438.5 x 292 x 100	268 x 268 x 114.5	585 x 445 x 27	585 x 445 x 27
質量 [kg]	13	12.5	14	6	6
オプション	風ファン部品 ターゲツプレート 冷却部品 ヒートシールド 冷却部品	風ファン部品 ターゲツプレート 冷却部品 ヒートシールド 冷却部品	風ファン部品 ターゲツプレート 冷却部品	風ファン部品 ターゲツプレート 冷却部品 ヒートシールド 冷却部品	風ファン部品 ターゲツプレート 冷却部品 ヒートシールド 冷却部品



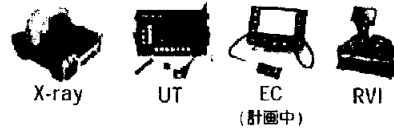
© 2013 GE Healthcare. All rights reserved.

## Rhythm データ統合管理ソリューション

非破壊検査専用開発された、画像データをデジタル保管し共有するソフトウェアです。

### - マルチモダリティに対応

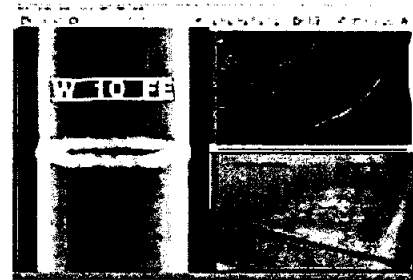
X-ray、Ultrasonic (UT)、渦流 (EC)、  
内視鏡 (RVI) との比較表示が可能。  
現在 - 過去検査を比較表示可能。



### - 標準規格のDICONDE規格に準拠

オープン規格であるDICONDEに準拠し、  
メーカー間のデータ利用にも対応。

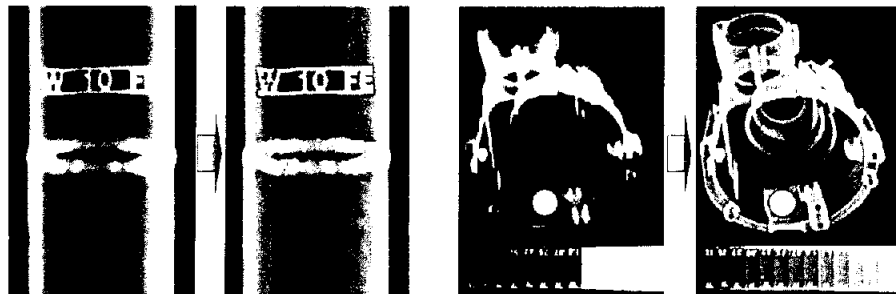
### - いつでもどこでもアクセス可能



## Rhythm データ統合管理ソリューション

### Flash! Filters™ / Cast! Filters™ (オプション)

最先端の画像処理ソフトウェアであるフラッシュ! フィルタ, キャスト!  
フィルタにより, ワンクリックで全ての感度領域を最適に表示する  
ことが可能です。



生画像

Flash! Filter

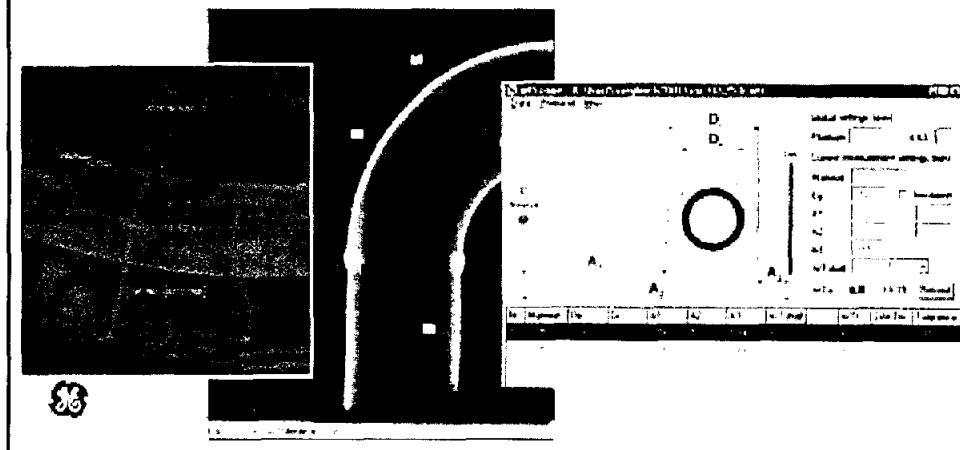
生画像

Flash! Filter



## CR<sup>x</sup>Flex ③ 使いやすいRhythmソフトウェア 壁厚測定ツール (オプション)

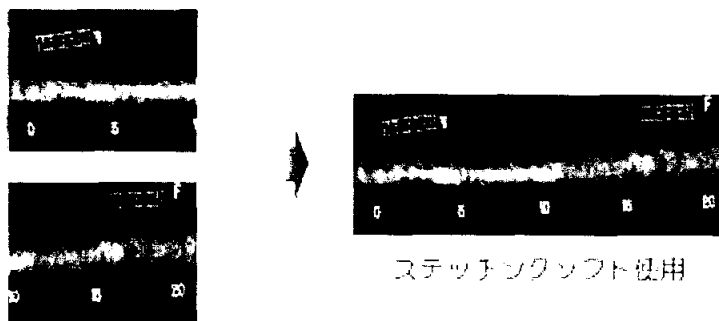
壁厚測定ツールにより、一般配管及び保温配管の肉厚を簡単なマウス操作で正確に測定することが可能です。



## Rhythm データ統合管理ソリューション

### ステッチングソフト (オプション)

IP(最大14x17inch) 1枚に入らない大きさで 分割撮影せざるをえない画像に対しても、ステッチング機能により、連続した形状の画像として表示可能です。

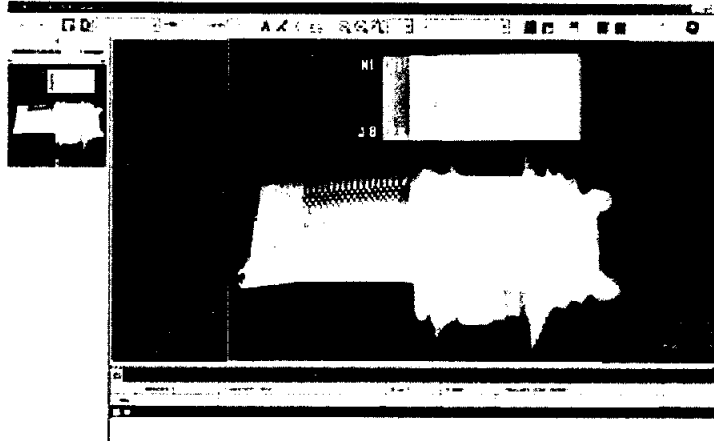


18  
GE Measurement & Control  
L289/2013

# Rhythm データ統合管理ソリューション

画像をDICONDEフォーマットのまま

簡易画像閲覧ソフト リズム・ビューフ付でCD/DVDに保存可能



JPEG/TIFF/Bitmap/DICOMフォーマットでもエクスポート可能



GE Healthcare



GE Healthcare

## 工業用専用 CR ケアストリーム HPX-1 デジタルシステム

ケアストリームヘルス（株） 山崎昭二

### 1. はじめに

当社ではコダック時代を含め約 100 年以上にわたり写真技術をさまざまな業界に提供している。

その間、各業界においてはフィルムからデジタル化へのシフトが進み、近年非破壊検査業界（NDT 業界）においてもデジタル化は進んできている。特にコンピューテッドラジオグラフィ（CR）は他のデジタルシステムと比較し、欠陥の検出能力、フィルムと同等の作業性等から比較的違和感無くフィルム方式に変わり使用されている。CR は当初医療業界で X 線銀塩写真にかわるデジタルシステムとして使用され実績を残した。NDT 業界で使用されている CR の多くはそれをベースに開発されている。

しかし、NDT 業界と医療業界では CR の使用環境、作業面等で違いがある。近年検査対象も増え、その問題及び改良が要求されている。そこで弊社でその問題を解決すべく非破壊検査専用に設計、開発された「ケアストリーム HPX-1 デジタルシステム」（写真 1）を紹介する。

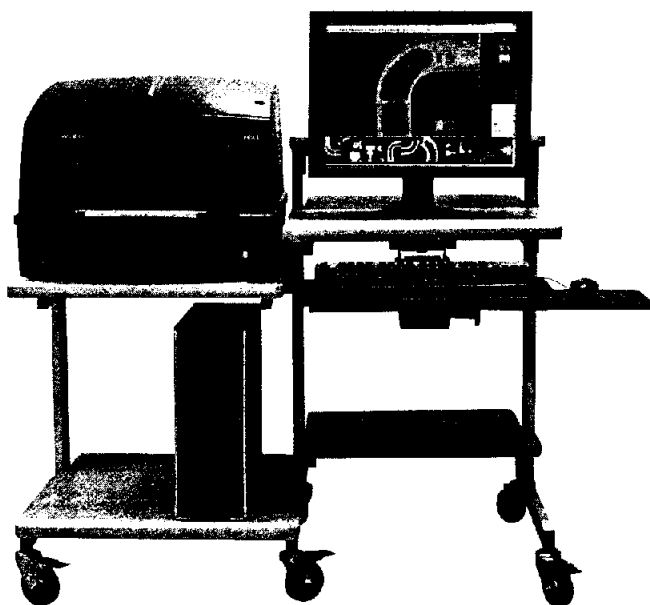


写真 1 ケアストリーム HPX-1 デジタルシステム

## 2. 一般的な CR システムと課題

### (1) 作業環境

医療用 CR の場合、多くは病院等の比較的清潔で安定した場所での設置使用を考え設計されている。しかし、NDT 業界の場合、使用されるのは主に工場、現地作業現場等が多く、その環境は医療業界と比べ、ホコリ等の異物、機器設置場所での環境振動も多く機器への負担が懸念されている。

### (2) 機器の搬送

CR を検査現場へ運び作業する場合、機器本体は振動に弱く、PC、モニタ等付帯機器を含めた搬送には注意が必要である。現地に到着し、機器をセッティングする時間、設置場所の確保も必要である。その為、現地に到着し作業を迅速にするためにあらかじめ機器をセッティングした CR 専用車を使用している場合がある。その場合、多くは新たに車を購入し機器設置の為、車内部を改造するための費用が必要となり導入コスト費用がかさむ。また、遠方での作業の場合、専用車を現地まで作業者が搬送して行く場合があり長時間の運転での作業者の疲労、安全性が問題になっている。

### (3) イメージングプレート (IP) のサイズ

医療用の場合、人、動物等が対象のため、撮影部位が特定され、通常多くても約 4 種類のサイズの IP が使用できれば問題ない。またその多くは IP 処理に専用カセットを使用しなければならない。しかし、非破壊検査の場合、撮影の対象物、サイズが幅広い。フィルムの場合、対象物にあわせた乳剤タイプ、小サイズからロールフィルムまで幅広いサイズのフィルムが用意され各種対応している。IP の場合はサイズが限定され、小サイズの対象物に対し大サイズ IP を使用しなければならない場合がある。IP は処理後画像を消去し再使用できるが必要以上の大きさの IP を使用すると撮影後の IP 読み取り時間が長くなり、画像保存容量も大きくなる。さらにフィルムのように IP を曲げて撮影する場合もあり、その場合はカセットから IP を抜き取り、ビニルカセット等で撮影し、処理するために再度専用カセットに詰め替えなければならない。

## 3. ケアストリーム HPX-1 デジタルシステムの特長

当社では上記の問題を解決するべく非破壊検査専用設計 CR「ケアストリーム インダストレックス HPX-1 デジタルシステム」(写真 1)を開発した。以下にこの詳細を述べる。

### (1) 高性能

#### ■ 高解像力

4 段階の読取スキャンピッチ (25, 35, 50, 100 ミクロン)

#### ■ 高速処理

解像度設定により 35 ~ 135 秒処理 (14x17 インチサイズ IP)

