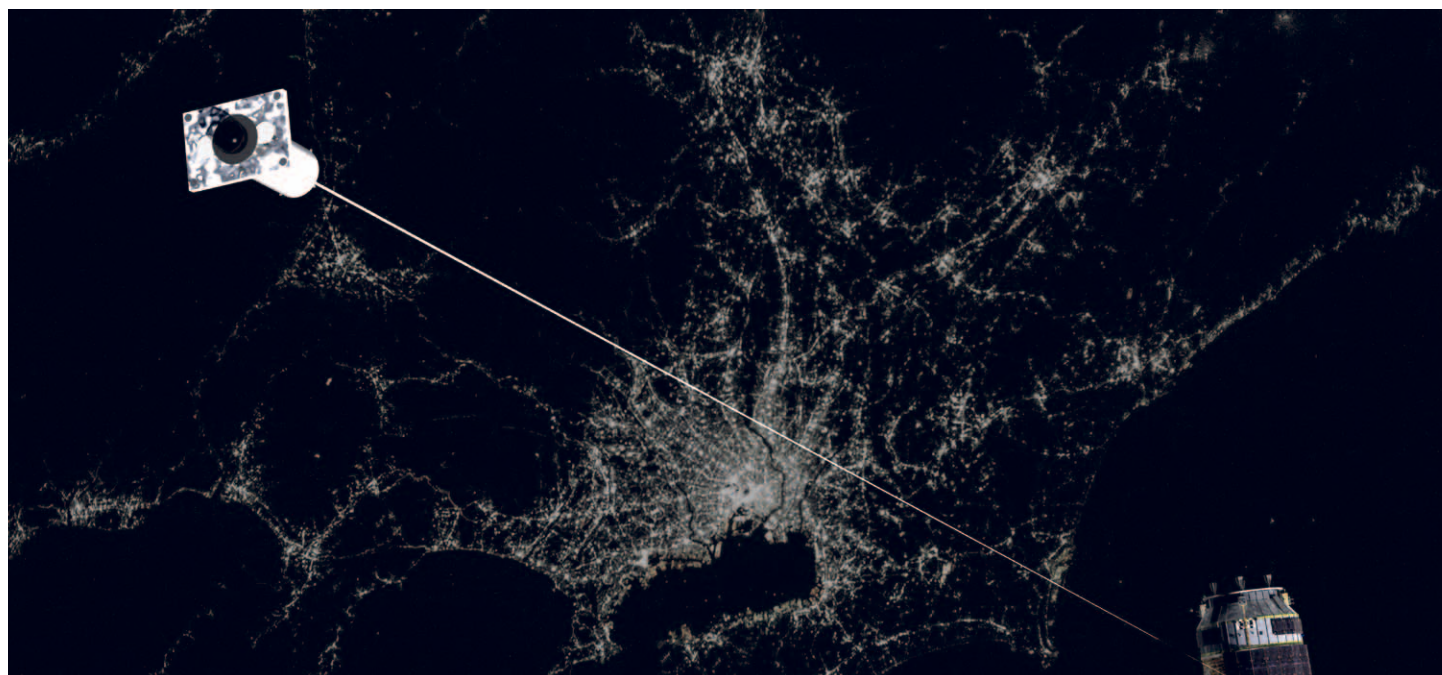




スペースデブリ特集



デブリに確実に接近する技術 /
微小デブリの計測で世界のリスク評価をリード



“ひも”を駆使して 宇宙のゴミを除去

スペースデブリ(宇宙ゴミ、以下、デブリ)除去技術の確立は喫緊の課題。未踏技術研究センターは「導電性テザー」によるデブリ除去システムの開発を進めています。

大型デブリの除去に向けて

いま、地球の周りには登録/公開されている大きさ約10cm以上のものだけで16000個以上の物体が存在しており、そのうちの多くが宇宙機として機能していない「デブリ」です。これらデブリの除去に向けて、未踏技術研究センターなどが技術開発を進めています。井上浩—HTV搭載導電性テザー実証実験推進チーム長は「衝突で小さいデブリをさらに多く生じさせないため、大型デブリの除去システムを開発しています」と話します。その手法は「導電性テザー」という装置を使ったもの。どういう技術かを紹介します。

