KEK Proceedings 2013-3 September 2013 A/H/M/R/D

2010~2012年度

技術交流会報告集

Proceedings of the Meeting on the Technical Study at KEK

Fiscal Years 2010 - 2012 KEK, Tsukuba, Japan

2010年度編集

久松 広美 坂井 浩 柿原 和久

2011年度編集

小林 芳治 小山 篤 高瀬 亘 田中 賢一 穂積 憲一

2012年度編集

田内 一弥 垣口 豊 山野井 豊

High Energy Accelerator Research Organization



High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 2013

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

 Internet:
 http://www.kek.jp

技 術 部 門 連 絡 会 議 技術調整役 寺島 昭男

2010 年度『KEK を支える技術(9 講演)』、2011 年度『震災からの復旧と若い力(13 講演)』、2012 年度『技術開発の最前線(7 講演)』のテーマで実施した技術交流会の報告集を出版する運びとなりまし た。まず、交流会を企画、実施していただいた皆様、講演をお引き受けいただいた皆様と、ご来聴して いただいた皆様に感謝いたします。

年度毎、電子版の発行と数年毎の製本出版を実施することにしていますが、後者についてもタイムリーに実施すべしとの議論があります。行きつく先はデジタル化であることは承知していても、紛れもないアナログ世代としては製本版を手にするとき、ある種の安心感が得られることが否定できません。

この製本版は、機構内の技術職員へ配布するとともに、今後、機構を訪問される他機関の技術職員組 織への配布も検討します。ともかく、内容のさらなる充実を図りながら、仕事を纏める習慣を身に付け るとともにプレゼンテーション能力の涵養、内外への技術力のアピール、情報発信・収集の一つの機会 として捉えていただき、この技術交流会を大いに活用されることを期待します。

法人化と同時に技術部を廃止し、来年で10年となります。技術部門は研究所、研究施設の研究部門 と一体となった運営形態を選択し、実効的、且つ効率よくその技術的専門性を発揮し、機構のプロジェ クト研究、国際的機関としての機構の発展に大きく貢献してきたものと自負しています。

一方、研究所、研究施設の運営について、所長、施設長のご理解をいただきながら、技術的専門性を 生かしてさらに大きな役割、責任を果たしていく必要があるように思います。今般、J-PARC で起きた 事故は長年にわたる地道な努力により築いてきた信用が、一瞬にして崩壊することを教えてくれました。 多くの技術職員が放射線発生装置はもとより、化学薬品、高圧ガス、高電圧機器等を日常的に直接取り 扱う業務に従事しています。

安全確保、研究成果の創出が多くの人々から機構に期待されています。結果には原因があります。日々 の仕事の中で職場の安全、地域の安心に配慮し、潜在する危険の掘りおこしを通じて、事故の未然防止 を図ることが強く求められます。

技術の共有とともに、インシデント情報、ヒヤリ・ハット事例の共有と十分な活用が求められます。 この点でも技術職員相互の円滑な交流を確保し、信用回復と研究成果の創出、さらに機構の発展に重要 な役割を果たしていくことを期待します。

2010年度 技術交流会報告集

March 2, 2011

(1) KEKBにおける振動測定と解析

山岡	広(素核研)		1
----	--------	--	---

- (2) 超伝導ソレノイド電磁石用冷凍機の運転および保守管理
 - 根本 靖久(物構研) ・・・・・ 5
- (3) ビームシャッター外部開閉操作機構の開発
 - 斉藤 裕樹(物構研) ・・・・・ 10
- (4) カートリッジヒーターを用いた真空炉の製作
 - 原 和文(加速器) 13
- (5) SuperKEKB 用超伝導電磁石の捲き線治具の製作
 - 東 憲男(共通) ・・・・・ 16
- (6) KEKmail での迷惑メール対策
- 押久保 智子(共通) ・・・・・ 24
- (7) ILC計画のためのニオブ製9セル超伝導空洞の開発
 - 宍戸 寿郎(加速器) ・・・・・ 29
- (8) STFの低電力高周波源整備
- 片桐 広明(加速器) 35
- (9) 技術とのかかわり
- 鈴木 善尋(素核研) 38

VIBRATION MEASUREMENTS AND FEM ANALYSIS FOR THE KEKB-IR

Hiroshi Yamaoka, Mika Masuzawa, Ryuhei Sugahara, Yasunobu Ohsawa High Energy Accelerator Organization 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

高エネルギー加速器研究機構(KEK)では、KEKB電子・陽電子ビーム衝突型加速器を用いたBファクト リー実験を行ってきたが、KEKB加速器の性能向上を目的として、SuperKEKB加速器の設計・建設が進めら れている。この計画では、KEKB加速器で記録したルミノシティの値を約40倍高めることを目標とするため、 垂直方向ビームサイズをKEKB加速器と比べて数十分の一にする予定である。

このため、床面の過大な常微振動や装置からの大きな機械振動は衝突頻度の低下を招くことから、 KEKB衝突点付近にあるマグネット支持システム及びその床面での振動レベルを測定し振動特性の調査を実施した。また、有限要素法を用いて測定値との整合性の検証をおこない、SuperKEKBでのマグネット支持 システムの設計にいかすことにした。

本報告では、これら測定及び解析の結果について報告する。

KEKB における振動測定と解析

1. はじめに

KEKB 加速器にとって衝突頻度(ルミノシティ)の 大きさは物理実験の上で非常に重要な項目である。 このルミノシティを向上させる方法の一つとして、 ビームサイズの極小化があげられる。垂直方向の大 きさはトリスタン加速器では~ 10μ m であったが、 KEKB 加速器になるとそれが 1μ m まで小さくなっ た。次期計画の SuperKEKB では更に小さく 50nm 程度になる予定である。

もし床面や機械振動によるノイスが大きい場合、 振動の影響により衝突頻度が損なわれてしまう可能 性があり、衝突頻度向上のためには振動レベルの把 握及び許容値以下への抑制やフィードバックが必要 になってくる。

このためにまず床面や各機器上での振動レベルの 測定をおこない、それを分析することで振動の大き さや特徴を把握すると共にその原因を調査した。ま た、モーダルインパルス試験によりマグネット支持 システムの固有振動数やモード形状を測定した。

一方で、有限要素法を用いた振動解析を行う事で 床面振動に対するシステムの応答レベルを計算し、 測定された振動特性との比較をおこなった。

2. 振動測定の概要

2.1 KEKB 衝突点付近の構造

KEKB 衝突点付近の構造を図1に示す。KEKB フ ロアは Belle 検出器の両端に位置しており、検出器 フロアより約 4.2m 上方にある。ビームラインのレ ベルは地下約 10m である。この部分に最終収束電 磁石 QCS や QC1 電磁石が両側に配置されており、 それらは QCS 架台に取り付けられている。この QCS 架台は移動架台と取り合うためにマグネット架 台に取り付けられて、これらで一つのマグネット支 持システムを構成している。また、メンテナンス時 は Belle 検出器内部にアクセスする必要がある事か らこのシステムはビーム軸方向に後退できる構造に なっている。

2.2 振動測定

この測定で用いられたセンサーは特許機器(株)の サーボ式加速度計(MG-102)で感度は 0.1~ 400Hz で 1gal=1V である。データロガーは(株)小野 測器の DS2000 を用いておこなった。現場では振動 レベルのみ測定し、データ解析は後からおこなった。 サンプリング周波数は 256Hz である。

測定足した項目は、床面及び機器各部での振動レベルとその特徴、BelleII 検出器の空調機の影響及び QCS 電磁石冷却時の振動への影響である。他にもトンネルの両端での振動の相関等を測定したが、本報 告では省略する。



図1: 衝突点近傍の配置図

2.3 データ解析方法

データの解析は MatLab を用いておこなった。ま ず現場で5分間の振動データを採取したあと、デー タ解析として、測定データを75%のオーバーラップ をかけながら 8192 個のデータに分割し、それにハ ニングの窓関数をかけた。それを高速 FFT で周波 数領域に変換したあと平均化をおこなった。その データから振幅のパワースペクトラム密度及び積分 振幅を求めた。

3. KEKB 衝突点付近振動測定結果

3.1 振動レベルと特徴

床面で測定された振幅のパワースペクトラム密度 を図2の上図及び QCIRE での振動レベルを図2の 下図に示す。3本のグラフはビーム軸に対して直角 方向、ビーム方向そして垂直方向を表している。

QC1RE のデータを見てみると、このマグネット は QCS 架台上に取り付けられていてこの架台自身 も別の架台に取り付けられていることから床面の振 動と比べてレベルが拡大している。その他には、 0.3Hz 付近に緩やかに盛り上がっている水平方向の ピークがあり、3Hz 付近では垂直方向にレベルが高 くなっているのがわかる。また、10~20Hz 付近に もピークを見る事ができた。これらは一般にそれぞ れ、潮汐の影響(Microseismic)、地盤の固有値及



図2:マグネット支持システムでの振動測定結果 (上図: KEKB 床面上、下図: QC1RE 上での測定値)



図3:モーダルインパルステスト試験風景。

び交通の影響といわれている。また、この地点での 独特のピークとして8 Hz 付近でも測定された。ま た、このピークは床面が一番小さく上方に行くほど 拡大された。

3.2 モーダルインパルステスト

先の章で架台の振動で8 Hz 付近に独特のピーク が観測されたと報告した。このため、図3にしめす ようなモーダルインパルス試験をおこない、この支 持架台の固有振動数とモードシェープを測定した。

測定ではピエゾ式加速度計 1 個を QCS 架台上に 取り付け、先端にロードセルのついた専用ハンマー を用いて各ポジションを叩いた。これにより入力し た加振力とピエゾセンサーでの応答加速度の関係か ら応答関数を求めた。その後、各加振点での応答関 数を専用のソフトで解析する事でシステムの固有振 動数とモードシェープを測定した。

この結果、図4のような8 Hz 付近では支持架台 全体が横揺れしている事を測定した。この原因はマ グネットシステムの一つとして一番底部に移動架台 があるが、これは床面に取り付けられたリニアガイ ドに固定され、ビーム軸方向への移動を可能にして いる。リニアガイドと固定部は非常に小さいギャッ プではあるが、このギャップが横揺れを起こしてい ると考えられる。



図 4:モーダルインパルス試験結果。第1次固 有振動数でのモード形状を示す。横方向に揺れ ていることが確認された。

4. 支持システムに与える振動の影響

4.1 空調機の影響

衝突点から約 10m ビームラインと直角方向に離れたところに Belle 検出器の信号を取り込む収集小 屋があり、ここに空調機が取り付けられている。こ の空調を運転している時はかなりの騒音が発生する ことから、システムの振動特性に大きな影響を与え るのではないかと考えた。そこで、この空調設備を On にした場合と OFF にした場合でどの位、振動に 違いがあるかを測定した。

測定は KEKB 衝突点の両側のトンネル内でおこ なわれ、センサーを電磁石の上と床面にセットし、 空調を ON にした場合と OFF にした場合の、振動 レベルの違いと相関を測定した。

結果として、地面の固有値である3 Hz 付近で若 干の違いがあるものの、双方に大きな違いはみられ なかった。

4.2 マグネット冷却時の影響

マグネットを冷却する際に振動特性に影響がない かどうかを調べた。

加速度センサーを日光側ではマグネットの上の 3 方向に置き、大穂側はマグネット横の冷却管の上に



図5:QCS マグネット冷却時の振動測定結 果。(上図:パワースペクトラム密度、下 図:積分振幅)を表す。



図6 マグネット支持システムのモデル図

置いて測定した。測定は 1 時間毎に 10 分間測定され 24 時間続けられた。この間に、マグネットの冷却がされた。

日光側マグネット上で測定された上下方向の振動 データを図5に示す。地盤の固有値である3Hz付 近でピークを見る事ができるが、日中は振動レベル が大きく、深夜ではレベルが小さくなっている。こ れは交通量の影響か大きく関係している事がわかる。

他に昼の12時に1 Hz 付近でピークが見られた。 この原因について冷却データ、ログブックや地震の 有無を調べた。その結果、この時間に地震の発生の



図 7 QCS マグネット各部での床面振動に対 する応答計算結果。



図8:SuperKEKBのためのマグネット支持シ ステム。

記録がないことから地震の影響では無い事がわかり、 冷却の影響と考えられた。冷却記録をみると冷却開 始が昼11時頃から開始され、12時頃には冷媒を 流している途中で14時には冷媒を停止しているこ とがわかった。このため、1 Hz 付近のピークは冷 媒を流した影響と考えられる。しかし、冷却前と冷 却後を比べてみると、双方では振動特性に大きな違 いはないと考えられる。

図 5 の下のグラフは積分振幅を示す。上図のパ ワースペクトラム密度を周波数の高いところ(この 場合 100Hz)から積分して作ったものである。この 結果、積分変位は1 Hz 以上では約 200nm と計算さ れた。

振動解析による応答計算

5.1 KEKB 支持架台の振動解析

マグネット支持システムの振動解析をおこない、 測定データと比較することで整合性を調べた。もし この結果、双方に良い整合性があった場合、新たに 設計・製作する支持システムでも振動特性を予測で きると考えた。

振動解析は「ランダム振動解析」をおこない、支 持システムをモデル化した後に測定された床面の振 動データ(周波数ー振幅のパワースペクトラム密 度)を拘束点に入力し、任意の位置での応答(パ ワースペクトラム密度)を求めた。

解析モデルを図6に示す。減衰定数は 0.5%とし、 コイルとクライオスタットとのサポート部はバネ定 数を計算してスプリング要素でモデル化した。荷重 条件は、自重の他に支持架台に搭載されているマグ ネット荷重を定義した。材質はコイル部は銅、クラ イオスタットはステンレス及び架台は鉄とした。

計算結果を図7に示す。縦軸は振幅のパワースペクトラム密度で横軸が周波数である。赤の実線が入力された床面での振動を表す。この入力値に対する各部の応答を他の実線で表す。応答は、OHzの時は入力値すなわち地盤の振動と同じであるが、第1次固有振動数に向かって徐々に拡大されていく。この系の1次固有値は14Hzと計算されたのでここで振幅は最大値となる。振幅は減衰定数大きく関係している。このあと、それぞれの固有値の周波数で振動はピークを示す。また、振幅の大きさは周波数が高

表1:FEMによる振動解析のまとめ

QCS	項目	値	値
New QCS	固有值	36Hz(1次) 61Hz(2次	
		92nm	39nm
	積分振幅	>1Hz	>10Hz
現 QCS	固有值	14Hz(1 次)	20Hz(2 次)
		150nm	120nm
	積分振幅	>1Hz	>10Hz

くなるにつれて急激に減少している。図 5 の測定値 と比べると同じところに固有振動数のピークを見る 事ができ、積分振幅の値も双方で 200nm 前後とな り、解析によって振動特性を予測できることがわ かった。

5.2 SuperKEKB 支持架台の振動解析

SuperKEKB のためのシステムの設計にあたって は、固有振動数をできるたけ高くするようにした。 このことで、積分振幅を小さくする事ができるため である。図 8 に現在考えている SuperKEKB のため のマグネットシステムを示す。現在のマグネット支 持システムでは船のような形の支持形状にしている が、これを筒状にすることによって剛性を向上させ、 その結果、固有値を向上させた。

このことで、積分振幅を大きく低下させることが できるという計算結果をえた。固有値は KEKB で は 17Hz であったが約 36Hz まで増加した。計算の まとめを表1に示す。今後、更に支持形状の最適化 をする予定である。

6. まとめ

SuperKEKB 計画では垂直方向のビームサイズが 非常小さいことから、衝突頻度向上のために振動レ ベルの大きさが問題になる。このため種々のスタ ディをおこなった。

この結果、空調機の影響は非常に小さく、電磁石 冷却の影響も冷却初期を除けば影響が無い事が確認 された。振動の測定では典型的な3つの振動ピーク 以外に8Hz付近でのピークが測定され、このピーク は上部の支持構造にいくにしたがって、振動レベル が大きくなっていった。モーダルインパルス試験を おこなって原因を調査したところ、それはマグネッ ト支持システム全体の横揺れモードであることが確 認された。

電磁石先端での振動は約 200nm であることが測 定された。また、振動解析をおこない測定値との整 合性をチェックした。この結果、測定値と計算値は 比較的一致し、このことは SuperKEKB マグネット 支持システムの設計に大いに生かす事ができると考 えられる。

今後、構造の最適化及び低振動化に向けた検討を おこなっていく予定である。 1. はじめに

J-PARCミュオン施設では3GeV陽子がグラファイト標的に衝突する際、原子核の陽子および中性子との核反応からパイ中間子が創られ、このパイ中間子が崩壊してミュオンが得られる。こうして生成したミュオン粒子をできるだけ多く実験エリアまで導くためには、超伝導ソレノイドによる大きな磁場が必要となる。超伝導ソレノイドは長さ50cmボア径12cmの12連の超伝導コイルからなり、中心磁場5Tを6mにわたって発生させることが可能である。その強い軸方向の磁場で飛行中のパイ中間子を閉じ込めながらミュオンに変換させる。超伝導コイル(NbTi線材で構成)のまわりは2重の温度シールド(6Kシールド、80Kシールド)が配され、外部からの熱侵入に対しての保護となっている。

このような高磁場を発生させる超伝導ソレノイド電 磁石の冷却回路は上流部の6つのコイル(µ1コイル) と下流部の6つのコイルおよび6Kシールド(µ2コ イル)の2つに分けられている構造になっている。 その冷却にヘリウム冷凍機システムが使われる。

2. 冷却原理

ヘリウム冷凍機システムは図1に示すように、<u>ヘリ</u> ウムガスを圧縮機で高圧(0.85MPaG)にし循 環させ、タービン、JT 弁にてソレノイド電磁石に供給 して冷却するシステムである。



ヘリウム冷凍機システム

図1 ヘリウム冷凍機システム

根本 靖久 (所属 物構研ミュオン)

超伝導ソレノイドは冷却回路上、前述の2つ(µ1 およびµ2コイル)に分けられている。さてここでま ず冷却方式を説明するために必要なウォームリターン、 コールドリターン、シリーズとは何かについて述べて おきたい。

冷却の初期においては、超伝導ソレノイドに供給し て戻ってきたヘリウムはまだ温度が高いため。そのた め冷凍機の高圧部と低圧部間の熱交換器を通過させず、 太い配管で圧縮機に直接戻したほうが、冷凍能力が高 まる。このような冷却経路をウォームリターンと呼ぶ。 この際µ1およびµ2コイルはヘリウム風量を最大限 にするため並列に経路は組まれている。

次に徐々に全体の系が冷えて来た後には、超伝導ソ レノイドから戻ってくるヘリウムは十分冷えているの で、供給側経路のヘリウムを冷却するために使用でき る。そのため熱交換機を通して冷やせるように経路を 変更する。これがコールドリターンである。

コールドリターンに変更した後にも、超伝導ソレノ イドを並列に冷却する経路から直列に冷却する経路に バルブをコントロールして変更する。この温度領域で はすでに循環へリウムガスの温度は低く、その密度は 室温時に比べ大きくなっているため、直列経路にして も冷却能力は十分にある。また最終的には超伝導ソレ ノイド内でのヘリウムの圧力を0.5MP a G以上に とることで、ヘリウムの気液混合状態(いわゆる超臨 界状態)に相転移させて冷却能力を飛躍的に高めるこ とができる。このような経路をシリーズと呼んでいる。

次に冷却の実際をバルブ操作と各計測点の温度との 関係から述べてみたい。

ヘリウム圧縮機をスタートさせマグネット接続運転 を開始すると、マグネットバルブCV814 (µ2コ イルウォームリターン)、CV815 (µ1コイルウォ ームリターン)がすぐに100%全開になる。これに より、冷凍システム全体の暖かいヘリウムガスは直接 圧縮機へ戻される。µ1コイル戻り温度TE818、 µ2コイル戻り温度TE817が50Kになるまで行 われる(図2)。ここでµ1の流れを青色、µ2の流れ をピンク色、バルブの開を水色、バルブの閉を赤色で 示す。

スタートから47時間(μ1コイルTE818の場 合)、さらにそれから2時間30分後にμ2コイルTE 817が50Kになる。(μ2コイルは、6Kシールド コイルを持っている為、冷却時間が掛かる。)50Kに 達する時間は、ソレノイドが以前の運転で既に冷却さ れている場合はさらに短縮される。



図2 ウォームリターン冷却回路

次に、コールドリターン冷却回路に関して図3に示 す。ulコイル戻り温度TE818がTE817より先 に50Kになるとバルブが切り替わる。CV815(µ 1コイルウォームリターン)が100%から98%と 徐々に閉まり始めると、CV816(μ1コイルコー ルドリターン)が0%から2%と徐々に開き始める。 最終的にはCV815が0%、CV816が100% になる。途中、双方の開閉度が足して100%になる 様に行われていく。50%になるまで2時間ぐらいを 要しその後、4時間30分~5時間を要しCV815 が0%、CV816が100%になる。TE818が 先に50Kになってから、2時間前後を経てµ2コイ ル戻り温度TE817が50Kになると、同様にバル ブが切り替わる。CV814 (µ2コイルウォームリ ターン)が100%から98%と徐々に閉まり始める と、CV817 (µ2コイルコールドリターン)が0% から2%と徐々に開き始める。最終的にはCV814 が0%、CV817が100%になる。これで、コー ルドリターン冷却回路の完成である。この時の、µ1 コイル戻り温度TE818が12Kで、µ2コイル戻 り温度TE817が14Kである。





図3 コールドリターン冷却回路

シリーズ冷却回路に関して図4に示す。

コールドリターン冷却回路のままでは、TE818、 TE817が13K前後で何日何時間経過しても変化 が無く4Kにならない。さらに冷却するには、シリー ズ冷却回路がある。CV816が100%から98% と徐々に閉まり始めると、1分後、µ2送り供給バル ブCV813が0%閉へ、µ1戻りバルブCV818 が100%開へ同時に作動する

CV816が100%から0%閉(所要時間14分)、 CV813が0%閉、CV818が100%開に達成 時刻は、13分で3つのバルブは同時に各々の開閉度 になる。この時、µ1コイル戻り温度TE818が9 Kで、µ2コイル戻り温度TE817が10Kである。 後は、待つだけである。その後、3時間30分要して TE818が4Kで、TE817が5Kに達成する。 この値が、通常運転の状態である。

• 13Kから4. 0Kまで シリーズ



図4 シリーズ冷却回路

常温から冷却をスタートして、図5よりµ1コイル 戻り温度TE818(左側紫色)、µ2コイル戻り温度 TE817(右側灰色)がグラフから伺えられるよう に、順調に冷えて行く。4K完成間際、バルブユニッ トのPIA-S6R2の圧力が0.55MPaGにな るようにCV817開閉度を定常状態で54%になる ように調整する(図6超伝導ソレノイド電磁石廻り参 照)。

PIA-S6R2とは、μ2コイル戻りの圧力であり。 CV817を絞り過ぎては圧力が高く、ソレノイドの 冷却能力が低下し、開き過ぎては、気液分離器の液体 ヘリウムの量を一定に保持できない。この値の関係は 試行錯誤の結果、冷凍処理能力のもっとも高い最適な 圧力とバルブ開閉度の関係である。

4.2K~4.3Kで、ヘリウムガスが超臨界状態 になる。この時、現場コールドボックス周辺から「シ ュー、カラカラ、シュー、カラカラ」と、音が聞こえ 30分近く続き、鳴り止む。すると4Kに成り、気液 分離器にヘリウム液が徐々に溜り始め通常1時間30 分(場合によって3時間)かって、60%まで溜る。 常温から冷却完成が3日間要す。



図5 冷却完成曲線

冷凍機により冷却が完成したので、パワーリード(+、 -)に、液体ヘリウムを流す。

パワーリード(+、-)に、安定した50L/min の流量を得るために、図7ヘリウム冷凍機**PC監視画 面を**参照、CV152開閉度を調整する。

3. 運転および保守管理

次に、付帯設備や装置、日常点検等、保守管理に ついて説明する。冷凍機運転は概ね以下の手順で行わ れ、詳細については別途取り扱いマニュアルが整備さ れている。 ヘリウム冷凍機運転・操作手順

- ・ 電源ブレーカー確認(He 圧縮機、制御系、 UPS)
- バッファタンク圧力の確認(ヘリウムガスの 状態)
- ・ ヘリウム圧縮機起動
- ・ マグネットへの接続(供給バルブ開放)
- ヘリウム冷凍機起動(冷却開始→3日間要す)
 超伝導ソレノイド用直流電源の電源供給

尚、これらの状態は全て PC 監視画面上で確認できる。 超伝導ソレノイド用直流電源 PC 監視画面の横に電流 可変用のリモートコントローラー(図8参照)を設置 してある。電流設定は今のところ、表面ミュオン40 A、崩壊ミュオン340Aにて供給している。



図6 超伝導ソレノイド電磁石廻りPC監視画面



超伝導ソレノイド用直流電源





図8 電流可変用リモートコントローラ 及び超伝導ソレノイド用直流電源

一方、保守管理においては以下のように定期的な巡 視確認を実験室内外において行っている。

冷凍機システムの保守・管理(実験室内)

- ・ ヘリウム冷凍機 PC 監視画面の確認(頻繁)
- トレンドグラフ各11画面。圧力、温度、流量等のチェック
- PC監視画面の現在(リアルトレンド)、過去(ヒ ストリカルトレンド)から異常を確認
- ・ コールドボックスの状態の巡視(図9)
- 漏れ、圧力(計空)、バルブの開閉度、冷却水温度 (タービン)、パワーリード(図10)、およびバ ルブユニット(図11)の状態確認



図9 パワーリード



図10 バルブユニット



図11 コールドボックス

冷凍機システムの保守・管理 (実験室外)

- ・ 屋外ヤード(図12)のバッファタンクの巡視。
 圧力状態を確認(漏れをチェック)。
- 配管、継ぎ手(フランジ等)チェック。
- カードル及び送気台の巡視。漏れ、配管、継ぎ手 状態確認。圧力計確認
- 第2ヘリウム圧縮機棟(図13)の巡視。圧縮機、 制御系(電源、ブレーカー)、配管、継ぎ手、バル ブ等の確認。圧縮機、オイルセパレーターからの

油漏れ、冷却水の漏れ確認

- 冷却塔の巡視。各モーター(水ポンプ、散水ポン プ、ファン)の動作、状態(錆び具合)、ファンベ ルトの状態(張り、傷等)、全体の状態、冷却水洩 れ確認。
- 保守備品の補充等



図12 屋外ヤード:冷却塔(左)、カードル(中央)、 バッファタンク2基(右)



図13 第2ヘリウム圧縮機棟:オイルセパレーター およびバルブステーション(左)、ヘリウム圧縮機(右、 黄色)

4. 問題点と今後の課題

立ち上げ時は毎回、冷凍機が定常状態に達するまで の時間、過程が異なる。また、<u>トレンドグラフのバル</u> <u>ブ開閉度と実際の開閉度が異なる</u>事がある。これはバ ルブ自体の問題(個体差)と推測されるが、この時、 運転継続可能か判断しなければならない。冷却に時間 が掛かり過ぎたり、バルブの切り替わりに時間が掛か り過ぎたりするときは、停止して急遽、業者を呼んで 修理して、立ち上げたケースもある。

運転中、毎回、パワーリードへの流量が不規則にな る。トレンドグラフの流れを見ていると、50L/m inで一定状態の時に、突然減少し始めたりする。こ の場合、回復させる為にバルブの操作が必要になる。 原因、前触れもなく起こる現象に今の所未然に防ぐ方 法が無い。バルブ、配管等の詰まりが考えられるが、 はっきりしない。通常、監視体制は、日中担当者及び ミュオンで実施しているが、その他は現場における監 視のみならず、物質生命科学実験施設中央制御室及び ニュートリノ制御室において冷凍機の状態が常時ネッ トワークを通じてモニターできるシステムを構築し、 万全の体制がとられている。

謝辞

日頃より、<u>低温グループ</u>には多大なる御支援、御助 力を頂き、今日迄ヘリウム冷凍機の運転が順調に行わ れて来た。この場をかりて、深く感謝と敬意を表した い。これからもご支援・御協力の程、御願い申し上げ る次第である。

ビームシャッター外部開閉操作機構の開発

〇斉藤 裕樹、濁川 和幸、小菅 隆(物質構造科学研究所)

1. 概要

物質構造科学研究所放射光実験施設の実験用ビーム ラインには安全に実験が行えるよう、ビームラインイ ンターロックシステム(BLIS)[1]が設置され、インタ ーロック集中管理システム(CCS)によって統合的に 管理されている。これまで、実験者がビームシャッタ ー(MBS、BBS)開閉をする際には必ずBLISのステ ーションコントローラ(OPC)の操作パネル(図1参 照)を使用しなければならなかったが、高度な実験が 行えるよう実験計測システムからビームシャッターを 開閉したいという要望があり、安全に外部からビーム シャッターを開閉できるシステムが必要となった。本 報告はビームシャッター外部開閉操作機構(External Mode)の詳細である。



図1 実験用ビームライン概要図

2. システム概要

BLIS は Programmable Logic Controller (PLC) で動作 しており、それぞれの PLC は Serial · Ethernet 変換が可 能な N Port を介してインターロック専用 LAN に接続 されている。PF-ARには3つの実験ホールがあり、そ れぞれに CCS が設置されている。各 CCS もインター ロック専用 LAN に接続されて運用されており、今回の 技術を導入した NE-3A がある NE 棟実験ホールにも NE-CCS という CCS が設置されている。CCS は簡易メ ッセージ配信システムである STARS (Simple Transmission and Retrieval System) [2] [3]を基本として 構築されており、Logger Client で各 PLC のステータス とコマンドの流れをロギングしている。今回のシステ ムは、インターロック専用 LAN にビームシャッターを 外部から操作する為の PC(外部操作用 PC)を接続し てネットワーク経由で BLIS の PLC をコントロールす る構成となっている。外部操作用 PC は実験用ビーム

ラインのコントロール専用 LAN に接続されビームラ インの主要コンポーネントを操作する可能性もある。 インターロック専用 LAN の安全を確保する為に、2系 統の LAN に接続可能な OpenBlockS を用いて 2 つの LAN を物理的に切り分け、OpenBlockS 上に STARS の ブリッジ用プログラムを搭載することでコントロール 専用 LAN に接続された不特定多数の PC からのビーム シャッター操作を防止し、限られた PC のみビームシ ャッターのコントロールをすることとして、一定の安 全の確保に役立てている。(図 2 参照)



図2 システム接続図

3. ソフトウェア構成とコマンドの流れ

今回の技術を達成するためのソフトウェア構成は図 3の通りであり、STARS を使用して外部操作を行う構 成とした。STARS はその中心となる STARS サーバー と各種クライアントからなるが、今回はサーバーと 5 個のクライアントで構成されている。また、BLIS 側に ついてはハードウェアの改造を行う事無く PLC プロ グラムの変更のみで External Mode に対応している。 それぞれのサーバー、クライアント間でのコマンド(表

1参照)の流れは下記の通りである。

 外部操作 Client から送信されたコマンドは Client Bridge に送られる。(図3の1参照)

2) Client Bridge は送られてきたコマンドが許可された PC からのもので、さらに許可されたコマンドかをチェ ックした後、サーバー経由で外部操作 Interface に送信 する。(図3の2,3参照)

3) 外部操作 Interface は送られてきたコマンドを再度チェックした上でコマンドを変換し、サーバー経由で PLC Interface に送信する。(図3の4,5参照)

4) PLC Interface は送られてきたコマンドに対応したデ ータを PLC に送信する(図3の6参照)この時コマン ドがステータス等の返り値を要求されたコマンドだっ た場合には、返り値が逆の順で外部操作 Client に送ら れる。

5) Logger Client でこれらのコマンドの流れは常にロギ ングされている。



図3 ソフトウェア構成の概略図

コマンド名	内容
NE03.ExternalMode	BLIS外部操作モードの状態信号
NE03.BLISMain.Status	ビームラインMainラインの状態信号
NE03.BLISA.Status	ビームラインAラインの状態信号
NE03MBS.Status	MBSの状態信号
NE03.MBS.OnReady	MBS開可能信号
NE03.MBS.OpenRequest	MBS開要求信号
NE03.BBSA.Status	BBS Aの状態信号
NE03.BBSA.OnReady	BBS A開可能信号
NE03.BBSA.OpenRequest	BBS A開要求信号



4. セキュリティーの確保

External Mode を開発するにおいて重要なことは、イ ンターロック本来の機能として重要な安全を確保しつ つ、External Mode という利用者の利便性実現すること である。具体的には、許可された PC からのみコマン ドを受け付ける等の STARS のセキュリティーだけで なく外部操作 Client、Client Bridge と外部操作 Interface それぞれにセキュリティーに配慮した作りとした。ま た、実際のビームシャッター操作する BLIS 側でも誤 動作防止の為に一定の操作が必要な外部操作モード

(External Mode on) に切り替えないと(図4参照)外部からのビームシャッターのコントロールは受け付け ない様にして、2重3重の安全性を確保している。 External Mode時は安全のため OPC では特定スイッチ 以外は操作不可になり、External Modeであるかないか の状態が運転当番や他のビームラインの実験者からも 判断しやすい様に既存のLED を利用した表示(図5 参照)を行っている。当然のことながら、当該ビーム ラインで少しでも異常が発生した場合には外部操作の 条件が解除(図6参照)される。



図 4 External mode にする時の操作



図 5 External mode 時の OPC の変化



図 6 External mode が off になる条件

5. 外部操作クライアント

今回作成した外部操作 Client (図 7 参照) は外部か らビームシャッター操作をする以外に Auto mode と いう機能を持ち、条件が満たされれば自動的にシャッ ターを開けることが可能となっている。(図 8 参照)



図7 外部操作 Client の GUI



図 8 Auto mode 時の基本動作

6. まとめと今後

今回のシステムが導入された事により、本来であれ ばステーションコントローラでしか出来なかったビー ムシャッターのコントロールが実験計測システムから 出来る様になった。これにより、自動での実験を進め ていくことが可能になり、実験計測システムが必要時 に正確にビームシャッターを制御することで、実験の 安定性が確保され、スループットの上昇にもつながっ ている。さらには、リングの運転モードがユーザー運 転に切り替わると即時にビームシャッターを開けるこ とが可能となり、ビームライン光学系の負荷が安定す るという複次的な効果も得られ、放射光ビーム供給の 安定化に大きくつながるっている。

現在は限られたビームラインでのみ、本システムが 導入されているが、今後は PF ビームラインの標準仕 様として拡張されることが望まれている。このために は、各リング、ビームラインで世代の異なるビームラ インインターロックシステムのハードウェア、ソフト ウェア両面からの整合性の統一等が課題として挙げら れる。今後、システムが熟成するにつれ、順次他のビ ームラインへと導入される予定であるが、これにより 要求の異なる様々なビームラインにおいて、供給され る放射光ビームの信頼性が格段に向上し、より高度な 実験が可能となることが期待される。

参考文献

[1] 最新のビームライン・インターロックシステム,平成19年度核融合科学研究所技術研究会(2008)
[2] 計測・制御用簡易メッセージ配信システムの開発,平成13年度技術研究会(2001,東北大学)
[3] http:// stars.kek.jp/

カートリッジヒーターを用いた真空炉の製作

1. はじめに

私たちグループは、cERL に使用される超伝導加速空洞 や国際リニアコライダーの超伝導加速空洞を約2Kの温度ま で冷却するための過冷却液化ヘリウム冷凍機の開発、製作を 行なった。その過冷却液化ヘリウム冷凍機の構成装置である 熱交換器は、超伝導加速空洞が納められている液体ヘリウム 槽から減圧ポンプ等により戻ってくる約2Kのヘリウムガス の顕熱を利用して約4Kの液体ヘリウムと熱交換を行ない約 2K の過冷却液体ヘリウムを作る。これは、超伝導空洞を冷 却するために使用された寒冷を無駄に捨てることなく、出来 るだけ回収することで冷却システム全体を小さくすること が可能となり性能の良い熱交換器を開発することは、非常に 重要である。そこで、出来るだけコンパクトで熱伝達が非常 に良い、銅パイプと銅フィンを使用した熱交換器の開発を行 なった。

熱交換器の大きさは、 \$2mm×高さ261mmと比較的小さ いものであり、銅パイプと銅のフィンを使用するので製作の 過程において真空銀ロウ付けが必要となる。このような熱交 換器の真空銀ロウ付け作業を業者へ依頼する場合、依頼業者 が所有している真空炉は、この熱交換器サイズに比べ大体に おいて大きな真空炉であり、真空炉を占有してロウ付けを依 頼しようとすれば、熱交換器の大きさに見合わない作業料金 を請求されることが予想される。また出来るだけ安価に真空 銀ロウ付けを依頼しようとすれば、同じような真空銀ロウ付 け依頼品が、依頼業者が運転する真空炉いっぱいに入る量ま で待ってから真空炉を運転するので、納期が長くなってしま う。さらに性能の良いものを開発するためには、ショートサ ンプルでの真空銀ロウ付けを繰り返し行なって銀ロウ材の ぬれ具合や、銅パイプとフィンの接合具合を確認する必要が あるため、実際に業者へ依頼するのは無理がある。

以上の理由から、製作中の熱交換器が真空銀ロウ付け可能 な、操作が単純、簡単で扱いやすい真空炉が求められた。し かし、一般的に真空炉に用いられる加熱ヒーターは、発熱体 の常温運転温度の高いもので、割合大きな真空炉用しか見つ からず、我々が求めている小さい真空炉に利用できる物が見 当たらなかった。そこで、比較的手に入りやすいカートリッ ジ・ヒーターを使用すること、その加熱ヒーター本体の固定 方法を工夫し800℃以上の高温まで真空炉を加熱できること、 断線やショートが起こりにくい加熱ヒーターを使用するこ と、メンテナンスしやすいこと、出来るだけ小さい装置にす

原和文(所属加速器第三研究系)

ることを目標として真空炉を製作したので報告する。さらに、 その真空炉を使用して真空銀ロウ付けを行なった熱交換器 を紹介する。

2. 真空炉概要

図-1に真空炉概要図を示す。真空炉外槽全体の大きさ は、φ406 mm×高さ1180 mm(架台、真空排気装置含まず)、 加熱炉は、φ160 mm×高さ470 mmの大きさがあり、対象とし ている熱交換器を真空ロウ付けするのに十分な大きさを持 っている。輻射シールドは、加熱炉を囲むように置かれ、 SUS304 製の5 層構造となっている。輻射シールド上下方向 は 2mm、周方向は1.5mmの板厚を使用し各々層の内側には、 ディンプル加工した SUS304 製 0.1mm 薄膜を10 層したもの を設けている。

加熱ヒーターは、一般的に入手しやすいカートリッジ・ヒ ーター φ 15.8mm×820mm (1500W/240V) 6 本を使用した。 ヒーター内部は外筒内に発熱体と絶縁材が封入されている。 非発熱部に SUS 製フランジを溶接して、真空槽へフランジ で固定する。加熱ヒーターの出力調節は、スライダックを使 用し電圧を手動で調整して行なうので操作が単純で確実で ある。

電源とスライダックの間に絶縁トランスを設けて、加熱ヒ ーターがショートしても電源盤内ブレーカーが落ちないの で、他装置に影響を与えない。また仮に加熱ヒーターの交換 が必要になった場合は、真空炉下部にフランジで固定する設 計としたので比較的簡単に取替えが出来る。



真空炉の冷却は、加熱ヒーターと同じ方法で固定された2

本の冷却パイプ(\operatorname{4} 1/2"×1mm)を冷やすことで真空炉を冷 却する。そのパイプの炉内端部側は、溶接により閉止されて おり真空炉底部からパイプ内側に 1/8"のパイプを奥まで差 込み、そこへ計装用エアー導入し冷却パイプを冷やして真空 炉内を冷却する。

温度モニターは、真空槽底部フランジからカレントスルー で加熱炉に導入し中心部付近に1箇所、Kタイプの温度計を 取り付けて炉内温度をモニターしている。

真空排気装置は、エドワーズ社ロータリーポンプ(RV8 0.45KW)と拡散ポンプ(100/300 0.65KW)で構成し、クリスタ ルイオンゲージ 2 台をラインに取り付け圧力をモニターし ている。

3. 熱交換器

図-2に真空炉でロウ付けを行った熱交換器の概略を示 す。約4Kの液体ヘリウムは、過冷却液化ヘリウム冷凍機内 のタンクから熱交換器に供給され、コイル状になった¢6 mm 銅パイプを約7m 通過する間に減圧ポンプ等により戻っ てくる約2Kのヘリウムガスと熱交換を行い約2Kに過冷却 される。過冷却された液体ヘリウムは、同じく過冷却液化ヘ リウム冷凍機内の2Kタンクに貯められ超伝導加速空洞を冷 却するために利用される。

熱交換器本体は、リン脱酸銅パイプ(φ6mm×1mm)を約φ 75mmのコイル成型したものに、0.5mm厚の無酸素銅板から 打ち抜き成型を行なったフィンを銅パイプ1ピッチ当り約 6枚、合計180枚を真空銀ロウ付けしてある。銀ロウ付けさ れたフィン面積は、約1200cm²であり使用する銀ロウ材は、 JIS Bag-8 相当品を用いた。

熱交換器の制作方法は、まず事前にフィンの焼き鈍しを行い 加工硬化を取り除く。次に ϕ 0.4mm の SUS ワイヤーを使用 して銅パイプにフィンを縛り付ける。その時、ワイヤー状な っている線径 ϕ 0.8mm の銀ロウ材を同時に固定する。フィン を固定するときの注意点として、フィンの銅パイプに当たる 部分を指でしごく事により、銅パイプの形状にフィンの当り 面を変形させてから SUS ワイヤーで緊く締付ける。これは、 銀ロウ材が浸透していく部分の隙間を出来るだけ小さくす るためで、銀ロウ材の使用量を少なくすると共にパイプとフ ィンの接触を良くすることに有効である。

銅パイプにすべてのフィンを固定した後、フィンが脱落す るのを防ぐためにフィン先端にある穴を貫通するように両 端に M4 ネジを立てた SUS 棒を通し、ナット間寸法 約 260mmになるように両端をダブルナットで締め固定する。

真空銀ロウ付け作業は、熱交換器本体中心に通した SUS 棒を使って真空炉内に吊し固定した後、輻射板、真空炉の上 部蓋を取り付け真空銀ロウ付け作業を開始する。十分真空炉 内が冷えたのを確認した後、熱交換器本体を取出す。銅パイ プにフィンを縛り付けた SUS ワイヤーは、ニッパー等で切 断し取り除く。銅パイプ両端は、後から TIG 溶接を行なうた め、変換用の ϕ 1/4"SUS パイプを銀ロウ付けしてから SUS 製の ϕ 84.7mm 外筒パイプに挿入する。熱交換器本体の位置 を確認し、 ϕ 1/4"SUS パイプを外筒パイプから外へ引出し、 ICF34 フランジを TIG 溶接して完成する。



