

委託業務成果報告書

量子ビーム基盤技術開発プログラム

「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」

(直流高圧電子源開発)

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

平成23年5月

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、日本原子力研究開発機構が実施した平成22年度「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」（直流高圧電子源開発）の成果を取りまとめたものです。

1. 委託業務の目的

超伝導高周波加速器技術とレーザーパルス蓄積技術の融合によって、ポストゲノム時代の生命科学研究、ナノ構造解析、創薬、医療診断、マイクロリソグラフィへの利用を画期的に飛躍させる軟 X 線から硬 X 線領域の小型高輝度 X 線発生装置 (10m × 6m 程度) を実現する。本装置実現のために、高品質大強度電子ビーム生成装置、大強度・高電界超伝導高周波加速装置、高品質短パルス大強度レーザー蓄積装置、ミクロン精度での電子ビーム軌道制御技術及び、レーザー光路精密調整といった技術の実用化を図る。よって、超伝導高周波加速器技術を使った 5 nm~0.025 nm 波長領域の小型高輝度 X 線発生装置の開発とその実用化に必要な基幹技術の確立を行うことを目的とする。

さらに大強度安定化に必要な次の技術開発を行う。500~750kV 数十 mA の高電圧 DC 電子源開発、高性能光 L-band RF Gun 開発、小型高信頼性 L-band 高周波源開発および 3 次元 4 枚ミラーリング光蓄積装置開発を行う。これにより、生成する X 線輝度を格段に高くすると同時に、レーザー光の偏光を高速で制御することによってのみ可能な世界でも特筆すべき高速可変偏光小型軟 X 線源を実現し、「軟 X 線領域における円二色性光源」として実用化を図る。

このため、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大学法人東京大学、独立行政法人日本原子力研究開発機構、国立大学法人広島大学、学校法人早稲田大学、東芝電子管デバイス株式会社及び株式会社日立ハイテクノロジーズは共同で業務を行う。

独立行政法人日本原子力研究開発機構では、直流高圧電子源に関わる研究開発を実施する。また、直流高圧電子源と組み合わせて使用する CW 超伝導加速空洞について、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構と連携して研究開発を実施する。

2. 平成 22 年度（報告年度）の実施内容

2. 1 実施計画

① 直流高圧電子源の開発

平成 21 年度までの業務で製作した装置を用いて、光陰極表面の洗浄・活性化試験、引き続いて電子ビーム発生試験を進める。光陰極の長寿命化に必要な真空排気系の増強を行う。

② 直流高圧電子源と組み合わせて使用する CW 超伝導加速空洞の研究開発

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構と連携して、直流高圧電子源と組み合わせて使用する CW 超伝導加速空洞の開発を進め、前年までに試作した空洞の性能試験を行い、CW 型超伝導加速空洞モジュールの製作に必要な知見を得る。

2. 2 実施内容(成果)

① 直流高圧電子源の開発

[概要]

将来の高輝度小型光子ビーム源の要素技術として、直流高圧電子源の研究開発を進めている。ビーム引き出し試験をおこなうために、電子銃にカソード電極、非蒸発ゲッターポンプを組み込み、ビーム引き出し用のビームラインを構築した。380kV までの高電圧印加と 300kV でのビーム引き出しに成功した。また、原子状水素ビームによる光陰極の洗浄技術の向上に取り組み、光陰極の量子効率と寿命の大幅な改善を得た。

はじめに

超伝導加速による光子源において発生する光子（X線）の輝度、強度を増大するには、電子ビームを連続的に加速する運転モード（CW運転）が望ましい。CW 運転を実現するには超伝導加速器、電子銃ともにパルス運転モードとは異なる性能の装置が必要である。われわれは、CW 運転を実現する低エミッタンス大電流電子銃として、半導体光陰極を備えた直流高圧電子源（光陰極DC電子銃）を採用し、開発を進めている。このタイプの電子銃を採用した理由は次の通りである。(1) 光陰極はレーザーを半導体に照射して光電子を発生するので、モードロックレーザーからピコ秒の電子パルス列を直接生成し超伝導加速器へ入射できる。同時に低エミッタンス電子ビームの生成にも適している。(2) RF 電子銃（常伝導）では RF 空洞の発熱のために CW 運転が困難であるが、DC 電子銃は容易に CW 運転を行うことができ、また DC 電源の容量次第で大電流にも対応可能である。

図 1 に開発中の光陰極 DC 電子銃の構成を示す。カソード電極先端にインストールされた光陰極にレーザーを照射すると光電子が生成される。光電子はカソード・アノード間の DC 電圧で加速され電子ビームとなる。電子ビームの空間電荷効果を抑制し、低エミッタンスビームを生成するには、できるだけ高い加速勾配で、短い距離で高エネルギーまで電子を加速する必要がある。そこで、われわれは米国ジェファーソン研の運転実績 350kV を大きく上回る 500kV 電子銃の開発を進めている。欧米でも同タイプの光陰極 DC 電子銃が開発されているが、500kV の加速電圧は未だ達成されていない。500kV の加速電圧が困難な理由は、セラミック管とカソード電極をつなぐサポートロッドから発生する電界放出電子によるセラミック管の破損問題が深刻なためである。われわれは、分割型セラミック管とガードリングを用いて、電界放出電子がセラミック管に直接到達しないような設計を考案した。これによりセラミック管破損問題を解決し、平成 21 年度世界で初めて 500kV の高電圧印加に成功した。

平成 21 年度の 500kV 高電圧印加試験は、サポートロッドからの電界放出電子の効果を調べるため、電子銃の高電圧容器（真空槽）の内部にはカソード・アノード電極、真空ポンプなどの構造物を設置せずに実施した。平成 22 年度は、次段階として電子ビーム生成に取り組むため、カソード・アノード電極、及び非蒸発型ゲッターポンプを電子銃高電圧容

器に設置した。このような電子銃の構成で、1) 高電圧容器で $1 \times 10^{-9} \text{Pa}$ 以下の極高真空を実現し、2) 380kV までの高電圧印加を達成した。さらに、平成 21 年度までに開発した光陰極準備容器と光陰極導入容器を電子銃本体の高電圧真空容器に接続した。光陰極準備容器で活性化した光陰極をトランスファーロードでカソード電極に輸送、固定し、3) 300kV での電子ビーム生成を行った。また、平成 21 年度準備した原子状水素ビームによる光陰極表面洗浄装置を用いて、4) 光陰極の量子効率を 7% から 13% に、寿命を 270 時間から 2000 時間に向上させることに成功した。これらの成果を以下に述べる。

