

2021

試験・検査・評価・診断・寿命予測の専門誌

3

Vol.26 No.3

特集：インフラストラクチャーで活用される検査・診断・保全技術①
製品ガイド：探触子

検査技術

Inspection Engineering

発行：日本工業出版
<https://www.nikko-pb.co.jp/>

OLYMPUS

非破壊検査機器

お問い合わせ先：☎0120-58-0414

オリンパスからのご提案

検査の立ち会いを見直して、密を回避しませんか？

密回避

離れた位置から
検査状況を確認

リモート検査立ち会い

その場にいなくても検査に参加



内部確認・計測

工業用ビデオスコープ



**元素分析
合金判定**

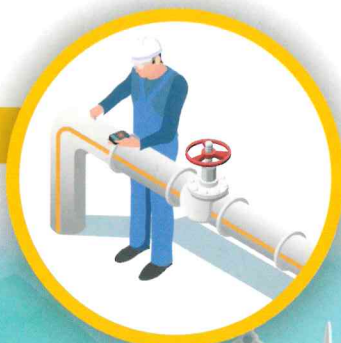
ハンドヘルド
蛍光 X 線分析計



厚さ測定

超音波厚さ計

現場



インターネット経由で
映像や測定結果を送信

詳細は中面広告をご覧ください

オフィス



検査機器

可搬型X線断層検査装置

Digital Tomosynthesis System (DTS)

より細かく、より正確に、現場断層X線検査を実現する
可搬型X線検査装置

つくばテクノロジー(株) 齊藤 典生・王 波・劉 小軍・鈴木 修一

1. はじめに

X線は皆様の健康診断や空港での手荷物検査などで一般的に知られている。ただし、その際に撮影される画像は1方向からの撮影が普通で、画像として、人間の場合、心臓・肋骨・背骨など、また手荷物の場合、スーツケースの中味が全部重なった画像になっている。そのため、個々の判別、特に小さい物や密度の低いものの識別は難しい。

そういう点で、CTが有用だが、CT装置は大きく、重く、高価で、それを撮影場所に移動して、その場で対象物の断層画像を検査することは難しい。

当社は独自のカーボンナノ構造体冷陰極X線技術を実用化して、自社で産業インフラ、社会インフラ用のX線非破壊検査装置を開発、製品化している⁽¹⁾。

今回は単3乾電池1本で駆動可能な冷陰極小型X線検査装置^{(2)~(6)}をもとにこういった1方向からの撮影で重なった画像の判別が難しいという課題に着目し、CT装置より、小型、軽量で、撮影場所に持ち込め、その場で、断層画像を撮影、表示できる新しい「可搬型X線断層検査装置(DTS)」を開発・製品化した。

本稿では、この装置とその検査例、撮影例について紹介する。

2. 冷陰極小型X線検査装置

一般的に大きく、重く、連続照射で漏洩も小さくない熱陰極X線装置に対して、我々の装置は小型・軽量で省電力、パルス照射で漏洩が抑えられる冷陰極技術のX線装置である。

冷陰極X線装置のX線管は、電子源が産業技

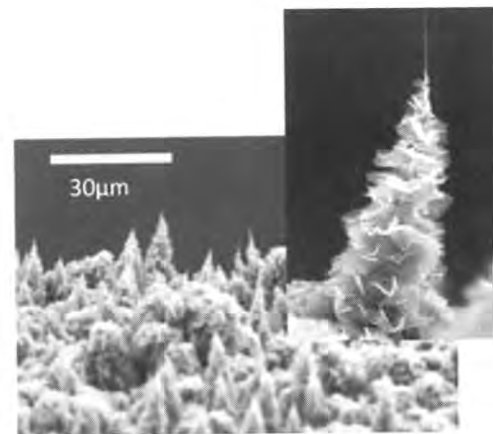


写真1 カarbonナノ構造体電子源



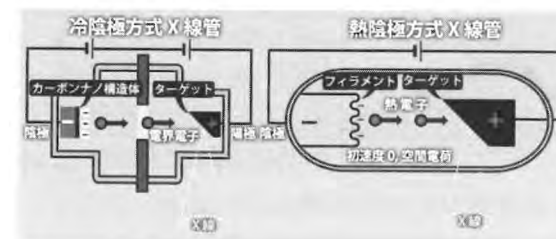
写真2 カarbonナノ構造体電子源を搭載した冷陰極X線管

術総合研究所で研究されたカーボンナノ構造体電子源(写真1)である。その電子源を搭載した冷陰極小型X線管を写真2に示す。

このX線管は様々な改良を進め、60kV、100kV、130kV、150kV、180kVをラインナップし、現在200kVの実用化を目指している。

当社は、カーボンナノ構造体電子源およびそれによる冷陰極X線管を設計、開発して、それを組み込んだ小型・軽量・省電力かつパルス照射で漏洩の少ないX線検査装置を製品化している。

