# 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22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、独立行政法人日本 原子力研究開発機構が実施した平成21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。

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と共同で業務を 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21年度(報告年度)の実施内容

### 2.1 実施計画

直流高圧電子源の開発

高輝度光子ビーム源の連続運転を目的とし前年度の業務で試作したコックク ロフト・ウォルトン型高電圧発生装置の運転試験を行う。陰極表面洗浄装置、極 高真空用排気装置、ビームダンプの製作を行い、電子ビーム引き出し試験に着手 する。

# 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 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 超伝導加速空洞の最適設計を進め、空洞試作に 着手する。

#### 2.2 実施内容(成果)

#### 直流高圧電子源の開発

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 DC電子銃(フォトカソード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)フォトカソードはレーザを半 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からピコ秒の電子パルス列 を直接生成し超電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 に開発中のフォトカソードDC電子銃の構成を示す。空間電荷効果による電子 ビームエミッタンスの増大を抑止するためには、電子を高電界、高電圧で引き出す、す なわち、カソードとアノードの間隔を短くする必要がある。このような理由により、絶 縁セラミック管を貫通するサポートロッドを使ってカソードを真空チェンバーの中央に 設置している。サポートロッドはフォトカソードDC電子銃に特有の構造であり、一般 的な DC 加速管(イオン加速器など)には存在しない。

低エミッタンス大電流ビームの発生を目指したフォトカソードDC電子銃は、自由電 子レーザ(FEL)やエネルギー回収型リニアック(ERL)を目的として、これまで研究が行わ れてきたが、350kVの運転実績(米国ジェファーソン研)が最大電圧であった。高電圧 化を阻む最大の障害は、サポートロッドからの電界放出電子がセラミック管を破損する 現象である。図 2(左)に示すように従来型のセラミック管ではサポートロッドから放 出された電子がセラミック管の内表面に直接到達する。この時、局所的に電子が集中す ると放電によってセラミックが割れる(クラック)または貫通孔が開く(パンチスルー) ことによりセラミック管が使用不能になってしまう。

今年度は、別途製作したセラミック管、サポートロッド、ガードリングを装着して高 電圧印加試験を行い、DC電子銃の世界最高電圧 500 kV を達成した。さらに、陰極表面 洗浄装置、極高真空用排気装置、ビームダンプの製作を行い、電子ビーム引き出し試験 に着手した。これらの成果を以下に述べる。

われわれは、電界放出電子によるセラミック管の破損が生じないよう、ガードリング 付きの分割セラミック管を採用し、最適設計を行った。このような構造を用いることに より、サポートロッドからの電界放出電子がセラミック管に到達することがなくなる(図 2(右))。設計では、500kVの電圧を印加した時に、サポートロッドとガードリングの 表面電界が 10MV/m 以下になるように、セラミックの口径、長さ、分割数、ガードリン グの形状を決定した。なお、過去に同様の分割セラミック管が JAEA の FEL 用熱陰極 電子銃(250kV)、名古屋大学の偏極電子源(200kV)に採用され、良好な実績があったこと も、本方式を採用した根拠のひとつであった。

セラミック管の分割数、ガードリングの形状の最適化設計を行った結果、分割数を10 段としガードリングの形状を決定した。セラミック管の各段の長さは65mm であり直径 は400mm である。サポートロッドの直径は101.6mm でありガードリングの内直径はサポ ートロッドのほぼ2.7倍とした。静電場解析コード POISSON による電場分布のシミュレ ーションの結果、ガードリングを順方向とした場合のガードリング表面とサポートロッ ド表面でのそれぞれの最大電場は6.83MV/m と8.34MV/m であり、逆方向とした場合は 13.9MV/m と8.67MV/m である。各段の分割抵抗は500MΩとした。ガードリングの方向に ついては順方向の場合は各部分での電場を小さくでき、逆方向の場合の電場はやや大き くなるが X線等により放出される2次電子をガードリングで抑えることができる。セラ ミック管およびガードリングは両方向の設置が可能な形状で製作されている。ガードリ ング、サポートロッド、真空チャンバの材質はガス放出速度、2次電子放出係数スパッ タリング係数に配慮しすべてチタン製とした。

