

令和 6 年 9 月 17 日現在

機関番号：13901
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20H01916
研究課題名（和文）100TeV超ガンマ線観測の開拓による銀河系内・系外宇宙線加速の総合的理解

研究課題名（英文）Comprehensive Understanding of Galactic and Extragalactic Cosmic-ray Acceleration by Exploring Gamma-ray Observations beyond 100 TeV

研究代表者
奥村 暁 (Okumura, Akira)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・講師

研究者番号：90645011
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では次世代ガンマ線望遠鏡であるチェレンコフ望遠鏡アレイ（CTA）の小口径望遠鏡の焦点面カメラを開発し、銀河宇宙線をPeV帯域のエネルギーまで加速する観測手法の確立を目指した。新型コロナウイルスによる海外共同研究の大きな遅延と、CTAプロジェクト全体の遅延により新規開発の焦点面カメラを用いた試験観測には至らなかったものの、最終的に70台を製造する焦点面カメラの最終設計に近い段階まで製作や試験を完了することができた。国際共同研究のうち名古屋大学で担当した半導体光検出器の性能評価や光学シミュレーションによる望遠鏡性能評価の結果などを国際会議等で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では紫外線を観測可能な新型の半導体光検出器と、その出力を高速に読み出す専用の波形記録回路を組み合わせることで、宇宙ガンマ線が地球大気中で生じる大気チェレンコフ光を1ナノ秒ごとに連続撮影する超高速カメラを開発した。これにより半導体技術や集積回路技術を前進させるだけでなく、ガンマ線観測や周辺領域での同様の技術の転用が可能になった。将来的にはこの技術で銀河系内宇宙線加速天体の発見が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：In this research, our objective was to develop the focal-plane camera for the Small-Sized Telescopes of the Cherenkov Telescope Array, the next-generation gamma-ray observatory, and to establish an observational method to search for Galactic cosmic-ray accelerators capable of elevating the cosmic-ray energies to the PeV energy band. Because of the difficulty in international collaboration after COVID-19 and delays in the CTA project, we were unable to finish test observations of gamma-ray sources using our first Cherenkov camera. However, we have nearly finalized the design of the camera intended for mass production, which includes up to 70 units. Nagoya University played a key role in the performance evaluation of silicon photomultipliers and the optical simulation of the telescope optical system. The results of this work were presented at international conferences.

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：宇宙線物理学 ガンマ線天文学 チェレンコフ望遠鏡アレイ（CTA） 半導体光検出器

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

銀河系内では $10^{15} \sim 10^{18}$ eV、また銀河系外では 10^{20} eV のエネルギーにまで達する高エネルギーの荷電粒子である宇宙線はどのような天体で加速されているのか(宇宙線の加速起源)、またどのような環境と機構で加速されているのか(宇宙線の加速機構)、これら2つの問いは、高エネルギー宇宙物理学の長年にわたる研究課題である。

宇宙線は星間磁場や銀河間磁場によるローレンツ力でその進行方向を曲げられてしまうため、地球近傍で宇宙線の観測をしても天体の位置情報を得ることができず、宇宙線の加速起源に迫ることは困難である。また、加速天体を発見することができなければ天体種別の決定や加速環境の特定もできないため、宇宙線の加速機構を宇宙線観測そのものから調べることも困難である。

このような荷電粒子の観測における問題を解決するためには、ガンマ線やニュートリノといった電荷を持たない高エネルギーの中性粒子により宇宙を観測する必要がある。高エネルギー天体近傍には高密度の星間物質や強い磁場が存在すると考えられるため、高エネルギー宇宙線がこれら標的に衝突すれば高エネルギーガンマ線や高エネルギーニュートリノを発生させる。

