

特集



第3章 衛星通信とシステム・コスト、中継器、マルチ・ビーム通信方式、マルチプル・アクセス方式、衛星間通信

衛星通信システムの構成

北爪 進

Susumu Kitazume

3.1 衛星通信回線とシステム・コスト

■ 衛星通信の伝送路

衛星通信システムの利用目的は、音声/画像/データ伝送に使われる固定通信や各家庭や事業拠点に直接放送信号を送る同報通信、さらに船舶/航空機/自動車等の移動体通信用などがあります。

これらの通信システムを構成する主要構成要素は、通信回線を構成する送受信地球局、衛星搭載通信機器、衛星追跡管制装置から構成されます。衛星通信回線の伝送路は、送信側地球局から発信された信号が35786 kmの距離を空間伝搬し、静止軌道上に位置する静止衛星に搭載されている衛星搭載通信機器に至って受信され、その後、周波数変換、電力増幅され、再び受信側地球局に至る伝送路で構成されます。

■ C/T の検討

図1は衛星通信システムの標準疑似回線です。雑音のある伝送路を通して信号を伝送する場合、その伝送路で使用する変調方式に応じて、必要とされる伝送路の最小搬送波電力対等価雑音温度比があり、それを総合した値を $(C/T)_t$ で表します。衛星通信回線における伝送路は、送信側の地球局から衛星を通して受信側の地球局に至る伝送路であり、この伝送路の総合 C/T が上述の最小の C/T を適切なマージンをもって上回る必要があります。衛星通信総合の $(C/T)_t$ は次の三

つに分けられます。

$(C/T)_u$ ：アップリンクの C/T

$(C/T)_d$ ：ダウンリンクの C/T

$(C/T)_i$ ：衛星中継器の混変調雑音による C/T

● アップリンクの C/T

アップリンクの搬送波電力対等価雑音温度比 $(C/T)_u$ は次式で表されます。

$$(C/T)_u = P_{(\text{EIRP})E} - L_u + (G/T)_S \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 $P_{(\text{EIRP})E}$ ：地球局の等価等方輻射電力 [dBW]、 L_u ：アップリンクの伝送損失 [dB]、

$(G/T)_S$ ：衛星局 G/T 、 C ：中継器入力端搬送波電力 [dBW]、 G ：中継器のアンテナ利得 [dBi]、

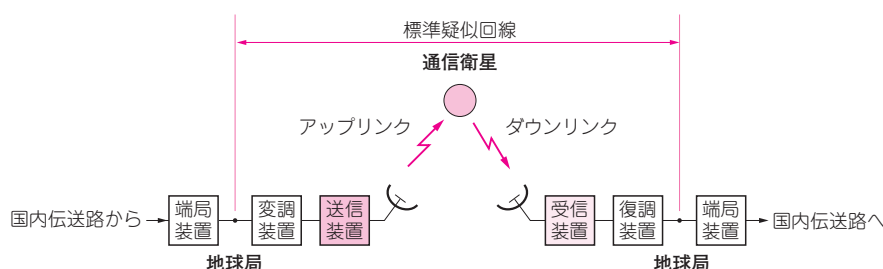
T ：中継器入力端に換算した等価雑音温度 [K]

伝送損失 L_u はアップリンク周波数と地球局から衛星までの距離によって定まります。一方、衛星のアンテナ利得 G は周波数とアンテナ開口面積で決まりますが、アンテナ開口面積はほぼシステムのカバーする範囲で決まってしまうのでアップリンクの $(C/T)_u$ を向上させるには地球局のEIRPを上げるか、衛星中継器の等価雑音温度を下げる方法があります。

地球局のEIRPを大きくするには、地球局アンテナ利得を大きくするか、送信電力を高くする方法があります。これはいずれも地球局のコスト・アップとなるので、衛星中継器の等価雑音を下げる（中継器の雑音指数を下げることになる）が地球局の多いシステムでは経済的になります。

● ダウンリンクの C/T

一方、ダウンリンクの搬送波電力対等価雑音温度比



〈図1〉衛星通信システムの標準疑似回線

$(C/T)_d$ は次式で表現できます。

$$(C/T)_d = P_{(EIRP)_E} - L_d + (G/T)_E \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $P_{(EIRP)_E}$ ：地球局のEIRP [dBW]、 L_d ：ダウンリンクの伝送損失 [dB]、 $(G/T)_E$ ：地球局のアンテナ利得対等価雑音温度比 [dB/K]

