

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究(開拓)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H05325・20K20344

研究課題名(和文) アンジュレーター放射軟X線の逆コンプトン散乱で実現する高エネルギー偏極光子ビーム

研究課題名(英文) Production of a high-energy polarized photon beam via Compton scattering of undulator soft X-rays

研究代表者

村松 憲仁 (Muramatsu, Norihito)

東北大学・電子光物理学研究センター・准教授

研究者番号：40397766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,000,000円

研究成果の概要(和文)：電子蓄積リング“ニュースバル”のBL07Aにおいて、アンジュレーターから放射された大強度軟X線をMo/Si多層膜ミラーで反転反射し、再入射後のコンプトン散乱で高エネルギー光子ビームを生成・測定する新光源技術の開拓研究を行った。反射率66%でコンプトン散乱点に集光する凹面多層膜ミラーシステムと放射・反射軟X線を測定するワイヤースキャナー型X線検出器を開発し、アンジュレータ光の反射を制御・観測することに成功した。光子ビームのエネルギー分布やプロファイルを測定するガンマ線検出器系も開発し、必要性能を実証した。軟X線コンプトン散乱による光子ビーム生成で要求される要素技術の基本開発を達成できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来のレーザーコンプトン散乱に対し、本研究で研究開発する軟X線コンプトン散乱はGeV偏極光子ビームの効率的かつ飛躍的な高エネルギー化を実現する。これにより高質量領域まで拡張した次世代ハドロン光生成実験が可能となり、ハドロン構造等の解明に資する。軟X線生成とコンプトン散乱の双方を放射光施設のビームライン一本で完結させられ、比較的安価に必要な設備を建設できる。主に核物理研究で利用されるコンプトン散乱の手法に加速器研究や放射光利用研究で進歩した軟X線制御技術を取り入れ、異分野融合型の世界的にユニークな新光源技術が得られる。低エネルギー化する放射光施設において応用が可能であり、成果の汎用性が高い。

研究成果の概要(英文)：We carried out a pioneering research to produce an energy-extended photon beam via Compton scattering of high-intensity soft X-rays at BL07A of the electron storage ring "NewSUBARU". The soft X-rays were radiated from an undulator and backwardly reflected into the original storage ring by using a Mo/Si multi-layer mirror. The newly developed multi-layer mirror has a reflectance of 66% with a cylindrically polished surface so as to make a focus at the Compton scattering point. We succeeded in observing both radiated and reflected X-rays at a wire scanner detector that was installed in the middle of the beamline. In addition, we confirmed that prepared gamma-ray detectors (a PWO electromagnetic calorimeter and a beam profile monitor) satisfied the performance conditions required to measure the photon beam. We sufficiently attained the aim to develop fundamental techniques for the high-energy photon beam production based on the soft X-ray Compton scattering.

研究分野：原子核(ハドロン)物理実験

キーワード：光子ビーム コンプトン散乱 軟X線 アンジュレータ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) GeV領域の偏極光子ビームを用いたハドロン光生成実験は、宇宙を構成するハドロン粒子の内部構造や性質、質量の起源等を研究する上で重要な役割を果たしている。近年では、光生成実験によるハドロン研究を更に進展させるため、光子ビームを飛躍的に高エネルギー化させて質量の大きいハドロン粒子を生成できる施設が求められるようになった。特に、非摂動的な「強い相互作用」で特徴的に現れると期待されているグルーボールやハイブリッド中間子は、現在我々が進めている SPring-8 の LEPS・LEPS2 実験では光子ビームのエネルギーが不足生成すらできない。以上の状況を鑑み、将来の次世代光生成実験推進を念頭に最大 5 GeV 程度までのエネルギーを持つ偏極光子ビームを生成する新手法の創出を着想した。

