単3乾電池駆動 小型X線装置の実用化

つくばテクノロジー株式会社/ 齊藤典生、王 波、王暁東、安達健太郎、于大選

約120年前にX線が発見されてから、医療分野はもちろん工業製品、材料、食品、電子部品、建造物などほとんどのものの欠陥検査、異物検査、構造検査、安全検査などに応用され、X線はなくてはならないものになっている。

またその対象物は鉄、アルミ、ステンレスなどの金属から樹脂、セラミックなど各種素材に対して利用されている。そのため、X線の出力も20~450keV程度と幅広いものとなり、それを発生するX線装置も各方面から開発・実用化が進められている。

われわれは、産業技術総合研究所の技術移転ベンチャーとして、単3乾電池で駆動できるX線装置を開発し、各種の応用展開を図っている。本稿では、その単3乾電池駆動小型X線装置の実用化した製品について紹介する。

1 X線装置の課題

既存のX線装置は、そのX線管の原理により、 予熱が必要で、X線管に多くの電圧を連続に印加 するため、電源が大きくなり、重量も重くなるも のが多い。また、X線装置を使う前に、エージン グが必要で使いたい時にすぐ使うことができない。

したがって、現場などにX線装置を持ち込んで 検査を行う場合、持ち込むのに時間や手間がか かったり、電源の確保が大変だったり、エージン グが終わるまで待たなければという問題がある。

われわれは、このような問題を解決する手段として、単3乾電池で駆動できる小型X線装置を開発し、実用化を図った。

2 単3乾電池駆動小型X線装置

今回開発した小型X線装置に採用されている針 葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源¹⁾の拡大



写真1 針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源

写真(写真1)を示す。

この写真のように針葉樹型カーボンナノ構造体の先端はカーボンナノチューブと同等の曲率になっているが、基板側に向かうほど太くなり、電界によって生じる力に対する耐性が強い構造となっている。したがって、ヒーターやフィラメントの電

子源より、長寿命という特長をもっている。

この針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源を採用したX線管を**写真2**に示す。また、このX線管内部の構造を**図1**に示す。

この小型 X 線管は**写真 1** の針葉樹型カーボンナノ構造体の先端より、**図 1** に示すように電界電子放出現象を利用して電子が放出されるため、ヒーターやフィラメントがなく、予熱やエージングが不要で、単 3 乾電池で、必要な時にすぐ 60 keV のエネルギーの X 線を出力できる。しかも、 X 線の

発生時にしか電力を消費しないため、単3乾電池 1本で駆動できるほどの省電力のX線管となっている。これは現場に持ち込んですぐX線を出力し、 長寿命でX線検査したいというニーズに最適な性 能となっている。

実際に実用化開発した手のひらサイズの単3乾電池駆動小型X線装置を**写真3、4**に示す。

この小型X線装置は単3乾電池1.2Vの電圧を何段かに昇圧し、5万倍の管電圧60kVまでに昇圧できる小型昇圧回路を新規開発した。これにより、



写真2 針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源を 採用した小型X線管

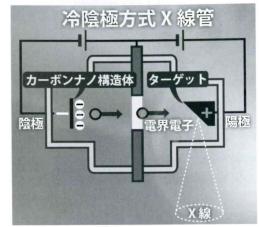


図1 冷陰極方式 X 線管の内部構造

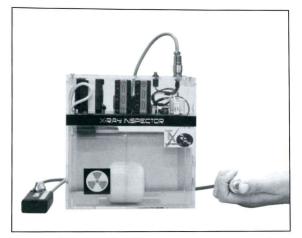


写真3 手のひらサイズの単3乾電池駆動 小型 X 線装置



写真4 単3乾電池駆動小型X線装置の側面と全体

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	1,000万ショット		
焦点 サイズ	1mm		
本体サイズ	W170×H178×D68mm		
本体重量	1.85kg		
遮蔽ボック スサイズ	W189×H198×D86mm		
本体重量	3.0kg	鉛遮蔽入り	
電源	単3乾電池1本	約100回照射可能	
動作温度	0°C~40°C		

