

TR - o - 0042

98

ATR光電波通信研究所の5年間の歩み

古濱 洋治

1991. 11. 7.

ATR光電波通信研究所

# ATR光電波通信研究所の5年間の歩み

1991年10月31日

古濱洋治

## 1. はしがき

当研究所設立後、約5年半経過致しましたので、本日はこれまでの研究活動を振り返りまして、プロジェクト発足時の着眼点、到達目標、これまでの主な成果、今後の研究課題など研究活動の概要について御紹介致します。

当研究所は、宇宙から地上歩行者に至る間の通信による結びつきを目指して、光電波科学の基礎研究を担当しています。具体的には、表1に示すように光衛星間通信のための基礎技術の研究、移動通信のための基礎技術の研究、これらの技術の発展の基礎となる通信デバイスのための新しい素子・物性の研究を行っています。

## 2. 光衛星間通信のための基礎技術

将来の大気圏外における様々な活動を想起しますと、光を用いた衛星間通信技術は非常に有望な技術として、主要先進国では早くから研究が進められています。因に、我が国では1993年度打ち上げ予定のETS-VI衛星に搭載するレーザ通信装置(LCE)を用いて、郵政省通信総合研究所が、世界に先駆けて、衛星地上間通信実験を実施することになっています。

### 図1 (光衛星間通信の概念図)

当研究所では、関連分野の技術レベルを調査すると共に、技術開発の難易度、国内外の研究開発計画、私共の技術ポテンシャルなどを考慮して、光衛星間通信技術の研究開発に比較的長い時間のかかる高出力を扱う変復調技術、高精度捕捉・追尾・指向技術などの要素技術の研究に重点を置き、静止衛星間(GEO-GEO)から静止周回衛星間(GEO-LEO)回線を想定して研究を進めています。近年、モトローラ社のイリディウム計画に見られるように、周回衛星間(LEO-LEO)回線が重要となって来ましたので、これに光通信技術を応用することについても検討を進め

ています。[しかしながら高出力LD, 高密度CCDなどのデバイス, 衛星搭載可能なシステムの開発, 宇宙での実証実験などは行いません。]

#### 図2 (360Mb/s IM/DD モデムの試作)

変復調技術として強度変調/直接検波(IM/DD)方式を用いる360Mbpsのモデムを試作し、現在の技術で実現可能なGEO-GEO回線におけるサブシステムの具体的検討を行いました。これにより、静止衛星間通信の技術的可能性を実証すると共に、高出力レーザダイオード(LD)の必要性、回路損失の低減化などの問題点を明らかにして、これらの課題について検討を進めました[1]。また、コヒーレントシステムについても偏波変調の理論的・実験的検討を進めると共に、増幅器などサブシステムについても検討を進めています。

#### 図3 (捕捉・追尾・指向技術のための2衛星間相互作用モデルの提案)

捕捉・追尾・指向技術については、軌道上を高速で運動しランダムにその姿勢が微小変動する衛星同士の通信であることを確率的なモデルとして取扱い、通信回線維持に必要な安定条件を導出しました[2]。また、軌道予測に必要な計算ソフトなども整備しました。

#### 図4 (自由空間レーザ伝送シミュレータの試作)

光送受信機・光アンテナを衛星に搭載して、光ビームの捕捉・追尾・指向を実施することを想定しますと、宇宙空間での光ビームの状況を実験室内で模擬する必要性が生じます。自由空間レーザ伝送シミュレータはこのためのもので、レンズ系を用いて遠方界分布を実験室内で再現します[3]。また気温の揺らぎによる影響を避けるため、真空チェンバー内に装置を設置しています。将来は送受信装置を振動台にのせ衛星の姿勢変動特性を付加するなど、動的な模擬を行う予定であります。このシミュレータは当研究所の発案によるものであり、内外からその有効性について注目されています。また、この装置を用いてLCEの特性評価なども行っています。

1990年12月、日欧米の主要研究機関の参加による国際光宇宙通信ワークショップ (IWOSC'90) をATRにて開催し、約100名の参加者がありました。当ワークショップの開催は、この分野では最初の試みであり、世界の主要研究機関と光宇宙通信分野の研究交流を行うと共に、光宇宙通信に係わる各国の宇宙開発計画の現状についても交流することができました。

### 3. 衛星・移動通信用アクティブアレーアンテナ

#### 図5 (高機能アレーアンテナの概念図)

将来の宇宙通信・移動通信に必要となる高機能・集積化アンテナの研究を行っています。アクティブ・アレー・アンテナは、レーダ用として実用化されていますが、私共はこれを小型・軽量・安価に作り移動通信に使いたいと考えています。即ち、IC技術を導入して素子アンテナ部、給電部、信号処理部を一体化した構造、自動車の車体のように滑らかな表面に装着できるコンフォーマル機能、機械的な走査でなくて電子的なビーム走査、デジタル信号処理技術を利用して不要波除去を行うアダプティブ機能など高い機能をもつアレーアンテナの研究を行っています。また、設計支援ソフトの開発を行っています。

#### 図6 (コンフォーマルアレーアンテナの試作)

これは簡単な手法で試作した16素子半球面状のコンフォーマルアレーであり、天頂方向のみならず、水平方向にも感度を持っています [4]。

#### 図7 (光制御アンテナの予備実験)

マイクロ波ビームの走査を光技術を用いて行うことができれば、アンテナ系の大きさを小型・軽量かつ耐電磁環境性の良いものにすることが可能です。この図は、その予備実験であり、LD光を用いて構成したマイクロ波遠方界の振幅分布の推定値を示しています [5]。また、光によるマイクロ波帯の位相制御にも成功しています。光制御アンテナは原理検証の段階ではありますが、21世紀のアンテナとして期待されています。光技術の導入によって、最終段(あるいは、最前段)のア

ンテナ面を除いて、マイクロ波に固有の大きさを越えることができますので、光アンテナ制御技術は波及効果の大きい技術として期待されています。

#### 図8 (近傍電磁界測定システムの開発)

図8は、大型電波暗室内に設置された球面走査型近傍電磁界測定システムであり、システムの評価試験が終了しました [6]。この電波暗室は、外部機関にも利用して頂きたいと考えています。

この他、アンテナ設計を支援するためのソフトウェアの開発を行っており、線状アンテナについては、標準的なワークステーションで使用できるものを作り上げています。今後、これらのソフトをユーザに試用して頂き、使い勝手のよい完成度の高いものとしていきたいと考えています。

#### 4. 干渉除去・信号処理の基礎技術

近年のポケットベル、自動車電話、コードレス電話、移動電話の普及発展には著しいものがあります。いつでも、どこでも、誰とでも、何んでも通話できるという要請に100%応えることは不可能としても、これらの要請に部分的ではありますが応えるための技術開発が限りなく行われると考えられます。これには周波数の有効利用技術の向上を図ると共に、新しい周波数帯の開拓が必要です。

#### 図9 (多重波干渉の概念図)

当研究所では、第3世代の移動通信を目指して、移動通信の基礎技術の研究を行っています。[第1世代とは現用の技術、第2世代とは現在開発の進められている準マイクロ波帯のデジタルを用いた技術を指しています。]

都市内の建物や山・森林などによる反射波、あるいは屋内の壁・構造物による反射波は、不要干渉波として混信や像の歪みをもたらします。これらの不要波をアンテナから信号処理系に至る回路で除去することが必要であり、RF帯からBasebandまで種々の干渉除去技術の研究を行っています。

#### 図10 (屋内伝搬特性の測定とモデル化)

RF帯の干渉除去・信号処理技術では、多重波伝搬環境、特に屋内伝搬実験を実施し、伝搬モデルの確立とアンテナ構成法の最適化の研究を行っています。この図は、屋内伝搬における準マイクロ波帯多重波遅延特性を示しています [7]。壁の反射係数によって、主要多重波による寄与が説明できることが解明されました。また、得られた遅延波形から、距離分解能を向上させる手法を開発しています。

#### 図11 (ニューラルネットによる高精度方向識別法の提案)

これは、同一周波数で少し角度の異なる方向から同時に到達する波から、それらの波源方向を推定するために、ニューラルネットを用いて高精度で方向を識別したものであります [8]。アンテナの口径と波長で決まる分解能(入力波形)を越えて、方向識別(出力波形)できることがわかっています。

#### 図12 (ニューラルネットによる非線形等化器の提案)

これは、ニューラルネットの手法も用いてトランスバーサル型フィルタの特性改善を図ったものであります [9]。従来のものに比べて非線形等化など適用範囲が拡大されています。詳しい特性の評価および具体的ハードウェアの検討が今後の課題であります。