高電圧電源、セラミック管は+0.2MPa の SF6 ガス中で使用されることを前提に製作さ れており、高電圧印加試験はその SF6 ガス中で行った。排気速度 1m<sup>3</sup>/s の磁気軸受け型 ターボ分子ポンプによりセラミック管内部と真空チャンバ内の排気を行い、約 8 時間、 最高温度 190℃のベーキングを行い 3×10<sup>-8</sup>Pa 以下の真空度に到達した後に高電圧の印 加を開始した。250kV 程度から真空中での小さな放電が現れその後約 110 時間程度のコ ンディショニングで 550kV まで到達した。図 3 に示すようにコンディショニング後の 印加電圧に対する放射線、真空度の様子から暗電流などが発生せず、安定に電圧が印加 されていることが分かる。また、図 4 に示すように、光子源のユーザー運転を想定し た 8 時間連続の電圧印加試験も無放電でクリアーした。また、図 5 から図 9 に示す陰 極表面洗浄装置、極高真空用排気装置、ビームダンプ等の製作を行った。

 $\mathbf{5}$ 



図 1:開発中の 500kV フォトカソード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。カソード電極の中央にフォトカソードが装着され、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。



図 2:従来方式のセラミック管と本研究で採用したセラミック管。従来方式では電界放出 電子がセラミック内表面に到達しセラミックの破損を生じた。本研究では分割セラミック 管とガードリングを組み合わせることにより、電界放出電子によるセラミックの破損を防 ぐ構造とした。



図 3:高電圧コンディショニング後の印加電圧に対する負荷電流、真空度、放射線量の様 子である。これらの挙動から印加電圧を上げても暗電流(電界放出電流)は現れず十分に コンディショニングされ、安定に高電圧を印加出来ていることが分かる。



図 4:光子源のユーザー運転を想定し 8 時間連続で電圧を印加した際の印加電圧、負荷電流、真空度、放射線量の様子である。これらの挙動から 8 時間、無放電で安定に電圧を印 加できていることが分かる。



図 5:陰極表面洗浄装置。 光陰極調製用の真空槽に取り付け、陰極半導体の表面洗浄に用いる



図 6:極高真空用排気装置。電子銃本体の真空槽に取り付け、本体を極高真空に保つ。



図 7:ビームダンプ。500 kV、10 mA の電子ビームを受けるために、 水冷構造となっている。



図 8:製作したビームラインの写真。右端がビームダンプである。



図 9: ビームダンプ冷却用のチラー装置

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

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) が立ちにくい空洞が必要である。このような空洞の開発を 目指して、昨年度は、HOM の Q 値の低い空洞を設計・製作した。超伝導空洞の空洞壁で は 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。その ため HOM ダンパーの性能が実際の空洞の Q 値の大きさに影響する。超伝導空洞はクライ オモジュールと呼ばれる真空断熱槽の中に設置され、2K の低温に冷却される。そして HOM ダンパーは隣接する空洞の中間部に配置されるため、空洞と共にクライオモジュールの中 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 HOM ダンパーで使用される高周波吸収体も低温での使用になるため、広 範囲の周波数での吸収特性に優れたものであるだけでなく、低温においても十分な吸収特 性を持つことが要求される。しかしこれまでの HOM ダンパーは常温で用いられるタイプ のものがほとんどであったため、フェライト、セラミックなどの各種材料の高周波特性に 対する低温温度特性を系統的に測定した例はない。 そこで、 われわれは、GM 冷凍機を用い た低温試験装置を用いて、常温から 40K の低温にわたって複数種類の高周波吸収体の誘電 率、透磁率の周波数特性および温度特性を測定し、HOM ダンパーに最適な高周波吸収体を 選択した。



図 10:2 種類のフェライト(IB004、Co2Z)の比透磁率の虚数部の温度特性の測定結果。 2GHz から 10GHz の周波数範囲を表示。Co2Z(右)は低温になるにつれて比透磁率が小さ くなるのに対し、IB004(左)は低温ほど比透磁率が大きくなるため、HOM ダンパーの高 周波吸収体に適している。

低温試験装置は GM 冷凍機の先端にヒーターと温度計を取り付けた低温ステージを設置し、断熱真空槽の中に設置する。測定材料を外径 7mm、内径 3mm のドーナッツ状に加工

