

## シンクロトロン入射用ライナックの製造

### PRODUCTION OF INJECTOR LINAC FOR THE ELECTRON SYNCHROTRON

Daisuke Suzuki<sup>#, A)</sup>, Sadao Miura<sup>A)</sup>, Katsuya Sennyu<sup>A)</sup>, Yoshinobu Shibasaki<sup>B)</sup>, Ken Takahashi<sup>B)</sup>, Ikuro Nagasawa<sup>A B)</sup>, Ken-ichi Nanbu<sup>B)</sup>, Fujio Hinode<sup>B)</sup>, Toshiya Muto<sup>B)</sup>, Fujio Hinode<sup>B)</sup>, Shigeru Kashiwagi<sup>B)</sup>, Hiroyuki Hama<sup>B)</sup>  
<sup>A)</sup> Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.  
<sup>B)</sup> Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University

#### Abstract

Tohoku University had 300MeV linac and the 1.2GeV booster synchrotron for Electron Photon Science. The high energy part of the linac was broken by the 11 March 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and restoration of the linac was difficult. Therefore, Mitsubishi Heavy Industries (MHI) supplied new 90MeV linac for booster synchrotron and completed the linac in January, 2013. It reports on production results of the linac.

#### 1. はじめに

東北大学電子光学研究センターでは、300MeV ライナックと 1.2GeV ブースターシンクロトロンを保有していたが、東北地方太平洋沖地震により、ライナックの高エネルギー部が破損、復旧が困難な状態となった。このためブースターシンクロトロン入射器として新規に 90MeV ライナックを導入することとなった。<sup>[1][2]</sup>

三菱重工では電子銃、加速管、高周波源、ビーム輸送ラインの製造に加えて、機器据付、配線、配管、RF 枯らしなどの現地工事も含め 2011 年 11 月に一括で受注し、受注より 14 か月後となる 2013 年 1 月に東北大学へ納入した。

本発表では、上記のシンクロトロン入射用ライナックの工事に関する詳細報告を行う。

#### 2. ライナックの概要

シンクロトロン入射用ライナックは、50MW のクライストロン 1 台を高周波源として、熱陰極 RF 電子銃から取り出した電子ビームを S バンド 3m 加速管 2 本により 90MeV まで加速し、ビーム輸送ラインにて電子ビームを既設のビームラインへ振り分ける。

クライストロン、RF 源、制御盤は地上に設置されており、RF 電子銃、加速管、ビーム輸送ラインは地下に設置されている。地上で発生した RF は導波管により伝搬され、RF 電子銃と加速管をドライブする。

本ライナックは地上に設置された制御盤でのローカル制御にて制御される。制御機器は ETHERNET と RS232C にて上位と取り合う、リモート制御することが可能である。

