

小型硬 X 線源用 X バンド加速管の開発

栄 久晴^{1,A)}、山本 昌志^{A)}、松尾 健一^{A)}、深沢 篤^{B)}、上坂 充^{B)}、明本 光生^{C)}、
早野 仁司^{C)}、肥後 寿泰^{C)}、浦川 順治^{C)}、飯島 北斗^{D)}、土橋 克広^{D)}

A) 石川島播磨重工業株式会社

〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町 1

B) 東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設

〒319-1188 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-22

C) 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

D) 放射線医学総合研究所

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

概要

文部科学省の先進小型加速器開発プロジェクトの一環として、電子リニアックの高輝度電子ビームとレーザのコンプトン散乱を用いた小型硬 X 線源の開発[1]が進められている。

本装置は、心臓の動的血管造影等の医療診断や蛋白質の構造解析等への応用を開発目標にしたものであり、病院、研究機関等へ導入のためには、小型化の必要がある。このために、リニアックには、X バンド RF 電子銃および X バンド加速管を用いて小型化を計る。X バンド加速管および高周波電源については、高エネルギー加速器研究機構で開発が進められているリニアコライダーの技術を応用する[2]。ここでは、X バンド加速管の開発現状について報告する。

1. はじめに

小型硬 X 線の試験機の開発においては、エネルギー 33keV 以上、光子数 $10^7 \sim 10^8$ 個/pulse の X 線ビームの生成を目標としている。このために、レーザには、高出力の Nd:Yag(1,064nm)、Ti-Sapphire(795nm)を用い、リニアックは、以下を基本仕様としている。

加速周波数	11.424 GHz
ビームエネルギー	50 MeV
電荷量	約 1 nC/pulse
マクロパルス繰返し	10 ~ 50 pps
マクロパルス幅	1 μ s
バンチ構造	シングル、マルチ(2.8ns 間隔)

RF 電子銃は、熱電子カソード型、光電子カソード型の順に開発を行う。また、加速管は、マルチバンチのビーム加速で問題となるウェーク場に対応できるように、1 号機として RDS 型(Round Detuned Structure)、2 号機として RDDS 型(Round Dumped Detuned Structure)を開発する。

2. 加速管の設計

加速管の基本仕様を以下に示す。

加速周波数	11.424 GHz
加速モード	2 / 3 モード
加速管本数	2 本
セル数/加速管長	86 セル / 75 cm
シャント抵抗値	93 M /m 以上
加速電界	38 MV/m 以上 (17.5MW 入力)

RDS 型加速管の設計では、以下を設計方針とした。

- ・上記仕様を基本仕様を満足すること。
- ・ウェーク場が減少するように、ダイポールモードの周波数(第 1, 3, 6)を各セルで分散させる。
- ・ウェーク場のダンピング時間は、マルチバンチのパルス間隔(2.8 ns)に設定する。
- ・高電界条件でも放電が抑えられ、安定な運転ができるように、郡速度(V_g)は 5%以下とする。
- ・加速セルの基本構造は、図 1 に従うものとする。

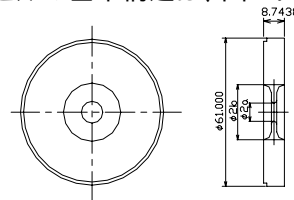


図 1 加速セル

加速セルの設計パラメータ(寸法、高周波特性)は、以下の手順で決定した。

- (1) ダイポールの周波数(fd_1 , fd_3)をガウス分布で発生させ、昇順に各セルの周波数を決める。
- (2) 上記の組合せについて、加速モード周波数が規定値(11.424GHz)となるように、各セルの寸法(a , b , t)を求める。

¹ E-mail: hisaharu_sakae@ihi.co.jp

(3) 上記寸法に対して、各セルの高周波特性を求める。

ダイポールモード、加速モードは、高周波解析コード PISCES- [3]および SUPERFISH を用いて計算し、ウェーク場は、MAFIA を用いて評価を行った。これにより求めた、シャント抵抗、郡速度を図 2、図 3 に示す。また、ウェーク関数の時間変化を図 4 に示す。本図により、ウェーク関数は、2.8ns の時間で約 1/100 に減衰することが分かる。

