

翠 巒



平成10年 1月

第11号



(日の出 佐藤静昭氏 撮影)

もくじ

<巻頭言>		
大競争時代における工学の役割	四ツ柳 隆夫	1
<特別記事>		
産学の新しい展開のために	阿部 博之	3
<企業紹介>		
総合力を結集し、グローバルな展開のトップを目指すICの宮城沖電気	宮城沖電気株式会社 小池田 敏晃	5
ゼラチン 大きな可能性を秘めた素材		
研究開発を推進、新しいニーズへの対応を目指して	宮城化学工業株式会社 稲井 善孝	10
<研究プロフィール>		
「耳から音が出てくる」という現象、耳音響放射	和田 仁	14
粒子線を用いた核融合炉材料の研究とその応用	阿部 勝憲	19
電波の理論とその応用	澤谷 邦男	25
液晶ディスプレイの研究開発	内田 龍男	31
廃プラスチックのケミカルリサイクルリング	奥脇 昭嗣	37
生体の穏やかな分子反応機構に学ぶ —運動機能材料の創製—	鈴木 誠	41
感潮域の水理 —仙台近辺の河口で起こっていること—	田中 仁	45
計算機アーキテクチャ	中村 維男	50
財団法人青葉工学振興会の事業内容について	中塚 勝人	56

題字の 翠巒(すいらん)とは「みどりの山」又は「みどりの連山」のことであるが

代って青葉山の意に用いたものである。

なお、武山斌郎元青葉工学振興会理事長の揮毫によります。



言 頭 卷

大競争時代における工学の役割

四ツ柳 隆 夫

二十一世紀を待たずに既に我々は歴史的な大転換点にいと誰しもが思っています。しかし、次なる世代への道しるべについては多くの意見があるとはいえ、見通しは定かではありません。

非常に長い時空のスパンで学問の流れを概観するとき、私は次のような見方にある種の妥当性を見出します。それは、人の生き方に関連する視点です。太古からの宗教が社会を動かしてきた時代の学問が宗教学・神学であり、人々が理性に基づいて生きようとする時代に来ての哲学の時代、そしてデカルトの生み出した方法論の例を引くまでもなく、そこから脈々として生まれてきた科学、それが大発展し科学の世紀といわれた二十世紀、というように数千年に及ぶ時系列で学問の変遷を概観する視点です。

神様から次第に人間くさくなってくるこの流れ

の底には、人間の幸せを願う暗黙の意志が流れているように見えます。

我田引水ながら、工学の原点的目標が「人類の福祉のために」であるとすれば、上記の学問の流れは明確に「テクノロジ」の時代の到来を指し示しているのではないだろうか。テクノロジが人間の福祉を担う最も重要な役割を果たす時代の到来です。この場合のテクノロジは従来のような技術学の枠を超えて、文化として、人々に「生き甲斐を生み出すもの、生きがいを創造する工学」になっていくものと思います。これは「大競争時代」からその先の「持続可能な発展の時代」へと進む過程で更に重要かつ現実のものとなっていくものと見ています。

この様な流れをふまえて、大学は当面の大競争時代で重要な役割を果たし、生き抜いていく戦略

が必要です。

科学技術基本法の制定に始まった我が国の科学技術政策は、大学により現実に社会との連携を期待するものとなってきています。基礎研究に対して科学研究費予算を一千百億円の規模に増強するとともに、新しく文部省予算の中に「項」として「産学連携等研究費」を設け、ここに一千億円を投入したことです。この両者ともに、文部省が大蔵省に要求した以上の金額が計上されると言う、この緊縮財政のさなかにあつて全く異例の配慮がなされています。

この様な状況の中で、工学研究科が世話部局として進めてきた第四世代の産学研究協力センターである「東北大学未来科学技術共同研究センター」の開設が採択され、リエゾン専任教授¹、開発研究専任教授⁵、国内からの客員教授²、外国からの客員教授²、助手³の陣容が予算化されました。これらを核として、東北大学では更に拡充した形でこの四月から活動を開始する予定です。これらの専任教授は五年プラスマイナス二年の長期研究休暇の様な形で所属部局を離れ、学内外からの研究者（国内外からのポストドクトラルフェローや企業からの研究員等）をパートナーとして開発研

究に専念する体制を取ります。研究費は企業との共同研究費、各省庁等の競争的研究資金、ベンチャービジネス・ファンド等から調達します。

センターの設置と共に、学外に「技術移転機構」（株式会社の予定）を設置し、大学が生み出す知的資産の運用・流通とそこから生まれる収益の一部を大学に還元し、米国の大学のような大学基金を形成する方法を検討しています。

先にも述べました厳しい国家予算のさなかでの新しい提案が認められたのは、東北大学が研究大学として設置されて以来の実学の精神が脈々と流れていたからに他なりません。過去三年間の東北大学における発明届け出件数が三二一件を数え、第二位の大阪大学の二〇六件、第三位の東京工業大学の六七件など、他の主要国立大学を大きく引き離している実績がこれを雄弁に物語っています。

このセンターから、大学の頭脳が生み出す新しい産業、いわゆる「頭脳産業」が生まれ、それが人々に生き甲斐をもたらすテクノロジとの連携の下で発展していくことを期待しています。

（工学研究科長・工学部長）



特別記事

産学の新しい展開のために

東北大学総長 阿部博之

米国MITのレスター・C・サロー教授が、平成九年（一九九七年）九月、河北新報の一〇〇周年記念シンポジウムに出席のため仙台を訪れた。新産業をおこすためや、経済的發展を促すために、政府にやれる第一は教育改革に投資することである、との見解を河北新報に寄せている。

経済や産業のポータレス化が進んでいることは、多くの日本人が認めている。また、科学技術が本質的にポータレスであることを疑う人は少ない。

産学協力の目的に、新産業の創出がある。特に萌芽的な科学技術の創製は他の私的公的機関に比べて大学に最もむいているといえる。また、大学における科学技術の高いポテンシャルは産業の足

腰に不可欠な栄養である。さらに長期的視野に立った産業の未来戦略は、文系理系を問わず大学の研究なしにはあり得ない。

大学の役割はもちろん産学関係だけではない。しかし、米国の知識人からはしばしば耳にする、前述のサロー教授のような意見は、わが国においては希薄であったが、今こそ傾聴すべき時ではないだろうか。

米国の大学における産学協力の仕組みは近くは一九八〇年頃から整備が進み、今日のように強力になった。米国が、規格大量生産において、わが国に追いつかれ、危機感をもつようになった頃からである。わが国の大学はこの点において米国から大きく水をあけられてしまった。このことは、

わが国の大学に創造的な仕事をする研究者が少なかったことを意味するものではない。

産学協力のポードレス化が急速に進んでいる。米国の研究大学と大学間競争ができる大学の整備が急がれている。文部省、通産省等は、省庁の壁を越えて産学の推進に乗り出した。種々の研究費が、文部省以外の省庁からも大学に入るようになった。平成十年（一九九八年）四月からは、産学協力を業務とした、未来科学技術共同研究センターが発足する。これらはいずれも画期的な変化である。しかし産学協力の仕組みの真の整備は、

このセンターが十分な成果をあげていくことができるようにすることを含めて、これからである。

産学は、関係企業や研究者にメリットがなければならぬが、同時に学生や学部、大学にとってもメリットがあり、かつ透明度の高い仕組みでなければ国際競争にはむかない。このためには、これまで大学や産業と直接の係わりをもっていなかった省庁等の理解も大切である。

しかしそれ以上に大切なことは、大学が研究教育の府であることを忘れてはならないことである。

（平成九年十一月）

企業紹介

企業紹介



総合力を結集し、グローバルな展開
のトップを目指すICの宮城沖電気

宮城沖電気株式会社

代表取締役専務

小池田 敏 晃

一、はじめに

電子情報産業は新しい文明の怒濤として産業の新しい流れや生活の様式を変え、その上社会の仕組そのものを変革する原動力になって久しいものがあり、さらに昨今その速度と勢いを増しつつあることは各界の皆様的一致したところと思います。

宮城沖電気株式会社は二十一世紀にもそのまま発展が引き継げるこの産業分野に席をおく沖電気工業株式会社の最重要関連会社として一九八八年の四月に設立された会社です。その使命はあらゆる産業機器、民生機器やシステムの頭脳となる高性能、高品質、高集積のICを供給することにあります。

ます。

沖電気グループには既に九州の宮崎県に同じ使命を担った宮崎沖電気株式会社が操業しておりましたが、顧客への安定供給を基本とする考えからもう一つの拠点を設立することにし、此処宮城県にお世話になるべく進出した経緯があります。

宮城県庁や大衡村、近隣の市町の関係者の熱心な誘致活動、土地の確保、大事な水資源の確保等で多くの支援と指導を戴いて実現した次第です。その他、大事なポイントは入社してくれる人材です。設立する三年程前から採用を始め本社のIC工場や研究棟での実習や企画、総務、経理の実地訓

練を行ない沖電気からの出向者を加えて当初一〇〇人でスタートし一九九七年の現在約一二〇〇人の人員規模になっています。東北の宮城県に進出した理由の一つは人材に期待するところがあります。東北人の根張り強さと東北大学に代表される物作り、工学の独創力豊かなレベルの高い人材の確保にありました。当初は採用担当はご苦労したようですが、会社の操業開始以来の比較的順調な発展、会社規模の拡大に伴って期待される人材を各方面から確保できるようになってきています。将来の事業展望を見透えてバランスの取れた人材確保が重要であり、あらゆる専門分野すなわち技術系事務企画系、製造系について定期、不定期の採用を続けています。

二、宮城沖電気理念

宮城沖電気には設立以来の行動理念があり、顧客・地域・沖電気そして社員に対応しております。

(一) 人間性の尊重

- (二) 安全、無公害な操業
- (三) 地域発展のシンボルとなる会社
- (四) 二十一世紀にも続けて発展する会社
- (五) CIMシステムの活用

(コンピュータ・インターネット・マネージングの頭文字)

これは宮城沖電気的事業目的は「社会に貢献すること」、さらに「顧客、株主、社員の利益をはかる」を基本としていることによります。

三、会社運営の基本方針

当社の顧客、技術、環境関連の展開は、現在グローバル化されており世界に通じるマネジメント・システムで活動内容を透明化することで経営の効率化とともに顧客や地域の正しい評価を得る必要があります。そのために事業の運営品質に関するISO9000と地球環境保全に関するISO14000を会社運営の二大マネジメント・システムとし経営者、従業員の仕事展開の原則としております。

(一) ISO9000の方針

「我々はワールドワイドのユーザーに満足していただくために品質マネジメント活動を通して、

- 1、品質のよい、競争力のある商品
 - 2、タイミングよく、安定供給
- そのために、全社員一体となって全ての業務展開のスピードを上げ、常に高い目標を掲げチャレンジする」

(二) ISO14000の方針

「環境スローガン：私たちの行動で大切な地球環境を守り続けます。」

1、基本方針

宮城沖電気は、地球環境の改善が人類共通の最重要課題の一つであることを認識し、企業活動のあらゆる面で地球環境に配慮して行動する。

2、行動指針

具体的に指針を立てて、実行し、環境の継続的改善を図る。
この(一)、(二)を社内のあるところに掲示し、社員にカードを持たせて徹底をはかっております。

四、宮城沖電気株式会社のおゆみ

- 一九八七年十二月起工式
- 一九八八年四月会社設立、十月最初の製品出来、十二月県、村と公害防止協定調印
- 一九九〇年五月総合グラウンド、テニス

コート、ゴルフ練習場完成、八月納涼祭実施

一九九二年二月桜の木百二十本植樹、十月エネルギー管理優良工場認定、「労働衛生」宮城労働基準局長努力賞受賞

一九九四年七月第二生産棟起工式

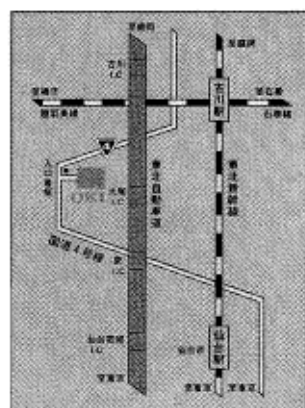
一九九五年六月第二生産棟量産スタート、十月宮城労働基準局長優良賞、十二月安全運転管理優良事業所として表彰

五、会社の内容、規模

- (一) 所在地 本社、工場／宮城県黒川郡大衡村沖の平一番

宮城沖電気株式会社

〒981-93 宮城県黒川郡大衡村沖の平1番
☎ 032(945-121) (代)



会社設立に合わせ、地元大衡村のご好意により、所在地周辺の地名を「大字駒場彦右衛門橋」から「沖の平」と改名していただき命名碑を建立して記念しました。

(二) 事業内容 半導体集積回路の製造販売(ウエハプロセス処理から組立、テストの一貫製造ラインを揃えているが、組立、テストについては約五〇%を地元の関連会社、東北大蔵電気、鹿島台電子に業務委託、およびタイ、米国の沖電気関連会社に出しています。)

(三) 生産規模(一九九七年見込)
ICの個別チップ・ベースで約一〇〇〇万個/月、完成品ベースは地元委託を含めて約七〇〇万個/月、
主要製品 汎用メモリ(一Mb、四Mb、十六Mb、六十四Mbのダイナミックメモ



命 名 碑

Memory				ASM			ROM			Logic	
DRAM				512K 1M 4M 3M 4M			1M 2M 4M 8M 16M 32M			30K~2Mgate	
45/50 60/70 ns	50/60 70 ns	50/60 70 ns	50/60 ns	Video RAM Flash Memory Pseudo SRAM Serial Register			MASK ROM EP ROM FLASH			ipd: 110ps (0.35μ)	
×1 ×4 ×8 ×16	×1 ×4 ×8 ×16	×2 ×4 ×8 ×16	×4 ×8 ×16				80/100ns 100ns 20MHz			Gate array Standard Cell	
FVDED0	FVDED0	FVDED0 iSDRAM	EDO iSDRAM	18pin 28pin			28pin 32pin 36pin 40pin 44pin 48pin 70pin			160~208pin QFP (密着4組立)	
18pin 20pin 26pin 40pin	18pin 20pin 26pin 40pin	24pin 26pin 28pin 44pin 50pin	32pin 50pin 54pin	ZIP SOJ TSOP PLCC			DIP SOJ TSOP SSOP				

(リ) カスタムメモリ(マスクROM、フラッシュメモリ、画像メモリ、ゲーム用メモリ、端末機器用各種メモリ等)、カスタムロジック群で製品群の写真と一覧表を参照して下さい。



(四) 構成技術

IC産業は総合力を結集した産業とも言われ、これを支える関連技術は多岐にわたるものであります。宮城沖電気で直接関係する技術は以下のようなものであります。

デバイス技術、ウエハプロセス技術、組立技術、テスト技術、自動化技術、物理化学解析技術、電子回路解析技術、コンピュータ処理技術、インフラ技術(純水、電力、空調、薬品、廃気、廃水処理技術、建物保全技術等)

(五) 工場操業システム

年間約三五〇日×二十四時間の連続操業と三交替勤務体制(製造現場)

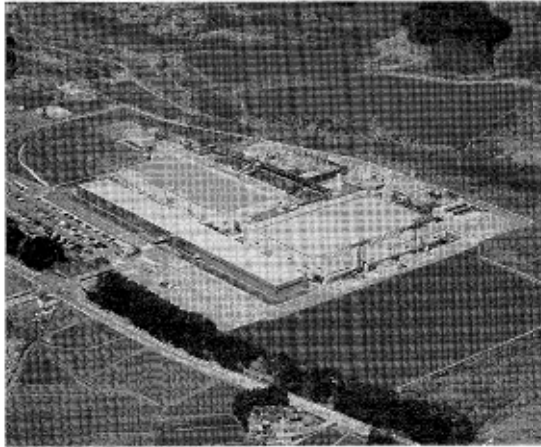
(六) 従業員数、約一二〇〇人

(男九五〇人、女二五〇人)

- (七) 設備投資額 累計約一七〇〇億円
- (八) 敷地面積 約三〇万平方メートル
(約一〇万坪)

建物・施設

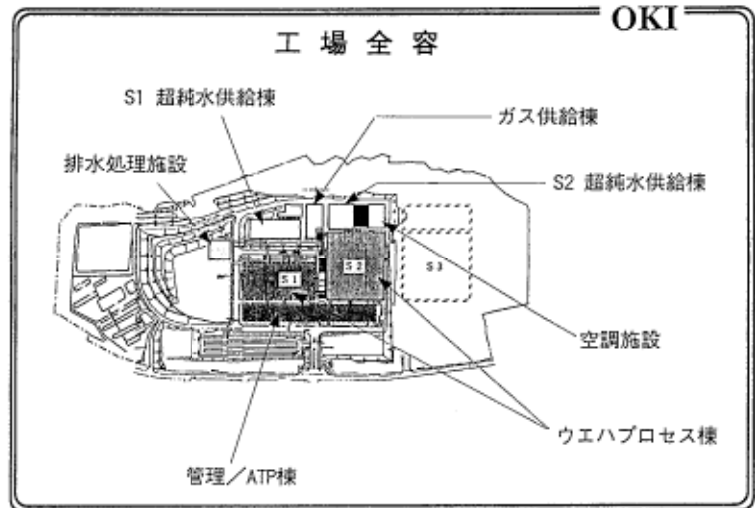
ウエハ処理二棟、組立、テスト、管理一棟、その他廃水処理、純水製造、エネルギー供給等の建物で合計約七万平方メートル。その他、ゴルフ練習場、野球場、テニスコートのレクリエーション施設および独身者用の寮（約二〇〇人）を隣接してあります。この他寮、住宅を古川、大和、仙台に借上の形で保有しています。



工場全景

OKI

工場全容



六、事業の展望

(一) 外部状況

半導体市場規模は一九九六年の世界全体で日本円換算で約二〇兆円（内日本五兆円強）で今後とも久らくは年一〇〜一五％の成長が見込まれています。この成長率は他の産業分野では類を見ないものであります。この成長を見込み、新規参入も多く、ま

た投資も莫大なものとなっております。米国、日本に続いて台湾、韓国をはじめとする東南アジア、ヨーロッパ勢と続き世界中で希望ときびしい競争に満ちた活気のある産業分野となっております。しかしながら、日本、アジアが従来得意とした汎用メモリ分野は新規参入が多く、また米国の一部の会社が低コスト版を出荷する等過剰供給感が高く現在急速に値段が下り、今迄順調に参入を続けた各方面の大半は赤字基調となっております。したがって汎用メモリ偏重をさげ付加価値の高い商品をいち早く市場に出すことが今後のIC市場で成長する鍵となっております。

(二) 技術動向

ICは三年ないし四年毎に集積度が四倍と成長しており、これを取りまく技術のロードマップも比較的是っきりとしているのが特色です。これは一社または一つのグループ企業でまかなえない程幅広い関連分野があるからで、共通化した技術発展のロードマップの中での開発競争となっております。しかし商品開発は独自性を発揮できるのでマーケティング活動が競争に打ち勝負つ決め手と思われれます。

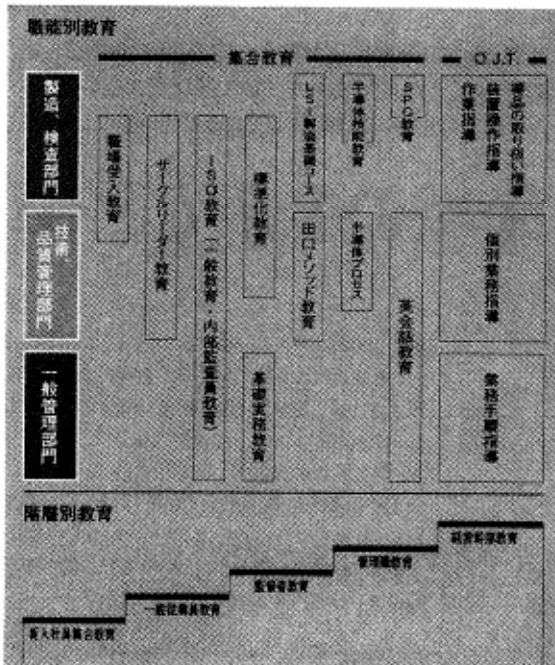
(三) 宮城沖電気の取り組み

沖電気のICグループは商品開発、技術

開発をグループ内で分担しつつ展開していきますが、宮城沖電気は第一に生産拠点としての使命をもち新商品や新技術を時間的には垂直に立上げることが最重要事項となっております。得意な汎用メモリを技術開発のリーディングテクノロジとしつつ、汎用からカスタムオリエンテッドなメモリ、ロジックへと転換をはかることに注力しているところです。また市場変動力をつけるために仙台市内にIC設計開発を担当する新会社を近々設立する運びとなっております。そして、新技術、新商品の製造に対するための第三棟のマスター・プランを用意しているところです。

さらに高い向上心をもった技術者集団と改善意欲にもえる製造マンの働きが鍵となるので社内教育と自己研修をサポートする社独自の仕組の運用を重視しております。地元はすでに多くの会社や人々に色々とご協力を戴いていますが、ギブアンドテイクの関係を各方面で実施し、地域と共に発展致したく考えております。

▼教育訓練体系



【著者略歴】

小池田 敏 晃 (五十八才)

- 昭和十四年 北海道生まれ(本籍東京都)
- 昭和三十七年 北海道大学理学部物理学科卒
- 同年 沖電気工業株式会社研究所入社
- 昭和六十三年 宮城沖電気株式会社(設立時) 取締役工場長
- 平成五年 同 常務取締役
- 平成七年 同 専務取締役
- 平成九年 同 代表取締役専務



ゼラチン

大きな可能性を秘めた素材
研究開発を推進、新しいニーズへの対応を目指して

宮城化学工業株式会社

代表取締役社長

稲井善孝

一、当社の生い立ちから現在まで

鯨の仕事に携っていた先代社長が、当時鯨油をとり他は海に捨てられ公害問題となっていた鯨頭の有効利用に着目し、東北大学の先生方のご協力を得てコラーゲンたんぱくの利用方法としてゼラチンの製造を考えだし、昭和十六年（一九四一年）に宮城化学工業所としてスタートしました。

従って今年で創業五十七周年になります。昭和十九年（一九四四年）には宮城化学工業株式会社に改組、その後陸上原料からもゼラチンの製造を始め、同二八年（一九五三年）には家庭用高級食用ゼラチン「ゼライス」を開発発売し、市場で愛用され、マーケットは拡大しております。

