



特集

研究
開発

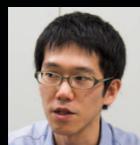
コンタミネーション対策
測定と解析の技術で
衛星搭載装置の“汚れ”を防ぐ

人工衛星の電力制御器を大幅に軽量化!
「だいち2号」のミッションにも貢献

宇宙飛行士の作業支援を 目指すロボット研究

宇宙飛行士の宇宙での活動を、ロボット技術で支援することを
目指して研究が進められています。試作機も作られ、
実現に向けた最初の一步が踏み出されようとしています。

話を聞いた人



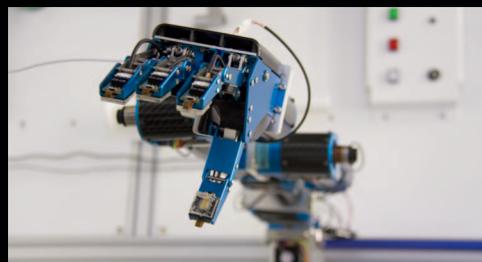
渡邊 恵佑

WATANABE Keisuke

ロボティクス研究グループ
宇宙航空プロジェクト研究員

第3の手、腕、目となり 宇宙飛行士の作業を支援

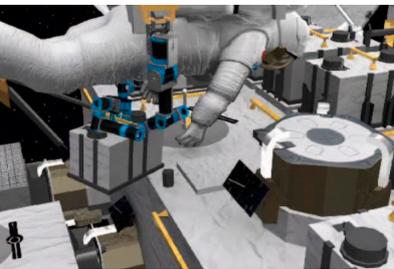
国際宇宙ステーション (ISS) では6人の宇宙飛行士が様々な作業をしています。中でも船外活動では、厚い生地の宇宙服や手袋を着用するため、作業に制約があります。飛行士の船外活動を船内クルーや地上スタッフが支えています。新たな“支援者”に“ロボット”が加わる日が来るかもしれません。ロボティクス研究グループは、飛行士の作業を支援する「クルー装着型マニピュレータ」の研究を進めるとともに、ロボットの位置や姿勢の推定を行う際に目印となる「新型マーカ」の実用化を目指しています。



クルー装着型マニピュレータの地上試験用試作機



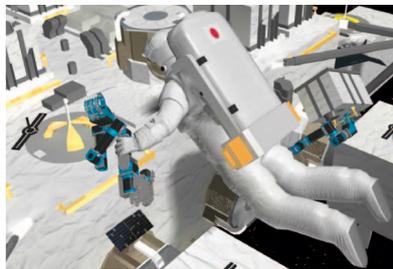
©JAXA/NASA



荷物の把持



ハンドレールの把握



脱着



独立したロボットアームとしての作業

「第3の手、腕、目として宇宙飛行士の作業を支援するのが、クレー装着型マニピュレータの特徴です。ロボットというより、賢いツールを目指して研究を進めています」。こう話すのは、同グループの渡邊恵佑宇宙航空プロジェクト研究員です。

クレー装着型マニピュレータを使用した船外活動の想定シナリオでは、背中 of 生命維持装置下部にマニピュレータが折りたたまれて装着されます。船外でマニピュレータが広がり、飛行士の代わりに4本指がハンドレールを握って姿勢を安定させたり荷物を持ったりして、船外活動を支援します。船外活動中の飛行士が簡単な指示によって操作できるようにする他、船内クレーや地上スタッフによる遠隔操作も想定しています。

さらに、マニピュレータを取り外してハンドレールに取り付けることで独立したロボットアームとして使うことも念頭に置いています。手のひらに備わるカメラを用いて、船外で飛行士や作業対象物を撮影する他、船内で宇宙実験をモニタリングすること

