

## Structure of Intelligent Characteristics in Artifacts

Mitsunori MIKI\*, Takeshi OKA\*\* and Tomoyuki HIROYASU\*\*\*

(Received November 4, 1998)

Recent artifacts have gained a high degree of intelligence or smart characteristics. Therefore it is important to investigate the general feature of such intelligence or smartness. In the former study, it was shown that the structure of intelligence of intelligent artifacts yields high robustness, high reliability and high extensibility as well as wide applicability. It was also illustrated that there are three fundamental structures. However there are a few concrete examples with these examinations. This paper analyzed the structure of intelligent characteristics built in intelligent artifacts with sufficient real data that are collected in the patent database that is open to the Net. Through the structural analysis of intelligence, it is clarified that the types of structure of intelligence are classified into two categories and these structures are also sub-categorized into two types of structure and four types of structure, respectively.

Key words : intelligent artifacts, intelligent characteristics of structure, intelligence, smartness

キーワード: 知的人工物, 知的性質の構造, 知性, かしこさ

### 人工物の知的性質の構造

三 木 光 範・岡 勇 志・廣 安 知 之

#### 1. 緒 言

最近のシステムは「感性化」, 「インテリジェント化」, そして「協同化」の度合を強めつつある<sup>1)</sup>. 中でもインテリジェント化(知的化)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ものと思われる.

人工物(artifacts)は人為的に作られた「もの」の総称である. 本研究では, 人工物の中でも建物, 機械, 自動車, 航空機, 計算機, 通信網などといった工学的人工物を対象とする. これらの人工物は明確な目

的を持ち, その機能や性能が評価できるからである.

このような人工物の知的化に関し, 筆者の一人は人工物に必要な知的性質の基本的な考察を行っている<sup>2)</sup>. その結果, 人工物の知的性質, すなわち知能は, 人工物の機能や性質と並ぶ基本的な属性でありそれは人工物の機能や性能と並ぶ基本的な属性であり, 人工物におけるパラメータを変化する環境に合わせて調節し, 人間にとってより高い効用をもたらすために人工物に付与される属性であることが明らかとなった. 簡単に言えば人工物の運用と管理の自動化の能力であり, 別の観点では人工物の環境インタ

\* Department of Knowledge Engineering and Computer Sciences, Doshisha University, Kyoto  
Telephone: +81-774-65-6434, Fax: +82-774-65-6796, E-mail: mmiki@mail.doshisha.ac.jp

\*\* Sony Corporation

\*\*\* Department of Knowledge Engineering and Computer Sciences, Doshisha University, Kyoto  
Telephone: +81-774-65-6638, Fax: +82-774-65-6780, E-mail: tomo@is.doshisha.ac.jp

フェースの高度化ともいえることがわかった。さらに知的性質の水準、分類、構造および設計スキームについての考察の結果、知的性質は動作的には広義の環境センサー、アクチュエータ、および判断動作からなること、その判断の基準、人工物の下位の目標、および上位の目標からなる階層構造に基づいて知的性質の水準が決まることが明らかとなった。また、人工物の性質と知能はそれらの一部が機能化されることを示し、知能も相対的なものであることを明らかにした。

一般的に、人工物の知的性発揮のための戦略は複数の戦術（知識の集合）の組み合わせから成り、知的性を実現する個々の要素（知的要素）の組み合わせによって実現されており、これらの組み合わせは「知的化の構造」と呼ぶことができる。それに対して筆者の一人は知的性の発揮の戦略構造は重層的構造、分岐的構造、および階層的構造によって実現されると考察した。しかしながら、戦略がこれらの構造になることについて十分な資料は提示されておらず、十分解明されていない。また人工物の「知的化」を実現しようとするとき、この重要なポイントである知的性発揮の戦略構造を解析することは必要不可欠であると考えられる。そこで本研究では、十分に解明されていない知的人工物構造に関して、資料を収集、解析し、その構造を明らかにし、戦略構造の解明から知的人工物の設計にアプローチする。

## 2. 知的性と環境スペクトル

知的人工物は一言で言えば環境の変化を判断しその環境に応じた最高の出力を提供する人工物であると言えよう。ここでの環境とは、人工物がおかれる自然環境や生活環境だけでなく、利用者および利用者の習熟度、周りの人間環境などといった広義の環境である。本研究では、環境の変化を環境スペクトルと呼び人工物の知的化の本質は環境スペクトルに適切に対応できることであると捕える。

