

〔座談会〕

科学万博出展ロボットの技術面を語る

＜出席者＞（五十音順）

ファナック(株) 渉外技術室 飯田 和恵
 日本電気(株) 生産技術センター 五十嵐賢一
 松下電器産業(株) 生産技術研究所 大河原大輔
 三菱重工業(株) 高砂研究所 大道 武生
 (株) 東芝 FA システム技術部 久保田常生
 電子技術総合研究所 制御部 白井 良明

機械技術研究所 ロボティクス部 舘 暲(司会)
 オートマックス(株) 開発部 鶴賀 孝廣
 (株) 日立製作所 機械研究所 藤江 正克
 (株) 日立製作所 機械研究所 本間 和男
 住友電気工業(株) 研究開発本部 和田 豊
 早稲田大学 理工学部 白井 克彦(編集)

日時：昭和60年5月13日

会場：電子技術総合研究所



舘 暲 君

舘 本日は、どうもお忙しい中をお集まりいただきまして、ありがとうございます。今回の科学万博の中には、かなりロボットの研究に関連した展示が行われておりまして、それぞれ相当の成果を収めているようであります。

今まで、科学万博を完成した展示の面から見るといふ試みは、いろいろな所で行われてきましたが、この展示が完成するに至る道程にこそ、実は多くの努力が払われていて、技術者には特に興味がある所だと思います。その辺のところを、今日は、いわば展示の陣頭指揮に当たられた方々にお集まりいただいて忌憚のないお話をさせていただこうと思っております。

今回のお話は大きく二つに分かれると思います。最初は展示の技術的な側面というのをお話していただこうと思います。技術的にどういうところに、どういう狙いを持って、どういう技術をアピールするためにこういうテーマを選んで展示を計画したということを中心にお話し願います。それが終わった後で、今度はそのような技術的な内容をシステムあるいは、ハード・ウェアとしてまとめるに当たっていろいろ苦労した点を、ざっくりばらんに話していただくという形式をとりたいと思います。

後半の苦労話のところでは、お互いの話に対して随時割り込んでお話しただいて結構でございます。それでは、さっそくですけれどもオートマックスの鶴賀さん

の方からお願いいたします。



鶴賀 孝廣 君

鶴賀 私共は、芙蓉ロボット・シアターのロボットの、およそ80%の中身の製作と、現在メンテナンスを担当しております。芙蓉ロボット・シアターでの出し物が「ロボットファンタジー 2001」という名前で、大体30分くらいの一連のショーになっております。6シーンになっておりまして、その間に28台、4台が2度出ますので、延べ32台が出てまいります。

1台のロボットが出るのが最大4分、一番たくさん出るときは一度に12台のロボットが出ます。「アリーナ」と呼ばれる直径18mくらいの円形の床が舞台になっているところを走り回っております。これがメインのショーでございます。

それとは別に、ショーの直前に舞台を掃除するという名目で、クリーナー・ロボットが出て、やはり4分間ほど舞台にまいたゴミを吸い取って帰って行きます。

この他、劇場に入る前にエントランス・ホールというところがございます。ここを「ロボット村」と呼んでいます。ここで親2台、子供3台計5台の「ファミリー・ロボット」が動き回るのを見ていただきながら、劇場の客席に入る趣向になっています。全体で4～50分かかります。

ここの出し物の特徴は、まず建物を「ロボット・シアター」と呼んで、展示物がまったくロボットだけなんで

す。それが、他のパビリオンで出しているロボットとちょっと違うということが言えるかと思います。

ロボットの技術を見せるということではなくて、まったく役者にしてしまひまして、それにショーをやらせているんです。ですから、外装なども中身がまったく見えなくなっています。先ほど、司会の館さんから「何をアピールしようとしたのか、技術面から話してほしい」というお話でしたが、そういう意味では、技術的に何かをアピールしようとしているものは一切ございません。まったく、ショーの役者として必要なものを作ったということでございます。

もう1つ、他のパビリオンのロボットと違うところは、ここは企業で出展しているんですが、出展物のほとんどを外注していることです。ボディも演出も全部出展グループの企業以外で作っております。グループ内の企業でも数台のロボットを作っておりますが、80%以上が外注になっております。ボディは100%ほかの所でやっています。

ロボットの特徴といたしましては、全部のロボットが走り回ると言いますか、床から離れたロボットであるということです。そのうちの半分くらいは、コンピュータを持っておりまして、動いている間数分間は完全に自立しております。出し物がロボットだけということで、数と種類が非常に多いということも、他のパビリオンと違うかと思います。

館 次は、東芝の久保田さんをお願いいたします。



久保田 常生 君

久保田 東芝館では、「ロボット群によるコマ芸ショー」を行っています。東芝館では、「ヒューマン・エレクトロニクス」をメイン・テーマに、最先端のエレクトロニクスが、私たちの生活や、それをとりまく自然とどのように関わり合い、どのように役立っていくのか、その可能性を提示することを狙いました。

そのサブ・テーマの1つとしまして、「行動するエレクトロニクス」を掲げ、「人間がコントロールし、人間のパートナーとして働き、人間と共存する技術を表現する」ことにいたしました。

普段、工場で働いているロボットを、そのままの形で持ってきて、その特徴ある機械的な動きと、日本の伝統的な大道芸として、育まれてきた独楽（こま）芸との

組み合わせの妙により、先端技術であるメカトロニクス技術を、将来の技術を担ってくれる中学生を中心とした人たちに、興味を持って見てもらうということを目的にして展示いたしました。

ロボットの何を出展するか、10何種類かいろいろと考えて、トップに持ち上げたんですけども、その度に蹴られて、最後にGOサインが出たのが、この「ロボット群によるコマ芸ショー」です（笑）。舞台装置の直径は、約7mです。

