

## 特集②

# 光通信技術と産業の動向と 今後の進め方への提言 —シーズとニーズの融合を目指して—



情報通信ユニット 立野 公男

## 1. 緒言

光通信技術は、情報の超高速・大容量・長距離伝送を可能とし、その代替技術がないので社会の情報通信機能を支える基幹インフラとして無くてはならない技術である。そのため、光通信インフラの普及と性能向上は一国の社会生活全体に重要な影響を及ぼす。例えば、無線を利用する携帯電話も近辺のアンテナ局までは無線通信であるが、局から局までは光通信網が使われており海底に敷設した光ファイバケーブルによって世界中の人々が実時間で交信できる。また、最近多くのインターネットに使われている ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) はメタル回線であるが局から局の伝送にはやはり光通信網が使われており、世界中のパソコン同士が繋がっている。このような技術をコアとする光通信機器産業の世界市場規模は高々 10 兆円程度であるが、幹線系だけでなく FTTH (Fiber To The Home)

に代表される一般家庭やひいては情報機器まで光ファイバが直接繋がれば光通信機器産業の市場規模はさらに拡大する可能性を持っている。

しかしながら、ここ数年、光通信業界はいわゆる IT バブル崩壊に直面し、北米を筆頭に世界的な不況にあえいでおり、主に幹線系の需要が冷えて市場は足踏み状態である。ところが、光通信バブル崩壊の直後から、逆に、インターネット回線を通ずるトラフィックの量が増加しはじめている。これは、Peer to Peer による動画像の送受信をはじめとして、e-コマース、e-政府、e-教育、e-医療などあらゆるビジネスや政府、地方自治体での業務の IT 化が徐々にではあるが進行し、これらが積算されてインターネット特有の相乗効果が働いているからである。

従って、近い将来気がついて見れば社会のあちこちでトラフィックの渋滞が起こり、通信の信頼性

と安全性が損なわれ、いわゆる、QoS (Quality of Service) の低下が深刻な社会問題にならないとは限らない。すなわち、通信インフラの根幹をなす光通信網にボトルネックが生じる可能性がある。このため、将来への光通信技術の研究開発の手を緩めることは許されない。

以上の現状認識と将来展望をもとに、本論文では、①光通信不況はどのような経緯で起こったか、その原因は何か。②一方で増え続けるトラフィック量の伸びに対する光通信技術の次のボトルネックは何か、③光通信技術が可能にしたブロードバンド・インフラを積極的に生かす新しい通信サービスの創造的研究を行える体制が用意されているか、などを議論し、光通信インフラというシーズとそれを必要とするニーズの融合を目指した今後の研究開発の進め方について提言する。

## 2. 光通信技術

### 2-1

#### 光通信の原理と波長多重方式

光通信技術としては、光の空間伝搬を利用する方法などがあるが、本論文では、信号の伝送

媒体として酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) をガラス材料とする光ファイバを用いた光ファイバ通信を取り上げ、簡単のためこれを光通信と呼ぶ。図表 1 は、現在敷設されている典型的な光ファイバの光の波長に対する伝送損失特性である<sup>1)</sup>。中央

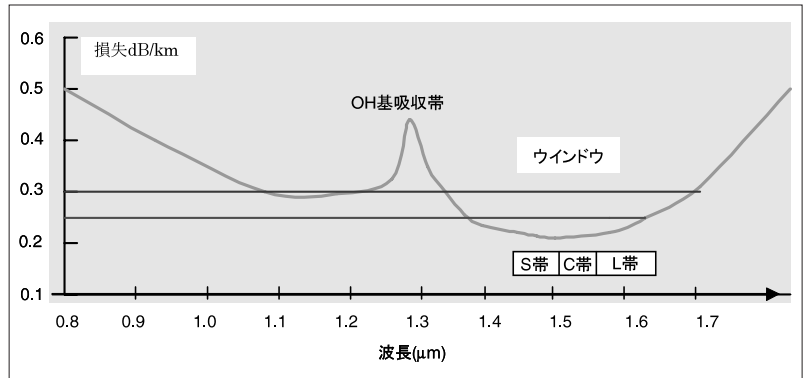
のピークはファイバ中の残存水分の OH 基の高調波による吸収帯である。光通信には、通常このピークを避けたウィンドウ (窓) と呼ばれる波長域が使われる。最初に使われた波長は、ピークの左側の  $0.85\mu\text{m}$  であったが、それは、当

時の半導体レーザの材料がGaAs系であったからである。その後、InP系の半導体レーザが開発され、最も伝送損失の低い1.3 μmから1.6 μmの帯域が使われるようになった。さらに、光ファイバは、メーター10円を切るという低コストであり、長寿命で信頼性が高く、しかも、引っ張り強度が鋼鉄よりも大きいという長所を兼ね備えている。実際には、このような光ファイバ芯線（直径125 μm、コア径約10 μm）を数百本の束にした光ファイバケーブルとして敷設されている。

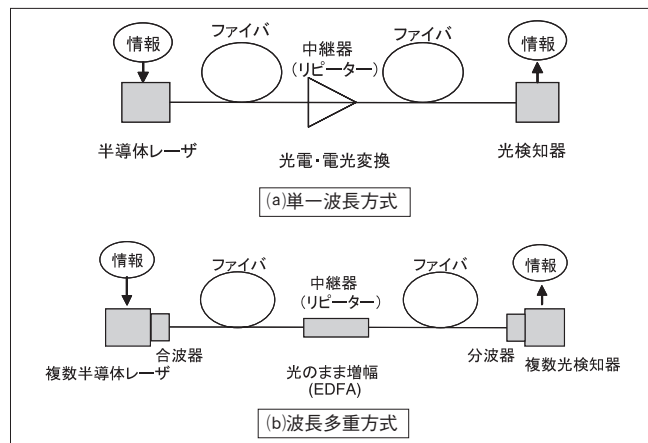
図表2(a)は、このような特性を持つ光ファイバを用いた光通信の基本構成である。すなわち、情報の発信側には半導体レーザ光源があり、その光強度をデジタル化した電気信号でオンオフ変調する。変調された光信号は光ファイバ中を伝搬するが、光ファイバの吸収や散乱などの損失を受けて減衰する。そのため、長距離通信では、数十キロメートル毎に中継器(Repeater)を配置し光信号を遠方まで伝達する。受信側には、光検知器と電気増幅器が用意されており光信号が電気信号に変換されてもとの情報が復元される。従来の単一波長方式では、減衰した光信号を中継器で一旦電気信号に変換し、電氣的に増幅したあと再び半導体レーザを駆動するというものであった。すなわち、中継器毎に光電変換と電光変換を行う必要があった。この変換は、波長チャンネル毎に実施しなければならないのでこの方法のままでは波長多重方式の採用は困難であった。

これに対し、図表2(b)に示すように、波長の異なる複数個の半導体レーザからのビームを合波器を介して束ねてから一本の光ファイバに入力するのが波長多重方式(WDM/Wavelength Division Multiplexing)である。従って、

図表1 光ファイバの伝送損失帯域と光ファイバ増幅器の動作帯域



図表2 光通信の原理



1本の光ファイバの伝送容量は、1つの波長チャンネルの伝送速度に波長多重数をかけたものとなる。例えば、波長チャンネル間隔を0.4nmとし、使用波長の全域を400nmとすれば実に1,000チャンネルを多重することができ、1波長チャンネル当たり40Gbpsで伝送すれば40Tbpsの超大容量光通信が可能となる。この通信容量をDVD(Digital Versatile Disc)を例にあげて説明すると、DVDに貯蔵されている情報量が映画2時間分の4.7GB(約40Gb)であるから、1,000枚のDVDに貯蔵されている情報を太平洋を越えた相手国に、およそ一秒間で伝送できるという驚異的な通信能力である。