し、専用の同軸ホルダーに収納して低温ステージに固定し、ネットワークアナライザを用 いてサンプルの透過率・反射率を測定し、誘電率・透磁率を求める。このとき低温ステー ジのヒーターを加熱・制御することによって低温ステージ上のサンプルの温度を変えなが ら測定することができる。計8種類のフェライトとセラミックについて 50MHz~10GHz、 40K~280Kまでの測定を行ったその結果の例を図 10に示す。フェライト IB004のように 低温ほど透磁率の虚数成分(高周波の吸収に関係する)が大きくなる素材が HOM ダンパ ーの高周波吸収体として最適である。

HOM ダンパーとしてビームパイプを伝播してきた HOM をすべて吸収するのが理想であ るが、現実の HOM ダンパーにおいては高周波吸収体の厚みや長さ、設置位置などによっ て反射したり、透過したりする割合が変わる。そのため電磁波解析コードを用いて HOM ダ ンパーにおける高周波吸収体のサイズや位置の最適化を行った。フェライトの長さおよび 厚さを変えたときのフェライトの Q 値を図 11 に示す。フェライトが長くなるに連れて HOM の Q 値が減少していくが、フェライトの設置場所を変えたときのフェライトの Q 値 が最小になる位置および値はほぼ同じになっている。また長くなるに連れて設置場所によ る変化も減少していく。フェライトが 8cm 以上であればその差は 30%以下となる。次にフ ェライト厚さに関しては、厚くなるほど、フェライトの Q 値の最小値は小さくなるが、最 大値と最小値の差は反対に大きくなる。これは条件が合えば大きな吸収特性が得られるが、 条件が外れた場合はあまり吸収されなくなることを意味する。フェライトが厚くなるとビ ームパイプを進行する HOM とのマッチングが悪くなって反射が増えるため、逆に損失が 減るためと考えられる。



図 11: フェライトの長さ(左)、厚さ(右)によるフェライトQ値の変化。(左)フェライトが長くなるにつれて、フェライトQ値が減少し、位置による変化も小さくなる。(右)フェライトが厚くなるとフェライトQ値の最小値は減少するが、最大値も増加し、フェライト位置による影響が大きくなる。

これらの結果をもとに HOM ダンパーの試作機の設計・製作を行った。フェライトの脱落 を防ぐため、フェライトと下地の金属との接合が強固な熱間等方加圧焼結法(Hot Isostatic Pressing :HIP)によりフェライトを焼結させる方法を用いる。またフランジ接続の自由度 や熱収縮の余裕のため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部分に 櫛歯が互いに噛み合った構造をしている櫛歯型 RF ブリッジを用いた。RF 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、RF 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。しかし、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気的接触の保証が難しいなどの問題 があった。これに対し、櫛歯型はフィンガー型の RF 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。櫛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 12 に示す。HOM ダンパーの冷却特性を調 べるために図 13 のようなフェライトなしの HOM ダンパー試作機を製作した。今後これを 使って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する予定で ある。



図 12: HOM ダンパー試作機の概略図



図 13: フェライトなし HOM ダンパー試作機

# 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、ロ 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	
KEK ERL HOM Absorber Development (口頭)	M. Sawamura, T. Furuya, K. Umemori, H. Sakai, K. Shinoe	The 45th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs (ERL09), Ithaca, USA	2009年6月	国外
JAEA/KEK Gun Status (口頭)	N. Nishimori, R. Nagai, H. Iijima, R. Hajima, M. Yamamoto, T. Miyajima, T. Muto, Y. Honda, M. Kuriki, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi	The 45th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs (ERL09), Ithaca, USA	2009 年 6 月	国外
KEK ERL Cryomodule Development (口頭)	H. Sakai, T. Furuya, E. Kako, S. Noguchi, S. Sakanaka, T. Shishido, T. Takahashi, K. Umemori, K. Watanabe, Y. Yamamoto, M. Sawamura, K. Shinoe	The 45th Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop on Energy Recovery Linacs (ERL09), Ithaca, USA	2009 年 6 月	国外
ERL 放射光源用 500kVDC 電子 銃の光陰極準備システムと高 電圧真空容器の開発(ポスタ ー)	西森信行, 永井良治, 羽島 良一, 飯島北斗, 山本将博, 武藤俊哉, 本田洋介, 宮島 司, 栗木雅夫, 桑原真人, 奥見正冶, 中西彊	第6回日本加速器学会年会,茨城	2009 年 8 月	国内
ERL 放射光源用 500kVDC 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,飯島北斗,山本将博, 武藤俊哉,本田洋介,宮島 司,栗木雅夫,桑原真人, 奥見正治,中西彊	第6回日本加速器学会年会,茨城	2009 年 8 月	国内
ERL 用 HOM ダンパーの開発 (ポスター)	沢村勝, 梅森建成, 古屋貴 章, 阪井寛志, 篠江憲治	第6回日本加速器学会年会,茨城	2009 年 8 月	国内