4. 真空炉運転

表-1に真空炉の加熱から冷却までの炉内温度のグラフ を示す。真空炉の運転は、真空炉の加熱炉部にロウ付けを行 う熱交換器を固定し、上部の輻射シールド、上部フランジの 順番で蓋をして真空引きを行う。この時の熱交換器に使用し た銀ロウ材は、JIS Bag-8 を使用した。この銀ロウ材の液相温 度は、約780℃なのでロウ付け温度は、800℃以上で30分間 保持とした。真空炉の圧力が安定したのを確認後、スライダ ックで加熱ヒーターの電圧を70V に調整して真空炉を加熱 する。このとき全加熱ヒーター出力は、約770W であった。 炉内温度 600℃を越えたところで目標温度 800℃を大きく超 えないように温度モニターに注意して段階的に加熱ヒータ 一電圧を75V~80V に上げていく。加熱開始から約7時間半 で目的温度の 800℃を超える。そこから 800℃以下にならな いように加熱ヒーター電圧を調節し保持をする。

800℃を 30 分間保持した後、加熱ヒーター電圧を下げて真 空炉内温度を冷却するが、このとき急激に加熱ヒーター電圧 を下げでしまうと加熱ヒーター内の発熱体が、断線やショー トを起こしやすい事が分かっている。

そこで、加熱ヒーター電圧を 50V まで1 時間程度かけて 徐々に下げていく。その後、加熱ヒーターの電圧を 0V にし て翌日まで約1日間、自然冷却する。この日は、外気温が低 く 443℃まで炉内温度が下がった。次に冷却パイプに計装用 エアーを流して、熱交換器が取り出せる温度まで真空炉内を 冷却する。

計装用エアーで約3日間冷却後、真空炉内温度が約40℃ になったところで、真空引き装置を停止して大気リークを行 い、熱交換器を取出して運転を終える。



表-1

5. まとめ

現在まで真空炉は、3度の銀ロウ付けのテスト、6台の 熱交換器を銀ロウ付けし、その他に3度の銅製品のアニール を行った。特に運転上の問題は発生せず、加熱ヒーターの不 良も認められない。

今までに製作した真空炉は3台あり、今回紹介した真空炉 は、その中で一番大きなものである。以前製作した真空炉の 加熱ヒーターも同じタイプのものを使用したが、800℃まで 真空炉を加熱すると加熱ヒーターの絶縁不良や断線が多く 発生した。この加熱ヒーターの内部常用設計温度は、870℃ であり真空炉内温度を800℃まで加熱すれば、内部常用設計 温度は、優に超えていると想像できる。しかし、このタイプ のカートリッジ・ヒーターを使用しなければ、今回設計目標 とした小さな真空炉を製作することが出来なくなり熱交換 器の開発が遅れてしまう。そこで、以前製作した真空炉に使 用して断線、ショートしてしまった加熱ヒーターを分解し、 何処で何故断線しているかを調べ、真空炉を800℃まで加熱 しても断線やショートを起こさない加熱ヒーターの操作方 法を検討した。

加熱ヒーター外筒内には、発熱体と絶縁材が入っていて、 発熱体が動かないように絶縁材がぎっしりと充填されてい た。また発熱体は、ほぼ同じ箇所で断線していた。以上、加 熱ヒーターを分解観察した結果、発熱体が断線する原因は、 真空炉冷却時に加熱ヒーター出力を急激に下げてしまうと、 加熱ヒーター外筒と発熱体の温度差が大きく乖離し、発熱体 が外筒に比べて大きく収縮することで、発熱体が断線してし まうと考えた。

そこで真空炉を冷却する時に、加熱ヒーターの出力を、時間をかけて徐々に下げるようにしたところ、加熱ヒーター発熱体の断線やショートの故障が無くなった。さらに加熱炉部の加熱ヒーターは、加熱ヒーター外筒表面と加熱炉内温度差が小さくなるように鉄製のパイプ(SS400)に挿入され、そのパイプは、表面積を増やすために17段のフィンと接触している。

以上の結果、断線やショートを起こしていた加熱ヒーター は、断線を起こさない真空炉の運転方法、表面積の増加をし たことで、メーカー推奨温度以上の温度でも使用できること が可能となり、銀ロウ付けに必要な温度の 800℃まで、真空 炉を加熱することが出来た。さらに、この加熱ヒーターが使 えることで、加熱炉部を占める加熱ヒーターのスペースを小 さくすることが可能となり、真空炉全体をコンパクトにまと めることが出来た。

今後は、加熱ヒーターの故障が起きないような真空炉の運転方法が分かったので、はじめに温度調節機とトライアック で加熱、冷却運転の自動化を行い、最終的に簡単なプログラ マブル・コントローラーで真空装置の運転開始、真空炉の加 温、冷却、大気リークまでの運転を行えるよう目指すつもり である。

Super KEKB 用超伝導電磁石の捲き線治具の製作

1. 目的

現在、KEKでは KEKB 加速器のアップグレード計画 Super KEKB^[1]に向けて、ビーム衝突点で使用される超 伝導電磁石の設計検討が進められている。この超伝導 電磁石システムは 8 台の主 4 極電磁石から構成され、 その 1 つの超伝導電磁石 QC1RP の R&D を行う為に、 これまでより小型の捲き線機を製作した。当該の捲き 線を製作するに当たって、市販の回転台機構を改造す る事で、主要な構造設計の省力化を図った。本報告は、 捲き線機の設計製作について行う。

2. QC1RP 超伝導電磁石

図1に示すように8台の超伝導4極電磁石は、衝突 点の左右に設置されたクライオスタットに各々4台ず つが組込まれる。この超伝導電磁石(QC1RP)は、Super KEKBの衝突点に最も近くに設置される超伝導4極電 磁石である。磁石の断面形状を図2に示す。磁石の捲 き線に使用する超伝導線材は、キーストン角のある矩 形のケーブル(裸線寸法:0.93mm x 2.5mm)とした。 超伝導コイルは2層構造で設計されており、この線材 を捲き芯マンドレル^[2]に1層捲いた上に、2層目を重ね て捲くダブルパンケーキ捲き線を採用した。各磁石の 仕様を表1に示す。



図1 Super KEKBの基本配置図(筑波実験室)

3. 捲き線治具の設計および製作

現在の捲き線機は、KEKB^[3]用アクティブシールド磁

東 憲男 (所属 機械工学センター)

石の R&D (全長 0.58m)・磁場長 1m モデル磁石 (SSC^[4] 用) や 3.63m (J-PARC^[5]用) および 5m (TRISTAN 5T Dipole^[6]用)の全長を持つ各磁石の製作に使用されてき た。本捲き線機は、全長 0.5m 前後の小型な磁石の捲き 線用として、捲き芯マンドレル (以下、マンドレル) の全長に合わせて治工具等の詳細設計を行った。マン ドレルの断面図を図 3 に示す。

磁石	積分磁場	磁場長 L	磁場勾配 G
名称	(T/m)m	m	T/m
QC2RE	設計中	設計中	設計中
QC2RP	10.92	0.350	31.21
QC1RE	26.22	0.360	72.91
QC1RP	22.43	0.3372	66.52
QC1LP	22.91	0.3372	67.94
QC1LE	26.03	0.360	72.38
QC2LP	設計中	設計中	設計中
QC2LE	設計中	設計中	設計中

表1 衝突点用各磁石の仕様 (20110118 現在)



図2 QC1RP 超伝導4極電磁石の断面形状



マンドレルは、コイルの内径(口径)基準となる為に、 仕上げ外径 φ 43.75mm の丸棒から削り出した蒲鉾状の 断面を持つ一本物とした。捲き線するコイル全長 340mm (QC1RP 用)に対し、マンドレル全長を 400mm とした。また、表1に示す各磁石のコイル全長にも対 応できるように取付アーム部に冗長性を持つ捲き線機 とした。以下に、治工具部品等について述べる。

(1) コイル線材抑え

マンドレルの上に取付ける捲き線サドル(以下、サ ドル)の形状を図 4-1 に示す。トーションバネを用い た基本的な構造は、以前(Super KEKB 用 R&D^[7])と 変更なく、超伝導線材の矩形寸法に合わせて各部品の 小型化を図った。捲き線サドルの本体部品の製作に、 新規に導入した CAD/CAM/CAE ソフト「CATIA V5 (R19)」を用いた。この CAM 機能を用いて、NC デ ータの出力とマシニング加工を行った。CATIAのCAM 出力画面およびマシニング加工を図4-2・図4-3に示す。 また、コイル線材抑え治具部品を図 4-4・図 4-5・図 4-6 に示す(図 1)。



図 4-1 捲き線サドルの製作図



図 4-2 CAM 出力画面 (CATIA)



図 4-3 マシニング加工(サドル:8 個)



図 4-4 コイル線材抑え部品の組立(左図 L型アーム)



図 4-5 コイル線材抑え治具(4 組)



図 4-6 サドル部品の穴加工 (各 4 個)

(2) 回転機構

マンドレルの軸を回転中心として傾けるチルト (正・逆反転)機構には、捲き線に必要なトルク(≧ 25N・m)と出力軸の回転速度(0~7.5rpm)の仕様を +分に満足する電磁ブレーキ付きモータ(0.1kW)を 選定した。また、駆動方法は2列のスプロケット・チ ェーン駆動を踏襲した。

水平面の回転台機構(以下、ターンテーブル)には、 必要なトルク(≧250N・m)と出力軸の回転速度(0.2 ~2.5rpm)の仕様を満足する回転治具を改造した。

捲き線機の鳥瞰図を図 5-1 に示す。ターンテーブル (外径: φ450mm)の分解組込工程を図 5-2・図 5-3・ 図 5-4・図 5-5・図 5-6・図 5-7 に示す。(図 2)。



通し穴 (ϕ 60mm)

図 5-1 捲き線機の鳥瞰図





図 5-2(左:前) 図 5-3(右:後) 分解前のターンテーブル



図 5-4 ターンテーブル部品の分解取外し



シャフト



図 5-6 2 列チェーンの組込



図5-7 マンドレルの取付

(3) ロータリコネクタ

ロータリコネクタ本体は、市販の8極ピンの製品を 採用した。チルト機構用のモータ電源等の信号線(合 計8本)をロータリコネクタの接続端子部まで導入す る為に、ターンテーブルの回転中心軸(車軸)に貫通 穴(φ15mm)の追加工を行った。貫通穴追加工の影響 を見積る為に強度解析(図 6-1)を行い、車軸として 十分な強度を確保していると判断した。図 6-2 に中実 の車軸を示す。また、ロータリコネクタの回転側に取 り付くカップリング部品にスリット(巾 0.23mm)の追 加工を行った。スリット加工図(スリット部の厚さ 3mm) を図 6-3 に、ワイヤカット放電加工によるスリ ット加工を図 6-4 に示す。本スリット部は、図に示す ような二重の螺旋形状とし、ロータリコネクタ本体の 回転軸部分に無理な力が加わらないように、十分な撓 みを持つ構造とした。この解析結果(変形量)を図 6-4 に示す。カップリング部の接続配線(合計8本:写真 は4本)を図 6-6 に示す。ロータリコネクタ配線経路 (黒色破線表示)を図 6-7 に示す。

図 6-3 カップリングのスリット部 (二重の螺旋) 加工図 (追加工:青色表示部)



図 6-7 ロータリコネクタ配線経路図(黒色破線)



図 6-5 カップリングのスリット部の強度解析



図 6-6 カップリング部の接続配線

L = 161.5 mm



図6-2 中実の車軸(貫通穴加工前)



図 6-1 車軸貫通穴 (φ 15mm) の強度解析

(4) 捲き線機全体のアセンブリ解析

各部分毎のアセンブリ解析を行った後に、捲き線機 全体をアセンブリした状態での強度計算を行った。図 7-1 には、捲き線機の 3D アセンブリモデル図を示す。 図 7-2 には、ターンテーブル上部の箱型構造部に補強 リブを追加した場合のアセンブリ解析の結果を示し、 変形量が最大となるマンドレル取付構造部分のアセン ブリ解析の結果を図 7-3 に示す。

各部品の接触は、完全固着^[8](デフォルトの設定: ボンド)とし、アセンブリ全体が1つのパーツ構造物 とした場合の解析結果を図7-4に示す。

捲き線機全体のアセンブリ解析の結果は、最大変形量:約0.35mmで使用上問題無い範囲の値となった。 また、実際の変形量はボルト締結部分の滑り等により 解析結果よりも大きい値になると思われる。



外力は、500Nの引張力で捲き線した場合とした。







図7-3 マンドレル取付部のアセンブリ解析



図7-4 捲き機線全体のアセンブリ解析

(5) 捲き線機の製作組立

ターンテーブル部品の追加工の必要が有り、また詳細な部品図が手に入らなかった為に、現物を分解して 必要な箇所の寸法測定を行った。ターンテーブル外枠 のタップ穴位置測定(形状寸法の型取り)を図 8-1 に 示す。実測値を設計図面に反映した。ターンテーブル の支持脚部品(2箇所)の固定面(図 8-2)には調整シ ム(最大 0.3mm)を入れて、ターンテーブル下面の水 平出しを行った。コイル線材抑え治具の組立を図 8-3 に示す。捲き線機操作盤の組込を図 8-4 に示す。各回 転軸の手元(リモート)操作盤を図 8-5 に示す。



図 8-1 寸法測定(左上図:光明丹で型取り)



図8-2 支持脚の取付調整



図8-3 コイル線材抑え治具の組立

新旧捲き線機の形状比較(マンドレル)を図 8-5 に示 す。



図8-4 捲き線機操作盤の組込(図8-5 操作盤)



図 8-6 新旧捲き線機 (マンドレル)の形状比較 (φ179.75x750mm: 2005 年 Super KEKB の R&D)

4. まとめ

巻き線機の最外径(ターンテーブル部)を \$30mm として、コイル線材抑え治工具等へのアクセス性の良い小型の捲き線機を製作した。3Dモデリングの完成図 を図 9-1に示す。マンドレルのチルト(正・逆反転) 機構およびターンテーブルの正・逆回転の回転動作確 認を行った組立中の捲き線機を図 9-2に示す。 トーションバネ機構を用いたコイル線材抑え部品の 小型化(抑え駒の断面寸法:2.0 x 2.75 mm、図 4-4 参 照)を行った。形状的に小型化の限界に近いので、更 なる小型化が必要な場合には別機構の検討も必要と思 われる。

今後の捲き線作業については、別の機会に報告する 予定である。



図 9-1 捲き線機の全体図

5. 謝辞

これまでに、加速器研究施設および超伝導低温工学 センター・機械工学センターでの超伝導電磁石の開発 に於いて、捲き線治工具等の設計製作技術の蓄積等に 携わって来られた方々に感謝致します。

6. 参考文献

- 2010 年度春季低温工学・超電導学会 2010 年 5 月
 12 日 (水) ポスターセッション 1D-p04
 「KEKB アップグレード用超伝導電磁石」大内徳人、
 土屋清澄、多和田正文、東憲男、宗占国、岩崎昌子
- 2) LHC ビーム衝突点用・超伝導四極電磁石の基礎開発 KEK Report 2001-23 February 2002 A 寺島 昭男、東 憲男
- 3) 低温工学会 1994年4月 「KEKB 用アクティブシ ールドの R&D」安島 泰雄、大内 徳人
- 4) SSC「1mモデルマグネットの R&D」 1990 年頃



図 9-2 捲き線作業(ダミー線材)

- 5)第3回日本加速器学会賞(技術貢献賞)2007年8 月2日(木)「A SUPERCONDUCTING COMBINED FUNCTION MAGNET WITH SINGLE LAYER COIL WINDING」(単層超伝導コイルによる複合磁場磁石 の開発)荻津 透、中本 建志、東 憲男
- 6) TRISTAN 5 テスラ・ダイポール 1982 年頃
- 7)第17回 分子科学研究所技術研究会 第1分科会 機 械・ガラス工作技術 1-05 2005年3月2日(木) 「Super KEKB用 超伝導四極電磁石 R&D 機の製作」 東 憲男、大内 徳人
- 8) ANSYS Workbench Mechanical 入門セミナー 3.3 接触 2010 年 5 月 21 日 初版発行 サイバネットシステム(㈱)

7. 補足資料

(1) FEM 解析値と材料力学の理論値(変形量)の比較

図 6-1 に示す車軸に貫通穴(φ15mm)の貫通穴追加 工した場合のモデル化した単純梁の丸棒(φ30mm)と した場合の理論値とFEM解析値との比較を表2に示す。

また、図 6-4 に示すカップリング部品にスリット(巾 0.23mm)の追加工した場合の FEM 解析値と試作品で の実験値との比較を表 3 に示す。

FEM 解析ソフト: ANSYS Workbench 12.0 材料力学の公式:単純梁(片持ち等分布・集中荷重) 参考IP: <u>http://rakutin.himegimi.jp/tawami-ryous-02top.html</u>

			资形]	重(mm)
等分布(N)	理論値	解析值	差	備考
丸棒	0.0013	0.0017	0.0004	良
貫通穴	0.0014	0.0021	0.0007	良
集中(N)				
丸棒	0.0034	0.0026	-0.0008	良
貫通穴	0.0036	0.0030	-0.0006	良

表 2 車軸の FEM 解析結果(材質:構造用鋼) 理論値と解析値との比較(外力:500N)

変形量	(mm)
火ル垂	(IIIII)

モデル形状	解析值	実験値	差	備考
スリット無	1.2e-5			
スリット有	0.231	約0.2	(0.031)	再測

表3 スリット部の FEM 解析結果(材質:アルミ合金) 解析値と実験値(3.5N)との比較(外力:3N)

※ 再測:約0.2mmは、3.5Nの時の目視した量である。 外力を3Nにしてダイヤルゲージ等で再測定予定。



図10-1 車軸の貫通追加工図面

(2) 各捲き線機の形状(電磁石の長さ)の比較



図10-2 TRISTAN用 捲き線作業(コイル全長5m)



図 10-3 J-PARC 用 捲き線作業 (コイル全長 3.63 m)



図 10-4 Super KEKB 用 捲き線作業 (コイル全長 0.45 m)

KEKmailでの迷惑メール対策

押久保 智子(共通基盤研究施設計算科学センター)

1. はじめに

現在の電子メール環境は、送信者側にとってはコス トが低く、受信者側のストが高いという方式であるた め、迷惑メールは増大する一方である。ISP(Internet Service Provider)が扱うメールの70%以上が迷惑メール であるといわれている。研究や業務に支障をきたさな いためにも、メールシステムを構築するにあたっては、 外部からの迷惑メールに対する防御と、外部に対して は迷惑メールサイトとならないよう考慮することが不 可欠である。

今回は、迷惑メールの定義と一般的な迷惑メールの 対策技術、2009 年 12 月共通情報計算機システムの一 部として導入したメールシステム KEKmail (研究系メ ールシステム PostKEK と管理局系メールシステム MailKEK を総称してこのように記す)で導入している 迷惑メール対策について述べる。

2. 迷惑メールの定義と現状

迷惑メールと一口に言っても、その内容は多種多様 であり、ある者にとっては迷惑メールと判断されるも のであっても、他者にとってはそうでない場合もある が、一般的には、次のようなメールを迷惑メールと呼 ぶ。

a)受信者の同意、承認を得ずに送信されるメール。 b) ウイルスなどの感染を目的としたメール。

「セキュリティを保つため、添付フィルを参照し てアップデートをしてください。」等の巧妙な手口で、 受信者にウイルスを仕込んだ添付メールを開かせる メールがある。この種のメールは、KEKmailでも頻 繁に受信している。

- c) 詐欺目的のメール。
 - ▶フィッシングメール

実存する会社や組織を名乗り、個人情報などを 不正に入手するメールである。KEKmail でも「ア カウントの有効期限が近づいています。UID とパ スワードをお知らせください。」とのスパムメール を多々受信し、それに対しユーザが返信した事象 が発生したが、管理者のログ監視により問題を未 然に防いだ経緯がある。 ▶ワンクリック詐欺と架空請求

メールに記載されている URL 等をクリックした だけで、料金を請求するメール。一度クリックした だけで詐欺にあうため、こう呼ばれている。KEK で も度重なる架空請求から逃れるため、メールアドレ スを変更せざるをえなかったケースが発生。

- d) 有害情報を含むメール。
- e) プログラムによって作成された架空アドレスを大量 に含むメール。
- f) 一時に大量に送信されるメール。

CERT(Computer Emergency Response Team)のよう に世界中に大量にメールを送信するサイトは、時と して迷惑メールサイトと判断される場合があるので、 ホワイトリストに登録し、必ず受信できるようにし ておく必要がある。

g)受信者の業務に支障を及ぼす程送信されるメール。

大量または大容量メールにより quota over を起こ させ、メール受信をできなくすることを目的とする。 h)送信者情報や経路情報が偽装されているメール。

KEKmail で実際に被害にあった「差出人: KEK Active! mail <00002010@att.net>」のような安直な偽 装から、ヘッダー情報を偽装する巧妙なものまで存

在する。 i) アドレスの存在確認などを目的とした空メール。

i) エラーメールを悪用した送信メール。

詐称したアドレス先にエラーメールを大量に返信 させ、メール宛先サイトを connection lost 状態にした り、スパムサイトと認識させたりする。詳細は、 5.2.(3)に記す。

3. 迷惑メールに対する一般的な対策技術

メール環境の変遷と共に迷惑メールに対しては、 様々な対策が採られてきている。2000年代前半の頃は、 パターンマッチング方式によるブロッキングで済んで いたが、送信手法の巧妙化に対応して、迷惑メールの 対策技術も高度化してきている。迷惑メールに対する 対策としては、メールを送信する側としての対策とメ ールを受信する側としての対策との両方の対策が必要 である。

3.1. ブロッキングによる対策

a)Open Relayの禁止

メール送信側の対策としては、最低限 Open Relay を禁止することである。SMTP サーバ利用者を限定す ることにより、悪意のある第三者からメールサーバ を守ることができる。メールサーバを構築したら、 第三者中継の可能性をチェックしてくれる以下のサ イトがあるので、運用前に是非チェックをしてから 運用に供して頂きたい。

http://www.rbl.jp/svcheck.php

- http://www.abuse.net/relay.html
- b) SMTP auth または送受信時のアドレスチェック
- c)DNS を用いた発信者アドレスの確認
- d) ブラックリストサービスの利用
- e) グレーリスト法(一見さんお断り、お馴染みさん方式 とも呼ばれる)

初めての送信者からのメールは一時的に配送を拒 否する。正当な MTA であればこの応答を適切に扱い、 少し後に再試行することを利用した方法。但し、こ の方法は初めてメールを受信した場合、メール遅延 が発声する問題がある。

f)Sender ID

メールを送信することができる正規のサーバの IPアドレスをリストアップして管理し、メールの送 信元アドレスの偽装を防止する。

g)Outbound Port 25 Blocking(OP25B)

ISP(Internet Service Provider)などが会員のパ ソコンからスパムメールが送信されるのをブロック するために行っている方式である。動的 IP アドレス からメールを送信する際、当該 ISP のメールサーバ を経由せず、自サーバから直接メールを送信した時、 TCP ポート 25 番 (smtp) への通信を規制するという手 法である。



出典: OCN 迷惑メール対策 OP25B

OP25Bを実施した場合、動的 IP アドレスを割り当 てられている送信者が、インターネット接続を提供 している ISP 以外の ISP メールサーバからメールを 送信できなくなるという問題が発生する。この問題 を解決するために、ISP では 25 番ポートとは別に、 SMTP AUTH(送信者認証)を実装した 587 番ポート (Submission)を提供している。

3.2. フィルタリングによる対策

- a) ルールベースフィルタリング
 迷惑メールの特徴をルール化し、コンテンツマッ
 チング方式をとる。
- b) Bayesian Filter

キーワードの出現率を解析・学習し、分類するた めのフィルタ。学習量が増えるとフィルタの分類精 度が上昇する。しかし、日本語の場合は単語による 分かち書きがされていないため、そのままフィルタ で解析しても適切な解析結果が得られない。日本語 の文章は適切な形に分解してからベイジアンフィ ルタに解析させる必要がある。

c) 協調型フィルタ

自動的に行動履歴を収集、データベース化し、似 たような行動をとった場合、データベース情報をも とに推測してフィルタリングする。

4. 法による対策

迷惑メール規制に対する法は幾つかあるが、主なも のは次の二つである。携帯電話メールの普及により、 迷惑メールの問題が顕著化してきた 2002 年、電子メー ル送信の適正化等に関する法律として特定電子メール 法(所轄官庁:総務省)が制定されると共に、商取引に 関する法律、特定商取引法(監督官庁:経済産業省)が 改定され、迷惑メールについて法的対応がとられるよ うになった。

4.1. 特定電子メール法

短時間内に無差別、大量に送信される広告・宣伝メー ルで送受信上の支障防止を目的とし、メールの送信を 規制するために 2002 年に制定された法律である。2002 年オプトアウト方式による規制が導入、2005 年送信者 情報を偽装した送信の禁止、2008 年オプトイン方式に よる規制の導入、2009 年には消費者庁が広告宣伝メー ルなどの送信に関して必要な措置ができるようになる。 罰則の強化、国際連携の推進など、世情の変化に応じ て改正されている。

この法は簡単に記すと、次のような内容である。

- •オプトイン方式による規制(送信者および送信委託 者対象の規制)
 - ▶同意のない者への原則送信禁止
 - ▶受信拒否者への再送信禁止
 - ▶「未承認広告」などの表示義務
 - ▶同意記録の保存義務
- ●送信者情報を偽った送信の禁止
- ●架空アドレスを宛先とする送信の禁止
- •電子通信事業者に関する規定
- •違反時の措置(罰則、情報提供など)

4.2. 特定商取引法

消費者保護・取引の公正の観点から、電子メール広告も2002年の改定により特定商取引法の規制の対象 となった。規制の対象者は、広告メールを送信する事 業者および業務を受託している者である。請求または 承諾を得ずに広告メールを送信する場合、「未承諾広告」と表示するなどの義務が課されるとともに、前述 のオプトイン方式による規制も導入された。

5. KEKmail での迷惑メール対策

KEKmail の構成を概略的に示すと、図1のような構 成である。主に迷惑メール対策は、図1のウイルスチ ェックと表記したMXサーバで実施している。機器と しては Cisco 社の IronPort というメールセキュリティ アプライアンス製品を利用している。



図1 KEKmail 構成概略図

5.1. ウイルスメール対策

ウイルスメール対策としては、メール送受信時にウイ ルスのチェックを行っている。

IronPort には、ウイルスチェックソフトとして Sophos

Anti-Virus と McAfee AntiVirus がバンドルされている。 双方を利用した経験から、Shphos の Anti-Virus を利用す ることとした。選択基準は、

•パターンファイルの提供が速い。

製品アップデートを 5分間隔で実施提供。

•ホスト侵入防止システム機能がある。

コードが実行される前にその振る舞いを解析し、 未知の脅威を検知。

である。

ウイルスを検知したとき、ウイルスチェックができ なかったときの通知メールの配信は、送信メールと受 信メールとで異なった対処をしている。送信メールの 場合は、KEKmailのユーザである送信者にチェック内 容を知らせる通知メールを配信する。しかし、受信メ ールの場合は、送信者が詐称あるいは架空アドレスで ある場合が大半であるため、送信者に通知メールを配 信すると KEKmail が迷惑メールサイトとみなされか ねないため、配信はせず、メールの受信者に送信者 (From)と検知ウイルス名情報を記載した通知メールを 配信している。

また、試用として IronPort Virus Outbreak Filter を利用 している。新種のウイルス発生時、怪しいメール を設定した期間一時隔離し、アンチウイルスベ ンダからの定義ファイル提供までの間にウイル スが拡散するのを防止する機能である。新種ウ イルス発生との判断は、インターネット上を流 通するメールを常時監視する SenderBase(5.2. (1)参照)を利用して、類似したファイルが添付 された電子メールの急増などの情報をもとに認 識される。KEKmail にても、この機能の有意性は 実証されている。参考までに、図2に 2010 年度 のウイルス検知数を示す。



図 2 2010 年度ウイルス検知数

5.2. メール受信時のスパムメール対策

メールを受信する場合は、MXサーバである IronPort にて、以下の複数の対策を実施している。 (1) 送信元 IP 評価方式によるスパムチェック

IronPort SenderBase/Reputation Filters と呼ばれ る送信元 IP 評価方式 にて、スパムサイトからのメー ルか否かを判定し、スパムサイトとからのメールと判 定されたものは受信を拒否する。SenderBase は、IP アドレスの監視、インターネットを流通するメールの 25%以上をサンプリングするなどの情報を基に、送信 元 IP アドレスを 150 以上のパラメータで評価し、-10 ~+10のスコアを付けたものである。メーカー情報で は、-4 での誤検知は1/100 万通とあるが、誤検知が多 くてはチェックする意味が半減してしまう。KEKmail では試行錯誤の結果、スパム判定閾値-3.7 で運用を行 っている。運用後5年以上経過しているが、設定閾値 の見直しに至る誤検知のクレームは受けていない。メ ールサーバを立ち上げ運用を行っている方は、以下の サイトにてサーバの状態を判定できるので試してみる ことを薦める。

http://www.senderbase.org/

(2)メールポリシーによるチェック

WHITELIST、BLACKLIST、RELAYLIST などメールポリ シーに沿った、メール受信の可否判定を行っている。 (3)送信アドレス詐称による後方散乱対策

後方錯乱(Backscatter)メールとは、メールボックスの 容量オーバー、送信先アドレスが存在しなかったなど のメール配信エラーが発生した時、メールサーバから メール送信者宛てにエラーメールを返すという SMTP の仕様を逆手にとったスパムメールである。SMTP が 配信するこのエラーメールをバウンスメールと呼ぶ。 間題なのは、スパムメールの場合エンベロープの送信 者情報に記載されているアドレスが詐称されていると いうことである。バウンスメールは本来の送信者では なく、詐称に使われたアドレスに返信する。もし、返 信アドレスが存在しないアドレスだった場合、相手先 メールサーバと接続ができないため、バウンスメール を配送することができずキューに溜まり溢れるという 事象が生じる。また、KEKmailのようなMXサーバと mbox サーバが二段構成になっている場合は、一旦 KEKmail 内にメールを取り込んでからバウンスメール を返すため、バウンスメールの From ドメインが KEKmail となる。SMTP 仕様に則り詐称に使われたアド レス宛にエラーメールを大量に送信すると、受信者側からは KEKmail がスパム送信者とみなされてしまう。実際、PostKEK でも過去にこの問題により、ある ISP から「connection lost」 状態にされた経験がある。状況によっては、RBL 等に登録さ れる恐れもある。

後方錯乱メール問題を回避するには、KEKmail に存在しない アドレス宛のメールは、MXサーバへの SMTP connection 時 にエラー応答を返し、メール受信を拒否することである。そ れを実現するため、MXサーバである IronPort の LDAP 機能 を用いて、SMTP connecion 時に宛先アドレスが KEKmail に存 在するアドレスか否かのチェックを行っている。

(4) コンテンツによるフィルタリング

コンテンツによるフィルタリングは、Cisco社の IronPort Anti-Spamを利用している。スパムと判定した場合は、ヘッダ ーに「KEKmail-anti-spam-server: spam detected」、Subject に「*Spam?*」を付加し、そのメールを受信するか破棄する かは各ユーザの判断に委譲している。

また、KEKmailでは、ユーザからの申し出があった内容で管 理者がサーバでのフィルタが妥当と判断したものに関しては、 適宜ルールを設定し、フィルタしている。

5.3. メール送信時のスパムメール対策

KEKmailからメールを送信する場合は、発信アドレスが KEKmailで発行されたメールアドレスであるかチェッ クをし、詐称を禁止している。また、smtp.post.kek.jp では、Fromアドレスが空のメールを送信することもで きない設定にしている。図3に2010年度のメール処理 件数とスパム判定されたメール数のグラフを示す。スパ ムメール数は、処理メール数の約75%以上を占める。



6. 迷惑メールに対するユーザとしての対策

ユーザとしては、次のような事柄に注意するだけでも、少 なからず迷惑メールから自己防衛することができるので、是 非実行して頂きたい。

- 不審なメールは開封しない。
 開封しただけでウイルスに感染するメールが存在する。
 また、ウイルス感染により、アドレス帳情報やPC内の情報
 が漏洩することがある。
- ●疑わしいメールには返信しない。

悪意のある送信者に,アドレスの存在を確認させてしま う。

・メールアドレスを不用意に公開しない。

Web 公開時には自動採取されないよう、表示に配慮する。 •不審なメール、登録した記憶がないメールの配信停止申し

込みリンクは、クリックしない。 クリックしただけで、アドレスを採られることがある。

統一メールアドレスとユーザ名アドレスを使い分ける。

業務上一般的に周知させるメールアドレスとして は、統一メールアドレスを利用する。統一メールアド レスが迷惑メールのターゲットにされた場合、アドレ スの停止、変更は容易である。ユーザ名アドレスは、 信頼の於ける相手に用いるのが良い。ユーザ名アドレ スは、受信箱のフォルダ名であるため、アドレス変更 は mbox のデータ移行も伴う。

オンラインでの登録や e-コマースサイトでは、フリ
 ーメールアドレス等を利用する。

登録先サイトが万が一情報漏えいした場合、業務 に支障を生じさせないよう備える。

メール転送先設定アドレスが適切か。

ピンポンあるいはループになっていないか注意す る。特に、多くのメールアドレスを利用している場合、 エラー通知メールがループするケースが多々あるの で、注意を要する。

7. おわりに

迷惑メール対策は、こうすれば完璧という手法はな い。スパム対策としては現在の所、送信元 IP 評価方式 が最も有効であると判断しているが、最近のスパムメ ールの送信元がアフリカや南米からのものが増えてい るように、スパマーは未だフィルタされていないサイ トを見つけては、そこを経由して送信してくるのが現 状である。KEKmail の迷惑メール対策は、現時点で出 来得る限りのことを行っており、一定の評価が得られ ていると自負している。2012 年 2 月に更新予定の次期 メールシステムの仕様策定を行っているところであり、 次期システムの迷惑メール対策もほぼ同様の対策とす る予定である。

参考文献

 1)迷惑メール対策推進協議会 迷惑メール対策ハンド ブック(2010)

http://www.dekyo.or.jp/soudan/anti_spam/

2)総務省、消費者庁、(財)日本データ通信協会 特定電子メールの送信適正化等に関する法律のポイ ントー広告宣伝メールに係るオプトイン方式の規制 等について一

http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin /d_syohi/m_mail.html#ordinance

3)Cisco 社 IronPort Email and Web Security Cシリ ーズデータシート

http://www.ironport.com/jp/pdf/ironport_jp_dat
asheet_c-series.pdf

4) OCN 迷惑メール対策 OP25B(メール送信規制) http://www.ocn.ne.jp/mail/info/op25b/
ILC 計画のためのニオブ製9セル超伝導空洞の開発

1. はじめに

2004年、ILC (International Linear Collider) 計画では 超伝導空洞を採用する事が決定された。この決定を受 けて KEK では 2005 年より 1.3 GHz 9 セル超伝導空洞 の研究開発を開始した。加速電場 25±5 MV/m を開発 当初の目標として進め、2007 年 2 月には MHI_02 空洞 で目標を上回る 29 MV/m を達成した。2010 年 11 月か ら 12 月にかけて行われた MHI_12 空洞と MHI_13 空洞 の測定において、ILC での目標仕様 (Qo>1.0*10¹⁰@31.5 MV/m、Qo>0.8*10¹⁰@35 MV/m)を満たし、かつ最大加 速電場 40.7 MV/m (MHI_12)、36 MV/m (MHI_13)を実現 した。

2. KEK - L バンドグループでの開発史

2004 年の ILC 計画の決定を受けて 2005 年より 1.3 GHz 9 セル超伝導空洞の研究開発を開始した。しかし 我々は、ドイツ DESY を中心に進められていた TESLA (Tev Energy Superconducting Linear Accelerator) 計画用 1.3 GHz 単セル超伝導空洞の研究開発を 1991 年には 既に開始していた[1]。単セル空洞の性能試験は比較的 容易なため、表面処理工程でのパラメータ変更が空洞 性能にどう反映されるか、データを蓄積するには都合 が良い。数多く行われた空洞単体性能試験(縦測定) から高加速電場達成のために必要な工程として 1) 空 洞表面処理としては電解研磨 2) 750 ℃でのアニール 3) 超純水高圧洗浄 4) クラス 10 クリーンルームでの 空洞組み立て 5) 電解研磨と 100 ℃ベーキングを併用 する、この5つが必要である事を明らかにした[2]。ま た、電解研磨を行う場合、ニオブ材の残留抵抗比 RRR (∝熱伝導率)と得られる最大加速電場の間に明確な関 係は見られない事、TESLA 形状空洞では最大加速電場 が40 MV/m 程度に制限される事が明らかにされた。

達成された最大加速電場をまとめると次の通りであ る。1993年には三菱重工製単セル空洞で30 MV/m、9 セル空洞で12 MV/m、1996年にはKEK工作センター で製作された単セル空洞で40 MV/mを達成した。1996 年以降、共同研究として参加した東芝、三菱電機、野 村鍍金、住友重機、日立、CERCA/ペシネジャポンの 各社が製作した空洞においても24~30 MV/m が達成さ れた。多連空洞の研究開発も同時に行っており、1997

宍戸 寿郎(所属:加速器第6研究系)

年には東芝製3セル空洞で30 MV/m、1998年には三菱 重工製3セル空洞で25 MV/m、CERCA/ペシネジャポ ン製3セル空洞で17 MV/mを達成した。

2000年からは大強度陽子加速器J-PARC用972 MHz、 β=0.725 9 セル超伝導空洞の研究開発を開始した。 2004年にはこの空洞2台を組み込んだクライオモジュ ールを 2K に冷却し、大電力パルス試験を行い、最大 加速電場12 MV/mを達成した[3]。この時の経験は、ILC 計画における横型モジュール試験において非常に役立 つ事となった。

その他、従来職人の手によるバフ研磨を赤道溶接部 に行っていたが、研磨材を空洞内に入れ、空洞を自転 と共に公転運動させる事で簡単かつ高速研磨が可能に なる遠心バレル研磨装置の適用が挙げられる[4]。この 装置により、自転のみのバレル研磨に比べ研磨速度は 10倍以上、4時間で 30 μmの研磨が行える様になった。

3. ILC 用 1.3 GHz 9 セル超伝導空洞の研究開発

図1に9セル超伝導空洞と横型クライオスタット内 に設置するためにヘリウムジャケットが装着された9 セル超伝導空洞を示す。





図1:ILC用9セル超伝導空洞(上)、及びヘリウムジ ャケットが装着された9セル超伝導空洞(下)

3.1 STF-1 計画; MHI_01~MHI_04 空洞

2005年の開発開始時に掲げた目標は、それまでの経 験と実績を考慮して次の通りである。

(1) 加速電場 25±5 MV/m を目標とする

9 セル空洞の場合、1 セルでも最大加速電場が低けれ ば、例え残りの8 セルが40 MV/mを出せるポテンシャ ルを持っていても性能の低い1 セルで全体の最大加速 電場が制限されてしまう。そのため9つ全てのセルを 高い品質レベルで製造しなければならない。単セル空 洞では高頻度で30 MV/m ~ 40 MV/mの高電場を達成 出来ていたが、9 セル空洞の製作個数、表面処理及び 性能測定の経験と実績は単セル空洞のそれに比べて非 常に少なかった。そのため、25 MV/mを現実的な目標 と定めた。

(2) 空洞の標準的な表面処理方法を確立する

単セル空洞での標準的な処理工程は次の通りである。 遠心バレル研磨(~100 μ m)→Pre-EP (5~10 μ m)→EP-I (100 μ m)→アニール (750 °C, 3hrs)→EP-II (20~50 μ m) →温水超音波洗浄 (50 °C, 1hr)→高圧水洗 (8 MPa, 8hrs)→組み立て→ベーキング→空洞単体性能試験(縦 測定)。当初はこの工程で開始し、新たな処理工程も順 次試験する事にした。空洞性能に反映されるか否かで その処理工程の必要、不要を判断する。9 セル空洞の 場合、アニール後に周波数調整と9 セル全ての電場強 度を等しくするためのプリチューニング工程が加わる [5]。仕上げ研磨 EP-II から縦測定、縦測定後の電場平 坦度の確認までの1 サイクルは通常 2 週間である。

(3) ビーム加速可能なモジュールを作り上げる

高性能な空洞を作り上げる事は勿論であるが、超流 動液体ヘリウム温度で全ての機器類がきちんと動作し、 ビーム加速が可能なモジュールを作り上げる事が最重 要開発目標である。

2005 年度から 2006 年度に製造された MHI_01 ~ MHI_04 空洞は 2006 年 2 月より 2007 年 2 月までの 1 年間に総計 14回の縦測定が行われた。図2に、MHI_01~ MHI_04 空洞 4 台の縦測定結果を示す。目標であった 25 MV/m は MHI_02 空洞の 5 回目の測定で初めて達成 された。

その後 MHI_01~MHI_04 空洞は横型クライオスタッ トに組み込まれ、2K での大電力パルス試験が STF-1 計画として行われた[6]。



図 2: MHI_01~ MHI_04 空洞の縦測定の結果

3.2 S1-Global 計画; MHI_05~ MHI_09 空洞

S1-Global 計画用 MHI_05~MHI_09 空洞が製造された。 これらの空洞には STF-1 からの改善点として、1)空洞 製造時の品質管理強化と作業環境の清浄化 2) 単極高 調波モード TM011 との結合を改善するために HOM カ プラーの取り付け角度変更とビームパイプ径の縮小 が施されている。

S1-Global 計画は、KEK から4台の空洞をSTF-1計 画で使用したクライオスタットに(Module-A)、アメ リカ FNAL から2台、ドイツ DESY から2台の空洞を イタリア INFN の設計、製造したクライオスタット

(Module-C) に組み込み、計8台の空洞で2Kでの高 加速電場の実証試験を行う計画である。

MHI_05~MHI_09 空洞では、STF-1 計画からのフィー ドバックとして、遠心バレル研磨を処理工程から削除 した。高速研磨が可能になったとはいえ、100 μm の研 磨に5日程かかる事、また遠心バレル研磨は主に赤道 部溶接欠陥の除去のために行われていたが、電子ビー ム溶接の最適化を行った事で滑らかな溶接面が得られ る様になったからである。

新たな表面処理工程として、過酸化水素水リンス、 エタノールリンス、弗酸リンスを試してみたが、縦測 定結果に明確な差は現れなかったため現在行っていな い。

2008 年には STF 棟に次々と設備が整ってきた[7]。 空洞の性能を左右する表面処理工程は、それまで外注 に出し、処理を終了してから KEK に運搬し組み立て開 始まで3時間程かかっていたが、電解研磨装置が STF 棟内に設置された事で、処理が終わると隣接するクリ ーンルーム内でただちに組み立て工程に移れる様になった。図3に表面処理設備を示す。



図 3:STF 棟内に設置された電解研磨装置(上)、及びクリーンルーム(下)

工程における改善点として、精密部品洗浄剤 (FM20)を使用して電解研磨後の空洞内面の超音波洗 浄や真空部品の洗浄を行う様にした。クリーンルーム 内での作業工程を逐一パーティクルカウンターで監視 して、ゴミが多く出る工程を調べあげた。その結果、 まず作業前にクリーンルームの床と作業台の清掃を必 ず行う事にした。組み立て前に真空部品や使用する工 具をイオンガンで洗浄する事にした。ウエアも短期間 で洗濯済みの物に交換、使用するゴム手袋もゴミの少 ないタイプに切り替えた。これらの地道な改善により 電界放出電子(フィールドエミッション)による空洞 性能の低下という事象は減少した。

