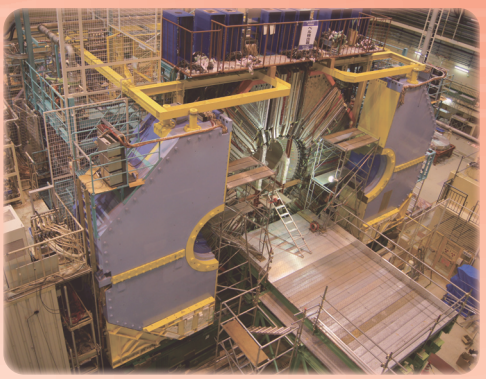
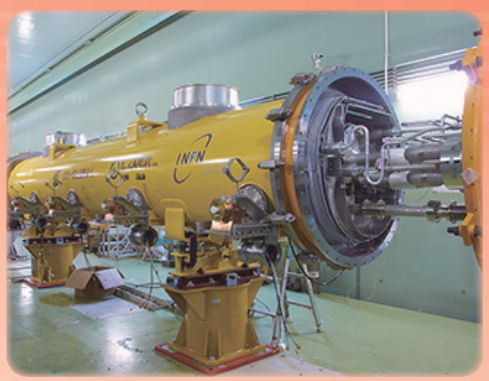
FOUNDATION FOR HIGH ENERGY ACCELERATOR SCIENCE

# FASだより

2014. 5　第8号





公益財団法人
高エネルギー加速器科学研究奨励会

# ＦＡＳだより　第8号　目次

平成２６年５月


１．J-PARC ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故について …… 1

２．公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会　褒章受賞者表彰式について …… 5
（平成２６年２月１７日実施）

３．褒章受賞者の研究報告
１）西川賞 …… 6
（１）受賞者氏名　原田健太郎　氏
（２）所　　属　高エネルギー加速器研究機構　加速器研究施設　加速器第七研究系
（３）研 究 題 目　「電子蓄積リングにおけるパルス多極電磁石による新しい入射方式の開発」
２）諏訪賞 …… 13
（１）受賞者氏名　J-PARC ニュートリノビームグループ　代表者　小林　隆　氏
（２）所　　属　高エネルギー加速器研究機構　素粒子原子核研究所
（３）研 究 題 目　「世界最高強度ニュートリノビーム施設の実現による電子ニュートリノ出現現象発見への貢献」
３）熊谷賞 …… 16
（１）受賞者氏名　大久保光一　氏
（２）所　　属　三菱重工業㈱機械・鉄構事業本部　先端機器事業推進本部
（３）研 究 題 目　「超伝導高周波空洞応用に関する加速器科学への開拓的貢献」

４．平成２６年度　西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞候補者募集要綱 …… 21

５．高エネルギー加速器セミナー　ＯＨＯ’１４の開催予定について …… 22
＜リニアコライダーの基礎と先端加速器技術＞

６．第４回　特別講演会の開催予定について …… 25

７．平成２５年度　事業報告及び収支決算について …… 27

８．公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会　賛助会員一覧 …… 32

９．編集後記

# J-PARC ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故について

J-PARC センター素粒子原子核ディビジョン
KEK 素粒子原子核研究所
小松原　健

2013 年 5 月 23 日（木）に、日本原子力研究開発機構（JAEA）と高エネルギー加速器研究機構（KEK）が共同で運営している大強度陽子加速器施設（Japan Proton Accelerator Research Complex、J-PARC）のハドロン実験施設において、放射性物質の漏えい事故が発生しました。加速器科学に関わる全ての方々にご心配とご迷惑をおかけしたことをまずお詫び申し上げます。

本小文では、施設の概要、事故の概要、事故対応の取り組み、原因と再発防止策、現状と今後の予定についてご説明させていただきます。

J-PARC は茨城県東海村の原子力科学研究所内に建設された、素粒子物理、原子核物理、物質科学、生命科学、原子力など幅広い分野の最先端研究を行うための施設です。リニアック、3GeV シンクロトロン（RCS）、50GeV シンクロトロン（MR）の三つの加速器施設と、物質・生命科学実験施設（MLF）、ニュートリノ実験施設（NU）、ハドロン実験施設の三つの実験施設で構成されています（図 1）。MLF と NU では加速器からのパルス状の“速い”取り出しの陽子ビームを用いて実験を行うのに対し、ハドロン実験施設では 2 秒間をかけた“遅い”取り出しビームで実験を行います。

ハドロン実験施設では、MR 加速器から取り出された 30 ギガ電子ボルトの一次陽子ビームをスイッチヤードの電磁石群で輸送し、実験ホール（幅 60m、奥行き 56m）にある粒子生成標的に照射します。そこで生成された K 中間子、パイ中間子などの二次粒子を複数の実験エリアに導き、素粒子原子核物理の様々な実験を行います。大強度の中間子ビームを用いて精密測定や稀な現象の探索を行い、未知の物理法則を発見することを目指しています。現在は K1.8、K1.8BR、KL、K1.1BR の四つの二次ビームラインを運用しています。

図 1：J-PARC の施設

ハドロン実験施設では、MR 加速器から取り出された 30 ギガ電子ボルトの一次陽子ビームをスイッチヤードの電磁石群で輸送し、実験ホール（幅 60m、奥行き 56m）にある粒子生成標的に照射します。そこで生成された K 中間子、パイ中間子などの二次粒子を複数の実験エリアに導き、素粒子原子核物理の様々な実験を行います。大強度の中間子ビームを用いて精密測定や稀な現象の探索を行い、未知の物理法則を発見することを目指しています。現在は K1.8、K1.8BR、KL、K1.1BR の四つの二次ビームラインを運用しています。

5 月 23 日には、MR から 24.5 キロワットのパワー（6 秒周期で 3x1013 個の陽子）のビームがホールに供給されていました。11 時 55 分に、ビームの遅い取り出しに用いる“EQ 電磁石”の電源の突然の誤作動により、ワンショットだけ、2x1013 個の陽子が 5 ミリ秒で取り出されました。この誤作動の原因は、後に（2013 年 11 月）、外部から電源に入力された電流指示値を電源内部で伝送するシステムの一部に一時的な不具合が発生したためであることが確認されました。不具合は、定電圧電源基板で電圧低下が生じたことに起因しています。基板に用いられている部品の発熱への対策が不十分であったために経年劣化が進み、今回の誤動作に至ったものと考えられています。

この短パルスのビームの照射によって、ホ

ールで用いられていた金の粒子生成標的が損傷しました。金標的は断面が6mm角、長さが66mmで五カ所の切り込み（スリット）が入っており、冷却用の銅ブロックの台座に載っています。金標的の観察を、ファイバースコープを用いて2013年12月に行い、標的の後方に直径1mm程度の穴が開いており、スリット部分から金が漏れ出た痕跡が認められました。金標的の内部の温度が融点（摂氏1064度）さらに沸点（摂氏2856度）を超えて、融解金の一部が気化して急激な体積膨張が生じ、液化した金の一部分を押し出したものと考えられます。観察の結果は、それまでに行っていたシミュレーションに基づいた検討結果とほぼ同様なものです。

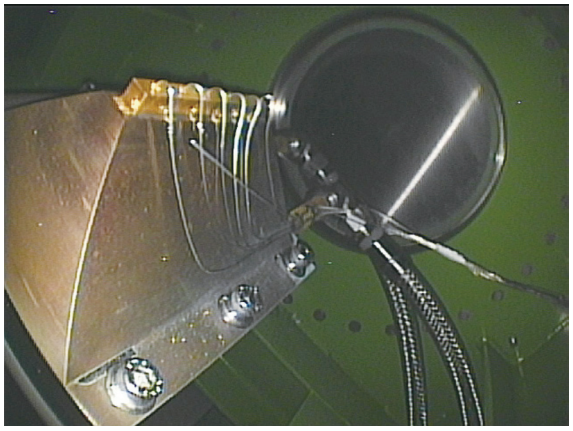


図2：金標的のビーム下流方向に向かって左側の側面。標的のスリットの部分に少量の金が溶け出たように見える。また同台座底面に金色に光る飛沫のような点が見られる。

金標的の損傷により標的内にあった放射性物質が飛散し、標的が置かれていた一次ビームライン室から実験ホール内へ漏えいしました。事故発生後にハドロン実験施設の放射線管理区域に入った作業者102名のうち34名（全員が放射線業務従事者）について、0.1から1.7ミリシーベルトの被ばくを確認しました。放射性物質はさらに、ホールの排風ファンを動かしたために、管理区域外へ漏えいしました。拡散した放射性物質による放射線量は、施設に最も近い事業所境界で0.17マイクロシーベルトと評価されています。

事故直後の対応には①放射性物質を施設外及び周辺環境に漏えいさせたこと、②国・自治体などの関係機関への通報（5月24日（金）22時40分）と公表が遅れたこと、③ホール内で作業者が放射線物質を吸入し内部被ばくしたこと、が問題点としてあげられました。事故以降、J-PARCは施設利用運転を停止し、夏のシャットダウンまでに予定されていたビームタイムはキャンセルされました。J-PARCでの実験を予定されていた研究者の方々に多大なご迷惑をおかけしてしまったことを改めてお詫び申し上げます。

JAEA、KEK両機関のもとにJ-PARCの運営を担うJ-PARCセンターでは、事故以来、池田裕二郎センター長のもとでセンター構成員が一丸となり、事故の原因と事故対応の問題点の調査を行うとともに、事故の再発防止策と安全管理体制の構築に向けた作業に取り組みました。6月から8月にかけて六回にわたり、文部科学大臣の要請に基づいて設置された「事故検証に係る有識者会議」において、施設・機器（“ハードウエア”）の面と安全管理（“ソフトウエア”）の面の両方から、事故の原因と再発防止策について審議していただきました。

加速器は放射線発生装置であり、その使用は放射線障害防止法のもと、原子力規制委員会の許可を得なくてはなりません。規制委員会に法令報告第一報（5月31日）、第二報（6月18日）、第三報（8月12日）を提出し、第19回委員会（8月21日）で議論していただきました。JAEA原子力科学研究所内の施設は茨城県、東海村などの関連自治体との安全協定のもとにあります。法令報告と同時に、同内容の事故報告書を関連自治体に提出しました。JAEAとKEKを主管する文部科学省には、有識者会議の答申書（8月27日に両長に手交されました）とJAEA、KEKそれぞれの安全体制の確認報告をまとめた「措置報告」を提出しました（9月26日）。東海村の原子力安全懇談会（6月21日、9月4日）、茨城県の原子力安全対策委員会（9月10日、12月13日）でも議論していただきました。また、原子力規制庁による現地確認（11月7日）や関連自治体による立入調査（12月5

日）も行われました。J-PARC 周辺にお住まいの地元の皆様に事故と事故後の取り組みを説明する会を、6 月中旬と 10 月末に開催しました。

今回の事故のハードウエア面の問題点として、EQ 電磁石電源の誤作動、ハドロン実験施設の気密の不備と排気設備の不備、放射線モニタの不備が抽出されました。対策として、誤作動の発生部分である電源基板を放熱対策を施した基板に交換するとともに、遅い取り出しで他の要因により何らかの異常ビームが発生しても異常ビームの出力を小さくし標的を損傷させないよう対策を EQ 電源へ施す（インターロック機能を強化し高速化する）、ハドロン実験施設で用いる標的を取り囲む容器を気密化し一次ビームライン室の気密も強化する、ホールは排風ファンを封止した上で排気は監視しながらフィルタを通すようにする、J-PARC 施設全般で放射線を監視するモニタを強化する、を実施します。一方、ハドロン実験施設以外の五施設については、標的の損傷や放射性物質の漏えいへの対策がすでになされていると評価されています。

ソフトウエア面については、事故時の行動から抽出された問題点として、異常時や緊急時の責任体制と指揮系統が不明確であった、放射線安全の審査体制とくに潜在リスクの評価と備えが不十分であった、情報の集約や共有が不足し判断と行動の基準も不明確であった、センター構成員やユーザへの安全教育が不十分だった、などがあげられました。安全管理体制の強化策として、センター全体の安全を統括する馬場護副センター長が着任し、安全管理部門を研究推進部門から分離して独立性を高め、施設管理責任者を東海常駐として責任者と代理者を含めた常時対応が可能な体制にしました。また、外部有識者などで構成される「放射線安全評価委員会」を設置し、この委員会には作業部会を設置する権限を持たせ、専門家メンバーによる実効的議論と技術的検討が行えるようにしました。さらに、事故の兆候段階で関係者を招集して組織的な対応を行うべく、“注意体制”という段階を新たに設け、ビームを止めて情報集約を行うなどの行動にすぐに移るようにしました。規程やマニュアルを改訂し、判断と行動の基準を明確にしました。新しい安全管理体制でのセンター構成員とユーザに対する安全教育、放射線事故を想定した訓練（これまでに 11 月 15 日と 1 月 20 日の二回実施しました）、そして安全文化の醸成のための様々な取り組みを行っています。その一つとして、12 月 11 日に東京で「加速器施設安全シンポジウム」を開催し、国内外の加速器施設における安全管理の経験と課題を共有し討論しました。

地元自治体、関係機関、多くの関係者のご理解とご協力、そして研究再開を望むたくさんのユーザからのご支援をいただいて、J-PARC はリニアック加速器の性能確認を 12 月 16 日から、RCS 加速器の性能確認を 1 月 30 日から開始し、2 月 17 日より物質・生命科学実験施設の利用運転を再開しました。現在、300kW のビームパワーでの運転が行われています。MR 加速器の性能確認は 3 月 24 日から、ニュートリノ実験施設の利用運転は 5 月中旬からを予定しています。