(2) SPring-8 の LEPS・LEPS2 実験では、8 GeV の電子蓄積リングに紫外レーザー光を入射して最大 2.4 GeV の光子ビームを生成・利用している。しかし、高輝度化を目指して蓄積電子エネルギーを 6 GeV に下げる SPring-8- が計画されており、レーザー入射によるコンプトン散乱に固執する限り光子ビームエネルギーの大幅な低下が避けられない。そこで、コンプトン散乱による光子ビーム生成の長所を活かしつつ、電子蓄積リングへ入射するシード光をレーザーより波長の短い軟 X 線に置き換えることで大幅な高エネルギー化を達成する開発研究を構想するに至った。軟 X 線を入射すれば、SPring-8- においてでも最大 5.4 GeV の光子ビームが得られる。

(3) 本研究は、偏極光子ビームの高エネルギー化を謳うのみならず、現実的な実用化の可能性を強く意識している。高エネルギー電子とのコンプトン散乱でエネルギー増幅する軟 X 線 (92 eV) は、keV 領域の硬 X 線に比べて散乱断面積が大きく、紫外レーザー (3.5 eV) の場合の 1/3 程度で済むため、実用に耐える光子ビーム強度が期待できる。更には、多層膜ミラー等による軟 X 線の光学制御が放射光利用や宇宙観測などの研究で技術的に進歩している他、アンジュレータによる偏極制御も可能になってきており、研究開発の実現性・発展性が高い。

2. 研究の目的

(1) ハドロン研究においてユニークな特徴を発揮する光子ビームを飛躍的に高エネルギー化するため、軟 X 線を電子蓄積リングでコンプトン散乱させる新光源技術を研究・開発する。軟 X 線源として電子蓄積リングに挿入されたアンジュレータを用い、放射された軟 X 線を本研究で重点的に開発する多層膜ミラーにより 180 度方向へ反転反射する。反射した軟 X 線は元の電子蓄積リングへ再入射し、コンプトン散乱を起こすことによって高エネルギー光子ビームを生成する。細く絞られた電子ビームと正面衝突させるために反射軟 X 線を精密に方向制御する装置系やモニター系、およびコンプトン散乱後に生成される光子ビームのエネルギー分布・プロファイル・強度を測定するためのガンマ線検出器系を開発する。開発した要素技術について、性能・動作を実証する実験を行う。

(2) 開発した要素技術を実際の電子蓄積リングで適用・統合する試験を進める。最終的に、アンジュレータから放射される大強度軟 X 線のコンプトン散乱による高エネルギー光子ビーム生成を世界で初めて観測する。生成された光子ビームのエネルギー分布を測定してコンプトン散乱の発生による光子エネルギーの増幅を確認する他、ビーム強度も測定して定量的な強度計算方法と比較することにより将来の次世代ハドロン光生成実験に必要な水準が達成できることを実証する。多層膜ミラーで反射した軟 X 線をコンプトン散乱点で集光させる技術的な研究がビーム強度の向上にとって重要なポイントとなる。

3. 研究の方法

(1) 本研究は、SPring-8 と同じキャンパスにある電子蓄積リング“ニュースバル”(蓄積電子エネルギー 1 GeV または 1.5 GeV の運転が可能) のビームライン BL07A において一連の開発を行った。BL07A は 2.28 m 短尺アンジュレータが使用でき、本研究でターゲットとする波長 13.5 nm (92 eV) の軟 X 線が大強度で得られる。軟 X 線強度の減衰を避けるため X 線制御および検出は全て真空中で行う必要があり、本研究に使用する真空チェンバー 2 式を既存ビームラインで共用できるように新しく設計した上で設置した。上流側の円筒チェンバーではモニター用の X 線検出器系、下流側の大型チェンバーでは軟 X 線反射用の多層膜ミラーとその制御系をインストールし、 10^{-6} Pa の超高真空とした。

(2) 軟 X 線 (波長 13.5 nm) の反転反射には、昨今の技術的進歩により実績が蓄積されつつある Mo/Si 多層膜ミラーを採用した。多層膜を形成する基板には、アンジュレータからの高次 X 線放