なども想定しています。

「手軽に使えるといい」 飛行士の意見が出発点

「体に着けるものですので安全性がなにより求められます。かといって飛行士の役に立たなければ意味がありません。安全性と操作性の両立が課題です」(渡邊研究員)。

設計にあたっては、宇宙飛行士や有人本部の担当者からヒアリングを行い、「手軽に使えるといい」という意見をいただきました。「これが、複雑でもなく、単なる道具でもない、ある程度の賢さをもつツールとしてのロボットを目指す出発点となりました」(同)。

「手軽」という設計思想は、簡単に操作できるということ以外に、装脱着のしやすさと、構成の単純さにも見られます。「飛行士の第3の腕にも、ロボットアームにもなる。そのため宇宙服にもハンドレールにも装脱着が簡単にできることを考えました。また、同一モジュールで構成するようにし、万一モ

ジュールが壊れても交換すればよいという設計にしました」(同)。

今後は、地上試験でコンセプトの有効性を評価し、将来的には宇宙での実証試験、さらには実用化へとつなげられるように研究を進めていきます。有人宇宙開発の構想は、宇宙太陽光利用システム(SSPS)や探査など多様にあります。ロボットによる宇宙飛行士支援の実現に向けた第一歩が踏み出されようとしています。

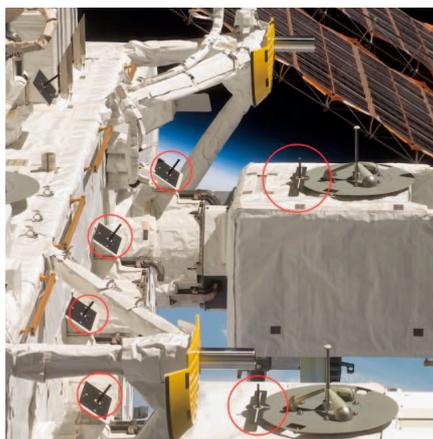


クレー装着型マニピュレータの研究に取り組むロボティクス研究グループのスタッフ
左より、鈴木悟史 開発員、本田瑛彦 連携大学院生(東京工業大学)、妻木俊道 主任開発員、渡邊恵佑 宇宙航空プロジェクト研究員、上田敦史 開発員、武井悠人 連携大学院生(東京工業大学)

立体マーカの代わりに平面的なArrayMarkを

ロボティクス研究グループは、クレー装着型マニピュレータを含むロボットが位置や姿勢を推定する際に使うマーカ(目印)の改良にも、取り組んでいます。

現在、ISSのロボットアームは、自分の位置や姿勢を推定するため、棒状の突起を備えた立体マーカを頼りにしています。マーカに突起があるのは、ロボットアームが姿勢を精度よく推定するために棒の見た目の長さ



現在のISSでは、棒状の突起を備えたマーカが複数個、設置されている。

(奥行き)の情報を必要とするためです。

とはいえ、立体マーカは金属で重く、また飛行士の船外活動の障害物になるおそれもあります。もし、立体マーカの代わりに、平面的なしくみが担えば、これらの課題を解決できます。

その役割を果たそうとしているのが「ArrayMark(アレイマーク)」です。厚みわずか1mmながら、中央の黒点が左から見れば左へ、右から見れば右へと、奥行きをもっているかのように動きます。微小なドットとレンズの列の組み合わせで、こうした表現を可能にしています。

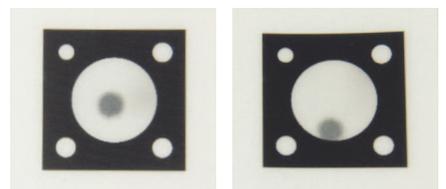
ArrayMarkを発明したのは産業技術総合研究所。この技術をロボット用のマーカとして活用しようと、ロボティクス研究グループが共同研究を提案し、宇宙空間の過酷な環境に耐えられるよう改良しました。「宇宙の視点と地上の視点相まって、アイデアが多く出てきます」(渡邊研究員)。