Development of a 500-kV Photo-Cathode DC Gun for the ERL Light Sources in Japan (ポスター)	N. Nishimori, R. Nagai, H. Iijima, R. Hajima, M. Yamamoto, T. Miyajima, T. Muto, Y. Honda, M. Kuriki, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi	The 31 <sup>st</sup> International Free Electron Laser Conference, Liverpool, UK	2009 年 8 月	国外
次世代 ERL 放射光源のための 500kV 光陰極電子銃の開発 (ロ頭)	西森信行,永井良治, 飯島北 斗,山本将博,武藤俊哉, 本田洋介,宮島司,栗木雅 夫,奥見正冶,中西彊,羽 島良一	日本原子力学会 2009 年秋の大会, 仙台	2009 年 9 月	国内
ERL HOM Absorber Development (ポスター)	M. Sawamura, T. Furuya, K. Umemori, H. Sakai, K. Shinoe	14 <sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity (SRF 2009)	2009 年 9 月	国外
Development of Input Coupler for ERL Main Linac (ポスター)	H. Sakai, A. Ishii, K. Umemori, S. Sakanaka, M. Sawamura, K. Shinoe, T. Takahashi, N. Nakamura, T. Furuya	14 <sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity (SRF 2009)	2009 年 9 月	国外
Status of 9-cell Superconducting Cavity Development for ERL Project in Japan (ポスター)	K. Umemori, T. Furuya, H. Sakai, T. Takahashi, K. Shinoe, M. Sawamura	14 <sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity (SRF 2009)	2009 年 9 月	国外
Compact ERL Linac (口頭)	<ul> <li>K. Umemori, T. Furuya, E.</li> <li>Kako, S. Noguchi, H. Sakai,</li> <li>T. Shishido, T. Takahashi,</li> <li>K. Watanabe, Y. Yamamoto,</li> <li>K. Shinoe, M. Sawamura</li> </ul>	14 <sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity (SRF 2009)	2009 年 9 月	国外
次世代放射光源のための 500kV-DC 電子銃の光陰極準 備・電子銃容器開発の現状(ロ 頭)	西森信行,羽島良一,永井 良治,飯島北斗,本田洋介, 武藤俊哉,山本将博,桑原 真人,奥見正治,中西彊, 栗木雅夫	第7回高輝度高周波電子銃研究会、 仙台	2009 年 11 月	国内

ERL 放射光源のための低エミ ッタンス大電流電子銃の開発 (ポスター)	羽島良一, 永井良治, 西森 信行, 飯島北斗, 本田洋介, 武藤俊哉, 山本将博, 桑原 真人, 奥見正治, 中西彊, 栗木雅夫	日本放射光学会年会, 姬路	2010 年 1 月	国内
ERL 主加速器のためのモジュ ール開発の現状(ポスター)	梅森建成, 阪井寛志, 沢村 勝, 篠江憲治, 高橋毅, 古 屋貴章,	日本放射光学会年会, 姫路	2010年1月	国内
次世代光量子源用 500kVDC 電 子銃の高電圧印加試験(ロ頭)	永井良治,西森信行,羽島 良一,飯島北斗,本田洋介, 武藤俊哉,山本将博,桑原 真人,奥見正治,中西彊, 栗木雅夫	日本原子力学会 2010 年春の年会、 水戸	2010 年 3 月	国内
次世代放射光源のための DC 電子銃光陰極準備・電子銃容 器開発の現状(ロ頭)	西森信行, 永井良治, 羽島 良一, 飯島北斗, 本田洋介, 武藤俊哉, 山本将博, 桑原 真人, 奥見正治, 中西彊, 栗木雅夫	日本原子力学会 2010 年春の年会、 水戸	2010 年 3 月	国内
ERL 用 HOM ダンパーの冷却試 験(口頭)	沢村勝,梅森建成,古屋貴 章,阪井寛志,篠江憲治	日本原子力学会 2010 年春の年会、 水戸	2010年3月	国内