6台のロボットおよび2台の移動装置を、PC-50型プログラマブル・コントローラ内蔵の総括制御盤で総括制御して、独楽芸を行っています。

演技としましては、2台のACサーボモータ駆動4軸水平多関節形ロボットSR-654Hが、順次アルミ円板でできた10個の独楽を廻します。その後、3台のACサーボモータ駆動6軸垂直多関節形ロボットSR-606V（内2台は移動装置に搭載）が4つの独楽芸を行います。

即ち、刃渡り・綱渡り・独楽の上に独楽を重ねる2段独楽・棒の先端に独楽を乗せる棒渡しです。

先端にカメラを持った8関節19自由度の多関節自在点検ロボットは、独楽芸の要所、要所を覗き込み、モニタに写し出します。

演技の中で、視覚装置を使う場所が2つありまして、1つは、刀の上に独楽を乗せる場合、あと独楽の上に独楽を乗せる場合です。

なお、独楽は、独楽自体を2次ロータとして回転磁界発生装置により廻されます。

館 次は、日本電気の五十嵐さん、お願いします。



五十嵐 賢一 君

五十嵐 私共の「C & C パビリオン」は、全体のテーマといたしましては「Man and C & C」即ち、いつでも、どこでも、誰とでもというC (Computer) & C (Communication) の理念をここで出すという考えで出展しております。ロボットのコーナーは、観客参加型の出展にしようと考えて開発が行われました。

特徴としては、第1にはいわゆる電話によるマンマシンのインターフェース即ち、電話によってお客さんの指令を受けつけるということを行いました。これは、まったく通常の構内電話を使っております。なぜかと言いますと、将来的なりモートオードエントリーと言います

か、工場に対して、遠くからオーダーを入れるとかの状況を想定して、電話というものをあえてこだわって使ったということです。

それ以外の特徴といたしましては、複数のロボットによる協調作業があります。このためロボットをローカルエリアネットワークを使いまして、制御系自体もネットワークシステムにしてしまったわけです。ここでは5台のパソコンを、LANで結んで全体を動かすということをやっております。それから、多関節の特徴を生かすという意味で、たとえばハンドの姿勢を一定にしたまま腕がいろいろなポーズをとる、あるいは曲面状のものへアクセスするとかいったものを考えて、展示内容が決められております。

私共のロボット展示には一言で言い表す言葉がないんですが、特徴のないのが特徴といいますか、いろいろなタイプの作業をやらせようとしたわけです。これは、ロボット自体がある程度汎用性を持ったものであるということで、作業を1つに絞らないで、いろいろなタイプの中から選べるものだとすることを、あえて前面に出したところがあります。ですから、「何とかロボット」と一言で言い表し難くなっているところがあります。

展示内容ですけれども、3体の多関節ロボットを使いまして、30分を大体のサイクルと考えてやっております。その中は2つに分かれておりまして、多関節ロボットの動きを見せる10分弱の「総合モード」と、お客様が参加する大体15分の「個別モード」があります。後半では、2台が共同して作業するものに、宇宙船の模型の組み立てと、カラーボールヘサインしていく2つがあって、お客様の電話からの指令によってどちらでも選べます。

もう1つの方は1台で行うものですが、「コスモ星丸危機一髪ゲーム」というタイトルをつけており、樽状のものに剣を差し込みまして、当たるとコスモ星丸が樽の中から飛び出して来るというものです。これは、玩具から出てきた発想なんですけど、この場合にはどこに剣を差し込むかというのを、お客様が指令するという形になっております。

システム構成といたしましては、PC 9800というパソコン5台をLANで結んでおります。そのうち3台はロボットを動かすためのもので、それぞれロボットにつながっています。また1台はシステム全体の制御に使っていて、それから、もう1台はお客様とのインターフェースの作業を行うところで、音声応答装置とか電話のインターフェースといったものをコントロールしております。

館では、続きまして日立の本間さんをお願いいたします。



本間 和男 君

本間 日立パビリオンの展示は、氷彫刻ロボットシステムです。このショーは、2台の産業用ロボットが氷を彫刻して、もう1台のやはり6自由度の産業用ロボットが彫刻と彫刻の間を取り持つピエロ役をやるんです。もう1台は、コンパニオンのアシスタントをするゴム人工筋アクチュエータを使ったロボットで、これらの4台で大体1時間のショーをやっております。

技術的な狙いどころは、一言で言いますと、オフライン・ティーチングということになります。これは、日立のメイン・テーマといいますのが、「技術との自由な対話」とうたってありますので、ロボットを使いやすくするにはどうすればよいかということを考えた結果、できたのが氷彫刻ロボットというわけです。

氷彫刻ロボットという発想そのものは、産業用ロボットを使って、何とかうまくおもしろいショーができないかという発想がまずありまして、一番最後に残ったのが氷彫刻ロボットです。彫刻をやって氷がバンバン飛ぶところに照明を当てて音楽を合わせたら、EXPOは、夏場にかかるから、きっと皆さん楽しんでくれるのじゃないかということで、企画したものです。とにかく氷のブロックから1つの像を削り出すまでの間に、ティーチングしなければならぬポイント数がどのくらいになるか試算しますと、大体2台のロボットで10,000ポイントくらいになります。

今回は5つの動物を、お客様のリクエストに応じて彫刻するわけですが、全部合わせるとティーチングポイント数は約60,000ポイントにもなります。これを1点1点教えるのは大変な作業になります。それから、彫刻が進むにつれて、氷の形がどんどん変わっていくわけですから、ロボットを動作ポイントまで導いて教える方法ですと、1つの像に対して10個以上のクレイモデルが必要になります。そこでコンピュータを用いたオフライン・ティーチングの効果が出てくるわけです。

