

第1回 知的システムゼミ

ゼミ担当者 : 宮坂 淳志, 今里 和弘, 平井 聡
 指導院生 : 中村 康昭, 長野 林太郎, 佐野 僚
 開催日 : 2003 年 4 月 24 日

ゼミ内容: このゼミでは, システムあるいは人工物一般における知的性質の定義を行い, 知的人工物の目的と必然性, 知的性質の分類と構造, 知的化の戦略, そして知的人工物の問題点とこれからの人工物設計について考える.

1 はじめに

近年, システムは大規模・複雑化しており, 「静的」にシステムをデザインするのみでは, 要求される機能を発揮することができなくなっている. そこで, システムにある種の知能を持たせることにより, 環境や状況に適応して, 自律的な動作を行い, 実現すべき機能を達成するメカニズムが必要となる. そこで本ゼミでは, システムあるいは人工物一般における知的性質の定義を行い, 知的人工物の目的と必然性, 知的性質の分類と構造, 知的化の戦略, そして知的人工物の問題点とこれからの人工物設計について考える.

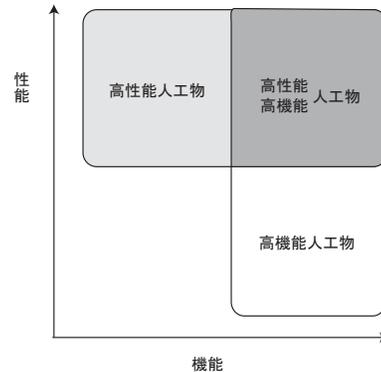


Fig. 1 人工物の機能と定義

2 人工物の定義と分類

人工的につくられたもの. いわゆる人工物は以下の4種に分類できる.

- 工学的人工物
建物, 機械, 自動車, 航空機, 通信網等
- 社会的人工物
言語, 知識, 法則, 法律, 組織等
- 芸術的人工物
小説, 絵画, 彫刻等
- その他の人工物
品種改良した農作物, 遊具等

本ゼミではこれら4種の人工物のうち工学的人工物を限定してとりあげる. 工学的人工物は明確な目的を持って作り出され, その機能 (function) と性能 (performance) が評価できる. すなわち, 工学的人工物は Fig.1 に示すような機能軸と性能軸とで評価できる.

3 知的人工物の定義

知的という言葉をもさまざまな辞書で調べ, 要約すると以下のような定義が多く見られる.

「感覚によって得られた素材を整理統一して新しい認識を形成し, 正しく判断すること」

すなわち, 知的とはある事柄に関する情報を自身に入力として取り込み, それに関連する情報を人工物自身の知識から呼び出す. この間に新しい関連性を付け, 追加更新された知識を用いて自身の行動範囲が広がるようになることである.

先ほども述べたが, 人工物には達成すべき目的があり, 機能と性能という属性で表すことができる (Fig.1). たとえば原動機の機能は電気エネルギーまたは燃料からの力学的動力の発生であり, その性能は動作速度やエネルギー変換効率で表現できる. 機能軸における増加は機能の複雑性機能のスペクトルが広いことを示している. 一方, 性能軸における増加は強度, 速度, 効率など, 機能から現れる性質の強さに関係している.

一方, 人工物のもつ知的性質は Fig.2 に示すように, 機能・性能といった属性とは全く異なる属性で表せる.

人工物の知的化を検討するにあたり, 知的化の工学的意味を十分に定義しておくことが重要となる. 人工物における「知的」という言葉は, 利用者の感覚として人工物が人間の知性と呼ばれるに近い性質を備えている場合に使われており, 知的人工物の働きは, 従来, 人間が行っていた人工物の運用と管理を行うことであると考えられる. 具体例としてはマイコン制御の電気釜 (人間に代わり火加減の調整), ニューロ洗濯機 (汚れの度合いを自動検出) などがあげられる. これらの考察を基に,

