

機関番号：82118

研究種目：学術創成研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17GS0210

研究課題名（和文） レーザー蓄積装置を活用した国際リニアコライダービーム診断技術に関する融合研究

研究課題名（英文） Research for Hybrid System comprised Laser Super Cavity and Off-Axis Parabolic Reflective mirrors toward International Linear Collider

研究代表者

浦川 順治 (URAKAWA JUNJI)

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・教授

研究者番号：00160333

研究成果の概要（和文）：高反射率ミラー光共振器にパルスレーザー蓄積(1000 倍の蓄積増幅)と同時に数ミクロンレーザーワイヤウェスト(30 μm , 5 μm)またはサブミクロンレーザー干渉縞(干渉縞ピッチ 500nm)の安定生成、およびレーザーと高エネルギー電子ビームの衝突によって、数ミクロンからサブミクロンサイズの高エネルギー電子ビームサイズ測定が可能であることを示した。実用化の為に小型光共振器およびパルスレーザー発振装置製作を継続している。

研究成果の概要（英文）：We have developed two kind of optical cavities which consist of several high reflectivity mirrors. These optical cavities can accumulate nJ or uJ laser pulse and enhance the pulse energy by about 1000 in the cavity. Also, we can make several μm waist or laser interference pattern (pitch \sim 500nm) at the center of the cavity. Based on inverse Compton scattering between laser pulse and high energy electron beam, we are measuring micron beam size or sub-micron beam size at accelerator test facility (ATF). Compact optical cavity laser wire and high power pulse laser oscillator are under developing.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	63,300,000	18,990,000	82,290,000
2006 年度	70,200,000	21,060,000	91,260,000
2007 年度	64,500,000	19,350,000	83,850,000
2008 年度	65,400,000	19,620,000	85,020,000
2009 年度	41,100,000	12,330,000	53,430,000
総計	304,500,000	91,350,000	395,850,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：国際協力、素粒子実験、高性能レーザー、光源技術、ナノ制御

1. 研究開始当初の背景

大強度パルスレーザーパルスと電子・陽電子ビームとの逆コンプトン散乱により発生する高エネルギーガンマ線強度を絞り込まれたレーザーの位置と時間の関数として測定することにより、高エネルギー電子ビームの形状等を測定できる。現状、100 μm 程度のビームサイズ測定がなされている。国際リニアコライダー(ILC)ビームのビームサイズは5 μm 程度であるので、レーザーを安定に絞り込む技術開発が必須の課題である。スーパー

光共振器のレーザーワイヤへの応用を我々が世界で始めて示した。現在、5 μm から0.5 μm 程度までのビームサイズ測定をレーザーワイヤで行う国際協力研究開発を進めている。

2. 研究の目的

小型スーパー光共振器（レーザー蓄積装置）を使った高分解能レーザーワイヤビーム診断技術に関する研究開発と国際リニアコライダービーム診断装置の開発。高繰り返し(357MHz)、短パルス(10psec, FWHM)、大強

度レーザー(1mJ/pulase~100mJ/pulse)のパルスレーザービームをスーパー光共振器で実現する。この光共振器内でレーザーを 5 μ m 以下まで絞込み、電子ビームをスキャンすることにより電子ビームの空間・時間プロファイルが診断できることを実証する。

3. 研究の方法

購入可能な高反射率平面ミラー2枚(反射率<99.999%)と高反射率球面ミラー2枚(反射率<99.999%)を使って小型スパ光共振器を開発する。レーザーパルス蓄積に必要な共鳴状態を維持する制御技術の研究開発が必要であり、圧電素子等を使ってミラーの位置制御をサブナノメートルで行う。市販のモードロックレーザー発信器を使って、レーザーパルスを光共振器に蓄積する技術を確立する。数 μ m 以下の高エネルギー電子ビームと光共振器内で絞り込んだレーザービームを衝突させて、逆コンプトン散乱により生成された高エネルギーガンマ線強度をレーザーの位置と時間の関数として測定する。この衝突実験によりレーザーワイヤの性能を実証することになる。

