

本田財団レポート No.99

## 「人間型ロボット『アシモ』開発の裏話」

(株)本田技術研究所 和光基礎技術センター チーフエンジニア

竹 中 透

財団法人 本田財団

## 講師略歴

竹 中 透 (たけなか とおる)

(株)本田技術研究所 和光基礎技術センター  
チーフエンジニア



### 《 略 歴 》

1958 年 愛知県生まれ

1983 年 東京工業大学大学院 (制御工学専攻) 卒業

メカトロニクス関連メーカーを経て

1989 年 (株)本田技術研究所 入社

入社と同時にロボットの研究開発に従事

現在に至る

このレポートは、平成 13 年 9 月 25 日 パレスホテルにおいて行われた第 85 回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

## ロボットの動きと力学的な関係

二足歩行ロボットというのは、上体と足から成り立っています。足の先の部分を足ひらと言っています。ただし、「足ひら」というのは Honda の造語であります。基本的に歩行パターンというのは、上体が空間でどう動くかということと、足ひらが空間上でどう動くかということを示されます。つまり、上体と足ひらの空間上の動きがロボットの歩いている姿ということになります。

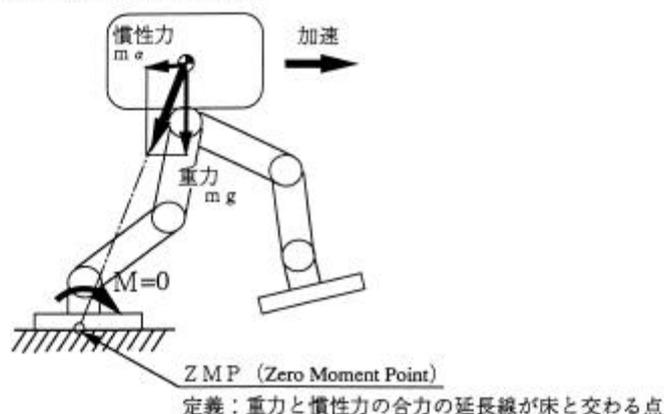
ロボットには重力というのが働いています。また、ロボットというのは、常に一定速で歩いているのではなく、一歩の中でも必ず前後に加減速しながら歩いています。それによって慣性力というものが働きます。慣性力というのは、電車に乗っていて電車が加速すると後ろに引っ張られるあの力であります。つまりロボットには慣性力と重力が合わさった合力が働いています。

この合力が床と交わる点を ZMP という名前を呼んでいます。これはユーゴスラビアのプロブラトビッチという人が 30 年以上前に考え出した概念で、Honda のロボットでもこの概念が基本になっています。ZMP とは、回転させようという力が発生しない点ということで、ゼロ・モーメント・ポイント (Zero Moment Point) を略したものです。

用語解説 (動力学的概念である ZMP と静力学的概念である全床反力中心点)

### 1 質点ロボットの平面歩行の場合

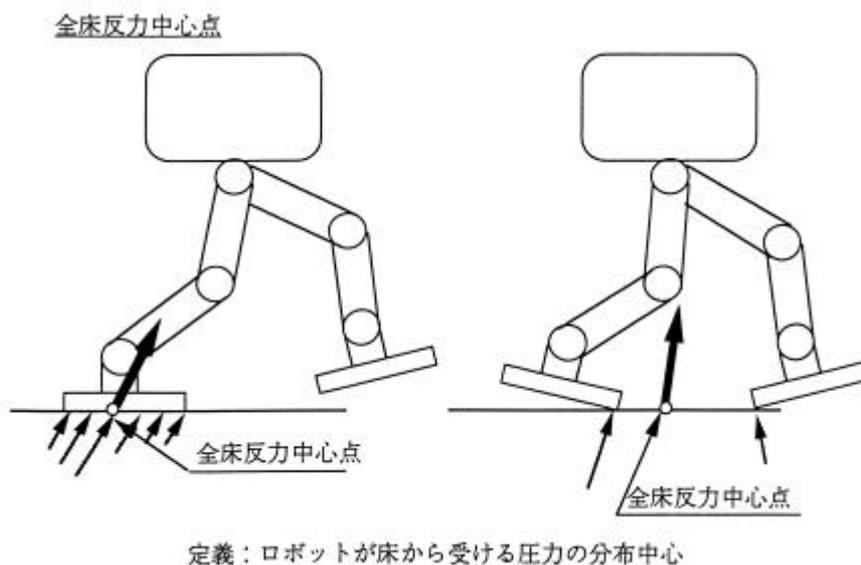
ZMP (Zero Moment Point)



( 図 1 )

それともうひとつ、ロボットは床から反力を受けます。床を蹴ると、その反作用として床から力を受けるわけです。実際の床からの反力というのは分布荷重になっているのです

が、集中荷重で見なしたときに、その作用点を床反力作用点と呼んでいます。この作用点は、片足のときは足の中心辺にありますし、両足がついている瞬間は、両足の中央のあたりにあります。

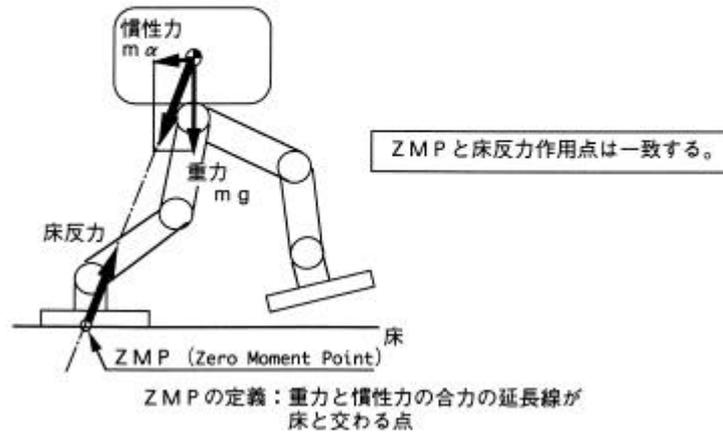


( 図 2 )

ではロボットの力学的バランスとはどういうことか。慣性力・重力の合力と床反力がお互いに同じ大きさで向き合って一直線上に並んでいると、合力と反力が打ち消し合ってロボットを倒す力を発生しません。この状態を力学的バランスが取れていると言います。ちなみにこの状態では、ZMP と床反力作用点は一致しています。

