

TR - O - 0059

無線通信第一研究室の研究の方向

40

藤瀬雅行

1993. 3. 8.

ATR光電波通信研究所

無線通信第一研究室の研究の方向

藤瀬雅行

1993.3.8.

ATR光電波通信研究所

はしがき

無線通信第一研究室では、移動体衛星通信用の移動局搭載用高機能アクティブアレーの研究および光衛星間通信の研究に取り組んでいる。本稿は、1991年8月の第8回光電波研究討論会での発表の骨子を取りまとめたものである。

[1] 高機能アクティブアレーの研究

無線通信第一研究室で現在進めているアクティブアレーアンテナの研究について、目指すべき方向のイメージを把握するために、外部研究機関における取組を含め現状を整理し検討した。

1. 現在の無線通信/放送サービスに使用されているアンテナの種類

表-1に現在使用されている無線サービスの周波数帯と使用されているアンテナの種類を整理した。本表にみられるように、陸上移動通信サービスは1 GHz以下の周波数帯で行われており、モノポールアンテナ、ダイポールアンテナおよびループアンテナ等の簡便なアンテナがユーザ側のアンテナとして用いられている。衛星を介した移動体通信サービスは、850 MHz帯 (MSAT: 米国)、1.5/1.6 GHz帯 (INMARSAT等) および12/14 GHz帯 (OMNI-TRACS)で行われており、多素子のパッチフェーズドアレーが主であるが、OMNI-TRACSの場合はホーンアンテナが用いられている。

2. 移動体通信におけるアンテナ研究の現状

表-2に主要研究機関で研究開発が進められている移動体通信用アンテナおよび適用分野が明らかにされていないミリ波等の高周波数帯のアンテナを列挙した。移動体通信用としてはL帯の多素子マイクロストリップパッチアンテナの研究が多く、機関でなされている。ミリ波帯においても、マイクロストリップアンテナの研究は盛んである。

このように、衛星を介した移動体通信のユーザ側のアンテナとしては、多素子のマイクロストリップフェーズドアレーが一つの流れをなしている。しかしながら、ATRで取り組んできているアクティブアレーの研究は他の研究機関では見当たらない。

3. ATRが目指す方向

——どの周波数帯か、どんなアンテナか——

3-1) 社会的背景

1990年代中頃までの移動体通信の実用化のプログラムを表-3、表-4に示す。陸上移動通信では1~3 GHz帯の新世代マイクロセル携帯電話（パーソナルなポケット電話システム）が実用化になり、移動体衛星通信ではLまたはSバンドでの実用化が計画されている。これらの計画ではユーザには音声サービスに対応できる伝送速度の回線が提供される予定である。

一方、21世紀を見通した場合、通信サービスには基本的には、「いつでも」「どこでも」「だれとでも」といった要求に加えて、「どんな情報をも」といった要求が高まって来るものと思われる。すでに検討が進められているB-ISDNのような将来の通信システムでは、ユーザには100 Mbps以上の広帯域の回線が提供される。これは、計画通りにFiber-to-the homeが2015年頃までに達成されると陸上の固定通信では現実のものとなる。一旦、B-ISDNサービスを享受すると、人々は次にどこからでも利用したいと思うようになり、回線の広帯域化が移動通信にも波及して来るのは自然な流れと考えられる。また、利用者の数も次第に増加し、相互の干渉がなく秘話性の高い高品質な回線の確保が求められるようになるであろう。

このような推移を前提にすると、将来の移動体通信の一つの方向が見えてくる。即ち、社会的要請は「広帯域化」と「高品質化」であり、前者を達成するには、利用周波数帯の「高周波数化」であり、後者に対してはシステムの「高機能化」である。

他方、ユーザのニーズは多用であり、マイクロセルやピコセルにみられるような回折波を利用した移動通信サービスは、今後増々伸びて来ることが容易に期待される。従って、このような小容量の携帯無線機用のアンテナ研究も見逃してはならない。

ATRではこのような2つの方向に沿ったアンテナの研究を進めて行くことが重要と思われる。

3-2) 高周波数化のもたらすもの

回線の大容量化と利用者数の増加は高周波数領域の利用を促すが、高周波数化はアンテナ技術にはどんな影響をもたらすであろうか。まず、素子アンテナが小さくなる。従って、アレーアンテナ自体が小型、軽量化でき移動体用のアンテナとして理想的なものとなる。また、アレーの素子数をふやせることから、木目細かいビームの形成・走査が可能となる他、アダプティブ化にも適し高機能化の方向とも合致する。また、Ka帯以上のミリ波の周波数領域では、アンテナの給電系の損失が本質的に増加するためアクティブ化が重要となる。

3-3) 高周波数帯のアクティブアレー

表-5に示すように、移動無線周波数はミリ波帯にも割り当てられており高周波

数帯を利用するシステムの出現も予想される。また、ATR独自のシステムモデルを提案して行くことも重要かと思われる。実際に高周波数帯が移動通信で使われるかどうかは政策的な側面が強くむずかしい問題であるが、技術的な側面からみれば、ATRでこれまで取組んできた高機能アクティブアレーの研究は的を得ていたと言えよう。今後は、Ku~Ka帯におけるアクティブアレーの研究へシフトして行くことがこの分野で先導的役割を果たして行くことにつながるものと考えられる。

図-1は横軸に高周波数化を縦軸に高機能化をとって、プロジェクトの目指す方向をながめたものである。今期プロジェクトではL帯ではアクティブ+コンフォーマル+アダプティブを統合したアンテナ系の構築を目指していることを示している。また、Ku~Ka、ミリ波帯では、アクティブアンテナの部分研究に取り組むことを示している。さらに、将来は光周波数領域におけるアクティブフェーズドアレーアンテナも研究対象となることを示している。

図-2は横軸に高周波数化を縦軸に集積化をとってプロジェクトの目指す方向をながめたものである。今期プロジェクトでは、L帯では素子アンテナ+給電系+信号処理系の集積化を、Ku帯では素子アンテナと給電系の一体集積化を目指すことを表わしている。

図-3は、高周波数化とアンテナ素子数の関係を示しており、Ku帯では素子アンテナ数が数十個のオーダーになるであろう。

3-4) 今期プロジェクトの目標と将来の方向

図-4はアクティブアレーの基本構成の概念を示している。また図-5は、現在研究を進めている要素技術の項目を掲げ、それらを統合化した通信用アクティブアレーを今期プロジェクト目標とすることを示している。

今後は、L帯、Ku帯における高機能アンテナの実現を目指し、素子アンテナ、MMIC、DBF、光制御技術などを中心に取り組み、一体集積化に沿って研究を進めたいと考えている。また、高機能化の流れにとって、一体集積化と並行して、高効率なアルゴリズムとそのソフトウェアの実現によるアダプティブ化も重要な研究課題である。図-6は研究課題となる要素技術を列挙したものであるが、基本的な重要技術に焦点をあてて取り組んで行くこととしたい。図-7はこれまで述べた諸技術をイラスト化しイメージを表現したものである。表-6は将来の研究課題を示している。特に、ここで注目すべき点は、高周波数領域のアンテナ研究においては、これまでのL帯のアンテナ研究と異って、研究スタイルが大きく変わることが予想される。素子アンテナの形状が小さくなることに伴って、微細加工技術、精密測定技術、解析技術等の試作評価のための基盤技術の整備が重要となると考えられる。

4. これまでの成果

高機能アクティブアレーの研究における成果の中で特記すべき事項についてリストアップした。

1. スロット結合給電2周波共用円形マイクロストリップアンテナの検討
2. 知識ベースを用いた線状アンテナ設計支援システムの提案とプロトタイプシス

テムの開発

3. 球面配列アレーを用いた移動体通信用DBFアンテナの検討
4. 空間制御型光制御アレーアンテナの検討と実験
5. 光導波路型マイクロ波位相器の検討と試作
6. 球面走査近傍界測定システムの開発導入
7. 4点給電円環パッチを用いたセルフダイプレクシングアンテナの試作
8. 真空成形法を用いた球面コンフォーマルアレーアンテナの試作
9. α -レベル集合によるファジイ推論演算の導出
10. 誤差逆伝播の概念を用いた多重多段ファジイ推論の学習アルゴリズムの提案
11. 曲面直圧法を用いた薄型部分球面アレーアンテナの試作

[2] 光衛星間通信の研究

1. 研究成果の位置付けとATRの立場

本プロジェクトは他のプロジェクトと異なって、国家プロジェクトへの寄与がある程度明確な形で求められている。このため、単に研究成果として、特許や学術論文にまとめるだけでなく、各種委員会等を通じ意見を述べて行くと共に、国のプログラム例えばETS-VI(1993～)やJEM(1998～)における光通信実験へ具体的にATRの研究成果を反映させていくことが重要である。図-8に成果の位置付けを、表-7に日本におけるプログラムの一欄を示した。

