

## ASSEMBLY OF VACUUM COMPONENTS FOR THE XFEL ACCELERATOR

Teruaki Hasegawa<sup>1,A)</sup>, Tomoya Kai<sup>A)</sup>, Takahiro Inagaki<sup>A)</sup>,  
Sakuo Matsui<sup>A)</sup>, Noriyoshi Azumi<sup>A)</sup>, Noritaka Kumagai<sup>A)</sup>  
Teruhiko Bizen<sup>B)</sup>, Hiroaki Kimura<sup>B)</sup>, Tatsuyuki Sakurai<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> SPring-8 Joint-Project for XFEL/ RIKEN

1-1-1 Kouto, Sayo, Sayo, Hyogo, 679-5148

<sup>B)</sup> SPring-8 Joint-Project for XFEL/ JASRI

1-1-1 Kouto, Mikaduki, Sayo, Hyogo, 679-5198

### Abstract

This paper describes assembly of vacuum components and a start-up procedure of the vacuum system for the XFEL (X-ray Free Electron Laser) accelerator at SPring-8. The vacuum components include not only various vacuum ducts, ion pumps and vacuum gauges, but also the accelerating structures, wave guides and many beam monitors, which are distributed along the 400 m-long accelerator. In addition to commonly-used ICF flanges, we use newly two type of flange which is developed for the XFEL project. One is ADESY flange for waveguide connection and the other is hybrid flange for beam duct connection. The ADESY flange and hybrid flange show significant reliability. The initial vacuum leak of these flanges is 0 in 1773 flange connections. The vacuum system requiring ultra-high vacuum should be assembled in a clean environment. Assembly area was surrounded by partitions. An air cleaner with HEPA filter eliminates dusts, and the amount of dust is monitored. The component assembly was started in August 2009, and 90 % of them have been completed by July 2010.

## XFEL 加速器真空コンポーネントの組み立て

### 1. はじめに

理化学研究所では高輝度光科学研究センターと協力して、X線自由電子レーザー (XFEL) 施設を建設している。

全長 400m に及ぶ加速器真空コンポーネントは、Cバンド加速管や導波管をはじめ、真空ダクト、イオンポンプ、真空計などの真空機器と BPM や CT、スクリーンモニタなどのビーム診断機器が多数ある。各機器の締結部には ICF フランジに加えて、XFEL 用に開発した ADESY フランジとハイブリッドフランジ<sup>[1][2]</sup>を採用している。これらの真空締結作業は 2009 年 8 月から始まり、2010 年 7 月末の時点で約 9 割が終了した。ADESY フランジとハイブリッドフランジは 1773 箇所での締結を終えて、初期真空リークは 0 箇所であり、極めて高い信頼性を有することが実証された。

超高真空を要求する加速器真空コンポーネントの組み立ては、清浄な環境下で行う必要がある。そのため、真空作業エリアをパーティションで隔離し、空気清浄機による清浄化を行った。また、パーティクルカウンターを設置し、空気中に浮遊するパーティクル粒径分布を監視した。

本稿では、XFEL 加速器真空コンポーネントの組み立てと真空系立ち上げ状況について報告する。

### 2. 真空システム

加速器は入射部、バンチ圧縮部、Sバンド、Cバンドなど、ゲートバルブにより 25 セクションに区切られている。排気装置はイオンポンプ(SIP)、真空計は加速管の放電を即座に検知しインターロックをかけるために、応答速度の速いコールドカソードゲージ(CCG)を使用する。真空システムを形成する主なコンポーネントを Table 1 に示す。

Table 1: Vacuum components for the Accelerator

Instrument	Quantity
Accelerating Structures & RF cavities	144
RF pulse compressor (SLED)	68
Klystron	71
Wave Guide	1126
Vacuum Chamber / Pipe	780
Ion pump (SIP)	333
Vacuum Gauge (CCG)	381
Gate Valve & Angle Valve	111
Beam Monitor (BPM, CT, Screen)	76

<sup>1</sup> E-mail:hasegawa@spring8.or.jp

真空システムの目標到達圧力はビーム運転時で  $1 \times 10^{-6}$  Pa である。蓄積リングのようにビーム寿命を考慮する必要がなく、この圧力は主に加速管で起きる放電を防ぐために設定した。

