

第一回 知的システムゼミ

2001年4月18日

指導 小川 (M2) 長谷 (M1)

担当 チーフ：村上 サブチーフ：中村，吉田

1 知的システムゼミの目的

最近のシステムは、感性化，インテリジェント化，それに共同化の度合いを強めつつある．中でもインテリジェント化の流れは電子デバイス技術と情報処理技術の驚異的な発展に伴って最も進んでいると思われる．しかしながら，このようなインテリジェント化されたシステム全般や人工物に関しての知的性質の位置付けや意義付けが議論されることは少ない．知的化ゼミでは，なぜ知的人工物が重要なのかをふまえ，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．さらに話し合いにより，現実にあるどのような人工物が知的と呼ぶにふさわしいかと考えることにする．

2 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，以下の四つに分類される

工学的人工物：建物，機会，自動車，計算機，通信網

社会的人工物：言語，知識，規則，法律，組織

芸術的人工物：小説，絵画，彫刻

その他の人工物：上記以外の人工物

人工的自然物：品種改良した農作物など

特殊な工学的人工物：遊具等

本ゼミで対象とする人工物の範囲は，これらの人工物の中で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．本ゼミでは工学的人工物の知的化について論じる．

3 知的人工物の定義

知的という言葉を経々の辞書で調べると，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』という定義が多く見られる．すなわち，知的とは，あることがらに関する情報を自身に入力として取り込み，その情報に関連する情報を自分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最も適切になるようにすることである

と言える．人工物はすでに述べたように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 (function) 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．たとえば，電灯の機能は，スイッチを入れたら光がつくというものであり，性能はどのくらい明るいとか，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．これは機能の強度とも言える．単振動のモデルで言えば，機能は周波数，性能は振幅に相当する．

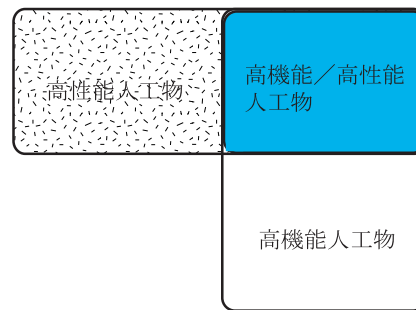


Fig. 1 人工物の機能と性能

一方，人工物の持つ知的性質はこのような機能や性能の軸とはまったく異なった軸で表されると考えられる．逆にいえば，ここでは知的性質は機能とは異なる観点から考えることにする．

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．

人工物に知的という言葉を用いるのは，人工物が人間の知性と呼ばれるに近い性質を具備している場合で，具体的な例としては，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) などである．これらはいずれも，人工物本来の機能に，これまで利用者 (人間) が分担していた人工物の使い方，運用，管理に関する仕組みが付随しており，この点が従来の単なる機能の多様化高度化，性能向上に比べ知的と表現される所以であるように思われる．

Fig.2 に示すように，機能と性能とは別の第3の軸，運用と管理の自動化，すなわち知能の軸を持つ人工物を知的

人工物と呼ぶ。この軸は明らかにほかの軸に独立である。

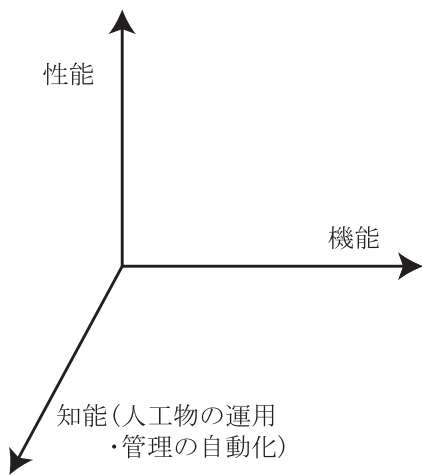


Fig. 2 知的人工物が持つ3つの軸

人工物における知能とは、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にとってより高い効用をもたらすための人工物に付与される属性であり、そしてこうした知的性質の総称のことである。