4. 研究成果

重要な成果は、レーザーパルス幅 7psec (FWHM), 357MHz, 7W のモードロック発信器出力レーザーを 42cm Super Cavity に蓄積して、1000 倍(蓄積レーザーエネルギー/入射レーザーエネルギー)の増幅率を達成したことと、電子ビームとの衝突精度をピコ秒以下にするために電子加速高周波とレーザー発信器を完全同期にしてレーザーパワー蓄積が 2.45kW であることも確認したことである。さらに電子ビームとの衝突時に蓄積パワーを上げる方法として、Burst Mode Amplification 技術を開発して蓄積パワー 40.6kW を実現したことも成果である。電子ビームとこのレーザーパルスの逆コンプトン散乱による X 線測定実験を行い、衝突当り準単色 X 線 10^3 光子数以上を検出確認できた。現在、この生成光子数を 10^7 以上にするための技術改良を進めている。本装置のレーザーワイヤモードビーム診断では空間分解能 30 μ m、時間分解能 1psec を実現しているが、目標 5 μ m 以下の空間分解能を実現しなければならない。英国の研究者と協力して開発した従来型レーザーワイヤ装置では、1 μ m 空間分解能を実現して 4 μ m 電子ビームプロファイル測定を成功させた。

初期の光共振器提案を改良した4枚ミラーリング光共振器の設計を行い、ガンマ線または X 線生成実験に利用できるレーザー蓄積装置を製作した。3 次元 4 枚ミラーリング光共振器では既に 30kW 蓄積を実現して、1.3GeV 電子ビームとパルスレーザー衝突によるガンマ線検出に成功した。Fig.1 がその装置の写真である。リング光共振器周長



Fig.1 3D-4 mirror Optical Cavity in Vacuum

1. 68m または 0.42m の制御技術を改良して、数ミクロンレーザーワイヤウェスト(5 μ m) またはサブミクロンレーザー干渉縞(干渉縞ピッチ 500nm)の安定生成、およびレーザーと高エネルギー電子ビームの衝突による数ミクロンからサブミクロンサイズの高エネルギー電子ビームサイズ測定を実験的に示せる最先端基盤技術を確立した。Fig.2 は本装置の概念製作図である。今後本成果の実用化の為に小型光共振器およびパルスレーザー発信装置製作を新しいプロジェクト(量子ビーム基盤技術開発プログラム)の下で継続して進める。

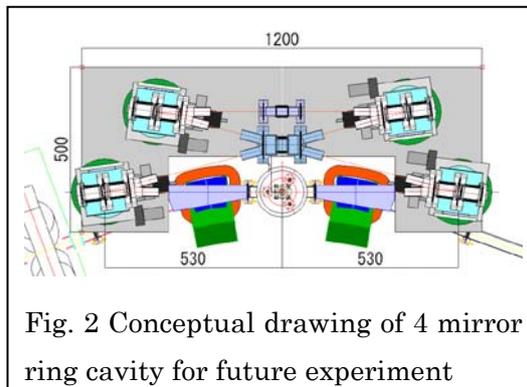


Fig. 2 Conceptual drawing of 4 mirror ring cavity for future experiment

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 53 件)

1. A. Deshpande, S. Araki, M. Fukuda, K. Sakaue, N. Terunuma, J. Urakawa, M. Washio, Experimental results of an rf gun and the generation of a multibunch beam, Physical Review Special Topics- Accelerators and Beams, 14, 063501-1, -9, 2011(査読有)
2. A. Variola, F. Zomer, E. Bulyak, P. Gladkikh, V. Skomorokhov, T. Omori, J. Urakawa, Luminosity optimization schemes

in Compton experiments based on Fabry-Perot optical resonators, Physical Review Special Topics- Accelerators and Beams, 14, 031001-1, -11, 2011(査読有)

3. [Junji Urakawa](#), Development of a compact X-ray source based on Compton scattering using a 1.3GHz superconducting RF accelerating linac and a new laser storage cavity, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A637, S47-S50, 2011(査読有)

