

# 地上デジタル放送用 マイクロ波中継装置

Microwave Links for Digital Terrestrial Television Broadcasting

高月 栄一郎 小原 則和

■ TAKATSUKI Eiichiro

■ KOHARA Norikazu

2003年12月から、全国に先駆けて関東、中京、近畿の三大都市圏において地上デジタル放送が開始された。更に2004年10月からは、東京から北関東地区までをマイクロ波中継によるSFN (Single Frequency Network) を構築し、北関東地区でも地上デジタル放送を開始することが計画されている。

東芝は、この放送ネットワークを構成するTS (Transport Stream) 伝送方式のSTL (Studio to Transmitter Link) 装置、TTL (Transmitter to Transmitter Link) 装置とIF (Intermediate Frequency) 伝送方式のTTL装置を開発し、ネットワーク構築に貢献した。

Digital terrestrial television broadcasting commenced in December 2003 in the Kanto, Chukyo, and Kinki regions in advance of its introduction throughout Japan. It has also been relayed from Tokyo to the northern Kanto area since October 2004 using microwave links to construct a single-frequency network (SFN). Digital terrestrial television broadcasting will also be launched in the northern Kanto area.

Toshiba has developed and delivered a transport stream studio-to-transmitter link (TS-STL), a transport stream transmitter-to-transmitter link (TS-TTL), and an intermediate frequency transmitter-to-transmitter link (IF-TTL) for the construction of this broadcasting network.

## 1 まえがき

地上デジタル放送のプログラムを全国の各放送所へ伝送するために、放送局本社から親局送信所、中継送信所までの中継ネットワークを構築することが必要となる(図1)。この要素として、マイクロ波帯の無線周波数を利用した中継装置(地上デジタル放送用マイクロ波中継装置)があり、これはSTL (Studio to Transmitter Link) 装置とTTL (Transmitter to Transmitter Link) 装置で構成される。

地上デジタル放送用マイクロ波中継装置では、従来のアナログ放送用中継装置と同様に高い信頼性が要求され、また、高画質、高音質な映像音声サービス、多チャンネルサービス、データ放送サービスなどの多様な放送を可能とするために、

地上デジタル放送信号を劣化なく、高品質、高安定に伝送する高性能な装置が要求される。

東芝は、これらの高い要求を満足させ、更に24時間放送対応も考慮し運用中の保守性に優れたSTL・TTL装置を開発した。

ここではそれらの装置の概要について述べる。

## 2 システムの概要

放送局本社から親局送信所へ放送プログラムを伝送する回線では、主としてマイクロ波帯の無線信号を利用したTS (Transport Stream) 伝送方式のSTL装置が使われる。TS伝送方式は、映像音声信号をデジタル化したISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) フォーマットの放送TS信号を64QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 変調して伝送する方式であり、中継回線での信号劣化がないため、親局送信所から高品質な放送波を放射するために有効である。

一方、親局送信所から中継送信所までの回線では、TS伝送方式のほかにIF (Intermediate Frequency) 伝送方式のTTL装置が使われる。IF伝送方式は、親局送信所で生成した放送波であるOFDM (直交周波数分割多重) 変調信号を、そのままマイクロ波帯へ変換して伝送する方式で、信号の変復調回路を持たない、いわゆる非再生中継方式のため、構成が非常に簡易となる特長を持っている。

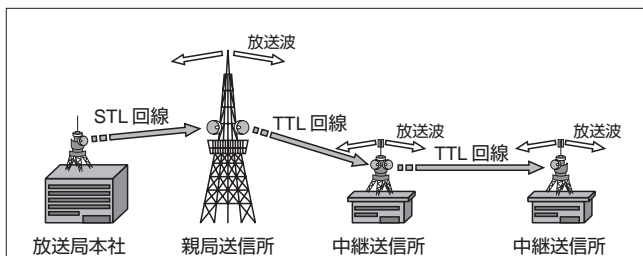


図1. マイクロ波中継ネットワークの一例 — 地上デジタル放送のプログラムを各地に伝送するために、マイクロ波を使ったSTL・TTL回線で中継ネットワークを組む必要がある。

