

キカイはどこまで 人の代わりが できるか？

職人ロボットから医療ロボットまで
人の暮らしを変えたキカイたち

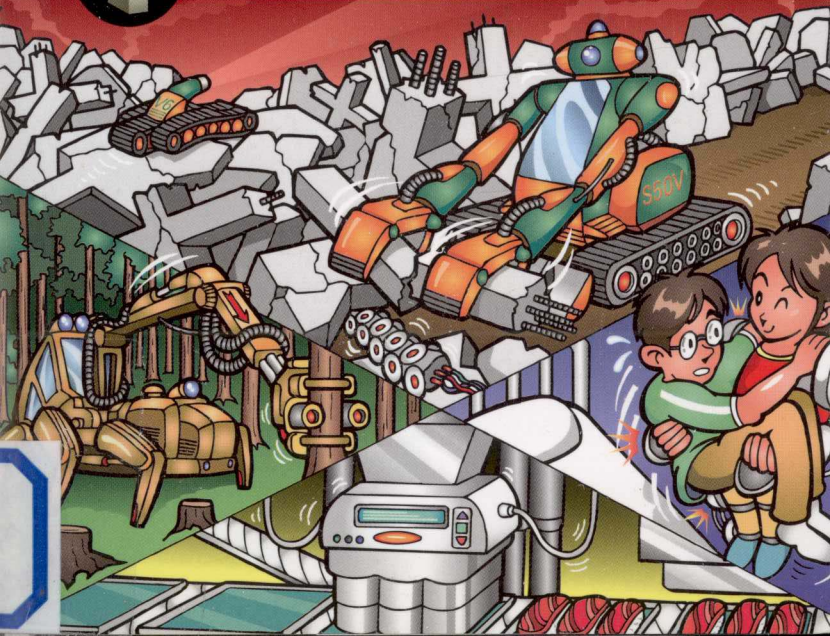
井上猛雄

Science i



サイエンス・アイ新書

SoftBank Creative



science・i



サイエンス・アイ新書

SIS-048

<http://sciencei.sbcr.jp/>

ひと かわ キカイはどこまで人の代わりができるか？

しよくにん い りよう
職人ロボットから医療ロボットまで
ひと くら か
人の暮らしを変えたキカイたち

2007年12月24日 初版第1刷発行

著 者 いのうえ たけお 井上猛雄
発 行 者 新田光敏
発 行 所 ソフトバンク クリエイティブ株式会社
〒107-0052 東京都港区赤坂4-13-13
編集：サイエンス・アイ編集部
03(5549)1138
営業：03(5549)1201
装丁・組版 クニメディア株式会社
印刷・製本 図書印刷株式会社

乱丁・落丁本が万が一ございましたら、小社営業部まで着払いにてご送付ください。送料小社負担にてお取り替えます。本書の内容の一部あるいは全部を無断で複写(コピー)することは、かたくお断りいたします。

©井上猛雄 2007 Printed in Japan ISBN 978-4-7973-4455-4



キカイはどこまで 人の代わりができるか？

学院图书馆
书 章

職人ロボットから医療ロボットまで
人の暮らしを変えたキカイたち

井上猛雄

本文デザイン・アートディレクション：クニメディア株式会社

カバーイラスト：宮入俊広

本文イラスト：木村図芸社

はじめに

いまから27年前の1980年は、ロボット業界にとって大きなターニングポイントとなる年でした。「ロボット元年」と呼ばれ、第一次ロボットブームが巻き起こり、産業用ロボットが次々と工場の生産ラインに導入され始めたころです。日本のロボットは海外でも注目され、大きく報じられました。その後、国内で稼働するロボットが世界に占める割合は6割までに達し、生産台数も9割を占めるほどに成長しました。そのようなイケイケドンドンの時代の中で、私自身もロボットにとっても興味を持ち、学生時代を過ごしました。当時、始まったマイクロマウス大会に出場したり、マニピレータモドキをつくったりと、機械工作や電子工作に明け暮れ、その後、趣味(!?)が高じて、ロボットメーカーに就職しました。しかし、大好きだった業界に入れたものの、志なかばでやぶれ、ロボットの現場から長らく遠ざかる結果となってしまいました。とはいえ、心の片隅でロボットのことが常に気になり、進展するロボット技術を遠巻きながらウォッチしては、いつもトキメキを覚え、最新の技術に感動し、夢の未来図に心躍らされてきました。

