

Volume 2
No.2 1997

(社)日本鉄鋼協会会報

ふえらむ

B u l l e t i n o f

T h e I r o n a n d S t e e l

I n s t i t u t e o f J a p a n



社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan

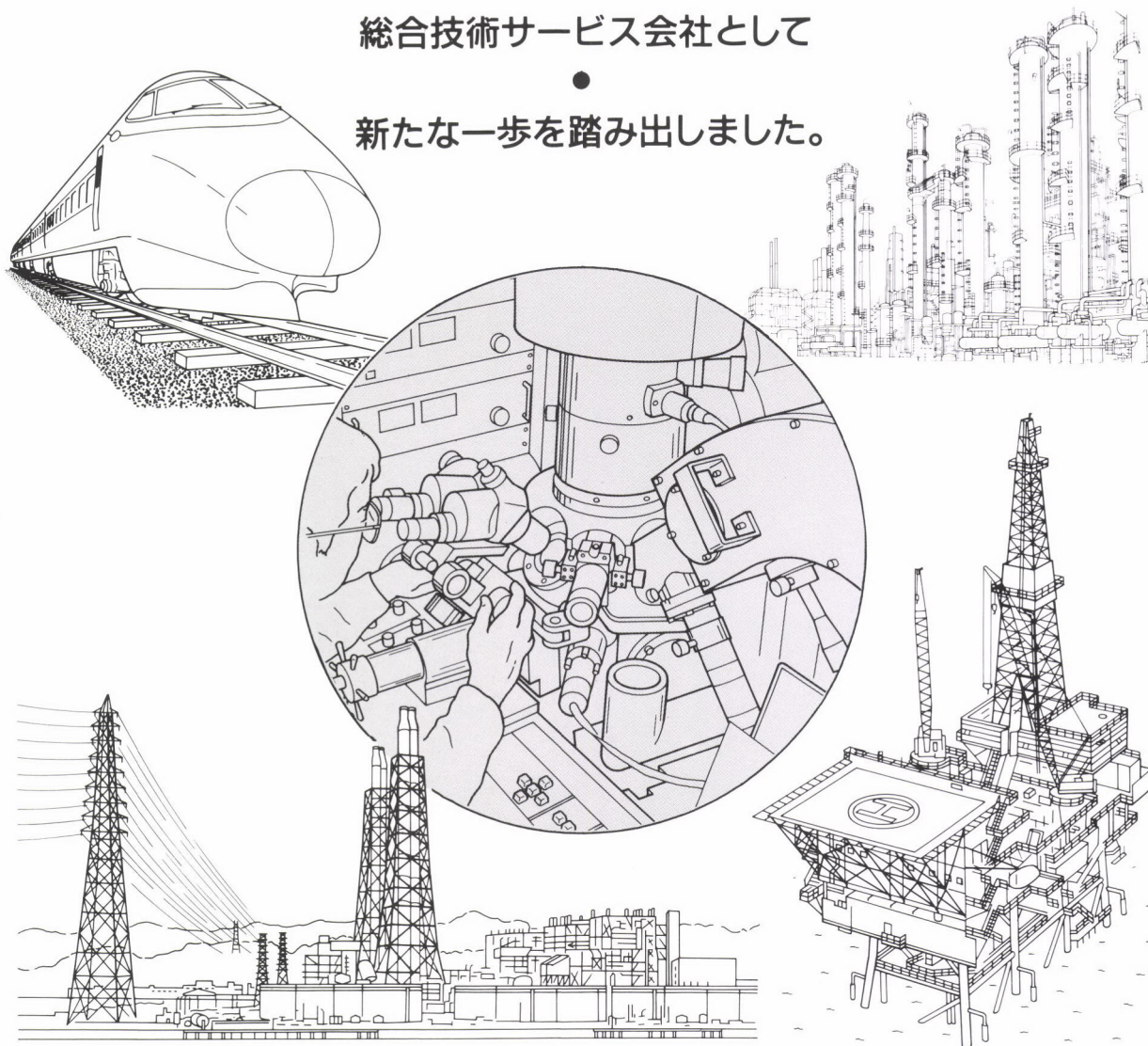
まだまだ広がる

テクノロジーの未来

住友金属工業株の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一歩を踏み出しました。



住友金属テクノロジー株式会社

受託研究事業部	本社	〒660 尼崎市扶桑町1番8号	TEL.06-489-5779
評価試験事業部	(尼崎)	〒660 尼崎市東向島西之町1番地	TEL.06-411-7663
分析技術部	(大阪)	〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号	TEL.06-466-6153
(和歌山事業部)		〒640 和歌山市湊1850番地	TEL.0734-51-2407
(小倉事業部)		〒803 北九州市小倉北区許斐町1番地	TEL.093-581-3289
(鹿島事業部)		〒314 茨城県鹿嶋市光3番地	TEL.0299-84-2557
(鉄道産機事業部)		〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号	TEL.06-466-6176
(OCTG事業部)		〒660 尼崎市東海岸町21番地1号	TEL.06-409-1121

コマツグループの試験計測技術を生かした

摩擦摩耗関連試験機

負荷条件が厳しい建設機械要素の研究開発のため、自分達で設計製作し、数多くの試験を行ってきた試験機であるため、その信頼性は高く評価されております。

主な試験機

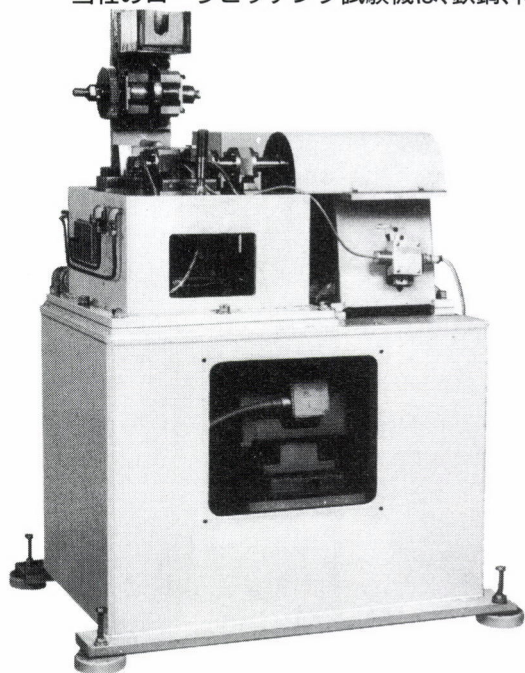
試験項目 試験機名	材 料 試 験					潤滑油試験	
	スポーリング	ピッチング	スコアリング スカuffing	摩 耗	摩擦特性	高温清浄性	摩擦特性
ローラーピッチング試験機	○	○	○	○	○		
動力循環式歯車試験機	○	○	○	○	○		
摩擦摩耗試験機 (回転式 往復動式)			○	○	○		
クラッチブレーキテスト				○	○		
土砂摩耗試験機				○			
ホットチューブテスト						○	
マイクロクラッチテスト							○

ローラーピッチング試験機

歯車、軸受、カムタペット、ローラ等高面圧を受けながら転がり、滑る部品の材料、熱処理、表面処理等の研究開発になくてはならない試験機です。

ローラー状の2個のテストピースを、高面圧下で連続的に回転させたり、滑らせたりして、ピッチングやスコアリングなどを発生させ、寿命を評価します。

当社のローラーピッチング試験機は、鉄鋼、特殊鋼、自動車等幅広い業界で、使用して頂いております。



■特 長

○高い信頼性

簡単な機構を採用しているため、試験条件のバラツキが小さく、信頼性の高いデータが得られます。

○豊富な試験ノウハウを保有

研究開発および受託試験のために長年にわたり使いこなしてきているので豊富な試験ノウハウと試験データを保有しております。

○広い試験範囲 (オプションを含みます。)

面 圧：最大400kg・f/mm²

回転数：最大2,000rpm

滑り率：最大90%

油 温：最大120℃

○無人連続運転が可能

ピッチングが発生するとセンサーがこれを検出し、試験機は自動停止しますので、安心して無人連続運転が出来ます。

■その他の主な営業品目

○各種試験機・計測器・テストベンチの設計・製作。

○レーザー応用計測・検査器の設計・製作。

KOMATSU コマツエンジニアリング株式会社

本 社 〒210 神奈川県川崎市川崎区中瀬3-20-1 TEL.(044)299-8773 FAX.(044)288-8777
計測エンジニアリング事業部 〒254 神奈川県平塚市四之宮1144-1 TEL.(0463)53-4025 FAX.(0463)53-4427

**あなたの事業に
ぴったりの提案を、
世界のどこへでも
お届けできるパートナーを
お望みですか？**

**ご相談ください、
私たちに。**



工業用ガスのイノベーター「エア・リキード」なら、あなたのご要望に添った生産性向上策を世界のどこへでもお届けします。

エア・リキードは、工業用ガスではトップのシェアを誇る世界最大のイノベティブ・グループです。60数カ国に及ぶサービスネットワークを通じて、全世界100万社以上のお客様に、個々のご要望に添った様々な解決策を提供してきました。

規模の大小や、業種・エリアにかかわらず「工業ガス」のことならどんなご相談にもお応えできる、エア・リキードならではのグローバルスケールの集積ノウハウをご活用いただいています。もちろん、あなたのケースにも、お近くのエア・リキードが、きっとお役に立ちます。



日本ではテイサンがご相談にお応えします。 <http://www.jp.airliquide.com> .



AIR LIQUIDE

TM

提 案 し ま す 、 明 日 が 見 え る 生 産 性 。

テイサン株式会社 (AIR LIQUIDE Japan) ☎(03) 3502-0551

液体急凝固装置

NEV-A05型

非晶質金属作製機構
金属ガラス作製機構



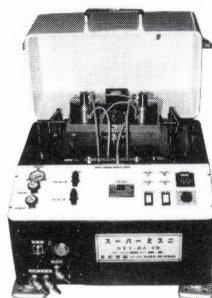
最新型

超小型
高性能
超低価格

- 特徴 ①高周波電源、真空室、制御盤、全て自社設計製作の為総合技術力を持っている。
②ロール回転駆動は当社の特許によるマグネットカップリング方式で高真空を保てます。
③ロール回転振れは10 μ m以内で高精度、ノズルチャック部はノズルの交換が容易
④ロールとノズルのギャップ調整精度0.05mm

メカニカルアロイング装置スーパーミスニ

NEV-MA8型



やってみたい!!

容器の加熱
容器の超冷却
容器のガスフロー

- 特徴 ①真空又は、雰囲気中でボールミルが出来ます。
②容器を水冷しながらボールミルが出来ます。
③各種ガス雰囲気中でボールミルが出来ます。
④床振動が少ないため非常に静かです。
⑤条件設定時に容器の中が目視出来ます。
■オプション 容器の加熱 MAX 300℃可
容器超冷却(液体窒素)
ガスフロー機構

高周波誘導加熱電源

(トランジスタ・MOS方式)

超小型

高効率



■特徴

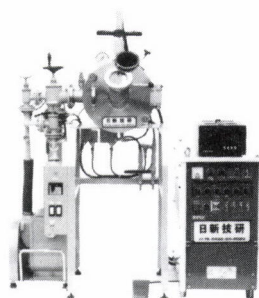
- ①コンパクト・軽量
出力50kWで机より小さく2人で乗用車に積みこめます。
②高効率
マッチングボックスを加熱部の直近に設置し、負荷に応じた高効率の運転ができます。
③保護回路
素子の保護には、直列共振回路を採用し、逆変換側で行う為、放電や異常時に高速で確実に保護する事ができます。

超小型真空アーク溶解装置

NEV-AD03型

超小型

超安値



手軽な母合金

小型…高性能
小型…設置小さい

- 特徴 ①非常に小型で操作性が良い。
②電極は球面軸で非常に軽い。
③正面扉開閉の為作業性が良い。
④水冷ハースはセットしたまま清掃できます。
⑤試料は雰囲気のまま反転できる。(特許)
⑥アーク位置決め機構。(特許)

営業案内

高周波電源各種
多目的一方向凝固装置
単結晶作製装置
真空ホットプレス装置
メカニカルアロイング装置
真空グローブボックス

非晶質金属作製装置
真空高温焼結装置
急冷粉末作製装置
真空アーク溶解装置
ガスアトマイズ装置
液中紡糸装置

Ti真空溶解装置
FRM実験装置
真空連続铸造装置
急冷薄片製造装置
水アトマイズ装置
高速精密铸造装置

※外観及び仕様は改良のため、お断りなく変更することがあります。

技 日新技研株式会社

〒190-12 東京都西多摩郡瑞穂町南平1-7-10
TEL.0425(55)8020(代) FAX.0425(55)8507

ふえらむ

Vol.2 (1997) No.2

C O N T E N T S

目 次

理工学教育最前線特集

Techno Scope「理工系離れ」を追う2

話題のプロジェクト 多チャンネルCS デジタル放送10

鉄の絶景 地中深くもぐる鉄 大阪14

特集記事

科学技術基本計画の策定と学術研究の振興

文部省学術国際局学術課課長 坂本幸一17

小学校における科学教育—主として材料の教育について

群馬県渋川市立金島小学校教諭 轟木信也23

工業高校における材料技術教育

三重県立桑名工業高等学校材料技術科教諭 伊藤茂一29

工学・技術の生涯高等教育—放送大学産業と技術専攻の場合

放送大学産業と技術専攻助教授 東千秋34

大学院エネルギー科学研究科の創設

京都大学大学院エネルギー科学研究科教員 新宮秀夫39

企業における技術者教育

川崎製鉄（株）技術研究所研究企画事業部主査 三宅苞47

入門講座

制御技術編—2 製鉄業における制御理論の応用

（株）神戸製鋼所技術開発本部常任顧問 藤井克彦51

理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会を振り返って

学生プレゼンス分科会1995年度主査（（株）中山製鋼所） 一色孝史59

会員へのお知らせ61



「理工系離れ」を追う



若者の「理工系離れ」が進んでいるという。
科学技術立国を標榜する日本にとって、これほど由々しきことはない。
近代から現代へという時代の流れの中で、
人類の世界認識を変革し、
生存のための圧倒的な力を与え、
生活を豊かにしてきたものは、
ほかならぬ科学であり、その応用であるテクノロジーだった。
ところが、である。
大戦の灰の中からまさに技術そのものによって立ち上がり、
テクノロジーの大いなる担い手として成功を遂げてきた
奇跡の国の若者たちは、「衣食足りて」科学技術に夢を持てなくなったという。
いったい、それは事実なのだろうか。
実態を、レポートしてみる。

科学技術に関心のない若者たちが急増中！ 模索される「人材空洞化」回避のための試み

若者の間で静かに進行する「理工系離れ」の傾向は、来世紀初頭には400万人もの技術者不足へとつながる可能性があるという。そうなれば、技術立国・日本の産業は、人材面からも傾いていくことになりかねない。この問題を解決していくには、従来の「理工系」の枠をこえた、より創造的かつ魅力的な科学者像、技術者像を築いていく必要があるというのだが……。はたして「理工系」のルネッサンスは可能なのだろうか。

深刻な技術者不足をよぶ若者の「理工系離れ」

1994年10月、科学技術庁の委託を受けた日本技術士会は、2010年に国内の技術者が大幅に不足するだろうという予測をまとめた。同調査によれば、十数年先には少なくとも約176万人、多ければ約445万人の技術者が不足するという。その原因の第一は、少子化によって年々就業人口が減少していること、そして第二には、若者の「理工系離れ」が進むためだという。

シミュレーションは国勢調査や学校基本調査などのデータをもとにして行われた。現状から分析予測すると2010年、技術者として職に就いている人口は、推定で約389万人になるという。しかし企業や大学の研究機関で必要な技術者の実数は、やはり推定で約834万人（経済成長率が90年代3.8%、2000年代に2.7%として計算した場合）。その差約445万人が、不足分の数字と考えられるわけだ。

特に2008年頃からは20～30代の男性技術者が大幅に減少する。女性技術者は2010年には1990年の4倍になるだろうという予測も立てられている。しかしそれでもなお不足分を満たすには不十分だ。

技術者数減少の第一の原因である少子化が避けられない傾向であるとすれば、第二の原因である「理工系離れ」を防がねば、技術者不足は深刻な問題となる。こうした現状から、産官双方からの危機意識が高まっている。

「理工系離れ」の背景にあった生活者の「科学離れ」

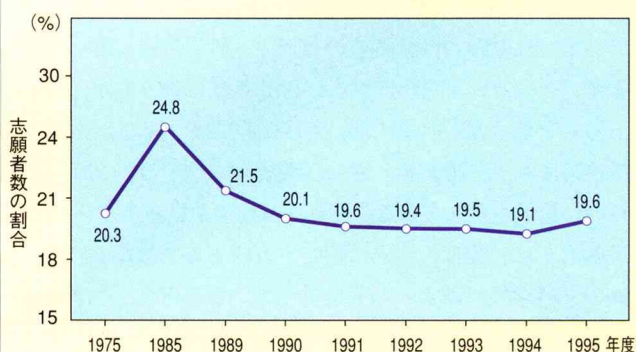
現実に若者の「理工系離れ」は起きているといえるのだろうか。実態を検証するには、データを対照してみる必要がある。そこで学校基本調査のデータを見てみると、1985年には大学の理工系学部の志願者は、全志願者数の24.8%を占めていたものが1993年には19.5%まで減少している。以来、理工系学部を志願する者の割合は20%を割り込む数値が続いている。確かに「かつて」と比べると理工系人気下がっていることは間違いないようだ。ここ1～2年は不景気による両親の安定志向から、いくら理工系志願者数が戻ったともいわれるが、いずれにせよ低調傾向は続いている。

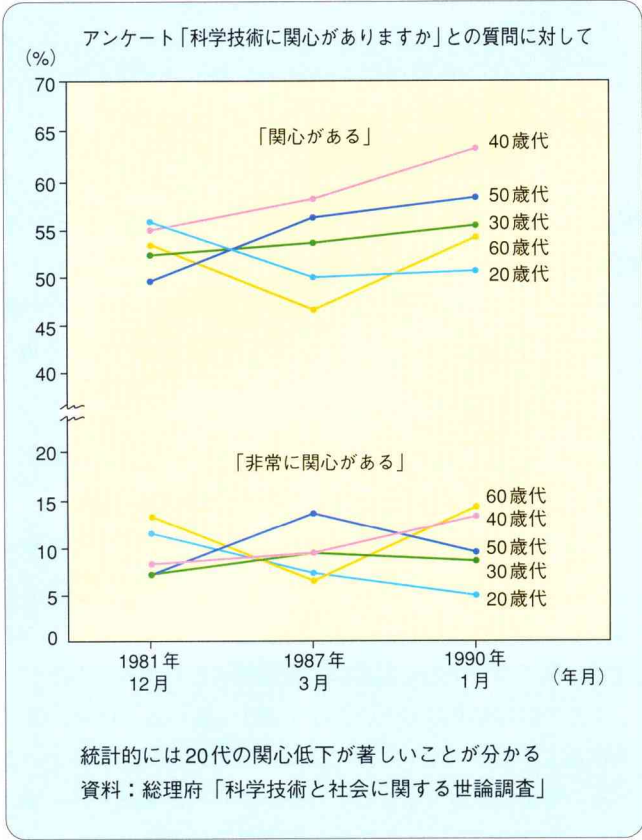
また数そのものの減少に加え、いわゆる「優秀な学生」が「理工系離れ」の傾向を見せているという指摘もある。1993年に大学入試センターが40万人をこえるセンター試験受験者を対象に調査分析を行ったところ、1987年には同試験上位100位以内の学生の約40%が理工系を志望していたのに対し、93年には、その比率が約30%にまで減少していた。センター試験上位100人といえば、とびぬけた成績優秀者ばかりということになるが、そうした「優秀な学生」が理工系を志望しなくなってきたというのだ。上位1,000人までのいわゆる「秀才」にあたる学生を対象にした場合にも、数値に多少のズレはあるもののほぼ同様の傾向が見られた。

理工学部への延べ志願者数の推移



学部への志願者総数に占める理工系志願者の割合





さらに成績上位20%の受験者の志望先を調べたところ、理学系、工学系、農学系などの自然科学系が低下傾向を示しており、法学系、経済学系などで増加傾向が見られたという。

受験生の「理工系離れ」は、理工系大学生の「研究離れ」や、高校生が物理や科学を選択しないという現象とも連動している。昭和57年に教育課程が変わり、高校での物理・化学が選択制になると、これらの科目を選択する生徒は全体の35%前後へと激減した。

高校生の理科への関心低下は、国際的レベルに照らした学力の低下という形でも現れている。IEAの国際比較調査データで見ると、高度成長期には数学や理科の達成度では必ず上位にいた日本だが、1982年～83年では、高校・理数系志望者の物理で5位、生物で7位、化学で11位というように、調査実施国中、中位程度にまで落ちてきているというのである。

一般的な20代の若者たちも科学技術への関心を失っている。総理府の世論調査のなかで「科学技術に関心がありますか?」という問いに対し、1981年には76.5%が「関心がある」と答えていたのに対し、90年には「関心がある」は57.9%に下がっており、逆に「関心がない」は、42.1%という高い数値を示している。これらの数字を見るかぎり、「理工系離れ」は、教育の場面に限定されるものではなく、社会全体の「科学技術離れ」とも連動していると考えられるべきなのかもしれない。



複合的な原因を持つ「理工系離れ」

何故こうした「理工系離れ」「科学技術離れ」が起こってくるのか。その原因とおぼしきものは、実はさまざまな側面から指摘されており、これが決定的といえるひとつのものに絞り込むのは難しい。あるいは、指摘されている原因が複合的に作用しているとも考えられるだろう。

一般に指摘される理由のひとつとしては、理工系は実験・レポートなどが多く大学へ入ってから遊べない、就職もいわゆる3K職場が多い、などといったものが挙げられるだろう。大学で「遊べないから」というのは、情けない話だが、大学で専門知識を得るよりは「遊び」を通じて社会適応力や後の人脈などを作ることが重視される現実もある。

また、ある調査によると理工系学部志望者の多くは、人と交流したり文章を書いたりするなど、いわば自己表現の面で苦手意識を持つ傾向があるという。そうした背景から、理工系は「暗い」というイメージも持たれやすいようだ。

テクノロジーそのものがブラックボックス化してきているということも、原因のひとつとして指摘されている。かつて子供たちには身の回りの機械類や電気回路などを分解して、そのしくみを発見するよろこびというものがあった。しかし、今やエレクトロニクス機器は、分解したところで黒い樹脂にはめ込まれたCPUがハンダ付けされているのみ。分解しても何がどうなっているのかまるで分からない。

さらに多くの子供たちがマスメディアやゲームのシミュレーションを通じて外界をきわめてステロタイプに吸収しているという社会文化的側面も関係があるだろう。昨今、若者たちの思考・行動パターンを観察していると、雑多な目の前の現象から事実を抽出していくのではなく、最初から整理されチャート化された知識体系にあてはめて事態を考えようとする傾向を強く感じさせられることがある。現実がもつ複雑性に目を向けていないのだ。しかし驚くほどに知識には通じていたりする。こうした若者の傾向を醸成してきた一因には

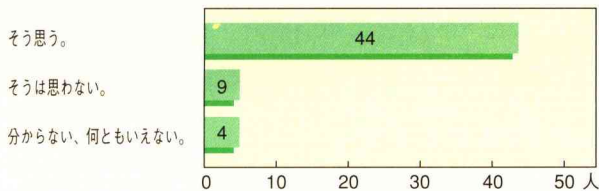
大学における理工系分野の教育研究についての学長、学部長アンケート結果

平成6年2月、文部省実施

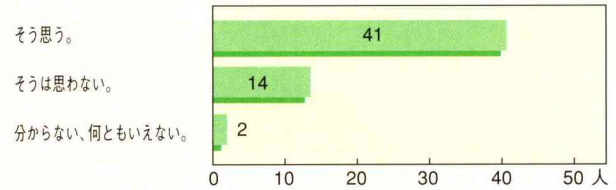
対象者：

国公立大学の工学部長、理学部長、理工系単科大学大学長のうちの57人

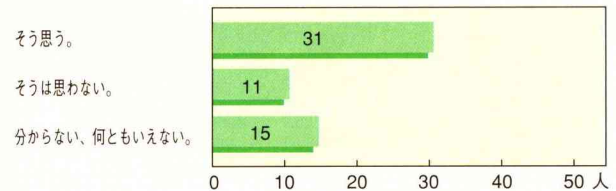
1.近年、優秀な学生が理工系の学部を志願しなくなっているとの指摘がありますが、あなたはそう思いますか。



2.理工系の大学に入学しても、現在の大学の施設・設備や教育内容、教育体制などのもとでは、学生が十分能力を伸ばせなくなっているとの指摘がありますが、あなたはそう思いますか。



3.企業は、独創性のある理工系の学生を採りたいと言いつつ、実際には、採用した学生の能力を十分に生かすような処遇を行っていないとの指摘がありますが、あなたはそう思いますか。



詰め込み型の一斉授業と偏差値による評価システムが関係していることも否めないのではないかな。

産業全体の中での製造業の地位が相対的に下がっていることも「理工系離れ」と無関係ではないかもしれない。かつて「手に職」が重視された時代、文化系よりも理工系のほうが給与面でも優遇されていた時期があった。*1「水道哲学」に代表されるような、よい物を安くつくって社会を富ませようという時代の空気の中で、製造業の地位は高く、その担い手たる技術者の地位も高かった。しかし、バブルの前後の頃から、「物づくりの技術」よりは、「金をもうける技術」が重視されるようになる。製造業と金融業の30歳代の平均基準内賃金を比べた場合、金融業が30%も高いというのだから、親を含めて、多くの受験生が無理をして「暗い」理工系に行く必要はないと考えても仕方があるまい。

後出の只野文哉氏のインタビュー記事でも触れているが、電気通信大学の小林信一助教授は、「文明社会の野蛮人」というタームによって、学生から一般までを含めた科学技術への関心低下を説明している。同氏によれば、現代の若者の多くは生まれた時から人工物に囲まれているために、自然物と人工物の区別がつかなくなっているという。目の前の物が、誰かが作ったものであることは観念的には分かるものの、そこにあることは「当たり前」だという感覚が身に付いてしまったというのである。目の前のものが科学技術活動の産物であることは理屈の上では分かっていても、生活実感としては、まるで分からない。文明化する以前の人間が木の実や獲物をそこにあるものとして、当たり前 enjoyment していたように、現代

の若者たちは科学技術のプロダクトを当たり前「与えられたもの」と実感してしまっているというのである。そこには、驚きや新たな開拓への意欲といったものは生れない。彼らにとって科学技術と、その応用たる利便な生活とは、皮膚感覚の上でまったく乖離したものとして存在しているわけだ。小林助教授は、こうした人々を「文明社会の野蛮人」と名付けたのである。

科学の魅力低下も大きな原因のひとつ？

科学技術の担い手側にも、まったく責任がないわけではないだろう。戦後から高度成長の時期にかけ、科学技術はそれまでの貧困を退治し、夢のような生活を実現してくれる手段として人々に訴えかけてきた。今日、テクノロジーの進歩がさまざまな不可能を可能にしてくれることは、たしかに誰もが分かっている。しかし、今や「人類の果てしない進歩」や「夢の21世紀」という科学技術が提示するビジョンは、あまりにも紋切り型になりすぎた感がある。人々は身近な目標として、何を目指して生活をしていけばいいのか、そのためになぜ科学技術が必要なのか。これ以上、何のために発展していくのか……。科学技術は、理解に追い付いていくことのできない人々を疎外するばかりで、こうした疑問に納得のゆく答えを与えてくれはしない。

産業界に対する批判もある。文部省が国公立大学の学長、学部長などを対象に行ったアンケートでは「企業は、独創性のある理工系の学生を採りたいと言いつつ、実際には、採用した学生の能力を十分に生かすような処遇を行っていないと



の指摘がありますが、あなたはそう思いますか」という質問に31%が「そう思う」と答えている。修士課程や博士課程を修了した者の採用に、多くの企業が積極的でないという声もあるようだ。

文部省高等教育局では1994年に「大学の理工系分野の魅力向上に関する懇談会」を設置して、「理工系離れ」を食い止めるための方策を提言する報告書をまとめている。懇談会は末松安晴東京工業大学名誉教授を座長に20名の識者で構成され、メンバーには宇宙飛行士の毛利衛氏なども名を連ねた。また産業界からも経団連、日本商工会議所、日本工業会などがオブザーバーとして参加した。

懇談会は、「理工系離れ」を食い止めるためには、大学の理工系分野をより魅力あるものにしていくことが重要であると提言する。具体的には、詰め込み教育を是正し、「発見」や「創造」の現場に参加できるような教育を目指すこと、設備の充実を図ること、研究者が研究に専念できるような給費制など、いくつかの視点から、現状を改革していく必要性を提言している。また大学が広報マインドを持って、社会に積極的に情報提供を行っていくことの重要性などについても述べられている。

科学技術の止揚が求められる時代

近年、従来の製造業に代表されるような「もの作り」の時代は終わったといわれるようになってきた。しかし「もの作り」をせずに産業が成り立つはずもない。そこでよくいわれるのが、ソフトウェアとセットになった「もの作り」ということである。ソフトウェアとは、人やその生活と密着した思想、考え方、価値である。今、科学技術は、それをめぐるさ

まざまな構造とともに、コンセプトやフィロソフィーと融合した新しいパラダイムへと止揚されるべき時期に来ているーと考えることができるのではないだろうか。

文部省は1994年の懇談会の流れを汲む形で、1996年には「大学の理工系分野における創造的人材の育成のための産学懇談会」を行った。理工系のマイナス面を表象してきた「機械的」という言葉とは、まったく正反対の「創造的な人材育成」こそがこれからの時代には必要、との主旨で懇談会が開かれたのである。

懇談会のメンバーは、前回が大学人中心であったのに対し、今回は多くの企業関係者が参加する形となっている。産業界をも巻き込んで、「創造的な理工系人材」を育成していく方法の模索が本格的に始まったと考えられそうだ。

*水道哲学

故・松下幸之助氏が事業を展開するうえでの根幹とした思想。商品を手道の水のように「大量に」「安く」生産・供給することで、誰もがその恩恵を享受できるようになり、社会を富ますことができる、というきわめてシンプルかつ力強い考え方。水道哲学の名称は同氏が公園の手道の水を飲んでる浮浪の男を見て、「水を飲んでもとがめられないのは、水が大量にあって、しかも安いから」だと思い至ったことに由来する。戦後の日本産業の理念的なバックボーンとなってきた。

参考資料

『大学の理工系分野の魅力向上と情報発信について』
文部省高等教育局大学の理工系分野の魅力向上に関する懇談会報告（平成6年7月）
『創造的人材育成のために』
文部省高等教育局大学の理工系分野における創造的人材の育成のための産学懇談会報告（平成8年3月）
文部時報（平成8年1月号）他

時代の変遷とともに起きた 若者の科学技術離れ

(社) 科学技術と経済の会 常務理事 只野 文哉

Bunya Tadano

電子顕微鏡研究の第一人者である只野文哉氏は、昭和48年から現在に至るまで、小学校・中学校の子どもたちを中心にボランティアとして科学技術についての講演活動が続けてきた。科学技術の面白さや素晴らしさを語りかけることで、子どもたちに科学への興味を持ってもらいたいという。

「(社) 科学技術と経済の会」常務理事を務めながらの講演活動と、忙しい日々を過ごす只野氏に、若者たちの科学技術離れについてお話をうかがった。

子どもたちの科学技術に対する興味の芽生え

——小学校の子どもたちを中心に、科学の面白さを教える目的で講演をされているそうですが、子どもたちの科学に対する関心は時代とともに変化していますか。

只野●私が講演をはじめた23、4年前の、科学技術志望者が多かった時代から今にいたるまで、特に小学生の子どもたちの科学に対する興味と関心はほとんど変わっていません。中学生になると関心はあるが、純粋に面白いという顔ではなくなってきます。高校生はほとんど関心なしという感じでしょうか。以前からややこういう傾向は見られましたが、今は高校生は特に、受験に一生懸命でそれどころではないようです。

——2、30年前とくらべて、学校でもあまり面白い先生がいなくなってしまう気もしますが・・・。

只野●我々の子ども時代は、担任の先生が音楽などだけを別にしてオールラウンド全教科を見ていた。だからさまざまな分野のいろいろな知識をもっていて、子どもたちが科学は面白いと感じられるような話し方のできる先生が多かったんです。また、今も社会科ではよく野外勉強をやっているようですが、野や山に子どもたちを連れ出して、子どもたちが身をもって自然科学を学ぶ機会を与えてくれました。

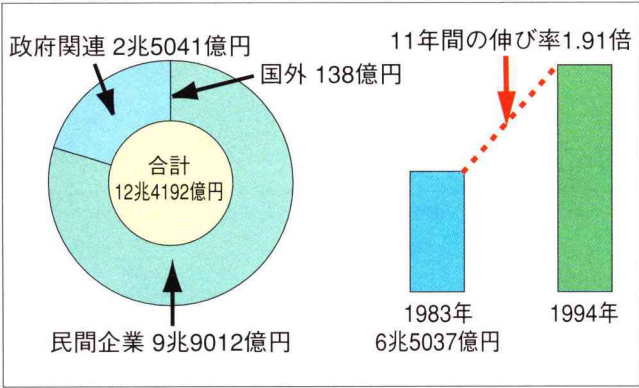
私の長男について言えば、小学校3、4年の頃、水成岩の貝の化石をひとつ拾って夕方家へ帰って来たことがありました。もう夕食の時間だというのに何やらえらく興奮しているんですよ、“ぼくはこれを見つけた。これを今もっと取っておかないと、なくなっちゃうんだ”って。私は“今まで何万年もあるのになくなるわけではないだろ”と喉まで出たんですけど、ぐっところえて褒めてやったんですよ、よく見つけたと。そうして本人のしたいように、またすぐ取りに行かせたんです。こうい

う親が、減ってしまったんじゃないでしょうか。この子は虫集めに熱中して生物にのめり込み、とうとう医学部へ進みました。こんなふうに子どもには、何かしらに興味を示す瞬間というものがあるんです。この瞬間をうまくつかまえて、こどもに自分で将来やりたいことを自覚させる教育を、私の造語では“瞬間教育”と呼んでいます。家庭でも学校でも、必ずそのような瞬間というものがある。私はこれこそが、こどもが将来、自分は何をやるかという進路を決めるための教育のひとつではないかと思っています。数学や国語といった持続教育と並んでもうひとつ、この瞬間教育があってもいいのではないのでしょうか。私が技術者になったのも、もとは高等小学校時代の担任の菅原荘二先生が貸してくださった「子供の聞きたがる話」(誠文堂)という新刊本がきっかけでした。今から約80年前ですから、私の故郷の宮城県では自動車はゼロ。鉄道は走っていましたが、オートバイが来ると子供がわっと集まるような時代です。そんな頃その本には、アメリカでは飛行機ができたとか、自動車が走っていると書いてあった。それでもうびっくりしましてね。技術っていうのは面白いなと。その出来事こそがまさに私にとっての瞬間教育でした。そういう目で見ると、いま活躍しておられる大勢の方が書き物などで、この瞬間教育に匹敵するような体験をしたとおっしゃっています。自分が将来の、何かの進路を決めるときにこういう本を読んだとか、先生に何かちょっと言われたとか。こういうことが大事なんです。親が何になれ、こうしろなどというのはまったく効果がないようですね。

——子どもの科学への興味を阻んでいるのは受験以外にも何か理由があるのでしょうか。また外国ではどうですか。

只野●日本では、大学の理工系は講義の出欠が厳しいが、文系はそうでもないというイメージがある。また文系と理工系

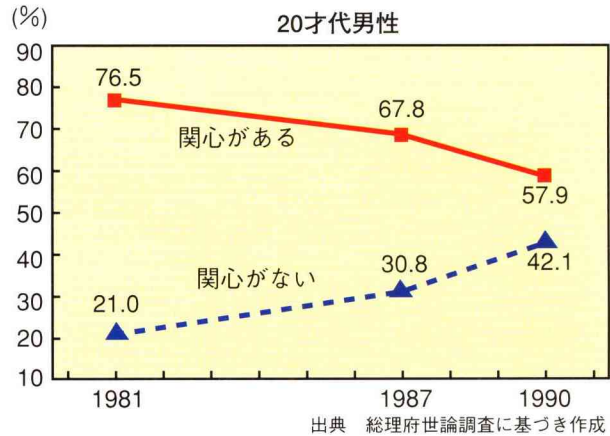
■1. 科学技術予算の資金出所と伸び率
(1994年度版・科学技術白書より)