温度マッピング装置により空洞性能を制限する発熱 箇所の特定が可能になり[8]、空洞内面検査装置により 発熱箇所にある表面欠陥の観測が可能になった[9]。表 面欠陥のレプリカを作成して、その形状解析により、 欠陥のサイズや形状の分析が可能になった。またその 欠陥を修整する局所研磨装置も開発された[10]。図 4 にこれらの装置を示す。



温度マッピング装置



図4:上より温度マッピング装置、内面検査装置、 局所研磨装置、レプリカ作製治具と分析結果

処理工程における改善及びこれらの装置を十分に活 用した事で MHI_05~MHI_09 空洞の性能は MHI_01~ MHI_04 空洞に比べ飛躍的に向上した。図5に MHI_05~ MHI_09 空洞5台の縦測定結果を示す。



図 5: MHI_05~ MHI_09 空洞の縦測定の結果

得られた表面欠陥のデータと縦測定の結果を組み合 わせる事により、幾何学的欠陥の形状と最大加速電場 の関係が分かってきた。これまでに縦測定の行われた MHI_01~MHI_09、AES_01、AES_03 の 9 セル空洞、 ERL_01、ERL_02 の 2 セル空洞、計 13 空洞、103 セル の内面検査から見つかった欠陥の幾何学的形状と得ら れた最大加速電場の関係を図 6 に示す。欠陥が勾配 11 度線以下に位置するなら空洞性能にはあまり影響がな い事が分かった[11]。また勾配 11 度線以上に位置する 欠陥については局所研磨を行う事になる。





図6:幾何学的欠陥の形状と最大加速電場の関係

3.3 S0 計画; MHI_10、MHI_11 空洞から量子ビーム計画; MHI_12、MHI_13 空洞へ

S0 計画用 MHI_10、MHI_11 空洞が製造された。こ れは赤道溶接部をこれまでの突き合わせ構造から印ろ う構造に変更して製造された初めての空洞である。印 ろう構造になったため S1-Global 用空洞と赤道部電子 ビーム溶接条件が変わってしまった。各々3 回の縦測 定を行い、最終結果は MHI_10 空洞;最大加速電場 Eacc,max=19.5 MV/m、無負荷 Q 値 Qo=1.1*10¹⁰、 MHI_11 空洞; Eacc,max=18.1 MV/m、Qo=1.7*10⁹であ った。

続いて量子ビーム計画として実際にビーム加速に使 用される MHI_12、MHI_13 空洞が製造された。赤道溶 接部は印ろう構造である。事前に行われた内面検査で 赤道部の欠陥が MHI 12 空洞で1か所、MHI 13 空洞 で3か所みつかったが、図6から問題のないレベルと 判断された。また、アイリス部及びビームパイプ部に は欠陥は見つからなかった。この結果から高性能が期 待されたため、細心の注意を払って表面処理、組み立 てが行われた。図7にMHI_12空洞1回目縦測定の結 果を示す。得られた結果は予想通りであったが、ILC 目標値 Qo=0.8*10¹⁰@Eacc=35 MV/m を満たせなかっ たため、再処理(EP-II 10 µm; 通常 20 µm)して 2 回目の 縦測定を行う事になった。MHI_13空洞は、1回目の縦 測定からILC 目標値を満たす事が出来た。MHI 12空 洞2回目の縦測定ではILC の目標値を満たすと共に、 単セル空洞で達成して以来、15年目にして初めて9セ ル空洞で最大加速電場 40 MV/m を達成する事が出来 た。図8にILC の目標値を満たした縦測定結果を示す。





図 8: ILC の目標値を満たした MHI_12,、MHI_13 空洞 の縦測定の結果

現在行われている標準的な表面処理工程は次の通り である。

Pre-EP (5 µm)→EP-I (100 µm)→アニール (750 ℃, 3hrs) →低電流密度 EP-II (20 µm)→温水超音波洗浄 (FM20 2%, 50 ℃, 1hr)→超純水高圧水洗 (8 MPa, 10hrs)→組み 立て→ベーキング (100 ℃, 48hrs)→空洞単体性能試験

4. 空洞高性能化に何が効果的であったのか

MHI_12 空洞、MHI_13 空洞は 2 台共 ILC の目標値 を満たす事が出来た。さらに MHI_12 空洞はビーム加 速が可能な 9 セル空洞としては日本国内で初めて最大 加速電場 40 MV/m を突破した。高性能を実現させた要 因は以下の様に考えられる。

(1) 電子ビーム溶接技術の向上

MHI_01~ MHI_04 空洞の測定結果から空洞性能を 制限する原因として、主に赤道部電子ビーム溶接 部での表面欠陥であると理解した。欠陥を可能な 限り減らすために溶接部の事前検査、清浄化処理、 パラメータの変動に対して安定領域の広い溶接条 件の探し出し、溶接環境の整備、清浄化を行った 事で欠陥のない滑らかな溶接が可能になった。

(2) STF 棟の設備整備

STF 棟で空洞表面処理が行える様になり、処理終 了後、隣接するクラス 10 クリーンルームでただち に組み立て工程へ入れる様になった。

(3) 測定装置の整備

内面検査装置や温度/X線マッピング装置が整備 され、空洞性能と幾何学的欠陥の形状との関係が 理解された。局所研磨装置により空洞性能を制限 する欠陥を事前に除去する事が可能になった。 (4) 表面処理、部品洗浄、組み立て工程の改善 空洞内面の超音波洗浄や部品洗浄に精密部品洗浄 剤(FM20)を使用する、作業前にクリーンルーム の床と作業台の清掃を必ず行う、組み立て時にイ オンガンで部品の清浄化を行う、粒子の少ないゴ ム手袋を使用する、ウエアは短期間で交換すると いった変更により、クリーンルーム内環境が改善 された。

図9に各空洞毎の縦測定で得られた最大加速電場の まとめを示す。MHI_A空洞は、新しい製造工法の検証 と確立のために製作された試験空洞である。



5. まとめ

量子ビーム計画用 MHI_12、MHI_13 空洞は共に ILC の目標値を満たす性能を達成出来た。特に MHI_12 空洞は、1996 年に TESLA 計画用 1.3GHz 単セル超伝 導空洞で40 MV/m を達成して以来、15 年目にして40 MV/m に到達した、ビーム加速可能な初めての9 セル 空洞である。高性能化の要因としては電子ビーム溶接 技術の向上と溶接環境の改善、STF 棟内での空洞表面 処理設備とクリーンルームの整備、組み立て工程にお ける地道な改善があげられる。

参考文献

第1回超伝導リニアック研究会報告集 KEK Proceedings
 98-12、第2回超伝導リニアック研究会報告集 KEK
 Proceedings 99-25、第3回超伝導リニアック研究会報告集
 KEK Proceedings 2000-23.

[2] 加古永治 博士論文 "高電界応用のためのLバンド超伝 導加速空洞システムの開発に関する研究" 2010 年度。

[3] E.Kako, et al., "Pulsed Operation of 972MHz Prototype Cryomodule for ADS Superconducting Linac", Physica C 441(2006) p220 [4] 樋口玉緒 博士論文 "新しい機械研磨と電解研磨による 水素吸蔵を起こさない超伝導空洞の表面の処理法の開発"
 2002 年度。

[5] T.Shishido, et al., "Frequency Tuning of an Accelerating Mode in STF Baseline Cavities", 第3回日本加速器学会年会、第31 回リニアック技術研究会、仙台 (2006) p865.

[6] E.Kako, et al., "Cryomodule Test of four Tesla-like Cavities in the Superconducting Test Facility at KEK", Phys. Rev. ST Accel. Beams, Vol.13, 041002 (2010)

[7] STF Group, "STF Phase-I Activity Report", KEK Report 2009-3 (2009).

 [8] Y.Yamamoto, et al., "Summary of Results and Development of Online Monitor for T-mapping /x-ray-mapping in KEK-STF", Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan (2010) p3371.

[9] Y.Iwashita, et al., "Development of High Resolution Camera for Observation of Superconducting Cavities", Phys. Rev. ST Accel. Beams 11, 093501 (2008).

[10] K.Watanabe, et al., "Repair Techniques of Superconducting Cavities for Improvement Cavity Performance at KEK-STF", Proceedings of IPAC'10, Kyoto, Japan (2010) p2965.

[11] 渡邉 謙 "空洞縦測定-最近の結果"LC技術検討会2011 年 1 月 11 日発表資料。

http://lcdev.kek.jp/LCoffice/OfficeAdmin/IMAGES/Performance_ Cavity_vertical_test.pdf

STF の低電力高周波源整備

片桐 広明(加速器研究施設加速器第五研究系)

1. 概要

高エネルギー加速器研究機構の超伝導 RF 試験施設 (STF)では、国際リニアコライダー計画(ILC)にお ける技術開発の一環として 2010 年7月から 2011 年2 月まで国際研究協力による S1 グローバルと呼ばれる 試験が行われた。この試験はステージ1からステージ 3の3段階に大別され、ステージ1では1台のクライ ストロンで8台の超伝導空洞を、ステージ2ではクラ イストロン2台で4空洞ずつ励振する構成がとられた。 さらにステージ3では1台のクライストロンで2空洞 を励振する分布型 RF システム (DRFS) の評価を行っ た。ILC で求められる加速電界の振幅及び位相安定性 を達成するためデジタルフィードバック (FB)・フィ ードフォワード(FF) 制御が必要とされ、ステージ2 まではコンパクト PCI を基にした FPGA ボードを、ス テージ3では新たに開発された µTCA を用いたシステ ムを採用した。また RF のモニタとしてはパワーメー タによる計測のほか、今後より多くの信号の取り込み が求められることから、FB/FF 用ボードを転用して1 つの ADC で複数の信号を計測可能とした IF(中間周 波数) ミックス方式と、34 チャンネルの ADC を搭載 した FPGA ボードとを性能評価のため併用した。これ ら STF における低電力高周波系 (LLRF) についてス テージ3での様子を中心に報告する。

2. DRFS での LLRF 系の構成

S1 グローバルのステージ2までは地上に設置された クライストロンから地下の超伝導空洞に電力を供給し ていたが、ステージ3の DRFS 試験では地下に2台の DRFS 用クライストロンを設置し、それぞれ2つの空 洞を励振する方式が採られた(図1)。これに伴い、 LLRF 系では FB/FF 制御部を地下に設置することにな った(図2)。



図1 DRFS 用クライストロン



図 2 DRFS 試験時の LLRF 系の構成

3. デジタルフィードバック/フィードフォワード系

ILC で求められる空洞内の加速電界の安定度は、パルスの平坦部で振幅 0.07%、位相で 0.24 度とされている。この安定度を達成するため、約 1.5mS のパルス内で振幅と位相の FB/FF 制御を行うシステムが導入されている。このシステムでは、先ず 1.3GHz の高周波信号を 10MHz のクロックでサンプリングする。1 波長を 90 度の位相差ごとに4回サンプリングする。1 波長を 90 度の位相差ごとに4回サンプリングする事で I/Q 成分が求められる。続いて、FB/FF 制御部が振幅・位相変調を施した I/Q 信号を、DAC から I/Q 変調器に供給する(図3)。



図3 FB/FF 制御のブロックダイアグラム

図4はステージ2まで使用されたコンパクト PCI を ベースとした FB/FF 系である。10 チャンネルの ADC と2チャンネルの DAC を搭載した FPGA ボードと CPU ボード、両者のインタフェースとなる DSP ボードで構 成される。DRFS 試験時は 10 チャンネルのモニタとし て使用した。

図5はDRFS 試験時に導入された、プラットホーム にµTCA を採用したシステムで、ERL(エネルギー回収 型リニアック)計画のために開発中のハードウェアが ベースとなっている。ADC とDAC を各4 チャンネル 搭載した FPGA ボードが中心となる。CPU は FPGA チ ップに内蔵され、OS は LAN を介して起動する。



図4 cPCI デジタル FB/FF 系



図 5 µTCA デジタル FB/FF 系

4. IF ミックスモニタ系

ILCでは1台のクライストロンで20台以上の超伝導 空洞を駆動する案もあり、FB制御を行うために多数の 空洞ピックアップ信号を取り込むことが求められる。

IF ミックス方式は、複数の高周波信号を各々異なる 周波数にダウンコンバートした後に混合し、ADC に入 力する。通常の IF 方式と異なり、各々の IF 信号は 90 度毎にサンプリングされる訳ではないため、I/Q 成分 に分離するための演算は複雑になるが、ADC の数を抑 えつつ多チャンネル化することが期待される。S1 グロ ーバルでは、前節で述べた c PCI の FB/FF 系と同じハ ードウェアを用い、FPGA 上に構成する回路のみの変 更することで ADC1 つ当たり 3 つ、計 30 の IF を測定 する試験を行い、モニタとしての動作だけでなく FB 制御も可能であることが確認された。

5.34 チャンネル ADC ボード

多チャンネルモニタの1つの案として、通常のIF方 式で使用する34 チャンネルのADCを実装したFPGA ボードの開発も進めている(図6)。IF ミックス方式 はADCの数を抑える利点がある一方で、I/Q成分の演 算のディレイが大きくなる事、LOやIF生成系及びミ キサ等の構成が複雑になる事が欠点として挙げられる。 多チャンネルのADCを実装する方式では、必然的に FPGAへの入力信号数も多くなりボードの設計が難し くなると考えられ、それぞれ一長一短がある。DRFS 試験では、この34 チャンネル ADC ボードの動作試験 を行い何度かの改良を経て、有効なデータを得られる ことを確認した。今後、IFミックス系と比較した性能 評価、開発を継続していく予定である。



図6 cPCI 34 チャンネルモニタ系

6. パワーメータによる測定系

超伝導空洞や大電力高周波系の性能を評価する上で、 電力の絶対値を正確に測定する必要があるため、これ まで述べたように IF をデジタル的に測定するだけで なく、1.3GHzの高周波信号を直接パワーメータで測定 する系統も用意されている。図7は DRFS 試験時の構 成で、2 チャンネルのパワーメータ 6 台を常備し、4 台の空洞のピックアップと反射波、2 台のクライスト ロンの出力進行波、反射波を測定する。またデジタル 系モニタの校正にも使用される。

パワーメータ増設の要望は多いが、導入とメンテナ ンスのコストの問題で難しいのが現状である。また、 センサの個体により測定値に差が出ることが問題とな る場合もあり、今後の課題となっている。



7. まとめと今後の予定

STF での S1 グローバルでは予定されていた項目を 無事消化することができた。現在は、次に予定されて いる量子ビーム実験に向けた準備を進めている。LLRF 系では、μ TCA の FB/FF ボードや 34 チャンネル ADC ボードの開発を継続するほか、いくつかの新たな試み もある。最後に、このうちの 2 件を紹介する。 (1) 検波器を使用した簡易パワーメータ

パワーメータ増設の要望に低コストで対応する案と して、検波器とFPGAボードを組み合わせた、簡易パ ワーメータの開発を検討している。図8のような検波 器の入出力特性の校正データを FPGA 上に持たせ、 ADC で測定した電圧から入力電力をリアルタイムに 求める。開発には、ADC/DAC を各2 チャンネル搭載 した市販の FPGA 評価ボードを用いている(図9)。パ ルス内の任意のタイミングでの電力値をリモートで読 み出すほか、検波後のパルス波形の出力(オシロスコ ープでの観測用)、データロガーによる記録のための DC 出力など、5章で述べた汎用パワーメータと同等 の機能を持たせる予定である。



図8 検波器入出力特性の一例



図9 XtremeDSP ボード

(2) ダイレクトサンプリングによる I/Q 復調器

これまで述べてきたデジタル FB 系及びモニタ系で は、元の高周波信号から IF にダウンコンバートした信 号をサンプリングする方式をとっている。近年、ADC の広帯域化、高速サンプリング化が進み、1.3GHzを直 接サンプリングすることが可能となっている。高周波 信号を直接測定することでLOやIF 生成系が不要にな り、これらの位相ノイズ等に起因する測定エラーも排 除されると期待される。図 10 は周波数帯域 1.4GHz、 最大サンプリング 400MHz の高速 ADC と FPGA ボー ドを組み合わせたデータ収集系である。高周波信号を 直接 ADC に入力することから、ダイレクトサンプリ ングと呼んでいる。IF 方式と異なりサンプリング速度 が高周波信号の周波数より低いため、I/Q 成分を求め るには数波長分サンプリングした後、重み付き平均を 取る必要がある。S1 グローバルでは導入しなかったが、 これまでの試験では図 10 のシステムで取得したデー タを基に、ホストPC上で I/Q 成分を算出した結果、IF 方式による測定値と一致した値が得られた。FB 制御に 使用するには I/Q の演算を FPGA 上で行う必要がある ため、今後 I/Q 復調器回路を FPGA に組み込む作業も 進めて行きたい。



図 10 高速 ADC を使用したダイレクトサンプリング試験用 のセットアップ

技術とのかかわり

素核研 鈴木善尋

はじめに

この文章はちょっと奇異に感ぜられる事でしょう。技術交流会ということですので、本 来の趣旨、この技術交流会の第一回が 1975 年にあったのですが、そこでの交流会の目標、 研究所内における技術者の横のつながりを持つこと、技術者の得た知識、技術の交換及び 問題解決の場としたい。貴重な知識、技術、データ等を文書にし、蓄積し、今後の技術活 動に役立てる、それに近い形になるようにしました。今回のテーマは「KEK を支える技術」 と大変大きく、どういう内容にまとめるかといろいろな事を考えました。ともかくまとめ ましたが、内容があちこちと飛びます。中ほどには、初期の頃の交流会での馬場斉技術部 長の談話、録音テープから書き取った部分があります。その当時、交流会の内容をまとめ て出版するかの議論もあったのですが、技術部に予算がついたら・・・ということで出版 されなかった物です。で、今回、陽の目を見ることとなりました。そこからは、その当時 の技術職員の立場、仕事への取り組みが分かります。技術職員皆様の仕事への取り組みの 参考になれば幸いです。

技術とのかかわり

最近は東海での時間が多いので、皆さんと会うことが少ないです。東海ではハドロン、 ニュートリノのビームラインの電源装置を担当しています。昨年秋にハドロンホールの K1.8 に続く K1.1 のビームラインも完成し、去年の 10 月に無事動きました。その後 11 月 からニュートリノビームラインの通常運転になりました。そちらも順調に動作しています。 そんな訳で、やれやれ、やっと息が抜ける・・・という心境でおりました。とはいえ運転 中は東海で毎日電源の運転状況をチェックするのですが。

昨年 12 月のある日、突然つくばの方から PHS が鳴り、何事だろうか・・・、高力さん からでした。「メールでお願いしている件ですが・・・」、エッ何だろう?技術部関連のメ ールを読んでいなかったのです、実は。私は定年ですから、いろいろな事から解放される と思い、少しハッピーな気分でおりましたので。

「技術交流会発表者募集

下記の案内を既にご存知だと思いますが、「KEKを支える技

術」でお話ししていただけないでしょうか。発表は15分なの

で、トラペン10枚くらいで済むと思います。後で報告書も書く

必要がありますが、出来る範囲で簡単でも結構です。

私の本音は退職記念講演を兼ねて鈴木さんにお願いしています。

視点を変えて「KEKを支えた技術」でもなんでも、 鈴木さんなら面白い話をしていただけると思っています・・・」

そのようなことから、いつもの成り行きとして・・・

「KEKを支える技術」・・・ですか。支える?それは柱?そもそも技術とはなんだろう? 私とどのように関係するのだろうか?改めて、しばらく考えました。いろいろ振り返って みますと、自分自身がいろいろな技術や人の支えによって生きてきたのだなと思います。

KEKの仕事とは関係の無いいくつかのことを振り返ってみたいと思います。私は、P Cのデスクトップに、自分の故郷、飯山の写真をはってあります。5月の菜の花公園です。 菜の花畑のバックに流れる川は千曲川、写真中央の赤い橋は大関橋といい昭和40年12月 に完成したものです。橋の左側の集落は大倉崎、右は関沢です。この鉄橋の完成以前は、 そこに木造の橋がありました。橋は台風、大雨の増水で流されます。その時は渡し船にな ります、船の方が多かったと思います。小さい頃母に手を引かれ良く行き来しましたが橋 の袂に三つのお地蔵さまがありました。それは、川の水が増えた時に橋が流されないよう に分解し取り外す作業中に流され亡くなった村人のものだとのことでした。橋の反対側の 袂には、茅葺の民家が数軒あり、その内の一軒は西向きで川の方を向いた家で、皆「金蔵 さん」と呼んでいました。江戸時代から川の渡しの仕事をし、「金」の付く名前が許された ようでした。昭和のそのころは橋の維持をしていたのでしょうか。その家の横の通りには 橋桁に使う太くて長い丸太が何本も積んでありました。道は丸太をちょうなで削った木屑 でちらかっておりました。

小学校の二年か三年ごろのことでしたが、千曲川が増水し危ないとのことで、全児童は 昼ごろ学校から帰されました。天気の良い日でした。私は家から川の方へ行って見ますと、 川の水は増水しておりましたが橋の袂まで行けました。村の人たちが大勢集まり、橋の板 を外し終わった頃で、橋は渡れない状態でした。幾つもの鳥居のような橋脚が濁流から少 し頭を出し、その上に二列に並べられた橋げたの丸太が向こう岸まで延びていました。向 こう岸にも川を見ている人が大勢いる。やがて水かさが増してきて、堤防の方へ逃げろと いうことになり、皆ぞろぞろと堤防の上まで戻りました。今度はそこから、遠くの川の濁 流を眺めている。遠くの方の畑から少しずつ静かに水に浸っていくのが見える。堤防の足 元まで水が増えてきたころ、橋の方から、水没しそうな細い一本の土手の上をふらふらし ながら逃げて来る人がいる。私はそれを見てはらはらしましたが、灌漑用の大切な揚水ポ ンプを見ていた人かもしれないと思いました。川はどんどん水かさが増し泥水が盛り上が って北へ北へと流れて行く。とうとう堤防の外は見渡す限り濁流となり、ところどころに 大きな木の頭だけが見える。堤防の上では消防団の法被を着た人など大勢が川や堤防の様 子を見ている。夕方頃には水かさがさらに増し堤防を越えるのに後1メートル程にせまっ た。濁流は向こうの山のふもとまでの大きな流れとなりいろいろな物を押し流して行く。 遠くを緑の葉を茂らせた大木が根こそぎ流れて行く。足元の方を見ると、何匹もの蛇やネ ズミがこちらの方へと泳いでいるがどんどん流されて行く。夜には、川の流れは遠く離れ た私の家の庭でもゴーゴーと音が聞こえるほどでした。一夜明けて堤防は無事でした。大 人の話によれば、上流の何がしの村の堤防が切れたので水位が下がりこちらは助かったと

か。その後、川の水は引きましたが、橋は橋桁などが流れ紛失し、簡単に元にもどせない。 関沢への行き来はローテクの渡し船に戻ります。川に一本のワイヤーロープが渡してあり、 そこに滑車が架けてある。その滑車から綱が伸びて船の舳先に掛けてある。綱を舳先の右 側に掛けると、船は左の関沢の方へ動いて行く。向こうから戻るときは、舳先の綱を左側 へ移す。村の人が交替で船頭をする。あちらの人をこちらへ、こちらの人を向こうへと、 川岸の渡し場へ来る人がいれば只で渡す。遊んでいる子供や自転車も乗せる。橋や船はロ ーテクですが、地域社会を支えるための大切なものだったと感じます。

別の話になりますが、中学一年になった理科の最初の授業は屋外でした。先生が皆を引 き連れ田んぼの真ん中へ行き、四方の山々を指差し、山の成り立ちや地震の話をしてくれ たのです。覚えていることは、善光寺地震の時に、北竜池の堤が崩れ、土石流が発生し、 その下の小川に沿った集落が千曲川へ押し流されたということです。北竜池はこの写真の 右側の奥の山の中腹にあります。私の四五歳の頃でも、関沢の多くの家は山からの小川の 水を家の庭まで引き、そこに屋根を掛け、米を研ぎ鍋釜を洗うために利用していました。 そのようなことも、生活を支える大切な技術だと思います。しかし、今は、小川は汚れ全 く見る影もありません。

この写真の左側の山の頂上にテレビの中継所がありますが、これを黒岩山、その下の斜 面は信濃平スキー場でした。ここも善光寺地震で酷い被害があった。高校の頃か、バイク か何かでこの黒岩山へ登りました。その当時、頂上は観光地ではありませんのでひっそり しておりましたが、目を引くそれなりの松の木が一本と、その下に大きな石碑がありまし た。読んでみるとおおよそ次のようなことが彫ってある。大きな地震があって被害が出た。 命が助かっただけでも良かったと喜んだが、しばらくして田畑に山の上の桂池から水が下 りて来ないことが分かった。池の手前で土地が隆起し、水が下の田畑へ落ちないことが分 かった。田畑の収穫が無くなり餓死者が多く出た。これを救うために庄屋、清水某は日本 中から腕の良い隧道(トンネル)掘りの職人を集め、山の隆起した部分にトンネルを掘っ た。その費用工面のために庄屋は田畑を売り払い破産した。そして、長男某はどこそこの 村へ養子として行き、娘某はどこそこへ売られ、某はどこそこへ・・・。村民は庄屋某に 深く感謝し、このことを忘れることなく子子孫孫へ語り継ぐためにこの碑をたてた・・・。 いろいろ考えさせられ、なんとコメントしたら良いのか分かりませんが、忘れられないこ とです。

高校三年の時のことだと思いますが、大晦日の夕方、母から、どこそこの家でテレビの 調子が悪く困っているので見てもらえないかとのことで出向いて行きました。普通の農家 で、黒い板戸と障子戸で仕切られた十畳程の座敷に、四五歳と思われる赤い半纏(はんて ん)を着た女の子とそのおじいさんが炬燵にあたっていました。その向かい側にテレビが 四本脚で立っている。NEC 製のテレビでしたか。ラスター、音声は正常にノイズを出すが、 放送が受信出来ないのです。故障場所を調べるために、真空管回路の後段のほうから順に ノイズを加えテストしますと、チューナの真空管が動作不良と分かりました。真空管はと 見ると、あまり見かけないニュービスタなので、どうしようかと思案しつつ再確認しまし た。やはりこれだと決心し、さて、これを何処で手に入れるかです。街の何処の電機屋に 在庫があるだろうか、不安がよぎります。私の足はタイヤにチェーンを付けたカブ(原付) なので、とにかく、それで雪の中を出かけることにします。ダメもとで、最初に三つ離れ た小沼地区の、顔は知らないのですが、またいとこの兄の電機屋を訪ねました。そこで運 良くニュービスタを手に入れることができました。戻って、それを取り付けると、テレビ は完ぺきに治りました。ブラウン管もほとんど劣化の無い新品に近く、良いコントラスト で驚きました。しかし、昨日、今日の突然の故障とも見えませんし、ニュービスタは小さ いので寿命が短いのかななどと思いました。とにかく、これでこの子も NHK の紅白を見て 歳が越せるなと思い、ほっとしました。また・・・、私はこの子の両親はどこかで一生懸 命働いているのだなとも思ったのです。

話を元に戻しますが、辞典によりますと、「技」は手足を上手く使って仕事をすること等 と書かれています。また、「術」は長年の間に出来た手立て、やり方などと書かれています。 「仕事」とは、古い意味では、仕える(官職)・・・世のために尽くすという事でしょうか。 自分流に解釈すれば、「技」は「てへん」に「支える」ですから、手や足を使って社会に役 立ち、助け支えて行く事とも考えられます。「てへん」と「支える」を組み合わせた漢字の 「技」には深い意味があると感心します。「くちへん」に「支える」とした場合はどうでし ょうか。「かねへん」に「支える」ではどうでしょうか。やはり「てへん」が相応しいです。 そのように考えますと、英語のエンジニアリングは「技術」と訳されますが、「漢字の技術」 とは根っこの部分では大変な別物ではないかと感じられます。

KEK を支える・・・KEK と言えば加速器でしょうか。「KEK を支える技術」と言えば、 職員であれば、それは真空とか RF、超伝導、電磁石、電源、それらの制御技術を思い浮か べます。「KEK 支えるもの」というとどうなるでしょうか。いろいろあります。まず、日 本国民と納税者です。次に現在の社会基盤です、道路、鉄道、電力、ガス、通信、上下水 道、病院、学校、住環境等です。この社会基盤は、技術にたずさわる多くの人たちの「手」 や「足」により絶え間なく維持され続けることにより機能を果たします。このように考え ますと、KEK の加速器が動くということは、全く感謝しようもない、顔の見えない、多く の人々によって支えられて動くということに気が付きます。

さて、KEKの12GeV-PS加速器は数年前にシャットダウンしましたが、長い間運転し続 け、物理実験の成果を上げてきました。装置が完成することも大変な技術ですが、それが 維持されて役に立ち続けること、そのような全体を技術と云うのではないでしょうか。そ のようなわけで、自分の仕事を振り返ってみて、少し勇気が湧いてきたのです。つまり、 良い仕事をしたのかなと。カウンターホールの電磁石電源を製作し、無駄に捨てることも 無く、ずっと維持管理してきたことに・・・貴重な国民からの税金で作られたものですか ら。

そんなことから、自分の仕事を振り返って、あれや、これやと古いノートや資料をひっ

41

くり返していますと、面白いもの、全く忘れていたものが出てきた。この技術交流会の第 一回からの資料です。その当時、技連(技官連絡会)と技術部があり、混沌としていまし た。私は技官どうしが仕事を上手く進めるための情報交換の場があったら良いなあと思い、 技術部長の馬場さんに相談したところ・・・以下のようなことになりました。技術交流会 での馬場部長の挨拶・談話の録音を書き取ったものです。この資料は、その当時、技術部 に予算が無く印刷出版されていなかったものです。大変良いお話ですので紹介いたします。

技術交流会・第一回 テーマ:マイコン・パソコン

1985 年 5 月 15 日 午前 10 時~12 時 1 号館 談話室にて開催 [技術交流会を催すにあたって]・・・(目的)

研究所内における技術者の横のつながりをもとこと、技術者の得た知識、技術の交換及 び問題解決の場としたい。貴重な知識、技術、データ等を文書にし、蓄積し、今後の技術 活動に役立てる。

[技術部長の挨拶(馬場 斉)]

技術交流会という話があり、その前から技連の方から配布した物が私の方へも来ており、 こういう事を始めるのだなと思っていました。それで、これを技術部として手がけてもら えないだろうかという話がありまして、私自身は、技官の皆さんが発案、奮起やろうとい うことは良いことでもあるし、全面的にサポートすることにしました。ただ過去を振り返 ってみますと、数年前になりますかね、勉強会というものを毎週でしたか、週二時間もら いまして、やっていました。それが何時の間にか立ち消えになってしまったというのが現 状で、それから系の方でも、教官の方が講師になりましてかなりの期間続けたのですが、 何時の間にか立ち消えになってしまった。そういうことで、あまり長続きしないです。こ れでは意味がない。つらつら感ずるのですが、ここの技術部というのは、建前上は課があ り、係がありチャンとしているのです。しかし皆さんの職場は研究系の方へ出向している。 そちらの方の業務命令で仕事をしている。皆さんから毎年アンケートを取っているのです が、それに技官の交流が少ないと書いている人が多いです。たとえば、技官は大学から高 校出身までと、それから係長、課長、経験年数も違うし、技術レベルの高い人もいる。そ して、同じ職場に居るにもかかわらず、指導という事をしない。このことは、ちょっとお かしいのではないかという意見もあるわけです。私も常にそういう事を感じているのです が、ただこの技術部の歴史を考えてみると出発点はそういう所には無かったわけです。初 代の技術部長から私が引き継ぎをしまして、一つの部としての活動を何かしたらどうかと 考え、技連の方に話した事が何遍かあります。しかしそういう時の返事はネガティブで、 課長に集まっていただき、今後どうするかという話もしましたが、平均してあまりやるべ きじゃないという雰囲気が強かった。それではいけないと思って何遍か技連の役員の人に 何かやろうと持ちかけましたが、二度も三度もえらいお叱りを受けました。それで、その 後あまりやっていない。しかし、まあ、毎年一回ないし二回、皆さんが知りたいというテ ーマがある場合、それを聞きまして研究会、講演会のような物を開いてきました。それか ら、ここの研究所で以前から工作と分子研との間で交互に研究会を開いていた。最初は分 子研だけでやっていたが、ここに共通系のデータが加わり、それで盛んにやるようになっ た。それからここの研究所でも分担してやってくれないかという話がありまして、主幹会 議にはかり了承を得て予算をもらい、研究会を年一回持ち回りでやっています。最初はこ こでやって、次は分子研、プラ研でやって、今年度は当研究所でやることになっています。 今年で四年目になるわけです。この研究会も非常に盛んになりまして、当初ここでやった 頃は170名ぐらいの参加者でしたが、去年のプラ研の時は250名ぐらい集まっているわけ です。それで二日間ではとても足りないということで分科会を沢山もうけてやった。この ような経過を踏まえて、去年度の最後に関係する三か所の人と、関心があってよく参加す る北海道大とか東北大、金研等の方に来ていただき、研究会に対する反省会を開きまして、 今後どうするかということも話し合いました。これが技術部の現状です。

そういう段階のところへ、この前この話が出まして、大いに結構だ、技術部として主催 してやりましょうという事になった。ただし、これは私一人ではどうにもならないので技 官の皆さんに協力していただき長続きするように今後進めてゆこうと話し合いました。こ れは菊池調整官にも了解してもらっていますし、各系の主幹にも通知を出して、今後こう いう事をやりますので、業務に差し支えの無い範囲で皆さんに出席出来る時間を与えて下 さいと依頼してあります。それで、今後、これを継続してやっていきたい。

今日は一回目で、一応、テーマはマイコン・パソコンになっています。これを一回だけ でなく、ある期間やってある時期になったら別のテーマに変えてもいいと思います。それ は皆さんの意見を調整して、そういう議題を逐次もうけて、それで横の連絡を兼ねながら 話し合うことによって、技官の人たちの意気も上がるだろうし、また技術的なレベルも上 がるだろう、そういうことで考えています。

今日、私は皆さんに言いたい事が有ります。それは、尻切れトンボにならぬようにずっ と続けて欲しいという事です。というのは、他の大学の技官は、環境、立場が全て違い、 各教室に配属されて補助的立場で仕事をされている。しかし、ここの研究所は補助的では ないのです。教官と対等に仕事をしてゆく。しかし、仕事の上で知識とか技術力とかいろ いろ差のある人もいます。が、教官よりも優秀な人もいる。各系でも、常に対等の立場で あると言っていますし、所長もそういう考えです。ところが、技官のかた、技術者のかた は、なかなか素直に発表しないし、意見も言わないひとが多い。それではいけない。思う 事はどんどん発言すべきです。自分たちの立場を大いに主張し、技官を認めてもらうこと には非常な努力が必要だと思います。やはり、勉強もしなければならないし、この仕事は いやだ、あの仕事はいやだなどと言っているようではだめです。仕事というものは途中で 投げ出しては意味がありません。どんな些細な事でもよいから、ちゃんとまとめ上げる。 それで、必要に応じてはレポートを書くなりして、誰が見ても、ああ、あの人はちゃんと 物ごとを成し遂げたなあ、という実績を作る事が皆さんの最大の使命であると思いますし、 そうして行かねばならないでしょう。 ここは、技術部の技官に転勤というものがありません。しかも、内部の配置転換も少な い。卒業してここに入って来られた人が大部分である。外を知らない。ということで、世 間知らずである。非常に視野が狭い。そして、狭い所でぬくぬくしているようにも見える。 そうしますと、最近になりまして、他の大学からここに技官として入って来る人が多くな ってきた。すると、その人たちはここを奇異に感ずるわけですね。そういう意見も多いで す。技術部をなんとかせねばならぬということで、技連の中で議論していることも知って います。それに対して、技術部長として何かビジョンがあれば言って欲しいと言われまし たが、私は言う立場ではない。もう少し技官の中で議論して、ある程度のコンセンサスが 見えてきたなら、私の意見を言っても差し支えないだろうと考えています。考えようによ っては、私はずるいかもしれません。

とにかく、コツコツやって、仕事の上で実績を作りなさい、これがまず一番大切だと。 それには勉強をしなければならない、ということを言いたい。皆さんが良くやっているの は承知しています。しかし、まだまだ努力が足りないのではないだろうかと思います。中 には非常に優秀で教官よりも高額な予算を使っている人もいます。ですが、平均的にみて、 まだ少し眠っているのではないかという印象を受けます。しかし、皆さんがこのような会 合を開くという事は、非常にそれを突破するキッカケになるだろうと思います。今後、技 術部で取り上げて、息長くやって行きたいと思います。

今日は、第一回目ですから、どちらかというと懇談会形式にしようと、あるいは、一人 二人にテーマを発表してもらい、次回からは出来るだけ自発的な申し込みをしていただい て、自分のやっている事を身近な所から話してゆくことで良いと思います。何も高尚な事 を言わなくても、どういう所に困難があり、失敗であったとか、あるいは、その解決法は こうであるとか、このような問題で困っているとか、皆の良い知恵はないだろうか、教え てくれないか、このような事から始めて行って良いと思います。聞くは一時の恥、知らぬ は一生の恥と言って、とにかく、自分で人の意見を聞くなりしてでも、ただ聴くだけでは だめで、さらに自分の考えを織り込んで、仕事を早く完成させる。そして、技官を、系の 人あるいはそれ以外の人に知ってもらうにはそれが最も大切なことであると思います。で すから、あまり、形式ばった学会とか研究会とかいう、単なる良い所だけを発表するよう な事でなく、生のままぶっつけ合って、皆さんで議論し合ってゆく、それで皆さんの知識 あるいは技術を磨いてゆく一助となればと考えます。

ということで、今日の参加者はそう多くはないですが、こういう事をやっているという 事を近くの同僚に話していただいて、なるべく出ていただくようにして、美のある会にし てゆければと思っています。

(参加者:19名、報告者:5名、その後討論が続きます)

技術交流会・第二回 テーマ:マイクロコンピューター

1985 年 7 月 11 日 午前 10 時~12 時 1 号館談話室にて [技術部長の挨拶(馬場 斉)] 今日は、第二回目ということで、大変良い事だと思います。このような資料も残るとい うことは、そこに出席していない人でも、ああ、このような事をやっているのだな、と様 子が分かります。それから今回も出席者はそれほど多くないですが、出来るだけ出席して いただけたらと思います。

今回、急で、皆さんに知らせることは出来ませんでしたが、八月十八日、十九日に京都 の熊取にある原子炉研究所で、技官の研究会があります。それで、今年初めて、高工研に 招待状が来ました。締め切りまでに一週間程しかなかったものですから、私の一存で二名 の方を決めさせてもらいました。・・・とにかく、こういう事は、一度出てみると大体の事 が分かって安心できるものだけれど、学会もそうですね。初めての人は非常に上がってコ チコチになっている。私も若い時はそうだった。ドキドキしてね、演壇に立っても前に誰 が居るのやらさっぱり分からない。後になって考えてみると、皆そんな経験をしている。 一回やると、次は前に居る人も見えてくるし、ずっと楽になる。皆その難関を突破しなけ ればならない。科研費をもらうためには、論文を出すか、物理学会とかいうような所で発 表しないと資格が無く、もらえない。そういう訳で、皆さんには、そういう所へドシドシ 出て行って発表していただきたいと思っています。

この交流会は、発表する場に慣れるという効果もあると思います。ただ、ここは所内の 集まりですから、ざっくばらんに、冗談の一つでも言いながら、楽しい雰囲気でやって行 きたいと思います。また、今は技連の役員の方で世話役をしてもらっていますが、そのう ちには、一年間私が世話役を引き受けましょう、という人が出て来て欲しいと思います。

この勉強会とは直接関係ない事ですが、今、技術部の在り方が皆さんの中で問題になっ ていますが、今までの事を全面的にひっくり返す事は非常に難しい。しかし、良い所は保 存し、どんどん改善して行く。この前、技術部と所長の懇談会においても、所長が、そう いう時期でもあり、そういう方向で考えたい、ともおっしゃっています。そういうことで、 技術部というものを少しずつ浮き彫りにして行き、教官をも含め多くの人々に、技官はど ういう事をやっているのか、あるいは、どれだけの事が出来るのかという可能性や意気を 示す努力が必要だと思います。それには行動しかない。ただ大人しくしていてはだめです。 それで、僕一人ではどうにもなりませんので、皆さんと協力し、このような勉強会から一 つ一つやって行こうと思います。

・・・(交流会の途中での技術部長からの発言、以下、転勤希望調査について)

皆さんの所へ配って有ると思いますが、文部省関係の職員の転勤希望の調査があります。 皆さんのアンケートなどを見ますと、例えば、私は長男なので、何年か後には、親の面倒 を見るので、どこそこへ行きたい、今はそれほど深刻ではないが、というのがかなりあり ます。これらは、ここへ希望を出しておきますと、これは、相手が在って決まる事なので すが、先方がこれを見て、自分の所に適当だなと思うと声がかかってくる。そういう事で 転勤した人もいるのです、実際にね。ですから、こういう機会を利用して下さい。我々と しては、ここに居る優秀な皆さんを外へ出したくはありませんがね。しかし、皆さんの人 生の事ですかからね。もし、有りましたら私の方へ言って来て下さい。この事は、決して ロ外は致しませんから。言って来たからということで、主幹に話したり、あるいは、直属 の教官に話したりはしませんので、そのような事を考える事は一切ありません。ただ、相 手から声がかかった時には、私の方から上司の主幹なりに話して、庶務を通じて話しを進 めてゆく事になります。それ以外の時は、アンケートの内容は誰にも見せませんので、安 心して、自由に何でも書いて下さい。ここは閉鎖的ではありませんので、どうぞ私の方へ 言って来て下さい。もし有りましたら十九日までに来て下さい。・・・では、まだ時間があ るので雑談的にどうだい。・・・〇〇さんだって、この前プラ研で発表して、まず難関を突 破したのだよ。六七回リハーサルしたのだよ。それはそうですよ、誰だって初めては、大 勢の前ではオドオドしますよ、なかなか眠れないですよ。でも堂々と立派に発表しました よ。そういう事が成長して行く一つなのです。

どうですか、皆さん何かないですか。別にこのような事に関係ない事でも良いですよ。・・・ ・・・雑談が続く・・・

技術交流会・第三回 テーマ:マイクロコンピューター

1985年8月8日 午前10時~12時 1号館談話室にて

[技術部長の挨拶(馬場 斉)]

今日は三回目という事ですが、この会も良い方向へ向いているようですね。皆さんに配 りましたこのレポートを見ますと、第一回よりも内容が充実していると思います。報告は まとめてから話すのが良いです。しかし、人には習慣があってなかなか難しい。出来れば、 資料を皆さんに配ってから話しますと、聞く人は分かりやすいですね。なるべくその様な 方法をとって欲しいと思います。ただ、この事にはあまりこだわることなく現状を生のま まで話す、それを振り返ってみて不足を補いノートを提出する。それを繰り返している内 に仕事や勉強に対する基本的態度が醸成されてゆくと思います。ここは、将来、学会で発 表するとか論文を書くとかいう時のトレーニングの場として自発的に利用してほしいと思 います。前回にも言った事ですが、技官はどのような仕事をしているのか、研究所の中で はどういう地位に在るべきなのか、皆さんのいろいろな希望も有ると思いますが、それを 実現するには他人に分かってもらう必要があります。このような場で発表して資料を残し たり配布することによって、技術部の技官の存在を良く理解してもらえるようになると思 います。技術部の技官を良い方向へ持って行こうとするのは皆さんしかありません。上か ら指導されて育ってゆくところもありますが、自分たちで進むべき方向を見出して進んで 行くような自発性が無いと、技術部や技官の存在をアピールする事は非常に難しいと思い ます。・・・