(2) 様々な現場環境に対応

■ 環境対策されたキャビネット

複数のファンとフィルタ、IP 挿入口に設置されたブラシにより環境光、ホコリ、異物の本体機器内への混入を防ぐ。

■ 振動吸収ラバーフット

本体底面にある4箇所の足部で環境振動を吸収

■ 優れた耐久性

HPX-1 は本体耐久性確認のため製造後、落下試験、変動振幅及び周波数振動試験を行っている。

■ モバイル性能 (写真2)

ラップトップ PC にも対応。現地作業現場へ CR を運ぶ場合、専用の改造車ではなく搬送ケースを用い一般車で移動可能。また、宅配便等で国内外へ運搬作業可能である。

■ 機器セッティング

PC はデスクトップもしくはラップトップタイプを選択することが可能。ラップトップの場合、検査現地現場に到着後、機器セッティングはケースを開け PC と本体を LAN ケーブルで接続し、電源を繋ぐだけですぐに使用可能。

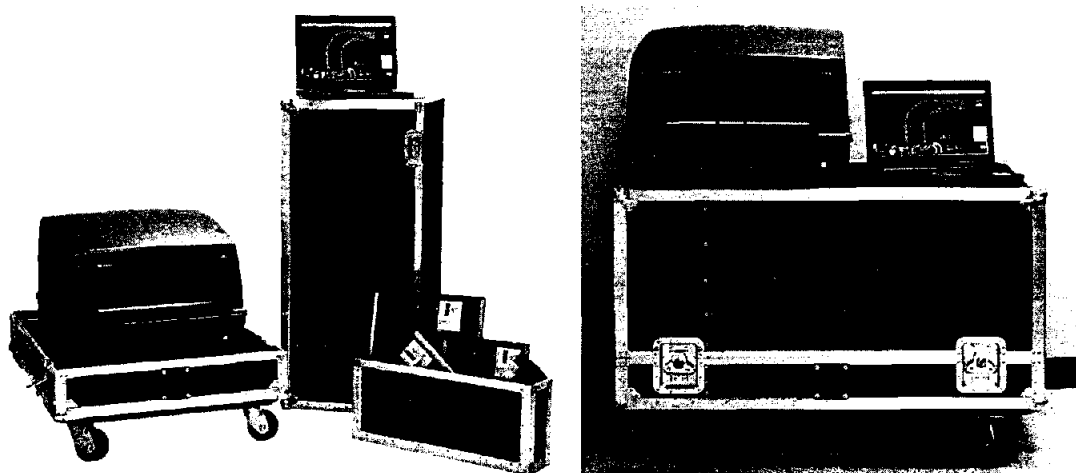


写真2：モバイル仕様

(3) あらゆる非破壊検査に対応

■ マルチプレート処理 (写真3)

ロングプレート、ショートプレート、リジッド(金属)カセット、フレキシブル(ビニール等)カセット処理に簡単なアダプタ交換で対応可能。

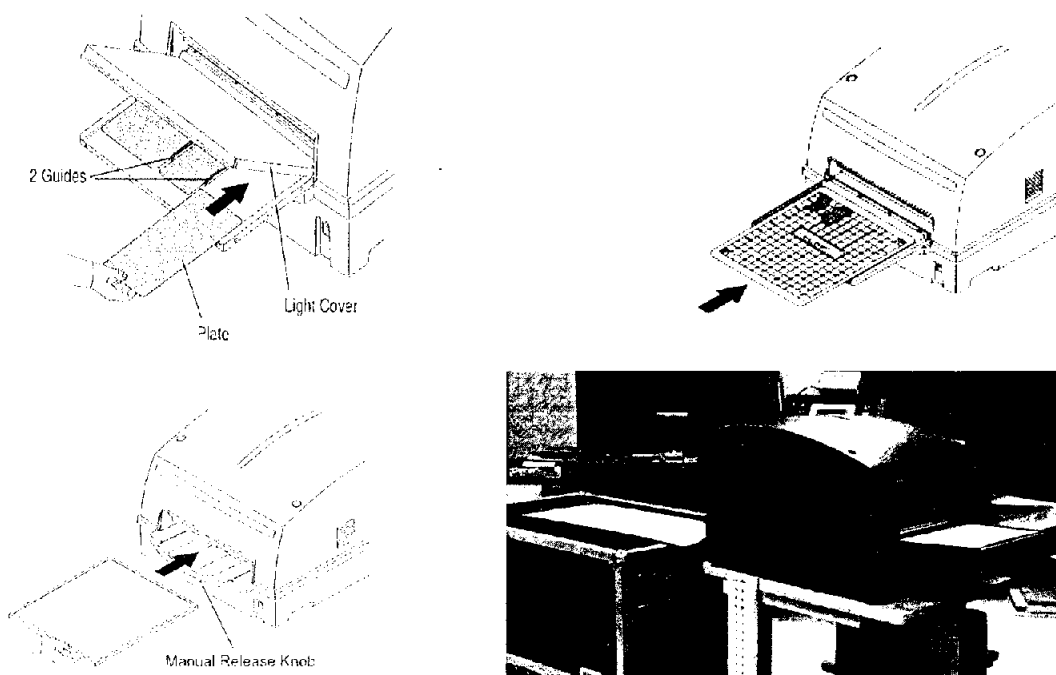


写真3 : マルチプレート処理

■ 業界最大のプレートサイズレンジ

使用用途によって選択できる3種類のIPタイプ。

幅70mm～35cm、長さ20cm～215cmまで使用可能。

●プレートタイプ

フレックス GP プレート (スタンダード)

フレックス HR プレート (高解像力)

フレックス Blueプレート (超高解像力)

●カセットの種類

3種類のサイズ: 8 x 10、10 x 12、14 x 17インチ



#### ■ 異型プレート処理

オプションのプレートキャリアを使用すれば自由にカット加工したプレートを処理可能。(写真4)

\*最小1 x 1インチ、最大14 x 17インチまで

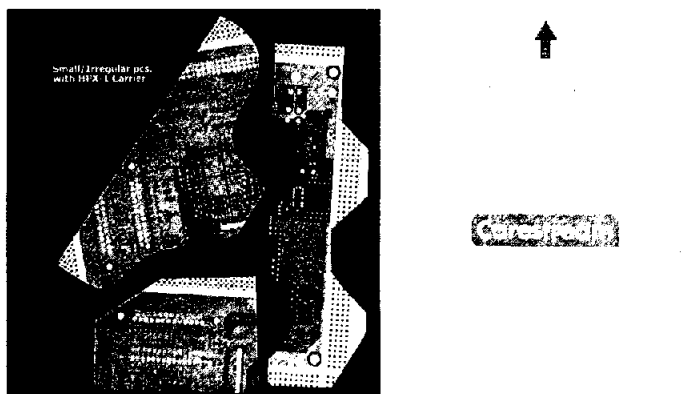


写真4：異型プレート処理

#### ■ ハロゲンスマートイレース

爆射量に応じてイレース時間を変更し高速かつ効果的にIPの情報を消去する。

### (4) 作業を簡便にするソフトウェア

#### ■ シンプルで効果的な解析ツール

Windows7プラットフォーム。殆どの操作はアイコンを選択するだけで作業でき、導入後のトレーニング時間を短縮できる。(写真5)

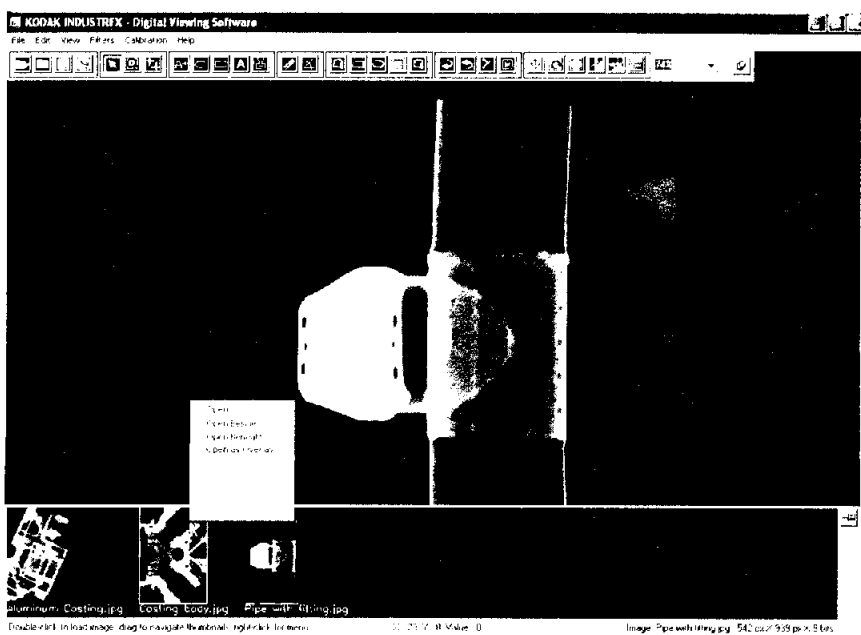


写真5：画像表示

■ 多彩なフィルタ機能

エッジフィルタ（写真6）等、さまざまなイメージフィルタは表示された画像を処理し、解析支援する。

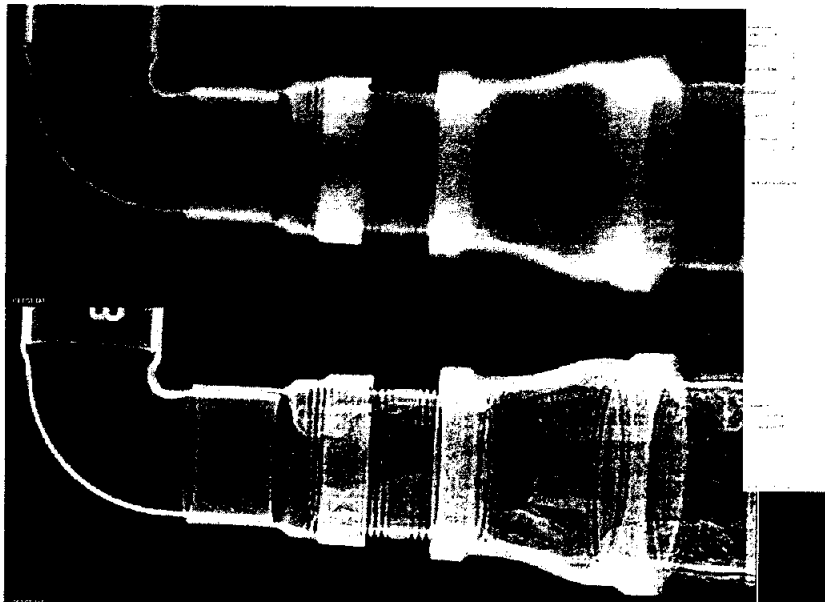


写真6：エッジフィルタ処理

■ 計測機能

肉厚（シングル、ダブル）自動計測表示（写真7）、レチクル表示可能。

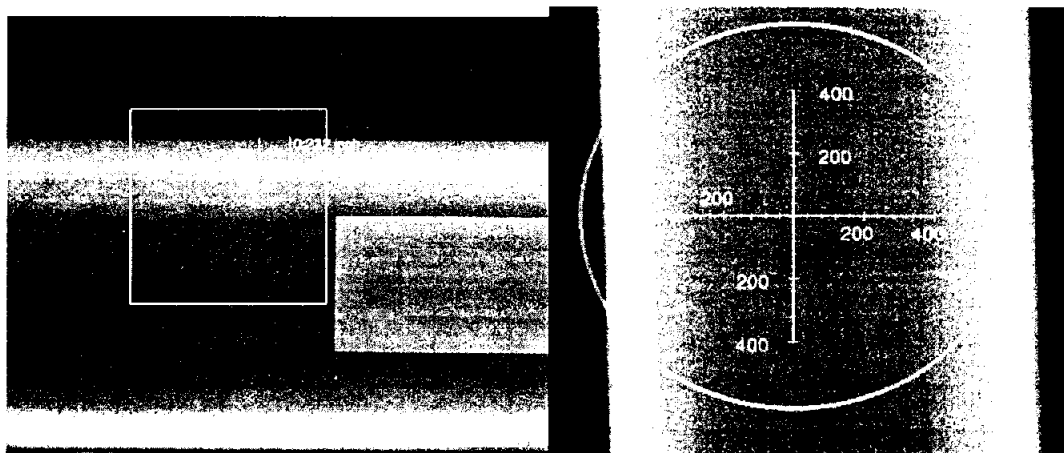


写真7：肉厚自動計測&レチクル表示

■ 1：1プリント&実サイズ表示

画像を実サイズで表示、1：1で印刷も可能。

(5) メンテナンス

■ 自己診断ツール

オプションのコダックダイアグノスティックツールを使用し CR 本体の状況を自己診断しキャリブレーション可能。(写真7)

