

COMMISSIONING OF PORTABLE 950 keV /3.95 MeV X-BAND LINAC X-RAY SOURCE FOR ON-SITE TRANSMISSION TESTING

Mitsuru Uesaka^{#A)}, Ming Jin^{A)}, Wenjing Wu^{A)}, Katsuhiro Dobashi^{A)}, Takeshi Fujiwara^{A)}, Toshio Sukegawa^{A)}, Haito Zhu^{A)}, Jyuichi Kusano^{B)}, Naoki Nakamura^{B)}, Masashi Yamamoto^{B)}, Eiji Tanabe^{B)},
Seiji Ohya^{C)}, Yukiya Hattori^{C)}, Itaru Miura^{D)}

^{A)} Nuclear Professional School/Department of Nuclear Engineering and Management, The University of Tokyo
2-22 Shirakata-shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1188

^{B)} Accuthera Co., 2-7-6 Kurigi, Asaoku, Kawasaki, 215-0033

^{C)} Hitachi Engineering&Service, 3-2-2 Saiwai, Hitachi, Ibaraki 317-0073

^{D)} Mitsubishi Chemical, 17-1 Higashiwada, Kamisu-cho, Ibaraki 314-0102

Abstract

Development of portable 950keV/3.95MeV X-band (9.3GHz) linac X-ray sources has been almost successfully completed. Designed X-ray intensities of 0.05, 2 Sv/min at 1m have been achieved. By using the 950 keV system, we can get transmission views of artificial wastage defects of petrochemical pipe of 8 mm thick and 300 mm diameter by 1 sec using the Perkin Elmer X-ray camera in the experimental room. 3.95 MeV system also enables 1 sec transmission test for 400 mm thick PC (Prestressed Concrete) bridge samples. We have already performed the first on-site inspection using the 950 keV system at a certain chemical plant. The targets of the 950 keV system are chemical plants, petrochemical plants, impeller of pumps, wastaged pipes and iron bridge while those of the 3.95 MeV system are PC-, RC (Reinforced Concrete) - bridges. Partial CT technique and new X-ray detectors having better sensitivity for harder X-rays than 100 keV are under development.

可搬型 950 keV/3.95 MeV X バンドライナック X 線源の 現場透視検査の開始

1. 緒言

可搬型 X バンド 950keV ライナック X 線源^[1,2]を持ち出し、様々な化学プラントをはじめとする社会インフラのその場透視構造健全性検査を推進する。化学プラントの蒸留塔の内部構造、茨城県鹿島石油化学プラントの被覆管付き配管の減肉、ポンプ等回転機のインペラの欠陥検査等の検査を先駆的に実施する。可搬型 X バンド 3.95MeV ライナック X 線源^[1,2]も完成し、橋梁のその場透視検査に適用していく。

2. 950 keV システムの開発と利用

950keV 電子ライナック X 線源が完成し (図 1)、50mGy/min@1m の X 線強度が達成された。加速器ユニット、マグネトロンユニット、電源ユニットから構成され、加速器ユニットとマグネトロンユニットの重量は 44kg、49.5kg である。実験室で実証するため人工欠陥が作られた配管試料の透過試験を行った。X 線カメラとしては Perkin Elmer 社の XRD-0820 を使用している。空間分解能が 0.2 mm で放射エネルギー範囲が 20keV~15MeV である。試料としての保温材付き配管は内径 300mm、厚さ 8mm の内側鉄管と厚さ 55mm の中間保温材、そして厚さ 0.5mm の外装板金で構成されている。試料の長さは 500mm である。鉄管外面には人工欠陥が五つ作っており、深さは 3.5mm、直径はそれぞれ 1、3、5、

7、10mm である。検出器は間接型フラットパネルディテクターを使用し、撮影時間 1 秒で人工欠陥を鮮明に撮影できた。図 2 に配管試料と透過像を示す。

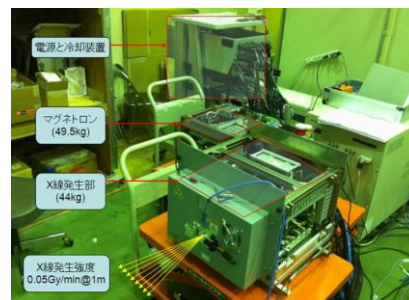
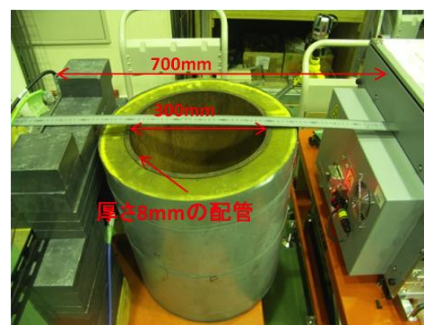
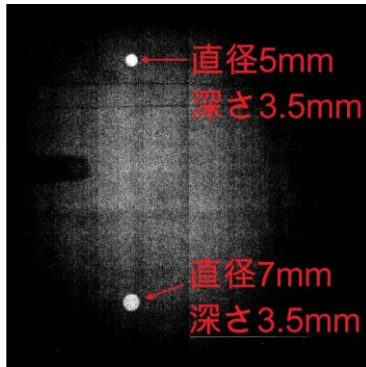


