

第1回 知的システムゼミ

ゼミ担当者 : 森 隆史, 米澤 基, 松本 義秀
 指導院生 : 長谷 佳明, 中村 康昭
 開催日 : 2002年4月18日

ゼミ内容: 近年, システムの特徴は大規模性と複雑性だけではなく「静的」にシステムをデザインしたのでは要求される機能を発揮することはできなくなっている。本ゼミでは, 三木光範, 河岡司の「知的人工物についての基本的考察」をもとに, 知的化への理解を深め, なぜ知的人工物が重要なのか, 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の考え方などについて考える。

1 人工物の定義と分類

人為的に作られた, いわゆる人工物は, 以下の4種類に分類される

工学的人工物: 工学を基礎として作り出されるもの。

プログラム, アルゴリズム, 航空機, 通信網

社会的人工物: 経済や社会を基礎に作り出されるもの。

言語, 知識, 法則, 法律, 組織

芸術的人工物: 作る側, 利用する側も明確な目的を意識しないもの。

小説, 絵画, 彫刻

その他の人工物: 品種改良した農作物(人工的自然物), 遊具(特殊な工学的人工物)など

本ゼミで対象とする人工物はこれらの人工物のうち工学的人工物に限定する。工学的人工物は明確な目的を持ち, その機能や性能が評価できるものである。ここでは工学的人工物の知的化について論じる。

2 知的人工物の定義

知的という言葉をさまざまな辞書で調べると, 要約すれば『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』というような定義が多く見られる。

すなわち, 知的とはある事柄に関する情報を自身に輸入として取り込み, その情報に関連する情報をそれ自身の知識から呼び出し, それらの間に新しい関連性を付け, こうして追加更新された知識を用いて自身の行動がある目的のためにもっとも適切になるようにすることであると言える。

人工物は達成すべき目的があり, そのために基本的な属性として機能(functions)と性能(performance)を持つ。すなわち, 一般的な人工物はFig.1に示すように機能軸と性能軸とで評価することができる。

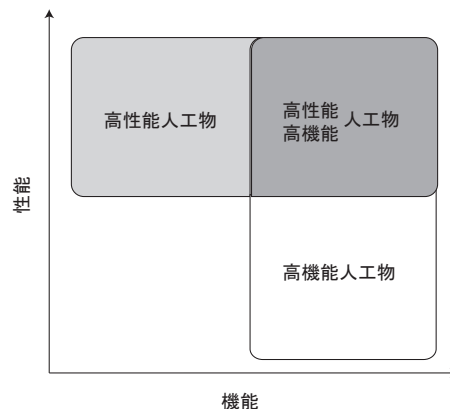


Fig. 1 人工物の機能と性能

たとえば時計の機能は, 時刻を表示するということであり, 性能は, どのくらい見やすいか, どのくらい正確に時を刻むか, どれくらい長持ちするかということなどである。機能軸における増加は機能の複雑性および広がりなどを意味し, 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, 人工物の持つ知的性質はFig.2に示すように, 機能や性能といった属性とはまったく異なった属性で表されると考えられる。

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。人工物の「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ような性質を具備している場合に使用されており, 知的人工物の働きは, 人間が行っていた人工物の運用と管理をすることだと考えられる。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, 人工物における知能を次のよう

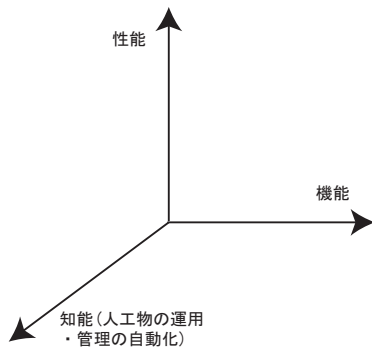


Fig. 2 知的人工物が持つ3つの軸

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。」

人工物が、使われる環境や利用の仕方依存する多くのパラメータを持ち、これらの組み合わせにより、多様な利用者の要望や使用環境に柔軟に対応できるように設計されているとする。このとき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、適切な組み合わせを人工物自身が選択し、利用者の容貌や環境に応じた最高の機能と性能を提供してくれれば、その人工物は知的であると定義し、その人工物は知能を持つと考える。

