

## Development of Air-Pad for position adjustment of the klystron modulator power supply in XFEL project at Spring-8

Tatsuyuki Sakurai, Takahiro Inagaki, Seiichi Indo, Kazuma Nakajima and Tsumoru Shintake

RIKEN/SPRING-8, 1-1-1, Kouto, Sayo-sho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148

### Abstract

Development of Air-Pad for position alignment using klystron modulator power supply. Three air pads of 320mm in the diameter were used to move the klystron modulator power supply of 5000kg. When we connect or dis-connect the klystron output from the waveguide system in the accelerator, we use the airpad system to move the klystron power supply of 5 000 kg weight, by simply feed compressed air at 5 kg/cm<sup>2</sup>.

### XFELクライストロン用モジュレータ電源の 位置調整用エアパッドの開発

#### 1. はじめに

理化学研究所・播磨研究所（RIKEN/SPRING-8）ではX線自由電子レーザー（XFEL）の建設が進められている。加速器の全長は400mで、それに使用する加速器コンポーネントの量産も進んでおり、2010年からの加速器運転に向けてプロジェクトは着実に進行している<sup>[1]</sup>。

さて8 GeVの主加速器では、4本の50 MW Sバンドクライストロンと64本のCバンドクライストロンとを使用する。その電源として、図1のモジュレータ電源が開発された。特徴はサイラトロン・パルス整形部（PFN）・パルストランス・クライストロンなどをひとつのタンクにまとめた一体型構造をしていることである<sup>[2][3]</sup>。これにより放射ノイズを低減でき、電源本体をコンパクトにすることができる。

タイトルにある位置調整用エアパッドはモジュレータ電源の足元に設置している。これはクライストロンの交換時に導波管の真空フランジを着脱する際に使用する。エアパッド初号機はSCSS試験加速器（以下、SCSSと呼ぶ）にて開発され、クライストロンタンクや石定盤に使用されている<sup>[4]</sup>。しかし今回のモジュレータ電源にエアパッドを使用するに当たり、

- ・タンクの総重量が約5000kgと重くなった（表1参照）
- ・タンクの片端にクライストロンと集束コイルが載る為、重心位置が偏ってしまう

など困難な条件が重なった。

本報告では、モジュレータ電源位置調整のためのエアパッドの構造設計やモジュレータ電源試作機の導波管接続作業に関して報告する。

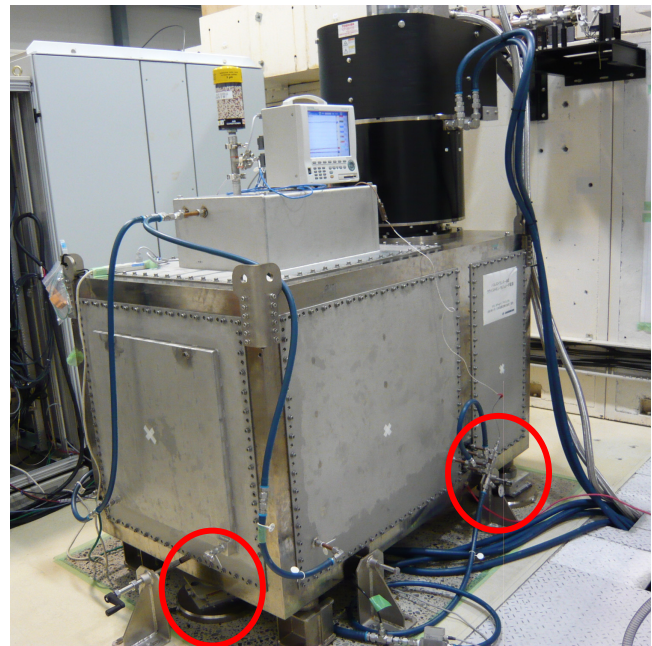


図1 XFEL用クライストロンモジュレータ電源試作機  
現在、テストスタンドにて試験稼動中  
（赤丸部がエアパッド 計3個使用）

表1：モジュレータ電源内機器の重量内訳

モジュレータ電源（絶縁油除く）	1.8トン
絶縁油	1.5トン
Cバンドクライストロン	0.3トン
集束コイル	0.87トン
X線シールド（鉛）	0.4トン
総重量	4.87トン

## 2. エアーパッドの構造設計

エアーパッドの原理

エアーパッドから発生する浮力 $F$ [N]はパスカルの原理に従い、

$$F = PSg \quad (1)$$

で理論値が求められる。ここで $P$ は圧縮空気の圧力[ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]、 $S$ はパッド部の底面積[ $\text{cm}^2$ ]、 $g$ は重力加速度 $9.806[\text{m}/\text{s}^2]$ である。しかし実際はパッドが浮上した際に隙間ができ空気が漏れるため、パッド底面の空気圧は不均一であり、(1)式の $F$ よりも小さい値となる。

