

オプトエレクトロニクス産業と技術の動向

Opto-electronics Industry and the Coming Technology

光、特にレーザ光の持つ「空間的、時間的に狭い領域に多量の情報を保持できる。」という特徴を生かした光情報産業を中心に、オプトエレクトロニクス産業は、活力ある大市場を形成した。本稿では、オプトエレクトロニクス産業の発展動向を分析し、日立製作所での最近の研究のトピックスを紹介する。オプトエレクトロニクス産業は、1986年に国内生産高1兆円産業となり、2000年には12兆円の規模が予測されている。その発展を担う分野は、CDなどの民生機器から、光ファイル、レーザプリンタなどの光情報機器、光通信システムへと移行する。これを支える先端的研究のなかで、記録速度5Mビット/秒のオーバーライト可能光磁気ディスク、コヒーレント光伝送システムに関する基礎実験、及び共振周波数30GHzの半導体レーザなどの研究成果を示す。これらの成果は、全世界のオプトエレクトロニクス産業発展の糧になるものと確信する。

武田康嗣* Yasutsugu Takeda

古寺 博** Hiroshi Koderu

茅根直樹* Naoki Chinone

1 緒 言

オプトエレクトロニクスが、電子産業などを支える技術の地位を脱して独立した産業として位置づけられたのは、1980年ごろであった。オプトエレクトロニクス産業は、光、特にレーザ光の持つ特徴のうち空間的、時間的に狭い領域に多量の情報を保持できる性質を生かした光情報産業と高いエネルギー密度、高いエネルギー変換効率に着目する光エネルギー産業から成り立っている。現状では圧倒的に前者が大きな市場を形成しているので、以下の考察では光情報産業の分野に論点を絞る。

本稿では、まずオプトエレクトロニクス産業、特に光情報産業の生産高から見た推移と今後の発展動向を分析する。次に、日立製作所での最近の研究のトピックスから将来のオプトエレクトロニクス産業に大きく寄与すると見られる三つの例を紹介する。最後に、これらの技術を通じての社会への貢献のあり方を考察し、結言とする。

2 オプトエレクトロニクス産業の推移

図1に、1982年から2000年に至るオプトエレクトロニクス産業生産高の推移と予測を示す^{1)~3)}。オプトエレクトロニクス産業は、1986年に1兆円産業に成長した。この産業規模は1982年の半導体生産高に匹敵する。2000年には12兆円に達して、1982年の電子産業と同じ規模になると見られる。

図2に、1990年の推定生産高と1986年からの年平均成長率を製品分野別に示す。光情報機器、光通信ではそれぞれの分野の主要製品についても示した。光ディスク装置、光入出力装置、CD(コンパクトディスク)プレーヤーなどの光情報機器

