

## 成果報告書

「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」  
(レーザー蓄積装置および大強度高品質電子源開発)

平成22年5月

国立大学法人広島大学

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、国立大学法人広島大学が実施した平成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」（レーザー蓄積装置および大強度高品質電子源開発）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。

2009 年度から以上の目的に大強度安定化に必要な次の技術開発を加える。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 100 倍以上高くすると同時に、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と共同で業務を行う。

国立大学法人広島大学では、レーザー蓄積装置および大強度高品質電子源に関わる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 当該年度における成果の目標及び業務の方法

#### ①レーザー蓄積装置の開発

2008 年に引き続き、KEK における光子ビーム生成のためのレーザー蓄積装置の設計を継続する。また、同装置のための、リング型蓄積装置を念頭においたデジタルフィードバックシステムの研究を推進し、位相制御自動化のための基礎技術の開発を行う。

#### ②大強度高品質電子源の開発

KEK、原子力機構、東大などと共同で大強度高品質電子源の開発に取り組む。広島大学では極高真空によるカソード評価装置を構築し、多くのサンプルについて表面処理や活性化の条件などによる陰極の系統的な研究を行う。また、高性能光 L-band RF Gun による大強度高品質電子ビーム発生のため、研究協力

機関大阪大学産業総合研究所と協力し、既存の RF 電子銃の長パルス化に取り組むとともに、その研究をもとに長パルス運転のための RF 電子銃空洞の最適化設計を行う。

## 2.2 実施内容(成果)

### ①レーザー蓄積装置の開発

#### ・概要

超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源における、パルスレーザー蓄積装置開発を行っている。レーザー電子散乱による高輝度光子源の小型化のためには、パルスレーザーを共振器内に蓄積、集光し高効率でレーザー電子散乱を起こすことが重要である。本課題は、そのための4鏡リング型共振器の開発である。平成21年度は、4鏡共振器の試作器を作成し、その特性の測定と計算の比較から共振器の詳細設計に向けたデータを得た。これと平行して、KEK-ATF加速器における2鏡共振器のパルス蓄積率の増大、それに伴う共振器制御精度の向上と光子生成の実証、加速器運転下におけるレーザー蓄積共振器動作技術開発を行った。

#### ・平成21年度開発事業

本事業では、パルスレーザーを共振器内に蓄積し、レーザーの強度を実効的に増大する技術の開発を目的としている。レーザーと電子の散乱頻度を上げ、生成するX線強度を増大するためには、レーザー蓄積共振器における蓄積率の向上及び、共振器内のレーザー・電子衝突点におけるレーザーの集光を行う必要がある。この2項目を同時に達成するため、本事業に於いては、4枚の鏡からなるリング型の共振器の開発を行っている。平成20年度は、3次元4鏡光共振器を光学定盤上に構築しその基本特性の測定を行った(図1)。その結果、3次元構成の4鏡光共振器は、左右円偏向のレーザーを分離して蓄積することができ、高速切り替え可能な円偏向X線源の構築に非常に有用であることを見いだした。また、実際の加速器運転下におけるレーザー共振器の制御とレーザー電子散乱による光子生成技術の習得のため、KEK-ATFに2鏡共振器を導入し

