

2 Gbpsクラスの超高速Xバンドダウンリンク通信システムの検討

A study of ultrahigh-speed X-band downlink communication system over 2 Gbps

深見友也, 渡邊宏弥(東大), 富木淳史, 水野貴秀, 齋藤宏文(JAXA), 岩切直彦(NICT), 川元光一(川元工業所), 新家隆広, 小島要(アドニクス)

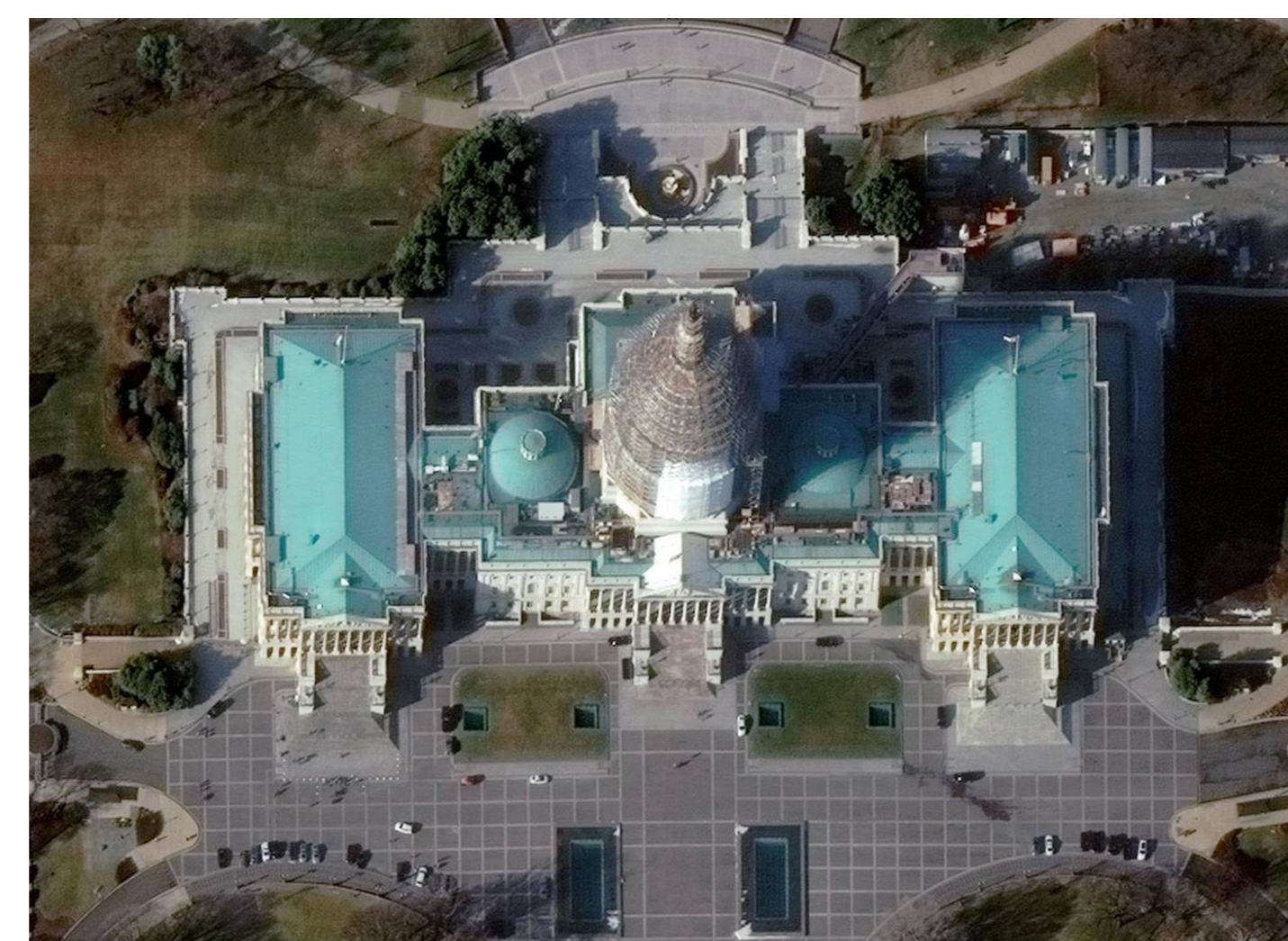
概要

- 地球観測衛星の光学センサや合成開口レーダの能力向上に伴い、観測データを地上に伝送するダウンリンク回線の更なる大容量化が求められている
- 天候の影響が小さく低価格な通信を実現できる8 GHz帯(Xバンド)のうち、地球観測衛星には375 MHzの帯域幅が割り当てられており、大容量化には周波数利用効率の向上が必要
- これまでにXバンドの125 MHzの帯域幅で64APSK方式を使用し、50 kg級の超小型衛星とISAS屋上の3.8 mアンテナの間で505 Mbpsの高速通信に成功
- 505 Mbpsの通信実績を基に、周波数多重化、偏波多重化を行うことによりXバンドで2 Gbpsを超える超高速ダウンリンク通信システムの検討を開始