話を聞いた人



井上浩一

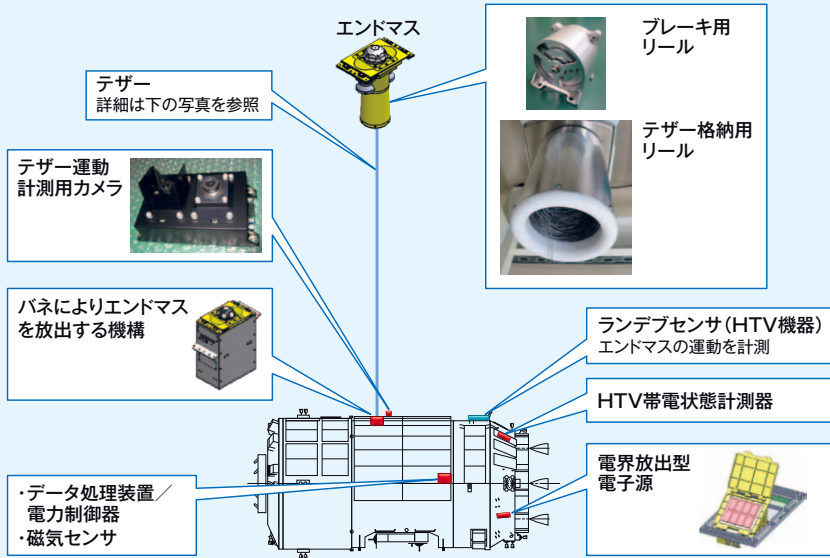
INOUE Koichi

宇宙実証研究共同センター／未踏技術研究センター
HTV搭載導電性テザー実証実験推進チーム長

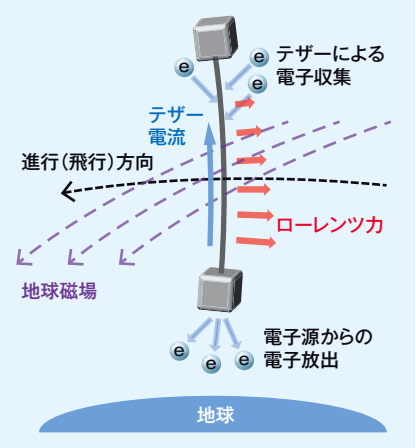
放置できないスペースデブリ問題

役目を終えたり故障したりした宇宙機や、放出された部品などの多数のデブリが宇宙軌道上を秒速7km以上で高速移動しています。デブリが人工衛星や宇宙ステーションに衝突すると、大きな被害を受けかねません。2009年には米国の衛星が、ロシアの衛星だったデブリと衝突し、実害も出始めています。デブリ除去が世界的な課題になっています。

導電性テザー実証実験システムの構成



導電性テザーの原理図



導電性テザーで推進力(ローレンツ力)を得るためのしくみ。導電性テザーが地球磁場を横切ることによって誘導起電力が生じる。テザーの一端で電子の収集、もう一端で放出することでテザーに電流が流れる。これによりローレンツ力が発生。

デブリの勢いを減らす力を推進剤なしで作ります

「テザー(Tether)」とはひものこと。電気が流れるテザーをデブリに付けて移動の勢いを減らしていき、大気圏に突入させて燃やし尽くすというのが、導電性テザーによるデブリ除去の方法です。ここでは宇宙軌道上にある使用後のロケット上段をデブリと想定して、除去手順の一例を詳しく紹介します。

まず、導電性テザーを備えたデブリ除去衛星(以下、除去衛星)がデブリに近づきます(接近技術については次の頁参照)。そして除去衛星が、デブリであるロケット上段のPAF(Payload Attachment Fitting、衛星分離部)等にテザーを取り付けて離れます。取り付けられたテザーは、デブリを起点に数百m~数kmという長さで伸びていきます。これで準備は完了です。その後、テザーが取り付けられたデブリは、徐々に勢いを失って軌道を下げ、最終的に地球の重力に引っぱられ、大気圏に突入して摩擦熱で燃え尽きます。

どうして導電性テザーが取り付けられたデブリは大気圏突入に至るのでしょうか。デブリが多く存在する宇宙空間には地球磁場があり、磁力が一定方向に働いています。そこをアルミ等の導体でできたテザーが横切