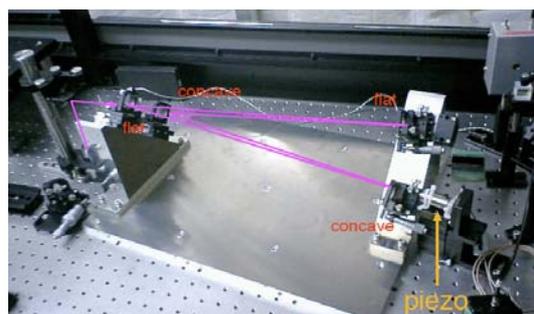


図1 平成21年度に構築した3次元4鏡共振器試験テストベンチ

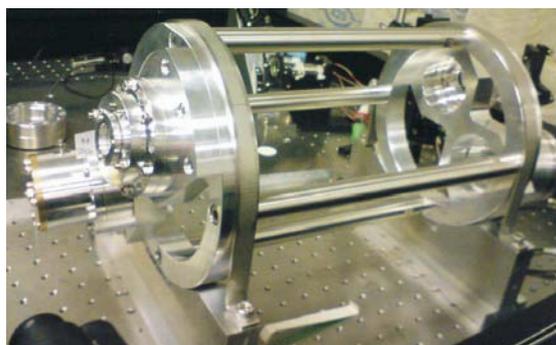


図2 平成22年度に作成した3次元4鏡共振器試作器

て光子生成実験を遂行した。

21年度は一体型3次元4鏡共振器を試作し特性の実測や鏡の位置調整方法等の工学的観点からの問題点の洗い出しなどを行った。またATF実験では、高反射率の鏡の導入によるレーザー蓄積率の増大を図った。これらと平行して、光共振器の高精度制御のためのデジタルフィードバックシステムの開発ベンチを準備し、その開発に着手した。

### ・3次元4鏡共振器の試験

図2に本年度作成した3次元4鏡光共振器の試作器を示す。2枚の平面鏡と2枚の集光用凸面鏡から構成されるリング型共振器である。図3は4枚の鏡の配置を示している。レーザー伝搬経路上の鏡間距離は42cm、周長は、168cmである。また、共振器の周長(すなわちレーザーの共振条件)を変えずに、鏡間の相対距離を変更することができるようになっており、共鳴状態を維持したまま、レーザーの集光条件を変化させて、レーザー光の伝搬や集光の状況を調べることができる。光共振器はその原理上、共振器内部の光の状態を直接観測することはできないため、共振器外部における透過光測定から内部状態を計算によって推測する必要がある。そのために、3次元4鏡共振器内及び透過光の伝搬計算の方法を確立

した。その過程に於いて、3次元共振器中では、光の像が楕円形となり、楕円の軸が回転しながら伝搬していることが分かった。これは共振器内の光が軌道角運動量をもった状態を形成して伝搬していることを意味している。図4,5に共振器外部における透過光測定のセットアップと光の像の測定結果を示す。測定結果と計算は良く一致しており、これをもとに共

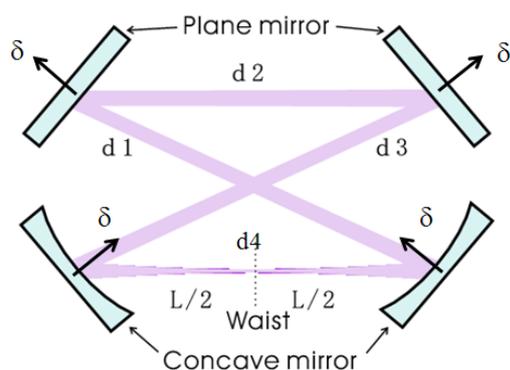


図3 3次元4鏡共振器の光学系配置。本試作器では、 $d1\sim d4$ の設計値は420mm。 $\delta$ は共振器の周長を変えずに鏡の相対位置を変える場合の変化量(本文参照)。

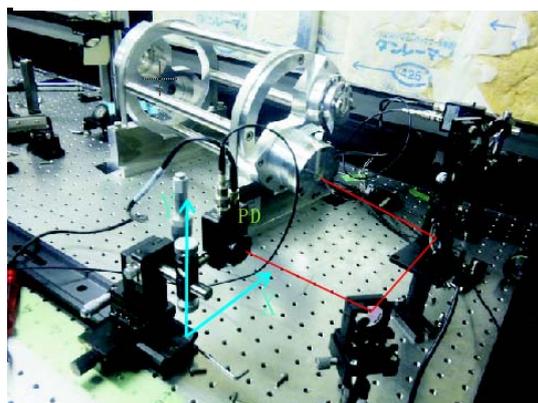


図4 共振器からの透過光の測定セットアップ。共振器からの透過光(赤線)を光センサー(PD)で測定する。

共振器内における光の伝搬を計算するとこの妥当性を示している。共振器内部のレーザー集光点近傍における像の変化を図6に示す。前述のように、4鏡共振器では、共振条件を維持したまま、鏡の相対位置を変えることによって共振器内の集光点における