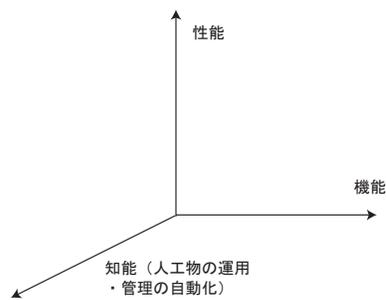


Fig. 2 知的人工物における3つの軸

ここでは人工物における知能を次のように定義する。
 「知的性質とは人工物におけるパラメータを環境に合わせて変化させ、人間や環境にとってより高い効用をもたらすための人工物に寄与される属性であり、こうした知的性質を総称して知能と呼ぶ」

この定義について説明する。知的人工物はパラメータを持たなければならない。パラメータとは、変えることができるものであり、その変化によって人工物の特性が変化する。これは知的人工物の必須条件である。パラメータを持たない人工物は知的にはなり得ない。次に、それらのパラメータを環境に合わせて変化させる。このため人工物には環境を知るための環境センサが必須である。そして、センスした情報と与えられた知識や学習で得た知識を基に、人工物の持つパラメータを適切な値に変化させる。

こうした知的性質の目的は人間にとっての高い効用である。この場合の効用とは、利用者の手間を省くといったことから自然環境への負荷を少なくする事までを含む。こうして定義された知能は人工物の環境インターフェイスの高度化ともいえる。Fig.3は人工物とそれを取り巻く人間環境と自然環境の関係を模式的に表したもので、知的でない人工物では人工物側のインターフェイスが変化せず、人間や自然環境に負荷が作用し、ひずみを生むとともに、相互に隙間が生じ、人工物の性能が十分に発揮されない。一方、知的である人工物では人工物側のインターフェイスが人間や自然環境に応じて変化し、人間環境や自然環境に負荷が少なく、人工物の性能が十分に発揮される。このように、人工物の知的化はインターフェイスの問題として捉えることができる。

4 知的人工物の必要性

人工物の属性として機能と性能だけでは不十分であり、知的性質が必要となる理由を4点挙げる。

- 人間にはできない高性能を実現する
 高性能人工物は、問題解決に効果的だが、それ単独でシステムとしての高性能を達成することはできない。高性能要素は、高性能になればなるほど機能的

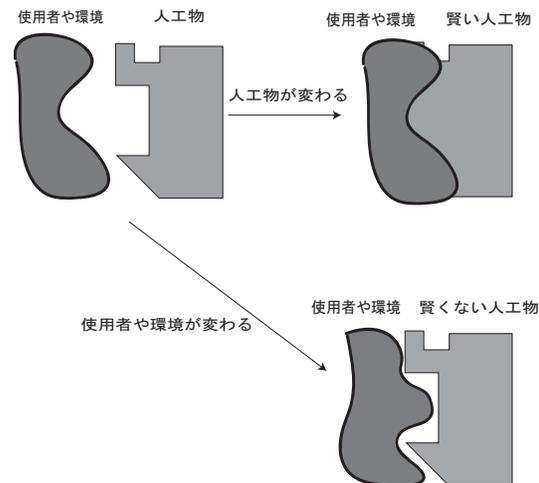


Fig. 3 人工物のインターフェイスとその変化

に限定され、複雑な運用と管理によって初めて効用が発揮されることが多い。そのため、これらを取り巻く知能は不可欠である。

- 人工物の価値を高める

本来の性能が飽和状態の人工物には知的な性能を付加することで、全体的なシステムを向上させるしかない。このように、人工物是否が応でも知的にならざるを得ない。知的になると、問題解決能力が増し、価値が高まり、人間に利益をもたらしてくれる。こうした観点から、「知的でなければ人工物は生き残れない」とも言える。

- 省資源・省エネルギーを達成する

地球上の有限な資源状況から、より少ない資源とエネルギーで目的を達成することは重要である。省資源・省エネルギーのためには、必要なところに必要なだけ資源とエネルギーを適切に配分する判断が重要となり、知能が不可欠となる。

