

IEICE A・P研 歴史チュートリアルWorkshp

2023.03.15

オンライン開催

# 開口面アンテナの歴史と将来展望

茨城大学

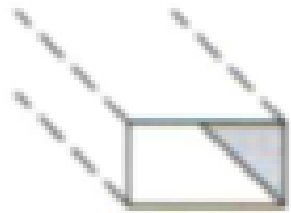
名誉教授

鹿子嶋 憲一

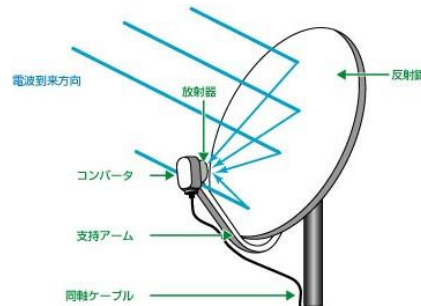
# 目次

1. 開口面アンテナ概論
2. 開口面アンテナの歴史
3. 反射鏡アンテナの特徴
4. 通信サービスの動向とアンテナ技術の進展
  - 4.1 国際衛星通信の発展とこれを支えた大型アンテナ
  - 4.2 衛星通信の国内長距離通信への適用  
(30/20GHz,6/4GHz共用アンテナ)
  - 4.3 日本における衛星通信の適用と地球局アンテナの経済化の課題
  - 4.4 衛星搭載アンテナ
  - 4.5 固定無線の進展とアンテナ技術の発展
5. 反射鏡アンテナ設計技術の進展
  - 5.1 高開口能率鏡面設計技術
  - 5.2 オフセット複反射鏡アンテナの低交さ偏波特性設計技術
  - 5.3 低サイドローブ特性設計技術
6. 開口面アンテナの将来展望

# 1. 開口面アンテナのいろいろ



(a) 導波管開口



(c) 衛星放送用  
受信アンテナ(1)



(e) レンズアンテナ



(b) ホーンアンテナ

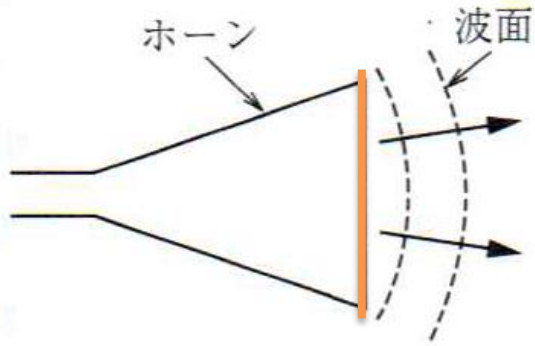


(d) 野辺山電波天文  
アンテナ (45m  $\phi$ ) (2)

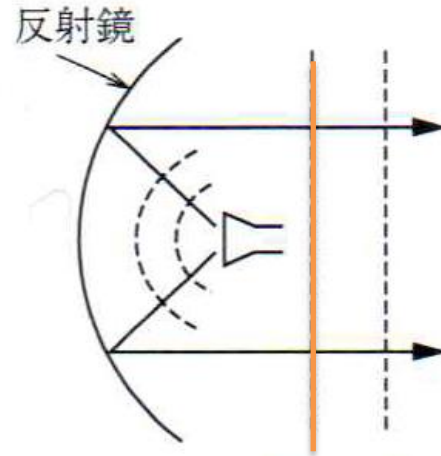
(1)<http://blog.goo.ne.jp/healthyhome/e/0818986b451cb676a31f0eab6ccef73f>

(2)S.Nomoto "Reflector antennas for earth stations and radio telescopes" IEICE Trans.Com.,Vol.E86-B, No.3, Mar.2003

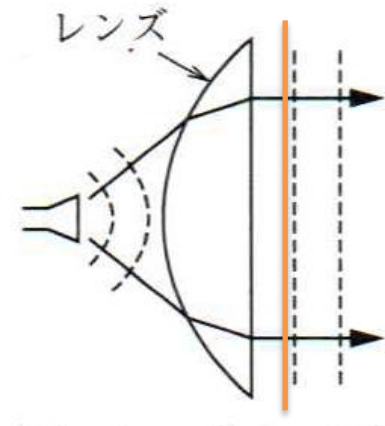
# 開口面アンテナの構造と仕組み



開口面



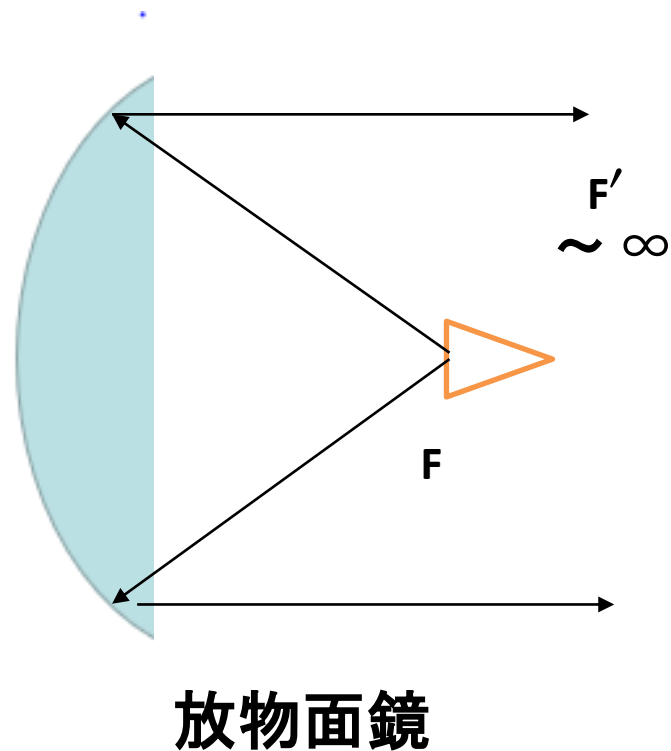
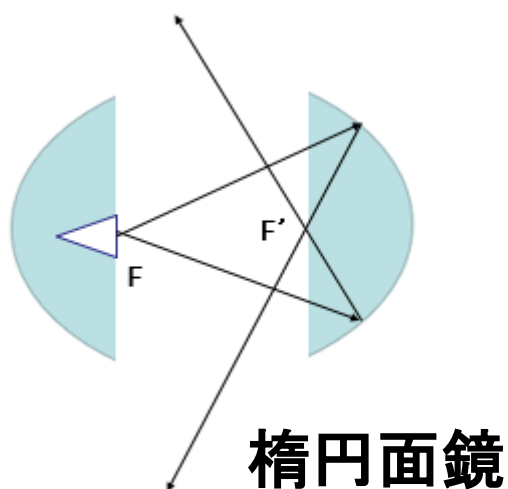
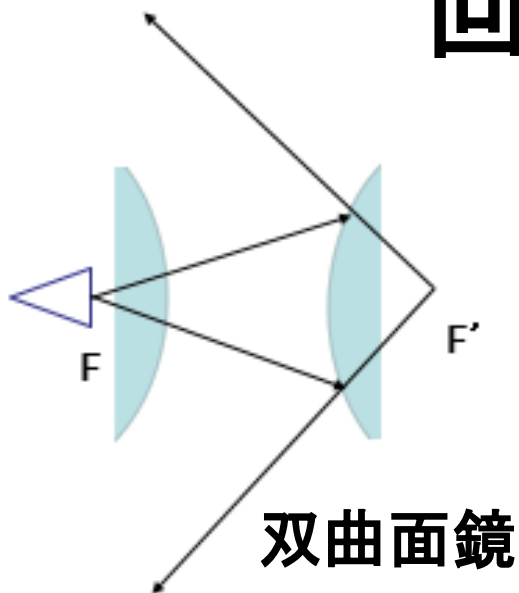
開口面



開口面

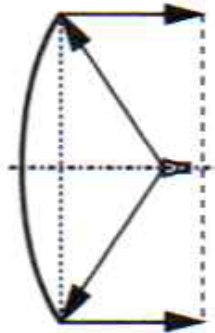
出典: アンテナ工学ハンドブック(第2版)6章  
電子情報通信学会編 1998年

# 回転2次曲面鏡の性質

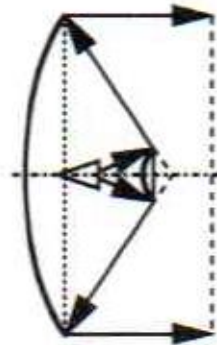


焦点 $F$ から出射した光線は鏡面で反射し, $F'$ から出射したように進む

# 反射鏡アンテナの構造



軸対称パラボラアンテナ



軸対称カセグレンアンテナ



オフセットパラボラアンテナ



ホーンレフレクタ  
アンテナ



オフセットグレゴリアンアンテナ

## 2. 開口面アンテナの歴史(1/5)

西暦(年)	開口面アンテナ	アンテナ技術に関する特記事項
1864		マクスウエル: マクスウエルの方程式を完成
1887		ヘルツ: 放電による電磁波の発生とダイポール, ループアンテナの実験
1888	ヘルツ: 放物筒反射鏡のペンシルビーム( $\lambda=66\text{cm}$ , ビーム幅 $35^\circ \times 50^\circ$ )の実験	
1894	ロッジ: 電波レンズ( $\lambda=7.5\text{cm}$ , $f=4\text{GHz}$ )円形導波管放射器の実験に成功	
1895		マルコニー: 1マイル通信に成功
1898		マルコニー: Wireless Telegraph & Signal Co. Ltdを設立
1898		松代松之助: 品川沖で1海里の通信に成功
1901	フレミング: 方形導波管放射器の実験	
1901	ドフォーレ: 反射鏡アンテナの提案	
1908		大西洋無線電信の定常局開局
1916	マルコニー: 放物円柱鏡アンテナの開発	
1925		日本でラジオ放送開始(米国は1920年)
1926		八木・宇田: 八木・宇田アンテナの発明
1926		大西洋横断短波無線電話局開局
1928		宇田新太郎: 4.4m波で仙台-花巻間(135km)通信に成功
1935	森田清: 放物反射鏡の実験	

出典: アンテナ工学ハンドブック(第2版)15章アンテナ年表  
電子情報通信学会編 1998年

# 開口面アンテナの歴史(2/5)

1936		シェルクノフ:等価定理の発表
1938		ハレン:円筒アンテナのインピーダンス,電流分布に対する理論の発表
1939		バーローレービス, L. J. Chu:扇形ホーン, 双-円錐ホーンの理論発表
1939		ストラットン:ストラットンの定理発表
1940	コーナーレフレクタアンテナの実験	
1943		内田英成:折り返しアンテナ理論の発表
1944	ルネベルク:ルネベルクレンズの開発	
1945		クラーク:静止衛星によるFM放送を示唆
1946		フリス:フリスの伝送公式の発表
1946	W. E. Kock:メタルレンズアンテナを発表	
1947	G. Stavis, A. Drone : 双曲面鏡アンテナの実験	
1948	フリス:ホーンレフレクタアンテナの開発	
1948	W. E. Kock:パスレンクスレンズアンテナを発表	
1950	米国で6m×6m反射板による無給電中継の実用化	
1952	関口利男:2枚反射板による無給電中継の実験	
1953		日本でTV放送開始
1953	NHK:東名阪マイクロ波TV中継回線開通. パラボラアンテナ使用	
1954	電電公社:東名阪超多重マイクロ波中継回線開通. パスレンクスアンテナ使用	



# 開口面アンテナの歴史(3/5)

1955	河津祐元:円偏波パラボラアンテナを実用化	
1958		東京タワー完成
1960	電電公社:マイクロ波高周波合成空間ダイバーシチ方式の開発	
1961	P. W. Hannan:マイクロ波帯のカセグレンアンテナの提案	
1961	A. B. Crawford:衛星通信用ホーンレフレクタアンテナの開発	
1961	電電公社:山岳回折を用いた見通し外通信回線の開通. バックネットアンテナを使用	
1962	電電公社:ホーンレフレクタアンテナの実用化	
1962	宇田宏:オフセットパラボラアンテナの設計法を確立	
1963	P. D. Potter:ポッター形アンテナ発表(低サイドローブ, t等ビーム幅)	
1963	KDD, 三菱 衛星通信用大口径カセグレンアンテナ完成 (Relay1号を用いた太平洋横断テレビ中継成功)	
1964	D. C. Hogg:ニヤフィールドカセグレンアンテナの実験的研究	
1964	F. S. Holt:収差補正用服反射鏡を設けた球面協アンテナを発表	
1964	V. Galindo:双反射鏡アンテナの鏡面設計法(鏡面設計法)を発表	
1964	電波研, 日本電気:電波研鹿島支所に30mφ, 10mφカセグレンアンテナ 完成(10mφはSincom IIIを用いた東京オリンピックのカラー中継に利用)	
1965	W. F. Williams:高能率鏡面修正カセグレンアンテナの開発	
1966	横井, 佐藤, 山田:電波星による大口径アンテナの利得測定法の提案	
1966	H. C. Minnet:コルゲートホーンアンテナの開発	

# 開口面アンテナの歴史(4/5)

1968	電波研, 日電: 鹿島支所に26mφニアフィールドカセグレンアンテナ完成	
1968	佐藤, 山田: 誘電体装荷ホーンアンテナの開発	
1969	水沢: 鏡面修正カセグレンアンテナの設計法発表	
1969	KDD, 三菱: 茨城衛星通信所に鏡面修整27.5mカセグレンアンテナ完成	
1970	水沢, 喜連川: ビームウエーブガイド1次放射系の設計法発表	
1971	日電公社, 三菱: 衛星通信実験用地球局にマクロ波, 準ミリ波帯共用 12.8mφアンテナ完成(2枚反射板形ビーム導波給電系使用)	
1971		徳丸, 久郷, 永井: 2次位相給電フェーズドアレーアンテナの提案
1971	横井, 福室: 電波吸収材料付低サイドローブアンテナ設計法の確立	
1971	KDD, 三菱: 茨城衛星通信所にビーム導波形29.6mφカセグレンアンテナ 完成(4枚反射板形給電系を使用)	
1972	日電, 三菱: 国内衛星通信整形ビームホーンレフレクタシステムの開発	
1973	日本電気: 可搬形地球局開発. 日中間衛星テレビ中継に使用される	
1973	横井, 水口: オフセットグレゴリアンアンテナの発表	
1975	片木, 武市: 鏡面修正による成形ビームホーンレフレクタの設計法発表	
1975	東芝: 衛星搭載用マルチホーン成形ビームアンテナの設計法発表	

