

電 気 技 術 史

The History of Electrical Engineering

Newsletter

令和 元年 5 月 13 日発行

(一社) 電気学会 電気技術史技術委員会

http://www.iee.or.jp/fms/tech_a/ahee/index.html

CONTENTS

- ・光ファイバ通信・未踏テラビット
伝送への道 荻田和男 p.1
- ・わが国の産業技術関係の
遺産制度 石井 格 p.3
- ・INFORMATION
- ・80 回研究会論文募集 p.3
- ・78 回研究会報告 p.4
- ・79 回研究会案内 p.4

光ファイバ通信：未踏のテラビット伝送への道

荻田和男 NTT エレクトロニクス 代表取締役社長

光ファイバ通信の歴史を語るには非才ではあるが、故 Dr. Charles Kao や故島田禎晋博士が創造し、切り拓いてきた光ファイバ通信の潜在能力の開拓の歴史に触れながら、果てしない道のりのように思えたテラビットが、200THz の電磁波として光ファイバ中を中継増幅しながら社会基盤として、デジタル時代の様々な応用の分野を支え、太平洋まで橋渡しをする伝送能力を示すに至る半世紀の歴史を振り返ってみたい。

もともと可視光は人間が優れた強度検出器であり変調もでき、色も識別できたので、手を振ったりして日常的な通信手段として活用されてきた。1960 年にレーザの発明により、人工光による通信の可能性への研究が始まった。1966 年に、英国 STL の Dr. Charles Kao が、媒体として無線空間ではなく有線での可能性について提唱し、具体的な基礎データに基づき単一モード光ファイバの潜在能力を発表し、唱道に努めた。1970 年は、コーニング社が光ファイバの伝搬損失 20 dB/km を達成、時を同じくして GaAlAs 半導体レーザの室温連続発振に成功し、エポックメイキングな年となった。

一方で、1970 年代は、海外と同様に、同軸ケーブル伝送有線方式とマイクロ波伝送無線方式が基幹伝送方式として日本電信電話公社（以下電電公社）の国内ネットワークを繋いでいた。しかし、本格的な電話サービスさらなるデータ通信の普及には、どちらの方式にも限界が見えてきていた。例えば、同軸ケーブルで東京大阪間を 400Mb/s で繋ぐ



左列中央：Dr.Kao、向かい島田禎晋博士、一番奥筆者

のに、平均 1 km 間隔で道路下のマンホールに中継器を配備しなければならず、600 台もの規模になった。新たな有線伝送方式としては、ミリ波導波管伝送方式が本命と考えられていたが、導波管の敷設には作業性の点でも構造的にも拡張性に課題が残った。

そのため、新たに取り組まれている光ファイバ通信への期待が徐々に高まっていた。特に、1974 年の AT&T ベル研究所が MCVD 法で達成した 1.1dB/km の光ファイバ製造技術は、性能と製造性に優れており、光ファイバ通信方式を次世代通信方式の先頭に押し上げた。電電公社電気通信研究所は 1978 年に初めてマイクロ波の中継距離であった 50km 越えの伝送に成功し、既存方式に容量と中継距離で追いついた。さらに、1983 年には、単一モードファイバと単一縦モード半導体レーザを用いて、1.6Gb/s・40km の伝送に成功し、光ファイバ通信の優位性が確立された。電電公

社は、1980 年頃には単一モード光ファイバケーブルの導入を決断し、日本全国に単一モード光ファイバケーブルの敷設が始まり、1985 年には日本縦貫ルートが開通し、旭川から鹿児島まで 400Mb/s で繋がることで、日本の基幹ルートが光ファイバ通信に置き換わった。さらに、1.6Gb/s に増速され、1.5 μ m 帯を利用した 80km の中継方式に拡張されて、マンホールに中継器を収容することなく、NTT の局舎を繋ぐことが可能になった。これは、容量と中継距離のどちらも有線無線の既存システムの数値超え、その後は光ファイバ通信方式が社会インフラの基盤を支えることになる転換期であった。同時に太平洋を横断する海底中継システムでも伝送能力の高さを活用して、同軸から光ファイバ通信システムへの世代交代が進んだ。これらは、第一世代とも言われ、広く世界に普及している。一つのファイバに半導体レーザと受光器の組み合わせで送受信器を構成したもので、レーザのオンオフで 10Gb/s を超える高速の信号を伝送できる極めて簡便なシステム構成で、現在でも光ファイバ通信方式の基本構成になっている。

