

1997 (第13回) 日本国際賞受賞者
1997(13th) Japan Prize Laureate



ジョセフ・F・エンゲルバーガー博士 (アメリカ合衆国)
ヘルプメイト・ロボティクス(株) 取締役会長
1925年生まれ

Dr. Joseph F. Engelberger (U.S.A.)

Chairman and Director, HelpMate Robotics Inc.
Born in 1925.

「人工環境のためのシステム技術」分野

授賞対象業績: ロボット産業の創設と全地球的技術パラダイムの創出
(共同受賞)

ジョセフ・F・エンゲルバーガー博士は、ロボットという機械が産業界全般に革新的な生産性の向上をもたらすことを早くから予見し、世界に先駆けてその開発と実用化に成功した。その結果、製造業を中心とする第二次産業の画期的な生産性向上を実現させることによって、世界経済の長期にわたる拡大と発展に大きく寄与した。

Category of Systems Engineering for an Artifactual Environment

Reasons for Award : Establishment of the Robot Industry and Creation
of a Techno-Global Paradigm<Joint Award>

Dr. Engelberger foresaw from the beginning that machines called robots would markedly improve productivity and was a key person in their development and introduction for practical purposes. He has greatly contributed to the long-term expansion and development of the world economy by innovatively improving productivity in the manufacturing industry.

ロボティクスの過去、現在そして未来

ジョセフ・F・エンゲルバーガー

ロボティクスが登場し始めたのは神話の時代です。人工の人間を創るという夢は、錬金術で金に変えて富を得ようとするのと同様に存在していました。ギリシャ神話には、彫刻の巧みなピグマリオン王が自作の彫刻ガラテアに恋をしたので、ピグマリオンの気持ちに答えて生きた女性にしたという話があります。

時代は下って、中世の中部ヨーロッパでは、人々は土から作られた人形のゴーレムを信仰し、それに超人的な能力を埋め込みました。さらに、14世紀から17世紀には、天才的な技術者が、カムや歯車、ばねなどからミュージックボックスドラムを作成し、ピアノ演奏や手紙の筆記など人間の動作を模倣しました。私たちは人間の知恵と不思議な能力により、ロボットがいつの日かは作られるものといつも望んでいます。

ロボットが作られるのは人間の知恵であって、魔術によるものではないでしょう。1939年にニューヨークで開催されたワールドフェアにおいて、ウェスティングハウスは、それぞれElectroおよびSparkyと称するロボットおよび人工の犬を創作しました。この催しは評判になりましたが、その時に使用された技術は古い16世紀のカムやギアなどによるものでした。

このような憧れの夢にもかかわらず、実用性のあるロボットは第二次世界大戦以降まで登場しませんでした。チャーリーチャップリン演ずる映画モダンタイムズは、人間の心に潜む近代的生産工場の無気力な様子を表すことによりロボティクスの必要性を予言しました。しかし、それは現在のサーボ技術やデジタル理論、半導体回路による技術が確立するまで実現しませんでした。

ビクトルユーゴは、「時宜を得たアイデア」より強力なものは世の中にはないと書いています。ロボットのアイデアはチャベックの1922年のロッサムの汎用ロボットにより広められ、アシモフは1940年代の物語で次のようなロボットに対する原則を設定しました。

ロボティクスの三原則

1. ロボットは人間に危害を加えてはいけなく、間接的にも危害を及ぼすこともならない。

2. 第1原則に矛盾しない限り、ロボットは常に人間に従わなければならない。

3. ロボットはそれ自体、第1および第2原則に矛盾しない限り、危害を被らないようにしなければならない。

当時の宇宙航空技術と、ジョージ C. デヴォールの所有する将来性のある特許を武器として、私たちの会社コンソリデーテッド・コントロールズ・コーポレーションは工業用ロボットの製作を始めました。1961年にはユニメイト (Unimate[®]) ロボットがゼネラルモーターズの工場で稼働をしています。このロボットはダイキャストマシンを操作したり、人間にとってつらい溶接作業や極めて高温な場所や危険な作業を和らげるため使用されました。このロボット (Unimate 001) は現在、人間の生涯の時間の作業をした後、スミソニアン博物館に展示されています。

