電波の研究から 教育工学へ

清水康敬（正員：フェロー）

1940生まれ。東工大・工・電気卒、修士了。（株）第二精工舎、東工大助手、助教授を経て1985同教授。教育工学開発センター長、大学院社会理工学研究科長、2001国立教育政策研究所・教育研究情報センター長、2004独立行政法人メディア教育開発センター理事長、2009東工大監事（常勤）・名誉教授、現在に至る。

大学から企業へ ～そしてまた大学の研究室へ

大学での研究を生かして企業に就職

私の大学学部の卒業研究のテーマは、末松安晴研究室で御指導を受け、江崎ダイオードによる増幅器に関するものであった。その後、電波吸収体に関心を持ち、大学院修士課程では末武国弘研究室に所属した。

1964年に末武教授から頂いた修士課程の研究テーマは、「電波進行方向に平行に置かれた抵抗皮膜列の反射係数に関する理論計算」であった。半年ほどで論文にまとめることができ電子通信学会に投稿した。

その後の研究について末武教授に相談したところ、「後は自分でテーマを探しなさい」と言われた。ところが、修士課程1年生が自分で研究テーマを探すことは容易ではなかった。

こうした状況の中、私は企業への就職を決めた。私が特に興味を持ったのは、第二精工舎（現在のセイコーインスツル（株））でのルビジウム原子の振動を利用する3,000年に1秒しか狂わない時計の開発であった。その周波数が6.8 GHzであり、自分が専門とするマイクロ波の知識と経験が役立つと思って就職を決めた。

電波吸収体への関心

修士課程2年の12月頃、私は多層型電波吸収体の設計方法について思い付いた。末武教授に、この設計法で良い電波吸収体を得られるかは計算してみ

東京工業大学監事（常勤）・名誉教授

清水康敬

Yasutaka Shimizu

なければ分からないこと、電子計算機の使用料金は1分で5,000円も掛かることを申し上げた。しかし末武教授からは、「5万円までならよい」と言われた。

電子計算機による数値計算の結果、従来の半分の厚さの広帯域電波吸収体を得られることが分かった。末武教授から、「結果を実験によって確かめるように」と言われて、大忙しで電波吸収体モデルを作って実験した。その結果、ほぼ理論どおりの周波数特性が得られた。そのときの感激は今でも忘れない。

会社の温かい配慮により研究を続行

電波吸収体の設計法を更に思い付いた私は、それを完成せず就職してしまうのは残念に思った。しかし、企業で原子時計の研究開発もしたい。この思いを便箋7枚もの手紙にまとめて会社宛てに送ったところ、すぐに呼出しの電話があった。恐る恐る会社へ行くと応接室に通され、開発部長から「結論的に結構です。ただし、週3日は会社に来てほしい。」と言われびっくりした。こうした会社の温かい配慮により、週に三日会社に行き、四日は大岡山で研究を続けた。出社した日も勤務後に大学へ行き、終電車で小岩の社員寮に帰ると午前1時少し前になるという生活を続けた。

特許出願書の特訓

思い付いたアイデアは、会社の特許係がその内容をまとめて特許出願するという仕組みであったが、私のアイデアを幾ら説明してもなかなか理解してもらえなかった。マイクロ波用空洞共振器とか、原子時計の電子回路とかのアイデアは、機械時計の技術を専門とする係には理解が難しかったのである。

そこで、特許出願の書き方の特訓が私に対して行われ、私が書いた特許出願文書はそのまま申請された。そして、出願のたびに報奨金を頂き、特許出願公報に載ったときや、特許が成立したときも報奨金を送られてきた。この経験は会社を辞めた後も多いに役立った。

会社に慰留されつつも退社

入社2年目からは、週に五日間は会社で原子時計の開発に従事し、夕方から大学へ行き、終電車で帰るという生活を送った。お陰で、七つの論文を投稿できた。

丸2年が過ぎた年の夏頃に、末武教授から「助手として戻らないか」との話があった。会社に話したところ、「辞めないように」との説得が行われた。私としても会社から大きな恩恵を受けていたので、無理はできなかった。ただ、最後には納得して頂けた。