光宇宙通信の研究開発分野におけるATRの性格としては、国家あるいはそれに準ずる宇宙実験プログラム推進機関をサポートしながら、将来の光宇宙通信の基盤となる基本要素技術について独自の観点からテーマを選びこの分野における先導的研究を行って行くことが望まれる。このため、自由空間レーザ伝送シミュレータやコヒーレント技術による変復調方式、捕捉追尾方式、光アンテナ等の研究を重点的に進めて行きたい。また、第一世代のIM/DD方式の通信システム技術の確立に対しては、高出力レーザ光源の開発や、1 Gbps以上の高速モデムの開発も重要課題である。表-8に諸外国も含めた中におけるATRの立場を示した。

2. ATRの研究の方向

表-9に今期プロジェクトの総表を示している。今後、自由空間レーザ伝送シミュレータの機能拡張整備を進め、双方向通信のシミュレーション機能をもたせることにより、種々の光送受信機の評価を実施して行きたい。また、要請があればCRLやNASDAの実験機の評価を行い、ATRの研究成果を反映させたい。

1例として、1991年10月にはCRLの要請によりLCEの地上評価実験を実施した。また、ATRで試作して行く種々の装置の評価にも当然供して行くことになる。シミュレータの他に、小型光学系、ETS-VI捕捉追尾地上実験システム、光アレーアンテナ、LDアンプ高出力光源、1 Gbps以上の高速モデム、コヒーレント通信方式、捕捉追尾方式等の研究も進めて行く。

3. 光ISLによる移動体通信システム

光ISLは21世紀に実用化が期待される技術である。特に光の大容量性を活かした通信ネットワークシステムの出現が予想される。アンテナ研究の章でも述べたが、将来の需要は、大容量、高機能を重視した方向へ向かうものと思われる。グローバルな移動体衛星通信システムとして、イリジウム計画のような低周回衛星群によるシステムの提案が行われているが、21世紀には、B-ISDNまで含めた広帯域移動体通信システムが求められるであろう。この場合大容量性が不可欠の衛星間リンクに光ISLを適用することにより実現の可能性が出てくる。

光衛星間通信の研究は、静止・静止衛星間、静止・周回衛星間、周回・周回衛星間の通信を対象としており、これまで種々の要素技術の研究を進めてきている。今期プロジェクトでは今後もこの線に沿って幅広く研究テーマをとらえ要素技術基盤の確立を目指して行きたい。

将来は、例えば周回・周回衛星間光ISLに的を絞って、広帯域移動体通信システムの研究を進めて行くことも一案と考えられる。この場合、高機能アクティブアレーアンテナの研究を含め、衛星内多重・交換技術等も重要な研究課題となろう。図-9に低高度周回衛星間光通信による広帯域移動体通信ネットワークシステムの概念図を示している。

4. これまでの成果

光衛星間通信の研究におけるこれまでの成果で特記すべき事項について下記にリストアップした。

1. ヘテロダイン光ISLに関する検討
2. 背景雑音光に強い光ISLビーム追尾方式の提案
3. 光衛星間通信実験用光変復調器の開発
4. 位相雑音不感応性を有する偏光変調／コヒーレント検波方式の検討
5. 円形ビーム出力を持つ進行波型高出力LD増幅器に関する検討
6. 光ISL地上評価用自由空間レーザ伝送シミュレータの開発
7. 光衛星間通信用エタロン光フィルタの提案
8. 光ISLにおける2局間相互作用の検討
9. 衛星間光通信における軌道パラメータ評価の検討
10. 静止衛星と周回衛星を用いた国際衛星間通信網に関する検討
11. 低高度周回衛星間光通信を用いた広帯域移動体通信システムの検討

無線通信/放送サービスに使用されるアンテナの種類

周波数 (GHz)	用途	開口径	種類	備考
1.	150MHz 陸上移動		モノポール, ループアンテナ	業務用無線 ポケットベル
2.	250MHz 陸上移動		モノポール, ループアンテナ	ポケットベル
3.	400MHz 陸上移動		6素子パッチフェーズドアレー	JR 山陽新幹線
4.			十字スロットアレー	JR 東北上越新幹線
5.			パッチアレー	JR 東海道新幹線
6.	850MHz 移動体衛星用	910mm	19素子パッチフェーズドアレー	MSAT(米国)
7.	800MHz 陸上移動		モノポールアンテナ	自動車電話
8.			モノポール, 逆Fアンテナ	携帯電話
9.	L帯 捜索レーダ		2165素子パッチフェーズドアレー	HAPDAR(米国)
10.	捜索レーダ	高さ約5m	ダイポールフェーズドアレー	F-3D(日本)
11.	L帯 衛星搭載		32素子パッチフェーズドアレー	AMPA(NASA)
12.	衛星搭載		18素子パッチフェーズドアレー	ESA
13.	1.6/1.5 移動体衛星用		6素子パッチスイッチングアレー	NTT
14.		480mm	19素子パッチフェーズドアレー	MSAT,ETS-V 他
15.			9素子パッチフェーズドアレー	KDD
16.			9素子スロットフェーズドアレー	KDD
17.			10素子パッチアレー×2面	インマルサット
18.			高次モードパッチアンテナ	警察庁, 郵政省
19.	2.3/2.1 衛星間通信	1.5m	7素子サブアレー×19個	ETS-VI(CRL)
20.	2.3 データリレー		30素子ヘリカルアレー	TDRS(米国)
21.	2.3 科学衛星	0.7m	オフセットバラボラ	ASTRO-A(宇宙研)
22.	2.6/2.5 衛星搭載	3.5m	オフセットカセグレン	ETS-VI(NTT)
23.	4/5/6 陸上固定	3.6m	ホーンレフレクタ	NTT
24.	陸上固定	3.6m	オフセットグレゴリアン	NTT
25.	6/4 衛星搭載	1m	オフセットバラボラ	CS-3
26.	8/7 軍用衛星搭載	送0.7m, 受1.1m	導波管レンズ	DSCS-III(米国)
27.	軍用衛星搭載 (移動体衛星用)		168素子導波管スロットアレー	SCS-1
28.	X帯 火器管制装置		約100-200素子導波管スロット	APG-63等
29.	12 衛星放送	1.7×0.8m	オフセットバラボラ	BS-3
30.	12 衛星放送受信	450mm	オフセットバラボラ	各社
31.	衛星放送受信	450or500mm	ラジアルラインスロットアレー	日電, 東芝
32.	衛星放送受信		512素子矩形スロットアレー	松下電工
33.	衛星放送受信		64素子パッチアレー×8個	NHK, 車載用

34.	14/12	移動体衛星用		ホーンアンテナ	OMNI-TRACS
35.	14/12	衛星搭載	1.22 × 0.91m	オフセットバラボラ	ANIK-B(カナダ)
36.		衛星搭載	1.83m	オフセットバラボラ	ANIK-C(カナダ)
37.		衛星搭載	送 2.4m, 受 1.5m	オフセットバラボラ	INTELSAT-V
38.		地球局	5.5,13m	カセグレン	INTELSAT
39.		小形地球局	1.2m	オフセットバラボラ	KDD
40.		小形地球局		パッチアレーアンテナ	三菱
41.	22	衛星放送	2.5m	オフセットカセグレン	CRL, 東芝
42.	30/20	衛星搭載	1m(15. と共用)	オフセットバラボラ	CS-3
43.	30/20	衛星搭載	3.5m(12. と共用)	オフセットカセグレン	ETS-VI(NTT)
44.		衛星搭載	2m	オフセットバラボラ	SCS-1
45.	38	軍用陸上移動	300mm	バラボラ	米国
46.	38	軍用陸上移動	280mm	レンズホーンアンテナ	米国
47.		軍用?		32 × 32 素子パッチアレー	米国
48.	40	衛星搭載	190mm	オフセットバラボラ	ITALSAT(伊)
49.	50	衛星搭載	150mm	オフセットバラボラ	ITALSAT(伊)
50.	50	陸上固定		バラボラ, ホーンアンテナ	簡易無線
51.	94	ミサイルシーカ	250mm	カセグレン	米国