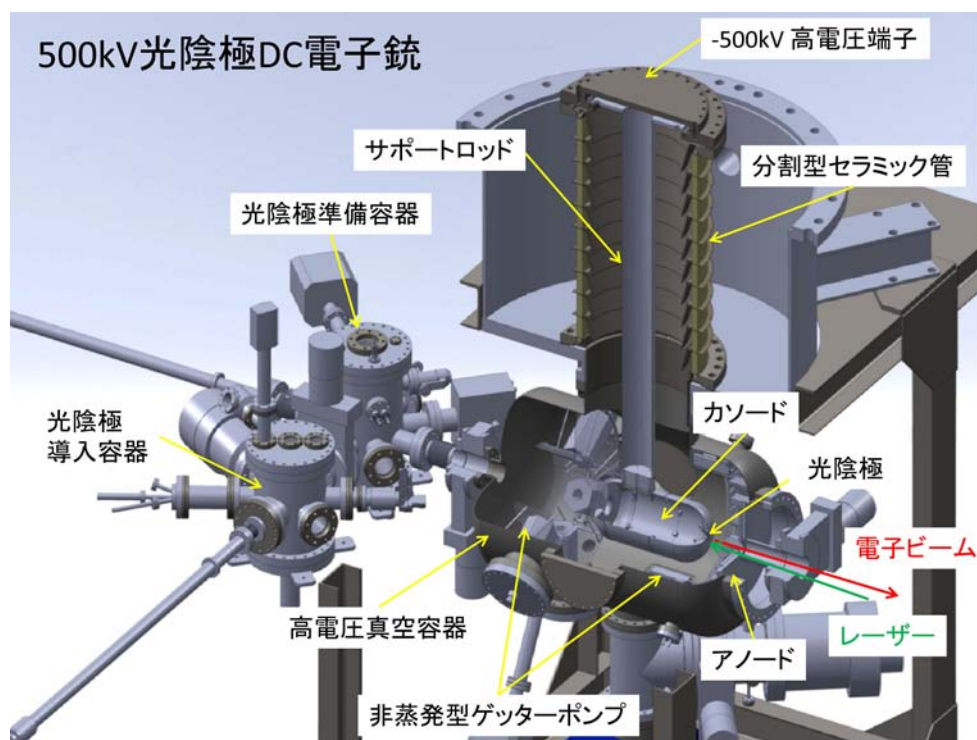


図 1：500kV 光陰極 DC 電子銃の構成。絶縁用のセラミック管の上端に負電位（-500kV）を印加する。カソード電極の先端中央に光陰極が装着され、正面から照射されるレーザーによって光電子を発生し、アノード電極側に引き出される。

カソード電極と非蒸発ゲッターポンプの組み込み

光陰極 DC 電子銃は、負電子親和力をもった半導体陰極(GaAs など)と組み合わせることによって、極めて小さなエミッタンスと大電流を両立した電子ビームの発生が可能になる。このような半導体陰極は、負電子親和力をもった表面が壊れやすいために長寿命の光陰極を実現するのが困難であった。光陰極の長寿命化には、次に述べるように高電圧真空容器で極高真空を実現するのがもっとも効果的である。光陰極から生成された電子ビームは高電圧真空容器中の残留ガスと相互作用し、ガスをイオン化する。このイオンがカソード・アノード電極の DC 電圧に捕獲されると、電子ビームとは逆向きに加速されて光陰極に衝突する。その結果、負電子親和力をもった表面が破壊され、光陰極の量子効率が劣化する。この現象をイオンバックボンバードメントと呼ぶ。このイオンバックボンバードメントを減

らすことが実用的な長寿命光陰極の実現に重要であり、そのためには極高真空を達成して残留ガス密度を小さくするのが最も効果的である。そこで、高電圧容器の真空度を高めるために、20本の400 l/s、5本の2000 l/sの非蒸発型ゲッターポンプをインストールした(図2参照)。合計18000 l/sの非蒸発型ゲッターポンプと200 l/sのイオンポンプを用いて、目標である $1 \times 10^{-9} \text{Pa}$ 以下の極高真空を高電圧容器内で実現した。

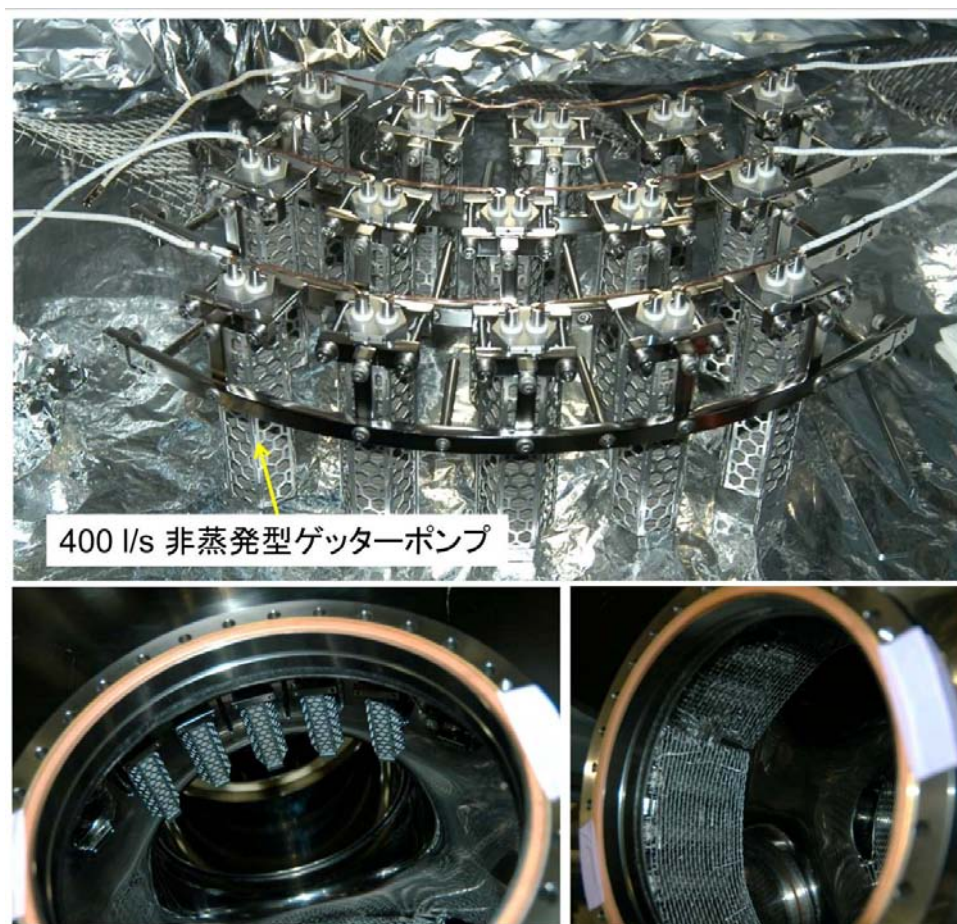


図 2：非蒸発型ゲッターポンプとインストールの様子。写真上は、15本の400 l/s 非蒸発型ゲッターポンプを5本/組でヒーター電源線を配線した様子を表す。カソード・アノード電極周囲に4組(計20本)の非蒸発型ゲッターポンプを写真左下のようにインストールする。高電圧印加を行うため、ポンプにはメッシュシールドを被せる(写真右下)。

電子ビーム生成に必要なカソード・アノード電極を、光陰極中心を高電界に保ちつつ、その他の表面電界ができるだけ低くなるように設計、製作を行った。光陰極中心を高電界にするのは、電子ビームを素早く加速してエミッタンスの劣化を抑制するためである。それ以外の電極表面については、電界放出電子を減らして放電を防ぐため500kV印加時に最大表面電界が11MV/m以下になるように配置と形状を設計した。また、2次電子放出係数が小さく高電圧印加に適したチタン材で電極を製作した。電極と共にインストールした非蒸発型ゲッターポンプには、メッシュシールドを被せて高電圧印加時の放電を防ぐように工夫した。