環境スペクトルは次の3つに大別できよう。すなわち、自然環境スペクトル、利用者環境スペクトル、その他の環境スペクトルの3つである。温度、明るさ、気流の流れ、人の移動、交通状態の変化などは

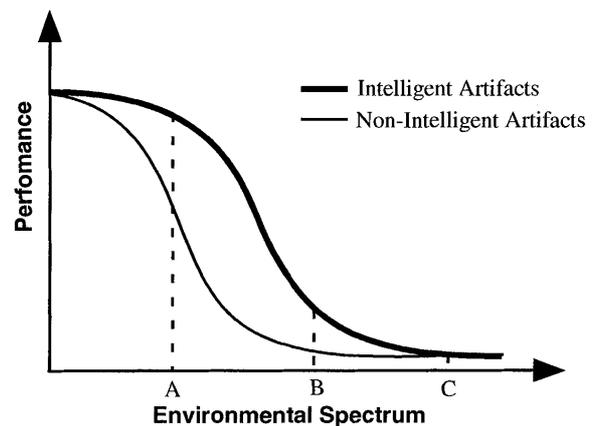


Fig. 1. Environmental spectrum

自然環境スペクトルであると言え、利用者の年齢、外見、癖、好みなどは利用者スペクトルであると言える。その他、利用者によって人工物の運用・管理能力、つまり習熟度が異なることは重要な環境変化であると考えられ、その他の環境スペクトルに分類できる。

Fig. 1は人工物を知的化することによって性能曲線がどのように変化するかを示したものである。縦軸に性能を表し、横軸に環境スペクトルを示してある。この図においては、環境スペクトルが大きいほど環境変化が大きいことを示している。

ここで、環境の変化がない状態を理想状態と考える。このときの性能をその人工物の最高性能とする。最高性能は知的化を行っても、知能は性能と独立しているために、変化はしない。知的人工物でない場合、環境スペクトルが大きくなるにつれてその性能は低下する。それに対して、知的人工物においては、環境スペクトルが多少大きくなってもその性能が維持できるものと考えられる（Fig. 1, 点A）。

一方で、いくら知的人工物といえども環境スペクトルがさらに大きくなるとその性能は著しく低下し（Fig. 1, 点B）、知的性が想定して設計していないような環境スペクトルの大きさとなると（Fig. 1, 点C）、もはや知的化による性能曲線は知的化を行っていない場合の性能曲線と重なり、十分な性能を発揮できないものと考えられる。

このように、どれほどの環境スペクトルの大きさを想定して知的人工物を設計するのかということとは大きな問題であると考えられるが、実際にはその人

工物の知的化の目的によって決定されるものと思われる。

### 3. 人工物の知的化の構造

知能における知的性の発現のためのスキームは極めて重要である。一つの単純な知識で対応できる範囲は限定されている。このため、対応できる環境変化のスペクトル幅を広くするには複数の知識を变化のスペクトルに応じて変える必要がある。これは知的化の構造として考えることができる。

本研究においてはこれらの知的化の構造を把握するために以下のような方法を用いて資料を収集しそれらの知的化の構造を検討し整理分類を行った。

3.1 調査資料の収集 本研究では解析する資料対象として特許データベースを利用した。具体的には、特許庁発行の広報や企業発行の技術情報をインターネット上で情報を公開し提供している野村総合研究所による特許情報・技術情報サービス「NRIサイバーパテントデスク<sup>3)</sup>」を利用し、公開特許を検索対象としてキーワード検索することにより情報を収集している。検索は、知的、賢い、自動、環境、適応、判断など知的人工物のキーワードに加え、ユーザーフレンドリーやロバスタなどといった知的化の目的に関連する単語を適時組み合わせで行っている。本検索によって、文献番号、筆頭IPC、名称、出願人、特許内容の記述された明細書を得ることができる。例えば「特解平6-32291」は航空機のためのフライバイワイヤークントロールシステムの文献番号を示している。

3.2 知的化の解析方法 前節で得られた資料に対して以下のような構造解析を行った。まず、それぞれの例に対して、知的化の目的、設計の方向性と想定する環境スペクトル、知的化に構造を持たせる理由、システム概要を抽出する。続いてシステムの知的化の構造を抽出した。