主力製品であるゼラチンは多くの機能や特性をもっており、写真用、医薬用、食用、工業用など様々な分野で活用されており、

これら各種ゼラチン・ゼライス及びゼラチン関連製品、MAC（研磨用合成接着剤）、食品向けカラギーナン製剤（増粘多糖類）などの製造販売を行い現在に至っております。

ゼラチンは純粋な動物性たんぱく質で動物の骨、筋、皮などに多く含まれているコラーゲンを精製してつくり、古く中世時代からヨーロッパでは食用とされ、我が国では魚の煮こりなどで知られていますが一般にゼリーやババロアなどのデザートとして普及して参りました。ゼラチンを構成するアミノ酸は、人の脳や骨の発達に大変重要な働きをすることが知られております。

二、ゼラチンの用途とおもな特性、機能
当社ゼラチンの用途は写真用フィルム、印画紙、薬、カプセルや健康食品向けなど



本社・工場

であり、医薬用ゼラチンはこれからの高齢化社会に向け、その活用範囲の新たな開発とともに需要の拡大が見込まれております。

食用としては、大手の食品、乳業、菓子メーカーが製造するコンビーフ、ヨーグルト、アイスクリームやカロリーハーフのバター、マーガリンをはじめ、さまざまなお菓子から、ホテル、レストラン、喫茶店、洋菓子店で作られるテリーヌ、アスピッ

このように当社ゼラチンは思いがけない意外なところで、私達の隅々に生かされ、豊かな暮らしを支える力となっております。ゼラチンの不思議は、さまざまな用途につながる多様な機能や特性を併せもっております。



ハイゼリー

ク、ゼリー等、またグミキャンデーからスベースシャトルの宇宙食にいたるまで使用されており、素材としての高い信頼と評価を得ております。さらに、当社の家庭向高級食用ゼラチンである「ゼライス」は国内における食用ゼラチンの代名詞として全国の家庭で幅広い支持を得ております。

特性・機能 用途

1 無脂肪、高たんぱく質——栄養補給剤、低カロリーダイエット食材：

2 消化吸収性——乳幼児、老人、病人用食材、デザート食材、薬用カプセル製剤：

3 抵抗原性——たんぱく質食品にみられるアレルギーもほとんど知られていない：

4 ゾル・ゲル可逆特性——食材、医薬品、銀塩写真：

5 ゼリー形成機能——パバロア、ゼリー、マシユマロ、シップ剤、ハードカプセル、ソフトカプセル、銀塩写真：

6 保水機能——パバロア、ゼリー、ダイエットマーガリン、ハム、シップ剤、化粧品基材

7 気泡性、保形機能——マシユマロ、パバロア、フロレット：

8 皮膜形成機能——ハード・ソフトカプセル、ゼラチンベーパー、銀塩写真：

9 両性電解質——マイクロカプセル、銀塩写真：

10 接着性——銀塩写真：

11 不溶性機能——コロタイプ写真印刷：

12 止血作用——スポンジゼリー、止血剤



ゼラチン使用商品

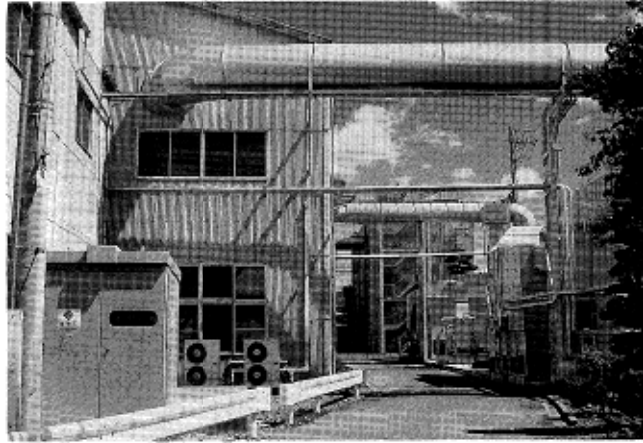
三、新製品開発

ゼラチンは古くて新しい素材であり、想像もできない広い分野において、私たちの生活を支えております。

自然の恵みを出発点としたゼラチン及びその周辺素材は進歩する科学技術を取り組み、脇役として奉仕する、限らない可能性を秘めております。

そのため、研究開発事業の範囲はかなり広範となる傾向がありますので、現在では、

当社がより得意とする領域に力を集約させながら、新たな新製品及び改良品の開発に着手しております。



工場の一部（建屋）

社員の三割は技術・開発・研究などの分野に携わっておりますが技術・開発グループは本社生産技術やゼラチン改良並びに新たな機能の発掘と応用に取り組み一方、研究グループは、産学官交流の場として東北大学工学部の隣接地に設置されている(社)東北産業技術開発研究会館内において、パイオ関連技術を駆使し、工学部や薬学部の

先生方のご指導を受けてゼラチン／コラーゲンに関連した新素材の創製と新たな用途開発に取り組んでおります。これらの研究成果による、新たな医薬品の素材や食品の開発が期待されております。

四、国際化に向けて

ゼラチンは新たな用途開発などにより、今後とも安定した需要がみこまれるが、ユーザーの海外展開や輸入品の影響など、国内の市場環境は厳しさが増しております。

欧米業界では外資による買収合併が進み、今や国境がなくなっており、当社は輸出を含め、海外市場への進出を今後の課題とし、グローバル化を進めてまいります。

又当社は海外で定期的に開催されるゼラチン関係の諸学会にも積極的に参加し、研究発表を行っております。又アジア太平洋地域のゼラチン業者の団体に参加、環境問題、試験方法など様々な事項について会議で討議しています。

五、原料確保に向け、インドに合弁会社設立

当社は約三〇年前から海外原料も使用しているが、昭和五十九年（一九八四年）に取引を始めた輸入先が新工場を建設したい

として、合併、技術指導の話があり、相手は手広く事業を展開している同国二位のマツチメーカーでもあり、誠実な取引先であったことから、競争力向上に向けて、幅広い安定的な原料の確保を目指し、工業向けゼラチン原料の生産国であるインドに平成三年（一九九一年）に合弁会社「パイオニヤ・ミヤギ・ケミカルズ」を設立、平成五年半ば（一九九三年）から本格的な操業を開始、当社が必要とするコラーゲンソースの三〇％以上を生産しています。

現地で生産される中間品は、写真フィルム用などの原料として、全量を仙台港経由で引き取っております。

六、BS研究所

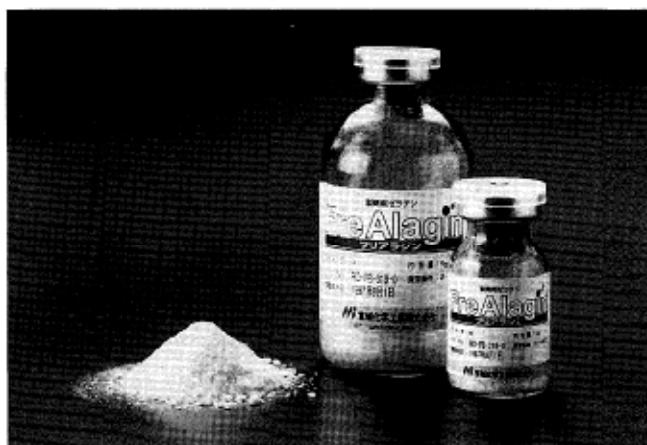
(社)東北産業技術開発研究会館内の当社BS研究所は青葉山地区にあります。まさに青葉薫る優れた自然環境と、東北大学などの学問と研究の拠点であるアカデミックな雰囲気も漂っていることから、新製品の研究開発に恵まれた環境であり、最新のバイオテクノロジー技術を取り入れゼラチン関連の付加価値の高い製品を生み出すべく研究開発に取り組んでおります。近年、文明病のひとつである「アレルギー疾患」が急増してきています。他に類をみない最

もすぐれた安定剤であるゼラチンにもアナフィラキシー反応を示す特異体質の方がまれに報告されますが、この問題の解決が強く望まれています。

BS研究所はこの問題を解決するため研究を進め、(社)北里研究所の協力を得て検定した結果、低アレルギーなどの機能性を有する製剤用ゼラチン「FreAlagin(フリアラジン)」の開発に成功いたしました。「FreAlagin(フリアラジン)」は発熱反応(エンドトキシン)フリーであり又溶解性が高いなどの性質をもっている事から、各種ワクチン、注射薬製剤、無菌製剤などの各種医薬品安定剤・賦形剤等の用途に広く活用いただける製品となる事が期待されております。

七、今後の目標と事業計画

これまで同様各種ゼラチンの安定供給に努めると共に更なる品質向上と新たな用途開発に取り組んでおり、二十一世紀へオンリーワン企業をめざして羽ばたこうと思っております。新開発製品としての製剤用ゼラチン「FreAlagin(フリアラジン)」は試作品を関係研究機関や医療機関に提供、高い評価をいただいております、平成一〇年度後半には事業化すべく立案中であります。



新製品 (FreAlagin)

新たな食品素材と食品の開発などを研究機関や異業種の企業との連携並びに共同研究開発を推し進め、社会に役立つ魅力ある用途と市場を開拓していきたいと考えております。

八、会社概要

設立 昭和十九年七月十七日
 代表者 代表取締役社長 稲井善孝
 資本金 一億円
 年商 目標五〇億

事業所

本社 仙台市若林区若林二丁目七一
 営業本部 東京都港区東新橋一丁目三一
 東京営業所 東京都港区東新橋一丁目三一
 大阪営業所 大阪市中央区平野町三丁目三一
 仙台営業所 仙台市若林区若林二丁目七一
 BS研究所 仙台市青葉区荒巻字青葉四六八

【略歴】

稲井善孝

昭和十年四月六日生(六二才)

昭和三十三年三月 慶応義塾大学経済学部卒

昭和三十四年三月 慶応義塾外語学校卒

昭和三十四年 株式会社東食入社

昭和三十八年 株式会社稲井善八商店入社

昭和四十二年 同専務取締役

昭和四十七年 宮城化学工業株式会社取締役

昭和五十五年 株式会社稲井善八商店取締役

社長

同 宮城漁糧株式会社取締役社長

同 宮城化学工業株式会社取締役

社長

同 塩釜ガス株式会社取締役社長

同 塩釜ケーブルテレビ株式会社

取締役社長

平成二年

塩釜商工会議所副会頭

宮城県経営者協会副会長

研究プロフィール

「耳から音が出てくる」という現象、耳音響放射

東北大学大学院工学研究科
機械電子工学専攻教授

和田 仁



一、はじめに

私の研究室では、聴覚に関する研究を、基礎から応用まで幅広く行っています。具体的には、感覚細胞の変形挙動に関する基礎的研究や、耳小骨連鎖異常診断装置の開発など様々です。今回は、その中から、一般の方々に興味を持って読んでもらえそう

な研究テーマについて、書いてみることにしました。

耳から音が出てくるという興味ある現象が、一九七八年、英国ロンドン大学のD.T.Kempにより初めて¹⁾報告され、その後、耳音響放射（じおんきようほうしゃ、Otoacoustic Emissions: OAEs）と名付けられました。彼から直接聞いた話によりますと、この現象の発見後、直ちに論文をNatureに投稿しましたが、掲載否となり、その後、米国音響学会誌へ送ったそうです。残念ながら、当時のNatureの校閲委員達は、OAEsの重要性を予見できなかったようです。

世の中には先見性に富んだ研究者がいたもので、KempがOAEsを報告した年の三十年も前に、この現象を予言した研究者がいました。彼の名はGold²⁾であり、専門は生理学ではなく、なんと天文学です。

二、測定方法および結果

OAEsの計測には、高度なテクニックを必要としません。図1は、小型イヤホンとマイクロホンが内蔵されたプローブを、未熟児の外耳道に挿入し、OAEsを計測している写真です。静かなところで測定すれば、たいていの場合、OAEsを検出することができます。ただし、OAEs出力が小さいため、出力データを加算し、S/N比を向上させる必要があります。OAEsは、刺激を与えなくても測定できる自発耳音響放射



図1 未熟児の外耳道に、小型イヤホンとマイクロホンが内蔵されたプローブを挿入し、OAEsを測定している様子

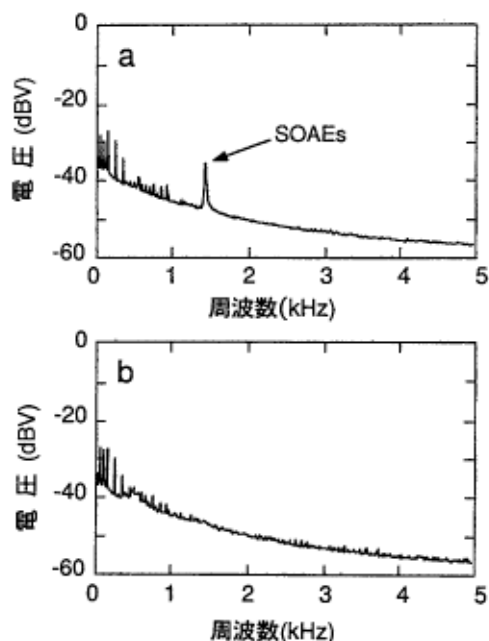


図2 モルモットから検出された SOAEs
a, 生前; b, 死後. 生前1.4kHzに見られたレベル7.41dB SPLの信号は、死後完全に消失した。

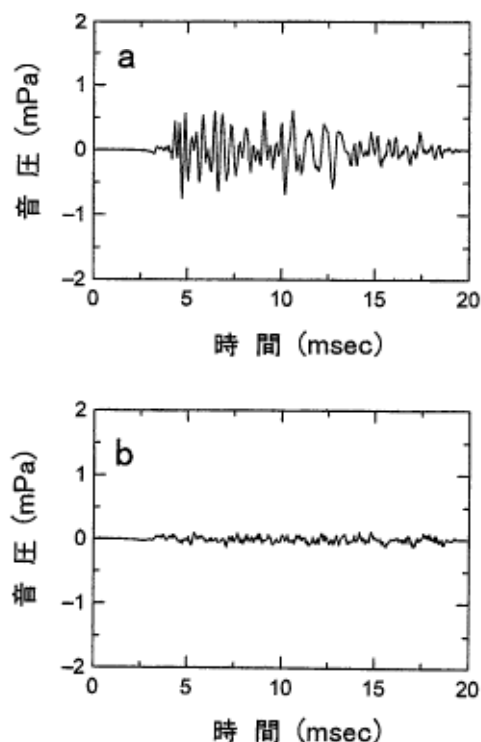


図3 未熟児で測定した OAEsの結果
a, レベルが大きい; b, レベルが小さい. bのような結果が得られた場合、何らかの聴覚障害が疑われる。

(Spontaneous OAEs: SOAEs)と、刺激に誘発される誘発耳音響放射 (Evoked OAEs: EOAEs)に大別されます。

図2は、モルモットから検出された SOAEsで、この信号は死後消失しました。この SOAEsをアンプで拡大して聞いてみますと、丁度、焼き芋屋の笛のような音がします。ヒトの場合は、当初、出現率は三〇%程度でしたが、最近では、測定技術の進歩に伴い、出現率は七〇%まで向上しています。不思議なことに、男性より女性の方が、また、左耳より右耳からの出現率が高くなっています。未熟児の耳で、短い音刺激の後に測定された波形を図3に示し

ます。これまでの測定の結果から、何らかの聴覚障害のある未熟児からだけではなく、成人の難聴者からも、OAEsが検出されないことが分かってきました。また、加齢に伴い、OAEsのレベルが低下することも明らかになってきました。

異なる周波数 f_1 , f_2 を有する音を耳に入れると、図4に示すように、ブローブマイククロホンで、 f_1 と f_2 以外に、 $2f_1$ 、 f_2 の周波数を有する信号を検出することができ、これを歪成分耳音響放射 (Distortion Product OAEs: DPOAEs)とっています。 $f_2/f_1 = 1.2$ 前後で $2f_1 - f_2$ の信号レベルは最大となり、 f_2/f_1 を一定にしてお

けば、どの周波数でも $2f_1 - f_2$ 信号を検出することができます。また、 $f_2/f_1 = 1.2$ の場合、 $2f_1 - f_2$, f_1 , f_2 の関係は、音階の和音、例えばド、ミ、ソに丁度一致しています。

三、発生のメカニズム

図5にヒトの耳の構造を示します。外界から入ってきた音(厳密には空気の粗密波)が鼓膜を振動させ、この振動は、ツチ骨・キヌタ骨・アブミ骨からなる耳小骨連鎖を経由して、蝸牛へと伝えられます。蝸牛は、図6に示すように、螺旋形状をしており、中はリンパ液で満たされ、ほぼ中央に存在

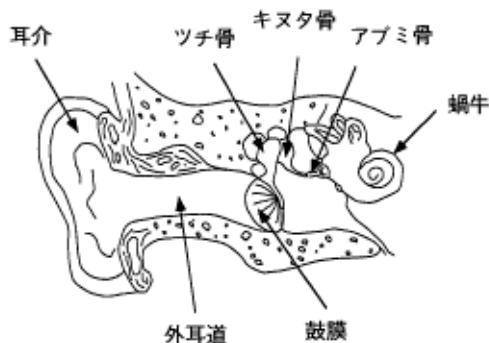


図5 ヒトの耳の構造
外界から入ってきた音は、外耳道端の鼓膜を振動させ、この振動は、ツチ骨・キヌタ骨・アブミ骨からなる耳小骨連鎖を經由して、蝸牛へと伝えられる。

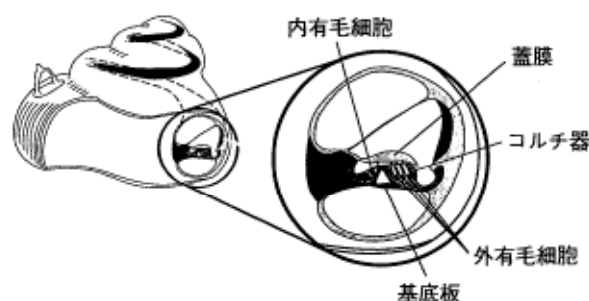


図6 蝸牛の構造
螺旋形状をしており、中はリンパ液で満たされ、基底板上で二分されている。基底板上には、感覚細胞（内毛細胞と外有毛細胞）を有するコルチ器が乗っている。

蝸牛の入り口に付いているアブミ骨が振動すると、その振動がリンパ液に伝えられ、その動きに伴い、図7に示すように、丁度、海岸に打ち寄せる波のような進行波が、基底板上に発生します。すると、基底板上のコルチ器は、図8のように変形します。この変形に伴い、内毛細胞上段の聴毛が傾き、この傾きに比例して、内毛細胞下端に接続している神経内にパルスが発生し、このパルスが脳へ伝達され、我々は音を認識することができます。

コルチ器内の外有毛細胞に電気刺激を加

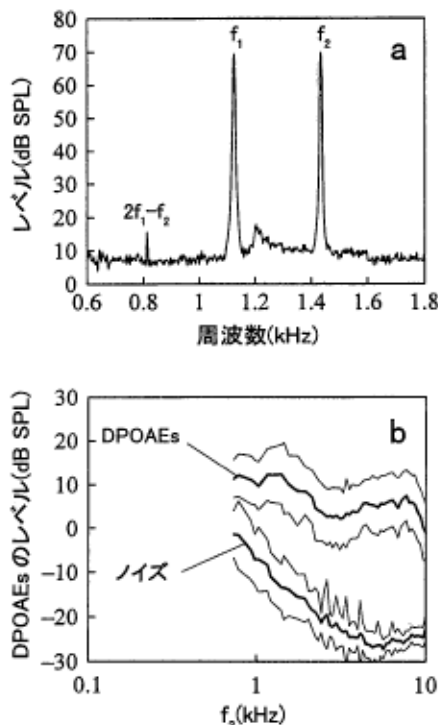


図4 ヒトから検出された DPOAEs の結果
a, 周波数分析結果； b, 入力音周波数に対する DPOAEs のレベル変化。
異なる周波数 f_1 , f_2 を有する音を外耳道に inputs すると、周波数 $2f_1 - f_2$ の信号を検出することができる。この信号は、 f_2 / f_1 を一定にしておけば、広い周波数範囲で、測定システムのノイズレベルより 20dB SPL 以上の大きさと、検出できる。

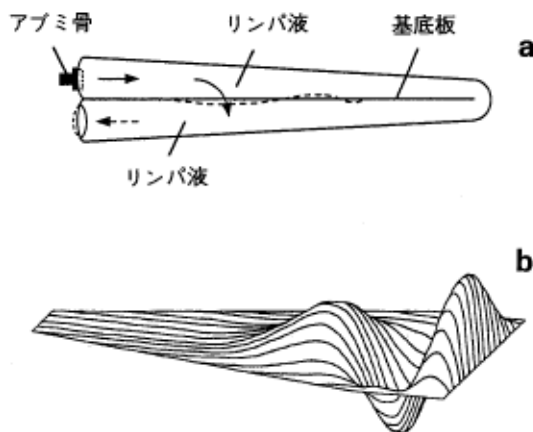


図7 基底板の振動の様子
a, アブミ骨、リンパ液および基底板の関係； b, 進行波、アブミ骨が振動すると、その振動がリンパ液に伝えられ、その動きに伴い、海岸に打ち寄せる波のような進行波が、基底板上に発生する。

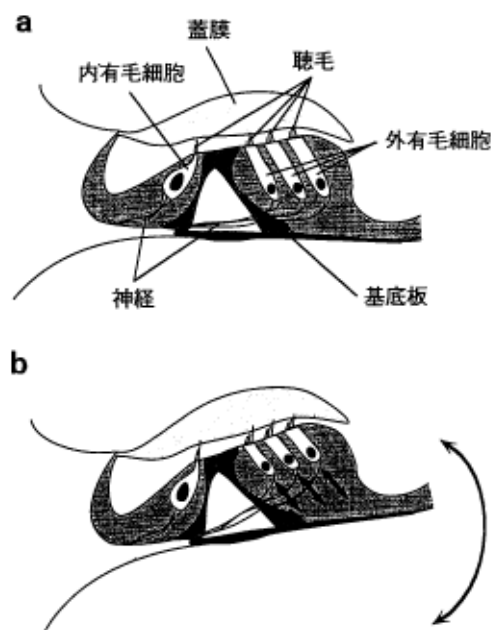


図8 基底板振動に伴うコルチ器の変形の様子
 a. 変形前；b. 変形後。コルチ器の変形に伴い、
 内有毛細胞上端の聴毛が傾き、この傾きに比例して、
 内有毛細胞下端に接続している神経内にパルスが発生
 し、このパルスが脳へ伝達され、我々は音を認識する
 ことが出来る。コルチ器が変形すると、それに同調し
 て外有毛細胞が伸縮し、コルチ器の変形を増大させる。
 その結果、内有毛細胞の聴毛の傾きを大きくし、神経
 内のパルス発生を助長していると考えられる。すなわ
 ち、コルチ器は、外有毛細胞を源とする、増幅器の機
 能を有し、我々の聴覚を鋭敏なものにしていると推察
 される。

