

2017

試験・検査・評価・診断・寿命予測の専門誌

1

検査技術

Vol.22 No.1

Inspection Engineering

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

特集：自動車の品質と検査技術
製品ガイド：赤外線検査機器

FUJIFILM

史上最高画質FCR、誕生。



FUJIFILM COMPUTED RADIOGRAPHY

DYNAMIX™ HR²

NEW

特集

放射線透過法による予防保全と品質管理

乾電池駆動小型X線検査装置の原理と適用事例

Principle and Application of the battery-operated Compact X-Ray Inspection System

冷陰極X線管を搭載した小型省電力X線検査装置について

つくばテクノロジー株式会社 齊藤 典生・王 波・劉 小軍・鈴木 修一

1. はじめに

X線はレントゲンが1896年1月23日に手の透視画像を撮影して、未知数を表す「X」線と命名したことに始まる。その応用は各分野に及び、肉眼では見えない物質の内部を見る方法として、各種検査や医療になくてはならないものとなっている。

そのX線を発生する方法として、X線管により制動X線（白色X線）を発生する装置が一般的となっているが、通常のX線管は、フィラメントに予熱をかけ、熱電子によりX線を発生させるので、装置が大きく、重く、電力消費も大きいものとなっている。

我々は産業技術総合研究所のカーボンナノ構造体冷陰極X線技術を実用化して、産業インフラ、社会インフラ用のX線非破壊検査装置を自社で開発、製品化している⁽¹⁾。

なかでも単3乾電池1本で駆動可能な管電圧60kVの手のひらサイズ冷陰極小型X線検査装置、また150kVの小型X線検査装置を製品化し、各種X線検査への応用を進めている⁽²⁾⁽³⁾。

本稿では、乾電池駆動小型X線検査装置の原理とその適用事例について紹介する。

2. 乾電池駆動小型X線検査装置の原理

一般的に大きく、重く、電力消費も大きな熱陰極X線管に対して、我々の装置は小型軽量で省電力の冷陰極X線管を搭載している。この冷陰極X線管の電子源は針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源となっており、その針葉樹型カーボンナノ構造体（左）と電子源（右）を写真1に示す。

また、写真2にこの電子源を搭載した冷陰極

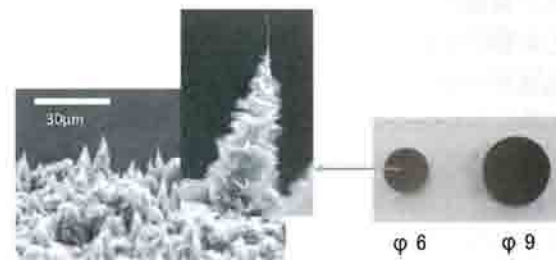


写真1 針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源

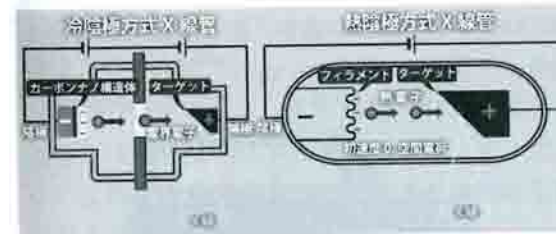


写真2 針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源を搭載した小型X線管

小型X線管を示す。

このX線管は長さ150mm程度、太さ40mm程度になっていて、このカーボンナノ構造体冷陰極電子源およびそれを搭載した小型冷陰極X線管を自社で開発、製品化している。そのX線管を組み込むことにより、小型軽量で省電力かつ長寿命のX線検査装置を実現している。

乾電池駆動小型X線検査装置の原理として、その独自技術である冷陰極X線管は第1図に示すように、陰極の針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源からの電界放出により電子が放出されるため、熱陰極X線管のようにフィラメントがなく、予熱やエージングなしで、即座にX線を発生できる。この発生したX線の線質は、ターゲットに依存し、X線そのものは既存のX線管と同質のものである。



第1図 冷陰極X線管と熱陰極X線管の比較

3. 乾電池駆動小型X線検査装置

我々の装置のX線はパルス的に発生するもので、パルス発生時にしか電力を消費しないため、単3乾電池1本でも駆動可能なほど省電力である。これを装置として実現した手のひらサイズの単3乾電池駆動小型X線検査装置を写真3に、その仕様を第1表に示す。

本装置は、小型・省電力・長寿命の冷陰極X線管を搭載し、単3乾電池駆動で独自に開発した高効率小型昇圧回路により、本体サイズW170×H178×D68mm、本体重量1.8kg、単3乾電池1本で管電圧60kV、パルス幅50msのX線を約100パルス出力可能である。

