

# 搭載・地上統合設計による小電力高速通信システムの研究

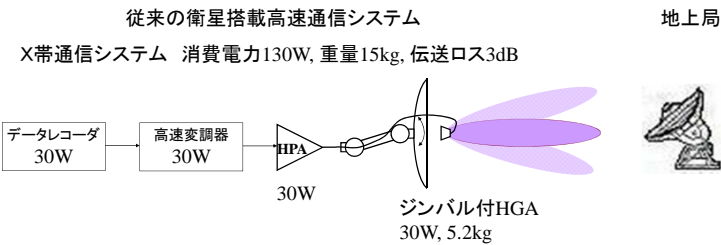
水野貴秀<sup>A</sup>、岩切直彦<sup>B</sup>、富木敦史<sup>A</sup>、齋藤宏文<sup>A</sup>、小林岳彦<sup>C</sup>  
<sup>A</sup> ISAS/JAXA, <sup>B</sup> 東京大学, <sup>C</sup> 東京電機大学

## はじめに

月惑星探査機(ローバ含む)あるいはVLBIといった科学衛星等、比較的電力重量リソースの少ない宇宙機で100~300Mbps程度の高速通信システムを実現することを目的とする。また、小電力高効率の高速通信システムの開発によって、小型衛星の活動領域を広げる効果も期待できる。

本研究では、衛星搭載のRF系・アンテナ・変調器・データレコーダから地上系までの通信系をシームレスに統合設計することにより、伝送時の波形歪みや特性劣化を地上系で補償することによって、「**搭載システムの負担を低減すること**」を設計指針として、搭載通信系の低消費電力化・軽量化を達成する。

## 現在の高速通信システムはなぜ消費電力が大きいのか？



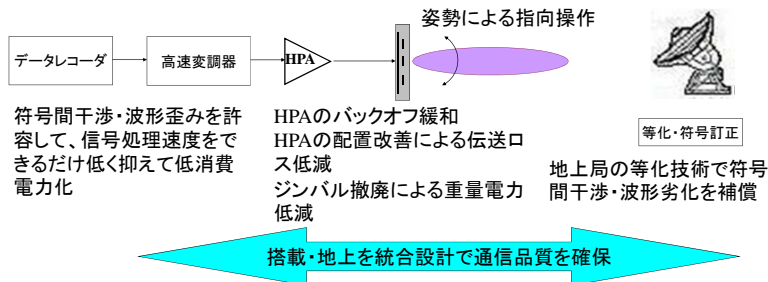
高速信号処理による低符号間干渉・低歪み信号波形

従来の手法は、帯域利用効率をよくするためにデジタル処理でフィルタリングされた信号を、

- ・8倍程度のオーバーサンプリングでA/D変換
  - ・送信アンプでは余裕のあるバックオフを確保
- して、干渉や歪みの少ない「きれいな」波形を送信している。このため、
- ・デジタル信号処理系のクロック周波数が高く、
  - ・ハイパワーアンプの消費電力が大きく、
- なって、搭載側の送信電力が大きくなってしまっている。

