

## X-RAY IMAGING TEST USING 950 KEV X-BAND LINAC BASED NDT SYSTEM

Tomohiko Yamamoto<sup>1,A)</sup>, Takuya Natsui<sup>A)</sup>, Ki woo Lee<sup>A)</sup>, Yoshihiro Taniguchi<sup>A)</sup>, Eiko Hashimoto<sup>A)</sup>,  
Fumito Sakamoto<sup>A)</sup>, Mitsuru Uesaka<sup>A)</sup>, Naoki Nakamura<sup>B)</sup>, Masashi Yamamoto<sup>B)</sup>, Eiji Tanabe<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Nuclear Professional School, the University of Tokyo

2-22 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki 319-1188

<sup>B)</sup> Accuthera Inc.

2-7-6 Kurigi, Asao, Kawasaki, Kanagawa 215-0033

### Abstract

We have developed a compact, non-destructive testing (NDT) system operating in the X-Band at 9.4GHz. Using a small 250kW magnetron as a power source allows for a very compact design. This paper presents experimental results from beam measurement, X-ray generation and X-ray imaging.

### 950 keV X-band Linacを用いたX線非破壊検査装置による撮像試験

#### 1. はじめに

我々は、最大エネルギー950 keVのX-band Linacを用いた可搬型非破壊検査装置の開発を行ってきた[1,2]。現在、東海村にある東京大学大学院工学系研究科原子力専攻にて電子ビームの発生試験ならびにX線生成試験を行い、様々なパラメータの取得を行っている。

本装置の非破壊検査への応用としては、配管の腐食・減肉検査を考えている。またパルス発生である特徴を生かし、インペラなどの回転機の回転を止めることなく同期を取り、リアルタイム静止画取得できる装置としての応用も検討している。図1に回転機リアルタイム撮像の概念図を示す。

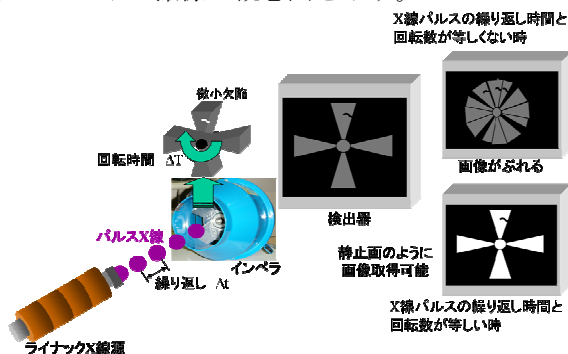


図1：リアルタイム撮像系概念図

このように、パルスX線の繰り返し時間と回転機の回転時間を同期させることで擬似的な静止画を取得でき、損傷部を発見することが可能となる。

#### 2. 装置概要

我々の開発している可搬型X-band Linacを用いた非破壊検査用X線非破壊検査装置は9.4 GHzのレー

ダー用マグネトロンをRF源として使用している。加速管構造はX-band (9.4 GHz)のOn-axis coupling型<sup>[3]</sup>であり、加速効率を考慮し $\pi$ モードと $\pi/2$ モードの併用型とした。また、最大エネルギーを950 keVとすることで放射線障害防止法における管理区域の設置が必要なく、局所遮蔽で使用することができる。図2に装置の概略図を示す。

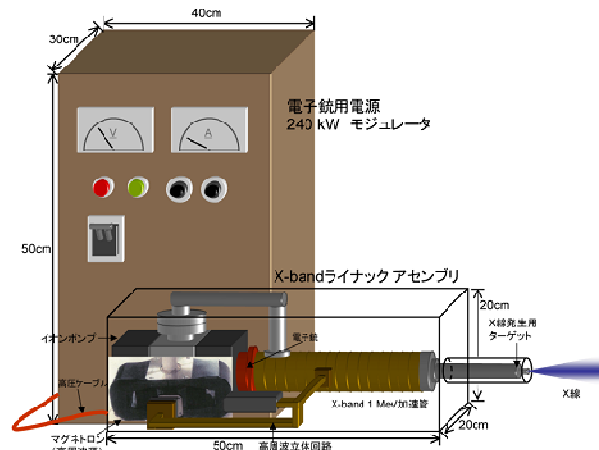


図2：装置概略図

#### 3. 電子加速試験

##### 3.1 加速電流測定試験

電子加速試験において最初に行ったのは加速電流測定である。Fig.3は電流測定の際のオシロスコープ波形である、上からRF入力、RF出力、入射電流、加速電流をそれぞれ示している。この際、加速管には230 kW程度の入力があり、加速管からの反射は3

<sup>1</sup> E-mail: [tomohiko@nuclear.jp](mailto:tomohiko@nuclear.jp)

kWと加速管内は共振状態である。入射電流は約550 mAと定格通りの電流量を記録した。加速管内の共振RFにより電子が加速されることになる。結果、加速電流は60 mA程度であると測定された。