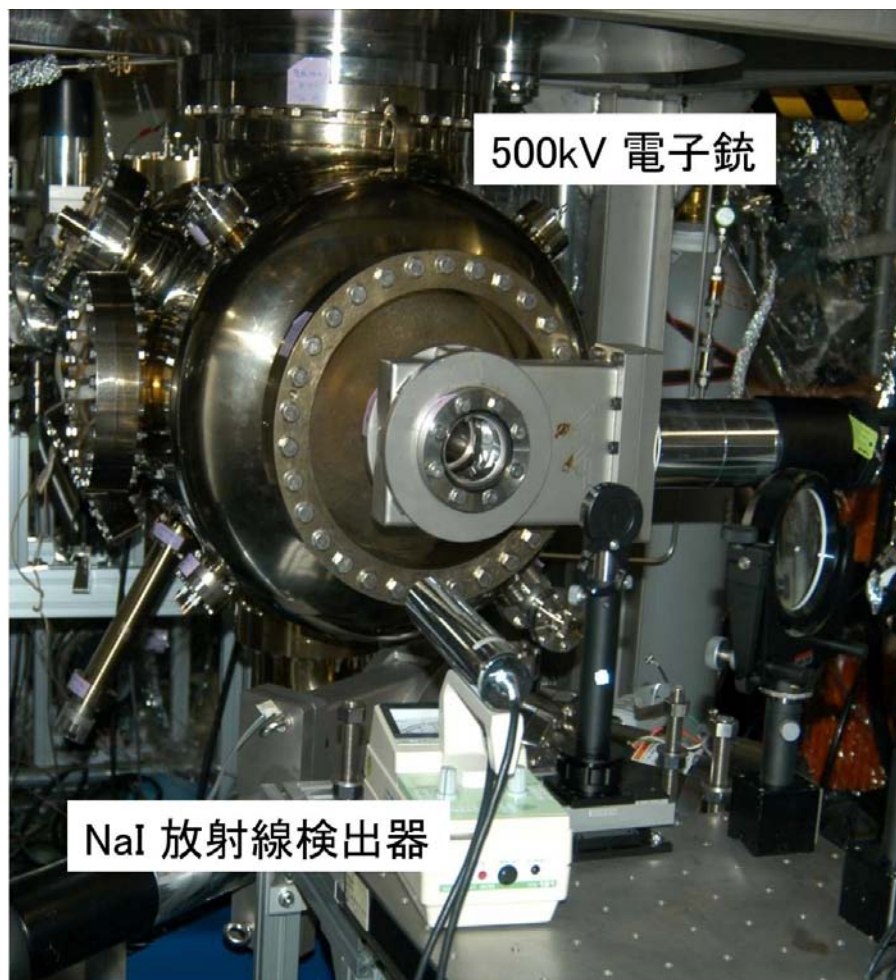


図 3：高電圧印加試験のセットアップ。500kV 電子銃のアノード電極下流に NaI 検出器を配置し、放射線をモニターしながら電圧印加する。

電極と非蒸発型ゲッターポンプのインストール後に高電圧印加試験を行った。印加試験中の電子銃セラミック管等へのダメージを最小化するため、放射線と真空度をモニターし、 $3\mu\text{Sv/h}$ 以上の放射線、 $1\times 10^{-6}\text{Pa}$ 以上の真空度を検出すると自動的に高電圧をオフするインターロックシステムを設けた。図 3 に高電圧印加試験のセットアップを示す。試験の結果、図 4 に示すように 380kV までの高電圧印加に成功した。380kV で電界放出電子による放射線の増加が観測され、さらなる高電圧印加が困難となったため、試験を中断して原因究明を行っている。これまで明らかになった原因は、2000 l/s の非蒸発型ゲッターポンプのメッシュシールドがカソード電極に近すぎることで、カソード電極に付着した微細な粉塵が電界放出電子の原因となることである。今後、それぞれについて対策を施し 500kV 印加試験を継続していく予定である。

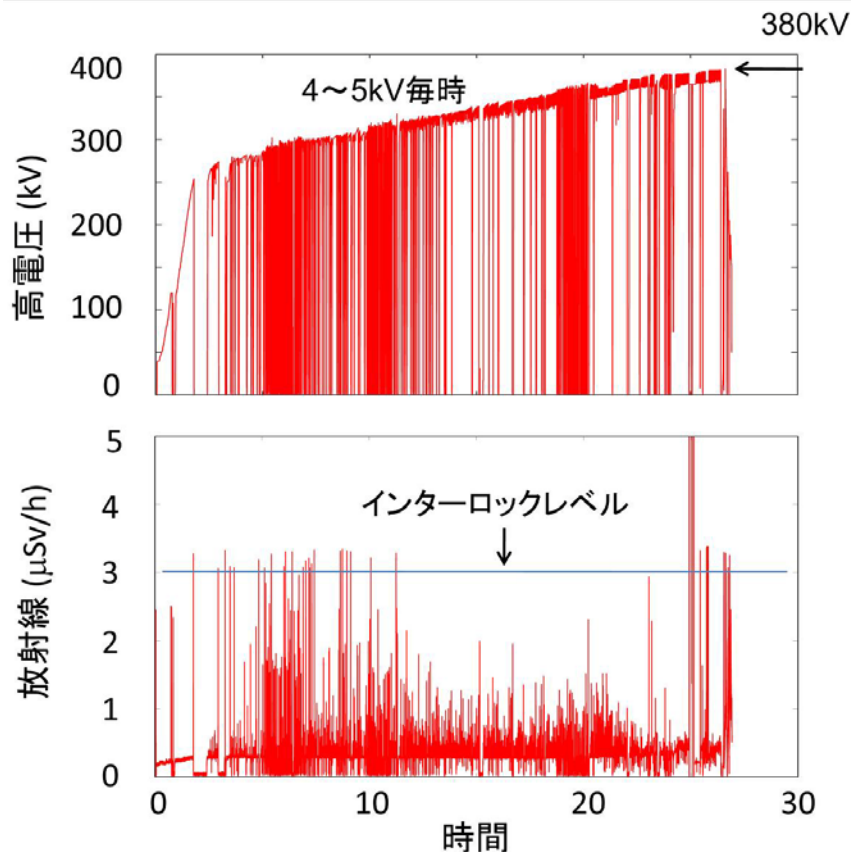


図 4: カソード・アノード電極、及び非蒸発型ゲッターポンプを高電圧容器にインストールした後の高電圧印加試験結果。250kV まで短時間に印加することができた。放射線と真空度をモニターしながら、以降は4~5kV 毎時のペースで電圧印加を行うことができた。380kV で電界放出電流が観測されたため、高電圧印加試験を一時中断し原因究明、対策を行っている。

電子ビーム引き出し試験

380kV までの高電圧印加に成功したことを受け、300kV での電子ビーム生成試験を行った。電子ビーム生成には電極のアラインメントが重要である。われわれは、図 5 に示す簡便なアラインメント方法を考案し適用した。レーザーをビームライン下流からアノード電極中心へ向かって打ちこむ。この入射レーザーはアノード電極面に押し当てられた鏡で反射される。反射レーザー光軸が入射光軸と一致するように、レーザー軸を調整し、調整後のレーザー光軸を電子ビームラインと定めた。次に、鏡を外してレーザーをカソード先端の光陰極で反射させ、このレーザー反射光が入射光軸と一致するようにカソード電極のアラインメントを行った。下流ビームラインの組み立ての際にも、レーザー光軸を基準ビームラインとして利用した。

