

オプトエレクトロニクス技術の現状と動向

Trends of Optoelectronics

オプトエレクトロニクスは、情報伝送から情報処理に至る幅広い情報技術分野で、質的にはマイクロエレクトロニクスと比肩できるキーテクノロジーに成長し、将来の情報化社会を実現する先端技術として期待が高まっている。直径0.2mm足らずの光ファイバで、毎秒1億ビット(100Mビット/秒)の情報を伝送する光通信システムが公衆網に導入され、光ループ伝送システムが制御・監視システムとして産業分野で実用化されるに至っている。また、大容量の光ディスクファイルや高速・高解像度のレーザビームプリンタも出現し、情報端末システムとして脚光を浴びている。更には、将来の情報化社会の実現へ向けての光加入者システム、あるいは国際的規模の海底光通信なども話題を集めている。これらシステムを支えるオプトエレクトロニクスの技術分野は幅広く、半導体レーザを中心とする化合物半導体のデバイス技術から光ファイバ、光ディスクなどの材料技術、プロセス技術に及んでいる。

本論文はこれら光通信システム、及び情報端末システムの現状と発展動向を分析し、併せてシステムの発展を支える光部品・材料技術の重点課題を明らかにした。更に、将来のオプトエレクトロニクスの技術革新をもたらす最新の研究開発の動向について紹介した。

1 緒言

オプトエレクトロニクス技術は、材料や半導体などの幅広い技術分野の進歩に支えられるとともに、情報通信分野からの強い要請に牽引されて、ますます発展の度合いを深めている。

本論文ではまず、光を情報伝送の手段として利用する光通信システム及び情報処理の手段として利用する情報端末システムの現状と発展動向を分析し、併せてこれらシステムの発展を支える光部品・材料技術の重点課題を整理した。更に、将来のオプトエレクトロニクスの技術革新をもたらす最新の研究開発の動向について紹介する。

2 オプトエレクトロニクスの情報産業へのインパクト

レーザ発振の成功から二十数年経た今日、オプトエレクトロニクスは種々の分野で実用化期に突入した。特に、半導体レーザ、光ファイバの出現に代表されるオプトエレクトロニクスの技術革新は、分光、測長などの計測応用分野から情報通信分野への展開の起動力となり、将来の情報化社会を実現する先端技術として期待が高まっている。この数年の状況を見ても、通信分野では電力、鉄鋼、電機などの業界での光ネットワークの実用化、公衆網での高速長距離光通信の導入など数多くの例を挙げることができる。また、一般家庭での将来の画像情報ニーズにこたえる光加入者システムから国際的規模の太平洋や大西洋横断海底光通信などの計画も着実に進み始めている。一方、情報分野では、画像データなどの大容量情報ファイルとしての光ディスク、情報出力装置としてのレーザビームプリンタなどの端末システムの実現にオプトエレクトロニクスが中核技術として導入されている。

これらの例からも分かるように、オプトエレクトロニクスはデバイス面では材料・半導体技術と、またシステム面では通信、情報処理と深くかかわりながら発展している。応用展開という観点では、これらを融合し新しい通信・情報機器を

武田康嗣* Yasutsugu Takeda

芳根寛樹** Hiroki Yoshine

古賀康史*** Yasushi Koga

前田 稔* Minoru Maeda

生み出す原動力となっている。今後、情報化社会の高度化は必至である。オプトエレクトロニクスはその実現へ向けてのキーテクノロジーであり、重要性がますます高まるとともに情報産業へのインパクトも大きなものになってゆくであろう。

3 光通信システムの動向

本章では、オプトエレクトロニクスと深くかかわり、情報伝送量の飛躍的増大を可能とした光通信システムの動向について述べる。

3.1 デジタル伝送、画像伝送システムの動向

光通信は光ファイバの広帯域性・低損失性を利用し、高速信号の長距離伝送を可能とするもので、1970年代初頭から波長0.8 μm 帯を中心に開発が進められてきた。1970年代後半には1.3~1.6 μm 帯での光ファイバの低損失、広帯域特性が明らかとなり、デバイス技術の進歩とあいまって、今日では1.3 μm を中心とする長距離化をねらった長波長システムが主流を占めるに至っている。図1は長波長半導体レーザを用いたデジタル伝送での中継間隔と伝送速度の関係を示したもので、実験室データでは100~200Mビット/秒の情報量を100km以上の距離にわたって無中継で伝送できることを示している。実用システムでも動作余裕を考慮して、20~30kmの中継間隔が実現されている。

デジタル伝送では、公衆通信の中継系への適用を主体に多モード光ファイバによる100Mビット/秒程度までのシステムが開発されてきた。最近では、超広帯域特性をもつ単一モード光ファイバ伝送技術の進展により、主要幹線あるいは海底通信を対象とした数百メガビット/秒のシステム実用化も始まっている⁶⁾。光ファイバによる画像伝送は、CATV(Cable Television)、更には将来の一般家庭への画像情報サービスを可能とする光加入者システムを目指し、アナログ伝送方式を