ゴム人工筋を用いたゴムアクチュエータロボットのゴエモンというのを出しておりますが、これはブリジストンと共同でやっているものでして、柔らかさ、しなやかさを持ち、人間に危害を加えないで共存できるロボットということを前面に出そうということで出展しました。技術的にはサーボの方で非常に苦労しまして、サーボコン

トローラとして、分散型のコントローラ……つまり、各自由度に1つずつ16ビットのプロセッサを配置したコントローラを開発しました。技術的なポイントだけに絞りますと以上です。

館 それでは、ファナックの飯田さんお願いいたします。



飯 田 和 恵 君

飯田 私は代理ということで参りましたので、作る段階での苦労話はあまり詳しくできませんが、簡単に主な特徴を述べます。FANUC MANはこれからの産業用ロボットのニーズに応えるために、大きさも世界最大級で、可搬重量が片腕で100kg、両手で200kgです。開発にあたっては、最新のエレクトロニクス技術、CNC技術、サーボモータ技術、精密機械技術というものを駆使しておりまして、これからのロボットに必要な大型化、機能化、多腕化といったニーズを先取りしております。

キャッチフレーズといたしましては、「頭がよくて力持ち」となっております。力があって、緻密な仕事もできるということです。具体的に申しますと、身長が5m、体重が25t、自由度が片腕が6、胴体が4で計16自由度になっておりまして、人間により近い動きができます。つまり、これから自動車のドアとかダッシュボードとかシートなど、大型部品の精密組立という分野へのロボットの適用も目前となったと言えると思います。

もう1つの特徴としましては、両方の腕に高速の視覚センサを取り付けてありまして、極めて繊細な作業も可能にしております。

動力源としましては、従来の主流であったDCサーボモータからACサーボモータに切換えて、ブラシの寿命など、信頼性の問題、速度の限界などの問題を解決しております。ボディのような大型駆動部にも全面的にACサーボモータを採用しました。

FANUC MANの胸のところに、大型の液晶カラー映像の装置を取り付けてありまして、その中で自分の演技の説明のビデオを、同時に表示するようにしており、ショーの演出効果を盛り上げています。

ショー内容としましては、「FANUC MAN どうぞ!」という呼びかけの後、マジックミラーのケースの中に電気がついて、初めて姿が現れるという形になっております。急に大きなロボットが現れて皆さんが驚くことを狙

いとしています。そして、最初に自分のミニチュアモデルの組み立てを行います。その後、胸のビデオの液晶画面で、FANUCのロボット工場を紹介しまして、200kgのバーベルの重量挙げを行います。

FANUC MANはこれからの産業用ロボットを表現したものです。

館 次は、松下電器の大河原さんお願いいたします。



大 河 原 大 輔 君

大河原 私共は、「古代を考える」というテーマでございます。そこから、ロボットとどういうふうに結びつくかと申しますと、お客さんの似顔絵を書いてあげ、お客さんに「あなたの顔は南方系なのか、北方系なのか、あるいは西アジア系なのか」というところを考えていただくということです。ロボットのところにいろいろな系の顔の写真を貼ってありまして、それを見比べていただくというところで、つじつまを合わせております(笑)。

技術アピール点は何かというお話でございますが、私共は視覚付きロボットを出しました。その一番の特徴は、不特定多数の人間を対象としています。一体どういう人が座るのかわからない点で、システムとしては非常に恐ろしいものです(笑)。非常に高度なことをやっても、一定のプログラムが完成してしまえば、安定した動作をしますが、私共のは即興性があるのではないかと思います。

構成の概要としましては、画像処理装置と6軸垂直多関節のロボットと、ロボットがしゃべるための、音声合成装置で構成されたシステムです。お客様に舞台上がっていただきまして、画像処理が済みますとロボットが絵を書き出します。書き終わるまで大体3分の予定でございます。もうちょっと時間が伸びているかもしれません。

周りの観客には、画像処理の中間処理の状態とか、あるいは最終的な絵とか、モデルのお客さんの顔とかを3つのモニターで、表示しておりまして、見ていただいてわかるようになっております。

館 バビリオン関連のお話をいただいたわけですがけれども、全体として産業用ロボットをいかに各会社のテーマに合わせて使いこなして、それをテーマと合った形で観客にアピールしていくか、あるいは自分たちのアイディアを実現していくかということに、焦点を当ててや

られたと、そのように理解いたしました。

次にテーマ館関係に移りたいと思います。まず住友電工の和田さんからお話を伺いたいと思います。



和田 豊 君

和田 「鍵盤楽器演奏ロボット」、通称「ミュージシャンロボット」と呼んでおります。早稲田大学の、加藤先生、成田先生、大照先生、白井先生の4研究室の方々と共同開発いたしました。写真からおわかりのように、電子オルガンを演奏します。それ以外に、目で市販の楽譜を読んで、それから楽譜情報を検出し、手の動きに変換して弾きます。さらに、音声認識合成機能を持っております。機能としては、以上の4つの機能があります。

「人間の動作と同じことを工学的に実現する」というのが開発思想になっています。

システム構成は、全体が4つ……実際は5つの要素から成り、その間を GPIB (General Purpose Interface Bus, 計測機器、記録装置などと計算機との接続に多く使われている) で全部結合しております。実際にロボットのある部屋と、コンピュータのある部屋は 30 m 程離れていまして、その間のデータはすべて光伝送方式で送っています。

ロボット全体の構成はできるだけ人間に似せており、自由度は指が $14(=3 \times 4 + 2)$ 、これは親指だけが2です。それぞれの先端の曲げと根元の曲げと開きを持っております。腕は7軸、足は足鍵盤を弾けばいいということで、4軸の構成になっています。合計全身で50個持っています。

