

研究室訪問

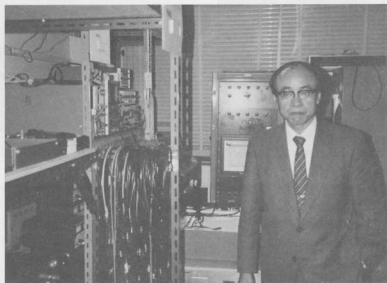
末松・古屋研究室

電子物理工学科

高度情報化社会と光通信

今から20年ほど前、情報化社会の到来があちこちで予測された。この来るべき時代に向けての新たな情報通信システム、これが必要だと考えられはじめたのも同じ頃のことだったろう。より速くへより速く、そしてより多くの情報を伝える手段の1つとして、従来の電波よりもずっと波長の短い光が考えられていた。時代の要求とともに、いつか光の通信が使われるようになる。20年前にそう確信しておられたのが現在東工大の工学部電子物理工学科の教授、末松安晴先生であった。当時はまだ何もない分野で、まったく未開拓の地を自分で道を作りながら進むような状況であっただろう。

「研究はおもしろいですよ。一種の賭けでしょう。世界的スケールの。私は時期的に運が良かったんです。誰もいない、何もないところから始めて、だんだん関心がもたれてくる、研究する人も増えてきた時にはとても痛快な思いがしましたね。」そう末松先生は微笑された。



光通信の研究で名高い末松・古屋研

今や光通信といえば最先端の分野。またこの分野の研究でも世界のトップクラスを走っている東工大の末松・古屋研究室。中棟2号館にあるこの研究室を我々は訪れ、末松先生にこれまでの研究や、現在進行中の研究等さまざまなことについてお話し

をうかがった。その中から限られた紙面ではあるがいくつかのお話を紹介したい。

末松先生は昭和30年に学部を、同35年に博士課程を終えられた。当時は高周波電子管等を主に手がけられていた。

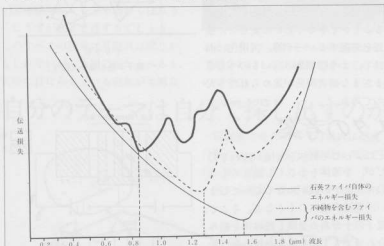
光通信の実現にむけてのさまざまな問題

光を用いた光通信、その将来性が認識され研究されはじめた20年前。しかしその頃は光を伝える伝送路もまた発光源も実用に耐え得るような物はなかった。発光源として昭和35年に発明されたレーザがあったが、実際の通信システムに組み込むにはまだ無理であった。光通信の1つの

方法として考えられていた中に光ファイバを用いるものがあったが、遠くまで信号を伝えるには問題があった。しかし昭和45年、レーザや光ファイバの開発が進み、光ファイバ通信の実用化へ向けて研究が歩み出したのである。ファイバの材料の改善により、光のエネルギーの損失を下

げること。レーザをより光ファイバ通信に適したものへと開発を進めること。また、電気信号を光の信号へと変調させたり、通信をコントロールするシステム等さまざまな解決されねばならない問題が山積みされていたのであった。

光ファイバの材料改善とそれに適した波長の変化



ファイバの光のエネルギーの損失 (図1)

光ファイバを用いて通信する場合、遠くまでより多くの情報を正確に運ぶために、ファイバはできるだけ光の損失が少ないものでなくてはならない。末松先生が研究されはじめた当時、この光ファイバの伝送損失はまだ大きく、とても数百kmも遠くの地点と通信できるものではなかった。

光ファイバは石英ガラスで出来ているのだが、エネルギー損失をおこす原因として、ガラス中に含まれる不純物による光の吸収や、ガラスが不均質であるためおこる散乱、また

ガラスそのものの持つ性質からの光の吸収等がある。この損失の程度は波長と微妙な関係にあり(図1参照)、その中から損失の少ない波長を選んで光通信に用いなければならない。17、18年前には、まだ技術的な面で不十分であり、不純物による損失が大きく当時のファイバの最も損失の少ない波長は0.85μmであった。このため、0.85μmという波長は他の全てのシステムに支配的でありこの0.85μmに対応した研究が進められていた。ところで、ガラスの不均質さに

