

衛星搭載通信システムの全体構成

藤野義之

次章以降に述べるイ項の開発の前提として、衛星搭載通信システムの全体構成について述べる。

1 まえがき

本稿では、次章以降に述べるイ項の開発の前提として、衛星搭載通信システムの全体構成について述べる。このことで、試作や研究開発の範囲を整理するとともに、実用化時の規模との比較を行う。

2 想定するシステム

図1に想定する衛星側のブロックダイアグラムを示す。

本衛星の特徴はフル2ホップ構成、デジタル中継器の採用の2点が特徴的である。フル2ホップ構成は、S帯を用いる衛星携帯端末からのユーザリンクの上り通信信号が衛星内部を經由してKuまたはKa帯のフィーダリンクを通過して衛星基地局側に中継され、先方に届く。先方からの信号は衛星基地局から衛星内部を通過してS帯の携帯端末側にダウンリンクされると言う。1度の通信のために2回衛星内部を經由することを言う。衛星内部の送受信部の間に中継器(クロスリンク)を設けることで、衛星内部のS帯折返し、フィーダリンク折返しに対応することも可能であるが、今回の範囲外とした。これは、S帯折返し時は事業化の際に課金機能を設けることが困難であるためであるのが主な理由であるが、非常時通信という観点からは導入する可能性もあると考えられる。

また、フルデジタル中継器の採用も大きな特色である。これは、アンテナ素子で受信された信号が、低雑音増幅器(Low Noise Amplifier: 以下LNAという)で増幅され、コンバータで中間周波に変換されたのち、アナログ-デジタル(Analog to Digital: 以下ADという)コンバータでデジタルデータに変換されて衛星内部で使用される。ビームの形成や、チャンネル配置の変更等の機能は全てデジタル処理で行うことを意味している。デジタル中継器の出力はデジタル-アナログ(Digital to Analog: 以下DAという)コンバータでアナログ信号に変換されたのち、周波数変換器を通じてフィーダリンク周波数へ変換したのち、進

行波管(Travelling Wave Tube: 以下TWTと言う)等の増幅器でフィーダリンク回線を構成する。

このようなフルデジタル中継器は消費電力が極めて大きくなるため、以前は衛星搭載が不可能と言われてきたが、今日のデジタルデバイスの微細化により消費電力のドラスティックな減少が可能となった。また、衛星搭載用のデバイスについても同様な傾向となっており、衛星搭載のデジタル技術の大容量化が進展しつつある^[1]。

さらに、本デジタル中継器が他の通信衛星におけるデジタル中継器と大きく異なる点は、デジタルビーム形成(Digital Beam Former: 以下DBFという)によるビーム形成装置をオンボードで搭載することである。すなわち、諸外国の衛星は衛星上にビームフォーマを搭載せず、地上でビーム形成を行っているものが多い^[2]。この方式をGround Base Beam Forming: GBBFと呼び、フィーダリンク帯域幅が非常に広帯域が必要な方式である。このため、諸外国においてはフィーダリンクをマルチビーム化する等で帯域を確保しているが、地上側基地局を数局程度のマルチサイトにする必要があるため地上側の負担が大きい。このため、DBFをオンボードで搭載することとした。

3 衛星内部の信号の流れと試作範囲の整理

次に、図1について、信号の流れに沿ってSTICSの衛星搭載システムと実際の開発品の対応をつけた説明を行う。図1の一番左側はS帯の大型展開反射鏡(Large Deployable Reflector: 以下LDRという)である。地上からの信号はLDRで反射され、S帯の1次放射器に入力される。LDRについては、直径30m級の展開アンテナを想定しており、これには技術試験衛星VIII型(ETS-VIII)の研究において大型展開反射鏡を製作した宇宙航空研究開発機構(以下JAXAという)の大型展開反射鏡アンテナプロジェクト^[3]と連携し、JAXA側と密接な協力関係の元で展開鏡面の仕様検討等を実施した。1次放射器は最大で100素子程度を想定しているが、STICSの研究開発では小規模