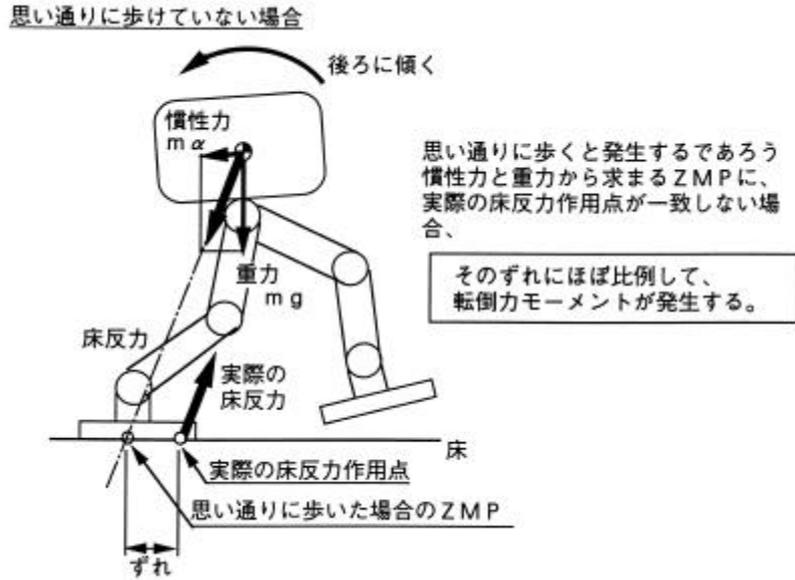
たとえば花瓶で考えますと、重心のところに重力が働き、床側から花瓶の重心の真下のところでピンポイント的に支えたとしても釣り合っ立っているわけで、こういう状態が静的なバランスなのですが、ロボットの場合は、これに慣性力が新たに加わり、斜めのバランスになっているのです。

思い通りに歩いている場合



( 図 3 )

動学的にアンバランスとはどういうものかといいますと、支点すなわち床反力作用点がずれてしまったということなのです。実際に歩いていると床にはデコボコがありますから、爪先で何かものを踏んでしまったという状態になったとき、床反力が本来はここ（目標 ZMP）に働かなければいけないのが、前にずれてしまい、爪先に荷重がかかってしまう。そうすると、こういう荷重は慣性力・重力の合力に対して横にずれてしまいますから、横にずれた所で力をぐっと押すと、偶力といいまして、ロボットを回転させる力になる。そこで、爪先でものを踏んでしまうとロボットは後ろに倒れてしまうという現象を起こしてしまうのです。このズレ、より詳しくは、ZMP と床反力作用点の間のズレに比例して転倒力が発生するというところが特徴的な部分であります。



( 図 4 )

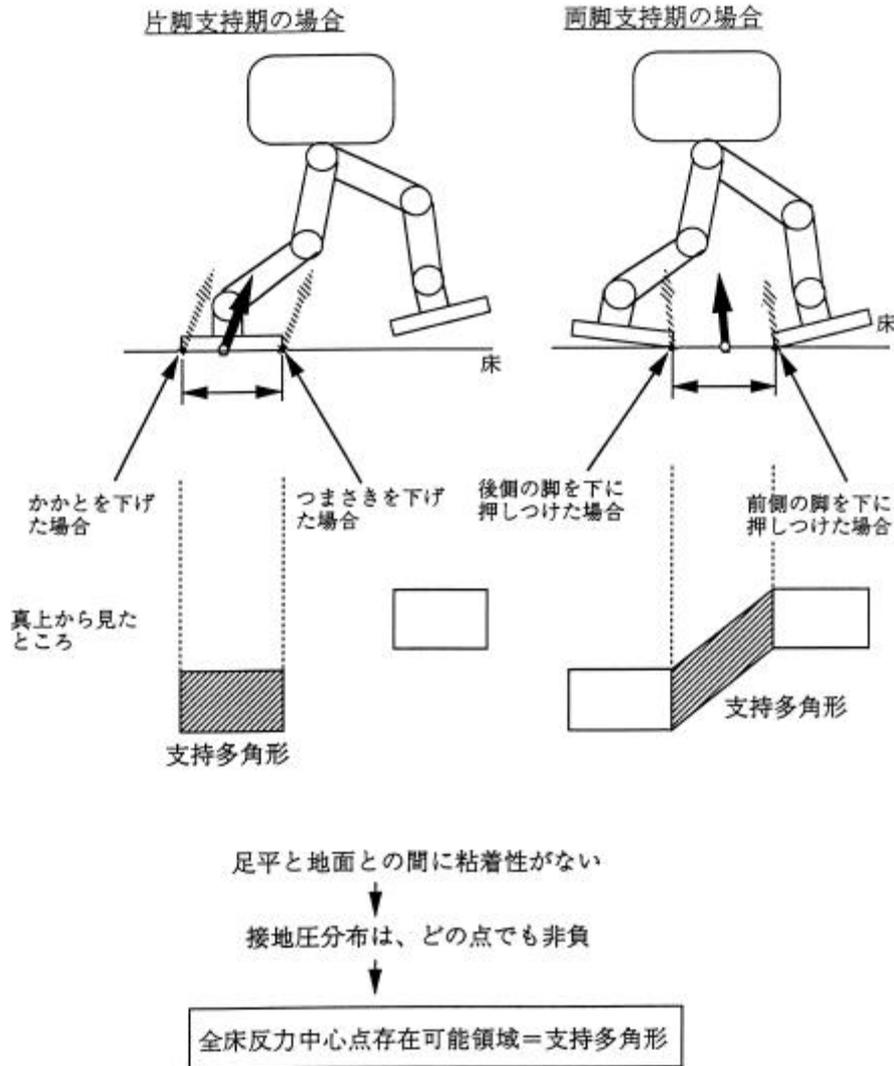
#### ロボットの目標歩行パターンのイロハ

ロボットの歩行のパターンですが、床反力作用点の軌道をつくり、それにバランスするような身体の動きをつくっていくのですが、床反力作用点というのはある限定された範囲でしか存在できない。片足の場合は、爪先で踏んだときでも爪先のいちばん前にしか行けませんし、踵で踏んだときだと、踵までしかいかない。足の接地面より外に床反力作用点を発生させるということはできません。

両足が着いているときは、前足と後ろ足の間あたりにしか存在できない。つまり、非常に狭い範囲でしかいつも存在できない。歩いているときには、ある時片足の接地面にあった床反力作用点が、次に足が着くと両足のあいだに来て、次にこの足が着くと、今度は前の足の領域というふうに徐々に移っていく。