よる散乱やガラスの持つ特有の吸収は、ある意味で石英ガラスを用いる上で避けられない損失であるといえる。したがって不純物の少ない性能のよいファイバがNTTやコーニング社によって開発されるに従って、そのファイバの損失を示す曲線は、ガラス自体の損失を示す曲線へと近づいていき、損失が最少となる波長も、ガラスそのものの損失が最少である波長に近づいていく。時と共にファイバは改良されてゆき、不純物をさらに減じた1.3μmを損失最少とするファイバも開発され、これは0.85μmのファイバよりずっとエネルギー損失の少ないものとなっている。現在実用化されている光ファイバは、この1.3μmの波長の光を用いるものが主である。また、ガラス自体の伝送損失が最少である1.55μmの波長に極めて近づいた、つまり損失を理論的限界にまで減じることに成功したファイバも開発されている。このファイバでは1kmで4.6%しか損失がないという性能を持つ。当研究室では、10数年前にすでに1.55μmの波長が将来主流となることを見通して研究されてきたのである。

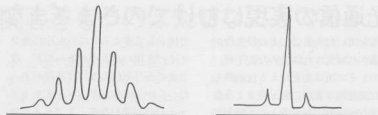
光ファイバに応じたレーザや単一モードレーザの開発

また、発光源である半導体レーザにも問題点があった。高速度・高密度の光通信に対応して、光に応答する素子を用いてさまざまな機能を持たせようという光集積回路。この開

発とともに、光集積回路に組み込めるような集積レーザの開発、山田(現金沢大助教授)を中心にこの集積レーザを世界に先駆け開発に成功したのが昭和50年であった。また上記の

様に光ファイバの伝送損失に合わせて、1.55μmの波長を発振するレーザに用いる結晶の開発。これは昭和53年頃、末松・古屋研の荒井(現東工大講師)が中心になって開発さ

れた。それから、従来のレーザは普通に発振させれば1つの波長の光を発振することができる。ところがこのレーザは光通信に用いる為に変調させたり、温度が変化する状態では多くの波長を同時に発振する欠点を持つ多モード発振レーザであった。しかし、光ファイバ通信では、遠くまで信号を散乱なく届かせる為や、高速通信を可能にする為、また将来実用化が考えられている、多くの情報を同時に伝える為の多くの波長の光を重ねて送る光波長多重方式の為に、こうした多モード発振レーザであるより、状態の変化にかかわらず、単一の波長の光を発振できる動的単一モードレーザである方が都合がよい。(図2参照) このレーザも世



多モード発振

図2

単一モード発振

界で初めて開発に成功したのがこの研究室であった。その他、長時間の使用に耐えうる、寿命の長いレーザや、コンピュータと対応して用いることができるくらいに安定した波長を発振するレーザ等、実用化に向けて、より信頼性の高いものへとさまざまな研究開発が進められてきたのである。



ドリフト

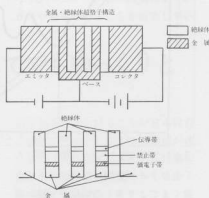
電子の進む様子 (図3)

画期的新トランジスタの考案

光集積回路の実現。さらに演算までの機能を持たせること。これを開発するために、光に反応するようなトランジスタはできないだろうか。そう考えはじめられたのは10年ほど前のことだった。

電子の流れていく速さというのは電子そのものの速さではない。電子は衝突を繰り返しながら電界に沿って流れていく。(図3参照) この電子のブラウン運動の移動が電子全体の流れとなり、これをドリフトと呼ぶ。電子そのものの速さは光速の10分の1まで及ぶが、ドリフトの速さは人の歩くぐらいの速さなのである。光通信に対応するにはもっと速さが必要である。電子の衝突から衝突までの間の長さでトランジスタを作れば、電子そのものの速さを生かせる。つまり、電子の平均自由行程が数100Åであるからこの内側にトランジスタを取ればよいというわけである。しかし、従来の半導体は小さくしていくのに限りがある。半導体のP型では正孔が、N型では電子がキャリアである。半導体中の不純物がこのキャリアを供給するこ

