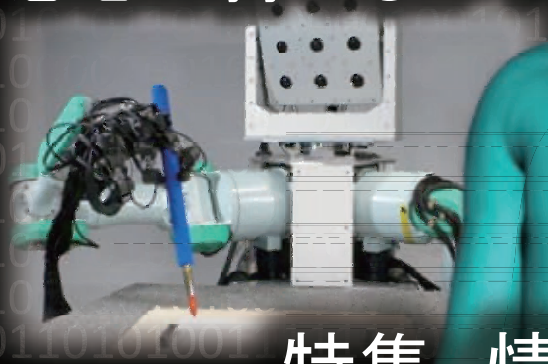
学生が作る工学部広報誌

i-time!

Vol.46
2012.2

ロボットに
意志は持てるか？



身体が
知能をつくる！

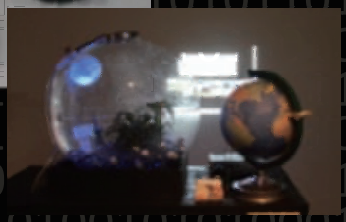
特集　情報理工学系研究科

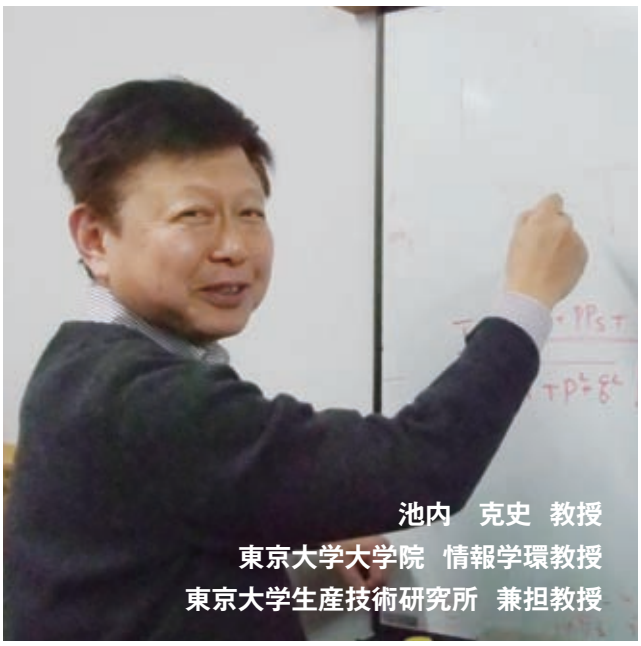
ヒトをつくる

“ How to make Humans ”

感覚を創り出すには
生物に学べ

東京大学第13回制作展
“iii Exhibition XIII” Re:





池内　克史　教授
東京大学大学院　情報学環教授
東京大学生産技術研究所　兼担教授

ロボットはヒトになれるのでしょうか。
ヒトは自ら考え、動き、刺激を受け、学習します。
ロボットにも同じことができるのでしょうか。
ヒトに近づくための技術の開発に、情報学的な視点から
アプローチする３人の教授にインタビューしました。

ロボットに意思は持てるか？

１つ目のインタビューでは、視覚情報処理の研究している池内先生に話をお聞きしました。研究内容は歴史的建造物のアーカイブ化からロボット開発研究まで多岐にわたります。その世界の一端を教えていただきました。

どんな研究をなさっていますか？

画像を通してコンピュータに３次元世界を理解させる視覚情報処理の研究をしています。文化遺産のデジタルアーカイブ化やバーチャルリアリティをなど様々なプロジェクトを進めていますが、観察学習パラダイムに基づくロボットの行動学習についても研究しています。ロボットとは人の代わりに何かの作業をするものと定義することがありますが、じゃあ自販機や改札機はロボットってのはなんか違うでしょ。人間の行動を観察し、本質を抽出、そのうえで人間の動作を真似するロボットをつくっているんです。

今の研究にいたった経緯は？

30年ほど前、ばらまかれたものの中からリング状部品を拾い上げ、人間が先にリングを入れた棒にリングを通すロボットを作成しました。ばらまかれたリングを画像としてとりこみ、明るさを解析することで取りやすい部品を判断、実際につかむ動作をさせることができましたが…