## 支持多角形（実全床反力中心点の存在可能範囲）

### 1 質点ロボットの平面歩行の場合



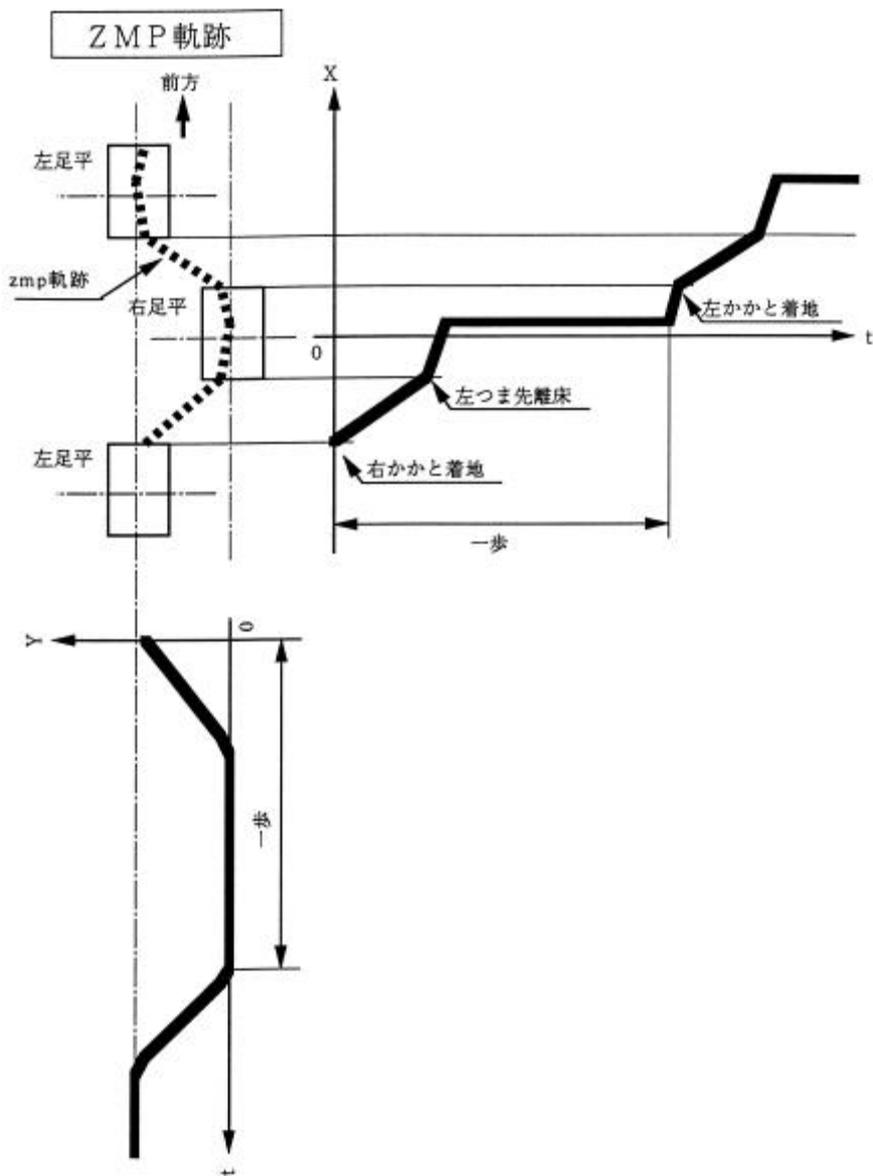
( 図 5 )

目標の歩行パターンは、このように移動する床反力作用点に ZMP が一致するように作られた身体運動なわけです。逆に言うと、身体運動によって発生する慣性力・重力の合力が床と交わる点である ZMP が、床反力作用点の存在可能範囲にあるように、目標歩行パターンは作られているわけです。

なぜ歩行が難しいかといいますと、こういう長い棒を手の平の上で立たせた状態を考えると、支点の部分が実は ZMP で、棒の先端の動きが上体の動きに相当するわけです。

たとえばここからそこまで移動したいというときは、支点の位置をうまくコントロールしてそこまで持っていかなければ棒は倒れてしまいますから、同じように、非常に微妙に

ZMP を動かさないでロボットは倒れてしまうことになる。そこが非常に難しいところなのです。



( 図 6 )

### 平坦な道しか歩けなかった E2 ロボット

では実際のロボットはどういうふうに動かしているかということなのですが、ロボットの研究は Honda では 86 年から始まっておりまして、私は 89 年 8 月に本田に入ってまいりました。このときにはすでに E2 というロボットが歩いていました。これは時速 1.2 キ

口で歩いていて、私が入社した日にいきなりそのロボットが歩いているのを見てびっくりしたのです。ひょっとしたら私の出番はないのかなと思ったのですが、そのロボットは非常に平坦な所、角度にして0.1度以内の水平面でしか歩けなかったのです。

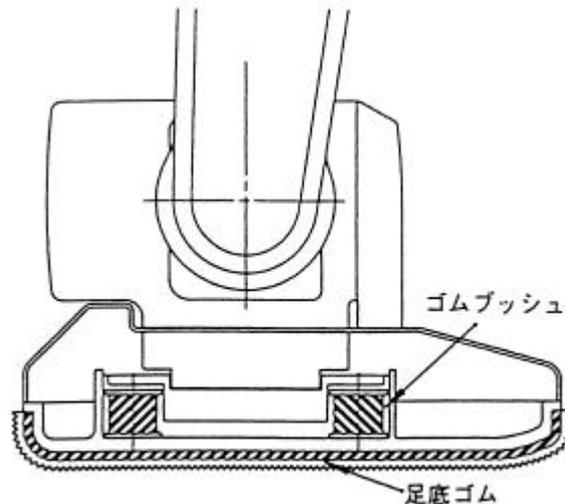
そのロボットはどういうふうに歩いているかといいますと、まず、あらかじめ理想の歩行の関節角パターンというのを、いろいろ試行錯誤してコンピュータで作っておきます。そのときにできたパターンを、まったくその通りに追従するように実際のロボットを動かす。一回プログラムしたらそのまま再現しているだけというものです。床が凸凹であろうが、何であろうが、初めに決めたとおりにしか動かないというロボットだったわけです。

このロボットの最大の欠点は、床反力のあばれにあります。ガチガチに設計されていたから、こういうロボットというのは、足がちょっとでも右下がりに傾いて斜めに床に着くと、足の右のエッジだけが床に触れるから、足の底の右のエッジの部分に集中的に床反力がボンと発生します。その次の瞬間は、本来、足の真ん中に床反力が発生しなければいけないのが右端に行くから、今度は左にストンと倒れてしまう。つまり非常にトリッキーな動きをしてしまう。

サイコロを地上の高い所から真っ直ぐ落として、垂直に上がってくるようにうまくできるかという、そうはいきません。サイコロはわずかでも角度が斜めに床に着くととんでもないほうに飛んでいきますが、それと同じで、このロボットも一歩着くたびに次にどっちに倒れてしまうかわからないという、予測不能なトリッキーなロボットになってしまったわけです。床が凸凹だと、それだけで影響されてコロんとひっくり返ってしまうから、このままでは将来普通の人間環境では歩けないだろうと思いました。