ところが、末武教授から「大学紛争のために新しい人事ができなくなったので、もう1年会社にいてほしい」との話があった。しかし、再び会社をお願いする勇気がなかった。1969年3月末で退社することにした。ただし、退社までに原子時計のマイクロ波部分は完成すると決め、ほとんど毎日残業して最終電車で帰宅し、土日も全て出勤するという生活を送った。当時、1か月の残業時間が180時間を超え、その月の給与の額面を見て驚いたことを今でも思い出す。

退社後は大学の研究生となったため収入がゼロになり、逆に研究生として授業料を払う身分となったが、1年後に正式に大学の助手として採用された。

電波吸収体等に関する研究

電波暗室の設計

助手として大学に戻った後は、電波吸収体の設計を続け、大和ゴム加工（株）の明石工場に何度も行って、特性の評価をした。そして、電波暗室ができるたびに、自分の研究成果を実感できた。

更に、当時100 MHzから使える電波吸収体が求められたことから、多層型誘電体層とフェライトタイルを組み合わせた電波吸収体を設計し、電波暗室用として実用化することができた。

テレビゴースト障害対策に挑戦

我が国でも高層ビルが建設される時代になり、テレビ電波の反射によって生じる「テレビゴースト障害」が社会的問題となった。この解決策として、建物の壁面に取り付けるテレビゴースト対策用フェラ

図1 東京都庁に施工した電波吸収体

イトタイル電波吸収体を設計しTDK（株）が製品化することになった。

これを新宿に建設する東京都新庁舎の高層部分に施工することになった。ただし、設計者の丹下健三先生が「建物の表面は花崗岩」と記述していることが判明し、花崗岩の複素誘電率を測定して設計したところ、厚さが18 mmの花崗岩であれば優れた電波吸収体が設計できることが分かった。ところが、花崗岩の関係者から「25 mm以上でない」との指摘があり、結局は25 mmの花崗岩とフェライトタイルで再設計して、1987年に都庁の上層部の壁面に無事に施工された（図1）。

レーダ偽像対策

本州と四国を結ぶ本州四国連絡橋が三つのルートで建設されることになったが、美しい瀬戸内海の景観の破壊とレーダ偽像障害という理由で反対が起きた。このため、1978年に「橋梁構造によるレーダ電波障害対策検討委員会」が発足し、私は13年間委員として担当し、数多くの実験を行い、毎年検討結果の報告書を書いた。

そして、南北備讃瀬戸大橋の一部に、私が設計した厚さ2.3 mmのゴムシート形電波吸収体が施工され、レーダ偽像の防止に役立てられた。

弾性表面波に関する研究

ニューヨークへの留学

末武研究室の助手として電波吸収体に関する学位論文をまとめたあと、ある日末武教授から、「ブルックリン工科大学のオリナー教授が君を呼びたいと、今しがた電話があったので、OKと返事をした」と言われた。「ちょっと待って下さい。私は英語が……」と申し上げたが、「そんなもの関係ない」と

言われた。

ブルックリン工科大学での研究は弾性表面波導波路に関する研究であった。FORTRAN で計算のためのプログラムを書き、それをカードパンチャーでカードに穴を空けて計算機が読み取れる形にしてから大学の計算センターに提出した。理論計算の結果を確かめるための実験の際にラフな手書きの図を書いたら、大学の製作スタッフが製図を起こして装置を製作してくれたことに、日本の大学との違いを感じたものであった。

初めての国際会議

帰国した翌年の 1972 年、アメリカ西海岸のモンテレーで開催された IEEE 超音波シンポジウムに参加した。講堂のような広い会場で、研究成果を発表した。

ところが、発表後に会場から発言があり、「この発表は、既にアメリカのどこかで行われた研究と同じである」と指摘された。私は、「どこに発表されているのか」と聞くのが精一杯であった。座長は「後で個別に議論するように」と打ち切った。意気消沈して段を降りた。

終了後、質問者に何度も尋ねると、彼は、軍の補助金による研究成果報告書で見たと言い、「オリナー教授の研究室からの成果で、共著者もあった。」と言った。それに対して私は、「それは私の研究だ。そのことをこの場で皆に言ってくれ。」と頼んだ。しかし、「まあ、分かったんだからいいじゃないか」と言って彼は席を立ってしまった。研究のオリジナリティを主張することの大切さをこれほど強く感じたことはなかった。

自分が命名した「水晶 LST カット」の発見

圧電体を任意に切った場合の表面波特性を理論的に計算する研究を開始した。対象とした圧電体は、水晶、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 、 $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ などである。伝搬モードとしては、無損失のレイリー波と、漏えい弾性表面波の全てについて計算した。そして、理論的に温度特性の優れたカットを発見する研究を進めた。