えると、この細胞は、筋肉のように、自ら伸縮できることが、最近明らかになってきました。従って、音の入力に伴い、アブミ骨が振動し、基底板上に進行波が生じると、コルチ器が変形し、外有毛細胞の動きによりこの変形が増大し、結果的に、内有毛細胞の聴毛の傾きを大きくし、神経内のパルス発生を助長していると考えられます。すなわち、コルチ器は、外有毛細胞を源とする、増幅器の機能を有し、我々の聴覚を鋭敏なものにしていると思われます。

外有毛細胞の動きに誘発されたコルチ器の動きが、基底板を逆行波となってアブミ骨へ伝えられ、耳小骨連鎖を經由し、鼓膜を振動させます。そして、その動きをブロープ内マイクロホンで検出したのが、OAEsと推察されています。従って、外有毛細胞の動きが悪くなれば、増幅器が働かなくなり、難聴となり、OAEsも検出されないということになります。これまで断定的な表現を避けてきたのは、まだ、この機序が証明されていないからです。

四、おわりに

これまでの説明で理解されたと思います
 が、聴覚末梢には、外有毛細胞を源とする増幅器が備わっており、その結果、我々の聴覚は非常に鋭敏なものとなっています。

現在の所、OAEsは聴覚増幅機構の副産物で、その必要性は見当たりません。しかし、OAEsの測定から、種々の興味ある聴覚機構が明らかになってきました。例えば、周波数の異なる2音(f_1 と f_2)を入力すると、 $2f_1 - f_2$ の周波数を有するOAEsが検出されると以前に記述しましたが、これは聴覚が歪んでいる(専門的には非線形)ことを意味します。スピーカーやアンプに歪み成分が多いと、音が悪くなるため、技術者は苦労してこの成分を除去していますが、聴覚は積極的に歪みを利用しています。和音の成分がDPOAEsに一致しているため、我々は、生理的に、和音を心地よく感じているかもしれません。

OAEsは、難聴者から検出されないこと、また、測定が簡便であることから、医学界に大変ホットな話題を提供しています。これまでに、様々な臨床応用を目指して、盛んに研究が行われています。その中でも早期に実施されるであろう応用は、乳児の難聴スクリーニングです。現在、聴力検査は、ヘッドホンを装着し、音が聞こえたらボタンを押して行っており、専門的には自覚的検査ということになります。従って、三才未満の子供での検査は不可能です。その点、図1に示したように、OAEsは、

生まれたての赤ん坊からでも検出が可能で
す。聴覚は刺激が与えられないと発達しな
いので、難聴の早期発見は重要です。近い
将来、産院や保健所で、OAEsによる難聴
検査が行われるようになるでしょう。

文献

- 1) D. T. Kemp, Stimulated acoustic emissions
from within the human auditory system, J.
Acoust. Soc. Am. 64, 1386-1391 (1978).
- 2) T. Gold, Hearing II. The physical basis of the
action of the cochlea, Proc. R. Soc. B 135,
492-498 (1948)
- 3) 和田仁他、小特集 耳音響放射 日本音響学
会誌' 50, 730-758 (1994).

【著者略歴】

和田 仁

昭和24年1月18日生

昭和47年3月 東北大学工学部機械工学科卒業

昭和52年3月 東北大学大学院工学研究科 機械

工学専攻 博士課程修了

昭和52年4月 東北大学工学部助手

昭和58年8月～昭和59年9月 プリテイッシュニカ

ウンシルスカラーとして英国ノッ

チンガム大学に滞在

昭和60年1月 東北大学工学部講師

昭和63年1月 東北大学工学部助教授

平成5年3月 東北大学工学部教授

現在 機械電子工学専攻

生体工学講座担当

粒子線を用いた核融合炉材料 の研究とその応用

東北大学大学院工学研究科
量子エネルギー工学専攻教授

阿部 勝 憲



一、はじめに

石炭、石油という化石エネルギーから水力、風力、太陽光などの自然エネルギーまで含めて、元をたせば天空に輝く太陽に源を発している。太陽では軽い原子核同士が結合する熱核融合反応が持続し、膨大なエネルギーを生成している。この熱核融合反応を地上で制御し、いわば人工のミニ太陽を実現してエネルギー源とすれば、二酸化炭素が発生せず、燃料となる重水素は海水から採取できて、核分裂炉に比べて放射性廃棄物も格段に低減できることになる。国際協力で実現を目指している国際熱核

融合実験炉 (ITER) では、重水素と三重水素を磁場で閉じ込めて超高温のプラズマとし熱核融合反応を起こす計画である。図1に示すように、陽子と中性子一個からなる重水素と陽子と中性子二個からなる三重水素が核融合反応を起こすと、 2.8×10^{-12} J のエネルギーが生じ陽子二個と中性子二個からなるヘリウム原子と中性子一個に変換される。生じたエネルギーの大部分は中性子の運動エネルギーとなり 2.2×10^{-12} J の高エネルギーの中性子となる。

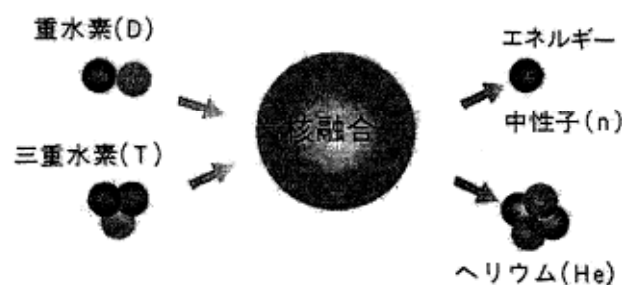


図1 核融合反応の模式図

人工太陽を閉じ込める器は、この高エネルギー粒子の嵐を受けとめて熱に変換し、かつ丈夫で長持ちする必要がある。そのようなタフな材料はあるのだろうか。この材料は超高温のプラズマと粒子に直接曝されることから、核融合炉の第一壁材料と呼ばれる、世界中でその研究開発を競っている。具体的には、耐熱性の鋼、高融点合金、セラミックス材料の中から高エネルギー粒子に強いものを選び出し、さらに鍛えることになる。

二、高エネルギー粒子 (中性子) 環境を求めて

高エネルギー粒子は、材料内の固体原子を丁度ボウリングのボールがピンを倒すように弾き散らして材料内にマイクロな傷(照射欠陥)をつくる可能性がある。自然界はうまくしたもので照射欠陥は原子の熱運動により修復され大部分はなくなる。しかし僅かに残る照射欠陥は材料特性に影響を及ぼす可能性がある。

高エネルギーの中性子が材料内の原子に衝突し今度は材料内の原子が弾き出されて次つぎに衝突を繰り返す。この過程はおよそ 10^{-15} 秒程度の時間で終了し、今度は衝突で弾き出された原子が自然に(熱的に)

安定した位置に戻ろうという現象が起きる。およそ 10^{-12} 秒経過後にはほとんどが元の位置の格子点に納まる。しかし元の格子点に戻れなかった原子は格子点と格子点の間に止まり格子間型欠陥となり、また原子が戻らなかつた格子点は空孔型の照射欠陥として僅かに残る場合がある。図2はこの様子を誇張して示したものである。これらの僅かに残る照射欠陥が強度特性を変化させる可能性がある。

核融合による高エネルギーの中性子が原子と衝突した時に核反応が起こり別の元素

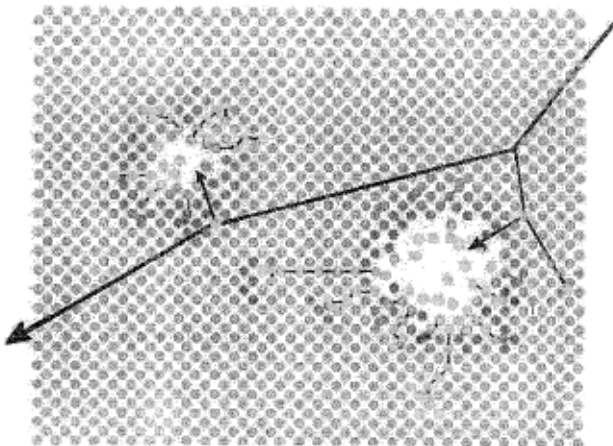


図2 高エネルギー粒子ニヨッテ起こる材料中の原子はじき出し現象の模式図

に核変換することもある。特に高エネルギー中性子と固体原子との反応で生成するヘリウムは、希ガス元素で材料内の原子と馴染まない（化学結合しない）ために注意して調べる必要がある。例えば高い温度ではヘリウムが結晶粒の境目に集まりそこから割れを生ずる原因になる。

第一壁材料を選び鍛えるには、この高エ

ネルギー粒子線環境をつくり材料の振舞いを調べる必要がある。人工太陽が地上に未だないのに、その環境を手に入れるにはどうしたらいいのであろうか。一つは現在の核分裂型原子炉の中性子を利用する方法があり、もう一つは

粒子加速器によるイオンビームを利用する方法がある。材料試験片の温度や雰囲気をコントロールしながら高速の中性子を沢山あてられる原子炉は世界中でも数が少なく貴重である。国内では茨城県大洗町にある材料試験炉

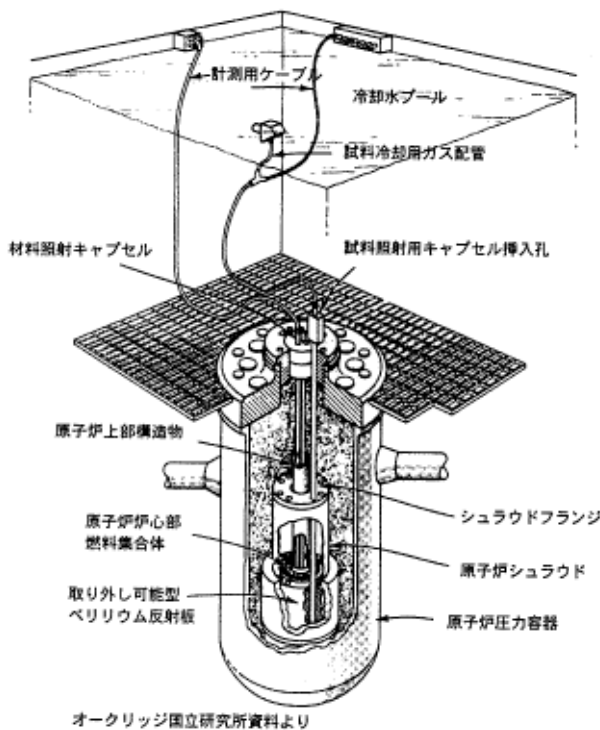


図3 高中性子束同位体炉 (HFIR) の概要

(MTR)や高速実験炉「常陽」など、また米国ではテネシー州オークリッジにある高中性子束同位体炉 (HFIR) などである。図3に示す HFIR は水冷却型の原子炉で、世界最強レベルの熱中性子束を発生することができ、一九六五年に臨界に達した後、現在出力 85MW で稼働しており核融合炉材料研究等で活用されている。

原子炉を用いる材料照射実験は長期間を要し経費もかかることから、国際協力を活用して進めている。HFIR を使う実験は、JUPITER 計画 (Japan-USA Program of Irradiation Test for fusion Research,

核融合研究のための日米・照射試験プログラム」という名称で、一九九五年から二〇〇〇年までの六年計画で行っている。

これは、日米科学技術協力事業（核融合分野）の共同プロジェクトとして核融合科学研究所を窓口に関内の各大学と米国の国立研究所が参加し、小生が日本側代表を務め進めている。JUPTER計画では炉心の照射領域を用いてその場測定実験や温度変動照射実験等の計装照射を行うことができるキャプセルが整備され、またユーロピウム（Eu）により熱中性子を遮蔽する照射キャプセルの開発が行われた。このキャプセルにより、高速中性子と比較し熱中性子による照射では核変換の割合が大きいことを利用して、材料特性に及ぼす核変換効果の研究を行うことができる。新しい合金やセラミックス複合材料を含む多数の貴重な試料の中性子照射実験が進行中である。

三、中性子照射による材料特性変化

次に、中性子照射により生ずる特異なミクロ組織の例を高速炉で照射した高融点合金のパナジウム合金とモリブデン合金について示す。パナジウム合金にあらかじめ三重水を添加し一定時間保持するとヘリウムが内部に生じる（三重水素は約十二年で

その半数がヘリウムに壊変する）。この後温度を上げて三重水素の焼きだしを行えばヘリウムだけが残り、核融合炉で生じるヘリウムの影響を調べる基礎的な実験が可能となる。図4はこのような方法でヘリウムをあらかじめ材料中に添加した後、原子炉で中性子照射を行ったパナジウム合金の透過型電子顕微鏡によるミクロ組織である。三重水素はパナジウム合金中の拡散が速いので結晶粒の境界や析出物の周辺等に集まることがあり、したがってヘリウムの分布もこれに即したものと考えられる。中央の大きな多角形の白い部分はこのヘリウムを含む微小空隙（バブル）と考えられ、その周辺には中性子照射により内部のヘリウムがバブルの外へ弾き飛ばされたことによると考えられる小さなバブルが

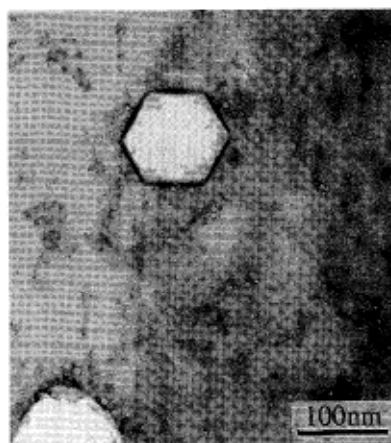


図4 ヘリウムを添加した後、中性子照射したパナジウム合金に観察された2種類の大さのバブル

分布している。図5は中性子照射したモリブデンにみられる、ポイド格子と呼ばれる組織である。ヘリウムを含まない微小空隙（ポイド）が規則的に配列したポイド格子は、照射中にいったん形成されると比較的安定となり材料の膨れ（スウェリング）を抑える作用があるので、耐照射材料を開発する上で興味深いものである。

このようにして原子炉中性子の照射実験において高融点合金の一種であるパナジウム合金やモリブデン合金について、高温で長時間にわたり高速中性子環境に保持した後のミクロ組織変化と強度特性や材料寸法の変化について調べた。適切な合金組成と熱処理を施すと強度劣化や寸法変化を非常に小さくできることが明らかになった。

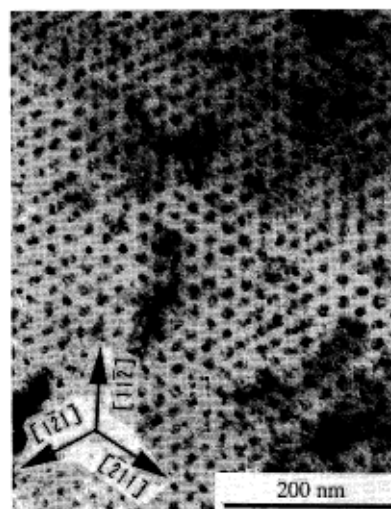


図5 中性子照射したモリブデン合金におけるポイド格子

四、高エネルギー粒子（ヘリウムイオン）環境を求めて

実験室的に高エネルギー粒子線環境を実現するには粒子加速器を利用できる。特に、第一壁材料におけるヘリウム原子の影響を調べるには、軽イオン加速器が有効である。本学工学部のダイナミトロン加速器（図6 参照）およびサイクロトロンRCセンターのサイクロトロン加速器に材料照射チャンネルを設置して、ヘリウムイオン衝撃による材料特性の変化を系統的に研究している。ダイナミトロン加速器では比較的高濃度のヘリウムイオンを試験片のねらった場所と深さに必要な量だけ注入することができる。そのためには、試験片にあてるビームの位置を正確にとらえることが必要である。イオンビームで発光する酸化物セラミ

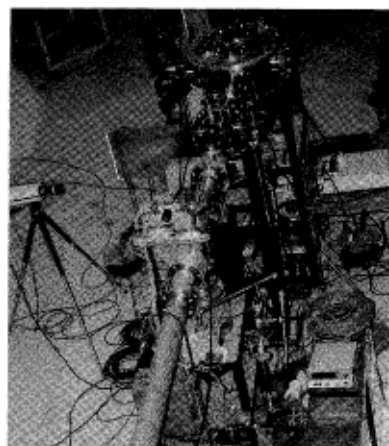


図6 工学部高速中性子実験室
ダイナミトロン加速器の材料照射コース

ックス粒子を金属地に分散したモニター材を開発して、このことを可能にした（図7 参照）。

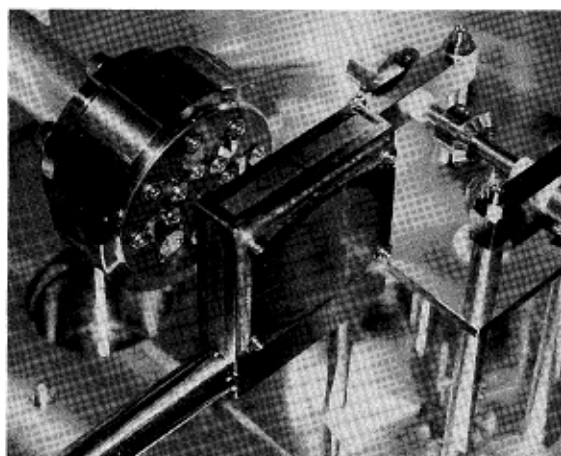


図7 セラミックス分散合金製イオンビームモニター板と試験片ホルダー

図8はダイナミトロン加速器を用いて炭化ケイ素（SiC/SiC）複合材料に10,000ppmまでのヘリウムイオンを照射してから1,400℃で焼鈍した場合である。SiC繊維と境界層にはバブルが観察されないので対して、SiCマトリックスには多数のバブルが分布している。マトリックス／境界層／繊維のそれぞれにおける照射特性を理解して材料開発を進める必要がある。

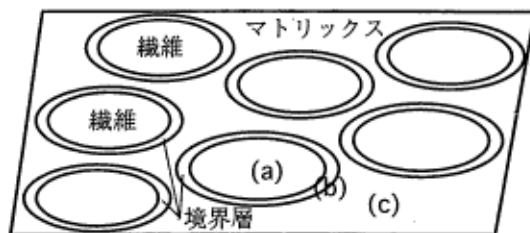


図8 SiC/SiC 複合材料の模式図と、ヘリウム 10000ppm 注入後1400℃で熱処理した SiC/SiC 複合材料のマイクロ組織
(a) 繊維 (b) 境界層 (c) マトリックス

五、核分裂炉材料研究への応用

軽イオン加速器によるプロトンやヘリウムイオンビームは、軽水炉や高速炉などの核分裂炉材料の研究にも有効である。プロトンビームは、軽水炉炉内材料の照射による合金元素の再分布を調べるのに有効であり、応力腐食割れに強い材料を開発するのに役立つ。ヘリウムイオンは、軽水炉の使

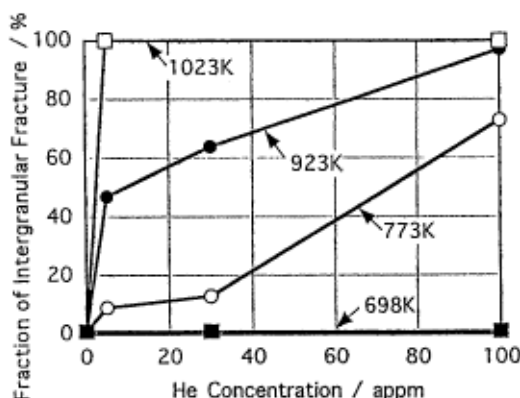
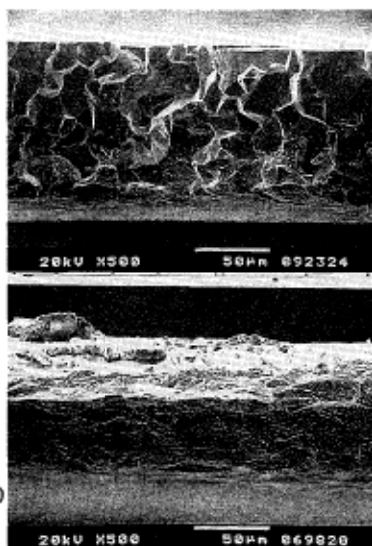


図9 Fe-15Cr-20Ni モデル合金の脆さに及ぼすヘリウム濃度と試験温度の影響。写真は 100appm のヘリウム濃度の条件でそれぞれ 923K (650 °C, 上段), 698K (425 °C, 下段) における破断面を示す。



用済み炉内材料の再溶接特性に及ぼす微量のヘリウムの影響や、高速炉被覆管材料の高強度特性に及ぼす微量ヘリウムの影響を調べるのに適している。

図9は、高強度に及ぼすヘリウムの影響が強く出るオーステナイト鋼のモデル合

金の例である。698K (425 °C) では 100ppm (一万分の一) のヘリウムが入っても材料は全く脆くならないのに対して、1023K (750 °C) の高温ではわずか 5ppm (百万分の五) のヘリウムにより結晶粒界という境目で割れる確率が一〇〇%になる。したがってこの合金ではヘリウムがこの境目に集まらないように 698K (425 °C) 以下の温度で使用することが必要である。

六、高エネルギー粒子ビームの新しい応用

ヘリウム等の希ガスイオンは材料中に溶け込まないので表面近傍に照射すると、表面の原子がはじき出されたり、表面が膨れたり、盛り上がったたり、剥がれたり、することがある。これらはそれぞれスパッタリング、スウェーリング、プリスタリング、フレーキング、と呼ばれる。これらの材料損傷は核融合炉材料研究の比較的初期より、プラズマと壁材料との相互作用による興味深い現象として研究されてきた。これらの機構を調べることにより表面損傷に耐え得る材料開発が進められてきた。一方、

