光通信の特集について

光波は帯域幅に換算すればぼう大なものであり、これを通信に用いることはわれわれ技術者の夢であった。グラハム・ベルは電話を発明した直後に、ホト・ホーンという光波による通信実験を試みているとのことである。

以来、数々の先覚者が光波領域を通信へ応用する技術の開拓を行ってきたが、レーザーの発明につづく低損失光ファイバの実現によって、光通信の実用化への期待が急速に高まってきた。そして今年度は東京都内で数 10 km におよぶ光通信実験が計画されるまでに至っている。その他、画像情報伝送、計測、データリンクなど、光ファイバ通信技術は多方面にわたってその応用範囲を拡げつつある。

このような情勢をふまえて、光通信技術の現状とその応用分野の動向を明らかにするため、光通信の研究のエピソードなどをまじえて、光ファイバ通信技術を中心にして本学会にふさわしい内容を特集したものである。

(編集委員会)

特 集 光 通 信

1. 光通信の歩み

——私の交友録から——

東京大学 生産技術研究所 齋 藤 成 文

1. ま え が き

昭和 52 年 9 月 7 日の新聞各紙が“電電公社来秋より光通信、実用化へ”“光ファイバ・ケーブル、電電公社来秋実用試験へ”などとの見出しで東京都の唐ヶ崎電話局と蔵前電話局間 20 km に光ファイバ・ケーブルを施設し、来秋を目指して実用化試験が行われる旨を報じた。大学を卒業してマイクロ波、ミリ波それに続いて十数年レーザー光技術の研究を曲りなりにも続けて来た私として感慨なしにはおられなかった。

折しもテレビジョン学会の編集委員の方から学会誌として光通信の特集号を探り上げるので、光通信の歴史について書くようのご依頼があった。私自身そのような大きな題目をカバーするだけの能力もなく、また雑用に追われて文献を洩れなく整理する暇もないのでお断りしようとは思ったが、1960 年のレーザー光出現の翌年から、恐らく我が国の電気屋としても最も早くレーザーのエレクトロニクスへの応用に意を尽してきたものとして、何かと書き残しておきたいというのが本心であった。そこで編集委員の方に、ここにあげたように「私の交友録か

ら」という副題を付けさせていただき、1961 年以來見聞して来たこと、自ら行って来たことなど私の渡米・欧日誌や実験ノートをもとにしてエピソードを交えつつ「光通信の歩み」を述べさせていただくようお願いした。このような記事は、あるいは客観性に欠けるところが多く本誌にはふさわしくないかと思われたが、読者の方々に少しは血の通った人間味のある記録としてご興味があるのではないかと自惚れた次第、幸いにもご快諾をいただき、以下思いつくまま述べていただくことにする。

2. 光通信のあけぼのとレーザー光の出現

光通信でまず思い出すのは、私が東京帝国大学の電気科の 2 年に在学していた昭和 15 年は皇紀 2600 年に当り、天皇陛下が大学にお成りになり、阪本先生が鳳先生の協力を得て光通信の実験を天覧に供されたことである。また、いつ頃読んだか忘れてしまったが、亡くなった鯨井先生の想い出集に、先生が昭和 5～6 年頃観音崎灯台の光を利用して東京湾を距てた対岸の保田で光通信の受信装置の研究をされたことが記されていた。

本稿を草するに当って阪本先生に伺って、先生が昭和 4 年大学卒業以来、鯨井先生のご指導で光通信の研究をも続けられ、昭和 12～13 年頃には陸軍の携帯用光通信装置として実用に供されるまでになったこと、また昭和

“1. Optical Communications and I. —From my Diary—” by Shigebumi Saito (Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo)

8年には無線工学講座1巻(共立出版)として「光通信」なる篇をまとめられたことを知った。この本を本郷の電気工学科図書室の保存書庫からひっぱり出して見て、いわゆる近代的な光通信は1880年BellおよびTainterによる太陽などの一定光源からの光を振動板で変調させ、セレンウム管で受信したのが最初であること、わが国では昭和5～6年頃上記の鯨井先生を初め、八木先生、堤先生、それに私事にわたって申訳ないが、亡くなった私の岳父丹羽までが光通信の研究を行っていたことを知ることができた。

