電子情報通信学会　アンテナ・伝播研究会（AP）
九州工業大学

B-SAT

［特別講演］

放送アンテナ技術の発展と スーパーハイビジョン時代への課題

2012年1月18日

放送衛星システム(B-SAT)

正源 和義

B-SAT

＜ご注意＞

・本pptは，2012年1月18日（水）に，九州工業大学において開催されたアンテナ・伝播研究会におけるAP研「アンテナの歴史」委員会主催の特別講演で使用したものです．

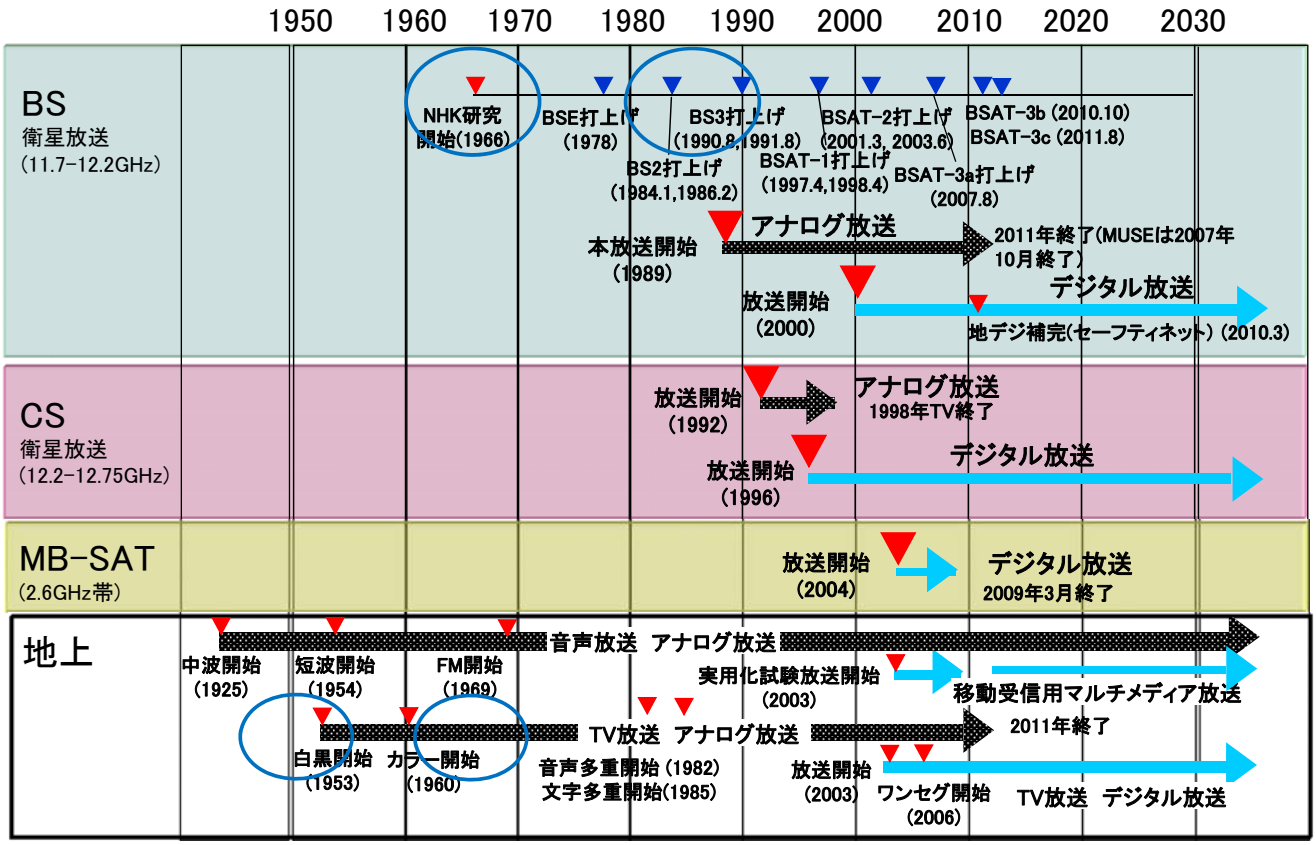
・その際に，大学における講義等での使用希望があり，また，「アンテナの歴史」委員会としてアーカイブスとして記録しておきたいとの要望があったので，提供するものです．

・ただし，本pptには，著作権の上で問題になるものが多く含まれていますので，大学における講義等の教育目的以外の転用および無断使用はお断りします．

＜謝辞＞

・本ppt作成にあたり，資料の提供，原稿の推敲などで関係各位の協力をいただきました．特に，元NHK　遠藤敬二氏，NHK技術局 送受信技術センター，NHK放送技術研究所 放送ネットワーク諸氏に感謝いたします．

日本の放送の歴史



放送イノベーションの変遷

スーパーハイビジョンの研究開発ロードマップ

（2011年5月，NHK放送技術研究所）

講演目次

1　地上放送アンテナ
- ◆ 東京タワー，スカイツリーアンテナ
- ◆ テレビはなぜ水平偏波か？

2　素材伝送，番組制作アンテナ

3　衛星放送
- ◆ 1964年ABU設立：当初の活動はABU SAT（教育用）
  （→国内放送，外国からの文化侵略阻止）

4　衛星放送アンテナ
- ◆ マルチホーンアンテナ(ビーム重畳)→鏡面修整アンテナ(任意形状ビーム)→アレー給電反射鏡アンテナ(ビーム形状可変)
- ◆ 新しい技術は新しい技術基準（＝規則）が必要．既存の枠組みではだめ．従って新しい周波数（スペクトル）が必要．（アレー給電反射鏡アンテナで機械駆動反射鏡アンテナの規格は満たせない）

放送の歴史(1)

BSAT

- 1923年(大正12年) 9月1日 (土) 11時58分
  関東大震災(震源　相模湾北西沖80km, マグニチュード7.9, 死者・行方不明　10万5千余)

東京芝浦仮放送所

・ラジオ
- 1925年3月22日　ラジオ放送開始

・テレビ (白黒, カラー)
- 1930年(昭和5年)6月
  NHK技術研究所を設立 (所員16人)
  →テレビの研究に着手(1940年の夏季東京オリンピック (日中戦争のため未開催) を目標)
- 1953年2月1日　テレビ放送開始
- 1959年　明仁皇太子ご成婚
  (受像機の普及200万台突破)
- 1960年　カラーテレビ本放送開始
- 1964年　東京オリンピック中継

東京設立当時のメンバー

皇太子・結婚パレード

NHK技研 30年史, NHK総合技術研究所, 1961年(昭和36年).より

BSAT

テレビ研究の思い出

高柳健次郎

オリンピックとテレビ研究

昭和15年に日本にオリンピックが開催され, その際にテレビ放送を行なうこととなり, 私達はその準備のためにNHK技術研究所に, 昭和12年夏から, 勤務することとなった。

テレビの研究は第三部を中心として行なうこととなり, 先発の山下君が先輩中西技師などとの指導を得て, スタジオや研究室の整備に当った。

当時は電子式テレビが漸く発達の初期にあったので, 送像, 受像, 送信, 受信あらゆる面で, 未知, 未解決の問題が多く, これを3年間で取りまとめて, オリンピックに間に合わせるには, 容易なことではなかった。

まず, テレビ技術の確立が必要だったので官民合同で各種調査研究が行なわれることとなった。その中心機関として電気通信学会にテレビ調査委員会が開設され, NHK技術研究所が中心となってテレビ標準方式から送受像装置, 送信装置および中継方式設備等全般にわたって, 種々研究や検討が行なわれた。

アイコノスコープの改良

みが解消された訳である。

受像管の研究

昭和12年頃までの受像管は, 蛍光体にジンクシリケートを使用して, 蛍光は緑色であった。これを今日の様な白色にすることが重要な研究課題であった。

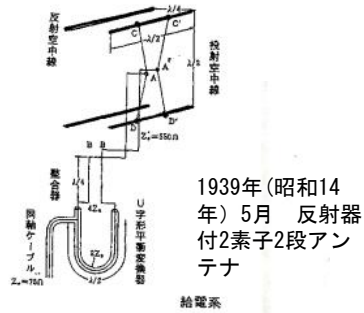
白色蛍光体を合成するには, 硫化亜鉛に銀とか銅の活性剤を入れて作るのであるが, ちょっとの不純物が混入しても直に感度が低下したり, 色彩が変化して, 大変困った。蒸溜水や, 合成する容器を吟味して漸く, 目的の白色蛍光体を得ることができて嬉しかったが, 随分その間に苦労したものである。

受像管の今一つの問題は, 電子速度を上げてその光能率を上げることであった。電子銃の電圧を 6,000V位から10,000V位にあげても, 明るさがあまり増さないで困った。これは蛍光体より発生する2次電子が1より少なくなり, 蛍光体が或る電圧よりは上昇できないためと判明した。そこでこれを防ぐために蛍光体に電導度を持たせる必要があり, 種々と工夫が行なわれた。最後に山下氏などに実施して貰ったのが, アルミのメタルバック法

1937年(昭和12年)浜松高工が製作したテレビ自動車
1939年(昭和14年)TV実験

1998年撮影

1939年(昭和14年) NHK技研に完成した100m三角鉄塔とテレビ館



1939年(昭和14年) 5月　反射器付2素子2段アンテナ

撮像車,
映像送信車,
音声送信車,
受像車　の計4台

1937年(昭和12年) 浜松高工から来たテレビ自動車

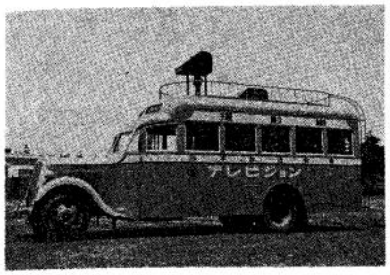
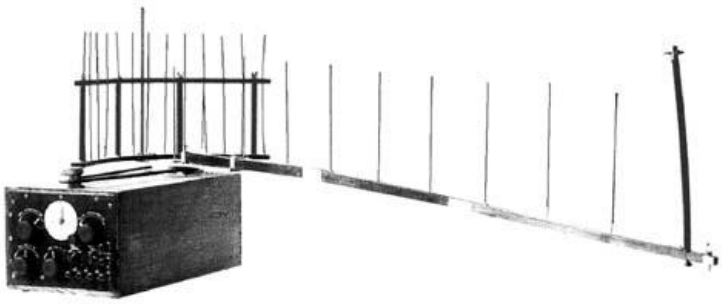


写真 1.9　テレビ自動車 (昭 12)

- この車とともに浜松高工テレビ研究室の高柳教授ほか十数人がNHK技研に着任.
- この自動車はダッジ製で大型バスくらいの大きさ. 水色の車体に黄色で「テレビジョン」の文字
- 走査線数は441本, 毎秒像数25枚の飛越走査
- 映像送信周波数58MHz(20W), 音声送信周波数1775KHz(100W)

八木・宇田アンテナ

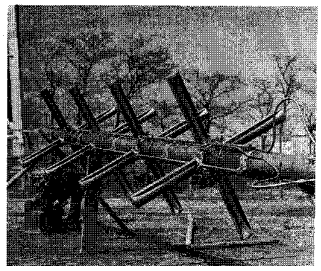


・何本かの直線状の金属導体を平行に配列したアンテナは大正末期(**1925年**)に東北大学においてアンテナの研究に従事した**八木秀次博士と宇田新太郎博士**によって発明された.

・これは八木・宇田アンテナを使用した波長45cmのUHF帯の送受信機である. この装置を用いて**1929年**に仙台と大鷹森の間, 約20kmの通信に成功した. 翌1930年にベルギーで開催された万国博覧会に出品された記念すべき装置である.

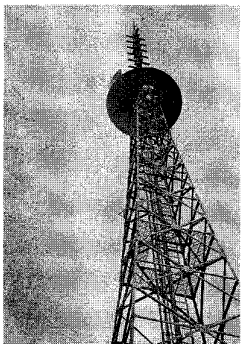
東北大学　電気通信研究所　HPより
http://www.riec.tohoku.ac.jp/antenna/index.html

1953年(昭和28年)2月1日のテレビジョン本放送開始

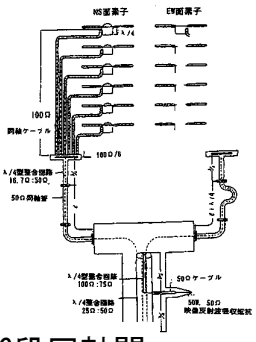


4段同軸開放型ターンスタイルアンテナ

1950年(昭和25年)3月，NHK放送技術研究所に東芝製500W実験局でテレビ電波発射.
1952年(昭和27年)千代田区内幸町のNHK放送会館(1938年（昭和13年）から1973年（昭和48年）まで本部として使用)に移設．1953年(昭和28年)1月5kWに増力.
1953年(昭和28年）2月1日，ch3でNHK放送開始.

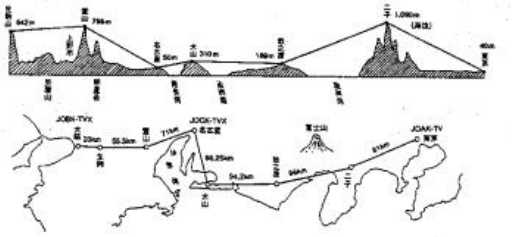


放送会館屋上の本放送用6段同軸開放型ターンスタイルアンテナ



給電系

1953年(昭和28年)1月　紀尾井町に鉄塔，建物の工事開始.
鉄塔高さ160m，アンテナ18m，計178m.
(8月28日，NTV10kW放送開始)
8月　RCA製放送機，アンテナ到着
11月3日　10kWで運用開始.
1959年(昭和29年)1月4日　千代田放送所と改称.
1982年送信所廃止．タワーそのものは1992年会館建設まで残.