技術部の人事ですが、八月十六日の辞令で私は部長を辞め教官系に戻ります。新しい技 術部長は山口さんがなります。辞令が出てから皆さんと懇談の場を持ちたいと思っていま す。私は今後も技官の方の良き理解者として教官との間の取り持ちをしたり、技官の声と なってずっと皆さんを支援して行きたいと思っています。ですから、今までと同じように 何か心配事が有りましたら部長の所へ行くのは勿論ですが、私の所へ来られても良いです。 どうぞ私の部屋に今までどおり遊びに来て下さい。そして、いろいろな事について話し合 いましょう。・・・

J-PARC での私の仕事

私は、J-PARCの建設が始まってからは、いろいろな面で余裕が無くなり、研究会での報告、発表をほとんど行っておりませでしたのでここで報告します。

12GeV-PS がシャットダウンした時に、手持ちの電磁石電源は240 台以上ありました。電 源装置を廃棄したことがないので、古いものは1973 年製であり、今から38 年前の製品に なります。J-PARC の建設費用を減らすために、つくばでの古い電源装置を始め多くの装置、 部品を再利用する方針でスタートしました。

電磁石電源の再利用

つくばのカウンターホールで使用していた電磁石電源 50kW~500kW は仕様として、整 流変圧器は入力側 1 次コイルが 2 重または 4 重に巻かれています。500kW 電源を例にとり ますと、1 次コイルを全て並列に接続すると、出力は 100%となります。また、コイルを直 列・並列に組み合わせて出力を 50%にすることができます。全てのコイルを直列にすると 25%となります。整流変圧器の 2 次側には 3 相半波の整流回路が 4 組あります(12 相整流)。 この一つの 3 相半波整流回路定格が 100V-1250A としますと、三つの組み合わせが取れま す 全て (4 回路) 並列の時は 100V-5000A また直並列の時は 200V-2500A 4 回路が直

す。全て(4回路)並列の時は100V-5000A、また直並列の時は200V-2500A、4回路が直 列の時は400V-1250Aとなります。入力側のコイル接続の組み合わせと整流回路の組み合 わせを合わせますと以下の表-1のような出力の組み合わせが得られます。

この様に出力定格を切り替えられる電源の特徴は、広範囲の負荷抵抗を持つ電磁石に対して高力率で接続運転できる点です。例えば、25V-5000A にセットすると超伝導電磁石用となります。200V-2500A にセットすると大型のスペクトロメーター電磁石用になります。

		変圧器入力1次側		
		$500 \mathrm{kW}$	$250 \mathrm{kW}$	$125 \mathrm{kW}$
		並列:100%	直並列:50%	直列:25%
整流回路	並列	100V-5000A	50V-5000A	25V-5000A
	直-並列	200V-2500A	100V-2500A	50V-2500A
	直列	400V-1250A	200V-1250A	100V-1250A
負荷抵抗 mΩ		$20 \sim 320$	$10 \sim 160$	$5 \sim 80$

表-1. 500kW 電源の定格出力の組み合わせ(切り替え可能)

このような仕様の電磁石電源がカウンターホールから 240 台、定格出力別で 16.5kW~500kW までの 31 種類の物が放出されます。それらは J-PARC のビームラインのどのよう な電磁石をも効率良く運転出来る仕組みとなっていますから再利用しないという手はあり ません。

2011年度 技術交流会報告集

February 22, 2012

1

目次

(1)	自己紹介とリニアックの復旧	
	宮尾 智章(加速器 第一研究系)	••••• 1
(2)	現在行っている業務内容について(LAr グループ)	
	牧 宗慶 (素核研)	••••• 5
(3)	自己紹介と業務報告	
	岡田 尚起 (共通 機械工学センター)	••••• 9
(4)	J-PARC における世界最高強度ミュオン BL の運転と超低速ミュオン	[,] 顕微鏡計
	画への参画	
	中村 惇平(物構研 ミュオン科学研究系)	12
(5)	hello, world	
	佐藤 健一 (加速器第二研究系)	••••17
(6)	自己紹介と業務内容	
	岩崎 るり (素核研)	•••••21
(7)	計算科学センターの新人	
	髙瀬 亘(共通 計算科学センター)	24
(8)	着任 10 日目から見た大震災	
	岡田 竜太郎 (共通 超伝導低温工学センター)	••••27
(9)	震災における PF の被害と復旧状況、防災・防火の取り組み	
	小山 篤 (物構研 放射光科学第二研究系)	30
(10)	電子陽電子入射器の被害と復旧	
	柿原 和久 (加速器 第五研究系)	•••••36
(11)	J-PARC ハドロン実験施設及びニュートリノ実験施設における電磁石の	の復旧
	広瀬 恵理奈 (素核研)	•••••42
(12)	東京電力福島第一原発事故直後からの KEK 内での放射線計測	
	中村 一(共通 放射線科学センター)	••••47
(13)	震災により計算科学センターが受けた被害と復旧について	
	中村 貞次(共通 計算科学センター)	••••51

自己紹介とリニアックの復旧

1. 目的

まずは、簡単に自己紹介をする。平成22年度入所の 新人職員で、配属は J-PARC リニアックモニタグルー プと構成人数が少ない所に所属しているが、主な作業 はビームラインにあるモニタの保守・点検、新規モニ タの校正測定を中心に行っている。本テーマは今まで の業務内容と震災からの復旧を中心に記載する。

2. リニアックの構成と主な業務内容

私が配属しているリニアックについて簡単に説明す る(図 1)。イオン源(Ion Source)から負水素イオンのビー ムを入射し、RFQ (Radio-Frequency Quadrupole)を通っ て 3MeV まで加速され、DTL,SDTL の加速空洞を通っ て 181MeV まで加速されて RCS、MR へとビームを受 け渡している。再来年には新たに ACS 空洞をインスト ールすることで、400MeV までエネルギーを増強する 予定である。



図1:リニアックの構成

これまで行ってきた業務内容を紹介する。現在扱っ ているモニタは

- ビームの位置をみるビーム位置モニタ(BPM)
- ② ビーム電流をみる電流モニタ(SCT)
- ③ ビームの位相をみる位相モニタ(FCT)
- ④ ビームのロスをみるロスモニタ(BLM)
- ⑤ ビーム横方向のプロファイルをみるワイヤース キャナーモニタ(WSM)

の5種類のモニタである。3ケ月の夏のシャットダ ウン時にモニタのメンテナンス作業が行われるが、 モニタの不具合がある場合には交換する。WSMの

宮尾 智章(加速器研究施設)

ワイヤーはリニアックのセクションごとに機構が変 わっている。MEBT-1 セクションは導通を確認でき ないため、窒素パージしてヘッドを抜き出して直接 測定する。SDTL セクションの WSM はキャノン 4P 端子にて導通を確認、ACS、L3BT セクションは BNC 端子にて導通を確認する。SCT は毎年のメンテナン スごとに校正を行う。詳細は後の章で記載する。地 上での作業はモニタラックの配線と校正を中心に行 っている。現在モニタラックの配線は ACS 空洞のイ ンストールにより、従来置かれていた場所から移動 しなければならないため、制御ラックとの渡しケー ブルの配線を 25 ラック敷設した。これによりモニタ と制御との配線が理解でき、今後の取り付け作業に も役立つだろう。

モニタの校正は五十嵐前衛氏指導のもと1から教 えていただいた。中でも BPM の校正¹⁾について説明 する。ACS にインストールするための BPM は電極 となるストリップラインの幅とインピーダンスマッ チングを行い、シミュレーション²⁾と一致する幅を 6.8mm に決定した。



図2 ストリップラインの幅とインピーダンスの関係 ストリップラインとモニタ本体の端子を溶接した後、 校正台を用いて中心位置を測定した(次ページの図 3)。これは BPM の機械的中心と電気的中心のずれを 見るものである。BPM にワイヤーを通し、加速周波 数相当の 324MHz、出力-6dBm の擬似信号を入れて マッピングデータをとった。



図 3 BPM 校正の様子

機械中心と、電気中心との誤差は±0.1mm 以内に収 まるよう校正を行っている。今後は ACS インストー ルに必要な BPM50 台の校正を随時行う予定である。 このほかにも加速器全体を仕切るシフトリーダー業 務や国際会議に参加してポスター発表と DESY の施 設見学にてモニタの開発現場を見ることができた。

震災からの復旧

昨年の東日本大震災では甚大な被害を受けた。中で もリニアック棟は周辺道路の隆起や建屋周りの液状化 が起こり、地下のトンネル内ではビームラインのベロ ーズが破断、変形したことで真空が破れ、長期間高湿 な大気にさらされてしまった。モニタもセラミックが 割れ、同様の被害個所が多数あった。さらに、地下ト ンネルの床から pH10.5³⁾の高アルカリ地下水が水深 10cm ほど浸み出して床置きしていた電子回路、ケーブ ルが腐食する被害も見られた(図 4)。被害は SDTL セク ションから ACS セクションの入口にかけて被害が多 かった。今回の震災で破損したモニタの数を以下に示 す。

モニタ	設置数	破損数
SCT	38	2
FCT	61	17
WSM	36	0
BPM	102	7
BLM	124	0

表1 被災したモニタの数

ここでは併設されているゲートバルブに内蔵されてい るものとベローズの変形のみの損傷だけで、モニタの 性能は特に問題は見られないものも含まれている。 SCT に関して言えば、前者はゲートバルブ自体に真空 リークが見つかったため交換。後者は真空リークが見 られなかったため、再インストールした。ただし、図 5のようにベローズの変形だけで、モニタの性能には 問題ないが、地震の振動を逃がすことができないため 再度作り直すことにした。



図4 地下水の浸水により腐食した電子回路



図5震災により変形したベローズ

震災から復旧するにあたって、12月にはビーム運転 を再開する様、通達が下された。モニタグループは被 害を受けたモニタの員数確認、新規モニタを作製し、 ビームラインに再設置した後に校正測定を行ってビー ムラインを戻さなければならない。さらに、平成25 年度にはACS空洞インストールに伴うエネルギー増 強作業も並行して進めなければならない。復旧までの 大まかなスケジュールを以下に示す。

〈震災復旧〉

- 3月下旬~5月:被害状況、員数調查
- 5月中旬~10月上旬:破損したモニタの製造 ケーブル端末処理
- 9月~11月上旬:モニタ再設置、リークチェック 11月下旬:校正確認
- 〈エネルギー増強〉
- 7月~8月:ケーブル配線作業
- 8月~9月:新規ケーブル端末処理工事対応
- 10月~11月:新規配線のモニタ校正確認

ここからは各モニタの復旧について説明する。

① BPM (7台)

BPM は MEBT-1 の1 台と SDTL 上流部 6 台を作製と校 正を行った。これらはすべてビームライン間の距離が 短いため、モニタヘッドとベローズ、FCT との一体型 のタイプを採用している。作製にあたり、電極のスト リップラインのインピーダンスを測定し、端子の溶接 を行った後に図 3 のような校正測定を行ってからベロ ーズと FCT を溶接して納品される。再設置の際、QM を半割する必要があるため、他グループの協力を得な がら作業した。その後パルスジェネレータで信号を入 力し、ラック内にあるログアンプの出力信号(差分出 力も含む)を確認して BPM の復旧は終了した

② FCT(17台)

DTL セクションにある FCT はゲートバルブとの一体 型で、モニタはバルブの中に埋め込む形になっている。 この2台はモニタの性能は問題なく、ゲートバルブの 溶接部が割れていたため、移設作業を行った。



図6:モニタ移設作業の様子

FCT 残りの15 台のうち、6 台は BPM、ベローズとの 一体型、9 台は単独型である。これらは工場にて信号 の特性を確認し、納品後、ネットワークアナライザを 用いて減衰出力と出力位相の校正を行い、ビームライ ンに再インストールした。

③ SCT

SCT は特に破損は無かったが、図6にあるゲートバル ブの移設作業を行った。その後パルス(10V、100µs) を1kQの抵抗を通して SCT 校正用端子に入力する。こ のとき SCT 本体には10mA 流れ、出力電圧を1.0V に なるようラックにあるアンプで校正する。校正したビ ーム電流は制御室で監視しているが、ビーム電流 15mA に対してモニタの誤差が見られる。これはデジ タイザーが8ビットまでしか送信できないためである。



図7:運転再開後のビーム電流の表示

④ WSM

WSM は大きな損傷が見られなかった。MEBT-1 セク ションに4台、SDTL セクションに4台、ACS セクシ ョンに4台、L3BT セクションに16台配置されている。 最初にワイヤーの導通を見た。使用するワイヤーは MEBT-1 のみビームエネルギーが小さく、熱に強い 7µm 径のカーボンワイヤーを、それ以外は 30µm 径の タングステンワイヤーを採用している。MEBT-1 セク ション、SDTL セクションは窒素パージしてヘッドを 引き抜き、直接確認したが問題無かった。ACS セクシ ョンと L3BT セクションは BNC 端子で確認したが問題 は無かった。

その後、モータードライバーと動作確認、リミットス イッチの確認、パルスを入れて電子回路の動作確認を 全数行い、復旧した。

5 BLM

BLM も特に大きな損傷は見られなかったが、ヘッド を支える架台が緩んでしまったため、インシュロック で固定した。その後、信号系統、高圧系統、MPSの八 報、リセット操作の確認を全数行った。

⑥ その他

モニタを動かす電子回路、ケーブルが多数浸水被害 を受けた。浸水した電子回路の数を以下に示す。

モニタ	電子回路	浸水数
SCT	プリアンプ	13
WSM	プリアンプ	6
BLM	ローハ。スフィルター	12
BLIVI	1-1 277109-	12

表2 浸水した電子回路の数

これらの回路は ACS 用に使用予定だったものに交換 している。使用した不足分は来年度に購入予定。電子 回路自体の校正も必要となったため、いい勉強になっ た。電子回路類も今後の震災対策として、空洞架台の 足にインシュロックで固定する等、床置きしないよう 施した。浸水したケーブルは三菱 SC と協力して端末 処理を行った。以下に浸水したケーブルと端末諸折し たコネクタの数を示す。BNC ケーブルは主に BLM、 SCT の信号ケーブル、WSM の信号、高圧の両ケーブ ルで用いられるが、処置数の方が少ないのは運転再開 までに必要のないケーブルと判断したからである。 SHV も同様である。SHV ケーブルは BLM の高圧系統 として使用している。D-SUB ケーブルは WSM の制御 ケーブルとして使用している。

コネクタ	浸水数	処置数
BNC	29	28
SHV	36	33
D-SUB	4	4

表3 浸水したケーブルコネクタの復旧数

ACS の増強工事も並行して行われた。従来に設置し てあるラックから増強時のラックに移設する作業であ る。ACS の 21 ラックと MEBT-2 の 4 ラックの計 25 ラ ック分行った。主な作業は制御との渡しケーブルの敷 設、各モニタの電子回路の設置・配線、ケーブル端末 処理(業者に依頼)、制御との系統試験、モニタ校正作 業と復旧と同様である。

4. 復旧後と現状

約8カ月の復旧作業を経て、12月9日にビーム運転 が再開された。今はMLF 200kW供用運転、ニュート リノ 140kW 利用運転が行われている。しかし、運転 再開当初はビームロスが震災前と比べて多くなった。



図8:運転再開後のビームロスの変化 上図の丸で囲まれた箇所が震災前よりもロスが多く出 たところである。運転後のサーベイでmSv/hオーダー の高線量が観測された。この対策の一つとして、ダク トのアライメントを行っている。MEBT-2のビームラ インでビーム軸に対し鉛直方向 4mm、水平方向に 13mm ずれていたため、ビームがダクトに当たって放 射化したことが考えられる。モニタグループではロス が大きい箇所に計数管タイプの BLM と線量モニタを 設置して制御室で監視している。

5. まとめ

これまでの復旧作業でモニタの製造から取り付け、 校正作業、運転再開までたどり着く中で新規モニタの インストールまでの流れを経験することができた。そ の中でも今まで知らないことばかりで、それぞれのモ ニタについて1つ1つ習得することができた。これは ACS インストールに向けた予行練習になったと捉え ている。取り付け作業で真空リークを多発してしまっ たことは今後の個人的な課題にあげる。ビーム運転が 始まると、ビームラインの改造、バンチシェイプモニ タ等の新規モニタのインストールと目白押しだが、全 てのモニタに気を配れるよう精進したい。

謝辞

今回の技術交流会の報告書作成にあたり、五十嵐前衛 氏、三浦昭彦氏、その他モニタグループの方々の多大 なるご指導に感謝致します。

参考文献

 T. Miyao et al., "Beam Position Monitors for the ACS section of the J-PARC Linac", Proc. of DIPAC 2011, TUPD18.

 Poisson Superfish Announcement by LANL Home Page:<u>http://laacg1.lanl.gov/laacg/</u>.

3) 内藤氏のリニアック地下水イオン分析データより

現在行っている業務内容について

1.250LAr グループ

私の所属している 250LAr グループは、「レプトンセ クターの CP の破れ」、「核子崩壊」や「暗黒物質」の 探索を行う物理実験に対して非常に有望である液体ア ルゴン TPC 検出器の開発を行っている。将来は 100kton クラスの液体アルゴン TPC を隠岐の島へ建設する事が 提案されており、現在はその準備として 250L サイズの 液体アルゴン TPC 検出器を製作し、R&D を行っている。



図1: J-PARC から隠岐の島

2010年10月 J-PARC ハドロンホール K1.1BR ビーム ラインで行ったT32実験は、MEG (Muon to Electron and Gamma)実験でプロトタイプとして作られた250L サイ ズのクライオスタットを使用して行った。MEG 実験は、 $\mu \rightarrow e_{\gamma}$ 崩壊の探索を行う実験で、現在、スイスにある ポールシェラー研究所(PSI)にて行われている。

我々は MEG グループへのクライオスタット返還を機 に、2010 年 9 月より、MEG タイプのクライオスタット に幾つかの改良を加えたクライオスタットの製作に取 掛り、現在様々な性能試験を行っている。

アルゴン TPC の大型化に欠かせない重要ポイントの 一つとして、容器内の液体アルゴンを高純度に保たな ければならないという点が挙げられる。

新規製作したクライオスタットには、液体アルゴン 純度を向上させる為の循環系を強化し、予冷時間短縮 の為の構造を付け加えている。

ここでは新規に製作したクライオスタットの開発の 中で、自分の行っている業務内容について報告する。



図 2:100kt 大型検出器

2.250LAr 容器について

2.1 仕様

新たに製作するクライオスタットの主な仕様を表1 に示す。クライオスタット外形寸法は、約1230×1000 ×1750mm。内槽寸法は、内径700mm、奥行き1000mmで、 容積は約400L。容器内部の構造としては、内外槽間に 真空断熱層及び断熱材を施すことにより、容器内部へ の熱侵入量を抑えている。

使用流体は液体アルゴンで、設計圧力は 0.5MPa ゲージとなっている。

表1:250LAr 容器製作仕様

項目	仕様		
使用流体	液化アルゴン		
設計圧力	0.5MPa(ゲージ)=耐圧部に適用		
設計温度	-196℃~70℃=接液部に適用		
常用圧力	0.2 MPa(ゲージ)=耐圧部に適用		
常用温度	-196℃~70℃=接液部に適用		
内容積	約 400L (ネック部を除く)		
断熱方式	真空多層断熱(スーパーインシュレー ションによる)		
主要材質	容器部 SUS304		
熱侵入量	低温部-196℃、高温部 27℃で計算し、 42W 程度		
表面仕上	 内 外面:酸洗肌、内面:EP 処理(溶接 槽 箇所は酸洗処置とする。) 外 内面、外面共に酸洗肌とする。 		

牧 宗慶 (素核研 LAr グループ)



2.2 MEG プロトタイプ容器に対する追加変更点

MEG 実験にて用いられている 250L サイズのクライオ スタットに加えた、主な追加変更点を以下に挙げる。

内槽胴回りへの予冷配管の追加(図4)

内槽へ液体アルゴンを充填する際、予冷にかかる時間 を短縮する為に施工した。これまで 300L の液体アルゴ ン充填完了にかかる時間は24時間程度だったが、施工 後は13時間程度に減らす事ができた。内槽胴回りおよ び鏡板、フロントフランジに銅製3/8インチ管をはん だ付けしている。



図4:フロントフランジ予冷管

ドレイン用配管追加(図3)

ドレイン用配管は、液体アルゴンを循環する際の取り 出し口として用いる。また、これまで実験終了後の不 要となった液体は、自然蒸発により外部へと放出して いたが、これでは内槽内が空になるまでに数日を要す る為、外部放出口としても使用する。

・ 内槽浮き上り防止用サポート追加(図5) 内槽のみを真空引きした場合、1~2cm 程度内槽全体 が持ち上がる。これを防止する為の措置として内槽上 部に FRP サポートを施工した(4 ケ所)。 サポートの 取付角度は45°で、外径50mm、板厚3mm。内槽との間 に約1mmの隙間を設けている。(サポート軸方向) 内槽内が空の状態で内槽のみを真空引きした場合に、 上向きにかかる力は11.3kNで、サポート1本当たりに かかる荷重はおよそ 2.8kN となる。



図5:内槽周り予冷管

熱侵入量

計算による内槽容器内への熱侵入量は個体熱伝導、ガ ス熱伝導、そして熱放射によるものがある。ガス熱伝 導に関しては、真空断熱層の圧力が 1×10⁻²Pa 以下で ある場合には無視できるほど小さくなる為含んでいな 12

個体熱伝導	: 17W
熱放射	: 2W(SI:30 層施工時)
合計	: 19W

3.250LAr 容器性能検査について

熱侵入量測定

実際の内槽容器内に対する熱侵入量を測定する為に、 液体窒素を用いた蒸発量試験を行った。

手順

- 1. 内槽容器内に液面計 (Model 186 Liquid Level Controller:AMI) を取り付ける
- 2. 蒸発ガス取り出し口に質量流量計 (azbil CMS0020:株式会社山武)および、ガスメータ (DC-2A:品川精機株式会社)を取り付ける
- 3. ガス体の計量と液体体積変化の両面から、液体窒 素の蒸発量測定を行い、熱侵入量を算出する

試験

- 1. 2011/6/13,19時:液面計 53cm まで液体窒素充填
- 2011/6/21,9時:蒸発量試験終了 2.



図6:液体窒素体積による熱侵入量測定結果



図7:ガス体の計量による熱侵入量測定結果

図6および図7より、内槽容器内への実熱侵入量は 40W程度であることがわかった。

一分当才	たりの蒸発量(重さ)	
	$10.4L/min \times 1.251g/L \times$	(273/293)
	ガス流量	=12.12g/min
→ ++		e

入熱量

<u>199.1J/g×12.12g/min÷60=40.2W</u> 蒸発潜熱 (20℃

 $(20^{\circ}C, 1atm)$

図6の液体窒素体積による熱侵入量測定は、内槽内 部に設置した液面計を用いて体積変化を測定し、これ をガス蒸発量に変換して熱侵入量を算出した。図6の ガス体の計量による熱侵入量測定では、容器上部に取 り付けたガス放出管の途中に質量流量計を接続して、 直接ガス蒸発量を測定、熱侵入量を算出した。

4. 液化器試験

現在 250LAr 容器は熱交換器、気体循環ポンプ、ガス フィルタ、熱交換器、液化器を接続しており、内圧を 5kPa±1kPa に保持しながら運転している。(図 8)



図8:250LAr 容器と附帯設備(ガス循環)

容器内部の液体アルゴン純度を悪化させる要因とし て、容器内部でガス化したアルゴンを直接冷凍機で液 化すると、不純物を多く含んだ液体アルゴンが生成さ れる事をこれまでの経験で得ている。その為現在は、 内槽容器内でガス化したアルゴンを、フィルター (saes:MC3000-903)に通して浄化した後、液化器で液 化して 250LAr 容器内に戻している。液化器単体の実験 について、途中経過ではあるが紹介する。

<u>方法</u>

- クライオスタット内アルゴン温度を、冷凍機によって 85K(過冷却状態)に保ち、コイル内に流す ガスアルゴンを液化できるかテストする
- 2. コイル長や気体流量、圧力等を変えて、どの程度 液化できるかをテスト
- 3. 液化率は、供給及び放出ガス流量の差分により判 断する
- 4. 使用する容器は30Lサイズの真空断熱容器



図9:液化器試験セットアップ

<u>結果</u>

測定結果を図 10 に示す。

- 1. 3.2mでは、ガス供給量に依らず、液化量が一定
- コイル長 6.9mと 11.4mとでは、液化率がほぼ一 定(8~14L/minの範囲)
- 3. コイル長 6.9m以上での液化率は、供給ガス流量 10L/min以上において、40%~60%程度であった
- 4. 8L/min では、全てのコイルにおいて液化率が低い



図 10:供給ガス流量と液化したガス流量

<u>考察</u>

- 供給ガス流量が上がると、液化したガス量の割合 (液化率)も上がっているように見える
- 構造上、液化したアルゴンはコイル下部に溜まっ た後、吐出口に向かって 40cm 程度押し上げるよ うになっている為、コイル内部の圧力と温度が上 がり、液化効率に悪影響を与えている事が考えら れる

<u>今後の方針</u>

- 液化したアルゴンを容器下部から取り出すタイプの液化器を製作して、液化率の違いを確認(図11)
- 冷凍機能力定格 150W (実質 100W) から定格 300
 Wの物に交換



図11:改良型液化器

5. 今後の予定

現在行っている、ガスアルゴンを純化する方法(ガ スアルゴン流量12L/min)では、全量を純化するのに2 週間程度を要している。今後更に液体アルゴン純化の 効率を高める為に、液体循環ポンプと液体アルゴン用 純化フィルタ(銅粉末とモレキュラーシーブ)を用い た試験を行う予定である。

液体循環ポンプを用いた場合、液体アルゴン流量を 5L/min 程度で運転する為、内槽容器内の液体アルゴ ン(300L程度)は一時間程度で全量を純化する事がで きる。また、800Lサイズ容器及び液体アルゴン用純化 フィルタの製作、アルゴン容器の安全・安定運用に向 けた配管・モニタ等のシステム作りを進めて行く必要 がある。



図12:液体循環による試験

6. まとめ

私の日常業務は、実験装置の取合い図や製作図面を 描き、出来上がった物を組立てた後、実験遂行と同時 に記録を取り報告書にまとめる事です。特に、圧力や 流量、温度管理など、250LAr 容器の安定運用に関する 業務を行っています。

今後の目標としては、液体アルゴン純度向上の為に、 更なる高純度を目指した純化系統の確立と、容器の安 全・安定運用に重点を置き、液体アルゴン TPC の巨大 化を目指そうと思います。

自己紹介と業務報告

1. はじめに

自己紹介、所属している機械工学センターでの業務 内容、KEK に入所してから製作した製品を加工する際 の工夫点、感想等を報告していく。また、最後に今後 の課題も述べていく。

2. 自己紹介

名前	岡田尚起	
牛年月日	1989/09/25	
	(平成元年生まれ)	
所属	機械工学センター	
出身地	宮崎県都城市	
出身校	都城高専 機械工学科	
	普通自動二輪免許	
資格等	 普連目動単免許 クレーン・デリック運転士免許 (クレーン限定) 	
	危険物取扱者乙種第四類取得	
	バスケットボール	
好きなスポーツ	短距離	
	スノボー	
休日の過ごし方	買い物 掃除・洗濯	

3. 業務報告について

3.1 業務内容

現在、私は機械工学センターの B グループで仕事を行っている。その B グループでは、ユーザーが必要なものを種々の工作機械を用いて製作するという短期の依頼業務を行っている。

3.2 主に使用している機械

主に使用している機械は、旋盤、フライス盤、ワイ ヤーカット放電加工機である。他にもマシニングセン ターやウォータージェットなどの機械も使用するが、 主にこの3つを使用している。

岡田 尚起(所属 機械工学センター)

3.3 製品の紹介

まずは図1の製品の紹介をする。材質はSUS304だ。 センターの穴を旋盤で仕上げるため、芯出しを行わな ければならない。そこで、中心線を引き各辺の中心を 基準としてトースカンを用いて芯出しを行った。芯出 し後、ドリルで少しずつ径を大きくしていき、最後に バイトで仕上げた。また、角の部分はワイヤーカット に取り付けてあるターンテーブルを用いて角度を割り 出し、放電加工でカットした。その他にもフライス盤 を用いて穴あけなどの加工も行った。SUS は硬い材料 なのでバイトの先がかけたり、ドリルの刃がすぐ切れ なくなり加工に苦戦した。



図1

次に図2の製品を紹介する。これは入所してすぐに 造ったものだ。材質はSUS304である。学生時代にNC プログラムは勉強していて、ワイヤーカット放電加工 機を主として製作したが、とくに苦もなくできた。た だ、幅1mmの溝を彫る部分とM1.6のタップをたてる部 分があったのだが、これまでにこのように非常に小さ なタップや溝を彫ったりする経験がなく、ましてや SUS という硬い材質だったので数本のタップとエンド ミルを折ってしまいとても時間がかかってしまった。 しかし、この経験のおかげで現在では折ることなく完 成させることができるようになった。



図2

次に図3の紹介をする。材質はMoだ。Moも硬い材 質なので、小さい径の穴を開ける際、すぐにエンドミ ルやドリルの刃が切れなくなり折れてしまった。また 脆い材質でもあるので、M4のネジを切った際に欠けて しまった。右側の製品は穴をあける際、加工歪みによ って撓んでしまった。これはバイスで挟んで撓みを矯 正した。どれも一応製品としては問題なかったが、加 工が困難な材質だった。また、図4のように治具を用 いることによって加工のバリエーションが増えるとい うことを学べた。







図4



図 5

図5のように、中に入っているセラミックを観察し たいということで、ユーザーが持ってきた製品を切断 して中のセラミックを取り出すという作業を行った。 製品の中に銀ろう付けの固定ワイヤーが入っていたた め断線等の不具合が生じ、ただ切断するという簡単な 作業でも時間がかかってしまった。



図6

他にも最近では図6のように、作った製品を組み合わせて溶接するような作業もしてきている。まだコツが上手くつかめず、トーチが材料にくっついてムラができたりとリークしたりと苦戦するが、練習をして溶接技術を磨きたいと思う。

4. 今後の課題

現段階としては、さらに加工技術を磨きどんなもの でも製作できるようにしたい。工具に関する知識、力 学等の学問についても学んでいきたいと思う。また、 働き始めて2年経過したが、私はKEK についてなんの 知識もなく入所したので正直 KEK の事がわからない。 なので、それについても同時に勉強していきたいと思 う。それと、これからどんどん発表し報告書を書くこ とが増えていくと思う。なので、人前で堂々と自分の 伝えたいことを発表でき、しっかりとした報告書を書 けるよう努力していきたいと思う。

J-PARCにおける世界最高強度ミュオンBLの運転と

超低速ミュオン顕微鏡計画への参画

中村 惇平

1. 自己紹介・配属先・業務内容

2011 年春に KEK に入りました中村惇平です。よろ しくお願いします。大学では液体金属の物性実験をし ていました。コンプトン散乱測定や電気抵抗測定など も行いましたが、特には、KEK の PF-AR を利用して 液体金属構造の圧力変化について調べました[1]。

配属先は物質構造科学研究所のミュオン科学研究 系で、J-PARCのMLFで働いています。

業務内容としては、以下に述べるミュオンビームラ インの建設以外に、理研 RAL 施設での超低速ミュオ ン実験に参加したり[2]、業務に役立てるための資格 を取得したり[3] しました。

2. ミュオン D ラインにおける業務

J-PARC/MLF におけるミュオン科学研究施設 (MUSE)では 3GeV 陽子ビームライン上に設置された グラファイト標的[4]から低速ミュオン(表面ミュオ ン)および高速ミュオン(崩壊ミュオン)が得られる。

ミュオンビームラインは図1のようにD,U,S,Hの4本がある[5]が、2012年3月現在ミュオンビームが利用できるのはDラインのみである。残りの3本は建設中で、後述するUラインについては2012年度中に完成する。



この D ラインでは、陽子ビーム 120kW 運転時 (2009.11.10)に世界最高強度の低速ミュオンが得られ、 (物質構造科学研究所 ミュオン科学研究系)

それ以来陽子ビームの強度に合わせて世界最高強度 が更新されている。現在、藤森先任技師の主導のもと、 キッカーシステム導入によって D ラインの高度化が 推進されている[6]。

陽子ビームは 25Hz のパルス運転が行われているが、 25Hz ごとに二個の陽子ビーム、すなわちダブルバン チの時間構造(一個の 150n 秒の時間幅とパルス間の 時間 600n 秒)を持つため、発生するミュオンもダブ ルバンチとなる。図2にキッカーシステムの模式図を 示す。ダブルバンチをシングルバンチにして D ライ ンの2つの実験エリア(D1 エリア・D2 エリア)に振り 分け同時に実験するための装置がキッカーシステム である。ビームの偏向は、スイッチヤードで2つのバ ンチとも 4.5 度向きを変え、キッカーで第2バンチの みを逆方向に 4.5 度向きをかえ、セプタムにて 40 度 ずつ向きをかえる。



[図 2] キッカーシステム模式図



[図 3] キッカーシステムとその周辺

キッカーシステムにおいて、私は特にセプタム電磁 石の通電試験・磁場測定に参加した。セプタム電磁石 は前述のとおり静的な電磁石で、2つのエリアに振り 分けるためバンチの向きを大きくかえるものである。 セプタム電磁石の電源は、セプタムの D1 側と D2 側 の両方の電磁石に同時に-2000~+2000A の電流を流 すこと(単独モード)と、片方の電磁石に-4000~4000A の電流を流すこと(合成モード)ができるように設計 されている。



[図 4] セプタム電磁石マッピング測定点と 測定の様子

図5に、励磁特性とマッピングの結果を示す。励磁 特性については、線型性がよくヒステリシスもないこ と、電流に対する磁場の飽和もないことが確認された。 マッピングについては、BL 積を求めた結果、単独モ ードの場合に低速ミュオン(60 MeV /c)を分離でき、 合成モードの場合には120MeV/cの高速ミュオンを分 離できるという仕様どおりであると確認された。また、 片方の電磁石を励磁した場合のもう片方の磁場端部 (fringe)での漏れ磁場も測定され、相互の干渉磁場は BL 積で問題にならないことが確認された。



[図 5] セプタム励磁特性、マッピングの結果

2012 年 3 月現在、このセプタムも含めたキッカー システムの導入によりシングルバンチでの µ SR 実験 が可能であることが確認されている。

3. ミュオン U ラインにおける業務

U ラインのレイアウトと 2012 年 3 月現在の建設状 況を次の図に示す。

U ラインは上流側からスーパーオメガビームライン、標的チェンバ、超低速ミュオンビームラインから 構成され、標的チェンバの(ビーム軸に対して)側面か らレーザー光が入射される。今年度(2011年度)中に、 スーパーオメガビームラインおよび超低速ビームラ インU1エリア部分のコンクリート遮蔽、冷却水配管 およびマニホールド、レーザーキャビン、ユーザーキ ャビン、キャットウォーク、U1エリア内などの電気 工事などの建設が行われている。



[図 6] U ラインのレイアウトと建設状況

この U ラインでは、上流側のスーパーオメガビー ムライン[7]によって大強度の低速ミュオンが輸送さ れ、高温に加熱されたタングステン(W)標的に打ち込 まれる。W から超高真空中に蒸発してくる(熱)ミュオ ニウム(µ⁺e⁻)をレーザー共鳴イオン化法[8]によりイ オン化し、超低速ミュオンが生成される。生み出され た大強度の超低速ミュオンビームを用いて、様々な物 質研究を展開するプロジェクト、いわゆる、超低速ミ ュオン顕微鏡計画[9]が、現在進行している。1 月には この超低速ミュオン顕微鏡の新学術領域の会議が山 梨で行われた。



[図 7] 新学術領域会議の集合写真
超低速ミュオン発生の模式図を図8に示す。ミュオ ニウムは122 nm の光(VUV光)によって1sから2p状 態に励起され、355 nm の光によってミュオンと電子 に解離される。122nm と355nm の大強度レーザー光 は現在理研で開発中でありこの夏にはMLF に設置さ れる予定である。



[図 8]超低速ミュオン発生の模式図

私は、主にレーザー光のための施設側の準備を行っ ている。具体的には、以下で述べるレーザーキャビン の建設と、レーザー光導入系の検討である。

3-1 レーザーキャビンの建設

レーザーキャビン (クリーンルーム)は2月28日に 工事が始まり、まもなく完成する。工事の進捗を次図 に示す。私はレーザーキャビンの工事の工事管理を一 通り全ての手続きを担当した。

建設に際しては、様々なものに隣接しているため、 他工事との空間のとりあいおよび工程の調整に苦労 した。隣接しているものを挙げると、電源ヤード、ス ーパーオメガおよび U1 エリアのコンクリート遮蔽、 冷却水配管およびマニホールド、電気配線、レーザー テーブルなどである。





図 10 に 3 月末日現在ほぼ完成したレーザーキャビ ンの写真を示す。このレーザーキャビンの一番の特徴 は、空間を有効利用している点である。隣接する電源 ヤード下部構造体に沿って天井パネルが段違いに組 んだり、隣接するコンクリート遮蔽に沿って斜めに壁 パネルを組んだりして内部をできるだけ広くしてい る点、床面を 40cm 嵩上げして床下に配管や配線でき る点、吊下げ棚を備え機器配置が便利な点などがあげ られる。



[図 10] レーザーキャビンとその内部

クリーンルームとしてはコンベンショナル方式 (乱流方式)で清浄度 JIS クラス 6 (FED クラス 1000)を 実現する。これは、一般事務所の 1/2000 の粒子数で ある。

清浄度について詳しく述べると、JIS 方式とは 0.1 μ m 以上の粒子数 / m³の 10 のべき指数で表すもので、 FED(英国)方式とは 0.5 μ m 以上の粒子数 / ft³で表す ものである。JIS クラス 3~8 は FED クラス 1~100000 に相当する。クラス 6 のクリーンルームは光および磁 気ディスク製造などで使用されている。この 0.5 μ m 以下の粒子はブラウン運動移動量が重力による落下 速度を上回るため、いくら時間が経過しても落下しな い。なお、指をこすると 0.1 μ m 以上の粒子が 10 個程 度発生するといわれている[10]。

レーザーキャビンはひととおりの建設を終えるが、 これからラックなど必要な備品を準備し、この夏のレ ーザーインストールに備える予定である。

3-2 レーザー導入系の検討[11]

前述のとおり、122nm と 355nm の大強度レーザー 光を超高真空中で重ね合わせてミュオニウムに照射 するプロセスは超低速ミュオン顕微鏡計画では極め て重要である。私が担当している、このプロセスを担 う系をレーザー導入系と呼ぶこととする。

図 11 にレーザー導入系の模式図を示す。レーザー キャビン内で発生したレーザー光は Kr セルを経て標 的チェンバへと向かうが、Kr セルと標的チェンバの 間の超高真空チェンバを VUV チェンバと呼ぶことに する。



この VUV チェンバは 122nm の VUV レーザー光を 輸送し、355nmのレーザー光と重ね合わせ、標的チェ ンバに入射するためのものである。VUV 光は Kr セル 中で 212nm と 820nm のレーザー光から生成される。 超低速ミュオンのエネルギー幅が小さくなると同時 に、より多くの超低速ミュオンを得るためにタングス テン標的上では、縦長のレーザー光が必要とされる。 そのため Kr セルの出口には縦方向と横方向で焦点距 離の異なるシリンドリカル(円筒)レンズを用意し、レ ーザー光の形状を調整する。このとき 122 光を生成す るために利用された212光と820光の残りのレーザー 光も VUV チェンバに導入される。しかしながら、実 際に超低速ミュオン発生に利用する 122 光以外の 212 光と 820 光のレーザー光は、VUV チェンバ内で不要 の反射を繰り返し、ノイズ源や機器の損傷に繋がる。 よって、シリンドリカルレンズにオフセットしてレー ザー光を入射することを考えている。これにより、212 光と820光は屈折率の違いによって122光から分離す ることができる。たとえば f=100 のレンズを使用する と1m離れた位置で122光と212光は8.8mm ずれるこ とになる。分離した 122 光と 820 光は、標的チェンバ に入射しないよう VUV チェンバ外へと取り除く。

また、VUV チェンバ内にはミラーマウントやアク チュエータなどを用意し、傾き(チルト)と平行移動を チェンバ外から操作できるようにする。これにより、 タングステンホイルとレーザー光との間の距離を変 えることができるようになる。超高真空中での熱ミュ オニウムの位置分布はよくわかっていないが、この仕 組みによって明らかになると期待される。

VUV 内にレーザー調整機器を設置することによっ て真空度が悪化することが予想されるので、標的チェ ンバと VUV チェンバは差動排気の考えた方に基づき、 アパーチャー(二系統の真空系に差圧を発生させるための、小さな開口断面積の管)でつなぐことを考えている。

差動排気の計算を行うと次のようになる。



[図 12] 差動排気計算の模式図

$$\begin{split} P_2 - P_1 &= Q_d \frac{1}{C}, \qquad P_1 = \frac{Q_1 + Q_d}{S_1}, \quad P_2 = \frac{Q_2 - Q_d}{S_2} \\ \Rightarrow \begin{pmatrix} Q_d = C(P_2 - P_1) \\ Q_d = S_1 P_1 - Q_1 \\ Q_d = S_2 P_2 - Q_2 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} P_1 = \frac{(C + S_2)Q_1 + CQ_2}{C(S_1 + S_2) + S_1S_2} \\ P_2 = \frac{(C + S_1)Q_2 + CQ_1}{C(S_1 + S_2) + S_1S_2} \end{split}$$

たとえば、断面 6×2cm、長さ 15cm 管を差動排気 アパーチャーとした時のコンダクタンスでは、VUV チェンバが 10⁻⁶ Pa でも標的チェンバが 10⁻⁸ Pa に到達 することができる。(標的チェンバ、VUV チェンバに はそれぞれ 1000 L/s, 450 L/s のターボ分子ポンプをつ なぐ)

超高真空対応のミラーマウントとしては First Mechanical Design 社の MH100IH_254 が 10⁻⁸ Pa の実績 があるので使用を検討している。アクチュエータは New Focus の 8301-UHV が 10⁻⁷ Pa の実績があるので使 用を検討している。リニアステージについてはメガト ラスト社のものが 10⁻⁶ Pa の実績があるが、チェンバ 外部にリニア駆動を用意する事も検討を始めている。 グリスについても次表のように超高真空中で使える ものを検討中である。

メーカー名	フッ素系 グリス名	蒸気圧	使用温度
クリューバー	BARRIERTA SUPER IS/V	5x10 ⁻¹⁴ Pa (20°C)	-35~260°C
ニッペコ	ቦታ ネストラムダ ZLVP	1.1x10 ⁻¹⁴ Pa (20°C)	-60~260°C
東レ・ダウ コーニング	モリコート HP-300	4x10 ⁻¹⁰ Pa (20°C)	-65~250°C

[表 1] グリス検討状況

現在進捗が芳しくないが、超高真空内にいれるコン ポーネントのためのテストベンチを作成し、脱ガス量 および脱ガスの種類を確認することも行う予定であ る。特には、炭素が存在すると超低速ミュオン生成に 悪影響を与えると予測されているので確認したい。

4. まとめ

施設建設は日々進んでいて、レーザー光導入系も検 討中であり、2012年10月の超低速ミュオンビームラ イン設置に間に合うように準備している。

私個人としてはレーザー、超高真空、CAD、低温、 材料力学、電気工事、オプティクス計算などに関する 知識・技術を身につけ、業務に生かしたいと考えてい ます。問題点を自分でみつけることを意識して働き、 超低速ミュオンビーム発生をはじめとするミュオン 科学に貢献したいです。

謝辞

本原稿の執筆にあたり、藤森寛先任技師 、牧村俊 助技師、三宅康博教授をはじめミュオン科学研究系の 皆様に大変お世話になりました。ありがとうございま した。

参考文献等

[1] J. Nakamura, A. Chiba, and K. Tsuji, *J. Phys. Soc. Jpn.*79 064604 (2010)

[2] D. Tomono, P. Bakule, K. Ikedo, K. Ishida, M. Iwasaki, T. Kakurai, N. Kawamura, S. Makimura, Y. Matsuda, T. Matsuzaki, T. Mibe, Y. Miyake, K. Nagamine, T. Nagatomo, J. Nakamura, N. Saito, K. Shimomura, P. Strasser, and K. Yokoyama, *RIKEN Accel. Prog. Rep.* 45 (2012)

[3] クレーン・デリック運転士免許[クレーン限 定](2011.7)、玉掛け技能講習(2011.6)、危険物取扱者免 許[甲種](2011.12)

[4]S. Makimura, Y. Miyake, N. Kawamura, P. Strasser, A. Koda, K. Shimomura, H. Fujimori, K. Nishiyama, M. Kato, K. Nakahara, R. Kadono, Y. Kobayashi, J. Sagawa, T. Nakamura, M. Kaneko, H. Ozaki, H.Okamura, T. Suzuki, K. Fujimoto, K. Kira, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* : 600 146-149 (2009); S. Makimura, R. Shimizu, N. Kawamura, Y. Miyake, Y. Kobayashi, A. Koda, M. Kato, H. Fujimori, K. Shimomura, P. Strasser, K. M. Kojima , K. Nishiyama, J. Nakamura, N. Sato, and R. Kadono, *Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan* (2011)

[5] Y. Miyake, K. Nishiyama, N. Kawamura, P. Strasser, S. Makimura, A. Koda, K. Shimomura, H. Fujimori, K. Nakahara, R. Kadono, M. Kato, S. Takeshita, W.

