

再構成通信機の開発

Development of Reconfigurable Communication Equipment

鈴木健治[†] 西永望[†] 芳賀健二^{††} 岡田英人^{††} 米田誠良^{††} 鈴木龍太郎[†]
 Kenji Suzuki Nozomu Nishinaga Kenji Haga Hideto Okada Masayoshi Yoneda Ryutaro Suzuki

[†]情報通信研究機構
 National Institute of Information and
 Communications Technology

^{††}NEC 東芝スペースシステム株式会社
 NEC TOSHIBA Space Systems, Ltd.

1. まえがき

情報通信研究機構（以下 NICT という）では、最新技術をより早く宇宙で実証するため、小型衛星を用いた搭載機器等の研究開発・実験を行ってきている。2010 年打上げを目指して開発を進めていた SmartSat-1 衛星に搭載することを目標に開発した再構成通信機(以下 RCE という) [1]について開発結果を報告する。

2. SmartSat-1 衛星計画

SmartSat-1 衛星は、NICT と三菱重工株式会社（以下 MHI という）が共同で開発する高性能小型衛星で MHI が小型衛星標準バスの開発及び、システムインテグレーションを担当し、NICT が搭載宇宙ミッション機器の開発を担当する産官連携プロジェクト[2]であったが、現在は SmartSat-1 衛星の開発は凍結されている。再構成通信機は SmartSat-1 衛星の通信ミッションとして搭載する予定であったものであるが、その後衛星開発と独立して、サブシステム開発/評価を行ってきた。

3. RCE（再構成通信機）の開発

RCE は中核となるソフトウェア無線機部（以下 OSDR）と RF 部中継器部（以下 TRX）が IF 帯 (Intermediate Frequency: 中間周波数) 帯で結ばれ、TRX とアンテナ間には、送受信を分割するダイプレクサ（以下 DIP）を介して接続される。OSDR EFM の開発は H18 年度に完了し、TRX, DIP を含めて H21 年度までに総合検証を行い RCE 全体（アンテナを除く）の開発を完了した。図 1 に RCE 全体構成図を、図 2 に各サブシステム（OSDR, TRX, DIP）の外観図を示す。

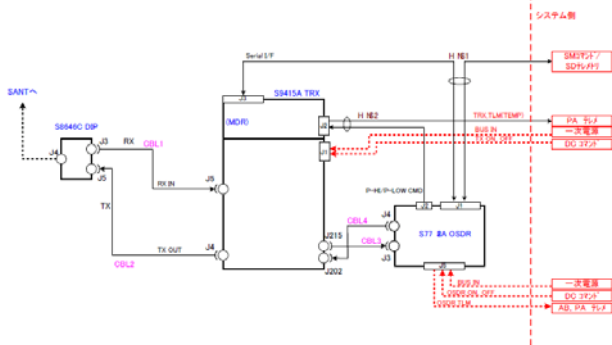


図 1 RCE 全体構成図



OSDR TRX DIP

図 2 RCE サブシステム構成機器

RCE は OSDR のデジタル信号処理において、SRAM 型 FPGA を用いており、軌道上でも書き換えを行い、回路の変更が可能な中継器である。あらかじめメモリに書かれている複数の回路情報を選択動作できるだけでなく、地上から回路情報をロードすることも可能な設計としている。通常軌道上に打上げられた中継器は、故障が生じると、その機器、サブシステムとして機能消失となるが、RCE では故障した回路部分以外を再構成して、機能縮退してでも、機能を維持する（“柔らかく壊れる”）ことを考慮した設計としている。

本構成では、例えば平常時はある用途に適した中継器として使用し、災害が発生した場合に災害に適した中継器に書き換えて使用するというようなことも可能である（図 3 参照）。さらに昨今では 10 年以上の衛星寿命も要求される中、これまでと異なる新たな通信方式に書き換えて使用することなども設計のコンセプトとして考えている[3]。

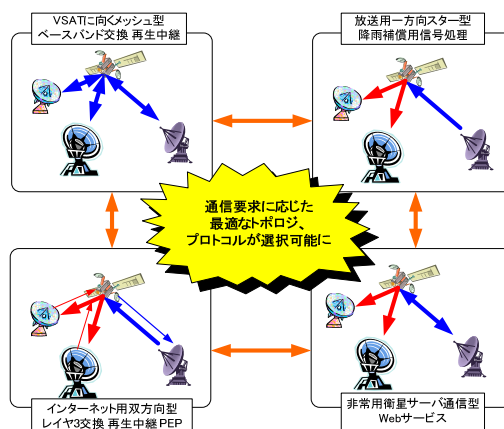


図 3 RCE サブシステムにおける柔軟な運用想定例

RCE/OSDR で使用しているデバイスは高性能かつ柔軟な性能を実現するため、SRAM 型 FPGA を使用しているが、単体としては、宇宙環境下において SEU 耐性が十分とは言えない。

これに対し、

- (a) SEU 発生自動検出自動復帰機能の搭載
- (b) 軌道上環境に応じ、三重多数決処理を選択し、耐性の強い構成選択が可能な設計

で対策を図っている。

(a)については、信頼性の高い Anti-Fuse 型の FPGA により、SRAM 型 FPGA を常時モニタ監視 (Read-Back : 回路情報の読み出しチェック) を行い、ビット反転が確認されると直ちに、復帰処理を行う構成としている [4]。

