研究ノート

# “からくり”のこころ

関東職業能力開発大学校付属千葉職業能力開発短期大学校　平塚 剛一

## 1.はじめに

からくり人形の精巧なつくりと人間味あふれる動きは今でも人々の心に感動を与えてくれる。限られた環境の中で精一杯、創意工夫を凝らしてきた先人の知恵と職人魂に敬意を表さずにはいられない。一方、半世紀前の日本、パソコンや携帯もない不便な時代であったが、ものを大事にし、創意工夫する心を養わせてくれた時代でもあった。時代が変わり最近はものを直したり自分で工夫したりする機会は少なくなってしまった。といって、便利でモノがあふれる世の中を責めるつもりはない。からくり人形をつくってきた創意工夫する心と競争する心、モノを大事にする心は日本人の心にDNAとして引き継がれているはずである。今、大切なのは若者にそうした夢と目標の場を与えることではないだろうか。

## 2.からくり人形と自動化

からくり人形師やレオナルド・ダ・ヴィンチが一番苦労したのは動力源やアクチュエータであったろう。人型ロボットや飛行機の発達は電気モータやエンジンあるいは油圧空圧といった高性能なアクチュエータの出現によるところが大きい。しかし、電気等が存在しない時代、使用できるアクチュエータや動力は、ゼンマイやばね、水力あるいは人力や牛馬に限られていた。そのためおのずと“からくり”を工夫せざるをえなかった。

**図1**は、かつて製作した茶運び人形である。茶運び人形の原点は機械仕掛けの時計にある。巻いたゼンマイが一定の速度でほどけるようにするためには天符と呼ばれる調速器が用いられた。スタートとストップを行う機械式スイッチや方向転換をさせるカム機構などは現代の機械でも使われている。ただ、当初、ゼンマイには金属製ではなく鯨のヒレが使われていた。鯨のヒレでは金属製のように何回転も巻くことができなかったようである。そのためゼンマイ軸とカム軸に取り付けた大歯車で動輪軸の小歯車を回して回転数を増やしていている。これでは速度を増速し移動距離を延ばせるが力は出せない。しかも歯車は木を張り合わせて1枚1枚の歯を削ってつくっているため滑らかな回転は難しい。そうした問題はあったが大歯車とカムとゼンマイの各軸を同一にすることでメカニズムが簡単になるとともに適度な歩行スピードと長い移動距離を得ることができた。設計者の苦労がしのばれる。

**図1　茶運び人形の製作**

**図2**は、1個のモータで掴む、持ち上げる、運ぶ、離す動作ができるピック＆プレースロボットである。茶運び人形にも使われているカムをうまく組み合わせることで複雑な動きをさせることができる。まさに現代のからくりである。現在でも包装機械や食品機械等、多くの工場で使われている。

コンピュータや電気モータがなかった時代、それに代わる工夫はあらゆるところで行われていた。今は主役の座をコンピュータ制御に譲ってしまったが、最新のロボットや自動化装置等にも古くからのメカニズムが有効に使われている。地球環境や安全性が厳しくなってきた現在、あえて電気を使わない工夫といったことも注目されてきた。工場の生産ラインで電気を使わずに茶運び人形の原理を活用して省エネを果たした企業もある。「古きを温ねて新しきを知る」のように先人の知恵に触れてみることも意義がある。

**図2　ピック＆プレースロボット**

## 3.ロボットとメカニズム

ロボットといえば二足歩行ロボットがその代名詞にもなっている。今ではそうしたロボコンも開かれるようになった。数十個のモータを積んで歩けるようになったのは、効率の良い電池と高性能なモータによるところが大きい。しかし、人間の筋肉のように理想的なアクチュエータが存在しない限りメカニズムを工夫してモータの数を減らす必要がある。

**図3**は全方向に移動できるロボットである。コロを用いた特殊なタイヤ構造にすることでステアリングをせずにあらゆる方向に移動することができる。マイコンと組み合わせれば床面プロッタとして使うこともできる。

**図3　全方向移動ロボット**

クランクとリンク機構を工夫するとさまざまな歩行曲線をつくり出すことができる。**図4**は、疑似直線運動機構のチェビシェフ機構と平行リンク機構を組み合わせた歩行メカニズムである。1個のモータで上下に揺れない歩行運動を行わせることができる。このほかにもヘッケンリンク機構や最近話題になったテオ・ヤンセン氏の歩行メカニズム等さまざまなリンク機構が存在する。リンク機構で任意の曲線運動をつくり出すことは試行錯誤を伴うがまだまだ創意工夫する余地は残されている。