地球観測衛星の高性能化

- 観測センサやデータ処理装置の能力向上により、衛星で発生するデータ量が増加

- 複数の地上局を用意したり、静止軌道のデータ中継衛星を利用することで通信時間を拡大する方法は運用コストの増加・画像単価の高騰に繋がる

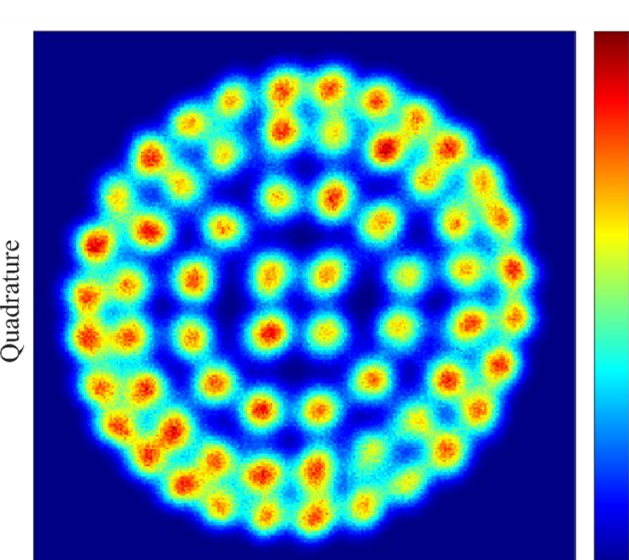


米DigitalGlobe社のWorldView-3が撮影した分解能30cmの観測画像

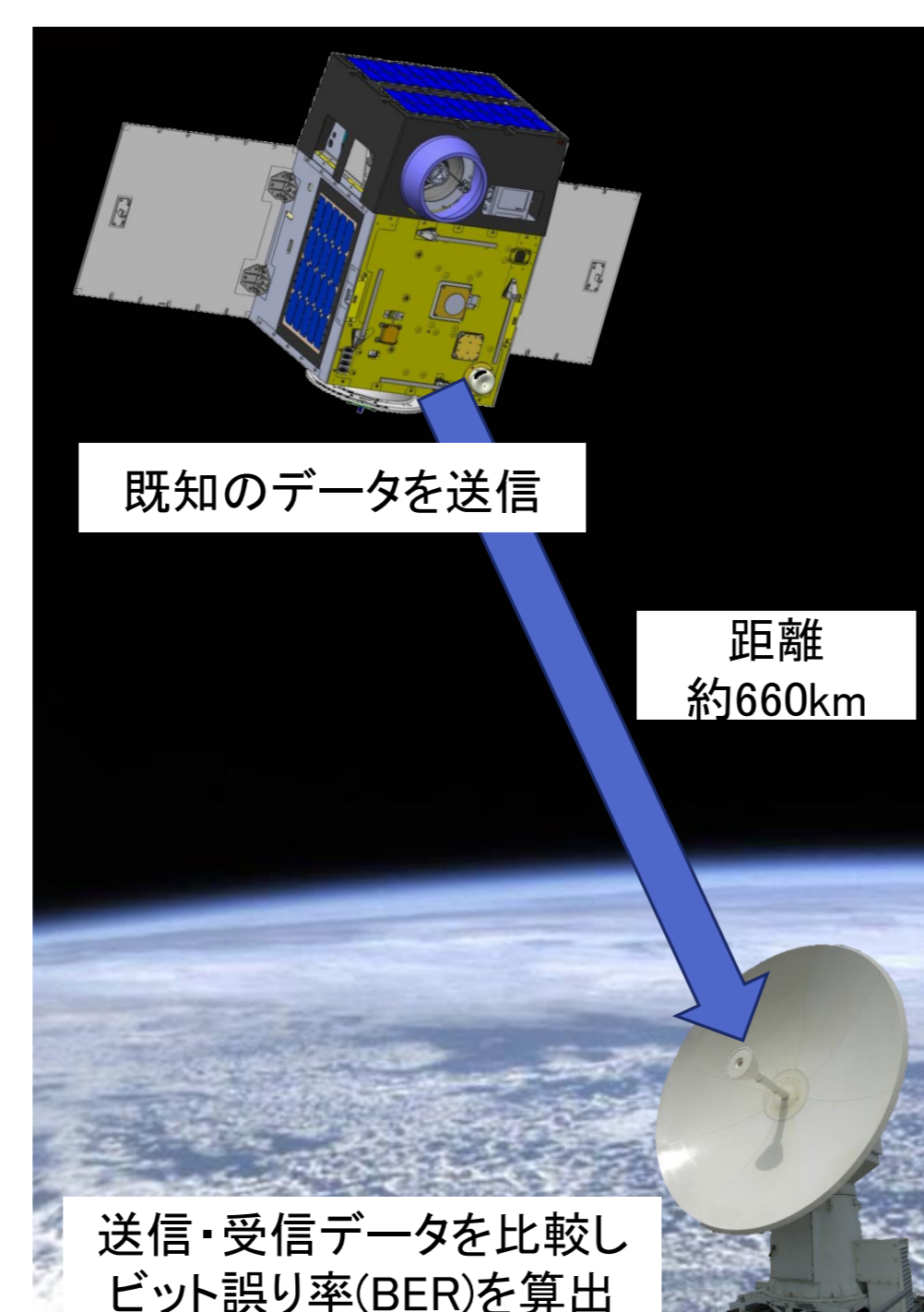
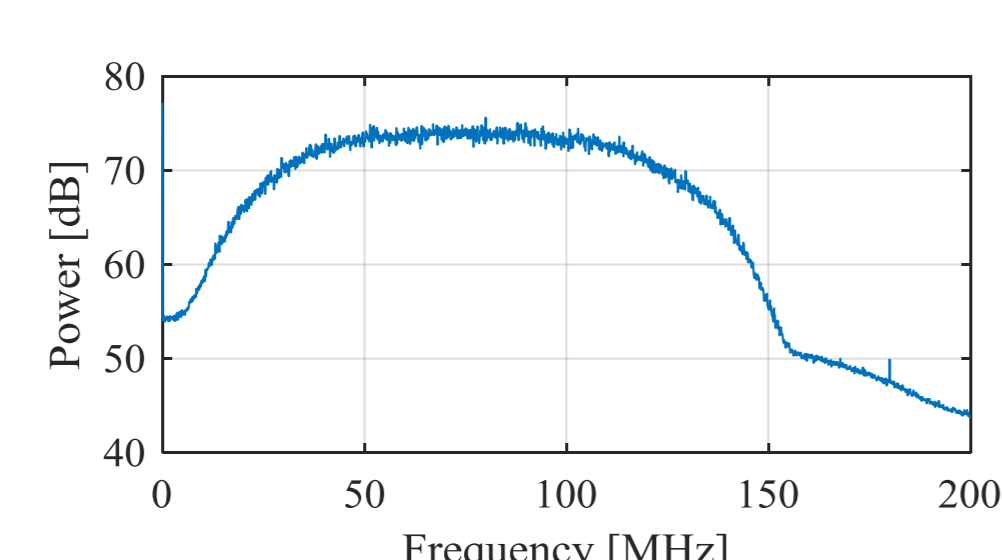
高分解能の大容量観測データを低コストで提供するためにはダウンリンク速度の高速化が必要

64APSK方式を使用した50 kg級衛星からの505 Mbps通信実験

- 小型衛星にも搭載できる低消費電力の送信機を開発
- 地球観測衛星ではこれまでに実用化されていなかった64APSK方式の実証に初めて成功
- 64APSK方式では1シンボルで6ビットの伝送が可能となり、従来使用されてきた8PSK方式と比較して2倍の周波数利用効率を実現



ISAS屋上アンテナで受信した64APSK信号



既知のデータを送信

距離
約660km

送信・受信データを比較し
ビット誤り率(BER)を算出

地上アンテナ

- 相模原3.8 mアンテナ
 - 小型衛星用のS/X共用アンテナ
 - 「れいめい」や「ほどよし」の運用で使用
 - AZ/ELマウント方式で駆動速度は5度/秒
 - XバンドのLHCPポートに受信系を新設予定
 - 交差偏波識別度(XPD)が25 dB程度しかなく、検討が必要