- 人に優しい人工物を実現する

これからの人工物は、使う人に快適さと満足を与える物ではなくてはいけない。そのためには、人工物が賢くなる事が有効な解決法となる。賢くない人工物とつき合うのは不快であり、不満足である。

このように、人工物に対する要求の水準が高くなればなるほど、そのいずれもが知的という概念で達成される事が多くなる。ここで重要なことは、人工物の持つ本来的な機能および性能と、知的概念は別に考えるべきである。本来的な機能や性能を高める努力もきわめて重要である。

5 人工物における知能の程度と分類

5.1 知能の目的

人工物の目的は広義の利益を増加させ、広義の不利益を減少させることである。しかし、全ての不利益を減少し、全ての利益を増加することは簡単ではない。これらの事象は競合しており、設計者の価値観により広義の利益をどの程度増加させるか、不利益を減少させるかが選択される。

例えば、知的機構を働かせるために常に装置をスタンバイ状態に保つことは利用者にとって利益であるが、エネルギー消費の観点からは自然環境に負荷を与える。また、太陽エネルギーを使うことによりエネルギー消費を抑えようとする、天候により通常電源より切り替える機能が必要になり、通常よりもコストは高くなる。このように目的により知能は選択される。

5.2 知能の程度

人間社会において「賢い」という言葉は相対的な形容詞として用いられる。この「賢い」という言葉は、絶対的な評価ではなく、同種のものに対する相対的な評価である。

例えば、カメラと炊飯器はどちらのほうが賢いか、と聞かれても同種のものではないので比べることはできないし、意味もない。しかし、炊飯器同士なら比較することは可能である。何の特徴もない炊飯器とタイマー付の炊飯器であれば、後者の方が「賢い」といえるだろう。ただし、この評価は今挙げた2種の炊飯器間での評価であり、今日ではタイマー付くらいで一般的に「賢い」とはいえないだろう。「賢い」という言葉は、相対的な評価を表しているものであるため、社会の価値観や技術の進歩などによって変化していくものである。

5.3 知能の分類

知能を分類するとき、次の2つの分類方法がある。

1. 目的による分類

知能は各種の利益と不利益に基づいて分類することができる。知能の目的は、ユーザの立場からわかりやすく言えば、人工物の経済性、安全性、快適性、利便性、信頼性、環境調和性、省エネルギー性、省力性などが存在する。

例えば、自動的時刻合わせの仕組みがあるビデオではビデオ内の時計の補正を人間がする必要がないため、利用に際してユーザが行う操作が少なくなる。これは快適性であり、省力性でもある。

一方、安い電話回線を自動的に選択するLCRもユーザが行う操作が少なくなり、快適性と省力性を高め、しかも経済性を増加させる。

2. 仕組みによる分類

知能は実現している仕組みから分類することも可能である。現在最も数が多いのは電子部品を用いた知能であろう。コンピュータという知的デバイスを組み込むことで容易に知的化が達成できる。他にも種々の要素の組み合わせにより知的性質を発現している人工物もある。これは機械的・電氣的制御などを用いた知能であるが、これらがコンピュータを利用したものより劣るわけではない。また、システムで実現される知能より根源的な材料や素材自身の性質を利用した知能もある。

具体例としては、電子部品を用いた知能として全自動洗濯機、機械的・電氣的な知能として沸騰を知らせてくれるやかん、材料や素材自身の性質を利用した知能として形状記憶シャツなどが挙げられる。

6 知的化の構造

知的化のために重要な戦略として知的化の構造がある。知的性質自身が複数の知的モジュールで構成され、その構造が全体としての知能の知的性を大きく規定する。知的化の構造には次にあげる3つが考えられる。