下流ビームラインは、図 6 に示すソレノイド電磁石、偏向電磁石、ビームプロファイルモニタ、平成 21 年度までに製作したビームダンプで構成され、電子銃からの電子ビームをビームダンプに導く。電子ビーム生成は、波長 530nm の半導体レーザーを偏向磁石のビューポートから光陰極に向けて打ち込むことで行った。ビームプロファイルを確認し、ビー

ムダンプへ最大 $5.7\mu\text{A}$ の電流を導くことに成功した。カソード・アノード電極を適切にアラインメントできていたため、半日程度の短時間でビーム生成試験を実施することができた。将来目標である 10mA ビーム生成時には、ビームダンプが局所的に高温になることを防ぐため、ビームを拡大してビームダンプに導く必要がある。ビーム拡大は、ビームダンプ前に設置した 2 セットの偏向電磁石で行う。偏向電磁石に交流電圧を印加してビーム試験を行い、設計通りのビーム拡大をプロファイルモニターで確認した。今回の試験でビームダンプに導いた最大電流が $5.7\mu\text{A}$ であったのは、ビームダンプで発生する放射線が、電子銃実験室のエリアモニターの観測で $1\mu\text{Sv/h}$ を超えたためである。ビームダンプ外への放射線放出を防ぐため、ビームダンプ周囲に鉛を積むことを検討し、鉛シールド用の架台を製作した。

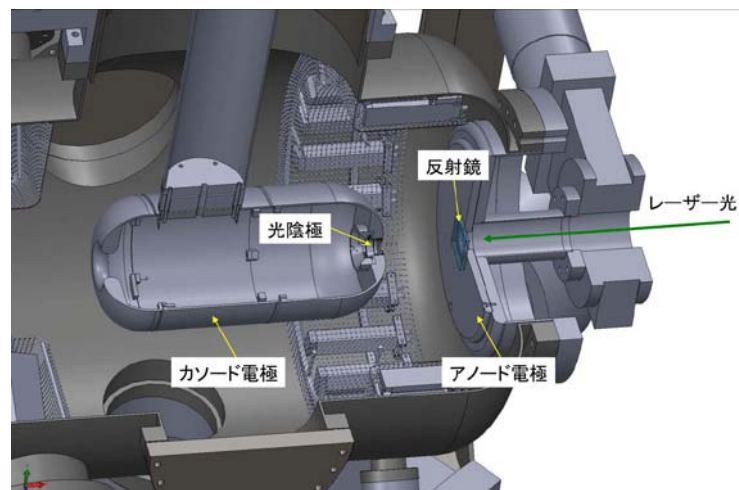


図 5: 電極アラインメントセットアップ。アノード電極下流から電極中心に向けて外部レーザーを通し、アノード電極面に反射鏡をあてて、反射レーザー光を観測する。入射光と反射光が一致するようにレーザー光軸を調整し、ビームライン軸とする。次に反射鏡を外し、光陰極からのレーザー反射光をモニターしながら、カソード電極の向きを調整し、カソード・アノード電極のアラインメントを行う。

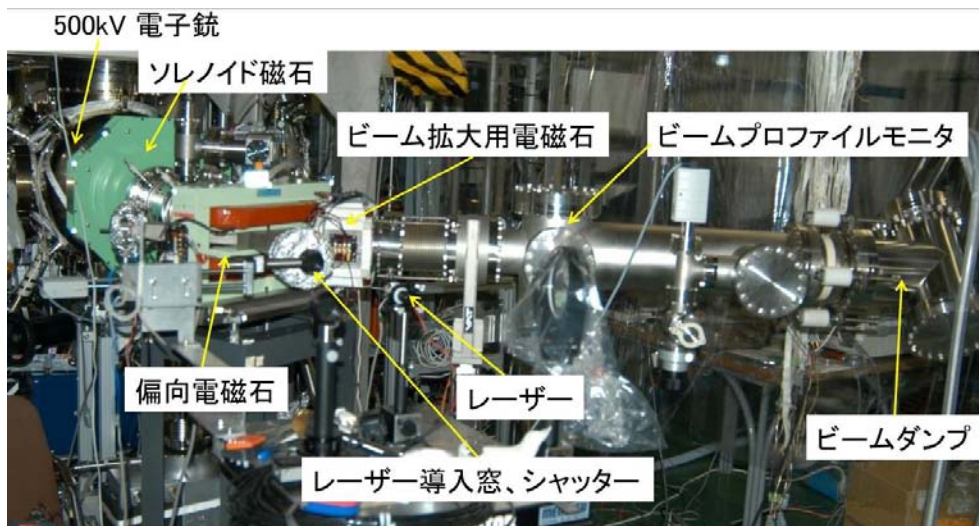


図 6：下流ビームライン。写真左奥が電子銃本体。偏向電磁石のビューポートからレーザーを光陰極に向けて打ち込み、電子ビームを生成する。電子ビームはソレノイドを通り、偏向電磁石で 60 度曲げられ、ビームダンプに導かれる。偏向電磁石後に上下、左右 2 組の空芯偏向磁石を設置した。交流電圧を印加するとビームダンプ上でのビームサイズが拡大する。ビームダンプ前にはプロファイルモニターがあり、ビームの位置とサイズを確認することができる。

原子状水素ビームによる陰極表面の洗浄

平成 21 年度までにわれわれは光陰極の量子効率 7%、 $1/e$ 寿命 10 時間を達成していた ($1/e$ 寿命とは、量子効率が $1/e$ に低下する時間を指す)。しかしながら、この性能は長時間のビーム生成試験には不十分であるため、平成 22 年度は、光陰極準備システムの改良にも取り組んだ。光陰極はモリブデン製の基板保持機構 (パック) にインジウムで接着されている。このパックを図 1 に示す 3 種類の真空容器間で移送し、導入容器で光陰極表面を洗浄、準備容器で光陰極表面を活性化、高電圧容器で電子ビーム生成を行う。試験を繰り返すうちに、このパック表面の面精度が不十分で、光陰極との接着が一部でしか行われてないことが明らかになった。これでは、加熱による光陰極表面の洗浄が均一に行えないため、量子効率と寿命性能に悪影響を与える。そこで、パックを再加工して面精度を上げ、加熱による表面洗浄を行った。その結果、光陰極の量子効率は 7%、寿命は 270 時間まで向上した。次に、平成 21 年度までに導入した原子状水素による光陰極表面洗浄を実施した。通常の加熱洗浄では、光陰極表面を 550°C まで加熱し、炭化物、酸化物を除去し光陰極面を清浄にする。原子状水素による洗浄では、還元反応を用いて低温の 450°C 加熱で光陰極表面を清浄にすることができる。洗浄過程で表面に与えるダメージが小さい利点がある。図 7 に水素洗浄装置のイメージ図を示す。この装置を用いて光陰極を洗浄後、図 8 に示すように量子効率 13%、寿命 2000 時間を達成した。今後の大電流ビーム生成試験にも対応できると考えている。