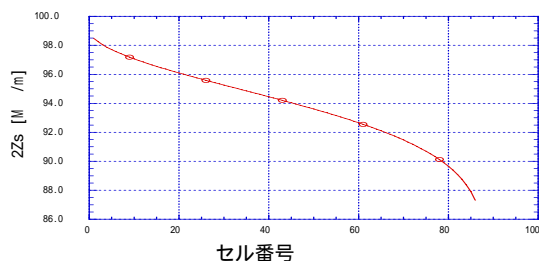


図 2 シャント抵抗

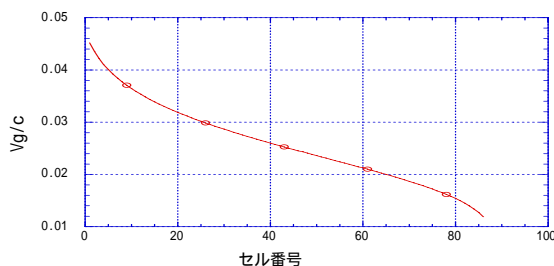


図 3 郡速度

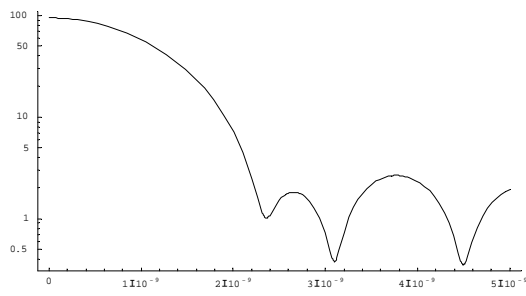


図 4 ウェーク関数の時間変化

3. 加速管の製作

現在、製作を進めている加速管の概略構造を図 5 に示す。加速セルは拡散接合で接合し、冷却管は本体の外周に接合する構造とした。また、カップラはダブルフィードのアイリス結合方式とした。

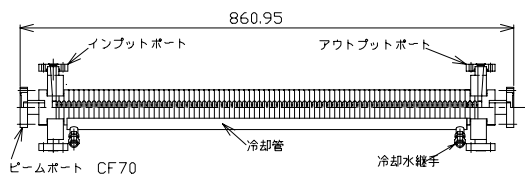


図 5 Xバンド加速管

ここでは、将来の製品化を考慮して、製作工程の改良による生産性向上およびコストの削減も開発課題として製作を進めている。

従来、加速セルの加工では、最終加工を中仕上、仕上の工程に分けて、個別の超精密旋盤で加工を行ってきたが、今回は、生産性の向上を目標として、中仕上、仕上を同一旋盤を用いて 1 工程で行う[4]。

また、加速管の本体部は、仮接合(約 170)と拡散接合(890)の 2 段階接合法を用いて接合を行っていたが、大型真空炉を用いた従来の仮接合では長時間の熱処理(計 48 時間)が必要となるため、作業、コスト面で効率が悪かった。このため、今回は小型真空容器(約 500×2,700mm)にシースヒータを設置した、簡易型の仮接合用真空炉を用いて仮接合を行うことで作業時間の短縮(約 20%)を目指している[5]。

現在、本加速管は、セルの粗加工が終了し、これから仕上加工、組立、接合を行う予定である。また、2 本目の RDDS 型加速管についても設計を進めている。

謝辞

加速管の高周波解析についてご指導、ご助力いただきました。PISCES の開発者である岩下助教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] 上坂 充, 他, "X-band linac を用いた小型硬 X 線源", 原子核研究, 掲載予定
- [2] N.Toge, et al., "R&D Status of the X-band Linac System for JLC", Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tukuba, Aug.1-3, 2001
URL: <http://lcdev.kek.jp/Conf/LinacMeeting2001/1-D-1.pdf>
- [3] Y. Iwashita, "PISCES : 2.5D RF Cavity Code with High Accuracy", ICAP'98, Sept.14-18, 1998
- [4] 栄 久晴, "RDDS 型加速セル加工試験結果", 高エネ研メカワークショップ報告集, April.19, 2002
URL: <http://lcdev.kek.jp/MechWS02/index.html>
- [5] 栄 久晴, "加速管接合治具の開発", 高エネ研メカワークショップ報告集, April.19 2002
URL: <http://lcdev.kek.jp/MechWS02/index.html>