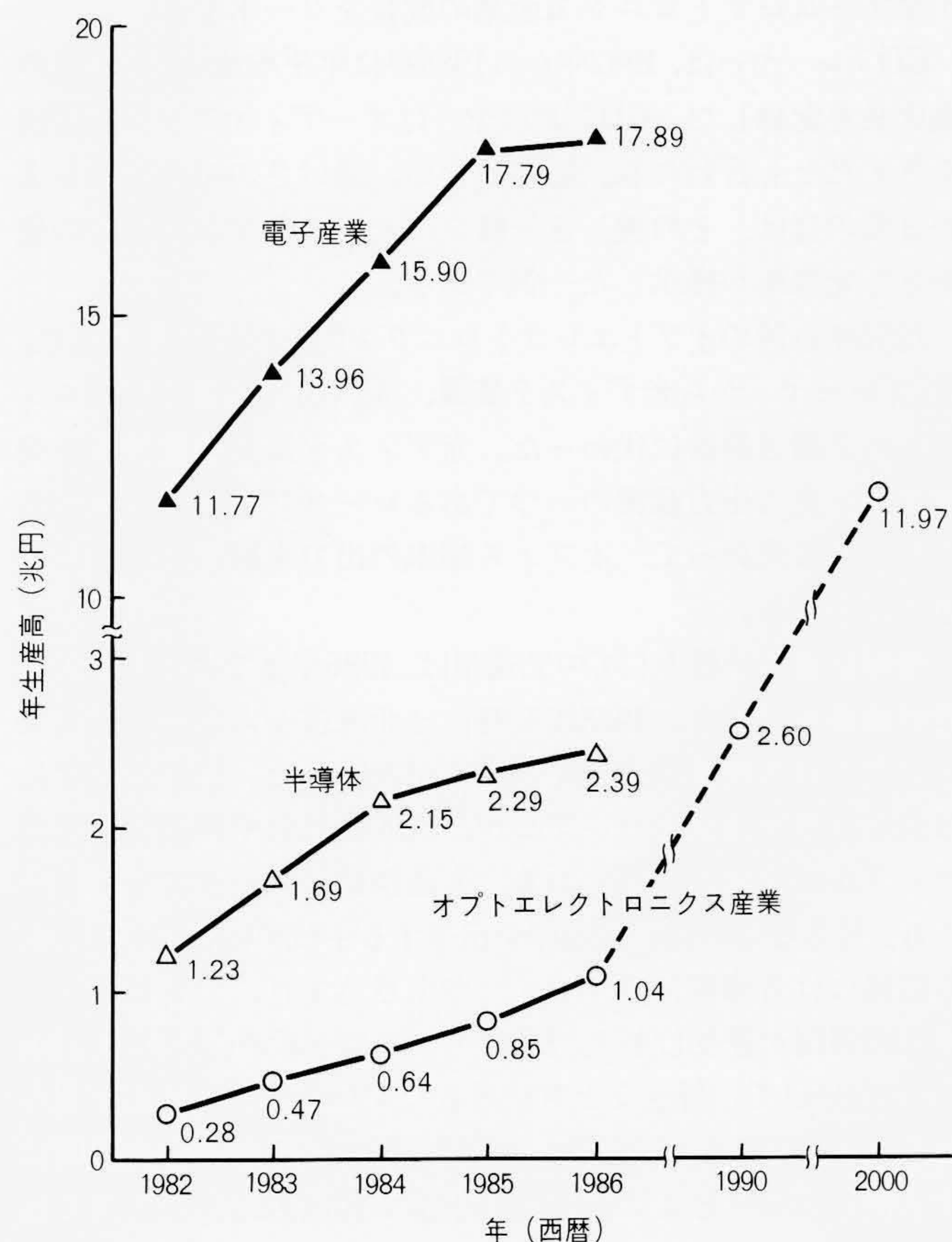


図1 オプトエレクトロニクス産業の成長 オプトエレクトロニクス産業は、1986年に1兆円産業に成長した。2000年には12兆円に達し、現在の電子産業と同程度になると見られる。

* 日立製作所中央研究所 工学博士 ** 日立製作所光技術開発推進本部 理学博士

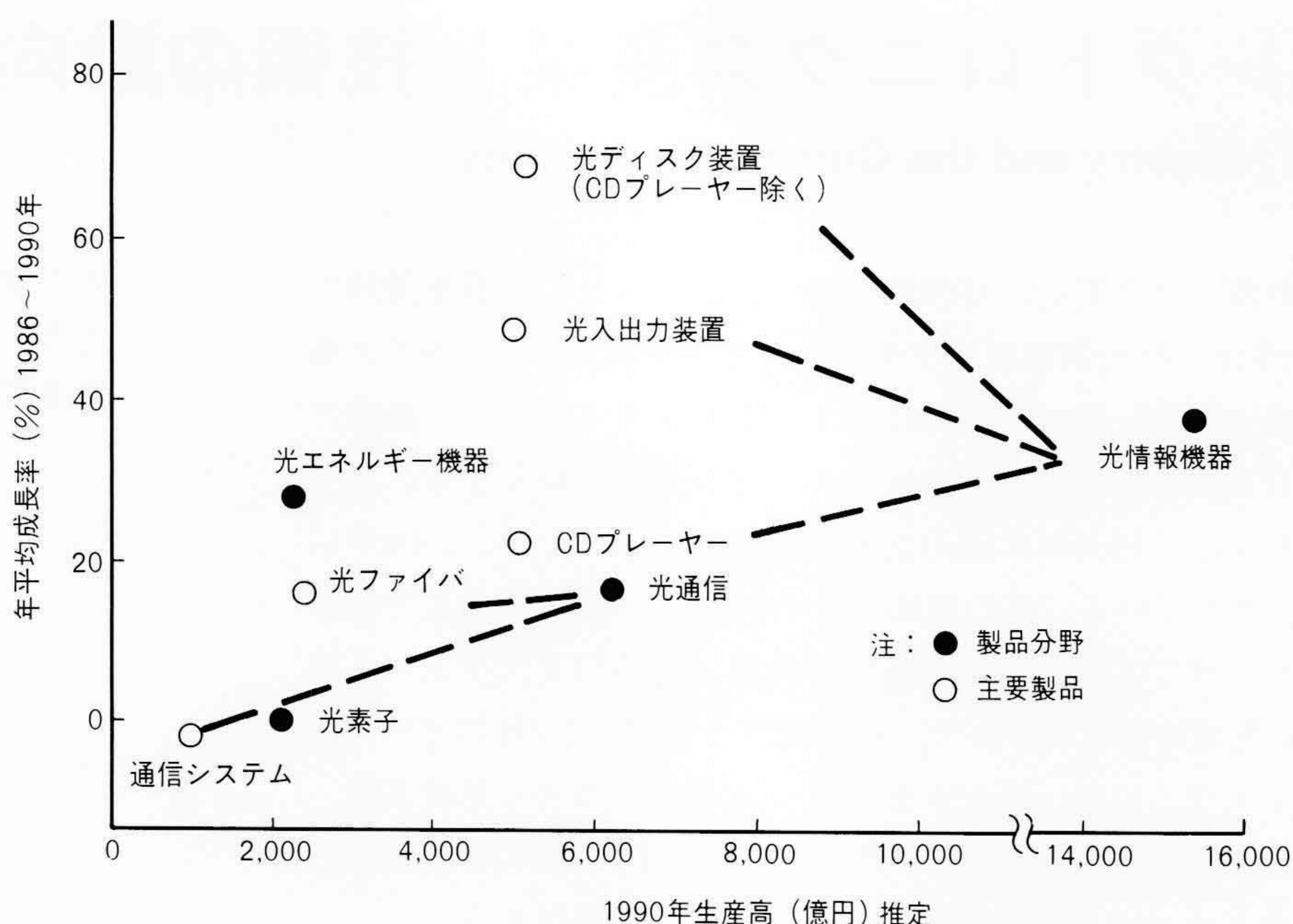


図2 オプトエレクトロニクス産業製品の成長率 オプトエレクトロニクス産業の製品分野、製品ごとに1990年の生産高予想と1986年から1990年までの成長率を対比させた。この期間のオプトエレクトロニクス産業成長の先導役は、光情報機器である。製品分野光情報機器には主要製品として光ディスク装置、光入出力装置、CDプレーヤーが、製品分野光通信には光ファイバ、通信システムが含まれる。