図 1. 可搬型 950keV X バンドライナック X 線源



(a) 石油コンビナート保温材付き配管試料 (人工減肉欠陥つき)



(b) 人口減肉欠陥測定結果 (PE 社 X 線カメラで 1 秒)

図 2. 可搬型 950keV システムによる石油コンビナートオフライン配管の人口減肉検査結果

電離放射線障害防止規則に基づく安全管理による、現場透視検査が、福島県内工場の蒸留塔の、鉄等壁厚 150mm 程度の透視画像も、イメージングプレートを用いて 10-30 分で取得できた。従来の 300kVX 線管では不可能であった内部構造が初めてその場で確認されたものであり、極めて画期的な予備試験成果を挙げたものと云える。第 1 回目その場検査結果を報告する。以後多くの現場検査要請を受け、本格的検査を準備中である。

3. 3.95MeV システムの開発と利用

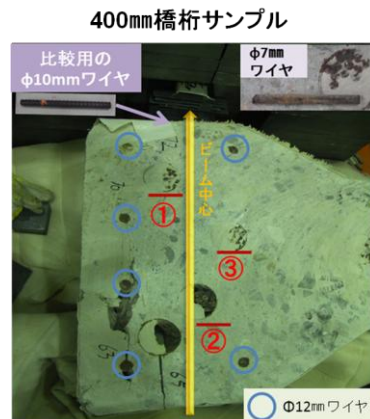
3.95MeV X バンドライナックシステムの全体像を図 3 に示す。本システムの X 線発生強度は 200pps で 2Gy/min@1m である。HVPS,制御ユニット、マグネトロンユニット、加速器ユニットは各 116 kg、62 kg、114 kg で加速器ユニットの加速管部(62 kg)とコリメータ部(80 kg)は分離可能である。また、高周波源ユニットと加速器ユニットを繋いでいる導波管はフレキシブルな素材でできており、90 度まで曲げて運転することが可能である。橋梁 PC(Pre-stressed Concrete)材の測定試料を図 4 に示す。測定を行った部分は下部の厚さ 40 cm の部分になる。PC 材は図に示すように外径 7 mm 鉄ワイヤが 15 本程度外径 30mm 程度の鉄パイプ中に束ねられ、そのパイプが断面中に複数挿入されている。両端から引張応力が印加されて今強化されている。図 4 の右側に透過画像を示す。200pps 運転で 1 秒以内での画像取得が可能である。X 線源がコンビームであるため線源に近い②が①より大きい ③はビーム中心と遠いため確認が難しい ①と②は $\phi 7$ mm ワイヤ 12 本入っているにも関わらず 3 本しか確認できない。一方向からの透過画像では 15 本全部は認識できない。比較用に貼り付けた 10mm ワイヤと 19mm のワイヤが確認できる。

また、積算時間をさらに長くして撮像を行ったところ画像全体は明るくなったものの、鉄筋が映って

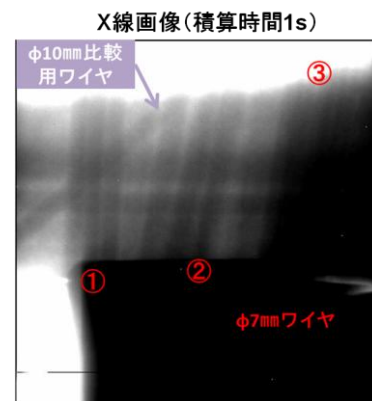
いる部分と映ってない部分の差がほとんど変わらなかった。その理由については散乱 X 線によるものと思われる。ここで課題となるのは、高エネルギー X 線非破壊検査用の X 線カメラが存在しないことである。我々は X 線 - 電子コンバータ付きガス検出器型カメラ、10mm 厚以上の固体シンチレータカメラの開発研究を開始している。また部分 CT によって内部構造や鉄鋼腐食部の深さの情報を得て、構造解析の実施も検討している。