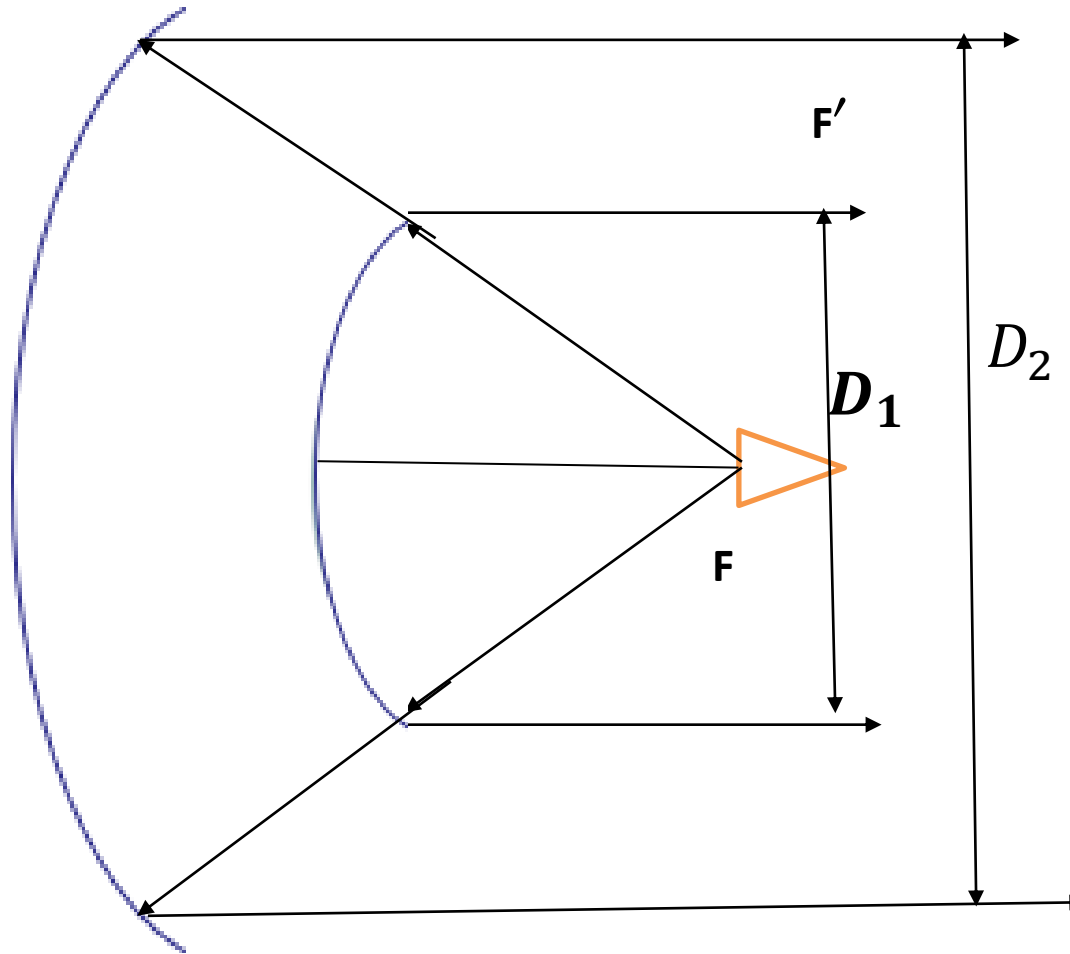
# 開口面アンテナの歴史(5/5)

1977	郵政, NASDA, 電電. 三菱:「さくら」打ち上げ	
1978	郵政, NASDA, NHK. 東芝:「ゆり」打ち上げ	
1978	電電. 三菱: 準ミリ波帯オフセットカセグレン地球局アンテナの開発	
1983	電電公社: 日本初の実用通信衛星「さくら2号a」を打ち上げ	
1985		通信の自由化
1987		NTT: 携帯電話サービス開始
1988		各社が携帯電話サービス開始
1992	NHK: BS-3による本格的衛星テレビ放送(音声PCM)開始	
1995	NTT: 大形通信衛星「N-STAR」(4周波数帯, 5ビーム)を打ち上げ	

# 3. 反射鏡アンテナの特徴

- 高利得化が容易
  - 低サイドローブ特性である
  - 偏波共用特性に優れている
  - 広帯域特性(マルチシステム動作)が可能
  - 美観に優れている
- 
- 建設コストが高い(耐震, 耐風設計が必須)
  - 鏡面の機械精度が電波特性に影響する
  - 地球局アンテナでは追尾システムが必要
  - 周囲気候条件の影響を受けやすい

# パラボラアンテナの利得G開口径の2乗に比例



$$G = \eta_a \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

例

・野辺山45mφアンテナの利得は  
92dB<sub>i</sub> @147GHz(1)

・地球局アンテナ(茨城No.2)  
(27.5 mφ)は  
62.7dB<sub>i</sub> @6GHz  
58.9dB<sub>i</sub> @4GHz (1)

(1)S.Nomoto "Reflector antennas  
for earth stations and radio  
telescopes" IEICE  
Trans.Com.,Vol.E86-B, No.3,  
Mar.2003

# 2/11GHz 共用アンテナ

2GHzのデジタル回線の既設アンテナの1次放射器を取り換えることで11GHzデジタルシステムを併設可能とするアンテナ

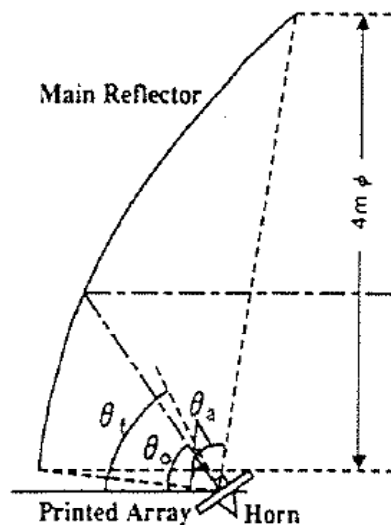


図 10 2周波数帯共用オフセットパラボラアンテナの構造

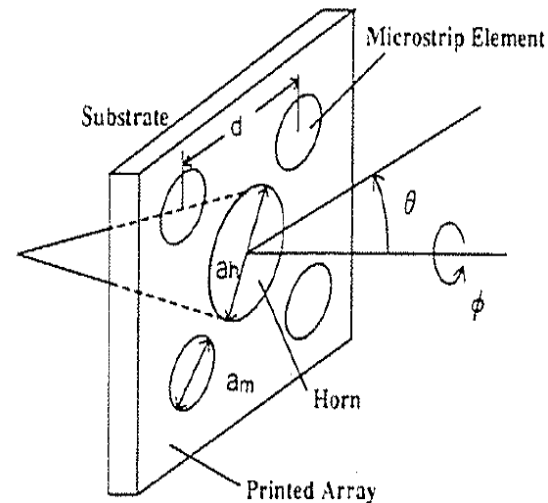
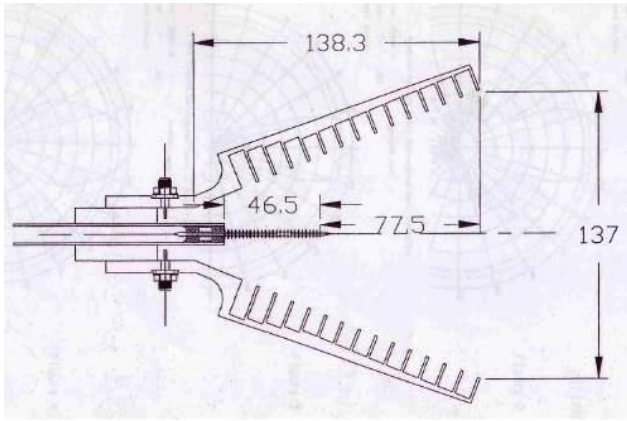


図 1 ホーンとプリントアレーを併置した1次放射器系の構造

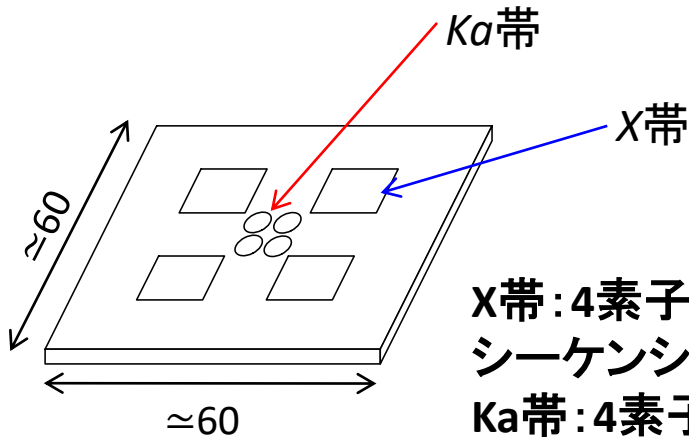
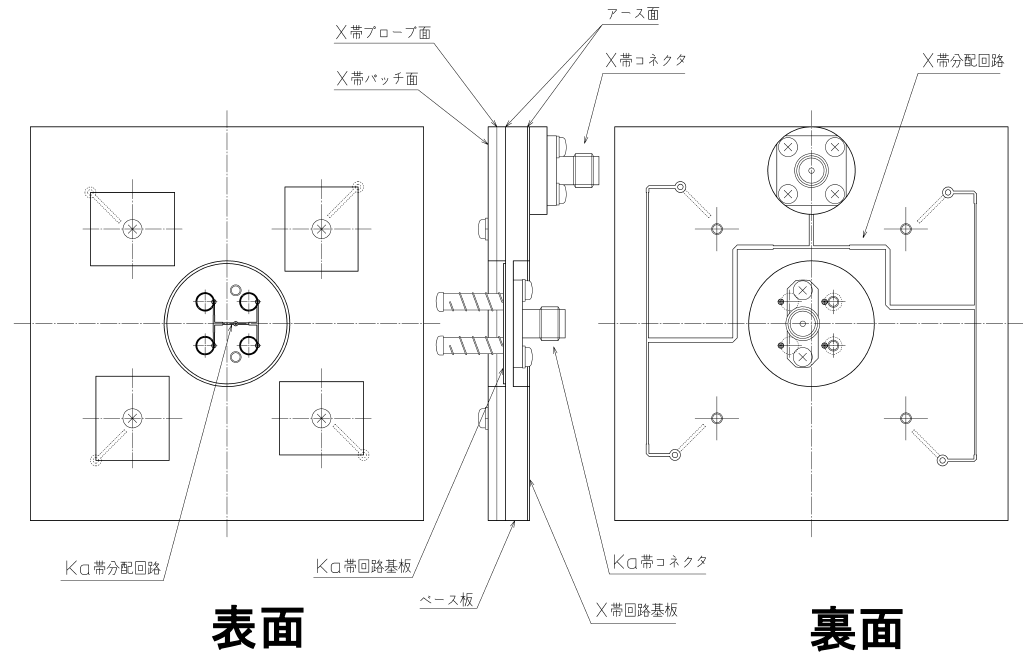
堀. 鹿子嶋 “ホーンとプリントアレーを用いた2周波数帯共用反射鏡アンテナの設計法” 信学論 B Vol.J76-B-II, No.6, pp504-511, June1993

# X/Kaバンド深宇宙用アンテナ1次放射器



(a) X/Ka共用ホーン\*

(\*) T. Milligan, "Compact Dual Band Feed for Mars Global Surveyor," IEEE AP-S Symp. Pp.144-147, 1995



X帯: 4素子Lプローブ給電円偏波  
シーケンシャルパッチアレー  
Ka帯: 4素子ヘリカルアレー

(b) パッチアンテナアレーによる構成  
X帯素子の間(デッドスペース)にKa帯素子を配置

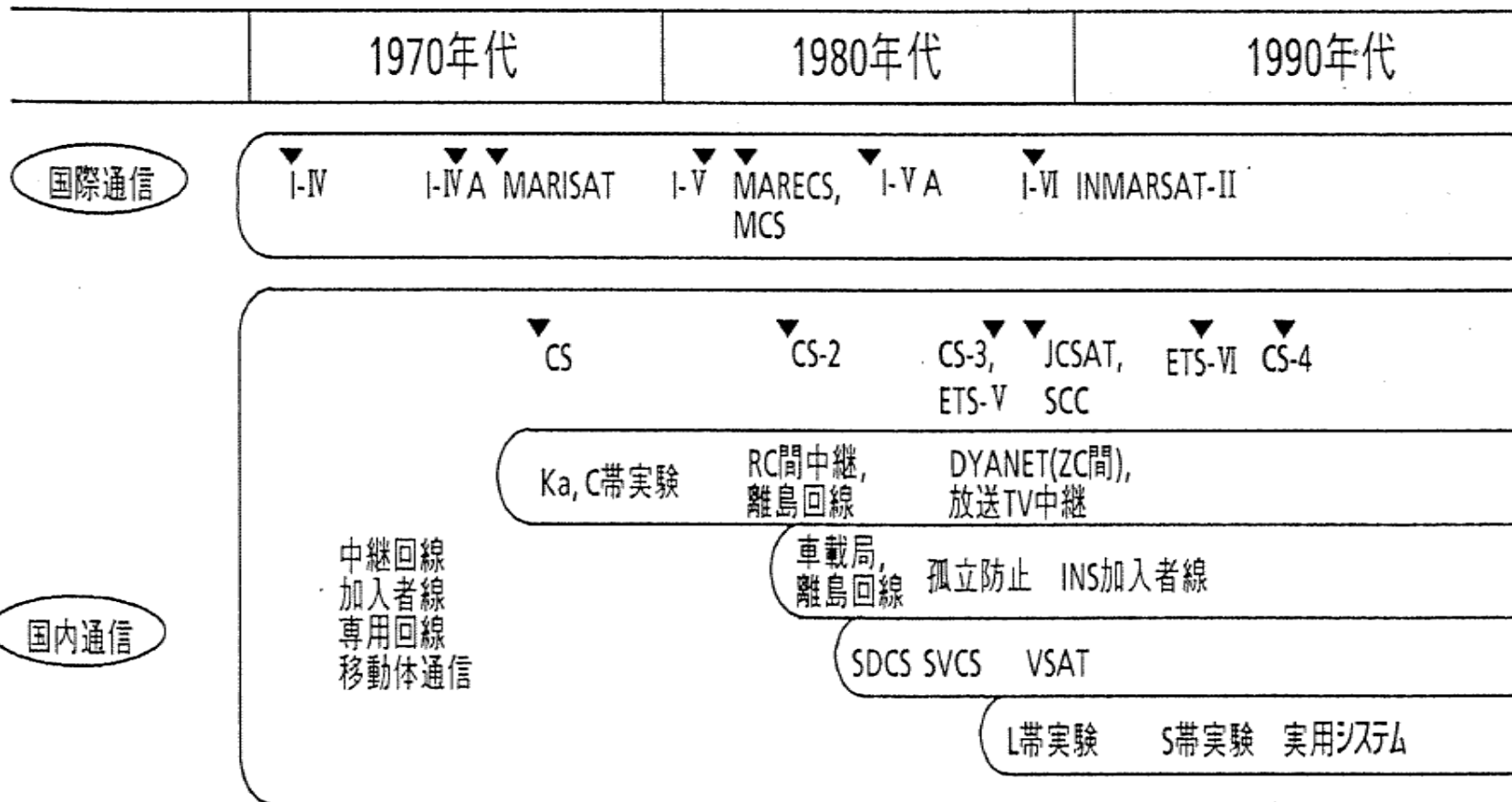
K. Kagoshima, S. Takeda, K. Ikeda, T. Kobayashi, Y. Kato, H. Iijima, A. Tomiki, T. Toda, "An X/Ka Bands Feeder Antenna for a Planetary Exploration High Gain Reflector Antenna," Proc. IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (AP-S), July 2012.

