

氏 名 ( 本 籍 ) 杉 山 茂 樹(岐阜県)

学 位 の 種 類 博 士 (工学)

学 位 記 号 番 号 甲 第 150 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 13 年 3 月 24 日

専 攻 電子情報システム工学専攻

学 位 論 文 題 目 VIRTUAL-SPACE FACTORY —GENERAL CONCEPT OF  
HOLONIC CONTROL—

(仮想空間工場に関する研究 —ホロニック制御に  
おける一般化に関する研究—)

学位論文審査委員 (主査) 教 授 小 鹿 丈 夫

(副査) 教 授 岸 田 邦 治 教 授 伊 藤 昭

## 論 文 内 容 の 要 旨

数年前と比較すると、多くの要素を含む大規模で複雑で混沌としたシステムが制御分野では制御対象として着目され始め、これらのシステムを管理者が望む方法でインテリジェントに制御できることが期待されている。しかし、これらの多くの要素を含む大規模で複雑なシステムを明確かつ正確に記述する方法を見つけることは困難な状況にある。何故なら、それら自身に多くの異なった要素と部分を持ち、そしてそれらの要素と部分は、独立していると同時に他と従属関係を有しているからである。または、他と直接関連していない場合もある。これらが主たる原因として、従来の方法での記述表記を困難な状況にしている。同様に、制御に関しても、従来の制御方法であるファジー制御、ニューラルネットワーク、人工知能等により、ここで対象としているシステムを扱うことは容易ではない。

これらの問題を解決するために、まず第一に過去と現在にどのような解決方法があったのかを知ることが非常に重要である。したがって、最初に過去から現在までのこの分野の研究が、物作りの生産工程においてどのように人間の手助けをしてきたかを著者の過去の研究も含めて示している。

第二番目に、上記で検討した過去からの知見を基に、これらの問題を柔軟に解決できる「ホロン」の考え方を導入している。ここでは、この考え方を哲学的そして数学的に拡張し、技術的に制御に利用できるようにし、従来の方法では扱えなかった非常に大きな複雑で混沌としたシステムを扱え、かつインテリジェントで柔軟に、必要とされる時に必要とされる程度だけ制御するということが可能となるホロニック・マネージメント・システムを提案している。

この方法は次のような性質・概念を持っている。

①階層構造。

②階層構造は、Whole (全体) , Part (部分) , Subpart (その部分の部分) , Sub-subpart (その部分の部分の部分) 等から構成されている。

③ SOHO という性質 (部分は独立と協調の二つの関係を持つ) 。

④多層構造。

- ⑤ Holon という性質を持ち合わせ、この HOLON は Holonic 空間から構成されている。
- ⑥ システムの中の状況を判断する指標としての Holonic Energy という概念の紹介。
- ⑦ システム自体は、Holonically Object Oriented System で構成されている。
- ⑧ マルチ制御。

三番目として、上記で得たマネージメント手法を統合活用するホロニック空間の概念を利用した Virtual-Space Factory を導入している。Virtual-Space Factory は、実際の工場と密にリンクされた仮想工場である。そして、これは二つの世界（空間）から構成されている。

それらは、Virtual-Space World と Real-Space World である。Virtual-Space World は、Real-Space World のレプリカであるが、それぞれが独立した存在であり、この二つの世界は双方向のインタラクションがある。Virtual-Space World は、Real-Space World と異なった次のような機能が有する。

- ① Real-Space World の状態をチェックすること。
- ② Real-Space World の状態を評価すること。
- ③ Real-Space World のシステムの欠点を減少させるように制御すること。
- ④ マネージメント・制御の複雑さをより簡潔にすること。
- ⑤ システムをインテリジェントに制御すること。

これらの二つの世界を結ぶものとして、最近一部の研究者に注目を浴びかつ研究テーマとして人工知能の分野にも登場してきた「意識に関する研究」より得られた新しい概念の“リフレクション”を利用することにより、Virtual-Space Knowledge Base を提案している。リフレクションとは、システム自体が行おうとする行為を理解して振る舞うことであり、この考え方を生かした知識ベース構造を示し、提案している。

この Virtual-Space Knowledge Base は、次のような性質・機能を持っている。

- ① 二つの独立した存在; Inside Entity（内部エンティティ）と Outside Entity（外部エンティティ）。
- ② predicate language（記述言語）による Primitive expressions（原始的な表現）。
- ③ predicate expression（記述表現）による primitive language（原始言語）。

これらの性質を利用することにより、Virtual-Space Knowledge Base は、Virtual-Space Factory を扱うことができるようになり、かつ上記の Virtual-Space World と Real-Space World の間のコミュニケーションも図れるようになり、Real-Space World をインテリジェントに制御できることを示している。

このような方法により、Virtual-Space Factory が、Real-Space World を監視し、問題をできる限り排除しながらインテリジェントに振る舞う事が出来る機能を有することを示している。

