

**KEK Proceedings 2008-15**  
**February 2009**  
**A/M**

# 技術交流会報告集

Proceedings of the Meeting on the Technical Study at KEK

KEK, Tsukuba, Japan  
November 28, 2008

編集

田中賢一 橋本清治 吉岡綾 渡辺勇一

Edited by  
K. Tanaka, K. Hashimoto, A. Yoshioka and Y. Watanabe



**High Energy Accelerator Research Organization**

**High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 2009**

KEK Reports are available from:

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
1-1 Oho, Tsukuba-shi  
Ibaraki-ken, 305-0801  
JAPAN

Phone: +81-29-864-5137

Fax: +81-29-864-4604

E-mail: [irdpub@mail.kek.jp](mailto:irdpub@mail.kek.jp)

Internet: <http://www.kek.jp>

はじめに

技術部門連絡会議

技術調整役

徳本修一

機構の技術職員の資質向上を図ること、および機構全体の技術レベルを高い水準に保つことを目的として技術交流会が開催されています。今年は共通基盤研究施設の技術職員の方々に企画実施の労をとって頂き、「最先端の研究を支える技術と業務」というテーマで開催して頂きました。機構のプロジェクト推進への技術支援の取組み、加速器運転に必須となる放射線安全管理に係る測定や防御、超伝導機器運転に必要なヘリウムの供給・回収システムの紹介、研究情報の共有に寄与するTV会議システムや電子メールシステムの技術紹介など8件の講演が用意されており、各講演について小文の発表概要が準備されていました。企画担当委員の方々のご努力と、交流会の主旨を汲み取り発表を引受けて頂いた講演者に感謝いたします。

当機構では技術職員は研究系で一体となって業務を遂行するように配属されます。技術職員各々の技術力の向上が機構全体の技術レベルの向上に結びつくという考え方には一理あるようですが、多様な技術の要求に対して現状の人員数を見れば、専門的になればなるほど周りの研究者とのコミュニケーションが多くなって、その人の技術力、専門性が機構全体の技術職員には伝わり難くなっていってしまう傾向を感じます。ただ成り行きに任せるだけではだめで、機会をとらえて情報の発信を行い他の技術職と交流することが大事な要素であると思います。

今回のテーマに取り上げた技術は、安定性および信頼性に重きを置く面が強くて、スポットライトを浴びるような新技術の開発からは離れたところという印象があるかもしれません。しかし、ユーザーの利便を意識した観点はすべての技術に通じるところであり、技術的な制約を打ち破るための工夫は参考になるものと思います。発表して頂いた方々も「まとめ」の課程で、再認識された点も多いと思います。

技術交流会を通じて「何々の技術なら誰々さんに相談するのが良い」という情報を得ることのメリットを機構の技術職全員が大いに役立てて頂ければと思います。

努力して獲得した技術力なのですから、機構の中だけに留まらず、機構の外にまで自らの技術力を大いに知らせるように心掛けたいものです。





## 目次

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1. J-PARC におけるヘリウム供給・回収システム        | 1  |
| 飯田真久（共通・低温）                        |    |
| 2. 超伝導空洞の機構内に於ける電解研磨設備の建設          | 5  |
| 舟橋義聖（共通・機工）                        |    |
| 3. 電解研磨設備の概要と安全性                   | 10 |
| 沢辺元明（共通・放射線）                       |    |
| 4. 電子系加速器における放射線測定と空間線量率抑制         | 15 |
| 高橋一智（共通・放射線）                       |    |
| 5. 電子陽電子加速器の入射部と KEKB 電子銃の放電対策     | 19 |
| 池田光男（加速器・第三）                       |    |
| 6. サブブースター用直流高圧安定化電源の故障と対策         | 23 |
| 本間博幸（加速器・第三）                       |    |
| 7. Spam/ウイルス対策を強化した電子メールシステムの構築と運用 | 28 |
| 押久保智子（共通・計算）                       |    |
| 8. TV 会議運用の歴史と新サービスに向けた MCU の導入    | 32 |
| 中村貞次（共通・計算）                        |    |
| 9. PF リングにおける電磁石制御用 GUI の開発        | 36 |
| 長橋進也（物構研・放射光）                      |    |
| 交流会案内・プログラム                        | 40 |
| 編集後記                               | 41 |



# J-PARC におけるヘリウム供給・回収システム

飯田 真久

共通基盤研究施設 超伝導低温工学センター

## 1 概要

超伝導低温工学センターでは、つくばキャンパス全域にヘリウムガス回収設備を配し、低温実験のための液体ヘリウム供給および蒸発ガスの回収、再液化を行っています。

東海キャンパスにおいても、物質生命棟他における低温実験の要請から、液体ヘリウム供給および蒸発ガス回収システムが必要とされており、現在そのための設備等の設計、整備を行っています。

ここでは、東海キャンパスにおける液体ヘリウムの供給方法、ヘリウムガス回収ステーションを含むガス回収設備について、その計画と整備中の設備について紹介します。

## 2 ヘリウム循環利用の必要性と低温センターの役割

現在 KEK では、超伝導を利用した実験を初め、液体ヘリウムを利用した研究開発が多数行われています。しかし我が国においては、ヘリウムの国内資源は皆無であり、ヘリウムガスは完全に海外に依存しています。□ヘリウムは大気中に 20 万分の 1 存在していますが、現在の技術では空気中よりのヘリウムの分離は □経済的に成り立ちません。ヘリウム資源は世界的に見ても遍在していますが、主にアメリカで採取されます。低温センターでは、この希少資源であるヘリウムを有効利用するために循環利用を推進し、資源保護に努めています。

## 3 つくばキャンパスの現状

つくばキャンパスでは、現在年間に約 5 万～10 万リットルの液体ヘリウムを一般ユーザー向けに供給しています。図 1 の折れ線が年間総供給量の推移です。この液体ヘリウムは第二低温棟でユーザーに引き渡され、冷媒として使用された後のヘリウムガスは、各実験エリアから回収ステーションを通して第二低温棟へ戻されます。

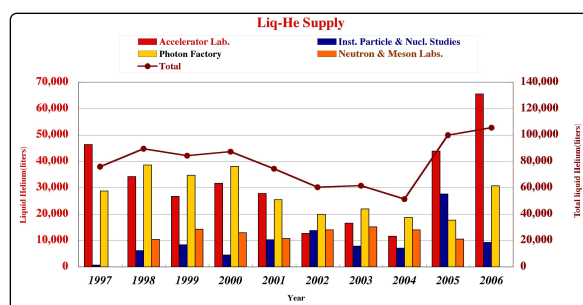


図 1 液体ヘリウム供給量の推移

### 3.1 液体ヘリウムの供給

つくばキャンパスでは、第二低温棟と第四低温棟にヘリウム液化冷凍機を設置し、キャンパス内で行われる低温実験のために液体ヘリウムの供給を行っています。一般ユーザー供給のための液体ヘリウムは主に第二低温棟液化機で製造され、液化機に併設された 3000 L デュワーに貯蔵されます。ユーザー供給時には、3000 L デュワーから移動用のデュワーに充填されて、トラック等で実験設備まで運送されます。

### 3.2 ヘリウムガスの回収

放射光回収ステーション（PF 光源棟）、富士回収ステーション（富士実験室横）、ブースター回収ステーション（中性子中間子実験棟横）の各回収ステーションを配し、放射光施設、中性子中間子施設、AR 実験棟、カウンターホール、STF 棟など、キャンパス内各所の低温実験設備からのヘリウムガス回収を行っています。

## 4 東海キャンパスでのヘリウム供給・回収計画

東海キャンパスでは、平成20年度から液体ヘリウムの使用が見込まれています。初年度の需要見積りは約3,000Lですが、その後使用量は徐々に増え、5～6年後には10倍の約30,000L近くに達する見込みです。このため、今から適正な能力のヘリウム供給回収システムを構築し、ユーザーの要求に計画的に対応してゆく必要があります。

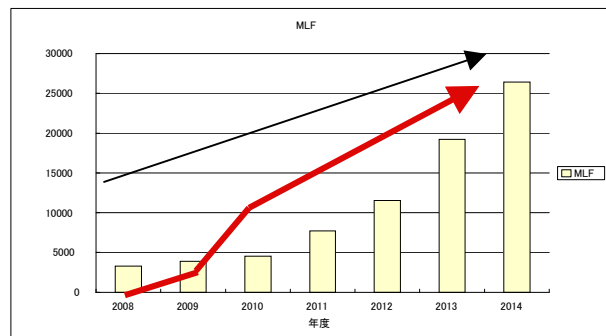


図2 液体ヘリウム需要見通し

### 4.1 液体ヘリウム供給、ガス回収システムの基本設計

超伝導低温工学センターでは、J-PARC 敷地内にヘリウム供給回収ステーションを設置し、そこを基地としてユーザーへの液体ヘリウムの供給およびガスヘリウムの回収を行うとの基本方針を立て、その下で必要な設備の設計を行っています。液供給に関しては、当面の間つくばキャンパスで製造した液体ヘリウムを東海キャンパスに搬送しユーザーへ供給する方法を採用します。ガス回収に関しては、回収ステーションで回収されたガスヘリウムを高圧ガスカードルに貯蔵し、つくばキャンパスに搬送する計画です。

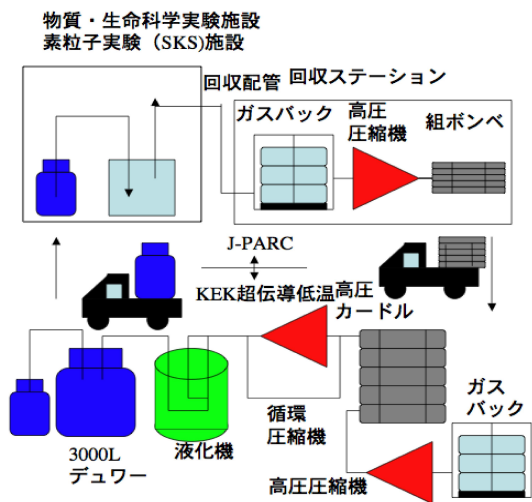


図3 液体ヘリウム供給システム

### 4.2 液体ヘリウムの供給

東海キャンパスでの液体ヘリウム供給は、ヘリウム供給回収ステーションで行われます。つくばキャンパスで製造された液体ヘリウムを低温容器に詰め、トラックにて東海キャンパスのヘリウム供給回収ステーションに搬送します。その後、同ステーションにて個々のユーザーに引き渡されます。また、東海キャンパスでのヘリウム需要増が見込まれているため、原研の液化設備での液体ヘリウム製造の可能性について、原研側の液化設備の担当者と検討を行っています。この液化機的能力は100L/hであるため、これが利用できれば基本的にはつくばからの輸送の必要はなくなります。

### 4.3 ヘリウムガスの回収

各実験エリアで使用された後の蒸発ガスは、ヘリウム供給回収ステーションに回収されることになります。ガス回収ステーションは、需要見通しを元に最大流量100m<sup>3</sup>/h、一週間の最大積算回収量1000m<sup>3</sup>程度の回収量を想定し、それに見合う容量の回収ガスバッグ、回収ガス圧縮機および高圧カードル等の設置を計画しています。また、物質生命棟および素粒子実験 (SKS) 棟よりヘリウムガスを回収するための、回収配管およびバルブを設置します。

回収されたガスは、ローダーと呼ばれる移動式高圧ガスカードルに詰め、つくばキャンパスに搬送されます。

## 5 整備中の設備と今後の予定

東海キャンパスでは、ヘリウムガス回収ステーションとガス回収配管の建設、設置が進められています。ステーションの建屋や低温実験設備までの回収配管は、後になって拡張、増強する事が困難なため、合理的

## 5.1 現在整備中の設備

ステーション建屋内にはガス回収用ガスバッグおよび回収ガスを高圧カードルに充填するための圧縮機が設置されます。また、出入り口（シャッター）近辺にはユーザーに供給する液体ヘリウムを置くための容器置き場があり、ここでユーザーに液体ヘリウム容器を引き渡す事になります。さらに、建屋横（図5写真左のひさし部分）はローダー置き場となっており、ここで回収ヘリウムガスを充填されたローダーはつくばキャンパスへ搬送されます。

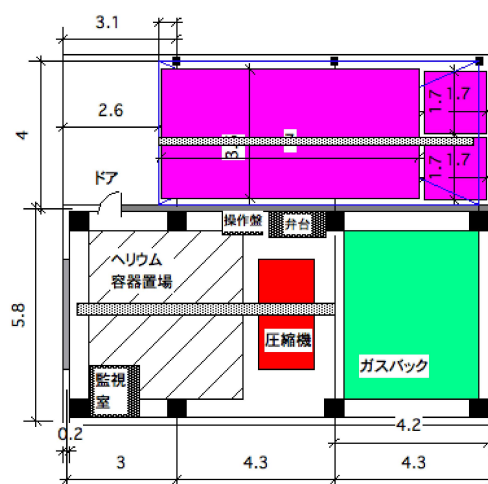


図4 ステーション内配置

これらの配管は物質生命棟内壁面をほぼ一周しており、実験設備が置かれる予定の各所にクライオスタット等からの排気ラインを接続するための枝管およびバルブが装備されています。

## 5.2 今後整備予定の設備

まず供給回収ステーション内の設備についてですが、ガスバッグ、ヘリウム圧縮機、高圧カードルおよびそれらを繋ぐ配管が必要になります。これらは、利用予定者へのアンケート等による需要見通しに従って、設計、購入されます。ガスバッグは容量55m<sup>3</sup>、圧縮機は風量100m<sup>3</sup>/h、カードルは容量約1000m<sup>3</sup>、のものを予定しており、これによって最大流量100m<sup>3</sup>/h、液体ヘリウム使用量1000L/week以上のヘリウムガス回収能力を備える事になります。また、これらの副次的設備として、ヘリウム圧縮機等の操作監視装置を設置します。現在導入を予定しているのはLANを通じて遠隔操作監視ができる装置で、これによって居室にいながら回収ガス流量、ガスバッグレベル、カードル充填圧力等を監視し、圧縮機の操作を行うことが可能になります。(通常はガスバッグレベルによる圧縮機の自動起動・停止が行われます。)

次に素粒子実験棟からのガス回収配管についてです。素粒子実験棟は供給回収ステーションから直線距離で約400m 離れており、長い回収ガス配管を敷設する必要があります。実際には既存の施設・設備や原研の規則により敷設できるルートには大きな制限がかかるため直線での設置は不可能であり、50GeV リングに沿ってリングをほぼ半周してステーションに接続する事になります。

これらのヘリウムガス回収設備は、平成21年度に設置を終えて、供用を開始する予定です。

## 6 まとめ

— 3 —

とともに一般ユーザーの液体ヘリウム利用が始まるため他の施設建設と並行してヘリウムの供給回収設備が整備されつつあり、平成21年度中に供用を開始する予定です。

その後も液体ヘリウム需要の増加が見込まれていることから、東海地区内（原研施設を含む）で完結できる液体ヘリウムの供給回収システムを構築すべく、今後も検討を続けてゆく必要があります。



図5 ステーション建屋（写真）

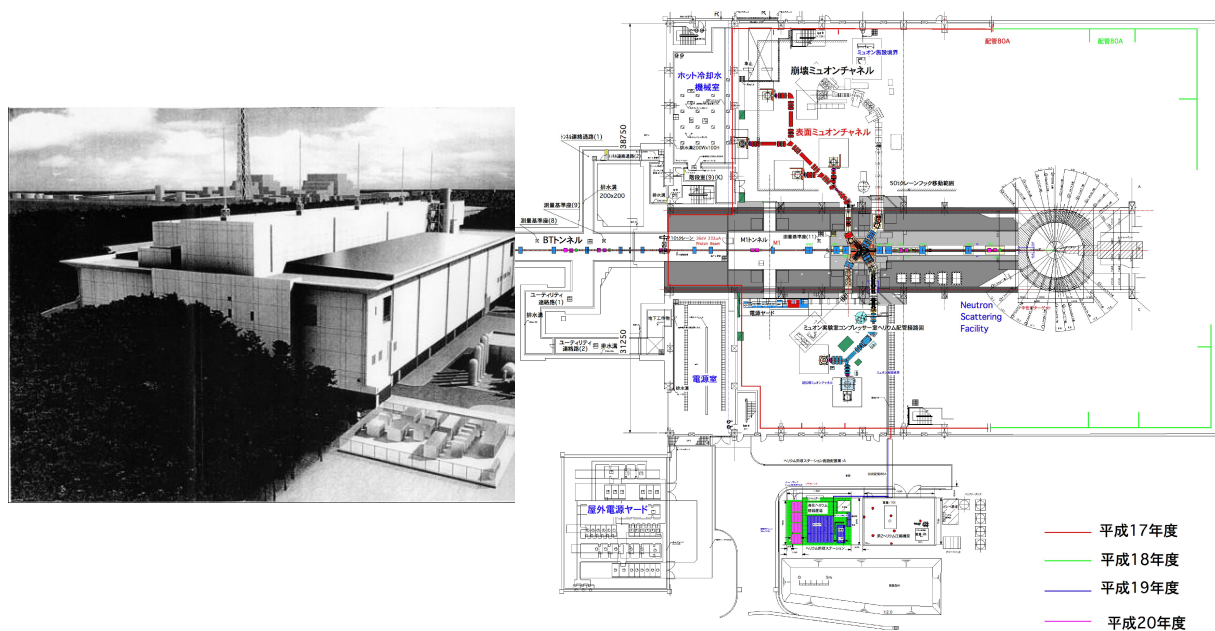


図6 物質生命棟概観および回収配管設置経路

# 超伝導空洞の機構内に於ける電解研磨設備の建設

○舟橋義聖<sup>A)</sup>、上野健治<sup>A)</sup>、沢辺元明<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> 共通基盤研究施設 機械工学センター