Higemoto, K. Ishida, T. Matsuzaki, Y. Matsuda, K. Nagamine, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* : 600 22-24 (2009)

[6] H. Fujimori, P. Strasser, K. Koseki, Y. Hori, H. Matsumoto, Y. Irie, J. Nakamura, K. Nishiyama, and M. Miyake, *MLF Annual Report 2010* 136 (2011)

[7] Y. Ikedo, Y. Miyake, K. Shimomura, P. Strasser, N. Kawamura, K. Nishiyama, S. Makimura, H. Fujimori, A. Koda, J. Nakamura, T. Nagatomo, T. Adachi, T. Ogitsu, Y. Makida, M. Yoshida, K. Sasaki, T. Okamura, H. Ohata, T. Nakamoto, R. Ohkubo, A. Yamamoto, W. Higemoto, 25aCL-9 第 67 回日本物理学会年次大会概要集第 4 分冊

[8] Y. Miyake, J. P. Marangos, K. Shimomura, P. Birrer, T. Kuga, K. Nagamin, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B* : 95 265-275 (1995); P. Bakule, Y. Matsuda, Y. Miyake, K. Nagamine, M. Iwasaki, Y. Ikedo, K. Shimomura, P. Strasser, S. Makimura, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B* : 266 335-246 (2008)

[9] T. Nagatomo, P. Strasser, Y. Ikedo, S. Makimura, K. Nishiyama, N. Kawamura, K. Shimomura, Fujimori, K. Ishida, R. Kadono, E. Torikai, Y. Miyake, 25aCL-11, 第 67回日本物理学会年次大会概要集第4分冊

[10] 環境科学フォーラム編「クリーンルームのおはなし」日本規格協会 (2009)

[11] J. Nakamura, K. Yokoyama, N. Saito, K. Okamura, S. Wada, S. Makimura, Y. Miyake, P. Strasser, Y. Ikedo, T. Nagatomo, K. Shimomura, K. Nishiyama, 25aCL-10 第67回日本物理学会年次大会概要集第4分冊

1. はじめに

この文章は2012年2月22日に開催された「技術交 流会」における報告書である。そのときの発表は「自 己紹介と業務内容」に置ける「自己紹介」に重きを置 いたが、本報告書では「業務内容」に重きを置く。

タイトル「hello, world」の意味は次の3つの意味を 含んでいる。

1.高エネルギー物理学・加速器工学という自分にとっては未知の世界(world)に対する挨拶。

2.プログラミングにおける初歩は「hello, world」である ため、これから python やシェルスクリプトなどのプロ グラミング言語を習得するという意気込み。

3. 「hello, world」は入門とそれ以降の境界の区別として 見ることができることから、タイトルに使ったことで 入門は卒業するという決意表明。

これらの意味に共通することは「初心者からの脱却」 である。今回の発表で1年目としての区切りを付けた かったことが背景にある。

2. 一年間で取り組んだ業務の概要

2011年4月1日付けで加速器研究施設に採用になり、 加速器第2研究系及び J-PARCのMR制御グループに 配属になっておよそ一年が経過した。

J-PARC MR 制御グループとして、(1) visitor 用 PC の 整備、(2) EPICS/CSS の導入に関わる勉強、(3) 計算 機室内サーバーの shutdown ボタン、(4) RF 冷却水監視 システム、などの業務に取り組んだ。上記の全業務に おいて network に関することであるため、J-PARC にお ける network に対する知識が必要である。

・ J-PARC における network の特徴

J-PARCにおける Network には2種類あり、「J-LAN」 と「制御 Net」に分けられている。簡単に分ければ、 メールなどを利用をするために Internet に接続してい る Network が「J-LAN」で、Internet には接続せずに加 速機器の制御を行うための Network が「制御 Net」で ある。それぞれの Network は混ざらないように Firewall が設定されており、「制御 net」が直接ウイルスに感染 しないよう設計されている。逆を言えば、「制御 net」 のデータが外部 Internet に悪影響を与えないようにし

佐藤 健一 (所属:加速器第二研究系)

ている。(図1)当然ながら勝手に PC をつながれると セキュリティに脆弱性が生じてしまうので、Network 利用のためには DHCP 登録を申請する必要がある。

前述の業務のうち、「J-LAN」に関わるのは(1)のみで、 (2)(3)(4)は「制御 net」を利用している。



図 1 JLAN と制御 net の関係¹⁾

3. 業務のまとめ

本章では前章で述べた業務の位置づけと目的、終了 に至るまでの道筋、現状などをまとめる。

(1) visitor 用 PC の整備

高エネルギー加速器研究機構に訪れた外部の人が使 ってよい PC を合計で4 台整備した。場所は東海1号 館に2 台、つくばキャンパス内1号館・2号館にそれ ぞれ1台ずつ設置してある。PC は LINAC10 で使用さ れた Windows XP PC を用い、J-LAN 申請、アンチウイ ルス申請、アカウント設定などを行い、visitor がすぐ さま使えるようにした。

その後の経過に関しては、4 台ともそれぞれの管理 者に預けてあるので詳細はわからないが、大きな問題 が発生したという報告が入ってきていないので良好だ と思われる。(図 2)



図 2 visitor PC の概観

(2) EPICS/CSS の導入に関わる勉強

近年 J-PARC の内部で CSS (Control System Studio)を 導入しようという動きがあるため、どういうものなの かを学習し評価した。それを説明するためには EPICS の知識が必要不可欠なため、簡単に説明を行う。

・EPICS の概略

EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) とは、分散制御システムを実現するためのオ ープンソースのツールセットである。例えば操作画面 を作成するための OPI (OPeration Interface)ツールには MEDM (Motif Editor and Display Manager)、EDM (Extensible Display Manager)などの Application がある。

EPICS を一言で説明するのは非常に難しいことであ るが、EPICS で分散制御を実現させるのに最も重要な 仕組みは Channel Access である。「制御 net」に接続し ている端末は、IOC の IP アドレスやルートを知らなく ても、IOC に設定されているデータ(レコードと呼ぶ) に付けられている名前のみでデータ交換をすることが できる仕組みである。本来であればレコードに関して も説明するべきであるが、ここではレコード化された データを Network 上のすべての端末によってレコード 名のみで制御できることが重要である。後の説明は参 考文献^{2)、3)} に委ねる。

・CSS 導入の動き

J-PARC では Operator が使うための加速器統合画面 開発に CSS を導入するかどうかの動きがある⁴⁾。CSS を一言で言うと、統合された制御システムのユーザー インターフェースである。複数のツールで成り立って いるため、EPICS で使われている前述の EDM やレコ ードの値をグラフ化する Strip-Chart などのツールを、 CSS を通じてそれぞれ BOY や Data-Browser などのツ ールに置き換えて使用することが可能である。

CSS の利点として、過去資源を流用可能という点と カスタマイズ性に優れている点がある。たとえば、 MEDM で作成した adl ファイルを BOY の opi ファイル に変換することが可能である。機能として今は無くて も、CSS の開発には Eclipse という総合開発環境が使わ れているので、Java 言語を使って Plug-In を開発・導入 することでカスタマイズすることができる。

評価として、BOY と Data-Browser に関しては GUI 操作の面で従来の EPICS ツールよりも使いやすいと思 われる。しかし、アラームシステムである BEAST に 関しては Eclipse の知識や PostgreSQL の知識を必要と するため複雑である。しかしながら、CSS の直観的な 操作に関しては、Help があるとは言え、すぐには分か らない・分かりづらい面があるため、operator が使いや すくなるような資料や手順の作成が必要である。

下の図はCSSのツールが動いている様子である。(図 3、図4)



図 3 CSS BOY example



図 4 CSS Data Browser

(3) 計算機室内サーバーの shutdown ボタン

サーバーの shutdown を自動化するために shutdown ボタンを作成した。目的は津波が来たときに一刻も早 く逃げるために、shutdown を簡便化することが必要だ ったためである。例として平成 23 年 3 月 11 日の地震 の際、計算機室に残ってサーバーを1台1台 shutdown していた人が実際にいた。これは当時の津波のことを 考えると、運が良かったとしか思えないほど大変危険 である。この時の反省を活かし、有事の際にはすぐさ ま逃げれるようにとりあえず押すだけでよい shutdown ボタンを導入することになった。

実現に際して計算機室内部の温度をモニタリングする PLC に間借りする形で、ベース上の余っているスロットに自作したボタン付ブランクモジュールを2つ取り付けた。このボタンを2つ同時に5秒以上押したとき全サーバー機が次々と shutdown する。(図5)



図5 温度測定 PLC と shutdown bottun(右側)

実際に何をやっているかというとボタンを押したと き、ボタンの入力をレコードとして読み取ってスクリ プトを実行する。スクリプトで行うことは「shutdown ユーザー」で各サーバー1台1台にログインするだけ である。shutdown を実際に行うのは、「shutdown ユー ザー」でログインした時に読み込むログインシェルに 記述した「shutdown – h now」のコマンドである。あと は PLC に与える権限、パスワードなしでログインする ための公開鍵認証の設定、全サーバー機のログインシ ェルの設定を変更しておけば、shutdown ボタンを実現 できる。

問題は平時でもボタンを押したときに次々と shutdown できてしまうことである。2つのボタン同じ ベース上の位置が近い場所にあるため、近くで作業し ているときに偶発的に肘が当たってしまう可能性を孕 んでいる。押し続ける時間を5秒に延ばしたことによ り瞬間的に押しただけであれば shutdown する可能性 は少なくなったが、悪意を持って押されることに対す る対策が取れていない。現状では職員性善説を信じる ほか無い。次にビームが停止する7月まで shutdown の 試験はできないので、それまでの時間を使って対策を 練る必要がある。

(4) RF 冷却水監視システム

リモートチェックするための RF 用冷却水監視シス テムを一から構築した。背景としては元々MAG グル ープと RF グループは 1 つの冷却水システムを共同利 用していたが、冷却水中から銅イオンが検出されたこ とが問題になった。そのため、もとからあった冷却水 を MAG グループが使い、RF グループ用に新たに冷却 水システムが作られることになった。今回構築したの は新設した冷却水に取り付けた各種計器の値を読むた めのリモートチェックシステムである。

今回行った作業を整理すると3つに分けられる。(i) 電源棟から機械棟までの光ケーブルの延伸、(ii) iocの 設定構築及び現場据付、(iii)監視画面の製作、以上3 項目について説明する。

(i) 電源棟から機械棟までの光ケーブルの延伸

リモートチェックするに当たって必要なことは、 EPICS を利用するために「制御 net」に接続することで ある。しかし、「制御 net」は機械棟には敷設されてい ないので、およそ 100m 離れた最寄の電源棟からひい てくる必要がある。幸いにして、J-PARC 建設当初から 格建屋間には光ケーブルが敷設されているので、それ を行きと帰りの2本使わせていただいた。延伸作業が 必要なのは、既設の 100m 光ケーブルより先の光ケー ブルおよび光ー電気変換装置を通した後の LAN ケー ブルである。

光ケーブルは各施設の光製端箱に収められているの で、機械棟では冷却水監視システムの制御盤から光製 端箱まで、電源棟では光製端箱から RF グループ管理 の制御ラックまで光ケーブルを延伸した。ぎりぎりま で光ケーブルを延伸して、光 - 電気変換をして IOC 及 び「制御 net」の Hub に LAN ケーブルを接続すること ができた。(図 6)

(ii) IOC の現場据付及び設定構築

監視を行う IOC には Linux CPU 搭載の PLC モジュー ルを用いる。一般的に J-PARC MR で使われる ADC モ ジュールは電圧入力であるが、冷却水を監視する各計 器からは電流が出力される。そのため ADC モジュー ルは電流入力の「F3AD08-4V」を手配する必要があっ た。また、入力信号レンジをデフォルトの「0-20mA」 から計器からの電流出力値にあわせた「4-20mA」に 変更する必要があった。



図6機械棟における光ケーブル延伸とPLCの据付

(iii)監視画面の製作

監視画面は MEDM で作成した。CSS を使わなかっ た理由は、まだ評価段階であるということと、全端末 で利用できるようになっていないことが原因である。 それと MEDM で作成しておけば後に CSS で使えるよ うに変換することができるので、それを考慮しての MEDM での画面作成である。(図 7)



図 7 RF 用冷却水監視画面

図7の画面では3つのStrip-Chartのグラフを付けた が、フォントが小さいので判別できない。最新版はグ ラフの外に文字を書くようにしているが、領域を大き く取ってしまうので結局見づらくなってしまう。冷却 水監視システムはまだ終わりではないが、現在は仕事 のひと段落を付けるために資料を作成している最中で ある。

4. 今後の展望

CSS に関してはまだまだ検証の段階である。これが 現在のツールから移行したとして、現行の端末である Thin Client ではマシンパワーが足りないので、端末と して使用している Thin Client の入れ替え、新しい端末 をどうするのか、などの問題がある。今後の動きに注 視し、CSS に携わったものとして積極的に意見を出し ていきたい。

参考文献

 http://www-cont.j-parc.jp/mediawiki/index.php/JLAN と制御ネットワークの関係、 全体概略図
 <u>http://www.aps.anl.gov/epics/</u>、EPICSの総本山
 3)

<u>http://www.aps.anl.gov/epics/docs/USPAS2007/lecture</u> <u>s/Intro.pdf</u>、EPICSの導入として

4) 上窪田 紀彦、オペレータ視点の J-PARC 加速器統
 合画面開発プラン、平成 23 年度 第 8 回日本加速器学
 会年会(2011) MOPS089

自己紹介と業務内容

1. はじめに

私が働いている場所は、大強度陽子加速器施設 (J-PARC)の中のニュートリノ第一設備棟(NU1)とハド ロン実験施設である。J-PARCは、大強度陽子ビームを 生成する加速器とその大強度陽子ビームを利用する実 験施設で構成される最先端科学の研究施設である。 J-APRCの外観は図1に示す。

NU1 においては、ニュートリノビームラインの超伝 導部分のメンテナンスや運転などをしている。NU1 の 建物の様子は図2に示す。

ハドロン実験施設においては、SKS スペクトロメー タのメンテナンスや運転などをしている。ハドロン実 験施設の建物の様子は図 3 に示す。また、SKS につい ては次節以降で詳しく説明する。



図1 J-PARC の外観



図2 ニュートリノ第一設備棟 (NU1)

岩崎 るり(所属 素粒子原子核研究所)



図3 ハドロン実験施設

2. SKS 超伝導電磁石

SKS 超伝導電磁石は J-PARC のハドロン実験施設内に 設置されている。ハドロン実験施設の全体の様子を図 4 に示す。ハドロン実験施設では、50GeV シンクロトロ ンから引き出された陽子ビームが T1 標的に衝突し、 様々な二次粒子が生成される。この二次粒子ビームを 各ビームラインまで導き、原子核素粒子物理の実験研 究を行っている。SKS 超伝導電磁石はハドロン実験施 設の K1.8 ビームラインで使用されている。

SKS (Superconducting Kaon Spectrometer)はハイパ 一核の研究のために建設された超伝導電磁石のスペク トロメータである。SKS 超伝導電磁石の実際の様子を 図 5 に示す。立体角が 100mSr と大きく、運動量分解能 が非常に高いことが特徴である。SKS の仕様は、総重 量が 282t、ギャップ幅が 49.75cm、最大電流が 400A、 最大磁場が 2.45T、超伝導線は NbTi と Cu である。



図4 ハドロン実験施設内の様子



図 5 SKS 超伝導電磁石

3. 冷却システム

SKS の冷却システムを図 6 に示す。SKS 超伝導電磁石 は浸漬冷却法を採用し、コイル容器と上部のヘリウム 容器で構成され、小型冷凍機 6 台をヘリウム容器に搭 載している。6 台の冷凍機のうち、GM/JT 冷凍機 3 台は 液体ヘリウム液面の保持に使用されている。そのほか は、シールド冷却用の 2 段 GM 冷凍機 1 台、HTC 電流リ ード伝導冷却用の 1 段 GM 冷凍機 1 台、GM/JT ポート冷 却用の 2 段 GM 冷凍機 1 台である。





4. 震災の影響

昨年の3月11日東日本大震災において、SKS 超伝導 電磁石は震度6弱の地震を受けた。その際、SKS 超伝 導電磁石は2011年4月に予定されていたE19実験の準 備中であったため、4.3Kの超伝導状態であったが励磁 はされていなかった。この地震による停電で全冷凍機 が停止し、電磁石温度は徐々に上昇し室温となってし まった。

また、SKS 超伝導電磁石は床面のフルーズ(別名エ アーパレット)後から下部のSUS 架台が最大で水平に 約77mm移動していた(図7)。扇部最下部の接地用SS400 架台はその上のSUS 架台と固定に使用していたM20ボ ルトが全6本破断していた。さらに、SUS 架台に対し てヨークは約18mm動いていた(図8)。

けれども、SKS を浮上させて回転することによって 位置を調整した。



図7 SUS 架台が床に対して約77mm 移動



図 8 ヨークが SUS 架台に対して約 18mm 移動

5. 冷却スケジュール

震災後の施設電力、冷却水、建屋等の設備点検復旧 と SKS 超伝導電磁石の点検、復旧工事後、冷却試験を 行った。2011 年 10 月 3 日に GM/JT ポート、電流リー ド伝導、シールド用の冷凍機の運転を開始し、液体窒 素予冷を始めた。液体窒素の液送は昼間だけ行った。 15 日間かけて予冷を行った結果、上下コイルの平均温 度が常温 297K から 110K となった。この時使用した液 体窒素の量は 3112.7L であった。10 月 18 日より液体 ヘリウム冷却を開始した。液体ヘリウムの液送は 24 時間連続で行った。10 月 19 日に 3 台の GM/JT の運転 を開始した。21 日かけて冷却を行った結果、上下コイ ルの平均温度が 110K から定常 4K となった。この時使 用した液体ヘリウムの量は 4686L であった。約 1 ヵ月 の期間をかけて、震災後初めて SKS を室温から超伝導 状態にすることができた。

6. 安全性の確認

超伝導状態で励磁をして遮断試験、連続通電試験を 行い、電磁石の健全性を確認した。

(1) 遮断試験

2011年11月14日に遮断試験を行った。最大定 格電流400Aまで50Aずつ励磁して、クエンチ検出 器から信号を送ることで、電源の緊急遮断を繰り 返して安全性の確認を行った。その結果、400A通 電から、緊急遮断を行っても破裂版(120kPaG)や安 全弁(100kPaG)が吹くことはなく、圧力上昇も温度 上昇も安全であることが確認できた。

(2) 連続通電試験

2011年11月16日に6時間の連続通電試験を行った。最大定格電流値400A(2.45T)での連続励磁で、HTC電流リード部の温度上昇がどこまで上がるかを確認した。その結果、約5時間で各部の温度は一定となり、HTC電流部の温度は安全圏内であることが確認できた。

震災後初めてSKSを2.45Tまで励磁することができ、 安全性に問題がないことが確認できた。

7. まとめ

震災後、SKS のコイル及びその支持機構の健全性の 最終確認ができずにいたが、10月より冷却を開始し1 ヵ月かけて超伝導状態にすることができた。その後、 遮断試験及び連続通電試験を行い、SKS に問題がない ことが確認できた。SKS 超伝導電磁石は震災により被 害を受けたが、震災前後で性能に変化がないことも確 認できた。

2012年2月1日より SKS を使用した E19 実験が開始 され、2月19日に問題もなく無事に終了した。

謝辞

たくさんの方々に協力していただき、深く感謝しています。

皆様、本当にありがとうございました。

計算科学センターの新人

高瀬 亘 (共通基盤研究施設計算科学センター)

1. 自己紹介

共通基盤研究施設、計算科学センターの髙瀬亘です。 出身は富山県の氷見市で、魚がおいしいところとして、 特に冬は寒ブリが全国的に有名だと思います。余談で すが、近年タイガーマスク運動といって、全国で児童 施設への寄付が行われていますが、富山県では寒ブリ の寄付がありちょっとした話題となりました。

趣味は、ゲーム作成と世界遺産を見ることです。こ れまで、携帯電話用ゲームや Android 用アプリを作成 したことがあります。また世界遺産については、世界 遺産学検定二級という資格を保持しているものの、実 際にこの目で見たことがあるのは三か所程度です。ほ とんどは世界遺産のテレビ番組を見て満足しています。

また、今年度の本技術交流会の実行委員も務めさせ ていただきました。無事、交流会を終えることができ てほっとしています。

2. 業務内容

昨年 12 月頃まで Web 関連業務に携わっていた。職 員が自身及びグループの研究関連の情報を発信できる 研究情報 Web と、KEK 内で開かれる会議で利用され る KDS(KEK Document Server)会議支援システムにつ いて、ユーザからの申請対応や、Web ページへの新規 リンクの追加作業、ユーザからの質問対応、利用方針 や利用申請書の改良検討を行ってきた。研究情報 Web については、私自身もページを開設しており、サーバ 構築についての作業ログ、Grid 関連について勉強した ものをまとめたもの、暗号化技術についてまとめたも のなど様々なドキュメントが置いてある¹。外観はシン プルで見やすいデザインを心がけた。

現在は、中央計算機システム関連業務に携わってい る。共通計算機システムとBファクトリ計算機システ ムが統合し、中央計算機システムとして稼働するため の導入準備を、昨年9月末から開始した。4月2日の サービスインに向けて、各種設定項目に関する打ち合 わせが非常に多かったが、これらの打ち合わせを通し て、KEKの計算機システムの全体像が見えてくるよう になったことはよい経験であった。今後は、この中央 計算機システムの運用業務が私の業務の中心となって いく。

3. KEK のグリッド環境

グリッド関連の研究にも携わっている。グリッドコ ンピューティングとは、ネットワーク上にあるコンピ ュータ資源を結び付け、一つのコンピュータシステム としてサービスを提供する仕組みである。計算資源を 提供するコンピューティンググリッド、ストレージ機 能を提供するデータグリッド等があり、KEK ではコン ピューティンググリッドとして gLite と NAREGI を導 入しており、データグリッドとして iRODS を導入して いる。今年度、国産のGridミドルウェアであるNAREGI を使用して、富山高等専門学校(TNCT)、核融合科学研 究所(NIFS)、Korea Institute of Science and Technology Information(KISTI)の3地点のGridサイト構築に携わっ た。KEK は NAREGI ミドルウェアに関して、2012 年 3 月時点で、上記 3 組織に加えて、東京工業大学 (TITECH)、国立情報学研究所(NII)、広島工業大学(HIT) と連携を結んで、計算資源を共有している(図1)。



図1 KEK と他組織との連携

データグリッドである iRODS は、DICE(the Data Intensive Cyber Environments)グループが中心となって 開発されたデータグリッドソフトウェアシステムで、 広域ネットワークで接続された複数のストレージリソ ースを1つのファイルシステムとして提供することが

¹ http://research.kek.jp/people/takase/

可能である[1]。KEK では、T2K(Tokai to Kamioka)実験 において iRODS を導入することで、前置ニュートリノ 測定器の検出データを、採取後即座にアメリカ、ヨー ロッパなど世界中の共同利用者が利用することが可能 となった[2]。

4. SCALA の開発

iRODS 上では、日々データのアップロード・ダウン ロードが行われており、iRODS 管理者は iRODS のシ ステム利用状況について把握しておくことが望ましい。 そこで、iRODS の統計情報を手軽に確認できるよう、 管理者向けの Web インタフェース SCALA(Statistical Charts And Log Analyzer)を開発した。SCALA は 2 つの ページから成る。

ひとつのページは、統計情報ページである。iRODS 上の総ファイル数、総ファイルサイズ、アクセス数、 エラー数の統計情報を日次ベースで表示する(図 2)。統 計情報ページの各グラフには、ユーザ選択、リソース 選択、データ期間選択のプルダウンメニューが付いて おり、管理者がプルダウンメニュー項目を選択すると、 グラフが動的に再描画される。これにより、特定ユー ザのみの情報についてグラフを表示したり、ここ半年 の推移を見たりといったことが容易に行える。



図 2 Statistical Charts ページ

もうひとつのページは、エラー解析ページである。 エラー数とエラーの詳細をログとともに日次ベースで 表示する(図 3)。ズームイン・ズームアウト、グラフの パニング、指定エラーステータスのみの表示、指定日 付のエラー表示が、マウスとキーボードの簡単な操作 で行える。さらに、管理者が棒グラフをクリックする と、その日に発生したエラーメッセージが表示される。 続いて、表示されたエラーメッセージをクリックする と、該当エラーが含まれるログファイルが表示される。 このページにより、管理者はエラーの発生日時やその 原因を容易に解析できるようになる。



図 3 Log Analyzer ページ

SCALA は、iRODS から得られる出力ファイルをも とに、Python プログラムで必要な情報だけを抽出して SQLite データベースへ保存する。その後、SQL を実行 して、日付、ユーザ名、リソース名等である程度の集 計を行ったものをキャッシュファイルとして保存する。 Web ページアクセスがあると、PHP プログラムがキャ シュファイルをもとにグラフ描画に必要なデータを生 成してグラフを出力する(図 4)。



図 4 SCALA の構成

昨年9月に KEK で開催された iRODS ワークショッ プ、ならびに今年3月に分子科学研究所で開催された 技術研究会で SCALA について発表を行った。今年2 月には、KEK の DMZ 上に Web サーバを設置し、その 上に SCALA の Web サイトを立ち上げた²。Web サイト 上では、SCALA 本体のダウンロードや、インストー ル・使用マニュアルのダウンロード、SCALA を実際に 体験できるデモページがある。

5. 今後の目標

得意な Web 関連の知識をいかして、中央計算機シス テム業務、Grid 関連について、なにかしらユーザ・管 理者にとって利用価値のあるものを提案・開発したい。 そして、英語力を磨いていきたい。今年2月に KEK で開かれた TOEIC IP テストを受験し、830 点を取得し

² http://tgwww.kek.jp/scala/

たものの、英会話はまだまだ苦手なので、来年度は英 語研修に参加して、日常英会話をスラスラとこなせる よう努力していく。

また、何をするにしてもまずは顔を広くしておいた 方が良いと思うので、顔を売っていきたい。今年度は、 計算科学センターの方全員に顔と名前を覚えていただ いたので、今後は共通基盤研究施設の方々、ゆくゆく は KEK 全体にも知られる存在となりたい。そのために も、今回の技術交流会での実行委員や、発表、KEK 外 部で開かれる技術研究会等への参加の機会をいかして、 公の場にどんどん顔を出していこうと考えている。

参考文献

[1] 飯田好美, iRODS を用いたデータ管理システムの 導入, 高エネルギー加速器研究機構技術研究会 報告 集(2010年)

[2] 飯田好美, ニュートリノ実験でのデータ管理シス テム, 熊本大学総合技術研究会報告集(2011年)

着任 10 日目から見た大震災

1. はじめに

東日本大震災とは、2011年3月11日(金)14時46 分に起きた東北太平洋沖地震を中心とする大規模震災 を指す。主たる被災地は宮城県を中心とした東北・北 関東であり、KEK つくばキャンパス及び東海キャンパ スも最大震度で6強と大きな被害を受けた。

本稿では、その東日本大震災が超伝導低温工学セン ターおよび J-PARC 低温セクション(以下低セ)に与 えた種々の被害について説明する。なお、本稿を著し た私の自己紹介もテーマに含まれるので、そちらにつ いても触れる。

2. 自己紹介

表1に私の基本的な情報を掲載する。

なお、『扱える』の基準については『それを業務に用 いたことがある』こととしたため、全てに精通してい るわけではない。

名前	岡田 竜太郎(おかだ りゅうたろう)					
北民	超伝導低温工学センター					
別馮	(J-PARC 低温セクション)					
連絡先	ryutaro.okada@kek.jp PHS:4709					
生年月日	1988/05/18(本稿提出時点で 23 歳)					
現住所	茨城県那珂郡東海村					
(出身地)	(東京都世田谷区)					
出身校	東京高専					
	(本科:電気工学科					
	→専攻科:電気電子工学専攻)					
正性次按位	普通自動二輪免許、普通自動車免許、					
	高圧ガス製造保安責任者免状乙種機械、					
川村貞俗守	クレーン・デリック運転士免許					
	s (クレーン限定)、TOEIC:555					
扱える	LabVIEW、HSP、C言語、python、HTML、					
言語等	シェルスクリプトなど					
扱える	HITS, metasequoia, AutoCAD, HEPAK					
ツール等	など					
得意分野	力仕事					
苦手分野	有機化学全般					
今後の抱負	誠実に務めにあたりたい					

表 1. 自己紹介

岡田 竜太郎 (所属 超伝導低温工学センター)

3. 低セが受けた被害について

3.1. 配管の被害について

低セが行う主たる業務の一つとして極低温冷媒 (LN2、LHe)の供給がある。この時、希少資源であ る He については各実験施設から回収配管を接続し、 GHe として回収して液化機による循環利用を行なっ ている。他にも、超伝導磁石用冷凍機などにおける冷 媒輸送用の配管が広範に敷設されている。図1は J-PARC での He 回収配管概略図である。

以上のように低セの血管とも言える各種ガス配管で あるが、以下ではそれらが受けた被害について写真と 共に報告する。



図 1. J-PARC 回収配管概略図



図 2. J-PARC ヘリウム回収配管(建屋間)



図 3. つくばヘリウム配管(建屋間)

図2はJ-PARC ヘリウム回収配管の一部であるが、 地震による基礎の沈下などによって本来ならば中心が 同軸上に存在するはずの配管が大きくずれてしまって いる。この様な被害は多くの箇所で見られ、いずれの 場合もフレキシブルホース(以下フレキ)が稼働範囲 内でずれに追従することで配管の破損や屈曲、それら に由来する系内への不純物混入を防いでいる。

図3では建屋間にフレキを使わず、通常の配管を用 いたために配管が屈曲してしまっていることが分かる。 この配管は屈曲の具合が少なく、強度的に問題無いと 判断されたため配管のやり直しなどをせず通常の運用 をしている

3.2. vビームライン超伝導部への被害について

低セではKEK 東海キャンパス J-PARC センターにお いて、T2K 実験に用いるニュートリノビームラインの 内、超伝導部の保守管理を行なっている(常伝導部は ニュートリノ Gr.が管理している)。今回の地震では当 該部分を含む地下トンネル・ビームライン本体が大き く移動し、ビーム入射に対して誤差を生んでしまって いた。

設計値に対して生じた誤差は数 mm から十数 mm 程 度と非常に大きく、低セおよびニュートリノ Gr.では協 力してアライメントを行った。また、それに先駆けて ビームラインの内部配管系が屈曲・破断などしていな いか、また電気系統が正常に機能しているかの試験も 行った。図4は v ビームライン超伝導磁石ダブレット の真空ベローズを取り外して内部を観察している時の 写真である。内部配管(ビームパイプや SHe 配管、GHe 配管など)に取り付けたスーパーインシュレータまで 取り外し、パイプの健全性を調査している。

また、復旧とは直接関係ないが、復旧作業に合わせ て超伝導ラインの補正電磁石についてアップグレード を行なった。



図 4. v ビームライン開放検査写真



図 5. J-PARC v ビームライン用冷凍機 CB



図 6. CB 内部

3.3. その他の被害について

圧縮機や冷凍機内のコールドボックス、サブクーラ などの低温・高圧ガス設備類については、開放検査や 分解などの調査を行ったがいずれも異常は見られなか った。図5および図6は冷凍機のコールドボックス開 放検査時の写真である。

貯槽基礎については一部地面からの乖離(地面の、 あるいは貯槽基礎の浮き上がり、沈下)が生じている ものがあったが、現在までも不同沈下測定を継続して おこなっており、地震による傾きなどは認められたも のの、時間経過に伴う悪化は見られていない。

建屋外壁や路面については図7、8で示すようにヒビ、 地割れや路面の陥没が散見されたが、低セの範囲内で 作業が不可能になる規模のものは見られなかった。



図7. 異なる基礎間で起きたずれ



図 8. 沈下した路面

4. 震災での反省

今回の震災で、低セが被った機器類への被害は殆ど 無かったと言える。ただし、冷却水や建屋間の配管損 傷、その他インフラが受けたダメージによって復旧が 遅れる場面が多く、震災対策では外構損傷への備えな どを強化し、装置類とインフラのいずれも守れるよう にする必要があると考えられる。特に配管系の対策で は異なる基礎間、建屋間にフレキを入れることが非常 に効果的であることが実証された。

地震時のマニュアルとして、大規模な地震が起きた 際には装置類の点検をすることが挙げられていた。し かし、今回の震災では津波なども発生しており、もし 本震災での最大級の津波が来ていたら、マニュアルに 従って動いた職員が死んでいた蓋然性が強い。J-PARC は海岸に近く、そのようなことは十分に考えられるの で、この点に関しては再考する必要がある。

5. 総括

低セ所掌の設備類は高圧ガス保安法上求められる厳 しい耐震基準を十分にクリアしていたからか、目に見 える大きな被害というものはなかった。

新任者の経験としては、今後に活かせる貴重な経験 を重ねることができたように思う。

謝辞

本稿を著するにあたり、各種助言や資料提供にご協 力くださった荻津透教授を始めとする低温セクション の皆様、山本明教授を始めとする超伝導低温工学セン ターの皆様にこの場をお借りして心より深謝する。

また、約一年間に渡り至らぬばかりの私を指導して くださった全ての方々に御礼申し上げると共に、これ からも変わらぬご鞭撻を頂けるようお願い申し上げる。

震災における PF の被害と復旧状況、防災・防火の取り組み

1. 概要

昨年3月11日に起こった東日本大震災では、放射光 科学研究施設(PF)でも大きな被害がありました。 幸いにも、地震当日の朝に共同利用実験が終了してい たこともあり、人的な被害はありませんでしたが、加 速器・実験装置ともに相当の被害があり、7月までの 実験が中止となりました。秋に実験を再開することが できましたが、その間の復旧作業と、地震対策につい て報告します。また、年間3000名を越える共同利用者 を受け入れている施設として行っている防災・防火対 策を紹介します。

2. 放射光科学研究施設

放射光科学研究施設は、電子加速器から放射される 「放射光」と呼ばれる強力なX線、真空紫外線などを 利用した実験を行うための研究施設です。放射光科学 研究施設には PF と PF-AR の2つのリングがあり、PF には約40、PF-AR には8つの実験ステーションが設置 されています(図1)。



フォトンファクトリーの実験ステーション

図1 放射光科学研究施設の平面図

放射光科学研究施設は国内外の大学・研究機関から 年間3000名を超える研究者を受け入れています。 1年間の運転時間は約5000時間で7~9月の長期 シャットダウン期間と年末・年始、年度末・年度始め、

小山 篤 (物構研・放射光科学第二研究系)

ゴールデンウイークとその前後以外はほぼ連続して、 24時間態勢で昼夜実験が行われています。運転期間 中は加速器の運転を行うための職員の他に、実験ホー ルでのユーザー実験が順調に行えるようにするために、 運転当番2名(職員と業務委託者が各1名)が3交代 体制で勤務しています。

3. 東日本大震災による被害

地震が発生した3月11日は1~3月期の運転が朝 9時に終了し、年度末・年度始めの約1ヶ月間の運転 休止期間に入る日でした。地震が起きた午後2時46 分には、ほとんどのユーザーは実験の片づけを終え、 それぞれの大学などに向かった後だったため、実験ホ ールでは実験装置やガスボンベの転倒、天井の石膏ボ ードの落下などの被害がありましたが、幸いにも人的 被害には至りませんでした。また、実験中には使用さ れている可能性がある可燃性ガス、有毒ガスや加熱昇 温実験装置も使用されていなかったため、火災などの 事故も起こりませんでした。

地震直後の避難

地震が収まった後、機構からの指示により、機構指 定の避難場所に避難しましたが、そこではユーザー、 職員の安否確認がスムーズにできました。その理由と しては以下のことが考えられます。

- ・運転終了後だったため、ユーザー・職員とも実験ホ ール内に少なかった。
- ・地震発生直後に停電したが、実験ホールは非常灯が 点灯したので、避難・安全確認が支障なくできた。
- ・年1回行っている避難訓練通りに、職員が行動した。
 職員名簿なども防災用倉庫に用意されていた。
 避難時に事務職員が事務室から休暇簿を持ち出した。
- ・自家発電の電力により、所内 PHS が使用できたため、 職員間の連絡がスムーズに行えた。

実験装置の移動、転倒、損傷

ビームラインのコンポーネントはコンクリートの床 にアンカーボルトで固定してあるため、転倒などの被 害はほとんどありませんでしたが、内部で駆動機構が はずれるなどの被害がありました。また、ビームライ ンコンポーネントの内部は精密に調整されているため、 外見の被害がない物でも、実験再開時に調整が必要で した。

ビームラインのコンポーネントが転倒しなかったの に対して、ビームラインの下流に設置されている実験 装置は、転倒するなど大きな被害がでたものがありま す(図2,3)。実験装置は、実験によって場所を移動 して使用するものもあり、床に固定していない装置も 多くありましたが、そのような装置のいくつかが転倒 しました。とくに、高さを調整するために金属ブロッ クの上に置いてあった装置は、揺れでブロックから足 がずり落ちて大きく移動・転倒しました。

また、ターボ分子ポンプなどは、地震の揺れにより 破損し、使用不能となった物もありました。



図2 転倒した実験装置



図3 装置が移動しベローズが曲がった

制御ラックの転倒

真空ポンプの電源や実験装置のコントローラーなど が設置されているラックのうち、床にボルトで固定さ



図4 真空ポンプの電源が転倒



図5 インターロックのラックが転倒



図6 ガスボンベがスタンドごと転倒

れていなかった物は揺れで移動し、転倒した物も多数 ありました(図4,5)。

ガスボンベの転倒

実験ホール内のすべてのガスボンベはボンベスタン ドに鎖で固定されていましたが、ボンベスタンドが床 に対して固定されていなかったものは、ボンベスタン ドごと転倒したものがありました。また、ボンベを固 定している鎖の取り付け部の不良により、鎖がはずれ て転倒したボンベもありました(図 6)。

工具箱の転倒

鍵をかけていなかった工具箱には、地震の揺れで引き 出しが飛び出し、バランスを崩して転倒したものが多 くありました(図7)。



図7 工具箱の引き出しが飛び出て転倒

建物の被害

放射光科学研究施設では、天井の石膏ボードの落下、 天井の空調機送風口の破損、建物外壁のひび割れなど はありましたが、建物には倒壊などの大きな被害はあ りませんでした。

4. 地震発生から実験再開まで

地震により、高エネ研の受電設備が損傷し、地震直 後には非常用自家発電による電力しか使用できない状 態になりましたが、3月13日には受電が一部できる ようになりました。しかし、全国的な電力不足から厳 しい電力の制限を受けました。当初、多くの電力を必 要とする作業は比較的電力に余裕のある夜間、土日に 行いました。入射器、蓄積リングはかなり広い範囲で 真空がリークしたため、故障した機器の修理、真空排 気、ベーキングなどが休日返上で行われました。地震 発生から運転再開までの復旧の状況は以下の通りです。

1月24日 PFリング 1~3月期の運転を開始
 1月27日 PF-ARリング 1~3月期の運転を開始
 3月11日9:00 PF,PF-ARリング 運転終了
 3月11日14:46地震発生。つくば市震度6弱

一周186mのPFリングの半周が大気圧に
 入射器は600mのほぼ全体が大気圧に

- 3月17日 実験ホールの照明をつけ損傷機器の確認 電力制限のため場所を区切って短時間点灯 機器に通電は行えず
- 3月25日 水道が復旧
- 3月29日 実験ホール内にある装置の動作確認、真空 排気を開始。電力制限のため、場所を 区切って、短時間で作業。 トラブルを避けるため、一旦すべての ブレーカーを落とし、コンセントを抜き、 装置ごとに確認しながら復電した。

その後、徐々に緩和される電力制限を考慮しながら、 実験ホールでは実験装置の復旧作業を行うとともに、 実験装置を固定するなどの地震対策を同時に行いました。

- 4月1日 真空バルブの開閉などを行うため、圧空 を仮設コンプレッサーにより確保
- 4月15日 真空リークしたビームライン、実験装置のベーキングを開始
- 4月18日 実験装置冷却のための循環水運転再開
- 4月20日 圧空の供給が再開
- 4月29日 実験ホール内の床面の高さを測量 地震による床の高さの変化は大きくな いことを確認
- 5月16日 PF リングの調整運転を開始
- 5月17日 PF リングで電子蓄積運転に成功
- 5月23日 ビームラインに放射光を導入(図10) ビームライン・実験装置の調整を開始
- 6月1日 PF-AR リングで電子蓄積運転に成功
- 7月7日 PF, PF-AR リング 調整運転を終了
- 9月26日 通常運転を再開