射による入熱でも歪みにくい低膨張ガラス、および水冷式のミラーホルダーへの熱伝導が良いシリコンの二種類を試した。基板の反射面は、反射光を遠く離れた電子蓄積リング直線部で集光するため微小な凹面加工を施すと同時に、反射率を上げる目的で表面の粗さが RMS0.5 nm 以下となるように高精度研磨した。多層膜ミラーと水冷式ホルダーは軟 X 線反射方向およびミラー位置を精密制御する自動ステージ式に取り付け、全体を大型真空チェンバー内に設置した。

(3) アンジュレータから放射されて多層膜ミラーで反射される軟 X 線を両方向で検出し、それらの通過位置とプロファイルを精密にモニターするワイヤスキャナー型 X 線検出器を開発した。放射光と反射光の相対強度も同検出器で測定できる。この X 線検出器は、上下に駆動するアルミナ蛍光板製簡易モニターと共にビームライン上流側の円筒真空チェンバーに設置し、反射 X 線の方向制御で用いた。

(4) 多層膜ミラーにより電子蓄積リングへ再入射する軟 X 線は、加速器直線部にあるアンジュレータ中央部でコンプトン散乱させる。コンプトン散乱によって生成された光子ビームは、ビームライン途中で 2 つのブランチに X 線を振り分ける切替鏡の下流側スペース（加速器直線部の延長線上で大気中）にガンマ線検出器系を設置して検出する。ガンマ線検出器系は 3 部から成り、光子ビームのエネルギー分布を測定する目的で 9 本組の PWO 結晶に光電子増倍管を取り付けた電磁カロリメータ、2 mm 角のシンチレーティングファイバーを 25 本ずつ水平・垂直方向に並べたビームプロファイルモニター、データ収集系のトリガー信号を作ると同時に光子ビーム強度を測定するプラスチックシンチレーター検出器系を開発した。

(5) 開発した多層膜ミラーおよび各検出器は、アンジュレータから実際に放射される軟 X 線および電子蓄積リング稼働中に残留ガスによって発生する制動放射ガンマ線を用いて、順に性能と動作の確認を行った。その結果から必要な改修を各要素技術へフィードバックし、特に多層膜ミラーについては基板材質・製作方法を換えて二度製作した。最終的に全ての要素技術を統合した上で、ニュースバル BL07A において軟 X 線コンプトン散乱による高エネルギー光子ビーム生成を観測し、電子蓄積リングの運転エネルギーが 1 GeV および 1.5 GeV の場合双方で光子ビーム特性の定量測定を行う。92 eV の軟 X 線の入射に対してそれぞれの運転エネルギーで得られる光子ビームの最大エネルギーは、0.58 GeV と 1.02 GeV となる。

4. 研究成果

(1) アンジュレータ放射軟 X 線のコンプトン散乱で鍵となる Mo/Si 多層膜ミラーの開発と一連の試験を進め、基板材料の選定から設置方法まで実用で必要となる基本的ノウハウを蓄積することができた。本研究ではまず、ニュースバルのアンジュレータから放射される軟 X 線のビーム形状および BL07A の光学機器形状をインプットに、どのような反射面形状を持った多層膜ミラーであれば反射後の軟 X 線を電子蓄積リングの直線部で集光させられるかを割り出せる光学シミュレーションを構築した。その結果、反射面形状として曲率半径 16.7 m の円筒型凹面が必要であることが分かった。次に、ミラー基板の材料として低膨張の石英ガラスを選定し、円筒型凹面状に高精度研磨した一つ目のミラー試作品を製作した。この際、安価に反射面を作る方法として、応力をかけてガラス基板を円筒型凸面状に曲げた上で平面研磨し、最後に応力を外す独創的な手法を試した。応力で作る凸面の曲率半径はニュートンフリンジ法により調整した。研磨した反射面には、Mo と Si を交互に 50 層ずつ等周期に積層した。低膨張ガラス基板による多層膜ミラーを使って後述する一通りの試験を終えた後、熱伝導性に優れたシリコンを基板材料とした 2 つ目のミラー試作品も製作した。このミラーでは円筒型凹面状の反射面を磁性流体研磨で作ったが、安価にするためスペックを若干落とした初期段階の研磨に留めた。作製した反射面を原子間力顕微鏡と超高精度三次元測定器で詳細に測定した結果、それでも研磨精度が一つ目の試作ミラーより優れており、面粗さは RMS0.2 nm、円筒型凹面の設計値からのずれが 134 nm 以内を達成していることが分かった。一つ目と同様に Mo/Si 多層膜を等周期形成してニュースバルの別ビームラインで軟 X 線照射試験を行ったところ、反射率は設計計算に近い 66% が得られたと同時に、拡散成分の少ない良好状態であることが分かった。最終的なコンプトン散乱試験には二つ目の多層膜ミラーを使用することを決定した。