自分で見て判断し動作を行うという意味では知能を持っているように見えますが、その動作はすべて私があらゆる可能性を網羅して書いたプログラミングによるもので、プログラミングを通した遠隔操縦にすぎない。しょせんは私がロボットの行動を予め決めている。

もっと、自主的に動きを作れるロボットを作りたい。それが、踊りロボット、お絵描きロボットといった、人間行動観察ロボットの着想でした。

踊りロボットについてくわしく教えてください。

先生を見ながら、音楽にあわせて舞踊を踊るロボットを開発しました（写真１）。

ヒトにマーカーをつけ、モーションキャプチャで動きを観察します（写真２）。しかし先生の踊りを忠実に観察して再現してもうまくいかないのです。なぜならヒトとロボットでは構造、体重、体格ともに違う。単なる人真似ではロボットは踊れません。これは人間の先生と人間の生徒の場合にも当てはまる。

踊りの動きの本質を理解し、自分の体に応じた動きにマッピングする。具体的には人間の行動を“何をするか”というタスク、“どのようにするか”をいうスキルにわけて認識させ、まねしたい動作のコツを自動的に習得させるのです。

写真１：先生と踊るロボット
会津磐梯山という民族舞踏を、先生を見て、真似しながら踊る。

写真２：師範による踊りのタスク（上）と取り込まれた動作（下）

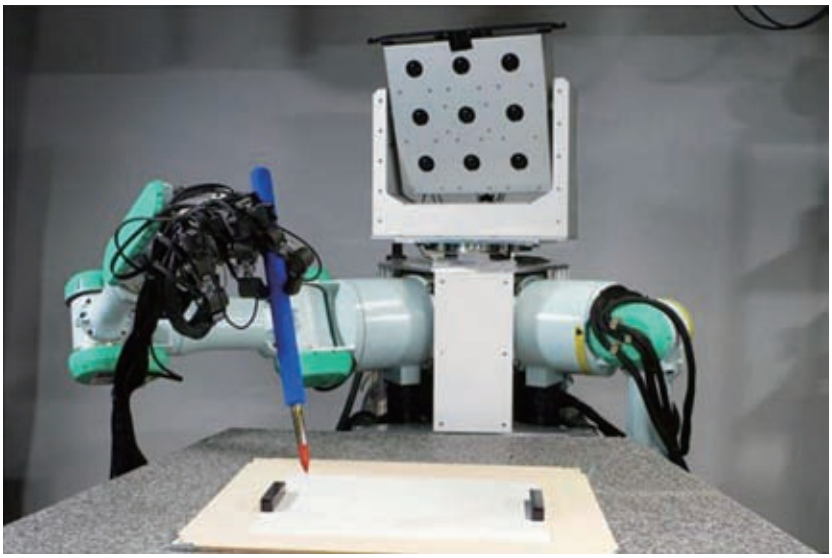


写真３：お絵描きロボット

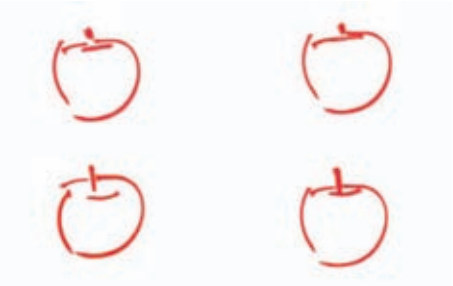


写真４：りんごのお絵描き
同じロボットが同じ描画モデルに基づき描いても、どれ一つとして、同じ絵にはならない。まさに偶然の産物

そこで、ロボットの足の動きを“立つ、右に踏み込む、左に踏み込む、沈みこむ”の四つのタスクに分けました。それぞれの動作をどんな持続時間で、歩幅で、深さで行うか？それらをロボットが安定して行えるよう軌道修正し、ロボットを安定にしました。

そこに手による表現を合わせます。人間が重要なことをするときには“とめ”がある。リズムやビートを分析させ、音楽のビートの盛り上がる瞬間に“意識させ”とめを長く行わせるといった工夫をさせました。

しかし、ここで、出来上がったロボットが上手く踊れたと思えているでしょうか？決められた踊りしかできないではないか？その思いからアドリブで踊れるロボットも開発しましたが、もっと玄人しかできないことをさせたいと思うようになりました。