アップリンクの場合と同様に、衛星のアンテナ利得とダウンリンク伝送損失は、ダウンリンク周波数、地球局の位置、システムのカバーする範囲で決まってしまう量であり、地球局の $(G/T)_E$ を高くすることは、とくに地球局の多いシステムでは、システム全体が高価になってしまいます。その場合は衛星搭載アンテナの利得を含めて、中継器の等価送信電力を向上させることが衛星通信システム全体のコスト低減になります。

● 混変調雑音による C/T

衛星通信ではアップリンク、ダウンリンクの熱雑音のほかに、中継器の出力段増幅器(高出力増幅器)で生じる混変調雑音を考慮しなければなりません。

衛星通信の特徴は、一つの中継器を共用して複数の地球局からの電波を中継できる利点にあります。各地球局には、通常異なる周波数が割り当てられているので、中継器では異なる周波数の多数の信号を共通増幅することになります。一方で衛星のEIRPを高くするため、中継器出力をできるだけ高くすることが望ましいので、増幅器を非直線性領域で動作させることになります。その結果、混変調雑音を生じることとなります。

混変調は飽和領域に近いほど多く発生するので、中継器を共通増幅する場合は出力飽和点からバックオフして使用します。バックオフを小さくして衛星のEIRPを増やすと $(C/T)_d$ は改善されますが、混変調雑音が増加して $(C/T)_i$ が劣化します。したがって、最良の総合伝送特性を得るには適切にバックオフ値を選択する必要があります。

● 総合搬送波電力対等価雑音温度比 $(C/T)_t$

以上述べた衛星通信回線で生じる三つの雑音を総合した総合搬送波電力対等価雑音温度比 $(C/T)_t$ は、次式で表現されます。

$$\frac{1}{(C/T)_t} = \frac{1}{(C/T)_u} + \frac{1}{(C/T)_d} + \frac{1}{(C/T)_i} \dots\dots (3)$$

衛星通信中継器の雑音指数の低減は $(C/T)_u$ を向上させ、結果的に地球局の送信実効電力(EIRP)の低減に寄与します。また中継器出力増加と非直線性の改善はそれぞれ $(C/T)_d$ と $(C/T)_i$ を向上させ、地球局の G/T の低減に寄与します。

■ 性能指数 G/T

受信地球局の性能は、受信アンテナ利得 G とダウンリンクの等価雑音温度 T との比で表されます。この G/T を「性能指数」と呼び、大きいほど性能の良い地球局といえます。したがって、これらの中継器性能

の向上は、より高度な衛星通信方式の展開とともに衛星通信システムの経済性に大きく影響するのです。

3.2 衛星搭載通信機器と中継器

■ 通信衛星の搭載機器

図2を見てください。通信衛星を構成する主要な要素は、バス機器と通信系ミッション機器に分類されます。ミッション機器は、さらにアンテナと中継機器に分類されます。

■ 中継器

衛星搭載用通信機器の基本形は、地上から通信衛星に向けて送信される電波を受信し、衛星内で地上に向けて送信する周波数に変換し、必要な電力値に増幅して、地上に向けて送信する機能を持つことです。その機能から別名「中継器」(Repeater)とか「トランスポンダ」(Transponder)と称します。また、衛星通信では地上から衛星向けのルートを「アップリンク」(Up-Link, 上り回線)、衛星から地上向けのルートを「ダウンリンク」(Down-Link, 下り回線)と称します。

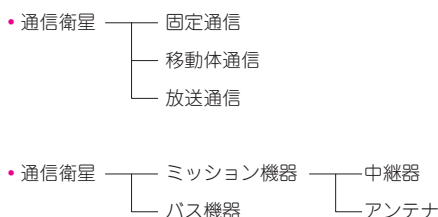
● その種類

中継器は、その周波数変換方式によって、シングル・コンバージョン方式とダブル・コンバージョン方式に分類されます。またその機能によって単純中継方式(Through Repeater)、衛星交換・時分割多元接続方式(SS-TDMA)、再生中継方式(Regenerative Repeater)等があります。また衛星通信の応用として、衛星-宇宙移動体間通信や月探査機、惑星観測衛星やほかの宇宙天体への飛行物体や宇宙基地との通信に使うミリ波・光技術を使った衛星間通信技術および衛星内信号処理技術等があります。

衛星通信では通常、アップリンクとダウンリンクに別々の周波数を使用します。アップリンク信号は地球局から送信されて衛星で受信され、信号増幅し、送信周波数に周波数変換して、さらに信号増幅しダウンリンク信号として地球局へ送信されます。

● 単純中継方式(スルー・リピータ)

中継器の基本形である単純中継方式(Through



〈図2〉通信衛星の搭載機器の分類