その中で発見した「水晶 LST カット」(私が命名)は、温度安定度が優れたカットである。これは、伝搬損が非常に小さいことと、伝搬速度が速いので、高周波用のデバイスに有利であった。

教育工学に関する研究

教育工学って何？

東京工業大学の教育工学開発センターの助教授

に着任したのは、1973 年 10 月である。これが、教育工学分野で活動するきっかけになった。

当時は、教育工学はほとんど知られていなかった。「教育工学って何？」とよく聞かれた。学内では、「教育工学は何を研究するのか、よく分からない」と言われたが、残念ながら、私はうまく説明できなかった。

光ファイバ通信でキャンパス間を結ぶテレビ講義

東京工業大学の東京都目黒区と横浜市緑区にある二つのキャンパス間を光ケーブルによって双方向伝送する遠隔教育システムを設計し、1981 年度と 1982 年度の 2 年間で完成させた。当時の電電公社の最新鋭単一モード光ファイバケーブルを使用し、東急電鉄の線路沿いの通信用トラフ内に敷設した。キャンパス間を結ぶテレビ講義室には、大形のテレビスクリーン 2 画面を設置し、遠隔講義室に等身大でディスプレイ表示した (図 2)。同時にこのシステムの評価も行った。

このシステムの完成後、頻繁に見学者が訪れた。私は長津田まで行って、大岡山の見学者に対して、模擬的な遠隔授業をして見せた。二つのキャンパス間を往復しなくてよいようにシステムを構築したのだったが、皮肉にも私は、逆に遠隔地まで行くことになった。

ハイビジョンによる遠隔教育の実験

1989 年 1 月に、ハイビジョン関連企業から機材を借用して、キャンパス間を接続した遠隔授業を実験的に 1 か月間行った。その結果、画像品質に対する評価が高いだけでなく、授業の雰囲気(授業の分かりやすさ)の評価因子も高くなることを示した。

ある日、大岡山のハイビジョンモニタに、当時の田中郁三学長が画面に突然現れたことに気付い

図 2 光ファイバでキャンパス間を結ぶ遠隔教育

た。あわてて授業を中断して、学長に対してシステムの説明をした。これが、普通のテレビ映像であつたら、学長の出現を見いだすことはできなかっただろう。そのとき、改めてハイビジョンの威力を実感した。

最初の通信衛星教育の実験

1990年から、文部省（当時）委託による「社会人技術者の再教育のニーズ調査」を行った。その報告書の中で、通信衛星を利用した教育について提言したところ、「これは使えるかもしれない」との発言が文部省からあった。

通信衛星教育の実現性を検討するために、「衛星通信によるリフレッシュ教育実験」を1992年に実施した。この実験では、通信衛星を三つも利用するという大規模なものであった。また、1994年には、米国ボストンのハーバード大学ビジネススクールと東京工業大学を国際通信衛星で結んでディベート授業を実施した。国内の通信衛星によって全国の111か所で受信する実験を実施した。これらの実験に関する評価研究も行った。

衛星通信遠隔教育システム ANDES

私が教育工学開発センター長の時代に、1995年度第1次補正予算によって「衛星通信遠隔教育システム（通称、ANDES）」を1996年に完成することができた。東京工業大学と一橋大学とは、衛星デジタル動画像（6.3 Mbit/s の MPEG-2 方式）で双方向伝送し、遠隔の衛星講義室では、大形ディスプレイ2面に表示した。ただ、この2大学間の遠隔教育は2008年に終了した。

教育情報ナショナルセンターの構築

60歳で東京工業大学を定年退職し、2001年4月に、文部科学省の国立教育政策研究所・教育研究情報センター長に任命された。この理由は、当時の小渕総理大臣直轄機関であるバーチャルエージェンシー「教育の情報化プロジェクト」の準備として海外調査を行い、帰国後に、教育情報を国が提供するシステムの必要性を提言したことで、それを実現するようということであった。

センター長着任後に概算要求したところ、大きな予算額を獲得できた。また、これに関する研究面では、科学研究費補助金（S）に採択されたことも幸いした。

教育情報センター長を5年間（4年目からは併任で）務めたが、この間、学校教育から高等教育、生涯学習まで全領域における教育情報を26万件提供するシステムを構築することができた。