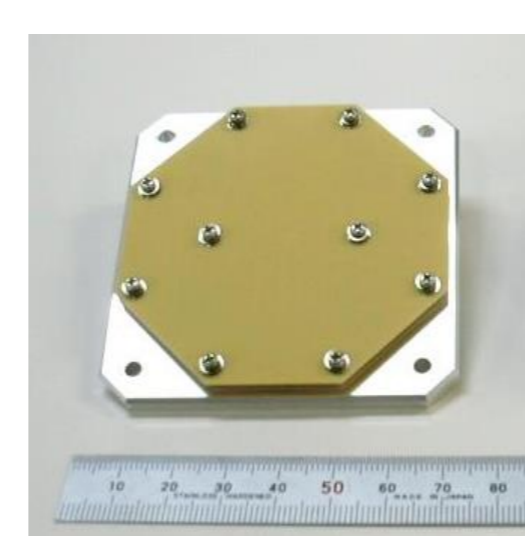


- 臼田10 mアンテナ
 - MUSES-B(はるか)のKuバンドアンテナとして整備
 - 現在は電波天文の22 GHz用アンテナとして使用されている
 - AZ/ELマウント方式で駆動速度が3度/秒しかなく、低軌道を周回する地球観測衛星の追跡には本来不向き
 - Xバンド受信機能を新たに追加予定
 - 臼田の局舎から首都圏までの地上伝送ネットワーク帯域が不足しているため、新設が必要



衛星搭載アンテナ

- ほどよし4号の505 Mbps通信システム
 - 小型化・軽量化が可能なパッチアンテナを採用



- 検討中の2 Gbps通信システム
 - 偏波多重化のためにXPDの悪いパッチアンテナの採用は断念
 - 大きなXPDを実現できると考えられるホーンアンテナやヘリカルアンテナを検討中
 - 周波数多重化のためには周波数の異なる2つの搬送波を効率よく合成する必要がある
 - コンバイナで合成する方法や2つのアンテナで空間合成する方法などを検討中