今回の事故が発生したハドロン実験施設についてはまず、再発防止と安全強化のための施設改修作業を進める必要があります。ワーキンググループによる検討をへて、10 月より J-PARC センターと KEK 素粒子原子核研究所のもとに“ハドロン改修タスクフォース”の体制が組織され、そのもとで改修作業が進められています。10 月 8 日と 9 日に、ハドロン実験施設の標的等改修に係る国際評価委員会を開催し、改修計画をレビューしていただきました。（1 月 29 日には、進捗状況についての報告会を開催しました。）金標的観察の作業が 12 月中に完了し、1 月よりホール内外での改修作業が本格化しています。2014 年夏に標的の交換作業を行い、秋に改修作業を終了する予定です。

今回の事故で学んだ多くの教訓をもとにして、安全な施設の運用とハドロン実験施設の再生に向けて、課題を着実に克服していきたいと考えています。そして、J-PARC の最大の使命である最先端の研究成果の創出を、全力で成し遂げたいと思います。

J-PARC ハドロン実験施設における放射性物

質漏えい事故関連の情報は、
　http://j-parc.jp/HDAccident/HDAccident-j.html
で公開されています。
　英文化されたものは
　http://j-parc.jp/HDAccident/HDAccident-e.html
にあります。
　事故直後の対応の詳しい時系列は、法令報告第三報（8 月 12 日）の別添にある「判断の整理・分析表」をご覧下さい。

# ■公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 褒章受章者の表彰授与式

受賞者及び関係者の記念写真（平成２６年　２月１７日（月）　アルカディア市ヶ谷　７階　妙高）

**西川賞**

１）受賞者氏名　　原田健太郎　氏
２）所　　属　　高エネルギー加速器研究機構　加速器研究施設　加速器第七研究系
３）研 究 題 目　　「電子蓄積リングにおけるパルス多極電磁石による新しい入射方式の開発」

**諏訪賞**

１）受賞者氏名　　J-PARC ニュートリノビームグループ　代表者　小林　隆　氏
２）所　　属　　高エネルギー加速器研究機構　素粒子原子核研究所
３）研 究 題 目　　「世界最高強度ニュートリノビーム施設の実現による電子ニュートリノ出現現象発見への貢献」

**熊谷賞**

１）受賞者氏名　　大久保光一　氏
２）所　　属　　三菱重工業㈱機械・鉄構事業本部　先端機器事業推進本部
３）研 究 題 目　　「超伝導高周波空洞応用に関する加速器科学への開拓的貢献」

# 西川賞
# 電子蓄積リングにおけるパルス多極電磁石による新しい入射方式の開発

高エネルギー加速器研究機構
加速器研究施設　加速器第七研究系
原田　健太郎

## 1．はじめに

ここでは、パルス多極電磁石を用いた入射システムについて、まずは蓄積リングにおける“入射”ということについて述べた後、パルス偏向電磁石を複数台使った一般的な入射システムの仕組みの解説を試みる。既存の入射システムでの入射ビームの振る舞いが分かれば、パルス多極電磁石による入射の仕組みは簡単に理解できる。解説では、式を使わず言葉で説明を行い、また、科学的厳密さ（例外や特殊なケースは無視する）よりも分かり易さ（一般的なケースのみ扱う）を優先し、口語体で解説を行うことにする。

## 2．放射光源と入射頻度

電子を磁場で曲げると光が出て、それをシンクロトロン放射光という。放射光は理工学から生命科学、半導体製造の基礎技術まで、様々な実験に使われているが、放射光を発生させる為の加速器を放射光源という。現在 KEK では、PF（Photon Factory）、PF-AR（Photon Factory Advanced Ring) という 2 台の電子蓄積リングが放射光源として運転されている。

電子蓄積リングに蓄積されている電子は、時々刻々、残留ガスとの散乱や電子同士の衝突などのせいで減ってゆく。電子が減ると光も弱くなる為、実験を安定に続けるためには、電子を新しく足さなければいけない。電子銃で生成され、LINAC で加速され、ビーム輸送路を通ってきた電子を蓄積リングに蓄積することを入射という。

以前の放射光源では、ユーザー実験時間と入射時間は切り分けられており、入射は 1 日数回、時間を決めて実験を中断し、それまでの実験中に減った分の電子の入射を行うのが普通であった。例えば昔の PF の場合、入射は朝晩 9 時の 2 回、電流 450mA で実験を始めたのが、半日後には約 300mA まで電流減少、入射時は 30 分程度実験を中断し、元の 450mA まで 150mA 分を新たに入射蓄積していた(図 1 左)。ところが、現在では、ユーザー実験を中断せず、1 分程度の間隔でこまめに電子を“注ぎ足し”入射する、トップアップ方式が一般的である。例えば現在の PF の場合、ユーザー実験を続けたまま約 30 秒に 1 回、0.1mA ずつの注ぎ足し入射が行われている（図 1 右)。入射をしながら実験を続ける為には、入射時にビームラインに届く光の位置と量とが変動しないことが

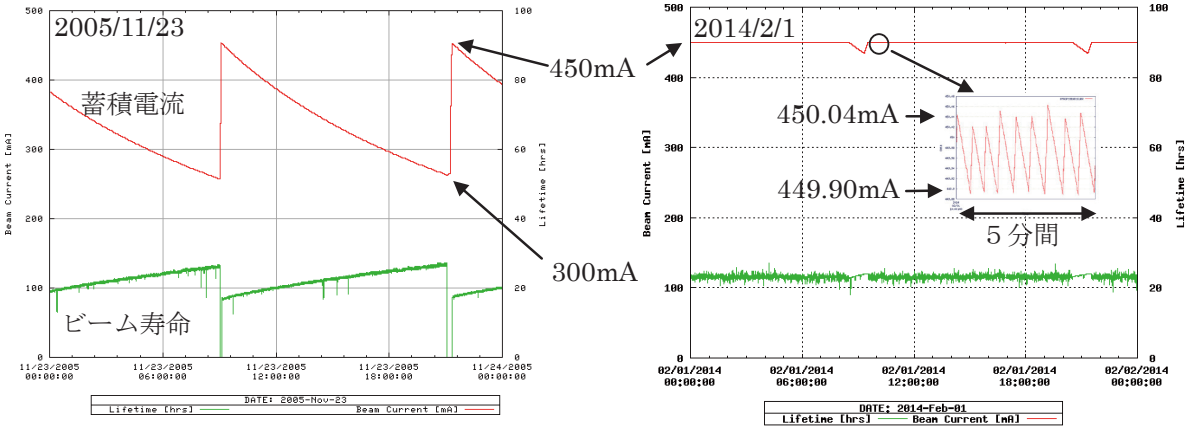



図 1　PF リングにおける一般的な電流履歴。左が 2005 年 11 月 23 日、右が 2014 年 2 月 1 日。2005 年は 1 日 2 回の入射、2014 年はパルス 6 極電磁石によるトップアップ入射が行われている。(1 日 2 回の電流値の減少は、PF-AR の入射時の約 30 分間。）トップアップ入射時、入射は約 30 秒に 1 回、平均 5 ～ 6 パルスの入射で、0.1mA ずつ注ぎ足されている。

必要であり、PF でもトップアップ入射実現のために様々な改造作業と精密な調整作業が行われた。

### 3．安定領域と放射減衰、放射励起

“入射”の原理には､物理口径､動力学的口径、放射減衰という現象が深く関わっている。具体的な入射の仕組みに進む前に、まずはそれらについて簡単に述べる。

ビームは加速器の軌道上を１周つないで真空に引いたダクト内を周回している。真空ダクトの太さで決まる領域を、物理口径という。

ビームをダクトの内側に閉じ込めておく為には、4 極電磁石による集束磁場が必要であり、中心軸からずれてしまった粒子は、その集束磁場によって引き戻され、振動を始める。加速器内のビームの振動をベータトロン振動という。ダクト内のビームの運動は強制力が時間的に変化する強制振動として扱えるが、中心軸近傍では線形な調和振動で安定だったベータトロン振動も、軸から離れるにつれて非線形力の影響で共鳴振動となり、振幅を始めると振幅が無限に増大していく。ダクトの中心軸（蓄積ビームの中心軌道）付近の、ビーム力学的に振動が安定な領域を、動力学的口径（ダイナミックアパーチャ）という。物理口径よりも動力学口径の方が小さいことが一般的であり、例えば PF リングの場合、ダクトの水平方向の内幅は広いところで 10cm 程度あるが、水平方向の動力学的安定領域は中心軸付近の ± 3cm 程度である。

残留ガスとの衝突や、粒子同士の衝突、量子力学的な揺らぎで大きなエネルギーの放射光を出してしまった場合など、何らかの原因で動力学的口径の外に出てしまった粒子は、ダクトの中を回りながら共鳴振動を始め、振幅がどんどん大きくなってやがてダクトの内壁に当たって失われてしまう。その一方、散乱された粒子であっても、新たに入射された粒子であっても、ともかく動力学口径の安定領域の内側にさえいれば、粒子は中心軌道周りで振動を行うが、放射減衰の効果で勝手に振幅が減っていく。

放射減衰というのは、放射光を出すことによって粒子の“余計な”振動が小さくなっていく効果である（図２（a））。粒子が曲げられて光を出すと、エネルギーが下がり、その分を RF 空洞で加速して補うが、光は粒子の進行方向に出る一方、加速は常に軌道に沿った方向になる。従って、軌道から外れる方向を向いた粒子が光を出すと、余計な方向を向いた運動量が光によって減らされ、減った分は RF によって正しい方向に足されるので、その粒子の進行方向は軌道に沿った方向に揃えられるのである。

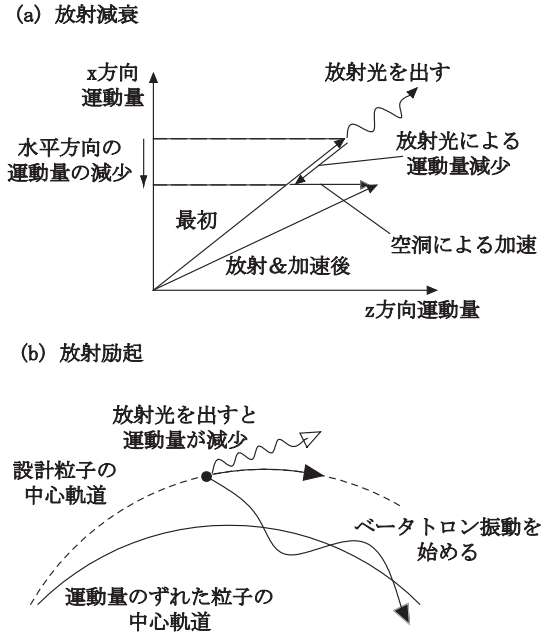


図２　放射減衰と放射励起

ただし、放射光は量子力学的な乱雑さをもって放出される。すなわち、粒子の放出するエネルギーには量子力学的な広がりが存在し、同じ軌道、同じエネルギーの粒子でも放出する放射光にはばらつきがある。放射光を出してエネルギーがずれた粒子は、偏向電磁石での曲げられ方が変化してしまうため、偏向電磁石内でばらばらのエネルギーの光を出した粒子達は、それぞればらばらな大きさで振動を始めることになる（図２（b））。（全ての粒子が同じだけエネルギーを失うならば、ビーム重心（中心軌道）がずれるだけである。） 放射光の量子力学的なばらつきによって乱雑な振動が励起されるその効果を、放射励起という。蓄積ビームのエネルギー広がりや水平方向のビームの大きさは、放射励起と放射減衰との釣り合いによって決められる。蓄積ビームのサイズは一見すると入射と関

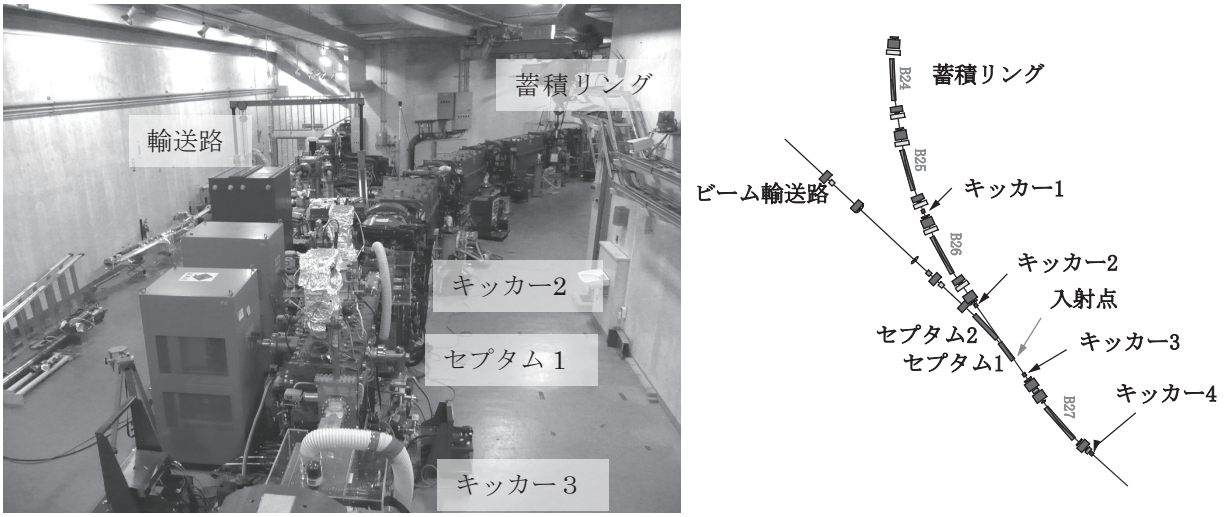



図３　PF リング入射点付近の写真とラティス構成。図中のキッカーがパルス偏向電磁石。

係なさそうであるが、一般的な入射システムではそれも重要なパラメータとある。

PF の場合、動力学的口径は中心軌道から約 ± 2 ～ 3cm 程度、一方、平衡状態のビームサイズは、RMS で約 0.2 ～ 0.3mm である。入射蓄積したいビームを様々なテクニックを使って、動力学口径の内側に入れることができれば、放射減衰の効果で約８ミリ秒後には振動の振幅が 200 ミクロン程度に小さくなり、蓄積ビームに注ぎ足されるのである。

