

No.21

March 1, 1992

Information

CAETS 関係会議参加報告

1. 平成3年4月22～25日
NAE 国際ワークショップ「オゾン層を破壊するフロン削減と代替フロンの技術移管」(米国・カリフォルニア)
 2. 平成3年6月4～5日
CAETS 会議「経済成長のための工学と技術の活性化：工学界における東西の対話を開く」(ハンガリー・ブダペスト)
 3. 平成3年9月11日
第3回工学教育ワークショップ(英国・ロンドン)
-

日本工学アカデミー

THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

1. 講演会・第35回談話サロン

「オゾン層を破壊するフロン削減と代替フロンの技術移管……CAETS—NAE 国際ワークショップに参加して」

内 野 哲 也

旭硝子株式会社常務取締役開発本部長

日本工学アカデミー環境専門部会委員・部会員

日 時 平成3年7月18日(木)

場 所 弘済会館

米 田 定刻でございますので、講演会サロンを開催させていただきます。私、理事の米田でございます。通常のサロンを行います前に、最近生まれたばかりの地球環境専門部会について、ご報告とお願いをさせていただきます。

きょうは、実はこのサロンも地球環境部会の主催と申しますか、担当と申しますかで開いたものでございます。

先週か、あるいは今週早々に、全会員の方々のところに、地球環境部会についてのアンケートというのが届いているかと存じます。この専門部会、地球環境専門部会というのは、3月の理事会で承認されました。その後いろいろ委員の方々、打ち合わせをしております。実は、きょうもこの直前まで打ち合わせをしておったわけでございます。この専門部会のことにつきましては、5月の総会でもご報告申し上げましたが、きょうはこれだけお忙しいところ、たくさんお集まりいただきましたので、再度、簡単にご説明させていただきます。

もう、お配りさせていただいていると思いますが、その中に、資料の1に設立趣意書とございます。これはひとつ再度ご覧いただければありがたいと思いますが、この地球環境専門部会の、従来の他の部会、あるいは委員会と異なる点を一言申し述べたいと思います。

この専門部会設立に当たりましては、これは大変仰々しいんですが、「直接参加を目指した地球環境専門部会の具体的な運営について」というのが資料の2にございます。そこに書いてございますように、五百数十名のそうそうたる会員の方々が

——この方々のほとんどすべての方は地球環境ということに何がしかのご関心をお持ちかと存じます。そういう方々が、このアカデミーでこういう問題を考えるときに、何とか直接参加を願えないかというのが、このねらいでございます。

従来の専門部会というのは、どうも言葉は余り適切じゃございませんが、いわゆる一般会員と称する方々にしてみれば、どこかでやっているというような感じがしないでもなかったんじゃないかと思いますが、そうではなしに、何とかうまい方法を考えて、会員の今までのいろんな方面でのご活躍に基づいた識見、ご経験、そういうものを地球環境という大変重要な問題にいかにして生かしていただくか、あるいは、お知恵を拝借するか、あるいはさらに、具体的に、ただアンケートに書くだけではなしに、自ら渦中に身を投じて、作文するとかそういうこともお願いできるような方策を考えたわけでございます。これが果たしてうまくいくかどうかは、会員の方々のこれに対する直接参加にかかっておるわけでございます。

このアンケート、届いたばかりでございますが、お願いしているのは、2週間以内にお返事をいただきたい。第1のことは、この部会に、会員が部会員としてご参加願えるかどうかということです。

それから、この部会の中にはいわゆるインタレストグループと申しますか、4つのワーキンググループをつくっております。これは、その設立趣意書にいろいろ書いてございますが、1番目が温室効果対策ワーキンググループ。2番目が地球環境計測予測ワーキンググループ。3番目が国土保

全と環境改善ワーキンググループ。4番目が交通運輸、トランスポートーションですね、対策ワーキンググループ。この4つのグループを、一応準備いたしました。それで、このアカデミーの会員の方々——きょうここにお見えになっている方々が、部会員になると同時に、ぜひどこかのワーキンググループにご参加願う。実際の運営は、ワーキンググループの中に幹事会を設けて実務の処理はいたしますけれども、可能な限り、この会員の方々の、いわゆるダイレクトパーティシペーションができるような方策を考えておるわけです。これをひとつご覧願ひまして、2週間の内に、ぜひたくさんの方々からこの部会、さらに、ワーキンググループにご参加いただけるようお願い申し上げます。何とぞよろしく願ひいたします。

それでは、本日の談話サロンにつきまして、講師の旭硝子株式会社常務取締役開発本部長、内野哲也先生をご紹介申し上げます。

もう既に、受付でこういう書類——これはアカデミーのニュースの抜き刷りでございますが、これをご覧いただいているかと思ひますけれども、内野先生のご略歴を吉例によりましてご説明させていただきます。

1955年に九州大学の工学部応用化学科を御卒業になりまして、直ちに旭硝子株式会社に入社されました。ここで——まだ大分前の話でございますから——アルカリ、いわゆるソーダとか塩素とかそういう関係の、いわゆる化成品の研究開発に従事されておりました。84年に中央研究所長、その後86年に取締役開発本部長、90年の4月から、現職の常務取締役開発本部長でいらっしゃるわけでございます。

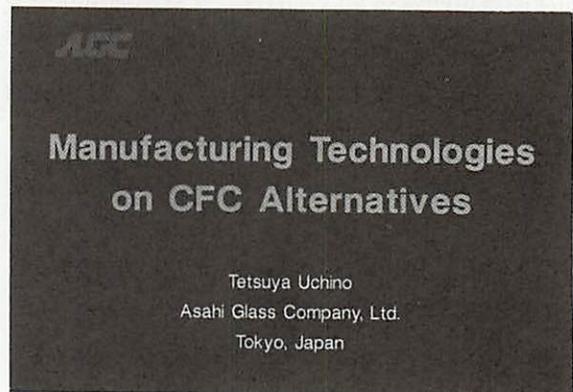
最近のお仕事は、今日そのことが主題として伺えるかと思ひますが、いわゆるフロン代替物質の開発でございます。これは新聞等でご覧いただいているかと思ひますが、世界的に容易に分解するフロンの研究は大変な競争でございましたが、日本では、旭硝子がいち早く、2種類ないし4種類の新しいフロンを開発された。これは新聞でご覧のとおりでございます。このほかに、フッ素系の樹脂、これはやはり旭硝子が日本で先駆けて開発したものでございますが、そういうご研究で、化

学工学協会、あるいは高分子学会の学会賞も獲得されておるわけでございます。

今回、お話をいただきますワークショップは、最近、我が日本工学アカデミーが、世界のアカデミー連合であるCAETSと申しますが——本日のご案内状の表題でございますが、CAETS、それからNAE、アメリカのナショナル・アカデミー・オブ・エンジニアリングの共催で、本日の主題でございますような、ワークショップが開催されました、このアカデミーで、まだ対応策が十分に講じられる前でございましたけれども、急遽アカデミー代表としてご出席いただいたわけでございます。きょう、ワークショップにおけるいろんな状況、あるいは、さらにそれをもとにした世界的な状況をお話いただけることと存じます。約1時間のお話を伺います。その後で、食事の後、討論を行いますので、ぜひ、盛大にご参加たまわりたいと存じます。

大変長くなりましたが、環境部会のお知らせと、内野先生のご紹介を終わらせていただきます。どうもありがとうございます。どうぞ願ひいたします。

内野 米田先生、ご紹介をどうもありがとうございます



ございました。

ただいまご紹介いただきましたように、私、旭硝子の研究開発の遂行責任者であります内野でございます。

今回、アメリカで4月22日から4日間にわたって開かれました「代替フロンの技術移管に関するワークショップ」に参加いたしました。米田先生と、清山先生のご推薦をいただき、また、この日本工学アカデミーにも入会させていただきました、

まことにありがとうございました。

それでは、約50分ほど、最初に代替フロンの開発の背景について、皆さんよく御存じのこととは存じますが、現在の動向などを交えまして、少しご紹介させていただきたいと思ひます。

次に、ワークショップで30ヵ国80名の皆さま方にお話をしました、主として技術的な内容でございますが、代替フロン技術開発に関することをご紹介させていただきます。

最後に、このワークショップに参加いたしました感想、並びにこれからの代替フロン開発の見通し、そういうことについて触れさせていただきたいと思ひます。

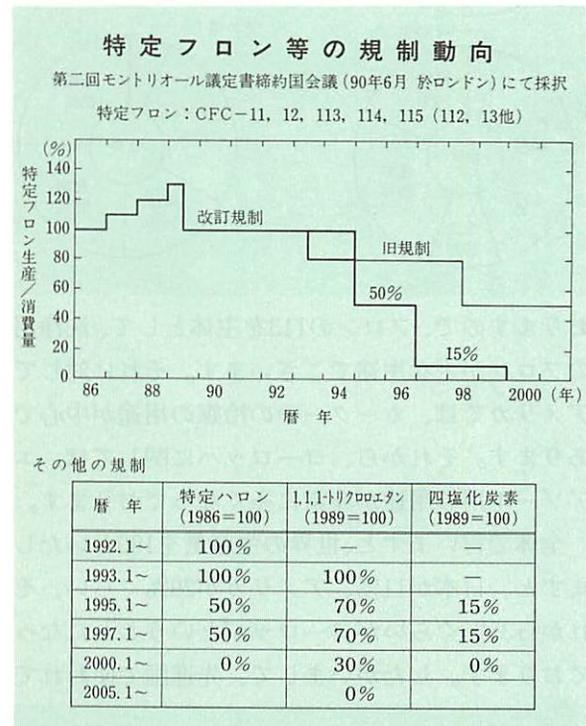
御存じのように、これまでフロンは非常に有用

年次	経	緯
74.6	ROWLAND 教授がフロンによるオゾン層減少の可能性を指摘	
84	オゾンホール観測	
85.3	「オゾン層保護のためのウィーン条約」採択	
87.9	「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」採択	
88.3	オゾン・トレンド検討委員会 (Ozone Trend Panel) オゾン問題に関する新しい科学的な研究結果を発表	
88.5	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」公布	
89.1	「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」発効	
89.3	オゾン層保護国際会議(ロンドン)で、90年代末までに規制フロンの製造中止を提案	
89.5	フロンの今世紀末までの全廃をうたったヘルシンキ宣言を採択	
89.7	特定フロン製造及び輸出入の規制開始	
89.7	議定書締結国会議による第1回作業部会(ナイロビ)規制強化内容の具体化討議	
90.6	モントリオール議定書第2回締結国会議(ロンドン)規制強化案を採択	
91.3	「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律の一部を改正する法律」公布	
91.4	EPA「米国上空のオゾン濃度の減少が予測の2倍になっている」と発表	

なケミカルズと考えられてきました。安定で、しかも、その性質が冷媒用、あるいは発泡剤、あるいは溶剤として優れているということから、1932年にデュポンが初めてフロンの生産を始めて、もうそろそろ60年になります。その60年のほとんどは、フロンというのは非常に優れたケミカルズであると評価されていたのですが、1974年にカリフォルニアのローランド教授が、オゾン層をフロンが減少させているという可能性を指摘されました。いろいろな経過がございましたけれども、オゾン

問題に関する進展がございましたのは、87年のモントリオールの議定書でございまして、ここで初めて、2000年をめどにオゾンを破壊する物質であるフロンの製造並びに使用を禁止しようという動きがでたわけでありまして、日本でも今年の3月に規制に関する法律がございまして、フロンの製造に対して厳しい規制が行われるようになりました。

特定フロン規制の動向は、ここにグラフで示

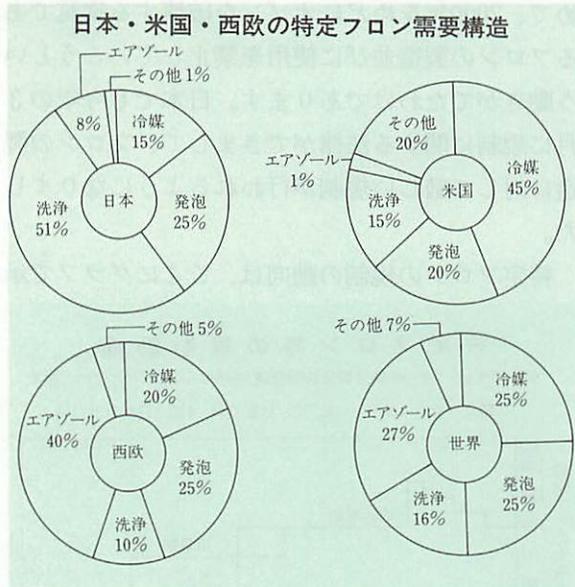


してございまして、わかりやすくいいますと、89年に特定フロンの生産量を95年までに半分に、97年には15%にして、2000年には0%にすると。この特定フロンとは、フロンの11、12、113、114、115等でありまして、そのほか、塩素を含む化合物がオゾン層を破壊しますので、特定のハロン、臭素と塩素を含みます化合物トリクロロエタン、あるいは四塩化炭素等々の塩素を含む化合物についても2000年には0%にするという取り決めが、フロンの他にもございまして、きょうはフロンを中心にお話をさせていただきたいと思ひます。

この規制は、現在既に3年か4年、前倒しにしようという計画が進められています。ヨーロッパ、日本、アメリカがそれに追随しようとしているのであります。

今使われておりますフロンの用途を簡単にご紹

介いたしますと、それぞれの国によって使われ方が違います。日本はエレクトロニクスが発達して

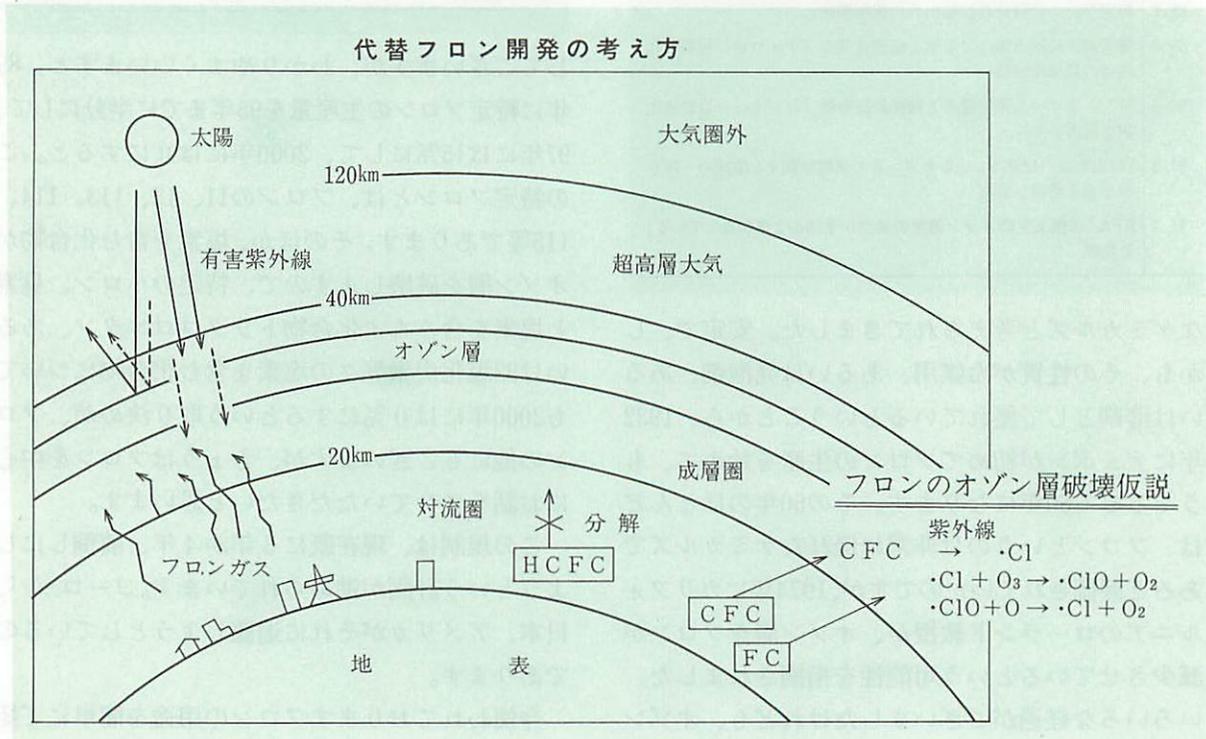


おりますので、フロンの113を主体として、洗浄用のフロンが主な用途でございます。それに対してアメリカでは、カーブラの冷媒の用途が中心であります。それから、ヨーロッパに関しては、エアゾール用の用途が非常に多くっております。