今後、ISS日本実験棟「きぼう」で、ExHAM(船外簡易取付機構)に装着され、約1年間、実用性や耐久性などを見極める実証実験を行う予定です。「実際に宇宙で

活用される成果を生み出す研究を、今後も進めて参ります」(同)。



軌道上実験用サンプル。マーカが2つあるのは、カバーの有無で宇宙空間に暴露したときの影響を比較するため。カラーパレットは、将来的にマーカをカラー化して色のパターンで個々のマーカを区別する際に、識別しやすい色の組み合わせを検証するため。



見る角度により中央の黒点の位置が変わる。

研究
開発

コンタミネーション対策 測定と解析の技術で 衛星搭載装置の “汚れ”を防ぐ

話を聞いた人



宮崎英治

MIYAZAKI Eiji

電子部品・デバイス・材料グループ
技術領域サブリーダー

人工衛星に搭載した装置が“汚れてしまう”という問題があります。解決のために、成分分析装置や解析ソフトウェアの開発と活用が進んでいます。

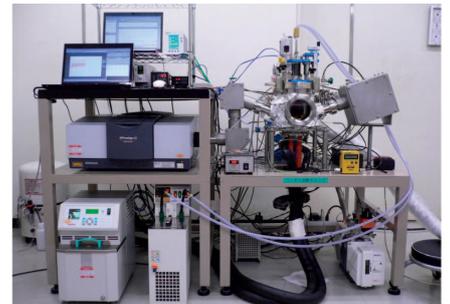
宇宙機の寿命にも 影響するアウトガス

人工衛星の「コンタミネーション」問題をご存知でしょうか。コンタミネーションとは「汚染」または「汚染物質」を意味する言葉で、主に光を受ける装置の表面などが汚れることを指します。

コンタミネーションの主な原因物質は、プラスチックや接着剤などの材料から放出される気体で「アウトガス」とよばれるもの。宇宙空間では気圧がかからないため、アウトガスが発生しやすいのです。身近なところでは、寒い日の窓ガラスや冷たい飲

み物が入ったガラスの表面に水蒸気が凝縮して曇ります。これと同様に、人工衛星でも、機能維持のため冷却した装置の表面にアウトガスが付着することでコンタミネーションが起きます。地球観測衛星・天文観測衛星の望遠鏡レンズ表面や太陽電池パネル表面などでコンタミネーションが生じると、宇宙機の寿命が短くなってしまいます。

この問題に対し、電子部品・デバイス・材料グループは、材料の解析や影響の予測などによる解決を目指し、研究を進めています。同グループの宮崎英治技術領域サブリーダーは、「ここ5、6年で研究を本格化させてきました」と話します。



赤外域の光学影響分析、成分分析ができるコンタミネーション分析チャンバ1号機。コンタミネーション付着量が測定できる水晶振動式微小天秤(QCM)も装備されている。

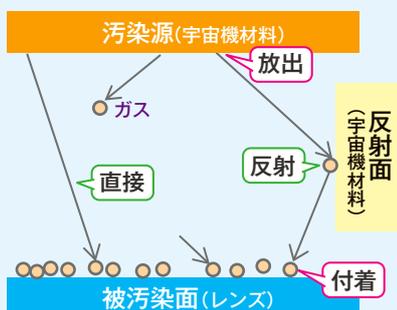
ます。フランス国立宇宙研究センター(CNES)と観測データや解析結果を交換したり、欧州宇宙機関(ESA)の欧州宇宙技術研究センター(ESTEC)と材料試験の相互比較を行ったり、また、人材交流としてESTECの技術者を筑波宇宙センターに招いたりして、共同研究を進めています。「欧州には長年の実績がありますが、彼らは自身の成果を私たちの成果と比較したい。私たちは欧州の研究を学び追いつきたい。さらに、欧州にもない私たち独自の技術を切り拓き、獲得したい。互いのニーズがマッチして活発に交流しています」(宮崎サブリーダー)。

研究成果は、宇宙機における新材料の選定の際などに活かされています。「これまでは、アウトガスの出にくい材料を選ぶことが命題でした。これからは人工衛星の設計によってコンタミネーションの影響を回避する方法も選択肢になっていくと思います。その際も材料が基本ですので、材料特性を適切に理解できる技術を構築して貢献していきたいと考えています」(同)。