## ４．従来のビーム入射の方法

前置きが非常に長くなったが、既存の一般的な入射のテクニックについて解説を行う。

入射ビームはビーム輸送路を通り、蓄積リングのダクトの外側から運ばれてくる。例として、PF リングの入射点付近の様子を図３に示す。入射路から蓄積リング直前には、セプタム電磁石という電磁石があり、入射ビームの向きが蓄積リングの設計軌道と揃えられる。セプタムは横隔膜という意味だが、蓄積リングと輸送路の間を銅板（セプタム板）で仕切り、輸送路側で磁場をパルス的に励磁することで銅板上に渦電流を生じさせ、蓄積リング側に磁場を漏らさない様にして入射ビームだけを曲げる電磁石である。セプタムで曲げられた入射ビームは、入射点では蓄積リングのダクトの外側にいる。セプタムだけしか使わなかった場合、入射ビームは蓄積リングの中を数周回するかも知れないが、ダクトの外側まではみ出す振幅を持っているため、必ずどこかで蓄積リングのダクトに衝突して失われてしまう。ちなみに、蓄積リングのダクトの一番狭い場所は、通常は入射点のセプタム内壁そのものであることが多く、セプタムで蹴っただけの入射ビームは、蓄積リングを何周かした後、磁場遮蔽用の銅板に内側から衝突することになる。

従来の入射では、入射ビームが来たタイミングで、入射点付近で蓄積リングの中心軌道を一時的に入射ビーム側にずらすという操作が行われる。(図4(a))パルス的に軌道を膨らませる（バンプを作る）為には、通常、パルス偏向電磁石が４台使われる。蓄積ビームの中心軌道をずらすことで、入射ビームを安定口径内に捕獲できるのである。偏向電磁石は蓄積ビームに対しても入射ビームに対しても同じように働く。すなわち、ビームの軌道という観点からみると、ダクトの外側に相当する場所から始まった入射ビームの軌道（振動）は、蓄積ビームの中心軌道の膨らみが元に戻される際、一緒になってリングの中心軌道に引き寄せられるので、ずらした軌道が元に戻った（バンプが閉じた）点より下流では、入射ビームはダクトに衝突することなく振動を続け、放射減衰しながら蓄積ビームと混ざっていくことができるのである。

通常の入射における入射バンプの高さは、セプタム板の厚さと蓄積ビームサイズ、パルス電磁石の強さの限界から決まる。蓄積ビームをセ

プタム内壁により近づければ、入射ビームの振動はより小さくなるが、蓄積ビームの端がセプタム内壁にあたって削れてしまう。蓄積ビームの粒子の位置とエネルギーの広がりは案外大きく、RMS サイズの 5 倍程度の位置でもまだ有意に粒子が存在する（裾が広がっている）。PF リングの場合、セプタムの厚さは約 4mm、パルス偏向電磁石の最大曲げ角は約 2.5mrad、パルスバンプの高さは約 12mm、入射ビームの位置は、セプタム壁を挟んで蓄積ビーム中央から約 27mm のところである。27mm の距離が、中心軌道の 12mm のバンプによって、実効的に 15mm まで小さくなるのである。15mm は PF リングにとって十分に動力学口径の内側である。

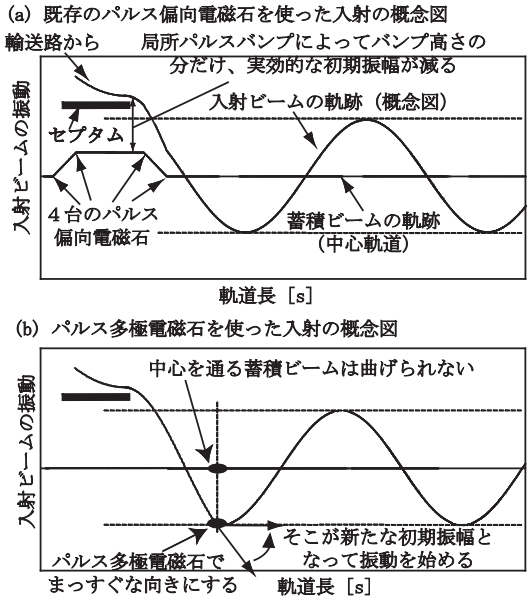



図 4　入射ビーム軌道の概念図

## 5．従来のビーム入射の問題点

パルス偏向電磁石 4 台を使った局所パルスバンプの時間的な長さは、一般にリングの周回周期と同じである。蓄積リング中で電子はバンチという塊で回っているが、蓄積リング中を周回するバンチの数は数百個である。（PF の場合、最大 312 バンチが蓄積可能である。実際はイオントラップ不安定性回避の為に、300 バンチ連続で電子を入れ、12 バンチ空き、というパターンで運転しているが、周長 187m なので、連続フィルの部分では約 60cm おきに電子の塊があり、リングのどこかで見れば、RF 周波数の 500.1MHz おきに電子のバンチが通過することになる。）パルス電磁石 1 回の励磁（1 パルスの入射）で入射ビームが注ぎ足されるのは、どれか 1 個のバンチである。しかしながら、パルスバンプの周期はリングの周回周期であるので、パルス電磁石の励磁し始めから励磁終了まで、絶えずバンチはやってくる。（ちなみに一番強く励磁されたタイミングが入射ビーム到着のタイミングである。）すなわち、1 パルスの入射で、全てのバンチが蹴られる為、パルス電磁石の強さの誤差、タイミングの誤差があると、全てのバンチが振動してしまう。さらに、バンプの途中に非線形要素があると、バンプを特殊な設計にしない限り、ある高さの時だけでしかバンプが閉じなくなる。例えば、磁場が軸からの水平位置の二乗に比例して大きくなる 6 極電磁石がバンプの内側にあると、6 極磁場による軌道の曲げの効果を入れてバンプの最も高い入射のタイミングでバンプを閉じると、入射されるバンチ以外の全てのバンチに対してはバンプが閉じずに振動が発生するのである。パルスバンプの誤差やバンプ途中の非線形磁場は、リングに蓄積されているほぼ全てのバンチに対して入射時に振動を引き起こし、放射減衰時間の間、光を揺らがせてしまう。

なお、PF リングのトップアップ入射の場合、入射は 1 秒に 1 パルスの周期で行われる。図 1 右の 0.1mA 注ぎ足すまで、1 回の入射で約 5~6 パルスが必要である。（各バンチの電荷を一定に保つため、LINAC からの電荷は小さめにしている。）

## 6．パルス多極電磁石を使った入射の原理

2 極電磁石は磁場が水平方向（リングの内外方向）で一定なので、ビームがどこにいても同じ大きさで蹴られてしまう。ところが、4 極以上の多極電磁石の場合、一般に蓄積ビームの中心軌道になる磁石中心軸上では磁場がゼロ、軸からの水平距離に応じて磁場が増えていく。4 極であれば水平位置に対して線形に磁場増大、6 極であれば 2 乗になる。従って、多極電磁石を使えば、中心軸上のビームを曲げず、水平振

幅のあるビームの向きだけを選択的に変えることができる。キッカーを励磁せず、大振幅で振動している入射ビームの向きを、ある点で蓄積ビームの軌道と揃えてやれば、その点での入射ビームの位置が、そこより下流での入射ビームの振動の実効的な最大振幅となる（図４（b））。従って、十分に中心軌道に近い場所で、十分大きな蹴り角で向きをまっすぐにすれば、リングの安定領域内に入射ビームの振動を入れることができるのである。

高次の多極電磁石は、中心軸から外れるに従って磁場が大きくなるので、入射ビームの振動の振幅が大きい程、電流が少なくても磁場が大きくなる。一方、蹴った後の振動の大きさという観点から見ると、蓄積ビームの中心軌道により近い位置で向きをまっすぐにすれば、以降の振動振幅はより小さくなる。両極端の場合は振動の節と腹とであるが、どちらも多極電磁石の設置場所としては不適で、腹では大きく蹴れるが蹴っても振動は全く減らない、節では磁場がないので蹴れない、ということになる。入射ビームの位置が動力学口径の十分に内側で、現実的な蹴り角の範囲で向きを十分小さくできる箇所が、入射のためのパルス多極電磁石の最適な設置場所となる。

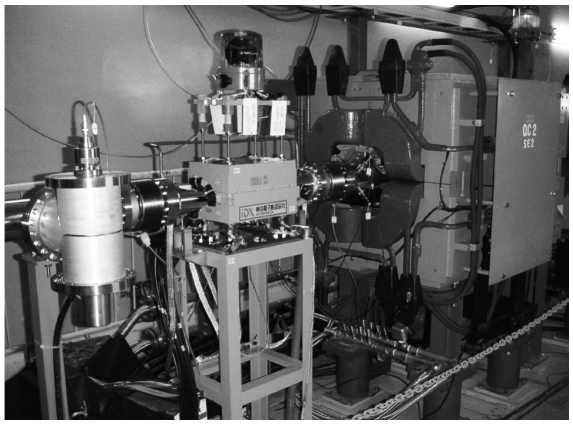


図５　PF-AR に設置されたパルス４極電磁石

表１　パルス４極電磁石のパラメータ

| | 単位 | 値 |
|---|---|---|
| 長さ | mm | 300 |
| 垂直方向磁極幅 | mm | 36 |
| 水平方向磁極幅 | mm | 104 |
| コイル巻数 | ターン | 1 |
| コイル全数 | 本 | 4 |
| 定格磁場勾配 | T/m | 3 |
| 定格電流 | A | 2000 |
| 最大ピーク電流 | Ap | 4000 |
| インダクタンス | μH | 1.8 |

## ７．パルス多極電磁石を使った入射の実例

パルス多極電磁石を使った入射方法を実証するため、我々はまず、パルス４極電磁石を PF-AR に設置した [1]（図 5）。製作したパルス４極電磁石のパラメータを表１に示す。PF-AR では、パルス電源の充電部は PF のマシンスタディ用の高速キッカー用のものを流用し、電磁石本体とパルサー部のみ新規製作した。設置場所は入射点から約 15m 下流の地点である。PF-AR では、実際にパルス４極電磁石を使って、ユーザー運転に供している 60mA 以上まで、通常のキッカーを使った入射システムと遜色ない効率（約 1mA/s）で蓄積に成功し（図 6）、また、蓄積ビームの振動は通常のキッカーを使った入射システムよりも小さく抑えられた（図

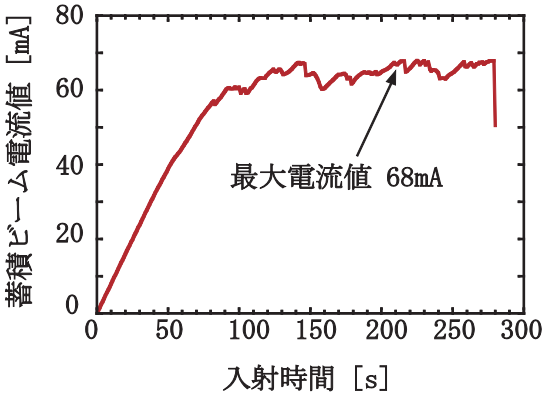



図６　パルス４極電磁石での入射の電流履歴

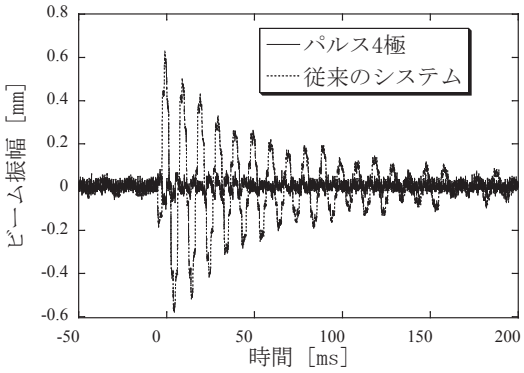



図７　入射時の蓄積ビーム振動の比較

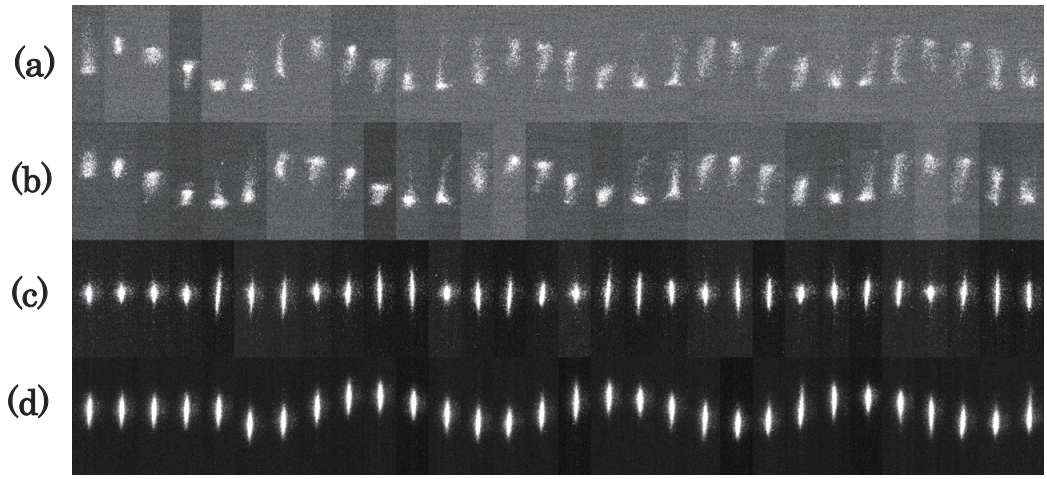



図８　実際のビーム振動の様子。(a)、(b) が入射ビーム、(c)、(d) が蓄積ビーム。(a)、(c) がパルス４極電磁石の場合で、(c)、(d) が通常の入射システムの場合。入射ビームの振動（a,b）は両者でほとんど差はなく、一方で蓄積ビームの振動 (c,d) は、パルス４極の場合形状の変化のみで重心振動がない一方、既存のキッカーの場合、ビームサイズとほぼ同等の 600 ミクロン程度の振動が生じている。

