

# 70kW アンプの設計及び特性試験

石川 盛<sup>1,A)</sup>、藤本 哲也<sup>A)</sup>、成田 克久<sup>A)</sup>、小林 千広<sup>A)</sup>、青木 高之<sup>A)</sup>、佐野 悦信<sup>A)</sup>、仲伏 廣光<sup>A)</sup>  
藤澤 高志<sup>B)</sup>、佐藤 幸夫<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> 加速器エンジニアリング株式会社

〒263-0043 千葉県千葉市稲毛区小仲台 2-13-1

<sup>B)</sup> 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

HIMAC 入射器では DTL 高周波系の維持・管理・開発用に真空管調整装置を設けている。本装置の出力をパルス 1.4MW に増強し、DTL 終段アンプで発生している高調波及び寄生振動等を調査することを目的として、電源の改造と新たに 70kW 中間段アンプを設計した。今回 70kW アンプを設計製作した経緯と測定した結果を報告する。

## 1. はじめに

HIMAC 入射器 DTL は、質量電荷比が 1/2~1/7 までの重粒子を 0.8MeV/u から 6MeV/u まで加速する<sup>[1]</sup>。このため、DTL 高周波系では 1 台のトランジスタアンプと 2 台の真空管アンプをカスケード接続している。終段アンプには THALES 社製 RS2074SK の真空管を使用している。この真空管は 100MHz 付近での大電力増幅に適したものであり、その寿命は 20000 時間でも問題がないという報告もあるが<sup>[1]</sup>、HIMAC では治療照射中のトラブルを防ぐため、12000 時間を目安に交換している。交換した真空管は予備品として保管している。

現真空管調整装置は、予備品として保管してある真空管のフィラメントエージング及び調整運転を目的として、5kW トランジスタアンプと DTL 終段アンプと同じ構造のアンプで構成されているが、中間段アンプが無いと 1.4MW 出力は不可能である。そこで今回中間段アンプを製作することにした。図 1 に現状の概略図を示す。

## 2. 現状の運用と DTL 終段アンプの問題点

真空管調整装置はフィラメントエージングの他、CW 20kW 出力の運転が可能である。またプレート電源はパルス対応になっていなが duty0.1%以下のパルス運転であれば 140kW 出力運転が可能である。

HIMAC DTL 終段アンプで高出力運転を行うときの問題点は、寄生振動や高調波に起因してアンプ内で放電を起こすことである。放電が連続して起きた場合、反射電力の過大等で運転の続行が不可能になる。

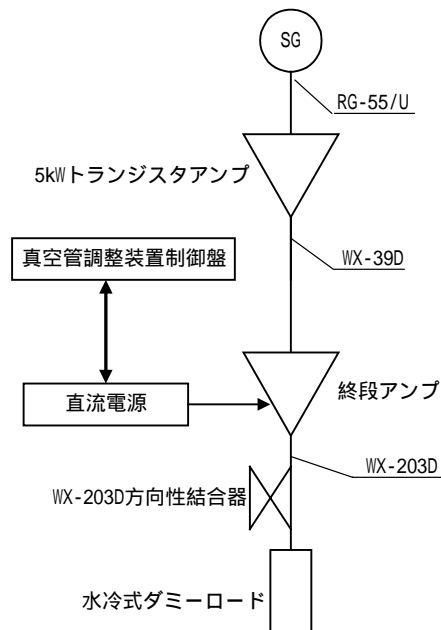


図 1 現状の真空管調整装置の概略図

現状の真空管調整装置では中間段アンプがなく高出力運転が不可能なためこれらの調査が行えない。また予備品として保管してある真空管が、高出力運転できるかどうかの判断も DTL 終段アンプに組み込み高出力運転しなければ確認できなかった。しかし DTL 終段アンプは筐体が大きいため高所での作業となり、また慎重な作業が要求されるため非常に時間がかかる。さらにビームライン室で行うため、ビームが停止している月 2 回のメンテナンス日か年 2 回の定期点検の時しか行えない。

以上のことを調査するため、真空管調整装置の終段アンプの出力を 1.4MW にして高出力運転を可能とし、DTL 終段アンプと同じ状態を本装置で再現させるため、電源の改造と 70kW 中間段アンプの設計・製作を行った。

また予備品の真空管に対してどの程度の周期でエージングを行えばよいか判断するため、プレート電極に 42kV 印加したときのリーク電流の測定を行っている。図 2 はそのリーク電流の経年変化を表したも

<sup>1</sup> S.Ishikawa 043-206-3201 aec2g@nirs.go.jp

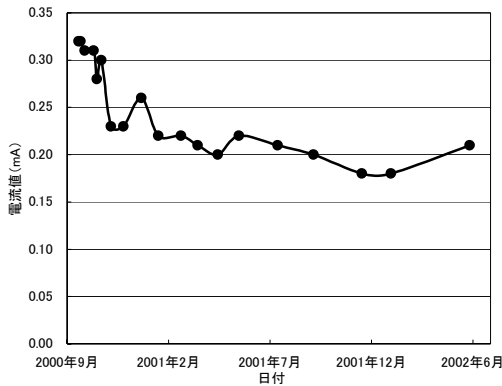


図2 リーク電流の経年変化

のである。真空管内の真空度が悪化してくるとリーク電流が増加し、そのリーク電流量をエージング周期の判断基準に使えないかと考えたが、2年間の測定ではリーク電流が増加する傾向が見られない。真空管の劣化の判断にこの方法が有効かどうか、もう少しこの調査を継続してから判断したいと考えている。