では“お絵描きロボット”はどんなものですか？

人間が絵を描くという一連の動作をロボットにさせてやろうと考えたんです（写真３）。対象をカメラにより３次元認識して、“どのように絵を描くか”自分で考える。それに基づいて実際に筆を動かし絵を描かせます。入力信号を直接出力するのでなく、描く輪郭を自分で考えさせること、描いたものを見て修正しながら描かせることに特徴があります。

対象を観察し本質を抽出し、それをマッピングし水彩画を描かせます。芸術ってのは思い通りにならない不完全性に本質があるのではないかと思っていて、筆の塗りの甘さとか良い偶然性を残してやりたい（写真４）。単なる人まねではなく、なぜ味があるか、何をすると・どう描くと美しいか？新しい驚きを生み出したいですね。

ゆくゆくはロボットに上手くなりたいという意志を持たせたい。ヒトとは違う、ロボットとしての意思を。介護ロボットなど福祉の世界でも、そういうものは必要でしょう。

最後に読者に向けてメッセージをお願いします。

先端技術開発には二面あると思っていて、一つは日本企業が得意な“コストを意識した”技術開発。もう一つは世界一を目指す“コスト度外視”技術開発。後者こそが最先端をひっぱる。後者を正当化する分野としてかけがえのないモノを守る技術開発。人命を守るライフイノベーション、地球を守るグリーンイノベーション。

私は民族の文化を守る技術開発をしたい。それを通して、世界一の技術を開発した。こんな思いで、踊りロボットをつくったり、失われゆく歴史的建造物アーカイブ化などを行ったりしています（写真５）。

みなさんにも、ノリノリでやっていけるおもしろい研究をしてほしいですね。

（インタビュアー　沼田　恵里）

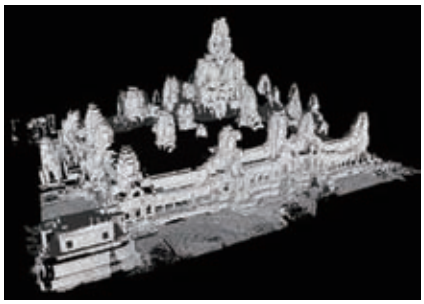


写真５：デジタル化された Bayon 寺院

身体が知能をつくる！

今回お話を伺った國吉先生は、ロボット自身が考え、物事の意味を理解することを目指して人工知能とロボットの研究をされています。従来はプログラミングでロボットを動かしていましたが限界がありました。人が胎児の頃から身体を動かすことで学習していくことからヒントを得た、先生の新たなアプローチについて教えていただきました。

先生の研究について教えてください。

人工知能とロボットの研究をしています。人間が、考え実際に動くしくみを根本から考えることで、自らの意思で動き、意味を理解して言葉を話し、想定外の環境にも適応できるロボットをつくることを目指しています。

想定外にも適応できるロボットとはどういうことですか。

従来のロボットはこういう状況ではこのように行動する、といった事細かなプログラミングを施すことによって動かされていました。しかし、プログラムに書かれていない想定外の状況に置かれると全く機能しなくなってしまいます。想定外の状況にも適応できるロボットとは、ロボット自らが物事の意味を学習していることを意味しています。

ロボットの学習を知るヒントが、人間が実際に考え動くしくみに隠されているのですね。

そうです。ロボットを考える前に、生物とは、人間というのはそもそもどう学んで、身体を動かしているのかということについて考える必要があります。人間の進化をさかのぼっていくと単細胞生物ですね。口とおしりがある身体の構造から、栄養分を取りにいく、住みにくいところから逃げるなどといった単細胞生物なりの動きが生まれます。身体は環境や、物理的な構造によって行動の可能性がしぼられ、そこから動きが生み出されていると考えられるのです。構造と感覚の情報の関係が生まれることによって脳神経系が発達し、学習していく、それが動物の中で知能が発達する原点なのです。ですから私は脳が体を動かすのではなくて、身体と動きが脳をつくっていると主張しています。