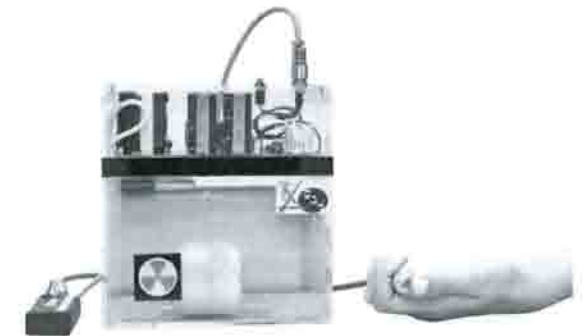


写真3 手のひらサイズの単3乾電池駆動小型X線検査装置

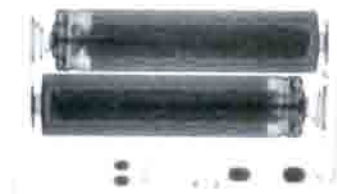
第1表 単3乾電池駆動小型X線検査装置の仕様

項目	仕様値	備考
管電圧	60kV	
管電流	2mA	
パルス幅	50ms	
X線管	冷陰極式	針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源
X線管寿命	500万~1000万ショット	
実効焦点サイズ	1mm	
本体サイズ	W170×H178×D68mm	
本体質量	1.8kg	
遮蔽ボックスサイズ	W189×H198×D86mm	
遮蔽ボックス質量	3.0kg	
電源	単3乾電池1本	約100ショット照射可能

この単3乾電池駆動小型X線検査装置と検出器（Teledyne Rad-Icon Imaging社 Shad-o-Box 1548 HS）により、腕時計とエアコンのリモコン電池部を撮影したX線撮影画像例を第2図に



(a) 腕時計



(b) エアコンのリモコン電池部

第2図 乾電池駆動小型X線検査装置と検出器（Teledyne Rad-Icon Imaging社、Shad-o-Box 1548 HS）によるX線撮影画像例

示す。

これらの画像を見ると腕時計の中の細かな部品、またリモコン電池部の電極部などの状態がはっきりとわかる。

次に、60kVの単3乾電池駆動小型X線検査装置のX線エネルギーをアップさせた150kV出力の新型バッテリー駆動小型X線検査装置を写真4に、その仕様を第2表に示す。



写真4 新型バッテリー駆動小型X線検査装置

第2表 新型バッテリー駆動小型X線検査装置の仕様

項目	仕様値	備考
管電圧	130~150kV	
管電流	最大2mA	
パルス幅	30~1000ms	
X線管	冷陰極式	針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源
X線管寿命	500万~1000万ショット	
実効焦点サイズ	1mm	
本体サイズ	W300×H230×D100mm	
本体質量	約6kg	
コントローラサイズ	W183×H135×D123mm	バッテリー除く
コントローラ距離	最大20m	
電源	バッテリー	工具用

この装置はX線管自体のX線出力を150kVに上げるため、X線管の設計から、ロウ付け、真空度、エージングなどを最適化して、所望のX線管を実現している。

また、装置として、昇圧回路、パルス制御回路、電源、バッテリーなども所望の管電圧、管電流、パルス幅に最適化して仕様を満たす装置としている。

この装置は管電圧130~150kVのX線を出力でき、各種配管、一部コンクリートや所持品検査などの広い用途で、この装置を持ち出して、現場でのX線検査が可能になるものである。

実際に使用する場合は、X線が横方向に出力され、これと検出器の間に撮影したい検査体を置けばいい。さらに既存の一般的な熱陰極X線装置が検査体と60cm~1m程度の距離を離して撮影するのが普通なのに対して、我々の装置で撮影する場合は、検査体の大きさにもよるがX線源と検出器の間の距離を10cm~程度に近接して撮影する機会が多い。これだと、最低限のX線量で撮影することができ、X線の漏えいも最低限に抑えられることになる。ここで、この装置の使用には労基署への設置届とX線作業主任者が必要となる。

我々は現在この装置の実用化を進めるため、検出器として、各社のCR検出器、また各社の静止画用、動画用のDR装置を使って、撮影画像の評価を行っている。

写真5にDR検出器として、Rayence社の1417WCA無線検出器の写真を、第3表にその仕様を示す。



写真5 無線X線検出器 (Rayence社, 1417WCA)

第3表 無線X線検出器の仕様 (Rayence1417WCA)

項目	仕様値
フラットパネル検出器	アモルファスシリコン with TFT
シンチレータ	GOS, CsI
エネルギー範囲	40~150kV
検出エリア	357.6mm×422.7mm
ピクセル	2756 × 3568
ピクセルピッチ	127μm
分解能	最大3.9lp/mm
A/D変換	14or16bits
データ収集時間	約3秒
重量	約3kg
全体サイズ	384 × 460 × 15.4mm

我々の新型バッテリー駆動小型X線検査装置とこの無線X線検出器を使って検査体のX線撮影を行う場合、X線源と無線検出器、あとノートPCさえあれば、どこにでも持って行ってX線撮影を簡易に行うことができる。