ると、磁場の影響を受けてテザーに電流が流れます。この電流と磁場との干渉により、デブリの進行方向と逆向きにローレンツ力という力が発生し、デブリの勢いを減らすのです。デブリは地球周回軌道を回り続けながらも、少しずつ軌道を下げていき、最後には地球の重力に引っぱられて大気圏へ突入してしまうわけです。

デブリ除去の手段には、他にもイオンエンジンや固体ロケットエンジンシステムを利用する方法がありますが、同センターの大川恭志主任研究員は「テザーを使うこの方法は、推進剤を必要としないことが利点です」と話します。

「こうのとり6号機」で実証実験を開始予定

導電性テザーを利用したデブリ除去の実用化に向けての第一歩が踏み出されようとしています。2016年度打ち上げ予定の宇宙ステーション補給機「こうのとり」6号機(HTV6)に、テザーシステムを搭載し、実証実験を行う予定です。

「こうのとり」の本来のミッションである国際宇宙ステーション(ISS)への物資補給完了後、大気圏再突入までの期間中の7日間を使って、宇宙空間でテザーの伸展や電圧発生評価、さらにローレンツ力発生原理の

確認などを行う予定です。

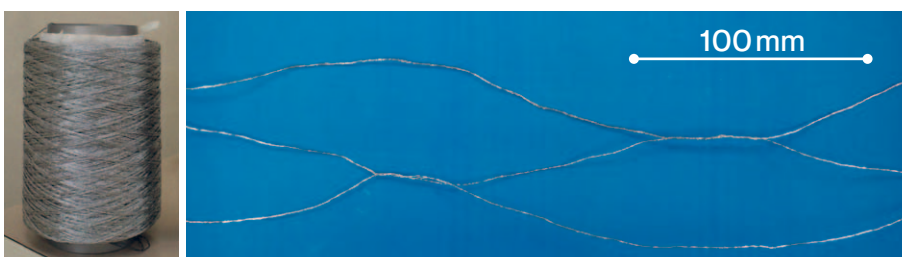
小型衛星に実証用テザーを載せるなどの案もありましたが、井上チーム長は、「『このとり』ならば、実験機器への電力供給や地上との通信なども問題なく、ISSへのランデブ用センサをエンドマスの運動計測に利用できるなどの大きな利点があります」と「このとり」で実証試験を行うことになった経緯を話します。

実証実験では、外部の研究機関との連携として、東京理科大学が開発し、小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」にも搭載されたカメラでテザーの動きをモニタします。また、JAXA内でも、「このとり」担当部門等の協力を得て開発を進めてきました。

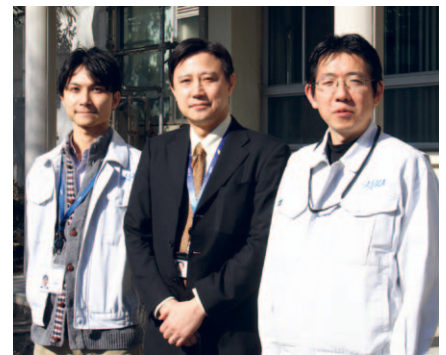
今後のステップとして、この実験の後、除去衛星の実証機を打ち上げ、2020年代中盤には実用機を打ち上げて、デブリ除去を実用化することを目指しています。

「実験計画が始まってほぼ2年。ものづくりの段階も終盤となり、ようやくここまで来たという実感です。完成度を高めて実証実験に備えたいと考えています」(井上チーム長)。

デブリの衝突がない安全な宇宙環境の構築に向けて、技術開発が進んでいます。



導電性テザー。引っ越しひものようにまとまった状態からテザーが伸展していく。「1本の線ではなく、複数の線を編み込んだ網状構造にしました(右上写真は網状構造がわかるように広げたもの)。テザーに微小なデブリが当たって1本が切れてもテザーとしては切断されないため運用を続けることができます」(テザー開発担当の壺岐賢太郎 開発員)。



