

地上デジタル放送 送信ネットワークシステム

Transmission Network System for Digital Terrestrial Broadcasting

村上 宏 杉山 泰司 金子 友朗

■ MURAKAMI Hiroshi ■ SUGIYAMA Taiji ■ KANEKO Tomoaki

地上デジタル放送は、2003年12月に東京、名古屋、大阪で開始された。その後、順次各地の放送局の親局送信所の整備が行われ、2006年12月までに全国の県庁所在地で放送されるようになった。今後は、地上デジタル放送のエリアを拡大していくために、全国に約1万局あると見込まれる中継送信所の整備を、2011年7月24日のアナログ放送終了までに行う計画である。

親局送信所から多くの中継送信所まで、放送プログラムを伝送する送信ネットワークシステムを構築する主な中継方式として、放送波を受信して中継を行う放送波中継方式や、マイクロ波帯の無線周波数を利用して中継を行うTTL (Transmitter to Transmitter Link) 中継方式などがある。適切な中継方式を選択し、安定した送信ネットワークシステムを短い期間で効率よく経済的に構築していくことが、これからの課題となる。

現在東芝は、最適な送信ネットワークシステムを構築するために、回線設計による回線品質の検証及び、中継局送信機やTTL装置など各種送信ネットワーク中継装置の開発を行い、全国各地において提案活動を行っている。

Digital terrestrial television broadcasting was inaugurated in Tokyo, Nagoya, and Osaka in December 2003. Since that time, local digital terrestrial television broadcasting services have been introduced in succession after parent stations began service in regional capital cities, toward the completion of nationwide broadcasting in Japan in December 2006. Henceforth, approximately 10,000 digital transmitting relay stations will be constructed to replace analog terrestrial broadcasting facilities, with completion scheduled for July 24, 2011.

There are various methods for transmitting broadcast programs from parent stations to relay stations to create a transmission network system. One example of such a method is to relay the broadcast wave from the parent station, while another example is to make a transmitter-to-transmitter link (TTL) using microwaves. An issue for the future is to select the best-fit relay methods and construct a stable transmission network system efficiently and economically within a short period.

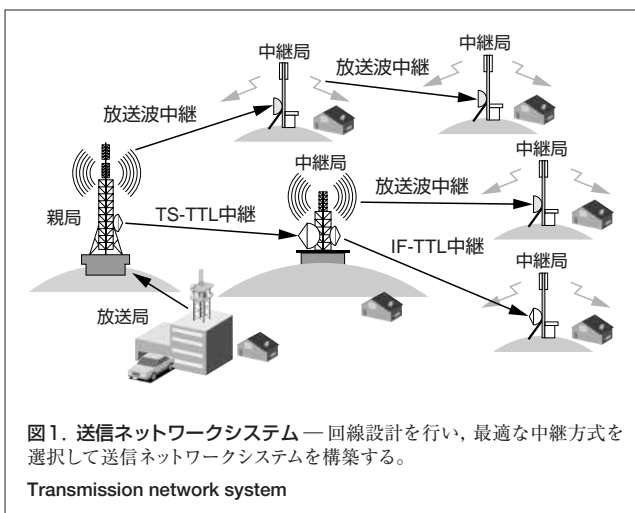
Toshiba is making efforts to design a transmission network system, test it using simulation software, and also to develop digital terrestrial transmitters and TTL equipment, in order to create an optimum transmission network system. We are proposing the adoption of our system to clients throughout Japan.

1 まえがき

地上デジタル放送は、アナログ放送に比べ鮮明な画像を受信することができる。ただし、テレビの受信機復調部入力で所要C/N (Carrier to Noise ratio)を確保する必要がある。そのため、送信ネットワークシステムを構築する際には、所要C/Nを満足するように、末端の中継送信所の放送エリアフリッジ(放送エリアの縁)における受信機復調部入力まで回線設計を行い、適切な中継方式を選択して送信ネットワークシステムを構築する必要がある。

地上デジタル放送のプログラムを伝送する主な中継方式として、上位送信所の放送波を受信して中継を行う放送波中継方式や、マイクロ波帯の無線周波数を利用して中継を行うTTL (Transmitter to Transmitter Link) 中継方式などがある(図1)。

TTL中継方式には、TS (Transport Stream) 伝送方式と



IF (Intermediate Frequency) 伝送方式がある。TS伝送方式は、TS信号を64 QAM (直交振幅変調) 信号で伝送し受信

側でTS信号を再生して伝送を行う方式で、デジタル再生中継方式である。一方、IF伝送方式は、放送波であるOFDM(直交周波数分割多重)信号をマイクロ波帯の無線周波数で伝送する方式で、非再生中継方式である。中継方式の特徴を表1に示す。