私は昭和12年12月大学卒業後ただちに短期現役の技術士官として海軍技術研究所に勤務していたが、海軍でも当時赤外線を利用した艦隊内通信やノクトビジョンの研究を進めており、その前者については第2艦隊司令部付として南方海上にあった時に、その実用状況を見るチャンスもあった。しかし陸海軍とも戦時中のこととて、機密のベールにつつまれてその方面の門外漢であった私はその詳細を知ることもできなかった。戦後は平和日本のこととて軍用として発達して来た光や赤外線通信の研究はまったく影をひそめたというのが実情である。

この状況を一変させたのが1960年のルビーレーザーによるコヒーレント光の発生である。1961年にはネオン・ヘリウムガスレーザー、翌1962年には半導体レーザーとやつぎばやの各種のレーザーの出現は誠に眼をみはるものであった。

私は1961年に2年間のMIT留学後4年ぶりにNY州トロイで開かれたTube Conference(現在のDevice Research Conference)に出席のため渡米してびっくりした。留学時代に私同様マイクロ波電子管の研究をしていた多くの大学や研究所の連中の半分はプラズマ研究に、他の半分はレーザーの研究へと転進しているし、どの研究所でもルビーレーザーをパチンパチン発振させて見せてくれる。ベル研究所では発振したばかりの赤外ネオン・ヘリウムレーザーの装置を見せてくれた。当時は平面鏡を用いていたので、夜間静まりかえった時に精密調整をして実験をする苦心談を聞いた。

光ICで有名なDr. P.K. Tienはマイクロ波電子管のビーム雑音研究の仲間であったので、彼とこれも低雑音増幅器仲間パラメトリック増幅器の発明者として有名なベル研の植之原氏(現在、日本電気研究所長)の3人でレーザーを用いた光通信の将来予測を話し合ったことがなつかしく思い出される。

Raytheon社を訪問した時、MITの研究仲間の一人がルビーレーザー装置の商品化を進めていることを知り、その第1号機を輸入することに決心した。帰国後数カ月して待ちに待ったレーザー装置を手にしてパチン、パチン

ン発振させては得意がってレーザーの宣伝に努めたことを覚えている。研究室の連中と相談して研究テーマを全面的に切換え、「レーザーのエレクトロニクス分野への応用」としたのもこの1961年暮のことである。

当時、観測ロケット事業の一環としてMIT留学以来の低雑音増幅器の研究を行っており、そのひとつとして日本電気からパラメトリックダイオードを試作していた。それはセラミック製であるが、幸いなことにダイオード接触部にガラス窓があいていたので、これにレーザー光を当て、マイクロ波成分を検波し、同時にパラメトリック増幅を行う光検波増幅の研究を始めた。また当時大学院生学生だった藤井陽一助教授が低雑音進行波管(TWT)の研究を行っていたので、光電管とTWTとを組合せた光検波管を試作するなどレーザー光検波の研究を進め、当時としては国際的レベルにあったものか、1963年にはブルックリン工科大学で行われたシンポジウムの招待講演として渡航費持ちの招待を受け、好評を得た。

この時期になるとルビーレーザーは主として大出力装置として加工やレーザーレーダーなどを目標として進み、可視光ネオン・ヘリウムレーザーが安定した連続波光源として広く用いられるようになり、これを用いた上述の光検波管TWTの研究は一転して低雑音TWTにおける電子ビームショット雑音の研究にと変化し、レーザー光計測の応用例としての進展を遂げた。

そのうちに現在電電公社通研でレーザー光通信の研究を推進している木村達也君が大学院に入学して来て、レーザー光の変調の研究を始めるようになった。彼は当時から電電公社の委託学生であったが、レーザー光と公衆通信とはまったく結びつかず、レーザーの研究なんかやっていると電電公社に入ってから損をするから題目を変えてはという話が出るような時代であった。

しかし第2次大戦中に海軍でマイクロ波レーダーの開発に手をやき、戦後も引続いてマイクロ波の研究を通してマイクロ波通信の発展を見て来たものとして、レーザー光通信の将来を信じ、来るべき日のために検波、変調、計測、測定という基礎的研究をじっくり進めるべきであるという信念には変りはなかった。木村君の研究は幸いにしてスタンフォード大学のSiegman教授から賞讃を受けたり、皇太子殿下にご覧に入れるまでになった。