東京ー名古屋ー大阪間のマイクロ波テレビ中継回線の各中継所

名古屋での受信画面　生駒での受信画面

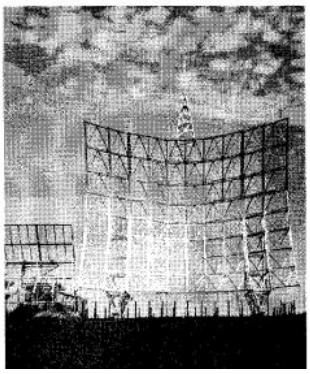
東京-名古屋-大阪のマイクロ波テレビ中継回線と受信画面
・NHK自営回線を建設.
・1952年(昭和27年)10月から工事開始.
・1953年(昭和28年)1月11日下り開通.
・1953年(昭和28年)2月1日　放送開始.
・1953年(昭和28年)8月上り開通
・1954年(昭和29年)10月NTT回線開通．NHK回線撤去.
・WienerのInformation　Theory．符号化帯域圧縮→1960年ローマ五輪短波回線電送

衛星追尾用アンテナ回転装置と対数周期アンテナ
1957年(昭和32年)ソ連スプートニク1号の発信音を受信．千葉県NHK横芝外国放送受信所.

キャンデラブラアンテナ(銚子テレビ中継局)(4L6段1面・4L4段3面x2)

双ループアンテナ(6, 4, 2素子)研究　昭和30年～34年頃(**串カツにして給電点を1つにする**).
実用 昭和39年

テレビ中継局の大口径パラボラアンテナ



HBC帯広テレビ中継放送局(1ch受信)の大口径パラボラ(20mx16m)(昭和39年当時)

スポラディックE層(Es)の影響で1500km離れたKBC(九州朝日放送)とMBC(鹿児島南日本放送)の妨害波がHBC帯広中継放送局(札幌1ch受け)に混入

大沼テレビ中継局の大口径パラボラ(10mx8m)
NHK-G, E, HBC, STVの4波共用受信アンテナ

左:スポラディックE層による障害
右:正常

東京タワー
(日本のアンテナの歴史特集号/March 2003)

IEICE TRANS. COMMUN., VOL.E84-B, NO.1 JANUARY 2001

LETTER *Special Issue on Historical Reviewof Japanese Antenna System*

Tokyo Tower

Tetsuya ITSUKI†, *Nonmember*, Kazuyoshi SHOGEN†, *Member*, Toshiki KURASHIMA†, Kazumi NOGAMI†, *and* Masahiko ARISHIRO†, *Nonmembers*

SUMMARY

The Tokyo Tower is the highest self-supporting steel tower in the world. Since it was built in 1958, the Tower has been a symbol of Tokyo and a well-known, major tourist attraction in Japan. The number of visitors reached 130 million in 1998. The highest number of visitors in one day was 40,000. The original purpose of the Tower was the transmitting of TV signals to the entire Tokyo Metropolitan area. As time passed, FM radio antennas and other equipment for public use were added to the Tower. Recently digital terrestrial antennas were installed on the Tower, a remarkable moment in its history. Digital broadcasting will start in 2003, using these antennas. This paper introduces the Tokyo Tower and its antennas, giving its construction history and its future in the coming digital broadcasting era.

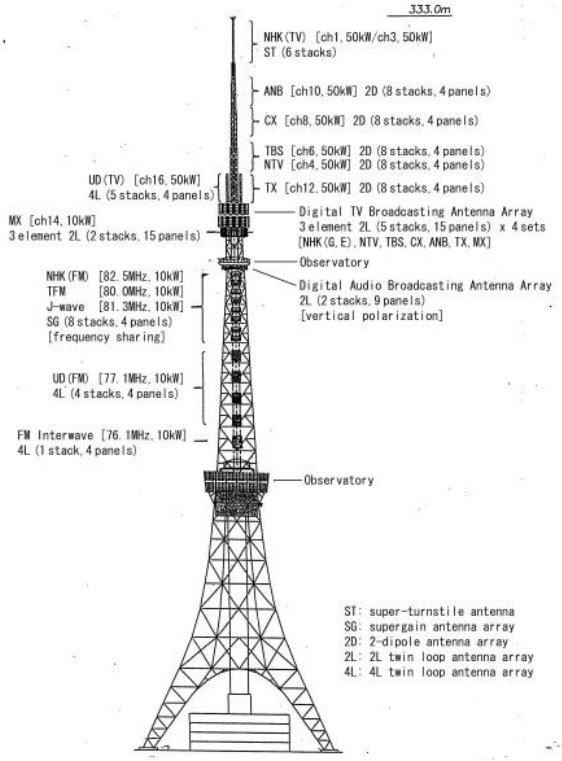
key words: *Tower, digital broadcasting, TV broadcasting, FM radio broadcasting*

1. Introduction([1],[2])

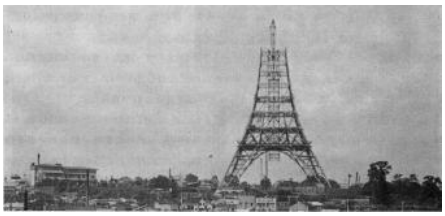
The Tokyo Tower is 333 meters tall, making it the tallest self-supporting steel tower in the world. It only weighs 4,000 tons, owing to remarkable advances in steel manufacturing and construction technology. You can see that the Tower is light for a metal tower if you compare it to the famous iron tower in Paris, the Eiffel Tower, which is 320 meters tall and weighs 7,000 tons. The Tower is repainted every 5 years, requiring 28,000 liters of paint to cover its surface. It is painted white and international orange according to aviation safety regulations. At night, the Tower is illuminated white in summer and orange in winter with 164 floodlights. This Tokyo landmark is very familiar to both tourists and natives.

The Tower is famous for the series of antennas used for terrestrial TV broadcasting. These TV antennas transmit nine channels. Their emissions cover

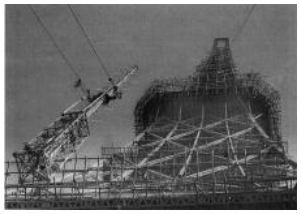
Fig. 1 The Tokyo Tower



東京タワーの建設



本体部の完成，1958年(昭和33年)8月



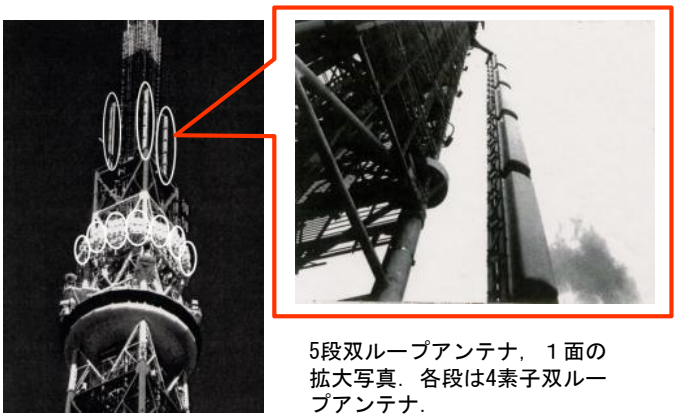
アンテナ部のつり上げ設置
1958年(昭和33年)10月

- 1953年(昭和28年)　NHK-G，NTV放送開始，1955年　TBS放送開始，1956年　NHK-E，CX，ANB　放送開始決定　→　同一場所からの送信の必要性.
- 1957年(昭和32年)6月29日　東京タワー建設開始
- 1958年(昭和33年) 10月9日　「東京タワー」の命名決定，東京タワーのゲイン塔吊り上げ（吊り上げ完了は10月14日）
- 1958年(昭和33年)12月23日　建設完了(工事期間543日，コスト45億円，労働219,355人・日)
- 1959年(昭和34年)1月-3月　NHK-E，ANB，CX電波発射
- 1960年(昭和35年)1月　放送出力50kWに増力．TBS電波発射.
- 1960年(昭和35年)5月　NHK-G電波発射.
- 1961年(昭和36年)7月　FM放送用16段スーパーゲインアンテナ設置
- 1964年(昭和39年)4月　東京12チャンネルテレビ電波発射
- 1970年(昭和45年)　4月　FM東京，10月　NHK-FM電波発射
- 1970年(昭和45年)11月　NTV電波発射(東京７つの電波送信場所一元化)
- 2002年(平成14年)6月　デジタルテレビ用アンテナの設置
- 2002年(平成14年)10月　デジタル音声放送用アンテナの設置

東京タワーのアンテナ

最上部のスーパーターンスタイルアンテナ6段
(NHK 1，3ch，VHF)

2ダイポールアンテナ
(NTV 4ch，TBS 6ch，フジ7ch，TV朝日10ch，TV東京12ch，VHF)

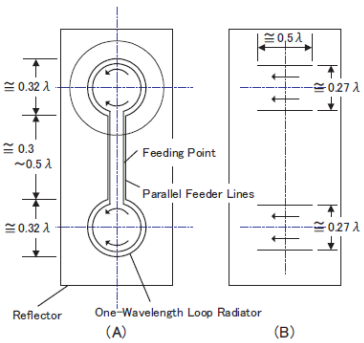


5段双ループアンテナ，１面の拡大写真．各段は4素子双ループアンテナ.

上側：5段双ループアンテナ，4面
下側：2段双ループアンテナ，15面
MX 14ch，UD 16ch，UHF

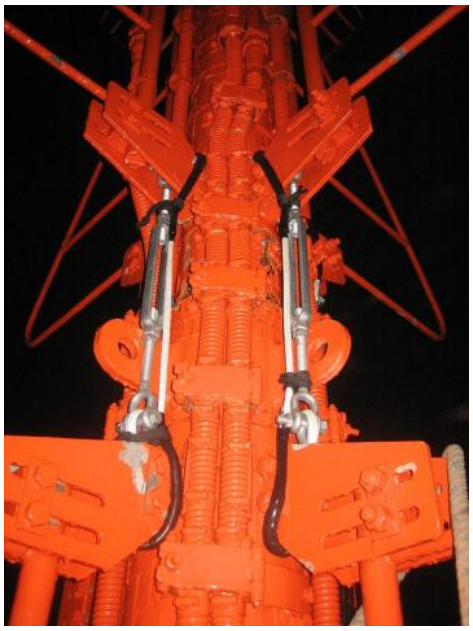
デジタルテレビアンテナ

←新設・デジタルテレビ(水平偏波)，UHF・3素子配列　2L双ループアンテナ5段15面x2式(赤，白2段)
←既設・MXテレビ，UHF・3素子配列 2L双ループアンテナ2段15面，水平偏波
←新設・デジタル音声放送アンテナ，VHF・2L双ループアンテナ2段9面，垂直偏波



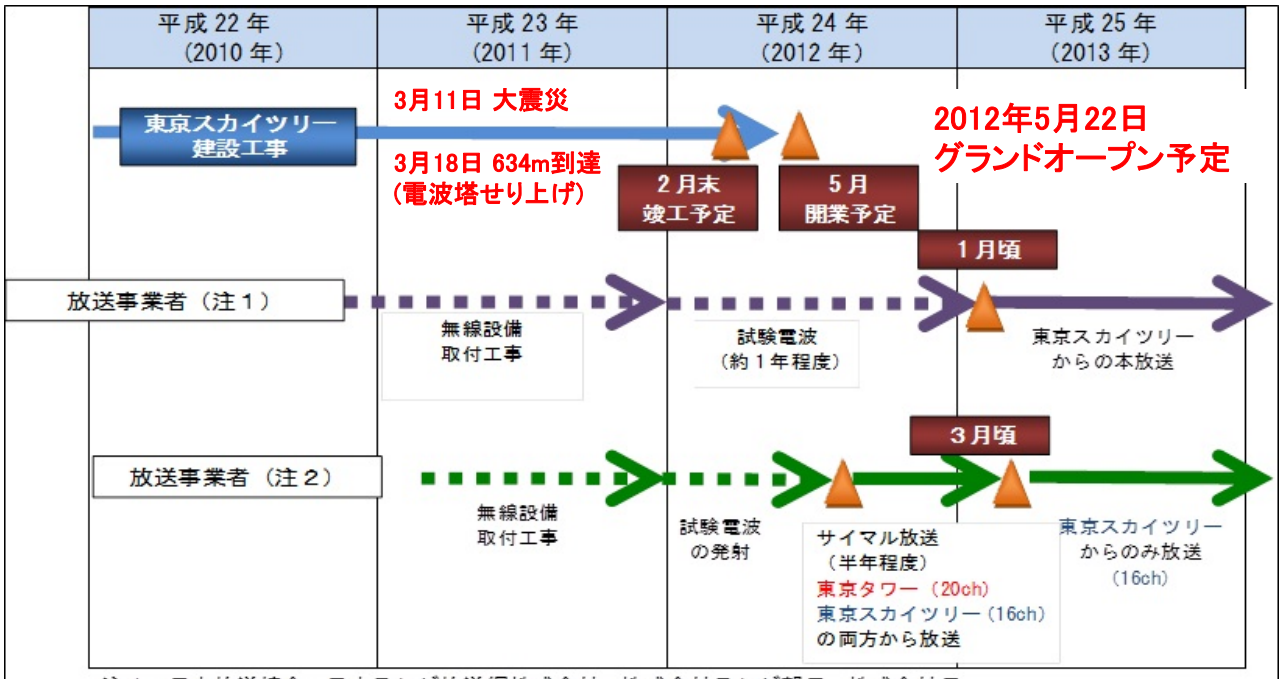
(a)2素子双ループアンテナの構造
(b)等価ダイポールアレー

東京タワー　アンテナ曲がりと対策(2011年3月11日)



・2011年3月11日の地震でターンスタイルアンテナが曲がった.
・上部アンテナを切り離し，かつ送信電力を半分に減力.
・3月16日と4月18日にケブラーロープで補強する工事を実施.

