

超小型衛星「ほどよし4号」が50 kg級衛星として世界最高速となる 毎秒348メガビットの高速ダウンリンク通信に成功

1. 発表者： 齋藤 宏文（宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 教授
東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 教授（委嘱））
中須賀 真一（東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 教授）

2. 発表のポイント：

- ◆超小型衛星「ほどよし4号」と宇宙科学研究所の受信設備を使用し、50 kg級衛星としては世界最高速となる毎秒348メガビットの高速ダウンリンク通信に成功しました。
- ◆従来は開発費100億円以上、重量数100 kg以上の中型・大型衛星を用いて実現してきた超高速データ通信を、重量64 kg、開発費数億円の超小型衛星で実現しました。
- ◆超小型衛星の地球観測センサによって得られる大量の画像データを地上に高速伝送する通信技術が確立し、超小型衛星による地球観測の実用化に貢献します。

3. 発表概要：

近年、超小型衛星（重量50 kg級衛星）は400-600 kmの衛星高度から、地表の数メートルの物体まで見分けられる高解像度で地表を撮影できるようになっています。しかし、超小型衛星の限られた重量や電力に見合うシステムでは地上へ大量の画像データ伝送を行えないことが制約となっていました。

今回、宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所・東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻の齋藤宏文教授らの研究グループは、衛星搭載用の小型省電力の高速データ送信技術と地上の受信技術について基礎開発しました。そして、超小型衛星「ほどよし4号」の高速通信システムにおけるXバンド通信機の研究開発を行い、東京大学大学院工学系研究科 中須賀真一教授らとともに、フライトモデルを製作しました。2014年12月、「ほどよし4号」から毎秒348メガビットの速さでデータを送信し、JAXA宇宙科学研究所の受信設備でデータの誤りなく受信することに成功し、軌道上でその動作を実証しました。これは重量2 tの地球観測衛星「だいち2号」の約半分にあたる通信速度であり、2015年2月時点では50 kg級衛星として世界最高速となります。

今回の開発研究成果により、超小型衛星による地球観測は、データ伝送の点では大型衛星の機能に迫ってきたといえます。今後は観測センサの性能と衛星システムの信頼性向上が残された課題となります。

なお、本研究は、JAXA宇宙科学研究所と東京大学グローバルCOEプログラム「セキュアライフ・エレクトロニクス」の支援を受けて行われました。また、「ほどよし4号」の開発は、総合科学技術会議 最先端研究開発支援プログラムにおいて日本学術振興会より助成されて行われました。

4. 発表内容：

近年、超小型衛星（重量50 kg級衛星）は400-600 kmの衛星高度から、地表の数メートルの物体まで見分けられる高解像度で地表を撮影できるようになっています。しかし、せっかく撮影しても超小型衛星の限られた重量や電力に見合う通信システムでは地上へ大量な画像データ

伝送を行えない事が、超小型衛星ミッションの制約となっていました。これは、従来の高速通信機器が大型衛星用に開発されたものであり、大きな消費電力を必要とするためです。

今回、JAXA 宇宙科学研究所・東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻の齋藤宏文教授らの研究グループは、東京大学大学院工学系研究科の大学院生、ベンチャー企業、中小企業と共に、衛星搭載用の小型省電力の高速データ送信技術と、地上の受信技術について基礎開発しました。そして、重量 64 kg の超小型衛星「ほどよし 4 号」の高速通信システムにおいて、実際の X バンド通信機の研究開発を行い、東京大学大学院工学系研究科 中須賀真一教授らとともに、フライトモデルを製作し、軌道上でその動作を実証しました。高度約 600 km の軌道を周回する衛星「ほどよし 4 号」から毎秒 348 メガビットの速さでデータを送信し、JAXA 宇宙科学研究所の受信設備でデータの誤りなく受信することに 2014 年 12 月に成功しました。これは、JAXA が日本を代表とするプロジェクトとして昨年打ち上げた重量 2t を超える大型の地球観測衛星「だいち 2 号」の約半分にあたる通信速度であり、これを重量わずか 64 kg の超小型衛星で実現しました。2015 年 2 月時点において、50 kg 級衛星としては世界最高速のダウンリンク通信速度となります。