この独自技術である冷陰極X線管は第1図のように、陰極からの電界放出により電子が放出されるため、熱陰極X線管とは違い、フィラメントなし、予熱・エージングなしで、瞬時にX線を発生する。従って、X線検査をしたい時にすぐX線を発生でき、検査業務の時間短縮、効率化に寄与する。



第1図 冷陰極X線管と熱陰極X線管の比較

3. NDTの高度化

ところで、我々の周りには、産業インフラ、社会インフラがあり、もちろん、その健全性検査は行われているが、現在予防保全の観点で、事故や災害を未然に防ぐため、既存の装置以外に各種の取り組みが行われ、検査の高度化が望まれている。そういう中、今まで不可能だった検査を実現するための新しい検査装置への要求が高まっている。

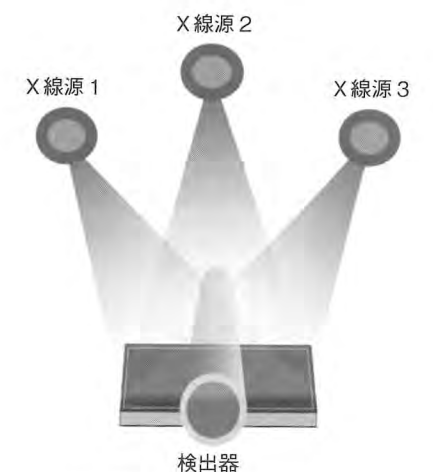
そこで、当社が取り組んだテーマは、1方向からのX線撮影による撮影画像の重なりによる識別の困難さの改善である。

これにはCT装置が有効で、各種のCT装置が開発・販売されているが、一般的に装置は大きく、重く、移動が困難で、高価で、検査場所のその場で撮影、判別に使用できるものではない。我々はこの課題への回答として、可搬型でX線断層検査を実現する装置を実用化した。

4. 可搬型X線断層検査装置

我々は、1方向撮影でもない、CT装置による断層撮影でもない、全く新しいアプローチとして、視差のある3方向からの撮影で、断層画像を再構成できるものとした。

第2図にその撮影原理を示す。その方法は、三つのX線源を決まった位置に配置し、対向する検出器は1枚で想定した対象物に最適な距離に置く。そうして、3方向から撮影した画像に対して、独自のトモシンセシスアルゴリズムにより対象物の断層画像を所望の厚さで再構成する。こうすることで、対象物の深さ方向に何があるかを特定できる。もちろん、これら三つのX線源は当社の冷陰極X線源で、この装置の実現には冷陰極X線源が必須である。



第2図 撮影原理(3方向撮影)

この原理による可搬型X線断層検査装置(DTS)を写真3に示す。この装置は、正面にある三つ



写真3 可搬型X線断層検査装置(DTS)

の穴の部分X線源の照射口になっており、この三つの位置からそれぞれX線が順番に照射され、3枚のX線画像を瞬時に撮影することができる。

特にこの装置は、サイズがW430×H390×D140mmで、重量が26kg（鉛遮蔽入り）で、撮影したい場所へ移動でき、現場で画像を撮影し、断層画像を再構成して、その場で欠陥検出や良否判定の検査ができる画期的な装置となっている。

装置の仕様を第1表に示す。この表のように管電圧は120～150kV、管電流は1～3mA、パルス幅は100～2,000msと可変でき、各種対象物を最適な条件で検査できる仕様となっている。

第1表 可搬型X線断層検査装置(DTS)の仕様

項目	仕様値
管電圧	120～150kV
管電流	1～3mA
パルス幅	100～2000ms
X線管	冷陰極式
実効焦点サイズ	1mm
本体サイズ	W430×H390×D140mm
本体質量	26kg
撮影距離	50cm
電源	バッテリー

さらに、この可搬型X線断層検査装置(DTS)の性能を最大限引き出すために、最適なデジタ

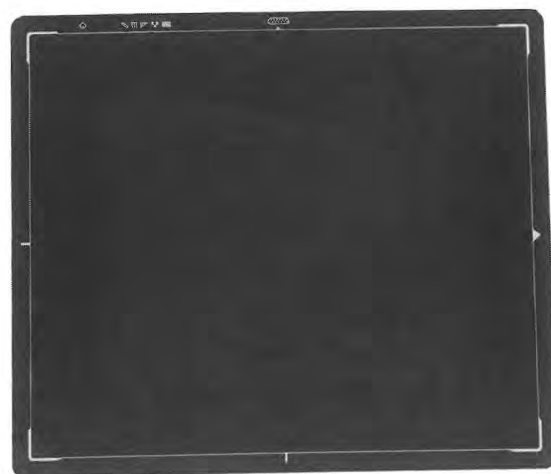


写真4 VAREX社 4336検出器

第2表 VAREX社 4336検出器の仕様

項目	仕様値
シンチレータ	CsI、DRZ+
ピクセルエリア	424mm×339mm
ピクセル数	3032×2436
ピクセルピッチ	139μm
解像度	3.6lp/mm
A/D変換	16bits
読み出し時間	0.35～3.5秒
重量	3kg（バッテリー含む）
全体サイズ	W460×H383×D15mm