#### 発想の転換で可能になったスムーズ歩行

そこで設計の思想をガラッと変えました。それまでは足をガッチリ作っていたのですが、逆に足底をフニャフニャにしてしまうということを考えました。足の底にスポンジを貼りまして、足ひらの中に円柱状のゴムを入れたのです。



足部の構造

(図7)

例えば P3 の足の場合、円柱状のゴムが4コ入っています。要はグニャグニャにしてしまえば、床が凸凹でも床反力の変化はなくなるだろうというわけです。したがって、トリッキーな動きもなくなる。その代わりに、今度は座りが悪くなってしまふ。黙って立たせていたら倒れてしまふ。実はこれが研究室で大問題になりまして、こんなやり方では電源が切れたら立ってられないじゃないかということで猛反対を食らいまして、この方式はやるなという話になってしまったのです。

私としてはこれしか将来はないと思っていましたから、これを続けるしかなかった。そこで、結局、黙ってやってしまったということです。密造酒研究ともいわれていますが、表でなくて裏でこっそりやっていたのです。ただ、これは室長も実は知っていて、黙認してくれていたということがあります。

こういうロボットですから、バランスを崩すことが多いというので、傾斜計を載せまして、傾いたら傾きに応じて足首を曲げてやる。前に倒れそうになったら爪先を下げてやる。そうしたら、足底はグニャグニャでもバランスがとれるでしょうということなのです。そういうロボットでようやく少々の凸凹でも歩けるようになったわけです。

(ビデオ上映)

これが E0 といいまして、1歩30秒で非常にゆっくり歩いています。このときは足はガチガチにできていましたが、これだけゆっくり歩いていますから、衝撃も何も発生しませんでしたので、なんとか歩いていたというところでした。

これは1歩5秒ぐらいまでが可能になりました。

次がE2といって私が入ってきたころのロボットです。時速1.2キロですが、まだガチガチの足でした。アルミの定盤でしか歩けません。これがE4で時速4.7キロで歩いているところです。このときはすでに足ひらに円柱ゴムを入れてやりまして、何とかこれぐらい歩けるようになりました。

両側におもりを40キロずつ載せ、微妙に床に凸凹を張りましたが、それでも歩けるようになりました。これは足ひらにゴムを入れない場合のE3による歩行です。ほんの少しの凸凹があると、いとも簡単に倒れてしまいます。どれだけ凸凹に弱いかわかります。

ところが、ゴム物質を入れるようになり、何とか階段も下りられるようになりました。実はこの階段はすごく精度のいい階段で、1段ずつ定盤並みの精度でできている階段です。斜面も知っている角度の斜面なので楽に歩けるし、跨ぎもできます。ただまだグラグラしているわけで、初期段階の制御ではこういう状況でした。

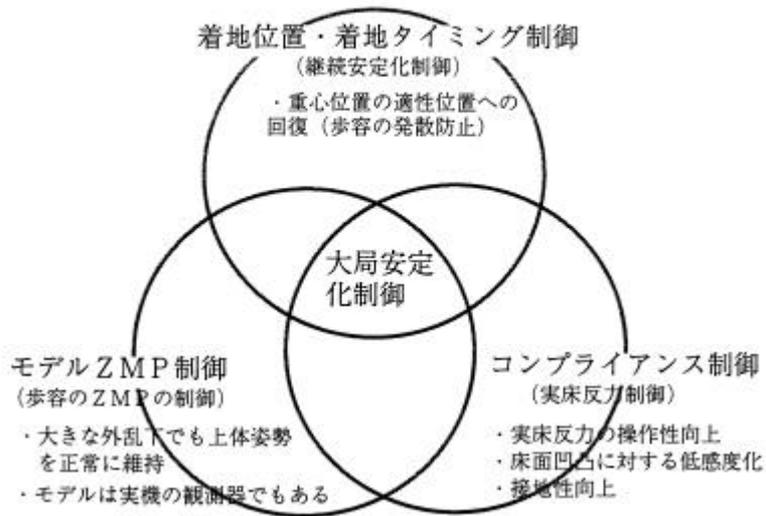
#### 人間並みの姿勢安定化動作が可能に

これで1センチぐらいの段差までは歩けるようになりましたが、それを超えるとやはりコテンと倒れてしまう。したがって、オフィスでは使えるけれども、まだまだ外では使えないというレベルでした。

私としてはこれで満足がいなくて、人間のような姿勢安定化動作ができないかということを考えました。人間というのは、歩行中とか立っているときに倒れそうになると、最初は足裏を床に押しつけて踏ん張り、例えば前に倒れそうになると爪先で踏ん張る。それでも堪えきれなくなると、思わず足がパッと出るわけで、それを実現してやるうじゃないかということなのです。

そこでずっと食堂で考えていました。食堂といっても遊んでいるわけではなくて、Hondaの場合は、食堂というのは会議室なのです。前は理化学研究所なのですが、外を見ながら理研の揺れる木を見ながらいろいろ考えていたわけです。そこで、3大要素技術とありますが、三つの技術からできる制御体系というものを造りだしました。

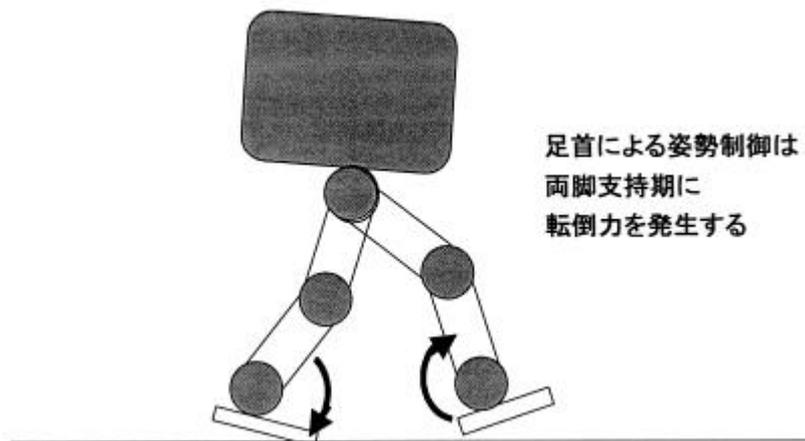
三大要素技術



( 図 8 )

コンプライアンス制御で姿勢を復元する

一つは、コンプライアンス制御技術です。先ほどのは足首だけで凸凹を吸収してバランスをとっていたのですが、それを発展させたものです。足首だけをコントロールする方式というのは、実は大きな問題点があったのです。片足で立っているときは、前に倒れそうになったら爪先を下げて、それでバランスはたしかにとれるのですが、歩行中には両足が着いている瞬間というのもありまして、そのときにいまの制御がかえって悪さをしてしまうのです。