とによって半導体を電流が流れるのだが、半導体を小さくし過ぎるとこのキャリアの数が少なくなってしまい、電流が流れにくくなる。そこで、電子の十分ある金属と絶縁体を組み合わせる人工的半導体を作れないかと考えられたのである。理論と計算による裏付けがはじめられた。このぐらいのスケールでは電子は波動としての性質が優位である。絶縁体を電子がぐりぬけるトンネル効果をうまく利用して半導体のような性質を持たせる。そのための構造や技術的な可能性等も考え進められ、このトランジスタの実現が理論的に可能であることを確かめるのになんと10年の時間を必要としたのである。末松先生いわく、「おいしいことは先に延ばして、今はこれをやるんだということが大事なんです。やりたいことを後回しにしても苦しいことや面倒なことをする、その忍耐が必要だと思います。」かくして、去る昭和60年の秋、御存知の様に新聞にも大きく扱われたほどの大きなセンセーションとなった。コンピュータの性能を数100倍もあげるトランジス



超格子のエネルギー準位図 (図4)

タの新開発。そのトランジスタは金属部はSnとPbの合金で、絶縁体部はCaF₂で構成される数Åの薄い膜の組み合わせられた超格子構造であり、この中に電子が共鳴してトンネルする。これがトランジスタの性質を持つことが理論によって裏付けられた。(図4参照) この素子の長さは数10Å内に収まり、電子の平均自由行程内で作られたこととなる。この新しい素子はRETT (Resonant Electron Transfer Triode) と呼ばれることとなった。まだ実際に作っていないので本当に動くかどうかかわからないそうだが、今後の様々な改良によって進歩し、実用化されれば、その高速



性は高速コンピュータのみならず光通信等の分野でも、大きな役割を果たすだろう。

光通信と共に歩まれてきたと言っても過言ではなからう末松先生の、またこの研究室の方達の行なってこられた研究のほんの一部をここに紹介したつもりである。

昭和63年に太平洋に光ファイバケーブルを敷く計画が進行中である。これが完成すれば光通信はある意味では実現化が成功したということになろう。これからは光通信はどんどん実用化にむけてさまざまな研究がされてゆくだろう。この分野で極めて大きな役割をこの研究室が果たしていくことは明白である。この研究室では、アメリカのAT&Tベル研究所をはじめイギリス、オランダなど海外にも多くの協力機関があり、人材の行き来も盛んなようである。我々は、あちこちからの電話や来客で忙しいところを末松先生にお話し戴いたのだが、終始子供のように目を輝かせながら、本当に丁寧に話して下さいました。とても親しみやすい人望の厚い方という印象を受けた。また研究室にいらっしゃった方々もさすがに誰の歩んだ足跡もない道を進まれているだけに、各々とても活気に満ちた様子で、研究室そのものが熱気に満ちているように思えた。

末松先生からみなさんへ

「学生時代はのんきにしていなくてもいいけど、基礎的な事柄は自分なりに整理して理解しておかないとだめだよ。研究はテーマをつくり出すことが98%、あとの2%はテーマをつくってしまえばどんどん行っちゃる。しかしその時、基礎的な理解力が重要となってくるんだ。また、幅広く勉強しておいた方がいいね。人文系のことも。無駄だと思ってしまうこともしつかりやっておいて欲しい。人となごやかに付き合えることも大

事だね。それから8割は勉強してもいいけど2割は将来に備えての勉強としての遊びが必要だろう。東工大の学生は9割まで勉強するからね。結局、先に行くのに一番大事なのは判断力。適確な判断力を養うために2割の余裕を持って欲しい。人間社会や歴史がわかってないとエンジニアリングもどちらに進むかわからないだろう。人間社会が何を欲しているかということを考えて進んでいかないとね。」

Landfall 創刊号のお知らせ

- 研究室紹介 ■1類から6類まで各1つずつ研究室を紹介したいと思っています。
- 先輩から一言 ■東工大の先輩や教授から、インタビューやコラムを通じて、学生生活や研究について語って戴きます。
- その他 ■その他、読者からの感想や意見を盛り込んだコーナーや、東工大の持つ設備の数々の紹介など、いろいろ準備中です。

御期待ください