

機関番号：82118
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19340069
 研究課題名（和文） 大強度陽子加速器におけるレーザー電流・電位分布モニターの開発とビーム計測研究
 研究課題名（英文） Beam Diagnostic Study and Development of Laser Based Photo Neutralization Beam Profile monitor system in High intensity Proton Accelerator.
 研究代表者
 李 成洙（LEE SEISHU）
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・助教
 研究者番号：20353360

研究成果の概要（和文）：本研究課題ではレーザー光による電子解離を用いた新規計測手法の開発と大強度陽子加速器 J-PARC リニアックにおける詳細なビーム計測を実施した。従来型のビーム電流、位置、及び分布モニターとビーム損失モニターによる測定からビーム軌道とサイズ、及びビームハロー（周辺領域）を同定しレーザーで解離される電子分布を推定した。これによりレーザープロファイルモニターの機器仕様を決定し詳細設計・製作、及び性能試験を完了した。またリニアック全域にわたる詳細なビーム診断によりビーム損失の最小化、低エミッタンス化などビームの高品質化を実現した。これによりシンクロトンへの入射調整が可能となり、生物・物理実験用ビームラインの供用運転実現に資した。さらにリニアックダンプラインでの中性粒子ビームの分布測定も実現し、残留ガスによる負水素ビームの中性化効率についても基本的な測定結果を得た。これらの知見を基礎に今後もビーム計測・開発研究を継続することで更なるビーム損失の低減と加速器運転の最適化、及び信頼性と安全性の高い大強度運転の実現に寄与する。

研究成果の概要（英文）： In order to improve the beam intensity and quality of high intensity proton accelerator, the beam diagnostic systems have been developed. A laser based photo neutralization beam profile monitor was constructed in J-PARC Linac. Beam current, position and profile had be confirmed to obtain the specifications of laser based beam profile monitor. Spatial profile of magnetic field to collect the photo ionized electrons was evaluated. Feedthrough and vacuum vessels were composed of radiation resistant materials for high intensity operation. Large current and low emittance negative ion beam have been obtained by fine tuning using the beam diagnostic system. Neutral particle component of negative ion beam by residual gas impact was also measured in Linac dump line. Beam diagnostic system have been played important role for high intensity beam operation, and these results are indispensable for development of laser based profile monitor.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,800,000	3,840,000	16,640,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：加速器

1. 研究開始当初の背景

近年の素粒子・原子核実験においてはハドロン加速器の大強度化・高輝度化が世界的に求められてきている。これに対し荷電粒子の大集団が作り出す電場がビーム自身の運動や分布に与える影響を研究することは、ビーム物理学上の興味深い課題であると同時に、大強度・高品質ビームの安定供給に対し極めて大きな意義を持つ。特にビーム内部の電位分布に関する情報はビーム不安定性などの物理機構を研究する為の新たな知見をもたらす可能性がある。しかしながら、大強度ハドロンビームの電流分布や電位構造（空間電荷効果）を非破壊に測定する手法は未だ確立されていない。

このような背景に鑑み、本研究ではレーザーを用いた新規ビーム分布測定器の開発を行う。大強度陽子リニアック（J-PARC：高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究開発機構が共同で建設中の大強度陽子加速器群）に適用し、実際の大強度負水素イオンビームに対する計測研究を行う。

大強度負水素イオンビームをレーザーで中性化し測定するアイデアは1998年頃から米国を中心に研究・開発が進められてきた。2006年から本格運転を開始した米国の大強度ハドロン加速器SNS（Spallation Neutron Source）では、ビーム損失を抑制可能な診断手法として運転計画の最重要課題に位置づけられ、組織的に研究開発が進められている。現在レーザープロファイルモニターを用いたビーム調整を開始し、実用化が進められている。

国内の主たる研究活動としては、本応募者が平成17年度から研究代表者を務める科学研究費補助金で実施してきた基礎研究が挙げられる（若手研究(B)「レーザーを用いた大強度ハドロンビームの高精度電流・電位分布計測法の開発」課題番号:17740178）。レーザーによる負水素イオンの中性化と分布計測を大強度リニアックで実証した研究としては国内における先駆的研究であると同時に、米国の研究・開発状況に短期間で追いつくことに成功した。この研究では実際のJ-PARCリニアック加速器のプロトタイプ（低エネルギー部）で原理実証試験を実施しており、本応募課題の下地を作った研究と位置づけられる。これまでの研究ではレーザーにより中性化され剥ぎ取られた電子信号を検出する事に加え、エネルギー分析することにも