そしていま、かつて夢のように感じられた未来が、だんだ

んと現実のものになりつつあることも、実際に肌で感じられる時代になってきました。ロボットは、機械、電気・電子、コンピュータ、制御、センシングなど、さまざまなテクノロジーを集大成した「総合芸術」と呼べるべきものではないかと思います。本書は「キカイは～」というタイトルになっていますが、自動化、あるいは知能化されたキカイのテクノロジーは、広義の意味ですべてロボットの範ちゅうに入ってしまうものと思われます。そして、かつて別々の要素技術と考えられてきたテクノロジーが、ロボットというコンテキストの中で互いに融合し、新しい分野を切り拓こうとしているようにも感じられるのです。

たとえば、ネットワークとロボットの融合もその1つでしょう。無線LAN製品が登場した際、目に見えないパケットが中空に飛び回ることに、とても不思議な気持ちと感動を覚えました。それがいまや、日常生活で当然のように使われ、ユビキタスコンピューティングの研究も進展しています。ロボットはネットワークと結びつき、情報と実世界を結合する「媒体」として、社会のキーテクノロジーになっていくでしょう。近い将来、これらの技術によって、私たちの生活が新たな局面を迎えるであろうという予感はいまや、だれもが感じているところではないかと思います。

本書『キカイはどこまで人の代わりができるか?』では、人に役だつキカイ＝ロボットという視点から、職人ロボットから医療ロボットまで、人の暮らしを変えるようなユニークな研究や技術を中心にご紹介させていただきました。本書のコ

アとなる部分は、おもに第4章と第5章になるかと思います。第4章で登場するロボットたちは、「人に役だつキカイ」として、自動化あるいは知能化されたユニークでおもしろいマシンです。ふだん、私たちの目に触れることがなく、地味な存在でも、人の機能を補完、あるいは代替してくれる“縁の下の力持ち”的なキカイについてもできるだけ多く、ご紹介するように心がけました。また第5章では、それほど遠くない将来に実現するかもしれない「夢のあるロボット関連技術」を集めてみました。これらは、2年間ほど実際にロボット関連の取材をして、いくつかのトピックスをつけ加えながら書き起こしたものです。

正直にいうと、本書でご紹介したロボット(キカイ)たちは、残念ながら、ごくごく一部だけのかぎられた分野となってしまうました。専門にロボットを長年ご研究されている先生方から見ると、だいぶ偏った内容になっていると怒られそうです。今後も取材を続け、別の機会にさらに違う形でくわしくご紹介できればと思います。

最後になりますが、今回の執筆にあたり、貴重な写真や資料を快くご提供して下さった専門の先生方、企業の担当者に厚く御礼を申し上げます。文章の内容につきも多くのアドバイスやご助言を賜りました。また、かぎられた短い時間の中で本当にギリギリまで度重なる編集作業をしていただいた、サイエンス・アイ編集部の二木頼之氏、DTPデザイナーの方々、さらに執筆の機会を与えて下さった関係者各位に、厚く御礼を申し上げます。 **2007年12月 井上猛雄**

CONTENTS

はじめに	3
------	---

第1章	人に役だつキカイを夢見て
	古来から夢見られていた人に役だつキカイたち 10
	時計技術から生まれた、調速機、 脱進機がブレイクスルーに 13
	時計技術やオルゴールを利用した カラクリ、驚きの「オートマタ」 14
	日本のからくりのルーツ 『機訓蒙鑑草』と『機巧図彙』 18
	機械工学の先進性を証明する 「からくり儀右衛門」の功績 22