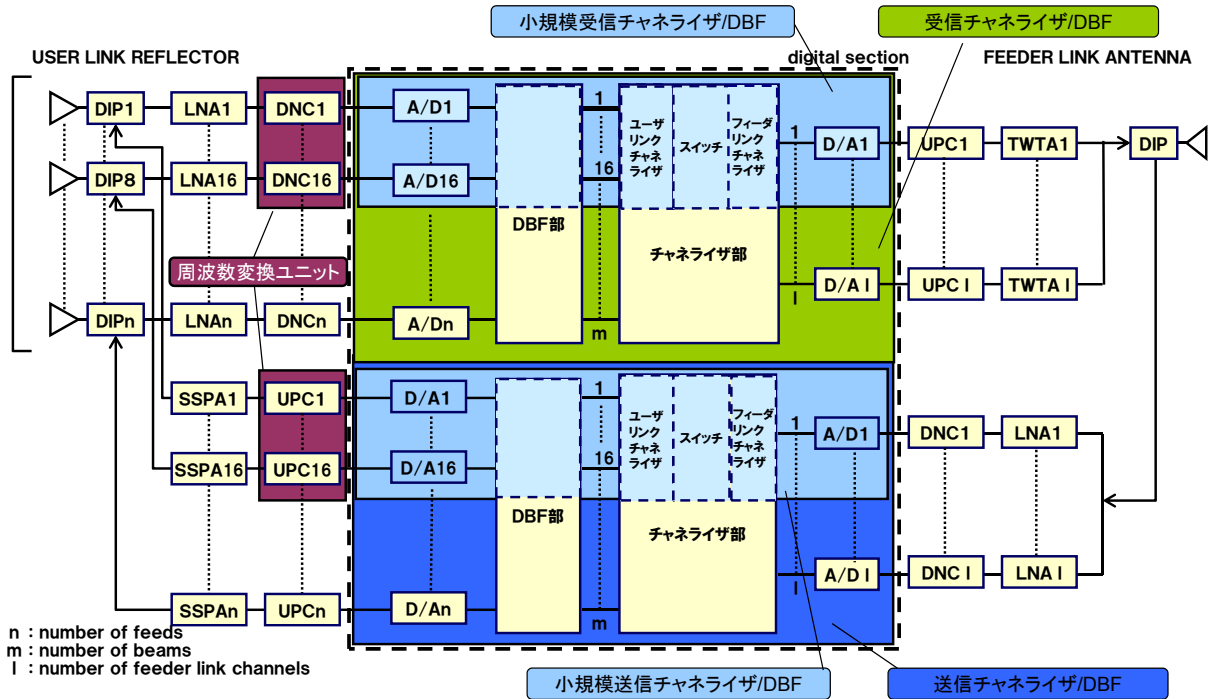


図1 衛星側のブロックダイアグラム

モデルとして16素子の非励振素子装荷キャビティ付近接結合給電パッチアンテナ^[4]を素子として用いた給電部モデルを開発して実証実験等を行った。また、給電部1次放射器として、離焦点給電に最適化された素子間隔120mmの非励振素子装荷キャビティ付近接結合給電パッチアンテナを提案し、その特性を測定するとともに、衛星搭載アンテナの1次放射器として採用した場合の検討を実施している^[5]。図1中のDIPはダイプレクサであり、STICSでは実験のため軽量化ダイプレクサを試作している。LNAもアンテナ素子と同数個あるが、LNAで受信される信号は、帯域内の衛星アップリンクのための電波(所望波)だけではなく、共用している地上の通信のための電波が衛星によって受信される干渉波も同時に受信される。このため、相対的に非常に大きな干渉波のもとでも所望波が受信でき、干渉波によって飽和することのない耐飽和増幅器が必要となり、所望波よりも20dB以上(目標値)高い干渉波のもとでも飽和しない耐飽和増幅器を目指して開発を行い、結果として所望波より40dB高い干渉波のもとでも飽和化しない耐飽和低雑音増幅器^[6]を作成することができた。

次に、周波数変換ユニットはS帯の受信信号をADの入力周波数に変換するものであり、実証試験に必要であるので、16素子分の周波数変換ユニットを製作した。なお、IFユニットもLO(局部発振器)からの電力を分配する必要があり、1素子あたり+10dBm

程度の大振幅動作を要するので、レベル配分によっては消費電力に注意する必要がある。

その後のデジタル部では、ADとして素子数分の変換器を要し、DBF装置としては素子数×ビーム数の能力を持つDBFを用いてビーム形成を行う。また、その後にデジタルチャネライザを用いて分波・合波を行う。チャネライザを搭載することで、通信を行っているチャンネルのみフィーダリンクに接続したり、あるビームの帯域幅を増加させたりといった、状況に応じて適応的にビームの再構成が可能な能力を衛星側が有することができる。

