

特集



Courtesy of JAXA

第6章 衛星通信回線の性能， 回線設計例，干渉問題，蝕モード運用

衛星通信の回線設計

北爪 進

Susumu Kitazume

衛星通信の回線設計は，通信システムを構成する送受信局の送信出力電力，受信電力，送受信局のアンテナの特性，衛星搭載通信機器の性能に対する要求値を定める作業です。すなわち，まず衛星通信回線の構成，送信・受信電力の計算，通信回線で発生する雑音，回線の搬送波電力対雑音電力密度(C/N_0)等を求めます。さらにほかの地上通信システムや衛星通信システムとの干渉について検討することです。

6.1 衛星通信回線の性能

■ 衛星通信回線の伝送路

衛星通信における伝送路は，送信側の地上局から衛星を通して受信側の地上局に至る伝送路です。基本的な回線の例は，衛星上で単純に送受信周波数変換と電力増幅を行うだけの直接中継器(スルー・リピータ，ベント・パイプ)をもつ通信衛星を介して二つの地球局間で通信を行う構成です。図1に代表的な衛星通信疑似回線を示します。

■ 地球局の送信電力と受信電力

雑音のある伝送路を通して信号を伝送する場合，その回線の品質を表す指標に信号の S/N (信号搬送波電力対雑音電力比)があります。変復調器部分を分離して衛星回線部分の特性を規定するため，通常は搬送波

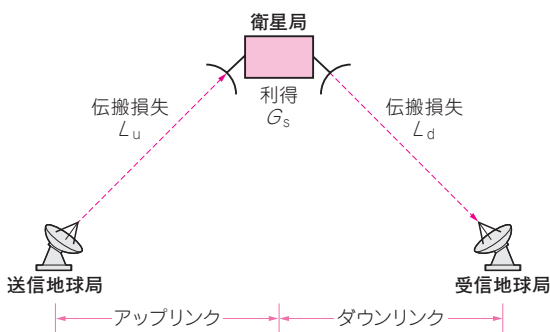
電力対雑音電力密度比 C/N_0 が使われます。ここで N_0 は1 Hzあたりの雑音電力密度です。

まず送信地球局から送信された信号が，受信地球局側において，どれほどの電力で受信できるかを見ます。図1の衛星通信疑似回線において，送信地球局から衛星までの回線をアップリンク(上り回線)，衛星から受信地球局までの回線をダウンリンク(下り回線)と呼びます。

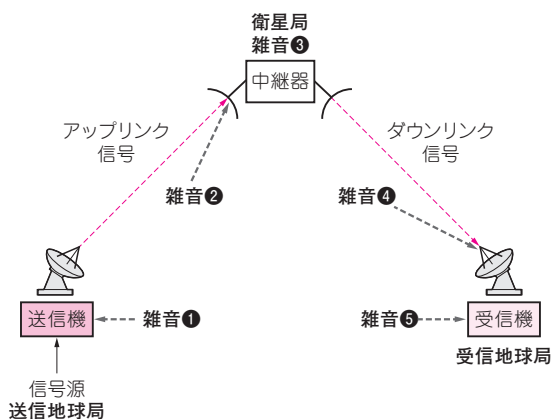
地球局の送信電力を P_t とすると受信電力 P_r は次式で表されます。

$$P_r = P_t + G_t - L_{ta} + G_{su} - L_u - L_{ua} - G_s + G_{sd} - L_{da} - L_d + G_r - L_{ra} \dots \dots \dots (1)$$

ここで， P_t : 地球局の送信電力 [dBW]， P_r : 地球局の受信電力 [dBW]， G_t : 送信地球局アンテナ利得 [dB]， L_{ta} : 地球局送信アンテナの給電損失 [dB]， G_{su} : 衛星受信アンテナの利得 [dB]， L_u : アップリンクの伝送損失(自由空間損失，大気吸収損失，降雨減衰損失) [dB]， L_{ua} : 衛星受信アンテナの損失(給電損失，指向損失，偏波不整合損失など) [dB]， G_s : 衛星中継器の増幅利得 [dB]， G_{sd} : 衛星送信アンテナ利得 [dB]， L_{da} : 衛星送信アンテナの給電損失(指向損失，偏波不整合損失) [dB]， L_d : ダウンリンク伝搬損失



〈図1〉代表的な衛星通信疑似回線の構成



〈図2〉衛星通信回線と雑音発生源

失(自由空間損失, 大気吸収損失, 降雨減衰損失) [dB], G_r : 地球局受信アンテナ利得 [dB], L_{ra} : 地球局受信アンテナの損失(給電損失, 指向損失, 偏波不整合損失など) [dB]

