UDC 621.396.946:621.397.743
621.396.74 (100)

国際中継

国際電信電話株式会社
富田正義
NHK技術研究所
安東平一郎

1. 概 要

テレビ国際中継の手段として、通信衛星を中継して大陸間を結ぶ、いわゆる宇宙通信が最も有効な方法であることが実証されたが、宇宙通信はまだ実験段階であるとはいえ、近い将来実用化の域に達することであろう。また、テレビ中継においては、その高能率化をはかる研究が、デジタル通信方式、帯域圧縮などを中心に行なわれている。さらに、テレビジョンの標準方式が異なる国際中継に際しては、宇宙通信、地上マイクロ波通信を問わず、方式変換が必要であり、これは、欧州大陸内において特に必須のものとなっている。

2. 宇 宙 通 信

宇宙通信によりテレビ国際中継を行なおうとすることはかなり前から提案されていたが^{1)~14)}。この2年間に於いてこれが実現されたといえる。

"Television International Relaying" by Masayoshi Tomita (Kokusai Denshin Denwa Ltd. Tokyo) and Heiichiro Ando (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo)

表 1 テルスターの諸元

項 目	テルスター 1 号	テルスター 2 号
打 上 げ 日	1962-Ⅶ-10	1963-V-7
遠 地 点 高	5,637 km	10,788 km
近 地 点 高	952 km	973 km
傾 斜 角	44.8°	42.7°
周 期	158 分	225 分
遠 地 点 周 期	200 日	10 カ月
重 量、形 状	170 ポンド、球形、直径 34.5 インチ	
受 信 電 波	6390 Mc, 右旋円偏波	
増 幅 器	帯域幅 50 Mc, 雑音温度 3000°K	
送 信 電 波	4170 Mc, 左旋円偏波, 2 W	
ビーコン電波	4080 Mc, 左旋円偏波, 20 mW	
コマンド電波	120 Mc (制御項目 15)	
テレメタリ電波	136 Mc (伝送情報 118)	
打上げ時スピン	180 回転毎分	
電 源	Si 太陽電池 (n-p) 3600 個 (14 W), Ni-Cd 電池 (36 W, 106 WH)	

2.1 通信衛星

テレビ中継が可能な通信衛星には、テルスター¹⁵⁾¹⁶⁾およびリレー¹⁷⁾¹⁸⁾の2衛星があり、それぞれ1号および2号が打ち上げられている。これらの衛星の諸元は表1および表2に示すように、広帯域中継能力を備えている。

テルスターによる中継では、映像信号は3 Mcに帯域制限を行ない、音声信号は4.5 Mcの副搬送波を100 kc (p-p)の周波数変調を行なって両者を合成し、6390 Mc, 広帯域FM波として衛星へ向け送信する。その際の周波数偏移は、映像信号が9.8 Mc (p-p)、同期信号が4.2 Mc, 音声副搬送波が2.8 Mc (p-p)である。衛星の中継器では、これを受信して4170 Mcに周波数変換後2 Wで送信する。

リレーによる中継では、映像信号は同様に帯域制限を行ない、4.5 Mcの副搬送波を200 kc (p-p)に周波数変調した音声信号と合成する。映像信号は同期信号を含めて4.56 Mc, 音声副搬送波は0.9 Mc (p-p)の周波数変調を行ない、1725 Mcで衛星へ向け送信する。衛星の中継器には、中間周波数で3通倍する回路があるため周波数変換された4170 Mc, 10 Wの送信波は映像信号が13.7 Mc (p-p), 音声副搬送波が2.7 Mc (p-p)の周波数偏移となる。

