

VCCIだよりの連載記事の執筆者・

徳田の研究略歴（その2）

～光ファイバケーブルの研究～

徳田 正満

3. 光ファイバケーブルの研究

(1) 光ファイバケーブルの研究開始

Kao氏が石英光ファイバの低損失性を1968年に示唆し、それを受けて米国のガラス製造メーカであるコーニング社がCVD（Chemical Vapor Deposition）法で20 dB/kmの低損失光ファイバを製造したとの報告が1970年に発表された⁴⁾。一方、同じ1970年に光通信の光源として期待されていた半導体レーザの室温連続発振が可能であることが、米国のAT&T (American Telephone & Telegraph) ベル研究所によって発表された⁵⁾。これによって光ファイバ通信の実用化に向けた研究が世界中で開始された。筆者の所属するNTT電気通信研究所では、武蔵野にある基礎研究部が、上記の1970年直後から光ファイバに関する基礎研究を開始したが、茨城電気通信研究所線路研究部に光ファイバケーブル（光ケーブルと略称）の研究実用化に関するグループが発足したのは1974年である。光ケーブルグループは3名で発足したが、筆者は発足メンバの一人であり、光ケーブルの構造や伝送特性測定法に関する研究を零から立ち上げた。筆者が光ケーブルの研究を開始するに当たって上記の新伝送媒体に対するリサーチ結果を当てはめた結果、二つの条件をクリアしており、新伝送媒体としての可能性のあることが明らかになり、光ケーブルに関する研究に邁進しようと決断した。研究開始後の最大のイベントは、上皇陛下が皇太子の時の1974年6月に横須賀電気通信研究所をご訪問されることになり、それに向けて、光ファイバ心線を製造することであった。光ファイバの素線は部品材料研究部で作成されるが、その素線にナイロン等の樹脂を押し出し機で被覆することが、線路研究部の分担になった。リーダーの石田氏と筆者は、銅線の被覆に良く使用されているポリエチレンを試したが、被覆によって光ファイバの光損失が増加してしまい、適さないことが分かった。そのため、ナイロン、ポリカーボネイト等の樹脂を被覆することを試みたが、初めての経験であり、最適な条件を見出すことが難しかった。試行錯誤の結果、ナイロンで被覆することができ、皇太子殿下のご訪問に間に合わせることができた。この光ファイバ心線に

図2 東京での中小容量光ケーブル伝送方式の現場試験（FR1）ルート⁶⁾

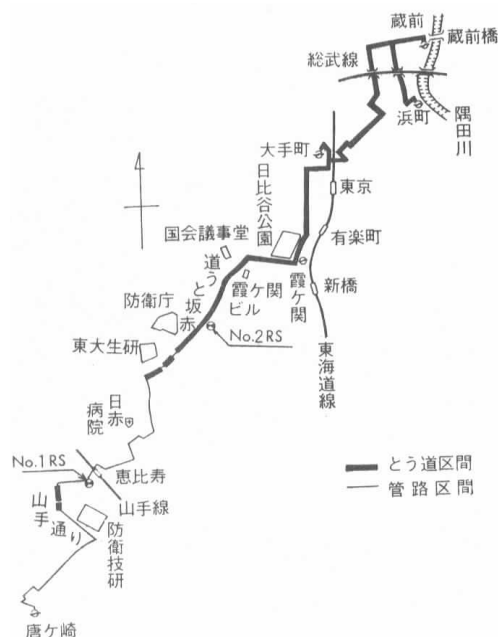


図2 東京での中小容量光ケーブル
伝送方式の現場試験 (ER 1) ルート⁶⁾

He-Neレーザの赤いレーザ光を伝搬させた状態で皇太子殿下にご覧いただいたが、これに皇太子殿下にご興味を示されたことで、NTT研究所の光ケーブル通信に対する研究が飛躍的に推進されることになった⁶⁾。