全体で言いますと、世界の生産量を100といたしますと、日本が11%、アメリカが29%ぐらい、それから35%ぐらいがヨーロッパということになっております。したがって、先進国で使われて

いますフロンが80%ぐらいであります。残りの20%がいわゆる技術後進国で使われているわけであり

ます。ワークショップが開催された一つの理由も、80%ぐらいのヨーロッパ、アメリカ、日本で使われていますフロンは、2000年、あるいは2000年を待たずにオゾン層に影響を与えるフロンがほとんど0になっていくというように考えられているにもかかわらず、あとの残りの20%の、いわゆる技術低開発国で使われているフロンは、その量が削減されることがない。例えば、ワークショップで中国の方のお話ありがとうございました、中国では、オゾンに影響を与えるフロンが現在約4万5000トンつくられておりますが、これを2010年には16万トンにしないとイケないということで、むしろフロンの設備を増設するというようなことを発表されたので、私どものほうがどぎもを抜かれたんです。日本は今12万トンぐらい……、86年は14万トンぐらいでしたか、つくっていたのを今、8万トン、それから、もう数年もいたしますとほとんど0にいたしますが、日本がせっかく減らした分だけほかの国でどんどんつくられるというようなことになってまいりますので、日本、ヨーロッパ、アメリカにつきましては、特定フロンについては完全に減っていく。しかし、その他の国でつくられるフロンを削

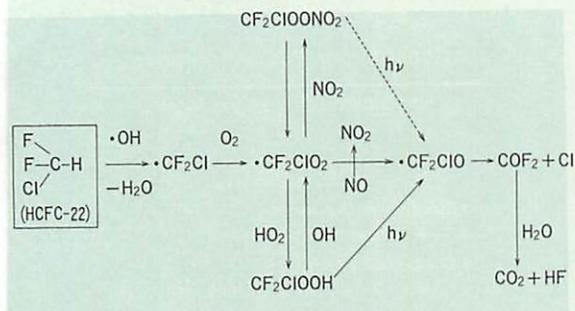


減するといいますが、そういうことをしないと
いけないということで、技術移管に関するワー
クショップが持たれたと考えています。

代替フロンの開発について、ポイントを申し
上げておきます。これは先刻ご承知のことか
もしれませんが、フロングスは非常に安定な
化合物でありますので、対流圏を突き抜け、
成層圏を突き抜けて、オゾン層までやって
きます。それで、フロンの塩素がオゾン層
で強い紫外線を受けて、初めて分解をしま
して、この塩素ラジカルがオゾン層を破壊
してしまうということがオゾン層破壊の仮説
でございます。したがって、代替フロンは
対流圏で分解して、成層圏あるいはオゾン
層に到達しないフロンのつくることが、代
替フロンの考え方です。

例えば、フロンの22、これは分子の中に水
素が1つ入っております。水素が1つ入
っていると、このOHラジカルがこれにア
タックしますと、この水素が引き抜かれ
まして、こういうラジカルになるわけ
ですが、それがいろいろな作用を受け

HCFC-22の対流圏での推定分解機構



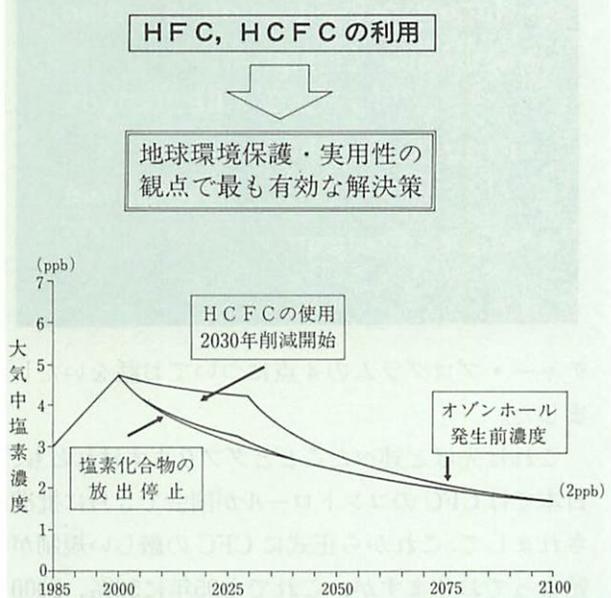
まして、結局はCO₂とHFになってしまう。こ
れが成層圏のもっと下、対流圏で起こって
しまう。こういう化合物の分解の年数を、
いろいろ仮説を立てて計算するわけですが、
5年以下であれば成層圏を突き抜けてオ
ゾン層に行かないということで、HCFCに
関しましては、非常に分解しやすい、水
素を含んだ化合物をつくるということ、あ
るいは、塩素を含まないフロンの開発す
ることが、代替フロンの開発する基本の
考え方になっております。

代替フロンのというのは塩素を含まない
フロンのあるか、フッ素とカーボンと水
素の化合物で、成層圏に達する前に対
流圏で分解してしまうような

フロンの開発するかということになります。

これは、一つの推算でございますが、横
軸に——これは2000年でございますが——
2000年で、今、実際の推定値ですが、
大気中の塩素濃度がppbのオーダーで3
ppbから少し上がっているわけです。こ
こで、塩素を含んだ化合物を全然生産し
なければ、フロンのように分解しにくい
塩素を含

代替フロンの地球環境への影響



んだ化合物の製造を全部停止したとしま
すと、大気中の塩素濃度は、2050年、
2075年ということで、2075年までは、
オゾンホールが発生する前の塩素濃度
2 ppbに戻ってくるということが一つの
計算仮説として言われています。

しかしながら、HCFCを仮に使用した
としても、2030年にHCFCそのものの
削減を開始しても、2075年には、オ
ゾンホール発生前の塩素濃度になっ
ていく。したがって、少なくとも
2000年には、今のオゾン層を破壊
するフロンを全面禁止して、2030
年までをめぐりにHCFCを使いなが
ら、新しい化合物を探索しながら、
オゾンホールの塩素濃度を下げてい
くということが、地球環境保護上、
実用性の観点で最も有効な解決策
と考えられております。先ほど申し
上げましたように、塩素を含まない
フロンの開発するか、水素を含んだ
分解しやすいフロンの開発してオ
ゾン層を破壊するフロンを全面的に
転換していこうという研究が今進
められているわけです。

それでは、簡単に、ワークショップ
でお話し

ました内容をご紹介します。

4つのポイントについてお話をいたします。

日本における規制の現状、代替CFC、代替フロンをつくるモリキュラー・デザインのポイントと、プロセス・デベロップメント、それから、いかにして代替フロンに切り換えていくかというフュー

- Regulatory Situation in Japan
- Molecular Design of CFC Alternatives
- Process Development of CFC Alternatives
- Future Programs

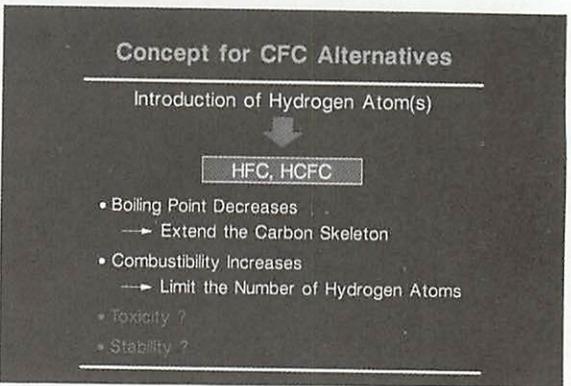
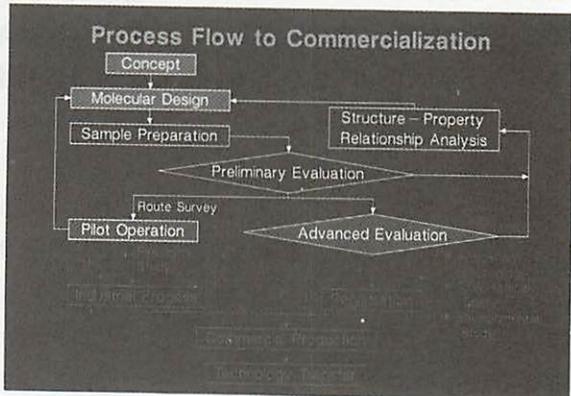
チャー・プログラムの4点についてお話をいたしました。

これは先ほど述べたこととダブリますけれども、日本ではCFCのコントロールが国会で3月に批准されまして、これから正式にCFCの厳しい規制が始まっておりますが、これでも95年に50%、2000年に0にするという規制でございます。今年の4月にアメリカの上空でオゾンの濃度が著しく減っているということから、ヨーロッパもアメリカも2000年全廃を3年ないし4年くらい早めるということで、来年の10月に開かれる新しい規制を決める会議でもっと厳しい規制が生まれると思います。

日本のことをもう少し続けさせていただきますと、日本では86年に12万トンのフロンが生産されております。87年には14万トン、89年には少し駆け込み的に15万トンになりましたけれども、90年

Regulatory Trends on Ozone-Depleting Chemicals in Japan

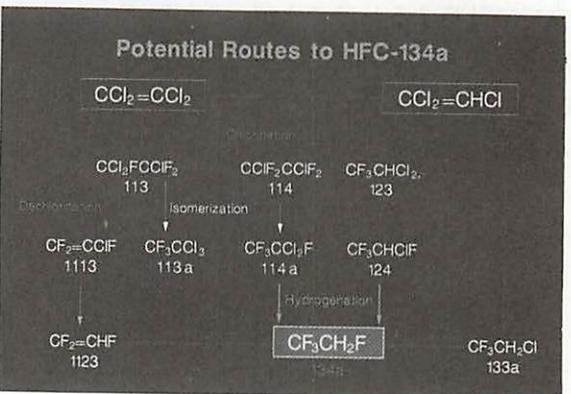
April '88	Ratification of the Montreal Protocol and the Vienna Convention Approved
May '88	CFC Control Law Issued
July '89	CFC Regulation Executed
Oct. '90	CFC Reduction Technology Seminar Held for Developing Countries
March '91	Amendment of the CFC Control Law Issued



Production and Consumption of CFCs in Japan

	Production*	Consumption*
1986	120	118
1987	140	136
1988	148	147
1989	147	147
1st control year	119	110
	20% Reduction	25% Reduction

* thousand metric ton



Influence of Catalysts on the Hydrodechlorination

$$\text{CF}_3\text{CCl}_2\text{F} \xrightarrow{\text{H}_2} \text{CF}_3\text{CHClF} \xrightarrow{\text{H}_2} \text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$$

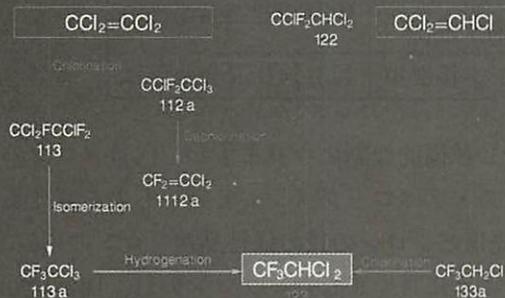
Catalyst	New Alloy* catalyst	Palladium catalyst
CFC-114a conv.	100 %	70 %
HFC-134a sel.	85	70
HFC-143a sel.	5	20
HCFC-124 conv.	90	30
HFC-134a sel.	98	95
HFC-143a sel.	2	5

* EP 347830 (AGC) 1989

List of CFC Alternatives

	CFC	CFC Alternative
Refrigerant	CF ₂ ClCF ₂ (114a), CF ₂ ClCFCl ₂ (113), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114b), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ (114c)	CF ₃ CHClF (124), CF ₃ CH ₂ F (134a), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134b), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ (134c), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134d), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134e), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134f), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134g), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134h), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134i), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134j)
Blowing Agent	CF ₂ ClCF ₂ (114a), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114b), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ (114c), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (114d), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (114e), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (114f), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (114g), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114h), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114i), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114j)	CF ₃ CHClF (124), CF ₃ CH ₂ F (134a), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134b), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ (134c), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134d), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134e), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134f), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134g), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134h), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134i), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134j)
Cleaning Agent	CF ₂ ClCF ₂ (114a), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114b), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ (114c), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (114d), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (114e), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (114f), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (114g), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114h), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114i), CF ₂ ClCF ₂ CF ₂ (114j)	CF ₃ CHClF (124), CF ₃ CH ₂ F (134a), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134b), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ (134c), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134d), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134e), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134f), CF ₃ CH ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ CF ₂ (134g), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134h), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134i), CF ₃ CH ₂ CF ₂ (134j)

Potential Routes to HCFC-123



Possible Alternatives for CFC-113

Manufacturer	Product	Component
Not-in-kind		
Petroferm (MTI)	Bioact EC-7	α-Limonen/Surfactant
(Customer)	Alcohol	Ethanol, Isopropanol
Du Pont	Water	Water
	Axarel 38,52	Hydrocarbon/Surfactant
Fluorocarbon		
Du Pont	Vertrel 434	HCFC-141b/123/CH ₃ OH
Allied-Signal	Genesolv 2020	HCFC-141b/123
	Genesolv 2010	HCFC-141b/123/CH ₃ OH
Daikin	Pefol	Pentafluoropropanol
Asahi Glass	AK-225	HCFC-225ca/225cb