1990 年代に入ると、光の周波数や位相、さらには光直接増幅技術を使って伝送能力の拡大を図ることが大きな注目を浴びるようになった。中でも、1989 年に NTT 研究所により初めて光ファイバ増幅器による中継伝送実験の成功は、Kao 博士が予見した光ファイバ通信の可能性を大きく膨らませる展開となった。EDFA（エルビウム添加ファイバ増幅器）は、利得が 20dB 以上、帯域が 5THz を超える。それに加えて、出力を 1W 程度まで出すことができ、飽和領域で使っても、変調信号に歪みをもたらさない理想的な初めての中継増幅器であることが明らかになった。

それは、10mW の異なる波長の信号を 100 波束ねても歪まずに、1W の出力が得られるということで、伝送容量の飛躍的な拡大能力を提供した。当初、4 波もしくは 8 波で、トータル 10Gb/s から 80Gb/s 程度で導入が始まった。第一世代が、光と電気信号の変換を繰り返しながら中継していたのに比べ、光信号のまま中継増幅できるようになり、大都市間を光信号で直接結ぶ光パスが構成できるようになり、トータルコストの劇的な削減をもたらした。その結果、マルチメディアサービスの拡充を促し、電話に加えてデータ通信が広がり始めた。それでも、1990 年初頭は、NTT 全体の通信容量が 100Gb/s 程度であったので、この性能は十二分にまかなえると予想していた。一方、北米では敷設ファイバの本数が少なかったため、光増幅中継は同時に多波長送れるため容量拡大に有効であり、2000 年を目前に、積

極的な展開が始まった。同時に新興キャリアの大量ファイバ敷設も加わったため一種のバブル状態となり、価格が暴落した。この時期は、インターネットの普及とも重なり、2000 年代頃には急速に普及の引き金となった。

当初は、ネットワークへの接続端末としてパーソナルコンピュータが中心であったが、家庭に繋がるアクセス回線も ADSL、ケーブル TV、さらに FTTH（光ファイバ）が加わり、伝達の手段も文字から映像に移っていった。端末の進化は止まらず携帯電話がコンピュータなみの性能になるとクラウドコンピューティングと呼ぶセンターと端末でデータを常時シェアするサービスが驚くべき規模で普及し、基幹回線の容量のさらなる進化が求められた。気がつくと波長多重の数は、ほぼ 100 波となり、1 波に 10Gb/s を乗せて、1Tb/s が一本のファイバで送っても、すぐに埋まってしまいう時代となった。光増幅中継による波長多重伝送の時代がコスト削減効果が大きくブロードバンドサービス普及の屋台骨を支えた。光増幅と波長制御に支えられている時代で、第二世代と位置づけられる。

2010 年前後から、ほぼ光ファイバ増幅器の帯域を使い切ったので、もう一つのカードだったコヒーレント変調により周波数利用効率を高めることへのチャレンジが始まった。光デバイスは単機能で最適化されていたため複合変調への移行には集積化の課題があった。一方で、LSI 技術はムーアの法則のトレンドを維持し、高集積と高速化を進めていた。無線方式並みの光源の 8 桁以上の安定度を 200THz では達成が困難と判断し、100Gb/s を超える QPSK・16QAM など光信号をコヒーレント検波で受信し CMOS-LSI で 50Gbaud の信号の揺らぎや歪みを補償、さらに誤り訂正処理することで、400Gb/s の伝送速度で、50 波束ねて 20Tb/s を送るまでに至った。

コヒーレント検波と高度なデジタル処理により、ファイバ伝搬時の歪みをアダプティブに補償できる。周波数利用効率は、1 波長のみを送っていた時代、さらに初期の波長多重時代に比べ 100 倍以上の 4bit/Hz にまで至った。光ファイバの性能の潜在能力を利用してシンプルなシステム構成で高速性を実現した光通信の歴史で、物理限界に当たり信号処理と組み合わせて克服した点において、現在も進化中であるが第三世代と呼ぶことができる。

研究現場では、さらなる容量拡大と機能の進化に取り組んでいる。マルチコアファイバや位相感応光増幅などについても、世の中のニーズと相俟って社会の発展に寄与する日がいずれ来よう。

わが国の産業技術関係の遺産制度

石井 格 (国立科学博物館名誉研究員)