ここでは知的化の構造を次の2つの観点から整理した。1) 知的性の効果的な発揮を実現するために戦術の組み合わせから成る知的性発揮のための戦略としての構造と2) 故障など人工物内部の環境変化に対処する構造を必要とするために知的要素の組み

合わせから成る知的要素群としての構造である。すなわち、本研究においては、同一の人工物内に、戦略から構成される構造と知的要素群から構成される構造とが存在するものと仮定した。前にも述べた通り人工物の知的化の本質は環境スペクトルに適切に対応できることにありとえられる。よって、人工物にはある環境スペクトルに対応できるようにするための構造とその環境スペクトルにより広く対応できる構造が混在するものと考えられる。

この仮定の有効性を検討するために、まず、10数件の例に対して、その知的化の目的とその目的を実現している構造の予備調査を行った。その結果、この仮定の例外は見られず、ほぼ妥当であるという結果が得られ、知的化の構造解析はこの2種類の構造の抽出により行っている。

3.3 構造解析例 以下に知的化の構造解析例を示す。同様な解析を100件以上行った。

3.3.1 解析例1 特解平6-32291, 航空機のためのフライバイワイヤークントロールシステム

知的化の目的: 維持費の削減, 高度な機体の制御の実現を行うことを目的としている。従来の機械式の制御は維持費が高額である。また、現代の航空機に要求される制御, 安定性の実現は従来の方法では困難である。したがって、これらの問題を解決すべく知的化, フライバイワイヤークントロールによる制御を行う。また、これにより機体の軽量化が行なえる。

設計の方向性と想定する環境スペクトル: 設計の方向性は、従来と比較すると、シンプルな構造、かつ、非常に高い信頼性を持たせることである。また、想定する環境スペクトルは、内部の環境変化にも対応できることが必須である。かつ、想定する環境スペクトル全般にわたり、高い性能を発揮しなければならない。

知的化に構造を持たせる主目的: システムの高い堅牢性, 故障時に対応できることを最優先させ、内部の環境変化に対応するための構造が最重要である。また、想定する環境スペクトル全般にわたり高い性能を発揮できるかどうかは、システムの個々の知的要素の性能によって決定されることである。

システムの構成: このシステムは左, 中央および右

フライトコントロールチャンネルの3重の冗長的な構成をしている。各チャンネルは他の2つが故障した場合でも航空機を飛行することが可能である。各コントロールチャンネル内には一連のパイロットコントロールトランスデューサ信号を1組の主フライトコンピュータに送信するアクチュエータ・コントローラ電子装置(ACE)が含まれる。主フライトコンピュータはパイロットコントロールトランスデューサ信号を大気データおよび慣性リファレンス装置から得たデータと組み合わせて1組の飛行制御翼面指令を発生する。各ACEは1組の飛行制御翼面指令を選択して航空機の1組の飛行制御翼面の動きを制御する。システム内のコントロールチャンネルの各々が実質的には他のコントロールチャンネルから分離されている。一連の独立したコントロールチャンネルへ分割されるフライバイワイヤシステムに対する必要性もまた存在する。こうして、1チャンネルで発生する不調は残りのチャンネルの動作の継続に影響を与えない。さらにコントロールチャンネルの一部の故障がコントロールチャンネルの航空機を安全に飛行させる能力に影響を与えないように設計された複数個のコントロールチャンネルを含むフライバイワイヤシステムへの必要性も存在する。最後にもしシステムに含まれるすべてのフライトコントロールコンピュータが故障した場合、パイロットがフライトコントロールコンピュータの補助なく航空機を飛行させることが可能である。

戦術の組み合わせから成る知的性発揮のための戦略としての構造：本システムにおける知的化の構造を知的性発揮の戦略面から見るとFig. 2に示したような階層構造となる。図中の右、中央、左の各フライトコントローラは基本的に同一であるので一部を省略している。また階層の最も高次(下に行くほど高次)は、全システム故障時に手動で制御が可能である。知的要素の組み合わせから成る知的要素群としての構造：知的要素の組み合わせから成る知的要素群として構造を見ると、Fig. 3に示すような他の2つが故障しても制御可能なフライトコントローラを3つ並列に冗長的に配置したものである。