時代は過去の話から急いで現在に転じると、全世界で年間60億ドルのロボットが生産されています。この分野はアメリカ合衆国の革新により誕生しましたが、主に日本でこれを導入することにより繁栄してきました。図1は経営者や従業員の両方にとって好ましい、ロボットにより行われる作業内容の概要です。

工場の実用ロボットは技術を待ち望んでいたことを話しました。ユニメーションは、利用できる技術から作成しました。油圧駆動のロボットを記憶式プログラムで駆動し、頑強な男性作業員が両手で行うつらい作業に挑戦しました。これは、将来性が見込める最初の自動工場でした。この作業はハードで二交代制で行われていました。ロボットは順調に作業を遂行しています。

日本がやる気になったのは1967年でした。私のできたことは、東京でこの未発達な工業分野を後押しすることでした。時間を無駄に費やす余裕はありません。日本ロボット工業会 (JIRA) は47人の会員会社でスタートしたのです。もちろん革新はアメリカ合衆国から始まりました。しかし、日本が生産者になったのです。1990年までに、日本のロボット製造会

社は、ロボット工業界を支配するまでになったのです。日本の会社は信頼性を初期のMTBFで400時間から15,000時間に高めました。日本は技術の高さを証明した後、汎用性のあり高信頼のロボットを世界に広めました。

今日では、この60億ドルの市場のほとんどは日本が獲得しています。元来、コスト削減のみの面から受入れられてきたロボティクスは、現在では品質向上や人間の安全に寄与しています。

次はどうなるでしょう？

それでは、これから未来を見ることにしましょう。工業用ロボットの分野は安定していくでしょう。ロボットは必需品となってきました。緑色、オレンジ色、青色などに塗装されたロボットは、色は違ってもすべては同じような性能を備えています。ふーむ！ その一方で、ロボット工学に関する技術は産業ロボットのそれより勝ってきました。ロボットが実際に物を見たり触ったりし、言葉の命令を理解することができるようになれば、ロボットは整頓されていない通常の中中で我々の生活を増進させるような仕事を喜んでやってくれるだろう。これらの方面の応用分野に関する私の本が1989年に「Robotics in Service」と題して出版されています。この応用分野を図2に示します。個人へのサービスが可能になってはじめてロボティクスが絶頂に達したと言えるのです。我々にとって喜びであり、また一人で生活が不可能な年配者や虚弱な人たちにとって恵みとなるでしょう。

図3には、ほとんどがセンサーに関するものですが、図2に示す作業に効果的に対処できるロボットの一覧表を示します。

ロボティクスの黄金期が近づいています。これは現在利用可能な技術を高齢化社会の要請に応えて進んでいくでしょう。工業化社会全体で最も人口増加の割合が高いのは高齢者ですが、あまり認識されていない障害者もそうなのです。ロボットはこれらの人々を個人的かつ適切に介護し、もはや彼らの子孫の助けを必要としなくなります。ロボット介護に

より独立して生活をする高齢者は、従来のホームサービスの看護を受けるよりずっと安い費用で日常生活を楽しむことが可能になります。

私はロボット介護の最終開発の国際的なスポンサーとして携わるようになりました。私たちの先輩の余生に価値を高めるのに役立てることは何て素晴らしいことでしょう。ロボット介護の作業内容の概略は次の通りです。物を取って運搬、食事の準備、部屋の掃除、脈拍・呼吸数および体温その他の監視、歩行の補助、環境の監視、音声によるやり取り、緊急時の行動など。図4では、「手を差し伸べる」という心優しいものが伺えます。世紀の替わるこの時期に、このような挑戦に遭遇できるのは何て素晴らしいことでしょう。

最近の応用分野

ダイキャストイング	マシンの部品供給
スポット溶接	スタンピング
アーク溶接	プラスチック成形
ガラス操作	インベストメント鑄造法
熱処理	コンベア輸送
鍛造	パレット輸送
ペイントスプレー	検査
鑄仕上げ	部品の順序取出し
ラボオートメーション	パッチ組み立て