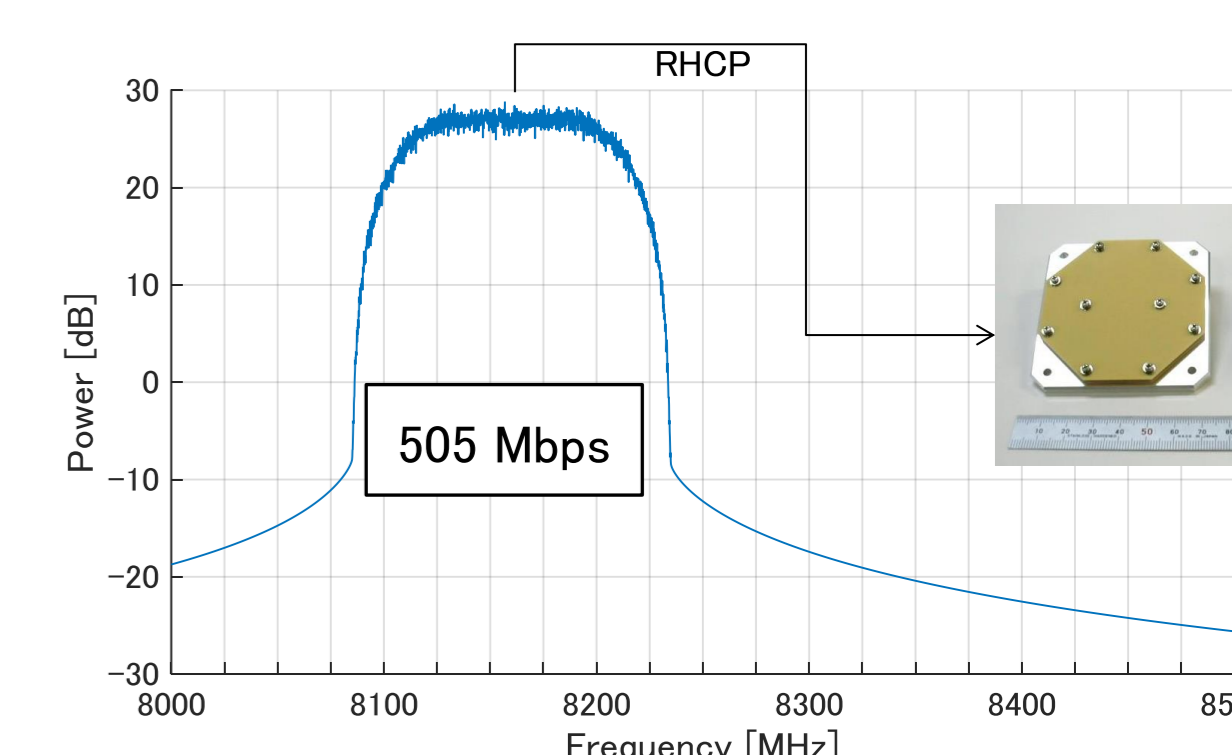
地球観測衛星のダウンリンク回線

- Sバンド
 - 割り当て範囲: 2,200-2,290 MHz
 - 合計帯域幅: 90 MHz
 - 降雨減衰が無く使いやすいが、帯域が不足
- Xバンド
 - 割り当て範囲: 8,025-8,400 MHz
 - 合計帯域幅: 375 MHz
 - 降雨減衰が比較的小さく、天候を気にせず使える
 - 低コストであり、広く普及している
- Kaバンド
 - 割り当て範囲: 22,500-27,000 MHz, 37,500-40,500 MHz