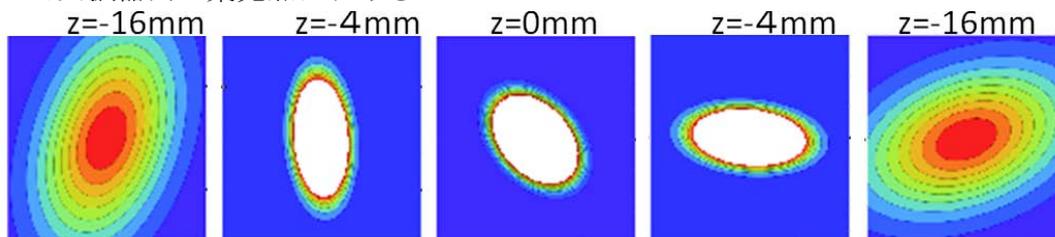


図 6 共振器内の集光点近傍におけるレーザー光の形状。図 3 中のパラメータ  $d=0.2\text{mm}$  の場合。  $z=0$  が集光点に対応しており、そこにおいて、楕円の長軸、短軸はそれぞれ約  $37\mu\text{m}$ ,  $30\mu\text{m}$  である。

集光状態を変えることができるが、図はレーザーを小さく集光するようにした場合 ( $\delta=0.2\text{mm}$ ) である。計算の結果、集光点において、レーザーを強く集光すると、それに伴って、光の像がより扁平になることが分かった。また今回試作した共振器の構造では楕円の長軸約  $37\mu\text{m}$ , 短軸約  $30\mu\text{m}$  が限界であることが判明した。この限界は鏡の配置に依存することが分かっている。今回の試作器では鏡間の距離が総て等しい配置になっているが、今後この計算を基に、より小さな集光経を可能とする共振器の形状を探索する。

これらと平行して、より高精度の共振器制御のためのデジタルフィードバックシステムの開発を目指して、FPGA によるプログラム可能な高速 AD-DA ボードを購入し、フィードバックシステム開発に着手した。平成 22 年度はこの基本技術の開発を目指している。

### ・レーザーと電子線による $\gamma$ 線生成実験

KEK-ATF において、パルスレーザーと2鏡ファブリペロー型共振器を用いた  $\gamma$  線生成実験を行い、実際の加

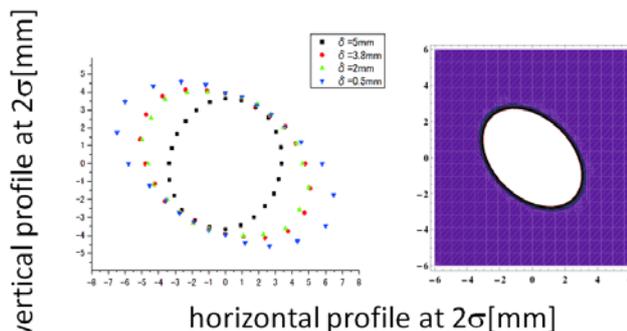


図 5 図 4 の装置によって測定した透過光の形状 (左) と  $\delta=2\text{mm}$  における計算結果 (右図)



図 7 KEK-ATF に導入された 2 鏡共振器

速器運転下における共振器の動作とレーザー・電子散乱による $\gamma$ 線生成の実証を行った。

平成 20 年度は、反射率 99.6%の鏡で共振器を構築し、入射レーザーの約 250 倍を蓄積することに成功したが、本年度は一方の鏡を反射率が 99.9%のものに交換した。これによってレーザー強度の増大率が約 760 倍に向上することが可能となった。その反面、高い増大率を達成するための共振器制御により高い精度が必要となった。昨年度の場合、共振状態の維持に必要な 2 鏡間の距離

の精度は 0.6nm 以下であったが、増大率の向上にともなって、0.3nm 以下の精度が必要となった。その一方、レーザーと加速器の電子との衝突のためには、レーザーパルスと電子バンチの間のタイミングの制御も同時に行わなければならない。一般に、共振器の蓄積率維持のための高精度・高速フィードバックとタイミングの制御は相反するが、共振器状態のモニター信号におけるノイズの低減やフィードバックシステム構成の改良によって、平均 760 倍の蓄積率を維持した状態で 2ps のタイミングゆらぎを達成した。2ps はレーザーのパルス長 (5ps) および、電子バンチ長 (30ps) に比べて短く、レーザー電子衝突実験に十分な性能である。図 8 に今回得られたガンマ線のスペクトルを示す。図は 1 個のレーザーパルス 1 個の電子バンチの衝突によって得られたガンマ線のエネルギー分布を示しており、平均 265MeV は 1 回の衝突あたり、10.5 個の光子生成に対応する。