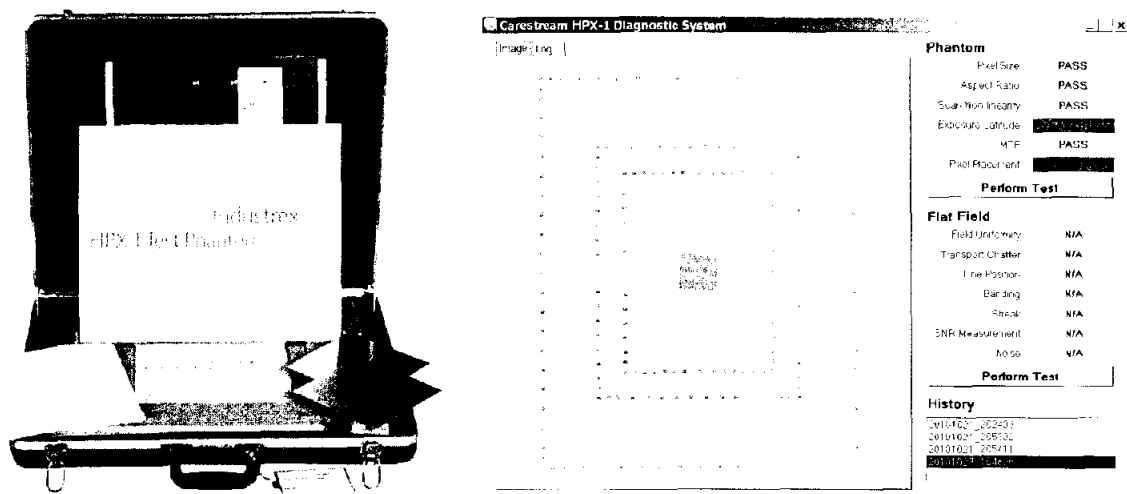


写真7：自己診断ツールキット

■ 消耗品パーツ交換

フィルタ、イレースバルブ等の消耗品はユーザ自身で交換可能。(写真8)

\* メーカーへ連絡せずユーザー自身で対応可能

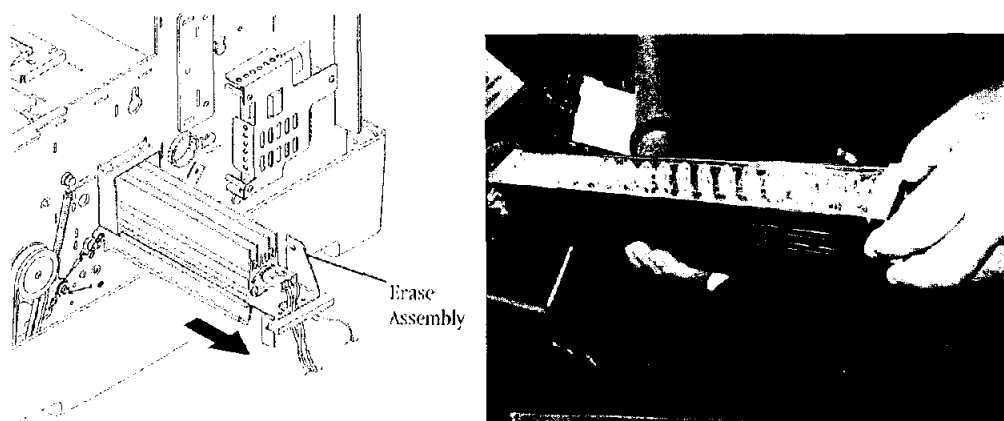


写真8：イレースバルブ交換

### 3. おわりに

当社では非破壊検査の CR 撮影作業での、これまでの問題点を解決する技術を取り入れた「HPX-1 デジタルシステム」を開発した。この製品によりこれまでデジタル製品では検出が難しかった被写体の検査や生産性の向上に貢献できれば幸いである。デジタル方式は、銀塩フィルム方式により近づいてはいるが、解像力の点ではまだフィルムに長がある。今後ハード、ソフトを含めこの問題を解決していくのが今後の課題となる。

# マルチデバイス対応 X 線画像処理ソフトウェア nPIA のご紹介

○松尾 勉 東 公亮

ポニー工業株式会社技術本部ソフト開発課

## 概 要

『マルチデバイス対応 X 線画像処理ソフトウェア nPIA (エヌピア)』について紹介する。

nPIA は、弊社がこれまでに開発してきた PIA-Soft (ピアソフト) を完全リニューアルし、2012 年 12 月末にリリースした新製品である。特徴としては、ユーザーにとって使いやすいこと、X 線画像の画質改善機能が充実していること、複数の X 線デバイスが使えること、等が有り、画像の観察や計測に適したソフトウェアとなっている。

new PIA-Soft の文字列の中から、new の頭文字の n と PIA-Soft の PIA を組み合わせて、このソフトウェアを nPIA (エヌピア) と命名した。

本稿では、nPIA の主な特徴と機能について説明した後、nPIA の仕様について説明する。

## 1. はじめに

弊社製品である NEO690Z をはじめとするオフライン検査装置からインライン検査装置 NEO-INSPECTOR までをサポートした弊社製ソフトウェア PIA-Soft の画像処理機能を基本とし、複数の X 線デバイス (X 線源や画像センサー) を組み合わせて、多目的利用が可能なソフトウェアを開発した。本稿では、その新しいソフトウェア nPIA の特徴と機能を説明する。

## 2. 主な特徴

(1)ユーザーにとって使いやすい『かんたん操作』と『親しみやすい画面デザイン』

図 1 が、nPIA のメイン画面となる。

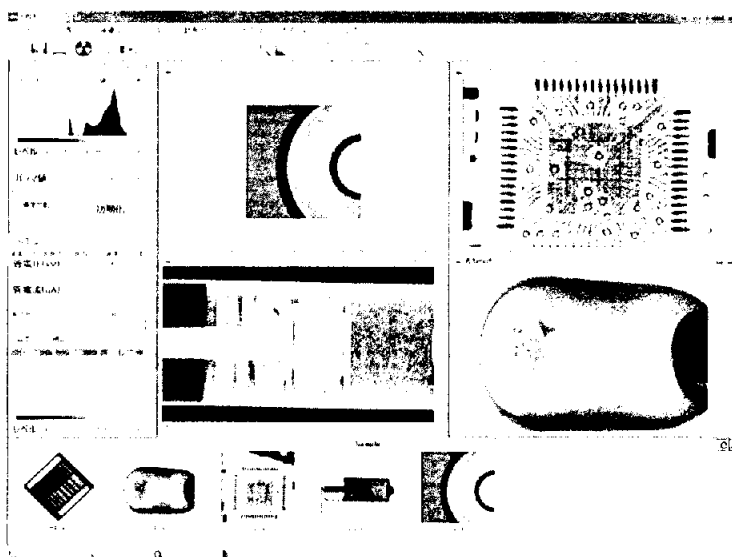


図 1 nPIA のメイン画面

①画面最上部には、図2のように、アイコンが並んでいる。アイコンを左クリックすると、X線制御、画像取込、計測や粒子解析、印刷といった画像を扱うための便利な機能をスタートさせることが可能である。アイコンに描かれたイメージは非常に分かり易く、使い慣れてくるとメニュー等を使う場合と比べて、より簡単に操作することが可能である。

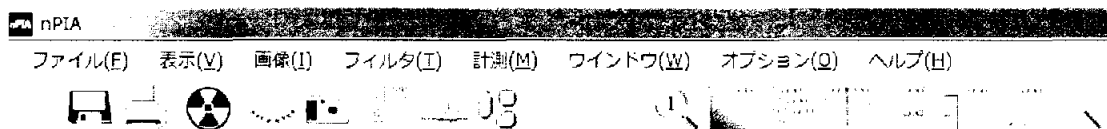


図2 画面最上部のアイコン

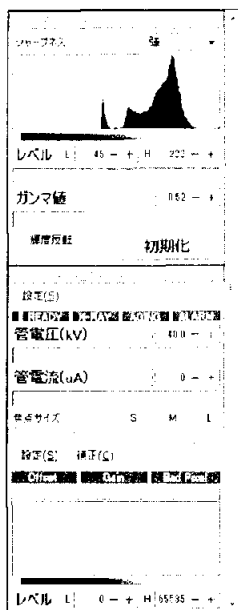


図3 コントローラパネル

②画面左部のコントローラパネルには、図3のように、複数のデバイスを制御するためのボタンが並んでいる。必要に応じて、簡単にデバイスを切り替えて制御したり、設定を変更したりすることも可能である。また、画像の明るさやコントラストも、コントローラパネル内のボタンで画像を観察しながらの調整が可能である。画像を強調することで輪郭部分をはっきり見えるように加工したり、画素の明暗を反転させたりすることも可能である。

③画面下部には、図4のように、指定フォルダー内の画像ファイルの縮小プレビュー用画面を用意しており、画像の内容を確認することが可能である。一覧表示になっており、選択しやすい画面デザインとなっている。縮小表示された画像をダブルクリックすることで、画面中央の広いスペースに画像を展開して表示することが可能である。

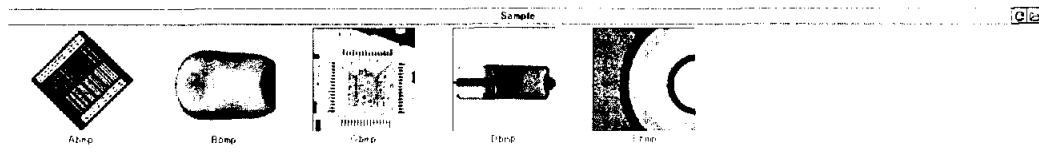


図4 画面下部の画像一覧

④画面中央の広いスペースには、図5のように、複数枚の画像を並べて表示可能である。画像の拡大、縮小、等倍表示といったユーザーが画像を観察するために必要な機能を簡単に使用することも可能である。

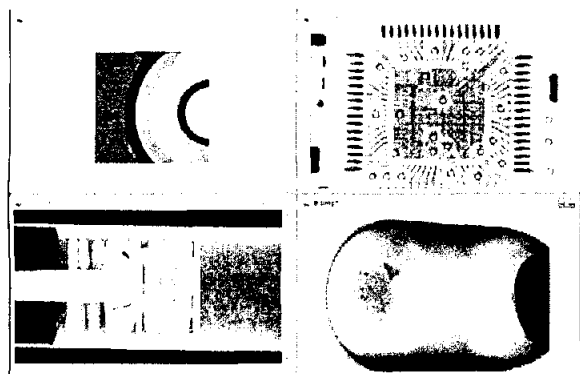


図5 画面中央の複数の画像

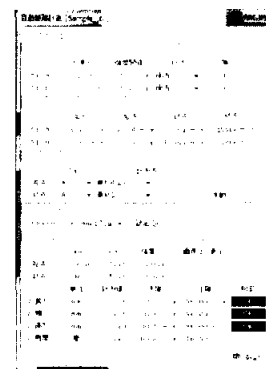


図6 設定画面の一例  
(自動計測画面)