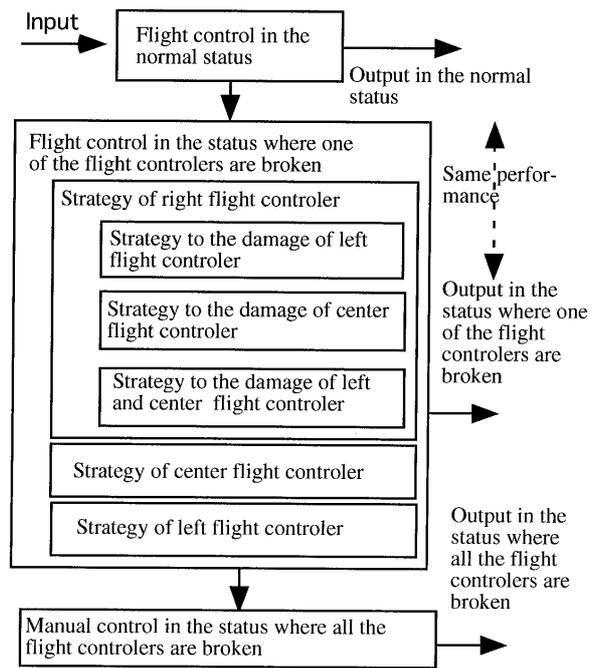


Fig. 2. Strategic structure of fly-by-wire systems

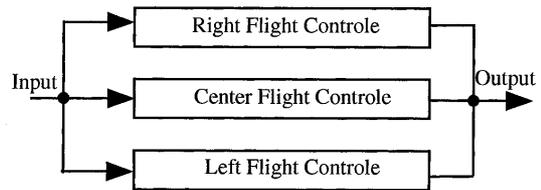


Fig. 3. Intelligent module structure of fly by wire systems

3.3.2 解析例 2 特解平10-29517, 車両の旋回制御装置

知的化の目的：感度良く旋回制御を実施可能にし、路面状況(μ値)に拘わらず常に安定した旋回走行を実現可能とする車両の旋回制御装置の実現と安全性の向上を目的としている。

設計の方向性と想定する環境スペクトル：路面状況(μ値)に拘わらず常に安定した旋回走行を実現したいことから環境スペクトルは広く、かつ、高い性能を伴う。

知的化に構造を持たせる主目的：幅広い環境スペクトルに対処できるように効果的な戦略が必須であり、この戦略を実現するために構造が必要となる。

システムの構成：車両の旋回走行中においては、遠心力がタイヤのグリップ力を超えた場合、車両が外

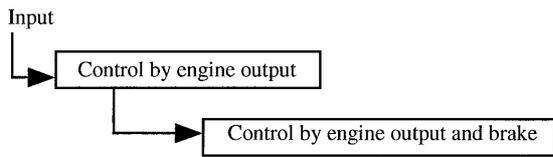


Fig. 4. Strategic structure of gyrate controller

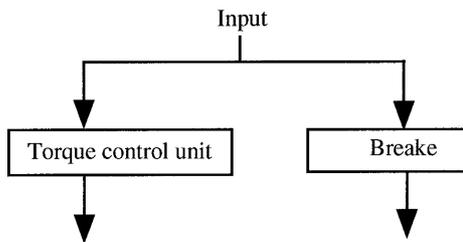


Fig. 5. Intelligent module structure of gyrate controller

側に膨らむ傾向がある．このように車両が外側に膨らむようになると車両が不安定になり好ましいものではない．そこで，車速と操舵角から推定旋回状態量を算出し，これと横Gセンサから算出した実旋回状態量との比から制御量を決定する．この制動手段は，エンジンの出力を調節すること，およびブレーキ制動の調節である．

戦術の組み合わせから成る知的性発揮のための戦略としての構造：車速と操舵角から推定旋回状態量を算出し，これと横Gセンサから算出した実旋回状態量との比から制御量を決定する．このとき，この比の値が小さいときはエンジン出力の調整という戦略のみで対応できる．しかしながら，ある閾値を越えるときこの戦術では対応できなくなり，エンジン出力調整 + ブレーキ制動という戦術が駆動される．これは Fig. 4 に示すような階層的な戦術の配置と言える．知的要素の組み合わせから成る知的要素群としての構造：トルクコントロールユニットとブレーキ制御という，ともに安全性を目的とした知的要素が Fig. 5 に示すような横に並列に並ぶ構造．これらの知的要素は独立かつ協調し動作する．