3. 空間伝搬およびレンズ系伝送光通信

上に述べたようにルビーレーザーは米国において、まず歩兵やタンクの測距器用レーダーなど軍用として発達したが、その性質上私は実物を見る機会がなかった。私は観測ロケット、科学衛星など宇宙開発の仕事をしてい

たので NASA のゴダード宇宙飛行センターを訪問する機会が数多くあった。1965 年に訪問した時は人工衛星のトラッキング用のルビーレーザーレーダーを見学した。すでに 1964 年 10 月に打上げられた S-66 Explorer-12 の追跡に成功し、世界的規模のトラッキング網に成長することが約束され、わが国も参加することが勧められた。

またレーザー光通信は大気伝搬路が少ない宇宙通信、特に宇宙機相互間通信としてその有望性が考えられ、NASA では精力的な研究が進められていることを知った。その研究のひとつとして MIROS (Modulation Inducing Retrodirective Optical System の略) がある。これは地上または宇宙機から到来する光をパラボラで集め、そこに送るべき信号で変調された光共振器を置くことにより、変調反射光を逆に送り返すシステムで、1つのレーザー光を用いて双方向通信を可能とするものである。

実は、これよりさき数年前より建設中であった東京大学の鹿児島宇宙空間観測所の 18m パラボラ受信室と 5 km 離れたコリメーション塔との通信に Ne-He レーザーを用いる計画が進められてきた。ロケット実験場の常として電波干渉の問題の多いこと、悪天候の際に使用する必要のないこと、また当時、将来の科学衛星のコマンド用に計画されていた新しい PN コード方式のシミュレーション実験を兼ね得ることなどから採用したものであるが、これに上記の MIROS を新規に考案、付加してレーザー波でコマンドおよび応答の双方向通信を行うことにした。

この装置は日本電気が製作に当られ、1966 年設置以来現在まで科学衛星打上げおよび電波追跡およびテレメータ受信に際しきわめて安定に実用に供されている。また、この装置の紹介はいちはやく 1966 年のミュンヘンで開催された URSI の総会で私が行い、実用装置として評判が高かった。その後も鹿児島観測所を見学された内外の専門家の注目を浴びている。

人工衛星用レーザートラッカーはその後、日立製作所が通産省の補助金を得て試作するに当り、ご依頼により私もお手伝し、東京天文台の古在教授、富田講師の御協力を得て堂平観測所で追跡に成功した。この成果は 1969 年 NASA 訪問の際に報告したが、その後、天文台の先生方、特に土屋助教授などのご努力により大きく改良され、ただに人工衛星追跡用のみならず、月面レーザー反射鏡の測距など国際的な活躍をするとともに、海上保安庁、国土地理院協力による、わが国測地衛星計画の主役を演ずるまでに至っている。一方、レーザーレーダーは東北大稲場教授や電波研究所の研究陣によって大気汚染検出装置として開発が進められて来たことを忘れること

ができない。私共の所でも都市災害に関する臨時事業の一環として CO₂ レーザー、波長可変ダイレーザーによるこの種の研究を進めているが、将来ともレーザー計測として特記すべき分野であることに間違いない。

宇宙通信にレーザー、特に比較的波長が長く、またエネルギーの良い CO₂ レーザー光を利用しようという努力は NASA を中心として 1965 年以来活発に続けられて来た。1969 年には上述のゴダード宇宙飛行センターで CO₂ レーザー通信地上装置を見学することができたし、光学専門メーカーとして有名な Parkin-Elmer 社で宇宙機用大型受光鏡やそのコリメーションシステムの試作装置を見て、NASA の熱意のほどに驚いた。しかしその後、通信分野に対する NASA の消極政策によりいまだに実現を見ないのは残念である。しかし 1980 年から始まるスペースシャトルには欧州で開発されたレーザーレーダーの搭載が決定されているし、大型宇宙構造物建設とともに宇宙相互間または対地間にレーザー光通信システムが主役を演ずる時代が近いことは疑いないところである。

さて、地上間通信としての空間伝搬光通信の研究は、米国において Ne-He レーザーの他に短波長のイオンレーザー、赤外 CO₂ レーザーについて幅広く行われ、隔年ごと交互に開かれる IQEC, CLEA 国際会議に数多く発表されている。わが国においても上記鹿児島宇宙空間観測所に設置のレーザーコマンド装置を用いた実験結果の他に、電波研究所、日本電気(株)研究所などで始められた。特に日電では本格的な光通信 FM-IM システムを用い 250m のビルディング間通信実験が 1966 年に行われ、以来、世界的レベルの研究成果をあげて来た。フランス留学帰りの内田君が中心となって精力的な研究が進められ、1969 年には日電玉川工場と横浜工場を結ぶ 14 km の PCM-IM Ne-He レーザーシステムの通信実験を行い、私も何度か見学する機会があった。

