

電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会 (AP)  
歴史チュートリアルワークショップ

# 地上放送アンテナと 衛星放送アンテナの歴史

2025年3月18日

放送衛星システム(B-SAT)

正源 和義

## <ご注意>

- ・本pptは、2025年3月18日(火)に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」委員会主催の歴史チュートリアルワークショップ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 故遠藤敬二氏、NHK技術局 システムソリューションセンター、NHK放送技術研究所 伝送システム研究部 諸氏に感謝いたします。

発表者  
正源和義  
の紹介

1979(昭54)年	NHK入局 盛岡放送局	『放送衛星——その法制的研究』(日本放送出版協会, 1981年), 山本 草二
1982(昭57)年	NHK放送技術研究所 放送衛星搭載用アンテナの研究	
1984(昭59)年	楢円コルゲートホーン試作	BS-2a打上げ, IEEEマイルストーン
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, 衛星放送実用化
1991(平3)年	NAB展示(鏡面修整アンテナ)	BS-3b打上げ, BS-3N(1994年)
1997(平9)年	WRC-97(放送衛星再プラン検討決定, 低軌道周回衛星)	BSAT-1a 打上げ
1998(平10)年	NHK技術局計画部 国際対応(ITU-R, APT, ABU)	BSAT-1b打上げ
2000(平12)年	WRC-2000(12GHz帯放送衛星再プラン, 低軌道周回衛星)	BSデジタル放送開始
2001(平13)年	ITU-R WP6S副議長(2002-2007)	BSAT-2a打上げ
2003(平15)年	WRC-2003(12GHz帯放送衛星規則)	BSAT-2c打上げ, 地デジ開始
2006(平16)年	ABU技術委員会議長(2006-2010) ISDB-S高度化の研究(ISDB-S3) UHDTV衛星伝送実験(IBC2008), (NHK技研公開2009)	BSAT-3a(2007)打上げ BSAT-3b(2010)打上げ
2011(平23)年	B-SAT入社	BSAT-3c打上げ
2012(平24)年	WRC-2012(21GHz帯放送衛星規則)	
2015(平27)年	WRC-2015(12GHz帯アナログ放送衛星廃止)	
2016(平28)年	12GHz帯放送衛星左旋円偏波国際登録	
2017(平29)年		BSAT-4a打上げ
2018(平30)年	21GHz帯放送衛星国際登録	UHDTV(4K8K)衛星放送開始
2019(令1)年	WRC-2019(調整未了の扱い, 放送衛星最大送信電力)	
2020(令2)年		BSAT-4b打上げ
2023(令5)年	WRC-2023(12GHz帯放送衛星規則)	

# ノーベル賞「AI機械学習」基礎に日本の貢献 甘利氏と福島氏に源流

## 2024/10/22付日本経済新聞 朝刊

AI研究は日本人も貢献した



2024年のノーベル物理学賞を受賞する研究テーマは人工知能(AI)に決まった。その中核となる技術は、脳の神経回路を模した「ニューラルネットワーク」だ。技術の発展に大きく寄与し、米国とカナダの2氏と一緒に受賞してもおかしくない日本の研究者がいる。

**NHK放送技術研究所に所属していた福島邦彦氏**と東京大学の甘利俊一名誉教授は、授賞対象の研究につながる先駆的な成果を残した。

ノーベル物理学賞を受賞する米プリンストン大学のジョン・ホップフィールド氏とカナダ・トロント大学のジェフリー・ヒントン氏は、ニューラルネットワークを使う機械学習を可能にした発見と発明が評価された。

ニューラルネットワークの誕生につながる重要な研究成果を残したのが福島氏だ。脳の神経回路の解明に関心があり、**1979年に人工的な回路網「ネオコグニトロン」を開発した**。これは現在主流の深層学習をするニューラルネットワークの原型にあたる。

ホップフィールド氏が脳の神経細胞の回路を模倣したシステムを開発した後に、ヒントン氏がそのシステムを発展させた技術を発表したのは6年後の1985年だ。ヒントン氏が2019年に来日して講演した際にも、先行した研究として福島氏のこの成果を示した。

# 放送100年 技術の発達と放送メディア[放送メディア研究17] テレビの発達と基礎研究 伊藤崇之(元NHK放送技術研究所)

1965年1月、放送科学基礎研究所の設立。基礎研設立の旗振り役というべき人物は当時の**NHK会長前田義徳**である。50年史には以下のように記されている(NHK総合技術研究所・放送科学基礎研究所編1981:97)。

今でも自慢できることは、技研の大改革をやったことだ。それが基礎研の創設だった。もともと私が考えていたことは、放送電波をチョコチョコいじって「新発明です」などというのは、NHKの技術研究としては最低であり、西欧2000年の哲学を根幹とした人文科学の歴史から見るとおかしなことだ。(中略)近代科学技術の発生は、たかだか17世紀にしか遡れない。深い思想を持ちえないのは当然だが、**十分に基礎を探り、また応用を極めることにより、放送技術もNHKの技術研究を中心に新しい総合的な技術思想体系を実現することを期待したい。**

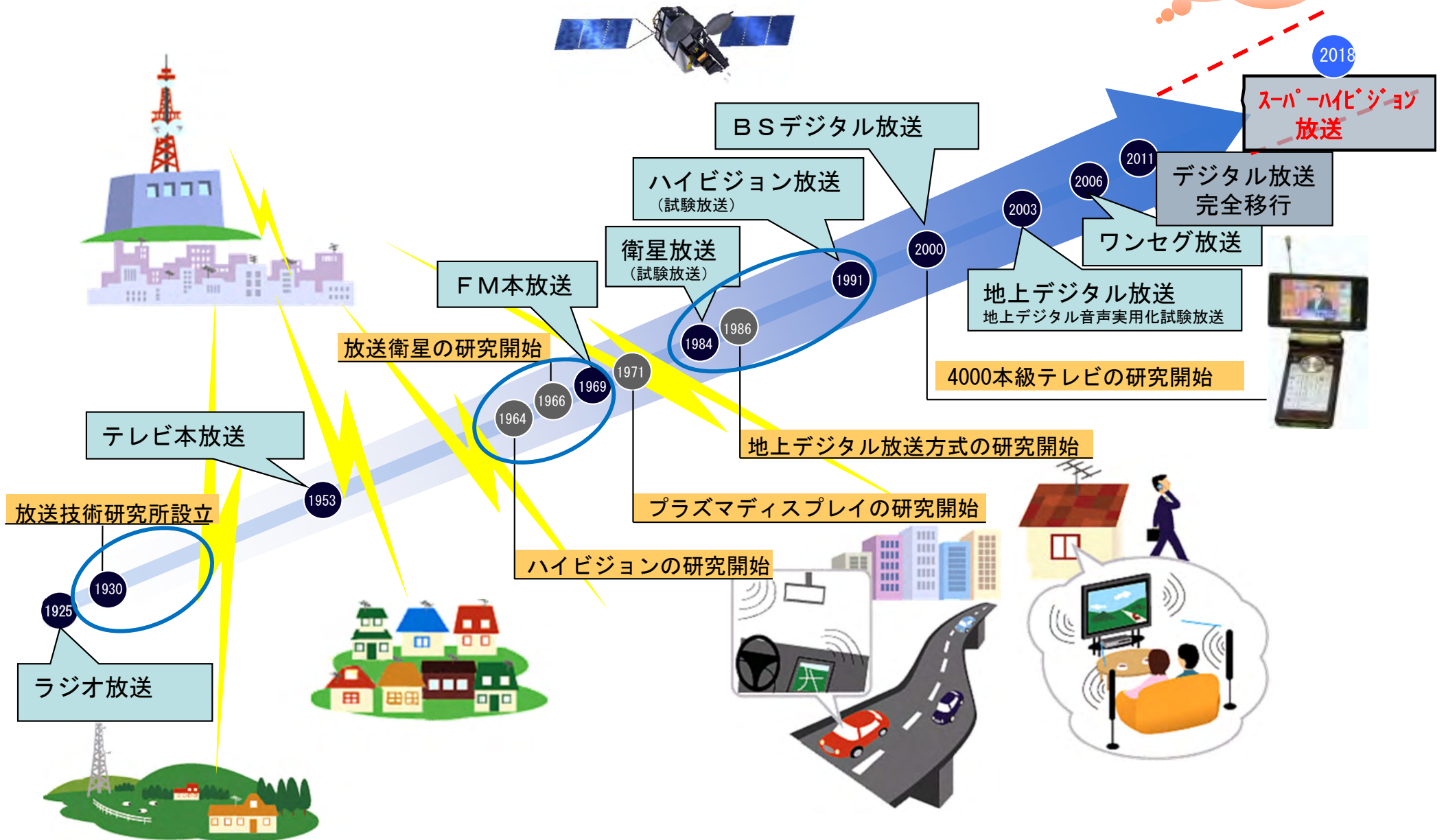
基礎研所長でありテレビシステムを視覚特性まで含めてとらえる考え方を初めて提唱した樋渡涓二の言によれば、前田会長からは、「**基礎研究所を作るから、諸君は応用は絶対考えてはいかん。放送を良くしようなんて考えたら、それは科学じゃない。技術だ**」と言われたとのことである(佐藤ほか2009)。逆説的な言い方ではあるが、基礎研での研究が社会を大きく変革するような新しい技術の創出につながることを期待しての発言であろう。



<https://www.nhk.or.jp/bunken/book/media/17.html>

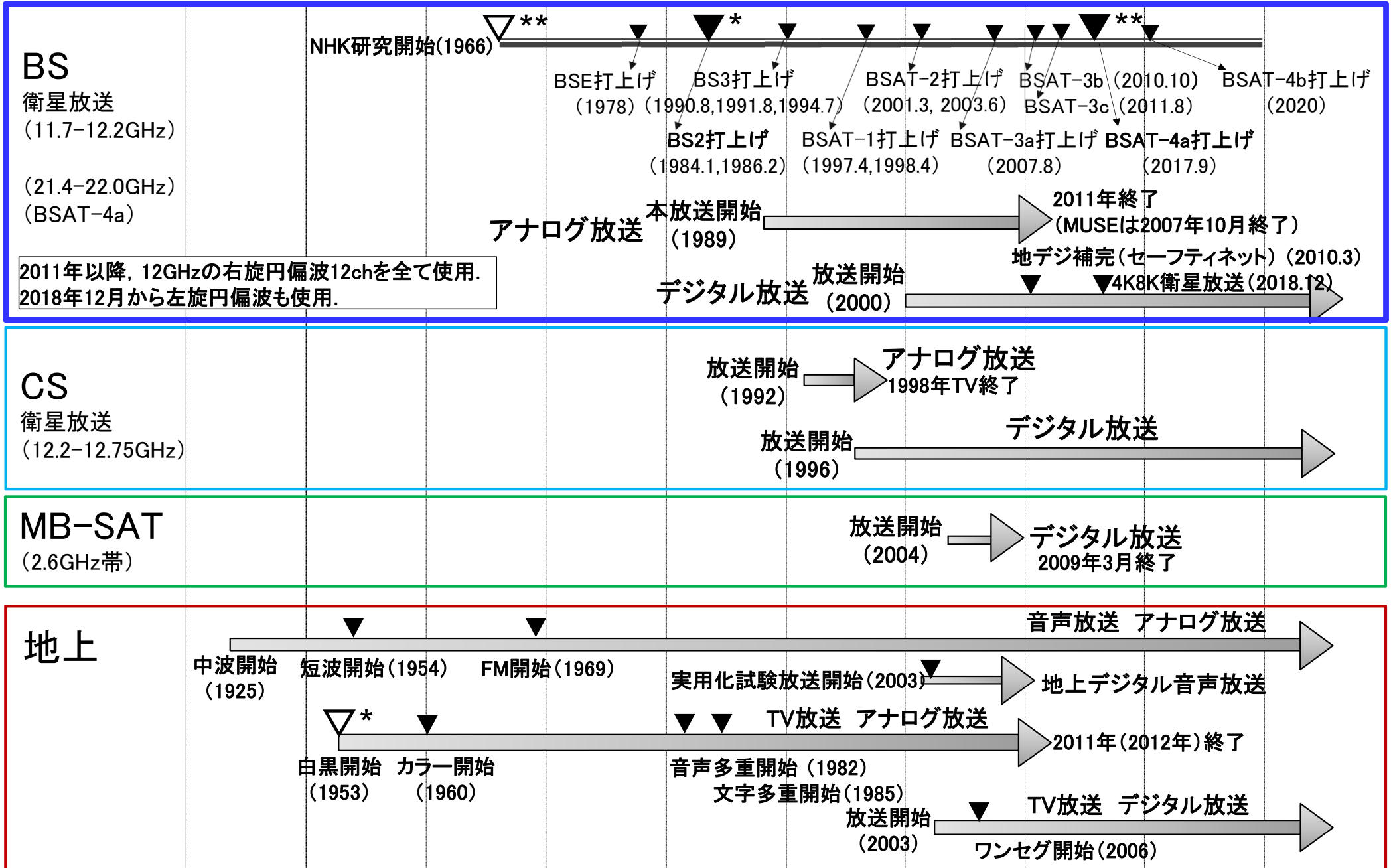
# 放送イノベーションの変遷

放送サービスのさらなる発展



# 日本の放送の進展

1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030



# 講演目次

## 1 地上放送

1-1 1940年幻のオリンピック東京大会

1-2 1953年の放送開始

## 2 地上放送アンテナ

2-1 NHK技研, 内幸町放送会館, 千代田放送会館

2-2 東京タワー

2-3 スカイツリー

## 3 衛星放送

3-1 1964年ABU設立: 当初の活動はABU SAT(教育用)

3-2 放送衛星の開発

## 4 放送衛星搭載アンテナ

4-1 マルチホーンアンテナ(ビーム重畳, 実用)

4-2 鏡面修整アンテナ(任意形状ビーム, 実用)

4-3 アレー給電反射鏡アンテナ(ビーム形状可変, 実験)

## 5 WRC-27の議題

# 1 地上放送

1-1 1940年幻のオリンピック東京大会

1-2 1953年の放送開始

# NHKのテレビ放送開始当時の歴史(1)

- 1930年(昭和5年) NHK技研でテレビの研究開始. 1940年(昭和15年)開催予定だった第12回オリンピック東京大会(戦争で中止)でテレビによる放送を計画. 500W放送機による実験放送を実施.
- 1946年(昭和21年) NHK技研でテレビの研究再開
- 1950年(昭和25年) 2月25日 NHK技研に東京テレビジョン実験局(500W)開局  
(4段同軸開放型アンテナ)  
3月21日 放送記念日にテレビ電波を発射して一般に公開
- 1950年(昭和25年) 11月10日 定期実験放送開始(週1回, 1日3時間)
- 1952年(昭和27年) 2月26日 「白黒式テレビジョン放送に関する送信の標準方式制定」(NTSC, 6MHz帯域幅)  
10月1日 内幸町の放送会館に実験局(3kW, 3ch)を移転
- 1953年(昭和28年) 1月8日 同上を5kWに増力運用開始  
2月1日 内幸町の放送会館で本放送(5kW, 3ch)を開始  
(6段同軸開放型ターンスタイル・アンテナ)  
11月3日 紀尾井町放送所(後の千代田, 10kW, 3ch)に移転  
(RCA社製6段スーパーターンスタイル・アンテナ)
- 1954年(昭和31年)1月3日 紀尾井町放送所を千代田放送所と改称

## NHKのテレビ放送開始当時の歴史 (2)

- 1954年(昭和31年) 3月 NHK大阪テレビ放送局開始  
(国産第1号の4ch用6段スーパーターンスタイルアンテナ)
- NHK名古屋テレビ放送局開始  
(1段同軸開放型ターンスタイルアンテナ)
- 8月 名古屋テレビ塔から国産第2号の3ch用6段スーパーターンスタイルアンテナで放送
- 1956年(昭和31年)12月20日 カラーテレビ東京実験局開局(NHK技研, 80W, 671MHz). 最初のUHFテレビ局
- 1959年(昭和34年)1月10日 芝放送所(東京タワー)が開設. 東京教育テレビジョン局(10kW, 1ch)を開局
- 3月1日 芝放送所の教育テレビ1chを総合テレビに変更  
千代田放送所の総合テレビ3chを教育テレビに変更
- 1960年(昭和35年)1月17日 総合テレビ増力(10kW→50kW)
- 5月16日 教育テレビ, 芝放送所へ移転, 増力(50kW)  
総合・教育二重給電化(アンテナの広帯域化)
- 9月10日 カラーテレビ本放送開始
- 1970年(昭和45年)12月25日 東京UHF実験局開局(10kW, 14ch)

- 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)



東京設立当時のメンバー

- 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



皇太子・結婚パレード

## 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たった。

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、蛍光体にジंक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、随分その間に苦勞したものである。

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

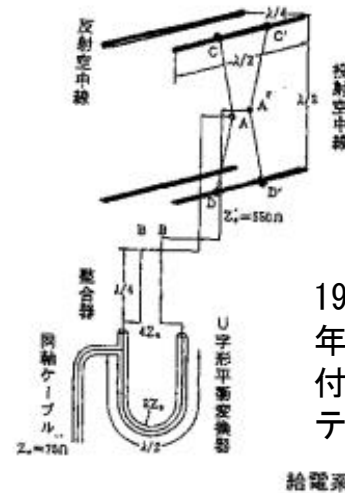
# 1937年(昭和12年)浜松高工が製作したテレビ自動車 1939年(昭和14年)TV実験

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

1937年(昭和12年) 浜松高  
工から来たテレビ自動車



1939年(昭和14  
年)5月 反射器  
付2素子2段アン  
テナ

給電系

撮像車,  
映像送信車,  
音声送信車,  
受像車 の計4台

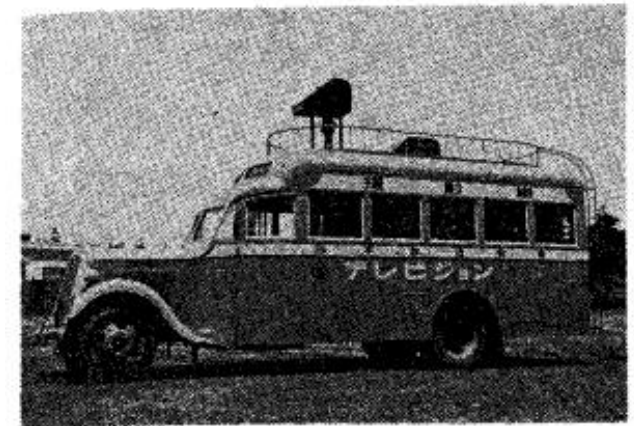
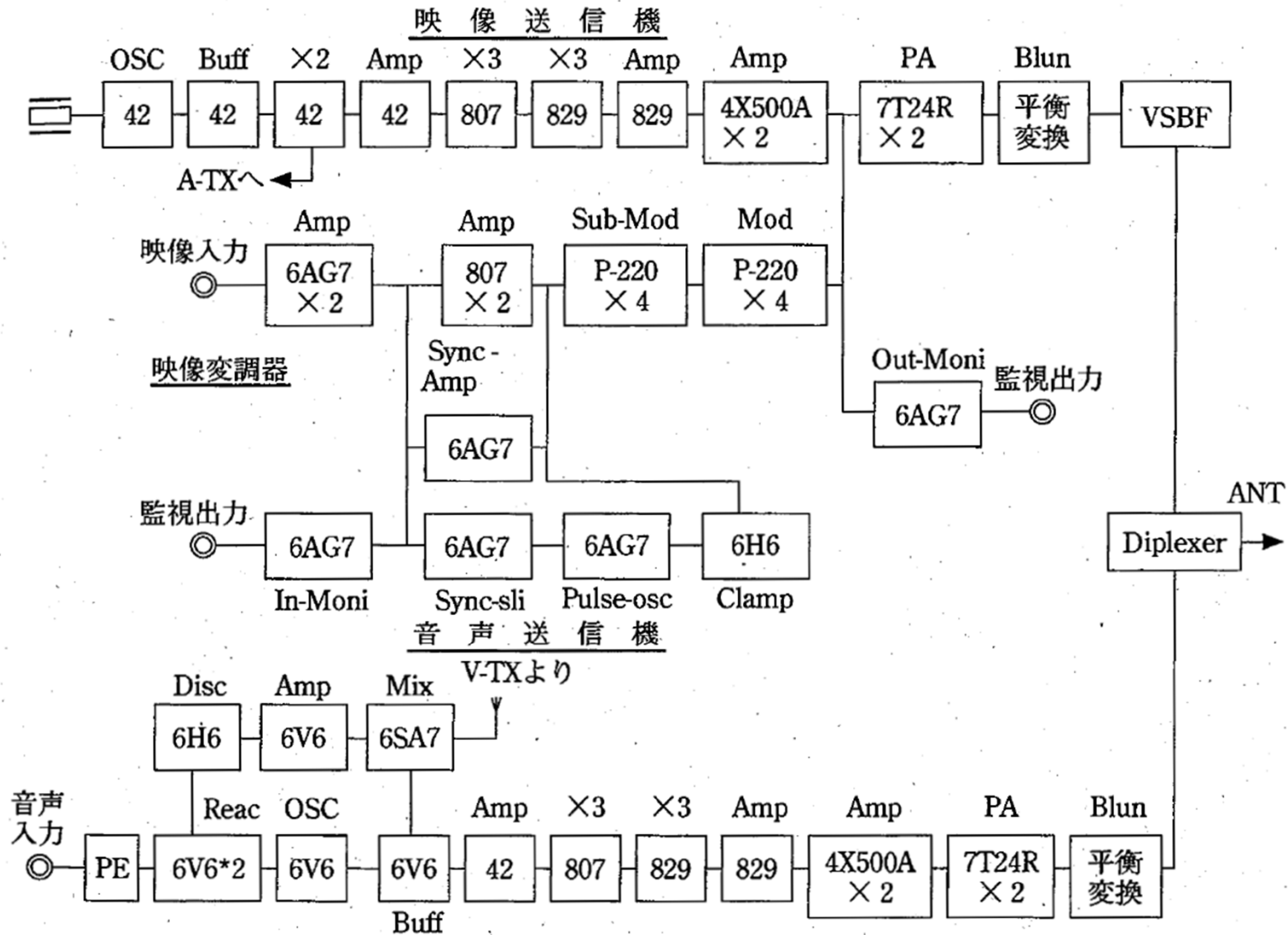


写真 1.9 テレビ自動車(昭12)

- ・ 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, 每秒像数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)

# NHK技研製5kWテレビ放送機

1953年(昭和28年)2月1日 内幸町で本放送開始(5kW, 3ch)を開始



(12) 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

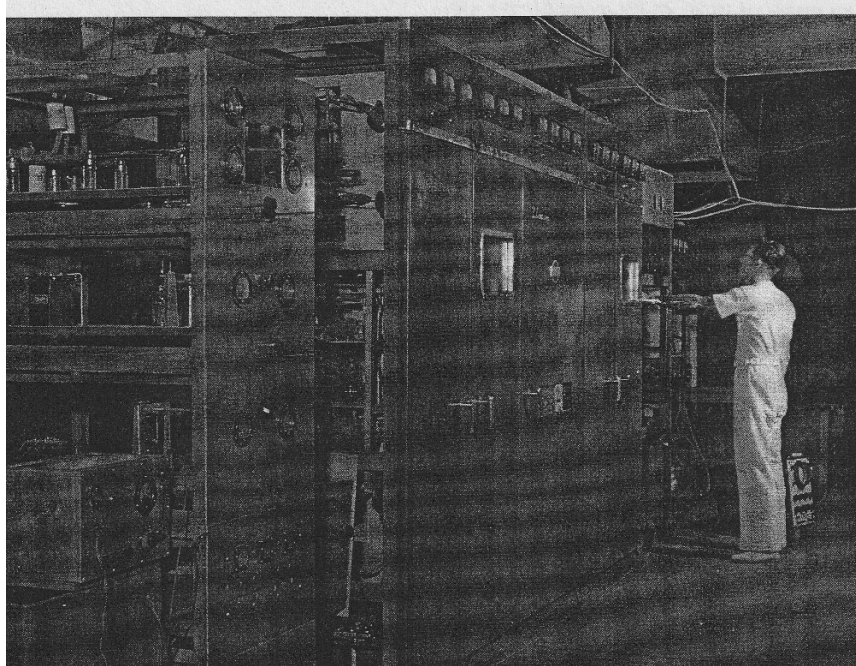
逡倍段は、映・音とも同一の構成で、終段には、当時VHF帯で使用できる最大出力の3極管7T24R、2本パラによるカソード設置型増幅回路で、映像送信管のフィラメントは直流過熱を採用している。

## NHK技研製5kWテレビ放送機

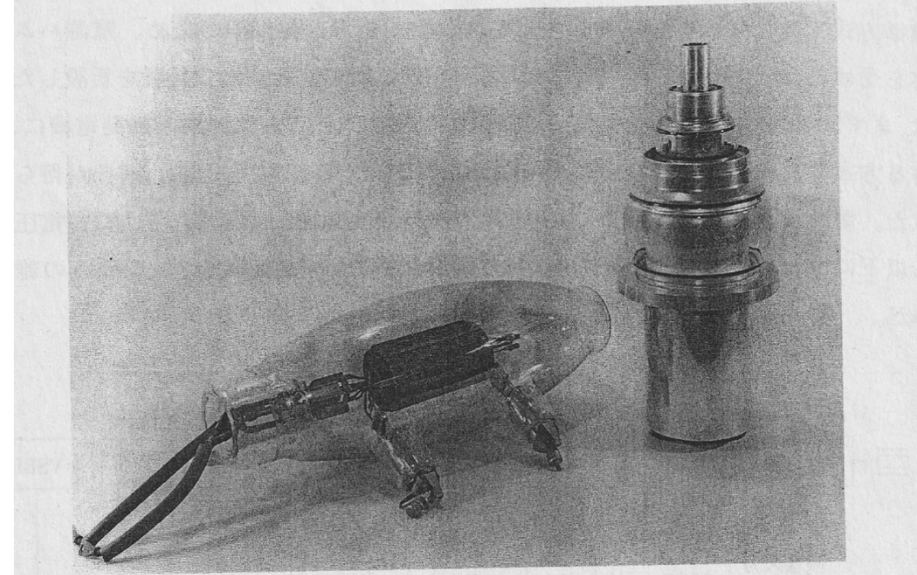
1953年(昭和28年)2月1日 内幸町で本放送開始(5kW, 3ch)を開始

## 規格・諸特性

	映像送信機	音声送信機
変調方式	終段グリッド変調	リアクタンス管変調
周波数	103.25MHz	107.75MHz
終段真空管	7T24R×2	7T24R×2
〃陽極入力	約9.6kW	約6.6kW
出力	5kW	2.5kW
冷却方式	強制空冷	強制空冷
周波数特性	映像帯域内±1.5dB以内	P.E 75 μS
解像度	300~350本	



技術研究所製テレビ放送機 (昭和26年10月)



テレビ送信管

(左) 「U333N」 1939年初のテレビ  
実験放送で使用した出力300W  
終段出力管(右) 「8T54」 芝放送所初代放送機  
に使用した50kW放送機終段  
出力管

(12) 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



1953年(昭和28年)2月1日 内幸町の放送会館で本放送を開始(5kW, 3ch)

(12) 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

## 放送機の10kW化 (1)

1953年(昭和28年)2月1日 内幸町の放送会館で本放送を開始(5kW, 3ch)  
11月3日 紀尾井町放送所を開設 10kWに増力(3ch)

