

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420815

研究課題名(和文) 自由な視点での高精細画像取得を可能にする宇宙用メガピクセル分離カメラシステム

研究課題名(英文) A mega-pixel free-flying separation camera system

研究代表者

木村 真一 (Kimura, Shinichi)

東京理科大学・理工学部電気電子情報工学科・教授

研究者番号：00358920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、これまで超小型監視カメラシステムを開発し、様々なミッションに提供してきた。このように超小型監視カメラ画像の有効性が認識されるに従って、より高解像度で実時間撮像可能な分離カメラの実現に対する期待が非常に高まっている。本研究では、民生用超小型メガピクセルイメージャーと超小型デジタル伝送システムを組み合わせることで、メガピクセル宇宙用分離カメラシステムを実現することを目的としている。メガピクセル宇宙用分離カメラシステムを構成する主要なデバイスについて宇宙環境適合性評価を行い、超小型分離カメラを構築することに成功した。主要な要素については、小型衛星等を用いて順次軌道上実証する計画である。

研究成果の概要(英文)：Separation cameras, which are separated from spacecraft and capture images from a free viewpoint, are expected to garner wide interest in the domain of space development. With the growing interest in separation cameras, it is inevitable for the camera to be expected to capture high-resolution images. For high-resolution images to be acquired by separation cameras, we need to improve not only the image sensor resolution, but also the transmission bandwidth of the camera. To fulfill such requirements, we propose to utilize commercial-off-the-shelf (COTS) ultra-small digital wireless modules and high-resolution image sensors. To utilize such COTS image sensors and wireless module in the space environment, their radiation tolerance must be verified. Therefore, in this research, we performed a radiation verification test on a few kinds of COTS devices. In addition, we also developed ultra-small separation cameras for space applications by combining these COTS devices.

研究分野：宇宙工学

キーワード：宇宙用カメラ 民生用部品 メガピクセル デジタル無線モジュール 放射線耐性 分離カメラ COTS

1. 研究開始当初の背景

宇宙空間において画像を取得することは、探査やミッションの状況監視など様々な用途で活用でき、きわめて重要である。画像はわかりやすく訴求力が高いので、広報や啓発にも広く活用され、その価値は非常に高い。このような要望に応えるべく、我々は、きわめて小さなシステムインパクトで画像取得を実現する超小型監視カメラシステムを開発し、様々なミッションに提供してきた。特に、小型ソーラー電力セイル実証機 (IKAROS) では世界で初めて超小型カメラによる宇宙機本体から独立した視点からの画像取得が可能であることを示し、宇宙における画像利用に革新的な変化をもたらし、はやぶさ2などでも積極的に活用されている。このように超小型監視カメラ画像の有効性が認識されるに従って、より高解像度で実時間撮像可能な分離カメラの実現に対する期待が非常に高まっている。高解像度な画像を取得することが可能になれば、衛星本体から独立した多数の視点からの高解像度画像を活用した探査や、より詳細な状況監視が可能になる。

しかしながら、現状の宇宙用超小型カメラは、リアルタイムの伝送を可能にし、可能な限り実装サイズを小さくするために、アナログビデオ出力を活用してきたため、そのままでは高解像度化に限界がある。高解像度化を実現する上での問題点は下記の3つの点に整理することができる。

1) 宇宙利用可能な超小型メガピクセルイメージャーが必要

これまで宇宙利用されてきた高解像度デジタルイメージャーは1/3インチ以上のサイズであり、小型化に限界がある。

2) 取得された画像データサイズが大きく伝送が困難

実時間での撮像により取得される大量のデータは、そのままでは無線伝送することが困難であり、データのバッファリングや圧縮等の処理が必要である。

3) 宇宙利用可能な省電力超小型デジタル無線伝送システムが必要

取得したデジタル画像データを、母船に伝送するデジタル無線伝送システムが必要である。

実際に「はやぶさ2」の分離カメラではメガピクセルクラスのデジタルカメラも合わせて搭載されているが、基板サイズとして大がかりとなる上、撮像した画像の伝送帯域の制限から撮像頻度はミッション全体で数枚と非常に限られている点が問題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、民生用超小型メガピクセルイメージャーと民生用超小型デジタル伝送システムを組み合わせることで、画像圧縮機能をそなえ、実時間撮像可能なメガピクセル宇