### 3. 70kW アンブ特徴

今回作成する 70kW アンブは、使用する真空管 (THALES 社製 RS2058CJ) は DTL 中間段アンブとのだが、陽極同調回路を 3/4 から 1/4 に変更した。出力は DTL 中間段アンブと同じ 70kW とした。

既設の DTL 中間段アンブは出力回路が 3/4 で筐体自体の高さが約 3m ある。そこで入力回路・出力回路を 1/4 にさせることで回路自体を短くして DTL 中間段アンブよりも小さくし、また調整のしやすさ、トラブル時の調査のしやすさを考えてなるべくシンプルになるように設計した。下記に DTL 中段アンブと新設アンブの比較表を示す。

表1 DTL 中間段アンブと新設アンブの比較

	DTL 中間段アンブ	新設アンブ
使用する真空管	RS2058CJ	RS2058CJ
動作方式	C 級増幅	C 級増幅
周波数	100MHz	100MHz
最大出力	70kW	70kW
出力回路	3/4 同軸	1/4 同軸
入力回路	3/4 レッヘル型	1/4 同軸
出力の取り出し	容量結合	同軸直結
出力接栓	WX-120D	WX-120D
入力接栓	WX-39D	WX-39D

図3は DTL 中間段アンブと新設アンブの大きさの比較を表したものである。新設アンブはかなり小さく出力調整、メンテナンス等における高所での作業がなくなった。

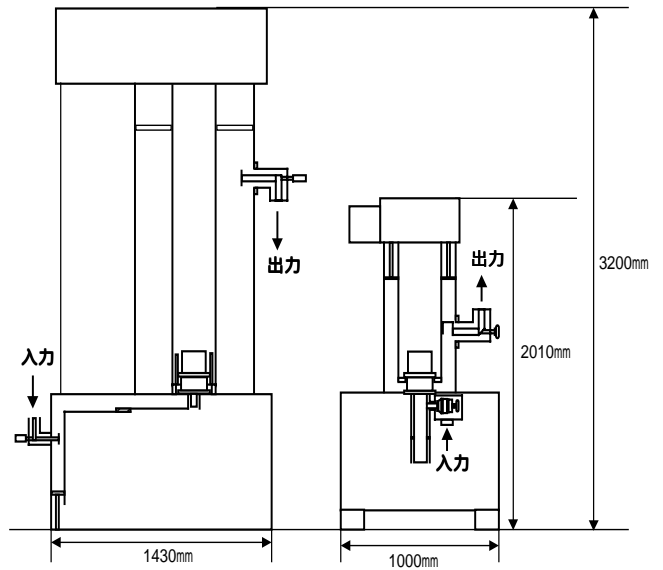


図3 大きさの比較

DTL 中間段アンブの出力結合は、容量結合としているが、70kW アンブは計算により出力回路の 50 の位置を求め、そこへ出力導波管を直結する方式をとった。また DTL 中間段アンブの入力回路は 3/4 レッヘル型であるが、70kW アンブは 1/4 同軸型とし、入力整合はスタブの上下及び真空バリコンを使用することにした。また入力回路に 2 つのモニター端子を設けトラブル時の調査が容易にできるようにした。

真空管を組み込むソケット部分も改良し、G1、G2 電極にモニターを 2 つずつ設けた。これもトラブル時に調査を容易にするためである。また DTL 中間段アンブの G1、G2 給電線は出力回路を通してソケットに繋がっているが、70kW アンブの給電線は、出力回路を通さないで接続できるように工夫してある。

### 4. 各電源の改造

パルス運転が可能のように真空管調整装置終段アンブの直流電源を改造した。

プレート電源の出力はパルスで DC20kV 100A duty0.36%とした。またサグが 10%以下になるようにコンデンサの容量を計算から求め 60μF とした。また使用する真空管 (THALES 社製 RS2074SK) の  $I^2t$  が THALES 社の基準で 900A<sup>2</sup>s 以下となっているが、この容量であれば、負荷側に 15 (540W) 程度の電流制限抵抗を入れれば基準を下回る (850A<sup>2</sup>s) ことが判明したため高速遮断用のクローバー回路を設けなかった。また、各グリッド電源はパルスでの過電流が検出できるように改造した。またコントロールグリッド電源はパルス運転に対応するためバンクコンデンサを追加した。