の人が同時に同じ会社に入社して20年くらい経つと、平均的に見て文系の人の方が出世していることが多いのです。これは賃金についても同様です。このように実利面からすると理工系はあまり魅力がないように見えてしまう。また「腹が減っている」と理工系志望者が増え、飽食になると減る、国が裕福になると理工系離れするようです。ですから今後はおそらく、中国から東南アジアあたりで科学技術が発達してくるんじゃないでしょうか。豊かになると、地道な努力をしている時間や気力がなくなるのでしょう。手軽に利益を生む方向に進む。

——政府も青少年の科学技術離れに対する危機感からか、昨年11月には科学技術基本法を施行しましたね。
只野●今年も科学技術予算はかなり出ました。これで研究開発費は増えたわけですが、現在の日本の科学技術の研究開発費の振り分けは民間企業が約10兆円、政府関連が約2兆5千億円となっています。ここからもわかるとおり、日本の科学技術の研究開発は民間企業の負担によってなされていると言っても過言ではないでしょう。企業主体の応用研究や製品化研究はさかんにやっています。それに比べて文部省や大学を含め、国公立の研究機関への資金はかつては非常に貧弱でした。ここに日本の基礎研究の遅れという問題点があるのではないのでしょうか。しかし科学技術基本法が成立したこともあって国公立研究機関に対して、研究開発費が重点的に配分されるようになってきています。ちなみにアメリカでは、政府が持っている研究開発費の割合が総額の3分の1以上あります。それに比べると日本は額としては世界で2、3番目であるにもかかわらず、やはりまだ政府の持つ研究開発費の割合が少ない。また金額だけではなく、研究者の定員の問題もあります。研究費の額が多すぎると、研究者たちがその資金を使うことにばかり気をとられてしまう懸念があるのです。科学技術基本法では、このようなことも考慮していくべきではないのでしょうか。

■2. 「科学技術に関心がありますか」



■若者の科学技術離れを防ぐための教育

——こどもから若者まで、科学技術にもっと興味を持ってもらうためにはどうしたらよいでしょうか。

只野●ひとつには私がやっているような、こどもたちに科学技術の面白さを教える講演活動をもっと大勢の方にやってもらいたいですね。また、そういった方たちがボランティアとして活躍できるように斡旋してくれる、日本工業教育協会などの団体に頑張ってほしい。個人では仮にそういった活動をしたいと思っても、どこにどうしていいかわからないですから。イギリスには古くから、わずかな会費でだれもが一流科学者の講演を聞ける公開講座があった。特にフラディの「ローソクの科学」は著名で、現在にも引き継がれています。日本でもそんな講座が開かれるようになるといいですね。テレビ番組などの影響力も非常に強いですから、こども向けの自然科学系番組を、定期的に放送することだけでもかなり違うと思います。

また、電気通信大学の小林信一助教授は、現代の若者が科学技術離れするのは彼らが“文明社会の野蛮人”であるからだ指摘しています。文明社会に突然未開の民族が来たら、周囲にあるものすべてを人間の手を加えていない、自然の賜物であると信じてしまいますね。現代の若者もそれと同じで、彼らが生まれたときから目の前にあるすべての便利なものは、テレビでも自動車でも、観念的には誰かが苦心して作ったものだとかわかるものの、そこにあって当たり前ののだという感覚を身につけてしまった。まさしく彼らは文明社会の野蛮人である、というものです。そこで小林助教授もやはり、科学技術者自身がさまざまな場面で自らの科学活動について語る。あるいは科学技術についての情報を世の中にできるだけうまく流通させ、まずは若者が科学技術に関心を持てる

ような環境を作ることが必要であると言っておられます。

確かに公害などの問題から、科学技術があまり重んじられなくなっている風潮はあるようですね。こういったことややはりマスコミなどの影響も大きいでしょうね。日本はほとんど資源がありませんから、外国から安い原料を買ってそれをもとに製品を生み出して付加価値をつけるよりほかに生きていく道はない。鉄鉱石を買って、鉄にして、銅板にして、自動車にして・・・ということに桁違いに付加価値がついて、それで食べているわけですからね。日本は科学技術によって付加価値をつけて成り立っている国である、ということをしっかりと認識すべきだと思います。最近、コンピュータが非常に発達して、ネットワーク通信やマルチメディアが盛んになっています。皆が潮流に乗り遅れないようにと、一生懸命ですね。これらは確かに技術的に高度で実生活にもプラスになるでしょうから、こういったものが発達していくのはよいことだと思います。しかし、これらは本当の意味での科学技術のほんの一部なのです。若者はこういう華やかなところには目が向くが、どうも地味な科学技術には向かない。情報通信と物作りという2つの大きな流れにのっていかないと、21世紀の日本はだめになると思いますよ。

——日本の科学技術の現状は、世界的にはどれくらいのレベルなのでしょう。

只野 ● 実用面では世界一でしょうね。特に基礎科学技術はかなりいい線までいっています。電子線ホログラフィーといって、電子顕微鏡が発展した応用の分野などは特に優れています。しかし、バイオテクノロジーなどをはじめとする科学そのものの研究は、残念ながら遅れていて、1.5流程度でしょうか。ただし、実力以下に評価されていることもあります。

——将来における科学技術の理想像は、どのようなものであるとお考えですか。

只野 ● 現在のところあまり着目されていない、しかし将来の主流になるであろう科学分野を、しっかりと研究してくれる人が出てくるといいですね。また、近頃では創造性という言葉をよく耳にしますが、会社や研究所の現場で新しい科学技術を生み出そうとするときの手順は、大学教授などの理論寄りの考え方とはかなり違うんです。頭の中で考える、というよりはむしろ実際に手を使う。こういうことはできないか、ああいうことはできないか、といろいろと考えては実際に手を使って実験してみるんです。それでもなかなかうまくいかなくて悪戦苦闘しているあいだに、思いもかけない別のことが起こったりするんですよ。狙ってやってみたことよりもむしろ、こちらの方が実は本物であったりする場合もある。自然などというものは、なかなか私たちに本当の姿を見せてはくれないん

ですが、ちらっと見せる瞬間をぱっとつかまえる力、Serendipityが大切です。Serendipityで新しいことを見つけるチャンスは、その人の感性なり、学識や経験で違ってきます。長い研究生活の中では、そのちょっとした瞬間を見逃すことも当然あります。けれども科学技術の面白さというのは、狩人が、まだ見ぬ獲物を追って一心不乱に突き進むのと非常によく似ていますね。だから科学技術に関心のあるこどもを育てる場合でも、こどものときに何かしら目に見える科学技術を体験させてやるのが大切です。虫でも、植物でも、鉱物でも、何でもいい。「これは面白い」とこどもたちに思わせてやるんです。周りの大人がこどもに興味を持たせるように吹き込んでやる環境が必要なんじゃないかな。ただ一番大切なのは、そのこどもさんが一種の精神的な飢餓状態にあって、「何かやろう」と思っているときに、ぱっとタイミングよくやることです。

アメリカの科学系の大学では、もちろん大学によって違うでしょうが、先生が生徒と1対1で話をする。驚きですね。自分だけではじめから学ぶのではなく、先生と相談しながら、つまり先生がひとつのことを一緒に考えて考えてガイダンスしてくれるようです。日本のように画一的な偏差値向上の教育ではないんですね。ここ数年来、日本でもパーソナリティを見るような入試試験が出てきましたが、科学好きのこどもたちを育てるためにも、そういった多面的な教育を今後も推進していくとよいのではないのでしょうか。

——ありがとうございました。

[資料提供：(社)科学技術と経済の会]



只野 文哉

(ただの ぶんや)

- 1907年 11月26日宮城県生まれ
- 1926年 電気試験所(現電子技術総合研究所)入所
- 1940年 (株)日立製作所入社 電子顕微鏡の研究開発および事業化に従事、のち同社理事・技師長
- 1973年 (社)科学技術と経済の会 常務理事就任
- 現在に至る 工学博士
- 主な著書 「研究開発」、「ソフトテクノロジー」
「技術戦国時代の戦略」ほか多数



多チャンネルCS デジタル放送が本格 新しいメディアとして期待が集まる

100chのテレビ放送が受信できるPerfectTV! が1996年10月から本放送を開始した。

1 カ月で6万4000件が加入したという好調な滑り出しだ。

しかし1997年中には、JスカイB、DirecTVの2社が新規参入を目指しており、
テレビ放送は一挙に300ch時代を迎える。

テレビ放送は、新たな選択の時代を迎えたといえるだろう。

CSデジタル放送の何が新しいのか、先行したPerfectTV! を例に見ていこう。



的に開始

トランスポンダの有効利用を可能にしたデジタル化

現在、日本で見ることのできるテレビ放送は何チャンネルあるのだろうか？NHKの総合と教育、民放の東京キー局が5ch、衛星放送(Broadcasting Satellite:BS)のNHK第1・第2、日本衛星放送(WOWOW)、およびハイビジョンの実験放送を合わせて4ch、これに通信衛星(Communication Satellite:CS)を使ったCS放送の14chが加わる。

さらに各都道府県ごとに民放の地方局があり、CATVも主要局(CATV連盟に所属)が約300局ある。ただし地方局やCATVの場合、受信エリアが狭く、また独自の放送ばかりを流しているわけではない。一般人がテレビ放送といわれて思い浮かべる内容のものは、地方局とCATVを除くと、せいぜい25chほどしかない。

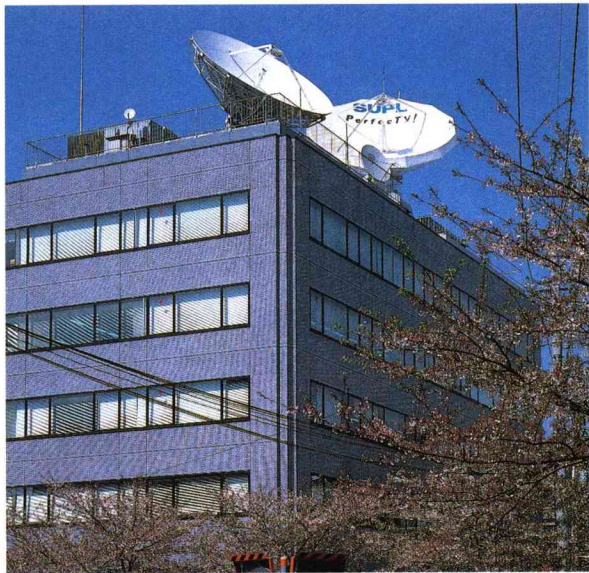
ところが、1996年10月から本放送を始めたPerfecTV!(日本デジタル放送サービス)は、開始当初で約70ch、現在は110chのテレビを放送している。こうした多チャンネル放送が可能になったのは、本来アナログデータである映像や音声をデジタル化し、通信衛星を使って放送することが可能になったからである。

たとえば現在使われている放送衛星BS-3の場合、1990年に打ち上げられたBS-3aと1991年に打ち上げられたBS-3bのほかに、1994年に両機のバックアップ用としてBS-3Nが打ち上げられている。この3機でNHK2chとWOWOWの計3chを放送しているにすぎない。1機の放送衛星には3つのトランスポンダ(中継器)が搭載されているが、アナログ放送の場合、1トランスポンダで1chしか放送できないからだ。

実は、割り当てられている周波数帯と出力が違う程度で、BSとCSに、基本的な違いはない。しかもBSの出力が1ch当たり120Wなのに対し、CSのほうは34～60W(周波数によって差がある)と、逆にCSのほうの出力は小さくなっている。これが打ち上げ費用に大きな差となって現れる。

BSが開始された理由の1つに、離島や山間部などの難視聴地域を解消し、全国に同時に情報を伝達することがあった。このためBSには比較的大電力の出力装置が搭載されるなど、全体に大きくならざるを得ない。しかも国際的に使用できる周波数帯が各国別に割り当てられており、日本に割り当てられているのは8chしかない。

CSでは利用できる周波数帯の幅が広く、しかも2年に1回開催される世界通信会議などの場で調整が可能で、トランスポンダの数などの自由度も高い。それでもアナログ放送であれば、1トランスポンダで1chしか放送できないのは同じだが、デジタル化により圧縮技術を利用することで、大幅なチャンネル数の増加が可能になったわけだ。



■東京・目黒にあるメディアセンターの送信アンテナ

映像信号圧縮の仕組み

テレビ番組をデジタル化して放送するには、本来アナログ信号である映像・音声をデジタル化する情報源符号化、伝送路上の誤りを回復する誤り訂正、原信号を搬送波に乗せる変復調などの技術が必要になる。特に符号化技術は、多チャンネル化を実現するための重要なキーファクターだ。

画像信号の圧縮符号化は、冗長度圧縮→量子化→符号化という基本プロセスを経て行われる。冗長度圧縮とは、画像信号そのものが持つ無駄な部分のデータを切り捨てることと、人間の視覚特性の2つを利用して行われると考えていい。

たとえば現在のNTSC方式のテレビ放送では、1秒間に30枚の絵（フレーム）が送られている。しかし背景にはまったく動きがなく、人物だけが一定方向に動いているような映像では、背景部分のデータをカットしても、受信側で予測し、画像を補正することができる。このため「動き補償付きフレーム間予測」といった手法が開発されている。

また人間が識別できる色合い、明るさの差は、せいぜい64階調程度といわれている。このため中間の細かい階調データを省くことが可能だ。同時に、人間の目は動いているものに着目してそれを追いかけて、動きを予測する傾向がある。しかもそれ以外のものに対して寛大であるという特性を持っている。これらを利用した手法として、離散コサイン変換やサブバンド分析などがある。

これらの技術を複数組み合わせることで、冗長度を相当程度圧縮することが可能になっている。現在、こうした映像信号の圧縮方式は、国際標準化機構によって規格化されており、PerfecTV! ではそのなかのMPEG2方式を採用している。

従来のテレビ放送（地上波）の番組伝送レートは216Mbps



■ソニー製専用チューナー・SAS-500JSET

だが、デジタル画像圧縮を行うことで5～20Mbpsまで圧縮することができる。CSの1トランスポンダの伝送レートを約27Mbpsとすると、4～6ch放送することが可能になる。さらに1chの伝送レートを固定せず、その時点で必要な伝送レートを動的に割り振る「スタッドマックス」という手法を用いると、さらに1トランスポンダ当たりのチャンネル数を増やすことも可能だ。

ペイ・パー・ビューサービスも提供

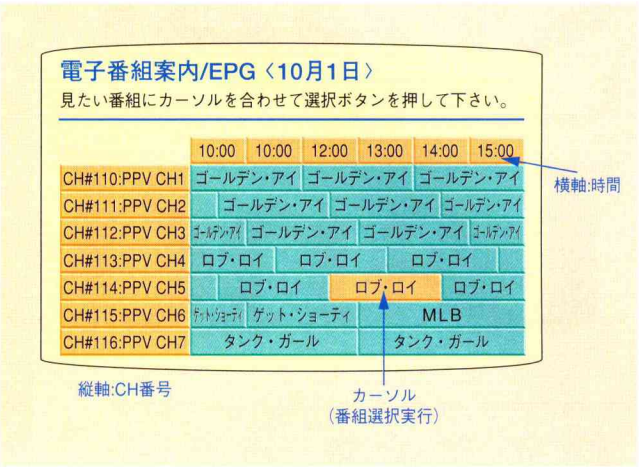
家庭でPerfecTV! を受信するには、専用チューナーとアンテナを購入する必要がある。価格はセットで定価が約8万～8万5000円、実売では5万円あまりだろう。家電メーカー9社が製造販売している。

チューナーには、あらかじめシリアルナンバーの記録されたICカードが同梱されている。そのナンバーを電話でPerfecTV! のカスタマーセンターに連絡すると、それから2週間、全チャンネルのスクランブルが解除される。ユーザーは、その間に見たいチャンネルを決め、申込書を郵送することで本契約が完了する。

契約数は、放送開始から1カ月の1996年10月末現在で6万4000件で、1996年度末までに30万件、さらに1997年度内に30万件、1998年度に40万件を上積みして、3年間で100万件的加入を目指している。

PerfecTV! が提供する放送サービスには3種類ある。チューナーを購入した時点ですぐに見ることのできる無料チャンネル、申込書で契約した有料チャンネル、そしてペイ・パー・ビュー（Pay Per View:PPV）だ。PPVとは、チャンネルごとに契約するのではなく、見たい番組だけを選んで、見た分だけ料金を支払うシステム。視聴した番組の

■電子番組案内(EPG)の表示例



データは付属のICカードに蓄積され、チューナーに接続した電話回線を使って、情報が吸い上げられる。PPVは、電話による仮契約期間中は利用できず、本契約が終わった段階で無条件で利用できるようになる。

従来の放送では、番組開始時間に間に合わず、前半部分を見逃してしまうことがよくある。PerfecTV! では、映画専用チャンネルなどで、複数のチャンネルを使って開始時間をずらしてオンエアするシステム (Near Video On Demand :NVOD) も実施している。

PerfecTV! では月刊の番組表を配布しているが、100chもあると、その時間にどんな番組をやっているかを調べるのも大変になる。このため専用チューナーには、画面上に1週間分の番組表を表示する機能 (電子番組案内Electronic Program Guide:EPG) が搭載されている。

今後のアプリケーションの充実に期待

肝心の放送内容だが、映画専用チャンネルからスポーツ専用チャンネル、気象予報専門チャンネル、カラオケチャンネル、スペイン語や韓国語などの外国語放送、学習塾や英会話教室など、実に多彩だ。なかには、プロレスと格闘技専門チャンネルとか、経営情報専門チャンネルといったものまである。

実際のところ、一般ユーザーで100chすべてを視聴する人はいないだろう。契約料の問題もあるが、日本人の1日平均視聴時間は約3時間半といわれることから、個人がテレビ視聴に費やせる時間に限界があるからだ。まして1997年中にはJスカイB、DirecTVの2社が放送開始を予定している。放送予定チャンネル数は、それぞれ150ch、100chで、先行したPerfecTV! と合わせると350ch以上になる計算。地上波放送もふくめて、視聴者獲得競争が熾烈になることは必至の情勢だ。

PerfecTV! では、激しい競争に打ち勝つために、放送内

容 (コンテンツ) の充実をはかっている。視聴者を確保できないチャンネルについては、将来入れ替えが起こることも当然あり得ると考えている。同時に、PerfecTV! は「進化するテレビ」というキャッチフレーズを打ち出している。

PerfecTV! では、専用チューナーに搭載されている電話回線端末を使って、疑似のインタラクティブサービスを可能にしている。簡単な例では、コンサートなどのチケットサービスで、画面上に会場の座席表を呼び出して、希望の席をクリックするだけで、チケット予約が完了するシステムを構築できる。現在のショッピングチャンネルでは、まだ実際に電話して申し込む方法が採られているが、技術的な問題はすでにクリアしており、あとは運用上の体制整備を待つだけだ。契約者の端末に向けて、個別に電子メールを送信することも可能になっている。インタラクティブサービスを実現するアプリケーションとして、どのようなものを提供できるか。この部分が、他社との差別化をはかる要と考えているようだ。

一方で、他社との協調路線も進めている。1997年夏に放送開始予定のJスカイBとは、専用チューナーの共通化で合意している。たとえばICカードを差し替えることで、同じチューナーを使って、PerfecTV! とJスカイBの受信が可能になるかもしれない。また、CATV各局に専用の受信アンテナを無料で提供して、CATVを通したPerfecTV! の受信も可能になっている。

今後、地上波のテレビ放送やCATVも、デジタル化されていくだろう。そうしたなか、PerfecTV! が「新しいメディア」としてどのような可能性を示してくれるのか、非常に興味深い。

[取材協力：日本デジタル放送サービス (株)]
[写真提供：日本デジタル放送サービス (株)・ソニー (株)]

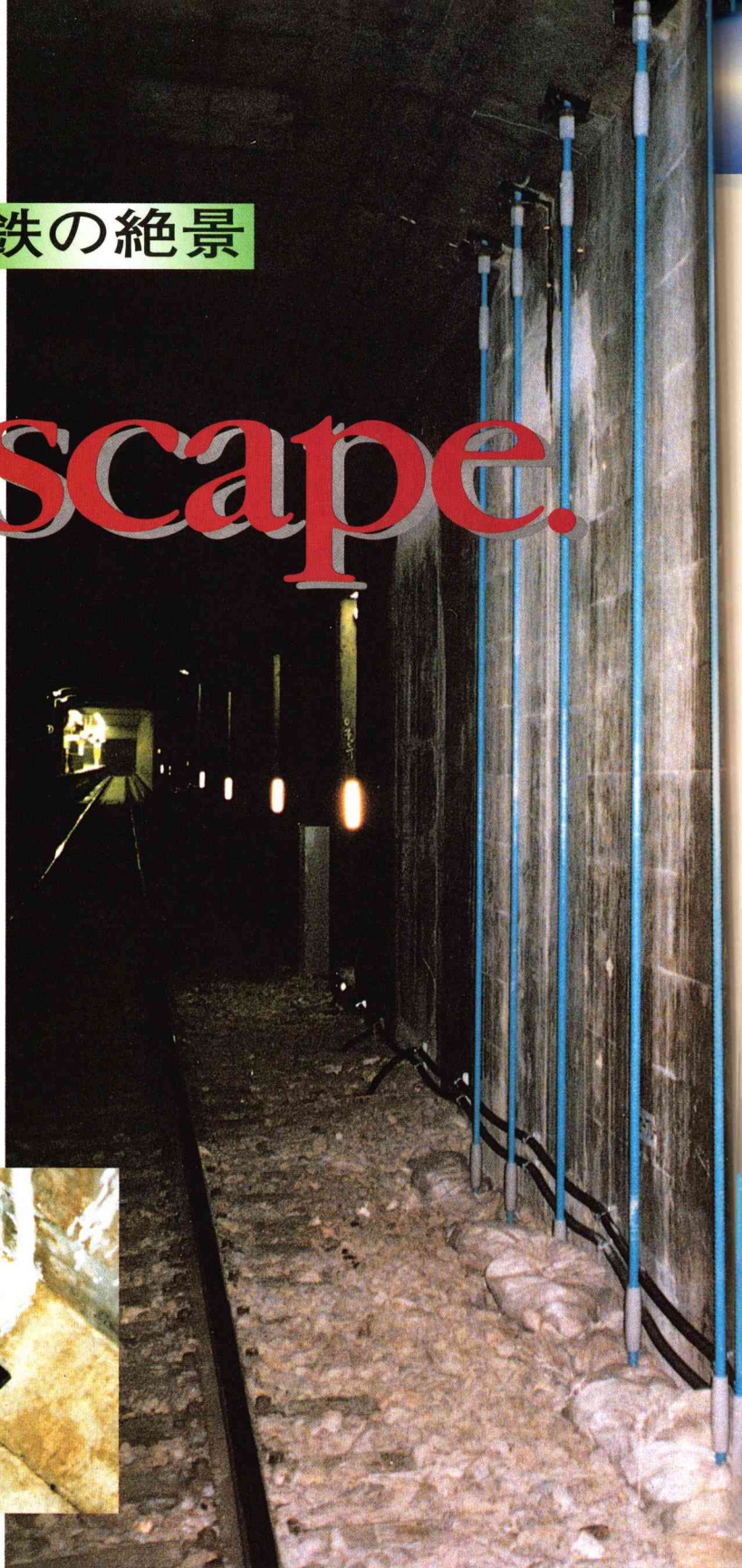
Steel Landscape.

鉄の絶景

地中深くもぐる鉄
～大阪～



床板とPC鋼棒の接着部



上り線と下り線の中央壁に沿って設置したPC鋼棒

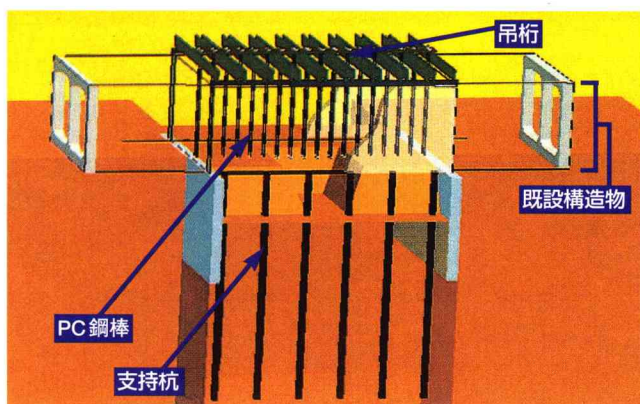
21世紀に向けて次々と敷設され、ますます発達する交通網。

この建設ラッシュは地上ばかりでなく、市街と郊外とを地中でつなぐ地下鉄線においても同様だ。

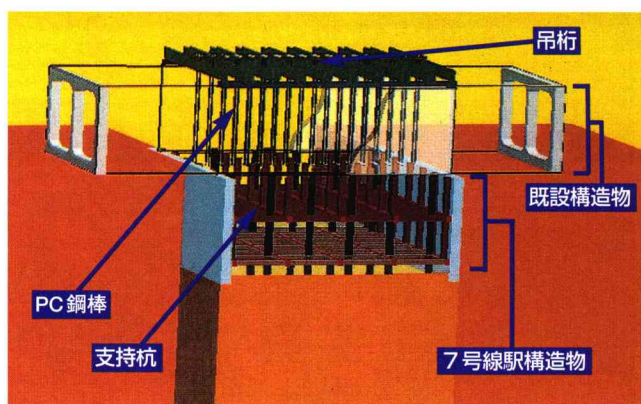
大阪の地下鉄7号線新設工事に適用された建設工法は、地下を利用して居住空間などを設ける大深度地下開発の先駆ともいわれる。

注目の工法、『抱き込み・懸垂工法』にせまった。

抱き込み懸垂工法



下部掘削の開始



7号線駅構造物建設工程

◆地下の地下を掘削する画期的な建設工法

大阪の都市近郊に延伸敷設中の地下鉄7号線（鶴見緑地線）は、平成9年の「大阪なみはや国体」開催に向けて、より利便性の高い都市交通ネットワークの形成を目指している。大阪近郊の既存の地下鉄すべてを連結し、今以上に小回りの利く交通網を作り出すという重要な役割を担っているのだ。ただし、ここで問題となったのが既存の地下鉄5号線（千日前線）西長堀駅近くの線路軌道である。7号線の新停留所建設予定地点と直角に交わるため、営業中の5号線の軌道の下部に7号線の新停留所を建設しなければならない。この建設工法を選定するには、交差箇所にあたる5号線線路軌道18m区間の総重量約1,300トンに列車荷重を加えた総荷重に耐えるのはもちろんのこと、線路軌道はやや劣化の進んだ状況であることを考慮に入れる必要がある。その結果採用されたのが、(株)熊谷組による『抱き込み・懸垂工法』である。特徴として工種が単純なうえ、施工性が高く経済的であるという利点あげられる。なかでも「大阪なみはや国体」開催に向けての7号線開通を見込み、工法の単純性から他の工法と比べて、より短期間に工事を終わらせることが決め手となった。

『抱き込み・懸垂工法』は、まず交差箇所にあたる既存の地下鉄5号線線路軌道の両側面に23mの支持杭を12本打ち込み、その支持杭と軌道の両側面をアンカー・鉄筋コンクリートで連結して一体化（抱き込む）させる。支持杭は18mに渡る軌道全体を支承し、アンカー・鉄筋

コンクリートは軌道の剛性を上げる役割を果たすことになる。次に列車の荷重などを支えるために軌道の上床板および底床板に穴を開け、上り線と下り線の中央部に位置する壁沿いに、合計18本のPC鋼棒を通して上・底床板と接着。このPC鋼棒を緊張させることにより線路軌道を懸垂状態にして固定し、その沈下を防ぐ。ここでは短工期というこの工法のメリットをフルに生かし、営業中の5号線線路軌道を懸垂するにあたって、軌道の剛性を上げる一連の作業を最終電車終了後～始発電車再開までのわずかず数時間で終えた。その後、懸垂した軌道の下部を掘削し、7号線新停留所の敷設工事が行われた。工事の全行程に要した鉄筋の総量は1,258トンにも上り、要所所でその重要な役割を担っている。7号線の延伸敷設工事は平成7年5月着工、平成8年5月末には5号線との交差箇所の工事を終了している。全線開通は平成9年夏予定。

『抱き込み・懸垂工法』は施工法がシンプルでありながら、軌道状態の常時計測が難しいという安全面の問題から、これまで実施が見送られることが多かった。(株)熊谷組では今回の工事で、広島市の計測リサーチコンサルタントが開発したシステムを使用。軌道の状態はセンサーを通じて工事事務所のパソコンに3次元映像で表示され、変化が認められた場合には杭に設置したジャッキで荷重を調整した。この『抱き込み・懸垂工法』は近未来、地表から30～60m以深の大深度地下空間を利用して、居住施設などを建設するための工法の基礎となる可能性の高いものとして注目を浴びている。



土佐稲荷神社

◆夕日に向かって西進する大阪市民の足、地下鉄7号線

今回延伸敷設工事中の大阪地下鉄7号線は、鶴見緑地公園駅に隣設予定の門真南から大阪の都心を抜け、夕陽が美しい「長堀通」を西進。木津川を越えると今度は南進し、JR環状線「大正駅」までを走る路線である。周辺境界には古くから張り巡らされた水運施設を利用して経済的発達を見せ、「天下の台所」と呼ばれた歴史ある町「西区」。また大正4年に架けられ、川の流れとともに時代の流れをも見つめ続けてきた「大正橋」をその名に残す、河口州の「大正区」などが位置している。

沿線には歴史を思わせる神社・仏閣のほか、公園や橋などさまざまな見どころがある。例えば『抱き込み・懸垂工法』によって新停留所が敷設された西長堀駅（仮称）近くにある土佐稲荷神社は、かつては高知県土佐藩蔵屋敷の鎮守社だった。伏見稲荷の分霊を祭り、屋敷内に建てられていたにもかかわらず、当時から町人たちの参拝が許されていたという。境内は桜の名所として名高く、江戸末期の俳人、宝井其角によって詠まれた「明星や桜定めぬ山かつら」の句碑が残されている。社殿は戦火で消失したものの後に復興。戦後植えられた若木も成長し、春には夜桜を楽しむ人々で賑わう。

また西長堀駅隣の西大橋駅～心斎橋駅にかけては、井

桁状に架けられた四つの橋がその珍しさから浪速の名所とされていた「四ツ橋跡」がある。「四ツ橋」は東西に流れる長堀川と南北に流れる西横堀川が交差する地点に架かる、炭家橋・吉野家橋・上繫橋・下繫橋の総称だった。天保の大飢饉の折り、町奉行に救済を申し出たが聞き入れられず兵を挙げた江戸後期の陽明学者大塩平八郎父子が、幕府の追っ手から逃走中、四ツ橋の下で刀を捨てた話は有名とされる。

新たな市民の足となる地下鉄7号線工事は、大深度地下というさらなる地下で活躍する鉄たちを生み出すきっかけとなることだろう。

[取材協力・写真提供／(株)熊谷組]



四ツ橋跡

理工学教育最前線特集 特集記事 1

科学技術基本計画の策定と学術研究の振興

坂本幸一

文部省 学術国際局 学術課 課長

Kouichi Sakamoto

The Science and Technology Basic Plan, and Scientific Research in Universities

1 はじめに

科学の著しい進展や、社会経済の変化に伴い、大学等における学術研究に対する国民の期待は従来にない高まりを見せている。このような中、科学技術創造立国を目指した科学技術基本計画が策定されたことは、我が国の科学技術、学術研究にとって大きなメルクマールである。

本稿では、大学等における学術研究に焦点を当て、科学技術基本計画（以下「基本計画」という。）の内容を主に大学等における学術研究の視点から概観することとしたい。

2 未来への先行投資としての学術研究

2.1 学術研究の意義と特質

学術研究は、真理の探究を目指して行われる普遍的な知的創造活動である。つまり、学術研究の推進の原動力は、諸事象の真理を究めたいという研究者個々人の純粋な知的好奇心と熱意にある。学術研究の最先端に行く研究者から見れば、「そこに山があるから」と答えた登山家のように、一つの真理を究めれば、無数の解明すべき疑問が見い出され、「そこに疑問があるから」、更に新たな広野に踏み込んでいくという営みが繰り返されていく。真に独創的な研究は、このような過程の中で、研究者の自由闊達な発想を源泉として生み出されるものである。その観点から、学術研究の振興施策は、従来から、学問（研究）の自由を保証することを大前提として、あらゆる研究分野において、広く基盤的な研究環境を改善・整備することを基本としてきた。この振興方策は、一見ばらばらに行われているように見える研究でも、それらが継続的に行われ、新しい知見が社会全体で少しずつ蓄積されていくうちに、いつの日か、ある卓越した研究者の「ひらめき」により、各々の研究成果が有機的に結びつき、当該研究のブレークスルー、ひいては大発見につながるという学術研究の特性にも合致したものであった。

また、独創的で優れた研究は、学術研究の領域のみならず、

往々にして、社会に対しても飛躍的な波及効果を与えることにより、我々の日常生活を支え、豊かにする役割を果たすなど、社会発展の基礎となり得る。大学における学術研究を外部の干渉を受けることなく、自由に自主的に行い得る環境を保証する学問の自由が、近代社会における基本的な社会的規範として定着しているのも、長期的には、それが人類社会の健全な発展にとって有益であるという歴史的体験の所産といえる。

さらに、優れた学術研究の成果は、人類の知的共有財産として、それ自体、文化的価値を形成するものである。学術研究の成果は、ひとり研究者のみに資するものではない。たとえばそれが原始宇宙の解明のための最先端の研究など実社会に「すぐに役立つ研究」ではなかったとしても、我々が考える動物（ホモ・サピエンス）である限り、研究に直接携わることのない者にとっても、その成果により新鮮な「驚き」を体験し、真理への「ロマン」をかき立てることによって、その個人の人生を豊かにするものとなり得る。このような側面は、短期的な視点では、決して定量化できるものではないが、逆に目先の計算では測定しようのないようなこの「驚き」や「ロマン」を大切に育む文化を持っているという点において、その国は国際社会において尊敬を獲得することができ、国民自身も夢と誇りを手にする結果ともなる。

一方、学術研究には、世界の最先端の研究活動を行い得る優れた研究者の養成をはじめとした次世代を担う人材の養成機能が期待されている。学術研究は、一人の研究者によって完結するものではなく、長い年月によって先人の築いた研究成果の蓄積を学び取り、その基盤に立って、研究者独自の創造的視点を付加した上で、その成果を更に次世代に伝えていくという「知的資産ひいては文化の伝承」の側面を有している。大学は、最先端の学術研究の成果を若い世代に教授することにより、この「継承」活動が体系的に行われている場であり、そうした意味で、教育活動と研究活動とが一体的、総合的に推進される必要がある。

2.2 学術研究をめぐる諸情勢の変化

現代社会は、高度情報化社会の到来、国境を越えたグローバル社会・ボーダーレス社会への移行、国際的な経済競争の激化、環境問題等地球規模で解決すべき課題の発生など大きな変革の時代を迎えているが、このような社会の中で、大学等における学術研究をめぐる諸情勢も急速な変化を遂げようとしている。

第1に、近年の学術研究は、著しく専門分化し、研究の最先端はますます精緻化する反面、個々の専門分野を超えた境界領域、あるいは複合領域における研究の必要性が指摘され、新たな研究の広がりを見せている。

第2に、天文学研究や加速器科学などその推進に大規模な施設・設備を要するいわゆるビッグサイエンスが、ますます大型化していることが挙げられる。実験機器等の開発は、その規模だけでなく、性能においても加速度的に進歩しており、最先端のビッグサイエンスを推進するためには、常に最新鋭の機器を必要とするため、多額の予算が要請される。このような状況にあっては、従来にも増して、ビッグサイエンスの推進に対する国民の理解と、厳正な評価の実施やそれに基づく研究資金の有効配分、有効活用が強く求められている。