Example of broadcasting network configuration using microwave links

ただし、非再生中継方式であるため、中継回線での信号の劣化がそのまま蓄積していくこととなるので、IF伝送方式ではこの劣化を可能な限り抑える技術が非常に重要である。

### 3 STL装置

#### 3.1 STL装置の概要

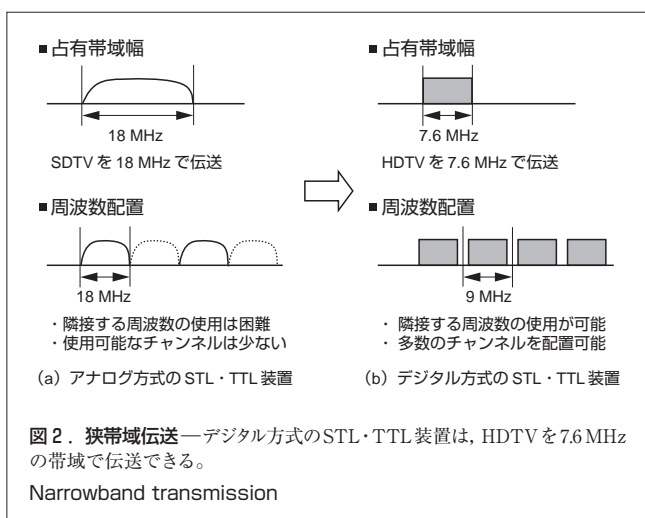
今回納入したSTL装置は、ISDB-Tで規定される放送番組を、TS伝送方式でスタジオから送信所までマイクロ波帯を使用して無線伝送する装置であり、送信装置及び受信装置で構成される。

送信装置では、スタジオからのTS信号を64QAM変調方式で変調した後、マイクロ波帯に周波数変換し、増幅した信号を送信アンテナへ送出する。受信装置では、マイクロ波帯で受信した信号を130MHzのIF信号に変換し64QAM復調器で復調して出力し、後段のOFDM変調器や、マイクロ波中継する場合はTTL装置に接続される。

#### 3.2 STL装置の特長

**3.2.1 狭帯域伝送** 現行のアナログ放送用に使用されているアナログSTL装置は、SDTV (Standard Definition TeleVision) フォーマットの映像信号を18MHzの帯域で伝送しているのに対し、地上デジタル放送用STL装置では、HDTV (High Definition TeleVision) フォーマットの映像信号を約1/2の帯域の7.6MHzで伝送可能である。このため、9MHzごとの周波数配置が可能となり多数のチャンネルで無線周波数を効率的に使用できる。アナログ方式とデジタル方式のSTL・TTL装置の伝送帯域の違いを図2に示す。

**3.2.2 高品質伝送** 外符号にリード・ソロモン符号、内符号にビタビ接続符号を使用した誤り訂正を行い、高品質伝送を実現している。更に、タイムインタリーブを掛けることによりバースト誤りに対する内符号の訂正効果を高め、より高品位な伝送を可能とした。



TS伝送方式のTTL装置と接続して中継伝送する場合は、同期検波再生中継方式の採用により、中継段の劣化が直接放送波に影響を与えないなどの特長も持つ。

#### 3.2.3 準シームレス切替え

STL装置は通常、現用と予備の2台方式となっており、1号系と2号系のシステム構成となるが、1号系と2号系の間で64QAM変調器の無線クロック、無線フレーム、送信変換器の搬送波周波数及びその位相同期を取る構成としており、保守時などに送信切替えを行う際に、受信装置で誤りがなく受信することが可能である。

また、受信装置の1号系と2号系も、TS切替分配器において誤りなしで切り替えることが可能な構成となっている。

#### 3.2.4 装置の小型化設計

変復調回路とデジタル信号処理回路には、高集積度のFPGA (Field Programmable Gate Array)を使用し、また高周波回路には、MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits)を採用することによりユニットを小型化、低消費電力化し、現用と予備の構成で1ラックに送信2波の実装を可能とした。

