

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740121

研究課題名(和文)超小型衛星を用いたガンマ線バースト硬X線偏光観測実験

研究課題名(英文)Polarimetric observation of gamma-ray bursts utilizing a micro-satellite

研究代表者

谷津 陽一 (Yatsu, Yoichi)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号：40447545

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：我々はGRBプロンプト放射の偏光を系統的に理解するための超小型観測衛星を開発し打ち上げた。検出器には超高量子効率の耐震強化マルチアノードPMTやアバランシェフォトダイオード、読み出し回路には専用に設計したASICなど、最新の技術を採用し高性能なセンサシステムを構築し、KEK/PFでの入念な較正により設計性能が達成できていることを確認した。この衛星は2014年11月6日にカザフスタンから打ち上げられ、順調に初期運用を進めたが、約一週間後に通信機の不具合に遭遇し、地上からの制御が不可能な状態に陥った。研究期間の最終年では、テレメトリデータの詳細解析を行いこの不具合の原因を解明した。

研究成果の概要(英文)：Development and flight operation of a micro-satellite for polarimetry of gamma-ray burst prompt emission is reported. The gamma-ray detector system was equipped with the brand new technologies, such as high efficiency shock-resistive PMTs, avalanche photodiodes, and custom designed ASICs for signal readout, to achieve high sensitivity under the limited configuration. The pre-flight performance of the detector system was measured utilizing the synchrotron beam facility, and we confirmed that the detector satisfied the design performance. Finally the satellite was launched on Nov 6, 2014 from Kazakhstan. After the separation from the launch vehicle, the satellite successfully de-tumbled, acquired the sun and took spin-stabilized attitude with magnetic torquers. However the satellite encountered a fatal trouble in the RF communication system, meaning that the satellite became into the out of control. Therefore we carefully analyzed the telemetry data and clarified the failure point.

研究分野：X線・ガンマ線天文学実験

キーワード：偏光 ガンマ線バースト 超小型衛星 アバランシェ・フォトダイオード SiPM(MPPC)

1. 研究開始当初の背景

(1) ガンマ線バーストとジェット

ガンマ線バースト (GRB) は、宇宙のある一点から、数秒～数百秒のタイムスケールで強烈なガンマ線が放射される現象である。GRB の本質的な理解は、1990 年台末の X 線・可視光での残光検出から初めて進展し、大質量星の重力崩壊やコンパクト星の合体など、ブラックホールが誕生する瞬間の現象だと想像されるに至っている。

2000 年以降に得られた数多くの残光観測の結果は、GRB の元となる「爆風」が等方的ではなく、ある一方向に収束したジェット状に放射されているらしいこと、そして、そのローレンツ因子は典型的には 100 以上にも到達しているらしいことも分かってきた。しかしながら、重力崩壊のエネルギーを粒子加速に転換し、そしてその爆風を細く収束する「ジェット形成」の物理機構は今現在もほとんど解明されていない。

(2) 偏光観測

この謎の解明が難しいのは、GRB からの放射が既にジェット形成の完了した、中心エンジンから遠く離れた領域に起因するからである。シミュレーションによる研究では、これらの駆動メカニズムをさまざまな条件の磁場によって説明する試みが為されていたが、2001 年に Coburn らが初めて報告した GRB からの偏光検出は、ガンマ線の偏光度・偏光角からジェット内に残留する磁場を探る唯一の手法であったがために問題解決のための鍵になると期待された。研究開始時点では GRB の偏光観測は運良くセンサの視野に入った数個の報告が知られるのみであり、偏光観測に特化した専用の超小型人工衛星を開発して、GRB の観測を行い、より系統的な知見を得ることを目標とした。

2. 研究の目的

(1) 超小型衛星 TSUBAME の打ち上げ

この計画を実現するため、本研究では 50kg 級の超小型衛星 TSUBAME に搭載するガンマ線観測システムを開発し、地上での環境試験、性能評価試験ののち実際に宇宙に打ち上げて観測することを目的とした。研究申請時には既に打ち上げロケットの契約は完了しており、衛星開発のスケジュールはロケット打ち上げ業者の通告通りに間に合わせなければならない。また、科学目標を達成するには工学部が中心に開発を行う 50kg 級の衛星バスを完成させ、全搭載コンポーネントの動作試験と、制御ソフトウェアの開発、そして地上局も含めた衛星システム全体を完全に動作させる必要がある。

