

称号及び氏名	博士（工学） 岩村 幸治
学位授与の日付	2006年12月31日
論文名	「ホロニック生産システムにおけるリアルタイムスケジューリングに関する研究」
論文審査委員	主査 教授 杉村 延広 副査 教授 谷川 義信 副査 教授 三村 耕司

## 論文要旨

近年におけるライフスタイルの個性化、文化の多様化、生産活動のグローバル化、自然環境負荷の増大などに伴い、製品の多様化への柔軟な対応、生産設備更新やシステムの複雑化への対応、設備故障やシステムの異常発生への対処、人間の役割や自然環境への配慮が生産システムに強く求められている。そのために、生産システム内外の質的量的変化に迅速に対処することができる新しい生産システムの概念の提案が1990年代以降盛んに行われてきている。このような新しい生産システムの一つにホロニック生産システム(HMS: Holonic Manufacturing System)がある。

HMSの基本概念は、知的生産システム国際共同研究プログラムのHMSプロジェクトで検討され提案されたものである。その中心概念となるのはホロン(holon)である。ホロンとは、生物の階層システムで見られるように、それ自身が全体であり部分であるサブシステムを表し、上位に対しては部分として振舞い、下位に対しては全体として振舞う。HMSでは、生産システムの構成要素、例えば生産設備、搬送設備、工作物などをホロンと呼び、これらのホロンが自律的に意思決定を行うとともに協調しながら生産プロセスを実行する。

これまでのHMSに関する研究において、オブジェクト指向の考え方に基づいてリアルタイムスケジューリングを対象とするHMSのモデル化が行われている。また、HMSのモデルにおいて、生産システムの構成要素である各ホロンが自身のスケジュールを決定するプロセス、およびホロンの協調プロセスにディスパッチングルールを用いるリアルタイムスケジューリング手法が提案されており、特急ジョブの追加や機械の故障などの異常事態に対する頑健性において優れていることが明らかにされている。

しかし、従来の研究では、意思決定機能と生産機能をもつHMSの構成要素のモデル化について、十分な検討がなされていない。また、ディスパッチングルールを用いたスケジューリング手法では、各ホロンの個別の目的関数およびHMS全体の目的関数を考慮することが困難である。

本論文は、ホロンを分散オブジェクトで表現するHMSのモデル、および個々のホロンとHMS全体の目的関数を最適化するためのリアルタイムスケジューリングプロセスについて論じたものである。

本論文は7章から構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

第1章は緒論であり、生産システムの歴史的な発展を示すとともに、現状の生産システムの問題点について指摘

し、近年提案されている新しい生産システム概念について整理した。次に、本研究の目的および本論文の概要について述べた。

第2章では、リアルタイムスケジューリングを対象とするHMSのモデルを開発するために、ホロンおよびHMSの概念について整理した。すなわち、ケストラーのホロンの概念について整理を行い、ホロンの概念に基づいて提案されたHMSおよびその構成要素としてのホロンの概念について整理した。

次に、ホロンの概念に基づいて、加工システムにおけるリアルタイムスケジューリングの観点から、3種類のホロンを提案した。すなわち、加工対象製品を表すジョブホロン、加工設備を表すリソースホロン、ジョブホロンおよびリソースホロンの加工作業を協調的に決定するコーディネーションホロンである。以下、単にホロンと呼ぶ場合は、ジョブホロンおよびリソースホロンを示すことにする。

また、分散オブジェクト技術を用いて、HMSに含まれるジョブホロン、リソースホロン、コーディネーションホロンの意思決定を行う情報処理部をスケジューラと呼ぶオブジェクトで、生産プロセスを実行する物理処理部をエミュレータと呼ぶオブジェクトで、モデル化した。さらに、HMSにおけるリアルタイムスケジューリング手法の有効性の検証を行うためのソフトウェアツールとしてバーチャルHMSを開発し、その実行手順を示した。

第3章では、HMSにおけるスケジューリング問題の解法として、他のホロンの状態を収集する、候補ホロンを選択する、候補ホロンの効用値を算出する、協調するという4つの処理からなる分散型のリアルタイムスケジューリングプロセスを提案した。そのために、まず、ジョブホロンおよびリソースホロンの目的関数として、滞留時間、加工コスト、稼働率、加工精度を定義し、各ホロンが次の加工プロセスを選択した場合の目的関数の評価値に基づいて、効用値を算出する方法を提案した。

次に、コーディネーションホロンが、各ホロンからの効用値に基づいて次の加工プロセスを決定するための協調手法を提案し、分岐限界法を用いた解法を提案した。さらに、バーチャルHMSを用いてケーススタディを行い、効用値に基づくスケジューリング手法を用いることにより、従来のディスパッチングルールを用いたスケジューリング手法と比較して、ホロンが全体として目的関数の値を改善できることを示した。

第4章では、各ホロンがシミュレーションを実行することによりHMSの将来の状態を予測して効用値を決定することができるように、第3章で提案した効用値に基づくリアルタイムスケジューリングプロセスを拡張した。そのために、HMSにおける一つのホロンが、他のジョブホロンとリソースホロンの効用値の決定基準およびコーディネーションホロンの協調の方法を既知とする場合に、HMSの将来の状態を予測する方法を提案した。この手法では、各ホロンがジョブホロンとリソースホロンの効用値の決定プロセスおよびコーディネーションホロンの協調プロセスについてシミュレーションを行うことにより、HMSの将来の状態の予測を行う。

