

2012 年度第 6 回物学研究会レポート

「バランスコントロールが映すヒューマノイドロボットの美学と未来」

玄 相昊氏

(立命館大学工学部ロボティクス学科准教授、ART脳情報研究所客員研究員)

2012 年 9 月 18 日



BUTSUHOAKU  
物学研究会  
SOCIETY OF RESEARCH & DESIGN

9月の物学研究会は、ヒューマノイドロボットの可能性を探求する科学者、立命館大学工学部准教授、玄 相昊（げん・そうこう）さんです。

玄さんの視点のユニークさは、ヒューマノイドロボットをテクノロジーとエンジニアリングだけでなく、美しさや楽しさなどの感性からもとらえていること。サイエンスとアートの融合を目指すデザイン的な視座にあります。今回は「バランスコントロールが映すヒューマノイドロボットの美学と未来」と題し、最先端のヒューマノイドロボット論を語っていただきました。以下、サマリーです。

## バランスコントロールが映す

## ヒューマノイドロボットの美学と未来

### 玄 相昊 氏

(立命館大学工学部ロボティクス学科准教授、  
ART脳情報研究所客員研究員)



01：玄 相昊氏

お招きいただき、ありがとうございます。普段は学会で話すくらいなので、今日はまったく分野の違う、デザイナーの方がたくさんいらっしゃるということで緊張しています。今日は私がどんな思いで研究しているかをお伝えし、皆さんからフィードバックをいただき私自身が学ぶつもりで来ました。よろしくお願ひします。

今日は、ヒューマノイドロボット研究に関する、美学、近代史、価値という3つのテーマについて話します。美学とはなぜ私がヒューマノイドロボットを研究しているのかという理由について、近代史とは私がヒューマノイドロボットと歩いてきた経緯の話、価値はヒューマノイドロボットに関する今の研究がどんな価値を持っているかについてです。

### 1. ヒューマノイドロボット研究の美学とは

早稲田の大学院に入った1996年からの15年間にヒューマノイド研究で著名な大学と研究所に身を置き、ヒューマノイドロボットに関して学んだ技術や自らの経験を自分の中に蓄えてきました。最も自慢できる仕事は2009年のIEEEのロボット国際会議で発表した、油圧式ヒューマノイドロボットのバランス制御です。優れている点はバランスを取れることで、どこを押しても足を動かしたりしながら、ちゃんと平衡を保つ。たったこれだけ？と思われるかもしれませんが、ここに至るまで相当な時間がかかりました。しかも、研究はこれで終

わったわけではありません。

人は何気なくバランスを制御していますが、実はとても複雑なメカニズムで行われており、これをロボットで実現するのはとても難しい。私たちは人間のメカニズムから学ぶことがたくさんあります。たとえば、人が片足を上げてバランスを取るとき 100 個以上の筋肉を微妙に動かして行います。同じバランスでも、手のひらの上に箸を立たせる動作よりも、桁違いに難易度が高いです。

また、電車の中で立っている場面を想像していただくとわかりますが、人は無意識でも揺れを感じて、まずは足首で踏ん張り、もう少し強い揺れには足を踏み出します。腰を前後に動かしてバランスを取ろうとすることもあります。揺れが強くなると、意識のほとんどを転倒回避へと向け、人間の体はものすごいスピードで動いて対応します。このように人は、無意識と意識を行ったり来たりしながら揺れに対応しています。

なぜ無意識でも対応できるかそのメカニズムについて、肘の関節を例に説明します。一つの関節の両側には大きな筋肉の組が一つずつ付いていて、手でおもりを持つとそれぞれの筋肉が引っ張り合って支えます。このとき脳はおもりの重さを感知し、最も楽になるような筋肉の指令を与えます。ところが、おもりをこっそりもう一つ増やすと、突然の変化に脳は対応できませんが、二つの筋肉はバネに相当する復元力を発揮して、脳の指示を待たずに支えます。脳が運動指令を再計算するまでの時間の遅れを、筋肉が勝手にカバーするというメカニズムを人間は持っているのです。ほんの一例ですが、こうしたメカニズムが姿勢制御にもあって、それらをロボットに応用できます。