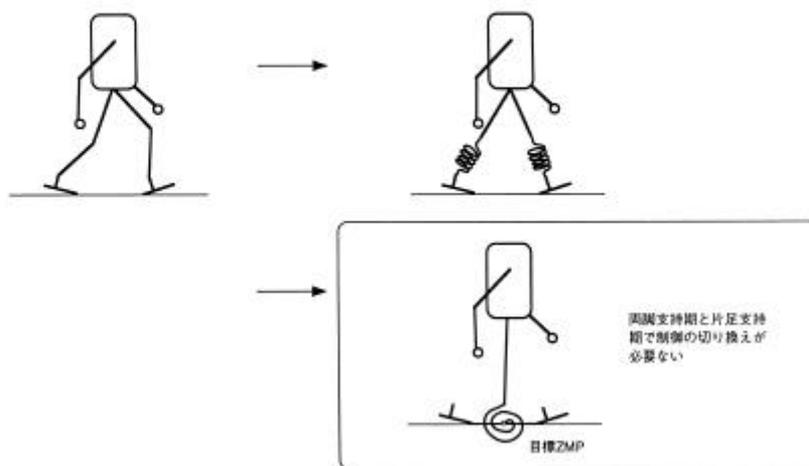
( 図 9 )

例えば前に倒れそうになって両足首を爪先を下げると、前の足の踵は上がってしまう。後ろの足は爪先が下がってしまう。そうすると、後ろの足が床を強く蹴って、前の足が蹴らなくなってしまいますから、前に倒れそうという床反力が発生してしまって、前に倒れそうな上体が尚更前に倒れてしまうという悪さをする結果になってしまったのです。

歩いているときというのは、両足が地に着いているときは 20% ぐらいで、片足が地に着いているときは 80% ぐらいですから、80% の時間で姿勢を復元して、残りの 20% でまた崩れる。ただ 80% あるから一応バランスをとっていたということだったのです。

これがなんとかならないかということで考えたのが、これから説明する非常に単純な方式です。足を 1 個 1 個バラバラに動かすから問題だということで、目標 ZMP すなわち目標の床反力作用点回りに両足を一緒に回してしまおう。サーファーがサーフボードを傾けるような動作をしてバランスをとるようにしたわけです。そうすると、両足が着いているときも片足が着いているときもまったく同様に簡単にバランスをとることができるようになり、変な悪さはしなくなりました。

剛コンプライアンスの等価機構



( 図 1 0 )

そういうのがいまのロボットも入ってしまっていて、床が凸凹だと目標 ZMP 回りのモーメントが ZMP の定義通りゼロにならなくてはなりませんから、常にゼロになるようにコントロールしている。前が出っ張っていたら前からグンとモーメントを受けてしまうのだけれども、それを吸収するように前足を浮かして後ろが下がるように目標 ZMP を中心に回転させる。それで床の凸凹は吸収しているのですが、さらに上体が傾いたら、意図的に後

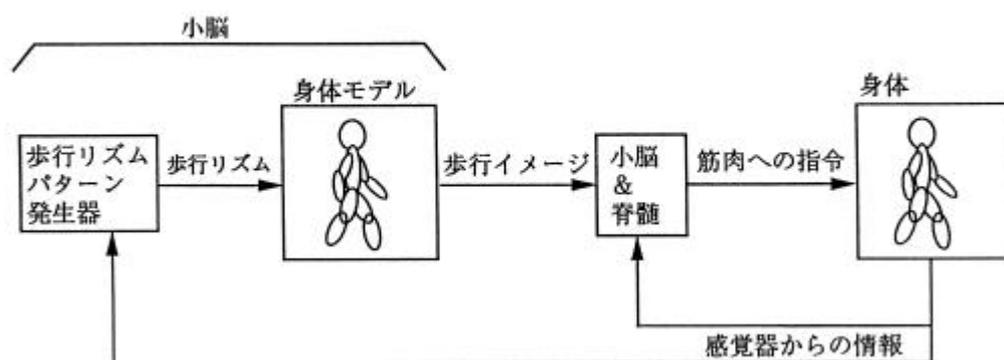
るを下げ前を上げるということで、目標ZMPまわりに故意にモーメントを発生させて、姿勢を復元させるということをやっています。「アシモ」や P3、P2 は4センチぐらいの段差まで歩けるのですが、実はほとんどこの制御の能力で歩くことができています。

やや専門的になりますが、こういうことをやると、実際は複雑なロボットというのは単なる倒立振子といいまして、1個の支点があって、こうやって上におもりがあるものが倒れていくだけの単純なモデルにされてしまうということなのです。腕を動かしたら足をどう動かさなければいけないとか、いろいろな問題があるわけですが、実は足は実にシンプルになってしまうので、どんな複雑な制御でも簡単にできてしまうということなのです。ですから、「アシモ」はダンスをしたりして手を振っても倒れませんし、P2 も台車などを押しても平気なのです。

モデル ZMP 制御でさらに細かい動きを可能に

次に話すこの技術はちょっとほかにはない変わったやり方です。これがいわゆる「オットット」に相当するものなのですが、普通考えている常識とは違っていています。前に倒れそうになると、遠くに足を着けると、遠くに着けたことで、遠くから床反力を受けるから起き上がってくるのだと思っておられる方が多いのですが、実はそうではないのです。

### 人間の歩行の概念図



(図11)