わが国の科学技術・産業技術は、明治維新以降、高度成長期までは欧米に追いつき追い越すことを目標にして、より新しいものをより安くより多く作ることを目指してきたと言える。それを実現するためには多くの人の多大な努力が払われてきた。それは決して欧米の物まね・後追いだけではなく、多くの開発者の独創性豊かな発明や創意工夫があった。その一端は、2019年3月初めまで国立科学博物館で開催されていた特別展「日本を変えた1000の技術博」にも見ることができる。しかし、ひたすら前を向いて走ってきただけにやむを得ないとも言えるが、これら過去の努力の足跡を後世に残そうという試みは少なかった。

けれども2000年代に入って、わが国の先人の過去の努力や成果を見直そうという気運が各方面で高まり、各種学協会や団体が技術関係の遺産制度を発足させている。

これらには、毎年継続して選考・認定しているものだけでも例えば、

産業考古学会の「推薦産業遺産」1985年創設

土木学会の「選奨土木遺産」2000年創設

日本機械学会の「機械遺産」2007年創設

国立科学博物館の「重要科学技術史資料(未来技術遺産)」2008年創設

日本電気学会の「でんきの礎」2008年創設

情報処理学会の「情報処理遺産」2008年創設

日本化学会の「化学遺産」2010年創設

などがある。

このほかに不定期に認定している制度もあり、例えば、

日本建築学会の「歴史的建築物データベース」

日本航空協会の「重要航空遺産」

日本船舶海洋工学会の「ふね遺産」

電子情報通信学会の「電子情報通信学会マイルストーン」

日本分析機器工業会と日本科学機器協会の「科学機器・分析機器遺産」

などがある。

これら多くの遺産認定制度は、ほとんどが具体的な事物、それも現存しているものを認定対象としているが、本 Newsletter の読者になじみの深い電気学会の「でんきの礎」は、「モノ」だけでなく「こと」「人」「場所」を認定対象としていることが特徴である。例えば「でんき

の礎」第1回認定の中には、「モノ」としての世界初のインバータエアコンなどに加えて、「場所」として秋葉原駅周辺の電気街が、「人」として志田林三郎が、「こと」として電力系統安定化技術が、それぞれ含まれている。

筆者は、国立科学博物館の「重要科学技術史資料」制度やいくつかの学協会の遺産認定制度に関わってきたが、歴史上重要なエポックであっても、実際の事物が現存していない場合も少なくない。そのような場合にそのエポックを伝えるためにどうするかは悩ましい問題であるが、電気学会の取り組みは一つの参考となろう。

情報処理学会の「情報処理遺産」では、個別のものを認定しているだけでなく、資料を収集展示している施設を「分散コンピュータ博物館」として認定している。

また現物について、保存は劣化・減損との戦いの面がある。自動車や航空機の保存では、動態保存と称して劣化・滅失した部品を交換・新造して動かせるようにすることが広く行われ、極端な場合には外観のみを維持して内部は全く新しくしている場合すらもある。それ以外の機器でも壊れた部品を修理し外観を磨き上げることもある。これらの方法は、そのモノについて一般の方に関心を持っていただくにも役立つことは確かであるが、製作当時は使われていなかった材料や技術を用いて修理・復元してしまうと、後世の科学的調査に差し障る場合があるし、またそのモノに残された摩耗や劣化であっても、製造後に使われた歴史の痕跡として分析対象となることもある。オリジナルをそのままの状態に残しておくことも重要である。博物館では、現物はそのまま保存して展示用にレプリカを作成することがよく行われるが、レプリカの製作自体が機器の構造や使われた技術の理解を深める手段となり得る。

近年、上記したような遺産制度が注目を浴びることも多くなっている。過去の努力や成果を改めて見直すことは将来の発展の方向性を考える上でも示唆に富み好ましいことではあるが、昨今の遺産制度の一種のブームが、わが国の閉塞感の裏返しとすることではなければ良いのだと思う。

第80回電気技術史研究論文募集

[プロモータ]安田恵一郎(首都大学東京)