がオプトエレクトロニクス産業の成長をリードする。

CDプレーヤーは、1982年から1986年に年平均成長率150%の高成長を記録した。CDプレーヤーはオーディオファンに静寂を与えたとも言われる。雑音のない、静けさの中からわき上がる楽の音は、その美しさを際立ったものとする。生活の豊かさを光技術が提供した一例である。

1986年以降のオプトエレクトロニクス産業成長の先導役は、CDプレーヤーから光ディスク装置、光入出力装置などのコンピュータ周辺機器に代わった。光ディスクは大容量情報を蓄積する。光入出力装置の一つであるレーザプリンタは機械式プリンタに代わって、オフィス端末の出力を衝撃音なしに高速で印字する。

情報伝達の手段としての光通信は、1986年までには年率50%近い成長を示した。1985年3月には北海道から本州を経て九州に至る日本縦貫光ファイバ路線が完成した。更に1988年には大西洋横断海底光ケーブルが、1989年に太平洋横断海底光ケーブルが完成の予定である。光通信技術はいつでも、どこでも、好きな形の大量の情報を伝達する手段を提供する。1990年以降には各家庭に光ファイバが引き込まれ、テレビジョン電話の利用が普及しよう。また、リクエスト形のCATV(Cable Television)で、好きなときに好きなテレビジョン番組が見られることになろう。現在の4,500万人加入の電話が、光通信による新しいサービスに代われば累積で10兆円以上の市場を生み出す。

3 オプトエレクトロニクス産業への日立グループの寄与

日立は1980年に毎分1万5,000行の高速レーザプリンタを実用化し、高品質漢字プリンタ普及の端緒を開いた。1982年前

後には光ディスクファイル、CDプレーヤーの製品を発表し、光情報機器産業に先鞭をつけた。また、海底光ケーブル用に通信用半導体レーザを供給してきた。日立グループでは多岐にわたるオプトエレクトロニクス関連製品を図3のように多数の工場に分担、協力して生産している。日立製作所中央研究所などの研究所の研究成果は、各工場の新製品、新技術の基礎となる。次章に記す研究のトピックスは、今後のオプトエレクトロニクス産業発展の一助となるものである。

4 将来システムの展望と新技術

本章では、活発化している研究開発の動向から将来のシステムへの展望と、これを支える新技術について探る。

4.1 光ファイルの将来技術

光ディスクは光を用いた高密度メモリであり、その技術は表1に示すように分類される。再生専用光ディスク、追記形光ディスクは既に実用化されているが、今後の発展が期待される方式は書替え形光ディスクである。これには、光磁気効果を用いる方式と、記録材料の相変化を用いる方式がある。前者は、より実用化に近いところまで開発が進んでいる。後者は、性能の優れた材料の研究段階である。光磁気ディスクは、通常の磁気ディスクに比べ1~2けた高い密度の記録が可能である。コンピュータの周辺メモリとして、光磁気ディスクを用いるためには、単に書替え可能というだけでは不十分で、一度情報が書かれている場所に次の情報を書き込む動作が、即、前の情報を消す動作にもなっているような重ね書き(オーバーライト)ができることが重要である。通常の磁気ディスクと同様に、磁界の変調とレーザ光照射の組合せによってオーバーライトが可能となることが国際電信電話株式会社研究所で確認された⁴⁾。