東京スカイツリーでの本放送開始までのスケジュール

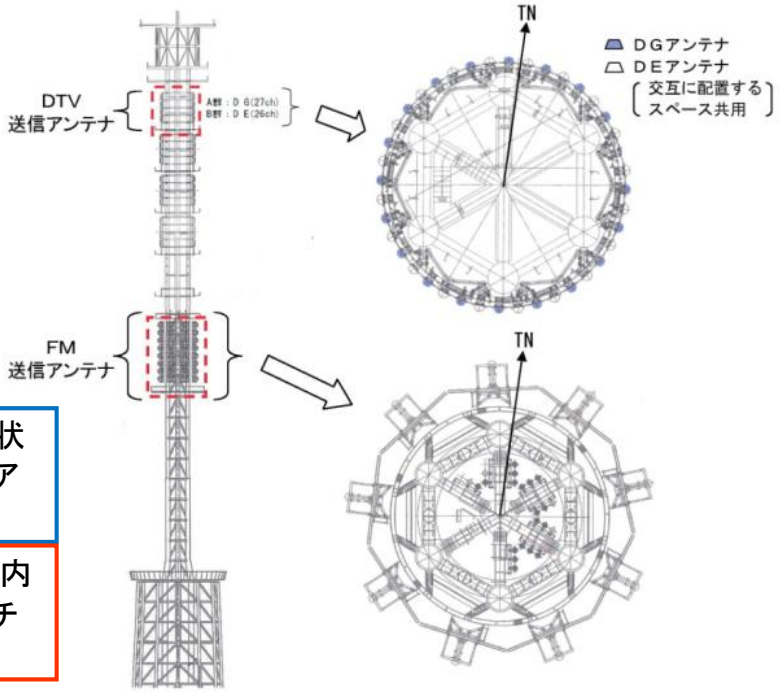


注１：日本放送協会、日本テレビ放送網株式会社、株式会社テレビ朝日、株式会社ＴＢＳテレビ、
株式会社テレビ東京及び株式会社フジテレビジョンを示します。
注２：東京メトロポリタンテレビジョン株式会社を示します。

スカイツリーのデジタルテレビアンテナ

日立高砂工場で試験的に組んだアンテナ
縦1.5m，横幅40cmのアンテナ640個を，
高さ500m付近で，「ゲイン塔」のまわりに
取り付ける(2010年12月18日)
朝日新聞 http://www.asahi.com/

4 L 双ループ4 段20面で1メディア80 基
NHK DG･DE 合計で160 基



ゲイン塔の長さは約140m，形状は6角形で直径は約6m．送信アンテナ1式あたり高さが約10m．

水平面指向性の偏差は3dB以内の無指向性．垂直面はビームチルト2度．

日立電線高砂工場
2010年8月30日

取り付け工事
2010年12月18日

取り付け完了
2010年12月24日

(参考)スカイツリーへのスカイツリーのゲイン塔
リフトアップ完了，634m到達　2011年3月18日

(東京タワーの東京タワーのゲイン塔吊り上げ完了，333m到達　1958年10月14日に相当)

テレビ電波はなぜ水平偏波が多いか？

(1) 一般に水平偏波は垂直偏波より平均電界強度が大きく，また，地形や建造物からの反射波による障害も垂直偏波よりも少ないとの報告が，海外文献にあった．
(R. W. George, “A study on Ultra-High-Frequency Wide-Band Propagation Characteristics”, Proceedings of IRE, Vol.27, Issue 1, pp.28-35, Jan. 1939)
(2) 電気通信学会，ラジオ協会連合のテレビジョン委員会においても水平偏波を推奨していた．
(3) これらを勘案して水平偏波を採用した．

・1930年前後，欧州のテレビは40-50MHz，米国は50MHzと170MHz帯を使用．
・偏波面は米国だけが水平，欧州は垂直．欧州の50MHzでは半波長が3mにもなるため，垂直偏波アンテナのほうが設置が容易．

1930年頃の欧州のテレビ送信アンテナ（垂直偏波）

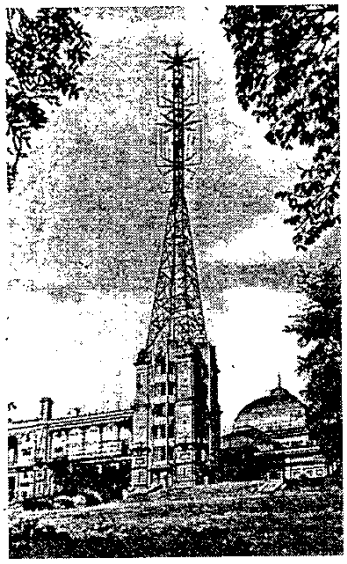


図2－1－1　英国アレキサンドラ・パレスのテレビ放送アンテナ

1928年

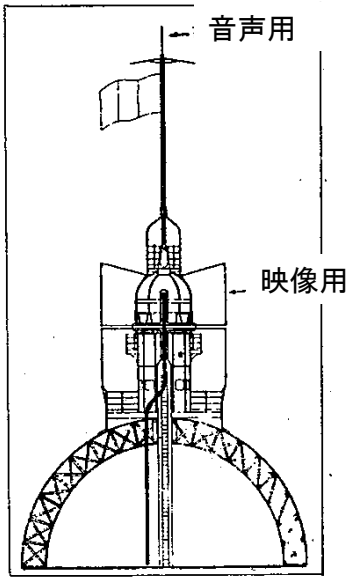
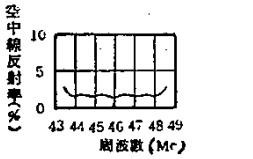


図2－1－2　フランス，エッフェル塔上のテレビ放送アンテナ



エッフェル塔送信空中線周波数特性

1935年

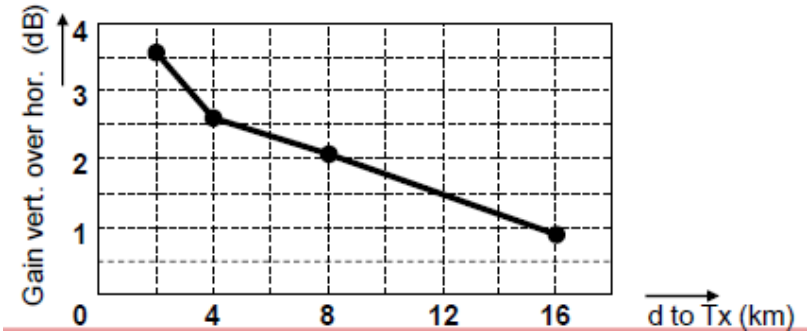
遠藤敬二，テレビ放送アンテナ50年史，兼六出版，1989年
(1939年(昭和14年)のテレビ実験局開設時から50年)

電波伝搬から見た偏波の効果

(Kathrein, 2011年3月　ABU DBS, Kuala Lumpur)

1960年代，ドイツにおけるFM電波の野外測定
- ◆ 垂直偏波の方が水平偏波より，広範囲にわたって，大きく減衰.
- ◆ 垂直偏波の方が水平偏波より，周囲物からの反射に敏感.
- ◆ 垂直偏波の方が水平偏波より，地表近くで高い電界強度を示す.
- ◆ 垂直偏波の方が携帯端末や車のホイップアンテナにより良くサービス.

最近の野外測定(UHF　DVB-T)
- ◆ 垂直偏波の方が水平偏波より，都会の送信機近くで有利である.

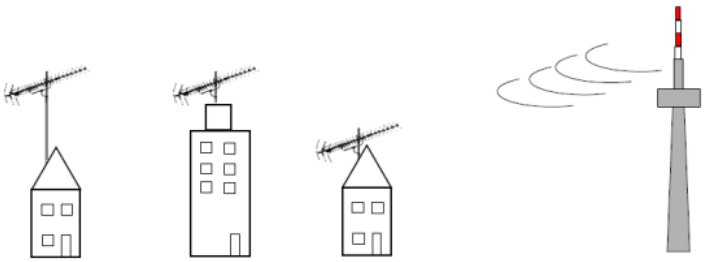


水平偏波と比べた垂直偏波の電界強度(利得)

固定受信のための水平偏波

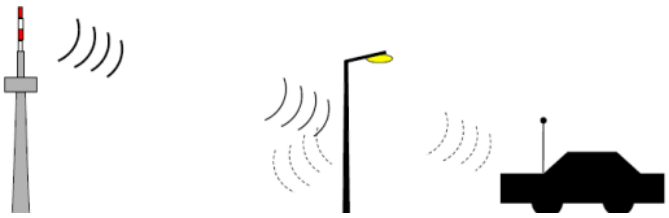
(Kathrein, 2011年3月　ABU DBS, Kuala Lumpur)

- ◆ 家庭などの固定受信では，屋根の上のアンテナは水平偏波で地上高が高い(10m)



移動/携帯受信のための垂直偏波

- ◆ 移動/携帯受信では，地上高が低い(1.5m)
- ◆ 携帯端末用垂直偏波受信アンテナは水平偏波受信アンテナより3-6dB利得が高い.



(参考)日本の移動/携帯通信では垂直/水平偏波共用も使われている

松野，中野，新井，“寄生素子付Haloアンテナ”，信学論誌B，Vol.J92-B，No.9，pp.1431-1439，2009.9

車載用放送受信アンテナ

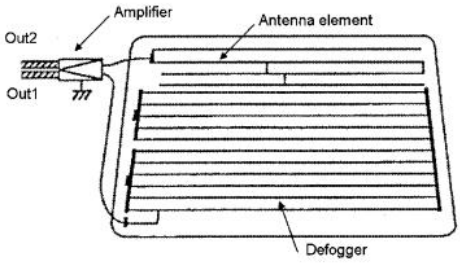


Fig. 1 Window glass antenna.

AM, FMダイバーシティ受信アンテナ
(リアウインドウへの埋め込み)
1980年代半ば
Amplifierがインピーダンス整合器として働き, FMラジオ帯域まで広帯域化

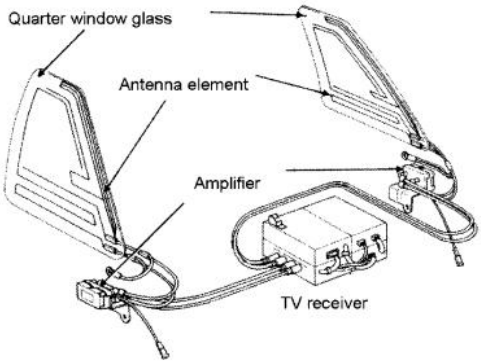
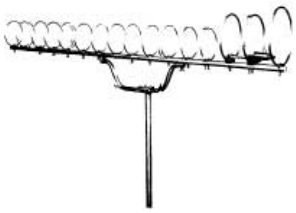


Fig. 2 Diversity antenna system for TV.

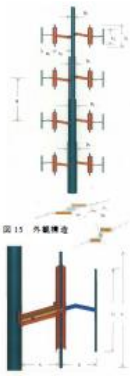
TV受信用ダイバーシティアンテナ

K. Nishikawa, "Land Vehicle Antennas", IEICE Trans. On Commun., Vol.E86-B, No.3, pp.993-1004, 2003.3.

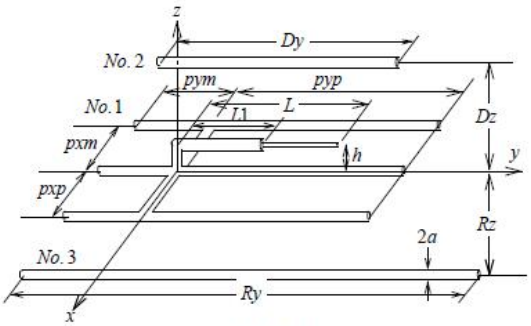
VHF帯, UHF帯放送用各種アンテナ



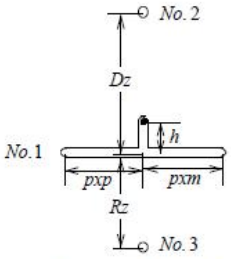
アリムラ技研　リングアンテナ



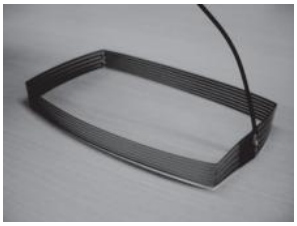
アンテナ技研　モバイルマルチメディア放送
基地局用コリニアアンテナ(AP2009-216)



(a) 鳥瞰図



(b) xz面内の断面図



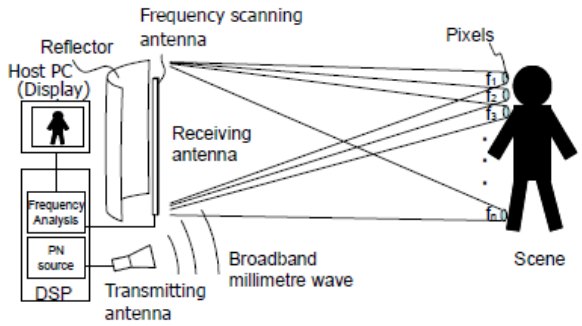
NHK技研　矩形折り返しループアンテナ

長崎大　不平衡逆L給電素子を用いた
UHFテレビ受信アンテナ(AP2009-217)