(2) 東京での中小容量光ケーブル伝送方式の第1次現場試験（FR 1と略称）

1978年に中小容量光ケーブル伝送方式の第1次現場試験を東京都内で実施することになった⁷⁾。選定された現場試験のルートは、図2に示すように蔵前から学芸大学前（唐ヶ崎）の地下鉄日比谷線沿いに約20 kmである。その時の光ケーブル代が16億円、端局装置代が4億円、総経費が20億円と、現場試験経費としては最大級の経費を使用した。FR 1で使用する波長としては、当時の半導体レーザ、光ファイバの光損失等の状況を考慮して、短波長の0.85 μm を採用した。また、デジタル信号のビットレートとしては、32 Mb/sと100 Mb/sを採用している。FR 1では、約1000 kmの光ファイバ心線を布設することになったが、FR 1開始の1年前の時点で、伝送帯域の要求値1 kmの長さ当たり250 MHz以上を満足する心線は数km程度であったため、予備試作を行って、成績の良いメーカーのケーブルを最も長い中継区間に、次のメーカーを次に長い中継区間に布設することにした。その時までの現場試験では、予備試作を実施したことがないとの批判があったが、光ケーブルは、従来の銅を用いたケーブルと全く異なるため、何が起きるか分からないと主張して、強引に押し通した。この予備試作を実施したことにより、FR 1で使用されたMCVD（Modified Chemical Vapor Deposition）で作成されたグレーデッドインデックス型光ファイバの伝送帯域は、全ての光ファイバが要求値の250 MHz・kmをクリアしており、平均値で800 MHz・kmという広帯域な伝送帯域になった。また、光損失に対しても、波長0.85 μm の要求値の4.5 dB/kmを全てクリアしており、平均値で2.8 dB/kmという低損失になった。これらの伝送帯域と光損失の値は、当時としては世界一の値であり、杵野室長の「世界一になれ」という檄に答えることができた。NTTはその後10年以上も世界一の座を保持し続けた。

(3) 川崎での中小容量光ケーブル伝送方式の第2次現場試験（FR 2と略称）

FR 1によって、光ケーブルは新伝送媒体として基本的な問題がないことを確認したため、中小容量光ケーブル伝送方式の実用性を確認するためのFR 2が、1980年1月に川崎で開始された。FR 2の最大の狙いは、FR 1で用いた短波長0.85 μm 以外に、光ファイバの光損失が小さくなる長波長1.3 μm でも実施することであった。MCVD法で作成された光ケーブルで、短波長0.85 μm における光損失は平均2.46 dB/km、伝送帯域は平均1130 MHz・kmであり、一方、長波長1.3 μm における光損失は平均0.59 dB/km、伝送帯域は平均1300 MHz・kmであり、極めて低損失かつ広帯域の光ケーブルが作成された。また、布設した光ケーブルの接続は、アークにより光ファイバを融かして接続する融着法で実施した結

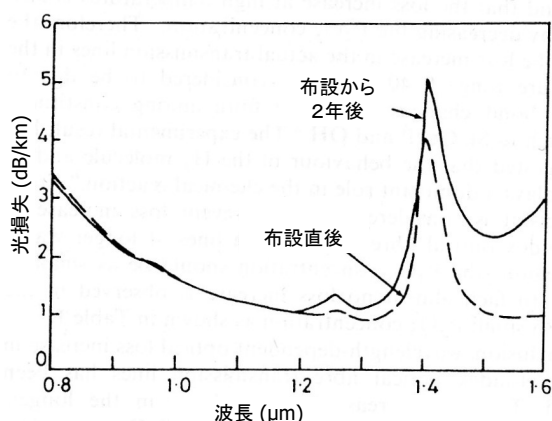


図3 光ファイバの光損失に関する増加特性⁸⁾

果、接続損失の平均値が0.07 dBと極めて低い値を実現した。このような性能は、当時では世界一の性能である。また、長波長1.3 μm で現場試験を行ったのもFR 2が世界で初めてである。

