

120kV-X線源の開発

越智隼人 Hayato Ochi
林 拓実 Takumi Hayashi
長田俊宏 Toshihiro Osada

キーワード 非破壊検査, セキュリティ, 医療, 可搬式

概要



120kV-X線源デモ機

X線装置を小形可搬化することで、セキュリティ・インフラ老朽化調査など、据え置き機では困難であった使い方が広がっている。

当社が開発した冷陰極X線管は、従来の熱陰極X線管と比較して、X線装置の小形化・可搬化に適している。市場に流通しているX線装置の大半は熱陰極X線管を搭載したものであるため、当社の冷陰極X線管の優位性を実機で直接試したいとの要望があった。

そこで、冷陰極X線管を搭載し容易に運搬・使用できる120kV-X線源のデモ機を開発した。またその応用例として、インフラ検査を想定した屋内外でのX線撮影を実施し、コンクリート壁や石こうボード壁などの透過画像取得を実現した。

1 まえがき

近年、セキュリティ・医療・インフラ老朽化調査などの分野で、小形可搬式X線装置の需要が高まっている。当社が開発した冷陰極X線管は、従来の熱陰極X線管と比較して小形かつ量産に適した構造を有し、可搬式X線装置への適用が期待されている⁽¹⁾。市場に流通しているX線装置の大半は熱陰極X線管を搭載したものであるため、当社の冷陰極X線管の優位性を実機で直接試したいとの要望があった。

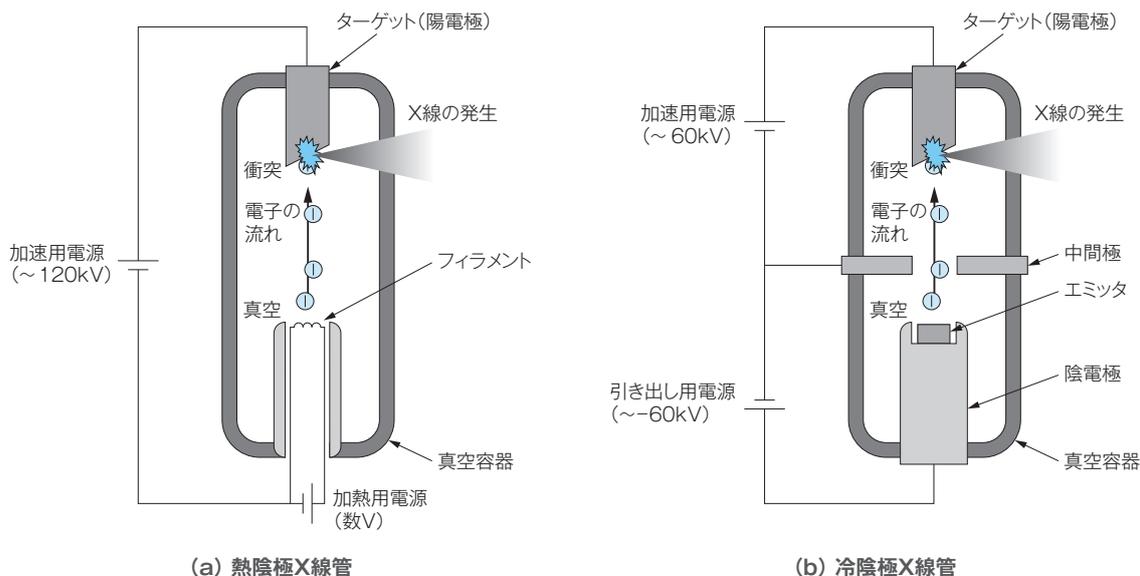
そこで、冷陰極X線管を搭載し、容易に運搬・使用できる120kV-X線源のデモ機を開発した。本稿では、120kV-X線源の動作原理とX線撮影例を紹介する。

2 熱陰極X線管と冷陰極X線管の電源構成比較

2.1 X線の発生原理

第1図(a)に熱陰極X線管を、(b)に冷陰極X線管の動作原理の概要をそれぞれ示す。X線管は熱陰極・冷陰極を問わず、真空容器中で電子を高電圧で加速させ、金属に高速で衝突させることでX線を発生させる。

熱陰極と冷陰極の違いは、電子の発生原理である。熱陰極はフィラメント^(注1)加熱による熱電子放出、冷陰極はエミッタ^(注2)への電圧印加による電界電子放出である。冷陰極は熱陰極に必要なフィラメントを熱する時間が不要のため、即時照射やパルス照射に向いているという特長がある。