(2) 放射線検出器の改良

前述のフライト実験に加え、衛星の打ち上げ後には偏光計用センサをさらに高性能化するための放射線検出器の改良を計画した。

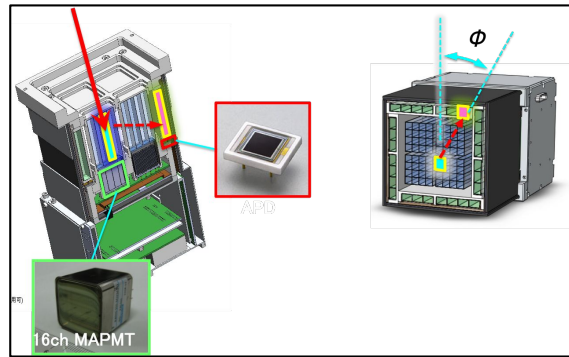


図 1: ガンマ線偏光計の概略

3. 研究の方法

(1) ガンマ線偏光計のフライトモデル開発

TSUBAME 搭載用のガンマ線偏光計は、センサ中央に配置した 64 本のプラスチックシンチレータを散乱体とし、その周囲を CsI(Tl) シンチレータで取り囲み吸収体として用いたコンプトン散乱偏光計である。それぞれのシンチレータには発光量や波長に併せて、マルチアノード PMT と Si アバランシェ・フォトダイオードを組み合わせることで、コンパクトでありながら高い変調因子を実現する設計とした (図 1)。我々は、2011 年までにこのエンジニアリングモデルの開発とその性能評価試験・環境試験を完了したが、打ち上げ振動を模擬した振動試験中に光電子増倍管が破損するという致命的な問題に見舞われた (QT レベル・ランダム加振中に破損)。本研究では、まずこの破損原因を解明し、打ち上げ環境に耐えうる構造を設計し実証しフライトモデルを完成させる。

(2) 広視野バーストモニタ

光軸外からガンマ線が入射する場合、センサの構造非対称性に起因する系統誤差が生じるため衛星構体の 5 面に小型のガンマ線カウンタ (広視野バーストモニタ) を搭載し、GRB を検知するとともに、機上で到来方向を計算して即座に衛星を回頭し指向観測を開始する設計とした。機上における突発天体の検出・位置決定は過去の衛星でも行われているが、軌道上の荷電粒子や宇宙背景 X 線などがノイズとなり、その基準設定は数学的に単純に決定できるものではない。実際、Swift 衛星では 100 種類近い判定ロジックが搭載され、実際の観測で最適化された。そこで我々は、HETE-II のガンマ線ライトカーブをサンプルとして、複数の判定ロジックを試し、可能な限り早く GRB を検知するアルゴリズムを開発する。

(3) 観測シーケンスの実装と衛星組み込み

これらのセンサは、軌道上で自律的に動作し、GRB を検知し観測を行わなければならない。上記ハードウェア単体の動作が確認出来た後、これらセンサシステムが連動して動作する自律的な制御プログラムを実装する。

(4) 地上局も含めた衛星システムの準備

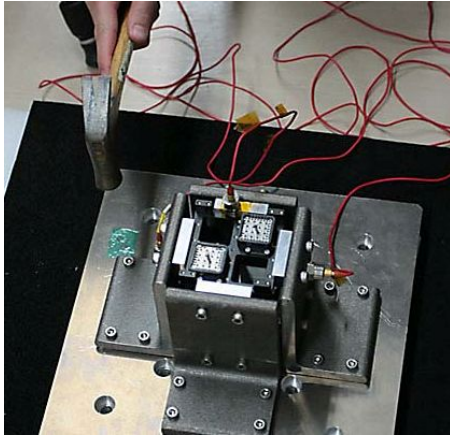


図 2：フライト用 PMT 保持機構

衛星の組み上げと統合試験を行い、全系が連動して動作することを確認する。また、これらの制御は全て地上局から制御しなければならないため、地上局インターフェース、コマンド作成プログラム等の準備を並行して行う。また、実際にコマンド送受信を行う東工大の地上局アンテナ設備についても動作を確認し、確実に通信できることを実証して打ち上げに臨む。