にかけて120万トンになり、今年は恐らく100万トンをきるようなことになると思っております。

日本でフロンを生産している会社は旭硝子とダイキンと昭和電工と三井クロロケミカルと、セントラルガスです。私どもは代替フロンの開発を10年ぐらい前から手がけておりましたけれども、今、開発を急いでおります。

次に、代替フロンのモリキュラー・デザインをどのように考えていっているかということですが、これは主として私どもの考え方でございますが、ここに書きましたように、一応先ほど申し上げましたように、塩素を全く含まないものにするか。しかしながら、いろいろな諸性質を考えた場合、どうしても塩素が必要である場合には、水素をたくさん入れて分解しやすいようにするというモリキュラー・デザインをやりまして、いろいろサンプルをつくり、Preliminary Evaluationをやりまして、それから、パイロット・オペレーションをやったり、あるいは、特性試験とかそういうようなことをやっけていながら、コマーシャル・プロダクションにもっていくための努力を続けております。

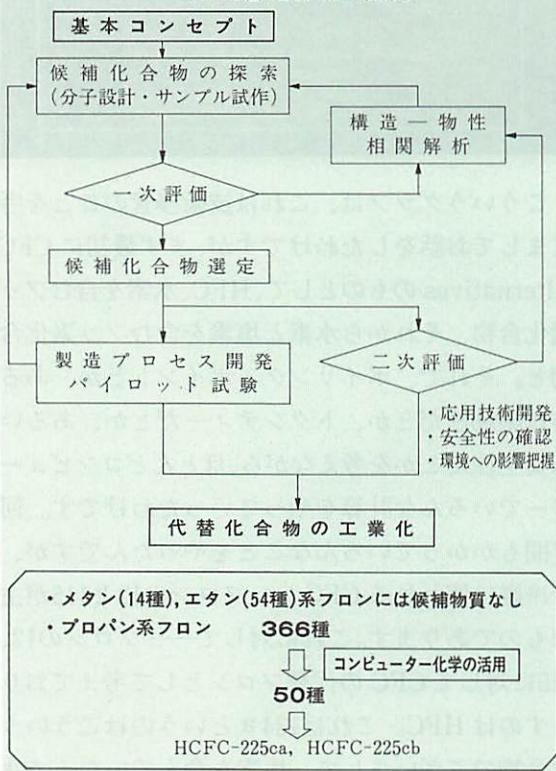
こういうグラフは、これは技術移管のことを考えましてお話をしたわけですが、まず最初に CFC Alternatives のものとして、HFC、水素を含むフッ素化合物、それから水素と塩素を含むフッ素化合物と。それで、ボイリング・ポイントとか、あるいは燃焼性だとか、トキシティーだとか、あるいは安全性だとかを考えながら、ほとんどコンピューターでいろんな計算をやっていったわけです。何年間もかかっていることをやったんですが、今冷媒に使われる CFC は、フロンの12と115が主なものであります。これに対して——フロンの12、115に対して CFC の代替フロンとして考えておりますのは HFC。これは134a というのはこういう化合物でございまして、塩素を含んでいなくて水素を2つ含んでいる化合物です。他にもいろいろ考えていますが、この HFC の134a が本命というように、今、考えております。

それから、ウレタンの発泡剤に使われるものとしては、CFC の11、あるいはエチレンの発泡剤に使われる114等々がありますが、今のところ123、これは塩素を含んでおりますが水素を含んでいません。それから141b。これは塩素も含んでいますが

各社の代替フロン開発状況

	CFC-11 代替品 HCFC-123	CFC-12 代替品 HFC-134a	CFC-113 代替品
旭硝子	セミコマーシャルプラント (800t/年)稼働中	'92～'95に2000～1万t プラント稼働予定	HCFC-225を開発 量産試作実施中
ダイキン	サンプル出荷中	5000t規模プラント建設中 '91末稼働予定	5フッ化プロパノール開発 サンプル供試中
昭和電工	(サンプル出荷中)	5000t規模プラント建設中 '91末稼働予定	
Du Pont 三井 デュポン	数千tプラント 稼働中(カナダ)	'90末数千tプラント運転 開始(米) '95までに7プラント建設	炭化水素系上市 123/141b混合系供試 HCFC-225を開発中
I C I	サンプル出荷中	プラント稼働中(英) '92末プラント稼働予定(米)	HCFC-225ca試作中
Allied	サンプル出荷中	パイロットプラント稼働中	123/141b混合系供試

フロン113代替化合物の開発



水素をたくさん含んでいる。この2つが今のところ本命でございます。

それから洗浄剤として使われる113につきましては、これは旭硝子が提案しました225という化合物。これは塩素を含んでおりますが水素を含んでおまして、非常に分解しやすく、対流圏で分解してオゾン層には塩素を持ち込まない化合物で、ほとんど113と似た化合物、フロンでございます。

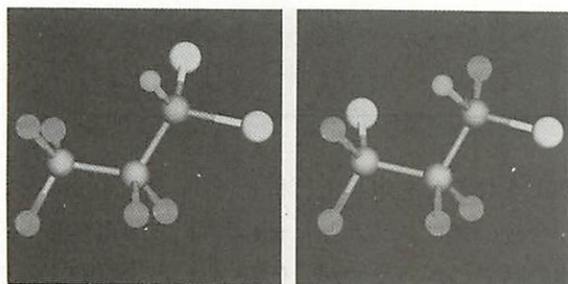
少し技術的な話になりますが、代替フロンのプロセス・デベロップメントというものを考えますと、先ほどフロンの12の代替品がフロンの134aというように言いました。フロンの11、12というのは四塩化炭素に液相で触媒を用いるか、あるいは気相で触媒を用いて、四塩化炭素とフッ酸を流してやりさえすればぱっとできるというようなもので、つくるのがやさしかった。しかし新しい代替フロンをつくるには、例えば原料がこういうもの(CCL₂=CCL₂)あるいはこういうもの(CCL₂=CHCL)であった場合に、実にいろんな工程を通りながらつくらないといけないわけです。実際には、どの工程を取るかということにはいろいろ方法があるんですけども、とにかくつくるのが非常に厄介であります。

私どもは、今のところ134aをつくりますには、114aから124を経由して134aに持っていくということを、今考えておりますが、例えば、特許その他でいわれております、パラジウムのキャタリストを使ってやった場合のコンバージョンが、ファーストステップの場合、例えば70%ぐらいありますが、これを特別なニュー・アロイのキャタリストを使いますと、114aからのコンバージョンはほとんど100%である。それから、124aからいった場合も、パラジウムのキャタリストでは30%ですがこれを90%にすることができる。セレクトィビティーに関して、パラジウム・キャタリストの

場合に比べて85%だし、あるいはこの次のステップの選択性を98%に上げることができたとか、プロセス開発でも、リアクターの開発もいろいろありますが、主として触媒の開発で、いろいろな新しい技術を見つけなくてはならない。

今度は、同じようなことがフロン11の代替品であります HCFC の123 という場合も、いろんなプロセスが考えられてきて、どれを選んでいくかというようなことをやりました。フロン11は、四塩化炭素にフッ酸をとおしてやればできるといふようなものであったのに比べて、かなり面倒なプロセスでつくらないといけないということになります。

もう一つ、先ほどちょっと申し上げましたよう



HCFC-225ca (CF₃CF₂CHCl₂)

HCFC-225cb (CClF₂CF₂CHClF)

に、日本では電子産業が非常に発達しておりますので、洗浄用のフロン、フロン113をもし、やめた場合に、フロン113にかわる代替フロンとは何ぞやということ。フロン113にかわる代替化合物をどのように見つけていったかといいますと、フロン113というのは、カーボンが2つの化合物でございますけれども、候補化合物をいろいろ考えまして、カーボンが2つのもの、あるいはカーボンが3つのもの、カーボンが4つのものというようなものを、いろいろ考えました。ほとんどこの辺のところはコンピューターでやりまして、大体360種ぐらいの化合物をいろいろ検討しまして、一応、その中から50種類の化合物に決めました。その50種類の化合物をいろいろ合成いたしまして、最後に絞ってきたのがフロン225というものがあります。これは、こういう構造を持ってまして、これがカーボンでございます。ここに1つ水素がついています。このグリーンのものでフッ素で、フッ素が5つ入っておりまして、塩素が2つ。異性体でこういうように塩素がついてここに水素。

Physical Properties of HCFC-225ca/225cb

	225ca CF ₃ CF ₂ CHCl ₂	225cb CClF ₂ CF ₂ CHClF	113 CCl ₂ FCCF ₂
Boiling Point (°C)	51.1	56.1	47.6
Surface Tension (dyne/cm, 25 °C)	15.8	16.7	17.3
Kauli-Butanol Value	34	30	31
Flash Point	None	None	None
Azeotropic Composition with CH ₃ OH (wt%)	94.7/5.3	93.3/6.7	93.6/6.4
Boiling Point (°C)	45.5	47.2	39

この水素は容易に OH ラジカルで攻撃されて、これが取れますと、この残りのラジカルがすぐばらばらになってしまいます。対流圏で壊れてしまいますので、塩素を持った化合物が上に上がっていかないということになります。

フロン225と、CFC 113を比べて見ますと、

HCFC-225とCFC-113の特性比較

- 物理化学的特性
 - 熱的、化学的安定性
 - 材料への影響 (金属・プラスチック・エラストマー)
 - 洗浄特性
- } CFC-113と同等



“Drop-in Replacement”が可能

HCFC-225の実用化への課題

1. 商業生産プロセスの確立
2. 洗浄・応用技術の集積
・アルコール共沸系他用塗別品種の拡充
3. 安全性確認試験の加速

物理化学的な特性、熱的な安定性、材料への影響、洗浄特性も、ほとんど113と同等でありまして、あとは商業生産のプロセスの確立と、安全性の確認試験を加速する。これは93年いっぱいぐらいで終わりますが、今のところ、途中経過では問題は少ないというような結論が出つつあります。

洗浄方式によるエネルギー効率の比較

運転条件：稼働時間 8 時間/日、プリント基板サイズ 300cm²、処理量 1000 枚/日

洗浄行程：洗浄—リンス—乾燥、或いは洗浄—水リンス—乾燥

洗 浄 剤	HFC-225 /EtOH	水 系 (アルカリ)	準水系 (炭化水素) A	準水系 (炭化水素) B	準水系 (炭化水素) C
新規設備投資					
洗 浄 装 置		○	○	○	○
回 収 装 置	○				
排水処理装置		○	○	○	○
純水製造装置		○	○	○	○
脱 臭 装 置					○
単位処理時間 (枚/分)	4	≥15	≥15	≥15	≥15
純水使用量 (ℓ/分)	0	20	20	20	20
排 水 量 (m ³ /日)	0	10	10	10	10
消 費 電 力 (kWh/hr)	27	49	49	51	54

今、フロン113はほとんど洗浄に使われることが多いというように申し上げましたけれども、いろいろな洗浄方式があるわけです。私どもは今、フロン225とエタノールを入れた系をエレクトロニクスの洗浄、あるいは精密機械の洗浄用の溶媒として使おうとしているんですが、水にアルカリを入れた系、あるいは炭化水素の系、炭化水素—いろいろな炭化水素の系がございます。もともと、フロン113を使って洗浄いたしておりましたので、新しい新規設備投資としては、この場合には、ただ回収装置をつければ済むということですが、それぞれの洗浄系における消費電力を比較してみると、やはりフロンを使う系が一番経済的であるというように思っておりますので、例えばプリント基板の洗浄は、これの安全性の結果が確認されるころ—94年ぐらいからは、113に置きかわって225の系が代替フロンの洗浄剤として、主流になっていくのではないかとこのように考えております。

以上のような話をワークショップでいたしまして、日本としましては、代替フロンの開発を着実に進めています。代替フロンの開発についてまだ進んでいない国については、この技術をいつでもトランスファーするという意向を持っているとい

うようなことを申し上げました。

今後のプログラムとしましては、これは日本全体の話でございますが、代替フロン、今申し上げましたように製造サイドからいいました代替フロンに対するいろんな期待を申し上げましたが、Environmental Studies を最後まで精密にやるということと、属性テストを続ける、それから、コマール・プロダクションに対するエコノミーを考える。

現在、例えば113ですと、キログラム300円とか400円ですが、今、私どものつくっているものは、現在のコスト試算では2000円から3000円の間になる。これを少なくとも600円とか800円とかに、将来、持ってくるようにしないとイケないということが一つの課題であります。

それから、デベロッピング・カンツリーにテクノロジーをトランスファーしない限り、113をどんどんつくり続けられると困りますので、そういうことをやらないとイケない。それで、2030年を目指して、CFC でない、新しい化合物をつくっていく。これは通産省の大型プロジェクトで現在進行中ですが、実際には、この開発には10年とか15年という期間がかかると思いますので、少なくとも、今後40年間の間には、今申し上げました

フロン類の寿命とオゾン破壊係数

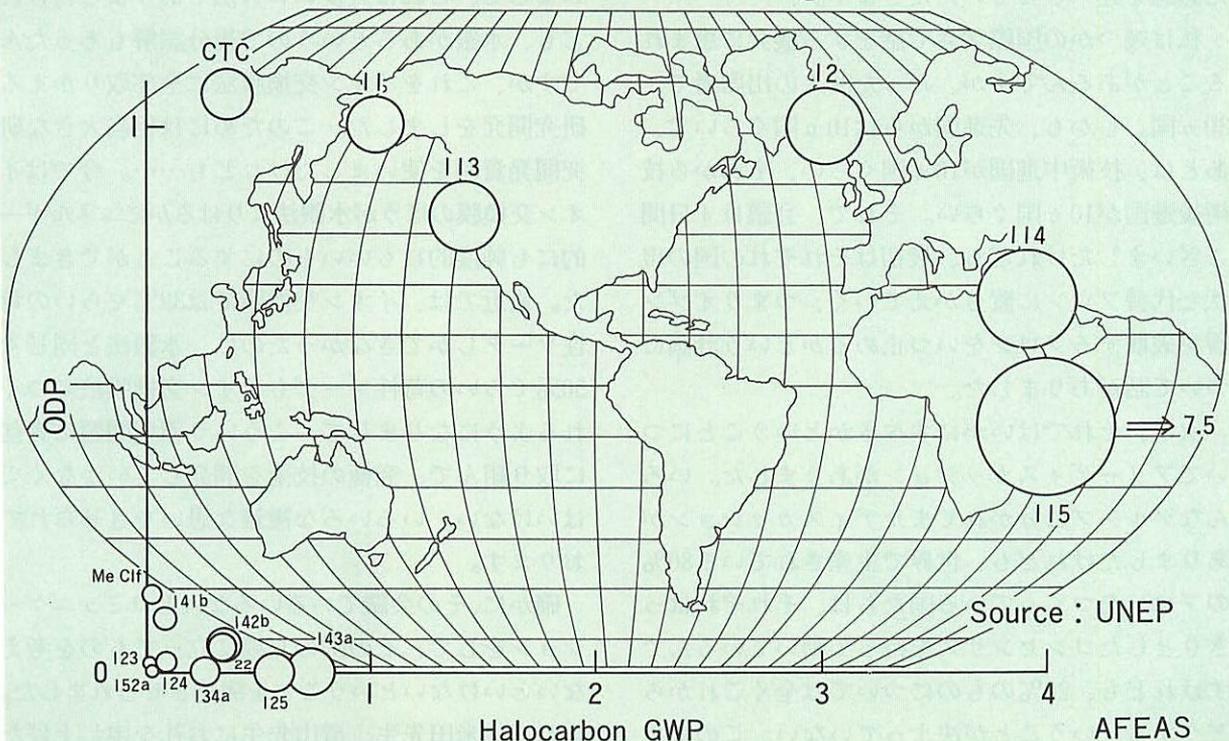
化合物	寿命(年)*	ODP*
CFC-11	52	1.0
CFC-12	101	0.87
CFC-113	79	0.76
CFC-114	197	0.56
CFC-115	393	0.27
HCFC-22	15	0.043
HCFC-123	1.5	0.016
HCFC-124	6.5	0.017
HFC-125	43	0
HFC-134a	24	0
HCFC-141b	6.9	0.081
HCFC-142b	19	0.0455
HFC-152a	2.7	0
HCFC-225ca	1.5*	0.01 [§]
HCFC-225cb	5.1 [#]	0.04 [§]