第 1 図 X線管の動作原理概要

X線管は、真空容器に陰電極と陽電極を備えた構造である。陰電極にある電子発生源から生じた電子が陰電極－陽電極間に印加した高電圧によって加速され、陽電極にあるターゲットに高速で衝突することでX線が発生する。(a)熱陰極X線管は電子の発生原理が熱起因であり、(b)冷陰極X線管は電界起因である。

2.2 電源構成比較

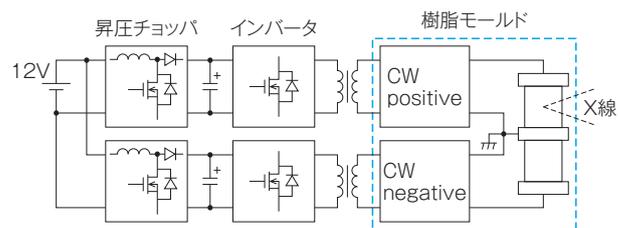
X線源は、X線管と電源から構成される。管電圧を120kVとした場合、熱陰極X線管では電子加速用の高圧電源120kVとフィラメント加熱用電源 数Vという構成となる。

一方、当社が開発した120kV/1mA冷陰極X線管では、中間電極を含む三極構造であるため、電子引き出し用の高圧電源 - 60kVと電子加速用の高圧電源60kV、二つの高圧電源という構成となる。三極の冷陰極X線管の場合、電子引き出し用高圧電源の電圧と電子加速用高圧電源の電圧の和が管電圧となる。

3 X線源

3.1 高圧電源の動作原理

第 2 図に今回開発した120kV-X線源の主要回路構成を示す。120kV-X線源は、入力電源電圧12Vを昇圧チョップで数十Vまで昇圧し、電解コンデンサに充電する。電解コンデンサ後段のインバータで方形高周波に変換し、トランスに入力することで数kVまで高電圧化する。X線管を発生させるには数十kV以上が必要であるため、更にコッククロフ



第 2 図 120kV-X線源の主要回路構成

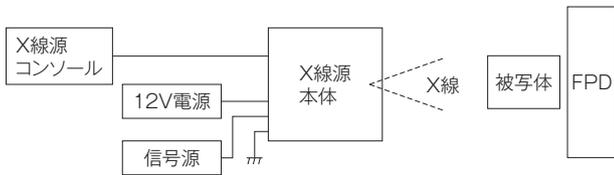
バッテリー駆動を想定した12V電源を入力とし、昇圧チョップ・電解コンデンサ・インバータ・トランスで数kVの方形高周波を生成する。これをCW回路によって数十kVの直流に変換し、X線管に入力する。CW回路は、同じ入力でもダイオードの方向で任意の極性に出力できる。

ト・ウォルトン (CW) 回路と呼ばれる回路で昇圧する。CW回路はコンデンサとダイオードをはしご状に構成した回路で、単純な構成で数十～百kV程度まで昇圧できる。またCW回路は、同じ入力でもダイオードの方向で任意の極性に出力できる。CW回路で生成した正負の高電圧をX線管に印加することでX線を照射する。

今回開発した120kV-X線源では、将来的なバッテリー駆動を想定し、入力電源電圧を12Vとしている。またCW回路及びX線管は周囲を絶縁のため樹脂モールドしている。

3.2 120kV-X線源デモ機

第3図に120kV-X線源デモ機使用時の基本的な試験構成を示す。120kV-X線源デモ機は、X線を照射するX線源本体とX線照射時の各種設定を操作するコンソールで構成される。X線照射方向に被写体を配置し、被写体後方にフラットパネルディテクター（FPD）などの受像機を配置する。X線源本体とコンソールを付属のハーネスで接続し、別途用意した12V電源と、X線照射のトリガとなる信号源をそれぞれ本体に接続する。12V電源を投入するとX線が照射でき、コンソールで各種設定を行う。信号源のトリガ入力によってX線を照射すると、FPDによって透過画像を取得できる。冷陰極X線



第3図 120kV-X線源使用時の基本的な試験構成

X線源のX線照射口とFPDの間に被写体を配置する。X線源の本体に12V電源と信号源を接続する。X線源のコンソールで照射条件を設定し、信号源からのトリガ信号によってX線が照射される。X線が照射されるとFPDによって透過画像を取得できる。