このような波長多重伝送を可能にしたのは、EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)を代表とする光ファイバ増幅器<sup>1)</sup>であり、これを使うと中継器における光電変換や電光変換が不要となる。そ

の理由は、この光増幅器の機能が光励起(Pumping)のレーザと同様であるため、光の信号を光のまま、しかも、比較的広い波長域で一括して増幅可能だからである。また、この光ファイバ増幅器の動作帯域はS帯、C帯、L帯などと呼ばれ、図表1に示した光ファイバの最も損失の低い波長域にあることが幸いしている。例えば太平洋横断海底ケーブルには、光ファイバ増幅器を搭載した中継器が、図表3に示したように、およそ50km毎に180台、数珠つなぎの状態海底に沈んでいる。

2-2

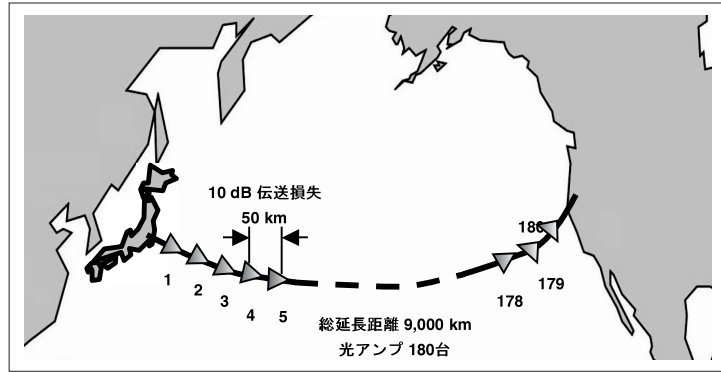
光通信ネットワークの構成

以上のように極めて高い性能を持つ光通信方式は、図表4に示すように、伝送系とそれらを結ぶ交換ノード系からなるネットワークで構成される。伝送系は大きく分

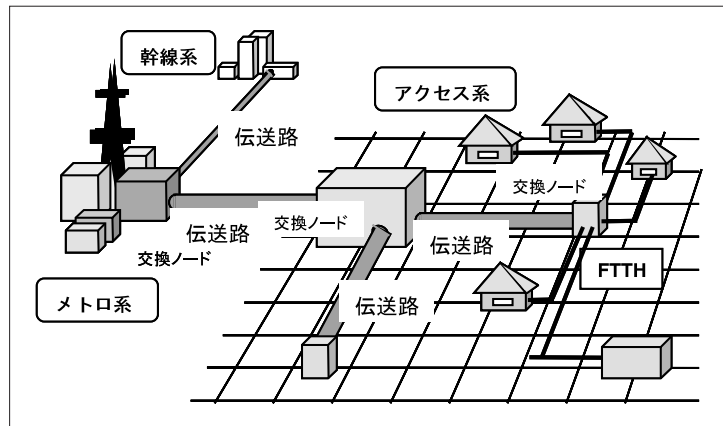
けて海底網や都市間を結ぶ幹線系 (10G ~ 40Gbps)、都市内メトロ系 (1G ~ 10Gbps)、そして、FTTH (Fiber To The Home) に代表されるアクセス系 (0.1G ~ 1 Gbps) の3つの階層に分類される。

これらの伝送路は、互いに交換ノードで結合されている。交換ノードには、ルータ (Router) が配置されており、トラフィックの行き先を制御している。交換ノードは高速道路に例えれば、インターチェンジに相当し、トラフィック量の増大に対し、スイッチングのスループットの高速化と処理規模の大容量化が要求される。後述するように、波長多重方式の急進展により供給量が十分用意されている伝送系に対し、交換ノード系の方が、今後の光通信網の律速段階 (ボトルネック) となる可能性がある。

図表3 太平洋横断海底ケーブル用中継器



図表4 光通信ネットワークの構成



### 3. IT バブル崩壊と光通信産業

#### 3 - 1

#### 光通信技術立ち上がりの経緯

以上述べた高性能な光通信技術に対し、情報社会インフラ構築の基幹技術として米国政府がいかに大きな期待を寄せていたかは、1991年に行われたゴア副大統領の演説<sup>2)</sup>によってうかがい知ることができる。「……今、最も重要な事は高速データハイウェイを作ると宣言することである。この高速データハイウェイが情報化時代の幕を開ける最大で唯一の立て役者である。しかし、米国のメタル線のネットワークを基盤とする現在の政策は、新しい光ファイバ時代の展開を妨げている。しかるに、日本やドイツのような先進国のみならず、メタル電話網を建設中の開発途上国には、このような問題はない。もし、米国がこの情報化

のネックを打ち破れず、旧態依然の状態のままだと、米国の技術は外国にまたもや持っていかれるのである。その昔、国の交通基盤の良し悪しが国際的な経済戦争の勝敗を決定した。大きな船の入る港を持つ国は経済戦争に勝てた。港、運河、鉄道、高速道路、上下水道などは、すべて経験的に国家の競争力を向上させるものとして投資された基盤なのである。全ての家庭に、オフィスに、工場に、学校に、図書館に、病院に光ファイバを敷設するには1,000億ドルの企業投資があれば十分である。……」。

かような光通信技術への期待を資金的に支援することになったのが、1990年の冷戦終結に伴って余剰となった米国軍事予算の一部である。この潤沢な予算がDARPA (Defense Advanced Research Project Agency) を通じて、光通

信技術のかつてのメッカであったBell研をはじめとする米国の多くの大学や企業に投入され研究開発が活発化した。米国の活気は日本にも伝わり、NTTやKDDIをはじめとする日本の通信会社、(株)富士通、(株)日本電気、(株)日立製作所のような通信機器メーカ、(株)古河電気、(株)住友電気、(株)フジクラなどの光ファイバメーカ、そして、大学や(独)NICTなどの国立の研究所で光通信技術の研究開発競争が激化した。欧州でも英国のBT (British Telecom)、ドイツのHHI (Heinrich Hertz Institute)、フランステレコムなどの公的研究機関だけでなく、ドイツのSiemens社、オランダのPhilips社、フランスのAlcatel社、英加のNortel社など企業の研究所にも伝搬し、光ファイバ敷設への投資が集中的になされた。

3 - 2

WDM ジャンプ

その結果、図表5に示すように、光通信の伝送容量が実用レベルで急激に驚異的な伸びを示した。図中階段状の線が単一波長当たりの伝送速度であり、上側が波長多重による一本の光ファイバ当たりの伝送容量である。矢印で示したのがいわゆる WDM ジャンプであり、波長の多重数分だけ単一波長の場合よりも伝送容量が大きくなる。この技術の実用化は、情報通信技術やエレクトロニクス分野の進歩の時間的な間尺となっているいわゆるムーアの法則（2年で2倍：図表5中の破線）を上回る速さで進んだ。すなわち、光通信の光源である半導体レーザーはLSIによって駆動され、LSIの変調速度はムーアの法則<sup>1)</sup>に従って伸びているが、波長多重方式は原理的に