*Scientific Assessment of Stratospheric Ozone : 1989
 LLNL 2-D Model *Physical Chemical Lab. 測定値
[#]NIST 測定値 [§]旭硝子推算値

ような代替フロンで、オゾン層に影響を与えるフロンをすべて置換していかないといけないのではないかと考えております。

代替フロンに対して、もう一つの別の面からの数字を少しお話しておきますと、先ほど申し上げましたように、分解係数といいますか、対流圏の中での寿命を測定したり、計算をしてやりながら推算をしているんですが、大体、オゾン層を破壊するフロンである11、12、113、114、115というものの対流圏における寿命というのは52年とか393年とか、いかに今、オゾン層に影響を与えるフロンが安定な化合物であるかということがおわかりになるかと思います。先ほど申し上げましたような、一つの代表選手であります HCFC の123は、この寿命が1.5年であります。それから HCFC の134 a というのは24年であります、この中には塩素が含まれておりませんので、ある意味では影響を与えないということがいえると思います。今、私が少し宣伝させていただきましたフロンの225の場合は、1.5年から5年——異性体によって違いますが、1.5年ないし5.1年ということで、オゾンのデプリセーションファクター、ポテンシャルといいますが、これはCFCの11——一番大きな、オゾン層を破壊する張本人といわれております——を1といたしますと、このオゾン層を破壊するものはみ

HCFCs and HFCs Address Both Ozone Depletion and Global Warming



んなこういう数字でございますが、代替フロンとして示されているものは、2けた数字が小さくなっているということが言えます。しかし、完璧ではないのです。

それからもう一つ、これらのフロン化合物は温暖化のポテンシャルと申しますか、GWPが非常に大きい。これは四塩化炭素で、これはオゾン破壊する係数で、11を1として考えておりますので、4塩化炭素、それから113、12、114、115、いずれもオゾン層を破壊する主役と言われているものですが、こちらの縦軸はオゾンのデブリセーション・ポテンシャル、下のほうはグローバル・ウォーミング・ポテンシャル、温暖化の係数でございます、赤外線を吸収しまして地球から出てくる熱量をトラップするという意味では、現在のオゾン化合物はみんな高いこれを持っているんですが、今、私どもがいろいろ提案しているものは、こういうところにあります。

そういう意味で、完璧とは言えませんが、オゾンの破壊を起こしていたフロンを全部取りかえていく化合物としては、非常に有力なものが開発されつつある、工業的に開発されつつあるということをお願いしたいと思います。

それでは最後に、ワークショップに出席しました感想を述べさせていただきます。

私は幾つかの国際学会で話をする機会に恵まれることがあるんですが、たった80人の出席者で、30カ国。しかも、先進国からは10カ国ぐらい、あとは、技術中進国が10カ国ぐらい、それから技術後進国が10カ国ぐらい。それで、会議は4日間ございましたけれども、最初はそれぞれの国の現状と代替フロンに置きかえていく、つまりオゾン層を破壊するフロンをいつ止めるかという計画について話がありました。

次に、それではいかにすべきかということについてフリーディスカッションがありました。いろんなグループに分かれてまたディスカッションがありましたけれども、世界で生産されている80%のフロンをつくっている国たちは、それぞれはっきりとしたコンセンサスを持って動いているんですけれども、20%のものについては全くこれからどうするということが決まっていな。このまま

— Future Programs —

- Environmental Studies (ODP and GWP) and Toxicological Testing (PAFT)
- Economical Processes for Commercial Production
- Technology Transfer to Developing Countries
- Research for the Next Generation CFC Alternatives

進めば非常に大きな混乱が起こっていきたくらうと思われま。通産省も御存じのようにフロン対策室をつくられていて、非常に強力でフロン対策に関する行政を進めておられて、昨年の9月、10月にかけては、17カ国の人たちを招いて、技術トランスファーについていろいろな講習会を開いたりしておりますけれども、我々としては、自分たちの国のことだけを考えるのではなく、世界全体の視野に立って、やはり提供すべき技術はちゃんと提供して、環境を守っていかないといけないのではないかということをしみじみと痛感させられました。

私どもの会社は、十四、五年前は、苛性ソーダをつくる——苛性ソーダの電解法は水銀法でございまして、これは大変いい方法でありましたけれども、水銀があるというので幾分誤解もあつたんですが、これをイオン交換膜法に全部取りかえる研究開発をしました。このためには相当大きな研究開発資源を使いましたけれども……。今ではイオン交換膜のほうが水銀法よりはるかにエネルギー的にも純度的にもいいものにすることができました。最近では、イオン交換膜では32%ぐらいの苛性ソーダしかできなかったのに、水銀法と同じく50%ぐらいの苛性ソーダもイオン交換膜法でつくれるようになりまして、こういう環境問題に真剣に取り組んで、究極の技術を開発していかなくてはいけない。いろいろな複雑な思いをさせられております。

確かに、その会議でいろいろな人とコミュニケーションをして、その国の立場に立ってものを考えないといけないということを痛感させられました。重ねて、米田先生、清山先生にお礼を申し上げた

いと思います。

ちょっと長くなりましたが、以上でございます。

(拍手)

米 田 どうもありがとうございます。いろいろな面から、特に研究開発、私も大学におけるわけでございますので、その方面にも大変興味を持ちましたが、研究開発からずっとそのプロセス、それからさらには将来の発展途上国と先進国との対立関係、いろいろ大変興味があるお話を伺いましたありがとうございます。

それでは、ここで一休み願ひまして、食事をしていただきます。その後で、いろいろなご意見を伺いたいと思います。どうもありがとうございます。

(食事休憩)

米 田 それでは、内野先生、お疲れのところでございますけれども、いろいろきょうのお話につきまして、ご質問、ご意見、ご討論を賜りたいと思います。

今 岡 最近のテルカロイクに出ておりました……。

米 田 できればお名前をですね……。

今 岡 私、吉崎鴻造の代理でまいりました今岡と申します。

地球温暖化に対する代替フロン業界の推定は甘過ぎるんじゃないかということが、ちょっと出ておりましたけれども、デュポンあたりがフロンは半分ぐらいになるだろうと、かわってくるのが……。これはそういう点を見て、問題になるんでしょうか。あるいは、その辺のご感想をちょっとお願いします。

内 野 デュポンも私どもも、今、大体120万トンはある代替すべきフロンのうち、半分は今申し上げましたような代替フロンにかわり、後の半分は非フロンにかわるだろうというように推定いたしております。これは、むしろ今のような温暖化というような問題ではなくて、フロンが便利過ぎるので使われていたようなところがありますね。例えばエアゾールみたいなものは、フロンを使う必要は何もないんじゃないかとか、あるいは洗浄もわざわざ113を使う必要がないんじゃないかというところもたくさんありますので、何でもかんでもフロンということを除くと、50%ぐらいはどうし

ても、類似フロン化合物が必要になるというように思っております。

ご指摘のとおり、温暖化につきましては、少し甘過ぎるかもしれません。炭酸ガスですら、ここ数年前までは、そんなに緊急の課題ではなかったものですから……。

清 山 九大の清山です。非常におもしろいお話を聞かせていただいたんですけど、ちょっと2つばかりあるんですけども、1つはフロン問題について、大体、地球環境の問題はいわゆる IPCC が取り仕切って、これは各国間の協議——政府間の協議の場へ上げるということになっておるんです。IPCC の中にワークショップが3つぐらいあって、その中の一つが技術的な対策をやっておるんですけど、何か今度のワークショップで、その話は出なかったですか。

内 野 特には出ませんでした。全く出なかったと言っていいと思います。といいますのは、今度はこの30カ国も、しかも、どうもいい言葉がないので後進国と言ってしまいますけれども、後進国の人たちがこうやって一同に会したというのは初めてのケースだったようで、そういう意味では意見が飛び交ったという感じでした。

清 山 お聞きしたいのは、さっきの質問と関連があるんですけども、半分は非フロンになるだろうという今のお話ですね。先ほどの話で、プロセスのエコノミクスを聞いてみると、製造の原価が相当何倍にも高くなると。そうすると、一方で、フロン以外のもので代替するに値するものが結構あって、そういうものをつくって協力したほうが経済性がずっといいというようなこともあって、半分は非フロンになるんじゃないかというふうに理解していいのかどうか。ちょっと。

内 野 おっしゃるとおりだと思いますが、素直に……50%ぐらいは先生のおっしゃったように、例えば100ありまして50ぐらいはかわると。その内の20%ぐらいは素直にそういうようなものだと思いますが、後残りの30%ぐらいは、明らかに技術開発を相当真剣にやらないと、フロンから置きかえられないという部分があります。

一番わかりやすいのはウレタンの発泡剤ですね。これは水で発泡させるわけなんです、私どもは

ウレタンやポリオールメーカーでもありますので、これをやりますと水よりかフロンの方が、例えば電気冷蔵庫の硬質のウレタンで、電気冷蔵庫の断熱材というのは、私どもも世界最高の断熱性能を持ったものを開発しています。これはフロンガスを使わない限りだめなんです。が、ポリオールにもものすごく特殊な細工を施しますと、水でも同じような性能が出てくるということがわかりまして、これはフロンはいらないと。これで社長から怒られちゃったんですけど……お前余計なことするなって(笑い)。ですけど、そういう要素が幾つかあって、初めてフロンを置きかえていくと思います。

清 山 どうもありがとうございました。

米 田 よろしゅうございますか。どなたかどうぞ。

原 元日産におりました原でございます。

温暖化の話が出ましたね。ちょっと私たちにはわかりにくいのは、フロンと温暖化の関係なんです。フロンはオゾン層を破壊するということで、むしろ赤外線は空のほうに出やすくなるんじゃないかなと。そういうことと温暖化との関係はどういうことなんでしょうか。

内 野 フロンそのものの濃度はそんなに高くないんですけど、先ほどのウォーミングファクターが、ポテンシャルが大きなものにつきましては、下の地球から出てくる、太陽から降ってきたいろんな光線を、赤外線といいますかそういうものにかえてこちらに出てくるときに、その赤外線を吸収するファクターが、先ほどありましたように、他のものに比べて100倍とか、例えば炭酸ガスに比べても20倍ぐらいになるんじゃないでしょうか。ですからどうしても、濃度が低くても、濃度の高い炭酸ガスに比肩するとは言いませんけど、確か5分の1とか6分の1ぐらいに——今のフロンです。悪いほうの。それを10分の1とか、もう1けたも2けたも吸収ファクターを下げないといかないというように言われています。今の代替フロンですら、推定が甘過ぎるとおっしゃられているぐらいですから。つまり、赤外吸収能がフロン化合物というのは非常に高いというように思っております。

森 口 元、東大にいました森口でございます。

先ほどのお話の中で、新しい物質を、代替品を開発する過程で、初期にコンピューターを使って絞り込んだというようなお話がありましたが、その点に非常に興味を覚えました。どんな基準でどういうふうにやったか、お差し支えない範囲でお聞かせいただければありがたいです。

内 野 もう少し詳しくは、研究員のほうがご説明できると思いますが、例を113に絞って考えますと、113の場合には洗浄性能というのが一番重要でございまして、相容性というのをどういう値に持っていくかということが非常に重要だと考えたわけです。

一方、113というのは沸点が47°Cぐらいで、洗ったり何かして、蒸発させたり、あるいは凝縮させてきれいにさせたりするには非常にやりやすい温度なものですから、それと、ある程度粘度が低くないと中で小さなところに入っていくかないということで、その3つのファクターで、粘度と蒸発温度と言いますか、ボイリングポイントを推算するのは比較的やさしかったんですが、相容性をどういようにコンピューターで推算するかというのが非常に難しかったです。いろいろな過程を経て、相容性と分子構造の関係の推算式をつくりまして、相当大胆な仮定をおいてやったんですが、それで一応絞り込んでみました。ですから、10年前の最初の3年ぐらいは、1ヵ月に3つとか4つとかつくりながら、いろいろ、それこそカンでこの化合物は良さそうだというんでやっていたんですが、全く当たらなかったんです。それで、一応コンピューターでそういうシステムをつくりまして、相容性をうまく推算するというので、とにかく500ぐらい化合物をわあーっと当たってみまして、50ぐらいに絞って、そして15番目ぐらいで、ものすごくいい化合物に突き当たったのが225でした。

企業の研究所ですから早きをもって貴しとするので、今、一生懸命推算式をサイエンティフィックにブラッシュアップしておりますが、その二、三年前に見つけたときは、相当大胆な仮定をやりました。しかしそれにしても、先ほど米田先生にお話ししましたけれども、少なくとも3倍くらい速

さが早くなったように思います。

森 口 どうもありがとうございました。

清 水 東芝の清水でございます。素人ですが、お伺いしますが、先ほどの話で HCFC も保存デプリセーションポテンシャルが 0 ではないというお話がございましたけれども、そうしますと、いずれこれから先、また HCFC についても規制のような動きが出てくるのかどうかというのを伺いたいのが 1 つです。

それから、もう 1 つ、HFC-134a は塩素が入っていないので問題ないというお話でしたけれども、アメリカでこれも問題になるかもしれないという話を小耳に挟んだような気がするんですが、この辺は全く問題がないものかどうか、この 2 点について伺いたいのと思います。