(4) FR 2の光ケーブルに発生した光損失の増加問題

FR 2では、布設された光ケーブルの経時特性を筆者のグループで測定していたが、1982年6月に光ケーブルの光損失が僅かであるが増加していることを筆者が発見して大問題になったが、その経緯を以下に説明する。1.3 μm の光源で布設された光ケーブルの光損失に対する経時特性を測定していたが、2年後の光損失が若干ではあるが増加していることに筆者が気づいた。そこで、光損失波長特性を測定したところ、図3に示すように1.2 μm より長波長で光損失が増加していることが分かった⁸⁾。光損失波長特性の測定を実験室ではなく中継所などの現場で測定することは大変難しいため、布設直後の初期特性を測定すべきかどうか迷ったが、伝送媒体にとって周波数特性は最も大事な特性であり、光ファイバの場合は波長特性が周波数特性に対応するため、どんなに大変でも測定すべきであると決断して布設直後の初期特性を測定していたのが、今回の光損失増加の原因究明に非常に役に立った。このように、測定の原理原則を忠実に実行することが、今回のような事態にも有効であることを痛感した次第である。光損失増加の原因究明は非常に難しかったが、光ファイバの製造メーカの協力の元に色々試行錯誤した結果、光ファイバの製造過程で生成されたSi-O-、Ge-O-、P-O-などの未結合のダングリングボンドが光ファイバに侵入してきた水素Hと結合してOH基を生成したためであり、リン（P）を含んでいると光損失増加の割合が大きくなるとの原因を突き止めた。Pを使用すると光ファイバが製造しやすかったため、多くの製造メーカでPを使用していたが、光損失増加を少なくするためにはPの使用を極力少なくすることが重要であることが明らかになり、それに従った製造法が確立された⁹⁾。

(5) 大容量光ケーブル伝送方式の現場試験

中小容量光ケーブルの実用化が峠を越した1980年1月頃から、次のステップとして基幹中継所間を結ぶ大容量光ケーブル伝送方式用の光ケーブルに関する検討が開始された。そして、武蔵野電気通信研究所と厚木電気通信研究所間約80 kmで実施予定の大容量光ケーブル伝送方式現場試験の一部として、厚木―相模原間の18 kmで1980年10月から現場試験が開始された。光ケーブルとしては、中小容量光ケーブルで性能が確立していたグレーデッドインデックス型光ファイバを第1候補として検討し、第2候補としては多モード伝送による伝送帯域制限のない単一モードを伝搬する単一モード光ファイバを検討することにした。波長としては、FR 2で実績を確認した1.3 μm を採用した。現場試験で建設された伝送路に、横須賀電気通信研究所の伝送部隊が400 Mb/sの伝送実験を実施したところ、グレーデッドインデックス型光ファイバでは、伝送特性が安定せず、伝送実験ができないとのクレームが筆者のところに来た。筆者も、布設と接続時にグレーデッドインデックス型光ファイバの伝送帯域を測定したが、特性が安定しないという問題に悩まされた経験があったため、中小容量光ケーブル伝送方式では実績のあるグレーデッドインデックス型光ファイバを大容量光ケーブル伝送方式では捨て去り、当時接続損失に問題のあった単一モード光ファイバに絞ることを決断した。この決断にはかなり悩んだが、研究所の先輩から言われた「Simple is the best !!」「Beautiful is the best !!」を何度も呪文のように唱えた。この決断により光ファイバの製造、布設・線路設計が容易になり、中継系ばかりでなく、