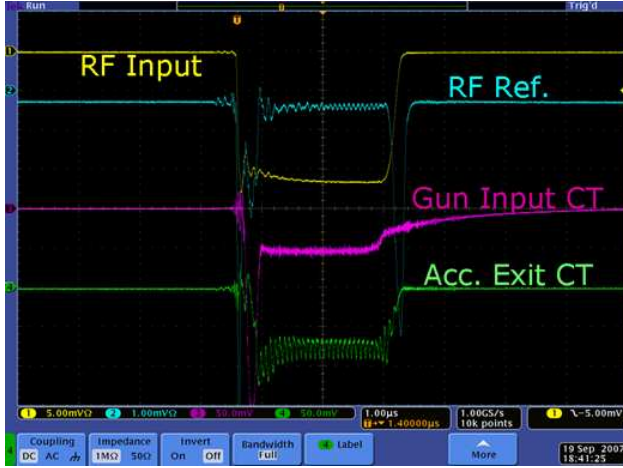


Fig.3 : Waveform of oscilloscope

これは設計していた値よりやや少ないもののX線生成には問題ない値であると考えられる。しかし、オシロスコープの波形が示すように加速電流に振動波形が見られる。これは通常起こらない現象であり、原因解明を行う必要がある。

### 3.2 エネルギー測定試験

電子ビームのエネルギースペクトルを測定するため、ビームラインに電磁石を設置し、その磁場の大きさからエネルギーを測定するという手法を用い、測定を行った。Fig.4に測定結果を示す。この結果から最大エネルギーがおおよそ830 keVであることがわかった。設計値である950 keVに比べ、10%程度エネルギーが低く、また200 keV~400 keVまでの低エネルギー部にもピークが存在した。この結果も計算と若干異なるので、今後詳細を調査する予定である。

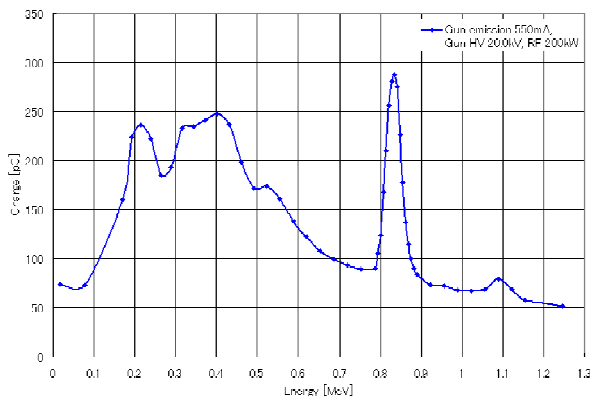


Fig.4: Energy spectrum

### 3.3 スポットサイズ

電子ビームスポットサイズはFig.5のようなビームラインを構築し、スクリーンモニタを使用して測定した。2つのスクリーンモニタは加速管出口からそれぞれ220 mmと460 mmの位置に設置した。

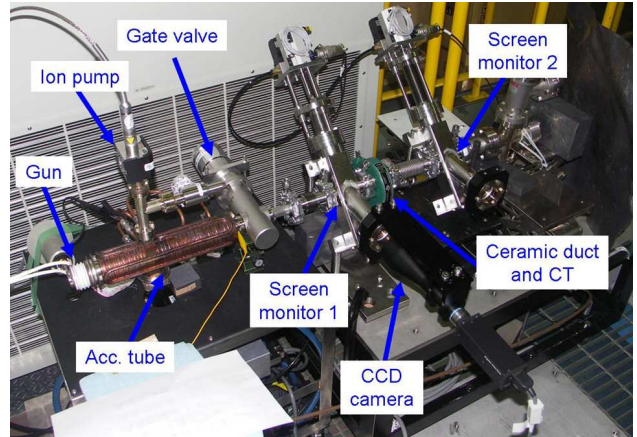


Fig.5: Beam line for spot size measurement

図6はFig.4の体系を使用し、アルミナ蛍光板に電子ビームを当て、その光をCCDカメラに投影する方法で取得したビームの形状である。スクリーンモニタに投影されたビームスポットの大きさはそれぞれ、2.46 mmと3.74 mm(FWHM)であった。この結果から加速管出口におけるビームサイズを試算すると1.10 mm以上1.95 mm以下であり、目標値である2 mmを達成できたと考えられる。



図6 : 電子ビームスポット (CCDカメラによる)

## 4. X線生成試験

### 4.1 X線線量測定試験

X線線量を測定するため、X線線量測定チェンバーをX線発生点から50 cmの地点に置き、繰り返し5 ppsでX線生成と測定を行った。その結果、線量は0.3 mGy/minと測定された。これは定格の500 ppsに換算すると、30 mGy/minである。発生点から1 mの地点では、7.5 mGy/min@1 mとなる。我々の目標値は200 mGy/min@1 mであるので、この測定結果は非常に少ないと言える。この原因としては、加速ビーム電流が少ないこと、ビーム電流の振動などが考えられるが、安定したX線発生のためには詳細を調査する必要がある。