1ビームあたりの入力側帯域幅は標準的にはSTICSの想定される帯域(30MHz)と周波数くり返し数(7)から決定され、 $30/7=4.2\text{MHz}$ となる。ただし、災害時は災害地向けの帯域を広くしたり、需要が少ないと思われる海域にかかるビームについては帯域をこれより絞る等の工夫が必要となるため、この想定からはやや外れる場合がある。チャネライザの出力帯域幅の最大値は、1ビームの帯域幅×ビーム数となり、7周波繰り返しを仮定すると総帯域30MHzに対し、1ビーム帯域幅は $30/7=4.2\text{MHz}$ であり、チャネライザ出力帯域幅は420MHzとなる。これらの信号はDAを通してアナログ信号に変換されたのち、フィーダリンク回線から地上局宛に接続される。ただし、最大420MHzの帯域幅全てをフィーダリンクで中継する必要はなく、チャネライザを使用しているチャンネルの

【参考文献】

- 1 Thomas C. Butash and Joseph R. Marshall, "Leveraging Digital On-Board Processing to Increase Communications Satellite Flexibility and Effective Capacity," 28th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC-2010), AIAA2010-8715, 30 Aug.-2 Sept. 2010, Anaheim, California.
- 2 G. M. Parsons and R. Singh, "An ATC Primer: The Future of Communications," Mobile Satellite Ventures, 2006.
- 3 小澤悟, "30m 級大型展開反射鏡の研究開発と次世代情報通信衛星への適用," Space Japan Review, No.80, June/July/Aug./Sept., 2012.
- 4 藤野他, "低軸比特性を有するキャビティ装荷 4 点給電広帯域円偏波 MSA の試作結果," 2010 総大, B-1-146, March 2010.
- 5 藤野他, "超マルチビーム通信衛星向けアレー給電反射鏡アンテナの素子サイズの最適化の検討," 信学技報, Vol.SAT2012-16, pp.49-54, July 2012.
- 6 藤野他, "地上衛星共用携帯電話システムのための衛星搭載用耐飽和低雑音増幅器の開発," 電子情報通信学会論文誌 B, J97-B (11) pp.1066-1070, Nov. 2014.
- 7 平良真一, 三浦周, 飯倉省一, 吉原真, 内丸清隆, 佐藤尚, 津久茂嘉明, "移動体衛星通信用大型展開アンテナの試作と鏡面精度評価," 第 47 回宇宙科学技術連合講演会講演論文集, 2C14, 2003 年 11 月.

み選択的に中継することが可能であるので、フィーダリンク帯域幅の削減による周波数利用効率の向上にも寄与している。

STICS の搭載時を想定すると 100 素子 100 ビームクラスの DBF が必要となるが、本研究開発では順を追って開発を行い、研究開発前半では 16 素子 16 ビームクラスの小規模チャネライザ DBF を開発した。また、この小規模チャネライザ DBF に対応する 16 素子 1 次放射器と周波数コンバータを製作し、ビーム形成試験、低サイドローブ試験等を実施した。さらに、情報通信研究機構にて以前に開発した 3.3 mφ 衛星搭載展開アンテナの原理検証モデル⁷⁾と組み合わせ、京都大学の大型電波暗室 (A-METLAB) を用いて組み合わせ試験を行った。

研究開発の後半ではこの小規模 DBF チャネライザの成果を元に、100 ビームクラスの超多ビームチャネライザ DBF を開発し、最終年度において前述の 16 素子 1 次放射器と周波数コンバータ、3.3 mφ 衛星搭載展開アンテナの原理検証モデルとを組み合わせた試験を京都大学の大型電波暗室 (A-METLAB) を用いて行った。さらに、この超多ビームチャネライザ DBF とア項で開発したネットワーク監視管理装置を組み合わせた総合試験を京都大学の大型電波暗室 (A-METLAB) を用いて行った。

本特集号では、3-5 と 3-6 において DBF を使用したビーム形成や低サイドローブ化の成果に関して報告を行い、3-7 においては DBF とチャネライザを用いた伝送特性の評価に関して報告を行う。さらに、ア項との組み合わせ試験に関しては 4 で紹介する。

4 まとめ

本稿ではイ項の研究開発において、想定される衛星通信システムと STICS プロジェクト内で実施した実験試作等の範囲を整理した。STICS プロジェクト内では全ての衛星通信システムの項目についてフルスケールの試作・実証は困難であったが、実用上の大きな技術的課題について先行的に研究開発を実施した。そのなかで特筆すべきはこの規模の衛星搭載 DBF・チャネライザシステムに関して、その成立性に関して詳しい検証を行い、成立する見通しを得たことである。

謝辞

本研究は総務省の研究委託「地上／衛星共用携帯電話システムの研究開発」により実施した。関係各位に深謝する。



藤野義之 (ふじの よしゆき)

東洋大学理工学部電気電子情報工学科教授／
元ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員
(～2013 年 4 月)
博士(工学)
衛星通信、アンテナ、無線電力伝送