この定義について説明すると、まず知的人工物はパラメータを持たねばならない。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えない。次にそれらのパラメータを環境に合わせて変化させる。このためには人工物は環境を知る必要がある。したがって、環境センサが必須となる。この場合の環境はその人工物にとって広義の環境で、使用者、使用者の周囲の人間環境、および人工物がおかれている自然環境を指す。環境センサの種類や数はパラメータの種類や数に依存する。最後に、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。この場合の効用も広義の意味を持ち、使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といったことまでを含む。

本定義では、知能は人工物の本来の機能での高度化や、性能向上とはまったく独立な属性として定義されており、知的性質が時間の経過や利用者の慣れ、技術の進歩で知的性質でなくなるようなことはなく、それらの性質は知的化技術の進展の中でよりレベルの高い知的性質に置き換えられることになる。また、知能という言葉は一般的には人間が持つような高度な知能を考えるが、ここではどんなに単純でもここで定義した性質は知能であると考え

る。こうして定義された知能は人工物の環境インタフェー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フェースが変化せず、人間や自然観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、知的人工物では人工物側のインタフェースが変化し、人間環境や自然環境に負荷が少なく、また、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フェースの問題として捉えることができる。

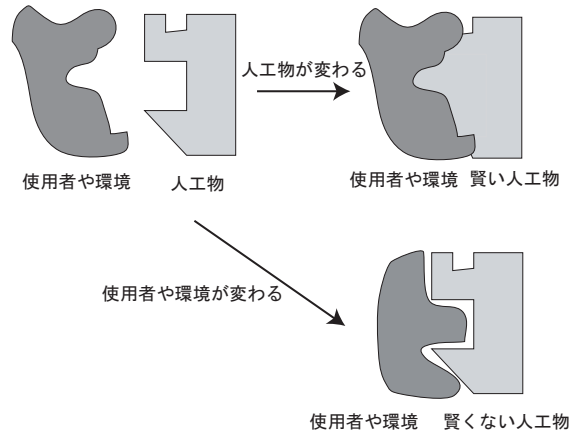


Fig. 3 人工物のインタフェースとその変化

このような「知的」の定義により、曖昧模糊とし複雑な知的化の問題を少なくともある側面で形式的な問題としてとらえることができる。また、将来的にはより高度な知的に向かって拡張していくことができる。

3 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、知的人工物が必要とされているが、それでは、なぜ知的人工物が必要なのであろうか。ここではその具体的な理由について、4つ挙げる。

- 人間にはできない高性能の実現

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要素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、人工物は否が応でも知的にならざる

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

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、それらを浪費する高性能ではなく、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

一昔前までは、高性能であれば使いにくくても仕方がなかったが、これからは、使う人の快適さと満足を与えるものでなければ人工物は生き残る事ができない。使う人に快適さと満足を与えるには人工物が賢くなる事が有効な解決法となる。賢くない人工物と付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、人工物の持つ本来の機能や性能と、知的概念は別であるということである。本来の機能や性能を高める努力もきわめて重要である。

4 人工物における知能の目的

工学的人工物は目的をもっており、人工物の属性である機能、性能、知能もそれぞれの目的を有している。

人工物への入出力について考えると、各入出力は、それぞれ各環境への利益・不利益を持っている。人工物設計の要点は、これらの複雑な入出力の中で、広義な利益を増加させ、広義な不利益を減少させることであり、このために人工物の性能と知能を最大限に向上させることが必要であるといえる。しかし、これらの目的は互いに競合していることが多く、ある人や環境には利益であっても、別の人や環境には不利益であることもある。どれを優先させるか、何が真に賢いかは価値観の問題であるといえる。人工物の性能向上には、本質的な価値観は入ってこないが、人工物の知的性質には設計者の意図や価値観が必ずあるのである。実は、これらの知的性質の目的は、人工物設計において最も重要なポイントで、我々は表面的な環境インタフェースの整合を目的とする浅い知的性質を考えがちだが、利用者のみならず人間環境や自然環境にも利益が多くなるようにしなければならない。この場合、利用者にとって使いにくくなったならば、その点に関して十分に利用者に理解してもらふ必要がある。利用者側の理解が進めばこのような深い知的性質も人工物に組み込むことが可能となる。