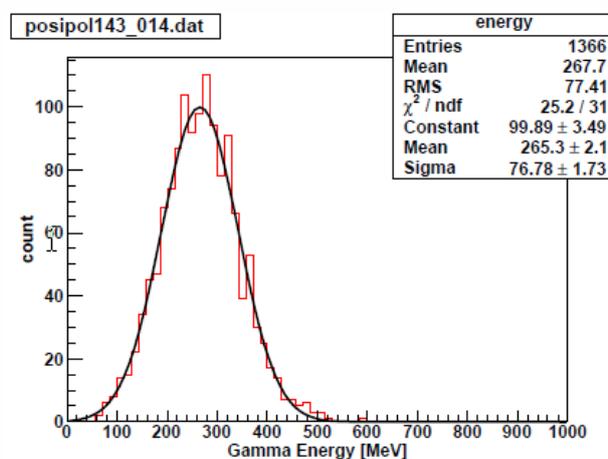


図 8 レーザー・電子散乱において測定された $\gamma$ 線のエネルギー分布。

## ・平成 21 年度のまとめと 22 年度計画

### 3 次元 4 鏡共振器開発

共振器の試作器による測定と計算の比較から、内部における光伝搬の計算方法を確立した。その結果をもとに以下の研究開発を目指す。

- 試作器の運用によって判明した鏡の位置制御などにおける工学上の改良。
- レーザー・電子衝突の効率向上の観点から共振器内のレーザーの集光状態を最適化する 4 鏡の構成設計
- 以上をもとにした 4 鏡共振器の開発

## 高精度共振器制御システム開発

平成 21 年に購入した高速 AD-DA ボードをもとにデジタルフィードバックシステムの開発を進める。また、共振器本体だけでなく、光学系全体の制御の効率化と高精度化を目指した、空間位相変調器をシステムに取り入れるための開発に着手する。

### ・KEK-ATF における光子生成実験の推進

平成 21 年度に高反射率鏡によるレーザー蓄積率の増大とそれによる生成光子強度の向上に成功した。22 年はさらに蓄積率を増大させる。それによって、加速器運転条件下における共振器制御技術のさらなる向上と光子生成の実証を目指す。

また、協力して研究を進めている、フランス線形加速器研究所のグループが独自に開発した 4 鏡共振器を KEK-ATF に組み込むことを計画している。この作業を共同で行い、本事業にその結果をフィードバックする。

## ②大強度高品質電子源の開発

### ・概要

超伝導高周波加速技術を使った 5nm-0.025nm 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盤技術の確立を行うことが本事業の目的である。小型 X 線発生装置ができれば大型放射光発生装置で行っているポストゲノム時代の生命科学研究、超精密マイクロリソグラフィ、ナノ超微細構造研究等を研究室レベルで行うことができる。目標は軟 X 線(250eV)から硬 X 線(50keV)までの高品質光子ビーム生成について、 $10^{17}$ photon/sec.mrad<sup>2</sup>.mm<sup>2</sup>.0.1%bw 以上のピーク輝度を小型装置で開発することである。

X 線は医療、生命科学、材料科学など広い分野で利用されている。研究の進展は発生する X 線の輝度、時間構造、スペクトラムなどに制限されており、研究の裾野を広げるためにも小型でかつ高輝度 X 線発生が可能な装置が望まれる。本研究は電子ビームとレーザーとのコンプトン散乱により、短パルスでかつ準単色 X 線を幅広い波長領域で発生可能な小型システム開発をめざすものである。本課題ではそのうち、システムで重要な役割を果たす電子源である光電陰極 RF 電子銃および DC 電子銃開発を行う。システム全体の運転モードとしてパルスモード(パルス長 1ms、繰返し 5Hz)と CW モード(連続運転)が仮定されている。電子ビームの平均電流において、CW モードはパルスモードに比べ 600 倍程度と有利であるが、技術的にはより挑戦的である。そこでわれわれはパル

スモードによる実証を先行して行い、それと並行して CW 連続モードのための電子源において必要となる技術的課題に取り組む。

パルスモードによる運転実証の電子源として RF 電子銃を開発する。今年度は RF 電子銃空洞の製作をおこない、所定の共振周波数へチューニングを行った。また長パルス電子ビーム生成に必要なレーザー開発を行い、必要性能を満たすシステムを完成させた。