6.1 重層的構造

一つの単純な知識だけでは対応できる範囲は限られている。環境が複雑になるにしたがい、環境からの入力が多くなり、一つの単純な知識だけでは処理が不可能になる。そこで、環境からの入力複数の知識を駆動し、全体としての知的挙動が実現される構造が必要になる。この構造が重層的構造である。この構造は、環境からの入力を複数の要素が個別にしかも選択的に対応する。利点としては、集中的判断要素がないため信頼性が高い点が挙げられる。この構造を Fig. 4 に示す。

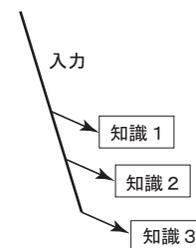


Fig. 4 重層的構造

6.2 分岐的構造

この構造は重層的構造に似ているが、入力に対し個別に対応するのではなく、基幹となる知識が存在し、その知識が入力によって駆動するモジュールを決定することで制御する構造である。この構造を Fig. 5 に示す。

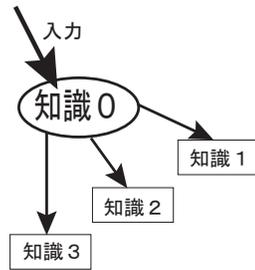


Fig. 5 分岐的構造

6.3 階層的構造

知的性質は故障したり、不十分にしか対応できない場合がある。こうした場合に、できる限り当初の目的を崩さずに知的性質を確保するため、多段的な構造が必要となる。これが階層的構造である。階層的構造では各段階ごとの目標を設定し、何らかの理由でその目的が達成されない場合は、目標レベルをより根源的なものに下げている。各段階で最善を尽くすアプローチである。この構造を Fig. 6 に示す。

この階層構造を飛行機にたとえると、突風に流されて進行方向が変化したとき、第一段階の知的機構として自動パイロットが作動し、進路を元に戻すようにコントロールされる。それでも目標進路からのずれが大きくなるようであれば、第二段階の知的機構が働き、最初の航行ルートをあきらめ、気象データの収集による原因調査と航行ルートの再設定を行い、突風領域を回避することを行う。このように目標が達成されない場合、順次、目標レベルをより根源的なものに下げている。各段階で最善をつくすアプローチが知的性質の階層的構造である。

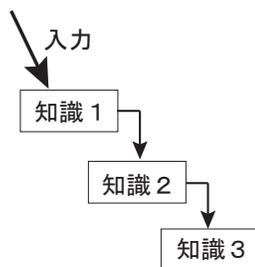


Fig. 6 階層的構造

7 知的化の戦略

7.1 知識の獲得方法

知的人工物はそれ自身が持つパラメータを環境に合わせて変化させるが、そのためには変化のための知識・ルール・手順が必要である。知識の獲得方法として以下

の2つが考えられる。

- 先天的方法

人工的に最初からすべての知識を組み込む方法。環境変化が予測でき、しかもそれに対する知識がすでに存在する場合に有効である。この方法では、最初から必要な知的性質を發揮することができる。

- 後天的方法

学習メカニズムのみが先天的に組み込まれており、個別の知識は学習によって獲得する。環境変化の適応範囲が極めて広く、予測が困難で、対処のための知識を明示的に記述できない場合に有効である。この方法では、人工物は広い範囲に対応し、学習によって徐々に知的な性質を發揮する。

7.2 知識化の戦略

知識の獲得方法には、先天的方法と後天的方法が存在し、対象とする人工物の環境変化を考慮していずれかの方法を採用する。一般的に、知的化の戦略は以下の3種にまとめられる。

- 即効性重視型

初期知識量を多くし、学習能力がないか、もしくは補助的に用いる戦略である。このうち学習能力がないものを限定型知的人工物と呼ぶ。パラメータの細部を利用者によって調整する補助的な学習能力があるものを学習能力付知的人工物と呼ぶ。

- スベクトル重視型

学習能力を中心とし、初期知識量が少ない戦略である。利用するには長い教育が必要となり、特定の目的をもった人工物としては使いにくいと考えられる。

- 混合型

上の2つの戦略の良いところを集めた戦略である。初期知識量も多く、即効性が期待でき、しかも学習能力が充実しているので想定された環境を超えた徐々に変化に対しても対応が可能であり、最も理想的な人工物である。