第3に、この研究規模の大型化に加え、学術研究の高度化、多様化に伴い、近年、学術研究における国際協力へのニーズが一層高まっている。

第4に、学術研究をめぐる外的な状況変化として、人類の未来に立ちはだかっている地球環境問題、食料問題、エネルギー・資源問題等地球規模の問題がより一層明確に認識されるに至り、学術研究の成果による当該問題の解決が期待されている。また、地震予知や災害対策研究、がんやエイズの克服など人類にとって緊急に解決すべき課題も依然存在する。これらに対しては、各行政官庁が所管する国立試験研究機関における目的的な研究開発だけではなく、大学等における学術研究に対しても、国民各般からの期待が高まっている。

第5に、高度成長期を経て経済発展の速度の停滞、バブル経済崩壊後の経済状況の悪化、産業空洞化への懸念などを背景として、国立試験研究機関における研究開発のみならず、大学における学術研究に対しても、新産業の創出など経済的ニーズにも有効な成果を期待する声が、産業界をはじめとして国民からも高まってきている。

大学が社会的な存在であり、また、その研究資金が国民の理解と支援により確保されていることにかんがみ、学術研究の推進に当たっては、以上のような諸情勢の変化や社会的要請に無関心ではいられない状況に立ち至っている。

2.3 総合的な学術研究の推進

以上のような、学術研究をめぐる複雑な状況の変化によっても、大学における学術研究振興施策の根本が、学問の自由——研究者の自由な発想——を尊重することであることに些かな変化もない。しかしながら、学術研究をめぐる大きなうねりの中で、今後、より総合的で多角的な検討が求められ、国レベルの基本方策に関する意思決定が必要な時代になっているといえる。

以上に見たように多様な側面をもつ学術研究の重要性は、今後ますます増大することから、学術研究を未来への先行投資と位置付けつつ、大学を中心とする創造性豊かな研究活動を一層振興していくことが肝要となっている。

3 科学技術基本法の制定と基本計画の策定

平成7年11月、超党派による議員立法として「科学技術基本法」が制定された。同法は、科学技術（同法では、大学における研究を含み、人文科学のみに係るものを除くものとされている。）の振興に関する施策の基本となる事項を定め、科学技術の振興に関する施策を総合的かつ計画的に推進することにより、我が国における科学技術の水準の向上を図り、もって我が国の経済社会の発展と国民の福祉の向上に寄与するとともに世界の科学技術の進歩と人類社会の持続的な発展に貢献することを目的としている。この目的を踏まえ、同法は、第9条において、「政府は、科学技術の振興に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るために、科学技術の振興に関する基本的な計画を策定しなければならない」とし、基本計画には次の事項を定めるとしている。

- ① 研究開発の推進に関する総合的な方針
- ② 研究開発の推進のための環境の整備（研究施設及び研究設備の整備、研究開発に係る情報化の促進など）に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策
- ③ その他科学技術の振興に関し必要な事項

また、科学技術基本法の国会審議の過程において、衆参両院の科学技術委員会が、基本計画に関し、

- ① 10年程度を見通した5年間の計画とすること、
- ② 講ずべき施策や規模などについて、できるだけ具体的な記述を行うよう努めること、
- ③ 制度面での改善を行うことにより、柔軟かつ競争的な研究環境を整備すること、

などの附帯決議を附している。

内閣総理大臣は、同法の制定を受け、平成7年11月、科学技術会議（議長：内閣総理大臣、文部省と科学技術庁が共同事務局）に対し、「科学技術基本計画について」を諮問した。

同会議では、関係省庁、関係団体などから直接意見を聴取するなど、国民各界各層からの意見ができるだけ反映されるよう努めつつ、精力的に審議を行い、平成8年6月24日「科学技術基本計画について」に対する答申を行った。政府は、この答申を受け、7月2日の閣議において、同答申と同一の内容をもって、政府としての「科学技術基本計画」とすることを決定した。

4 科学技術基本計画の概要

今回の基本計画は、①研究者・研究支援者の養成・確保、研究施設・設備の整備、研究資金の拡充などの具体的な研究振興施策について定めるだけでなく、②柔軟かつ競争的な研究環境実現のための種々の制度改善、厳正な評価の実施についても具体的な方向を示すとともに、③政府研究開発投資の倍増実現についても具体的な総額規模を明示するなど、閣議決定された政府計画としては異例とも言える具体的なアクション・プランとなっている点が大きな特徴であると言える。

4.1 研究開発推進の基本的方向と学術研究

基本計画は、科学技術基本法に基づき、人文科学のみに係る研究を除いた研究分野を対象として、学術研究のみならず、各省庁の国立試験研究機関や民間企業等において行われる主として実用的な技術開発を目指す目的指向の強い研究なども含め、我が国の研究開発全体を視野に入れて策定されている。したがって、基本計画は、具体的な施策に関する記述部分を除き、研究開発の基本的方向等については、できるだけ我が国の研究開発全体を通じた包括的な記述をすることを基本として策定されており、学術研究のみを個別に取り上げて記述するということは行われていない。

しかしながら、学術研究の特性・意義を踏まえ、基本計画においては、まず第1章の「研究開発推進の基本的方向」において、①我が国の研究開発資源を重点的に投入し、社会的、経済的ニーズに対応した研究開発を強力に推進するとともに、②物質の根源、宇宙の諸現象、生命現象の解明など新しい法則・原理の発見等により、人類が共有しうる知的資産を生み出し、人類の文化の発展に貢献する基礎研究を積極的に振興する、と記述している。また、研究開発の具体的な推進に当たっては、①自然科学と人文科学との相互のかかわり合いが科学技術の進歩にとって重要であることにかんがみ、両者の調和のとれた発展に留意すること、②研究者の自主性の尊重その他の大学等における研究の特性に十分配慮すること、が必要である旨を特に明記するなど、学術研究の意義・特性に配慮した記述がなされている。

4.2 研究者の養成・確保

将来の学術研究を担う優秀な若手研究者の養成・確保は、学術研究の振興を図る上で重要な課題である。このため、基本計画においては、研究者養成の中心的役割を果たす大学院の教育研究機能の質的強化、教員組織、施設・設備の充実等を推進することとしている。また、優秀な大学生が安心して大学院に進学できるよう、経済的支援の充実にも言及している。大学院の充実及び学生に対する経済的支援について、文部省では、①教育研究の高度化の重点的推進、②教育研究条件の飛躍的充実、③日本育英会の奨学制度、④ティーチング・アシスタント（TA）制度、⑤リサーチ・アシスタント（RA）制度の充実などの施策を行っている。

また、基本計画には、「ポストドクター等1万人支援計画」を平成12年度までに達成することが盛り込まれている。この支援計画は、平成7年6月の新与党三党合意の提唱を受けて開始されたもので、文部省・科学技術庁・通商産業省の3省庁合わせて、ポストドクター（博士課程修了者）及び大学院博士課程在学者を1万人支援するというものである。

4.3 研究支援者の確保

先進諸外国では研究者1人当たり、研究支援者約1人が確保されているのに対し、我が国の大学等においては、研究支援者の著しい不足が強く指摘されている。

基本計画においては、国立大学等の研究支援体制の強化を図るため、まず、実情に応じた研究支援部門の組織化促進及び研究支援業務の意義・役割を踏まえた処遇の確保を図りつつ、技術職員等を計画的に確保することとしている。その上で、国立大学等については、研究者1人当たりの研究支援者数が、英・独・仏並みの約1人となることを最終的な目標として、研究者2人当たりの研究支援者数ができるだけ早期に約1人となるように確保するという当面の目標を設定し、研究支援推進事業の拡充、リサーチ・アシスタント制度の拡充などの施策を講ずることとしている。

4.4 研究施設及び設備の整備

大学等の研究施設・設備の老朽化・狭隘化は著しく、高度な研究施設と最先端の研究設備の整備に対する要望はますます高まってきている。

このため、基本計画では、まず研究施設に関し、狭隘化の解消及び老朽施設の改築・改修に国立大学等で約1,200万 m^2 の整備が見込まれること、また、それに加え、独創的・先端的な学術研究の推進、国際研究交流の促進など新たなニーズに対応した学術研究環境の整備等も推進しなければならないことを踏まえ、適時適切な改築、改修時期の調査検討を行いつつ、計画的に整備していく必要があるとしている。また、

基本計画では、弾力的・流動的に使用できる研究施設の整備についても触れている。これは、競争的な研究費を獲得した研究チームが、研究費の交付を受けている期間に限り、研究費により得た研究設備等を持ち込むなどして、集中的に研究できる場を提供するものである。

研究設備に関しては、基本計画では、今日、学術研究における実験的研究は著しく高度化・精緻化し、大型化していることを踏まえ、国立大学等の研究設備について、①老朽化への対応を図るとともに、常に最先端の研究設備により研究を実施し得る研究環境を計画的に整備するため、所要の経費の拡充を図り、できるだけ早期に、購入後10年程度を経過した設備については順次更新していく、また、②集約できる分析機器等は、全学共同利用等による効率的使用の促進を図る、との方向が示されている。

4.5 研究情報基盤の整備

近年、学術研究の進展と情報通信技術の発達に伴い、学術情報の量的増大・質的多様化が急速に進んでおり、独創的・先端的な学術研究を生み出すための基盤として、研究者が必要とする学術情報を迅速・的確に提供するとともに、研究成果を国内外に発信するための体制整備が進んでいる。

基本計画では、①平成12年度までに、機関内ネットワーク（LAN）を全ての国の研究開発機関において整備する、②全ての国立大学等の学内LANのATM（非同期転送方式）化を引き続き進める、③研究活動の基盤となる論文等の文献データ、各種実験・観測データを含むファクトデータ等及びそれらのデータベースの着実な整備を進める、④大学等の研究者に対するデータベース化支援・維持経費の拡充及び文部省学術情報センターを中心とする支援の充実を図る、などの方針を示している。

また、①大学等に接続する学術情報ネットワークについて、できるだけ早期に米国並みの高速化（当面150Mbpsクラス）を図るとともに、ギガビットレベルの回線速度を目指すこと、②主要大学間の衛星通信を活用したネットワーク化を推進すること、が明記されている。

4.6 多元的な研究資金の拡充

研究者が研究を遂行する際に直接使用することになる研究資金（研究費）の拡充方策については、基本計画では、研究資金を「競争的資金」、「重点的資金」、「基盤的資金」の3類型に分けた上で、研究者が経常的に使用できる基盤的資金の充実を図りつつ、①資金の性格等に応じ多様な研究資金の流れを確保して研究者の研究費の選択の幅と自由度を拡大すること、②現状及び今後5年間の科学技術の振興を考慮すると、特に「競争的資金」を伸ばしてその比率を高め、柔軟かつ競

争的で開かれた研究開発環境を実現すること、が必要であるとしている。

「競争的資金」は、研究者間、研究開発機関間、セクター間等の競争と連携を通じ、研究開発活動の活性化を図っていく上で重要な資金であるとされている。大学等の学術研究においては、科学研究費補助金や平成8年度から導入された出資金を活用した新たな基礎研究推進のための経費（未来開拓学術研究推進事業による研究費）などが代表的な競争的資金である。

「重点的資金」は、基礎科学の重点的な推進を図るとともに、社会的・経済的ニーズに対応して大学等において行われる研究開発などが効果的かつ重点的に推進されるようにするために措置される資金である。

「基盤的資金」は、研究者の自主性に基づく基盤的な研究活動を着実かつ効果的に推進できるよう研究者が経常的に使用できる研究資金及び研究開発施設・設備の運営に係る経費など、文字通り研究の基盤を形成するために不可欠なものであり、基本計画でもその充実の必要性が示されている。大学等の学術研究においては、教官当積算校費などがこれに当たる。

4.7 私立大学における研究の充実

基本計画では、各項目について国公私を通じた具体的施策の展開について記述がなされているが、特に私立大学における研究の充実に関しては、私立大学が、我が国の高等教育機関の約8割を占め、多様な研究者を有するとともに、独自の建学の精神をもって多様で特色ある教育研究活動を実施していることなどを踏まえ、特に1節を立てて記述している。特に私立大学の研究基盤及び機能の充実を図る観点から、①研究の高度化を図るための研究装置及び設備への補助を拡充すること、②私立大学経常費補助金について、研究機能強化のための助成の充実と重点配分を図ること、③私立大学ハイテク・リサーチ・センター整備事業を推進するなど中核的な研究組織に対する支援を行い、社会的要請の強い研究プロジェクトの推進を図ること、④学校法人について、多様な民間資金の導入を促進するための所要の条件整備を行うこと、を具体的施策として示している。

4.8 研究分野における国際交流の充実

宇宙科学、加速器科学等のメガサイエンスは、大規模な施設・設備、広範な研究者及び技術者の取組等が必要であり、国際的な協力によることが不可欠な研究開発プロジェクトである。基本計画では、このようなメガサイエンスに我が国が主体的に取り組まなければならないとしている。この観点から、文部省では、欧州原子核研究機関（CERN）における大型陽子・陽子衝突型加速器（LHC）計画への参加などメガサ

イエンスにおける国際共同研究を積極的に推進するとともに、科学研究費補助金（国際学術研究）により、国公私立大学等の研究者グループが実施する国際的な共同研究等の支援の充実を図ることとしている。

また、国際的な交流の強化のための環境の整備について、学術研究関連としては、①国際的研究開発拠点の形成・整備、②外国人研究者の登用・受入れの促進、③外国人研究者受入れのため、日本語研修の充実、外国人宿舎の整備、家族に対する教育・文化活動の機会の提供等の生活支援を充実すること、④我が国の研究者の海外への派遣の機会の拡充、⑤国立大学等が実施する国際シンポジウムの開催の積極的支援、などが挙げられている。

4.9 産学官の人的交流促進

基本計画では、国立大学等と民間との共同研究を一層積極的に進めることとし、その際、民間研究施設等でも共同研究に従事することができる場合を拡大するなど、共同研究に係る規程等を早期に見直すことが示されている。これは、現在、国立大学等の研究者は原則として、「民間研究機関等の所有する特定の設備を使用することが必要であり、当該設備を国立学校に搬入することが困難な場合」でなければ、共同研究の相手方である民間研究施設等では研究ができないこととなっているため、その規制の緩和を検討しようとするものである。

また、基本計画では、研究休職により民間において国との共同研究等に参画する場合の休職期間の退職手当算定上の取扱いについて、できる限り早期に検討を行い、その結果を踏まえ適切に対応するとされている。これは、現在、国立試験研究機関等の研究者が、研究休職により民間において国との共同研究等に参画する場合については、研究交流促進法の規定により、退職手当算定上不利を被らないこととなっているのに対し、国立大学等の研究者については、当該休職期間の1/2しか通算されないこととなっているため、国立試験研究機関等の研究者と同様、休職期間のすべてが退職手当の対象期間に通算されるよう検討しようとするものである。

この他、基本計画では、国の研究者の勤務時間外における民間等での研究、指導等への従事に係る兼業の許可については、円滑な運用に努め、一定の要件を満たす場合には、原則として許可することができることを明確化するなどの措置を講ずることが必要であるとしている。文部省における兼業許可の緩和については、平成8年12月26日付で関係機関に対し、通知したところである。

4.10 研究に関する評価の実施

研究に関する評価の目的としては、①研究資金の効果的な配分と使用、②研究活動の活性化、が挙げられる。評価の実

施は、厳しい財政事情の中、政府の研究開発投資の拡充を図っていくに当たり、当然果たすべき責務であるとも言える。

基本計画においては、研究に係る評価を研究開発課題の評価、研究開発機関の評価、研究者の評価の3つに分けて記述しているが、それらに共通して指摘している事項として、①評価のための基準等を充実、整備すること、②外部有識者・専門家による評価も取り入れること、③人文科学の視点も十分に織り込んでいくこと、④評価の結果等についての情報開示に努めること、⑤評価の研究資金の配分への反映を図ること、⑥大学等については、自主性の尊重など大学等における研究の特性に十分配慮すること、などが挙げられる。

研究開発課題の評価については、計画段階、実施期間中、研究完了後等において、意義・目的、目標、資源配分等の妥当性の評価を行うこととされている。

研究開発機関の評価については、その研究能力が最大限に発揮されるような条件が整備され、研究成果があがるよう定期的に評価を行い、組織・人事管理、施設設備等の整備など研究開発機関の運営の改善を図るとしている。

国家公務員たる研究者の評価について、各機関の目的、性格等に応じ、効果的な研究の推進、適切な処遇の確保を図るため、適切に実施されることが必要であると指摘している。

さらに、今回の基本計画では、研究開発課題及び研究開発機関についての評価を充実し、効果的なものとするため、国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針を、平成8年度中に結論を得ることを目途に検討し、策定すると明記している。これを受け、大綱的指針の原案作成のために、平成8年9月に科学技術会議政策委員会の下に評価指針策定小委員会が設置され検討が行われている。なお、学術研究における研究評価の在り方については、従前より、学術審議会において審議が行われていたところであるが、基本計画が策定されたことを踏まえ、現在、意見のとりまとめに向けて精力的に審議が行われている。

4.11 政府研究開発投資の拡充

日本の研究開発投資の現状は、我が国全体で平成5、6年度と2年連続して減少し、民間では平成4年度から3年連続して減少するという、厳しい状況にある。このうち政府研究開発投資については、国防研究費の割合、民間活力の差異等により、単純に比較はできないものの、対GDP比率は欧米主要国の水準をかなり下回っている。

基本計画では、同計画に示した具体的な施策の推進を図るため、前述のような現状を踏まえ、計画期間内に政府研究開発投資の倍増を実現させる場合には、平成8～12年度の投資総額の規模を約17兆円とすることが必要であると具体的に金額を明示している。

これまでの政府決定においては、政府研究開発投資の早期倍増について言及した例はあったが、金額を明示した例はない。その意味でも、計画期間中の投資総額として17兆円が必要であることを明示した今回の基本計画は、画期的な政府計画であると言える。

基本計画においては、政府予算における「科学技術関係経費」をもって政府研究開発投資と位置付けている。科学技術関係経費とは、研究資金や研究プロジェクト経費、研究所の施設・設備整備費など研究推進に係る予算事項の経費の総称であり、文部省で言えば、科学研究費補助金や日本学術振興会の事業費、国立大学等の研究に係る経費、公私立大学への研究に係る補助金などが含まれている。その予算総額は、平成8年度で、文部省約1兆2,410億円、政府全体で約2兆8,110億円となっている。基本計画が必要と見込んでいる総額規模17兆円は、5年間の計画期間中の総投資額であり、この目標達成に向けては、非常に厳しい財政状況の中、政府として引き続き格段の努力をすることが必要であるといえる。

4.12 学校教育における理科教育・技術教育の充実

初等中等教育における理科教育については、観察・実験等の直接体験を通して自然に対する科学的な見方や考え方、関心・態度の育成及び論理的な思考力や問題解決能力等の育成が重要であり、現行の学習指導要領においてもこのような観点から内容の改善が図られている。また、技術教育については、モノづくりなどの実習を中心とした実践的・体験的な学習を重視した教育内容が推進されている。

広く科学に関心と理解をもった社会を構築する、あるいは研究者としての基礎を育むためには、学校教育における理科教育・技術教育が重要であることは言うまでもないことであるが、基本計画では、「科学技術に関する学習の振興及び理解の増進と関心の喚起」という1節を設け、初等中等教育における理科教育・技術教育の担当教員に対する各種の研修機会の充実などについて記述している。加えて、理科教育設備基

準に基づいて、理科実験・実習用の設備の整備を速やかに進めるほか、教育用コンピュータを、おおむね平成11年までに公立の小学校で22台（児童2人に1台）、中学校・普通科高等学校で42台（生徒1人に1台）を目標に整備を図るとともに、学習用ソフトウェアの開発・充実、教育用ソフトウェアライブラリセンターの全国的な推進を図ることとされている。また、科学学習センターの整備、産業教育施設・設備基準に基づく高等学校における産業教育の振興のための実験・実習施設・設備の整備、産業教育共同利用施設等の整備についても記述されている。

文部省では、小・中・高等学校において、児童・生徒が実体験を通じて抱いた興味や関心、心に刻まれた驚きや達成の喜びを大切に育み、一人一人の個性を生かした教育が推進されるよう、これらの諸施策を積極的に推進していくこととしている。

5 おわりに

以上概観したとおり、科学技術基本計画が策定され、我が国の今後5年間の科学技術振興施策の基本的方向がかなり具体的に提示された。文部省としても、本計画の記述内容を着実に実現するよう全力で取り組んでいかなければならない。

学術研究の振興を支えているのは、大学等における研究者や関係者、ひいては国民の方々の理解である。幸いにして、近年、学術研究に対する理解と期待・支援の声が、学術研究に直接関係している方々ばかりでなく、広く一般の方々からも寄せられていることを、大変心強く受け止めている。学術行政を担当する文部省としては、学術研究の意義を国民の方々に伝えるべく努力するとともに、その期待にこたえ、我が国において真に独創的な学術研究が展開されるよう、引き続き学術研究の振興のための諸施策を積極的に推進してまいりたい。

(1996年11月19日受付)

理工学教育最前線特集 特集記事2

小学校における科学教育

——主として材料の教育について

轟木信也
Shinya Todoroki

群馬県渋川市立金島小学校 教諭

Scientific Education at Elementary School

1 かつての社会科での鉄に関連した授業風景の中から

十数年前の5年生社会科の教科書に載っている「製鉄所の仕事」という単元の授業記録を引っ張りだしてきた。だいぶ、赤茶けてはいるが、読んでみるとその時のことを思い出す。どのような質問がされ、それに対して、子供たちがどのような反応（挙手、発言など）をしたか、また、どのような板書がされたか、資料には何が用いられたか、など当時の授業の様子が、それには書かれているのだ。

社会科の製鉄業の授業なのに、スタートはまるで国語の授業のようだ。漢字の部首の勉強から始めている。

部首について、私は子供たちに質問をした。黒板に金という字を書いて、読みを尋ね、金へんの漢字にはどんなものがあるか、子供たちに聞いた。

銀、鉄、銅、銭、釣、鏡、鐘、鈴、銃、鉦、銅

私は、子供たちが言う金へんの漢字を聞きながら、黒板に書いていった。

「全部で11か……。小学5年生くらいだと、こんなものかなあ……」

「それじゃあ、金がつく金へんの漢字は、一体、どのくらいあると思いますか？」

と、尋ねた。



図1 学習課題を選び、資料を調べる

「……15」

「……20」

「……40」

子供たちは、好き勝手に思い付いた数字をあげた。私は、にこにこ(?)しながら、それを聞いていたが、「実はね、金へんのつく漢字っていうのは、何と、200以上もあるのです」

と言うと、子供たちは、いっせいに、

「エー」

と言う声を上げた。私は、さらに、

「金へんのつく、一番画数の多い漢字は、28画の」

と言いながら、紙にうつしてきたその28画の漢字を見ながら、黒板に書いた。

鑊

「この字は、かく、と読んで、くわの意味だそうです。それでは、この金へんの漢字の中で、一番価値があって、大事なものはなんだと思いますか？」

子供たちは、思い思いの漢字を言い出した。クラスのリーダー的存在であるTが、

「先生、金^{きん}が一番いいんだよ。だって、金があれば、いろいろなものを買えるよ。だから、何と言っても、金が一番大事なものだよ」

と言うと、子供たちの意見のほとんどは、Tの意見にならうものが多くなった。そして、「みんな、金が一番大事なかな？」と言うと、うなずき(?)あっていた。

ところが、別の男の子Sが違う意見を言い出した。

「先生、おれは鉄の方が大事だと思うんだけど……。うちの父ちゃん、鉄を作る会社に勤めているんだけど、酒を飲むと、よく鉄みたいに強くなれとか、鉄みたいに何にでも使われるような、立派な人間になれ、っていつも言ってるよ」

彼の発言に、クラスの子供たちはどよめいた。

「そんなことないよ、鉄は金を失うって書くんだよ。金がなくなるのだから、当然、鉄より金のほうが大事に決まってるよ」

物知りで、クラスの知識人のAが漢字の組み立ての面から、

発言した。すると、

「それもそうだけど、金だけじゃ、なににもならないと思うんだけど……。金だけなら、せいぜい、家のじいちゃんの、金園くらいにしかならないと思うけど」

おもしろいことを言って、いつも友達を笑わせているBがそう言うと、クラスの子供たちの笑い声が響いた。私も思わず笑ってしまった。

「それじゃあ、みんなに聞いてみるか。金か鉄か、大事と思うほうに手を挙げてくれ」

その結果は、38人中、金が23人、鉄が15人というものだった。「金は、そのものの価値は一番あります。というのは、昔は、お札が金に替えられた時代もあったくらいで、それだけ金の価値があったということです。それじゃあ鉄はどうかというと、歴史を見るとね、鉄を使い始めた人達が国を支配できるようになったし、鉄が使われるようになって、農業がとても発展したんだね。現在の、みんなの生活を見てごらん。鉄は、どこでも目にすることができのけれど、金は、それこそみんなのうちのおじいちゃんの金園くらいだろう」

私は、そんなふうにして、金も鉄も大切なものであることを、子供たちに話してあげた。そして、本題に入っていた。「鉄が使われているものに何があるか、あげてみよう」

子供たちは、様々な意見を出した。

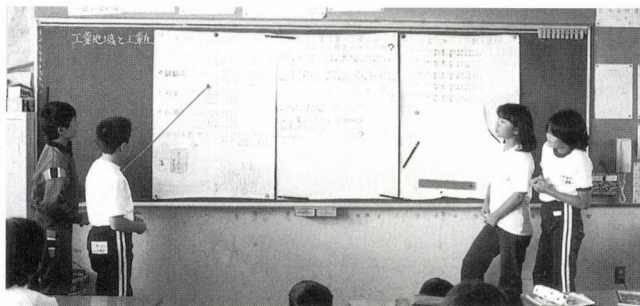


図2 学習課題の発表

「先生、橋とかビルにはいっぱい使われているよ」

「高速道路の橋げただって鉄だよ」

「自動車には、エンジンにも使われてるし、車体にだって使われてるよ」

「先生、ロケットにだって使われてるよね」

「校舎だって、橋だって、ビルだってみんな鉄でできてるよ」

「スプーンやフォークだって鉄だよ」

子供たちの発言から、家庭用品から文明を支える産業にまで、幅広い用途で鉄が利用されていることがわかる。

「それでは、鉄のどういう点がいいのだと思いますか？」

という質問に対し、鉄は、硬いし丈夫だけれど、いろいろなものに加工しやすいという意見が出されていた。私が、小学5年生にはちょっとハイレベルな、こんな事も聞いている。「鉄は国家なり、っていう言葉があるんだけどね、この意味は、

どういうものだと思う？」

という質問には、子供たちは、やはり難しかったのだろう、挙手はなかった。

「この言葉はね、鉄が国の中心だって事なんだ。さっき言っただろう、むかし鉄を使った人達が自分たちの国を作ったって。それから、日本が今みたいに、世界でも特に発展するようになったのは、工業が発展したからなんだけど、その工業の元になっているのは、鉄だって事なんだ。鉄は、工場の建物にも使われているし、いろいろなものを作る機械も、みんな鉄から出来ているからね」

子供たちは、分かったような分からないような顔(?)をしていた。その後、原料の鉄鉱石や石炭がどこから輸入されているのか、また高炉や圧延工場などの役割についても勉強している。さらに、製鉄所で働く人達は、どんなことに注意して仕事をしているか、などということについても話が及んでいる。

授業の最後に、鉄の将来について、子供たちに意見を出してもらった。

- ・ 新しい技術を開発すること。電気、水、鉄鉱石、石炭などを大量に使い、鉄を作っているの、出来るだけ少ない原料で品質のよい鉄を作る技術を開発する。
- ・ 空気を汚したり、土や水を汚したりしない、公害のない鉄作りをする。
- ・ 鉄を原料として、いろいろな金属を混ぜ合わせた新しい金属(特殊鋼)を作る。軽くて、さびなくて、丈夫で、加工もしやすく、さらに値段も安いもの。
- ・ これからは、人間が海底や宇宙に活動の幅を広げていく時代になるので、鉄の原料についても、そういうところから持ってくるような機械を考える。
- ・ 日本は先進国だけれど、世界にはまだ、遅れている国がたくさんあるので、そういう国に日本が持つ鉄を作る技術を教える。
- ・ 製鉄所で働く人たちは、夜中も仕事をするので、これからは、人間にかわって仕事のできるロボットを使うようにする。

子供たちは、いろいろな資料を見たり、話し合ったりして、未来の製鉄業について考えてくれたが、これは、十数年前だけにはおさまらず、現在の課題としても、当然通用するものであると思う。

授業の終わりに、クイズが出されていた。

「ギリシアで行われていた、古代オリンピックの賞品は何でしょう？」

というものであった。カンのいい子供の中には鉄に関するもの、ということは分かったらしいが正解は出ず、

「正解は鉄のかたまりです。そのかたまりで、何と、5年間生

活できたそうです」

と言うと、子供たちは、みな驚いた声をあげている。



現在の社会科の教科書から ——製鉄所の学習が消えたわけ

小学校の社会科では、主として、3、4年は地域学習を、5年は産業学習を、6年は歴史・公民学習をする。これは、文部省からだされている学習指導要領に基づいているのだが、教科書の記述もそれに制約を受けている。学習指導要領は、約10年で1度改訂される。教科書も、この場合は大きく変わる。

今、手元に同じ出版社から出された5年生社会科の2冊の教科書（16年前のものと平成2年から用いられている現行のもの）がある。産業学習中心であることには変わりはないが、内容に変化がみられることが分かる。（表1、表2）

表1 16年前の教科書（上下2冊 B版 総ページ204）

大 単 元	ページ数	割合(%)
1 農業	50	25
2 水産業	26	12
3 工業	60	29
4 伝統的な工業	18	9
5 日本の国土	50	25

表2 現行の教科書（上下2冊 A版 総ページ172）

大 単 元	ページ数	割合(%)
1 農業・水産業	46	27
2 工業・伝統的な工業	54	31
3 運輸業	24	14
4 情報産業	18	10
5 日本の国土	30	18

16年前の教科書は、日本が80年代の高度成長期に突入する頃に作られたものである。両方とも、工業についての割合は高いが、現行の教科書には、新しく運輸・情報という分野の学習が導入された。さらに、材料に関する学習が行われる工業の分野の細かい単元をみてみよう。（表3、表4）

表3 16年前の教科書

単 元 名	ページ数
1 工業学習についてのオリエンテーション	2
2 おもな工業地域	8
3 新しい工業地域 水島の製鉄所について	18
4 自動車工業のさかんな地域 豊田市	8
5 工業と公害	14
6 工業と国民生活	10

表4 現行の教科書

単 元 名	ページ数
1 工業学習についてのオリエンテーション	4
2 伝統的な技術を生かした工業	12
3 自動車をつくる工業	18
4 工業地域と工業生産 （このうち、製鉄所の記述は1ページ）	10
5 これからの工業と環境	10

これをみれば分かるように、現行の教科書では、工業製品の材料になる鉄鋼を作り出す製鉄所（業）の学習は、ほとんど行わないのが現状である。以前には製鉄所だけで18ページを費やしていたが、今は、たったの1ページという状態である。その扱いについても、工業地帯の中にある1つの工場という程度である。その理由は、前に挙げた、教科書を編纂する基準になる学習指導要領の内容の変化があげられる。5年生では、今までは、農業・水産業・工業などの産業と国民生活との関連を中心に学習を進めることが決められていたが、新指導要領では、これに運輸・通信という、比較的新しい産業の学習が付け加えられたのである。地球的規模でのモノの移動が行われるようになったり、世界の出来事をリアルタイムで、茶の間で見ることができるようになったのは、運輸・情報・通信の発達があげられる。これらの産業は国民生活に密接な関係があるので、新しいこれらの分野についての学習は欠かせないものになる。その結果、限られた時間（週3時間 年105時間）の中で、より多くの内容を学習するには、必要性の順位が低いものをカットせざるを得なくなるのである。日本経済の牽引役でもある自動車産業については、日本の工業の特色を理解する上で、たいへん重要なものとなっているので、今まで以上の詳しい学習が求められるようになった。反面、素材産業の「製鉄業」についての学習は、ほとんど行われなくなったのである。華やかな消費社会の中で、素材産業は、直接国民の目に触れにくい、というデメリットがある。しかし、それだけではなく、現在の日本の工業と国民生活の関連を理解するには、製鉄業では不十分、といわざるを得ない状況になってしまっているのである。

これは、この出版社の教科書だけではなく、他の出版社のものも同様である。



小学校での材料教育について

現在の小学校の教育課程では、1、2年生には、従来の社会科と理科を統合した教科として「生活科」が導入されている。この教科では、街中を探検したり、畑でさつまいもを作ったり、森や林の中で遊んだり、塾やお稽古ごとで忙しい今の子供たちに、様々な体験を積ませ、将来の自立の基礎を養うことを目標としている。

3年生からは、従来通りの「社会科」「理科」の2教科にわかれる。社会科については、前にも述べたとおり、製鉄業での材料教育が5年生の工業の単元で行われていたが、現在は、ほとんど行われていない。ただ、体験学習として、6年生の歴史の授業で、古代の製鉄所の遺跡を見学することもある。その際、本物の鉄鉱石を児童にさわらせてあげると、その重み・質量に驚く。

「理科」は、A「生物とその環境」、B「物質とエネルギー」、C「地球と宇宙」の3分野にわかれる。どの出版社の教科書も、このA、B、Cの3分野の教材がバランスよく配置され、さらに、3年から6年まで、週3時間、最低、年105時間で学習が終わるように編集されている。3分野の中で、本稿に関係するところは、Bの「物質とエネルギー」である。そこに含まれるものは、「力・重さ」「熱・燃焼」「光・音」「水溶液」「電気・磁石」の5つの内容である。材料教育に関するような学習は、4年と6年の2つの学年で行われる。

4年生では「熱・燃焼」のところの、「金属の温度とかさ」「金属のあたたまりかた」という単元で、金属の球や棒を使って、金属にはどんな性質があるか調べる実験をする。その方法は、次のようなものである。

「金属の温度とかさ」

金属は、温度によって、体積が変わるかを確かめる実験。(図3、図4)

- (1) 金属の球（材質は限定しない）が、輪を通り抜けられることを確かめる。
- (2) 金属の球を熱い湯にしばらくつけてから、輪に通してみる。
- (3) 金属の球をアルコールランプであたためて輪に通してみる。
- (4) 金属の球がじゅうぶんに冷えるまで待ち、輪に通してみる。

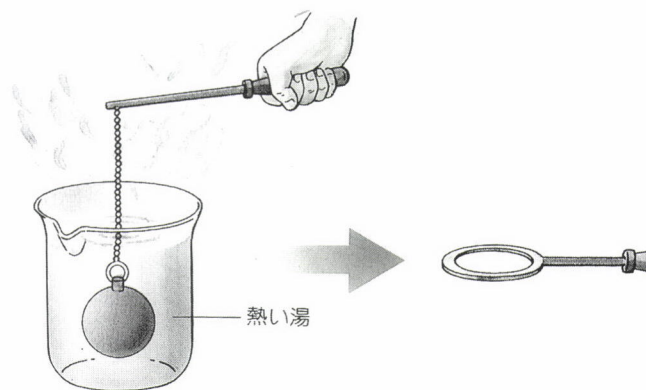


図3 金属の球を熱い湯にしばらくつけ、輪に通す*

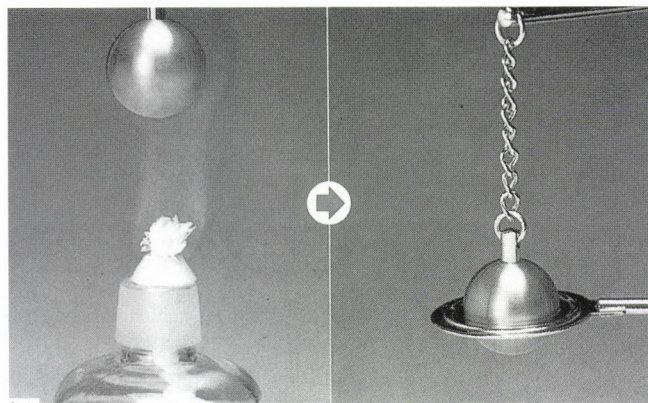


図4 金属の球をアルコールランプであたため、輪に通す*

「金属のあたたまりかた」

金属の棒や板は、熱したところから順にあたたまっていくことを確かめる実験。(図5、図6)