<sup>B)</sup> 共通基盤研究施設 放射線科学センター

## 概要

次期大型プロジェクト国際リニアコライダー建設をめざして共通基盤研究施設機械工学センターは 2004 年度より超伝導の加速空洞製作に必要な設備を加速器研究施設と共同で機構内に設置してきた。空洞の性能は空洞内面の表面状態によって左右される。加速空洞の内表面の状態を清浄かつ要求される形状を作り維持する設備として、表面状態の脱水素と金属 (Nb) のアニールを目的とした熱処理真空炉。組立時の作業環境を維持するためのクリーンルーム、電解研磨 (EP)、及び超純水洗浄を主とした表面洗浄システムを STF 棟に設備している。本報告では設備中、完成して稼働している設備と最終調整中の電解研磨装置と洗浄装置について、施設概要と設置に際して機械工学センターが担った分野について設備建設途中の状況を報告する。

## 1. クリーンルーム

### 1-1. 機械工学センターの役割

当クリーンルームは、種々の研究グループが共同で使用するため、2005 年度に機種選定委員会が構成された。機械工学センターも選定委員会に加わり当初から加速器の組立に利用しやすい機種選定作業に参加した。機種決定後は、組立現場において建設企業と研究グループ間にたって現場での指示や工程管理にあたり受け入れ検収し、管理者の加速器グループへその後引渡しまでのクリーンルーム建設の責務を果たした。

### 1-2. 設置目的

空洞等の加速管を組立の際の環境整備のために STF 棟の表面処理装置に隣接して設置した。後述するハイプレッシャーリンス装置 (HPR) からは直接クリーンルーム内に洗浄した空洞を取り込むことが可能である。

### 1-3. クリーンルームの特徴

このクリーンルームは、ISO 規格で class6 の中に class4 の室内がある 2 重構造の設備である。

class6 の部屋の広さは 56m<sup>2</sup>、内臓する class4 の部屋の広さは 14m<sup>2</sup>である。

本クリーンルームの外壁構造は、アルミフレーム式プレハブパネル方式である。

この方式最大の特徴はアルミフレーム間のプレハブパネルの入れ替え、後加工が比較的容易に可能であること。

#### ◎主な追加工

- ・ハイプレッシャーリンス装置からの取り出し扉新設
- ・窒素、空気、アルゴン種々のガス配管
- ・外部への真空径路新設
- ・グローボックス移設
- ・組立治具移動用レールの敷設



- ・純水・超純水のシンクと蛇口、排水径路

#### 1-4.クリーンルーム仕様

壁；アルミポストに面材取り付け

面材；アルミ複合板 3.0mm

PVC プレート 3.0mm

チェンバー天井；アルミ T バー、サンドイッチパネル 50mm

ウレタンフォーム、カラー鋼板

システム天井；システムフレーム、FFU、ブランクパネル

歩行可能タイプ

床面；帯電防止長尺塩化ビニールシート 2.0mm

騒音；60 dB

#### 1-5.フィルターと清浄度

- ・FFU フィルター

形式；AC-FU750X1500

材質；Al-Zn 合金鍍金鋼板

風量；24m<sup>3</sup>/分

数量；22 台

ファン；135W AC モーター

清浄度 5 から 42 個/ft<sup>3</sup> (0.1 μ の粒子)

- ・ULPA フィルター

材質；アルミ枠

捕集効率；99.9995%

数量；22 台

清浄度 0 から 2 個/ft<sup>3</sup> (0.1 μ の粒子)

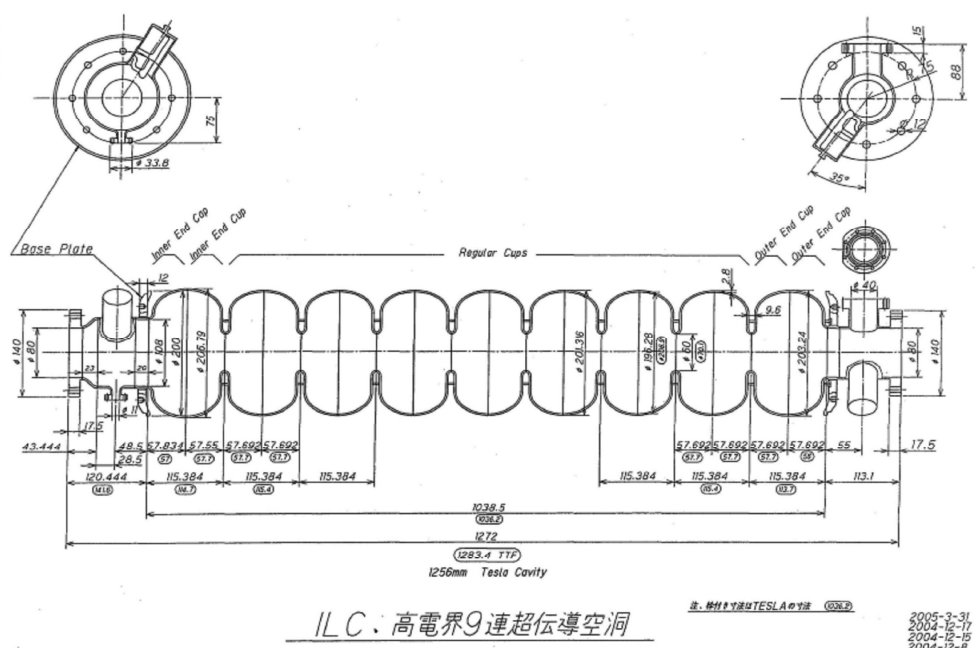


図 1.超伝導空洞概念図



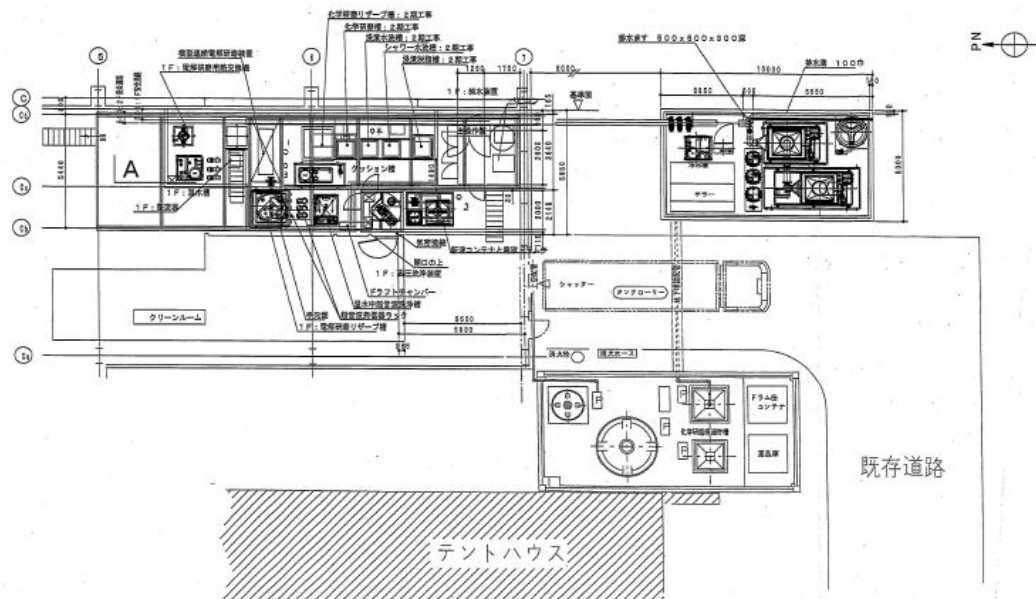


図 2.表面処理装置計画レイアウト

## 2.電解研磨装置

### 2-1.本電解研磨装置の対象空洞

基本は、国際リニアコライダーの9連Lバンド空洞と実験用Lバンド単空洞である。

9連空洞の大きさは長さ1.3m、最大直径200mmφ、自重20Kgである。

国際リニアコライダー用超伝導空洞の概要図を【図1】にしめす。

### 2-2.レイアウト

表面処理装置の計画レイアウトを【図2】に示す。

設置場所は、STF 棟西南側第3シャッター付近である。設備エリアは、概略6m×20mの広さで2階建てである。1階は各種タンク、配管エリアで作業は通常2階である。

本設備の考え方を列記する

- ①高電界の確保・維持及び管理のため、一貫した空洞内面仕上げを一箇所設備で実施する。
- ②隣接する組み立て用クリーンルームとの相乗効果が期待できる。
- ③工業化を考えて、モデルルームとしての価値がある。
- ④空洞の製造拠点としての位置の確立を期待する。

### 2-3.具体的設計の方針

- ①地下、ピットを設けない。
- ②R&D用のプロトタイプとする。
- ③KEKの超伝導空洞製作の拠点とする。遠心バレル研磨、真空炉を含めて考える。
- ④後工程の組立、調整用のクリーンルームとのシステムとして機能化する。
- ⑤複数台の空洞を処理できる広さを持つ。
- ⑥自動化を見越した対応機器にする。
- ⑦環境に配慮した設備とする。
- ⑧安全を第1の設備とする。
- ⑨処理能力は、週で1本以上を見込む

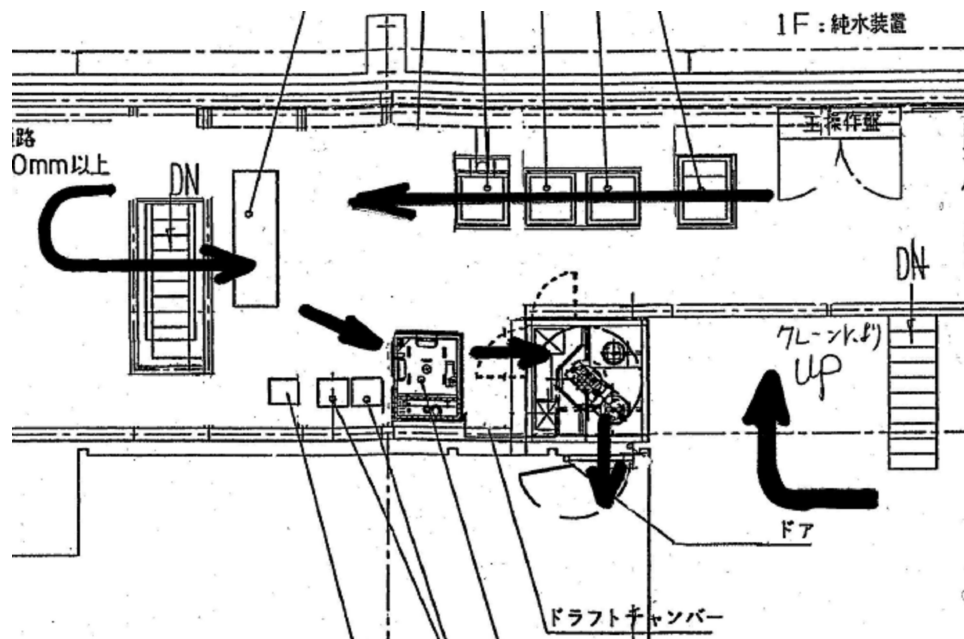


図 3.処理の流れ

【図 3】は、本装置の空洞処理の流れを示す。

#### 2-4.横型電解研磨装置

研磨液槽等の貯蔵槽は、1 階に設置した。おもな設置タンクは、以下の通りである。

電解研磨液リザーブ槽  
温水槽  
熱交換器

### 3.洗浄設備

#### 3-1.洗浄設備の種類

1 期工事の範囲は、超音波温水槽と、ハイプレシャーリンス装置の 2 種である。

また、横型電解研磨装置が、研磨後の 1 次洗浄用の架台も兼ねる。本装置は、横位置、縦位置を繰り返し必要な状態になるまで一次洗浄工程を繰り返しおこなう。この洗浄液は、クシヨン槽にためられる。

#### 3-2.超純水製造装置

本装置は、処理水の抵抗値は、 $18\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上

微粒子の数は、10 個/cc,細菌は 5 個/cc 以内である。

この装置は、 $15^{\circ}\text{C}$ において 10ℓ /分の製造供給能力がある。

本装置には、窒素ガスが不可欠であり、専用の窒素生成装置を設備した。

超純水は、電解研磨工程において各所で使用される。

#### 3-3.ハイプレシャーリンス

装置の設計は、加速器研究グループの設計でおこなわれた。

機械工学センターが直接関係していないので、詳細は省く。

### 4.廃液、排水処理設備

4-1.廃液をいくつかのグレードに分類して処理をおこなう。

1.電解研磨液の廃液は強酸で危険

専用のドラム缶に移し、処理業者に依頼する。

2.クッション槽に溜まった排水、フッ化水素酸と硫酸が混入している。

現状は、専用コンテナ（2m<sup>3</sup>）にためて所内の処理システムで処理する

恒久は 10m<sup>3</sup> のタンク 2 槽へ貯蔵する。

3.水に混入物等が混入している可能性がある排水

露天に設置した専用タンクに貯蔵して、化学分析後下水へ放流する。

4.水、市水、雨水

下水道にながす。

排水などの運搬、貯蔵に関する治具はドラム缶専用に設計された物を選択した。

#### 4-2.排気処理設備

屋外設備としてスクラバーと、冷水貯槽、チラーを建設した。

特にスクラバーは、2 期工事以後の計画にある化学研磨で生ずる NO<sub>x</sub> の処理が可能な設備を 1 期工事に盛り込んだ。

### 5.今後の設備計画

年表による 2006 年度の工事で設置した装置の調整を現在おこなっている。

今年度の設備家計画は、廃液でクッション槽にためた液を貯蔵するための 20m<sup>3</sup> のタンク（10m<sup>3</sup> のタンク 2 塔）の設置をシャッター3 の西側屋外に設置し恒久化する。

電解研磨廃液の一時貯蔵倉庫をスクラバー南側に建設して、業者引き取りまでの期間貯蔵できるようにする。またスクラバー装置、チラー、冷水槽に屋根を設ける工事がきまっており、機構施設部建築課、設備課と共同して年度内完成に向け作業中である。

来年度 2008 年度は、化学研磨、脱脂等の設備設置を計画している。

### 6.まとめ

#### 処理施設の運転

現在、EP 液の代わりに水を使用した最終調整を、化学安全の職員（責任者）と作業協力業者の 2 名と協力して行っている。年内には、電解研磨液に入れ替え、試験運転に入る計画である。

機械工学センターは直接運転作業には関わらず、今後設備完成後は運転設備使用で明らかになる装置の改良等に尽力する。

# 電解研磨設備の概要と安全性

沢辺 元明

共通基盤研究施設 放射線科学センター

## 1. はじめに

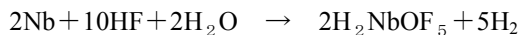
ILC 加速器（国際リニアコライダー）は、世界の研究者がその実現に向かって努力、研究されている夢の加速器である。この ILC 加速器計画の加速器には超伝導方式が採用され、当研究機構においても超伝導加速器空洞の開発、実用化をめざし空洞の性能向上に鋭意取り組んでいる。

超伝導加速器空洞の性能は内面研磨状態に大きく依存するといわれている。その研磨方式には、電解研磨法（EP）と化学研磨法（CP）が研究されている。

本設備はこれらの 2 方式を ILC 空洞に適応するため、超伝導 RF 試験開発施設（略：STF 棟）内に第一期工事として平成 18 年度に電解研磨設備が先行して設備された。この設備は将来の工業化を目的とし、自動化を実践するモデルとしたものである。ここにその設備の概要と安全性について発表する。

## 2. 電解研磨の原理

超伝導加速器空洞はニオブ（Nb）で製作される。ニオブは電解液（以下 EP 液という。）の中で電解溶出され表面が研磨される。EP 液には硫酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4$  >96%）+フッ化水素酸（HF 46%）の容積比 10：1 の混酸が使用される。電解時の化学反応式は下記の式による。



## 3. 電解研磨設備の概要

電解研磨設備は電解研磨を行う EP ベッドと周辺機器とで構成されている。電解研磨時の EP 液のフローは図 1 で示す。

リザーブ槽内の EP 液は循環ポンプにより空洞内を循環し、この間空洞は約 1r.p.m で回転しながら内部に挿入された純アルミ電極と空洞間に直流電圧をかけ空洞内壁表面を電解研磨する。研磨量は積算電流によりコントロールする。