最初、胴体を動かすという話もあったんですが、それだけはやめよう(笑)。寸法も、これは大人の寸法だと思わなければならないんですが、身長 180 cm くらいで、ほぼ人間の大きさそのものになっております。重量はカメラを除きますと大体 80 kg くらいです。そのうち腕が大体 14 kg、足が大体 8 kg です。写真でちょっとわかりにくいんですが、大部分が炭素繊維強化プラスチックでできております。あとは、アルミが少し。機能としては、弾いて、楽譜を読んでおしゃべりをします。指のモーターについてはかなりの数になりますので、手先に設置することはできないためワイヤーで力を伝達させる方式をとっております。背中にモーターを背負ってまして、それで指のモーターの力を伝達します。

もう1つは、実際に楽譜を目で読んで弾くということです。指、腕の動きに変換するソフトウェアがかなりの量になりますが、人間とちょっと違う弾きかたになっております。楽譜を置いて、結果として人間が見る恰好そのままにやっておりますので、照明状況などに非常に弱い点があります。楽譜は $2,000 \times 3,000$ の画素数で、1 mm あたり 10 本くらいの精度で読み取ります。それでやっとな線が取れます。

普通の楽譜をそのまま入れまして、アレグロとかの文字は見ないようにしております。大体 A4、1 ページ 10 秒から 15 秒で読めます。音声部も技術的には高度な方式を使っており、音声合成は聞いてみてほとんどがわからないんですが、いわゆる規則合成ですね。50 音をベースにイントネーションとかアクセントをつけて、再生する方式になります。音声認識につきましても、連続音声、音素認識をやっております。ご覧になる人は、ほとんどそのあたりはわからないというところが非常に残念です。

館 次に、日立の藤江さんをお願いいたします。



藤江 正 克 君

藤江 私共の方で作りましたのは、2 足歩行ロボットでございまして、ここでは日本政府テーマ館のテーマが人間のすばらしさを強調するということで、結果としては人間の歩行をロボットで実現することの難しさを強調したいということになったわけです。内容は、先ほどの和田さんと同じ早稲田大学の加藤先生の方で、すでにこれまで 10 年以上の間開発されております、2 足歩行のロボットの2年前の研究成果にプラスしてということで出すことになりました。

われわれの最大のポイントは、このロボットの場合には、まだ信頼性の面でいろいろ課題が残っているということで、6 ヶ月間真面目に歩き続けるようにするということでした(笑)。

具体的には、数十 km という距離を歩くことになりますので、人間でも疲れ果てると思うのですが、ロボットにとっても無論その辺が非常にシンドかった。われわれの方としては、工場の中でも特に信頼性高い技術を持つ原子力部門の工場に担当してもらいまして、「ノートラブル6 ヶ月間以上」をポイントにやってきました。

ただ、われわれ研究所もそれに対してバックアップし、

ただ信頼性というだけでなく、これまでは早稲田大学ではやっていなかった技術課題に挑戦しようということになりました。具体的には動力源を全部ロボットの上に乗せようじゃないかという話になったわけです。

まず、油圧源は無論乗せる。それ用の電源も乗せたいということで検討したわけですが、どうしても電源を乗せるところまではいきませんでした。具体的には、油圧源を乗せるところまでいったんです。従来のサーボ弁、従来のロータリーアクチュエータでは、油圧源の必要流量が莫大となり、油圧源が大きくなってしまいます。

したがって、油圧源を乗せるためには油圧源用のサーボ弁・ロータリーアクチュエータも開発しなければならぬということで去年の暮あたりに大分バタバタしたわけです。サーボ弁につきましてはフォースモーター型と言いまして、従来のノズルフラッパーに対して、ボイスコイルでコントロールするものを開発しました。

アクチュエータについても、同様に 200 ニュートンメートルというトルクを発生させて、重量としては 1 kg から 2 kg というものを作ったわけです。それが全部うまく乗りまして油圧源を搭載することができました。これでわれわれとしては人間のすばらしさが見てもらえるのかなと、心配してましたが、見ている子供さん方の声を聞くと「何だ歩くだけか」ということで(笑)、非常にがっかりしておりまして、そういうところでの難しさはありますけれども、ロボットの展示とはそういうものかなと思っております。

館 最後になりましたけれども三菱重工の大道さんお願いいたします。



大 道 武 生 君

大道 私共は、同じテーマ館の 4 足歩行ロボットということで参加しております。東工大で研究されていたこのロボットは、非常に自律性が高く最終的なイメージとして、「野山を自由に歩くようなロボットがあったらいいな」という夢をかなえてくれそうな魅力があったわけです。

もう 1 つは、最近原子力発電所用のロボット等、移動ロボットというのがたくさん出てきております。たまたまわれわれも手掛けているわけですが、2 足走行ももちろんですが、4 足につきましても、歩くということとは違ってやさしいことではなく、特に凹凸面の乗越えとか方

向転換などの必要があった場合に、それをどういうふうにつなげていくかということには、大変難しい問題が存在しております。

そういうことで、非常に自律性の高い、自分で考えながら歩くロボットをやりたいということで、このロボットを手掛けたわけです。したがって、このロボットはいろいろな障害物に自律的に対応できる能力を持っているわけですが、テーマ館ですと 1 つの決められた所だけを歩いていますので、ティーチングプレイバック制御とイメージ的にあまり変わらないような印象を受けるのが技術者としては残念な気がしております。

もう少し広く自由に歩かせられる所があれば、なおよかったかなという感じもあります。自律性に自立性を付加しようということで、無線でやろうということ、途中の段階までかなり考えたんですが、先ほど日立さんのお話にもあった信頼性問題……、特に動きますので、観客に危害を与えることを非常に心配したわけです。

たとえば、コンピュータ暴走その他いろいろ起こって、ロボットが予期せぬ方向に動いてしまって、人にけがをさせるというようなことがあった場合、それをどうやって防ぐかということをいろいろ考えたんですけれども、無線ではどうも難しいということで、最終的には有線にして確実に止める方法を取りました。