コンタミネーション対策に携わったスタッフ
宮崎英治 技術領域サブリーダー、美浦由佳 開発員、沼田治 開発員、山中理代 開発員

コンタミネーション発生メカニズム



測定装置と解析ソフトで 何がどう汚れるかを分析

どの材料がどうコンタミネーションを引き起こすかを把握することが重要です。各種材料のアウトガス特性を把握するため、同グループは測定装置を拡充してきました。質量損失比などから材料のアウトガス放出量を測定する「アウトガス測定装置」や、1週間ほどかけて長期的傾向を把握する「アウトガスレート測定装置」などです。

さらに、コンタミネーションの影響が、人工衛星の観測する光の波長や、衛星搭載観測装置の表面温度のちがいなどにより、どのように生じるか調べる「コンタミネーション分析チャンバ」を独自に開発しました。1号機では赤外域を測定対象とし、2013年に完成した2号機では、紫外域、可視光域、近赤外域の測定を可能にしました。

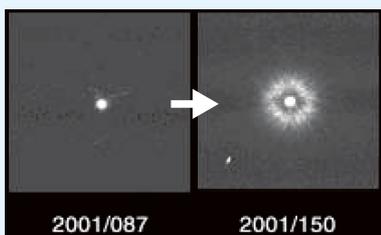
これらの測定装置で得られたデータを使い、宇宙機の軌道上でのコンタミネーションの生じ方を解析するソフトウェア「J-SPICE」も開発しました。2015年度には、大幅にバージョンアップした「J-SPICE2」を完成させる計画で、現在開発中です。

欧州の宇宙機関と 共同研究が進む

同グループは、欧州の研究チームとの協力を強化し、相互の技術力向上を図ってい

光学観測画像の品質低下の例 NASA・ESA土星探査機「カッシーニ」の 2001年3月29日と5月30日での比較

- レンズへのガスの付着
- ↓
- レンズが汚れる、くもる
- ↓
- 取得画像がぼやける



V. R. Haemmerle and J. H. Gerhard, "Cassini Camera Contamination Anomaly Experiences and Lessons Learned," AIAA 2006-5834, 2006

研究
開発

人工衛星の電力制御器を大幅に軽量化! 「だいち2号」のミッションにも貢献

人工衛星では、電力を各機器で使用するための電力制御が欠かせません。
電源グループは、電力制御器の小型化・軽量化を進めています。
その成果は2014年5月に打ち上げられた「だいち2号」にも役立てられています。



小型化、軽量化の進んだ電力制御器。「だいち2号」では最大52Vの電圧を制御する。

衛星の電力制御器を極力軽くしたい

人工衛星ではミッション機器の稼働、姿勢制御、熱制御などのために電力が必要です。電力は太陽電池でつくられ、電力制御器や電力分配器などの電源系装置を通じて各機器へ送られます。電源系装置の重量は人工衛星全体の約10%を占めるため、小型・軽量化が大きな課題の一つです。宇宙用電源などの高性能化に取り組んでいる電源グループはこの課題に挑み、陸域観測技術衛星「だいち2号」に、従来比54%減の重量に抑えた電力制御器を搭載させました。

「電源系の小型・軽量化のため様々な点に取り組みましたが、いちばん力を入れたのが、チャージアレイ多段階充電方式の採用です」。こう話すのは電源グループの岩佐稔開発員です。



軽量化した電力制御装置が搭載された「だいち2号」。2014年5月24日に種子島宇宙センターから打ち上げられ、その後、広島市土砂災害の観測を行うなど実用されている。

