



リアクティブ・スケジューリングのモデル化と解法に関する研究

杉川, 智

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2011-09-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5355

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005355>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名	杉川 智		
論文 題目	リアクティブ・スケジューリングのモデル化と解法に関する研究		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教 授	玉置 久
	副 査	教 授	貝原 俊也
	副 査	教 授	大川 剛直
	副 査	准教授	太田 能
	副 査		
要 旨			
近年の製造業では、消費者ニーズの多様化とライフサイクルの短命化に伴って、作業計画（スケジュール）の柔軟性がますます重要となっている。そこでは、事前に立案されたスケジュールにのみ頼っていると、生産実施現場において生産された製品が過剰もしくは不足といった状況に陥る可能性が低くない。また、作業者の欠員や機械の故障などのトラブルで生産をスケジュール通り実施できない状況も珍しくない。前者の状況に対しては、計画段階においてニーズ等の不確実性を適切に吸収し得る計画を立案すること、または生産実施段階で状況に応じて適応的に計画を立て直すことなどの方策が考えられている。後者についても状況は同様であり、計画段階でトラブルを予測し、予め頑健な計画を立てておくこと、またはトラブルが発生した時点で計画を立て直すことなどの対策が講じられている。このようなニーズ等の不確実性やトラブル（不確定事象）を考慮するスケジューリング方式はダイナック・スケジューリングと総称されるものであり、なかでも、不確定事象による影響の抑制に留意して事前にスケジュールを立案する方式はプロアクティブ・スケジューリング、また、生産実施段階において適宜スケジュールを再スケジューリングする方式はリアクティブ・スケジューリングと呼ばれ、これまでも多様な研究が展開されている。また、これら二つの方式は必ずしも排他的な方式ではなく、リアクティブ・スケジュールの事前スケジュールとして、プロアクティブ・スケジュールの概念を取り入れた協調的な方式も考えられている。 プロアクティブ・スケジューリングは、不確定事象に関する事前情報をいかに効果的に利用するかという点を除いては、通常の（確定的あるいは静的）スケジューリングの範疇に入るものであり、膨大な理論面における関連研究がある。一方、リアクティブ・スケジューリングに関しては、多くの研究が実用面を重視しており、ある特定の生産形態に対して有効な方式の実現を図るものが多い。このような研究は、解決すべき問題の明確な定義・記述のみならず、方式実現における基本的考えが十分に議論されることなく手続きや技法の設計に終始していることが特徴的であることが、本論文で指摘されている。また、少数ではあるが、解析モデルや分析モデルに関する研究もあり、そこでは、ある特定の手続きの統計的性質を評価するための確率モデルやシミュレーション・モデルの構築をテーマとするものがあることが紹介されている。しかしながら、これらの研究は、解析・分析を繰り返すことで手続きを規定するパラメータの調整等を行うことを目的とするものであり、手続きや技法の設定でしかないといった問題点が指摘されている。したがって、これらのモデルをベースに、リアクティブ・スケジューリングの最適性の保証や全体最適化を指向した方式の構成・実現を扱うことはできないことになる。このような背景を踏まえ、本研究では、効果的かつ一定の汎用性を有するリアクティブ・スケジューリング方式の実現を目指している。本論文は、これらの研究成果をまとめたものである。 以下、本論文の構成および各章の内容を記す。第2章では、リアクティブ・スケジューリングが対象とする問題を明確にするとともに、関連研究の整理・位置付けがなされている。まず、生産実施段階に			