これらの衛星中継に使用される標準方式として、走査線525本の方式が使用され、欧米間のように標準方式が異なる場合の方式変換は欧州側で行なわれる。

2.2 地上局

これら2衛星を利用してテレビ中継が可能な地上局を表3に示す。そのうち、米国のアンダーバー局¹⁶⁾¹⁹⁾、英

表 2 リレーの諸元

項 目	リレー 1 号	リレー 2 号
打 上 げ 日	1962-Ⅻ-13	1964-Ⅰ-21
遠 地 点 高	7,439 km	7,413 km
近 地 点 高	1,322 km	2,189 km
傾 斜 角	47.5°	46.3°
周 期	185 分	195 分
遠 地 点 周 期	10 カ月	11 カ月
重 量, 形 状	172 ボンド, 8 角形, 高 33 インチ, 最大径 29 インチ	
受 信 電 波	1725 Mc, 右旋円偏波	
増 幅 器	帯域幅 23 Mc (広), 4.5 Mc (狭), NF 14 dB	
送 信 電 波	4170 Mc, 左旋円偏波, 10 W (広), 2.26 W (狭)	
ビーコン電波	4080 Mc, 左旋円偏波, 200 mW	
コマンド電波	120 Mc	
テレメタリ電波	136 Mc	
打上げ時スピン	150 回転毎分	
電 源	太陽電池 8215 個, 蓄電池 (225 WH)	

国のグリーン・ヒリ局^{2)19)~22)}および仏国のブルミュール・ボド局²³⁾の 3 局が 1961 年 7 月 10 日のテルスター 1 号の打ち上げ直前に完成し、歴史的なテレビ国際中継実験を欧米間で行なった¹⁶⁾²⁴⁾。わが国においては、米国のモハービー局、伊のフチノ局に引き続き、KDD の茨城宇宙通信実験所²⁵⁾²⁶⁾が 1963 年 11 月に完成し実験を開始した。また、郵政省電波研究所の地上局^{27)~29)}は 1964 年春に茨城県鹿島町に開局した。さらに、本年中には 3 局が開局すべく建設中である。

宇宙通信用の送受信装置には、全天回転が可能な大形アンテナを共用するため、高利得、低雑音のものが望まれ、巨大なホーンアンテナがアンドーバー局およびブルミュール・ボド局、直径 85 フィートのカセグレン形アンテナがグリーン・ヒリ局、西独、北欧およびカナダの局、直径 40 フィートのカセグレン形アンテナが伊国および米国モハービー局に使用されている。わが国では、KDD 局が直径 20 m、電波研の局が直径 30 m のカセグレン形を採用している。

送信装置には大出力が必要であり、リレー用に出力 10 kW、帯域幅 16 Mc のクライストロン (5KM70SF, VA 800, LD 624) が使用され、テルスター用には帯域幅 25 Mc の進行波管 (M 4040 出力 2 kW, VX 527 出力 5 kW) およびクライストロン (6AV60 出力 3 kW) が使用されている。

受信装置は低雑音、高感度が必要であり、米国アンドーバー局および仏国ブルミュール・ボド局ではメーザを使用し、受信系総合雑音温度として天頂で 35 度 (K)、英国のグリーン・ヒリ局もメーザで 68 度 (K) を得てい

表 3 テレビ中継が可能な各国の地上局

国 名	担当機関	地上局名	場 所	完成年月	備 考
米 国	ATT	Andover (COMAND)	マーン州	1962-Ⅴ	テルスター、リレー
	NASA	Mojave (COMMOJ)	カリフォルニア州		リレーへの送信のみ
英 国	GPO	Goonhilly Down (COMHIL)	コーンウォール州	1962-Ⅵ	テルスター、リレー
仏 国	CNET	Pleumeur Bodou (COMBOD)	ブルターニュ半島	1962-Ⅶ	テルスター、リレー
伊 国	Telespazio	Fuchino (COMTEL)	ローマ東方	1962-Ⅷ	受信のみ
日 本	KDD	IBARAKI (COMIBA)	茨城県十王町	1963-Ⅸ	テルスター*
	RRL (郵政省)	KASHIMA (COMKAS)	茨城県鹿島町	(1964-Ⅳ)	リレー
西 独	FTZ (PTT)	Raisting (COMGEA)	アッパー・ババリヤ	(1964-Ⅹ)	テルスター
北 3 欧 国	STSK	Rão (COMSCA)	ゴーテンブルグスウェーデン	(1964-Ⅺ)	受信のみ
カナダ			ハリファックスカナダ東南部	(1964-)	