- (1) 金属の棒にろうをぬり、棒の中央を熱してろうのとけかたを調べる。
 - ・ろうのとけかたから、どんなことがわかるか。
 - ・棒をななめにしたときの、ろうのとけかたはどうか。
- (2) 金属の板にろうをぬり、板のはしを熱してろうのとけかたを調べる。
- (3) 金属の板に切りこみを入れて板のはしを熱し、ろうのとけかたを調べる。



図5 金属の棒をななめにした時のろうのとけ方はどうか*

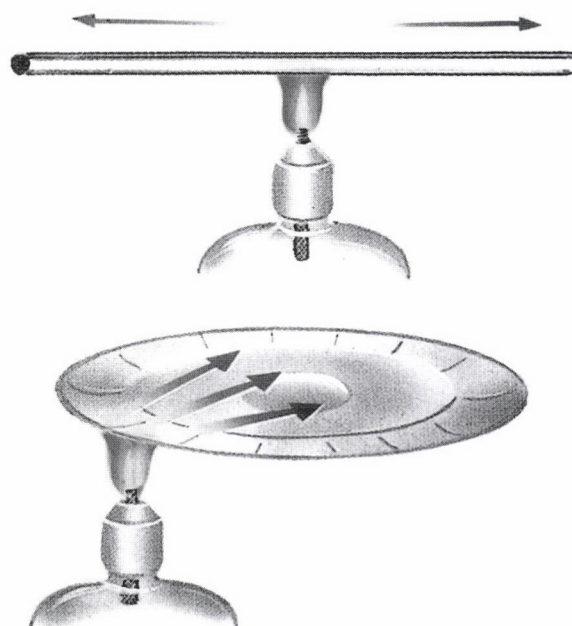


図6 金属の熱の伝わり方*

次に、6年生では「熱・燃焼」のところの「金属の加熱と変化」という単元で、鉄線や銅線を熱すると、その性質が変わるという実験を、さらに、「水溶液」のところの「金属をとく水溶液」という単元で、鉄、アルミニウムなどの金属は水溶液によって変化する、という実験を、直接金属材料を用いて行う。その方法は、次のようなものである。

「金属の加熱と変化」

鉄線や銅線を空気中で熱すると、表面の色や光たくななどが変わり、また電流を通さなくなることを確かめる実験。(図7、図8)

- (1) スチールウールを熱する。
- (2) 火がついたら、アルコールランプからはなし、静かに吹いてみる。
- (3) スチールウールが冷えた後、色や光たく、手ざわりなどを燃える前と比べる。
- (4) よくみがいた鉄線と銅線を熱し、冷えたら、加熱した所としない所の色や光たくを比べてみる。
- (5) 加熱した銅線と鉄線をまめ電球とかん電池の回路につなぎ、加熱した所と、そうでない所の電流の通り方を比べる。

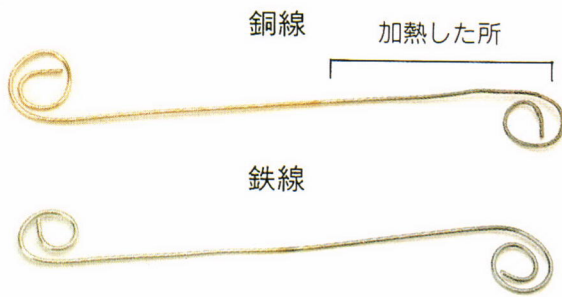


図7 加熱した銅線と鉄線*

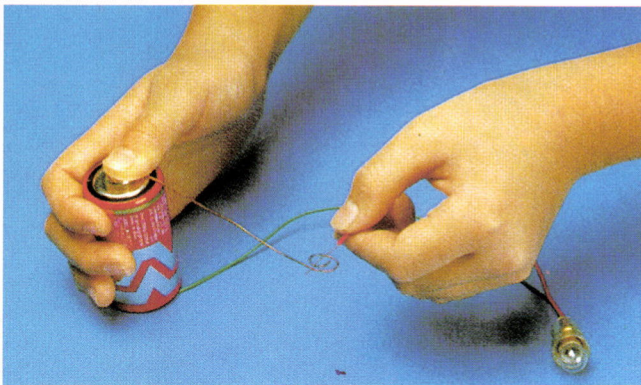


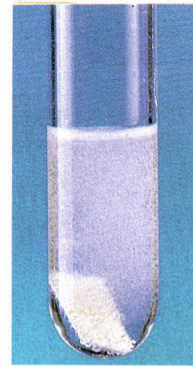
図8 加熱したところは電気を通さない*

「金属をとかす水溶液」

水溶液には金属を変化させる性質があることを調べる実験。

- (1) うすい塩酸+アルミニウム 水素を出し溶ける
うすい塩酸+スチールウール 水素を出し溶ける
水酸化ナトリウム+アルミニウム 水素を出し溶ける
水酸化ナトリウム+スチールウール 変化しない
- (2) 金属がとけた液を、スライドガラスにとり、アルコールランプでゆっくり加熱する。
- (3) 出てきた白い粉を、ふたたび、元の液の中に入れてみる。

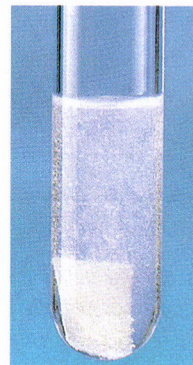
*図3～図9は、学校図書株式会社発行 小学校理科教科書4年、6年より引用



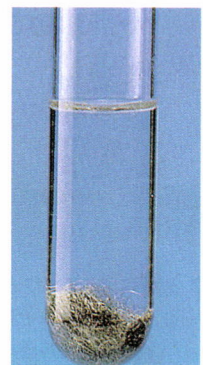
(a) うすい塩酸
+
アルミニウム



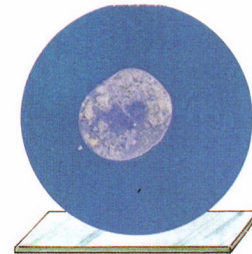
(b) うすい塩酸
+
スチールウール



(c) 水酸化ナトリウム
+
アルミニウム



(d) 水酸化ナトリウム
+
スチールウール



(e) 出てきた白い粉

図9 水溶液には金属を変化させる性質があることを調べる実験*

4年と6年の金属という材料を用いた実験は、時数は合わせれば、それぞれ2時間と4時間である。つまり、4年生では、年105時間のうち2時間が、6年生では、年105時間のうち4時間が、材料教育にあてられる時間であるということである。この時間数を、少ないと見るか、妥当と見るか、それは判断する人の知識・経験・希望などの要素によるので一概には言えない。ただ、実験する子供たちの様子を見てみると、全員ではないが、熱心に取り組む子が多かった。材料教育の未来は、授業時数よりも、実験に意欲的に取り組む児童の肩にかかっていると思う。彼等の将来に期待したい。

4 まとめ —小学校における科学教育について

小学校で学習する理科の最大の目標は、子どもたちの「科学的な見方や考え方を養う」ことである。3年生から6年生までの4年間で、理科でなければ育たない、あるいは理科が果たす人間形成の役割はなにかといえ、科学的な見方や考え方を養うことが中核となる。つまり、科学教育の基礎は、小学校にあるのである。

この科学的な見方や考え方は、実験や観察を通して得るものである。疑問に思ったことを解決するために、本を読んだり実験をしたりすることによって、子どもの興味・関心は高まり、意欲的な学習姿勢も生まれ、科学に対する見方や考え方が育つのであろう。

ところで、先日、新聞に、小学校の先生が苦手とする教科のアンケートが載っていた。子どもに聞くのではなく、先生にアンケートをするというのが面白い。いくつかの教科のうち、最も苦手・嫌いという割合が高かったのが、何と、理科なのであった。小学校は、原則として全教科を担当が行うことが多いのだが、理科の嫌いな先生が、子どもたちに理科を

教える、ということで、果たして、子どもに、科学的な見方や考え方が育つのだろうか？逆に、理科を嫌いになってしまう子どもが増えてしまうのではないだろうか。先生の理科嫌いの理由は、準備の時間がかかり、継続的な観察が大変だったり、さらに、実験や観察が教科書のようにうまくいかない、などのためのようである。筆者自身も、実は、おおいに、それらのことで悩んでいる。しかし、この問題の解決には、教師自身の努力しかないように思われる。嫌いではなく、実験・観察も楽しい、と思うことが大切である。

助け船を出すわけではないが、科学教育は理科ばかりではなく、実は国語科でも扱うのである。どの学年の教科書にも、科学的な読み物が説明文として載っているのである。内容的には高度なものを、子どもに分かりやすく論理的・実証的に、そして楽しく書きおろしてある。こういう科学的な文章を読むだけでも、科学の面白さを感じられるのである。

これからは、楽しくて、身につく科学教育を行うには、どのような手立てを取っていったらよいのか、授業ではどのようにしていけばよいのか、教師自身がしっかりと考えて取り組んで行かなければならないだろう。

(1996年10月24日受付)

理工学教育最前線特集 特集記事3

工業高校における材料技術教育

伊藤茂一 三重県立桑名工業高等学校 材料技術科 教諭
Shigekazu Ito

Technical Education of Materials at Technical High School

1 はじめに

21世紀に向けてフロントランナーとして世界の国々からその責任と役割を果たすことを求められる日本。

「マニュアル世代」「押しボタン世代」「無関心・無感動世代」等々のことばで表現される若者。働くことに関心が薄く、不自由な生活を強いられる会社勤めなどは避ける。

しかし、若者は、この時代の雰囲気や敏感にキャッチする。何が次の時代の主流になるか分からないが、今工業高校で学んでいる基礎技術が、これからの時代に本当に必要なものなのか、感覚的に納得できないものを感じている。特に慣習や慣例、世代を越えた先輩からの思いこみで強いられることには絶対同意しない。工業社会で、若者が興味を示し、熱中するのは次世代商品や社会的有用品であり、これらに關係する技術・技能である。

このような若者を、次世代社会の担い手に育てるには、「生かし、生かされる」關係が大切となる。

これらの若者氣質を重視するとともに、今日における社会情勢を考慮しながら本校材料技術科は、後述のような教育実践を実施しているので紹介させていただく。

2 工業高校を取り巻く環境

2.1 日本經濟の構造変化

1980年代後半から円高を契機に生じた生産の海外化と國際分業化。バブル崩壊後、親企業の内製化、海外部品調達への切り替えなど受注量の減少及び受注単価引き下げ、製品輸入の急増。その結果、中小企業の企業収益と業況感の回復の遅れ、設備投資の手控えなどが顕著に現れ始めた。

2.2 産業革命の到来？

日本の産業は、自動車関連企業を中心に、各種の関連技術を高めた。その中心は内燃機関であったが、EV車の開発で、今後内燃機関関係産業は減少するだろう。工作機械も内燃機

関を生産することで発達したことを考えると内燃機関の生産減少に伴い、工作機械の生産も当然減少する。さらに工作機械メーカーは高速切削が各社の競争目標であるので、必然的に工作機械の絶対量が減少する。工作機械は、工業化の基盤であるが、衰退の時期にきていると思われる。内燃機関、工作機械関連を一例に挙げたが、他にも同様な事例が多数あると思う。これら企業は、生産する組織規模を維持するために、全く新しい製品の開発を迫られ、新しい産業を産み出すことになる。それは産業革命あるいは構造変化が必然的に起こることを意味する。

2.3 中小企業の時代の到来？

日本經濟の構造変化は、厳しい試練を与えている。しかし、同時にそれは小回りの効く中小企業に新たな発展の機会をも与えている。

- ・量産型、成熟型の製品の生産は海外シフトし、国内生産へのニーズは益々非定型の小ロット製品に移行。
- ・世界的規模での大競争はとりわけ価格面での競争で、コスト削減を追求している大企業が、次々と発生するさまざまなニーズに対応するための設備、人員、体制を維持することは難しい。

このようなニーズに対応するため、中小企業相互間に広範な分業關係が益々重要となってきた。

2.4 中小企業が成長するための課題

- ・厳しい産業競争のなかで、中小企業に要求されることは、
 - ・各々の専門分野で高度のあるいは独自の技術力をもつこと。
(世界一のものづくり)
 - ・自らが市場ニーズを把握し、消費者や顧客企業に対する提案能力や製品開発力をもつこと。
 - ・経営者が夢を語れること。
 - ・単体企業のみでなくネットワークでの対応。
- これらを実現できる人材が求められる。

2.5 高校生の現状

今まで述べた社会情勢に十分対応できる工業高校生が育成されているのだろうか、また、その環境にあるのだろうか、それは疑問である。

戦後の繁栄を支えた工業高校生の役割は、終わってしまったか？日本が世界に追いつけ追い越せの時代の組織づくりや底上げ教育（平均化教育）では、21世紀に向けて、今までのような成長を期待することができるだろうか。

多くの人が、幼い時代から学歴重視（適正・個性は二の次）で勉強だけを重要視して、養育・しつけなどは学校教育が担当するがごとく育てている。子供は、何の疑問も持たず、受験勉強で良い成績を得ることが良い人間であるがごとく育てている。仲間遊びや集団行動不足で、他人との協調や共同作業が苦手で、仲間づくりができず、受身姿勢で積極性の欠ける人間が多く育っている。これらが社会問題である「登校拒否」や「いじめ」にも大きく影響しているのではないか。

また、生活面では、ダラシナファッションの流行がある。安定（将来に夢がない）社会の時、歴史的にみても、だらしない活動しにくい服装が流行してきたことから、バブル崩壊の今日、多くの高校生は将来への夢や目的がもてない生活行動をしている。「みんながしている」ことばのごとく、多数派行動をしているだけである。

このような状況から、益々、高学歴志向や理工系離れはすすむだろう。「物づくり日本」「働き者日本」はどこへいくのか。

3 組織と個人

プロ野球、サッカーチームがFAやお金で優秀選手を多数集めたが、優勝できただろうか。チームとしての組織がうまく機能したであろうか。優秀選手を集めることは強くする即効薬かもしれない。しかし、それでは次にくる選手が育たない。

組織の中の個人が、現状で生かされ、将来に夢をもたなくては個人の成長がない。個人の成長がなければ組織の成長や活気は育たない。成長する個人が多い組織ほど大きな力を発揮することを忘れてはいけない。一時的に勝利しても長く続かない。また、他のチームは、どうなるのか。プロチーム全体も考えないと大変なことになりはしないか心配である。

企業においても、大企業が学業優秀だけで採用するならば、画一的な人材の集団となる。企業の成長には、産業内容の転換や創造的な発想などが必要となる。このような時、画一的な人材集団では、どのように対処できるのだろうか。多様な人材集団であることが、新しい事象に素早く対応し、活力ある企業として成長していくだろう。

大学・高校の入試はどうだろうか。学習成績の輪切りで進路が決定され、画一化した人物が集まっているのではないか。

「ドライバー」「スパナ」等も使えない子供が工学部や工業高校へ入学してくるのは、不自然である。入試科目に問題があるのではないだろうか。普通高校では、物理は選択科目であり、その物理は入試で学習量に応じた点数がとりにくいことから敬遠されている。なぜ、このような現象になったのだろうか。

人生の節目における選択が、まず受験勉強による「記憶の量」で判定され過ぎているのではないか。一部高校における教育は、受験勉強だけが高校教育であるかのごとく展開されていると聞く。異常であるとしかしいようがない。また、この状況で大学も点数主義で合格させていることに問題はないのか…。

工学に適する人材が、大学卒業後の就業で、工学卒では出世しにくいから、工学系大学は受験レベルが人気等で低いから…等々。これらを理由に入学希望しない生徒も少なくないのではないか。勿論、自分自身の個性や特性に気づかない生徒も多くいるだろう。このように気づかない人間が多いことは、養育・教育過程に大きな問題がある。これらの解決には、大学・高校だけの努力では限界があるのではないか。

4 工業高校

中学生の多くは、普通高校・大学への進学を希望しているが、受験勉強に耐えられなくなった生徒や他方面に興味を示した生徒から順次、自分の進路希望を変更していく。この結果から受験競争の敗北感が残り、無目的症候群に陥る。このような生徒の多くは、高校進学後、学業に力が入らないだけにおさまらず、多方面にわたって無目的で無気力な過ごし方になる傾向が高い。このような生徒が工業高校へ入学することも多々ある。

また、生徒の多くは、テレビジョンの中で育っている。テレビ番組は、視聴率の向上のため次々とショッキングな映像を登場させ、視聴者に他の行動や思考を要せず、時間を費やさず、生活全般にわたって普遍的なもの、静的なもの、落ち着いた味わいのあるものを軽視し、刺激的なもののみを好む習性を生み、現実への正確な観察や判断を鈍らせているともいえる。

しかし、ロボットコンテストなどでは、遊び心に溢れた作品で盛り上がり、各生徒が各部を担当して汗を流している現実もある。これは、強いられて作品をつくっているのではないからだと思う。

4.1 本校材料技術科

この現状を踏まえて、本科では「実習と専門科目を一体化」した実習実験を中心に学ぶ授業展開をしている。従前は、専

門科目内容と実習内容の進捗がつかず、関連性が薄められることが多かったし、前述のように、行動せず受け身に終始しようとする生徒の多い状況での、教室内の専門科目教育は効果が上がらない。一体化した学習の展開（表1）により、生徒の疑問から実験を計画したり、ものづくりの過程から専門科目内容をより深く学習し、完成の喜びを体験できるようにしている。

これは、元来の学校教育は伝達的性格が強く、自発性に基づく学習活動が欠けていることから、表1のように展開し、少しでも自発的学習ができ、教師と生徒の活動の中で共に感動し、驚きながら展開できるように工夫したものである。また、この実習は教師と生徒の信頼を深めるために、クラス担任以外に他分掌の科職員が、生徒を数人割り当てるチューター制における班別で実施している。

表1 工業材料の一体化例

実験 1 亜共析鋼（S45C）、過共析鋼（SK3）の顕微鏡組織を観察する。 展開 ① 試料を研磨し、腐食して試料を整える。 ② 顕微鏡で観察し、観察図を描写する。 ③ 観察した結果から、見たままのこと、思いついたこと、考えたこと、わかったことなどをノートに書く。 ④ ノートに書いたことを、全員発表させる。 ⑤ 生徒の発表を分類・整理する。 ⑥ 観点別に整理したものを、各自で、文章にしてまとめる。
実験 2 SS400、S45C、SK3の硬さ（HRC）測定する。 展開 ① 試料を作製し、各試料の硬さ試験をする。 ② その結果を、表とグラフに整理する。 ③、④、⑤、⑥ は実験 1 と同様におこなう。
指導上考慮する点 ●実験前に、実験結果に関する学習はせずに、実験の目的は伏せ、生徒の発表から、自然につかめるように導く。 ●生徒の発表時に、生徒はもちろん、教師も、その発表に対する批評はしないようにする。発表内容の不明な点だけに、正確な表現ができるように助言する（発表を億劫がらず、自信をもたすため）。

また、地域住民に工業高校の学習内容の理解とものづくりの楽しさを体験できるよう「ファインマテリアル&エレクトロニクスフェスティバル」と称して、施設設備を開放し、「小さな世界を観よう」「宝物を作ろう」「青銅鏡を作ろう」などをテーマに公開体験講座や、地域の小学校へ出向く出前講座を開講している。青銅鏡をつくるとき木型（模型）を作らず、図1のように個人独自の作品ができるように耐火れんがを鋳型とし、個性を生かせるようにしている。



図1 青銅鏡づくり

この体験講座では、希望する小学生を地域の新聞等で募り、小学生からものづくりに興味ある子供を多数派に育てることが最大の目的であるが、同時に工業高校の啓蒙を深めることにしている。

また、個を生かす方策として、3年生時実施の課題研究では、生徒が好きな先生を選び、最大1教師当たり生徒6名までの希望をかなえ、他は第2志望教師として、年間通したテーマを決定して、課題研究に取り組むようにしている。

図2、3のように体験講座を受講している小学生などの生き生きとした姿をみると、やはり日本人はものづくりの好きな人種であると確信できる。このような講座の指導を生徒が担当することによって、生徒が活性化し、一体化とあわせて今後の学習活動や思考の活性化を図っている。

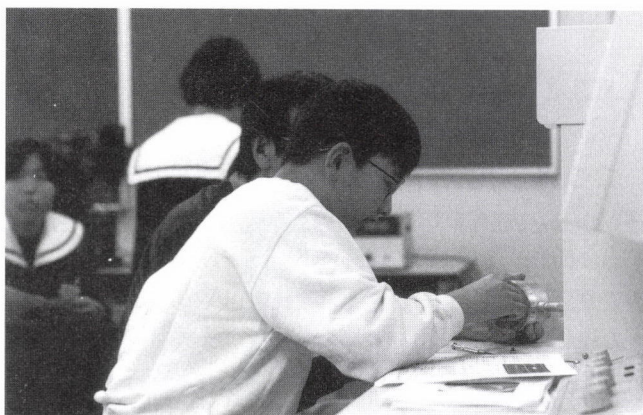


図2 小さな世界を観よう



図3 宝物を作ろう

4.2 地元産業界からみた工業高校

地元産業界8社社長との懇談会において、工業高校の教育に次のようなことが求められた。

- ・実力主義の時代である。基礎的工業技術の習得。本人のやる気しだい。
- ・個性を生かす。好きな分野を伸ばす。企業経営側は個性を生かせる環境づくり。
- ・人間教育づくりを大切にした教育。個性豊かでリーダーシップがとれ、グループの和を大切にできる。
- ・画一的な教育を打破する工夫。教育内容の工夫。
- ・工業高校在学中に職場の体験。体験学習が単位認定につながる工夫を。
- ・ものづくり実習から創り上げる喜びを体験させる工夫を。
- ・ものづくりの立場がなくなるのか、ものづくりの人がなくなるのか。その前に人づくりをする教師がなくなるのではないか。
- ・社会体験のある人。企業に入社してからも学べる人。
- ・現状の学校制度では、輪切り受験は解消できないので教育システムの再構築が必要。
- ・本校にこそないものをつくる。クラブ活動、資格取得、ものづくり体験実習、ボランティア活動…。
- ・魅力ある他にない学校づくり。

5 今後

工業高校の現状にあった教育活動は、問題提起の解決にはほど遠い。大学選抜も工業高校から特別選抜方法（推薦入学等）により、多種多様な学生を入学させ、画一的な学生を減少させ、大学に学生の質や大学教育のレベルアップを図れば、それが工業高校の活性化にも繋がり、多少なりとも過酷な受験競争も減少する。しかしながら、この受験制度を考えるに平等という面を重きに置くとペーパー試験が無難である。制度を根本的に見直すことは多くの抵抗があるだろうと想像で

きる。現状の受験制度は、個性の尊重を考えずに平等を優先している。また、小中学生の学習量不足が将来への夢をも奪い、挽回できない社会状況にある。いつでも挽回でき、将来に夢をもてる社会をつくり、個性を伸張して世界でのリーダーシップをとれるようにしなければならない。

また、日本の産業界が今後も発展するには、日本の追いつけ追い越せの時代の終焉を認知し、日本の活力を確保するため、技術・技能の重要性を再認識して、日本の伝統産業技術者の優遇と継承に力を入れ、工業高校は、地域中小企業との連携を密にするなど、中小企業の活性化と若者の教育を最も大切にしなければならない。

このようなことを考慮すると個性を生かしやすい社会づくりが求められる。その第一歩として受験制度が問題である。受験制度を、個性を尊重した制度にすべて変える必要はないが、徐々に導入していくことが大きく社会を変えることになると考える。国公立大学が職業高校生の推薦制度を導入されたことは画期的であり、長い目でみれば現在の理工系離れや目的意識の希薄な受験生は減少するだろう。

しかし、今すぐに現状が打開できるものではないので、現状を踏まえた対策として工業高校では、技術革新、国際化、情報化、少子化、高齢化により、就業構造の変化や必要とされる専門性の能力の高度化が進み、高度の専門的な知識・技術を有する人材（スペシャリスト）がこれまで以上に必要とされるようになってきて、専門性は厳しく問われることになっている。

また、職業教育は、人生のごく初期における学校教育だけでなく、高等学校卒業後継続して高等教育等を受けたり、リカレント教育や企業内での訓練・研修等を受けることにより、生涯を通じて絶えず新たな知識・技術の習得に努めることが要求される。

このようなことから工業高校の3年間の教育は、卒業後の継続的な教育を視野に入れて、将来のスペシャリストになるために必要な専門性の基礎基本を学ぶことに重点を置くことが大切となる。また、学校教育システムを現在のような一本化から複線化したり、中学生時代の受験勉強だけが進路決定の手段にならず、いつでも再挑戦し得るシステムになれば効果的であろう。

また、人間の集団活動を考え、各々の個性を生かした集団づくりを随所で考える必要もある。例えば、昨年大人気のグループ歌手「SMAP」をみていると、これからの集団づくりのヒントになると思う。「SMAP」のメンバーは、個々が各々の特性を生かした分野で活躍していた。それらを集めて一つのグループをつくり活動させ、今でも各メンバーが各分野で活躍している。従前は、グループを作り人気でたところで解散し、個々で活動するパターンであった。しかし、今人気



図4 学校周辺清掃作業（隣接する小学校の児童と合同）

を得るには、個々が活躍しているものを一つのグループにし、飛躍的な人気を得るという形態に変化し、より人気上昇を図った。また、岐阜県警では警察官三千余名の「一芸に秀でる」芸を調査し、登録して、その芸を生かせる体制づくりをした。企業でもこれらのような個性を生かす工夫がなされている。

「集団から個」でなく「個から集団」をつくるのが、今後の日本の各分野で考慮しなくてはならない重要な課題である。また、若者の意見を尊重し、議論の場に引き出し集約していかななくてはならない。

また、働くことやものづくりの楽しさを知る前に、辛いことや下働きを厭わない勤労観を高く養うボランティア活動も重要である。(図4)

しかし、若者は、今活動することの意義を納得しているかどうかが問題で、慣習や慣例など思いこみで強いられることには絶対同意しないことを忘れてはならない。そのためにも楽しく意義ある高齢化社会づくりを急がなければならないと思う。

また、学校教育現場は、生活指導・進路の状況等で教師が評価されがちで、学習指導の実践への評価が低いように思われる。勿論、生徒の授業の効率を高めるには、生活指導や進路指導は重要であるが、本来の教科指導における講義方法・実験方法の研究実施が、教師における最重要課題であることを忘れてはならない。

工業高校の教育が、これらを最重要視し、21世紀を見据えた指導にあたり、教師自身が今後もより一層の研鑽をつみ努力していくことが工業高校の活性化になり、地域社会と共に歩み、地域に愛される工業高校づくりに励むことが産業界の発展に繋がっていくことになる。

(1996年10月18日受付)

理工学教育最前線特集 特集記事 4

工学・技術の生涯高等教育
－放送大学産業と技術専攻の場合－

東 千秋 放送大学 助教授
Chiaki Azuma

Long Life Higher Education on Engineering and Technology

－The Case of the Specialized Program of Industry and Technology, the University of the Air－

1 はじめに

天然資源に乏しく人が資源の国であるため、製品の価値の創造によって得る代価を国民生活の質的充実のために用いなければならない日本は、世界第二位の経済力を持つまでに成長した今、産業の空洞化という大きな問題に直面している。これまでの日本の工業発展を支えた技術進歩の特色は、品質管理技術、時間管理技術、コスト低減技術がもたらす生産性の向上にあった。日本の生産経営構造の優位点は、品質・時間・コストなどの生産価値条件の優位性、設備・労務、資材など生産基盤優位性、開発・製造・マーケティングなどの経営過程の一貫融合運営、系列生産体制による統合分業生産、経営適合気質という労務社会特性、そして進歩改良気質である。日本のこれまでの科学技術の貢献の多くは、生産価値の支配条件である品質と製品サービスの適時性とコストの低下にあったと言える。この優位は、各国の追い上げにより失われつつあり、産業の空洞化をもたらしている。

産業の空洞化を埋めるには新しい産業構造を構築し経済や産業の国際競争力の強化をはかる必要がある。そのためには科学技術の振興によって科学技術の先進性と独創性をつくり

上げる以外に道はない。科学技術創造立国として建つ以外に道がない日本は、1995年に科学技術基本法を制定した。その基本計画は、研究開発の推進に関する総合的方針の策定、研究開発の推進のための環境整備の施策の設定、その他、科学技術の振興に関する必要事項の策定である。さらに、今や日本は世界第二位の経済力にふさわしい国際貢献を求められており、世界の環境保全問題、食糧・エネルギー問題、貧困の解決に日本を始めとする先進国の努力が求められている。日本の科学・技術のレベルを国際比較してみると、1986年時点ではエレクトロニクス以外の新素材やライフサイエンスなど多くの部門で立ち遅れていたが、1992年の研究開発水準の内外比較調査では、エレクトロニクスにおいて逆に日本の優位が後退しており材料・プロセスが若干優位に立っているとの認識が出現している。このように、全ての部門とは言えないが、欧米先進国より優位に立つものも現れているが、科学技術創造立国として建つには独創的技術の創成が必要であり、そのために産学学術交流の発展は不可欠である。そして、生涯教育により科学技術の裾野を拡大する必要もある。ここでは、工学・技術における生涯高等教育の一例として放送大学産業と技術専攻の教育を紹介したい。

表1 放送大学教養学部の構成

学部	コース	専攻	教育の目標
教養学部	生活科学	生活と福祉	知性豊かな生活を築くために必要な衣食住・健康・福祉など、生活文化にかかわる諸問題の理解を深めます。
		発育と教育	育児や青少年の教育・指導のための基本的な知識を習得するとともに、人間における教育の役割について理解を深めます。
	産業・社会	社会と経済	政治・経済・社会のしくみと動きに関する基本的な問題について理解を深めます。
		産業と技術	産業と技術の発展の動向や、経営管理のありかたについての知識を深めます。
	人文・自然	人間の探究	現代文明や地域文化の特質とその発展の歴史を探るとともに、人間の思想・文学・芸術などについて理解を深めます。
		自然の理解	自然の本質について種々の視点から学び、認識を深め、自然と人間生活との関わり合いについて理解を深めます。

2 放送大学創設の経緯

放送大学創設の議論は昭和40年代に始まった。当時の新聞報道によれば、大学開設の目的は、行き詰まった大学制度を改革し、マスメディアを利用して国民に開かれた大学を新設しようとするもので、大学設置基準にあうものとして情報工学や電子工学などを設ける、というものであった。昭和56年に放送大学学園法が公布・施行され昭和58年(1983年)4月に放送大学が設置された。テレビ・ラジオなどの放送による大学教育を行うためにUHFとFMの放送局をもつことから文部省と郵政省の管轄による特殊法人が大学の母体となった。放送大学は、表1に示されるように、生活科学、産業・社会、人文・自然の3つのコースと各コースに二つの専攻を用意して教養学部として発足した。授業の開始は1985年で今から11年前になる。初期の放送大学は知名度も低く、放送関係者の養成機関としての認識が普通で、NHKの大学教育機関との認識の方がまだましであった。事実、教材作成のため取材に伺う場合、放送大学の名前よりNHKの名前を出す方がスムーズにことが運んだ。そして、放送教材の作成スタッフのほとんどがNHKの関係者であったから、あながちそれは虚偽ではなかった。

現在、放送は関東地区に限られており、大学卒業資格の得られる全科履修生はこの地区の7つの学習センター（前橋、大宮、千葉、東京第1、第2、第3、神奈川）と2つの地区学習センター（諏訪、甲府）に在籍している。放送が届かない地区にはビデオで授業を視聴する地域学習センターが北は北海道から南は沖縄まで31開設されており、放送大学の全国化が展開中である。全国化の際には放送も全国で見られるようにす

るため、平成9年10月に通信衛星の利用により全国の家で授業が受けられるようにする方針となっている。

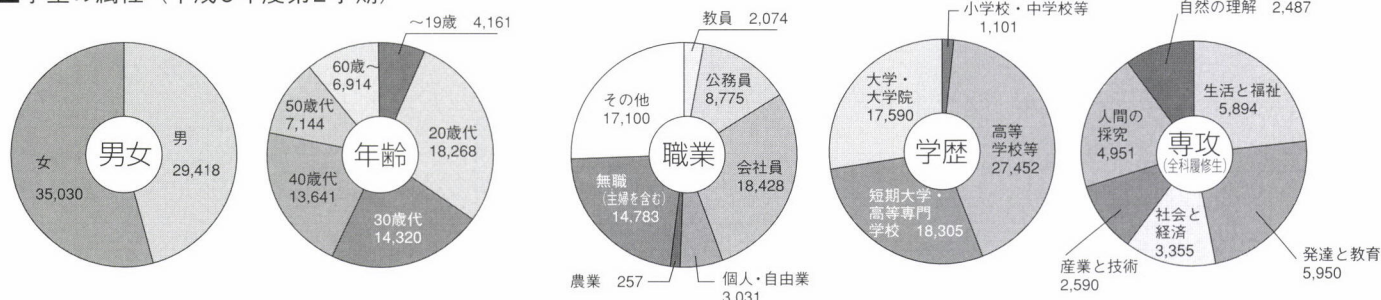
3 放送大学の学生

放送大学は、放送メディアによる通信制の大学であり、社会人にとって都合のよいシステムとなっている。現在の放送大学の学生数は、卒業を目指す全科履修生が約25,200人、その他卒業を目指さず勉強したい科目だけを履修する専科履修生、科目履修生および他の学校に所属して放送大学の授業を受講する特別聴講学生等の合計が約39,200人、さらに研究生が約40人、全合計で約65,000人に近い。卒業生数は約9,000人に達した。図1に在籍生と卒業生の属性を示す。7割弱の学生が有職者であり、家庭の主婦を加えれば8割以上の学生が何等かの仕事に従事している。学生の年齢も30代から50代までが半分以上であり、60代以上も1割を越えている。学生の学歴については、小中学校卒資格の学生も在籍し、大学卒・大学院修了資格の学生もかなり在籍している。このように、学生の年齢、社会経験の度合、学歴も多様であり、そのような学生とのスクーリング授業は私語もなく真剣勝負であり、放送大学の教員は皆この雰囲気が気に入っている。

4 放送大学の授業の形態と特徴

放送大学の授業の形態は、放送授業と面接授業と呼ばれるスクーリング授業に大別される。放送授業科目は1回45分の授業で15回構成となっており2単位科目である。この授業科目は、2年間かけて作成され、ビデオに収めたものを原則4年

■学生の属性（平成8年度第2学期）



■卒業生の属性

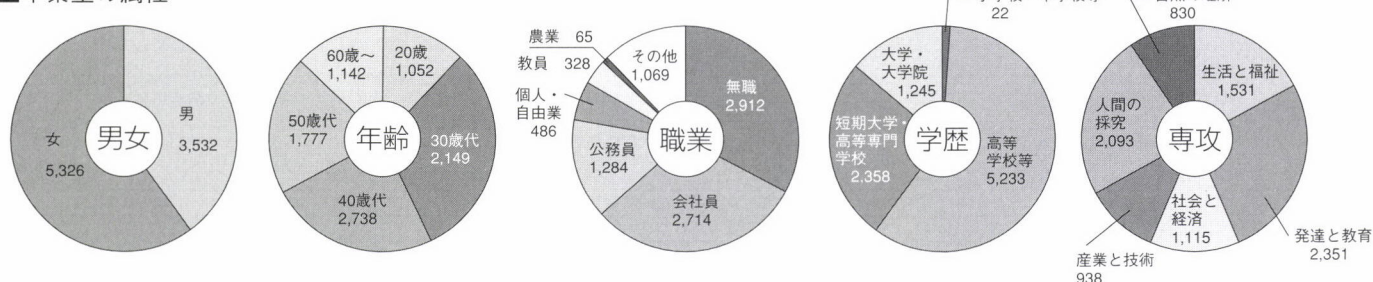


図1 放送大学の在籍生と卒業生の属性（単位:人）

表2 放送大学の授業科目 (平成9年度)