EP 液は熱交換器により冷水と温水で温度コントロールされている。

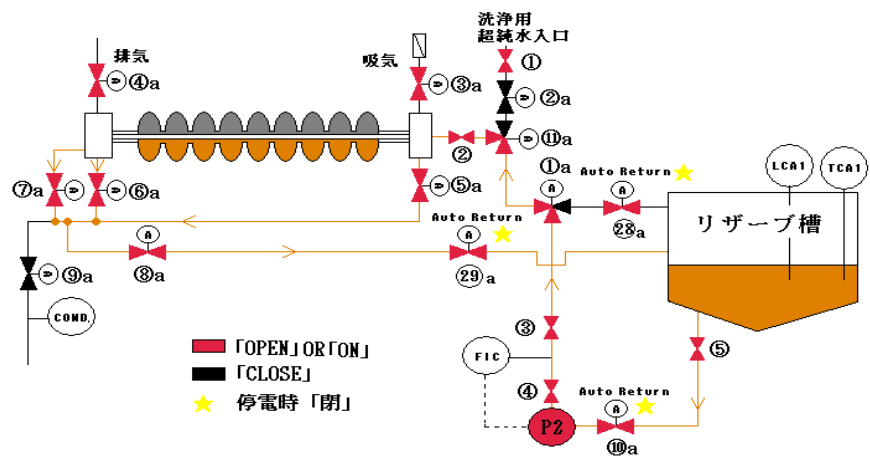


図 1 電解研磨時の EP 液フロー

電解研磨を終えた空洞は、

EP ベッドを水平位置→垂直位置に 90 度回転させ中の EP 液を排出する。（写真 1）EP 液の排出を終えた空洞内は超純水で十分に水洗される。（図 2）その後、温水超音波洗浄、超純水高圧洗浄を経て電解研磨工程は完了となる。

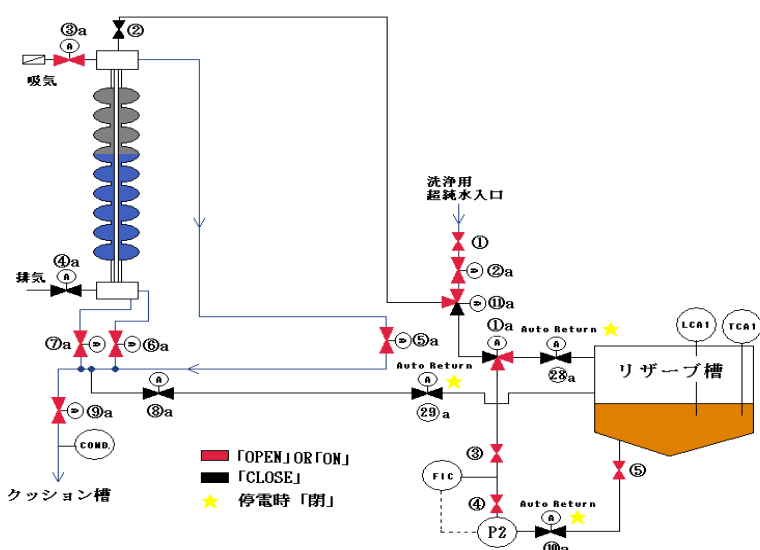


図 2 超純水洗浄時のフロー

### 写真 1 EP 液排出時

#### 4. 電解研磨設備の法規制

リザーブ槽内の EP 液は約 1000ℓ である。液が老朽化した場合は全量交換となるため、年間の使用量は研磨する空洞の数に大きく依存する。この化学物質は使用ならびに保管に際し多くの法律で規制された薬品であり、厳重な管理のもとに使用されなければならない。以下に関連する法規制を列記する。

#### 4. 1 フッ化水素酸の取扱いに関する法規制

労働安全衛生法：特定化学物質第2類物質

労働基準法：疾病化学物質

化學物質排出把握管理促進法（PRTR 法）：第 1 種指定化學物質

毒物および劇物取締法：毒物

また、フッ素は水質の環境基準濃度 0.8mg/ℓ が定められており、排出にあたっては下水道排除基準 8mg/ℓ 以下、あるいは水質汚濁防止法排出基準（海域以外 8mg/ℓ 以下、海域 15mg/ℓ 以下）が定められている。

特定化学物質障害等予防規則による特定化学物質第 2 類物質（フッ化水素酸）の取扱い方法を例にとると、

- ・ 密閉または局所排気で使用、保管すること
- ・ 作業者の労働安全衛生教育を行うこと
- ・ 作業者は特殊健康診断を受けること（6ヶ月を超えない期間に1回以上）
- ・ 作業環境測定を行うこと（6ヶ月を超えない期間に1回以上）
- ・ 特定化学物質等作業主任者の選任
- ・ 定期自主点検
- ・ 立入禁止の措置、他

などである。

#### 4. 2 硫酸の取扱いに関する法規制

労働安全衛生法：特定化学物質第 3 類物質

毒物および劇物取締法：劇物

大気汚染防止法：特定物質

#### 4. 3 関係官公庁への届け出

設備を建設ならびに運転していくにあたり関係官公庁へ以下のような届け出が必要である。

##### 1) 特定施設設置届

これは排水に有害な物質を排出する恐れのある施設として届け出るもので、この施設は「酸またはアルカリによる表面処理施設」に該当する。排水処理設備や水質検査体制を茨城県に届け出るものである。

##### 2) 建設物・機械等設置届

これは、特定化学物質第 2 類物質（フッ化水素酸）を使用するにあたり、排気設備やその排気能力等を労働基準監督署へ届け出るものである。

##### 3) 消防活動阻害物質の届け出（圧縮アセチレンガス等の貯蔵又は取扱い開始届書）

これは、毒物や劇物を指定された量以上に使用または貯蔵する場合は消防による消火活動が阻害される恐れを生ずるため、薬品の種類と量をあらかじめ消防本部へ届け出するものである。

### 5. 環境への安全性

#### 5. 1 排ガスの安全な処理

EP 液中のフッ化水素酸は常温でも気化して猛毒なフッ化水素を発生する。水洗時に硫酸と水による反応熱によりその発生量はさらに増加する。また、硫酸もミストとなり飛散する。これらのガスは電解研磨装置や各槽の局所排気口からスクラバーに吸引され、苛性ソーダにより pH8～9 に調整された水に吸収させ浄化した後大気に放出される。

将来増設予定の化学研磨設備における化学研磨時に発生される窒素酸化物の分解除去を考慮し、二塔式スクラ

バーが設けられている。（写真 2）



写真 2 二塔式スクラバー

#### 5. 2 排水の安全な処理

この設備より排出される廃液（排水）は以下の 3 種類に分別され処理される。

- 1) EP 老朽化液：EP において老朽化した廃液。組成は硫酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4$  >96%）＋フッ化水素酸（HF 46%）の容積比 10：1 の混酸である。この廃液はケミカルドラムに移送後、特別管理産業廃棄物として外部に委託処理される。当然、排出者はマニフェストにより最終処分までの処理を確認することとなる。
- 2) 一次洗浄水：EP 処理後洗浄に用いられた洗浄排水ならびに流し台、他の雑排水である。  
フッ素イオン濃度約 100～200mg/ℓ、pH1～2 が予想される。これは一次洗浄排水受槽（仮設）に貯留後、機構内の実験廃液処理施設に運搬後カルシウム沈殿法で処理し、さらにフッ素吸着樹脂塔（活性アルミナ樹脂）で高度化処理したのち下水道放流される。
- 3) 超音波洗浄、高圧洗浄排水：これらの排水は有害物質を含まない排水である。この排水はいったん屋外の貯留タンクにためられ、フッ素イオン濃度ならびに pH をチェックしたのちその場で下水道放流される。



## 6. 作業ならびに作業環境の安全性

### 6. 1 作業の自動化

EP 作業は EP 液と純水を順に使用する作業である。この作業においてヒューマンエラーによる事故、特に、EP 液と水の混触による発熱事故を防止するため工程はシーケンス制御された自動化システムがとられている。EP 作業による手作業は、空洞と装置を固定する治具の取り付けと空洞を装置への固定あるいは取り外す作業だけである。

また、EP 液と水の混触を防止するため、純水洗浄用の電動弁と EP 液循環ラインの電動弁の間に同時に開くことがないようなインターロックがかけられている。

自動化のため停電時の対応も備えられている。EP 液循環ラインの要所に停電時にバッテリーで「閉」となるオートリターン弁がつけられている。また、停電時の電源として非常用発電機も備えられている。

### 6. 2 防食性を考慮した機器構造

EP 液は腐食性が非常に強い液体である。安全性から循環ラインは防食性を考慮した素材、機器が選択された。その防食性素材は主にフッ素樹脂が採用されている。

EP 液循環ラインの配管は、フッ素樹脂ライニング管が使用され、ボルト等もフッ素樹脂コーティングされたものが使用されている。

また、弁類、その他の配管部品もフッ素樹脂性のものが使用されている。

EP 液循環ポンプは接液部分にフッ素樹脂を使用したポンプが使用されている。また、新液移送、老朽液の排出用には総フッ素樹脂製のエアードポンプ（エア駆動型ダイアフラムポンプ）が使用されている。

万一の EP 液漏洩時の対応として各水槽ならびに機器類は防液堤内に備えられ、防液堤内には光学式漏れセンサーが設置してあり、いち早く漏洩を検知できる。（写真 3）

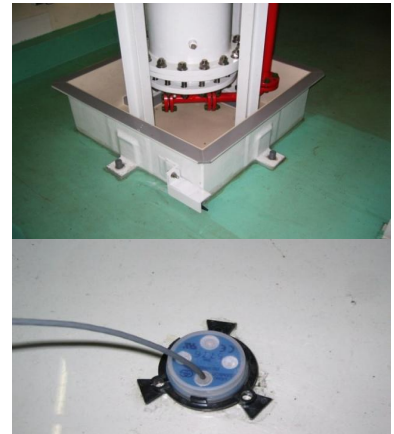


写真 3 防液堤と漏液センサー

### 6. 3 作業の安全管理

特定化学物質等障害予防規則によりフッ化水素酸はその作業場所で6ヶ月を超えない期間に1回以上の作業環境測定が義務付けられおり、管理濃度が2ppmと定められている。

また、作業者は特殊健康診断、労働安全教育も義務づけされている。即ち、十分な安全管理を行わなければならない化学物質である。そこで当機構における以下の規程等の作成を行った。

#### 1) 「電解研磨設備保安管理規程」、「同細則」の作成

EP 設備に係る作業従事者の安全と健康を確保するとともに、災害および環境汚染の防止を目的とするため、組織ならびに責任体制を明確化した。

#### 2) 「保護具使用基準」の作成

EP 作業において作業工程毎に保護具を規定した。これは、作業工程毎の危険性を評価して定めたものである。（写真 4）

#### 3) 「作業工程と作業者の区分」の作成

EP 作業において作業工程毎に作業者を定めたものである。また、外部との区画のためフェンスを設けている。



写真 4 保護具の例

## 7. その他の安全

緊急時用の緊急シャワー、洗眼器のほか、保護衣着用時の熱中症対策としてスポットクーラーが備え付けられている。防毒マスクは衛生的な滅菌装置付き保管庫に収納している。

## 8. おわりに

これからの本格的な EP 作業に当たり「安全と安心」の作業を徹底させるのが第一目標である。それには、労働安全衛生リスクマネジメントの手法を取り入れ、安全作業基準を速急に確立していかなければならない。

次に、高濃度の硫酸、フッ化水素酸ならびにニオブ等の分析方法の確立である。混酸中に様々な形態での存在が予想されるため、その形態ごとの測定法を確立していきたい。また、この設備における各物質収支をもとめ、バランスシートを作成してみたい。

次にフッ素排水処理の問題である。機構内の実験廃液処理施設にフッ素処理装置が設備されているが、そもそも実験室レベルのフッ素排水処理のため、その処理能力は  $0.5\text{m}^3$ /回（バッチ）と 2 日間で  $0.5\text{m}^3$  が処理限界である。EP 処理とフッ素排水処理のバランスが取れるかどうかが問題であり、早期に解決しなければならない問題である。また、フッ素の下水排除基準が  $8\text{mg}/\ell$  と低いため、効率の良い処理法を確立していかなければならない。



# 電子系加速器における放射線測定と空間線量率抑制

○高橋一智

共通基盤研究施設 放射線科学センター

## 概要

放射線取扱施設において作業者の被ばくコントロールは法令にも定められる重要な管理業務のひとつである。高エネルギー加速器研究機構（KEK）は特殊な放射線発生装置が多数あり、正確な放射線測定を行うためには多様な測定技術が必要とさせる。今回は電子系加速器の中でもユーザーが非常に多く、空間線量率管理が非常に重要な放射光科学研究施設・光源棟の放射線測定を例にして管理技術について説明する。

## 1 放射線管理区域の空間線量率限度

KEKには放射線発生装置と放射線取扱施設が多数存在する。これらの施設は放射線障害防止法で規制され、施設で作業に従事する人の健康に害を及ぼさぬよう、放射線の量を適切に管理することが求められる。

### 1.1 法令の定める線量限度

放射線量は放射線障害防止法によって、「作業場所に対する空間線量率」と「作業者の被ばく量」の限度が定められている。詳細な規定に関しては省略するが、 $1.3\text{mSv}/3$ ヶ月を超える実効線量を受ける可能性のある場所については放射線管理区域を設定する必要がある、管理区域内も常時人が立ち入る場所に関して  $1\text{mSv}/$ 週以下に空間線量率を抑制しなければならない。また、作業者の被ばくは  $100\text{mSv}/5$ 年 以下かつ  $50\text{mSv}/$ 年 以下の被ばく量にしなければならない。

### 1.2 KEK の定める線量限度

KEK では法令で定める線量限度を遵守するために法令の値よりも厳しい値を放射線予防規定に定め、遵守することとしている。KEK の管理基準では管理区域内の常時人が立ち入る場所の空間線量率は1時間当たり  $20\mu\text{Sv}$  としている。この値を遵守すれば、週40時間の作業を行っても最大で  $800\mu\text{Sv}$  となり、法令の定める週  $1\text{mSv}$  を超えることはない。 $20\mu\text{Sv}$  を超え、 $100\text{mSv}$  以下の場所は立ち入り制限区域となり、直読可能な補助線量計を着用し、綿密な作業計画を立てる事で過剰な被ばくをしないよう管理している。さらに線量率が高く、空間線量率が1時間当たり  $100\text{mSv}$  を超える場所は立ち入り禁止となる。

KEK では空間線量率が  $1.5\mu\text{Sv/h}$  を超える場所を放射線管理区域としている。 $1.5\mu\text{Sv/h}$  以下の空間線量率の場所では週40時間の作業を行った場合でも3ヶ月で  $1.3\text{mSv}$  を超える被ばくを受けることはない。

表 1 KEK の管理基準

|        | 空間線量率                           |
|--------|---------------------------------|
| 立入禁止区域 | $>100\text{mSv/h}$              |
| 立入制限区域 | $>20\mu\text{Sv/h}$             |
| 管理区域   | $>1.5\mu\text{Sv/h}$            |
| 周辺監視区域 | $>0.2\mu\text{Sv/h}$<br>(四半期平均) |

### 1.3 光源棟の空間線量率測定

これらの基準を遵守するため、放射線科学センターでは放射線モニタリングシステムや、積算型の作業環境測定用線量計、またサーベイメータによる実験フロア全域の放射線サーベイなどで空間線量率の監視を行っている。放射線サーベイは長期運転停止後のリング立ち上げ時、及び運転状況の大幅な変更等があった場合に行う。長期運転停止は夏と冬にあり、これによって法律に定められた 6 ヶ月に 1 回の空間線量率測定を兼ねている。

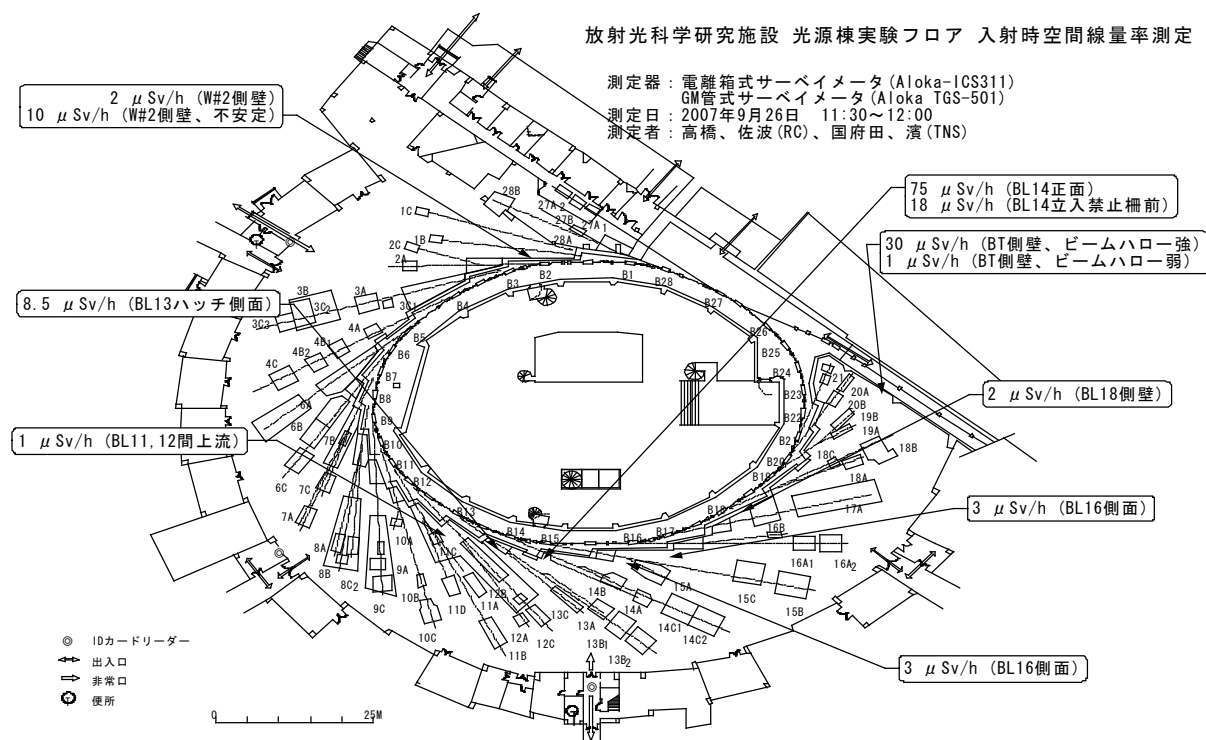


図 3 空間線量率測定

## 2 放射光科学研究施設・光源棟の放射線の特徴

KEK の加速器は独特の特徴を持っているものが多い。高エネルギー粒子を扱うことは元より、短いパルス幅かつ高周波で運転を行う加速器や、多くの運転モードを持ち、周囲の空間線量率が大きく変化する加速器等である。これらの加速器は放射線測定を行う上で困難が伴う場合があるが、放射線科学センターではこのような条件下で適切に空間線量率を測定し、放射線管理を行っている。