ICT活用による教育効果の測定

2004年4月に、当時の独立行政法人メディア教育開発センターの理事長に就任した。当時、国が情報教育を推進するにあたり、ICT（情報コミュニケーション技術）を教育で活用した場合の効果を明確にすることになり、文部科学省から研究を委託された。

まず、授業でのICT活用による学力向上を実証するために、全国各地の教員にICTを活用した実証的な授業を実施してもらい、総数752件の授業に関する客観的検証データを分析評価した。その結果、児童生徒の学習に対する意識調査から、「思考・表現」、「知識・理解」、「関心・意欲」の全ての因子についてICTを活用した授業の場合が1%水準で有意に高い評価をしていることなどが明らかにされた。

更に、「知識・理解」や「技能・表現」に関する大規模な客観テストを実施して授業におけるICT活用の効果を測定したところ、ICT活用の授業の方が有意に成績が高いことが示された（図3）。客観的テストによる学力測定により、授業でのICT活用が学力向上に高い効果があることを示したことは、その後の施策に大きな影響を与えることになった。

教員のICT活用指導力の向上の検証

総務省が実施している「フューチャースクール推進事業」の座長として、事業評価を行った。児童一人1台のタブレットPCを整備した小学校の10校における「ICT活用指導ができる教員の割合」を、事前に2011年度初め、2011年度末で比較した。その結果、活用し始めた初年度末には、評価の大項目の全てについて有意水準1%でICT活用指導力が向上していることを示した。ちなみに、図4に示すA～EのICT活用指導力の観点と基準は、文部科学省の委員会座長として2007年に策定し、文部科学省が毎年3月に全国の教員に対して行って

図3 ICT活用の有無の違いによるテスト結果

図4 教員のICT活用指導力の向上の結果

いる悉皆調査に使われている。

学会等に関する活動

電子通信学会・教育技術研究会

電子通信学会では1967年から教育技術研究会(現在の教育工学研究会)が開催されていた。当時は、これが教育工学に関する発表の場であった。末武教授が委員長のとときに幹事となり、全ての研究発表を聞いて質問をした。その後、委員長を務めたが、私にとっては教育工学研究の方向を考える場であった。

日本教育工学会の創立

1984年に日本教育工学会が設立され、理事に選出された。そして、1988年に、「教育工学関連学協会連合全国大会」を東京工業大学で開催した。そのときの参加者は915名で、当時の教育工学の大会としては大盛会であった。大会の懇親会で、教育工学関連学協会連合の常設事務局を設けようという提案があり、私の研究室で担当することが会場の拍手により決められてしまった。また、後に日本教育工学会の会長に選出された。

日本教育工学協会事務局

1985年に、文部省の補助団体であった日本教育工学協会の事務局を、突然引き受けざるを得ない状況になってしまった。この協会は、破綻状態になっていた。

事業縮小を図るのが普通と思ったが、私は、事業の拡大を図った。タイのバンコクへ行って通信衛星による日タイの国際シンポジウムを実施したり、オーストラリアと通信衛星で結んだ国際会議を開催

したりして、どうにか活動を盛り上げようとした。

ただし、運転資金がないので、ワイフからもらうことにした。あるとき、「最近お父さんはお金を家から持っていくけど、何に使っているの?」と聞かれた。そこで、事情を話した。そのときまでに立て替えた金額は、既に合計で150万円を超えていた。ただ、「もし、失敗したら諦めてくれ。」とワイフに断っておいた。

幸いバブル期であったため、前向きな活動に対して、多くの企業が毎年支援金を出してくれることになった。そして、1年足らずで財政基盤を確立できた。

日本教育工学会事務局

1995年6月に、また突然、日本教育工学会の事務局を引き受けることになった。この場合も、学会の財政的な改革が必要であったので、当時のリレーショナルデータベースソフト「桐」で会員データベースを自ら作り、事務局の効率化を図り、毎年積立ができるほどに改革できた。この学会事務局は、私の退官までには別のところに移すことを条件に大学の研究室で引き受けたので、2000年4月にほかに移転させた。