人工物が、使われる環境や利用の仕方に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。この時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、利用者の要望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あわせて変化させる。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、環境センサーが必須となる。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、および人工物が置かれている自然環境を指す。環境センサー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、性能向上とは全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する。こうして定義された知能は人工物の環境インター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ーフェースが変化せず、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、知的人工物では人工物側のインターフェースが変化し、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ーフェースの問題としてとらえることができる。

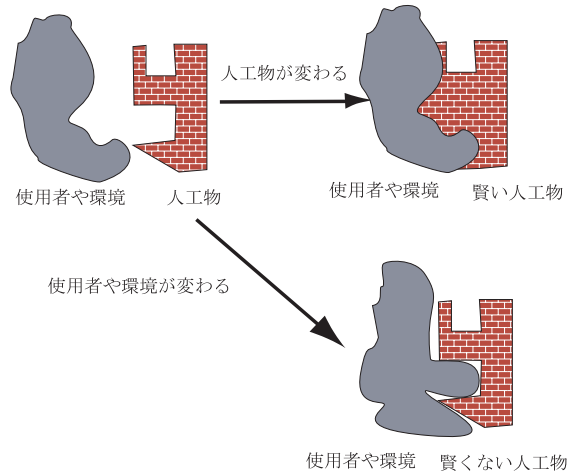


Fig. 3 人工物のインターフェースとその変化

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。

4 知的人工物の必要性

知的人工物が必要となる理由について考える。

- 人間にはできない高性能の実現

問題解決に効果的だが、高性能人工物は、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

性能の限界がきているものに対して、更に向上を望むのは難しい。そこで、知的な性能によって全体とし

てのシステムの性能を上げるしかない。このように、人工物は否が応でも知的にならざるを得ない。知的になると、問題解決能力の増加・価値が高まる・人間に利益を還元。ゆえに、知的でなければ人工物は生き残れない。

● 省資源及び省エネルギー

限られた資源の中で、必要最小限で効率のよい資源やエネルギーで目標を達成することが重要である。これを実現するためには、エネルギーの浪費を高性能にするのではなく必要などころに必要なだけの資源とエネルギーを適切に配分する判断が、重要であり知能が不可欠となる。

● 人にやさしい人工物

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。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。賢くない人工物と付き合うのは不快・不満足である。

- － 賢くない人工物 コインの種別ごとに別の投入口に入れなければならない自動販売機（利用者の負担が大きい）
- － 賢い人工物 1つの投入口にコインを入れれば種別ごとに選別する自動販売（利用者の負担が小さい）

最後に人工物に期待され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い。人工物の本来的な機能及び性能は知的概念とは別に考えなければならず、それら各々を高める努力も極めて重要である。そして、知的に挙動できる事が最も望ましいといえる。

5 人工物の知能の目的

人工物は、目的をもっている。人工物の属性である機能、性能、及び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、それぞれ環境への利益・不利益を持っている。こうした入出力を総合的に見て、広義の利益を増加させ、広義の不利益を減少させることが人工物の要点である。これは人工物の性能及び知的性の向上でも可能であるが、常に両者を最大限に発揮してこれを達成しなければならない。

しかし、このことは難しく、それらの事象は競合している。ある人や環境にとっては利益であっても他の人や環境にとっては不利益であるというような事態は当然生じる。そのため、何を優先するか、何が真に「賢い」こ

となのかは、個人の価値観に強く関わりそれによって変わることを心にとめておかななくてはならない。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は設計者の意図や価値観が必ずある。

このように知的性質の目的は、これらの人工物の設計において最も重要なポイントである。これは表面的な環境インターフェースの整合を目的とする。そして、利用者のみならず人間環境にも自然環境にも利益が多くなるように目的を設計しなければならない。その結果利用者にとって使用しづらいものになれば、不利益になった点に関しては、利用者に理解を促す必要がある。