それを越えるからである。この波長多重方式という革新的な素晴らしい技術イノベーションが、先述の DARPA による公的資金の油に火をつけたかっこうとなり、その周りに数多くのベンチャーや投資会社がビジネスチャンス求めて集中した。それが光通信への投資過剰というバブルを引き起こすとは当初、誰も予想できなかった。そこには、インターネット普及への過度な期待や米国政府の規制緩和による通信インフラのアンバンドリングなど投資への誘因が重なった。

3 - 3

光通信市場の推移

そこでこのような急進展を見せた波長多重技術と OFC (Optical Fiber Communication Conference and Exhibition) の展示会場への参加者数の年次推移 (図表6) の

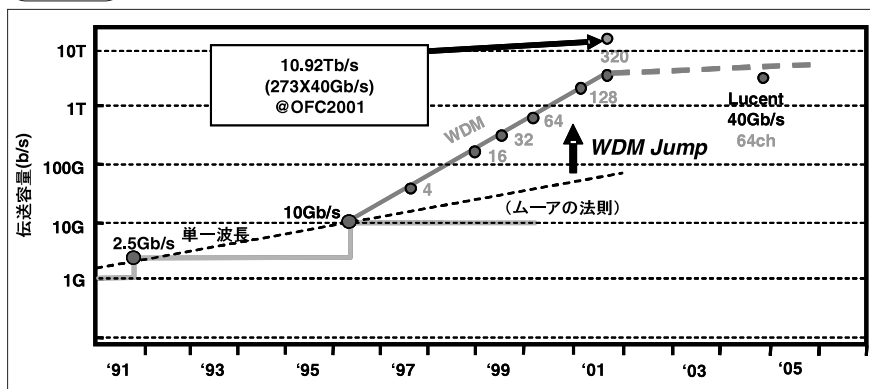
関連を見る。OFCは、毎年米国で開催され、光通信のビジネスや技術が一堂に開示される世界最大の展示会であり、ここから光通信の市場規模の年次推移を読みとることができる。このデータによれば、参加者数は2001年のピークに向けて急増している。これは明らかに大企業やベンチャーからの参加者が前述の波長多重方式のビジネスチャンスを目当てに殺到したためである。筆者も'97年から'01年まで5年間連続して参加し、毎回口頭発表を行いおよそ1,000人の聴衆を前にした招待講演の機会もあり、その凄まじい膨張ぶりを目の当たりにした。

これらの新規参入企業の多くは、大学、公的研究機関、あるいは、大企業からスピンオフしてスタートしたベンチャー企業である。特に、大学や公的研究機関からのベンチャー企業は、バイドール法 (Bayh-Dole Act/1980年) によって保護された。従来、大学が米国政府の資金によって研究開発を行った場合、特許権は政府に帰属していたが、この修正条項により大学側や研究者に特許権を帰属させることが可能になった。これにより、政府資金の援助で得られた研究成果を大学の所有として特許化したり、大学と企業間でライセンス契約を結んで技術移転する途が開かれていた。

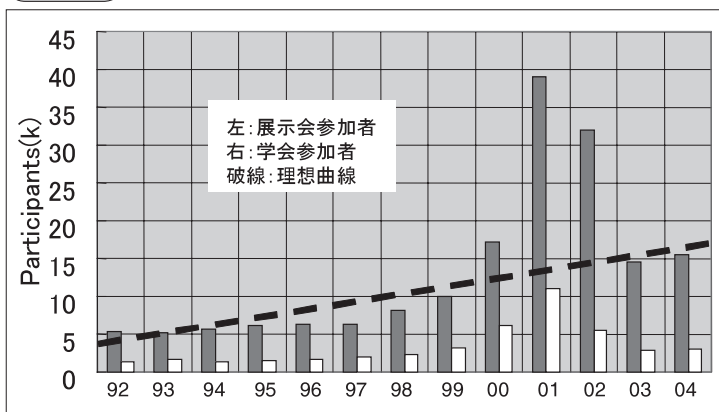
また、1996年には電気通信法の改正でアンバンドリングが条文化され、競争事業者がインフラ設備のリースを受けてサービスできるようになるなど、米国政府による通信インフラ制度の規制緩和によって投資が加熱した。

ところが、2001年をピークにここ数年来、展示社数や学会への参加者数が激減した。その原因は、明らかに数多くあったベンチャーの数が激減したことである。すなわち、ベンチャー企業にとって最も大事な顧客である通信システ

図表5 WDM ジャンプ (波長多重による伝送容量の驚異的な伸び)



図表6 OFC 展示会と学会の参加人数の推移



OSA : Optical Society of America のデータをもとに科学技術政策研究所で作成

ム会社がITバブル崩壊の直撃を受け、ベンチャー企業への発注を止めざるを得なくなったためである。その結果、順調な経済活動の基本である需要と供給のバランスが崩壊し、一時は雨後の筍のように派生した多くのベンチャーが逆に統合や吸収、さらには消滅という運命にさらされるという悲惨な事態が発生した。

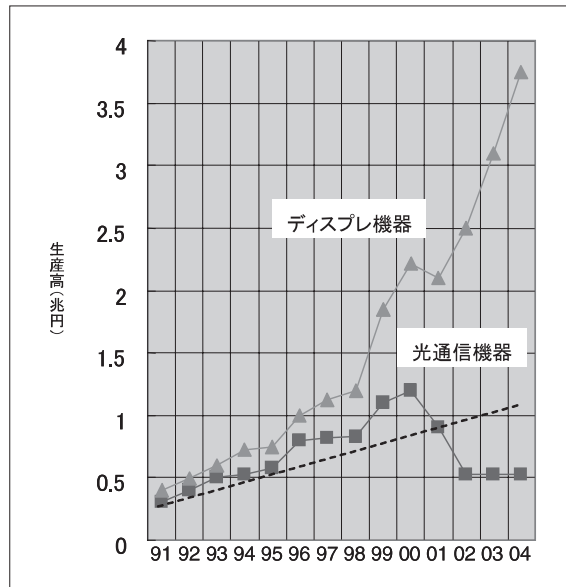
需要の冷静な分析なしに行われた競争的投資がオーバーヒートした結果である。ピーク時には、実に、音速の3倍の速さで光ファイバが敷設されていたという報告もあり、現在地球上には、延べ0.5 Tera meter、すなわち地球を10,000周するファイバが敷設されており、そのうちの10%が中国にあるという<sup>3)</sup>。言わば10年かけて育てるべき小さな光通信インフラ市場を高々数年で飽和させてしまった。その結果、現在の光通信市場は足踏み状況が続いている。競争的な市場経済は景気の浮上に威力を発揮するようであるが、その後投資を継続するかどうかは常に監視されるべきであり、実体のない投機によるバブルは回避されなければならない。かくして、光通信産業は、皮肉なことに波長多重方式という画期的な技術革新が起こしたWDMバブルの崩壊とい

う大打撃を被ったのである。

このような北米の光通信不況の影響は、当然日本にも及んだ。日本の企業は北米の光通信企業から部品や装置の受注を受けて一時期相当の活況を呈していたからである。図表7は、日本における光通信機器の国内生産高の年次推移<sup>4)</sup>である。比較のために掲載したディスプレイ関連機器の年次推移では、2000年に生産のピークが見られ一時減少しているがすぐに回復し、その後順調な伸びを示してい

る。これに対し、光通信機器の国内生産高は2000年のピーク後の回復が見られず、バブル崩壊の様相を呈している。筆者がかつて関係したアクセス系光通信用送受信モジュール<sup>5,6)</sup>の量産化プロジェクトの場合も例外ではなく、1996年にはじまり2000年に月産数十万個のラインが完成し、いよいよ顧客に向けての販売をスタートしようとした直後から、キャンセルとなったという苦い経験がある。

