

## RF System of the HIMAC Injector

H.Murata\*, M.Yamamoto\*, S.Shibuya\*, Y.Honda\*, C.Kobayashi\*, K.Nagakura\*, H.Sakamoto\*, T.Kimura\*, T.Fukushima\*, K.Ueno\*\*, H.Matsushita\*\*, A.Kitagawa, T.Murakami, M.Muramatsu, H.Ogawa, Y.Sato, K.Tashiro, J.Yoshizawa, S.Yamada

National Institute of Radiological Sciences,  
4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi 263, Japan  
\* Accelerator Engineering Corporation,  
2-10-14-302 Konakadai, Inage-ku, Chiba-shi 263, Japan  
\*\* Sumitomo Heavy Industries, LTD.,  
5-9-11 Kitashinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo 141, Japan

### Abstract

The HIMAC injector has three kinds of the RF systems, which are used for the RFQ, the DTL and the debuncher, respectively. Each maximum output power is 300kW, 1.4MW and 30kW. The frequency is 100MHz, and the pulse width and the repetition rate are 1.2ms and 3Hz. Normally, they are operated continuously from Monday to Saturday.

### HIMAC入射器RF系の現状

#### 1. はじめに

HIMAC入射器で使用されるRF源は全て住友重機械工業(株)新居浜製造所において実負荷試験まで実施した後に92年3月に搬入された。入射器系各装置の調整後1993年3月に初ビーム加速に成功した。<sup>1)</sup>現在は1994年10月より治療、実験へのビーム供給のために24時間運転を行っている。

本稿では、HIMAC入射器のRF系の現状について、トラブルシューティングと性能向上のための改造とその結果を中心に報告する。

#### 2. 各RF系の現状

本RF源の構成と主な仕様をそれぞれ図1、表1に、RF源の全景を図2に示す。動作周波数は全て100MHzであり、パルス幅、繰り返し周波数はそれぞれ最大1.2ms、3Hzである。

以下に各系統のRF源について述べる。

#### 2.1 DTL

DTLは3台の共振空洞から成り、それぞれに1系統のRFアンプを持つ。<sup>2)</sup>初段のトランジスタアンプ(SSA)の出力は、LPA(Low Power Amplifier)のテスト結果に基づき200Wとされた。

またHPA(High Power Amplifier)のRFシIMAC入十分だったために、パネルとアングル間にフィンガーの追加、信号ラインへの貫通コンデンサー挿入などの補強を行い、漏洩電界レベルを30dB減少させた。

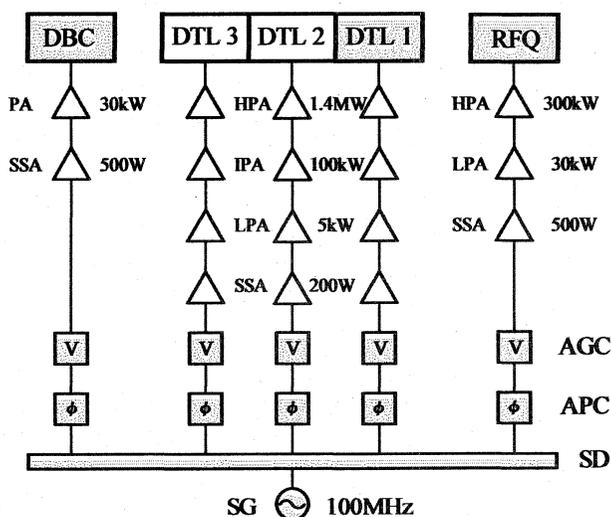


図1. HIMAC入射器のRF源の構成

	RFQ		DTL		
	HPA	LPA	HPA	IPA	LPA
真空管	4CW10000E	4CX2000C	RS2074SK	RS2058CJ	RS2032CL
出力 (kW)	300	30	1400	100	5
P電圧 (kV)	20	12	20	10	6.5
P電流 (A)	24	5	101	18.5	1.7
SG電圧 (V)	900	1000	1500	1000	800
CG電圧 (V)	-600	-370	-630~690	-255~315	-125~155