これより数年前より腰の重い電電公社もやっとレーザー光通信の調査研究を開始し、その窓口には平野順三氏が当たった。彼は東大第二工学部の私の研究室で卒論をやった間柄なので、通研から私共への委託研究を通じて、光通信の将来を論じ、またレーザー光を光としてではなく電磁波的高周波技術の延長として前述の基礎技術からじっくり進める方式をとって来た。この点はいまでも誤りではなかったと思っている。

1970 年 3 月には電電公社が日本電気の協力を得て霞ヶ関ビルから 2 km 間 244-Mb/s PCM-IM Ne-He レーザー空間伝搬通信システムの実験が開始され、同年京都で行われた IQEC おいても発表された。また、これと時を同じくして大阪で開かれた万博会場には電電公社パビリオンに FM-IM Ne-He レーザー光によるテレ

ビ伝送システムが展示され、内外の専門家の注目を浴びた。私は IQEC 実行委員の一人として参加者をここに連れて行ったことを覚えている。これら空間伝搬システムについては上記内田、平野両氏の協力を得て、1972 年 8 月の IEEE, Trans. Comm. の日本の通信特集号の中で私が紹介を行っている。

空間伝搬方式は大気状態を補償する方法など、現在なお数多くの研究が行われており、また特殊な近距離通信や対宇宙通信には用いられよう。

大気環境に影響される空間伝搬方式に対して、レンズ系伝搬方式やガスレンズ方式などが考案された。後者はベル研究所の Crawford Hill 研究所のミリ波導波管方式の研究を担当していた人々によって考案されたもので、1965 年訪問した時にミリ波導波管施設を利用して地下室内に設置されたガスレンズ系の実験を見る機会があった。またレンズ系伝送は基礎研究として興味の深い題目であるので、東大生産技術研究所の千葉実験所に 1967 年に 100m の半地下トンネルを作り、各種のレンズ系を組立てて伝送実験を行った。主として藤井助教授が担当されたもので、学生実験としても良い材料となった。しかし、これらはいずれも実用という見地からはほど遠いものとして消えて行った。

4. 光ファイバ通信と光 IC

いままで述べたような光通信模索時代を経て、play boy と悪評の高かったレーザーが実用化できる明るい見通しを得たのが、ここに述べる光ファイバ通信システムである。マイクロ波、ミリ波と研究を進めて来たが、私がいつもいっていたのは、高い周波数に進むに従って波長も小さくなり、実験設備はそれに比例して小型になって来た。それに対して波長数千分の 1 にもなるレーザー光の実験装置が Ne-He レーザー装置といい、レンズ系といい、ミリ波装置とは比較できぬ大型なのは何としても理解できぬ。波長の単位でいえば通常のレーザー実験装置はマイクロ波でいえば東京・箱根間、あるいは東京・大阪間にも相当するわけで、こんなものは実用通信装置になるはずがないということであった。

この疑問に答えてくれたのが半導体レーザーであり光ファイバであり、光 IC である。半導体レーザーは 1962 年 MIT のリンカン研究所と GE の研究所でほとんど同時に発明されたが、パルス発振かまたは連続波を得るには液体窒素冷却を必要としたので特殊用途に限られ、実用面では問題にならなかった。特に有望視されていた GaAs ダイオードにしても、スレシオード電流値が高く常温作動は絶望的であるといわれていた。

この難問を解決し、常温連続発振の半導体レーザーを

開発したのがベル研究所の林敏雄氏（現、日本電気研究所）で、1970 年のことである。その翌年に私がベル研究所を訪問した時、研究所内の彼の仕事の評判は大変なもので、当時ベル研にいた黒川兼行君（前東大助教授、現在、富士通研究所）に紹介されて林さんにお会いしてみると、私が戦時中の海軍時代からの既知とわかって、つもの話に花が咲いた。彼はその人柄がにじみ出る話方で GaAlAs 層を用いた DH 接合半導体レーザーを考案するまでの苦心談を話して下さった。彼の仕事なかりせば今日の光ファイバ通信はあり得ぬというも過言ではない。しかし彼のこの仕事にも大きな落とし穴があった。その寿命がいかにかにても短い。数分から数時間という短命のものすらあり、一時は非観論すら出る有様であった。