* 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

*** 日立製作所高崎工場 理学博士

中心とした検討が内外多数の機関で行なわれている。この中で、多彩なサービスに対応するための波長多重伝送用光合分波器、光アイソレータなどの新しい光部品開発も併せて進められている。システムとしては、画像サービス、CATV、テレビ会議のような画像信号のほか、音声、データ、リクエスト信号などを含む双方向の波長多重伝送方式が典型的であり、日本電信電話公社をはじめ世界各国で現場試験が実施されている。将来は高精細テレビジョン、テレビ電話などへの拡張も考えられている。

3.2 高速光ループ伝送システムの動向

高速光ループ伝送システムは、OA(オフィスオートメーション)、FA(ファクトリーオートメーション)を中心としたローカルネットワークへの応用が有望視されている。図2に示すように、低速、短距離のシステムではまだペアケーブルあるいは同軸ケーブルを用いたシステムが経済的にも有利な場合もあるが、情報の大容量化、広域化と光デバイス技術の進

歩によって、光ループの適用領域は更に拡大するものと考えられる。ネットワークとして見るとバス、スター、ループなどの形式があるが、光ファイバを用いる場合はループ形式のほうが適合性が良く実用化例も多い。

光ループのアクセス方式としては、トークンを用いるものとタイムスロット方式があり、前者は負荷の大きなシステムあるいは高速システムに、後者は低速端末を多数接続するシステムに適している。図2に示したΣネットはタイムスロット方式の一例である。なお、光ループを含めローカルネットワークについては標準化が大きな課題で、IEEE(米国電気電子学会)802委員会などで検討が始まっており²⁾、今後の開発に強い影響を与えるものと予想される。

4 情報端末システムの動向

光を情報処理の手段として用いるものの中で、特に注目を集めている光ディスクファイルシステムとレーザビームプリンタの動向について述べる。

4.1 光ディスクファイルシステム

光ディスク技術は半導体レーザ、ディスク製作技術の進歩を背景に小形、高性能化が進み、デジタルファイル、画像ファイル分野に大きなインパクトを与えようとしている³⁾。

図3に各種ファイルメモリの比較を示す。光ディスクはランダムアクセスが可能であること、記録密度が高いため大容量、低価格化が可能であること、媒体の取外しが容易であることなどの特長をもち、事務処理のペーパーレス化、あるいは画像情報検索のための中核ファイルとして発展が期待され、実用システムが発表され始めた。

デジタルファイルに関しては、現在記憶容量26億バイト(2.6Gバイト)の大容量ファイルが開発されているが、総合エラーレート 10^{-11} 以下という高信頼度の達成が中心課題となった。このための基本技術の第一は光ビーム制御技術であり、ピッチ $1.6\mu\text{m}$ の情報トラックを $0.1\mu\text{m}$ 以下の誤差で追従させるための光学ヘッドが開発されている。第二は記録媒体技術である。トラック案内溝の精密形成技術及びTe-Se系材料を主成分とする記録膜の開発によって、S/N(信号対雑音比)40dB以上、保存寿命10年以上が実現されている⁴⁾。

ビデオディスクに関しては、半導体レーザの採用によって小形化、アクセスの高速化が図られ、マイクロコンピュータと組み合わせた対話形の画像検索システムが開発されている。

現在の光ディスク技術の主流はリード オンリー メモリ技術とライト リードメモリ技術であるが、可逆材料の研究も急速に進んでいる。信頼性などにはなお問題が残されているものの、その将来性に十分に期待でき、応用拡大はいつそう進むものと思われる。

4.2 レーザビームプリンタの動向

レーザビームプリンタは1975年の発表以来、コンピュータの処理速度の増大と多様な用途に適した印刷出力装置として急速に普及が進んでいる。これは、レーザ走査書込みと電子写真プロセスによる普通紙上への高速、高解像度、低騒音の印字が可能なることによるものである。

図4に主なドット方式プリンタの印字性能の比較を示す。レーザビームプリンタは、当初集中処理用の超高速出力装置として開発されたが、その後端末用、オフィス用中・低速機にまで応用範囲を拡大している。印字速度は800から1万5,200行/分までの広範囲にわたっている⁵⁾。印字密度は9.5~12ドット/mmが一般的であるが、より高解像度を必要とする場合については16ドット/mmも開発されている。