国内では10kW放送機を製作する技術がまだ十分ではなく、実用機兼研究用として米国RCA社に発注することになった。

1952年9月19日、ニューヨークへ出張してRCA社と折衝するとともに、アメリカの放送事情の調査視察をした。遠藤敬二氏の話によると、「米国では当時、テレビ放送アンテナはVHFローバンド用スーパーターンスタイルアンテナの3段程度が一般的で、放送機出力も3kW程度が普通であった。NHKが輸入したローバンド10kW放送機はRCAの第1号製品、ローバンド6段スーパーターンスタイルアンテナは第2号製品だった」。

(12) 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

## 放送機の10kW化 (2)

1953年(昭和28年)2月1日 内幸町の放送会館で本放送を開始(5kW, 3ch)

11月3日 紀尾井町放送所を開設 10kWに増力(3ch)



RCA製10kW放送機

(12) 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

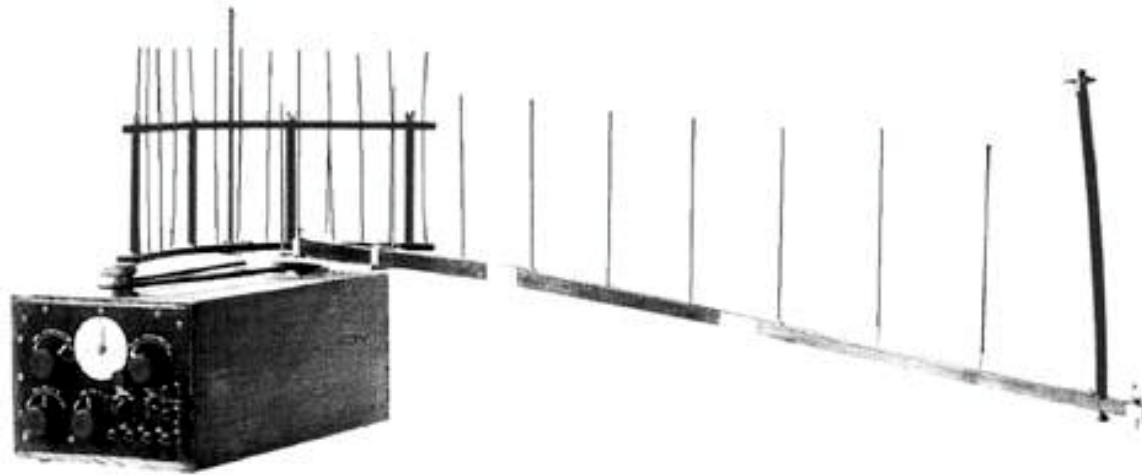
## 2 地上放送アンテナ

2-1 NHK技研, 内幸町放送会館, 千代田放送会館

2-2 東京タワー

2-3 スカイツリー

# 八木・宇田アンテナ

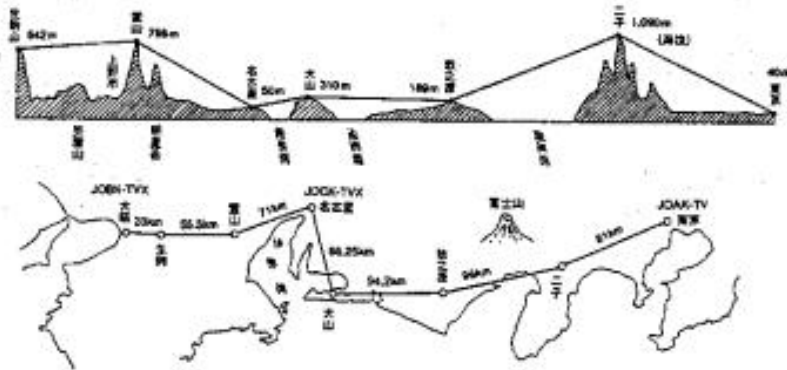


- ・何本かの直線状の金属導体を平行に配列したアンテナは大正末期（1925年）に東北大学においてアンテナの研究に従事した八木秀次博士と宇田新太郎博士によって発明された。
- ・これは八木・宇田アンテナを使用した波長45cmのUHF帯の送受信機である。この装置を用いて1929年に仙台と大鷹森の間、約20kmの通信に成功した。翌1930年にベルギーで開催された万国博覧会に出品された記念すべき装置である。

東北大学 電気通信研究所 HPより

<http://www.riec.tohoku.ac.jp/antenna/index.html>





東京-名古屋-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



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)

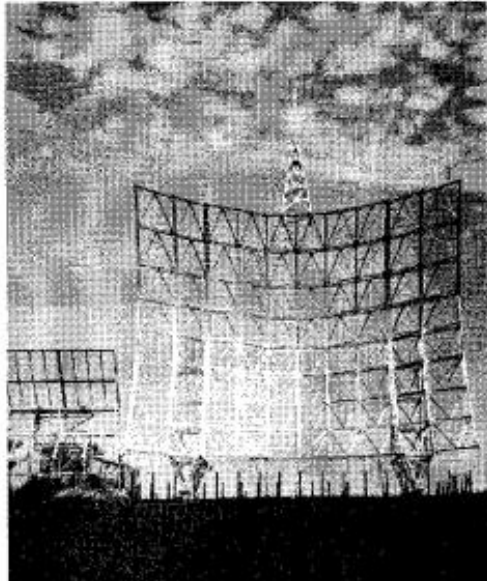


双ループアンテナ (6, 4, 2素子) 研究 昭和30年~34年頃 (串カツにして給電点を1つにする). 实用 昭和39年

### 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

# テレビ中継局の大口徑パラボラアンテナ



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



スプラディック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徑パラボラ(10mx8m) NHK-G, E, HBC, STVの4波共用受信アンテナ



左: スプラディックE層による障害  
右: 正常

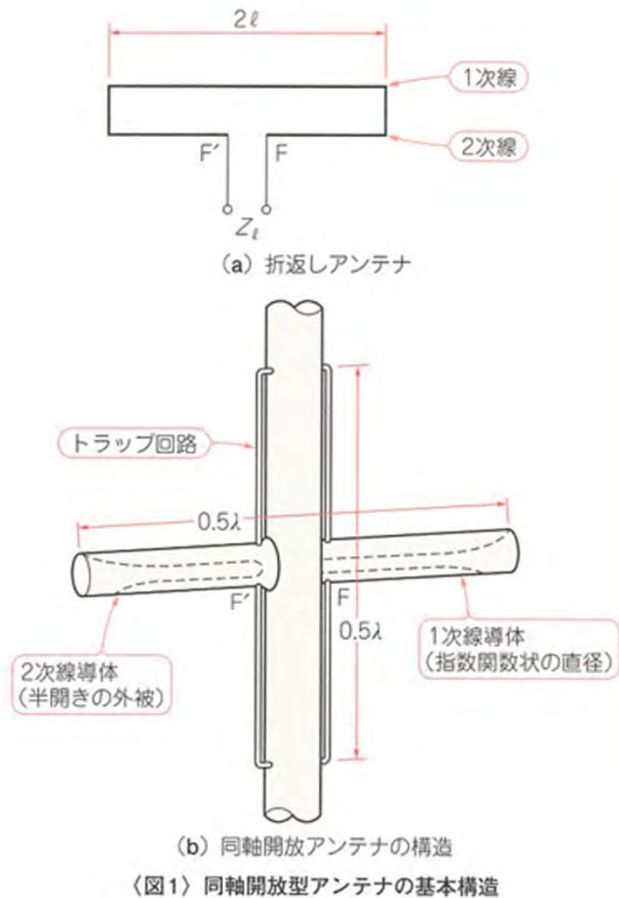
〈表1〉 テレビ放送アンテナの種類と設置局数(NHK + 民放,  
2003年時点)

放送用アンテナの種類	記号	VHF 局数	UHF 局数
【同軸開放型アンテナ※	-	3】	-
スーパーターンスタイル・アンテナ	ST	290	-
スーパーゲイン・アンテナ	SG	133	-
コーナー・レフレクタ・アンテナ	CR	51	691
双ループ・アンテナ	L	33	8094
八木・宇田アンテナ	Y	741	1
【サイドファイヤ・ヘリカル・アンテナ	-	-	37】
2素子/4素子ダイポール・アンテナ	D	40	337
パラボラ・アンテナ	P	-	28
リング・アンテナ	RG	11	4299
【スロット・アンテナ	-	5	4】
組み合わせアンテナ	-	24	428
設置局数(NHKおよび民放局)		1323	13878

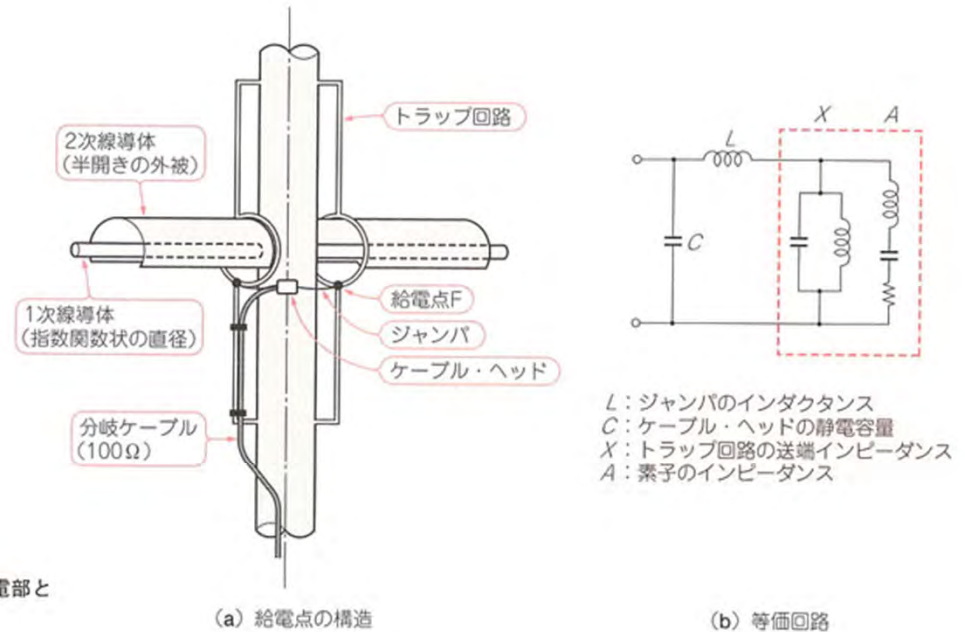
注▶※日本のテレビ史上最初のテレビ放送アンテナ。【】は撤去し、ST、L、Dに建て替えられた。「組み合わせアンテナ」とは2種類のアンテナを組み合わせたアンテナである。例えば、SG + CR、CR + Y、CR + L、CR + P、L + P、D + Pなど。組み合わせアンテナで最も多いのは、[L + P] の組み合わせで359局がある。「スロット・アンテナ」は民放局で使用。

(18) 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

# 4段同軸開放型アンテナ 1950年NHK技研で実験放送に使用



〈図2〉  
同軸開放型アンテナの給電部と  
等価回路



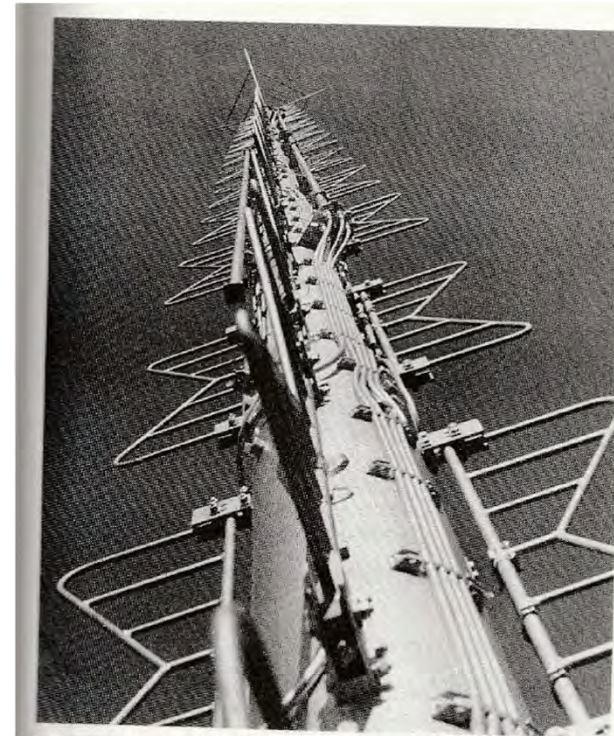
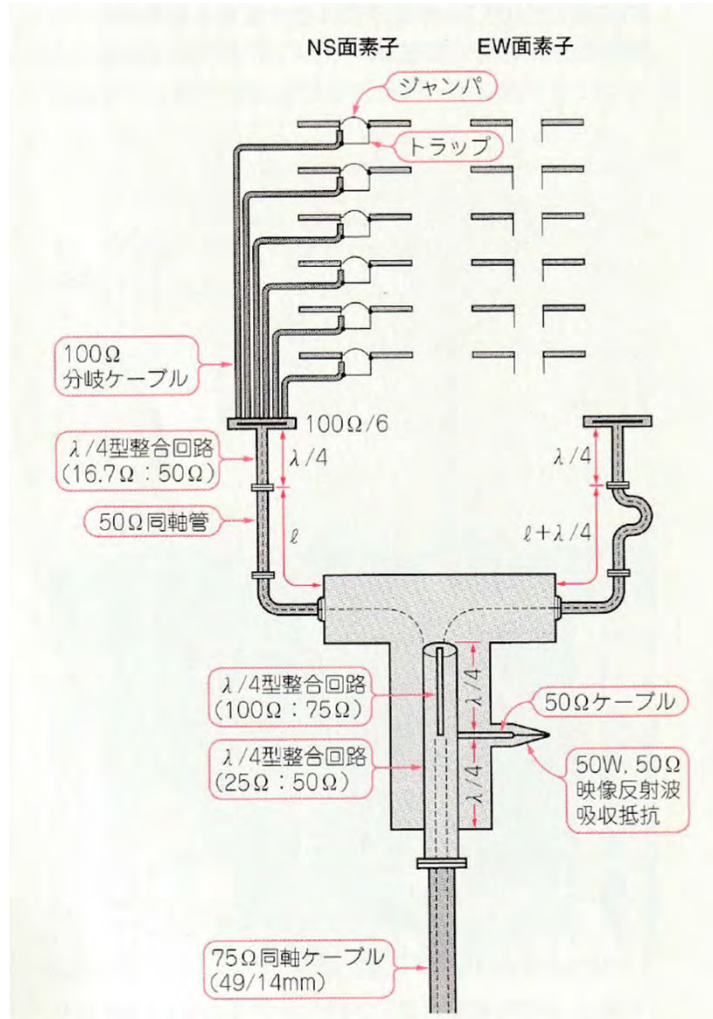
折り返しアンテナの2次線にあたる導体を中心軸に、その直径を両端に向かって太くし、一方、1次線は2次線の中心軸に半開きの円筒を被せた構造にした。同軸線路の外被を半開きにしたので「同軸開放型アンテナ」と名付けた。  
十字型に組み合わせてターンスマイル・アンテナとして動作させ、4段組み重ねてNHK放送技術研究所構内の100m鉄塔上位設置し、放送開始25周年の1950年3月の放送記念日に実験放送を開始した。

同軸開放型アンテナの給電は分岐ケーブル(特性インピーダンス100Ω)1本で行う方式を採用。折り返しアンテナを原型とした同軸開放型アンテナの給電点インピーダンスは、1次線導体と2次線導体の直径比によって変えられる特徴を生かして分岐ケーブルとの整合を図った。

(18) 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

## 6段スーパーターンスタイルアンテナ (1)

1953年(昭和28年) 11月3日紀尾井町放送所を開設 10kWに増力(3ch)



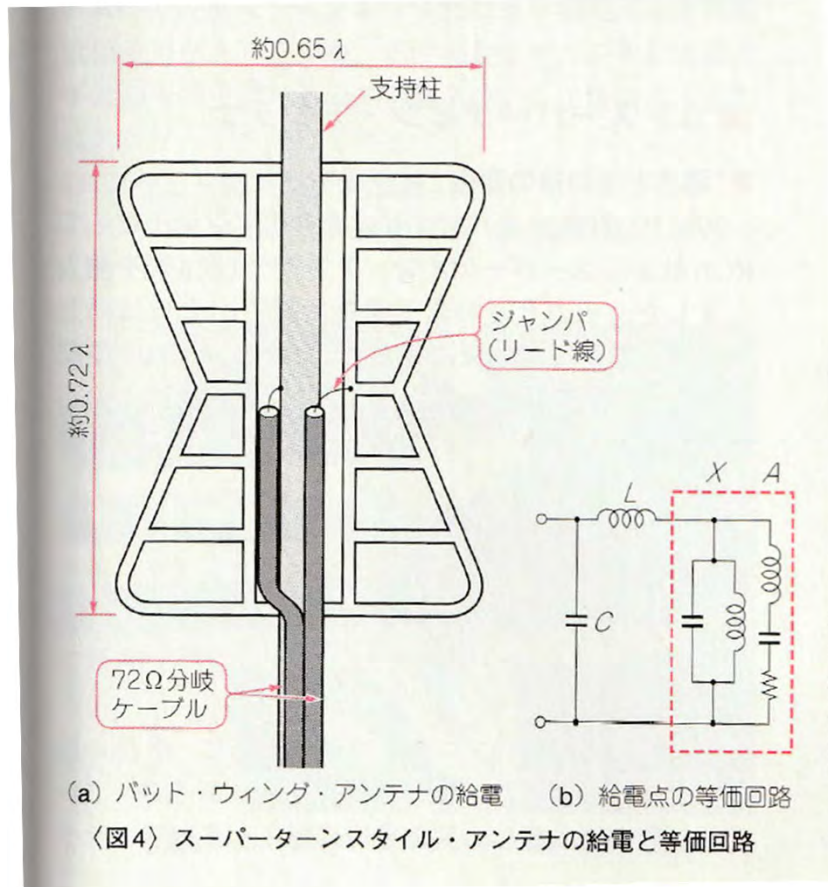
アンテナ素子を東西および南北向けの各6素子に分けてそれぞれ等長の分岐給電線で接続し、さらに各ブロックは1/4波長だけ長さの異なった給電線により90度の位相差で励振される水平偏波の無指向性アンテナである。給電線の各分岐点には、1/4波長の整合回路を有し、さらに東西および南北向けの両ブロックに分岐する主分岐点には反射波吸収抵抗を接続し、広帯域な映像周波数に対して整合を図っている。実測SWRは帯域内1.1以下、利得は約6dB。アンテナ中心地上高は73m。

(18) 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

## 6段スーパーターンスタイルアンテナ (2)

1953年(昭和28年) 2月1日 内幸町の放送会館で本放送を開始(5kW, 3ch)

11月3日 紀尾井町放送所を開設 10kWに増力(3ch)



スーパーターンスタイルアンテナは図4(a)のバッド・ウイング・アンテナ素子2面を直行配置し、それらを90度の位相差をもつ電流で励振したターン・スタイルアンテナである。直行配置した2面を90度の位相差をもつ電流で励振し合成すると、ほぼ円形の無指向性になる。

バッド・ウイング素子は、中央部を狭く、上下を広くして中央部の電流を小さくし、上下の電流を大きくするとともに素子の表面積を広くして回路のQを小さくすることで、給電点インピーダンス特性の広帯域化を図っている。

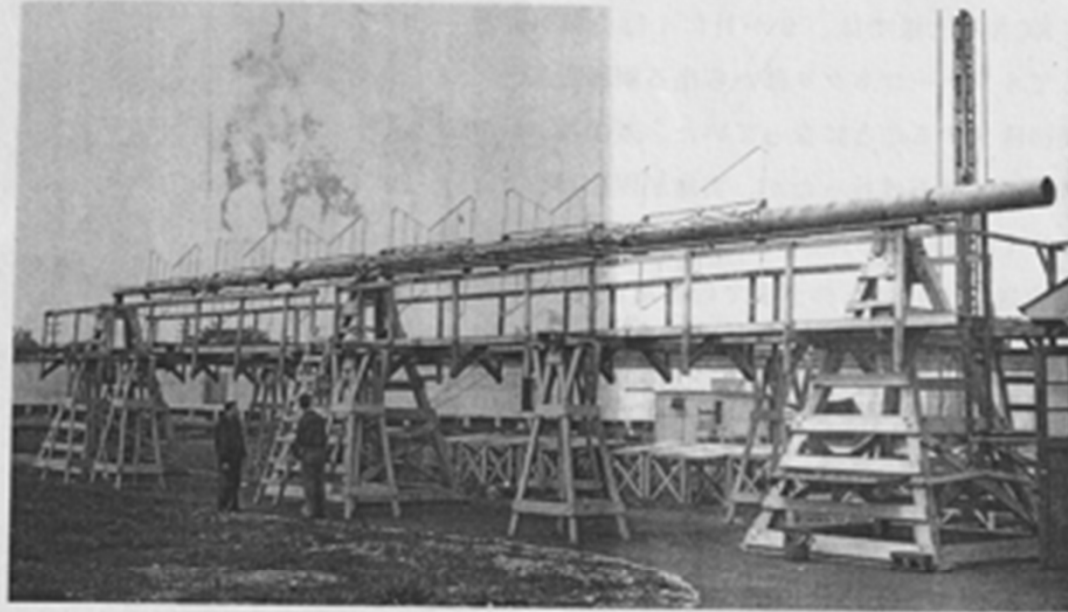
バッド・ウイング素子の給電点から見た等価回路は図4(b)の破線内の回路で表される。図中のAはアンテナの直列共振リアクタンス成分で、これをバッド・ウイング素子と支持円管柱の間で形成される1/4波長短絡トラップの並列共振リアクタンス成分Xによって補償し、広帯域特性を得ている。

(18) 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

## 6段スーパーターンスタイルアンテナ (3)

1953年(昭和28年) 2月1日 内幸町の放送会館で本放送を開始(5kW, 3ch)

11月3日 紀尾井町放送所を開設 10kWに増力(3ch)



RCA6段スーパーターンスタイルアンテナ



スーパーターンバットウイング給電部



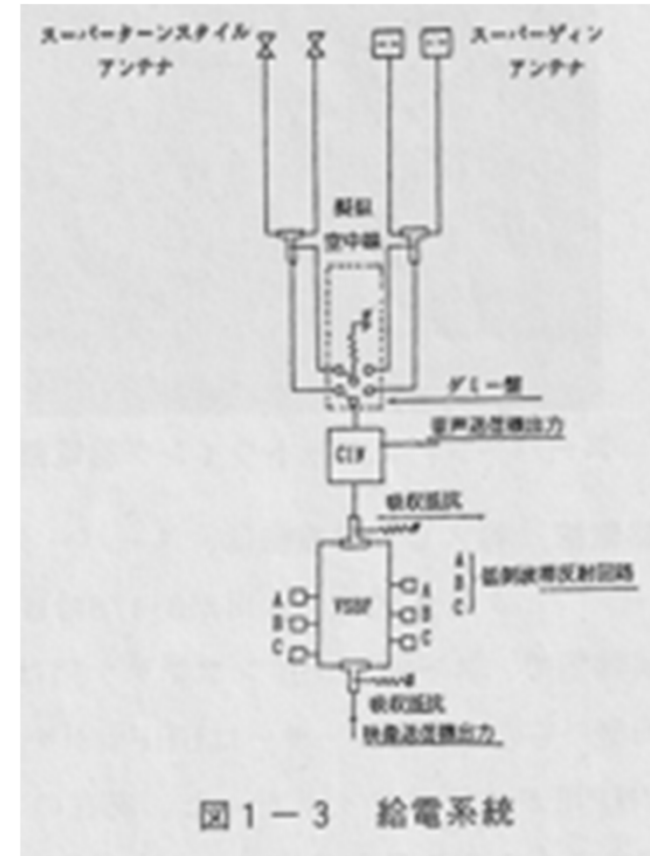
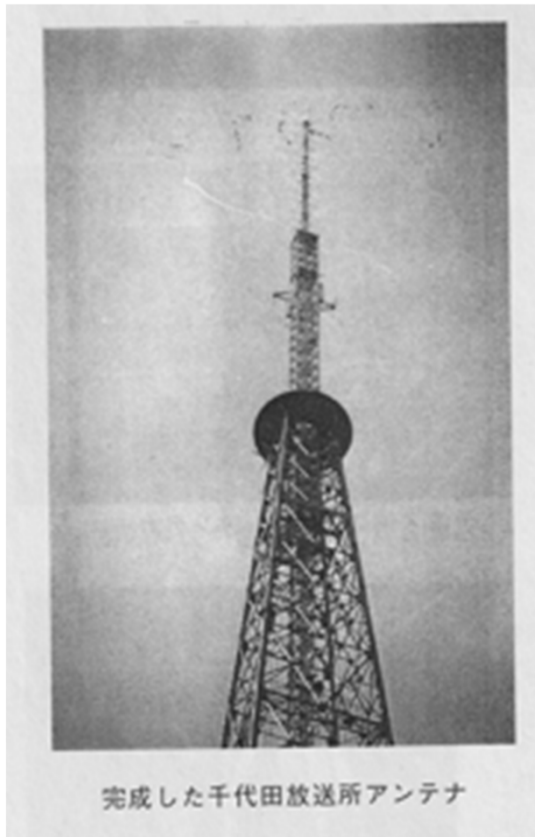
予備スーパーゲインアンテナ

(12) 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

# 6段スーパーターンスタイルアンテナ (4)

1953年(昭和28年) 2月1日 内幸町の放送会館で本放送を開始(5kW, 3ch)

11月3日 紀尾井町放送所を開設 10kWに増力(3ch)

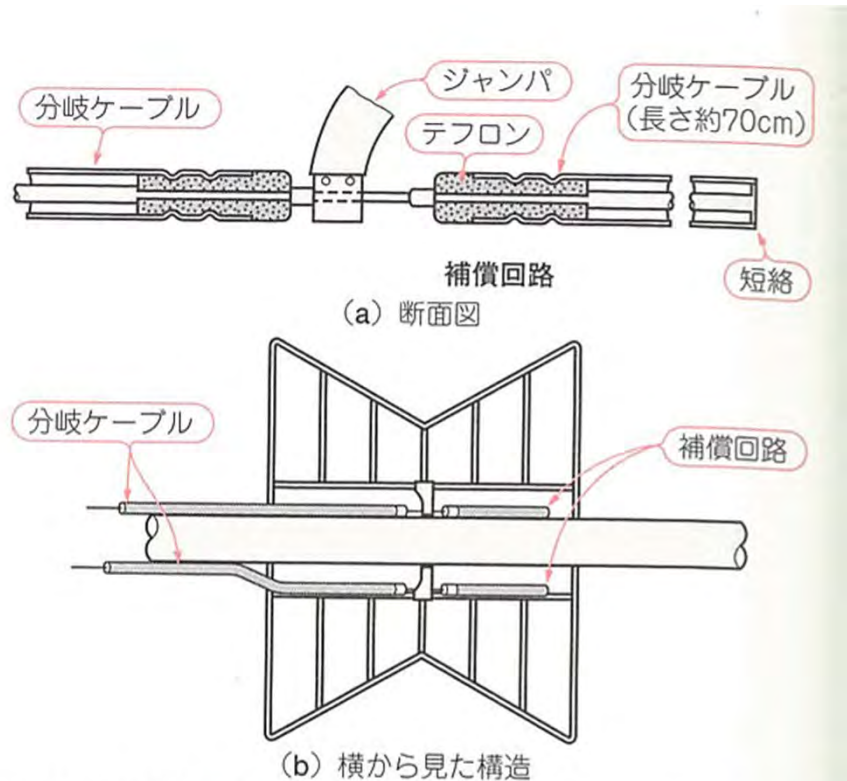


(12) NHK技術局・送信センター, 千代田・芝放送所史, 1999年(平成11年)10月

## 6段スーパーターンスタイルアンテナ (5)

1960年(昭和35年) 5月16日 教育テレビ, 芝放送所へ移転, 増力(50kW)