4. 研究成果

(1) ガンマ線偏光計のフライトモデル開発

PMT の破壊原因を明らかにするため、PMT 支持構造に加速度計を取り付けてモーダルサーベイを行った。この結果、光軸に垂直方向に加振した際、偏光計の長手方向中央部が振動の腹になり、一定以上の加速度で光接合面が剥離し、PMT が筐体内部で暴れたことが破損の過程であると判明した。そこで、我々はシンチレータと PMT を一体化して保持し、PMT の支持方法も改良することで、PMT の変位量を小さくし、光接合面の剥離を抑制することにした。また、偏光計筐体の剛性を高めて、共振を抑制する対策も並行して進めた。結果として、QT レベルの加振試験でも PMT は壊れることなく、加振前後のゲイン変動も 5% 以内に収まることを確認した。

このセンサ筐体と放電対策を施した信号処理回路、制御回路、高圧電源、DC コンバータを組み合わせてフライトモデルを完成させ、KEK/Photon Factory にて偏光ビーム照射試験を実施し、検出感度・高計数特性、変調因子等詳細なキャリブレーションを実施した。表 1 に示したのはエネルギー毎に測定したセンサ全体の有効面積である。測定で得られた結果はシミュレーションで得られた値とほぼ一致しており、ほぼ設計値通りの性能が得られていることを意味する。一方で、30 keV 入射時の検出効率が低いのは、プラスチックシンチレータの発光光量線形性が低エネルギー側で悪くなることに起因すると考えられ、シミュレーションより検出効率が低下している。

図 3 に示したのが、80 keV の X 線を光軸上から照射した時の変調曲線である。過去に

表 1：偏光計の有効面積

Energy	Effective Area	
	Measured	Simulated
30 keV	0.51 cm ²	1.87 cm ²
40 keV	2.41 cm ²	3.38 cm ²
60 keV	4.11 cm ²	4.89 cm ²
80 keV	5.00 cm ²	5.24 cm ²

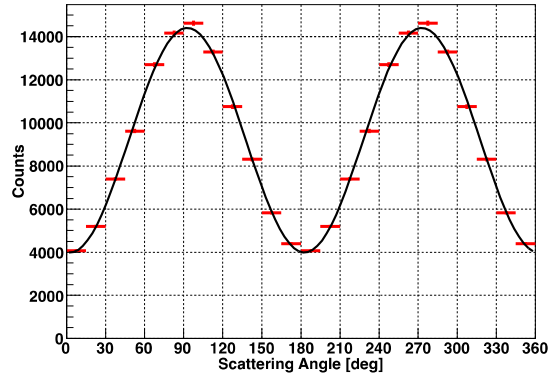


図 3：80keV 光軸での変調曲線

GRB を観測した観測装置とは異なり、偏光による散乱方位角の変調が最も大きくなる「90度散乱」に感度を持つ設計としたため、変調因子は 60% を超える。変調因子が大きいと、限られた光子統計に対しても高い偏光検出感度を達成できるため、小型・高感度なセンサが実現できたことを意味する。

これ以外に、高レート入射時の計数特性（不感時間測定）、オフアキス照射時の偏光検出特性など、軌道上での観測に必要なあらゆる較正測定を実施した。以上の検出性能と、軌道上での可観測時間を考慮すると、1 年間で 3 以上の精度で偏光を検出できる GRB の個数はおよそ 2~3 個と見積もられた。