また、バランスの制御にはさまざまな感覚（センサ）も機能しています。たとえば、人は目を開けているときのバランス制御は視覚に頼っているし、閉じているときは前庭器官、つまり三半規管や耳石に頼ります。また、いずれの場合も、関節の動きや皮膚の感覚など体性感覚も利用しています。また、指先 1 本で壁を触るだけでもバランスは安定します。実は触覚は視覚と全く同じ働きをしている、といった仮説を立てて、ロボットを使って調査しています。

このように、自分の体の動きを観察するだけで、ロボットに応用できるのではないかといろいろなインスピレーションが生まれる点はヒューマノイドロボット研究の面白い点ですが、同時にとても大変です。「人間に近づける」という目標だけが先行していて、ハードウェアも理論も確立されていないからです。

このヒューマノイドが我々の生活に入ってくるかということ、私には全く想像できません。なぜなら、バランスが解決されていないからです。人の動きの基本はバランスとよく言われますが、バランスが 9 割と言いきっても良いと思うのです。そして、ロボットにもそれが求められますが、現在の技術レベルは全く不十分です。ただ、逆に、もしバランス制御さえできれば、その他の課題はあっというまにできてしまうのではないかと予想しています。私ももっとしっかり研究しなければと思っています。

では、私がロボットのどこに美しさを感じるかお話をさせてください。バランスは他の運動

よりもはるかに大切です。赤ちゃんなら転倒してもたいしたことにはなりません、老人の場合、寝たきりになる原因の3割が転倒と言われており、転倒予防とリハビリは現代医療の重要課題です。さて、ここに米軍のロボットのYouTube動画があります。このロボットに使われている制御は転倒する方向に足を出し続けるという比較的単純な制御だと言われていいますが、この動きを見ていると、まるでロボットに魂が宿っていると思える瞬間があります。決して整然と歩いているときではなく、不恰好に足を滑らせながらもがいているときです。なぜそう思うのか、という点が重要です。私は生物の基本的で単純な生存欲を満たすための行為が最も生物を連想させると思っています。人も動物も同じですが、転倒すれば恥ずかしい、怪我もすれば死に至ることもあります。それを回避しようと必死になる様は生物そのものです。不安定の境界から無事に生還すれば喜び、自信、そして経験になります。その姿に自分が美を感じているのではないか、そしてロボットに対してはある種の気持ち悪さや嫌悪感を覚えるのではないか、と思っています。それを確かめたいがためにバランス制御にこだわっています。

まとめますと、ここでいう「美学」とは、ヒューマノイドロボットのどんな点に美しさを感じるかという意味での美学になります。1つはバランスという単純な目的、2つ目はそこから必然的に生まれる体の動き、3つ目がその動きを見て、美しいか美しくないかを、自分の手で作ったロボットで探りたい。ここに最大の魅力を感じて、私はロボットの研究をしています。

これに関連して、私が今非常に興味をもっている命題があります。それは「ロボット三原則」に関係することです。第1条がロボットは人間に危害を加えてはならない。また、その危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。第2条は、ロボットは人間に与えられた命令に服従しなければならない。ただし、与えられた命令が、第1条に反する場合は、この限りでない。そして、第3条が、ロボットは第1条および第2条に反する恐れのない限り、自己を守らなければならない、という三原則です。

この中で第3条は、意外に見過ごされているけれど、実はこれが最も大事じゃないのかと。自己を守らなければ、命令を遂行できませんから。だから、命令されたらボンと突っ込んでいく軍用ロボットは第1条と第3条の両方でロボット失格です。さて、人間は倒れるとき大切な部分を守りながら倒れます。果たしてロボットにこれができるか。ここを真剣に考えれば、ロボット工学に新しい風が吹いてくるような気がしますし、ロボットの作り方そのものが大きく変わってくるのではないかと感じています。今後の研究テーマの主軸にとらえていきたいと思っています。