## 4. 通信サービスの動向とアンテナ技術の進展

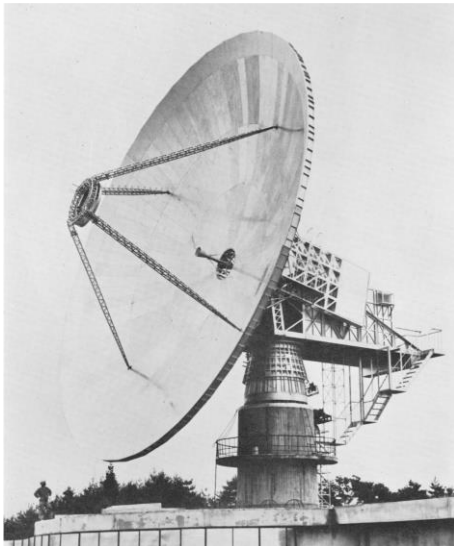
- 4.1 国際衛星通信の発展とこれを支えた大型アンテナ
- 4.2 衛星通信の国内長距離通信への適用  
(30/20GHz,6/4GHz共用アンテナ)
- 4.3 日本における衛星通信の適用と地球局アンテナの経済化の課題
- 4.4 衛星搭載アンテナ
- 4.5 固定無線の進展とアンテナ技術の発展



# 衛星通信システムの動向(1970~1990年)



# 4.1 国際衛星通信用地球局アンテナ



日本初の地球局アンテナ20m  $\phi$  (KDD茨城,1963年)(1)



Intelsat-地球局アンテナ27.5m  $\phi$  (KDD茨城No.2, 1968年)(2)



Intelsat-地球局アンテナ34m  $\phi$  (KDD山口No.2, 1980年)(1)

(1)S.Nomoto "Reflector antennas for earth stations and radio telescopes" IEICE Trans.Com.,Vol.E86-B, No.3, Mar.2003

(2)遠藤敬二他 "アンテナ工学" p235, 日刊工業1971年

## 4.2, 4.3 地球局アンテナ開発の歴史

昭和50～54年

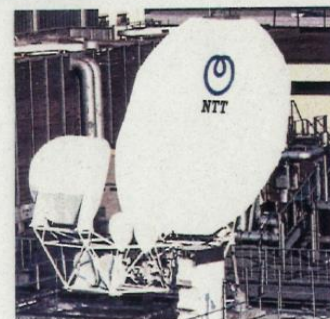
昭和55～59年

昭和60～平成元年

Cバンド



Kバンド



## 4.3 NTT 国内衛星通信研究開発の転機

- ◇ 1970年代前半～1980年ごろまで：国内衛星通信立ち上げ期
  - 非常災害時通信の確保、離島通信高信頼化等を目的に、研究開始と実用化
  - 1977.12 実験衛星「CS」の打ち上げ、衛星通信技術の有効性を実証
  - 地上回線との干渉防止のため、30/21GHzを使用。離島通信には6/4GHz.
- ◇ 1977年頃～：小形地球局を用いた音声、デジタル通信（統合デジタルサービス衛星通信システム）の研究開発
  - 米国ではSBS(IBM等が設立)が企業内通信サービスを開始
  - CSを用いた各種通信サービス実験の実施、地球局装置の開発
- ◇ 1982年頃～：大型マルチビーム衛星による大容量衛星通信方式の開発
  - 2トン衛星
  - 地上/衛星統合ネットワーク

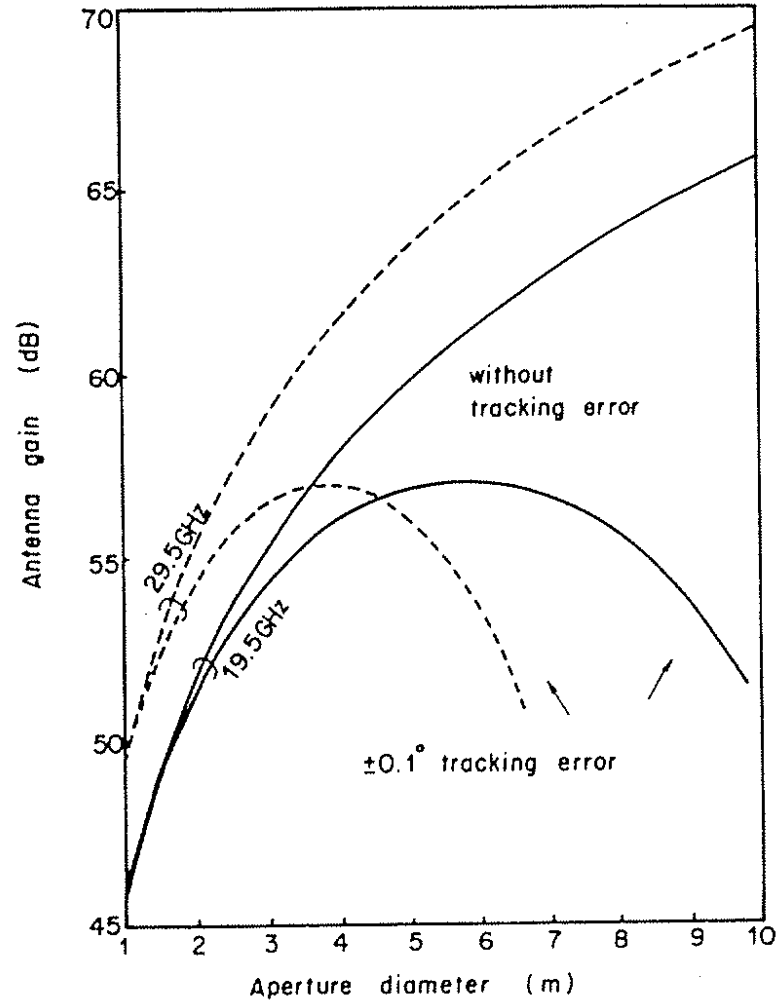
# 小形アンテナ開発に対する要求条件

- ・ 開口径3～4mφの小形アンテナ(30/20GHz帯)
- ・ 高能率( $\eta > 80\%$  @30GHz)
- ・ CCIR勧告を満足する広角サイドローブ特性
- ・ 耐風速、耐震性
- ・ 低コスト(方式側のもっとも強い関心事)

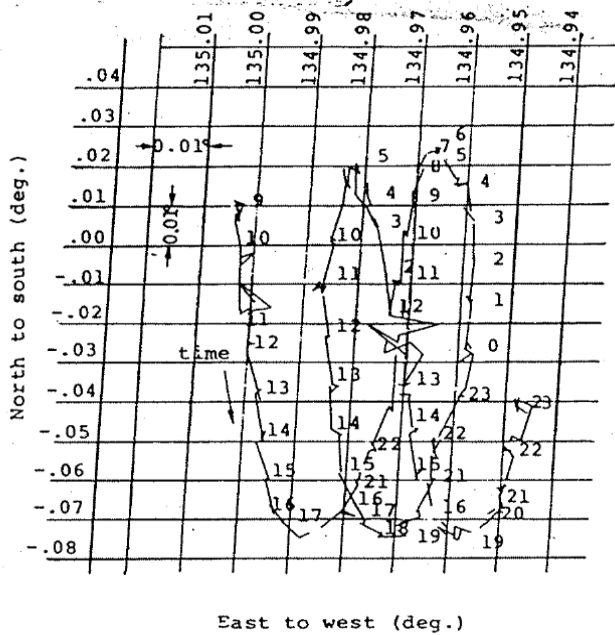
# 低コストに寄与するアンテナ技術

- 衛星追尾の簡易化  
(2次元から1次元へ:楕円ビームアンテナ)
- 追尾駆動系の簡易化  
(副反射鏡駆動追尾:追尾範囲限定)
- 無追尾化  
(アンテナ口径(方式要求)に依存)

# 衛星追尾の有無による地球局アンテナの利得の変化

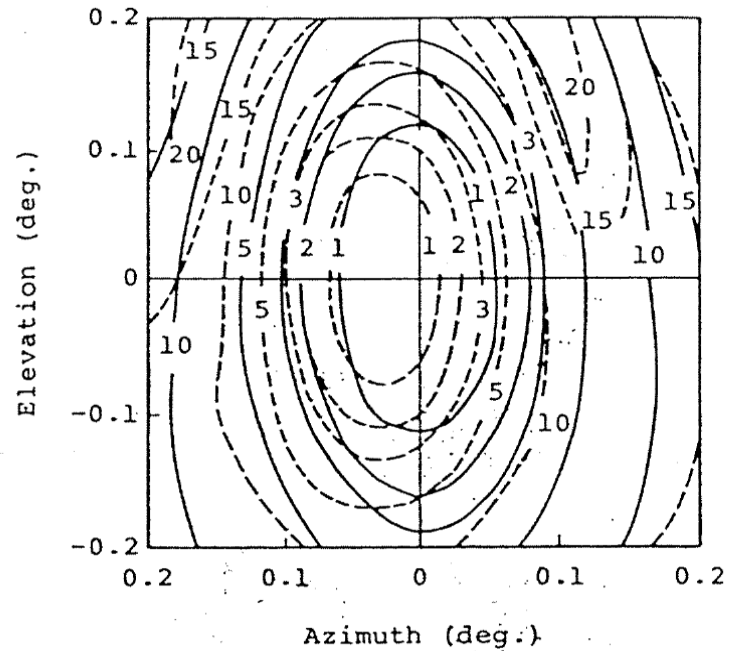


# 衛星追尾の1次元化



Deviation of the "CS" satellite in orbit seen from Japan( for 3 days )

衛星の動き



Measured two-dimensional pattern of the main beam relative to maximum(-dB)

—— 19.5 GHz, - - - - 29.5 GHz

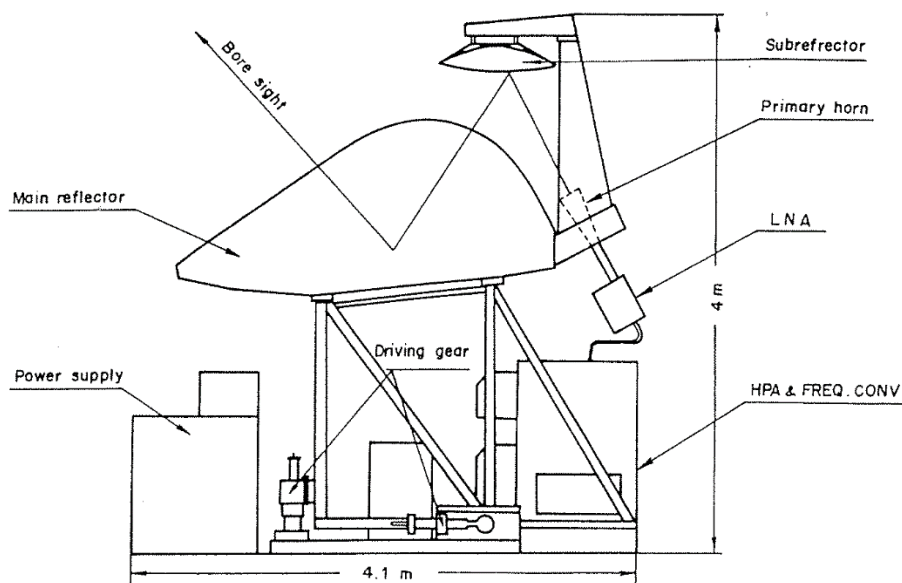
楕円開口による楕円ビーム



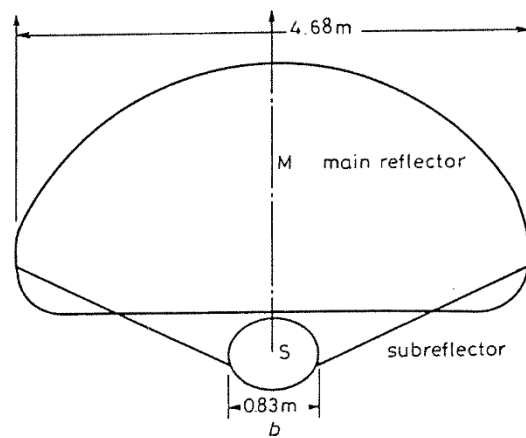
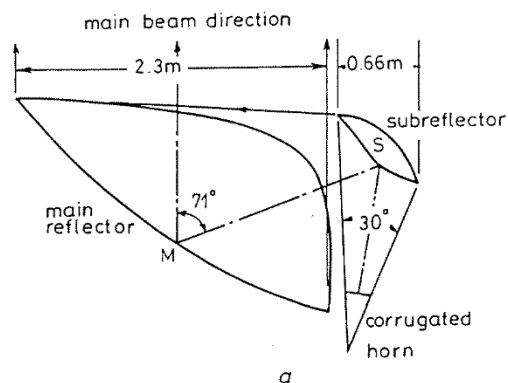
# 開発アンテナー高能率楕円ビームアンテナ (デジタル統合衛星通信サービス実験用) 1/5



# 開発アンテナ—高能率楕円ビームアンテナ (デジタル統合衛星通信サービス実験用) 2/5

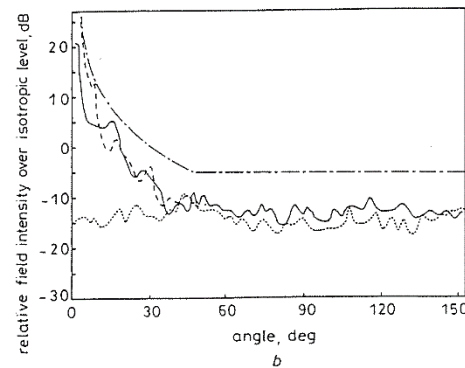
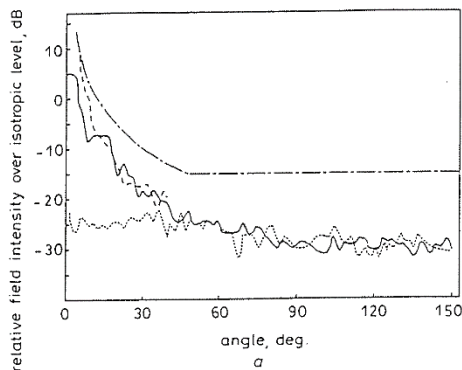
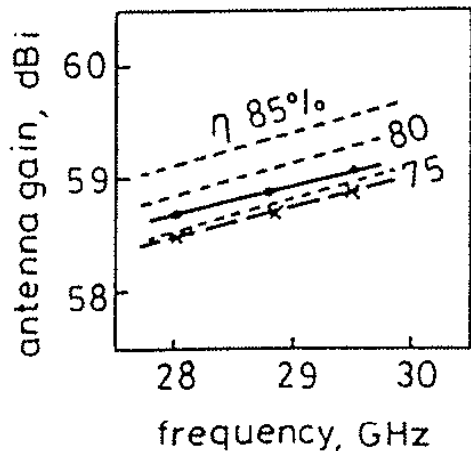
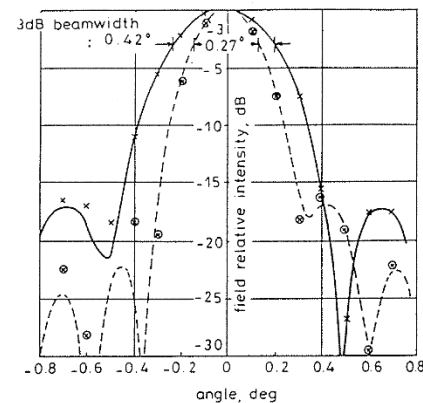
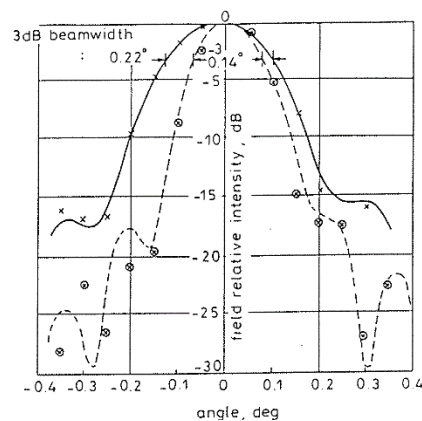
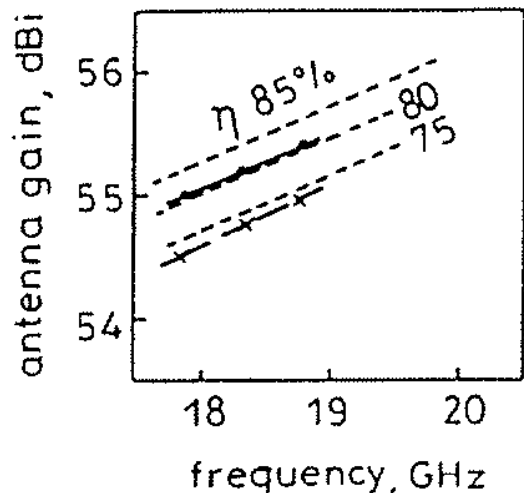