表1. 中継方式の特徴
Features of major relay methods

中継方式	特徴
放送波中継方式	アナログ放送ではいちばん多く用いられている中継方式で、安価にネットワークを構築できる。
	中継回線において干渉やマルチパスの影響を受けやすく、信号の劣化が大きい。
	非再生中継方式のため多段中継によるC/N劣化が加算される。SFNにおける遅延時間調整の自由度が小さい。
TS-TTL中継方式	デジタル再生中継方式のため、多段中継による信号の劣化は通常加算されない。
	中継送信機側でOFDM変調器が必要になり、一般的にネットワーク全体の設備コストがかかる。SFNにおける遅延時間調整の自由度が大きい。
IF-TTL中継方式	放送波中継方式よりも中継回線における信号の劣化が少ない。非再生中継方式のため多段中継によるC/N劣化が加算される。
	一般的に、TS-TTL中継方式よりも安価にネットワークの構築ができる。SFNにおける遅延時間調整の自由度が大きい。

SFN : Single Frequency Network

東芝は、これら中継方式の特徴を生かし、経済的で安定した送信ネットワークシステムが構築できるように、各種装置の開発や回線設計による回線品質の検証を行っている。ここでは、地上デジタル放送の送信ネットワークシステムを構築するために必要な回線設計手法をはじめ、開発を行った中継局送信機とTTL装置について述べる。

2 回線設計

2.1 放送波中継回線設計

補償器にCNリセット装置(CNはC/Nと同意)を導入した放送波中継の回線設計の一例を表2に示す。放送波中継の回線設計は、希望波の受信電力、干渉波の影響、及びC/N劣化時の補償器導入の有無の検討を行う。そして中継局出力C/Nを算出し、末端中継局のエリアフリンジにおける受信機復調部入力C/Nにおいて、所要C/N(モード3,64QAM,符号化率7/8において22dB)を満足するか否かの検証を行う。

希望波の受信電力の検討は、受信電界をシミュレーションソフトウェアから算出し、その値から伝搬距離から推定した99.9%値に対する電界強度変動の値をフェージング損失として引き、フェージング時の受信電力を計算して熱雑音C/Nを求めて行う。

表2. 放送波中継の回線設計例

Example of transmission link design for broadcast wave relay system
(a) 各中継局の回線設計

項	計算項目	単位	0段親局	1段A中継局	2段B中継局	備考
(1)	受信波のC/N	dB	-	42.9	35.6	前段から
(2)	前段からの距離	km	-	25.8	17.1	シミュレーションソフトウェアから算出
(3)	受信電界	dBf	-	93.4	59.5	シミュレーションソフトウェアから算出
(4)	フェージング損失	dB	-	-8.0	-7.5	距離から推定(99.9%値)
(5)	フェージング時の電界	dBf	-	85.4	52.0	(5) = (3) + (4)
(6)	受信アンテナ利得	dBi	-	16.0	15.5	1段 = 27 CH, 2段 = 22 CH
(6-1)	使用アンテナ種別	-	-	1.8m低サイドローブ	-	-
(7)	補正值	dB	-	-2.1	-2.1	2.1(相対利得)
(8)	実効長(λ/π)	dB	-	-15.3	-14.8	1段 = 27 CH, 2段 = 22 CH
(9)	フィード損+フィルタ損+分配損	dB	-	-6.5	-6.5	フィード損: 1.5 dB, フィルタ損: 1.5 dB, 分配損: 3.5 dB
(10)	終端補正值	dB	-	-6.0	-6.0	-
(11)	終端電圧	dBt	-	71.5	38.1	(11) = (5) + (6) + (7) + (8) + (9) + (10)
(12)	受信電力	dBm	-	-35.5	-68.9	(12) = (11) - 107 (50 Ω)
(13)	熱雑音(kTB)	dB	-	-106.3	-106.3	-
(14)	雑音指数	dB	-	3.0	3.0	-
(15)	雑音電力	dBm	-	-103.3	-103.3	(15) = (13) + (14)
(16)	ヘッドアップ単独の熱雑音C/N	dB	-	67.8	34.4	(16) = (12) - (15)
(17)	干渉などの劣化合計等価C/N	dB	-	37.0	24.8	(17-1) ~ (17-4)までの合計*
(17-1)	同一CH干渉	dB	-	40.5	25.0	シミュレーションソフトウェアから算出
(17-2)	マルチパス	dB	-	43.0	43.0	-
(17-3)	隣接CH干渉	dB	-	42.3	41.0	シミュレーションソフトウェアから算出
(17-4)	SFN回り込み干渉	dB	-	-	-	-
(18)	受信機側ヘッドアップ出力のC/N	dB	-	36.0	24.0	(18) = (1) + (16) + (17)*
(19)	OFDM出力のC/N	dB	50.0	-	50.0	B中継局にCNリセット装置を導入
(20)	送信部C/N(位相雑音)	dB	50.0	50.0	50.0	-
(21)	送信部C/N(IM)	dB	45.0	48.0	48.0	IMマイナース2dB
(22)	中継局出力C/N	dB	42.9	35.6	44.5	OFDM変調器あり: (22) = (19) + (20) + (21) なし: (22) = (18) + (20) + (21)*