したがって、大きな有効面積と高い角度分解能を有するガンマ線望遠鏡を実現すれば、先頭で述べた宇宙線の加速起源と加速機構を解明できる可能性がある。

実際、現在稼働中の HESS 望遠鏡や MAGIC 望遠鏡などの地上ガンマ線望遠鏡では、超新星残骸や銀河中心などの銀河系内天体からの高エネルギーガンマ線放射を多数発見し、宇宙線加速天体を解き明かしつつある。また Tibet 実験や LHAASO 実験などの地上空気シャワーアレイ実験でも、ガンマ線の全天長時間観測によって多数のガンマ線天体が 10^{15} eV (1 PeV) 帯域で見つかりつつある。

しかし高エネルギー宇宙線のうち特にハドロン成分(陽子や原子核)の加速天体はまだ確定されておらず、数 PeV まで効率良く宇宙線陽子を加速する天体がどこにあるのかは不明なままである。

これを解決するには、広大な有効面積で長時間の観測が可能であり、なおかつ角度分解能に優れたガンマ線望遠鏡が必要である。この目的のために計画されているのが次世代のガンマ線望遠鏡計画であるチェレンコフ望遠鏡アレイ(Cherenkov Telescope Array, CTA)であり、2020年代の観測開始を目指し、望遠鏡光学系と焦点面カメラの要素開発が進められてきた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、CTA の高エネルギー帯域(1~300 TeV)の観測を担う小口径望遠鏡の装置開発を進め、2020年代後半に完成と観測開始が見込まれる CTA による銀河系内宇宙線加速天体の発見能力を実現することである。

小口径望遠鏡は到来頻度の低い高エネルギーガンマ線の観測に特化するため、70台の多数の望遠鏡を南半球の CTA 観測サイトに展開し、数平方キロメートルの有効検出面積を実現する。そのためには微弱な大気チェレンコフ光を高感度で検出可能な半導体光検出器の使用が必要であり、また地上で数ナノ秒の継続時間しか持たない大気チェレンコフ光を夜空の明るさから弁別して高速撮像する必要がある。

本研究ではこのような特長を持った半導体光検出器と高速読み出し回路の開発、またこれら装置の性能評価を進め、小口径望遠鏡の量産前にカメラ設計を最終化することが目的である。計画当初の目的では量産型カメラ1号機を用いた試験観測まで進める予定であったが、新型コロナウイルスによる国際共同研究の遅れや、CTA プロジェクト全体の遅延により、カメラ1号機的设计最終化までを新たな研究目的とした。

またプロジェクトの遅れにより半導体光検出器の長期安定性試験を行う時間的余裕が発生したため、1年程度をかけて半導体光検出器の安定性評価を追加で実施することとした。

3. 研究の方法

本研究は国際共同研究として進めたため、ドイツのマックスプランク核物理学研究所、ドイツ電子シンクロトロン、エアランゲン大学、またイギリスのレスター大学、ダラム大学などと連携

して焦点面カメラの開発を行なった。

研究代表者の奥村は名古屋大学で半導体光検出器の性能評価や光学シミュレーションを主に担当し、海外研究機関への滞在（別の科研費による）やオンライン会議などを通じて、カメラ全体の設計や開発方針の検討を進めた。

半導体光検出器の性能評価では主に、光検出効率の波長依存性の測定、光検出効率の入射角度依存性の測定、シリコン半導体表面の保護層による干渉効果のシミュレーションと実測による評価、光学的クロストークの測定、長期使用時における故障の発生率評価と故障モードの検証などを行なった。

光学シミュレーションでは、これまで望遠鏡の簡易的な構造しか考慮されていなかったモンテカルロシミュレーションに、望遠鏡構造やカメラ筐体構造を細部まで取り込み、それがどのように光学系有効面積に影響を与えるか、またカメラ筐体の設計をどのように最適化するべきかの評価・検討を行なった。

また半導体光検出器を使用した新しい焦点面カメラの将来検討も進め、これまでの半導体光検出器の性能評価と光学シミュレーションを組み合わせることで、多層膜フィルターを使った光検出器の開発・設計も行なった。