図 1 に本ライナックのシステムブロック図、表 1 に本ライナックの主な仕様を示す。

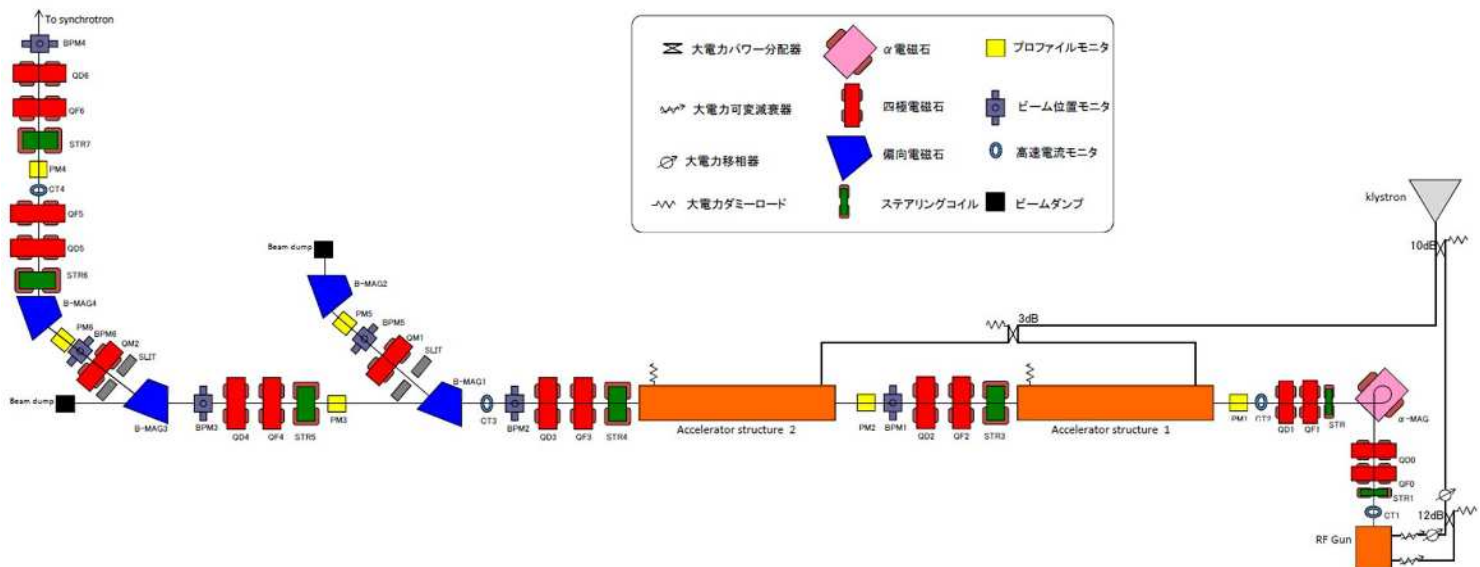


図 1: ライナックシステムブロック図

表 1: ライナックの主な仕様

シンクロトン入射用ライナックの主な仕様	
ビームエネルギー	90 MeV
ビーム電流	50 mA
RF電子銃周波数	2856MHz
熱カソード材質	LaB <sub>6</sub>
加速管周波数	2856MHz
加速管長さ、本数	3m×2本
クライストロン最大出力電力	50.5MW
クライストロンパルス幅	3μs
クライストロン繰り返し	12.5pps
クライストロン台数	1台
制御	ローカル制御
制御取合い	ETHENET 又は RS232C

### 3. ライナックの構成

#### 3.1 高周波源

本ライナック RF の源は 1 ユニットであり、クライストロン、モジュレータ電源から構成される(図 2)。クライストロンは、東芝電子管デバイス製 E3730A で、発生する RF の周波数は 2586MHz で、定格出力は 50MW である。モジュレータは日新パルス電子製 NKM-317K360THU で、高圧電源は LAMBDA 社製 EOR802L を 2 台並列接続している。モジュレータの主な仕様は、出力パルス電圧 316.6kV、有効パルス幅 3μs、繰り返し 10pps である。



図 2: 地上に設置された RF 源

#### 3.2 高周波立体回路

高周波立体回路は、3dB、10dB、12dB の方向性結合器が各 1 台、減衰器、移相器が各 2 台、導波管から構成されている。10dB 方向性結合器の主伝送路は加速管に接続され、その後 3dB の方向性結合器により 2 本の S バンド加速管に RF を等分し、加速管には 19.4MW の RF が供給される。一方、副伝送路には RF 電子銃に接続され、12dB の方向性結合器により RF を分配後、減衰器により出力を調整する。減衰器の減衰量を最小にした場合、RF 電子銃の第 1 空洞に 290kW、第 2 空洞に 4.2MW の RF

が供給される。移相器は加速管と RF 電子銃間及び RF 電子銃の 2 空洞間の移相を調整するために使用される。

#### 3.3 電子源

本ライナックの電子源である RF 電子銃の主な仕様は、空洞数 2 セル、外径φ166mm、全長 208mm、運転周波数 2856MHz(30、真空中)、第 1 空洞 Q 値 8200、第 2 空洞 Q 値 12000 である。本 RF 電子銃は、東北大学電子光学センターが提案されたものの<sup>[3][4]</sup>で 2 つの空洞間には電気的な結合がないため、2 つの空洞の RF を独立で調整できる機能を有する。図 3 に RF 電子銃の全体像を示す。

RF 電子銃から発生した電子ビームは、α電磁石によって短パンチ化される。さらにα電磁石の真空容器内部には、可動式ビームスリットが備え付けられており、ビームスリットを用いてビームエネルギー幅を調整する。



図 3: RF 電子銃

#### 3.4 主加速部

主加速部は S バンド準対称型加速管 2 本で構成されており、RF 電子銃から発生した電子は 90MeV まで加速される。加速管の主な仕様は、空洞数 84+2 カプラーセル、外径φ138mm、外径全長 3.1m、運転周波数 2856MHz(30、真空中)、 $\tau=0.57\text{ns}$ 、 $t_F=0.83\mu\text{s}$ 、加速モードは  $2\pi/3$  モードであり、基本仕様は KEK/ATF に納入したものと同様である。図 4 に加速管の全体像を示す。