宙用分離カメラシステムを実現し、小型衛星等での軌道上実証を目指す。本カメラシステムは、多様な視点での高解像度画像による探査や、複雑なミッションの信頼性向上など、宇宙における画像利用に革新的な変化をもたらすことが期待できる。

3. 研究の方法

(1) 民生用メガピクセル超小型イメージャー、の宇宙環境適合性評価・選定

メガピクセル宇宙用分離カメラシステムを実現するためには、宇宙利用可能な超小型のメガピクセルイメージャーが必要となる。そこで、携帯電話等に用いられている民生部品に対して、放射線などの宇宙環境適合性評価を行うことで、利用可能なデバイスを選定する。本研究の提案時は画像の圧縮機能をFPGAを用いて実現することを検討していたが、その後の検討で画像圧縮能力を内蔵したメガピクセルイメージャーが有効であることがわかり、FPGAによる実装よりはるかに小さく実装が可能であったので、画像圧縮機能をイメージャー内で実現することとした。

(2) 民生用デジタル無線通信モジュールの宇宙環境適合性評価・選定

取得したデジタル画像を高速に母船伝送するためには、広帯域のデジタル無線通信モジュールが必要になる。近年IoTなどでの応用を想定して急速に広まりつつある、民生用の超小型デジタル無線通信モジュールに対して、放射線などの宇宙環境適合性評価を行うことで、利用可能なデバイスを選定する。

(3) メガピクセル宇宙用分離カメラシステムの超小型実装

上記の研究成果をふまえ、宇宙用カメラの回路設計・基板設計等に加え、光学設計、構造設計に関する技術蓄積を活用する事で、メガピクセル宇宙用分離カメラシステムを完成させる。完成させたカメラシステムについて、宇宙環境適合性を含め総合評価を行い、小型衛星等での軌道上実証を目指す。

4. 研究成果

(1) 高解像度イメージセンサの耐放射線評価

我々は高解像度分離カメラを実現するキーデバイスとして、5メガピクセルの1/4inch CMOSイメージセンサに着目した。このイメージセンサは最高解像度5メガピクセルでの撮像の他、モードを設定することで様々な解像度での撮像やROI (Region of Interest) 処理にも対応し、DSPを内蔵し、レジスタを設定することで、画像圧縮を内部で実現することができる。

我々はこのイメージセンサデバイスについて、ガンマ線によるTotal Ionizing Dose (TID) による性能劣化現象と、サイクロトロンを用いたプロトン照射によるSingle Event Effectによる確率的不具合の評価を行

い、共に軌道上での利用に十分耐えられることを確認した。結果については学会等で発表した。(学会発表 など)

さらに我々は、2017年1月15日に打ち上げられた宇宙航空研究開発機構の小型ロケットに搭載された超小型実験衛星 TRICOM-1に、本イメージセンサを活用したカメラモジュールを搭載し、軌道上実証を試みた。残念ながらロケットの打ち上げが、成功しなかったため宇宙実証は未実施であるが、再度軌道上で実証実験を行うべく、現在準備を進めている。

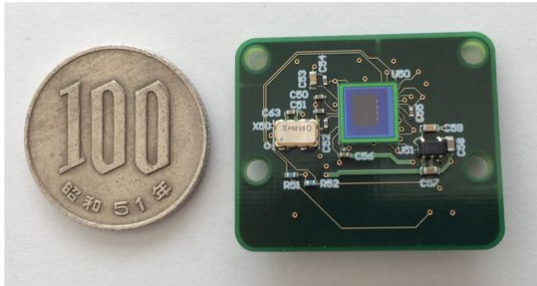


図 1 : TRICOM-1 搭載カメラモジュール

(2)無線通信モジュールの耐放射線評価

近年 IoT などでの応用を想定して急速に広まりつつある、数種類の民生用の超小型デジタル無線通信モジュールについて、ガンマ線による Total Ionizing Dose(TID)による性能劣化現象と、サイクロトロンを用いたプロトン照射による Single Event Effect による確率的不具合の評価を行った。多くの無線モジュールについては TID 耐性に問題があり、長期の宇宙空間での利用は難しいことが確認されたが、軌道上利用に対し十分な耐性を持つモジュールを数種類選定することに成功した。

