

Institute for Advanced Studies in Artificial Intelligence

2004.12

# IASAI News

中京大学 人工知能高等研究所  
ニュース No.15

発行人： 中京大学人工知能高等研究所  
運営委員会（発行年2回）  
〒470-0393 豊田市貝津町床立101  
Tel 0565-46-1211 Fax 0565-46-1296  
<http://www.cglab.sccs.chukyo-u.ac.jp/IASAI/index.html>



〈表紙解説〉

HOAP-2 (Humanoid for Open Architecture Platform)。富士通オートメーション株式会社製。身長約50cm、重量約7kg、25自由度を有する。センサとして、関節角センサ、3軸加速度センサ、3軸角速度センサ、足底感圧センサを持つ。表紙画像は、太極拳の姿勢制御例である。これは、不確実性や想定外の変化が起こる実環境において、HOAP-2のセンサ情報を的確に処理することで、HOAP-2を柔軟に動作させることを目指す研究の第一歩である。

(生命システム工学部 加納 政芳)

■ 巻頭言	オリジナリティについて	1
■ 研究動向紹介	ロボットと材料 —生体模倣と生体材料—	3
	人間のマニピュレーション技能のモデル化とその実現	9
	ヒューマノイドの動き	12
■ 受賞報告	ロボカップジャパンオープン大阪2004受賞報告	16
■ 会議報告	福村晃夫先生の瑞宝中綬章受章と傘寿のお祝い会	18
	第100・101回情報科学部コロキウム	19
	第102回情報科学部コロキウム	20
	中京大学公開講座 (ソフトサイエンスシリーズ第23回)	21
	中京大学公開講座 (ソフトサイエンスシリーズ第24回)	22
■ 研究所員一覧		24
■ 編集後記		

## オリジナリティについて

生命システム工学部 鳥脇 純一郎



前々号ニュース（13号）でナビゲーション診断について詳しく述べた。ナビゲーション診断も広い意味ではコンピュータによる診断支援（computer aided diagnosis C A D）の強力なツールである。ところで、C A D（といってもcomputer aided designではありません）と言う言葉はいつ頃から使われ出したのだろうか。1998年にアメリカで最初のC A D商用機ができてから一気に広まった感があるから、少なくともそれより前からあったことは確かである。しかし、1980年代前半には言葉はあったかもしれないが、余りきかなかつた。一方、研究テーマとしては、ずっと以前に（少なくとも1960年代半ばには）確実にあった。当時は、自動診断（automated diagnosis）とか計算機診断（computer diagnosis）とかX線写真のパターン認識（pattern recognition of chest X-ray images）のような言い方をしていた。ポイントは、“computer-aided”と言う言い方をするかどうかである。ついであるが、w e bの検索でキーワードをC A Dとしたのでは、1980年以前の研究は多分探せない。

ところで、筆者は1965年にX線写真のパターン認識の研究に着手したが、その後C A Dの実用化に至るまでに、上記の通り30年以上を要している。今から考えると、当時のコンピュータ関連技術のレベルからみて、それは筆者が短期間での実現を前提としていたわけではなく、いわば情報工学（と言っても当時はこの言葉もなかった。筆者がいたのは電子工学科である）の一研究者の知的冒険に過ぎなかった。内心は、周囲ではできそうもないと考えられていたような難しい問題をやってみたかったというのが半分、生半可な問題ではコンピュータパワーが段ちがいのアメリカとの勝負などできないという気持ちが半分であった。やっと1972年のパターン認識国際会議で原理的可能性を示す実験結果（胸部X線写真の自動診断システム automated interpretation system of chest roentgenograms version 3 AISCR-V3）を出すことができた。この時点ではまだ実用には程遠かったが、その後次第に研究者も増え、画像処理の全域にわたって、手法の膨大な蓄積がなされることとなった。その結果として、上記の実用機に至ったと考えている。現在では、2次元の人体投影像のみではなくて、ひとりひとりの人体の内部構造も含めた3次元複写（仮想化された人体）をコンピュータ上において、体内のどこにでも視点を移して人体を診断し、治療のシミュレーションもできる、と言う時代の入り口に立っている。

仮想化された人体のナビゲーション診断の考え方は1993～94年にかけて、内視鏡のシミュレーションという形で日、米で独立に出された。筆者のグループもその一つであるが、いくつかのグループが少しずつ違いながら、似たような事柄を考えていたと思われる。従って、筆者の印象では、確かに我々のオリジナリティを主張はできるが、65年頃のC A Dの研究ほどに際だった飛躍では無い。その代わり、最初に発表した時点での我々の仮想化内視鏡システムの完成度は非常に高く、インパクトもそれだけ大きかったように思う。実際、それから数年を経ずして、多数の同種のシステムが現れ、実用化が始まった。

さて、この経緯をみてここで書きたいことは、オリジナルな成果のなかにも、それが評価されるためにはいくつかの違った要因が含まれている、ということである。

まず第一に、それ以前の知識の状態と比べての飛躍の度合いである。これが大きいほど“画期的”として賞賛される。

2番目に、発表時点での完成度のようなものがある。これが高いと成果の信頼度が高まる。しかし、多

分、上記の飛躍度が大きいものほど普通は発表時点での完成度は低い。

その他にも様々な要素が有ろう。例えば、一般の人々の受け入れやすさ（内容のわかりやすさ）とか、経済的効果なども考えられよう。実際、一般人に（あるいは同じ分野の研究者にさえも）わかりにくい、あるいは受け入れ難いように見える事柄は評価されるまでに著しく時間がかかる。“相対性理論”とか“地動説”とか“大陸移動説”とかは、発表時点では到底信じ難かったであろうから、真価が認められるまでには数十年から百年を要したかもしれない。新聞紙面を賑わす高額の特許の元になった成果の評価には、明らかに経済的効果が含まれる。

しかし、一方では、一つ一つの学術論文の大部分におけるオリジナリティは、実はこれらよりは遥かにスケールが小さい。なかには、どこにオリジナリティがあるのか分からないような論文も見受けられる。こういうのは、書き手の責任である。逆に、質の高いオリジナリティは、小さくても自ずからその存在を主張しているように見える。そのような“高品質の”オリジナリティがいくつも含まれる研究は、始めは目立たなくても、いつの間にか抜きがたい存在になっている。個々の研究者は、まずは何らかの意味で“小さくてもオリジナリティが光る”論文が書けなくてはならない。それが積み重なれば、自ずから研究者としての評価が得られよう。

ここで難しいのは、そう言う高品質のオリジナリティを見抜き、評価することである。さらに難しいのは、オリジナリティを出せる研究者を育てることである。このあたりはどちらも、それぞれのレベルの指導者の役割であり、責任であろう。もちろん、どういう要素に力点を置くかで個々の評価は変わってくる。筆者の個人的印象としては、最近では経済効果に重点が行き過ぎ、短時間で評価できる成果に傾く傾向が強過ぎると感じている。最近のある新聞で、「既成事業が順調に伸びていれば、成果を予測不能な研究開発などやりたくない。これが会社の本音だ」という、企業人のコメントを見たことがある。これは案外多くの企業経営者の本音ではないかと想像する。この部分は、しばらく前は大学がやっていたと思う。そして、いまでもそれが大学、あるいは大学の研究所でやるべきことであり、大学はそれができるところでなくてはならないと思う。よもや大学まで上の企業人と似た考えに流れてはいまいか、いささか心配である。



## ● 研究動向紹介

### ロボットと材料 — 生体模倣と生体材料 —

生命システム工学部

野浪 亨



#### 1. はじめに

鉄腕アトムに代表されるような人型ロボットの開発では、ロボットの機能だけでなく、各部を構成する材料についても人にできるだけ近づけることが目標と言えよう。体の一部を人工物で置き換える材料である、「生体材料」は皮膚や骨、血管などについて研究が進められ、既に応用化されているものもある。特に骨や歯はアパタイトというリン酸カルシウム系のセラミックスを主成分としており、ステンレスやチタンなどの金属や人工合成されたアパタイトなどの「バイオセラミックス」が人工骨や人工股関節として利用されている。材料、特にセラミックスを研究する立場から人に近いロボットにアプローチするためには、まず生体に学び、体の中でどのように骨や歯が作られているのか知る必要がある。そこで本報告では人工骨に求められる特性、そして生体内での骨の生成機構について今までの研究成果を紹介する。さらに最近の研究トピックスについても一部紹介する。

疾病や外傷などで生体の一部が欠損した場合、生体との適合性の点からは患者自身の別の部分から移植した組織が最も好ましい。しかし、多くの場合は十分な量の組織を採取することは難しいため人工材料が必要になる。セラミックスは一般に硬く生体内で安定であるので、歯や骨などの硬組織の修復用材料として有用である。

従来の主な骨修復用の生体材料は金属や高分子材料であった。金属材料では316系ステンレス鋼やCo-Cr合金が骨折固定用のピンや股関節の骨頭として利用されている<sup>1)</sup>。また最近では耐食性に優れたチタンやその合金を人工骨として使用するようになってきている<sup>2)</sup>。高分子材料としては、ケイ素樹脂や高密度ポリエチレンなどがある<sup>3)</sup>。しかし金属材料は長期間の使用により有害な金属イオンが溶出する可能性を有し、高分子材料は磨耗しやすいなど力学的性質が十分でない。

セラミックスは脆いという欠点があるため、従来はあまり利用されていなかったが、金属や高分子材料に比べ生体親和性がよいものが多いため、近年新しい生体材料として研究され、利用されるようになってきている<sup>4)</sup>。

#### 2. バイオセラミックスに求められる条件

セラミックスの生体材料は周囲の組織との間にほとんど反応を示さない生体不活性(bioinert)なもの、骨組織と化学的に反応する生体活性(bioactive)なものに分類できる。

生体不活性なセラミックスにはアルミナや部分安定化ジルコニアなどがある。これらは生体組織とよくなじみはするが、周囲の骨と化学結合することはないため、長期の使用により骨がやせたり変形すると固定がゆるんでしまう恐れが生じる。

生体活性な材料には、リン酸三カルシウム(TCP)のように生体内で徐々に吸収され、骨と置き換わってしまうものと、アパタイトやバイオガラスのように周囲の骨と化学的に結合するものがある。しかし、それらの従来報告された機械的強度は十分高くない。そこで、骨と化学結合し、しかも高い機械的強度を示すセラミックスが求められている。

生体内に移植されたセラミックスが加わる荷重に耐えるためには生体骨以上の曲げ、圧縮強度を有する

ことが求められる<sup>5)</sup>。骨の力学的性質は部位によって異なるが、ヒトの歯や骨の曲げおよび圧縮強度は最大で200MPa程度である<sup>6)</sup>。一般にセラミックスは曲げ強度の約5倍の圧縮強度を示す。したがって、曲げ強度でこの条件を満たすものは当然圧縮強度も満足することになる。