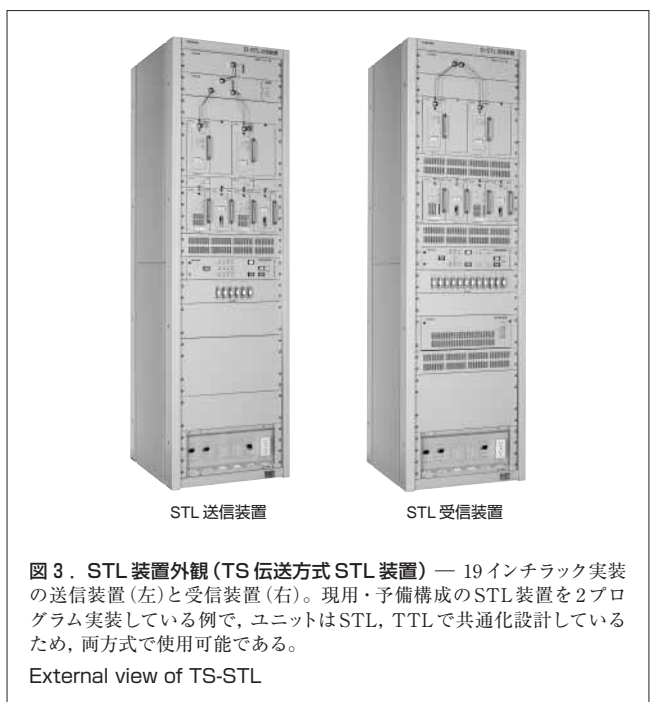
#### 3.3 装置の構成

64QAM変調器と送信変換器が同一ラックに実装されたSTL送信装置と受信装置を図3に示す。

局舎の設置条件によりスタジオ側の機器とSTL装置との距離が離れて配置される場合は、64QAM変調器を実装したラックと送信変換器を実装したラックに分けて実装することも可能である。

#### 3.4 STL装置の系統

STL装置の系統図を図4に示す。STL装置は、信頼度を向上させるために装置の各部を二重化した冗長構成となつて



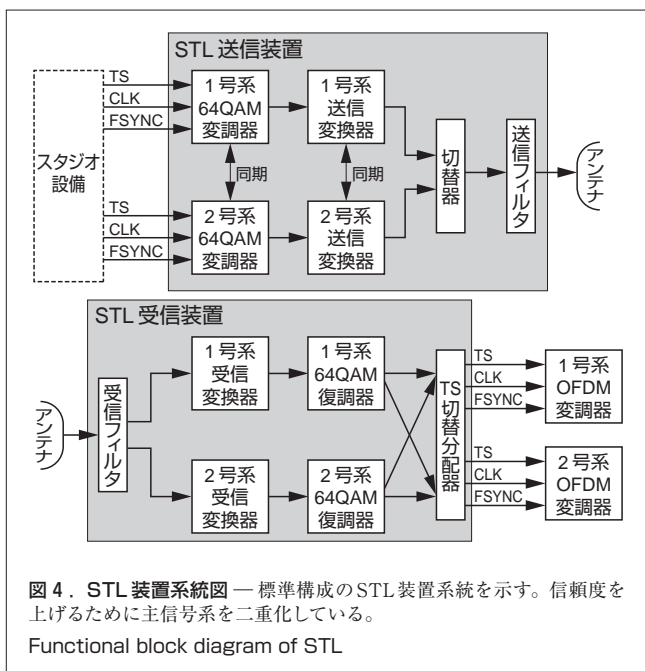


図4. STL装置系統図—標準構成のSTL装置系統を示す。信頼度を上げるために主信号系を二重化している。  
Functional block diagram of STL

いる。スタジオ設備から送出されるTSデータ、クロック(CLK)、同期信号(FSYNC)の各信号は、64QAM変調器で64QAM変調され、送信変換器でマイクロ波帯の信号に周波数変換され増幅されて、切替器とフィルタを介してアンテナに出力される。

受信装置は、アンテナで受信した信号を受信変換器で増幅し周波数変換した後、64QAM復調器で復調し、TS切替分配器で1、2号系の64QAM復調器出力を選択し、更に1、2号系に分配して、2系統のTS、CLK、FSYNC信号をOFDM変調器又はTTL装置に出力する。