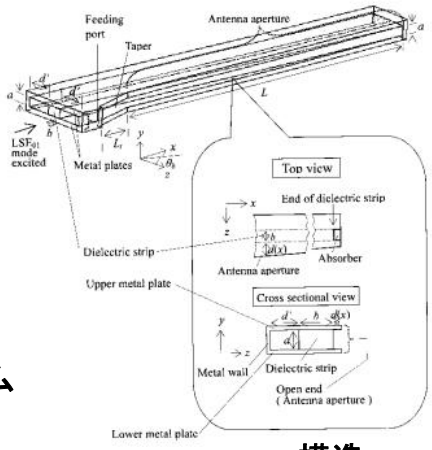
電波テレビカメラ用アンテナ

BSAT

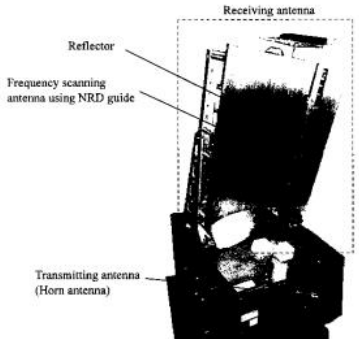
NRDガイド(Nonradiative Dielectric Waveguide)を用いた周波数走査アンテナ(1)



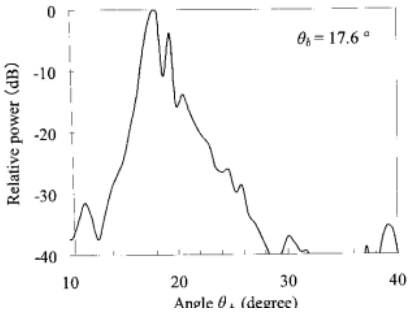
周波数走査アンテナを用いたイメージングシステム



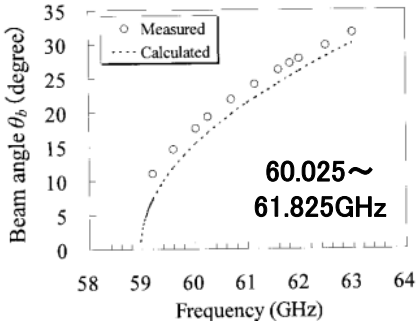
構造



試作イメージングシステム



放射パターン 60.025GHz θb=17.6度

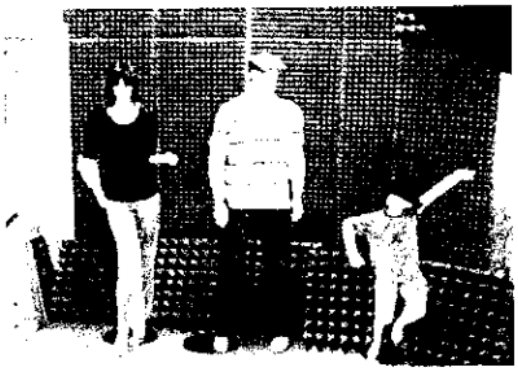


周波数vsビーム角度

電波テレビカメラ用アンテナ

BSAT

NRDガイド(Nonradiative Dielectric Waveguide)を用いた周波数走査アンテナ(2)



光学写真

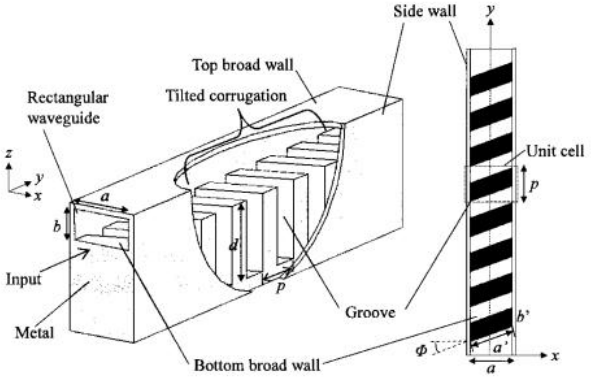
ミリ波イメージングシステム
による撮像画像

NHK技研　岩崎，他，“NRDガイドを用いた60GHz帯周波数走査アンテナ”，信学論(B)，Vol.J94-B, No.2, pp.287-291, Feb. 2011

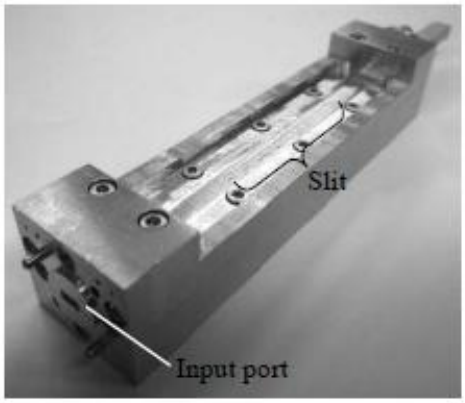
電波テレビカメラ用アンテナ

BSAT

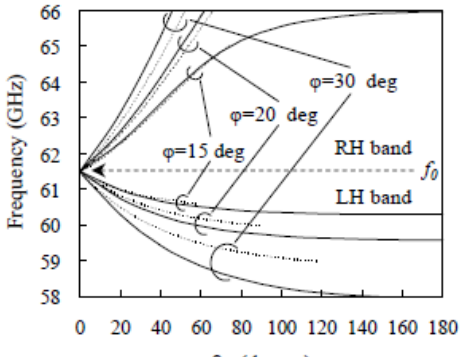
傾斜コルゲーション付右手/左手系導波管を用いた周波数走査アンテナ(1)



傾斜コルゲーション付右手/左手系導波管

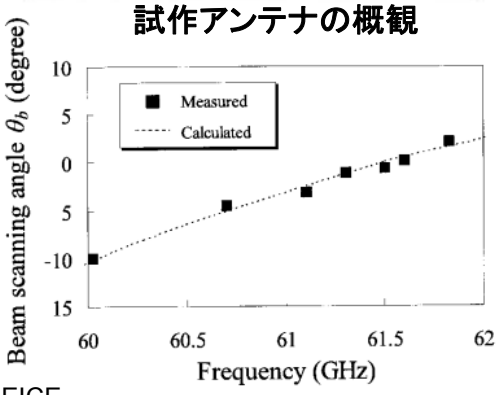


試作アンテナの概観



周波数分散特性

(T. Iwasaki, IEICE Trans. E92-B, 2009.3)



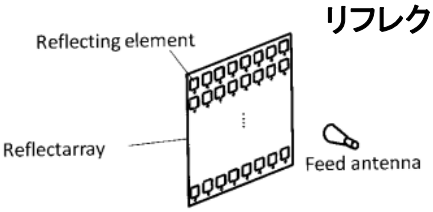
周波数vsビーム角度

電波テレビカメラ用アンテナ

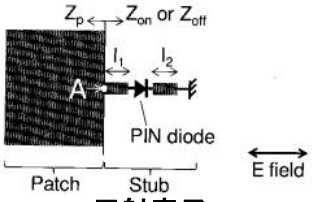
BSAT

リフレクトアレーを用いた電子走査アンテナ(1)

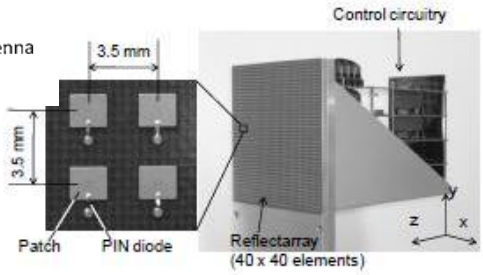
(鴨田, 信学技報AP2009-219)



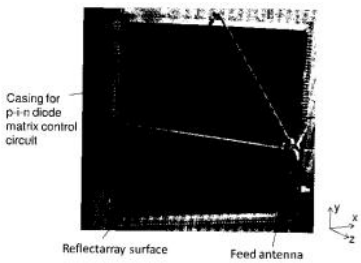
リフレクトアレーアンテナ



反射素子
PIN On/Offで0/180度



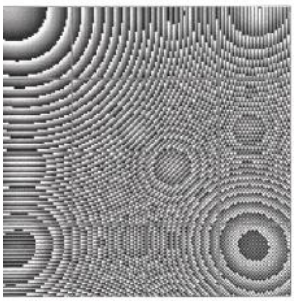
40x40素子



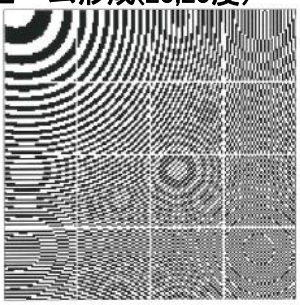
160x160素子
574(114λ)x574mm

試作したリフレクトアレー

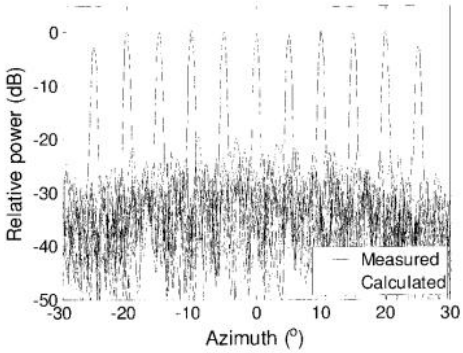
ビーム形成(25,25度)



反射位相設定値(連続)



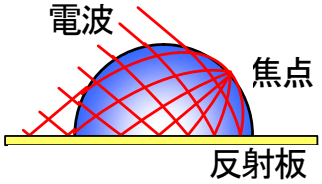
量子化位相 (0/180度)



ビーム走査特性

FPU, SNG用アンテナ

FPU用メッシュアンテナ（NHK技研）



レンズアンテナ型CS中継車

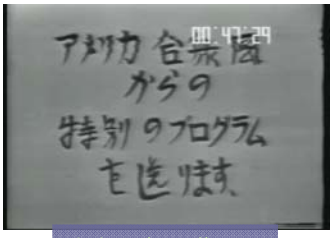
SNG用メッシュアンテナ（NHK技研）

CS 移動体送信システム（CSハンター）

放送の歴史(2)

■ 衛星放送

- 1960年 （ローマオリンピック 短波回線電送）
- 1963年 米国から初の衛星中継
  （ケネディー大統領暗殺）
- 1964年 東京オリンピック 衛星国際中継
  （ABU(アジア太平洋放送連合)設立）
- 1965年 インテルサットI号打ち上げ
  前田会長(NHK)衛星放送構想発表(8月)
- 1966年 衛星放送研究開始(NHK技研)
- 1978年 日本初の実験放送衛星の打ち上げ
- 1984年 衛星放送実験放送開始（BS-2a）
- 1989年 衛星放送の本放送開始（BS-2b）
- 2009年 衛星放送20周年（BS20歳）



米から初の衛星
による中継映像

■ ハイビジョン

- 1964年 ハイビジョンの研究開始
- 1989年 ハイビジョン実験放送開始

■ デジタル放送

- 2000年12月 BSデジタル放送開始
- 2003年12月 地上デジタル放送開始

BSデジタル放送の
オープニングセレモニー

本社阿川社長と特別インタビュー

放送衛星をNHKで

今や世界各国も研究中

1965年(昭和40年)9月2日
電波タイムズ，前田NHK会長インタビュー
(衛星放送構想発表について)

1. 1965年6月にヨーロッパ放送連合総会に出席．アメリカのアーリーバードによる衛星中継放送の議論．ヨーロッパでは衛星中継放送を前提に議論．人工衛星による放送もしくは世界的中継は時間の問題(実用化の時期)との印象．
2. 衛星自体が放送のために作られた放送衛星を日本で早く打ち上げる必要．欧米に遅れないよう．
3. テレビを経済的に全国100%カバーするための解決策(難視聴解消)．
4. アジア，アフリカとの結びつき．前年1964年のABU(アジア太平洋放送連合)の第1回総会(シドニー)で，テレビジョンの教育放送，日本から番組を提供，番組交換に人口衛星を使う要望を受けた．

ABUの設立とABUのための放送衛星システム

(1) 1964年11月13日-23日，シドニー，第1回ABU GA (アジア太平洋放送連合　総会)(ABU設立)

◆開発途上国のための衛星の打ち上げと教育番組提供の要望

(2) 1965年10月18日-29日，東京，第2回ABU　GA

◆ 衛星通信に関する研究グループを設立

(3) 1968年11月13日-23日，インド，第5回ABU　GA

◆ 開発途上国のための放送衛星研究を決議．1つの放送衛星システムが提案された．

(地上放送のUHF化．600mタワー構想→放送衛星進展で立ち切れ．)

(4) 1969年10月21日-24日，ニュージーランド，第6回ABU総会

◆ NHKがABU地域のための放送衛星設計を寄与．

◆ 2つの研究グループ(宇宙通信とABU地域のための放送衛星)を設立(主査：野村技師長(NHK))

(5) 1972年7月，ABU-SATをCCIR会合に寄与(Doc.5-1A/11)

NHK技研 研究史 1960-69, NHK総合技術研究所, 1971年(昭和46年)より

24　放送衛星の研究

で，当所としては，放送衛星の将来の利用形態についてのシステム工学的研究を軸に，衛星用テレビ中継器，アンテナなどの搭載機器の調査，素子，部品の宇宙環境における信頼性，太陽電池の能率改善，放送衛星に適した音声およびテレビ信号の伝送方式，衛星放送用の簡易受信機などの研究を進め，アジア放送連合の要請に応える衛星放送システムの提案をはじめアメリカ NASA のＡＴＳ-Ｉ 号衛

（木村悦郎）

(i)　国際ラジオ放送用衛星システム　:短波ラジオ放送に代わるもの. 8時間軌道と24時間軌道の衛星利用を検討.