セラミックスを生体材料として応用する場合のもう一つの問題点として加工性があげられる。人工骨には複雑な形状と精密な寸法が要求されることが多い。アパタイトの焼結体を切削加工して頭蓋骨などの欠損部に使用した例<sup>7)</sup>もあるが、通常セラミックスの切削加工には大変な労力が必要でコストが高いため加工が容易なセラミックスが求められる。

### 3. 生体を調べる

#### 3-1 アパタイトとは

アパタイトは一般に $M_{10}(ZO_4)_6X_2$ の組成を持った鉱物群の総称であり、中でも骨や歯の無機成分の主成分として知られているのは $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ で表されるヒドロキシアパタイトである。歯のエナメル質には約95%、骨には65%のアパタイトが含まれる。人工的に合成されたヒドロキシアパタイトは生体親和性が極めて良いことから人工骨用の材料として注目されている。

アパタイトの合成には水熱法、フラックス法、乾式法などいろいろあるが、大量に効率よく生産できることから低温の水溶液反応を用いる場合が多い。例えば湿式法では $Ca^{2+}$ の懸濁液に $PO_4^{3-}$ を含む水溶液を徐々に滴下して、反応後に熟成を行って低結晶性のアパタイトを合成する。ここまでで通常1週間程度必要だが、結晶性の良いアパタイトを得るにはさらにこれを約800℃で焼成する。

アパタイトはタンパク質の吸着能があることが知られており、クロマトグラフィー用の充填材として、タンパク質や核酸の分離精製に用いられている。インフルエンザウィルスなどのウィルスや大腸菌などの細菌類を吸着することも報告されており、不織布にアパタイトを担持したフィルターが開発されマスクなどとして販売されている。一度吸着したウィルスは一般の条件ではアパタイトから外れることなくいつまでも吸着している。洗剤などで洗浄する程度ではウィルスは離れることはなく長期間使用していると飽和してしまうため、一定期間での交換が必要である。またガス吸着能を検査した結果、アンモニアやNOxの吸着も確認されている。

#### 3-2 生体内のアパタイト

生体内でのアパタイトの生成機構を調べるため、人工骨を動物生体内に埋入した場合に材料の表面に生成するアパタイトの観察を行った。高分解能電子顕微鏡による観察結果では生体内で人工骨表面に新生した結晶は、一方向へ伸長した板状もしくはリボン状のアパタイトであった。アパタイト結晶は結晶学的には六角柱状の自形を呈するが、ここで観察された結晶は図1のようにc軸方向へ伸長した板状晶である。アパタイトが板状に成長するわけではなく、これは大変おかしなことであり、何かからくりがあるはずである。

そこで、生体内でアパタイトが生成する機構を調べてみると、多くの場合前駆体を経過すると報告されている。得られたアパタイトも前駆体の形状を受け継いでいるため板状を呈しているといえよう。前駆体としては、リン酸カルシウム化合物に属するリン酸八カルシウム(OCP)、リン酸三カルシウム(TCP)、アモルファスリン酸カルシウム(ACP)等が考えられる。これらの前駆体といわれるリン酸カルシウム化合物の中で板状の自形を持つ結晶はOCPとTCPである。OCPの自形はc軸方向へ伸長した板状であるが、TCPのそれはc軸に垂直な六角

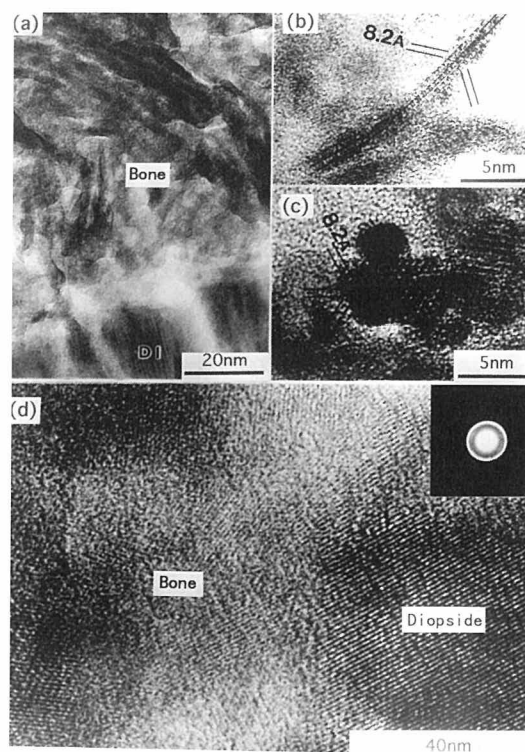


図1 生体内で人工骨ディオプサイド表面に生成した新生骨(アパタイト)の高分解能電子顕微鏡写真  
生体内で新生したアパタイトはc軸方向へ伸長した板状であった。

板状である。得られたアパタイトは  $c$  軸方向に伸長した板状であるのでOCPのそれに近い。このことから板状のアパタイトはOCPを前駆体として生成したと考えると自然だ。

アパタイトの形成には高いアルカリ性と高温を必要とするので、生体内の環境はその点ではアパタイトの形成には適していない。一方OCPは生理条件下すなわち、約40℃、pH5.9-7.0の間に最適生成条件がある。この生成条件より高温、あるいはアルカリ性でアパタイトの水解反応が起こりアパタイトへ変わる。

OCPはその結晶構造中にアパタイトの結晶構造を持つ。そのアパタイトの構造をとる部分は層を形成し、その層と層の間に水を含んだ層が存在する。OCPの水の層が抜けてアパタイトへ変化する。OCPと生成したアパタイトの間には結晶学的な方位関係が存在し、この反応はトポタクティックな関係と呼ばれる。このようにこの生体内でのアパタイトの生成に際してはOCPの前駆物質を介することが予想される。

### 3-3 バイオミメティック材料プロセス

人工骨の合成法として応用され始めているのが生体内でのアパタイトの生成を模倣した、バイオミメティック材料プロセスである。この方法は生体をお手本にした環境調和型材料プロセスで、生体内でのミネラル化、たとえば歯や骨、など生体内でできる無機成分の合成システムを模倣することで生体内と同じ常温/常圧でセラミックスを合成しようとする、新しいセラミックスの合成プロセスである。生体内でのセラミックスの合成プロセスは環境への負荷が極めて小さいのが特徴で、理想的なプロセスと言えよう。エネルギー使用量が少なく、有害な排出物がないプロセスであるのみならず、製品が環境に排出されても問題となりにくい。このプロセスを利用した環境保全材料の開発例については後に述べる。

## 4. 人工骨の開発例

### 4-1 伸びる人工骨

セラミックスの超塑性はジルコニアなどのエンジニアリングセラミックスで若井ら<sup>9)</sup>がその現象を確認し応用を検討し、他のセラミックスでも微細結晶粒であれば超塑性を示す可能性があるとしている。超塑性加工は、生体材料のような他品種少量生産を必要とする材料の加工法として非常に適しており、アパタイトに応用可能になれば、バイオセラミックスの利用に新たな道を開くことになる。

熱間静水圧処理することで平均粒径  $0.67 \mu\text{m}$  の微細結晶粒アパタイトを作製し、高温引っ張り試験を行い、超塑性について検討した。その結果図2に示すように1050℃、初期歪速度  $1.44 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$  で153%の最大伸びを示した。最大伸びは歪速度や温度を変えても大きな変化はなく、いずれも130%以上の伸びを示した。セラミックスでは100%以上の伸びがえられれば超塑性材料であると定義されていることからこのアパタイトは超塑性材料であると言える<sup>9)10)</sup>。

超塑性加工は人工骨や人工歯根、人工歯冠などの加工法として応用できる。脆くて加工が困難であったアパタイトでも超塑性を利用すれば自由な形状の部品が製造できる。一般に人工骨や人工歯冠は切削加工が困難な曲線が多い形状をしており、超塑性加工は非常に有効と言えよう。特にアパタイトは1000℃程度で加工できるので従来から歯科で実用化されているチタン合金の超塑性加工装置がそのまま利用できる。さらに超塑性材料は、超塑性加工しながら異種材料との接合が可能なので、アルミナやジルコニアなど強度は強くても生体親和性に劣る材料の表面をアパタイトで被覆した高強度で生体活性な複合材料の作製が可能である。

以上のように、アパタイトの超塑性化に初めて成功した。超塑性加工技術がアパタイトにも適用可能になったことにより、医療分野でのセラミックスの応用範囲が広がるものと期待される。

### 4-2 流動化し成形できる人工骨

バイオセラミックスの新しい加工法としてガラスの粘性流動を利用したプレス成形法を考案した<sup>11)12)</sup>。核生成材として  $\text{Ag}_2\text{O}$  と  $\text{TiO}_2$  を添加した、 $\text{CaO-MgO-SiO}_2$  系のガラスは  $800^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$  で粘性流動を示し、 $0.64 \text{ MPa}$  以下の応力で人工骨や人工歯冠形状に成形できる。鋳型は通常、歯科技工で用いられ

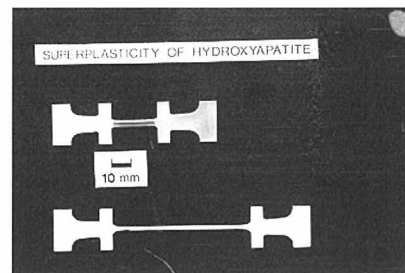


図2 超塑性バイオセラミックス高温引っ張り試験前後のHAp (最大伸び153%)

ている石膏を用いることができる。成形と同時に結晶化させることで脆くて割れやすいガラスを“結晶化ガラス”にすることで、強度を強くすることができる。成形から結晶化までのトータル時間は40分以内である。結晶化後は天然歯や骨に似た乳白色で半透明な色調を呈する。

結晶粒径は1-2 $\mu\text{m}$ 、結晶化度は約25%以下で、曲げ強度は300MPa以上と高く、人工唾液中では非常に安定で試験後も重量減少はなかったことから人工骨や人工歯冠として利用できる。

プレス加工のような溶融していない流動物を圧入する方法では2つ以上の方向から圧入された場合、それが交わる点でもガラスが一体化するか疑問である。しかしメッシュ形状のプレス成形では図3のように交点の境目はみられず完全に一体化していた。したがってブリッジや人工骨など大型の加工物でスプルーを2本以上必要とする場合でもガラスはその交点でも境目を作ることなく良好に圧入できる<sup>13) 14) 15)</sup>。

