

# クロック完全同期直接衛星放送網

市吉 修

二十一世紀を楽しく生きよう会

**あらまし** 現在CS放送は受託放送業者がSkyPerfect社の一社独占となり送信局も首都圏に偏在しているため、沖縄や北海道などの地方からの直接発信ができない。CS放送の加入者数の伸びは既に飽和しているがその原因は上述のごとく発信側の制限がきついため提供される放送内容が貧しくなることに因ると思われる。

ここで提案の直接衛星方式は一台の衛星中継器をTDMA方式で共用して全国各地の複数の放送局から直接衛星に向けて発信し、下りの合成信号を全国の既存のCS放送受信端末で受信して視聴することができる。即ち本提案のシステムは受信側だけでなく送信側においても直接衛星放送となる。

本提案のシステムを用いればデジタル化のために膨大な投資を強いられている地方放送局が相対的には極くわずかの追加投資を行うことにより放送電波の届く範囲を県から全国に一挙拡大する事が可能となる。全国各地から直接日本全国へ大量かつ即時の情報の流れを可能にする本提案網は地方に新たな事業環境を創造し均衡の取れた全国的な産業の発展に有効であろう。

## Synchronous TDMA Direct Satellite Broadcasting Network

Osamu Ichiyoshi

Human Network for Better 21 Century

### Abstract

The direct satellite broadcasting (DSB) through communication satellites (CS) is now monopolized by the company SkyPerfectTV and the transmission sites are located only in Tokyo area. This narrow transmission side of the system may have caused premature saturation of the market.

The DSB system herein proposed enables direct transmission of independent signals from multiple sites in remote areas toward a satellite transponder which is shared by those stations in TDMA modes and the combined signal can be received by existing DSB receivers. In another words, it realizes a truly direct satellite broadcasting system for the transmission sides as well as the receive sides. The system enables the local broadcasting stations expand their coverage areas from prefecture to nationwide scales at minimal investment additional to the vast ongoing digitalization cost. The direct flow of information from any local areas to the whole national region will then create new business opportunities for local industries and contribute to the well balanced development of the nation.

## 1 直接衛星放送の現状と課題

現在 SkyPerfecTV 社の加入者数は約 400 万に達しているが既に伸びは鈍化している。その直接的な原因はコンテンツ不足であるが根本的な原因は受託放送事業者と衛星供給者の寡占状態と送信局の首都圏偏在にあると思われる。全国各地からの CS 実況放送を行うにはまず現場から首都圏の衛星放送局までの中継回線が必要である。そのために衛星通信を用いると二個の衛星を通じた二段中継放送となり通信費用が高価になる。また SkyPerfecTV 社と JSAT 社の経営統合により CS 放送の寡占の度が従来にも増して強まるが、これは上述の理由から CS 放送の発展には却ってマイナスとなる恐れがある。そこで今後の CS 放送の発展のためには全国どこからでも安価に送信でき、しかも既存の CS 放送受信端末で受信可能なシステムの実現が望まれる。本提案はそのようなシステムの実現を目的とする。

## 2 完全同期 TDMA の直接衛星放送への応用

### 2-1 完全同期 TDMA

[1] 時分割多重(TDM) デジタル放送は多数のチャネルの信号を時分割多重(Time Division Multiplex,TDM)方式で一列の TS(Transport Stream)に多重化して送信する。従来の直接衛星放送は一箇所から送信して全国どこでも受信できるのが特長であるが、送信局が一箇所に限られる事は同時に一つの限界にもなっている。即ち全国各地からの直接放送ができない。

[2] 時分割多元接続(TDMA) 全国各地の複数の送信局から直接送信する場合には上記 TDM は TDMA(Time Division Multiple Access)となる。各局は所定の時間長のバースト信号を送信する。各局からのバーストが衛星上で衝突しないように各送信局はバースト送信時間を制御する。これをバースト制御という。バースト制御には異なる局からのバーストの間に空き時間(ガードタイム)を設けてガードタイムの範囲でバーストタイミング誤差を許容するクロック非同期方式と、各局からのバースト信号がクロックの位相まで完全に同期する完全同期方式とがある。完全同期方式においてはガードタイムは 1 シンボルで十分であり衛星からの下り信号は全体として一箇所から送信したのと同様の信号になる。従って既存の直接衛星放送受信端末でも受信可能となる。表 2-1 に従来開発された各種 TDMA 方式の一覧を示す。