多くの実験装置、ガスボンベスタンド、工具箱など が今回の地震で転倒したため、運転再開までに以下の ような対策を行いました。

- ・実験装置、ボンベスタンドはコンクリートの床に アンカーボルトで固定する(図8、9)。
- ・居室の本棚は壁に固定する。上下段に分かれる家 具は上下段を連結する。運転再開までの期間で、約 500台の実験装置、本棚などを固定した。
- ・工具箱は常に施錠する。鍵をない場合には鍵を購入した。



図8 ラックを床に固定



図9 書庫を連結し、床に固定



図10 震災後初めての光 蛍光板が X 線で光っている (中央の光)。地震により、 光学素子がずれたため X 線が傾いている。

5.日常的に行っている安全対策について

放射光科学研究施設では、国内外の大学・研究機関 から年間3000名を超える研究者を受け入れていま す。放射光科学研究施設での安全に関するルールを理 解し、安全に実験を行うために、ユーザー向け、職員 向けの各種安全講習を行っています。また、非常時に 安全に避難できるように、わかりやすい避難誘導の表 示を行う事を心がけ、各種安全用具の準備も行ってい ます。さらに、ユーザーが化学薬品、加熱昇温実験装 置などを持ち込む時には、「持ち込み届け」を実験ごと に提出していただき、必要に応じて職員が検査を行っ ています。

安全教育・訓練の実施

・ユーザー向け安全ビデオ講習

ユーザーの方には、年度ごとに初めて実験を行う時 に、放射光科学実験施設での安全に関するルールなど を説明する安全ビデオ(約25分間)を見ていただい ています(図11)。

(参考 斉藤裕樹、小菅隆、濁川和幸、伊藤健二,"
 FLASHによる安全講習ビデオの作成",
 平成 20 年度京都大学総合技術研究会(2009))



図11 ユーザー向け安全ビデオ

・職員向け安全講習

職員向けに放射光科学研究施設の安全に関する講習 を年1回(約3時間)行っています。今年度は6月6 日に以下の内容で行いました。

PFの安全体制、運転当番業務、放射線安全、ビー ムラインインターロックシステム、防火防災、 PF-ARの安全一般、電気安全、化学安全、寒剤、 ボンベの取り扱い、レーザー、クレーン・フォーク リフト、準備室等の使用についてなど

・避難訓練の実施

年に1回おこなわれる機構の防災防火訓練にはユー ザーの方にも参加していただいています。今年度は機



図12 避難訓練で屋外消火栓より放水

構の訓練の担当がPFでした。緊急地震速報が発令さ れた直後に地震が発生し、地震により屋外で火災が発 生したとの想定で、ユーザーの避難誘導、負傷者の捜 索と搬出、消火器、屋外消火栓からの放水などの訓練 を11月1日に行いました(図12)。

自衛消防隊の訓練

屋外消火栓からの放水訓練、空気呼吸器などの訓練 を実施しています。

・救急救命講習を年1回実施

つくば北消防署に講師の派遣を依頼し、普通救急救 命講習(3時間)と上級救急救命講習(8時間)を1 年おきに実施しています。

ユーザー向けに多くの表示を行う

・避難誘導の表示

ユーザーが地震、火災時などに実験ホール内から屋 外の避難場所に迅速に避難できるよう、実験ホール内、 屋外に避難誘導のための表示をしています(図13)。

・火災時の対応をすべての実験ステーションに掲示

火災時にユーザーが適切な対応ができるよう、すべ ての実験ステーションに火災時の対応を掲示していま す (図14)。

防災用具、避難誘導のための用具の準備

·防災用倉庫

PF リングの屋外駐車場脇に防災用具などを入れて おくための防災用倉庫を設置しています(図15)。倉 庫内には以下のものなどが用意されています。

安否の確認に必要な物

職員名簿、職員緊急連絡網、ユーザー実験課題 の配分表、ユーザーの安否を確認するための「安 否確認表」、安否集計表、筆記具 自家発電機(100V20A)、ガソリン、照明、無線マ イク付きスピーカー、ハンドマイク、担架、バ ール、スコップ、リヤカー、毛布など



図13 避難誘導のための床面への表示、看板



図14 実験ハッチに火災時の対処を掲示

図15 防災用倉庫

図16 避難誘導道具を各入り口

・各入り口にハンドマイクなどを用意

実験ホールの各入り口に、避難誘導に使用するハン ドマイク、メガフォン、懐中電灯を用意しています(図 16)。

・防災用トランシーバー

停電で機構内の電話が使えなくなることに備え、無 線機を10台用意し、各実験ホール、事務室、防災倉 庫などに常備してあります(図17)。



図17 防災用トランシーバー

·非常通報装置

実験準備室や離れた場所にある実験ステーションな どに非常通報ボタンを設置し、非常時にはそのボタン を押すことにより、多くの職員・ユーザーに非常事態 が起こったことを知らせることができるようにしてい ます(図18)。このボタンが押させると、「〇〇〇で 非常通報ボタンが押されました」との放送が流れ、運 転当番にも内線電話で同じメッセージが送られるよう になっています。



図18 非常通報装置

・火災報知器の移報

火災報知器が発報した場合には、発報した建物で非 常ベルが鳴るとともに、インフォメーションセンター に通報されるようになっていますが、迅速な対応を行 うために、職員が通常勤務している「PF研究棟」、「P F光源棟」などでも非常ベルが鳴るように、非常ベル の移報を行っています。

·緊急地震速報

機構では、茨城県南部に震度4以上の緊急地震速報 が発令された場合に、自動的に全所放送をかける装置 が導入されていますが、放射光科学研究施設では緊急 地震速報の非常放送が流れた場合には、すべてのビー ムシャッターを閉じて被曝事故を防ぎ、実験機器の被 害を小さくするようにしています。

安全に実験を行うための検査、届け出

実験のためにユーザーが持ち込む化学薬品、有害物 質、特殊ガス、加熱昇温装置は、事前に届け出をおこ なっていただき、届け出をビームラインに掲示してい ます。特殊ガスを使う実験、加熱昇温実験装置は、ユ ーザーがセッティングを終了した後、使用を開始する 前に職員が安全のチェックを行っています。

6.まとめ

今回の震災はユーザー実験が終了した日の日中に起 こったこともあり、迅速な避難が行われ、実験装置に も致命的な損傷は少なかったために半年程度の期間で 通常の実験を再開することができました。しかし、ユ ーザー実験の行われて多数のユーザーが実験ホール内 にいる期間や、土日・夜間など職員が少ない時間に同 様な地震が起こった場合には、今回のような迅速な行 動を行うことは難しいと思われます。そのような時に 備え、各種の訓練や安全教育を今後とも行っていくと ともに、実験装置の固定などの地震対策を、気を緩め ることなく継続的行い、地震などでの被害を最小限に とどめることができるようにしていきたいと思います。

電子陽電子入射器の被害と復旧

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災により、 電子陽電子入射器施設はこれまで経験したことのない 大規模な被害を受けた。入射器は地震の当日朝に加速 器の運転を終えて、約1ヶ月間の保守作業期間に入っ た初日であったこともあり、多くの人が入射器棟内で 作業を行っていた。地震発生のとき私はトンネルにい て、連なる加速ユニットやユニット間にある電磁石が 大きく揺れる様子と真空破壊が起きる状況を目の当た りにした。そして、その後に行った被害状況調査の結 果から、加速ユニット架台と真空に関連する被害が多 いことが判明した。

本報告では入射器施設の被害状況とその復旧作業、 更に被害の検証について報告する。

2. 被害状況

2.1 被害状況調査

電子陽電子入射器(図1)の被害を確認するために、 地震当日はトンネル内のAセクターから2セクター終 端に設置された入射器を二分割する仕切り壁までの範 囲を大まかに見て回った。更なる地震の心配もあった ことから、15分程度の短時間であったが、2セクター3 ユニット(以下 2-3 ユニットのように表示)と2-4 ユ ニット間の四極電磁石の落下(図 2)の他、加速ユニ ット脚部の変形や脚部固定金具の脱落、真空マニフォ ールドのエンドキャップ(成形ベローズ付端部ブラン ク)の破損が多数確認できた。また各加速ユニットに 取り付けられた真空計(Cold Cathode Gauge)の多くが 測定範囲外を表示しており、改めて被害の大きさを認 識することになった。

そして3月15日と17日を入射器全体の被害状況調査

柿原 和久 (所属 加速器第5研究系)



図2 落下した四極電磁石(2-3~2-4 ユニット間) に充てて、目視による詳細な確認作業を行った。 主な被害を以下に紹介する。 加速ユニット架台脚部の変形

入射器の標準的加速ユニット架台脚部の支持板(厚 さ:10mm)がビーム軸方向に大きく変形した。(図 3) 特に収束系強化のため四極電磁石を架台上に載せた積 載重量の大きいユニットや、脚部間隔が広いユニット ほど変形量が大きかった。



図3 最も大きく変形した脚部支持板 (2-4 ユニット上下流)



図1 電子陽電子入射器施設(トンネル)

加速ユニット架台脚部押さえ金具脱落と移動

KEKB に対応させるために増設した A~C セクター では、架台脚部のプレートをL型の金具とボルトで押 さえ込む方式で床に固定していた。このような箇所で はL型金具が外れたことによる脚部の傾きや、正常に 押さえられているように見える大部分のユニットにお いても、脚部の移動が認められた(図4)。



図 4 押さえ金具が外れて傾いた脚部(左)と写真手前側 に 40mm 移動した脚部(右)

真空マニフォールドエンドキャップ損傷

標準的な加速ユニットの主たる真空排気は、クライ ストロンギャラリーに設置した1台の 500 L/s イオン ポンプから4本の S-band 加速管カプラー近傍までを、 真空マニフォールドと呼ぶ外径 φ139.8、長さ14m のパ イプを介して行っている。ユニットの両端にゲートバ ルブがあり、真空的に独立したユニットの場合、マニ フォールドの上下流端は一般的なブランクフランジで 良い。(A~C セクターはこのタイプ)。しかし図 5 の ように 2 つのユニットが連結した真空系の場合は、連 結部に緩衝用のベローズがあるため、ブランクフラン ジでは大気圧によりそのベローズを縮める力が発生す る。加速ユニットはそれぞれが独立して、中立な状態



図5 加速ユニットの基本構成(1セクター以降)

であることが望ましいため、入射器ではマニフォール ドの上下流端に成形ベローズがついたキャップ形状の 蓋を取り付け、その蓋が床と一体となるようにして、 地震のときの加速ユニットの揺れはベローズで吸収す る構造としていた。

しかし今回の震度6弱の揺れに対しては、その許容 量を超えてしまい、数多くのエンドキャップが破壊さ れることとなった(図6)。



図6 破損した1対のエンドキャップ成形ベローズ(左: 3-5ユニット上流、右:3-6ユニット下流)

<u>ビーム位置モニター (BPM) ベローズ損傷</u>

加速ユニット間のほとんどの箇所に四極電磁石が設置されており、そこにはビーム位置モニター(以下 BPM)が精度良く取り付けられている。四極電磁石用 架台の下部は加速ユニットとは独立して床にアンカー で固定されているが、架台上部は2本の板バネと2個 のボールトランスファの上に置かれて、加速ユニット の動きに滑らかに追従する構造になっている。このた め四極電磁石もまた大きく揺れて、BPMのベローズが 多数損傷した。

また架台上部がビーム進行方向に揺れた際に、板バ ネに取り付けたボールトランスファ受けからボールト ランスファが外れて、板バネの脱落や床固定アンカー が抜ける原因となった。





図 7 溶接ベローズが破損した BPM (左) と四極電磁石 及び架台 (C-4~C-5 ユニット間)

建物連結部からの地下水漏れ

加速器の装置だけでなく、建物自身も床や壁に数え きれないひび割れの被害を受けた。特にトンネルの建 物連結部からは地下水が1日当たり最大50m³以上漏れ 出した。最も水量の多い場所は11ユニットと12ユニ ット間(図 8)で、それより下流の合計5箇所の連結 部でも連日対策が必要なほどの漏れが続いた。



図8 建物連結部の地下水漏れ(11-12 ユニット間)

2.2 被害状況調査結果

被害を受けた機器別の結果(表 1)と真空リークが 発生していたユニット(図 9)を以下に示す。ただし

	件数 割合 (%)		被害内容
加速管	3	2.5	ダイヤフラム損傷
導波管	10	8.2	フランジ締結部リーク
	5	4.1	3dB-HB EBW部リーク
	5	4.1	フランジろう付部リーク
T D.	19	15.6	BPMベローズ損傷
モーター	4	3.3	スクリーンモニターベローズ損傷
ビーム	4	3.3	四極電磁石用ダクト損傷
輸送路	2	1.6	ビームダクトベローズ損傷
真空	22	18.0	マニフォールドエンドキャップ損傷
	1	0.8	フランジ締結部リーク
ユニット	24	19.7	脚部支持板変形
架台	23	18.9	脚部ベース移動、押さえ金具脱落
合計	122	100	

表1 入射器の被害調査結果(機器別)



図9 真空リーク発生ユニット

件数には復旧作業時に判明したものも含む。

機器別では BPM、マニフォールドエンドキャップ、 加速ユニット架台脚部支持板変形、同ベース移動・押 さえ金具脱落がそれぞれ 15~20%程度あり、主な被害 箇所となっている。

真空リークが発生したユニットは、A~Cセクターが 50%、1~5セクターは89%であった。

3. 復旧作業

目視による被害調査を終え、3月18日から復旧作業 を開始した。しかし、ゲートバルブの開閉に必要な圧 搾空気の供給がなく、使用できる電力も10kWという 困難な条件の中、次の手順で作業を進めて行った。

3.1 加速ユニット窒素置換 [3/18~28]

まず始めに、地震後の1週間劣悪な環境に曝されて いた加速ユニットの真空開口部を封じ、内部を乾燥窒 素に置換する作業を、全58ユニットに対して行った。 損傷したマニフォールドエンドキャップは数少ない予 備品と交換し、不足した分はやむを得ず新たに用意し たブランクフランジへ、また BPM を取り外した箇所 も同様にブランクフランジで対応した。

入射器のゲートバルブは、供給されている圧搾空気 の圧力が低下すると真空シールが保てなくなるため、 本作業の間は窒素ボンベや空気ボンベ、小型コンプレ ッサーで圧力を確保して開閉操作を行った。(図10)

2 台のゲートバルブを閉じた後、その間にある加速 ユニットをスクロールポンプ(1000 L/min, 1.4kW)で 数 Pa まで真空排気して、約1時間保持してから乾燥窒 素を充填した。数 Pa に達しないユニットについては、 排気 しながら真空リーク部を探り対処した。



図 10 圧搾空気供給のない状況での真空作業の様子

3.2 真空リーク調査と対処 [3/25~4/22]

本作業からは、PF と PF-AR 入射に重点を置き、関 係する 3 セクター以降の加速ユニット(24 ユニット) を優先して立ち上げることにした。

ターボ分子ポンプを主ポンプとした真空排気装置 3 組とヘリウムリークディテクタ 2 台を使って、3 名で 構成した 2 つのグループにより加速ユニットの真空リ ーク調査を実施した。リークが見つかった場合はその 対処をした後、再度調査を繰り返した。

不良となって取り外した BPM の箇所は予備品との 交換及び3セクターより上流のユニットからの移設を 行い、BPM に接続される四極電磁石用ダクトは再溶接 と補強溶接を行って元の位置に戻した。なお、主に加 速管、導波管に関する被害は本作業によって発見され たものである。また、圧搾空気が4月11日に復旧した ことで、その後の真空作業を確実に円滑に進めること が可能となった。

3.3 真空立ち上げ [4/1~23]

3 セクター以降の、真空リークがないことを確認で きた加速ユニットから、主ポンプであるイオンポンプ のベーキングを開始した。多湿な環境に長時間置かれ ていたことを考慮すると、長時間の真空排気と連続し たベーキングが望ましいが、一方で短期間での復旧が 求められていたため、設定温度、継続時間はそれぞれ 180℃、8 時間以上とし、総排気時間は 48 時間程度と した。

3.4 加速ユニットのアライメント [4/22~27]

3 セクター以降の加速ユニットにおける架台脚部の 変形は、A~C セクターや 2 セクター後半と比較する と小さく、脚部の移動もなかったことから、脚部の改 修なしでレーザートラッカーによる測量結果を元に架 台上部のアライメントを行った。

レーザートラッカーによる測量

3~5 セクターの加速ユニット (23 ユニット) につい



図 11 アライメント時のゲージ類配置

て、レーザートラッカーを用いて加速管と四極電磁石 の位置の測量を実施した。これらの機器にはトラッカ ー用リフレクタを設置するための穴やホルダーがない ため、測量用の治具を新たに製作して対応した。 加速ユニットアライメント

加速ユニット架台はビーム軸に対して水平、垂直、 回転、傾きの調整ができる構造を持つ。

最初に回転量が 0.3mrad を超えていた 11 ユニットを 0.1mrad 以下に修正した。次に測量結果から、6 ユニッ ト(4 セクター:5、5 セクター:1)のアライメントを 調整量 2~4.5mm で行った。(図 11)

3.5 余震対策 [4/22~5/2]

この時期もまだ余震が続いており、更なる大きな地 震も心配されていたことから、応急的な対策を施した。 3 セクター以降の 10 ユニットの架台中央部に制振器を 設置し、その制振器によって隣り合うユニットの揺れ を小さくするように、溝形鋼をユニット間に渡した。



図 12 余震対策として設置した制振器(左)とユニット 間を連結する溝形鋼(右)

3.6 RF コンディショニング [4/28~5/9]

アライメントが終了した翌日から、3 セクター以降 の RF コンディショニングを開始した。真空マニフォ ールドの成形ベローズや BPM の溶接ベローズが破損 した被害の状況から判断すると、何らかの金属片が加 速管や導波管に侵入して、PF、PF-AR 入射に必要なビ ームエネルギーの確保が困難ではないかという懸念が



図 13 圧力履歴 (3-2~3-6 ユニット)

あった。しかし特に問題となる放電等のトラブルもな く 12 日間で入射の目処を立て、その後 3 日間のビーム 調整 (5/10-12) を経て、PF 入射 (5/16) と PF-AR 入射 (6/1) を実現することができた。RF コンディショニン グの期間を含む 3 月~5 月の 3-2、3-3、3-4、3-5、3-6 ユニットの圧力 (CCG) の履歴を図 13 に示す。

3.7 A-1~2-8 ユニットの復旧作業

PF 入射と直接関係のない A~2 セクターの 34 ユニ ットについては、主として夏季メンテナンス期間に、3 セクター以降と同様の真空リーク調査及びそれによっ て明らかになった加速管や導波管の交換等、不具合箇 所の対処を行った。加速ユニットの真空立ち上げを 10 月 16 日に終え、RF コンディショニング (11/4-12/5) も 幸いにして順調に終えることができた。

4. 被害の検証

4.1 考えられる主な要因

2.5GeV入射器は今から30年前の1982年に完成して いる。1~5セクターの標準的な加速ユニット架台の構 造は、そのときに設計されたもので、柔構造の特徴を 持っている。地震で揺れが発生した際には、局所的な 応力の集中を避け、発生する応力をユニット全体で分 散させる考えが元になっている。加速管や導波管、電 磁石等の架台上部を含めた重量は2~3tonになり、そ れを架台両端の板厚 10mm の鋼板で支えている(図 11)。またビームから見たときの水平方向については、 架台上部円筒管の四隅に取り付けられた4個の板バネ を、脚部の押しボルトでそれぞれ約980Nの力が加わる ように設定している。これらにより全体に揺れ易い構 造となっている。

2011年3月11日より前の30年間に発生した地震に 対しては、真空リークが起こることもなく、加速ユニ ットの構造は正常に機能していた。しかし今回の大地 震では主に次の要因により被害が大きくなったと考え る。

(1) 震度 6 弱、最大加速度 300gal 以上の大きな揺れに 加えて、3 分を超える長時間の揺れであったこと。

(2) この規模の揺れを設計時に考慮していなかったこ とで、結果的に加速ユニット架台が剛性不足であった。 特にビーム軸方向の大きな揺れが、架台脚部支持板の 変形と BPM のベローズ及び真空マニフォールドエン ドキャップの破損を招いた。また加速ユニットの固有 振動数 (固有値) と地震の共振も心配される。

(3) A~C セクターの架台脚部と床を押さえ金具で固定

する方法が適切でなかった。

4.2 加速ユニット架台構造の調査 振動測定

(2)の要因について、まず加速ユニットの振動計測 を 3-7 ユニット他で行った。3-7 ユニットはマニフォー ルドエンドキャップが破損した場所で、余震対策の制 振器が取り付けられているユニットである。なお制振 器と架台との間には微少の隙間がある。測定は床と加 速ユニット中央部にそれぞれ加速度センサー(X、Y、 Z)を取り付け、定常時の微振動データを収集した。そ のビーム軸方向の値の比と振動数の関係を表したもの が図 14 である。10Hz 以下では 3Hz と 7Hz 付近に固有 値を持つことが分かった。特に 3Hz については地震の 際に共振し被害が大きくなる危険性が高い領域にある。



図 15 3-7 ユニットの振動測定結果 (中央部拘束)

図15は3-7ユニットの制振器と架台の隙間に金属製の楔を差し込み、同様に振動計測を行った結果である。 固有値は12Hz付近まで上がり、架台中央部の動きを 拘束することは耐震対策として有効であることが考え られる。

構造計算

標準的架台の構造評価とその耐震性向上のために ANSYS による構造計算(応力解析、振動モード解析) を行っている。図16は標準的架台の最も低い固有値を 求めたもので、ビーム軸方向に2.8Hzという、振動測 定の値と良く合う結果になった。また、中央部の水平 方向を拘束した場合は、ビーム軸垂直方向に11.8Hzと

の結果が得られた (図17)。



図 16 標準的ユニットのモーダル解析結果 (2.8Hz)



図 17 標準的ユニットの中央部を拘束(水平方向) した場合のモーダル解析結果 (11.8Hz)

5. まとめ

昨年3月11日の東日本大震災により電子陽電子入射 器施設は、そのほとんどが大気に曝される甚大な被害 を受けた。電気や圧搾空気の供給が十分でない状況の 3月18日から復旧作業を開始し、約3ヶ月後の6月16 日にPF入射を実現することができた。

これは入射器復旧に関係された皆様の尽力なしには とても達成できなかったことです。トンネルの湧き水 の対応から真空機器の貸し出し、それに真空作業やア ライメント作業、振動解析の協力等、非常に心強く大 変有り難く思いました。

現在、まだ A-1~2-8 の 34 ユニットは独立して真空 が立ち上がっているだけの状況であり、これから加速 ユニット架台の耐震対策と復旧、ユニット間の機器設 置と接続、アライメント等を進めて行く予定である。 最後に、入射器復旧にご協力くださった皆様に心よ り感謝致します。

J-PARCハドロン実験施設及びニュートリノ実験施設に おける電磁石の復旧

広瀬 恵理奈 (所属 素粒子原子核研究所)

1. 目的

J-PARCハドロン実験施設は、2009年1月 にビームを受け入れてから、翌月に生成標的を入れ2 次ビームを用いて実験を始めた。その後、K1.8B R、K1.8、KL、K1.1BRの4本のビームラ インが完成し、順調に2次ビームを用いた実験が行わ れていた。J-PARCニュートリノ実験施設は、2 009年4月に実験を始めた[1]。しかし、2011年 3月11日の東北地方太平洋沖地震により、J-PA RC施設全体と共に、両施設も大きなダメージを受け た。大きな揺れで、建屋周辺の地盤が大きく沈下し、 エキスパンジョンジョイント(Ex.J)と呼ばれる 建物同士のつなぎ目でのずれを始め、建物自体の屈曲、 沈降が各所に見られた。それに伴い、0.1mm/mの精 度で設置していたビームライン電磁石も建物と共に沈 降や軸ずれが生じた[2]。

本報告では、各実験施設での震災後の測量結果と、 電磁石の再アラインメントを行った結果を述べる。

2. 各実験施設での震災後の測量結果と電磁石の再設 置

この章では、ハドロン実験施設1次ビームライン、 ハドロン実験施設2次ビームライン、ニュートリノで の測量結果と電磁石の再設置について述べる。

2-1. ハドロン実験施設一次ビームライン

図1にハドロン実験施設を示す。図1のようにハド ロン実験施設は、50GeV加速器から陽子ビームを 取り出し、200mのスイッチヤード(SY)を経て、 ハドロン実験ホールにある生成標的にビームを輸送す る。ビーム高さ方向については、図1. B)で示され るスロープ部において、2.9m/約80mの傾斜が ある。水平方向については、A)取り出し部において、 第1,2折れ曲がり点がある。また、ハドロン実験施 設のEx.Jは、SYの取り出し部とスロープ部の間 のEx.J①、SYの16mスパン部とハドロン実験 ホールの間のEx.J②の2箇所に存在する。





2-1-1. ビーム高さ測量とその直し方

図2に、ビーム高さを、取り出しの最初の電磁石で あるh01からの距離の関数で表した。ビーム高さの 基準は、最も安定していた取り出し部を基準とした。 南、北は、電磁石の南端、北端を測量した。

- E x. J ①で沈降は見られなかったが、E x. J
 ②で約4mmの段差が出来ていた。
- A) スロープ部において、スロープ部の真ん中に 向かって約1−2mmの沈降が見られた。
- ハドロン実験ホール側では、ダンプに向かって、
 約15mm程度の沈降が見られた。

これを修正するための方策として、我々のビームラ インは、前述した通り、スロープを持っているので、 図3の赤実線で示されるように、取り出し部は、加速 器に合わせ、スロープ部の傾斜は変えず、16mスパ ン部の磁石は、K1.8Q1つまりターゲットの高さ に合わせることとした。加速器とターゲットとの段差 の分は、振り下げ磁石であるv14a電磁石の位置を 上流へ移動することで合わせた。約5.5mmの段差 であったので、v14a電磁石の移動距離は、151. 7mm上流へ移動することとした。

ハドロン実験ホール側がダンプに向かって傾いてい るところは、電磁石があまりないことから、最後の垂 直ステアリング電磁石v19を用いて、ダンプに向か って振り下げることとした。その電流は48Aであった。







図 3 スイッチヤードスロープ部の直し方

2-1-2. ビームに乗って左右方向の測量とその直し方

図4に、ビームに乗って左右方向の床のケガキの移 動量を、取り出し最初の電磁石h01からの距離の関 数で表した。E. J①、②において、両方とも上流側 より下流側が約5mm北方向に動いていた。また、S Yのスロープ部において、E. J. 以外の一体の建物 であるにも関わらず、下流に向かって、北方向に数m m曲がっていた。16mスパン部と実験ホール側は、 同一直線上にあった。取り出しからT1で示されるタ ーゲットまでビームを輸送しなければならないので、 復旧方針としては、グラフ上に示される位置にある、 水平ステアリング磁石h07、h13、h16、bs 1を使って徐々に北に曲げていき、ターゲットに導く こととした。各ステアリング間の磁石は、ステアリン グをつなぐ直線上に再設置した。取り出し部について は、図5のように、第1折れ曲がり点(h03a, b 電磁石)と第2折れ曲がり点(h05電磁石)を持つ ているので、以下のようにした。

- 取り出しから第1折れ曲がり点までは、加速器からの取り出し角度に合わせた直線上に電磁石を置き直した。
- 第2折れ曲がり点は、Ex.J①下流の直線の延長上 に変更、h05磁石を置き直した。
- 3. 第1と第2折れ曲がり点の間は、両者を結んだ直 線上に電磁石を置き直した。

第1と第2折れ曲がり点の偏向電磁石の電流は、地 震前の電流値から、それぞれ、-6A、-3Aの変更となった。



図 4 ビームに乗って左右方向の床のケガキの移動量



図 5 取り出し部の直し方

2-1-3. 実際の作業

本ハドロンビームラインの電磁石は可動機構を全く 持っていないので[3]、以下のような作業でSY電磁石 36台の位置を修正した。

電磁石をクレーンでよけて、架台を取り外した後、測 量作業を行った。

ビーム高さ:0.1-3.2mmの厚みのスペーサー を調整した。 ビームに乗って水平方向: M20のアンカーボルトを 止めるキリ孔は、従来 ϕ 33mmであったが、現場で マグボールにより ϕ 45mmに拡大し、最大7mmの 可動量を確保した。

クレーンにより、電磁石と架台を再度組立てた上、本 来の場所に再設置した。

以上の作業は1台につき3日を必要とした。



図 6 実際の作業

2-2. ハドロン実験ホール2次ビームライン 2-2-1. 真空箱周りの測量結果とその対策

ハドロン実験ホールには、ターゲットの直下流に、 真空箱[4]と呼ばれる高さ約5m×幅約3m×長さ約 3mの真空に引いた箱がある(図7左上3D図、図8 左上写真下参照)。内部には、コリメータとK1.8ビ ームラインのQ1, Q2、K1. 1ビームラインのD 1電磁石3台が内蔵されている。この真空箱を動かす のは至難の業である。よって、この真空箱は動かさず、 真空箱のずれの状況を知り、その下流の電磁石で調整 することとした。真空箱周りのレイアウトを図7に示 す。真空箱を測定すると、K1.8Q1の軸は、K1. 8Q2の床ケガキの軸より、1.6mm南側にあった。 また、K1.1D1の軸は、下流のK1.1Q1の床 のケガキの軸より、0.7mm南側にあった。真空箱 上流のターゲットの軸とのずれは、測量できなかった が、0.8mm南にずれて、0.7mm回転している と推測された。これを直すには以下のようにした。 ビーム高さについて

真空箱を動かさないので、真空箱内部の電磁石で、精 度がより必要なK1.8Q1の高さに合わせた。真空 箱直前にあるターゲットの高さもK1.8Q1に合わ せた。SYもK1.8Q1の高さに合わせて再設置し た。

○ K1.8BLについて

真空箱内Q1と真空箱直下流のQ2の軸を合わせる 必要があるので、Q2については、Q1の軸に合わせ て置く。すると、その下流のQ3の軸と合わなくなる が、それについては、Q3の軸を上流に延長し、Q1 の軸と交わったところを、D2の偏向点とした。Q2 D2は一体架台なので、Q2D2を、8.5mm上流 へ移動、1.6mm南に再設置することとした。角度 が変わった分は、D2の電流で調整することとし、D 2より下流は、従来の床ケガキ線に合わせて再設置す ることとした。(図7参照)

○ K1. 1について

真空箱内D1偏向電磁石にて調整、下流のQ1から、 従来の床ケガキに合わせ再設置を行った。

2-2-2. 実際の作業

真空箱周辺の作業は、ターゲット、あるいはコリメ ータの近くであったので、放射線低減のため、両者を 外し、さらに鉛シートを取り付けたが、作業環境とし ては、高いところで 100-200 µ Sv/h であった。また、 この辺りの電磁石は、冷却水や電力の接続をビームラ インから5m離れたところで行うため、図8右上の写 真のような電磁石チムニーと呼ばれる電磁石であるた め[5]、1台1週間程度の時間が必要であった。また、 レベルや軸を見るのに、真空箱や電磁石チムニーが障 害となり、非常に苦労した。架台が動かないという前 提で、遠隔操作で電磁石を速着脱し、メンテナンスを 行うことができるシステムを開発してきたわけだが、 今後同じような大地震が起き、ステアリングで吸収で きないほどのずれが生じた場合は、放射線環境的に厳 しくなる。今後は、磁石の位置を5mのシールド越し に精度よく測定できる方法を検討していく必要がある。





図 8 真空箱周りの作業

2-3. K1.8,K1.8BR ビームライン

2-3-1. 測量結果とその対策

K1.8Q3下流についての測量結果を図9に示す。 ○ ビーム高さ

青字が床レベルの沈降量[mm]である。一次ビームラ イン同様、ダンプに向かって沈降しているが、一次ビ ームラインほどの沈降は見られず、同じくらいの場所 で、6mm程度の沈降量に収まっていた。

○ 床のケガキ自体のずれ

床のケガキを図9の緑色で示した。SYと違い、床 のケガキ自体のずれはほとんど見られなかった。但し、 K1.8再下流部でひび割れがあり、D4電磁石のと ころで、2.3mm南にずれていたので、最下流のK 1.8Q12,13については、2.6mm上流に再 設置することとした。また、K1.8BR下流でも最 下流電磁石より下流の線がずれていたので、ケガキを 引きなおした。

○ 電磁石の位置ずれ

図9に、電磁石の位置ずれの方向を赤矢印で、ずれ 量を赤字で示した。2次ビームラインは、ビーム高さ が2mなので、コンクリートブロックの上、あるいは 足の長い架台の上に電磁石を設置していたということ があり、床というよりも電磁石のずれが大きかったと いえる。電磁石重量の大きい磁石の方が、位置ずれが 大きかった。

K1.8,K1.8BR ビームラインは、床のけがきがほとん どずれていなかったので、床のけがきに合わせ、ビー ム高さも補正して、再設置することにした。

2-3-2. 実際の作業

ここでの作業は、放射線的には問題ないが、特徴としては、第1種管理区域から第2種管理区域となると

ころで、図10のように、遮蔽するために非常に狭い 空間であることと、電磁石同士の間隔が非常に狭く、 1つの共通架台に5台の電磁石が載っているので、測 量、再設置作業も困難であった。また、下流の大型電 磁石では、架台の強度不足で、震災時に、ボルトが脱 落した架台、油圧ジャッキが歪んだ架台等があり、3 台程度再製作を行った。

K1.8,K1.8BRビームライン床レベル沈降量 床のケガキのずれ、電磁石の位置ずれ



図 9 K1.8,K1.8BR ビームラインの測量結果



図 10 ハドロン実験ホール K1.8, 1.8BR の作業

2-4. ニュートリノビームライン

ニュートリノビームラインの常電導電磁石部分につ いて、レーザートラッカーによる測量の結果、図11 の青枠で示される数値の沈降量分のかさ上げを行った。 また、赤枠で示される数値分、ビームに乗って右側に 移動した。また、最終収束部の4台の電磁石は、ピッ トの中にあり、その部分の電力コネクターが水没した ため、ピットより上の床レベルにブスバー配線変更を 行った。



図 11 ニュートリノビームラインの移動量

3. まとめ

2011年3月11日に地震が起こり、東海キャン パスハドロン実験ホール、及び、ニュートリノビーム ラインも建物の沈降等の被害があった。

電磁石本体は、漏水も絶縁不良もなく、問題なく通電 できた。ただし、3 台ほど架台が壊れたので修理した。 電磁石位置の測量を行ったところ以下の問題があった。 スイッチヤードは床自体がゆがみ、エキスパンジョン ジョイントのところで、最大5mmの沈降やずれがあ った。

ハドロンホールの一次ビームラインは、ビームダンプ に向かって10mm程度沈んでいたが、横方向にはず れていなかった。

K1.82次ラインは、床でなく、電磁石がずれていた。

これを修正するため、全ての電磁石のビーム高さは、 真空箱内部のK1.8Q1の高さに合わせた。スイッ チヤードは、ステアリング電磁石間を直線に並べ直し、 ステアリングで徐々に曲げていくことでターゲットに ビームを導くことにした。真空箱を動かさないで、下 流の偏向電磁石を使って、調整を行った。2次ライン の水平方向は床のケガキに合わせて再設置した。図1 2におおざっぱな工程表を示したが、8ヶ月程度で約 100台の電磁石の再設置を行った。

全てのビームラインでビームの受け入れを行い、ステ アリングの電流設定値を変えることで、ビームダンプ まで、ビームを通すことができた。

今後は、残してしまったK1.1BR下流3台の再設 置を行う予定である。

電磁石約100台再設置作業の道のり

	4月	5月	6月	7月 加速計	8月 学会	9月 MT22	10月	11月	12月	1月
SY	◆ 測量・絶	像·水圧	+ T1-SY 測量	◆ 16m部再 設置12台	→ + スロー 再設調	ブ部 取 13台 再	り出し部 設置11台	水·電気 試運転		
HD	◆ 測量·絶	→ 縁·水圧	↓ T1-SY 測量	→ 測量、: K1.8本)	たあけ 加 和 和	速器レベル ← → K1.8チム ニー7台	・加速器 ・ K1.1チム ニー11台	取り出し角 ◆ K1.8, ◎ 下流1	BR 0台	試運転
		◆ レールド開		↔ K1.8Sep1	••• K1.8Se	↔ p2 ^{KL開}	↔• K1.1Sep	シールド	閉(準夜)	w
NU					PP	部9台 FF音	→ + B7台 水・1 運転	該·武		
						☆	5(ナ	FF部水没 配線変更		



参考文献

- "Radiation-Resistant Magnets for the Neutrino Beam Line at J-PARC", E. Hirose et al, the 22th International Conference on Magnet Technology(MT22), Sep. 2011.
- E.Hirose et al, "Re-alignment plan of magnets at J-PARC HADRON after the Higashi-Nihon Earthquake", proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan(August 1-3, 2011, Tsukuba, Japan)
- "The Beam-Handling Magnet System for the J-PARC neutrino beam line", <u>E.Hirose</u>, et al, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 16, No.2, pp. 1342-1345
- "Development of Indirect-Cooling Radiation-Resistant Magnets", H. Takahashi et al, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 18, No.2, pp. 322-325, June 2008
- "Radiation-Resistant Magnets for J-PARC", K. H. Tanaka, et al, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 18, No.2, pp. 244-247, June 2008

東京電力福島第一原発事故直後からの KEK 内での放射 線計測

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の地震では地震による直接の大き な被害のうえにさらに原子力事故が重なるものとなっ た。放射線科学センターでは事故後から使用電力に制 限がある中で、放射線測定を行った。本稿では震災後 1 週間の放射線科学センターの活動と放射線計測の結 果の一部を紹介する。

2. 震災直後の放射線科学センターの活動

3月11日の14時47分に地震が発生した。KEKのよ うな放射線施設は大きな地震が発生した場合は文部科 学省に施設の放射線安全についての状況を報告しなく てはならない。震災直後に発生した停電等のために状 況の把握に手間取ったが、被ばくと汚染が無いことを 確認し、文部科学省に連絡を取ろうとしたところ、連 絡が取れない状況だった。連絡方法を途中で携帯電話 のメールに切り替えたが、当初は不通で結局メールを 送信できたのが18時44分だった。

3. 原発事故後の放射線科学センターの活動

3月12日に福島第1原発の1号機の水素爆発があり、 3月14日に3号機の水素爆発があった。

KEK では3月14日9時に放射線科学センターで所有 しているサーベイメータを1箇所に集め管理すること にした。12時のサーベイメータによるKEK つくばキャ ンパス内の管理区域境界・事業所境界の測定で原発か らの放射能が無かったことを確認した。16時に通電さ れている敷地境界の放射線モニター用プレハブ小屋に NaI 検出器を設置した。

福島県庁対策本部からの支援依頼が文部科学省を通 じて届き、松村氏と齋藤氏の派遣を決めた。両氏は20 時に茨城県警察の先導で常磐高速道路を使って福島に 向かった。

4. 放射能飛来後の放射線科学センターの活動

3月15日に原発2号機の圧力降下措置がなされた。6時に2号機異音、4号機が爆発した。

中村 ー (放射線科学センター)

KEK では 4 時半頃に放射線モニタープレハブ小屋に 設置した NaI 検出器が異常値を示した(図1)。そのス ペクトルデータから放射性核種の I-131 と I-132 が来 ていることが確認された(図2)。

7 時につくばにある研究機関に測定協力依頼の連絡 を行った。9 時に放射線管理棟が復電し各装置が使用 できるようになった。14 時半に KEK の HP にて現在の 空間線量率が見られるようにした。19 時に国立環境研 究所で収集した空気中のダストを Ge 検出器で測定し た(図3)。

3月16日に茨城県原子力対策本部の要請によりHP データをリアルタイムで表示させるようにした。

3月17日に空気中の放射能の測定データをHPに掲載した。また、放射線に関するQ&AもHPに掲載した。
 16時に松村氏が福島から戻ってきた。

震災 1 週間以後はリアルタイムの空間線量率を HP に継続して掲載し、空気中放射能は定期的に HP に掲載 をした。また、定期的につくばキャンパス内の放射線・ 放射能を測定した。さらにつくば市からの要請により つくば市内の教育機関の校庭の放射線測定を支援した。

5. つくばキャンパスでの放射線測定

(1) 敷地境界の放射線モニター用プレハブ での空間線量率測定

つくばキャンパス内の東大通り側にある放射線 モニターの値の時間変化を図1に示す。3月14日 の時点では通常の放射線レベル約 0.06 μ Sv/h で あったのが、3月15日午前2時頃から空間線量率 が上昇し始めて、午前4時頃に約 0.4 μ Sv/h の1 つ目のピークがあり、さらに8時半頃に約1.2 μ Sv/hの2つ目のピークが観測された。さらに翌日 の8時半頃に約0.5 μ Sv/hのピークが観測された。 このように一時的に線量が高くなるということ から放射能がガス状で飛来し、そしてつくばキャ ンパスの外に移動していったと推測される。3月 16日以降は線量率が徐々に減少していったが、3 月20日に線量率がまた上昇し始めた。これはち ょうど雨が降った時刻と一致しており、雨に放射 能が含まれていたと推測される。ガス状の放射能 と違い、降った領域に放射能が沈着するため、線 量率は鋭いピーク状にはならず、放射能の半減期 にそって減衰していくことになった。



図1 原発事故後の放射線モニターの時間変化

図2にNaI検出器で測定した放射線のエネルギーのス ペクトル分布を示す。放射性核種にはそれが崩壊する ときに固有のエネルギーのγ線を放出するため、γ線 のエネルギーの分布を調べることによって、そこに存 在する放射性核種を測定することができる。図2の3 月14日と3月15日を比較すると3月15日にはI-131 とI-132に相当するピークが見られた。



図2 NaI 検出器で測定した y 線スペクトル

(2) 空気中の放射能の測定

国立環境研究所において、ハイボリュームエアサン プラー(石英繊維フィルターと活性炭フィルター使用) による空気ダスト採取を行い、それを KEK において Ge 検出器で分析を行った。測定は定期的に行った。測定 結果を図3に示す。グラフの縦軸は対数で、5 月の中 旬には事故直後に比べて放射能濃度は5桁以上小さく なった。



因3 5月15日以降的权值再约主风干碳及的发出

(3) KEK つくばキャンパス内での空間線量率の分布 の測定

4 月からつくばキャンパス内にいくつか設けた測定 点においてサーベイメータと LaBr スペクトロメータ による測定を定期的に行った。図4に測定点の位置を 示す。測定点は屋根の有無、測定面の種類(タイル、 アスファルト、土壌、草地)などを変えてある。測定 結果を図5に示す。4月1日の高さ1mでの各空間線 量率は0.16~0.25μSv/hであった。その後、線量率は 減衰していき、12月21日では0.08~0.12μSv/hにな っている。





図4 KEK つくばキャンパス内の測定点



図5 各測定点の地表面1mの空間線量率と変化

屋根の有無の違いを図6に示す。4月1日の時点で は屋根の無い場合のほうが約5割程度高く、降雨の影 響を受けていることがわかる。



図6 屋根の有無による違い

次に地表面が異なるもの、タイルと芝の場合の測定 結果を図7に示す。4月1日の時点では芝のほうがタ イルより約2割程度高かったが、5月下旬からは芝の ほうが低くなり、差が0.02µSv/h程度で一定になって いる。4月の時点では芝のような表面積が大きいもの に放射能が付着し、その後芝の生え変わりの影響があ ったものと推測している。

次に4月1日の時に空間線量率が1番高かった4号 館東側の林で測定したγ線スペクトルの推移を図8に 示す。半減期8日のI-131を示すピークが小さくなっ ていくが、半減期2年のCs-134と半減期30年のCs-137 を示すピークはほとんど変化していない



図7 タイルと芝生の違い



図8 4号館東側林でのy線スペクトルの推移

6. まとめ

本稿では震災後1週間の放射線科学センターの活動と つくばキャンパス内で行われた放射線測定について紹 介した。

参考文献

1) 佐波俊哉、佐々木慎一、飯島和彦、岸本祐二、齋藤 究, "茨城県つくば市における福島第一原子力発電所 の事故由来の線量率とガンマ線スペクトルの経時変 化",日本原子力学会和文論文10,163-169(2011). KEK Preprint 2011-04

2) K. Masumoto, A. Toyoda, T. Doi, A. Tanaka, S. Ban,H. Hirayama ,Y. Shibata , "Radionuclides in AerosolSamples Collected at Tsukuba, Ibaraki Prefecture
After the Accident in Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant", International Congress on Analytical Sciences 2011, (May 2011, Kyoto).