それから、いろいろな安全用インターロック関係のシステムがついているのですが、そこがあまり見えないところで若干苦勞した内容です。制御方式について少し説明しますと歩行はいわゆる静歩行という形です。また展示場には階段がございますけれども、その位置関係というものはロボットには全く教えていなくて、足先足裏の触覚センサと傾斜センサ等の信号によって自己判断し、さらに、超音波センサ情報で方向修正を行いながら自律歩行を行い、所定位置まで行ったら U ターンして帰ってきます。

直進から旋回する場合、ある条件では、1 たん座りこんでいますが、本来は立ったまま旋回させたかったのですが、つなぎの部分が間に合わなくて、現状に至っております。任意の位置から任意の方向へ連続して歩くということでは、少し行き届かないところもありましたけれども、大体歩くという夢の第 1 歩をこのロボットに託せたと考えております。

館 一般的に、技術に詳しい人はよくわかるわけですが、技術に詳しくない素人の場合には、人間が簡単にやっていることは、機械がやっても当然だと思っ

驚いて見るということは、確かに言えると思います。それが、いわゆる技術者が考えることと、一般の人が感じることの違いだと痛感しました。

いままでのところで、自己紹介を兼ねて、お話をしていただいたわけです。後半では技術的なところなどで、互いに質問し、それに答えるという形で進めてみたいと思います。



白 井 良 明 君

白井(良) ロボットを会場に運んでからも調整やタイミングなどにずいぶん時間がかかったようですね。私が3月4日のプレスレビューの際に2本足ロボットを見た時、パビリオンのインストラクターが、「だいぶ歩くのがうまくなりましたね」と言うんです。直前まで歩きかたを教えていたようでした。

藤江 実は、油圧システムの方が予定よりも大分開発に時間がかかりまして、正式に歩き始めたのが今年に入ってからです。それで、先ほど申しましたようにオフラインでロボットのコンピュータにより、ロボット自身に歩かせてはその結果をメインコンピュータに持ち帰ることにして、そこで重心の制御やゼロモメントポイント・データを解析しながら次の歩きかたを覚えていって、どんどんロボットの教育をしていったわけです。

それでプレスレビューのときには、皆さんにお見せしている状態のように大分うまくなってきて、現在動かしているのはさらに、少々の地震がきても転ばないような歩きかたなどを入れています。ですから、結局教育期間に2、3ヵ月かかりましたので、コンパニオンを教育するのと同じくらいなんです(笑)。

館 自立性に関連して、電源が組み込めなかったということですが、電力はかなり食うんですか。

藤江 かなり食います。いまは大体、2kwから3kwの間くらいです。コンピュータは食わないんですが、ほとんど油圧源が電力を使っています。これも、当初の見積りでもっと食う予定だったのが、油圧の方が頑張ってそこまでもっていったんだと思うんです。最初、早稲田の方からも燃料電池が積めないかというお話がございまして、大分詰めてみたんですが、どうしても積めないということで、実は重量的に大変厳しく、積まなくてよかったと思ったんです。

和田 私共のロボットは、楽譜のデータをドレミファ

ソラシドでもらって弾くのですが、ドレミファのレベルからは、実質1年以上やっているんじゃないですか。人間の弾き方を分析して、滑らかな演奏方式となるにはどのような指の運び、手首の運びを決めればよいかが、問題となります。できるだけ人間の演奏の仕方に近くなるようにアルゴリズムを探究されましたが、ロボットとしての特徴も考慮しています。

白井(良) 人間と違うということですね。

和田 そうですね。できるだけ手首を動かさない形で、前をずっと見ていきまして手首が動かないようなブロックを捜して、そのブロックの継目で指替えを行う。それは人間と同じなんですけれども、予め定められた規則で自動的に指運びを決めます。

白井(良) 楽譜読み取りは、ずいぶん照明に敏感ですね。

和田 確かに、朝昼晩と明るさが少しずつ変化します。楽譜の五線などは極めて細く、その線を約1m離れた所から識別しなければなりません。しかもその面積が広いですから、その中を一樣に照明するというのがなかなかね。複写機のようにやればもっと確実にできるんですけども、いまは調整時に灰色の紙を楽譜台に置きまして、それが大体白黒均等になるレベルを自分で捜しまして、それを2値化スレッシュホールドレベルとする。3時間に1回くらいレベル調整をやっております。1画面を64×64のメッシュに分割し、そのメッシュごとにレベルを求めています。

大河原 苦労話なんですけれども、私共のは、対象とする相手が人の顔ということで、開発目標としては定量的な値が示されていないので、担当者としては非常に困ったわけです。できたからトップに見せまして、「これでよろしいでしょうか」と言ったら「あかん」と言うわけですね。「似てる」というのは、どういうことなのかとても苦労しました。関西弁で言うと「難儀なテーマ」ですね。数値のこれをクリアすればそれでよろしいというのがないんです。

プロの似顔絵書きに、「似顔絵というのは、基本的に何なんでしょう」ということをいろいろお聞きしまして取り組みました。基本的には似顔絵というのはデフォルメだそうです。とてもそんなことは今のコンピュータではできないし、初めからそんなことはやるつもりはなかったんです。種々やっただけなんですけれども、筆記具にフェルトペンを使用している間はおおよそ似ているという感じがでませんでした。最後にあの筆ペンに到達しまして、それを何とか使いこなすに至ってあのレベルの絵が書けたということです。