実際にどのようなロボットをつくっているのか見学させてください。

当研究室で開発したかえるロボット（図１）は、動きのプログラミングは与えず、動物の身体の筋骨格系を真似して、ごく単純な運動指令だけで、とても動物的で適応性のある動きをすることができます。また、胎児シミュレーション（図２）と赤ちゃんロボット（図３）を作っています。胎児シミュレーションでは子宮壁や、羊水の影響も考慮しています。胎児の動きをシミュレーションし、実際の胎児の発達と身体の動きを比較しました結果、胎児期の触覚経験によって、運動発達が大きく変わる可能性があることがわかりました。また発達障害の解明の面でもこのアプローチは期待されており、現在医師らと共同で研究をすすめています。将来は、胎児から２歳児くらいまで連続して成長、学習できるシミュレーション、ロボットを作ることができればひとまず目標は達成できると考えています。言葉の意味を自ら理解して喋りはじめるロボットができれば、満足です。

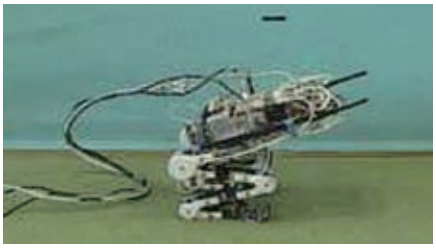


図1：適応力があり、自然な動きでジャンプするかえるロボット

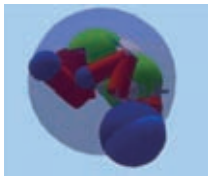


図２：胎児シミュレーション
受胎後35週想定。
子宮環境と子宮壁の影響を計算している

図３：赤ちゃんロボット
発達障害の研究への応用も期待されている

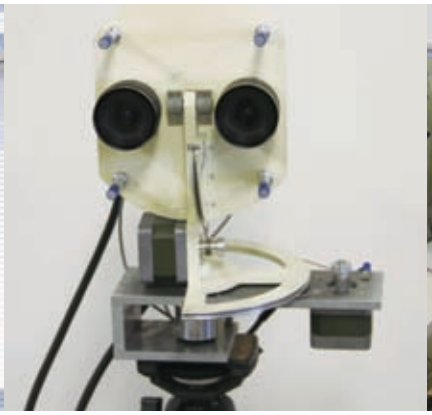
最後に読者へのメッセージがあればお願いします。

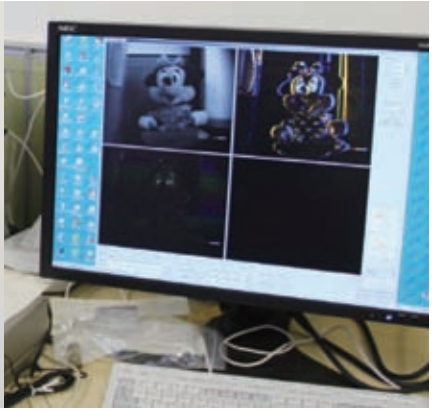
実は私は学部の専攻は応用物理で大学院から人工知能とロボットの研究を行いたいと思い、当時の情報工学専攻に進みました。その際、図書館に通いつめて「人工知能」と名のつく参考書や論文など、図書館にあるものすべて読みました。みなさんも、最初にテーマを決める、新しい分野に入るときは、がむしゃらに、手当たりしだい勉強することをお勧めします。何が自分にとって大事なのか、どういう研究が良いのか、という自分の判断を培った上で、自分の頭でしっかり考えて研究にうちこんでほしいですね。

（インタビュアー　小川　灯）

感覚を創り出すには生物に学べ

安藤繁　教授　情報理工学系研究科システム情報学専攻





安藤繁先生は、視覚、聴覚、触覚から食感まで、人間や生物の感覚を再現するセンサの研究をされています。動物が大好きだとおっしゃっていた安藤先生が書かれた文章の中に興味深い一節を見つけました。本稿ではそのコラムの引用から始めたいと思います。

『筆者は20年来、庭の小鳥の餌台に欠かさず給餌しています。たまにメジロやホオジロなども見かけますが、来るのはほとんどスズメで、山盛りの餌が朝のうちになくなってしまいます。（中略）スズメなどの小鳥で感心するのは運動能力の高さです。鳥の運動能力というと羽の構造や羽ばたきなどに目を奪われがちですが、私は、それらの制御を可能にする視覚能力の高さの方に大きな驚異を感じます。（中略）あの小さな目と脳でこれだけの画像処理ができるのはどうしてなのでしょう。センシングの出発点から考え直さないといけない、これが私の長年の問題意識です。』