(2) ニュースバルのアンジュレータから放射される X 線スペクトルを高次まで考慮した上で熱負荷計算を行い、多層膜ミラーの吸熱が 2 W 程度に抑えられることが分かった。これを基に多層膜ミラーを取り付けるホルダーに水冷配管を設計し、BL07A の真空チェンバー内に設置した精密自動ステージ上に取り付けた。Mo/Si 多層膜ミラーの耐熱温度は摂氏 300 度であるため、真空チェンバー内で実際にアンジュレータ放射 X 線を照射し、温度上昇試験を行った。温度測定は、真空チェンバーのビューポートに赤外線透過する ZnSe 窓を取り付けた上で放射温度計を用いて行った。低膨張ガラス製の多層膜ミラーを使った試験では、ミラー表面が照射後 30 分で約 200 度まで上昇することが判明した。多層膜の耐熱温度以下に保たれていることは確認できたが、超高真空中でミラー基板から水冷式ホルダーへの熱伝導が悪く、2 W 程度の吸熱でも十分に取られていないことが分かった。ミラー基板の熱歪みによる集光性能低下が想定されるため、この結

果からもシリコン基板製の多層膜ミラーを採用する優位性が確認できた。また、ミラー基板と水冷式ホルダーの間にはインジウムシートを挟むことも決めた。

(3) アンジュレータから下流へ向かう軟 X 線と多層膜ミラーで反射されて上流へ戻る成分の双方について、ビーム位置とプロファイル、相対強度を測定するワイヤースキャナー型 X 線検出器を開発し、専用の真空チェンバー内に設置した。検出器開発においては、X 線照射による光電効果で微小電流を生じるタングステンワイヤーを水平・垂直の二方向に張り、低速度で移動するエアシリンダー式駆動装置でスキャンする方式を採用した。これにより軟 X 線の反射方向を多層膜ミラーと一体の精密自動ステージで制御するための指標が得られる他、反射光の拡がりや強度が想定通りであるか確認できるようになった。アンジュレータから放射された軟 X 線の照射試験でワイヤースキャン中に流れた微小電流をピコアンメータで測定した結果を図 1 に示す。移動するワイヤーの位置は、ポテンシオメーターによる電圧測定から換算している。ビームライン上で設定したスリット幅と一致する標準偏差を持つ X 線プロファイルが観測された他、アンジュレータのギャップ設定時（アンジュレータからの軟 X 線放射時）と開放時（偏向電磁石からのみの放射時）の強度比がシミュレーションと一致することも確認され、良好な動作結果が得られた。