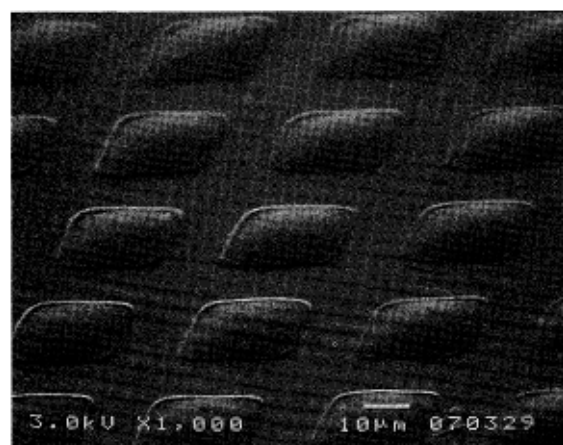


図10 ヘリウムイオン照射したダイヤモンド表面上の微小隆起配列

材料とイオンとの相互作用によるこれらの現象に関する理解が深まったことにより、従来材料損傷とだけ認識されていた現象を工学的応用という観点から活用できることがわかってきた。スパッタリング現象については材料加工法としてすでに実用化されイオンミリングによる薄膜試料の作製等に使用されている。その他のスウェーリング、プリスタリング、フレーキングを活用した工学応用の研究はこれからである。

図10は、ダイヤモンドにマスキングをしてヘリウムイオン照射した場合のスウェーリング現象による微小な隆起配列である。ヘ

リウム原子は極く微量でも面状に集合すると、材料を非常に脆くすることを前に述べた。図11のようにヘリウム原子の平面集合体をつくれば、いわば原子の結合を切断するミクロなカッターとなるはずである。ヘリウムによるミクロなカッターを用いて、超硬セラミックス、超合金などの加工が難しい材料を複雑にかつ精密にマイクロ加工する技術をめざして基礎的研究を進めている。

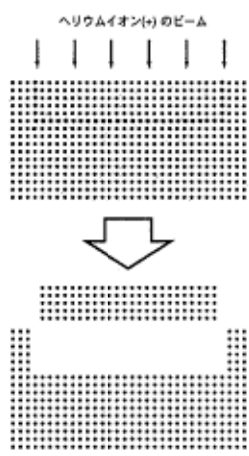


図11 ヘリウムイオン集合体によるミクロなカッター

七、おわりに

核融合炉材料開発における第一壁材料の耐粒子線照射損傷研究の一端を紹介した。中性子やイオンなどの高エネルギー粒子による原子はじき出しや核変換ヘリウムに対してタフな材料を開発することは、核融合炉を実現する上で不可欠である。これらの照射研究手段はまた、軽水炉の長寿命化に関連する材料課題とも共通の基盤をもって

いる。一方、高エネルギー粒子によるミクロ現象は、その機構を明らかにすることにより、材料の表面や内部の改質・加工に応用できる可能性を有している。粒子線を用いたこれらの研究の発展のため今後とも各方面の御協力をお願いする。

以上の研究は研究室の長谷川晃助教授、佐藤学助手および大学院生等との共同研究によるものである。

【著者略歴】

阿部 勝憲

昭和18年7月27日生

昭和41年3月 東北大学工学部 原子核工学科卒業

業

昭和43年3月 東北大学大学院工学研究科 原子核工学専攻修士課程 修了

核工学専攻修士課程 修了

昭和43年4月 東北大学金属材料研究所 助手

昭和58年5月 東北大学金属材料研究所 助教授

昭和62年8月 東北大学工学部教授 原子核工学科原子炉材料工学講座担当

科原子炉材料工学講座担当

平成8年5月 東北大学大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻粒子ビーム工学講座(核融合炉材料工学分野)担当(大学院重点化に伴う組織変更)

更)

電波の理論とその応用

東北大学大学院工学研究科
電気・通信工学専攻教授

澤谷 邦男



一、はじめに

電波工学の歴史は古く、一八六〇年代にいわゆるマクスウェルの方程式が導き出されて電波の存在が予言され、一八八〇年代にヘルツが電波の存在を実証し、一八九九年にはマルコーニが英仏海峡間の無線通信に成功して、電波の実用化時代を迎えた。その後、電波は通信、放送、レーダ等に利用されてきたが、これと平行して電波の理論も発展してきた。例えば、アンテナから放射された電波が地球の表面をどのように伝搬するかという基本的な問題や、半無限導体板のエッジからの電波の回折問題は、

電波工学だけでなく物理学や応用数学の研究者の興味の対象にもなり、ベッセル関数やルジャンドル関数などの特殊関数を用いて、変数分離、ワトソン変換、漸近展開といった数学的手法を駆使した高度な理論によって解かれている。また、一九六〇年代には、モーメント法と呼ばれる手法に代表される数値解析法や高周波近似などの新しい理論が考案されている。

電波工学の最近の傾向として、利用分野の拡大が挙げられる。例えば、最近急速に普及してきたポケットベルや携帯電話、PHSなどの移動体通信、人工衛星を使った通信・放送に加えて、磁気共鳴イメージング診断装置、エネルギーの無線送電、雨天でも鮮明な画像が得られる合成開口レーダ、核融合のための高周波プラズマ加熱といった分野での電波利用が進んでいる。

一方、このように身近で電波が利用されるようになったために、電波環境が問題となっている。例えば、電子機器のデジタル化に伴い、クロック周波数およびその高調波が機器から放射され、他の電子機器の誤動作を招くといった現象が起きており、また、無線機器のアンテナから放射された電波が生体に及ぼす影響を危惧する声もある。

以上のように、電波工学には長い歴史があり、高度な電波の理論が展開され、また、利用分野も益々広まっている。ところが、実際のアンテナの設計や不要放射対策などの現場では、実験を中心とした試行錯誤的な手法が用いられており、多大な労力が払われている。即ち、本来は電波技術への応用が図られるべき電波の理論が実際には十分に機能していない。その理由の一つとして、電波理論が扱ってきた対象が現実と比べてはるかに単純な構造に限られてきたことがあげられる。しかし、もし実際に役立つ解析法があれば、単にアンテナ設計が容易に行なえるだけでなく、アンテナの動作機構を明らかにすることが可能となり、その改良を図ることもできる。

このような背景から、我々の研究室では、実際に役立つ解析手法を確立し、実用面に応用することを目的として研究を進めている。本稿では、このような研究の中から、磁気共鳴イメージング用アンテナ、携帯電話機用アンテナ、およびアンテナ近傍の人体モデルへの電力吸収について述べることにする。

二、磁気共鳴イメージング用アンテナ

磁気共鳴イメージング(MRI)装置は、

静磁界内に置かれた水素原子核が静磁界強度に比例した周波数の磁界に共鳴する現象を利用したもので、人体の任意の断面像が得られるなどの特徴を有する低侵襲な画像診断装置である。この装置は、静磁界を加えるためのコイルと、共鳴周波数の磁界を人体に照射し共鳴によって人体から放出される高周波磁界を検出するためのアンテナで構成される。

このアンテナには、アンテナ内部に一樣で強い高周波磁界を発生させる必要があり、数多くのアンテナを試作して実験によりその構造を決めるという手法が取られてきた。アンテナには頭部用、胴体用などがあり、複数のアンテナを用意する必要があることから、その設計には膨大な手間がかかっていた。また、アンテナの動作機構が不明であるために、アンテナの改良も容易ではなかった。

このアンテナの設計をコンピュータを用いて数值的に行うことを目指した研究を日立製作所と共同で行った。しかしながら、この問題ではアンテナ導体だけでなく人体およびアンテナを取り囲む円筒のシールド導体の影響なども考慮する必要がある、また、人体の誘電率や導電率も一様ではないので、数値解析は容易ではなく、当初はど

こまで使い物になるのか不明であった。

この問題にモーメント法という数値解析法を適用して、まずアンテナ部分の解析だけを行った。モーメント法とは、導体の表面で成り立つ積分方程式を連立方程式に変型して数值的に解く方法で、一九六〇年代に提案され、発展してきた手法であり、線状導体を対象とした汎用性の高いコンピュータコードをかなり以前に自作しておいたので、これを適用することにより、簡単に解析することができた。次に、アンテナ内に置かれた誘電体の効果を考慮するためにインピーダンス法と呼ばれる手法を採用してみたところ、予想以上の精度が得られることが明らかになった。最後に円筒導体のシールドについては、自作のコンピュータコードを発展させることにより、作製することができた。

図1に解析し

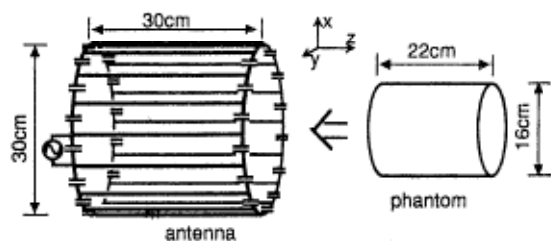


図1 解析に用いたMRI用アンテナと人体モデル(ファントム)

たMRI用アンテナのモデルの一例を示す⁽²⁾。なお、このモデルでは円筒のシールド導体の存在は無視している。アンテナの入力インピーダンスの解析結果を実験値と共に図2に示す。実験値と計算値は極めて良く一致しており、数値解析の精度の高さが実証された。

このように、高精度の数値解析結果が得られたが、当初は大型計算機を用いた計算に二十四時間以上もかかるという問題があった。その後、計算時間短縮化の努力を続け、計算機の目覚ましい発達にも助けられ、今ではワークステーション程度で十分計算が可能となっている。現在このコンピュータコードは日立メディコに引き継がれ、MRI用アンテナの設計と性能向上に威力を発揮している。

三、携帯電話機用アンテナ

携帯電話やPHSなどの移動体通信機器に用いられるアンテナは携帯機筐体に取り付けられているが、筐体がアンテナの特性にどのように影響するのかについては十分な検討は行われていなかった。そこで、携帯電話機に取り付けられたアンテナの動作原理を明らかにするために、直方導体上のアンテナの特性の解析を試みた。手法は二

節で述べたモーメント法と同類であるが、関数の取り扱いが異なる全領域基底関数法（ラーキン・モーメント法と呼ばれる手法を用いた。解析手法の詳細は省略するが、このコンピュータコードの開発には二年以上を要した。

図3に示す直方導体上に置かれたモノポールアンテナの放射指向性を計算した結果を図4に示す^[3]。この計算により、アンテナ部分だけでなく筐体部分からも電波が放射されており、電話機筐体もアンテナとして動作していることがわかる。また、両方の放射界を加えると図4右段のように

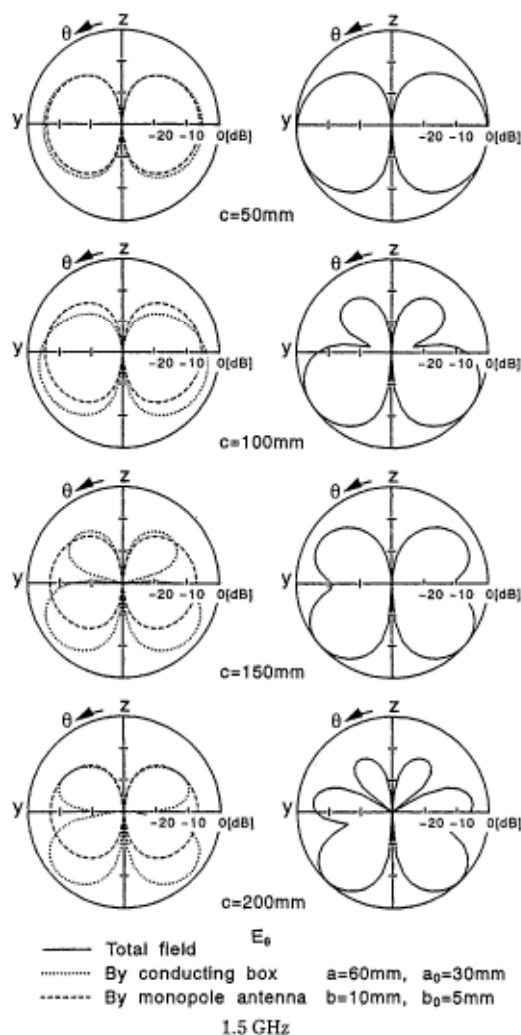
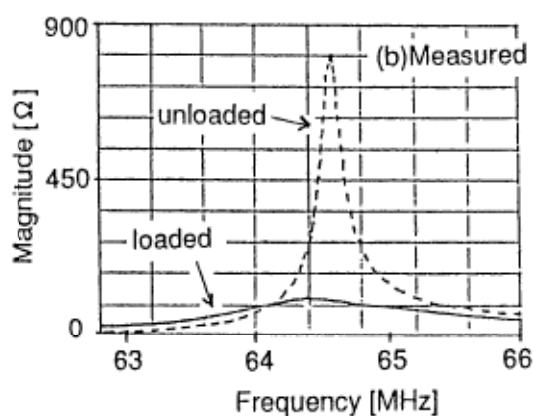
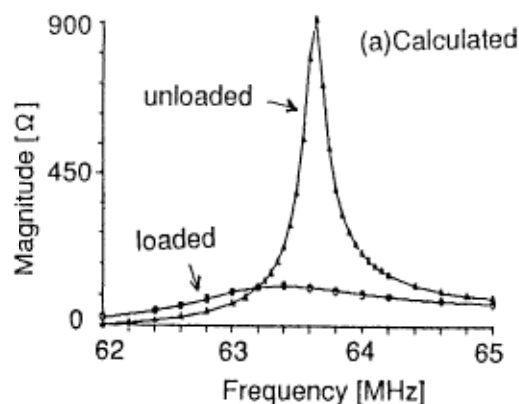


図4 直方導体上の高さを変えたときの指向性の変化。左段はモノポールアンテナからの放射（破線）および筐体からの放射（点線）を示し、右段はこれらの合成を示している。



(a)：計算値 (b)：測定値

図2 アンテナの入力インピーダンスの大きさ。人体モデルがない場合 (unloaded) とある場合 (loaded) の比較。

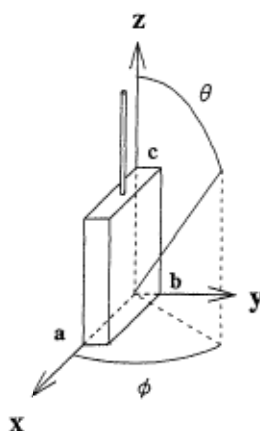


図3 直方導体上のモノポールアンテナの解析モデル。直方導体は携帯無線機の筐体を模擬している。

アンテナには垂直ではなく、下の方向に放射することがわかる。また、筐体の寸法によって最大放射方向が変化している。電話機もアンテナの一部となっていることを実験を通して定量的に明らかにすることは困難であり、このような数値解析を通じて初めて実証することができた。

四、アンテナ近傍の人体モデルへの電力吸収

最近、携帯電話やPHSなどの移動体通信の普及に伴って、アンテナから放射される電波の電力が人体に吸収されるという問題が話題となっている。人体への吸収電力が大きくなると、アンテナの放射（受信）の効率が低下し、アンテナの設計者にとって好ましくない。一方、電波環境問題を扱う環境電磁工学の研究者にとって、どの程度の電力が人体に吸収されるのかが大きな問題となる。いずれの立場であっても、人体への電力吸収の少ないアンテナ構造を明らかにすることが重要である。

電力吸収の少ない高効率アンテナを実現するためには、まず人体への吸収電力を精度良く測定または予測する必要がある。これまで吸収電力を測定する方法がいくつかが提案されているが、装置が大掛かりであったり、測定精度が悪いなどの欠点があった。そこで、放射電力積分法と呼ばれる方法を用いて、簡単な装置により吸収電力を測定する方法について検討を加えた。

この測定装置を図5に示す⁽¹¹⁾。

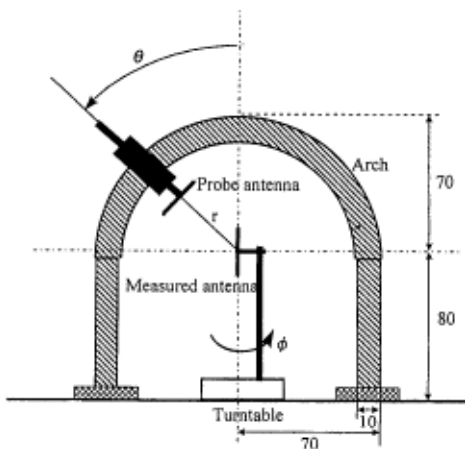


図5 放射電力の測定装置。受球面状で受信アンテナ (Probe antenna) を移動しながら中心に置かれた送信アンテナ (Measured antenna) からの放射電力を測定し、これを球面で積分することにより全放射電力を求めることができる。

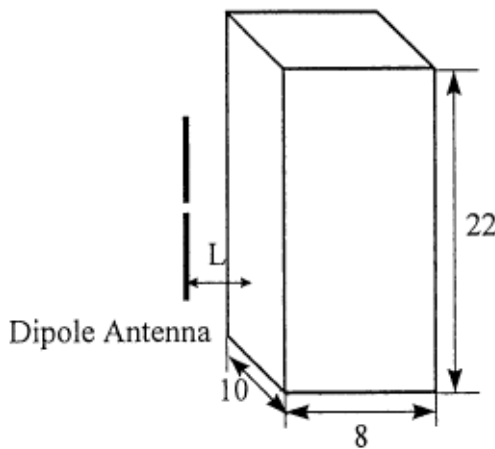


図6 計算および実験に用いたダイポールアンテナと人体モデル (0.2%の食塩水を満たした直方体のペットボトル)

まず、送信アンテナに入力した電力を測定する。次に、送信アンテナの回りで受信アンテナを移動させての送信アンテナから放射された電力を測定し、これを球面上で積分することにより全放射電力を求める。これより、人体モデルへの電力吸収の割合は (入力電力 - 全放射電力) ÷ 入力電力より求めることができる。

アンテナ工学においてこの原理は当たり前であるが、どの程度の測定精度が得られるのか不明であったことなどの理由により、具体的な測定例は報告されていなかった。この装置を用い、頭部近傍に置かれた携帯電話機を模擬するために、図6のよう

に直方体のペットボトルに食塩水を入れたモデルをダイポールアンテナの近傍に置いて放射効率を測定した。その結果を図7に示す。

このような放射効率の測定結果はそれ自体重要であるが、測定精度は不明である。そこで、FDTD (Finite Difference Time Domain) 法 (時間領域差分法) と呼ばれる手法を用いて、数値解析を行った。この手法は、電界と磁界の時間および空間についての偏微分で表されるマクスウェル方程式を、時間と空間の差分で表して数値的に解いていくという強引とも言える数値解析法である。モーメント法と同様に一九六〇

年代に提案された手法であるが、空間を格子に分割するため、大きなメモリを必要とし、また計算に要する時間も長いという欠点を持っているために、提案当時は二次元問題にしか適用できなかった。ところが、計算機の発達に支えられて、数年前から実用的な数値解析の手法としての地位を獲得した。この手法は、差分方程式を逐次的に解くために、計算機の演算は同じ計算の繰り返しであり、スーパーコンピュータにうってつけと言える。逆に言えば、三次元の複雑な問題を解くためにはスーパーコンピュータが不可欠とも言える。

図7にFDTD法による計算結果を実験値と共に示す。計算値と実験結果はほぼ一致しており、実験の有効性が示された。今後は、この装置を用いて、実際のアンテナの放射効率や人体への吸収電力を測定できるものと期待している。

五、おわりに

以上、三つの研究を例に、数値解析の有効性を示した。本文にも述べたように、このような数値解析が可能となった背景には、計算機の急速な発達があり、今後さらに複雑な構造の解析が可能となっていくものと予想される。しかし、計算時間の短

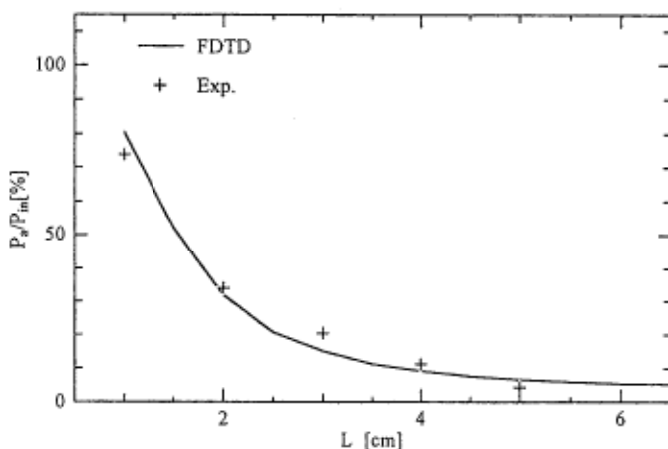


図7 人体モデルへの吸収電力とアンテナへの入力電力の比。横軸は人体モデルとダイポールとの距離L。

縮など独自に考えた工夫や努力なしには、本論で述べた計算は困難であったことを附記したい。

なお、本文では述べていないが、種々の電磁界シミュレータが最近出回っており、我々の研究と競合する場合も少なくない。問題によっては市販のシミュレータで十分な場合もあるが、特に放射も含むシミュレータの場合、適用限界が不明確であるという問題がある。また、これらの限界が明

らかになっても、汎用ソフトを使用している限り、限界を克服することは困難である。我々は、モーメント法やFDTD法とは全く異なる新しい解析手法の確立も現在進めている。解析的な手法なども駆使して汎用ソフトでは扱えない特殊な媒質や複雑な構造にも対応できるような手法を開発し、アンテナ設計や電磁環境対策の現場と電波理論のギャップを埋めることを通じて電波工学の分野に貢献していきたい。

参考文献

- [一] 越智、山本、澤谷、安達、「人体モデルを挿入したMRIアンテナの特性解析」、電子情報通信学会論文誌B-Ⅱ、J76-B-111、巻、四号、二五三～二五九頁、一九九三年。
- [二] R. Yamaguchi, K. Sawaya, Y. Fujino, and S. Adachi, "Effect of Dimension of Conducting Box on Radiation Characteristics of a Monopole Antenna for Portable Telephone", IEICE Trans. Commun., E76-B, vol. 12, pp. 1526~1531, 1993年。
- [三] Q. Chen, T. Shinobe, K. Igarai, and K. Sawaya, "Measurement of Power Absorption by Human Model in the Vicinity of Antennas", IEICE Trans. Commun., E80-B, vol. 54, pp. 709~801, 1997年。