以上

Antenna R & D outside ATR

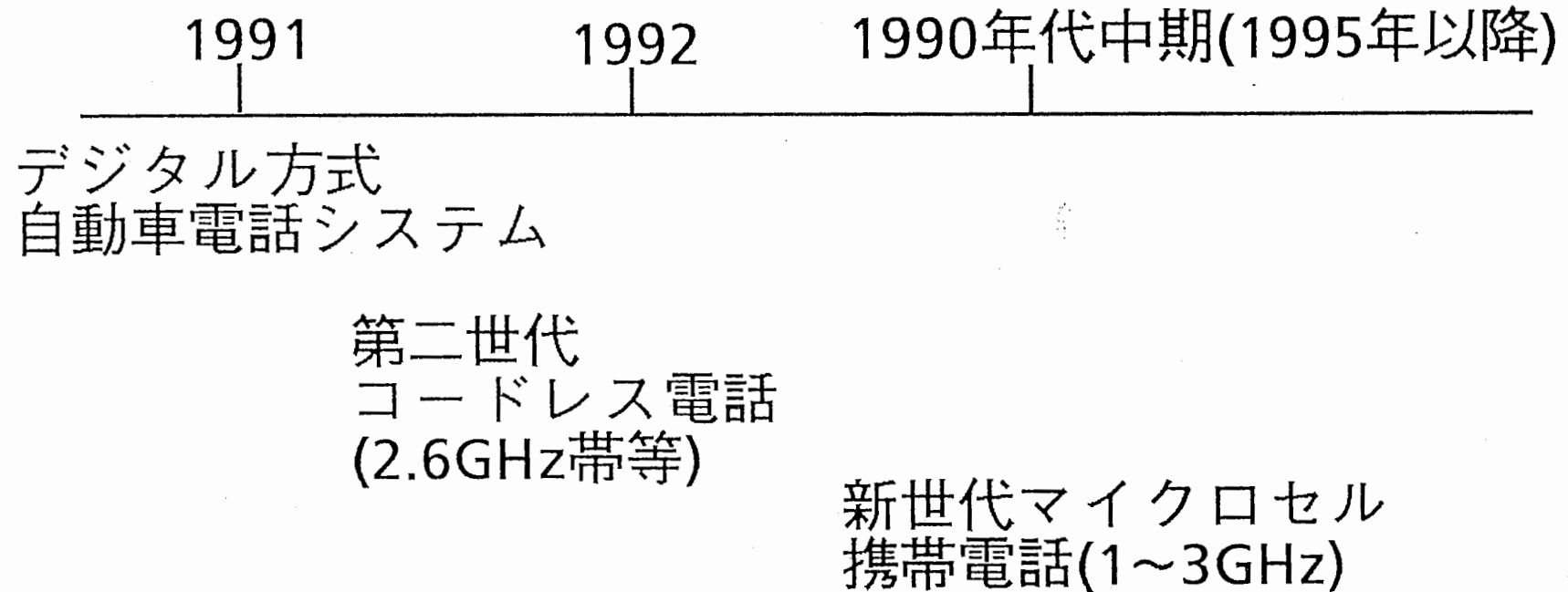
1. Antennas for Mobile Satellite communication

Satellite	Frequency	# of elements	Gain	Element	R & D
INMARSAT-II	L-BAND		12/14dBi	(Inmarsat-M standard)	
INMARSAT-II	L-BAND		20-23dBi	(Inmarsat-B standard)	
ETS-V	L-BAND	19	13dBi	Microstrip Patch	CRL
ETS-V	L-BAND	19	12dBi	Microstrip Patch	TOYOTA
ETS-V	L-BAND	8	15dBi	Microstrip Patch	NEC
				(Mechanically Steered in Az direction)	
AUSSAT	L-BAND	19	13dBi	Microstrip Patch	CRL
				(The same antenna for ETS-V)	
AMSC(MSAT-X)	L-BAND	19	11dBi	Microstrip Patch	JPL
				(Mechanically Steered in Az direction)	
AMSC(MSAT-X)	L-BAND	19	12dBi	Cross Slot strip-line	TELEDYNE
AMSC(MSAT-X)	L-BAND	4	10dBi	4-elements Yagi-Uda	JPL
				Microstrip Patch	
				(Mechanically Steered in Az direction)	
ARAMIS	L-BAND	19		Circular Patch	MARCONI
(Unknown)	L-BAND	19	12dBi	Microstrip Patch	MELCO
IRIDIUM	L-BAND	1	1-3dBi		MOTOROLA
ETS-VI	S-BAND				(none)
OMNI-TRACS	Ku-BAND	Horn	19dBi		
				(Mechanically Steered in Az direction)	
(Unknown)	Ku-BAND	22.4dBi@12GHz		Slot (stripline feed)	NEC
		20.4dBi@14GHz			

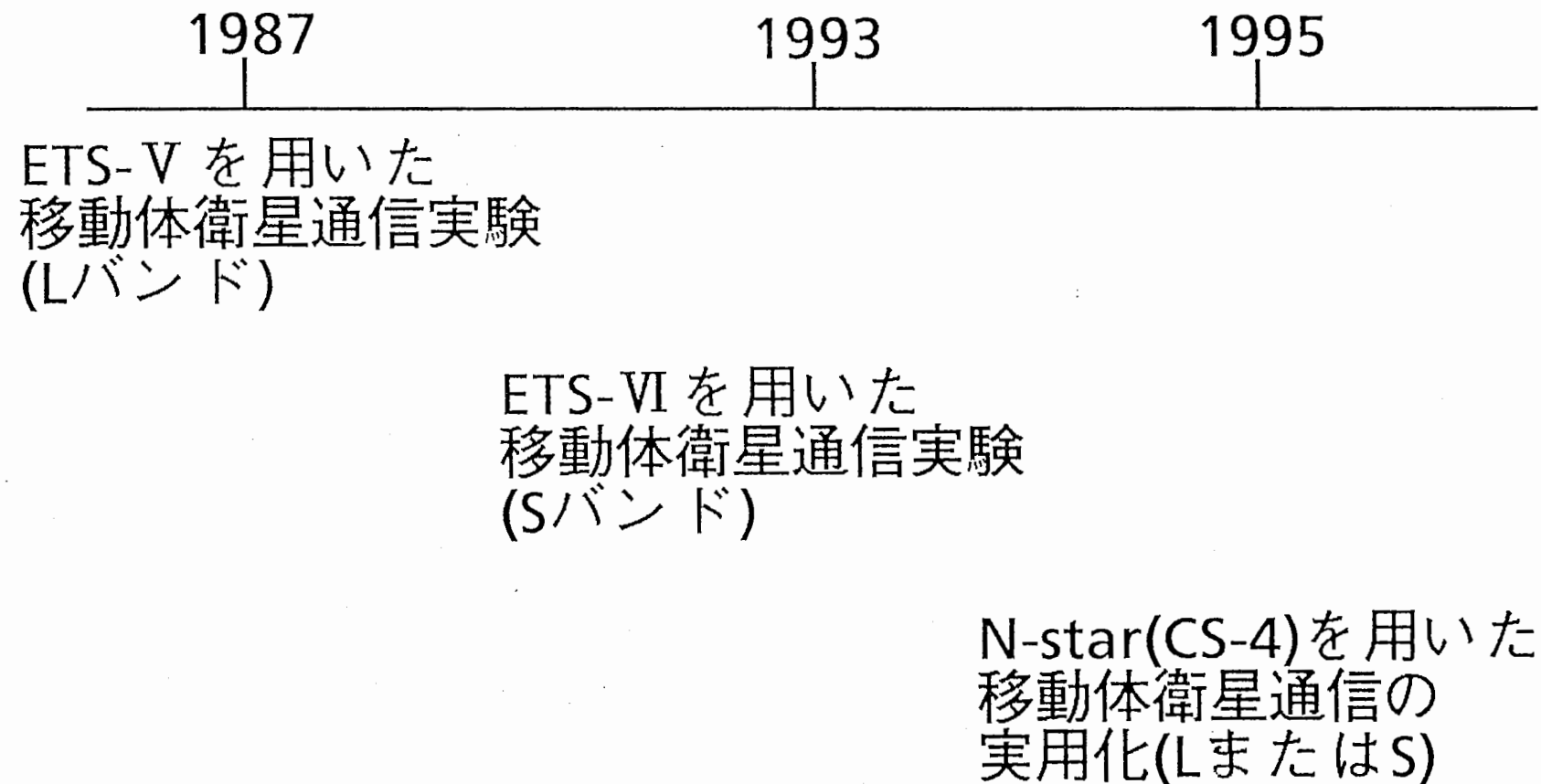
2 Other Antennas in development

Frequency	GAIN (# of elements)	Radiator Element	Topics	R & D
Ku-BAND	35 dBi	Microstrip	TV-RO(DBS) for mobile	NEC
			(Both Mechanically and Electrically Steered in AZ/EL direction)	
Ku-BAND	(4 ²)	Microstrip	monolithic (with pin diodes)	BALL
MM(35GHz)	(16 ²)	Microstrip	co-planar feed	BALL
MM(38GHz)	(32 ²)	Microstrip	co-planar feed	BALL
MM(65GHz)		Slotted Waveguide Array Antenna		EW comm.
MM(65GHz)		Periodic Dielectric Antenna		EW comm.