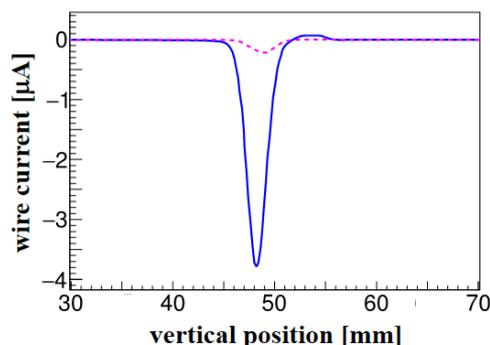


図 1 ワイヤースキャナー型 X 線検出器によるアンジュレータ光の垂直方向プロファイル。実線がギャップ 48 mm、破線がギャップ開放時を示す。

(4) コンプトン散乱で生成する高エネルギー光子ビームを測定するガンマ線検出器系の開発と設置についても順調に終了した。光子ビームのエネルギー分布を測定する電磁カロリメータは、20 mm 角 × 200 mm 長の PWO 結晶 9 本を正方形状に組み上げ、2 インチのブースター付き光電子増倍管一本で信号を読み出す構造とした。開発した PWO 電磁カロリメータのエネルギー分解能は、東北大学電子光物理学研究センターの陽電子ビームラインで測定し、エネルギー 1 GeV に対して 1.7% と良好に評価できた。更に PWO 電磁カロリメータをニュースパルの加速器トンネル内の切替鏡下流に設置して残留ガス制動放射光のエネルギー分布を測定する試験を行った。図 2 はこの試験時に得られたエネルギー分布（較正前の ADC 分布）を示したものであり、蓄積電子エネルギーが 1 GeV および 1.5 GeV の時の結果を重ね書きしている。概ねエネルギーに反比例する制動放射光スペクトルが得られた他、2 つの分布の最大エネルギーが蓄積電子エネルギーの比と合致していることが確認できた。また、光子ビームの運動学的な拡がりを測定するプロファイルモニターも開発し、薄い金属で電子・陽電子対生成したガンマ線を網の目状に並べた合計 50 本のシンチレーティングファイバーで検出し、水平・垂直方向一対の信号をマルチピクセル・フォトンカウンタ (MPPC) で読み出す構造とした。やはり残留ガス制動放射光を用いた検出器試験で動作の実証を進め、図 3 に示す通り $1/\gamma$ (γ は電子ビームのローレンツ因子) の拡がりとも一致したプロファイルを観測することができた。これらのガンマ線検出器系のデータ収集は VME 規格をベースに構築し、電子・陽電子対生成用の金属薄板の前後に配置したプラスチックシンチレータ（上流側はベトー用）でトリガー信号を作った。トリガー信号の計数率から求めた制動放射光強度は 10^3 個/秒であり、コンプトン散乱で期待される光子ビーム強度より一桁程度小さいことが

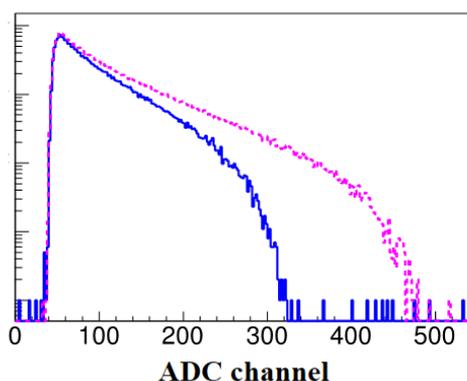


図 2 PWO 電磁カロリメータで測定した残留ガス制動放射によるガンマ線のエネルギー分布。実線がニュースパルの 1 GeV 運転時、破線が 1.5 GeV 運転時を示す。