⑤機能のカスタマイズは、図6のように、機能毎に準備された設定画面にて行う。普段、使わない機能を隠すことも可能であることから、ユーザーが繰り返し使用するのに便利な画面デザインにカスタマイズすることが可能である。弊社では、今後もより一層親しみやすい画面デザインになるように、開発を進めていきたいと考えている。

## (2) 『X線画像の画質改善機能が充実していること』

例えば、通常、X線画像カメラで画像を取り込んだ場合、図7のように、X線画像特有のノイズ成分が乗った状態となる。

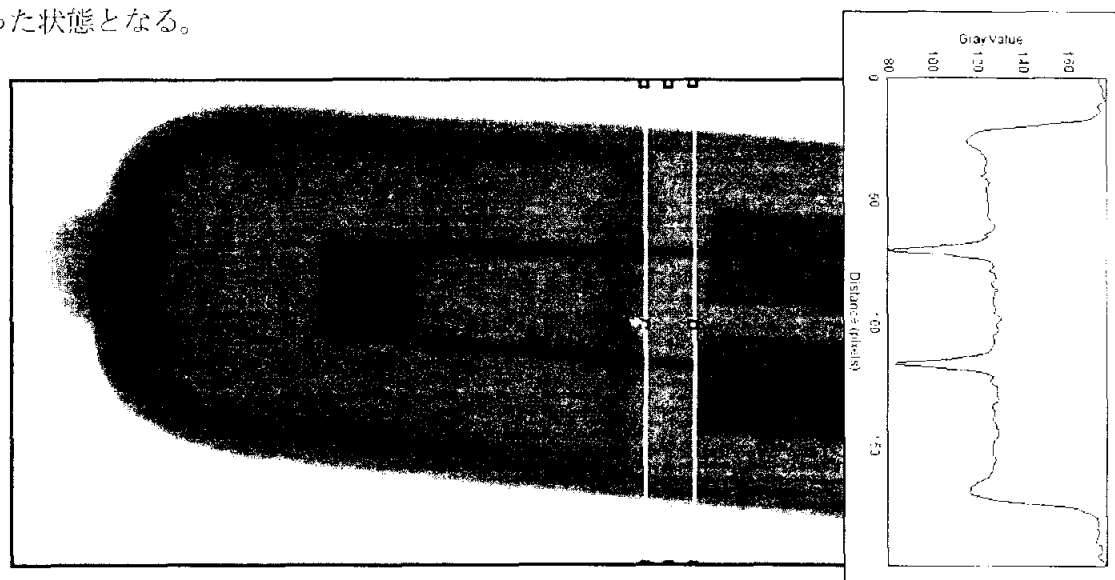


図7 積算処理適用前

nPIAには、ノイズ成分を除去するための機能が準備されており、画像の観察や計測に適した画像に編集することが可能である。その他、目的に応じて、様々な画質改善機能を準備している。図8では、デバイス側でフレーム積算処理を行い、ノイズ成分を除去している。ラインプロファイルの結果が示すように、改善後は、細かい変化が無くなっており、平坦に見える。

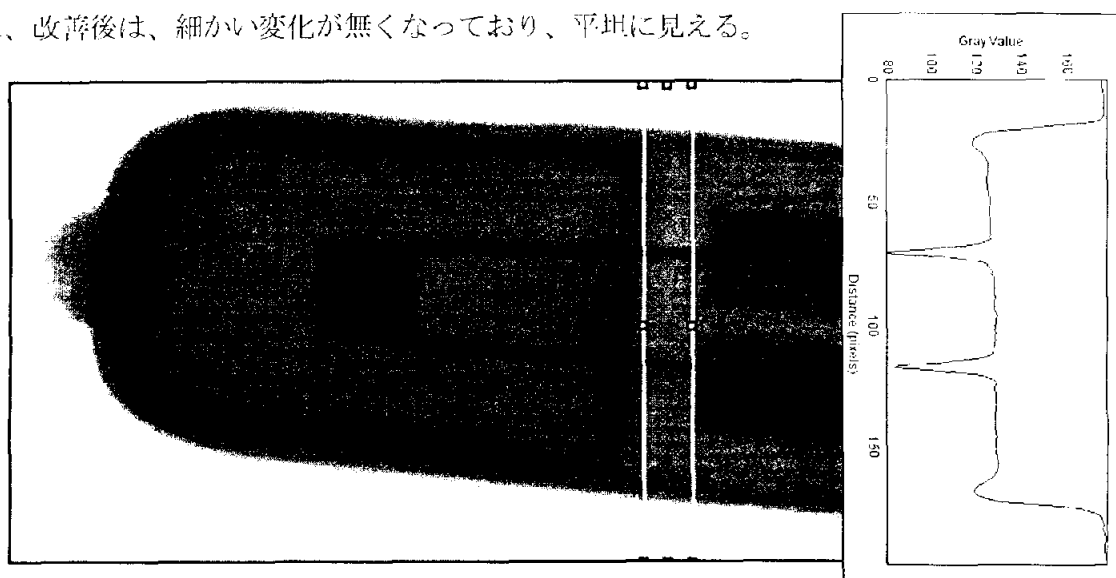


図8 積算処理適用後

また、図9のように、フィルターをかけることにより、対象物をより識別しやすくなる。ラインプロファイルの結果が示すように、改善後は、対象物の輪郭が強調されている。

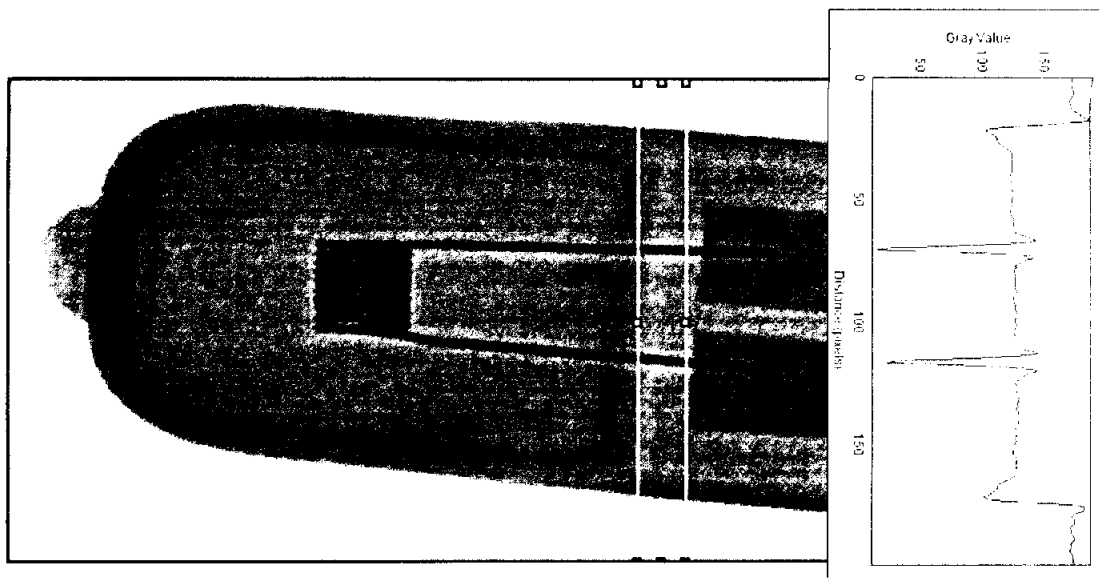


図9 フィルター処理適用後


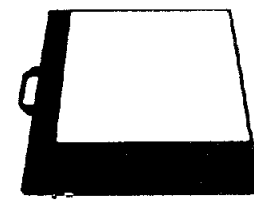
(3) 『柔軟な機能拡張が可能』

従来の機能に加えて、お客様との対話の中で新しいニーズが出てきた場合には、機能や画面デザインの新たな提案を行なっている。

(4) 『マルチデバイス対応』

複数のX線デバイスを制御することが可能である。万が一、デバイスが変更になった場合でも、nP1A対応済であれば、設定を切り替えることで使用可能となる。表1に、現在対応しているデバイス、また、表2に、これから対応していく予定のデバイスの一覧を示している。(表内のイメージは、実物と若干異なる場合がある)

表1 現在対応しているデバイスの一覧

デバイス	種類	会社名	スペック/型番/イメージ
画像 センサー	イメージインテンシファイア	東芝電子管デバイス	デジタル 145 万画素 
	フラットパネル	バーキンエルマー	XRD シリーズ Gige 仕様 (アモルファス・タイプ) 



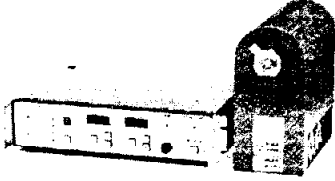


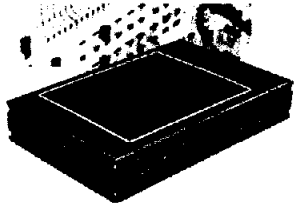
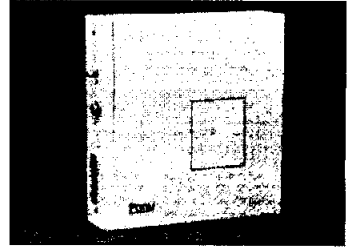
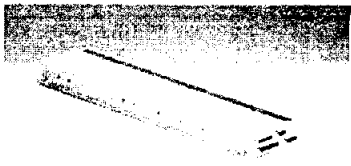
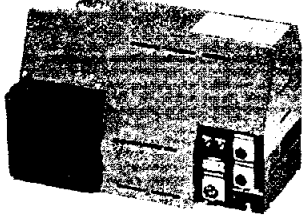
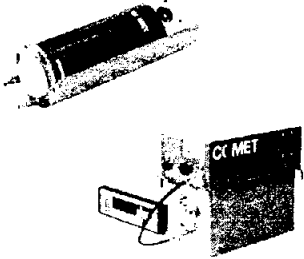
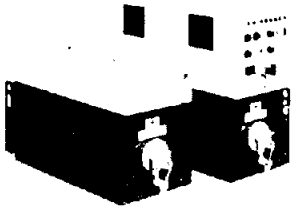
X線源 (据置型)	マイクロフォーカス	浜松ホトニクス	150kV L8121-02 
	ミニフォーカス	トーレック	150kV TRIX 150 

表2 これから対応していく予定のデバイスの一覧

デバイス	種類	会社名	スペック/型番
画像 センサー	イメージインテンシファイア	東芝電子管デバイス	アナログ 40万画素 など 
	フラットパネル	パーキンエルマー	Dexela シリーズ (C-MOS タイプ) 
		ポニー工業	SID-A50 (CdTe 直接変換方式) 

	ラインセンサー	浜松ホトニクス	C9750 シリーズ 
X線源 (据置型)	マイクロフォーカス	浜松ホトニクス	110kV L9631 100kV L10101 110kV L10951 など 
	ミニフォーカス	コメット	XRS シリーズ 
		GE センシング&イン スペクション・テクノ ロジーズ	ISOVOLT Titan E シリーズ 