登録締切日:2019年8月2日

原稿締切日:2019年9月12日

発表日:2019年10月4日:電気学会会議室

INFORMATION

[研究報告]第78回電気技術史研究会

日本計量史学会松本榮壽 科学史技術史研究所中村秀臣

[テーマ]「電気技術史」一般および「電力系統解析技術」

日 時：2019年1月29日(火) 10:00~17:50

場 所：電気学会会議室 参加：41名

- ・でんきの礎における「エレキテルと平賀源内」顕彰の意義と展望、 砂山長三郎(平賀源内記念館)、下村直行(徳大大学院)、北條昌秀(徳島大学大学院)、尾崎 勝(平賀源内先生顕彰会)、出川 通(テクノインテグレーション)、余喜多博(四変テック)、荒川文生*(地球技術研究所)
平賀源内顕彰会が1929年に発足、2009年に記念館、数々の事業活動とでんきの礎の意義が説明された。
- ・志田林三郎の地電気自記器の構造と機能模型の製作
前島正裕(国立科学博物館)
志田林三郎が1884年に考案した地電気自記器の機能モデルを制作し動作を確認した報告がなされた。
- ・中嶋明のスイッチング理論に対する貢献—生誕110周年を記念して— 山田明彦(コンピュータシステム&メディア研究所)
NECの技術者、中嶋章が構築したブール代数とスイッチング理論が紹介された。英文の論文集が刊行された。
- ・東京大学工学部電気系学科で保管してきた電子管から電子技術の勃興を垣間見る 加藤一弘*、岡田 章(東京大学)
東大電気系学科に残る電子管から初期の三極管などとマグネトロン見つかり日本製で技術は発展のマイルストーンとなりうる貴重品である。
- ・電力系統の解析法(Y法・S法)とシミュレータ設備
吉村健司*,井上俊雄,北内義弘,永田真幸(電力中央研究所)
第11回でんきの礎顕彰案件である。30年以上に宣り我が国電力系統解析技術のハード、ソフトの基盤を支えた。「電力系統解析技術」
平成26年(2014年)11月に設置された「電力系統の解析技術の歴史調査専門委員会」の調査成果について8件の発表がなされた。主に戦後から電力系統の安定性に関わる技術について、技術要件が時代とともに変化してきたこと、計算機的能力拡大等に応じて進歩してきたこと等が各テーマ毎に詳実に示され、今後、一層重要性が増す本技術の研究の方向性検討に資する。
- ・電力系統の安定性に関わる解析技術の歴史と今後の展望
谷口治人*(東京大学)、斎藤浩海(東北大学)、坂本織江(上智大学)、藤原修平(三菱電機)、仁田旦三(上智大学)
- ・電力系統シミュレータの歴史
田岡久雄*(福井大学)、荒井純一(工学院大学)、飯塚俊夫(電源開発)、梅田信雄(関西電力)

- ・電力系統解析技術における潮流計算と電圧安定性の発展
伊庭健二(明星大学)
- ・同期安定性
瓜生芳久*(成蹊大学)、片岡良彦(東京電力パワーグリッド)、田岡久夫(福井大学)、田中和幸(富山大学)、中西要祐(早稲田大学)、福井千尋(日立製作所)
- ・需給・周波数制御の解析技術の歴史
中西要祐*(早稲田大学)、梅田信雄(関西電力)、田村 滋(明治大学)、永田真幸(電力中央研究所)、谷口治人(東京大学)
- ・系統負荷モデルと下位系統縮約の技術史
駒見慎太郎*,山田誠司(北陸電力)
- ・系統保護・安定化制御
丹羽祥仁,松原 貢*(中部電力)、片岡良彦(東京電力パワーグリッド)、梅田信雄(関西電力)
- ・信頼度評価 永田真幸*(電力中央研究所)

第79回電気技術史研究会案内(発表者のみ記載)

- ・志田林三郎の水中無線実験と横須賀無線通信実験 太田源一郎(横須賀テレコムリサーチパーク)
- ・旧通信総合博物館より国立科学博物館に移管された電気関連資料 前島正裕(国立科学博物館)
- ・黎明期に慶応義塾大学が開発した全トランジスタ計算機K-1について 山田明彦(コンピュータシステム&メディア)
- ・デュフィ電気の精の展示についての一考察 松本榮壽(日本計量史学会)
- ・大学共通一次試験の形成 清水敬子(科学史技術史研究所)
- ・技術史研究の立場からの電力系統技術の将来展望—調査研究のフレームワークと主要論点 吉村健司(電力中研)
- ・戦後の発電技術開発の進展と電源選択の変遷 中村秀臣(科学史技術史研究所)
- ・需要家設備の高度化 鶴崎敬大(住環境計画研究所)
- ・スマートコミュニティの電力システム構築へのロード・マップ 荒川文生(地球技術研究所)

電気技術史 第80号

発行者 (一社) 電気学会電気技術史技術委員会

委員長 日高邦彦

編集者 News Letter 委員会

松本榮壽、鈴木浩、澤敏之

〒102-0076 東京都千代田区五番町6-2

HOMAT HORIZON ビル8F

発行日 令和 元年5月13日(2019年)

禁無断掲載 Copyright 発行者