(2) パートモニタトリガシステム開発

バーストモニタは観測機の電源が入っている状態では、常時 3 つのエネルギーバンド、125 ミリ秒の時間分解能でガンマ線の計数観測を行う。宇宙空間では、軌道上の磁場にトラップされた荷電粒子や、背景 X 線放射、そして銀河系内の X 線源がノイズ源となり、TSUBAME のバーストモニタは 1 台あたり毎秒 180 カウント近い放射線を検出する。このノイズ成分から GRB に起因する増光現象のみを精度良く検出するアルゴリズムが要求される。我々は、時間 vs. イベント数の光度曲線空間上に、平常時のバックグラウンドイベント数 C_{BG} を評価するための時間窓 T_{BG} 、現在時刻のイベント数 C_{FG} を評価するための T_{FG} 、そしてこれら 2 つの時間窓の間隔を定義する T_{NT} を定義し、125m 秒毎にカウント数を検出することにした（図 4-左）。 C_{FG} にはバックグラウンド成分が重畳しているため、 C_{BG} から T_{FG} 内に期待されるバックグラウンド成分 C'_{BG} を推定し、バーストに起因する増光分 $C_{FG} - C'_{BG}$ を評価し、これが統計誤差よりも

表 2 : 時間窓の設定値

ID	T_{BG} (s)	T_{Int} (s)	T_{FG} (s)	Description
(a).....	16.0	0.5	0.5	for Fast transition
(b).....	16.0	1.0	1.0	—
(c).....	16.0	2.0	2.0	—
(d).....	16.0	8.0	8.0	for Slow transition
(e).....	16.0	2.0	8.0	for long and slow-rise GRBs

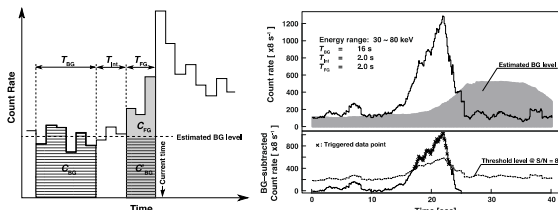


図 4 : (左)バーストモニタのトリガアルゴリズム (右)動作実証試験

十分に大きければ真の GRB であると判定する。この検定アルゴリズムは、X 線光度曲線に対して微分処理をしていることと同義であり、時間窓の取り方がその時定数を決定づける。例えば、速い立ち上がりの変動に対しては、 T_{Int} , T_{FG} を短くする必要があるが、この場合、緩やかな増光には感度を持たない。しかしながら、実際に観測された GRB は一つ一つが異なるライトカーブを示すため、HETE-II のアーカイブデータを使って効果的な時定数の取り方を実際に試して、表 2 に示す 5 種類の判定アルゴリズムを採用し、同時に走らせることにした。図 4-右は、較正線源を用いて GRB を模擬した実験結果であり、上記アルゴリズムが動作してバーストを検知した結果である。

(3) センサシステム制御プログラムの開発

衛星軌道上で、自律的に観測を行うための動作シーケンスの策定と、それを実現する制御プログラムを開発し実装した。具体的には一周回あたり最大でおおよそ -30 ~ +20 の間で変動する温度に対してアバランシェ・フォトダイオードのゲイン補償を行うプログラム、さらに、SAA やオーロラ帯における光電子増倍管保護プログラムである。センサ保護はミッションの死活問題であるため、(i) 地図情報による保護策、(ii) バーストモニタを用いた荷電粒子モニタ、そして (iii) 時刻指定コマンドによる高圧制御の 3 重冗長とした。このため、丸 1 日の GRB 観測 (待機) を行うためには 120 コマンド以上のアップリンクが必要となり、コマンド作成自体も複雑化した。そこで、日本歴代の X 線天文衛星で培われてきたコマンド作成手法や表示ツール(dp10)を参考に、TSUBAME 専用のチェックソフトウェアを準備し観測に備えた。

(4) 衛星システムの開発と打ち上げ

2014 年には最終組み上げが行われ、全体を統括した制御ソフトウェアの最終調整を行った。姿勢制御系はロケットからの衛星分離以降、電池が枯渇するまでの約 4 万秒の間に、磁気トルカを使ったデタンプリング、太陽補足、太陽電池展開を完了できることを数千回