7)。ただし、４極磁場は蓄積ビームの通過する軸上で線形に変化するため、蓄積ビームの重心振動は十分に小さかった一方、形状の変動が避けられなかった（図 8)。

そこで、次に、実際にトップアップ運転をしている PF リングにおいて、ビーム形状の変化の抑制も考慮に入れたパルス６極電磁石が設置された [2]（図 9)。(パルス６極電磁石は東京大学物性研究所の高木宏之氏を中心に研究が進められている。）パルス６極電磁石は中心軸からの水平位置に対して磁場が放物的に変化するため、線形に変化する４極に比べて蓄積ビームの感じる磁場(勾配)が格段に小さい。PF では、まず PF-AR で使ったパルス４極電源をそのまま PF リングに設置して試験が行われた。PF リングの周長は PF-AR のほぼ半分であるため、パルス６極電磁石を PF-AR の周期で励磁すると入射ビームが２回蹴られることになるが、シミュレーションの結果それでも入射できることが分かり、実際にビーム蓄積することができた。ユーザー運転に使える目処が立ったため、その後、PF リングの周回周期に合わせた新たな電源が製作され、今年の２月の運転終了時まで実際のユーザー運転のトップアップ入射に使われていた。

最初に作ったパルス６極電磁石は円形のアパーチャでブスバーも６極的に対称に配置されていたが、現在、パルス４極同様、矩形のアパーチャにしてブスバーを非対称に配置し、さらに誤差や渦電流によるゼロ磁場調整付きの新たなパルス６極電磁石が製作され、設置に向けて磁場測定が行われている（図 10)。

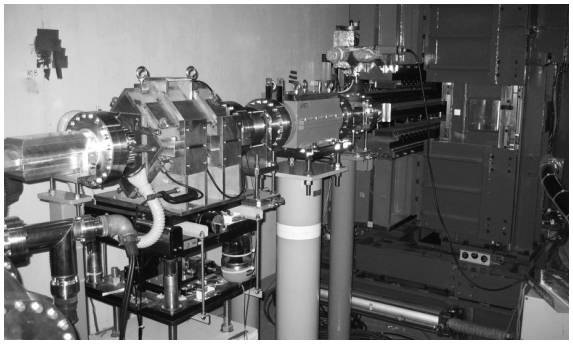


図９　PF リングに設置されたパルス６極電磁石。2014 年２月まで実際にユーザー運転時のトップアップ入射に使われていた。

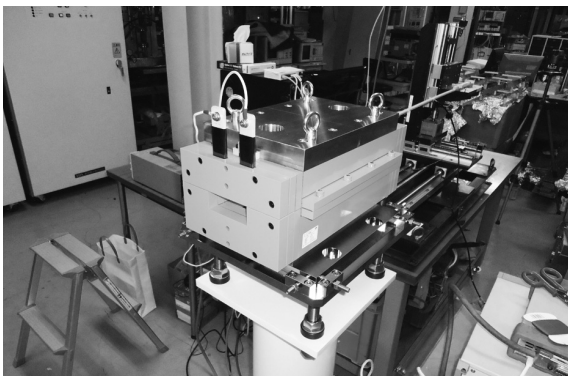


図 10　磁場測定中の新しいパルス６極電磁石

## ８．結論と研究の展望

パルス多極電磁石を使った入射を行えば、パルス偏向電磁石４台分のスペースを節約でき、また、高価かつそれなりの手間のかかる大電流高電圧のパルス電源の台数を減らすことができる。パルス偏向電磁石の場合、４台のタイミングと電流値を正確に合わせる必要があるが、パルス多極電磁石の場合、振幅とタイミングはキッカーほど厳密に合わせる必要はなく、蓄積ビームへの擾乱に対しては、パルス多極電磁石内の蓄積ビームの中心軌道を DC 的に磁石中心軸に合わせるだけでよい。

このシステムは、既存の放射光施設のみならず、新しく建設される放射光施設でもきわめて有効な入射方法であり、実際、国内海外を問わず、多数の放射光源で導入が検討されており、実際にパルス電磁石の製作まで進んでいる施設も存在する。

## ９．謝辞

我々は研究者としてビームに対する方式を考えたり、計算したりしますが、実際のハードウェア製作に関しては素人に等しい部分も多くあります。今回の研究も、装置を実際に製作した会社の技術者の方々の経験と知識なくしては全く不可能でした。特に、予算のない中で製作しなくてはならなかったパルス電磁石本体において、例えば、真空加熱して珪素鋼板を接着して作る場合に、工夫によって精度を向上させる方法など、会社の技術者の方が興味を持って積極的に協力してくれた結果、すばらしい装置がぎりぎりの研究費の中でできあがったと思います。電源についても、古物の再利用や改造、最小限のスペックの装置ばかりお願いして申し訳ないのですが、会社の方がいつでも相談に乗ってくださるおかげで、研究が継続できています。また、今回の研究においても、装置のほとんどは入札でしたが、実際に落札、製作して下さった企業のほとんど全ては奨励会を協賛して下さっています。例えば、磁場測定に不可欠な、精度のよいサーチコイルや測定の為の XYZ ステージ、古いものも含めたパルス電源の全て、パルス電磁石等がそれにあたります。その意味でもお礼を申し上げます。

高エネルギー加速器研究機構の小林幸則教授には本研究のみならず、就職してから一貫してプロの研究者としての仕事内容や進め方を教わっています。一人前になったかどうかは分かりませんが、何とか研究者とやっていける様にして頂いていることに深く感謝致します。セラミックダクトの設計製造や、電磁石本体のリングへの設置では真空グループの皆様に、マシンスタディでの不安定性の影響については RF グループの皆様に、全てのビーム測定について、モニタグループの皆様に大変お世話になっています。ありがとうございます。また、入射ビームを供給して下さる LINAC の皆様やスタディ時間を調整して下さった KEKB グループの皆様にも感謝致します。指導者のみならず、同僚や先輩にも恵まれていることを感じています。皆様どうもありがとうございます。

## 参照文献

[1] K.Harada, Y.Kobayashi, T.Miyajima, S.Nagahashi, "New injection scheme using a pulsed quadrupole magnet in electron storage rings", Phys. Rev. ST Accel. Beams 10, 123501 (2007)

[2] H.Takaki, N.Nakamura, Y.Kobayashi, K.Harada, T.Miyajima, A.Ueda, S.Nagahashi, M.Shimada, T.Obina, T.Honda,“Beam injection with a pulsed sextupole magnet in an electron storage ring”, Phys. Rev. ST Accel. Beams 13, 020705 (2010)

# 諏訪賞
# 世界最高強度ニュートリノビーム施設の実現による電子ニュートリノ出現現象発見への貢献

J-PARC ニュートリノビームグループ
代表：小林　隆

T2K 実験は、2011 年世界に先駆けてミューニュートリノから電子ニュートリノへの変化（電子ニュートリノ出現）の証拠（2.5 σ）を捉え、さらに 2013 年には 7.3 σ とし、その存在を決定づけた。この結果は、３世代のニュートリノの混合のうち最後まで未知であった混合角が有限な値を持ち、ニュートリノが３世代間で混合していることを世界ではじめて示し、将来のニュートリノ実験において CP 非対称性発見の可能性を大きく開いた。この結果は世界で大きく注目され、英国物理学会（IoP）が選ぶ 2011 年の世界の物理分野のトップ 10 ブレークスルーに選定された。2011 年の論文（PRL107（2011）041801）はこれまで 2 年半で 755 回引用されている（2014 年 3 月 25 日現在）。

T2K 実験は J-PARC からの世界最大強度のニュートリノビームを約 300km 離れた世界最大のニュートリノ検出器スーパーカミオカンデで検出する長基線ニュートリノ振動実験で、最初のもっとも重要な目的はミュー型ニュートリノが飛行中に電子型ニュートリノに転換する電子ニュートリノ出現の探索であった。T2K 以前にも電子ニュートリノ出現の探索は行われていたが、感度不足から発見に至らず、出現確率に上限値が与えられていた。T2K 実験は、前世代の長基線振動実験である K2K にくらべ 100 倍の強度のニュートリノビームを実現することで、過去の実験にくらべ飛躍的に（20 倍以上）感度を高め電子ニュートリノ出現発見を目指した実験で、発見の大きな期待を集めていた。1999 年の T2K 実験計画立案時にスーパーカミオカンデはすでに稼働しており、高い性能と運転効率を示していたことから、T2K の成否は、大強度ニュートリノビームの実現と長期安定運転にかかっていた。

J － PARC ニュートリノビーム施設（Fig. 1）では、30GeV, 750kW（設計強度）の陽子ビームを速い取り出しモードで５マイクロ秒のうちに取り出し、超伝導磁石で神岡方向に約 90 度偏向させ、グラファイトの標的に照射する。標的から生成された大量の二次粒子（主に π 中間子）は、電磁ホーンと呼ばれるパルス電磁石で前方に収束され、下流に設置された長さ約 100m の空洞、崩壊領域に入射される。π 中間子は飛行中に崩壊してミューニュートリノを生成し、これが T2K 実験のニュートリノビームとして用いられる。崩壊領域で崩壊しきれなかった π 中間子や、標的からの陽子、中性子などは崩壊領域の終端部に設置されたビームダンプで吸収される。ビームダンプ後方には、通過してくる μ 粒子を捉え、ビームの強度や方向をモニターするための μ 粒子モニターが設置されている。さらに、生成直後のニュートリノビームの強度や方向、性質を精密に測定するため、標的から 280m 下流にニュートリノモニター（ニュートリノ検出器）が設置されている。

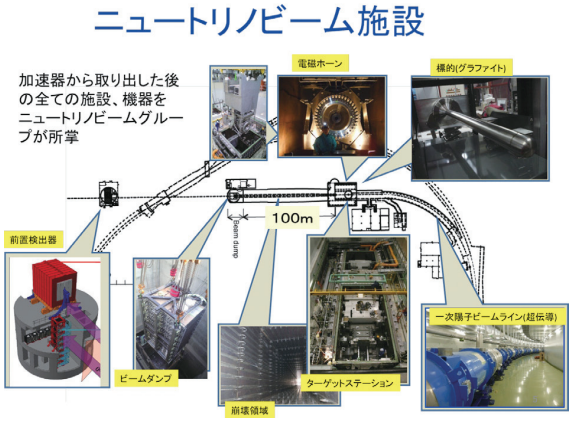



Fig. 1 ニュートリノビーム施設

ニュートリノビーム施設では、メガワットという大きな平均強度に加え、速い取り出しという手法用いることによる極めて高い瞬間ピークパワーのビームを扱う必要がある。瞬間的ビームパワーは 10TW オーダーに達する。ニュートリノビーム生成施設装置は、大強度ビームゆえの高度放射化、放射線による劣化、放射線による熱の除熱（冷却）にくわえ、瞬間的にビームが入射することによる熱衝撃応力、繰り返し応力による疲労などに耐える必要がある（注：例として鉄の塊にこのビームを一発だけ打ち込

むと、瞬間的に 1100 度に上昇、熱応力は 3GPa にも達し破壊される）。

ニュートリノビーム施設は、上述のとおり多くの要素からなっており、これらの殆どが大強度かつ瞬間的大ピークパワービームに晒される。また多くの装置は高度に放射化されるため一旦故障しても容易に交換できず、数ヶ月の実験中断に至ってしまう。したがって T2K 実験の目的達成のためには、これらの装置は、このような極めて苛烈な環境の中においても長期間安定に運転可能である必要がある。高度に放射化した装置の保守交換作業は直接近づいて行うことは出来ないため、遠隔保守機構も必要となる。これらの要請を満たすためには、既存の設計をそのまま流用できる装置は一つとしてなく、超伝導磁石から陽子ビームモニター、陽子ビームコリメーター、常伝導磁石、標的、電磁ホーン、ターゲットステーション、崩壊領域、ビームダンプ、ミューオンモニター等、ニュートリノビーム生成施設の全ての装置を、自ら設計、開発していく必要があった。

Fig. 2　2009 年のファーストビーム時の記念写真

J-PARC ニュートリノグループは、このビーム生成施設の設計、開発に 1999 年に着手、上述の全てのコンポーネントについて着実に開発研究、設計を進め、要求性能を満たす装置の開発に成功し、2004 年度から建設開始、厳しい予算、短い工期のなか、きっかりスケジュールどおり 5 年間で施設を完成させ、2009 年 4 月からのビーム運転開始を実現させた。厳しい国際競争の中、スケジュールどおりビーム生成施設を完成させることができた。（Fig. 2）