(b) 中継局-エリアフリンジ受信機間の回線設計

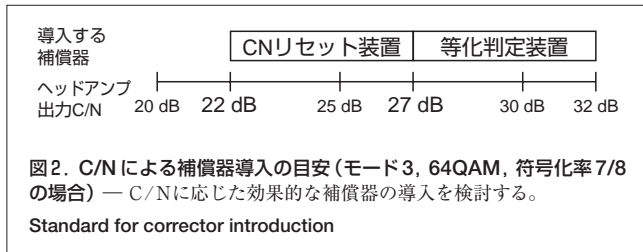
項	計算項目	単位	0段親局	1段A中継局	2段B中継局	備考
(1)	標準受信電界強度	dBf	60.0	60.0	60.0	-
(2)	最大距離(送信点-受信点)	km	-	35.0	25.0	-
(3)	フェージング損失	dB	-9.0	-5.0	-4.0	-
(4)	フェージング時の電界	dBf	51.0	55.0	56.0	(4) = (1) + (3)
(5)	受信アンテナ利得	dBi	9.0	8.0	9.0	0段 = 27 CH, 1段 = 22 CH, 2段 = 27 CH
(5-1)	使用アンテナ種別	-	-	八木14素子13~44CH	-	-
(6)	実効長(λ/π)	dB	-15.3	-14.8	-15.3	-
(7)	終端補正值	dB	-6.0	-6.0	-6.0	-
(8)	終端電圧	dBt	38.7	42.2	43.7	(8) = (4) + (5) + (6) + (7)
(9)	受信電力	dBm	-70.3	-66.8	-65.3	(9) = (8) - 109 (75 Ω)
(10)	帯域幅	MHz	5.6	5.6	5.6	-
(11)	都市雑音	K	700.0	700.0	700.0	-
(12)	地上温度	K	300.0	300.0	300.0	-
(13)	ブースタ雑音指数	dB	3.3	3.3	3.3	-
(14)	フィード損失	dB	1.0	1.0	1.0	-
(15)	雑音電力	dBm	-99.3	-99.3	-99.3	-
(16)	受信機単体のC/N	dB	29.0	32.5	34.0	(16) = (9) - (15)
(17)	受信機出力のC/N	dB	28.8	30.8	33.6	(17) = 中継局出力C/N + (16)
(18)	干渉・マルチパスC/N	dB	25.0	25.0	25.0	-
(19)	受信機器等価C/N	dB	28.0	28.0	28.0	-
(20)	復調部入力C/N	dB	22.2	22.5	22.9	(20) = (17) + (18) + (19)*
(21)	判定	dB	○	○	○	復調部入力C/N22: 0 dB以上○, 未滿×

λ:波長 IM: Inter Modulation
kTB: kはボルツマン定数, Tは導体の温度(K), Bは帯域幅(Hz)を表す。
* dBを真値に直して合計し, 再度dBに変換する。

干渉波の影響の検討は、同一CH(チャンネル)干渉波と隣接CH干渉波の電界強度をシミュレーションソフトウェアから算出し、選択した受信空中線の指向特性を考慮して平常時の受信電力を求め、希望波のフェージング時の受信電力とのD/U(Desired to Undesired ratio:希望波電力対妨害波電力比)値から等価C/Nを求めて行う。

補償器の導入の検討は、前段からの受信波C/N, 熱雑音

C/N, 干渉などの劣化合計等価C/Nから受信変換部ヘッドアンプ出力のC/Nを計算し, その値に応じて検討を行う(図2)。また, CNリセット装置を導入する場合は, OFDM変調器で再変調することにより中継局出力の等価C/Nを親局と同等以上の値に改善することが可能となる。