図1

ロボティクスのツール一覧

電子 ● ローコスト、ハイスピードのMPU ● 大量のメモリ、無視できるほど低価格 サーボ機器 ● DC(直流) ● AC(交流) ● ステップモータ ● 油圧 コントローラ ● ポイント列指令 ● 連続パス ● センサ駆動 応用ソフトウェア ● VAL ● KAREL ● RCCL ● その他 位置と運動センサ ● エンコーダ ● レゾルバー ● コンパス ● パッシブビーコン ● アクティブビーコン ● 吊下げ型ビジョン ● 慣性ジャイロ ● 傾斜計 ● GPS	レンジ・スキャニング ● 超音波 ● 三角測量 ● LIDAR ● 光学流れ ● 静電容量 ● 電気誘導 視覚 ● 構造光 ● 立体 ● 画像解析 ● テンプレートマッチング ● 比色計 ● バーコードリーダ 触覚 ● 手首力センサー ● トルクセンサー ● 指配列触覚 ● リミットスイッチ ● 接触バンパー 音声コミュニケーション ● 総合法 ● 認識 人工知能 ● エキスパートシステム ● 知覚融合 ● ファジー論理 ● 意味論ネットワーク
--	--

図3

サービスロボットの応用分野

病院内の運搬	農作業
清掃事業	ガソリンスタンド作業
警備サービス	ホテルのベルボーイ
原子力発電所のメンテナンス	宇宙船の組み立て
海底メンテナンス作業	軍事要員
薬剤師補助	虚弱者や障害者の付添い
手術補助	

図2

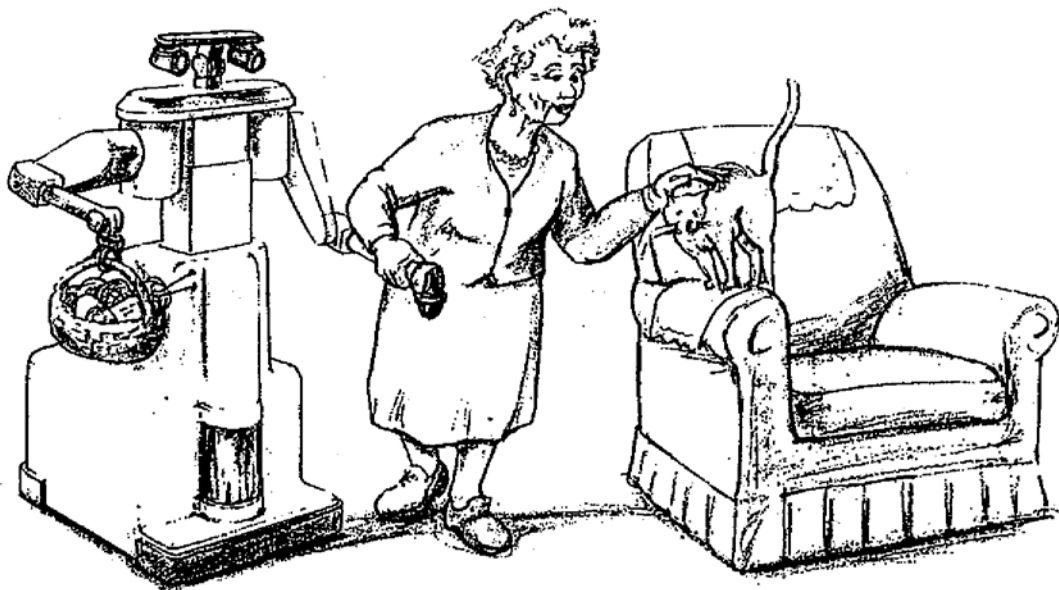


図4

1997 (第13回) 日本国際賞受賞者

1997(13th) Japan Prize Laureate



吉川 弘之博士 (日本)

前東京大学総長 1933年生まれ

Dr. Hiroyuki Yoshikawa (Japan)

Former President, The University of Tokyo,
Born in 1933.

「人工環境のためのシステム技術」分野

授賞対象業績: ロボット産業の創設と全地球的技術パラダイムの創出
(共同受賞)

吉川弘之博士は、環境破壊、資源の枯渇、過当競争などの地球規模の問題にたいして、地球全体の生産性と人工環境が最適になることを主目的とした設計生産工学の研究を行った。そしてものづくりに係わる知識体系の著しい専門領域化が、こうした問題の解決を困難にしていることを論証し、一般設計学という学問分野を開拓してこれら問題解決のための知識体系化をめざした人工物工学を提唱した。

Category of Systems Engineering for an Artifactual Environment

Reasons for Award : Establishment of the Robot Industry and Creation
of a Techno-Global Paradigm<Joint Award>

Dr. Yoshikawa has shown that the professional disciplines associated with the production of artifacts have been too specialized with respect to the system of knowledge, which has made the solving of such problems as environmental destruction and depletion of resources difficult.