### 2.1 広いエネルギー範囲に対する測定

放射光科学研究施設・光源棟では主に 2.5GeV の電子をリングに蓄積し、その放射光を 2 次ビームラインに導いて様々な測定・実験が行われている。このため、光源棟では蓄積リングのビームロスにより発生する MeV ～GeV オーダーのエネルギーを持つ光子と、2 次ビームラインから漏洩する keV オーダーのエネルギーを持つ光子の両方に対応した測定をする必要がある。このため、空間線量率はリングからのロスの大きい電子入射中と、2 次ビームラインにビームが導かれる実験中（電子蓄積中）の最低 2 回に分けて測定を行う。また、電子入射中は広いエネルギー幅に対応可能でパルス状放射線に強い電離箱式の検出器を使用するが、電子蓄積中には低エネルギーの光子が測定可能で、電離箱よりも低線量率の放射線を容易に測定可能な GM 式測定

器を使用して光源棟実験フロアの空間線量率測定を行う。このような正確な線量率評価を行うことで精度の高い被ばく管理を行うことが出来る。

## 2.2 パルス場に対応した測定

光源棟においては、1日に1～2回行われる電子入射時に最も大きなビームロスが起こる。ビームロスが起きた場合、そこから $\gamma$ 線および中性子線が発生するが、ビーム幅が $\sim \mu\text{s}$ であるため、この放射線も $\sim \mu\text{s}$ の間に放出される。入射は25Hzで行われるため、このようなパルス状の放射線が1秒間に25回観測されることとなる。GM式やNaIシンチレーション式のサーベイメータはパルス状の放射線に弱く、検出した放射線を数え落とししたり、全く検出できなかったりする。このため、電子入射中の空間線量率測定は電離箱式のサーベイメータを使用して行う。可搬型のサイズの電離箱では $1\mu\text{Sv/h}$ 以下の放射線の検出は困難であるが、光源棟における空間線量率測定の場合、管理区域内の管理基準 $20\mu\text{Sv/h}$ を充分遵守できるような測定が可能である。

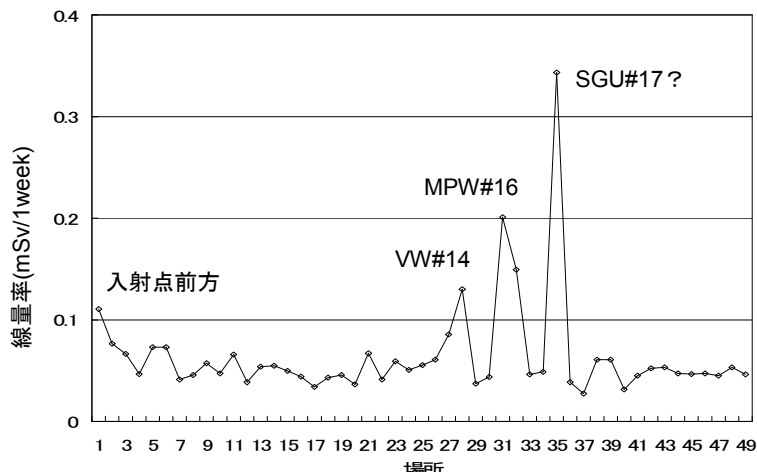


図4 積算型線量計による空間線量率測定

また、パルス放射線場に対しては積算型線量計による測定も有効である。光源棟では蓄積リング周囲に50個弱のTLDを設置し、1ヶ月間の積算線量を測定している。測定結果を図2に示す。積算型線量計の弱点は積算及び測定に時間がかかることであるが、それはサーベイメータによる測定と補完しあう事でより測定の精度を上げることができる。積算型の線量計は24時間線量を積算するため、週168時間の線量を測定することになるが、それでも週当たり $1\text{mSv}$ を下回っている。光源棟の放射線は蓄積リングからの影響によるものが多く、TLDはそれらの線源を的確に捉えられる場所を選んで設置してある。このことから、光源棟実験フロアの放射線量は充分法令およびKEKの管理基準を遵守していると言える。

## 2.3 線量率分布の変化

放射線発生装置周辺の線量率測定は、一般的には定点測定で行われるが、KEK光源棟においては、ビーム状況や、各ビームラインの利用状況によって、施設内の空間線量率が大きく変化する場合がある。このため放射線科学センターが定期的に行っている空間線量率測定は、光源棟実験フロアで放射線が発生する可能性のある場所全てについて行っている。電子入射中は蓄積リングの周囲全て、実験モードでは蓄積リング周囲と放射光が導かれているビームライン全てについてである。

2005年9月の光源棟運転開始直後の測定では、入射時にU#2の側壁で $2\text{mSv/h}$ の空間線量率を測定した。通常の入射では $1\mu\text{Sv/h}$ 程度の場所である。この時は蓄積リングに入射は出来るものの、電子の蓄積が出来ない異常が発生しており、運転グループの持つ情報と、この測定の情報からU#2周辺の調査が行われた。結果、過去の実験で使用されたターゲットが手違いで挿入されていた事が判明した。ターゲットを取り除き、蓄積リングにビームが蓄積可能となり、放射線の量も通常と同程度まで減少した。

## 2.4 新しい運転モードと放射線サーベイ

KEK の加速器は完成された「製品」ではない。日々技術開発による改良等が行われて加速器自身が進歩している。例えば放射光施設では、現在 Top-up 運転を行うための改造が着々に行われている。Top-up とは電子ビームの継ぎ足し入射のことで、リングの蓄積電流を高く一定に保つことで放射光実験の質を向上させ、実験時間の短縮に繋げることも可能となる。

このような新しい運転モードに対して加速器グループと共にスタディを行い、開発期間中や改良終了後に放射線安全が保たれるか。放射線安全に問題が生じる可能性がある場合、その解決方法を考えるのも KEK における放射線安全管理上、重要な役目の一つである。

Top-up 運転モードで従来の安全設計が大きく変更される点は、各ビームライン最上流部にある 40cm の鉄製ビームシャッターを開けた状態で入射を行うと言う点である。これにより、今まで遮へいの役割をしていたビームシャッターが無い分、実験フロアで線量率が上昇する。このため、ビームシャッター開入射における線量率測定の実験専用の時間を取り、全てのビームラインについてシャッター開・閉両方の空間線量率を比較した。その結果、BL-14 および BL-16 以外ではビームシャッター開入射における有意な線量率上昇は確認できなかった。線量率上昇がある 2 箇所に関しては、入射中の立入を制限する区域を新たに設定し、放射線発生施設の変更申請を行った。Top-up 運転に向けての改造は現在も進行中である。

## 3 放射光科学研究施設・光源棟における空間線量率抑制

放射光科学研究施設は蓄積リングと実験フロアを隔てる壁が 50cm のコンクリートで出来ており、蓄積リングで大きなビームロスが起きた場合、その影響が実験フロアに及ぶ場合がある。

2004 年に入射器からのビームトランスポート改造、および 2005 年からの PF 直線部改造に伴い、BL-14 や BL-16 周辺で空間線量率が上昇した。特に BL-14 での線量率が増えて実験フロアの拾い範囲で  $20 \mu\text{Sv/h}$  を超えるようになった。また、管理区域外である光源棟 2 階の渡り廊下も、基準値である  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  を超えるようになった。

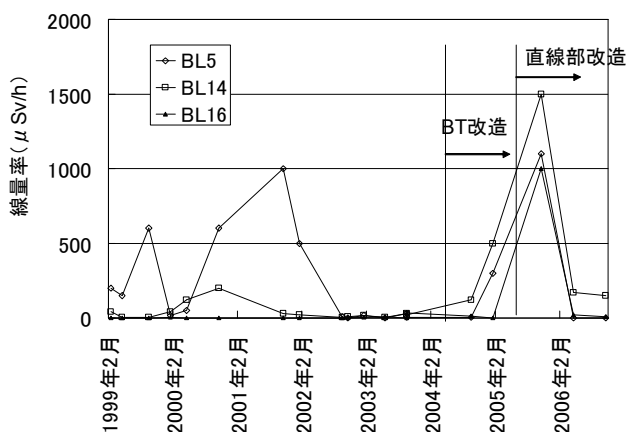


図 5 光源棟の主要部分の空間線量率変化

BL-14 は横方向に、BL-16 は縦方向にそれぞれビームラインが最も狭い場所であり、ビームロスの多くはこの 2 箇所で起きる。ビーム調整でビームハローを減らし空間線量率を下げる試みも行われたが、大きな効果は得られなかった。放射線科学センターと運転グループでは、放射線抑制のため、先ずリング内の線源を行った。積算型の線量計を数種類リング内に設置し、横方向にビームラインの狭まっている垂直ウィグラー #14 が大きな線源となっていることを確認した。この対策として、ウィグラーの前方に 40cm の鉛シールドを設置することを加速器グループとの検討で決定し、設置を行った。また、ウィグラー周辺の遮へい確認時に、斜め上方の鉛シールドが外れていたことが判明した。これを再設置し、今後は重要な遮へいが不用意に移動されないよう、放射線防護機器のシールドを遮へいに貼り付けることを徹底することとした。

これら処置により、実験室の一部で  $1500 \mu\text{Sv/h}$  あった空間線量率が  $150 \mu\text{Sv/h}$  に、渡り廊下の空間線量率も  $0.2 \mu\text{Sv/h}$  以下となった。実験フロアで入射中に  $20 \mu\text{Sv/h}$  を超える場所に関しては、入射中立入禁止とすることで不要な被ばくが起らないよう対処をした。

# 電子陽電子加速器の入射部と KEKB 電子銃の放電対策

池田光男

加速器研究施設

## 1、概要

電子陽電子加速器(入射器)は KEKB/HER リングと LER リング、PF リング及び、PF-AR リングの4種類のリングに、電子ビーム及び陽電子ビームを供給している。以下では KEKB リング入射用電子ビーム発生源である A1 電子銃の構成と、1997 年からの KEKB 実験開始後に発生した、電子銃高圧オイルタンク内の放電状況とその対策について報告する。

## 2、入射器の電子銃

入射器では、図1に示したように、KEKB ( $e^-/e^+$ ) ビーム供給用の A1 電子銃と PF( $e^-$ )及び、PF-AR( $e^-$ )ビーム供給用の CT 電子銃が入射に用いられている。これら2箇所の電子ビーム発生源の他に、2セクターの頭に陽電子発生源がある。また B セクターと C セクターに囲まれた実験室には低速陽電子実験施設があり、その加速器の運転を含めると、入射器では合計3台の電子銃が常時稼動している。3台の電子銃とも主な構成は、ほぼ同等となっている。

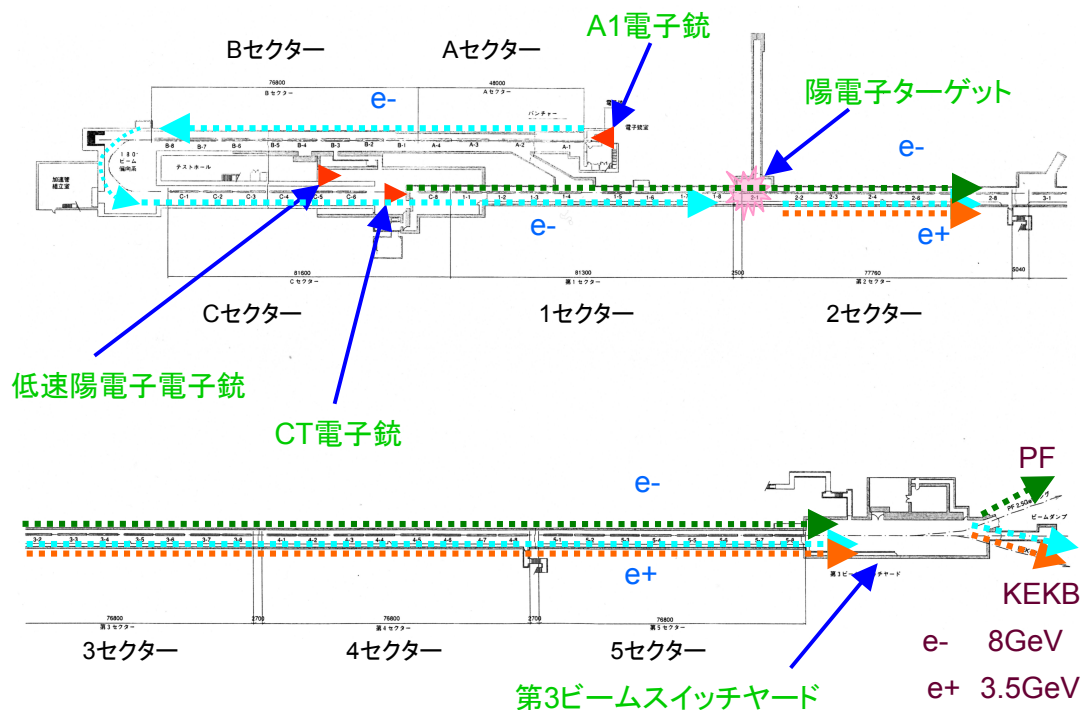


図1 電子陽電子加速器全体図

### 3、A1 電子銃

図 2 に A1 電子銃の主要部を示す。熱陰極型のカソードから発生したビームをグリッドとアノード間に印加した高電圧で 200KV まで加速する。ビーム電流の調整は、バイアス電圧とグリッド電圧を可変することにより制御している。電子銃本体と高電圧部の高圧ステーションは、パイプとその内部にあるケーブル類によって接続されており、これらの部分に 200KV の電圧が印加されている。グラウンドとの絶縁には碍子を用いている。ここで使用する高電圧は、電子銃電源で発生した約 17KV のパルス電圧を高圧オイルタンク内のパルストランス（巻き線比 12 : 1）に送り 200KV に昇圧する。感電防止のため、高圧が発生する箇所は全てフェンス内に設置されており、運転中は立ち入ることができないようになっている。

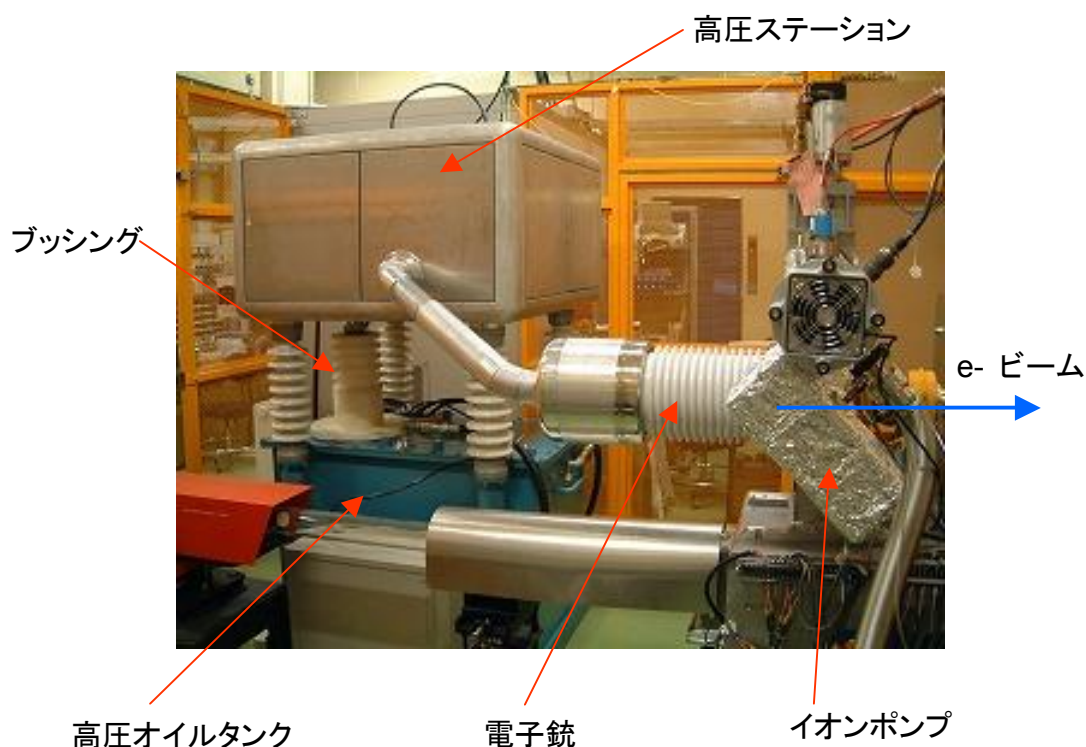


図 2 A1 電子銃と高圧部

### 4、A1 電子銃高圧オイルタンク内放電の状況と対策

#### (1)経緯

1997 年 9 月から使用を開始したが、2001 年 11 月頃から A1 電子銃電源の高圧波形（CT）に放電と思われるノイズが発生し出した。その頻度が次第に多くなり、ビームや高圧の電圧フィードバック動作への影響が懸念されるようになった。原因について調査した結果、高圧トランスオイルタンク内での放電と判明した。直ちに対処しなければならなかったが、常時運転に使用しているため停止して作業を行うことができなかった。2 週間ごとにある保守日に順次対策を行った。短い時間内で行える対策を実施していったので、完全に放電を止めることができるまでに日数を要する結果となった。