内 野 最初のデプリセーションファクターが 0 でないということについては、現在 2 通りの大きな考え方がありまして、全くだめだとする考え方は、ヨーロッパだと思えます。ヨーロッパは HCFC の技術開発が必ずしも早く進んでいないということもありますし、いかなる瑕瑾があるとも許しがたいというようなことがありまして、非常にシビアでございますので、例えばドイツはクロールを含んだ代替フロンを自分の国でつくるつもりはないというのが一つの考え方です。

一方、日本、アメリカ、その他は産業からの要請が強いということもありまして、ある程度理論的な根拠があれば、先ほど申し上げましたように、2030 年ぐらいまでに対策を講じればよいということで、この 20 年ぐらいは塩素を含んでも、分解が 5 年以内で起こるようなものであれば大事には至らないという考え方で、現実的な対策をとっていらっしゃいます。

ただ、そうは言いながら、実際に通産省の肝いりで、今、非フロンですべてを代替できるような代替フロン化合物といいますか、塩素を含まない化合物で全部代替フロンをつくるんだという考え方で研究は進んでいますし、私ども自分自身でもそういうことを試みております。道のりは遠しというようなことを考えております。

それから 134a に関しましては、私は温暖効果みたいなことだとか毒性はほとんど問題ないと思う

んですけども、性能が必ずしも 134a でいいのかというようなこともありますので、いろいろ問題ありますけれども、今、各フロンメーカーが、一斉に、これだけは本命だと思って大きな投資を、私どもも何千トンのプラントをつくることにしておりますし、現実的には、皆さんそれに対しては、大したことであってほしくないという考え方でやっているようでございます。

中 川 日産の中川でございます。2 つお尋ねしたいんですが、私かつて機械屋でございますので触媒のことは全然わからなかったんですが、廃棄対策で、触媒をうまく使うことに、何とかうまくいきましたんですが、先ほどおっしゃったパラジウムから新触媒というのにならなくなって、非常に効果を上げられたということで、その辺の触媒選びというのは、現在、コンピューターケミストリー的な考え方でおやりになるのか、その辺はどういうことなのかということをお伺いしたい。

それから、技術移転の問題でございますけれども、先ほど発展途上国に対してはただでくれ、持ってこいというお話で、そういう問題が 1 つと、国内同士のいろんな技術のプライオリティと申しますか、パテントと申しますか、そういう問題とか、先進国同士の移転の問題、そういう問題はこういうふうになっているのか、あるいは、なるだろうか。ちょっと差し支えない範囲でお話を願いたい。

内 野 最初の触媒の問題ですが、私ども、ケミカルス、ポリマーをいろいろコンピューターケミストリーであるということにつきましては、相当大胆なことをやっておりますが、触媒に関しては必ずしも——きょうは米田先生も清山先生もいらっしやって恐縮なんです——界面のポテンシャルみたいな問題を少し正面切って取り上げてまして、今度のいろんな新しい触媒を開発するときも、幾つかの仮説の正しさを定量しまして——コンピューター使いながら——それでその方向に向けてやったんですが、ただし、この場合は、私どもセラミックスをやっております。セラミックスにちょっと変わった人がいまいて、その人が何でもかんでも合金をあっという間につくってくれる——その人がいなかったらこんなに早く触媒は見つからなかったんじゃないかと思っておりますので、30%

ぐらいコンピューターを使い、70%ぐらいは昔の職人芸でやっているというような思いでございます。

それから先進国につきましては、私もよく外国に行くんですが、確かに1990年代というのは競争の時代から競争と共同の時代であると。90年代はまさに共同の時代であるというように考えておられて、お前のところはこのフロンをつくりなさい。私のところは、例えば、アメリカならアメリカで別のフロンをつくります。お互いに融通し合いましょうというような話もあります。これはちょっと業界の話みたいで恐縮ですけども、やはり、自分のところの技術が非常に優れているということでしたら、その技術を中心にその国でやり、非常に一面でリスクな仕事でありますから、リスクを折半しながらやろうではないかということもあります。

確かに環境に絡んだ問題は、あまり、やれパテントの何%をよこせだとかいうような話にはなりにくいんじゃないかと思っております。ですから、安全性の試験も、フロンの場合には、競合しております各フロンの中でのメーカーが集まりまして、新しいフロンができたなら、お前さんのところがつくったこのフロンとこのフロンとかあわせて、安全性の試験はお金をプールにしてテストをしようというような動きもやっております、競合しながら共同をするということをやっております。答えにはならないかもしれませんが、幾分かはロイヤリティーの出し入れがあるかと思いますが、基本は協調していいものをつくってほしいという雰囲気ではないかと思っております。

米 田 よろしゅうございますか。今のお話しは大変重要ですね。温暖化の問題全体に通じて、こういうことが行われなければならないのかもしれませんが。あとはいかがでしょうか。

中 川 発展途上国に対しては代替技術というわけ？

内 野 発展途上国に対しましては、実は、私、幾分研究開発サイドのものでありますから、相当はつきりと、私もこうやって技術開発しておりますけれども、この技術はいつでも移転する用意がありますというようなことを会議のときに申し上げた

ら、米国の人から、私企業で技術の移転をするということを行ったのはあなたが初めてだと言われまして……。皆さん、今、用心しいしい、どうということになるかわからないので——技術の移転の条件だとか、そういうことがわかっていない段階で、そういうことを言うのはどうかというようなご指摘を受けましたけれども。

しかし、トータルにしてみれば、そういうことも必要だと思っております。

柴 田 東大の柴田と申します。私、機械屋で全くこういうほうに関係ないんですが、関連したことで3つ伺いたいことがあるんです。

さっき、塩素をフッ素で置きかえていくといわれた際に、フッ素が今後いろいろ問題を起こすことはないかと、似た元素ですので……。

第2番目が、水素を入れていくというお話でしたけれども、完全に入れてしまえばメタンや何かになっちゃうわけですが、いわゆる安全性の問題で問題が起きないかということ。

もう1つは、さっきのOHPでもありましたんですが、温暖化の問題がほかの観点、つまりオゾンの問題で改良したにもかかわらず、温暖化の問題も良くなるという相関関係がなぜあるのかということがよくわからない。その3つ、まあ1つのような質問ですけど、何か教えていただければと……。

内 野 非常にざっぱくなお返事ですけども、フッ素は単体、例えばフッ素ガスですと非常にアクティブなんです、例えばカーボンとフッ素が結合しますと結合エネルギーが非常に高く結合がなかなか切れにくいものですから、それ自身は安定になります。それに比べて、C-Cl ボンドというのは光が当たるとすぐ切れやすく、そのクロールがいろんな悪さをするということもあります。フッ素が入りますと化合物としての特性がよくなり、表面張力も低くなるとか、いろんなことありまして、フッ素を入れていって、こういう化合物をつくっていくというのは非常にいい方向に向かっていると思います。

それから、2番目の引火性みたいな問題は、やはり水素を2つ以上、つまり3つ以上入れると具合が悪いであろう。トータルの、いずれにしろ水素。ですから2つぐらいで留めております。3つ

ぐらい入れますと、やっぱりすぐ燃えてしまって非常に危険だと思っております。

全体として、ああいう温暖化特性が良くなっているのはやはり塩素のしわざだと思っています。塩素をうんと、どれの化合物も少なくしておりますので、塩素がたくさん入っている化合物ほど赤外を吸収しているというように思っています。

米田 よろしゅうございますか。ちょっと途中で1つ私から伺いたいと思います。

先ほどオーバーヘッドで横軸に時間軸というか、2010年、2100年か、ありましたね。あれで、私は誤解しているのかもしれませんが、何か要するに、フロン系のものを全廃するというを前提にしておるわけですか。

内野 はい。そうです。

米田 そうすると、フッ素だけの化合物も全廃してしまうという……。

内野 いえ、塩素化合物。塩素化合物と言いましても、成層圏で長い寿命を持った塩素化合物を全廃する。

米田 HCFCをやはり2030年でやめるんですか。

内野 このグラフは2030年でこれまたHCFCを全廃しますというカーブなんです。ですから、この間はどうかという話はあるんですが、今のオゾンホールをとにかくいずれにしても少なくしていく方向に動いていることは確実ですね。ここで、2030年でHCFCを全廃しますと。ただ、これも仮定でございますので、とにかくいずれにしても、こう伸びていっているのは塩素化合物の放出が止まらないんだと。塩素化合物と言いましても対流圏で寿命の長い塩素化合物。とにかくこれを断ち切らないといけない。ここで断ち切ります。しかし、これを断ち切るには何らかの代替物がなければ産業が止まりますので、それでとにかくHCFCを使用しましても、2030年で打ち切れば、これ以上には上りませんということです。とにかく、漸減の方向には行く。しかし、これも計算値でございます。もしかしたらHCFCがこんなに減ってくればHCFCはもっと使ってもいいということになりますし、もしHCFCがもっとこれがこう上がりぎみでしたら——これもまた早く止めようという話になるんです。

米田 ああ、そうですか。ありがとうございます。

それからもう1つは全く違う話ですが、先ほど来のお話では、30カ国中20カ国がいわゆる発展途上国である。この会のワークショップの運営で、20カ国の代表を招待したんでしょうか。彼らは自前で来たんでしょうか。

内野 よくわかりませんが、政府の偉い人みたいでしたから、政府から派遣されたんじゃないでしょうか。

米田 そうすると、かなりそういうところで、いわゆる政府的な機関の代表者が出たという感じであったわけですか。

内野 はい。少なくとも私は日本工学アカデミーから派遣されましたけれども、他のところは政府のポジションが高いというわけではないにしても、少なくとも、技術的には一番意見が通る人のような気がしました。

米田 ありがとうございます。他にございませんでしょうか。

それではちょうど時間でございますので、長時間にわたりましていろいろ……。

アカデミー会議から言えば、いわゆるダイレクト・パース・ステーションでありますけれども、大変適切なお話をいただきまして、ありがとうございます。

これで本日のサロンは終了させていただきますけれども、先生の長時間にわたるご講演、ご討論につきまして、最後に改めて、拍手をもって感謝をお願いいたしたいと思います。どうもありがとうございます。(拍手)

2. ハンガリー訪問記

以下は、平成3年6月4～5日、ハンガリーのブダペストに於て開催されたCAETS会議“Harnessing Engineering and Technology for Economic Growth : Opening the Dialogue Between the Engineering Communities of the East and West”に、日本工学アカデミー代表として出席された大阪大学社会経済研究所所長森口親司氏による報告文です。

大阪大学社会経済研究所
所長 森口 親司

今回のハンガリー訪問はピンチヒッターで急遽起用されたので、準備不足ではあるが、もともと今年10月に東欧訪問をひかえて関心が深かったのと、通産省から事前に資料を入手することもできたので、4日間のブダペスト滞在をたいへん有効に活かすことができた。各国の工学アカデミー関係者とも知己となり、プログラムには予定していなかった報告もすることができた。以下、日記風に訪問の次第を記録・報告させていただく。

6月3日(月)

深夜のBP空港にやっと到着。簡単な通関を終えて出てみると、なんと為替の窓口がまだ開いていて、小母さんが編物をしながら待機していた。「ハンガリーではドルを持ち込まず、必ず空港で両替してレシートを持っていること、出国の際にはその半額まで、ドルを返してもらえる」と案内書に書いてあったことを思い出す。タクシーでホテルガレルトまでとぼす。1000フロリント。1ドルが72FLだから、1FL=2円の勘定だ。

小さな部屋に案内される。ルームサービスを頼むと英語は分からないから1番に電話してくれと小母さんの声がいう。フロントは応答無し。そこでもう一度2番をよんで、ドイツ語を試みると、“ZIMMER NUMER?” “ツバイフィールフィール” “EINS BIER?” “JA、JA”で通じる。チップ込みで300FL。FFへのJAL便でもらったおにぎりとおビールで風呂につかって夜食、ハルシオンを飲んで1:30眠りに落ちる。ベルボーイへのチップは50FL。

6月4日(火) 会議第一日目

7時アラームの音で目をさます。ルームサービスで朝食、8:30下へ降りてみるとレストランのフロア、日本流でいうと2階が会場になっている。

オブザーバーを入れて50人ほどの会議、ブルガリア、ユーゴから始まって、東欧諸国の工学研究(ENGINEERING AND TECHNOLOGY、SCIENCE AND ENGINEERINGなどいろいろな言い方があるが)の現状について報告がある。改革や、それに伴う混乱期にあるだけに、報告は政治、経済問題に言及するものが多い。

まずロバート・ホワイト氏が挨拶。(米国NAE会長、環境工学)。CAETSの主旨、NON-GOVERNMENTALな組織でVISION OF FUTUREをめざす。IMPORTANT INTERNATIONAL FORUMとして発展させたい。開催にあたっては、ボルボ、メロン財団の援助をえたことなど。ともあれ、この会議では、知己を作ることが大切だと強調。

アルファベティカルに国別の報告が30分ずつある。

ブルガリア：人口800万、エンジニアの総数は12万このうち34%が産業で、28%が大学や研究機関で、18%が建設関係。管理業務をやる技術者は少なく、(西欧の36%にたいしてたったの6%)おおくが単なるQUALIFIED WORKERとしてはたらいっている。年間1.3万の大学卒のうち、5000が工学。問題点として、能力ある技術者を競争的に活用していない。大学入試、就職に際して、特典あつかいがある。TECHNICAL UNIV.はいろいろあるがバラバラで統合性がない。

すべてドイツ語で教育する工学大学を作ろうと

している。コミュニケーションの重要性を訴える。近い将来、国民投票で王政に戻るか共和制を取るかを決めるとのこと。

科学者・技術者の組合と SCIENTIFIC WORKERS の組合との間の対立があるらしい。技術者の職さがしが自由でなく、やる気がなくなっていること、出国者が増えていることが、質疑のやり取りから分かる。東欧の政治的不安定は、長期的視野にたった教育、訓練の計画をたてられなくし、頭脳流出を加速する。

チェコスロバキア：報告予定者が欠席、代理で、運輸省中央研究所の人が、鉄道、自動車道路、空路、などの建設の現状についてはなす。

フロアからの質問：チェコの生産の停滞、鉄鋼生産設備の無駄、兵器生産依存度の高い産業の問題、設備の老朽化が甚だしく環境悪化などの問題があるがどうするか。(ホワイト)

英国に流出し、英企業で働いているチェコ人のコメントとして、チェコでは、私的ベンチャーに対する金融支援がない、知的財産権を保護する法的環境がないことなどを J. MCKENZIE 氏(英国)が紹介。

ユーゴ：報告者は大学の機械工学の助教授をやめて、会社を起こした人 (MULTISOFT)。

技術者の総数のうち、35万が学卒、20万が工専卒。全体の10%が Ph.D.。技術者は優秀なのが民間企業に行き、高給をもらう。大学や公的機関では給料が低い。WORK HARD WITH LOW SALARY。頭脳流出も盛ん。経済改革で倒産する企業も増えてきた。技術者の失業は、長年の研究の蓄積を失わせるので問題。製造業の重要性を強調。

