

# 可搬型 950keV X バンドライナック X 線源による 非破壊検査の実証研究

Study on Portable X-band 950keV linac X-ray Source  
for On-site Nondestructive Inspection

東京大学	金 明	Ming Jin	Non-Member
東京大学	藤原 健	Takeshi Fujiwara	Member
東京大学	朱 海濤	Haitao Zhu	Non-Member
東京大学	土橋 克広	Katsuhiko Dobashi	Non-Member
東京大学	出町 和之	Kazuyuki Demachi	Member
東京大学	上坂 充	Mitsuru Uesaka	Member
アキュセラ	草野 譲一	Joichi Kusano	Non-Member
アキュセラ	山本 昌志	Masashi Yamamoto,	Non-Member
アキュセラ	中村 直樹	Naoki Nakamura	Non-Member
アキュセラ	田辺 英二	Eiji Tanabe	Non-Member
三菱化学	三浦 到	Itaru Miura	Non-Member
日立 HES	服部 行也	Yukiya Hattori	Non-Member

Our portable X-band (9.3GHz) 950KeV linac has been successfully upgraded. The problems of RF power oscillation, beam current oscillation and reduction and finally lack of X-ray intensity were solved by replacing the axial coupling cavities with the side-coupled ones. Designed X-ray dose rate of 0.05 Sv/min@1m is going to be achieved. Length of the accelerating tube is reduced to less than 25 cm. X-ray source part with the local radiation shielding is connected by the flexible waveguide with the box of the 210 kW magnetron and cooling unit. The total system consists of the three suit-case-size units, the last of which is one for the electric power supply. Even on-line dynamic transmission imaging is available by using the high intensity X-ray camera. Demonstration of the measurement of wall thinning of metal pipes with thick thermal shielding has been successfully finished.

**Keywords:** X-band, linac, NDT, onsite inspection, pipe wall thinning

## 1. はじめに

昨今の社会的要請として大型建造物の複雑化・老朽化に伴い、そのメンテナンスが重要な課題となってきた。橋梁や大型プラントなど人工物の寿命延長・保全・品質確保のため、建造物の亀裂や減肉検査、支柱等の腐食検査などには検査に伴う莫大な費用が発生している。その最たる例として、鹿島石油化学コンビナートでは、配管の外表面腐食が問題となっている。特に鹿島のコンビナートの場合は海が隣接し、厳しい塩害のために他地域に比べて塔や配管の外表面腐食が激しく、メンテナンス上の課題となっている。メンテナンスは塔や配管の内面の減肉量から寿命を予測し、計画的に実施されているが、外表面腐食に関しては、仮設足場の設置、保温材の撤去、プラントの停止など多大な費用が発生する。特に最近発生している外表面腐食は保温材破損部での発生が 5%程度であり、大半は外装健全部で発生している。このため、外観から

は判断できない保温材下の腐食を感知できる非破壊検査技術の開発が強く求められている。現在は、中性子水分計を用いて保温材中の水分を検出するようなシステムも開発され、ある程度、腐食箇所の予測はできるようになってきている。ただし、腐食箇所の特定や減肉状況の定量的な評価には、イメージングが可能な X 線撮影による検出に期待が寄せられている。

本研究では鹿島石油化学コンビナートの配管腐食検査に応用するため X 線発生装置を評価し、配管サンプルの透過像を秒単位で撮影することを目指している。

## 2 改良型 X バンド 950KeV ライナック

図 1 に本研究で用いた X バンド 950keV ライナックを示す。システム全体は電力供給ボックスを含めて 3 つのスーツケースサイズのユニットで構成されている。また電子ビームエネルギーを 950KeV にすることで、放射線障害防止法に基づいた管理区域の設置が必要なく、装置を直

接現場で使用できるようになった。1号機でのRFパワー振動、ビーム電流振動と減少、X線強度の不足の問題は軸カップリング空洞をサイドカップル型(図2)に置き換えることによって解決された。

