

3.95 MeV X-band Linac を用いた高エネルギー X 線非破壊検査装置の開発

Development of High Energy X-ray NDT System with 3.95 MeV X-band Linac

東京大学大学院原子力専攻 山本 智彦 夏井 拓也 上坂 充
Tomohiko YAMAMOTO Takuya NATSI Mitsuru UESAKA
(株) アキュセラ 田辺 英二 中村 直樹 山本 昌志
Eiji TANABE Naoki NAKAMURA Masashi YAMAMOTO

We are developing portable non-destructive testing (NDT) X-ray source with X-band linac and low power magnetron. Now, we start the experiment of electron acceleration and X-ray generation using by 950 keV X-band linac NDT system. The 950 keV X-band linac X-ray generator is under development for corrosion wastage of tubes and condition based maintenance of impeller pumps. However, about 1 MeV X-ray source can be only used for thin tubes of about 20 mm thickness. Therefore, we start to design about 4 MeV X-band linac X-ray NDT systems. By more high energy, the range of application is broader. We think that this X-ray NDT system will be used for corrosion wastage and cracking in thicker tubes at nuclear plants and larger impeller pumps. This system consist of X-band linac, thermionic cathode electron gun, magnetron and waveguide components etc. For higher electric field works out, the 3.95 MeV X-band linac structure is adopted side-coupled structure. This structure is more effective acceleration than 950 keV Linac with alternating periodic structure (APS). We adopt 1.3 MW magnetron for RF source. This accelerator system is about 30cm long. The beam current is about 150 mA, and X-ray dose rate is 10 Gy@1m/500 pps. In this paper, the detail of the whole system concept and the electromagnetic field of designed linac structure will be reported.

Keywords: X-band Linac, Magnetron, Condition Based Maintenance, X-ray

1. 緒言

昨今のエネルギー事情や火力・原子力発電所の定期検査のために状態監視保全 (Condition Based Maintenance, CBM) の重要性が高まっている。そこで我々は、パルス運転が可能な電子線形加速器 (ライナック、Linac) を用いた制動放射 X 線による可搬型非破壊検査装置の開発を行っている [1]。パルス運転できることにより、生成する X 線もパルスとなる。そこで、回転機の回転数とライナックの繰り返しを同期させることにより、回転機を止めることなく静止画を取得できると考えられる。ただし、放射線障害防止法の規定により 1MeV 以上の加速器は放射線管理区域外に持ち出せないため、我々は最大エネルギー 950 keV の X 線発生装置を設計開発し、実証を現在行っている [2] しかし、大型橋梁の内部検査においては規制が緩和され、4MeV 以下の装置でも管理区域外に持ち出すことができるようになった。それゆえ、適用範囲を広げるべく 3.95MeV のライナック X 線源の設計を開始した。エネルギーが 4 倍となるが、加速管の長さや装置全体のサ

イズは 950 keV X 線減と同等程度を目標としている。

2. X 線装置仕様

2.1 システム概略

Figure.1 に本研究で開発を進めている装置の概要図を示す。

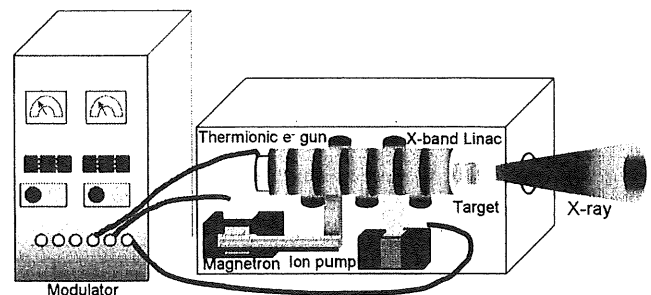


Fig. 1 Schematic View of X-ray NDT System

本装置は、X バンド加速管、マグネトロン、3 極管電子銃、金属ターゲット、真空系、電源、冷却装置からなる。加速周波数として X バンド (9.3 GHz) の周波数帯を用い、高周波源として最大 1.3 MW 出力のマグ