表 2-1 各種 TDMA 方式の比較

| 方式名           | 開発時期   | フレーム長         | データ速度                   | 同期方式 | 特記事項   |
|---------------|--|---------------|-------------------------|------|--|
| SMAX          | 昭和 42-47<br>電電公社<br>横須賀通研  | 125(μsec)     | 13.664(MHz)             | 完全同期 | 完全同期 TDMA の実現性を実証。<br>郵政省鹿島支所、米国モハービ、ロスマン 3 局間で ATS-1 衛星を用い共同実験。 |
| 準ミリ TDMA      | 昭和 49-52<br>電電公社   | 328(μsec)     | 64(Mbps)<br>BPSK        | 完全同期 | 全国電話網の Back-up(8 局)  |
| 離島用 TDMA      | 昭和 49-52<br>電電公社   | 105(μsec)     | 105(Mbps)<br>QPSK       | 完全同期 | 小笠原に電話 192 回線及び TV2 回線を提供。                                       |
| Intelsat TDMA | 1975-84<br>Intelsat  | 2(ms)         | 120(Mbps)<br>QPSK       | 非同期  | 国際通信網  |
| その他           | 電波研究所、KDD 研究所等でも研究開発が行われ、ESA、米国、カナダ等においても実用化されたが何れも同期方式はクロック非同期方式であった。 |               |                         |      |  |
| DSDVB TDMA    | 2003-<br>本提案   | 30(ms);<br>*1 | 42.192(Mbps)<br>QPSK *2 | 完全同期 | 本提案  |

\*1: TV のフレーム周波数

\*2: CS 放送規格



表 3-1 Link-Power-Budget

| 項目                   | 規格     |       | 備考                           |
|----------------------|--------|-------|------------------------------|
| UPLINK               |        |       |                              |
| 送信地球局                |        |       |                              |
| 送信機出力 (dBW)          | 13     |       | RF 出力 20W .                  |
| 送信アンテナ利得(dBi)        | 43     |       | 直径 1.2m .効率 60%              |
| Feeder 損失(dB)        | 0.5    |       |                              |
| EIRP(dBW)            | 55.5   |       |                              |
| 自由空間損失(dB)           | 207    |       | 無線周波数 $f_u = 14(\text{GHz})$ |
| 衛星                   |        |       | JCSAT-4 相当                   |
| G/T(dB/ K)           | 10     |       | 推測                           |
| ボルツマン係数 k(dB)        | -228.6 |       |                              |
| Uplink C/No(dB/Hz)   | 87.1   |       |                              |
| DOWNLINK             |        |       |                              |
| 衛星                   |        |       |                              |
| トラポン出力 (dBW)         | 18     |       | 75W , 12GHz                  |
| アンテナ利得(dBi)          | 37     |       | 効率 1/2                       |
| Feeder 損失(dB)        | 0.5    |       |                              |
| EIRP(dBW)            | 54.5   |       |                              |
| 自由空間損失(dB)           | 206    |       | 12GHz                        |
| 受信器                  | 利用者端末  | 衛星地球局 |                              |
| G/T(dB/ K)           | 10     | 17    | 利用者端末 / 地球局                  |
| ボルツマン係数(dB)          | -228.6 |       |                              |
| Downlink C/No(dB/Hz) | 87.1   | 94.1  |                              |
| 総合 C/No(dB/Hz)       | 84.1   | 86.3  |                              |
| 情報伝送速度(dB.Hz)        | 75.0   |       | 30Mb/s                       |
| Eb/No(dB)            | 9.1    | 11.3  |                              |
| 通常品質の運用時 Eb/No(dB)   | 5.0    |       |                              |
| 回線余裕(dB)             | 4.1    | 6.3   |                              |

#### 4 提案システムの技術課題

##### 4-1 TV フレーム周波数で完全同期を確立できるか

地球局の受信部においては二個の PLL、即ち基準局クロック再生回路 (R-PLL)及び送信クロック位相同期回路(T-PLL)が必要である。R-PLL は基準局のバーストから基準局クロックを再生する。T-PLL は上記基準局クロックを基準にして自局のバーストのクロック位相誤差を検出してそれが 0 になるように送信クロック発生用 VCO を位相制御する。受信信号はバーストである