4. 研究成果

図 1 に示すように、望遠鏡光学系および焦点面カメラ筐体の細部構造までを取り入れた光学シミュレータを開発し、焦点面に置かれた半導体光検出器アレイへの入射角度分布や空間分布の評価を行なった。これによりカメラ筐体の外形として許容される最大径の検討や、カメラ入力窓の最小径の検討を行えるようになり、カメラ設計の最終化が可能になった。また、これまではカメラ視野内での有効面積が光軸を中心に回転対称であると考えられてきたが、このシミュレーションにより望遠鏡構造の作り出す非一様性も明らかになり、今後のモンテカルロシミュレーションに反映させる予定である。この成果は国際会議で発表した。

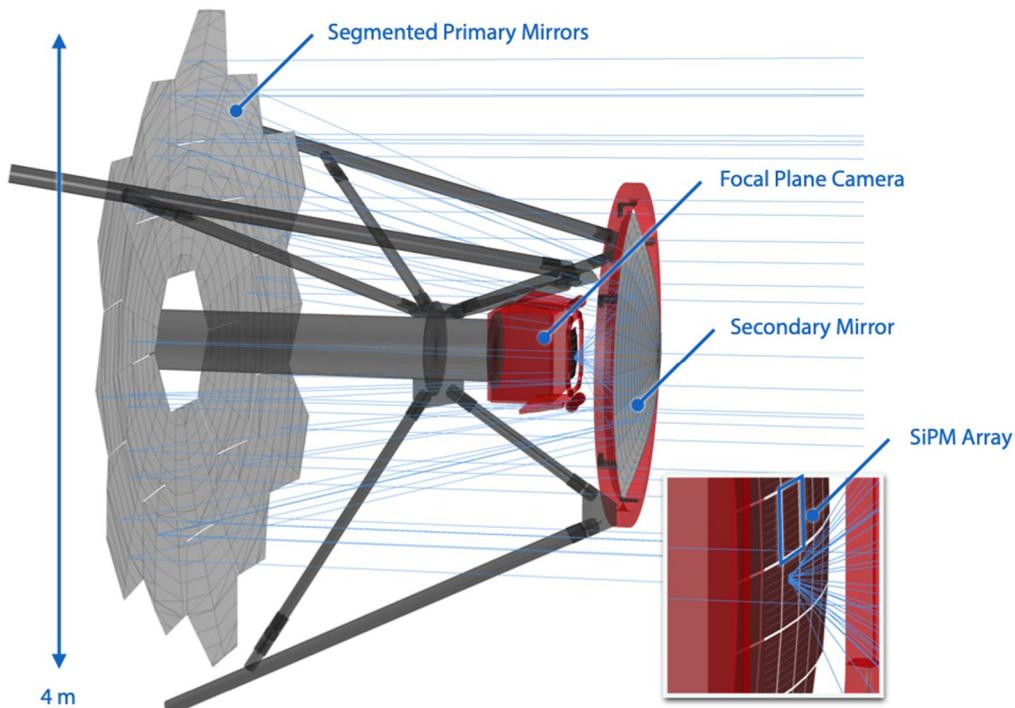


図 1. 望遠鏡光学系と焦点面カメラ筐体の細部構造まで取り入れた光学シミュレーションの例

半導体光検出器の性能評価では、光検出効率や光学的クロストークなどの基本性能を調査するとともに、これまで考慮されてこなかった半導体表面の保護層による干渉効果を光学シミュレーションと実測で定量的に評価した。

従来の半導体光検出器は可視光測定に重点が置かれていたため、半導体表面にシリコン樹脂の保護層が取り付けられていた。しかし光学的クロストークの低減と紫外線検出感度の向上のためにはこの保護層を取り除くことが重要であると、我々の先行研究で判明していたため、本研究では保護層なしの半導体光検出器を採用した。

保護層なしと言ってもシリコン酸化物と窒化物による薄膜は形成されているため、これらが多層膜による干渉効果を生じ、光検出効率の波長依存性と入射角度依存性に特徴的な構造を与えてしまう。これを初めて定量評価し、その成果を国内学会で発表した。現在投稿論文を執筆中である。