先生は視覚や聴覚などの研究をされていますが、身近なところから着想を得ることも多いのですか？

そうですね、スズメだけでなく、犬や猫、アメンボなどについてもよく観察しているのですが、気付かされることが多くあります。人間であっても同様で、今の研究は、目と耳の機能はひょっとして同じ検出原理なのではないかと考えたところからスタートしています。目も耳も、何が動いたかとか、どこから音が聞こえたかとか、情報を処理するのはどちらも脳ですよね。目と耳の機能を一体化させると、難しい命令をしなくても能動的な認識が勝手に働いて、人のような動作をするのではないかと考えました。これは15~20年程昔のことですが、今でも確信しています。目の認識と耳の認識を、並列にプロセスとして動かし、それぞれを関連付けて動作させると、まだ完璧ではありませんが、人のような動きをしたのです。

紙面で伝わりにくいのが残念ですが、音がした方を向いたりしていて可愛いですね。

（実際に動作させている動画を見ながら）部屋に入ってきた人の方を向いたりもするので、見られた人は驚いていますよね。初めにSmart Headという名前をつけて、次にもう少し小さく作ろうということでSmart Head Boyという名前で開発しました（図中央）。この時に、さらに人間に近づけるためには検出装置の能力をもっと改良する必要があると考えるようになり、そちらの研究も行なうこととなりました。

検出能力向上のためにはどのような技術があるのですか？

固視微動という人間の眼球運動を参考にした装置があります。人間の眼球は動かしていないつもりでも常にわずかに振動しています。これにより濃淡の変化を抽出し、物の輪郭を認識できているのです。私はこれをセンサに応用することを考えました。実際に装置を振動させて変化を捉えることで、色々な情報が取り出せる他、非常に敏感で微細な変化にも反応するセンサをつくることが出来ました。（図右）

また、オプティカルフローという技術では物体の動きを抽出して、動いている方向と大きさを線で表します。これに先ほどの固視微動のような変化を捉えるという考え方を組み合わせると、なんとその速度の大きさが代数方程式で解けることが分かったのです。伝わりにくいかもしれませんが、数学的に厳密に、きれいに方程式が解けるということは研究においてそうあることではなく、とても大きな喜びです。また、簡単に解けるだけでなく、従来法の100倍程の、驚異とも言える性能が実現できています。今後はこの技術をまとめ上げて、再度Smart Headのような形にしたいと考えています。

（インタビュアー　伊與木　健太）

Ttime! 学生インタビュー　情報理工

Search

東大工学部の学生はいずれ研究室に配属され教授の指導のもとで研究に取り組むことになります。
今回紹介した３人の教授たちのもとで研究に取り組む現役の学生の方達に研究室を選んだ理由や自分の研究についてインタビューさせて頂きました。先輩の話を頼りに、数年後研究に取り組む自分の姿を思い描いてみてください。

池内研究室：吹上大樹さん、稲葉正樹さん

吹上大樹さん　博士１年　学際情報学府　学際情報学専攻
稲葉正樹さん　修士１年　情報理工学系研究科　電子情報学専攻

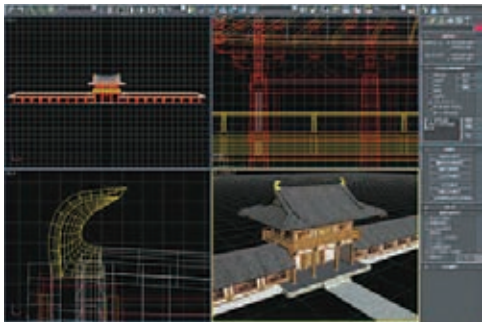
本文インタビューでは“ロボット”に焦点をあてましたが、池内研のイチオシは Mixed reality（複合現実感技術、以下 MR）！現実の空間に CG の仮想物体を複合させ表示させる、そんな研究をしているお二方に、池内研究室を選んだ理由と研究内容をお聞きしました。

吹上さん：修士まで、視覚認識について心理学の研究をしていました。そこから MR への興味がわき、現研究室で研究をしています。バーチャル明日香京プロジェクトに尽力しました。（ゴーグルをつけると、現実の明日香村の景観に、古代の飛鳥京の CG が合成されて見えるんです。ちなみに暗殺される蘇我入鹿の動きのモデルもなさったそうです）。