### 5. 移動通信のための回路小型化

#### 図13 (MMIC技術のマイルストーン)

回路小型化技術として、モノリシックマイクロ波集積回路(MMIC)の小型化を取り上げています。当初MMICの1/30の小型化を目指して、共平面MMIC(LUFET)、多層化MMIC、立体化MMICの実現によって、それぞれ約1/3の小型化を達成するマイルストーンを設定しました。現在、多層化MMICのレベルに達しており約1/10の小型化を達成しています。これらの技術を現用の移動無線機に応用すれば、回路部分の飛躍的な小型化が図れるものと考えられます。

#### 図14 (LUFETの提案)

この回路はATRで提案したもので Line Unified FET (LUFET)と名付けました [10]。MMICに中心となるFETに受動回路と線路とを統一的に扱う手法で設計した回路であります。この技術と共平面化によるスルーホール除去によって従来の約1/3の小型化が図れました。この手法は外部の研究機関からも注目されています。この設計法とその応用に対し、本年6月IEEE MTT-Sシンポジウムにおきまして、1991年度最優秀論文賞 (Microwave Prize) が授与されました。

#### 図15 (多層化MMICの試作)

これは、LUFET MMICの上に、誘電体と導体を交互に積層して、多層化を図ったラットレース型180°ハイブリッド回路であり、これによって更に約1/3の小型化、即ち従来のMMICに比べて約1/10の小型化が図れました [11]。現在これらLUFET及び多層化MMIC混載技術を用いて、MMICのモジュール化を図っています。

以上は受動回路の多層化であります。能動回路を含めた多層化(図13の立体化に相当する)を図らねば、真の多層化とは言えません。能動回路の立体化は、プロセスの難しさから、まだ越えなければならないハードルが多くあります。このため立体化MMICについては調査を続けることにし、プロセスの発展をまって、改めて取り上げることにします。1/30の小型化は別の手法でもって達成したいと考えています。

#### 図16 (光マイクロ波モノリシック集積回路と光ファイバリンク構成法の提案)

光マイクロ波モノリシックIC(OMMIC)はマイクロ波回路と光回路を一緒に集積したものです。素子のイメージは図13に示すようなものです。現在プロトタイプを試作中です。図16は、OMMICのcarrying vehicleであり、路上の電話boxや、電柱まで光ケーブルで送られた情報を、ミリ波あるいはマイクロ波を用いて、ユーザに伝送しようとするシステム図です [12]。このようなシステムを実現するには、小型・軽量の光・ミリ波あるいは光・マイクロ波変換素子が必要と

なり、この役目をOMMICが果たします。このような光ファイバリンクの構成法については、レーザダイオードあるいはフォトダイオードの非線形性を利用して、簡便な各種サブシステムの基本提案を行っています [13]。

## 6. 知的空間光通信のための通信デバイス

現在の信号処理技術では、2次元映像をそのまま処理することが難しいので、TVのブラウン管の走査のように、1次元信号に直して処理を行っています。これに光の並列性を使って2次元処理ができれば、驚く程高速の信号処理が可能となります。

### 図17 (連想システム概念図)

当研究所では光の並列性、広帯域性を利用して、図17の連想システムに示すような知的、空間光通信を可能とするような素子・材料・手法の研究を行っています。これは左の2人の人物の内、参照信号の目付きをした人物を選び出すということを示しています。この図の発光素子、変換素子、受光素子に対応する面型素子を、化合物半導体超格子を用いた光素子によって実現するための研究を行っています。特にGaAs (111) A面上に成長したGaAs膜の表面モルホロジーの改善と面型発光素子への利用、超格子非線形光素子の研究、有機光非線形効果の理論的解明と材料の合成あるいは非線形動力学を用いた新しい信号処理法の研究に力点を置いています。これまでGaAs超格子の選択ドーピングによる高速化、サブバンド間光吸収を利用した遠赤外光スイッチング素子の検討などを行っています。

### 図18 (面発光レーザを目指したGaAs (111) A基板上の横方向p-n接合の試作)

この図は、GaAs (111) A面上のGaAs成長膜の表面モルホロジーの改良と(111)A面の3回対称性とを利用した横方向p-n接合のパターンを示しています [14]。これは最近当研究所で得られた大きな成果であり、レーザ発光の可否が注目を浴びています。この3角形状のLDができれば、平面をすき間なく覆うことができ、空間的に能率のよい面発光素子実現の可能性が高くなります。本年7月には、ATRにおいて「半導体量子構造の新物理」に関するサテライトミーティン

グが開かれ、国外約30名を含む100名の参加者があり、ホットな研究交流が行われました。

#### 図19 (超格子を用いた光双安定素子(ワニエ・シュタルク効果)の試作と特性の最適化)

この図は、GaAs超格子に電界をかけたとき出現する光双安定性(ワニエ・シュタルク効果)を利用したSEED(自己電気光学効果素子)の特性を示します[15]。この研究は現在世界でトップ水準にあり、超格子構造を変化させてミニバンドエネルギー幅の最適化を図り、コントラスト比の大きい素子を実現しました。

#### 図20 (光カオスを用いた記憶・検索機能の実証)

この図は、光カオスを用いた記憶・検索機能の実証実験系を示します。カオスとは簡単な法則で複雑な現象を記述できるような現象の総称であって、新しいパラダイムであります。図20のような光・電子回路の中に存在する非線形振動の理論的記述と実験結果とが正確な一致をみており、一次元の信号書き込み・消去および、検索機能の検証を行いました[16]。これらの光カオスの応用実験は、ユニークな成果であり、具体的な利用が期待されています。また、これらの機能を二次元に拡大できれば、図17の連想システムで想定されるようなモンタージュ写真、指斑、印鑑などの照合の自動化が可能となります。現在、全電子回路および全光回路系のカオスについても検討を進めています。

### 7.今後の展望(表2)

(1) イリディウム計画にみられるような周回衛星間に光衛星間通信技術を応用すれば、電磁干渉のない小型・軽量の衛星間通信システムを形成することができます。これらは将来の移動通信に多大のインパクトを与える可能性があるため、そのシステム検討と共に、光通信装置の検討を行います。また自由空間レーザ伝送シミュレータによるレーザ通信装置(LCE)の評価実験を行うと共に、LCEを用いた実験の可能性についても検討します。

(2) コンフォーマルアレーアンテナに MMIC 技術、DBF 技術を組み合わせて一体化した高機能アンテナの試作・評価を行います。また、線状アンテナに関するアンテナ設計支援システムの外部ユーザへの試用を開始し、ソフトウェアの利便性、使い易さを向上させます。

(3) 遅延波測定装置を用いて屋内測定を続けると共に多重波環境における伝搬モデルの確立を図ります。また、ニューラルネットなど新しい手法を用いて、多重波干渉に対する信号処理法の改善を図ります。

(4) これまで開発、蓄積した LUFET, 多層化 MMIC 技術のとりまとめを行い、技術移転について検討します。また、OMMIC の試作・評価を継続すると共に、これらを用いた光ファイバリンクの構成に関する提案と検証実験を行います。

(5) GaAs (111) A 基板を用いた新しい素子の探究を続けると共に、非線形光素子の探索を行います。また、光カオスなど非線形動力学の研究とその応用について実験的検討を行います。

#### 文献

- [1] Koji Yasukawa, Koji Goto, Kanshiro Kashiki, Ken'ichi Araki, Masaru Nagai, and Motoh Shimizu, "Configuration and Performance of Optical Modulator / Demodulator for Optical Intersatellite Communications", SPIE OE / LASE' 90, 1218-33, pp. 348-354, Los Angeles, 1990.
- [2] 荒木賢一, 古濱洋治, "宇宙レーザ通信における光ビーム追尾・指向の安定性", レーザ研究, Vol. 19, No. 6, pp. 538-543, 1991.
- [3] K. Inagaki, M. Nohara, K. Araki, M. Fujise, and Y. Furuhashi, "Free-Space Simulator for Laser Transmission", SPIE, Vol. 1417, Free-Space Laser Communication Technologies III, 1991.
- [4] W. Chujo, Y. Konishi, Y. Ohtaki, and K. Yasukawa, "Performance of a Spherical Array Antenna Fabricated by Vacuum Forming Technique", 20th European Microwave Conference, 1990.