5 人工物における知能の程度と分類

5.1 知能の程度

我々人間は、人工物に対して「賢い」という言葉を使うことがある。この「賢い」という言葉は、ある特定のものに対する絶対的な評価ではなく、比較することのできる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、また、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なのである。こうした相対的な性質は、人工物の性能についても同様である。

5.2 知能の分類

知能を分類しようとするとき、次の2つの分類方法がある。

1. 目的による分類

目的とはユーザから見ると、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、省力性などといえる。

例) 電気ポット やかんに比べ、安全性・快適性・利便性が向上。

2. 仕組みによる分類

知能を実現している仕組みからも分類することができる。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用意に知的化を達成させることができる。他にも種々の要素の組み合わせにより知的性質を発現させる人工物もある。機械的・電気的制御などを用いたシステムであるが、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知的性質を利用したものもある。仕組みによる分類を Table 1 に示す。

6 知的化の構造

知能における知的性の発揮のための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する。知的化の構造には次にあげる3つがある。

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。つまり、環境が複雑になるにしたがい、環境から

Table 1 仕組みによる分類

知能の種類（仕組みによる分類）	例
電子部品を用いた知能	全自動洗濯機
機械的や電気的な知能	沸騰を知らせてくれるやかん
材料や素材自身の知能	形状記憶シャツ

の入力も多くなり、一つの単純な知識だけでは処理しきれなくなるのである。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、外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構造である。利点としては、集中的判断要素がないため信頼性が高い。この構造を Fig. 4 に示す。

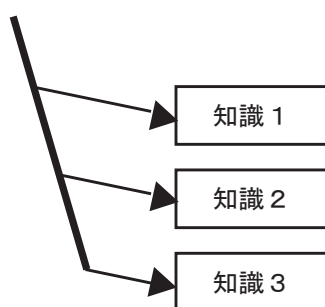


Fig. 4 重層的構造

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、基幹となる部分が存在し、それが各モジュールに命令を出すことで全体を集中的に制御する構造である。この構造を Fig. 5 に示す。

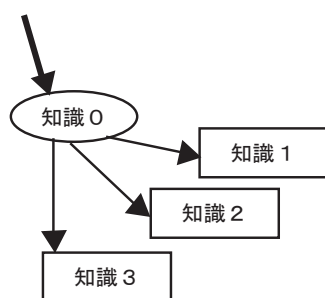


Fig. 5 分岐的構造

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と考えられる。こういった場合に、できる限り当初の目的を崩さないようにするために多段的な構造が構造が必要になる。これが階層的構造である。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、より根源的な段階にレベルを下げていく。こ

の構造を Fig. 6 に示す。

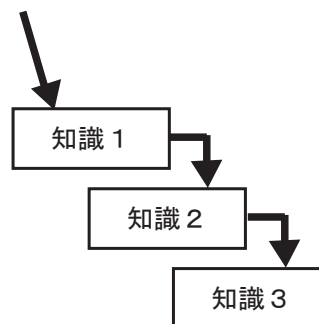


Fig. 6 階層的構造

7 知的化の戦略と実現戦略

7.1 先天的方法と後天的方法

知的人工物はそれ自身が持つパラメータ環境に合わせて変化させることができるが、そのための知識・ルール・順序が必要になる。これらを獲得する方法として先天的方法と後天的方法が考えられる。

- 先天的方法

人工的に最初から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発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いる。個別の知識は学習によって取得する。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発揮する。

7.2 知的化インタフェースについて

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。

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知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、汎用知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。