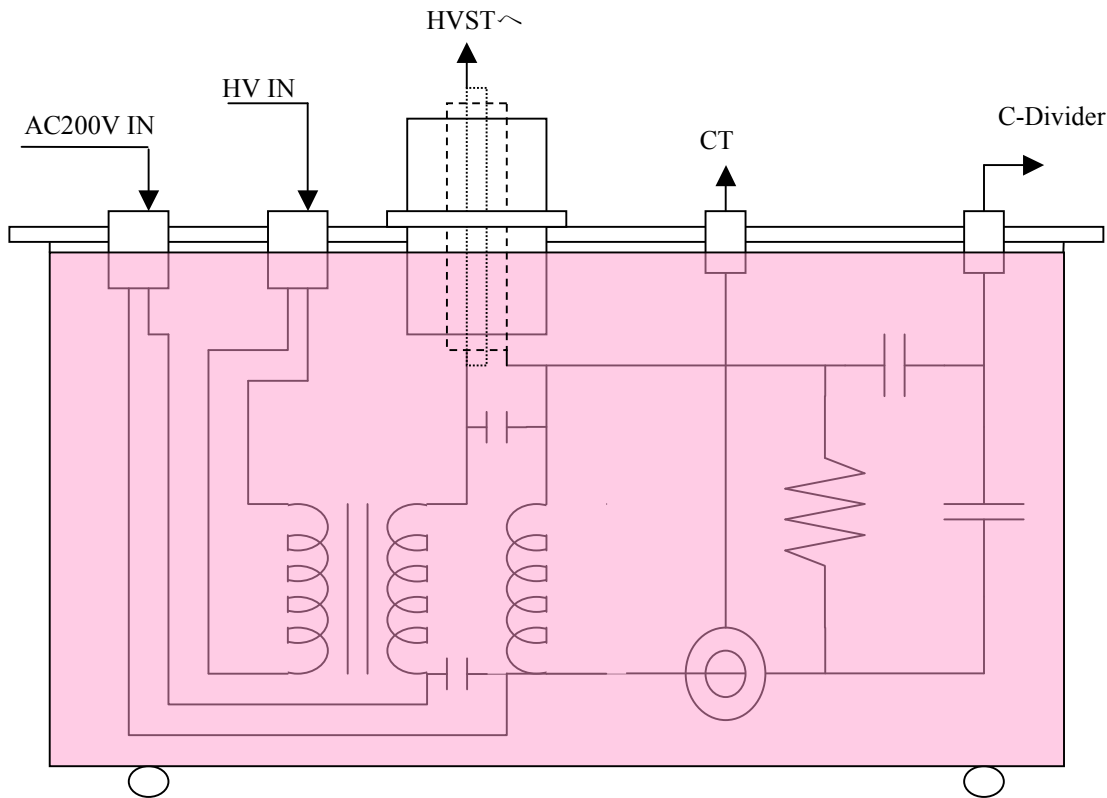


図3 電子銃高圧オイルタンク内部構成図

## （２）対策

### ①オイル交換

・高圧絶縁油を KEKB 実験開始から約４年間使用していたので、劣化による耐圧低下の可能性を疑い、まず絶縁油を交換した。交換した絶縁油の色は、新品時の透明から茶褐色になっていた。交換して暫くは放電の発生頻度が減少したが、数日でほとんど元の状態に戻った。当初は効果があったが、放電の発生原因は油の劣化だけではなく他にあると推測された

### ②タンク天板とブッシング間の絶縁強化対策

・絶縁油はタンクに完全に充満しておらず、タンクの天板との間に空気層がある。そこでの放電の可能性が考えられたのでビニール袋にオイルを入れてその部分に挟み込み、サンドイッチ状態にして放電を抑える効果を期待した。オイル袋を挟み込む方法は、効果的ではあったが、ブッシングの周囲を均等に挟み込む作業が困難であった。しかし、この方法で放電頻度は相当減少した。

・ブッシングとオイルタンク天板との間にシンフレックスチューブをはさむ。この方法による対策も、その後放電頻度が減少して効果があった。

・さらに、ブッシングの周囲を樹脂の板で囲い油（高圧絶縁油）が漏れないよう堤防状にし、そこに油を入れて放電箇所を完全に油漬けにした。放電箇所を完全に油漬けにしたことにより放電を激減させた。この対策が有効であったので、ブッシングのフランジ下部とタンク天板の金属部での沿面放電が発生源であると判断した。

### ③改修したブッシングとタンク天板を交換

・今までの対策結果から、ブッシングのフランジ下部とタンク天板の部分から空気層をなくすようにタンク天板を新たに改修し、ブッシングも一部改造した。図５に示すように交換前のブッシングは、表面に固化した油が付着しており、天板の取り付け穴周囲にも同様の付着が見られた。固化した油の付着により、ブ



ッシングの耐絶縁性が損なわれて沿面放電を起こしていたものと推測された。交換後は完全に放電が収まった。



図4 高圧オイルタンク内部



図5 放電により変色したブッシング

## 5、まとめ

A1 電子銃高圧オイルタンク内放電の原因が判明したが、運転中のため長期間の停止を要する本格的な改修作業ができなかった。そのため最初は短時間で施行できる一時的な対策を実施した。その結果、放電発生頻度を徐々に抑えることができ、その間に問題箇所の部品改修を行い、長期間停止する夏季保守期間まで凌ぐことができた。恒久的な対策として、放電をより発生しにくい構造にするために、高圧オイルタンクの天板のブッシング取り付け位置を下に約 40mm 下げて、ブッシングの下面が油中に完全に漬かり問題の空気層がなくなる構造に部分改修を行なった。この時ブッシングと油面との間に空気層が残らないように空気抜きを新設した。この状態で現在まで運転に使用しているがこの改修後は、放電が発生せず、対策の有効性が確認できた。

## 6、謝辞

今回の放電対策を検討・実施するに当たり、加速器研究施設第三研究系大沢哲教授の多大なるご指導とご協力をいただき、対策を無事成功させることができましたことを感謝いたします。



## サブブースター用直流高圧安定化電源の故障と対策

○本間博幸、中島啓光、明本光生、設楽哲夫

加速器研究施設 第3研究系 マイクロ波グループ

### 概要

KEKB 電子陽電子入射器のマイクロ波源で使用されている低電力クライストロンは、これに高圧パルス電圧を印加するパルス変調器、直流高圧安定化電源と共にサブブースター装置に収納されている。ここ 1,2 年の入射器の運転の中で、この高圧電源の故障が多く起こった。故障部品はほとんどの場合、(1) 冷却用ファン、(2)コッククロフト回路初段ダイオード、(3)スロースターター用タイマーの3つであった。この電源の故障は、下流の 8 台の大電力クライストロンの運転を止めるので、入射器の運転に大きな影響を及ぼす。故障状況の分析と実験の結果、原因は電源シャーシ内のアラーム付冷却ファンであると推定された。高圧コッククロフト回路内の初段ダイオードの故障については、はっきりしたことはわからなかったが、ファン故障による温度上昇の影響を間接的に受けていると考えることが自然である。今後の対策として、入射器で使用している全台数について、ファンを長寿命タイプのものに交換し、冷却空気の取り込み口をシャーシの前面パネルにつけることにした。コッククロフト回路の初段ダイオードの故障については、とりあえず、電流容量を 2 倍にすることにした。

### 4 はじめに

図 1 は電子陽電子入射器棟クライストロンギャラリーに設置されているマイクロ波源の構成を示す。赤印で示す位置にマイクロ波の主発振器があり、10.4MHz のマイクロ波を下流に送り、周波数数倍器によって 2856 MHz のマイクロ波が作られる。合計 8 箇所の黄色で示す位置には低電力クライストロン（サブブースター）が設置されており、2856 MHz、120mW のマイクロ波が入力され、60 kW の出力が下流にある標準的には 8 台の大電力クライストロンに送られる。これらは、図中の緑色の帯で示される。1 台の低電力クライストロンと 8 台の大電力クライストロンからなるユニットはセクターと呼ばれ、入射器全体で合計 8 セクターある。

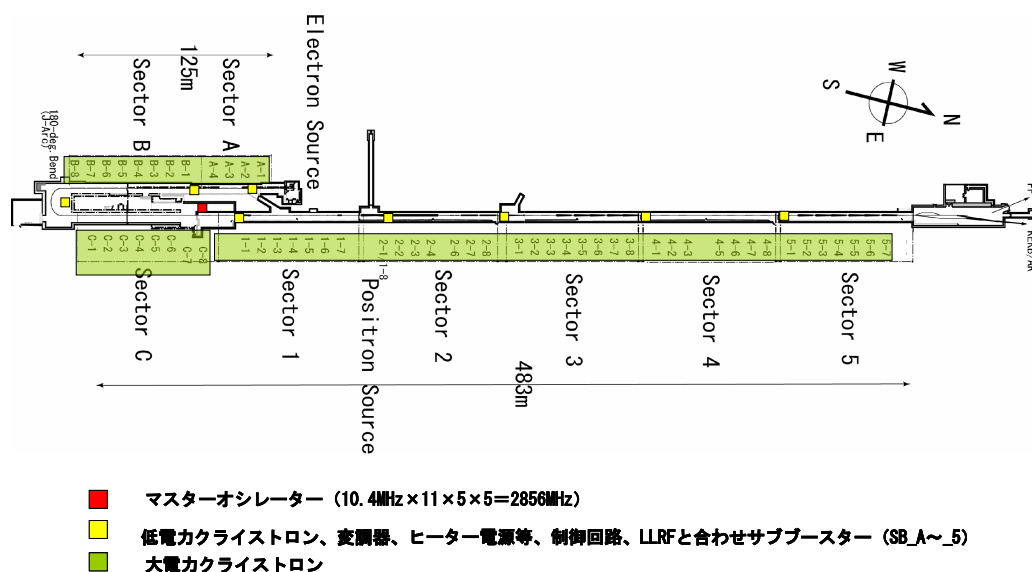


図 1. 電子陽電子入射器マイクロ波源の構成

図 2 は低電力クライストロンの駆動装置サブブースター（SB）全体を示す。装置内にはクライストロン、パルス変調器、直流高圧安定化電源の他に、クライストロン真空装置電源、同じく電磁石電源、ヒーター電源等多くの装置が収納されている。直流高圧安定化電源シャーシは、他の装置に上下左右から挟まれた状態であることがわかる。

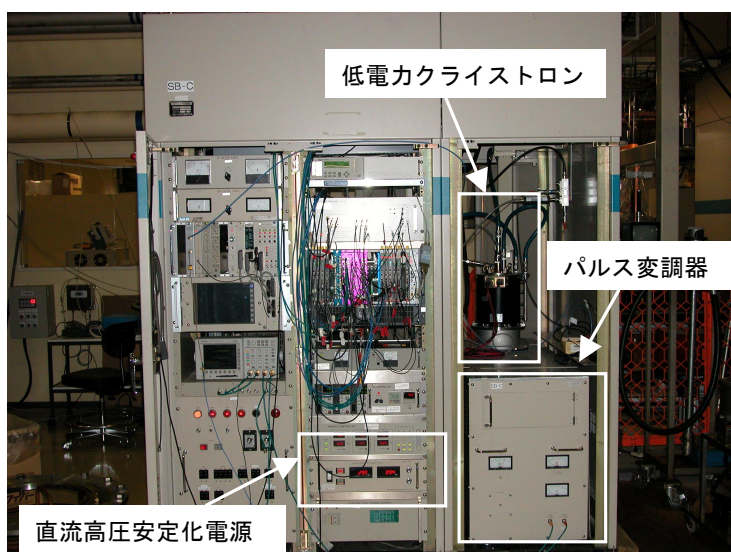


図 2．サブブースター外観図

## 5 直流高圧安定化電源の仕様

表 1 は直流高圧安定化電源の仕様を示す。電源はスイッチングレギュレーターであり、電圧安定化方式はパルス幅変調方式である。スイッチング周波数は、メーカー標準は 15kHz であるが、入射器では電源のうなり音を避けるために 30kHz としている。電圧の安定度は 0.01% となっていて、これによりクライストロン出力の位相安定度を  $1^{\circ}$  以内にしている。スイッチング素子として IGBT を使用しているが、冷却ファンの主目的はこの素子の過電圧防止用スナバー回路の冷却である。初期のファン故障の際、入射器のコントロール室から故障を検知できるように、アラーム出力を発生するタイプに交換していた。電源の最大出力電流は 20mA、入射器での平均出力電流は約 10mA である。

表 1．直流高圧安定化電源の仕様

| 項目        | 標準仕様      | 入射器での運転等             |
|-----------|-----------|----------------------|
| 入力        | 200V 単相   |                      |
| 出力        | 30kV 20mA | 平均 10mA              |
| 安定度       | 0.01%     | 位相安定度 $1^{\circ}$ 以内 |
| 方式        | パルス幅変調方式  |                      |
| スイッチング周波数 | 15kHz     | 30kHz                |
| 冷却ファンアラーム | なし        | あり                   |

## 6 故障状況の分析と原因の推定

### 6.1 使用方法の確認

表 2 は 2002 年からの 10 件の故障事例をまとめたものである。この表から、2006,2007 年の故障が多くなっていることがわかる。仕様で述べたアラーム付ファンへの交換は 2002 年から始まっていた。又、セクターに

依って使用電圧、サブブースター内の温度は様々であるが、どのサブブースターでもほぼ均等に故障は起きている。運転の立ち上げ時にも、定常状態の時にも故障は起きている。電源の製造番号を見ると、これも特定なものが故障しているわけではない。これらのことから電源の製造、使用方法に問題があるのではなく、電源の設計や部品の選定に問題があると言うことができる。

表 2. 故障事例のまとめ

| No. | 日付       | 場所   | ser.no. | 使用電圧 (kV) | 状況    | 環境温度 (℃) |
|-----|----------|------|---------|-----------|-------|----------|
| 1   | 02.01.20 | SB_1 | 3766    | 29.5      | 運転中   | 36.4     |
| 2   | 02.04.02 |      | 3770    |           |       |          |
| 3   | 04.01.08 | SB_A |         | 21        | 立ち上げ時 | 38.1     |
| 4   | 04.05.13 | SB_B | 3769    | 29        | 運転中   | 31.1     |
| 5   | 05.04.26 | SB_C | 3772    | 29        | 運転中   | 37.8     |
| 6   | 06.03.23 | SB_5 | 3773    | 28.5      | 立ち上げ時 | 36.9     |
| 7   | 06.05.03 | SB_1 | 3769    | 29.5      | 運転中   | 36.4     |
| 8   | 06.09.12 | SB_B | 3768    | 29        | 運転中   | 31.1     |
| 9   | 06.10.06 | SB_1 | 4318    | 29.5      | 運転中   | 36.4     |
| 10  | 07.02.22 | SB_4 | 3768    | 27.5      | 立ち上げ時 | 31.7     |
|     |          | SB_2 |         | 29.8      |       | 35.3     |
|     |          | SB_3 |         | 29        |       | 31.9     |

注 1. アラーム付ファンへの交換は事例 3 の前 2002 年から始まっていた。

注 2. SB2,3 では故障は起きていないが、使用電圧等は他と変わらない。

## 6.2 冷却ファン故障原因の推定

図 3 は 8 箇所のサブブースターで中心的に使用した電源を横軸に、縦軸にその電源でのファン交換の時間間隔をとったものである。縦軸の 100% は、1996 年 4 月から 2007 年 4 月までの 11 年の総運転時間を表す。藤色の領域の長さは購入当時から使われていたファンの使用時間、小豆色からはアラーム付ファンの使用時間を表す。ここで、上の領域との境界線に矢印がついているものは、そのファンは故障で交換したことを、又矢印のない境界線はアラーム付ファンへのメンテナンス交換を表す。矢印付の境界線は 8 本あるが、表 2 の 10 例中の 8 例に相当する。この図から、従来のファン、アラーム付ファン共に 4 回ずつ故障しているが、両方で寿命が著しく異なることが分る。平均寿命は、入射器の年間運転時間を 7000 時間として、それぞれ約 51,100 時間、17,500 時間となる。