コンバータ非使用の多段階充電方式を採用

人工衛星では、私たちが日常使う携帯電話やパソコンと同様、電力をバッテリーに充電しながら、各ミッション機器などに分配します。人工衛星の太陽電池がつくる電力をバッテリーに充電するためには、電圧を下げる必要があります。そのため、従来は直流電圧を別の直流電圧に変換するDC/DCコンバータが使われていました。しかし、この装置は大型で重量を要します。「そこで今回、このコンバータを取り除く設計にしたのです」(岩佐開発員)。

今回のチャージアレイ多段階充電方式では、複数のグループに分けた太陽電池をバッテリーと直接つなぎます。そして、バッテリーの電圧が設定した値に達すると、過剰な電圧をかけないように、順次バッテリーにつながっていた太陽電池をシャント(分流器)というスイッチで一時的に切り離していきます。「だいち2号」では2台のバッテリーへの充電制御のため18個のシャントが使われ、9段階の電圧でバッテリーに蓄電がなされています。

スイッチにより電流が流れたり流れなかったりするため、充電時の電流や電圧の変化は段階的になります。これによるストレスが掛からないか評価したところ、問題な

いことがわかりました。「だいち2号」のバッテリー目標耐用年数はJAXA最長となる7年間に設定されています。

次の目標へ 新たなアーキテクチャへの挑戦も

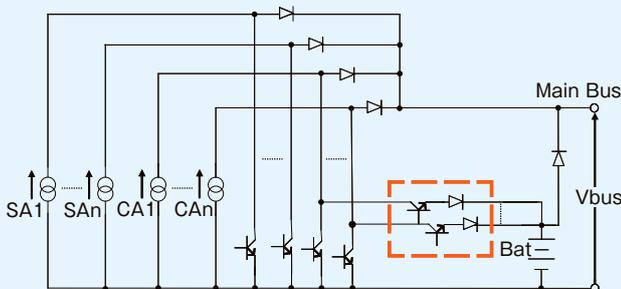
充電方式の変更以外に、銅基板の設計変更で排熱性を向上させたり、ヒューズ不要のキャパシタを採用して軽量化を図ったりし、従来42.2kgだった電力制御器を19.4kgまで軽量化しました。これらの軽量化技術は、大型アンテナなどを搭載する「だいち2号」に不可欠でした。また、静止衛星用の電力制御器などにも応用されています。

「次のターゲットに向け、ソフトウェアを搭載するデジタル電源の開発などにも取り組んでいます。単に軽くすることでなく、コストパフォーマンスを向上させることも踏まえて開発を進めていかなければなりません」(同)。



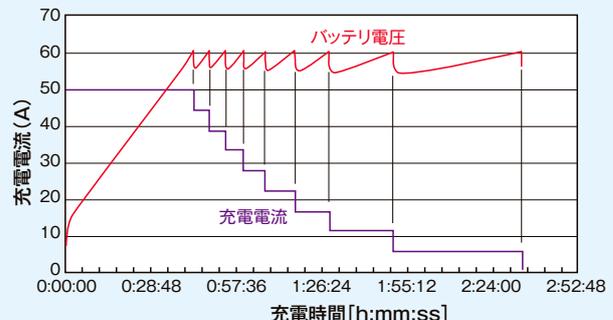
話を聞いた人
岩佐稔
IWASA Minoru
電源グループ 開発員

多段階充電方式の回路構成



チャージアレイ多段階充電方式の回路構成。破線内が、太陽電池とバッテリーを直接つなぐ部分。

多段階充電方式のI/F試験波形



多段階充電方式で、チャージアレイを1段ずつオフにしたときの充電電流とバッテリー電圧の変化。



研究開発本部 広報誌
宇宙開発最前線!
2014年12月発行

発行: JAXA (宇宙航空研究開発機構) 研究開発本部 発行責任者: JAXA 研究開発本部 研究推進部長 今井良一
〒305-8505 茨城県つくば市千現2-1-1 TEL: 029-868-5000 FAX: 029-868-5969

ホームページも是非ご覧下さい

JAXA 研究開発本部

検索



各種パルプ配合率100%再生紙を使用



この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。



VEGETABLE INK