成功している。5mA～30mAという大強度リニアックの電流分布・電場構造を測定し、以下の様な成果をあげることが出来た。

- ・収集された電子をエネルギーで分別する事で真空ダクト内部に浮遊する電子雲等の成分と明確に区別した測定を実現した。これにより非常にS/N比の良いビームサイズ測定が可能な事を実証した。さらに測定時間を20nsec以下に限定した超低ロス測定が可能な事を確認した。

- ・収集電子のエネルギーを加速イオンとの質量比に相当する運動エネルギーと比較することで、空間電位によるエネルギーシフトを測定する事に成功した。これによりレーザープロファイルモニターがビームの空間電荷効果による電位分布を直接測定可能なことを世界で初めて示した。

レーザーモニターによる測定は10時間以上の連続運転に対し数%以下の発振安定性を確認し、大強度陽子リニアックの共用運転に対し十分な信頼性がある事を実証した。これらの研究成果はフランス・リヨンで開催された加速器計測の国際学会（DIPAC 2005）で発表すると共に論文としてまとめ、高い評価を受けている。（S. Lee, T. Tomisawa et., al. “Direct Measurement of Space-Charge-Potential in High Intensity H⁺ Beam with Laser Based Photo Neutralization Method” Proc. of DIPAC 2006 Lyon France. T. Tomisawa, S. Lee et., al. “Investigation of Photo Neutralization Efficiency of High Intensity H⁺ Beam with Nd:YAG Laser in J-PARC” Proc. of DIPAC 2006 Lyon France.）。また国内の加速器学会においても口頭発表・議論を行い、関連する分野において広く認知されるに至った（S. Lee, T. Tomisawa et., al. “Transverse Current Profile and Space-Charge-Potential Measurement in High Intensity H⁺ Beam with Laser Based Photo Neutralization” 2nd annual meeting of Particle Accelerator Society of Japan）。この成果を飛躍的に発展させる為、本応募課題ではJ-PARCリニアック加速器におけるレーザープロファイルモニターの開発及びビーム計測研究を行う。

2. 研究の目的

本研究課題ではJ-PARCリニアック加速器実機におけるレーザープロファイルモニターの製作を行う。その際、これまでの研究で確立した技術と知見を総動員し、以下の研究課

題に取り組む。

・レーザーと従来のワイヤー方式による分布測定を同時に行うことができる光反応・測定室を設計・製作する。この際、水平・垂直の分布構造が対称になる様にビーム輸送系における長さ方向の最適化を行う。

・これまでの研究で開発し実績のある電子検出器の対向面に、多チャンネル型新規電子収集検出器を開発・試験する。レーザーで解離された電子はガイド用電磁石コイルの極性を切り替える事で容易に対向面に導く事が可能であり、そこに新規検出器を設置する事で2次元計測を実現する。

・2次元分布計測の歪みを最小にする為の電子収集用電磁石の設計・製作を行う。実機製作後には詳細な磁場測定を行い磁場強度及び分布を確認する。

・J-PARCリニアックにおける大強度負水素イオンビームの計測研究を開始する。既存のモニターシステム（ビーム位置モニター、ビーム電流モニター及びワイヤースキャナーモニター）を用いた計測と校正を行い、ビーム調整及びビーム輸送・不安定性研究に資する。

3. 研究の方法

光反応室・検出器（光導入系含む）の設計・製作においては解離された電子の軌道シミュレーションを行い、実験結果と比較・検討した。光反応室・検出器の基本構造と信頼性はこれまでの原理実証実験によって確立されている。本研究課題では検出器に改良を加える事とシミュレーション研究を組み合わせる事で2次元計測という世界初の研究課題に取り組んだ。光導入系、電子収集系の設計・製作には李成洙とモニター開発の実績がある林直樹が担当した。レーザーにより中性化された収集電子の軌道シミュレーションには残留ガスプロファイルモニターの開発実績がある佐藤健一郎が担当した。