図 4 にファンのメーカーが公表している寿命曲線（従来のファン、アラーム付ファン共に共通）を示した。横軸は使用環境温度（電源シャーシ内温度）、縦軸は対数目盛の寿命である。このグラフから、上の平均寿命に対応する温度はそれぞれ 43℃、68℃とならなければならない。アラーム付ファンへの交換の後で電源内温度が 30℃も上昇したとは非常に考えにくい。

表 3 は、メーカーにて入射器での使用環境を模擬して行った、電源シャーシ内温度測定結果である。測定はファンが動作状態と、ファンを意図的に止めた状態のそれぞれで行った。ファンの動作状態で、電源内温度は 34℃でしかないことがわかった。従来のファンの寿命はこの値でほぼ説明できるが、アラーム付では説明できない。アラーム付ファンの製品不良が強く疑われる。

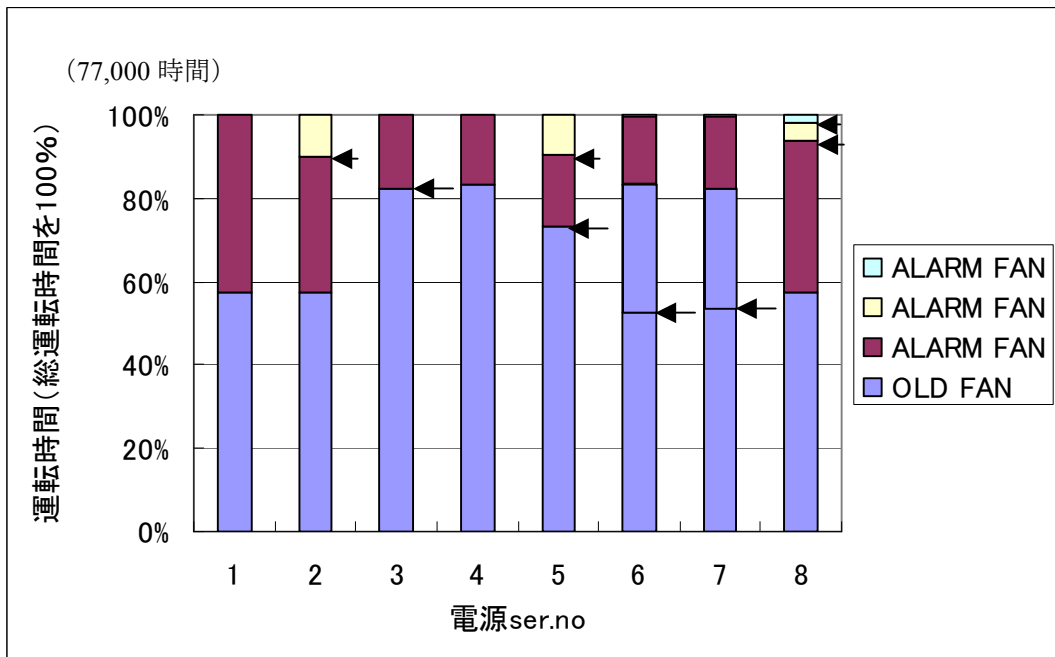


図 3.ファン交換時間分布

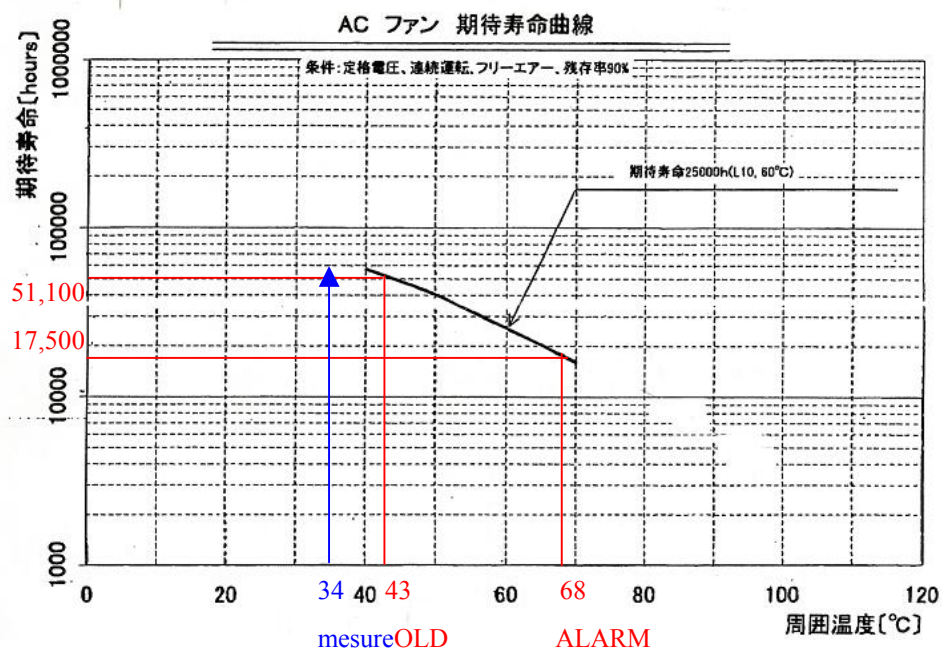


図 4.ファン寿命曲線

表 3.電源シャーシ内温度測定結果

| 測定箇所      | 温度 (°C) | ファン停止時温度 (°C) |
|-----------|---------|---------------|
| 高周波トランス   | 41      | 71            |
| ヒートシンク    | 42      | 45            |
| IGBT      | 43      | 60            |
| コッククロフト表面 | 35      | 47            |
| ユニット内     | 34      | 58            |
| 周囲温度      | 20      | 18            |

### 6.3 コッククロフト初段ダイオード故障原因の推定

ファンを止めた状態の測定結果から、もうひとつの故障部品であるダイオードを含む高圧コッククロフト回路のモールド表面温度が47℃になっていることもわかった。図5はコッククロフト回路の初段ダイオードを流れる電流波形とダイオードの負荷軽減曲線（電流を流す能力の温度変化）を示す。出力電流が20 mA時のダイオード平均電流は約40 mAである。ダイオードの最大定格は80 mAなので余裕は2倍、更に入射器での使用電流は半分なので、4倍となる。負荷軽減曲線は、今回得られた測定結果の47℃付近から丁度下がっていくことがわかる。しかし、負荷が100%から25%への性能低下が起こるためには、モールド内部温度は表面温度より、約40℃近くも上昇していなければならないことになる。初段のダイオードの故障については、原因がはっきりしない。

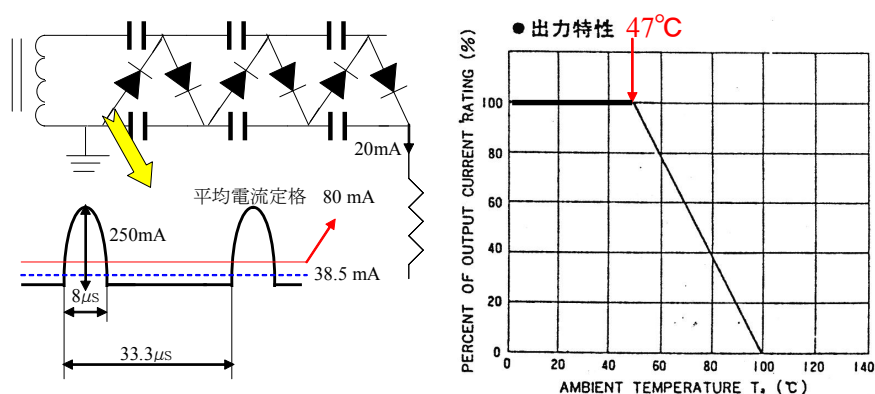


図5.ダイオード電流波形と負荷軽減曲線

## 7 まとめと対策

サブブスターで使用されている高圧直流安定化電源の故障原因を推定するために、電源の故障状況、故障部品である冷却用ファンの寿命統計の分析、電源シャーシ内温度測定、コッククロフト回路初段ダイオード故障原因の負荷軽減曲線を用いた検討を行った。その結果、アラーム付ファンの寿命がメーカーの寿命曲線と電源内部温度の測定結果では説明できないため、製品そのものに不具合があると言わざるを得ない。ファンの故障が起こり内部温度が上昇すれば、熱に弱い部品であるスロースターターのタイマーが続いて故障し、更にコッククロフト回路表面の温度も上昇し、モールド内部のダイオードでは、逆回復時間中の電流による損失がこれに加わることで、負荷軽減曲線中の能力の低い状態になり、最終的にダイオード故障も起こったと推測することもできる。

対策として、ファンを長寿命タイプに交換し、念のため、これまでシャーシの側板についていた冷却風の取り入れ口（スリット）を塞ぎ、シャーシ前面パネルに新たなもの設けることとした。コッククロフト回路初段ダイオードも当初から使用している製品を2個並列にして電流容量を2倍にすることとした。現在、2台の電源でこれらのランニング試験を行っている。2008年夏には、全数の対策を完了する予定である。



# Spam/ウィルス対策を強化した電子メールシステムの構築と運用

○押久保智子、飯田好美

共通基盤研究施設計算科学センター

## 1 はじめに

電子メールは、機構における研究、業務を行なう上で必要不可欠なものとなっており、24 時間 365 日、安全で安定した運用を求められている。日常生活環境でのインターネットやモバイル端末の普及により、電子メール環境は広告メールなどの迷惑メール (Spam) が増加し、社会的問題や損失を引き起こしている。昨今では、巧妙かつ悪質化した Spam が増加の一途をたどっており、機構においても、研究、業務を行なう上で無視できない状況となっている。2005 年度の共通情報計算機システムのリプレースにあたり、その一部分である電子メールシステム (KEKmail と称す) を、無停止安定運用と Spam およびウィルス対策に重点を置いて構築した。今交流会では 2005 年 12 月 22 日から運用を開始したシステムの概要と運用を、電子メール環境での Spam/ウィルスの変遷と、それに対するシステムでの対策を主眼として述べる。

## 2 システム構築の基本的要件

システムの構築に当たっては、基本的に次の五要件を満たすよう設計した。

- a) 電子メールシステムの運用は機構の基幹サービスとなっており、無停止運用を可能にするため、可用性が高く且つ、メンテナンス等による停止が伴わないシステムであること。
- b) 利用状況の変化に対応できる、拡張性のあるシステムであること。
- c) Spam 等の電子メールを取りまく社会的環境変化に対応できる、高セキュアなシステムであること。
- d) 管理局系電子メールシステム (MailKEK と称す) の運用コスト削減のため、研究系電子メールシステム (PostKEK と称す) と MailKEK を統合し、複数ドメインの管理運用ができること。
- e) 機構外から、KEKmail 上でのメール送受信ができる手段を導入すること。

また、システム実装に用いたパラメータとしては、登録ユーザ数は 2,000 人とするが、状況変化により 3,000 人まで対処することができ、管理アドレスは 10,000 とする。メール処理能力としては、最大メールサイズ 20MB/mail のものをピーク時には時間当たり 3 万通の処理を遅延無く配送できること。IMAP は時間当たり 20,000 アクセス要求と 50 ユーザの同時アクセスとを遅延無く処理できること、等々である。

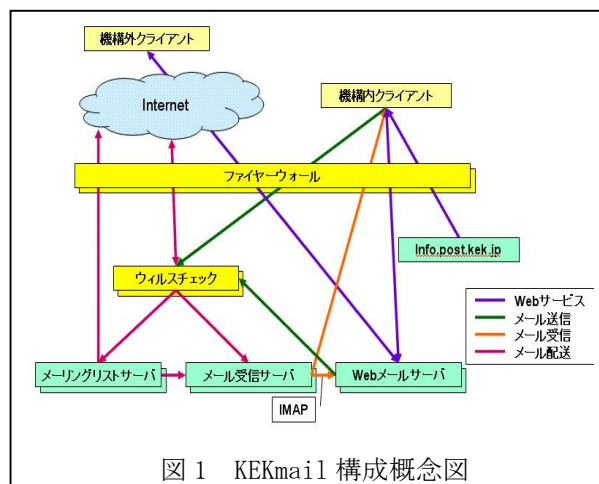
## 3 システム構築の概要

### 3.1 システム構成

前項要件 a) b) の高可用性で停止を伴わない拡張性のあるシステムを実現するため、機構ネットワークとの接続を含めてシステム全体を二重化構成とした。また、メンテナンスし易く、拡張性のあるシステムにするため、電子メールのサービスを機能ごとに分散し、各機能グループ内に同等構成のサーバを複数台配置するという、負荷分散を兼ね備えた分散型構成をとった。機能別サーバとしては、メール受信サーバ、Spam/ウィルスチェックサーバ、メール配信サーバ、ファイルサーバ、WebMail サーバ、認証サーバ、メーリングリストサーバ、管理用サーバ、ログサーバなどを配置している。但し、メール受信サーバに関しては前システム運用の教訓から、IMAP 同時接続による排他制御問題に対処するためマルチプロセッササーバによる、運用機、待機機の冗長構成としている。そして、機構計画停電時も運用できるよう設置場所は、

要件 c)の高セキュアなシステムとするため、KEKmail 独自のファイウォール(FW)を設置し、KEK 及び J-PARC ドメインからは KEKmail に関連したサービスのみを、インターネット環境からは Webmail 機能のみをサービスするなどの詳細なポリシー設定をし、アタック検出機能による防衛機能も導入している。FW ログも可視化して管理している。ウィルス、Spam 対策については項番 4.2、5.2 に詳細を記す。また、IMAP、POP、Web は SSL(Secure Sockets Layer)対応とし、サーバ証明書は、信頼された機関からの電子証明書 Equifax Secure Global eBusiness CA-1 を導入した。

最後の要件 e) の機構外から KEKmail 上でのメール送受信手段として、HTTPS が使える環境であれば世界中どこからでも利用できる WebMail 機能を導入することにした。製品としては、大学などで広く利用されているトランスウェア社の Active!mail 2003 を導入した。



ユーザ利用環境としては前システムからの機能を引き継ぎ、IMAP をベースとした Web ブラウザ利用の環境を提供。サーバと情報のやり取りを行う GUI であるユーザ情報ページを設け、パスワードの変更やスパムリストの設定、配送ログの確認などの機能を提供している。新規機能としては、前述の Webmail 機能、個人用ホワイトリストとスパムリストの設定、Web によるメーリングリストの申請である。

## 4.2 PostKEK・MailKEK でのウィルス対策と運用

機構に於いても2002年頃になるとウィルス付きメールが頻繁に配信されるようになり、それに対しては、個人がクライアントマシンにウィルス対策ソフトをインストールして対処していた。しかし、この対処は一部ユーザに限られていたため、PostKEK でのウィルスチェック要望の声が高まってきた。2002年8月AIX対応であるトレンドマイクロ社のウィルスチェックソフト InterScan VirusWall を導入し、9月からサーバでのウィルスチェックを開始した。サーバOSに対するウィルスチェックソフトの変遷は著しく、その2年後にはAIX版がサポートされなくなり、2004年8月Linux OSのウィルスチェックサーバを構築した。メール受信時と送信時の処置方法を異にし、且つ冗長構成とするため4台のPCサーバに、同社のセキュリティを強化した InterScan Messaging Security Suite(IMSS)を導入した。2004年11月には、特定ウィルス同士の亜種増殖の競い合いが世界を駆け巡り、PostKEK でも14,000件以上を検知している。

2005年度のシステム更新にあたり、それまでの運用経験と1年近くに亘る数社のウィルス対策ソフトの検証を重ねた結果、Sophos社のAnti-Virusソフトを導入することにした。それまでのPostKEKでは、ウィルス定義ファイルが提供される前に新種ウィルス付きメールが配信され、PCが感染するという状況を何度か経験しており、ウィルス定義ファイルの提供が早いことを導入判断基準のひとつとした。但し、当製品はウィルスの詳細説明などの情報は少なく、ウィルス名も独特な襲名をしているという難点がある。

Sophos Anti-Virusの製品アップデートは、5分間隔で提供されているので、KEKmailも5分間隔で定義ファイルの更新を行っており、多い日には10件近く定義ファイルを更新している。日々の業務としては、ウィルスメールのFrom行はほとんどが詐称されていて信用できないため、ウィルスを検知したメールを中継してきたマシンのアドレスに注意を払い、機構内マシンおよびKEKmail内マシンの場合は、直に対応がとれる状態にしている。KEKmailでのウィルス検知件数の推移(2006年1月～2007年10月)を図2に示す。

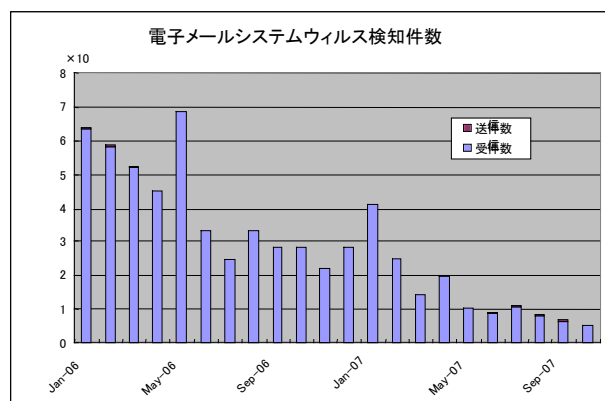


図 2

## 5. Spam 対策と運用

### 5.1 Spam の社会的変遷

2001年頃から携帯電話などに一方的に送信する、広告メールなどのいわゆるSpamが増加し、社会的損失や問題を引き起こしていた。2002年議員立法により、自動生成プログラムによる架空メールアドレス宛送信の禁止、未承諾広告等の表示義務、受信拒否の通知をした者に対する再送信の禁止等の、広告メール送信の適正化措置を定めた特定電子メール法が成立し、一時Spamは減少したものの、送信者情報を意図的に分からないように偽装したSpamが増大した。2005年対応強化の法改正がされ、送信者情報を偽った送信の禁止と刑事罰規定、架空アドレス宛の送信禁止範囲の拡大と罰則の見直し、電気通信事業者による役務提供拒否事由の拡大等が盛り込まれたが、現在はその法をすり抜け発信元を国外に移した、巧妙かつ悪質化した日本語Spamが増加している。総務省は2008年に入り、海外発のSpamも対象にする方針を出している。