総科目数：328、総単位数：679のうちから、「産業と技術」と「自然の理解」を抜粋
 <現職等については平成8年9月現在> (☆印：新設・改訂科目 TV：テレビ R：ラジオ)

区分	科目名	メディア	単位	主任講師名(現職等)
専門科目	経営学	TV	2	森本三男 (青山学院大学教授)
	生産性科学入門	TV	2	黒澤一清 (東京工業大学名誉教授)
	経営工学総論	R	2	熊谷智徳 (放送大学教授)
	☆生産経営論	TV	2	熊谷智徳 (放送大学教授)
	設備管理	TV	2	熊谷智徳 (放送大学教授)
	労使の関係	R	2	桑原靖夫 (獨協大学教授)
	企業経済と情報・戦略	R	2	黒澤一清 (東京工業大学名誉教授)
	経済・経営統計	R	2	黒澤一清 (東京工業大学名誉教授)
	経済・経営統計演習	TV	2	阿部克己 (明星大学教授)
	線形計画法	TV	2	横山雅夫 (福島大学教授)
	会計学	TV	2	小川 冽 (早稲田大学教授)
	管理会計	R	2	古川浩一 (東京工業大学教授)・佐藤宗彌 (横浜市立大学教授)
	税務と会計	R	2	武田隆二 (大阪学院大学教授)
	財務管理	R	2	古川浩一 (東京工業大学教授)
	☆不動産学の基礎	TV	2	高辻秀興 (麗澤大学教授)・前川俊一 (明海大学助教授)
	地域経営	R	2	岡崎昌之 (福井県立大学講師)
	☆現代産業組織論	R	2	武蔵武彦 (千葉大学教授)・廣瀬弘毅 (放送大学助教授)
	産業と情報社会	R	2	藤本義治 (名古屋市長立大学教授)
	☆ベンチャー企業論	R	2	森谷正規 (放送大学教授)・藤川彰一 (日本合同ファインナンス(株)企画部長)
	サービス産業論	TV	2	伊東光晴 (福井県立大学教授)
	現代の農林水産業	R	2	渡部忠世 (京都大学名誉教授)
	☆農業経営	R	2	西村博行 (近畿大学教授)
	発展途上国産業開発論	R	2	河合明宣 (放送大学助教授)
	東南アジアの日本企業の工業生産	TV	2	熊谷智徳 (放送大学教授)
	都市経営	TV	2	小泉允園 (明海大学教授)・林 亜夫 (明海大学教授)
	都市計画論	TV	2	阪本一郎 (明海大学教授)
	環境アセスメント	TV	2	原科彦彦 (東京工業大学教授)
	エネルギー工学と産業・社会	TV	2	牛山 泉 (足利工業大学教授)
	材料工学と産業・社会	TV	2	東 千秋 (放送大学助教授)
	情報工学	TV	2	都倉信樹 (大阪大学教授)
	プログラミングの基礎	TV	2	都倉信樹 (大阪大学教授)
	システム工学	TV	2	平井一正 (甲南大学教授)
	エレクトロニクス入門	TV	2	小川鑑一 (東京電機大学教授)・富田英雄 (東京電機大学教授)
	応用人間工学	TV	2	池田良夫 (愛知工業大学教授)
	☆計測と制御	TV	2	森 正弘 (東京工業大学名誉教授)・森田矢次郎 (拓殖大学教授)・中野道雄 (東京工業大学教授)
	卒業研究		6	
	小計	36科目	76	

区分	科目名	メディア	単位	主任講師名(現職等)
専門科目	応用数学	R	2	藤田 宏 (明治大学教授)
	微分幾何	R	2	小畠守生 (慶應義塾大学名誉教授)
	解析学	R	2	長坂建二 (法政大学教授)
	数学基礎論	R	2	隈部正博 (放送大学助教授)
	計算の理論	R	2	野崎昭弘 (大妻女子大学教授)・仙波一郎 (茨城大学教授)
	データとデータ解析	R	2	栗原考次 (岡山大学助教授)
	統計の考え方	R	2	松原 望 (東京大学教授)
	☆カオスの数理と技術	TV	2	合原一幸 (東京大学助教授)
	パソコンによる解析入門	TV	2	森本光生 (上智大学教授)
	☆力学	TV	2	堀 源一郎 (富山国際大学教授)
	☆現代物理学	TV	2	小沼通二 (武蔵工業大学教授)
	☆量子力学	TV	2	阿部龍蔵 (放送大学副学長)・川村 清 (慶應義塾大学教授)
	相対論	R	2	藤井保憲 (日本福祉大学教授)
	物質の科学・物理化学	TV	2	平川暁子 (放送大学教授)・土屋莊次 (日本女子大学教授)
	☆物質科学-物理編	TV	2	上村 洸 (東京理科大学教授)
	光と電磁場	TV	2	阿部龍蔵 (放送大学副学長)
	物質の科学と技術開発	R	2	平川暁子 (放送大学教授)
	統計熱力学	TV	2	阿部龍蔵 (放送大学副学長)
	物質の科学・有機化学	TV	2	末廣唯史 (学習院大学名誉教授)
	物質の科学・化学分析	TV	2	一國雅巳 (元埼玉大学教授)
	化学熱力学	R	2	池上雄作 (東北大学名誉教授)
	生物有機化学	TV	2	井上祥平 (東京理科大学教授)
	自然と科学-物質編	R	2	阿部龍蔵 (放送大学副学長)・平川暁子 (放送大学教授)
	☆生命と物質	TV	2	中澤 透 (放送大学教授)
	植物生理学	TV	2	増田芳雄 (帝塚山短期大学教授)・菊山宗弘 (放送大学助教授)
	生態学	R	2	藤井宏一 (筑波大学教授)
	☆分子生物学	TV	2	三浦謹一郎 (学習院大学教授)
	動物の進化	TV	2	野田春彦 (創価大学教授)
	植物と菌の系統と進化	TV	2	岩槻邦男 (立教大学教授)
	動物の行動と社会	TV	2	日高敏隆 (滋賀県立大学長)
	細胞生物学	TV	2	佐藤英美 (名古屋大学名誉教授)
	現代生物学	TV	2	毛利秀雄 (岡崎国立共同研究機構基礎生物学研究所長)・平本幸男 (放送大学教授)
	自然と科学-生命編	R	2	平本幸男 (放送大学教授)・毛利秀雄 (岡崎国立共同研究機構基礎生物学研究所長)
	太陽系の科学	TV	2	小尾信彌 (放送大学長)・吉岡一男 (放送大学助教授)
	☆天体物理学入門	TV	2	吉岡一男 (放送大学助教授)
	☆天体と宇宙の進化Ⅰ	TV	2	杉本大一郎 (東京大学教授)
	☆天体と宇宙の進化Ⅱ	TV	2	杉本大一郎 (東京大学教授)
	固体地球	TV	2	濱田隆士 (放送大学教授)
	日本列島の地球科学	TV	2	濱田隆士 (放送大学教授)
	大気と海洋	TV	2	奈須紀幸 (東京大学名誉教授)・浅井富雄 (東京大学名誉教授)
	卒業研究	-	6	
	小計	41科目	86	

放送して改廃される。この授業科目には、放送授業を補完するものとして放送とは別に印刷教材が用意されていて、事前に放送内容を勉強することもできる。この印刷教材は、大学の生協や各都市の大きな本屋で展示販売されている。日本の大学教育は産業界では役に立たないともいわれ、このため企業内での教育により人材を育成しているのが実情ともいわれる。産業の現場と乖離した十年一日の古い講義が密室の中で横行しているのも原因といわれる。放送大学の放送授業は家庭で視聴でき、本屋で内容を知ることができて、社会にオープンである。そのためだけではなく、授業の主任講師は授業の適時性に注意を払い、講義の最適任者を招いたりインタビューしたり、現場を訪ねたりと非常に労力をそそぐ。作成期間の2年間で4年を暮らせてよいと陰口をいわれそうであるが、これらの講義の密度は大変高いと自負できる。そして、放送開始後の2年間は次の準備に充てられ2年後の新しい作成にスムーズに入れるようにしておかなければならない。もっとも次回もまた講義を担当できるかどうかはカリキュラム編成の結果と講義内容の適不適による。放送というメディアを使って誤った教育がなされると社会的に悪影響が大きいと放送大学学園法では教員の任期制が定められている。したがって、教授と助教授を含めた定員70人あまりの放送大学の専任教員の任期は5年と決められ、任期が切れる前年に再任審査が行われている。放送授業の開設科目数は320科目を越え充実した多彩な科目で教養学部全体のカリキュラムが構成されているという。このため、非常に多くの客員教員により科目の開設が支えられている。面接授業は、一回2時間15分の授業が5回構成で1単位となるもので、放送授業と直接リンクした科目だけでなく、実験や実習科目が講義の理解の上で必要であるとして面接授業の形態で開設されている。面接授業は学生に好評である。まず応答がリアルタイムである。また、実験や実習を通して実際の体験から事柄が理解できるから楽しそうに受講している。

放送大学の放送授業の際立った特徴は、15回の放送教材と原則150頁程度実際には200頁を越える印刷教材の用意によりほとんどの科目が2単位で完結していることである。このため、学生はいつでも予習復習ができるだけでなく、講義内容の全体とカリキュラムの全体が把握できることである。全体が把握できることは学生には目から鱗の感があるだろう。ジグソーパズルは完成図がわからなければ完成はおぼつかない。基礎の積み重ねを重視する一般の大学講義は完成図がわからないジグソーパズルを忍耐強く解くことと似てはいないだろうか。もちろん基礎は重要であり土台がしっかりしていなければよいものはできないが、部分の積み重ねだけでよいものはできない、全体と部分を調和させないとピサの斜塔のように偏ったものができてしまう。放送大学の授業の履修上の特徴

は、講義がオープンであるため、専攻の枠を越えて他の専攻の科目も自由に履修できることである。卒業要件は共通科目36単位以上専門科目64単位以上そのうち所属する専攻の専門科目36単位以上計124単位以上そのうち面接授業20単位以上と決められているにすぎない。そして、平成6年度から遠隔地の学生の便宜を考慮し実質上選択制となったが、放送大学では卒業に際し卒業研究を履修することが勧められている。この卒業研究履修の目的は受動的な勉強だけでなく能動的な勉強によって放送大学での能力開発を完成させようとするものである。また、放送大学の授業科目には職場の研修に利用するのにふさわしい科目があり、職場研修に所定条件の下で利用すると企業研修における企業負担の一部を補助する生涯能力給付金制度も用意されている。このように放送大学は、教養学部であるが非常に多くの専門科目が用意されており、いわゆる漠然とした一般教養でなく多面的総合的視点からものごとを考え判断できる専門的教養を生涯の折々に養うための教育機関であると位置づけることができる。

5 放送大学産業と技術専攻のカリキュラムと工学・技術分野に関する教育

産業と技術専攻は、経営学、産業論、工学・技術の各分野をおもな修学の対象として講義を開設しているが、放送媒体と印刷媒体など通信教育の方法を教育のシステムとする放送大学産業と技術専攻における各科目は、広義のマネージメントすなわち政策科学方法論の学術的教育を共通の課題として各科目を有機的に総合的に関連づけて編成するというカリキュラムのもとに表2に示される各科目が開設されている。図2は産業と技術専攻のカリキュラムの要素を示すものである。

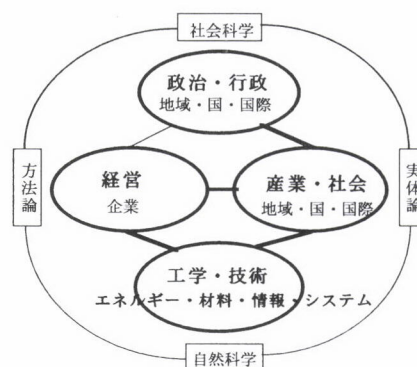


図2 産業と技術専攻のカリキュラムの要素

産業・社会の成立の基盤として自然科学に立脚する工学・技術、地域・国・国際における産業・社会と関係する実体論さらに企業とその経営における方法論の三つの要素に関わる科目が産業と技術専攻の分野に直接関係する科目である。さらに企業・産業・社会の運営にかかわる社会科学としての政治・行政さらに経済などに関する科目も産業と技術専攻の分

野に関係する科目となるがこれらは社会と経済専攻の科目として開設されている。

産業・社会の成立基盤として重要な工学・技術は、広義のマネージメントを修学する上でもその基本として重要である。その工学・技術は、情報、エネルギー、材料の3要素とシステムから成り立っており、情報工学、エネルギー工学、材料工学が産業と技術専攻で広義のマネージメントを修学する上でのサブコア科目として位置づけられ開設されている。もちろん、授業が理解できるよう理学系の自然の理解専攻のいろいろな科目を履修して関連する基礎知識を獲得していることもある程度前提となる。このように、放送大学の産業と技術専攻における工学・技術に関する教育は広範囲にわたる固有の工学のそれぞれについて講義を開設するのではなく、現代産業・技術の基盤として重要な工学の基礎的先端的分野を扱う講義によって現代産業・技術とその将来を文化・社会・産業・企業との関連の中で総合的に理解する力を養うとともに、放送大学の教育システムを考慮して組まれた情報・システム・エレクトロニクス・計測・制御などの科目の履修によって、どちらかといえばソフト工学・技術に属する固有工学についてまとまった勉強ができよう。社会人学生が大多数の産業と技術専攻の卒業研究には、体験に基づく優れた大学院レベルの研究もかなり見られ、50代60代の年齢の学生を関係の学会に報告させることもある。

6 材料工学と産業・社会の講義のねらいと内容

筆者が主任講師の材料工学の科目も、広義のマネージメントを修学する上での基本的科目として計画された。純然たる固有工学として成立している材料に関する専門教育を目指すのではなく、工学・技術のキーテクノロジーとしての材料工学を通じて未来の産業・社会を展望できることがねらいである。また逆に産業・社会のこれからの材料工学に対するニーズを考えることにより材料工学の将来を展望するための講義ともなる。そこでは金属、セラミックス、有機材料といった従来から踏襲する材料固有の分野を個々に取り上げるのではなく、横断的に材料工学を産業・社会との係わりから総合的に扱うものである。

この科目では、印刷教材の内容と放送教材の内容に関して役割の分担がはかられている。放送教材では、その機能と特徴を大いに利用するため、各回毎にそのテーマに最もふさわしい第一線の専門家の方々にご出演いただき実験や実物あるいはモデルの紹介とともに詳しい解説をお願いした。表3は各回のテーマをまとめたものである。そこでの映像メディアを用いた実際の詳しい解説は、一般の大学においてなかなか実現し難いことであり、放送大学以外の一般の学生にとっ

表3 平成8年度開設放送教材「材料工学と産業・社会」の各回テーマ

回	テーマ	回	テーマ
1	産業発展における技術革新の役割	9	光・電エネルギー変換と材料
2	技術革新と材料革命	10	エネルギー貯蔵技術と材料
3	環境への安全対策	11	超伝導と材料
4	材料のライフサイクルアセスメント	12	医療と材料
5	材料の高性能化	13	ナノテクノロジー
6	材料の高機能化	14	コンピュータと材料工学
7	インテリジェントな材料	15	これからの産業・社会と材料工学
8	情報技術と材料		

ても有意義な講義ではないかと思われる。21世紀を支えるこれら若い人材にこれからの仕事の将来像について具体的なイメージを持っていただくのに役立つのではなからうか。また、科学技術の研究や開発に携わる専門の人にとっても意義のある講義ではないかと思われる。

7 おわりに

日本の大学の問題は、日本の硬直した社会構造を反映しているにすぎないと思える。名声のある大学を卒業して社会に入った人材は、よほどのことがなければそこその努力によりそのアドバンテージは一生ついて回る。一方そのようなアドバンテージのない人材は努力を評価される場も得ることなく終ってしまう。大学教育の問題はこのような日本の社会構造の問題に由来していると思われる。過去の遺物である学歴というアドバンテージを重視し、放送大学で研いた現在の能力を評価しない企業が依然としてあることは放送大学卒業生から耳にすることである。このような単なる履歴を重視し、それぞれの人材の現在の能力を評価し活用することが行われ難い日本では、学生は勉強もせず、教授は研究もせず怠惰な授業で済ましても身分の安泰がはかれた。しかし、日本も国際競争の中で自然に改善を迫られるに違いないと期待している。もっとも、今後の学生数の減少により大学経営の危機感が生じ大学教育の改善が日本でも進んでいるようである。アメリカではベンチャー企業がどんどん産業構造を改革しているその背景には柔軟な人材登用があるからともいわれている。日本が科学技術創造立国として建てるには、独創的技術の創成と生涯教育により科学技術の裾野を拡大するとともに柔軟な人材の登用も必要であろう。放送大学が、単なる工学・技術における生涯高等教育の場としてだけでなく、それぞれの人材の能力向上による日本の国際競争力の向上に貢献できる重要な高等教育機関としてその役割を果たしていけるためには、柔軟な人材の登用が日本でも進むことが大きな条件であると思う。

(1996年12月4日受付)

理工学教育最前線特集 特集記事5

大学院エネルギー科学研究科の創設

新宮秀夫 京都大学大学院 エネルギー科学研究科 教授
Hideo Shingu

Persuit of Happiness

1 はじめに

「エネルギー科学」という名称の新しい大学院が平成8年4月に発足した。今までは工学部の上に工学研究科という大学院だけがあって、例えば工学部の学部学生は工学研究科という大学院のそれぞれの教室に進学してきた。「エネルギー科学」研究科という新しい大学院が出来て、工学部の学生の新しい進路が加わったわけである。関連する工学部の教室は、従来の呼称でいうと、金属、資源、機械、電気、化学、原子核、衛生などである。関連するというのは分かり易くいえば、それらの教室から教授、助教授、助手を迎えているということだ。この大学院専任の教授数は22名、協力教授14名である。専任の教授には農学部、理学部、経済学研究所からも各1名の教授を迎えている。もっとも専任といっても学部学生の教育・研究に関与する点は従来と変化ない。

学生の定員は修士課程1学年109名、博士課程は同49名と、かなりの大世帯である。入学試験は修士は8月末、博士は8月と2月に行われる。

新大学院で何を教育・研究するのか？これは説明が難しいけれども、教官陣の学問的バックグラウンドが多様な点を生かして、エネルギーに関するすべて、太陽エネルギー、化石エネルギー、原子力、バイオエネルギーの生産、変換、材料から環境やLCA、リサイクル、経済学、に至る事をやろうというわけである。

詳細は学科案内をご請求頂ければただちにお送り致します。またご質問はいつでも学校へおいで頂ければお答え申し上げますので、お気軽にお越し下さい。

ここで鉄鋼協会各位にお伝えしたい事は、優れた工学的センスと社会性を持った学生が入学しており、素晴らしい人材を供給出来る自信を持っていることであり、さらに、「在職のまま京大へ入学」すなわち、この大学院の博士課程に入学し、社会人として、常日頃蓄積してきた工学的、社会科学的フィロソフィーを学位論文にまとめる事が試みられることである。筆者の経験からも、企業にいて、立派な学問的、技

術的、社会科学的な経験を持ち、論文にまとめる機会があればと胸に秘めておられる方々が多いので、是非、これをチャンスに思い切って入学して戴ければと思う。今年4月入学者の中にも、最高年令62歳の方、企業の取締役、技術官僚なども含まれている。

以上がエネルギー科学研究科の概要である。何しろ学生の出身学部が様々だから、教える方も大変で、共通の専門知識みたいなものが少ない。研究は各研究室でやるので問題は無いけれども、講義には工学部出身の学生も先述の各教室から来ている上に、農、理、経済の学生までいる。

教える方も、程度は高く、説明は初歩から大学院レベルまで、という工夫が必要となる。4月～7月にエネルギー社会工学という講義を行ったが、こんなに頑張って講義をした事は始めてであった。他の先生方も同様の感想を持っておられる。

しかし、教える方も学ぶ方も、大きい収穫があったと思っており、これからが楽しみであると実感している。大学院の新しいあり方として良い方向に行っているのではないだろうか。

以下に、「エネルギー社会工学・幸福論」の講義のサマリーを記させて頂く。こんな話を学生が興味を持つかどうかと始めは思っていたが、12回の講義を109名の学生の半数以上が非常に熱心に聴いてくれた。

2 緒言：人間と社会との目指すもの

我々は何かの目的を持って生きているのだろうか？我々個人からなる社会も、何かを目指して進んでいるのか？これらの問いには、幸せを達成するためという答えが自然なようである。それではすぐに、では幸せとは何ですかという次の質問が生ずる。また果して幸せは“達成”など出来るものかということも判らない。この難問、通常は考えないで済ますのが世のしきたり、というもののようである。それに代ってもっと明確なわかり易い目的、例えば、景気を良くするとか、病気を治すとか、新しい超伝導材料を見付けるとか、太陽エ

エネルギーの新しい利用法を見付けるとかに、皆が我を忘れて熱中することになっている。という訳で、我々の日常のあくせくとした忙しい活動は際限なく活発にならざるを得ない。例えていうならば、暗がりでは物を落とした場合に、落とした場所が暗くて探し難いので、本当はそれを落とした場所ではないけれども、もう少し明るくて探し易い場所を一生懸命探しているようなものであろう。本当はそこに目的物は無いから、いくら探しても見付からない、お陰で探すという仕事は幾らでも続けることが出来る訳である。そこで、ヘソ曲りにも、恐る恐る、本当にそれがあろう暗がりを探して見ようというのがこの講義の目的である。

もちろん、暗いところを探そうとした人は大勢いたし、今もいる訳だけれども、ここでは今までのやり方と少しでも違ったやり方をしたいと企てている。そのやり方というのは、先ず、幸せになろうとする人間と社会と、そしてそれらの存在する自然界とについて出来る限り簡潔に総括してみる。つまり、幸せになるという対象である我々自身と、その置かれた環境を徹底的に洗い出して見ることから始める。インドのジャイナ教の有名な例え話にある、象の形を調べるやり方のように、シッポだけ触って象とはヒモのような物だとか、腹だけ触って、いや壁みたいだとかいうことにならないように心がける計画である。つまり工学的に、まず境界条件を決めてから解を求めようという訳である。

3 所願無量・経済の原理

先ず始めに考える必要のある事は、我々が社会活動をしていること、すなわち集団で暮らしている理由についてである。もちろんこれは、個人がてんでにバラバラに暮らすことの不便さを想像すれば明白なように、便利さ、暮らし易さのためである。いいかえれば、これはそれが経済的に有利であるからといえるが、経済的とは、人間の種々の欲望を満たす手段がより容易に達成出来るということである。人の欲望の尺度、見積もり手段として用いられるものはお金であり、このお金を目安として、我々が社会生活することが我々自身をどんな環境に置いているのかを考えて見ることにする。

人間の欲望には際限がない(所願無量)。これに対して地球上の資源、環境は有限のものであり、有限なものをもって無限なニーズを満たそうとすれば破滅に至ることは自明である。これは徒然草に書かれている(217段)話しだが、今の社会の経済活動の急所を衝いている。経済成長率の維持向上が最大課題であると世界中の国々が公言し、それが当然であるとされている事ほど不思議な話しはない。成長率というのは複利法で借金をするように雪ダルマ的に経済規模が増大す

る事を意味している。環境問題における二酸化炭素のように、経済規模も増大は困るもの(地球の容量に限度があるため)であるはずで、世界的規模で「総量規制」がなされるべきであろう。

しかし、所願無量は人間の本性であって、これを充たそうとする心が人間の幸せ、幸福感につながっている事が問題を複雑、困難にしている。他人(他国)は、どうなろうと知らん、俺のやりたいようにさせてくれ!というのが大多数の人の気持ちであり、これが、個々の人間の能力を最大限に発揮させる原動力となり、その結果として、アダム・スミスのいう自由放任による国の富の増加につながる訳である。

所願無量は、具体的には、ウエーバー・フェヒナーの法則として知られる人間の感覚についての実験結果によって定量化して示されている。すなわち、ある刺激の分別閾値jnd (just noticeable difference) は、次の式のように刺激の大きさに比例することが示されている。ここでIは光の明るさ、音の大きさなどという刺激の強さを示し、また ΔI はある時点でのその刺激の増加量を表わす。

$$jnd = \Delta I / I$$

ある時に刺激が大きくなっても、人間はすぐにその大きくなった刺激に慣れるから次の刺激へと増加を求める。しかしその時には増えた刺激を基とするjndが必要となる。すなわち、複利的に刺激の増大を望んで行くことになる。

所願無量のもうひとつの困った点は、これが野放しになると、貧富の差が増大して社会的不安定構造が生ずることである。公平なルールで社会が運営されても、経済活動は一種の賭けのようなもので運、不運があり、資本の集中は時間とともに増大する性質がある。したがって、貧富の格差は自然に増大する。

この点の解消については、ケインズが、種々の規制、とくに利率のコントロールによって効果をあげ得ることを示した。しかしケインズの理論も、所願無量の規制をしている訳ではなく、成長を前提とした上での規制による富の再配分法にすぎない。

所願無量の本能を充たしつつ、成長を規制する方法を求めることが、人間の幸福感を損なわずに社会を安定させる唯一の道である。コントロールパラメーターには税制を利用することが考えられよう。それには、所願無量による富の獲得後の満足感の緩和時間の適切な利用、すなわち儲けの喜びを味わう時間を与えてその後で巻き上げる方法を考えることである。いうならば朝三暮四をうまくやることだ。

4 心の問題・哲学の目的

我々の生きる社会を現実的に動かすのはお金・経済だけでも、これを前章のように所願無量だけで割り切ることは実は本来間違っている。人間だれしも、所願無量の本能を持っており、したがって社会全体を動かす経済の原理はその規模の指数関数的（ネズミ算的）増大であるけれども、人間の幸福を考えると、いわゆる心の問題が前面に出て来ることになる。心の問題を、ここでは哲学の歴史を概観し単純化して、それが何を考えることになるのかまとめてみたい。

心の問題を表立って人間が考え、記述を始めたのは中国、インド、ギリシャほぼ同時、紀元前6世紀頃のものである。道とか、法（ダルマ）とかアイデアとかいう目に見えない、体験できない、観念の上にだけあるもの、すなわち形而上の概念はそれ以来人間、社会の悩みの種であり続けてきている。

端的にいえば、我々は何者で、どこから来てどこへ行くとしているのか、という問いである。これに付随して生ずる問いは、世界の始まりはあったのか、無かったのか、宇宙は有限か無限か、世界の運命（未来の事柄）は決まっているのか、偶然によって決まる不定なものか、などであり、これらの問いは多くの場合、絶対者（神）の存在、不在の論議へとつながって行く。

これらの問いは、もちろん、いくら考えても答えの出ようは無いことは常識で考えれば当然だ。そのことは、例えば原始仏教の14難無記といわれる問答で、これらの14の形而上的質問にお釈迦様は、答える代わりに、そんなつまらん事を考えずに目先の現実的修業をなさないと悟している。その通りで、そんな事は考えなくても現世の幸福は十分に達成できる訳なのだけれども、それでも、ふと我に返って見ると、この形而上の問題は喉に刺さった魚の骨のようにチクチクと痛んで何となく安心な幸福感に浸る事を妨げるもので、気になりだすと、人間そのことだけが気になるものでもあった訳である。

したがって、数え切れない多くの人々（哲学者）がこの問題を論じており、その各々が、俺はこれを解決した！と叫んで書物を書いてきた訳である。もちろん、それらの結論には通常数年を経ずして別の結論が現れる訳で、今日に至るまで、そのあり様は続いている。そのような論議にひとつひとつ付き合っていると哲学者の後を追いかけていかなければならぬし、それをやっていると何だか哲学者が本当に偉いような気になる、いわゆる“哲学病”に取り付かれかねないので、ここではこれらの論議の流れをバツサリと2つに締めくくって、人間の思考法の実験結果として受け取ることにしたい。

形而上の問題は、考えることだけでは解決不可能なのだから、この問いから逃れるためには、(a) 何とかこれを考えな

いで済むか、(b) あるいは解決したと考えることが出来るかの2つしか道はない。(a)の典型的な例は、中世のキリスト教徒（スコラ哲学）の受け留め方、すなわち、形而上の問題は *credo quia absurdum*（非論理的であるが故に信ずる）として神への無条件信仰に走ることであり、(b)の典型は、デカルトが考えたように、*cogito ergo sum*（我考える故に我あり）、すなわち考えに考えた末、神の存在を証明したと受け取るやり方である。もちろん、これらははっきりと神といわなくても老荘思想のように無為自然といってもよいし、日本で盛んな仏教のように念仏を唱えるだけで（専修念仏）そちらの方のことは総て解決というやり方もある。

一方、昔は形而上の問題と考えられてきた事柄が、かなりの部分、実は形而下の事柄である事も判ってきている。つまり考えるだけではなく実証によって明らかになってきた部分もある。例えば、天体の運行にしてみても、天動説で説明しようとしていた時代には星の動きが複雑過ぎて説明し切れず、神の攝理と見られていたところが、地動説に切り換えることによって単純明快な規則で説明出来てしまった。別の例としては、人間は初めから人間として存在したという前提（これはいずれの世界の神話でもいきなり人間が登場することになっていることによる）で、世界の初めと終わりを考えていた間は、生命の問題は純粋に形而上のことだったけれども、進化論の証明によって、少なくとも形而上的な面は原始生命の発生機構のところまで後退（35億年程）してしまった。

このような形而上学の領域の変化を見ると、従来の哲学者のように、判った判ったと直ぐに解決を急ぐことは良くないらしい事が判ってくる。つまり、今判らないことは判らないことにして問題を棚上げしておけば、それは、前述の(a)でも(b)でもない(あるいは(a)でも(b)でもある)けれども目先の世の中の幸福を考える支障にはならず済みそうである。そうすることによって、14難無記の現代版というか、あるいはお釈迦様はやっぱ偉かったといっても良いけれど、喉に刺さった骨の痛みは少なくて済みそうである。

もちろん、こんな理屈はすっぱりと抜きにして信仰に身をゆだねる人はそれで全く結構であろうし、幾ら年代が進んで世の中変わっても、そのような人々の数は今と変わらないであろうことは容易に想像できる。人間の頭脳のハード、ソフトは千年や二千年では変化しないものだと思われる。

5 自然のしくみ

人間の幸福を考えるためには、我々人間の存在している自然界、つまり我々を取りまく環境についての知識と、我々の周囲での事象の変化についての知識、さらには我々の身体そのものの成り立ちについて、その根本的なところを把握して

おく必要があろう。すなわち、幸福になるのは我々自身の身体であって、それが幸福になるステージは我々を取り巻く自然界である。そこでどんなルールでドラマが進行することになっているのかを知っておこうというのがこの章の目的である。もちろん、自然の仕組みの総てを学ぶことは無理なので、身近な3つのトピックス、我々の活動の源であるエネルギー、自然の変化を支配するルールとして最近注目され始めたカオス、人間は人間から始まったものではないとすれば、我々は生物としては何なのか。について要点を見ることを企てる。

5.1 エネルギー

エネルギーは、仕事であり、光であり、熱であり、音であり、食糧であり更にまた物自身でもある。つまり我々の活動は総てエネルギーの移動や表れ方の変化そのものといえる。このエネルギーについての身近な科学的取り扱いを述べるのが、熱力学という学問である。ここではこれに従って、エネルギーの本質的性質を述べる。詳しい説明の代わりに例によって考える。図1 (a)のように80℃と20℃のそれぞれ1リットルの湯と水とがある。

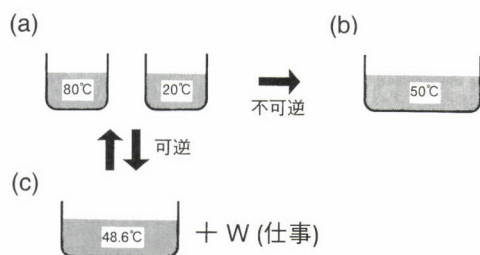


図1 エネルギー保存則の下での不可逆性

この湯と水を混ぜれば図1-(b)のように2リットルの50℃の湯が出来るとは誰でも判る。元の(a)であったときと(b)になった時とはエネルギーの量は変わっていない。しかし(a)と(b)の状態には明らかに差がある。その差、つまり何が変化したかの目安がエントロピーという量で計られる。(a)の状態から(b)の状態へ変化することによってエネルギーは不変、エントロピーは増えるということになる。どれだけ増えたのかは、エントロピーを増やさずに仕事を取り出しつつ80℃の湯から20℃の水へと熱を移す場合との違いを計算することによって見積もれる。その結果は(c)の状態、すなわち湯と水の絶対温度の幾何平均で決まる48.6℃の湯と、とり出した仕事Wとに分かれた状態となる。この仕事Wを使えば48.6℃の2リットルの湯は元の80℃と20℃、1リットルずつに戻れるから、エネルギー学(熱力学)的には(a)と(c)の状態は等価である。このことから(a)から(b)に変化する時のエントロピー増加は、湯と水の絶対温度を T_1 、 T_2 として、それらの比熱、 C_p 、を等しいと見なして

$$[式1] \quad \Delta S = 2C_p \ln \frac{T_1 + T_2}{\sqrt{T_1 T_2}} = 2C_p \ln \frac{323}{321.6}$$

ということが計算できる。

さて、80℃の湯と20℃の水は混ぜると50℃になるけれども、50℃の湯は、自然に80℃と20℃とに分かれてはくれない。エントロピーが増えるということは、自然に起こる変化は一方通行で一回起こったことが元に戻る事が無い、という厳然たるルールを端的に示すものである。元に戻るの見かけは異なるようでも、何も実質的变化の無い場合、(a)から(c)への移行のような時のみである。

変化が一方通行だけという原理が宇宙全体に適用されると、宇宙は究極状態ではいわゆる“熱的死”すなわち全宇宙の温度が等しくなって、もうそれ以上何の変化も起こらないところにまで一方向に突き進むという予想に至る。その予想が正しいのか否かは解明されていないが、今の目的つまり千年単位で地球上の我々の幸福を考える範囲では、エントロピーの増大すなわち、自然現象の一方通行は疑う余地なく成立している。我々は太陽の中で水素が核融合してヘリウムになる時に発生する高温の光エネルギーが地球に到達して、雨や風や植物生長などに使われてエントロピーが増大して、より温度の低いエネルギーに変化する過程を利用して生きている訳である。石油や石炭も過去の太陽エネルギーの極くわずかの地球上への蓄積である。

いずれにせよ、エネルギーの本質を学んで参考とすべき点は、エネルギーの再利用などという虫の良い話は厳密な意味では不可能ということである。覆水盆に返らずで、一度利用したエネルギーは一方通行で、元の温度の高い(質が高いといわれることもある)エネルギーには戻れない。ただ、利用法を改善してケチケチと、最大限の利用をその一方通行に際して実行する工夫をすることが出来るだけである。更に大切なことは、千年単位で考えて、我々が安心して利用できるエネルギーは太陽エネルギー以外には絶対ないということである。

5.2 カオス

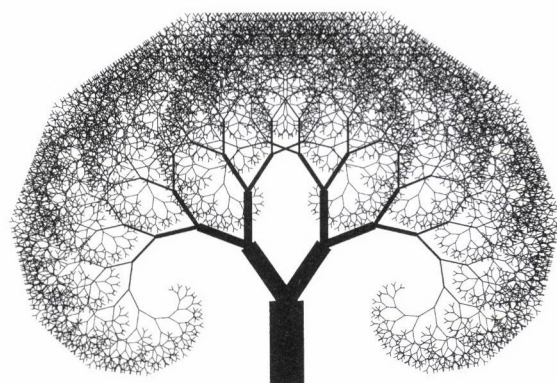
カオス理論は1960年代からはじまったもので自然科学の重要な分野としてはとても新しい。新しい分野は多くの驚きを我々にもたらしめているけれども、まだ完成されていないし、マユツバ的な要素もありそうである。端的にいうならば、これ程驚天動地の新説なのに、カオスでノーベル賞をもらった人は未だいない。しかし、その示唆するところの事は、人類の歴史始まって以来の疑問に答えるかも知れないし、固定観念を根本から覆すかも知れない。

その疑問とは、ずばり、哲学の章でとり挙げた、偶然はある

るのか無いのか、未来は決定しているのか否かである。仮に、神といえども明日の天気が予測出来ない、ということが証明されたとすると、一寸先は闇である我々と神との差が縮まって、形而上学の一部が形而下に移ってしまう。カオスはそのような本質的予測不可能性を示唆している学問である。そんなに大それた学問だけれども、その基本は、あまりにも簡単な原理で説明出来てしまう。その原理とは、第3章の経済のところで出て来た複利法の原理である。カオスという言葉は混沌、すなわち、ある情報が完全に失われることだと定義出来よう。すると、始めに持っている情報の精度、例えばある物体の位置を示す座標の桁数が10桁であったとして、1回に10%ずつ情報の失われる操作を250回繰り返すとその10桁(100億分の1の精度)全ての情報が無くなる。つまり、繰り返すという操作の数が、1, 2, 3, ..., n, と直線的に増える時に、1回に情報が比率 α だけ失われるとして、情報の失われ方は $(1+\alpha)^n$ という指数関数的に増えるという事である。日本刀は繰り返し鍛造によって鍛えられるが、1回に1/2の厚さに延ばしてこれを折りたたんで又延ばすという操作を10回繰り返すと、元の鋼の厚さは千分の1、20回繰り返すと何と百万分の1の薄さの組織となって刃の中にたたみ込まれる。この“フラクタル”と呼ばれる自己相似超微細構造(ミクロな部分の構造がマクロな構造と相似であること)が日本刀の優れた性質を生む訳だけれども、元の百万分の1にまで微細化するのに、たった20回の鍛錬ですむという所にも基本的にカオスの発生原理である繰り返しの恐ろしさをかいま見ることが出来そうである。

今、現在持っている情報から我々が未来を予測出来るということは自然現象の移り変わりが、現在の状態(我々が情報を持つ持たないに関係無く)から、あるルールにより次の状態へ移ることの繰り返しであるためである。実は、このルールが如何に厳密なルールであり不変であっても、1回の繰り返して必ずある量の情報が失われるので、繰り返しを続けるうちに、いずれは今の状態からの推量が不可能な状態へと移ってしまうという事態が発生する。

仮に今の状態を無限の精度で決めることが出来たとしても(神は無限の知識を持ち得る)繰り返しにより失われる情報の量が更に強い無限であれば、結局情報は全く失われてカオスとなる。繰り返しにより失われる情報の量の増加する強さが、元の無限の情報量を超えるという自然の原理が仮に神によって作られたと考えると(全ての原理は神の決め給うたもののはずである)神は自ら未来を予測することの不可能性を創り出したことになる。神とはこのような人間の知恵による考察の範囲を超えた全能の存在であるから、ここで神という言葉を持ち出すことは意味が無い、という話がボエチウスの本に書かれている。そうであるかも知れないし、そうでない



Produced by K.N.I.