 - 合計帯域幅: 4,500 MHz
 - 帯域は十分だが、降雨減衰が大きい
 - コストダウンが難しく、普及していない
- 光
 - 波長1,550 nmなど
 - 法的制限の無い膨大な帯域幅
 - 降雨だけでなく、雲や大気の揺らぎの影響も大きく受ける

周波数・偏波多重化

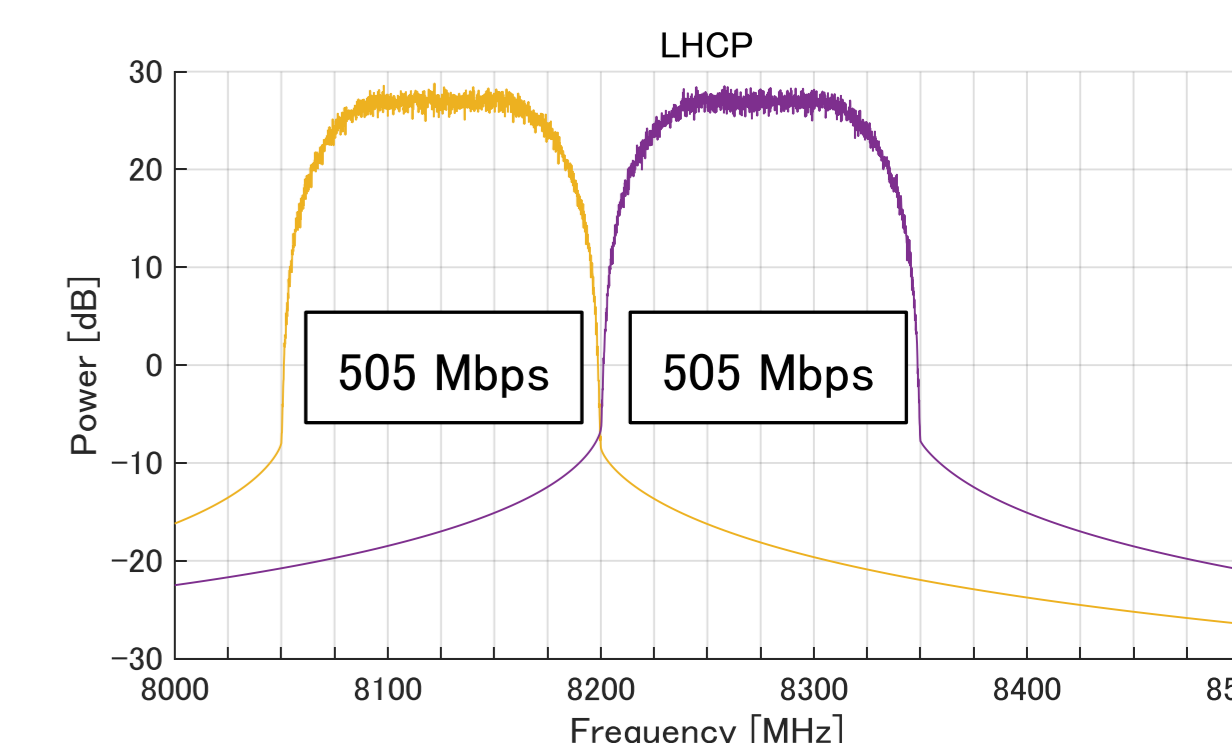
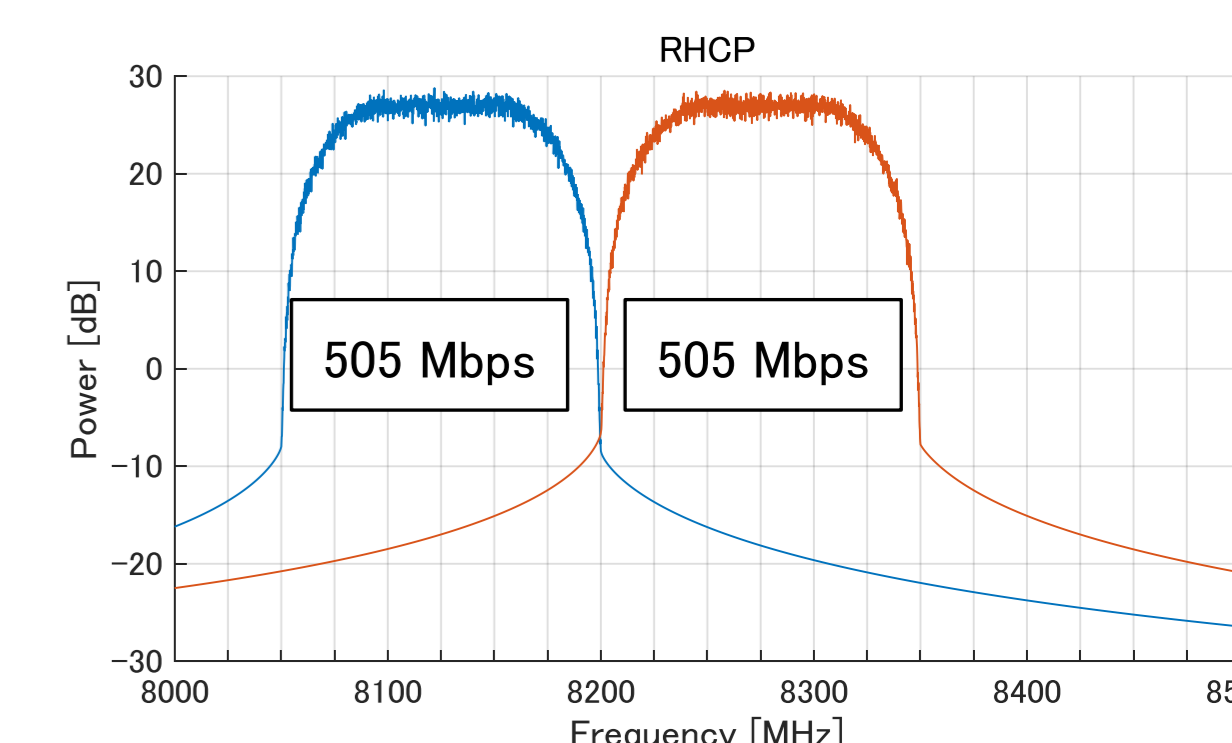
ほどよし4号の505 Mbps通信システム