図 3. 可搬型 3.95MeVX バンドライナック X 線源



(a) 橋梁 400mm 厚 PC 材スライス切り出し試料



(b) 透視画像 (PE 社 X 線カメラで 1 秒)

図 4. 3.95MeVX 線源による 400mm 厚橋梁 PC 材の透視画像

橋梁その場検査用にのみ 3.95MeV まで放射線障害防止法で許可されているが、我が国で初めてとなるので、文科省安全審査委員会にて承認を得る。まずは、土木研究所にて劣化橋梁大型試料のその場透視検査を今年中に行う。

4. まとめと今後の展開

可搬型 950 keV X バンドライナック X 線源が完成し、化学工場の反応塔の透視検査を実施した。結果、今までの 300 kVX 線管とイメージングプレートで測定が不可能であった、鉄等価厚さ約 150mm の構造の透視画像を 30 分で取得した。X 線の強度は、50mSv/min@1m の設計値をほぼ達成した。この成果により、上記鉄等価厚の構造健全性その場評価が可能となった。また可搬型 3.95 MeV X バンドライナック X 線源も完成し、設計通りの 2Gy/min@1m の X 線強度を達成した。今後の課題のひとつに、X 線カメラの高エネルギー成分への感度の増強がある。図 5 に PE 社製カメラの 0.2mm 厚のシンチレータと、厚くかつ現実的のものとの比較を示す。数 mm 以上が有効であることがわかる。また 2 次元のコリメータも検討している。950keV 以上の電子ライナック X 線源専用の X 線カメラの開発が急務である。また、橋梁現場では橋桁周辺で 180° CT の実施は困難である。計算で、部分角度 CT での再構成画像の空間分解能を議論している。120° 部分角度 CT の場合の PC 材中の鉄ワイヤ入りパイプ周辺の再構成の計算結果を図 6 に示す。

現在このシステムは橋梁検査に特化して管理区域外で使用可能である。しかし、日本で始めての実施のため、文科省の安全審査を受ける必要がある。つくば市の土木研究所でまず予備試験と安全審査を受ける予定である。安全を十分に検討した上での、3.95 MeV, 6 MeV のライナック X 線源の管理区域外使用のための規制緩和への動きも解説する。加速器技術の社会インフラ健全性評価の Outreach への大きな一歩と考える。

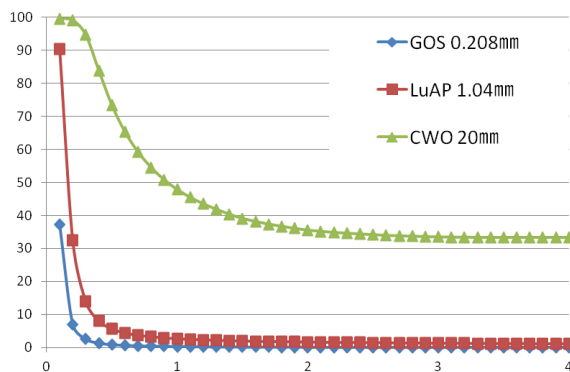
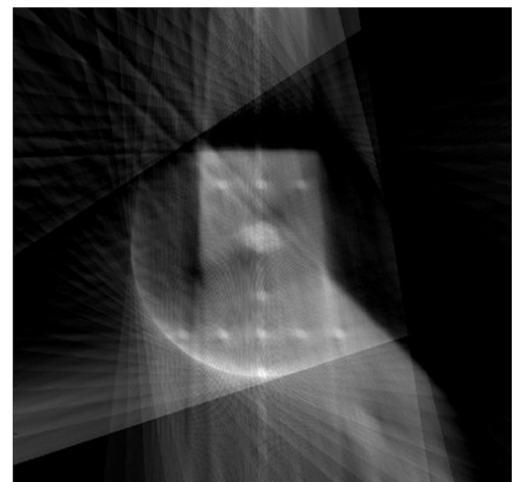


図 5. 固体シンチレータ厚と X 線感度のエネルギー依存性

参考文献

- [1] M. Uesaka, et al., "950keV, 3.95MeV and 6MeV X-band linacs for nondestructive evaluation and medicine," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol. 657, pp. 82-87, 2011.
- [2] K.Dobashi, et al., "9.3GHz X バンド 3.95MeV,950keV ライナック X 線発生装置のビーム性能評価", 本プロジェクトシンポジウム, THPS129 2012



$\theta=120^\circ$ by each 5° , $D=0$
(No Translation Movement)

図 6 : 120° 部分角度 CT の PC 材中の鉄ワイヤ入りパイプ周辺の再構成の計算結果