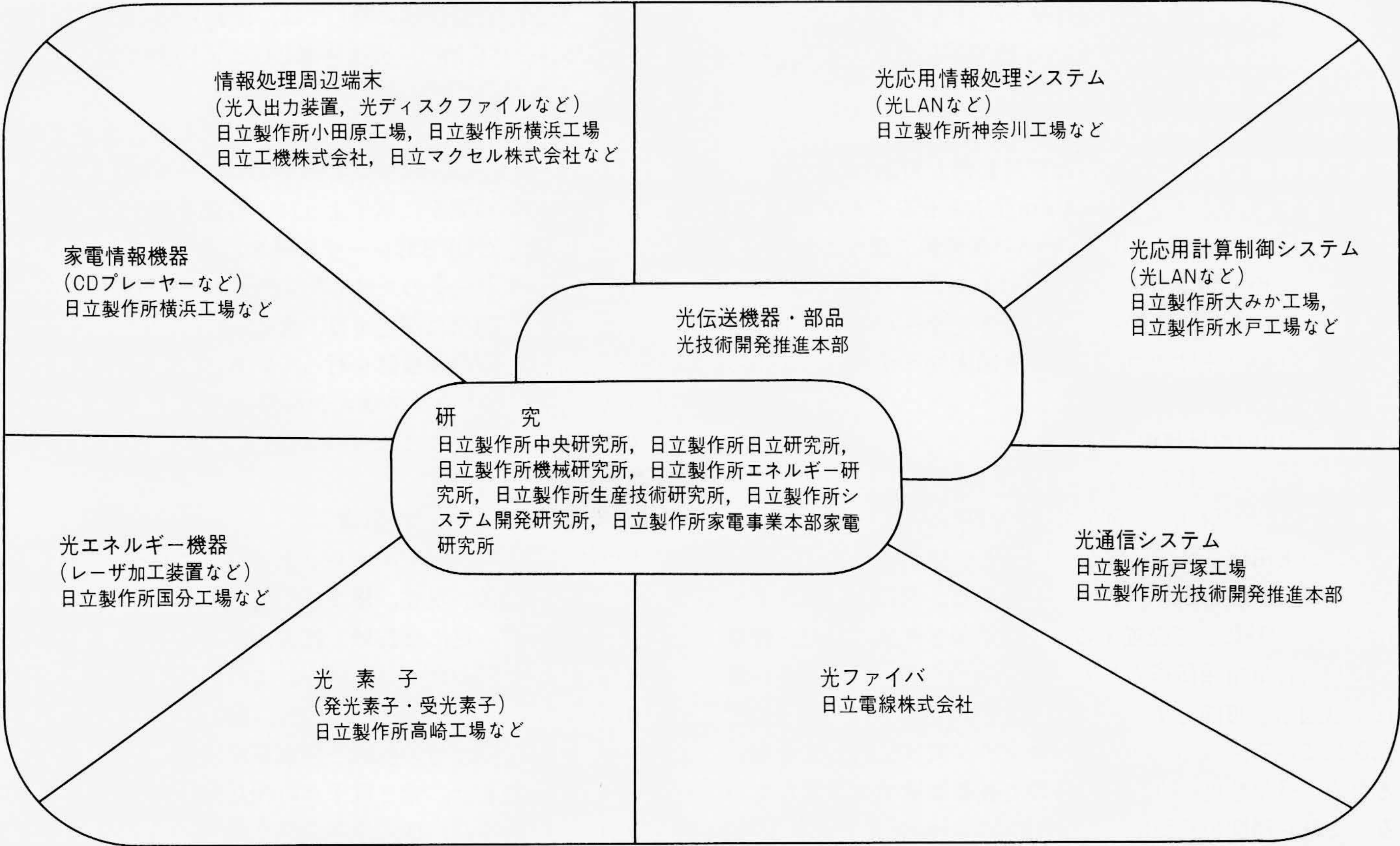


図3 オプトエレクトロニクス関連製品における日立グループの分担協力
 オプトエレクトロニクス関連製品を日立製作所の各工場，グループ内各社で分担，製造する。研究所は新製品，新技術の基礎を作り，光伝送用共通部品は光技術開発推進本部が受け持つ。

表1 光ディスク方式の分類
 光ディスクには，再生専用，追記形，書替え形の3種類がある。今後書替え形光ディスクの開発が中心となる。

分 類	記 憶 形 態	応 用 例
再生専用 光ディスク	凹凸ピット 反射膜	CD(コンパクトディスク) CD-ROM ビデオディスク
追記形 光ディスク	孔形成 記録膜	文書ファイル 計算機用ファイル ビデオファイル
書替え形 光ディスク	磁化の上・下向き	計算機用ファイル CD
	結晶相・非晶質相	ビデオファイル