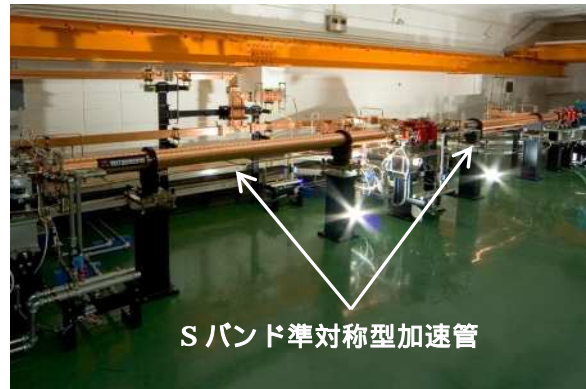


図 4: S バンド準対称型加速管

### 3.5 ビーム輸送ライン

90MeV まで加速された電子ビームは、ビーム輸送ラインの 45 度の偏向電磁石 2 台により、90 度偏向し、既設の 2 本のビームラインに振り分ける。またビーム輸送ラインには、ビーム診断のためにエミッタンス測定用にプロファイルモニタ、ビーム軌道測定用に BPM、ビームの電流値測定のために CT が設けられている。図 5 に加速管から取り出した電子ビームを入射ラインへと導くビーム輸送ラインを示す。

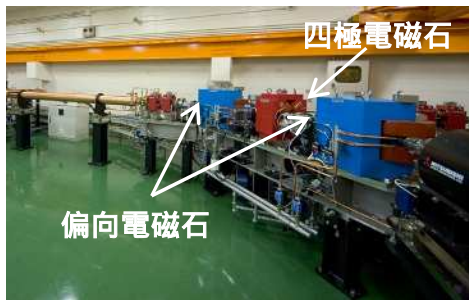


図 5: 分散部の電磁石

### 3.5 制御

ライナック制御は 1F に設置したローカル制御盤にて行う。クライストロンモジュレーターはシーケンサーで制御しており、マグネット類はローカル制御盤にて電流制御、電流値のリードバックを行っている。ライナックは機器保護及び放射線立入管理のためのインターロック盤を有しており、これらはすべて上位とは ETHERNET で取り合う。また、その他の種々制御機器類は ETHERNET 又は RS232C で上位と取り合っている。

## 4. 全体スケジュール

表 2 に本ライナック製造の全体スケジュールを示す。2011 年 11 月末の受注より、設計、仕様調整、機器製作を開始し、10 か月後の 2012 年 10 月末までに制御盤の製作までを含めて機器製作を完了させた。その後、2012 年 11 月に機器据付、12 月に配線、配管作業、動作確認を行った。2013 年 1 月より RF からしを開始し、月末にビーム加速を行い、ビームエネルギー等の確認を行った後、東北大学ヘライナックの受け渡しを行った。

## 5. まとめ

MHI は 2011 年 11 月末よりシンクロtron入射用ライナックの製造を受注し、14 か月後の 2013 年 1 月末までに機器製造、据付、配線、配管、RF からしを完了し、東北大学ヘライナックの受け渡しを行った。

現在、本ライナックでは 90MeV の電子ビームを発生させ、ブースターリングへの入射のために調整運転がされている。

### 参考文献

- [1] S. Kashiwagiet al., “東北大学電子シンクロtron入射用 90MeV リニアックの新設”, Proceedings of the 9th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2012
- [2] M. Kawai al., “東北大学電子光物理学研究センターの加速器の現状”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2011
- [3] F. Hinode et al., “Development of a Thermionic RF Gun for Coherent THz Source at Tohoku University”, Proceedings of IPAC'10, 2010
- [4] S. Kashiwagiet al., “東北大学コヒーレント THz 光源試験加速器の開発状況”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2011

表 2: シンクロtronライナック全体スケジュール

項目	H24年												H25年		
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
加速管								製作							
RF電子銃		設計						製作							
クライストロン		仕様調査						製作							
クライストロンモジュレータ		仕様調査						製作							
導波管				設計					製作						
電磁石		仕様調査							製作						
架台		アライメント検討						設計				製作			
制御		仕様調査							設計			製作			
機器据付															
配管、配線															
RFからし															
															納品