J-PARC リニアックの運転調整開始後は直ちにビーム計測を行い、レーザー中性化効率、測定位置・分布校正、及び測定安定性などの基本性能の確認を行った。測定の繰り返し周波数周期やデータ処理方法の最適化を行い、共用運転におけるビーム測定の効率化を図った。ビーム重心の校正に用いる4電極型ビーム位置モニターの運転とデータ解析は、検出器、ケーブル及び処理回路全般の開発を行った佐藤進が担当した。レーザーによる負水素イオンの中性化効率の確認には1GHz程度以上の高速応答性を持ったビーム電流モニターが必須となる。このモニターの運転とデータ収集・解析は電流モニターの開発を行った五十嵐前衛（研究協力者）が担当した。さらにビーム分布測定の校正には従来型のワイヤーを用いたプロファイルモニターを用いる。ワイヤー保護とビーム損失の低減の為、

ビームの繰り返し周期やパルス巾を最適化した測定が必要となる。分布校正に関する実験立案、データ収集・解析はワイヤースキャナーの開発を行った秋川藤志（秋川藤志）が担当した。さらにレーザー計測の信頼性を担保する為、レーザービームの1%程度をハーフミラーで分岐し、レーザー発振器近傍と電子収集検出器近傍に設置した光電子増倍管でモニターする。これらレーザー発振器・光伝送系のモニタリングシステムの整備と発振調整にはレーザー実験の実績がある富澤哲男が担当した。

基本計測器のノイズレベルについては単体試験による評価に基づき、シールド特性の良いケーブル・コネクタを選定した。S/N比をあげる為、検出器近傍に前置増幅器を設置した。研究代表者の李成洙、研究協力者・分担者の五十嵐前衛、佐藤健一郎は電流モニター等の製作において前置増幅器を設計製作しており、極めて短期間のうちに対応、補強する事ができた。

ビーム発生、及び加速には体積生成型負水素イオン源、低エネルギービーム輸送系

(LEBT)、3MeV高周波四重極(RFQ)、中エネルギービーム輸送系(MEBT)、ドリフトチューブリニアック(DTL)、加速/収束分離型DTL(SDTL)およびそれらの高周波源、電源等を用いた。これら調整パラメータの変化に対するビーム横方向分布と電位構造を非破壊かつ低ロスに測定し、準定常的な監視・計測を行う。安定かつ高品質なビーム運転を実現するため、研究協力者らによる研究体制を組織しビーム調整・増強の各段階に歩調を合わせながら研究を進めた。

イオン源、LEBT及びRFQから構成される前段加速器の運転・調整は、これら加速器及びモニター開発を行ってきた上野彰、小栗英知、近藤恭弘が担当した。

DTL、SDTLの加速電場分布の生成・調整には振幅精度1%、位相精度1°以下が求められる。これら設定精度以下の調整を行う必要があり、シミュレーション結果とビームモニターの測定結果を比較しながら最適化を行った。この運転調整及び評価検討は内藤富士雄が担当した。さらに収束電磁石の位置設定はベータatron振動波長の数倍の距離において、50μm以下が要求される。この位置設定及びアライメント結果の評価は森下卓俊が担当した。DTL、SDTLの加速電場と位相は連続的に配置された数十台の加速空洞間相互においても高精度に調整する必要がある。高周波源の制御・運転調整はリニアックRFグループの研究協力者が担当した。シミュレーションとビーム測定の結果を比較することで制御の高度化・最適化を図った。計測された負水素イオンビームは、3GeV高繰り返しシンクロトロンへ入射する為のビ

ーム輸送系 (L3BT) へ導かれる。レーザー計測などの結果を基に収束電磁石の調整運転を行い、高品質な入射ビーム条件の最適化を行う。これらビーム輸送調整は L3BT の開発を行った青寛幸が分担した。

リニアックビームの運転調整と実験結果の解析、モデル化についてはビーム物理的側面を池上雅紀が担当し、ビームに影響を与える全ての要素 (水温、空調、床変動等を含む) についてモデリング解析を行い実験に反映した。尚、これら解析に必要な制御・監視機器の構築、データベースの整備は榊泰直と佐甲博之が行った。