陸上移動通信の線表



移動体衛星通信の線表

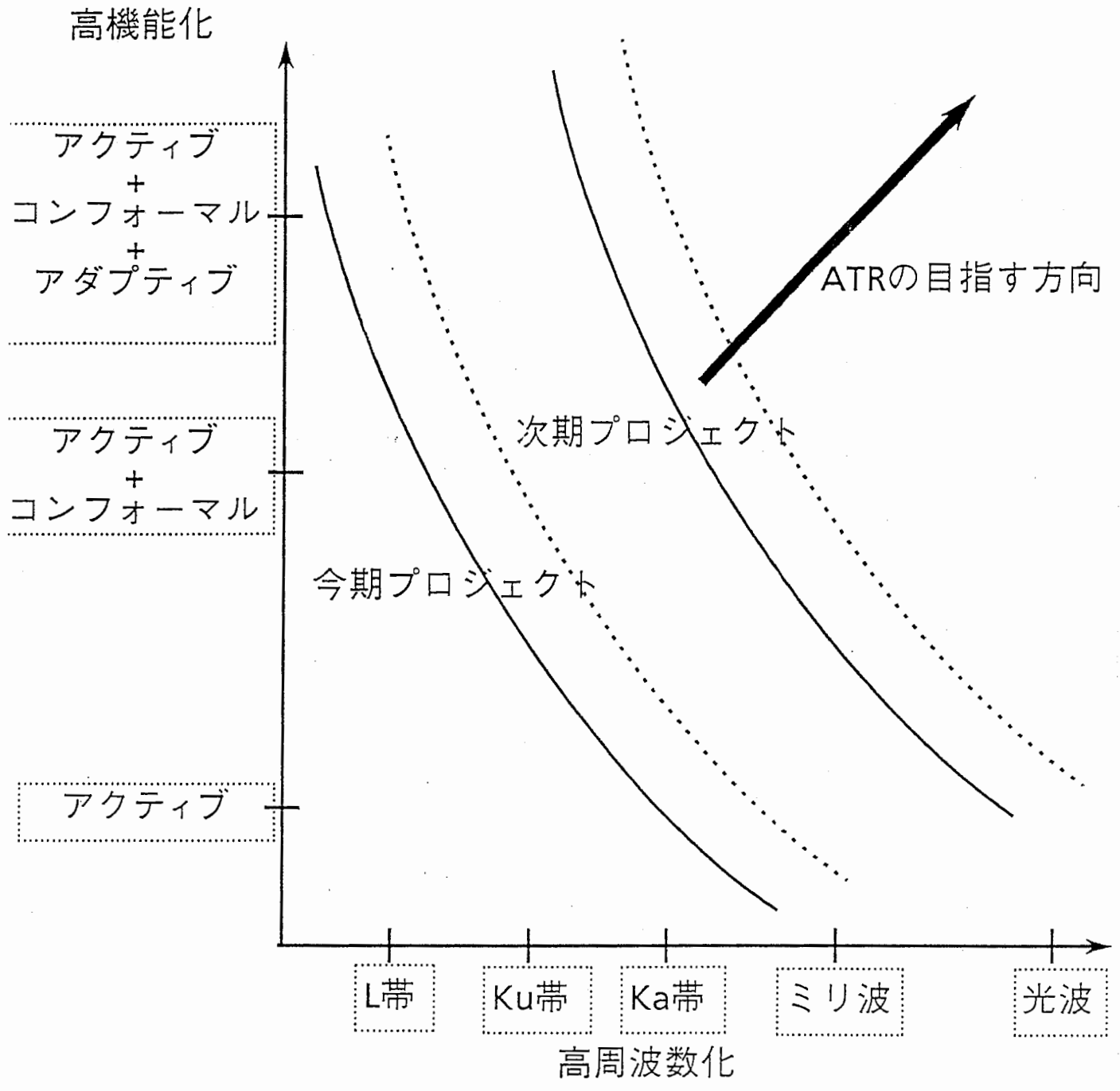


移動無線周波数の割り当て

	移動業務	移動衛星業務
100 MHz	146 - 149.9 MHz 150.05 - 170 222 - 328.6	
300 MHz	335.4 - 368.2 370.6 - 386.2 388.6 - 399.9 406.1 - 420 450 - 470	806 - 890 MHz
1 GHz	870 - 885 925 - 960	
	1.215 - 1.260 GHz 1.429 - 1.525	1.530 - 1.559 GHz 1.6265 - 1.6605
	2.111 - 2.290 2.300 - 2.690	
3 GHz	3.400 - 3.600 5.850 - 5.925 6.425 - 6.570 6.870 - 7.250 8.400 - 8.500	
10 GHz	10.25 - 10.45 10.55 - 10.68 10.70 - 11.70 12.95 - 13.25 14.40 - 15.35	

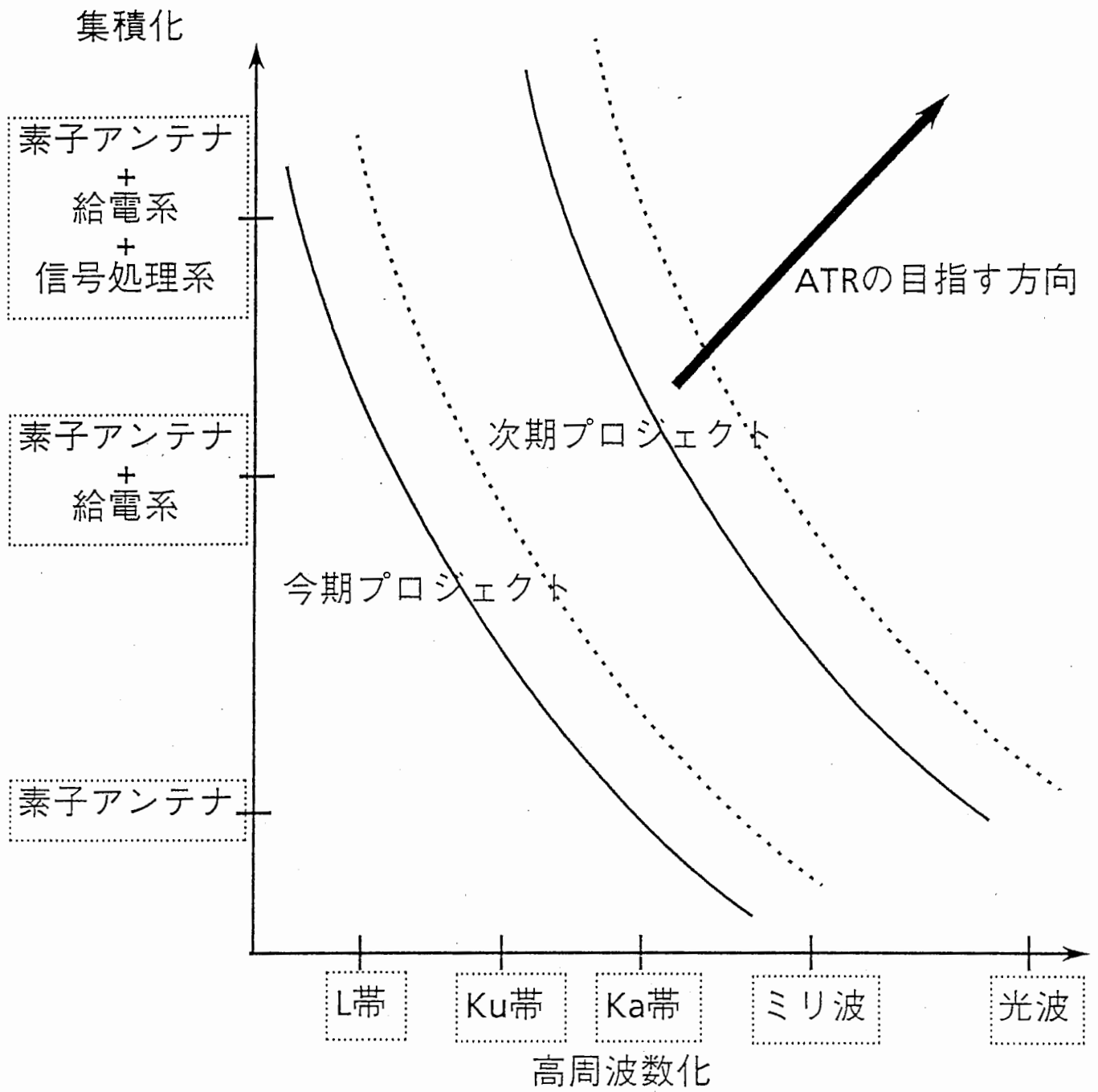
	17.70 - 21.20 (2次業務)	19.70 - 21.20 (2次業務)
	21.20 - 23.60	
	25.25 - 27.00	
		29.50 - 30.00 (2次業務)
30 GHz	<hr/>	
		30 - 31
	31 - 31.3	
	36. - 37.5	
		39.5 - 40.5
	40.5 - 42.5 (2次業務)	
	43.5 - 47	43.5 - 47
	50.2 - 51.4	50.4 - 51.4 (2次業務)
	54.25 - 58.2	
	59 - 64	
	65 - 66 (2次業務)	
	66 - 75.5	66 - 74
	81 - 86	81 - 84
	92 - 105	95 - 100
100 GHz	<hr/>	
	116 - 142	134 - 142
	149 - 164	
	168 - 182	
	185 - 217	190 - 200
	231 - 241	
	252 - 275	252 - 265
275 GHz	<hr/>	