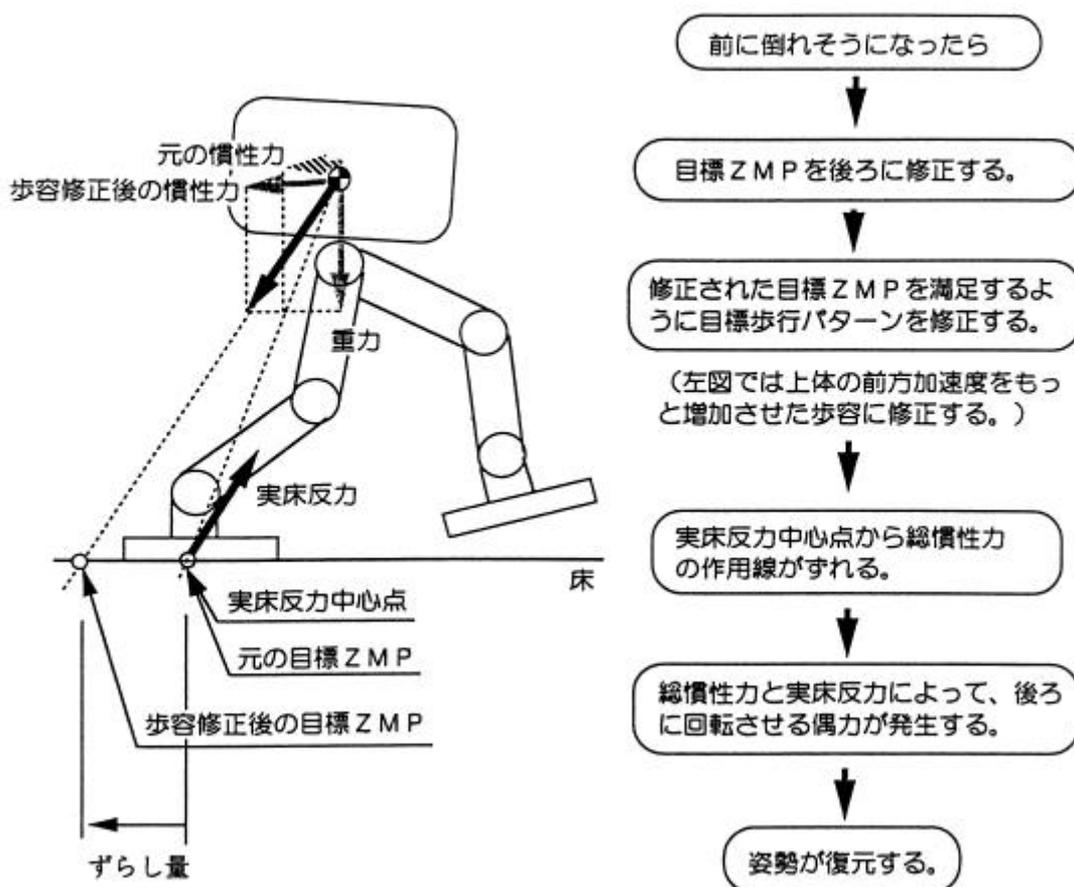
人間というのは、頭の中にリズムパターンを発生するものが何かあるらしい。そして、頭の中に何か歩行イメージを持っているらしい。その歩行イメージに沿って自分の体を、

小脳とか脊髄を使ってそのイメージに一致するように動かしていく。そういうループができていたらしいのです。

先ほどまでの制御というのは、ここから先（上記ループ部分）と同じだったのですが、今度は大もとに返すのをやってみようではないかということです。つまりそれは、大もとの理想のイメージ自身を書き換えてしまおうということなのです。

実際にどうやっているかといいますと、普通に歩いていて、中のイメージからずれて実際のロボットが前に倒れてきたとき、中のイメージの上体を前方に加速してしまう。そうすると、電車で立っていて電車が加速すると後ろに倒す力を受けるのと同じ原理で、ロボットの体が起き上がってくるというものなのです。

### モデルZMP制御アルゴリズムと上体姿勢復元原理



(図12)

重力・慣性力の合力は、重心のあたりに作用していますので、ロボットが前に倒れてきた場合、重心が前にずれ、合力も前にずれます。この結果、合力と床反力のずれが生じ、

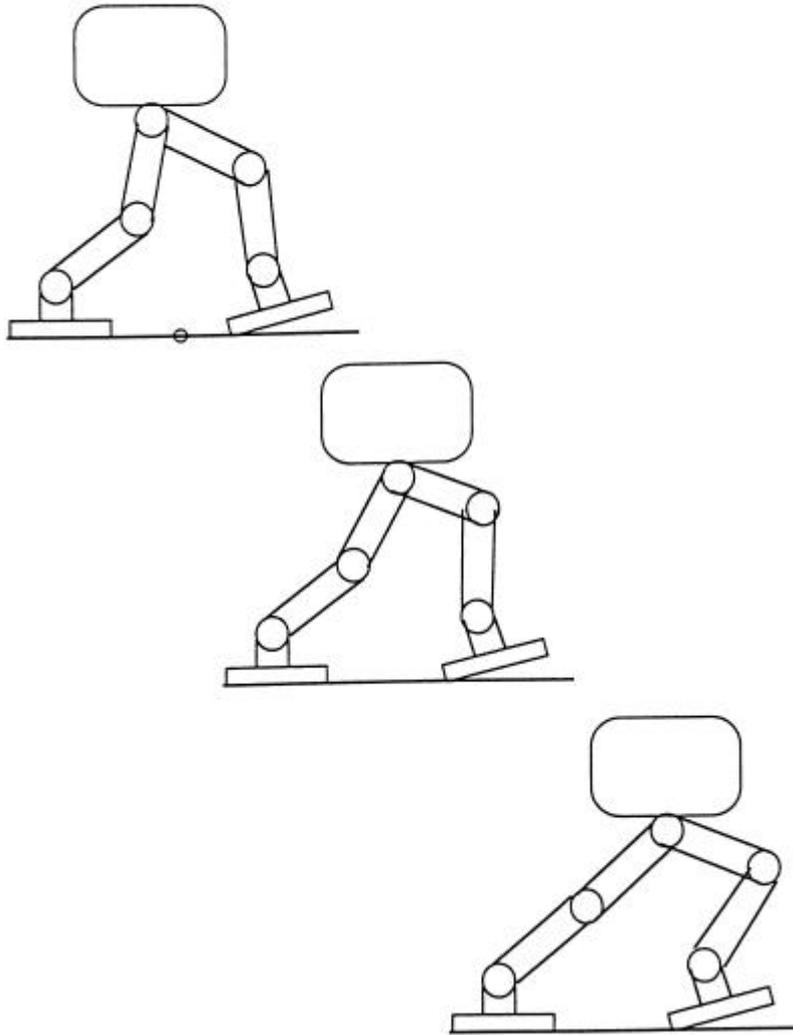
これにより前に倒す偶力が働き、ますます前に倒れてしまうので何とかしなければならない。そのときに、上体の動きをさらに前に強く加速してやる。そうすると、パターンを修正した後の慣性力というのは大きくなるから、この慣性力と重力の合力が、それまでよりも後ろに向くようになる。

床反力のほうは、先ほどのコンプライアンス制御というのが働いていますから、常にここに(目標 ZMP)床反力が作用するように制御されているわけです。そうすると、床反力はここに(目標 ZMP)働いて、慣性力と重力の合力はこういう向きに(重心から目標 ZMP の後ろの方に)働きますから、ここで床反力と合力の間にズレが発生する。それによって起き上がるモーメント(偶力)が発生するというものです。これが「モデル ZMP 制御」と言っているものなのです。結局、前に倒れそうになったら、もっと積極的に前に倒れなさいというふうな、ちょっと変わった制御です。

#### 着地位置制御で理想的な位置関係を維持する

もうひとつ、着地位置制御というのがあります。先程のモデル ZMP 制御をやっていくと、上体が前に倒れそうになると頭の中のイメージをグンと前に加速してしまいますから、頭の中のイメージでは足に対して上体がどんどん前に行ってしまい、足だけ取り残されてしまう。それでも上体はちゃんと垂直を保っているので、変な姿勢になってしまいます。このまま歩きつづけることはできません。