総合・教育二重給電化(アンテナの広帯域化)



〈図6〉給電部の同軸型補償回路(分岐ケーブルで構成した補償回路)

## 広帯域化のためのリアクタンス補償回路

図6は素子の給電点ごとに挿入した同軸型リアクタンス補償回路である。

芝放送所(東京タワー)の2波共用(1chと3ch)のために, 給電点ごとに同軸型リアクタンス補償回路を付加している。

これにより, 緊急時のバックアップ体制としてアンテナの分割給電方式を採用できた。

6段スーパーターンスタイル・アンテナの素子群を上下各3段ずつ分けて給電している。上下の素子群のうち, いずれかに不具合を生じて不具合の素子群を切り離し, 残りの素子群で水平面無指向性に影響を与えることなく放送を継続できる。

(18) 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

## 双ループ・アンテナ(1)

### ・UHFテレビ放送用アンテナへの要求

1955年(昭和30年)頃、日本はこれからUHF放送を行う準備段階だった。UHF帯電波はVHF帯より伝搬損失が大きいので、大きな実効放射電力(放送電力とアンテナ電力利得との積)で放送する必要があり、電力利得の大きいアンテナが要望された。

当時、12段スーパーターンスタイル・アンテナの電力利得が10dB程度であるのに対し、UHFテレビ放送アンテナの電力利得は13dB程度で、地方によっては17dBにアンテナも使っていた。使っていたアンテナはアンテナ素子ごとに給電する多素子ダイポール型アンテナであった。このように給電点数の多いアンテナは高コストになるため、給電点数が少なく高電力利得、しかも所望の指向性を得るためのアンテナ構成が容易にできるものを目指す必要があった。

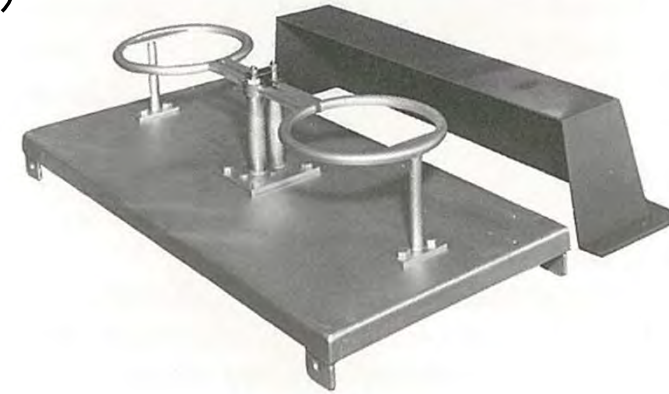
### ・着想から実現までの経緯

勤務後、数名で居酒屋に立ち寄り雑談中に「串焼き」を見た瞬間、ループ・アンテナをつなぎ合わせ、その一端から給電すれば給電点が一か所で済むことに気づいた。

早速、実験を重ねたが、一寸した思い付きでは簡単に目指すアンテナが得られなかった。「串焼き」のようにループ・アンテナを繋いだアンテナとし、試作を重ねた結果、繋いだループの中央から励振し、上、下のループを対にして動作させることで放射方向がループ配列面と直角方向に向くことがわかった。

(18) 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

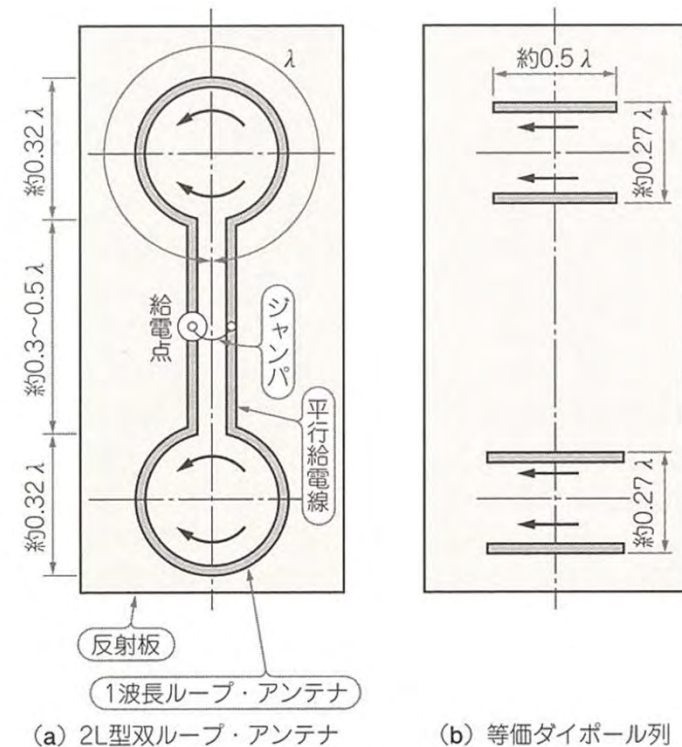
## 双ループ・アンテナ (2)



〈写真11〉2素子双ループ・アンテナ(2L型)

### ・構造と動作原理

写真11は周囲長が1波長のループ・アンテナ2個を並行給電線で接続し、その中央から励振した2素子双ループ・アンテナの基本形である。2素子双ループ・アンテナ(2L型)のループ上の電流は図13(a)の矢印で示すようにループの上と下では同一方向に流れ、このため放射成分のうちの垂直偏波成分が相殺し、水平偏波成分のみが残って、水平偏波アンテナとして動作する。このアンテナの放射特性は同図(b)のダイポール列と等価である。双ループアンテナには上、下2個のループ形式を基本型として、これにループをさらに縦続接続した4素子双ループアンテナ(4L型)、6素子双ループ・アンテナがある。



〈図13〉2素子双ループ・アンテナ(2L型)と等価ダイポール列

(18) 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

## 双ループ・アンテナ (3)

### ・ 最初の実用例

写真12は1962年(昭和37年)12月に開局した茨城・MHK十王テレビ中継局の双ループ・アンテナである、同局は双ループ・アンテナを初めて実用した局で、6L型双ループ・アンテナを鉄塔の2面に3段ずつ取り付け、チャンネル52の100Wで放送した。

双ループ・アンテナの電力利得は水平面無指向性アンテナの場合、2L型では2.5dBd、4L型では5.7dBd、6L型では7.5dBdである。



〈写真12〉NHK十王テレビ中継局の双ループ・アンテナ(6L3段2面；初めて双ループ・アンテナを実用したテレビ中継局)

(18) 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

# 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 Review of Japanese Antenna System

## Tokyo Tower

Tetsuya ITSUKI<sup>†</sup>, Nonmember, Kazuyoshi SHOGEN<sup>†</sup>, Member, Toshiki KURASHIMA<sup>†</sup>, Kazumi NOGAMI<sup>†</sup>, and Masahiko ARISHIRO<sup>†</sup>, 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

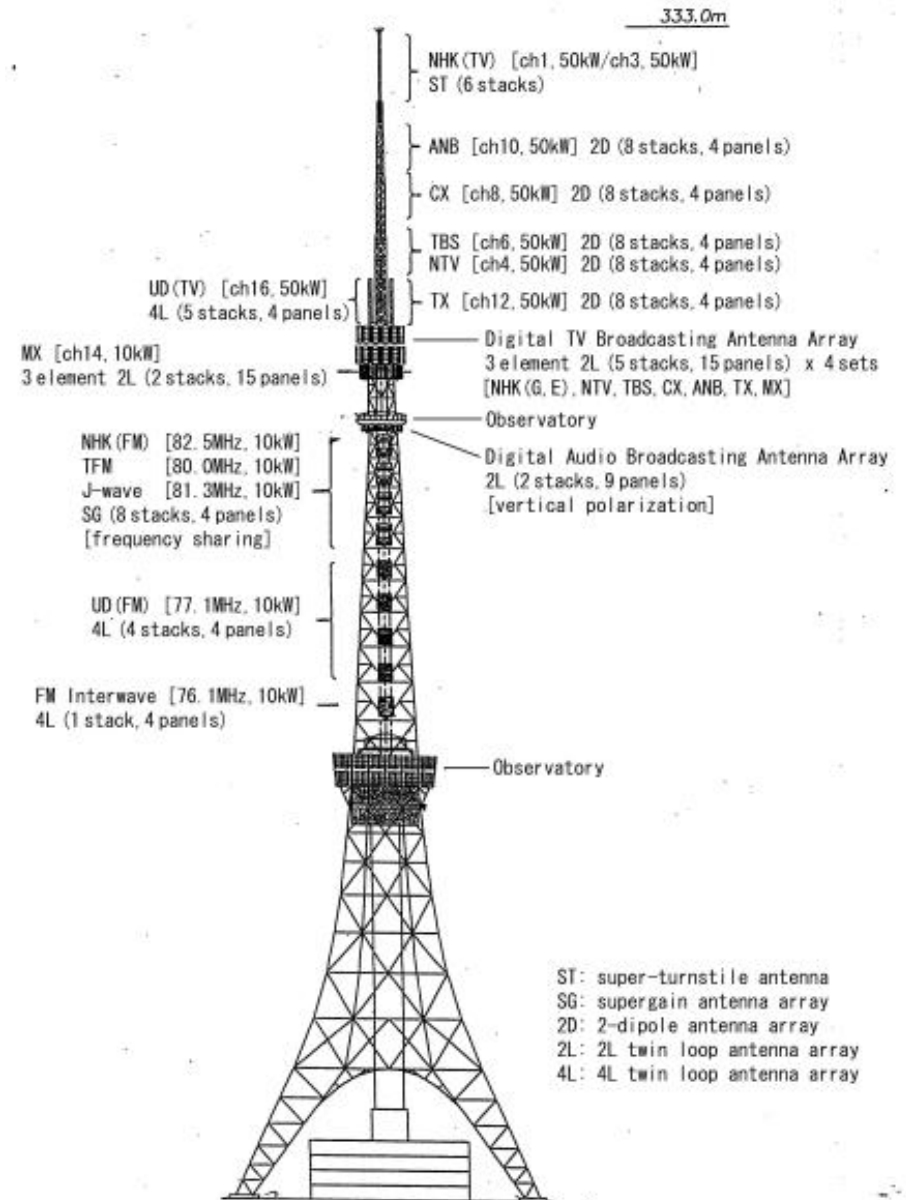
### 1. Introduction([1],[2])

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)



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

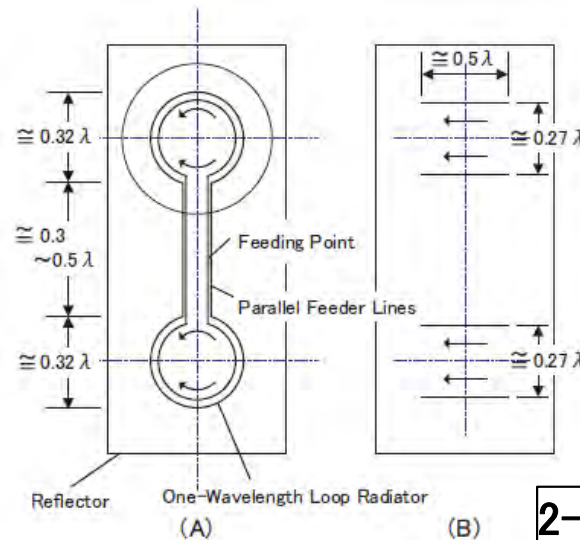


5段双ループアンテナ，1面の  
拡大写真．各段は4素子双ループ  
アンテナ．



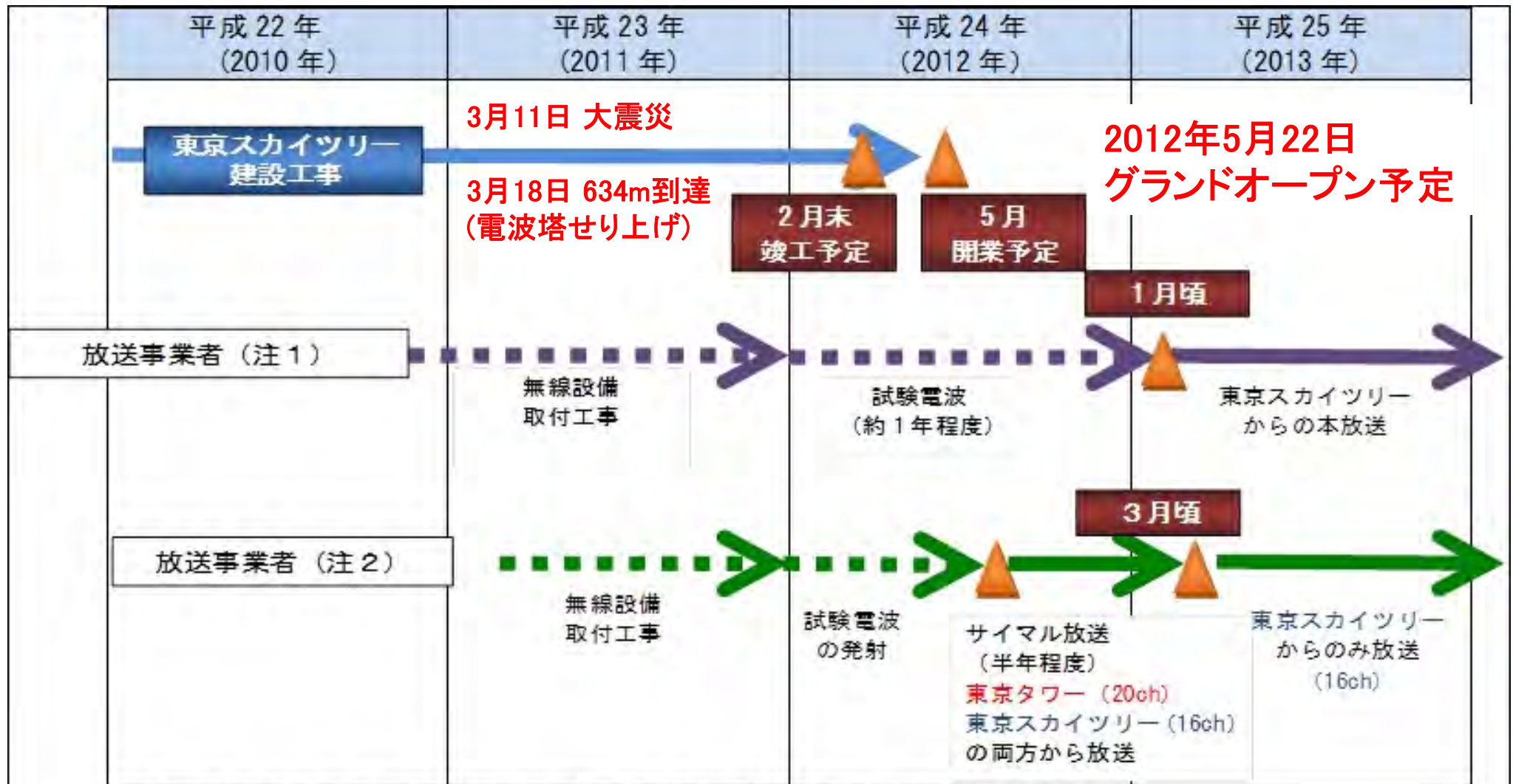
## デジタルテレビアンテナ

- ←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

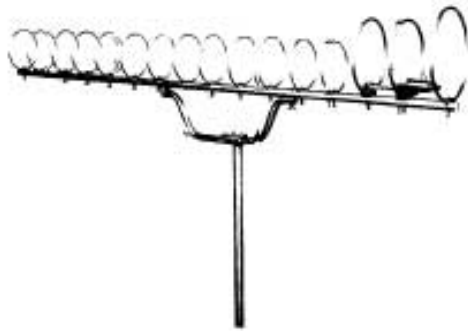


注 1：日本放送協会、日本テレビ放送網株式会社、株式会社テレビ朝日、株式会社 TBS テレビ、

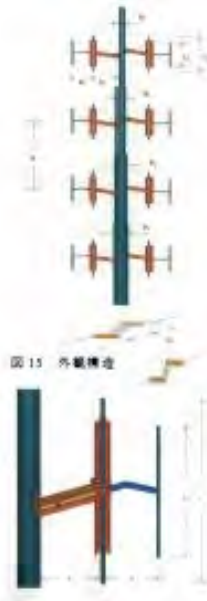
株式会社テレビ東京及び株式会社フジテレビジョンを示します。

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。

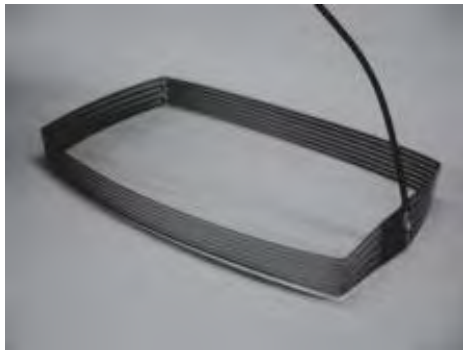
# VHF帯, UHF帯放送用各種アンテナ



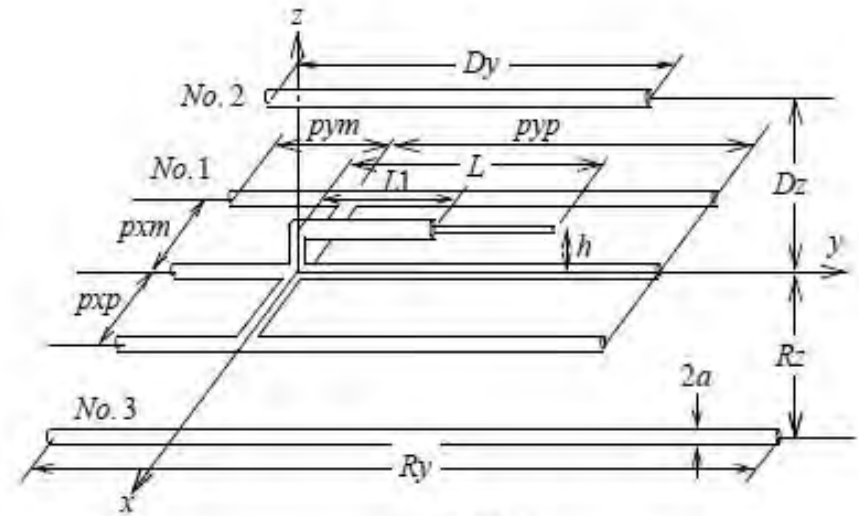
アリムラ技研 リングアンテナ



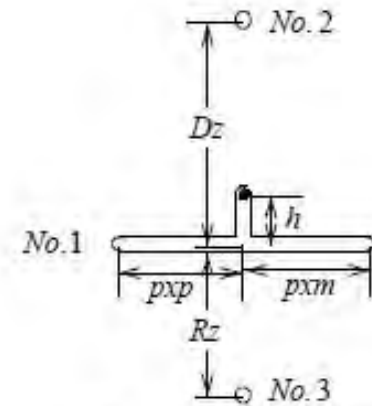
アンテナ技研 モバイルマルチメディア放送  
基地局用コリニアアンテナ(AP2009-216)



NHK技研 矩形折り返しループアンテナ



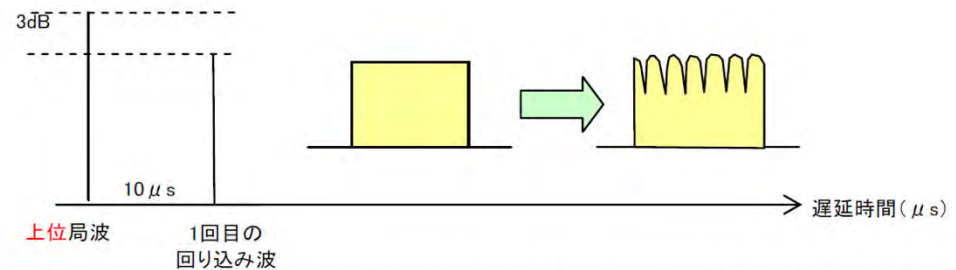
(a) 鳥瞰図



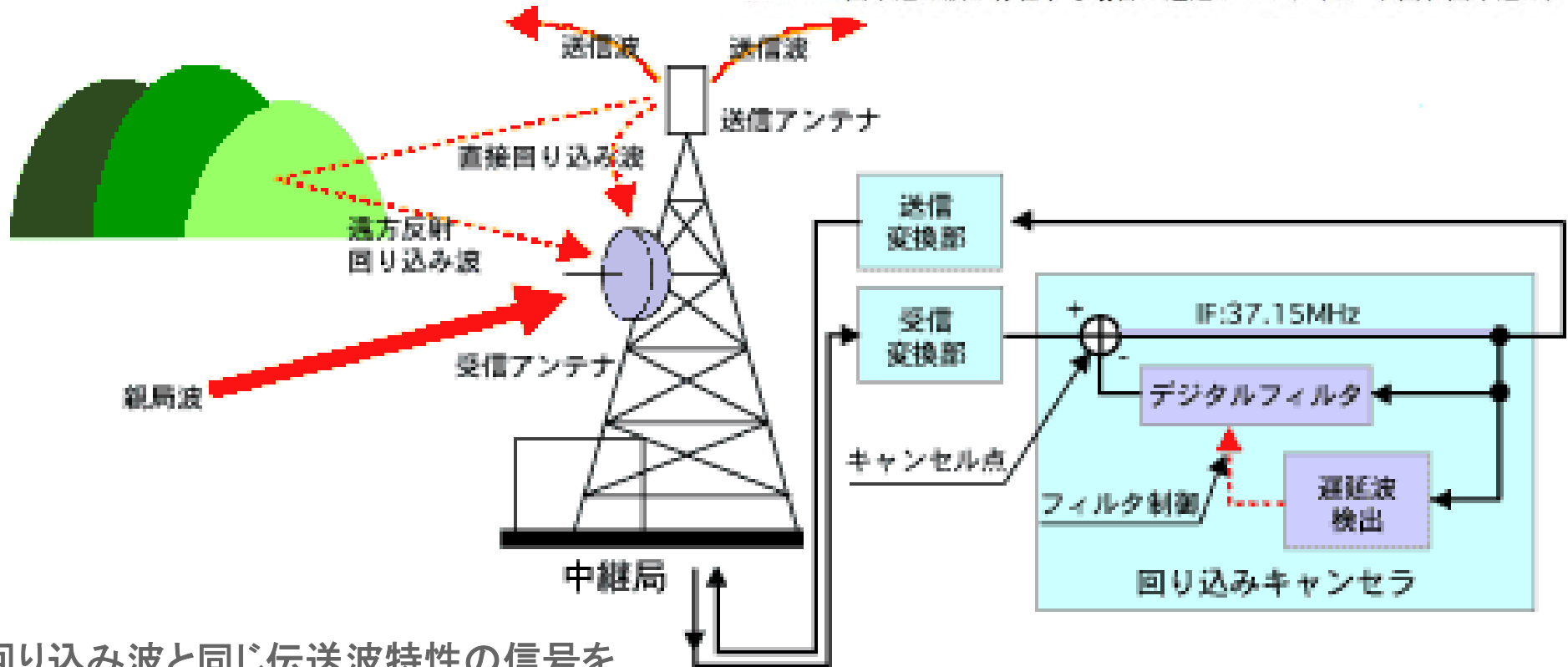
(b) xz面内の断面図

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)

# 回り込み波と回り込みキャンセラ ～単一周波数ネットワーク(SFN)用～



回り込み波が存在する場合の遅延プロファイル (1回、回り込み)



回り込み波と同じ伝送波特性の信号をデジタル・フィルタで作り出し、逆位相に変換して受信信号をキャンセルする

デジタル地上波放送の中継局技術を各社がアピール (Inter BEE 2002)  
<http://www.kumikomi.net/archives/2002/12/37inter.php>

## 3 衛星放送

3-1 1964年ABU設立：当初の活動はABU SAT(教育用)

3-2 放送衛星の開発

**NHKの衛星放送開発がIEEEマイルストーンに認定！**  
～世界初となった家庭に向けた直接衛星放送サービス～

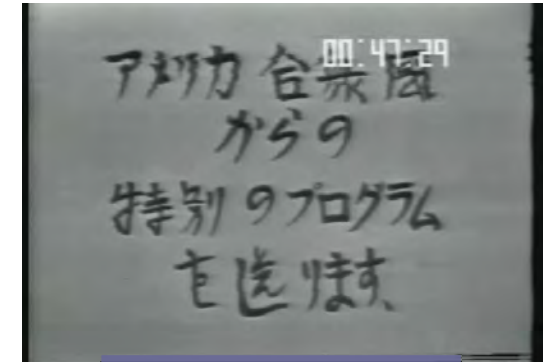


[http://www.nhk.or.jp/pr/marukaji/pdf\\_ver/317.pdf](http://www.nhk.or.jp/pr/marukaji/pdf_ver/317.pdf)

# 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

放送衛星の技術は、1960年代後半から急速に進歩を遂げ、1970年代前半には実用化の段階に達した。NHKは、この技術を利用して、国内放送だけでなく、国際放送にも応用しようとした。1965年6月にヨーロッパ放送連合総会に出席した阿川社長は、この技術の重要性を強調し、NHKの取り組みについて詳しく説明した。阿川社長は、放送衛星の技術が、世界中の視聴者に高品質の放送を提供するための重要な鍵であると述べた。また、NHKが放送衛星の研究開発に力を入れている理由として、国内放送の効率化と国際放送の拡大を挙げた。阿川社長は、放送衛星の技術が、世界中の視聴者に高品質の放送を提供するための重要な鍵であると述べた。また、NHKが放送衛星の研究開発に力を入れている理由として、国内放送の効率化と国際放送の拡大を挙げた。

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.