導電性テザーによるデブリ除去に携わるスタッフ
左から壺岐賢太郎 開発員、井上浩一 チーム長、大川恭志 主任研究員

研究
開発

デブリに確実に 接近する技術

デブリを除去するために、除去装置を備えた宇宙機をデブリに接近させる技術の研究開発も進んでいます。



話を聞いた人

村上尚美

MURAKAMI Naomi

誘導・制御グループ 開発員

高い技術が求められる デブリへの接近

前の頁で紹介したようなデブリ除去を実現するには、除去衛星をデブリに接近させなければなりません。国際宇宙ステーションと補給機が相互に位置や姿勢などを確認しながらドッキングするのとは異なり、除去衛星はデブリに対してコミュニケーションをとることができません。そのため、デブリに接近してテザーなどのデブリ除去装置を取り付けるには、除去衛星が、デブリを観察した上で相対位置や姿勢を推定し、接近していくという、高い技術が求められます。「常に実用化を念頭に置いて作戦を練っています」。こう話すのは、デブリ接近技術の研究に取り組む、誘導・制御グループの村上尚美開発員です。

カメラなどを駆使して デブリに接近

実際、除去衛星がデブリに接近するためには、デブリの位置を把握しなければなりません。まず、デブリから200kmぐらいまでの遠方域では、地上レーダによるデブリ軌道決定値に基づく軌道計算とGPS航法を使って接近します。除去衛星に搭載するカメラでデブリを捉えられる中距離域になると、デブリの方角情報のみを用いた相対航法(Angles-Only Navigation: AON)により除去衛星はデブリとの相対位置を把握しつつ近づいていきます。さらに、1km未満の近距離域では、カメラがデブリの形をはっきり捉えられるよう

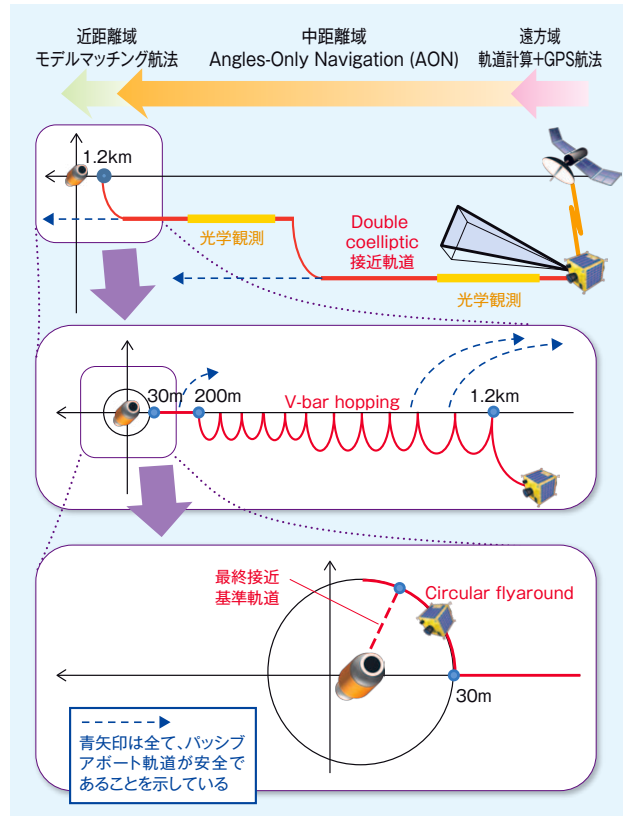
になるため、カメラが捉えた形を、登録されているデブリの形と照合して、より精度良く相対位置や姿勢を計算した上で、慎重にデブリに接近します。

カメラは、可視光カメラの他、暗闇でも対象デブリを温度情報で捉えられる赤外線カメラの使用を想定しています。また、レーザ照射に対する物体の反射光から距離を求めることのできるライダーという装置の使用も検討しています。

「除去衛星の制御ができなくなった場合にもデブリにぶつからないよう、対象デブリの軌道を避けるようにしながら接近させます」(村上開発員)。

画像航法技術を 地上で向上させる

同グループは、カメラ撮影した対象デブリの画像航法技術を高めています。「太陽光の当たり方や運動条件に依らず高精度に相対位置・姿勢を把握するような、ロバストな画像航法技術の構築を目指しています」(村上開発員)。