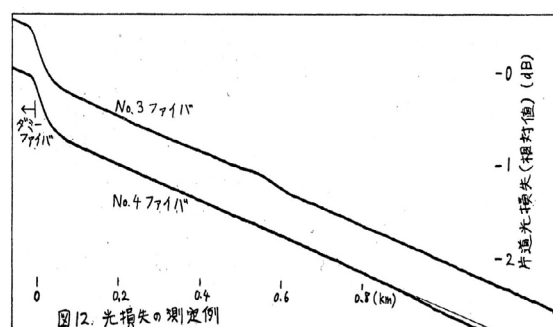
加入者光ファイバ伝送方式にも単一モード光ファイバが使用されるようになり、その後の光ファイバ黄金時代を築く原動力になった。ちなみに、筆者の博士論文は多モード光ファイバの伝送特性に関するものであり、その測定法は国際標準になっており、JIS規格にも採用されていたが、それらの全ての技術を捨て去ったことになる。筆者は、その当時から自分の決断が正しかったと確信していたが、年数が経過するに従って、その確信がますます深まっているのを感じている。筆者はこれらの功績により、光ファイバ伝送方式としては初めての日本電信電話公社総裁表彰・梶井賞を1982年に受賞するとともに、1986年には、電子通信学会の業績賞も受賞している。

(6) 光ケーブル測定法グループの誕生

光ケーブルの実用化研究を推進するため、研究体制の強化を図る必要があった。線路研究部では、線路研究室に所属していた光ケーブルグループを1975年4月に導波管線路研究室に異動し、3名から6名に人員を増加させた。その後、1976年1月に光ケーブルグループを中心にして、部品材料研究部、基礎研究部等から人材を異動させ、光線路研究室が発足した。初代の光線路研究室長は、部品材料研究部出身の枅野氏である。筆者は、光線路研究室に所属し、光ケーブル関連の測定器や測定法を検討する光ケーブル測定法のグループリーダーとして研究することになった。最初に検討したのは、光ケーブル測定法として、どのような測定項目を取り上げ、測定器と測定法の開発をすべきかということである。その時に参考にしたのが、以前検討した新伝送媒体のリサーチにおける検討結果である。光ケーブルを新伝送媒体として実用化したいと考えていたので、すでに実用化されて現在も使用されているシステムを参考にすべきであると考えた。光ケーブルの最初の適用領域は中継用の伝送媒体であったため、既存の中継用伝送媒体として実績のある標準同軸ケーブルを参考にして、光ケーブルの測定法に関する技術を確認しようと考えた。その結果、同軸ケーブルの直流抵抗に相当する光ファイバの光損失、周波数特性に相当する光損失波長特性、変調信号に対する周波数特性に対応する変調周波数特性（本文では伝送帯域という略称を使用）、障害点の探索に必要なパルス試験器に相当する光パルス試験器、心線を対照する心線対照器に相当する光ファイバの心線対照器を当面開発する必要があると考えた。なお、光パルス試験器については、最近OTDR（Optical Time Domain Reflectometer）と呼称されるため、本文でも、OTDRを使用する。光ファイバの光損失と伝送帯域に関する測定法は、谷藤氏、堀口氏及び立田氏、OTDRと心線対照器は中平氏、堀口氏及び松本氏が主に担当した。

(7) OTDRの開発

光ファイバは、何らかの原因により破断することがあるため、その破断点の位置を正確に測定する必要がある。というのは、破断点を修復しても接続損失が生じるため、破断点の位置が正確でないと何度か接続することになり中継区間全体の光損失が増加するという問題が生じる。標準同軸ケーブルでも障害点を探索するために、パルス試験器が存在してい



たが、光ケーブルでも同様のパルス試験器が必要と考えて、光パルス試験器、すなわちOTDRの開発を行った。FR 1のOTDRでは、光ファイバの接続に融着ではなく、V溝接続点での反射を想定して、伝搬光より約35 dB低いフレネル反射光を検出することにより、破断の位置を推定する方法を採用した。その場合でも、OTDRのダイナミックレンジは65 dBも必要であり、当時開発されたばかりのデジタルアベレーシング技術を用いて実現した。なお、FR 1のOTDR開発は、中平氏と堀口氏が担当した。