(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)

## 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.

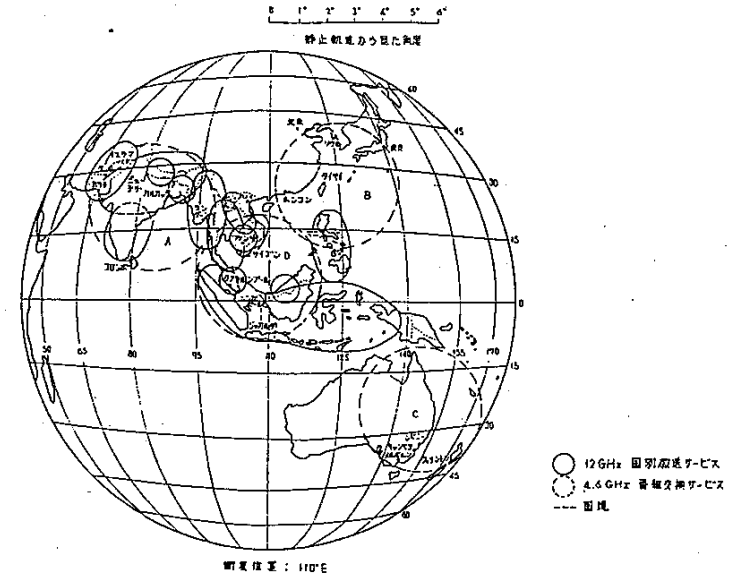
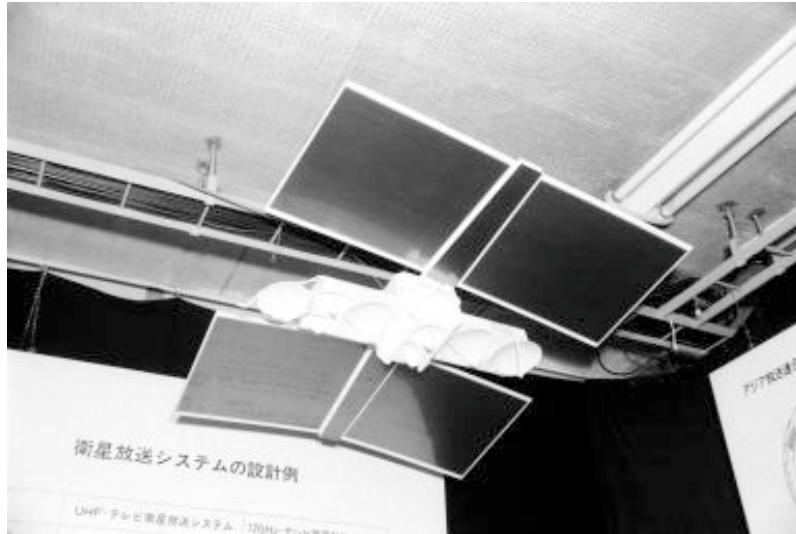
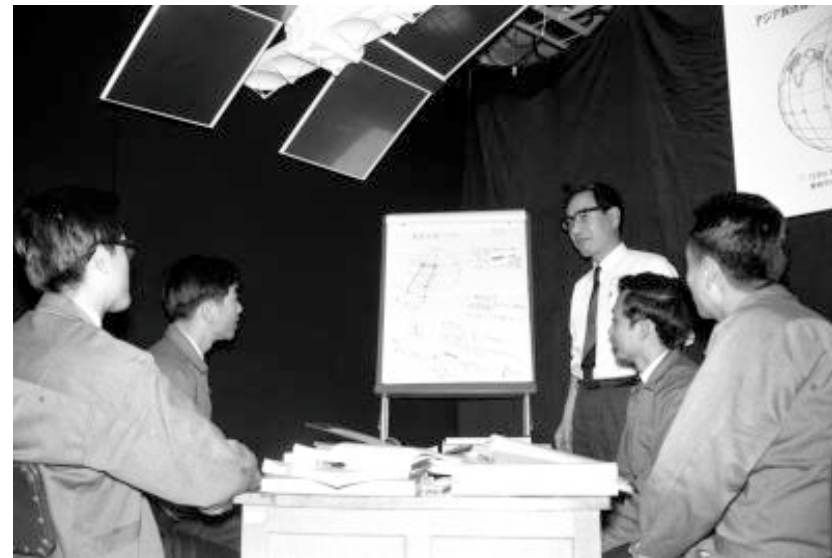


図4.18 ABUSATで想定したサービスエリア

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

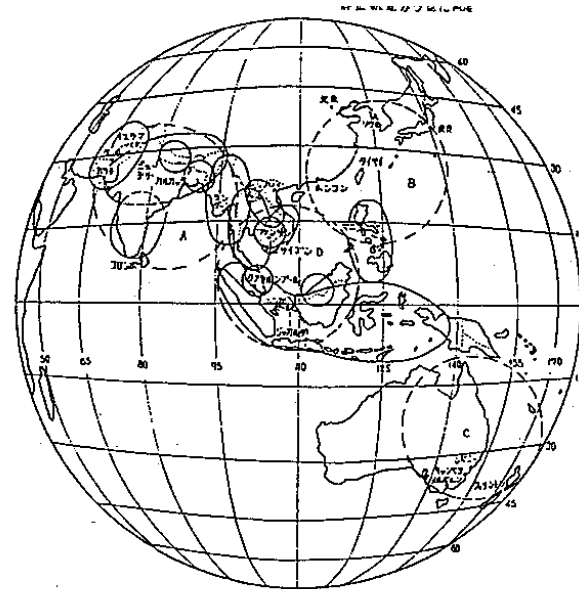
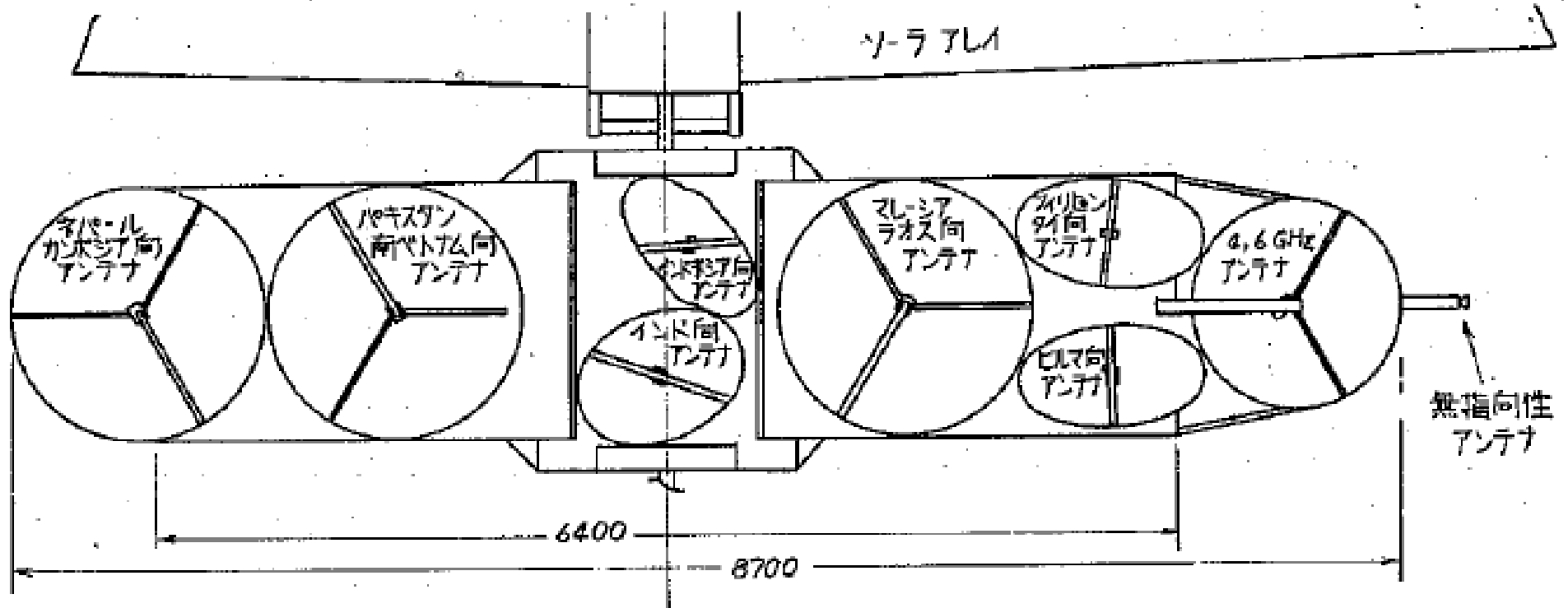


AP研 歴史チュートリアルワークショップ / 2025.03.18



3-1 1964年ABU設立: 当初の活動はABU SAT(教育用)

# ABU-12001衛星 (NHK提案) 搭載アンテナ



衛星軌道位置: 東経110度

- 12 GHz 国際放送サービス
- 4.6 GHz 番組交換サービス
- 国境

衛星位置: 110°E

# 1970年代(昭和46年~昭和55年)の放送衛星開発 BSAT

表4.14 放送用衛星の研究・開発(年次計画)

(46.12.7改訂)

年度		46 (1971)	47 (1972)	48 (1973)	49 (1974)	50 (1975)	51 (1976)	52 (1977)	53 (1978)	54 (1979)	55 (1980)	56年以降 (1981年以降)
国内外の計画	ATS計画			↑ ATS-F打上 (900kg)	↑ インフTV実験 ヨーロッパ2GHz 70,80GHz伝送伝搬実験	↑ ATS-G打上 (900kg)	ATS-H 1kw衛星を計画					
	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番組交換機他 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	
	宇宙開発事業団の計画					↑ ETS-1, 電離層 観測衛星打上げ 計画	↑ BTS-II 打上げ 計画 (100kg) 静止	↑ ECS 打上げ 計画 (100kg) 静止				
放送衛星方式の設計 および電波伝搬の研究		[OCIRの動き]**	中間会議	最終会議	総会							56年 日本を含むアジア地域の 国別放送衛星
衛星各部の研究		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					
衛星放送受信装置の研究		ABU衛星システム	12GHz降雨減衰測定 (マレーシア) 完	音声多重, TV方式(ATS-I実験) 伝送方式	12GHz衛星搭載用中継器	UHF低雑音受信機	12GHz受信機, コンバータ					

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)

## 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	打ち上げ2年後の 1980年, TWTが3本と も断
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-2a打ち上げ後3カ 月で3本のうち2本の TWTが断  BS-2b搭載用TWT 31 本の熱真空試験を行 い3本を選んで搭載. 寿命を全う.
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)	TWTの国産化

## 第5章 宇宙開発不具合の歴史

### 第3節 放送衛星BS-2号aの不具合

放送衛星BS-2号a(1884.1打ち上げ)は3本のTWTのうち, 2本が動作不能となり, 1チャンネル放送となった. しかし, 2チャンネル常時使用を目的としていたため, 大きな社会問題になった. 打ち上げ前の放送衛星BS-2号b(1886.2打ち上げ)のTWTの熱真空試験(電源オン, オフの繰り返し)を行ったところ, 30サイクルほどでTWT3本とも不具合の前兆が観測された. 従来の数サイクル試験だけで飛翔したとすると, 数カ月で三台中継器全部が断となっていた.

電極支持棒に付着したバリウムを流れるリーク電流が不具合の直接の原因である. 対策として, 電子銃付近の温度を下げるため, サーマルシャントと呼ばれる厚さ1.3mmの銅板を成形して, 電子銃外囲部とパネル基板に接着させ, 熱伝導によって電子銃外囲部の温度を下げた.

熱真空試験の結果, 30本のTWTのうち, 正常動作するものは2本であった. 最後の一本はトムソンから後で納入されたSSO(偶発的送信断)対策をしたという31本目のTWTであった. このTWTの熱真空試験を行い, 40サイクルの試験を乗り切った.

“中村有光技師長のBS-2号搭載TWTに対しての強い自信があればこそ, NHKの衛星放送有料化(1989年, BS-2b)に踏み切られたのではないかと考えている”

“今当時を振り返って, もしあの時, 31本目のTWTが無かったら, たぶんBS-2号は打ち上げられず, 我が国の衛星放送は今日とは相当違った道を歩んでいたにちがいない”

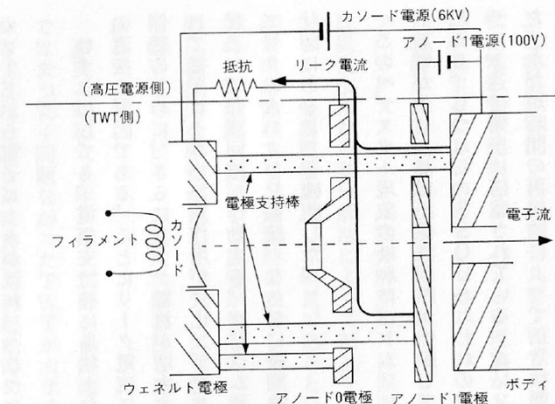


図5-4 TWTの電子銃部概念図

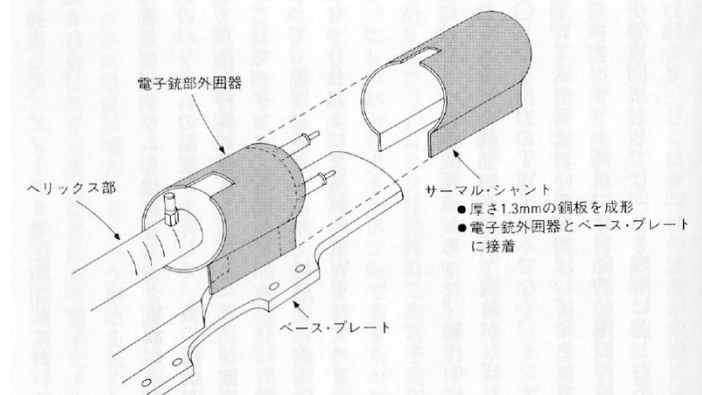


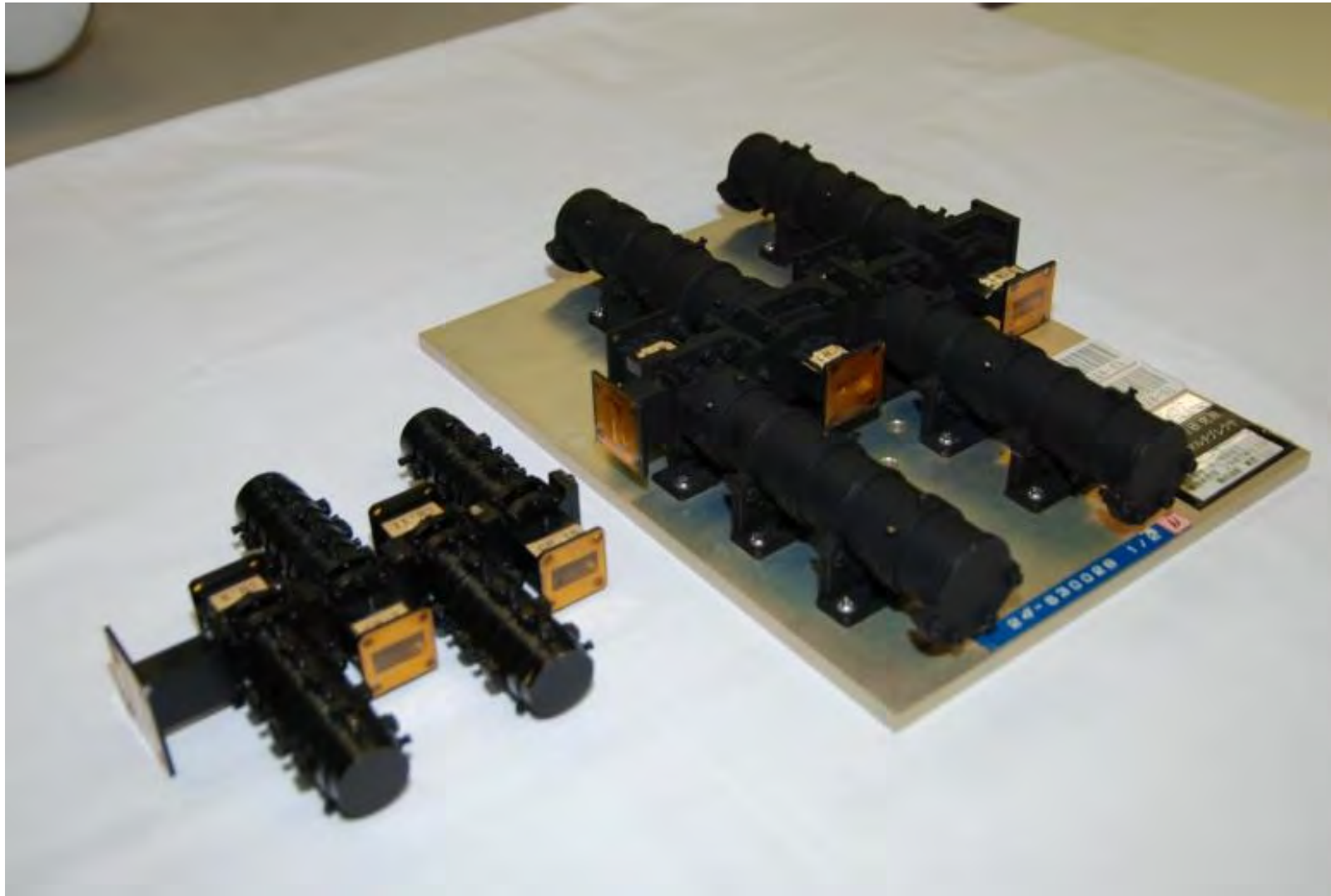
図5-5 TWT熱シャント取り付け状況

# 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

## 4 放送衛星搭載アンテナ

- 4-1 マルチホーンアンテナ(ビーム重畳, 実用)
- 4-2 鏡面修整アンテナ(任意形状ビーム, 実用)
- 4-3 アレー給電反射鏡アンテナ(ビーム形状可変, 実験)

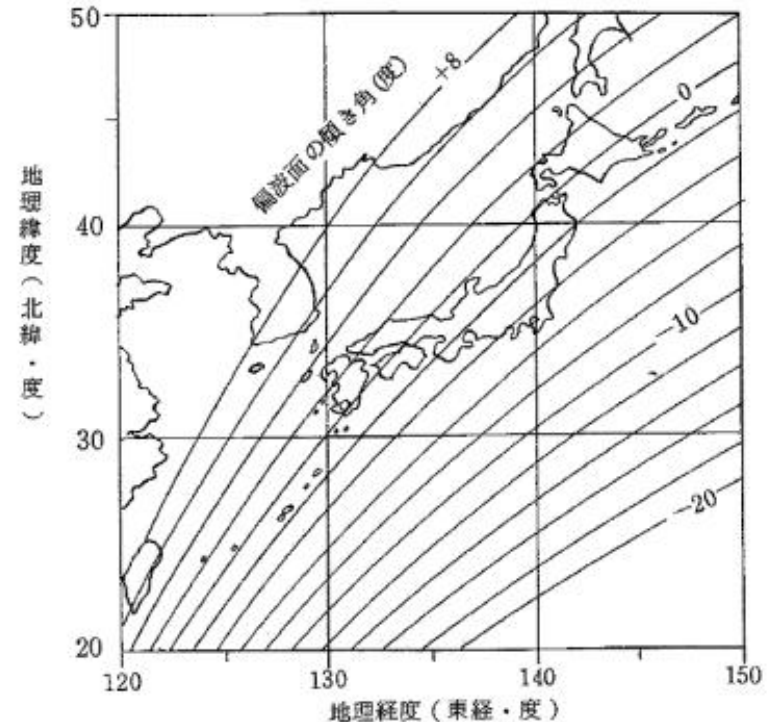
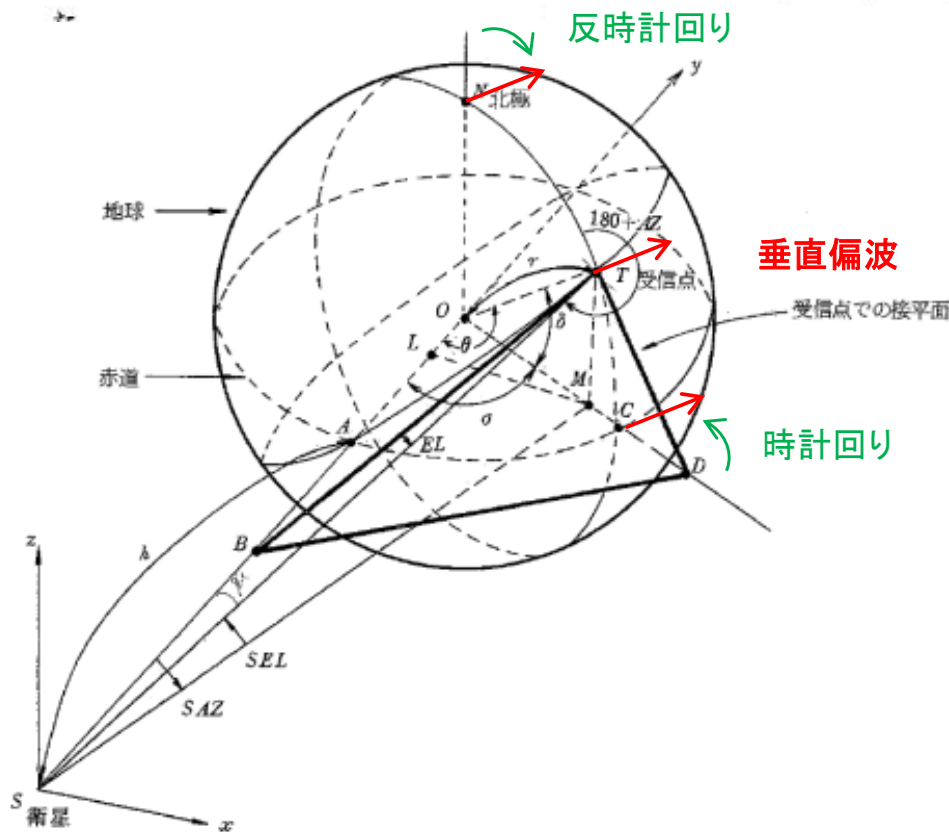
# 放送衛星は、なぜ円偏波か？

## 2.3 偏波面の傾き角 (Inclination angle of linearly polarized wave)

実験用中型放送衛星の電波は、衛星空中線のビーム中心である能登半島沖（第2.4図参照）で垂直偏波になるように設計されている。従って、衛星・ビーム中心・地球の中心を含む平面上の受信点では垂直偏波として受信できるが、その他の地点では垂直面から傾いた直線偏波として受信することになる。この傾き角 $\phi$

日本各地での偏波面の傾き角を計算し、等高線として地図上に画いたのが第2.5図である。符号は受信点から衛星を見て反時計回りの方に傾いた場合を正とし

直線偏波だと、各家庭で受信アンテナを設置するときに、偏波合わせをしなければならない。しかし、円偏波だと、このような偏波合わせが不要になる。  
 1977年(WARC-77)のプランで、日本は右旋、韓国は左旋が割り当てられた。



第2.5図 日本各地での偏波面の傾き角

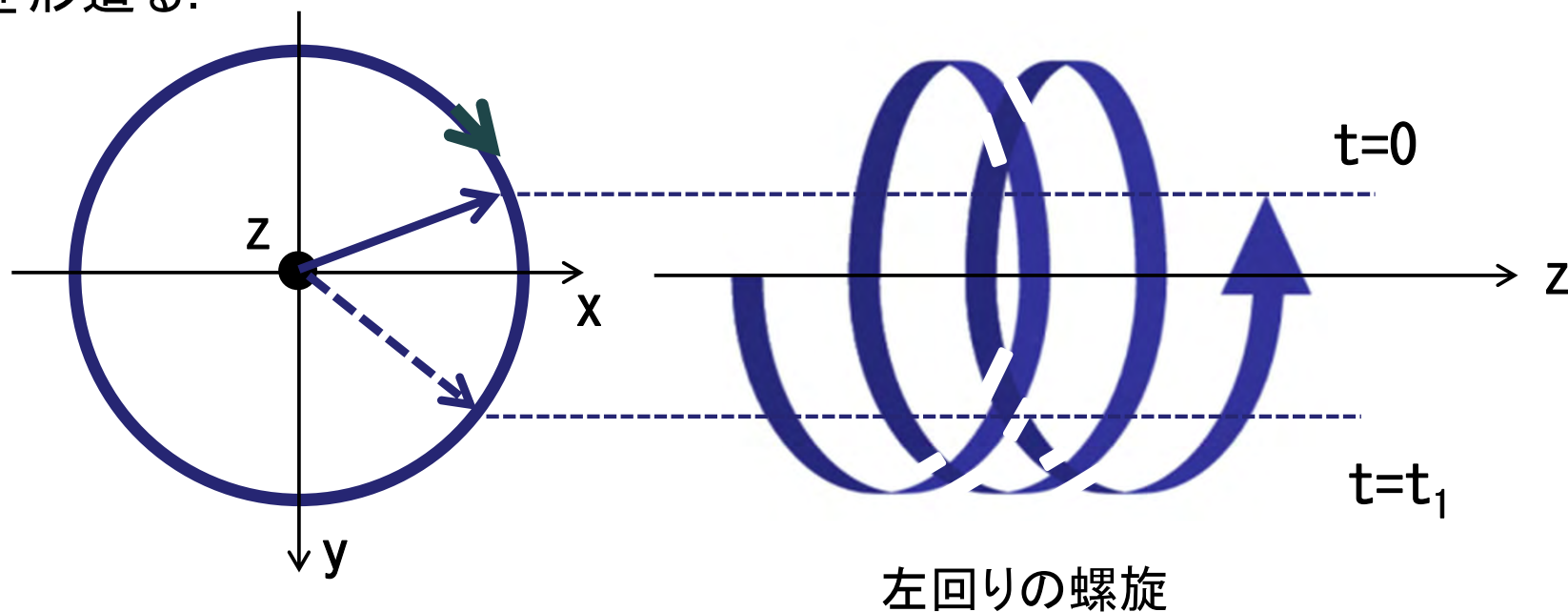
# 円偏波の定義

Radio Regulations (無線通信規則) Appendix 30 (付録第30号), Annex 5 (第5附属書), 3.2 Polarization (偏波)

## 3.2.3 順方向偏波(右旋偏波又は時計回りの偏波)

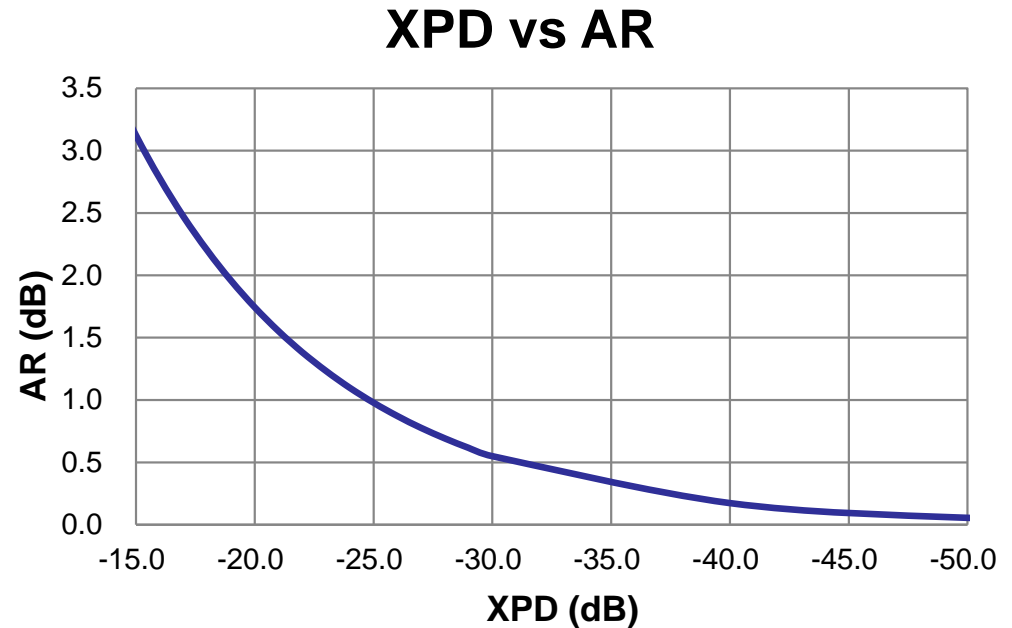
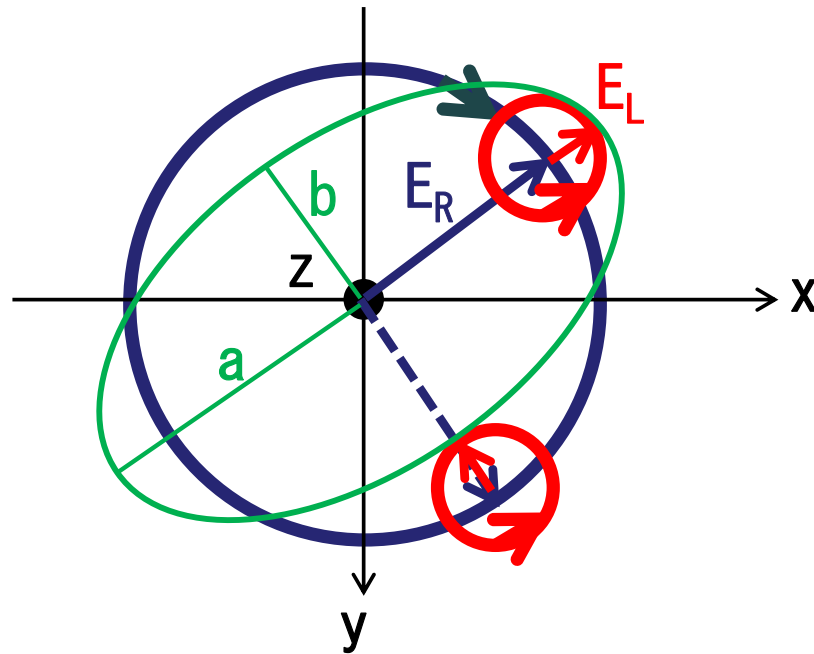
電界ベクトルが、伝搬の方向に垂直な任意の固定平面上で伝搬の方向に向かって見るとき(すなわち、伝搬の方向から波源に対して見るものではない。), 時間とともに右旋, すなわち, 時計回りに回転する楕円又は円の偏波

注意 右旋円偏波の平面波については, 電波の波面に垂直な直線上の任意の点からの電界ベクトルの先端は, いずれの瞬間においても, 左回りの螺旋を形造る.



