

非破壊検査用高エネルギー X 線発生装置

高橋 光幸^{*1} 鎌上 則夫^{*2} 菅井 孝郎^{*3} 三宅 朝成^{*4}
 Takahashi Mitsuyuki Kamagami Norio Sugai Takao Miyake Tomonari

1. はじめに

非破壊検査用の X 線源として、直線加速器（リニアック）を用いた高エネルギー X 線発生装置の販売を 2013 年 10 月より開始した。IIC の高エネルギー X 線発生装置はこれまで税関向け大型 X 線検査装置用として X 線エネルギー 9MeV タイプ等を納入してきたが、日本国内向けに X 線エネルギー 1MeV 未満の放射線取扱主任者が不要な 0.95MeV タイプの装置を開発し、0.95MeV から 9MeV までのエネルギー範囲の製品をラインナップとして揃えた。

IIC の非破壊検査用の高エネルギー X 線発生装置は、税関向け X 線検査装置等で協業契約を締結している NUCTECH 社（中国）の子会社である GRANPECT 社が製造している。


2013 年 8 月に当社愛知事業所向けに 0.95MeV の X 線発生装置を設置して RT（放射線透過試験）に使用している。また、2014 年 10 月には IHI 相生工場向けに 3MeV の装置を設備更新のため納入した。

当社ではこれまで大型から中小型まで各種 X 線検査装置を納入してきた実績があり、また RT をはじめとした非破壊検査技術と各種機械設備の設計・

製作技術を保有していることから、客先のニーズに合わせた最適な X 線検査システムの提供が可能である。X 線発生装置については単体販売だけでなく、放射線遮へい計算を含む遮へい設計および官庁申請手続きの支援、X 線発生装置の支持・移動機構の設計・製作、X 線検出器や搬送装置を組合わせた X 線検査装置のシステム提案なども行っている。また、新規設備導入を計画する客先には、当社保有の X 線発生装置を使用し、試験体にて撮影を行い、事前に画像評価することも可能である。

納入後の保守については、税関向け X 線検査装置の保守拠点を活用することにより、当社技術者による保守の他、各地区の協力員により、迅速に修理対応できる保守体制をとっている。

2. X 線発生装置の概要

当社愛知事業所に設置した 0.95MeV の X 線発生装置を  1 に示す。愛知事業所向けでは支持架台は床固定式とし、上下調整および仰俯角調整機構を持っている。X 線発生装置の主要仕様を **表 1**、**表 2** に示す。X 線エネルギーにより、シングルエネルギータイプ（**表 1**）の 6 種類、エネルギー切換可能なデュアルエネルギータイプ（**表 2**）の 3 種類を標準機種として揃えている。

*1：機器装置事業部 X 線検査装置部 大型検査装置グループ 部長
 *2：機器装置事業部 X 線検査装置部 大型検査装置グループ 次長
 *3：機器装置事業部 X 線検査装置部 大型検査装置グループ 課長
 *4：機器装置事業部 X 線検査装置部 大型検査装置グループ

表 1 X線発生装置の仕様（シングルエネルギータイプ）

エネルギー	0.95MeV	2MeV	3MeV	4MeV	6MeV	9MeV	
線量率 [cGy/min@1m]	≦ 15	≦ 200	≦ 200	≦ 500	≦ 800	≦ 3000	
X線焦点サイズ [mm]	≦ 2	≦ 2	≦ 2	≦ 2	≦ 2	≦ 2	
X線平坦度(@±7.5°) [%]	≧ 80	≧ 80	≧ 75	≧ 75	≧ 62	≧ 55	
X線対称性(@±7.5°) [%]	<± 5	<± 5	<± 5	<± 5	<± 5	<± 5	
X線安定度 [%]	≦ 10	≦ 10	≦ 10	≦ 10	≦ 10	≦ 10	
放射線漏洩率 [%]	≦ 0.1	≦ 0.1	≦ 0.1	≦ 0.1	≦ 0.1	≦ 0.1	
X線照射野	・標準では30度円錐形、水平・垂直方向の照射角は調整可能 ・矩形の場合、水平・垂直方向の照射角は23度以下の範囲で調整可能						
透過能力	鋼板厚 [mm]	40~100	40~200	50~230	50~250	60~280	75~380
	線形透過度計 [%]	≧ 1	≧ 1	≧ 1	≧ 1	≧ 1	≧ 1
	有孔形透過度計	ASTM E94-04 1-2T	ASTM E94-04 1-2T	ASTM E94-04 1-2T	ASTM E94-04 1-2T	ASTM E94-04 1-2T	ASTM E94-04 1-2T