これらビーム試験の統括と運転許可・管理は山崎良成リーダー (研究協力者) と長谷川和男サブリーダーの権限で行われ、本研究課題の実施はこれら統括・責任者と密接に連携、協力しながら進めた。

4. 研究成果

本研究課題では J-PARC リニアック加速器の運転調整と詳細なビーム計測を実施した。これによりレーザープロファイルモニター用検出器の詳細設計と製作・試験を行った。

加速器初段からシンクロトロン入射部までの全域で従来型のワイヤープロファイルモニターとビーム損失モニターによる詳細な測定を行った。ビームサイズ及びビームハロー (周辺領域) を同定しレーザーで解離される電子分布を推定した。これにより信号処理回路や信号ケーブルに必要とされるノイズ特性等も明らかになった。さらに今回開発した電子収集用電磁石による軌道シミュレーションを実施し最適な検出位置の決定と検出器製作を行った。他の加速器機器配置やビームロスによる放射化等の設置条件の最適化を行った結果、レーザープロファイルモニターの配置として最適な場所を選定することができた。これにより接続ダクトの長さや設置方法、周辺電磁石の分割作業手順などが確定した。検出器及び光反応室周辺の材料には耐放射線性を考慮しステンレスやポリイミドなど、これまでの J-PARC 計測器開発で実績のある素材を選定した。電磁石の有効磁場に関する詳細なシミュレーションを重ね鉄芯サイズと磁極間隔を最適化し、空冷化を実現した。これにより放射線環境下におけるメンテナンス性の向上を図ることができた。完成した電磁石に対し磁場測定と長時間にわたる温度特性試験を行い所定の磁場強度・分布が得られる事と 20℃程度以下の温度上昇に抑制されていることを確認した。検出器対抗面には 2 次元測定を実現する為の多チャンネルマルチチャンネルプレートを利用した新規検出器を設計・製作した。長時間分解測定を実現するため蛍光測定方式を採用し専用の CCD カメラを選定・購入した。

これによりビームパルス毎の 2 次元測定が期待できる。さらに効率的かつ直接的にデータを処理するための画像解析ソフトウェアを購入しプログラミング作業を開始した。これにより検出器と電子収集用電磁石及び較正試験用ワイヤープロファイルモニター導入系を一体化したコンパクトな測定システムを製作する事ができた。真空性能についても試験・検査を実施し超高真空環境下で使用可能な計測システムの製作を行った。これら検出器と電子収集用電磁石及び較正試験用ワイヤープロファイルモニター導入系を一体化したコンパクトな光反応室を製作する事ができた。真空性能についても試験・検査を実施し超高真空環境下で使用可能な計測システムの製作を行った。

さらに加速器初段からシンクロトロン入射部までの全域でビーム計測を継続し、J-PARC 共用ビームの大強度化と高性能化に寄与した。ビームモニター系を用いた軌道調整と位相調整の結果、ビーム損失の低減と物理・生物実験用ビームラインの電流値増強に貢献した。

またリニアック直線ダンプにおける中性粒子ビームの分布計測にも成功した。今後は真空中の残留ガスとの衝突による負水素ビームの中性化とそれによるビームロスが支配的になると考えられている。シンクロトロン加速器への入射においても中性粒子成分は重要な役割を果たす可能性が高く、今回の測定結果は重要な示唆に富んでいる。偏向磁石の直線下流域に設置したビームスクレイパーモニターを掃引し、高感度アンプで信号を増幅・検出することで電磁石に曲げられずに直進する中性粒子ビームの空間分布測定に成功した。

中性化された負イオンビームは四重極電磁石による収束力も受けない為ビーム進行方向のビームプロファイルの積分値がスクレイパーでは検出される。この分布はコリメーターやビーム入射点におけるビームロスの発生状況を再現したものと考えられ、局所的なビーム計測で得られる分布よりも広がった形状になると予測される。今回得られた計測結果とレーザープロファイルモニターで観測される時間的、空間的に局在した中性粒子ビームの分布を比較することで将来的にビームロス上流域での局所測定からシンクロトロン入射ポイントにおける積分されたビームロスの推定と抑制が可能になると考える。