図表7 光通信機器とディスプレイ機器の市場推移



光産業技術振興協会のデータをもとに、科学技術政策研究所で作成

## 4. バブル崩壊後の動向

### 4-1

#### トラフィックの伸びと通信サービスの動向

それでは今後、光通信市場の回復はないのであろうか？ そのためにインターネットのトラフィックの伸びとその要因を調べた。図表8は、東京の大手町にあるトラフィック観測地点を通過するトラフィックの量を測定したものである<sup>7)</sup>。皮肉なことに、2001年の光

通信バブル崩壊（図表6、7）の直後からトラフィックの量は年率2倍の速さで伸びている。このまま推移すれば、いずれ将来、トラフィック量の増加が光通信網を圧迫し、トラフィックの渋滞があちこちで発生しQoS (Quality of Service) の低下が深刻な社会問題にならないとは限らない。

実際、一国の経済システム改革や産業構造改革に強い影響を及ぼすIT化の波は、電子政府、電子商取引、物流管理 (IC タグ・シ

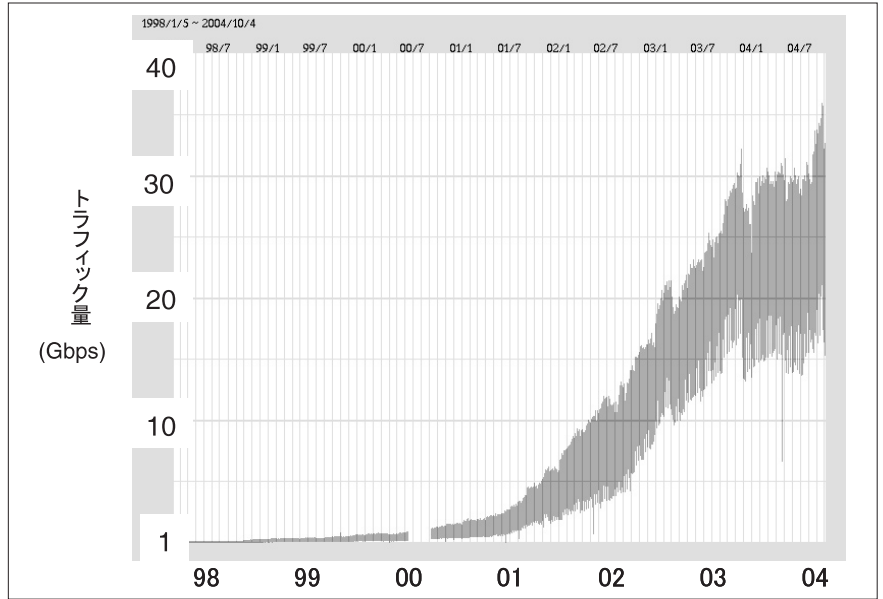
ステム)、リスク管理、電子医療、電子教育、ユビキタスネットなど多くの分野で進行している。例えば、企業間の商取引の年次推移をみても、ここ数年で電子化率は11%に増加しており<sup>8)</sup>、e-Japan計画に沿うかたちで進行している。また、周知のように株式の個人取引、航空券やホテルの予約、個人の銀行決済などの業務で数十パーセントが既にネット化されており、トラフィック増大の要因となりつつある。

さらに、従来のインターネット接続は、パソコンや携帯電話に限られていたが、今後デジタル家電と呼ばれる平面テレビ、ビデオレコーダ、デジカメ、携帯ムービーカメラ、PDA (Personal Data Assistant)、そして、冷蔵庫、電子レンジ、皿洗い機など多くの家庭用電気製品がモデムを通じてインターネットに接続される。さらにまた自動車が無線を通じて繋がるようになる。そして将来、IPv6の標準化が進展し、ユビキタス社会が到来すればほとんど全ての「モノ」にICタグが貼り付けられる。これらの製品に付随する個々の情報量はさほど多くないが個数は膨大であり、2010年にはおよそ150億個のデバイスがインターネットに繋がるという予想<sup>9)</sup>もあり、トラフィック量はさらに増大する可能性がある。

特に情報量が多いのは、動画である。ブロードバンドの利点を生かしたテレビ電話の普及、あるいは、家庭や仕事場で作成した動画のネット上でのやりとりも確実に増加すると予想される。また、最近、着メロ、着歌と称される携帯電話へのデジタル音楽配信サービスが活発化しているように、現在のDVDレンタルに代わるVOD (Video On Demand)、さらには、ハイビジョン動画やデジタル化したシネマ (映画) のネット配信など、消費者向けの新しい高品質な動画サービスの普及も予想される。

VODは、90年代後半に活発に研究開発され、特定地域でのトライアルもなされた。しかし、当時は利用料も受信端末であるSTB (Set Top Box) も価格が高く、普及するには至らなかった。ところが、現在は当時と比べブロードバンドへの加入者料金が十分低下しており、課金システムが付加されるとしても、その料金がいわゆるレンタルショップでの料金よりも

図表8 トラフィックの伸び (2倍/年)



JPIX / Japan Internet Exchange<sup>7)</sup> のデータをもとに科学技術政策研究所で作成

低ければ再びビデオ市場に登場する可能性がある。実際、来年1月より、DVD化した新作映画のネット配信サービス<sup>10, 11)</sup>が、レンタルショップと同程度の値段で開始されるなど、徐々にではあるが、VODのサービスが動き始めている。そこでは現行のDVDなみの画質からスタートするが、いずれは、HD (High Definition)、さらには、SHD (Super High Definition) と呼ばれるデジタルシネマのネット配信も視野に入る。デジタルシネマとは、100年来使用されて来た古式蒼然たる35mmフィルムシステムの電子化であり、ハリウッドと提携したNTTや東京大学<sup>12)</sup>などが中心となって標準化作業も相当進んでいる。そしてさらに、NHKをはじめ、世界各国の放送協会には膨大な量のアーカイブ情報が日の目をみないまま保存されている。

このような保存情報をネット配信するための著作権を保護するのは容易ではないが、目下、著作権審議会<sup>13)</sup>で審議されており、早晩の解決が期待される。実際、消費者にとってコンテンツを最も便利で手軽なネット配信形態で見たという需要があること、著作権

者や配信サービス会社にとっては課金によるビジネスチャンスが目前に広がっていること、ビデオよりも一歩先を行くデジタル音楽のネット配信サービスにおいて不正コピー防止の技術が進んでいること、さらに、米国においては、コンテンツの競争的市場が形成されており、映画館→レンタル→ネット配信→ペイTV→地上波という各ウィンドウの順序をいかにすればそのコンテンツの売り上げが最大になるかのビジネスモデルが存在していること、などの波が押し寄せている。このため、日本においてもネット配信のネックの1つとなっている著作権問題の早急な解決が望まれる。

さらに、将来、各家庭に大容量のHDD (Hard Disk Drive)、あるいは、録再可能な大容量の光ディスクを積んだ低コストのサーバーが配置されるようになると、ネット配信を受けたいという意欲が益々刺激される。すなわち、専用の端末やインターネット端末を利用して録画予約が自動的にできるEPG (Electronic Program Guide) を駆使して好きなコンテンツを欲しいだけコレクションできるような時代が到来すると予想される。

そして、インターネット配信とデジタル放送サービスとが互いに融合し、デジタル動画がIPネット上を縦横に行き交うことになれば、通信インフラの基幹である光通信網を圧迫し始めることは明らかである。