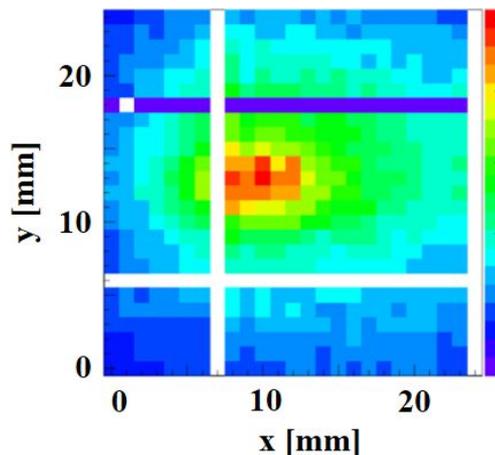


図 3 シンチレーティングファイバー製ビームプロファイルモニターによる制動放射ガンマ線の二次元プロファイル。

確認できた。

(5) 以上に述べてきた通り、軟 X 線コンプトン散乱による高エネルギー光子ビームの生成・観測に必要な装置の開発と整備、性能評価は終わり、各要素技術の実証に成功している。これらの開発技術を組み合わせた試験も段階的に終わっており、特にニュースバル BL07A でアンジュレータから放射された軟 X 線を Mo/Si 多層膜ミラーで実際に反射させ、ワイヤースキャナー型 X 線検出器で観測する試験にも成功している。この際、精密自動ステージで多層膜ミラーの設置角度を少しずつすることで、放射光と反射光を同時に検出することができている。また、反射光の拡散成分が十分に抑えられていることも分かった。これまでの開発からフィードバックを得て製作したシリコン基板製の多層膜ミラーが最終的に完成し、あとはコンプトン散乱試験のみを残している。本研究を推進する過程においては共用ビームラインの使用に対する配慮が必要であっただけでなく、コロナ禍による移動制限や施設利用の停止、ニュースバルの電子ビーム入射器更新による長期の加速器シャットダウンが行われたため、期間内にコンプトン散乱の観測を終えられなかったが、目標とする高エネルギー新光源技術の基本開発と実証は完了することができた。今後速やかに軟 X 線コンプトン散乱の初観測および生成光子ビームの測定を行い、コンプトン散乱の運動学に照らし合わせて想定通りの光子ビーム特性が得られていることを確認する。更に、次世代ハドロン光生成実験に向けて実用化に焦点を当てた研究開発を、2022 年度から新規に開始した基盤研究(B) (22H01225) で継続する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Norihito Muramatsu, Masahiro Okabe, Shinsuke Suzuki, Schin Date, Hajime Shimizu, Haruo Ohkuma, Kazuhiro Kanda, Shuji Miyamoto, Tetsuo Harada, Takeo Watanabe, Manabu Miyabe, and Atsushi Tokiyasu	4. 巻 21
2. 論文標題 Experimental studies to produce a high energy photon beam by inverse Compton scattering of soft X-rays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 LASTI Annual Report	6. 最初と最後の頁 39-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 村松 憲仁, 岡部 雅大, 鈴木 伸介, 伊達 伸, 清水 肇, 大熊 春夫, 神田 一浩, 宮本 修治, 原田 哲男, 渡邊 健夫, 宮部 学, 時安 敦史	4. 巻 16
2. 論文標題 軟X線を用いた逆コンプトン散乱による高エネルギーガンマ線ビームの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 加速器	6. 最初と最後の頁 154-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Norihito Muramatsu, Masahiro Okabe, Shinsuke Suzuki, Schin Date, Hajime Shimizu, Haruo Ohkuma, Kazuhiro Kanda, Shuji Miyamoto, Tetsuo Harada, Takeo Watanabe, Manabu Miyabe, and Atsushi Tokiyasu	4. 巻 2018
2. 論文標題 Production of a high energy beam via inverse Compton scattering of soft x-rays from a short undulator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ELPH Annual Report	6. 最初と最後の頁 97-101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Masahiro Okabe, Norihito Muramatsu, and Isamu Ishikawa	4. 巻 2018
2. 論文標題 Development of Multilayer Mirror for Producing a Next-generation Photon Beam	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ELPH Annual Report	6. 最初と最後の頁 102-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Norihito Muramatsu, Masahiro Okabe, Shinsuke Suzuki, Schin Date, Hajime Shimizu, Haruo Ohkuma, Kazuhiro Kanda, Shuji Miyamoto, Tetsuo Harada, Takeo Watanabe, Manabu Miyabe, and Atsushi Tokiyasu	4. 巻 20
2. 論文標題 Production of a high energy beam via backward Compton scattering of soft X-rays from a short undulator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 LASTI Annual Report	6. 最初と最後の頁 22-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Norihito Muramatsu, Shinsuke Suzuki, Haruo Ohkuma, Schin Date, Kazuhiro Kanda, Shuji Miyamoto, Tetsuo Harada, Takeo Watanabe, Hajime Shimizu, Manabu Miyabe, Atsushi Tokiyasu, and Masahiro Okabe	4. 巻 2020