また、予測を用いたリアルタイムスケジューリングのケーススタディを行った。この結果、予測を用いて効用値を求めることにより、ホロンの目的関数の値を改善することができた。さらに、シミュレーションを用いた予測期間が、各ホロンの目的関数に与える影響を検討し、予測期間を長くすると、目的関数の値が改善されることを示した。

第5章では、他のジョブホロンおよびリソースホロンの効用値の決定基準が未知である場合に、予測を行うホロンが、シミュレーションを実行して将来のHMSの状態を予測できるように、第4章で提案した予測を行う手法を拡張した。そのために、他のホロンの効用値の決定基準が未知の場合に、ニューラルネットワークモデルを用いて、HMSの将来の状態を予測する手法を開発した。このニューラルネットワークモデルは、他のホロンが算出する効用値を各ホロンの状態に基づいて予測するものである。また、ニューラルネットワークモデルの学習を、通常の効用値を用いたリアルタイムスケジューリングにおける各ホロンの状態と効用値のデータに基づいて実行する手法を提案した。

次に、ニューラルネットワークモデルが、各ホロンの効用値の決定基準を正確にモデル化しているか否かを評価するために、一対の生産スケジュールの類似度を定義した。この結果、提案した予測手法により、生産システムの将来の状態を予測することができることを検証した。さらに、提案したモデルを用いてホロンが予測を行うリアルタイムスケジューリングのケーススタディを行った。この結果、予測を行わない場合と比較して、目的関数の値を改善することができることを示した。

第6章では、コーディネーションホロンが個々のホロンの目的関数と、HMS全体の目的関数を同時に考慮して、各ホロンの次の加工作業を決定することができるように、第3章で提案した効用値に基づくリアルタイムスケジューリングプロセスを拡張した。そのために、まず、ホロンの協調を、すべてのジョブホロンおよびリソースホロン

の目的関数の評価値を最小化する多目的最適化問題として定式化することにより、次の加工を行うリソースホロンとジョブホロンの組み合わせにおけるパレート最適解を定義した。

次に、パレート最適解である組み合わせの集合から、生産システム全体の目的関数とその評価指標に基づいて、適切な組み合わせを選択する手法を提案した。生産システム全体の目的関数として、総納期遅れおよび総処理時間の最小化を考え、従来スケジューリング問題に適用されているディスパッチングルールに基づく評価指標を定めた。さらに、提案したリアルタイムスケジューリング手法を用いたケーススタディを行った。この結果、通常の効用値に基づくスケジューリング手法と比較して、個々のホロンの目的関数の値を同等に保持したまま、生産システム全体の目的関数の値を改善することができることを示した。

第7章では、本研究で得られた成果を総括した。

## 審査結果の要旨

本論文は、新しい生産システムとして提案されているホロニック生産システム(HMS: Holonic Manufacturing System)のリアルタイムスケジューリング問題を取り扱ったものである。ホロニック生産システムは、生産システムの構成要素、すなわち生産設備と生産対象製品の分散処理と協調処理により、生産プロセスを実行していくものである。本論文は、機械加工を行う生産システムを対象として、生産プロセスの進行にあわせてリアルタイムに生産スケジュールを作成する手法を提案したものであり、以下の成果を得ている。

1) HMS の考え方に基づいて、機械生産システムにおける生産スケジューリングを行うための基本構成要素として、生産設備をあらわすリソースホロン、生産対象製品をあらわすジョブホロン、および両者の協調を行うコーディネーションホロンを定義し、これらの分散処理と協調処理により生産スケジュールを生成するシステムのモデルを提案している。また、これらのホロンによるリアルタイムタイムスケジューリングプロセスと生産プロセスのシミュレーションを行うバーチャルHMSを開発している。

2) HMS におけるスケジューリング問題の解法として、各ホロンからの効用値に基づいて次の加工スケジュールを決定するための各ホロンの意思決定手法および協調手法を提案し、従来のディスパッチングルールを用いたスケジューリング手法と比較して、各ホロンの目的関数の値を改善できることを示している。

3) 各ホロンが生産システムの将来の状態を予測し、その予測結果に基づいてリアルタイムにスケジュールの決定を行う手法を開発している。すなわち、各ホロンが将来の状況を予測して効用値を決定することにより、各ホロンの目的関数が改善できることを示している。

4) 総生産時間および総納期遅れなどの生産システム全体の目的関数と各ホロンの目的関数を同時に考慮したうえで生産スケジュールを作成する手法を検討し、多目的最適化法に基づくスケジューリング手法を提案している。これにより、生産システム全体の目的関数と各ホロンの目的関数を同時に考慮することができるスケジューリング手法を実現している。

これらの諸成果は、ホロニック生産システムにおけるスケジューリング問題に対して多くの知見を与えるとともに、将来の自律分散型生産システムの運用および制御システムを開発する上で大きく寄与する。また、申請者が自立して研究活動を行うに必要な能力と学識を有していることを示している。