それと描画時間が、3分以内ということで設定されて

いました。そうすると、いわゆる塗潰しができないわけですね。ですから、線だけで、しかも絵の見ばえを良くするというところでいろいろやっていたわけです。やはり目と眉毛だけは塗潰さなければいけないだろうということになって、今度は塗潰しのため、目と眉毛の認識という問題が出てきました。やっていると、眼鏡をかけた人とか、眼球の大きな人、小さな人があるんですね(笑)。眼鏡が光るとか光らないとか、あるいはサイズがいろいろあって、また瞳の色が黒とか茶色とか青とかいろいろありまして、今では何とか視覚装置が目を認識しまして、ロボットが目として塗潰して書くんです。

久保田 筆致で、太い部分と細い部分がありますが、その区分は何によって行っているのですか。

大河原 基本的には、画面の濃淡を微分しているわけですから、太いというのは微分値の大きなところですよ。

いろいろな人に質問されるのは、「あれは どういう筆順で書き出すのか」ということなんです。私共も正確には予測はできないんですよ。一体どこから書き出すのか対象とする顔により変わります。大体上から周囲の外から書いていくはずですけども、線がつながっていたら近い所を次に書きに行くのです。

白井(良) ところで、テレビで見たんですが、女性のタレントが松下館で似顔絵を書いてもらい、できばえが気に入らないといってむくれていましたけれどもね(笑)。

大河原 美人が来るとあがる……(笑)。

白井(良) 視覚処理技術といえば、東芝の独楽まわしロボットですが、ロボット自体は耐久性があるが、ロボットが移動するところがS字型になっていて……これがガタを生じる原因なんです。今はガタがないから視覚を使っていないそうですけど。

久保田 最初は使っていたのです。しかし、今の時点では、独楽芸のために特別に製作したS字形軌道走る移動装置も、まだ、ガタがきておらず、刃渡り時、視覚装置を使わなくても良い状態なので使ってません。ガタが出始めたら視覚装置を入れて使います。

館 独楽の方には、何か仕掛けをしているんですか。独楽の先のところは どういうふうになっているんですか。刃渡りの刃に当たるところです。

久保田 刃渡りの独楽には仕掛けはありません。

大河原 刃の方は どうですか。何か細工はありませんか(笑)。

久保田 刃の方は、正直に言いますと3mm幅で、深さが0.7mm くらいの溝をつけてます。

館 当然それでない、無理ですよ。

久保田 刃の上に独楽を置く前に、視覚装置により、

刃の空間的な実際の位置を確認しています。このため、刃の溝の部分の一部と刃の側面の一部に白いペンキを塗り目印としています。

独楽芸ロボットの準備の過程で、苦勞した一つは、独楽の歳差運動ですね。

独楽の加工精度を上げることと、各スタンドボールにおいて回転磁界を与えることで、歳差運動を小さくしました。これにより、独楽の上に独楽を重ねる二段独楽の演技が可能となりました。そのために「独楽は、止まっているんじゃないかな」と言われるお客さんもいらっしゃいます。あと苦勞をしましたのは綱渡りの糸なんです。釣り糸とか金属の糸とかいろいろ試してみても、最終的にはラジオのダイヤルコードがいいということで使っているのですけれども、あれも張力によってだんだん緩んできますので、いまは2日間に1回取り替えています。それも、予備は重りをつけ、楽屋裏に垂らしておくのです。それで伸びきったものを次の日にセットするのです。実際は1週間もちますが、早目に交換しています。

鶴賀 この前本物のコマの名人が来たそうですね。

久保田 子供の日に来られて、競演されたいですね。3回か4回かやって、最後にロボットが勝ったと聞きました。

鶴賀 名人が最後に失敗したんですね。

久保田 そうらしいですね。

白井(良) それで名人は怒ったと言っていました。これは道具が悪いとか言って……(笑)。

鶴賀 綱の弾り具合が緩んでいて、これは裏方のミスだと新聞には書いてありました(笑)。

館 コマの材質は、どういった材質ですか。

久保田 表面は、色彩豊かなプラスチックでカバーされていますが、内部はアルミ円板です。シャフトはステンレスで、下部先端に鏡面仕上げした超硬合金を圧入しています。独楽をのせているお皿は、特殊樹脂製です。

準備の段階では、下部先端をとがらせていたものから、受皿の材質との関係で、皿の表面にくぼみができ、安定した独楽の回転が得られず苦勞いたしました。

白井(良) 目を使っていると言えば、あとファナックも少し目を使っているんじゃないですか。

飯田 はい。両腕の手首の部分に、視覚センサを使っております。ミニチュアロボットの組立をするときに部品をばらばらに置いて自分で見つけることができます。

今回の場合は特にセンサが必要ということはないのですが、一応センサでチェックしながら組み立てているんだという安心感があります。ですから実際は部品をバラバラに置いて大丈夫ですけども、一応念のために、分解しながら決まった位置に戻すようなプログラムにはし

であるということです。

白井(良) 確か不都合が起きたとき、たとえば手が何か取りに行って、そこになかったとしても、どんどん進んでいくとまずいから、そこにあることを確かめてから進んでいるらしいですね。だからうまくいっている場合には目は要らないようです。チェック機能なんです。

鶴賀 分解も後から自分でやっているんですね。

飯田 そうなんです。ショーのあと、ケースの中が暗くなると FANUC MAN 自身がミニチュアを分解して定位置に戻しているんです。

鶴賀 一般の方は両手で持ち上げるからできるのだと思っているんですね。あれを見て、両腕だから難しいと言う人はかなりわかる人で……(笑)。片腕で持ち上げた方が、多分一般の人はすごいと思うでしょうね。力持ちだと。

