

## IMPROVEMENT OF RF LOW-LEVEL CONTROLLER FOR JAERI ERL-FEL

R. Nagai<sup>1</sup>, M. Sawamura, R. Hajima, N. Kikuzawa, N. Nishimori, T. Nishitani, E. Minehara  
Free-Electron Laser Laboratory, Advanced Photon Research Center, Japan Atomic Energy Research Institute  
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

### Abstract

An RF low-level controller for the JAERI ERL-FEL has been improved to ensure high-power FEL operation. To easily tune the feedback loop, the low-level controller is changed to continuous variable gain and time constant. In the result of the tuning, the amplitude and phase rms stability of the accelerating cavity in a macro-pulse are less than  $1.3 \times 10^{-4}$  and 0.06 deg., respectively. To suppress the temperature dependency of RF components of the low-level controller, the RF components are put into a temperature-regulated case. In the result of the temperature regulation of the RF components, the temperature dependency of the amplitude and phase are negligible small.

## 原研ERL-FEL用RFローレベル制御装置の改良

### 1. はじめに

自由電子レーザーにおいて安定に高出力を得るためには、安定したRF電場により安定した加速を行うことが不可欠である。更にエネルギー回収型自由電子レーザー (ERL-FEL) では電子ビームのバンチングを行っている入射部と回収軌道を偏向電磁石により合流しているために、入射部の加速器のRF電場には非常に高い安定度が求められる。

原研においても超伝導リニアックをERLに改造しFELの高出力化を進めており<sup>[1-4]</sup>、この改造に伴いRFローレベル制御装置の改良を行った。これまで用いてきたRFローレベル制御装置は入射部から真っ直ぐに主加速器へ入射する形状のリニアック (ERL改造前の状態) 用に作られたものであり、 $\pm 1$ 度以下の位相精度を目標として設計製作されたものである。ERLで使用するには性能が不十分であった。また、特に温度補償回路が組み込まれていなかったために、気温の変動に対して十分な安定度が確保されていなかった。

新しいRFローレベル制御装置の制御方法は以前と同様のアナログ $\Phi$ -A制御である。高い安定度と気温変動に対する安定度を得るために、主に以下の3点の改良を行った。

- (1) ループゲイン、時定数を連続可変にした。
- (2) RF制御回路を恒温槽内に収め温調を施した。
- (3) 基準電圧発生素子などの部品を見直し、より安定度の高いものを選定した。

(1) については、より高い安定度を得るためにフィードバック制御をかけたままの実運転状態でこれらを調整できるようにした。(2) については、ミキサー、検波器、移相器などのRF部品には温度特性<sup>[5]</sup>があるので、気温変動および素子自体の発熱の影響を避けるためにこれらの部品を全て恒温槽内に収めて温調を施した。(3) については制御回路

の安定度に関わる基準電圧発生素子などを安定度のより高いものを選定し、気温や電源電圧変動に対するより高い安定度が得られるようにした。

### 2. RFの安定性向上

#### 2.1 RFパルスの安定性

原研ERL-FELでは10pps、1msのマクロパルスで加速を行っており、RFのパルス幅は約2msであるが空洞にRFが満たされるまでの時間があるので後半の1msを加速に用いている。RFを空洞に印加した状態で、ループゲイン、時定数の調整を行った結果、加速に利用する1ms間のrms位相安定度は、以前のRFローレベル制御装置では0.20度であったものが0.06度に改善した。その様子を図1に示す。点線と実線がそれぞれ改良前後のRFローレベル制御装置によるものである。rms振幅安定度については以前と同様の $1.3 \times 10^{-4}$ の安定度を得ている。