### 3. 各種フランジ

真空コンポーネントのフランジは、ICF フランジのほかに、ADESY フランジおよびハイブリッドフランジを採用した。

#### 3.1 ADESY フランジ

ADESY フランジは、加速管および導波管の高周波対応型フランジとして、DESY で使用されたフランジを参考に改良を行った。ADESY フランジの特徴は、ガスケットへの食い込み深さがナイフエッジ型に比べて深く ( $\sim 300\mu\text{m}$ )、ガスケットの表面状態や多少の傷 ( $\sim 160\mu\text{m}$  まで実証済み) があっても真空シールに影響しないことである。Fig.1 に ADESY フランジを示す。導波管のサイズに応じて C バンド、S バンド、L バンドの 3 種類がある。材質は SUS316L である。

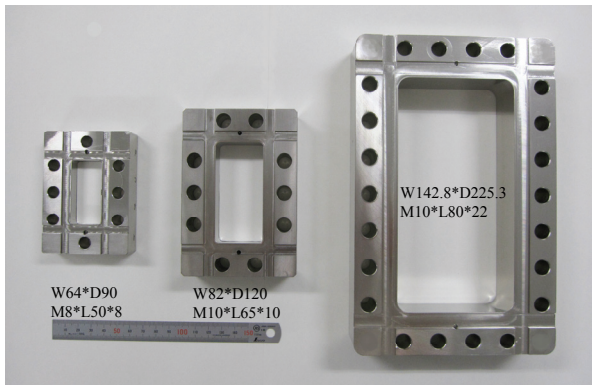


Figure 1: ADESY Flange (Left: C-band, Center: S-band, Right: L-band)

#### 3.2 ハイブリッドフランジ

ハイブリッドフランジは、ピーク電流が大きい電子ビームが通る真空ダクト用に開発したフランジで、フランジの内壁同士を滑らかにつなぐことにより電子ビームに対するインピーダンスを低減し、放電、ビーム不安定性の発生を抑制する。基本的に真空

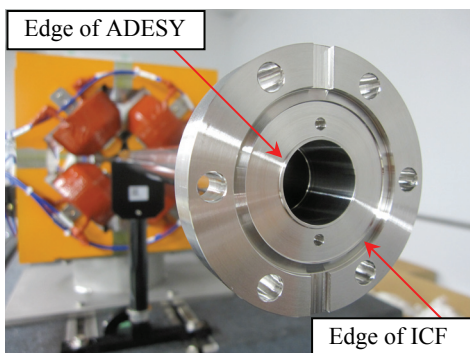


Figure 2: Hybrid Flange (Inside edge is square-edge for ADESY flange. Outside one is knife-edge for ICF

flange.)

シールは内側エッジのみを使用するが、誤ってエッジを損傷した場合には、バックアップ用の外側エッジを使用する。Fig.2 にハイブリッドフランジを示す。サイズは ICF70 型の 1 種類である。

#### 3.3 ガスケット

ADESY フランジおよびハイブリッドフランジ用のガスケットは、3620 枚を精密プレス加工により製作した。(Fig.3) 材質は無酸素銅 JIS C1020P-1/2 硬度 Hv $\sim$ 90、厚みは C および S バンドが 2mm、L バンドは 2.5mm である。



Figure 3: Gaskets, material: oxygen free copper, hardness: Hv 90, thickness: 2mm (Start from the Left: Hybrid Flange, C-band ADESY Flange, S-band ADESY Flange, L-band ADESY Flange)

#### 3.4 締結ボルト

C バンド用 ADESY フランジの面接触に必要な軸力は約 100kN である。ADESY フランジやハイブリッドフランジには、DLC (Diamond-like Carbon) コーティングを施した引張り強度の高いボルトを使用した。それ以外の排気系用 ICF フランジには、低価格のデフリック (二硫化モリブデン系固体潤滑) コーティングボルトを使用した。(Fig.4)

使用した総数は DLC ボルト約 14000 本、デフリックボルト約 14000 本である。

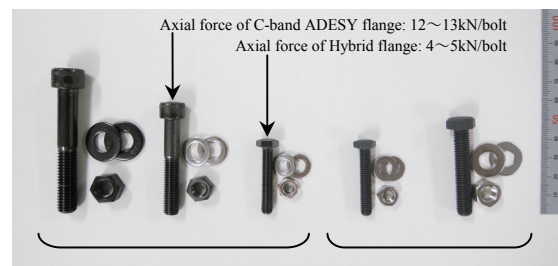


Figure 4: Bolt and nut (Left side is DLC coating. Right side is DEFTRIC coating.)