左回りの螺旋

# 交差偏波識別度と軸比



$E_R$  : 主偏波 (Co)

$E_L$  : 交差偏波 (Cross)

交差偏波識別度  $XPD = 20 \log(\text{Cross}/Co) = 20 \log(E_L/E_R)$  (dB)

軸比  $AR = 20 \log(a/b) = 20 \log((1+\text{Cross}/Co)/(1-\text{Cross}/Co))$  (dB)

# 円偏波特性のよいホーンアンテナ

信学会 知識データベース 4群2編6章 開口面アンテナ

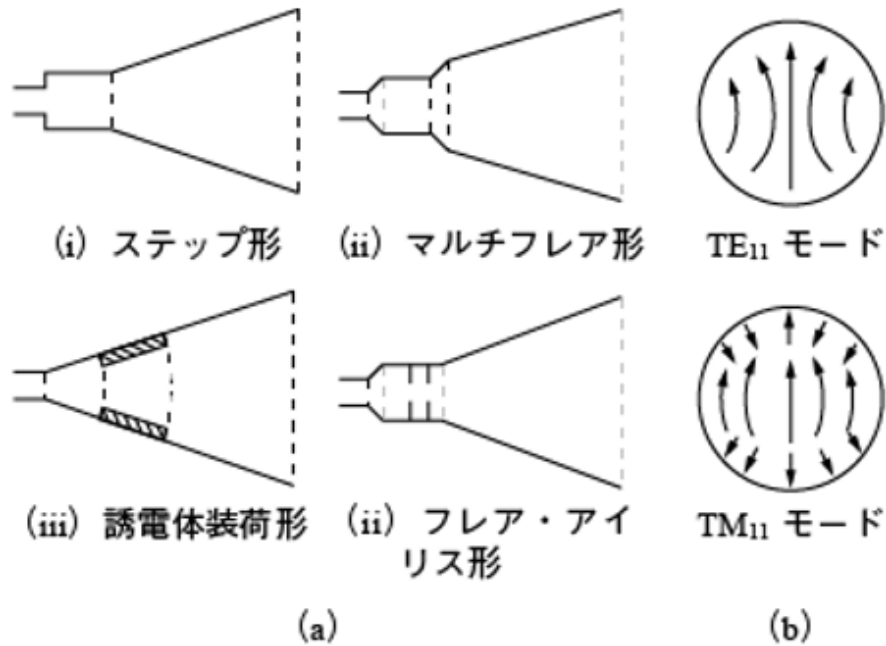


図 6・8 複モード円錐ホーンアンテナ<sup>1)</sup>

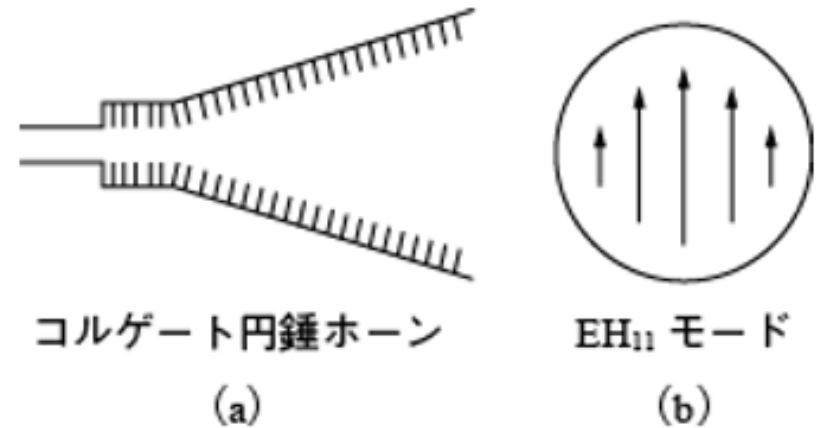


図 6・9 コルゲート円錐ホーンアンテナ<sup>1)</sup>



# BS-2搭載用アンテナ

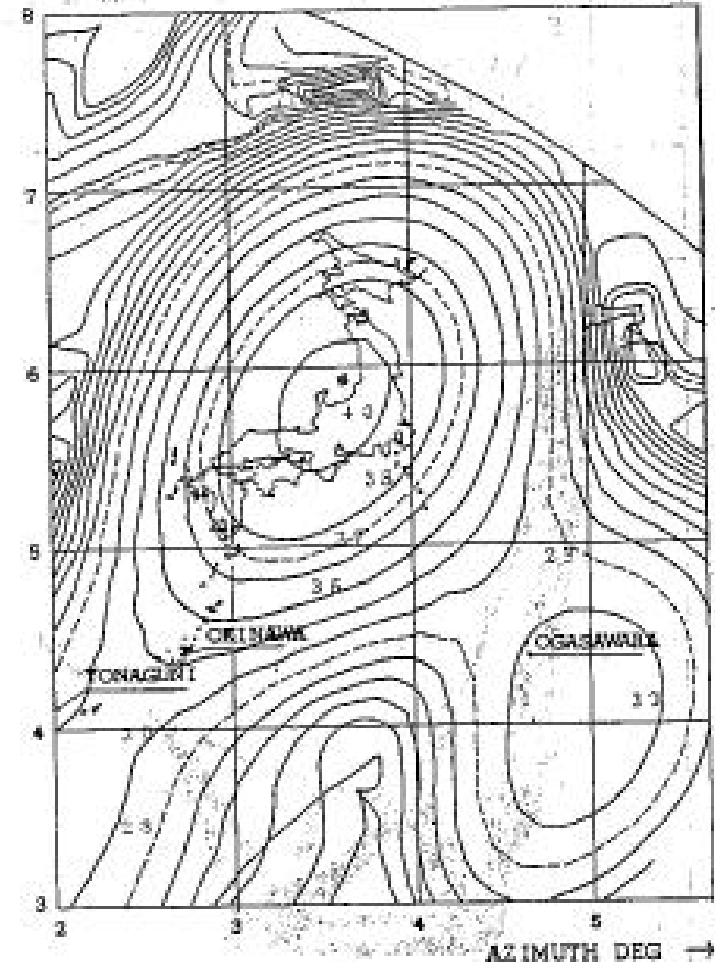


図2 TV 信号 (送信: 11.96 GHz)

- ・1984年 BS-2打ち上げ JAXA提供
- ・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

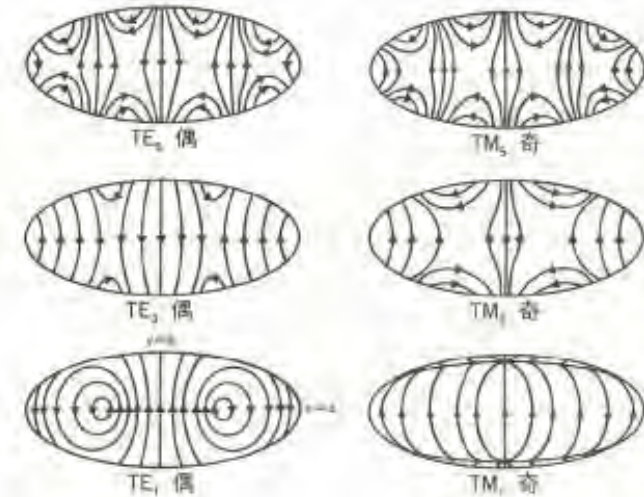
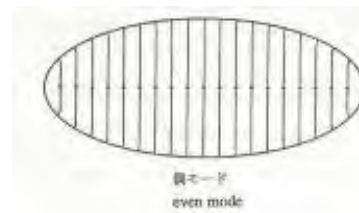
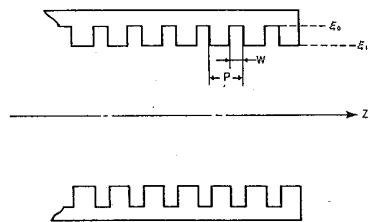
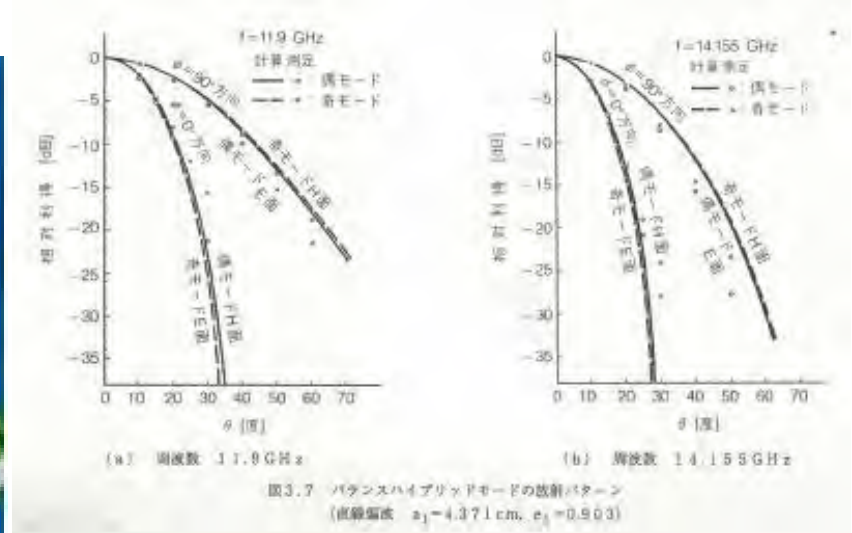
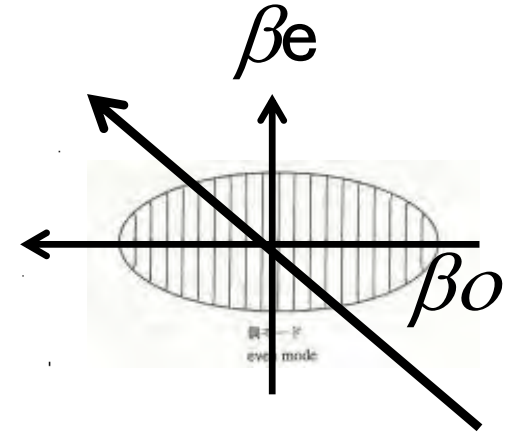
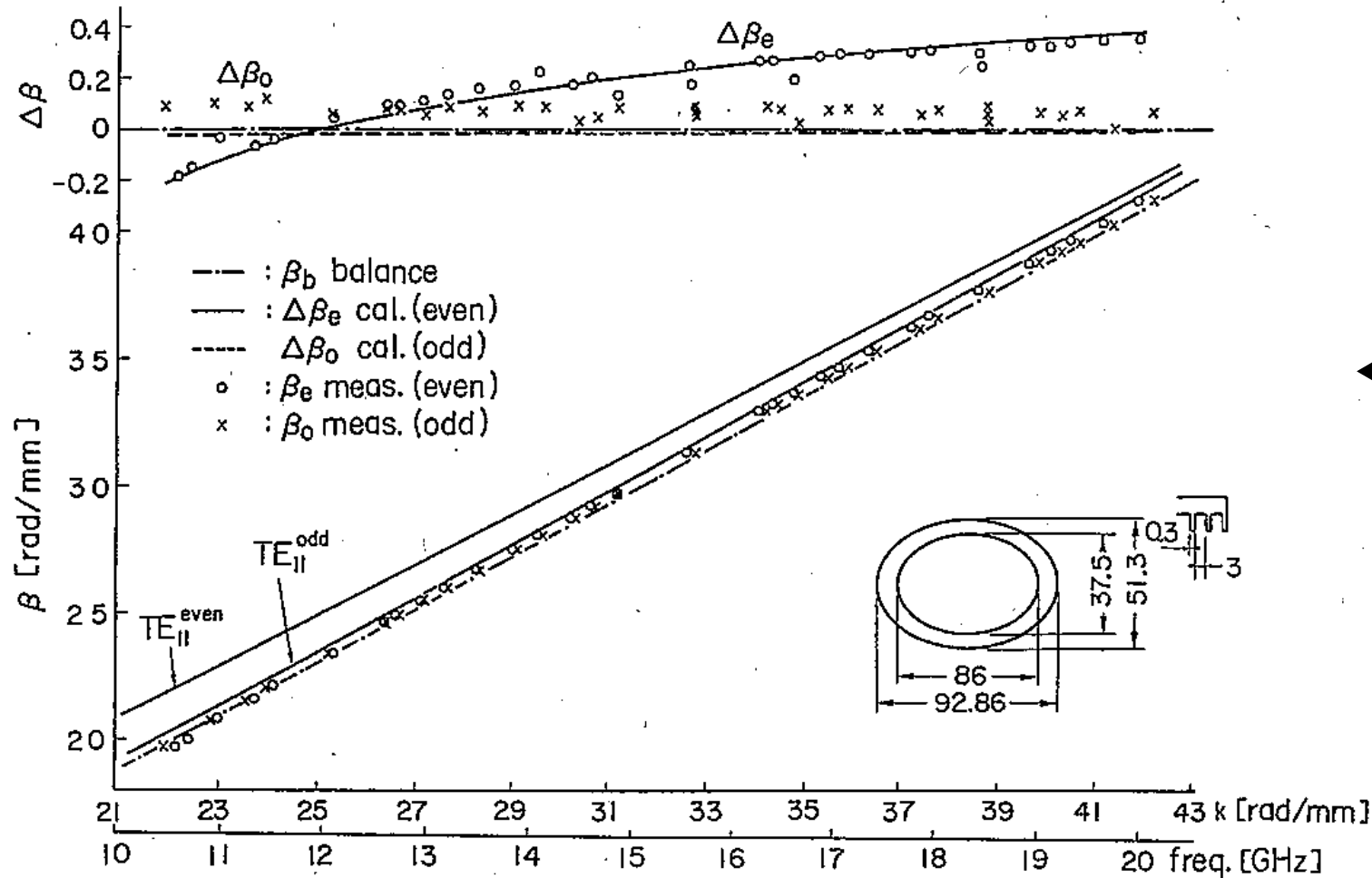


図3.8 パランスハイブリッドモード(H<sub>11</sub>)<sup>\*</sup>を構成するコンポーネント

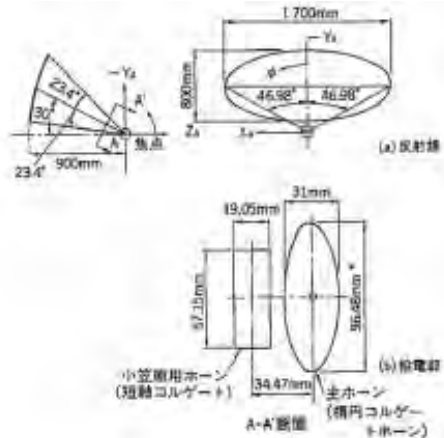
- ・楕円コルゲートホーンと長方形ホーン給電器(NEC製), 1984年(昭和59)
- ・コルゲートホーンは広帯域(12/14GHz帯)にわたって良好な円偏波特性
- ・楕円反射鏡を効率よく照射する楕円(日本本土と沖縄)と長方形(小笠原用)開口
- ・BS-3搭載用アンテナの開発に反映

# 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 $k-\beta$ 特性

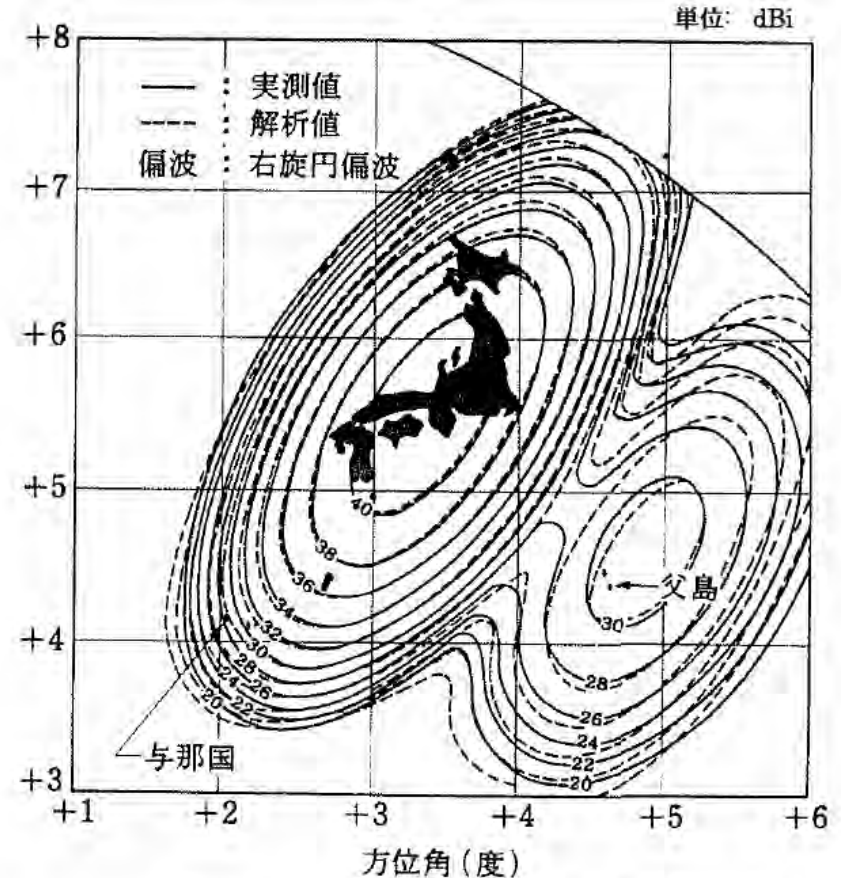
# BS-3搭載用アンテナ



(b) アンテナの外観



(c) 一次放射器の外観

図1.4 BS-3搭載アンテナ<sup>(9)</sup> JAXA提供図1.5 BS-3搭載アンテナの放射パターン<sup>(9)</sup>

- ・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。

# 仮想マルチホーンを用いた鏡面修整アンテナ

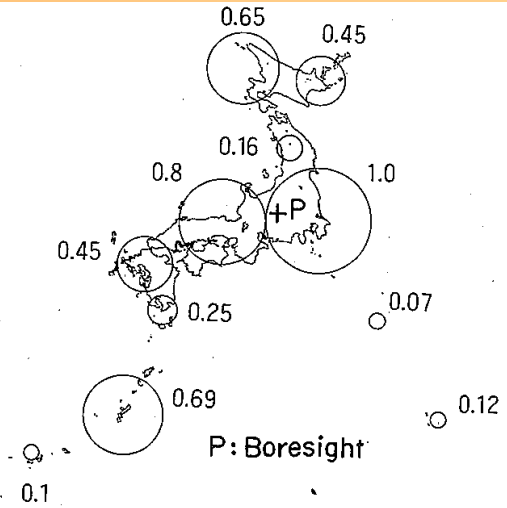


図4 仮想マルチビームの位置と電力比(図中の数値は励振電力(相対値))

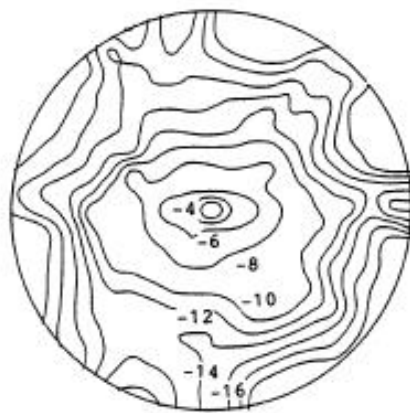


図2 主反射鏡入射電界の振幅分布 (dB)



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

# 仮想マルチホーンを用いた鏡面修整アンテナ (3)

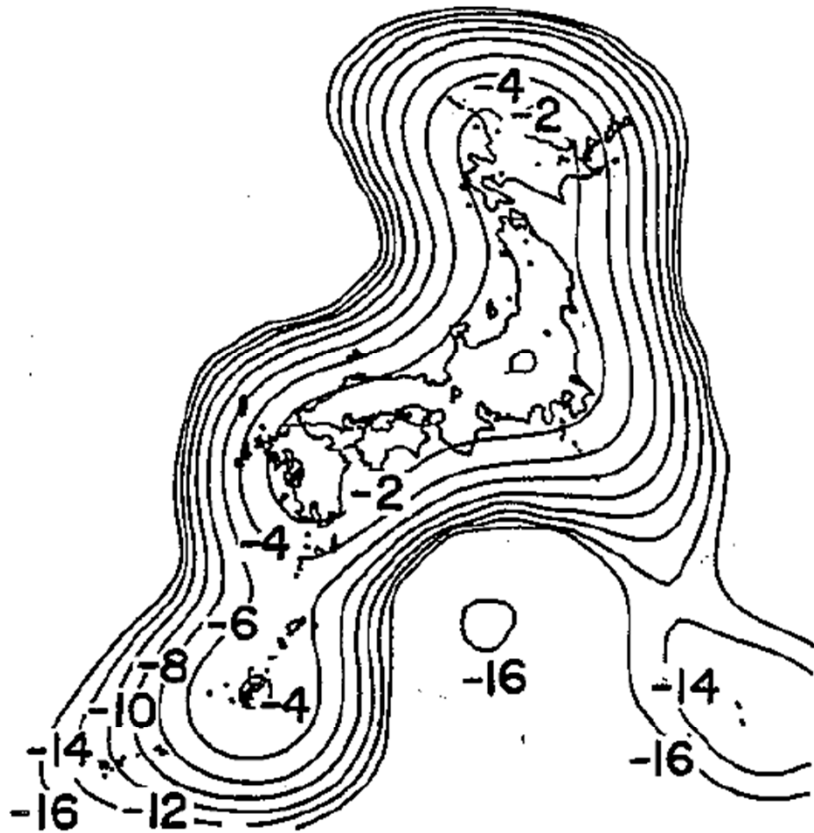
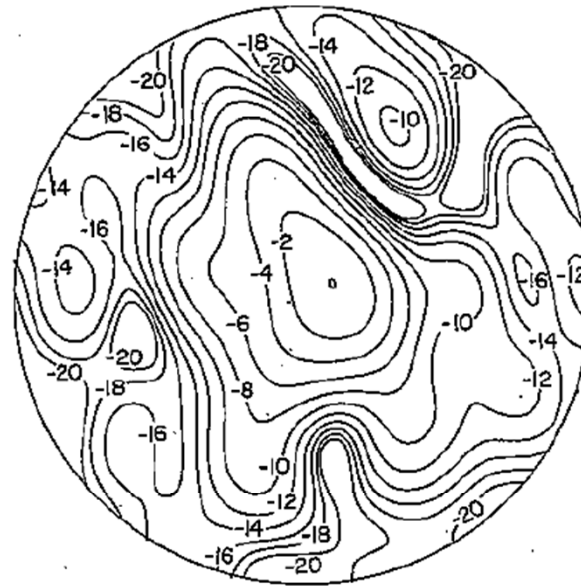
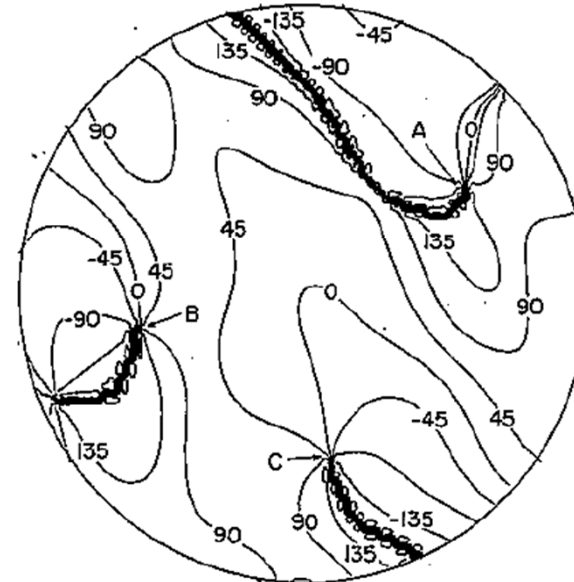


図 5 仮想マルチビームを合成した放射パターン (相対レベル) (dB)



主反射鏡上の電流の振幅分布 (相対値, dB)



主反射鏡上の電流の開口面上における位相分布 (deg.)

位相の不連続  
→ 鏡面段差

鏡面段差の解消が課題

# 最適化法を用いた1枚(単)反射鏡鏡面修整アンテナ

(9) K. Shogen, H. Nishida, N. Toyama : "Single Shaped Reflector Antennas for Broadcasting Satellites", IEEE Trans. AP, Vol. 40, No.2, 1992.

- ・2枚(複)反射鏡の鏡面修整よりも, 1枚(単)反射鏡で所望の成形ビームが得られれば, 衛星搭載性がよくなる.
- ・1枚(単)反射鏡を対象に, 遠方界に拘束点を設け, 位相分布だけを最適化法で求め, それを実現するように鏡面修整する方法.
- ・幸いに, 1枚反射鏡の振幅分布は中央で値が最大で周辺に向かって減少していくので, 振幅分布は変えなくても満足のいく成形ビームが得られる.
- ・アンテナ周辺部は遠方界で, 周期の短い細かいリップルになるので, サイドローブがそれほど上昇しない.

TABLE I  
SYSTEM PARAMETERS OF INITIAL ANTENNAS (SEE FIG. 4)

	Downlink antenna	Feederlink antenna
Diameter of reflector $D$	2300 mm	1600 mm
Focal length $f_l$	1320 mm	1254 mm
$\theta_a$	3.8°	6.9°
$\theta_s$	40.2°	31.5°
$\theta_h$	44.0°	38.4°

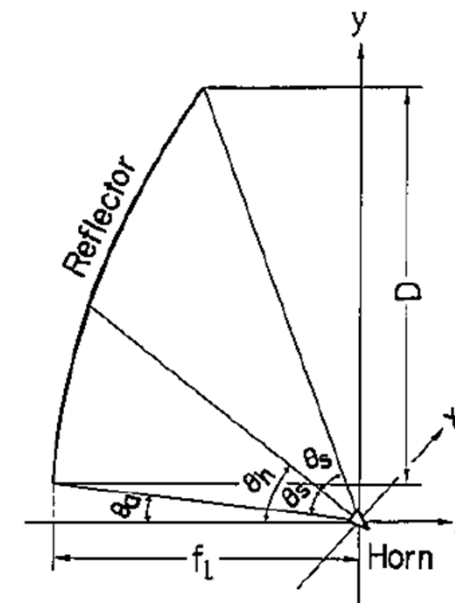


Fig. 4. Geometry of the initial parabolic reflector.