アンテナとRF装置系



アンテナ鏡面系

# 開発アンテナ—高能率楕円ビームアンテナ (デジタル統合衛星通信サービス実験用) 3/5



# 地球局装置の標準化(4/5)



# フェンス一体での指向性の測定(5/5)



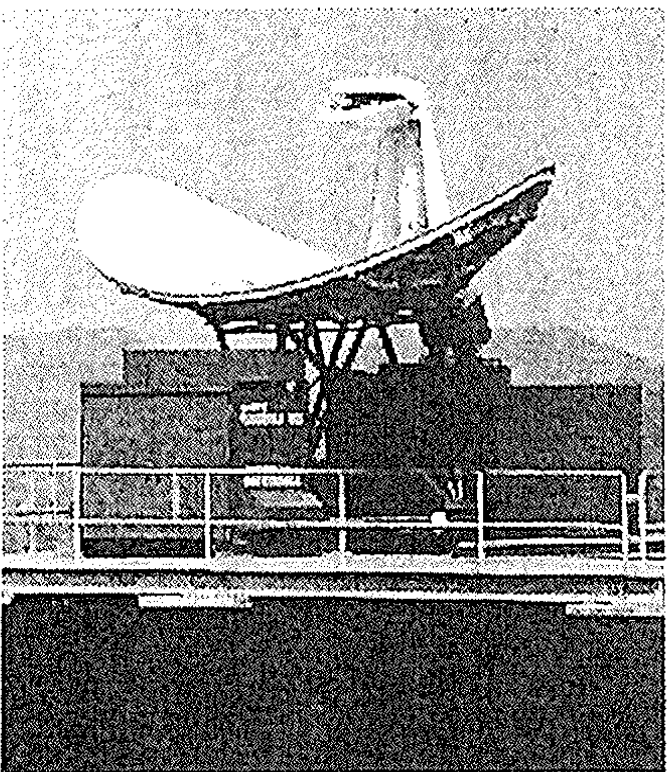
# 統合デジタル衛星通信

## 電電公社、実験に成功

### 軽量・小型の地上局も開発

電電公社横須賀電気通信研究所は十一日、実験用静止通信衛星「さくら」を用いて多くの地上局で電話、データ、画像など多種類の情報をデジタル信号でやりとりする統合デジタル衛星通信実験に成功したと発表した。この通信方式は地球周の数が多い場合に衛星の通信回線利用率が二十倍まで上がるという特徴を持っているが、同研究所はどんな場所でも設置のしやすい軽量で小型の地上局の開発にも成功、衛星通信時代の到来に対応できる基本技術をひと通り確立した。

統合デジタル衛星通信方式は各地上局が電話、ファクシミリ、テレビ画像などあらゆる信号をデジタル信号に直し、いったん記憶装



横須賀通研が開発、ビルの屋上に設置された小型衛星通信地上局

ン時分割多元接続方式(DA・TDM)という新しい方式を考案、世界で初めて実験に成功した。この方式の採用によって空いて

いる回線があればいつでも割り込み可能になり、回線の利用率は地上局数が十の場合で従来の二倍、地上局数が三十五のときには

# 新電気通信制度発足記念切手

4月1日(月)発売

通信販売申込締切日 3月12日(火)

申込はシート単位で20シートまで

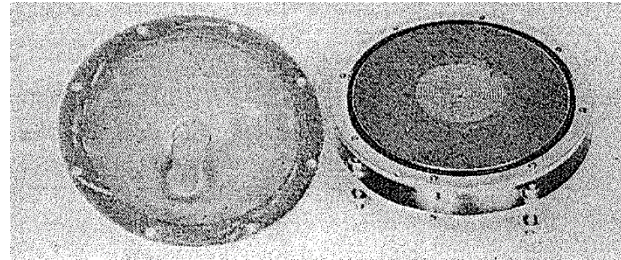
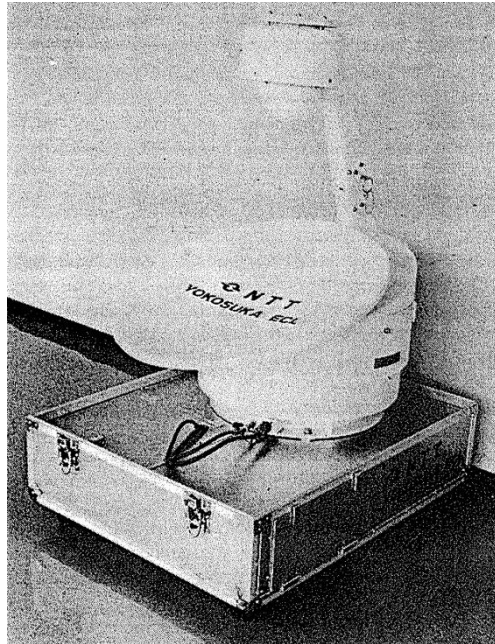
1シート●20枚 版式●グラビア

4月1日から電電公社が民営化されるとともに電気通  
信事業への新規参入が可能となる制度の改革が行われ  
ました。これにより我が国の電気通信制度は独占の時  
を替わり競争の時代を迎えることとなります。

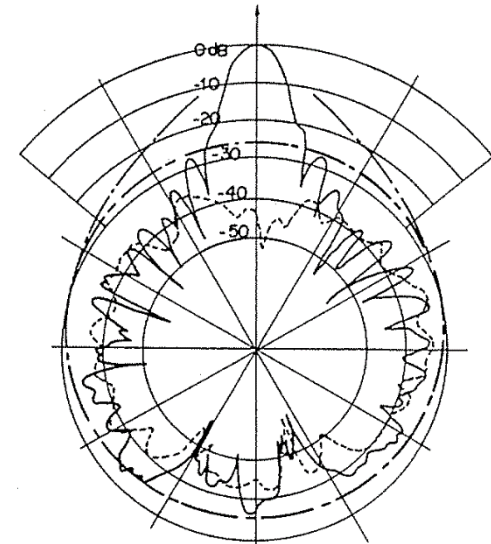
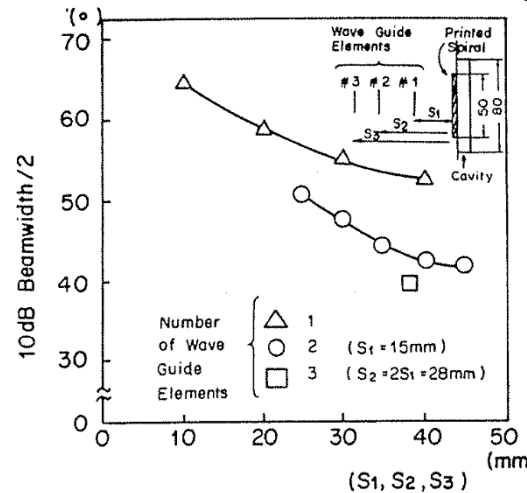
郵政省



# 受信専用超小形地球局アンテナ



利得26.3 dB @4.0GHz  
 開口能率: 65%  
[雑音温度70K@48deg.ele.](#)  
 放射パターン(下図)



Radiation diagram.—Geostationary orbit plane.—Horizontal plane.—CCIR reference.

オフセットパラボラ  
 開口径: 60cmφ  
 4 GHz  
 円偏波

1次放射器の構造  
 2線スパイラル(50mm)  
 + 3個の円形リング  
 -10dBビーム幅: ±40 deg.



# 伝送実験結果と新聞報道

日本経済新聞

昭和65年(1980年)7月12日

## ファクシミリ伝送実験の結果

実験では、計算機から64Kb/sの速度の衛星回線を介して2台のファクシミリ端末に単方向通信を行ないました。ファクシミリデータ信号には端末を識別するアドレス信号と、リンクの確立・解除およびデータ転送のフェーズを識別する信号を付与しました。特にリンクの確立・解除の識別信号に対しては冗長度、時間制御機構を付加し、制御動作の信頼性に留意しました。なお、端末からセンタに対する送信要求はプッシュホン電話機により地上回線経由で行なえます。

(a)

実験では、計算機から64Kb/sの速度の衛星回線を介して2台のファクシミリ端末に単方向通信を行ないました。ファクシミリデータ信号には端末を識別するアドレス信号と、リンクの確立・解除およびデータ転送のフェーズを識別する信号を付与しました。特にリンクの確立・解除の識別信号に対しては冗長度、時間制御機構を付加し、制御動作の信頼性に留意しました。なお、端末からセンタに対する送信要求はプッシュホン電話機により地上回線経由で行なえます。

(b)

伝送速度: 64Kbits/s

(a) BER=1.1 × 10<sup>-5</sup>

(b) BER=1.1 × 10<sup>-5</sup>

← Line Error



### ミニでも衛星通信キャッチ

直接がわずら六十秒のアンテナを備えた受信装置を衛星からの衛星通信専用装置に受信機は、情報センターが通信衛星を通じて送ってくる情報受信装置と無線とを結ぶことが、小型受

の衛星通信専用装置に受信機は、情報センターが通信衛星を通じて送ってくる情報受信装置と無線とを結ぶことが、小型受

### たたんで持ち運びも

#### 電電公社が受信専用装置

から成り、全体の大きさは幅七十センチ、奥行き八十八センチ、高さ一センチ、重量が九十九キログラム。特定の装置だけが受信する。使わないときは受信装置を折り曲げ、トランクの中にすっぽり入るようになっている。使用するときは受信装置を

止通信機の方角に向けて、ファクシミリなどの端末を置くだけでよく、衛星を追尾しなくても受信可能だ。

この装置はそれぞれ電話番号に似た識別番号がつけられているので、センターにある情報を衛星を通じての受信装置に送る

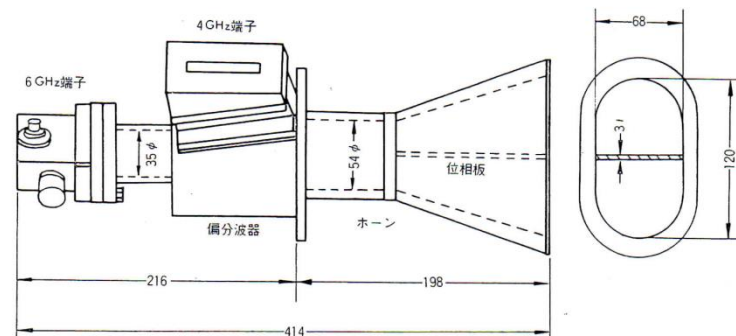
け送ることもできる。また、受信装置を備えた地上回線やセンター情報送信を要求し、センターが要求先にたけ情報を送るといった利用法もある。

電電公社はこうした装置の開発と同時に、電話やファクシミリ、テレビ画像などの信号をデジタル信号に直して、衛星通信回線の利用率を従来の二十倍に高める「統合デジタル衛星通信方式」やビルの屋上にも設置可能な小型ながら本格的な送信機を開発し、新しい技術の開発に世界で初めて成功している。これにより、衛星通信技術はほぼ一通り確立したことになる。

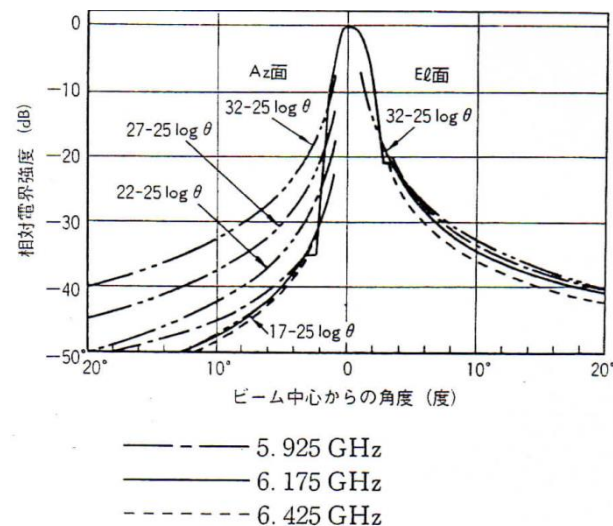
# マイクロ波離島通信用地球局アンテナ



横長楕円オフセットパラボラ  
 (2.4m × 1.35m: 1.8mφ相当)  
 6/4 GHz (左/右円偏波)  
 開口能率: 60% (中心周波数)

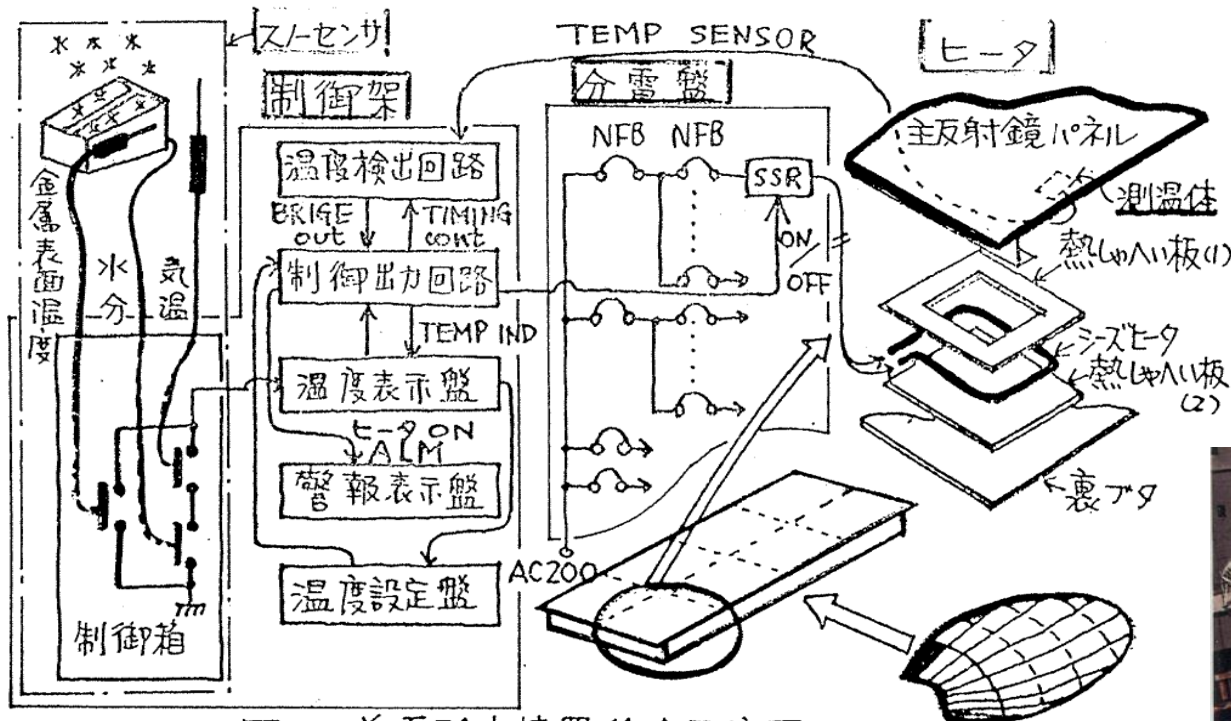


1次放射器

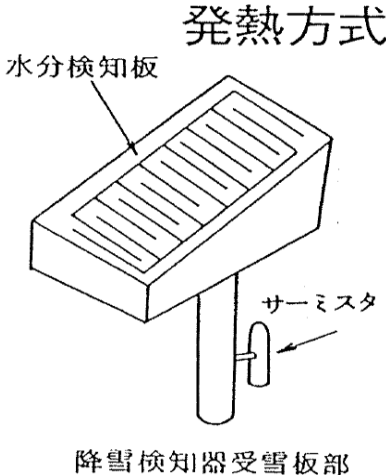
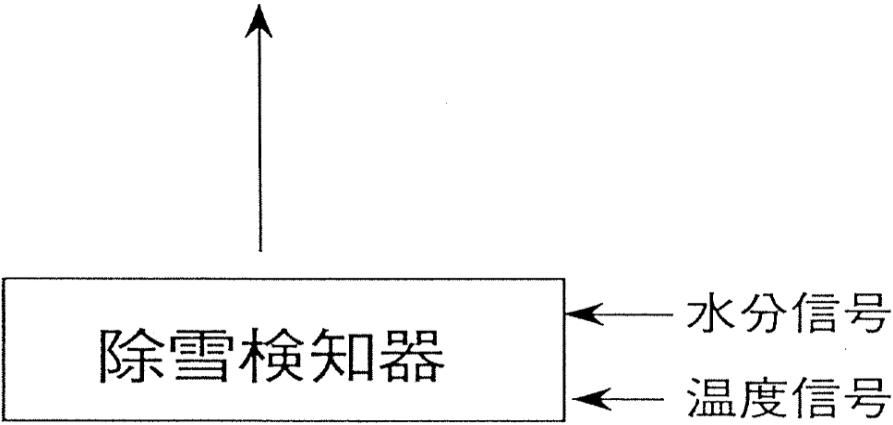
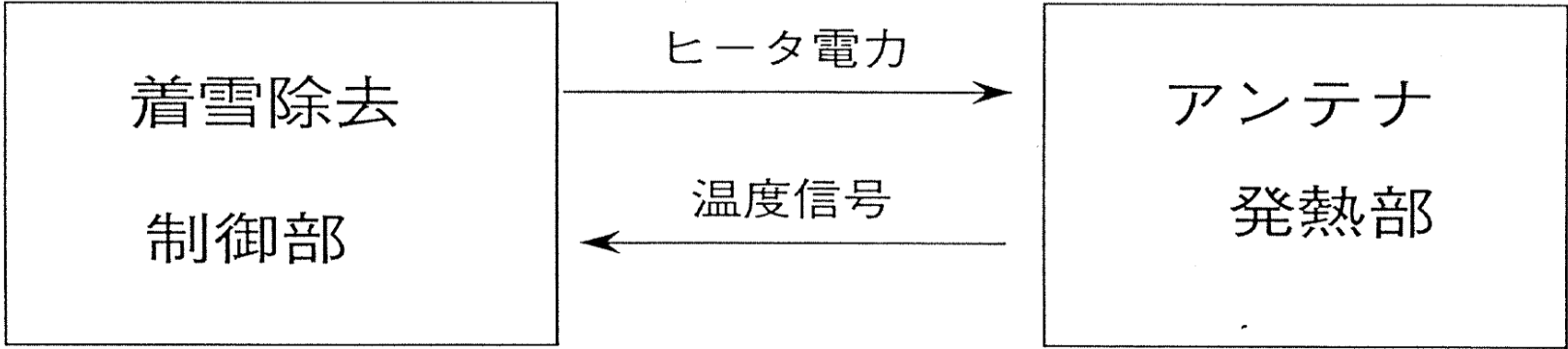