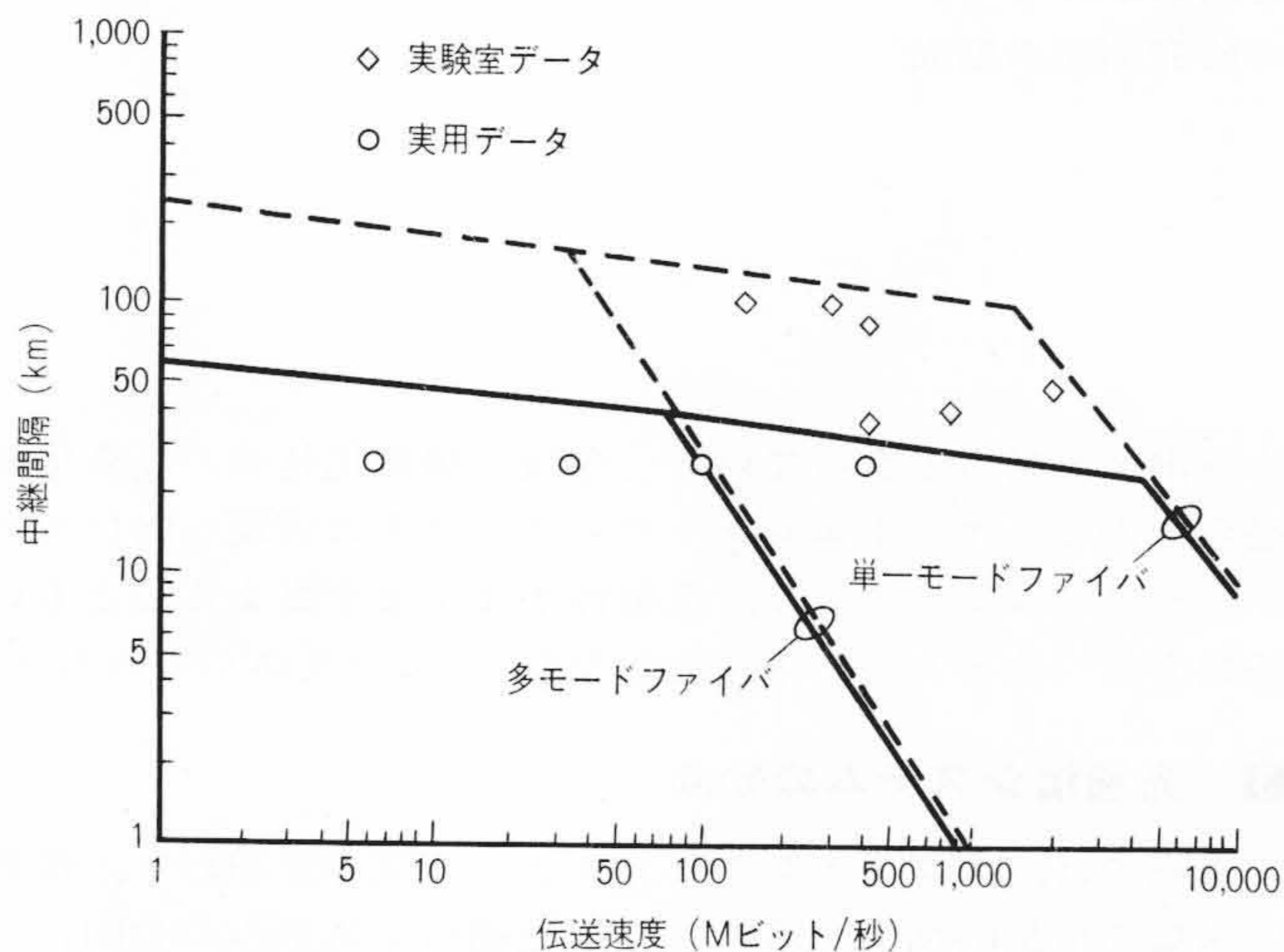
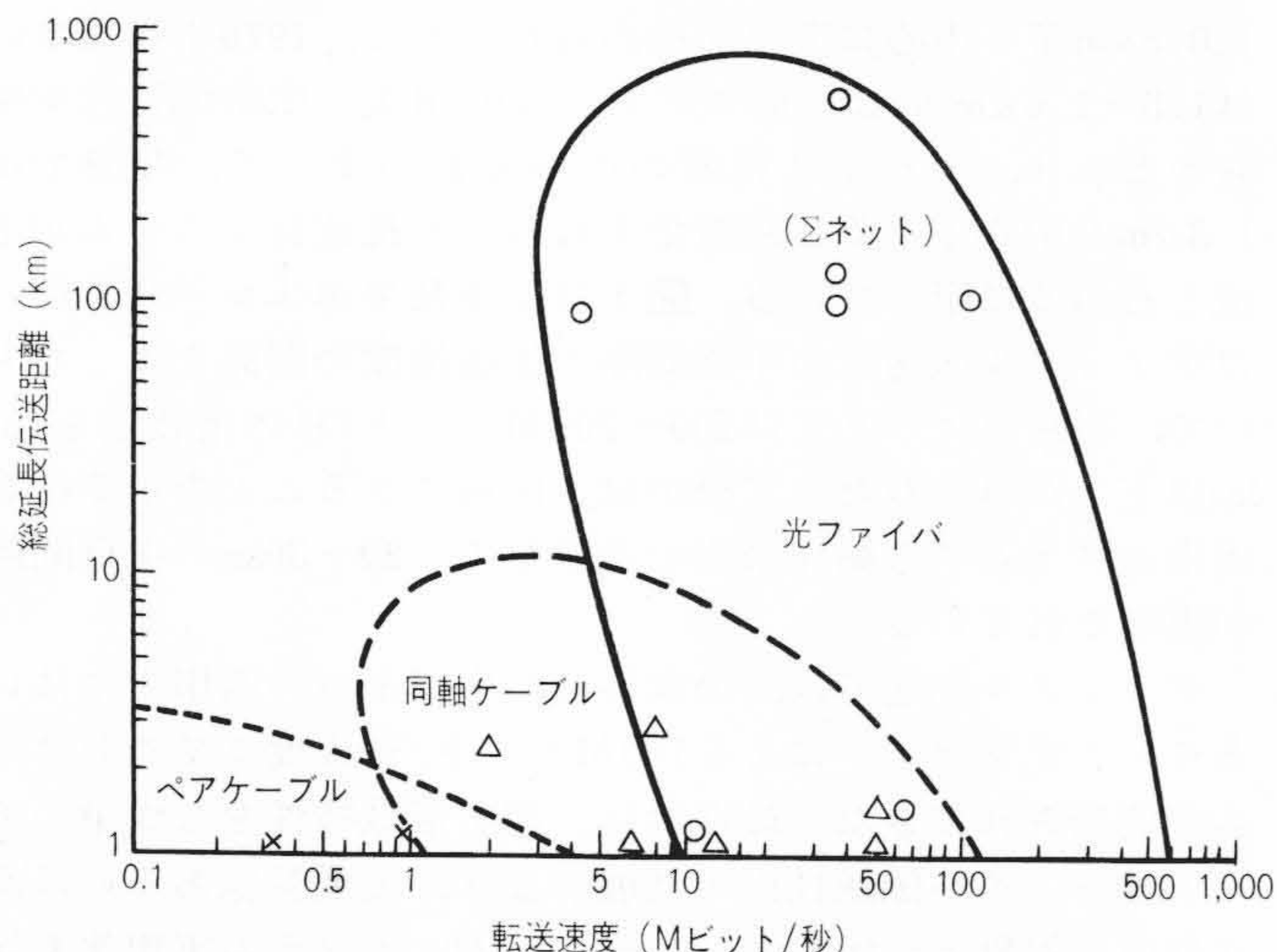


