

産研 L バンドライナックの改造

磯山 悟朗^{1, A)}、加藤 龍好^{A)}、菅田 義英^{A)}、山本 保^{A)}、吉田陽一^{A)}、古澤孝弘^{A)}、末峰昌二^{A, B)}、
関修平^{A)}、田川精一^{A)}

^{A)}大阪大学産業科学研究所

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

^{B)}ユニコンシステム

〒559-0013 大阪府大阪市住之江区御崎 6-24-28

概要

大阪大学産業科学研究所の L バンド電子ライナックの大規模な改造を進めている。改修範囲は、モジュレーターの更新と新しい 30 MW クライストロンの導入、立体回路の改修、3 台のサブハーモニックバンチャー用電源の更新、高精度冷却水システムの導入、計算機制御システムの導入にわたる。平成 13 年末に新しい機器が納入される予定である。

1. はじめに

大阪大学産業科学研究所附属放射線実験所 L バンド電子ライナックは、昭和 50 年に建設が開始され、昭和 53 年に完成して運転を開始して以来、20 年以上にわたり、パルスラジオリシスによる放射線化学の研究を中心に活発に利用されてきた。この間、大強度単バンチ電子ビームを発生するために、サブハーモニックバンチャー (SHB) を増強したのを除き、加速器本体に大きな改造を行うことは無かった。平成 14 年度に放射線実験所が改組して、産業科学ナノテクノロジーセンターに転換した。新センターでトップダウンによるナノテクノロジーを格段に推進するために、L バンドライナックを改修する予算が認められた。改造の主な目的は、サブピコ秒からフェムト秒の超高速現象を解明する実験を行うために加速器の動作を高度に安定化することである。そのためには加速器動作の再現性も重要である。

限られた改造予算を有効に使うために、ライナック建設以来使用している 20 MW クライストロン用パルスモジュレーターとサブハーモニックバンチャー (SHB) 電源を更新することにした。この更新に伴い RF パワー伝送路にも改造を加える。新しい試みとして、新規導入装置に対する計算機制御システムの導入を行う。更に加速器動作の安定化を実現するために高精度な温度制御が可能な新しい冷却水システムを導入する。本論文では、これら改造の概要を紹介する。

2. 制御系

改造の目的の一つは、加速器運転の高精度化と自動化である。従来の制御は、遠隔操作盤のヘリポッ

トなどを使ったアナログ制御であり、加速器運転を運転するのに高度な熟練が必要であることに加えて、運転モードを再現することが難しい。そこで新しい計算機制御システムを導入した。システムの詳細については、この研究会で別途報告する^[1]。従来の機器の多くは、計算機制御システムにつなぎ込むのが難しいので、当初の計画として、新しく更新した機器を中心に計算機制御システムを構築し、残りの部分は、次期計画で組み入れるこのにした。

新しい制御系は、パソコン (PC) とプログラマブルロジックコントローラー (PLC) をイーサネット で接続した分散制御システムである。システムの設計と製作は東芝が担当する。制御室と加速器本体室に PLC を取り付けた盤を設置して、ここに制御対象機器を接続する。制御室には、制御卓として使用する PC を置く。PC 上のヒューマン・マシンインターフェイスは、PLC メーカーが供給する標準的なソフトウェアを使用して作成する。そのためには、接続する PLC のメーカーを統一する必要がある。今回は、横河電機の PLC を採用した。この制御システムの特徴は、出来るだけイーサネットなどのシリアルラインを用いて制御対象機器を接続することである。後述するモジュレーターなどの大型機器は、装置内部の制御・監視に PLC を用いている。新たに製造する機器に対しては、内部用の PLC に横河電機製を使用してもらい、これにイーサネットアダプターを取り付けて、直接制御システムに組み込むことにした。これにより、計算機制御システムに接続するための PLC 用入出力ボードが不要になるばかりではなく、現場でのケーブル配線の作業を大幅に減らせる。

