

令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：CTA 大口径望遠鏡の焦点面検出器開発
英文：Development of Focal Plane Instruments for the CTA Large Sized Telescopes

研究代表者 山本常夏 甲南大学

参加研究者 田中孝明, 千川道幸, 溝手雅也 (甲南大), 片桐秀明, 吉田龍生 (茨城大), (京都大), 櫛田淳子 (東海大), 折戸玲子 (徳島大), 奥村暁, 田島宏康, 高橋光成 (名古屋大), 手嶋政廣, Hadasch Daniela, Mazin Daniel, 大岡秀行, 齋藤隆之, 窪秀利, 野崎誠也, 森田開 (宇宙線研), 寺田幸功 (埼玉大)

研究成果概要

本計画により、CTA大口径望遠鏡(LST)に搭載する焦点面検出器を開発してきた。CTA計画は南北両半球に1か所ずつ観測所を建設し、そこに合計約100台のチェレンコフ望遠鏡を設置し、高エネルギーガンマ線を観測する国際共同実験である。口径3～23 mまでの複数の種類の望遠鏡を用いて20 GeVから300 TeVまでの高エネルギーガンマ線を高精度で探索できるように設計されている。本計画では口径23mの大口径望遠鏡(LST)の焦点に装着する検出器の開発、製造、維持、管理をスペイン、ドイツ、イタリアのグループと協力して行い、さらに将来に向けて装置の開発・改良も検討している。

LST1 (1号機) は現在も安定して観測を継続している。2025年度の運用の中で、数個のPixelおよび2つのクラスタに不具合が発生した。不具合の主な原因は、電源系回路やフロントエンド回路に関連するものである。現時点では故障数は限定的であり、観測性能全体に大きな影響は与えていないが、1年に1回程度の頻度で問題のあるモジュールを交換・修理している。

1号機に搭載されているPMT (光電子増倍管) は、後継機に採用されている7段ダイノード (7 Dy) 型とは異なり、8段ダイノード (8 Dy) 構造を採用している。この8段Dy型PMTは高い利得特性を持つ一方、現在は後継モデルへの移行が進んでいる。製造元であるHamamatsu Photonics は、この8段Dyモデルの生産終了を予定しているため、将来の保守に備えて予備PMTの追加生産を行った。

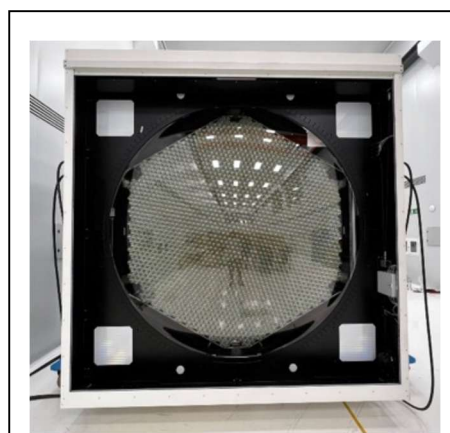


図 1.2 号機のカメラ。組み立て更正が終わり、2026 年 6 月に輸送、望遠鏡への装着が行われる予定。

1号機はこれまで単独観測、あるいは MAGIC 望遠鏡との共同観測を中心に運用されてきた。2026年度からは、建設が進んでいる2号機、3号機、4号機とのステレオ観測を開始する予定である。複数台によるステレオ観測では、同一空気シャワーを複数望遠鏡で同時観測することで、到来方向やエネルギーの再構成精度を大幅に向上させることができる。このため、現在データ収集系システムの更新を進めており、複数望遠鏡間で同期してトリガーを発生できるよう改良を行っている。

4号機については、カメラの望遠鏡への装着作業が完了し、現在は各種ケーブルの設置作業が進められている。一方、2号機および3号機のカメラは、2026年5～6月頃に観測サイトへ輸送し、それぞれの望遠鏡へ装着する予定である。これらの準備が完了すれば、LSTアレイとして本格的な多台数観測体制へ移行することになる。

また、イタリアグループがCTA南サイトへ設置予定の2台の大口径望遠鏡に関して、日本側はPMTおよびライトガイドの製造を担当した。特にライトガイドについては、一部プラスチック部品を製造していた企業が事業停止となる問題が発生した。このため、新たな企業において金型から再設計・再製作を行い、量産体制を立ち上げた。最終的に、日本で担当するすべての部品の製造・納品を完了している。

PMTに関する研究も大きく進展した。PMT内部に残留ガスが存在すると、加速された光電子によってガス分子がイオン化され、その結果として比較的大きな遅延パルス信号が発生する。この信号はアフターパルス（AP）と呼ばれ、大口径チェレンコフ望遠鏡における主要なノイズ源の一つとなっている。このAPについて、実験室における詳細な研究が行われた。

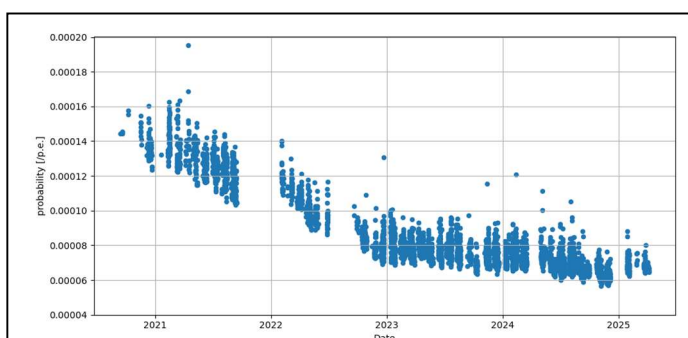


図 2. 実観測データを使ったアフターパルス推定。観測が進むとAPが減少してやがて一定値に収束していることが確認された。

その結果、まず時間の経過とともにHe分子がPMT内部へ侵入し、AP発生率を増加させることが分かった。一方で、APが発生すると生成されたガスイオンが金属電極やガラス表面に吸収され、残留ガス量が減少する。この効果によって、逆にAP発生確率が低下することも確認された。さらに、残留ガスのイオン化は、光電子数の多い後段ダイノードで主に発生しており、その大部分は実際にはAP信号として観測されないことも明らかとなった。これらの成果は、国際会議 Photon Detectors 2025 において発表され、論文 “Mechanism for reduction of the afterpulsing rate of PMTs”, K.Morita et.al., arXiv:2603.02545 として報告されている。

さらに、実験室測定だけでなく、実際の観測データを用いてAP発生確率を推定する新しい解析手法も開発した。その結果、カメラを夜光（night-sky background）に曝しながら観測を続けることでAP発生確率が徐々に低下し、約1年程度の運用後には一定値へ収束することが確認された。この結果は、PMT内部の残留ガス状態が実運用中に変化し、安定化していくことを示唆しており、今後のPMT運用や長期安定性評価において重要な知見となっている。