氏名	杉川 智
おけるある瞬間（スナップショット）に注目し、このスナップショットをベースとして、リアクティブ・スケジューリングのスケジュール生成とタイミング決定のための指標が整理されている。この指標により、リアクティブ・スケジューリングが明確にされるとともに、従来のリアクティブ・スケジューリング方策の整理・分類が可能となり、種々の解法構成の比較が容易となることが確認されている。 第3章では、リアクティブ・スケジューリングにおけるスケジュール生成段階に注目し、プロアクティブの考え方を積極的に取り入れる形で、数理計画モデルの一構成法が提案されている。例題としては、段取り時間に不確実性を有するスケジューリング問題が取り上げられている。この問題に対して、まず問題が形式的に記述され、次に、スケジューラが獲得し得る情報（標準情報）に加え、さらに多くの情報（付加情報）が獲得できるという想定の下で、標準情報と付加情報に基づく数理計画モデルが提案されている。提案モデルによる計算例が示され、計画と実施結果（シミュレーション）の比較を通して、不確定事象に対するロバスト・スケジューリングの観点から、提案モデルの可能性・有用性が確認されている。 第4章では、生産実施段階において再スケジューリングのタイミング決定を取り上げ、累積遅延を導入・拡張する方法が検討されている。従来の定期型と事象駆動型を補完する形でタイミング決定のハイブリッド化が目的である。この累積遅延に基づいて再スケジューリング・タイミングの決定方策を具体化し、現実的な例題を対象とした計算例が示されている。この結果より、従来のタイミング決定方策に対して、提案方策ではスケジュールの質を維持しつつ介入頻度（再スケジューリング回数）を抑制することが可能であることが確認されている。 第5章では、第3章や第4章とは異なり、リアクティブ・スケジューリングの全体最適化という観点から、リアクティブ・スケジューリング過程全体の最適化モデルが新たに構築されている。不確定事象に関する情報を獲得できる時点以降において、それらに起因する再スケジューリングが可能であるという考え方のもと、コストやメイクスパンからなる評価関数を想定し、再スケジューリングのタイミングおよび修正スケジュールの両者を一括して最適化する数理計画モデルが示されている。計算例より、提案モデルによって得られる解が合理的なものであることが確認されている。また、最適解との比較を通して、従来のリアクティブ・スケジューリング方策による結果の評価が可能であること、さらには従来方策の改善に対する指針を示し得ることが確認されている。 第6章はまとめであり、本研究で得られた知見が整理されるとともに、今後の課題について展望されている。 本研究は、人間の活動や人工システムのオペレーションに関する実施計画の作成・修正に肝要となるスケジューリングの問題を対象とし、特にその実践的側面に焦点を当てたリアクティブ・スケジューリングの形式化ならびに数理的アプローチによる解法構成を研究したものであり、広くシステム最適化理論の実践に関わる方法論について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。 よって、学位申請者の 杉川 智 は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。	

近年の製造業では、消費者ニーズの多様化とライフサイクルの短命化に伴って、作業計画（スケジュール）の柔軟性がますます重要となっている。事前に立案されたスケジュールにのみ頼っていると、生産実施現場において生産された製品が過剰もしくは不足といった状況に陥る可能性が低い。また、作業者の欠員や機械の故障などのトラブルで生産をスケジュール通り実施できない状況も珍しくない。前者の状況に対しては、計画段階においてニーズ等の不確実性を適切に吸収し得る計画を立案すること、または生産実施段階で状況に応じて適応的に計画を立て直すことなどの方策が考えられる。後者の状況についても同様であり、計画段階でトラブルを予測し、予め頑健な計画を立てておくこと、またはトラブルが発生した時点で計画を立て直すことなどの対策が講じられている。このようなニーズ等の不確実性やトラブル（不確定事象）を考慮するスケジューリング方式はダイナミック・スケジューリングと総称される。そのなかで、不確定事象による影響の抑制に留意して事前にスケジュールを立案する方式はプロアクティブ・スケジューリング、また、生産実施段階において適宜スケジュールを再スケジューリングする方式はリアクティブ・スケジューリングと呼ばれ、これまでも多様な研究が展開されている。また、これら二つの方式は必ずしも排他的な方式ではなく、リアクティブ・スケジュールの事前スケジュールとして、プロアクティブ・スケジュールの概念を取り入れた協調的な方式も考えられる。