図1 長波長半導体レーザを用いた光ファイバデジタル伝送の中継間隔と伝送速度 伝送速度に対して中継間隔が急速に減少する領域は、光ファイバの伝送帯域制限による。帯域制限は多モードファイバでは主としてモード分散によって、単一モードファイバでは材料分散によって生ずる。



注：開発例 ○ (光ファイバ方式)
△ (同軸ケーブル方式)
× (ペアケーブル方式)

図2 光ファイバローカルネットワークの適用領域 光ファイバ方式はペアケーブル方式、同軸ケーブル方式に比べ高速のデータ転送に適している。ノードステーション数は20~500である。

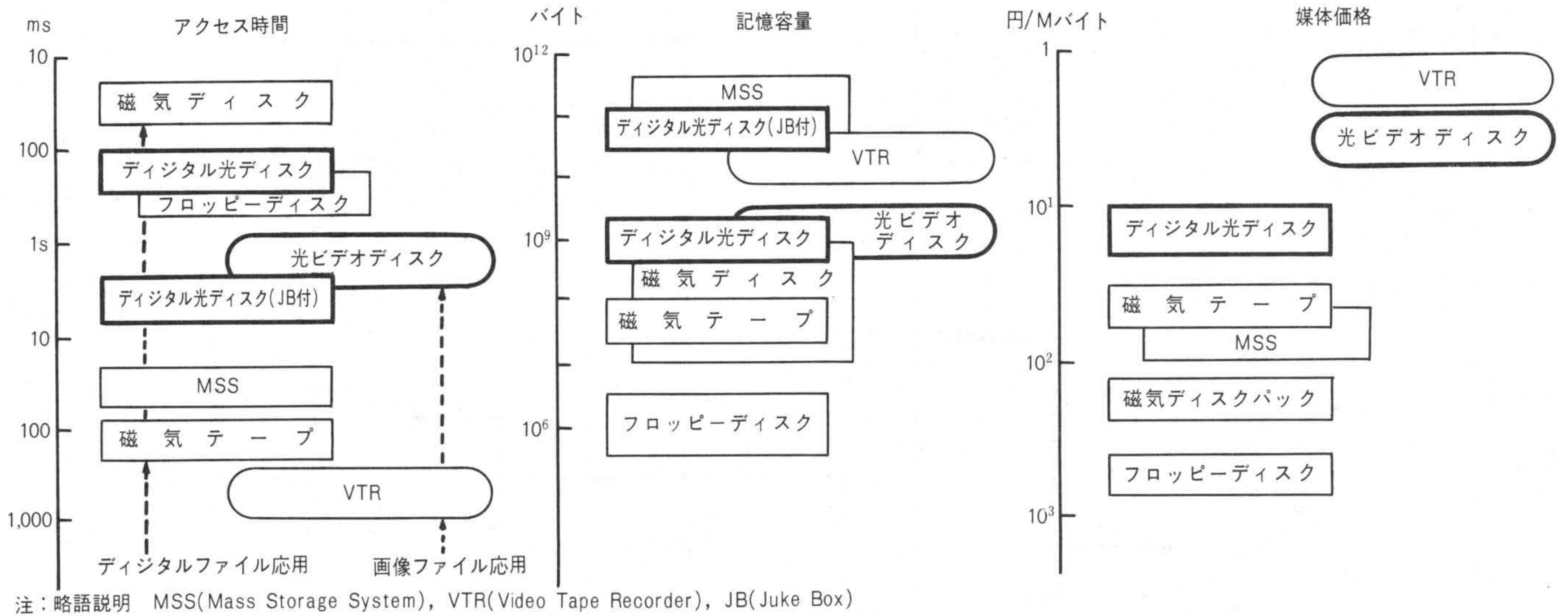


図3 ファイルメモリの比較 光ディスクの登場は、アクセス時間の短い画像ファイル、大容量低価格のデジタルファイルを可能とする。

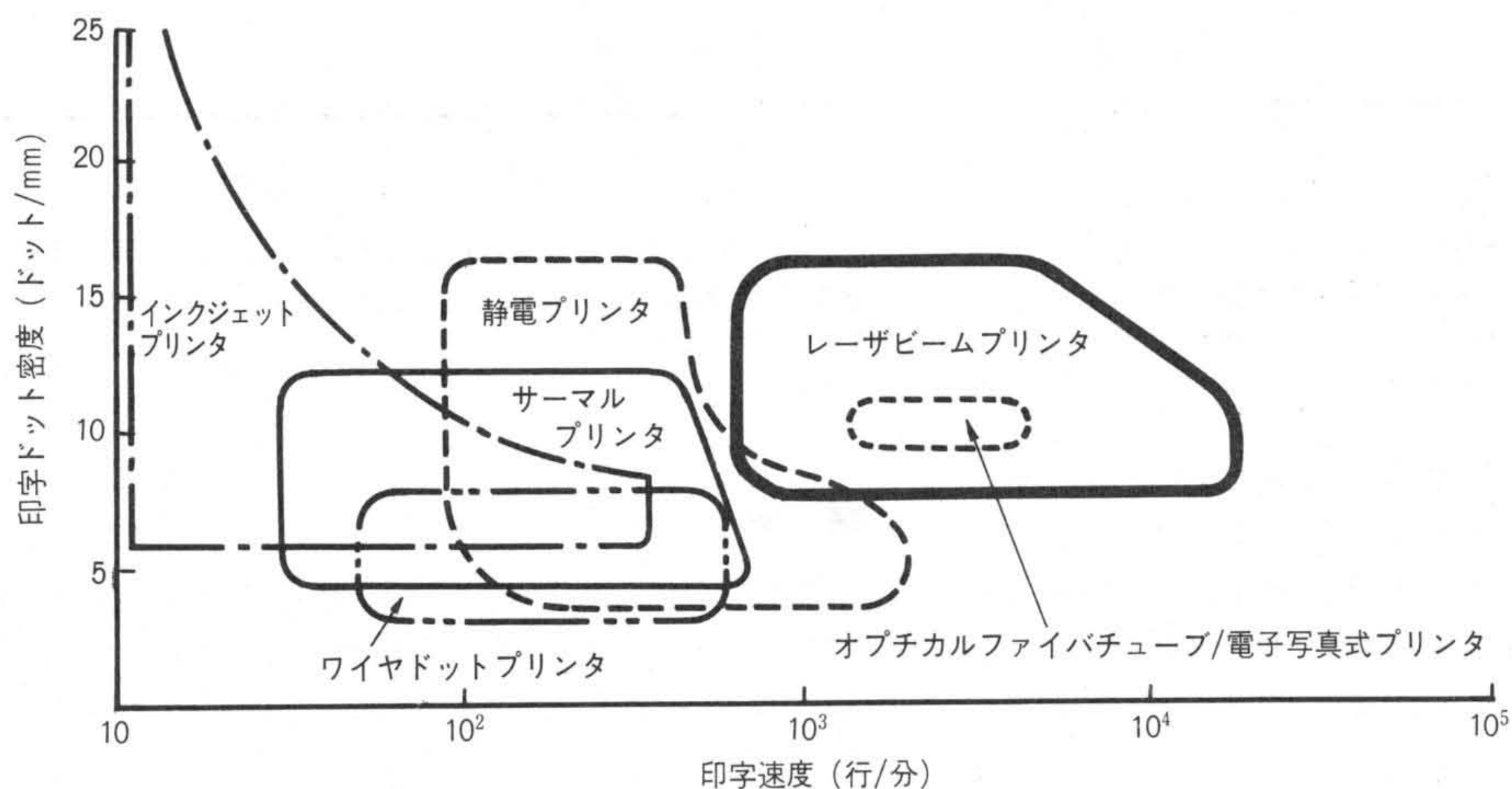


図4 主なドット方式プリンタの印字速度と印字ドット密度 レーザービームプリンタは他方式のプリンタに比べて、高速かつ高解像の印字が可能である。将来は、更に高速化、高解像化の方向に進む。