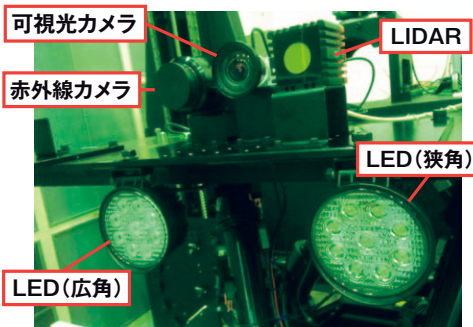


デブリへの接近シナリオ

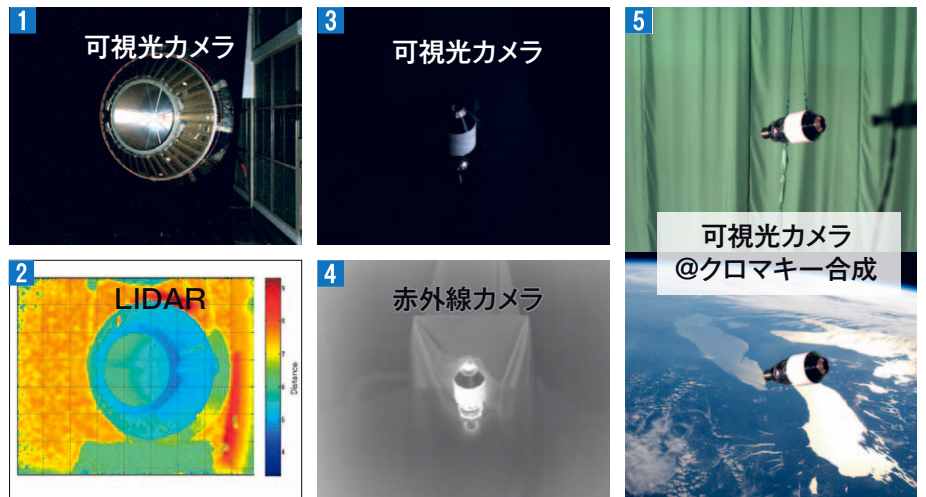
宇宙で行うこうした画像処理を地上で再現して、画像航法の正確性を高めるための技術開発も進めています。例えば、テレビ放送で使われるクロマキーの技法を使って、デブリの背景に地球がある状況を模擬し、得られた画像から相対位置・姿勢を導き出せるかを確認するなどしています。

デブリ除去技術を開発している未踏技術研究センター(前の頁参照)との連携は欠かせません。「導電性テザー実証実験に用いる搭載カメラでISSを撮像し、画像航法の検証を行う計画も進められています。デブリ対策は、多くの人びとが一丸となって取り組まなければならないミッションです」。

技術を高め合いながら、デブリ除去技術の実用化を目指しています。



デブリを捉えるための各種カメラ。また、下側にある発光ダイオード(LED)で対象のデブリを照らす。



1 可視光カメラによる画像。2 ライダー(LIDAR:Light Detection And Ranging)による画像。レーザ照射による反射光を測定し、対象物の相対位置を把握する。3 可視光カメラで撮影したデブリ模型。4 赤外線カメラで撮影したデブリ模型。5 クロマキー合成技術で、背景に地球がある場合の見え方を確認。

研究
開発

微小デブリの計測で 世界のリスク評価をリード

微小なスペースデブリが宇宙にどのくらい存在し、どの程度のリスクをもっているか、その情報を得るための装置を開発しています。

100 μ m~数mmのデブリを シンプルな原理で検出

スペースデブリには、情報登録済みの大きさが10cm以上のものや、地上から観測できる数cm以上のものだけでなく、大きさが1mm以下といった微小デブリもあります。しかも小さいほどその数が多くなるのが分かっています。しかし、微小デブリについては観測データが乏しく、リスク評価のための予測値には現在も大きなばらつきがあります。そこで、宇宙環境グループは、大きさが100 μ m~数mmといった微小デブリを宇宙空間で計測するための「微小デブリ計測センサ」の開発に取り組み、運用を目指しています。

この装置を開発する同グループの奥平修開発員は、「構造が単純な点が、装置の大きな特徴です」と話します。

大きさが30cm×35cmの薄いフィルムに、幅50 μ mの導電性デブリ検出線を100 μ m間隔で敷き詰めます。このフィルムに、例えば100 μ m程度の大きさのデブリが衝突すれば、1本の検出線が破断することになります。また、200 μ m程度の大きさのデブリが衝突すれば、2本の検出線が破断することになります。破断した検出線は通電しなくな