しかし、これもその後帰国して就職された日本電気研究所において彼自身のグループと、彼が残して来たベル研究所のグループが互いに独立に原因を究明、それぞれの方法で長寿命化に成功した。両者の発表は、1973 年の CLEA 国際会議上で同時になされた。これについては後にも触れよう。

私が光ファイバを見たのは 1961 年サンフランシスコのカウハウスで開催されていた IEEE WESCON の展示会場である。それ以前にもごく一部には実用されていたらしいが、米国の一般の電気屋さんにも珍らしいものとみえて、光ファイバの実物と各種の実験例の展示場は黒山のような人だかりで、大変な評判であった。もちろんこのファイバが 10 数年後に光通信伝送路の本命になるとは何人も想像しなかったが、やがてわが国でも市販になり、ファイバスコープとして胃カメラやオシログラフに使用されるようになった。われわれも送電線高電圧電流計測用レーザー PT, CT の開発に当って 1964~5 年頃光ファイバー束の利用を考え、偏光面測定を行ったことがある。

光ファイバを含めてその断面ディメンジョンが波長の数倍~数十倍程度の光伝送媒体の理論的検討については 1965 年以降東北大学の西沢、川上氏が世界的なパイオニアとしての仕事をなされている。その論文はこの分野におけるその後の進展に大きな影響を与えているし、またその他にも当時東北大学におられた喜安さん（現、ティアック（株））が阪大の熊谷さんと活発な討論をなされていた電子通信学会の会場のことをなつかしく思い出す。

損失が多くて光通信の伝送路としては顧みられなかった光ファイバが低損失になる可能性を 1966 年に英国の STL の Dr. Kao が予測した。そして 1970 年にコーニングガラス社の研究陣が 20 dB/km という当時としてはまったく驚異的な低損失の光ファイバを実現した。当時、従来の光学ガラスの損失の原因を徹底的に追究して

低損失化に努力していたベル研究所のグループは、コーニングガラス社に先を越されたことに大きな衝撃を受け、研究マネジメントの反省の材料としたと聞く。

以上の光ファイバは石英ガラスを主体とするステップ型であるが、これより先、日本電気研究所の内田君のグループと日本板ガラス(株)の研究陣が多成分ガラスを用いたグレーデッド型光ファイバを開発し Selfoc の商品名で発表した。これはコア内の屈折率分布がパラボラ状であるので、電子管の周期磁界と同じように光束の自己集束特性を持っており、したがってディスページョンが少なく広帯域伝送に適するとともに、伝送路以外にも微小レンズなど広い分野への応用が考えられたので、発表当時から大変な評判であった。1969年のCLEAには私も出席していたが、このSelfocの発表の時は会場が満員になり、活発な質疑が交されるなど、大きな反響を呼んだものである。

このように光ファイバが光通信伝送路としては可能性が疑いない状況になってからの世界的な開発研究の進展は誠に目覚ましいものがあった。わが国でもSelfocの他にステップ型光ファイバについても電電公社の通研や電総研、それに電線メーカーなどで低損失化の開発研究が活発に行われた。

4年ぶりに私が出席した1973年のCLEA国際会議は光ファイバ通信方式の発達史上きわめて有意義なものであった。当時、東大の科学衛星を初めとして、わが国の宇宙開発計画に東奔西走してレーザ関係の会議にはしばらく御無沙汰していたが、たまたま国連の宇宙平和利用委への出席と仏領ギアナのロケット発射場見学のために出張した機会を利用して出席したCLEAにおいて、次に述べるような発表が行われたことはまったく幸運という他はない。

まず、さきに述べた半導体レーザーの寿命に関しては、日本電気およびベル研究所からつづけて独立した2つのpaperとして発表された。レーザー活性領域の結晶欠陥(Dark spot defect)が動作中に急速に線状の結晶欠陥(Dark line defect)に成長してレーザー作動が急速に劣化して行く様子が顕微鏡写真を用いて示されたが、それが期せずして日米両研究所でまったく同じであったのには参会者一同驚いた。しかし、よく考えてみると、前にも記したように、この2つは林さんが残して来たグループと、帰国して彼自身がリーダーとしてやった仕事なので、劣化原因の追究手法やその結果が同じなのは当然のことである。しかし、これが対策については日米別々の方式がとられ、いずれも発表当日で数千時間を越えていたのには皆舌をまいた次第である。すでに2つのグループは別々の途を進んでいたわけである。いずれにしても悲観