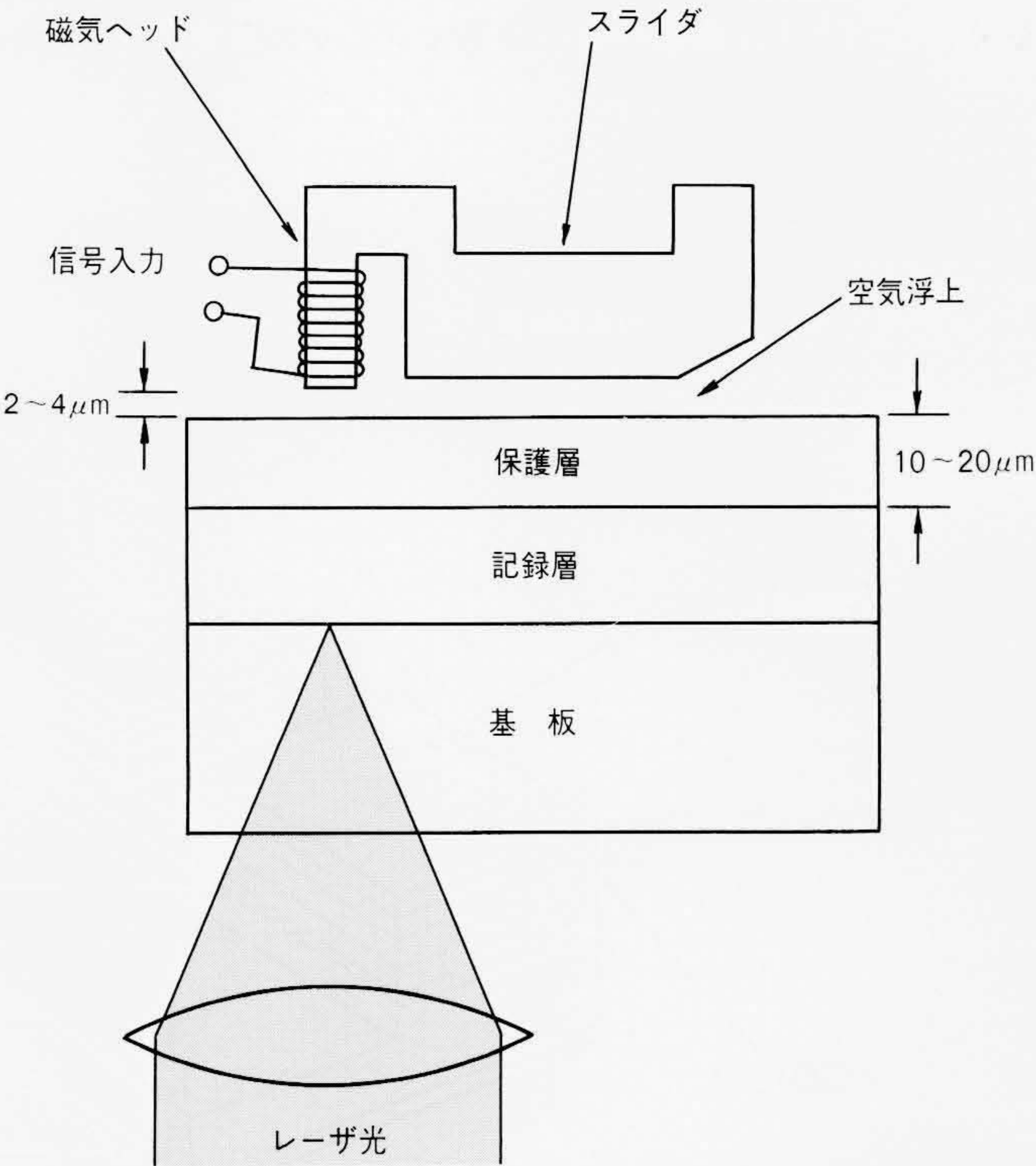


図4 光磁気ディスクの高速オーバーライト方式
 小形空気浮上磁気ヘッドを用いて，光磁気ディスクの高速オーバーライトを可能にした。

日立製作所では、更に浮上磁気ヘッドを用いてオーバーライトの高速化を図り、従来の3倍の記録速度5 Mビット/秒を確認した^{5),6)}。図4に示すように、小形の空気浮上の磁気ヘッドを用い、これの磁界を変調して記録する。記録密度はレーザ光の照射径で決まるので、高密度記録が可能である。磁気ヘッドをディスク面から2～4 μm 浮上させることができるように、ディスク記録層を10～20 μm の保護膜で覆うことができる。このため、ヘッドクラッシュによりディスク面をきずつけるおそれがない。この技術によって、オーバーライトが可能で、高速・高密度のコンピュータ用光ファイルが実現することになる。

4.2 光通信の将来技術

光通信では伝送情報量の増大に伴い、伝送速度がますます高まっている。現在4～500 Mビット/秒の伝送速度を持つシステムが実用化されているが、更に1～2 Gビット/秒のシステムが間もなく実用化されようとしている。更に将来は、7～10 Gビット/秒にまで発展するものと予想される。また、将来のより大容量情報伝送のために、波長間隔の極めて小さい波長多重通信を可能とするコヒーレント通信方式が各方面で研究されている。この方式はヘテロダイン検波受信方式を用いるため、受信感度を高くできるので長距離通信にも適している。これら局間の長距離伝送のほかに、加入者系に光通信方式を導入し、音声やデータばかりでなく、高精細テレビジョンのような広帯域画像サービスを行おうとする動きも活発化している。これは広帯域ISDN(Integrated Service Digital Network)と呼ばれ、CCITT(国際電信電話諮問委員会)を中心に国際標準化が進められている。

日立製作所では、コヒーレント通信に関してBell Communications Researchと共同で、長距離コヒーレント伝送実験や、スペクトル線幅の狭い半導体レーザの研究などを行っ

ている。長距離伝送実験に関しては、波長1.55 μm のDFB(分布帰還)形レーザを用い、伝送速度2 Gビット/秒で100kmのコヒーレント伝送を確認した⁷⁾。

このようなコヒーレント通信用の光源として、スペクトル線幅の狭い、光周波数の安定した半導体レーザの開発が重要である。このため図5に示すように、外部共振器をモノリシックに集積化したDFB形レーザを開発した。これにより従来のレーザに比べ $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{5}$ のスペクトル幅の低減を可能とした⁸⁾。一方、加入者系通信に関しては、光通信方式導入のためのシステム拡張方式の基礎検討を行っている。再適化した順次拡張方式では、低いコストで導入が可能となる見通しを得た⁹⁾。今後実用化に向けて、これらの研究開発が活発化するものと予想される。

4.3 半導体レーザの将来技術

半導体レーザは、オプトエレクトロニクスを支える重要な素子の一つである。現在、様々な波長、光出力の素子が実用化されているが、更に波長域の拡大、高出力化、高速化などへ向けて研究開発が行われている。このうち高速化は、将来の超高速光通信用として重要である。高速化のための課題として、素子の寄生容量の低減と共振周波数の増大が掲げられる。このうち後者は、光と電子との相互作用から生ずる基本的な制限要因であり、従来構造の改良では飛躍的な向上は困難と考えられていた。

日立製作所では、選択ドープしたMQW(多重量子井戸)構造によって、共振周波数が大幅に増大することを見いだした¹⁰⁾。図6に示すように、活性層を超薄膜から成るMQW構造とし、その障壁層だけに高濃度のP形不純物をドープした。これにより、レーザ発振に寄与する井戸層中にホールを多数個形成することができ、電流注入で作られる励起準位にある電子の再結合時定数を、極度に小さくできることを見いだした。この