6 人工物における知能の程度

「賢い」という言葉は「同種のものと比較して」という形容詞であり、相対的な形容詞として用いられる。例えば、電気ポットとビデオデッキにおいてどちらが賢いかは、同種のものでないため比較しても意味がなく、比較の対象にはならない。それは何がどう賢いか判断し難いからである。同じビデオデッキという種類においてはどちらがどう賢いか相対的に比較することが可能である。例えば、タイマー機能が付加されてるビデオデッキとそうでないビデオデッキがあれば、前者の方が賢いと考えるだろう。しかし、今日それは当然の機能であり誰も「賢い」とはいわない。タイマー機能がない時代においてこの機能がある時「賢い」ビデオデッキと言える。よって、この「賢い」は、技術の進歩や社会の価値観などによって変化する。こうした相対的性質は、人工物の性能についても同様である。

7 知能の分類

知能の分類は以下の2つに分類できる。

1. 目的による分類

知能は前節で述べた各種の利益と不利益に基づいて分類できる。目的とは、ユーザーの観点からみると、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・省資源性・省力性などが考えられる。例）電気ポット（やかん＋ポットに比べ安全性・快適性・利便性など向上。省エネルギー性低下）

2. 仕組みによる分類

知能を実現している仕組みから分類する。これを Fig.4 に示す。

知能の種類	例
電子部品を用いた知能	全自動洗濯機など
機械的や電氣的な知能	沸騰を知らせてくれるやかんなど
材料・素材そのものの知能	形状記憶シャツなど

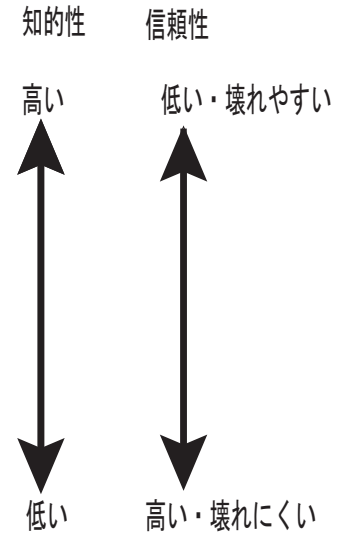


Fig. 4 知能の種類

8 知的化の構造

知的性質自体が複数の知的モジュールの組み合わせから実現され、その構造全体として知能の知能性を大きく規定する。人工物を知的化するとき重要な点は知的化の構造である。知的人工物は変化する環境に対し、適切な応答を行い、それを繰り返しながら学習し更に高度な対応を行う必要がある。

そのため、その構造は必然的に重層的・分岐的・階層的構造になると言える。

8.1 重層構造

環境が複雑になればなるほど、環境からの入力も多岐にわたり、一つのモジュールでは機敏に反応できなくなる。つまり、一つの単純な知識で対応できる範囲は限定されている。よって、環境からの入力が複数の知識を駆動し、全体として知的挙動が実現される構造が必要でありこれが重層的構造である。これは、外界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。この構造の利点は、集中的判断要素がない為信頼性が高い。例を Fig.5 に示す。

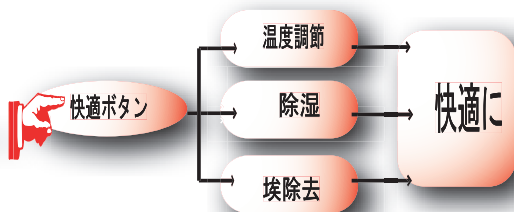


Fig. 5 重層構造

8.2 分岐構造

分岐構造は重層構造に似ているが、入力に対して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行うことで集中的に各モジュールを制御する構造である。例えば、Fig.6 に示す自動販売機の硬貨の選別について考えてみる。まず、集中的知識が硬貨の種別を判断し、その種別ごとに各硬貨モジュールに処理をゆだね、各硬貨モジュールが本物か否か判断や枚数カウントを行う。

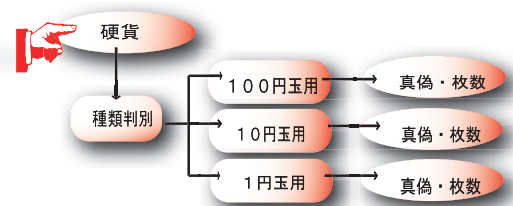


Fig. 6 分岐構造

8.3 階層構造

知的性質は故障したり、機能を十分に果たすことができない場合があると考えられる。よって、当初の目的をできるだけ維持するために多段的な構造を組むことが必要である。各段階ごとに目標を設定し、各段階で最善を尽くすが、もし、問題がある場合はより根源的な階層にレベルを下げていくのが階層構造である。例を Fig.7 に示す。