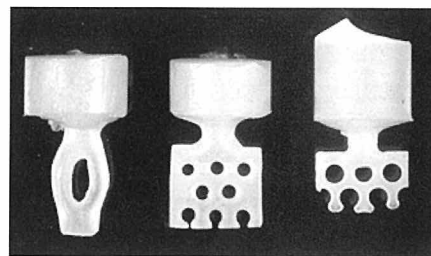


図3 プレス成形できる結晶化ガラス加工したメッシュ

プレス加工法は900℃以下でしかも低圧力で加工できるため、加工後の取り出しが簡単な柔らかい石膏系の鋳型材が使用できる。これに対して従来の鋳造法では高温で処理しなければならないため硬いリン酸塩系の鋳型材を使用しなければならず、加工物の取り出しにドリルが必要など大変手間がかかる。またプレス加工法では0.64MPa程度の圧力で加工できることから、歯冠程度の大きさの加工物であれば特殊な装置がなくても、鋳型に10kgf程度のおもりをのせて加熱すれば加工できてしまうなどいろいろな点で有利である。生体材料ではこれまでにこのプレス加工法のようにガラスを加工と同時に結晶化する製法はなく、今後の人工歯冠や人工骨の加工に大変役立つと言える。

#### 4-3 骨と同化する人工骨

ディオプサイドはケイ酸カルシウムの中では強度が高いため、生体親和性が良好であれば単体でも人工骨などとして利用できる。そこで生物学的安全性試験や動物実験を行った結果、為害性がなく、生体内で表面にアパタイトを析出し骨との接着が早期に起こる生体活性な材料であることがわかった<sup>16) 17)</sup>。ディオプサイドと新生骨の界面を高分解能電子顕微鏡で観察すると両者の結晶格子は連続していた。擬似体液中に浸漬してもディオプサイド表面にはアパタイトの生成が認められた。曲げ強度300MPa、破壊靱性値3.5MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ と機械的強度も強いことがわかり、非リン酸カルシウム系の新しい生体材料として期待できる。

#### 4-4 金属とセラミックスのハイブリッド人工骨

アパタイトやディオプサイドと金属の融合化を目的として研究した結果、チタン合金の超塑性を利用し表面に微細結晶粒子/多孔質のアパタイト 顆粒を構造・配列・組成等を高度に制御して注入する無機系融合材料作製手法を研究した。図4のようにアパタイトと合金の接合強度の飛躍的な向上を実現ことができ、アパタイトのみでなく様々な機能を有したセラミックス顆粒を配列/構造制御して注入することで、所望の機能を複合した多機能材料の設計が可能である<sup>18) 19) 20)</sup>。

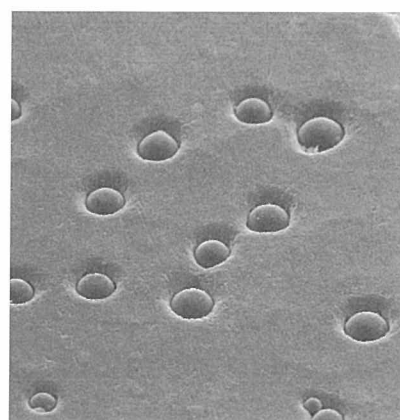


図4 顆粒状アパタイトを圧入したチタン球状の先端が見えているのが圧入した顆粒状アパタイト

生体融和性人工歯根、人工股関節等を製造する医療福祉関連事業の創造が可能となる。また、このようなセラミックスと金属素材の融合による新材料は、人工骨のみでなく機械部品や耐環境ハイブリッド材、エコマテリアル等として新規素材産業の創造に資する可能性がある。

#### 5. バイオミメティック製造プロセスを利用した環境保全材料

アパタイトは安全性が高くタンパク質を選択的に吸着する能力があるため今まで紹介してきたような人工骨としてだけでなくクロマトグラフィー用のカラムや花粉の吸着能を生かしたマスク、細菌の吸着能を利用

してハンドクリームなどが商品化されている。しかし、物質を吸着するのみで分解することができないので使用時間が長くなると飽和してしまい吸着作用も弱くなる。

一方、二酸化チタン光触媒は、光を当てることにより、非常に強い酸化力を生じ、接触してくる有害化学物質や細菌、かび、臭い、汚れ等を分解し炭酸ガスなどに分解・除去することができるため環境保全材料として利用されている。反面、有機塗料や繊維、プラスチック、紙などの有機物に混合するとバインダーや基材そのものを分解してしまうため、用途に限られる。また物質を引き寄せ作用はないため、接触した物質しか分解できないし、光が当たらないと機能しないなど問題点もある。二酸化チタンとアパタイトを複合化した多機能セラミックスを開発すれば両者の欠点をまかない、長所を引き出した理想的な環境浄化材料になりうる。

そこでバイオメテック法による二酸化チタン表面へのアパタイトの被覆方法を検討し、試行錯誤のすえ理想的な構造を形成することができ、複合化技術の構築に成功した<sup>21) 22)</sup>。図5に示すように、アパタイトを二酸化チタン表面から垂直方向に成長させることで二酸化チタンの表面が部分的に露出するようにした。またアパタイトの結晶化度や組成をコントロールすることで表面積の大きなアパタイト結晶を析出させ物質の吸着量を大きくすることに成功した。

この材料は二酸化チタンの機能に加え、アパタイトの吸着機能を付与することで、光の有無に関わらず細菌やウイルスを吸着し、アパタイトは吸着能だけでなく有機物質と光触媒を隔離する働きもする。従って従来不可能であった有機系の媒体（繊維、樹脂、プラスチック、木材、紙等）に練り込んだりコートすることが可能になった。二酸化チタンの応用範囲を飛躍的に拡大できる可能性がある。また多孔質セラミックスやセラミックスファイバーを基材として用いたものは、細菌や、臭気、有害化学物質を吸着・分解する空気清浄機や、水耕栽培、風呂、花瓶などの水の浄化に利用できるだろう。NOxその他有害物質も吸着除去できるため、道路壁や高速道路の防音壁へのコーティングも効果的である。

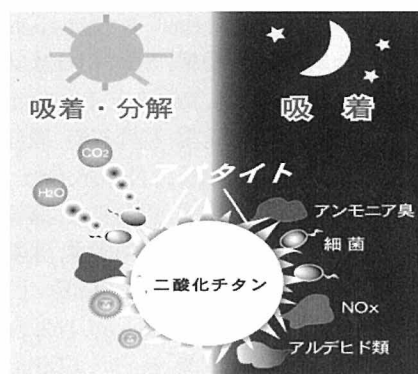


図5

## 6. 今後のロボット開発のために

生体に学び、生体を模倣することでより生体に近く、生体と調和する材料の合成やプロセスの開発が可能である。人に近いロボットを作るためには、ここで紹介した「骨」だけでなく、様々な物性や機能をもった材料の開発が不可欠である。その成果はロボットだけでなく環境保全材料としても生かされる。特に人間はセンサーの塊であることを考えると今後は様々なセンサーの開発がロボット作りに生かされるだろう。

中学校や小学校ではシックハウス症候群対策として教室のホルムアルデヒドなどの揮発性有機物質の濃度を測定している。この測定には様々な装置とそれに測定者、時間が必要である。たとえば臭いを感じることができる犬型ロボットが開発されれば「この部屋は危険だ」、「大丈夫」等と教えてくれるかもしれない。これからのロボット開発のためには機械工学はもちろんであるが、情報や生物そして材料の研究者が接触し総合的に進めていくことが重要であろう。



## 参考文献

- 1) 朝倉健太郎, 金属, 61, 12, 7 - 5 (1991).
- 2) 塙 隆夫, 太田 守, 金属, 61, 12, 16-21 (1991).
- 3) 日本化学会編, “医用材料の化学”, 化学総説 No.21 (1978).
- 4) 加藤一男, 青木秀希, 生体とセラミックス, 15, 418-426 (1980).
- 5) 小久保正, 化学工学, 50, 693-699 (1986).
- 6) 青木秀希, 丹羽滋郎, “バイオセラミックスの開発と臨床”、クインテッセンス (1987).
- 7) 小野一郎, 郡司裕則, 須田和義, 金子史男, 第36回日本形成外科学会総会抄録, p.219 (1993).
- 8) F. Wakai, S. Sakaguchi, Y. Matuno, Advanced Ceram. Mater., 1, 259-63 (1986).
- 9) F. Wakai, Y. Kodama, S. Sakaguchi, T. Nonami, J. Am. Ceram. Soc., 73(2), 457-41 (1990).
- 10) 野浪 亨, 若井史博, 金属, 61(12), 36-41 (1991)
- 11) T. Nonami, Mat. Res. Soc. Proc., 252, 87-92 (1991).
- 12) 野浪 亨, 堤 定美, 福間正泰, 浦部哲夫, 生体材料, 12, 274-278 (1994).
- 13) 野浪 亨, 堤 定美, J.Ceram. Soc. Japan, 104, 201-207 (1996).
- 14) 野浪 亨, 堤 定美, 福間正泰, 浦部哲夫, 歯材, 器, 13, 568-574 (1994).
- 15) 野浪 亨, 堤 定美, 福間正泰, 浦部哲夫, 歯材, 器, 14, 387-392 (1995).
- 16) 野浪 亨, Development Study of Diopside for use as implant material, Material Research Society Symposium Proceedings, vol. 252, pp87~92(1992)
- 17) 野浪 亨, 堤 定美, Study of Diopside Ceramics for biomaterials, J.Mater.Sci, Mater.Med.vol.10, No.8 pp475~479.
- 18) 野浪 亨, 神谷 晶, 長沼勝義, 亀山哲也, Preparation of Hydroxyapatite-Granule-Implanted Superplastic Ti-alloy, Journal of Materials Science:Materials in Medicine, vol.8 No.6 pp.203~206 (1998).
- 19) 野浪 亨, 神谷 晶, 長沼勝義, 亀山哲也, Implantation of Hydroxyapatite Granules into Superplastic Titanium Alloy for Biomaterials Materials Science and Engineering C vol.1998 No.6 pp.281~284 (1998).
- 20) 渡津 章, 大口 仁, 園田 勉, 朱 峻, 野浪 亨, Preparation of Hydroxyapatite /Titanium Composites by Implanting Hydroxyapatite Granules into Titanium Alloy, Journal of the Ceramic Society of Japan, Supplement 112-1, PacRim5 Special Issue pp.826~828 (2004).
- 21) 野浪 亨, 埜田博史, ミネラル, 渡辺栄治, 伊勢田耕三, 田澤雅人, 深谷光春, Apatite Formation on TiO<sub>2</sub> Photocatalyst Film in a Pseudo Body Solution, Material Research Bulletin vol.33 No.1 pp.125~131(1998)
- 22) 野浪 亨, 長谷博子, 船越邦夫, Apatite-coated titanium dioxide photocatalyst for air purification, Catalysis Today Vol.96, Issue3 pp.113~118 (2004).