2.2 TTL中継回線設計

IF-TTL中継の回線設計の一例を表3に示す。TTLの回線設計は, 規定の回線信頼性が得られるか否かの検討を行う。標準時受信入力, 熱雑音C/N, 及び干渉雑音C/Nを計算により求め, その値が電波法関係審査基準に規定されている値を満足するか検証を行う。

はじめに, フェージングマージン(Fmr)を伝搬路種別やレーレーフェージング^(注1)発生確率などから計算し, 次式で標準受信入力レベルを計算する。

$$\text{標準受信入力レベル} = -58.5 \text{ dBm} + \text{Fmr}/2$$

(B, C, Dバンドの場合)

実際に回線を構築した際の標準時受信入力, 求めた標準受信入力レベルの±3 dB以内になるように, 送信電力, 給電線損失, 空中線利得, 装置の高周波共用回路損失などの各種パラメータを設定する。

次に, 標準入力時の熱雑音C/N(IF-TTLだけ)及びフェージング時の熱雑音C/Nが電波法関係審査基準で規定されている所要C/Nを満足しているか否かの判定を行う。

干渉雑音C/Nの検討は, 干渉軽減係数を考慮して, ほかの回線からの被干渉レベル及びほかの回線へ影響を与える干渉レベルを計算し, いずれも電波法関係審査基準に規定されている混信保護値を満足しているかの検討を行う。

また, 電力分配で伝送を行う場合は, ほかの方向へ伝送する同一の波からの影響をマルチパス波とみなし, 影響を少なく抑えるための条件を満足しているか否かの検討を, 分配する回線からの波に対して受信点での遅延時間差やD/Uを求めて実施する。条件の目安としては送信側導波管長を同じ長さとし, 遅延時間差を100 ns以内かつD/U 25 dB以上を満足するか否かの検討を行う⁽¹⁾。

(注1) 伝搬路上の大気条件の変動などにより発生する電界強度の変動で, レーレー分布(レイリー分布)のようになる。

表3. IF-TTL中継の回線設計例

Example of transmission link design for intermediate-frequency (IF)-TTL relay system

(a) 回線設計の条件

項目	条件
伝搬路種別/平均地表高/平均伝搬路高	平野/hm = 341 m/h = 429 m
受信方式	単一受信方式
周波数帯	D (7,000 MHz)
伝送方式	IF低雑音方式

(b) 回線設計

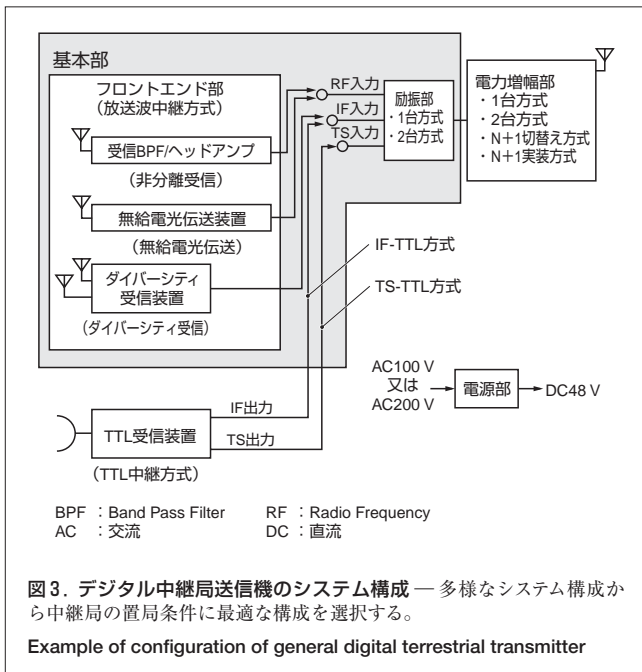
項目	記号	単位	設計値	備考
1 送信電力	Pt	dBm	27.0	0.5 W 固定減衰器: 0 dB
2 自由空間損失	Lo	dB	139.9	33.8 km
3 給電線損失(T)	Lft	dB	1.5	
4 給電線損失(R)	Lfr	dB	2.0	
5 空中線利得(T)	GAt	dB	39.0	2 m φ (レドーム付き)
6 空中線利得(R)	GAr	dB	39.0	2 m φ (レドーム付き)
7 高周波共用回路損失	LD	dB	9.0	送信側: 3.0 dB 受信側: 6.0 dB
8 標準時受信入力	Pr	dBm	-47.4	標準: -46.4 dBm 最大: -43.4, 最小: -49.4 dBm
9 受信雑音電力	Pmni	dBm	-99.7	NF = 4 dB, B = 6 MHz, 雑音増加係数 = 2.5 dB
10 標準入力時C/N	C/N (r)	dB	52.3	Pr - Pmni
11 標準入力時限界C/N	C/Ntho	dB	43.5	
12 標準入力時回線マージン	ML	dB	8.8	C/N (r) - C/Ntho
13 標準入力時判定			○	ML > 0 : ○, ML ≤ 0 : ×
14 レーレーフェージング発生確率	PR		2.25×10^{-3}	
15 目標回線品質を満足するための所要フェージングマージン	Fmr	dB	24.2	Pir = $5 \times 10^{-7}/\text{km}$
16 回線瞬断率規格を満足するための所要フェージングマージン	Fms	dB	24.2	Pis = $5 \times 10^{-7}/\text{km}$
17 フェージング時受信入力	Pr (Fmr)	dBm	-71.6	Pr - Fmr
18 フェージング時C/N	C/N (Fmr)	dB	28.1	Pr (Fmr) - Pmni - キャリア数 (dB)
19 フェージング時限界C/N	C/Ntho'	dB	28.0	
20 フェージング時回線マージン	ML (Fmr)	dB	0.1	C/N (Fmr) - C/Ntho'
21 フェージング時判定			○	ML (Fmr) > 0 : ○, ML (Fmr) ≤ 0 : ×