以上のように、この論文では Holonic Management システム,そしてVirtual-Space Factory の理論と応用についての研究をすることにより新しいマネージメントの概念を創出し、現状のこの分野のメインの課題解決を図っている。このシステムはネットワーク化された大きく複雑なシステムに適応することが可能であると推測され、今必要とされているAgile生産の要となり得る。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、制御関連分野の研究者の間で話題となりつつある大規模なシステムの記述表現の方法、そのシステムの振る舞いの定義、およびそのシステムのマネージメント手法について論じている。

第1番目に、現在の各種制御方法とそれらの方法が抱えている課題について分析し、その主たる課題の原因について指摘し明らかにしている。第2番目にその課題を解決するための根本となる大規模なシステムの記述表現の方法をホロンの概念を拡張することにより解決を図っている。第3番目に、ホロンの概念を拡張したものを数学的に定義し、それらの定義されたものからホロニック・マネージメント・システムを提案している。更に、このシステムの内部状況を抽出するためにホロニック・エナジーという概念を提案している。第4番目に、ホロニック・マネージメント・システムを制御する方法としてリフレクション手法を用いたバーチャル・スペース・ファクトリーを提案することにより、課題となっている大規模なシステムのマネージメントの有効性を示している。

### 1) 現在の各種制御方法が抱えている課題

現状分析では、次のような研究対象のポイントとなる課題を導き出している。

- ①多くの要素を含む大規模で複雑で混沌としたシステムが制御分野では制御対象として着目され始め、これらのシステムはこちらが望む方法でインテリジェントに制御できることが期待されている。
- ②対象となるシステムは、多くの異なった要素と部分を持ち、かつそれらの要素と部分は、独立していると同時に他と従属関係をも有している。また、他と直接関連していない場合もある。従って、これらの多くの要素を含む大規模で複雑なシステムを従来の方法で明確かつ正確に記述することは困難な状況である。

### 2) ホロンの概念の拡張

アーサー・ケスラーが述べているホロンの概念を次のように拡張している。

- ①対象となるシステムは、形態、属性そして機能により階層構造に分割できる。
- ②階層構造は、Whole (全体), Part (部分), Subpart (その部分の部分), Sub-subpart (その部分の部分の部分) 等から構成され、それぞれの階層はレイヤーという概念で関連付けられ、そして各レイヤーの中はコネクションで関係付けられる。
- ③ SOHO という性質 (部分は独立と協調の二つの関係を持つ) をシステムに持ち込むことにより、不良部分の抽出・マルチ制御など、システムの状況による制御形態が取れる。

### 3) ホロニック・マネージメント・システム

上記で示されたホロンの拡張概念を数学的に定義し、そして統合することにより、ここで課題となっている大きなシステムを記述表現する方法を数学的に表現できることを示している。この記述表現の実応用例については、コンピュータシステムを用いた二、三の方法を提案している。更に、簡単な数学モデルによるホロニック・エナジーを提案することにより、システム内部の状況を把握することにも成功している。

### 4) リフレクション手法を用いたバーチャル・スペース・ファクトリー

上記に示したホロニック・マネージメント・システムをマネージする方法として、最近一部の研究者に注目を浴びかつ研究テーマとして人工知能の分野にも登

場してきた「意識に関する研究」より得られた新しい概念のリフレクションを利用することにより、Virtual-Space Knowledge Baseを導入している。リフレクションとは、システム自体が行おうとする行為を解って振る舞う現象のことである。この考え方が生かされた、次のような性質・機能を持つ知識ベース構造を提案している。

- ① Preprocessor ; 入力をプリミティブな要素に分解する。
- ② External Entity (外部エンティティ) ; プリミティブな要素から、入力されたデータが関連し、そのデータが存在する分野へ処理行程を導く。
- ③ Internal Entity (内部エンティティ) ; 適当な出力解が得られるまでその解を探す。

上記の性質・機能により Virtual-Space Knowledge Base は、Virtual-Space Factory をマネージ出来ることを示唆し、かつ上記の Virtual-Space World と Real-Space World の間のコミュニケーションも図れるようになり、Real-Space World をインテリジェントに制御できることを示している。

このような方法により、Virtual-Space Factory が、Real-Space World を監視し、問題をできる限り排除しながらインテリジェントに振る舞う事が出来る機能を実現することに成功している。

これらを纏めると、Virtual-Space Factory のクリティカル・ポイントを詳細に吟味する、そしてリフレクション手法の限界を数学的に正確に示すことが更に望まれるが、現在の主たる課題である大規模なシステムを記述表現する新しい方法を提案することに成功している。そして、更にホロニック・エナジー、Preprocessor、External Entity、および Internal Entity を提案することにより、従来の AI 手法等では出来なかった不良部分のみの抽出によるマルチ・ターゲット制御、そして必要最小限な部分だけの制御をする等が可能なシステムを提案している。

本研究の成果は、多くの複雑系システムに応用可能であり、かつ JAVA を利用したネットワーク展開を図ることにより、利用価値は倍増することが期待できる。

## 最終試験結果の要旨

公聴会後に、学位論文に関する口頭質問を行い、これを最終試験に代え、合格と判定した。