2010 年 1 月からは本格的実験が開始し、加速器のビーム強度を数１０ｋＷから少しずつ改良を加えながら上げていった。それに応じて、放射化水排水、放射化空気の排気、電磁ホーン電源の IGBT 破裂故障など、さまざまな問題が発生したが、それらを一つ一つ着実にクリアしながら、そのビームの性質を精度よく測定し、安定なビーム運転を実現した。2013 年には、ビームパワーは 230 ｋ Ｗに届き、K2K 実験の 50 倍に達した。ニュートリノ施設の装置の不具合に寄るビームのダウンタイムは３％以下という高効率安定運転を達成し、実験開始から 2013 年 5 月までの累積で 6.6x1020 個の陽子を標的に照射することが出来た。（Fig. 3）

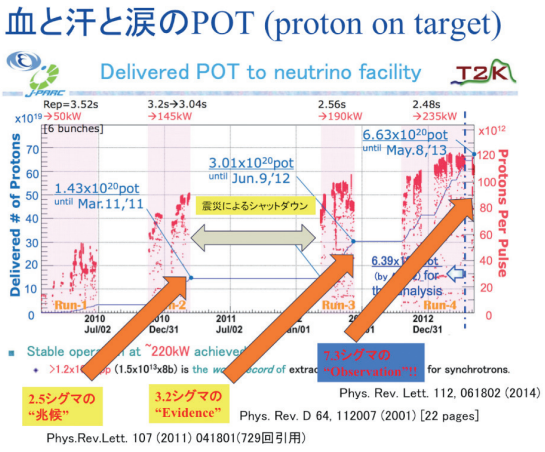



Fig. 3 ビーム強度と積分陽子数の歴史。横軸は T2K 物理測定開始した 2010 年 1 月からこれまで全ての期間を含む。赤点はパルス辺りの陽子数でビーム強度を現す。青線（と左の軸）は積分陽子数を現す。

こうして得られたデータを解析したところ、スーパーカミオカンデにおいて、背景事象数予

想 4.6 ± 0.5 事象に対し、28 事象の電子ニュートリノ候補事象を検出し、7.3 σ の確度で電子ニュートリノ出現の存在を確定させるに至った。大強度ビーム、世界最大ニュートリノ検出器をもってしても、このように事象数は限られており、大強度のニュートリノビームを生成することが成功の本質的な鍵であった。

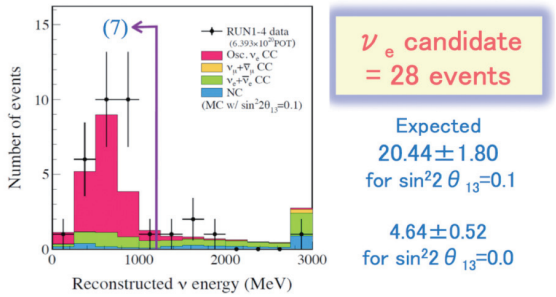



Fig. 4 検出された電子ニュートリノ候補事象のエネルギー分布

謝辞

J-PARC ニュートリノ施設を完成させ、大強度ビーム運転を行い、T2K 実験の「電子ニュートリノ出現事象の発見」という成果につなげることが出来たのは、お世話になった ( ている ) 全ての会社の皆様、J-PARC 加速器の皆様、KEK の施設部、契約はじめ管理局の皆様、KEK、J-PARC マネージメントの皆様、間接直接お世話になった（ご迷惑をお掛けした）KEK, J-PARC の全ての皆様の多大なご支援・ご協力の賜物であると考えております。この場を借りて感謝の意を表したいと思います。ありがとうございました。

最後に、T2K 実験の予算化が決定した直後、故戸塚元機構長から T2K コラボレーションに発信されたメールを紹介して締めたいと思います（Fig. 5）。この檄文により、(“too weak” と言われた）KEK ニュートリノグループは大いに発奮し、また T2K 国際コラボレーションはビーム施設への貢献を更に増大させ、KEK 内・外入り乱れた強力な国際「J-PARC ニュートリノビームグループ」が形成され、そのことが、信頼性の高い施設のスケジュールどおりの完成につながったと言えるのではないかと思います。グループ一同感謝しています。

**J-PARC ニュートリノビームグループ**

◆ KEK

◇素核研ニュートリノグループ、素核研ハドロンビームグループ、素核研低温グループ、超伝導低温工学センター、機械工学センター

◆国内

◇大阪市立大学、京都大学、神戸大学、首都大学、東京大学 , Kavli IPMU

◆国外

◇ BNL, U.Colorado, U.Washington、Stony Brook U. (米)、TRIUMF, U.Toronto, York U. (加)、RAL（英)、Saclay（仏)、SNU（韓）他

◇ T2K-NA61 “コラボレーション”

```
-------- Original Message --------
Subject:        Re: I urge you
Date:   Tue, 23 Dec 2003 17:32:23 +0900
From:   Yoji.Totsuka@kek.jp

Dear colleague,

:

I suspect that
the present manpower for the beam line construction is too weak and you will not
be able to build it properly and timely. You should show us first of all how
much you will improve the present situation. I urge the non-KEK collaborators
NOT to be simple users of the beam line but to fully participate in the
construction of the beam line. Otherwise I am afraid that T2K may eventually be
terminated.
:

Best regards,
Yoji Totsuka
(KEK DG)
```

Fig. 5 故戸塚洋二元 KEK 機構長からの檄文

# 熊谷賞
# 超伝導高周波空洞応用に関する加速器科学への開拓的貢献

三菱重工業㈱
機械・鉄構事業本部先端機器事業推進部
大久保光一

## 1．はじめに

今回、「公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会」熊谷賞を賜り、関係各位の皆様方に深く感謝申し上げるとともに、私自身、大変光栄に思っております。さらには、推薦者である高エネルギー加速器研究機構（以下、「高エネ研」と略します）の古屋教授、私が若き日に超伝導高周波空洞の「いろは」を御指導頂いた故小島融三先生をはじめとした高エネ研の超伝導高周波空洞の開発に携わっておられる先生方に、この場をおかりしてあらためて感謝申し上げます。

幸いなことに、私はこれまでの日本の主要な高エネルギー加速器建設計画の一端に携わることができました。とくに超伝導高周波空洞の開発は、会社に入社すると同時に開発設計の一員に加えられ、諸先輩方の温かい指導を受け、私の会社生活の中でも、主要な位置を占めている業務であります。今回、熊谷賞受賞を賜りかつこの寄稿の機会を頂きましたので、これまで私が微力ながら超伝導高周波空洞および同用クライオスタットの開発や建設工事に従事した時の経験を、主に企業側の「もの造り」の観点でお伝えしようと思います。表題に記したような「加速器科学への開発的貢献」という崇高なレベルのものではありませんが、開発や建設工事の過程で貴重な経験を色々積むことができ、それらの中には失敗も多く、高エネ研の先生方にも大変なご迷惑をおかけしたものもありますので、その一端を紹介することにより、今後加速器開発や大規模加速器プロジェクト建設工事に従事される方々の参考になり、今後の計画に寄与できれば、筆者として幸いであります。なお本投稿には、当時の建設スケジュールや年代を記していますが、企業として開発設計や実際に製造に着手した年月で表現していますので、高エネ研として把握されている開発や建設スケジュールと若干の差が生じていると思われる点はご容赦願います。また文章中に先生方はじめ当社関係者の個人名を挙げさせて頂いています。当時の取り組みを正確にお伝えする目的ですので、この点につきましてもご容赦ください。

## 2．超伝導高周波空洞の構成機器と社内体制構築

当社では、昭和30年代から国内の主要大学、研究機関向けに加速空洞、加速管を納入してきています。加速空洞の製造には精密機械加工や高精度の接合技術に加え、マイクロ波（レーダ）や表面処理の技術を必要とし、それらは航空機製造に必要な技術と共通点があります。超伝導高周波空洞も液圧成形、電子ビーム溶接、電解研磨など製造技術が必須であり、空洞本体は、名古屋航空機製作所でその製造を行いました。

超伝導高周波空洞[1)]は、高周波表面抵抗が非常に小さいので発熱による電力損失が少なく、また空洞内に大電力を比較的投入しやすいため、低損失で高加速電界が得られる特長を有しています。空洞本体の多くは、超伝導材料であるニオブ材で製造されていますが、その超伝導転移温度は9K附近であり、通常は空洞の周囲を液温4K前後の液体ヘリウムで浸漬し、極低温状態を維持しています。液体ヘリウムという極低温の液体を液溜めするクライオスタットも主要な開発品です。これらの機器は、「高圧ガス容器」として扱われ、高圧ガス保安法に従って、設計、製造・組立、検査、据付を行う必要があります。当時社内では、国産HⅡ型ロケットの液酸液水エンジンの開発を行う高空燃焼試験設備の建設やロケット打ち上げ射場の液酸液水設備を神戸造船所が行っており、その極低温設備の設計製造技術や高圧ガス保安法対応経験を、超伝導高周波空洞用のクライオスタットの開発に適用しました。

このように社内の他製品の技術を活用しながら、さらには空洞固有の製造技術も並行して開発しながら、超伝導高周波空洞の製造を進めました。二カ所の工場で製造することは、その工場で得意とする製造技術を適用でき、効率的な

開発ができる反面、品質管理上留意すべき点も多々ありましたので、その点は、後述いたします。

### ３．TRISTAN 計画超伝導高周波空洞の開発

TRISTAN 計画用超伝導高周波空洞は、1981年から試作空洞の開発が始まりました。単空洞での製造と性能検証が進められるなか、1982年には、クライオスタットの要素技術開発として、内径約 700 ｍｍの液体ヘリウム容器大口径フランジ部に使用予定であったスプリング内装型メタル O リングの検証試験が高エネ研で行われ、設計者として知見を得るため参加させて頂きました。断熱真空槽の中に実際の寸法と同じフランジを設置し、そのフランジ部のガスケットとして同メタル O リングを装着し、実際にフランジ内側に液体ヘリウムを注入して、断熱真空槽への漏洩度合を計測するものです。当時の私にとっては極低温機器の取り扱いの経験もなく、液体ヘリウムの扱いがこれほど大変なものであるということをその時はじめて知り、光延先生や細山先生のご指導を仰ぎながら試験装置の組立のお手伝いやらデータを書き記した記憶があります。試験の結果、フランジ各部の温度分布をモニターしながら冷却速度に注意を払うことで、同メタル O リングは気密性を確保できる目途が立ち、クライオスタットに採用されることが決定しました。

実際にビーム加速用空洞の製造開発がはじまったのは 1983 年からで、まずは３連の高周波空洞を試作、次に５連空洞を２台試作して、高エネ研蓄積リング（AR リング）での加速試験を行いました。この３台での試作開発が、後の５連空洞を２台連ねた量産機の開発、製造に大変参考になりました。クライオスタット内の液体窒素配管のフレキシビリティがなく組立施工が大変であったこと、真空多層断熱材であるスパーインシュレーションの施工スペースがなかったことなど細かなことですが工事に弊害になる事の洗い出しに加え、空洞をクライオスタットにアセンブリホールで組み立てた後、いよいよ AR リングに据え付けようとリングトンネル内を搬送していたら途中に鉄扉があり、扉をガスバナーで切断して搬入を行いました。これ以来、装置を設計する場合は、入念に搬入路の下調べをし、とりわけ搬入路寸法の厳しい箇所での計測や揚重器の揚程、最大荷重の確認や、機器搬入前に、同等機器での搬送シミュレーションを必ず実施するようになりました。AR リング用３連、５連空洞の開発は、空洞性能の検証と同様に、企業としても製造、建設の様々な検証を行うことができ大変意義のあるステップであったと思います。ここでの教訓は、『加速器工場組立時、研究所での組立、据付時、性能試験時に発生した事象とりわけ不適合事象は、しっかり記録に残し、整理・分析を行い、次の工事にしっかり反映する』です。当社は、昭和 30 年代より加速器の開発、製造に取り組んでいますが、当社加速器部門の先駆者であり、現在も他社で、現役で加速器の開発に従事されている飯野氏が、組立・据付工事をしている時には、ノートを常に脇に置き、作業中発生した事象や計測値を事細かに記録に残していました。現場で作業をしているととかく目の前の作業や工程を優先しがちで、後からまとめて記録しがちですが、その場で細かくかつ定量的に記録を残すことが重要です。この記録は、量産機設計に大変役立ました。

1986 年からは、いよいよ量産機の製造に着手しました。ここでの設計は、３連、５連の空洞の経験をもとに、先生方と当社関係者で、図面を前に、活発な議論を約１年に渡って行いました。超伝導高周波空洞をクライオスタットに組み込んだ側面図と正面図の２枚の全体組立図が議論の対象ですが、会社で図面を作成し、晩に神戸で寝台列車に乗ると、翌朝 10 時には高エネ研に到着でき、夕方まで先生方と協議をし、最終の新幹線でなんとかその日の内に神戸に戻るといったパターンを１～２週間のピッチで繰り返すことにより、洗練された設計になっていた記憶があります。先生方も空洞ご担当の古屋先生、表面処理は斉藤先生、クライオスタットは光延先生や仲井先生、カプラは野口先生、冷凍機は細山先生と今思えば蒼々たるメンバーの先生方と協議させて頂いたものだと思います。まだ CAD はそれほど汎用でなく、図面

用紙に手書きで図面を書いていた時代でしたので、先生方との議論の末、何度も図面の書き直しをすることで、図面用紙が擦り切れ、途中で、新しい用紙に最初から書き直しを行ったこともありました。この約１年間に及ぶ設計協議は、製造段階での、出戻り低減に大変寄与したと思います。