**図4　チェビシェフ＆平行リンク機構**

**図5**は、疑似円運動機構を用いた人間型ロボットハンドである。手の構造は複雑で各関節にモータをつけると人差し指だけで3個以上も必要になる。しかし、一定の角度パターンで各関節を曲げるとした場合、**図6**の点線で示す拘束リンクを設ければ1個のモータで任意の把持運動を行わせることができる。

**図5　ロボットハンド**

**図6　把持パターンと拘束リンク**

## 4.実用化に向けた脚型歩行ロボットの開発

人間をはじめ自然界の生物には移動手段として足が備わっている。足を動かす筋肉は工学的に見ると実に優れたアクチュエータである。最近は強力な磁力を発生できる電気モータが開発されてきたが、筋肉のように軽くて小さくて力強い動きをさせることは容易ではない。効率の良い人工筋肉が開発されればロボットの世界はもっと変わってくるであろう。

さて、二足歩行ロボットをはじめ脚型構造を持ったロボットは、車輪型やクローラ型のロボットに比較して効率やコスト面において決して有利な移動形態とはいえない。また、歩行型ロボットの活躍が期待されている福祉や地雷探査、レスキュー等の分野においても実用化された例は少なく、研究用あるいはアミューズメント用が中心である。そこで、複雑な脚構造や制御系について見直しを行い、メカニズムを工夫することによって、より実用性の高いロボットを製作してみた。このロボットのポイントは、4節非平行リンク機構を用いた脚のメカニズムとその移動形態にある。

**図7**に示すように任意の長さを持つLink1とLink2を考える。Link2の先端部を垂直に上下運動させるとき、点Pの動きに注目する。点Pはある一定の範囲内で円弧に近似させることができる。この円弧の中心をO'とし点Pと回転関節となるようにLink3を設ける。こうして構成された4節リンク機構でLink1を上下に回転させるとLink2の先端部は地面に対してほぼ垂直に上下することができる。

**図7　疑似直線運動機構**

**図8　6脚式歩行ロボットの設計**

製作したロボットと歩行テストの様子を**図8**及び**図9**に示す。脚機構等の簡素化により、エネルギー消費が少なく、重さも約10kgと軽量化することができた。3つの脚が、同時に水平移動するため1脚ごとに接地ポイントを選ぶことはできない。しかし、作業が優先される歩行ロボットに求められる性能としては、その歩行姿勢の優雅さではなく、3脚支持により姿勢が力学的に安定化していることが求められること、また制御の簡素さのためには自由度が少ないことが求められる。このロボットは、野外における観測や探査ロボット、あるいは、重機のように油圧駆動を用いた大型運搬ロボット等として活用できるのではないかと考える。

**図9　歩行テスト**

## 5.おわりに

**図10**は、**図8**と同じリンク機構を持つ二足歩行ロボットである。ある一定以上の大きさの二足歩行ロボットは簡単ではない。それに合ったモータが少ないからである。それを補うのがメカニズムである。しかし、二足歩行は人間に任せた方がよいかもしれない。一方、さまざまな機械やロボットの設計製作は、人間の便利さを追求するだけでなく若者にモノづくりのおもしろさと夢を与えている。コンピュータとメカニズムの工夫次第では、まだまだおもしろい「現代のからくり」が生まれるのではないだろうか。「人々を驚かせたい」、そんなモノづくりに情熱を燃やす若い「からくり儀衛門」が育って欲しいものである。

**図10　二足歩行ロボット**

参考文献：
(1) 平塚剛一、現代のからくり、新潟職業能力開発短期大学校 2007市民公開講座資料
(2) 平塚剛一、森公秀 他、伸縮と旋回関節を併せ持つ6脚式歩行ロボットの開発、ロボティクス・メカトロニクス講演会2002講演論文集、rm2073 (2002.6)
(3) 立川昭二、からくり、法政大学出版局