- [5] Y. Konishi, W. Chujo, and M. Fujise, "Experimental Study on Aperture Distributions and Radiation Patterns in an Optically Controlled Array Antenna", Proc. ICAP 91, 1991.
- [6] 大滝幸夫, 小西善彦, 中条涉, 藤瀬雅行, "4m $\phi$ 大型球面走査近傍界測定システムの評価", 信学技報, AP 90-77, 1990.
- [7] 松井 涉, "室内における多重波伝搬特性の方向依存性," 信学技報, AP 91-68, 1991.
- [8] 真鍋武嗣, 藤井智史, "ニューラルネットを用いたアンテナアレイ信号処理による多重波到来方向識別", 信学技報, AP 89-51, 1989.
- [9] T. Manabe and R. Kaneda, "Adaptive Decision-Feedback Equalization of Digital Transmission Channels using Forward-Only Counter Propagation Networks", Proc. IJCNN '91 Singapore, 1991.
- [10] T. Tokumitsu, S. Hara, T. Tanaka, and M. Aikawa, "Active Isolator, Combiner, Divider, and Magic-T as Miniaturized Function Blocks", GaAs IC Symp. Digest, pp. 273-276, 1988.
- [11] 中本博之, 平岡孝啓, 徳満恒雄, "ポリイミドを用いた多層化MMICによる超小型ハイブリッド回路", 信学技報, MW 89-141, 1990.
- [12] 小川博世, 竹中勉, 長谷川隆生, 馬場清一, 上綱秀樹, "光ファイバリンクミリ波パーソナル通信システム", 信学会秋季全国大会, B-736, 1990.
- [13] 小川博世, デヴィッド・ポリフコ, 神谷嘉明, "光ファイバを用いたマイクロ波/ミリ波伝送の検討", 信学技報, OCS 91-8, 1991.
- [14] M. Fujii, T. Yamamoto, M. Shigeta, T. Takebe, K. Kobayashi, S. Hiyamizu, and I. Fujimoto, "Lateral P-N Junctions on GaAs (111)A Substrates Patterned with Equilateral Triangles", Proc. 5th Int. Conf. on Modulated Semiconductor Structures, Nara, p. 149, 1991.
- [15] K. Kawashima, K. Fujiwara, T. Yamamoto, M. Shigeta, and K. Kobayashi, "Electro-Optical Bistability and Multistability in GaAs / AlAs Superlattices with Different Miniband Widths", Jpn. J. Appl. Phys. 30, L1542, 1991.

- [16] T. Aida and P. Davis, "Experimental Demonstration of Novel Dynamical Memory Function in a Nonlinear Electro-Optical Ring Resonator", Jpn. J. Appl. Phys. 29, L1241, 1991.

表1 研究計画の概要

1. 光衛星間通信： 人類の大気圏外活動を支えるインフラストラクチャ。光変復調と追尾・捕捉技術の検討。
2. アクティブアンテナ： 将来の宇宙通信・移動通信に必要な高機能・集積化アンテナの研究。
3. 信号処理・電波干渉除去： 多重波環境でも通信を可能とする信号処理・干渉除去技術の確立。
4. 回路小型化： 腕時計型電話やTV電話を可能とするMMICの一層の小型化技術の検討。
5. 通信デバイス： 超高速・並列光信号処理を可能とする化合物半導体超格子非線形光素子の検討。光カオスなど非線形動力学の研究とその応用。

表2 今後の展望

1. 周回衛星間光リンクによる移動体通信システムの検討。自由空間レーザ伝送シミュレータによるレーザ通信装置(LCE)の評価とLCE地上実験の検討。
2. コンフォーマルアレー, MMIC, デジタルビーム形成(DBF)技術の統合化。アンテナ設計支援システムの外部試用。
3. 多重波環境における伝搬モデルの確立とニューラルネットなどを用いた新しい信号処理法の確立。
4. MMIC技術のとりまとめ。OMMIC試作と利用法の検討。
5. GaAs(111)A基板を用いた新しい素子、非線形光素子の探索、光カオスなど非線形動力学の研究とその応用。

