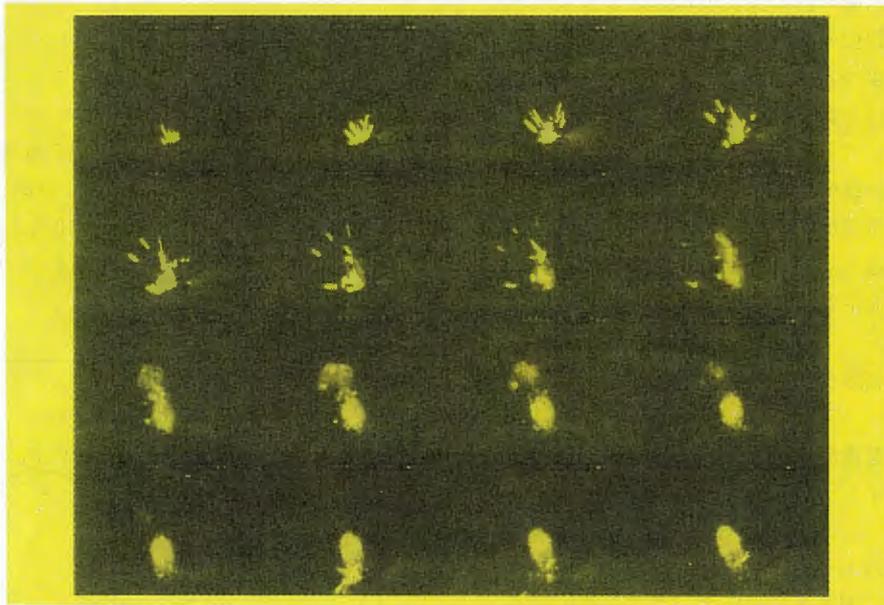


T E C H N O R I D G E



WINTEC



206

1994

生物理工学への険しい道

— 機械工学の立場から — 2

工業技術センター主要研究事業 6

生物理工学への険しい道 —機械工学の立場から—

客員研究員 東本 暁美

1. まえがき

「生物・生体の高度な機能を学び、これを理工学に応用する。」を基本理念として、生物理工学部が近畿大学に設立されてより1年半を経過した。

情報処理システムにおけるニューラルネットワークなど、先端技術の中には、生物・生体の高度な機能を模倣したものが注目され、生物理工学は将来有望な科学技術のシーズ (seed) を生み出す有望な学際領域である事は多くの人の認めるところである。しかし、生物・生体の優れた機能に驚嘆するだけではなく、これを体系的に解明し、理工学に応用するには、極めて険しい現実がある。人間の体の仕組みは、あまりにも神秘的であるから、昆虫レベルのものから、その優れた運動機能を模倣しようとかかっても、これまでの生物学上の研究の主力は分類学的あるいは消化器系統、神経系統に関わるもので、その運動機能を機械物理学的に解明されたものは極めて少ない。

筆者は生物理工学部の一学科である機械制御工学科に所属しており、この立場で生物理工学を見た場合、目指すべき目的は大別して次のように考えている。

- (1) 生物・生体の高度な機能を機械工学的に解明し、学習をする。
- (2) 学習した高度な機能を模倣し、生物に優しい機械、あるいは、そのインターフェイス技術を開発する。

本小文では、このような目的で、今後の研究・開発を進めるにあたり、困難さを覚悟すべき二三の問題をあげ、論じてみたい。

2. 生物と機械の構成材料の比較

生物の構造と人工的に造られた機械と最も異なる点は材料の相違であろう。

腕白な子供が、友達に教わった「なぞなぞ」をお母さんに試してみた。「細長い穴があいていて、その回りに毛があり、いつも湿っているものなあに？」と聞いたら、お母さんは、「まーイヤラシー、この子は」と叫んで、ピシャとピンタを食らわせた。子供は泣きながら、「お母さんに答え(目)を教えてくださいとおもったのに」と言ったので、お母さんは、もう一度赤くなったと云う話がある。

このように、生物は、軟らかくて湿った材料でできており、変形可能な膜に包まれた水を主成分としたものである。一方、われわれの造る機械の材料は金属、非金属、合成樹脂など、乾いて堅い材料が主になっている。