8 知的化の実現戦略

知的化はインタフェースの高度化である。それならば、Fig. 7 に示すように機能と性能だけの人工物に知的なインタフェースを介在させることで知的化を実現することができる。ここでは、これを知的インタフェースと呼ぶ。知的インタフェースは、人間を含む環境の変化を読み取り、コアとしての人工物の多数のパラメータを調節し、人工物の効用を最大化する。このような知的インタ

フェースは人工物側のインタフェースに合わせて個別に設計する必要がある。これは Fig. 7 における専用知的インタフェースの設計である。

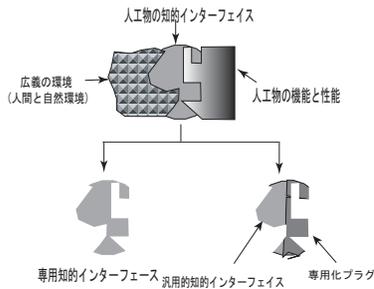


Fig. 7 知的インタフェース

専用知的インタフェースといえども個別に設計しなければならないのは、個別のインタフェースとのインタフェース部分のみであり、広義の環境インタフェース部分は共通である。このことから、専用知的インタフェースは汎用的インタフェースと専用化のためのプラグ部分に分けることができ、前者は一般的に設計可能となる。この場合、汎用的インタフェースは利用者の意図や命令、また環境が持つ状態をセンスし、利用者の利益と人間全体の利益を考慮して専用化プラグに制御命令を送る。専用化プラグはコンピュータにおける周辺機器のドライバに相当する。

9 知的性質の喪失と知的メカニズムの信頼性

知能が人工物の単なる付加的なものであるならば、知的性質が故障などによって失われても問題は少ない。しかし、近年あるいは将来の知的人工物では知的性質が喪失すると人工物の機能や性能が全く発揮できなくなる場合もある。これを示したのが Fig. 8 である。

知的インタフェースは人工物そのものの複雑化を吸収することができ、しかもその方向こそが人工物の高度化につながるため、人工物は進化する。これは一般に環境インタフェースのパラメータの増加という形で現れる。

従来型の人工物に知的化のインタフェースが付加された形式の知的人工物では、知的インタフェースが故障して知的性質が喪失しても利用者はマニュアル操作で人工物の運用・管理ができる。しかし人工物自体が進化している場合、Fig. 8 の下のように知的性質を失った人工物を利用者が管理・運営することはできない。

知的メカニズムが破損したときに利用者が人工物を管理・運営できなくなる場合には、知的メカニズムの信頼性が全体の信頼性を規定してしまう。このため、知能は電子部品による高次のシステムから材料の知的性質を利用する低次のシステムまでを重層的かつ階層的に配置してシステム全体の信頼性を高める必要がある。また人工物が進化し、知的インタフェースの能力喪失により利用

者が人工物を運用・管理できなくなることを防ぐためには、マニュアル操作でその人工物の基本的機能が維持できる手動操作のためのインタフェースを別に設けることが重要となる。

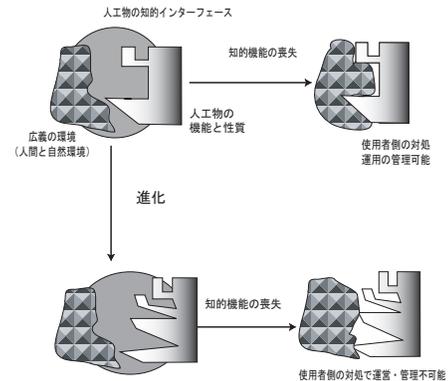


Fig. 8 知的性質の喪失

10 知的メカニズムと構造と水準

本節では第3節で述べた知的人工物の定義に基づいて、知的性質のメカニズムを解析する。

10.1 知的メカニズムの構造

人工物が利用者を含む広義の環境の変化に対応して自身のパラメータを自律的に変化させるには、その環境の変化をセンスするための各種センサが必要である (Sense)。次に、センサで得た情報を基に人工物の機能や性能を最適化する計画を立て (Judge)、それに沿って人工物のパラメータを変化させること (Act) ができなくてはならない。これらの3つの要素の関係を Fig. 9 のように表現できる。