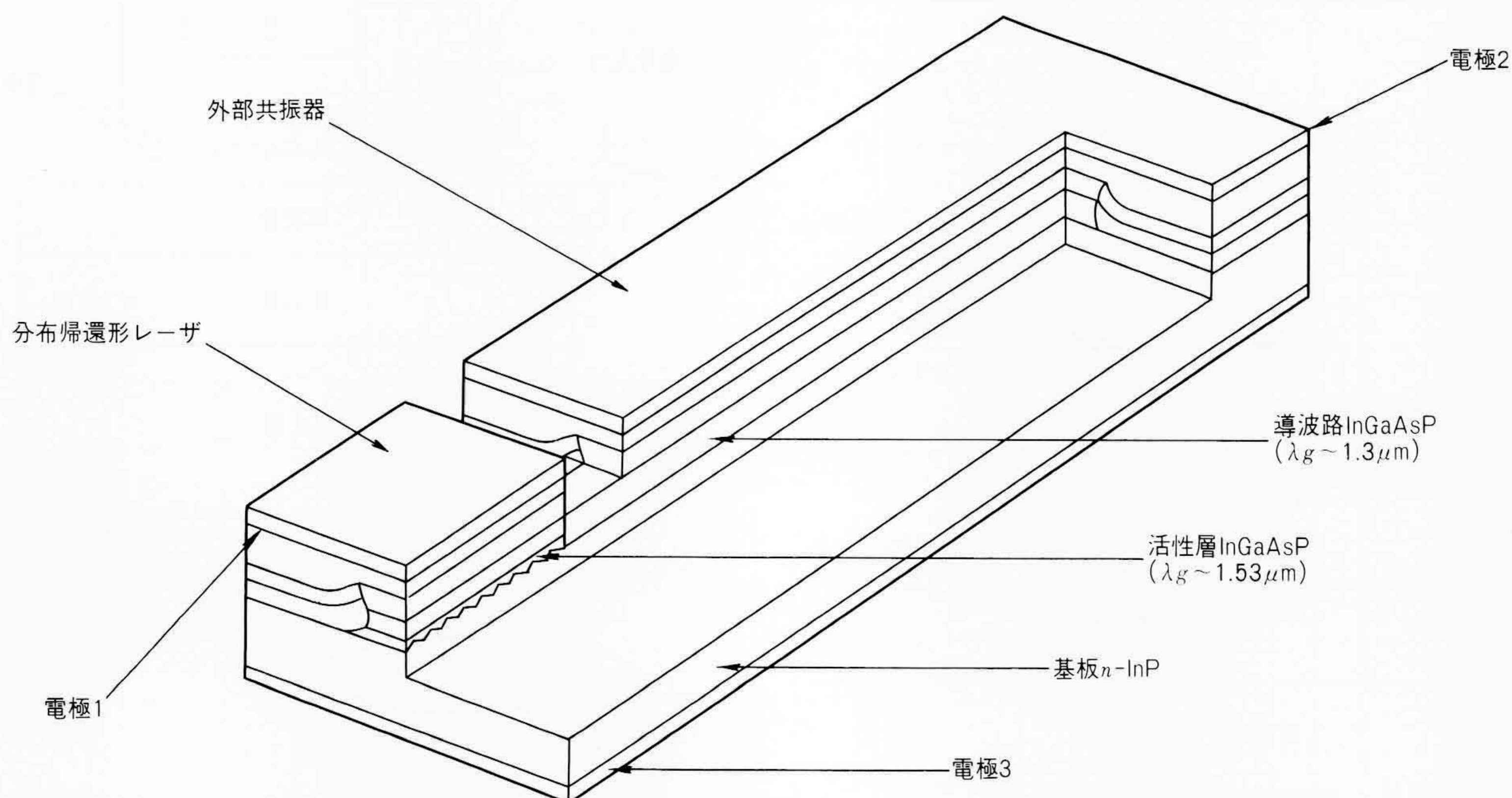
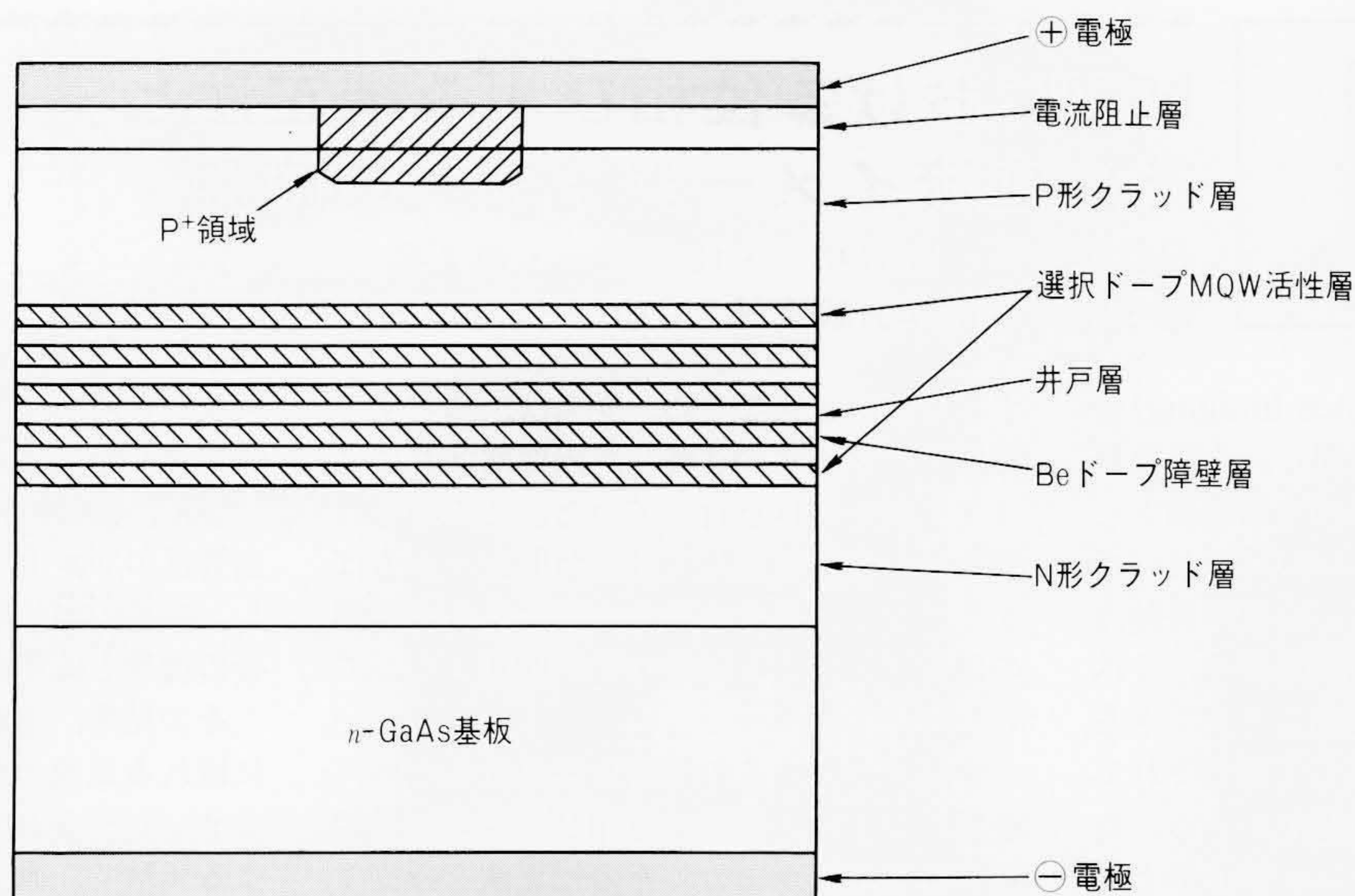