生物は、元来、発生と進化の過程として、海という水溶液の中で、化学反応をおこし易い環境で過ごしてきた。このため、生物を構成している材料は湿っぽい状態を保つことにより、常温・常圧で、化学反応を助成し、生体材料の自己増殖や自己修復が行われる。高温・高圧でなければ工程の進まない化学工学の現状や自己増殖や自己修復の機能を持たない工業用材料には、貴重なお手本である。湿って、軟らかで、心地よく、自己修復の機能を持った知能性材料は、工業用のみならず、衣類の研究開発にも、困難ではあるが、すばらしい課題でもある。

3. 生物固有の時間尺度

本川¹⁾は、動物では、その大きさによって時間の進み方が変わると報告している。

図1は心臓の拍動の周期と動物の体重を両対数グラフで示したものである。人間では周期1(s)、ハツカネズミでは0.1(s)で人間の10倍も時間当たりの心拍数が高い。一方、ずっと大きいゾウでは、心周期は人間の3倍の3(s)である。

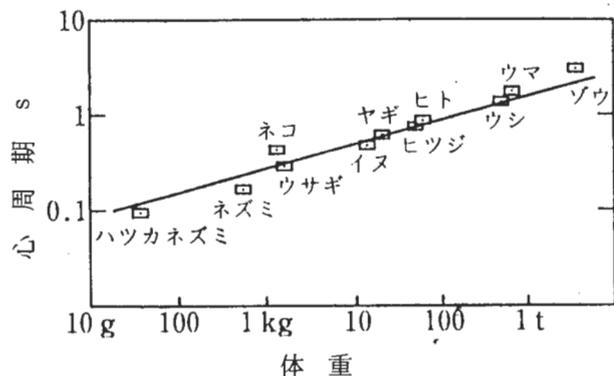


図1. 体重と心周期との関係 (本川達雄による)

図1より心周期は体重の $1/4$ 乗に比例している。これは心臓のみならず、呼吸周期、寿命なども体重の $1/4$ 乗に略比例すると云われている。すなわち、

$$\text{時間} \propto (\text{体重})^{1/4} \dots\dots\dots (1)$$

が哺乳類では成り立つ。さらに体重は体長の 3 乗に比例すると考えれば、

$$\text{時間} \propto (\text{体重})^{3/4} \dots\dots\dots (2)$$

となり、動物のサイズが変わると時間の進み方でも変わってしまうと云うのである。

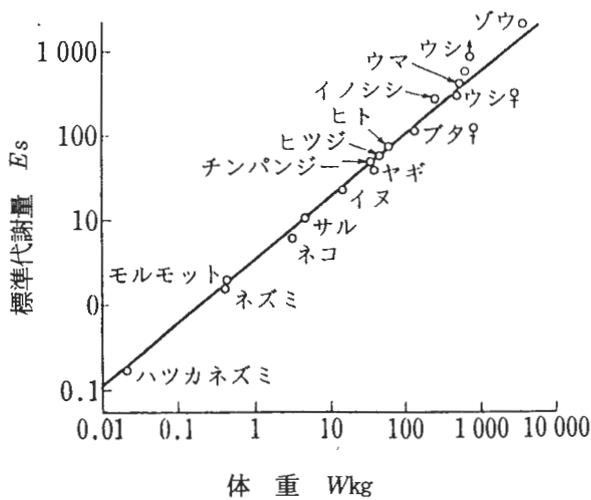


図 2. エネルギー消費量と体重との関係
(本川達雄による)

同様な関係は図 2 に示すように、動物の体重 W (kg) と安静時のエネルギー消費量すなわち標準代謝量 E_s (Watt) との間には、次の関係があると云う。

$$E_s = 4.1W^{3/4} \dots\dots\dots (3)$$

また、体重当たりのエネルギー消費量すなわち比代謝率は (E_s/W) で表されるから、

$$\text{比代謝率} = \frac{E_s}{W} = \frac{4.1W^{3/4}}{W} = 4.1W^{-1/4} \dots\dots\dots (4)$$