* 1964-Ⅲ リレー用送信機付加

写真 1 第 1 回日米間テレビ国際中継受像写真
(1963 年 11 月 23 日, 0527~0548 JST 軌道 No. 2677)

る。パラメトリック増幅器を液体窒素で冷却している KDD の局の雑音温度は 130 度 (K) である²⁵⁾³⁰⁾。

2.3 実験結果

テレビ国際中継は、テルスター 1 号によって欧米間で 1962 年 7 月 10 日以後カラーテレビを含めて非常に多くの実験が行なわれ大成功を取めた²⁴⁾³¹⁾。ついで打ち上げられたリレー衛星によっても同様な実験が行なわれた。わが国のテレビ国際中継の実験は、米国モハービー局の送信、KDD 局の受信により 1963 年 11 月にリレー 1 号により受信中継を行ない成功し²⁵⁾³²⁾³³⁾、1964 年 3 月にリレー 2 号により KDD 局送信、アンドーバー局受信により対米送信実験に成功した。これらの実験結果から、宇宙通信によるテレビ国際中継は十分国際伝送基準を満足していることが確認された³⁴⁾。

2.4 技術基準と周波数分配

宇宙通信によってテレビ国際中継を行なう場合の技術基準および周波数分配について、1963 年の CCIR 第 10 回総会で検討され³⁵⁾³⁶⁾、同年 10 月の臨時無線主官庁会議 (EARC) で決定された^{37~39)}。

まず、基本的擬似標準回線 (Basic hypothetical re-

ference circuit) すなわち地上局—衛星—地上局の 1 回跳躍の回線を定め、1 中継で地表距離 7500 km まで可能とした。さらに、基礎周波数帯域幅を 5 Mc, 標準方式を 525 本方式とし、連続雑音に対する SN 比 (雑音には評価をかける) が 99% 以上の時間率で 55 dB 以上とした。

使用する周波数は図 1 のように分配され、地上マイクロ波業務と周波数を共用することになった。そのため干渉の問題が予想され、これに関する研究^{40)~44)}も非常に多く行なわれている。これらによれば適当な技術基準を設ける必要があり、EARC でも衛星、地上局およびマイクロ波中継局についての周波数共用のための制限を設けた。

2.5 宇宙通信の今後

宇宙通信によるテレビ国際中継は実験段階であるとはいえ、その確実性が実証された⁴⁵⁾⁴⁶⁾。しかし、現段階では短時間の中継しか行なえない状態であり、今後の実用化に際しては、いつでも中継を可能にすることが必要であろう。

3. 高能率中継の研究

現在の宇宙通信では標準テレビ信号を FM で送っているが、通信路の多段中継あるいは通信路の有効な利用を考えて、特殊な中継方式の研究がなされている。

3.1 デジタル通信

トンネルダイオードを用いたテレビ信号用 PCM 装置が KDD において開発され⁴⁷⁾、テレビ信号の量子化技術

写真 2 PCMによる NTSC 信号の再生画像(カラー)
(4 ビット/10 Mc)

は大はばに改善された。さらに、原信号に白色雑音あるいは適当な正弦波を混入することにより、量子レベル数も軽減されることが報告されている⁴⁸⁾⁴⁹⁾。なお、カラーテレビも NTSC 信号をそのまま 5~6 ビット程度に量子化すれば、完全に伝送できるといわれる⁴⁹⁾ (写真 2 参照)。

一方、 Δ 変調によるテレビ信号の量子化も試みられ、標準化周波数 100 Mc で量子化を行なえば、完全に再生されるという⁵⁰⁾。さらに、 Δ 変調における直流分伝送特性を改善する目的で、 Δ - Σ 変調が開発され、テレビジョン信号に対する実験も行なわれた。その結果、標準化周波数 60 Mc で 350 本程度の再生画像が得られている⁵¹⁾。

3.2 テレビ帯域圧縮

テレビ帯域圧縮の研究の進め方には二つの流れがあった。その一つは、近年発達した電子計算機を用いた画像シミュレーションであり、他は標準テレビ信号あるいはこれに近い信号を用いたものである。