再び日本教育工学会事務局を担当

私の会長任期が残り3か月となった2005年3月に、移転した事務局から、「事務処理の対応ができなくなった」と言われた。そこで、事務局を急遽移転させ、卒業生が興じたベンチャーに頼んで、担当者はどこからでも扱えるWeb型の会員データベース、クレジットカード支払いシステム、大会参加受付システム、研究会参加受付システム、論文査読システムの仕様策定を行って開発し、統合した。そして、そのシステムチェックもあったため、学会

事務処理の一部を自宅で担当した。その結果、学会を財政的に安定させることができた。

科研費分科細目「教育工学」の新設

教育工学にとって最も大きなことは、科学研究費補助金の分科細目として、「教育工学」が1993年に認められたことである。この分科細目の新設には、私の研究室にあった前述の「教育工学関連学協会連合事務局」が担当した。当時の文部省を何度も訪問して、教育工学とは何かを説明するとともに、要望書の書き方等の指導を受けた。そして、日本教育工学会や電子通信学会教育技術専門委員会等、10の関連する学協会に会長等の記名と捺印をした要望書を提出することができた。

それまで「教育工学は研究分野であるのか」と言われたこともあったが、研究細目として認められたことには、感慨深いものがあった。この分科細目「教育工学」に、非常に多くの研究費申請があることから、教育工学が学術研究として定着したことを意味している。

行政との関わり

文部省の情報教育推進協力者会議

1996年に文部省から、「情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議」の主査を依頼された。

この協力者会議において、体系的・系統的な情報教育についてまとめた。特に、小中高等学校で育成する情報教育の目標を三つの能力態度としてまとめ、平成8年10月に報告書を提出した。その後現在に至るまでこの三つの能力が使われて、情報教育の推進に役に立っている。ただし、現在、社会の情報化がますます進展していて、求められる能力が変化しているため、改定が必要であると考えている。

また、学習指導要領に、コンピュータや情報通信ネットワークの活用に関する記述を入れること、高等学校に教科「情報」を新設することを強く要望した。

高等学校普通科における教科「情報」の新設

高等学校の普通科に、教科「情報」を新設することに努力した結果、三つの科目、「情報A」、「情報B」、「情報C」の設置は容易に認められたが、教科を必修にするということについては、多くの反対意見が出された。そこで、各委員の研究室を訪問して説明したが、アポを取ったはずであるのに、不在のため廊下でかなり待たされたことなどの苦労も多かった。それらの努力の甲斐があって、最終的に教科

「情報」が必修となった。

その後、情報科の学習指導要領と解説書の作成に参画し、教員免許のためのテキスト作成、大学における課程認定などを推進した。

その10年後の学習指導要領の改訂の際に、前回の三つの科目についての反省に基づいて、「情報の科学」、「社会と情報」の2科目に改定することに関わった。

そして現在は

2008年から務めている内閣府の「青少年インターネット環境の整備等に関する検討会」の座長として、関係府省庁の協力を得て、最近大きな問題となっている子供たちのネットいじめやネット被害等に対する対策について検討を継続に行っている。

2013年10月には、安倍内閣総理大臣の辞令を頂き、「高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT総合戦略本部）」において、政府の戦略管理等を行う「新戦略推進専門調査会」の委員に指名された。その下に設けられた「人材育成分科会」の座長として、「創造的IT人材育成方針～ITと皆で創る豊かな毎日～」をまとめたところである。

改めて「教育工学」を考えると

私が「教育工学」について説明ができなかった経験から、教育工学に関する約5,200キーワードについて解説した「教育工学事典」⁽¹⁾を2000年に刊行した。私は、この編集委員長を務めたが、「教育工学とは何か」についてずいぶん議論し、以下のように説明した。

「教育工学」は、人文社会系と理工系、並びに人間に関する学問分野を融合した学際的な学問である。関係する人文社会系の学問としては、教育学、心理学、社会学、言語学、人間科学等があり、理工系分野の学問として、電気電子工学、通信工学、制御工学、情報工学、人間工学がある。また、人間の学習過程を対象としての「認知」、これをメディア等の情報手段を用いて「メディア、コンピュータ利用、データ解析、ネットワーク、授業や教育改善に寄与することを目的として「授業研究、教師教育、情報教育」、その教育設計や研究方法として「インストラクショナル・デザイン」、そして、「教育工学一般」に分類した。このように、教育工学の扱う分野は広いことが分かる。

■ 文献

- (1) 日本教育工学会 Web ページ, <http://www.jsset.gr.jp/pub/index.html>