表1 単3乾電池駆動小型 X 線装置の仕様

表2 フラットパネル検出器の仕様

項目	仕様値
フラットパネル検出器	CMOSイメージセンサ
シンチレータ	Gd2O2S
検出器エリア	10.2cm × 15.3cm
ピクセル	1,032 × 1,548
分解能	99μm
フレームレート	20fps
重量	約3.5kg

厚さ70mm以下、本体重量1.85kgで、単3乾電池 1本により、60keVのX線出力を実現できた。こ の実用化開発した小型X線装置の仕様を**表1**に示 す。

本 X 線装置は、小型ながら単 3 乾電池 1 本で約 100 回のパルス照射ができるという性能をもつ。また、実際に検査装置として使用する場合は、単 3 乾電池ではなく、小型のリチウムイオン電池を使い、照射できるパルス数を 5,000 回程度として、製品化を図っている。

本X線装置の焦点サイズは1mmとなっており、 焦点サイズが3mm程度の熱フィラメント型X線管 のX線装置より小さいため、検査体との距離を短 くして撮像しても高精細な画像が得られる。

3 検査例

3.1 本装置の検査例

実際に開発した本X線装置とフラットパネル検 出器を組み合わせて、検査体としてカードリーダ を使い、X線撮像を試みた。

その際、使用したフラットパネル検出器の仕様を**表2**に示す。

その際の検査の様子を写真5に示す。

ここで使用したフラットパネル検出器は、三菱 化学製のシンチレータを CMOS イメージセンサに ダイレクトコンタクトした検出器で、10.2cm× 15.3cmの検出エリアをもち、ダイナミックレンジ 3,000:1の高感度な X線検出を実現している。

写真5のように、X線照射室の中に本X線装置 とフラットパネル検出器を対峙させて置き、その 間に検査体のカードリーダを置いて、X線照射室

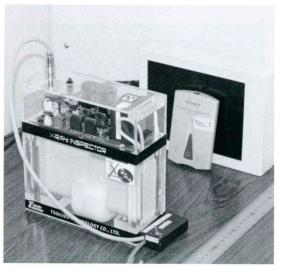


写真5 本X線装置による検査の様子

の外側から本装置のリモートスイッチにより 60keV、50ms、1パルスのX線を照射して、検査体の透過画像を撮像した。

本X線装置は、X線の遮蔽のため、X線装置本体を鉛で遮蔽した遮蔽ボックスに入れて撮影する 実用的なモデルで、安全かつ小型のX線装置として、 ハンドリングのいい、移動しやすいものとした。

3.2 検査画像例

本 X 線装置とフラットパネル検出器で撮像した カードリーダの X 線透過画像を**写真6**に示す。

写真6のように本X線装置によるX線透過画像 は良好な画像が得られた。この写真6を見ると、 検査体のカードリーダの内部基板やコネクタの様 子が高精細に撮像されている。

この撮影の際のフラットパネル検出器の仕様 (表 2) として、検出器にはCMOSイメージセンサを使い、分解能 99 μ m、ピクセルサイズ 1,032 \times 1,548 μ m で、検査体を高精細に撮像するには十分な性能である。

現在のX線検査を考えると、X線装置も比較的 大型で重量が重く、前述したようにAC電源やエー ジングが必要になり、検査開始までの手間がか かっている。また、導入が進んでいるイメージングプレートを使用した検査撮像の場合は、撮像したイメージングプレートの透過画像を読み出しスキャナで読み出す行程が必要となり、1枚1枚の検査結果を見るまで時間を要している。

これらに対して、本X線装置は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、単3乾電池で、使いたい時にすぐ照射できて、小型ながら60keVというX線を長寿命で発生できる。