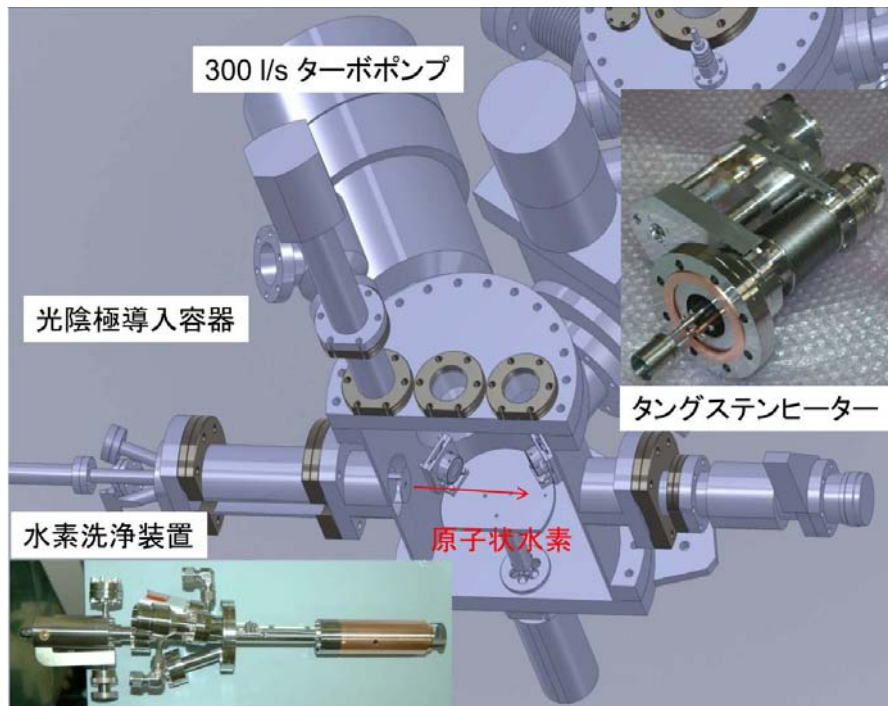


図 7：光陰極導入容器にインストールした水素洗浄装置とタングステンヒーター。パックの裏面から光陰極表面を 450℃まで加熱し、原子状水素を照射することで光陰極表面に付着している酸化物、炭化物を効率的に除去する。

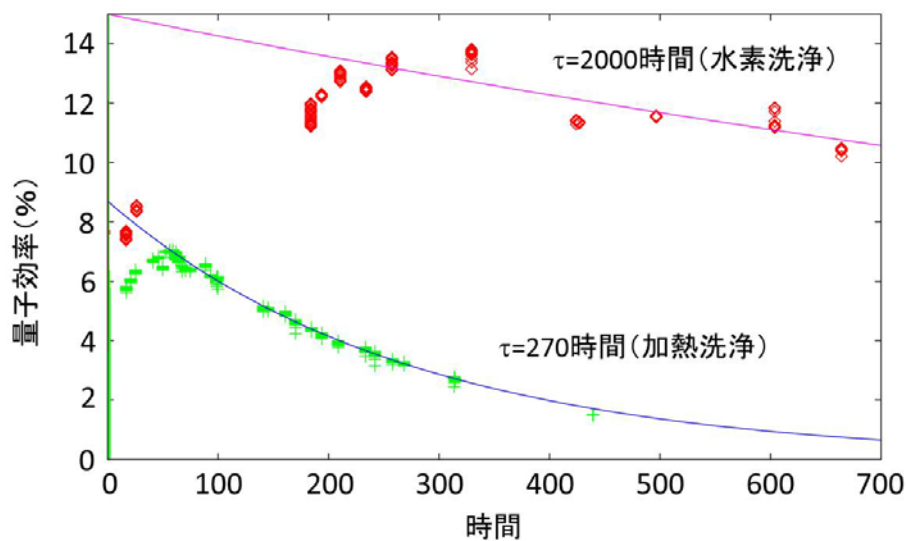


図 8：光陰極の量子効率と寿命曲線。ヒーターによる加熱洗浄のみの場合、最大量子効率 7%、1/e 寿命 270 時間であった。水素洗浄を行うことで、最大量子効率は 13%、寿命は 2000 時間に延びた。

平成 23 年度の予定

高電圧印加の障害となっている現象（ポンプシールドの配置と加工、電極表面の粉塵など）を特定し、その解決を図る。実用機における運転を想定して、光陰極パックの多重化を行い、寿命の終わった光陰極を迅速に交換できるようにする。これらの装置開発・改良を施した後に 500kV 電圧でのビーム引き出し試験を行う予定である。

② 直流高圧電子源と組み合わせて使用する CW 超伝導加速空洞の研究開発

〔概要〕

将来の高輝度小型光子ビーム源の要素技術として、直流高圧電子源と組み合わせて使用する CW 超伝導加速研究開発を進めている。平成 22 年度は、加速に有害な高調波 (HOM) を空洞から取り出した後に吸収するための HOM ダンパーの開発として、HOM ダンパーの伝熱特性の測定を行った。

はじめに

直流高圧電子源で発生する低エミッタンスかつ大電流の電子ビームを CW 超伝導主加速器で安定に加速するためには、ビーム加速によって励起される空洞の高次モード (Higher-Order Mode : HOM) を抑制することが重要である。超伝導空洞の場合、空洞壁での HOM 損失がほとんどないため、空洞内で励起された HOM はビームパイプを伝播させ、ビームパイプの途中にある高周波吸収体を含む HOM ダンパーで吸収・減衰させる。HOM ダンパーは 2K の低温に冷却された超伝導空洞間に配置され、クライオモジュールと呼ばれる真空断熱槽の中に設置される。HOM ダンパーは HOM を吸収して発熱するため冷却が必要であるが、空洞の 2K 部分への熱侵入を減らすために、また冷却効率を考慮して液体窒素温度程度に冷却される。そのため平成 21 年度は低温で使用可能な高周波吸収体を調べ、HOM ダンパーに最適な高周波吸収体を選択した。平成 22 年度は HOM ダンパー実機を製作する際に重要な温度特性を調べるため、HOM ダンパー試作機を製作し、冷却試験、伝熱特性試験を行った。

HOM ダンパーの伝熱特性の測定

HOM を十分吸収できるだけでなく、HOM ダンパーに求められる構造的な性能としては、

- 1) HOM 吸収による発熱を 100W と想定しているが、クライオモジュール内の 80K の温度定点を用いて HOM ダンパーを十分に冷却できること
- 2) できるだけコンパクトな構造をしていること
- 3) 2K の液体ヘリウム冷却領域への入熱が少ないこと

などがある。

フランジ接続の自由度や熱収縮の余裕のためにフランジ部分との接続にベローズを用いるが、ベローズ前後のビームパイプの接続には高周波ブリッジが用いられる。HOM ダンパーから液体ヘリウム領域への入熱を小さくするために楕円型高周波ブリッジを用いた。楕円型高周波ブリッジは楕円が互いに噛み合うように対向した構造をしている。高周波ブリッジは、機器内部の隙間や空洞を埋めてバンチに伴う壁電流を滑らかに流すことで、HOM の発生を防ぎ、またビームインピーダンスを下げる役割を持っている。従来、高周波ブリッジには薄い金属製のフィンガー型が用いられてきたが、フィンガー型は隙間から漏れ