となり、大きい動物では体重の割にエネルギー消費量が小さい事になる。また、式(1)と式(4)より比代謝率と時間は反比例することがわかる。

動物のように、コンパクト、高効率さらに高機能な機械を設計するとすれば、このようなルールに従うのが最適な設計と云う事なのかもしれない。

長い歴史の進化の過程で、壮大な試行錯誤の結果得られた結論であると思えば、このルールを参考にせざるを得ないのではなかろうか。

4. 生物と機械の活動する環境

生物と機械は、何れも空気中と海水、体液、血管などの水溶液中で活動するものが多い。

生物や機械が運動する場合、体重や機械重量による慣性力が支配的なのか、それとも周囲環境での流体や気体の粘性力が支配的なのかを表すのに、無次元数のレイノルズ数 (Reynolds Number : Re) が用いられる。すなわち Re は次式で表される。

$$Re = \frac{\text{慣性力}}{\text{粘性力}} = \frac{\text{流体の密度} \cdot \text{移動体の長さ} \cdot \text{移動体の速度}}{\text{粘性係数}} \dots\dots\dots (5)$$

図 3、図 4 は生物と交通機械の長さ L とレイノルズ数 Re の関係を両対数グラフにプロットしたものである²⁾。式(5)において、移動体の長さ L が変化しても、流体の粘性係数や密度は変わらないから、長さ L と速度が大きくなるとレイノルズ数が大きくなる。このことから図 3、図 4 の直線 LL は速度と長さが比例する事を示していると云える。

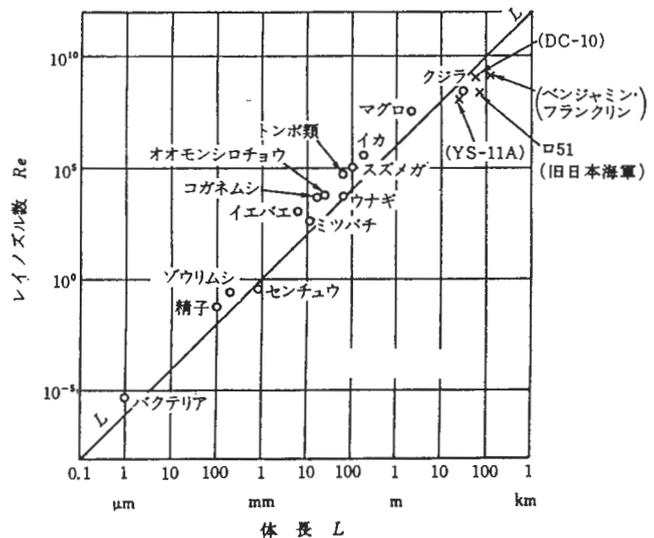


図 3. 体長とレイノルズ数との関係
(三次元走行機械及び生物) (林 輝による)

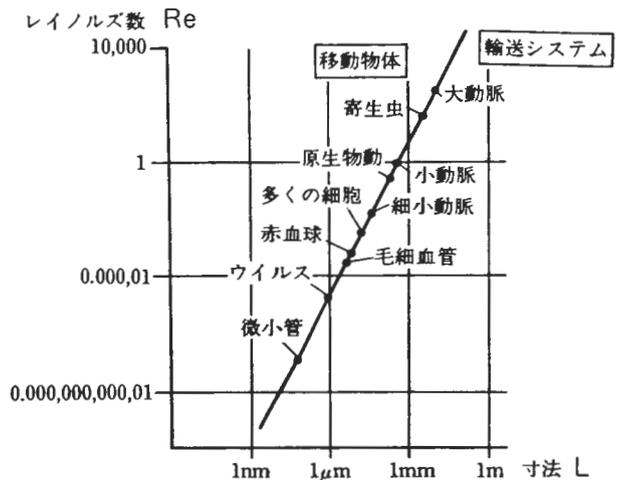


図 4. レイノルズ数と生体の輸送システムと生体内部を自走する移動物体
(林 輝氏の図を生物用に改変)

図 3、図 4 で、 $L = 1 \text{ mm}$ のとき、直線 LL が $Re = 1$ (=慣性力/粘性力) の点を示していることから、 $L = 1 \text{ mm}$ を鏡として、それより大きい L の生物や機械 (例えば、クジラ、潜水艦、航空機 etc) の運動では慣性力が支配的である。一方、 $L = 1 \text{ mm}$ より小さい生物や機械 (例えば、バクテリア、精子、ゾウリムシのような生物やマイクロマシン etc) では粘性力の支配的な環境の中で運動していることになる。