#### 4.2 X線スポットサイズ測定試験

X線のスポットサイズを測定するため、ピンホール法を用いた。Fig.7に測定体系を示す。1 mm厚の鉛板に直径0.5 mmの穴を開けてX線撮像を行った。そのX線像から光源サイズを判断した。結果、スポットサイズは2.5 mmと測定できた。

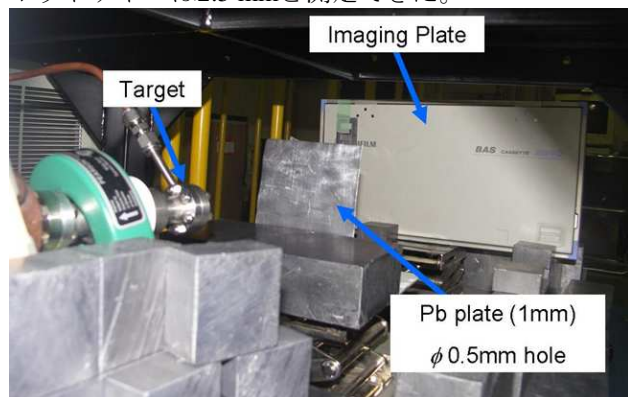


Fig.7: Setup for X-ray spot size measurement

### 5. X線撮像試験

#### 5.1 冷却CCD + CaF<sub>2</sub>シンチレータによる画像取得

X線生成試験の後、実際に生成X線を用いた撮像試験を行った。まず、冷却CCDとCaF<sub>2</sub>シンチレータを撮像系として使用して、ボルト・ナットとX線テストチャートを撮影した。撮影領域は50 mm×50 mmである。図8に取得画像を示す。X線テストチャートの1mmピッチ程度までは鮮明に認識できる。

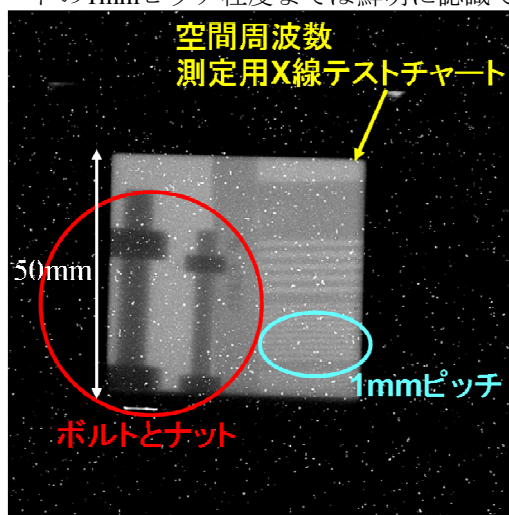


図8：冷却CCD+ CaF<sub>2</sub>シンチレータによる取得画像

#### 5.2 イメージングプレートによる画像取得

また、撮像系としてイメージングプレートを使用した撮像試験も行った。図9に撮影した画像を示す。被写体はドライヤーである。ヒータの線まで見ることができる。

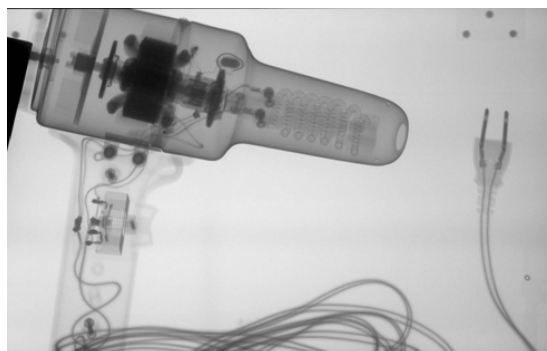


図9：イメージングプレートによる取得画像

### 6. まとめ

本研究では、X-band Linacを用いた非破壊検査用小型X線源の開発を行っており、電子ビーム測定を終えて、X線撮影試験を行った。本装置は、電子ビーム測定の結果、加速電流量が設計値に達成しておらず、X線線量も目標値には達成していない。この部分は、加速管内部で起こっている現象も含めて解決する必要がある。ただし、電子ビームは950 keVに達しているためX線撮影試験では、積算時間を多くとることで画像取得に成功している。今後は、電子ビーム・X線の詳細測定ならびにX線撮像を行っていく。

#### 参考文献

- [1] T. Yamamoto, et al., “X線非破壊検査装置のためのXバンド950keV加速器の開発” *Proc. of the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan*, August 2-4, 2006, Sendai, Japan pp.245
- [2] T. Natsui, et al., “可搬型X線非破壊検査装置用9.4GHz X-band Linacの電子ビーム評価” *Proc. of 32th Linear Accelerator Meeting in Japan*, August 1-3, 2007, Wako, Japan pp.568
- [3] E.A.Knapp, et al., *Rev. Sci. Instr.* **39**, 652 (1968)