4. [M. Fukuda](#), [S. Araki](#), [A. Deshpande](#), [Y. Higashi](#), [Y. Honda](#), [K. Sakaue](#), [N. Sasao](#), [T. Taniguchi](#), [N. Terunuma](#), [J. Urakawa](#), Upgrade of the accelerator for the laser undulator compact X-ray source (LUCX), Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A637, S67-S71, 2011(査読有)

5. [K. Sakaue](#), [S. Araki](#), [M. Fukuda](#), [Y. Higashi](#), [Y. Honda](#), [N. Sasao](#), [H. Shimizu](#), [T. Taniguchi](#), [M. Washio](#), Development of a laser pulse storage technique in an optical super-cavity for a compact X-ray source based on laser-Compton scattering, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A637, S107-S111, 2011(査読有)

6. [S. Boogert](#), [G. Blair](#), [G. Boorman](#), [A. Bosco](#), [L. Deacon](#), [P. Karataev](#), [A. Aryshev](#), [M. Fukuda](#), [N. Terunuma](#), [J. Urakawa](#), [L. Corner](#), [N. Delerue](#), [B. Forster](#), [D. Howell](#), [M. Newman](#), [R. Senanayake](#), [R. Walczak](#), [F. Ganaway](#), Micron-scale laser-wire scanner for the KEK Accelerator Test Facility extraction line, Physical Review Special Topics- Accelerators and Beams, 13, 122801-1, -16, 2010(査読有)

7. [S. Miyoshi](#), [T. Akagi](#), [S. Araki](#), [Y. Funahashi](#), [T. Hirose](#), [Y. Honda](#), [M. Kuriki](#),

[X. Li](#), [T. Okugi](#), [T. Omori](#), [G. Pei](#), [K. Sakaue](#), [H. Shimizu](#), [T. Takahashi](#), [N. Terunuma](#), [J. Urakawa](#), [Y. Ushio](#), [M. Washio](#), Photon generation by laser-Compton scattering at the KEK-ATF, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A623, 576-578, 2010(査読有)

8. [A. Aryshev](#), [G. Blair](#), [S. Boogert](#), [G. Boorman](#), [A. Bosco](#), [L. Corner](#), [L. Deacon](#), [N. Delerue](#), [B. Foster](#), [F. Ganaway](#), [H. Hayano](#), [D. Howell](#), [P. Karataev](#), [L. Nevay](#), [M. Newman](#), [R. Senanayake](#), [N. Terunuma](#), [J. Urakawa](#), [R. Walczak](#), Micron size laser-wire system at the ATF extraction line, recent results and ATF-II upgrade, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A623, 564-566, 2010(査読有)

9. [E. Bulyak](#), [P. Gladkikh](#), [T. Omori](#), [V. Skomorokhov](#), [J. Urakawa](#), Compton ring for nuclear waste management, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A621, 105-110, 2010(査読有)

10. [P. Bambade](#), [S. Araki](#)(6番目), [Y. Honda](#)(30番目), [K. Kubo](#)(42番目), [T. Okugi](#)(54番目), [N. Terunuma](#)(76番目), [J. Urakawa](#)(78番目), [K. Yokoya](#)(92番目/94人中), Present status and first results of the final focus beam line at the KEK Accelerator Test Facility, Physical Review Special Topics- Accelerators and Beams, 13, 042801-1, -10, 2010(査読有)

11. [N. Terunuma](#), [A. Murata](#), [M. Fukuda](#), [K. Hirano](#), [Y. Kamiya](#), [T. Kii](#), [M. Kuriki](#), [R. Kuroda](#), [H. Ohgaki](#), [K. Sakaue](#), [M. Takano](#), [T. Takatomi](#), [J. Urakawa](#), [M. Washio](#), [Y. Yamazaki](#), [J. Yang](#), Improvement of an S-band RF gun with a Cs₂Te photocathode for the KEK-ATF, Nuclear Instruments and