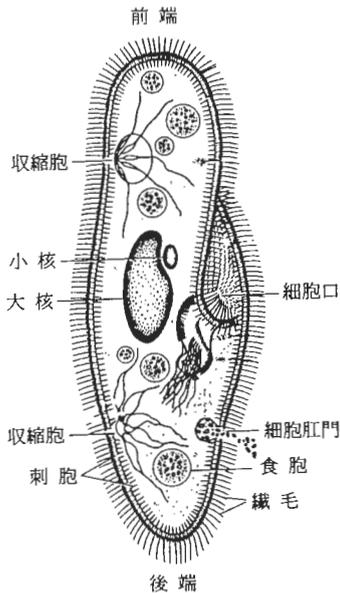


図 5. ゾウリムシ模式図。R. Buchsbaum (1967)
著「Animals without backbones」より

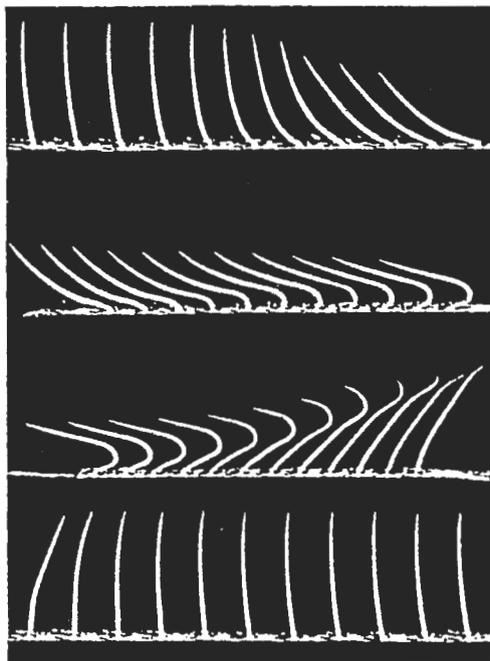
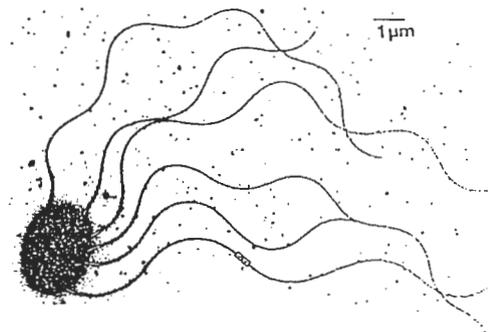


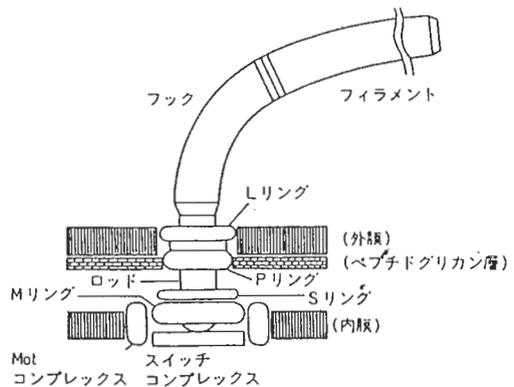
図 6. 1本の繊毛の動きを高速度映画（毎秒450駒）
で連続撮影したもの。左上（第1列）が撮影
開始、右下（第4列）が最後の像。
第1列：有効打。第2、3、4列：回復打。
Baba and Hiramoto (1970)

レイノルズ数が同じであれば、長さ L 、速度、流体の粘性係数が異なっても、類似の物理的現象が起こっていることになる。したがって、血管の中を移動し、患部に直接薬品を搬送するドラッグデリバリー用マイクロマシンの運動環境を拡大モデルで実際の長さ、速度ともに10倍してテストを行うには、流体の粘性係数を100倍大きくしてテストを行う必要がある。