連続 CW モードでは、高電圧 DC 電子銃の開発と、十分な運転寿命を持つカソードの開発が課題となる。本年度は JAEA と協力して 500 kV 電子銃の高電圧印加試験をおこない、世界記録となる 500kV の安定印加に成功した。またカソード開発については、バルク GaAs 陰極を使用し、寿命を制限していると思われる NEA 表面の性質について研究を進め、真空度とともにカソード温度が重要なパラメーターであることを明らかにした。

#### ・光陰極 RF 電子銃開発

本課題では加速高周波との同期をとり、かつ 1ms という長いパルスでの運転を考慮し、駆動周波数として L-band(1.3GHz) を選択した。現在、KEK、FNAL(Fermi National Laboratory, 米国)、大阪大学(研究協力機関)、広島大学が共同して、1.3GHz の L-band RF 電子銃開発を進めている。FNAL で電子銃空洞の一次加工を行い、その後 KEK において周波数調整を行った。周波数調整は空洞の一部に圧力を加え、変形させることにより行った。図 9 はチューニングの際の周波数変化を表したもので、縦軸が共振周波数、横軸はチューニングの回数である。大気中での目標周波数 1300.16MHz (真空での周波数 1300MHz

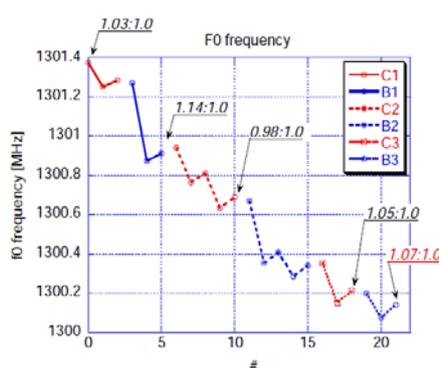


図 9 RF 電子銃空洞の共振周波数のチューニング履歴

に相当)に対して、最終的に 1300.19MHz と十分に近い周波数へと合わせ込むことができた。その後、ロウ着けなど最終組み立て作業のため空洞はひとたび FNAL に輸送され、2009 年度 2 月に完成した。

電子発生のためのフォトカソードには KEK-ATF 等の施設において S-band RF

電子銃での実績を有する CsTe 陰極を用いる。本 L-band RF 電子銃のための CsTe 陰極システム、すなわちカソード準備真空チャンバー、真空輸送系、ロードロックシステムは KEK において設計および製作がすすめられ、すでにほぼ完成している。電子ビーム発生用のレーザーシステムについては、KEK、JINR (Joint Institute for Nuclear Research, ロシア)、IAP (Institute for Applied Physics, ロシア)、大阪大学、広島大学が、本プロジェクトとは別に共同で開発をすすめていたが、システム全体がほぼ完成し、2009 年 12 月には KEK および広島大学の研究者が参加し、ロシアの IAP において性能試験が行われた。