## ● 研究動向紹介

### 人間のマニピュレーション技能の モデル化とその実現

生命システム工学部 平名計在



#### 1. はじめに

近年、ロボットの活動範囲は工場内にとどまらず、一般社会にも広がっている。その大きな要因の1つとして、ASIMOやHOAP-Xに代表される人間型ロボット(ヒューマノイド型ロボット)の研究、開発が挙げられる。このような人間型ロボットは人間と同様に2足歩行を行うことで、人間に親近感を与え、将来的には人間との協調作業や人間と直接接触する作業(介護ロボット等)への応用に期待が持たれている。しかしながら、人間型ロボットの研究の多くは2足歩行動作に関するものが多数を占めている。今後、人間型ロボットが人間社会と共存していくためには、ロボットには人間と同程度のマニピュレーション技能が要求されると考えられる。これはちょうどヒトが2足歩行を始め、それによって手が自由になり、道具を使用する技能を獲得していく過程と重ね合わせることができる。このように、いかにしてロボットに人間のマニピュレーション技能を持たせることができるかについて研究を行ってきた。

#### 2. 人間のマニピュレーション技能の特徴

ここでは、人間のマニピュレーション技能の特徴について考える。人間は、かなり複雑と思われる作業も容易にこなすことが可能である。このように、人間が巧みに物体を操ることができるのは、人間の技能に以下の特徴があるからであると考えられる。

- ・ 人間は、手先にかかる力の大きさや手先と対象物体の位置関係に応じて手先のダイナミクスを適切に変えている
- ・ 人間は、作業の進行に応じて手先のダイナミクスを適切に切り替えている
- ・ 人間が、柔軟物を扱う際には、過大な力を加えると変形するために、視覚情報を頼りに手先のダイナミクスを適切に変えている

このうち、3番目の特徴に関しては、人間の身の回りのもののほとんどが柔軟物(衣服、食品のみならず、皆さんが今手にしているこの冊子もそうである)であることを考えれば、もっとも重要視しなければならない点である。筆者らはゴム製のhoseを金属製のplugに挿入するhose insertion taskに関する人間のマニピュレーション技能をモデル化し、ロボットに実装させ、実際に作業を実現させている。詳細は文献[3]を参照されたい。

#### 3. peg-in-hole taskを例にした人間のマニピュレーション技能の実現

ここでは、マニピュレーション技能の代表的な例であるpeg-in-hole taskを取り上げて、これまで提案してきた手法について説明する。peg-in-hole taskとは図1.に示すように、金属製のpegといわれる棒を固定された環境にあるholeに挿入する作業である。このような人間にとって比較的単純な作業であってもロボットにとっては非常に困難な作業となる。

このように、ロボットにマニピュレーション技能を実現させるための1つの手法として、人間が容易に作



業を行える点に着目し、人間の技能を何らかの形で抽出し、パラメータとしてロボットのコントローラに与える手法が考えられる。この観点から最も適切と考えられる手法として、インピーダンス制御をあげることができる。インピーダンス制御とは、手先と対象物体の間に仮想的なバネ、ダンパがつながっているものとして対象物体に加わる力を制御する手法であり、対象物体との接触の有無にかかわらず使用できる手法である。しかしながら、これらの制御パラメータ(仮想的なバネやダンパの定数)は解析的には導出困難であるため、人間の作業を観測し、そのデータからパラメータ同定によって決定する。

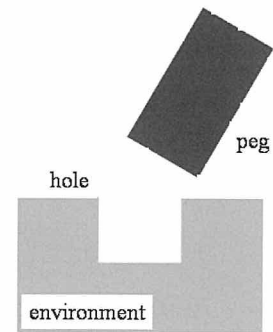


図1 peg-in-hole task

次に、先に述べた2番目の特徴に注目する。人間は作業の進行に応じて適切にダイナミクスを切り替えていることから、コントローラのパラメータを作業の状態に応じて切り替えていくメカニズムを組み込めばよいと考えられる。このような制御はスイッチング制御、あるいはハイブリッド制御によって実現できると考えられる。また、実際の作業の状態とは、この場合、pegと環境の接触関係によって決めることができる。なお、このような接触関係は複雑な作業になればなるほど膨大な量になることを付け加えておく。

このように、ロボットにマニピュレーション技能を実現させるためには、①人間が実際に作業を行った際のデータ(手先の位置、手先にかかる力)を獲得し、それらから制御パラメータを決定する、②①で決められたパラメータを作業の進行に応じて適切に切り替えるメカニズムを構築する、の2段階を経て行わせればよいことがわかる。従って、ロボットにマニピュレーション技能を実現させる場合には、ハイブリッドシステムを用いる非常が有効であることが分かった。さらに言うならば、人間の技能はマニピュレーション技能に限らず前述の特徴を持っており、ハイブリッドシステムの枠組みでモデル化できると考えられる。

このように、ロボットにマニピュレーション技能を実現させるためには、①人間が実際に作業を行った際のデータ(手先の位置、手先にかかる力)を獲得し、それらから制御パラメータを決定する、②①で決められたパラメータを作業の進行に応じて適切に切り替えるメカニズムを構築する、の2段階を経て行わせればよいことがわかる。従って、ロボットにマニピュレーション技能を実現させる場合には、ハイブリッドシステムを用いる非常が有効であることが分かった。さらに言うならば、人間の技能はマニピュレーション技能に限らず前述の特徴を持っており、ハイブリッドシステムの枠組みでモデル化できると考えられる。

#### 4. ハイブリッドシステムとマニピュレーション技能の関係

ハイブリッドシステムとは離散値変数と連続値変数が混在し、相互作用するシステムのことを指し、近年制御の分野で大きな注目を集めている。実際のシステムのほとんどはハイブリッド的な側面を持っているが、実際に扱うのはまだ難しく、盛んに研究が行われている段階である。ここでは、簡単なハイブリッドシステムの例として、部屋の温度制御を取り上げる。

##### <例：部屋の温度制御>

図2のような部屋を考える。この部屋には2つの温度センサ $S_1$ と $S_2$ があるが、 $S_1$ は部屋の温度がある温度 $T_1[^\circ\text{C}]$ より高いか否かのみしか感知できず、 $S_2$ は温度 $T_2(>T_1)[^\circ\text{C}]$ より高いか否かのみしか感知できないものとする。 $S_2$ がONとなると冷却器のスイッチがONとなり、部屋が冷やされ、 $S_1$ がOFFとなると冷却器のスイッチがOFFとなる。

現在、 $S_1$ がONで $S_2$ がOFFであり、冷却器のスイッチはOFFであるとする。このとき、部屋の温度は徐々に上がり、やがて $T_2[^\circ\text{C}]$ を超える。このとき、 $S_2$ がONとなり、冷却器のスイッチが入る。これにより、部屋の温度が徐々に下がるが、 $T_1[^\circ\text{C}]$ を下回ると $S_1$ がOFFになるため冷却器のスイッチが切れる。そのため再び部屋の温度が上昇する。以降はこのサイクルを繰り返すこととなる。

この例では、部屋全体を1つのシステムと考えたとき、離散値変数(センサのON/OFF、冷却器のON/OFF)と連続値変数(部屋の温度)が混在しているため、ハイブリッドシステムと考えられる。このように捉えることで、ON/OFFの2値情報しかもたない安価なセンサやコントローラで連続値を制御することが可能となる。

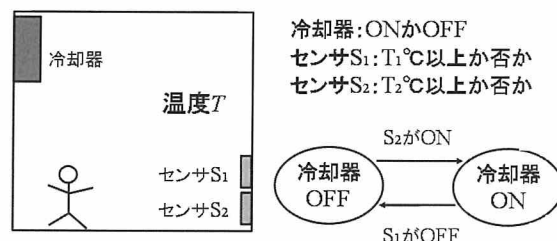


図2 ハイブリッドシステムの例

ここで、マニピュレーション技能に話を戻す。3節でのべた手法(以前提案した手法)に限らず、マニピュレーション技能を実現するには、あらかじめロボットと部品の接触関係(接触状態)とその状態遷移を与える必要があった。このため、複雑な作業になればなるほど接触状態及び状態遷移の数は爆発的に増えることになる。そこで、文献[4]では、ハイブリッドシステムの1つの数式表現であるMixed Logical Dynamical System(MLDS)を用いてマニピュレーション技能をモデル化し、実際にロボットが作業を行うための最適な動作を計画する手法を提案した。MLDSの大きな特徴の1つとして、最適制御問題が数理計画問題に帰着できる点があり、計算機上で最適な動作計画を行うことができる。また、MLDSでは離散値変数と連続値変数を陽に取り扱うことが可能なため、このような数学的扱いが簡単になる特徴も有している。

## 5. おわりに

この他にも、ロボットの技能を人間の技能に近づけるようなコントローラ的设计手法[5]も提案してきた。紙面の都合上省略した部分が多く分かりづらい面が多々あることをお許しいただいて、今後も人間の技能のモデル化、特にロボットに実装しやすい形のモデルを構築する手法を考えていきたい。

## 参考文献

- [1] [特集] マニピュレーション：21世紀に向けた新展開, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.2, 2002
- [2] [特集] HRPの成果と人間型ロボットの今後の展開, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.1, 2004
- [3] K. Hirana, T. Suzuki, S. Okuma, K. Itabashi, F. Fujiwara : Realization of Controllers for Manipulation of Deformable Objects Based on Hybrid Automaton and Human Skill, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.13, No.3, pp.273-281, 2001
- [4] K. Hirana, T. Suzuki, S. Okuma : Formulation and Motion Planning of the Peg-in-Hole Task with Mixed Logical Dynamical System Theory, Journal of Advanced Robotics, Vol. 18, No.3, pp.315-330, 2004
- [5] K. Hirana, T. Nozaki, T. Suzuki, S. Okuma, K. Itabashi, F. Fujiwara : Quantitative Evaluation for Skill Controller Based on Comparison with Human Demonstration, IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.12, No.4, pp.609-619, 2004

## ● 研究動向紹介

### ヒューマノイドの動き

生命システム工学部 加納政芳



ヒューマノイドの「動き」には何が求められているのであろうか。これまでのロボティクスでは、ロボットが限られた環境で動作するように、設計者が明示的に様々な機能を作成していた。このため、ロボットはそれを再生するのみであった。このような手法でヒューマノイドを動かすことは適切といえるだろうか。答えはNoであろう。ヒューマノイドの動きには、工業機械のような正確性よりもむしろ、「多様な環境に柔軟に行為を沿わせる能力」こそ、必要とされている。この能力の要求は、ヒューマノイドの身体的特徴に起因する。ヒューマノイドは、人に近い身体性を持つために、人と同じような振る舞いができる。そのため、人と共存し、日常生活の作業を代わりに行ったり、会話などを通じて人を精神的にサポートしたりすることが、人間社会におけるヒューマノイドの役割となる。したがって、ヒューマノイドには、時々刻々と変化する環境や人の気持ちに柔軟に対応する能力が要求される。