図2 ネズミ算によって結果が予想をはるかに超えて増大し、想像も出来ない大きな変革を生むという原理が図形的に表われたものは、フラクタル構造と呼ばれる。この例では木の幹がたった13回の分岐で8192本の枝になっている。この倍々ゲームの恐ろしさの原理は、お金(経済)、心(哲学)、カオス、エネルギー、生物の進化など人間をとりまく環境のすべてを支配している。したがってこの原理の把握が幸福論を考えるために必須となる。

かも知れないが、少なくとも従来、形而上学の範囲として悩んできた問題の一部を、形而下に移す必然性が生ずることになりそうであり、そうすると形而上の問題は今までとは異なった所に移さなくてはならない。

5.3 生物としての人間

ダーウィンの「種の起源」を読むと、よくもあの当時の少ない知識であれ程大胆な仮説を、あれ程はっきりと明言したものだと思わされる。ダーウィンの仮説は要約すると、(a)人間を含む全ての動物、植物、の始まり、すなわち生命の起源は、元はたった1個の生命に帰着する。この1個の生命から進化によって、世界に存在するかくも多様ですばらしい生物が出現した。

(b)種の進化は親が獲得した形質が子に伝わるのではなく、偶然に環境に都合の良い形質が現れた時に、適者生存(自然淘汰)の原理によってそれが種の中に広まることによる。

これらの、とくに(a)の、全生物の始まりが1個の生命に帰着するという仮説は全く驚くべき事であるけれども、現在の分子生物学の先端的研究結果によっても、これが証明されているという事である。

さて、人間は人間からスタートしたのでは無いという事を我々は受け入れて、その上で心と身体等について論議する訳だが、ダーウィン以前の人々は、その前提ではなくて、何万年か前に急に人間が出現したという前提で、形而上の事柄を考えざるを得なかった訳である。これを、我々は笑っている

事が出来ないことに気付かねばならない。我々の今もっている自然のしくみの知識は、今から千年後の世界での知識と比べれば、恐ろしく未熟なものであるに違いない。どこまでが形而上の問題で、どこからは形而下の問題かは、したがって今の状況とはかなり変わるということを考慮に入れて我々は議論をすべきであろう。進化論の証明はこれの良い例のように思える。

ここで生物としての人間について現在出されている仮説、証明されたとされる事柄を総括してみる。

- 1.機能 (function)：「驚くべき仮説」、DNAの発見者の1人 クリックによると、人間の魂、心、精神は脳(ニューロン)の働きとして説明が可能となるであろう。
- 2.構造 (structure)：人体は約100兆個の細胞から成っているが、これらは全部が1個の細胞から分裂によって発生したもので、全部基本構造は同じである。しかし機能は著しく異なる。全ての細胞の1個1個がその個人の個人たる全情報 (ゲノム)を有している。
- 3.人類の祖先 (origin)：全ての人類の祖先は約10万年前にはアフリカに住む1人あるいは数人の人々に帰着する(ミトコンドリア・イブ)。
- 4.進化の機構 (evolution mechanism)：生物の進化のメカニズムは突然変異の固定による。親の獲得形質は遺伝しない。全ての生命は約35億年前に1個ないしは数個の原始生命から始まった。

6 幸福論・人々はどう考えて来たか

幸福とは何を意味するのかという定義は難しい。古代の哲学者達は人間の幸せは社会の善に合致する徳の高い生活をし

てこそ達することの出来るものであるという基本的考え方を中国、インド、ギリシャを通じて持っていたようである。そこで端的に、ボエチウスが書いたように人は皆幸福を求めて生きているものである、といえはなるほどそうなのかと誰しも納得出来そうである。ではその幸福とは具体的にどんな状態かそしてそれを達成する方法は何かという事が問題となる訳で、数多くの人々が、幸福あるいは幸福論について本を書いている。

さて、これらの本を通読すると、実に様々な幸福論があるものだと感心させられるが、その基本に流れるものを抽出して、(a) 幸福でいるための物の考え方や行動のとり方、つまり生活の知恵の記述、(b) 第3章で触れた形而上(心)の問題を如何に解決するか、に分けて読むと読み易い。(b)の方は第3章で考えたので、ここでは繰り返さず、(a)について見ると、人間の考えることは、かなり同じ路線にはまるものだという気がする。しかし、いずれの生活の知恵もひとつひとつ納得のいく事柄で、大いに参考にはなると思う。これらの中で、特に幸福というものの特質を端的に衝いている言葉は、「幸福になった後の、幸福論は」とか、「幸福になったらその後どうするか」という表現である。これらの表現は、デニス・ガボールの本「成熟社会」で取り上げられている成熟した社会の目指すものという問題と共通している。すなわち、幸福は達成されて、はいおしまい、というものでは無いところが問題として難しい訳である。この問いは結論の所で考えることにして、ここでは、以下に、幸福論について書かれた本の幾つかを挙げて、その触りを書き添える。(表1)

表1 幸福論について書かれたもの

題	著者名	出版年 翻訳版元	コメント
幸福論 De Vita Beata	セネカ(BC.4-AD.65) L.A.Seneca	春秋社	幸福につまずきながら幸福を探している。希望と恐怖、これが人生の毒である。キリスト教以前、ストア派の幸福論。
哲学の慰め De Consolatione Philosophiae	ボエチウス(480-525) A.M.T.S.Boethius	溪水社	残っている幸せのうちひとつかけらでも、もらえれば、天に昇るように感ずる人がどれ程いるか。人間の自由意志はあるか。偶然はあるか。神的予知と人的予知。
幸福について —人生論— Aphorismen Zur Lebensweisshaft	ショウペンハウエル Arthur Schopenhauer	1851 新潮文庫	幸福の2つの大敵は苦痛と退屈。これらは一方から遠のくと他方に近づくもの。賢者は侮辱されない(何をされても)。目先や環境に左右されないこと。(見えるぞ！見えるぞ！)。運がすべて、汝の息子に運を授けて海にすてよ。金言集：騙されて失った金ほど上手に使った金はない。
幸福論 Der Eudaemonismus	フォイエルバッハ L. Feuerbach	1867-69 福村出版	あらゆる行動は幸福衝動による。まず、そのものを失って、そのありがたさが判る。幸福衝動を(イエズス会のように)押えるべきではない。幸福衝動と良心、徳との融合。
幸福論 Gluck	ヒルティ Carl Hilty	1891-99 岩波文庫	万人の共通のもの、幸福追求。地上のものは重視してはいけない。幸福と至福。至福はキリストを信ずることによってのみ可能。神の存在を試してはいけない。無条件の信仰。聖書に最も多く使われている言葉「恐れるな」。人間とは何か、どこから来てどこへ行くのか。金色に輝く星の彼方には誰が住むのか(ハイネ)。仕事の仕方。時間の作り方。
ハマトンの幸福論 The Quest of Happiness	ハマトン P.G.Hamerton	1897 講談社	現状の持続をどれ程願っているかで幸福の程度が知られる。ポジティブ幸福(何かやる)ネガティブ幸福(うしろめたくない)。幸福が失われると、別の幸福が取って代わる。どんな幸福も不完全なもの。

題	著者名	出版年 翻訳版元	コメント
幸福学 Le Science de Bonheur	ジャン・フィノー Jean Finot	1916 大日本文明 協会編	楽天主義。古来幸福の神聖を説いたものはストイック派とキニク派のみ。ショウベンハウエルは厭世家の中でも最も甚だしい者だが、1831年のコレラ流行の時ベルリンを逃れた。幸福(ボヌール)→狭い時間 景福(フェリシテ)→比較的長い時間 至福(ベアティテュド)幸福は道徳的生活においてのみ生ずる結果である。
The Science of Happiness	H.S.Williams	1909 Harper Brothers	The problem of happiness is the problem of problems. Sound body. How to sleep. How to work. Life companionship. The coming generation. How to die. Right living right death.
幸福論 Propos sur le Bonheur	アラン E.A.Alain	1928 白水社	道徳論の第一の義務は上機嫌。楽観主義に徹すべし。ほほえみを、いかなる時にも絶やすな。
どうしたら幸福になれるか How to be Happy Through Human	ウルフ W.Beran Wolfe	1931 岩波新書 青 404a,404b	人間は 1. 何も考えず、ただ生まれて育って死ぬ人。 2. 人生ビジネスと考える人。 3. 自己形成をする人。(自己彫刻)(精神科医)
幸福論 The Conquest of Happiness	バートランド・ラッセル Bertrand Russell	1930 みすず	個人の考え方に限定した幸福になる方法。煙突掃除人の仕事のまずさが気にならない人。何が人を不幸にするか。何が幸せにするか。(退屈、疲れ)(科学者)(単純でいられる)宇宙の市民、自分と後世を分けて考えない。
幸福論 三谷隆正	三谷隆正	1944 岩波文庫	日本のヒルティ、一高教授 良き健康、清純な家庭と一生を投じて悔いなき職場。それに増して大なる幸福は、イエスを信じて真実一路。その恩賜として受け取るもの。(歴史多く、生活の工夫は少ない)。絶対者の存在に関するパスカルの賭け、信ずる事に賭けた方が得。
幸福論 Spate Prosa 晩年の散文	ヘルマン・ヘッセ Hermann Hesse	1949 新潮文庫	散文の一編。Das Glück 黄金色の時間。没時間的な、時間も、歴史も、以前も、以後も知らない、純粋な完全な現在。(子供の頃の記憶に存在)
幸福論 The Way to be Happy (The Common-Sense Psychology)	グールド Lawrence Gould	1950 新人社	不幸な人の直し方。90%の無意識部分の解放。フロイトの精神分析による「幸福に至る科学的な方法」。なおせないものは我慢せねばならぬ。「人の不幸は自分で自分に期待すること、自分が達成し得ることとの差異によって測られる」アドラーの法則。
幸福	向田邦子	1985 新潮文庫	素子と数夫 不幸の中に転がっている幸福を拾いあげる。
幸福論	寺山修司	1970 角川文庫	本を捨てて町に出よう。「幸福を軽蔑する者は軽蔑に値する幸福しか得られない」アランやヒルティではないヤサグレ幸福論はないのか。偶然か必然か。偶然が本当であれば、理性的判断や科学的常識から解放される。幸福になった後の「幸福論」は？幸福論は永遠に到達しえない闘いの原理。
The Pursuit of Happiness	D. G. Myers	1976初版 1993 Avon Books	アメリカ人の三分の一は朝目覚めるとき幸福だと感じる。この本の目的は幸福についての情報を知らせること。いわば、幸福についてのコンシューマーズ・レポートです。
生きるための幸福論	加賀正彦	1980 講談社 現代新書	悪人なら殺しても良いか。本当の幸福。自分のような者でも不幸な人の役に立つ。
幸福論	下田弘	1991 青工社	一高教授、明治40年生まれ 崇り、家相、(偶然ではない) 1.何も考えない人 2.ひとつのことにこだわる人 3.色々考える人 3だけが幸福の適格者。不幸論としたかった。
新しい時代の幸福論	藤川吉美 周曉燕	1992 慶応通信	女性の幸福論。幸福の基礎的条件は自尊心の充足 グループ、社会の不幸は「囚人のジレンマ」に原因がある事が多い。社会システムはその解放のためにある。
幸福論	柴門ふみ	1992 PHP出版	いつでも幸福というわけにはいかない。幸福は巡って来て、巡ってゆくものだ。はた目にはスイスイの人にもそれなりの悩みがあるものだ(ボエチウスと同じ事いってる)。
幸福のかたち	山陽新聞社	1995	どうにもならない状況でも、どうにかしなければならなかった人々、ならない人々の生き方に幸福のかたちをみる。
科学と幸福	佐藤文隆	1995 岩波書店	ニュートン、ダーウィンによって人間は、自分達が絶対的なものだという 見方を失って、広大な時間と空間の中に放り出されてしまった。衰れだけど、これが自由なのか？バートランド・ラッセルのいう幸福な科学者か？

7

結論・千年後の世界

桜がり 雨は降り来ぬおなじくは 濡るとも花の蔭に宿らむ

平安時代の貴族、左近衛中将、藤原実方はある年の春、東山に花見に出掛けて、にわか雨に会い、花の下に立って詠んだこの歌が評判となり得意になっていた。天皇(一条)にまでその噂が伝わったが、藤原行成(能書家、三跡のひとり)に、「歌は良いが、わざと雨に濡れるなど感心しない」と告げ口された。これを恨んだ実方は殿上で行成と喧嘩して、行成の冠をたたき落とし、庭に投げ捨てた。行成が慌てずに人呼んで冠をとらせ、平然と去って行ったのを運悪く天皇に

見られていて、行成は蔵人に拔擢、実方は「歌枕を勉強してこい」といって陸奥の地へ左遷された。赴任先の宮城県で、人の諫めを聞かず道祖神の前を馬に乗ったまま通ろうとして、実方は落馬して死んでしまった。実方の死んだのが998年ということだから、このストーリーは今からちょうど千年前頃に起こったドラマという訳である。

話の真否はとにかく、千年昔の人間ドラマを我々は今もって生々しく実感できることは確かである。例えば、我々研究者と呼ばれる大学等にいる者は、人の評判になるような“良い”論文を書くことにこだわっているが、“良い”論文と思っていたのにケチを付けられた、ということは有りそうな話

だ。そのために普段はおとなしい先生がカーツとなるということも容易に想像できる。似たような状況は世間のどんな分野にもあるであろう。我々は今、自動車、飛行機、冷暖房、コンピューターを使い、衣服も食事も千年昔には全く想像も出来なかった生活をしている。その上、千年前にはおよそ想像も出来なかったであろう恐るべき多くの知識、ビッグバン、ゲノム、カオス、エントロピー、などになじんでいる。ところがこんなに大きな身の回りの変化も、人間の感情の動きの基本的なところには、何も変化をもたらしていないことが歴史を読むと判ってくる。我々は皆、千年という年月はすごく長い期間であると思っている。したがって今から千年後の世界を想像せよといわれても誰も直ぐには頭がめぐるまいであろう。しかし上に述べたように、千年昔と今を較べて見ると、それはほんの昨日のようにも感ずることができる。つまり、千年後の世界は、今の我々の世界とそんなに掛け離れたものでは無いのである。

ところで、千年昔といえ、25年を1世代として約40世代である。自分の親は2人、祖父母は4人、曾祖父母は8人、……というように40世代さかのぼると我々は誰も例外なく、 $2^{40} \approx 1$ 兆人の祖先がいることになる。平安時代の日本の人口はおそらく多く見ても1千万人位だろうから、その頃の人々は皆んな、つまり、実方も行成も、それから恐れ多くも一条天皇も含めて何重にも我々の親戚であることには疑いの余地が無い。

その頃に、喜んだり悲しんだり、幸せであったり、不幸であった人々がみな我々ひとりひとりの共通の祖先であるとは愉快なことではなかろうか。我々は身の回りの人々の幸せを自分の幸せと感じ、悲しみもまた自分の悲しみと感ずることは皆同じである。千年昔の実方の憤慨も、行成のしたり顔も我々は自分の親戚として分ち合う気になることが出来る。こう考えると今の自分の幸せや不幸せも時の流れの中のひとコマに過ぎないことが実感されよう。数え切れない過去の幸せや不幸せの結果として今の我々の幸せや不幸せがあり、今の我々の幸せや不幸せが自分と少しでも係った総ての同世代の人々を通して未来の数え切れない幸せや不幸せの原因となるという訳である。

衣、食、住の最低レベルは充足されないと何といおうと不幸であることは、間違いなく動物としての人間の本性である。戦後の食糧難を知る者にとって、空腹で幸せなことは絶対にないと断言できる。断食をして修行する人ももちろんいるが、いつでも食べられるという事が判っていれば断食を楽しむこ

とは容易である。本当に食べ物に乏しい時に断食する人はいない。この最低レベルが満たされた後の幸せが何かを考えることは、ほとんど人間とは何かというのと等しい難問である。人は様々な異なる感覚をもって幸福を感じ、不幸を感ずる。ある人の幸福は別の人の不幸かも知れないとは良くいわれることである。人は生まれ持った性格（脳の機能の違いであろうか）によって小さなことで幸せになれる人もあり、いつも不幸な人もいる。また何かと運の良い人もいるし、いつも不運な人もいる。一生かかって段々と幸せになる人もいるし、それほどでもないのに一生を振り返ると結構幸せだった人もいる。また一生、いつもみじめであったのに、一瞬の輝きで最高の幸せを得る人もいるであろう。

いずれにしても人間の体に100兆個もの同じ基本的構造の細胞がそれぞれ異なる機能で働いているのと同様に、1個人は同世代だけでなく過去と未来の数え切れない人間のうちの1人にしか過ぎない。それらの人間は皆同一の基本構造を持ちながら、ひとりひとりが皆異なる性質を持って異なる機能で働いている。自分の幸せ不幸せは今生きている我々が作ったものであると同時に我々の先祖が作ったものでもある。千年昔の文化を我々が今味わうことが出来ると同じく、千年後の世界に生きる人々に今の我々の文化をエンジョイしてもらえることを望まぬ人はいないと思う。つまり、人間の幸福は時間を含めた考えによって決まってゆくもので、定常的、不変の幸福というものは無い。つまり、幸福は達成されてめでたし、めでたし、というものではない。ささやかな幸運も、それを守ろうとした途端に“不幸せパターン”に陥っていることになる。いつでも身を捨てる気持ちでないと“幸せパターン”に乗れないのが人間の宿命であろう。過去、現在、未来全部考えに入れて、今を生きることは、どんなことを考えて見ることのできるのが人間の特性であり、我々はこれを意識して生きることにより誰もしがどんな状況でも幸福でいられる。

次の和歌を一偈（しめくくり）と受け取って、この歌を生きて実感できるように今の生活を頑張ること、頑張ることの出来ることをもって幸福と考えたい。

ながらえまたこのごろやしのばれむ
憂しと見し世ぞ今は恋しき

（新古今集、藤原清輔）

（1996年11月25日受付）

理工学教育最前線特集 特集記事 6

企業における技術者教育

三宅 苞

Shigeru Miyake

川崎製鉄(株) 技術研究所研究企画業務部 主査

Education for Engineers in the Japanese Industry

1 はじめに

筆者は、平成5年以来、技術研究所・研究企画業務部（現在名）に所属し、新入社員を中心とした若手研究員の育成指導を担当業務の一つとしている。ここでは当研究所の育成制度、筆者の経験、および今後の課題などについて述べてみたい。したがって、本稿は、さまざまな企業で行なわれている技術者教育の詳細な調査でもなければ、技術者教育についての学術的な論考でもないが、この特集号に寄せられたアカデミック界の理科・工学教育との比較によって企業の技術者教育の特徴が明らかになれば幸いである。

企業内教育は、一般に「OFF-JT」(OFF-JOB-TRAINING: 集合研修、講座受講など仕事を離れての教育)、「OJT」(ON-THE-JOB-TRAINING: 業務の中での教育)、および「ローテーション」の3本柱からなるといわれる。ここでは、最後の「ローテーション」については省略し、代わりに企業教育の「理念」と、最近の新しい動きである「社会人学生」についても触れてみたい。

2 技術者教育の理念

技術者教育についての特集が、数年前、この『ふえらむ』と同じ性格の会報誌2誌で企画されている。すなわち、「企業内教育・小特集」(日本機械学会誌、第90巻、第820号、1987年3月)では、アカデミック界、協会からの随筆のあと、さまざまな企業(鉄鋼、重工、機械、電機、コンピューター、精密)での教育関係者の解説記事が紹介されている。また同じ87年の(応用物理、第56巻、第4号)には「研究者教育特集」が組まれ、化学、製鉄、コンピューター、電気、精密機械、科学機器、通信、フィルムなどからの教育関係者の記事が寄せられている。前者は技術者、後者は研究者という対象の少しの違いはあるが、その教育制度は多く共通するところが多い。その特集記事から、共通する企業の技術者教育の理念を描いてみたい。

それらによると、教育の目的はなによりも「企業と個人の生き残りを果たすために」、「厳しい企業間競争を勝ち抜いていくために」、また「永遠の発展を続けるために」にある。このために「新人および現在員を教育しなければならない」。また一方、技術者は「社会に貢献するように自己を発展させて行かなくてはならない」のであって、この「自己開発」が1つのキー・ワードとなる。

教育担当者や上司の任務は、それぞれの技術者がこの自己啓発によって「個人尊重、個人能力の発揮できるよう」、「全員一律方式ではなく、個々人の適性を見て、各人ごとそれぞれの目標を鮮明にして、分化育成を図る」ことである。そのため、「個々人ごとの入社3年、5年後の達成目標を具体的に本人にも明示して、各段階ごとに到達度合いをチェックする育成計画表を用いる」企業も(当社も含めて)多い。

要約すれば、企業内教育の「最終目標は成果」であり、「目標管理と動機づけが中心的課題」である。そのためには「持てる人材を常に教育しながら、企業環境の変化に対応し、健全な経営を維持するため、一貫して一人ひとりの資質と潜在能力を最大限に引き出し活かすこと」が重要であり。その結果としての「困難に積極的に立ち向かう夢と希望と自信をもった人が企業の期待する研究者像、技術者像」である。

このような教育理念の根幹に、いわゆる「日本的経営」の精神を見て取ることは容易であろう。日本的経営とは、「終身雇用、年功序列、丸抱え採用、定型訓練、人の和の尊重、稟議制度・・・」などからなる人事労務慣行の体系を内蔵している日本の企業経営のスタイル(尾高邦雄『日本的経営』)である。この精神の上に立った技術者教育が「日本の技術・産業の今日の隆盛に大きく貢献し、世界的にも高く評価されている」ことはいまさらいうまでもない。と同時にその日本的経営そのものが、経済のグローバル化、バブル景気の崩壊、産業の空洞化などを前に大きく変容を迫られていることもまた事実である。これに呼応して育成制度の中にも新しい動きがみられる。たとえば、「出向を意識した教育」や「専門職と一般職のキャリア別教育」などである(「研究開発マネジメント」

1995年2月)。このように今、企業内教育の理念は見直しの時期にさしかかっている。

3 技術研究所における教育

3.1 若手研究員の育成制度 (川崎製鉄(株)の場合)

入社1ヵ月の技研配属の技術系新入社員42名に対し、「社会人としての夢と希望」について自由記入してもらったことがある。研修期間中で、まだ学生気分も抜けず、企業生活への不安も抱いている時である。共通するもの3つがあった。第一に、「メリハリのある生活」、「公私のバランスを保つ」、「仕事と遊びを区別する」、「仕事・家庭・社会の3本立て」、「休日は休む」、「帰りたい時は帰る」といった、仕事の他に別の自分を確保したいという希望である。これは「最初で最後の楽園生活」に別れを告げ、激しい競争社会へと一歩足を踏み入れた若者達の、ある意味での予防線かもしれない。第二に、「ボランティア活動も」、「社会への奉仕・貢献も」、「視野を広く」など、社会の中での自分を確かめたい、位置づけたいという希望である。社会人としての自覚がうかがえる。そして第三に、会社に対しては、「風通しのよい会社」、「開かれた会社」、「個人を大切にする会社」であって欲しいと望んでいる(望んではいるが、そうしたいという意志は語られない)。

このように広い意味での抱負や期待はあるが、まだ具体的な仕事のイメージは持っていない(当然ではあるが)。また一般に、新入社員の大学教育での知識のみでは研究開発にはレベル的にも不十分である。また専攻分野も配属と異なる場合がほとんどであり、弊社の技術研究所も入所後の教育に力を入れている。

その概要を図1に示す。最初に一ヶ月位本社教育を行い、配属後一週間の技研導入教育(幹部講話、各研究室紹介など)、三週間の工場実習(三交代勤務と課題解決のグループ学習)、および研究所での「試験課実習」と称する各種試験方法および安全教育に関する現場体験と続く。この試験課実習の目的は、一つは、できるだけ自分で実験し、データを採る習慣を身につけさせること(熟練者なら30分程度の簡単な溶接作業に半日費やす新入社員もいる)、一つは試験課に所属する実験補助者と人脈を作ることである。

それが終わると配属先の研究室において、翌年の3月まで「修了論文」と称する技術論文の作成に向けての研究生活が始まる。そのテーマは本人の3か年の育成計画に基づいたものである。新入社員は与えられたテーマをもとに、研究室での研究のやり方を少しずつ覚えていく。新入社員には掛長クラスの研究員が教育担当者となって、論文の修了まで指導する(このような形で育成は多くの企業で採用されている)。実験の準備や進捗管理、特に最後の論文作成の「テ、ニ、オ、

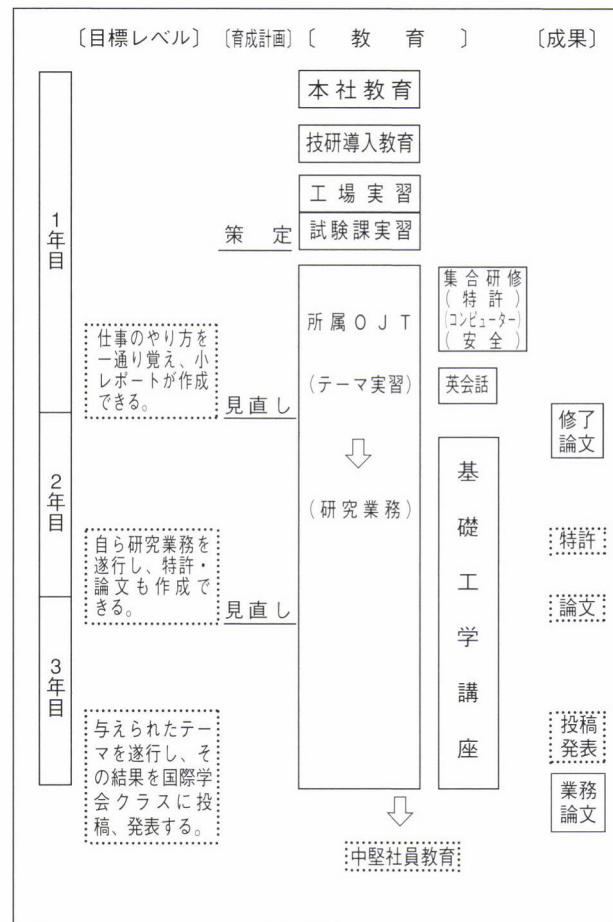


図1 技術研究所における教育体系 (川崎製鉄(株)の場合)

ハ」の修正など、むしろ教育担当者のほうが大変な場合もある。三月に論文の発表大会と、続いての技研幹部を囲んでの打ち上げパーティーがあり、これで一年目が終わる。

図にも示しているとおり、新人の育成は三年がかりで行なう。もちろん一年目をもっとも意識的な育成を行い集合研修日数も多い。個人による差や、配属の研究室にもよるが、三年で大体「一人前」の研究員になる。一人前といったのは、テーマを与えれば、ほぼ自分でやっていけるだけの判断力と知識をもつ、という意味である。それは、臨機応変に計画を変更し万事上手に裁いていくような実行力をもつことである。なぜなら、企業生活においては突然のメーカーからのクレームや「ある重役が、朝の新聞に眼をとおして誰かのコラムに感じ入ったという事実」が、向こう二週間位の技術者の予定を大きく変更させるといった「大学ではおおよそ考えられないことも往々にしてある」からである。(中岡哲郎『技術文明の光と影』)

二年目から三年目にかけては基礎工学講座を受講することになる。この講座は、中堅研究員を主体とした講師陣が研究開発上必要不可欠な知識を教えることにより、若手研究員の体系教育と人的繋がり強化を目的としている。三年目の終わりに「業務論文」の提出と発表がある。このように基礎教

育は三年をかけている。

この中で筆者は「技術英語」(technical writing)を担当している(英会話のほうは、別部門によるカリキュラムが組まれ、TOEICの受験も義務付けられている)。鉄鋼技術者にとっても、国際会議での発表や欧文誌への投稿などのため、英作文は必要能力の一つである。講座を担当して気付く点が二つある。一つは、冠詞、前置詞などにこだわる一方、全体の構成や主張の内容には重きを置かないことである。これは、J.A. Leggett教授が「科学英文執筆についてのノート／日本の物理学者に寄せる」(日本物理学会誌21, 1966, p.790)で、日本人の英語の癖としてすでに指摘しておられることである。今一つは、序文から本論への導入部分の論旨展開がいたって弱く穴だらけであるが、その代わり一旦自分の専門領域に入ると、その世界を、たとえば〇〇工場、第〇ホットのNo.〇〇スタンドでの制御についての細かい技術の説明を、延々と展開するという癖である。英語、日本語以前に、本人のその技術への「密着ぶり」が明瞭にここに表れている。もちろん自らに課せられた課題に全身を懸けて取り組むことが技術者の基本であるが、一方、その自分の専門を、広い視点からとらえ直すこともまた大切ではないか、と気になる時もある。

当研究所には若手研究員の活性化を目的とした社内的には独自の表彰制度が存在する。上記の業務論文の中から優秀な論文を年三件程度表彰する。また入社一〜七年目のスタッフを対象に、その年の研究成果、特に新しく得た知見にたいし年間七件程度に「新発見賞」を与えている。

研究所と工場との交流、ローテーションについては、上司の判断で数カ月程度自分の担当する研究に対応した現場への派遣がある。海外への留学は毎年数名程度、欧米を中心に派遣している。また研究室間での移動もあり、その場合、新しい研究室において与えられたテーマについての予備知識をしっかりと蓄え、かつそれが研究室の共有財産になるように、「転籍レポート」を書かせている。

研究所を有する各社とも、研究員がジェネラリストとしてでなく、専門能力での評価が求められていることから、研究員の処遇体系の複線化が進められている。技術研究所でも首席研究員とその上位の専門主監が設けられた。後者は役員待遇である。また製鉄会社の教育を語る場合、鉄鋼短大を除くことはできない。しかし、鉄鋼短大について別号に掲載予定されているのでここでは取り上げない。

3.2 OJT

「職務を遂行するには能力がなければならないが、その能力育成のために、本人が行なう能力開発が自己啓発であり、上司が部下を育成するという形の啓発がOJTである」と定義される。自己啓発で重要な事は「目標の設定と目標に至る

までの過程」であって、若い社員の「士気の向上」「やる気を起こさせる」ための方向づけがまた大切である。それが企業内教育の「究極的な目的であり、それは主として日常業務のなかでの教育訓練(OJT)である」。その中で若手社員は「先輩の背をみて育つ」のである。

この「背を見せて」育ていくべき「日常業務」がどんなものか、入社八年目の製鋼関係の主任研究員に聞き取りを行なった。彼によると、技術伝承は、その技術に「思い入れ」をもった研究員が、「思い入れてもらえそうな」研究員にたいして、ある期間一緒に仕事をやって覚えるほかない、という。特に彼の場合、介在物の低減が主テーマであったので、「品質調査の仕方」、すなわち、微量分析・評価の仕方が最も大切な伝承すべき技術であった。それはレポートにも論文にも書けるものではない。たとえば、分析試料作りである。彼は、「鋸の刃こぼれなどの混入やサンド・ペーパーからのシリカ混入を防ぐため」アセトンで洗浄した金ヤスリで自ら試料を研磨した。そうしないと「思い入れた結果」と合わないからであった。このような「外乱を一つ一つ潰していく」やり方が、伝承されなければならない内容である。言い換えるならば、この介在物低減に代表されるように、ノイズ・レベルの信号を相手に各社が技術を競っているということであり、その高度な技術レベルを伝承していくことが必要である。

4 社会人学生

わが国においては、大学院への社会人学生の入学者が修士、博士課程ともに増えている。この背景にはもちろん文部省における大学改革がある。たとえば、『いま大学が変わりはじめた』(文部省高等教育局、1993年12月)によれば、「生涯学習への対応」として、「入学試験における社会人のための特別選抜の実施」、「大学院レベルにおける社会人のための特別コースの設置」、「夜間大学院の開設」、「昼夜開講制の実施大学の増加」、「公開講座の増加」、「大学への編入学の増加」、「放送大学の活用」が挙げられている。事実、図2に示すように大学院博士課程における社会人の入学者数は増加している。(平成2年度は全入学者に対して2%程度であったが、平成6、7年度では10%を越えるようになった)。同じく修士、学部への入学者数(国立、公立、私立の合計)を、昭和62年度と平成7年度で比べると、修士の場合が815名から3422名へ、学部の場合が1143名から4189名に増加している。

もちろん、その育成計画や研究戦略の一環として、国内外の大学・研究機関に技術者を留学させることは、以前から多くの企業で制度的に実施されている。この社会人学生はそのような制度的留学に必ずしも乗ったものではない点で新しさがある。

『大学院ドクターコースにおける社会人学生の分析』(工学教育、44巻、4号、1996年7月)は社会人学生の実体をアンケート調査から分析したものである(送付数659、回収数453、回収率68.7%)。それによると、以下のような特徴が見られる。(1) 特に工学系が今後の実施予定を含めて、積極的に対応している、(2) 社会人への教育指導は、多くの場合、指導教員が個人レベルで対応している、(3) 一般に社会人院生と若年院生との取扱いの区別はほとんどないが、現職企業人がかなりの時間的制約を受けているとの回答が多いし、現職社会人は同等以上の能力を有し、特に意欲面では優れているとの回答が多い、(4) 自由記入の欄から、その入学目的も実に多様であり、たとえば、企業派遣で博士号を取得したらもとの企業へもどる場合、また企業人から大学人へ転身を図ろうとする場合、他の分野もしくは非常勤職・主婦等から専門研究者になろうと一念発起する場合である。