ルフラットパネル検出器を組み合わせしており、写真4にその一例として、VAREX社の4336検出器を、第2表にその仕様を示す。

この検出器は43cm×38cmながら、厚さ15mmと薄く、重量3kgと軽量で、バッテリー搭載で、WIFI無線で当社X線装置と組み合わせ、0.1mmの高精細画像を撮影できる。

5. 本DTS装置によるX線検査例

次にこの装置による実際の検査例として、掃除機を対象物に3方向撮影した際の撮影風景を写真5に示す。

この写真は実験室で遮蔽された環境で掃除機を撮影しているが、対象物が動かせない場合には、装置をその場所に持ち込み、5mの管理区

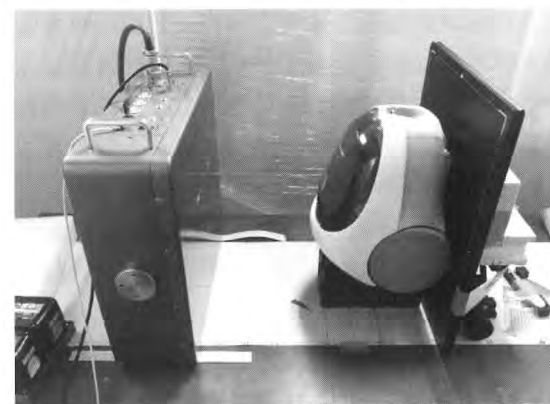


写真5 DTSによる断層X線撮影(掃除機)

域を設定すれば、撮影場所は選ばない。

実際の撮影はこの装置を制御するPC上から、撮影を指示し、X線が正面に向けて、三つの照射口から3回照射され、その3回の撮影画像を検出器で受信し、PCに保存し、得られた3枚の画像から断層画像を再構成する。

そこで、装置と検出器により、管電圧150kV、管電流0.4mA、パルス幅1s、距離50cmの撮影条件で、写真5のように掃除機を撮影した際のPC画面を写真6に示す。

ここで、写真6の太枠内が3方向撮影画像（左：X線源1撮影、中央：X線源2撮影、右：X線源3撮影）となっている。これらはその位



写真6 掃除機の断層撮影画面
 (撮影条件：管電圧150kV、管電流0.4mA、パルス幅1s、距離50cm)

置による角度の違いで視差のある画像となっており、それらにより、独自のトモシンセシスアルゴリズムで断層画像を再構成する。例えば、掃除機の高さ（厚さ）が20cmとすると、掃除機の上から下に向かって、その厚さ0.1mmごとの断層画像2,000枚を生成できる。それにより、0.1mmごとの断層画像から、高さ（厚さ）方向も0.1mmの高精度で検査できる。

6. 本DTS装置による断層画像撮影例

次に、3方向の断層画像撮影例について述べる。

写真7に、本DTS装置で掃除機を3方向撮影し、再構成する際の様子を示す。この写真7に示すように、掃除機の上から下の順に、上層→中層→下層と断層画像を厚さ0.1mmごとに再構成する。そこで、これら0.1mmごとの平面画像は、検出器サイズの43cm×36cmで、平面分解能は0.1mmとなっている。



写真7 掃除機の断層画像再構成

次に、本装置により再構成した実際の断層画像の一部を、第3図に、①上層断層画像（ネジにピントを合わせた）、②中層断層画像（モータ中心にピントを合わせた）、③下層断層画像（中心の足取り付け部にピントを合わせた）として示す。これらのように、3方向からの瞬時撮影で掃除機の上から下に順に断層画像による詳細な透過検査が可能になる。



① 上層断層画像
(ネジにピントを合わせた)



② 中層断層画像
(モータ中心にピントを合わせた)



③ 下層断層画像
(中心の足取り付け部にピントを合わせた)
第3図 DTSによる断層X線画像(掃除機)
(3方向撮影で異なる深さの断層画像を検査)

これらの図を順番に視ると、①上層断層画像はネジにピントが合っており、②中層断層画像はモータ中心にピントが合っており、③下層断層画像は中心の足取り付け部にピントが合っている。

これらにより、対象物の検査したい断層画像を選び、その画像ごとに高精度で詳細な検査を、その場で、リアルタイムに実施できる。

以上より、本装置を用いれば、撮影したい場所に、装置を持ち込み、その場でX線照射のスイッチを押し、3方向撮影して、撮影画像はWIFIでPCに送られ、PC上で断層画像を再構成し、リアルタイムに検査できる。