3 デジタル中継局送信機

3.1 デジタル中継局送信機の概要

デジタル中継局送信機は, 親局送信所以遠の電波の届かない地域をカバーするために置局される中継局に設置される。デジタル中継局送信機では中継局までの中継回線の方式や, 他局及び自局からの干渉波の有無など中継局の置局条件を考慮したシステム設計が要求される。代表的なデジタル中継局送信機のシステム構成例を図3に示す。

デジタル中継局送信機は, 基本部(フロントエンド部及び励振部), 電力増幅部, 及び電源部の設備区分により構成される。中継回線の方式(放送波中継, TS-TTL中継, 又はIF-TTL中継), ネットワーク構成(SFN(Single Frequency

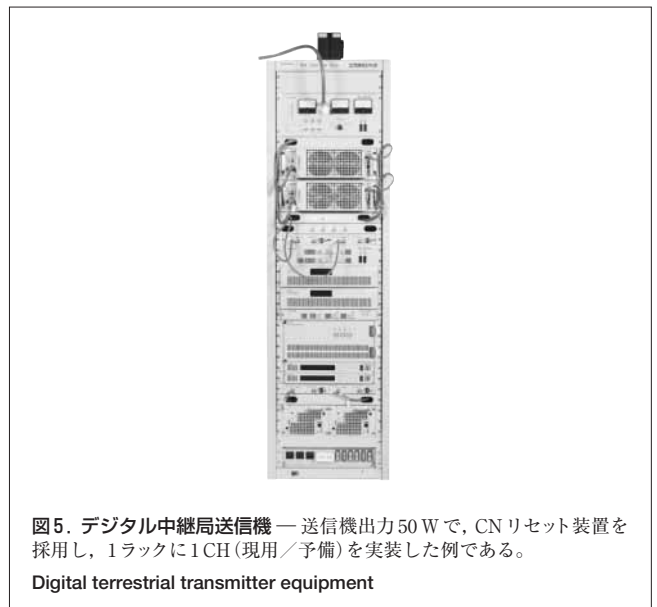
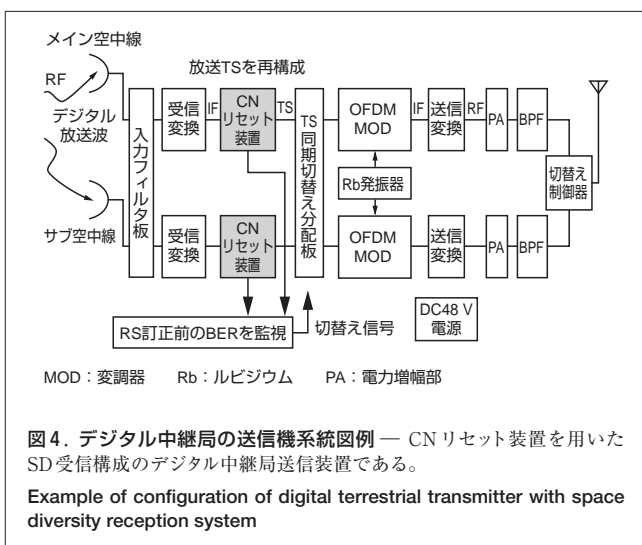