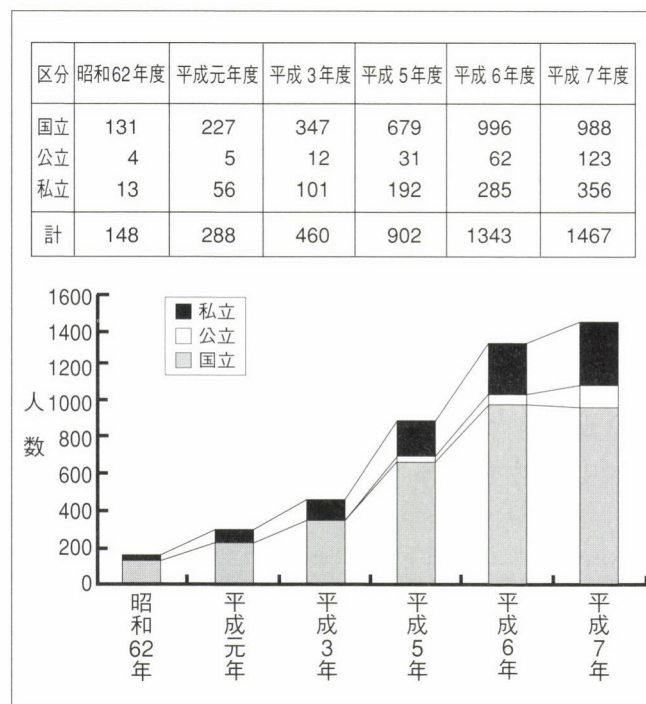


図2 大学院博士課程における社会人学生の入学者数
(文部省高等教育専門教育課調べ)

朝日新聞(1995年1月7日、夕刊)には、ある社会人学生の合格の喜びが紹介されている。「飲んだくれ返上、大学院合格」とタイトルもいささか砕けたものだが、音楽関係のある企業の総務部法務グループ長(51歳)殿の、筑波大学大学院修士課程の合格の記事である。「五十を前にした二年前、このまま会社人間で終わっていいのかと不安が湧き一念発起し、勉強の場所はもっぱら我孫子市と渋谷間の通勤電車の中で法思想史と法哲学の専門書を読みふけた。監督自ら再びフィールドに出ることが、若い人の刺激になればうれしい」とは、御本人の感想である。社会人学生のマージナルな生き方は、「若い人への刺激」を越えて、現代日本の社会にもっと大きな影響をもたらすであろうか。「勝手な議論を引っ提げ、論争に連絡にと飛び廻り、志のみによって相互に判断し結集して、紆余曲折を経ながらも、旧社会の中に新国家の核を作った維新の志士たち」(藤田省三『維新の精神』)のような存在も表れるであろうか。それはまだ分からぬことに属するが、それを期待することも無駄ではないかもしれない。

5 終わりに

企業内の工学教育については、その理念やカリキュラムについては多く語られているが、それらが技術者、研究者の育成にどのように働いているかの実証的な研究は殆どなされていない。それには、産業界、アカデミック界双方の協力のもとでの工学、社会学、教育学などからの学際的アプローチが必要となろう。また、若者の科学技術離れや製造業離れが社会的問題になっている一方で、企業の技術理念もまた、技術のグローバル化、空洞化、流動化のもとで、修正を迫られている。21世紀を担う技術者像をつくる作業が広く求められているのである。

なお、社会人学生に関しては柳田雅明氏(東京大学先端科学技術研究センター)より有益な資料を拝借した。またOJTに関しては井戸川聡氏(当技術研究所製鋼研究部門)より貴重な意見を拝聴した。この場を借りて感謝したい。

(1996年11月6日受付)



入門講座

制御技術編-2

製鉄業における制御理論の応用

藤井克彦 (株)神戸製鋼所 技術開発本部 常任顧問
Katsuhiko Fujii

Application of Control Theory in Steel Industry

1 鉄鋼プロセス制御の概要

本講座の第1回では、コンピュータ技術の発達と制御技術の進展、古典制御から状態変数を用いた制御、制御対象のモデリング手法、などについて概説した。今回は、鉄鋼プロセスにおいて、制御理論がどのように活用されているかを、事例を交え、具体的に述べることにする。

1.1 60年代以降の制御理論の進展と応用を鳥瞰する

すでに紹介した状態変数を用いた制御は、60年代に、最適レギュレータやカルマンフィルタとして体系化された。これとは別に70年代には古典制御の単ループの制御系を周波数領域で拡張した非干渉制御が登場し、これら2つの流れを総称して多変数制御と呼ばれるようになった。

鉄鋼プロセスにおける多変数制御の応用をみると、マイクロプロセッサの発展と相俟って、60年代後半からカルマンフィルタによる状態推定を中心として、転炉製鋼などの制御に徐々に適用されていった。また、タンデム圧延機のように多スタンドにおける寸法、形状の制御には、その間の干渉を考慮した多変数制御が有効であることから、70年代後半より多くの開発事例をみるに至った。80年代に入ると、モデルの不確かさを考慮した制御として、ロバスト制御が登場した。中でも、 H^∞ 制御は周波数領域において制御系が設計できる手法である。従来、現代制御理論では制御系を時間領域で設計することから、古典制御理論とは設計思想において一線を画していたが、 H^∞ 制御の出現によって両者が大きく接近することとなった。鉄鋼プロセスでは、90年代に入り、連铸や熱延の制御に適用事例が登場している。

一方、AI（人工知能）技術は、人間の思考や現象をルールベース（if/thenで記述されたプロダクションルール群）で表現し、人に替わって推論するエキスパートシステムとして工業分野においても期待が高まった。プロセス制御の分野では、AI技術は、系の非線形性の悪影響によるシステムの不安定化を防止し、適正な応答性を確保するための技術として、80年

代後半より活用されている。ファジィ推論によって圧延特性の複雑さと非線形性を考慮した板厚制御システムや、ニューロネットワークによってストッパーの非線形性を克服した連铸の铸型内湯面レベル制御システムが開発された。なお、本号では制御理論の適用例について述べ、AI技術の応用については、次回に詳述することとする。

1.2 鉄鋼プロセスの特徴

製鉄プロセスでは、以下に述べる問題点や課題があり、単純な制御では精度向上に限界がある。

- (1) 高炉の内部現象や圧延の塑性加工特性などに多くの非線形性がある。また、設備としても、油圧系のヒステリシス、電気系の飽和特性、といった非線形性を有する。(非線形性)
- (2) 高炉の棚つり、連铸の铸込み開始、圧延の噛込み・尻抜け、加減速といった非定常状態が多い。(非定常性)
- (3) 高炉内部状態や鋼材内部温度など、測定できない状態量が多い。(非観測性)
- (4) 圧延の板厚制御と張力制御との相互干渉が寸法や形状制御の安定性を阻害する。(干渉性)
- (5) 圧延における制御点と計測位置との移送によるむだ時間、あるいは鋼材の加熱・冷却時の時定数が多い。(遅れ現象)

1.3 モデル化の重要性

前回第5章で述べたように、制御理論を適用して制御則を設計しようとする、対象の数理モデルをどのように構築するかと云う問題に直面する。対象の数理モデルに基づいて制御アルゴリズムを導き、シミュレーションによって制御性能を検証して、実プラントに適用するという手順をとる。ところが、基準となるモデルに基づいて設計した制御則を用いると、シミュレーションでは効果を発揮するが、実プラントに適用すると閉ループ系の性能劣化が予想を上回ることがしばしばある。これは、モデルとプラントの誤差が、ロバスト安

定を保証する限界を超えているからである。(ここで、ロバスト安定とは、モデル化誤差の上限が分かっている場合に、フィードバック系が安定であることをいう。)

モデルを構築する方法としては、(1) 制御対象の物理モデルを理論式で記述する解析的アプローチ、(2) 制御対象に印加された入出力信号から、主に線形の一次結合式によって特性を推定する方法(理論)、がある。(1) は正統的なモデル化の方法でモデリングと呼ばれる。大方の場合は、詳細な物理モデルを基に線形化や低次元化を行い、いわゆる制御系設計のための制御モデルを構築する。(2) はシステム同定といわれ、構築されたモデルはそのまま線形制御系の設計に用いられ、適応制御におけるオンライン同定に活用される。どちらの方法を採用するかについては、一般的な法則は存在しない。

鉄鋼プロセスのモデル化手法を大別すると、製鉄、製鋼工程では、炉内温度などが3次元的に分布していることから、システム同定を用いる場合が多い。一方、圧延工程では、制御量が寸法、形状などで構成された集中定数系で記述される

ことから、モデリングによる場合が多い。何れにせよ、線形化や低次元化によって誤差が生じる。圧延機で考えると、荷重、温度、張力は相互に相関があり、一部には陰関数でモデリングされる。しかし、制御理論を適用するには、状態空間モデルとして、すべての動特性を一階の微分方程式群で記述する必要がある。そこで、相関関係の一部を断ち切り、また、省略することで、状態空間モデルを構築するが、これらは全て誤差要因となる。問題は、その誤差がフィードバック制御で安定化する範囲内にあるかどうかである。言い換えると、圧延機の最適制御によって系の安定化や最適化が達成される場合には、ロバスト安定性が保証されていることを意味する。

1.4 工程別に制御の特徴を考える

鉄鋼プロセスにおける制御理論と知的制御技術の適用事例を表1にまとめて示す。本表によって鉄鋼プロセス制御の概要を以下に述べる。

(1) 製鉄工程を代表する高炉では、熱や化学反応を含めた、分布定数系、強い非線形、時変、複雑大規模系が特徴で

表1 鉄鋼プロセス制御における制御技術の応用事例

	製鉄	製鋼	圧延・加熱炉
最適制御(O) 非干渉制御(D)	熱風炉熱量制御(O)	転炉OGガス制御(O) 連铸2次冷却制御(O)	AGCゲイン最適化(O) 熱延ループ制御(O,D) 熱延仕上げ板幅制御(O) 熱延仕上げ板厚制御(O) 冷延タンデム板厚制御(O) 冷延ミル板厚制御(D) 線材寸法制御(O) 棒鋼ミル張力制御(D) 加熱炉制御(O)
適応制御(A) 状態・パラメータ推定(P)	高炉炉況推定(P)	転炉成分・温度推定(P)	熱延ループ制御(A) 熱延巻取温度制御(A) 冷延ミル板厚制御(A) 冷延ロール偏心制御(P) 冷延形状制御(P)
ロバスト制御 外乱推定制御(RD) H^∞ 制御(H) 予測制御(RP)	高炉炉熱制御(RP)	連铸湯面レベル制御(RD,H)	熱延ループ制御(RD,H) 冷延加減速板厚制御(RD) 圧延機軸振動抑制(RD) 連続焼鈍炉板温制御(RP)
知的制御 エキスパートシステム(ES) ファジィ推論(F) ニューロ応用(N)	高炉操業支援(ES) 高炉炉熱制御(ES,F) 高炉炉況診断(N) 焼結返鉍制御(F) 焼結焼上制御(N)	転炉吹錬制御(ES,F) 連铸湯面レベル制御(N)	厚板パススケジュール(F) 熱延板厚セットアップ(F) 冷延タンデムセットアップ(F) CGLメッキ付着量制御(F) 加熱炉燃焼制御(ES)

ある。この工程では、古くから操業オペレータの勘を含めたノウハウと経験による制御が実施されており、操業ノウハウが豊富ともいえる。従来より、時系列モデルによる統計解析によって内部状態を推定し、操業ガイダンスとする事例や制御理論の適用によって高炉の予測制御を試みる事例があったが、80年代に、エキスパートシステム、ファジィ推論、ニューロネットワークといった知識工学を応用したシステム造りが盛んになった。現在は、操業ノウハウの整理とそのメンテナンスが課題であり、学習やデータベース技術を応用した操業支援システムとしての確立が期待されている。

- (2) 製鋼工程では、転炉と連铸が主たるプロセスとなる。転炉では、炭素を中心とした成分調整が最大の課題である。制御の主体は、静的な計画問題として捉えられるが、一部には、逐次パラメータ推定手法の適用がみられる。一方、連铸では、品質の高位安定化が課題である。铸型内湯面レベル制御や二次冷却水制御に最適制御やロバスト制御の適用がみられる。また、湯面レベル制御では、非線形を克服するためにニューロ・ファジィを適用した事例もある。
- (3) 圧延工程は、厚板、熱延、冷延の、圧延機制御のみならず、加熱炉や表面処理工程においても、制御理論を主体とした様々な制御手法が適用されている。圧延工程の特徴は、圧延の塑性加工特性、油圧系をはじめとした機械系の動特性など、理論解析や実験によって数式モデルが構築される部分が多いことである。また、線形・時不変としてモデリングしても、ある程度の近似精度を保てる。一方、制御理論の適用にはモデル（特に線形化したモデル）が不可欠である。そこで、これらのモデルを用いて制御系を構築し、実機に適用することによって品質・歩留りが向上した事例を数多くみることができる。熱延仕上げ圧延機のルーパー制御に最適制御やロバスト制御を適用し、張力やルーパー高さの安定化を図った事例、また熱冷延のタンデム圧延機の干渉（板厚と張力制御の干渉、およびスタンド間の相互干渉）の悪影響を除去し、板厚や張力制御の高精度化を図った事例などが特徴的である。特に、熱延ルーパーにおける制御理論の適用事例を比較すると、各手法の特徴をより詳細に理解できる。

2 最適制御の応用

2.1 最適制御とは

最適制御は、1960年にKalmanによって確立された¹⁾。最大の特徴は、すでに述べたように、制御対象の動特性を一階の微分方程式群で記述した状態空間モデルにある。状態空間モ

1.微分方程式によるモデリング

2.状態方程式の構築

$$\begin{cases} \dot{X}(t)=A(t)X(t)+B(t)u(t) \\ Y(t)=C(t)X(t) \end{cases}$$

3.評価関数の設定

$$J=\int_0^{\infty}\{X^T(t)QX(t)+u^T(t)Ru(t)\}dt$$

4.リカッチ方程式の解法

$$A^TP+PA-PBR^{-1}B^TP+C^TQC=0$$

5.最適制御入力の設定

$$u(t)=-R^{-1}B^TPX(t)$$

図1 最適レギュレータによる制御系の設計手順

デルでは、その形から明らかなように、多変数系をも同様の形式で記述できる。すなわち、その形態の中で、相互干渉を自然に記述していることになる。また、状態空間モデルによると、内部状態の情報を用いた制御として、状態フィードバック制御が実現できる。状態ベクトルは、システムの過去から現在に至る全情報を包含しており、モデルが正確であれば、状態フィードバック制御によって理想的な制御が可能となる。図1に設計方法の手順を示す。鉄鋼プロセス制御では、多くの操作量と制御量を扱う干渉系の事例が多くみられる。具体的には、冷延の板厚・張力の多変数制御や棒鋼ミルの寸法制御システムがある。欠点としては、評価関数における重み係数の設定に明確な指針がないこと、状態変数を観測できない場合には推定機構が必要なことなどがある。なお鉄鋼以外にも、航空機、自動車、ロボット、化学プラントなど、多くの産業分野で活用されている。

2.2 圧延機の最適制御²⁾

鋼板や帯鋼の圧延機では、一般に油圧圧下によるAGC (Automatic Gauge Control) によって板厚制御が行われている。特に、ゲージメータAGCでは、ゲージメータ式と呼ばれる板厚モデル式によって出側板厚を予測し、その偏差が零になるようにフィードバック制御を行う。そこで、板厚精度を向上させるためには、AGC系の動特性を材料硬度（塑性係数）によらず、常に最適化する必要がある。ここでは、最適レギュレータを用いて制御ゲインの最適設計を行った例について述べる。

図2に実機システムと適用結果を示す。また、本技術の特徴と成果を以下に述べる。

- (1) モデルは、圧延特性解析から得られた理論式を線形化した圧延特性モデルと油圧圧下系の動特性で記述される。
- (2) 最適レギュレータを用いて最適制御ゲインを解析的に導

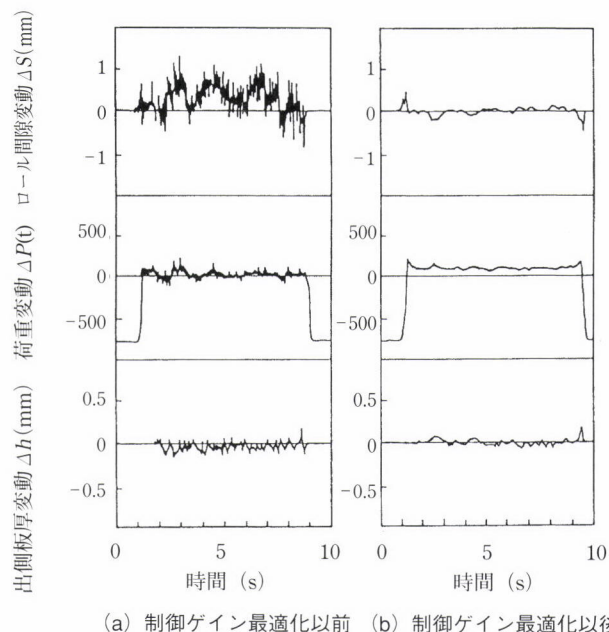
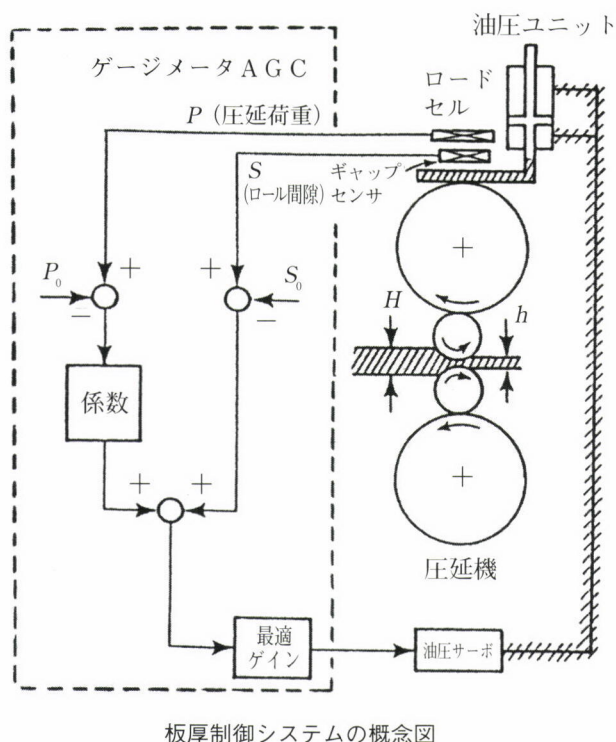


図2 最適レギュレータによる圧延機の板厚制御

出する。

- (3) 評価関数は出側板厚偏差と入力ペナルティ項の自乗積分の和とする。
- (4) 制御ゲインを未知数として構成したリカッチ方程式を解析的に求解することで、最適制御ゲインを圧延特性パラメータ（材料硬度を表す塑性係数やミル定数）と動特性を表すパラメータ（油圧圧下系を2次遅れ系で近似したモデルにおける減衰係数）で表現する。
- (5) 最適ゲインの適用により、圧延材料が変わっても、常に最適な応答性を得る。
- (6) 厚板仕上げミルに適用した結果、従来に比べ、板厚変動を35パーセント改善できた。

3 パラメータの逐次推定と適応制御の応用

3.1 適応制御とは

制御系の設計は、すでに述べたように、古典制御、現代制御を問わず、モデルが出発点となる。仮に、モデルの精度が十分に得られたとしても、実際の制御対象の中には、その動特性が変動する場合がある。動特性の変動が比較的小さい場合には、フィードバック制御の外乱抑制機能によって、制御量を目標値付近に制御できる。しかし、その変動が大きい場合には、変動前のモデルにより固定された制御則では期待した効果が得られず、場合によっては不安定化することもある。そこで、制御対象の動特性を表わすモデルパラメータの変動

を逐次推定手法によって時々刻々推定し、その情報に基づいて制御則を自動調整して制御系の動特性を常に適正化する手法が考案された。これは、制御対象の動特性の変化に制御則を適応させる意味から、適応制御と呼ばれる。図3に逐次推定アルゴリズムを説明し、図4に適応制御の概略を示す。

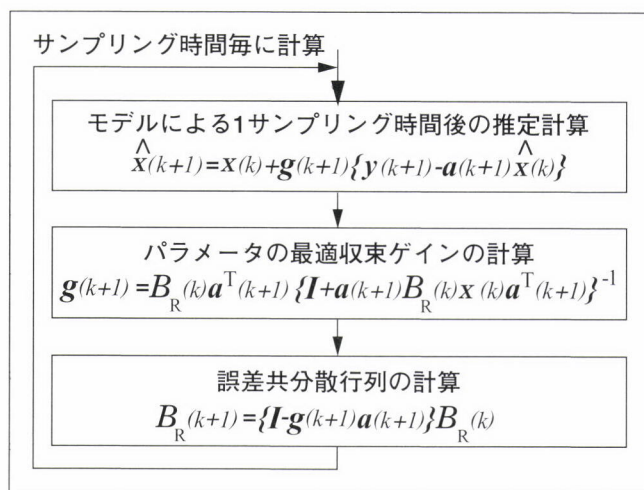
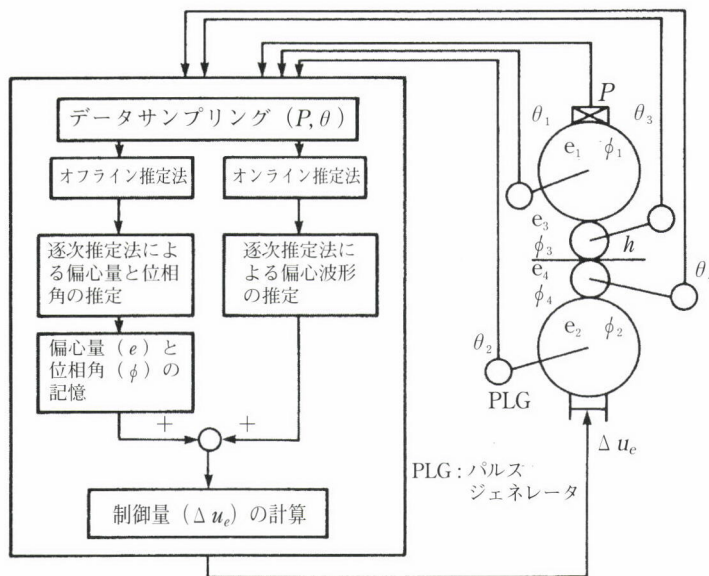


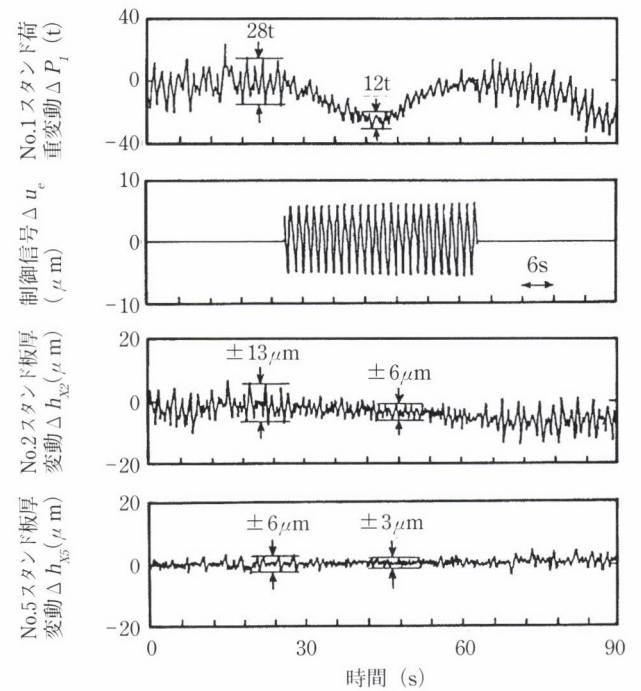
図3 パラメータの逐次推定アルゴリズム

1. 逐次推定機構の構築
2. 制御ゲインの設計
3. シミュレーションによる安定性の確認

図4 適応制御系の設計手順

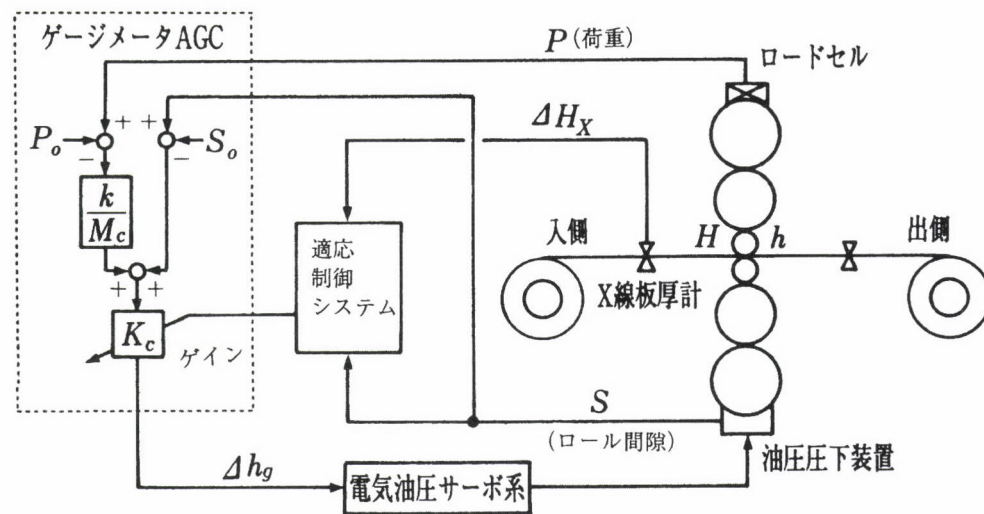


ロール偏心制御システム

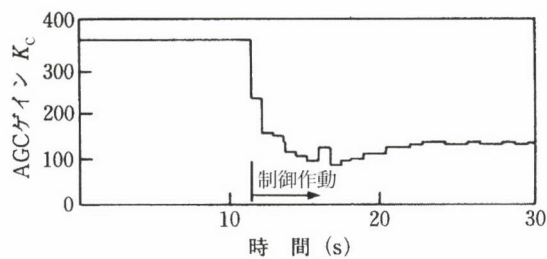
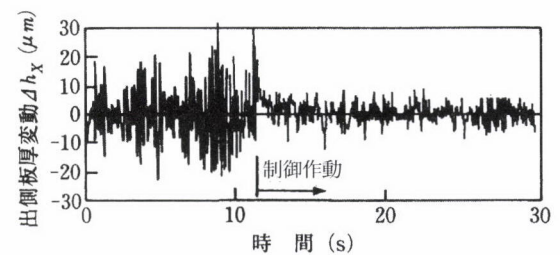


タンデム圧延機における実機適用結果

図5 逐次推定法によるロール偏心制御



ゲージメータ AGC と適応制御システム

(a) AGCゲイン K_c の適応修正状況

(b) 冷延レバースミルの出側板厚

適用結果

図6 適応制御による冷延ミルの板厚制御

3.2 逐次推定法によるロール偏心制御³⁾

ここでは、適応制御で用いられるパラメータの逐次推定法によるロール偏心制御技術を紹介する。

圧延機のロールには、固有の幾何学的な偏心が存在する。偏心はロール一回転毎の周期的外乱であるため、高周波の板厚変動を引き起こす。また、前項のAGCでは、偏心に対しては誤制御となる。そこで、ロール偏心を補償することによって板厚精度の向上をはかる必要がある。すなわち、各ロールの偏心量と位相角を推定し、圧延時にこれらの推定量に基づいて予測制御を行なう。ここでは、偏心量と位相角の各パラメータの推定に、適応制御で用いた逐次推定法を適用する。

図5に実機システムと適用結果を示す。本技術の特徴と成果を以下に述べる。

- (1) 偏心による荷重変動を各ロールの幾何学的偏心によって形成される正弦波の重ね合わせでモデル化する。
- (2) 上記モデルをベクトル表示し、偏心量と位相角で構成される未知ベクトルを図3の逐次推定法によって時々刻々推定する。
- (3) 推定されたパラメータを用いて各ロールの偏心量を予測し、その値に応じて圧下量を操作して、偏心を補償する。
- (4) 冷延タンデムミルに適用した結果、ロール偏心による板厚変動を1/2以下に抑制できることを確認した。

3.3 適応制御による冷延ミルの板厚制御⁴⁾

前項に述べたように、ゲージメータAGCの最適制御ゲインは、塑性係数や減衰係数で記述されるが、塑性係数は帯鋼内の熱分布によって変動する。また、減衰係数やミル定数も経時的に変化する。そこで、動特性の変化を時々刻々推定し、その情報によって制御ゲインを適応修正する。これによってAGC系の動特性を帯鋼内のパラメータ変動に煩わされず、常に最適な状態に維持することができる。

図6に制御システムと適用結果を示す。また、本技術の特徴と成果を以下に述べる。

- (1) 予めAGC系の伝達関数を差分によって離散値化し、逐次推定に用いる線形予測式を導出する。
- (2) 板厚計による入り側板厚変動とロール間隙変動のデータを用いて、線形予測式の係数パラメータを逐次推定する。
- (3) 推定されたパラメータを用いてAGCの制御ゲインを制御周期ごとに適応修正し、最適な値に逐次更新する。
- (4) 冷延ミルに適用した結果、板厚変動が適用前に比べて1/2に低減できることを確認した。

4 ロバスト制御の応用

4.1 ロバスト制御とは

最適制御の特徴は、状態空間モデルに基づく制御系の設計にある。言い換えると、モデルの精度に強く依存した設計法である。ところが、用いられるモデルには、線形化の際に無視した非線形性の影響、低次元化や経年変化に起因した不確かさが存在する。これによって、理論的に得られるはずの性能が実現できない場合がある。そこで、モデルの不確かさを考慮した制御として、ロバスト制御が登場した。一つの方法としては、モデルの不確かさを、システム方程式の係数行列の変動分で定義した上で、その最大特異値で定量化する。ロバスト制御は、この許容範囲内でシステムの安定性を保証し、応答性の仕様を満たすことを特徴とする。中でも、 H^∞ 制御はロバスト制御の最も注目される技術である。 H^∞ 制御の特徴は、直感的に理解し易い周波数領域においてロバスト制御系が設計できる点にある。この手法では、 H^∞ ノルムと呼ばれる尺度でモデルの不確かさ（最大特異値）を定める。これを用いて、周波数領域において外乱抑制性と目標値追従性を定める感度関数と、ロバスト安定化のための相補感度関数の特性を設計する。これによって、要求仕様に合致する制御系が設計できる。図7に H^∞ 制御による設計方法を説明する。応用事例としては、非線形性を予め見積もることが比較的容易な、熱延ルーパー制御、連鋳鋳型内湯面レベル制御、などがある。鉄鋼プロセス以外では、モータの速度制御や自動車のサスペンション制御に適用されている。

1.伝達関数によるモデリング($P(s)$)

2.感度関数の導出

$$S(s) = \frac{I}{I - P(s)K(s)}$$

3.相補感度関数の導出

$$T(s) = \frac{P(s)K(s)}{I - P(s)K(s)}$$

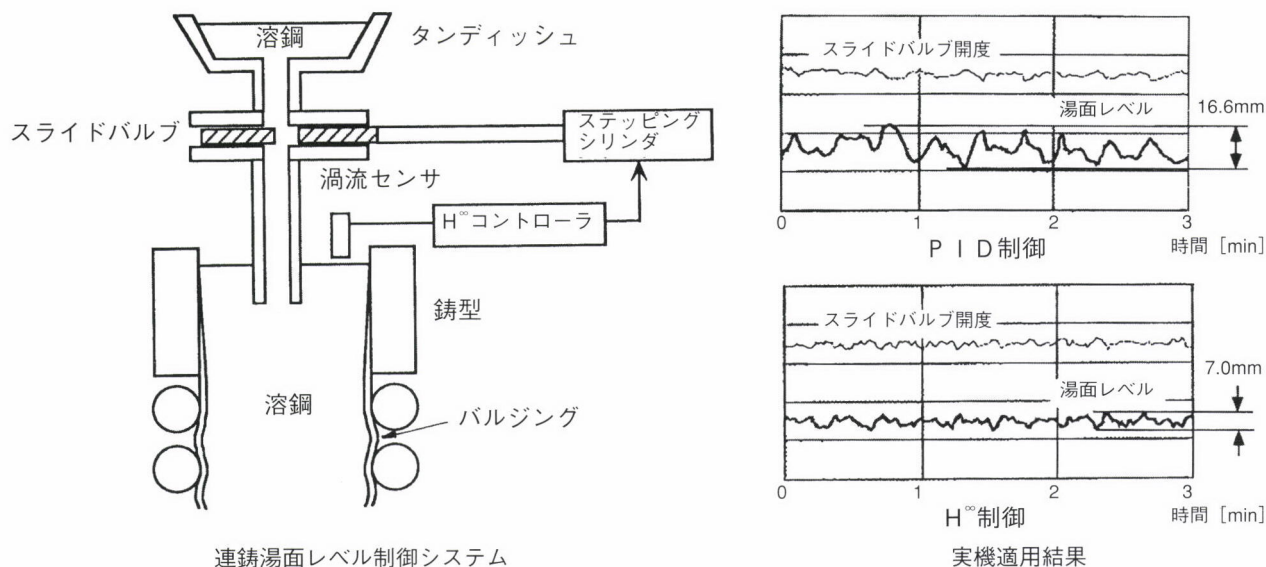
4.混合感度問題を満たす制御器($K(s)$)の設計 (リカッチ方程式の解法)

$$\left| \begin{array}{c} W_1(s)S(s) \\ W_2(s)T(s) \end{array} \right|_\infty < I$$

図7 H^∞ 制御による設計方法

4.2 ロバスト制御による連鋳の鋳型内湯面レベル制御⁵⁾

連鋳の鋳型内湯面レベル制御精度は、鋳片の品質や操業の安定化に大きな影響を与える。タンディッシュから鋳型への溶湯の注入は、スライドバルブによって操作される。系の動特性を考察すると、スライドバルブの非線形性に加え、バル

図8 H^{∞} 制御による連鑄の湯面レベル制御

ジングによる低周波外乱が存在する。そこで、 H^{∞} 制御によって、ロバスト安定を達成し、低周波外乱を抑制する制御系を設計する。

図8に制御システムと適用結果を示す。また、本技術の特徴と成果を以下に述べる。

- (1) 鋳型を積分特性で表し、ステッピングシリンダと渦流センサの特性を一次遅れ＋無駄時間系で近似することで、伝達関数による動特性モデルを構築する。
- (2) 感度関数は外乱（バルジングなどによる変動）を入力とし湯面レベルを出力とする伝達関数となり、相補感度関数は外乱を入力とし、制御器の出力信号を出力とする伝達関数となる。
- (3) 混合感度問題では、感度関数と相補感度関数をそれぞれの重み関数で整形する。ここでは、バルジングによる低周波外乱を抑制するため、感度関数に対応する重み関数において、低周波領域のゲインを大きくする。
- (4) スラブ連鑄機に適用したところ、従来のPID制御に比べ、湯面変動を1/2に低減できることが分かった。

5 制御理論応用の課題と展望

5.1 制御理論・制御技術の進展

制御手法としては、現在、化学プロセスにおいて適用が進んでいる予測制御が注目される。図9によって予測制御手法の概要を説明する。システム同定によって線形予測モデル（時系列モデル）を求めておく。一方、現在時刻を k とし、目標値（ $y_s(k)$ ）に対して、制御量を安定に収束させる希望の軌道（ $y_d(k)$ ）を予め与えておく。予測モデルと希望の軌道を用い、最適制御と同様に評価関数を設定して最小化するこ

とで、目標軌道に最適に収束させる入力を求めることができる。この入力式に過去の入出力値（ $u(k)$ と $y(k)$ ）を代入して、プラントに対する未来の入力（ $u^*(k)$ ）を時々刻々求め、制御を行う。本手法は、予測をともなう制御であることから、大きな時間遅れをもつプロセスの制御に有効とされている。また、希望の軌道を与えることで収束性を調整し、モデル化誤差を考慮できることから、ロバスト制御の範疇とも考えられる。鉄鋼プロセスでは、高炉の炉熱制御やクーラントによる圧延の形状制御などにその応用が期待される。