He has played a leading role in research in the systematizing knowledge related to design and manufacturing and has developed a new field called general design theory. Based on this concept, he has proposed artifactual engineering in order to solve the above problems.

1. 設計

設計することは、人類が持つ重要な特徴である。設計は、建築設計、機械設計などのように、技術の各分野に存在するが、それはその時まで存在していなかったものを新しく創り出すための考案の過程である。そしてそれは、技術の分野以外の創造的過程、それらは設計と呼ばれず創作とか制作と呼ばれたりするが、それらとも基本的なところで共通することを考えると、設計が、他の生物と際立って異なる特徴を人類に与えていることを、容易に理解することができるであろう。

従って、人間とは何かを理解するために、設計とは何かを考察することを避けて通ることは出来ないと思われる。それは人間にとって二つの意味で本質的な重要性を持っている。第一は、他の生物にはない性質であるが故に人間を理解するために知らなければならないことであり、人類にとって永遠の課題と言うことができるが、第二の課題、それは設計し製造したものが現実世界に存在し始めることを通じて、自らの環境を変えてしまうことであり、それは現代の環境問題に直結しており、緊急の課題であるという側面を持っている。

このように、本質的な重要性をもつ課題としての設計を、どのような方法で研究するのかを明らかにする必要がある。設計が、技術やその他の世界で、その世界の特徴を反映した様々な行為である以上、個別の設計行為を対象としていては無数の「設計学」ができてしまう。そして、建築設計学と電気回路設計学は、同じ設計なのに無関係な学問になってしまう。

人間が行うあらゆる設計行為に共通な部分に注目し、その理論を作ることを目的とする研究領域を「一般設計学」と呼ぶ。まず問題を、技術における設計に限定するが、そうすると一般設計学の課題は、人が想起した概念を、物理的に存在可能なもの、すなわち人工物として実現させる行為を一般的に考察の対象とすることになる。

2. 一般設計学

技術における設計を体系として記述する試みは古くから存在する。よく言われるように、設計の習熟者になるには、どんな領域でも10年以上かかる。そして、設計の体系を記述する書は、自らの長い設計者としての経験に裏打ちされているものが多い。設計学、設計方法などの標題を持つ書の中には、自らの経験を、直接経験談として語りかけるものも多く、それは現実には、大変役に立つ書である。

しかし、同じ経験に裏打ちされていると言っても、設計対象や設計過程をできるだけ体系的に記述し、客観的な設計についての体系を樹立しようとする試みもある。設計対象を機能と実体との構造関係として描出することによって一般的記述を行うもの、設計過程を時系列として標準的モデルを求めるもの、過去の設計例の収集を規範とするもの、心理学的手法を用いるものなどである。これらは、今までに行なわれた設計の事例を基礎として、設計をできるだけ一般的な形式で述べようとしたものである。それらは一定の成果を得ており、設計を学ぶものにとっては勿論有用である。しかし共通の問題点がある。それは、どの設計論も、その正当性を保証あるいは過誤を反証する方法がない、という点である。それらが設計の体験を基礎としている以上、必ず正しい面があるが、それらが科学として成長する可能性はない。

そこで、設計を科学としての条件を満たしつつ体系的に記述する、という計画がたてられることになる。それが可能になれば、その成果としての設計学は、設計学の理論的研究を通じてより精緻な体系へと進化し、その結果その応用としての設計行為は、より豊かな人工物環境を提供する、という調和的な発展が約束される、という計画である。

一般設計学はこのような計画の路線に従うものの一つの可能な方法として提案されたものである。それは人間の概念系に関する単純なモデルを公理とし、設計行為の全体を定理として記述しようとする。得られた定理のすべてが、現実の世界での設計行