レーザービームプリンタは、印字パターンの多様性から漢字も含めた文字情報と図形情報の一括処理を可能とし、帳票作成処理や日本語情報のオンライン処理などへの道を開いたといえる。今後は、半導体レーザや電子写真技術の進歩によって、高解像度化、カラー化などの性能向上と小形化、高信頼化、低価格が進み、いっそう普及が促進されよう。また、ファクシミリとの融合による高機能化も期待される。

5 システムを支える部品、材料技術の動向

以上述べてきたように、光通信、光情報端末システムの実用化の背景には、光ファイバ、発・受光半導体素子の高性能化、高信頼化などの技術革新がある。

5.1 光ファイバ技術の動向

図5は光ファイバの進歩と今後の展望を示したものである。1970年に波長 $0.8\mu\text{m}$ 帯で伝送損失 20dB/km の石英系多モード光ファイバが開発されると、多成分ガラスに代わり石英系ガラス光ファイバ作製技術について種々の改良が加えられ、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯で 0.2dB/km の低損失化が達成された⁶⁾。最近では、更に将来の低損失化を目指して、波長 $2\sim 4\mu\text{m}$ の長波長帯で 10^{-3}dB/km の超低損失の可能性のあるフッ化物ガラスなどの赤外光ファイバの開発が始められている。

一方、光ファイバをその機能からとらえ、機能の見極めによって広い応用分野を開こうとする動きも活発である。その

一つに、入射の直線偏光特性を長距離にわたり変化なしに伝送できる偏波面保存光ファイバの開発がある⁷⁾。光の強弱信号に加え、位相、偏光信号をも情報として用いる次世代の超広帯域コヒーレント光通信や、光ファイバジャイロスコープのような高精度計測用の光伝送路として各方面から注目されている。

5.2 半導体レーザ技術の動向

半導体レーザは、1970年GaAlAs/GaAsのダブルヘテロ構造で初めて室温連続発振が達成された。以来、素子の長寿命化や横モードの制御などに革新的な進歩が見られた。光ファイバの低損失を与える波長が長波長帯に移行するにつれ発振波長帯の拡大が検討され、1976年には $1.3\mu\text{m}$ の長波長帯で発振するInGaAsP/InP半導体レーザが開発された。

図6は半導体レーザ開発の推移と、今後の展望を示したものである。現在実用化されている半導体レーザは、GaAlAs系($0.76\sim 0.89\mu\text{m}$)とInGaAsP系($1.2\sim 1.6\mu\text{m}$)で共にダブルヘテロ構造である。光出力は $3\sim 20\text{mW}$ で、素子寿命は室温で数十万時間以上と高性能である⁸⁾。今後は更に、新材料導入による短波長帯、長波長帯への発振波長帯の拡大、素子構造の工夫による高出力化、縦モードの制御による低雑音化などの方向へ大きく展開するものと考えられる。