第2章	人のからだとキカイの体 ～人の働きをする構成要素～
	機構を動作させるアクチュエーター① DCモーターとブラシレスモーター 26
	機構を動作させるアクチュエーター② 同期モーターと誘導モーター 28
	機構を動作させるアクチュエーター③ ステッピングモーターとDDモーター 29
	外界センサー①眼の役割をするCCDカメラ 31
	外界センサー②触覚の役割をするセンサー 33
	外界センサー③耳の役割をするマイクロフォン 35
	外界センサー④嗅覚・味覚の役割をするセンサー 37
	外界センサー⑤距離を知るためには? 40
	内界センサー①自己位置を知るセンサー 43
	内界センサー②方位を検出するセンサー 46
	内界センサー③ 加重・圧力・トルク・加速度を検出する 48
	どうやってキカイをコントロールするか? ① キカイの制御方法を知る 52
	どうやってキカイをコントロールするか? ② DCモーターの基本特性を知る 53
	どうやってキカイをコントロールするか? ③ フィードバック制御 56
	どうやってキカイをコントロールするか? ④ DCモーターのブリッジ回路とPWM制御 59
	コラム 人工筋肉のアクチュエーターで動く ユニークなマッスルスーツ 62

第3章	人に役だつキカイたち ～バーチャル社会科見学～
	縁の下の力持ち、産業用ロボットの歴史 66
	産業用ロボットの種類①作業種別による分類 68

職人ロボットから医療ロボットまで 人の暮らしを変えたキカイたち

キカイはどこまで人の代わりができるか?

井上猛雄



産業用ロボットの種類②

自由度の考え方と軸構成からみる産業用ロボット	70
産業用ロボットをたくみに動かす	
ティーチングプレイバック方式	72
バーチャル社会科見学「日産自動車追浜工場」	75

第4章

人の代わりをするキカイのカタチ

ファーマーの代わりをする農業ロボット	86
田植えや水田の草取りをするロボット	88
農作物の収穫を助ける	
マニピュレータ型ロボット	90
乳搾りロボットと牛の監視システムで	
酪農家をサポート	93
人に代わって伐採作業をこなす	
林業ロボット	97
匠の技をみごとに再現！	
漁師の代わりをするロボット	99
料理人に代わって魚をさばくロボット	102
ボルト・ナットの作業をする2足歩行ロボット	105
医療ロボット①	
医師を助ける内視鏡外科手術ロボット	108
医療ロボット②	
介護師の変わりをするマニピュレータ	110
心を癒してくれる福祉系ロボット	113
体の不自由な人の足代わりとして	
機能してくれる車イスロボット	116
独り暮らしの高齢者や病人を見守る	
ネットワーク・ロボット	119
あなたの代わりにお掃除してくれるロボット	122
ダイバーの代わりに海中を探索する「AUV」	124
最新の自律型深海探査ロボットの技術とは？	127
ロボットが海中に長時間、	
連続でもぐり続けるためには？	131
レスキュー隊を助けるロボット①	
狭所に対応するユニークなロボット	133

CONTENTS

レスキュー隊を助けるロボット②	
段差などの不整地を走破するロボット	137
レスキュー隊を助けるロボット③	
遠隔操縦を容易にする技術	139
レスキュー隊を助けるロボット④	
情報収集能力を高める技術	142
レスキューにも役立つ建設ロボットとは？	145
鳥のように上空から地上を探索する	
エアロボット	147

第5章

キカイが変える人の未来

頭で考えただけで	
キカイが動くて本当ですか？	152
生体信号を利用したパワースーツ	
「HAL」は未来をどう変える？	155
人とキカイの融合、みずからサイボーグに	
なってしまった研究者	158
ロボット化する人工心臓とセンシング技術、	
生体情報の遠隔モニタリングも	161
超微細加工を実現する	
マイクロロボットの活躍	164
ミクロ決死圏？	
体内で薬を放出するDDSで治療も！	166
微生物でミクロレベルの	
微細な作業をこなす！	169
人の気持ちがわかるキカイってつくれるの？	172
情動方程式でロボットに感情を表す	176
音楽を奏でるロボットも登場、	
感性が必要な時代に	178
VRとIT、ロボットの融合が未来を変える	182
ネットワークロボットの新しいカタチ	
ディスプレイとしてのロボット	184
ユビキタス・ロボティクスで	
なにが起こるのか？	186
家庭生活に入り込む	
ユビキタス・ロボティクス	190
宇宙で活躍するキカイや	
ロボットの利用シーン	192
宇宙ロボットにはどのような種類がある？	194
JAXAで研究中の月面探査ロボットとは？	197
コラム 筋電を利用したキカイを	
手軽に試す学習教材も！	201
参考文献	204
索引	205