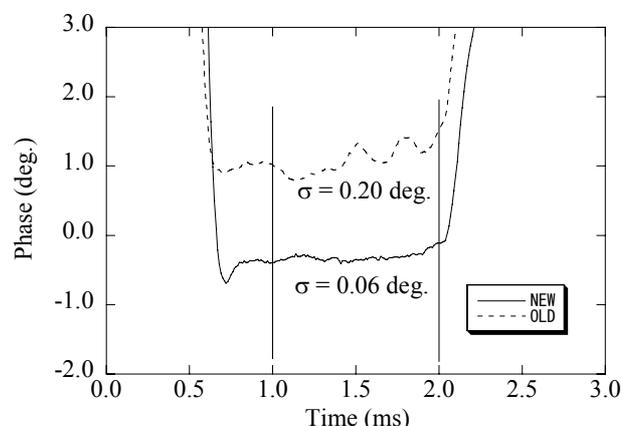


図1 : RFパルス内での位相安定度

また、RFパルスは冷凍機の振動のような比較的

<sup>1</sup> E-mail: r\_nagai@popsvr.tokai.jaeri.go.jp

遅い周期の擾乱の影響で、パルス毎に空洞内のRF電場が変動する。この様子を見るために、5分間に渡ってRFパルスの情報を蓄積した。5分間のrms振幅安定度は以前のRFローレベル制御装置よるものと同様の $1.5 \times 10^{-4}$ であった。rms位相安定度については図2のヒストグラムに示すように以前のRFローレベル制御装置よるものが0.78度であったのに対して0.15度に改善した。

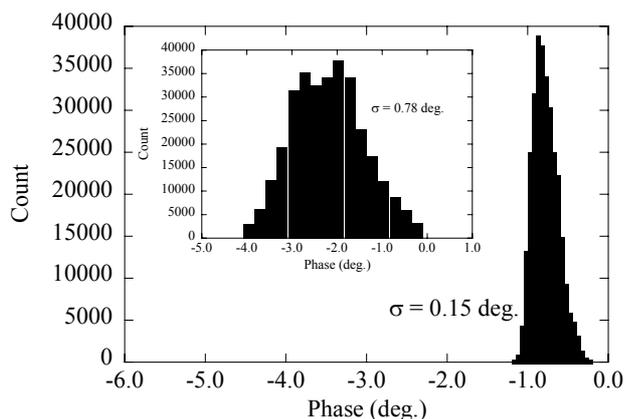


図2：5分間位相安定度

## 2.2 気温変動に対する安定性

RFローレベル制御装置にはミキサー、検波器、移相器などのRF部品が多く含まれるが、これらの素子は比較的大きな温度特性をもっており気温変動の影響を受けやすい。そこで、これらの部品を恒温槽内に収めて温調を施し気温変動の影響を抑えるようにした。温調はヒーターのON-OFF制御で行い、設定温度は45°Cとした。また、モジュール毎のシャーシ部分の熱容量を大きくするために、シャーシはアルミブロックをくり貫いて作成した。恒温槽とモジュールの写真を図3に示す。

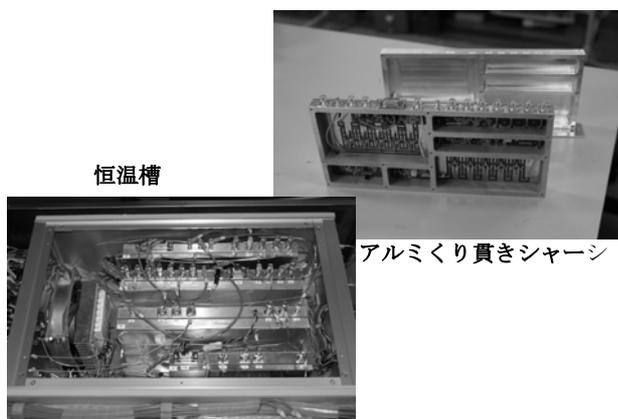


図3：RFローレベル制御装置の恒温槽と内部モジュールのアルミくり貫きシャーシ

空調で室温を変化させてそのときの振幅、位相の変動の様子を観測することで、RFローレベル制御装置の気温変動に対する安定度の計測を行った。ただし、振幅、位相のモニタ自体も気温変動の影響を

受けてしまうので、以前のRFローレベル制御装置の測定時にも新しいRFローレベル制御装置のモニタを使用した。

振幅の変動の様子を図4に示す。図内の小さなグラフが以前のRFローレベル制御装置についての結果である。以前のRFローレベル制御装置では25°C ±3°Cで約0.4%変動しているのに対して新しいRFローレベル制御装置では変動をほぼゼロに抑えることが出来た。