未割り当て



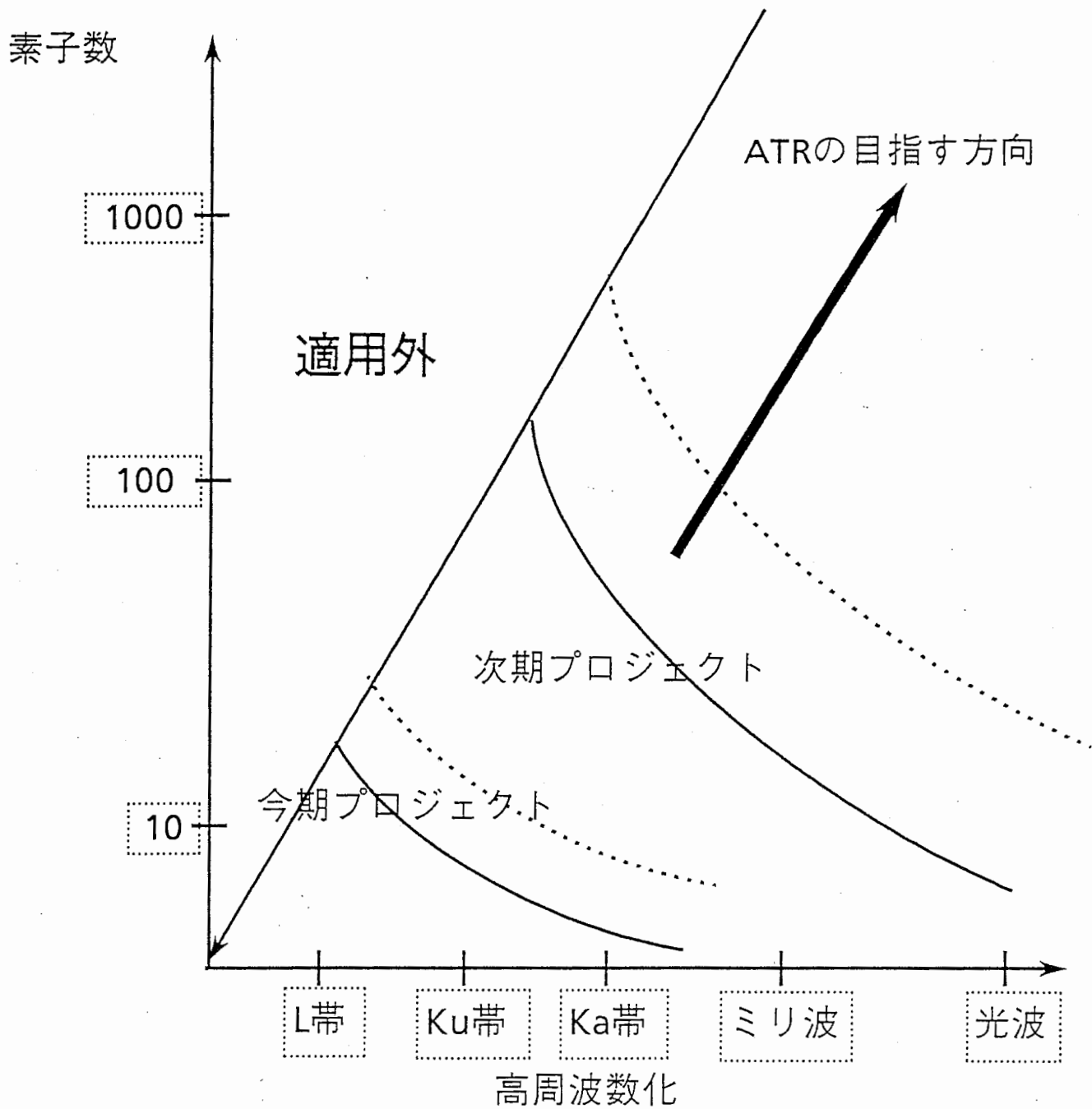
移動通信用アクティブアレーの開発

図-1



移動通信用アクティブアレーの開発

図-2



移動通信用アクティブアレーの開発

図-3

アクティブアレーの構成

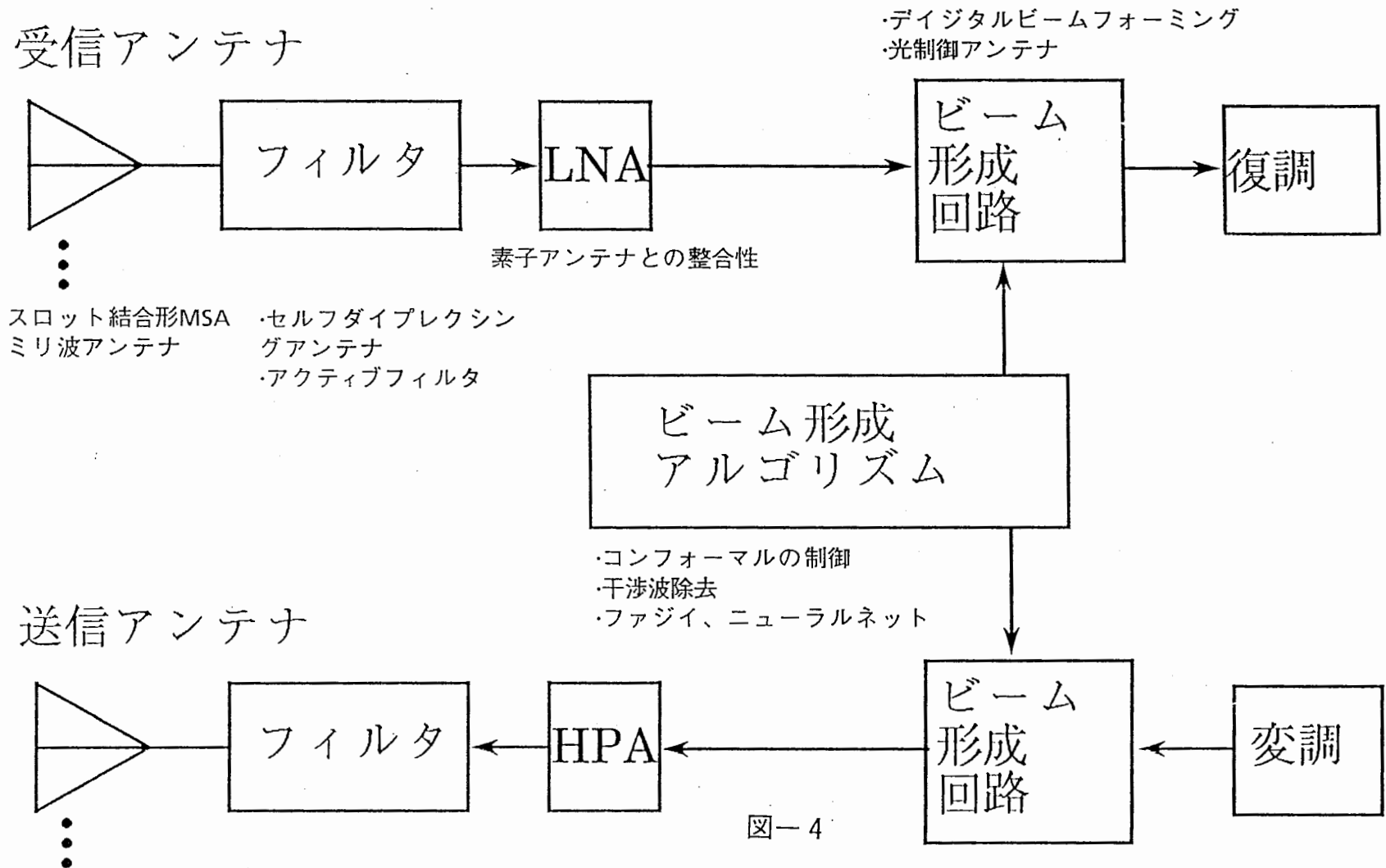


図-4