- Methods in Physics Research A 613, 1-8, 2010(査読有)
12. K. Sakaue, M. Washio, S. Araki, M. Fukuda, Y. Higashi, Y. Honda, T. Omori, T. Taniguchi, N. Terunuma, J. Urakawa, N. Sasao, Observation of pulsed x-ray trains produced by laser-electron Compton Scatterings, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 80, 123304-1, -7, 2009(査読有)
13. H. Shimizu, S. Araki, Y. Funahashi, Y. Honda, T. Okugi, T. Omori, N. Terunuma, J. Urakawa, M. Kuriki, S. Miyoshi, T. Takahashi, Y. Ushio, T. Hirose, K. Sakaue, M. Washio, P. Guoxi, L. XiaoPing, Photon Generation by Laser-Compton Scattering Using an Optical Resonant Cavity at the KEK-ATF Electron Ring, Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 78, No. 7, July, 074501-1, -7, 2009(査読有)
14. Y. Honda, H. Shimizu, M. Fukuda, T. Omori, J. Urakawa, K. Sakaue, H. Sakai, N. Sasao, Stabilization of a non-planar optical cavity using its polarization property, Optics Communications 282 (2009) 3108-3112(査読有)
15. A. Deshpande, S. Araki, M. Fukuda, K. Sakaue, N. Terunuma, J. Urakawa, N. Sasao, M. Washio, Design of a mode separated RF photo cathode gun, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 600 (2009) 361-366 (査読有)
16. K. Sakaue, T. Gowa, H. Hayano, Y. Kamiya, S. Kashiwagi, R. Kuroda, A. Masuda, R. Moriyama, J. Urakawa, K. Ushida, X. Wang, M. Washio, Recent progress of a soft X-ray generation system based on inverse Compton scattering at Waseda University, Radiation Physics and Chemistry 77 (2008) 1136-1141(査読有)
17. Y. Inoue, H. Hayano, Y. Honda, T. Takatomi, T. Tauchi, J. Urakawa, S. Komamiya, T. Nakamura, T. Sanuki, Eun-San Kim, Seung-Hwan Shin, and V. Vogel, Development of a high-resolution cavity-beam position monitor, Phys. Rev. ST Accel. Beams 11, 062801-1, -13, 2008(査読有)
18. S. Liu, M. Fukuda, S. Araki, N. Terunuma, J. Urakawa, K. Hirano, N. Sasao, Beam loading compensation for accelerator of multi-bunch electron beam train, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 584 (2008) 1-8(査読有)
19. Eugene Bulyak, Peter Gladkikh, Vladislav Skomorokhov, Tsunehiko Omori, Junji Urakawa, Klaus Moenig, and Frank Zimmermann, Beam dynamics in Compton ring gamma sources, Physical Review Special Topics- Accelerators and Beams, 9, 094001-1, -8, 2006(査読有)
20. Marcus Babzien, Ilan Ben-Zvi, Karl Kusche, Igor V. Pavlishin, Igor V. Pogorelsky, David P. Siddons, Vitaly Yakimenko, David Cline, Feng Zhou, Tachishige Hirose, Yoshio Kamiya, Tetsuro Kumita, Tsunehiko Omori, Junji Urakawa and Kaoru Yokoya, Observation of the Second Harmonic in Thomson Scattering from Relativistic Electrons, Physical Review Letters, 96, 054802-1, -4, 2006(査読有)
21. T. Omori, M. Fukuda, T. Hirose, Y. Kurihara, R. Kuroda, M. Nomura, A. Ohashi, T. Okugi, K. Sakaue, T. Saito, J. Urakawa, M. Washio, and I. Yamazaki, Efficient Propagation of Polarization from Laser Photons to Positron through Compton

Scattering and Electron-Positron Pair Creation, Physical Review Letters, 96, 114801-1, -4, 2006(査読有)

22. Y. Honda, N. Sasao, S. Araki, Y. Higashi, T. Okugi, T. Taniguchi, J. Urakawa, Y. Yamazaki, K. Hirano, M. Nomura, M. Takano, H. Sakai, Upgraded laser wire beam profile monitor, Nucl. Instr. and Meth. A, ELSEVIER, 538, 100-115, 2005(査読有)