図5 外部共振器を集積化した狭スペクトル幅半導体レーザ 分布帰還形半導体レーザに、モノリシックに外部共振器を集積化して、スペクトル幅を低減した。



注：略語説明 MQW(Multi-Quantum Well(多重量子井戸))

図6 選択ドープMQW構造半導体レーザの断面図 MQW(多重量子井戸)構造の活性層で、障壁層だけに高濃度のP形不純物をドーピングし、超高速化を図った。

ことから、共振周波数が従来のダブルヘテロ構造に比べ約5倍の30GHzに増大することを理論的・実験的に確認した。これにより、10Gビット/秒以上の変調速度を持つ素子の実用化への道が開かれた。

4.4 その他

光IC技術を用いた光交換機の研究も盛んになってきた。また一方で、光計算機の研究もごく初期段階ではあるが着手され始めている¹¹⁾。光ファイルや光通信の領域に比べて、これらデータプロセッシングの領域では、光技術が半導体技術に代わって直接貢献するまでには至っていない。しかし、用途が限定された光スイッチマトリックスなどへのこの分野の研究の成果の応用には、大いに期待が持てよう。

5 結 言

高度情報化社会の将来の広範な展開のかぎとなる技術体系は、ネットワーク技術、ファイル技術及びプロセッサ技術の融合であると言われている。オプトエレクトロニクス技術は少なくとも前二者の技術を大きく前進させることに貢献している。その意味で、今やこの技術は独立の産業を形成して経済成長をけん(牽)引する役割だけにとどまるものではなく、社会の健全な発展の可能性への展望を開くことによって、計り知れないインパクトを社会に与えていると言えよう。今から27年前の1960年に、世界に初めてレーザ光をルビーレーザの発明でもたらしたT.H.Maimanが、本年度の日本国際賞を受賞した意義を改めて深くかみしめている次第である。

参考文献

- 1) 昭和60年度の光産業の動向 ―光産業の構造―、光産業技術振興協会報告書、No.61-001(昭61-3)
- 2) 昭和61年度の光産業の動向 ―一兆円までの軌跡と十兆円への道―、光産業技術振興協会報告書、No.62-001(昭62-3)
- 3) 昭和62年度の日本電子産業展望、日経エレクトロニクス、1987.4.6号、191~234(昭62-4)
- 4) F.Tanaka, et al.: Magneto-Optical Recording Characteristics of TbFeCo Media by Magnetic Field Modulation Method, Jpn.J.Appl. Phys., **26**, 231~235(1987)
- 5) T.Nakao, et al.: High Speed Overwritable Magneto-Optic Recording, Tech.Dig.Int.Symp.Opt.Memory (Tokyo), WA2, (Sept.1987)
- 6) 尾島, 外: 消去可能光ディスク技術, 日立評論, **69**, 11, 1043~1050(昭62-11)
- 7) J.L.Gimlett, et al.: 2Gb/s, 101km Optical FSK Heterodyne Transmission Experiment, Tech.Dig.Opt.Fiber Comm. Conf.(Reno), PDP II (Jan.1987)
- 8) T.P.Lee, et al.: Linewidth and FM Characteristics of a Distributed Feedback Laser Monolithically Integrated with a Tunable External Cavity, Electron.Lett., **23**, 153~154(1987)
- 9) Y.Takasaki: Fiber Optic Broadband Distribution Strategies Toward the Year 2000, IEEE Global Telecom. Conf., 386~390(Dec.1986)
- 10) K.Uomi, et al.: Ultra High Relaxation Oscillation Frequency(~50GHz)in Modulation Doped Multiquantum Well (MQW) Lasers: Theoretical Analysis, Proc.10th. IEEE Semicond.Laser Conf.(Kanazawa), p.184(Oct.1986)
- 11) 例えば、一岡: 光コンピュータ, レーザ研究, **14**, 325~337(1986)

MRIにおける位相ひずみ補正法と その血流イメージングへの応用

日立製作所 佐野耕一・佐藤晋一・他2名

電子情報通信学会論文誌 J70—3, 631~639 (昭62-3)