図 1 IIC 愛知事業所の X 線発生装置 (0.95MeV)

いずれのタイプも X 線焦点サイズは直径 2mm 以下で、X 線照射野 (X 線を照射する範囲) は円錐形で 30° 以下、矩形で 23° 以下に設定可能である。また、放射線漏洩率は 0.1% 以下となっている。透過能力としては表 1 に示す鋼板厚において、線形透過度計で 1% 以上、有孔形透過度計で ASTM E94-04 1-2T 相当の検出感度を有している。

表 2 X線発生装置の仕様（デュアルエネルギータイプ）

エネルギー	3MeV/1MeV	6MeV/4MeV	9MeV/6MeV	
線量率 [cGy/min@1m]	≦ 40 (at 1MeV) ≦ 250 (at 3MeV)	≦ 500 (at 4MeV) ≦ 800 (at 6MeV)	≦ 1000 (at 6MeV) ≦ 3000 (at 9MeV)	
X線焦点サイズ [mm]	≦ 2 (at 3MeV)	≦ 2 (at 6MeV)	≦ 2 (at 9MeV)	
X線平坦度(@±7.5°) [%]	≧ 72.5	≧ 62	≧ 55	
X線対称性(@±7.5°) [%]	<± 5	<± 5	<± 5	
X線安定度 [%]	≦ 10	≦ 10	≦ 10	
放射線漏洩率 [%]	≦ 0.1	≦ 0.1	≦ 0.1	
X線照射野	・標準では30度円錐形、水平・垂直方向の照射角は調整可能 ・矩形の場合、水平・垂直方向の照射角は23度以下の範囲で調整可能			
透過能力	鋼板厚 [mm]	50~230	60~280	75~380
	線形透過度計 [%]	≧ 1	≧ 1	≧ 1
	有孔形透過度計	ASTM E94-04 1-2T	ASTM E94-04 1-2T	ASTM E94-04 1-2T

リニアックを用いた RT は、放射性同位元素 Co-60、Ir-192 のガンマ線による検査と比較し、高い照射線量を安定して出力できるため検査時間の短縮を図ることが可能であり、装置停止時は放射線を発生しないことから安全で管理も容易である。

X線発生装置は、X線ヘッドおよび支持機構、モジュレータ、制御装置、冷却水装置、トランス盤で構成される。以下に各機器について簡単に説明する。

(1) X線ヘッド (図2)

リニアック（直線加速器）により電子を所定のエネルギーまで加速し、電子をターゲットに衝突させX線を発生させるものである。X線ヘッドは加速管、マイクロ波発生源およびマイクロ波伝送システム、ガス充填ユニット、冷却水分配システム、電子銃電源ユニット、パルストランス、電離箱、遮へい体、真空システム、AFC（Auto Frequency Controller）サンプリング回路等で構成される。加速管が核となる機器で、2極管電子銃、共振空洞、ターゲット、導波管結合器、RF窓、Tiポンプで構成される。マイクロ波発生源としてはマグネトロンを使用し、2998MHz（S-band）の共振周波数で電子を加速している。