設計コンセプト

モジュレータ電源用エアーパッドの設計をするにあたり、以下の点を考慮して行った。

第一にエアーパッドの浮上高さを小さくすることである。導波管を接続する際はエアーパッドにより浮上しており、接続後はエアーの供給を止めることで設置する。その際モジュレータ電源の高さが大きく変化すると、導波管の真空フランジに負荷がかかり、真空リークや破損の原因となりえるため浮上高さは小さくすることが望ましい。パッドを浮上量が小さいため、床面が非常に平らであることが要求され、新竹氏により床面研削装置「ゆかとけんさく」が開発された<sup>[5]</sup>。

第二に6つの自由度（水平方向2軸、垂直方向1軸およびそれらの軸方向の回転（ヨー角、ピッチ角、ロール角））を独立に動作可能であることである<sup>[4]</sup>。作業は加速管側からの導波管に合わせる必要があるため、モジュレータ電源側が自由に動作するように作ることが要求される。

第三に垂直方向の調整幅を $\pm 10\text{mm}$ 確保する構造にすること。これは建設中である加速器建屋の床面コンクリートの不均一性や収縮によって数 $\text{mm}$ の違いが出てしまうことを想定し、パッド自身にそれをカバーできる機構を備えておくことが必要である。

仕様

モジュレータ電源用エアーパッドの主な仕様を表2に示す。材質は $\phi 320 \times t30\text{mm}$ の鉄（SS400）で無電解ニッケルメッキを施している。側面2ヶ所から $\phi 8\text{mm}$ の孔を開け、エアー流路としている。また底面には5ヶ所（パッド中心に1ヶ所、中心から $100\text{mm}$ 外側に4ヶ所）に $\phi 2\text{mm}$ の噴出孔を開けている。更に底面は研磨を施し、床面と密着するような構造とした。さらに底面は $50\mu\text{m}$ のザグリを施してある。

モジュレータ電源の高さ方向の調整はパッド上部に取り付けたレベリングブロック（株式会社工製HW-S1717）と厚さ $10\text{mm}$ のスペーサーで行なう。最初

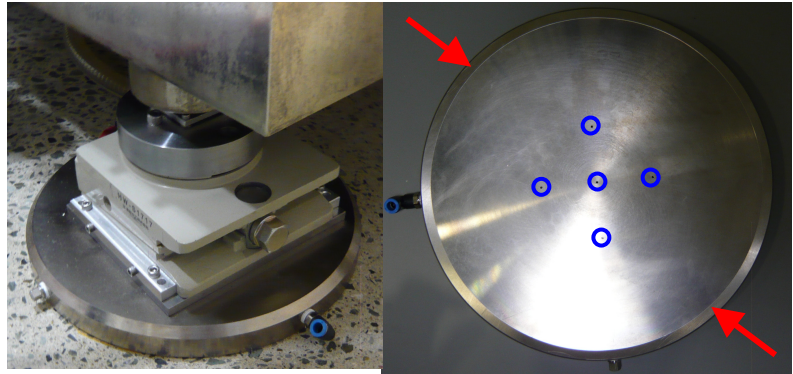


図2 モジュレータ電源用エアーパッド  
左：タンク取付時 右：パッド裏側

はレベリングブロックの調整範囲 $\pm 6\text{mm}$ で行い、もし調整幅が足りなくなった場合は、スペーサーを抜くもしくは追加して補うことで対応する。

前述したように、エアーパッドを使用する床面は予め、床面研削装置「ゆかとけんさく」により研削を行っている。このコンクリート研削面のコーティング剤はコンクリートの砂やホコリを出にくくし、目詰まりを防ぐことができるため非常に重要である。今回は株式会社D&Dが開発したパーミエイトを使用した。この溶剤を研削面に塗布し、数 $\mu\text{m}$ の塗膜を作った。

パッド直径[cm]	32
パッド面積[ $\text{cm}^2$ ]	803.84
エアー入力側孔径[mm]	8
エアー噴出側孔径[mm]	2
エアー噴出孔数[個]	5
想定エアー圧力[ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	5
浮力[kN]（理論値）	39.39

表2 エアーパッド設計仕様

## 5. モジュレータ電源試作機の導波管接続

このエアーパッドをモジュレータ電源の試作機に取り付け、建設したCバンド加速管エイジングスタンド<sup>[6]</sup>において導波管接続作業を実施した。

エアーパッドは当初モジュレータ電源に4個取り付ける予定であったが、現在3個で行うことにした（図3）。エアーパッド4個の場合は、荷重が3点にかかり1点は宙に浮くことになりやすい。その場合、浮いたパッドから空気が漏れ圧力の低下を招きやすい。一方、3個の場合は3点支持となるため、均等な荷重がかかりやすいことから、エアーパッド3個を採用した。