Network) 又は MFN (Multiple Frequency Network)), 基本部や電力増幅部の構成方法, また冗長系の構成方法などにより, そのシステム構成は極めて多様で, その中から中継局の置局条件に最適な構成を選択する必要がある。

3.2 デジタル中継局送信機システム構築の一例

ここでは, CNリセット装置を採用した放送波SD (スペースダイバーシティ) 受信方式のシステム構築例について述べる(図4, 図5)。

放送波を受信してデジタル中継局送信機で再送信する放送波中継では, 伝搬路で発生するフェージング, マルチパス, 他局混信などの要因により信号品質が劣化してしまうという問題がある。放送波中継の実現にはこれらの要因をデジタル中継局送信機で補償し, 送信される放送波の信号品質が



許容条件を満足させることが要求される。

このシステムの設備上の特徴や放送波中継の実現に際し, 工夫した点は以下のとおりである。

- (1) 回線設計によるシステムの検討 中継局の置局条件をもとに, 回線設計により希望波の受信電界強度及び到来する干渉波などの阻害要因の影響を算出し, その結果により所要のフィルタの性能, ヘッドアンプの有無などの受信設備の最適化検討を行った。
- (2) 受信方式 このシステムでは異なる2本の受信アンテナを設置し, 受信状態の良好なアンテナを選択して使用するSD受信方式を採用している。受信した放送波の信号品質 (BER) をモニタすることにより, 受信状態を的確に監視しており, 受信状態が不良の場合には待機側のアンテナ系にシームレスに切り替えることができるシステムとしている。
- (3) CNリセット装置の採用 CNリセット装置とOFDM変調器を組み合わせることで放送TS信号を復調・再変調することで, 放送波中継におけるTS信号のデジタル再生中継を行うことができる。伝送路で発生した信号劣化分をこの装置で回復することが可能であり, 放送エリア及び下位中継局への信号品質の改善を行っている(図6)。またこの装置は, 同一CHの他局妨害波の強い環境下で, 自局が放送休止となった場合に, 他局の放送波を再送信する現象を防止するID (IDentification) スケルチ機能^(注2)を持っている。

(注2) 放送事業者のIDを識別して, 雑音や他局の放送波を出力することを抑制する。

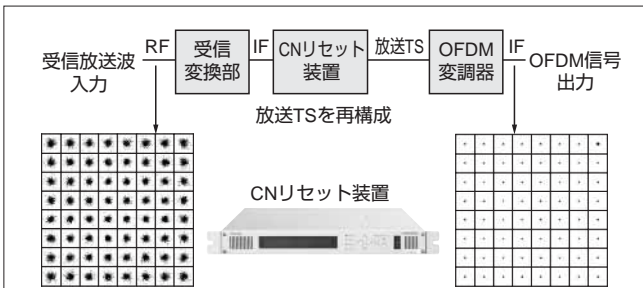


図6. CNリセット装置によるC/N劣化の改善 — 所要C/N(モード3, 64 QAM, 符号化率7/8において22 dB) 以内であれば前段までのC/N劣化が解除される。

Improvement of carrier-to-noise ratio (C/N) with error canceling receiver and remultiplexer

4 TTL装置

4.1 TTL装置の概要

TTL装置はISDB-T(Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial)フォーマットの放送TS信号を64 QAM信号で伝送するTS伝送方式と、親局送信所などで生成したOFDM信号をそのままマイクロ波帯へ変換して伝送するIF伝送方式の2種類があり、一般に大規模中継局への中継回線についてはTS伝送方式が、中規模中継局への中継回線についてはIF伝送方式が用いられる。

4.2 TS伝送方式TTL装置の特長

TS伝送方式の送信装置は、TS信号を130 MHzのIF信号の64 QAM信号へ変調し、その信号をマイクロ波帯へ周波数変換して増幅後に送信アンテナへ出力する。受信装置は、マイクロ波帯で受信した信号を130 MHzのIF信号に変換し、64 QAM復調器でTS信号を復調して出力する。

TS伝送方式の特長は、誤り訂正にリード・ソロモン符号(RS)とトレリス符号を加えて、インタリーブを採用することで訂正効果を高め、高品質な伝送を可能としていることが挙げられる。更に、現用系と予備系の冗長構成とすることで信頼度を高めている。現用系と予備系の切替えは(準)シームレス切替え方式を採用することで、保守時などに運用系の切替えを行っても受信装置で誤りは発生しない。海上伝搬など回線条件が厳しいところではSD受信方式での回線構築が可能のほか、送信出力4 Wを用いた電力分配方式によるネットワーク構築も可能である。