移動体に適合した形状、小型軽量といった特徴を有し、高精度かつ柔軟な制御機能や高度な信号処理機能を有するアクティブアレーアンテナを設計・開発し評価する。

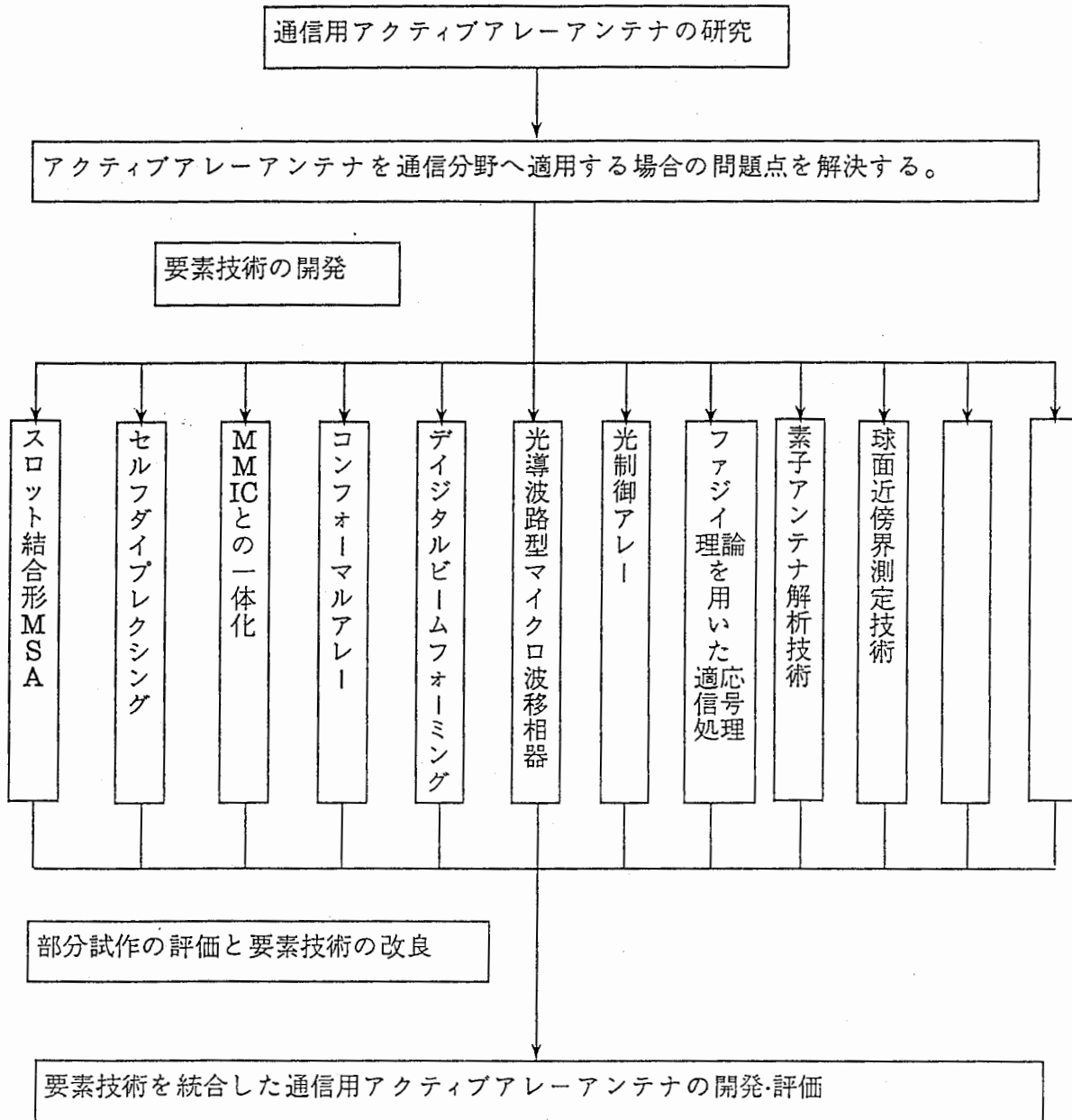


図-5

通信用アクティブアンテナの研究課題

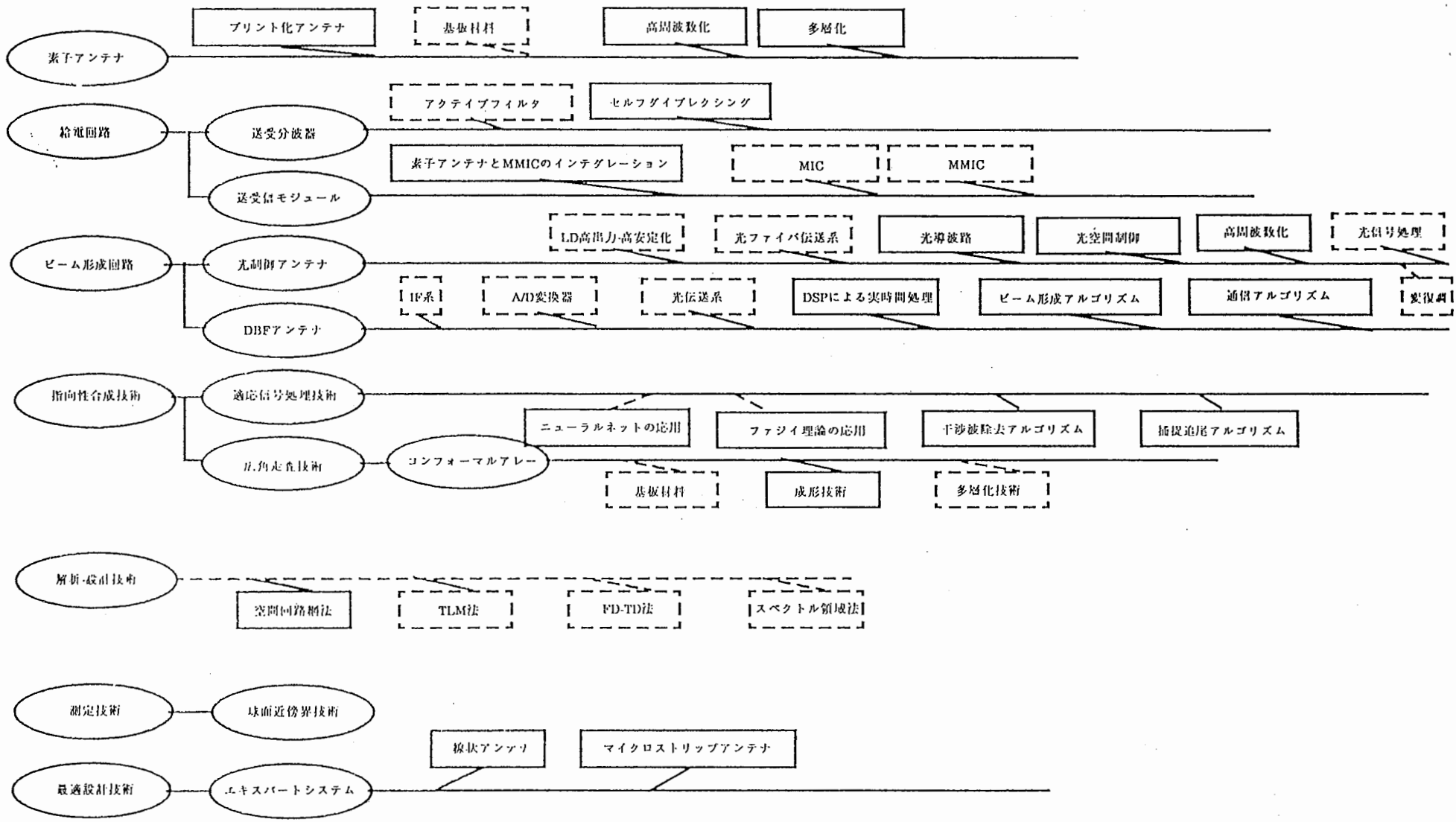
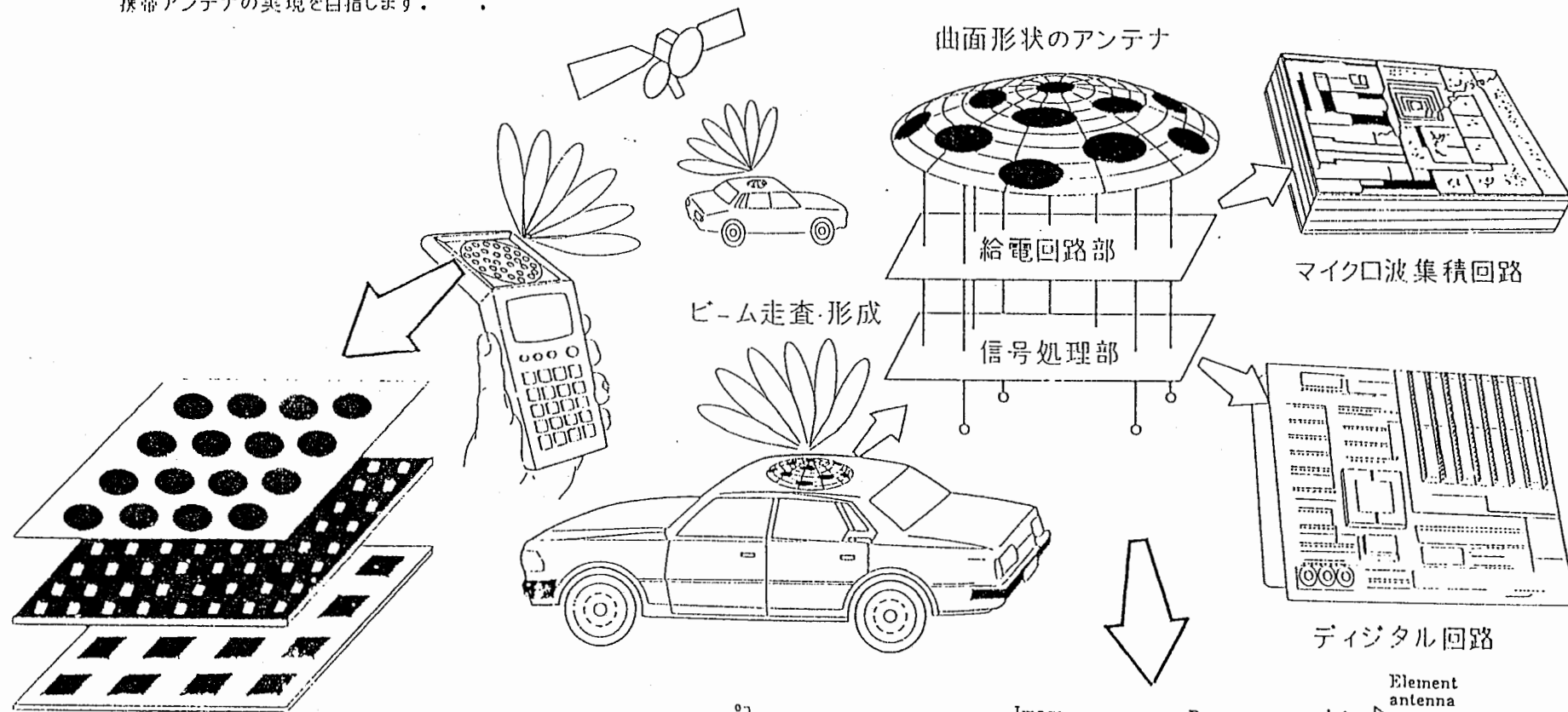