エアーパッドを用いてモジュレータ電源を動かす際に用いる位置調整治具も合わせて作製した。位置調整治具はL字型で下部は床面とアンカー固定し、上部にはM20の寸切りボルトを取り付けている。図



3及び4に取付位置と治具の写真を示している。導波管フランジ面の水平方向や回転の調整には、パッド浮上時にタンク側面のボルトで押すことで調整できる。フランジ接続にはタンク長手側の治具で動かすことができる。その際に側面の調整治具のボルトを抜き、L型治具をタンク側面に密着させることで、ガイドの役割も担っている。

導波管接続作業時は空気圧5kg/cm<sup>2</sup>以上に設定して、図5のようにフランジ面の向きを合わせながらモジュレータタンクを動かした。所要時間は1時間程度で終了した。

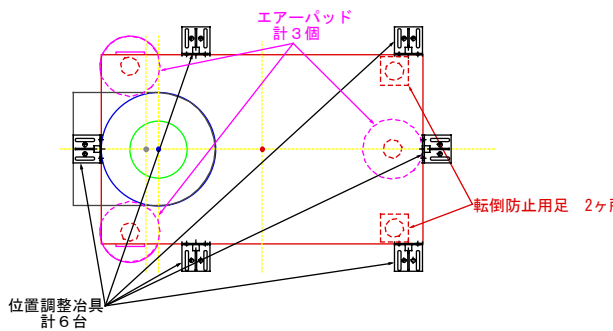


図3 エアーパーッド及び調整治具の取付位置  
模式図

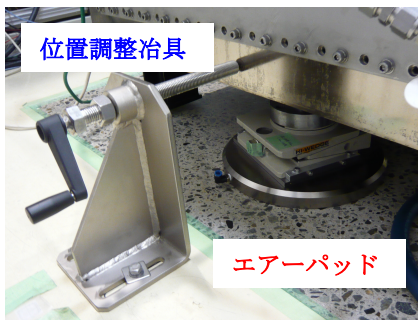


図4 エアーパーッド位置調整治具

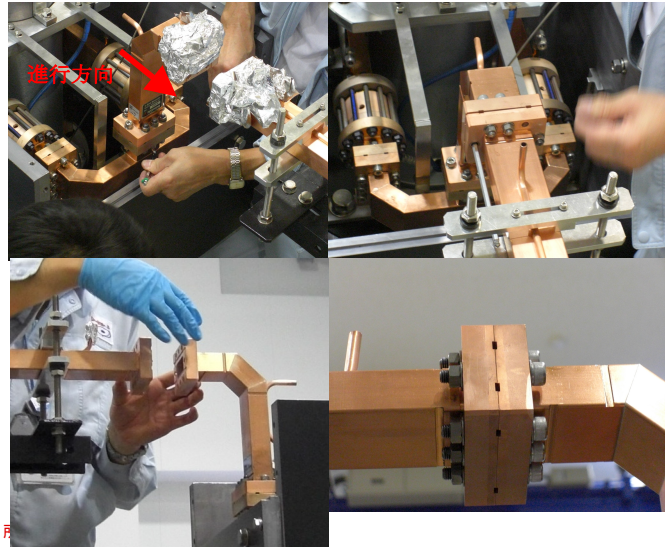


図5 エアーパーッド導波管接続作業の様子  
左上 接続前 右上 ボルト締結前  
左下 接続前 右下 接続完了

## 6. まとめ

XFELで使用するモジュレータ電源用エアーパーッド開発し、モジュレータ電源試作機にて動作試験を行った。結果、総重量約5トンの電源が簡単に動作し、導波管接続においても調整治具と共に支障なく作業できた。半年後に開始されるXFELの機器据付時には、このエアーパーッドが大いに威力を発揮するものと期待している。

### 参考文献

- [1] T. Shintake. et. al 「X線自由電子レーザー計画の現状」 本学会 W003
- [2] T. Shintake. et. al 「XFEL/SPring-8向け高安定高周波電源について」 第4回日本加速器学会年会 和光 2007年
- [3] C. Kondo. et. al 「XFEL/SPring-8向けクライストロン用パルス電源の開発」 本学会 WP107
- [4] K. Togawa. et. al 「重量物の精密位置決め用エアーパーッドの開発」 第2回日本加速器学会年会 鳥栖 2005年
- [5] T. Shintake. et. al 「床面研削装置の開発」 第二回日本加速器学会年会 鳥栖 2005年
- [6] T. Inagaki. et. al 「XFEL/SPring-8 Cバンド主加速器の開発状況」 本学会 WP106