### 3.5 STL装置の定格・性能

TS方式のSTL装置の定格・性能を表1に示す。

送受周波数帯はAからNバンドに対応しており、出力は

表1. STL装置(TS伝送方式)の定格・性能  
Specifications and performance of TS-STL

項目	定格・性能
送受信周波数	A, B, C, D, E, F, G, M, Nバンドの指定1波
送信出力	0.5 W/1 W/2 W
送信周波数偏差	± 20 ppm 以内
占有帯域幅	7.6 MHz 以下
隣接周波数間隔	A~Gバンド: 9 MHz, M, Nバンド: 10 MHz
受信方式	単一受信方式/同相合成SD受信方式
変調方式	64値直交振幅変調(64QAM)
伝送容量	40.2 Mbps 以下
誤り訂正	短縮RS (209, 195, 7), R = 5/6 接続符号
C/N対ビット誤り率特性	誤り率 $1 \times 10^{-4}$ において C/N = 22 dB 以下
補助信号伝送	128 kbps, 1 ch
電源電圧	AC100 V/AC200 V/DC +48 V
外形寸法	送信装置: 570(幅)×630(奥行)×1,950(高さ) mm 受信装置: 570(幅)×630(奥行)×1,950(高さ) mm

0.5 W から 2 W までのバリエーションがある。

また、フェージング発生確率の高い無線回線においては、所望の回線品質を確保するため同相合成SD (Space Diversity) 受信方式とすることも可能である。

補助信号として 128 kbps の回線を 1 回線構築でき、リモコン制御信号などの伝送に使用可能となっている。

## 4 TTL装置

### 4.1 TTL装置の概要

TTL装置には、STL装置と同じTS伝送方式に加えてIF伝送方式がある。IF伝送方式は、親局送信所で放送波として使われるOFDM信号そのものを周波数変換して伝送する方式で、変復調を行わないいわゆる非再生中継方式の中継装置である。以下、TTL装置ではIF伝送方式について述べることにする。

### 4.2 TTL装置の特長

IF伝送方式では非再生中継となるため、装置構成が単純化される利点があるが、方式的には中継装置及び伝播(でんぱ)路上の信号劣化がそのまま累積されることとなる。そのため、中継装置での劣化の主要因となる位相雑音、非線形歪(ひずみ)に対処する技術が非常に重要となる。

また、地上デジタル放送の特長の一つであるSFN (Single Frequency Network)を構築するために、IF伝送方式では搬送波の周波数同期が必要になっている。以下に、この装置に適用した主な新技術を示す。

#### 4.2.1 位相雑音抑圧技術

受信装置におけるパイロット信号を用いた位相雑音抑圧技術の概念を図5に示す。入力されたIF信号は、図に示されているように、OFDM信号(Fif)の上下に二つのパイロット信号(Fp1, Fp2)が含まれている。

このIF信号は送信装置のローカル発振器と受信装置のローカル発振器の位相雑音が重畳されており、OFDM信号と二つのパイロット信号は同時に一括変換されているため、すべての信号に同じ位相雑音が付加されていることになる。

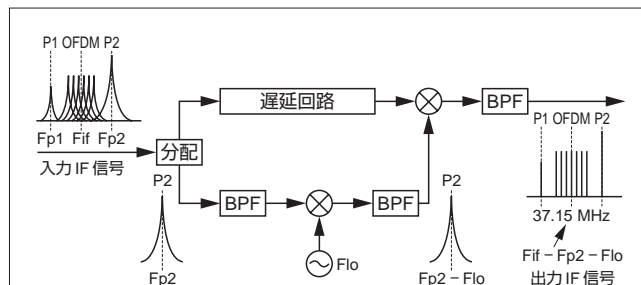


図5. 位相雑音抑圧技術—パイロット信号とOFDM信号に重畳された位相雑音成分が同じであることに着目して、パイロット信号を使ってOFDM信号の位相雑音をキャンセルする。

Phase noise reduction technique



同じ極性と振幅の位相変調成分を持ったパイロット信号 P2をパイロット抽出用BPF (Band Pass Filter)で抽出し、遅延時間を合わせた入力信号に掛け合わせることで、位相雑音をキャンセルすることができる。ここで、ローカル信号 (Flo) は、受信装置からのIF信号の周波数を37.15 MHzにするために、パイロット信号P2を周波数変換している。なお、パイロット信号P1は後述する周波数同期技術にも使用している。