5.3 受光素子技術の動向

光ファイバの低損失波長が $0.8\mu\text{m}$ 帯であった当初はSi受光

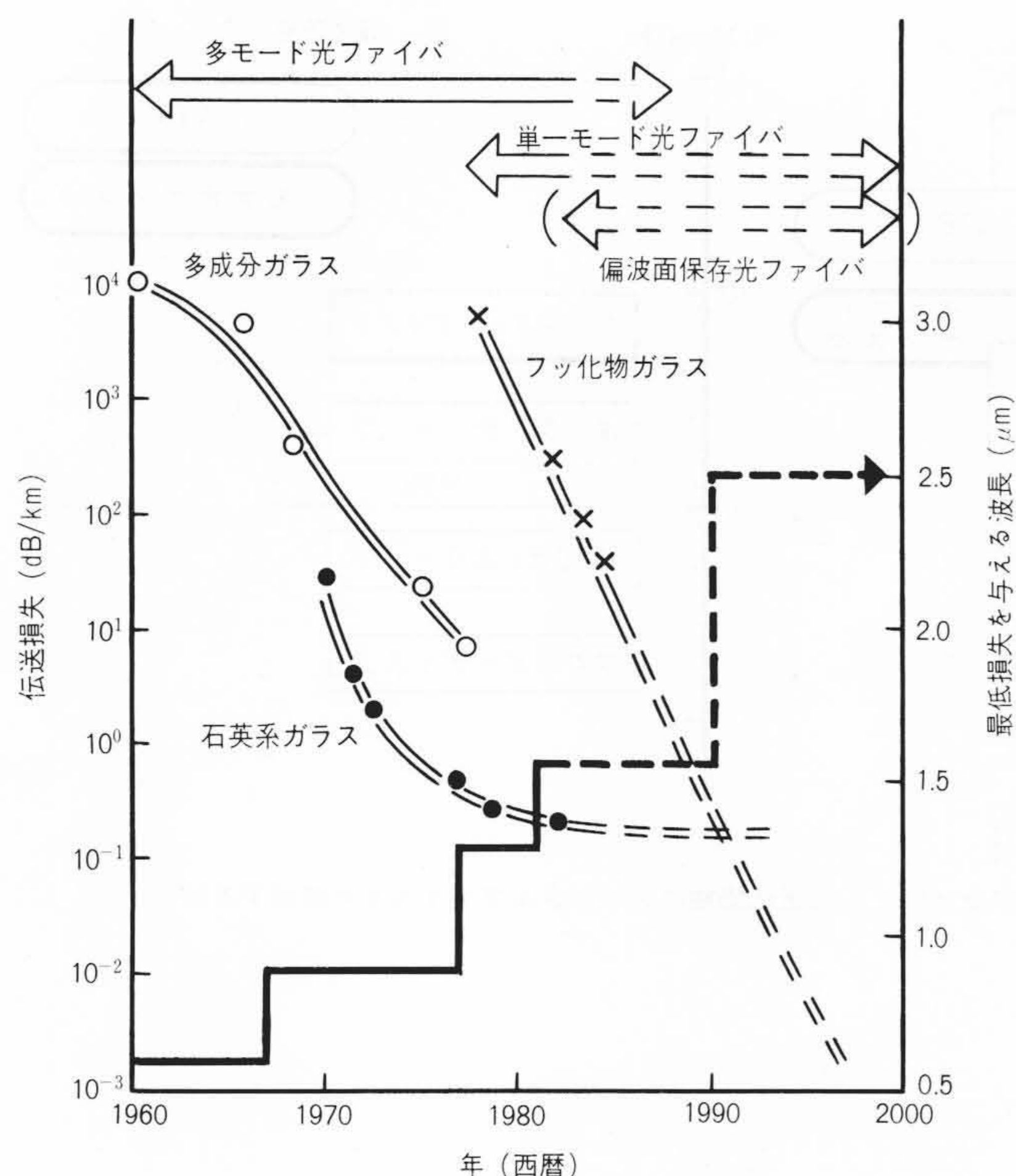


図5 光ファイバの進歩と今後の展望 光ファイバの伝送損失は、ガラス材料の開発によって、1990年代には波長2～4 μm 帯で石英系ガラス光ファイバの極限値以下に減少し、それに伴って光ファイバも、多モード光ファイバから単一モード光ファイバへと移行すると予測できる。

素子の開発が中心で、単一電源で動作するpinホトダイオードや高増倍率のアバランシェホトダイオードが実用化された。しかし、1970年後半に光ファイバの低損失波長が1.3 μm 帯に移るとともに、化合物半導体やGeを材料とした長波長受光素子用薄膜結晶育成技術の研究が急速に盛り上がった。まず長波長受光素子の製品化を目指した努力が続けられ、低暗電流で高感度、高速のInGaAsP/InP系ホトダイオードが実用化された。最近では、ホトダイオードとFET(Field Effect Transistor)の集積化など新たな展開が図られている。

6 オプトエレクトロニクスの新技術動向

光源として用いられる半導体レーザに関しては、光通信の長距離・大容量化へ対応するための単一波長C³(Cleaved Coupled Cavity)レーザやDFB(Distributed Feedback)レーザの実現、温度安定性の向上、低しきい値電流化をねらったMQW(Multi-Quantum Well)レーザ、また情報端末システムからの強い要求にこたえる可視(0.6～0.7 μm)レーザなどが新しい技術動向として注目される。

光部品の小形、多機能化を目指した光集積回路の研究も盛んになっている。光素子と電子回路を同一基板上にモノリシックに形成するOEIC(Opto-Electronic Integrated Circuit)、全光集積化をねらったOIC(Optical Integrated Circuit)である。これらについても、モノリシック光送・受信デバイス、光スイッチなどを目標として数素子の小規模集積化素子が試作されるに至っている。

光情報処理の究極の形態として光コンピュータも議論に上るようになり、専門の学会が形成されるに至っている。光論理素子の基本となる光入力・光出力の双安定素子についてはアイデアが提案され、機能確認実験も行なわれている。まだ芽生えの段階であり、今後解決すべき技術課題も山積しているが、21世紀へ向けての楽しい技術動向といえる。