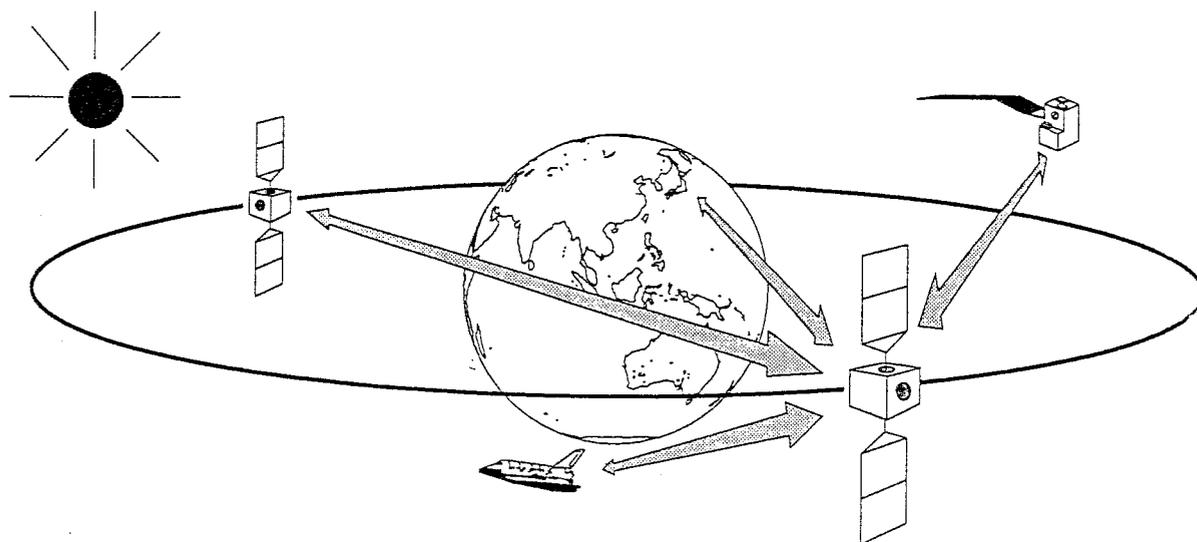


図1 光衛星間通信の概念図

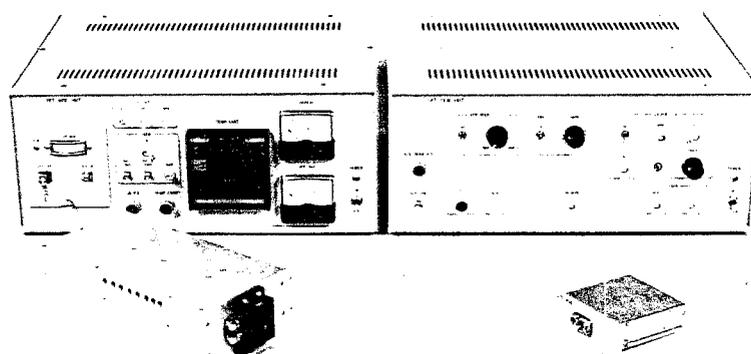


図2 360 Mb/s IM/DDモデムの試作

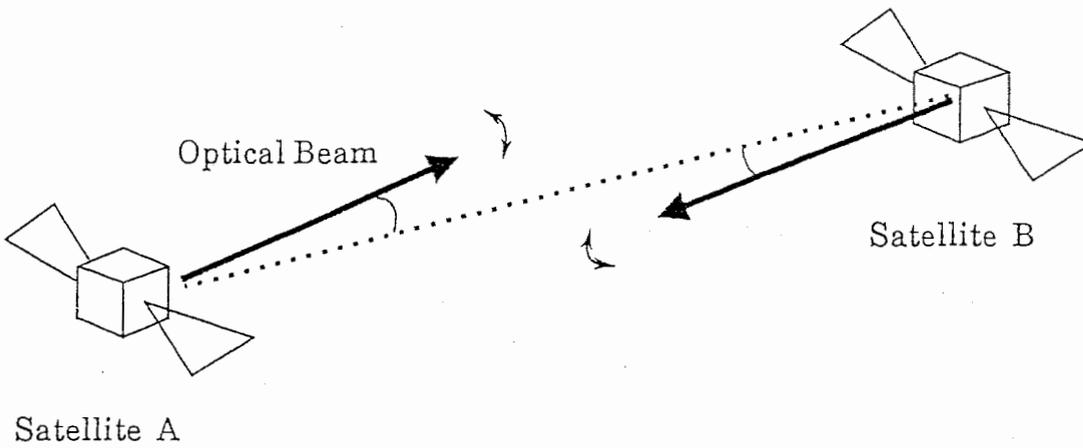


図3 捕捉・追尾・指向技術のための  
2衛星間相互作用モデルの提案

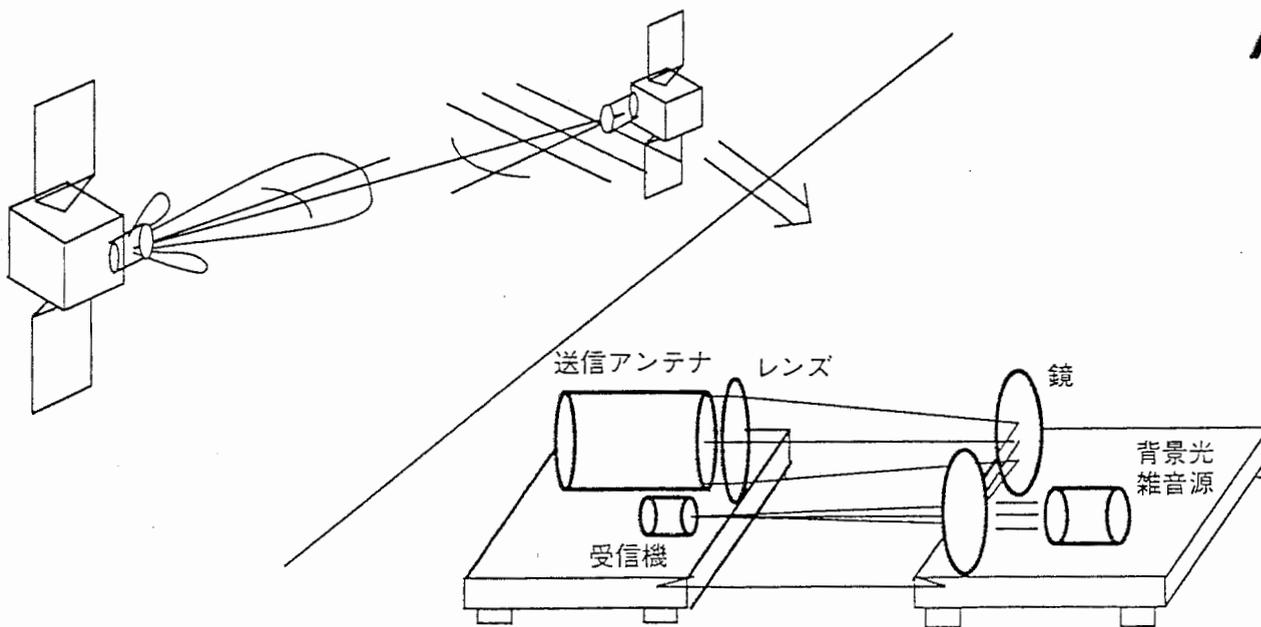


図4 自由空間レーザー伝送シミュレータの試作