稲葉さん：学部では電子情報で音響に関する研究をしていましたが、修士からはそれ以外の分野のことがしたいと思いました。もともと MR に興味があったので、池内研に入りました。CG モデルを表示する現実空間での位置を、マーカーなしでリアルタイム計算するにはどうすべきか研究しています。

（インタビュアー　沼田　恵里）

左から、吹上大樹さん、稲葉正樹さん



國吉研究室：山田康智さん

―國吉研究室からは修士２年の山田康智さんにお話を伺いました。

もともとロボットに興味があったのですが、ロボットについて学んでいくうち、人はどうしてこんな賢いことができるのだろうと考えるようになりました。赤ちゃんの頃からの人の知能の発達を理解しながら、賢いロボットを作っていくという國吉研究室のアプローチに興味をもち、この研究室を選びました。卒論では、胎児や乳児の発達がどのような学習を行っているか、何が発達にとって大切なのかという点を中心に研究をやっていました。現在は、人だけでなく生物一般に共通している、発達初期における発達メカニズムに興味をもっていて、赤ちゃんシミュレーションや猫の身体・神経系に基づいたロボットを開発し、研究を行っています。

（インタビュアー　小川　灯）

山田康智さん

安藤研究室：小宮憲司さん、レビ司さん、ヤンスンハさん

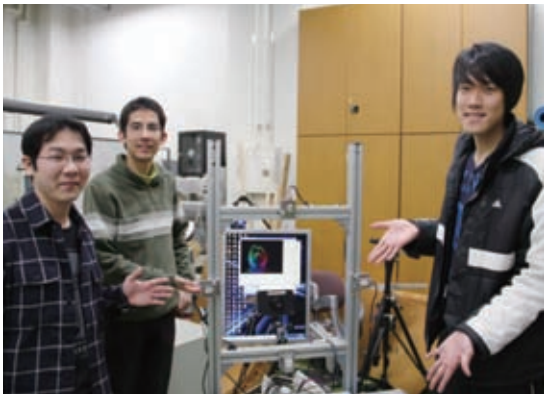
―安藤研究室からは修士２年の小宮憲司さん、修士１年で留学生のレビ司さんとヤンスンハさんにお話を伺いました。

小宮さん：オプティカルフローなどの画像処理がやりたくてこの研究室を選びました。今は主に流体の計測などを行なっています。うちの研究室では、物理やアルゴリズムの知識を共通としながら、対象としては色々なものを扱っています。

レビさん：私は画像ではなく音響系に興味があり、今は音源定位の研究をしています。装置を作るだけでなく、その裏にあるアルゴリズムに魅力を感じています。小さい問題を徐々に解いていって、少しずつでも結果が出たときはやはり楽しいですね。

ヤンさん：学部の時には音声処理をやっていたのですが、新しいことに挑戦したくて研究室を変えました。今は画像処理の研究をしていて、人の表情を分析しています。

（インタビュアー　伊與木　健太）



左から、小宮憲司さん、レビ司さん、ヤンスンハさん

「人にとって身近で、実際に手にとって使えるようなものを作る」ということがこの作品のコンセプトです。

world eco tope では、天気を知りたい地域を地球儀で差し示すと、その時のそこの天気が球体の中で再現され、さらに地域の地図と画像が画面に表示されます。天気は太陽、月、雨、また風によって20種ほどを再現できます。

作品にはエコシステムを表現することと、世界の離れたところの情報を直感で感じ取ることの２つのテーマがあります。透明の球体の中に生物の住む環境、ビオトープをイメージしており、その中に知りたい地域の天気を再現することにしました。

作品の「人が直感的に理解し扱えるようにする」という点は私の普段の研究にも共通しています。私の研究では「オノマトペを用いた食品指向性検索システム」というものを作製しています。オノマトペとは「モチモチ」、「カリカリ」といった擬音語や擬態語を意味しているのですが、実は人の食べ物に対する感想は、こうしたオノマトペにあふれています。そこでこのシステムではオノマトペを指標として料理を評価します。これによって利用者はオノマトペを検索することである料理の中から自分の好みにあったもの、例えば「ムギュムギュのベーグル」なんかを検索できます。