また、放射線による劣化のメカニズムを明らかにするために、遮蔽を活用して無線モジュールの特定の部位にのみ放射線照射する実験を行った。実験の結果については学会等で発表を行い(学会発表 など) 現在研究論文として発表する準備を進めている。

本実験による知見は、放射線が電子デバイスに与える影響のついて多くの示唆を与えると共に、放射線耐性を強化していく上での方向性を与えると考えられる。

(3)超小型デジタル画像取得系の開発

当初 FPGA を活用して超小型のデジタル画像取得系を実現することを考えていたが、必要ゲートアレー数や必要電力を勘案すると、必ずしも小型化にとって有利とは言えないと考えた。そのため、画像圧縮機能がイメージセンサデバイスで実現できることから、軌道上実績のあるメモリ及びマイクロプロセッサを活用することを考えた。その結果、39×29mm(取り付けフランジ部を除く)の基板1枚でデジタル画像取得系を構築することに成功した。

この様に構成した超小型デジタル画像取

得系は、2017年度打ち上げ予定の IDEA OSG 1に状況監視用カメラとして搭載され、軌道実証することが予定されている。また、上記の無線モジュールと組み合わせることで、高解像度分離カメラとして活用することもでき、分離カメラの可能性を大きく広げることができた。

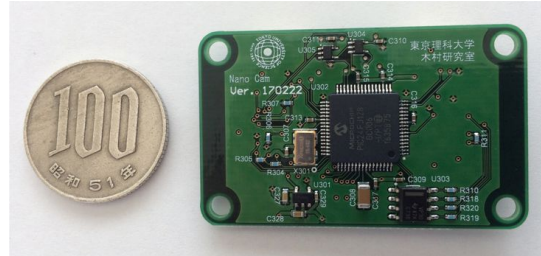


図 2 : IDEA OSG 1 搭載超小型デジタル画像取得ユニット

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1件)

Shinichi Kimura, Yuki Asakura, Hiroaki Doi, Yasuhiro Nakamura, Optical Space Equipments Using Commercial Off-the-Shelf Devices, Optical Payloads for Space Missions (Shen-En Qian Ed. John Wiley & Sons ISBN: 978-1-118-94514-8)、査読有、2015

[学会発表](計 18件)

Masahiro NAKAMURA Shinichi KIMURA Shintaro NAKAJIMA and Satoshi IKARI, Multi-platform use of Command Centric Architecture, a software framework for small satellites、The 12th International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016 (ICSANE 2016)、National Taipei University of Technology, Taipei, Taiwan, Nov. 24-25, 2016

Shinichi Kimura, Hiroaki Doi, Masahiro Nakamura, Takayuki Ueno, Yuki Asakura, Hardware and Software Modularized Approach for On-board Processing Capabilities of Small Satellites, The 7th Nano-Satellite Symposium、Sanatorium and Health Complex "Kamchia", VARNNA, Bulgaria、Oct. 18-19, 2016

朝倉 悠貴, 木村 真一, 超小型衛星搭載ソフトウェア検証システム、第60回宇宙科学技術連合講演会、北海道、函館市、函館アリーナ、2016年9月6-9日

上野 崇之, 木村 真一, 宇宙用分離カメラに搭載可能な小型民生デジタル無線モジュールの放射線耐性傾向の調査、第60回宇宙科学技術連合講演会、北海道、函館市、函館アリーナ、2016年9月6-9日