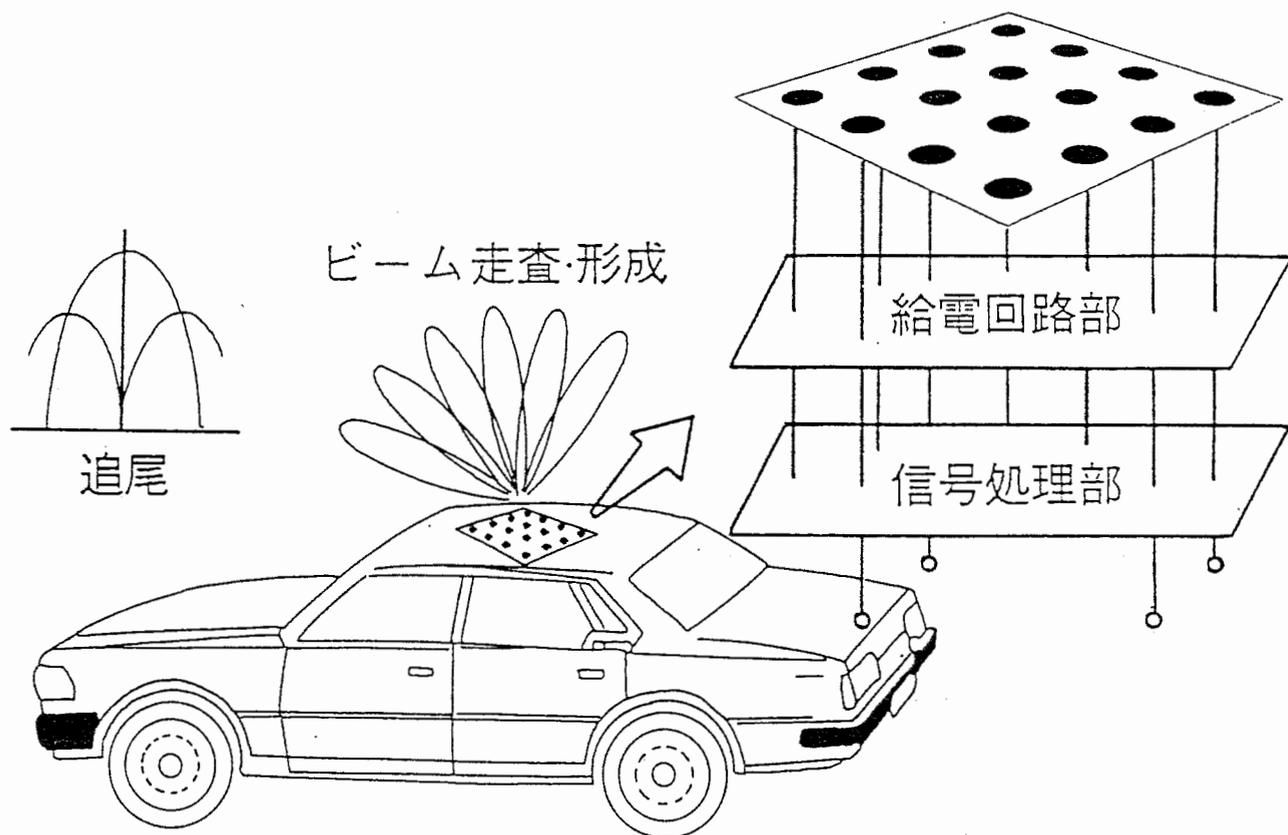


図5 高性能アレーアンテナの概念図

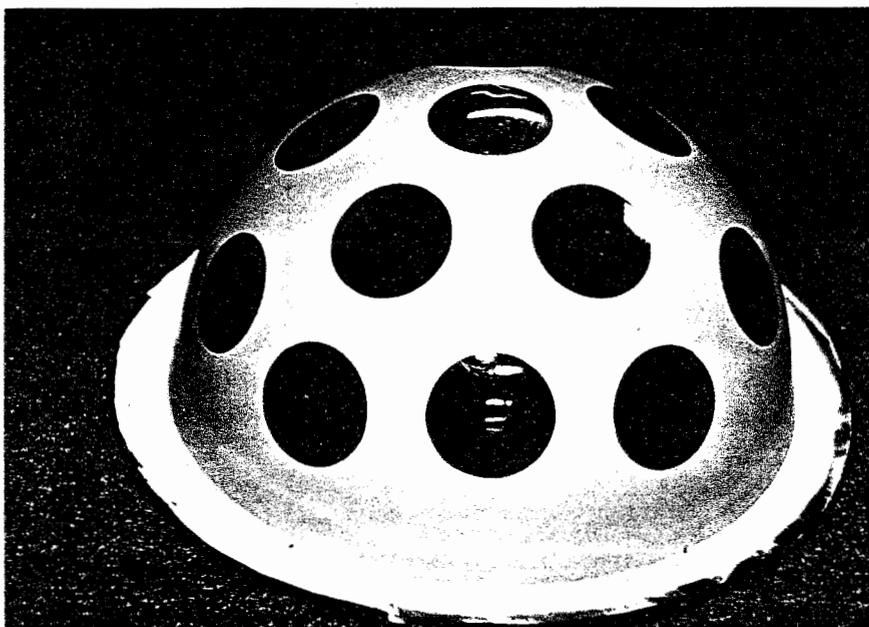


図6 コンフォーマルアレーアンテナの試作

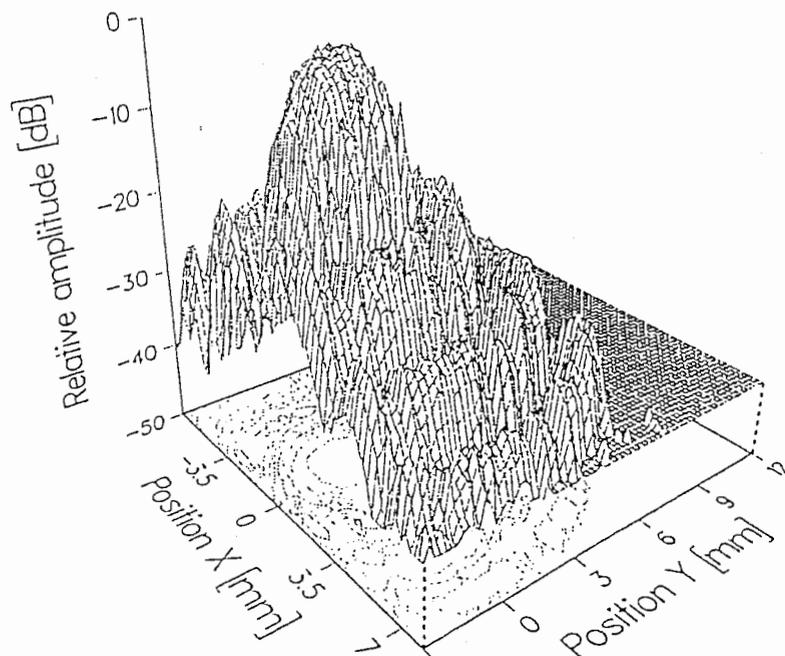


図7 光制御アンテナの予備実験

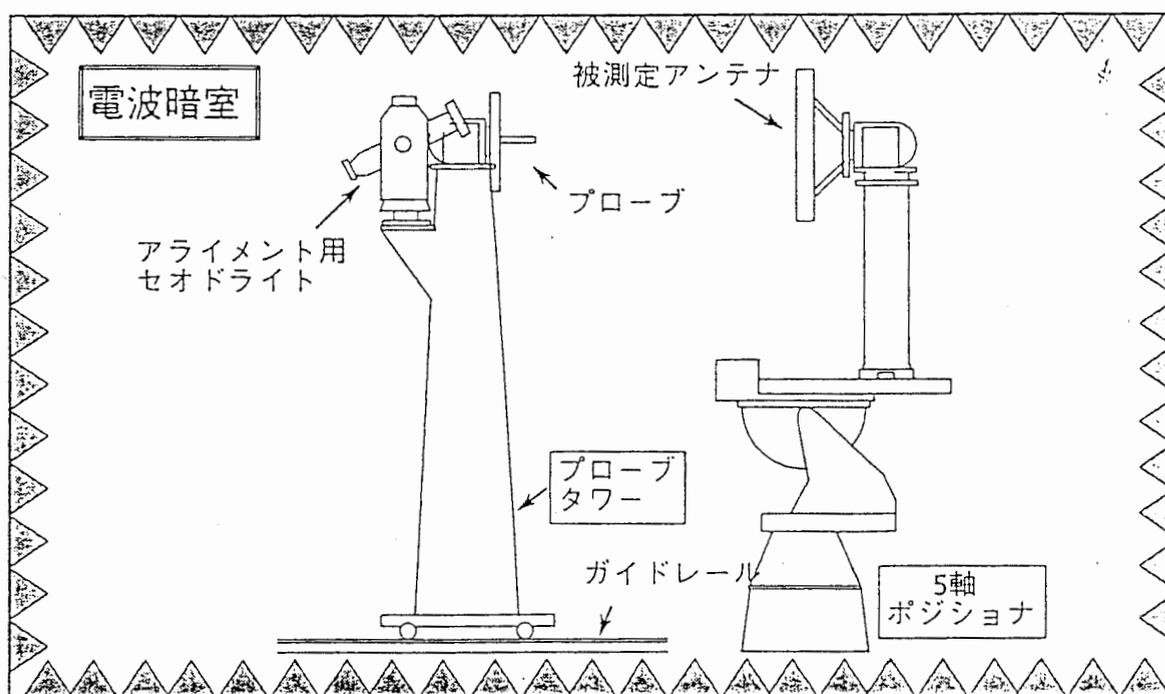


図8 近傍電磁界測定システムの開発

