

ものづくり考 ―糸巻きタンクからロボットまで―

橋本 周司

1. はじめに

歩いている道が曲がっていけば、見えない先の景色を見たくなる。本を読んで分からない言葉があれば、それが何を意味するのか知りたくなる。物事が腑に落ちなければ、何故かと考える。しばしば、解ったことを確かめるために絵に描いてみる。図絵で足りなければ、適当な材料と道具を探して頭に浮かんだものを作りたくなる。また、何か気に入ったものが目に入れば、自分用に同じ物を作る。あるいは、もっと良いものに改良したくなる。私たちには好奇心がある。なんでも知りたいのだ。そして、まだ無いものを在るものにしたいたいのだ。好奇心・探究心を源泉とするものづくりの欲求は人間の性と言ってもよいのかもしれない。そして、これが人間の文化の源泉ではないかと思うのである。

子供の頃、紳士服の仕立屋であった父に教わって作った糸巻きタンクが私のものづくりの始まりである(図1)。

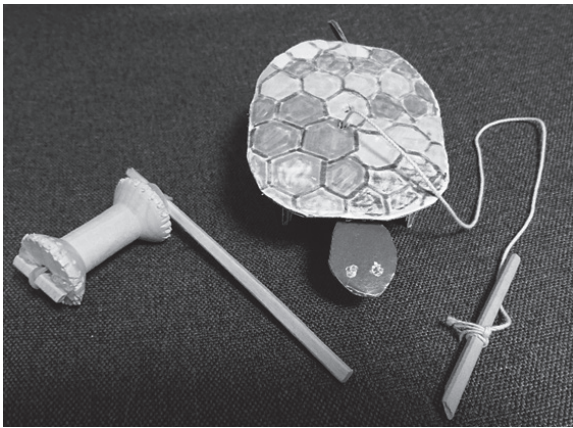


図1 糸巻きタンクと亀

2019年7月に岐阜市のぎふメディアコスモスで開催された「未来エンジニア・ワークショップ」で子供たちとともに作った、輪ゴムを動力源とする糸巻きタンクと歩く亀。

動く理屈を考えゴムをほかの素材に変えてみたり、もう詳細は覚えていないが工夫して2連式の新型も作った。プラモデルに親しんだ今の子供たちには木製の糸巻きはなじみがないかもしれないが、身近な材料で動くおもちゃを自分で作る体験は貴重なものであった。味を占めたのである。これが後の研究生生活の原点という気がする。

大学の理工系学部にて40年間以上所属し、画像・音響処理、人工知能、ロボティクスなどに関するテーマに学生たちとともに取り組んできた。この間、「知りたい」「作ってみたい」の連続であった。

2. 生き物のような機械をつくる

世界各地に人間あるいは動物とそっくりな機械の物語が伝わっている。また、実際にそのような機械を作る試みについても古代から記録があるが、13世紀頃には一般向けに各種の自動機械が登場している。18世紀にはオルゴール製造技術に基づくオートマタ(自動人形)がヨーロッパで大流行した。また、わが国でも17世紀から動物や人間に似せたカラクリ人形が作られ、18世紀末には細川頼直の「機巧図彙(からくりずい)」という技術書も出版されている。これらのいくつかは各地の博物館で見ることができるが、力学と機械工学の粋を集めたものづくりの見事さに感心する(図2)。

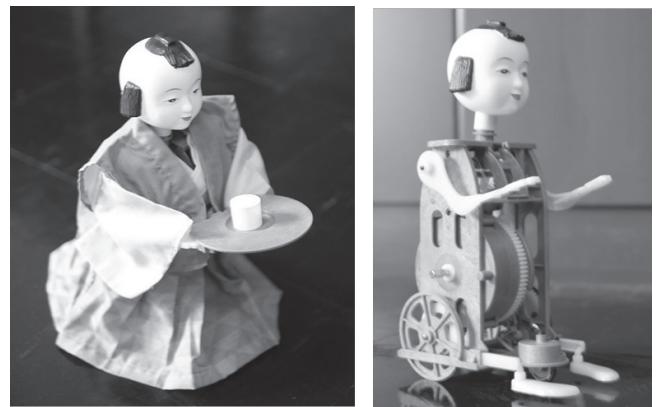


図2 カラクリ 茶運び人形

江戸時代に作られ今でもキットが市販されている。(学研プラス「大人の科学マガジン」)