本稿では、この能力のうち、「動き」に焦点を当てた2つの研究を紹介する。

1つはヒューマノイドの体の動き、すなわち身体動作の制御である。この制御は、不確実性や想定外の変化が起こる実環境に対して、ヒューマノイドが適応的に動作するための技術である。

もう1つは、ヒューマノイドの顔の動き、すなわち表情表出の制御である。これは、人とヒューマノイドとのコミュニケーションにおいて、お互いの心理状態を理解するための重要な技術である。

#### 1. 身体動作の制御

人は、平らに舗装されていないでこぼこした地面でもそれなりに楽に移動することができる。食事場面においても、人は、決まった食べ物が決まった配置になければ食べることができない、ということはない。仮に同じ食べ物が同じ配置で並べられていたとしても、それを同じ順番で、あるいは同じ手の動きで毎回同じように食べることはない。このような事実から、人はその場その場で適当な運動を生成し、環境との適応的な関係を形成することができるということがわかる。

ヒューマノイドが環境と適応的な関係を築く上で、まず解決しなければならないのは、ヒューマノイドの持つ膨大なセンサ情報を、環境との相互作用のみに基づいて、どのように行動に結びつけるかという問題である。この問題を解決する手法として強化学習を導入する。

##### 1.1. 強化学習

強化学習とは、ヒューマノイドが環境との相互作用を通して、試行錯誤を繰り返し、できる限り多くの報酬を得られるような行動を学習する枠組である[1]。強化学習では、通常の機械学習のようにヒューマノイドがどのような行動を取るべきかは教えられない。ヒューマノイドは、どの行動を取ればよりよい報酬が得られるかを、試行錯誤を通じて自ら見つけ出す。すなわち、報酬という形で何をすべきかをヒューマノイドに指示しておくだけで、どのようにそれを実現するかをヒューマノイドが自動的に獲得する。

本研究では、ヒューマノイド制御のための強化学習法として、actor-critic法を使用する。同手法の構造を、図1に示す。actor-critic法は、actorと呼ばれる制御器とcriticと呼ばれる評価器で構成される。本研究では、actorおよびcriticの学習に正規化ガウス関数を基底関数とするネットワークを用いる。同関数は、動径基底関数よりも汎化能力に優れており、少ない基底関数で広範囲をカバーできるため高次元状態空間に適している。

### 1.3. 実験

本稿では、必要に応じて基底関数を追加・削除する手法[2]を用いて、ヒューマノイドの椅子からの立ち上がり動作の学習を行う(図2)。本実験では、学習シミュレーションのために、富士通のHOAP-1(図3)の機構データからモデルを作成した。学習シミュレーションには、Open Dynamics Engineを用いた。

図4に学習結果を示す。まず、ヒューマノイドは椅子から立ち上がろうとするが、後方に倒れてしまう。その後、体重を前方にかけることで、椅子から立ち上がることができるようになるが、立ち上がった後の動作を学習していないため、転倒してしまう。しかし、最終的には、ヒューマノイドはバランスをとりながら、椅子から立ち上がる動作を獲得できた。このときの動作を実機で動作させたときの結果を図5に示す。

ここでは、椅子からの立ち上がり動作の学習について実験した。このときのヒューマノイドへの報酬としては、頭の高さのみを用いている。このように単純な報酬を与えるだけで、ヒューマノイドは椅子からの立ち上がり動作のような、過渡的な動作を獲得することができた。この研究をさらに発展させることで、ヒューマノイドが多様な環境で柔軟な対応をとるためのメカニズムを構築することを目指している。

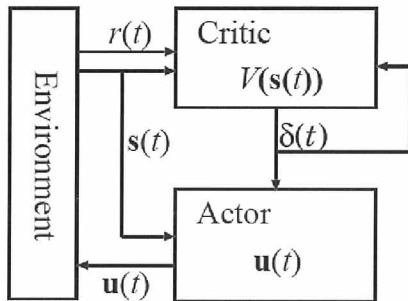


図1 actor-critic 法の構造

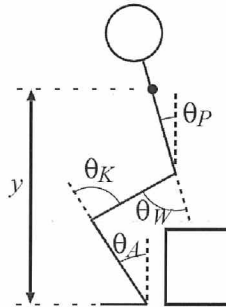


図2 学習動作

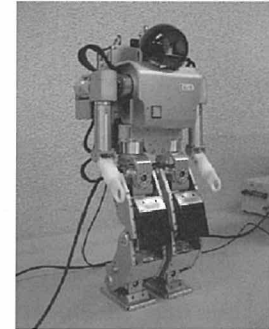


図3 HOAP-1

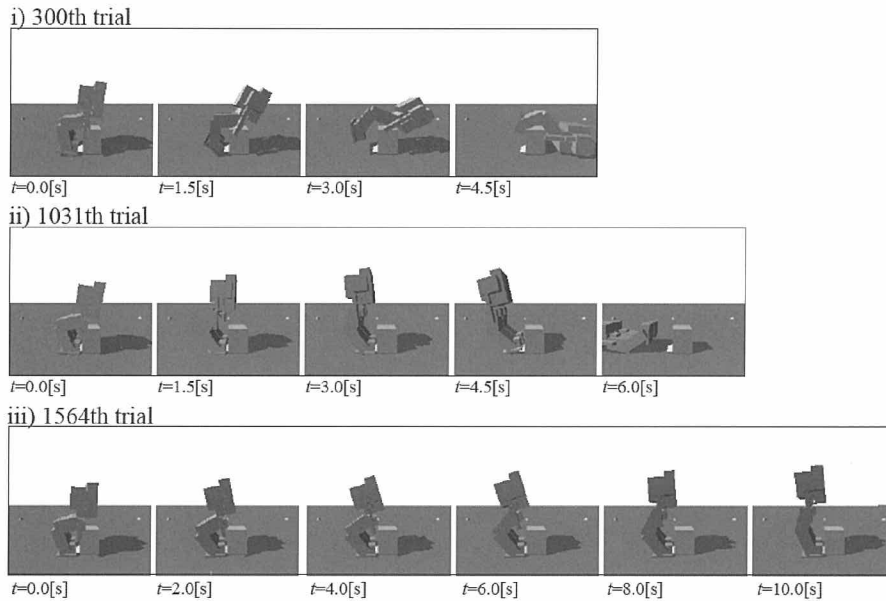


図4 学習結果

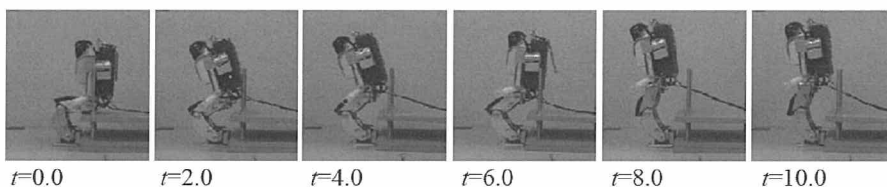


図5 実機による椅子からの立ち上がり動作

## 2. 表情表出の制御

声や表情に表れてしまう喜びや悲しみ、感情や情動は、コミュニケーションの中に心理的インタラクションを生み出し、相手の心理状態の理解の助けとなる。すなわち、声や表情といった感性情報はコミュニケーションを円滑に行う上で重要である。ヒューマノイドと人とのコミュニケーションの間に心理的インタラクションを持たせるためには、ロボット内部に感情を取り扱うメカニズムが必要となる。我々は、感性会話型ロボットIfbotを開発している[3-5]。Ifbotは、話し相手の感情を認識する。そしてIfbotは、それを考慮に入れて、しぐさ、表情などで自らの感情を表現しつつ、感情を込めた受け答えをする。Ifbotが感情を表出する際にもっとも重要な役割を果たすのが、表情である。本稿では、Ifbotの感情と表情とをマッピングするための感情空間を構築し、これを用いて感情的な表情表出を実現する[6]。

### 2.1. Ifbot

図6にIfbotの概観を示す。Ifbotは、身長45cm、重さ7kgであり、2つの腕を有し、車輪により移動する。図7にIfbotの表情表出機構の概要を示す。Ifbotは表情表出のために、10のモータおよび計104のLEDを持つ。モータは、首を2軸、左右の目を2軸、左右のまぶたを2軸の方向に動作させる。LEDは、頭部、口部、目部、頬部、涙部、耳部の各部位に配置される。これらの機構により、Ifbotは表情豊かなコミュニケーションを行うことができる。

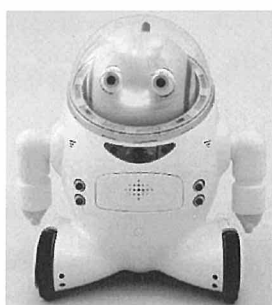


図6 Ifbotの概観

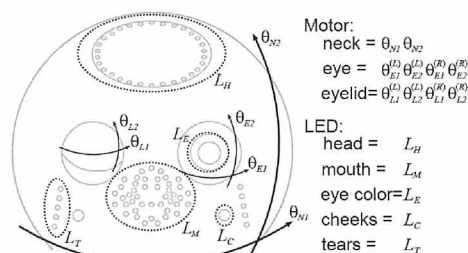


図7 Ifbotの表情表出機構

### 2.2. 感情空間の構築

Ifbotの表情特徴を感情空間にマッピングするために恒等写像学習を使用する。本稿では、ネットワークのユニット数を15、45、2、45、15とし、第3層に抽出される特徴空間を2次元感情空間として利用する。学習データは、10のモータ制御値と、各部位のLEDの制御値をパターン分類したデータとする。特徴空間と感情との対応付けはアンケートを用いて主観的に行う。

### 2.3. 感情領域とそれを用いた表情生成

人間の主観評価に基づく感情領域を定義する。計121の表情を感情空間から抽出し、これらが基本6感情のうちどれに対応するかを20人に対してアンケートした。表情の抽出は、2次元感情空間の座標点を恒等写像学習ネットワークの第3層に入力し、第5層から表情制御値を出力することで行う。

図8にアンケート結果を示す。同図(a)には50%以上の支持率を得た座標点、(b)には80%以上の支持率を得た座標点が表示されており、赤に色づけされた点が怒り、青が悲しみ、緑が驚き、シアンが喜びと支持された座標点である。この結果において、50%以上80%未満の領域と80%以上の領域に着目する。これらの座標点周りの一定範囲では同一感情を表出していると考え、同図(a)中の色づけされた範囲を感情表出の弱い範囲、(b)中の範囲を感情表出の強い範囲とする。本稿では、2つの図で示された感情の範囲を重ね合わせたものを、Ifbotの感情的表情表出のための感情領域と定義する。感情領域を図9に示す。