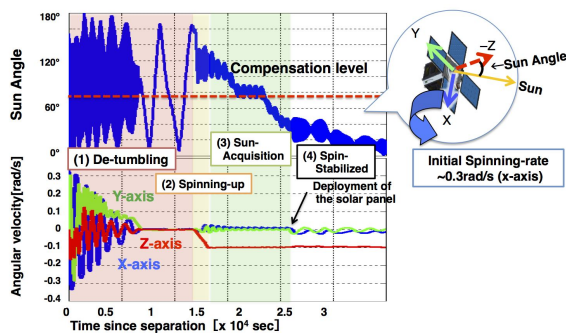


図 5 : 分離後の姿勢シミュレーション

のシミュレーションで検証した。また、GRB 発生時の全システム運動動作試験では、(a) バーストモニタによる GRB の検知、(b) 2 秒間での位置推定計算、(c) コントロールモーメントジャイロによる高速姿勢制御、(d) 偏光計による指向観測、(e) 自動観測完了後太陽補足 (f) 衛星バスへのデータ転送という一連の動作を、外部から与えた放射線の情報のみで開始し、正常に完了することを確認した。これらの最終調整に加え、36 時間の連続動作確認試験を行い衛星本体をカザフスタンへ向けて出荷した。

一方、東工大地上局では、2008 年に打ち上げた Cute-1.7+APDII を使った運用リハーサルを入念に行い、地上局の整備を行った。また、コマンド管制ソフトウェアも大幅に改修し、コマンド送信・受信確認を半自動化することで、運用効率の向上を試みた。

また、バイコヌールの射場作業では、姿勢制御系と偏光計系の制御ソフトに不具合が発覚したため、現地にてソフトウェアの書き換えを実施して、打ち上げに臨んだ(図 6)。



図 6 : 射場におけるロケット取付け作業

(5) TSUBAME の打ち上げと不具合

以上全ての準備を完了した後、TSUBAME は 2014 年 11 月 6 にドニエプル・ロケットにより打ち上げられた。衛星はインド洋上空で無事ロケットから分離し、ヨーロッパ上空にてアマチュア無線家により電波が確認された。そして、打ち上げから 4 時間後に東京上空に帰帰し、東工大局にてモルス信号の打鍵を確認した。太陽電池パネルは正常に展開されており、太陽角 0 ~ 10 度、バス電圧、電池電圧、消費電力、全システム温度ともに設計通りの動作が確認された。当日 2 回目のパスにて、通信機の冗長系として S バンド受信機の

電源を投入し、初日の運用を終えた。

翌日以降は、HK データの取得を行いつつ、GPS 受信機等を含む搭載機器の動作確認を慎重に進めた。しかしながら、GPS を常時 ON として太陽補足スピン安定の姿勢をとる「定常モード」に移行した後、徐々にコマンド受信確率が下がり始め、打ち上げから約 1 週間後に FM 受信機の受信感度を示すテレメトリがゼロになっていることを確認した。これ以降、コマンド受信は一度も確認出来なかったことから、FM 受信機の周りで何らかの致命的不具合が生じたと思われた。FM 受信機のトラブル以降は、S バンド受信機による復旧を目指し、運用のための送信免許取得と宇宙研局の装置改修を進めたが、免許発行を待っていた 12 月 12 日に、電源系の異常により Safe モードで入感した。このモード遷移により S バンド受信機の電源が落とされ、TSUBAME との通信手段は全て失われた。これ以降、TSUBAME からの情報はモルス信号のみとなったが、完全に信号を喪失する 1 月 27 日まで、HK データは取得し続けた。

(6) 故障解析

打ち上げから 3 ヶ月間、全世界のアマチュア無線家の協力により、1 日 3 回以上の HK データを取得することが出来た。信号喪失後にこの詳細な解析を行い、故障点が通信系の電源に使用した絶縁型 DCDC コンバータにあることを突き止めた。その後、該当部品の真空中での連続動作試験を実施したところ、通電から約 1 週間が経過した頃に一次側が短絡する不具合が確認された。この症状は、軌道上で観測された受信機の不具合、不具合発生後の受信感度パラメータの遷移(0 固定)、Safe モードに遷移する原因となった電源電圧異常、そして、CW 送信機の通信途絶(とその直前に見られた電流値上昇)をきわめてよく説明する。