表1. HIMAC入は全てRF源業様  
DBCのPAはRFQ LPAに同じ。

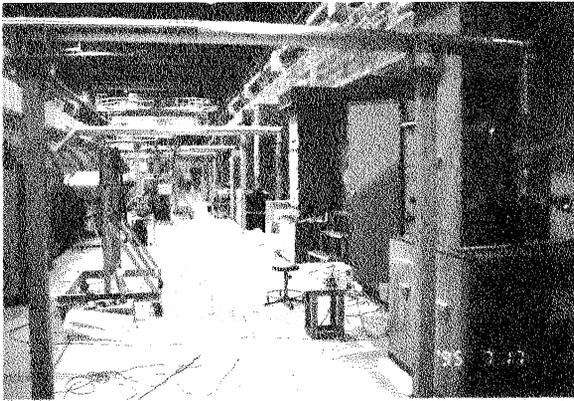


図2. HIMAC 入射器 RF 源

搬入後3年半、工場試験を含めると4年以上を経過し、これまでにほぼ全てのアンプの真空管が一度交換された。交換されたものは大体メーカーの保証時間を越えて使用してきた。一度RS2074SKの使用中にフィラメント切れが発生している。この真空管は6000時間以上使用されていた(保証時間は4000時間)。現在は24時間運転に入っているために、今後は年1回定期点検時を目的に交換していく予定である。

図3に荷電質量比1/5の時のNo.2 DTLのRF振幅とHPAの進行波波形を示す。

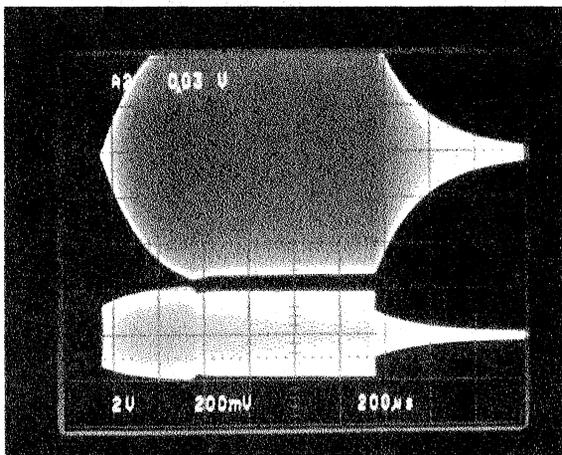


図3. DTL2のRF振幅とHPA2の進行波

## 2.2 RFQ

RFQ HPAは当初、東大核研のTALLを用いた大電力試験に基づき、配線関係を若干改造した大電力増幅器を使用していたが、今年3月に出力取り出し方法、入力回路のVSWRの改善等を目的に改造した。

旧型では出力取り出しは容量結合になっており、高

出力時に放電を起こすことがあったため、ループ結合としてループの出し入れで整合を取るようにした。旧型の入力回路は調整範囲が狭いためVSWRが8~10と悪く、GKアンプであるLPAを正常に動作させるためにLPAとHPAの間にサーキュレーターを入れて反射波を吸収させていた。新型ではVSWRはかなり改善されたが、まだ反射波の影響がLPAの動作に若干影響するため、サーキュレーターは挿入されたままである。この時、VSWRは2程度にまで改善されている。

## 2.3 Debuncher (DBC)

DBC用のアンプはRFQ LPAと同様EIMAC社製の放送機用アンプを使用している。電源も共通である。但し、DBCでは通常荷電質量比1/2のイオンが通過するためアンプの出力は5kW程度であり、大きな問題も起こらずに既に使用時間が7900時間(1995/7/15現在、保証時間5000時間)経過したが順調に動作している。この真空管は夏の定期点検で交換する予定である。

## 2.4 制御系<sup>3)</sup>

入射器のRF制御系の概略図を図3に示す。

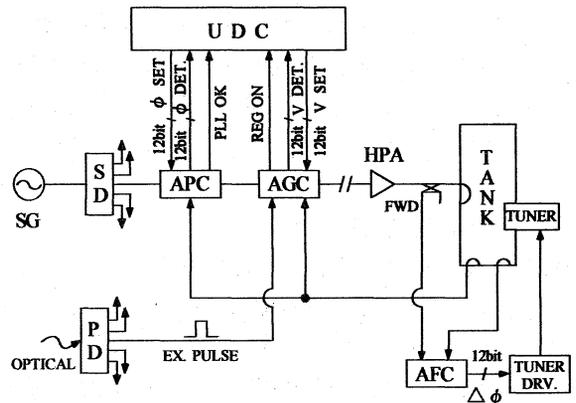


図4. HIMAC 入射器のRF制御系

UDC (Universal Device Controller)は機器単体に組み込まれる制御用のシングルボードコントローラであり、上位計算機と通信を行って起動、停止、設定、モニターなどを行う。