第1表 120kV-X線源デモ機仕様

120kV-X線源デモ機の主な仕様を示す。

区分	項目	仕様及び定格値
入力条件	入力電圧	DC12V (11~17V)
	入力電流	7A以下
	突入電流	10A以下
出力条件	繰り返し周波数	最大0.1Hz
	出力電圧	±40~±60kV
	出力パルス幅	0.1~1s
X線出力	管電圧	80~120kV
	管電流	1mA以下
	照射角	40deg
冷却	筐体構造	密閉・自然空冷
	筐体外排熱	筐体表面温度：50℃以下
形状	外形寸法 (突起物を除く)	本体：W220×H80×D250mm コンソール：W180×H105×D46mm
	質量	本体：5.4kg コンソール：0.5kg

管を搭載しているため、熱陰極X線管を搭載したX線装置に必要なエージングと呼ばれる暖気動作が不要となり、即時に使用できる。

第1表に120kV-X線源デモ機の主な仕様を示す。バッテリー駆動を想定しているため入力電源12Vで動作し、平均消費電流は0.4mA程度である。また、本体寸法W220×H80×D250mm、本体質量5.4kgと小形軽量のため容易に運搬できる。CW回路は独自の立体的な素子配置によって、小形化と実装しやすさを実現した構造としている。その結果、CW回路を含む樹脂モールド部の体積は、X線源本体体積の約28%（突起物除く）に収めることができた。

4 X線撮影例

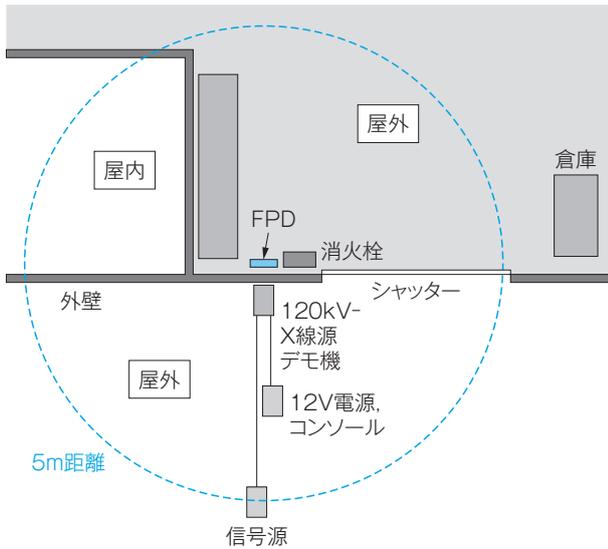
120kV-X線源デモ機の撮影例として、インフラ検査を想定した屋内外の壁内部のX線撮影を実施した。なお撮影は電離放射線障害防止規則（電離規則）に従い、X線源の周囲半径5mを立ち入り禁止とした。

4.1 屋外での壁内部撮影

第4図に屋外での外壁撮影概要を示す。被写体となるコンクリートブロック製の外壁は厚さ180mm（空洞含む）で、X線源と外壁の距離は100mm程度である。第5図に外壁の撮影結果を示す。撮影条件は、管電圧115.3kV、管電流1mA、照射時間0.2sである。コンクリート製の外壁の中に直線的な鉄骨と曲がった配線用パイプが確認でき、工事前の構造調査に適用できる。

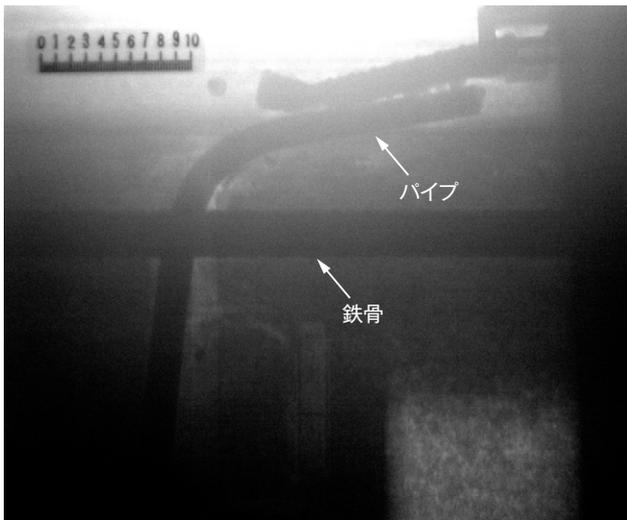
4.2 屋内での壁内部撮影

第6図に屋内での壁内部撮影概要を示す。被写体となる石こうボード製の内壁は石こうボード厚が約19mmで、X線源とエアコン操作パネルの距離は1000mm程度である。第7図に壁内部の撮影結果を示す。撮影条件は、管電圧100.5kV、管電流0.74mA、照射時間0.2sである。壁の中のアルミ押し出し材や壁に取り付けられたエアコン操作パネルの