# 最適化法を用いた1枚(単)反射鏡鏡面修整アンテナ(3)

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \beta_n} = \sum_{m=1}^M \left\{ 2 [G_m - GD_m] W_m \frac{-2 A_n}{\sum_{n=1}^N A_n^2} \operatorname{Im} [E_{nm} E_m^* e^{j\beta_n}] \right\}$$

where

$\Psi$	the cost function
$G_m$	the directive gain in the $m$ th direction
$GD_m$	the constraint directive gain in the $m$ th direction
$M$	the total number of far-field directions
$A_n$	the relative amplitude of the $n$ th element
$N$	the number of elements in the aperture
$\operatorname{Im}$	imaginary part
$E_{nm}$	$= E_n(\theta_m, \phi_m) e^{jk(x_n u_m + y_n v_m)}$
$x_n$	the $x$ coordinate of the $n$ th element
$y_n$	the $y$ coordinate of the $n$ th element
$E_m(\theta_m, \phi_m)$	the radiation electric field in the $m$ th direction
*	conjugate.

# 最適化法を用いた1枚(単)反射鏡鏡面修整アンテナ(4)

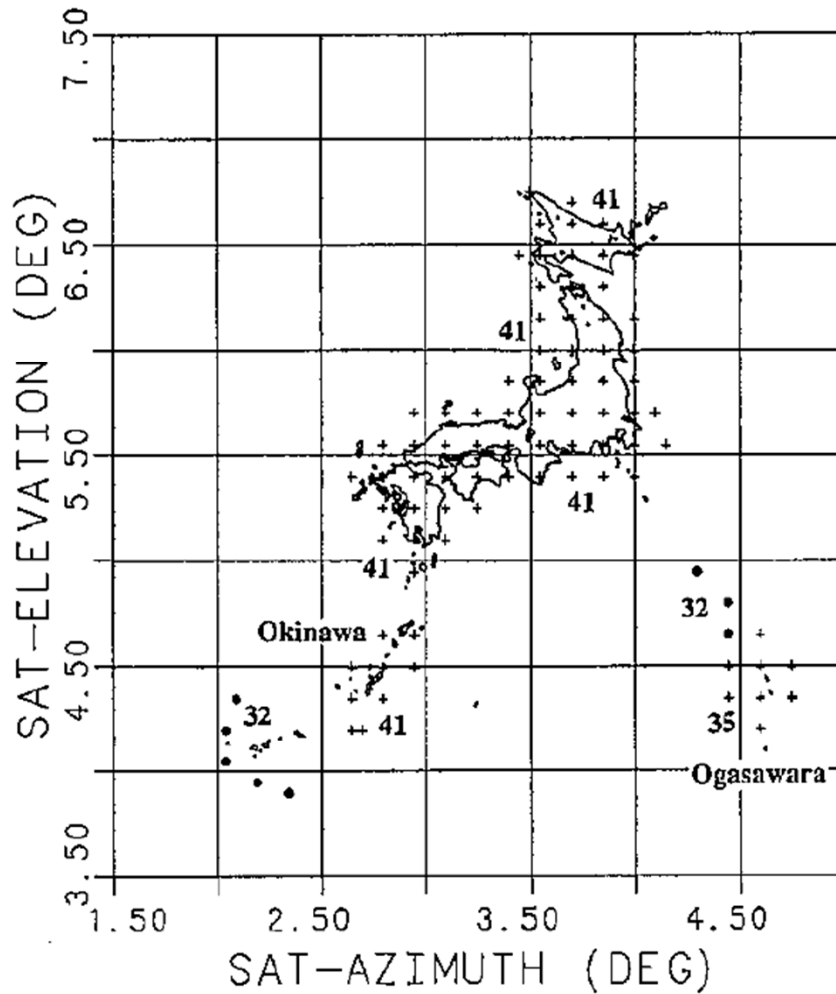


Fig. 6. Far-field points (89) and constraint gains for the downlink antenna (dBi).

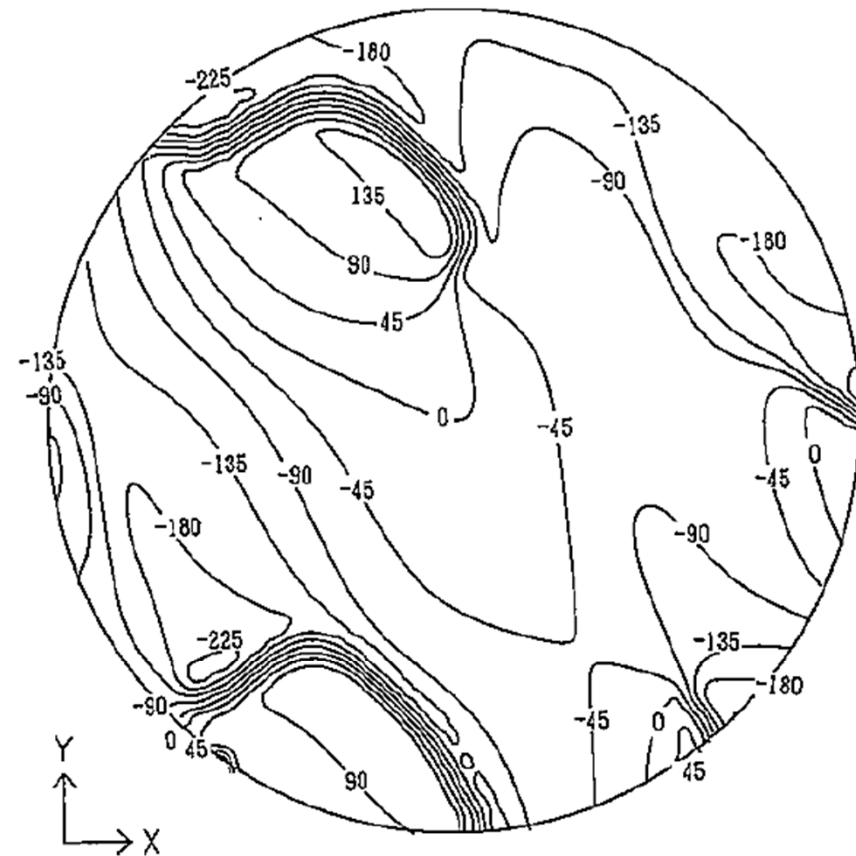


Fig. 8. Optimized phase distribution on the reflector aperture for the downlink antenna (12 GHz) (deg.).

# 最適化法を用いた1枚(単)反射鏡鏡面修整アンテナ(5)

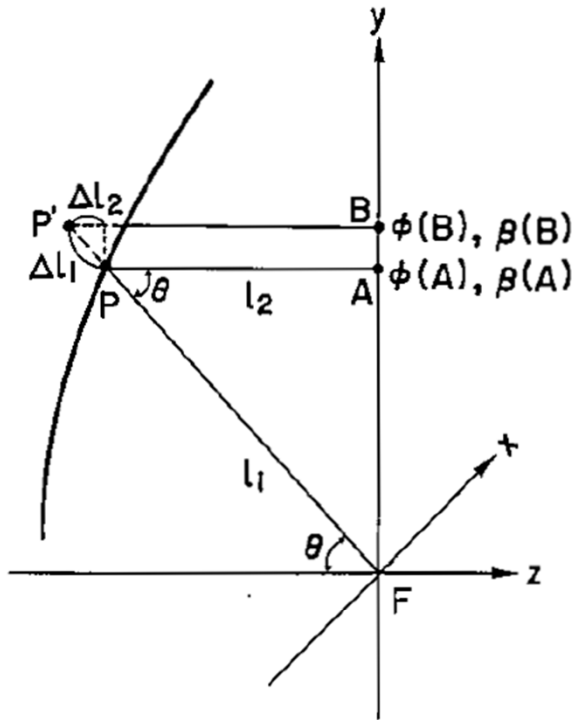


Fig. 10. Geometry for shaping the reflector.

The increment in the path length necessary to compensate for the phase difference in  $\phi(A)$  and  $\beta(A)$  is

$$\Delta l = \frac{\lambda}{2\pi} \{ \phi(A) - \beta(A) \}. \quad (8)$$

For the geometry of Fig. 10, the increment in the path length is

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 = \Delta l_1 (1 + \cos \theta). \quad (9)$$

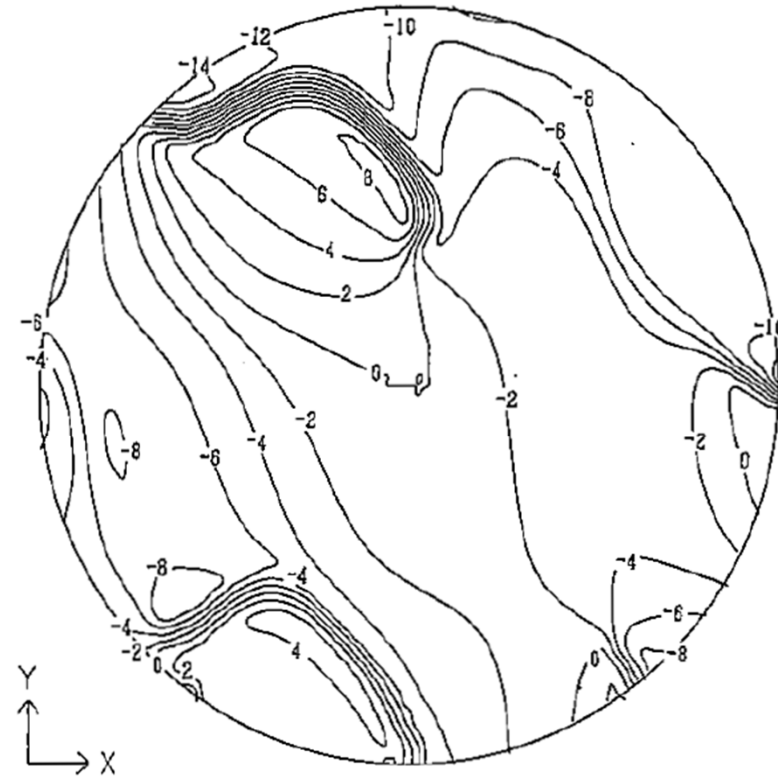


Fig. 11. Difference in  $z$ -values between the shaped reflector surface and the initial parabolic reflector surface for the downlink antenna (mm).

# 放送衛星搭載用鏡面修整アンテナ



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

- 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。

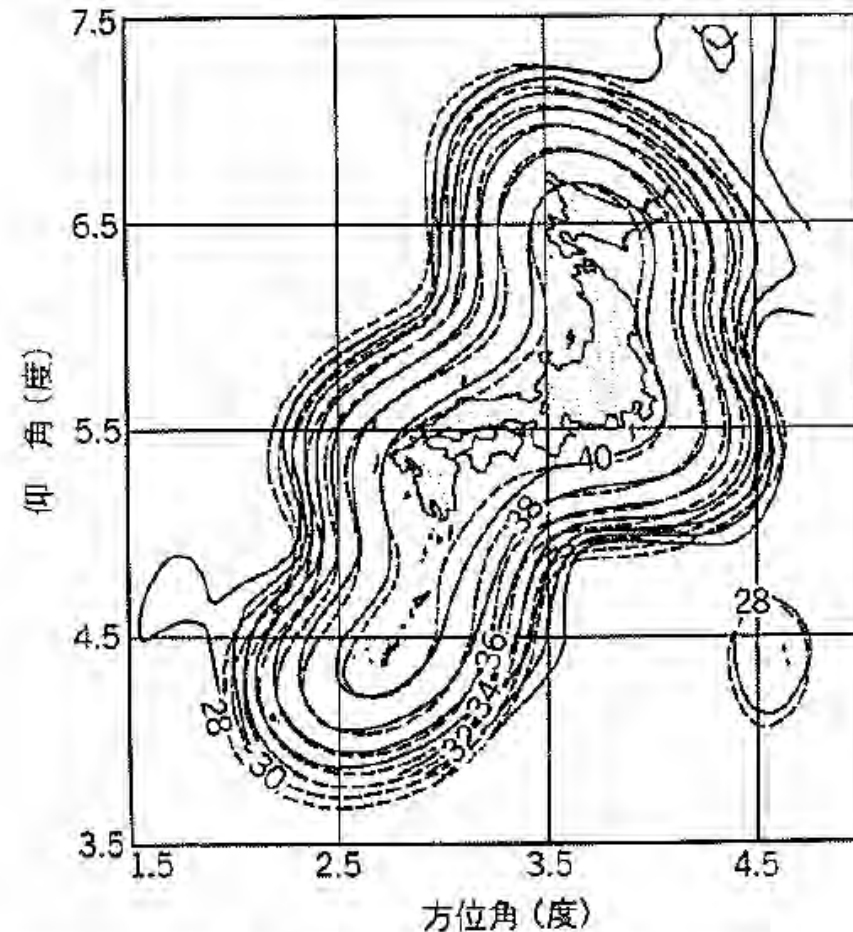
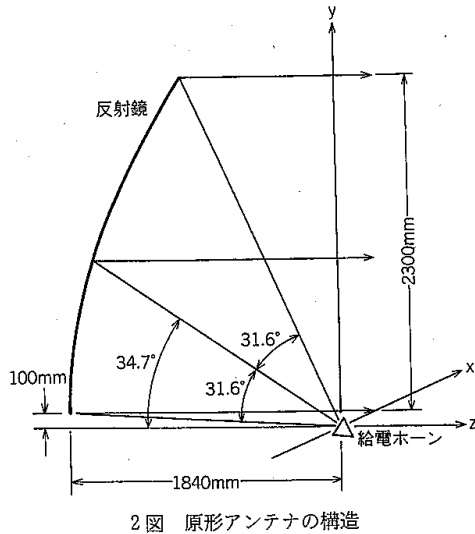
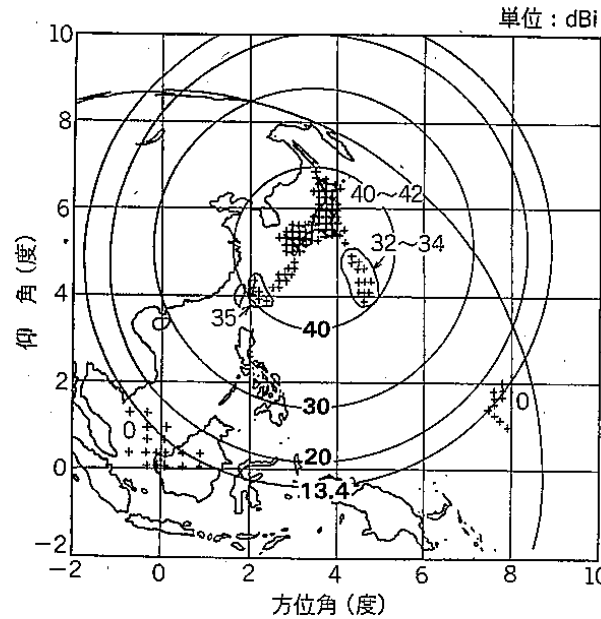


図1.7 鏡面修整アンテナの主偏波放射パターン(dBi) <sup>(13)</sup>  
——計算値 ———測定値(12GHz)  
ピーク利得(計算値:41.7dBi,測定値:41.8dBi)

# 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

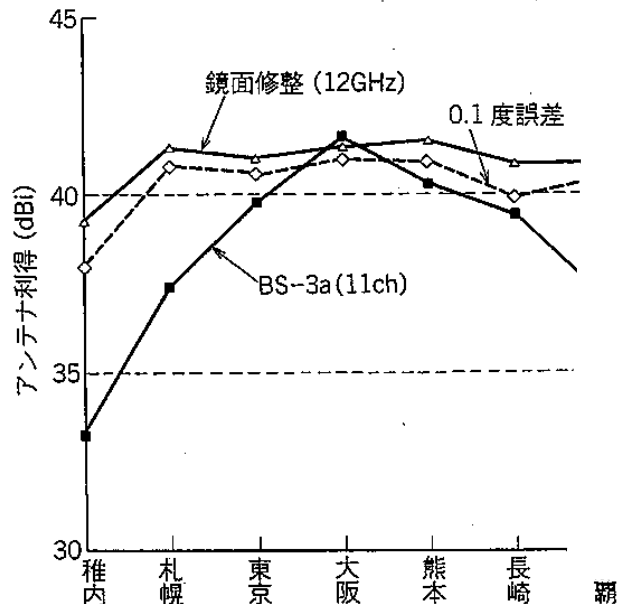


3図 利得拘束点(124点)

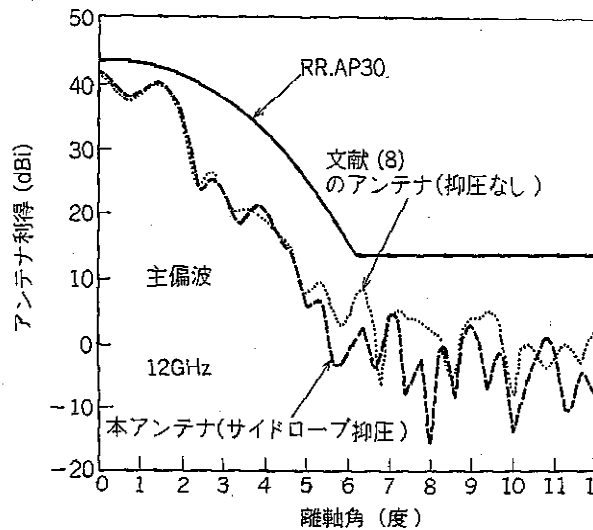
遠方界の拘束利得を満たすように鏡面を修整  
(背景に当時のコンピュータ性能の向上、大型アンテナ搭載の可能性)

- ⇒ 鏡面段差の抑制
- ・サイドローブの抑制

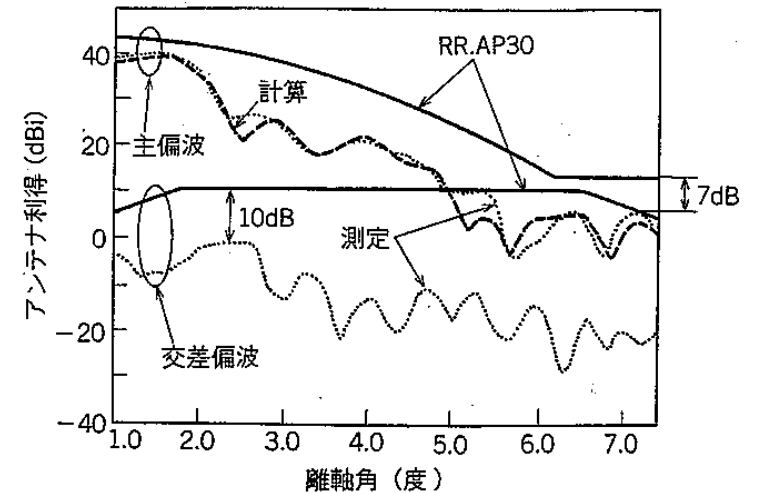
## 1枚反射鏡⇒振幅分布固定



## 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

# BSAT-2衛星搭載アンテナ

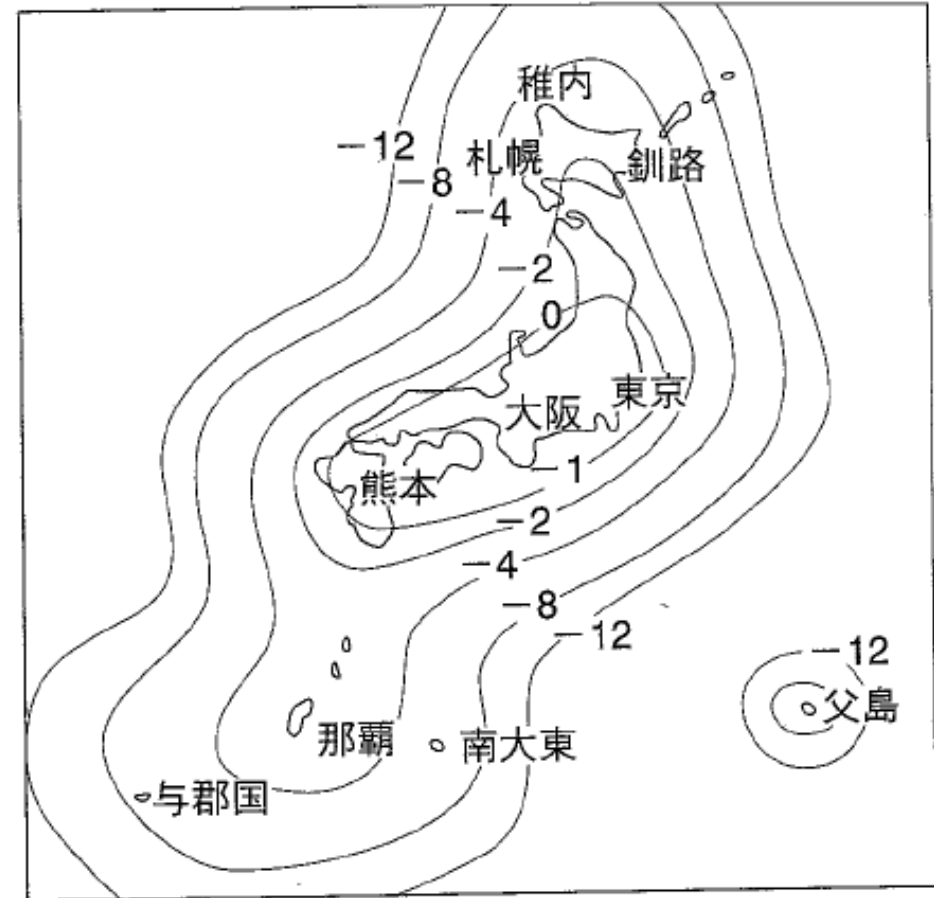


図 10・5 送信アンテナ利得パターン

# B-SAT Satellite Fleet

BSAT-4a, 4b



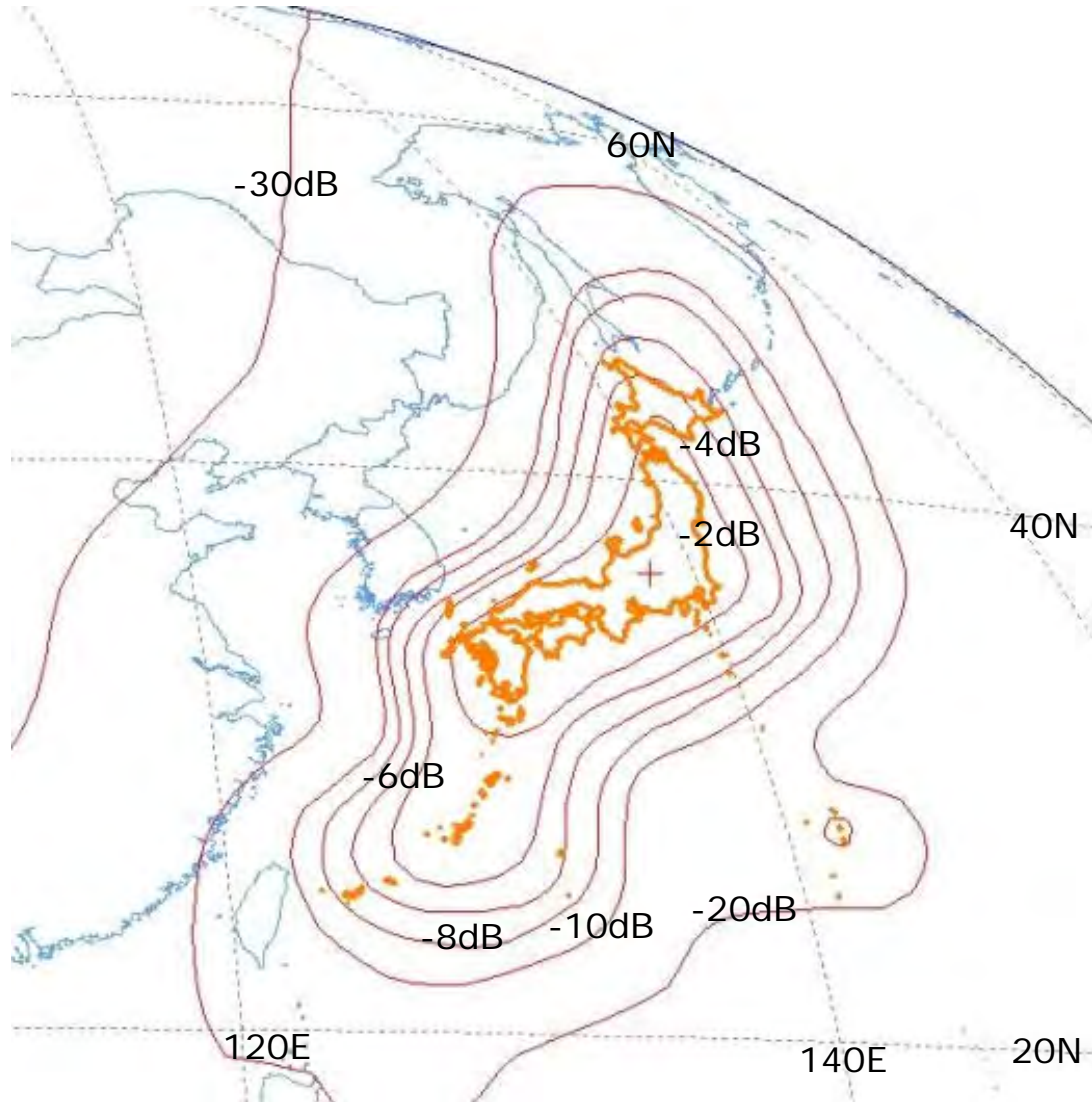
BSAT-4a and BSAT-4b were launched and transferred to 110E in 2017 and 2020.