R&Dベンチャーのスタートアップを促進するための財政援助制度がある。すくなくとも、Ph.D. 3名、MASTER OF SCIENCE OR ENGINEERING 4名、そして7名の技術者を雇用する企業には税制上の優遇処置が講じられている。

日本とよく似た問題があると感じたとコメントする。日本と比較されるだけで光栄だという返事がかえってくる。会場が笑いに包まれる。——日本の工学、科学の圧倒的な成功の実績の前に工学

の専門家の間では「日本の成功」を疑う余地がないという感触だ。

ハンガリー：TIVOR KONKOLY 教授。(溶接工学の大家、HAE の副会長)

HAE (HUNGARIAN ACADEMY OF ENGINEERING) はできたばかりの若い機関である。ハンガリーには、三つの工科大学、7つの TECHNICAL COLLEGE (工学系専門学校) などがあり、海外との協力も進めている。

しかし、エンジニアの給料が、西欧に比較して、1/4-1/10の水準。

アルバイトが必要なので専門の研究に必ずしも専念できない。外国語の知識が貧困なので、外国語教育に力を入れようとしている。

ポーランド：JAN KACZMAREK 教授。(80近い御老体。機械工学の大家、米工学アカデミー会員、仏レジオンヌールなど)

1700万人の就業人口のうち、エンジニアは100万、教育に35、科学技術研究に41、産業に7 という割合) あとは engineering technology を推進し、経済発展を進めるにはどうするかのベキ論を展開。討論では、

Q：改革で制度を変えるのは簡単だが、態度を変えるのはむずかしい、いつまでかかるか。

A：確かにこれは時間のかかる問題だ。

Q：改革にともなう失業の発生。中年のエンジニアの失業は深刻だと思うがどうか。

A：エンジニアの失業の恐れはない。(この答えには小生は疑問を感じる。)

この教授は飾らない人柄の持ち主だが、何しろお年なので英語の言葉が出て来ないことが多い。そのときは、みんなが助け船を出す。しかし、それでも駄目なことがあった。先生いわく“I cannot remember the Polish word” これにはみんなが爆笑した。

ルーマニア：コバック教授(ロボット工学)。パセティックな調子で、政治と経済の現状を報告 (または非難)。西側との経済協力、低賃金の活用によって、経済を再生させるしかないという。経済大臣

の演説のようだった。

コメント：現在失業率は低いが、改革を本気で進めると東ドイツのように失業率が高くなるのではないか。管理者の教育をどうするか。市場の規模が小さいので、製造業を効率的にするのがむずかしい、など。

ソ連：予定されていたフロロフ氏は欠席、若い機械工学の学者（セルゲイ・クラブチェンコ）が報告。科学アカデミーの中に DIVISION OF ENGINEERING MECHANICS AND CONTROL があり、宇宙航空、輸送、自動車、電子工学、機械工学、などを管轄している。資金の3分の1は政府、残りは産業から。

最重要の研究課題は、OFFICIAL STATE PROBLEM として認定され、研究の推進が図られる。現在は安全性に関する問題が“Security of People and Technical Objectives under the Risk of Natural and Technical Catastrophe”として認定され、1991年には4000万ルーブル、1993年には2億ルーブルの予算が割当てられるとの事。このほか“Machine Reliability”というものもある。

午前中の最後に、contributed paper ということで、プログラムに割り込ませてもらい、小生の presentation をやる。new technology and labor relations についてわが国の現状と問題点を15分話す。熱心に聞いてもらえた。

第二日の午後はバスで市内観光。英雄広場、市民公園、ブダ宮殿の上の教会、などを訪ねる。ブダ側の南は丘陵地帯が広がり、美しい。

夜の晩餐会には、無任所大臣のブンゴール氏が、ハンガリーの無血開放の意義、ソ連が撤退することでジョークの種がなくなったこと、中小企業が続々増えていることなどを率直な調子で話す。またR&Dの能力を持つ人的資源は豊富だが、国に資金が乏しいのでこれを十分に活かしていないと訴える。後でテーブルを順番に回って来る。聞けば、日本には12回も行った、この夏にも行くとの事、500編の論文があり、勲章や、アカデミー会員など数知れず、国民的英雄だ。ディナーのテーブルにはソ連の工学アカデミー副会長のソコロフ氏がいた。

NAEの事務局で働いている Bruce Guile という話、フェアな男だ。石原・盛田の本『ノーといえる日本』の事も話す。日本がカウンターベイルイグパワーになることは良いことだ、しかし石原の発言は silly なものが多い、など。

2日目の終わりまでに次の人たちと親しくなる。ホワイト、ルーティ、ディニーン、ティツソー、ロート、ガイル、ソーダール、コンコーイ（溶接工学、大阪大学の溶接研究所の事をよく知っている）、ユーゴの MULTI SOFT の社長、豪州の二人、フランスのフィエー、デンマークのラスミュッセン教授（旭日大授賞）らも親しくしてくれる。

6月5日（水）第三日

8：45デンマーク、フィンランドの順で、Academy of Engineering Science の沿革、現状の説明がある。フィンランドのルーティ教授の presentation はすばらしく、小国が基礎産業（林業）で力をつけ、金属・機械産業を育てる過程において果たしたアカデミーの役割を説明する。

スエーデンのハンス・フォルシュバーク王立アカデミー会長は、IVA が世界で最も古い工学アカデミーであることを強調し、IVA の現状、目標を説明。

米国：デニーン氏（NAEの専門理事。カーター時代の ASSISTANT SECRETARY OF DEFENSE）が米国のナショナルアカデミー・オブ・エンジニアリングの沿革を説明。1965年設立。三つの目的は① BRIDGE BETWEEN SCIENCE & ENGINEERING ② HEALTH OF INDIVIDUAL DISCIPLINE ③ TO PROVIDE ADVICE TO THE GOVERNMENT であること。

科学アカデミー-NAS は1863年に、NAE は1964年に、さらに INSTITUTE OF MEDICINE (IOM) は1970年にそれぞれ設立されたが、この3機関が同じ建物にあって、連絡を取り合っている。1916年にできた NATIONAL RESEARCH COUNCIL、NRC はその上部機構、1万人のボランティア、約1000人のスタッフ1.8億ドルの予算でやっている。環境保護、地球温暖化などについて報告を公刊している。

東欧側からは、西側の説明と盛んな活動状況に圧倒されたらしくて余り質問やコメントが出ない。

午後は、東欧側の討論者として、HAEのギンズラー氏が、漫画を5つほどスライドで映しながら、市場経済への移行過程での混乱をユーモアをまじえて説明、西側の協力の必要性を訴えた。

英国のモリス氏が、西側の討論者として、「東西の関係者が親しくなれた。西側同士も親しくなれたことが成果だ」と強調したあと、以下のような提案をする。

アドバイス：

1. 自分の課題をはっきりとさせる。
2. 最適な技術をえらぶ。
3. 品質とマーケティングを重視する。
4. ハイテクの罠に落ち込んで資金を浪費しない。
5. CAETSは協調のためのリンクを提供する。
6. 政策形成に影響を持つようになるには時間がかかる。
7. 市場経済の意味を本当に分かるにも時間がかかる。
8. 各国は知的財産権を十分に尊重すること
“WE HAVE MADE AN ENCOURAGING START”(W. CHURCHILL)という言葉で結ぶ。
ソ連から、国内で西欧なみの知的所有権を保証する法律整備を進めているので、8は不要だとの「抗議」があったが、東欧諸国全てがそうではないという理由で、しりぞけられる。逆に知的財産権ではなく全ての財産(ASSET)を尊重するとした方がよいという提案もあった。

ロバート・ホワイト教授が最後にまとめる。

- 1) 取り上げられた問題 (Contextual Issue)
 - ・急速な政治的変化の過程
 - ・制度と産業のリストラクチャリングが必要
——R&Dの制度、テクニカル労働力のリストラクチャリング
 - ・製品が競争力を持たない
 - ・インセンティブ、報酬制度が貧弱
頭脳流出を招いている。
 - ・技術的能力は高いが、フルに発揮されていない

- ・開放経済体制への移行
- ・資金需要が高い
- ・東西パートナーシップの急速な展開

2) 共通の課題 (Common Problems)

- ・競争的な企業運営の経験不足、技術管理、会計制度、マーケティング
- ・世界とのつながりが薄い
- ・engineering researchは豊かだが、production engineeringが貧弱

3) 挑戦ないしは目標 (Challenges)

- ・技術開発政策をたてる。その際、trim targetsを狙い、無駄を省く。

Do not reinvent the wheel!

- ・企業と大学との連携を確立する
- ・世界的水準を求めて外国の企業と接触する
学生の派遣、語学教育の強化、共同研究の推進、外国企業との協同
- ・研究教育制度のリストラクチャリングをすすめる

4) Possible Directions for CAETS

基本的には自助努力を援助する

- ・情報交換
- ・シンポジウムを開催し、人的交流をすすめる
- ・各国のアカデミーオブエンジニアリングの設立を助ける
- ・こうしたプログラムを推進するためにいろいろな機関に資金援助を求める
世界銀行、地域的金融機関、民間の財団、政府資金など

以上のまとめを採択して、散会。デンマークのラスミュッセン教授が、締めくくりの挨拶の中で、「西欧の工学アカデミーが東欧支援を「独占」するつもりは毛頭ありません。日本からの積極的参加を期待しております。」という。

経済学者としての感想

1) 東欧諸国といってもハンガリーとブルガリア、ルーマニアとは近代化の程度、政治的安定性、市場経済への準備の進め方において雲泥の差がある。

ハンガリーでは、何年も前から電話の近代化、ホテルの建設、クレジットカードの受け入れな

ど、進めている。

2) ハンガリーはルービック氏にみるようにまた過去の音楽家にバルトーク、コダーイを出しているように、独創性に富む。ホワイトがいう通り。

3) 資金を得、日欧企業の協力を得ると、ハ経済は今後躍進する可能性がある。しかも国内に民族問題を抱えていない。同質性が高いなどから、中欧の「日本」になるかもしれないとさえ思う。

6月6日朝

70分ほど歩く。自由橋をわたって、ドゥーナの左岸を歩くと、インターコンチ、ハイアットなどの5つ星のホテルがある。トップレスバー、カジノの広告など、鎖橋をわたって右岸へ出、ブダ宮殿の下を河沿いに歩く。道は広く、景色もよいが、何しろ空気が自動車の排気ガスで汚い。ゲレルトの絶壁の下を通る。ゲレルトの丘の麓の温泉場はずいぶん古くからある。

6月7日

市内を歩き回ろうと思っていたら雨。ホテルでレポートを書く。昼過ぎやっと雨が上がったので、国立ミュージアムへ行く。子供たちと引率の先生が多い。中学生ともなると、女の子の方がはるかに大人びている。発育の遅い子供のような中学生がいるのも、日本と同じ。

5—8世紀のマジャール人の中部ヨーロッパ盆地への移住からハンガリーが始まるが、その前にこの地域を支配していたローマ帝国の遺跡がある。トルコによって占領された時代、オーストリ・ハンガリア二重帝国として版図を広げた時代の遺物が展示されているが、説明はすべてマジャール語なので残念ながら分からない。

Ferenc Liszt の立派な肖像画の下にベートーベンと書き込まれたピアノが置いてある。1825年ベートーベンの遺言でリストに送られリストの死後もきちんと受け継がれたものだ。リストの左手の大理石像も並べてある。リストの指が長いことは有名な事実だが、この像を見てもわかるような気がする。肖像画の左手も(あるいは右手か、)指の長さをそれとなく強調しているように描かれていた。これが博物館での最大の収穫。ここだけは英語の

説明もあった。

ホテルから空港のタクシーは交通混雑で時間がかかったために1700フロリント。空港で、ブルガリアの一行と顔を合わせる。ソフィアのオオタニホテルを自慢する。ユーゴの彼も(MULTI SOFT)ぜひ講義にきてくれといていた。

京大の経済研究所から滋賀大に移った藤村博之君の事をはなす(東欧研究、夫人はユーゴの人)。

3. 第3回工学教育ワークショップにおける末松安晴理事の講演

世界工学アカデミー連合 (CAETS) では、英国の工学アカデミー (フェローシップ) が担当国となって、工学教育に関する会議をシリーズで行ってきたが、過去1987年および1989年に続いて、1991年9月11日に第3回会合がロンドンに於いて行われた。

日本工学アカデミーは、1990年11月に CAETS に加盟し、今回初めて上記会議に出席の要請を受け、理事会の委嘱により末松安晴日本工学アカデミー理事 (東京工業大学長) が出席、講演を行った。以下はその講演 (英文) と和文抄訳である。

AN EDUCATIONAL APPROACH TOWARD INTEGRATED ENGINEERING

(Education Workshop of CAETS, London, September 11, 1991)

Yasuharu Suematsu

Tokyo Institute of Technology

I Introduction

Modern technology has created many benefits for our world. The intelligent machine is said to be one of the examples, since it approaches an ultimate goal of technology. Technological development results in the production of "artificials", materials, devices or systems. It is based on the advance of mechanics which highly integrates intelligence. It will substitute for any difficult labors of human beings by doing jobs such as automatic cleaning, twenty-four hour nursing, and so on. The social activities of human beings are also significantly influenced by such technological innovations. It can be said that well engineered systems are now becoming the basis of our social activity in the modern world.

On the other hand, engineering, which can be called the science of technology, has been developing by standing as not only classical narrow specific technology, but also merging other specific technologies and scientific areas. It should be represented as integrated engineering. And this engineering has been accepted as an independent and new area of science. Such technological advancement inevitably causes or requires a drastic change in engineering education. Various efforts to promote the education for future engineering have been

reported in Japan [1]-[3].

II Integration of Technology

2.1 Revolution of Technology—A Historical View—

It is believed that the brilliant footsteps of human beings started a few million years ago. They acquired tools and languages, which enabled them to carry out various reforms. The agricultural revolution started about ten thousand years ago, which triggered population growth. People invented letters, with which information was able to be recorded and accumulated. Rules written by letters made social systems stable and active. The material revolution occurred about two thousand and several hundred years ago on the basis of the technology of iron making. The iron and steel manufacturing technology made it possible to produce tools with high performance. For example, printing machines were invented, which accelerated rapid distribution of written information into wider areas. The energy revolution commenced about 250 years ago with the invention of the steam engine. An important engineering concept of system control was developed, which created the science of artificial systems. The energy technology has been accelerated by the energy of petro-

leum and electricity.

The revolution of information technology started about 150 years ago with the invention of electrical communications, and later with the computer technology due to the development of electronics and opto-electronics. Since information technology is fundamental of technology, remarkable intelligent mechanization has taken place in our society. According to advances in the mechanization of intelligence, intelligent machines that approach an ultimate goal of artificials required by humans are now being developed. It has been recognized that the role of science on culture is important for the development of integrated technology. The recent trend is that things are moving toward human-oriented technology.