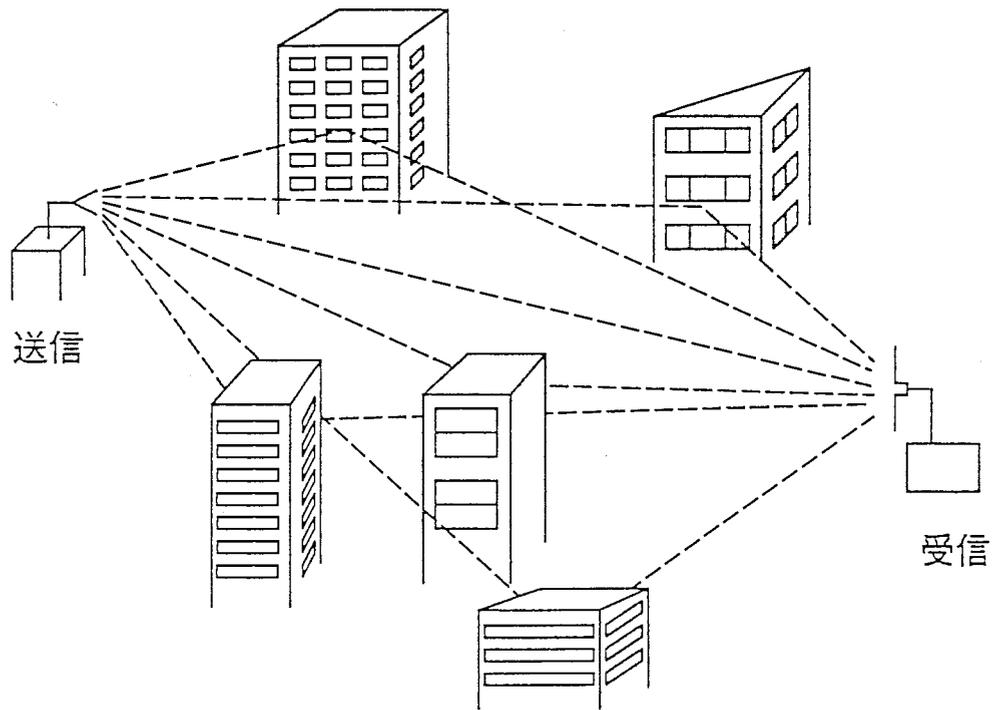


図9 多重波干渉の概念図

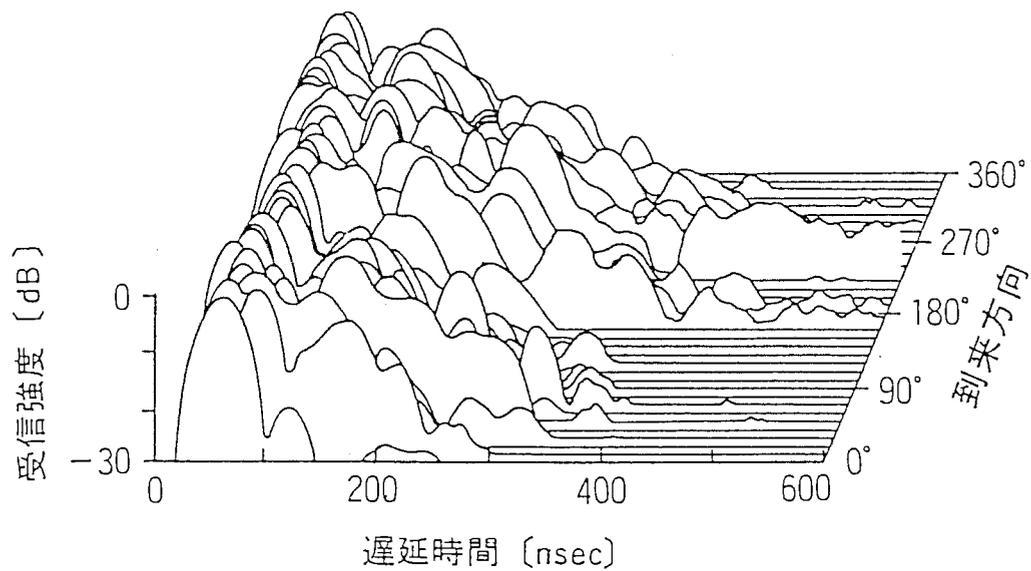


図10 屋内伝搬特性の測定とモデル化

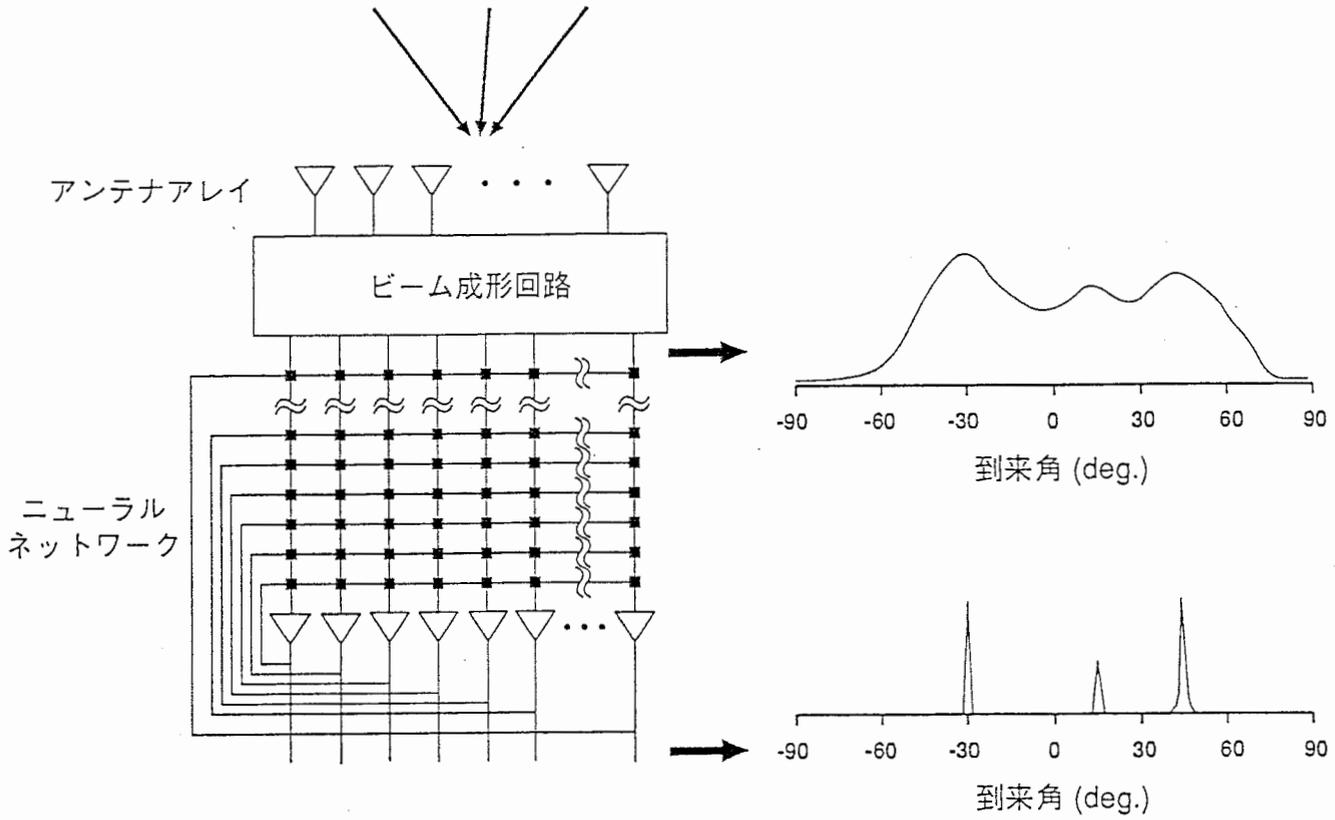


図11 ニューラルネットによる高精度方向識別法の提案

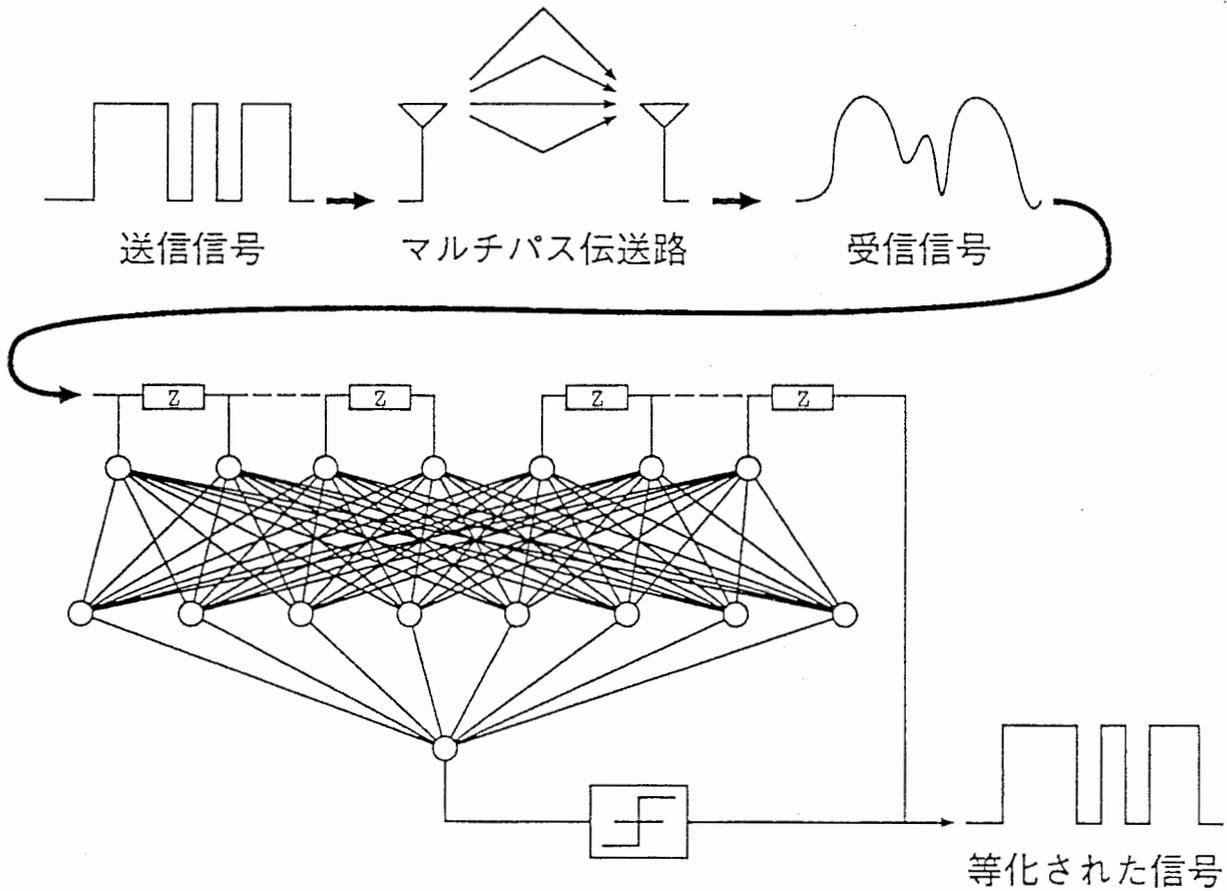
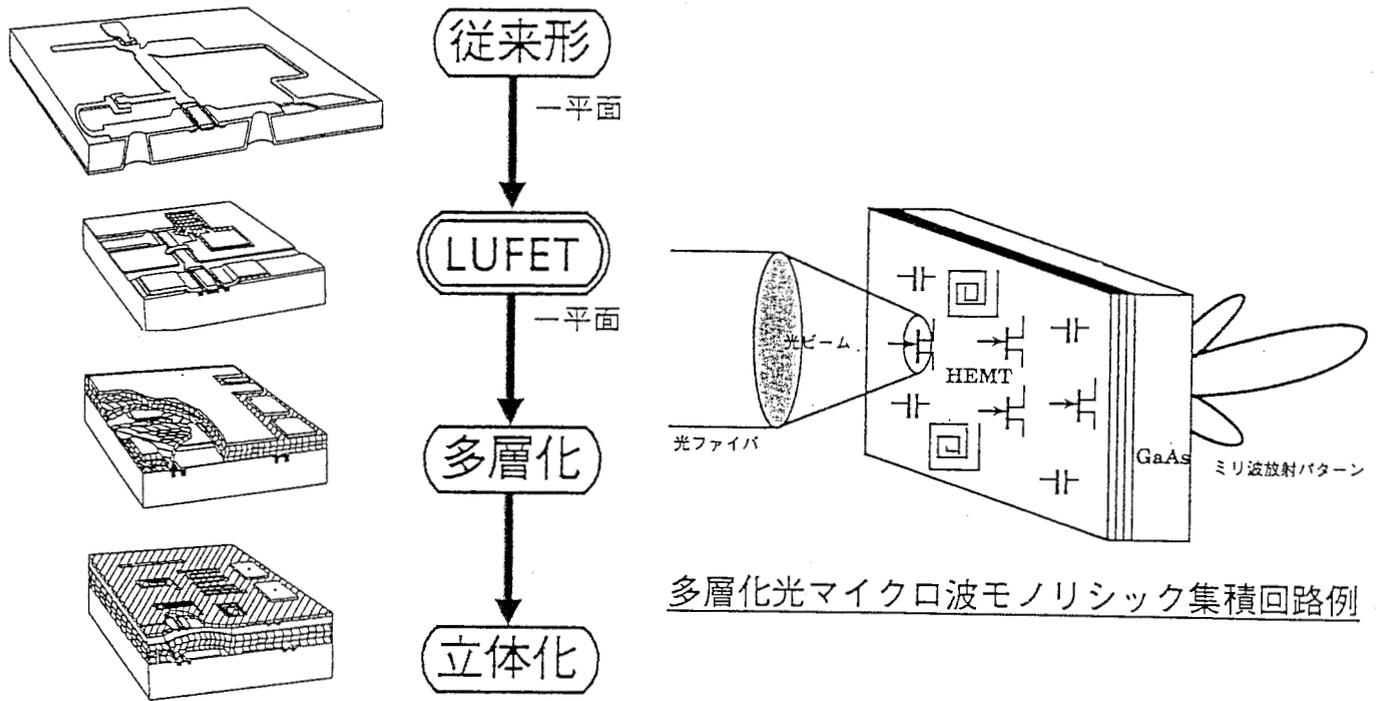