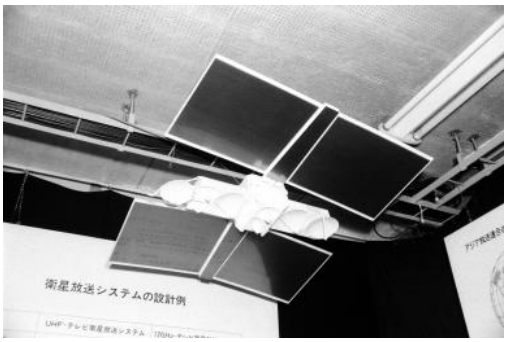
(ii)　ABU(アジア太平洋放送連合)のための放送衛星システム:

(a) 4GHz帯　:受信アンテナ7m以上. 番組交換を主目的.

(b) UHF帯　:使用可能なchが2. 受信アンテナ2.5m, 衛星重量500kg

(c) 12GHz帯:1衛星に8-11ヶ国向けの送信機とアンテナを搭載. 第1期の衛星重量400kg, 受信アンテナ2.5m. 第2期の衛星重量1トン, 受信アンテナ1.4m.

ABU-SAT (NHK提案)



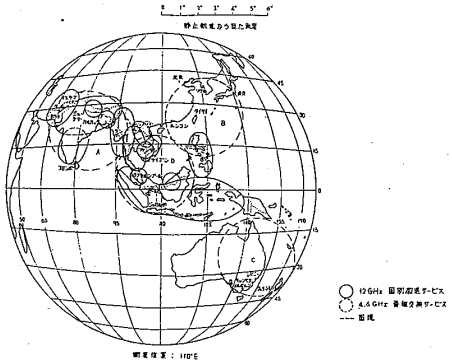
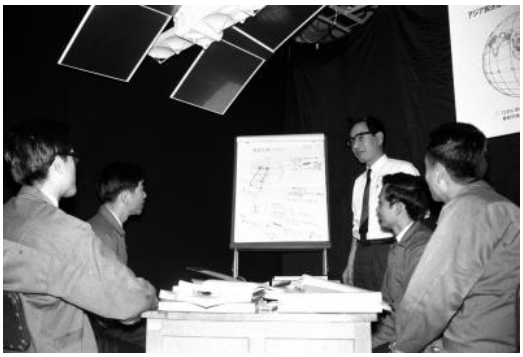
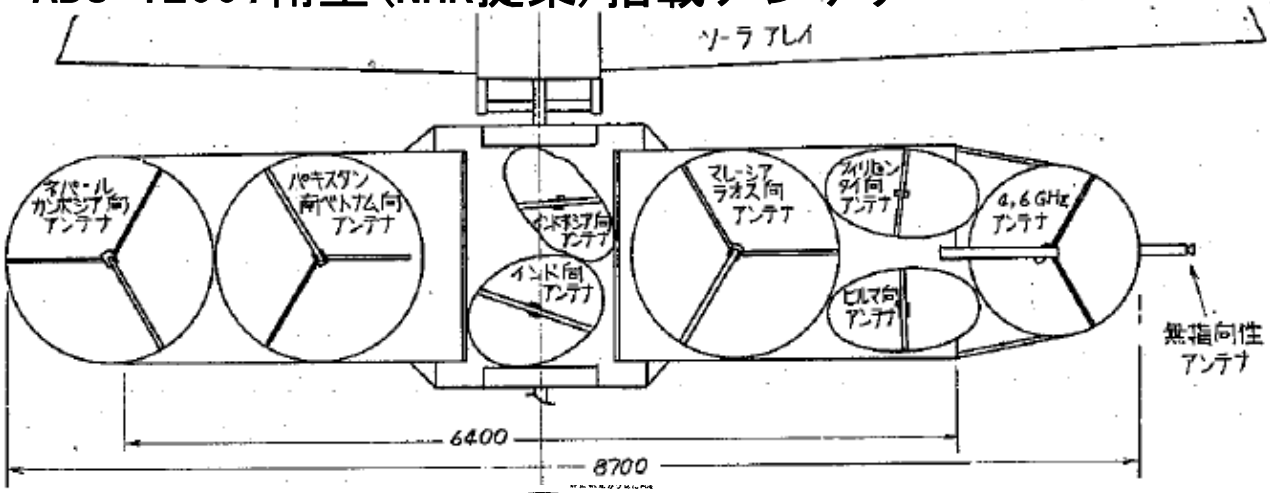


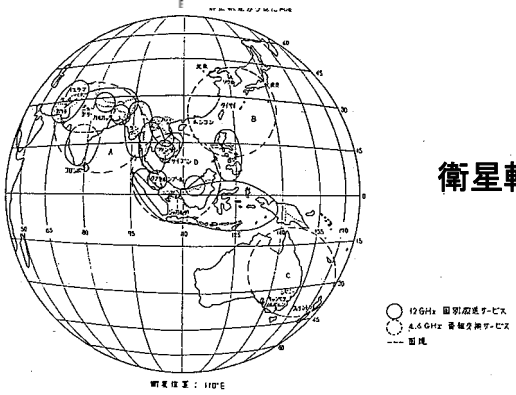
図4.18　ABUSATで想定したサービスエリア

放送衛星模型 ，ABUへ提案(1969年)，第24回技研公開展示 (1970年)



ABU-12001衛星(NHK提案)搭載アンテナ





衛星軌道位置:東経110度

1970年代(昭和46年～昭和55年) の放送衛星開発

表4.14 放送用衛星の研究・開発（年次計画）

(46.12.7改訂)

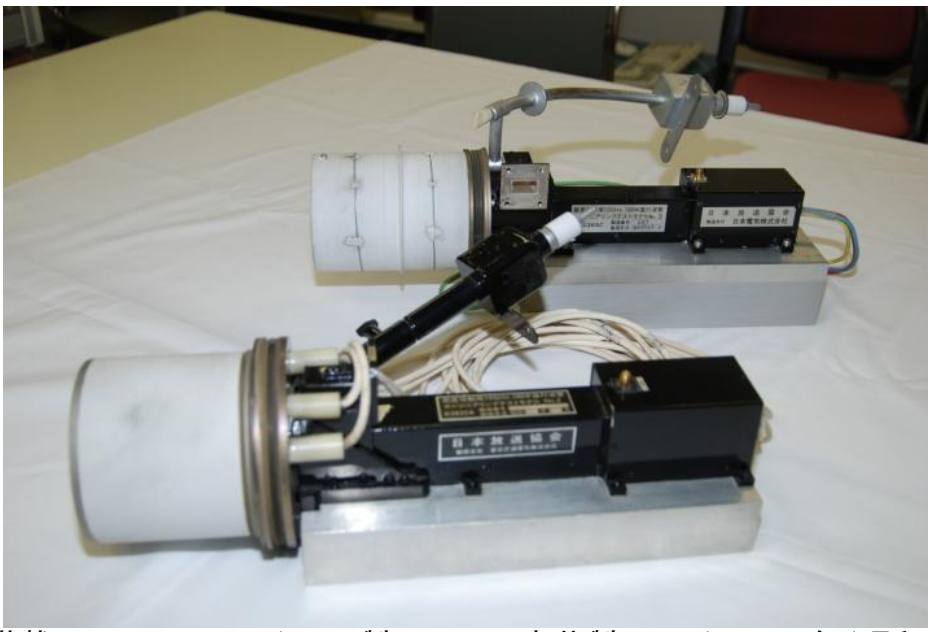
項目 ＼ 年度	46 (1971)	47 (1972)	48 (1973)	49 (1974)	50 (1975)	51 (1976)	52 (1977)	53 54 55 (1978)(1979)(1980)	56年以降 (1981年以降)
国内外の計画 ＊ ATS計画			ATS－F打上 (900kg)	インFTV実験 ヨーロッパ12GHz 70,30GHz伝送伝搬実験	ATS－G打上 (900kg)	ATS－H 1kw衛星を計画			
国内外の計画 通信・放送衛星の計画			カナダ 通信衛星 打上げ / シンフォニー 実験衛星 打上げ (フランス・ドイツ)	NASA,12GHz 200w実験衛星 計画	ヨーロッパ通信衛星計画 (EBU番組交換機能を含む 200kg)			ヨーロッパ通信衛星1，計画(500kg) EBU直接放送衛星の計画検討	
国内外の計画 宇宙開発事業団の計画					ETS－1,電離層観測衛星打上げ計画	ETS－Ⅱ打上げ計画 (100kg 静止)	ECS打上げ計画 (100kg 静止)		
	[CCIRの動き]＊＊	中間会議	最終会議	総会					
放送衛星方式の設計および電波伝搬の研究	設計要求事項のまとめ	設計の確立	12GHz国際チャンネル計画 / 具体化計画の策定		(まとめ)	わが国を含むアジア諸国の放送衛星利用計画推進			56年 日本を含むアジア地域の国別放送衛星
	ABU衛星システム						実験用静止放送衛星 250kg級 (ECSに続く，国の計画として，提案)		
	12GHz降雨減衰測定 (マレーシア)	完							
◦衛星各部の研究	音声多重，TV方式(ATS－1実験) 伝送方式		〈準備〉 ATS－F伝送・受信実験	〈実験〉	衛星放送伝送方式				ワイド・テレビジョン方式などと調和した衛星放送伝送方式の確立
	12GHz衛星搭載用中継器			20GHz帯，ミリ波搭載機器，回路					
				ECS用 12GHzエンジニヤリングモデル 宇宙開発事業団へ移行		ECS 打上・実験	技術データ		
	UHF低雑音受信機								
◦衛星放送受信装置の研究	12GHz受信機，コンバータ					受信システム，受信機システム 番組交換，制御システムの実験			高性能で普及性のある受信機

NASAからのCTSの受信実験参加の要請に基づき，米，加での衛星放送受信実験
・当時はマイクロストリップタイプのコンバータが主流　で12GHz帯でNF=6～12dB
アメリカ　スタンフォード大学　NF 8dB　ワシントン大学　NF 7.7dB
カナダ　CRC　NF 6dB
・NHKの実験参加受信機　立体平面回路使用で　NF 4.2dB
アンテナ径60cmで評価SN 45.7dB，他社のアンテナ径は2m以上（内海 MWE2007）

NHKでの32年

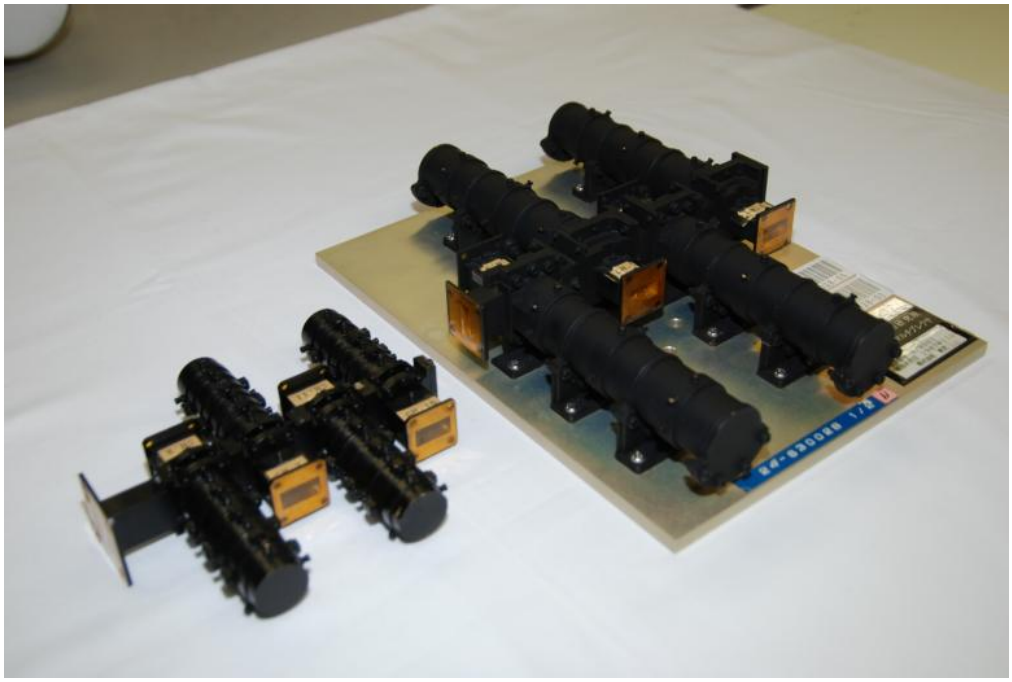
1978(昭53)年		BSE(実験放送衛星)打上げ
1979(昭54)年	NHK入局　盛岡放送局	
1981(昭56)年	『放送衛星――その法制度的研究』(日本放送出版協会, 1981年), 山本 草二	
1982(昭57)年	技研　放送衛星搭載用アンテナの研究	
1984(昭59)年	**楕円コルゲートホーン試作**	BS-2a打上げ
1986(昭61)年	**鏡面修整アンテナ(2枚鏡)**	BS-2b打上げ
1990(平2)年	**鏡面修整アンテナ(1枚鏡)**	**BS-3a打上げ**
1991(平3)年	**NAB展示(鏡面修整アンテナ)**	**BS-3b打上げ**
1992(平4)年	21GHz帯マルチビームアンテナ	
1997(平9)年	WRC-97(再プラン検討決定)	**BSAT-1a (1b)打上げ**
2000(平12)年	WRC-2000(12GHz帯再プラン)	
2001(平13)年	ITU-R WP6S副議長(2002-2007)	**BSAT-2a打上げ**
2003(平15)年	WRC-2003(12GHz帯規則)	**BSAT-2c打上げ**
2006(平16)年	ABU技術委員会議長(2006-2010)	

12GHz帯TWT(進行波管増幅器)



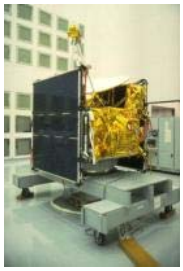
・衛星搭載用100W TWT(NEC製LD4365, 東芝製E3822), 1978年(昭和55)
・100W以上の高出力型で放送衛星搭載用TWTの国産化を目指した第一次試作. 後のBS－3搭載用TWTの基になった. 放送衛星搭載用TWTの国産化を目標に研究開発を開始したものである. 速度テーパや4段コレクタを採用し高効率化を図った.
・基本的な電気設計はNHKが行い, 東芝株式会社および日本電気株式会社が製作.
備考:(社)電子情報通信学会編　日本における歴史的マイクロ波技術資料保存目録　掲載品