3) 中村一,波戸芳仁,豊田晃弘,飯島和彦,穂積憲一 "高エネルギー加速器研究機構内での東京電力福島第 一原発起源の環境放射線・放射能測定",_第13回「環 境放射能」研究会(2012.2.27-29 KEK)(プロシーディン グス発行予定)

震災により計算科学センターが受けた被害と復旧について

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 (金) 午後 2 時 46 分に宮城県牡鹿 半島の東南東沖 130Km の海底を震源として発生した 東北地方太平洋沖地震は、日本における観測史上最大 のマグニチュード 9.0 を記録し、その後、同日の午後 3 時 15 分に茨城県沖を震源とするマグニチュード 7.3 の 余震が続き津波、停電など東日本のインフラに大きな 影響を与えた。

つくばでは、午後2時46分に発生した地震で震度6 弱を観測したが、これによりKEK受電設備が被災し、 地震発生後まもなく停電となった。また、地震と津波 による影響で福島第一原子力発電所事故が発生し、東 北と関東は深刻な電力不足に陥った。これら複合的な 影響により計算科学センターが運用する計算機・ネッ トーワークサービスにも数日間の停止、縮退運転、運 用開始の遅れ、移設運転などこれまでにない運用を経 験した。今回の震災によって計算科学センターが受け た被害と復旧についてまとめる。

2. 地震発生時の様子

午後2時46分に KEK で体感した地震の様子は最初 に微量な揺れを感じそれから次第に大きな横揺れとな り支えが無いと立っていられない状態だった。地震発 生後、間もなくして停電となり、UPS(無停電電源装 置)に接続された計算機・ネットワークシステムはバ ッテリ運転に切り替わった。午後3時、計算科学セン ター長から外への避難指示が出され、4 号館西側へ移 動することになり、避難場所に出勤者全員が避難した。 避難中、計算機棟は停電の状態にあったが、通電再開 を避けるため二人一組となって計算機北棟及び南棟の マシン室のブレーカーを OFF にしてまわった。揺れも 収まった午後4時頃に計算機棟へ戻ったが、マシン室 内の照明が切れ、暗い状態であった。また空調が止ま ったことでマシン室内の温度は上昇していた。計算 機・ネットワーク関連の UPS は稼働保証時間を遥かに 超え、接続機器は停止の状態であった。計算機棟内 の出入口の電子錠も電源がないと動作しないの で、計算機棟内を鍵で施錠を行い、計算科学セン ター長と指示を受けた計算科学センター職員が

中村 貞次(所属 計算科学センター)

建物内の鍵の管理をすることとし、職員は全員帰 宅することになった。

3. 各システムの被害状況

(1) 共通計算機システム

研究全般を支える共通計算機システムは、大量の実 験データの蓄積とその解析を主な目的とするシステム で計算サーバー、WEBサーバー、メールサーバー、 GRID、磁気ディスク、HPSS (High Performance Storage Server)から構成されている。システムは、総数27ラ ックを4ヶ所に分散配置しているが地震の影響でラッ クが数十センチ移動し、長方形状のラック群は扇型と なった。ラックの底にはL型アングルで転倒防止を行 なっていたためラックが転倒することは無かった。 停電によりシステムは停止したが、全般的に被害は無 く、停電によって稼働中のデータロストがあったが、 停電前のバックアップ状態に戻すこととなった。

(2) BELLE 計算機システム

BELLE 実験のデータ蓄積と解析を行う BELLE 計算 機は、計算サーバー、各種サーバー、大容量ストレー ジ、テープ装置から構成されている。システムが設置 されているラックは、フリーアクセスの下のコンクリ ートに架台を設けて固定していたことで耐震を保てた。 しかし、停電によりシステムは停止し、ハードウェア の一部に障害が発生したが、冗長構成により影響は無 かった。

(3) スーパーコンピュータ

大規模数値シミュレーションの計算システムとして 使用されるスーパーコンピュータは、2011 年 1 月 31 日に運用終了し、震災時はシステム更新の為、稼動し ていなかった。しかし、主要な大学と計算資源及びデ ータ共有のためのストレージを稼動していたが、特に 被害は無かった。

(4) ネットワーク

停電により機構内 LAN 及びインターネットの接続 が停止した。これにより、ネットワークを介して行う サービスは全て不可能となり、停電期間中の三日間は 使用出来なかった。復電後の立ち上げで機構内ネット ワークシステムに被害は無く、各建屋に伸びているネ ットワーク機器にも被害は無かった。しかし、電話回線の接続サービスに使用する ISDN 交換機に障害が発生し、起動が出来なくなった。また、セキュリティ機器に障害が発生し、修復作業に時間を要した。

(5) ハウジング

計算機棟内は間仕切りガラスの一部破損や固定され ていなかったキャビネットが転倒することがあったが、 怪我人は無かった。

ユーザー管理のサーバー群を PS 主リング電源棟で ネットワークとハウジングサービスを行なっているが、 天吊型の空調がラックに支えられる様に落ちていた。 また、建屋周辺の道路が液状化によって数十センチ陥 没し、機器の移動や移転が必要とされた。



図1 計算機棟の被害状況

4. 復旧への対応

一部電力の再開

震災の翌日 3/12(土)から本機構長を本部長とする 東日本大震災対策本部が発足し、復旧に向けての本部 会議が開始された。3/13(日)の対策本部会議にて被 災した KEK の電力受電設備が一部回復し、その日の夕 方から通電を開始することになった。供給可能な電力 は機構全体で 2M ワット(727KVA)そのうち計算機棟分 で 275K ワット(100KVA)が割り当てられ、情報発信に 必要な機構 WEB と電子メールサービスの立ち上げ要請 を受け、翌日の 3/14(月)から立ち上げを行うことに なった。

(2) 復旧作業の開始

復旧作業に向けて職員、常駐業者、運用管理業務の メンバーが集合し、午前9時~計算科学センター長を 中心として打合せを行った。計算科学センター長から 情報発信に必要な機構 WEB と電子メールを立ち上げる 指示が出され、午前10時~商用側ブレーカーと UPS の 稼働を開始するために電気室ブレーカーの ON と UPS 分電盤ブレーカーの ON を行った。機構 WEB,電子メー ル,ネットワークシステムを立ち上げるため、ネット ワーク系 UPS3 台と国立情報学研究所が提供するイン ターネット接続(SINET4)の UPS を立ち上げた。

午前11時~必要なシステムを順次立ち上げた。

- ▶ 機構 WEB サーバー(公開用)
- ▶ メールサーバー
- インターネット接続
- ▶ 無線 LAN(共同利用宿舎のみ)
- ▶ VPN サーバー(メールサーバーへの接続)
- ▶ 不正アクセス検知装置
- ▶ 計算機南棟空調(縮退運転)

これらの機器は、UPS 管理装置にて主幹及び回路毎の 使用電力量を WEB で確認しながら作業を進めた。不正 アクセス検知装置(以下、IDS と呼ぶ)を立ち上げ後、 アラートが検知出来ないことが判明した。IDS には、 ネットワークを流れるパケットを複製してアクセスス イッチのモニターポートへ送られるが、停電の影響で アクセススイッチのパケットを取得する設定情報が消 失し、パケットが収集出来ていなかった。設定を反映 し、IDS でパケットの収集は行えるようになったが、 IDS で検知するアラートがリモート監視支援に送られ ていない障害が続けて判明した。ログ転送プログラム に問題があることが分かり、停電の異常終了の影響で データベースが破損してしまった可能性が高い。夜間 に掛けてデータベースの修復作業を行い、復旧した。

(3) 復旧作業二日目

復旧初日に予定したシステムは運用を再開し、GRID 認証局の運用も再開した。機構 WEB が立ち上がったこ とで震災用 WEB が公開され、毎日 12 時と 17 時の 2 回 に進捗を更新し、公開することとなった。計算科学セ ンターからは技術職員 1 名が専属で更新作業にあたっ た。

KEK DMZ では、BELLE グループと放射光グループのホス ト管理者から外部への情報提供のために WEB サーバー の立ち上げの要望があり、東日本大震災対策本部で了 承され、電源及びネットワーク接続が可能な計算機南 棟に設置しサービスを開始した。その後、電力事情の 逼迫により、KEK 職員は 3/16(水)~18(金)、土,日,祝 日を含め6日間の自宅待機を命ぜられた。計算科学セ ンターの常勤以外のスタッフは自宅からの対応と必要 であれば KEK へ出勤することとなった。

(4) その後の復旧

3/22 (火)からは段階的に復電が行なわれ、3 号館、 4 号館、1 号館、2 号館、研究本館他の各建物に電源が 供給され、ネットワークスイッチや無線 LAN の使用が 可能となった。震災後、約 2 週間のネットワーク再開 となり、職員が使用するパソコンのセキュリティアッ プデートを実施するように全所放送にてアナウンスを 実施した。計算科学センターが提供するサービスを順 次縮退運転で運用を開始した。3/28(月)⁻KEK が通常勤 務となり、3/29 (火)[~]アカウント作成やネットワーク 接続申請などの更新作業を開始した。 影響のまとめを図 2 と図 3 示す。

	影響	一時再開	完全再開
共通計算機	電力制限による縮退 運転。ユーザサービ スへの影響。 復旧作業に人的コス ト	メール&WEB 2011/3/14~。 GPFS,HPSS,計算 サーバー 2011/4/7~	2011/9/29~
Belle計算機	電力制限による縮退 運転。ユーザサービ スへの影響。 復旧作業に人的コス ト	計算サーバー,ス トレージ 2011/4/15~	2011/8月末~
スーパーコン ピューター	運用開始3ヶ月遅れ。 データセンターとKEK までのネット開設。帯 域制限から大容量の データディスクを十数 回郵送。	2011/9~2012/1 データセンターで 5ヶ月間稼働	2012/3~ HITACHI 2012/4~ IBM KEKで稼働

図2 影響のまとめ(1)

	影響	一時再開	完全再開
ネットワーク	2011/3/11~14ネット ワーク停止。 KEK経由の高エネル ギー大学が通信不可	2011/3/14 [~] インターネット, VPN, MA(共同利用宿 舎), IDS	2011/3/28~ 機構内LANも含 め
施設	ハウジングサービス ー時停止。PS主リング 電源棟(M5)内被害と 周辺道路の液状化に より機器の移転や移 動を必要とされた	2011/5/23~ 計算機棟第1マ シン室へ一部移 動し、暫定運用	2011/9/9~ M5に戻し運用再 開

図3 影響のまとめ(2)

5. まとめ

計算科学センターでは、地震による人的被害や運用 する計算機・ネットワーク機器に大きな破損は無かっ たが、電源の供給停止とその後の電力使用制限による 影響を大きく受けた。この電力制限によって復旧作業 を段階的に進めて行ったため、共通計算機や BELLE 計算機は完全復旧まで約半年を要した。スーパーコン ピュータについては運用開始が3ヶ月間遅れ、別のデ ータセンターでシステムを稼働させ KEK と一時的な ネットワークを開設し、運用開始した。ネットワーク の帯域に制限もあったことから大容量のデータディス クを郵送でデータセンターまで数十回送り実行・解析 を行った。2012 年 3 月からはシステムを KEK へ移転 し、運用を開始する予定である。ネットワークシステ ムについては、KEK とインターネットの接続が三日間 停止し、その後、段階的にサービスを稼動し、2 週間 後に完全復旧出来た。

運用機器の殆どに対し、無停電電源装置(UPS)を 経由して電源を供給しているが、瞬時停電から機器 を保護し運用を継続できれば良いという考え方 であったため、大規模で継続する停電に対応でき るような準備をしていなかった。また、停電時に 通電再開を防ぐためにマシン室の分電盤のブレ ーカーを OFF にして回ったが、本来、計算機棟 内の大元の電気室のブレーカーを OFF にする方 が効率的だったと思われる。今回の地震により停 電の影響を受け、停電時の対処、計算機棟内の電 源系統を把握、復旧手順の確立が必要と感じた。

6. 今後の対策

計算科学センター職員は少なくとも計算機・ネット ワーク機器の電源系統の把握、停電時の通電再開を防 ぐ為に事前に電気室及び分電盤の場所を把握する必要 がある。また、復旧に向けてのマニュアル整備が必要 であると考えるが、システムが幾つかに分かれている ので全体をまとめるのは用意ではない。

2012 年 4 月から運用開始となる新中央計算機の WEB,メール,データ解析ストレージシステムはネッ トワーク UPS の商用停電信号を受信し、システムの自 動停止を取り入れた。図4に示す停電停止機能は、UPS の商用停電信号を2分以上受信すると電源停止サーバ ーより管理サーバーへスクリプトが実行され、各サー バー機と外部ディスク装置に停止コマンドが実行され る。この要求によって稼働中のシステムを安全に終了 することが出来る。



謝辞

本報告をまとめるにあたり、各システムの情報提供 を頂いた湯浅富久子氏を始め、計算科学センターの職 員の方々に感謝致します。 編集後記

今回の技術交流会は、共通基盤研究施設の担当でおこないました。各研究所、研究施設の世話人の方々 におかれましては、発表の募集や交流会当日の準備にご協力いただきましたこと厚く御礼申し上げます。

今回のテーマは、「震災からの復旧と若い力」と題し、2011年3月に起きた東日本大震災からの復旧 について技術職員としての取り組みについて発表者を募集しました。発表を通して、震災の被害状況や 復旧作業について技術職員間で情報を交換し合い、今後の対策等の議論が活発に行われました。また着 任1年目、2年目の技術職員を対象として自己紹介及び業務内容について発表していただきました。新し く着任した技術職員の方にとって、自身の所属する研究所、研究施設以外の方に顔と名前を覚えていた だく良い機会であったと思います。

最後に、発表者の皆様、世話人の方々を含め交流会の準備に携わっていただいた全ての方に深く感謝 申し上げます。

平成23年度技術交流会実行委員

小林 芳治

小山 篤

高瀬 亘

- 田中 賢一
- 穂積 憲一

2012年度 技術交流会報告集

November 7, 2012

(1)	「cERL 入射部の真空について」	
	内山隆司(加速器 第七研究系)	•••• 1
(2)	「cERL 主空胴の機械的振動測定」	
	佐藤昌史(加速器 第六研究系)	•••• 4
(3)	「加速器施設内の照明器具の放射化について」	
	豊田晃弘 (共通 放射線化学センター)	•••• 8
(4)	「ILC用超伝導加速空洞の製作」	
	渡邉勇一(共通 機械工学センター)	•••• 13
(5)	「PFハイブリット運転用の光パルスセレクター 」	
	田中宏和(物構研 放射光科学第一研究系)	•••• 16
(6)	「FPGA を用いた汎用データ収集モジュールの開発」	
	瀬谷智洋(物構研 中性子科学研究系)	•••• 20
(7)	「SOI ピクセル検出器用 Digital Library の開発」	

田内一弥 (素核研 エレクトロニクスGr.) ・・・・ 22

目次

cERL 入射部の真空について

内山 隆司 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 第七研究系 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

1. はじめに

次世代放射光源計画として、エネルギー回収リニ アック(ERL)の研究開発が行われている。その実 証機となるのがコンパクト ERL(cERL)である。 電子銃での要求は、大電流かつ低エミタンスである。

ビーム電流 平均 10 mA 以上

エミタンス 0.1 mm・mrad

この要求を満たすためには、光陰極半導体カソード を使用する。長時間大電流を出し続けるには、残留 イオンによる NEA 表面の破壊を抑える必要がある ため、極高真空が求められる。また、電子銃からの 要求により、入射部も同様に極高真空が求められる。 これらを実現するため、低アウトガスの真空チェン バーの開発と高い排気速度を持つ排気系の試験を 行った。

2. アウトガス評価装置

低アウトガスの真空チェンバーの開発にあたり、 真空中に入る部品のアウトガスを測定するために、 アウトガス評価装置を製作した。この装置の構成を 図1に示す。材質 SUS316L、体積 10.8L、表面積 0.287m² のチェンバーに、ヌードイオン真空計 (NIG)、スピニングローター真空計(SRG)、四 重極型質量分析計(QMS)がチェンバー本体に取り 付けてある。真空排気には、ターボ分子ポンプ (TMP)とスクロールポンプ(S.P.)が取り付けて ある。また、チェンバーと粗排気を切り離すために バルブが設けられている。この装置自身のアウトガ スは、1×10⁻⁹ Pa·m³/s でこれ以下のものは測定でき



図1:アウトガス評価装置の構成

ないが、ガス放出の多い部品はここで排除すること ができる。測定方法はビルトアップ法で行う。

3. 入射部の構成

入射部といわれている各部の構成は、上流の電子 銃側(右)から第1ビームポジションモニター (BPM1)、レーザー導入チェンバー、バンチャー 空洞、ミラー導入チェンバー、第2ポジションモニ ター(BPM2)、スクリーンチェンバーの6つの チェンバーで構成されている。(図2)



図2:入射部の構成

それぞれの役割は、BPM で位置測定をし BPM の外 周にあるソレノイドコレクタでビームを収束する。 レーザー導入チェンバーは、レーザーを電子銃に入 れる。バンチャー空洞は、バンチ長を圧縮する。ミ ラー導入チェンバーは、カソードを覗きレーザー照 射位置を測定する機能とビーム形状と位置をはかる 機能がある。スクリーンチェンバーは、ビームの形 状と位置をはかる機能がある。また、これらの装置 は、超高輝度ビームを実現するために、ビームダイ ナミクスからの要求により、1121 mm の区間に配置 されている。

4. 各種チェンバー構成

4.1 レーザー導入チェンバー

レーザー導入チェンバーは、電子銃に近いところ

にあるため極高真空が必要になってくる。そのため ガス放出の少ない材料のベリリウム銅合金を採用し た。また、アウトガスを少なくするため、全て削り だし構造とした。真ん中に、レーザーを導入する キューブチェンバーと上下の排気チェンバーから構 成される。(図3)



図3:レーザー導入チェンバー構成

キューブ部には、外部からレーザーを導入するための合成石英ビューポート(ICF34,532nm AR)とミラーが設置されている。ミラーには、大気側から角度調整を行う機能がある。上下の排気チェンバーには、NEG ポンプ(Saes,CapaciTorr D2000,2000 l/s)が設置されている。

4.2 バンチャー空洞

バンチャー空洞は、本体と固定チューナと可動 チューナで構成されている。(図4)



図4:バンチャー空洞の構成

本体は、銅の削りだしで3つのパーツから製作され ている。組み合わせには、ロウ付けがされている。 RF コンタクトには、Uタイトシールを使用してい る。このシールは、真空中に入るため、取り付ける 前に真空中でベーキングを行って、油分やアウトガ スを除去したものを使用している。バンチャー空洞 の排気系は、限られたスペース内に排気速度のある ポンプが必要なため、小型のポンプとして、NEG と イオンポンプが合体した NEXTorr (Saes, NEXTorr D100-5) が使用されている。

4.3 ミラー導入チェンバー

ミラー導入チェンバーは、本体に市販されている 円筒型の削りだしチェンバー(Kimball Physics 製) と、ICF203変換フランジを取り付けたシンプルな構 造になっている。また、チェンバー本体には、 ICF114 ポートが4個とICF70 ポートが4個あり、 ICF70 ポートには、NEG ポンプ(400 L/s *4) 4 台が 設置されている。ICF114 ポートには、イオンポンプ (450 L/s) とアングルバルブとビューポート及びミ ラー&スクリーンで構成されている。(図5)



図5:ミラー導入チェンバー構成図

4.4 スクリーンチェンバー

スクリーン導入チェンバーには、NEG ポンプ (400 L/s)、イオンポンプ(45 L/s)、スクリーン 導入器、パージポート及び極高真空計により構成さ れている。チェンバー本体は、ステンレス製で、溶 接部分に関しては、極力内部溶接とし、溶接が困難 な所は外部溶接とした。内面処理には、電解研磨を 行った。(図6)



図6:スクリーンチェンバー構成図

5. 測定結果

5.1 アウトガス評価及び到達圧力

各装置に導入されるミラーやスクリーン及び RF コンタクト(Uタイトシール)は、アウトガス評価 装置自身のアウトガス1×10⁻⁹ Pa·m³/s以下であった。 また、チェンバー単体での到達圧力について、それ ぞれのまとめた結果を図7に示す。



図7:入射部真空系のまとめ

6. まとめ

6.1 アウトガス評価装置について

ガス放出速度測定については、評価装置より良い 結果が得られた。極高真空装置を開発するにあたり、 装置自身からのアウトガスをもう1~2桁良いとこ ろを計れるように装置を改良する必要があり、各材 料からのアウトガスを正確に測定することが重要で ある。

6.2 入射部における真空について

電子銃側からの入射部における真空への要求で、 極高真空(10⁻¹⁰ Pa 台以下)が求められ、低アウトガ スの真空チェンバーの開発と高い排気速度をもつ排 気系の試験を行った。チェンバー単体試験では、10⁻¹⁰ Pa 台に到達できなかったが、近い圧力までは到達 できた。さらに圧力を改善するために、ガス源と なっている所を調査する必要がある。

参考文献

[1] https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvsj/49/6/49_6_349/_pdf [2] https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvsj/49/6/49_6_335/_pdf

cERL 主空洞の機械的振動測定

佐藤昌史^{#,A)}, 梅森健成^{A)}, 江並和宏^{A)}, 阪井寛志^{A)}, 沢村勝^{B)}, 篠江憲治^{A)}, 古屋貴章^{A)}, Enrico Cenni^{C)} ^{A)} 高エネルギー加速器研究機構,^{B)} 日本原子力研究開発機構,^{C)} 総合研究大学院大学

Abstract

2012 年から 2013 年にかけてコンパクト ERL(以下、cERL)の建設作業が行われている。cERL のメインラ イナックには超伝導加速空洞が設置され、2012 年 12 月には低温大電力の試験運転が実施される。一般的に 加速空洞は内部の幾何学形状により RF 共振周波数が定まる。一方で超伝導加速空洞は Q 値が高く、機械的 な振動などにより内部形状が変化すると RF 運転が不安定になることがある。我々は cERL の建設作業と並 行して、2012 年 12 月の試験運転に備えて、超伝導加速空洞の機械的な振動モードの調査を開始した。

1. cERL メインライナックと主空洞

2012 年から 2013 年にかけて ERL 開発棟(旧東カ ウンターホール)において cERL の建設工事が進め られている。2012 年 11 月までにメインライナック の組立て、及び設置作業が完了され、12 月にメイン ライナック単体で低温大電力試験が実施される。

cERL では入射部で電子ビームを 5MeV に加速し、 その後メインライナックで 35MeV に加速する。ま た、周回部を回り再びメインライナックに戻って来 ると電子ビームは減速され、発生する起電力により エネルギーを回収する。このエネルギー回収を効率 的に行うには超伝導加速空洞は必要不可欠である。



図 1. 主空洞断面図

cERL 主空洞は 1m の L バンド 9 セル空洞であり、両端は 2K ヘリウムジャケットと RF 周波数チューナーに拘束されて いる。また、2K ヘリウムジャケットが 5K ヘリウムフレーム にマウントされている。

メインライナックのクライオモジュール内には図 1 に示すような L バンド(1.3GHz)9 セル超伝導空洞 (以下、主空洞)が 2 台格納される。図中の 9 セル部 の周期構造は 2mm~3mm 厚のニオブ板をプレスし て作られており、全体としてバネのように弾力を有 する。cERL 主空洞の場合、9 セル全体の軸方向のバ ネ定数は約 300kgf/mm である。2K ジャケット内で は 9 セル部の両端の一方は 2K ヘリウムジャケット に直接に溶接され、他方はベローズにより伸縮機能 を有する RF 周波数チューナーを介して 2K ヘリウ ムジャケットにボルト固定される。後述の機械振動 測定では、2K ヘリウムジャケット内の主空洞の拘 束条件を模擬している。

2. 機械振動と RF 不安定性

一般的に RF 共振空洞の共振周波数は空洞の幾何 学形状により決定する。空洞の誘導 L と容量 C は空 洞内の電磁場分布とそれを積分する空間領域より定 義され、RF 共振周波数は $f_0=1/(\sqrt{LC})$ である。前述 のとおり主空洞はバネのような弾力を有するために 機械的な振動などが加わり、各セルが変形すると f0 も変化する。cERL 主空洞の場合、全長 1m の9 セル 部に対して 1 μ m の伸び縮みがあると RF 共振周波 数は 300Hz ほど変化する。

一方で RF 共振空洞は図 2 のような共振曲線を描 くことが知られている。空洞を内部抵抗 0 Ω で定電 圧 V の理想的 RF 源に繋ぎ、空洞内の表皮電流を I として、表皮抵抗 R_s、アンテナ等により空洞から漏 れ出す電力の寄与を R₁,R₂, ··· など空洞の損失を R₁=R_s+R₁+R₂+··· と置くと、空洞内の蓄積電力 U は、

$$U = LI^{2}$$

= $L \frac{V^{2}}{R_{L}^{2} + (\omega L - 1/\omega C)^{2}} \approx \frac{U_{0}}{1 + (2Q_{L}\Delta f / f_{0})^{2}}$

と表現できる。ただし、L,C は前述の空洞の誘導と 容量であり、U₀と Q_L を

$$U_0 = LV^2 / R_L^2$$
$$Q_L = \omega L / R_L$$

と置いている。また $\Delta f \ll f_0$ と近似している。この 共振曲線 U/U₀からすると一定電力 U₀を入力する場 合、マッチングが取れているならば U=U₀と蓄積電 力は最大になり、マッチングが外れると蓄積電力が 低下し、余分な電力は RF 源側に反射する。加速電 圧 Vc は Vc= ω LI であり、 U \propto I² \propto Vc²なのでマッチ ングが外れると加速電圧も低下することになる。 cERL 主空洞では Q_Lが 2×10⁷に調整されており、共 振曲線の FWHM は 65Hz である。例えば f₀=1.3GHz から 16Hz ほどチューニングがずれると蓄積電力は 80%に低下し、加速電圧は 90%に低下することにな る。このようにして機械振動によりマッチング条件 が揺らぐと RF 運転が不安定になると考えられてい る。



図 2. 加速空洞の共振曲線 1.3GHz で空洞に変形がなくマッチングが取れていれば $\Delta f=0Hz$ であり、 U_0 の電力が蓄積できる。空洞が変形し共振周波数が $f_0+\Delta f$ に変化すると、 $U<U_0$ と蓄積電力は低下する。

3. 機械振動測定

3.1 測定条件

振動測定の目標の一つは、実際の cERL 加速器内 の主空洞がどのように振動するかを理解することで ある。従って、2K ヘリウムジャケット内を模擬し て機械振動の測定を実施することが重要である。具 体的には 9 セル部の両端を固定し、9 セル部を自然 長、もしくは少し引っ張った二つの状態で測定を 行った。

9 セル部の各セルは振動子と考えられ、9 個の振動子が周期的に並べば 9 個の基本波(f1、f2、・・、 f9)が存在する。機械振動には横波と縦波があるので、 主空洞には合計 18 個の基本波があると考えられる。 本来ならば全ての振動モードについて確認を行いた いが、両端を固定しながら縦振動を起すことは困難 であったり、周波数の低い振動モードにより多くの エネルギーが分配される等を考え、今回の測定は横 波の 10Hz~300Hz 領域の振動に限定して測定を行っ た。

3.2 振動モードの測定方法

振動モードの確認は強制振動法により行った。ピ エゾ素子により主空洞を強制振動させ、共振状態の 時に各セルの振幅を測定することで振動モードを判 定した。振幅の測定には静電容量タイプのセンサー を使用した。静電容量センサーMicroSense4830 は 0 μ m をセンサーが測定物に接触した状態とすると 250 μ m~450 μ m のすき間を測定することが可能で あり、この時-10V ~ +10V の電圧出力がある。電圧 出力の最少桁は 1mV(10nm)である。ピエゾ素子は 500V で 150 μ m のタイプを使用した。実際には +3V(1 μ m)を中心に±1V(±0.3 μ m の振幅)の正弦波 を主空洞に与えて強制振動させた。

3.3 機械振動の測定システム

機械振動の実験装置を図3に示す。φ34mmのチ タンロッドとSUSプレートにより主空洞の9セル部 両端をボルト固定し、石定盤の上に載せている。定 盤と空洞の間にピエゾ素子を置き、ピエゾ素子は印 加電圧が0Vの状態で先端のM6ボルトを12kgfの 荷重で空洞に押し当てる。各セルには10mm角のア ルミ製のキューブが固形ワックスで固定されており、 ここに静電容量センサーを当てることで、各セルの 振幅を観測する。ピエゾ素子で押しているのは鉛直 方向(y方向)であり、y方向の振幅のみを論じる。 x,y,zの3方向の振動状態を調べると、軸方向(Z方 向)と水平方向(x方向)共に観測される共振周波数は y方向と同じであり、センサー出力信号は弱い。



図3. 振動測定の実験系

今回は主に FFT アナライザーにより振動計測を 行った。(図 4) FFT アナライザーはピエゾ駆動用 のサイン波をピエゾコントローラーに出力(Vout)し、 他方で、9 セル空洞の各セルのキューブに設置され た静電容量センサーからの応答を観測する。応答信 号は FFT アナライザーに入力(Vin)され、FFT アナラ イザーが 10Hz~300Hz の掃引を掛ける時、どの周波 数がどう応答するかを見ようとするものである。ま た、この後に出て来るマグニチュードという数値は FFT アナライザーの入出力電圧の比 Vin/Vout である。



図 4. FFT アナライザーによる計測系

3.4 横波の基本波

最初に第9セルにピエゾ素子を押し当てて強制振動を加えた結果を図5に示す。このグラフは10Hz~300Hzの強制振動で、全てのセルの共振状態を重ね合わせて描いている。40Hz、58Hz、147Hz、257Hz、264Hzの共振は全てのセルに共通している。個々の共振周波数において各セルの振幅を示したのが図6であり、58Hz、147Hz、260Hzがf1、f2、f3であることが分かる。f3が二つの共振に分離しているのは、第5セルを中心にした時に9セル部の周期性に何らか左右非対称があるためと考えられる。40Hzは9セル部の周期構造から生じるものではなく、基本波ではない。チタンフレームに何種類かの重りを載せるとf1,f2,f3の周波数は変化しないのに対し、40Hzの共振だけが変動しているからである。





3.5 強制振動のセル位置依存性

強制振動法で第9セルをピエゾ素子により押すということは第9セルを拘束している可能性がある。 そこでピエゾ素子で押すセルを変えると共振がどのように変化するかを調べた。(図7)9セル部は第5 セルを中心に左右対称の構造であるので、第9セル から第5セルの片側半分と対称性を確認するための 第3セルをピエゾ素子で押すことにより、ピエゾ位 置による周波数変化を確認した。10Hz~500Hzの掃 引を掛けた時の共振状態を全部重ね合わせると、 図7(a)のようになる。一つ一つのグラフは第nセル にピエゾを置いた時の共振状態であり、第9セルで は同じ測定を2回行っている。便宜的にf1,f2,f3と いう周波数領域で分類してみると、ピエゾ素子で押 す位置を変えると図5に現れる基本波が変化して行 く様子が分かる。図7(b)はf1,f2,f3の周波数変化を まとめたものである。周波数が2段になっているも のは近くに2つの共振周波数が存在していることを 表している。基準振動のf1に注目すると第9セルか ら第5セルをピエゾで押した時は最低次の振動モード が消滅する。図7(a)の各共振の振動モードをピエゾ 位置ごとにまとめると図8のようになる。



ピエゾ位置	9cell	8cell	7cell	6cell	5cell	3cell
f1 [Hz]	58	57	62	110		87
		69	84			
f2 [Hz]	147	167	176	175	138	179
		184	193	192	142	205
f3 [Hz]	257	259	258	256	259	276
	264	278	266	262	275	290
			₹ 7(b)			





図 8 の横軸はセル番号であり、ピエゾ素子で押して いるセルを丸で囲っている。縦軸はマグニチュード である。f1 に注目するとピエゾ位置により、振動 モードが大きく変化していることが分かる。f1 では いずれのピエゾ位置でも定在波の節になっており、 ピエゾ素子自体が 9 セル空洞を拘束していることが 分かる。第8セルをピエゾ素子で押した時のf1 が乱 れているのは、9 セル空洞が共振の定常状態に到る 前に FFT アナライザーが自動計測することが原因で あると考えられる。

3.6 拘束のない状態と張力を与えた場合の比較

ピエゾ素子により強制振動を掛けると新たな拘束 条件が発生することが分かった。強制振動を掛ける 限り、本来の9セル空洞の振動モードは分からない。 従って、ピエゾ素子による強制振動法ではなく、ハ ンマー応答試験を行った。(図9)

ハンマーで空洞を叩き、その応答信号を FFT にかけ るならば、ピエゾ素子による影響を除外できる。横 軸は FFT 演算に掛けた結果の周波数領域であり、縦 軸はフーリエ係数である。図 9 のフーリエ成分を見 ると、第 9 セルをピエゾ素子で強制振動させた図 5 の分布とほぼ同じである。各共振周波数が図 9 では 図 5 よりも低下しているのは、ピエゾ素子の拘束が 無くなったためと考えられる。また、フーリエ係数 の比率も図 5 と同じ程度であるので、図 9 の 55Hz、 140Hz、251Hz が f1、f2、f3 に対応すると考えられ る。第 9 セルに強制振動を掛ける場合は、ピエゾ拘







束のない本来の共振状態とほぼ見なすことができる と考えられる。

実際の主空洞はクライオモジュール内で周波数 チューナーにより自然長(0mm)から最大で 3mm 引っ 張られた状態で使用される。それを模擬するために 拘束用の9セル部両端の SUS プレートを自然長から 1mm 引っ張り、張力を掛けた状態で共振状態を確認 した。第9セルにピエゾ素子を置き強制振動を加え ると図 10のような結果になった。この測定では FFT アナライザーの代わりにファンクションジェネ レーターとオシロスコープを使用している。縦軸は 静電容量センサーの出力で 1V で 10μm である。張 力を掛けない時の図 6 と f1、f2、f3の周波数に違い が見られない。

4. まとめと今後の予定

機械振動は超伝導空洞の RF 不安定性の原因になると考えられる。9 セル空洞の機械振動の共振状態の確認をしたところ、横波の 10Hz~300Hz の領域で結果は、

張力	ピエゾ	f1	f2	f3
なし	なし	55Hz	140Hz	251Hz
なし	あり	58Hz	147Hz	260Hz
あり	あり	58Hz	147Hz	260Hz

であった。ただし拘束条件は全て両端固定であり、 二つの共振に分離している周波数については平均値 を記載した。この結果の下二段を見ると、空洞が自 然長の場合(張力なし)でも 1mm 引っ張った場合(張 力あり)でも振動モードに大きな変化は現れておらず、 RF 周波数チューナーによる張力が加わった場合も 主空洞の機械的振動モードを大きく変えないと考え られる。ピエゾ位置依存性を調べた結果からは、9 セル部の周期構造をピエゾ素子により拘束すること で振動モードに変化が生じることを確認できた。

今後は cERL の加速器運転やベンチテストにより 縦波の基本波の状態を調べ、RF 共振周波数がどの 程度影響を受けるか等を確認する予定である。

加速器施設内の照明器具の放射化について

豊田 晃弘^{A)}、桝本 和義^{A)}、松村 宏^{A)}、関本 俊^{B)}、八島 浩^{B)}、松田 規宏^{C)}、春日井 好己^{C)}、
 坂本 幸夫^{C)}、中島 宏^{C)}、Gary Lauten^{D)}, Anthony Leveling^{D)}, Nikolai Mokhov^{D)}
 Kamran Vaziri^{D)},大石 晃嗣^{E)}, **畔柳 誠**^{F)}, **延原** 文祥^{F)}, 高橋 克彦^{G)}

A) 高エネルギー加速器研究機構、^{B)} 京都大学原子炉実験所、^{C)}日本原子力研究開発機構、
 D) フェルミ国立加速器研究所、^{E)} 清水建設株式会社、^{F)} 東京ニュークリアサービス株式会社、
 G) 獨協医科大学病院

要旨

加速器施設内では、加速器本体だけではなく施設内の周辺の部品が放射化することがある。本体室や ビームラインの照明器具は多くの場合、蛍光灯が使用されているがこれらは普通に使用していても数年で 交換することになり、放射化した場合最終的には放射性廃棄物として取り扱わなければならなくなる。蛍 光灯には大きく分けて白色管と三波長管の二種類があるが、放射化によって生成する核種は異なる。また、 近年蛍光灯に替わる照明器具として LED が急速に普及しだしているが、放射線への耐久性や放射化によっ て生成される核種はまだあまり調査されていない。これらの照明器具を様々な加速器施設で放射化させて 耐久性と生成核種を調査したところ、加速器施設内の照明としては白色蛍光灯を使用するのが現状では最 も適しているという結論に達した。

1. はじめに

加速器施設内の照明には主に蛍光灯が使用されて おり、KEK 内の加速器についてもほとんどの箇所 で蛍光灯が使用されている。高エネルギー、高出力 の加速器では、加速器本体やビームラインだけでは なく、周辺の物品でも放射化が多く起こりるため、 蛍光灯も放射化物となる[1]。蛍光灯は普通に使って いても数年で寿命が来て交換することになるので放 射化した蛍光灯は放射性廃棄物として取り扱う事に なる。つくばキャンパスでは PS が運転していた当 時は、運転が止まったメンテナンス時期にまとまっ た数の放射化された蛍光灯が発生していた。現在も ライナックの一部で蛍光灯の放射化は起こっており、 それらは放射性廃棄物として回収している。放射線 科学センターが引き取った蛍光灯の累計は二千本以 上となっている。

放射性廃棄物は線量が高いほど管理が困難になり、 また半減期が長い核種が多ければそれだけ長期間の 管理が必要となってくる。

現在一般に使用されている蛍光灯は大きく分けて、 二つに分類される。一つは蛍光剤にリン酸カルシウ ムを主に用いた白色蛍光管と、もう一つは自然な色 合いや用途に合わせた色合いにするため希土類金属 を蛍光剤に加えて発光色を調整した三波長管である。 また、近年、これまでの蛍光灯のソケットをそのま ま使用できるタイプの LED 照明管が売り出され、 急速に普及しつつある。一部では KEK 内の加速器 内で使用されているところもあり、これらの照明器 具の放射化について把握しておくことは、放射性廃 棄物の管理や低減について非常に重要になってくる。 そこで、様々な加速器を利用して蛍光灯、LED 管を放射化させ耐性や生成核種について調査を行っ た。

2. 実験と測定

2.1 試料

蛍光灯の照射試料は日本製の物については一社で 揃え、白色・三波長タイプのそれぞれ発色の異なる タイプを使用した。発色の色合いによって製品の名 称がいくつかあるが、数値としては色温度で示され る。フェルミ国立加速器研究所(以下 FNAL)での 照射実験では現地で購入した蛍光管も加えた。LED については実験準備時に比較的容易に購入する事が 出来た、3社4製品を使用した。試料については表 1に示す。

また、照射場における中性子のフラックスを調べるために 15×15×0.02 の金箔をむき出しと 1mm の Cd 板でカバーしたものをセットで FNAL の照射 1 と獨協医科大学病院での照射 5 で使用した。

2.2 実験施設

照射のために試料を設置したのは、FNALのメインインジェクターリング内、ミュオン生成のための ハドロンアブソーバ遮蔽体横、ミュオンの飛翔ライン上、独協医科大学病院 PET センターのサイクロトロン室内の4か所で計5回の照射を行った。

金箔は照射1の試料と合わせて照射を行った。 照射の条件について表2に示す。設置の状況等については図1、2,3に示す。

2.3 γ線スペクトロメトリー

照射試料は Ge 半導体検出器を用いて y 線のスペクトル測定を行い生成核種の同定を行った。また核種を定量するのに必要な測定試料における検出効率を算出するために、CANBERRA 製効率計算ソフト、ISOCAS/LabSOCS を用いた[2][3]。

一般的に Ge 半導体検出器の検出効率は標準線源 を用いて点、面または体積線源の実測から算出する。 そのため試料の放射能を定量するためにはその試料 の形状や重量を標準線源に出来る限り合わせる必要 がある。加速器の運転に伴って生じる放射化物については、標準線源と似たような形状の物の方が少な く放射能を定量するのは非常に困難である。

ISOCAS/LabSOCS では多数の試料形状のテンプ レートが用意されており、それらのサイズ、素材、 比重、測定器からの位置を自由に設定することがで き任意の仮想標準線源を作成することが出来るよう になっている。使用する Ge 半導体検出器の個体ご との特性を数値データ化されており、作成した仮想 標準線源における検出効率を高速に生成することが 可能になっている。

2.4 点灯試験

照射された試料について、点灯試験を行い放射線 による動作不良が生じないかをテストしてみた。

3. 結果と考察

3.1 生成核種

各照射における主な生成核種について、図4に示 す。半減期が1週間未満の核種については、放射性 廃棄物の管理にほとんど影響を及ぼさないため、検 出された場合もあったが省略している。放射能の値 は照射終了から25日の値で示している。ハドロン アブソーバでの照射についてはa-1、a-2に、ミュオ ンラインでの照射についてはbに、メインインジェ クターの照射についてはcに、獨協医科大学病院で の照射についてはdに示す。

蛍光灯については白色タイプと三波長タイプでは、 傾向が異なっていた。また、LED は蛍光灯と違う傾 向を示していた。

蛍光灯では白色、三波長共にいずれの照射につい て ¹²⁴Sb(半減期 60.20 日)の生成が確認された。こ れはガラス管の生成過程で消泡剤として Sb が使用 されるためガラス管の中に Sb が含まれている事が 原因と考えられる。中性子捕獲によって安定同位体 の¹²³Sb から生成されたと考えられる。三波長管タ イプでは、¹²⁴Sb 以上に、¹⁵²Eu(半減期 13.54 年)と ¹⁶⁰Tb (半減期 72.3 日) が生成されていた。¹²⁴Sb よ りは少ないが¹⁵⁴Eu(半減期 8.6 年)も生成されてい た。EuやTbは青や緑の発色を強め色調を調整する ために用いられている希土類核種である。三波長管 ではこのような希土類元素によって自然な光に近い 色合いなどを作っている。これらの核種も中性子捕 獲によってそれぞれ安定同位体の¹⁵¹Eu、¹⁵³Eu、 ¹⁵⁹Tb から生成される。また、高エネルギーの粒子 が照射されるミュオンビームラインでの照射では、 酸素や珪素の核破砕から生じるたと考えられる⁷Be (半減期 53.2 日) や²²Na(半減期 2.6 年)が生成さ れていた。

LED では¹²⁴Sb の生成が認められた資料もあった

が、^{110m}Ag(半減期 250 日)、⁶⁵Zn(半減期 244 日)、⁵⁸Co(半減期 70.9 日)、¹⁸²Ta(半減期 114 日)といった、回路部品の放射化により生じたと考 えられる核種の生成がみられた。ミュオンビームラ インでの試料中には、蛍光灯と同じく核破砕によっ て生成されたと考えられる⁷Be や²²Na が生成され ていた。LEDの場合確認できた核種はすべて半減期 が1年未満で総放射能も蛍光灯よりも少なかった。

図 4 の放射能のまとめは照射後 25 日後の値とし て補正をしているが、a-2 の照射時の試料について は照射終了6時間後に測定を行っている。照射直後 の試料は短半減期の核種が多く残っており、表面線 量率も非常に高くなる。蛍光灯は GE 製の物で3本 測定を行ったが表面線量が 100 µ Sv/h 近くあり、 ²⁴Na(半減期 15 時間)が 0.97~1.26×10⁶Bq 生成さ れていた。これはガラス内の Na の中性子捕獲で生 成されたと考えられる。LED は⁸²Br(半減期 35.3 時間) と ⁶⁴Cu (半減期 12.7 時間) がそれぞれ 1.9~5.1×10⁶Bq、2.5~4.5×10⁶Bq 生成されていた。 LED も表面線量率も蛍光灯と同程度だったが、線量 率への寄与は⁸²Br の方が高い。⁸²Br は回路基板の板 の可塑剤として使われていたものに由来すると考え られる。⁶⁴Cu は回路部品から生成された物と考えら れる。これらの核種によって照射直後は表面線量率 が非常に高くなるが、半減期は長くて 1.5 日程度の ものであるため、一ヶ月冷却すればバックグラウン ドレベルに落ちるため、交換時の取扱いさえ注意す れば放射性廃棄物としての扱う場合に考慮する必要 はない。

3.2 点灯試験結果

照射した試料について、電燈として使用できるか ソケットに差し込んで点灯試験を行った。結果につ いては表3に示す。蛍光灯はほとんどが点灯したが、 ミュオンビームラインの試料はガラス管が変色して しまい若干暗くなっていたが照明としては使えない ことは無い明るさだった。LEDについては、問題な く点灯したものが少数で多くの場合は点滅をしてし まい照明として使用するのは困難な状態になってし まったものが多かった。また、明るさが落ちたもの についても照明として使える状態ではなくなってい た。

3.3 中性子フルエンス率の算出

照明試料と一緒に放射化させた金箔を Ge 半導体 検出器を用いて y 線スペクトロメトリーを行う事に よって、照射場における中性子フルエンス率を算出 することができる。

この時、むき出しの金箔と Cd 板でカバーした金 箔との生成放射能の比較をすることによって、熱中 性子と、熱中性子よりも高いエネルギーの中性子と 分けて算出することが可能になる。照射 1 と照射 5 での熱中性子フルエンス率はそれぞれ (1.9± 0.2)×10⁷ cm⁻² s⁻¹ と(6.5 ±0.3)×10⁵ cm⁻² s⁻¹ であった。 この結果と照射時間と点灯試験の結果から考察して LED 管については $(9.7 \pm 1.1) \times 10^{10}$ cm⁻² 以上の 中性子の照射があった場合は使用できないと考えら れる。

4. まとめ

加速器室内の中性子の大量に発生する場所では、 現時点では照明器具は白色蛍光灯が最適と考えられ る。

中性子を連続照射した場合、生成される放射能が 飽和するまで半減期の数倍の時間がかる。蛍光灯は 通常の使用でも数年で交換されるので、半減期が年 オーダーの核種が生成される場合は使用している間 放射能は増加し続けることになる。¹⁵²Eu は正にそ のような核種であるため、三波長管タイプを選択す ることは放射性廃棄物の管理の観点から好ましくな い。

今後一般的な照明として普及が進むと考えられる LED についても、現時点では加速器内の中性子の多 く発生する場での照明としては適さない。LED 照明 は発光素子だけではなく電子回路が組み込まれてい るが、電子回路は中性子の影響を大きく受ける。中 性子の多く発生する場では回路が異常をきたすため、 通常の使用時に比べて極端に寿命が短くなる。これ では LED の長寿命の特徴を生かせず、購入単価か ら考えて好ましい話ではない。また放射能の生成量 は蛍光灯よりの少なめだが一般に廃棄できるわけで はないので、短期間に交換となれば、廃棄物の量が 増えることとなるなど様々な面から LED 照明は好 ましくない。

LED 照明自体は寿命が蛍光灯に比べて寿命が長く 交換メンテナンスの手間が省略されるなどの利点が 考えられるが、中性子のほとんど発生しない場で使 用するなど、設置する場の状況を確認して使用する 必要がある。

表1 試料データ

タイプ	型番	色温度	メーカー
	F15T8/CW	4100 K	G.E.
	F15T8/KB	3000 K	G. E.
蛍光灯	F15T8/PL/AQ	3100 K	G. E.
(白色)	FL10D	6500 K	三菱オスラム
	FL10N	5000 K	三菱オスラム
	FL10W	4200 K	三菱オスラム
	FL10EX-N TT	5000 K	三菱オスラム
蛍光灯	FL10EX-D TT	6700 K	三菱オスラム
(三波長)	FL10ENXF	5800 K	三菱オスラム
	FL10EDXF	8000 K	三菱オスラム
	LTL-10W	4600 K	OnWave Corp.
LED	LTL-10L	3000 K	OnWave Corp.
	ЕН33-Т78	5500-6000 K	e-half Co., Ltd
	MWT-10SMD-CL	6500-7000 K	BLUE WING Inc.