**4.2.2 非線形歪抑圧技術** マイクロ波帯のOFDM信号を増幅する場合、バックオフを十分に確保した電力増幅器を用いる必要があり、歪抑圧技術を適用することで出力対消費電力の効率を改善している。歪抑圧技術は大きく分けて“プリディストーション方式”と“フィードフォワード方式”があるが、後者では出力段に必要な遅延回路と合成回路の損失が大きく、マイクロ波帯での適用が難しいため、前者のプリディストーション方式を採用している。しかし、通常のプリディストーション方式では帰還回路を持たないため、温度変動などによりIM (Inter Modulation) 特性が劣化するが、この装置ではこの温度変動による劣化を補償する温度補償回路を付加させ、安定した歪抑圧特性を実現している。

**4.2.3 周波数同期技術** 地上デジタル放送ではマルチパスに強いOFDM信号を使用しているため、アナログ放送のように隣接混信を気にしないで、単一周波数で放送ネットワークを構築することができる。IF伝送方式では放送波であるOFDM信号を送送するため、TTL受信装置からのOFDM信号の周波数変動がそのまま放送波の周波数変動となる。このためIF伝送方式では、SFNを実現するために周波数安定度は非常に高いものが要求される。この装置では2波のパイロット信号を用いることで、マイクロ波帯のローカル信号の周波数精度に依存せずに、送信側のOFDM信号と受信側のOFDM信号を同期させる機能を実現している。

### 4.3 TTL装置の性能

今回開発したIF伝送方式のTTL装置の定格・性能を表2

項目	定格・性能
送受信周波数	A, B, C, D, E, F, Gバンドの指定1波
送信出力	0.5 W/1 W/2 W
送信周波数偏差	± 20 ppm以内
占有帯域幅	OFDM信号: 5.7 MHz以下 OFDM信号、パイロット信号全体: 8.4 MHz以下
IM特性	- 52 dB以下
等価C/N	45 dB以上 (送受信装置1対向)
送受IF周波数同期	偏差: 0.01 Hz以内
受信IF周波数精度	37.15 MHz ± 0.5 Hz以内
電源電圧	DC +48 V ± 15 %
外形寸法	送信部: 320(幅) × 489(奥行) × 99(高さ) mm 受信部: 320(幅) × 489(奥行) × 99(高さ) mm



図6. TTL装置外観 (IF伝送方式TTL装置) — 19インチラックに実装した送信装置、受信装置 (2波構成での実装例) であり、コンパクトな構成となっているため、高さ200 mmに冗長構成の送信装置、受信装置が実装可能である。

External view of IF-TTL

に示す。また、装置の外観を図6に示す。

IF伝送方式TTL装置に求められるものは、装置での劣化をいかに抑えるかであり、この指標として等価C/N (搬送波対雑音電力比) 特性が示されている。この装置では前節で示した技術を採用した結果、等価C/Nは45 dB以上を実現しており、温度などでの変動も抑えられ非常に安定した性能を実現している。また、ヒートパイプの採用により放熱構造の最適化が可能となったため、小型化された構造となっており、操作部を前面に配置し保守性にも優れた構成となっている。

## 5 あとがき

当社は、地上デジタル放送用STL装置をいち早く商品化し、2003年12月の三大都市圏での放送開始以降、東京、大阪をはじめとする全国の各放送局に納入し、運用を開始している。また、2004年8月には関東地方にTTL装置を納入し、全国初の中継ネットワークシステムの運用を開始している。

今後は、今までの経験とノウハウをもとに高信頼性で高性能な中継ネットワークの構築を目指し、本格的に始まる全国展開へ貢献していきたい。



高月 栄一郎 TAKATSUKI Eiichiro

社会ネットワークインフラ社 府中社会ネットワークインフラ工場  
伝送ネットワークシステム部主務。地上デジタル放送用マイクロ波中継装置の開発・設計業務に従事。  
Fuchu Operations - Social Network & Infrastructure Systems



小原 則和 KOHARA Norikazu

社会ネットワークインフラ社 府中社会ネットワークインフラ工場  
伝送ネットワークシステム部主務。地上デジタル放送用マイクロ波中継装置の開発・設計業務に従事。  
Fuchu Operations - Social Network & Infrastructure Systems