### 3. 主な機能

#### (1) 計測機能

画像上の濃淡情報を考慮して、ピクセルよりさらに細かい精度である『サブピクセル精度』での計測が可能である(図10参照)。計測値は、リアルタイムに表示する。

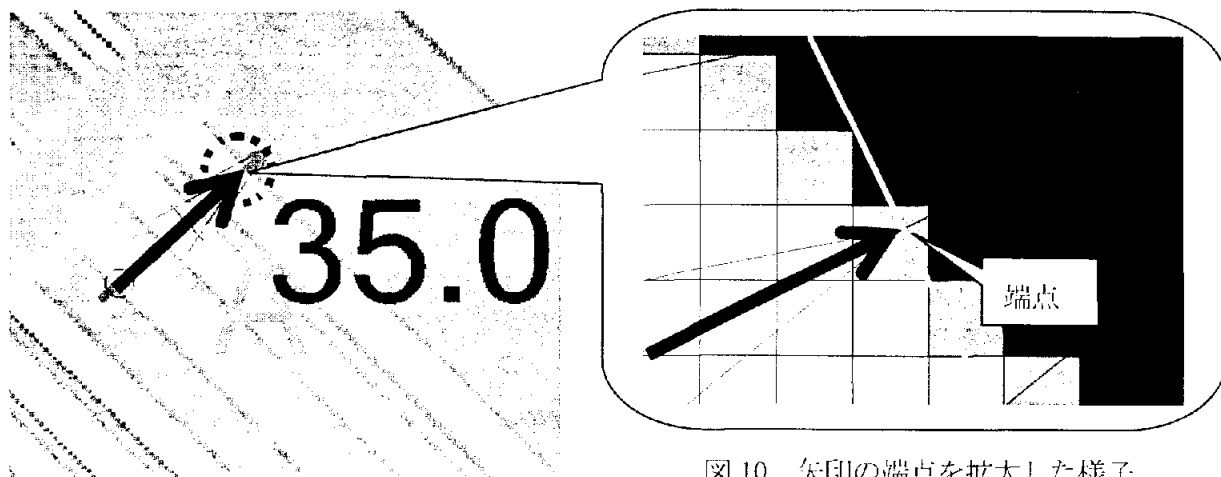


図10 矢印の端点を拡大した様子

自動計測機能について：2点間の距離を計測可能である。図11のように、まず、画像上の2本の矢印(AおよびB)上での輝度変化部分(これを『エッジ』と呼ぶ)を検出するためのしきい値を設定する。次に、検出したエッジの中から2点を選出することで、自動的に2点間距離が計測される。チャート内に複数のエッジが検出された場合でも、2点を検出する条件を正しく選択することで、かんたんに2点間の距離を計測することが可能となる。

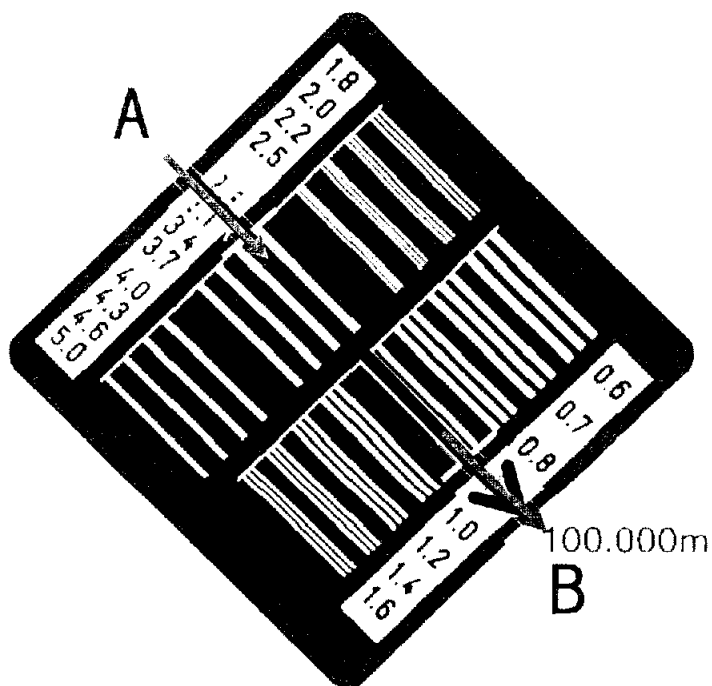


図11 自動距離計測の例(チャートの両端の距離を計測)

手動計測機能について：図 12 のように、任意の 2 点間距離を手動計測し、画像上にお好みの色で描画したりコメントを入れたりすることが可能である他、結果を印刷することも可能である。一度設定すると、マウス操作のみで、次々と距離を計測することが可能であるため、とても使いやすい機能となっている。

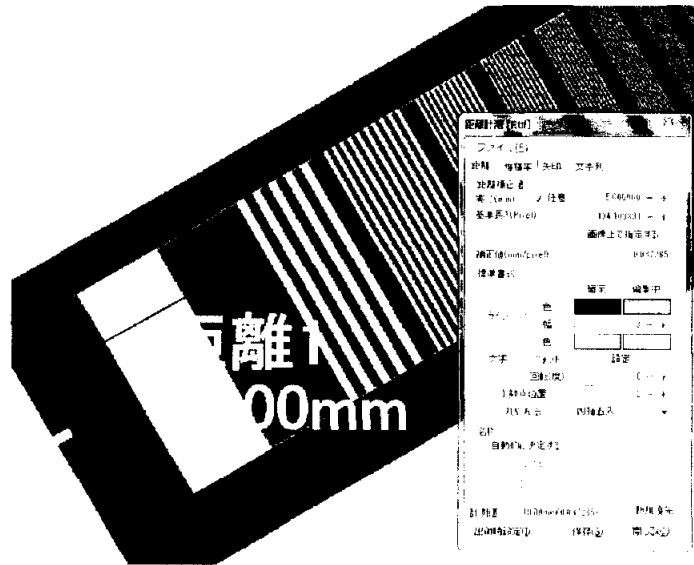


図 12 手動距離計測の例（チャート内の距離を計測）

(2) 『粒子解析』—異物、ボイド、欠陥などの検出が可能である

対象物の材厚の変化や X 線特有の性質などが原因で、X 線画像上に輝度ムラが発生することが多くある。この輝度ムラにより、従来の固定閾値による 2 値化では対応不可能な場合もある。対象画像を平滑化することでベースのコントラストを算出し、対象画像の明るさからベースの明るさを引くことで、輝度ムラを消すことが可能となり、興味の対象である領域のみを抽出することが可能となる。また、オフセット値を設けることで、微小なノイズ成分を除去することが可能であり、抽出したい部分だけを残して検出することも可能である。このような画像の各要素においてダイナミックにしきい値を設定することで行う 2 値化手法を『動的しきい値法』と呼んでいる(図 13 参照)。

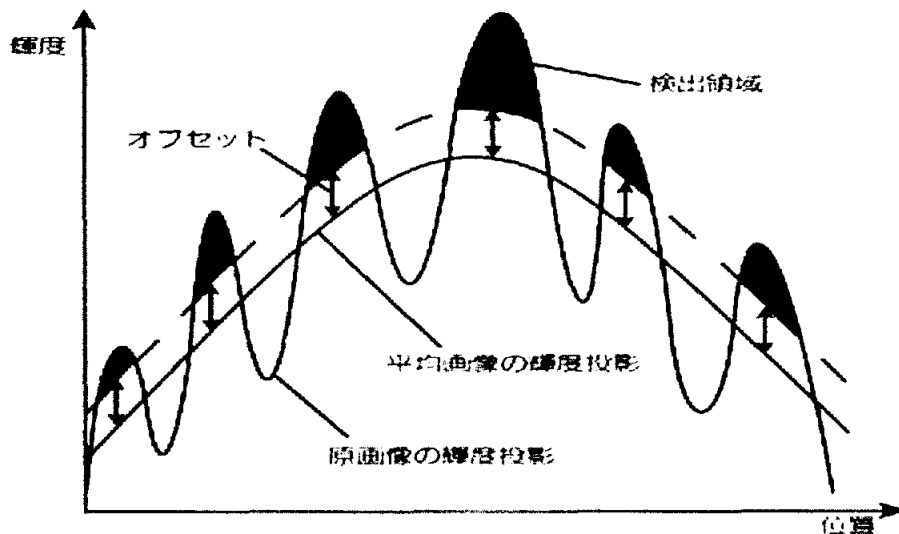


図 13 動的しきい値概念図

例) 材料内部の欠陥を抽出したい(図 14)

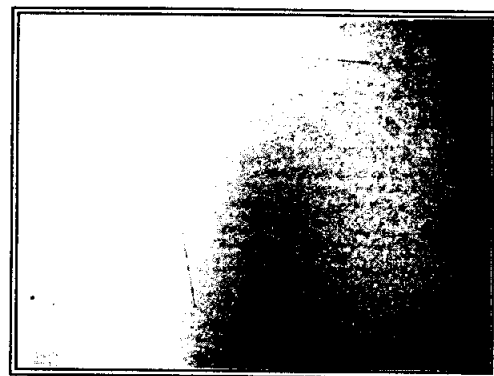


図 14 原画像

通常の 2 値化(図 15)では輝度ムラも発生しているため、キズ領域の抽出が不可能となる。

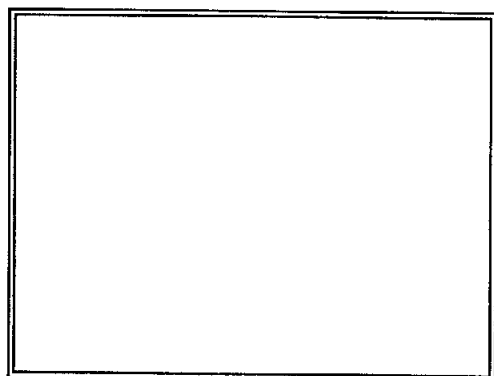


図 15 通常の 2 値化

動的しきい値法を用いると、輝度ムラ成分が除去された状態で、正しく粒子解析を行い、キズ領域の抽出が可能となる。(図 16)

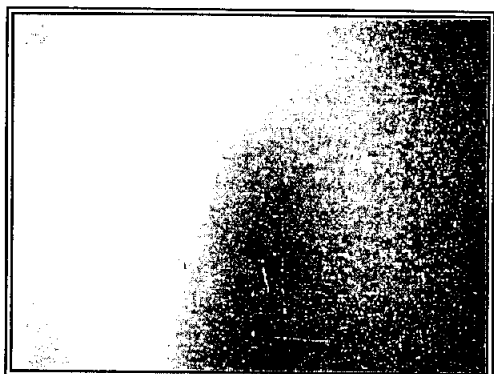


図 16 動的しきい値の 2 値化

2 値化処理後、モフォロジー処理を適用したり特徴量フィルターを掛けたりすることで、図 17 のように、欠陥領域だけを抽出することが可能となる。

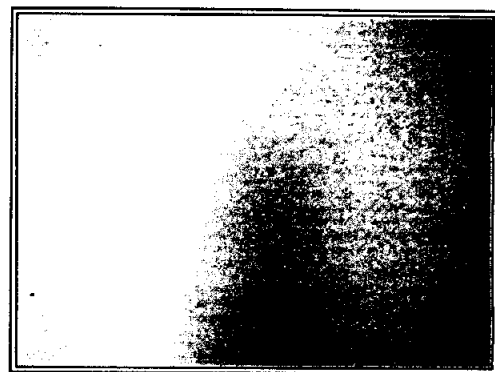


図 17 欠陥検出結果

(3)：『X線動画記録』—対象物の内部構造変化をリアルタイムに捉えることが可能である

輝度レベル変換やガンマ補正をしながら 15 フレーム/秒相当での安定した動画記録を実現している。例えば、145 万画素 I. I. や FPD で取得した画像を連続的に取り込むことで動画を作成している。1 フレームの画像サイズは、1024 画素×1024 画素×16bpp の大きさに相当する。また、AVI 形式で動画記録保存することで、Windows Media Player などでも再生することが可能である。

動画記録する際に、高負荷の処理を必要とする場合、まずは、画像取得のみを行う。取得した画像は、輝度ムラ補正等のデバイスに依存する補正を掛けた状態となっており、この状態で、画像を独自フォーマットでファイルに一旦保存する。その後 nPIA にて、再度、保存したファイルを読み込み、画像編集を行う。画像編集完了後、AVI ファイルへ保存する。