提案する感情領域を用いて表情表出を行うことで、以下が可能となる。

- (1) 人の主観にあった表情生成：アンケートにしたがっているため人の主観にあった表情が生成できる。
- (2) 感情の継続表出（怒り続けるなど）：表情を生成するための軌跡をうまく制御することで感情の移り変わりをスムーズにしたり、表情に微妙な変化を常に持たせることができる。

(3) 感情の表出強度の異なる表情表出：強弱の異なる感情領域を使う、または、感情空間内の軌跡の移動する速度を変化させることで感情強度の異なる表情を生成することができる。

図10に感情領域を用いた表情遷移（怒りから悲しみ）の例を示す。同図より、人の主観にあった表情が生成できていることがわかる。

現在、感情空間モデルを用いることで、感情的な表情だけではなく、音声・態度が同時に表出できるような枠組みを構築中である。また、高次の感情処理を会話シナリオや作り込みの表情・態度で行い、低次の感情処理を感情空間モデルを用いて処理することで、より自然な、感情豊かなコミュニケーションの実現を目指している。

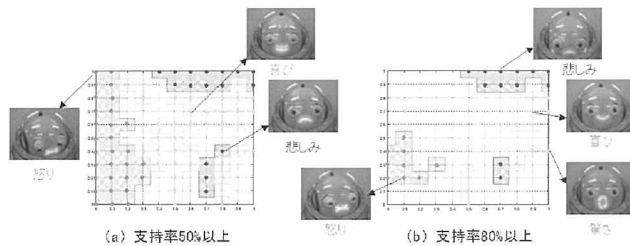


図8 アンケート結果

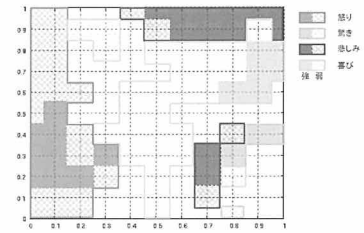


図9 感情領域

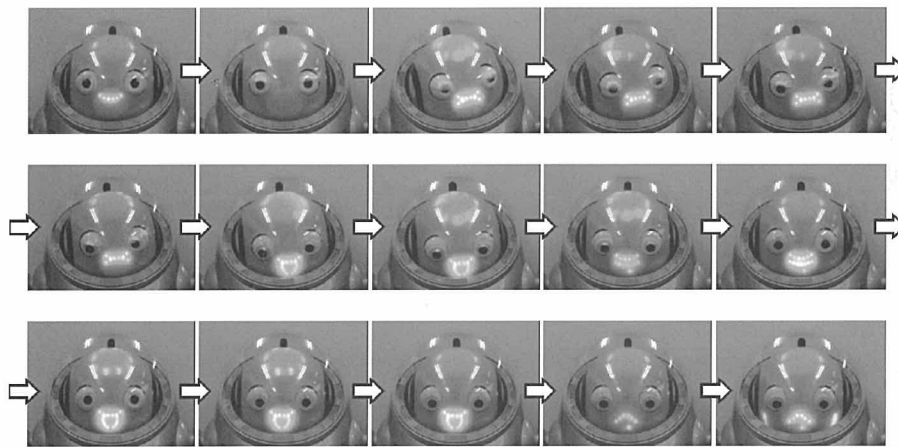


図10 怒りから悲しみへの表情変化

#### 参考文献

- [1] Sutton, R.S., Barto, A.G.: Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press, 1998.
- [2] Iida, S., Kuwayama, K., Kanoh, M. et al.: A Dynamic Allocation Method of Basis Functions in Reinforcement Learning, LNAI, 2004. (to appear)
- [3] Business Design Laboratory Co. Ltd.: (Communication Robot Ifbot) <http://www.ifbot.net>.
- [4] Kanoh, M., Kato, S., Itoh, H.: Facial Expressions Using Emotional Space in Sensitivity Communication Robot "Ifbot", IROS, pp.1586-1591, 2004.
- [5] 加納, 後藤 他: ロボットの混合感情表出のための表情制御手法, 知能と情報, 2004(採録決定済).
- [6] 後藤, 加納 他: 感情領域に基づく感性ロボットの表情生成手法, 感性工学会大会, p.260, 2004.

## ● 受賞報告

### ロボカップジャパンオープン大阪2004 受賞報告

情報科学部情報科学科 清水 優



#### 1. ロボカップジャパンオープン大阪2004レスキューロボットリーグに出場 3位入賞

今年のロボカップジャパンオープン（国内大会）は、2004年5月1日～4日にインテックス大阪（大阪市）で開催されました。ロボカップと言えばサッカーリーグが有名ですが、私はレスキューロボットリーグに出場し、3位入賞しました。

#### 2. ロボカップについて

ロボカップは、ロボット研究を促進するための場として、1997年に第1回世界大会が名古屋で開催されました<sup>[1]</sup>。開催地が世界各国を巡る世界大会とは別に、国内大会としてロボカップジャパンオープン<sup>[3]</sup>があります。ジャパンオープンは、第1回世界大会の翌年1998年から開催されています。また、レスキューリーグ（ロボット（実機）リーグとシミュレーションリーグ）<sup>[2][4]</sup>は、2001年から新競技種目として加わりました。

私は、レスキューロボットリーグに2003年新潟大会から参加しています。また今回は、レスキューロボットリーグ実行委員としても活動しました。

#### 3. レスキューロボットリーグのルール

レスキューロボットリーグのルールは、実際の災害救助活動を想定して定められています。試合はポイント制によって勝敗が決まります。ポイントの計算方法は若干複雑ですが、要点は、①被災者の位置と状態を正確にマップ上にレポートすると被災者毎にポイント加算、②建物や被災者へダメージを与えるとポイント減、③最後に①と②の合計ポイントを(1-操縦者数)<sup>2</sup>で割る、となっています。多くの被災者を正確に報告したかだけではなく、破壊活動はしていないか、少ない操縦者で探査活動を行えたかもポイントに大きく影響します。

今回これらの要素が実際に大きく影響し、3位という結果になりました。4Legsの操縦者は1名だったので、ポイント計算上は常に有利でした。また予選では小型の機体を活かし破壊活動をせずに多くの被災者を発見し、決勝に進出できました。ところが、決勝の最後で被災者を踏みつけ、大きなペナルティを科せられました。この種のペナルティを軽減することは、遠隔操作一般の課題でもあり、ロボット側に障害物回避能力を持たせなければならないことを痛感しました。

#### 4. 計測自動制御学会賞（最優秀賞）受賞

上記3位入賞とは別に、計測自動制御学会賞も受賞しました。本賞は、ロボカップジャパンオープン全体で3名の受賞者がありました。私の受賞は、現地での作業の様子や試合中のトラブルシューティングなど臨機応変なシステムチューニングが評価されたようです。本人は単に必死でやっていたのですが、良い評価をいただけて幸運でした。学会賞は計測自動制御学会の他に、日本ロボット学会、人工知能学会からも用意されています。



## 5. レスキューロボット 4 L e g s

今回使用したロボット 4 L e g s (右写真)は、名前の通り4本足で移動します。一般的に、不整地(被災現場)を移動するための機構としては、クローラ(無限軌道)が用いられます。しかし、被災現場に散乱している紙やビニールなどのゴミによって、スリップやベルト脱落などのトラブルもたびたび目にします。また、障害物対策のアーム状補助クローラを装備することでボディが大型化し、狭いところへ入りにくくなってきています。

そこで4 L e g s では、4足歩行機構と探査活動に最低限必要な機能(音声付き画像の送信)のみを搭載することで、足運びや姿勢調整で障害物に対応しながら、ある程度の小型化を実現しました。足は、1本あたり3自由度あり、市販のサーボモータとフレームで構成しています。写真は待機姿勢で、移動時はワニのように足を振り上げるようにして前進します。今回は障害物や路面状態を検知するセンサを搭載していませんので、足の振り上げをできるだけ高くし、障害物があっても乗り越えられるような動作をプログラムしました。

今後は、小型化とともに周囲の状況を検知するセンサと障害物回避機能、マップ作成機能を付加する予定です。

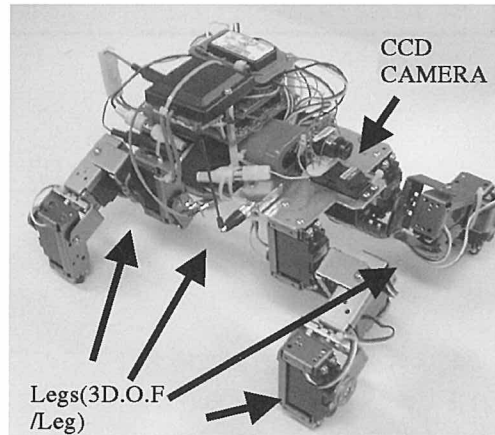


写真 4Legs(右斜め前方より撮影)

サイズ:前後X左右=280mm X 320mm

高さ=160mm ~ 210mm

重量:約2kg

## 6. 2005年 ロボカップ世界大会

2005年のロボカップは、7月13日から17日までインテックス大阪で開催される予定です(ジャパンオープンが開催されません)。今年の国際大会から来年のレスキューロボットリーグの傾向を推測すると、多くのチームでマップ自動作成機能を搭載し、被災者探索の自動化(オペレータの省力化)も進むと予想されます。同時に、どれだけ実用的なロボットに仕上げられるかも勝負の分かれ目になります(本番で動かなかったり、うまく使えなかつたりでは意味がない)。

ロボットに興味をお持ちの方は、ぜひ一度ロボカップを実際に見に来てください。参加者の熱意を直に感じてください。では、会場でお会いしましょう。

## 参考文献

[1] 浅田 稔, "RoboCupSoccerロボットの行動学習・発達・進化", 共立出版, 2002

[2] 田所論, 北野宏明, "ロボカップレスキュー緊急大規模災害救助への挑戦", 共立出版, 2000

[3] <http://www.robocup.or.jp/>

[4] <http://www.rescuesystem.org/robocuprescue/japan2004/japan2004.html>

## 福村晃夫先生の瑞宝中綬章受章と傘寿のお祝い会

本学名誉教授で当研究所名誉所員の福村晃夫先生が、2004年4月29日に瑞宝中綬章を受章されました。その記念ならびに傘寿の祝賀を兼ねたお祝い会が9月20日に名古屋観光ホテルで開催されました。

お祝い会には、福村晃夫先生のご指導を受けた関係者が約90名出席、東北・関東・関西など遠方からも多数の参加がありました。本学からは、梅村清弘理事長・小川英次学長をはじめ、理事および教員の有志23名が出席いたしました。