### 5.2 PostKEK・MailKEK での Spam 対策と運用

2004年頃にはPostKEKに於いてもSpamを放置できない状況となり、2005年度のシステム更新までの繋ぎとして、最小限の経費でSpam検知機能を導入した。ウィルスチェックソフトとして導入したトレンドマ



イクロ社の IMSS には、当社のスパムデータベースとのマッチング方式による Spam 対策フィルタ機能がバンドルされており、その機能を利用して、2004 年 9 月からサービスを開始した。しかし、刻々と変化する Spam 情勢に対し当製品では性能に限界があり、2005 年度のシステム更新に向け、送信元 IP 評価によるブロック方式と、RFC に準拠した SMTP サーバであればエラーメッセージに反応を返すので RFC に準拠した SMTP コネクションのメールしか受け取らない、という一見さんお断り方式の Spam フィルタについて、検討検証を行った。後者の場合は、初めての送信者の場合は必ずビジター状態となるという点から、KEKmail としては前者を選択し、且つ、複数のスパム対策機能を導入した。

KEKmail での Spam 対策の実装を簡単に記す。外部からの受信メールに対しては、IronPort 社のセキュリティプライアンス製品を導入し、複数の方式による Spam 対策を強化した。IronPort は SenderBase と称する、送信元 IP 評価データベース(DB)に基づくフィルタリング機能を有している。DB はサンプル数 2000 万以上の IP、各種ブラックリストへの登録の有無や企業情報などの 110 を超えるパラメータを常時監視し、統計対象メール 50 億通以上/日に則り作られており、閾値-4 での誤検知は 1/100 万通と言われている。KEKmail でも導入当初は、閾値-4 で運用を開始した。図 3 にメール処理数と Spam 数の推移(2006 年 1 月～2007 年 10 月)を示す。閾値を上げれば検知率も上がるが、誤検知が問題となってくる。半年近くの運用状況踏まえ、現在は-3.7 で運用を行なっている。この製品には、Symantec 社の Brightmail もバンドルされており、これによりホワイトリスト、スパムリスト、コンテンツフィルタリングの設定を行っている。また、当製品の LDAP 機能を用いて、KEKmail への SMTP 接続要求時にアドレスチェックを行い、存在しないアドレス宛メールは接続拒否をしている。From にかかれたドメインが DNS 解決できない場合も受信を拒否するよう設定している。ユーザ固有のスパムリストやホワイトリストの設定機能も備えている。KEKmail 内部からの送信メールに対する Spam 対策としては、登録ユーザのモラルを信じ、エンベロープ From のチェック及び、発信アドレスが KEKmail に申請したアカウント名でドメインパートが @post.kek.jp か @mail.kek.jp のアドレス、または統一メールアドレスに設定されているかをチェックしているのみ、本文のチェックは実施していない。

Spam 対策強化によって起こる、誤検知の問題点は、特に、大量メール送信元は閾値が悪くなり、ブロックされる傾向が高いため、ホワイトリストへのリストアップが重要となり、日々の業務として、ホワイトリスト/スパムリストの設定や、管理者アドレスを騙り不良サイトに誘導するフィッシングメールなどのフィルタリングを行っている。時々、KEKmail が種々の DNSBL(DNS-based Blackhole List)にリストアップされていないか等のチェックもしている。

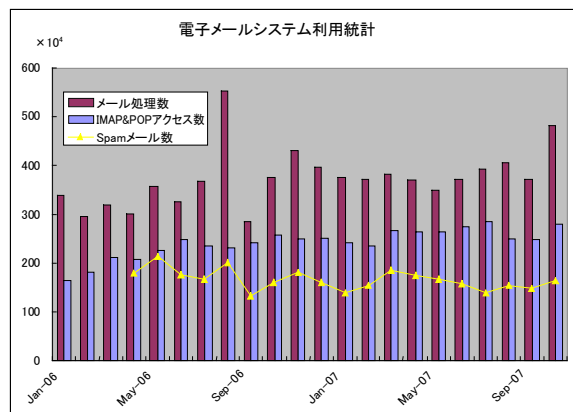


図 3

## 6. まとめ

KEKmail を運用して 2 年近くが経過したが、この間、一部機能の一時的なサービス停止はあったものの、冗長構成により安定運用ができています。メール配信に関する過負荷状態も起こっていない。Spam/ウィルス対策に関しては、前システムと比較して数段に向上したため、それなりの評価を得られたと自負している。

2007 年 7 月から次期電子メールシステムの仕様策定に入っている。現システムの功罪を踏まえシステム設計を行うことにしている。次期システムでは Spam 対策の一環として、実存する管理者アドレスを詐称するメールに対処するため、それらのアドレスへの電子証明書の導入は必須と考えている。

# TV 会議運用の歴史と新サービスに向けた MCU の導入

中村 貞次

共通基盤研究施設 計算科学センター

## 1 はじめに

計算科学センターでは、国内及び海外との共同研究・業務打ち合わせに必要な情報交換の一環として TV 会議のサービスを行っている。TV 会議は遠隔地に居ながらも TV 会議端末を介して映像、音声、電子データをリアルタイムに交換出来ることから急を要する会議や都合等で出張先に出向けない場合でも迅速に行うことが出来る。また、3 地点以上同時に会議を行う場合は多地点 TV 会議制御装置（Multi-point Control Unit 以下 MCU と呼ぶ）を介して行うことが出来る。

KEK では 1992 年に CDF 実験による KEK - 米国 FNAL 間の P2P 接続で TV 会議を行ったのが最初であるが、その後、他のプロジェクトでの需要も増え、利用数は増大し、KEK で MCU サービスを行うことになった。現在では国内及び海外の大学・研究機関と日々 TV 会議を行っている。一方で TV 会議サービスの運用を開始してからこれまでにさまざまな苦労や問題が発生し、それらに対する調査、対応に多くの時間を費やしてきた。本報告では、TV 会議の運用の歴史と現システムが抱える問題をこれまでの経験を踏まえ TV 会議環境の充実化を図るべく改善、構築してきたことを述べる。

## 2 TV 会議の歴史

計算科学センターでは、1992 年に日米 CDF 実験のコラボレーションにおいて KEK - FNAL 間の TV 会議を行うために TV 会議端末をサービスしたのが最初である。当時は TV 会議通信の取り決めを行う ITU-T 国際標準規格が制定されて間もないこともあり、メーカー独自方式を使って接続を行っていた。また、TV 会議を相互接続する通信回線は NTT がサービスするデジタル通信網 ISDN（Integrated Services Digital Network）を使った。当時は TV 会議に必要な通信速度として映像 64Kbps、音声 64Kbps の計 128Kbps のバンド幅を使って相互通信を行っていた。徐々に TV 会議のサービスが浸透し、他の共同研究プロジェクトでも TV 会議の需要度が高まり、1994 年に計算科学センターで ITU-T 国際標準規格に準拠した MCU を導入し、KEK がホストとなり、国内及び海外からの多地点 TV 会議サービスを本格化させた。

一方、運用面では全体の通信費を KEK 側で負担することになり、MCU の管理コンソールから手動により TV 会議端末を invite していたが、接続に失敗することもあり、ユーザーレベルで会議が開催出来る程、簡易的なものではなく、運用面で労力を要した。しかし、TV 会議の需要が増加したことで共同研究を行っている大学・研究機関で ISDN 用 TV 会議端末を導入するようになり、会議の頻度は益々増加傾向にあった。

KEK 内でも TV 会議端末が導入されるようになり、ISDN 回線を別途施設内に整備するのは得策ではないため、計算科学センターで所有する ISDN 交換機からの内線接続を 2 号館、3 号館、4 号館へ延長し、ネットワーク端末と同様に情報ネットワークコンセントから TV 会議端末を接続できるようにした。

TV 会議端末の分散化及び利用拡大に伴い、海外との TV 会議も増え、日本時間の夜間、早朝に行われることも多くなり、勤務時間外での対応が増えた。これにより計算科学センターとして対応が出来ないため、1996 年に多地点会議サービスを商用サービスへ移行した。

TV 会議の利用が増える一方で TV 会議通信費の増大が懸念されていた。ISDN の通信費は 1994 年から 2000 年をピークに 2005 年まで続いた。毎年、利用グループ毎に通信費の課金算出を行ったが、ISDN 交換機データと商用サービスからの集計を行い利用グループ毎に移算手続きをするのは非常に手間であった。

## 2.1 ISDN ベースから IP ベースへの移行計画

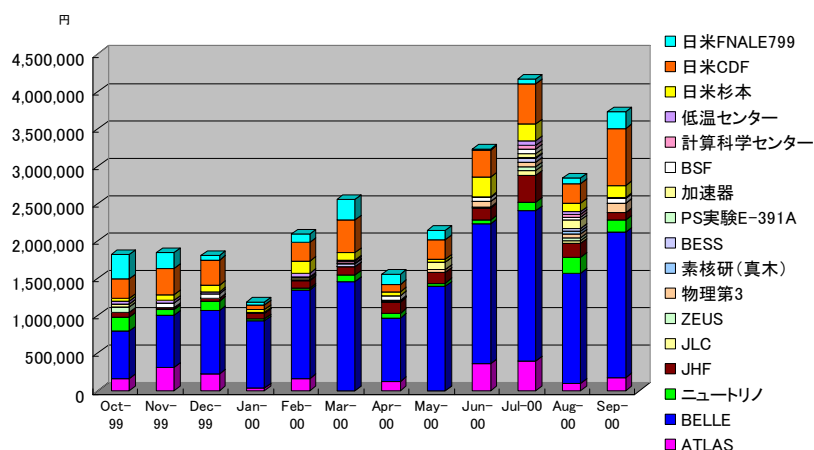
図 1 に示すグループ別 TV 会議通信費（'99 年 10 月～'00 年 9 月）の増加に伴い、削減することを目的に ITU-T 国際標準規格化が進められていた IP ベース TV 会議の移行を検討した。IP ベースへ移行することで電子メール、WEB サービスと同じ TCP/IP ネットワーク上で利用できるため通信費等は発生しなくなる。ISDN ベース TV 会議の規格は ITU-T 国際標準規格の H.320 で定められている。

H.320 と IP ベースの ITU-T 国際標準規格 H.323 とは互換性があることから運用中の ISDN ベース TV 会議と IP ベース TV 会議を相互接続が可能な様に考慮した。

計算科学センターでは、2000 年から IP ベースの TV 会議環境を構築し、ITU-T 国際標準規格に準拠した TV 会議端末を用意し、映像、

音声、データ共有の接続試験を行った。また、ISDN ベース TV 会議との接続も H.320/H.323 Gateway を介して接続出来る事を確認した。

図 1 グループ別 TV 会議通信費（'99 年 10 月～'00 年 9 月）



## 3 IP ベース TV 会議サービス

IP ベース TV 会議のサービスに向けて多地点 TV 会議制御装置 MCU と TV 会議端末と MCU 接続のための端末認証及び接続制御を行う Gatekeeper の導入を行った。また、運用中の ISDN ベース TV 会議端末と MCU 接続のため Gateway を導入し、サーバー機器の設定及び接続検証を行った。

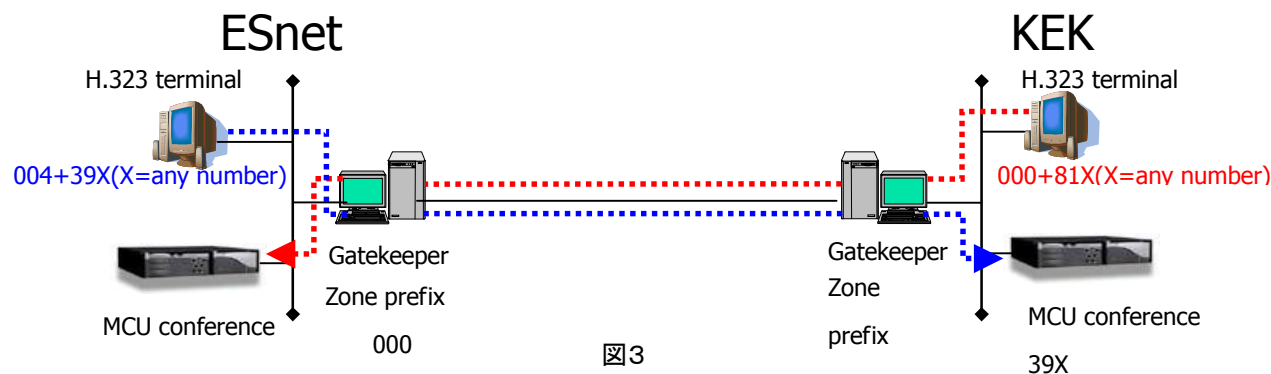
2002 年 6 月から MCU を介した IP ベース TV 会議の運用を開始したことでユーザ側でも順次 IP ベース TV 会議の導入が行われた。IP ベースの TV 会議端末を MCU へ接続する場合は、予め Gatekeeper に登録申請し、許可されれば認証に必要な端末の設定をメールにて申請者へ返信する。MCU 接続に必要な TV 会議端末の設定と自組織にファイアウォールやルータ等がある場合は TV 会議通信に必要なネットワークポートを TV 会議端末と Gatekeeper 及び MCU 間で解放する必要がある。

図 2 は 2004 年～2007 年の Gatekeeper に登録された IP ベース TV 会議端末数である。また、合計の括弧内は前年比を示す。

|     | 2004 年 | 2005 年    | 2006 年    | 2007 年     |
|-----|--------|-----------|-----------|------------|
| KEK | 56     | 60        | 70        | 75         |
| 国内  | 108    | 158       | 178       | 238        |
| 国外  | 82     | 118       | 142       | 203        |
| 計   | 246    | 336 (+90) | 390 (+54) | 516 (+126) |

Gatekeeper IP ベース TV 会議端末登録数（図 2）

米国 ESnet でも世界的に TV 会議のサービスを行っているが、KEK から米国 ESnet の MCU を介して会議に参加している。ESnet MCU へ接続する場合に TV 会議端末の Gatekeeper を KEK から ESnet に変更する必要があるが、会議毎に変更するのは非常に手間でありトラブルのもとである。これを回避するため KEK と ESnet 間の Gatekeeper を連携し、neighbor 設定にすることで TV 会議端末に設定されている Gatekeeper を変更することなく、宛先として zone prefix+MCU 会議番号で相手側の MCU へ接続出来る様に ESnet 側の担当者と協議の上、可能にした。



#### 4 現システムの問題点

現在、TV 会議の利用は MCU を介した多地点会議が殆どである。これは複数の大学機関から参加していることや大学機関にあるファイアウォールの設定で KEK の Gatekeeper と MCU への通信を確立すれば個別に接続するサイト毎に設定する必要がなくなるからだ。しかし、KEK では Gatekeeper と MCU を導入当時、内部ネットワークに接続し、外部の TV 会議端末との接続をファイアウォール経由にしていた。セキュリティポリシーとして内部ネットワークは外部からの通信を受け付けないことになっているが、MCU へ接続する送信元 IP address が多数となるためその都度、ファイアウォールの設定を行うのは面倒ということもあり、ファイアウォールの機能にある H.323 enable モード (H.323 が使用するネットワークポートを自動で開閉) を使って接続していたが、TV 会議端末が突然切断されるトラブルが発生した。ファイアウォールを経由しない KEK 内の TV 会議端末に影響は無かったためファイアウォールを経由したトラブルと判断し、外部の TV 会議端末をファイアウォール経由しないバイパス接続へ一時的に切り替えた。切り替え後、外部の TV 会議端末は MCU との接続で切断される事象は発生しなくなった。この結果を踏まえ、ファイアウォールのログと H.323 enable モードの動作についてメーカーに解析を依頼した。他のケースでは外部の大学からファイアウォールを経由した TV 会議端末と KEK MCU が接続出来ないトラブルが発生した。直接的な原因は分からなかったが、MCU との接続においてコールシーケンス及びネゴシエーションは TV 会議端末と Gatekeeper 間の通信で行われ、その後、TV 会議端末と MCU の通信が確立する流れになっているため複数のセッションを張ることになり、ファイアウォールによってはセッション管理を行っている場合は、通信に影響が出る可能性は高い。また、それ以外にも現在運用している Gatekeeper と MCU サービスには下記の問題を抱えている。