## 着地位置修正がない場合



( 図 1 3 )

そのときにどうするかというと、歩幅を大きくする訳です。これでまたイメージが元の姿勢に戻ってくるわけです。歩幅を変えるというのは、頭の中のイメージが変な格好になるのを防いでいるということなのです。自分の体が本当に倒れているのを防いでいるわけではない。そういうちょっと変わった意味合いでできているということです。

裏でコッソリやっていた研究が脚光を浴びることに

こういう理論をずっと食堂で考えていまして、頭の中では「できたッ」という感じにな

ったものですから、実現したいということになったのですが、ここでまた問題点が出てきました。

E4 のところで、足ひらのゴムと足首制御だけで1センチぐらいの段差まで歩けるようになったわけですが、これでオフィス内では仕事ができるだろうということになりました。そこで私の所の研究室は、「脚制御は技術開発が完了しました」と所長に対し研究完了宣言をしてしまったわけです。次は腕の時代だということになり、脚の制御がいっさいできなくなりました。

そのころ私は先程の新理論の構想を固めつつあったので、私としてはこれでまた大変だということになったのですが、その後私はどういう行動を取っていたかといいますと、確かに腕の制御の実験をしたのですが、この実験をしながら、実は脚のコンプライアンス制御の研究をやっていた。腕の制御の実験と見せかけて脚の実験をやっていたということなのです。

つまり、裏でまたやっていたのですが、そのとき所長がやってきまして「ところで脚の研究はどうなったんだ」という話が出ました。「実はみんな腕をやっている脚はだれもやっていませんよ」ということで大事になったのですが、そのときに「実は私が裏でやっていることがあります」と言ったところ急遽脚光を浴びまして、じゃあ表舞台に出てちゃんとやってみるということになり、半年間猶予をもらいました。そして、その間、2人メンバーを付けてやるからちゃんと実現しろということになり、その間かけて E6 に新しい理論を入れまして、歩行を実現させることになったわけです。

#### 姿勢制御が可能になるまでのロボット開発の歩み

それから2年ちょっと後の96年にP2で世の中にビデオ発表というかたちになったわけですが、これがどのように動いているかをビデオでご覧いただきます。

(ビデオ上映)

P1と言っていますが、このロボットに新しい制御を入れました。このときはまだ脚と腕を協調して動かすというのをやっていませんで、腕が勝手に動いて脚は勝手にバランスをとっているという時代でした。

鍵を開けている動作をしていまして、次にノブを引っ張りますが、上体がグラッと前に傾いてしまうのです。脚腕協調ができていないので傾いてしまうのです。これを数kgぐら

いで引っ張ると前に倒れてしまいます。いまのロボットではそういうことはありません。

それで、86年12月に世の中に発表したのがこのビデオです。これはHondaの研究所のデザインセンターの中です。普段は新車がいっぱいあるのですが、そのときだけ全部空けてもらいまして実験をやっています。けっこう真っ直ぐ歩かせるのが大変で、モップで床面をきれいに拭いて、あとどのくらい曲がるかという曲がり具合を読んで、私が立ち位置をセッティングして撮影をしました。

これもソファが80万円するから気をつけてくれと言われて、かなり緊張してやった実験です(笑)。

このときはじめて上のチェーンを取ってしまいました。いまの「アシモ」ではもっと自由自在に歩けるのですが、このときの自在歩行と言っていたのはベタ足で歩くものしかできませんでした。これでも結構大変でしたが、一応ベタ足なら自由自在に歩きましたという程度のものでした。ただ、一步の時間も一定でしかできませんで、そんなに自由ではなかったのです。

今度は凸凹でも歩けますよというデモンストレーションです。片斜面でも平気で歩けます。やや跳ねていますけれども、まあ歩けるということです。床の形を常に把握できる。足首の下に荷重センサーが付いていて、コンプライアンス制御で常に床になじむように制御されているということです。

これ(屈伸のシーン)はただ膝が曲がりますと言っているだけで、技術的な話は何もありません。

ここ(床を傾けているシーン)からが姿勢制御です。目標ZMPを中心に両足を回転させるというのはまさにこれであります。サーフボードを傾けているような動きをしているわけです。これで床の凸凹を吸収できるようになりました。

これ(ロボットの手先を人が前から押すシーン)は脚腕協調で、前から腕を押すと重心を前に出してきてバランスをとっています。これ(立っているロボットの上体を人が前から押すシーン)がモデルZMP制御、すなわち「オットット」というやつで、最初踏ん張ってこらえていますが限界を越えると足が出てくる。このとき実は上体を後ろに加速しています。後ろに加速してバランスをとっているわけで、そうすると、上体が行き過ぎてしまうから思わず足が出ているという構図なのです。バランスをとるために足を出しているのではないわけで、これはちょっと逆転発想になっています。

これらの技術を少し複雑に組み合わせますと台車を押すこともできます。しかも、単な

るルーティンワークでなくて、臨機応変に対処できます。私が台車の動きの邪魔をすると、その場で足踏みをしながら待っています。無理をしないで適当に押していて、放されるとまた押していくということができます。べつにプログラムを組まなくても勝手にこういう動きが出てくるということです。

（遠隔操縦のシーン）遠隔操縦もできるということです。実は、このときは力のフィードバックがなくて、操作者のほうには力は返ってこなかったのです。ではなぜバルブが回せるかといいますと、変な力かけるとロボットが傾くわけです。それを映像で見ている、あ、傾いちゃったから無理な力が出たなということで、それで力を感じなくとも視覚で修正できちゃったというところでもあります。

階段の場合も、足ひらを斜めにエッジにぶつけて、その位置を認識しながら上がっていく。荷重センサーの出力を見て、どれぐらいのところを踏んでいるかを見ているのです。足の裏に分布圧センサーが付いているわけではありません。同じ歩き方を繰り返しているように見えますが、実は一步一步歩幅が違うわけで、微妙に調整しながら歩いているのです。

いよいよ自在歩行が実現、「アシモ」誕生！

このようなことで姿勢制御は基礎的な技術ができたということで、次は自在歩行という方向に進んでいきました。P3 改良機という、去年NHKで出たのですが、腰が上下するという新しい軸が入ったもので、自在歩行の基礎を研究していきました。

2000年10月31日に「アシモ」誕生となり、この日にはじめて歩いたのです。そして11月20日に技術発表をしました。世の中にはこの日と決めておいて発表するということを用意していたのですが、そのとき、実は「アシモ」は歩いていなかったのです。もう時間がないということで必死になってやっていたのですが、かなり焦りました。あと20日しかないというときにやっと歩きました。