図 1 は、株式会社アドニクスが製造し、衛星「ほどよし 4 号」に搭載した高速送信機であり、装置重量は 1.3 kg です。今回用いた通信変調方式は 16 値の直交振幅変調 (16 Quadrature Amplitude Modulation, 16QAM) (注 1) と呼ばれる方式で、1 つのシンボル (注 2) で 4 ビットの情報を伝送できる周波数利用効率の極めて高いものです。図 2 は、JAXA 宇宙科学研究所で受信し復調したシンボルを、振幅と位相の 2 次元平面に示したものであり、4 ビットの情報に対応する $2^4 = 16$ 個の配置 (コンスタレーション) を確認できます。この配置を正確に伝送するため、研究グループは、アイ電子株式会社と協力し、優れた歪特性を持ち高効率な窒化ガリウムを用いた高周波増幅器を開発しました。また誤り訂正符号にターボ符号 (注 3) を採用することにより、効率の良いデータの誤り訂正が可能となっています。衛星に搭載した小型の中利得アンテナ (注 4) (図 3) はアンテナ技研株式会社、茨城大学の協力の下で開発されました。図 4 は衛星からの信号を受信した JAXA 宇宙科学研究所屋上の小型アンテナであり、直径は 3.8 m です。

今回の開発研究成果により、超小型衛星による地球観測はデータ伝送の点では大型衛星の機能に迫ってきたといえます。現在、地上の受信機での復調処理、復号処理はソフトウェアによるオフライン処理となっていますが、今後はこの処理を高速化することによって低コストな受信機の実現を目指します。これに加え、1 シンボルで 6 ビットの情報を伝送できる 64 値の振幅位相変調 (64 Amplitude and Phase Shift Keying, 64APSK) (注 5) を用いた毎秒 500 メガビットを超える高速通信実験を予定しています。

光学センサの性能向上、夜間・悪天候時にも撮影ができるマイクロ波を用いた合成開口レーダ (注 6) 等の搭載観測センサの実現や、衛星システムの信頼性向上が取り組むべき課題となります。

5. 発表論文：

会議名：10th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation

論文タイトル：Experiment of 348 Mbps downlink from 50-kg class satellite

著者：Tomoya Fukami*, Hiromi Watanabe, Hirobumi Saito, Atsushi Tomiki, Takahide Mizuno, Naohiko Iwakiri, Osamu Shigeta, Hitoshi Nunomura, Kaname Kojima, Takahiro Shinke

6. 問い合わせ先：

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 教授
東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻教授（委嘱）
齋藤 宏文

7. 用語解説：

（注1）直交振幅変調

振幅位相変調方式の1種であり、直交する2つ搬送波それぞれの振幅に変調を加え、合成する方式。

（注2）シンボル

情報を伝送する単位。シンボルには複数の状態を設定でき、それを識別して情報を伝送する。16個の状態を設定すると1シンボルで4ビット伝送でき、64個の状態を設定すると1シンボルで6ビット伝送できる。より多くの状態を設定することで、与えられた周波数領域で多くの情報ビットを伝送できる。

（注3）ターボ符号

送信時に冗長なデータを付加することで、雑音によって誤りが発生しても受信時に訂正できるようにする「誤り訂正符号」の1種である。ターボ符号は自動車のターボチャージャのように繰り返し処理することで、少ない冗長データでも効率的に誤りを訂正できる方式。スマートフォンの Long Term Evolution（LTE）や深宇宙通信でも使用されている。

（注4）中利得アンテナ

電波を放射するアンテナには、電波を狭い範囲に集中して放射する大型の高利得アンテナと、広い範囲に放射する小型の低利得アンテナがある。中利得アンテナは、その中間的な特性を持つ。