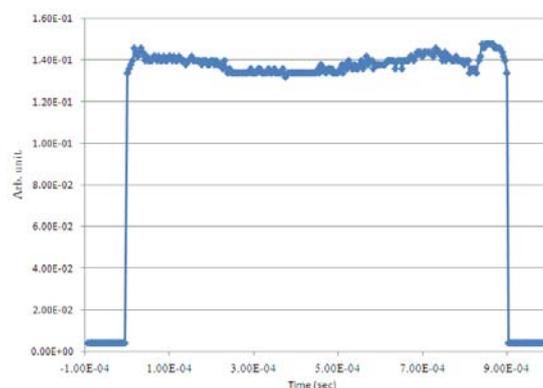


図 10 四倍高調波の時間プロファイル。約 1ms 長のマクロパルス列が得られている。

表 1 は達成されたレーザー性能およびそれから予測されるビーム電流についてまとめたものである。Yb fibre レーザーオシレーターが 40.6MHz 繰り返しのモードロック動作により種光となるパルス列を生成する。このパルス列を Pockels cell により繰り返し周波数を 2.71MHz に落とした後、0.9ms パルスの切り出しをおこない、5Hz 繰り返しのマクロパルス構造を生成する。切り出されたマクロパルスは Yb fiber プリアンプおよび Nd: YLF アンプによりパルス内平均パワー 80W 程度まで増幅され、さらに非線型結晶により四倍高調波へと変換され、最終的に CsTe の光電効果に必要な 262nm の UV 光が得られる。実際に得られた四倍高調波のレーザーはマイクロパルスあたり 1.9 $\mu$ J、マクロパルス内平均パワーで 5.1W であり、CsTe 陰極の量子効率を 1% と仮定すれば、バンチあたり 3.8nC、平均ビーム電流 10mA が得られる予定である。図 10 に四倍高調波のパルス形状を示す。横軸に時間、縦軸に四倍高調波のレーザーパワーを表しており、およそ 0.9ms のレーザーマクロパルスが得られている。マクロパルス内のパワー変動は rms で 3% 未満であり、変動 3% 以内という要求仕様を満たしている。これらの結果より、このレーザーは電子ビーム発生用として有力であることが判明した。

コンポーネント	設計値
Yb fiber oscillator	40.6MHz, 50pJ, 2mW
Nd:YLF 出力 (1047nm)	2.71MHz, 30μJ, 81W
四倍高調波 (262nm)	2.71MHz, 1.9μJ, 5.1W
電子ビーム (1%量子効率)	2.71MHz, 3.8nC, 10mA

表 1. L-band RF 電子銃用レーザーと予想される電子ビームの性能

### ・DC 電子銃開発

RF 電子銃は常伝導高周波空洞内で電子ビームを発生させるため、大電流の電子ビームをパルス的に発生させ、同時に高い電場で加速することができる優れたデバイスである。しかし常伝導 RF 空洞を高電界で連続運転することは困難であり、準連続的ビーム発生に適しているとは言い難い。一方、DC 電子銃は加速電界は限られているが、準連続的にビームを発生できることから、稼働率の上昇により、実質的な平均輝度の上昇が見込める。

本課題では KEK、原子力機構、名古屋大学、日立ハイテク、東京大学、広島大学などが共同で、500kV というかつてない高電圧で DC 的に 100mA という大電流ビームを取り出す電子銃を最終目標として開発をすすめている。500kV 電子銃のための絶縁セラミック、放電およびそれによる損傷防止のためのガードリング電極、カソードサポートロッド、GaAs 陰極準備室や電子銃本体部などの極高真空容器などを開発し、すでに多くのコンポーネントを製作した。今年度はこれらを組み上げ、真空試験、高電圧印加試験を行い、500 kV の安定的な印加に世界で初めて成功した。電子銃本体の結果の詳細については JAEA グループから報告される。

広島大学ではカソードテスト装置を用いて、GaAs カソードの活性化および寿命試験を継続している。現在のところ、ベース真空度は  $5E-9Pa$  程度、HeNe レーザー (波長 633nm) を用いて、活性化直後の量子効率 10%程度を得ている。また  $10-40\mu W$  のレーザーパワーでビームを引きだし、200 時間以上のカソード寿命を得ている。また独自に極高真空の実証と、それを用いた長寿命カソード実証試験のために、化学研磨処理チタンチャンバー、チタン容器クライオポンプなどを製作した。このシステムにおいて、クライオポンプのみによる排気によりすでに  $1.0E-9Pa$  という高い真空度を得た。このシステムに NEG ポンプを加えて、長寿命カソード実現の基盤技術としての極真空の実証を目指す。カソード活性化チャンバーおよびロードロックチャンバーの製作はほぼ終了しており、本体の真空が確立した段階で順次組込みを行う予定である。