2. 論文標題 Development of the multi-layer mirror for the production of a high-energy photon beam by X-ray Compton scattering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ELPH Annual Report	6. 最初と最後の頁 49-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Norihito Muramatsu, Shinsuke Suzuki, Haruo Ohkuma, Schin Date, Kazuhiro Kanda, Shuji Miyamoto, Tetsuo Harada, Takeo Watanabe, Hajime Shimizu, Manabu Miyabe, Atsushi Tokiyasu, Masahiro Okabe	4. 巻 22
2. 論文標題 Development of a new -beam source by X-ray Compton scattering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 LASTI Annual Report	6. 最初と最後の頁 29-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 村松憲仁
2. 発表標題 電子加速器を利用した新しい1GeVガンマ線源の開発と展望
3. 学会等名 第26回FELとHigh-Power Radiation研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡部雅大
2. 発表標題 軟X線の逆コンプトン散乱による高エネルギー光子ビームの開発
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村松憲仁
2. 発表標題 BL07Aを利用した軟X線の逆コンプトン散乱による高エネルギーガンマ線生成
3. 学会等名 ニュースバルシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡部雅大
2. 発表標題 アンジュレーター放射軟X線の逆コンプトン散乱による高エネルギーガンマ線ビームの開発
3. 学会等名 ELPHシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木伸介
2. 発表標題 軟X線を用いた高エネルギー線発生
3. 学会等名 RCNP研究会「ガンマ線ビームを用いた原子核・ハドロン 物理の新局面と今後の展望」(招待講演)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 大熊春夫
2. 発表標題 コンプトンガンマ線用入射フォトンソースとしての極短周期アンジュレータの可能性
3. 学会等名 RCNP研究会「ガンマ線ビームを用いた原子核・ハドロン 物理の新局面と今後の展望」
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 岡部雅大
2. 発表標題 次世代光子ビームに用いる多層膜ミラーの開発
3. 学会等名 RCNP研究会「ガンマ線ビームを用いた原子核・ハドロン 物理の新局面と今後の展望」
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 N. Muramatsu
2. 発表標題 Hadron physics with Photon Beams: Future Prospects of the Experiments at SPring-8
3. 学会等名 RCNP Workshop “RCNPでの次期計画検討会”（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岡部雅大	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東北大学 修士論文	5. 総ページ数 55ページ
3. 書名 軟X線の逆コンプトン散乱による高エネルギー光子ビームの開発	

〔産業財産権〕

〔その他〕

本科研費による研究のホームページ「アンジュレーター放射軟X線の逆コンプトン散乱で実現する高エネルギー偏極光子ビーム」を運用し、成果を公表している。
<http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~mura/kaitaku/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鈴木 伸介 (Suzuki Shinsuke) (00416380)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・光源基盤部門・特別嘱託研究職員 (84502)	
研究分担者	伊達 伸 (Date Schin) (10372145)	大阪大学・核物理研究センター・特任教授 (14401)	
研究分担者	清水 肇 (Shimizu Hajime) (20178982)	東北大学・電子光理学研究センター・名誉教授 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 RCNP研究会「ガンマ線ビームを用いた原子核・ハドロン 物理の新局面と今後の展望」	開催年 2018年～2019年
---	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------