図 18 画像の明るさやコントラストを変えながら、動画を記録できる

#### 4. まとめ

nPIA の仕様について、表 3 に詳説する。

表 3 nPIA ソフトウェア仕様

機能	内容
ビューア	画像表示、サムネイル表示、画像調整、デバイス制御
画像取得	ライブ、アベレージング、フレーム積算、階調 (8、12、16bit グレースケール)
画像処理	上下反転、左右反転、X-Y 反転、回転、入力輝度、出力輝度、ガンマ補正、ネガポジ、フィルター (平滑化、シャープネス、ランク、エンボス、ソーベル、ラプラシアン) など
計測	寸法計測 (手動、自動)、粒子解析 (面積、重心座標、長軸、短軸、真円度、角度、ラベリング)、ポイド検出、異物検出など
保存、印刷	静止画 (RAW、TIFF、BMP、JPEG など) *1、動画 (AVI) *2、画像印刷
X 線装置	X 線装置制御 (対応予定はオプション)
X 線用カメラ	FPD、I. I.、LS *3 X 線用カメラ制御 (対応予定はオプション)
カメラ IF	Camera Link、GigE、RS-170、CCIR
対応 OS	Windows7 (32bit)

\*1 RAW(ロー) 未加工の状態のデータ

TIFF(ティフ、Tagged Image File Format) タグと呼ばれる識別子を使うことによって、様々な形式のビットマップ画像を柔軟に表現することができるフォーマット

BMP(ビームピク、Microsoft Windows Bitmap Image)マイクロソフト独自のファイル形式フォーマット

JPEG(ジェイベグ、Joint Photographic Experts Group)静止画像のデジタルデータを圧縮する方式のひとつ

\*2 AVI(オーディオ ビデオ インターリーブ、Audio Video Interleave) Windows 標準 AVI 動画フォーマット

\*3 FPD(エフ・ピー・ディー、Flat Panel Detector) フラットパネル

I. I. (アイ・アイ、Image Intensifier) イメージインテンシファイア、LS(ラインセンサー)

以上。

# コンピューテッドラジオグラフィによる検査現場への適用と今後の課題

株式会社シーエックスアール 技術サービス室

厚井 利朗 洲崎吉範

発表 藤岡 克美 (千葉営業所)

## 1. はじめに

日本でコンピューテッドラジオグラフィ（以下 CR と称す）が産業用検査部門に導入されて約 20 年が経過した。近年のデジタルイメージング化技術の向上は目を見張るものがあり、放射線検査分野への適用もフラットパネルをはじめ、放射線検知アレイセンサー等、種々のセンサーが開発され、現場で適用され始めている。CR 機においても解像度、可搬性の向上が図られたものが開発された。当社では営業所が日本各地に散在する状況でのお客サービス向上の観点から可搬性に優れたポータブル CR 機を 2007 年に導入し、主に配管の腐食・減肉検査を現場で適用してきた。CR 機の他の適用範囲では、コンクリートの配筋調査、配管の詰まり調査及び溶接部への適用等がある。本稿では、ポータブル CR 機の概要及び特徴と当社における現場への適用事例を紹介する。

### 1.1 ポータブル CR 機の概要

当社で使用しているポータブル CR 機の構成を図 1 に示す。(CR50P : GE Inspection Technologies 社製)

- ① IP (イメージングプレート) : フィルムの代わりに使用する。データ消去を繰り返し行うことが出来る。高精細、一般用、高感度の 3 種類がある。
- ② スキャナー : IP の情報を読み取り、処理用 PC にデータを転送する。
- ③ 画像表示モニター : 解像度 1536×2048 Pixel の 20.8 型モノクロ高精細モニター。
- ④ PC : 画像処理ソフトウェア内蔵。スキャナーの操作を行う。読み取り感度の調整が可能。
- ⑤ イレーサー : IP を多数使用する場合の事前の消去、又は数日間使用しない場合に出てくる潜像の消去に使用。

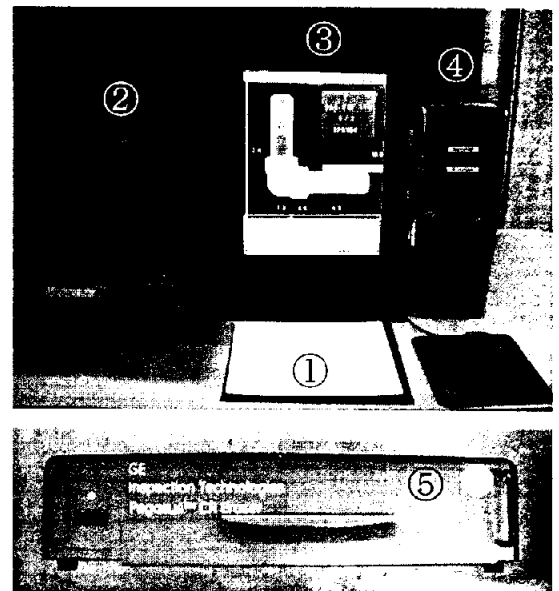


図 1 CR 機の構成

### 1.2 ポータブル CR 機の特徴

ポータブル CR 機の特徴は次のとおりである。

- ① 心臓部のスキャナは重量 22Kg で 寸法は 36H×72W×46Dcm とコンパクトなので運搬が容易であり、現場又は現場近くへの持ち込みが容易である。
- ② 離れた現場でも運送会社での送付が可能であり、専用車で走る必要がない。
- ③ 50 $\mu$ m の高精細な画像処理が可能である。
- ④ IP はソフトカセットに入れて適用でき、必要に応じてフィルムのように試験体の曲率に追従させることが可能である。(ハードカセットでの適用も可能)
- ⑤ 階調が 50000~60000 あり、ダイナミックレンジが非常に広い画像を表示できる。すなわち、わずかの放射線量でも画像化できる。(厚いコンクリートの適用に有用)

注 : 撮影時間の短縮、ひばくが低減できる等の安全上のメリット、現像の必要がなく、トータルの放射線検査時間が短縮できる、フィルム撮影と比較して廃棄物出ない、記録性に富む等のメリットは他の CR 機と同様である。

## 2. 現場への適用事例

### 2.1 配管の断面表示による腐食・減肉検査又は肉厚測定

#### (1) 撮影配置

小径配管の場合、配管の中央を狙って放射線を照射する。IP の面積に複数の小径管が写るように照射する場合もある。それらの場合、図2の a に示す中央方向撮影配置となる。撮影の結果、配管に腐食・減肉があり、照射方向とずれた位置に深い腐食・減肉があると思われる場合には、図2の b に示すようにその腐食・減肉が最大に写るよう配管の接線方向に照射する。特に配管の径が大きい場合には図2の b に示す接線方向照射を行わないと真の腐食・減肉深さを求めることが出来ない。通常の溶接部検査の撮影と異なり、線源-IP 間距離には幾何学上の規定はないが、像の拡大率を抑え、幾何学的ぼけが問題にならないよう配管から 300~600mm 程度離して撮影するのが通例である。

また、腐食・減肉測定又は肉厚測定を精度良く行う為には、本装置が備えるカーソルの校正が必要である。カーソルの校正には次の二つの方法がある。すなわち、①配管の外径等の寸法が直接又は図面寸法等で確認できる場合には、寸法が判明した部位にカーソルを当て、校正値を入力する。②①の方法が適用できない場合、寸法が分かっている試験片を配管上に設置して配管と一緒に IP に写し込み、カーソルを校正する。保温材等で試験片を配管上に直接設置出来ない場合は、配管に最も近い保温材上に設置する。

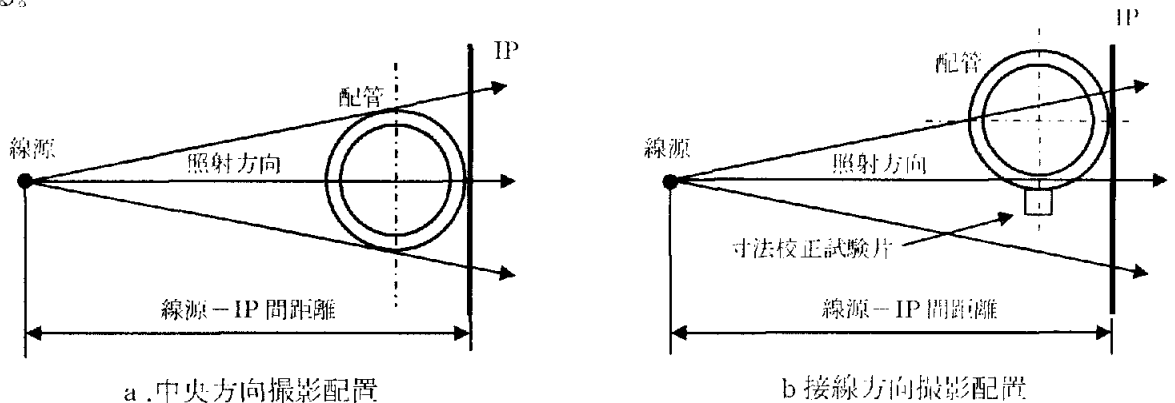


図2 撮影配置

図3に保温付き小径配管の  $^{192}\text{Ir}$  による IP 撮影状況を示す。

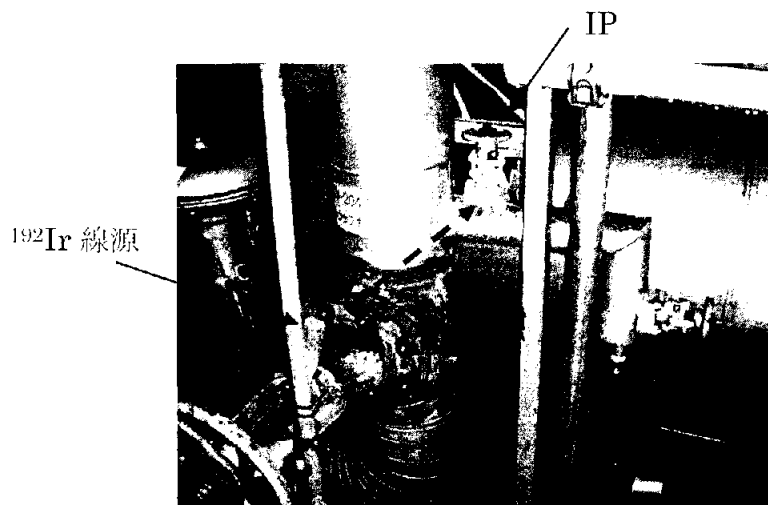


図3 保温付き小径配管の IP 撮影状況



## (2) 小径管の腐食・減肉測定例

図4にγ線 ( $^{192}\text{Ir}$ ) を照射した1 B配管 (公称: 厚さ4.5mm) の腐食・減肉測定状況を示す。この画像では像のコントラストを強調する画像処理を行い、このポータブルCR機が備える肉厚測定ソフトを使用して肉厚のプロファイルを行っている。このソフトを使用して管の外表面又は内面の境界と腐食の底にかかるよう事前に外径が34mmであることを利用して校正したカーソル線を引くと、自動的に管の残肉値が表示される。肉厚測定の場合には管外表面と管内表面にカーソルを引けば、肉厚値が表示される。画像では最も厚さが薄い箇所が1.9mmであることを示している。

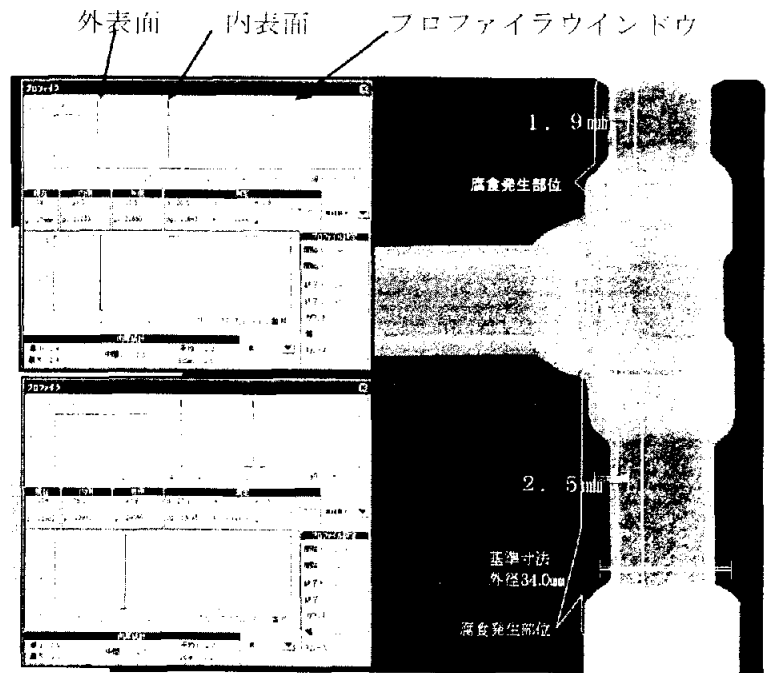


図4 1 B配管の腐食・減肉測定状況

手でカーソルを引く場合は、どこの位置を管外表面又は内表面とするか、腐食の底をどこに定めるかは人によって差が出る。このソフトは人による差が出ないように出来るので、人為的な誤差を少なくすることが出来る。