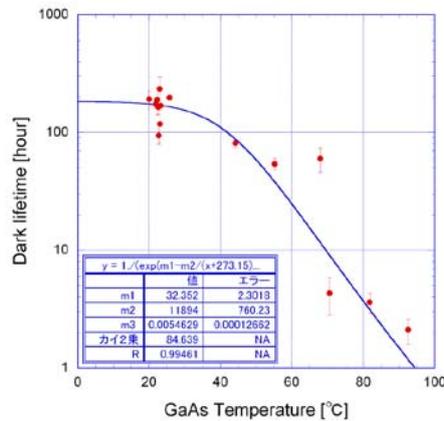


図 11 暗寿命を温度の関数としてあらわしたもの。  
高温側で急激に寿命の低減が見られる。

GaAs のバルク結晶の仕事関数は 4.9eV であり、そのままでは光電効果を生じさせるのに真空紫外の光が必要であるが、表面修飾により NEA 表面 (Negative Electron Affinity, 真空準位が伝導帯の最低準位よりも小さい状態) をつくることで、可視光での電子発生が可能となる。この NEA 表面の特性により、価電子帯から伝導帯への遷移を選択的に行い、スピン偏極やエネルギー広がり of 極めて小さい電子ビームの生成が可能となる。このように高品質の電子ビーム発生に NEA は重要な役割を果たしているが、一方でその脆弱性が寿命問題として課題となっている。本研究では Zn-dope バルク GaAs 結晶を使用し、乾燥窒素中での化学洗浄による表面酸化膜の除去と As リッチ面の生成、極高真空中での加熱洗浄による GaAs 清浄面の作成、Cs と酸素の添加による NEA 活性化を行い、様々な条件で寿命測定を行った。測定に使用したレーザーは He-Ne (波長 633nm) である。活性化直後、10%程度の量子効率が得られるが、時間あるいは引き出し電流が増えるに従い劣化していく。図 11 は暗寿命 (引き出しビーム電流が極めて小さい状態での量子効率劣化の時定数) の温度依存性を示したデータで、室温では 200 時間程度の寿命が得られているが、80°C程度まで加熱すると、寿命は数時間まで減少することがわかった。実線は温度による脱離現象と真空度で決まる劣化の二成分を仮定してデータを再現したもので、室温付近では真空度による劣化の成分が、高温部では熱脱離の効果が支配的であることを示している。ここから得られる NEA 表面の活性化エネルギーはおよそ 1.1eV 程度である。このデータから、運転時間として十分な数百時間以上の寿命を得るには、従来言われてきた真空度の向上のみならず、温度を室温程度に保つことが重要であることがわかった。光陰極で 100mA 程度の平均電流を得るには 10W 以上のレーザーを数 mm 径の小さいスポットに照射する必要があり、少なくとも数十°Cの温度上昇が予測される。

このデータから高輝度電子源実現のためには、レーザーによる加熱の効果も考慮し、カソードの冷却構造を検討し、熱設計を行う必要があることが明らかとなった。

## 2.3 成果の公表

### ①レーザー蓄積装置の開発

学会発表など

- [1] 赤木智哉 KEK-ATF における ILC 偏極陽電子源の為のレーザー蓄積空洞を用いた高輝度ガンマ線生成実験 2009年8月
- [2] 永田修司 高輝度偏極光子源の為の新型レーザー蓄積共振器の開発 I 日本物理学会 2009年分科会 2009年9月
- [3] 三好修平 高輝度偏極光子源の為の新型レーザー蓄積共振器の開発 I 日本物理学会 2009年分科会 2009年9月
- [4] 三好修平 KEK-ATF における ILC 偏極陽電子源の為のレーザー蓄積共振器を用いたガンマ線生成実験 日本物理学会第65回年次大会 2010年3月
- [5] 赤木智哉 高輝度偏極光源の為の4枚鏡光蓄積共振器の開発 日本物理学会第65回年次大会 2010年3月
- [6] 高橋 徹 Status of the Compton Experiment at the ATF TILC09
- [7] 高橋 徹 Status of the Compton Experiment at the ATF Photon09
- [8] 高橋 徹 4 Mirror Cavity R&D in Japan PoiPol2009
- [9] 高橋 徹 Compton Experiment at the ATF ~a status report 2009 Linear Collider Workshop of America

公表論文

- [10] Shuhei Miyoshi, 他 “Photon generation by laser-Compton scattering at the KEK-ATF”, arXiv:1002.3462v1, (Nuclear Instruments and Method 誌に掲載受理)

### ②大強度高品質電子源の開発

参考文献 (2009年度中の発表および掲載論文)