血液から粘度は水の粘度の約4倍の0.08ポアズであるから、テストでは粘度8ポアズ程度のさらっとしたシロップ溶液中で行う必要がある。このような粘性力の支配的な環境で運動しなければならないようなマイクロマシンでは、プロペラのような機構よりも、図5に示したゾウリムシの繊毛による駆動機構で、繊毛を図6のように制御して移動を行う方式の方が適しているかもしれない³⁾。さらにレイノルズ数の小さな粘性流体環境を考えるならば、図7に示したサルモネラ菌のべん毛回転による運動が参考となる。この環境で生きるサルモネラ菌は、実測によると、べん毛を実に15000rpmに達する高速回転させて運動しているといわれる。しかも、運動時は各べん毛が同期回転しており、停止時には、この同期回転をくわせる制御を行っている。



(a) サルモネラ菌のべん毛



(b) ベン毛モータの模式図

図 7. サルモネラ菌のべん毛による運動

5. あとがき

生物・生体の機能を機械工学の立場で観察すると、至る所で、面くらう事実に出会う。その度に、益々驚嘆し、人工の機械技術レベルに自信をなくす。しかし、逆に考えれば生物物理学には、限りない新しい技術シーズの宝庫があることになる。勇気をもって挑戦を続けたいものである。

参考文献

- 1) 本川達雄：バイオニック・デザイン序説、
日本機械学会誌、Vol. 97、No.902 (1994)、p. 8～p.12
- 2) 林 輝：マイクロメカニズムへの期待、
日本機械学会誌、Vol. 92、No.853 (1989)、p.1024～p.1028
- 3) 内藤 豊：織毛の協調運動—生物膜電気現象による制御、
日本機械学会誌、Vol. 94、No.870 (1991)、p.428～p.434

客員研究員の紹介



ひがし もと あけ み
東 本 暁 美

近畿大学 教授
生物理工学部 機械制御工学科 ロボット工学研究室
学部運営委員、学科主任教授
工学博士

主な研究

- 「数値制御 (NC) 造船用鉄板ガス切断機の研究開発試作 (日本初)」、S.34～37、大阪機工
- 「タイヤコード用ナイロン加工系の自動化生産システムの研究開発」、S.37～39、東レ
- 「NC工作機械 送り駆動系のサーボ性能に関する研究」、S.52 京都大学 工学博士
- 「自動車、航空機製造用NC工作機械、産業用ロボット、計測システムの研究開発」、S.39～60、新日本工機
- 「産業用ロボットの自律制御の研究」、S.60～H.4
- 「産業用、医療用及び福祉ロボットの研究開発」、H.5～

専門分野

- 生産システムの自動化技術 (サーボ技術、計測等)
- 医療、福祉用ロボットの研究開発

東本教授に学ぶ

研究開発部 AI 技術応用担当
研究員 坂下 勝則

平成6年度ワンランクアップ事業として、東本教授を客員研究員にお迎えし、ご指導を頂いております。

教授は、昭和30年代後半から昭和60年まで民間企業において、機械技術の先端的な研究開発に携わり、数多くの成果をあげられています。その間から、学会活動や専門書の執筆、大学の教職など幅広い活動を展開し、現在に至っています。

工業技術センターでは、メカトロニクス研究室において、制御工学やロボット工学、精密工学をベースに、より実的な自動化技術などの研究開発に取り組まれています。また、最新技術や研究開発の動

向、研究開発の進め方などについて、幅広い経験と情報をもとに指導して頂いています。数多くの要職にあって国内外で活躍しつつ、従来の研究にとどまることなく、さらに新しい研究分野へと挑戦を続ける積極的な研究姿勢は、研究員にとって大きな刺激となっています。

蛇足になりますが、県庁付近での会議のとき、教授は和歌山駅から、かなりの重さのドクターバッグを持って、歩いて来られます (約2km)。健康のため、できるだけ歩くようにしているそうで、このあたりの徹底ぶりがエネルギーに活かされているようです。また、ゴルフが好きだそうですから、歩くのはそのトレーニングにもなっているようです。