ネトロンを使用する。Xバンド周波数帯は通常の電子ライナックで使用されるSバンド(2.856 GHz)よりも周波数が高いため、波長が短くなる。それゆえ、同じ加速電場を誘起するための加速管長が短くなり小型化が可能となる。

加速管の構造は構造が簡便な電場結合(On-axis Coupling)よりも構造は複雑であるが高電場を実現できる磁場結合(Side Coupling)を用いる。これゆえ、高効率の加速が可能となり、加速管長を短くできる。

X線生成の安定化のため、電子銃をカソード・アノード間にグリッドを挿入した3極管を使用する。3極管はグリッドにより電圧制御ができ、電子生成の安定化が可能となる。

Table 1に我々が開発し試験を行っている950 keV XバンドX線源と3.95 MeV XバンドX線源の比較を示す。

Table 1 Comparison of two types NDT System

	950 KeV System	3.95 MeV System
Status	Experiment	Designing
Resonant frequency	X-band 9.4 GHz	X-band 9.3 GHz
RF source	250 kW magnetron	1.3 MW magnetron
Coupling	On-axis coupling	Side coupling
Shunt impedance	~ 70 MΩ/m	~ 130 MΩ/m
Gun type	Thermionic, Diode, 20 keV	Thermionic, Triode, 20 keV
Tube length	~ 30 cm	~ 30 cm

2.2 加速管概略

使用する加速管は950keV X-bandの加速管の仕様であるOn-axis Coupling型のAlternative Periodic Structure(APS)型の空洞ではなく、Side Coupling型の空洞を使用する。Figure 2に示すような加速セルの構造をしている。Side Coupling型空洞は電子ビームが通過する領域が狭く電場によるセル同士の結合ができない。そのため加速セルの端にセルを置き、隣の加速セルと磁場結合をさせる。一般的にOn-axis型の加速管よりも高電場を作ることができるので、加速効率が向上すると予想される。現在、構造の簡便化と電子速度を考慮して、加速

効率の良い構造を計算している。

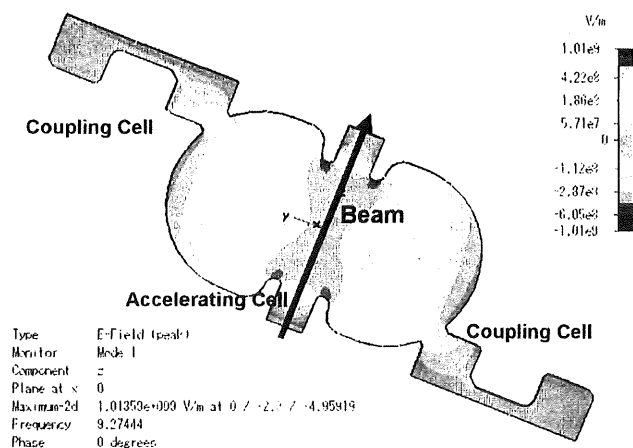


Fig.2 Cut View of Side-Coupling Cavity

3. 結言

- 1) 小型加速器を用いたX線非破壊検査装置の開発を行っている。
- 2) 950 keV Xバンド装置の設計などを考慮して3.95 MeV XバンドX線源の設計を開始した。
- 3) 将来的には、原子力施設の状態監視保全に役立てればと考えている。

謝辞

本研究は高エネルギー加速器研究機構の加速器科学支援事業における大学等連携支援事業(治療用小型加速器の開発の為に要素技術研究)として行われている。

参考文献

- [1] 山本智彦、夏井拓也他、“オンサイト非破壊評価用可搬型950 keV Xバンドライナックの開発”、日本保全学会第4回学術講演会 産学協同セッション、福井、2007、産学06
- [2] 夏井拓也、山本智彦他、“オンサイト非破壊検査用可搬型950keV Xバンドライナック X線源”、日本保全学会第5回学術講演会 産学協同セッション、茨城、2008
- [3] E.A.Knapp, B.C. Knapp, J. M. Potter, *Rev. Sci. Instr.* **39**, 652 (1968)
- [4] R. Roy, O. Shanker, *IEEE Trans. Microwave and Tech.* **41**, 1233 (1993)