**110E**



BSAT-3b

BSAT-3c



# 21GHz帯放送衛星搭載用マルチホーン鏡面修整アンテナ

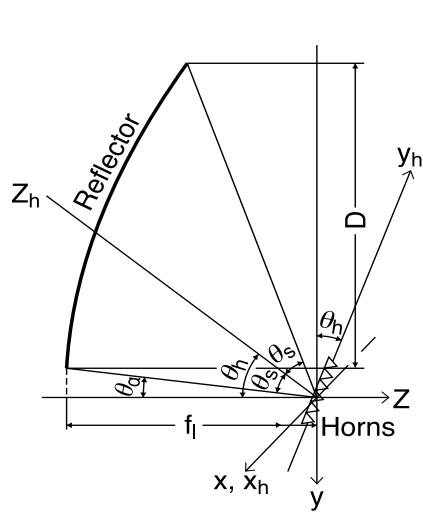


図4

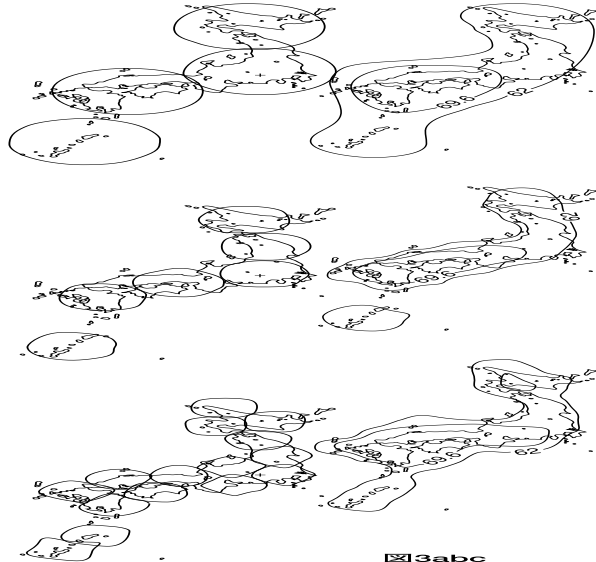


図3abc

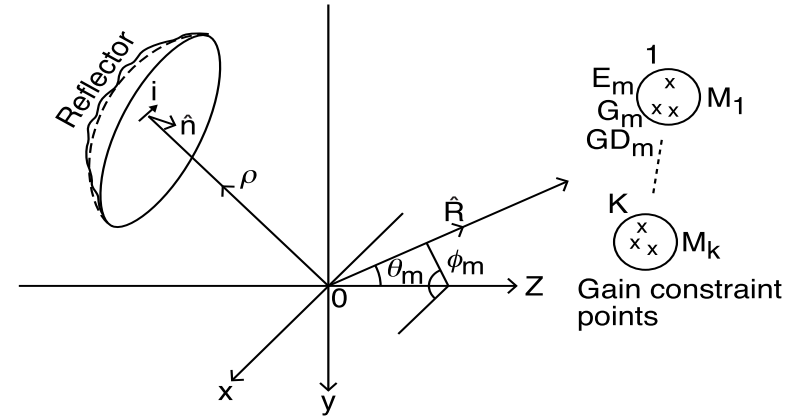


図8

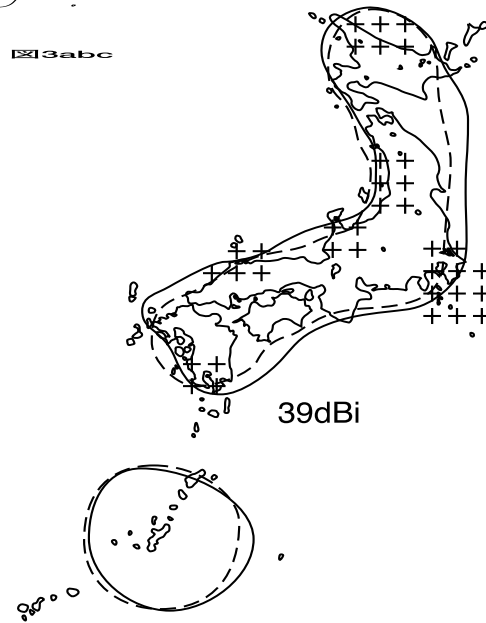
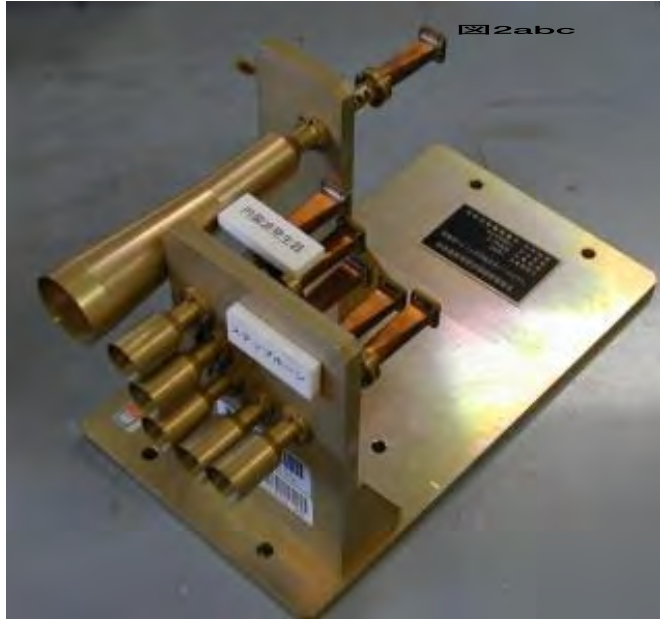


図10

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+鏡面修整

マルチホーンアンテナと6給電ホーン

# 21GHz帯衛星放送

## 周波数

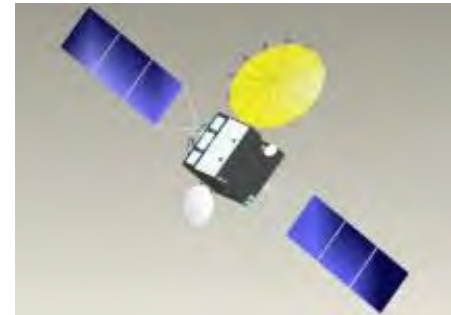
21.4GHz～22GHz(600MHz)

## 降雨減衰補償技術

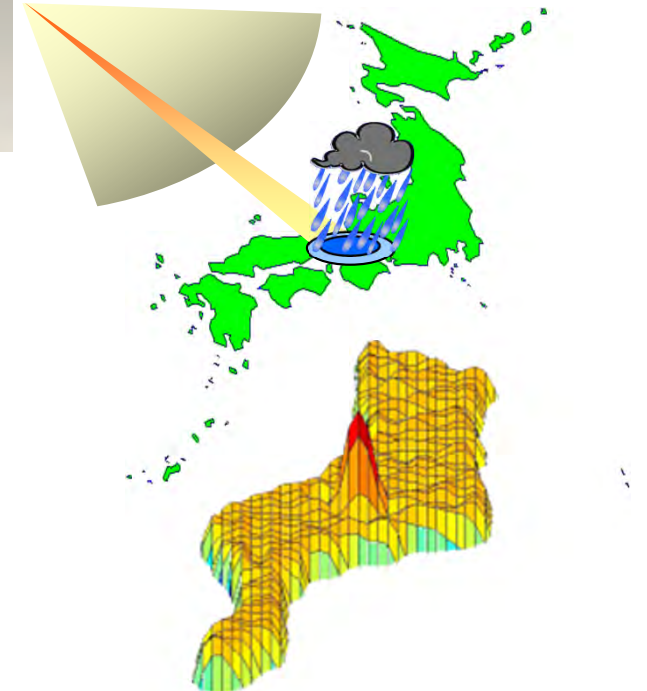
全国をほぼ均一な強さの電波で照射しつつ  
雨が降っている場所だけに電波を強くする

## 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

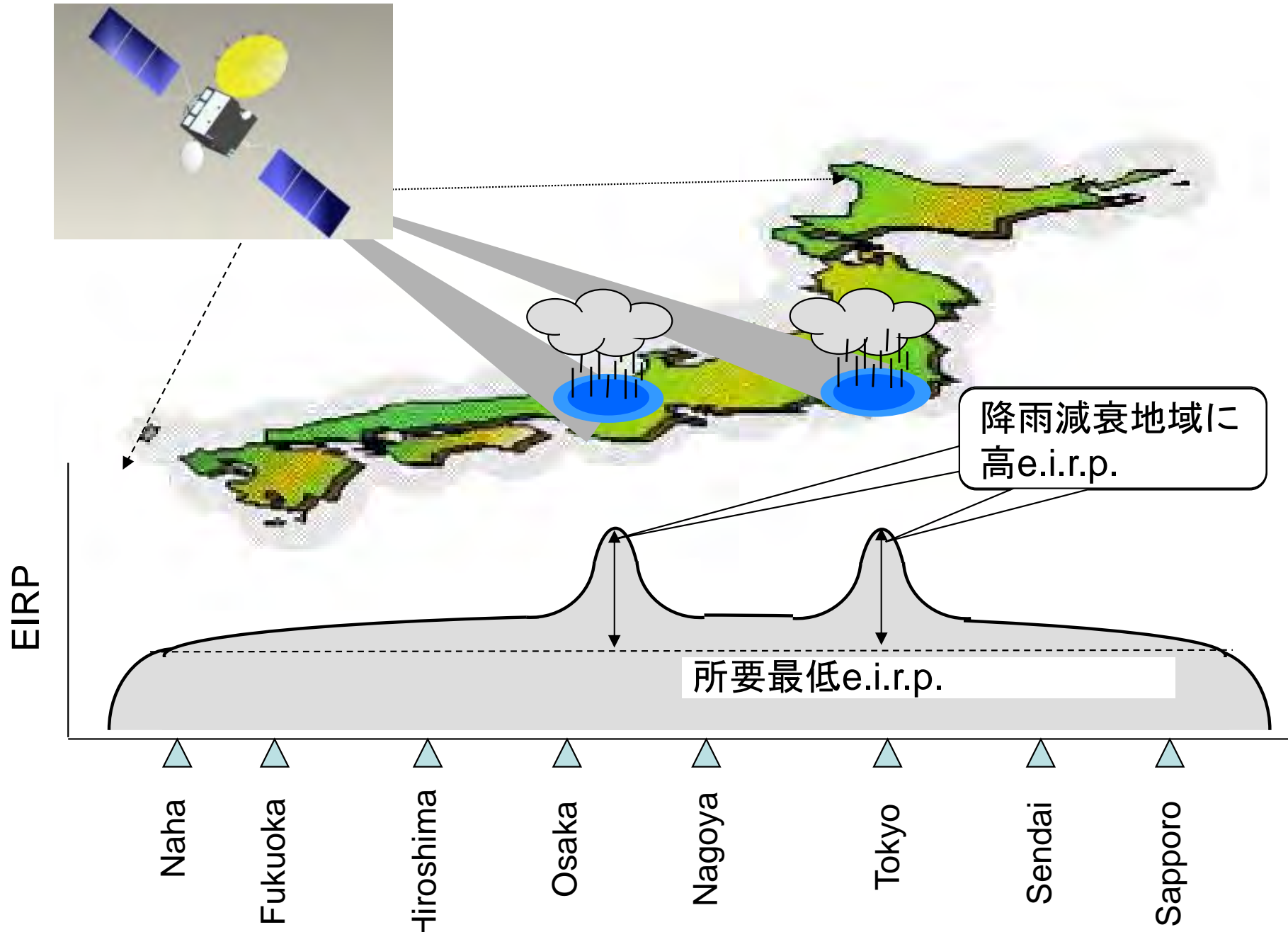


フェーズドアレーアンテナ  
+ 高効率増幅器

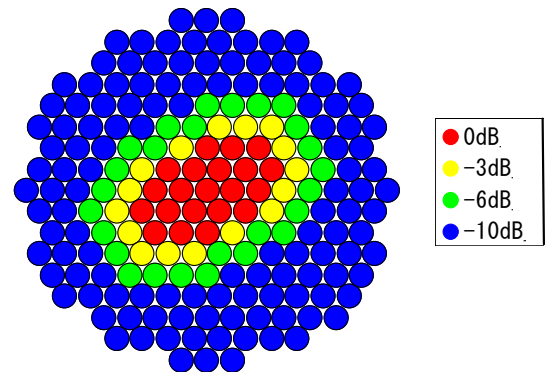
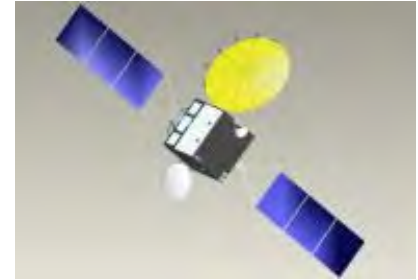
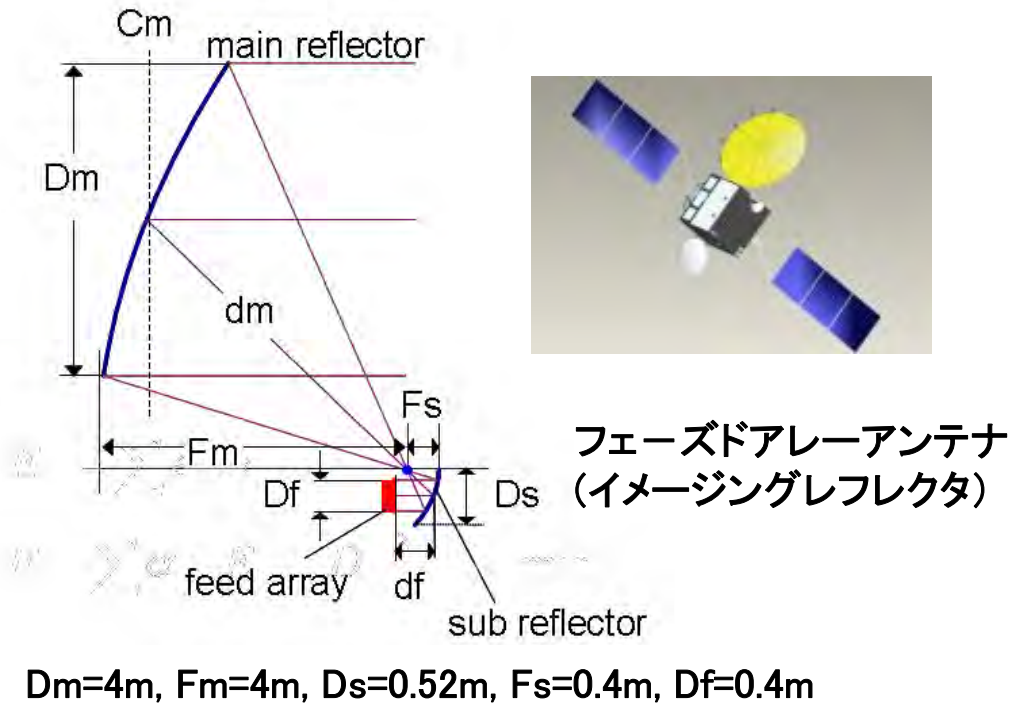
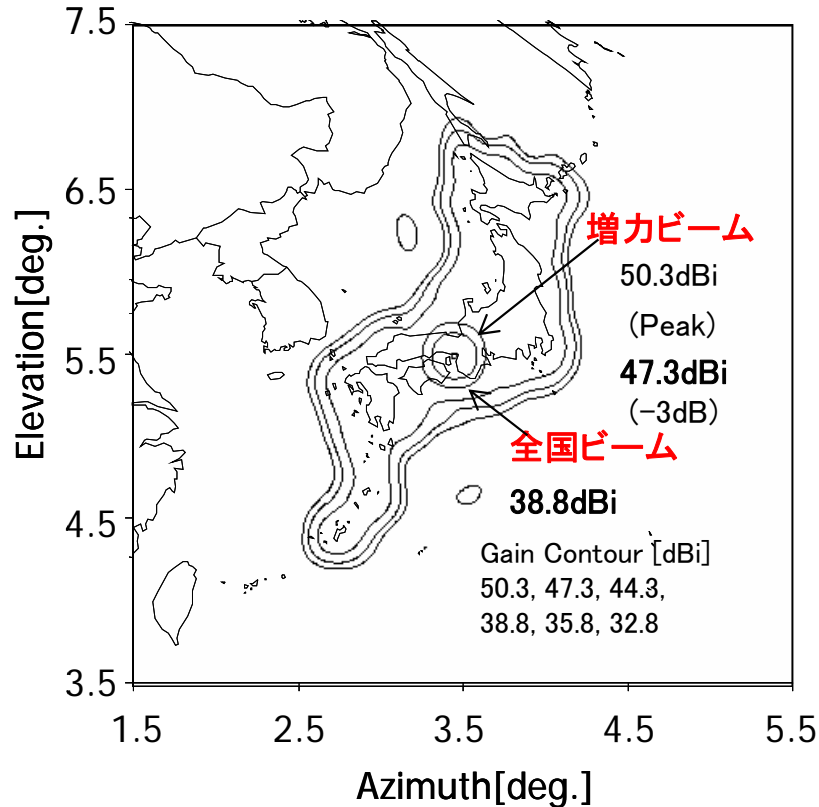


放射パターンの例

# 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

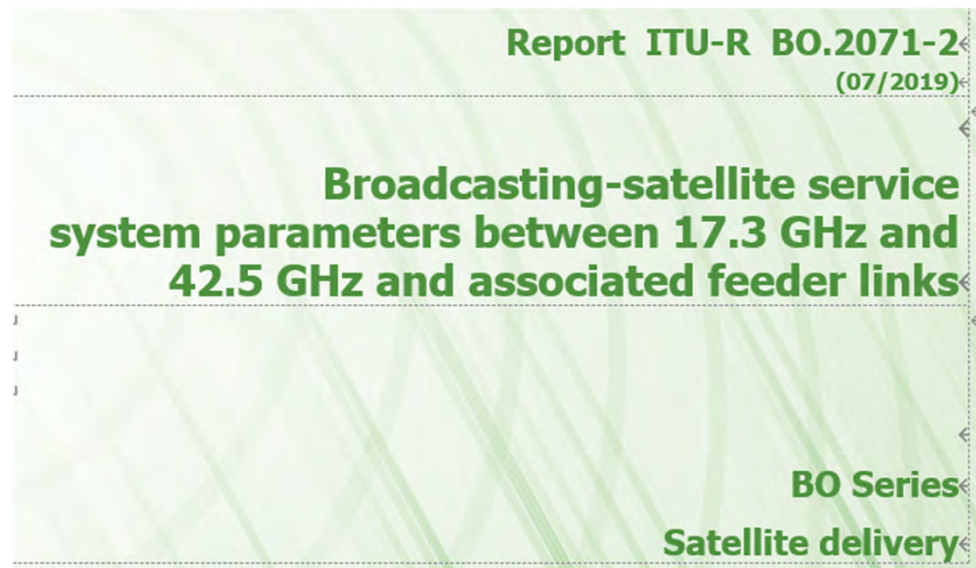


アレーフィードの電力分布  
素子数 : 188  
ホーン間隔 : 1.8波長

- ・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





Rep. ITU-R BO.2071-2

37

Annex 2↓



**BSS system parameters in frequency band 21.4-22.0 GHz ↓  
and associated feeder links**

## 1 Introduction

The BSS systems in the band have the possibility to deliver wide-RF-band digital multiprogramme services of HDTV . In the future, they also can be appropriate channels to accommodate higher bit-rate programmes, such as Ultra-high definition television (UHDTV), three-dimensional TV and high bit-rate data programme. The parameter values for UHDTV systems were described in Recommendation ITU-R BT.2020-2. The 21 GHz band satellite broadcasting is expected to provide advanced services that will prevail in the future. ←

Taking into account the study results in accordance with Resolution **551 (WRC-07)**, the World Radiocommunication Conference (Geneva, 2012) (WRC-12) has established definitive arrangements for the use of this frequency band in accordance with Resolution **552 (WRC-12)**, Resolution **553 (WRC-12)**, Resolution **554 (WRC-12)** and Resolution **555 (WRC-12)**.←

# 衛星放送受信用12/21GHz帯 偏波共用給電アンテナの試作

(9) 長坂正史, 中澤進, 岩崎充志, 田中祥次: “衛星放送受信用12/21GHz帯偏波共用給電アンテナの試作”, 2017年信ソ大, S-27-S-28, BS-5-6, 2017.9.12.

# 衛星放送受信設備の小型化

- 周波数帯域ごとに受信アンテナを立てる場合、設置スペースやコストに課題
- 12/21GHz帯偏波共用受信アンテナが実現すれば、受信設備の小型化が可能

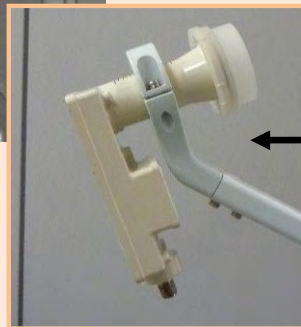
## 12GHz帯右旋・左旋共用受信アンテナ



12GHz帯  
パラボラアンテナ  
(開口径45cm)

### 試作結果※1

- ・反射鏡はアルミプレス製
- ・効率76%(利得 33.7dBi)
- ・放射パターン  
Rec. ITU-R BO.1213,  
ARIB STD-B63に適合



12GHz帯  
給電アンテナ  
(LNB一体型)

※1 長坂, 中澤, 田中, 映情学技報 BCT2014-64

+

共用

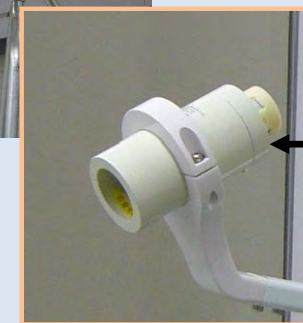
## 21GHz帯受信アンテナ(右旋)



21GHz帯  
パラボラアンテナ  
(開口径45cm)

### 試作結果※2

- ・12GHz帯と同様の反射鏡
- ・効率70%(利得 38.6dBi)
- ・放射パターン  
Rec. ITU-R BO.1900に  
適合



21GHz帯  
給電アンテナ  
(LNBなし)

※2 長坂, 中澤, 田中, 映情学技報 BCT2011-60

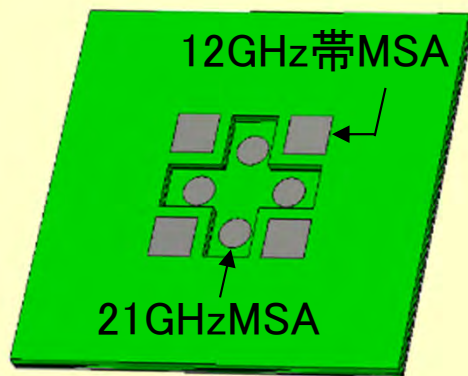
12GHz帯と21GHz帯でパラボラ反射鏡の共用は可能, 給電アンテナが課題

LNB: Low noise block converter

# 給電アンテナの設計

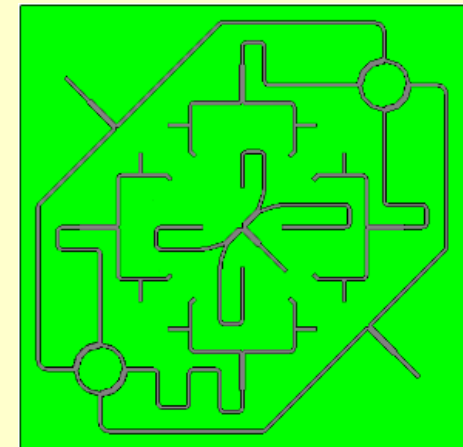
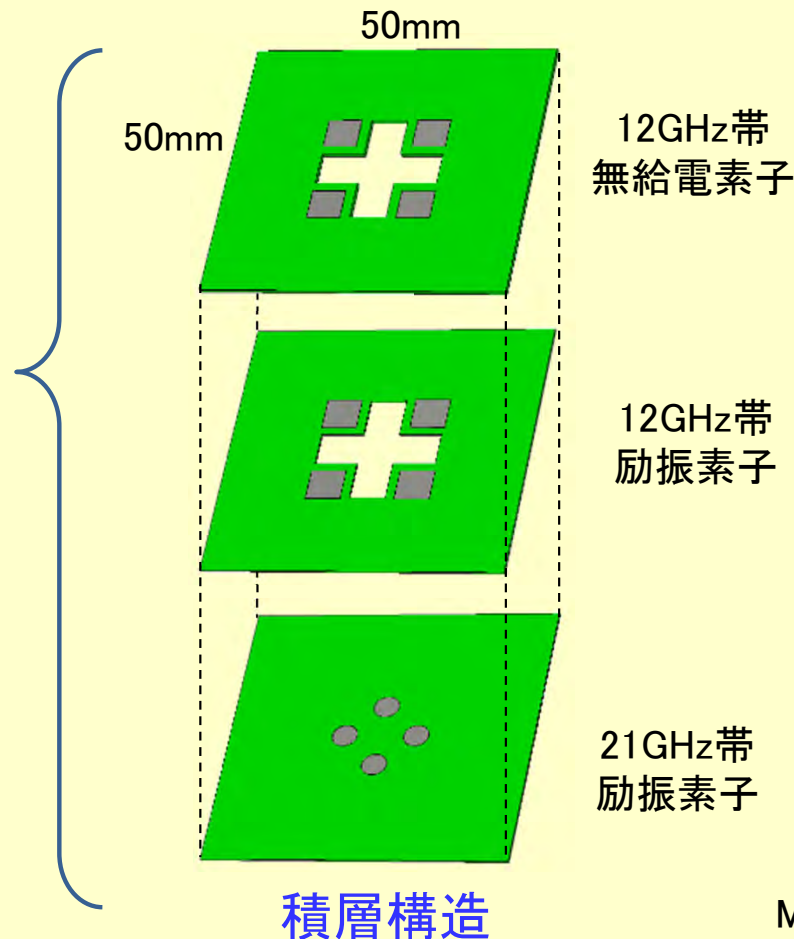
- 12GHz帯と21GHz帯のマイクロストリップアレーアンテナを一体で設計
- 12GHz帯の帯域幅1GHzをカバーするため、積層構造により広帯域化
- 帯域ごとにアンテナ素子間隔を変えることで、ビーム幅を調整

## 給電アンテナの構造



基板外観図

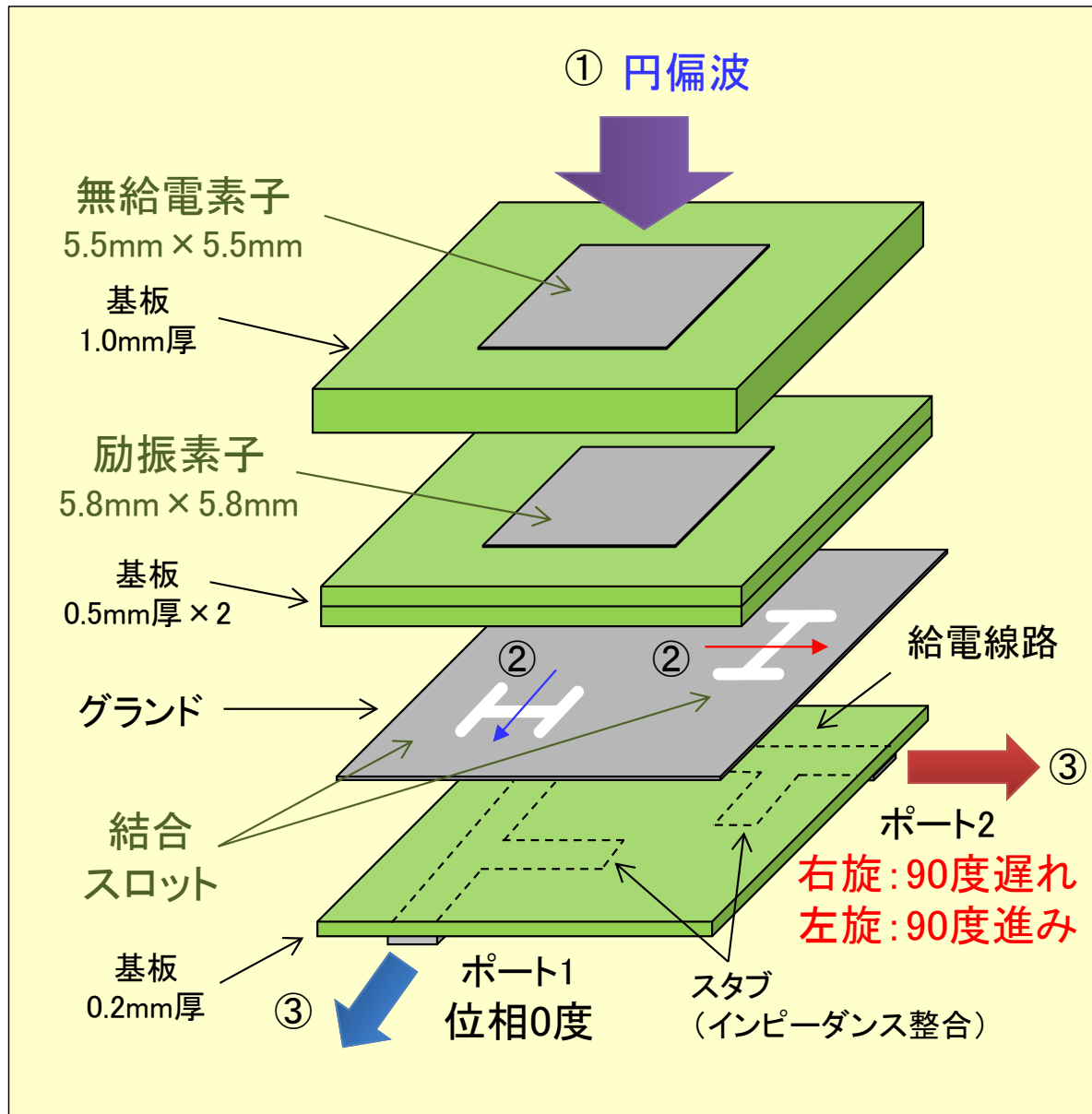
素子間隔	
12GHz帯	14.7 mm (0.6波長)
21GHz帯	8.3 mm (同上)