近軸放射特性

# システムを支える技術 一着雪対策一

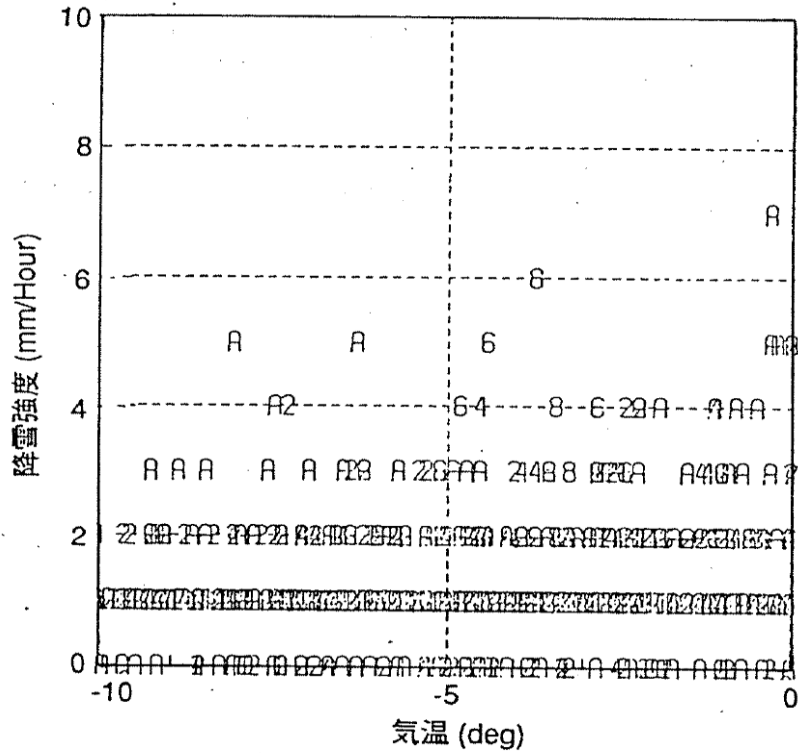


# 融雪装置の構成



- 発熱方式
- (i) 間接加熱方式 (シートヒータ)
  - (ii) 直接加熱方式 (シートヒータ)
  - (iii) ブロワー方式

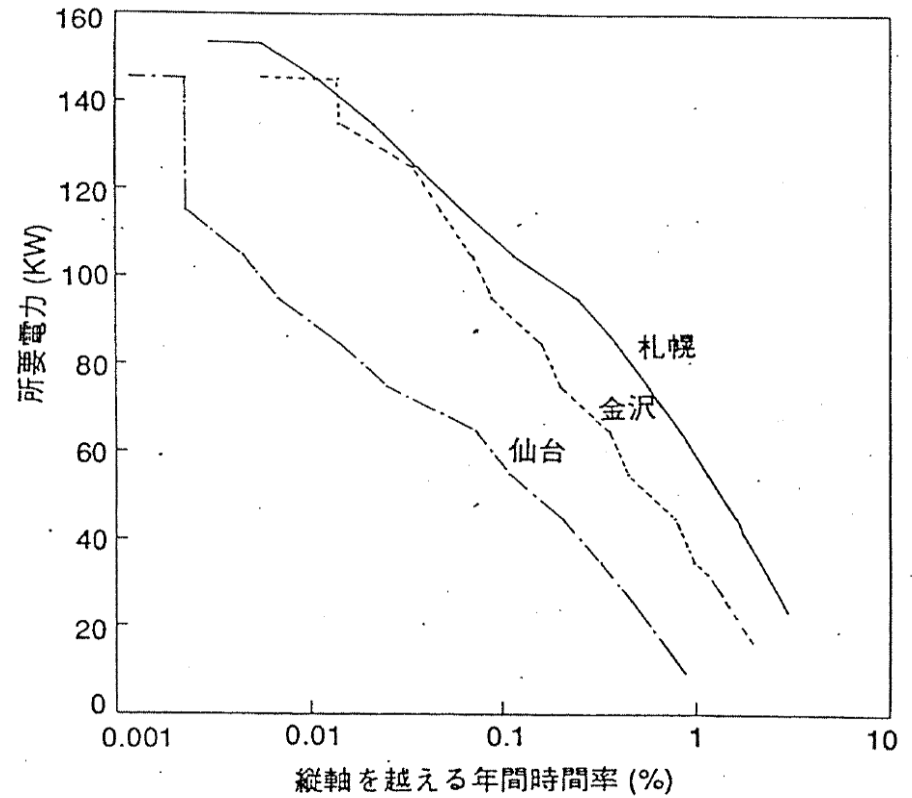
# 気象条件と所要電力の関係



札幌 (1976年12月~1980年3月)

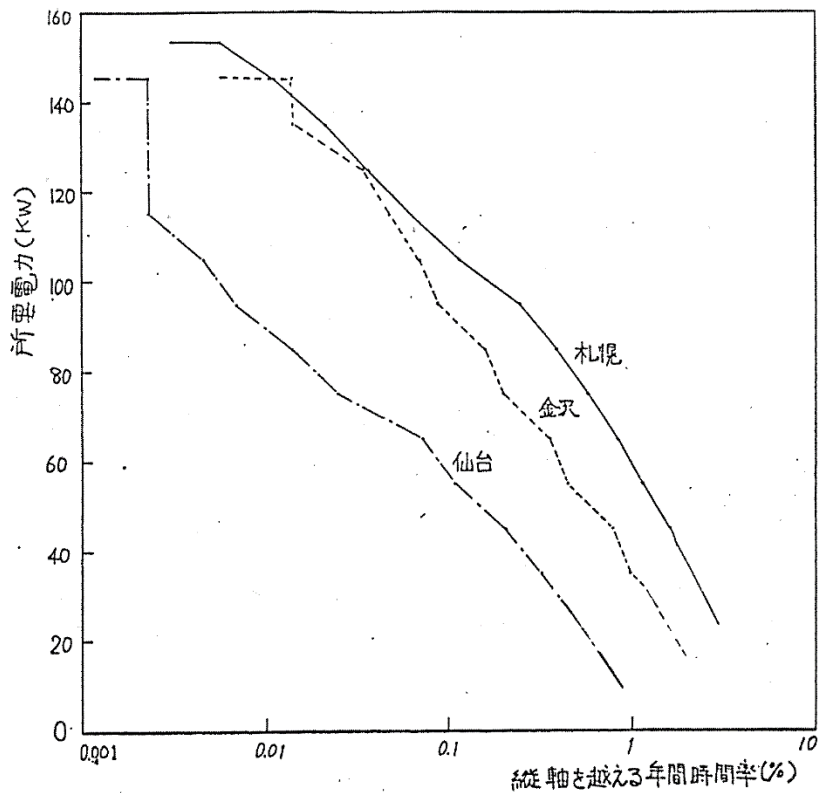
A : 風速 0~2 m/sec, 6 : 風速 6~8 m/sec  
 2 : 風速 2~4 m/sec, 8 : 風速 8~10 m/sec  
 4 : 風速 4~6 m/sec

気象条件

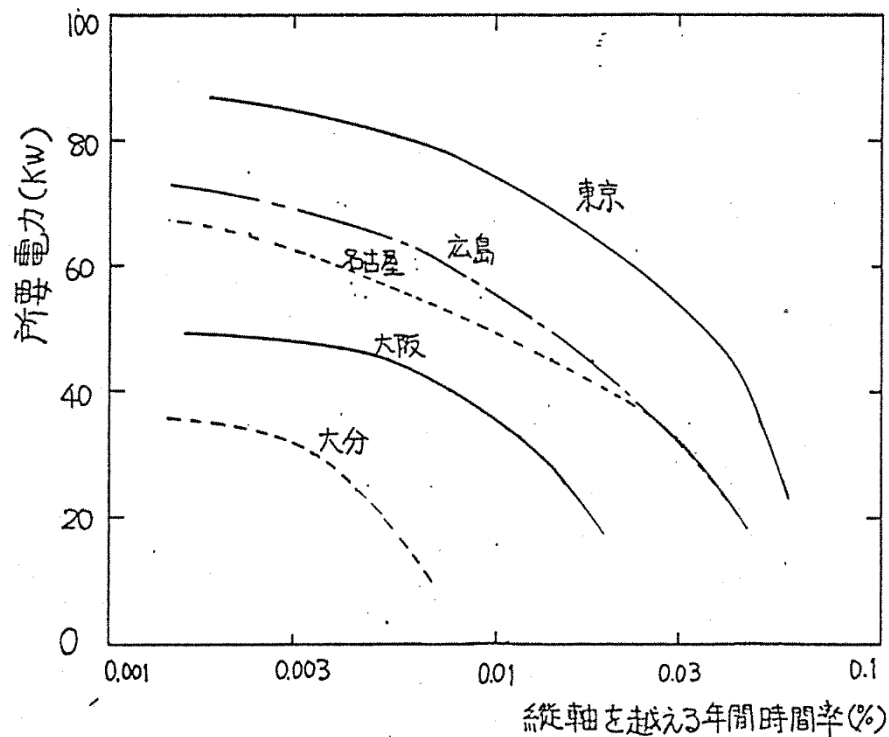


所要電力

# 地域による所要融雪電力の比較

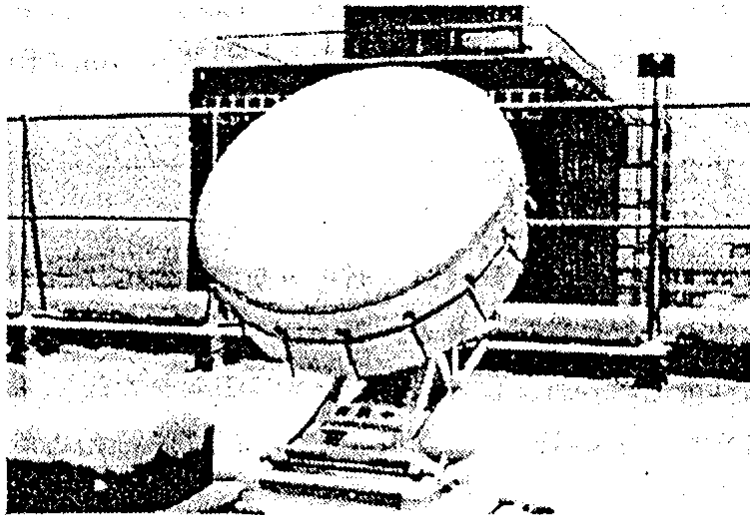


強雪地域



弱雪地域

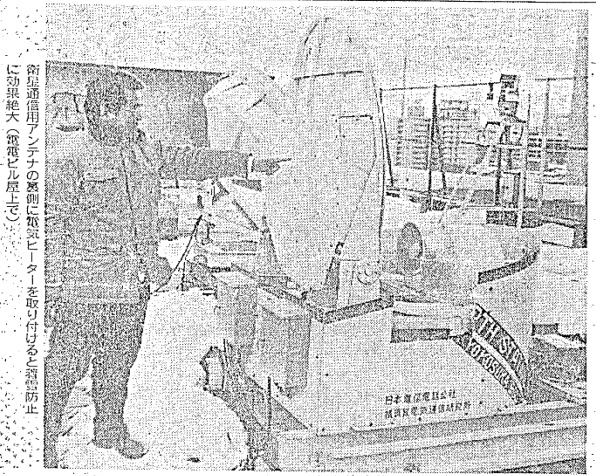
# アンテナ構造形式による着雪の違い



(a) Axisymmetrical cassegrain antenna



(b) Offset parabolic antenna



衛星通信アンテナの設置実験「ター」を取り回るとは説明  
に衛星絶大(部機)ル座七)

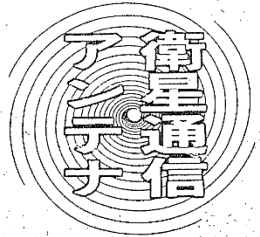
# 大敵の着雪には電気ヒーター

新潟市大川前池の新設電柱上で、電電公社無線電波伝送研究所による衛星通信用小型アンテナの雪防止のための実験が続けられている。昨冬から年々悪化しているのが、今回は具体的な雪防止法を検討し、電気ヒーターで着雪を除去するのが最も効果的のヒーターの取り付け位置、降雪検知器の取り付け

位置などについて、雪防止の効果を確かめた。新潟市は積雪に悩む低緯度地帯の一つでもあり、実験に当たった衛星通信研究室伝送研究部電波研究室は、予備調査の結果を得たとしている。

## 新潟の豪雪で証明

昨年一月、前橋衛星「ア」一階大旗のアンテナのヒーターが打ち付けられた。シロイソグサの雪が、またテレビのアンテナも今年も伝送部で雪で壊れてしまった。今年も、新しくロケットの衛星通信では



ミニゲーション手段で、地上回線が使われていない、の電利利用を促進させる。シロイソグサの雪が、またテレビのアンテナも今年も伝送部で雪で壊れてしまった。今年も、新しくロケットの衛星通信では

## 電電公社「経済的な融雪法に有力な手掛かり」

アンテナなど地高の設備のアンテナ線間付着した融雪小形化することができ、雪を除去する手掛かりを得た。アンテナ線間付着した融雪小形化することができ、雪を除去する手掛かりを得た。