- [1] Chie Shonaka, Masao Kuriki, Daisuke Kubo, Hiromi Okamoto, Hiroyuki Higaki, Kiyokazu Ito, Masahiro Yamamoto, Taro Konomi, Shoji Okumi, Tsuyoshi Nakanishi, “A study of Lifetime of GaAs Photocathode for High Brightness Electron Source”, Proc. Of 23<sup>rd</sup> Particle Accelerator Conference(PAC09), Vancouver, Canada, MO6RFP069, 2009
- [2] R. Hajima, N. Nishimori, R. Nagai, H. Iijima, M. Yamamoto, T. Muto, Y. Honda, T. Miyajima, M. Kuriki, “DESIGN AND FABRICATION OF A 500-KV

PHOTOCATHODE DC GUN FOR ERL LIGHT SOURCES”, Proc. Of 23<sup>rd</sup> Particle Accelerator Conference(PAC09), Vancouver, Canada, MO6RFP074, 2009

[3] 桑原真人、中西彊、奥見正治、金秀光、前多悠也、宇治原徹、竹田美和、山本将博、本田洋介、河田洋、飯島北斗、西森信行、永井良治、羽島良一、栗木雅夫, “ERL 放射光源用電子銃のためのフォトカソード開発”, 第六回加速器学会年会、日本原子力開発機構、8/5-7, WOPSB03, 2009

[4] 正中智慧、栗木雅夫、久保大輔、金田健一、岡本宏己、桧垣浩之、伊藤清一、山本将博、許斐太郎、奥見正治、中西彊, “GaAs 光カソード加熱によるダーク寿命の低下についての研究”, 第六回加速器学会年会、日本原子力開発機構、8/5-7, FPPSA15, 2009

[5] 柏木茂、加藤龍好、杉本直哉、古橋建一郎、寺沢賢和、森尾豊、磯山悟朗、杉山陽栄、浦川順治、早野仁司、久保大輔、正中智慧、栗木雅夫、神戸浩多, “Lバンドフォトカソード RF 電子銃の開発 II”, 第六回加速器学会年会、日本原子力開発機構、8/5-7, FPPSA12, 2009

[6] 山本将博、金秀光、前多悠也、宇治原徹、竹田美和、栗木雅夫、正中智慧、久保大輔、栗栖普揮、本田洋介、宮島司、内山隆司、武藤俊哉、松葉俊哉、坂中章吾、佐藤康太郎、斎藤義男、本田融、小林幸則、河田洋、西森信行、永井良二、飯島北斗、羽島良一、桑原真人、奥見正治、中西彊, “KEK における ERL 放射光源用 500kV 電子銃の開発計画”, 第六回加速器学会年会、日本原子力開発機構、8/5-7, FPPSA08, 2009

[7] S. Kashiwagi, R. Kato, Y. Morio, K. Furuhashi, Y. Terasawa, N. Sugimoto, G. Ioyama, H. Hayano, H. Sugiyama, J. Urakawa, K. Watanabe, M. Kuriki, C. Shonaka and D. Kubo, ” Development of a Photocathode RF Gun for an L-band Electron Linac”, Proceedings of FEL2009 (Liverpool, UK), TUPC20, 2009

[8] N. Nishimori, R. Nagai, H. Iijima, R. Hajima, M. Yamamoto, T. Muto, Y. Honda, T. Miyajima, M. Kuriki, M. Kuwahara, S. Okumi, T. Nakanishi, “DEVELOPMENT OF A 500-KV PHOTO-CATHODE DC GUN FOR THE ERL LIGHT SOURCES IN JAPAN”, Proceedings of FEL2009 (Liverpool, UK), TUPC17, 2009

[9] M. Kuriki, C. Shonaka, D. Kubo, H. Okamoto, H. Higaki, K. Ito, M. Yamamoto, T. Konomi, S. Okumi, M. Kuwahara, T. Nakanishi, “Darklifetime degradation of GaAs cathode”, Proceedings of Workshop on Ultrafast electron and photon beams (Xian, China), to be published in Nucl. Instr. and Meth. A, 2009

2.4 活動（運営委員会等の活動等）  
なし。

2.5 平成 21 年度における実施体制  
別表 1 の通り。

別表 1 平成 21 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. レーザー蓄積装置および大強度高品質電子源開発	広島大学大学院先端物質科学研究科	◎栗木 雅夫
① レーザー蓄積装置開発	広島大学大学院先端物質科学研究科	○高橋 徹
② 大強度高品質電子源の開発	広島大学大学院先端物質科学研究科 広島大学大学院先端物質科学研究科	◎○栗木 雅夫 飯島 北斗