## 4. 組み立て作業

組み立て前には作業員に対し、3 回にわたって真空機器取扱いと締結およびリーク試験の実技・教育訓練を実施した。

#### 4.1 フランジ締結

トルク管理によりボルトを締結し、隙間ゲージで確認する方法とした。Table 2 に締結トルクの例を示

す。締結後のフランジ隙間は 100um 以下である。

Table 2: Flange Bolt Tightening Sequence

Step	C-band ADESY (M8*L50mm*8) [N·m]	Hybrid (M6*L35mm*6) [N·m]	Tightening Flow
Step1	5	4	diagonal
Step2	10	6	diagonal
Step3	15	8	diagonal
Step4	20	10	diagonal
Step5	25	12	diagonal
Step6	25	12	clockwise

#### 4.2 作業環境

超高真空領域の真空を目標とする加速器は、クリーンな環境で組み立てる必要がある。組み立てに先駆け、加速器トンネルの空気中に浮遊するパーティクルの粒径分布と電子顕微鏡観察、ラマン分光および赤外分光による成分分析を実施した。主なダストは人に起因するタンパク質であることから作業環境をパーティションで隔離し、HEPA フィルターを有する空気清浄機で清浄化した。Fig.5 に組み立て作業の様子を示す。

SPring-8 所内で加速器周辺の空気清浄度を調査し、真空作業の実績から清浄度で ISO class8 以下を目標とした。アンカー打設やはんだ付け作業により環境が悪化する場合は真空作業を中止した。



Figure 5: View of assembly of Vacuum Components

#### 4.3 真空リーク試験

フランジ締結後にリーク試験を実施した。リーク量  $1 \times 10^{-11} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$  以下を合格とした。試験結果を Table3 に示す。特に ADESY フランジおよびハイブリッドフランジについては 1773 箇所の締結を終えて、初期真空リーク発生率は 0%であり、極めて高い信頼性が実証された。

ICF フランジについては、1543 箇所の締結に対し

てリーク発生率は 1.4 %であった。ICF203 では特定メーカーのフランジ組み合わせでリークが発見され

Table 3: Result of the Vacuum Leak Test

Flange Type	Number of Flange	Leak
Hybrid Flange 70	461	0
ADESY C-band	1229	0
ADESY S-band	68	0
ADESY L-band	15	0
ICF54	26	0
ICF70	617	8
ICF114	551	6
ICF152	337	1
ICF203	12	7

たが、エッジ部分にギズは認められなかった。これらの真空リークは増し締めやガスケット交換により解消された。

#### 5. 真空引き

2010 年 5 月頃より加速器の真空引きを開始した。スクロールポンプとターボ分子ポンプから成る 4 台の粗排気装置で真空引きをしながら、SIP と CCG のデガス作業を実施した後、これらの電源を投入した。電源はクライストロンギャラリーの制御ラックに実装されており、ラック関連工事と日程が合わない場合は仮設電源を用いて真空状態を保持した。

加速器については 7 月末の時点で C バンド部すべての真空引きが完了した。到達真空度は  $5 \times 10^{-7} \text{Pa}$  以下である。

#### 6. まとめ

真空コンポーネントの組み立ては大きなトラブルもなく、約 90%が完了した。同時に XFEL で採用した ADESY フランジおよびハイブリッドフランジの初期真空リークは 0 箇所であり、極めて高い信頼性を有することが実証された。

加速器真空システムは 2010 年 10 月から始まる RF エージングに向けて、8 月末にはすべての真空コンポーネント組み立てと真空系立ち上げが終了する予定である。

#### 7. 謝辞

加速器真空コンポーネント組み立てを進めるにあたっては、IHI 検査計測株式会社、三菱重工業株式会社に多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] T.Bizen, "Development of Vacuum Components for XFEL/Spring-8", Proc. of the 11th EPAC'08, Genoa, Italy.

- [2] T.Bizen, “Development of Vacuum Components for the Project of X-ray Free Electron Laser (XFEL/Spring-8)”, J. Vac. Soc. Japan. Vol.52 No5, 2009.