図-6

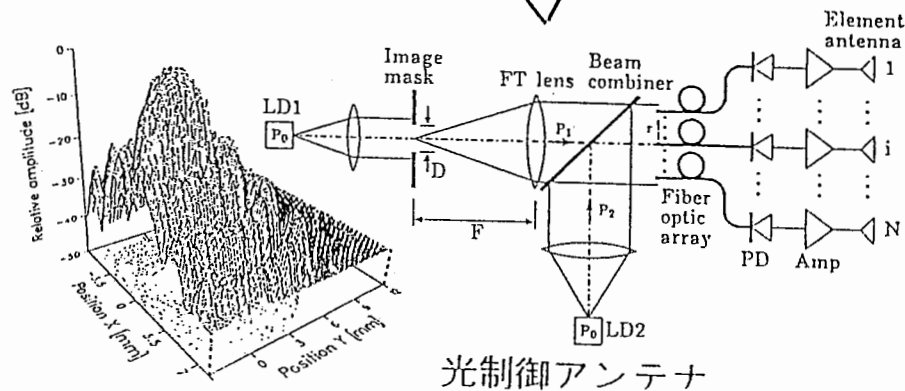
新しい移動通信システムのための基礎技術
 - 高機能・集積化アンテナ -



衛星通信や移動通信、パーソナル通信の無線端末、特に自動車や航空機に適合した移動体アンテナ、将来的には個人が自由に持ち運びできる携帯アンテナの実現を目指します。



インテグレートッドアンテナ



光制御アンテナ

図-7

将来の研究課題

ミリ波・光波アクティブフェーズドアレーの研究

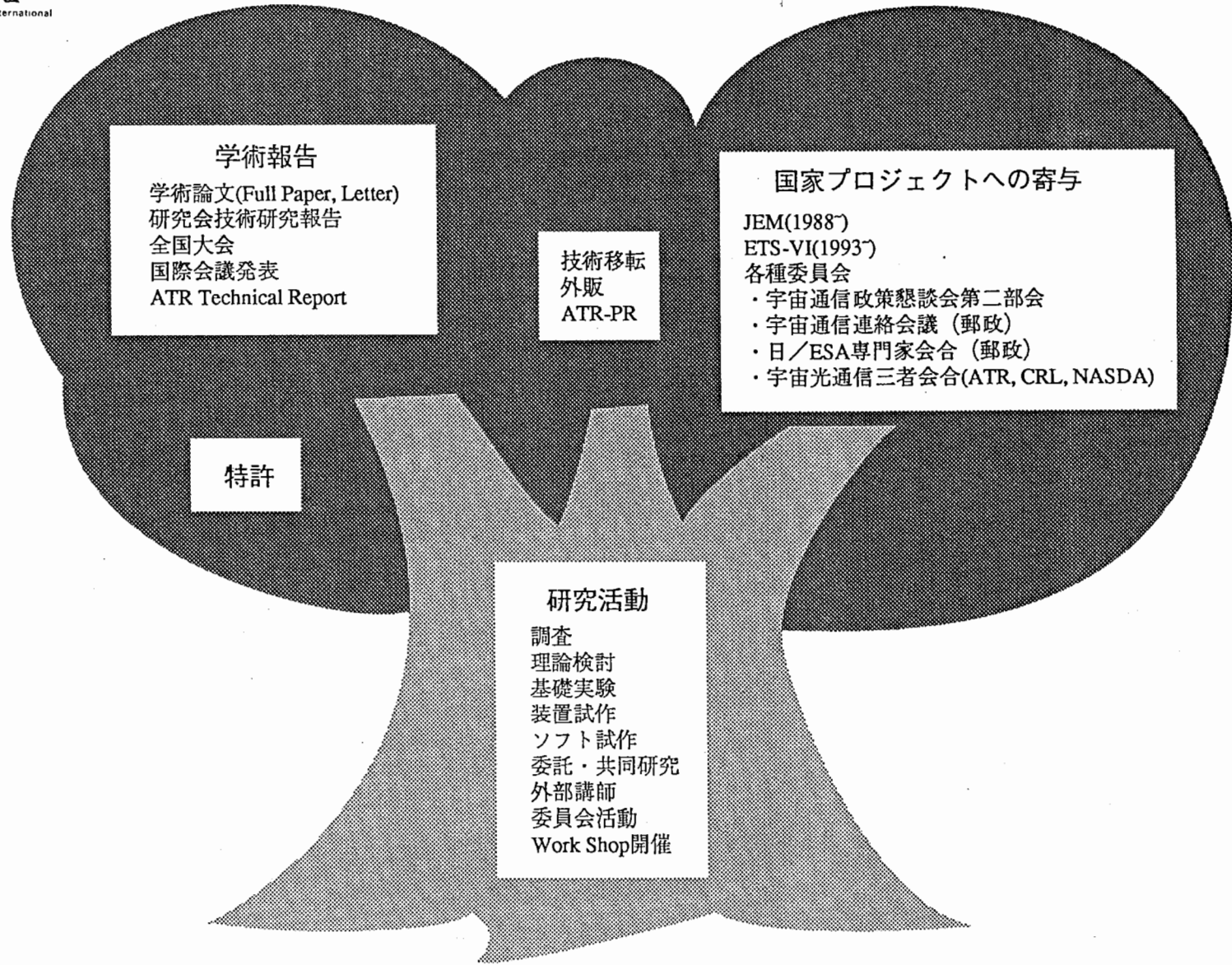
開発すべき要素技術

- ミリ波・光波集積化アンテナ
- 高速デジタル信号処理
- 光信号処理
- 電源技術、等

整備すべき基盤技術

- 微細加工技術
- 精密測定技術
- 解析技術、等

光衛星間通信研究における成果の位置付け



図一 8



ATR Optical and Radio Communications Research Laboratories

PLANS OF SPACE COMMUNICATIONS EXPERIMENTS IN JAPAN

ETS-V (1988)	ETS-VI (1993)	COMETS (1997)	Space Station / JEM (1998)	DRTS (~2000)
Mobile L-band C-band	Fixed Ka-band Mobile S-band Intersatellite S-band* Ka-Band* millimeter-wave** light-wave** <div style="text-align: right;">*ADEOS **Ground Station</div>	Mobile Ka-band millimeter-wave Broadcasting K-band Intersatellite S-band* Ka-band** <div style="text-align: right;">*ADEOS **Space Station / JEM</div>	Optical Intersatellite Link is under Consideration	Launching is under Consideration