4 - 2

FTTHの新動向

以上のトラフィックは、現時点では、7,200万加入の携帯電話、1,260万加入のADSL、280万加入のCATV、そして最近175万加入を突破したFTTHなどの通信回線を介してやりとりされている。ここで、最近特に目立った進展を見せているのが、高速のFTTHであり、ブロードバンドのユーザーが前節で述べた動画のネット配信に備え始めているかに見える。実際、図表9のFTTHとADSLの加入者数の推移<sup>14)</sup>を見ても、ADSLの伸びに飽和傾向があるにもかかわらず、FTTHの伸びは急峻である。

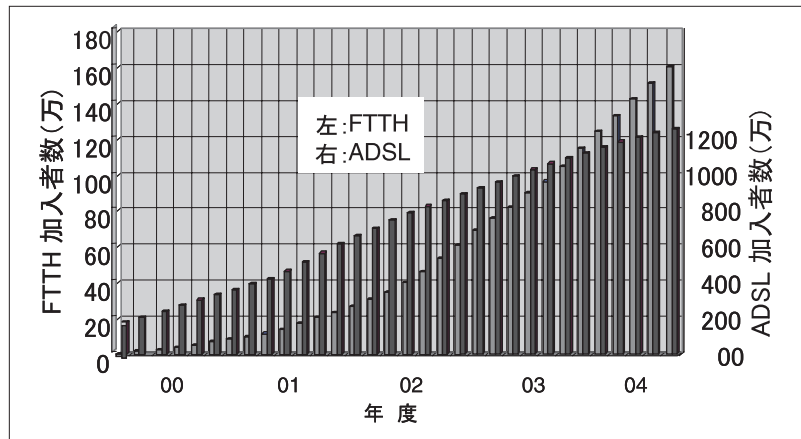
これはFTTHの伝送速度が100Mbpsと他のブロードバンド回線よりも速く、しかも局から加入者間の伝送距離によらないという利点があり、近々、1Gbpsへ拡大する計画があるなど技術的ポテンシャルが高いこと、使用料についても、東西NTT以外に、電力線の保全監視用光ファイバ網を活用した東京電力(TEPCO)のFTTHへの参入、アンバンドリング政策によるNTTの光ファイバ網のレンタルによって活気づいているYahoo BBの新規参入<sup>15)</sup>など、低価格化やサービスの競争が進んでいること、幹線系の市場が冷えているため、投資がFTTHに回っていることなどが要因である。また、NTTが、2010年までに、現在の固定電話加入者の半分に当たる3,000万加入をFTTHに

切り替える方針を2004年11月に打ち出し、向こう6年間で5兆円を投資すると発表した。そして将来、全ての固定電話を光IP電話に置き換えるという計画を打ち出している。

これらのブロードバンド・インフラの進展は、図表10に示すような通信と放送の融合による今後の新サービスの創造と相まって、日本のFTTHが世界をリードする勢いであることを示している。そして、3 - 1節で引用した1991年のゴア副大統領の演説<sup>2)</sup>に現れた懸念、すなわち、情報スーパーハイウェイについての米国に対する日本や開発途上国の優位性が現実となる可能性がある。すなわち、

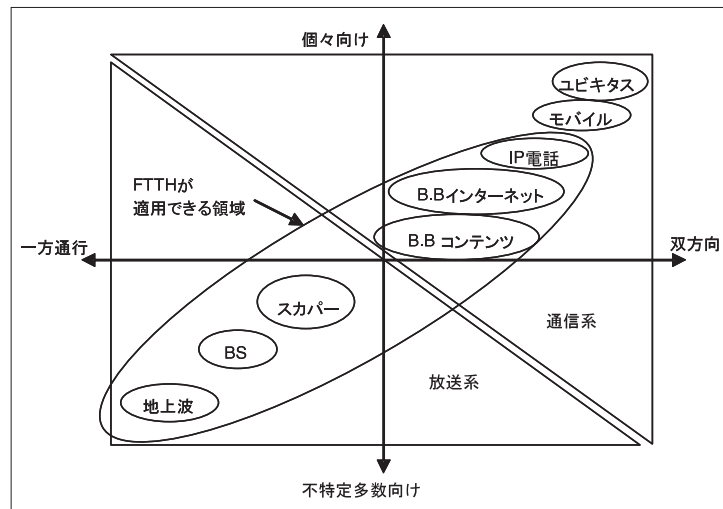
日本のFTTHの加入者数は世界トップであるため、その動向は今や世界の関係者の注目的<sup>3, 16)</sup>になっている。このような現状は、FTTHにおける世界的な国際標準のリーダーシップを日本がこれまで以上に発揮できる絶好のチャンスと見ることができる。実際、映像、音声、データのトリプルプレー・サービスを米国では、既設のCATV(7,400万世帯：普及率：67.7%)で先行的に進めている。しかし、CATVのデータ速度、30Mbpsを100~500の加入者で共有するため、実際のサービス速度が遅くなるという問題がある。これに対し日本のFTTHは、100Mbps~1Gbpsを32、あるい

図表9 FTTHとADSLの加入者数の年次推移



総務省データ<sup>14)</sup>をもとに科学技術政策研究所で作成

図表10 通信と放送の融合：FTTHのサービスが適用できる領域



(株)オプティキャストの資料<sup>17)</sup>をもとに科学技術政策研究所で作成

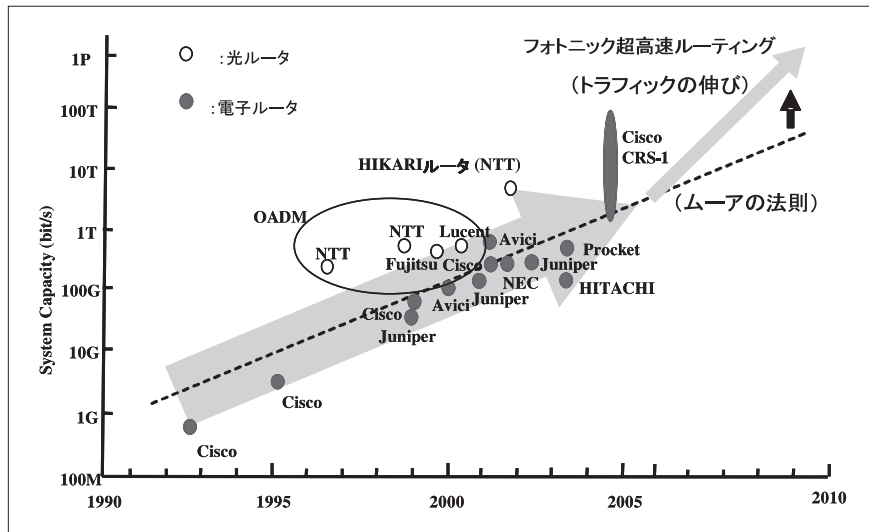
は64加入で共有するため、桁違いの高速サービスを供給できる点で優位となる可能性がある。