特に興味深いのは、カラクリ人形やオートマタでは、現在のロボットとは全く異なる手法がとられているということである。現在のロボットでは、変形する箇所ごとにモーターが配置されており、各機構が要素として明確に分割されていることが多い。そして、逐次的にプログラムされたソフトウェアによって、各部を個別に稼働させて全体の動作が生成される。この方式はカラクリとは全く異なるものである。

カラクリでは、バネなど単一の動力源を使って、人形の各部が同時に動く巧みな仕組みが作りこまれている。たとえば、右腕を前にあげるとき、左足が前に出て、さらに首が少し回るように、内部で歯車や槌などが連動しているのである。ここにもものづくりの極致・醍醐味が垣間見える。

ただし、どちらの場合もいくら巧みに作られていても、自動的に動く機械や人形を見て、これを生きているとは言わないし、古代からの人の望みからはかけ離れている。「生き物のような」という形容を使うとき、その思いには姿と行動様式の両方について人間や動物との類似性が求められる。特に、行動様式の類似性の中には単なる自動機械とは異なるものを求めているようである。これを端的に表すのが「心を持った機械」という言い回しである。心を持った機械はもはや単なる機械ではない。一方、人間を「心を持った機械」として理解しようという試みも古くから行われている。心を持った機械はものづくりの究極の挑戦課題とも言える。

3. ロボットの進化

ロボットは、まず第2次産業に導入され、従前のオートメーションによる少品種大量生産を超えて、多品種大量生産を実現した。この分野では我が国は現在でも世界をリードしている。さらに、技術の進歩は、規格化された機器が整然と配置された工場ばかりではなく時々刻々変化する非整備な環境で、個体差の大きな対象物を扱うことを可能にし、農林漁業の第1次産業や土木工事現場でのロボット活用が始まっている。さらに最近では、一般家庭、店舗、レストラン、病院にも導入され、第3次産業での活用が活発になってきた。生活空間で人間に直接サービスするロボットには、従来の産業用とは異なった特性の技術が必要となる。これらのロボットは、人間のために最適に設計された空間で活動するのであるから、人間あるいは家庭にいるペットと同じような形と機能が必要である。また、特別な訓練を受けない素人が容易に扱うためには、コミュニケーションも人間と同じようにできる必要がある（図3）。

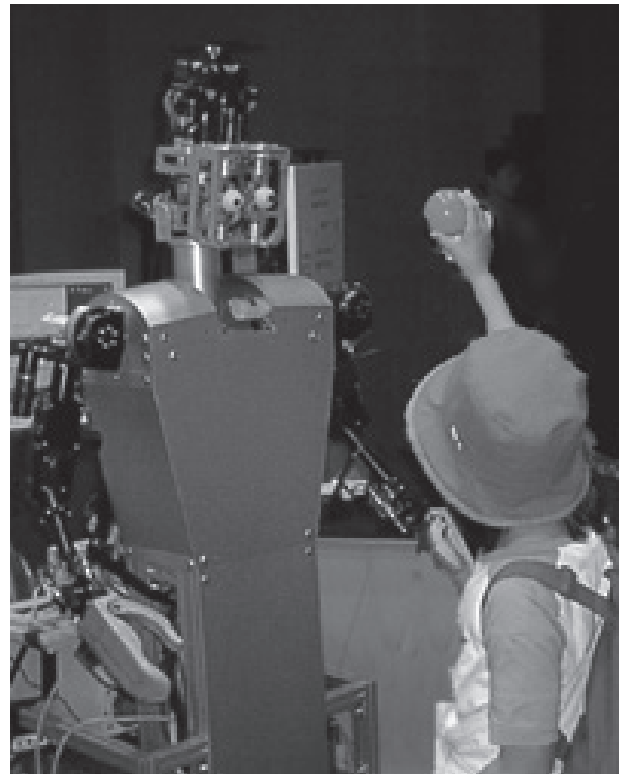


図3 マルチモーダルコミュニケーションロボット iSHA
2000 年前後から産業用ではないロボットが世に続々と登場した。（ROBODEX パシフィコ横浜、2003 年）