前述しましたように高周波空洞は名古屋航空機製作所で、クライオモジュールは神戸造船所で、そして最終据え付けは高エネ研でと、３場所での各々の設計や製作品の組み合わせに加え、それぞれに関係する協力会社さんの製作品で装置は成り立っています。当然、各機器での「取り合い」が発生します。工事を行っていく上で特に問題となったのは、空洞ビームパイプ、入力結合器、高調波カプラ取り出し部とクライオスタットの取り合い部、冷凍機からの断熱二重配管とクライオスタットの取り合い部です。空洞は溶接組立品の上に、製造過程で周波数チューニング行為が入るため、各フランジ部の空間位置は、かなり製造成り行きです。設計としては、ある程度の範囲をもって組立が可能なよう各部は遊動フランジを採用すると同時に、製造がある程度完了した時点で、各部の取り合い寸法を名古屋の工場から送ってもらい、組立が可能な範囲か確認しながら製造を進め、最後は空洞を神戸の工場に搬入し、工場仮組立を行い高エネ研へ出荷する工程としました。

もうひとつの問題となった「取り合い」は、冷凍機から供給される断熱二重配管の取り合いです。配管側は二重構造ゆえフレキシビリィティも少なく、一方、クライオスタット側は円筒容器に管台を溶接接合しているため、溶接歪の影響で正確な空間位置を確保できず、大きな問題となりました。高エネ研の冷凍機のグループの方々と管台の傾きや位置精度をある規定値にいれ、それを工場出荷時に重点管理し、一部配管側で調整頂くことで双方折合ました。ここは先生方から事前にアラームを出して頂き、工場で事前確認と対処ができたことが問題の芽を事前に摘み取ることができ、今でも感謝している次第です。ここで第二の教訓ですが、『取り合い部の確認には、念には念をいれましょう。図面を眺めて、取り合い部はどのように確認するかひとつひとつ方法を摘出することが重要です。寸法公差や幾何公差での取り合いに不安がある場合は、積極的に現物合わせの確認を製造工程になかに織り込みましょう』です。

図１．工場での空洞とクライオスタット仮組立

TRISTAN 計画超伝導高周波空洞は、1986 年から製造を開始し、1988 年の夏に最初の５連空洞 16 台を据付、秋にビームエネルギーを 30GeV 達成、また翌 1989 年夏に残りの 16 台を据付、ビームエネルギーを 32GeV まで増強することに寄与、途中、高調波取り出し部の改造などを行い 1995 年まで長期の運転が行われました。

図２．MR リングに据え付けた超伝導高周波空洞

## ４．KEKB クラブ空洞

[2),3)] 高エネ研の電子 - 陽電子衝突型加速器 KEKB は電子（8GeV）と陽電子（3.5GeV）の大電流ビームを、お互いに衝突させ B 中間子と反 B 中間子を大量に生成し、物質と反物質の性質のわずかな違いを観測するものですが、

ビームの衝突は有限角衝突方式が採用されています。これは衝突点付近での電磁石簡素化、ビームの絞りやすさ、寄生衝突低減で計測ノイズ低減などが目的ですが、一方でビーム同士は正面衝突ができないので、衝突効率が悪くなる欠点もあります。それを解決する手段としてビームを予め衝突角の半分にキックすなわち傾けさせ、衝突点ではビーム同士が正面衝突するようにさせます。ビームを傾けるためのキック電圧が高いので超伝導高周波空洞が採用されました。

クラブ空洞の開発着手は比較的早く、1994年に1/3スケールモデルの試作が、1996年にはフルスケールモデルの試作が行われました。空洞形状は、クラブモードと呼ばれる共振モードTM110が作る垂直磁場を利用しており、図３に示すようなレーストラック形状かつ薄肉の３次元曲面を有すため、その空洞製造は「対向液圧成形」を採用しています。これは通常のプレス加工に比べて絞り比を大きくとれる、超伝導性能を左右する空洞内面にキズが生じにくいなどの利点があります。[4)]

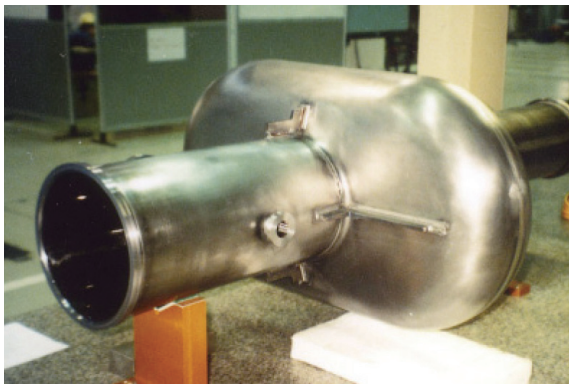


図３．クラブ空洞外観

また大電流ビームで運転されるKEKBクラブ空洞では、ビーム通過時に様々なモード誘起されるが、クラブモードより低い周波数のTM010モードは空洞ビームパイプ部に挿入された同軸結合器で取り出される。この同軸結合器は、真円度、真直度が高い精度が要求され、また同軸の外面部は超伝導面になるため細心の注意を払い製造、組立を行いました。

その他に極低温機器としては、高エネ研細山先生のグループの知見を色々反映させて頂きました。主なものは、ヘリウム容器は軽量化と容積の最小化を狙いジャケット方式を採用、極低温部への輻射侵入熱を低減する窒素シールド板は、TRISTAN計画時の銅板に銅配管をロー付けする方式から、窒素配管はステンレス製ですが胴板部はアルミ製の軽量構造に進化しています。またジャケット式ヘリウム容器からの戻りガスで、空洞と同軸部を繋ぐベローズなど各部を効率よく冷却しています。

クラブ空洞もTRISTAN空洞同様、高圧ガス保安法に従って、設計、製造、検査を行う必要がありました。非軸対称レーストラック構造かつ超伝導材料のニオブ材といった法規や規則では定義されていない構造や材料の採用ゆえ、有限要素法による応力解析、ニオブ材母材や同溶接継ぎ手部の極低温機械強度や靱性値の試験評価、ジャケット式ヘリウム容器に採用した特殊継ぎ手の評価など、高圧ガス保安協会と工学的な検証を確認しながら、一部は経済産業大臣特認の取得をしながら製造を行いました。

クラブ空洞の開発は、一旦、1998年頃スローダウンしました。この間、フルスケールモデル空洞での性能評価や空洞組立エリア整備、空洞高圧水洗設備など、各種インフラを細山先生に整備頂いたことが、後日、実機空洞開発の大きなドライブフォースとなりました。2004年にクラブ空洞開発再開が決定され、クラブ空洞、同軸部以外のクライオスタット、カプラ、チューナ、架台などの設計を立ち上げました。TRISTAN計画の経験を生かしながらとはいうものの、設計概念や構造もかなり進化していましたので、開発工程としては非常に厳しいものであったと思います。

空洞の単体性能を確認しながら主要機器の製造を終え、なんとか最終組立を迎えた段階で、問題が発生しました。同軸結合器は予めクライオスタットに内装されているクラブ空洞に横から挿入し、その結合部は回転式の勘合構造となっていましたが、準備した組立治具の構造不足で空洞軸心と同軸結合器軸心が上手く一致できず、組み立てることができませんでした。その後、組立治具の全面的な見直しを行い、漸く組立完成に至ったのですが、スケジュールの大幅

な見直しが生じ、細山先生ほか皆様に大変なご迷惑をお掛けしました。ここで第三の教訓ですが、『治具の設計や検証を決して軽んじてはいけません。加速器本体と同様にあるいはそれ以上に、知恵を出し、建設前の検証を怠らないようにしましょう』です。工程が厳しいと、とかく加速器本体に意識が行きがちですが、摺合せ技術を多用し、高精度高清浄度の機器組立が必要な加速器は、製品と同等あるいはそれ以上に治具設計、製作、検証に注力すべきであることを思い知らされました。

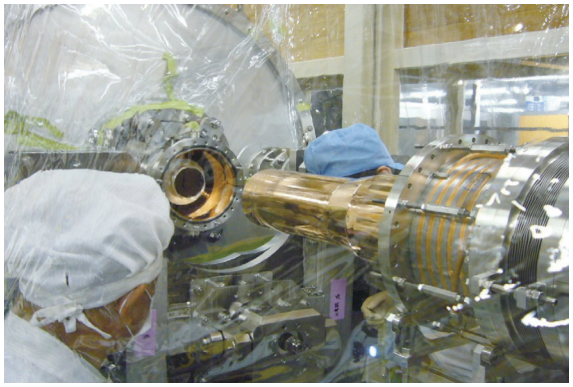


図４．同軸結合器挿入時の模様

同軸結合器挿入後も、チューナ応答性など一部問題を抱えながらも、クラブ空洞は、2007年には、KEKB 日光直線部に据付けられました。KEKB の様々な機器が既に据え付けられている空間への設置で、非常に狭いエリアへの据付でしたが、専用の搬送吊り具を準備したことと、事前に据付けの検証を行っていたことから、困難ではありましたが、なんとか問題なく据付けることができました。その後、冷却、クラブ衝突の検証が行われ、KEKB としてのルミノシティ向上が確認されるなど成果が得られました。しかしながら、当初の目標から１年の遅れての据付、ビーム試験であったこと、チューナ応答性、機器組立の大変さなど改良の点は色々あると認識しており、個人的には再度開発に挑戦したい空洞であります。

図５．日光直線部に据付けられたクラブ空洞

## ５．さいごに

私が三菱重工の技術者として従事してきた超伝導高周波空洞開発の「よもやま話」を紹介してきました。本文中には、開発段階や検証時の記録の大切さ、「取り合い部」の確認と取り合い条件の取り決めの大切さ、加速器本体と同等に重要な組立治具の周到な準備の大切さを教訓として挙げさせて頂きました。建設工事に携われた方々や主に企業の方々からすれば、私の戦訓はしごく当然のことと思われるでしょうが、プロジェクトが大きくなったり、建設工程が逼迫してきたりすると、ついつい怠りがちなことと思います。今後、加速器開発、建設に従事される方々の心にとどめて頂ければ幸いと思います。

## 参　考　文　献


１）　仲井浩孝：「ILC 用ｸﾗｲｵﾓｼﾞｭｰﾙと大型２K 冷凍ｼｽﾃﾑ」, 低温工学 48No8（2013）426-435

２）　古屋貴章 , 加古永治 , 森田欣之：「研究 / 事業ｸﾞﾙｰﾌﾟ紹介」, 低温工学 48No ８（2013）451-459

３）　細山謙二：「超伝導クラブ空洞」, 低温工学 43No4（2008）132-137

４）　服部尚 , 山崎正人 , 大久保光一：「粒子加速器製造技術の開発」, 三菱重工技報 Vol37No3（2000-5）142-145+

# 公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会
# 西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞候補者募集要綱

１．趣　旨

高エネルギー加速器ならびに加速器利用に関る実験装置の研究において、特に優れた業績をおさめた研究者・技術者に西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞を授与し、もって加速器科学の発展に資することを目的とする。

２．対象となる候補者

西川賞：高エネルギー加速器ならびに加速器利用に関る実験装置の研究において、独創性に優れ、かつ論文発表され、国際的にも評価の高い業績をあげた、原則として５０才以下（応募締切時）の単数または複数の研究者・技術者

小柴賞：素粒子研究のための粒子検出装置の開発研究において、独創性に優れ、国際的にも評価の高い業績を上げた、原則として５０才以下（応募締切時）の単数または複数の研究者・技術者

諏訪賞：高エネルギー加速器科学の発展上、長期にわたる貢献など特に顕著な業績があったと認められる研究者・技術者・研究グループ

熊谷賞：研究開発、施設建設など長年の活動を通じて、高エネルギー加速器や加速器装置への顕著な貢献が認められる企業の加速器関係者

３．年間表彰件数

各賞合わせて５件以内

４．賞の内容

賞金は各賞３０万円とする

表彰盾は課題毎に授与する

５．選考方法

推薦のあった者について公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会選考委員会で選考し、理事会において決定する。