3. クライストロンとモジュレーター

産研 L バンド電子ライナックは、単一セルの定在波型プレバンチャーと多セルの進行波型バンチャー、加速管より構成される。建設当初は、トムソンの 20 MW クライストロン 1 台から RF パワーを分割してこれら 3 種類の RF 空洞に供給していた。SHB システムを増強する際、東芝の 5 MW クライストロンとモジュレーターを新たに追加して、この RF パワーをプレバンチャーとバンチャーに供給し、20 MW ライストロンは加速管専用のシステムとした。今回の改造では、ターレス (旧トムソン) の 30 MW クライス

¹ isoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

表 1 . モジュレーター装置定格

公称出力パルス幅	4 μ s	7 μ s 以上
出力パルス電圧	282 kV	
出力パルス電流	260 A	
有効パルス長	4 μ s	8 μ s
パルス半値幅	7 μ s	11 μ s
最大パルス繰返し	60 pps	35 pps
パルス電圧平坦度	0.2 % p-p (0.1 %)*	
パルス電圧安定度	0.1 % p-p (0.5 %)*	
電圧平坦度 + 安定度	0.3 % p-p (0.15 %)*	
PFN セクション数	10 段 2 列	16 段 2 列
放電スイッチ	サイラトロン	
トランス昇圧比	1 : 23	
充電方式	高周波インバーター	

* () 内は目標値

トロン 1 台を使い、この RF パワーを 3 種類の RF 空洞に供給するという元の方式に戻す。

30 MW クライストロン駆動用にモジュレーター電源を更新する。新しい RF システムの仕様を表 1 に示す。出力パルス幅を 4 μ s と 8 μ s に切換えることができる。最大運転周波数 60 Hz、パルス毎の出力変動 0.05 % 以下、パルス内の電圧変動 0.1 % (全幅) 以下が目標であり、ニチコンが設計製作を行う。高圧電源は高周波インバーター方式である。出力電圧の長期間安定性を実現するために、入力 AC ラインに安定度 1 % の AVR を使用する。パルス幅の切換えとそれに伴う PFN の設定変更は、遠隔操作で行うことができる。計算機制御システムへの接続は、モジュレーター全体に対して、1 本のイーサネットケーブルで行う。

モジュレーターの設計は現在進行中であるが、基本的には、ニチコン仕様で、PFN のコンデンサーは自己修復型、高圧回路部は電磁ノイズ低減のための 2 重シールド筐体を使用する。

4 . パワー伝送路

クライストロンが 2 本のシステムから、1 本のシステムに変更するため、RF パワー伝送路も組み換えし、変更を加えなければならない。新設する部品は、プリバンチャーとバンチャー系に 5 MW のパワーを分配するパワー分割器とこの経路に対する可変減衰器である。この新規部品と既存の部品を組み合わせ、新しいパワー伝送路をライナック上部の棚の上に組み上げる。この部分は日本高周波が担当する。新しい部品は、計算機制御システムに組み込むことができるが、従来からある他の可変減衰器と移相器は、そのままでは制御系に組み込むことが出来ない。既存の部品を改造して、パルスモーターで動かし、制御系に組み入れることは次期計画で行う。

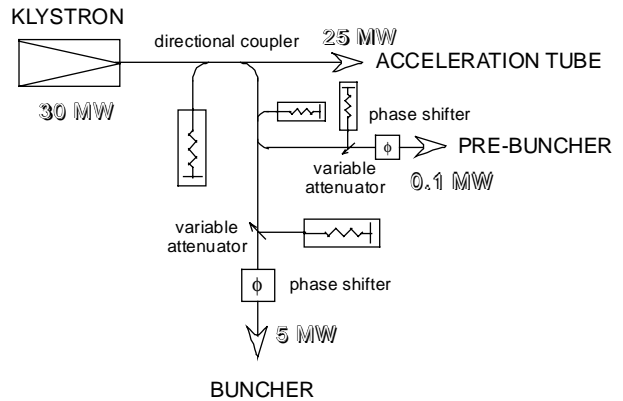


図 1 . 立体回路模式図

5 . サブハーモニックバンチャー

サブハーモニックバンチャー (SHB) システムは、大強度単バンチ運転を行うために加速周波数の 1/12 の周波数である 108 MHz で動作するレエントラント型加速空洞 SHB1 および SHB2 と、1/6 の周波数である 216 MHz の加速空洞 SHB3 の合計 3 台より構成される。これらの加速空洞は、それぞれ独立した真空管式 RF アンブにより励振される。単バンチビームの