また、通信機系不具合以外にも、冗長機として搭載した S バンド受信機の電源設定、FM 受信機のアンテナ搭載位置の不具合、姿勢系のスピン速度異常、ヒーターの発熱不足(軌道上でのヒーター?)等、全部で 10 の不具合が発覚している。これらの不具合が発生した原因については、当時の設計資料や会議のログ等を調べ上げ、どのような議論で意思決定が為されたのかを詳細に調査し、宇科連・天文学会で報告した。

(7) 新規技術開発

上記の通信機トラブルにより、残念ながら、本研究の最終目標である GRB のガンマ線偏光観測は達成することができなかったが、観測装置のさらなる高性能化、将来ミッションに備えて、放射線計測のための基礎技術開発を行った。近年、PMT に取って代わると期待されている半導体光増倍器(SiPM)を偏光計の散乱体読み出しに使うことを検討した。

SiPM は数十ボルトの印加電圧と小型軽量という素晴らしい特徴を持つため、TSUBAME 開発で苦悩した、耐衝撃性や放電問題を考慮

する必要がない。これらの特徴により、TSUBAME と同程度の体積・電力で倍以上の有効面積を実現することが可能である。本研究では、SiPM を複数個同時に使用する際に、一つ一つの素子を個別かつ精密に電圧調整するための回路を試作しその効果を実証した。

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 3 件)

Y.Yatsu, K.Ito, S.Kurita, M.Arimoto, N.Kawai, M.Matsushita, S.Kawajiri, S.Kitamura, S.Matunaga, S.Kimura, J.Kataoka, T.Nakamori, S.Kubo, "Pre-flight performance of a micro-satellite TSUBAME for X-ray polarimetry of gamma-ray bursts", Proc. SPIE 9144, Space Telescopes and Instrumentation 2014: Ultraviolet to Gamma Ray, 91440L, doi: 10.1117/12.2056275 (査読なし)

M.Arimoto, Y.Yatsu, N.Kawai, "Development of the hard x-ray monitor onboard WF-MAXI", Proc. SPIE 9144, Space Telescopes and Instrumentation 2014: Ultraviolet to Gamma Ray, 91445Z, doi: 10.1117/12.2054942 (査読なし)

J.Kataoka, T.Saito, M.Yoshino, H.Mizoma, T.Nakamori, Y.Yatsu et al., "Expected radiation damage of reverse-type APDs for the Astro-H mission", Journal of Instrumentation Journal, Volume 7, Issue Number Tile Start June 2012, doi: 10.1088/1748-0221/7/06/P06001 (査読有)

[学会発表](計 25 件)

谷津陽二、他、「GRB 偏光観測用超小型衛星 TSUBAME の総括」、日本天文学会、2016 年 3 月 14-17 日、首都大学東京

河合誠之、他、「多チャンネル MPPC アレイのゲイン微調整機構の開発とその応用」、日本天文学会、2016 年 3 月 14-17 日、首都大学東京

河合誠之、他、「広天域硬 X 線観測モニターの APD 専用低ノイズ LSI の性能評価」、日本天文学会、2016 年 3 月 14-17 日、首都大学東京

松永三郎、他、「超小型衛星 TSUBAME の開発と軌道上運用の総括」、宇宙科学連合講演会、2015 年 10 月 07-09 日、鹿児島県民交流センター

松下将典、他、「超小型衛星 TSUBAME の電源系の軌道上運用結果」、2015 年 10 月 07-09 日、宇宙科学連合講演会、鹿児島県民交流センター

俵京介、他、「超小型衛星 TSUBAME の姿勢決定姿勢制御系と軌道上データ解析」、

2015年10月07-09日、宇宙科学連合講演会、鹿児島県民交流センター
大田佳、他、「超小型衛星 TSUBAME の C&DH 系の軌道上評価と技術課題」、2015年10月07-09日、宇宙科学連合講演会、鹿児島県民交流センター

古賀将哉他、「超小型衛星 TSUBAME の通信系の軌道上運用結果と不具合解析」、2015年10月07-09日、鹿児島県民交流センター

M.Masanori et al. "Major Upgrade of Electrical Power System for High-power Micro-satellite", 30th International Symposium on Space Technology and Science, June 6 2015, Kobe

S.Kawajiri et al. "Attitude Simulation and Result of On-orbit Initial Operation of Microsatellite TSUBAME", 30th International Symposium on Space Technology and Science, June 6 2015, Kobe