FR 1のOTDRは、V溝接続のフレネル反射を検出していたが、光ファイバが複雑に破断するとフレネル反射が全く発生しないことがある。FR 2では、そのような場合でも光ファイバの破断点を検出する方法として、低損失光ファイバの光損失の要因となっているレーリー散乱の後方散乱光を検出する方法が検討されている。中平氏は、後方散乱光のレベルを計算し、微弱な信号が検出可能なボックスカーアベレージャを使用した測定系を構築して後方散乱光の検出を試みた結果、図4に示すように0.9 μm の波長で、光ファイバの破断点ばかりでなく、光ファイバの光損失や接続損失も測定可能なことを明らかにした¹⁰⁾。FR 1で検討していたOTDRのダイナミックレンジ65 dBを、FR 2では100 dB以上に拡大することを試みた。また、光ファイバの入射端や光コネクタで発生するフレネル反射による高感度光検出器の飽和を防止するために、それらの反射光をマスクする技術を組み込むことにより、光ファイバの光損失や接続損失も測定可能な現場試験用のOTDRを開発した。また、堀口氏は、波長0.9 μm のOTDRを基にして、波長1.3 μm のOTDRを開発した。

中小容量光ファイバケーブル伝送システムを対象としたFR 2までは多モード光ファイバを使用していたが、大容量光ファイバケーブル伝送システムでは、単一モード光ファイバを使用するため、透過光に対する後方散乱光の割合が十数dBも減少する。それに対応するため、従来からOTDRを研究している堀口氏と1980年4月に筆者のグループに加わった中沢氏が、超音波光偏向器を用いたより強力なマスク機能法を開発した。また、中沢氏は、固体レーザーであるYAGレーザーを光源としたOTDRを検討し、単一モード光ファイバで約35 km、多モード光ファイバで約60 kmの障害点探索距離を実現した。一方、石英系光ファイバの最低光損失は1.5 μm 近傍の波長に存在するため、その波長での光伝送システムの研究が検討されていたが、YAGレーザーの代わりにエルビウム (Er) レーザを使用したOTDRの開発を行い、130 kmの光ファイバの後方散乱光を検出した¹¹⁾。さらに、YAGレーザーの誘導ラマン散乱光を用いた波長1.5 μm 帯のOTDRを検討するとともに、ファイバラマンレーザーを用いたOTDRによる光ファイバの損失波長特性を測定した。なお、このときに開発したOTDRの特許に関して、筆者は日本電信電話株式会社1993年度特許実施補償賞（特級）を1994年に受賞している。

(8) 光ファイバ増幅と光アクティブ線路

中沢氏は、波長1.06 μm のYAGレーザーで励起した光パルスの後方散乱光を用いて波長1.3 μm のLDによる信号光を増幅する検討を行ったところ20 dB程度の利得を得ることができた¹²⁾。筆者は、この現象は光伝送方式の中継区間を大幅に拡大できる可能性があるという観点から興味を示し、光ファイバの最低損失を示す1.5 μm 帯で光ファイバ増幅する方法を中沢氏と一緒に検討することにした。その結果、1.3 μm のYAGレーザーや1.5 μm のエルビウム (Er) レーザを励起光源にすることにより、1.5 μm 帯で光ファイバ増幅できることが分かり、特許を出願した¹³⁾。また、光ファイバ増幅により中継間隔を大幅に拡大することを意図した光アクティブ線路に関する研究企画書を作成して、本格的に研究を

推進することにした。ところが、筆者は1984年2月に線路研究室長に昇進したため、筆者自身は上記研究を遂行できなくなったが、中沢氏を中心として光アクティブ線路研究企画書に従った研究を遂行したことが、図5に示すように、2023年のJapan Prize（日本国際賞）受賞につながったものと確信している。