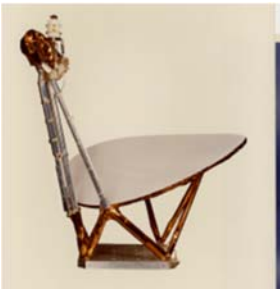
放送衛星搭載用入出力マルチプレクサー



・楕円関数型２重モードフィルターを用いたマルチプレクサー
・入力フィルター：８段４極２重モードフィルター(隣接チャンネルで−40dB)
・出力フィルター：４段２極２重モードフィルター（隣接チャンネルで−15dB）
・BS−3搭載用マルチプレクサーの開発に反映

BS−2搭載用アンテナ





JAXA提供

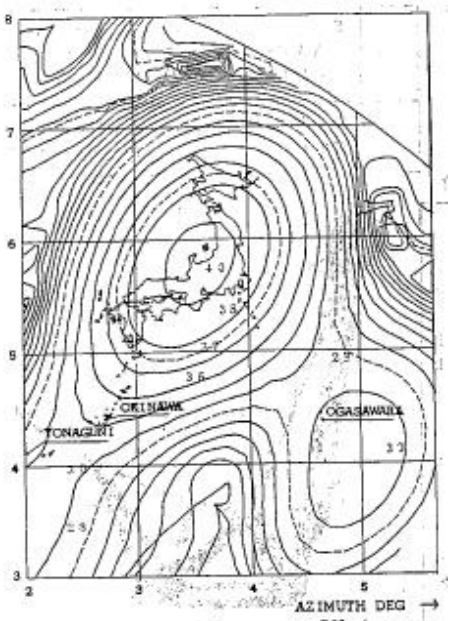
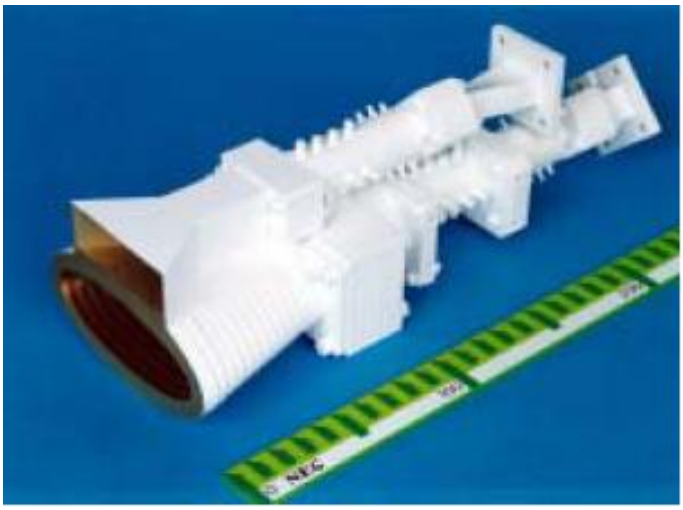
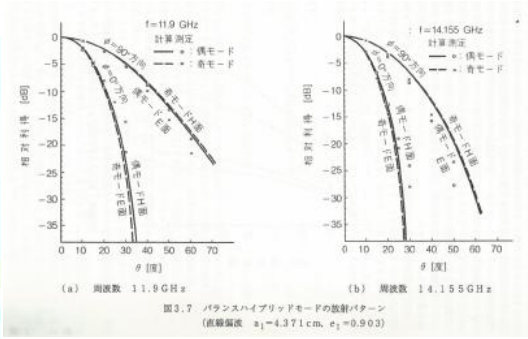


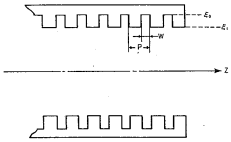
図２　ＴＶ信号（送信：11.96 GHz）

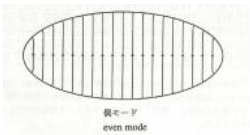
・1984年 BS−2打ち上げ
・アンテナ方式：円形ステップホーン（3本）給電オフセットパラボラアンテナ
　　（開口径103cm×159cmの楕円形状）
・周波数：　14GHz（上り）／12GHz（下り）帯
・偏波：　右旋円偏波
・日本本土（利得37dBi以上）から沖縄，南西諸島，小笠原諸島（利得28dBi以上）までをカバーする高度成形ビーム.

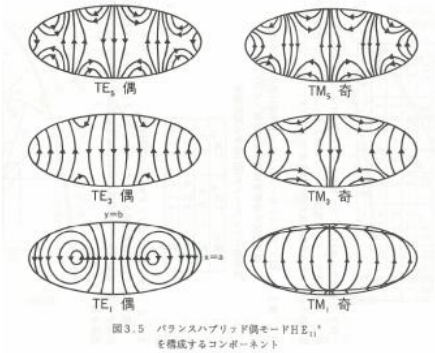
楕円コルゲートホーン





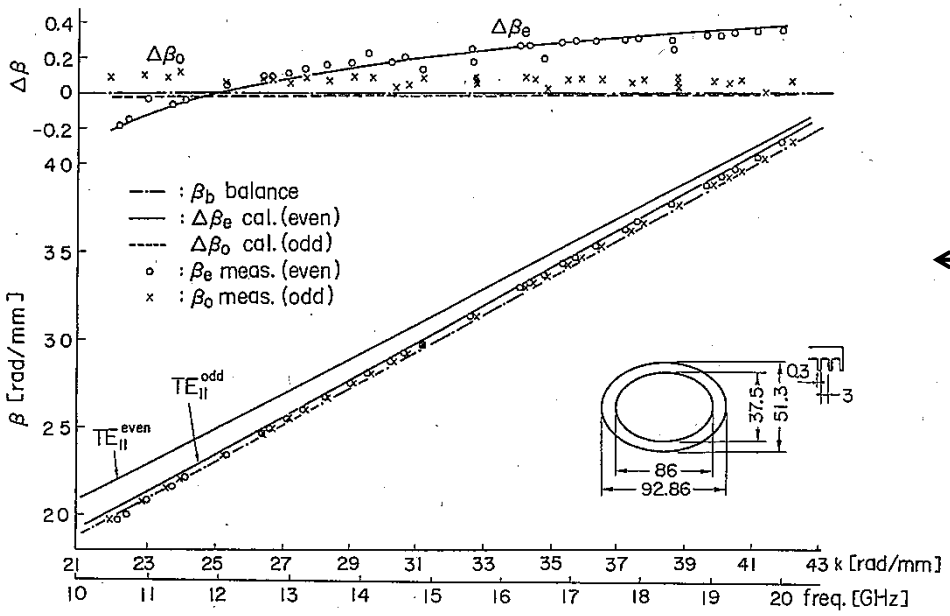


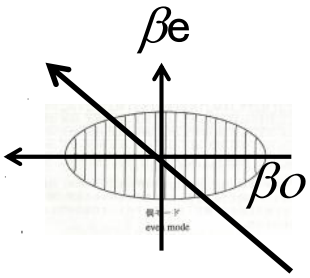




・楕円コルゲートホーンと長方形ホーン給電器（NEC製），1984年（昭和59）
・コルゲートホーンは広帯域（12/14GHz帯)にわたって良好な円偏波特性
・楕円反射鏡を効率よく照射する楕円（日本本土と沖縄）と長方形（小笠原用）開口
・BS-3搭載用アンテナの開発に反映

楕円コルゲートホーンの位相定数





ドミナントハイブリッドモードHE_{11}のk－ β特性

BS-3搭載用アンテナ

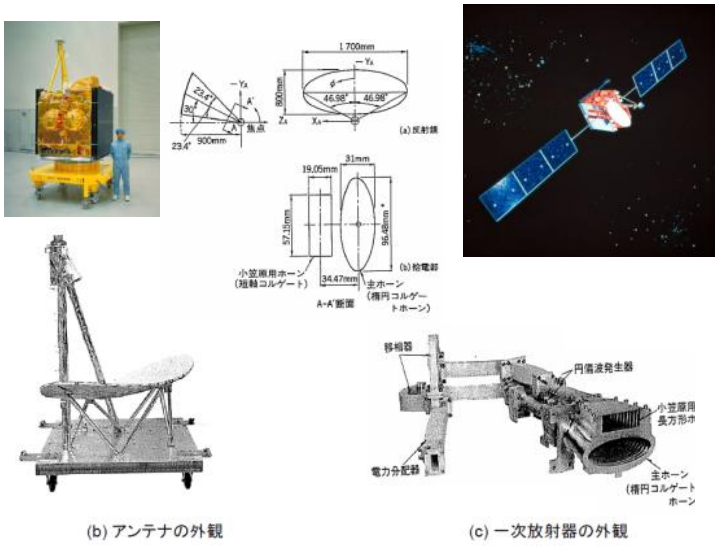


図1.4 BS-3搭載アンテナ[9]

JAXA提供

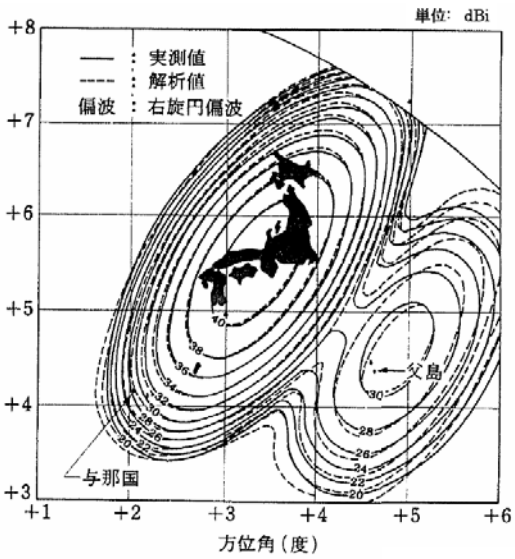


図1.5 BS-3搭載アンテナの放射パターン[9]

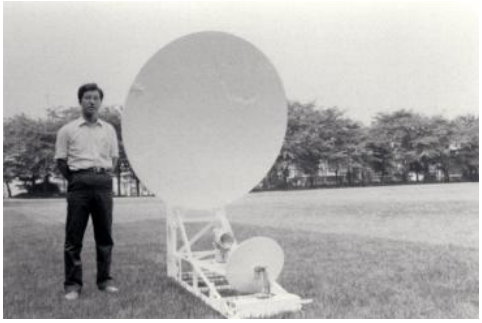
- 1990年 BS-3打ち上げ
- アンテナ方式：楕円コルゲートホーンと長方形ホーン給電オフセットパラボラアンテナ
  （開口径80cm×170cmの楕円形状）
- 周波数： 14GHz（上り）／12GHz（下り）帯
- 偏波： 右旋円偏波
- 日本本土と沖縄（利得37dBi以上）から南西諸島，小笠原諸島（利得28dBi以上）までをカバーする高度成形ビーム.

国産放送衛星の変遷

（NASDA NOTE 2000より）

BSE (実験放送衛星)	1978(昭53)年打上げ@米国，デルタロケット 約350kg（静止軌道上初期） 2トラポン(100W)＋予備1 約154億円(国) 東芝，国産化率 15%	(1) 衛星放送システムの技術的条件の確立 (2) 制御，運用技術の確立 (3) 受信効果の確認
BS-2a, 2b (実用放送衛星)	1984(昭59)年，1986年(昭61年)打上げ@種子島，N-IIロケット 約350kg（静止軌道上初期） 2トラポン(100W)＋予備1 約262億円 *1(NASDA, RRL, NHK) 東芝，国産化率 31%	(1) テレビジョン放送難視聴の解消等 (2) 放送衛星に関する技術の開発
BS-3a, 3b (実用放送衛星)	1990(平2)年，1991年(平3年)打上げ@種子島，H-Iロケット 約550kg（静止軌道上初期） 3トラポン(120W)＋予備3 約374億円*2 (NASDA, CRL, NHK, WOWOW) 日本電気，国産化率 83%	(1) BS-2サービスの継承．沖縄，小笠原等の離島を含む日本全土への衛星放送サービス. (2) 増大かつ多様化する放送需要に対処 (3) 特色(a)高出力化(120W)，(b)多チャンネル化(3ch)，(c)長寿命化(5→7年)，(d)国産技術の採用(アンテナ，中継器，AKM等)

仮想マルチホーンを用いた鏡面修整アンテナ



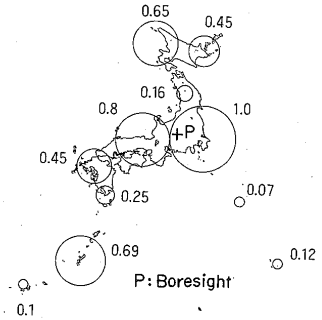


図 4　仮想マルチビームの位置と電力比(図中の数値は励振電力(相対値))

図 2　主反射鏡入射電界の振幅分布（dB）

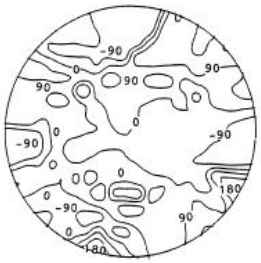


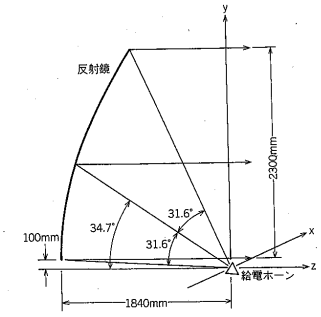
図 3　主反射鏡開口面上の位相分布（deg）

図 4　主偏波放射パターン 12(GHz) 単位 (dB)