また半導体光検出器の長期安定性試験を実施し、これまで時間的に安定であると思われていた暗電流が長期使用環境ではマルチモーダルな振る舞いを起こすことを発見した。この振る舞いは CTA の観測に影響するものではないが、半導体光検出器の暗電流を将来的に減らすためには重要な発見である。

このマルチモーダルな振る舞いの原因は特定の少数の APD セルで暗電流が突然増大することに起因していることまで明らかになった。なぜ暗電流の大きい APD セルが存在するのか、またそれが時間変動するのはなぜかは現時点で解明されていないが、今後の製品品質向上の足掛かりになると期待される。この測定の結果は複数の国内学会・研究会で発表済みであり、投稿論文も現在執筆中である。

これら成果と海外連携機関との協力により、図 2 に示す小口径望遠鏡用の焦点面カメラの最終設計がほぼ完了するまでに至った。

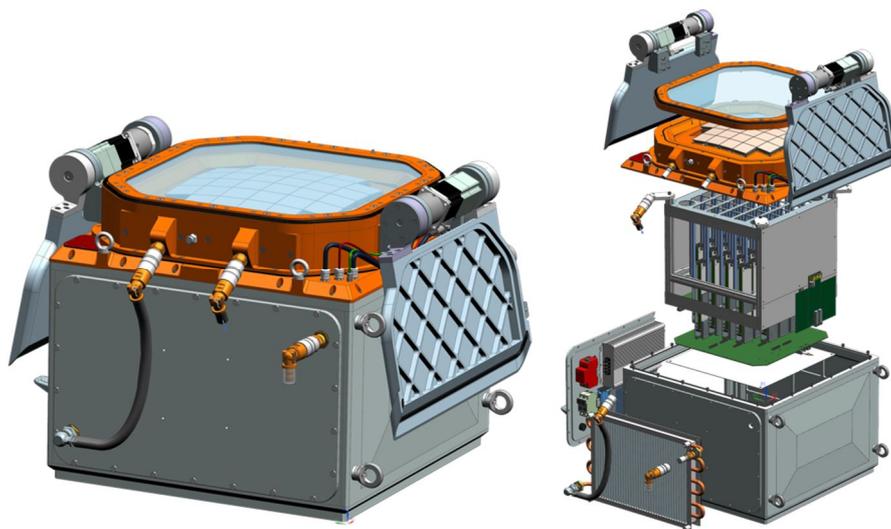


図 2. CTA 小口径望遠鏡の焦点カメラの最終設計 (左) と各構成要素の分解図 (右)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計53件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 48件 / うちオープンアクセス 51件）

1. 著者名 Adams Colin B., Ambrosi Giovanni, Ambrosio Michelangelo, Aramo Carla, Batista Pedro I., Benbow Wytan, et al.	4. 巻 11820
2. 論文標題 Technical and scientific performance of the prototype Schwarzschild-Couder telescope for CTA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE Conference Series)	6. 最初と最後の頁 118200E
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2594580	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 該当する
1. 著者名 Heller Matthieu, Abe Hyuga, Aguasca Arnau, Agudo Ivan, Antonelli Lucio Angelo, Aramo Carla, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of an advanced SiPM camera for the Large Size Telescope of the Cherenkov Telescope Array Observatory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0889	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 該当する
1. 著者名 Mazin Daniel, Abe Hyuga, Aguasca Arnau, Agudo Ivan, Antonelli Lucio Angelo, Aramo Carla, Armstrong Thomas, Artero Manuel, Asano Katsuaki, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Status and results of the prototype LST of CTA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 872
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0872	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 該当する
1. 著者名 Carosi Alessandro, Abe Hyuga, Aguasca Arnau, Agudo Ivan, Antonelli Lucio Angelo, Aramo Carla, Armstrong Thomas, Artero Manuel, Asano Katsuaki, Ashkar Halim, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 First follow-up of transient events with the CTA Large Size Telescope prototype	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 838
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0838	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 該当する