【著者略歴】

澤 谷 邦 男

一九四九年二月二十一日生

一九七一年三月 東北大学工学部通信工学科卒

業

一九七六年三月 東北大学大学院工学研究科電

気及通信工学専攻博士後期課

程修了

一九七六年四月 東北大学工学部助手

一九八七年十二月 東北大学工学部助教

一九九三年七月 東北大学工学部教授

現在 東北大学大学院工学研究科

電気・通信工学専攻教授、波動工学

講座電磁波工学分野を担当

液晶ディスプレイの研究開発

東北大学大学院工学研究科
電子工学専攻教授

内田 龍 男



一、まえがき

世は情報化社会に向かって確実に進んでいる。次世代の先進諸国の基幹産業が情報通信であろうといわれて久しい。日本は持ち前の生産技術を生かしてソフトとハードを結びつけた情報システムに主力を置くことが一つの重要な方向と思われる。

約三十年ほど前、筆者が液晶の研究を始めた頃、情報社会がこれほど発展しているとは予測もなかった。半導体の急成長の時期であり、半導体にも大いに興味をもったが、その先を考えると何か複雑な演算を処理する小型のシステムが実現し、それ

には簡単な表示器が不可欠であろうと予想

される程度であった。当時、恩師の和田正信教授はこのような観点から半導体と相性の良い低電力、薄型、軽量の表示器が不可欠であろうとの予測から、新しい表示用材料を模索してあらゆる可能性を検討していた。そして折しも米国で液晶ディスプレイの提案が行われ、この情報が和田教授のもとにいち早くもたらされた。和田教授はこれが正に求めていた材料であることを直感し、直ちに研究をスタートさせた。その翌年から筆者は大学院一年生としてこの研究に携わることになった。

当時は液晶材料が入手できなかったため、有機化学合成の勉強から始めて、一年ほどかけて最先端の室温液晶の合成までたどり着いた。この間、化学と電子工学の概念や定義の違いを知り、驚くと共に工学はまだ発展途上の学問であることを強く認識した。その詳細は他書に掲載させて頂いたのでここでは割愛する。ともあれ、この液晶の物性とその制御がまず重要であろうと考えて、その基礎となる液晶分子の配向の制御について研究をスタートさせた。これにはガラス基板表面の液晶の配向をどのように制御するかが基本であるが、当時はこのような研究はまだほとんど行われておら

ず、未踏の分野であった。

これについてはその後表面を有機物で被覆してラビング（布による摩擦）などの処理を施すことによりかなり自由に制御できるようになっていた。同時に分子が配向する機構を解析し、多くの知見を得たが、深く研究すればするほど新しい疑問が発生し、未だにつきない研究テーマとなっている。三年ほど前に基礎科学の専門家の国際研究会として著名な Gordon Conference で一時間の招待講演を行う機会を得たが、このテーマは世界的にも関心の高い分野となってきたことを改めて認識した。

著者らの研究室では、このような液晶の基礎物性やその測定法に関する研究を中心とすると共に、その応用として高性能液晶ディスプレイの研究、光コンピュータ、光エレクトロニクスの研究などを行っている。ここではこのうち特に高性能液晶ディスプレイの研究について述べさせて頂く。

二、高性能液晶ディスプレイの研究

二・一 カラー液晶ディスプレイ

筆者が、研究を始めて数年のうちに液晶が電卓や時計の数字表示器に応用されて

着々と実績をあげ始めた。そのころから半導体技術は新しい方向へと向かい始めていた。すなわちマイクロプロセッサの誕生と、高度な演算システムが個人ベースまで降りてきそうな気配が現れたのである。そうなると表示すべき情報は一挙に増大する。これに伴って液晶もCRT(ブラウン管)のように任意の画像が表示できるドットマトリクス方式の研究開発へと動き始めた。この間、筆者らはいくつかの新しい液晶表示方式を考案したが、最終的には液晶ディスプレイを白黒表示からカラー表示に発展させなければならぬことを予測し、二色性色素を用いたゲストホスト効果の研究を開始した。次いでフルカラー化のためのあらゆる可能性を検討し、最終的に液晶セル内にマイクロカラーフィルタを設けた加法混色方式の考案に到達した。図1にその構成を示す。写真1はこの方式によるフルカラーディスプレイの最初の試作品である。

この方式は構造が簡単であること、液晶ディスプレイとしては基本的な白黒表示のものでよいこと、CRTのRGB信号と互換性があること、優れた色再現性が得られることなどの特徴がある。一方、カラーフィルタによる光の吸収が大きく、三色の平均透過率は二〇%前後と低いいため、背後に

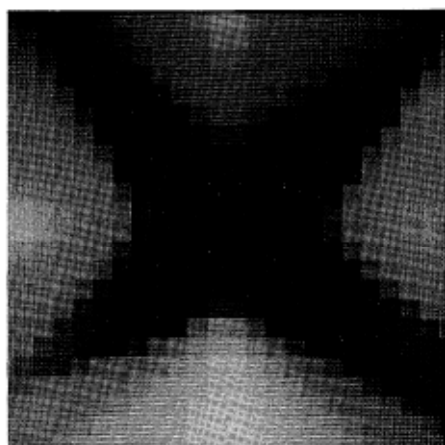


写真1 マイクロカラーフィルタを用いたカラー液晶ディスプレイの表示例。

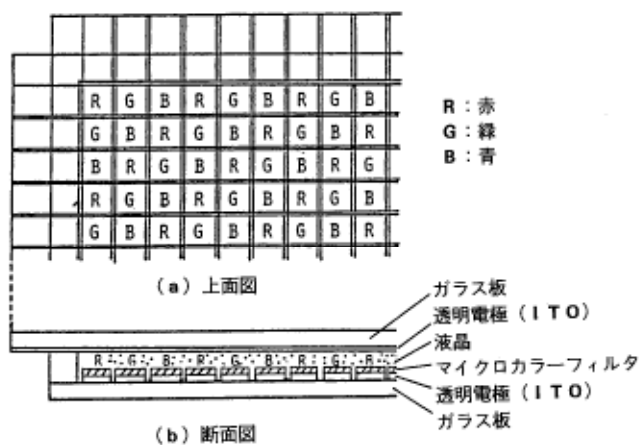


図1 マイクロカラーフィルタを用いた加法混色型フルカラー液晶ディスプレイの構成。

光源(バックライト)を置かなければならないこと、一色素が赤、緑、青の三色の画素で構成されているため、画素数の三倍の画素と駆動用ICドライバが必要となることなどの問題がある。しかし実用的見地から見て、カラー化にはこの方式以外に無いと確信した。事実、この方式はその後急速に普及し、現在、パソコン、液晶テレビ、カーナビなどのカラーディスプレイとして広く用いられている。

二・二 反射型カラー液晶ディスプレイの構成

前項でカラーフィルタを用いたバックライト付きのカラー液晶ディスプレイについて述べたが、この方式では液晶ディスプレイの数十倍の電力をバックライトによって消費されること、屋外などの明るい場所では画像がほとんど見えなくなることなどの欠点がある。そこで次の研究の目標を、バックライトを必要としない反射型カラー液晶ディスプレイの実現に定めた。これは液晶の背後に反射板を設け、周囲光を利用して画像を表示するものである。ただし、カラー画像を得るためには前述のようにマイクロカラーフィルタを用いざるを得ないため、表示が非常に暗くなることから、当初

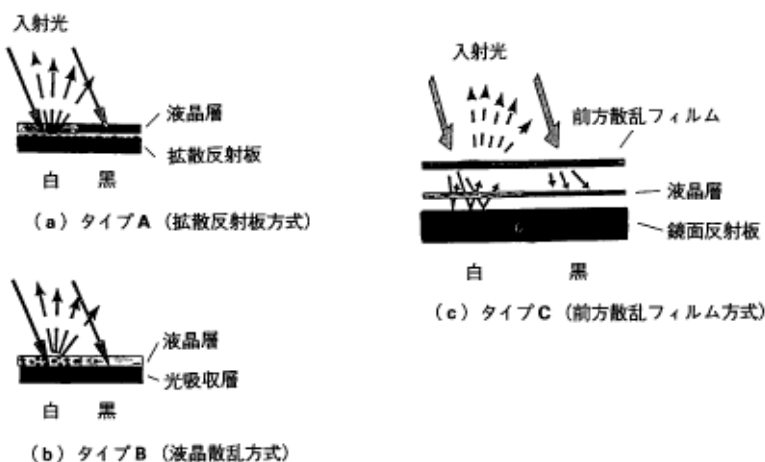


図2 反射型カラー液晶ディスプレイの分類。

は明るさを確保することは不可能であろうと思われる。しかし筆者らは、視野角をある程度限定し、その範囲内に反射光を収束させれば十分な明るさが得られるであろうと予測した。

ところで、反射型液晶ディスプレイの基本的要件として、液晶パネルの内部に入射光を反射させる機能と散乱させる機能を合

わせたなければならない。このような要件を満足させるための構成としてはタイプA～C(図2(a)～(c))の三つの方式が考えられる。

ここでタイプAは液晶層の背後に散乱性の反射板を置く方式である(図3参照)。この方式では反射板の散乱特性を最適設計することが重要である。筆者らはこの特性を理論解析し、反射板の表面のマイクロな形状を放物面とすることによって反射光を特定の角度範囲内に収束させ、その範囲内で一定の強度にさせ得ることを明らかにした。これによって紙(印刷物)なみの明るいカラーディスプレイを実現することができた。

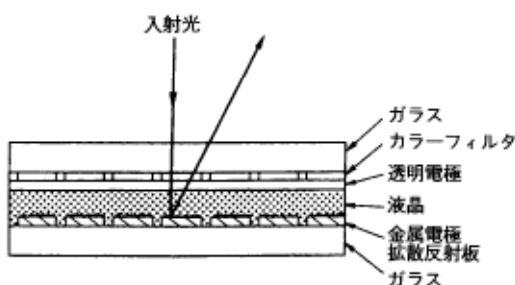


図3 反射型カラー液晶ディスプレイ(タイプA)の構造。

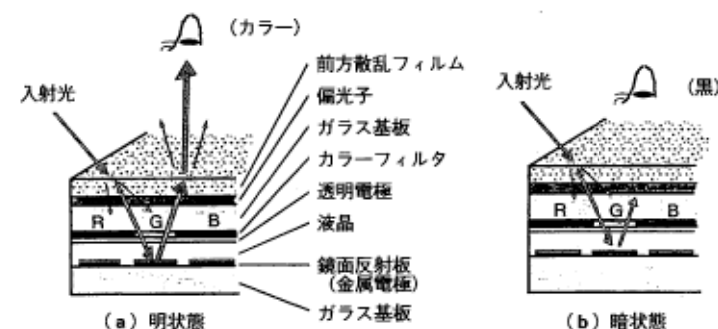


図4 反射型カラー液晶ディスプレイ(タイプC)の構造。

明状態となったとき入射光は背面の吸収板によって吸収されるために暗状態となる。この方式で明るいディスプレイを実現するためには、後方散乱強度を強くする必要はあるが、低電圧駆動では一般にこの条件を満足させるのは極めて難しい。

タイプC(図2(c))は散乱と反射の機能を分離したものである。具体的には図4に示すようにパネルの手前に前方散乱フィル

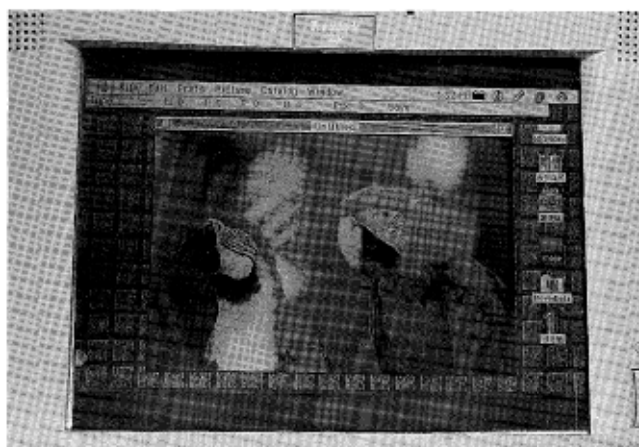


写真2 反射型カラー液晶ディスプレイ（タイプC）の表示例。

ムを貼り、液晶の直後に鏡面反射用の平滑な金属電極を置いている。明暗の制御はシヤッタ用の液晶に担当させている。液晶としては偏光子一枚または全く用いない方式が使えるが、特にOCB方式（optically compensated bend方式）を反射型として用いるR-OCB方式（reflective-OCB方式）は、低電圧、広視野角、高速応答、中間調表示、高コントラストなどの点で優れた特性を有している。このR-OCB方式の表示例を写真2に示す。

これらの反射型液晶ディスプレイは、バックライト付きの透過型液晶ディスプレイと比較して室内では明るさは若干劣るものの、印刷物やカラー写真程度の表示品位まで達成できる見込みである。一方、屋外では従来の透過型液晶ディスプレイと比較して大幅に見やすい画像が得られる。しかもバックライトがないために消費電力は数十分の一に減少する。従って将来の高度携帯情報端末には不可欠のデバイスになるものと予想される。

ところで、著者は以前からディスプレイを主として情報表示用と映像表示用に分けるべきであると主張してきた。映像表示用では高輝度、高コントラストの美しい映像が必要であるが、情報表示用では目の疲労の少ないことが最も重要である。この点で情報表示用には紙（印刷物）にできるだけ近い表示特性を持つ反射型液晶ディスプレイが最適であり、デスクトップパソコンやワークステーション用のモニターディスプレイといった巨大な市場が控えている。

二・三 時分割カラー表示方式

前項で述べたように、情報表示用には反射型の液晶ディスプレイが適しているが、映像表示用には美しい画像を得るために明

るい表示が必要である。従って、後者にはバックライト付の透過型の液晶ディスプレイが適している。ただし二・一項で述べたように、マイクロカラーフィルタによるカラー液晶ディスプレイには多くの問題がある。そこで、最近筆者らは、赤、緑、青のバックライトを順次高速に発光させ、それとタイミングを合わせて液晶パネルで明暗の画像を表示させる新しいカラー液晶ディスプレイを開発した（図5および図6(a)（c）参照）。これによって三色の画像が目の残像効果によって重ね合わされて図6(d)のような一枚の合成カラー画像が得られることになる。

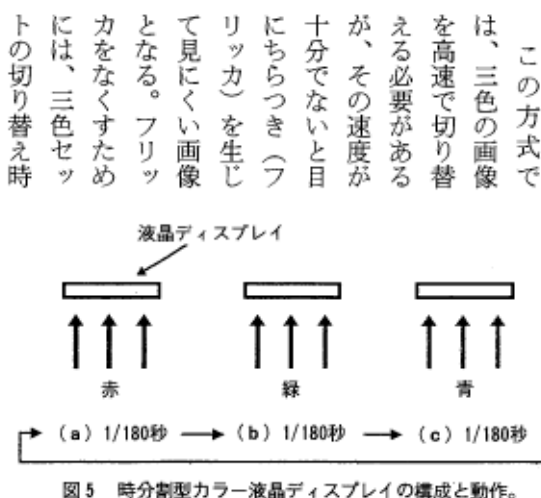


図5 時分割型カラー液晶ディスプレイの構成と動作。

間を六〇分の一秒（現行テレビの一画面の切り替え速度と同じ）とする必要がある。すなわち一色あたり一八〇分の一秒（約5.5msec）の速度で切り替える必要がある。実際には画像の書き込みと液晶の応答が完了してからランプを一定の時間点灯することになるので、液晶の応答速度として3.5msecを目標にした。このような高速応

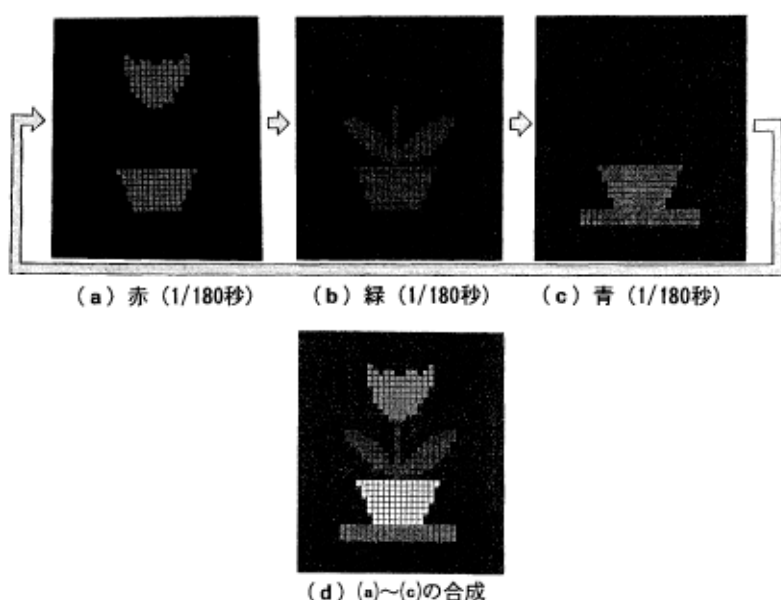


図6 時分割型カラー液晶ディスプレイの表示原理。

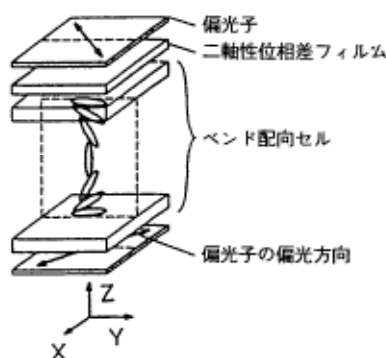


図7 OCB方式の構成。

答性を有し、中間調表示が得られ、比較的大型のディスプレイを容易に製造できる液晶はそれまで存在しなかったが、筆者らが広視野角化のために考案したOCB方式 (optically compensated bend方式の略) の液晶ディスプレイが有望であろうと考えていた。このOCB方式は図7に示すように、ベンド構造をもたせただうえに、二軸性位相差フィルムを重ねてリターデーションを三次元的に補償し、視野角を著しく広くしたものである。このベンド構造のセルは歪みエネルギーが大きいために応答速度が著しく速い(2~8msec)が、ここではその速度をさらに高速化するために粘性の低い液晶を選択する

と共に、液晶パネルの設計条件を最適化してはば3.5msec以下の応答速度を得ることができた。

このOCB方式の液晶パネルで試作した時分割型のフルカラーディスプレイの表示例を写真3に示す。このディスプレイではまだ「FT」を付けていないので高精細の画像パターンを表示することはできないが、これを駆動する電圧波形や駆動回路として走査線五百本の「FT」型液晶パネルを想定してその条件に合わせてある(左上から右下のセグメントにそれぞれ走査線の本目から適宜間引きして五百本目までの電圧波形が加えられている)。従って、液晶パネルとしては「FT」と組み合わせれば高精

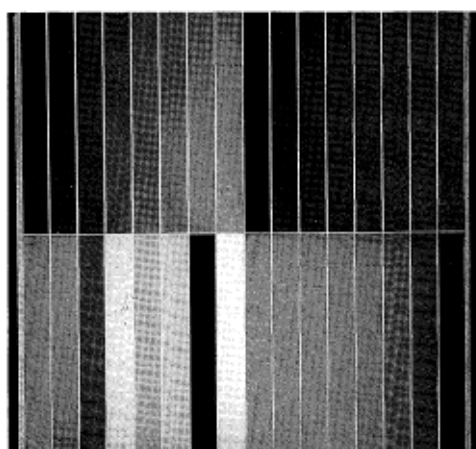


写真3 時分割型カラー液晶ディスプレイの表示例。

細なフルカラー液晶ディスプレイを実現できることがわかる。

三、むすび

情報化社会の進展に伴って、各種の情報システムが急速に発展していくものと考えられる。そのマンマシン・インターフェースとしてディスプレイ、特に液晶ディスプレイは今度このような情報システムのキーデバイスになるものと予想される。従って、液晶ディスプレイは今後さらに大きく発展していくものと予想されるが、ここでは、著者らの研究室の主要な研究テーマの一つである次世代高性能カラー液晶ディスプレイの研究について紹介させていただいた。

欧米やアジアの先進諸国でも液晶ディスプレイを最先端技術と位置づけて活発な研究開発を展開し始めている。しかし、液晶の研究は物理、化学、エレクトロニクスの境界領域にあり、その基礎物性や幅広い応用についてはまだ大部分が未知のベールに包まれている。その意味で、魅力にあふれる研究分野である。是非多くの方々の参入を期待したい。

【著者略歴】

内 田 龍 男

昭和22年11月21日生

昭和45年3月 東北大学工学部電子工学科卒業

昭和50年3月 東北大学大学院工学研究科電子工

学専攻博士課程修了

昭和50年3月 工学博士

昭和50年4月 東北大学工学部電子工学科助手

昭和57年8月 同 助教授

平成元年5月 同 教授

平成6年4月 東北大学大学院工学研究科電子工

学専攻教授

現在に至る

一、はじめに
産業廃棄物や一般廃棄物がいわゆる「ごみ問題」として深刻な社会問題になっていることは今や周知の事実である。各産業ばかりでなく日常生活においてもなくてはならないプラスチックは、生産量のみならず排出量も年々増加しており、安い、軽い、腐食しない、加工しやすい、丈夫である等の特性故に廃棄処分が困難となっている。(図1)
石油危機以後ここ数年來、再び廃プラスチックのリサイクルは、資源・エネルギー問題のみでなく新しく環境問題の視点からの重要要素として注目されており、様々な



東北大学大学院工学研究科
応用化学専攻教授
奥 協 昭 嗣

廃プラスチックの
ケミカルリサイクリング

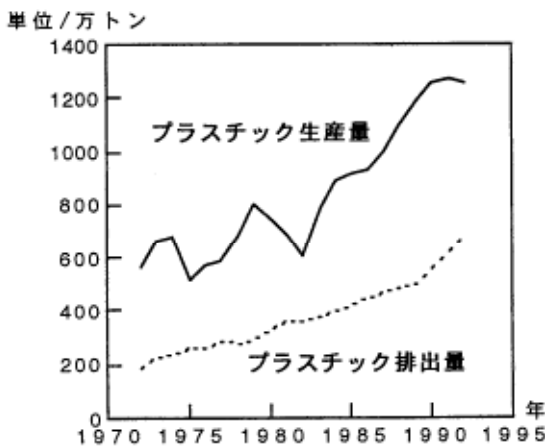


図1 プラスチックの生産量と排出量の推移

角度からリサイクルが検討されている。廃プラスチックのリサイクルには、大きく分けて、三つの方法がある。再生ベレットや成形加工品とするマテリアルリサイクル、熱エネルギーとして回収するサーマルリサイクルと化学原料に転換するケミカルリサイクルである。図2に廃プラスチックの流れと再資源化技術の概要を示す。
現状では、マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルが中心であるが、地域住民の理解が得られないため埋立処分場や焼却施設建設の立ち遅れ、マテリアルリサイクルにおける処理コストの上昇等が問題とな