表 2 . SHB 空洞の特性^[2]

	SHB1&2	SHB3
Frequency (MHz)	108	216
Cavity length (mm)	812	394
Cavity diameter (mm)	190	190
Drift tube diameter (mm)	60	60
Gap length (mm)	34	34
Tuning range (kHz)	400	32
Q_L	4400	1970

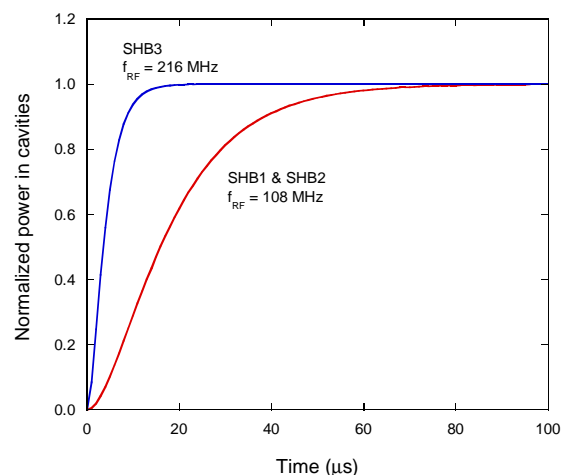


図 2 . サブハーモニックバンチャーでのパワーの立ち上がり

安定度は、これらアンプの安定度に強く依存する。そこで、3台のRFアンプを更新することにした。

SHB 1 ~ 3 空洞の特性を表 2 に示す。これら空洞の Q 値を用いて計算した空洞内の規格化されたパワーの時間発展を図 2 に示す。3 台の SHB 空洞は、無酸素銅をステンレス (SUS316) に爆着したクラッド材で作られており Q 値が比較的高い。SHB1 と SHB2 の 2 台の 108 MHz 空洞 Q 値は 4400 であり、現在の RF パルス幅 20 μ s では、空洞電圧が一定の値に達しない。又、8 μ s の時間幅を持つ長パルスモードでも問題が生じないように、SHB 電源のパルス幅を最大 100 μ s まで延長できるようにする。計算機制御システムへの接続は、電源内部の制御用 PLC にイーサネットボードを追加して行う。これらの電源の製作は日本高周波が行う。

6 . 冷却水

L バンド電子ライナックの冷却水システムは、加速器本体室用とクライストロン室用の 2 系統がある。両方の系統とも一定の温度になるように制御されているが、ライナック本体室用の冷却水の一部は、更に精密な温度調整器により 0.1 度以内の温度変動に抑えられて加速管やバンチャー、プレバンチャーの冷却と温度調整に使われていた。加速器の運転を更に安定化するために温度変動を 0.01 度以内の収められる最新の冷却水システムを導入する。この冷却水システムの製造は、アクアテックが担当する。

7 . まとめ

L バンド電子ライナックの改造は、平成 13 年度末に発注した。現在は、各部の担当会社と細部の設計打合せを行っている。上に述べた計算機制御システムとモジュレーターとクライストロン、立体回路、SHB 用電源、高精度冷却水システムは、平成 14 年末に納入・取付けが行われる予定である。

今回の改造に含まれなかった制御系の残りの部分と電磁石電源の更新、位相器や可変減衰器全てを計算機制御システムに接続するための RF パワー伝送系の改造、高精度タイミングシステムの導入、加速器運転状態測定・監視用機器の更新は、平成 14 年度の前算で実行するように現在検討を進めている。この新規計画の詳細と現在進めている改造の結果は、次回のライナック研究会で報告する。

参考文献

- [1] R. Kato et. al. "Modification of the L-band linac control system at ISIR, Osaka University", Proceedings of the 27th Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 7-9, 2002.
- [2] K. Tsumori, et. al. Proceedings of the 9th Linear Accelerator Meeting in Japan, 1984, pp. 13.