▲ world eco tope

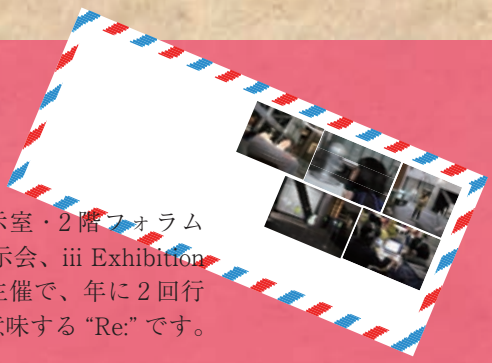
▼ world eco tope 制作者の加藤さん（左写真）と作品イメージイラスト（右写真）

私は将来も、このような直感的で人に夢を与えられるモノづくりに取り組んでいきたいです。

加藤亜由美さん（協調知能システム研究室）

world eco tope

東京大学第13回制作展
iii Exhibition 13 Re:



2011年12月２日から７日にかけて本郷キャンパス工学部２号館２階展示室・２階フォラム（中庭）で、学生が研究や技術をアートとして表現したメディアアートの展示会、iii Exhibition 13が開催されました。制作展は東京大学大学院情報学環・学際情報学府の主催で、年に２回行われます。第13回のテーマは、作品との対話、繰り返し性、また物語性を意味する “Re:” です。今回は２人の出展者に話を伺いました。（インタビュアー：間部　悟）

B.O.M.B. Ver. 2

中西宣人さん（荒川忠一研究室）

この作品は3つの小さなシンセサイザーです。握ることでセンサーが圧力を感知して音を出します。握り具合で音の高さ、傾け方で音色と大きさを操作します。また、３つの楽器は無線通信を利用して連動していて、それぞれの演奏者がテンポや音階をそろえようとしなくても、楽器が自分達で合わせてくれます。

作品のコンセプトは、「誰でも手軽に演奏、セッションを楽しめるようにする」ということです。この作品では難しい電子楽器の演奏を、握る、傾けるという簡単な操作で直感的に行えるようにしました。また楽器同士が自動に連動するようにしたことで、簡単にセッションをできるようになっています。

▲制作展を見に来た方たちが実際に作品を操作する様子（左写真）と B.O.M.B. ver. 2 制作者の中西さん（右写真）

▼ B.O.M.B. Ver. 2

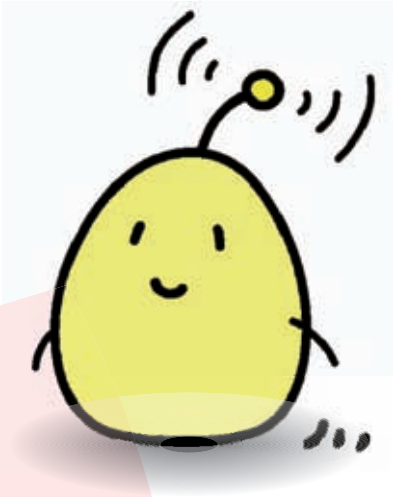
数人での演奏においては、音楽的な協調と心理的な協調が大切だと考えています。音楽的な協調とはメロディーやリズムが音楽理論的に合っているかという客観的なもので、心理的な協調とは演奏者が演奏時に「あ、合ったな。」と感じる主観的な感覚です。B.O.M.B. Ver.2 は無線通信を利用し、セッションにおける音楽的な協調をサポートします。

しかし、今回の作品では依然として、心理的協調に関する評価には至っていないので、それが今後の研究課題です。また楽器を演奏する際に重要となる、「鍵盤を叩いた」、「弦をはじいた」という触覚的なフィードバックの実現に向けても今後取り組んでいきたいと考えています。