論さえあったDH接合AlGaAsレーザーの将来を疑うものがなくなったのはこの時以来である。

光ファイバについても日電・日本板ガラス(株)からの新型Selfocについて損失も20dB/kmを得ていること、コーニング社、ベル研究所からもステップ型石英ガラス・ファイバで損失を使用帯域で5dB/kmにも低下させるのに成功したことや、PCMパルスを用いたディスページョンの実験結果などが発表された。また半導体レーザーと光ファイバを組合せたPCM光通信システムの試作結果なども数多く発表され、ここにこの方式が少なくとも第1世代の光通信システムとなるであろうことは確実というのが、このCLEAに参加した私の友人すべての一致した意見であった。

会議のあとで訪れたベル研究所でも、いままで主としてミリ波装置の開発を担当していた黒川君も光ファイバ通信システムを開発部門として開始するなど、従来HolmdelやCrawford Hillの基礎研究部門だけでやっていたこの方面の研究開発が実用に向って組織化されて来ていた。そして半導体レーザー、光ファイバ、光検波ダイオードからなる光通信システムは、きわめて単純で、構成要素すべてがすでにそろい、もう礎基研究としては何も残っていない状況であり、いまは実用化開発のステップであるとの意見であった。

この時Murray Hill研究所の地下室で光ファイバを試作している現場を見学したが、前年、電総研で開発した純粋石英ガラスをコアとし、逆にクラッドに不純物を加えて屈折率を下げる方法が高く評価されていることを知った。

また、この時のCrawford Hill研究所のDr. Leeとの真剣な討議も忘れることができない。0.8 μm のGaAsレーザーの次のレーザー光源として、石英ガラス光ファイバの特性上その低損失が予測される波長帯1.06 μm の小型Nd:YAGレーザーの研究や、後に述べる光ICなど、いわゆる光りもの関係がベル研究所の主要研究題目のひとつになっていた。

1973年以降の光ファイバ通信システムブームについてはあまり触れる必要がないほどである。前記の日本電気はもちろんのこと、富士通、日立、東芝、三菱などの各社は次々に独自の形式の半導体レーザーを開発し、その寿命も1万時間からもう1桁高いものと推定されるまでに至っている。

また、光ファイバについても日電・板ガラスの多成分ガラスSelfocの他に、多年真空管ガラス材料、人造結晶研究に実績をもつ東芝総合研究所が多成分ガラスファイバの低損失化の研究を進め、実現が困難視されていた数dB/kmという低損失値を得るまでに至ったことは流

石である。

また光ファイバ通信システムをその重点開発項目のひとつに採り上げた電電公社を中心とする研究開発の成果は眼を見張るものがある。特にケーブルメーカーの協力のもとに行われた電電公社3研究所の光ファイバの低損失化、ケーブル実用化の開発成果ならびに各種光通信方式の系統的理論ならびに実験成果は世界に冠たるものである。この間の事情は1977年7月に東京で開催されたIOOC '77のプログラム委員長を務めた私が、米国を含めた諸外国からの一流論文と国内からの論文とを公平なreviewerの評点を通じ比較するとともに、世界各国の一流研究者がわが国の研究開発の実情を見聞せんものと多数来日したことなどから事実として知った次第である。

この間、ケーブル3社といわれる住友、古河、藤倉各社の光ファイバケーブル試作の現場を拝見して、数百年の歴史をもつ従来のガラスレンズ光学とはまったく別個に、光学技術者の手を借りることなく、CVD法や気相ベルヌーイ法などの半導体製造技術を応用したエレクトロニクス工業の一環として発展したことを痛感した。DH接合半導体といい、光ファイバといい、いずれもトランジスタから出発した半導体工業という新しい技術の幅広い偉大な面を見ることができたと感じた。