（注5）振幅位相変調

情報を伝送するために、搬送波の振幅と位相の両方に変調を加える方式。

（注6）合成開口レーダ

衛星や航空機からマイクロ波を放射してその反射波を計測することで画像を得るレーダの1種。マイクロ波レーダは悪天候時や夜間にも撮像できる利点があるが、マイクロ波は可視光よりも波長が長いため、高い地上分解能を得るためには非常に大きなアンテナが必要である。衛星や航空機が飛行する移動距離にわたる反射波を記録して、データ処理を行うことで、等価的に移動距離のサイズのアンテナ受信と同程度の分解能を得るもの。

8. 添付資料：



図 1: 超小型衛星「ほどよし 4 号」に搭載した高速送信機の外観。重量は 1.3 kg、大きさは幅 12 cm、奥行 12 cm、高さ 7 cm。

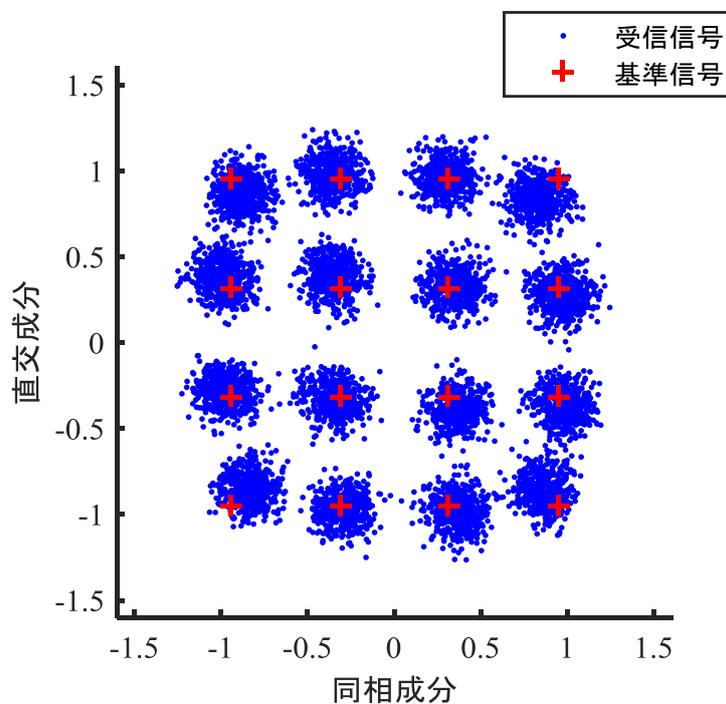


図 2: JAXA 宇宙科学研究所で受信した「ほどよし 4 号」からの信号（青い点群）を振幅と位相の座標平面で表した図。赤の十字はシンボルの正しい位置を示し、16 個それぞれが 4 ビットを表す。

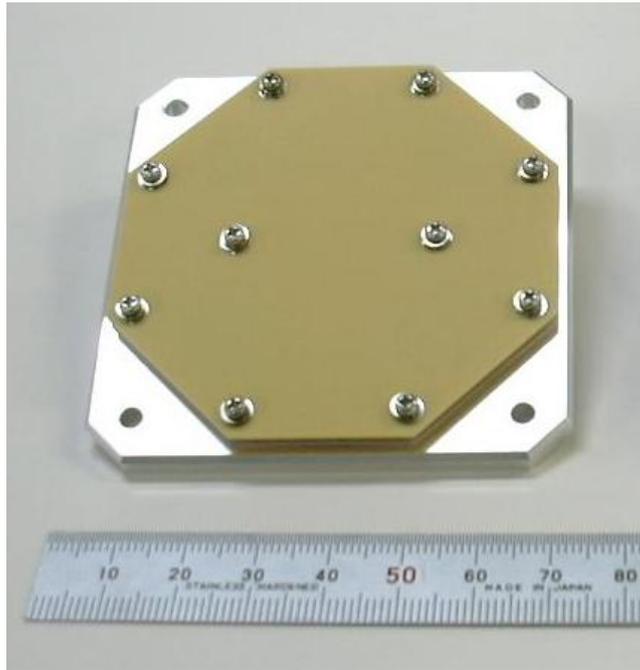


図 3: 超小型衛星「ほどよし 4 号」に搭載した小型の中利得アンテナ



図 4: 衛星からの信号を受信した JAXA 宇宙科学研究所の 3.8 m アンテナ