1. 著者名 Mode Brent, Adams C., Ambrosi G., Ambrosio M., Aramo C., Batista P. I., Benbow W., Bertucci B., Bissaldi E., Bitossi M., Boiano A., Bonavolonta C., Bose R., Brill A., Buckley J. H., et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Detection of the Crab Nebula by the prototype Schwarzschild-Couder Telescope	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 830
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0830	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 該当する

1. 著者名 Lopez-Coto Ruben, Abe Hyuga, Aguasca Arnau, Agudo Ivan, Antonelli Lucio Angelo, Aramo Carla, Armstrong Thomas, Artero Manuel, Asano Katsuaki, Ashkar Halim, Aubert Pierre, Baktash Ali, Bamba Aya, Baquero Larriva Andres, Baroncelli Leonardo, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Physics Performance of the Large Size Telescope prototype of the Cherenkov Telescope Array	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0806	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 該当する

1. 著者名 Grespan Pietro, Lopez-Coto Ruben, Nieto-Castano Daniel, Abe Hyuga, Aguasca Arnau, Agudo Ivan, Antonelli Lucio Angelo, Aramo Carla, Armstrong Thomas, Artero Manuel, Asano Katsuaki, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Deep-learning-driven event reconstruction applied to simulated data from a single Large-Sized Telescope of CTA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0771	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 該当する

1. 著者名 White Richard, Amans J.P., Berge D., Bonanno G., Bose R.B., Brown A.M, Buckley J.H., Chadwick P.M., Conte F., Cotter G., de Frondat F., De Simone N., Dournaux J.L., Duffy C.A., Einecke S., et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 The Small-Sized Telescopes for the Southern Site of the Cherenkov Telescope Array	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 728
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0728	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 該当する

1. 著者名 Ohtani Yoshiki, Berti Alessio, Depaoli Davide, Di Pierro Federico, Green David, Heckmann Lea, Hutten Moritz, Inada Tomohiro, Lopez-Coto Ruben, Medina Elisabetta, Moralejo Abelardo, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Cross-calibration and combined analysis of the CTA-LST prototype and the MAGIC telescopes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0724	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 該当する

1. 著者名 Kobayashi Yukiho, Okumura Akira, Cassol Franca, Katagiri Hideaki, Sitarek Julian, Gliwny Pawel, Nozaki Seiya, Abe Hyuga, Aguasca Arnau, Agudo Ivan, Antonelli Lucio Angelo, Aramo Carla, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Camera Calibration of the CTA-LST prototype	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0720	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 該当する

1. 著者名 Saito Takayuki, Batkovic Ivana, Becerra Gonzalez Josefa, Jimenez Martinez Irene, Lopez-Coto Ruben, Martinez Manel, Micanovic Sasa, Abe Hyuga, Aguasca Arnau, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Commissioning of the camera of the first Large Size Telescope of the Cherenkov Telescope Array	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0718	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 該当する

1. 著者名 Ribeiro Deivid, Adams C., Ambrosi G., Ambrosio M., Aramo C., Batista P. I., Benbow W., Bertucci B., Bissaldi E., Bitossi M., Boiano A., Bonavolonta C., Bose R., et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Prototype Schwarzschild-Couder Telescope for the Cherenkov Telescope Array: Commissioning the Optical System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0717	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 該当する

1. 著者名 Emery Gabriel, Alispach Cyril Martin, Abe Hyuga, Agasca Arnau, Agudo Ivan, Antonelli Lucio Angelo, Aramo Carla, Armstrong Thomas, Artero Manuel, Asano Katsuaki, Ashkar Halim, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Reconstruction of extensive air shower images of the Large Size Telescope prototype of CTA using a novel likelihood technique	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 716
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0716	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 該当する