(b)については、図 4 のイメージ図に示す通り、比較的放射線環境が落ち着いている状態では、回路容量をフルに使用した構成で高機能を実現する一方、SEU が比較的発生しやすい状況にあるときは、3 つのデバイスに同じ処理を行わせ、三重多数決処理の構成で処理を行うことで、軌道上処理の信頼性を確保することが可能である。さらに、回路の一部が故障した場合の縮退構成運用が可能である。また、ループバック処理による自己診断モードも備えている。

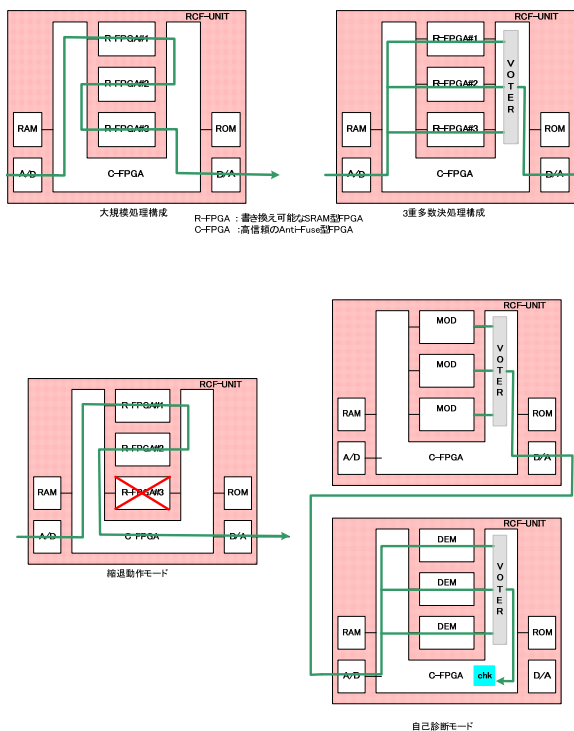


図 4 構成事例

4. RCE (再構成通信機) 主要諸元と復調性能

表 1 に RCE の主要諸元を示す。RCE サブシステムとして、周回軌道の GTO (静止遷移軌道) での使用も考慮した設計としており、RCE はスラントレンジの変化に対応して、データレートをコマンドにより変更して回線計算が常に成立する運用を可能としている。

RCE は地上から S 帯で送信されて来たバーストフォーマットを再編集した後、再度バースト変調波として、S 帯で地上に送信する。

図 5 に示す通り、復調機能性能として、復調劣化 0.5dB 以下の高性能を実現すると共に、バースト復調におけるダイナミックレンジの拡大を図っている。今回、TRX 内の低雑音増幅処理において、リミッタアンプによる構成とする

ことによって、30dB 以上のダイナミックレンジを確保することができた。これらのことで RCE は柔軟なシステムの構成が可能と考える。

表 1 RCE の主要諸元

送/受信周波数帯	S-band
送受信データレート	可変 : 16k, 63k, 250k, 1Mbps
変調方式/復調方式	QPSK, 16QAM/QPSK
誤り訂正方式	リードソロモン符号化
消費電力	45W 以下 (電源電圧 28V)
質量	11.5kg (ワイヤハーネス除く)
サイズ : OSDR	W320 × D270 × H130.5mm
サイズ : TRX	W195 × D111 × H87 mm 以内 (U リンク含む)
RF 送信周波数	2203.20MHz
RF 出力レベル	2.5W
RF 受信周波数	2028.78MHz
RF 入力レベル	-97~-67dBm

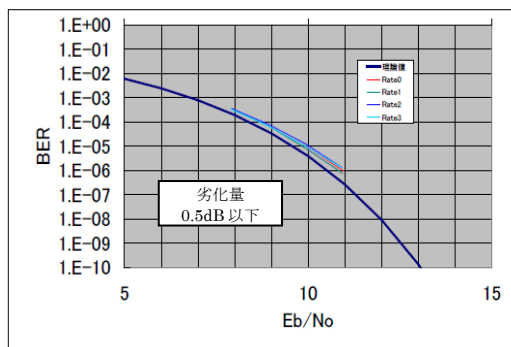


図 5 Eb/No 対 BER 特性

5. まとめ

現在 RCE の宇宙実証を行うため、小型衛星等への搭載検討を進めている。本プロジェクトを進めるにあたりご協力頂いている関係各位に感謝致します。

参考文献

[1] Nozomu Nishinaga, Kenji Suzuki, "Development Status of Reconfigurable Communication Equipment on SmartSat-1", 23rd AIAA ICSSC-2005, 2005-09.
 [2] 木村真一, 西永望, 秋岡真樹, 阿部直彦, 増田和三, 中村信乃夫 "SmartSat-1: On Orbit Experiment Plan Using Mini-Satellite", WSANE2005, 2005-03.
 [3] 西永望, 鈴木健治, 森川栄久, 米田誠良, 芳賀健二, 岡田英人, "リコンフィギュラブルな搭載機器:再構成通信機の開発報告(1)", 第 51 回宇宙科学連合大会, pp.1-6, 2007-10.
 [4] 米田誠良, 芳賀健二, 岡田英人, 西永望, 鈴木健治, 森川栄久, "リコンフィギュラブルな搭載機器:再構成通信機の開発報告(2)", 第 51 回宇宙科学連合大会, pp.1-5, 2007-10.