図5に6 B配管 (公称: 厚さ5.0 mm) の腐食・減肉測定状況を示す。

6 B配管は管径が大きい為、管の接線方向に放射線の照射を行っている。この配管は防食処理としてFRPテープを巻いているがその下の配管外表面に腐食が発生している。6 B位の配管になると、接線方向に放射線を照射しても管の肉厚の接線方向の透過厚さと管の内表面近傍の管中空部との透過厚さの差が小さいので濃度差が出にくくなり、管内表面がはっきりしなくなる。また、腐食の管接線方向の体積が小さければ腐食像も非常に薄くなる。

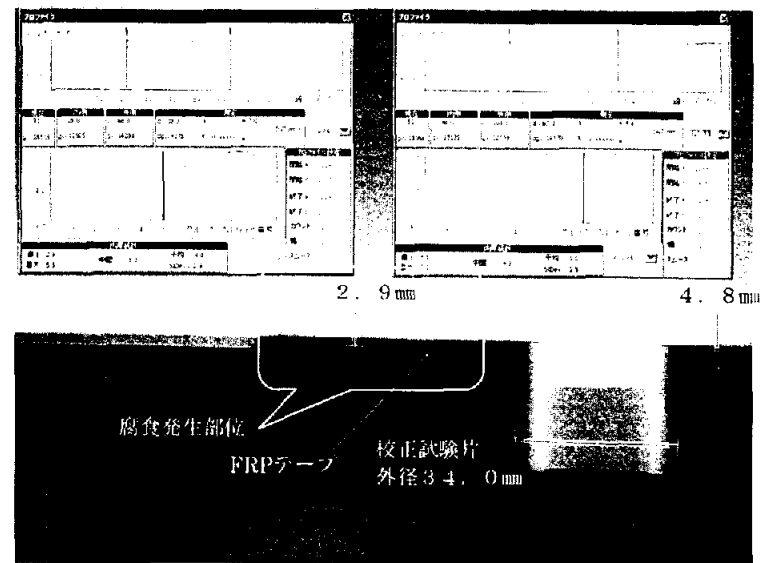


図5 6 B配管の腐食・減肉測定状況

この配管においては、コントラストを強調する画像処理を行うことにより、何とか腐食と管内表面が表示された。図3と同様にプロファイラで自動肉厚測定を行った結果、健全部は厚さ4.8mmであり、腐食部の残厚は2.9mmであった。

6 Bになると大き過ぎて管径をカーソルの校正に用いることが出来ない為、φ34の校正試験片を配管上に設置して写し込み、カーソルの校正を行っている。

## 2.2 配管の階調差法による腐食・減肉検査

配管の径が大きくなると接線方向照射では、管内表面が表示されにくくなり、管の断面を表示することが困難になる。接線方向照射で腐食・減肉を検出できない配管の場合は、腐食・減肉を管の正面から撮影し、健全部との階調差法で腐食・減肉深さを測定する方法が適用される。本ポータブルCR機には階調差法での腐食・減肉深さ測定ソフトが付加されている。

### (1) 撮影配置

図6に示すように腐食・減肉部をIP側にして腐食・減肉を狙って放射線の照射を行う。この時、腐食・減肉近傍の健全部に厚さが既知の階段状校正試験片を設置して一緒に写し込む。

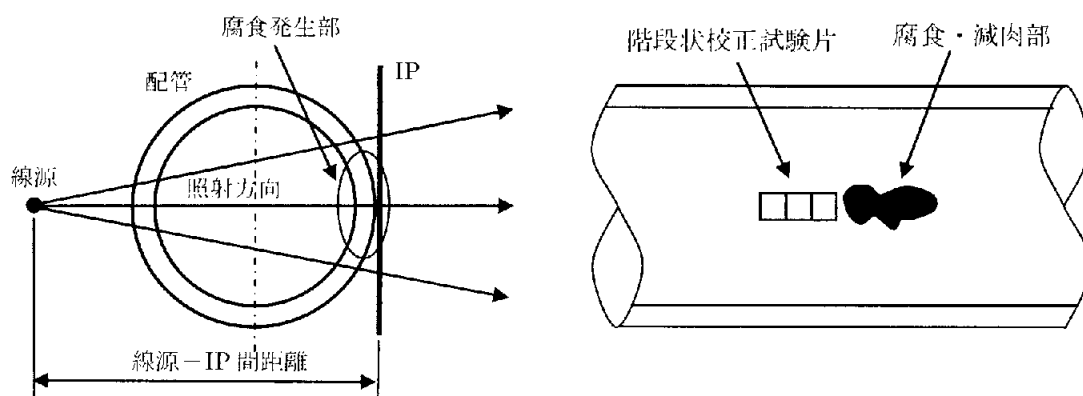


図6 階調差法撮影配置

### (2) 階調差法の適用例

図7に管径16B、公称肉厚12.7mmの溶接部近傍に発生した腐食・減肉の測定例を示す。本ポータブルCR機の階調差法による減肉深さ測定は、次のように行われる。

- ① 階段状校正試験体を腐食・減肉部近傍の健全母材部に写し込む。
- ② 画像中の健全母材部及び階段状校正試験片の6t部を選択し、その肉厚差が6mmであることを入力し、校正を行う。この時、校正試験片の6mm部分を透過した放射線強度と母材部を透過した放射線強度は当然母材部を透過した方が強いので、厚さ6mmに相当する階調差が発生し、その階調差を厚さ6mmとして校正している。
- ③ 腐食・減肉深さ測定ソフト上で②項で特定した母材健全部及び腐食部で最も階調数値が大きい箇所を選択すると、母材健全部との肉厚差すなわち減肉深さが表示される。

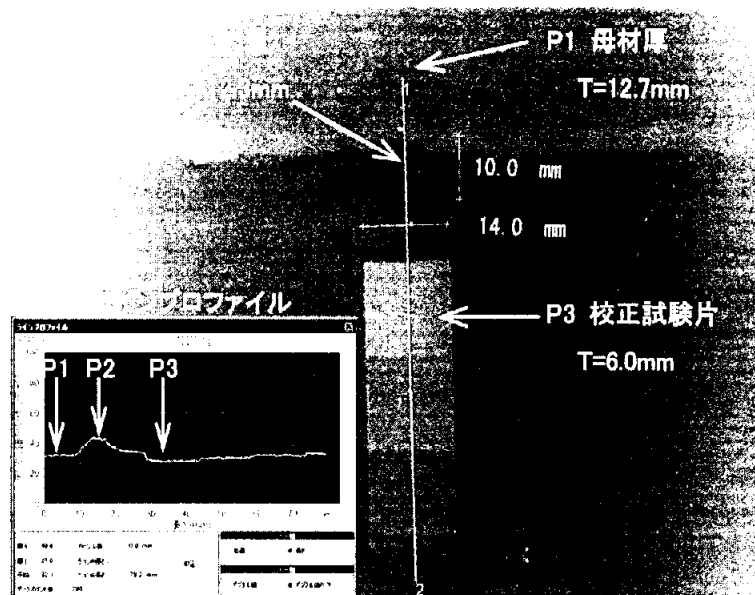


図7 16B 12.7t 配管溶接部の階調差法による減肉量測定例

ここでは、減肉深さは健全母材厚さの-12.3mmと計測された。母材厚さは12.7mmであるのでほぼ貫通していることになる。現物での確認の結果、この腐食は貫通していた。

また、校正試験片の短辺が15.0mmであることを利用して寸法カーソルの校正を行い、腐食の寸法測定を行った結果、円周方向に14mm、軸方向に10mmであり、現物確認結果とほぼ合っていた。

図8に2.1(2)項で管の接線方向照射による腐食・減肉の断面表示による腐食・減肉計測を行った6B（公称厚さ：5.0mm 実測4.7mm）配管の別の減肉部を階調差法で減肉深さを測定した状況を示す。

上記と同様な方法で減肉深さを測定した結果、減肉深さは3.3mmであり、残肉厚は健全母材厚から計算した結果、1.4mmであった。管切断後の超音波肉厚測定の結果では残肉厚1.2mmであり、階調差法との差は0.2mmであり、ほぼ合っていた。

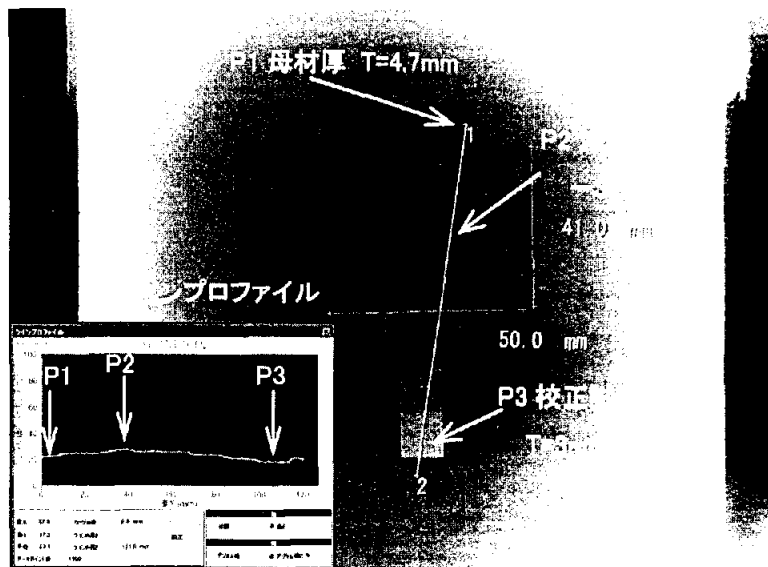


図8 6B 5.0t 配管の階調差法による減肉深さ測定状況

### 3. 検証（株式会社 東京エネシス 総合技術センター殿 より提供）

株式会社東京エネシス殿のご依頼で行った、ポータブルCR機(GE Inspection Technologies 社製)による肉厚測定、減肉部の残肉厚さ測定、寸法測定を精度を検証した例を以下に示す。

使用した試験片の概要を図9に示し、図10に25A, 図11に50Aの模擬腐食試験体のポータブルCR機による模擬腐食の残肉厚さ測定、外径及び丸棒の寸法測定画像を示す。