AGC (Automatic Gain Control)とAPC (Automatic Phase Control)では、タンクからのピックアップ信号をフィードバックすることにより、振幅及び位相の安定化を行っている。

AFC (Automatic Frequency Control)ではタンク内の

RF 振幅と HPA 進行波の位相差を検出し、チューナーを駆動することでタンク共振周波数のフィードバック制御を行っている。

現在、AGC、APCにより、各タンクのRF 振幅及び位相はそれぞれ0.1%以下、1°以内に安定化されている。

### 3. 主なトラブル

現在HIMACは週一度のメンテナンスと3月と8月の年2回に定期点検を行っている。そこでRF アンプ、電源の点検も行っているが、それでも点検しきれなかったところでトラブルが発生している。これまで運転時に発生したトラブル例を以下に示す。

#### 3.1 RFQ HPA のソケット焼損

ソケットのフィラメント電極と真空管の接触が充分でなく、ソケットが全周にわたって焼けてしまい導通が無くなってしまった。真空管の脱着方法に問題があり、ソケットとの接触が劣化したものと思われる。

#### 3.2 DTL LPA プレート電源トランス焼損

C 級動作のRS2032CL の特性の経年変化によりアイドル電流が流れ、それによりトランス1次側で増加した電流がその容量を超えて焼損した。また、MCB のトリップ電流がトランス容量に対して大きすぎて動作しなかったのも一因であった。

#### 3.3 RFQ HPA 入力回路故障

$Ar^{2+}$ を加速中に発生した。このHPAは今年の3月に改造されたものだが、同調用のショート板のコンタクトフィンガーのチップが全て溶けてなくなってしまった。大きな接触抵抗と不十分なフィンガーの接触圧とが重なって、局所的に高温になり溶けてしまったものと考えられる。図5に溶けたコンタクターの写真を示す。

上記の他にもDTL HPAでは出力回路のショート板のフィンガーや出力取り出し部のループのコンタクトが放電で溶けたり焼けてしまうというトラブルも発生している。以上のように、RF源に発生するトラブルはRF電流によるコンタクトのトラブルが非常に多い。これはほとんどが接触が不十分であったり、不均一な接触によるものが原因と思われる。今後は点検時間をこれらに重点的に割いていき、未然に事故の発生を防ぐ

計画である。

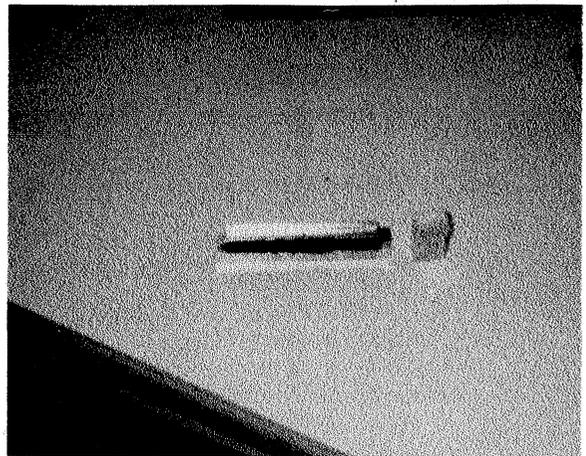


図5. RFQ HPA 入力回路の溶けたフィンガー

### 4. 今後の予定

95夏の定期点検ではDTL HPA、IPA (Intermediate Power Amplifier)の冷却系の改造を行う予定である。真空管と冷却ホースの脱着をワンタッチカップラーに変え、交換作業の効率化を図る。その他ストップバルブの追加、ブレードホースの交換等も行う。また、コンタクターの焼損対策としてループの形状を変更する。

今後の予定としては、更に安定にRF源を動作させることと、現在調整の難しいLPAのメンテナンスフリー化のためにDTL LPAのトランジスター化を行いたいと考えている。これにより交換しなければならない真空管の個数を減らせるため、ランニングコストの低減も計れる。

また、現在は手動で行っている加速電圧の設定を含めた立ち上げやタンクの枯らし運転等をコンピューターによる自動運転とし、誰でも簡単に操作できるように検討中である。

#### 参考文献

- 1) S.Yamada et al., Proc. 19th Linear Accel. Meeting in Japan, 1994, p.7
- 2) H.Murata et al., Proc. 15th Linear Accel. Meeting in Japan, 1990, p.285
- 3) S.Hara et al., Proc. 15th Linear Accel. Meeting in Japan, 1990, p.282