ATR Optical and Radio Communications Research Laboratories

Position of ATR

EUROPE

JAPAN

USA

	EUROPE	JAPAN	USA
<i>Research</i>	DLR TUW FIAR	ATR UNIVERSITIES	STI USC
<i>Project Conduct</i>	ESA	NASDA CRL ISAS	NASA/GSFC MIT JPL
<i>Fabrication</i>	MATRA-MARCONI MBB DORNIE ANT Carl Zeiss British Aerospace	TOSHIBA NEC	BALL TRW GE MD Rockwell SDL Lightwave Elec. EG&G EVI Kodak

ATRにおける光衛星間通信の研究

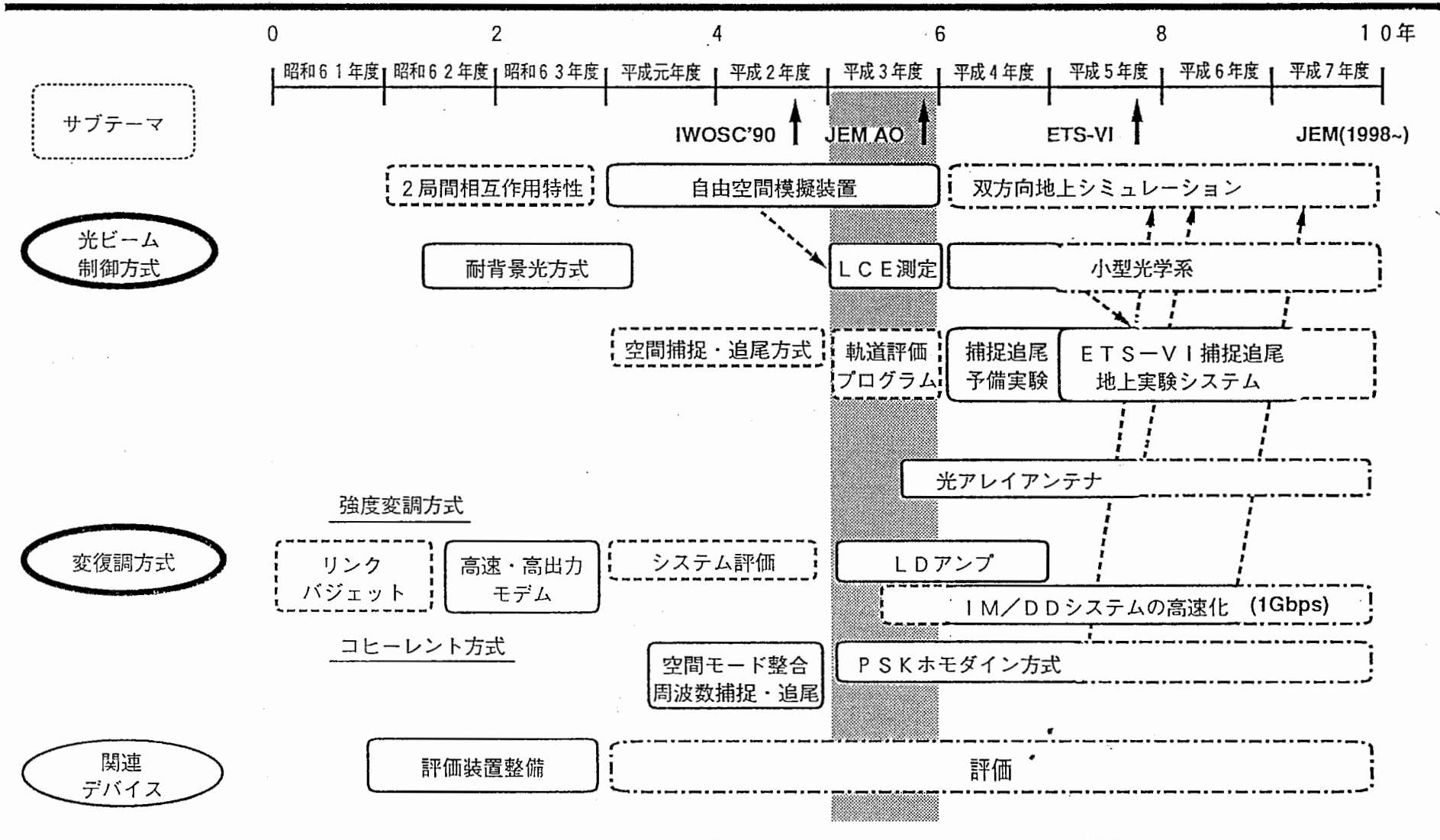


表-9

 システム的検討

 基本技術

 総合評価・検討

光衛星間通信による広帯域移動体通信システムの概念

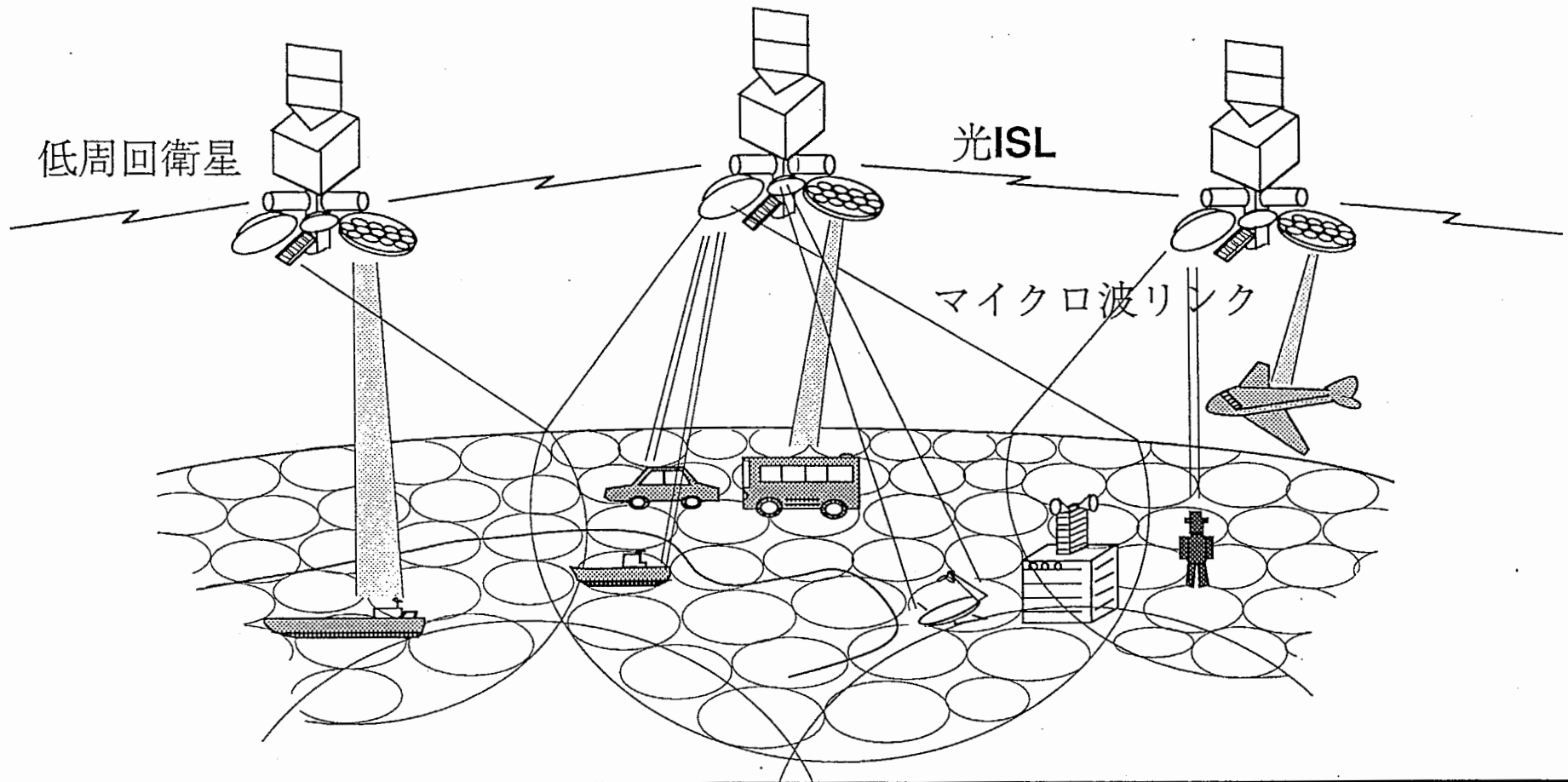


図-9