4.3 TS伝送方式TTL装置の系統

TS伝送方式のTTL装置は冗長構成となり、運用系の切替えは(準)シームレス切替えを実現している。これは現用系と予備系の間で64 QAM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

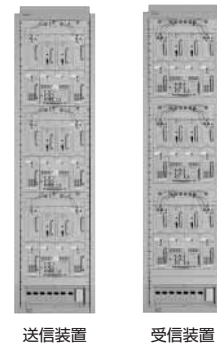
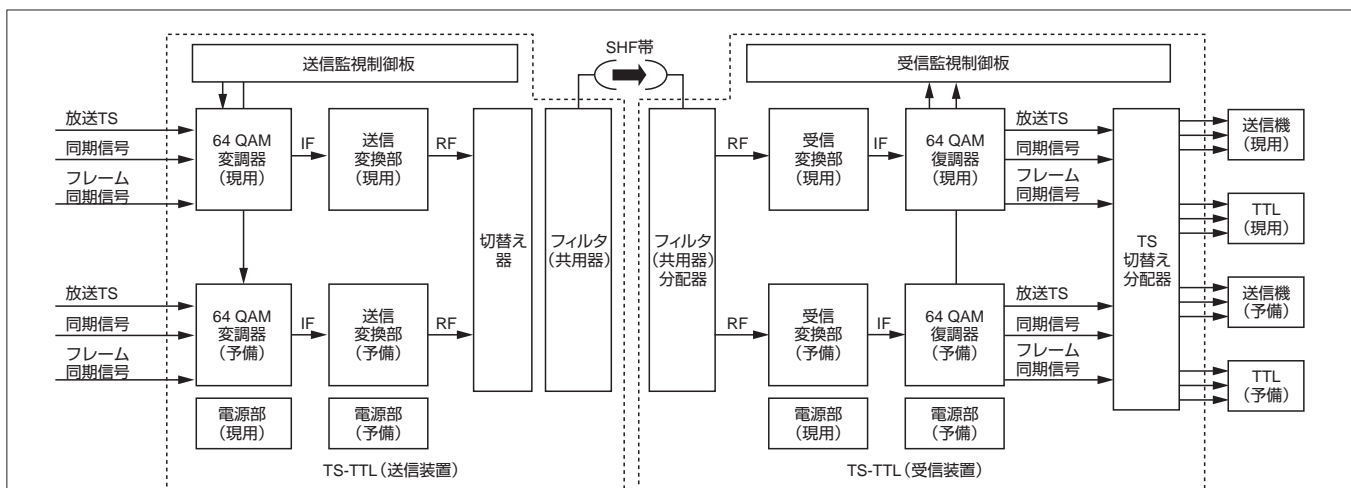