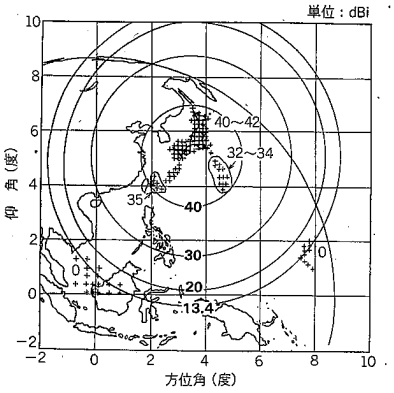
文献:正源和義, 王丸謙治:“放送衛星搭載用鏡面修正複反射鏡アンテナ”, 昭62信学総全大, 633, 1987

⇒　鏡面段差の解消

物理光学法を用いた鏡面修整アンテナ



2 図　原形アンテナの構造

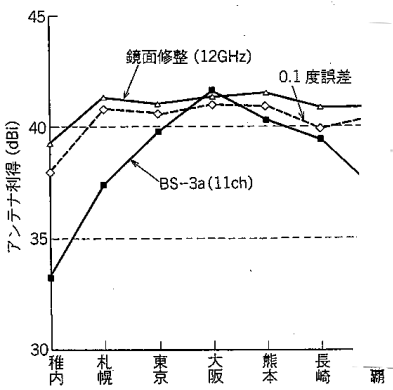


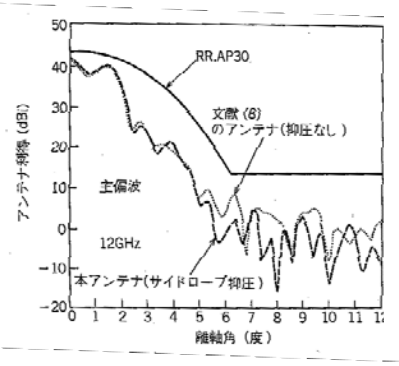
3 図　利得拘束点(124 点)

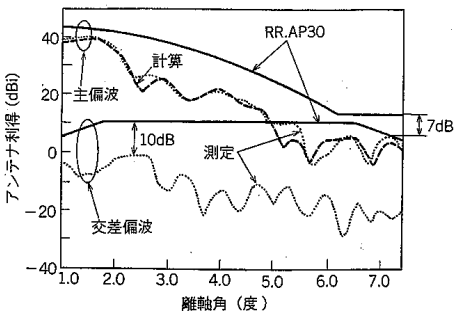
遠方界の拘束利得を満たすように鏡面を修整（背景に当時のコンピュータ性能の向上．大型アンテナ搭載の可能性）

⇒・鏡面段差の抑制
・サイドローブの抑制

1枚反射鏡⇒振幅分布固定



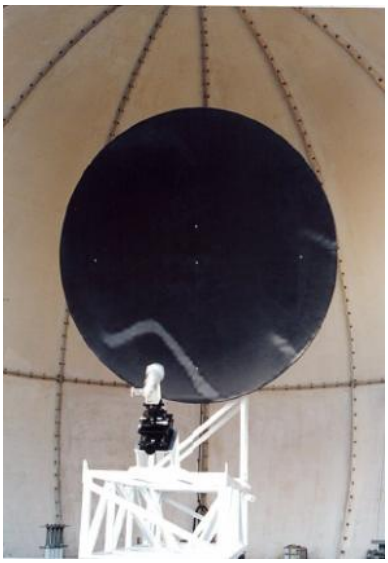




アンテナ利得の均一化　　サイドローブの抑制

主偏波，交差偏波ともRR　AP30を満たす

放送衛星搭載用鏡面修整アンテナ



鏡面修整アンテナ
（レドームに収容して測定している様子）
NEC製　1991年(平成3)

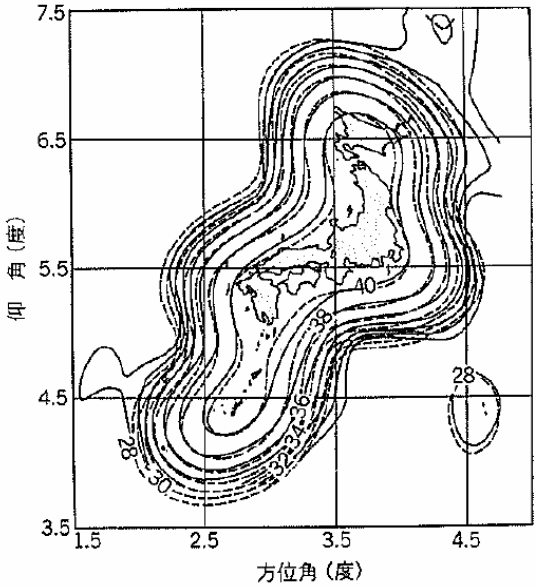


図1.7　鏡面修整アンテナの主偏波放射パターン(dBi) (13)
———— 計算値　---------- 測定値(12GHz)
ピーク利得(計算値:41.7dBi, 測定値:41.8dBi)

1.アンテナ方式：鏡面修整反射鏡アンテナ（給電は円形コルゲートホーン，反射鏡は開口径2.3mの円形）
2.周波数：　12GHz帯
3.偏波：　右旋円偏波
4.日本本土と沖縄で利得40dBi以上，南西諸島，小笠原諸島を利得28dBi以上でカバーする高度成形ビームアンテナ.

BSAT-2衛星搭載アンテナ

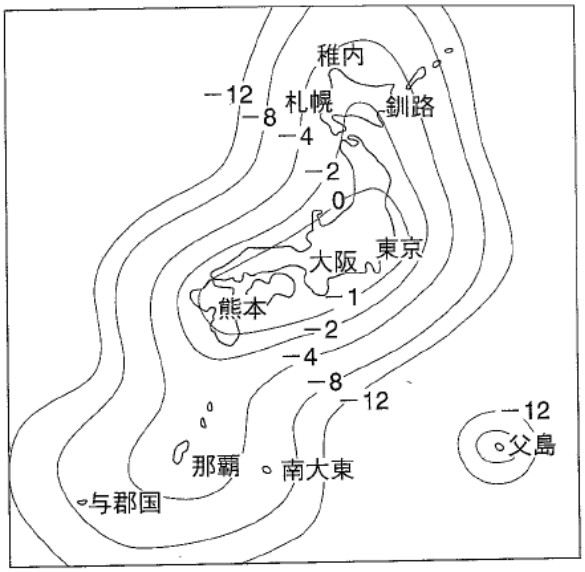


図 10・5　送信アンテナ利得パターン

21GHz帯放送衛星搭載用マルチホーン鏡面修整アンテナ

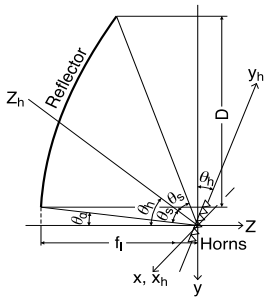
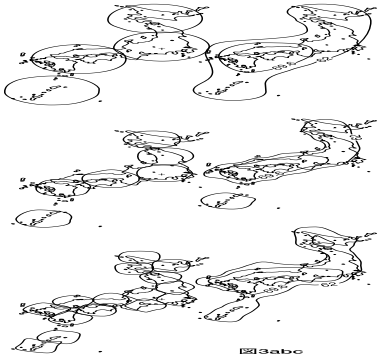


図4



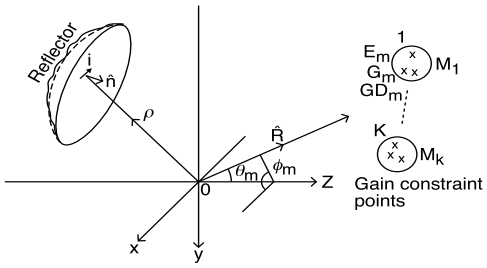
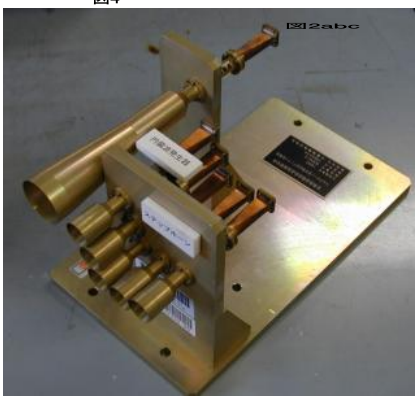


図8



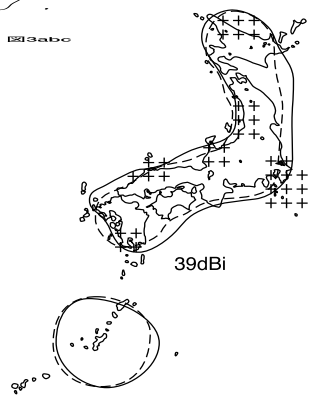


図10

従来法：位相最適化と鏡面修整という2 段階

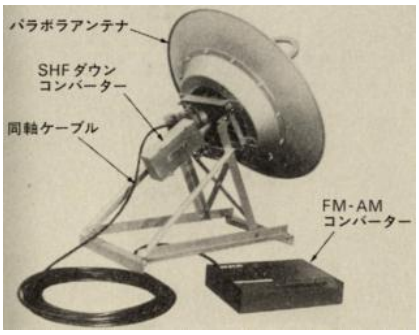
本手法：最適化終了と同時に修整鏡面形状を決定

⇒計算時間の短縮

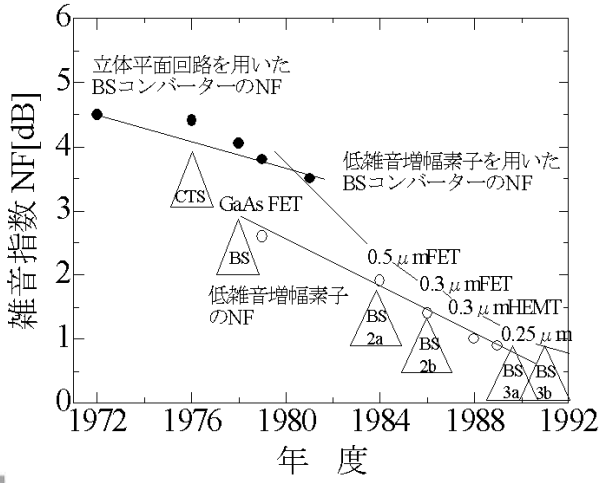
マルチホーンアンテナと6給電ホーン

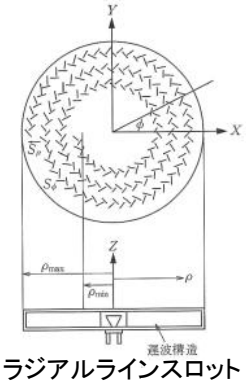
マルチホーン＋鏡面修整

衛星放送受信用アンテナ



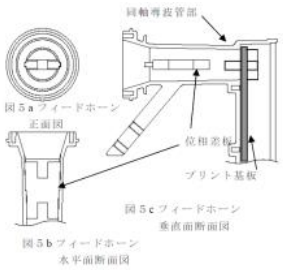
試作衛星放送用受信機（1978年,WARC-BS基準, BS“ゆり”の受信実験に用いた試作1号機）





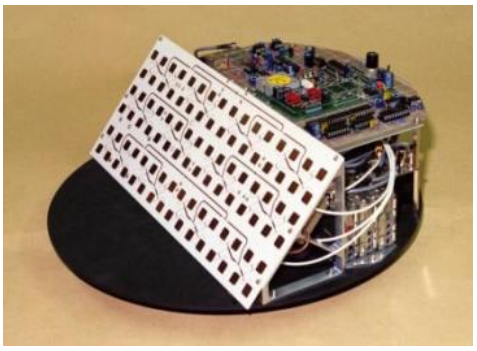
ラジアルラインスロットアンテナ（東工大）

ヘリカル給電反射鏡アンテナ（法政大）

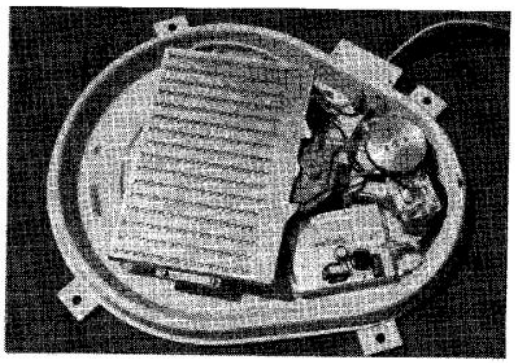


BS+CS右旋+CS左旋(2.6GHz幅)（マスプロ電工, 2010年）

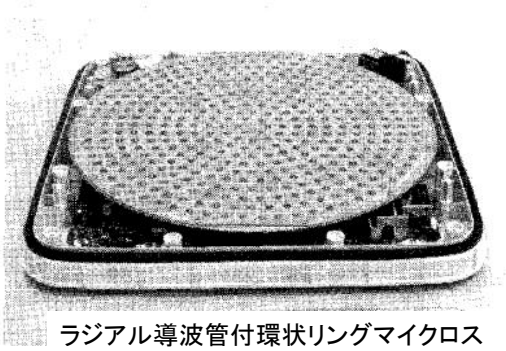
車載用BS移動受信アンテナ



マイクロストリップアンテナアレー（NHK技研）

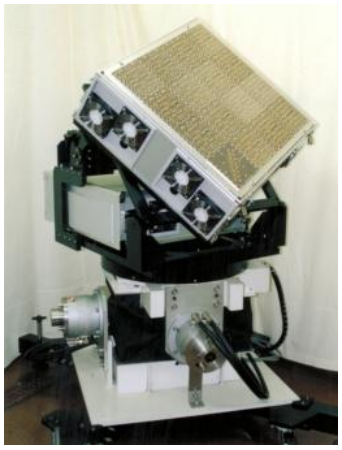


導波管スロットアレー（東工大）



ラジアル導波管付環状リングマイクロストリップアレー（トヨタ）

SNG用平面アンテナ



（1997年NHK技研公開）

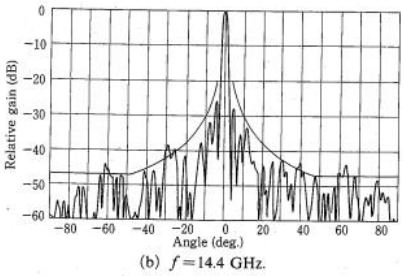


Fig. 13 Measured radiation pattern in the diagonal plane (ϕ= 45 degrees).