#### 接続性

- ① Gatekeeper+MCU の連携は接続シーケンスが複雑でファイアウォールとの相性が悪い
- ② 広範囲なネットワークポートの解放が必要

#### 機能性

- ① MCU サービスとしての機能が低い
- ② MCU がディスコンにより機能向上が出来ない

#### 運用面

- ① MCU のリソース管理（予約）が行えない
- ② システムの安定サービスに欠ける

### 4.1 問題への対策と MCU のリプレース

現システムで現在の問題を改善するのは出来ないと判断し、目的とする運用ポリシーの構想を練り、市場調査及び関連メーカーとの打ち合わせを行い、それらの情報を元に目的とする仕様書を作成した。その結果、Codian MCU を導入することが出来た。仕様策定のキーポイントは以下のものを挙げた。

- MCU サービスの安定性
- TV 会議端末と MCU の直接接続が可能
- 通信に必要なネットワークポートの限定、もしくは明確化
- 会議レベルの向上
- MCU 入室時のパスワードによる管理
- MCU 会議の予約機能

## 5 まとめ

1992 年から始まった TV 会議サービスは、研究・業務に必要な打ち合わせを遠隔に居ながらも迅速に行えることから需要は伸びた。一方で増加する ISDN 通信費を削減するために IP ベースに移行出来たことで利用者への通信費負担が無くなった。また、IP ベース TV 会議で運用して来たトラブルやさまざまな経験を活かし、理想とした MCU を導入できたことは自身の業務効率を上げるだけでなく、TV 会議を利用するユーザ全体へのサービス向上に繋がると確信している。今後は、MCU のリソースとユーザの利便性を考慮し、MCU スケジュールサーバを立ち上げ、WEB から MCU の予約を可能にし、ワンタイムな会議番号を含めた予約情報を会議参加者へ電子メールにて通知するシステムの構築を行い、新サービスの開始に向けて整備していく。

# PF リングにおける電磁石電源制御用 GUI の開発

長橋 進也

物質構造科学研究所 放射光科学研究施設 放射光源研究系

## 8 はじめに

2.5GeV の放射光源用電子蓄積リングである Photon Factory Storage Ring (PF リング) では、2005 年に約半年間かけて、挿入光源用ビームラインの拡充を図るための改造 (PF リング直線部増強) を行った。1980 年代に製作された直線部の全ての四極電磁石を、ボア径を小さくすることによって磁石長を短くしても磁場勾配が十分に得られるものへと変更し、かつ、偏向電磁石側に寄せることによって、既存の直線部を最大 4m 延長し、また、新たに 1.4m の直線部を 4 箇所作り出すことができ、より多くの挿入光源を設置するスペースを確保した。合わせて四極電磁石電源も大幅に増強した。これらの制御系はワークステーションを基にしたものを使用していたが、制御の利便性と各種制御プログラムの開発を容易かつ短時間に実現するために、既に多くの研究機関で実績のある Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS<sup>[1]</sup>) へと変更した。これに伴う Graphical Use Interface (GUI) の開発には、Motif Editor and Display Manager (MEDM)、dm2k、Python/Tkinter<sup>[2]</sup>、SAD/Tkinter を使用した。

本稿では、制御グループと電子軌道グループが共同で行った PF リング電磁石電源制御系更新の概要を簡単に紹介し、それに伴う GUI の開発について、筆者が担当したものを中心に実例を交えながら紹介する。

## 9 PF リング電磁石電源制御系

### 9.1 PF リング直線部改造以前の電磁石電源制御系 (旧制御系)

RF や入射用パルス電磁石等の制御と同様、1997 年の PF リング高度化改造時に導入されたワークステーションを基にしたものを使用していた。偏向電磁石電源や四極電磁石電源等 (大型電源) は CAMAC を使用し、制御は VME を介してワークステーション上の C 言語や FORTRAN で書かれたプログラムが行っていた。一方、補正電磁石電源や電子負荷装置等 (小型電源) は VME の I/O を使用し、制御は大型電源と同じくワークステーション上のプログラムが行っていた。また、どちらの GUI も VAPS で書かれたプログラムを使用していた。

### 9.2 PF リング直線部改造時に導入した電磁石電源制御系 (新制御系)

前述の様に、制御の利便性と各種制御プログラムの開発を容易かつ短時間に実現するために EPICS を採用した。リアルタイム性や安定性を求められる大型電源の制御は、VME の CPU モジュールを Power PC750 に変更して、OS を VxWorks とし、その上で EPICS を動作させ、CAMAC の I/O モジュールはそのまま使用した。一方、小型電源の制御は、VME の CPU モジュールを Pentium III に変更して、OS を Red Hat Linux 9 とし、その上で EPICS を動作させ、やはり VME の I/O はそのまま使用した。これにより、制御系ハードウェアの変更を最小限とすることができた。PF リング直線部改造前は、GUI (上位ソフトウェア) を除く EPICS のプログラム (下位ソフトウェア) は外注することも検討していたが、開発コストがかかることや Top-Up 等の新たな運転に対応するための更新が頻繁に行われることを考慮し、全て我々の手によって開発を行うこととした。しかしながら、約半年の間に、PF リング直線部増強作業と平行して、少人数でデバッグまで行うのは、かなりハードな作業であった。

## 10 PF リング電磁石制御系開発環境

### 10.1 EPICS

EPICS は、アルゴンヌ国立研究所およびロスアラモス国立研究所により開発が始められた、加速器や大型望遠鏡、その他大規模科学実験機器等に用いられる分散制御システムを開発するための、ソフトウェア開発環境と汎用アプリケーションのセットのことである。EPICS は Input/Output Controller (IOC) と呼ばれる計算機上で動作し、また、デバイス／ドライバ・サポートと呼ばれる電源や測定器等 (デバイス) とのインターフェースプログラムもこの計算機上で動作しており、データはレコードという値で管理されている。また、別の IOC や計算機とのデータの受け渡しは、あるレコードに対して Channel Access (CA) というプロトコルを用いて行われる。例えば、`caget` というコマンドでデータを受け取り、`caput` というコマンドでデータを渡すことができる。この時、レコードが管理されている IOC や制御対象となるデバイスがどこにあるのか意識する必要はなく、同じネットワーク上であればどこからでも対象となるデバイスを制御することができる。もう一つ `camonitor` というコマンドがあるのだが、これはレコードに変化があるとその値を返してくるコマンドで、状態を表示する様な GUI では不可欠なものである。

### 10.2 MEDM、dm2k

EPICS 標準の GUI 作成ツールで、簡単に Graphical に作成できるため、試験段階や単純な操作をするのに適している。しかし、`caput` や `camonitor` を GUI から行う機能しかなく、計算や条件判断等の複雑な操作はできない。

### 10.3 Python/Tkinter

Python はフリーウェアのオブジェクト指向スクリプト言語で、今日使われている主要なプラットフォームの全てにおいてコンパイルし実行することができる。また、標準で Tkinter と呼ばれるオブジェクト指向インターフェースを備えており、フリーウェアであるためにサードパーティー性のツールも充実している。もちろん、CA モジュールもある。筆者は、簡単に GUI が開発でき、CA が容易に行えることはもちろんのこと、わずらわしいコンパイルが不要であり、動的な型付けができ、デバッグもし易いことから Python/Tkinter を愛用している。

### 10.4 SAD/Tkinter

Strategic Accelerator Design (SAD<sup>[3]</sup>) は 1986 年に KEK で軌道設計コードとして開発されたインタプリタ言語で、そこに CA と Tkinter の機能を追加したものである。筆者は、軌道計算が必要な GUI を開発していないため、この言語はほとんど使用していない。Python/Tkinter は IOC との接続が切れても自動的に再接続するが、SAD/Tkinter は IOC との接続が切れると同時に GUI も固まってしまう。

## 11 GUI の開発

PF リング直線部増強作業や下位ソフトウェアの開発はコミッショニング前に完了している必要があったため、GUI の開発はそれらが完了してから本格的に始められた。そこで、開発のスピードを上げるため、常駐型の GUI を除き、エラー処理は必要性を感じてから施すこととした。これは、ハードウェアまで熟知した人間が GUI を操作することがわかっていたためにできたことである。

入射路変更電磁石電源の自動 ON/OFF 等の常駐プログラムも全て GUI 化し、動作していることが一目でわかるようにした。



## 11.1 旧制御系 GUI のデザインを採用 (図 1)

GUI の開発を始めた頃は、操作する人間の負担を軽減し、また、操作方法の教育に要する労力を軽減するため、旧制御系 GUI のデザインをそのまま採用した。しかし、開発した GUI を操作してもらったところ、開発の労力が必要な割にはそれらのメリットがほとんどないことがわかったため、それ以降は旧制御系 GUI のデザインには固執せずに開発を進めた。

## 11.2 PF-AR の GUI を流用 (図 2)

電磁石電源の電流値モニターや状態表示用等の GUI は、既に PF-AR で使用されているもののレコード名を変えることで対応した。PF リング電磁石電源用のレコードは PF-AR のそれとは違い、電源の種別毎に異なった命名規則に基づいて決められていたため、思っていたよりも開発に時間が掛かってしまったが、コミショニング前までには作成することができた。

## 11.3 PF オリジナルの GUI (図 3)

GUI の開発はコミショニングが始まっても続けられたが、これ以降はほとんどが一から開発したものだ。それは、PF 独自の機能であったり、コミショニング中に必要性を感じたりしたものだったが、GUI と CA だけの単純なプログラムであれば数十分程度で開発することができるため、まずそれを動かしてみて、必要と思われる機能を少しずつ追加するといった手法を採った方が早く開発でき、また、コミショニングに与える影響も少なくできたからである。

# 12 失敗例、問題点

GUI を自分たちの手で開発することには成功したが、失敗や問題も起きたので、簡単に紹介する。

## 12.1 機器の故障を招いた例

コミショニング開始までの間に片極性電源用の CPU ボードを 3 度も破損させた。3 度目に破損させたコミショニング当日の朝に原因が判明し、急遽プログラムを手直しして何とかコミショニングに間に合わせることができた。Python/CA には複数のレコードに同時に値を送る機能（同期設定機能）があるため、リアルタイム性を求められる電源の電流値設定にはその機能を使用していたのだが、極性切り替え器が同時に動作すると過大な開閉サージが制御ケーブルを伝播して CPU ボードに侵入し破損させてしまうのだ。SAD/CA にはこの



図 1.旧制御系 GUI(上)と新制御系 GUI(下)  
左が大型電源 ON/OFF で右が電流値設定

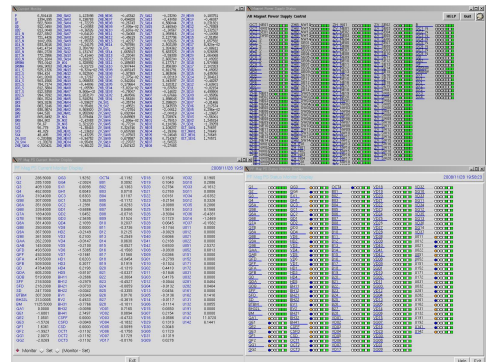


図 2.PF-AR の GUI (上) と PF の GUI (下)  
左が電流値モニターで右がステータス表示

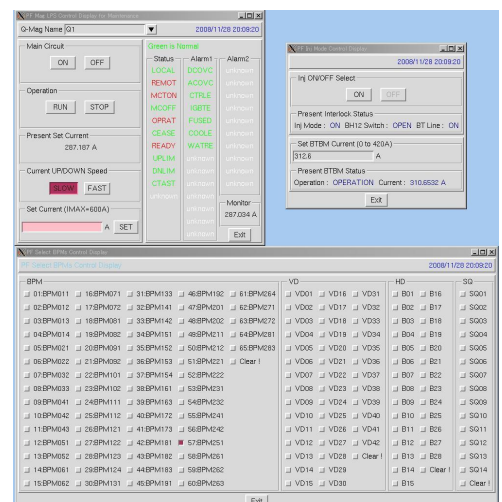


図 3.PF オリジナルの GUI

左上が大型電源個別制御で右上が入射路変更電磁石電源の自動 ON/OFF で下が COD に補正から外す BPM を選択するためのもの

機能がないために極性切り替えの動作が微妙にずれているからかこの問題は起きていない。そこで、Python/CA の同期設定機能は使用しないこととした。それ以降は1度も起きていない。

## 12.2 複数の言語が混在して起こる問題

大型電源の初期化 GUI を二人の人間が Python/Tkinter と SAD/Tkinter で別々に作成したのだが、使用する言語によりベータトロンチューンが数十 kHz 程度違ってしまっていたことがわかった。プログラムの構成が同じになる様書き直してみたが変わらなかった。それぞれの言語の CA 機能に異なった点があり、レコードに値を送るタイミングが変わっているのが原因ではないかと推測している。SAD/Tkinter に統一して解決した。

次も、設定電流値を保存する GUI を、やはり二人の人間が Python/Tkinter と SAD/Tkinter で別々に作成したことにより発生した問題である。SAD も動的な型付けをするのだが、時にそれが悪さをして文字列の扱いが難しくなることがあるため、開発にかかる時間的な都合から Python/Tkinter で作成したファイル名と違うファイル名で保存せざるを得なかったためである。混乱を招く前にファイル名を統一させる必要がある。

## 12.3 プログラムの不安定性に関する問題

常駐型の GUI には安定性が求められるため、十分なエラー処理を施し運転に望んだのだが、逆に不安定で使い物にならなかった。結局、常駐型の GUI は決められた動作を行うだけなので、エラー処理は必要最低限とし、単純にコマンドを送る様に変更したところ、安定に動作し、今日までエラー処理の脆弱性が原因で止まったことはない。エラー処理は十分に行った方が良いのだが、人数や開発時間が限られている状態ではこれが一番の方法だと感じた。

Python/CA の Wait は SAD/CA のそれに比べて大きいため、モニターするレコード数が増えてくると GUI の起動に時間が掛かってしまう。逆に、この Wait がネットワーク負荷に対して十分に大きいため、ネットワーク負荷の変動により実行速度が違って来たり、不安定になったりすることがない。一方、SAD/CA の Wait は小さいため、ネットワーク負荷の変動に対して非常に敏感で、複雑なプログラムを書くと不安定になることが多い。そこで、SAD/Tkinter では GUI の部分だけを書き、ボタンを押すとその都度システム関数で別の SAD スクリプトを呼んで実行するという方式を採用している。ネットワーク負荷の変動による実行速度の変動は起きてしまうが、安定性は問題ない程度まで向上した。ただし、IOC との接続が切れると GUI が固まってしまう問題を抱えている。

## 13 まとめ

PF リング電磁石電源制御系の更新を、制御グループと電子軌道グループが共同で、約半年の間に、PF リング直線部増強作業と平行して行ったが、リングの運転に支障を与えることなくできた。これは、制御系ハードウェアの変更を最小限とし、EPICS を採用した効果だろう。

GUI を自分たちの手で開発し、開発や手直しをコミショニングと平行して行うことにより、自分たちの要求を反映したものができた。

Top-Up 等の新たな運転に対応するための更新にも、スムーズに対応できた。

## 参考文献

- [1] <http://www.aps.anl.gov/epics/>
- [2] John E. Grayson, “Python and Tkinter Programming” Manning Publications Co.
- [3] <http://acc-physics.kek.jp/SAD/sad.html>



平成19年度

## KEK 技術交流会のご案内

技術交流会実行委員会

今年も KEK 技術交流会が開催されます。

皆様お誘い合わせの上、奮ってご参加くださいますようお願い致します。

テーマ：「最先端の研究を支える技術と業務」

開催日：平成19年11月28日（水）

時間：9時45分～16時10分

場所：4号館1階 セミナーホール

プログラム：

9:45 開会

< 午前の部 >

10:00 J-PARC におけるヘリウム供給・回収システム

飯田真久（共通・低温）

10:30 S T F 棟における超伝導加速空洞表面処理に関わる施設建設

舟橋義聖（共通・機工）

11:00 電解研磨設備の概要と安全性

沢辺元明（共通・放射線）

11:30 電子系加速器における放射線測定と空間線量率抑制

高橋一智（共通・放射線）

< 午後の部 >

13:30 電子陽電子加速器の入射部

池田光男（加速器・第三）

14:00 直流高圧電源の故障と対策

本間博幸（加速器・第三）

14:30 Spam/ウィルス対策を強化した電子メールシステムの構築と運用

押久保智子（共通・計算）

15:00 TV 会議運用の歴史と新サービスに向けた MCU の導入

中村貞次（共通・計算）

15:30 PF リングにおける電磁石制御用 GUI の開発

長橋進也（物構研・放射光）

16:00 閉会

## 編集後記

前回、前々回と J-PARC をテーマにして技術交流会が開催されて参りました。今一番ホットな話題がやはり J-PARC であることは、疑う余地がないところです。しかし今回のテーマを決めるにあたり、我々実行委員は敢えて「J-PARC」という文字を使わない事にしました。先端技術開発ばかりでなく、地道に積み重ねてきた日々の業務にも光をあてたいと考えたからです。ご存知の通り今回のテーマは「最先端の研究を支える技術と業務」です。その趣旨に沿った、先端技術、設備の紹介から業務に関する玄人的ノウハウまで、様々な興味深いご発表を頂き、まさに「技術交流会」の名にふさわしいものにする事ができたと自負しております。

最後に、お忙しい中、発表および報告集の執筆をして下さった 9 名の発表者の方々に感謝を申し上げます。

平成 19 年度技術部門連絡会  
技術交流会実行委員会  
田中賢一  
橋本清治  
吉岡 綾  
渡辺勇一