図 5 Japan Prize（日本国際賞）の授賞式の様子
「日本経済新聞 WEB 版（2023 年 4 月 14 日）から引用」

(9) 多心光コネクタの開発

1983年から日本を縦貫する大容量

光ケーブル伝送方式の商用試験が開始されてから、NTT茨城電気通信研究所の光ケーブルに関する研究は、中継系から加入者系にシフトしていった。そのような時の1984年2月に、筆者は線路研究室長に昇進したが、線路研究室では、加入者系に使用される光ファイバの接続技術を研究していた。加入者系では、多数の光ファイバをテープ状にしたテープ光心線を導入しようとしており、線路研究室では、テープ光心線の接続法を研究していた。光ファイバ心線の永久接続方法として、光ファイバをアークで融着する方法とV溝で接続する方法があるが、テープ光心線でも両方の方法を検討していた。また、着脱が可能な光コネクタが光ファイバ心線で開発されていたが、テープ光心線でも多心光コネクタが検討されていた。筆者の前任の線路研究室長は坂本氏で、その頃から上記の光ファイバ接続法に関する研究をしていたが、筆者はそれらの研究を引き継ぐとともに、さらに発展させていった。それらの研究の中で、多心光コネクタは独自の技術で開発されており、かつ、加入者系ばかりでなく、米国では、大量のデータを処理するデータセンタでも、デファクト標準として使用されている。多心光コネクタは、長沢氏と佐武俊明氏が開発しており、2017年にIEEE Milestoneに認定されている。また、佐武氏は米国でUS Conec Ltd.を立ち上げ、多心光コネクタのデータセンタへの導入を促進した¹⁴⁾。

(10) 防水型光ケーブルの開発

1986年2月に筆者は、線路研究室から線路施設研究室の室長に異動した。線路施設研究室では、EMCの研究を立ち上げようとしていたが、その経緯は次項「光ケーブルの研究から通信装置のEMC研究へ」で詳細に記述する。それ以外の研究課題としては、加入者光ケーブル用として、ケーブル外被の接続技術と特殊光ケーブルを担当していた。ここでは、特殊光ケーブルの一つとして、古賀氏が中心となって開発した防水光ケーブルを紹介する¹⁵⁾。光ケーブルばかりでなく、一般のケーブルの防水に対して、日本は主にガス保守を採用していたが、欧米ではジェリー入りケーブルで対応していた。1987年頃、米国より防水型光ケーブルの導入を強く要請されたが、当時日本では防水型光ケーブルが無かったため、受諾するしかない状態であった。しかし、ジェリー入りケーブルでは、①光ファイバについてのジェリーの拭き取り作業のわずらわしさ、②ジェリーオイルが手につく不快さ、③ジェリーが床に落ち、ベタつく不潔さ、などの問題があった。このような問題を解決するために、古賀氏は、オムツに使用

されている吸水パウダーを使用した防水ケーブルのアイデアを着想してその開発を行った。なお、加入者光ケーブルの開発は、光線路施設研究室（二瓶室長）が担当していたので、そこと共同で防水光ケーブルは開発された。この開発により、日本では、米国のジェリー入り光ケーブルの代わりに、国産の防水光ケーブルが使用されることになった。さらに、この防水光ケーブルは、一般のメタルケーブルにも適用可能なため、その開発が進められることになり、非常に大きな影響を及ぼした。