白井(良) みんなほとんどわからないところで苦勞しています。当事者の話を聞いてから見ると、大分違いますね。

NEC はとくにテーマがないから、逆にアピールしにくいですね。

五十嵐 そうですね。内部でも問題になったのですけれども、一応ロボットは汎用機なので、そうしたいろいろな事ができるという要素はあくまでも残そうという形でやった面はあります。また、3台のロボットがあるのですけれども、3台ともかなり相互にぶつかり得る位置にあるわけです。暴走したり1台が止まったりしますと、ぶつかる可能性が非常に大きいものですから、そういうのは全部上の方のパソコンでコントロールしてまして、1台が止まったら必ずほかのものも停止させるようにしています。

本間 氷彫刻ロボットでも、安全性については気を使いました。ライオンの尻尾を削るときには2台のロボットの Cutter が 3 cm 程まで近づきます。ソフトの方で絶対ぶつからないようになっているのですけれども、万が一あれがオーバーランしたらぶつかっちゃうわけです。それを何で監視するかというと、やはりサーボ偏差で監視しているんです。サーボ偏差がある程度以上大きくなったら止まるという機能がありますから、それで止めて相手も止めると。

ロボットの動作範囲は、お互いに完全にクロスしていますから、非常に気を使います。削り方も、お互い絶対に干渉しないようにティーチングしておいて、最後どうしようもないところだけは片一方に任せるとか、もしかサーボエラーが出たときには即座に非常停止するとか、その辺は大分気を使っております。

館 氷を削るのにずいぶん時間がかかりますね。



白井 克彦君

本間 かかりますね(笑)。あれは、不要なボリュームを全部排除しなきゃいけないわけですから。本当は人間みたいにノミを使うとかのこぎりを使うとかすれば良いのですけれども、そこまでやるのは今のところできませんので。

久保田 氷は1日幾つぐらい使いますか。

本間 夏時間になって1日 10 回ぐらいです。

久保田 その氷はどこから持って来るのですか。

本間 氷屋さんが夜9時過ぎに運んで来ます。裏に冷凍庫がありまして、そこにストックしております。

五十嵐 夏場は早く溶けるなんていうことはないんですか。

本間 真夏に実験をやったんですが、去年の夏に放置しましてね。30度越えたところで1時間放置しても、外周で 5 mm 溶けないですね。あれは全く問題ないです。

館 かえって溶けた方が、なめらかになって……。

本間 そうなんです。なめらかになって、仕上がりがはきれいなんです。真冬よりも夏の方が氷の切れ味もいいですし。

鶴賀 ときどき氷の粉をはらったりしていますが、本当に必要なんですか。

本間 いえ、あれは演出です(笑)。

鶴賀 もしあれがなくて、2台のロボットでフルに削りっ放なしにしたらどれぐらいでできますか。

本間 あれは何でやっているかといいますと、1つの像を削り上げるのに、1台のロボット当たり 5,000 ポイントないし、7,000 ポイントのデータが必要です。ところが、標準のロボットを使っていますから、メモリー容量は 1,000 ポイントです。それで8回に分けているのです。データ転送のインターバルが1分ないし2分必要ですのでその間、ロボットがじっと動かないままでいるというわけにはいきませんから、もう1台のロボットで間を持たせているのです。

館 そういうところに苦勞があるわけですね。大道さんは先ほど、実際には会場が狭すぎて見せられないような幾つもの機能があるとおっしゃったのですけれども、どんな機能がでしょうか。

大道 幾つものというよりは、ロボットの判断によるいろんな対応の変化です。障害物を替えてみると違った動

きをしますので、かなりおもしろいんじゃないかと思うのです。

館 それでは、障害物を交換すれば何とかみせられますか。同じ場所でも……。

大道 施回するとステージ幅の余裕が 50 mm しかないんです。非常に狭いものですから、超音波センサを使って微妙に修正しておるのですけれども、ちょっと動いただけで壁にぶつかるとか外に出ちゃうとか、そういうことが非常に必配なので、現実的にはやれないですね。それから、手前みそですが、私共のロボットはちょっとうまくでき過ぎたかなという感じがあります。何となくスムーズに動きすぎちゃって、開発の途中は姿勢の変化が大きくていかにも動いているような情景があったのですが、こっちに運んでからは割と安定しまして、姿勢もほとんど変わらずにすんなり動いています。そこら辺が展示上のアピールとしては不足しているのだと思います。階段に来たとき階段を認知したことを知らせるとか、ショー効果的には、反省材料にしています。

館 センサが感知したものの音なんかを……。

大道 入ると、非常におもしろいですね。

藤江 それは協会もいろいろご意見をお持ちでございまして、テーマ館についてはショーではないのだと言っておられますね。2足の方も前にイルミネーションなんか付けたんですよ、うちで、「やめて下さい」と言われました。それで曲がるときには方向指示機がそれを示したりとかいろいろとやったのですけれども、そういうのはみんなやめた方がいいと。ショーはほかのパビリオンでやっているから、ここでは科学技術を見せてくれと言われました。

久保田 2足歩行ロボットが、もうちょっと先の段階で、原子力分野とかいろんな分野に入っていく、その辺の可能性についてはどういう具合に考えておられますか。

藤江 非常に難しいご質問ですね。あれを新聞発表したときも記者の方からそういう質問が出ました。技術的に全部が実現できれば、非常に狭いスペースでも動き回れるからいいのですが、それに対して実用化のため技術的な課題がまだ非常に多いですね。いま三菱さんもおっしゃっていますけれども、われわれもかなり実用ベースといえますが、その手前の目標として、4本足の方を先に着手したんです。2足歩行ロボットはエキスポに展示ということでの作業だったんです。

ただ、あそこでやった技術はたとえば4足とか6本足とかいう技術内容として反映してくるということはあると思います。あれは2足で、今申しましたように自分を動かすのが精いっぱいなのに、荷物を運んだり作業したりは大変です。