1. 著者名 Foffano Luca, Carosi Alessandro, Della Volpe Domenico, Dalchenko Mykhailo, Heller Matthieu, Montaruli Teresa, Abe Hyuga, Agasca Arnau, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Monitoring the pointing of the Large Size Telescope prototype using star reconstruction in the Cherenkov camera	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 712
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0712	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 該当する

1. 著者名 de Bony de Lavergne Mathieu, Abe Hyuga, Agasca Arnau, Agudo Ivan, Antonelli Lucio Angelo, Aramo Carla, Armstrong Thomas, Artero Manuel, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of the Cherenkov Telescope Array first Large Size Telescope real data using convolutional neural networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0703	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 該当する

1. 著者名 Zanin Roberta, Abdalla H., Abe H., Abe S., Abusleme A., Acero F., Acharyya A., et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 CTA - the World's largest ground-based gamma-ray observatory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0005	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 該当する

1. 著者名 Okumura Akira	4. 巻 -
2. 論文標題 ROBAST 3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0183	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 H. Abe et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Development of an advanced SiPM camera for the Large Size Telescope of the Cherenkov TelescopeArray Observatory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0889	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 該当する

1. 著者名 H. Abe et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Status and results of the prototype LST of CTA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 872
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0872	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 該当する

1. 著者名 H. Abe et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 First follow-up of transient events with the CTA Large Size Telescope prototype	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 838
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0838	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 該当する

1. 著者名 B. Mode et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Detection of the Crab Nebula by the prototype Schwarzschild-Couder Telescope	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 830
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0830	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 該当する

1. 著者名 H. Abe et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Physics Performance of the Large Size Telescope prototype of the Cherenkov Telescope Array	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0806	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 該当する

1. 著者名 R. Lopez-Coto et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Deep-learning-driven event reconstruction applied to simulated data from a single Large-Sized Telescope of CTA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0771	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 該当する

1. 著者名 R. White et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 The Small-Sized Telescopes for the Southern Site of the Cherenkov Telescope Array	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 728
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0728	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 該当する

1. 著者名 Y. Ohtani et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Cross-calibration and combined analysis of the CTA-LST prototype and the MAGIC telescopes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0414	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 該当する

1. 著者名 Y. Kobayashi et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Camera Calibration of the CTA-LST prototype	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0720	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 該当する

1. 著者名 O. Blanch et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Commissioning of the camera of the first Large Size Telescope of the Cherenkov Telescope Array	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0718	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 該当する

1. 著者名 D. Ribeiro et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Prototype Schwarzschild-Couder Telescope for the Cherenkov Telescope Array: Commissioning the Optical System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0717	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 該当する

1. 著者名 C. Alispach et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Reconstruction of extensive air shower images of the Large Size Telescope prototype of CTA using a novel likelihood technique	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 716
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0716	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 該当する

1. 著者名 L. Foffano et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Monitoring the pointing of the Large Size Telescope prototype using star reconstruction in the Cherenkov camera	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 712
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0712	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 該当する

1. 著者名 H. Abe et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Analysis of the Cherenkov Telescope Array first Large Size Telescope real data using convolutional neural networks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0703	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 該当する

1. 著者名 A. Okumura	4. 巻 NA
2. 論文標題 ROBAST 3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0183	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 R. Zanin et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 CTA - the World's largest ground-based gamma-ray observatory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0005	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 該当する

1. 著者名 Colin B. Adams et al.	4. 巻 NA
2. 論文標題 Design and performance of the prototype Schwarzschild-Couder telescope camera	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 748
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0748	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 該当する

1. 著者名 Adams Colin B. et al.	4. 巻 8
2. 論文標題 Design and performance of the prototype Schwarzschild-Couder telescope camera	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems	6. 最初と最後の頁 NA
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JATIS.8.1.014007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Adams Colin B. et al.	4. 巻 11820
2. 論文標題 Technical and scientific performance of the prototype Schwarzschild-Couder telescope for CTA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 NA
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2594580	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Adams C.B., Okumura A. et al	4. 巻 128
2. 論文標題 Detection of the Crab Nebula with the 9.7-m prototype Schwarzschild-Couder telescope	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 102562 ~ 102562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2021.102562	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 該当する