■ 衛星通信回線の雑音について

衛星通信回線における雑音電力の発生源および挿入点を図2に示します。以下, 雑音源について述べます。

雑音① 地球局送信機信号源に含まれている雑音, 変調器, 周波数変換器および電力増幅器で発生する熱雑音等

これらは通常, 信号電力に比較して十分小さく, ほかの雑音源と比較しても無視できる程度です。

雑音② 衛星搭載アンテナが地上から受ける熱雑音 通常300 Kとします。

雑音③ 衛星搭載中継器で発生する熱雑音

衛星搭載中継器初段の熱雑音が支配的です。

雑音④ 地球局受信アンテナが衛星からの信号以外に受ける雑音

天空雑音, 大気熱雑音, 地上熱雑音等です。

雑音⑤ 地上局受信機で発生する熱雑音

受信機初段の熱雑音が支配的です。

このほかにほかの衛星通信システムなどとの干渉雑音があります。

■ 主要回線パラメータ

● アンテナ利得

回線設計上, 重要なパラメータの一つにアンテナ利得があります。アンテナ利得は, 基準アンテナが所定の方向に単位立体角あたりに放射する電力に対して, 実際に使用するアンテナが同じ方向に単位立体角あたりに放射する電力の比と定義されています。

基準アンテナとしては, あらゆる方向に均一の強さの電波を放射する理想的なアンテナ(アイソトロピック・アンテナ)の持つ利得を絶対利得として基準とします。

衛星通信に利用されているパラボラ・アンテナは円形の開口面アンテナであり, その絶対利得を G_a とすると,

$$G_a = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

ただし, D : アンテナ直径 [m], λ : 波長 [m], η : 開口率(通常50~60%)

と表されます。また, 最大放射方向の利得のほかにアンテナ・パターンが重要なパラメータです。

● 自由空間損失と大気吸収損失

自由空間に送受信アンテナが十分な距離を持って離れて対向している状態において, 送受信アンテナ間の距離を d , 波長を λ とすると損失 L_r は,

$$L_r = 10 \log \left(\frac{4 \pi d}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

で与えられます。周波数対自由空間損失の関係を図示したのが図3です。

そのほか空気中では酸素と水蒸気による共鳴吸収損失があります。酸素は磁気ダイポール・モーメントを, 水蒸気は電気ダイポール・モーメントをそれぞれもっていて, それらの固有周波数に電波の周波数が一致すると共鳴吸収が起こり, 電波エネルギーの一部が分子に吸収され損失になります。また大気中の水滴による吸収や散乱による減衰も生じます。

● 降雨減衰

周波数が10 GHz以上になると, 降雨による減衰が無視できなくなります。そこで回線設計に当たり, 降雨減衰のための回線設計マージンを計上しておく必要があります。

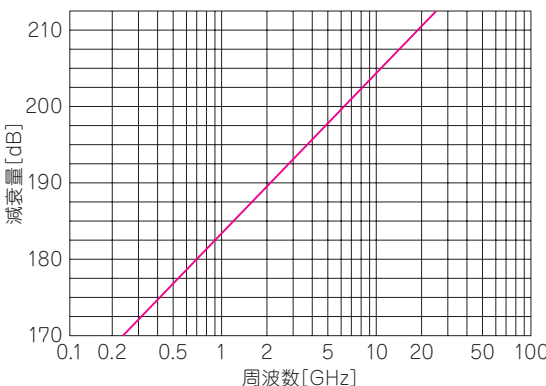
● 受信機雑音電力密度

受信系全体の熱雑音特性を定めるには, 受信系の1点を定め, 各部の雑音をその点に換算し, それらの数値を合算して使用する方法が一般的に使われています。その場合, 信号レベルについても同一点に換算して使うことになります。

一般的には受信機入力点(例えば低雑音増幅器の入力端)が, 受信部を代表する点として選ばれています。受信機雑音の主なもの, アンテナおよびその給電系雑音, 低雑音増幅器の雑音などです。低雑音増幅器より後段に配置される機器の雑音は, 低雑音増幅器の利得が十分高ければ, 利得の逆数倍で減少するので無視できます。

● アンテナ雑音

受信アンテナは, 信号のほかに雑音電波も受信してしまいます。さらにアンテナの熱損失は, 熱雑音として出力されます。これらの雑音は衛星通信での微弱な信号レベルを受信するには問題となるレベルであり, 受信機とともに低雑音化が要請されます。



〈図3〉周波数対自由空間損失