久保田 これは夢みたいでしょうけど、階段を上って狭い所に行って作業するというようなことができれば、それこそ2足が良いようにも思えますが……。

藤江 そうですね。狭い所も動けますから……。

館 2足の場合には、倒れたところから自分で起き上がれることもできないといけないですね。必ずしも安定とばかりは言えないですから、ある程度しゃがむようなこともあるでしょうし、そういう状態からも起き上がれると素晴らしいですね。

大道 私は思うのですが、2足というのは非常に歩行が効果的なんです。多足で歩行をやっていると、1歩行くのにたとえば4本だと4回動作が必要で、5足だと5回です。2足は1歩が1歩ですから、非常に効果的です。移動速度とか、そういう面で非常に有利じゃないかなという気がします。ですからぜひ、将来的方向では2足移動でいってほしいなという感じはしております。

藤江 加藤先生の方では、すでに去年1歩 1.8 秒というのを実現しておられますね。われわれの方も、今あれは実は 13 秒で歩かせているのですけれども、それも転んだりする確率をなるべく小さくしようということで速度を低く抑えてガードしていますので……。

館 ロボットシアターのロボットの制御はどうなっているのですか。

鶴賀 スタートの信号は、音楽のテープの1トラックを使って出します。楽屋から舞台へ出まして、それから4分間ぐらいほかのロボットと一緒に演技して帰ってくるのですけれども、それまで外から何も与えられないのです。軌道修正は一切しません。

楽屋へ戻るときも、ゲートが近いとかそういうことを知らないで戻ってくるのです。そのときにずれますと、実は黒子がいまして相当熟練していてほとんどお客さんに気が付かれないようにばっと抱き止めて、リセットスイッチを押して、ロボットを押して帰ってきます。

センサは、距離を測る計測輪と角度を測るジャイロだけを頼りにして、スタートしたところから最大 20 m ぐらい離れた所まで行きます。それから全体を走る距離は 100 m ぐらいです。これを4分間でやって、ほぼスタート位置まで帰ってきます。一番幅のあるロボットが 1 m 60 cm ぐらい、ゲートが 2 m 20 cm ぐらいあるのですが、大体はその間を通して帰ってきます。それでもジャイロの狂いなどで、しばしばぶつかったりぶつかりそうになったりします。

藤江 そうですか。この前ちょっとみんなでディスカッションしたのですけれども、あれは床下にガイドワイヤがあるとか(笑)。

鶴賀 床下に線が張ってあるだろうとか、外人記者な

んか「あれはラジコンだ。日本人は器用だから」と言っていました(笑)。そういうロボットが、実際に出ている数が7台。それからラジコンで動いているものもあります。

本間 ベビーロボットは……。

鶴賀 あれは完全にラジコンです。

本間 あれは人気ありますね。

鶴賀 はい。ミニチュアが飛ぶように売られています。

館 ハブニングの発生も、場合によってはおもしろくないですか。

鶴賀 われわれはおもしろいと思うんですが、出展者側はそう言っておれないと(笑)。

白井(良) お客様もおもしろく見えていますね。しかし、全然動かないとおもしろくないですね。

鶴賀 そうですね。それは今までないですね。出て行って、ぶつかりそうになって、途中で止めて帰って来たとか、それからほとんど最後まで来て、ゲートのところで抱き止めてやったり、そういうのは割とよくあります。誤動作がかえってお客様におもしろがられる話がありましたけれども、芙蓉ロボットシアターの中で、音声認識をして話をするロボットがあります。それが、子供相手にやるのですけれども「右」と言うと右へ回り、「左」と言えば左に回る。それから動物の鳴きまねというので、「牛の声」とか「にわとり」と言って「モー」とか「コケコッコー」とやらせるのですが、よく「左」と言うと、「にわとり」と聞き間違えて「コケコッコー」と言うのです(笑)。それがお客様に一番受ける誤動作ですね。ドッと場内がわきます。それを1ヵ月ぐらい前でしょうか、新聞が書きたてで、ちょっと騒ぎになったことがあります。われわれはおもしろがって読んでいたのですけれども、出展される側としては聞き捨てならないということらしくて(笑)。

館 それはおもしろいですね。ロボットが間違えると、安心するんですかね、人間の方の心理としては。

本間 今回は信頼性を重視して産業用ロボットを出したのですが、こういう機会にもう少し冒険をすべきだったかなと思います。ただ、ゴムアクチュエータロボットを出していますので、ぜひご意見をいただきたいと思います。あれがどういうものに使えるかとか、ユニークなご意見がいただければ非常にありがたいと思います。

鶴賀 先ほどからもう少し冒険をしたかったという話が出ていますが、私共は十分すぎるほど冒険して、3月16日の開会の日の朝7時ごろ、ようやくみんなまともに動くようになったのですが、その時には半分くらいのロボットにはまだ外装を付けてなかったのです。午後、人に見せるというときにようやく外装が付いてほっとしました。最近はかなり安定してきましたので、4月25日ごろにこっちに詰めていた人間を3人ぐらい返しまして、今は1人か2人でやっております。今が一番いい時期で、この先まだ4ヵ月と3日あるのが心配でしょうがないという気持ちです。

館 どうもありがとうございました。今日は、世界的にも注目されている科学技術万博の、外側から見るというよりむしろカバーを外して、中に入って、それに至るまでにどういう苦労があったかということを中心にお話いただきました。非常に興味深いお話が伺えて大変ありがたいと思っています。

ロボット学において理論を構築するのは非常に重要ですが、理論だけでは実はロボット学としては少し物足りないと思うわけです。ある時期ではハードウェアとソフトウェアが一体となったロボットシステムとして、まとめてみて、実際に動かしてみることが非常に大切ではないかと思います。そういう意味でも、この科学技術万博の中でいくつかのロボットが作られて、実際に6ヵ月間という期間を動いてみるというのは非常に価値のあることだと考えております。

本日はどうもありがとうございました。