大強度化を目標とする J-PARC においてリングへの入射ロスが加速器全体のビーム増強を抑制するボトルネックになると考えられている。直線加速器下流域の中性化によるビーム損失の抑制は加速器の性能向上と安全性の確保という観点で最も重要な寄与を果たすと考える。本研究の成果はこれら最重要課題の解決に不可欠であり、今後も計測・

解析研究を継続する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① H. Hotchi, M. Kinsho, K. Hasegawa, N. Hayashi, Y. Hikichi, S. Hiroki, J. Kamiya, K. Kanazawa, M. Kawase, F. Noda, M. Nomura, N. Ogiwara, R. Saeki, P.K. Saha, A. Schnase, Y. Shobuda, T. Shimada, K. Suganuma, H. Suzuki, H. Takahashi, T. Takayanagi, O. Takeda, F. Tamura, N. Tani, T. Togashi, T. Ueno, M. Watanabe, Y. Watanabe, K. Yamamoto, M. Yamamoto, Y. Yamazaki, H. Yoshikawa, M. Yoshimoto, A. Ando, H. Harada, Y. Irie, C. Ohmori, K. Satou, Y. Yamazaki, M. Yoshii, “Beam commissioning of the 3-GeV rapid cycling synchrotron of the Japan Proton Accelerator Research Complex” *Phys. Rev. 査読有、ST Accel. Beams* 12, 040402 (2009)
- ② P. K. Saha, Y. Shobuda, H. Hotchi, N. Hayashi, T. Takayanagi, H. Harada, and Y. Irie, “Direct observation of the phase space footprint of a painting injection in the Rapid Cycling Synchrotron at the Japan Proton Accelerator Research Complex” *Phys. Rev. 査読有、ST Accel. Beams* 12, 040403 (2009)

[学会発表] (計 13 件)

- ① S. Sato, A. Miura, T. Tomisawa, H. Sako, T. Morishita, A. Ueno, K. Hasegawa, H. Yoshikawa, Z. Igarashi, M. Ikegami, “Study of J-PARC Linac Beam Position Monitor as Phase Monitor” *Proceedings of the Particle Accelerator Conference 2009, TH5RFP061, April, 2009, Vancouver, Canada (PAC09)*
- ② A. Miura, S. Sato, T. Tomisawa, H. Sako, T. Morishita, H. Takahashi, A. Ueno, K. Hasegawa, H. Yoshikawa, Z. Igarashi, M. Ikegami, “Study of Beam loss measurement in J-PARC linac” *Proceedings of the Particle Accelerator Conference 2009, TH5RFP096, April, 2009, Vancouver, Canada (PAC09)*
- ③ Susumu SATO, Akihiko MIURA, ZenEi IGARASHI, Masanori IKEGAMI, Akira UENO, Hiroyuki SAKO, Takatashi MORISHITA, Hiroshi YOSHIKAWA, Kazuo HASEGAWA, Tetsuya