[学会発表] (計 137 件)

1. 浦川順治、社会に役立つ放射光科学と加速器技術の最前線、日本放射光学会市民公開講座、2011.1.9、つくば国際会議場エポカル中ホール
2. 赤木智哉他、高輝度偏極光源の為の 4 枚鏡光蓄積共振器の開発、日本物理学会秋季大会、2010.9.14、九州工業大学戸畑キャンパス
3. 浦川順治他、偏極ガンマ線/陽電子生成のための 3D-4 mirror レーザー蓄積装置、日本加速器学会年次大会、2010.8.4、姫路市文化センター
4. 浦川順治、「量子ビーム発生と利用の最前線」超伝導加速器による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発、日本原子力学会春の年会、2010.3.27、茨城大学水戸キャンパス
5. 三好修平他、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、日本物理学会年次大会、2010.3.22、岡山大学津島キャンパス
6. 中山隆志他、新竹モニタによる ATF2 衝突点ビームサイズ測定、日本物理学会秋季大会、2009.9.10、甲南大学岡本キャンパス
7. 清水洋孝他、KEK-ATF ダンピングリングにおける Laser-Wire システムによる Beam Size 及び Emittance 測定とその改良、日本加速器学会年次大会、2009.8.5、日本原子力機構東海
8. K. Sakaue et al., 3-Dimensional Beam Profile Monitor Based on a Pulse Storage in an Optical Cavity for Multi-bunch Electron Beam, Proceedings of PAC09, WE3GRC04, Vancouver, BC, Canada, 2009
9. 赤木智哉他、KEK-ATF における ILC 偏極陽電子源の為のレーザー共振器を用いた高輝度ガンマ線生成実験 II、日本物理学会年次大会、2008.3.27、立教大学池袋キャンパス
10. 坂上和之他、KEK 小型電子加速器におけるレーザー蓄積装置を用いた小型 X 線源 (LUCX) の開発 (5)、日本物理学会年次大会、2008.3.26、近畿大学本部キャンパス
11. 清水洋孝他、ILC 計画に向けた偏極陽電子源の高強度ガンマ線生成のためのレーザー蓄積空洞開発実験、日本物理学会年次大会、2007.3.27、首都大学東京南大沢キャンパス

12. J. Urakawa, "ACHIEVEMENT OF ATF AND ITS FUTURE PLANS", Invited talk, Proceedings of APAC 2007, FRXMA03, Indore, India, 2007 (<http://apac07.cat.ernet.in/>)

13. Y. Honda, "Beam Instrumentation Experience at ATF", Invited talk, Proceedings of APAC 2007, WEZH102, Indore, India, 2007

14. K. Sakaue et al., "Development of Pulse Laser Super-Cavity for Compact High Flux X-ray Sources", Proceedings of EPAC 2006, THPCH154, Edinburgh, Scotland, 2006

15. 坂上和之他、レーザーコンプトン散乱を用いた小型硬 X 線源のためのレーザー蓄積装置の開発、日本物理学会年次大会、2006.3.27、松山大学

16. J. Urakawa, Laser Interferometer with Optical Cavity and Cavity BPMs, Proceedings of NANOBEAM 2005, 150-152, Uji, Kyoto University, Japan, October 17-21, 2005

[図書] (計 3 件)

浦川順治、21 世紀の化学の夢-次世代光源、学術の動向、第 16 巻、第 5 号、86-91, 2011.5

浦川順治、「光科学研究の最前線 2」編集委員会出版、加速器とレーザー、151, 2009

浦川順治、光科学研究の最前線、「光科学研究の最前線」編集委員会出版、加速器とレーザー、232-235, August, 2006

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

名称：偏光レーザー発振方法、偏光放射線発生方法及びシステム

発明者：浦川順治、本田洋介、清水洋孝

権利者：高エネルギー加速器研究機構

種類：発明特許

番号：WO2011016378(A1)