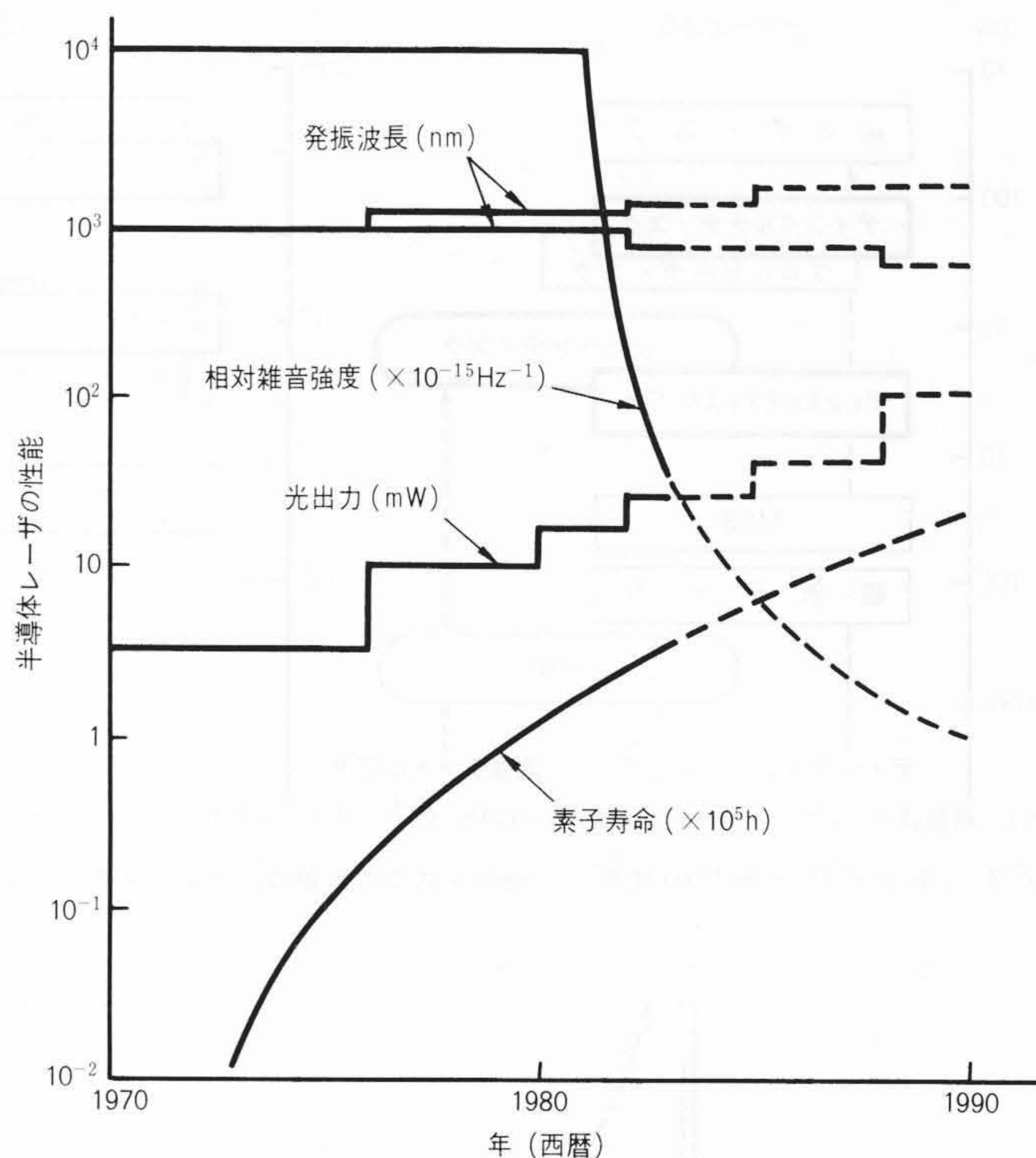


図6 半導体レーザの進歩と今後の動向 半導体レーザの研究開発は、発振波長域の拡大、高出力化、低雑音化の方向に進む。これと併行し、長寿命化が図られてゆく。

7 結 言

オプトエレクトロニクス技術は、今後いっそう情報産業とのかかわりを深めながら発展を続けるであろう。質的にはマイクロエレクトロニクス技術と比肩できる影響力をもち、情報伝送から情報処理に至るすべての分野でその方向を決定づけてゆくものになろう。しかし、技術の先端分野では解決すべき多くの課題が残されており、システムの高度化の要請にこたえ、長期にわたる技術革新を持続するには従来にも増して研究開発の努力が必要といわねばならない。

参考文献

- 1) 特集 大容量光ケーブル伝送(F-400M)方式, 電気通信研究所研究実用化報告, 32, 3(昭58-3)
- 2) M. Graube: Local Area Nets: A Pair of Standards, IEEE Spectrum, 19, 6, 60～64(June 1982)
- 3) 角田: 新コンピュータ時代を支える大容量メモリ, 日本の科学と技術, 22, 212, 70～74(昭56-11, 12)
- 4) Y. Tsunoda, et al.: Optical Digital Data Storage Technology with Semiconductor Laser Head, Digest of Technical Papers, Topical Meeting on Optical Data Storage, MB1 (Jan. 1983)
- 5) A. Arimoto, et al.: Optical System of An Ultrahigh-Speed Laser Beam Printer, Conf. Laser and Electro-Optical Systems, Tech. Digest, 76(Feb. 1980)
- 6) T. Miya, et al.: Ultimate Low-loss Single-mode Fiber at 1.55 μm , Electron Lett., 15, 28, 106～107(1979)
- 7) T. Katsuyama, et al.: Low Loss Single Polarization Fibers, Appl. Optics, 22, 11, 1741～1747(June 1983)
- 8) K. Mizuishi, et al.: Statistical Lifetime Prediction of 1.3 μm InGaAsP/InP Buried-Heterostructure (BH) Lasers, Conf. Integrated Optics and Optical Fiber Communication, Tech. Digest, 206～207(June 1983)