プロアクティブ・スケジューリングは、不確定事象に関する事前情報をいかに効果的に利用するかという点を除いては、通常の（確定的あるいは静的）スケジューリングの範疇に入るものであり、膨大な理論面における関連研究がある。一方、リアクティブ・スケジューリングに関しては、多くの研究が実用面を重視しており、ある特定の生産形態に対して有効な方式の実現を図るものが多い。このような研究は、解決すべき問題の明確な定義・記述のみならず、方式実現における基本的考えが十分に議論されることなく、手続きや技法の設計に終始していることが特徴的である。また、少数ではあるが、解析モデルや分析モデルに関する研究もある。そこでは、ある特定の手続きの統計的性質を評価するための確率モデルやシミュレーション・モデルの構築をテーマとするものがある。それらの研究は解析・分析を繰り返すことで、手続きを規定するパラメータの調整等を行うものであり、手続きや技法の設定でしかない。したがって、これらのモデルをベースに、リアクティブ・スケジューリングの最適性の保証や全体最適化を指向した方式の構成・実現を扱うことはできない。このような背景を踏まえ、本研究では、効果的かつ一定の汎用性を有するリアクティブ・スケジューリング方式の実現を目指した。本論文は、これらの研究成果をまとめたものである。

以下に、本論文の構成および各章の内容を記す。

第2章では、リアクティブ・スケジューリングが対象とする問題を明確にするとともに、関連研究の整理・位置付けを行う。まず、生産実施段階におけるある瞬間（スナップショッ

ト)に注目し、このスナップショットをベースとして、リアクティブ・スケジューリングのスケジュール生成とタイミング決定を整理する、それらより指標を示す。指標より、リアクティブ・スケジューリングが明確になるとともに、従来のリアクティブ・スケジューリング方策の整理・分類が可能となり、種々の解法構成の比較が容易となることが確認されている。

第3章では、リアクティブ・スケジューリングにおけるスケジュール生成段階に注目し、プロアクティブの考え方を積極的に取り入れる形で、数理計画モデルの一構成法を提案する。例題として、段取り時間に不確実性を有するスケジューリング問題を取り上げる。まず問題を形式的に記述し、次に、この問題に対して、スケジューラが獲得し得る情報（標準情報）に加え、さらに多くの情報（付加情報）を獲得できるという想定の下で、標準情報と付加情報に基づく数理計画モデルを提案する。提案モデルによる計算例を示し、計画と実施結果（シミュレーション）の比較を通して、不確定事象に対するロバスト・スケジューリングの観点から、提案モデルの可能性・有用性が確認されている。

第4章では、生産実施段階において再スケジューリングのタイミング決定を取り上げ、新たに累積遅延を導入・拡張する。これによって従来の定期型と事象駆動型を補完する形でのタイミング決定のハイブリッド化を指向する。累積遅延に基づいて、再スケジューリングのタイミング決定方策を具体化し、現実的な例題を対象とした計算例を示す。その結果より、従来のタイミング決定方策に対して、提案方策ではスケジュールの質を維持しつつ介入頻度（再スケジューリング回数）を抑制することが可能であることが確認されている。

第5章では、第3章や第4章とは異なり、リアクティブ・スケジューリングの全体最適化という観点から、リアクティブ・スケジューリング過程全体の最適化モデルを新たに構築する。不確定事象に関する情報を獲得できる時点以降において、それらに起因する再スケジューリングが可能であるという考え方のもと、コストやメイクスパンからなる評価関数を想定し、再スケジューリングのタイミングおよび修正スケジュールの両者を一括して最適化する数理計画モデルを示す。計算例より、提案モデルによって得られる解が合理的なものであることを確認する。また、最適解との比較を通して、従来のリアクティブ・スケジューリング方策による結果の評価が可能であること、さらには従来方策の改善に対する指針を示し得ることを確認されている。

第6章は本論文のまとめであり、本研究で得られた知見を整理するとともに、今後の課題について展望している。