## 2. ヒューマノイドロボット研究に関する近代史

続いて、2つ目のテーマですが、これは私自身の研究の歩みのお話です。私の過去15年間の研究人生は、ホンダのロボット登場から最近の米軍のロボット登場までの時間と重なっており、ヒューマノイドロボットの発展史を直接肌で感じてきました。

(省略)

### 3. ヒューマノイドロボット研究の価値

今私が行っていることをざっとご紹介したいと思います。先ほど油圧式のロボットを紹介しましたが、まだまだスピードは遅いし、重たいし、故障も多く、実用化は難しい状況です。また、映画などのように、ヒューマノイドロボットが普及した社会がくるかという点、それはないだろうと私自身は思っています。第一、こういうロボットがうろうろしていたら邪魔だと思えます。

では、ヒューマノイドロボットの価値とは何でしょうか？ 私は、ヒューマノイドロボットには「3つの顔」があると思っています。1つは人間の認知と行動のサイエンスを探求するための最適な実験用模擬身体だということ。バランス制御はその一例です。次に、次世代ロボットの開発に関する重要な技術課題を解決するための最高のテストベンチであること。最後に、大学でのロボット工学教育の最良の教材であること、の3つです。端的に表現すれば、「人の創造性を解放する魔法の道具である」といいたいです。

この2番目に関する例として、アシストロボットが挙げられます。これは人の運動をアシストするもので、人がロボットを着て使います。筑波大学で開発された HAL というロボットスーツが有名です。ATR で開発されたロボットは、油圧式ヒューマノイドロボットと同じような柔軟な力制御の機能が付加されていて、どんな体勢であってもアシストでき、バランスのアシストさえできます。ヒューマノイドロボットの制御技術がそのまま使える端的な例です。まだ始まったばかりで、今後の発展が期待される研究です。

ロボット開発で私が重要視している技術が主に3つあります。まずは油圧です。15年来の友人で経験豊富なエンジニアからいろいろ教わっています。コンパクトでも簡単に強い力が出るので、ヒューマノイドロボットに向いています。また、応答性が高いのでセンサをうまく使えば、人間がほとんど抵抗を感じないほど滑らかに力を制御できるなど多くの特長があります。油圧の研究をリードしているのはアメリカで、Compact and Efficient というスローガンで国をあげて技術開発が進んでいるのに対し、日本は油圧のエンジニアが不足しています。

2つ目は力制御の技術です。環境に対する柔軟性や適応性から、人からロボットへの教示による知能化に向いています。3つ目は材料です。今、とてもいい材料が出てきているため、ロボット本体の大幅な軽量化が可能になりつつあります。私は材料の専門ではありませんが、企業から協力を得て進めています。3つの技術を組み合わせることで、今後、いろんな高性能なロボットが作れるだろうと期待しています。

こうした技術をベースとして、私は現在、2つのことに取り組んでいます。1つは軽量で壊れにくく、学習するヒューマノイドロボットの開発です。1本脚からはじめ、2本脚のロボットが完成しました。2本脚ができれば4本脚にすることも簡単。この先が楽しみです。また、せっかく油圧を使うので、屋外で活躍する油圧ショベルや作業支援用ロボットの研究も進めています。友人や企業から協力を得ながら進めています。

もう一つ、力を入れている取り組みは、ロボット工学に関する教育を変えていくことです。

日本は産業ロボットについては世界レベルですが、それ以外のロボットはなかなか開花していないのが実情です。もっと多くの学生に最先端のロボット開発に取り組んでほしいし、その教育方法論を提案していきたいと思っています。