ヘッドには、オプションとして、レーザポインタ、レーザ距離計、巻尺等も客先のニーズに合わせて取り付け可能である。また、ヘッドの支持機構は、設置場所や用途に応じて、固定式、可動式など任意に設計が可能である。



図2 X線ヘッド

(2) モジュレータ (図3)

モジュレータは380Vの交流電圧をパルス高電圧に変換するための電源装置である。パルスモジュレータ回路、PLC制御システム、フィラメント電源（マグネトロン、電子銃およびサイラトロン用）、X線警報システムで構成される。



図3 モジュレータ

(3) 制御装置 (図4)

X線発生装置を操作するための制御・操作ユニットで、タッチパネル操作のAFCユニットと各種モニタ類、インターロックキー等のスイッチボックスで構成される。基本的な機能は、X線照射の入切、線量と照射時間の表示、システムの状態表示、異常表示と警報発報などを行う。



図4 制御装置

(4) 冷却水装置 (図5)

X線ヘッド内の加速管、マグネトロン、サーキュレータなどの構成部品で高温となる部分を冷却するとともに、部品温度を一定に保つことによりX線を安定化する冷却水チラーユニットで、冷却水として蒸留水を循環させている。



図5 冷却水装置

(5) トランス盤

X線発生装置への電源を供給するトランス内蔵盤であり、設置場所の供給電源条件に合わせて製作する。標準ではAC200～220VまたはAC400～440V、三相、50または60Hzで受電する。入力容量は約20kVAである。必要により定電圧電源、ノイズ減衰トランスを内蔵し、電源の安定化を図る。

3. IHI 相生工場向け X線発生装置

IHI 相生工場に納入したX線発生装置を図6、図7に示す。更新前の既設装置と同等の使い勝手となるよう、X線発生装置の他、パン・チルト機能を有する位置調整機構、露出時間演算ユニット、監視カメラの一式を更新した。X線エネルギーは3MeVで、照射線量率のHigh/Lowモード切り替えが可能である。Highモードでは200R/min@1m、Lowモードでは50R/min@1mの照射線量率となっている。

露出時間演算ユニットは、検査体の板厚、FFD、フィルムの種類により露出線量および露出時間の目安を演算・表示するPC端末とヘッドに取り付けたレーザ距離計で構成されており、X線源から検査体までの距離の自動計測も可能である。図8に露出演算ユニットのPC端末を示す。



図6 IHI 相生工場向け X線発生装置 (全景)



図7 IHI 相生工場向け X線発生装置(X線ヘッド)



図8 露出時間演算ユニットのPC 端末

4. まとめ

これまで税関向け大型 X線検査装置用として納入してきた高エネルギー X線発生装置を非破壊検査用としてラインナップ化し、RTなどに使用する X線源として商品化した。当社が保有する X線検査技術と搬送装置・駆動機構の設計・製作技術を統合し、X線発生装置単体販売のみならず、X線発生装置を用いた非破壊検査システムの提案とその販売を推進している。また、IIC 大型 X線装置メンテナンスセンターを拠点とした保守ネットワークを活用し、故障時の迅速な復旧対応を可能としている。

今後、X線による全数非破壊検査、DR（デジタルラジオグラフィ）による検査の自動化など、製品の品質向上のため、X線検査へのニーズは更に高まると考えられ、IICではこのニーズに十分応えられるよう商品開発と販売を進めていきたい。



機器装置事業部
X線検査装置部
大型検査装置グループ 部長
高橋 光幸

TEL. 045-791-3521
FAX. 045-791-3538



機器装置事業部
X線検査装置部
大型検査装置グループ 次長
鎌上 則夫

TEL. 045-791-3521
FAX. 045-791-3538



機器装置事業部
X線検査装置部
大型検査装置グループ 課長
菅井 孝郎

TEL. 045-791-3521
FAX. 045-791-3538



機器装置事業部
X線検査装置部
大型検査装置グループ
三宅 朝成

TEL. 045-791-3521
FAX. 045-791-3538