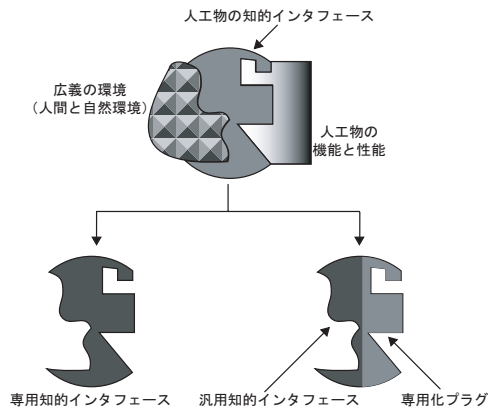


Fig. 7 知的インタフェース

8 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こともありうる。これを示したのが Fig. 8 である。従来の人工物に知的化のインタフェースが付加された形の知的人工物では、何らかの理由で知的性質が喪失しても、利用者は手動で人工物の管理・運営ができる。しかし、知的化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知的化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。こうした場合 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。

人工物が進化し、知的化インタフェースの喪失により利用者が人工物を管理・運営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別の手動操作のインタフェースを設けることが重要である。

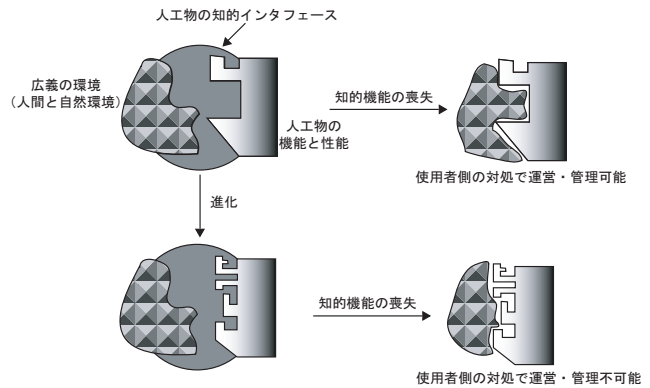


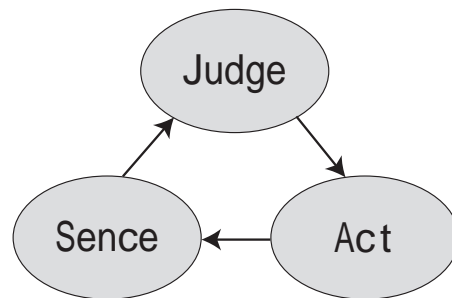
Fig. 8 知的性質の喪失

9 知的メカニズムの構造と水準

この節では第3節で述べた知的人工物の定義について、そのメカニズムを解析する。

9.1 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。この3つの要素は Fig.9 で表すことができる。



これら3つの要素の組み合わせは知的性質の発現機構である。

Fig. 9 知的メカニズムの構造

9.2 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を新しく製作しようとする

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，その製品はより知的性を増し，利用者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，人工物の知的性質を分類するためには，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必要がある．具体的には，人工物の知的メカニズムの水準は，判断動作のための基準の設定を階層構造として分類できる．

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ることができる．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，室温と湿気によって風量を調整するエアコンでも，設計者が室温と湿気の両方を1つの判断基準とした場合には，レベル-1 の知的人工物であると考えられる．

もし，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されるのであれば，その知的人工物はレベル-2 とする．また，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されるならその知的人工物はレベル-3 と考えることができる．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がレベル-4 の知的人工物であるといえる．この関係を Fig.10 に示す．ここで，レベル-2 の知的人工物に与える限定的な目標を下位の目標，レベル-3 で与えるより一般的な目標を上位の目標と呼ぶ．

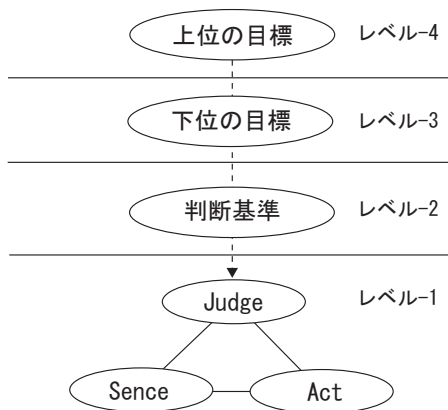


Fig. 10 知的メカニズムの水準

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．人工物の知的性とは，階段的に適応できる使用環境が広がるのである．

参考文献

- 1) 三木光範，河岡司，人工物についての基本的考察，THE SCIENCE AND ENGINEERING REVIEW OF DOSHISHA UNIVERSITY, VOL.37, pp.32-52, 1996 .