る HOM によって機器が発熱し易く、フィンガースライド部の電氣的接触の保証が難しいなどの問題があった。これに対し、橢歯型はフィンガー型の高周波接続に比べてインピーダンスが小さく、熱伝導も小さいという利点がある。橢歯型の中央部分にフェライトを焼結し、その冷却のために 80K アンカーを設けた。また両フランジには空洞への熱侵入を減らすために 4K アンカーを設けた。HOM ダンパーの概略図を図 9 に示す。HOM ダンパーの冷却特性を調べるためにフェライトなしの HOM ダンパー試作機を製作し、液体窒素での冷却が可能な真空断熱槽に設置し、液体窒素温度での冷却試験を行い、HOM ダンパーの伝熱特性などを測定した。

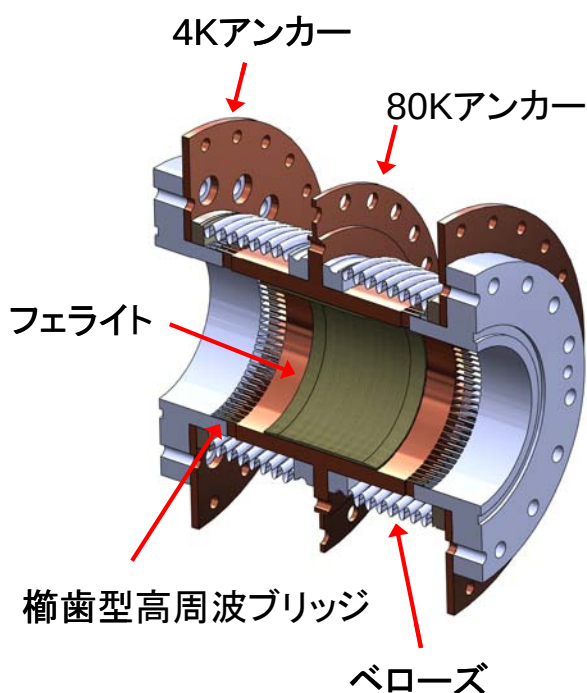


図 9 HOM ダンパーの概略図

HOM ダンパー試作機を図 10 のように真空断熱槽に設置した。液体窒素溜めと HOM ダンパー試作機との接続には、実機モジュールでの接続とほぼ同じ状況を再現するためブレード線と伝熱板を用いた。断熱真空槽内のスペースの都合によりブレード線としては断面積 100mm^2 、長さ 200mm のものを 4 本用いたが (図 11)、実機モジュールでは断面積 100mm^2 、長さ 150mm のブレード線を 8 本用いる予定であり、今回の試験でも十分評価可能である。またフェライトでの高調波吸収による発熱を模擬するため HOM ダンパー試作機の中央部にリボンヒーターを貼付けた (図 12)。

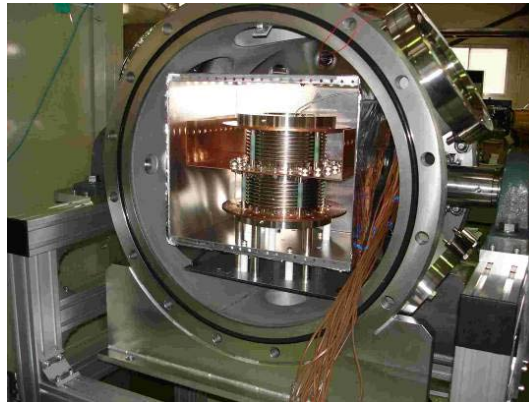


図 10 断熱真空槽に HOM ダンパー試作機を設置したところ



図 11 液体窒素溜めと HOM ダンパー試作機をブレード線で接続

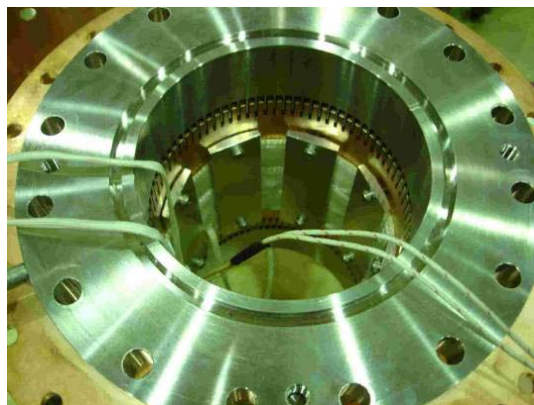


図 12 HOM ダンパー試作機内側にリボンヒーターを取り付けたところ

液体窒素による冷却開始から 80K アンカーおよび上下両側フランジの温度を測定した結果を図 13 に示す。80K アンカー部分に比べ両側フランジの冷却が遅いのが分かる。これは両側フランジの冷却は厚さ 0.15mm のベローズを通して冷却されるためであり、この冷却速度の違いからベローズの熱抵抗を求めることができ、その結果を図 14 に示す。この結果はベローズ形状から求めた熱抵抗値の 200K/W や伝熱シミュレーションコード ABAQUS を用いた計算結果の 150K/W に比べて小さな値になっている。熱抵抗が小さいということ

はベローズ以外の部分を通しての伝熱があると考えられるが、その原因のひとつとして輻射による冷却が考えられる。対向する楯歯間やフランジと周りの熱シールド間で温度差があるとその間で輻射による伝熱が起こる。冷却後 1 日経った頃の温度データから輻射による熱抵抗を計算すると楯歯間で 340K/W、フランジと熱シールドの間で 150K/W となる。輻射による伝熱は各部分の温度が低くなれば急激に減少していく。図 14 においても各部分が冷却されるに従って熱抵抗が大きくなっている様子がうかがえる。この輻射の影響は液体窒素温度になった時にはほとんど無視できる値となり、測定値も計算値とほぼ同等の値になるものと推測され、80K 部分から 4K 部分への入熱は十分小さいと言える。

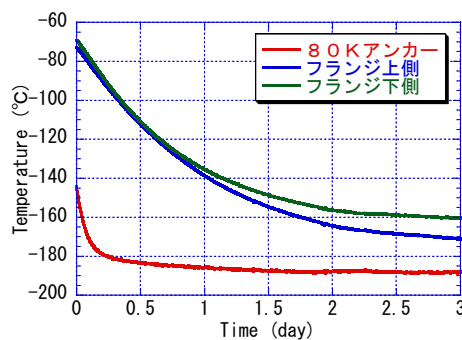


図 13 HOM ダンパー冷却時の 80K アンカーおよびフランジの温度変化

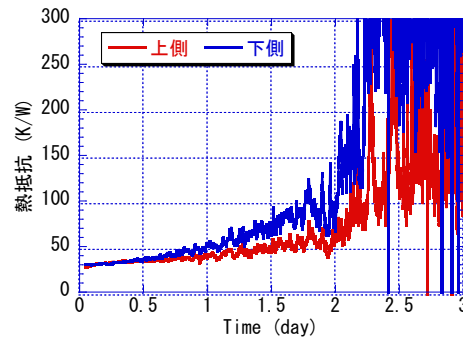


図 14 上側および下側フランジに繋がっているベローズの熱抵抗の時間変化

次に HOM ダンパー試作機中央部分のヒーターによる各接続部品の温度上昇を測定した。リボンヒーターに 38W を投入したときの各接続部品の温度上昇を表 1 に示す。温度差ができる場所は主にブレード線および伝熱板である。ブレード線を短くすることや、伝熱板の厚みを増すことにより温度差をさらに小さくすることは可能であり、モジュール化において液体窒素温度の温度定点の位置を検討し、実機においてより効率的に冷却し、入熱の小さな HOM ダンパー製作の目処を付けることができた。