お祝い会では、発起人代表の稲垣康善先生の挨拶後、梅村清弘理事長や小川英次学長を含め6名の方から祝辞があり、鳥脇純一郎先生の音頭で乾杯を行いました。にぎやかでアットホームな雰囲気での歓談後、福村晃夫先生から約40年間にわたる研究・教育活動の思い出話が次々に紹介され、これまでのご功績を再認識することができました。

(文責 棚橋純一)



福村晃夫先生A



福村晃夫先生B



記念撮影

写真提供：瀧剛志先生（上左）、末永康仁先生（上右）、(株)写真のみくに（下）

## 第100回情報科学部コロキウム

日時 : 2004年5月27日(木) 18:30~20:00  
場所 : 中京大学情報科学部メディア科学科多目的スタジオ  
講演者 : 三輪眞弘(情報科学芸術大学院大学-IAMAS-教授)  
題目 : 「逆シミュレーション音楽への道」  
概要 :

今回は、作曲家であり日本におけるコンピュータミュージックの草分け的存在である三輪氏をお招きした。彼にとって最も大きな興味の対象である「テクノロジー」。しかしながら「テクノロジーの発展は明るい未来をもたらさないという実感がある」とも語る。そんな三輪氏のコンピュータ音楽へのアプローチは独自のものである。普通、コンピュータはアナログな楽器を真似ることがよくある。しかし三輪氏の「逆シミュレーション音楽」では、コンピュータのアルゴリズムが生み出した音楽を、生身の人間がシミュレートするのである。今回の講演では、ビデオやイメージなどで逆シミュレーション音楽の実例が示されるとともに、聴衆から参加者をつのっての実演も行われた。

コンピュータで作曲することに対する三輪氏の深い考察と哲学は、参加した学生たちに大きな刺激になったものと思われる。

## 第101回情報科学部コロキウム

日時 : 2004年6月2日(水) 18:00~20:00  
場所 : 中京大学情報科学部メディア科学科多目的スタジオ  
講演者 : 木村まり(ジュリアード音楽院 教授)  
題目 : 「ヴァイオリンとインタラクティブ・コンピュータの融合と演奏」  
概要 :

世界的なヴァイオリニストであり、コンピュータ作曲家である木村まり氏を招いての今回のコロキウム。演奏家としての木村氏が、いかに先端的コンピュータ音楽と出会い、実践していったかを語るところから始まった。数々の優れた電子音楽家と出会うことで、いかに氏の音楽が広がっていったかという部分は、コンピュータアートに手を染めつつある学生たちにとって大いに参考になる内容であった。

実例としてはMIDI制御で動くギター演奏ロボット「ギターボット」と競演する木村氏の映像が紹介され、さらに映像作家によるJitterプログラムと木村氏自身のMax/MSPプログラムを合わせ、ヴァイオリンの生演奏で制御する作品が実演された。演奏後は、プログラムの紹介が行われ、質疑応答も活発に行われた。とかく無機的と思われがちなコンピュータミュージック界において、アコースティックヴァイオリンの演奏という身体的要素を組み込んだ木村氏の作品の独自性が際立ったコロキウムとなった。

(情報科学部メディア科学科 非常勤講師 北村祐子)

## 第102回情報科学部コロキウム

CSCW、CSCL分野で、人が道具使用時に残す軌跡の利用価値に早くから注目して来たイリノイ大学図書館情報学研究科の Michael Twidale 氏を迎えて講演会を開きます。奮ってご参加下さい。

日 時 : 2004年7月24日(水) 14:30~16:30

場 所 : IASAI 1階 会議室

講演者 : Dr. Michael Twidale  
Graduate School of Library and Information Science  
University of Illinois, Urbana-Champaign

題 目 : Over-the-Shoulder Learning - the development of technologies to support informal workplace learning

講演者紹介 :

As participants in the Digital Library Initiative, Dr. Michael Twidale focuses on the development of interfaces that support both individual and collaborative browsing, and allow for visualization of search processes, and on the development of technologies to support informal workplace learning. His current research topics include;

- The usability of open source software;
- Applying open source models to interface analysis and design;
- The application of collaborative technologies to museums
- Collaboration in the Digital Library
- Interfaces to support collaborative learning and help-giving
- The collaborative aspects of data quality management
- The interaction between computer supported work, learning and play - exploring how people learn to use workplace tools, educational software and computer games, similarities and differences,
- Meta interfaces and interface maps to make it easier for people to talk about what they want to do with the computer when they get confused
- Learning issues in the development and use of ubiquitous computing.

## 中京大学公開講座ソフトサインエスシリーズ第23回

### ～人に優しい医療の実現～「ロボット手術の現状と未来」

日時 : 平成16年6月22日 (火)  
場所 : 名古屋市科学館  
講演者 : 九州大学大学院教授・九州大学病院先端医工学診療部部长 橋爪 誠 氏  
概要 :

急速な進展をみせる現代医療の中で、ロボット手術はそれを象徴する技術の一つである。10年前まではSF世界の話であったこの技術も、すでに実用化の段階を迎えた。今回、この分野の第一人者である橋爪誠先生をお迎えして、現状と展望を分かりやすく解説していただいた。以下はその要約である。

「人に優しい医療とは、人の生活の質を落とさない医療のことである。言い換えれば、“平均寿命”ではなく、“健康寿命”を延ばす医療であり、その原点は救急医療にある」

「救急医療の最も重要なファクターは“情報”である。非常時のその瞬間、公的な機関は何の助けにもならない。現場にいる人の適切迅速な処置、そしてそれを可能にする情報のネットワークが必要なのだ。このことから、いつでもどこでも必要な情報にアクセスできること、つまりユビキタスという考え方が重要になってくる」

「ロボット医療もこの救急医療が原点になる。現場から病院へたどり着くまでの医療（プレホスピタル・ケア）では、現場や患者の状況をいち早く的確に把握するためのネットワークロボット、現場に入って救出を支援するレスキューロボット、救急車の中での救命処置を支援する救命支援ロボットなどが必要になる」

「病院での手術には手術支援ロボットが必要である。医師はロボットの先につけられたカメラの映像を見ながら、同じくロボットの先につけられたマニピュレータを遠隔操作することによって手術を行う。遠隔操作の違和感はほとんどなく、むしろ従来の内視鏡手術よりも正確で安全な手術が可能になる。事実、ロボット手術は従来よりも処置時間が短く、傷口も小さくて済むと言われている」

「実際の手術ロボットとしては『ダビンチ』や『ゼウス』などが有名で、現在、世界で196台が動いている。そのうち、134台がアメリカ、47台がヨーロッパで、日本はたった9台である」

「今後この分野では、手術ロボット自体の高機能化や小型化に加え、ロボット手術医のための訓練システムや、体内に直接挿入するカプセル型ロボットなどの開発が進められていくだろう。先端医療を考えると、その原点は救急医療にあること、そして、医療従事者だけでなくすべての人々が人間の命と健康を大切に思うことがその出発点になると思っている」

(文責：生命システム工学部・教授 長谷川純一)

## 中京大学公開講座ソフトサイエンスシリーズ第24回

### 「描かれた顔 ―日本の伝統と現代―」

日時：平成16年9月30日（木）  
場所：名古屋市科学館  
講演者：高畑 勲氏（アニメーション映画監督）

人工知能高等研究所主催のソフトサイエンスシリーズも今回で第24回を数えることとなった。今回は、2004年9月30日、いつもの名古屋市科学館を会場にして、いつもの共催パートナー（名古屋市科学館）に加えて、日本顔学会の協力も得て、[脚注] ジブリ作品などでつとに高名なアニメーション映画監督、高畑勲氏をお迎えすることができた。近年のアニメーションという情報メディアとその歴史、それも12世紀から14世紀に遡って、西欧と日本のアニメ美術史の文化比較ともいべき興味ある講演を伺うことができた。まずもって、講演をお引き受けいただいた高畑監督に、また日本顔学会理事会とフォーラム顔学2004実行委員会の関係各位にお礼申しあげる。

開催日の9月30日は、前日から接近していた台風22号の通過でその開催自体が危ぶまれたが、台風一過、快晴に恵まれて来場者の出足は順調であった。340名収容の会場は、座席に座りきれない学生諸君の立ち見もできた。主催者である人工知能高等研究所の田村所長から「ソフトサイエンス」の解題とその顔メディアとの関わりに言及した主催者挨拶が、続いて、共催の日本顔学会から香原志勢会長から2000年に開催された「大顔展・名古屋」との縁に触れた挨拶があった。恒例で企画担当の輿水から高畑監督の略歴をご紹介したのち、定刻より「描かれた顔 ―日本の伝統と現代―」なる演題で大いに語って戴いた。インターネットからの映像、パワーポイントの絵画資料、さらにビデオ映像（ジブリ作品）をふんだんに交えた監督の話に、会場は静かな中にも充実した熱気に満ちていた。

以下が監督の講演の要旨である。

今日は、日本の歴史伝統の中に息づいてきた、描線だけで描かれた顔には、その裏に作者が伝えようとした意図を見るものに対して強く訴求する力があること、またこれが、私にとってアニメーション映画を生み出す時の基本的な姿勢であることを、事例をたくさん交えながらお話しようと思います。

この線描で描くことと極めて対照的なことですが、西欧のカリカチュアでは、「実体化」、「人形化」とでもいべき伝統があります。しかし極めて意外なことですが、このようなリアルを追求すればするほど見るもののイメージーションを生かしてくれなくなるのです。その証拠を一つお見せします。日本の天才の一人、山藤章二氏の一連の作品（写楽風のフランキー堺、ロートレック風ブッシュ）の基本は線描です。これらの山藤作品と西欧のものを見比べていただくと、その表現力、訴求力における差異は明らかではないでしょうか。このような線描という抑制された控えめな表現が見る者のイメージーションを強くかき立ててくれるのです。

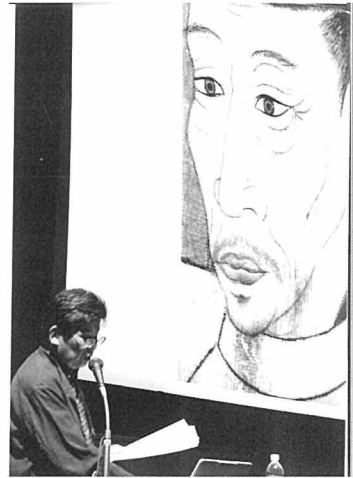
この日本の顔表現の伝統を、歴史を遡っていくつかご紹介しましょう。「花園天皇像」（藤原豪信作、14世紀）では、見るものにこの花園天皇の人間味あふれる人物像に対する豊かなイメージーションが湧き上がってくるでしょう。肉厚でふてぶてしい面持ちの「平清盛」像には、いささか贅沢の過ぎた生活感・人物像が見えてきますし、これで自らの慢心を戒めたとされる「家康」