プラスチック生産 1,304万t
↓
廃プラスチック 846万t
↓
埋立 350万t

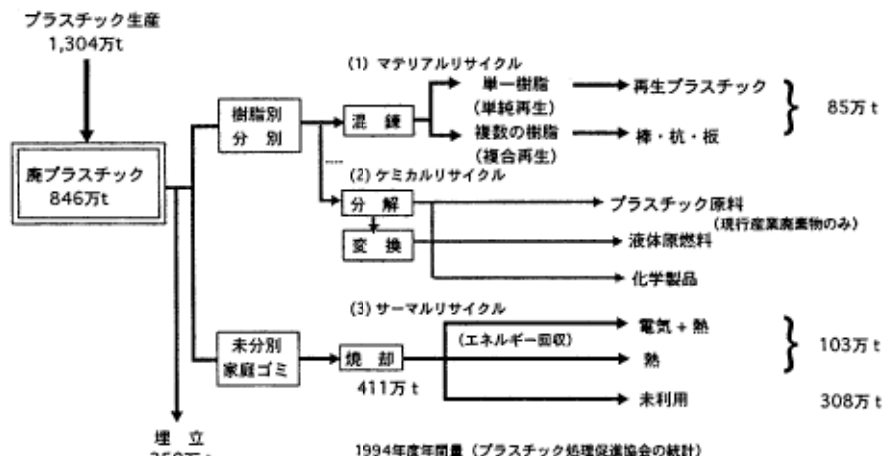


図2 廃プラスチック流れと再資源化技術

ムを追求することが重要であろう。

廃プラスチックのケミカルリサイクルはポリエステル、ポリアミド、ウレタン等の解重合法とオレフィン系プラスチックの熱分解によるガス化と油化がある。ここでは、解重合が容易でケミカルリサイクル実現の可能性が高いポリエチレンテレフタレート（PET）と、安価な反面、塩素を含むため、リサイクルにおいて様々な問題を起す塩化ビニル（PVC）のケミカルリサイクルについて紹介する。

二、PETのケミカルリサイクル

日本におけるボトル用PET樹脂の需要は図3に示すように年々増加している。日本は、ヨーロッパや既に七万トンもリサイクルしている米国のように廃PETボトルを回収・再生する基盤整備がなされていないため、現在ほとんど廃棄されているが、九四年春からウィズウェイストジャパンと関連二十三社で組織されたPETボトル協議会とが再生処理工場を建設し、モデル的にマテリアルリサイクルを始めた。回収システムが未整備な反面、ごみ焼却場は普及しているため、一部が電力や熱エネルギーとしてサーマルリサイクルされているといえる。混合廃プラスチックを燃料に転換し、

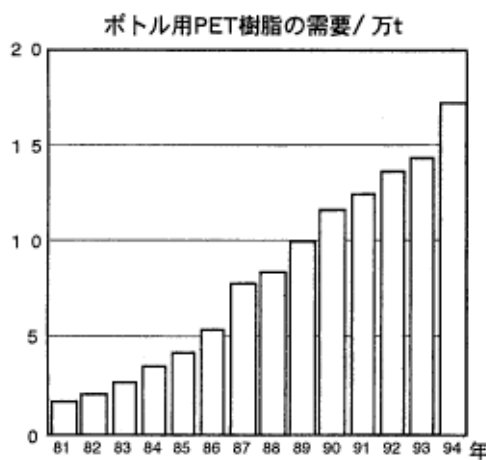


図3 ボトル用PET樹脂の需要の推移

熱エネルギーとして回収する試みが活発に行われているが、ボトル用PETは高品質で発熱量が五千五百キロカロリー／キログラム程度と小さいため、ケミカルリサイクルを推進する動きが活発化している。埋立地の不足やマテリアルリサイクルの処理コストの急速な上昇から、今後はケミカルリサイクルを追求することが要求されると考えられる。PETのケミカルリサイクルの反応は、現在すべてその加溶媒分解によるもので、水（加水分解）、アルコール類（アルコールシス）ではメタノール（メタノリシス）、グリコール（グリコリシス）が用いられている。また、アンモニアによる加アンモニア分解も検討されているが、生成物が

テレフタル酸アミドであるため、大量のPETを処理した場合、この生成物をいかに利用するかが課題である。ここでは、当研究室で行われた加水分解について紹介する。PETはテレフタル酸（TPA）とエチレングリコール（EG）ユニットのエステル結合による繰り返し構造であることから、加水分解によりTPAとEGに解重合する。

この加水分解は速度が小さいため、酸やアルカリを触媒として用いることが多い。フレーク状に粉碎した廃PETを八〇%以上の濃厚な硫酸中、常温、常圧で攪拌しながら液化し、反応液と同量の冷水で希釈加水分解し、析出したTPAを濾過する。TPAは中性から酸性側では水にはほとんど溶けないが、水酸化ナトリウムなどのアルカリ溶液中ではテレフタル酸塩として容易に溶けるため、以下の操作により容易に高純度のTPAを得る。水酸化ナトリウム溶液に析出したTPAを添加し、ナトリウム塩として溶かし、再び硫酸で結晶として析出させる。また、五五%以下（ $\Delta 10\text{mol/L}$ ）、一五〇℃、五時間で定量的にTPAとEGが得られる。この場合、反応液は希硫酸であるためPETをほとんど溶解せず、加水分解の後TPAは直ちに析出する。従って、

反応が完全に進むと、TPAとEGを含む硫酸とを容易に分離することができる。

この他、硝酸加水分解・酸化法とアルカリ加水分解・酸化法がある。硝酸加水分解・酸化法はPET粉末をTPAとEGに酸加水分解し、さらにEGを硝酸化によってシュウ酸とし、この時生成する一酸化窒素を空気酸化させた後、水に吸収させて硝酸を再生する方法である。この方法は加水分解と酸化速度のバランスの制御することにより新しいプロセスとして期待される。

また、二五〇℃の濃厚水酸化ナトリウム水溶液中酸素酸化では、TPA収率はほぼ一〇〇ユニット%に達し、ナトリウム塩として沈澱する。加水分解で生成するEGは塩基触媒酸素酸化によりシュウ酸に酸化され、酸素圧力五〇気圧、五時間での収率は六〇ユニット%に達する。

三、ポリ塩化ビニル (PVC) のケミカルリサイクル

PVCは可塑剤などの添加剤により軟質から硬質まで自由に加工でき、利用分野が多岐にわたっているだけでなく、食塩電解工業における塩素の消費先として、苛性ソーダとの需給バランスを保つためにも重要な役割を果たしているプラスチックであ

る。日本でも塩ビ材料を溶媒処理して再生するセミケミカルリサイクルが開始された。しかし、焼却時には発生する塩化水素によるスーパヒーターの腐食やダイオキシン等の微量有害物質の副生など装置材料や環境上の問題に配慮が不可欠である。ここでは、液相酸化法を利用した新しい再資源化技術について紹介する。

液相酸素酸化法では、炭素質を塩基触媒酸素酸化機構によりシュウ酸やベンゼンカルボン酸に転換するため、大過剰の水酸化ナトリウム存在下で酸素酸化する。オートクレープに市販のPVC粉末、硬質塩ビベレット (プロポトル用、PVC: 82.4wt%)、軟質塩ビベレット (電線被覆用、PVC: 36.8wt%)、三グラムを仕込み、一五〇〜二五〇℃、酸素圧一〇〜一〇〇気圧、水酸化ナトリウム濃度一〜二五モル/キログラム (水) の条件下で酸素酸化した。酸化生成物はシュウ酸とフタル酸、トリメリット酸、ピロメリット酸やベンゼンペンタカルボン酸等のベンゼンカルボン酸類と二酸化炭素である。酸素圧四〇気圧、水酸化ナトリウム濃度一五モル、二五〇℃、七時間でPVCは完全に脱塩化水素し、分解した。酸素はPVCの脱塩化水素を促進するが、液相酸化においても同様である。酸

素圧が高いほど脱塩化水素率と分解率は高かった。シュウ酸および二酸化炭素は酸素圧が高い程増加したが、シュウ酸の選択率が高い。また、予め窒素流通下で脱塩化水素したPVCは五時間で完全に分解した。さらに脱塩化水素率が高いものほど液相酸素酸化によりシュウ酸収率が増加し、ベンゼンカルボン酸類は減少した。この方法で、PVC一キログラムを処理すると、シュウ酸は約六〇〇グラム、ベンゼンカルボン酸類はフタル酸換算で三〇〇グラム生成する。

硬質塩ビおよび軟質塩ビのベレットの場合も生成物に違いはない。これは、反応が塩基触媒酸素酸化機構で進むためである。特に、軟質塩ビは可塑剤としてフタル酸ジイソニル (DINP) を含むため、そのアルカリ加水分解で生成するフタル酸の割合が高い。

四、おわりに

ここでは、PETとPVCのケミカルリサイクルについて述べた。PETはTPAとEGユニットがエステル結合しているため、解重合によるケミカルリサイクルが主流である。これはナイロン6やナイロン66等のポリアミド系樹脂からのεカプロラク

タムの回収、ポリアセタールからのモノマーの回収やポリウレタンからのポリオキシプロピレングリコール等の回収も類似している。一方、PVCの場合はオレフィン系プラスチックと同様に分解がラジカル的に進み、生成物が複雑な混合物である。そのため、触媒等により、ある程度まで生成物を制御してはいるが、品位の低い炭化水素と水素への転換が現状である。液相酸化法は生成物を高価なカルボン酸類に転換する点で、典型的なケミカルリサイクルであるが、ベンゼンカルボン酸類の組成の十分な制御が今後の課題である。

廃プラスチックのケミカルリサイクルは回収システムにおける分別・輸送コストや、やや複雑な分解プロセスであるという点で、市場経済下ではコスト的な問題が大きい。従って、付加価値のより高いものに転換することにより相対的にコストを下げ、経済性を与えるなどの工夫がケミカルリサイクルに必要であろう。二十一世紀を目の前にして、温暖化防止条約の枠組みの前提の下、環境、資源とエネルギーに十分配慮した、廃プラスチックのリサイクルシステムの構築が必要である。

【著者略歴】

奥 脇 昭 嗣

昭和15年7月9日生

昭和38年 東北大学工学部応用化学科卒

昭和43年 東北大学大学院工学研究科応用化学専攻博士課程修了

攻博士課程修了

昭和43年 東北大学工学部助手

昭和45年 東北大学工学部助教授

昭和62年 東北大学工学部教授

平成7年 東北大学大学院工学研究科教授

現在 応用化学専攻

資源循環化学講座担当

生体の穏やかな分子反応
機構に学ぶ

—運動機能材料の創製—

東北大学大学院工学研究科
金属工学専攻教授

鈴木 誠



一、はじめに

生体を作る細胞には、さまざまな細胞内器官がある。その中で少数の分子からなる運動器官やDNA複製にかかわる酵素群などは工場の中の機械と同じような役割を果たしている。これらは生体の分子機械である。図1に示すような分子モーターとよばれるタンパク分子の集合体は化学エネルギーを力学的仕事に変換するまさに機械的機能をもっている。常温常圧で起こる生体の反応システムの中でも運動機能材料の実現はわれわれの大きな目標である。

細胞を構成する材料は、工業用材料

の概念からかけ離れているように見える。その違いは、細胞内には同じ空間に様々な機能を持つ細胞内器官が高密度で存在し、細胞間情報伝達物質などの指令によってそれら相互の連携が変化していく点であろう。細胞では微小空間に多くの機能を凝縮させなければならぬのに対し、人工物では汎用性からシンプル機能の材料が要求される。こうした傾向は基本的にマイクロシステム用の材料としてのニーズであり、これから発展が期待されるマイクロマシンやナノシステムのような微小系工学分野には、新たな概念に基づく材料設計が必要になると思われる。したがって生体分子機械に込められた未知の原理や機構を学び、基本的な機構の工学的応用を図るといった基盤の充実がますます重要になってくる。その意味で生体分子機能の分子論を整備することが必要である。

二、タンパク分子モーターの基本反応

からだの中で起こる複雑で巧妙な反応のほとんどにタンパク質がかかわっている。筋肉の収縮タンパクであるアクチンとミオシンはモーターとして作動する分子であ

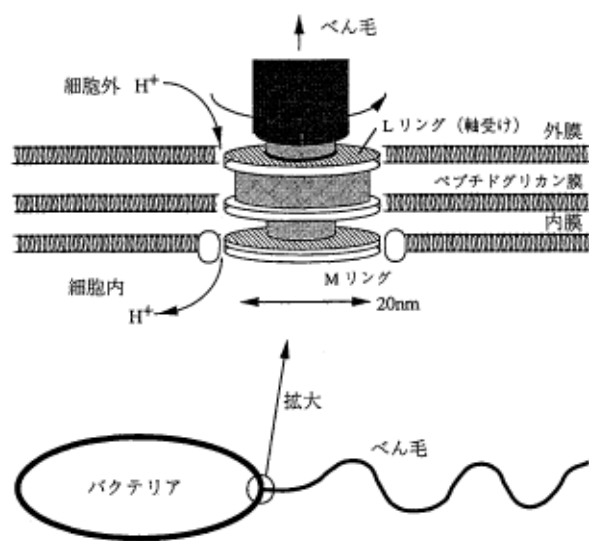


図1 分子機械の例：バクテリアの回転べん毛モーターリング、シャフト、軸受け、べん毛はすべてタンパク分子からなる。

る。(図2参照) このミオシンの酵素作用は次のようにして起こる。エネルギー源物質であるアデノシン3リン酸(ATP)との結合、ミオシン分子内でのATPの加水分解反応、分解産物である無機リン酸の放出と力発生、アデノシン2リン酸(ADP)の放出の4ステップで1サイクルである。このサイクルによる自由エネルギー変化は $120 \sim 30 \text{ kJ/mol}$ である。これらの4つの各ステップについては、多くの生化学的、生理学的研究により調べられているが、タンパク分子内で加水分解反応が起こる(酵

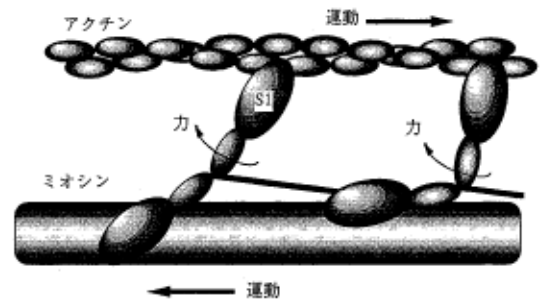


図2 アクトミオシン分子モーター
S1がアクチンと結合して角度が変わることで相対的滑りが起こるとされる。

素としての肝心の) 機構はまだ明らかではない。一般の酵素の基本反応も酵素と基質の結合、基質の化学変化、反応産物の放出からなり、ミオシンの研究から酵素機能を理解する重要な手がかりが得られると考えられる。

三、分子モーター機能における基礎反応 ステップの秘密

タンパク分子は二十種類のアミノ酸が一つなりに多数重合したものであり、 α ヘリックスや β 構造が三次元的に配置された構造をもつ。構造を安定化するものは静電結合、水素結合、ジスルフィド

(—S—S—)結合であり、水中ではさらに疎水性結合が加わる。

ミオシンと基質の結合は大きなエンタルピー低下をもたらす。この反応はスクレオチド(ATP)とミオシンの静電的ないし水素結合による安定化である。続いて起こるミオシン内でのATPの分解では、熱測定の結果から大きなエンタルピー増大とエントロピーの増大そして熱容量の低下が起こることがわかっている。熱力学的には、エンタルピーの増大という不利な現象がエントロピー増大によって補償され反応が進行することを示している。この現象が分子論的に解明されれば、酵素反応の中核部の機構の工学的モデル化も可能になるであろう。

四、タンパク分子における水和水の構造と性質

当研究室では、マイクロ波誘電スペクトル解析によるタンパク分子の水和状態の変化を調べている。最近誘電測定装置のギガヘルツ周波数域の分解能を高めて200ppm以下の誘電率変動を検出できるようになった。また溶質であるタンパク分子の水和特性を調べるためにエマルション解析を応用した非線形解析法を開発することができ

た。この方法により従来の線形解析法では知ることのできなかつた溶質の誘電スペクトル特性の抽出がはじめて可能になった。その結果、タンパク分子をとりまく水和層は水一層からなっていることがわかり、タンパク分子表面に拘束される水和水は誘電特性の上から二種類にわけられる。一つはMHzオーダーで緩和する成分であり、もう一つはギガヘルツ域(γ GHz付近)で緩和する成分である。前者は従来よりNMRや誘電測定により知られていたもので、極性基の水和成分である。後者の同定にはさらに詳しい解析が必要になる。

五、ギガヘルツ域で緩和する疎水基の水和層

疎水基の水和層についての検討はNMRや誘電測定によりその存在が知られていたが、ほかの水和成分と分離して特性評価をすることはこれまでできなかった。筆者らは新たに開発した誘電解析法を応用して、疎水基をもつアミノ酸の高濃度水溶液の誘電スペクトルからアミノ酸の分子配向の緩和周波数と疎水基の水和層に由来する緩和周波数を分離して求めることができた。その結果、疎水性水和層の水和数はおおよそ疎水性部分に接触している水分子の数だけ

あり、その水和層中の水分子の回転運動の緩和周波数はほぼ 4GHz であることを明らかにした。このことは水中のタンパク質のアミノ酸側鎖に対してもいえるので、タンパク質表面に露出する疎水性基の露出表面積も考慮するとギガヘルツ域で緩和する成分のほとんどは疎水性水和水であると考えらるべきであろう。

六、ミオシン分子モーターにおける脱水和現象

ミオシン分子内(モータードメインSI内)でATPが加水分解する反応ステップについて誘電測定を行うとSIの疎水性水和成分だけが8%も減少することが見出された。この反応ステップにおけるエントロピー増大はタンパク表面の疎水性水和の減少によって完全に説明がつく。一方同時に起こるエンタルピー増大は、RaymentらによるATPアナログを結合したSIの結晶構造解析の結果を参考にすれば、ヌクレオチドとSIの間の水素結合の減少によるというのが妥当な解釈である。すなわち、エンタルピー増大反応が自然に進行するメカニズムは、実はタンパク分子の脱水和によっていることがわかる。これらのことから、さらに一步ふみこめばタンパク分子表

面の疎水性相互作用がタンパク分子内部の水素結合の減少を引き起こすという分子動力学的構図ができあがる。

七、水の性質を利用して静かで穏やかに応答する運動機能材料

水が他の液体と違った特殊な性質をもっていることは良く知られているが、生体分子機能において水分子が果たしている役割はまだまだ解明されていない。その中でミオシン分子がモーター機能を生み出す過程において、筆者らの研究によりタンパク表面の疎水性水和の主目的はたつきが明らかになってきた。

この原理を応用して運動機能をもつ材料を作成することが可能である。一つの分子中に疎水的な結合サイトと水素結合サイトを競合する形で導入することにより、常にどちらか一方の構造しかとれないようにすることが可能である。図3は温度や溶媒により

構造がスイッチする分子を重合してできる可逆伸縮性のポリマーを示す。現在合成途上であるが、これにより長さが急激に変化

分子機械の設計・合成

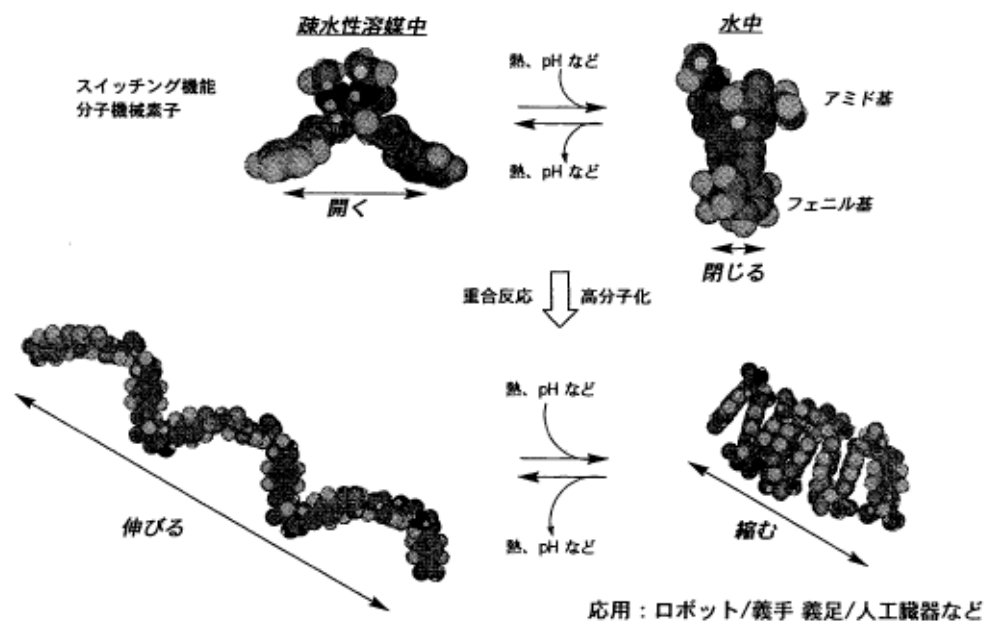


図3 分子スイッチ(上図)を重合して作る人工筋肉

する人工筋肉材料を作ることにも可能になる。

最近の周辺科学の進展によりタンパク機能の分子内反応機構が実験的にまた計算機化学的に解析可能になってきた。様々な機能がすべて解明されるのはかなり先のこととしても、小さな分子系であれば、あるいは単一のタンパク分子ならその物理化学的性質を推定することも可能になると思われる。したがって三次元原子座標から酵素機能の予測することも近い将来の射程圏内にくるといえる。それは当然人為的に設計したタンパク分子の性質を予測することが可能となると同時に、超分子、超酵素、分子機械、人工筋肉といった新ナノ物質、新材料の創製に重要な基盤になると考えられる。