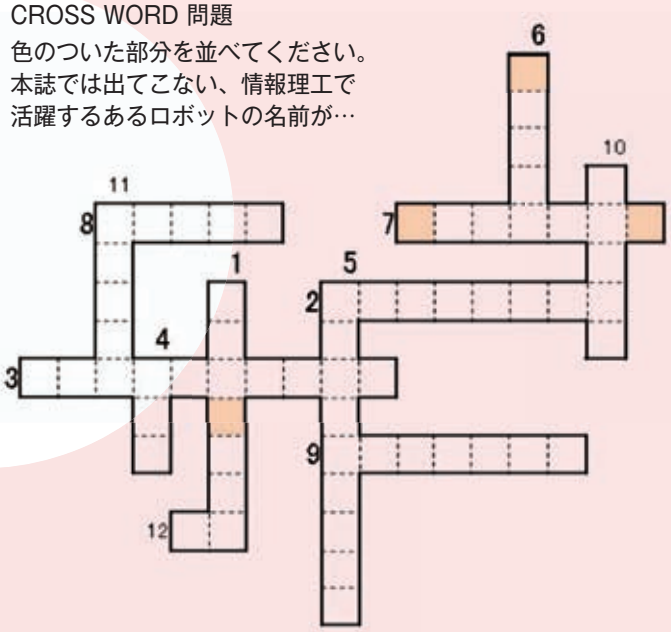
学生が作る工学部広報誌
Ttime!

ISTｙくん（Information Science and Technology）

この宙に浮くクリーム色のいきものは「ISTｙくん」です。今回特集した情報理工学系研究科の公式キャラクターで、いわゆる“ゆるキャラ”です。同研究科に所属する五十嵐健夫教授によるデザインで、研究科創立10周年を記念して誕生しました。
しかし、ゆるキャラといえど侮ってはいけません。頭についているアンテナで世界中の情報を集めてわたしたちの安全を守ってくれているのです！
この丸っこい体の中には、大量のHDD（SSD?）と高性能プロセッサが詰め込まれているに違い有りません。そして、世界中の情報を収集している彼にとって空中浮遊などたやすいことなのでしょう。ここまでハイスペックなゆるキャラはISTｙくんくらいのものでしょう。



CROSS WORD 問題
色のついた部分を並べてください。
本誌では出てこない、情報理工で
活躍するあるロボットの名前が…



1　歌に合わせて人間的な動きで踊るロボット
2　自分で考え修正しつつ絵を描いてくれるロボット
3　複合現実感、英語で言うと
4　○○の視覚能力の高さは、センサの目指すべき到達点である
5　視覚センサに使われている、検出感度向上に一役買ってる技術は何？
6　人間の眼球が物の輪郭を捉えられるのは、○○による
7　SFでも大人気、國吉研のテーマの一つ
8　運動の発達や発達障害の解明に貢献できそうな、○○ロボット
9　動きをプログラムしなくても、筋骨格を真似して作ったロボットは
10 むぎゅむぎゅのベーグルください！
11 中西さんのシンセサイザーは、何を検知して音が鳴る？
12 ○○を作る

編集後記

今回は、「ヒトをつくる」というテーマで情報理工の特集を組んでみました。取材先候補には今回のところ以外にも、義手、言語、音声・・・など「ヒトをつくる」というテーマに合致する研究が多数あり、情報理工の裾野の広さを感じることが出来ました。
取材の中で、私にとって印象的だったのは、安藤先生の代数方程式の話でした。工学では基本的に何かを作ることを目標としますが、その過程で出てくる理論の面白さも味わえます。これは私自身も卒論を通して経験したことでした。研究の醍醐味の1つと言えそうですね。
楽しんで読んでいただければ幸いです！
(清水)

<広報アシスタント>
逢澤　正憲、朝倉　彰洋、伊與木健太、大嶽　晴佳、小川　　灯、大原　寛司、岡　　功、皆藤　彰吾、清水　裕介、須原　宜史、土居　篤典、西村　　知、沼田　恵里、長谷川拓人、花村　奈未、藤島孝太郎、本田　信吾、間部　　悟、松浦　慧介、本山　央人、森西　亨太、谷中　　瞳

<広報室>
鹿島　久嗣（数理情報学専攻）
中須賀真一（広報室長・航空宇宙工学専攻）
永合由美子、川瀬　珠江

WebでTtime!が読めます！
http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/t-pr/ttime/

twitter
@UTtime

ミックス
責任ある木質資源を使用した紙
FSC® C018215
www.fsc.org

Ttime! No.46 2012. 1
発行日：2012年1月31日　発行：東京大学工学部広報室　東京都文京区本郷7－3－1
編集：工学部広報アシスタント　無断転載厳禁