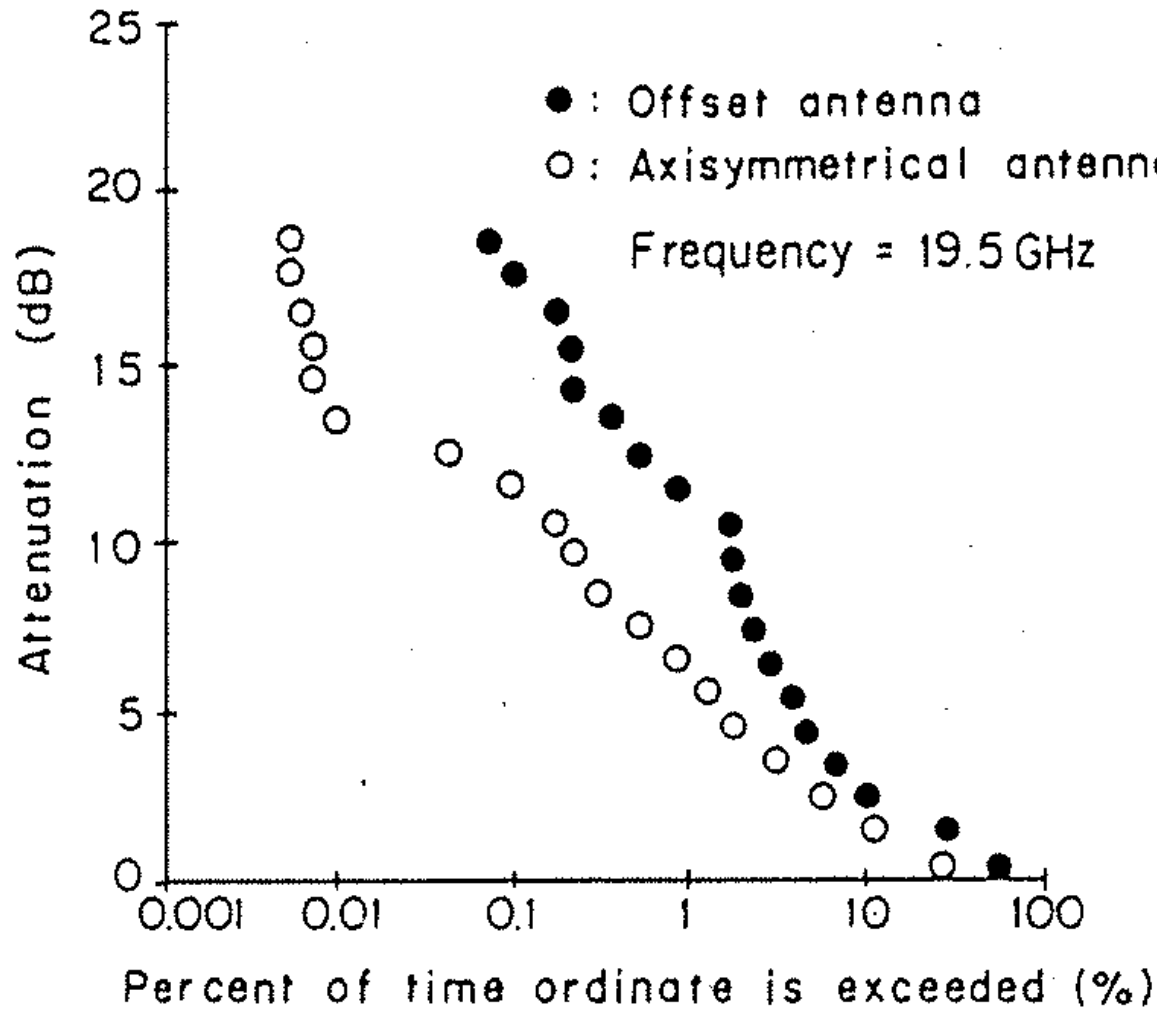
放射が著しく変化、融雪小形化することができ、雪を除去する手掛かりを得た。アンテナ線間付着した融雪小形化することができ、雪を除去する手掛かりを得た。



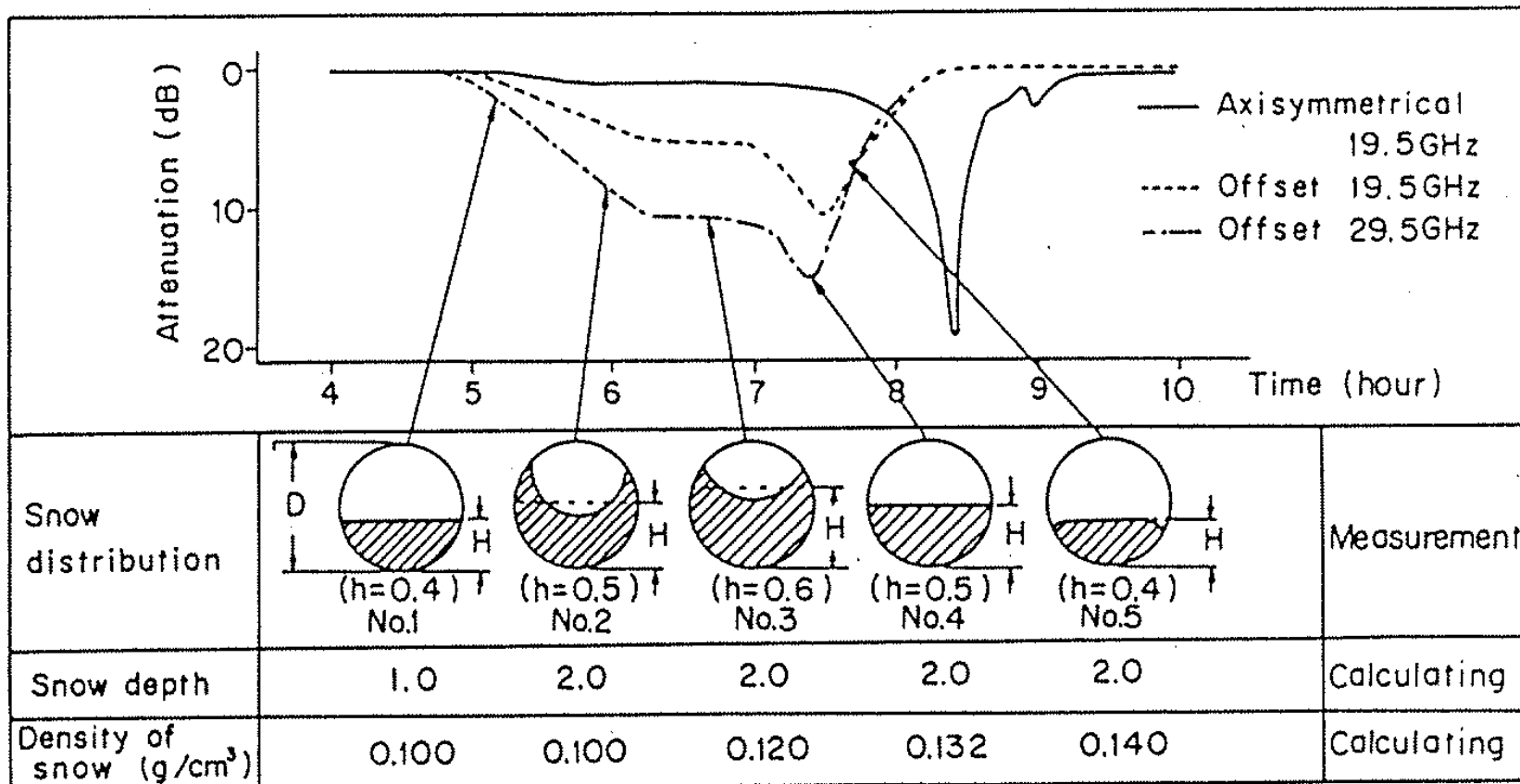
融雪検知器と融雪小形化することができ、雪を除去する手掛かりを得た。



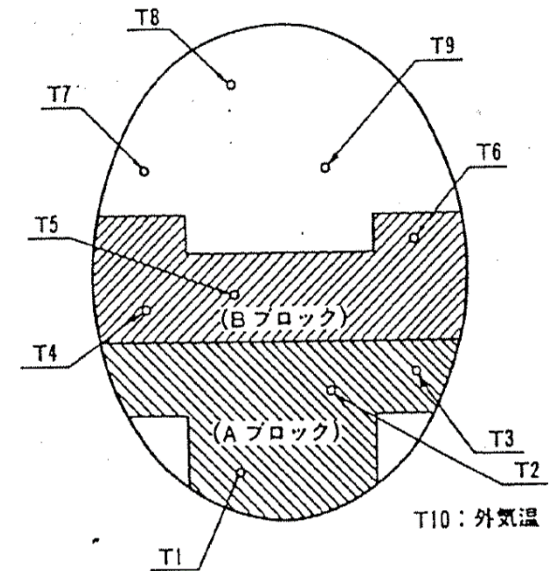
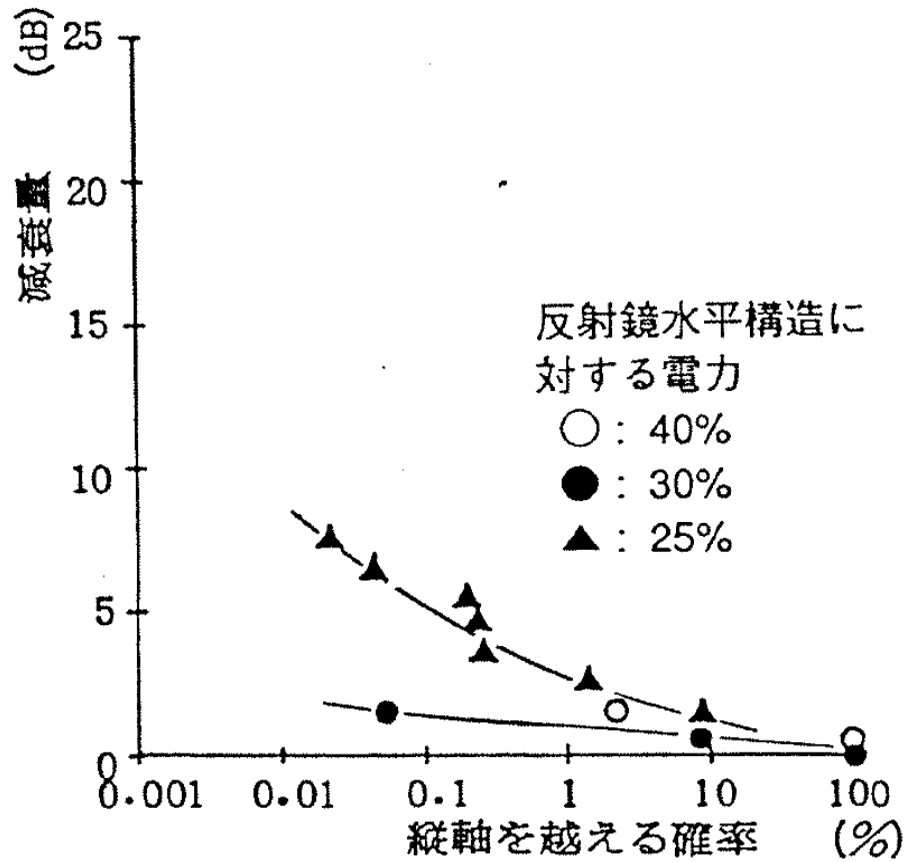
# 着雪による減衰時間率の比較



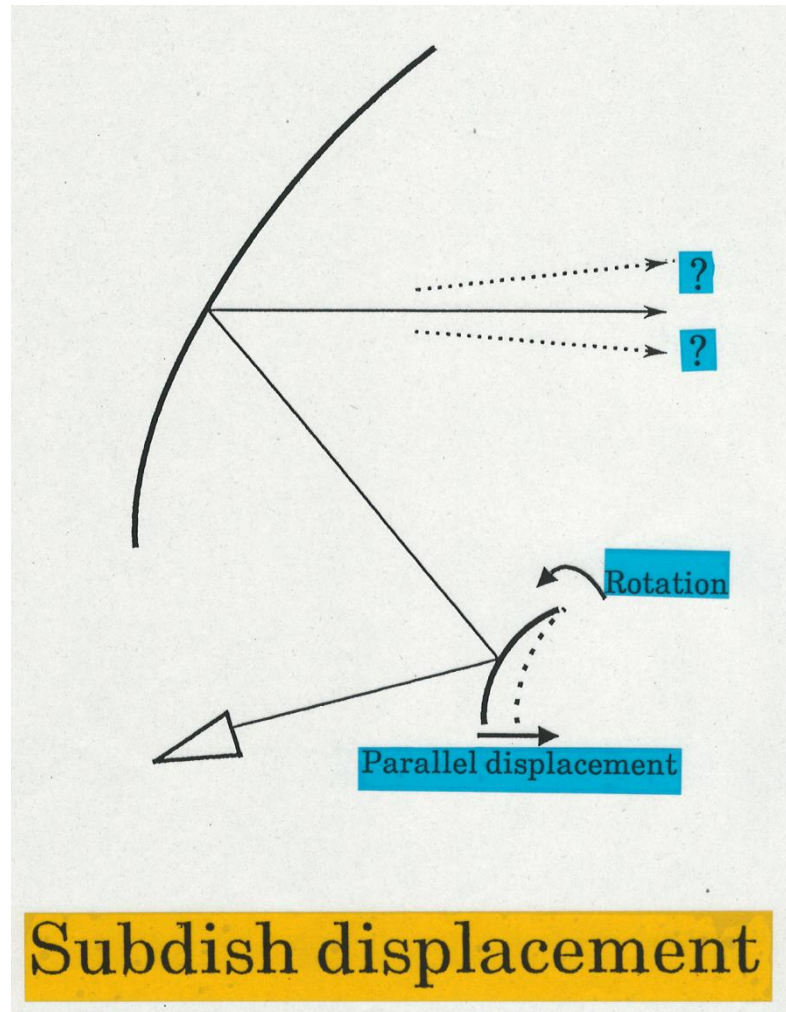
# 着雪分布と減衰量



# 着雪電力低減効果



# 副反射鏡駆動でアンテナビームはどう動く？



副反射鏡動<

等価

副反射鏡

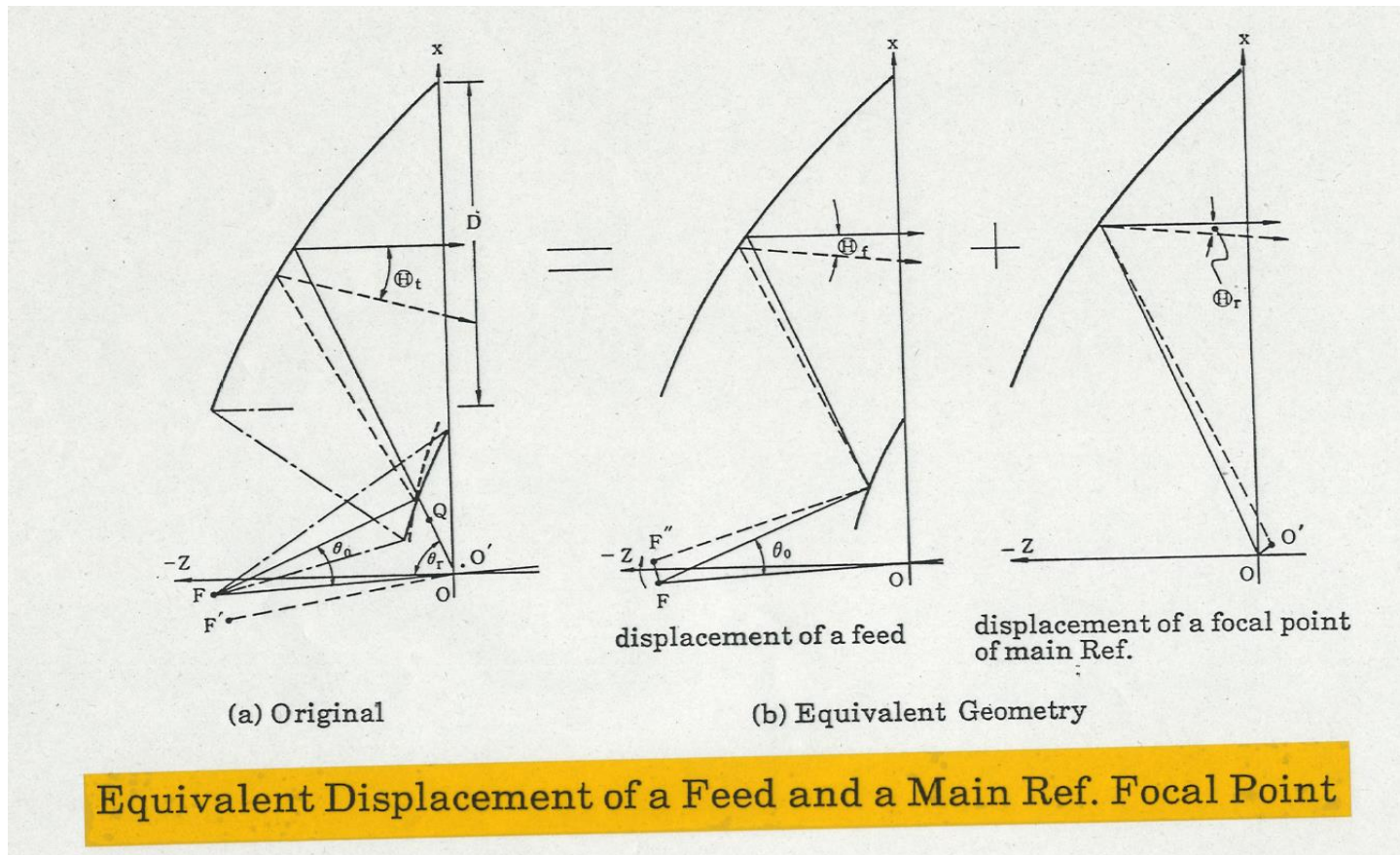
固定

1次放射器

動<

主反射鏡

動<



K. Kagoshima, "Simple analysis method of beam scanning characteristic of a sub-reflector-displaced reflector antenna," IEEE AP-S 1988, pp132-135 1988