3.4 解析結果 本研究では前節で示したように，特許データベースを利用することにより十分な資料を収集し解析を行った．その結果，同一人工物内に，知的性を効果的に発揮させる戦略の実現のための構造と，人工物内部の環境スペクトルへの対応のため

Table 1. Structures of intelligent attributes

Classification Method	Type of Structure
Strategic	Parallel Strategic Structure
	Hierarchical Strategic Structure
Intelligent Modules	Horizontal Distributed Structure
	Vertical Distributed Structure
	Parallel Redundant Structure
	Hierarchical Redundant Structure

の構造とが存在することが明らかとなった．解析の結果，さらにこれら2つの構造はTable 1に示すような2種類の構造と4種類の構造とに大別できることが確かめられた．本節ではそれらの構造について説明を行う．

3.4.1 戦略構造

a) 並列型 これはFig. 6に示すように戦略を構成する戦術に上下関係がなく，並列に配置されている構造と定義する．この場合，駆動される戦術は単一でも複数でも構わないが，入力に対して最も適切な戦術が知的判断要素によって選択，駆動される．

例えば，特開平7-38909に示される電子表示装置である．これは，使用者が調整を意識せずとも，周囲の環境の変化に応じて画面の明るさおよび色合いを自動的に調整できるようにしたものである．画像を表示する表示手段と表示手段にバックライトを当てる光源と，光源の明るさを調整するバックライトシステム（明るさ調整手段）と，表示手段の色合いを調整するカラー Lookupアップテーブル群（色合い調整手段）と，現在時間情報を出力するリアルタイムロック部と，現在時間情報を参照して明るさ調整手段および色合い調整手段を制御するメインコントロール部から成る．そしてその戦略は現在時刻に基づいて明るいと判断したときは画面輝度を明るく色合いはメリハリのあるものとし，暗いと判断したと

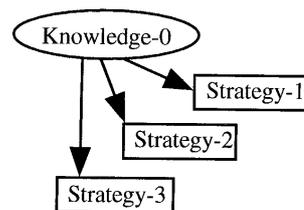


Fig. 6. Parallel strategic structure

きは画面輝度を暗く色合いはモノトーンとするものである。

特開平9-136627に示される車両の制動力装置では、制動力配分に関する戦術とアンチロックブレーキ制御に関する戦術が同時に駆動され、車両の状態によってこの制動に関する戦術の組み合わせが決定される。

また、特開平8-137510に示されるシステム制御装置は、学習能力があり、現状に適した戦術を組み合わせさせて最適な制御戦術を創出している。

これらの並列型戦略構造と採用しているその他の例としては、特開平8-289314のオートホワイトバランス調整装置、特開平6-213041のインテリジェント燃料制御システム、特開平6-284943の椅子装置、特開平9-220787の感温性遮光フィルムの製造方法、特開平10-16605の車両の走行速度を制御するための方法および装置などがある。

b) 階層型 この構造はFig. 7に示すような戦術のロバスト性において上位、下位の関係があり、下位の戦術から順に階層的に並ぶ構造である。まず下位の戦術が駆動され、この戦術で対応できなくなったとき、順次それよりも上位の戦術が駆動される。

例えば、特開平5-262251に示される車両運動制御装置である。これは、地上における車両位置を検出し、その現在の位置情報に基づいて車両の運動状態を制御するものである。ナビゲーションシステムが正常に働いているときは、この情報に基づき、路面の凹凸に合わせ減衰力を調整するなどの車両運動制御戦術をとる。しかし、ナビゲーションシステムが異常の場合は道路が標準的なものであると仮定した戦術で車両を制御するという、よりロバストな戦術をとる。

本構造において、上位の戦略は、下位のものよ

りもより環境スペクトルに対してロバストではあるが、性能は高いものは期待できない。例えば特開平10-29517の車両の旋回制御装置の場合では、上位の戦術であるエンジン出力調整+ブレーキ制動という戦術は、エンジン出力制御のみの戦術に比べ、対応できる環境スペクトルが広いことから、ロバスト性はより高いと言える。しかしながら、最初にこの戦術を選択しないのは、この戦術による制動は運転者にとって非常に違和感があり、不利益が大きいからである。したがって、制動という一面のみで見た性能は向上しているが、人工物全体の性能は低下してしまう。