為を例外なく説明することが検証されれば、公理系、すなわちそれから演繹される理論体系の正当性が強化されるという構造を持つことになる。

3. 検証

1970年代に提案した一般設計学では、公理は3つしかなく、非常に抽象的なものである。すべての領域の設計に適用可能な設計理論という前提から言って、その抽象性はやむを得ないが、得られる定理も抽象的であるという問題がある。しかもその定理の検証というとき、検証手段は実際の設計者の設計を観察することであるから、それは抽象的なものではない。ここに得られた理論的結果と検証のための実験との抽象性の差異という、物理学などのいわゆる精密科学では現れない固有の困難な問題が現れる。

他の知能研究でも類似の問題があるが、これをもって、設計研究は結局、理論における仮説の提出と実験による検証という、自然科学に共通の方法としての実験科学の範疇に入ることができない、と結論すべきであろうか。

現在のところ、一般設計学は実験科学的方法によっては、その精密性を向上することに限界があるという見通しである。それは、一般設計学の課題は、あくまで設計者である人間が自ら認識および制御可能な思考の中での設計行為について理論を構成する、ということにあり、この思考は観察精度に限界がある、すなわち物理学などの精密科学における観察対象である自然現象とは性質を異にすると考えられるからである。

4. 有効性

この問題を解決するために、実験科学における観察や測定に代るもの、あるいはそれを補強するものが必要となる。一般設計学においては、実用という方法を提案した。すなわち一般設計学で得られた知見をもとに、現実に応用可能なシステムを開発し、それを実際に使用、すなわち実用して、有用性を判

定するのである。それが有用であれば、仮説として提案された設計理論が検証に耐えたとみなが、有用でなければ反証されたことになる。ここで、応用可能なシステムというのは、設計手引書、設計事例集、計算機システムなど何でもよいが、それが設計理論を反映したものでなければならない。

現実には、これらのシステムを作成したり、あるいはその有用性を判定するのは、現実の設計の場である。それは設計研究の研究室である場合もあるが、実際の設計活動が行なわれる製造業の設計部門でもよい。その場合、システムが市場で生き残ることが、理論の検証につながるのである。従って、実験科学における仮説的理論の提案と実験による検証という基本的な組が、ここでは仮説的理論の提案と実用による正当性判定という組に置き換えられることになっている。このようにして、一般設計学が工学の諸分野を横断するものであることを考慮すると、工学が実験科学と異なる構造を持つ独立の学問分野であることが示唆される。しかも、実用とは現実すなわち存在するものを作るものであるから、存在したものに關わる歴史科学との関係も予想される。今後の課題であるが、実験科学と歴史科学との間に構造上の関連を与えるものとして、実用によって理論を検証する、「実用科学」があり得ることになる。

5. 実用

このようにして、一般設計学は研究室における思索に止まり得ず、その応用でなく、理論構成においてさえも、現実世界と関りを持つことが必要となる。このことを背景として、一般設計学は現在までにいくつかの展開を見せている。

最初に述べた設計研究の第二の意味、すなわち人が作り出したものが人間にとって唯一つの環境を作ってしまうという視点が、前述の実用という意味で最も重い課題となる。この場合、人がどのように設計するかという問題を超越して、人工環境そのものを研究することになる。人工環境一般というものは存在せず、人類をとりまく現実の環境が一つ存在するだ

けであるが、それを対象とする研究が人工物工学である。

一方、実験や歴史的考証に代わる実用を計画することも重要なことである。例えば産学協同というのは一つの実用の場であるが、現在のところそれは近視眼的な実利に誘導されすぎているきらいがある。実用とは歴史を作るすべてであるとすれば、この場合人工環境を作るものとして技術上の設計は可能な限り人類の叡知を統合的に投入すべきものであり、それが可能になって初めて、設計仮説を検証する実用の場としても有効なものとなる。この観点から提案され、現在進行中なのが、「知的生産システムの国際協同研究プログラム(略称IMS)」である。

6. おわりに

工学は学問か、というような素朴な疑問に導かれて足を踏み入れた設計に関する研究であったが、その後いろいろな展開があった。前述の人工物工学やIMSは必ずしも一般設計学とは関係のない、固有の時代的な要請によって生まれたという面もあるが、そのことは、設計学研究が時代の変化と無縁でない展開をしているという解釈を可能にしている。工学はそれ自身独自の学問領域である、というのが現在の私の結論であるが、その発展は人の技術的行為と共にあるべきもので、技術の拡がりや連動して、工学がより一般的で基礎的な学問として位置づけられる日を期待している。