第1章

人に役だつ キカイを夢見て



まず、古来から夢見られてきた、人に役だつキカイのルーツを紹介します。紀元前の自動キカイに始まり、中世の機械式時計、さらにそれらの要素技術が西洋のオートマタや、日本のからくり人形の原理へとつながったのです。

古来から夢見られていた 人に役だつキカイたち

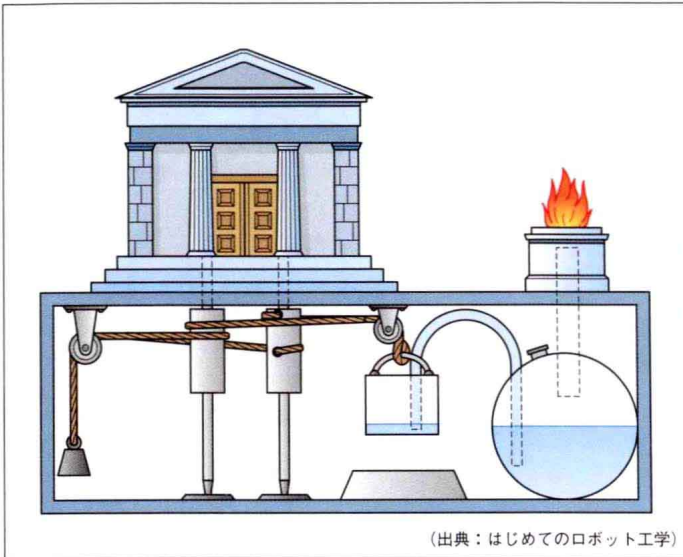
人の役に立つような自動のキカイをつくることは遥か古来からの人類の夢でした。自動キカイの代表ともいえるロボットの原型は紀元前8世紀ごろ、いまから2800年も前にすでに考えだされていたのです。ギリシャ神話の世界では、機械仕掛けの自動人形として「オートマン」の姿が描かれていました。

ホメロス作の叙事詩『イリアス』の中で、鍛冶の神・ヘーパイストスが人間の少女に似せた黄金のロボットをつくり、自分の助手として仕事をさせたという話が出てきます。またクレタ島では、青銅の人造人間「タロス」に関する伝承があり、他国から島を守ったという話もあります。西欧では、これ以降も神話の世界でロボットの話が登場しています。

紀元前には、こうした空想だけではなく、実際に人のために役立つキカイをつくろうという動きもありました。紀元前1、2世紀のエジプトでは、すでに自動ドアや自動販売機の原型が発明されていたという、ちょっと驚かれるかもしれません。これらは、くわしい設計図は残っていないものの、アレクサンドリア（エジプト北部、ナイル川のデルタ地帯の都市）の科学者であるヘロンらが発明したものです。数学が得意な方はご存じかと思いますが、彼は「ヘロンの公式」の生みの親でもありました。

さて、彼が考案した自動ドアは、祭壇に火を焚くと扉が自動的に開くキカイでした。神殿のドアがひとりでに開くという演出は、当時の民衆にとって、本物の魔法や奇跡だと受け取られたことでしょう。もちろん、これは科学的な原理にもとづくものです。炎によって膨張した空気で密閉容器内にある水を移動させ、その重