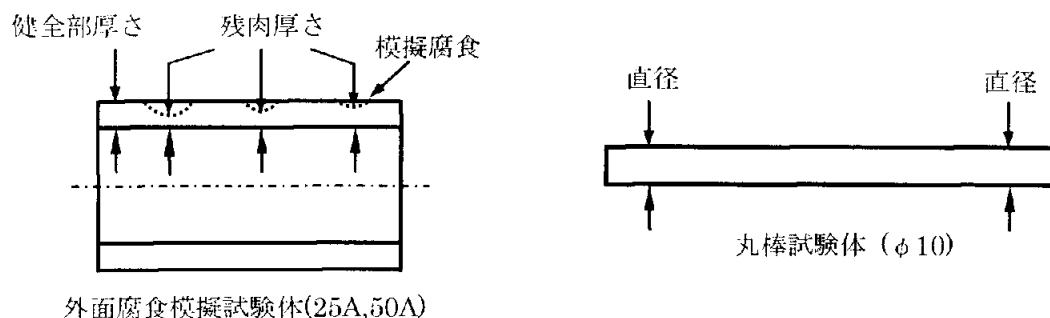


図9 寸法測定精度確認試験体

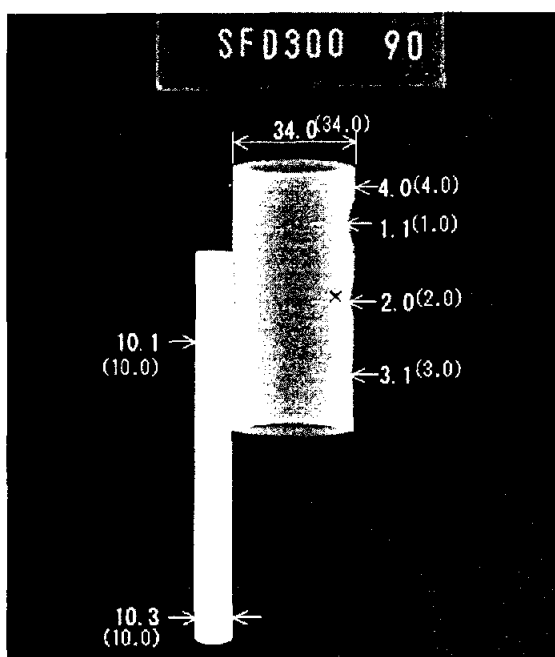


図10 25A 模擬腐食残肉厚さ測定画像

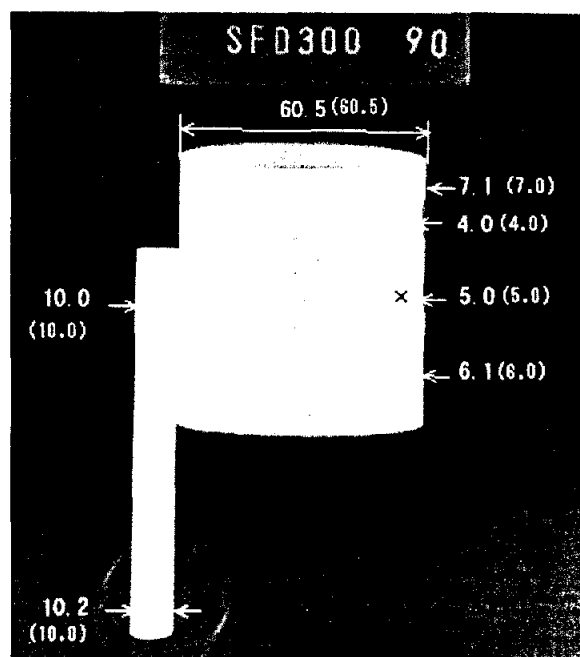


図11 50A 模擬腐食残肉厚さ測定画像

注：画像中数値は測定値を示し、( ) 内数値は、ポイントマイクロメータで測定した真値を示す。

単位：mm

以上の結果、ポータブル CR 機の寸法測定、模擬腐食の残肉厚さ測定の精度は次に示すとおりであり、実用上、十分な精度が確認できた。

- ① 模擬腐食の残肉厚は真値に対して $\pm 0 \sim +0.1\text{mm}$ の誤差であり、満足できる結果である。
- ②  $\phi 10$ の丸棒の外径に対して $-0.2 \sim +0.3\text{mm}$ の範囲であった。測定対象物と IP との距離が短めであったり、照射中心から数 $10\text{mm} \sim 100\text{mm}$ 離れるとこの程度の誤差が発生することが分かった。従って、高度な精度が必要な場合、複数の校正用試験片を設置する必要がある。

#### 4. コンクリートに対する適用

図12にコンクリートに対するポータブル CR 機適用の例を示す。コンクリートに対しては、検査部外者に対する放射線防護、検査時間の短縮の必要性から IP 撮影のメリットが生かせる分野である。図12に示す画像には配筋、電線管の様子がよく表示されている。コンクリートの配筋状態把握には電磁波レーダー探査や電磁気を使用した検査がよく用いられているが、改築等でコンクリート壁に穴を開ける際、鉄筋位置、電線管の位置精度が要求される場合には、放射線検査が適している。

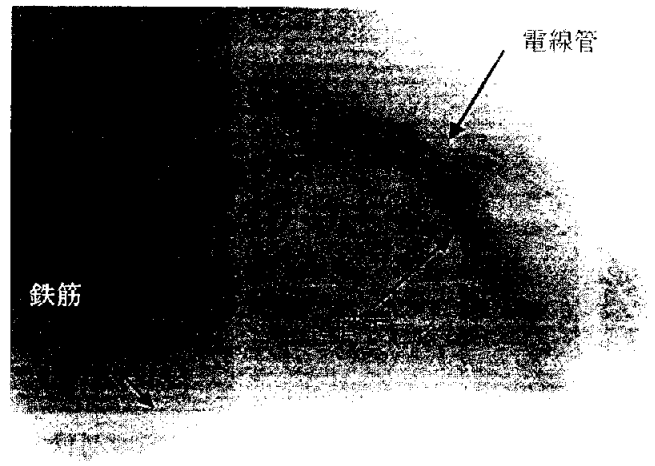


図12 コンクリートの検査状況

#### 5. 配管詰まり検査

海水系配管には貝、藻等、海生物が付着して配管を詰まらせたり、海水の流れを悪くして、設備の運転上、支障が出ることがある。通常、配管の詰まり検査は、内視鏡や通常のフィルムを使用した放射線検査が行われる。しかし、IP 撮影、CR 機処理の方が早く結果が出て記録性が優れているとの理由で、6B 管の海生物詰まり検査の引き合いがあり、検討を行った。

図13に貝による配管詰まり検査の検討画像を示す。検討としては、配管内に水がある状態で海生物（シジミ）を配管内に入れ、シジミがどの程度写るか検討した。その結果、シジミの殻が写ることが分かり、現場適用を行った。現場では、配管内に貝による付着が確認された。

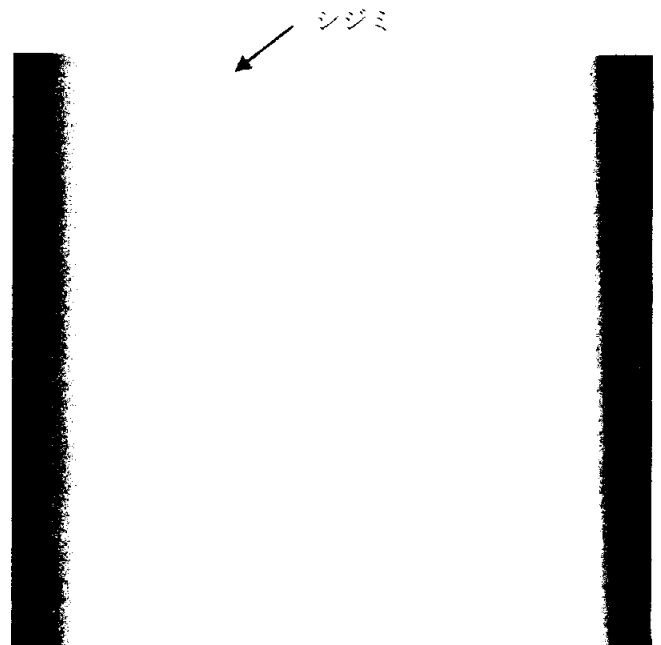


図13 水有り配管中での生物（シジミ）の検出状況

#### 6. 溶接部検査

現在、日本では溶接部への CR を規定した JIS 規格が制定されておらず、法で規制された溶接部検査に CR 適用は進んでいない。そのような状況であるが、この度、溶接部へ CR 適用の案件があり、ポータブル CR 機を使用した溶接部放射線検査を行った。

線源には200KvpのX線を用い、方法はJIS Z 3104-1995を準用して通常の放射線透過試験と同様に実施した。論文にて透過度計の視認性及び溶接欠陥の検出性がフィルムRTとCRで同等であるとの発表がなされているが、この度の案件でも透過度計と溶接欠陥との検出性を比較してみた。

図14に溶接部のフィルムでの像を示し、図15に溶接部のCRでの同一箇所の画像を示す。

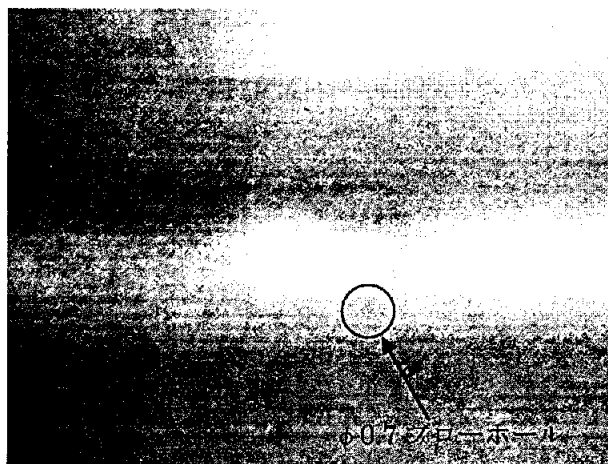


図14 フィルム(#100)による撮影

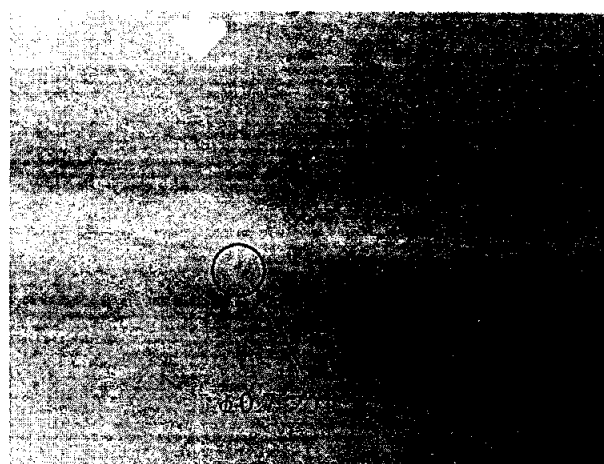


図15 CR (IP) による撮影

注：上記のフィルムとCRの画像は円周溶接部の隣合せた分割の境界であるが、同一箇所である。

透過度計は04F(F02)の3本目(φ0.25)及びφ0.7のブローホールがフィルムとCR画像で同様に確認できた。このように、事例は少ないがフィルムRTとCRの透過度計ときずの検出性は同等であることが分かった。但し、CRでの画像は、フィルムより散乱線の影響を受け易い状況が確認され、フィルムRTより強化した散乱線対策が必要なこと、CR画像ではフィルムより陰影が多少強調される傾向にあり、画像解釈の際、注意が必要であることも分かった。

## 7. 今後の課題

CR適用における今後の課題として以下の項目が挙げられる。

- (1) IPはフィルムより散乱線の影響を受け易い傾向にある。散乱線の性質、環境を見極め、適切な散乱線対策を行う必要がある。
- (2) 溶接部のCRのJIS規格がまだ制定されていない為、溶接部の検査は自主検査にとどまり、CR画質評価は現行透過度計のみで行われ、画像処理の程度は各自に任されているのが現状である。

したがって、JIS規格が制定されるまではCRの特性をよく把握して溶接部の自主検査を行う必要がある。今後、JIS規格が制定されて客観的な画質評価がなされるようになれば、CRの標準化が図られ各自に任される状況は改善されるものと思われる。しかし、規格化が困難な散乱線対策、きず像や他の像の解釈等、CRの特性をよく把握してCR業務をきちんと行うノウハウを積み上げておき、法に基づく溶接部検査に備える必要がある。

- (3) CRは低線量でもそれなりの画像を形成でき、あまり丁寧でない撮影でもOKとなりがちである。特に腐食・減肉検査が主流の現状ではそうなり易い。しかし、線源-IP間距離、照射線量、散乱線対策、安全対策等、基本的なことはフィルム撮影と変わらない。CRは雑に行っても良いという風潮にならないように注意が必要である。



## 特 別 講 演

—最近のデジタルラジオグラフィ技術と関連規格の動向について—

講 師：ものづくり大学  
特任教授 大岡紀一