前者は米国の MIT などで行なわれているが⁵²⁾、電波研、通研、NHK 技研等においてもシミュレーション装置の製作あるいは準備が行なわれ、二、三の結果も報告されている⁵³⁾⁵⁴⁾。たとえば、福島などの方法によれば、デジタル通信における伝送情報量を 1/2 以下にするとの結果が得られている。

一方、標準テレビ信号を使用したものとしては、英国において、可変速度走査を主体としたものが研究されている⁵⁵⁾⁵⁶⁾。一方、NHK 技研においては標準テレビ信号の帯域圧縮の研究をも行なっており、間欠フィールド方式により帯域幅を 1/2 にしうる⁵⁷⁾と報告されている。本方式の特徴は、伝送信号波形が標準テレビ信号に類似しており、現在の回線にそのまま流しうることである。写真 3 にその再生画を示す。

テレビ帯域圧縮を成功せしめるには、考え方のすぐれ

図 1 通信衛星用の周波数分配図
黒: 専用, 斜線: 共用, 白: 一部地域共用

写真3 フィールド欠除法による帯域圧縮画像
(圧縮率 1/2)

ていることはもちろんであるが、これを実現化する技術の開発もそれに劣らず重要である。この技術のうち、最も困難であるのは正確な信号の記憶装置の開発であるが、この点、最近ようやく実用しうる機器が開発されてきた。

たとえば水平周期遅延用としては超音波遅延⁵⁸⁾⁵⁹⁾、フィールド遅延用としては磁気レート⁶⁰⁾、磁気ドラム⁶¹⁾を使用したものなどがある。これらの方式、機器の開発がなされてきたため、シンコムのような狭帯域伝送時における画質改善、あるいはリレーなどのような短時間中継時に対する伝送プログラムの倍増などに、この帯域圧縮技術が応用される日も近いことであろう⁵⁷⁾。

4. 方式変換

世界中継が行なわれるとき、必然的に標準方式変換の問題が起こる。現在においても主としてキネスコープ—撮像管が用いられ⁶²⁾、1962年7月のテルスターによるヨーロッパ—米国間のテレビ中継実験などに方式変換器として活躍した。しかし、本方式が本質的にもつ画質劣化の問題を解決するため、BBCは純電子的な方式変換装置を開発した⁶³⁾⁶⁴⁾。

本方式の原理は、1走査線中の各画素の情報を、それぞれ600個のコンデンサに記憶させる考え方であって、入出力の走査速度に応じて、これを順次切り替えて行くものである。この切り替えにはトランジスタを用いて行なっており、変換による画質低下はほとんどないといわれる。本装置は、フレーム数の異なる方式間の変換には使用できないが、英国において405本より625本方式に標準方式を切り替えるに当たり、両方式間の信号授受のため実用されるといわれている。