S.Suzuki et al. "Thermal Design and Evaluation of Microsatellite TSUBAME Using Thermal Analysis During Orbit", 30th International Symposium on Space Technology and Science, June 6 2015, Kobe

M.Masanori et al. "Flight Model Development of the Micro-satellite TSUBAME", 10th IAA Symposium on Small Satellite for Earth Observation, Apr 20-24 2015, Berlin

谷津陽一他、「硬 X 線偏光観測衛星 TSUBAME の打ち上げ(II)」, 日本物理学会春季年会、2015年3月21-24日、早稲田大

栗田真他、「超小型衛星 TSUBAME の打ち上げと運用」, 日本天文学会 春季年会、2015年3月19-21日、大阪大

栗田真他、「超小型衛星 TSUBAME のソフトウェア開発と統合試験」, 日本天文学会秋季年会、2014年9月11日、山形大

栗田真他、「TSUBAME 衛星ガンマ線バースト偏光観測システムの開発」, 宇宙科学シンポジウム、2015年1月6-7日、ISAS

依京介他、「超小型衛星 TSUBAME における姿勢決定制御系の設計と評価」, 宇宙科学シンポジウム、2015年1月6-7日、ISAS

谷津陽一他、「ガンマ線バースト硬 X 線偏光観測衛星 TSUBAME フライトモデルの開発」, 2013年9月18-21日、日本物理学会秋季年会、高知大

谷津陽一他、「ガンマ線バースト偏光観測衛星 TSUBAME の打ち上げ」, 日本物理学会春季年会、2014年3月27-30日、東海大
伊藤慶他、「超小型衛星 TSUBAME 搭載用硬 X 線偏光観測システムの開発」, 日本天文学会、2014年3月20-22日、国際基督教大

21 伊藤慶他、「超小型衛星 TSUBAME 搭載 用

硬 X 線偏光観測システムの開発」, 宇宙科学シンポジウム、2014年1月9-10日、ISAS

22 谷津陽一他、「ガンマ線バースト X 線偏光観測衛星 TSUBAME の開発」, 日本天文学会秋季年会、2012年9月19-21日、大分大

23 川上孝介他、「超小型衛星 TSUBAME 搭載ガンマ線バースト位置決定検出器 広視野バーストモニタの開発」, 日本天文学会秋季年会、2012年9月19-21日、大分大

24 常世田和樹他、「超小型衛星 TSUBAME 搭載用ガンマ線バースト検出器の開発」, 日本物理学会秋季年会、2012年9月11-14日、京都産業大

25 栗田真他、「超小型衛星 TSUBAME 搭載用検出器の開発」, 日本天文学会春季年会、2013年3月20-23日、埼玉大

〔その他〕

ホームページ等

センサ系開発ページ

http://www.hp.phys.titech.ac.jp/yatsu/tsubame_science/

衛星プロジェクトページ

<http://lss.mes.titech.ac.jp/ssp/tsubame/>

プレスリリース

大学発超小型人工衛星「TSUBAME」打ち上げ成功・運用開始

http://www.titech.ac.jp/english/news/2015/02_9409.html (英語版)

<http://www.titech.ac.jp/news/2014/029067.html>

(日本語版)

日刊工業新聞

http://www.nikkan.co.jp/news/nkx0720141117eaa_j.html (紙面掲載あり)

受賞等

松下将典、他、「超小型硬 X 線偏光観測衛星 TSUBAME の開発」, 第4回日本プロジェクトマネジメント大賞(2015年7月8日)

松下将典、「地球・天体観測技術実証衛星「TSUBAME」の電源系フライトモデル開発」, 日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞(2014年12月)

常世田和樹、「超小型衛星 TSUBAME 搭載用線バースト検出器フライトモデルの開発」, 高エネルギー加速期研究機構 第三回測定器開発・優秀修士論文賞(2013年9月)

谷津陽一、「突発天体のための超小型 X 線偏光観測衛星の開発」, 平成 26 年度東工大挑戦的研究賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷津 陽一 (YATSU YOICHI)

東京工業大学・理工学研究科・助教

研究者番号: 40447545