- 1本の搬送波で125 MHzの帯域を使用し、64APSK方式で505 Mbps
- RF送信電力は2 W
- 右旋円偏波(RHCP)のみを使用
- 50 kg級の超小型衛星で使用可能な電力と3.8 mの地上アンテナに合わせた設計



検討中の2 Gbps通信システム

- 2本の搬送波で約300 MHzの帯域を使用し、各チャネル64APSK方式で505 Mbps
- RHCPに加えて左旋円偏波(LHCP)も使用し、両偏波で計4チャネルとする
- 低消費電力化のために1チャネルあたりのRF送信電力を2Wより下げる
- 100 kg級以上の衛星をターゲットとする
- 偏波MIMO技術によって偏波間干渉による劣化を補償
- 1キャリアあたりの伝送レートやキャリア間隔は今後実験やシミュレーションによって決定する



地上用受信機

既存のハードウェア受信機

- リアルタイムでの復調・復号が可能
- 周波数多重化や偏波多重化に対応したものは非常に高価であり、そのため小型衛星では導入が困難
- 64APSK方式に対応した物は未だ動作実績なし

ソフトウェア受信機

- IF信号のA/D変換後の信号処理をすべてソフトウェアで行う受信機
- ほどよし4号用に開発した受信機は64APSK方式の復調機能を実証済み
- ハードウェア受信機と比較し、機能の追加が容易
- 高速通信では処理が間に合わないため、波形をディスクに蓄積した後、オフラインで復調・復号を行う。処理時間の短縮が課題
- 安価なPCI Express接続のA/D変換ボードとPCを組み合わせ、偏波多重化に対応した受信機を開発予定