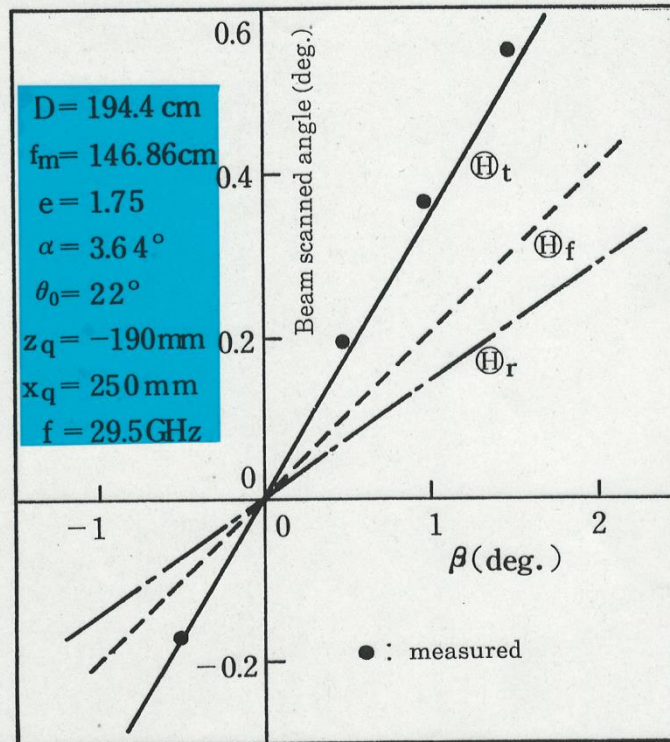
# 副反射鏡の動きとビーム方向偏移の関係

Subreflector movement vs beam deviation direction  
(the case of offset cassegrain)

	subref. movement	$\textcircled{H}_r$	$\textcircled{H}_r$		$\textcircled{H}_t$
		( $d_r$ )	( $d_r$ )		
rotation		down ( $\downarrow$ )	$Q < 0$ down	$Q^{(*)} > 0$ up	up or down
		left	$Q < 0$ left	$Q > 0$ right	left or right
parallel displacement		up ( $-x_d \cos \theta_0$ )	down ( $z_d \sin \theta_r$ )		up or down
		right ( $-y_d$ )	left ( $y_d$ )		left
		down ( $z_d \sin \theta_0$ )	down ( $x_d \cos \theta_r$ )		down

- (\*)  $Q < 0$  rotation axis exists between the main reflector and the plane of  $Z=0$   
 $Q > 0$  rotation axis exists beyond the plane of  $Z=0$

# ビーム偏移例：紙面に垂直な軸で $\beta$ 回転したとき



Beam Scanned Angle  
(x-z plane, Rotation)

## 4.4 衛星搭載アンテナ

### — 成形ビームから大型マルチビームアンテナへ —

- ・地上回線コストに対抗するためには通信容量増大が不可欠
- ・打ち上げロケットの容量増大が期待できる  
(N-II: 350kg ⇒ H-II: 2ton)



大型マルチビーム方式(ビーム数≈30)



通信トラヒックを考慮したビーム配置

- ・東京—大阪間で周波数繰り返し使用が必須
- ・搭載アンテナ方式の検討  
(30/20GHz, 6/4GHz, 2.6/2.5GHz)

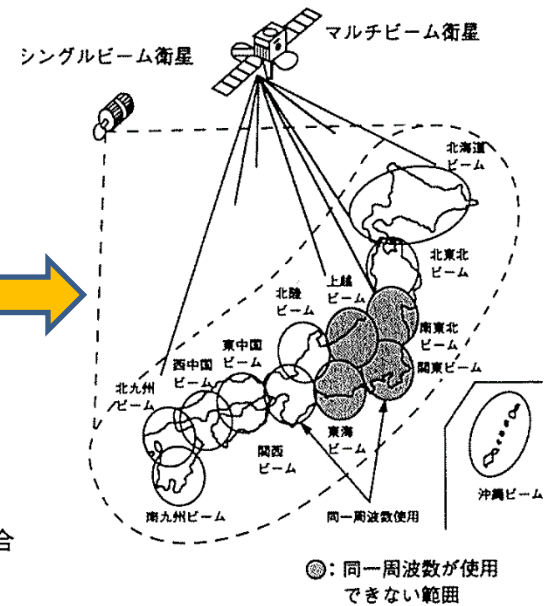
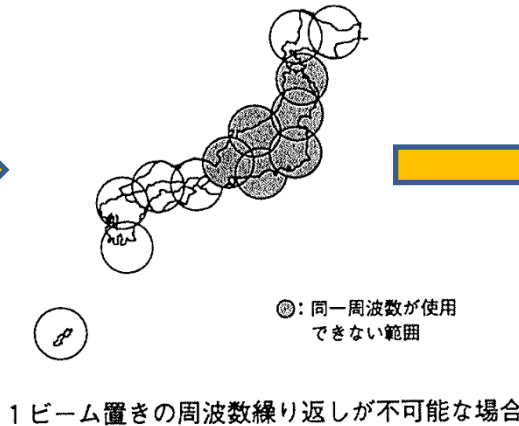
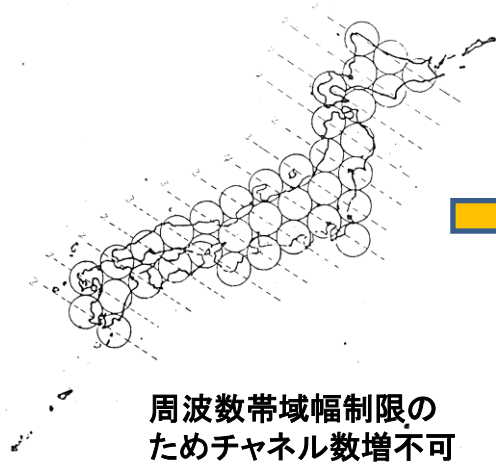


# ビーム配置

35ビーム

13ビーム

13ビーム

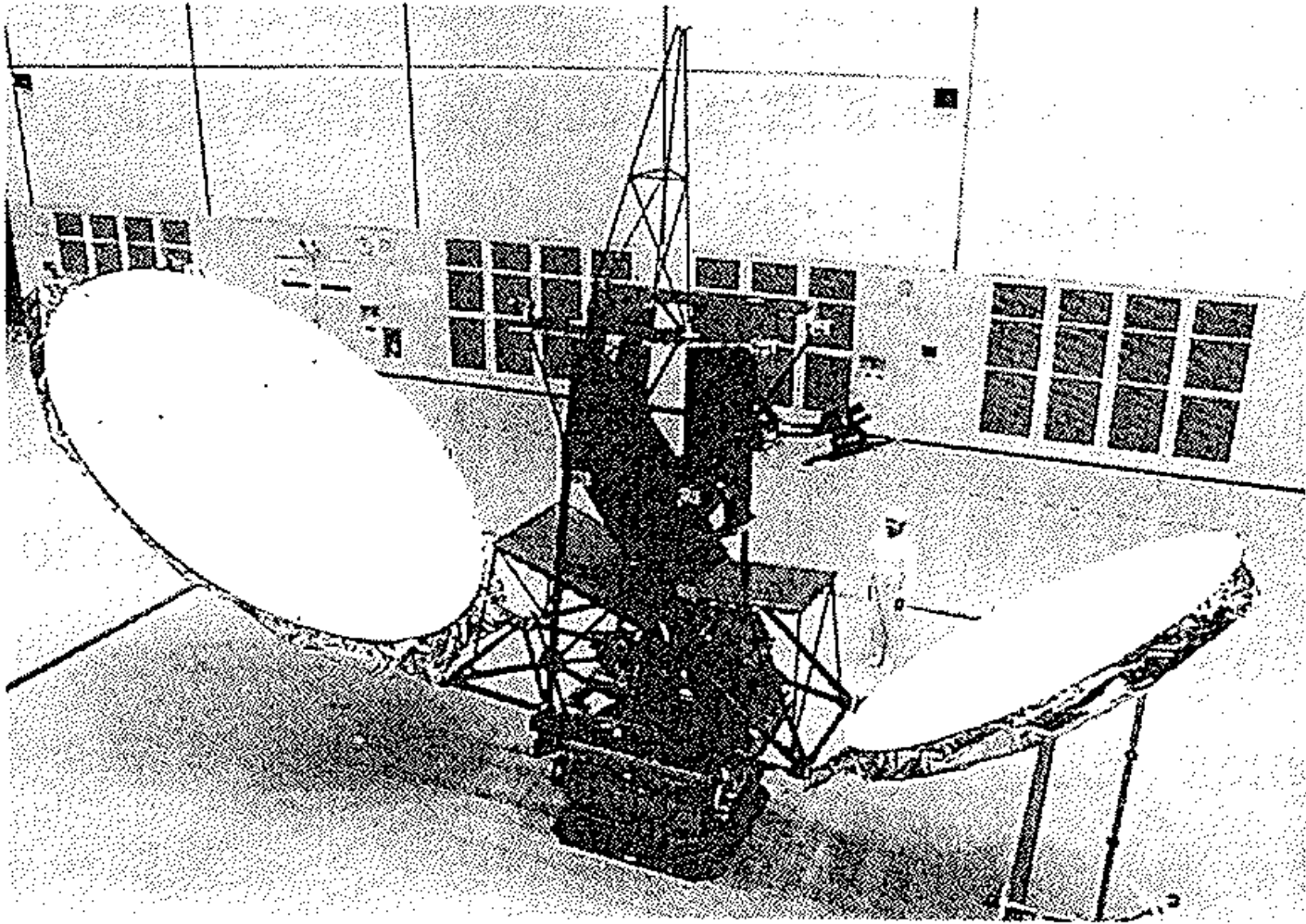


6つのビームで同じ周波数は使えない

1 ビーム置きの周波数繰り返しが可能の場合

同じ周波数は使えない範囲が4つに減少!!

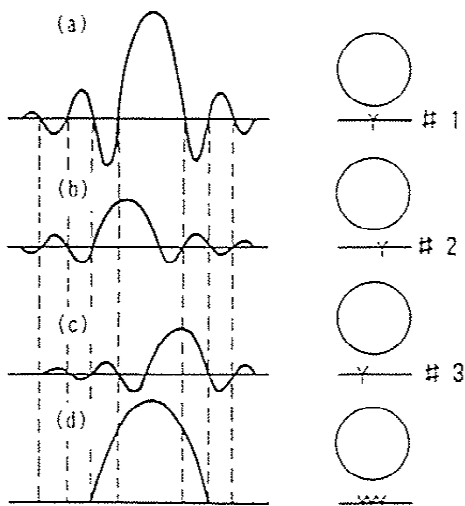
# ETS-VI のアンテナ構成



# 大形マルチビームアンテナ電気設計 における中核技術

- クラスタ給電による超低サイドローブ特性
- No Sidelobe Conditionの発見とこれを適用して、30GHz, 20GHzマルチビームアンテナ最適口径の導出(→マルチビームのビーム半径が与えられるとアンテナ口径が決まる)

# クラスタ給電技術



原理

開口分布(右上)  
とパターン(右下)

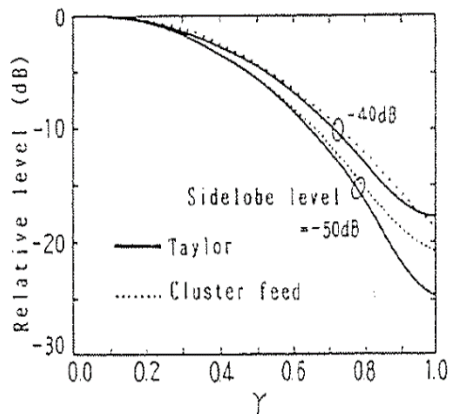


図7 クラスタ給電による開口面分布  
およびテーラー分布

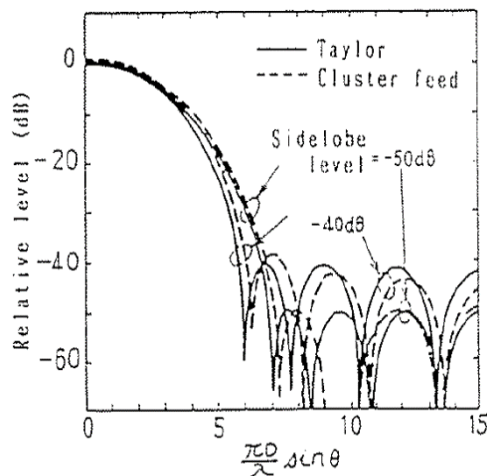
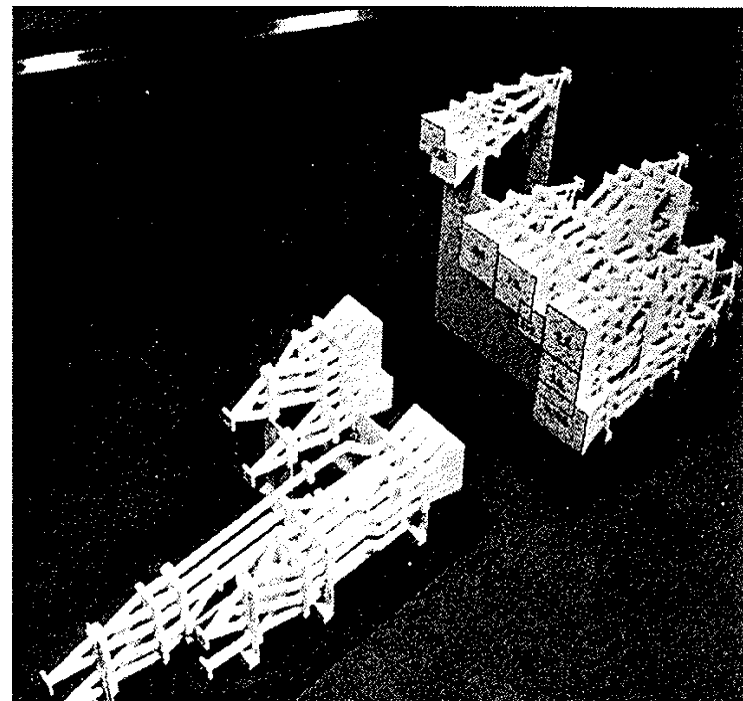