また、韓国<sup>18, 19)</sup>、台湾、中国、シンガポール、そして、東南アジアの国々ではCATV網が欧米ほどには普及しておらず、日本の事情と似通っているところがある。そのため、これらの国々ではIPネット上のブロードバンドサービスをFTTH、あるいは、集合住宅向けにコスト的に有利なFTTB (Fiber To The Building) + DSL または、HFC (Hybrid Fiber Coaxial / 光とCATVの混合) で実施する方向があり、日本が東アジア圏でFTTHなどアクセス系の標準化をリードできる可能性が高い。そこでは特に、13億の巨大なマーケットを有する中国との連携が重要である。実際、日中政府主導のIPv6プロジェクト、すなわち、日本からIPv6ルータを提供して中国の教育科学ネットワークに組み込む計画が現在進行しており、北京、上海、広州の各大学拠点に日立製、富士通製、NEC製のIPv6ルータが設置された。そして、日本との接続やIPv6ネットワークの応用研究が展開されている<sup>20)</sup>。アクセス系の標準化の推進についてもこのような実績を活用して継続的に進める必要がある。以上がアクセス系の動向である。

**4 - 3**  
**ルーターボトルネック**

一方、幹線系の方に目を向けると次のような状況である。すなわち、光通信網は、2 - 2節で説明したように、伝送系と交換ノード系に分けられる。伝送系の容量は、前述の波長多重方式により飛躍的に増大した。従って、伝送系の送受信モジュールの市場については、昨年底を突き今年からやや回復基調にあるものの市場の急な立ち上がりは期待できない。しかし、

図表 11 ルータの伸び（2倍／1年半）とトラフィックの伸長に合わせたルータ処理速度の向上



いずれは需要が回復するであろう伝送速度 40Gbps の送受信モジュールの量産化や、160Gbps の本格的な技術開発への挑戦を辛抱強く続け得る企業のみがこの苦しい冬の時代に生き残るといのが大方の見方である。

これに対し、光通信網のもう1つの基本的な構成要素である交換ノードの処理能力を左右するルータ技術の方に目をむける必要がある。電子ルータの処理速度の伸びは、図表 11 に示したように、1年半で高々2倍である。ところが、このスピードでは、1年で2倍の速さで増大するトラフィックの伸び（図表 8）に追従できない可能性がある。それは、前述のように、光に特有の波長多重方式がムーアの法則を越え得るのに対し、電子ルータのスイッチ速度が、LSI回路の性能で決まり、ムーアの法則を越え得ないからである。

一方、図表 11 中の縦長の楕円で示したように、この分野で最近、Cisco社がシステムスループット 92Tbps という驚異的な性能のルータを発表<sup>21)</sup>した。この装置は、数台の電子ルータ間を半導体レーザーと光ファイバを用いた光インターコネクションで繋ぎ、これまでのトレンドを大幅に越える技術開発を行ったものである。この方式

は、従来の電子ルータに光の利点を付加したハイブリッド式とも呼ぶべき方式であり、今後のトレンドとなる可能性がある。さらに、光ルータには、二次元的な波面性を生かした超高速の並列処理（例えばレンズによるフーリエ変換）の可能性がありこの技術にも期待がよせられている。

また、光通信網を含む情報通信機器が消費する電力は、空調設備を含めて現在のところ総電力の約5%に過ぎないが、今後のトラフィックの伸びに因るための通信機器の普及に起因する電力不足の到来が危惧される。このため、低消費電力のシステムを開発することが極めて重要となる。その意味で、光のもつ低消費電力性を生かす技術開発も重要となる。そして、光ファイバ増幅器の登場で伝送系における中継器に光電・電光変換が不必要となったように、交換ノードにおける電子ルータが光ルータに置き換わり、送信側から受信側まで全ての経路で光が光のまま通過する全光ネットワークを実現しようという挑戦的な研究が進行している。

そして、高速フォトニックネットワークの次の通信プロトコルとして、高度な光通信技術力が求められる GMPLS (Generalized Multi



Protocol Label Switching) が国際標準として浮かび上がっている。GMPLSとは、光信号の波長を印にしてルーティング経路を決定したり、制御専用のIPチャネルを用意して実データは光信号のままルーティングする、といった処理を行なうものである<sup>22)</sup>。ルーティングの際に光信号を電気信号に変換してルーティングを行なうのは高速性や省電力性を損なうため、データを光信号にしたままルーティングを行う方式が探られている。以上述べてきた、将来への研究開発課題をまとめると、図表12

のようになる。なお、最近、波長多重方式を越える光通信容量の大容量化や、セキュリティの向上を

目指した量子通信や量子暗号通信などの研究開発<sup>23)</sup>が活発化しているが、紙数の都合上割愛した。

図表12 光通信分野の技術課題

|        | 幹線系   | アクセス系                |
|--------|---|----------------------|
| 通信サービス | QoS、セキュリティ、暗号通信、マルチキャスト、e-コマース、e-政府、トリプルプレー、VOD、デジタル家電、ユビキタス etc. |                      |
| 国際標準   | GMPLS   | FTTH (FSAN)          |
| 交換ノード  | 光ルーティング<br>ハイブリッド<br>0.1 ~ 1Pbps                                  | 電子ルータ<br>低コスト<br>省電力 |
| 伝送路    | 160Gbps & Beyond<br>100 ~ 1,000 波                                 | 低コスト<br>送受信モジュール     |

## 5. 今後の進め方

### 5-1

#### 海外の研究開発動向

一方、米国では、日本と同じような光通信不況にあるにもかかわらず、NSF (National Science Foundation) や DARPA の資金援助により、光通信技術を駆使した研究開発テストベッド、すなわち、10 ~ 20Gbps のような高速の光ファイバ通信網を活用した新しいサービス創造のための官民一体の公的プロジェクトが力強く推進されている。主なプロジェクトを挙げると<sup>24)</sup>、IPv6、マルチキャスト、デジタル図書館などを研究テーマとする“vBNS+”、QoSの検証、セキュリティなどの“Abilene”、光通信技術のグリッドコンピューティングへの応用などをテーマとする“TeraGrid”、IX (Internet exchange) ポイントとなり、かつ、光スイッチや光ルーティングなどの研究を行う“StarLight”など光通信を含む高速ネットワークのサービスやアプリケーションのプロジェクトに重点が置かれている。つまり、光通信のデバイスや装置をテーマとするプロジェクトとバランスの取れたかたちで推進さ

れていることに、特に注意すべきである。さらに、これらには多くの企業や大学が積極的に参加し、産学連携によって研究成果を民間へ技術移転するという商用化のサイクルができています。また、カナダでは、“CA\*net4”という世界初の国レベルの光ネットワークが配備され、e-ビジネス、e-コンテンツ、e-ヘルス、e-教育などのブロードバンドサービスの研究が推進され、しかも欧米の他の研究開発ネットワークと接続されている。

さらに欧州においては、情報通信インフラの公共性を重視する立場から、EUや各国政府が強い指導力を発揮し、QoSやマルチキャストの研究をテーマとする“GEANT”、IPv6をテーマとする“6NET”、相互接続、電子コラボレーション、e-ビジネスなどをテーマとする“SURFnet6”などの新サービス創造型のプロジェクトが運営されている。

そして、アジアにおいても、IPv6や遠隔教育などをテーマとする中国の“CERNET”、QoSやマルチキャスト、IPv6、MPLSなどをテーマとする韓国の“KOREN”、および、“KREONet2”、台湾の“TANet2”、また、シンガポール

の“SingAREN”などが推進されており、これらのテストベッドは全て、米国のいずれかのテストベッドに接続されて国際的な連携での新サービスの実証などの研究開発が推進<sup>24)</sup>されている。