さらに、フラットパネル検出器と組み合わせれば、検査体のX線透過画像を数秒で、高精細に画像表示でき、画面上で瞬時に検査体を検査できる。

4 新型電線用小型X線検査装置の開発

本小型 X 線装置のさらなる展開として、本小型 X 線装置を組み込んだ新型電線用小型 X 線検査装置を開発した(**写真7**)。

新型電線用X線検査装置は、X線検査装置部と 操作&画像表示PCからなり、前者のX線検査装 置部は本小型X線装置とフラットパネル検出器か ら構成されている。実際の検査の際は、**写真7**の

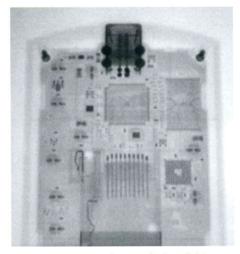


写真6 本X線装置の撮像画像例



写真7 新型電線用X線検査装置

ように小型X線装置とフラットパネル検出器との間に検査体の電線を置いて蓋を閉め、電線を挟んだ状態で固定して検査するものである。

この際、X線検査装置部はX線の漏えいを 0.6 μ Sv/h以下に抑えるよう鉛遮蔽を施しており、X線 作業主任者なしで、事務所などでも検査撮像が可 能になっている。

また、旧型の電線用小型 X 線検査装置²⁾になかった機能として、本 X 線検査装置部には、検査装置単体で管電圧、管電流、パルス幅、パルス数などの撮像条件の調整ができるよう制御パネルが付いている。

もちろん、X線検査装置部のX線出力の調整は操作&画像表示PCにつないでPCで行うこともできる。具体的には、PC画面上の操作でX線の照射をスタートし、電線を透過した透過画像をフラットパネル検出器で検出し、PCにはLANケーブルでつなげ、最後PC画面上で瞬時に透過画像を表示する。

ソフトは、撮像画像に各種画像処理を行い、また拡大縮小、ヒストグラム、明るさ、コントラスト等の調整が可能でより使いやすくなっている。

この装置の検出器はフラットパネル検出器を採用しており、瞬時に撮像結果が画像化されるため、 撮像条件を調整して、容易に何度も電線を撮り直 して検査できる。これにより、最適な撮像条件で 検査体の電線を撮像し、欠陥部位の特定、腐食度 合いの定量化などに効果を発揮する。

現在、検出面サイズは約 10×15 cmで、解像度は 99μ mであり、これは電線検査に関しては実用範囲といえる。さらに、送電線欠陥検出用小型自走式X線検査装置の開発も進んでいる。

5 おわりに

実用化した単3乾電池駆動小型 X 線装置について解説した。この装置はこれまでの X 線装置の概念を打ち破り、単3乾電池 1 本で60ke V の X 線を発生でき、今まで X 線検査ができなかった狭い場所や高い場所、電源がない場所などの検査が難しかった場合の検査を可能にする。つまり、この装置を使えば、機動性を発揮した X 線検査が可能になり、 X 線検査の適用範囲が広がる。

特に僻地や災害地などの緊急を要する場所で、環境が整わない状態でも、現場で検査を行いたい際に効果を発揮する。これにより、現場検査を迅速に実施し、インフラの保全や人々の安心、安全の確保に貢献できると考える。

謝辞:

本開発にあたり、産業技術総合研究所 鈴木良一首席研究員 に多大なるご協力をいただき、ここに深く感謝申し上げます。

■ 参考文献 -

- 鈴木良一: "乾電池駆動可搬型高エネルギーX線装置の開発". Synthesiology 2(3): pp.237-243, 2009
- 2) 齊藤典生、王暁東、松岡一夫、王波: "単3 乾電池 駆動 X 線装置による電線用小型 X 線検査装置". 映像情報インダストリアル 46(2): pp.41-46, 2014

☆つくばテクノロジー株式会社 TEL.029-852-7777 FAX.029-886-5528 http://www.tsukubatech.co.jp/

eizojoho industrial February 2015 | 17