光ファイバケーブルが製品として完成すると、従来の銅ケーブルと外観上はまったく区別がつかない。ケーブル屋さんが眼の色を変えて光ケーブルの開発に力を入れるものなるほどと思われるわけで、多額の開発費をかけながらその利用の途の限られているミリ波導波管に比して、多種多様の用途が予見される光ケーブルこそは次代を担うチャンピオンとの予期を持たれているのも当然である。

本文の冒頭にも述べたとおり、来年から電電公社の公衆通信として光ファイバ通信システムの実用化試験が開始されるが、現在すでに地域有線テレビ放送や電力会社の専用通信回線として実用化試験も進められている。IOOC '77でもその成果が発表され、また現場見学が行われ参加者の多大の関心を集めた。

わが国の電力会社はエレクトロニクスの新しい技術を採用することにかけは世界一である。マイクロ波通信を電電公社の公衆通信より数年さきかけて採用、実用化を行ったのは東北電力(株)を初め、電源開発(株)、東京電力(株)などの電力会社であり、また電力線搬送システムも世界一である。これは通信機器メーカーの優れた技術力に負うところが大きいが、電力会社や関連研究所にすぐれたエレクトロニクス技術者が多く、その卓越したシステム計画によるところ大で、この点は電力事業に

オペレータエンジニアしかおらない米国などと大いに事情を異にする。

私は過去25年、電力会社にお手伝いをしてパワーエレクトロニクスの発達の一助に尽して来たものとして、東北電力でマイクロ波通信を実用にした植田さん、電力線搬送レーザーCTなど協同研究をやって来た東京電力の大野さんや電力中研の中村宏さんなど、この間おつき合いました数多くの技術者を思い出して、この感が強い。

光ファイバ通信システムは電磁気的な誘導障害を受ける恐れの小さいこと、接地の問題がないことなど、電力事業用の通信にきわめて適当なものといわれている。この特長を活かして東京電力および関西電力の2大電力会社がいち早くこの通信システムの実用試験を実施されたことは賞讃に値する。特に本特集にもある東京電力の青木氏は私の旧知の友人で、今後の広範囲のレーザー通信の電力事業への実用が望まれるだけに、その健闘をお祈りしたい。

半導体レーザー、光ファイバ、光検波ダイオードからなる最も簡単な光通信システムは、第1世代を代表するものとして上述のとおり実用の段階に達している。しかし、外部変調を必要とするレーザー光源の多重化、光回路の分離、結合、スイッチングや周波数分離用のフィルター、さらには光増幅などが必要となる第2世代の noble な光通信システムには、従来の電気回路と同様、集積回路技術を用いた光 IC (Optical Integrated Circuit) が不可欠となる。光 IC 回路のアイデアは光ファイバの理論と同様、レーザー光の出現間もなくより各所で出され、特に薄膜を取扱う半導体関係者の関心を呼んでいた。

私が光 IC の実物を見、実験結果の話聞いたのは1969年ベル研究所を訪問した時、Dr. Tien からであった。当時、私の研究室の大学院学生だった岩本君(現在、東芝総合研究所)が電子ビームのレーザー光を用いたショット雑音軽減係数の測定を行い、またその計算機シミュレーションをやって、Dr. Tien が十数年前にやった計算と結果が異なるので、その討論を行った時のことである。彼はこの問題に適確な返答ができなかったのに気が引けたのか、とって置き話として未発表の半導体を用いた光薄膜導波路の実験の話をしてくれ、その回路的模式解析や結合器の概念がわれわれ2人のかつての共通の研究題目であった TWT 回路のそれと同じであることを話し合った。その後 Dr. Tien や Crawford Hill 研究所長の Dr. Müller がこの光 IC で活躍していることは衆知のとおりである。

私は光 IC の将来性を確信して、帰国後各方面で光 IC 研究の重要なことを説いてまわったが、私を知る限りでは光 IC を自ら試作し、立派な成果を最初にあげた

のが東工大の末松さんである。彼は私が 20 数年前 MIT で電子ビームの研究を行って帰国後、東大工学部の岡村さんなどと電子ビーム懇談会と名づける勉強会に東工大の大学院学生ながら、有力メンバーとして参加し、お互いの年令も忘れて喧々がくがくの討論を行った仲間である。彼はその後、光 IC のみならず、半導体レーザー、光ファイバと光通信の広い分野で活躍し、現在、世界的な業績をあげていることは衆知のとおりである。