工業技術センター主要研究事業

新広域共同研究事業（国庫補助事業）

指定課題：高分子系産業廃棄物の高度利用技術に関する研究

分担課題：熱硬化性樹脂系産業廃棄物の高度利用技術に関する研究

本事業は、平成6～8年度の3か年間、近畿圏の7公設研究機関（滋賀県工業技術センター、大阪府立産業技術総合研究所、兵庫県立工業技術センター、奈良県工業技術センター、和歌山県工業技術センター、京都市工業試験場、大阪市立工業研究所）が共同で、工業技術院大阪工業技術研究所の指導のもとにプラスチック、繊維の産業廃棄物のリサイクル技術について研究開発する。和歌山県は熱硬化性樹脂産業廃棄物を粉碎、表面化学処理して利用するマテリアルリサイクル技術及び分解してモノマー、オリゴマーにもどして利用するケミカルリサイクル技術を研究開発する。

すなわち、漆器素地等に用いられる尿素樹脂産業廃棄物の再利用及びボタン等に用いられる不飽和ポリエステル樹脂産業廃棄物の再利用を研究する。

地域技術おこし事業（国庫補助事業）

中核技術研究開発課題：ア）CGによる質感表現と設計された質感の加工技術に関する研究開発

応用化技術研究開発：イ）ブラッシング表面加工による新質感素材の試作開発への応用

ウ）起毛機制御の高度化と新質感起毛品の試作開発への応用

エ）質感設計に基づく金型による質感成型品の試作開発への応用

本事業は、平成6年～8年度の3か年間、国立試験研究機関、大学等の有する技術シーズを活用し、地域中小企業のニーズに基づいた新製品開発の基幹となる技術開発を、地域の産学官が一体となって行う。中核技術研究開発は、名古屋大学、和歌山大学、近畿大学の協力を得て、和歌山県工業技術センターが、ア）に関する研究を行う。応用化技術応用化技術研究開発は、イ）～エ）の3テーマに関連するエンジニアリングサンプルの製作・評価・周辺加工技術の研究開発を企業に委託する。

生産工程のAI応用化事業（国庫補助事業）

加工組立業界の生産工程の高度化を図るため、AI（人工知能）の応用技術の開発を行うと共に、研究成果に基づく研修事業を実施する。

本事業は、近畿の公設試験研究機関がそれぞれの研究分担のもとにおこなうもので、本県は、クラッチディスク盤の検査、修正の自動化システムを完成させることにより、AI技術の普及、生産工程への応用を目的としている。

1. 地域技術形成研究開発事業

AI技術の生産工程への適応化研究開発

加工組立ラインにおける検査工程と修正工程の自動化

エキスパートシステム、ファジィ制御、ニューラルネットワーク

2. 地域技術形成研修事業

AI技術の生産工程への適応化研修事業

受入研修事業方式 5名 3ヶ月

エキスパートシステム構築研修

ファジィ制御研修事業

特殊織物集積活性化支援事業（国庫補助事業）

特殊織物業界の省力化装置の研究、新分野への開拓を支援する研究を実施する。

ヨコ糸引き抜き自動装置の開発、三次元的織物の医療への応用、抗菌剤の開発及び応用について開発を行う。

目的 特殊織物業者の省力化装置の研究、織り編み製品の高機能化及び新分野開拓の基礎研究

内容

両面毛布用横糸引き抜き装置の実用化研究

現在、当該集積の主力製品の1つである「両面毛布」は、繊維上で片面が立毛した布を製織し、製織後人手により、横糸を1本ずつ引き抜くことにより他面を立毛させ、両面が立毛した「両面毛布」を製造している。この人手による横糸引き抜き作業は単純で繰り返し作業である。その際多量の風綿が発生する劣悪な環境下でおこなわれている。

この問題を解決するため、前年度において開発した装置を実用するための研究を実施する。

加工剤の織・編物への注入技術等の開発

長期間就寝用の床ずれ防止、防臭・抗菌効果のすぐれた寝具（毛布）の開発

皮革製造工程合理化研究（国庫補助事業）

皮革製造工程の省力化を図るため皮革搬入出作業の自動化のための研究開発を行います。

皮革業界では、作業者の高齢化及び新規採用者附則によって労働力を確保するのがたいへん困難な状況で、労働力不足は生き残りをかけた深刻な問題となっています。また、発展途上国の追い上げにより革の高級化、多様化および生産の合理化に迫られています。