６．選　考

平成２６年１１月上旬

７．提出書類

（１）推薦書（当公益財団法人のホームページに掲載の様式による）

（２）選考資料　研究業績に関する発表論文（３編以内）のコピー（各２部）

８．提出期限

平成２６年１０月１０日（金）

９．書類の提出ならびに問合せ先

公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会

〒 305-0801　茨城県つくば市大穂１－１　高エネルギー加速器研究機構内

TEL・FAX：029-879-0471

E ﾒｰﾙ：info@heas.jp

ホームページ：http://www.heas.jp/

# 公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会
# 高エネルギー加速器セミナーＯＨＯ‘１４
# ≪リニアコライダーの基礎と先端加速器技術≫

１．主　催

公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会

２．期　日

平成２６年９月９日（火）～１２日（金）

３．場　所

高エネルギー加速器研究機構　３号館セミナーホール

（茨城県つくば市大穂１－１）

４．申込締切

平成２６年９月８日（月）

５．申込方法

別紙「参加申込書」による

６．参加費

（１）賛助会員　　無　料

（２）学生　　無　料

（３）大学・研究機関等関係者　　２,０００円

（４）一般企業等関係者・その他　　５,０００円

なお、交通費、宿泊費及び食費等は自己負担となります。

口座振込の場合は、下記に９月８日（月）までに振込してください。

振込先　常陽銀行　研究学園都市支店

普通　６４００８１７

公益財団法人高エネルギー加速器科学研究奨励会

７．申込及び問合先

公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会

〒 305-0801　茨城県つくば市大穂１－１　高エネルギー加速器研究機構内

TEL・FAX：029-879-0471

E ﾒｰﾙ：info@heas.jp

ホームページ：http://www.heas.jp/

# リニアコライダーの基礎と先端加速器技術　プログラム

| | 1日目 | 2日目 | 3日目 | 4日目 |
|---|---|---|---|---|
| | 9月9日（火） | 9月10日（水） | 9月11日（木） | 9月12日（金） |
| 09:00 - 09:50 | 受付・挨拶 | リニアコライダー<br>加速器（横谷　馨） | 超伝導空洞の周辺技術<br>（加古永治） | クライオジェニックス<br>（仲井浩孝） |
| 09:50 - 10:00 | | 休憩 | 休憩 | 休憩 |
| 10:00 - 10:50 | リニアコライダーの<br>物理（藤井恵介） | ビームダイナミックス<br>（久保　浄） | 超伝導空洞の性能評価<br>（宍戸寿郎） | クライオモジュール<br>（仲井浩孝） |
| 10:50 - 11:00 | 休憩 | 休憩 | 休憩 | 休憩 |
| 11:00 - 11:50 | リニアコライダーの<br>物理（藤井恵介） | ビームダイナミックス<br>（久保　浄） | 超伝導空洞の表面処理<br>（沢辺元明） | 超伝導空洞の磁気遮蔽<br>（増澤美佳） |
| 11:50 - 13:00 | 休憩 | 昼休み | 昼休み | 昼休み |
| 13:00 - 13:50 | リニアコライダー<br>加速器（横谷　馨） | 超伝導空洞の基礎<br>（加古永治） | 高周波源－低電力<br>高周波制御・立体回路<br>（松本利広） | 施設・設備<br>（榎本收志） |
| 13:50 - 14:00 | 昼休み | 休憩 | 休憩 | 休憩 |
| 14:00 - 14:50 | リニアコライダー<br>加速器（横谷　馨） | 超伝導空洞の基礎<br>（加古永治） | 高周波源－低電力<br>高周波制御・立体回路<br>（松本利広） | 施設・設備<br>（榎本收志） |
| 14:50 - 15:00 | 休憩 | 休憩 | 休憩 | |
| 15:00 - 15:50 | ビームダイナミックス<br>（久保　浄） | 施設見学<br>（ATF,STF,cERL) | 高周波源－<br>クライストロン電源<br>（明本光生） | |
| 15:50 - 16:00 | 休憩 | | 休憩 | |
| 16:00 - 16:50 | 電子・陽電子源<br>（吉田光宏） | | 高周波源－<br>クライストロン電源<br>（明本光生） | |
| 16:50 - 17:00 | 休憩 | | 休憩 | |
| 17:00 - 17:50 | 電子・陽電子源<br>（吉田光宏） | | 夜話<br>（未定） | |

# 高エネルギー加速器セミナー・OHO’14
# 今年のテーマ：「リニアコライダーの基礎と先端加速器技術」

平成２６（２０１４）年９月９日（火）～１２日（金）
（於）高エネルギー加速器研究機構・３号館セミナーホール

講師陣

| No. | 氏　　名 | 所　　属 | 講　義　内　容 |
|---|---|---|---|
| 1 | 藤井恵介 | 素粒子原子核研究所 | リニアコライダーの物理 |
| 2 | 横谷　馨 | 加速器研究施設 | リニアコライダー加速器 |
| 3 | 久保　浄 | 加速器研究施設 | ビームダイナミックス |
| 4 | 吉田光宏 | 加速器研究施設 | 電子・陽電子源 |
| 5 | 加古永治 | 加速器研究施設 | 超伝導空洞の基礎 |
| 6 | 宍戸寿郎 | 加速器研究施設 | 超伝導空洞の性能評価 |
| 7 | 沢辺元明 | 共通基盤研究施設 | 超伝導空洞の表面処理 |
| 8 | 松本利広 | 加速器研究施設 | 高周波源―低電力高周波制御・立体回路 |
| 9 | 明本光生 | 加速器研究施設 | 高周波源―クライストロン電源 |
| １０ | 仲井浩孝 | 加速器研究施設 | クライオジェニックス、クライオモジュール |
| １１ | 増澤美佳 | 加速器研究施設 | 超伝導空洞の磁気遮蔽 |
| １２ | 榎本收志 | 加速器研究施設 | 施設・設備 |

詳細は OHO ホームページ：http://accwww2.kek.jp/oho/oho14/index.html

---

## 参加申込書

氏　　名：　　（フリガナ）
連絡先住所：
所　　属：　　（役　　職）
電　　話：　　（Ｆ　Ａ　Ｘ）
Ｅ - ｍ ａ ｉ ｌ：

支払い方法（どちらかに○印をつけてください）
□銀行振込み　　□受付にて現金での支払い

申込み及び問合せ先
公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会
〒 305-0801　茨城県つくば市大穂１－１　高エネルギー加速器研究機構内
TEL・FAX：029-879-0471
E ﾒｰﾙ：info@heas.jp

参加者が複数の場合は、参加申込書をコピーしてご使用下さい。

# 第４回特別会講演会開催予定

１．開催日時

平成２６年１０月１０日（金）

１４：００～１７：００

２．場　　所

アルカディア市ヶ谷（私学会館）

住所　東京都千代田区九段北４－２－２５）

ＴＥＬ　０３－３２６１－９９２１（代表）

３．題　　目

**1）J-PARC の現状と MLF 施設運用**

講演者　池田裕二郎（J-PARC センター）

略　　歴：

１９７９年　日本原子力研究所研究員核融合中性子工学研究に従事

１９９７年　核破砕中性子源開発研究に従事

２００１年　J-PARC 建設プロジェクト MLF グループリーダ

２００６年　J-PARC センター物質・生命科学ディビジョン長

２００９年　J-PARC センター副センター長、

２０１２年　J-PARC センター長　現在に至る

講演の概要

日本原子力研究開発機構（JAEA）と高エネルギー加速器研究機構（KEK）が共同で建設し運営する大強度陽子加速器施設、J-PARC、を概観する。中性子、ミュオン、K 中間子、ニュートリノなどの２次粒子を用いる複数実験施設の特徴と目標とするサイエンスを紹介する。

中でも、多くの利用者が訪れる中性子とミュオンを使った物性研究の拠点となる物質・生命科学実験施設、MLF、の中性子性能、ビームライン構成など世界の他の施設との比較による優位性、等を紹介する。

さらに、MLF 施設の利用の仕組みとともに、最近のサイエンス課題の動向と産業界からの利用需要について我が国の科学技術推進への貢献の観点で言及する。

**２）J-PARC/MLF における産業利用**

講演者　林　眞琴　（茨城県企画部　技監）　専門分野　構造強度信頼性

略　　歴

１９７３年 名古屋工業大学工学部機械工学科卒業

１９７５年 大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了

１９７８年 大阪大学大学院基礎工学研究科博士過程修了 ( 工学博士 )

１９７８年 ( 株 ) 日立製作所入社（日立研究所）

１９８６年 機械研究所第三部主任研究員

１９９３年 機械研究所第三部３４研究室室長

１９９６年 機械研究所第三部部長

２００１年 機械研究所企画室長
２００２年 原子力事業部主管技師
２００６年 茨城県企画部技監　現在に至る

講演の概要

「中性子の産業利用」

日本国内には原子炉中性子源 JRR-3 とパルス中性子源 J-PARC/MLF がある。

２００６年に整備された JRR-3 における施設共用制度、ならびに、文部科学省が設けたトライアルユース制度をきっかけに中性子の産業利用が大きく拡大を始めた。

２００６年に供用を開始した世界最先端の実験施設である J-PARC/MLF においても産業界の中性子の利用は着実に増加している。装置グループの利用や JAEA プロジェクトならびに KEK の S 型課題を除いて、J-PARC/MLF での 2008 から 2014A までの期間に採択された課題数は 1,099 件 (3.11 大震災で全く運転されなかった 2011A を除く ) であるが、そのうち産業界の利用は 31.5% を占める。

本講演では茨城県が J-PARC/MLF に設置した２台の中性子実験装置の概要と中性子の産業利用の現状について紹介する。

# 平成25年度(2013年) 事業報告

平成25年(2013年) 4月 1日から
平成26年(2014年) 3月31日まで

## 1. 加速器科学の研究に対する助成

| No | 実施期間 | 研 究 課 題 | 氏 名 | 所 属 機 関 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 自 25.12.21<br>至 25.12.22 | 大学院修士課程学生合同研究発表会 | 金 信弘 | 筑波大学数理物質系 |

## 2. 国際交流に対する助成

| No | 実施期間 | 研 究 課 題 | 氏 名 | 所 属 機 関 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 自 25.12<br>至 27. 3 | 外国人留学生支援のための助成 | 鈴木 厚人 | 高エネルギー加速器研究機構 |

## 3. 国際会議、学術講演会、シンポジュウム、セミナー等の開催助成

| No | 実施期間 | 研 究 課 題 | 氏 名 | 所 属 機 関 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 自 25.10.23<br>至 25.10.31 | 米欧ロシア合同国際加速器スクール | 細山 謙二 | 高エネルギー加速器研究機構<br>加速器研究施設 |
| 2 | 自 25.12.02<br>至 25.12.06 | 第８回リング・イメージ・チェレンコフ検出器国際ワークショップ | 住吉 孝行 | 首都大学東京 理工学研究科 |

## 4. 研究成果の褒賞

第３回 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞授与式の開催
(平成２６年２月１７日)

| 賞の名称 | 受 賞 者 | 所属機関 | 研究テーマ |
|---|---|---|---|
| 西 川 賞 | 原田健太郎 | 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 | 「電子蓄積リングにおけるパルス多極電磁石による新しい入射方式の開発」 |
| 諏 訪 賞 | J-PARC ニュートリノビームグループ<br>代表者小林 隆 | 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 | 「世界最高強度ニュートリノビーム施設の実現による電子ニュートリノ出現現象発見への貢献」 |
| 熊 谷 賞 | 大久保光一 | 三菱重工業㈱機械・鉄構事業本部 先端機器事業推進本部 | 「超伝導高周波空洞応用に関する加速器科学への開拓的貢献」 |

## 5. 研修会・講演会の開催

| No | 実施期間 | 種　別 | テ　ー　マ | 参加人数 | 参　加　料 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 自 25.07.23<br>至 25.07.26 | 研修会(共催) | 高エネルギー加速器セミナー<br>“OHO13<br>〈X線自由電子レーザー SACLA〉 | 企業ほか80名 | 一般企業　5,000円<br>関係機関　2,000円<br>大学生・院生　無 料 |
| 2 | 自 25.10.03<br>至 25.10.03 | 第3回講演会<br>(アルカディア市ヶ谷 主催) | 1. 素粒子物理学の発展とILC<br>講演者 東京大学大学院理学系研究科教授 駒宮幸男<br>(専門分野 素粒子物理学実験)<br>2. ILC加速器のデザイン・R&Dの状況と建設までの道のり<br>講演者 高エネルギー加速器研究機構名誉教授、理学博士 横谷馨<br>(専門分野 加速器物理) | 賛助会員他40名 | 無　料 |

## 6. 加速器科学に関する出版物等の頒布

| No | 出版物等の名称 | 配布時期は各々発行時 |
|---|---|---|
| 1 | 高エネルギー加速器セミナーOHO’13テキスト | 年 1 回 |
| 2 | HIGH ENERGY NEWS | 年 4 回 |
| 3 | FASだより(公益財団法人広報誌) | 年 2 回 |

## 7. 理事会の開催

| 回 | 期日・時間 | 開催場所 | 出席者・議案 |
|---|---|---|---|
| 第6回 | 平成 25 年 5 月 17 日<br>13 時 30 分～14 時 30 分 | 高エネルギー加速器研究機構<br>職員会館２階<br>特別会議室 | 出席者　木村嘉孝　佐藤　勇　神谷幸秀　羽方　亨　新富孝和　酒井　敬<br>(理事５名、監事１名)<br>議　案<br>１．承認事項<br>平成２４年度　事業状況報告及び収支決算について<br>２．報告事項<br>１）役員（理事）の選任を再提案する理由について<br>２）高エネルギー加速器セミナーOHO’１３の開催予定について<br>３）賛助会員の現況について<br>４）その他 |
| 第7回 | 平成 25 年 12 月 7 日<br>13 時 30 分～15 時 30 分 | 高エネルギー加速器研究機構<br>職員会館２階<br>特別会議室 | 出席者　木村嘉孝　佐藤　勇　黒澤篤行　新富孝和　酒井　敬<br>(理事４名、監事１名)<br>議　案<br>１．決議事項<br>１）西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞の選考について<br>２）平成２６年度（２０１４年）事業計画について<br>３）平成２６年度（２０１４年）収支予算書（損益計算書）について<br>２．報告事項<br>１）研修会について<br>２）講演会について<br>３）賛助会員の現況について<br>４）その他 |

| 回 | 期日・時間 | 開催場所 | 出席者・議案 |
|---|---|---|---|
| 第8回 | 平成26年2月21日 | 電子メールによる会議 | 出席者　木村嘉孝　佐藤　勇　神谷幸秀　新富孝和　酒井　敬<br>（理事4名、監事1名）<br>議　案<br>決議事項<br>外国人留学生支援のための助成に関する件 |