コンピュータの登場以前には、ロボットに限らずほとんどのシステムのインターフェースは操作盤やスイッチであったが、コンピュータの登場によってキーボードで、また最近では音声で指示を与えることが可能になった。さらに、ロボットなどのシステムを動作させる命令の内容も徐々に高度化している。最初は、「進め」、「止まれ」などの起動指令をスイッチで与えた。ただし、工場での生産自動化ではこれだけでは不十分である。例えば、「+90 度回転せよ」、「2m 前へ進め」などという数値付きの命令が必要である。このような指示形態はコンピュータとの相性も良く現在も主流である。これに対して人間にとっては、「少し前へ進め」、「強く挟め」というように、数値を明示しないで程度を指示する形式の方が都合のよい場合が多い。これが次の段階である。この形態の指示法は、「少し」や「強く」という単語を数値と対応付ける辞書をロボットに持たせれば、これまでの技術の延長線上で実現できる。ただし、同じ「少し前に」でも、状況によってその距離は変わる。広い場所では数 m が「少し」であるし、食卓の上では、3cm が「少し」かもしれない。また、控えめな人とそうでない人では、「少し」の大きさは異なるであろう。したがって、ロボットは状況を柔軟に把握する能力を備えなければならない。さらに、最近では、「きれいに塗れ」あるいは、「優しくつかめ」と

というような、単純には数値化できないような命令の与え方も研究の対象になってきている。人間同士の場合はよく見られる指示形態であるが、形容語を理解する知能がロボットに求められることになる。

人間同士の対話の場合は、ジェスチャや顔の表情によって、言語化し難い情報が伝わる。キーボードやスイッチなどによらず、音声、画像、触覚など人間的な情報チャンネルを活用したインタフェースの開発と、質問して使用者の意図を汲み取るなど自発的コミュニケーションを行う能動的な思考能力の開発も課題なのである。つまり、単に命令に従うばかりでなく、五感を持ち人間の気持ちを察する感性と知性を備えた「心を持つロボット」が究極の目標となる。ロボットは「機械にコンピュータが付いた」ことで大きく発展したのであるが、最近のAI（人工知能）搭載のロボットを見ると「コンピュータが身体を持った」ものがロボットという方が相応しいように思われる。AI研究はデジタル計算機の登場とともに始まったが、従来はソフトウェア中心で、機械系は単なる入出力装置に過ぎなかったのであるが、前世紀末には本当の知能は実世界を体験する身体がなければ生まれないという思想から、多くの人工知能研究者がロボットづくりに加わった。それがネットワーク上に集積された大量データと高性能コンピュータを背景とした現在のAIにもつながっている。身体を持ったコンピュータの先には、心を持つ機械の実現、そして新しい生命を創るといふ人類の身の程を超える望みが見える。エレクトロニクスを基盤とした情報技術と機械技術の新しいものづくりは、誰でも使える気の利いたロボットの実現という以上に、社会の制度と倫理も含めて人類の未来の大きな変革につながるのである。

4. ものづくりの方法論

あらゆるものが大量に市場に供給され、比較的安価に手に入る時代ではあるが、個人の楽しみとしてのものづくりは相変わらず盛んである。また、そのための材料、道具も豊富である。この傾向は社会の活力の源泉として極めて重要と思う。個人のものづくりでは、特許やライセンス、あるいは効率や納期などはほとんど問題にならず、自由にいろいろなものを組み合わせて作業を進めることができる。これは企業のものづくりと大きく異なるところである。企業では、全体の仕様を定めて、これを実現するための機能と形状をいくつかの部分に分けて構成し、それぞれに最適かつ他者の知財を侵害しないように詳細な設計を行い、適切な人員配置の下で各部を分担製作して最後に全体を組み上げる。また、部分的には他社の開発した部品を採用する場合もある。いずれにしても、完成したら試験を行って当初設計と

の乖離を評価して実用に供するというのが常道であろう。予定通り進めば効率もよく、工程管理も行いやすい。特に豊富に人材を抱えた企業には適している。このように全体を構成する細部までを事前に計画して開始するものづくりの方式を、ウォーターフォール型という。個人で行うものづくりでは、それほど大規模ではなくても、最後のくみ上げまで待たないで、部分だけでも途中で何度も動かしてみる、あるいは出来栄を眺めてみて、思い通りでなければやり直す。もともと詳細な設計を行わない場合も多いので、製作途中でもこのような試行錯誤の繰り返し余儀なくされる。また、これが楽しいのである。こうして何とか工夫して心に描いたものが完成した時は本当に嬉しいことである。大学の研究室のものづくりは多くの場合この個人型に近く、したがって同じものが二つとできないということもある。良く言えば作るたびに進化するのである。