また、制御系設計技術としては、凸関数計画法を用いた数値解析アプローチによるLMI（Linea Matrix Inequality）手法が注目される。LMIによれば、制御系に要求される非線形性などの仕様をより直接的に扱うことができる。例えば、圧延機のロール間隙の操作や連鑄のスライディングバルブの操作に見られるように、制御器から発生される操作量には飽和回路が設定される。LMI手法によって、飽和性を考慮した最適制

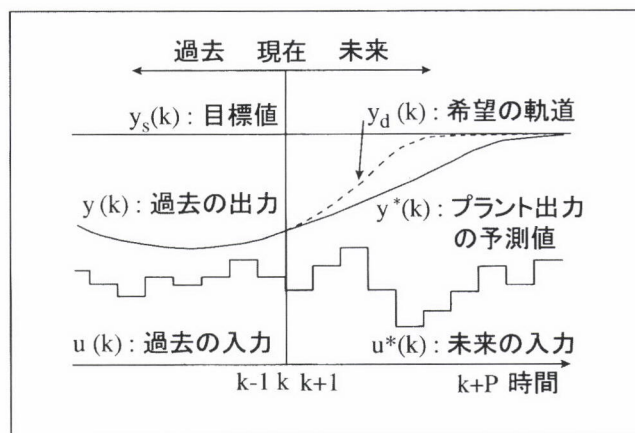


図9 予測制御の概念

御系の合理的な設計が可能となる。

なお、近年、状態空間モデル、最適レギュレータ、からLMIに至るまで、制御系設計用ソフトパッケージが充実しており、今後ともこの傾向が継続するであろう。適切な制御手法を選択できれば、効率的に制御系が設計され、シミュレーションでその性能が検証できる。問題は、如何に適切なツールを選択するか、である。

5.2 モデル化の課題

設計用ツールは整備されつつあるが、モデル化の課題は残る。すなわち、物理モデルを基に、制御に必要な情報の欠落を最小限に止め、メンテナンスが簡便で高精度の制御モデルを構築すること、またロバスト性が議論されるに至り、モデルと実プラントの誤差を見積もることが課題となる。それには、現象と物理モデルとに精通した制御対象の知識と制御理論、制御技術の融合が必要となろう。日本鉄鋼協会 計測・制御・システム工学部会では、制御モデルの標準化とデータベース化を目的とした「鉄鋼プロセスの制御モデル」フォーラム（座長：東京大学 木村英紀教授）を発足させ、産学共同による横断的な検討を行っている。

一方、モデル化は困難と考えられている対象を如何に制御するかも残された課題である。典型的な事例は、非定常現象と呼ばれる状態の制御であり、高炉の棚つり現象や熱延ルーパーの突発的なハンティング現象は、これにあたる。今後も継続してモデル化を押し進める研究を基本とするが、至らぬ部分はAI技術を用いた知的制御を活用し、補間することが有効となる。知的制御については、次回の講座で詳述する。

参考文献

- 1) R. E. Kalman : Bol. Soc. Mat. Mexicana, vol. 5 (1961) , pp. 102 ~ 119
- 2) 北村章, 能勢和夫, 小西正躬, 中田隆正 : システム制御情報学会論文誌, 2巻5号 (1989) , pp. 147 ~ 154
- 3) 北村章, 高橋哲也, 能勢和夫, 小西正躬, 菊地弘介 : システム制御情報学会論文誌, 2巻9号 (1989) , pp. 287 ~ 300
- 4) 中山万希志, 北村章, 能勢和夫, 小西正躬 : 第27回計測自動制御学会学術講演会予稿集 (1988) , pp. 481 ~ 482
- 5) 村上晃, 西田吉晴, 三木尚司, 松浦徹, 中尾勝 : 第16回自動制御連合講演会予稿集 (1993) , pp. 195 ~ 196

(1996年10月31日受付)

理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会を振り返って

学生プレゼンス分科会 1995年度主査((株)中山製鋼所) 一色孝史

1.はじめに

日本鉄鋼協会の創立70周年(1986年)記念の行事のひとつとして、日本の鉄鋼産業の最先端の研究や技術の理工学系学生への、より一層の理解を得るために標記の学生見学会を企画し、本年3月その第12回目を開催する予定である。

10年を経過した機会にこれまでの学生見学会を振り返り、学生プレゼンス分科会活動に対し、今後とも関係各位の御理解と御支援を御願いたい。

2.これまでの学生見学会

標記学生見学会の趣旨を本会会長から応募学生への挨拶状からレビューすると以下である。

「鉄鋼産業は、わが国の基幹産業として常に発展に努めており、さらに基礎研究に基づく技術開発、エレクトロニクスを活用した製鉄技術、大規模なエンジニアリング事業やプラント事業、そして新素材の開発など、時代に即応した革新的な展開を行っています。(中略)

こうした現状をみなさんに把握していただくと共に、将来について若々しい視点からのご意見も伺いたいと思います。この見学会の機会に受け入れ側の若手先輩諸君と専門分野ごとに突っ込んだ意見交換をされることを期待しております。

鉄鋼産業は、総合技術の集積の上に立っており、そのすそ野は極めて広く、理工学の各分野に立脚しています。その意味においてこれからの鉄鋼産業の発展は多くの理工学系研究者、学生諸氏の興味を引くものであることを疑いません。」

さて、昭和60年11月に開催された第1回学生見学会から本年3月に開催された第11回学生見学会までの会場数と参加学生数の推移は下表(表1)である。

鉄鋼産業を取り巻く内外の厳しい状況や学生の参加意識の高揚等を加味し、第10回より企業からの交通費等の下方修正(小ブロック制の導入)、第11回より複数見学(掛け持ち見学)の禁止等を実施し、参加学生へ応分の負担を要請し、更なる種々の費用対効果も考慮した。

参加学校数は当初の50校前後から第11回見学会では約3倍の

150校以上に達した。しかし、学校あたりの参加学生数は当初の約10人前後から1/5以下の約2人に急減してきているが、逆に学生見学会が広く日本全国に認知、浸透してきたと理解することもできる。

また、学科別参加学生者数比率は当初より大きな変化はなく、表2のように金属、鉄鋼、素材系学科が約45%、機械系学科が約25%、電気、電子系学科が約10%と続き、学科の分散にやや乏しい。(最近は大大学で多岐にわたる改組が行われ、学科名より正確な専攻や研究内容を把握するのが困難となっているが?)

表2 学生見学会の学科別参加者数比率(%)

学科	見学会	第8回	第9回	第10回	第11回
①金属、材料、鉄鋼		42	47	45	41
②機械、精密		25	20	17	25
③電気、電子		8	7	8	13
④工業、資源、エネルギー		7	5	5	7
⑤生産、創造設計		1	1	3	1
⑥土木、建築		4	3	6	7
⑦物理、化学その他		13	17	16	6
⑧計		100	100	100	100

学校別参加学生数の上位10校の推移は表3のように、各学校とも参加学生数は減少しているが、東北大学、熊本大学、北海道大学および愛媛大学等が常に上位を占め、第11回では上位10校(全158校)で約35%を占めている。

表3 学生見学会の学校別参加者数(人/学校)

学生見学会	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回
学校別参加者数(上位10学校)	熊本大34 東北大30 北海道29 姫路工大26 愛媛大23 名工大21 京都大20 広島大18 東京大17 大阪大16	山口大92 愛媛大65 北海道64 東北大56 大阪大52 熊本大47 秋田大33 広島大31 徳島大26 九州大20	愛媛大78 熊本大53 東北大52 北海道42 大阪大41 東京大29 秋田大33 広島大31 徳島大26 九州大20	東北大71 広島大56 北海道48 愛媛大36 熊本大32 九州大19 東京大17 名古屋大19 愛媛大17 琉球大17	東北大70 北海道53 広島大31 熊本大30 小高専30 工学院大23 九州大19 名古屋大19 愛媛大17 岡山理大18	東北大89 東京工大34 北海道32 愛媛大27 東京理大26 熊本大25 東京工大18 琉球大24 名古屋大23 岡山理大18	東北大39 北海道20 熊本大20 東京理大19 愛媛大19 熊本大18 東京工大18 名工大17 長岡高専9 広島大16 全沢工大11	東北大21 熊本大18 北海道18 愛媛大13 姫路工大13 関西大12 長岡高専9 九州大8 福山大8 工学院大7

表1 学生見学会の会場数、参加者数の推移(第1～11回)

学校見学会	第1回 S60.11	第2回 S61.07	第3回 S63.03	第4回 H01.03	第5回 H02.03	第6回 H03.03	第7回 H04.03	第8回 H05.03	第9回 H06.03	第10回 H07.03	第11回 H08.03
①会場数	7	8	9	14	15	18	19	20	18	16	14
②参加者数(延べ人数)	586	397	270	677	1102	1192	832	727	746	468	296
③参加関連学校数	58	42	43	59	82	93	92	90	99	107	158
④=②/③(人/学校)	10.1	9.5	6.3	11.5	13.4	12.8	9.0	8.1	7.5	4.4	1.9

学生見学会の終了時の参加学生へのアンケート結果の一部を表4、表5に示す。

鉄鋼産業へのイメージを暗いイメージと明るいイメージを対に2分類し、学生見学会前には約40%の参加学生しか鉄鋼産業への明るいイメージを持っていなかったが、社交辞令を考慮する必要もあるが学生見学会後には倍増（約80%）しており、学生見学会の意義が伺える。

また、学生見学会後の鉄鋼産業への関心度に関し、研究部門と製造部門で表5のような顕著な差異が認められる。鉄鋼産業の研究部門で働いてみたいと考えている学生が約30%であるのに対し、製造部門ではその1/3の約10%でありかつ関心度も低い。

ところで、広報分科会による正会員と学生会員を対象とした「広報活動に関するアンケート結果」では、学生見学会の知名度は非常に高く（約80%）、他の広報活動より広く認知されている。しかし、学生見学会が理工学系学生の「鉄離れ」現象の阻止に寄与しているとの回答は約1/3に留まっている。

3.学生プレゼンス分科会の今後の活動

鉄鋼産業を取り巻く厳しい試練に伴い、その都度学生見学会の存在等も含め真剣な議論を幾多となく繰り返し10年が経過し、学生見学会もひとつの区切りとして見直す時期、転機に差しかかっていると思われる。

プレゼンス活動は明確で定量的な評価が容易でない側面と近視眼的な一面のみを強調すべきでなく、鉄鋼産業の長期展望に立脚した側面を併せ持っている。

表4 学生見学会前後の鉄鋼業へのイメージの変化

学生 見学会	鉄鋼業への明るいイメージ 【花形、巨大、ハイテク、世界NO.1、将来性、自動化無人化、無公害等】							
	学生見学会前			学生見学会後				
	変化なし	変化あり	%	変化なし	変化あり	%		
第8回	36	+	5	=41	36	+	46	=82
第9回	41	+	5	=46	41	+	38	=79
第10回	33	+	7	=40	33	+	45	=78
第11回	27	+	5	=32	27	+	51	=78
学生見学会後の「鉄鋼業について」の自由記述の一例								
・ハイテクを駆使した巨大なスケールの産業である。								
・多岐にわたる分野の事業展開を行っている。								
・ものづくりの原点を目の当たりにして感動した。								

以上を考慮しながら学生プレゼンス分科会の今後の活動として、以下を検討中である。

(1)「ふえらむ」への学生会員向け記事の投稿

(2)「学生見学会」の見直しと「学生セミナー」

理工学系の学生を一般に対象にした従来の「学生見学会」は初期の目的をほぼ達成したと思われるので新規活動の大きな柱として、焦点を絞り、より特化した「学生セミナー」を、表6のような位置づけでの実施に向け検討中である。

「学生セミナー」の検討中の概要として、下記位置づけ以外に、テーマは最新、先端の2～3分野に限定し、募集人数は30～50名、日程は2～3泊、会場は2ヶ所、工場見学、懇親会や懇談会等も組み込む予定であり、本年3月の学生見学会に併設して試行する。

また、前記広報分科会による「学生セミナー」へのアンケート結果では、学生会員の約80%が参加の意志を示している。

(3) その他検討事項

- ① 日本鉄鋼協会、最近の鉄鋼業等のCDの作成
- ② 学生プレゼンスのためのホームページの設立
- ③ 企業と近隣の大学等とがタイアップしたコンテストやコンクールの開催
- ④ 学生の日本鉄鋼協会や企業への要望の調査

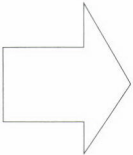
学生プレゼンス分科会の検討中の今後の活動に関し関係各位の御意見をいただければ幸甚である。また、今後とも御理解と御支援を御願いたい。

(1996年11月8日受付)

表5 学生見学会後の鉄鋼業への関心（見学者のみ）

部門 見学会 関心	研 究 部 門			製 造 部 門		
	9回	10回	11回	9回	10回	11回
①興味なし	8%	9%	8%	20%	20%	17%
②興味をもった	62%	58%	58%	69%	69%	72%
③働いてみたい	30%	33%	34%	11%	11%	11%
合計	100%	100%	100%	100%	100%	100%

表6 「学生セミナー（検討中）」の位置づけ

今回迄の 「学生見学会」			コース	主な対象	今後の方向性
		「学生見学会」	一般	学部および大学院生	修正、縮小 (第12回：平成9年3月)
		「学生セミナー」	特化	修士	先ず試験的に実施 (新規：平成9年3月)

本会ホームページ開設のお知らせ

本会は、インターネットにホームページを開設して本会情報の発信を行い、会員各位へのサービスを向上することになりました。内容は、協会概要説明、行事案内、入会案内、刊行物・図書資料情報、講演大会開催案内、研究活動情報、育成活動情報、助成活動情報、表彰情報等です。1997年1月より以下のアドレスで公開しておりますので、皆様のアクセスをお待ちしております。

<http://www.isij.or.jp/>

第132回秋季講演大会学生ポスターセッション報告

第132回秋季講演大会会期中(1996年9月29日)に北海道大学で開催しました学生ポスターセッションは、全国16大学より33件のポスター発表があり、大変好評裡に終了いたしました。講演大会協議会では、内容や発表方法が特に優れているポスターを選出し、優秀賞あるいは努力賞を授与いたしました。結果は次の通りです。

優秀賞：

天野真次 名古屋大学工学部 材料プロセス工学専攻修士2年
岡田和典 名古屋大学工学部 材料プロセス工学専攻修士2年
桐原聡秀 茨城大学理工学研究科 物質科学専攻博士1年
田添 晃 東洋大学工学部 機械工学専攻修士1年
堀 智弘 名古屋大学工学部 材料プロセス工学専攻修士1年
南 守 九州大学工学部 材料工学科修士2年

努力賞：

青木祥宏 大阪大学溶接科学研究所 工学部修士2年
越智通有 京都大学大学院 電気工学専攻修士2年
夏 宇 茨城大学理工学研究科 物質工学科修士2年
張 勝寒 大阪大学工学研究科 材料開発専攻博士1年
松本太平 大阪大学溶接科学研究所 修士2年
森川 拓 名古屋大学工学部 材料プロセス工学専攻修士1年

表彰式は、ポスターセッションに引き続き羊々亭(すすきの)で開催しましたISIJオープンパーティの席上で行われました。次回学生ポスターセッションは、第133回春季講演大会会期中(1997年3月28日)早稲田大学理工学部において、開催を予定しております。

本会情報一覧

記事内容	掲載号
第82回通常総会開催案内	本号 135頁
第133回春季講演大会 懇親会のお知らせ	本号 135頁
本会ホームページ開設のお知らせ	本号 136頁
第132回秋季講演大会 学生ポスターセッション報告	本号 136頁
シンポジウム「鉄鋼業における生産システムのフレキシブル化」開催案内	本号 137頁
切削・切断フォーラム講演討論会と見学会開催案内	本号 137頁
鋼構造品工学フォーラム「阪神大震災を踏まえ、今後どのような建築用鋼材が望まれるか」開催案内	本号 138頁
最終報告会「鉄鋼の高強度化と信頼性向上—高強度化の新展開」開催案内	本号 138頁
フォーラム「第2回ステンレス鋼の耐候性試験」開催案内	本号 138頁
シンポジウム「トランプエレメントの鉄鋼材料科学—スクラップ起因不純物元素との上手なつき合い方」開催案内	本号 139頁
材料の組織と特性部会「自主フォーラム」設置の募集案内	本号 140頁
シンポジウム「鉄鋼業における情報化社会への対応」開催案内	本号 140頁
鉄鋼研究振興助成（含む石原・浅田研究助成）第6回受給者のお知らせ	1号 60頁
第3回外国人博士研究員奨学助成募集案内	1号 61頁
第33回白石記念講座「発電事業とビジネスチャンス—わが国の電力事情の現状と将来」開催案内	1号 62頁
第2回世界製鉄会議（ICSTI'98）への参加案内	1号 63頁
本会インターネット電子メールアドレスのお知らせ	1号 63頁
出版案内	1号 73頁
会員異動・変更連絡のお願い	1号巻末
第3回次世代鉄鋼奨学助成の募集案内	12号 950頁
「鉄と鋼」小特集号「鉄鋼製精錬プロセスにおける界面物理化学の基礎と応用—平衡論の基礎と応用」原稿募集案内	12号 953頁
講演大会参加方法のご案内	11号 879頁
ISIJ International 特集号「Fatigue, Cyclic Deformation and Microstructure」原稿募集のご案内	10号 794頁

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日	行事（開催地）	締切	掲載号及び頁
1997年			
2月 7日	国際フォーラム「スーパーメタルの創製」（東京）		1号 68頁
7日	塑性加工シンポジウム「高精度塑性加工における型と潤滑技術の最新動向－高精度とコストダウンの両立」（大阪）		1号 68頁
17,18日	HPI技術セミナー「石油等貯槽技術基準と安全性」（東京）	1997/2/10	本号 145頁
17,18日	原子力構造機器の材料、設計、施工、検査に関する講習会（東京）		本号 145頁
21日	関西支部 講演会・2月見学会（加古川）	1997/2/7	1号 65頁
21日	混相流レクチャーシリーズ「基礎から最前線まで」（東京）	1997/2/14	1号 68頁
26日	第33回白石記念講座「発電事業とビジネスチャンス－わが国の電力事情の現状と将来」（東京）		1号 62頁
3月 3～5日	チタン合金及びチタン金属間化合物に関する日中ワークショップ（つくば）		本号 145頁
4日	東海支部 若手材料研究会 第21回研究会「エコマテリアル研究の現状と課題」（豊橋）	1997/2/28	本号 141頁
4日	フォーラム「21世紀における軽金属加工技術」（東京）		本号 145頁
11～12日	学生セミナー「鉄鋼の最先端技術」（鹿嶋）	1997/1/20	11号 886頁
11～13日	第12回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会（全国15会場）	1997/1/20	11号 885頁
11～14日	第2回アーキテクチャ東京「快適環境創造のための建築・設備・技術総合展」（東京）		本号 145頁
13日	九州支部 総会・湯川記念講演会・講演討論会（北九州）		本号 141頁
15～29日	学生会員向け '97年北欧の大学・研究所・製鉄所めぐり（ストックホルム、他）	1997/1/17	12号 954頁
18日	切削・切断フォーラム講演討論会・見学会（名古屋）	1997/3/5	本号 137頁
18,19日	シンポジウム「トランプエレメントの鉄鋼材料科学－スクラップ起因不純物元素との上手なつき合い方」（東京）	1997/2/28	本号 139頁
25日	シンポジウム「新しい車体構造形成技術」（東京）	1997/3/11	本号 145頁
26日	鋼構造品工学フォーラム「阪神大震災を踏まえ、今後どのような建築用鋼材が望まれるか」（東京）	1997/3/7	本号 138頁
27～29日	第133回春季講演大会（東京）	1997/1/9	11号 877頁
27日	第82回通常総会（東京）		本号 135頁
27日	第133回春季講演大会 懇親会（東京）	1997/3/14	本号 135頁
28日	シンポジウム「鉄鋼業における生産システムのフレキシブル化」（東京）		本号 137頁
28日	シンポジウム「鉄鋼業における情報化社会への対応」（東京）		本号 140頁
29日	最終報告会「鉄鋼の高強度化と信頼性向上－高強度化の新展開」（東京）		本号 138頁
4月 4日	関西支部 総会・湯川記念講演会・懇親会	1997/3/19	本号 141頁
15日	フォーラム「第2回ステンレス鋼の耐候性試験」（東京）		本号 138頁
5月 7～9日	第6回復合材料界面シンポジウム（大阪）	1997/1/10	12号 963頁
23～25日	第28回塑性加工春季講演会（東京）	1997/2/7	1号 68頁
28～30日	第2回日本計算工学会講演会（東京）	1997/1/31	1号 68頁
6月 18～20日	第2回国際工業炉及び周辺機器展「人類の未来を創る熱技術」（東京）		本号 145頁
24～26日	第9回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム	1997/2/28	本号 145頁
7月 3,4日	混相流シンポジウム'97（北海道）	1997/3/31	本号 145頁
8～11日	第2回PIV国際会議（福井）		12号 963頁
8月 1日	工学・工業教育に関する研究講演（東京）	1997/3/10	本号 145頁
9月 24～26日	第134回秋季講演大会（仙台）		
10月 26～31日	第8回核融合炉材料国際会議（仙台）	1997/2/28	11号 893頁
29～31日	先端材料国際会議（豊橋）	1997/3/15	12号 963頁
1998年			
3月 22～25日	第2回世界製鉄会議（ICSTI'98）（トロント）	1997/2/28	1号 63頁

編集後記

中学に上がって最初の数学の授業。黒板に「 $1-2=$ 」と書いて、その答えは？と先生。「？？？」「そんなのできないよ」などとぞわめいていると、「 $-1-2$ は？」と追い討ちがきた。そのとき某君が一人手をあげて、「その -1 というのはゼロ以下の数ですか？」と反問した。がぜん教室は沸騰、質問が渦巻き、負数という初めての概念に子供たちは興奮した。そのときのエキサイティングな授業風景は、だれもが思いもよらなかった発想をひとり先生にぶつけた某君への畏敬の念とともに、理想の授業の原体験として今も記憶に鮮明である。

素晴らしい授業をする素晴らしい先生があれば、子供は好奇心を燃やしてついて行く。科学技術における基礎教育の環境にとって、こんな先生と子供たちのコミュニケーションこそ最も大切な要素の一つではないだろうか。

今の実際の教育がどうなっているのかは、嘘か真か、マスコミ等の情報でうかがい知るのみである。みだりに説をなすのものがかとは思われるが、理工学教育最前線特集に因んで、遠い記憶の中からささやかな実体験を拾いあげてみた。(T.K.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 阿部 光延 (新日本製鐵 (株))

副委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

委員 石井 邦宜 (北海道大学)	石井 満男 (新日本製鐵 (株))	梅本 実 (豊橋技術科学大学)
上村 正 (いすゞ自動車 (株))	川田 豊 ((株) 神戸製鋼所)	北村 高士 ((株) ニューマーケット)
小林 正人 ((社) 日本鉄鋼連盟)	近藤 隆明 (NKK)	佐藤 駿 (住友金属工業 (株))
手塚 誠 ((社) 日本鉄鋼協会)	友田 陽 (茨城大学)	中村小夜子 ((社) 日本鉄鋼協会)
古田 修 (愛知製鋼 (株))	三宅 苞 (川崎製鉄 (株))	柳 謙一 (三菱重工業 (株))
山口 周 (名古屋工業大学)		

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000 円 (消費税本会負担)

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan Price: ¥2,000 (Free of seamail charge)

1996年5月10日 第3種郵便物認可 1997年2月1日印刷納本・発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館内 島田 仁

印刷人/印刷所 東京都新宿区三栄町20-3 (新光オフィソーム) (株) ニューマーケット

発行所 社団法人日本鉄鋼協会 〒100 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館3階

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021 (代)

学会部門事務局: 03-3279-6022 (代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023 (代)

FAX: 03-3245-1355 (共通)

郵便振替 口座東京00170-4-193 番 (会員の購読料は会費に含む)

©COPYRIGHT 1997 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写する場合は、本会が複写権を委託している次の団体に許諾を受けて下さい。

学協会著作権協議会

〒107 東京都港区赤坂9-6-41 社団法人 日本工学会内 TEL 03-3475-4621 FAX 03-3403-1738

また、本会は上記団体を通じて米国Copyright Clearance Center, Inc. と、また本会独自に米国Institute for Scientific Informationと複写権に関する協定を結び、双方に本誌を登録しています。従って、米国において本誌を複写される場合は、次のいずれかの機関の指示に従って下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA TEL 001-1-508-750-8400 FAX 001-1-508-750-4744

Institute for Scientific Information

3501 Market Street Philadelphia, PA 19104 USA TEL 001-1-215-386-0100 FAX 001-1-215-386-6362

表紙デザイン 出澤 由野

ふえらむ Vol.2 No.2 広告目次

表2 住友金属テクノロジー(株)	前2 テイサン(株)	エア・リキード	後1 株協会通信社	広告案内
試験分析サービス	3 テイサン(株)	エア・リキード	2 株大同分析リサーチ	試験分析サービス
前1 コマツエンジニアリング(株)	4 日新技研(株)	各種ラボラトリ装置	表3 島津メクテム(株)	寸法測定装置
摩擦摩耗試験機	後1 本誌広告目次		表4 日本アナリスト(株)	各種分析装置

本誌広告取扱 **株協会通信社** 〒104 東京都中央区銀座7丁目3番13号
TEL.03(3571)8291・FAX.03(3574)1467

*Please allow us to advertise
your excellent products and technology.*

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANE

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

Spring: No. 1, 2, 3. Autumn: No. 4, 5, 6.

Circulation: 3,000 Copies each. Written in Japanese.

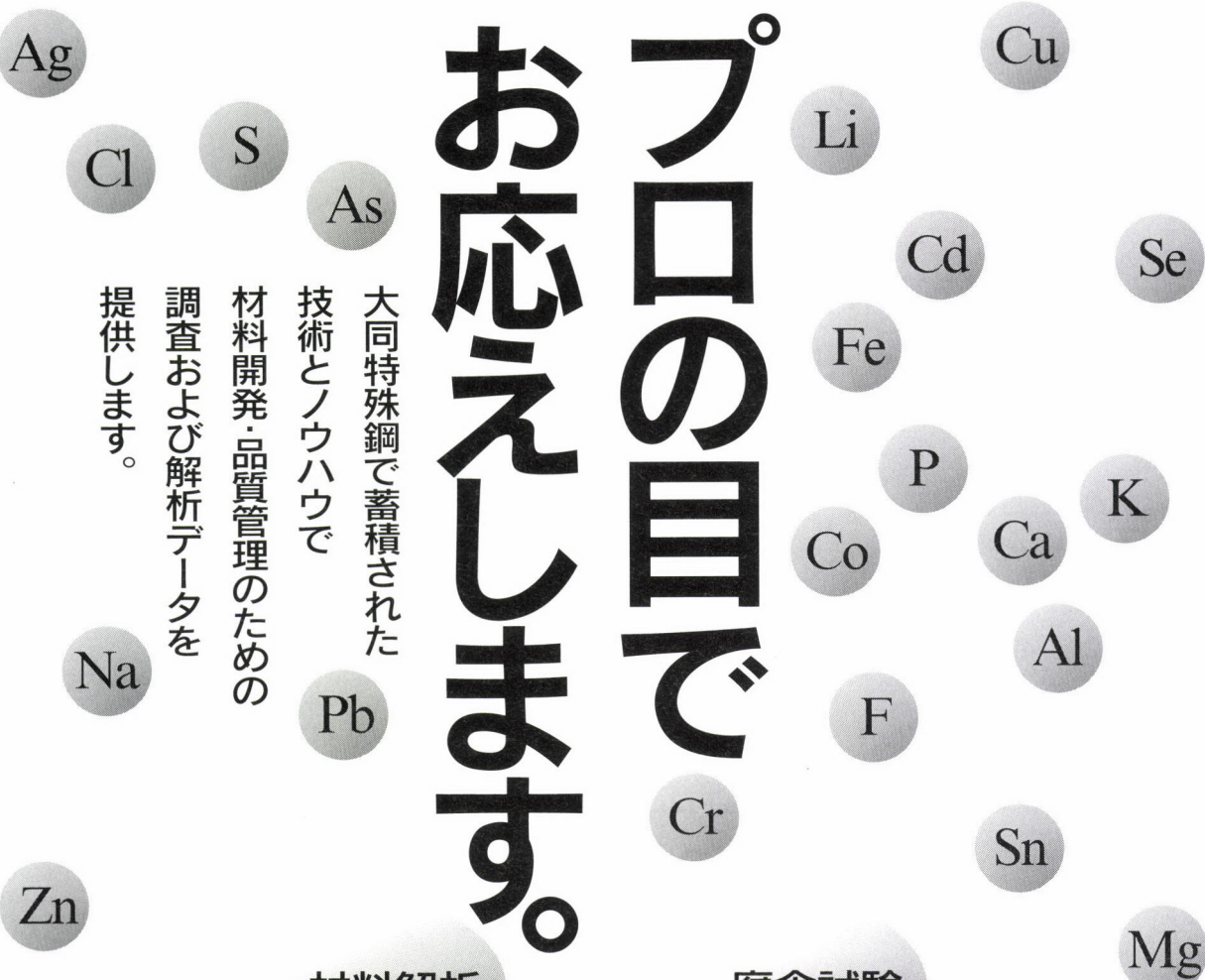
*For more Information,
Write or Facsimile.*

**ADVERTISING AGENCY for
The Iron and Steel Institute of Japan
KYOKAITSUSHINSHA CO., LTD.**

**3-13, GINZA 7 CHOME CHUO-KU.
TOKYO 104 JAPAN
Tel. 03-3571-8291 • Fax. 03-3574-1467**

プロの目で お応えします。

大同特殊鋼で蓄積された
技術とノウハウで
材料開発・品質管理のための
調査および解析データを
提供します。



材料解析

実施例／各種材料の
破断原因調査

腐食試験

実施例／金属、ステンレス等の
沸騰試薬腐食試験

分析調査

化学成分分析

実施例／鉄鋼、非鉄金属の
成分分析

環境分析

実施例／産業廃棄物の分析
工場排水の測定

大同特殊鋼グループの総合試験分析研究会社



株式会社 大同分析リサーチ

DAIDO BUNSEKI RESEARCH, INC. ; DBR

〒457 名古屋市南区大同町2丁目30番地 大同特殊鋼株式会社技術開発研究所内

TEL 052-611-9434・8547 FAX 052-611-9948

E-MAIL:jshimogo@dbr.daido.co.jp

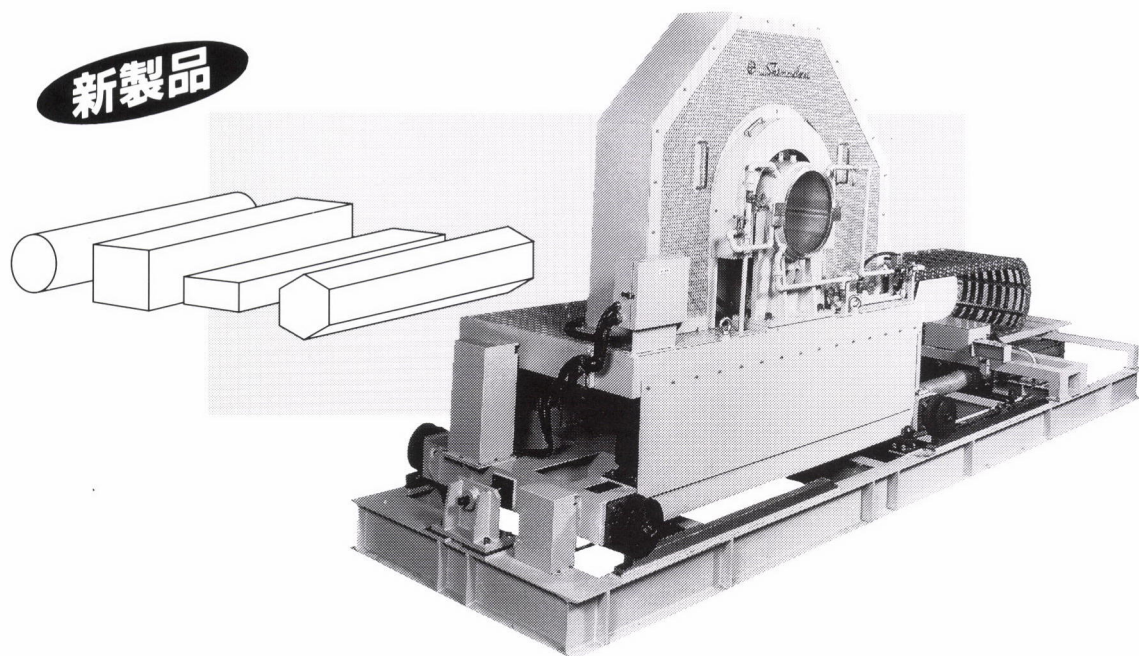
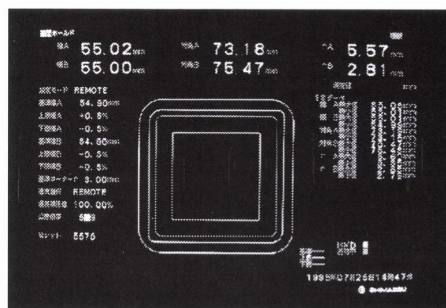
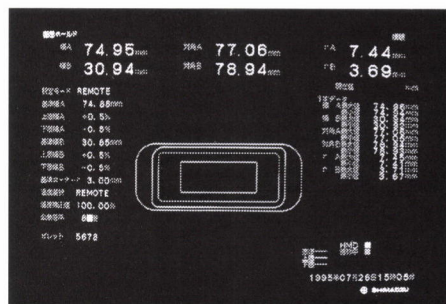
SHIMADZU

角鋼(四角, 六角, 平鋼)の圧延 工程中の省力化

島津回転式寸法測定装置

SMSシリーズ

1. 角鋼(四角, 六角, 平鋼)の対辺, 対角, コーナ
R等の寸法を圧延工程中に計測できます。
2. 熱間圧延中および冷間精整ラインに使用できます。
3. 回転方式であるため, 全長にわたり計測ができます。
4. 非接触測定のため, 被測定物に傷をつけません。



新製品

販売元

⊕ 島津メクテム株式会社

本 社 〒520-21 滋賀県大津市月輪一丁目8番1号
東京支店 〒101 東京都千代田区神田錦町二丁目9番地 大新ビル5階
大阪支店 〒532 大阪市淀川区西中島5丁目2番5号 中島第二ビル4階
名古屋営業所 〒468 名古屋市天白区塩釜口二丁目1501番地 フェイム塩釜3階

TEL. (0775) 45-8565 FAX. (0775) 45-8277
TEL. (03)3219-5858 FAX. (03)3293-5408
TEL. (06)300-0017 FAX. (06)300-0073
TEL. (052)836-8121 FAX. (052)836-8122

本誌広告取扱 株式会社 協会通信社 〒104 東京都中央区銀座7丁目3番13号
TEL.03(3571)8291・FAX.03(3574)1467



不慣れな人にも使い易く、多量の分析を
こなすプロの分析にも威力を発揮します

Carbon, Hydrogen, Nitrogen, Sulfur, Oxygen



(台はオプション)

◀ CHN-1000型

炭素・水素・窒素

同時分析装置

0.2gから0.5gの試料量のマクロ分析

石炭・コークス・石油・食品・

農産物に適します

CHN-900シリーズ▶

元素微量分析装置

試料サイズ(通常)……2mg

CHNS-932型

- C・H・N・Sを同時に分析します
- 所要時間は4元素で3分以内です
- VTF-900型熱分解炉を連結すると酸素の単独分析も出来ます

CHN-900型

- C・H・Nを同時に分析します



LECO CORPORATION
U.S.A.



ISO-9002

No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

日本総代理店

日本アナリット株式会社

本 社 〒141 東京都品川区西五反田 3-9-23
 ☎ (03) 3493-7281 代 FAX (03) 5496-7935
 大阪支店 〒560 大阪府豊中市岡上の町 2-6-7
 ☎ (06) 849-7466 FAX (06) 842-2260
 九州営業所 〒804 北九州市戸畑区汐井町 1-1 (戸畑ステーションビル)
 ☎ (093) 884-0309 FAX (093) 873-1190