〔参考文献〕

- 1) W. F. Bodtman, et al.: B. S. T. J., **42**, 1 (1962) 37
- 2) J. R. Pierce: *Electronica*, **49**, 1 (1962) 20
- 3) 藤田: *テレビ誌*, **16**, 8 (1962) 481
- 4) Brit. Comm. & El., **9**, 5 (1962) 353
- 5) T. Maguire: *Elcs.*, **35**, 28 (1962) 28
- 6) P. R. Easterlin: W. U. Tech. Rev., **16**, 4 (1962) 168
- 7) L. F. Mathews: Brit. IRE, **22**, 4 (1962) 349
- 8) W. Nestel: *Electronique*, **183** (1962) 34
- 9) H. E. Weppeler: IRE Trans. **BTR-8**, 1 (1962) 47
- 10) 宇宙通信, 昭和38年連合大会シンポジウム予稿, S-9 (1962)
- 11) 宮: OHM, **49**, 12 (1962) 53
- 12) 宇宙通信, 電子科学, **12**, 12 (1962) 17
- 13) 田尾: *放送技術*, **16**, 4 (1963) 230
- 14) 宮: *テレビ誌*, **17**, 1 (1963) 37
- 15) 富田: *テレビ誌*, **17**, 4 (1963) 35
- 16) The Telstar Experiment: B. S. T. J., **42**, 4, Part 1~3 (1963)
- 17) P. Cherechwich: *Eles.*, **35**, 40 (1962) 46
- 18) Relay System Data Book, S. T. L. (1962)
- 19) C. F. Booth, et al.: Brit. Comms., (1962-8) 573
- 20) Comms. via Satellite, E. E., **81**, 6 (1962) 382
- 21) F. J. D. Taylor: P. O. E. E. J., **55**, Part 2 (1962-7) 105
- 22) J. Bray: P. O. E. E. J., **55**, Part 2 (1962-7) 97
- 23) M. Thue & J. P. Houssion: O. E., **43**, 432 (1963-3) 341
- 24) W. J. Bray & F. J. D. Taylor: P. O. E. E. J., **55**, Part 3 (1962) 147
- 25) 国際通信の研究, 39 & 40 (1964)
- 26) 三宅: *放送技術*, **15**, 11 (1962) 684
- 27) 河野: *放送技術*, **15**, 11 (1962) 689
- 28) 河野: *電気通信*, **26**, 196 (1963-4) 10
- 29) 磯: *放送技術*, **16**, 1 (1963) 11
- 30) 鶴岡, 三宅: *信学誌*, **46**, 4 (1962) 547
- 31) B. L. R., **40**, 7 (1962) 250
- 32) *テレビ誌*, **17**, 12 (1963-12) 58
- 33) 村主: *放送技術*, **19**, 1 (1964-1) 34
- 34) 三宅: *テレビ誌*, **18**, 3 (1964) 47
- 35) CCIR 第10回総会文書 (Geneva) **IV** (1963)
- 36) 宮: *放送技術*, **16**, 5 (1963) 266
- 37) EARC 最終議定書 (Geneva) (1963)
- 38) 宮川他: *電波時報*, **19**, 3 (1964) 2
- 39) 難波他: 国際通信の研究, 40 (1964) 1
- 40) W. L. Firestone et al.: IRE Trans., **RFI-4**, 2 (1962) 1
- 41) H. E. Curtis: B. S. T. J., **41**, 3 (1962) 921
- 42) S. G. Lutz & D. E. Miller: IRE Trans., **RFI-4**, 3 (1962) 49
- 43) 蔵方: *施設*, **14**, 7 (1962) 48
- 44) H. E. Curtis: B. S. T. J., **42**, 5 (1963) 2715
- 45) 宮: *信学誌*, **47**, 4 (1964) 169
- 46) 宮: 連合大会特別講演予稿 (1964)
- 47) 大島他: *信学誌*, **11** (1962) 1541
- 48) L. G. Roberts: IRE Trans. on IT, Feb. (1962)
- 49) 大島他: *テレビ誌*, **17**, 9 (1963) 535
- 50) J. C. Balder: Proc. IRE, April. (1962) 428
- 51) 高野他: *テレビ誌*, **17**, 10 (1963) 606
- 52) J. W. Pan: Quarterly Progress Reports, No. 66, Research Lab. Electronics, MIT, July (1962) 229
- 53) 橋本他: 通研実用化報告, **11** (1962) 1947
- 54) 福島他: *信学誌*, **1** (1964) 55
- 55) C. Cherry 他: IEEE, Nov. (1963) 1507
- 56) B. Prasada: IEEE Trans. on C. S., Sept. (1963) 315
- 57) 安東: *科学朝日*, 6 (1964) 69
- 58) D. Howorth: BBC. Eng. Div. Monograph, 47, May (1963)
- 59) 中村他: *テレビ誌*, **18**, 4 (1964) 217
- 60) H. G. Walter: Rundfunktech. Mitt., (1962) 106
- 61) 岩沢: 東北大磁気シンポジウム予稿 (1964.2) 143
- 62) E. R. Rout 他: J. Television Soc., Oct.—Dec. (1961) 494
- 63) A. V. Lord 他: Television Eng., Proc. International Television Conference, London (1962) 167
- 64) Radio Electronic Eng., Sept. (1963) 242