第 1 表 冷却試験における伝熱部品ごとの温度差

	温度差 (K)	
	38W (測定値)	100W (実機推定値)
液体窒素タンク－ブレード線	0.7	1.8
ブレード線両端	37.0	36.5
ブレード線－伝熱板	2.8	7.4
伝熱板両端	9.3	24.5
伝熱板－80K アンカー	1.1	2.9
80K アンカー－銅基盤 (フェライト部)	0.9	2.4
合計	51.8	75.5

平成 23 年度の予定

平成 23 年度は HIP フェライト付きの HOM ダンパーを製作し、冷却・昇温などの熱サイクルにおける HOM ダンパーの耐久性能を調べていく予定である。

2. 3 成果の外部への発表

学会発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	
Cooling Test of ERL HOM Absorber（ポスター）	M. Sawamura, T. Furuya, H. Sakai, K. Umemori, K. Shinoe	The 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10), Kyoto, Japan	2010 年 5 月	国内
Results of Vertical Tests for KEK-ERL 9-cell Superconducting Cavity（ポスター）	K. Umemori, T. Furuya, H. Sakai, T. Takahashi, M. Sawamura, K. Shinoe	The 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10), Kyoto, Japan	2010 年 5 月	国内
Cavity Diagnostics using Rotating Mapping System for 1.3GHz ERL 9-Cell Superconducting Cavity（ポスター）	H. Sakai, T. Furuya, S. Sakanaka, T. Takahashi, K. Umemori, M. Sawamura, K. Shinoe	The 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10), Kyoto, Japan	2010 年 5 月	国内
Observation of Resonance Mode in Coaxial-type Input Coupler（ポスター）	K. Umemori, T. Furuya, H. Sakai, M. Sawamura, K. Shinoe	The 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10), Kyoto, Japan	2010 年 5 月	国内
Power Coupler Development for ERL Main LINAC in Japan（ポスター）	H. Sakai, T. Furuya, S. Sakanaka, T. Takahashi, K. Umemori, A. Ishii, N. Nakamura, K. Shinoe, M. Sawamura	The 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10), Kyoto, Japan	2010 年 5 月	国内
Development for a Prototype Module for the ERL Superconducting Main Linac at KEK（ポスター）	T. Furuya, F. Hara, K. Hosoyama, Y. Kojima, H. Nakai, K. Nakanishi, H. Sakai, K. Umemori, M. Sawamura, K. Shinoe	The 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10), Kyoto, Japan	2010 年 5 月	国内

High-Voltage Test of a 500-kV Photocathode DC Gun for the ERL Light Sources in Japan	R. Nagai, R. Hajima, N. Nishimori, T. Muto, M. Yamamoto, Y. Honda, T. Miyajima, M. Kuriki, H. Iijima, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi	The 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10), Kyoto, Japan	2010 年 5 月	国内
ERL 主加速器用超伝導加速空洞での空洞診断装置の開発 (ポスター)	阪井寛志, 梅森建成, 高橋毅, 古屋貴章, 篠江憲治, 石井篤, 沢村勝, 武藤俊哉	第 7 回日本加速器学会年会, 姫路	2010 年 8 月	国内
ERL 主ライナックのためのカブラー開発— 改良セラミック窓のハイパワー試験— (ポスター)	篠江憲治, 阪井寛志, 梅森建成, 沢村勝, 中村典雄, 古屋貴章	第 7 回日本加速器学会年会, 姫路	2010 年 8 月	国内
The calculation of transverse kick by the input coupler of superconducting cavity for ERL main linac (ポスター)	武藤俊哉, 梅森建成, 阪井寛志, 沢村勝, 篠江憲治, 古屋貴章	第 7 回日本加速器学会年会, 姫路	2010 年 8 月	国内
ERL 放射光源 500-kV 光陰極電子銃開発の現状 (ポスター)	西森信行, 永井良治, 羽島良一, 山本将博, 宮島司, 本田洋介, 武藤俊哉, 飯島北斗, 栗木雅夫, 桑原真人, 奥見正治, 中西彊	第 7 回日本加速器学会年会, 姫路	2010 年 8 月	国内
次世代光源用 500-kV 光陰極 DC 電子銃の高電圧印加試験 (ポスター)	永井良治, 西森信行, 羽島良一, 武藤俊哉, 山本将博, 宮島司, 本田洋介, 飯島北斗, 栗木雅夫, 桑原真人, 奥見正治, 中西彊	第 7 回日本加速器学会年会, 姫路	2010 年 8 月	国内
次世代光量子源用 500kVDC 電子銃のビーム引き出し試験	永井良治, 西森信行, 羽島良一, 山本将博, 宮島司, 本田洋介, 栗木雅夫, 飯島北斗, 桑原真人, 奥見正治, 中西彊	日本原子力学会 2010 年秋の大会, 札幌	2010 年 9 月	国内
Development of main linac module for Compact ERL project (ポスター)	K. Umemori, T. Furuya, H. Sakai, T. Takahashi, K. Shinoe, M. Sawamura	XXV Linear Accelerator Conference (LINAC10), Tsukuba, Japan	2010 年 9 月	国内

Development of a 500-kV Photo-Cathode DC Gun for ERL Light Sources (ポスター)	N. Nishimori, R. Nagai, R. Hajima, M. Yamamoto, T. Miyajima, Y. Honda, T. Muto, H. Iijima, M. Kuriki, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi	XXV Linear Accelerator Conference (LINAC10), Tsukuba, Japan	2010 年 9 月	国内
Development of a 500-kV Photo-Cathode DC Gun for ERLs (口頭)	N. Nishimori, R. Nagai, M. Yamamoto, Y. Honda, T. Miyajima, H. Iijima, M. Kuriki, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi, R. Hajima	Workshop on Sources of Polarized Leptons and High Brightness Electron Beams (PESP2010), Bonn, Germany	2010 年 9 月	国外
Cooling test of HOM absorber model for cERL in Japan (口頭)	M. Sawamura, T. Furuya, H. Sakai, K. Umemori, K. Shinoe	International Workshop on Higher-Order-Mode Damping in Superconducting RF Cavities, Ithaca, USA	2010 年 10 月	国外
RF absorber studies for cERL in Japan (口頭)	M. Sawamura, T. Furuya, H. Sakai, K. Umemori, K. Shinoe	International Workshop on Higher-Order-Mode Damping in Superconducting RF Cavities, Ithaca, USA	2010 年 10 月	国外
Status of development of a 500kV photocathode electron gun for ERL light sources (口頭)	N. Nishimori, R. Nagai, R. Hajima, M. Yamamoto, Y. Honda, T. Miyajima, H. Iijima, M. Kuriki, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi	China-Korea-Japan Joint Workshop on electron/photon sources and applications, Shanghai, China	2010 年 12 月	国外
JAEAにおける500kV光陰極電子銃開発 (口頭)	西森信行, 永井良治, 羽島良一, 山本将博, 本田洋介, 宮島司, 飯島北斗, 栗木雅夫, 桑原真人, 奥見正治, 中西疆	第8回高輝度高周波電子銃研究会, 東広島	2011 年 1 月	国内
次世代 ERL 光源のための500kV光陰極電子銃開発 (口頭、企画講演)	西森信行	日本物理学会第66回年次大会, 新潟	2011 年 3 月	国内
次世代 ERL 光源のための500kV光陰極電子銃開発の現状 (口頭)	西森信行, 永井良治, 羽島良一, 山本将博, 宮島司, 本田洋介, 飯島北斗, 栗木雅夫, 桑原真人, 奥見正治,	日本原子力学会 2011 年春の大会, 福井	2011 年 3 月	国内