【著者略歴】

鈴木 誠

一九五二年二月十九日生

一九七四年 山形大学工学部電子工学科卒業

一九七六年 カナダ国ウエスタンオンタリオ大学

大学院工学研究科電気工学専攻修士

課程修了

一九七八年 東北大学大学院工学研究科電子工学

専攻博士前期課程修了

一九八一年 東北大学大学院工学研究科電子工学

専攻博士後期課程修了

一九八一年 通商産業省工業技術院機械技術研究

所研究員

一九八五年 同 主任研究員

一九九三年 通商産業省工業技術院産業技術融合

領域研究所 主任研究員に配置替え

一九九六年 東北大学教授

現在 東北大学教授 大学院工学研究科金

属工学専攻材料理化学講座

生体材料化学分野を担当

一、はじめに
仙台海岸を空から眺めれば図1のようである。仙台海岸に流入する主要河川としては阿武隈川、名取川、そして七北田川の三つが挙げられる。いずれの河川においてもその河口部にはラグーン（それぞれ、鳥の海、井戸浦・広浦、蒲生干潟）が存在し、豊かな自然環境が保たれている。このような河口部には潮汐の影響を受けており、いわゆる「感潮域」と呼ばれる区間が広がっている。河口部では潮汐のほかにも、河川流、波浪などの影響を受けて複雑な現象が見られる。

感潮域の水理

— 仙台近辺の河口で

起こっていること —

東北大学大学院工学研究科

土木工学専攻教授

田中 仁



河川・海岸工学の視点から河口を見たとき、治水、航路維持、利水などが関連する問題点として思い浮かぶ。まず、河川の流れに比べて波浪により持ち込まれる土砂が卓越するとき、河口部は閉塞しやすくなる。これにより、洪水時の流水の疎通能力に問題を来すことがあり、氾濫に結びつく危険性もある。また、河口部は河口港として利用されることが多いため、この点でも河口の閉塞は望ましくない。さらに、河口の開口状況に応じて塩水の遡上の程度が変化し、この点で河口現象は利水問題ともリンクしている。近年では、先に記したように河口部に見られる干潟環境の重要性が広く社会的に認識されている。この様に河口に

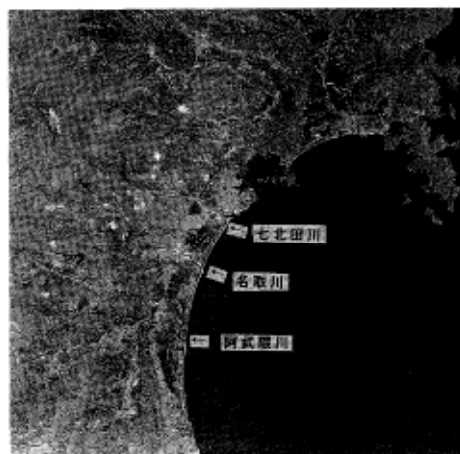


図1 仙台海岸

求められる社会的にニーズは多岐にわたっている。我々の研究室では上記の仙台湾に注ぐ河川のうち、七北田川と名取川において現地調査等を行っている。そこで、ここではこれまで実施されたこれらの河口に関する研究の一端を紹介する。

二、七北田川の河口現象

二・一、七北田川の概要

七北田川は、その源を仙台市北西部の泉ヶ岳に発し、仙台市若林区蒲生地先で仙台湾に注ぐ二級河川である（図2）。七北田川はもともと現河口近くで約二・五キロメートル北上してから仙台湾に注いでいた。このことは仙台海岸において南から北へ向かう岸沿いの砂移動が卓越していることを示している。昭和四〇年代に、現河口から約二キロメートル北の位置に仙台湾が建設された。これにともない旧河口が締め切られ、現在の河口地形が形成された。旧河口部の河道は蒲生干潟として残り、現在では冬鳥の飛来地として貴重なレクリエーションの場となっている（図3）。

二・二、七北田川の水位変動

図4は七北田川河口水位および仙台湾での潮位の変化例を示したものである。図中

には七北田川から約九キロメートル南に位置する名取川の河口内水位も図示した。名取川河口水位はほぼ潮位と等しい。これに対して、七北田川河口水位はほぼ常に潮位

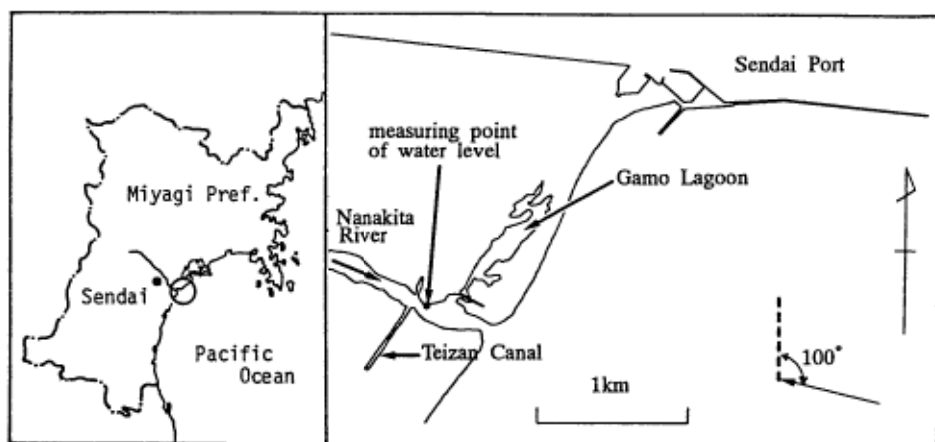


図2 七北田川河口地形

より高いことがわかる。同様な海水面の上昇は一般の海岸において見られる(図5)。図5下段は波の峰・谷の高さを示す。左側から進行する波は岸近くまでその高さを増

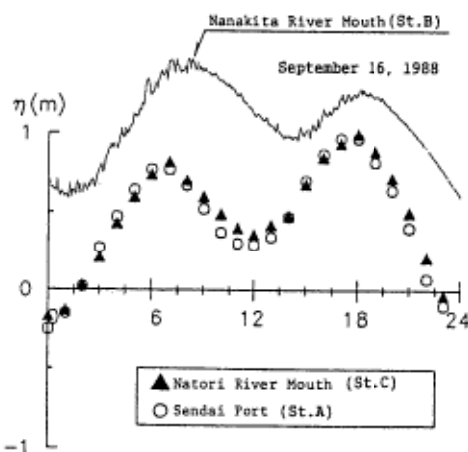


図4 河口水位の変化



図3 七北田川と痛生干潟

加させた後、ある点(砕波点)で碎ける。その後、波の高さは徐々に減少する。上段の図は対応する場所での平均水位を表す。平均水位は沖から砕波点に向かうにつれて次第に低下(wave set-down)する。一方において、砕波後の平均水位はその逆に上昇(wave set-up)する。七北田川河口においては、河口前面での砕波による wave set-up のために図4に見られるような河口内水位の上昇がもたらされたわけである。これに対し、十分な断面積が維持されている名取川河口内水位は潮位とほぼ一致した変動を示している。過去に撮影された航空写真によると、七北田川河口前面では常時砕波が観察されるのに対して、名取川河口ではそのような状況は見られない。このことから、名取川河口は wave set-up の影響を受けていない。

七北田川河口と名取川河口は貞山運河(図1-2参照)により結ばれている。別途行われた貞山運河での流れの観測によれば、ほぼ常時七北田川から名取川に向かう流れが見られた。これは、上述の wave set-up の有無により両河川の水位に勾配がついているためである。

図6は wave set-up 量とその時刻での波の高さ H_0 との関係を示したものであ

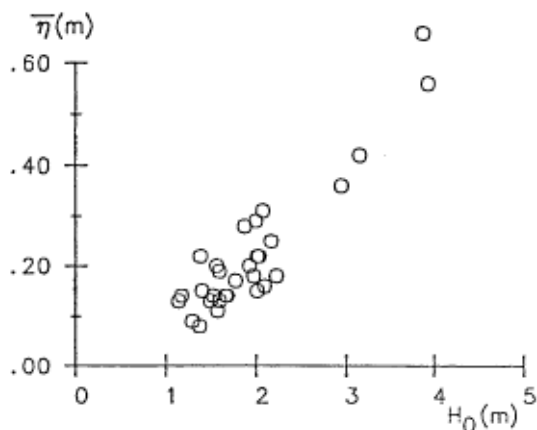


図6 七北田川河口での wave set-up 高さ

二・三、七北田川の河口閉塞
 七北田川河口は図7の様に完全閉塞することがある。閉塞前後の水位変動パターンの変化を定量的に把握するために、河口内水位の満潮時ピーク y_R と潮位のピーク水位 y_0 との比およびその位相差 Δt を求めた。結果を図8に示す。十一月三〇日、十二月一日をはさんで、 y_R/y_0 は約一・〇から〇・八に低減している。また、 Δt に

る。図より両者の間には明瞭な関係が見取れる。wave set-up 量は平均で波の高さの一割程度、最大で二割程度に至る。

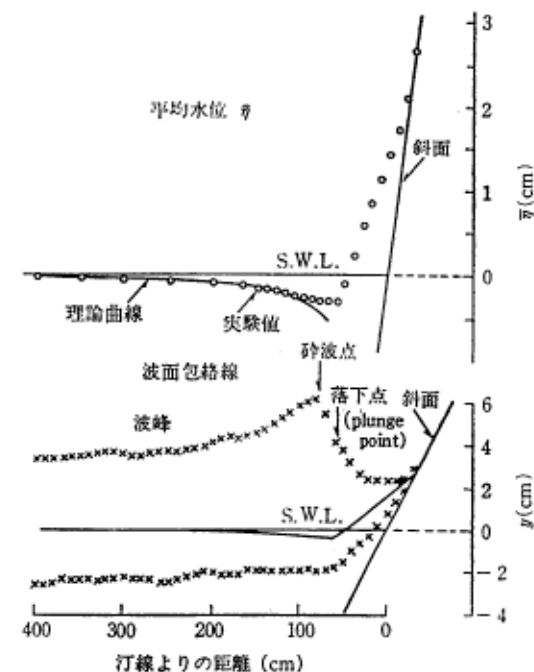


図5 海岸での平均水位水布

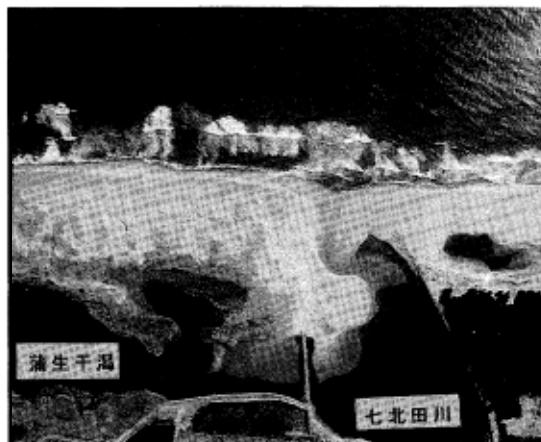


図7 七北田川河口の閉塞

ついては三〇〜六〇分程度の増加が見られる。同図より、完全閉塞は十二月一日に完了したものと判断される。なお、前述のように七北田川河口により〇・五キロメートルの位置には貞山運河があり、その一端は九キロメートル南方の名取川と通じている。閉塞後、河川流はここを通じて海に注いだ。その後、河口は閉塞状態を維持したため、翌年一九八九年二月六日に人工開削が行われた。開削後と同様な水位変動が見られるようになったことが確認されている。

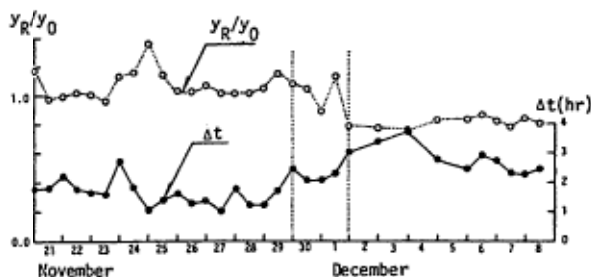


図8 七北田川の水位変化

三、名取川の河口現象

三・一、はじめに

日本の河川の多くでは、河口部に砂州が形成されていることが多い。この様な河川では、砂州の存在そのものが河口部の流れに影響を及ぼし、また砂州自体も波や流れにより変形する。河口砂州は洪水時に流れを阻害するため、従来はその存在が否定されてきた。このため各種の河口維持法が試みられてきた。その一例を図9、図10に示す。前者は「暗渠工法」と呼ばれ、小規模な河川で良く用いられる。後者は本節で触れる名取川河口の航空写真であり、「導流堤工法」により河口維持がなされている。写真を注意して見ると、二つの写真いずれにおいても左右の海岸線の位置に差があることが分かる。これは、これらの河口維持



図9 暗渠工法による河口維持

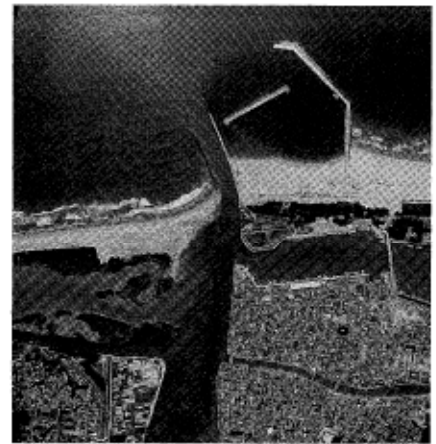


図10 名取川の河口地形

構造物により岸沿いの砂移動が遮断されていることを示しており、これにより砂移動の下手側で海岸侵食が顕在化することとなる。各種河口構造物は洪水制御の面で当然威力を発揮するものの、このように周辺に及ぼす影響も無視できないものであることが多い。一方、河口砂州は塩水や波浪の河道内への侵入を防ぐ「自然の防波堤」の機能も果たしている。よって、洪水時に十分に河口砂州が排除される事が確実であればいたずらに導流堤等の人工構造物を造る必要もなく、また構造物によって干潟などの近隣環境への悪影響が生ずる事もない。このような背景のもとに、洪水時の流れ・地形変化を定量的に評価するための数値モデルの開発を行った。

三・二、名取川の概要と河口地形変化の数値計算法

本研究の対象となる名取川は宮城県のはほぼ中央部を横断し、広瀬川等の中小河川と合流して名取市閘上で太平洋上に注ぐ(図10参照)。

数値計算に際しては、流れ場と地形変化の基礎方程式を差分法により解き、必要な時間にわたり時間発展を求めて行けばよい。ところで、名取川河口の導流堤は北に向かって湾曲している。水路が湾曲する部分での流れにはらせん流が図11のように発

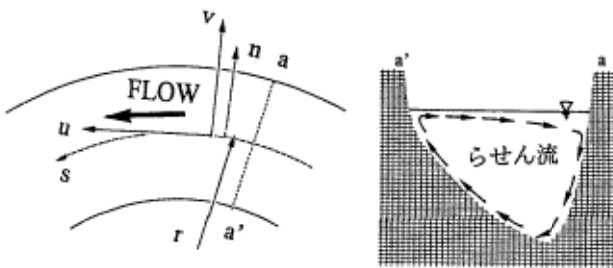


図11 湾曲部のらせん流

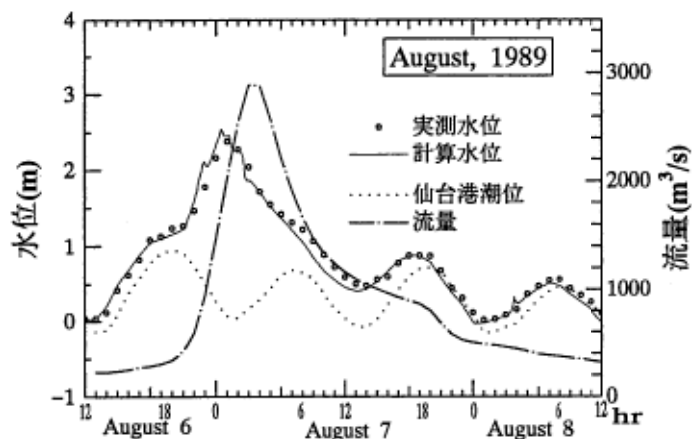


図12 計算水位・実測水位の比較

生し、底面付近の河床砂は外岸側から内岸側へと運ばれる。そこで本モデルではこのらせん流による砂移動も取り込んでいる。

三・三、計算結果

図12は実測水位と計算水位を比較したものである。これを見ると、両者は良好な一致を示している。特に、ピーク水位及びその発生時刻について極めて良い一致が見られる。

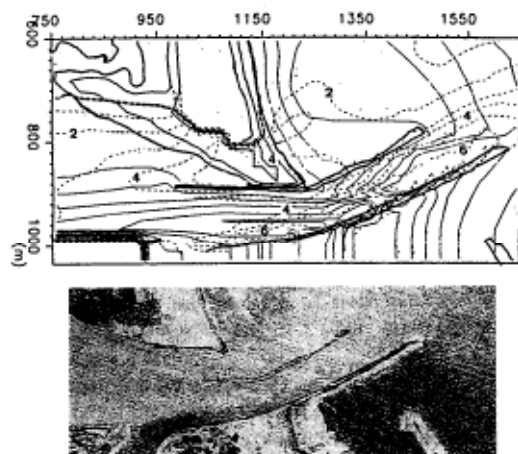


図13 計算地計と航空写真

次に、図13上図は計算終了時の河口部地盤高さのコンターである。ここで、実線は初期地形、破線は計算地形である。これを見ると、左岸砂州の縁端部が越流によって崩壊し、新たな水路が形成されていることがわかる。なお、砂州フラッシュの幅は約八〇メートル程度であり、洪水後に撮影された航空写真(図13下図)と比較すると、計算による砂州フラッシュの幅は実際のものとほぼ同程度である。

なお、実際の河川計画は一〇〇年あるいは一五〇年に一度の生起確率を持つ洪水、いわゆる「計画洪水」を対象として策定される。上記の数値モデルによる検討は最終

的には計画洪水を対象として行わなければならない。

【著者略歴】

田中 仁

昭和三十一年十一月十七日生

一九七九年 東北大学工学部土木工学科卒業

一九八一年 東北大学大学院工学研究科土木工学

専攻博士課程前期二年の課程修了

一九八四年 東北大学大学院工学研究科土木工学

専攻博士課程後期三年の課程修了

一九八四年 宇都宮大学工学部土木工学科助手

一九八八年 東北大学工学部土木工学科講師

一九九〇年 東北大学工学部土木工学科助教

一九九一年～一九九三年 アジア工科大学院水資

源工学科助教(IGCA 派遣)

一九九六年 東北大学工学部土木工学科教授

一九九六年 デンマーク工科大学水理工学研究

所客員研究員

現在 東北大学大学院工学研究科

土木工学専攻教授

水環境学講座環境水理学担当

計算機アーキテクチャ

東北大学情報科学研究科
情報基礎科学専攻教授

中村 維 男



一、はじめに

計算機アーキテクチャと聞くと、建築家が計算機を使って設計を行うようなイメージを持たれることがあるかもしれない。アーキテクチャは本来の意味が建築(学)であることからやむを得ない。しかし、本来の意味は、計算機の基本的な設計概念または設計思想である。このことは、人工物の設計における概念設計の結果得られる設計概念に相当する。このような計算機アーキテクチャに関する研究が、時代のニーズに応じて計算機を改良していく際に大変重要となってくる。そこで我研究室において

は、当研究科のアーキテクチャ学分野の名の通り、計算機の設計概念に関する研究を行っている。

二、国際性の中の研究姿勢

計算機アーキテクチャを中心に含む計算機科学は、米国スタンフォード大学が世界のトップの座を占めていることは誰も疑わない。著者も、研究の内容から当大学に関係して久しい。そのような環境下で、計算機の機能と性能を増大することを目的とした研究を行っている。そのための一つの方法として、限りなく計算機の処理速度を上げること考える。他方、アルゴリズムや計算機のモデルの改良が考えられるので、これらの方面からの研究を併せて行っている。

このような研究の姿勢の中で、本学の我研究室では、大きく二つの分野から計算機アーキテクチャのあるべき姿を探っている。一つは左脳の機能である計算処理の高速化である。他の一つは右脳に関わる画像やイメージを対象としたコンピュータグラフィックスやポリウムレンダリングであって、これらは仮想現実感に関係して統合している。

三、スーパーコンピュータに関する研究

計算には旧来のスーパーコンピュータが取り扱っているベクトル型の計算と、汎用並びにワークステーションといった計算機が取り扱うスカラ型の計算がある。これら両方の計算を行える計算機を、安価に作る事ができれば、情報科学はさらに発展するものと考えられる。

我研究室では、これら二種類の性質の計算を数多く同時に行うため、ベクトル型計算のためのベクトル処理と、スカラ型計算で、さらに並列性を実現する命令レベルでの並列処理を融合した新しい計算機アーキテクチャを提案し、それをジェットパイプラインと名付けた。その概念図を図1に示す。

ジェットパイプラインは、数値計算のみに限らず、幅広いアプリケーションプログラムの適用を考慮している。ベクトル型計算は科学技術計算において大きな比率を占める。このような計算は、ジェットパイプラインでは、ベクトル演算用パイプラインが受け持つ。一方、スカラ型計算で、ベクトル化が可能なものはベクトル演算用パイプラインが受け持つ。しかし、不可能な場合は、スカラ演算用パイプラインが、命令レベルの並列性を発揮して高速処理の担

ジェットパイプラインの命令セットは、それぞれの演算パイプラインを並列に独立に駆動するために、また、パイプライン処理に適した命令セットを実現するために、RISCアーキテクチャを基本としている。この命令セットが有効に利用されるジェットパイプライン・アーキテクチャの具体的な