背面図(給電回路)

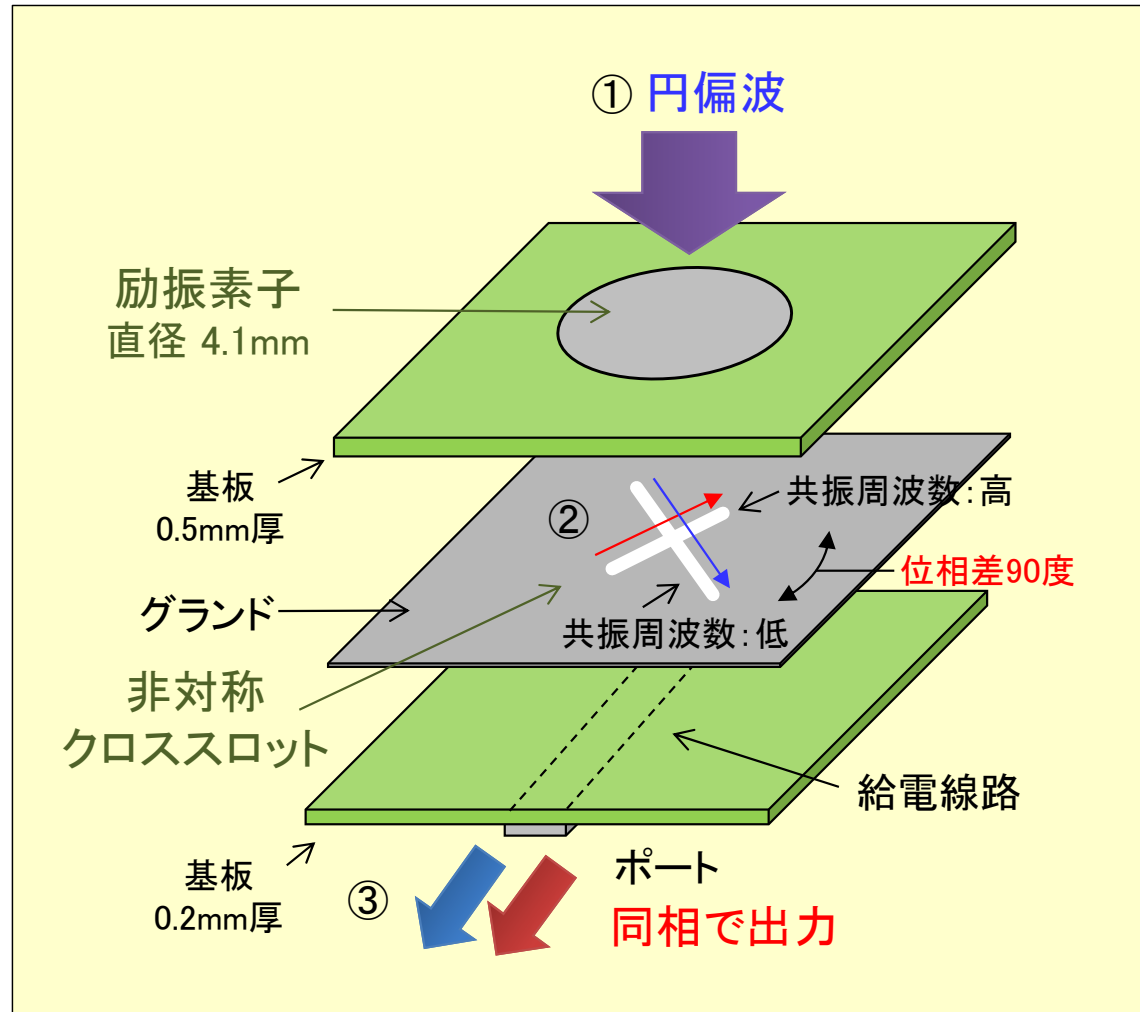
MSA: マイクロストリップアンテナ

# 12GHz帯偏波共用MSA(素子)の構造



- 円偏波を直交偏波に分離し、2つのポートから出力
- 給電回路で出力を合成し、右旋・左旋円偏波を受信

# 21GHz帯円偏波MSA（素子）の構造



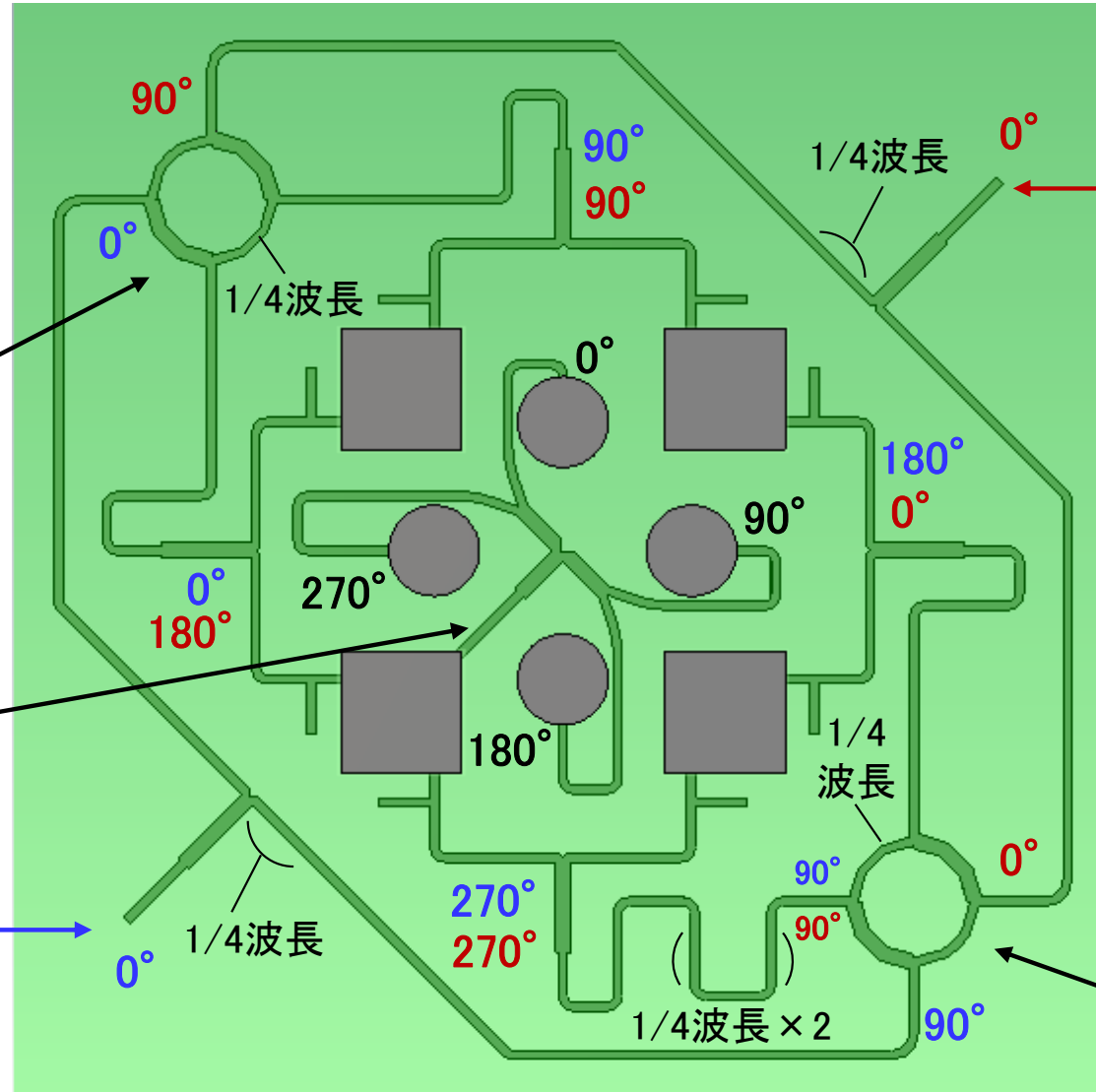
- 非対称クロススロット構造により円偏波を受信
- 給電点が1点のため、給電回路が単純

# 給電回路の構造

■ 12GHz帯右旋・左旋と21GHz帯の給電回路を同一基板上に実現

## アンテナ素子と給電位相の関係

基板正面から見た図

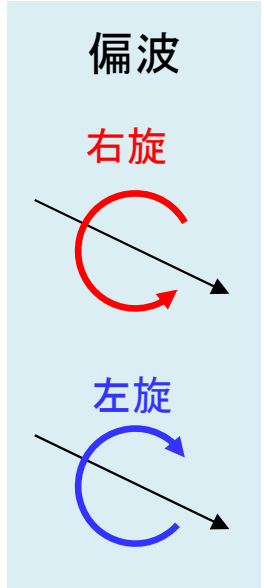


3dB  
ハイブリッド

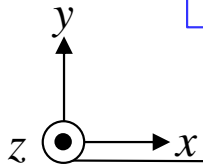
21GHz帯  
出力(左旋)

12GHz帯  
左旋出力

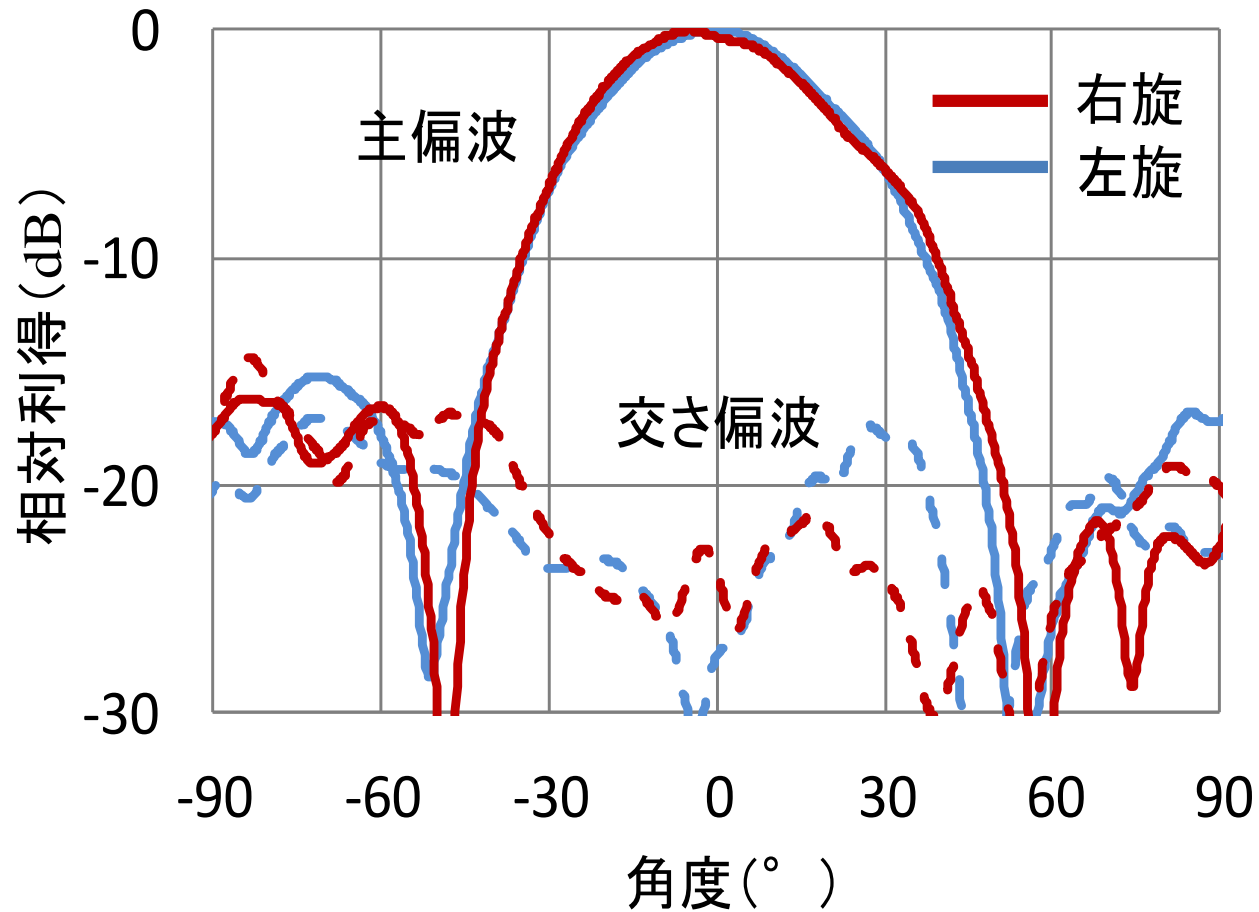
12GHz帯  
右旋出力



3dB  
ハイブリッド

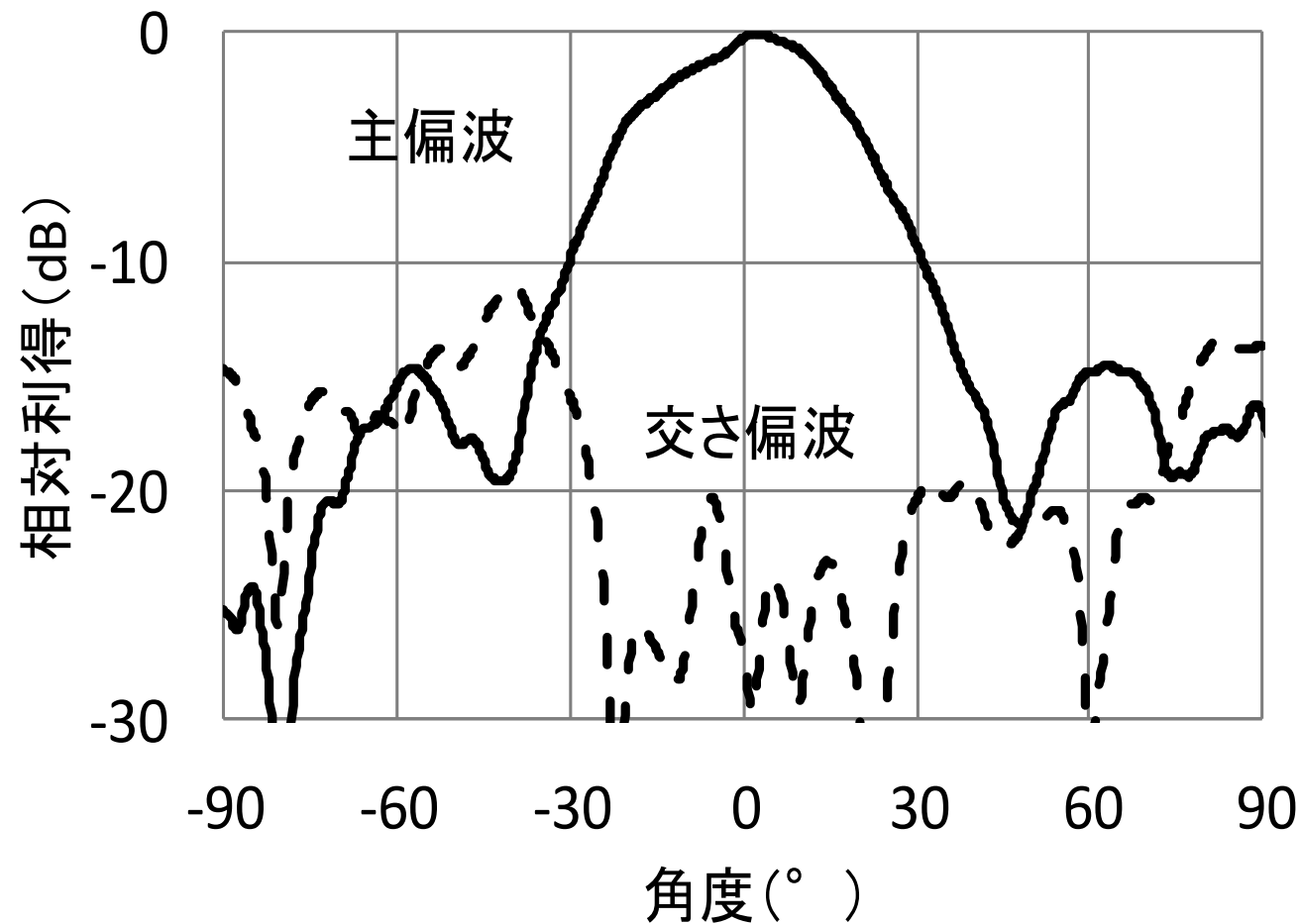


# 放射パターン測定結果(12.225GHz)



- 右旋と左旋の主偏波放射パターンは、ほぼ一致
- 交さ偏波パターンの差は、給電線路の誤差による給電位相ずれが原因の可能性

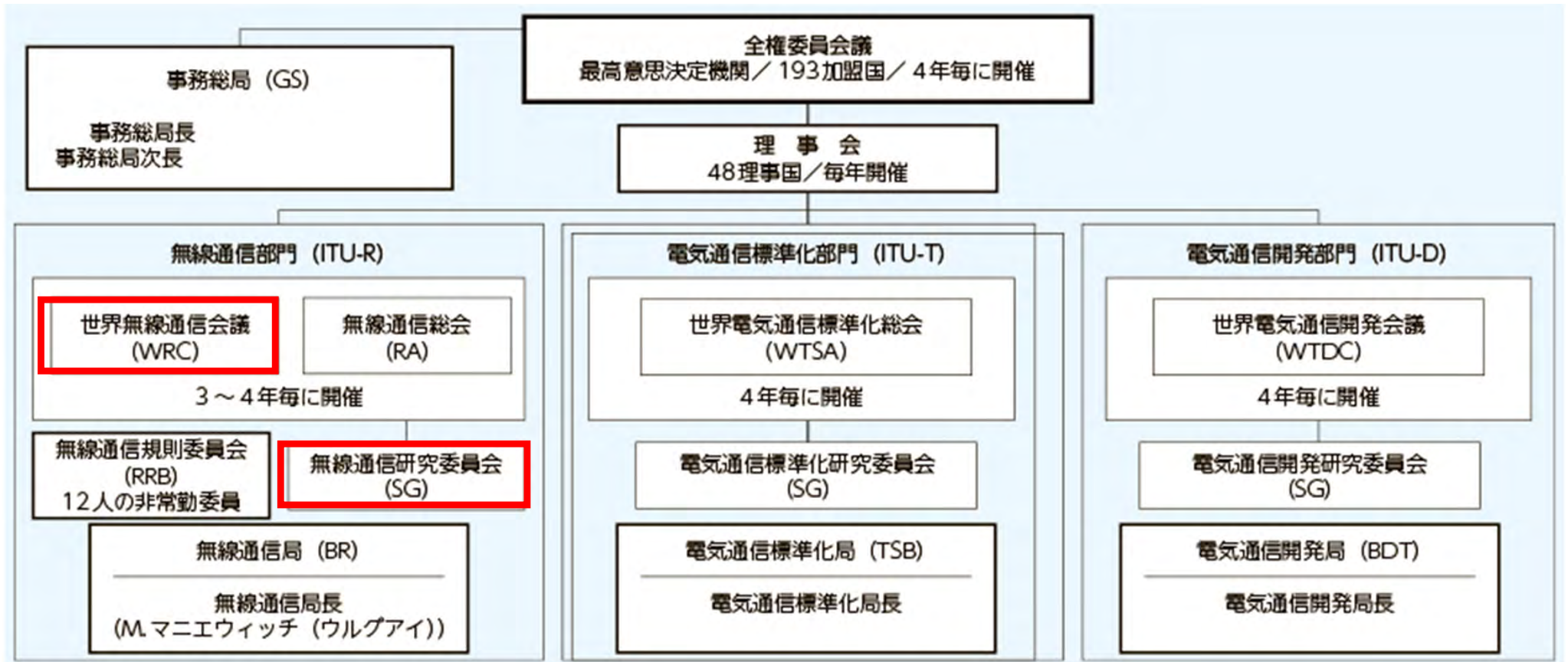
## 放射パターン測定結果(21.7GHz)



- 21GHz帯の主偏波放射パターンは、12GHz帯に比べてビーム幅が狭い
- 素子間隔を0.6波長から変更するなど、ビーム幅の最適化を行う予定

# 5 WRC-27の議題

# 国際電気通信連合 (ITU) の構成



情報通信白書より

世界無線通信会議(WRC): 無線通信規則の改訂を行う。

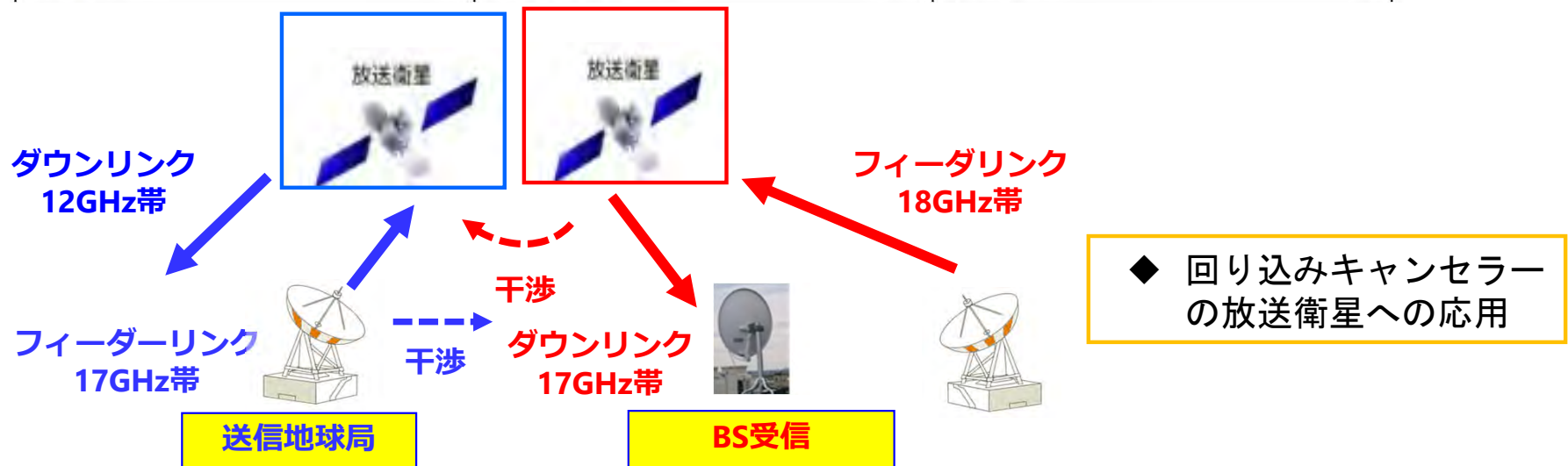
WRC-27の議題

議題  
1.4

第3地域における17.3-17.7GHz帯の固定衛星業務(宇宙から地球)への新規一次分配と17.3-17.8GHz帯の放送衛星業務(宇宙から地球)への新規一次分配, 第1地域及び第3地域における17.3-17.7GHz帯の非静止衛星の固定衛星業務(宇宙から地球)の等価電力束密度制限の検討

15.4-18.4 GHz

Allocation to services		
Region 1	Region 2	Region 3
...		
<b>17.3-17.7</b> FIXED-SATELLITE (Earth-to-space) 5.516 (space-to-Earth) 5.516A 5.516B Radiolocation  5.514	<b>17.3-17.7</b> FIXED-SATELLITE (Earth-to-space) 5.516 (space-to-Earth) MOD 5.484A MOD 5.517 ADD 5.A119 ADD 5.C119 BROADCASTING-SATELLITE Radiolocation 5.514 5.515	<b>17.3-17.7</b> FIXED-SATELLITE (Earth-to-space) 5.516 Radiolocation  5.514



# まとめ

- 地上放送アンテナ
  - ◆ スーパーターンスタイルアンテナ (VHF帯)
  - ◆ 双ループアンテナ (UHF帯)
  
- 成形ビームアンテナ
  - ◆ マルチホーンアンテナ (ビーム重畳、実用)
    - 鏡面修整アンテナ (任意形状ビーム、実用)
    - アレー給電反射鏡アンテナ (ビーム形状可変、実験)
  
- 今後の課題
  - ◆ コルゲートホーンのシミュレータ解析
  - ◆ 鏡面直接修整成形ビームアンテナ設計法 (位相分布最適化→鏡面修整でなく, 鏡面変位分布の最適化)
  - ◆ 回り込みキャンセラーの放送衛星への応用

## 参考文献

- (1) 遠藤敬二, “テレビジョン放送空中線について”, NHK技術研究, 第5号, 1951年3月
- (2) NHK技研 30年史, NHK総合技術研究所, 1961年(昭和36年).
- (3) 遠藤敬二, TV, FM放送アンテナ, 日本放送出版協会, 昭和41年(1966年)11月
- (4) NHK技研 研究史 1960-69, NHK総合技術研究所, 1971年(昭和46年).
- (5) 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.
- (6) 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
- (7) 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).
- (8) NHK技研と放送技術の歴史,  
<https://www.nhk.or.jp/str1/open2022/history/index.html>
- (9) 遠藤敬二, テレビ放送アンテナ50年史, 兼六出版, 1989年
- (10). K. Shogen, H. Nishida, N. Toyama : “Single Shaped Reflector Antennas for Broadcasting Satelites”, IEEE Trans. AP, Vol. 40, No.2, 1992.
- (11) 正源和義 : 学位論文, 実用放送衛星搭載用高度成形ビームアンテナの研究, 1993年
- (12) 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.
- (13) 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.
- (14) “Special Issue on Historical Review of Antenna Systems in Japan”, IEICE Trans. on Commun., Vol. E86-B, No. 3, pp. 891-1021, 2003. 3.
- (15) 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.
- (16) 佐藤源貞, テレビ塔アンテナ物語 - 「イ」の字初映像からデジタル放送まで -, 里文出版, 2005. 5.

## 参考文献

- (17) 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
- (18) 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.
- (19) 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
- (20) 正源和義: “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”, 信学会 AP研アンテナの歴史委員会特別講演, 2012年1月.  
<https://www.ieice.org/cs/ap/wpdatt/history/lecture/rekishi201201.pdf>
- (21) 正源和義: “日本の衛星放送の歴史”, 電気学会, 電気技術史研究会, HEE-14-04, NHK技研, 2014.1
- (22) 正源和義, 衛星放送の開発から実現へ, NHK放送文化研究所 『放送メディア研究』 第17号, 2024年4月12日  
<https://www.nhk.or.jp/bunken/book/media/17.html>
- (23) 正源和義: “放送システム ～UHDTV放送をめざした技術開発とWRC-23の結果～”, 2024年度KEC次世代ワイヤレス講座 第5回 2025年1月17日