出願年月日：2011-02-10

国内外の別：外国

名称：レーザーコンプトン散乱を利用した光源用レーザー

発明者：本田洋介、浦川順治、坂上和之

権利者：高エネルギー加速器研究機構

種類：発明特許

番号：WO2011016379(A1)

出願年月日：2011-02-10

国内外の別：外国

名称：光陰極高周波電子銃空洞装置

発明者：浦川順治、照沼信浩、高富俊和

権利者：高エネルギー加速器研究機構

種類：発明特許

番号：特願 2010-215840

出願年月日：2010-09-30

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

震災でサーバーが故障中のため、

<http://www-atf.kek.jp/lwi/>の URL を用意した。旧 URL は <http://atfweb.kek.jp/lwi/>。
<http://kocbeam.kek.jp/index.html> は本成果を応用した新プロジェクトの Web です。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浦川 順治 (URAKAWA JUNJI)

高エネ研機構・加速器・教授

研究者番号：00160333

(2) 研究分担者

早野 仁司 (HAYANO HITOSHI)

高エネ研機構・加速器・教授

研究者番号：00173055

大森 恒彦 (OMORI TSUNEHICO)

高エネ研機構・素粒子原子核研・講師

研究者番号：80185389

横谷 馨 (YOKOYA KAORU)

高エネ研機構・加速器・教授

研究者番号：40141973

東 保男 (HIGASHI YASUO)

高エネ研機構・機械工学センター・准教授

研究者番号：70208742

照沼 信浩 (TERUNUMA NOBUHIRO)

高エネ研機構・加速器・准教授

研究者番号：70237014

荒木 栄 (ARAKI SAKAE)

高エネ研機構・加速器・技師

研究者番号：50391777

奥木 敏行 (OKUGI TOSHIYUKI)

高エネ研機構・加速器・助教

研究者番号：40332118

本田 洋介 (HONDA YOUSUKE)

高エネ研機構・加速器・助教

研究者番号：40509783

久保 浄 (KUBO KIYOSHI)

高エネ研機構・加速器・准教授

研究者番号：60195485

(3) 連携研究者

笹尾 登 (SASAO NOBORU)

岡山大学・極限量子研究コア・教授

研究者番号：10115850

黒田 隆之助 (KURODA RYUUNOSUKE)

産業技術総合研究所・研究員

研究者番号：70350428

鷺尾 方一 (WASHIO MASAKAZU)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70158608

阪井 寛志 (SAKAI HIROSHI)

高エネ研機構・加速器・助教

研究者番号：50345229

谷口 敬 (TANIGUCHI TAKASHI)

岡山大学・極限量子研究コア・准教授

研究者番号：60163630

高橋 徹 (TAKAHASHI TOHRU)

広島大学・先端物質科学研究科・准教授

研究者番号：50253050

坂上 和之 (SAKAUE KAZUYUKI)

早稲田大学・理工学術院・研究員

研究者番号：80546333

(4) 研究協力者

栗木 雅夫 (KURIKI MASAO)

広島大学・先端物質科学研究科・教授

研究者番号：80321537

田内 利明 (TAUCHI TOSHIAKI)

高エネ研機構・素粒子原子核研・准教授

研究者番号：20154726

清水 洋孝 (SHIMIZU YOSHITAKA)

高エネルギー加速器研究機構・研究員

研究者番号：10448251

福田 将史 (FUKUDA MASASHI)

高エネ研機構・加速器・特別助教

Alexander Aryshev

高エネルギー加速器研究機構・研究員

Grahame Blair

Royal Holloway, University of London

(RHUL), 物理部、教授

Stewart Boogert

RHUL, 物理部、講師

Daivd Howell

Oxford University, Optical Physicist

Brian Foster

Oxford University, 物理部、教授

Alessandro Variola

Linear Accelerator Laboratory (LAL) in France, 研究部長

Fabian Zomer

University of South Paris, LAL, 教授

Nicolas Delerue

LAL, 研究員

Marc Ross

Fermilab、開発研究部長

Josef Frisch

SLAC, Menlo Park, California、主任研究員