これは歩いたといっても、その場で一歩ポッポッと歩いただけなので、これからいろいろな演技をさせなければいけないということで、この20日間で非常に大変でした。

11月23～26日に開催された＜ロボテックス＞で一般のお客さん向けに見せまして、そのあと12月に＜紅白歌合戦＞に出演したわけです。

（ビデオ上映）

「アシモ」の技術発表当日のビデオです。

実は発表の朝にロボットが壊れまして、直前まで対処に追われましてよく間に合ったという感じで、最初の予定とはかなり違う内容でデモを始めています。

歩行速度を自在に変えられるところをやっていますが、私は、この日、ロボットデモの総指揮官をやっていました。朝、壊れてしまったので、シナリオを全部書き直して、何事もなかったように皆さんにはお見せしています。

従来と違うところは、一步一步の周期が自由自在に変えられることです。(周期可変歩行シーン) 1歩 0.9 秒ぐらいから 1歩 0.5 秒ぐらいまで縮めまして、最後 1歩 2 秒という、非常にゆっくりした歩きまでできます。ほとんど止まったような歩きまで自由自在にできるようになりました。このへんはたぶん人間よりも得意だろうと思います。

8の字歩行もできます。このロボットは、将来どっちに歩こうかということを示しておくと、そちらに行くためには、あらかじめどれぐらい重心を内側に倒し込んでおけばいいかというのを、リアルタイムに計算しながら歩いているのです。

自転車でもそうですが、真っ直ぐ走っていていきなりハンドルだけ右に倒したら左に倒れてしまいます。ちゃんと右側に体重を倒し込んでから右にハンドルを切るというのをやるのですが、このロボットも同じような歩行をやりまして、あらかじめ体重を行きたいほうに倒し込んでから曲がっていくことをやっているのです。そういう仕組みなので、携帯コントローラーでリアルタイムに歩行パターンを生成しながら歩くことができます。

こうやって自由自在に歩かすことができるのですが、できて間もないですから、扱いもじゅうぶん慣れていないわけです。このデモンストレーションでは、最後、狭い所を帰っていかなければいけないというので操縦者にかなりプレッシャーがあったようです。

最後にお辞儀をしています。このときも、ちゃんと腰が後ろに下がってバランスをとっています。これは小笠原流のお辞儀だそうで、角度をかなりこだわって造っております。

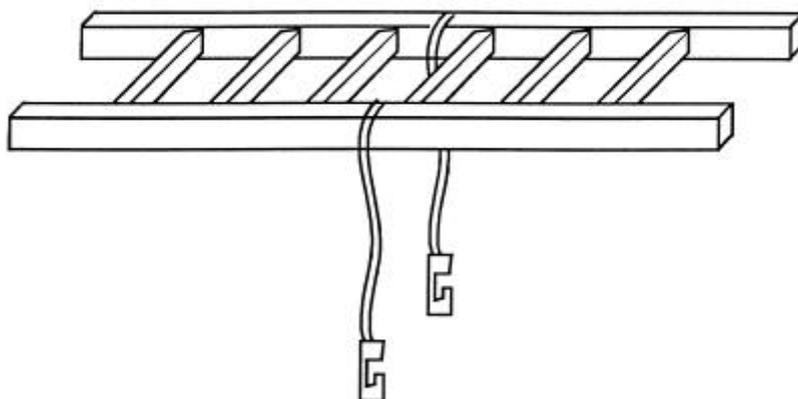
CMや<紅白歌合戦>での活躍の裏には苦労が

コマーシャルに使われたものですが、実は床は発泡スチロールでブカブカです。それでもちゃんとバランスをとっています。私が操縦しているのですが、女の子にタイミングを合わせるのは非常に難しかったです。1日何十回とフィルムを撮ったのですが、最初のころにやったものがいちばん初々しい感じだということで、最初の何回目かのものを採用し

ました。

<紅白>をご覧になった方も多いと思いますが、「アシモ」は白組の控室にいて出番までずっと待っていました。本番になると、そこから楽屋裏の細い通路を通過してステージの脇まで来なければいけないのですが、そこがむちゃくちゃ狭い。しかも、床にケーブルが無数にあるわけで、とても歩くことはできないし、台車も転がせないという状況でした。これはどうやって運ぼうかということになって、結局採用された方式がハシゴでした。担ぎ手が前後にいて真ん中に「アシモ」をぶら下げるといって、お猿の籠屋方式で担ぎました。

## はしご



(図14)

私が先導者で行き、担ぎ手・「アシモ」・担ぎ手という順で動きました。無線で動いていますから、無線用のアンテナを持っていないから、アンテナを持つ係が1人、ケーブルが50メートルぐらいあって、それを出す人が数人後ろにずっと並んでいるということで大名行列になりまして、9時50分過ぎが本番だったのですが、その20分前ぐらい前に大名行列でステージの裏まで移動していったということです。

ステージの脇では横を向いていまして、真ん中にズーッと歩いて行って、90度向きを変えて前に出てくるという具合になっているのです。ロボットにも癖があって曲がったりしますので、夜中じゅうにいろいろ調整しまして向きを合わせました。これぐらい曲げておけばたぶん真ん中に行くだろうということ、夜中のリハーサルで調べておいて、その角度に私が当日に合わせて出番を待っていたということなのです。

(ビデオ上映)

NHKには12月28日から詰めていまして、夜中やっては実験を繰り返しました。1日3回実験して3回寝るということを繰り返していたら、いったい今日は何日なんだろうと毎日訳が分からなくなっていました。紙吹雪が落ちているところを歩かせるので、私は紙吹雪を一生懸命掻き集めたりしています。そして、SMAPが歌っているときに、せり上がりの真ん中で「アシモ」がせり上がり上下に揺れるために若干ピョンピョン飛び跳ねながらダンスをしているわけで、ちゃんと真ん中に立っていないと危ないですからけっこうヒヤヒヤものでした。

こうやって6000万人の前での出番を無事に終わったということです。

人間がより活動的・創造的になるためのロボットを目指して

ロボットとしては足首の柔軟構造とか、三つの制御(モデルZMP制御、着地位置制御、コンプライアンス制御)で人間ばいバランスをとる能力が実現できました。あとは「アシモ」で自在歩行というのが入ってきたということです。

今後どんなロボットを目指すかということですが、このへんがHondaの悩みの種でもありまして、いまだに結論は出ていません。私が思うには、ロボットを奴隷みたいに扱いたくないなということです。ただ便利な機械というふうに使っていくと、人間が墮落してしまうだろう。そういうものでなくて、もっと人間がより活動的になって、より創造的になるような存在にしていきたいと思っています。