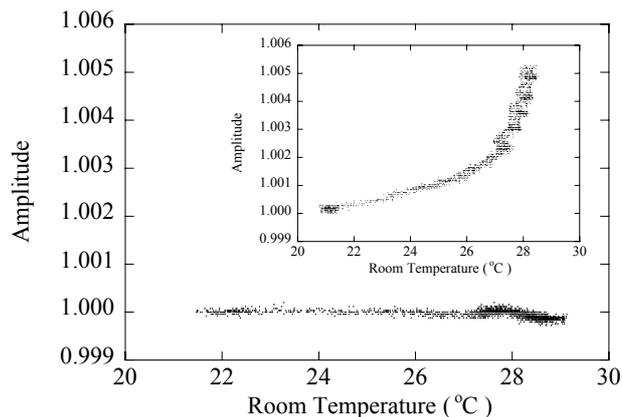


図4：気温変動による影響（振幅）

位相の変動の様子を図5に示す。図内の小さなグラフが以前のRFローレベル制御装置についての結果である。以前のRFローレベル制御装置では25°C ±3°Cで約15度変動しているのに対して新しいRFローレベル制御装置では変動をほぼゼロに抑えることが出来た。

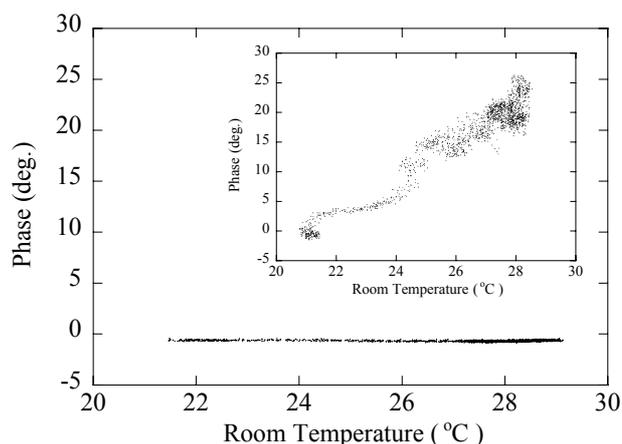


図5：気温変動による影響（位相）

## 2.3 起動時の安定性

以前のRFローレベル制御装置では装置内のRF部品、OPアンプなどの各素子自体の発熱のために起動直後はRFが不安定であったが、今回の温調を施すという改良によりこの不安定性が完全に解消された。起動直後の位相ドリフトの様子を図6に示す。図中の小さなグラフが以前のRFローレベル制御装置によるものである。0sから起動して初めの300sで

空洞のチューニングなどの調整を行い、その後フィードバックをONにしている。新しいRFローレベル制御装置では300s以降ドリフトが全く見られなく、起動直後から安定している様子が分かる。

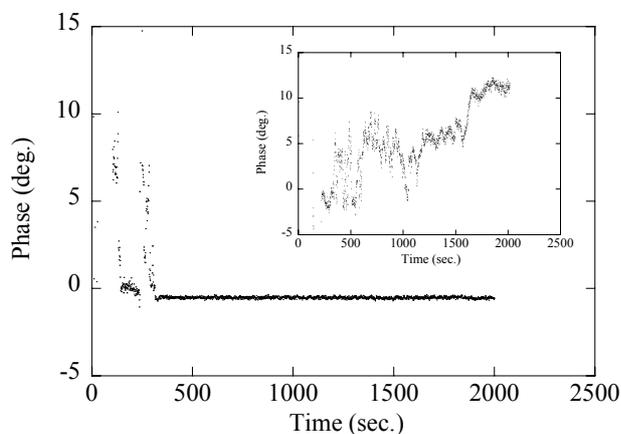


図6：起動直後の位相ドリフト

### 3. まとめ

RFローレベル制御装置に、ループゲイン、時定数を連続可変にする、温調を施す、個々の部品を見

直すといった改良を行った。その結果、rms振幅安定度、rms位相安定度はそれぞれ、 $1.3 \times 10^{-4}$ 、0.06度になった。また、気温変動による振幅、位相の変動をほぼゼロにすることが出来た。更に、起動時の位相ドリフトもほぼゼロにすることが出来た。

今回、改良を施したRFローレベル制御装置と簡易温調RF信号ケーブル<sup>[6]</sup>をあわせて使用することで、気温が $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ の範囲で加速器全体の位相精度0.2度以下を確保することが出来るようになった。

### 参考文献

- [1] 西森信行、他、Proc. of the 28<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan (2003) 159-161.
- [2] M. Sawamura, et al., Proc. of the 2003 Part. Acc. Conf. (2003) 3446-3448.
- [3] R. Hajima and E. Minehara, Nucl. Instr. and Meth. A 507 (2003) 141-145.
- [4] 峰原英介、他、Proc. of the 28<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan (2003) 159-161.
- [5] 沢村勝、他、Proc. of the 25<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan (2003) 201-203.
- [6] 永井良治、他、Proc. of the 28<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan (2003) 315-317.