## 8. 評議員会の開催

| 回 | 期日・時間 | 開催場所 | 出席者・議案 |
|---|---|---|---|
| 第6回 | 平成25年5月30日<br>13時30分～14時30分 | アルカディア市ヶ谷 | 出席者　浅野克彦　長島順清　大野英雄　袴田敏一　木村嘉孝　神谷幸秀<br>酒井　敬　（評議員4名、理事2名、監事1名）<br>議　案<br>［決議事項］<br>第1号議案　役員の選任の件<br>「承認事項」<br>1）第2号議案　平成24年度事業報告及び同附属明細書報告の件<br>2）第3号議案　平成24年度貸借対照表、損益計算書及び同附属明細書、財産目録承認の件<br>［報告事項］<br>1）高エネルギー加速器セミナーOHO’13の開催予定の件<br>2）賛助会員の現況の件<br>3）講演会開催の件<br>4）その他 |
| 第7回 | 平成25年9月9日 | 電子メールによる会議 | 出席者　浅野克彦　長島順清　矢野安重　横溝英明　大野英雄　袴田敏一<br>木村嘉孝　神谷幸秀　酒井　敬（評議員6名、理事2名、監事1名）<br>議　案<br>［決議事項］<br>第1号議案　役員の辞任および選任に関する件 |
| 第8回 | 平成26年2月17日<br>13時00分～14時00分 | アルカディア市ヶ谷 | 出席者　浅野克彦　長島順清　横溝英明　大野英雄　袴田敏一　木村嘉孝<br>佐藤　勇　神谷幸秀　新富孝和　酒井　敬<br>（評議員5名、理事4名、監事1名）<br>議　案<br>「承認事項」<br>第1号議案　平成26年度（2014年）事業計画（案）の件<br>第2号議案　平成26年度（2014年）収支予算書（損益計算書　案）の件<br>［報告事項］<br>1）第3回　西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞の選考結果の件<br>2）役員（理事）交替に伴う登記完了の件<br>3）平成25年度　研究助成等の状況の件<br>4）高エネルギー加速器セミナーOHO’13の開催の件<br>5）第3回　特別講演会の開催の件<br>6）賛助会員の現況の件<br>7）その他 |

## 9. 平成25年度 収支決算監査

平成26年4月21日（月）午後に監事　酒井　敬公認会計士による監査を受検した。

# 正味財産増減計算書

平成25年4月1日から平成26年3月31日まで

（単位:円）

| 科　　目 | 当年度 | 前年度 | 増　減 |
|---|---|---|---|
| Ⅰ．一般正味財産増減の部 | | | |
| 1．経常増減の部 | | | |
| (1)経常収益 | | | |
| 基本財産運用益 | | | |
| 基本財産受取利息 | 4,317,166 | 2,031,141 | 2,286,025 |
| 特定資産運用益 | | | |
| 特定資産受取利息 | 129,125 | 962 | 128,163 |
| 受取会費 | | | |
| 賛助会員受取会費 | 5,550,000 | 5,200,000 | 350,000 |
| 事業収益 | | | |
| 講習会等事業益 | 151,440 | 173,760 | △ 22,320 |
| 受取寄附金 | | | |
| 会議･助成･寄附金 | 50,000 | 0 | 50,000 |
| 雑収益 | | | |
| 預金受取利息 | 170,787 | 602 | 170,185 |
| 経常収益計 | 10,368,518 | 7,406,465 | 2,962,053 |
| (2)経常費用 | | | |
| ①事業費 | | | |
| 研究助成費 | 200,000 | 200,000 | 0 |
| 国際交流助成費 | 1,170,000 | 350,000 | 820,000 |
| 国際会議助成費 | 900,000 | 750,000 | 150,000 |
| 褒賞費 | 1,194,380 | 1,832,515 | △ 638,135 |
| 講習会開催費 | 452,037 | 666,237 | △ 214,200 |
| 出版物頒布費 | 361,315 | 472,080 | △ 110,765 |
| 印刷製本費 | 0 | 72,450 | △ 72,450 |
| 諸謝金 | 3,000 | 0 | 3,000 |
| 給料手当 | 504,000 | 918,000 | △ 414,000 |
| 旅費交通費 | 216,200 | 328,200 | △ 112,000 |
| 通信運搬費 | 107,365 | 65,755 | 41,610 |
| 消耗品費 | 0 | 785 | △ 785 |
| 賃借料 | 122,955 | 129,885 | △ 6,930 |
| 光熱水料費 | 22,774 | 22,387 | 387 |
| 雑費 | 6,825 | 14,595 | △ 7,770 |
| 事業費合計 | 5,260,851 | 5,822,889 | △ 562,038 |
| ②管理費 | | | |
| 給料手当 | 2,100,000 | 2,100,000 | 0 |
| 会議費 | 64,855 | 67,120 | △ 2,265 |
| 旅費交通費 | 271,000 | 175,000 | 96,000 |
| 通信運搬費 | 45,185 | 39,984 | 5,201 |
| 什器備品費 | 189,000 | 8,071 | 180,929 |
| 消耗品費 | 155,069 | 94,719 | 60,350 |

| 科　　目 | 当年度 | 前年度 | 増　減 |
|---|---|---|---|
| 印刷製本費 | 0 | 29,400 | △ 29,400 |
| 賃借料 | 122,955 | 129,885 | △ 6,930 |
| 諸謝金 | 50,000 | 50,000 | 0 |
| 光熱水料費 | 22,773 | 22,387 | 386 |
| 雑費 | 52,830 | 15,133 | 37,697 |
| 管理費合計 | 3,073,667 | 2,731,699 | 341,968 |
| 経常費用計 | 8,334,518 | 8,554,588 | △ 220,070 |
| 当期経常増減額 | 2,034,000 | △ 1,148,123 | 3,182,123 |
| 2. 経常外増減の部 | | | |
| (1)経常外収益 | 0 | 0 | 0 |
| (2)経常外費用 | 0 | 0 | 0 |
| 経常外費用計 | 0 | 0 | 0 |
| 当期経常外増減額 | 0 | 0 | 0 |
| 当期一般正味財産増減額 | 2,034,000 | △ 1,148,123 | 3,182,123 |
| 一般正味財産期首残高 | 124,646,303 | 125,794,426 | △ 1,148,123 |
| 一般正味財産期末残高 | 126,680,303 | 124,646,303 | 2,034,000 |
| Ⅱ. 指定正味財産増減の部 | | | |
| 受取補助金等 | 0 | 0 | 0 |
| Ⅲ. 正味財産期末残高 | 126,680,303 | 124,646,303 | 2,034,000 |

# （公）高エネルギー加速器科学研究奨励会賛助会員一覧

平成２６年５月２０日現在

| | 会員名 | | 会員名 |
|---|---|---|---|
| 1 | （株）ＩＤＸ | 31 | （株）日建設計 |
| 2 | 味の素（株） | 32 | （株）日本アクシス |
| 3 | ＥＸ－サービス（株） | 33 | 日本アドバンストテクノロジー（株） |
| 4 | S.P. エンジニアリング（株） | 34 | 日本高周波（株） |
| 5 | エーザイ（株） | 35 | 日本電磁工業（株） |
| 6 | （株）大阪真空機器製作所 | 36 | （株）野村鍍金 |
| 7 | 川崎設備工業（株） | 37 | ＶＡＴ（株） |
| 8 | （株）関電工 | 38 | 浜松ホトニクス（株） |
| 9 | 金属技研（株） | 39 | 日新パルス電子（株） |
| 10 | 工藤電機（株） | 40 | 日立金属（株） |
| 11 | （株）ケーバック | 41 | （株）日立製作所 |
| 12 | 小池酸素工業（株） | 42 | 日立造船（株） |
| 13 | 神津精機（株） | 43 | （株）フジクラ |
| 14 | 新日鐵住金（株） | 44 | 富士通（株） |
| 15 | 秀和電気（株） | 45 | 武州ガス（株） |
| 16 | セイコー・イージーアンドジー（株） | 46 | （有）双葉工業 |
| 17 | 太陽計測（株） | 47 | （有）マイテック |
| 18 | 大陽日酸（株） | 48 | （株）前川製作所 |
| 19 | （株）多摩川電子 | 49 | 三菱重工業（株） |
| 20 | ツジ電子（株） | 50 | 三菱電機（株） |
| 21 | （株）電研精機研究所 | 51 | 三菱電機システムサービス（株） |
| 22 | 東京ニュークリアサービス（株） | 52 | 三菱電線工業（株） |
| 23 | （株）東芝 電力システム社 | 53 | （株）メック |
| 24 | 東芝電子管デバイス（株） | 54 | 三菱マテリアル（株） |
| 25 | 利根コカ・コーラボトリング（株） | 55 | （株）ジェック東理社 |
| 26 | （株）トヤマ | | |
| 27 | 豊田通商（株） | | |
| 28 | 長瀬ランダウア（株） | | |
| 29 | ニチコン（株） | | |
| 30 | ニチコン草津（株） | | |

# ■ 編 集 後 記 ■

●賛助会員の皆様方には益々ご清栄のこととお慶び申し上げます。
日頃より、当公益財団法人に対する格別のご協力を頂き、心から厚く御礼申し上げます。

●広報誌「ＦＡＳだより」も公益財団法人に移行してから第８号を発行することになりました。

●投稿等が少なく、年３回の発行予定が年々少なくなりつつあります。
賛助会員の皆様で、広報誌「ＦＡＳだより」に投稿したい高エネルギー加速器に関する記事等が有りましたら是非お知らせ下さい。投稿をお待ちしております。

●研究報告等を見やすくするために、広報誌「ＦＡＳだより」も第７号からモノ黒印刷から全面カラー印刷に変更いたしました。

●本文中にも記載されておりますが､平成２６年度も「高エネルギー加速器セミナー　ＯＨＯ’１４」･「第４回　特別講演会」開催する予定です。
多くの皆様のご参加をお待ちしております。

●当公益財団法人では、多くの皆様に「公益財団法人　高エネルギー加速器科学研究奨励会」をお知りいただくために、平成２５年１月にパンフレットを、２月にホームページをリニューアールいたしました。

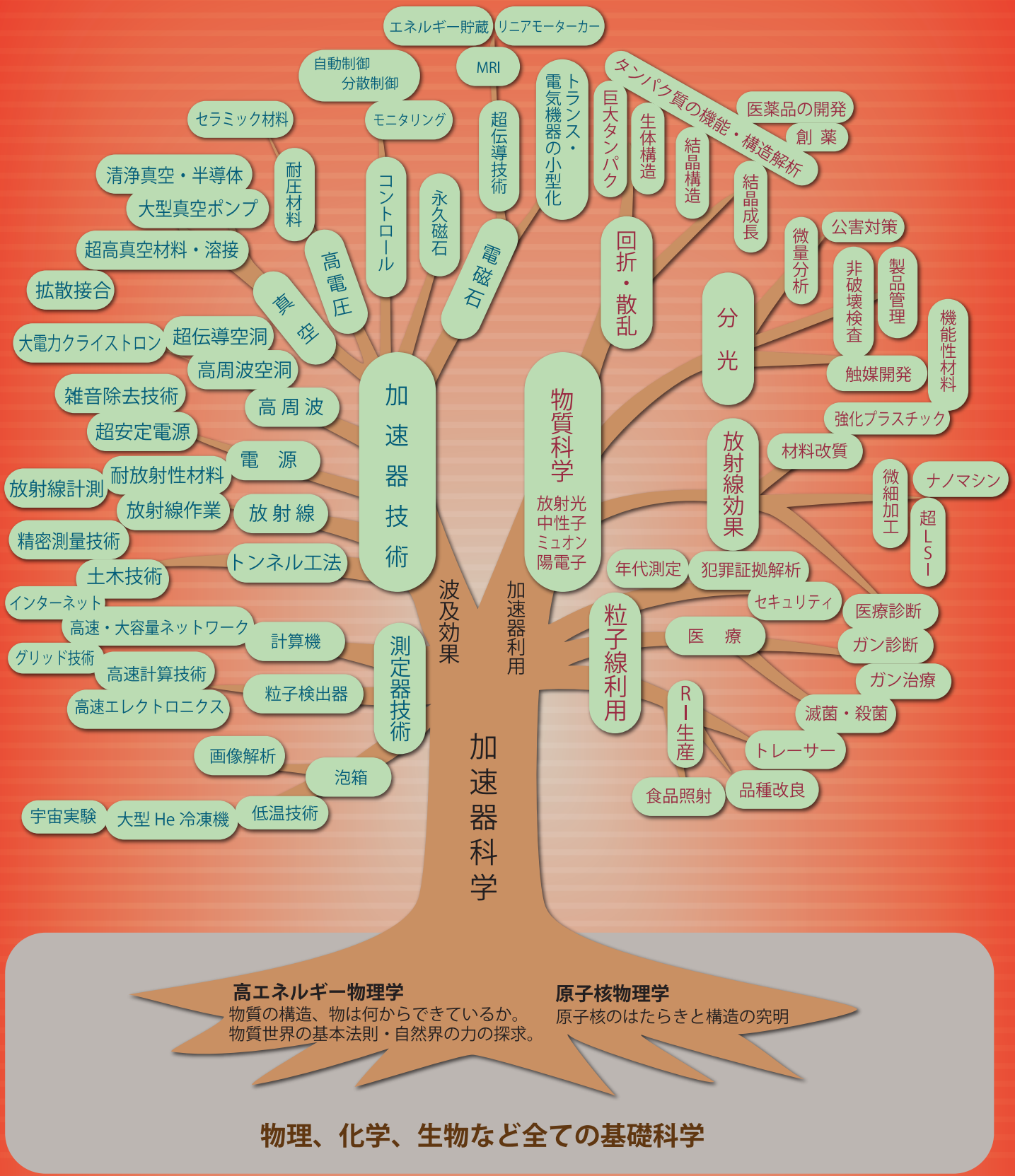
●「ホームページ」・広報誌「ＦＡＳだより」等をご覧いただき、より良いものにするために皆様のご意見をお待ちしております。

●賛助会員のバナー広告掲載について
当公益財団法人のホームページ上に賛助会員様のバナー広告を掲載しております。
バナー広告掲載を希望される賛助会員様は、ぜひご利用ください。

（無料）

＜連絡先：info@heas.jp 又は TEL/FAX 029-879-0471＞

（事務局）




発　行　公益財団法人
高エネルギー加速器科学研究奨励会

〒305-0801
つくば市大穂 1-1 高エネルギー加速器研究機構内（職員会館 2F）
TEL・FAX：029-879-0471
E-mail：info@heas.jp
URL：http://www.heas.jp/