Shinichi Kimura, Yuki Asakura, Hiroaki Doi, Yasuhiro Nakamura, Document Base

Programming System to Realize Seamless Linking between On-board Software and Ground Operating System、The International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space 2016, Friendship Hotel, Beijing, China, Jun. 19-22, 2016
Kotomi SHOJI、 Yasuhiro KATAYAMA、 Atsushi UETA、 Daisuke TUJITA、 Yuta HORIKAWA、 Satoshi SUZUKI、 Tomohiro NARUMI、 and Shinichi KIMURA、 ENVIRONMENT TEST ON CAMERA FOR SPACE DEBRIS REMOVAL FOR SMALL SATELLITE、 Proceedings of the 30th International Symposium on Space Technology and Science、 Kobe Convention Center, Kobe, Japan、 Jul. 4-10, 2015
Nozomi Shiraishi、 Kotomi Shoji、 Hayato Izumi、 Nagahisa Moriyama、 Tomoaki Koga、 Shinichi Kimura、 High resolution earth observation camera for small satellite、 Proceedings of the 30th International Symposium on Space Technology and Science、 Kobe Convention Center, Kobe, Japan、 Jul. 4-10, 2015
Ryosuke Sugano、 Tomohiro Narumi、 Naohiro Uyama、 Shinichi Kimura、 Koji Wada、 Kenji Nagaoka、 Kazuya Yohida、 Development of a Very Small High-Performance Image Acquisition System for Asteroid Exploration Rover MINERVA-II2、 65th International Astronautical Congress 2014、 Tronto, Canada、 Sep.29-Oct.3, 2014
Kotomi Shoji、 Tomohiro Narumi、 Shinichi Kimura、 Yasuhiro KATAYAMA、 Atsushi UETA、 Daisuke TUJITA、 DEVELOPMENT OF A CAMERA FOR AUTONOMOUS VISUAL GUIDANCE FOR SPACE DEBRIS REMOVAL、 65th International Astronautical Congress 2014、 Tronto, Canada、 Sep.29-Oct.3, 2014
赤石直貴、 鳴海智博、 木村真一、 小型民生用高機能イメージセンサの放射線耐性評価、 第24回スペースエンジニアリングコンファレンス、 ことひら温泉「琴参閣」、 香川県多度郡琴平町、 2015年12月21-22日
中村将大、 鳴海智博、 木村真一、 IoT向け小型民生用計算機の宇宙環境耐性評価、 第59回宇宙科学技術連合講演会、 かがしま県民交流センター、 鹿児島県、 鹿児島市、 2015年10月7-9日
佐藤樹、 木村真一、 鳴海智博、 荒木友太、 デブリ除去を目的とした非協力対象の位置、 姿勢を計測するカメラシステム、 第59回宇宙科学技術連合講演会、 かがしま県民交流センター、 鹿児島県、 鹿児島市、 2015年10月7-9日
白石望、 木村真一、 デブリ除去に向けたリアルタイム画像処理カメラの開発、 第59回宇宙科学技術連合講演会、 かがしま

県民交流センター、 鹿児島県、 鹿児島市、 2015年10月7-9日
土居大晃、 鳴海智博、 木村真一、 荒木友太、 多様なミッションに適應できる小型衛星用高機能計算機モジュール、 第59回宇宙科学技術連合講演会、 かがしま県民交流センター、 鹿児島県、 鹿児島市、 2015年10月7-9日
菅野良祐、 鳴海智博、 木村真一、 照度条件變動に自律的に適應する宇宙用超小型カメラの開発、 第59回宇宙科学技術連合講演会、 かがしま県民交流センター、 鹿児島県、 鹿児島市、 2015年10月7-9日
赤石直貴、 鳴海智博、 木村真一、 民生用小型高機能監視イメージセンサの放射線耐性評価、 第58回宇宙科学技術連合講演会、 長崎ブリックホール、 長崎市、 2014年11月12-14日
森山永久、 木村真一、 軌道上超小型衛星での超解像に適用可能な画像処理手法、 第58回宇宙科学技術連合講演会、 長崎ブリックホール、 長崎市、 2014年11月12-14日
Shinichi Kimura、 On-orbit Intelligence for Smaller and Smarter Remote Sensing、 France Japan Academic Forum、 Hotel d'Assezat、 Toulouse、 France、 Jun. 12-13, 2014

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kimura-lab.net/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 真一 (KIMURA, Shinichi)

東京理科大学・理工学部・電気電子情報工学科・教授

研究者番号：00358920