から両者とも標準化保持(sample & hold)型の PLL となる。T-PLL はさらに約  $\approx 0.27$  秒の長大な衛星遅延を含む PLL であり安定性の上から約 0.5Hz 以下の等価雑音帯域幅の狭帯域 PLL とする必要がある。  
 クロック同期システムの構成と TDMA フレームの構造を下图に示す。

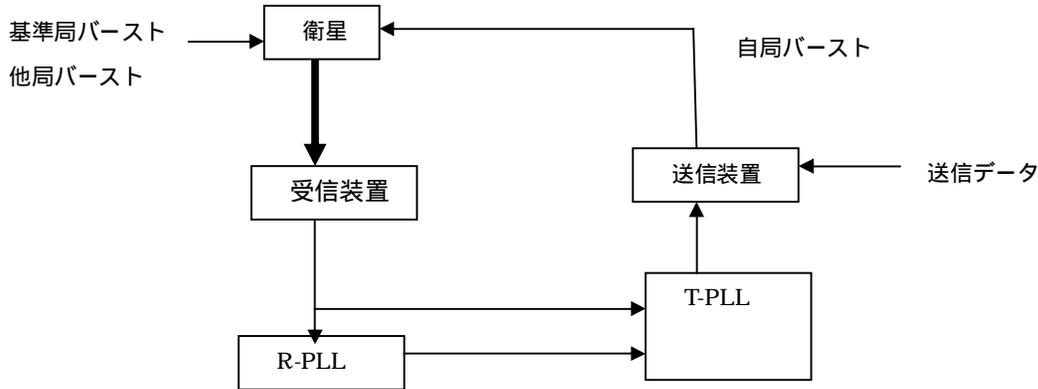


図 4-1 衛星地球局のクロック同期システム構成

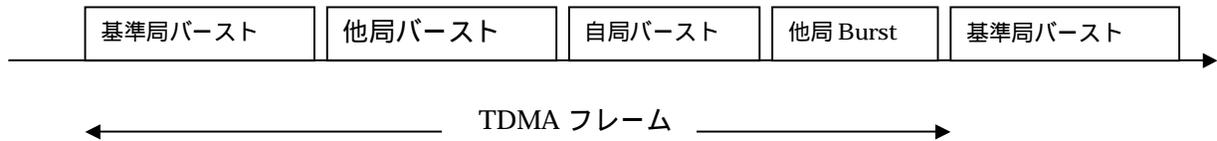


図 4-2 TDMA フレーム (ガードタイムは1シンボル)

通常 Sample & hold (SH)型 PLL はクロック位相の平滑化を十分行うために標準化周波数に対して 1/10 以下の帯域幅にする。前述のごとく本提案においては標準化周波数が約 30Hz と従来の TDMA システムに比べて格段に低く通例に従えば R-PLL の帯域幅を 3Hz 程度にする必要がある。その結果 VCO の内部雑音の影響が大きくなるため位相雑音特性の良好な VCO を用いることが必要である。

#### 4-2 既存の直接衛星放送受信端末の引き込み特性

前述のように本提案の特長は既存の CS 放送受信端末が使用可能なことである。異なる地球局からのバースト切り替えにおいてクロックは位相連続であるが搬送波(carrier)の位相は不連続である。従って既存の CS 放送受信機の復調回路の過渡応答動作のためにバーストの先頭部分の packets は放送信号の伝送には用いることができない。クロックが連続なので受信機復調回路の過渡応答は迅速に定常状態に到ることが期待されるが、システム開発上要確認である。

#### 4-3 インターリーブの影響

CS 放送においては 12 パケットにわたるインターリーブが行われる。従ってバーストの先頭と最後の 12 パケットは一部放送信号の伝送が不可能となる。これらの部分は地球局間の制御回線に用いる事ができるが、従来のシステムに比べて放送網としての効率は落ちる。簡単な為、前後の合計 24 パケットは放送に使わないとすると、5 局が TDMA 通信を行う場合、各局当たりのパケット数は約 128 であるから放送に使えるのは 104 パケットであり効率は  $104/128 = 81\%$  となる。