このような階層型戦略構造を持つものの例としては、特開平9-39759、特開平7-87603、特開平7-227002などがある。

3.4.2 知的要素構造

a) 横型分散構造 この構造はFig. 8に示すような知的要素の働きを複数の知的要素に分散させたものである。これは機能分散ともいえる。

例えば特開平9-39760に示される車両の旋回制御装置では、車両の安全性に関する働きを、ブレーキ制御を行う知的要素と、ヨーモーメントを制御する知的要素とトラクション制御を行う知的要素に分散させ、各車両の条件に応じた知的要素が駆動され応答する。

これは知的化の戦略構造の並列型戦略構造に類似していると言えよう。また、駆動された知的要素が複数の場合は、互いに独立して動作するが、他の動作をスポイルしないよう協調をして対応する。例えば特開平5-256238のエンジン点火制御では、エンジン制御ユニットが点火制御ユニットと共同し点火制御を行っている。また、このシステムはエンジン制御ユニットが故障した場合、対応できない場合には

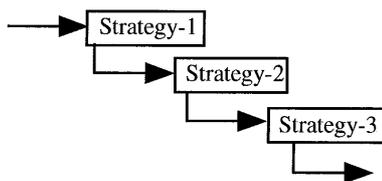


Fig. 7. Hierarchical strategic structure

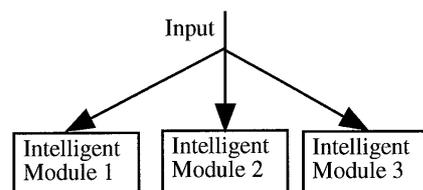


Fig. 8. Horizontal distributed structure

(エンジン始動時など), 点火制御ユニットのみで点火制御を行うことが可能である。このように横型分散構造は知的要素のいずれかが故障などに陥っても残りの知的要素には影響がなく, 残りの知的要素で可能な限りの性能を出すことが可能であるというメリットがある。

このような構造を持つものには, 特開平6-267668の照明システム, 特開平10-16600の車両用左右間動力伝達制御装置及び車両用動力伝達制御装置, 特開平8-282336のエンジンおよび自動変速機関の通信線の異常検出装置などが挙げられる。

b) 縦型分散構造 縦型分散構造は, 横型分散構造が機能分散であったのに対し, Fig. 9に示すような負荷分散を行う。これは能力的に上位にある知的要素の働きを下位の知的要素が担う構造である。このような構造を採ることにより, 上位の知的要素の負荷を軽減し, 上位, 下位のいずれかの知的要素が故障した場合に, もう一方の知的要素が対応することができる。

例えばNTT-BASによるビルディングオートメーションのシステム構造は, センタ装置, サブセントラルユニット, リモートユニットから成る。センタ装置が最も上位であり, リモートユニットが最も下位である。リモートユニットやサブセントラルユニットは個々の制御を行い, センタ装置はこれらの制御を監視, 記録するという役割分担をしている。個々の制御のうち, 例えばセキュリティ制御といった重要なものはリモートユニットとサブセントラルユニットの両方が受け持つなどし, システムの堅牢性を高めている。

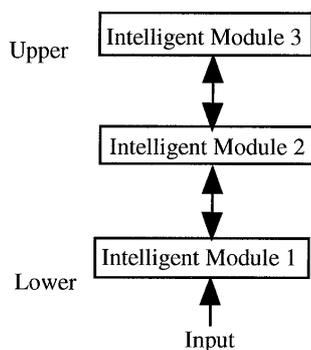


Fig. 9. Vertical distributed structure

また, 特開平6-156036の減衰力可変ショックアブソーバのような, 従来は知的要素に操られていたアクチュエータが知的化(スマートアクチュエータと呼ばれる)したのもこの縦型分散構造の一つと考える。この場合, 中央演算装置の負荷を軽減することを可能にしている。またこのような構造にすることで, 四輪同時に制御不可能になることを防ぐことができる。