るため、どの(何本の)検出線が、いつの時点で破断したかを測定することができます。この測定データに、装置の面積や運用期間を加味すれば、宇宙空間での微小デブリの衝突リスクを算出するための重要なデータを得られることになります。

最新モデルでは、携帯電話などの可動する電子機器に使われるフレキシブルプリント基板(FPC)の製造技術を応用しました。「これほど大きい電子製品での用途はありませんので、メーカーと協力し、熱による影響を考慮したり、デブリ衝突時以外に断線したりしないようにしました」(奥平開発員)。

「こうのとり5号機」で実証へ リスク評価のデータを蓄積

微小デブリ計測センサは、2015年度に打ち上げられる「こうのとり」5号機(HTV5)に、宇宙環境観測装置(KASPER)の一要素として搭載される予定です。打ち上げ直後から「こうのとり」運用完了までの期間、デブリ計測を行う予定です。

「期間中、微小デブリがいくつかは当たるのではないかと考えています。『こうのとり』は地上400km程の低軌道で運用されます



HTV5号機では赤枠部分にKASPERが取り付けられる(写真はHTV4号機で別の装置)

が、今回の実証研究を経て、今後、高度600kmや800kmといった、デブリが多ながらも実態が未解明の領域での計測につなげていきたいと思います」(奥平開発員)。

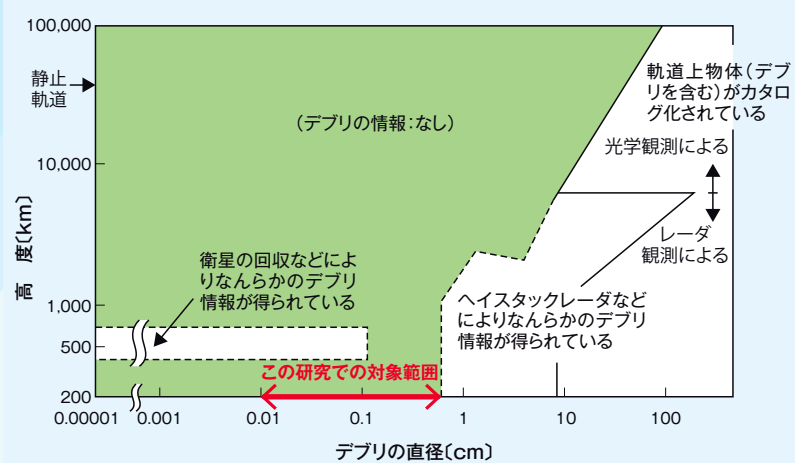
九州大学、(有)QPS研究所、(株)IHIなどと連携して研究を進めています。実証研究が成功すれば、電気を用いたアクティブな微小デブリ計測としては世界初。微小デブリの計測データは、世界の宇宙開発機関がデブリのリスク評価をする上で重要なものとなります。微小デブリのデータ蓄積でも、JAXAは世界に先駆けた実績づくりを目指しています。



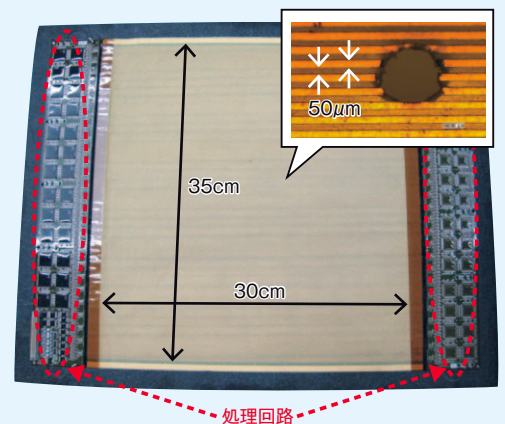
話を聞いた人

奥平修

OKUDAIRA Osamu
宇宙環境グループ 開発員



デブリの大きさと、地上からの高度によっては、まだ情報が十分に得られていない(図は上松・北澤(1995)より引用)。微小デブリ計測センサによる計測で、デブリ情報の空白域を埋めていく。



微小デブリ計測センサの試作モデル。衝突部分の写真は地上での試験によるもの。4本の検出線が破断されることで、400 μ m程度の大きさのデブリが当たったことがわかる。



研究開発本部 広報誌
宇宙開発最前線!
2015年3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 OIL INK