4. 光ケーブルの研究から通信装置の EMC 研究へ

(1) 通信と放送を融合した加入者光ケーブル伝送方式に対する郵政省の対応

1986年2月にNTT茨城電気通信研究所線路研究部にある線路研究室長から線路施設研究室長に筆者は異動した。線路施設研究室の大部分は、通信と放送を提供する複合システムの実用化を目指して、加入者用の特殊な光ケーブルやケーブル外被の接続に関する研究を行っていた。当時の加入者光ケーブル伝送方式では、光ケーブルの価格が高いため、電話伝送だけでは経済性が成り立たないために、CATVで放送も受信できるようにしたシステムの検討を行っていた。そのような加入者光ケーブル伝送方式に対する最初の導入を東京の丸の内を実施するために、当時の郵政省に許可申請をしたが、許可されなかった。日本電信電話公社の民営化は1985年4月であるが、日本電信電話公社の時には郵政省からほぼ独立して通信行政を行ってきたため、その守備範囲を通信から放送まで拡大するということは、郵政省の役割が少なくなるという恐れが1986年頃の郵政省にはあったのではないかと想像される。そのため、通信と放送を融合するということは、通信ばかりでなく、放送まで日本電信電話公社に持っていかれるとのことで、当時の郵政省にとっては、とても受け入れられない状況であったと推察される。当時の郵政省が一度判断すると、最低10年は方針が変更されないと筆者は想定したため、加入者用光ケーブル伝送方式の実用化は、10年以上遠のくと筆者は判断した。事実、通信と放送の融合が議論されるようになったのは、十数年経過した後の2000年頃になってからであり、筆者の判断の正しさが証明された形になっている。

伝送媒体の材質が金属から絶縁物へ代わるという大転換に対応した、中小容量光ケーブルの最初の実用化を約5年で完成させ、世界のトップに押し上げた筆者にとって、10年以上も実用化できないと言うことは、とても耐えられないことであった。また、最初に実用化した中継系の光ケーブルは、何もかも新しかったが、加入系の光ケーブルはその発展系のため、中継系の光ケーブルのような新鮮さは感じられなかった。

(2) 通信網総合研究所へのEMC研究グループの大移動

線路施設研究室の中で5名ほどの室員は、電力会社の送電線からの誘導保安と、雷防護に関する研究を長年行っており、それを発展させて通信システムのEMCを研究する企画書を古賀氏と井手口氏が1986年に作成した。1985年にVCCI（情報処理装置等電波障害自主規制協議会）が発足し、コンピュータや通信機器から放射される妨害波を規制し始めた頃であった。筆者としては、加入系の光ケーブルよりも、通信装置のEMCの方に将来性を感じて、研究体制を大幅に強化することにした。このような時に、NTTの研究所では、研究組織を地域別から機能別に大幅に変更する計画を進めており、武蔵野研究開発センタを中心にして、通信網総合研究所を設立する準備をしていた。交換機、伝送装置、電話機等

の通信装置に対するEMCの研究を、特殊な光ケーブルやケーブル外被を研究している線路施設研究室が束ねることは難しいと判断して、新しくできる通信網総合研究所にEMCの研究部隊を移すことを画策した。幸い、通信網総合研究所の発足準備室長が、筆者の長年知っている山縣氏だったので、相談したところ、快諾してくれた。1987年7月に、NTT通信網総合研究所が発足して、筆者は、通信品質研究部通信EMC研究グループリーダーに就任した。線路施設研究室に就任したときに5名しかいなかったEMC要員を、1年半で14名に増やして、茨城から東京に大移動した⁶⁾。

NTT通信網総合研究所の初代所長である五嶋氏と通信品質研究部の初代部長である青山氏は、通信EMC研究グループを高く評価してくれて、研究体制の強化と施設の拡充に尽力してくれた。最初に、D70形デジタル交換機のように最小構成でも幅が5 m以上となる大型のEUTを10 m法で測定できるように設計された大型電波無響室を、1989年に武蔵野研究開発センタ内に建設した。この電波無響室は、3m法と10m法の放射エミッション試験が可能な電波無響室として、米国のFCC（Federal Communications Commission：米国連邦通信委員会）にも登録されている。この電波無響室は、雑誌「スペクトラム」の1989年10月の表紙に掲載されたが、それを図6に示している¹⁶⁾。また、1987年に通信EMC連絡会（主査：通信網総合研究所長）を設立して、NTT全体のEMC問題を検討できる体制を構築し、NTTが購入する通信装置のEMCに関する仕様を規定するためのガイドラインを策定した⁶⁾。さらに筆者はNTTをVCCIに加盟させることを推進してVCCIの会員となったが、その体制を維持するために「VCCI社内対応委員会」を組織した。これらの活動を事業部門でサポートしてくれたのは、技術部線路部門の由木氏である。