図1 ヘロンが考案した自動ドア



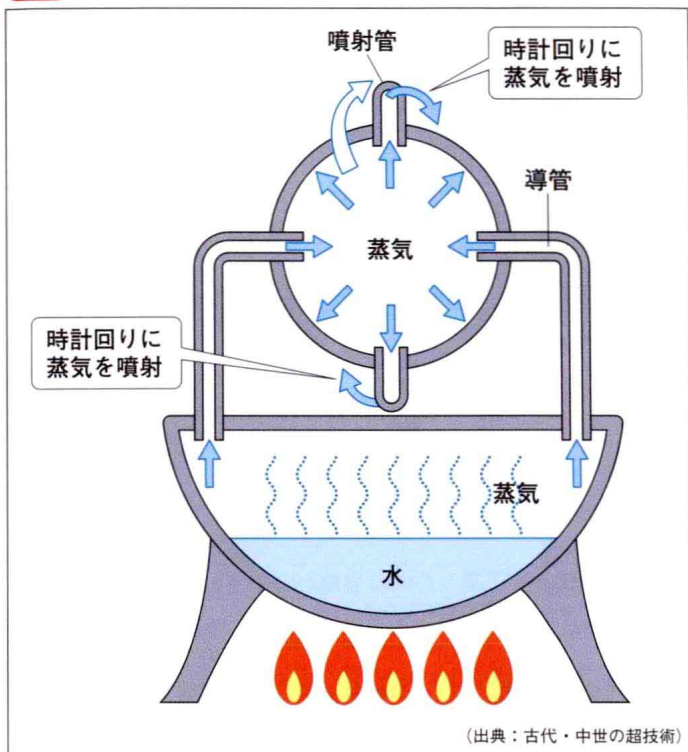
サイフォンの仕組みを応用したもの。神殿のドアがひとりでに開くという演出は、驚きを持って受け入れられただろう

みから扉の軸を回転させて自動的に扉を開けるというメカニズムでした(図1)。サイフォンの仕組みを応用した自動キカイです。

彼が考案した自動装置はこれだけではありません。有名な装置として「聖水の自動販売機」が知られています。自動販売機に硬貨を投入すると、硬貨の重みで内部の受け皿が傾き、テコの原理で弁が開いて、蛇口から聖水が溢れ出すようになっていました。また、コインが落ちると傾きがもとに戻り、弁を閉じることができました。

このほかにも、彼は蒸気圧を利用したさまざまな仕掛けも考案しています。それは「気体学」という書物に著されており、「エオリアの球」と呼ばれる装置などがよく知られています(図2)。エオ

図2 「エオリアの球」の原理



蒸気が吹き出す際の反作用力で球を回転させる「エオリアの球」。現在の反動タービンと呼ばれる流体キカイの原理そっくり

リアの球は、蒸気が吹き出す際の反作用力で球体を回転させるもので、現在の「反動タービン」と呼ばれる流体キカイの原理とそっくりだったようです。イギリスのジェームズ・ワットが蒸気機関を発展させたのが1781年のことですから、蒸気によってキカイを動かすことを考えたヘロンの着想は、ワットよりも1900年以上も先を進んでいたことになります。

時計技術から生まれた、 調速機、脱進機がブレークスルーに

ヘロンの時代には、自動式の水時計も発明されました。これは円筒に水がたまると浮きがじょじょに上昇する原理を利用したものです。浮きと一体になって、人形が時を指し示すような「からくり水時計」もつくられました。その際には、一定速度で低速に動かすようなメカニズムが求められました。その後、水力から、^{おもり} 錘を利用した重力へと動力エネルギーも代わり、さまざまな自動装置の技術をもとに、できるだけ回転速度を一定に保つ「調速機」や、連続した力を規則的かつ段階的に変える機械式の「脱進機」の原理も生み出されました。

そして13世紀ごろには、本格的な機械式時計が誕生しました。イタリアのヤコボ・ドンディは、1344年に室内天文時計「アストラリーオ」を発明しましたが、これが現存するもっとも古い機械式時計です。また、1370年にドイツのアンリ・ド・ヴィックがフランスのシャルル5世のために機械式時計を献上したという記録があります。さらに、動力として錘を使用した塔時計が製作され、「カリヨン」と呼ばれる鐘の時報機能も登場しました。このカリヨンは自動で音楽を鳴らすオルゴールの起源にもなったものです。ブリュッセルの聖ニコラス教会の時計塔にカリヨン時計が取り付けられ、これが最初の自動演奏装置であるといわれています。

15世紀ごろには、製鉄革命が起き、動力源に大きな変化が起きました。ここでいよいよ鋼（パネ）が登場したのです。ドイツ・ニュールンベルグで^{じょうまえ} 錠前職人をしていたペーター・ヘンラインがゼンマイを利用して、携帯式の時計をつくりました。それ以前は、塔時計や室内時計のように持ち運びができない大きなものでした