光 IC の将来については、トランジスタが LSI に発展したように、また簡単なマイクロ波受信素子が MIC 化したように、その必然性を疑う余地はない。しかし、どのような材料で、どのような素子から成り、どのような用途にどのようにして用いられるかは不明である。そして光 IC 化された第 2 世代の光通信システムが、どのような姿になるかも今後の課題である。そして、この無限の可能性を信じて各方面の内外で活発な研究が行われているのが現状である。

本稿を書く数日前に、たまたまマイクロ波ならびに光 IC の専門家である旧知のパークレイにあるカリフォルニア大学の Prof. Whinnery と光 IC の将来について話す機会があった。彼は金属、酸化物、金属 MOM 接合を用いた Optical Transistor と呼ぶ素子を開発して光増幅を行う夢をもち、その一部をすでに試作していることを熱っぽく語ってくれた。

私は光アナライザーに熱をあげている。もう 25 年も前に電電公社通研の第 1 回の委託研究としてマイクロ波誘電体測定装置を開発し、回路の周波数特性の精密測定に力を注ぎ、及ばずながらその後のマイクロ波通信の発展の基礎に貢献した経験がある。夢よう一度というわけではないが、光 IC の将来の発展には精密な時間ならびに空間周波数特性測定の開発がきわめて重要であると信じている。電気的に M-GHz 帯までの細かい周波数分離ができるようになれば、Å オーダーの機械的精度に相当するし、将来の光 IC にはこのようなものが必要となると考えられるからである。1973 年の CLEA に展示してあった電気的可変波長ダイレーザーを輸入して以来、この方面の研究を進めている。

5. む す び

以上、思いつくままに私の研究ノートや渡米日誌などから光通信の歩んで来た途を記して来た。私事になったり、主観的になり過ぎたことを恐れている。しかし私が

常々若い卒業生や学生諸君にいつているように、光通信という通信史上大きな新システムの創生期に当って、その一端の開発を荷う機会に恵まれた方々はまったく幸福な星の下に生れた人々で、研究者冥利につきるというべきである。本文が広い分野にわたる読者の方々、特に若い方々の多少なりとも参考になり光通信に興味をもたれ、さらにいっそうのご協力を頂くことができれば筆者の望外の幸いである。

確かにわが国の光ファイバ通信の研究の現状は欧米をも凌駕して世界第 1 級にまで発展している。しかし本文を御覧になれば明かなように、バイオニア的研究がわが国から発足した例は多くはない。若い研究者の方々が Entirely New なアイデアを続々と出され、さらに第 2 世代の光通信への途に貢献されるよう願うものである。

最後に、光通信の基礎をなすレーザーについて筆者が御世話になった東大理学部で霜田教授、亡くなられた日本電気の原島治博士の御名前をあげたい。霜田さんは私の海軍時代からマイクロ波の仕事と共にして、現在、量子エレクトロニクスの世界的学者であり、原島さんは 1965 年から電子通信学会量子エレクトロニクス研究専門委員会の初代委員長を務められた方で、電気関係者のまとめ役であったし、御縁で私の別の仕事である科学衛星についても大変お世話になった。ちなみに同委員会の委員長は私、東北大の稲場さん、現在の東工大末松さんと続いでおり、1973 年に光量子エレクトロニクス委員会と名前を変えている。また現在、電電公社の技師長として光通信実用化の指揮をとっている小口文一氏も忘れることはできぬ人である。彼の大学院特研生時代から共にマイクロ波、ミリ波、そしてレーザーと研究開発を行い、その過程で委託研究を通じ大変お世話になって来た私として、わが国の光通信の将来は彼の双肩にあると信じ、心からの声援をおくりたい。

(昭和 52 年 11 月 16 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 阪本：光通信，無線工学講座 1 巻，昭和 8 年，共立出版
- 2) S. Saito: Optical Communication in Japan, IEEE Trans., Com-20, 4, Aug. (1972)
- 3) 末松：光集積回路，信学誌，55, 9 (1972)
- 4) 斎藤ほか：オプトエレクトロニクス特集，信学誌，56, 4 (1973)
- 5) 小口：今後の無線通信と光通信，信学会光・電波部門全国大会特別講演予稿
- 6) 野田ほか：光ファイバ通信小特集，信学誌，59, 7 (1976)
- 7) 斎藤ほか：光ファイバ伝送の基礎 I，信学誌，60, 5 (1977)