その際、対象物が20cm厚さなら、断層画像の厚さを0.1mmに設定すれば、2,000枚、あるいは、断層画像の厚さを0.5mmに設定すれば400枚にするなどして、必要な断層画像の枚数をあらかじめ設定することで、より効率的にその場で検査を行うことができる。

7. おわりに

ここでは、現場X線断層検査を実現する可搬型X線検査装置とその装置による実際のX線検査例、撮影例について紹介した。この装置は、現在、いくつかのニーズに対して、実際の対象物を用いた実証実験を行いつつ、現場への導入を進めている。

ここで、本装置で再構成される画像が0.1mm厚さの場合、対象物20cmでは、2,000枚になるため、その中の欠陥を検査する際、1枚1枚を目で視るのは非効率なので、AIによる自動判定の技術も合わせて開発、評価を進めている。

さらに、断層画像による検査だけでなく、取得したデータをボリュームレンダリングし、3次元画像を生成する試みも行っている。それができれば、断層画像による2次元の検査とあわせて、3次元により立体的に正面から視えない裏側の欠陥などを直感的に視ることが可能とな

り、その応用分野が益々広がっていく。

以上、本装置はカーボンナノ構造体電子源を搭載し、予熱が不要で、乾電池あるいはバッテリーで、小型ながら使いたい時にすぐX線をその場で発生できる。また、バッテリーながら150kVのX線を発生し、1方向撮影のみならず、対象物の断層画像をリアルタイムに再構成することを実現した。無線検出器と組み合わせることで、現場ごとにX線の断層撮影が効率的に行え、NDTの各種対象物に対して欠陥検出や良否判定の2次元上での0.1mm単位の検出だけでなく、欠陥部の奥行方向の位置を0.1mm単位で特定する検査も短時間かつリアルタイムで行える。

この他、この装置の応用として、例えば、異物検査や手荷物検査などで、断層画像による奥行方向の異物、危険物の位置をより正確に把握でき、その適用が期待されている。現在、このような各種応用に対して、実用化への道筋を進めているところである。これにより、検査を高度化し、更なる安全・安心の確保に貢献していきたい。

<参考文献>

- (1) 齊藤典生・松岡一夫・王波：“現場用リアルタイムX線検査装置の開発”，検査技術，19(1)，pp.70-73 (2014)
- (2) 齊藤典生・王波・劉小軍・鈴木修一：“小型軽量X線検査装置”，検査技術，21(3)，pp.30-33 (2016)
- (3) 齊藤典生・王波・劉小軍・鈴木修一：“冷陰極小型X線検査装置の開発と応用”，検査技術，21(8)，pp.59-62 (2016)
- (4) 齊藤典生・王波・劉小軍・鈴木修一：“乾電池駆動小型X線検査装置の原理と適用事例”，検査技術，22(1)，pp.62-66 (2017)

- (5) 齊藤典生・王波・劉小軍・鈴木修一：“ドローンによるX線検査”，検査技術，24(4)，pp.72-76 (2019)
- (6) 齊藤典生・王波・劉小軍・鈴木修一：“小型X線検査装置”，配管技術，61(14)，pp.74-77 (2019)

【筆者紹介】

齊藤 典生

つくばテクノロジー(株) 取締役
兼営業部長

<主なる業務歴および資格>

1985年山形大学大学院修士課程
修了、国立公害研究所でミュー散乱
レーザーレーダーの研究、その後、
日本電気で高出力・高安定YAG
レーザーの開発に従事。2012年よ
り現職。第6回ものづくり日本大賞優秀賞受賞。



王 波

つくばテクノロジー(株) 代表取締役社長

<主なる業務歴および資格>

第6回ものづくり日本大賞優秀賞受賞。

劉 小軍

つくばテクノロジー(株) 取締役CFO 兼総務部長

<主なる業務歴および資格>

第6回ものづくり日本大賞優秀賞受賞。

鈴木 修一

つくばテクノロジー(株) 常務取締役 兼開発・製造部
部長

<主なる業務歴および資格>

第6回ものづくり日本大賞優秀賞受賞。

<会社の主な事業内容>

レーザー超音波可視化検査装置の開発、製造、販売
小型X線検査装置の開発、製造、販売。個人線量計の
開発、製造、販売。AE、光ファイバー検査装置の開発、
製造、販売 その他非破壊検査装置の開発、製造、販売。

● 優良技術図書案内

圧力設備の破損モードと応力

日揮(株) 佐藤拓哉 著 A5判200頁 3,000円＋税

お問合せは日本工業出版(株) フリーコール 0120-974-250 <https://www.nikko-pb.co.jp/>