MRI(Magnetic Resonance Imaging)装置は、核磁気共鳴現象を利用し、水素原子核などのプロトンの空間情報を断層像として映像化するものである。X線CTに比べて無侵襲であるばかりでなく、心臓の長軸方向など、任意の傾斜断層像の撮影や、3次元的な内部構造も一度に得ることができる特徴がある。更に、MRIとして期待されている機能に、血流情報の映像化がある。血液の流れによって、プロトンが静止部と異なる信号を発生する現象を利用するもので、X線で必要な造影剤を必要としない点が画期的とされている。

この血流計測法は、動きを電磁波である計測信号の強度、周波数、位相、いずれの情報に対応させるかで、3種類に大別できる。中でも最近、位相情報に対応させる手法が注目されている。従来のイメージングでは利用していなかった位相角度を速度に対応させることで、原理的には、撮影回数を増やすことなく、1方向の流速を測定することができる。しかし、位相は装置のひ

ずみなどに敏感なため、従来は、補正用の画像データを別に計測し、画像間演算によって、補正処理を行っていた。この場合、複数回の撮影を要して計測時間がかかるばかりでなく、患者の動きなどによる画像間の位置ずれによる画質劣化が問題となっていた。

本論文では、この問題を解決するため、装置のひずみと画像の位相ひずみの定量的な関係を明らかにし、その補正法を確立するとともに、撮影時に印加する傾斜磁場が移動体に与える影響の分析を行った。

まず、MRIの構成要素である静磁場系、傾斜磁場系、高周波磁場系、信号検出系にひずみがあった場合、画像が受ける影響を示す関係式を導出した。その結果、特に傾斜磁場の印加タイミングのずれによって、目的とするサンプリング点が1サンプル以下でずれる現象があり、画像の位相ひずみに大きな影響を与えることが明らかになった。そこで、計測信号の物理的な性質に基づき、位相に影響を与える装置のひずみを

画像から解析的に取り除く補正法について開発した。

また、撮影のために用いる傾斜磁場が、血管部のプロトンに与える影響を明らかにし、磁場の印加時間及び大きさを与えた場合の流速と位相の関係を明らかにした。

その結果、1回の撮影で、断面垂直方向に流れる血流の流速測定が可能になった。シミュレーション及びイメージング装置による実験で、画像に生じる位相のひずみを除去し、画像の位相情報から十数パーセント以内の誤差で流速を測定できることを示した。

本開発方式は、次のような特徴を持つ。(1) 画像濃度を使用する従来法に比べ、速度に敏感な位相情報を用いるので、定量性が高い。(2) 1回の撮影で密度像のイメージングと同時に血流の計測ができる。(3) 測定レンジを可変にできる。(4) 従来の装置になんら新装置を付加する必要がない。

崩壊性鋳型を用いた 複雑形状セラミックスの成形

日立製作所 島口 崇・名取達雄・他1名

化学と工業 39—8, 174~176 (昭61-8)

セラミックスは、耐熱性、耐食性などに優れた材料であり、近年、構造用部材への適用を目的とした研究開発が盛んに行われている。しかし、セラミックスの特徴を生かした構造用部品への実用例は極めて少ないのが現状である。これはセラミックスの成形法、金属との接合法、機械加工法、信頼性評価技術の確立などに解決すべき課題が残されているためである。

本論文では、これらの課題のなかの成形法に関して、金属の鋳造法に類似したスリップキャスト(泥しょう鋳込)法について述べるとともに、日立製作所で開発した特殊な鋳型を用いたセラミックスの複雑形状品の成形例について紹介した。

複雑形状品をスリップキャスト法で成形する場合の問題点のひとつは、セラミックススラリーの固化により生じたグリーンボデーの収縮割れである。特に中子を用いた場合、中子を速やかに除去し、拘束割れを防止する必要がある。そこで、筆者らは次に

述べる溶媒崩壊性鋳型及び熱崩壊性鋳型を開発し、その原理、特徴及び成形プロセスを明らかにした。

鋳型の崩壊性を向上させる手段として、セラミックススラリー中の溶媒(水)を利用したものが水崩壊性鋳型であり、原理は次のとおりである。鋳型の骨材となる粒子とスラリーの溶媒(水)に溶解する粘結剤とを混合して、多孔質鋳型を作製する。この鋳型内にスラリーを流し込むと、微細孔にスラリー中の水が吸収され、スラリーは固化する。一方、吸収された水は水溶性の粘結剤を溶かし、鋳型の結合力を低下させるのでその除去が容易となる。

このように、水崩壊性鋳型を用いたスリップキャスト成形法の特徴は、セラミックススラリーを固化させ、グリーンボデーを得ると同時に鋳型強度を低下させるという二つの効果を合わせ持つ点にある。したがって、中子や逆こう配で鋳型の離型が難しい部分へ適用することによって、複雑形状品

の成形が可能となった。その例として、ケーシングの成形プロセスを示した。

なお、水溶性粘結剤としては炭酸カリウムほかを用いられ、この鋳型の吸湿性や強度について明らかにした。

熱を加え、強度を低下させることによって崩壊性を付与したものが熱崩壊性鋳型であり、セッコウにセルロースなどを含有させて作製する。この鋳型を加熱し、セルロースを焼失させ適度に強度を低下させた状態でセラミックススラリーを流し込み、成形する。

対象とする鋳型の形状や大きさによりセルロースの含有率、熱処理温度を選定する。

この鋳型は一般に用いられるセッコウ型に比べ、セルロースを含有するため適度の弾性があり、らせんや渦巻形状品の鋳型を一体で造型できる特徴がある。この鋳型を用いた成形プロセスとしては、スクリーロータの例を示した。

また、開発した鋳型を用いて成形した各種複雑形状セラミック品を例示した。