図8. TS-TTL装置 — 出力2 Wの送信装置と、SD受信方式の受信装置を用い、1ラックに3CH(現用/予備)を実装した例である。

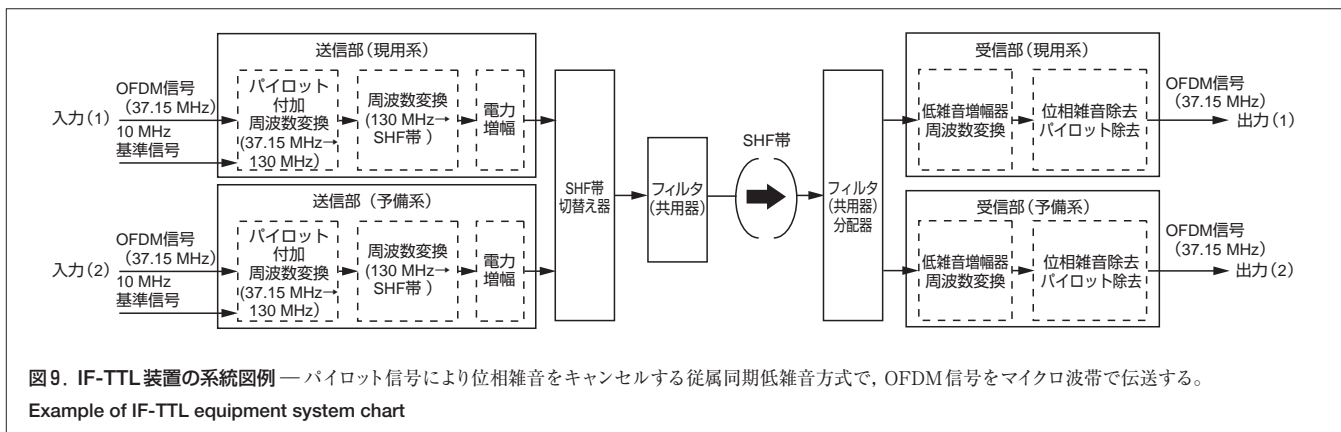
TS-TTL equipment



SHF : Super High Frequency

図7. TS-TTL装置の系統図例 — TS信号を送信装置で64 QAM信号に変調し、マイクロ波帯で伝送して受信装置でTS信号を復調する。

Example of transport stream (TS)-TTL equipment system chart



取ることによって可能としている。

受信装置の現用系と予備系についても TS 切替え分配器を用いることで、誤りなしで切替えが可能である(図7)。送信装置及び受信装置とも1ラックに3波(現用/予備)実装が可能である(図8)。

4.4 IF 伝送方式 TTL 装置の特長

IF 伝送方式の送信装置は、37.15 MHz の OFDM 信号をマイクロ波帯に周波数変換し増幅して伝送するものであり、受信装置はマイクロ波帯の信号から周波数変換し 37.15 MHz の OFDM 信号を出力する。このため、IF 伝送方式は非再生中継方式の中継装置となる。IF 伝送方式は、変復調器がないためシステムシステムはシンプル化できる利点はあるが、中継装置並びに伝搬路での信号劣化がそのまま累積されるため、位相雑音と非線形ひずみの抑制が必要となる。位相雑音の抑制は、送信装置で OFDM 信号の上下にパイロット信号を付加し、受信装置では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従属同期低雑音方式を採用している。これは、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たものである。非線形ひずみの抑制は、バックオフを十分に確保した電

力増幅器を用いることに加えてひずみ抑圧技術を適用し、出力対消費電力の効率を改善している。送信電力 2 W を用いた電力分配方式によるネットワーク構築も可能である。

4.5 IF 伝送方式 TTL 装置の系統

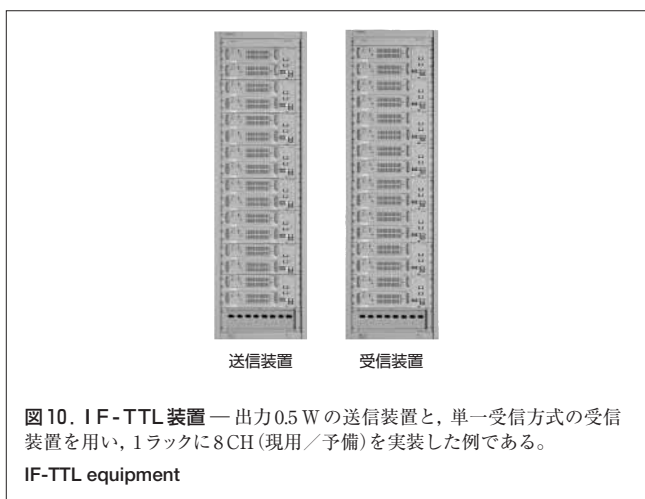
装置は、現用系と予備系の冗長構成となる(図9)。送信装置及び受信装置とも1ラックに8波(現用/予備)実装が可能である(図10)。

5 あとがき

地上デジタル放送の送信ネットワークシステムを構築するための回線設計手法や、デジタル中継局送信機、TTL 装置の特長について述べた。今後は、短期間で経済的で安定したネットワーク構築に向けて、回線設計による回線品質の検証から装置に要求される性能を的確に見極め、そして、各地区に合った最適な送信ネットワークシステム構築の実現へ更なる活動を展開していく。

文献

- (1) 鈴木健児, ほか. 地上デジタル放送 TTLRF 分岐回線の設計指針. 映像情報メディア学会技術報告. **30**, 39, 2006, p.1-4.



村上 宏 MURAKAMI Hiroshi

社会システム社 放送・ネットワークシステム事業部 放送システム技術部。地上デジタル放送送信ネットワークシステムの開発企画業務に従事。

Broadcasting & Network Systems Div.



杉山 泰司 SUGIYAMA Taiji

社会システム社 府中事業所 送信機器部主務。地上デジタル放送用デジタル中継放送装置のシステム設計に従事。映像・情報メディア学会会員。

Fuchu Complex



金子 友朗 KANEKO Tomoaki

社会システム社 府中事業所 伝送ネットワークシステム部主務。地上デジタル放送用 STL 及び TTL 装置のシステム設計に従事。

Fuchu Complex