マスクは勧告ITU-R S.580

Table 2: Parameters of digital signals

Transmission mode	HQ	Low C/N
Video bit rate	11 Mbps	7 Mbps
Error correction	Reed-Solomon coding(240,225)	
	Viterbi decoding R=3/4	Viterbi decoding R=1/2
Transmission bit rate	17 Mbps	17 Mbps

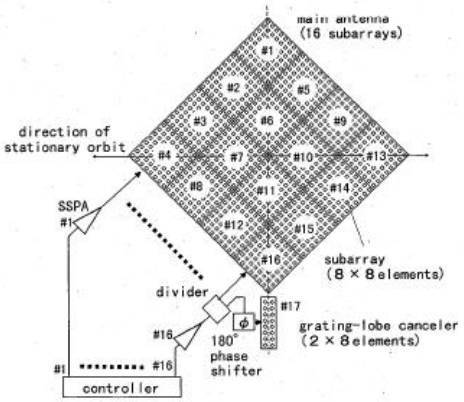


Fig. 6: Structure of the flat antenna with a grating-lobe canceler

フェーズドアレーアンテナ：
新しい技術は新しい技術基準（＝規則）が必要.
既存の枠組みではだめ.
新しい周波数（スペクトル）が必要.

放送事業者が描く将来衛星放送のイメージ
～究極の高臨場感システムを実現する衛星放送～

BSAT

リアルタイムに遠くの情景をありのままに見る高臨場感放送を21GHz帯放送衛星で実現

現状	12GHz帯放送衛星はプランの12チャンネルを全て利用して放送（2012年3月～） 地上デジタル放送によるハイビジョン放送
ニーズ	ポストハイビジョンの次世代放送サービスとして， ハイビジョンを超える臨場感と没入感のあるスーパーハイビジョン放送が期待される

走査線4000本級の超高精細映像

ビデオウォールのような大画面
70～200インチでも十分な画質

極薄型・軽量パーソナル画面
400dpi（多値画像解像度）以上のグラビア画質の
動画をどこでも楽しめる

超広帯域な伝送路が必要

情報レート
・非圧縮　約72-144Gbps
・画像圧縮後　百数十Mbps
～数百Mbps

21GHz実験衛星
による実験放送

21GHz帯衛星放送

放送方式の実証（伝送技術等）
降雨減衰補償技術の実証（サービス時間率の検証）
中継器の性能実証
家電製品（ディスプレイ・記録機器等）の開発の促進
周波数権益の確保

BSAT

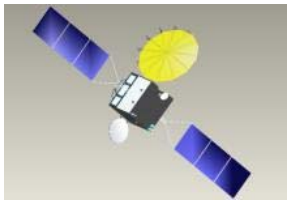
21GHz帯衛星放送

周波数

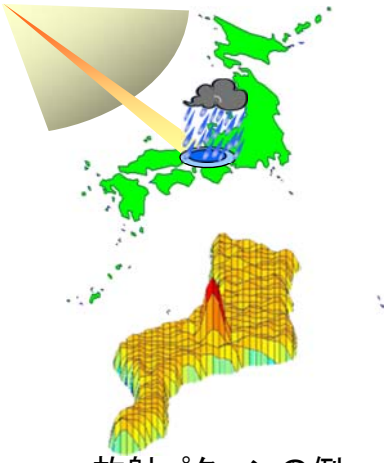
21.4GHz～22GHz（600MHz）

降雨減衰補償技術

全国をほぼ均一な強さの電波で照射しつつ
雨が降っている場所だけに電波を強くする



フェーズドアレーアンテナ
＋高効率増幅器

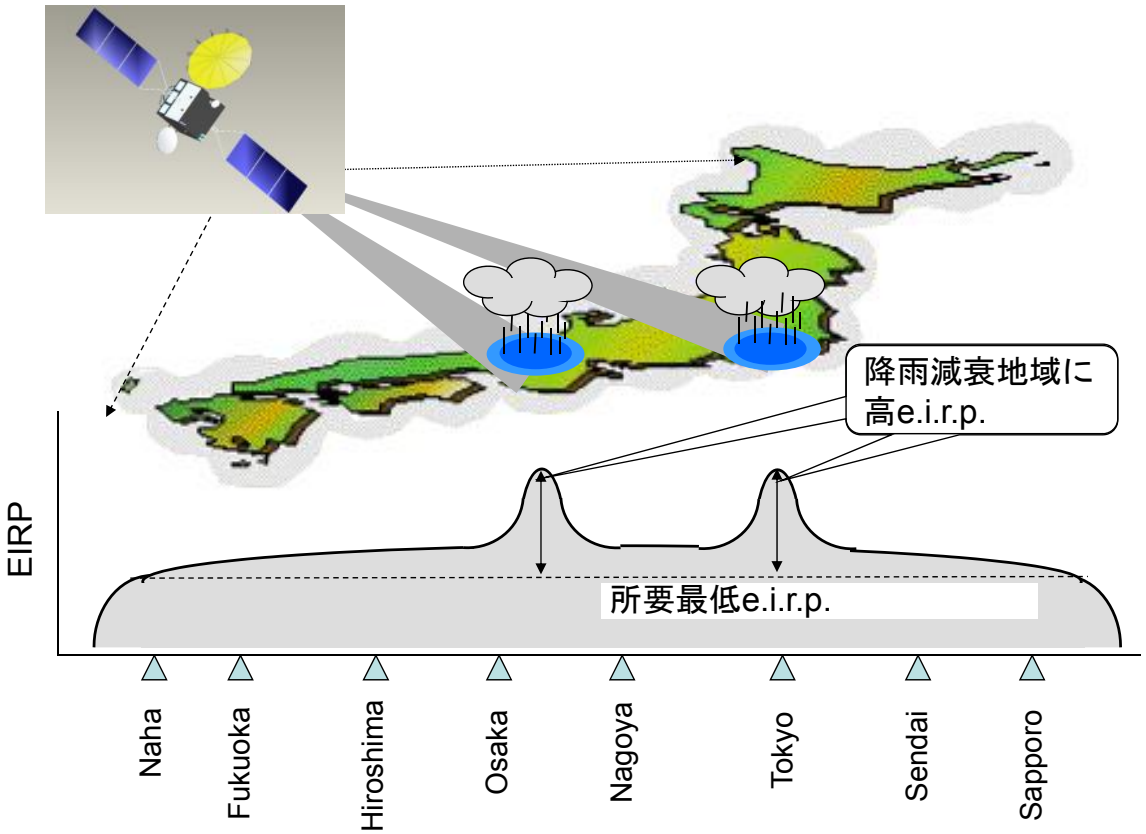


放射パターンの例

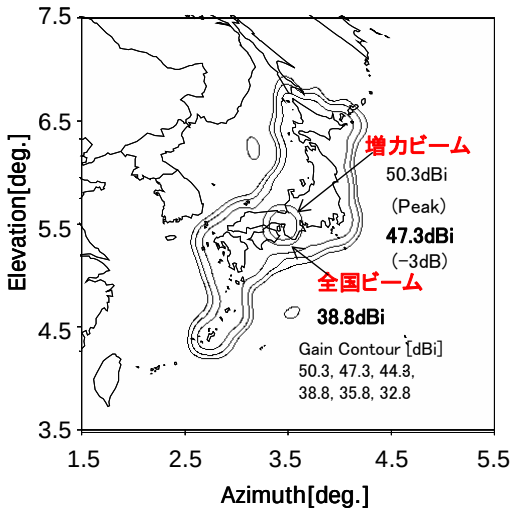
実現のための課題

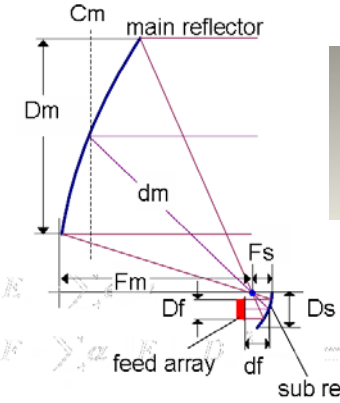
- 大容量伝送技術
  - 200Mbps～600Mbps級変復調器
  - 非線形増幅特性の等化技術
- 降雨減衰（dB値で12GHz帯の約3倍）
  - フェーズドアレーアンテナによる補償技術
  - 高効率増幅器

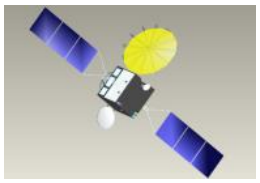
21GHz帯可変e.i.r.p.放送衛星システム



21GHz帯放送衛星搭載フェーズドアレーアンテナ

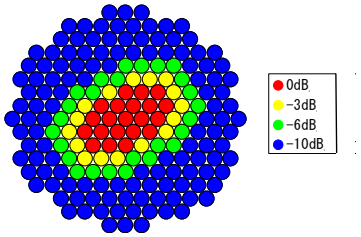






フェーズドアレーアンテナ
（イメージングレフレクタ）

Dm=4m, Fm=4m, Ds=0.52m, Fs=0.4m, Df=0.4m



アレーフィードの電力分布
素子数：188
ホーン間隔：1.8波長

- 全国均一ビームを維持しつつ，降雨域に同一周波数で増力ビームを形成
- 増力ビーム利得と全国ビームの利得差＝衛星送信電力節減量
  例：6dBの差であれば，衛星送信電力を1/4に節減
- 増力ビームを形成することで降雨減衰を補償できるかが問題

21GHz帯放送衛星搭載アレー給電反射鏡アンテナ給電部(3素子分)試作

21ＧＨｚ帯衛星放送に関するアンテナの課題

(1) 鏡面修整アンテナ(固定ビーム)，マルチホーン給電反射鏡アンテナ，フェーズドアレーアンテナなど各種アンテナ形式のシステム見地からの比較検討　(耐圧，耐電力問題)

(2) マルチホーン給電反射鏡アンテナを対象とした鏡面修整技術の改善

(3) アレー給電反射鏡アンテナの全国ビームのアンテナ利得低下の対策，サイドローブ低減策，降雨分布に合わせた増力ビーム形成のためのBFN の位相設定情報生成

(4) 21GHz 帯衛星電波の伝搬特性測定(交差偏波レベルを含む)と減衰量推定法の確立

(5) 一次給電アレー素子の設定位相モニタと給電素子故障時対策

(6) 12GHz 帯と21GHz 帯共用の家庭用受信アンテナの開発

まとめ

○　成形ビームアンテナ
◆マルチホーンアンテナ(ビーム重畳)
→鏡面修整アンテナ(任意形状ビーム)
→アレー給電反射鏡アンテナ(ビーム形状可変)

○　新しい周波数の開拓
◆新しい技術は新しい技術基準（＝規則）が必要.
◆既存の枠組みではだめ.
◆従って新しい周波数（スペクトル）が必要.
（アレー給電反射鏡アンテナで機械駆動反射鏡アンテナの規格は満たせない）

参考文献

(1) NHK技研 30年史, NHK総合技術研究所, 1961年(昭和36年).
(2) NHK技研 研究史 1960-69, NHK総合技術研究所, 1971年(昭和46年).
(3) 野村達治, “放送衛星問題の行方”, 国際電気通信連合と日本, 日本ITU協会, 1974.9.
(4) 日本電波塔株式会社, 東京タワーの20年, 凸版印刷昭和52年(1977年)9月
(5) NHK技研 50年史, NHK総合技術研究所, 放送科学基礎研究所 1981年(昭和56年).
(6) NHK放送技術研究所, テレビは進化する　ー日本放送技術発達小史ー, http://www.nhk.or.jp/strl/aboutstrl/evolution-of-tv/index.html
(7) 遠藤敬二, テレビ放送アンテナ50年史, 兼六出版, 1989年
(8) 遠藤敬二, NHKにおける宇宙中継に関する技術開発史, NHK, 1994年(平成6年)3月.
(9) NHK技術局・送信センター, 千代田・芝放送所史, 1999年(平成11年)10月.
(10) “Special Issue on Historical Review of Antenna Systems in Japan”, IEICE Trans. on Commun., Vol.E86-B, No.3, pp.891-1021, 2003.3.
(11) テレビ放送アンテナ開発史出版委員会(遠藤敬二), テレビジョン放送アンテナ開発史, NHKエンジニアリングサービス, 2004年12月.
(12) 佐藤源貞, テレビ塔アンテナ物語　ー「イ」の字初映像からデジタル放送までー, 里文出版, 2005.5.
(13) 遠藤敬二, “放送電波の発展とともに　放送開始80周年にあたっての随想集”, 2006年3月
(14) 正源和義, 田中祥次, 中澤進：″21GHz帯放送衛星搭載用アンテナの研究と今後の課題″, 信学論（B）, Vol.J94-B, No.9, pp.1014-1024, 2011.9.
(15) 遠藤敬二, “日本におけるテレビ放送アンテナの開発小史”, RFワールド, No.15, CQ出版社, pp.119-143, 2011年8月