	中西 疆			
--	------	--	--	--

学会誌雑誌における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	
ERL09 WG1 Summary: DC gun technological challenges	N. Nishimori, I. Bazarov, B. Dunham, J. Grames, C. Hernandez-Garcia, L. Jones, B. Militsyn, M. Poelker, K. Surles-Law, M. Yamamoto	Proc. of the 45th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs (ERL09), 6 (2009)	2009 年 6 月	国外
ERL HOM Absorber Development in Japan	M. Sawamura, T. Furuya, H. Sakai, K. Umemori, K. Shinoe	Proc. of the 45th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs (ERL09), 63 (2009)	2009 年 6 月	国外
KEK ERL Cryomodule Development	H. Sakai, T. Furuya, E. Kako, S. Noguchi, M. Sato, S. Sakanaka, T. Shishido, T. Takahashi, K. Umemori, K. Watanabe, Y. Yamamoto, M. Sawamura, K. Shinoe	Proc. of the 45th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs (ERL09), 57 (2009)	2009 年 6 月	国外
Development of a 500-kV Photo-Cathode DC Gun for the ERL Light Sources in Japan	N. Nishimori, R. Nagai, H. Iijima, R. Hajima, M. Yamamoto, T. Miyajima, T. Muto, Y. Honda, M. Kuriki, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi	Proc. of the 31 st International Free Electron Laser Conference (FEL2009), 277 (2009)	2009 年 8 月	国外
Cooling Test of ERL HOM Absorber	M. Sawamura, T. Furuya, H. Sakai, K. Umemori, K. Shinoe	Proc. of the 1st International Particle Accelerator Conference, 2344 (2010)	2010 年 5 月	国内
Results of Vertical Tests for KEK-ERL 9-cell Superconducting Cavity	K. Umemori, T. Furuya, H. Sakai, T. Takahashi, M. Sawamura, K. Shinoe	Proc. of the 1st International Particle Accelerator Conference, 2956 (2010)	2010 年 5 月	国内
Cavity Diagnostics using Rotating Mapping System for	H. Sakai, T. Furuya, S. Sakanaka, T. Takahashi, K.	Proc. of the 1st International Particle Accelerator Conference,	2010 年 5 月	国内

1.3GHz ERL 9-Cell Superconducting Cavity	Umemori, M. Sawamura, K. Shinoe	2950 (2010)		
Observation of Resonance Mode in Coaxial-type Input Coupler	K. Umemori, T. Furuya, H. Sakai, M. Sawamura, K. Shinoe	Proc. of the 1st International Particle Accelerator Conference, 2959 (2010)	2010 年 5 月	国内
Power Coupler Development for ERL Main LINAC in Japan	H. Sakai, T. Furuya, S. Sakanaka, T. Takahashi, K. Umemori, A. Ishii, N. Nakamura, K. Shinoe, M. Sawamura	Proc. of the 1st International Particle Accelerator Conference, 2953 (2010)	2010 年 5 月	国内
Development for a Prototype Module for the ERL Superconducting Main Linac at KEK	T. Furuya, F. Hara, K. Hosoyama, Y. Kojima, H. Nakai, K. Nakanishi, H. Sakai, K. Umemori, M. Sawamura, K. Shinoe	Proc. of the 1st International Particle Accelerator Conference, 2923 (2010)	2010 年 5 月	国内
High-Voltage Test of a 500-kV Photocathode DC Gun for the ERL Light Sources in Japan	R. Nagai, R. Hajima, N. Nishimori, T. Muto, M. Yamamoto, Y. Honda, T. Miyajima, M. Kuriki, H. Iijima, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi	Proc. of the 1st International Particle Accelerator Conference, 2341 (2010)	2010 年 5 月	国内
次世代放射光源用光陰極 DC 電子銃の開発	永井良治, 羽島良一, 西森 信行, 武藤俊哉, 山本将博, 本田洋介, 宮島司, 栗木雅 夫, 飯島北斗, 桑原真人, 奥見正治, 中西彊	「加速器」Vol. 7, No. 2, 88-94.	2010 年 7 月	国内
ERL 主加速器用超伝導加速空 胴での空洞診断装置の開発	阪井寛志, 梅森建成, 高橋 毅, 古屋貴章, 篠江憲治, 石井篤, 沢村勝, 武藤俊哉	第 7 回日本加速器学会年会論文集, 173 (2010)	2010 年 8 月	国内
ERL 主ライナックのためのカ プラー開発— 改良セラミッ ク窓のハイパワー試験—	篠江憲治, 阪井寛志, 梅森建 成, 沢村勝, 中村典雄, 古 屋貴章	第 7 回日本加速器学会年会論文集, 511 (2010)	2010 年 8 月	国内
The calculation of transverse kick by the input coupler of superconducting cavity for ERL main linac	武藤俊哉, 梅森建成, 阪井 寛志, 沢村勝, 篠江憲治, 古屋貴章	第 7 回日本加速器学会年会論文集, 840 (2010)	2010 年 8 月	国内
ERL 放射光源 500-kV 光陰極電 子銃開発の現状	西森信行, 永井良治, 羽島 良一, 山本将博, 宮島司,	第 7 回日本加速器学会年会論文集, 802 (2010)	2010 年 8 月	国内

	本田洋介，武藤俊哉，飯島 北斗，栗木雅夫，桑原真人， 奥見正治，中西彊			
次世代光源用 500-kV 光陰極 DC 電子銃の高電圧印加試験	永井良治，西森信行，羽島 良一，武藤俊哉，山本将博， 宮島司，本田洋介，飯島北 斗，栗木雅夫，桑原真人， 奥見正治，中西彊	第 7 回日本加速器学会年会論文集， 806 (2010)	2010 年 8 月	国内
次世代放射光源用光陰極直流 電子銃	永井良治，羽島良一，西森 信行	「光アライアンス」Vol. 22, No. 1, 38-43.	2011 年 1 月	国内

特許出願なし。

2. 4 活動（運営委員会等の活動）

特になし

2. 5 実施体制

別表 1 平成 22 年度に於ける実施体制

研 究 項 目	担当機関等	研究担当者
1. 直流高圧電子源開発	日本原子力研究開発機構	◎ 羽島良一
(1) 直流高圧電子源の開発	日本原子力研究開発機構 日本原子力研究開発機構	○ 永井良治 西森信行
(2) 直流高圧電子源と組み合わせて使用する CW 超伝導加速空洞の研究開発	日本原子力研究開発機構	○ 沢村勝