そもそも、長期的俯瞰的立場から見れば、90年代の米国経済の成功の背景には、それまで弱体化していたハード産業のIT化による立ち直りと、従来から優位であったソフト産業とを車の両輪とする推進体制があり、この両輪に乗って長期にわたる経済成長が維持されてきた<sup>25)</sup>。従って、光通信の分野においてもハードだけでなく、米国が得意とするソフトやサービス面での投資の手を止めないのは当然である。

実際、図表13に示したように、光ディスクやパソコンなどのITの産業構造を俯瞰すると、最上位に知識集約度の最も高い頭脳としてのシステムやソフトがあり、心臓部にキーデバイスがあり、末端に共通部品(コモディティ)があるという図式があぶり出される<sup>26, 27)</sup>。この図式では、上に行くほど知的集約度が高く、ビジネスの付加価値が高い。そして、当然、国際標準のリーダーシップとも密接

にからんでいる。このような構造の上位に日本の技術やビジネスがどこまで食い込んでいるかが、これまでの、そして、今後の日本のIT産業の成否を決める指標の1つになるのではないだろうか。

### 5-2 日本の企業の研究投資への支援

以上述べて来たように、光通信技術と産業を取り巻く状況は、バブル崩壊後の数年を経て変化しはじめ、むしろ市場の低迷が底をつき回復基調に転換し始めた模様である(図表6)。それは、バブル崩壊後に、それ以前の伸び以上の勢いで伸張し始めたインターネッ

ト・トラフィックの増大(図表8)を見て、来るべき本格的なIT社会の到来を予測し、投資が徐々に回復しているからと推測できる。

しかしながら、日本の企業にとっては、90年代にはじまった土地バブルの崩壊後の半導体不況、そして、今度は、ITバブルの崩壊の打撃を受け、投資のマイナス要因が相次ぎ、企業の研究投資力が弱体化している。そのため、特に研究フェーズが若くてリスクの大きい研究テーマを継続する余裕がなく、光通信分野を担っていたリソースが他のテーマにシフトするなどの散逸も同時に起きており、将来に不安を残している。

研究フェーズが若くリスクの大きい研究テーマが企業で行われな

くなると、研究開発にとって最も大切な研究者の頭の中にあるべき最先端の研究課題に対する問題意識が希薄となり、画期的な発明のチャンスが失われる。また、最先端技術の潮流の中にある研究開発課題を把握しきれなくなると、これまで最もインパクトの大きかった企業での研究開発に活気が失われ、官や学、あるいは、海外で打ち出された技術イノベーションの実用化段階での受け皿となる能力が失われる。ひいては、先進国はもとより、開発途上国に対してもみじめな敗退を余儀なくされるのではないかという危惧も生じる。

こういう時こそ、研究開発への公的資金投入が不可欠である。これまで、日本が強い国際競争力を保持してきた光通信分野での優位性を今後も失うことのないよう、公的投資の継続的支援が必要である。

### 5-3 わが国の公的プロジェクトの現状

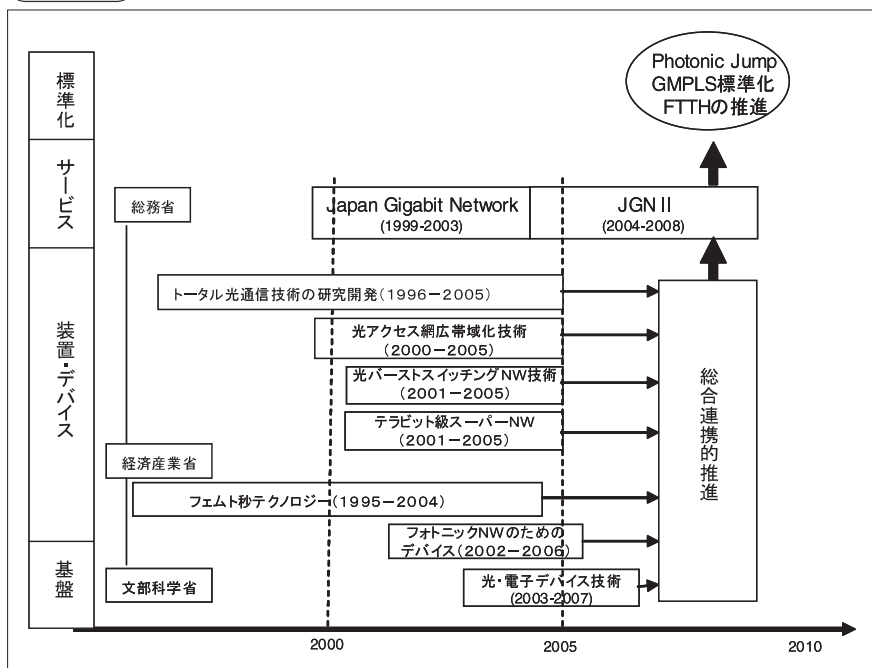
以上の日本を取り巻く状況に対し、わが国では、図表14に示した公的プロジェクトが現在進行中である。この図は、光通信技術の将来の土台となる基礎的な研究、応用としてのデバイスや装置、そして、システムやサービスの研究まで一覧したものである。しかし、これらの研究開発テーマがこれまで日本が得意としてきたデバイスや装置の研究に偏った傾向が見られ、あたかもアメリカで進展するITサービス・ビジネスの需要をあてにした部品供給型のプロジェクトに見える。しかも、ほとんどが、ITバブルのピーク時にスタートし、ITバブルの崩壊とともに来年度で終了してしまうかのようである。

勿論、日本にも世界に誇るべき高速光ファイバ通信技術を駆使したITサービスの研究開発用テ

図表13 ソフトビジネスを頂点とし、部品(Commodity)を底辺とする

|                 | 光ディスク                      | パソコン              | 通信ネット                  |
|-----------------|----------------------------|-------------------|------------------------|
| ソフト、システム(コンテンツ) | 映画会社(ハリウッド)                | Windows(マイクロソフト社) | 通信プロトコルサービス            |
| キーデバイス          | DVDディスク復号器<br>MPEG標準       | CPU(インテル)         | ルータ(シスコ)               |
| 装置              | プレーヤ                       | PC                | 送受信機、サーバ               |
| 共通部品(Commodity) | 光ピックアップ<br>半導体メモリ、回路、メカニクス | メモリ(HDD、DRAM)     | 半導体レーザー、変調器、光検知器、光ファイバ |

図表14 わが国の大型プロジェクトの一覧と今後の進め方



ストベッド：JGN (Japan Gigabit Network) があり、1999年から2003年にわたって推進され、多くの成果を出している。そして、引き続きJGN IIが2004年度より2008年までの予定で(独)NICTによる運営でスタートしている。これは、10～20Gbpsの伝送速度をもつ通信ネットワークの共同利用型の研究開発体制であり、我が国独自の通信サービスや通信セキュリティシステムの開発をめざしている。また、学術研究用ネットワーク「スーパー SINET」が(独)国立情報学研究所によって運営されて

いる。しかし、これらのプロジェクトに参加している機関の多くは大学や公的研究機関であり、企業の参加姿勢にさらなる積極性が求められているのが実状である。

これでは、いつまでたっても、日本の産業は部品屋の域を脱することができない。このような事態は、図表13に示した、パソコンにおけるマイクロソフトの圧倒的な強さや、光ディスクにおけるコンテンツのハリウッド主導などと類似し、米国企業のアジアに対するコモディティ戦略が光通信の分野でも存在しているかに見える。