この無線検出器の無線接続は通常のWiFi接続でつながり、特別な接続機器は必要ない。特に、便利なのは、我々のX線源がパルス出力なので、多くの検出器の場合、X線源と検出器をパルス同期させる必要があったが、この無線検出器は例えば50kVなど、ある設定された任意のX線エネルギーを超えると自動的にトリガがかかり、検出器が画像取得をスタートしてくれ、画像取得が終わると、ノートPCに画像を1秒で無線伝送し、2秒で画像表示してくれる。従って、我々のX線源には非常に使い勝手のいい、相性のいい検出器と考える。

この無線検出器 (Rayence社, 1417WCA) は、検出エリアが357.6mm×422.7mm、ピクセルピッチが127μmであり、X線撮影のための検出器としては十分なエリアとピクセルピッチと言える。これなら少々大きめのサイズの検査体も撮影することができ、非常に有用である。また、撮影された画像もシンチレータにCsIを採用しているので、高感度の撮影ができ、少ない線量でも明るい画像を撮影できる。

4. 乾電池駆動小型X線検査装置の適用事例

次に我々の小型X線検査装置とこの無線検出器を使った適用事例を紹介する。第3図に人工



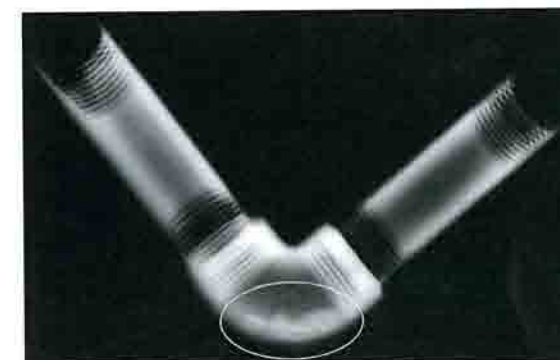
第3図 配管の撮影画像例

欠陥を付けた配管の撮影画像例を示す。

この配管は材質炭素鋼、長さ400mm、肉厚3.4mmで、人工欠陥としてφ1mm深さ0.5mm穴と貫通φ0.5mm穴があけてある。

この配管に管電圧93.8kV、管電流1.0mA、パルス幅2秒、距離35cmの条件でX線撮影を試みた。この場合、第3図のようにφ1mm深さ0.5mm穴と貫通φ0.5mm穴でX線の透過量が異なることにより、撮影画像に濃淡の差が出ている。この部分の輝度値を比較すればより定量的な評価、分析も可能になる。

次に、本装置の適用事例として、配管継手部内の小石をX線撮影した画像例を第4図に示す。



材質 炭素鋼、外径 34mm、肉厚 3.4mm
撮影条件:管電圧130kV、管電流1.0mA、パルス幅1秒、距離23cm
第4図 配管継手部内の小石のX線撮影画像例

この時の配管は、材質炭素鋼、外径34mm、肉厚3.4mmで、その配管継手部に小石を何個か入れて、配管内の小石が見えるかどうかを検証した。

この状態で、管電圧130kV、管電流1.0mA、パルス幅1秒、距離23cmの条件でX線撮影してみた。第4図の画像はRAWデータを画像処理したもので、これを見ると配管内の小石が判別でき、つなぎ目のねじ山などもはっきり撮影されている。これにより、例えば、火力発電所の配管内炭素物の詰まり状態をこの装置一式を現場に持ち込んでX線撮影することで、配管内部の炭素物を現場でリアルタイム検査できる可能性が確認できた。

5. おわりに

ここでは乾電池駆動小型X線検査装置の原理と適用事例について紹介した。この装置は、X線管にカーボンナノ構造体冷陰極電子源を採用しているため、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線を長寿命に発生できる。また、バッテリーでも150kVのX線を発生でき、小型軽量なので、装置を1人で持ち運び、ここで紹介した無線検出器と組み合わせれば、現場でのX線撮影が効率的に行え、欠陥のありなし判定、欠陥部の特定などの検査が容易に行えるようになる。

また、この無線検出器はX線源とのトリガ接続もなく、自動でトリガがかかり、3秒で画像

が出てくるので、面倒な接続や手間も省けて、便利にリアルタイムX線検査ができる。この他、我々の装置なら、産業インフラ、社会インフラのX線検査以外にも、生産現場で移動しながらの製品の良品検査やイベントでの所持品検査なども機動性を発揮して行え、X線検査の適用範囲が広がる。これにより、コスト削減から安全、安心の確保にも貢献できると考える。

<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)

【筆者紹介】

齊藤 典生

つくばテクノロジー(株)
研究開発部 X線事業課
課長

<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-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
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) 執行役員 製造部 部長
兼研究開発部 副部長

<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

● プラスチックのいろは

佐藤 功 著 A5判 266頁 定価1,800円+税

お問合せは日本工業出版(株)販売課まで 販売直通 03(3944)8001 FAX 03(3944)0389