皮革の製造工程で使用する機械装置そのものは、自動・省力化が進んでいます。しかし、工程間の皮革搬送あるいは製革機械への搬入・搬出は依然として人手によって行われています。そこで、皮革製造工程に最適な搬入出ロボットの開発を今年度と来年度の2年間で検討するのがこの研究の狙いです。

皮革の運搬は、“馬”や“平台”と呼ばれる荷車にロットごと何枚か積み重ねて行われています。

このときの積み方には、銀面合わせ、背合わせなどあり、製革機械あるいは工程によって異なります。また、製革機械への搬入方向も異なります。そのため、搬入出作業の自動化を検討するためには、皮革の表裏、前後、左右の認識を人間に代替えして行う必要があります。

そこで、今年度は汎用の高速画像処理装置を使った画像処理技術による皮革の形状認識を検討します。

同時に、近畿大学生物理工学部機械制御工学科の東本暁美教授のご協力を得て、ロボットの手にあたるエンドエフェクタの検討も行う予定です。

高付加価値化支援事業

☆プラズマ発光分光分析法

高周波誘導結合（ICP）プラズマ発光分光分析法は、元素の幅広い領域において、高感度な分析できる。

また、広範の濃度において、多元素同時分析が可能のため、現在、基礎研究から多種多様な資料の分析に用いられている。

ICPプラズマ発光分析の測定対象となる試料は他球科学・環境試料、工業材料・加工製品及び生物・食品試料と広範囲にわたっているが、通常のICP発光分析は主に溶液試料を対象としているので固体を分析する場合溶液化しなければならない。

しかし、現在における最先端の研究によって固体（電気伝導性）試料、主に金属材料を直接 ICP で分析できることが可能となった。

鉄鋼・非鉄金属は純度の高い製品が要求され、セラミックス、電子材料などは微量添加物の定性・定量が研究開発や品質管理の面から必要となっている。

今回、固体を直接分析できる ICP 分析機を導入することで、試料を溶液化させる必要がなくなり、固体の ICP 発光分析による定量・定性分析に要する時間が短縮される。

また、測定できる試料の幅が広がり、いままででは分析出来なかった難解離性の元素も分析が可能となる。

今後、固体を直接分析できる利点をいかし、より高度な金属材料の分析及び研究を行い、県下の産業に貢献したいと思います。

☆超伝導核磁気共鳴装置（NMR）

400MHz の超伝導核磁気共鳴装置を導入し、化成品の立体構造を決定する手段に用いる本装置は、主に和歌山県内の化学企業が高付加価値化製品を製造するために支援することができる。

排水処理対策事業

染色工業、化学工業の排水処理方法について、低コストで効率的な新規な脱色技術の開発を行う。本年度は、前年度の研究で明らかになった化学排水の着色物質を選択的に除去する技術の開発を行う。微生物の高い選択性を利用して、化学排水の着色を効率的に除去する方法を検討する。

1. 改質木粉により実際の染色排水、化学排水の処理を行い、改質によるエネルギー消費、コスト等を考慮して改質木粉と活性炭との比較検討を行う。
2. 嫌気性微生物処理において、悪臭ガス発生を迎えた処理方法と残存有機物の効果的な除去技術を検討する。
3. 前年度の成果で明らかとなった化学排水の着色物質を、選択的に除去する方法を検討する。具体的には、微生物の高い選択性を利用する。

なお、クリエートリサーチ事業、産官共同研究事業については、テクノリッジ第205号でその内容を紹介しました。

編集後記

厳しい夏もすぎて、秋風の季節になりました。

東本先生は、今年から和歌山県工業技術センターの客員研究員になられ、センター職員の資質の向上のために研究指導を中心にお世話になっています。これにより、センターの研究の質的变化が期待されています。

また、国庫補助事業等研究の主なものについて、まとめました。

皆様のご協力をお願いします。

（下林）

表紙写真：使い捨てライターの点火の様子

平成6年10月24日印刷 平成6年10月31日発行

TECHNORIDGE 第206号

編集・発行 和歌山県工業技術センター

和歌山市小倉60番地

TEL(0734)77-1271 FAX(0734)77-2880

皮革分場

和歌山市雄松町3丁目45番地

TEL(0734)23-8520 FAX(0734)26-2074

印刷所 旬土屋総合印刷