最近のソフトウェアシステム開発では、ウォーターフォール型に対して、個人のものづくりに似たアジャイル型という方式がしばしば採用される。システムが複雑で大型化するにつれて詳細設計が難しくなる。また、開発条件や使用環境が短期間で想定から大きく外れることが多い場合は、詳細で固定的な設計は無意味になってしまう。したがって、全体の仕様がだまかに決まっていれば良く、細部は状況に応じて担当者どうしのやり取りで随時決めて先に進めるというわけである。良く言えば「臨機応変」、悪く言えば「行きあたりばったり」である。

5. オープンソースという考え方

最近ソフトウェアの世界ではオープンソースソフトウェア（OSS）という考え方が浸透している。誰でも自由にしかもほとんど無料で使用できるフリーソフトが普及しているが、OSSでは単に自由使用というだけでなく、プログラムの中身（ソースコード）が開示されていて、一定の条件の下で自由な改変利用と再配布を認めている。ライセンス許諾の条件の下で使用する限りそこには著作権や特許の問題はない。誰でも自分のアイディアに基づいて改良し他のソフトウェアと組み合わせることができる。OSSの仕組みがソフトウェアの世界を大きく広げた。また、互いに会ったこともない世界中のソフトウェア技術者がそれぞれの得意技を持ち寄ってシステムづくりに参加するなど、企業内のプロジェクトとは異なる新しい発想での開発が可能となった。

OSSの考え方はソフトウェア開発の世界に出現したものであるが、私は、ものづくり全般にこの考え方を浸透できないかと考えている。OSSを一般のものづくりでいえば、作ったものを販売あるいは配布して使ってもらうだけでなく、そのものの設計図が

開示されており誰でも自由にこれを変更して作り直し、様々な装置の一部として使用できるということである。ただし、初めにそれを発案した人、また、改良した人々は、皆に尊敬され大いに尊重されるべきである。それぞれの信頼と責任感に支えられたものづくりとすることができる。

アジャイルも OSS も個人の趣味の範囲ではすでに行われてきた。最近は企業でのものづくりにも採用されつつある。産業分野全般にこのような手法が浸透すれば、新しい活力となり、ものづくりの世界を大きく変えるものと期待できる。基本的に無償・自由使用を前提とする OSS で、開発に貢献した人々が如何に報酬を得て次の開発に邁進できるようになるのか。筆者は OSS の経済的な成立基盤に関心を持って勉強中であるが、いろいろなケースがあるように聞いている。新製品、新技術が特許、知財の保護の下でビジネスとして成立すると思われているのに、なぜ、このような仕組みがソフトウェア産業の中に根付いて発展しているのか、また、これが世の中のものづくり一般に敷衍できないかと考えるのである。

ロボット作りはものづくりの典型であり極致とも言える。工場から出て社会生活や家庭生活で活用されるロボットの産業は誕生したばかりで成長途上であるがその可能性は大きい。ロボット産業の拡がり、計算機産業をはるかに凌ぐものである(図4)。

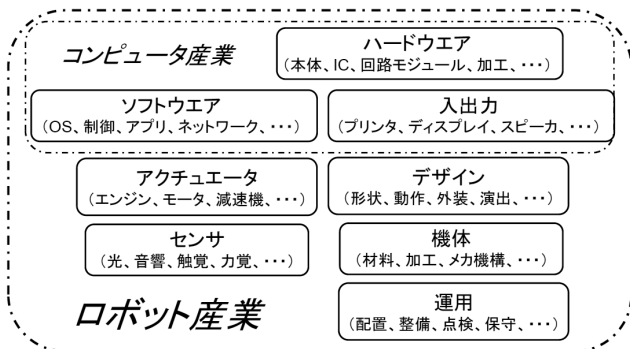


図4 ロボット産業の拡がり

ロボットは情報+機械+エネルギーにわたる多くの技術の総合で作られる。

ロボットは自動車に類似しているが、その機能は輸送に限らず多岐にわたるので、産業・経済的には自動車を凌ぐ広いすそ野を有する。

ロボットに関連するものの担い手は多くの分野にわたっている。人々の多様な望みに応える柔軟な「心を持つ」ロボットを作るには、もともとウォーターフォール型は適していないのである。多くの異分野の作り手がそれぞれの得意部分で試行錯誤を繰り返す。また、日々の対話を通してアイデアを共有し、ワイワイと寄ってたかって進化させることに喜びと満足を得る。そのような、OSS 的なものづくり文化の花開く社会をロボットで実現したいものである。