図6 雑誌「スペクトラム」の表紙に掲載された大型電波無響室の内部写真¹⁶⁾

【参考文献】

- 4) F.P. Kapron, D.B. Keck and R.D. Maurer: "Radiation Losses in Glass Optical Waveguides", Appl. Phys. Lett. Vol.17, p.423 (1970)
- 5) I. Hayashi, M.B. Panish, P. W. Foy and S. Sumski: "Junction Lasers Which Operate Continuously at Room Temperature, Appl. Phys. Lett., Vol.17, p.109 (1970)
- 6) 徳田正満：「特別講演 私の研究開発を振り返って ～光ケーブルの開発から EMC の研究と標準化活動へ～」、電子情報通信学会 通信ソサイエティ 環境電磁工学研究会 40 周年記念 「環境電磁工学の基盤技術と未来へのメッセージ」、pp.72-89 (2018)
- 7) 島田禎晋、杵野邦夫：「近距離光ケーブル伝送方式現場試験の概要」、通研実報、Vol.28, No.9, pp.1999-2014 (1979)
- 8) T. Tanifuji, M. Matsumoto and M. Tokuda: "Wavelength-dependent optical loss increase in graded-index optical fiber transmission line", Electronic Letters, Vol.20, No.1, pp.13-14 (1984)
- 9) 内田直也：「開発物語 水素による光ファイバ損失増の発見と防止策の確立」、通信ソサイエティマガジン、No.25、夏号、pp.72-79 (2013)

- 10) 中平瑞穂、表 幸治、徳田正満：「後方散乱法による光ファイバの損失測定」、信学技報、CS79-156（1979）
 - 11) 中沢正隆、徳田正満：「1.55 μm Qスイッチ Er ガラスレーザによる単一モードファイバ 130 km の障害点探索と損失測定」、信学技報、OQE84-42（1984）
 - 12) 中沢正隆、徳田正満、岸幸康、内田直也：「偏波保持型光ファイバアクティブ線路」、信学技報、CS83-19（1983）
 - 13) 中沢正隆、徳田正満：「光伝送方式」、特許 1383691、特公昭 61-051438、特開昭 59-011044、特願昭 57-120809、出願日 1982 年 7 月 12 日
 - 14) T. Satake, S. Nagasawa, M. Hughes and S. Lutz: “MPO-type single-mode multi-fiber connector: Low-loss and high-return-loss intermateability of APC-MPO connectors”, Optical Fiber Technology, Vol.17, pp.17-30（2011）
 - 15) 久木田重蔵、中居 孝、林 明、古賀広昭：「吸水材料によるノンメタル防水光ファイバケーブルの設計と特性」、信学技報、OQE87-6（1987）
 - 16) 徳田正満：「通信システムと EMC」、スペクトラム、Vol.2、No.10、pp.9-15（1989）
- ＊図番号および参考文献番号は 152 号の連載からの通し番号としております。



徳田 正満（とくだ まさみつ）

1967年 北海道大学工学部電子工学科卒業
 1969年 北海道大学大学院工学研究科電子工学専攻修了
 日本電信電話公社に入社し電気通信研究所に配属
 1987年 NTT通信網総合研究所通信EMC研究グループリーダー
 1996年 九州工業大学工学部電気工学科教授
 2001年 武蔵工業大学工学部電子通信工学科教授
 2010年 東京都市大学 名誉教授
 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 客員共同研究員

主要な受賞

1986年 電子通信学会業績賞を受賞
 （光ファイバケーブル設計理論と評価法の研究）
 1997年 平成9年度情報通信功績賞受賞（郵政省）
 （EMC技術の開発・標準化）
 2003年 工業標準化事業功労者として経済産業大臣賞を受賞
 2004年 電子情報通信学会フェロー
 2007年 IEEE Fellowに昇格