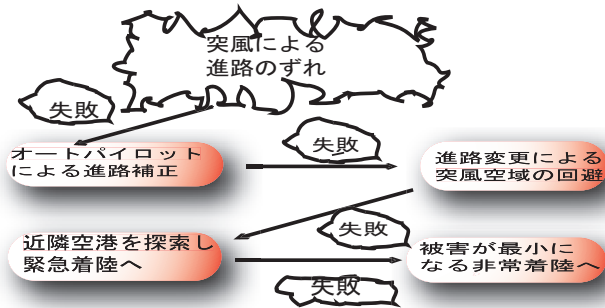


Fig. 7 階層構造

9 知的化の戦略

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ことができるが、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。これらを獲得する方法には大別して以下の2種類が考えられる。

- 先天的方法
 - 人工的に最初からすべての知識を組み込むもの
 - 環境変化が予測でき、しかもそれに対処する知識がすでに存在する場合には極めて有効な方法である
- 後天的方法
 - 学習メカニズムだけ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ものである
 - 環境変化のダイナミックレンジが極めて大きく、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

以上からも分かるように、これらの方法をどう採用していくかは、対象とする人工物の環境変化を考慮してそれらの方法の有効性で検討する必要がある。

このことから、知的化の戦略を Fig.8 にまとめることができる。

10 知的化の実現戦略

人工物における知的化の実現方法は、前述した知的化がインタフェースの高度化であるということから、Fig.9の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できるといえる。これをここでは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や要求をくみ取り、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

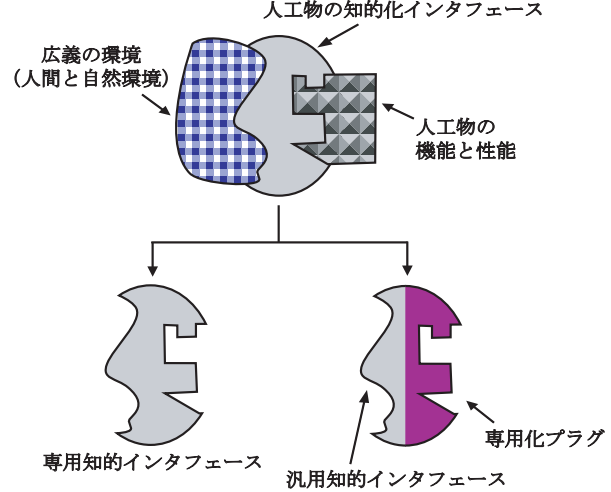


Fig. 9 Implementation of intelligence

に設計する必要がある。これは Fig.9における専用知的インタフェースの設計である。

ところが、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部分は個別の人工物とのインタフェース部分であって、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、前者は一般的な形で設計可能となる。この場合の汎用的インタフェースは利用者の意図や命令、あるいは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。

11 知的コンピュータの知能

人工知能や知識処理の研究に見られるように、コンピュータに知識、学習機能、判断機構などをもち、人間の「考える」という振る舞いに似た動作をすることのできる新しい知的機械を作り出し、これを知的コンピュータと呼ぶことにする。知的コンピュータは環境に対する汎用的な知的インタフェースを有しているから、これをそのまま Fig.9の汎用的インタフェースに用いることができる。専用化プラグは知的コンピュータと人工物をつなぐドライバとなる。

ここで、人工知能と知的コンピュータが大きく異なっていることを確認してもらいたい。すなわち、人工知能も知的コンピュータも問題解決のできる機械の開発をねらう点では同じであるが、知的コンピュータの対象とする問題の範囲は人工知能のそれと比べ、極めて限定されたものである。