We can learn from the history that artificials develop slowly but steadily being accelerated by social needs. The importance of new artificials is recognized when it is applied to a system or it forms a new system. Imagination of a future system is very helpful to produce new artificials.

The development of artificials can be classified into the following four levels, (1) scientific feasibility, (2) experimental (engineering) feasibility, (3) demonstration, and (4) commercialization. Since, at the final level, i.e., commercialization, the technology is always developing drastically, any artificials are considered to be always developing.

It should be reminded that the areas, where technological revolutions have taken place in the past, are still enjoying further development.

2.2 Current Technology and Advanced Technology

Modern engineering requires a balance between the current technology and advanced technology. Technology related to fabrication and manufacturing is also considered as a part of academic areas. As new concepts of

engineering frequently originate from current technology as well as advanced technology, the optimum number of staff and students required in areas of current and advanced technology should be determined on the basis of both educational and research considerations.

2.3 Integration of Technology

Integration of technology is due to, on one hand, widening of application areas of the specific area of technology and, on the other hand, widening of basis for each specific area. The other aspect of integration is the technological contribution to the management, maintenance, planning, strategy, and policy making of social systems.

Education on technology has often been carried out by approaches in a specific area of technology and also in conjunction with other specific area of technology. From an educational point of view, it is important to build each department of specific engineering, which consists of well merged and matured specific technology [Table 1].

III Basis of Engineering Education

3.1 Bases of Teaching Subjects

It is widely recognized that the basis of engineering education consists of, in addition to research, the following three basic issues.

The first is the basis of natural science. Natural science consists of two important disciplines. One is a mathematical logic which is valid in a specialized condition, and the other is a systematic understanding of experimentally observed natural phenomena in limited areas assuming idealized conditions. This is so called, in a mathematical sense, the world of general solutions.

The second is understanding of culture and social science, such as, social system, humanity, communication, outlook on life, engineering spirit, and social demands, so called the

heart ware. Management of social systems should also be included. Since culture and social science contain illogical concepts, they can be referred to basically as the world of particular solutions, but also may includes the world of general solutions.

The above mentioned two areas have been referred to as general education.

The third is the fundamentals of engineering. It consists of materials, devices and components, apparatuses, systems, together with related fabrication, manufacturing, testing, maintenance, etc., typically called the hard ware and the soft ware. This is basically the world of general solutions but again this includes the world of particular solutions. Its main part is engineering, which is discussed in more detail in the following section.

3.2 Scientific Specification of Engineering

It is well known that engineering is a science which is the systematic understanding of technology intended for the synthesis of artificials. This is in contrast to natural science which is the systematic understanding of nature intended to satisfy human interests. A scientific construction or systematic understanding of technology is a groundwork to be carried forward for further development of technology. It does not comply with the concept of, so called, engineering science which is normally emphasized as an applied science. The development of technology depends on the systematic understanding of artificials with an interface to natural science and society [Table 2], [2]. Such a work on systematic understanding of technology has been established on some of limited hardware and software as well. However, such systematization is not yet fully constructed on other aspects of technology due to the complexity of subjects as well as the inclusion of human factors.

3.3 Research at Engineering School

It is widely recognized that research at Engineering Schools is a key function of looking for some new technologies and of creative education, aiming eventually to create "harmony of research and education". From an educational point of view, so called "on the job training" (OJT) of students is carried out through research to achieve creativity, deepening of learned subjects, and widening of scope. However, the supervisor should have educational concern to widen engineering and scientific areas of students by giving advice to them intentionally not only making discussion with their research procedures. And teacher alone, who engages advanced researches, can reform the educational area of technology as well as their teaching subjects in accordance with rapid innovation of technology.

Research activities at Engineering Schools are conducted for artificials, which is basically different from those at Science Schools. It is very different from those done in industries, because students are involved. However, the research cooperation together with industries is essential to tackle the problems which our society encounters.

Creative researches with fewer time constraints are more typical in universities, where students can learn a great deal through participation in research. Research at Engineering Schools can be categorized into several types :

- (1) to find a possibility of novel technology for future systems,
- (2) to find a genetic technology,
- (3) to construct science of technology,
- (4) to find procedures to understand engineering, which is primarily based on humans and social mechanisms.

Most researches that are done under tight time constraints and are expected to have some definite profits, are typical for industries. Those can be categorized as follows :

-
- (5) basic researches to consolidate technology,
 - (6) development of new technologies,
 - (7) development for commercialization of technology.

The recent trend in integration of technologies necessitates that research to be carried out in cooperation with researchers in various fields including specific areas of technology, many areas of science, and also in cooperation with those in industries, even though most university research is in the basic area. New concepts and outstanding developments in technology often originate from currently established technology as well as from advanced technology.

IV Toward Education for Integrated Engineering

4.1 Goal of Engineering Education

It is a common understanding that the aim of engineering education is to provide both professional capability and creative ability of students. According to the ability of students and the limited period of each course, the goal to achieve will be different from course to course. An example of the goal of educational levels may be :

- (1) for Ph.D. student's level : professional and creative ability ; ability to accomplish a creative object set by themselves with wide and sufficient professional capability,
- (2) for M.Sc. or M.Engrg. student's level : professional ability ; ability to accomplish a given object with sufficient professional capability,
- (3) for undergraduate student's level : ability to accomplish a given object under a given process.

4.2 Practice of Engineering Education

In the age of integrated technology, the importance of the graduate study has to be emphasized, and educational curricula should be consistent all the way from undergraduate to graduate courses. Basis of teaching subjects were mentioned in 3.1. In addition to teaching, promoting research is necessary for the cultivation of creativity, deepening of learned subjects, and widening of scope.

Engineering education should be the humanistic education associated with professional education. An emphasis of three different kinds of subjects, namely the heart ware, the hard ware and the soft ware, is considered to be essential for engineering students ; subjects of the natural science, the humanity and the social science, and the engineering. This implies that general education is extremely important for widening of scope. Consideration is also necessary to encourage students to bring up their professional confidence and professional identity in their early days. Broadening professional areas too much may give uncertainty to younger students. And then, widening of engineering and scientific area as well as deepening of creative ability of students can be developed through research under supervisors who have educational concern.

In summarizing these I would say, firstly, general education should be emphasized. Secondly, teaching of engineering by buliding a department of specific engineering, which consists of well merged and matured specific technology. Thirdly, research activities should be carried out in cooperation with other specific technologies and many other areas. In this way, combining general education, education of specific engineering with research by cooperation with many other areas can be achieved [Fig.1] .

Among a variety of educational styles, so

called engineering science education can be considered as another option, in which students may find their interest in some specific areas after achieving their own scientific bases.

4.3 Features and Problems of Engineering Education in Japan

Engineering Schools in Japan have educated a large number of students maintaining a balance between current and advanced technology. In the current Japanese social environment engineers enjoy high prestige and work in companies that provide continuing education.

However, there appears many aspects to consider the present engineering education in Japan due to rapid change in industries. Reports come from the Ministry of Education, Science, and Culture of Japan to reform higher education by introducing more flexible educational systems and/with their self-evaluation. Reports on engineering education also come from the Ministry of Education, Science, and Culture of Japan and the Engineering Academy of Japan (EAJ) [1], [2]. For a reference, heading of the proposal from the EAJ is shown in Table 3 [2].

One of the subjects to be considered is that reform is always impeded by insufficient resources to improve educational environments. In order to break through the situation, closer research cooperation between universities and industries is being discussed. Another aspect is deficiency and inability of engineering students to meet requirements of industries. In this context, additional resources will be needed to meet the demand of both society and industry. More communications between universities and industries have been pointed out. Establishment of top forum on engineering education consisting of representatives of various sectors has been proposed to solve these problems.

To increase graduate students, especially

Ph.D. students, is crucial. The current status is that there are not very many Ph.D. students at each university. This comes from the fact that professionals do not receive proper treatment and that scholarship is not sufficient what so ever.

Continuing education has been carried out quite satisfactorily in industrial sector to promote the practical side. However it is not believed to be sufficient for providing the knowledge necessary for high technology areas. In this sense, the opening of Engineering Schools to continuing education is highly desirable. The willingness to accept more foreign students is also being discussed.

The reduction of eighteen years-of-age population will soon come in Japan. Consideration must be given also to this.

V Conclusion

It is considered to be extremely important to establish engineering education which matches the age of integrated technology. As the goal of such an education, we have to think of both professional capability and creative ability. The role of general education can not be over emphasized. It is also required to systematize the field on science of technology. Merging of specific areas of technology to form a wide specific area is necessary. Graduate study has to be emphasized at Engineering Schools to meet such trend. To maintain a balance between current and advanced technologies is important for both education and research. Above all, university research should be increased.

The well-balanced combination of (1) general education, (2) teaching in wide specific engineering and (3) advanced research in cooperation with many other areas including the natural science is considered to be a right way to achieve the final goal of "Education for

Engineering”.

To establish continuing education at graduate level is an urgent matter.

The development and reform of engineering education is important to all aspects of our society, therefore requiring social consensus and interest.

References

- [1] Engineering education in the age of reform, Bureau of higher education, Ministry of Education of Japan, 1989-12.
- [2] Education and consolidation of attitude for tomorrow,—Problem and Proposal for Engineering Education—, Engineering Academy of Japan, 1990-5.
- [3] A Tentative Plan for Systematization of Disciplines Concerning Communication Engineering, Electronics and communication committee, Science Academy of Japan, 1988-10.

Tables and Figure

Table 1. Example of engineering classified in the specific areas :

- (1) Material and chemical engineering ; analysis, synthesis, evaluation, fabrication, manufacturing system.
- (2) Bio-technology ; heredity mechanism, function of living body, bio-materials.
- (3) Mechanical engineering ; mechanism, dynamics, design, fabrication, robotics, intelligent machine, vehicles, manufacturing system.
- (4) Aircraft and Space Engineering ; control system, transportation.
- (5) Electrical and computer engineering ; energy (atomic), electronics, communication, computer, soft ware, and service and manufacturing system.
- (6) Civil engineering ;

building, urban design, hydraulics, transportation engineering, architecture (design and structure).

- (7) Systems engineering, cultural science and technology ; social system (planning, policy making, environment), management system, econometrics, human communications.
- (8) Environmental engineering ; analysis, synthesis.

Table 2. Science of technology together with natural science [1].

- (1) Science of the nature ; physics, chemistry, bio-science, (mathematical science),
- (2) Science of the artificials and science of the nature ; materials, elements and components, devices, equipments and apparatus,
- (3) Science of the artificials; hardware subsystems, hardware systems, soft-ware systems, total system, social system.

Table 3. Heading of proposal from the Engineering Academy of Japan [2].

- A. Question and Subject at Issue
 - 1. The origin of imbalance between supply and demand of able people.
 - (1) Two side views of imbalance between supply and demand of able people.
 - (2) The situation which can not catch up the present situation.
 - (3) Approaches to advanced technologies-comprehensive counter-measures of continuing education.
 - 2. Problems in the quality of education.
 - 3. Establishment of common basis for international accreditation
 - Toward university education valid

for the world level-

4. Understanding of the reality of engineering education and strategic organization.
5. Move of university administration toward flexible organization.

B. Countermeasures of engineering education

1. Problems of imbalance between supply and demand of qualified people caused from reform of industrial structure.
2. Systematic countermeasures in engineering education
 - the role of academic councils and professional institutions.
3. Reflection of opinions from enterprises to university education and exchange between them.
4. Qualitative turn of engineering education
 - from specific education to integrated education.
5. Continuing education.
6. Evaluation of universities, accreditation.
7. Problems in higher education specific in Europe and America, and those in our country.

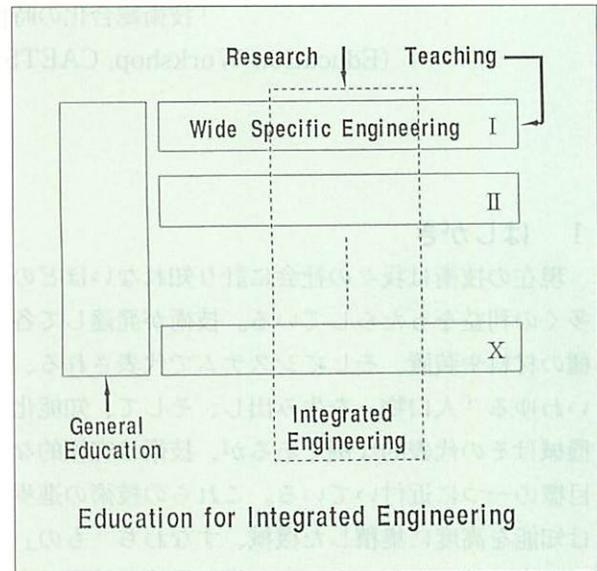


Figure 1. Education for integrated engineering.