1. 著者名 Acharyya A., Okumura A. et al	4. 巻 2021
2. 論文標題 Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array to a dark matter signal from the Galactic centre	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 057 ~ 057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/01/057	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 該当する

1. 著者名 Adams C., Okumura A. et al	4. 巻 982
2. 論文標題 Status of the development of NUV SiPMs for INFN optical modules for the SCT medium sized telescope proposed for the CTA observatory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 164486 ~ 164486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164486	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 該当する

1. 著者名 Depaoli D., Lapington J., Leach S., Okumura A., Sofia I., Tajima H.	4. 巻 1060
2. 論文標題 Silicon photomultipliers for the SST camera of the Cherenkov Telescope Array	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 169047 ~ 169047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2023.169047	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 該当する

1. 著者名 Abe H, Okumura A. et al	4. 巻 682
2. 論文標題 Multi-year characterisation of the broad-band emission from the intermittent extreme BL Lac 1ES 2344+514	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A114 ~ A114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202347845	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 該当する

1. 著者名 Abe H, Okumura A. et al	4. 巻 527
2. 論文標題 MAGIC detection of GRB 201216C at z= 1.1	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5856 ~ 5867
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad2958	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 該当する

1. 著者名 Abe H., Okumura A. et al	4. 巻 680
2. 論文標題 Performance of the joint LST-1 and MAGIC observations evaluated with Crab Nebula data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A66 ~ A66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202346927	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 該当する

1. 著者名 Abe K., Okumura A. et al	4. 巻 679
2. 論文標題 Star tracking for pointing determination of Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A90 ~ A90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202347128	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 該当する

1. 著者名 Abe H., Okumura A. et al	4. 巻 956
2. 論文標題 Observations of the Crab Nebula and Pulsar with the Large-sized Telescope Prototype of the Cherenkov Telescope Array	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 80 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ace89d	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 該当する

1. 著者名 Acharyya A, Okumura A. et al	4. 巻 523
2. 論文標題 Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array to TeV photon emission from the Large Magellanic Cloud	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5353 ~ 5387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad1576	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 該当する

1. 著者名 Acero F., Okumura A. et al	4. 巻 150
2. 論文標題 Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array to spectral signatures of hadronic PeVatrons with application to Galactic Supernova Remnants	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 102850 ~ 102850
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2023.102850	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 該当する

1. 著者名 Abe H., Okumura A. et al	4. 巻 266
2. 論文標題 Multimessenger Characterization of Markarian 501 during Historically Low X-Ray and γ -Ray Activity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 37 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/acc181	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 該当する

1. 著者名 Abe S., Okumura A. et al	4. 巻 673
2. 論文標題 Multiwavelength study of the galactic PeVatron candidate LHAASO J2108+5157	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A75 ~ A75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202245086	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 該当する

1. 著者名 Tajima H., Okumura A., Furuta K.	4. 巻 1049
2. 論文標題 Studies of propagation mechanism of optical crosstalk in silicon photomultipliers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 168029 ~ 168029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2023.168029	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 Okumura Akira, Haga Junya, Inoue Chiaki, Nishimoto Keiji, Furuta Kazuhiro, Tajima Hiroyasu	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a blue-mirror multilayer coating on light concentrators for future SiPM cameras	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 38th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.444.0673	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 Okumura Akira, Wakazono Kawori, Furuta Kazuhiro, Tajima Hiroyasu	4. 巻 -
2. 論文標題 Study on the gain and photon detection efficiency drops of silicon photomultipliers under bright background conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 38th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.444.0674	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 Okumura Akira, Ross Duncan, G. Saturni Francesco, Sironi Giorgia, White Richard	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of the effective mirror area of CTA Small-Sized Telescopes for camera design and Monte Carlo simulation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 38th International Cosmic Ray Conference	6. 最初と最後の頁 675
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.444.0675	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 該当する