たとえば、私の研究室には油圧ロボットを作るために必要な道具が揃っています。それを使って高性能なロボットが作れて、数年頑張れば誰でも世界デビューが果たせるという希望を学生は持っています。研究スタイルとしては、実際のパフォーマンスで勝負する、理論だけの学術研究はしない、おもちゃには手を出さないという3つを信条にしています。壊れてもダメージのない小さいおもちゃでは本当に大切な技術やアイデアが出にくいからです。学生には、アメリカの進んだロボットを1点でも2点でも越えるような目標を持って取り組んでほしいと檄を飛ばしています。また、ロボットが本当に使い物になるかどうか、パフォーマンスを評価するのは一般の方しかないと思っていますので、学会とは異なる評価の場を作りたいです。

また、外部とのコラボレーションも進めています。油圧や素材の専門家の方には、なるべく学生と直接やりとりしていただけるようお願いしており、学生が実際のエンジニアの仕事について知る機会になっています。さらに最近、京都精華大学のプロダクトデザイン学科にアプローチしました。ロボット開発で我々が特に弱いと感じていたのがデザインですので、まずは外装部分からとアプローチしたのですが、「デザインは外装だけではない」と怒られました。そこからお付き合いが始まり、黒川さんとも知り合うことができました。お付き合いというより、今は一方的に学ばせていただいていると言った方が正しいですが。これから、「ロボットを一から一緒につくる」という熱いコラボに発展するかどうか、似て異なる異文化コラボの行方にワクワクしています。

最後ですが、ヒューマノイドロボット研究の特徴は3つあると思っています。1つは役に立たないことが好都合であること。メーカーが手を付けないし、実用化を考えないので怖い顔で大声を出す必要がなく、じっくり取り組みます。もう1つは誰もがすぐに始められること。自分自身というお手本が身近にあるのでアイデアがいろいろ生まれるし、工夫すれば資金の心配もありません。3つ目は、役に立たないことをやっているように思われますが、実は役に立つものだという事。なぜなら、要求性が極めて高いので、ロボットそのものでなくても、ロボット一般に通用する核心技術を提供できるから。そして、幅広い知識と粘り強さが要求され、自らを成長させることができる、つまり、つくる行為そのものに価値がある研究だからです。

ヒューマノイドロボットの研究とは、人々の興味を引き付けてやまない、我々の人生を豊かにする、永遠不滅の創造活動である、と思っています。以上、ご清聴、ありがとうございました。

## Q&A

**Q1:** あまり、実用化を考えずに開発をされているようですが、なぜ、実用から離れようとしているのか、そこにいたった考えを教えてください。

**A:** ヒューマノイドロボット実用化のための研究を拒否しているわけではありません。ただ、ヒューマノイドロボットの研究者の間には、「ヒューマノイドロボットはどのように使えるかを定義することは不可能に近い」という共通認識があり、その事実をどう乗り越え、研究を進めるかに対する 1 つの答えが、自分としては実用化から離れることだったのです。私が教育に関わっているからそれが許されるのであって、もしメーカーの研究者だったら、実用化を目指さないとは言えないと思います。

**Q2:** 実用化から離れた研究活動を始めたのは、独り立ちして大学での教職を得た頃からでしょうか？

**A:** いえ、最初から実用化は想定していませんでした。ただ、自分の実績を振り返ると、他に応用できそうな方法がいくつかあり、あまり目くじらを立てて実用化を叫ばなくても、本気で正直に性能を追求するならば、役に立つ技術はいくらでもでてくるものと思っています。

**Q3:** 先生を研究へと突き動かしているものは、「かわいい」「醜い」など擬人的な愛着のようなものではないかと私は想像しました。でも、今日は「愛情」といったお話は 1 つもできませんでした。

**A:** 私は研究対象のロボットを擬人化することはありません。研究のモチベーションは単純に数理的な興味です。ロボットが生み出す動きがたまたま生物的であると感じることはありますが。そこに愛情を感じているかというところは自分でもよくわかりません。