6. あとがき

実物大ガンダムを動かしたいと聞いたとき、このような無茶な挑戦が科学技術の発展には必要と考えたのであるが、また、新しい夢を育てる良い機会にもなると思った。具体的な仕様決定から製作・完成までの過程では機械技術、情報技術、演出、意匠デザインなど異分野の人々が繰り返し議論を重ねた。まだまだ OSS のようには行かなかったが、皆が「動くガンダム」という共通の目標と夢を持っていたからこそできたのだと思う。実物大ガンダムの製作は夢の具現化というものづくりの典型的な例でもある(図5)。



図5 実物大の動くガンダム

2022 年度末までの予定で横浜港山下ふ頭の GUNDAM FACTORY YOKOHAMA で公開されている。アニメ画像ではない実体の迫力が次のファンタジーを生み出す。(2021 年 12 月撮影)

私がこのプロジェクトに積極的であったのは、ここ 10 年以上、大学で機会あるごとに学生たちに話してきたことと符合すると考えたからである。それを最後に記して本稿の締め括りとした。

人類は、「空を飛ぶ」、「病気を予防する」、「月に行く」等々、多くの夢を実現してきた。福祉、経済、政治、社会制度についても、数世紀前には夢物語であったことが、まだまだ不十分ではあるが現実になりつつある。特に顕著なのは科学技術の発展による

急速な夢の実現である。ドラえもののポケットにあった「ひみつ道具」も形は異なるが着実に現実のものになっている。今では、小さな携帯電話で街中を歩きながら地球の裏側にいる人と話をする事ができる。遠く離れた人とのリアルタイムの会話は少し前までは遠い夢であったが、それが実現しただけではない。スマホのテレビ電話は、ほとんど想像もできなかった「顔を見ながらの遠隔対話」を可能にした。現実が夢に近づき、現実が夢を追い越すような事態が生じている。

私も微力ながら大学にあって夢の実現を目指してきたのであるが、この100年、我々は夢を高めることを怠ってきたのではないかと危惧を覚えている。希求する夢がなければ人は生きて行けない。夢と現実に適正なギャップが無いと社会の元気は出ないのである。科学技術の進歩で現実を夢に近づけることにより産業が発展する。一方、夢を高く押し上げるのは文化である。世界中の大学ではこれまで如何に夢を実現するかを研究し教えてきたが、これからはこのギャップを再び広げるために、如何に新しい夢を高く掲げるかが大事である。知の考究と伝達に加えて、新しい夢の見方を教示することも大学の重要な使命なのではないだろうか（図6）。

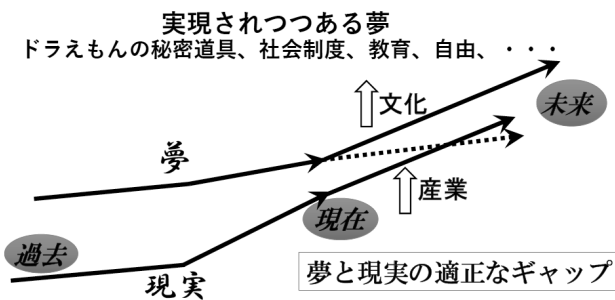


図6 夢と現実

夢と現実の適切なギャップが社会の活力の源泉である。技術の進歩による現実の向上にあわせて夢をさらに高く引き上げなければならない。

夢の上に夢は重ねられない。現実を目の当たりにしない限り、夢は横に広がるばかりで高くは積み上がらない。ロボットに限らずものづくりは夢を現実化する作業である。それが次の夢を高く積み上げる土台となるのである。

はしもと・しゅうじ
（早稲田大学 名誉教授）