現時点における人工物の知的化は、人工物そのものが人間のように創造性や感情をもち、あらゆる環境におい

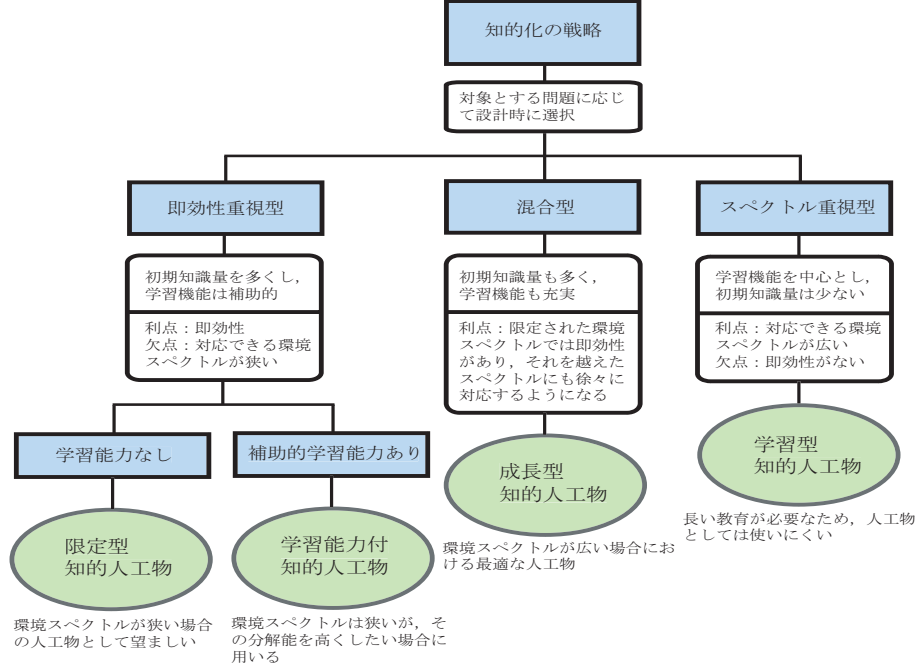


Fig. 8 Strategy for achieving intelligence

て新しい何かを生み出すような意味での知的化をねらうものではなく、人工物とそれの利用という限定された環境において人間特有の知的振る舞いのできる能力を人工物の本来機能に付加的に具備させ全体としての効用をかめようとするものである。

12 知的性質の喪失と知的メカニズムの信頼性

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。しかしながら、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。これは一般には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。こうした場合には Fig.10 に示すように、知的性質が喪失した人工物を利用者がもはや運用・管理することは不可能になる。

ここで、知的メカニズムが破損したとき利用者が人工物を運用・管理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

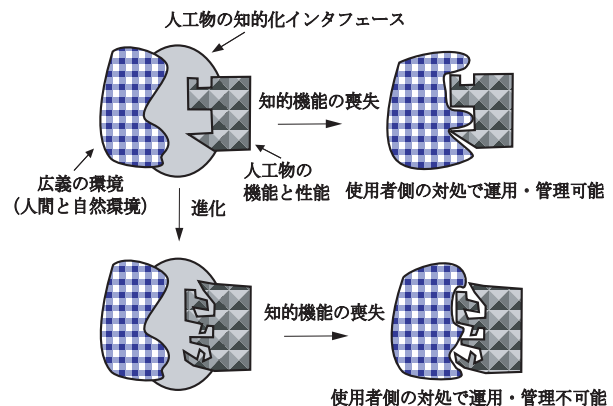


Fig. 10 Evolution of artifacts due to intelligent interface

設けることが重要となる。

13 おわりに

知的化の研究は、その概念対象となる分野があまりにも大きいため、その結論を得るまでにまだまだ長い年月を必要とすると考えられる。特に、知的化実現の第一歩である「知的」という言葉の一般的概念を理解することが最も難しく、同時に非常に重要な要素となってくる。

すなわち、知的人工物、知的コンピュータの検討に先立ち「何を知的と定義すれば高い効用が得られるのか」ということを検討していくことが、今この研究において最も求められていることであるといえる。