**Q4:** ヒューマノイドロボット開発の「美学」というお話の中で、「美しいか美しくないか」が挙がっていましたが、先生にとってヒューマノイドロボットに対する美しさとはどんなもののでしょうか？

**A:** 研究の入り口は、「数学的な美学」であり、そこから発現する「美しさ」です。ヒューマノイドロボットがたまたま人の形をしているので、いわゆる「生物的な美しさ」について自分のなかで切り離せないのはたしかですが、そういう意識は現時点ではむしろ邪魔だと思っています。そこはあえて避け、まずは最初の開発目的への到達を目指し、完成したものの中に生物的な美しさとは何か？につながる手がかりがあるに違いない、そういう期待から研究をしています。

**Q5:** 先生が最もやりたいことは、「原理の開拓」ということでしょうか？ そして、我々デザイナーは、その原理を応用して、実用的なものをつくと…？

**A:** そうですね。「原理の開拓」をむしろやりたいと思っています。

**Q6:** 日本のロボティクス技術は今、世界的にどのような位置にあるのでしょうか。

**A:** ロボット業界を代表してはお答えできません。いろいろな見方がありますが、得意・不得意で見ると、日本は一つ一つの技術は高いのですが、全体を見ていないとよく言われますし、研究の進め方を見ていてもそう感じます。いろいろな記事を見ていても、いちばん損をしているのはハードだけを作る日本のメーカーであり、やり方を変えないと負けてしまうという意見でほぼ一致しています。ロボットにしたって、欧米のメーカーがやっているような、最終ユーザーのアプリケーションを意識してパッケージングまで考えた開発が必要だと思います。

**Q7:** 日本では一時期、アイボなどロボットのなもので盛り上がった時代がありましたが、今は鎮静化してしまったように感じます。一方で、ロボコンなどはかなり盛り上がっているように感じます。今後、この学問を盛り上げていくときに、どのようなことをしていっていいかとお考えでしょうか？

**A:** ロボコンに取り組む学生はとても必死ですが、大学で必ずしもロボットを研究しているわけではなく、卒業してもほとんどは他の分野に進みます。私見ですが、一部を除き、ほとんどのロボコンはロボット工学が発展する方向でオーガナイズされているとは思えません。ルールが厳格に定められていて、参加者はそのルールのもとで勝負に勝つための作戦を立てて全力を尽くします。その場で勝つために作られたロボットは、コンテスト終了後解体され、個人の思い出になっておしまいというのが実情です。

本来はプロのエンジニアと学者が入って高いジェネラルな目標を設定してあげて、そこに到達するための情報をシステムティックに提供してあげるような体制があればいいと思います。もし、それができれば、発想力が豊かな10代、20代の若者なら新しいものが見いだせるかもしれないし、そこで発見されたものが10年後に形になってくるかもしれません。そうした実践の場が用意されているなら、大学でわざわざロボット実験のカリキュラムを組む必要はないですね。

**Q8:** 先生には研究開発を大いにやっていただき、その研究結果を誰か別の人が実社会とリンクさせていく。そんな風にマネージできる人やプロデューサー的な役割の人材を、先生はブレーンとして持たれたらいいかと思いましたが…。

**A:** 貴重なアドバイスをありがとうございます。また、そのようにおっしゃっていただくと、研究者として大変勇気づけられます。どなたかいらっしゃれば、ありがたいです。

以上

2012 年度第 6 回物学研究会レポート

「バランスコントロールが映すヒューマノイドロボットの美学と未来」

玄 相昊 氏

(立命館大学理工学部ロボティクス学科准教授、ART脳情報研究所客員研究員)

---

写真・図版提供

01 ; 物学研究会

編集=物学研究会事務局

文責=関 康子

- [物学研究会レポート] に記載の全てのブランド名および商品名、会社名は、各社・各所有者の登録商標または商標です。
- [物学研究会レポート] に収録されている全てのコンテンツの無断転載を禁じます。

(C)Copyright 1998~2012 BUTSUGAKU Research Institute.