図8 テーラー分布とクラスタ給電による放射パターン



水平偏波用      垂直偏波用  
中間に偏波弁別グリッド(省略)

ホーン構成

# No sidelobe conditionとアンテナ最適口径

## 1. No sidelobe condition:

3方形ホーンクラスター(2次元では3×3)給電で、「sidelobe level(S.L.)」最小を実現するホーン寸法  $d$  が次式で与えられるとき **No sidelobe condition** を満足するという。

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{f}{D} \cdot \frac{1}{BDF \cdot \cos^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right)}$$

ホーン寸法がこれより小さいとS.L.は大きくなるが、これより大きくても上昇する。

## 2. 最適アンテナ口径:

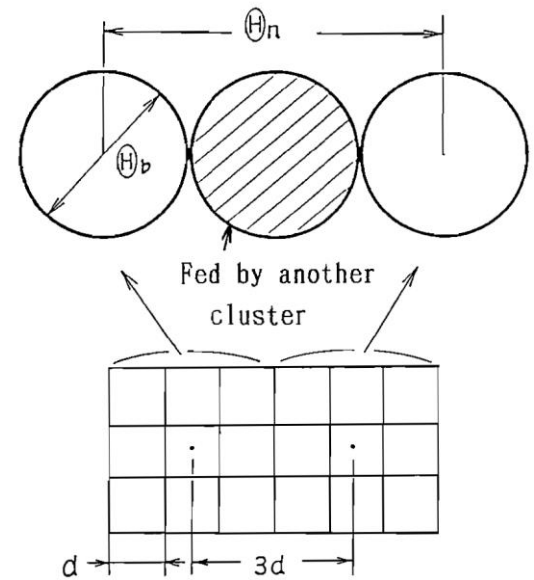
- ・3×3 ホーンクラスター(一辺長さ  $d$ )
- ・次隣接ビーム間角度  $\theta_n$  とする(右図)

$$\sin \theta_n = BDF \frac{\cos^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \cdot 3d}{f}$$

- ・ビーム視直径を  $\theta_b$  とすると、 $\theta_n = 2 \theta_b$   
これを上式に代入すると、

$$D/\lambda = \frac{3\alpha}{2\sin\theta_b} \quad \alpha: \text{No sidelobe cond. のとき } 1$$

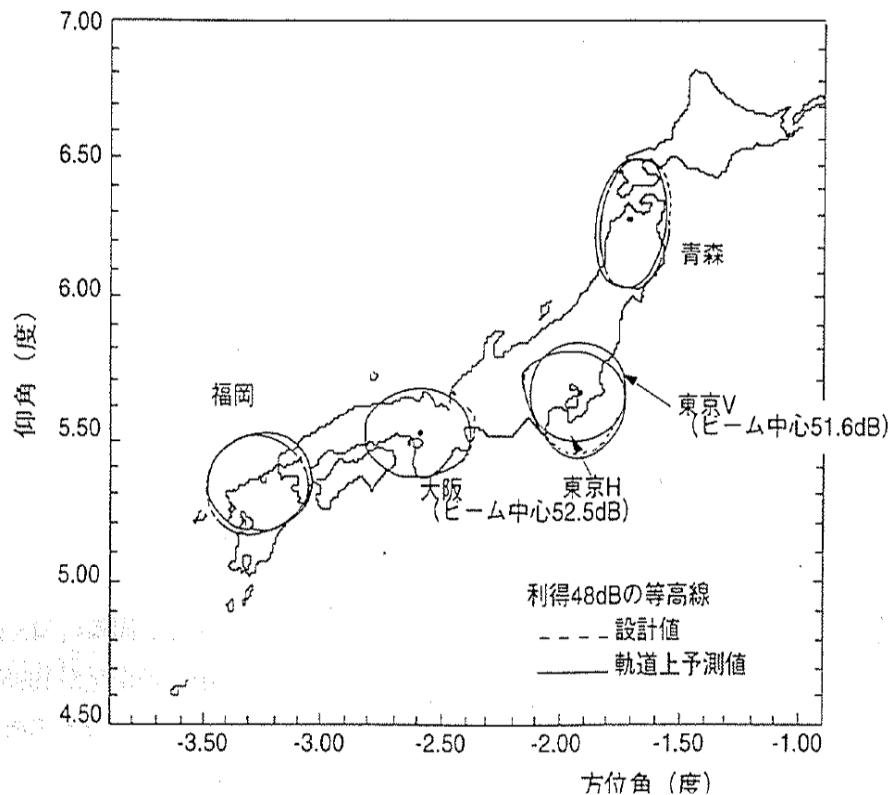
これより視直径  $\theta_b$  が与えられると、S.L.  
(ビーム間干渉)を最小にするアンテナ口径が決まる。



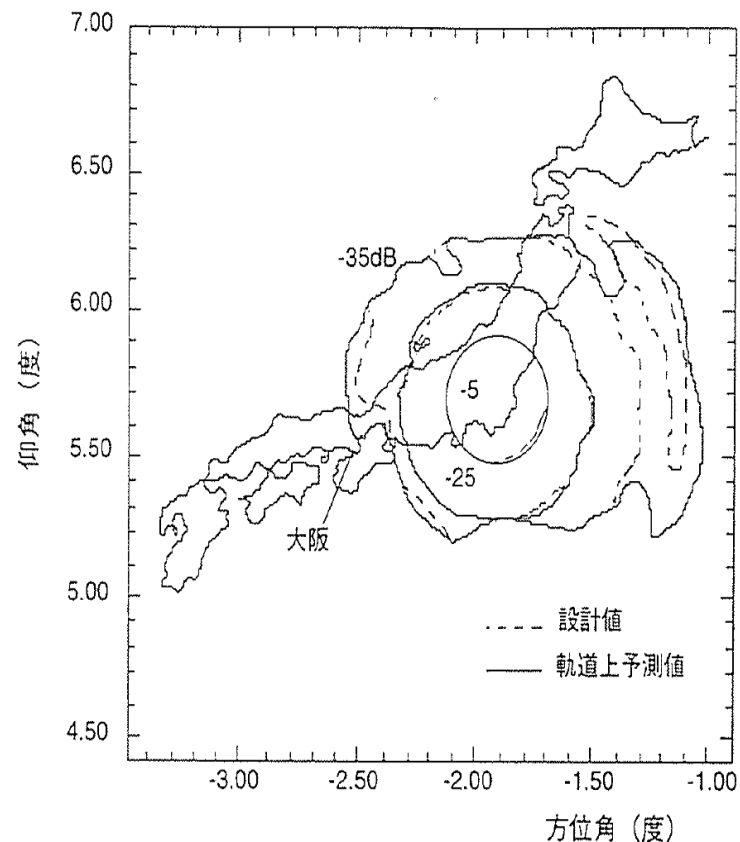
# No sidelobe conditionとアンテナ 最適口径(ETS-VIの場合)

- ・ビーム視直径:  $0.34^\circ$
  - ・20GHz 帯アンテナ: 3.5m ----- 最適直径の0.9倍
  - ・30GHz 帯アンテナ: 2.5m ----- 最適直径の1.0倍
- (注) 20GHz帯と30GHz帯とで反射鏡を共用すると最適口径からさらにずれることになる。(20GHzと30GHzで反射鏡を別にする根拠)
- ・東京/大阪ビーム間  $D/U=40\text{dB}$  (計算値は45dB)  
(30GHz帯)

# ETS-VIのアンテナ利得と放射パターン



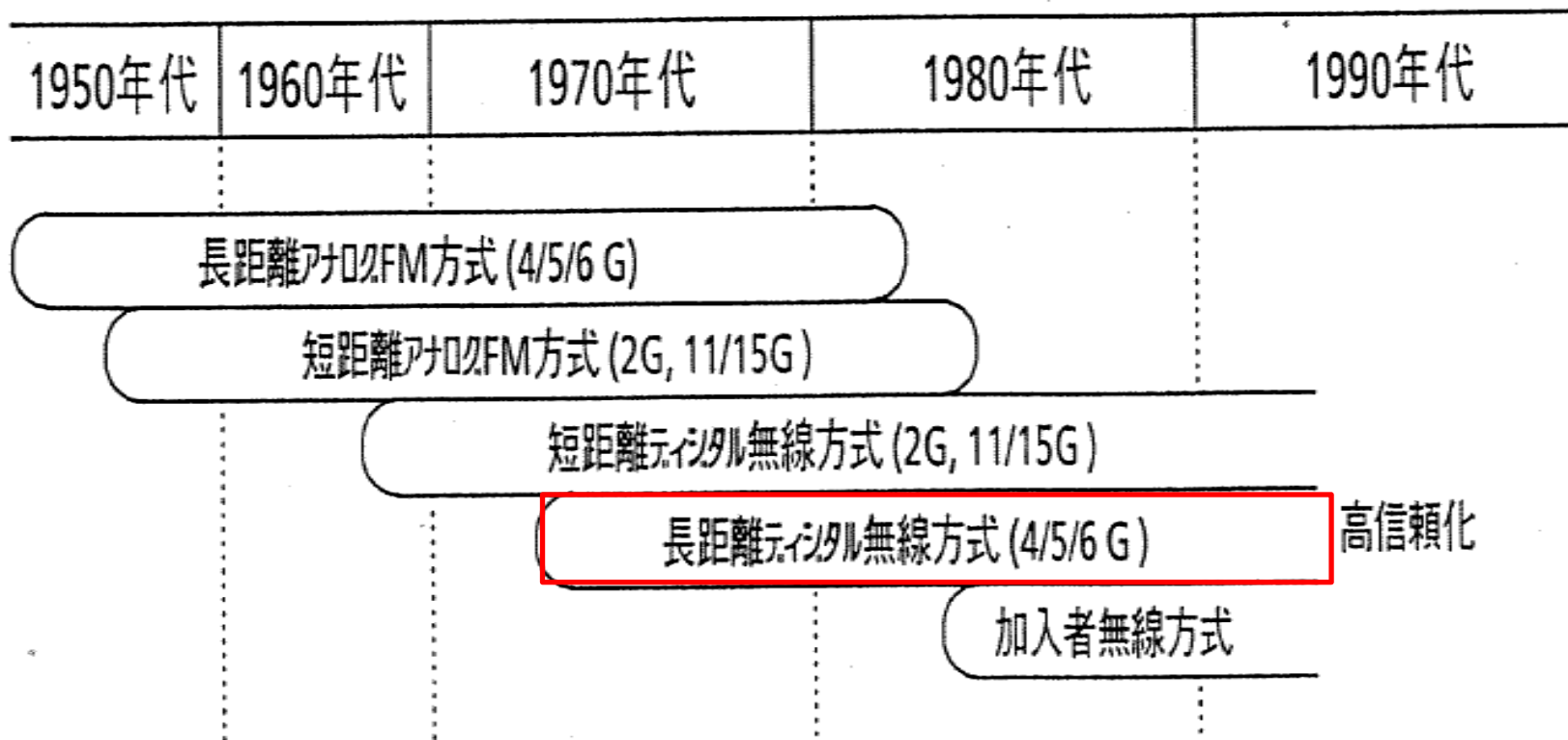
30GHz帯



東京ビーム













# 4.5 固定無線の動向

## (アナログからデジタルへの本格移行)





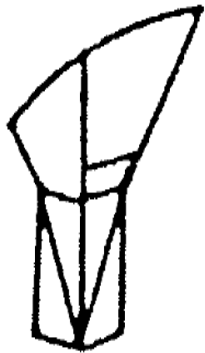
# 固定通信用アンテナ開発の歴史

	20年代	30年代	40年代	50年代	60年代
マイクロ波帯	 パスレングス  パラボラ	 ホーンレフ		 折り曲げ ホーンレフ	 オフセット  鏡面修整 オフセット
Ku帯		 パラボラ	 カセグレン	 オフセット パラボラ	 オフセット
Ka帯			 カセグレン	 扇形ビーム	

# デジタル回線の大容量化とアンテナ

## アナログ方式

1. 4/5/6GHz共用
2. 高さ 7.5m



ホーンレフ

広帯域特性

## デジタル(16QAM)

1. 4/5/6GHz共用
2. 高さ 5.7m  
(ダイバーシチ構成)
3. XPD 10dB改善



オフセット

交差偏波消去3枚鏡構成  
(2次曲面)

## デジタル(256QAM)

- 1.2.は同左
3. XPD さらに5dB改善
4. S.L. 10~45° で10dB改善



鏡面修整  
オフセット

- ・修整鏡面での交差偏波消去設計
- ・開口分布制御(能率維持)による水平面低サイドローブ設計
- ・鏡面歪み周期成分の制御による低サイドローブ設計

# 5. 反射鏡アンテナの設計技術の進展

## 5.1 高開口能率鏡面設計技術

## 5.2 オフセット複反射鏡アンテナの低交さ偏波特性設計

## 5.3 低サイドローブ特性技術

# 5. 反射鏡アンテナ設計技術の進展

## 5.1 高開口能率鏡面設計技術

### <円形開口オフセット複反射鏡アンテナ>

V. Galindo "Design of dual-reflector antennas with arbitrary phase and amplitude distribution," IEEE Trans. AP, AP-12, No. 4, July 1964

### <円形開口オフセット複反射鏡アンテナ>

T. Takano et al. "High efficiency and low sidelobe design for a large aperture offset reflector antenna," IEEE Trans. AP, AP-28, No. 4, July 1980

T. Kitsuregawa "Advanced technology in satellite communication antennas electrical & mechanical design" Artech House pp163-171, 1990

### <非円形開口オフセット複反射鏡アンテナ>

K. Aoki et al. "Design method for an offset dual-shaped reflector antenna with high and an elliptical beam" IEE Proc. Part H Vol.140, No. 2, April 1993

## 5.2 オフセット複反射鏡アンテナの低交さ偏波特性設計技術(注)

### <オフセット鏡面系における等価パラボラ表示>

水沢, 片木 ” 多重反射鏡アンテナの等価パラボラ表示とその応用 “三菱電機技報 Vol. 49, No. 11 pp729-732, 1975

田中, 水沢 “オフセット複反射鏡アンテナにおける交差偏波の消去” 信学論 B Vol. 58-B, No. 12 pp643-650 1975 12月

### <オフセット鏡面修整法>

苅込, 鹿子嶋 “鏡面修整複反射鏡アンテナにおける1次放射器の最適な傾き角” 信学論 B Vol. J70-B, No. 6 pp682-688 1987 6月

野本, 渡辺 “小口径オフセット双反射鏡アンテナの鏡面修整法” 信学論 B Vol. J71-B, No. 11 pp1338-1344 1988 11月

---

### (注) 設計条件

- (1) 光路長一定
- (2) 副反射鏡での反射則
- (3) エネルギーの保存則
- (4) 開口分布の軸対称性

## 5.3 低サイドローブ特性設計技術

### <地球局アンテナ 広角サイドローブ抑制>

T.Satoh et al. “Sidelobe level reduction by improvement of strut shape” IEEE Trans. AP, AP-32, no7 pp698-705. ,July 1984

### <固定無線アンテナ近軸サイドローブ抑制>

荻込 他 “鏡面ひずみの高次周期成分を低減することにより広角指向性を改良した鏡面修整オフセット3枚鏡アンテナ” Vol. J73-B-II, No. 12 pp852-859 1990 12月

### <衛星搭載マルチビームアンテナの次隣接干渉抑制>

山田, 鹿子嶋, 小林 “クラスタホーン給電による低サイドローブマルチビームアンテナ”, 信学論 B. Vol.J69-B, No.11, pp1430-1440, 1986

# 6. 開口面アンテナの将来展望

電波/光応用システムの進展が進む状況を背景に、

- (1) ミリ波～テラヘルツ帯デバイス、システム開拓
- (2) 光デバイスにおけるビームステアリング法への挑戦
- (3) 宇宙環境での電波利用への貢献