## 5. 高周波特性測定

今回測定したアンプが計算通り動作するか、また寄生振動を起こしそうな共振点がないか確認するため入力、出力回路の高周波特性の測定を行った。

### 5.1 出力回路の測定

出力回路の共振特性を測定した。出力回路長は G2 ソケットから 440mm の位置で 100MHz になるが、計算より求めた値では 450mm であり 1% の誤差に収まった。また 282MHz と 373MHz 付近に共振する波形を確認したが、100MHz の高調波に重ならないので、運用上問題ないと思われる。

次に出力整合位置の測定であるが、出力導波管側を 50 で終端し、出力回路のモニター部分におけるインピーダンス測定をすることで求めた。出力位置が正しければモニター位置でのインピーダンスは 370 (計算で求めた値) になるが、測定では 430 程度になり 370 にならなかった。ずれた原因として出力回路のショート板の位置が計算した位置より 10mm ほどずれたことにより、整合位置も 92mm (計算では 110mm) にずれてしまったからと考えられる。これは出力部の簡単な改造で修正できそうである。

さらに入力端 - 出力端のスルー特性を測定した。この測定は 10Hz から測定しアンプで寄生振動を起こしそうな共振点がないかを調べるために行った。図 4 にアンプの入力 - 出力スルー特性を示す。その結果高調波に重なるような共振点は観測されなかった。

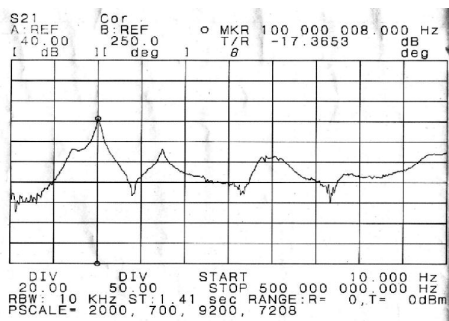


図 4 入力 - 出力スルー特性

### 5.2 入力回路

入力回路は真空管の動作抵抗 10 を見込んで入力端から 50 に見えるように設計してある。よって入力回路の測定はアンプが動作状態にならないと測定できない。ここでは、無動作時の入力動作抵抗が無制限であると仮定し、計算による入力端から見たインピーダンスの周波数特性 (図 5) と無動作時の実測 (図 6) が一致するようなスタブ  $L_v$  と可変コンデンサ  $C_v$  の大きさを求めた。その結果  $L_v 215\text{mm}$  (計算では  $L_v 175\text{mm}$ )、 $C_v 93.2\text{pF}$  (計算では  $C_v 116\text{pF}$ ) で入力の整合が取れることがわかった。計算とずれたのは入力回路の特性インピーダンスが計算と実物で多少ずれていたからである。

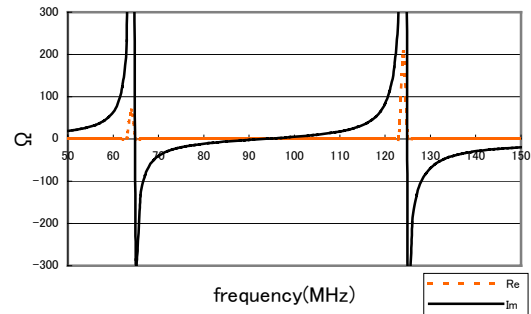


図 5 入力回路共振特性 (計算)

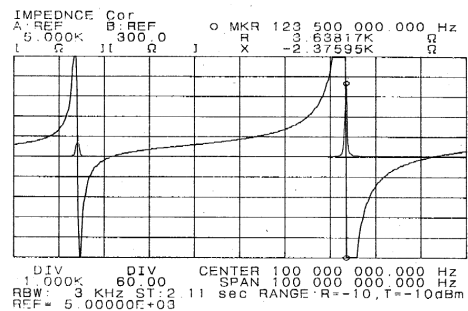


図 6 入力回路周波数特性 (実測)

### 5.3 G1 - G2 共振特性

真空管の G1 - G2 電極とバイパスコンデンサの共振特性を測定した。測定は給電用端子を使用して行った。計算から求めたバイパスコンデンサの共振周波数は 168MHz であるが実測は 174MHz でほぼ一致している。以前 DTL 終段アンプでは G1 - G2 回路において 23MHz の発振が起こりプレートに大電流が流れたことがある。今回の測定ではこのような 100MHz 以下の共振点もなかった。

## 6. 今後の予定

今回 70kW アンプを新規に設計製作しその高周波特性を調べたが 100MHz で安定に動作しそうである。現在 70kW アンプには電源がないため、パワー出しは行っていない。したがって真空管調整装置は 1.4MW での運転は未だ行っていない。今後の予定としては、70kW アンプの電源及び制御装置を組み込み 70kW アンプ単体で動作試験を行い、さらに真空管調整装置に組み込み高出力運転を行う。

また、THALES 社製 RS2074SK のプレート - グリット間リーク電流の測定を平行して行い、真空管の劣化が本装置で確認できるかを判断する。

## 参考文献

【1】 T.Fujimoto, *et al* " Status of the bench-test system for the tubes in the HIMAC DTL linac " Proceedings of the 25<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan(July 12-14, 2000, Himezi, Japan)