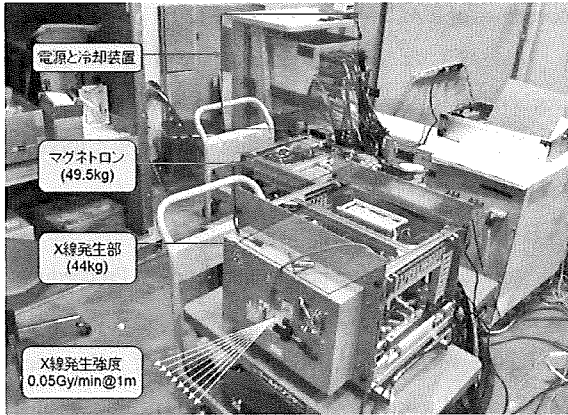


図1 改良型Xバンド950KeVライナック

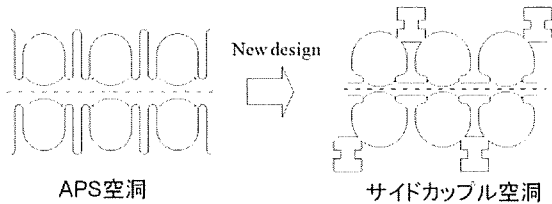


図2 ビーム電流振動問題を解決したサイドカップル空洞

表1 ライナックパラメータ

運転周波数	9.3 [GHz]
RF源	マグネトロン
入力RF電力	250KW
パルス幅・繰返数	3 [ $\mu$ s]、330 [PPS]
加速管全長	25 [cm] 以下
加速管方式	Side coupled structure
加速セル数	Half1 + full18
セル間カップリング	3%
フィリングタイム	0.18 $\mu$ s
シャントインピーダンス	110-130M $\Omega$ /m レギュラー部
ビーム電流	64mA 以上
電子ビーム集束方式	RF集束方式
X線発生強度	50 [nGy/min] 以上 at 1 [m]
電子銃電圧	20KV
電子銃方式	二極管

1号機に比べて2号機はアイリス径を小さくすることでシャントインピーダンスを上げ加速電場を強くし空洞数を減らしてフェイズスリップを起こしにくくした。具体的ライナックパラメータは表1に示す。

### 3 透過実験

実験室で実証するため人工欠陥が作られた配管サンプルの透過試験を行った。サンプル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。サンプルの長さは500mmである。鉄管外面には人工欠陥が五つ作ってあり、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(パーキンエルマ社製)を使用し、撮影時間2秒以内で人工欠陥を鮮明に撮影できた。図4に配管サンプル透過像を示す。その他 standard gauge を利用して空間分解能を測定した。図5に示したように深さ1.27mm、直径1.27mmの穴まで識別でき、図6では直径0.8mm鉄棒を4枚目の鉄板で識別できた。

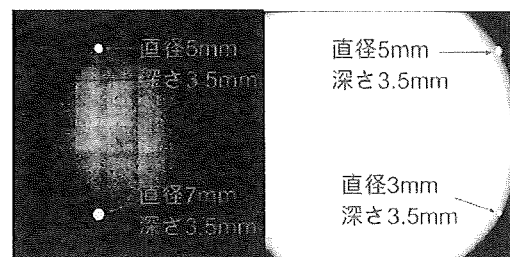
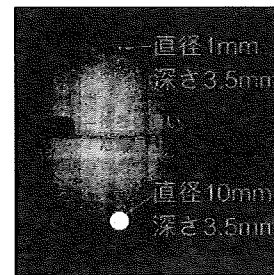


図4 人工欠陥の透過像(測定時間1s)

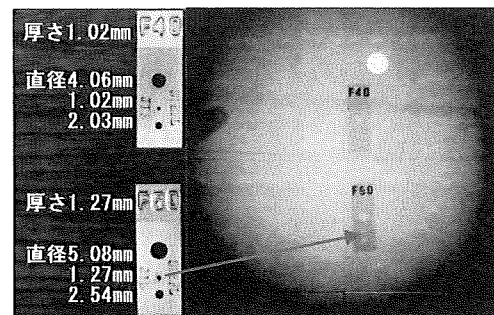


図5 配管表面に貼ったF40, F50 Standard gaugeの透過像(測定時間2s)

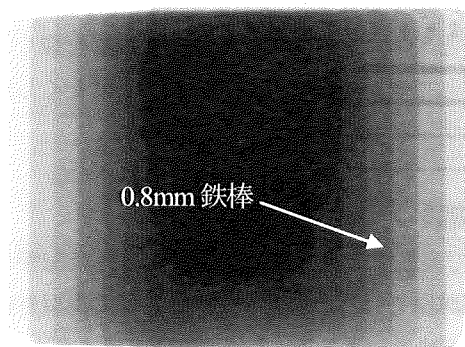


図6 透過度計F32を4.3mm厚さの鉄板8枚重なったサンプルに貼った透過像(測定時間2s)

#### 4 まとめと今後の課題

透過試験において300kVX線管で5分掛って撮影した配管を本装置は間接型フラットパネルディテクターを用いて1秒で撮影できた。しかし高いX線エネルギーに対するパーキンエルマの検出効率が低いためより効率が高い固体コンバータ付きガス検出器、重元素シンチレータ検出器などを検討している。

#### 参考文献

- [1] Ming Jin, et al., "Upgraded X-band 950keV Linac X-ray Source for On-site Inspection at petrochemical Complex", Proceedings of IPAC2011, p.3574-3576 (2011).
- [2] Ming Jin, et al., "Nondestructive Test for Pipe of Petrochemical Complex using Upgraded X-band 950 keV Linac X-ray Source", Proceedings of 8th Annual meeting of PASJ (2011).
- [3] Haifeng Jin, et al., "Application of X-band 3.95MeV linac X-ray source for on-site bridge inspection", Proceedings of IPAC2011, p.3571-3573 (2011)
- [4] Takuya Natsui, et al., "Development of a Portable 950 keV X-band Linac for NDT" The American Institute of Physics Conference Proceedings Series Volume1099 75-78 2009

(平成24年7月3日)