すなわち、通信の国際標準化の基本となる通信プロトコル、サービス、そしてアプリケーションなどの研究開発やビジネスの拠点が相変わらず米国に存在しており、国際標準のリーダーシップも米国がとっている。従って、いかに部品や装置で日本の技術力を売込んでも、これらをシステムとして動かすソフトや、サービスアプリケーションの力が不足していると、ハード製品においても欧米競合他社との受注戦で敗北の憂き目にあいかねない。

## 6. 結 言

以上の現状認識と将来展望を踏まえ、光通信分野全体の研究開発の今後の進め方について、以下の提言を行う。

ITインフラの基盤をなす光通信産業は、今回深刻な光バブル崩壊の打撃を被った。しかし、鉄道、放送、自動車など技術イノベーションの歴史を見れば、いずれもバブルが発生しており、供給過剰が生じ需要とのバランスが崩壊し不況を招いている。ところが社会ニーズが明確な技術インフラは、バブル崩壊後徐々に社会に浸透し、いつのまにか社会生活になくてはならない基盤インフラとなっている<sup>28)</sup>。そして、最近のトラフィックの急増を重く見て今回の光バブルをそれらの経済現象の1つと捉えれば、一旦下火になったからといって研究開発の火を消すことは得策ではない。そのため、光通信が本来的に公共インフラの性格を持つことを再度確認し、この分野への公的資金投入を続ける必要がある。

資金投入にあたっては、従来のように、単に部品供給型のシーズ優先的研究テーマだけでなく、“JGN II”や“スーパー SINET”

のような研究開発テストベッドを活用した新しい通信サービスの創造という需要創出型の研究開発をセットにし、車の両輪として推進すべきである。そしてこれを力に国際標準化活動<sup>29)</sup>をはじめとする技術とビジネスで世界的なリーダーシップをさらに発揮していくことが望ましい。

アクセス系については、FTTHの加入者数が175万加入を突破し、世界をリードしている状況であり、国際標準のイニシアティブを日本がさらに強化できるチャンスである。例えば、米国では、映像・音声・データのトリプル・プレー・サービスを既設のCATVが中心となって先行的に実施している。ところが日本にはCATVよりもデータ速度が高速のFTTHが普及しており、より優位な通信サービスの創出で差異化を計れる可能性がある。また、韓国、台湾、中国、シンガポール、そして、東南アジアの国々では、CATV網が欧米ほどには普及しておらず、日本の事情と似通ったところがある。従って日本が東アジアの国々と協力してFTTHなどアクセス系の標準化をリードできる可能性が高い。特

に、中国との連携では日中政府主導のIPv6プロジェクトの実績を活用し、継続的に協力することが望ましい。

そして、コンテンツのネット配信市場への展開を阻む原因の1つとなっている著作権問題を早期に解決し、コンテンツ制作者への創作意欲を刺激するなどコンテンツ市場のさらなる活性化が期待される。特に、日本のアニメーションの独創性は世界的に認知されており、ネット配信の普及によってその創作活動がさらに活性化されることが期待される。

一方、幹線系においては、将来のボトルネックが予想される交換ノードにおいて次世代の国際標準として現在進行中の通信プロトコル、GMPLSのリーダーシップを発揮することが望まれる。それには、これまで日本の技術陣が押し上げてきた世界に優位を誇る部品や装置の技術が強固な盾となる。

そのためにも、現在、各省の管轄に分かれて別々に進行しているデバイス開発中心のプロジェクトを、新サービス創造のテストベッドとしてのJGN IIの立場から各々の意義付けを定期的に点検

し、その上で次のプロジェクトの方針を鮮明に打ち出して行くことが望まれる。具体的には、各々のプロジェクトのリーダーを担っている方々が委員となってプロジェクトにまたがる総合的な推進委員会を設置し互いの成果を持ち寄って技術交流し、将来への指針を探るなど、隣接する技術分野の融合、さらには、民間と公的研究機関や大学間の人的交流を従来以上に積極的に行うことなどの施策が期待される。

**謝 辞**

本報告をまとめるに当たって貴重なご意見と資料提供を頂いた、名古屋大学（元 NTT）の佐藤健一教授、(独)NICT の松島裕一博士、(財)光産業技術振興協会の田口剣申博士、(株)日本オプネクストの茅根直樹博士、(株)日立コミュニケーションテクノロジーの坂野伸治氏、(株)日立製作所の尾島正啓博士、同辻伸二氏、そして、同青木雅博博士の各位に感謝します。

**参考文献**

1) 島田、柴田、鳥羽共著：「ブロードバンド時代の光通信技術」新技術コミュニケーションズ社（2004）  
 2) Al Gore：“Infrastructure for the global village”，SCIENTIFIC AMERICAN, Sept. p108（1991）、

山下、川瀬、太田共著；「光アクセス方式」オーム社（1993）  
 3) H. Kogelnik; Technical Digest, Mo1.1.1, ECOC'04（Stockholm）  
 4) (財)光産業技術振興協会編「光テクノロジーロードマップ報告書」（2004）  
 5) K. Tatsuno et al, IEEE, J. of Lightwave Technology., Vol. 17, pp1211 - 1216, July 1999  
 6) K. Tatsuno et al., IEEE, J. of Lightwave Technology, Vol. 21, No.4 , pp1066 - 1070, 2003  
 7) <http://www.jpix.co.jp>  
 8) <http://www.ecom.jp>  
 9) <http://www.storm.com>  
 10) <http://www.artisthouse.co.jp/>  
 11) <http://www.pod.tv/contents/help/gaiyou.html>  
 12) T. Aoyama; Technical Digest, Mo 1.1.2, ECOC'04（Stockholm）  
 13) [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/bunka/gijiroku/013/04110401.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/bunka/gijiroku/013/04110401.htm)  
 14) [http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040930\\_2.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040930_2.html)  
 15) <http://bbpromo.yahoo.co.jp/promotion/hikari/index.html>  
 16) Y. Maeda; Technical Digest, Mo4.1.1, ECOC'04（Stockholm）  
 17) 仁藤雅夫：「オブティキャストの特徴と事業展開」RBB TODAY/SSK 共催特別セミナー（2004）  
 18) Y - K Lee：Technical Digest（CD-ROM），Plenary Talk ,OFC '04

（Los Angels）  
 19) J. Hongbeam：Technical Digest, Mo3.1.3, ECOC'04（Stockholm）  
 20) 尾島正啓：「中国ウオッチング」オプトロニクス, No. 258, 6, 2003  
 21) <http://www.cisco.com/en/US/products/ps5763/>  
 22) 佐藤健一・古賀正文著「広帯域光ネットワークング技術—フォトリックネットワーク—」（社）電子情報通信学会（2003）  
 23) [http://www.ieice.org/jpn/event/program/2004S/html/outline/floor/k\\_202.html](http://www.ieice.org/jpn/event/program/2004S/html/outline/floor/k_202.html)  
<http://www.magiQtech.com>  
 24) [http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/030725\\_4.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2003/030725_4.html)  
 総務省「ユビキタスネットワーク時代に向けた次世代研究開発ネットワークのあり方に関する調査研究会報告書」（座長齊藤忠夫）  
 25) 伊藤元重：“デジタルな経済”日本経済新聞社（2001）  
 26) 立野公男：「科学技術動向」2004年1月号 No. 34 “光ディスク産業の最新動向”  
 27) 立野公男：「科学技術動向」2004年5月号 No. 38 “半導体微細加工装置技術の最新動向”  
 28) 林紘一郎・池田信夫編著：“ブロードバンド時代の制度設計”東洋経済新報社（2002）  
 29) <http://www.yamanaka.ics.keio.ac.jp>