c) 並列的冗長構造 分散化による手法と同様, 冗長化も縦と横への構造の広がりでも分類することが可能である。このうち横への広がりとして捉えられるものが, 並列的冗長構造である。これはFig. 10に示されるように, 基本的に同一の知的要素が並べられる構造である。出力はこれらの知的要素の和で表わすことができる。知的要素の冗長度は, その知的性にどれほど堅牢度を要求するかによって決定される。例えば最新鋭の民間機に装備されているFMC(フライトマネジメントシステム)では故障確率は10<sup>0</sup>に1回以下にしなければならないことからその冗長度が決定されている。航空機の冗長化に関しては特開平6-32291の航空機のためのフライバイワイヤフライトコントロールシステムや, 特開平5-278690のフライバイワイヤ制御装置にも示されている。また, 特開平6-227499の宇宙機搭載システムの制御装置における冗長化も同様である。この他にも特開平5-313734の分散制御器およびこの制御器を用いた制御装置における制御ループを冗長化し, 自制御ループと他制御ループを比較することにより故障検出, 対応を行っていることはこの並列的冗長構造にあてはまる。また, 特開平6-102053に示される故障許容慣性航法システムにおいて, 慣性航法システムを冗長化していることもこの構造にあてはまるものと考えられる。

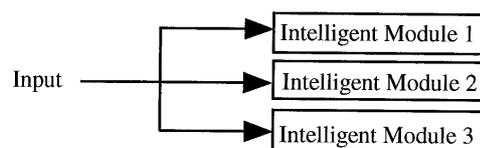


Fig. 10. Parallel redundant structure

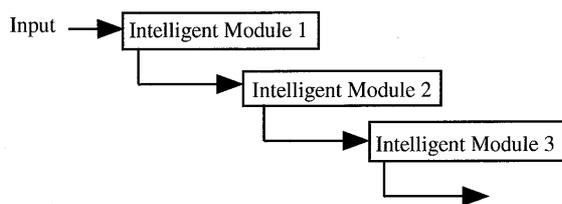


Fig. 11. Hierarchical redundant structure

d) 階層的冗長構造 Fig. 11に示すような階層的冗長構造は、階層型戦略構造と同様、下位の知的要素から、よりロバスト性の高い知的要素へと順次駆動される構造である。より高次の知的要素が駆動されるのは、下位の知的要素が故障、機能不全、あるいは自身では対応できなくなった場合である。

例としては、特開平7-5286に示される非常用炉心冷却系の補助装置が挙げられる。原子炉の炉心溶解事故を防ぐため、通常原子炉には非常用炉心冷却系が用意されている。この補助装置はこの非常用炉心冷却系が不十分にしか動作しない場合に動作するようになっている。これによりシステムは階層的に冗長化し、システムの堅牢性が高められている。また、特開平6-75824のCPUの動作監視装置においてCPUを冗長化し、故障時は待機していた予備CPUがシステムを稼働させることができるようにしてあることはこの構造にあてはまる。同様に、特開平8-314506に示される一対の飛行管理コンピュータの組み合わせは、この階層的冗長構造である。さらに、特開平6-16359のエレベータの安全装置も階層的な冗長構造をしている。階層的冗長構造は、最も内部の環境変化に対して強い構造であることから、航空機や自動車のフェイルセーフ、原子炉、その他の多重の安全装置に多く見受けられる。

#### 4. 結 言

本研究では、知的人工物の知的化の解明を行うために、インターネット上で公開している特許データベースを利用して、十分な資料を収集し、解析を行った。その結果、以下の事項が明らかとなった。すなわち、知的人工物には、

1) 戦術の組み合わせから成る知的性発揮のための

戦略としての構造

2) 知的要素の組み合わせから成る知的要素群としての構造

の2種類の構造が存在する。前者の構造の必要性は、知的性の効果的な発揮を実現するためであり、後者の構造の必要性は、故障など人工物内部の環境変化に対処する構造を必要とするからであると考えられる。

さらにそれぞれの構造は、

1) 戦略構造

- a) 並列戦略構造
- b) 階層戦略構造

2) 知的要素構造

- a) 横型分散構造
- b) 縦型分散構造
- c) 並列的冗長構造
- d) 階層的冗長構造

とに分類できることが明らかとなり、それぞれについて具体的な例を挙げて考察を行った。

#### 参 考 文 献

- 1) 西田, システムのフロンティア, 機誌, 98-921(1995), p. 74
- 2) 三木, 機論, 投稿中
- 3) 野村総合研究所, NRIサイバーパテントデスク  
<http://www.patent.ne.jp/>