から、重さ5kgに満たない時計は、「ニュルンベルクの卵」として評判となりました。

その後、1583年には、イタリアのガリレオ・ガリレイが、「振り子の等時性」を発見しました。天井から釣り下がった灯りが振れる際に、その振れ幅の大小にかかわらず、往復時間が変わらないことに気づいたのです。そして1656年に、オランダの物理学者であるクリスチャン・ホイヘンスが、振り子の等時性を利用し、時間の進みを一定に保てる初めての振り子時計を発明しました(図3)。この時計は1日の誤差が数分しかないものでした。その後、日差10秒以下の時計も製作され、精度は飛躍的に向上しました。

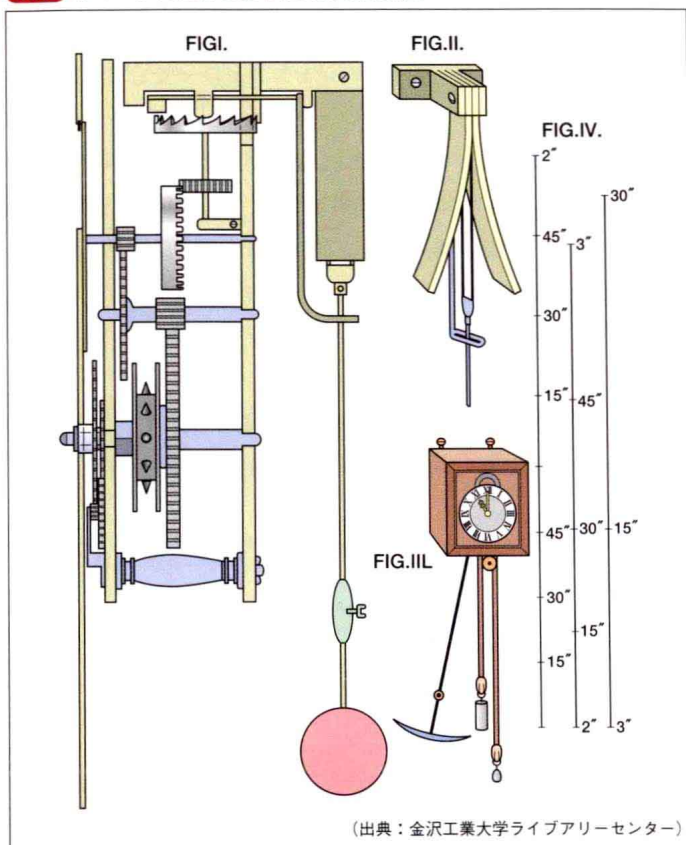
さらに1675年に、彼は「アルキメデスのらせん」と呼ばれるらせんを応用した「ひげゼンマイーテンブ調速機」を発表しました。物理学者としても功績を残していたホイヘンスですが、懐中時計の道も拓いたため、「時計学の父」と称されています。時は大航海時代の真最中。大海原で船の位置を知るために、太陽や星座の位置と正確な時間を知る必要があり、携帯できる精度のよい時計が求められていた時代でした。

このようにして、ヨーロッパではさまざまな自動時計装置が急速に発展していき、時計に付随する技術であった自動仕掛け、たとえば脱進機や調速機の技術が、次に紹介する「オートマタ」や、「からくり人形」に不可欠なキカイ要素となりました。

時計技術やオルゴールを利用したカラクリ ～驚きの「オートマタ」

西洋では時計やオルゴールで培われた技術をベースに、さまざまなカラクリ人形が発明されました。それが「オートマタ」と呼ば

図3 ホイヘンスによる振り子時計の設計図



振り子の等時性を利用して一定速度で歯車が回転する (<http://www.kanazawa-it.ac.jp/dawn/167301.html>)

れるものです。オートマタはオルゴールに使われている「ゼンマイ」を動力源として、音楽を奏でながら動く自動キカイです。その原点は、前述のように14世紀以降の教会などに設置された、音楽を奏でる塔時計といわれています。このような伝統技術が1700年代