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Akira Okumura
2. 発表標題 ROBAST 3
3. 学会等名 37th International Cosmic Ray Conference (ICRC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田島宏康、奥村暁、古田和浩
2. 発表標題 Detailed Studies of SiPM Delayed Optical Crosstalk
3. 学会等名 KEK Photosensor/Scintillator Workshop
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村暁
2. 発表標題 光線追跡シミュレーションへの多層膜フィルターの導入と SiPM での応用
3. 学会等名 KEK Photosensor/Scintillator Workshop
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芳賀純也、田島宏康、奥村暁、古田和浩
2. 発表標題 CTA 報告 197: CTA大・中口径望遠鏡のカメラのSiPM化に向けた、集光器を用いた夜光低減手法の検討(2)
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 若園香緒里、田島宏康、奥村暁、古田和浩
2. 発表標題 CTA 報告 198: 月光観測の背景光環境における小口径望遠鏡用SiPMの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奥村暁
2. 発表標題 CTA報告171: 小口径望遠鏡用SiPMの光検出効率の入射角度依存性
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田裕介
2. 発表標題 CTA報告180: 小口径望遠鏡の保護ガラスによるSiPMオプティカルクロストークの実測とシミュレーションによる評価
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 芳賀純也
2. 発表標題 CTA報告181: 大・中口径望遠鏡カメラSiPM化に向けた、集光器への多層膜蒸着による夜光低減の検討a
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田島宏康
2. 発表標題 SiPMのクロストーク特性
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村暁
2. 発表標題 Schwarzschild-Couder型のCTA 小・中口径望遠鏡の開発状況
3. 学会等名 日本天文学会 2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村暁
2. 発表標題 CTA報告164:小口径望遠鏡用SiPMの光検出効率の入射角度依存性
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 田島宏康
2. 発表標題 SiPM保護膜のクロストーク低減への影響
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 バンソンヒョン
2. 発表標題 CTA 報告 217: 最尤法を用いたCTA小口径望遠鏡の角度分解能の向上の検証
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河原崎琉
2. 発表標題 CTA 報告 216: 小口径望遠鏡用64チャンネルSiPMの暗電流の安定性試験
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥村暁
2. 発表標題 CTA 報告 215: 小口径望遠鏡の開発状況
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 溝手雅也
2. 発表標題 CTA 報告 214: CTA大口径望遠鏡のためのSiPMモジュールに装着する集光器の開発
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河原崎琉
2. 発表標題 CTA 報告 225: 小口径望遠鏡用 64 チャンネル SiPM の暗電流の安定性試験 (2)
3. 学会等名 日本物理学会 2024春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 奥村暁
2. 発表標題 CTA 小口径望遠鏡の開発状況
3. 学会等名 日本天文学会 2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 溝手雅也
2. 発表標題 CTA 大口径望遠鏡のための SiPM モジュールに装着する集光器の開発
3. 学会等名 日本天文学会 2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akira Okumura
2. 発表標題 Development of a blue-mirror multilayer coating on light concentrators for future SiPM cameras
3. 学会等名 The 38th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akira Okumura
2. 発表標題 Study on the gain and photon detection efficiency drops of silicon photomultipliers under bright background conditions
3. 学会等名 The 38th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akira Okumura
2. 発表標題 Evaluation of the effective mirror area of CTA Small-Sized Telescopes for camera design and Monte Carlo simulation
3. 学会等名 The 38th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 光学製品及び集光器	発明者 奥村暁、西本圭司、 井上知晶	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-031974	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光学製品及び集光器	発明者 奥村暁、西本圭司、 井上知晶	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/006466	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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
研究協力者	田島 宏康 (Tajima Hiroyasu)		
研究協力者	高橋 光成 (Takahashi Mitsunari)		

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0件

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
---------	---------