### 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	
エネルギー回収型リニアック 次世代放射光源のための要素 技術開発とコンパクト ERL の 建設	羽島良一,中村典雄,坂中 章悟,小林幸則	「加速器」Vol.6, No.2, 149-157.	2009 年 7 月	国内
ERL 放射光源用 500kVDC 電子 銃の光陰極準備システムと高 電圧真空容器の開発	西森信行, 永井良治, 羽島 良一, 飯島北斗, 山本将博, 武藤俊哉, 本田洋介, 宮島 司, 栗木雅夫, 桑原真人, 奥見正冶, 中西彊	第6回日本加速器学会年会論文集, 872 (2009).	2009 年 8 月	国内

	永井良治, 西森信行, 羽島			
ERL 放射光源用 500kVDC 電子 銃の高電圧印加試験	良一, 飯島北斗, 山本将博, 武藤俊哉, 本田洋介, 宮島 司, 栗木雅夫, 桑原真人, 奥見正冶, 中西彊	第6回日本加速器学会年会論文集, 863 (2009).	2009 年 8 月	国内
ERL 用 HOM ダンパーの開発	沢村勝,梅森建成,古屋貴 章,阪井寛志,篠江憲治	第6回日本加速器学会年会論文集, 878 (2009).	2009年8月	国内
ERL HOM Absorber Development	M. Sawamura, T. Furuya, K. Umemori, H. Sakai, K. Shinoe	Proc. of the 14 <sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity (SRF 2009), 698 (2009).	2009 年 9 月	国外
Development of Input Coupler for ERL Main Linac	H. Sakai, A. Ishii, K. Umemori, S. Sakanaka, M. Sawamura, K. Shinoe, T. Takahashi, N. Nakamura, T. Furuya	Proc. of the 14 <sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity (SRF 2009), 684 (2009).	2009 年 9 月	国外
Status of 9-cell Superconducting Cavity Development for ERL Project in Japan	K. Umemori, T. Furuya, H. Sakai, T. Takahashi, K. Shinoe, M. Sawamura	Proc. of the 14 <sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity (SRF 2009), 355 (2009).	2009 年 9 月	国外
Compact ERL Linac	<ul> <li>K. Umemori, T. Furuya, E.</li> <li>Kako, S. Noguchi, H. Sakai,</li> <li>T. Shishido, T. Takahashi,</li> <li>K. Watanabe, Y. Yamamoto,</li> <li>K. Shinoe, M. Sawamura</li> </ul>	Proc. of the 14 <sup>th</sup> International Conference on RF Superconductivity (SRF 2009), 896 (2009).	2009 年 9 月	国外
Eccentric fluted beam pipes to damp quadrupole higher order modes	M. Sawamura, T. Furuya, H. Sakai, T. Takahashi, K. Umemori, K. Shinoe	Physical Review Special Topics - Accelerator and Beams, 13, 022003 (2010)	2010年2月	国外
High-voltage testing of a 500-kV dc photocathode electron gun	R. Nagai, R. Hajima, N. Nishimori, T. Muto, M. Yamamoto, Y. Honda, T. Miyajima, H. Iijima, M. Kuriki, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi	Review of Scientific Instruments, 81, 033304 (2010)	2010年3月	国外

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の通り。

別衣1 半成21 年度に於ける美施(4)雨
-----------------------

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
<ol> <li>直流高圧電子源の開発</li> </ol>	日本原子力研究開発機構 日本原子力研究開発機構 日本原子力研究開発機構	<ul> <li>○ 永井良治</li> <li>西森信行</li> <li>飯島北斗(平成 21</li> <li>年6月30日まで)</li> </ul>
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