第4図 屋外での外壁撮影概要

コンクリートブロック製の外壁は、厚さ約180mm（空洞含む）である。屋内側にFPDを配置し、屋外側からX線を照射した。X線源と外壁の距離は100mm程度である。



距離約100mm

*距離：X線源と外壁間距離

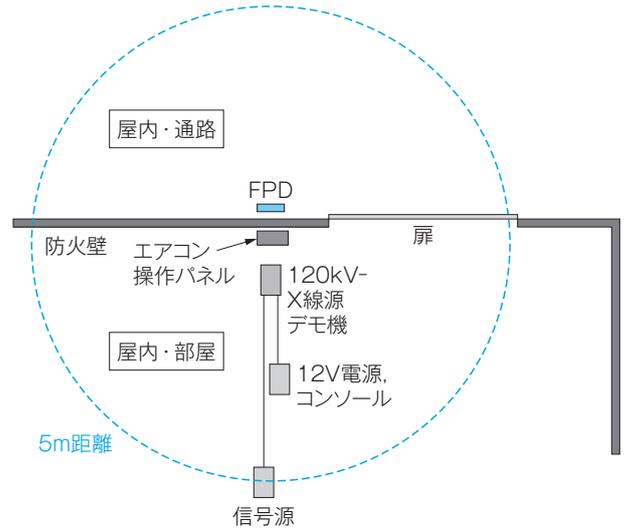
第5図 屋外での外壁撮影結果

撮影条件は、管電圧115.3kV、管電流1mA、照射時間0.2sとした。

回路パターンまで確認できた。また壁の中にあるエアコン操作パネルの配線も撮影できているため、断線箇所発見への応用が期待できる。

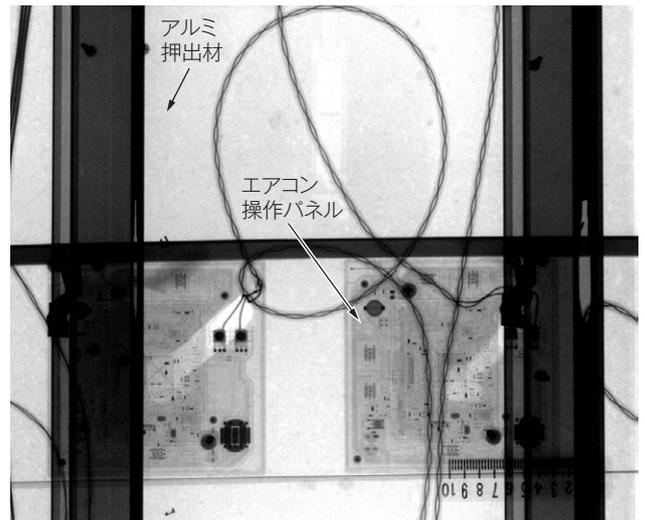
5 むすび

当社の120kV-X線源デモ機の動作原理とX線撮



第6図 屋内での壁内部撮影概要

石こうボード製の壁は、厚さ約19mmである。通路側にFPDを配置し、部屋側からX線を照射した。X線源とエアコン操作パネルの距離は1000mm程度である。



距離約1000mm

*距離：X線源とエアコン操作パネル間距離

第7図 屋内での壁内部撮影結果

撮影条件は、管電圧100.5kV、管電流0.74mA、照射時間0.2sとした。

影例を紹介した。今回はデモ機であるため汎用的な仕様であるが、今後は用途に合わせ、更なる小形化やバッテリー対応、コンソールの無線化など、より可搬に適した仕様を展開していく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《注記》

注1. フィラメント：電球や電子管の中で、電流を流して光や熱電子放出する細い金属線

注2. エミッタ：強い電界が引き起こす真空-金属間のトンネル効果を動作原理とする電子放出源

《参考文献》

(1) 高橋・深井・錦織・高橋：「冷陰極可動式エックス線管の開発」, 明電時報360号, No.3/2018, pp.36-38

《執筆者紹介》



越智 隼人
Hayato Ochi

電子機器工場
冷陰極可動式X線管・X線源の開発に従事



林 拓実
Takumi Hayashi

電子機器工場
冷陰極可動式X線管・X線源の開発に従事



長田 俊宏
Toshihiro Osada

電子機器工場
パルス電源・X線源の開発・設計に従事