図12 ニューラルネットによる非線形等化器の提案



多層化光マイクロ波モノリシック集積回路例

図13 MMIC技術のマイルストーン

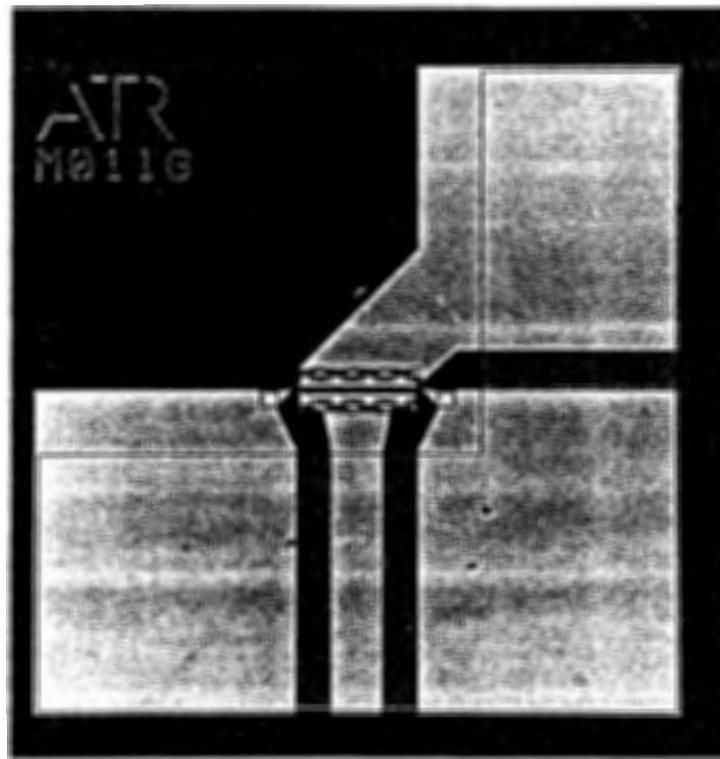


図14 Line Unified FET (LUFET) の提案

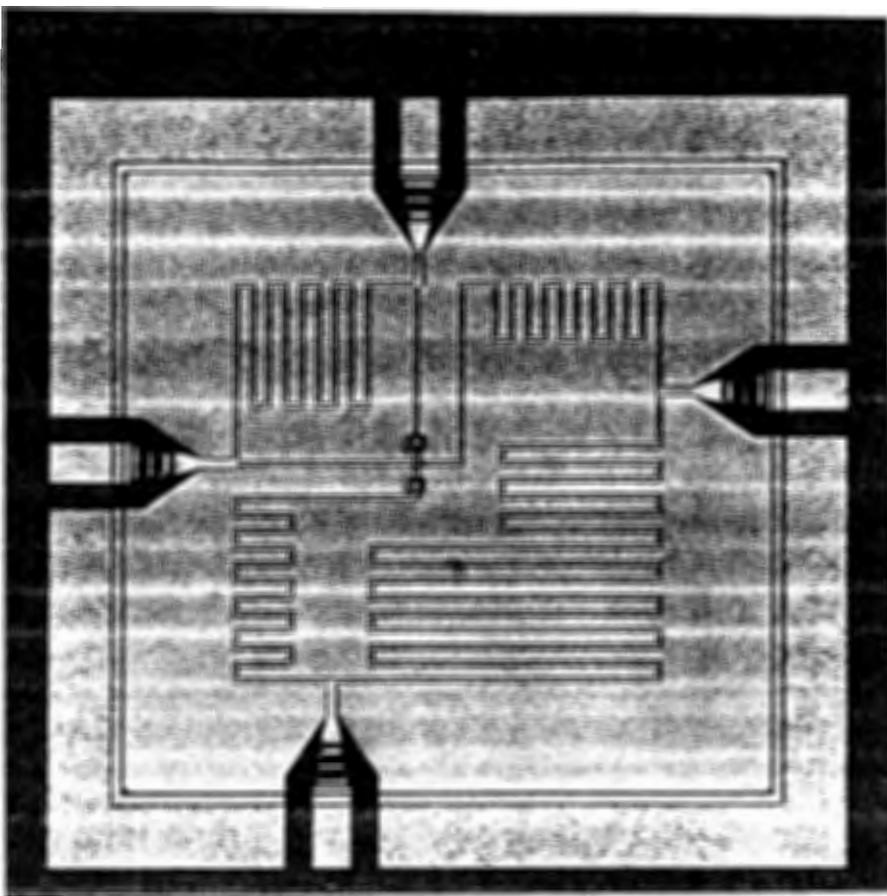


図15 多層化MMICの試作

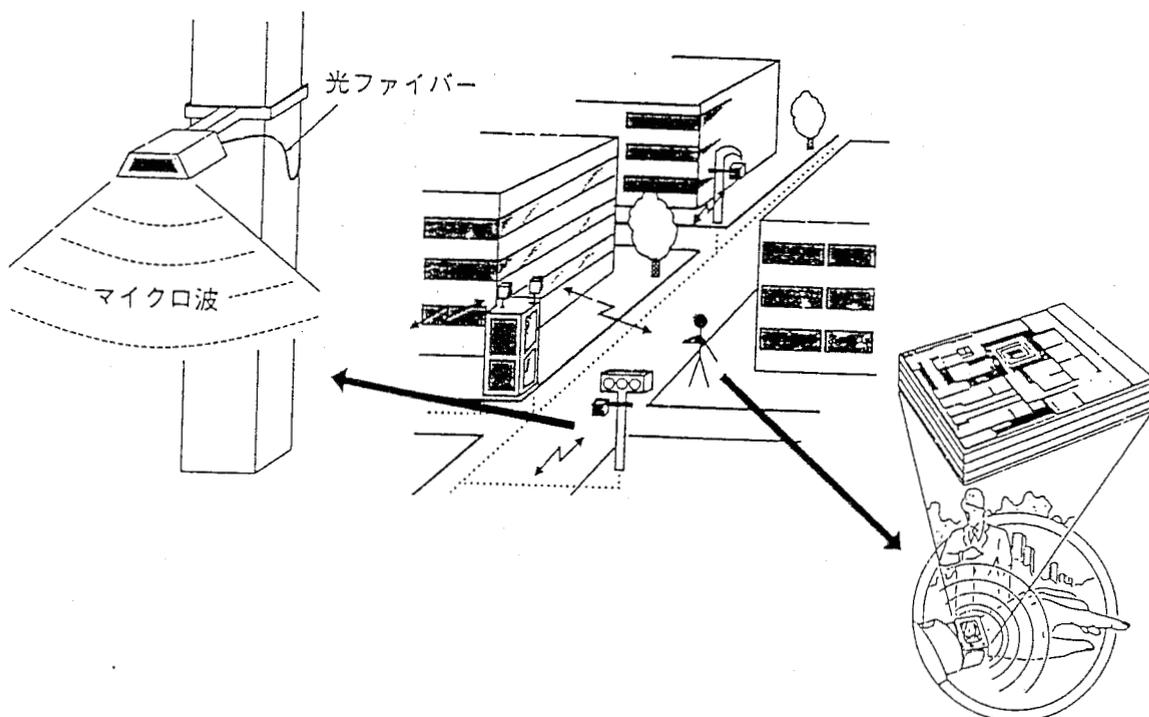


図16 光マイクロ波モノリシック集積回路  
と光ファイバリンク構成法の提案