末 松 安 晴

東京工業大学長

I はしがき

現在の技術は我々の社会に計り知れないほどの多くの利益をもたらしている。技術が発達して各種の材料や装置、そしてシステムで代表される、いわゆる「人口物」を生み出し、そして、知能化機械はその代表的な例であるが、技術は究極的な目標の一つに近づいている。これらの技術の進歩は知能を高度に集積した機械、すなわち「もの」の進歩に基づいている。この様な発達の結果、自動洗濯機や昼夜看護のような困難な人間の仕事を機械が置き換えてつある。また、こうした技術の革新が、家庭生活、通信や交通、公共業務、銀行業務、そして生産手段などの人間の社会活動の多くに計り知れない大きな影響を与えている。これらのことは、技術的なシステムが現在の世界の社会活動の基礎になっているといっても過言ではないであろう。

他方、技術の科学と呼ぶことが出来る工学は、これまでの狭い特有技術のみではなくて、各種の特有技術や自然科学の分野を包含して発展してきている。この様な近代の工学は工学の総合化といわれている。そして、このような工学は独立した科学、すなはち新しい科学として受け入れられつつある。従って、この様な技術の発達は必然的に工学教育に抜本的な改革を迫っている。我が国では、この様な将来の工学教育の改革について各種の意欲的な報告がなされている [1]、[2]。

II 技術の総合化

2.1 技術の革命——歴史的展望——

人類の輝かしい発展の足跡は技術の進歩に多くを負っている。数百万年前に始まったと信じられている人類の先祖は道具を使い、言語を発達させ、そのことによって、人類は数十万年にわたって自身の頭脳を発達させ、そして生活環境を改善するなどの自己改革を達成してきた。第1次技術革命とも呼ばれる農業革命は西アジア地方で約1万年

前に始まり、それが食料を画期的に増やし、人口を飛躍的に増加させる契機となった。人々は集落を、そして階層社会を形成し、通商交易を発達させて、ついには、それらの記録のために文字を発明した。この文字の利用は当初の単なる記録から発展して、情報の記録や蓄積に使われるようになった。次いで、文字を使って社会規則が成文化され、それによって社会システムが安定にそして活力を持って運営される様になってきた。またこの間に建設技術が社会システムの構築に不可欠なものとして発達していった。

第2次技術革命とも呼ばれる材料革命は約2千数百年前に東ヨーロッパ地方において始まり、鉄の製造技術の基礎が確立された。この鉄の技術に至るまでに、それまでのガラス器や銅器などの数千年間にわたる発達が基礎となっている。この鉄や鋼の精錬技術の発達によって飛躍的に性能の高い道具や機械が作られるようになった。その結果、例えば、印刷技術が開発されて文字情報が広域に分散する素地を作った。第3次技術革命とも呼ばれるエネルギー革命は蒸気エンジンの発明を契機にして約250年前に西ヨーロッパ地方で始まった。この発明に至るには、約百年間にわたるエンジン改良の歴史と、高度な機械製造技術の発達、さらに、蒸気エンジンの高速運転を可能にしたシステム制御の概念の導入が必要であった。この様にして、人工システムの科学、すなはち工学の基礎の一つが創造された。こうしたエネルギー技術は化石燃料や電力エネルギーの利用によって加速された。大きなエネルギーが使えるようになって交易は地球規模となり、経済規模が拡大され、人類の生活が豊かになった。

第4次技術革命とも呼ばれる情報技術革命は電信技術の発明によって約150年前に始まり、その後の電子計算機の発達によって加速されて現在に至っている。これらの諸技術についても、電信技術の発明に到達するのに約百年の研究開発の歴史があっ

た。これらの研究開発の歴史はヨーロッパに始まってアメリカ、そして最近是我が国がこれらの発達を担ってきた。そこでは、電子技術や光技術が基になった通信技術や計算機技術の発達が大きな背景となっている。この情報技術は諸技術の基礎となり、機械の知能化が顕著に進んで我々の社会に広く使われるようになった。この知的活動の機械化と、機械の知能化は現在も精力的に進展しており、人類が必要としている「人工物」の究極目標の一つに接近しつつある。そして、文明科学の役割が集積工学の発達に重要なことが広く了解されるようになってきた。最近の傾向は世の中が人間性豊かな技術に向けて進展していることであろう。

このような歴史的な展望から、人工物は遅いけれども、社会の要求に従って着実に発展していることが了解される。新しい人工物はシステムに應用され、あるいは新しいシステムを形成して始めて社会的に認知される。したがって将来のシステムを想像することが新しい人工物を創出するのに有効であるといえる。

人工物の発達は次の4段階に分類される、すなわち、(1)新技術の想像または着想、(2)原理的(科学的)な可能性の発見、(3)実験的(技術的)な可能性の実証または実現、(4)商業化である。この最終段階の商業化が達成された段階においても、技術は常に画期的な進歩を続けるものであり、いかなる人工物も常に発達をし続けて、永久に進歩を止めることがない。大昔の過去に革命が達成された諸技術も、現在、なお脈々として進歩を続けて、人類の進歩に貢献し続けているのである。

2.2 既存技術と先端技術

以上に述べたように、現代の工学は既存の成熟した技術と、今後が発展が予想される先端技術との間に、十分にバランスした発達がなければならない。また、加工や製造技術も学術的な対象であることを認識しておかなければならない。工学における新しい考え方は先端技術からと共に、既存技術からも多くが発生する。この様な観点から、既存技術と先端技術に係わる教官数と学生数の分布については教育と研究の両面を基礎にしたバランスを考慮して決めなければならない。

2.3 技術の総合化

技術の総合化は、一方では特有技術の応用分野が拡大していることによると共に、他方では各特有技術分野の学術的基礎が広がっていることによる。技術はよりシステム化され、各種の特有技術の総合によって、そうした人口システムが作られ、また生産システムは総合技術化され、利用者システム技術には文明の科学(社会科学)が取り込まれている。技術の研究には学際的なアプローチもなされている。また、技術の総合化の他の側面には社会システムの経営、運営、企画、戦略や政策立案などに技術的な貢献が必要とされていることもある。

技術の教育は特定の特有技術分野を主体として他の特有技術分野とも関連させた訓育によって行われるのが普通である。これらの教育的な観点から、各学科の構成は十分に統合され成熟した特有技術分野で構成されていることが必要であろう[表1]。

III 工学教育の基礎

3.1 教育内容の基礎

工学教育の基礎は、研究に加えて、次の3つの事項で構成されていることは広く了解されている。

第一は自然科学の基礎である。自然科学については二つの重要な訓練がある。一つは特殊な条件の下で成り立つ数学的な論理で、もう一つは実験事実に基づいて分解し単純化した自然現象を理想化された条件を仮定して系統的に理解する自然科学である。いふならば、数学的なセンスで言う一般解の世界である。

第二は、社会システム、人間性、コミュニケーション、人生観、技術者魂、あるいはソーシャルニーズなどの、文化や社会科学に関する理解であり、人間の心の問題を含むことから、ハートウェア(heart ware)と呼ぶこともできよう。文化や社会科学は非論理的な考えを含むので、これらは、一般解の世界をも含むが、基本的には特殊解の世界に属する。

上に述べた二つの分野はいわゆる一般教育に属する。

第三は工学の基礎である。それは、材料、デバイスと部品、装置、システム、そして加工、製造、

試験、運用、企画・政策、経営などから構成され、ハードウェアとソフトウェアの問題からなる。これは、基本的には一般解の世界であるが、特殊解の世界をも含んでいる。その主要部分は工学であり、詳細は次に述べる。

3.2 技術の科学的な体系化；工学

工学は人工物を合成することを目的にして技術を体系的に理解するための科学であるとして知られている。これは、人間の好奇心を満足することを目的にして自然を体系的に理解する自然科学と対比される。技術の科学的体系化あるいは体系的な理解は技術を将来発展させるために基礎となる仕事である。この工学は、応用科学としての面を強調するエンジニアリング・サイエンスとは異なるものとして了解されている。さて、技術の発達は、自然科学や社会と接触する人工物の体系的な理解に依存している[表2]、[2]。そのような技術の体系的な理解の成果はすでに限定されているがハードウェアと共にソフトウェアの幾つかについて成されている。しかし、問題の複雑さや人間性が絡むために、そのような体系化がまだ十分に成されていない技術分野があり今後の進展が望まれる。

3.3 工学系高等教育機関における研究

工学系高等教育機関における研究は、新しい技術の創出をすると共に、教育と研究の調和を作り出すことによって創造的な教育を達成するための鍵となる機能を持つことが広く了解されている。教育上の観点からは、研究に従事させてなされる、いわゆる、「仕事を通じた訓練」(OJT)は学生の創造性の向上、ならびに、教室で学んだ事項の深化や視野の拡大などに役立つものである。しかし、指導教官は学生の研究を成功させるための討論のみではなくて、学生の工学的並びに科学的な視野を広げるのに意図的な指示をするなどの教育的な配慮をしなければならない。また、技術の革新が速い昨今にあっては、進んだ研究を行っている者のみが講義事項の変更のみならず、技術の教育内容全般に関する改革を達成することが出来るという重要な機能を持っている。

工学系の高等教育機関の研究活動は自然科学の活動とは根本的に異なった人工物を対象として行

われている。また、学生が含まれているので企業でなされている研究とも極めて異なる。しかしながら、それぞれの特徴を出しながら企業と共同研究を行うことによって、我々の社会が直面している諸問題に挑戦する機会がより増すものと考えられる。

さて、大学における典型的な研究は時間的な制約事項がより少ない創造的なものであり、学生は研究に参加してすでに述べたように極めて多くのものを学ぶのである。技術系の高等教育機関における研究は次のような幾つかに分類される：

- ①将来の展開が予想される新技術実現のための可能性を見出すこと、
- ②創生型の技術 (genetic technology)、
- ③技術の科学的な体系化、
- ④人間性と社会性の機構が主な基礎をなす技術を理解する手法を見出すこと。

技術に関する新しい概念や画期的な発展は、先端的な技術から起こると同様に確立されたように見える既存の技術からも起こっている。

次に、企業における典型的な研究は多くが時間的な制約が強く、特定の利益を期待するものである。これらを分類してみると：

- ⑤技術強化のための基礎研究、
- ⑥新技術の開発、
- ⑦技術の商業化のための開発。

最近の技術総合化の傾向から、大学の研究は基礎的であるといっても各種の特有技術分野の協力、他の多くの科学の分野の協力、そして企業との協力が必要になっている。

IV 工学総合化に向けた教育

4.1 工学教育の目標

工学教育の目標は職業的な実力と創造性の能力の両者を育むのであるというのが共通の理解であろう。学生の資質と各教育過程の時間的な制限の差によって、教育目標水準はコースごとに異なる。教育目標の例として次のようにあらわしてみた：

- ①大学院博士後期課程の教育目標水準：広がりのある、深い専門的能力を持ち、置かれた環境の中で目標を設定できる能力と、その目標を達成する能力。

②大学院博士前期課程の教育目標水準：十分な専門能力を持ち、与えられた目標を達成する能力。

③学部学生の教育目標水準：与えられた目標を与えられた過程にしたがって達成する能力。

4.2 工学教育の実際

最初に、これからの総合技術の時代には大学院教育が重要であり、教育カリキュラムは学部から大学院まで一貫して構成しなければならないであろう。講義事項の基礎の例は3.1に示した。講義に加えて、学んだ事項を深め、視野を広げ、そして創造性を養うためには特定の研究を達成させることが必要になる。

何れにしろ工学教育の目標は職業教育を通した人間教育であろう。工学部の学生には、自然科学、人間性と語学並びに社会科学、そして工学、ハードウェア、ハードウェアそしてソフトウェアからなる3種の異なる事項が必要である。いわゆる一般教育は視野を広げるために極めて重要である。また、学生の若い時代に職業的な自覚や自信、そして職業的な一体感を育てることも必要であろう。このような意味では、教育の職業的分野をあまりにも広げすぎると若い学生の気持ちを不安定にしかねない。もちろん、学生の工学的並びに科学的な分野の拡大化、並びに創造性能力の育成は主眼であり、これらの事項は教育的な配慮のもとに行われる研究によって磨きがかかるであろう。

以上を要約すれば、まず一般教育を強調すべきである。次に、十分に結合し成熟した特有工学からなる教育単位、すなわち学科を構成して教育する。そして、研究活動は他の特有技術並びに他の分野との幅広い協力で達成されるのが望ましい。この様にして、一般教育、特有技術に関する教育、そして他の分野との協力による研究の結合で達成されることになる〔図1〕。

多くの教育形態の中で、いわゆるエンジニアリングサイエンスも他の選択肢として考えられるが、この形態では学生は科学的な基礎事項を蓄えるのが始めにあり、専門としての興味を特定の特有技術に持つのが遅くなる。

4.3 日本の工学教育の特徴と問題点

日本における工学系の高等教育は既存技術分野と先端技術分野との均衡への配慮の下に大量の学

部学生を教育してきた。現在の我が国の社会的な環境では技術者の社会的な地位が高く、企業は生涯教育を良く行ってきた。

しかし、企業における急激な変化によって現在の日本の工学教育には多くの問題が出てきている

[1]、[2]。これらを項目として列挙すれば：

自己評価の導入による大学の柔軟運営で変化に対応、

変革を阻む資金の不足、

卒業生の受け皿である企業との対話の緊密化、

理工系学生の質的並びに量的不足、

博士課程教育の充実と大学の研究環境の充実、

高度な生涯教育、

国際的な人材養成、

将来の18才人口減少への対応。

V むすび

技術総合化の時代に適合した工学教育を確立することは極めて重要である。この様な教育の目標としては専門的な実力と創造的な能力の両者を考えなければならない。一般教育の役割は強調し過ぎることはない。また、技術の特有分野を統合したり新しく作ってより広い特有分野を作ることが必要である。この様な工学教育における要求を満たすための大学院教育の役割が重要である。教育と研究の両分野において、既存技術と先端技術とのバランスを図ることが重要である。何にも増して、大学の研究基盤を強化しなければならない。

工学教育の最終的な教育目標を達成するには、①一般教育、②広い特有技術の教育、③自然科学を含む他の多くの分野との協力による研究からなる事項について、これらの間の良くバランスが取れた組み合わせを考えなければならない。

この他、大学院レベルでの生涯教育が必要である。

工学教育の発展と改革は社会の様々な局面に関連して必要であり、そのためには多くの資金を投入しなければならず、それ故に社会のコンセンサスと関心喚起が望まれる次第である。

参考文献

[1] 変革期の工学教育、文部省高等教育局——工

[2] 明日を支える人材教育と体制整備——工学

表1 広い特有技術分野

材料・化学工学：	材料の合成、評価、加工、製造システム
生物工学：	生体の遺伝、機構、機能、生体物質
機械工学：	機能装置、加工、知能化機械、製造システム
移動体・航空・宇宙工学	
電気・情報工学：	エネルギー工学(原子力)、電子工学、通信工学、コンピュータシステム、ソフト ウェア、製造システム
建設工学：	建築工学（意匠・設計）、都市システム、土木工学（土地環境）、交通網システム
文明工学：	社会工学（社会環境、企画、政策）、経営工学（経営システム）、経済・政治・コ ミュニケーション・保健、精神、社会システム
地球環境工学	

表2 工学の分野〔1〕

自然科学系	自然工学系	人工工学系
素粒子	素材	
物理	素子	部品
化学	要素	
分子生物学	機能モジュール	ハードウェア
(数理科学)	ユニット	
	装置	
	ハードウェアシステム	ソフトウェアシステム
	ソフトウェアシステム	
	処理・利用システム	
	トータルシステム	システムウェア
	社会システム	

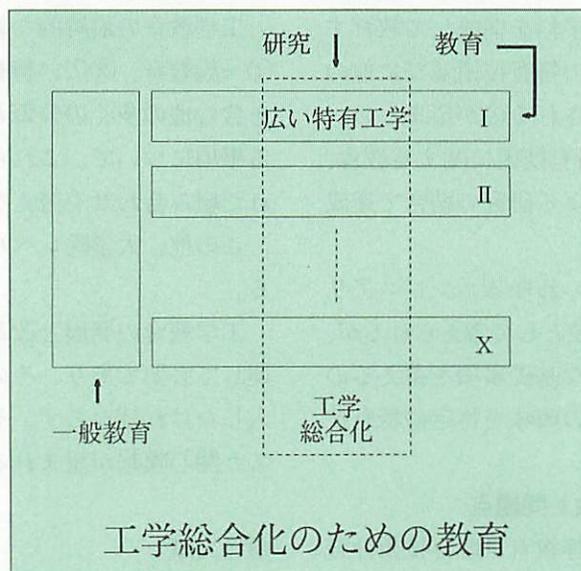


図1 立て割教育・横割研究の図

1992年3月1日

編集 日本工学アカデミー
発行

〒140 東京都品川区大井1-49-15 TEL. 03-3777-2941
住友生命大井町ビル8F FAX. 03-3777-4941