## 5 ESA の SkyPlex システムとの比較検討

本提案と同様の目的のため EU においては Skyplex と称するシステムが運用されている。ヨーロッパには多数の国と異なる言語がある。従って各国から独立に送信でき、しかも既存の DSB と互換性のあるシステムが早くから求められていた。そこで送信は各地の VSAT から SCPC 方式で送信し衛星上で受信、復調、再生した信号を DSB 方式に変換して下り回線に送信することにより既存の DSB 端末で受信できる。これは極めて有効な方法であるがかなり複雑で特殊な衛星が必要である。世界の通信衛星の大半は受信信号を周波数変換して増幅し地上に中継送信する所謂 Bent-pipe 型の衛星である。本提案のシステムは通常の Bent pipe 型の衛星に適用可能であり、欧州に限らず世界各地の既存の通信衛星を通じた直接衛星放送を提供する事ができる。

## 6 発展途上国への応用

本来 TDMA は各地の地域網を接続する関門局(Gateway)間の mesh 型通信網として開発された。前述の Intelsat や準ミリ TDMA がその例である。準ミリ TDMA は札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、金沢、広島、福岡の 8 箇所の統括局(RC)を結び電話網の最上位 back-up 回線網として開発された。また離島用 TDMA において電話 192 回戦と TV2 回戦が提供されたように衛星通信は極めて自然に通信と放送網を融合できる。そこで各地の地域通信網の関門局と放送局を結合すれば長距離通信網と放送網を同時に提供することができる。衛星中継器の伝送容量が 30Mbps とすると電話 700 回戦と TV2 チャンルの全国網を実現することができる。これは通信及び放送網の未発達な地域の基盤情報網の整備に有効であろう。本システムの概念図を下に示す。

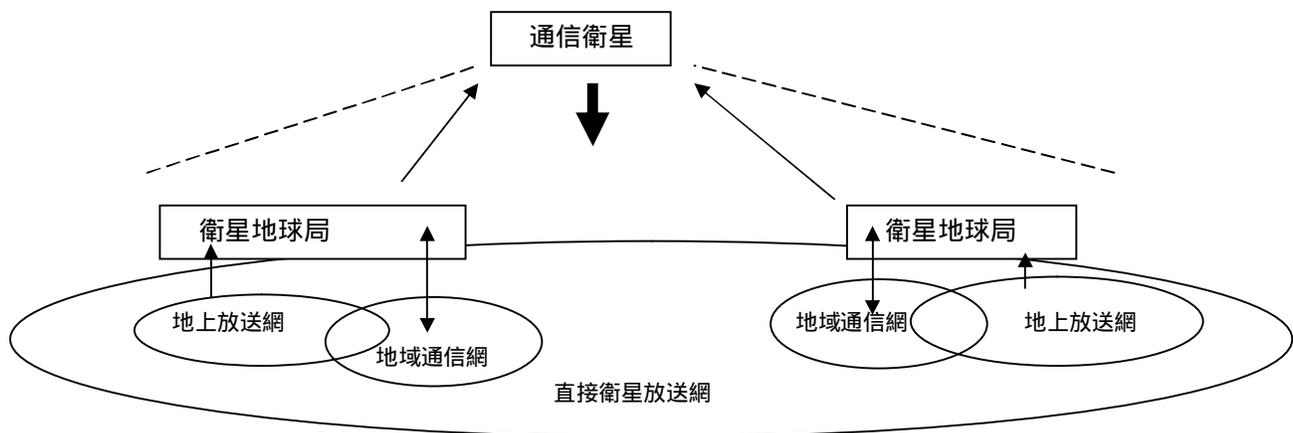


図 6-1 発展途上国向け通信及び放送基盤網の概念図

### まとめ

近年衛星通信市場の伸びは停滞しているが、衛星通信はその特長を活かせばまだまだ有効な応用分野があると思われる。本提案はその一例であるが、更にインターネットと結合すればマルチキャスト、ブロードキャスト機能を備えたインターネットが容易に実現でき、離島、山間僻地を含めた全国に対して通信と放送を融合した新たな情報網を提供することができるであろう。

### 参考文献

- [1] 日本電信電話公社電気通信研究所 研究実用化報告 Vol.29 No.4 1980  
これは前述の完全同期 TDMA 実用化の総合報告である。
- [2] 特許出願公開 2005-151472 「完全同期 DVB/TDMA 衛星通信網」
- [3] SkyPlex; [http://www.esa.int/esaCP/SEM6YM2PGQD\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM6YM2PGQD_index_0.html)
- [4] 熊谷伝六、土井博之、高田正美 SMAX-PCM 多元接続衛星通信方式 電子通信学会誌 vol.53, No.2, P.179, 1970