5. 参考文献

- H. W. Patterson and R. H. Thomas, *Accelerator Health Physics*, Academic Press, Inc., New York, (1973).
- [2] R. Venkataraman, F. Bronson, V. Atrashkevich, M. Field and B. M. Young, Improved detector response characterization method in ISOCS and LabSOCS, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 264 (2005), pp. 213-219.
- [3] F. L. Bronson, Validation of the accuracy of the LabSOCS software for mathematical efficiency calibration of Ge detectors for typical laboratory samples, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 255 (2003), pp. 137-141.

表2 照射実験施設と照射条件

実験	施設名	照射場所	加速粒子	総粒子数	照射実時間	運転時間
照射 1	FNAL	ハドロンアブソーバ	120GeV 陽子	6.1 $\times 10^{18}$	4.8 日	5 日
照射 2	FNAL	ハドロンアブソーバ	120GeV 陽子	1.5×10^{19}	12.9 日	13 日
照射 3	FNAL	ミューオンライン	120GeV 陽子	1.6×10^{20}	112.9 日	132 日
照射 4	FNAL	メインインジェクター	120GeV 陽子	1.5×10^{19}	12.9 日	13 日
照射 5	獨協医科大	サイクロトロン室	18MeV 陽子	3.5 $\times 10^{19}$	1.2 目	32 日

表 3 点灯試験結果

		照射1	照射 2	照射 3	照射 4	照射 5	
	FL10EX-N TT		•	•	•	•	
	FL10EX-D TT		•	•	•	•	
	FL10ENXF		•	•	•	•	
蛍光灯	FL10EDXF		•	•	•	•	
	FL10D		•	•	\times	•	
	FL10N		•	•		•	
	FL10W		•	•	•	•	
	LTL-10W	•					●点灯
IED	LTL-10L	•					▲ 点滅
LED	EH33-T78			\times		•	× 非点灯
	MWT-10SMD-CL			▼			▼ 明度減

照射1-3 NuMI Hadron absorber



図1 FNAL ハドロンアブソーバとミュオンビームラインでの照射



照射4 Main injector

図2 FNALメインインジェクターでの照射

照射5. 18-MeV proton cyclotron room



図3 獨協医科大学病院のPET 用サイクロトロンでの照射



図4 各照射によって試料内に生じた放射性核種と放射能

ILC用超伝導加速空洞の製作

渡邉勇一、安島泰雄、井上 均、佐伯学行 (高エネルギー加速器研究機構)

開発供用棟内に設置した電子ビーム溶接機等を用いて、In house の ILC 用 9cell 超伝導加速空洞を 製作中である。次の段階として、自動化技術の開発・コスト削減に向けた研究開発を行っている。 現在、製作中の1号機を中心に報告する。

1 はじめに

国際リニアコライダー(ILC)のような、将来の大型 プロジェクトでは超伝導空洞の量産技術が非常に重 要である。工業生産として必要な自動化技術を開発 し、さらなるコストダウンを進めていく必要がある。 そのためにはより先進的な製造方法を発案していか なければならない。そのような目的で、超伝導空洞 の量産研究を行う施設(CFF)に、2011 年 4 月 電子 ビーム溶接機(EBW)が 導入された。この EBW は加 速電圧を 60kV から 150kV 間で連続可変が可能であ る。低電圧領域から高電圧領域までの Nb (ニオブ) の溶接特性、特に裏ビードの形成に関する溶接基礎 試験を行ってきた。また、現在 KEK#1号機として、 空洞の主要パーツをほぼ CFF で製作した。進行中 の KEK#1 号機の製作を報告する。

2 空洞製造技術開発施設(CFF)

CFF は工作棟の西側、開発共用棟(旧 PS エネル ギーセンター)内に設置したクリーンルームで、4 つの部屋で構成される。ハーフセルのトリム加工を 行う縦旋盤を設置し、建屋への入室口を兼ねる前室。 Nb 円盤からハーフセル形状にプレスするサーボプ レスマシンを設置したプレス室。空洞パーツ表面の 異物を化学的に除去する CP(Chemical Polish)装置 を設置した CP 室。成形されたハーフセルや、種々 のパーツを接合して空洞を組み立てる電子ビーム溶 接機を設置した EBW 室である。



Fig.1 空洞製造技術開発施設(CFF) 導入された EBW 機は、SST 社の高電圧型で 150kVx100mAを発生できる。電子銃は縦横2か所 に取付け部を設け、溶接のスタイルで移動が可能と なっている。



Fig.2 電子ビーム溶接機

CFF におけるハーフセルの深絞りにはサーボプレ スが導入された。サーボモーターによる制御により プレスモーションを変化させることが可能となって いる。このプレスマシンで成形されたハーフセルを トリム加工する際、KEK#01 号機ではアイリス部を 突合せ形状、赤道部にはインロー形状を採用した。 ハーフセルのトリミングには Al 製の専用治具を 用い、旋盤で赤道部、アイリス部の順に加工してい く。Nb の切削加工はバイト刃先の管理が重要で、 作業者の経験が重要である。



Fig.3 プレスマシーンとハーフセル

3 空洞の製作

スティフナ加工には0号機用製作時の成形不良改 善のために、事前に端部のみを成形する端部プレス 治具を追加した。端部プレスをおこなった後で、全 体の成形を行い、ダンベルに組み合わせた時のステ ィフナ端部の成形不良を改善するのが目的である。 さらに、0号機では、あらかじめ長めに素材を用意 し、スティフナ形状に成型したのちに不要な部分を 放電加工で切り落としていたが、1号機では素材を 最終形状の寸法に事前にカットすることで不要部分 をなくし、プレス後の切り落とし作業を省略するこ とに成功した。端部の成形不良については、一定の 効果は見られたが、最終プレス型の最適化を行うこ とで、より一層の改善が見込める。

1 号機では、空洞の多連化に最適と思われる、電 子銃をチャンバの横にセットし、ビームを空洞の側 面から撃つ、横撃ちスタイルを導入した。これによ り、空洞上部から空洞側面を撃つ縦撃ちで懸念され るたわみ形状の問題を回避できると考えられる。そ こで今回、新たに横撃ちでの条件だしをおこなった。 Nb 板でのビードオンによる条件出しを、電圧、電 流、フォーカス電流値などを調整し、ベストな条 件でのビードが得られるまで行われた。評価方法と



Fig.4 スティフナプレス治具 しては、目視や触診によるビードの形状観察。また、 表面観察装置を使用したビード境界の評価のほか、 形状測定装置によるビードの断面形状計測等もおこ ない、アイリス部、赤道部、終端部各々のベスト条 件を探索した。

その条件を元に、スライドブッシュで、ダンベル EBW の伸縮に追従するジグを利用しダンベル化を実施。しかし、1 個目はテストでおこなったパイプより、熱容量が大きいと考え、想定した条件でおこなったダンベルは溶接部に穴が開いてしましまった。



Fig.5 条件だしセットアップ

ダンベル形状のため、パイプの時より熱がこもる ことが判明し、輻射による効果が影響していると考 えられた。ダンベルの残り半周を利用し、電流を 3mA下げて実施したところ、今度は裏ビードが非常 に細くなった。結果、この間に最適条件があること が導き出された。

電流が弱く裏ビードが細くなったダンベルにつ いては、ダンベルを傾けてセットし、内面から補 修溶接を行うことで、滑らかな内面ビードに補修 することができた。



Fig.6 ダンベル溶接のセットアップ



Fig.7 アイリス内面化粧溶接後のビード

4 まとめ

アイリス部の EBW は、結果的に課題を残すこと になった。本報告でおこなった空洞製作は、現在も 機構内 CFF で継続中であり、今後改めて続きを報 告する予定である。

5 参考文献

安島泰雄 他 「超伝導空洞製造技術開発のための電子ビーム基礎試験(Ⅱ) 平成 23 年 6 月 2
 日、3日 第 12 回高エネ研メカ・ワークショップ、
 第 2 回先端加速器・機械工学・超伝導低温技術研究

会 於 KEK

2) 上野健治 他「空洞製造技術開発施設(パイロ ットプラント)について(II)」 平成23年6月2
日、3日 第12回高エネ研メカ・ワークショップ、
第2回先端加速器・機械工学・超伝導低温技術研究
会 於 KEK

X-RAY PULSE SELECTOR FOR HYBRID MODE OPERATION OF PF

Hirokazu Tanaka^{#,A)}, Takashi Kosuge^{A)}, Jun-ichi Adachi^{A)} ^{A)} High Energy Accelerator Photon Factory 1-1 OHO, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

物質科学研究では、非常に短い時間(例えばナノ秒以下)での時間変化の測定が重要となることがある。 そのような時分割測定のため、パルス光を照射できるようにする技術が必要となっている。放射光はパルス 特性を持っているため、時分割測定の良い光源となっているが、特殊な運転モードを要求するため、放射光 源加速器の効率的な利用の点について検討が続けられている。フォトンファクトリー(PF)では、近年、ハイ ブリッド運転と言われる大強度のシングルバンチと半周程度のマルチバンチを組み合わせた運転モードが提 案され実施されてきている。そのハイブリッドモードでは、マルチバンチ部の光をマスクしないと、シング ルバンチ運転で行われてきた時分割実験を行うことは困難である。そのため、ハイブリッド運転でシングル バンチ部のみの光を取り出す光パルスセレクターの開発を行っている。本稿では、その開発状況を報告する。

PF ハイブリット運転用の光パルスセレクター

PF ハイブリッド運転と光パルスセレク ター

荷電粒子は、加速度運動をすると電磁波(光)を放 出するが、その内、シンクロトロン放射光(SR)とは 光速に近い荷電粒子が磁場により曲げられたときに 放出される光で、主に円形の電子加速器から放射さ れる赤外~X線にわたる広い波長範囲の光を用いた 実験が行われている。特に紫外光~X線においては、 波長可変で高輝度な光源が SR 以外にないことから、 非常に重要な光源となっている。PF は、SR を用い た実験施設で、その光源には一周 187m の 2.5GeV 電子加速器が用いられている。

PFでは、通常、マルチバンチ運転と言う運転 モードが用いられている。これは、一周に電子の塊 (バンチ)が入りうる場所が312バケットあるが、そ の大部分に電子を詰め込み、CW(持続波)に近い光が 得られる運転である。このモードは加速器の安定運 転とSRの平均強度という点では最も良い運転モー ドであるが、得られる光に実験上有益な時間構造が ないことから、動的な状態をストロボ的に調べる時 分割実験を行うことは出来ない。しかし、加速器に よるSRは、時間構造を持たせることが可能で、電 子を一つのバケットにだけ入れるシングルバンチ運 転を行うと、パルス幅100ps程度の非常に短いパル ス光を得ることができ、ストロボ的に瞬間を切り出 すことが可能になる。ただし、その場合は、加速器 に蓄積される電子の電流値は大幅に制限され、電流 値に比例する放射光の平均光量は約 1/9 となる。そ のため、静的な状態を調べる大部分のユーザーには あまり魅力的でない運転モードとなってしまってい た(表 1)。

そこで、2010年度より、ハイブリッド運転という 運転モードが提案され、試行されてきている。これ は、約半周に電子バンチを詰め込み、残りには、孤 立バンチを入れると言うフィルパターンの運転モー ドである(図1)。これにより、電流値を増やし、平 均光量をマルチバンチ運転と同程度にできる。しか し、ハイブリッド運転では、時分割実験を行うため には、孤立バンチ部のみのデータを取り出す必要が ある。その方法の一つは、信号にゲートをかけて選 択する方法だが、その場合は、検出器に時間分解能 が必要とされ、また、試料に余分な放射光が照射さ れるため、長距離の TOF 測定や長い緩和時間の測 定は出来ない。

そこで、今回は、光を取り出す時以外光を遮蔽し 孤立バンチ部の光のみを取り出す光チョッパー型の 光パルスセレクターを開発した。これにより、孤立 バンチ部の光のみを試料に照射することができる。

表 1. KEK-PF 運転モードの比較

	シングルバンチ モード	マルチバンチ モード	ハイブリッド モード
電流値	50mA	450mA	450mA
パルス特性	パルス幅 100ps 程度 繰り返し 624ns 間隔	CW に近い	シングルバンチ モードとマルチ バンチモードの組合せ

[#] hirokazu.tanaka@kek.jp

2. 光パルスセレクターの開発方針

まず、PFで必要とされる光パルスセレクターの 仕様をまとめた。それは以下のとおりである。

- 1) 開口時間が 350ns 以下
- 2) 高繰り返し(数十~数百 kHz 以上)
- 3) 高光量(開口幅と開口高さの最大化)

1)は、ハイブリッドモードの発光の時間構造に依存し、現在 PF で実現できている孤立バンチの前後の電子の無い区間の長さから要求を定めた。2)および3)は、実験を効率的に行うために最大限求められているものである。ただし、3)については、1)と干渉するため、1)が優先する。

次に同様の光チョッパーがないかを調べた。する と、放射光実験施設では、いろいろな光チョッパー が開発されていることが分かったが、開口時間 350ns以下で、加速器の電子周回と同期でき、かつ 高繰り返し(数+ kHz 以上)と言う条件を満たすもの はなく、いずれかの物を基にして開発をする必要が あることが分かった。

そこで、輸送時間の短さなどによる対応の速さや 日本語によるコミュニケーションなど開発のしやす さを考え、国内メーカーで製作することにし、 SPring-8のX線用の光チョッパー[1]を基に開発する ことにした。開発すべき点は、以下の二点である。

- 高真空化
- 周速の高速化

まず、1)については、X線用の光チョッパーは、 中真空(~10⁻¹Pa)までしか要求しないため、SPring-8 のX線用光チョッパーでは、中真空までしか排気し た経験がなかった。しかし、今回 PF では、紫外線 ~軟X線の領域を使うことを考えているため、光が 大気によって吸収されないために高真空である必要 があり、しかも、ミラーなどの光学素子の炭素汚染 を最小限にするために前後に超高真空(10⁻⁵Pa 以下) を接続する必要がある。SPring-8 のX線用光チョッ パーはエアベアリングを用いているため、チョッ パー自体がガス源となり、どこまでガス放出量を減 らせるかが問題となった。 2)の周速の高速化は、次のような目的である。 SPring-8 は加速器の周長が 1436m あり、PF に比べ 周長が約 7.7 倍ある。電子は、相対論的速度になっ ており、ほぼ光速で飛んでいるため、パルス間隔が 長い SPring-8 の光チョッパーは開口時間が 900ns 程 度と長く設計されていた。そのため、PF の要求には 合わず、開口部を細くすることと同時に高速化が必 要となった。ただし、開口部を細くすると光量が減 少するため、出来る限り周速を高速化することが必 要となる。

なお、SPring-8のX線用の光チョッパーは、回転 安定性に優れジッターが少ないこと、また、軸受の 芯ぶれも少ないことから、実効的な開口時間が短く なるため、開口部を比較的広くできることも、開発 の基に選定する理由となった。

3. 高真空化

今回、開発した光パルスセレクターを模式的に表 すと、図2のようになる。

図2のAir Inから圧搾空気を導入し、Air Outから 排出することにより、軸を軸受から空気の圧力で浮 かし、摩擦を低減する。また、外壁と軸との隙間を 小さくすることで、精密に軸を保持することができ るように設計されている。

さらに、Vacuumのポートからロータリーポンプ (RP)で排気することにより、真空槽内へのガスの流 入を抑える設計になっている。SPring-8のX線 チョッパーでは真空槽の排気にスクロールポンプを 用いて、中真空まで排気し、スリット回転体の風損 を抑える設計となっていたが、今回の光パルスセレ クターの真空槽は、ターボ分子ポンプ(TMP)を使い 排気し、高真空を得られるように考えた。

SRは、スリット回転体の横から入ってきて、ス リット回転体上部に切られたスリット開口部をと おって下流側に届くようになっている。

高真空化については、まず、メーカーから、エア ベアリング単体を借用し、単独排気試験を行った(図





図2光パルスセレクター概念図

3)。図4の模式図で分かるようにベアリングを直接 300L/s 級の TMP で排気し、到達真空度を求めた。 その際、ベアリングの圧搾空気は、オイルフリーの 清浄な圧搾空気が準備できなかったことから、窒素 ボンベを用いて試験した。なお、TMP は 10Pa 程度 以下でのみ動作するポンプであるので、その排気側 に RP などを接続する必要がある。今回は、容積が 小さいこともありヘリウムリークディテクターで代 用した。

当初、図4の RP2 の部分に到達真空度の悪いダイ アフラムポンプを用いて、ベアリングとの間に真空 レギュレーターを付けていたが、1×10-2Pa 程度ま でしか到達しなかったため、真空レギュレーターを 外したところ、真空度が半分程度に改善した。また、 ダイアフラムポンプを到達真空度のよい RP に交換 したところ、さらに真空度の改善がみられ、その結 果、3.5×10⁻³Paの真空度が得られた。これにより、 ベアリングの排気部の排気能力、特にコンダクタン スは、真空槽へのガス放出量に大きな影響があるこ とが分かった。

また、3×10⁻⁴Pa ・ m³/s 程度のガス流入があるこ とが分かったが、10-3Pa 台まで到達すれば、差動排 気をしっかり設計すれば、超高真空槽にも接続でき ると考え、このまま開発を続けることにした。

さらにガス流入を減らすべく、ベアリングの排気 部の径を広げるなど設計変更をした。真空度が改善 すれば、差動排気の設計を緩めることができ、アラ イメントが楽になり、設置時間の短縮になる。

4. 周速の高速化

設計の基となった SPring-8 の X 線チョッパーは、 参考文献[1]によれば、直径 70mm のディスクを約 30000rpm で回すものであった。この時、周速は約 110m/s となり、この速度で 350ns 以下の開口時間を 実現しようとすると、38.5 μ m 以下の開口幅となり、 加工が極めて難しい。また、光量も損なわれる。そ のため、高速化は、必須であった。

重心位置が軸受中心からずれる偏心が、ディスク 直径に比して小さくなれば、軸受が持つ遠心力を軽 減できるので、偏心量を小さく抑えたまま、ディス ク直径を拡大すれば、高速化が可能になると考えた。 しかし、単純に、ディスク直径を大きくすると、 ディスクの質量が増えてしまいディスク直径の拡大 分を打ち消してしまう。そのため、紫外~軟 X 線領 域では光はすぐに遮蔽されてしまうので、X 線 チョッパーでは、遮蔽のために厚みが必要であった 開口部を切る土手の部分を直径方向に薄くし、軽量 化した。直径 200mm で約 20000rpm を検討し、その



図3 エアベアリング単独排気試験



模式図



図5 動バランス試験

結果、周速は約 210m/s になった。ただし、メー カーによる振動解析の結果、430Hz(25800rpm)に共 振点があるため、約 20000rpm 以上は危険であると 判断した。

ディスクの開口については、加工業者の検討の結果、特殊刃物を用いて 50-0+20 µ m でスリットを切ることとした。これにより、開口時間は約 330ns となった。

その後、メーカーにて、ベアリングの製作、組み 付け、動バランス試験の後、高速回転試験を実施し、 実際に 20000rpm に到達した。(図 5)

5. 実用試験と今後の目標

2012年11月にKEK-PFにてハイブリッド運転が 行われ、その時に、実用試験を行った。差動排気は 用意せず、薄膜による隔壁で上下流を仕切る形とし、 下流に長距離のTOF装置を組み合わせた(図 6)。薄 膜による隔壁では、光量はロスしてしまうが、ベア リングの排気部の増強では、ほとんど真空度が改善 しなかったため、1cm四方のピンホールなどの10-6m³/s 程度のコンダクタンスの差動排気を設計せざ るを得ず、当座はアライメントが難しいと判断した。

この実用試験中に、光パルスセレクターから振動 が発生し、それを抑えるため、エアの圧力を調整し たところ、エア切れを起こしてしまい、ベアリング が固着しディスクがロックしてしまった。(図7)

停止操作は行ったが、高速回転しているため、制 動をかけずにフリーランで止める設計としていたの にもかかわらず、停止を確認せずに圧力調整をして しまったのが、最大の失敗点である。

また、圧力調整をレバー状の ON/OFF 用のバルブ (図 8)で行うべきではなかった。

今後は、まず、ベアリングの修理を行い、次に、 減圧弁や流れているエアを確認する圧力計を準備し、 インターロックシステムを組み、実用に供するのが 第一の目標である。

将来的には、磁気軸受けの光チョッパーを開発し、 超高真空で使える光パルスセレクターを実用化した いと考えている。



図6 実用試験



図7 固着した光パルスセレクター



図8 圧力操作したバルブ

参考文献

[1]大沢仁志、他、「超高繰り返しシングルバンチ切り出 しチョッパーの開発」、第24回日本放射光学会年会 放射光科学合同シンポジウム、茨城県つくば市、2011 年1月7日~10日

○瀬谷智洋 Ѧ)

A) 高エネルギー加速器研究機構
 物質構造科学研究所
 中性子科学研究系

1. はじめに

大強度陽子加速器施設(J-PARC)物質生命科学 実験施設(MLF)では、加速器によって加速された 陽子を使い高強度のパルス状中性子ビームを発生さ せている。この中性子ビームを用いて、リチウム電 池や水素吸蔵合金などの先端材料の構造解析を行 なっている。

このような物質の構造解析には、中性子の散乱 データと試料環境データ、チョッパーやコリメータ 等の中性子光学機器の状態の測定が必要である。し かし現状では、これらの測定は独立して行われてお り、特に同期に関しては考慮されず、それぞれ個別 の時刻を基準に測定を行なっている。

本開発はこれらの問題を解決する事を目的として いる。中性子散乱データを収集しているモジュール と同期、中性子実験に関わる様々な実験データを、 統一された同期信号を使い、統一されたデータ フォーマットで出力する汎用データ収集モジュール (TrigNET)を開発する。

本発表では、特に試料環境データを測定するモ ジュールの開発について、アナログ信号出力から データ収集、グラフ化までを報告する。

2. 測定対象

現在、BL21 NOVA では温度を連続的に変化させて水素吸蔵合金の解析を行う PCT (Pressure Composition Temperature)実験が行われている。この実験では試料環境の温度や圧力の測定が行われている。これらを TrigNET により測定を行う。測定対象となる3つの値はいずれも、PCT 制御装置からのアナログ電流出力である。

3. ハードウエア開発

今回試作した回路を図 1.に示す。この TrigNET は FPGA (Field Programmable Gate Array)を搭載した VME 6U サイズの回路で、物質の構造解析に必要 な様々な値を記録するため、多数のインタフェイス を備えている。アナログ信号に関してはサンプリン グレートの違う2種類の ADC(Analog Digital Converter)を搭載し、LEMO コネクタによる TTL(Transistor-Transistor-Logic)入力も複数備えてい る。詳細は表 1.に示す。

また、前述の通り測定対象のアナログ信号は 3ch あるが、TrigNET には 1ch しか適切な ADC が搭載 されていない。さらに、電流出力はそのままでは測 定できないので電流を電圧に変換し、かつチャンネ ルを切り替えるマルチプレクサを搭載した外付け回 路を作成した。



図 1. 試作した測定回路 (左:外付け回路 左: TrigNET)



図 2. DAQ-Middleware のコンポーネント構成



図 3. DAQ-Middleware の Web インタフェイス

4. DAQ ソフトウエア

データ収集には DAQ-Middleware を使用した。 DAQ-Middleware はネットワーク分散環境でデータ 収集用ソフトウエアを容易に構築するためのフレー ムワークで、MLF では様々なビームラインで利用さ れている。

今回は図2.に示すような構成でデータ収集を行 なっている。サンプルコードを参考にGathererと Loggerを作成した。また、制御に関してはWebブ ラウザからアクセスするWebインタフェイスを利 用した。これにより、Linuxのターミナルでの操作 に慣れていないユーザーに対しても、容易に測定の 開始と停止ができる。そのWebインタフェイスを 図3.に示す。

5. 動作試験結果

BL21 NOVA で測定した測定結果を図 4.に示す。 既設温度計の値と比べて相似形であることから、正 しく測定できていると判断した。



図 4. TrigNET の測定値と既設温度計との比較

	Jane (part	a reason	in the sector	+0+#- # -#		-			
N	VA Sample Data	A languing Trea	Differences						
199		and the		-	-	-	-		
1299	LARDA.Jmc	2012-07-02	2012-07-02	87939365	nd.	-	nit.	nd.	20
1284	Liesos	2012-06-30 18:45:08.0	2012-05-30 15:46:56.0	1040644312	init .	-	144	nil i	÷10
1279	15.Fett6	2012-09-30	2012-06-30 09-24:23.0	3193697257	mail	est.	mit	nii.	-
um.	VLFeH6	2012-06-29 18:40:04.0	2012-06-29 18:57:53.0	158811937	nd	est.	net	nd	
1211	L110Ge#2513_M	2012-06-28 04:10:51.0	2012-06-28 06:12-29.0	1100683738	nie.	nit	mit	nit	16
2232	L110GeP2512_A	2012-06-27 05:37:04.0	2012-06-27	1100272460	nit.	nit	nit :	nd :	.10
3228	125.50.7255.50	2012-06-26 18:21:19.0	2012-06-26 22:23:00.0	2209394218	nd.	- mil	and.	nd	-
1111	125,15,9255,85	2013-86-26 12:56-25.0	2012-06-38 15:52:06.0	2196633119	nali	nil	null	int	-
1226	(128,23,7285,77	2012-06-26 08:45:48.0	2012-05-26 12147:31.0	2196249113	mil	- M	nd	nil	
		2012.05.26	2012/06/26			100	Sec.	Taxas.	

図 5. 測定試料のデータベース

6. まとめ

今回は特に BL21 NOVA における PCT 実験向けの 開発事例を示した。しかし TrigNET は他の機能も実 装しており、例えば中性子のビームを整形している チョッパー類のフェイズロック信号の監視を行い、 設定値を超えた場合イベントデータを出力する機能 も実装されている。今後も様々な機能を追加してい く予定である。

また、今回の技術交流会のテーマである「技術開 発の最前線」について、技術開発の最前線に立ち続 けるには、常に新しい技術を習得していく必要があ ると私は考えている。この考えのもとに FPGA ベン ダーが開催する新製品のセミナー等に積極的に参加 している。また FPGA に限らず、サーバーの管理技 術や図 5.に示すような Web アプリケーション開発 等に取り組んで、どのような開発案件にでも包括的 かつ柔軟に対応できる技術者を目指している。その ような取り組みの中で最終的に、数十年使われ続け る優れたアーキテクチャを生み出したい。

参考文献

- [1] 1. S.Satoh, S.Muto, N.Kaneko, T.Uchida, M.Tanaka Y.Yasu, K.Nakayoshi, E.Inoue, H.Sendai, T.Nakatani, T.Otomo, Development of a readout system employing high-speed network for J-PARC, During a contribute to International Symposium on Pulse Neutron and Muon Science (IPS 08), NIM A 600(2009)103-106
- [2] Uchida. Tomohisa Hardware-Based TCP Processor for Gigabit Ethernet IEEE Transactions on Nuclear Science. vol. 55, no. 3, 2008.6, pp. 1631-1637
- [3] DAQ-Middleware 1.1.1 開発マニュアル http://daqmw.kek.jp

SOI ピクセル検出器用 Digital Library の開発

田内一弥, 池本由希子, 新井康夫, SOIPIX グループ 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 エレクトロニクスシステムグループ 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

我々SOI ピクセルグループは、SOI プロセス技術を用いたセンサー・読み出し回路一体型半導体ピクセル 検出器の開発を行っている。この検出器のデジタル回路部分を HDL 言語を用いて自動配置配線をおこなえ るようにこのプロセス上で動作する Digital Library の開発を行っている。この Digital Library の性能、評価結 果について報告する。

1. はじめに

SOI ピクセルグループにおいては SOI(Silicon-On-Insulator)プロセスを用いたセンサー・読み出し回路 一体型半導体ピクセル検出器の開発を行っている。 SOI ピクセル検出器とは放射線センサーと読み出し エレクトロニクスを一体化した理想的な放射線イ メージセンサーである。

ピクセル検出器とは縦横にセンサーを配置して2 次元の画像データを取ることができるようにしたも のである。可視光用では CCD や CMOS を用いデジ カメなど広い用途で使用されている。現状、我々が 入手できる放射線センサー搭載のピクセル検出器 (図1)は、検出器と読み出しエレクトロニクスを 別々に作り、金属バンプ(図2)によって接合して いるため、位置分解能に制限があり、余分な物質が 大量にあるため、寄生容量によるスピードの低下な どの問題点がある。

そこで次世代の放射線ピクセルセンサーに要求されるものとして、 $10 \mu m$ 程度に位置分解能を上げ、 検出効率・感度も上げたい。また同時にエネルギー 測定も行いたい。そしてピクセル毎に高度な信号処 理を行い、測定レート・読み出し速度を1frameに付 き100ns程度にしたい。また、価格を下げるために monolithicで製作し、寄生容量を減らすため厚さを $50 \mu m$ から700 μm 程度にしたいなどの要求がある。







SOI ピクセル検出器は、これらの要求に応えるよう、1つのチップ上に検出器とピクセル毎に高機能なデータ処理回路を搭載でき、従来不可能であった計測が可能になる。

図3にSOIピクセル検出器の作成方法を示した。 LSI回路を作成する為の低抵抗率のSiウエハーと放 射線検出器用の高純度SiウエハーをSOI絶縁層を はさんで張合わせることによって、SOIピクセル検 出器用のSOIウエハーを作成する。



図3:SOIピクセル検出器の作成方法

図4はSOIウエハーを使用し、SOIプロセスで作成したピクセル検出器の断面図である。50~700µmの厚さのSiセンサー部を放射線(X線、電子線、アルファ線、荷電粒子、光、中性子線等)が通過し、 生成した電荷をLSI回路部分で各ピクセルに収集して電気信号に変換・増幅したものを出力する。



図4: SOI プロセスで作成したピクセル検出器

2. Digital Library 開発

2.1 SOI プロセスにおける Digital Library の必要性

Digital Library とはデジタル回路を HDL(ハード ウェア記述言語)で記述し、CAD 上から回路レイア ウトを自動配置配線するために必要とするものであ る。商用の CMOS チップを請け負っているファウン ダリでは、自社プロセス用の Digital Library は既に 用意されているが、我々が使うセンサー・読み出し 回路一体型の SOI プロセス(ラピスセミコンダクタ 社との共同開発)はまだ開発段階であるので、 Digital Library は用意されていない。しかし、SOI ピ クセル検出器のデジタル回路部分を HDL で作成し、 複雑なデジタル回路の搭載を可能とし、開発期間の 短縮を目指すためには是非とも開発しなければなら ない。

2.2 ライブラリの作成

デジタル回路の論理合成に必要な最小単位の回路 (セル)を作り、回路ネット情報・レイアウト・回 路遅延・回路消費電力等をライブラリ化することに よって、CADで自動配置配線ができるようになる。

今回作成するセルは、Buf(buffer)(図4)、
 Inv(inverter)(図5)、Nand(図6)、Nor(図7)、
 FF(flip-flop)(図8)の基本デジタル回路要素5種類として、これらをすべての高さを同じに作るのが自動配置配線の必要条件である。今回は10µmで作成

した。







- Buf(buffer): クロックなど多数の回路をドライ ブするために必要で、回路的にはインバーター を2段接続している。
- Inv(inverter): Not ゲートともいう。デジタル論 理回路で論理否定を実装したもの
- Nand: AND ゲートの逆の出力のデジタル論理
 回路で否定論理積を実装したもの。
- Nor: OR ゲートの逆の出力のデジタル論理回路で否定論理和を実装したもの。AND、ORを使用していないのは回路の大きさとして Nandに inverterを付けたものが AND で、Nor にinverterを付けたものが OR になり、Nand、Norの方が小さいからである。



図 8:FF(flip-flop)

FF(flip-flop): 1bitの情報を記憶することができる論理回路。ここではD型フリップフロップを用いている。この基本回路が一番複雑なのでこの回路のレイアウトがセルの高さを決めることになる。

```
2.3 12bit グレイコードカウンタ
module GRAY_CODE_COUNTER (
CLK, RESET,
):
       parameter N = 12; // FFの数(Nビットグレイコードカウンタ)
input CLK, RESET;
output[N-1 : 0 ] Y;
       reg[ N-1 : 0 ] COUNT:
       always @ ( posedge CLK or posedge RESET ) begin
if ( RESET ) begin
COUNT <= 0;
              end else begin
COUNT <= FUNC_GRAY( COUNT );
              end
       end
       assign Y = COUNT:
       function[N-1:0] FUNC_GRAY:
input[N-1:0] COUNT;
reg[N-1:0] BIN:
integer I, J:
begin
// グレイコードから2進数
                    IN

// グレイコードから2進数への変換

BIN[N-1] = COUNT[N-1];

for (I = N-2; I >= 0; I = I - 1) begin

BIN[I] = BIN[I + 1] ^ COUNT[I];

and
                     end
                    end
// 2進数のカウントアップ
BIN = BIN + 1:
// 2進数からグレイコードへの変換
FUNC_GRAY[N-1] = BIN[N-1]:
for (J = N-2:J>=0:J=J-1) begin
FUNC_GRAY[J] = BIN[J+1]^ BIN[J];
                    end
       end
endfunction
 endmodule
    図 9:12bit グレイコードカウンタ HDL コード
```



図 10:12bit グレイコードカウンタ回路図

12bit グレイコードカウンタをハードウェア記述言 語(HDL)の VerilogHDL で記述したものを図9に 示した。HDL で記述するとNに数値を代入するだ けで作成したいビット数のグレイコードカウンタの HDL コードが表現できる。これをRTL Compiler (CADENCE 社の論理合成ツール)で論理合成をお こない、デジタルライブラリを使った回路に変換し てこれを回路図として表したものが図10である。

次に 12bit グレイコードカウンタとこの出力を代入しておく幅 32bit 深さ4の FIFOを HDL で記述し、 論理合成したものを SoC Encounter (CADENCE 社の 自動配置配線ツール)を用い自動配置配線を行った ものを図 11 に示した。作成手順は、まずレイアウ トの大きさを決め、外側に電源と GND の枠を作り、 どの程度の密度で配置をするか、最高動作速度など の設定して自動配置配線を行う。図 11 は 70%の密 度で作成したものである。



図 11:12bit グレイコードカウンタ+幅 32bit 深さ4の FIFO の自動配置配線後のレイアウト図

2.4 TDC チップ作成

2.4mm角のチップにTDC(Time to Digital Converter) を作成した。外周部は入出力パッドで、内部の上部 にTDCの本体を手配線でレイアウトし、右下部分 に12bit グレイコードカウンタと幅32bit 深さ4の FIFOを自動配置配線でレイアウト作成したものを 図12に示す。大きさは横500µm,縦450µmで、自 動配置配線部分では高密度に配置配線がおこなわれ ているのがわかる。ちなみにグレイコードカウンタ を使う理由はクロックでカウントアップする時、常 に1bit しか変化しないのでノイズに強いという面が あるため。



図 12:12bit グレイコードカウンタと幅 32bit 深さ4の FIFO(黄色の部分)

3. まとめ

3.1 Digital Library のこれから

我々は SOI プロセス技術を用いたセンサ・読み出 し回路一体型半導体ピクセル検出器の開発を行って いる。この検出器の読み出し回路のデジタル回路部 分を HDL 言語を用いて自動配置配線を実現できる ようにこのプロセス上で動作する Digital Library の 開発を行った。5 種類の基本セルの回路・レイアウ トを作成し、セルの遅延時間・消費電力等のパラ メーターをシミュレーションを使用して求め、自動 配置配線ツールで使用する Library を作成した。

今後各種基本セルを実際にチップとして制作し、 各パラメーターの測定値とシミュレーション時の値 との比較を行いパラメーターを実際の値に調整する。 また、現状では比較的余裕を持って作成してあるセ ルのレイアウトを可能な限り小さく作って回路面積 の縮小を図る。その他に使用頻度の高い回路セルを 増やして、セル・セル間の接続を減らすことによっ て、回路面積の減少と信号伝達距離の減少を図るこ とによって最大動作周波数の増加を図る。

また、簡単なサンプル回路の作成方法を示し、 ユーザーが自分の作成したい回路作成の指針となる ようにドキュメントの整備をおこなう。

3.2 Analog Library ₺

将来的に ADC,TDC,PLL,Memory 等のアナログ回 路もセル化をしてライブラリの作成を行い、デジタ ル・アナログ両方を自動配置配線ができるように Library を発展させ整備してゆきたい。

参考文献

[1]高エネルギー加速器研究機構 測定器開発室 SOIPIX グ ループ http://rd.kek.jp/project/soi/

[2] 高エネルギー加速器研究機構 SOI Digital Library http://reserach.kek.jp/people/tauchik/soi_digital_library/

本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、日本ケイデンス株式会社の協力で行われたものである。

編集後記

今回の技術交流会は、素粒子原子核研究所の担当でおこないました。各研究所、研究施 設の世話人の方々におかれましては、発表の募集や交流会当日の準備にご協力いただきま したこと厚く御礼申し上げます。

今回のテーマは、「技術開発の最前線」と題し、機構のプロジェクトなどで必要な現在進 行形の技術開発をおこなっているものを発表していただきました。

最後にお忙しい中、発表および報告集の執筆をしていただいた7名の発表者の方々に感 謝を申し上げます。

2012年度技術交流会実行委員

田内 一弥

垣口 豊

山野井 豊