[脚注] この市民公開講座は、当初、フォーラム顔学2004（日本顔学会第7回全国大会；名古屋市科学館）の特別講演として企画したが、後に「高畑勲アニメ祭」なる行事がフォーラム顔学の開催日と重なってイタリアにて行われることになり、この日に開催日に移し顔学会大会の関連行事として開催したものである。

像には、巷間伝えられている大政治家的イメージとはかけ離れた細心な姿が見えてきます。「一休」像は、私は大好きな作品なのですが、一休禅師の心のひだまでその表情に描かれています。(写真は、秀吉像と講演中の高畑監督)

このことは、フィクション画でも同様であります。セルアニメにしても、彩色していますが、基本は線描であります。そして、線描と色面を組み合わせただけの表現は決して平面的とは限らないのです。そしてまた、日本人と西欧人の顔に対する認識の基本的な違い、もしくは彫りの深さなど、顔立ちの違いがこのような文化の決定的違いを生んでいるのだと思います。

最後になりましたが、ご関心のある方には、拙著「12世紀のアニメーション」(徳間書店)でも今日のお話を書いていますし、もっとたくさんの絵画資料も載せていますので、ぜひ参考してください。そして、「じゃりん子チエ」(1981年ジブリ作品)のひらめちゃんの(鼻は点描でしかないのに)表情豊かな顔を、「ホーホケキョとなりの山田君」(1999年ジブリ作品)のお父さん(線描で描かれた)生活感あふれた顔を、そして「太陽の王子ホルスの大冒険」(1968年ジブリ作品)のホルスの凛々しい表情を、短時間ですがビデオでとくにご覧戴いて、控えめな顔表現の裏にある豊かな表現力を堪能して戴きたいと思います。

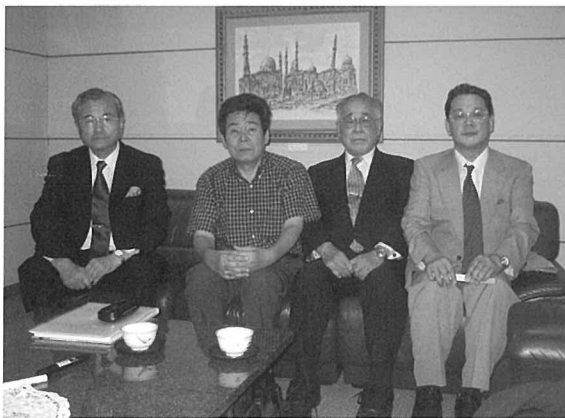


\* \* \* \* \*

なお、若干の後日談を一つ。講演会後の会食会の中で、「アニメーションの顔を調べる中で、何時かどなたかの著書で『片目瞑り』に関して興味ある顔研究に触れたことがあります。」(高畑監督)「もしかして、それって私の書いた本のです。」(香原会長)「そうなのですか、それは感激です。」(高畑監督)・・・ 凶らずも、顔学会と今回の公開講座が内容的に出会った次第でした。また関連事項ですが、高畑監督作品を多数出しているスタジオジブリの情報誌、熱風(GHIBLI)の第1巻、第5号(2003年5月10日)には、特集「線で描かれた似顔絵だから伝わること」が組まれております。今回の講演に関連して監督の記事が載っています。(http://www.ntv.co.jp/ghibli/)また、筆者の「コンピュータで描いた線画の似顔絵——PICASSO(ピカソ)の顔論考」という拙論も載せていただいています。

最後に、ここに掲載した集合写真は、高畑監督(左から二人目)と香原顔学会会長を挟んで、田村所長と筆者輿水である。また、今回の公開講座ポスターをととてもきれいに作って戴いたので、記念にここにも縮小して掲載することに致します。

(文責 輿水大和、情報科学部教授)



**中京大学公開講座**  
ソフトサイエンスシリーズ 第24回

## 描かれた顔

### —日本の伝統と現代—

アニメーションをやっていると、気づいたこと

日時 平成16年 9月30日(木) 午後3時~4時30分

会場 名古屋市科学館 サイエンスホール  
〒460-8601 名古屋市東区日進4-1-1

講師 アニメーション映画監督 高畑 勲氏

主催 中京大学・人工知能高等研究所、名古屋市科学館、日本顔学会

後援 中日新聞社

高畑 勲氏

アニメーション映画監督  
代表作  
高畑 勲氏

**講演要旨**

- 1: 人は何のために顔を描いたか  
●その意味、歴史
- 2: 実物があるとして、その実物を、画面に実在させたいのか、顔は「よすが」を穿たいのか  
●意味が「感じ」か ●キャラクターの作り方、動きし方  
●最終的アプロジーか、拙い「感じ」か ●顔画・肉面のおのり方
- 3: 顔の顔から見えるか、正確から見えぬか  
●日本と西洋の違い、効果の違い ●小顔(二郎、貝、魚)
- 4: まだまだ未解題  
●精線、マンガのアニメ化 ●CGOと顔形、その他

**講師プロフィール**

1935年、三重県に生まれ、岡山県で育つ。  
 1945年 6月、米軍による岡山市の空襲で被災した。  
 1959年、東京大学文学部卒業、東映動画に入社。以後、アニメーションの製作にたずさわる。  
 1967年、スタジオジブリ設立に参加、現在に至る。  
 1999年、栄誉賞受賞

**主な監督・演出作品**

■映画用: 『太陽の王子ホルスの大冒険』『ひぐさの巣』『川、流れてカーカスの鳥』『ゼロ戦のゴースト』(毎日映画コンクール大賞)  
 『じゃりん子チエ』『火垂るの壺』『モススタブ監製映画祭グループ』『おぼろけぼろけ』『岩窟遺跡文芸大賞、山崎ふみ子賞特別賞』  
 『平賀源次おぼろけ』(アニメーション映画祭長編賞) 『ホーホケキョとなりの山田君』(文化庁メディア芸術賞優秀賞)

■文化記録映画『細川頼朝物語』(毎日映画コンクール文化記録映画賞)

■TVシリーズ: 『ルパン三世』『アルプスの少女ハイジ』『母をたずねて三千里』『赤毛のアン』など

■プロデューサーとして: 『風の谷のナウシカ』『天空の城ラピュタ』(ともに宮崎駿作品)

**主な著書**

『「ホルス」の映像表現』『話の証解』『本を讀んだ男を讀む』『顔画を穿ちながら考えたこと』『同、II』  
 『十二世紀のアニメーション』(以上徳間書店)

中京大学エクステンションセンター  
〒460-0001 名古屋市東区日進4-1-1 TEL.052.833.2171



## ● 研究所員一覧

■ 名誉所員	戸田 正直	福村 晃夫	
■ 情報科学部 情報科学科	川端 信男 秦野 甯世 伊藤 秀昭 濱川 礼 青木 公也	田村 浩一郎 輿水 大和 ラシキア 城治 鈴木 常彦 藤原 孝幸	飯田 三郎 嶋田 晋 中山 晶 清水 優
認知科学科	木村 泉 三宅 なほみ 高橋 和弘 白水 始	笈 一彦 白井 英俊 小笠原 秀美	三宅 芳雄 諏訪 正樹 土屋 孝文
メディア科学科	棚橋 純一 興膳 生二郎 大泉 和文 上芝 智裕 曾我部 哲也	幸村 真佐男 カール・ストーン 宮崎 慎也 山田 雅之 林 桃子 舟橋 康行 井口 弘和 野浪 亨 王 建国 瀧 剛志 西井 匠 針本 哲宏 A.S.ヌグロホ	伊藤 誠 宮田 義郎 磯 直行 遠藤 守  荒木 和男 長谷川 明生 矢内 利政 森島 昭男 平名 計在 稲葉 洋 王 軍虎
■ 生命システム工学部 身体システム工学科	鳥脇 純一郎 長谷川 純一 種田 行男 目加田 慶人 石原 彰人 加納 政芳 宮阪 健夫 深津 鋼次 野田 耕平		
■ 情報科学研究科 通信教育課程			
■ 体育学部	猪俣 公宏	北川 薫	
■ 岐阜大学	加藤 邦人		
■ 愛知淑徳大学	川澄 未来子	渡辺 恵人	
■ 香川大学	林 純一郎		
■ 愛知学院大学	稲垣 充廣		
■ デンソー	高橋 輝	高木 和則	
■ 大宏電機	渡辺 隆		
■ SKEN	鈴木 健志	鈴木 晋吾	井上 靖幸
■ CREST	落合 弘之 田中 真一 浅岡 浩子 富永 将史 田畑 裕康 沼田 宗敏 山崎 浄 山中 浩義 荻野 雅敏 荒井 崇志 湯浅 且敏 岡田 美磯 土屋 衛治郎 能登 剛史	石原 孝紀	青木 淳
■ ソフトピアジャパン			
■ 共立工業			
■ ロゼフテクノロジー			
■ リフレクション			
■ 電子システム			
■ 準研究員		大橋 敦 福田 正則 山中 佑也 谷村 壮 上田 和亨 喜多村 次郎	篠田 将宏 舟橋 琢磨 伊藤 智恵 中山 隆弘 白井 律子

## ● 歴代所長

初代	戸田 正直	(1991.4.1～1998.3.31)
2代	田村 浩一郎	(1998.4.1～現在)

〈編集後記〉

本年4月に生命システム工学部が開設され、第一期の学生たちが新たな研究への一歩を踏み出しています。IASAI Newsの今号、次号を使って、新しく着任された先生方の研究紹介を中心に特集を組みました。いままでとは一味違った領域への知的な刺激の広がりを楽しんでいただければと思います。なお、この特集2号にわたっての編集に関しては、生命システム工学部の森島昭男先生のご協力を得ております。ありがとうございました。

(編集委員 長谷川純一、三宅なほみ、白水始)

★★★ 人工知能高等研究所のWWWページのご案内 ★★★

アドレス <http://www.cglab.sccs.chukyo-u.ac.jp/IASAI/index.html>

☆☆☆ 中京大学のWWWページのご案内 ☆☆☆

アドレス <http://www.chukyo-u.ac.jp/>

---

IASAI NEWS 第15号 2004年12月1日発行

---

- 発行・編集 中京大学 人工知能高等研究所  
〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101 ☎(0565)46-1211 (代表)
- 印刷 ニッコアイエム株式会社  
〒460-0024 名古屋市中区正木1-13-19

---

本誌記事の無断転載を禁じます。

© 2004 中京大学 人工知能高等研究所