## 高速通信システムをどのように低消費電力化するのか？

高速通信システム案 目標 100~300Mbps, 30W



「搭載側に優しい」設計

- ・オーバーサンプリングは2倍程度でA/D変換
- ・送信アンプのバックオフはできるだけ切りつめる

干渉や歪みが激しい「きたない」波形を送信する。これによって、

- ・デジタル信号処理系のクロック周波数を低く、
- ・ハイパワーアンプの出力を小さく、

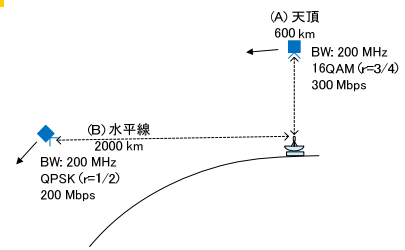
抑えて、搭載側の送信電力をできるだけ小さくすることができる。

一方、受信波形が劣化する。地上局の復調複合系では、

- ・搭載側ハイパワーアンプの非線形特性を考慮した等化器
- ・等化器と復号機にターボ原理を応用した新しい手法を導入

することによって、通信品質を確保する。

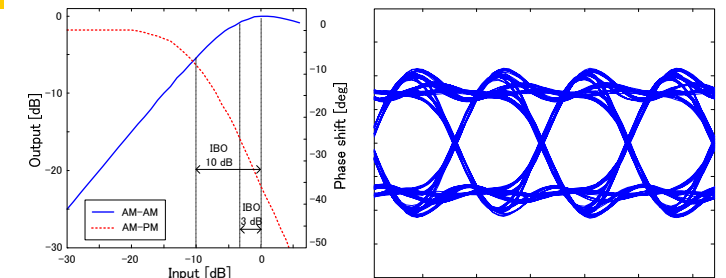
## アダプティブ高速伝送方式の導入



小型衛星で高画質画像データ伝送する場合、チャンネル状態やアンテナビーム制御など搭載機器の運用を妨げずにアダプティブ伝送を行うことが望ましい。

- (A) チャンネル状態が良い: 16QAM変調で低符号化率の誤り訂正符号を用いて高速伝送を行う。
- (B) チャンネル状態が悪い: QPSK変調で低符号化率の誤り訂正符号を用いて高品質伝送を行う。

## 搭載送信機の小型小電力化による問題点



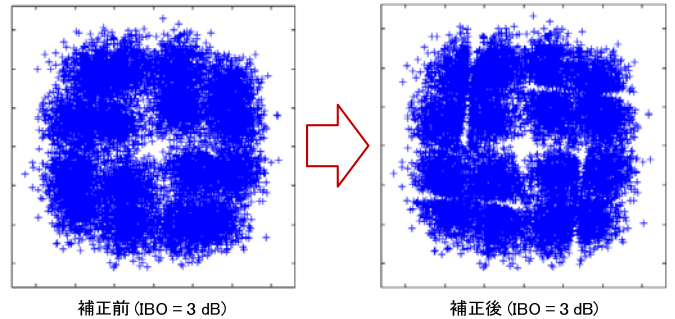
パワーアンプ: 非線形歪みの増加

通常10 dB程度のIBOを3 dB程度に削減

送信側RF BPF: 符号間干渉の増加

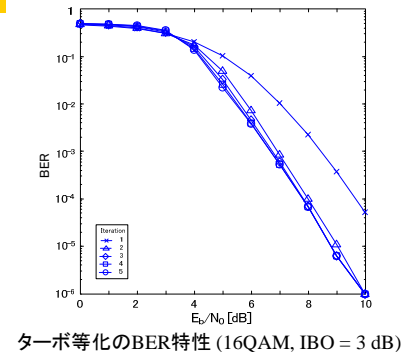
急峻フィルタで隣接システムへの干渉回避

## パワーアンプによる波形歪み補償技術



非線形歪みを受けた16QAM受信信号から16点それぞれの重心を求め、constellationの対称性を利用して非線形歪み成分を推定して補正を行うことで、非線形歪みを軽減する。

## ターボ等化による誤り率特性改善



送信機の小型小電力化による波形劣化を受信機信号処理で補償するにはターボ等化が有望な技術である。

ターボ等化は、SIC-LMS等化器とSISO復号器によるターボ原理を利用して相互に事前情報を交換して、等化器と復号器の反復処理を行う。

変調多値数に関わらず同じ等化器を採用できるので実装に有利である。

従来の等化器+復号器(反復1回)に比べて、反復処理を行うことによりBER < 10<sup>-5</sup>で2 dB以上の符号化利得が得られる。

## まとめ

電力リソースが小さい宇宙機に搭載可能な高速通信システム、および、その実現に必要な地上側での復調復号装置に搭載する等化器と復号器にターボ原理を適用した新しいアルゴリズムを提案した。また、提案する通信システム全体を解析できるシミュレータを構築し、ターボ等化の初期的な動作試験を行い、その効果を確認することができた。