- KOBAYASHI, “Tuning of MEBT-Chopper by using wire scanner monitor” *Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, WPBDA06, JAEA, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, Japan*
- ④ 三浦昭彦, 佐藤進, 佐甲博之, 吉川博, 長谷川和男, 五十嵐前衛, 池上雅紀, “J-PARC リニアック ACS 加速空洞増強におけるモニターシステムの設計” *Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, TOBDC01, JAEA, Tokai, Naka-gun, Ibaraki, Japan*
 - ⑤ Susumu Sato, ZenEi Igarashi, Tetsuo Tomisawa, Akihiko Miura, Akira Ueno, Hiroyuki Sako, Takatashi Morishita, Yasuhiro Kondo, Guobao Shen, Hisashi Akikawa, Masanori Ikegami, Takeshi Toyama, Seishu Lee, “Beam Energy Measurement at J-PARC LINAC” *Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, WP090, August, 2008, Higashihiroshima, Japan.*
 - ⑥ S. Hiroki, P. K. Saha, H. Sako, H. Takahashi, A. Ueno, Y. Arakida, S. Lee, T. Toyama, “Multi-wire Profile Monitor for J-PARC 3GeV RCS” *Proceedings of EPAC 2008, Genoa, Italy (2008) p.1131-1133. (TUPC036)*
 - ⑦ N. Hayashi, S. Hiroki, R. Saeki, R. Toyokawa, K. Yamamoto, M. Yoshimoto, D. Arakawa, S. Hiramatsu, S. Lee, K. Satou, M. Tejima, T. Toyama, “Beam Instrumentations for the J-PARC RCS Commissioning” *Proceedings of EPAC 2008, Genoa, Italy (2008) p.1125-1127. (TUPC034)*
 - ⑧ N. Hayashi, S. Hiroki, R. Saeki, R. Toyokawa, K. Yamamoto, D. Arakawa, S. Hiramatsu, S. Lee, K. Satou, M. Tejima, T. Toyama, “The Beam Position Monitor System of the J-PARC RCS” *Proceedings of EPAC 2008, Genoa, Italy (2008) p.1128-1130. (TUPC035)*
 - ⑨ K. Satou, S. Lee, T. Toyama, M. Tejima, N. Hayashi, A. Ueno, K. Yamamoto, and R. Saeki, “Beam Profile Monitor of the J-PARC 3GeV Rapid Cycling Synchrotron” *Proceedings of EPAC 2008, Genoa, Italy (2008) p.1275-1277. (TUPC093)*
 - ⑩ P.K. Saha, H. Hotchi, Y. Shobuda, F. Noda, N. Hayashi, Y. Irie, H. Harada, “Beam Commissioning Results of the RCS Injection and Extraction at J-PARC” *Proceedings of EPAC 2008,*

Genoa, Italy (2008) p.3611-3613.
(THPP105)

- ⑪ N. Hayashi, S. Hiroki, S. Pranab, R. Saeki, R. Toyokawa, K. Yamamoto, M. Yoshimoto, D. Arakwa, S. Hiramatsu, S. Lee, K. Satou, M. Tejima, T. Toyama, H. Harada, 「J-PARC RCS ビームモニタシステムの現状」 Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Hiroshima, Japan (2008) p.243-245. (F028)
- ⑫ K.Satou, N. Hayashi, H. Hotchi, Y. Irie, M. Kinsho, M. Kuramochi, P. K. Saha, Y. Yamazaki, S. Lee, “Development of a Beam Induced Heat-Flow Monitor for the Beam Dump of the J-PARC RCS” Proceedings of PAC07, Albuquerque, New Mexico, USA (2007) p.4084-4086. (FRPMN047)
- ⑬ K.Satou, S.Hiroki, S.Lee, N.Hayashi, K.Yamamoto, S. Hiramatsu, T. Toyama, D. Arakwa, Z. Igarashi, R. Saeki, 「J-PARC RCS 入射部およびダンプラインのモニターシステム」 Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, Japan (2007) p.297-299. (WP30)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

李 成洙 (LEE SEISHU)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・助教

研究者番号：20353360

(2) 研究分担者

(H20～H21 においては、連携研究者)

長谷川 和男 (HASEGAWA KAZUO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用 研究部門・主任研究員

研究者番号：20354756

吉川 博 (YOSHIKAWA HIROSHI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・主任研究員

研究者番号：50200960

上野 彰 (UENO AKIRA)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・主任研究員

研究者番号：10203457

小栗 英知 (OGURI HIDETOMO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・副主任研究員

研究者番号：30354757

榊 泰直 (SAKAKI YASUNAO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・副主任研究員

研究者番号：00354746

佐甲 博之 (SAKO HIROYUKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・副主任研究員

研究者番号：40282298

佐藤 進 (SATO SUSUMU)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究員

研究者番号：70302346

青 寛幸 (AO HIROYUKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究員

研究者番号：8035744

近藤 恭弘 (KONDO YASUHIRO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究員

研究者番号：40354740

森下 卓俊 (MORISITA TAKUYA)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究員

研究者番号：30370480

林 直樹 (HAYASI NAOKI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・副研究員

研究者番号：50354741

佐藤 健一郎 (SATO KENICHIRO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・助教

研究者番号：00414607

(H21 においては、連携研究者)

内藤 富士雄 (NAITO FUJIO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・准教授

研究者番号：70207695

池上 雅紀 (IKEGAMI MASANORI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・助教