手となる。

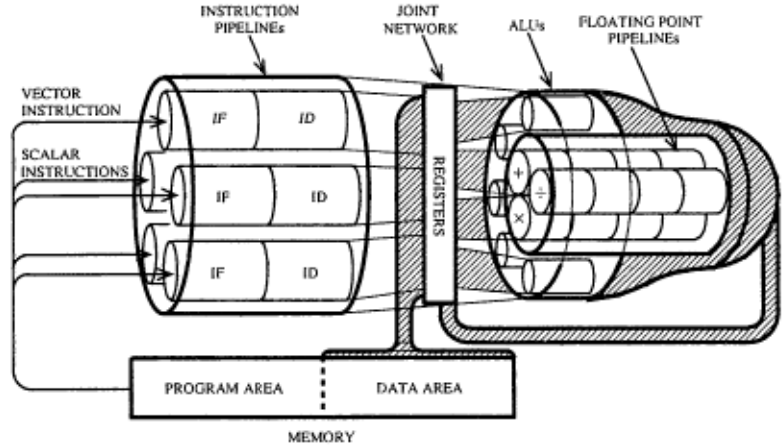


図1 ジェットパイプラインの概念

な構成を図2に示す。このアーキテクチャを一つの実際の計算機の中に仮想的に構築して、その動作を確認する、いわゆるシミュレーションを行った結果を図3と4に示す。

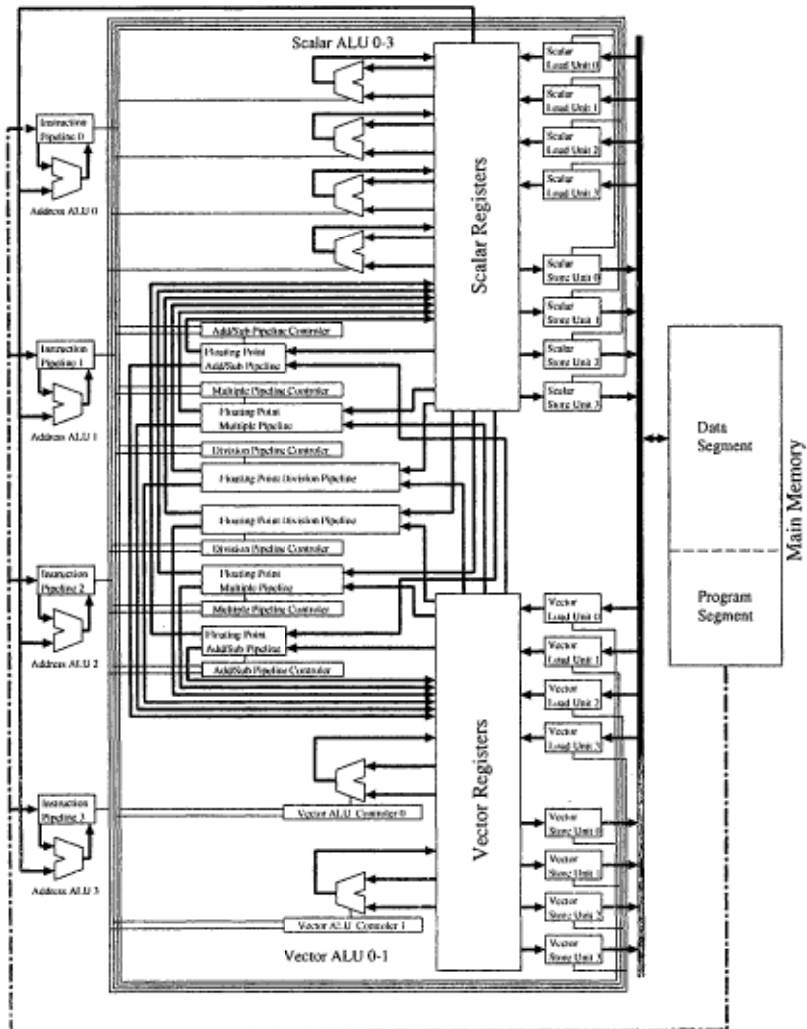


図2 ジェットパイプラインの構成

図3ではジェットパイプラインのベクトル処理の優秀さをリバモア・フォートラ

ン・カーネルといったベンチマークプログラムを用いて示している。同じ仕事を他のアーキテクチャより実行サイクル数少なく実行することが、そのアーキテクチャのよさを示している。

図4は、ジェットパイプラインの命令レ

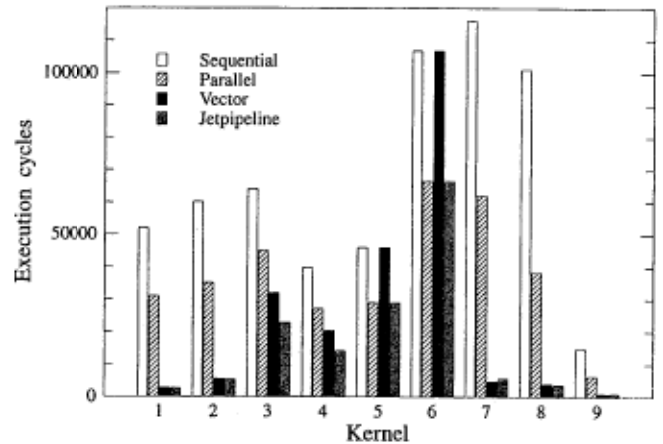


図3 シミュレーションによる実行サイクル数 (リバモア・フォートラン・カーネル)

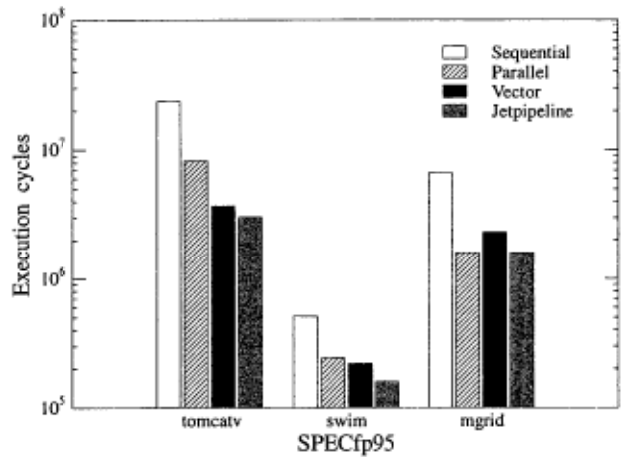


図4 シミュレーションによる実行サイクル数 (SPEC ベンチマーク)

の、他アーキテクチャと比べて、同じ仕事
が実行サイクル数少なくて実行できるこ
とを示している。

四、仮想現実に関する研究

仮想現実による景観・証明シミュレ
ーションや医療分野での手術シミュレーショ
ンなど、コンピュータグラフィックスによ
る三次元画像生成技術が近年注目を集めて
いる。コンピュータの急速な発展により、
実写に近い高品質画像の生成が可能になっ

てきたが、このような高品質な画像を実時
間生成するまでには至っていない。仮想現
実の応用分野では、表示物体に対する対話
的な操作が必要不可欠であり、実時間高品
質画像生成の実現が、強く望まれている。
我研究室では、高精度の画像生成を実時間
で達成するためのグラフィックスハードウ
ェアおよびソフトウェアの研究を行っている
。具体的には、『写実的画像生成のため
の並列計算モデル』と、『医用画像の並列ボ
リュームレンダリングアルゴリズム』を研

究テーマとしている。

まず、写実的画像生成のための計算モデ
ルに関する研究について、説明する。コン
ピュータグラフィックスでは、物体表面の
反射を二つの照明モデルで取扱う。一つは、
反射光が面から全方向に反射する拡散照明
モデルであり、もう一つは特定の方向に反
射する鏡面反射・屈折照明モデルである。
従って、物体間で生じる光の相互干渉(大
域照明とよぶ)を求めめるためには、これら
二つの照明モデルの組合せ：拡散反射・拡
散反射、拡散反射・鏡面反射・屈折、鏡面
反射・屈折・拡散反射、鏡面反射・屈折・
鏡面反射・屈折を空間内に定義されたすべ
での物体間で求める必要がある。これまで
に、拡散反射面間の相互反射を取り扱う方
法としてラジオシティ法が、それ以外の三
つの相互反射を取り扱う方法としてレイト
レーシング法がそれぞれ提案されている
が、写実的な画像を生成するためには、両
者を組み合わせた画像生成が必要とされ
る。

しかしながら、ラジオシティ法とレイト
レーシング法は、それぞれ非常に計算量の
多い画像生成手法であり、両者を組み合わ
せた画像生成は計算時間の観点から現実的
でない。これまでに、ラジオシティ法およ

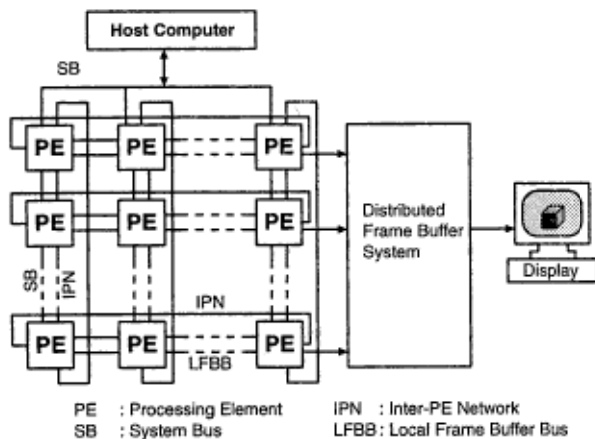


図5 超並列グラフィックスシステム ($M\pi$)²

びレイトレーシング法の高速化のための並列処理システムや並列アルゴリズムが数多く提案されているが、これらの方法は、それぞれのレンダリングアルゴリズムに特化したものであり、両者を統一的に並列化し、高速化を実現するものはこれまで存在しなかった。本研究で提案するオブジェクト空間分割型並列処理モデルは、大域照明で生じる物体単位の基本照明計算を並列処理の基本とすることにより、ラジオシティ法とレイトレーシング法を統一的に並列化する。そして、本並列計算モデルに基づいた

超並列グラフィックスシステム

($M\pi$)²を設計した(図5)。本計算モデルでは、物体表面で生じる

光の反射を基本単位として大域照

明モデルを並列化し、分散メモリ

型並列計算モデルにマッピングす

る。光の相互干渉は、並列処理要

素(PE: Processing Element)間

での通信で実現する。(M π)²は

光が物体に交差する際に生じる反

射計算を行うPEと、それらを一、

二、三次元最隣接続するネット

ワークから構成される。本システム

をソフトウェアシミュレータを用

いて性能評価した結果、数千台

規模のPEから構成されるシステム

において、ラジオシティとレイ

トレーシングの両者を高い台数効

果で処理できることを確認した。

また、オブジェクト空間分割型

並列処理モデルに基づいて開発し

た並列アルゴリズムを、平成七年

度の研究プロジェクト「超並列処

理に基づく仮想現実環境に関する

研究」で導入した仮想現実実験装

置(図6)に実装し、生成した画

中村研究室計算機室

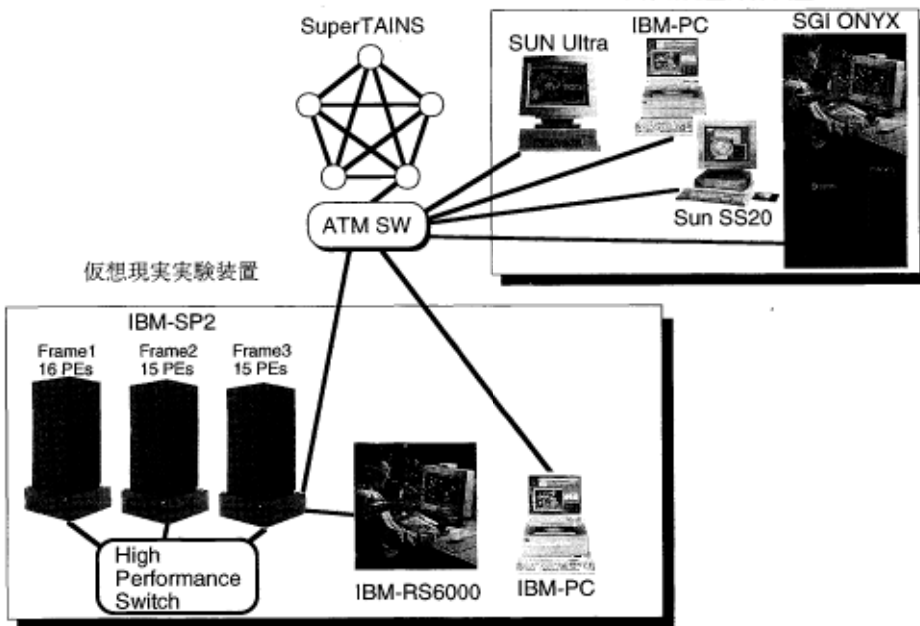


図6 仮想現実実験装置

像を図7に示す。仮想現実実験装置はIBM社製の並列計算機SP-2とグラフィックスワークステーションから構成される。SP-2は46PEから構成され、ピーク性能は12GFLOPSである。本実験装置により、高品質な画像を商用の並列計算機を用いて短時間で生成できることを確認した。SP-2とグラフィックスワークステーションはSuperTAINSのATMネットワークで相互接続されており、今後、遠隔地間で高品質な仮想現実環境の共有化の研究を予定している。

次に、医用画像の並列ボリュームレンダリングアルゴリズムについて説明する。医療分野ではCTやMRIなどの二次元画像が診断に用いられているが、二次元の連続画像を三次元に再構成し、立体表示することにより、より高度な診断が可能になると思われる。しかしながら、膨大なデータを高速に再構成し、表示するためには現在のワークステーションの処理能力では不十分である。そこで、本研究室では、医用画像の実時間三次元可視化を行うための並列ボリュームレンダリングアルゴリズムの研究を行っている。具体的には、MRIやCTの連続スライス画像を三次元データとしてコンピュータのメモリに再構成し、これら



(a) office



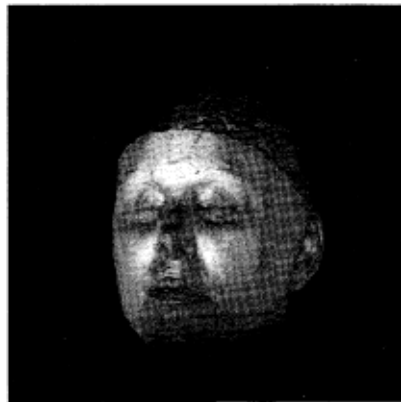
(b) soda shop



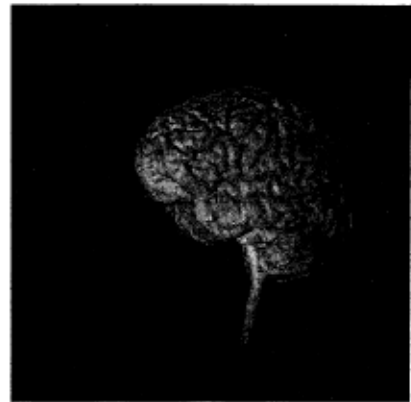
(c) conference room

図7 レンダリング結果

のデータを並列処理装置の各処理要素に分散格納し、任意の視点からの画像を並列処理により実時間で生成するものである。図8は、本研究で開発した並列ボリュームレンダリングアルゴリズムを並列仮想現実実



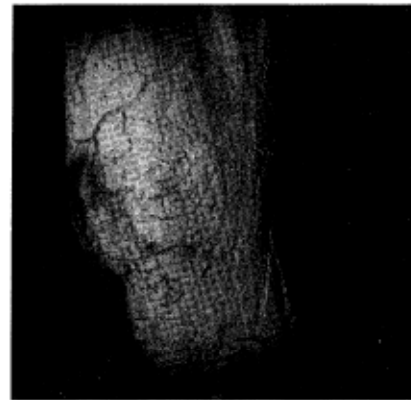
a. Head



b. Brain



c. Skull



d. Knee

図8 並列仮想現実実験装置によるボリュームレンダリング画像

Head: MIR による人体頭部データ

Brain: Head から手動で脳部分を抽出し生成したデータ

Skull: CT による頭蓋骨データ

Knee: MIR による人体膝関節部データ

験装置に実装し、実際のMRI/CTの連続画像を用いて、生成した画像である。並列仮想現実実験装置を用いた性能評価では、三二台の処理要素 (PE) を用いることにより、これらの画像を一秒間に十五枚

から二三枚程度生成することが可能であることを確認した。これは、ほぼリアルタイム画像生成を実現するものであり、これにより、三次元ボリュームデータに対する対話的な操作が可能になると思われる。今後、これらの技術を用いて手術シミュレーションや仮想内視鏡などの開発を予定している。

【著者略歴】

中村 維 男

昭和19年1月25日生

昭和47年3月 東北大学大学院工学研究科(電子

工学専攻)博士課程修了

昭和47年4月 東北大学助手工学部

昭和53年12月 東北大学助教授工学部

昭和63年4月 東北大学教授工学部

平成5年4月 東北大学教授大学院情報科学研究科

平成6年10月 米国スタンフォード大学客員教授

電気工学科計算機システム研究室

現在、東北大学においては大学院

情報科学研究科情報基礎科学専攻

ソフトウェア科学講座アーキテク

チャ学分野担当

財団法人青葉工学振興会の事業内容について

常任理事 中塚 勝 人

当財団は、宮城県の特設公益増進法人の

認定をうけており、法人の目的である、

産・学・官の緊密かつ適正な連携のもと

に、工学の振興に必要な教育研究に援助を

行い、もって宮城県における工業技術に関

する研究振興を図り、地域社会の科学技術

及び産業の向上発展等に寄与するため、次

に掲げる事業並びに助成を行っています。

一、学術研究・教育への助成

宮城県における工業技術の振興発展に

資するため、工学の振興に必要な学術研

究・教育を援助する目的で、次のような

助成を行っています。

(1) 受託研究を行うための指定研究助成

金の交付

(2) 若手研究助成のための「研究奨励賞」

「井上研究奨励賞」及び「及川研究

奨励賞」の授与など

(3) 各種研究会への助成

学術研究、技術開発を目的とした各

種研究会、討論会に対する助成

(4) 学術研究・教育のための国際交流に

対する助成

(5) その他学術研究・教育に必要な助成

二、県内企業を対象とした学術講演会、講

習会、研究討論会の開催

県内企業技術者を対象にした学術講演

会、講習会、研究討論会を開催していま

す。

三、研究成果および工学情報の提供

東北大学工学研究科・工学部における

研究成果や工学情報を県内企業に提供

し、地域工業技術の高度化と産学協同の

促進を図るため、次のような書籍を刊行
しています。

「翠巒」 発行回数 年1回

県内企業家に対し、東北大学工学研究

科・工学部の研究成果を分りやすく解説

したもの

「人と技術」 発行回数 不定期

東北大学工学研究科・工学部に在籍す

る先生方の所属、専門分野等を掲載した

もの

四、技術の相談、技術指導の実施

宮城県工業技術センター及び宮城県高

度技術振興財団（テクノ財団）と緊密な

連携のもとに、県内企業の広範囲にわた

る技術相談に応ずるとともに、必要に応

じて助言、指導を行っています。

五、産・学・官交流大会の開催

産業界、大学等の学術研究機関、国、

県等の相互連携を強化し、産学官の交流

促進を図るための行事に主催団体として

参加しています。

六、みやぎものづくりまるごとフェスティバルの実施

宮城県内の産業界を中心に、学術研究機関、地方自治体及び関係各団体の協力を得て、工業製品並びに工業技術を幅広く紹介するとともに、技術情報の交換と技術交流を行う、「みやぎものづくりまるごとフェスティバル」に主催団体として参加しています。

七、東北大学工学部学科公開（オープンキャンパス）への助成

中・高校生及び一般市民に対し、世界の最先端の設備と学術研究・教育の活動状況を公開する、オープンキャンパスに対し助成を行っています。

八、その他目的を達成するために必要な事項

また当財団は、大学のもつ多様な研究成果を社会に還元するため、企業等からの幅広い研究テーマを受入れる制度として、委託研究契約をとり交わししています。企業等のニーズに対応した研究体制、研究期間、研究費用等をご提案できますので、詳細については財団事務局迄お問い合わせ下さい。

さらに、学術研究・教育への助成、支援等の諸事業を円滑に推進するため、広く企業等から財団に対して寄附金をお願い致しております。

設立趣旨をご理解いただき、暖かいご協力、ご支援をお願い申し上げます。
なお、この寄附金につきましては、一定額の免税措置が認められております。今後とも、大学と企業等との有機的な連携・交流の場を一層深めてゆくこととしておりますので宜しくお願い致します。

編 集 後 記

金融不安、景気低迷で本年を迎えました。

国際化が進むなかで、産業、経済の勢いを保つには独創性のある科学技術が不可欠と言われてきました。政府は膨大な財政赤字にもかかわらず、平成八年に科学技術基本計画を策定して、五年間に、総額十七兆円を科学技術に投じるなど、科学技術立国を目指す姿勢を明確にしました。科学技術を「生産」し、その「発展」と「流通」を担う人材を育成する大学の活動に一層の期待がかかられ、種々の研究費が投じられています。また、教官の兼業規制の緩和など、科学技術上の成果を「製品」として積極的に転化することが求められています。それは、産業と大学の橋渡しをしてきた本会の役割の重要性を示すものであり、一層の発展が期待されることです。活動の一環である機関誌「翠巒」の発行は十二号となりました。大学と企業を結ぶのに役立つことを願ってお届けいたします。

本号は四ツ柳隆夫東北大学工学研究科長の巻頭言から始まります。現代の学問の流れがテクノロジーにあるとの歴史観を披露され、産学協力を業務とする「未来科学技術共同研究センター」の開設は、グローバル化の中の大競争時代に大学が生き抜いていくための戦略の一つであり、そこから新しい頭脳産業が生まれることへの期待が述べられています。

阿部博之東北大学総長から特別記事が寄せられました。産業、経済のみならず、科学技術も例外ではなく、ボーダレス化が進展している中で、新産業の創出、経済的発展を促す産学協力が研究型大学にとって必要であることを指摘され、「未来科学技術共同研究センター」の設置

は、米国の大学に大きく水をあけられている産学協力の仕組みの整備であり、大学間の国際競争に適応できるような「真に整備」することが説かれています。ご両先生の産学協力に対する並々ならぬ熱意を強く感じます。産学協力の核となる「未来科学技術共同研究センター」の活躍が楽しみです。

企業紹介では、宮城沖電気(株)社長小池田敏晃氏から高性能、高品質、高集積のICの安定供給を使命とし、急激に成長する電子情報産業分野で活躍を続ける宮城沖電気を紹介して頂きました。続いて、宮城化学工業(株)社長稲井善孝氏から写真フィルム、印画紙、食品、薬品と応用範囲が多岐にわたるセラチンの紹介と宮城化学工業におけるセラチンの供給と新製品開発への取り組みを紹介して頂きました。急激に進む国際化にもかかわらず、先端科学技術をもって躍進を続ける両社です。益々のご発展を祈念申し上げます。

研究プロフィールには、和田 仁、阿部勝憲、澤田邦男、内田龍男、奥脇昭嗣、鈴木 誠、田中 仁、中村維男先生方によって、最新の研究が紹介されています。工学の発展をもたらす貴重な研究成果を挙げられておられる先生方に敬意を表すとともに、本学が誇る先生方の一層のご活躍を期待申し上げます。

ご多忙のところご執筆頂きました各位に厚く御礼申し上げます。また、特定公益増進法人としての活動を開始した本会の発展のために、皆様方にご協力をお願い申し上げます。

(本問基文 記)

翠巒

仙台市青葉区荒巻字青葉
東北大学工学部内
電話 022-217-7991
財団法人青葉工学振興会