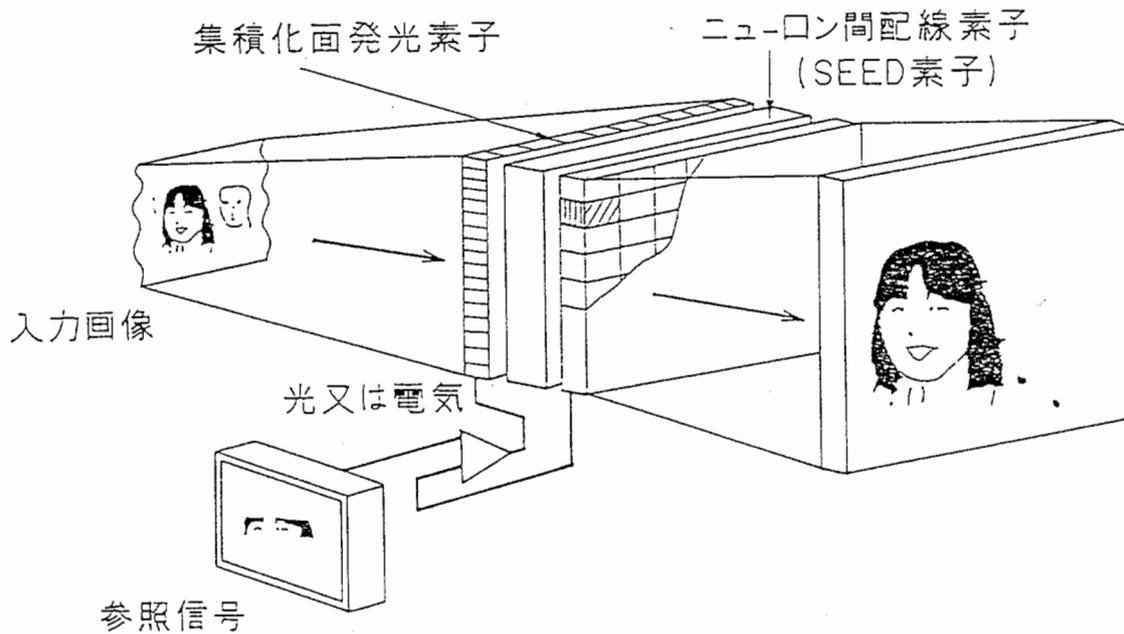


図17 連想システムの概念図

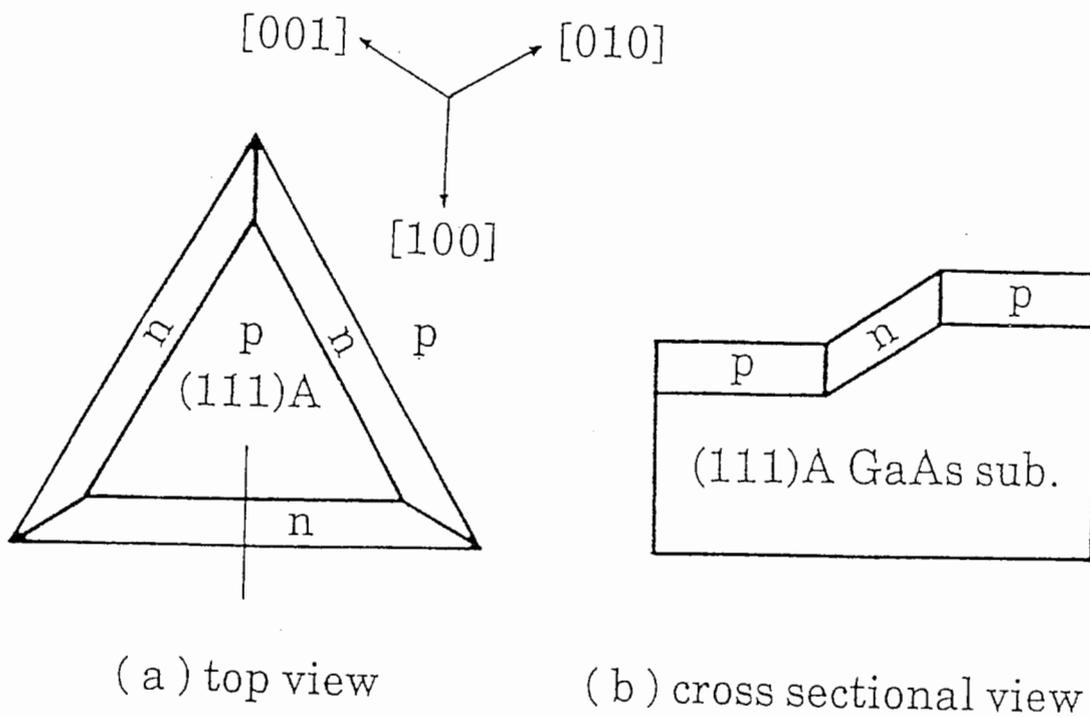


図18 面発光レーザーを目指したGaAs (111)A 基板上の横方向 p-n 接合の試作

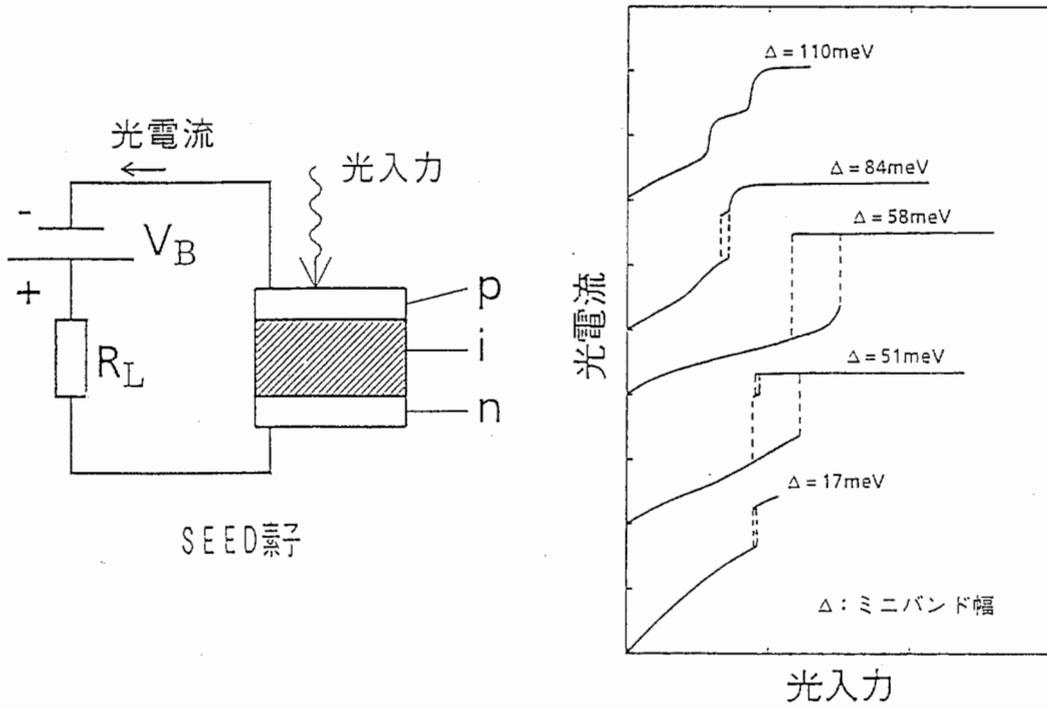


図19 超格子を用いた光双安定素子(ワニエ・シュタルク効果)の試作と特性の最適化

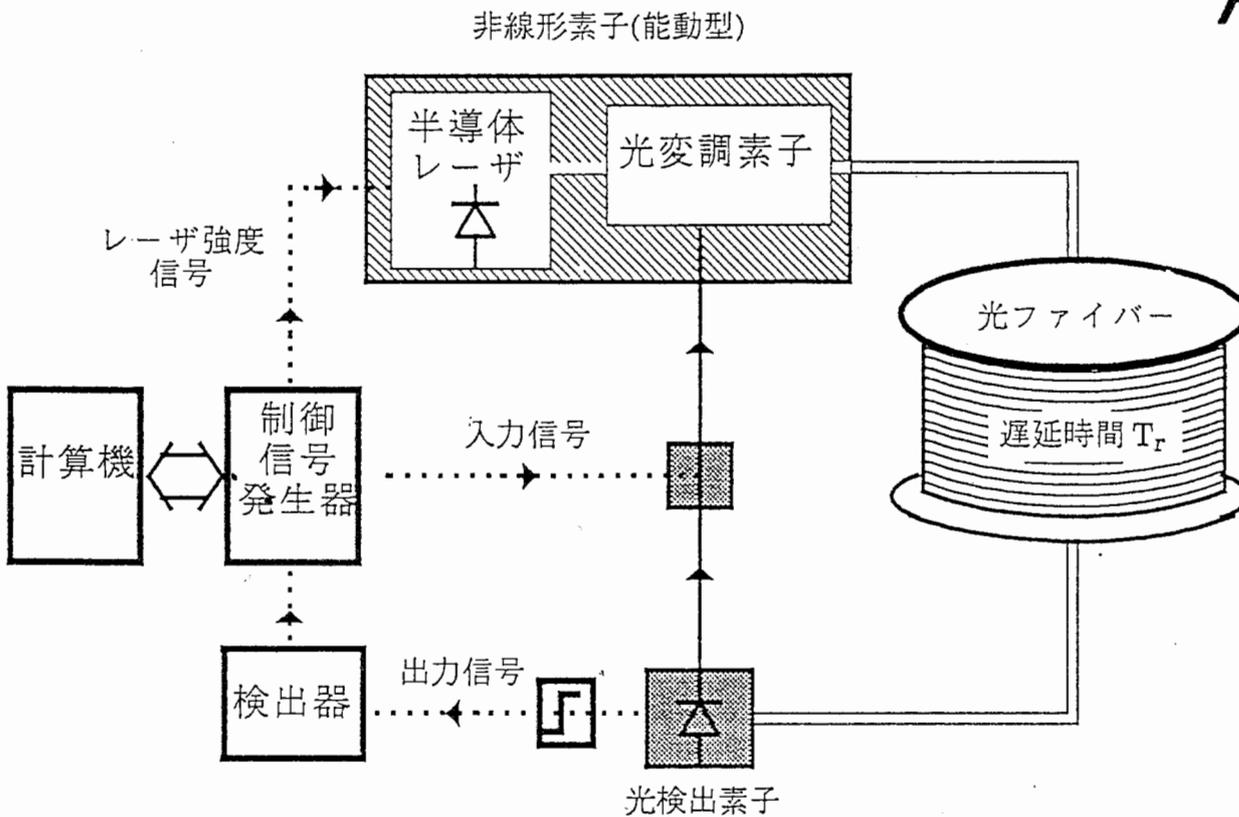


図20 光カオスを用いた記憶・検索機能の実証