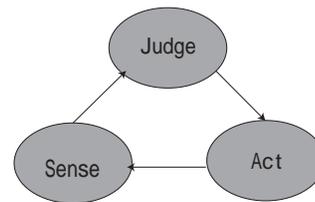


Fig. 9 知的メカニズムの構造

10.2 知的メカニズムの水準

知的メカニズムの構造と同時に、その知的水準を考えることは非常に重要である。例えば、過去に製作され現在も利用されている人工物を、利用者に対してより使いやすく、効用をもたらすものにする際、以前と同程度の知的性では利用者をあまり満足させることはできない。以前の製品と比較し、新規の製品がより広い環境に対して適応的に動作できれば、その製品は知的性を増し、利

ユーザーに大きな効用をもたらすことができると考えられる。そこで、人工物がどの程度広い環境に対して適応的に動作することができるのかということを考える。

センサによって得られた環境に関する情報を基に人工物のパラメータを変えるには、判断のための基準が必要である。この基準が人工物の設計者もしくは利用者によって与えられる知的人工物は最も水準の低いものと考えられる。これをレベル-1 とする。レベル-1 では与えられた判断基準が1通りしかなく固定的であるともいえる。例えば、室温と湿度によって風量を調整するエアコンでも、設計者が室温と湿度の両方を1つの判断基準とした場合には、レベル-1 の知的人工物と考えられる。設計者や利用者が与える人工物の目標によって、複数ある判断基準の中から適切な判断基準が自動的に導出あるいは選択できる知的人工物をレベル-2 とする。学習機能を持った知的人工物は、学習により判断基準を複数個作成し、使い分けることが可能なのでレベル-2 の知的人工物である。さらに、設計者や利用者がより一般的な目標を与えれば、その一般的な目標を満足させるために、より限定的な判断基準が自動的に導出あるいは選択できる知的人工物はレベル-3 とする。そして、人間の介入を必要とせず、自律的に上位の目標を導出できる人工物をレベル-4 とする。この関係を Fig. 10 に示す。ここで、レベル-3 の知的人工物に与える限定的な目標を下位の目標と呼び、レベル-4 で与えるより一般的な目標を上位の目標と呼ぶ。

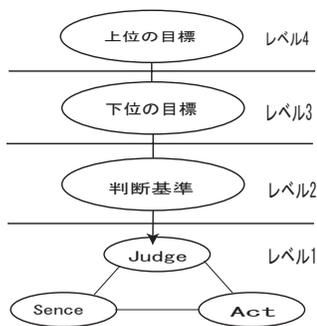


Fig. 10 知的メカニズムの水準

レベル1の知的人工物はその判断基準の与え方によって、以下の4つに分類することができる。

- レベル-1.1: 判断基準を設計者が組み込んでしまうもの。環境によって個人的な好みが入り込まず、判断する基準値は固定であり最適値に調整済みであるもの。
- レベル-1.2: 判断基準がユーザの好みにあわせて変更できるため、判断基準を後からユーザが記憶させるもの。

- レベル-1.3: 判断基準を人間が直接記憶させずに、その人工物が自律的に記憶するもの。
- レベル-1.4: 自律的に何が判断基準となるかを探し、適切な判断基準が見つければそれを取り込むことというもの。

レベル1.4の知的人工物の例は今のところ見当たらない。しかし、インターネットに接続された人工物であれば、検索エンジンを使い必要な情報を探してくるというメカニズムを考えることはできるだろう。

このように、知的メカニズムの水準には階層構造が存在する。