

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510151

研究課題名(和文) 頑健性を重視した動的スケジューリングの実用モデルの開発

研究課題名(英文) Development of a Practical Model of Robustness-Directed Dynamic Scheduling

研究代表者

諏訪 晴彦 (SUWA HARUHIKO)

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：40299029

研究成果の概要(和文)：製造活動における生産スケジュールやプロジェクト等計画の変更プロセスの枠組みは動的スケジューリング(あるいはオンライン・スケジューリング)と呼ばれ、環境変動への即応性と生産効率の観点から数多くの研究成果が報告されている。動的スケジューリングというアクティビティは、資源の再配置や生産統制の乱れといったリスクをとまなうために、調査で知る限りでは、現場においてあまり歓迎されていないという現実的側面を持つ。このような課題に対して、本研究では頑健性(Robustness)を基軸とした動的スケジューリングの意思決定モデルの構築を図る。頑健性の向上は、計画の変更が容易であり、かつ変更の規模をできる限り抑えること、すなわち「現場にやさしい」意思決定プロセスへとつながることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：The framework of processes of schedule revision in manufacturing is generically called dynamic scheduling. Many researchers in industrial engineering have studied from the viewpoint of productivity and the responsibility to changes in manufacturing environments. Schedule revision might lead to risks of reallocation of resources as well as disturbances in production control, therefore it is much important to consider "robustness" in scheduling. This study attempts to build a model of dynamic scheduling directing robustness of schedules. To enhance the robustness of ongoing schedule is expected to realize decision-makings friendly to the shop-floor.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：新複合領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学／社会システム工学・安全システム

キーワード：プロジェクト管理, スケジューリング方策, 意思決定モデル, 不確実性

1. 研究開始当初の背景

製造活動における生産スケジュールの変更プロセスの枠組みは動的スケジューリング (あるいはオンライン・スケジューリング) と呼ばれ、環境変動への即応性と生産効率の観点から数多くの研究成果が報告されている。昨今の製造業においては、製造リードタイムの短縮、ムダ在庫の削減、迅速な納期回答が至上命題であり、したがって、環境変動に対応するための動的スケジューリングの重要性は言うまでもない。

しかし一方では、動的スケジューリングというアクティビティは、資源の再配置や生産統制の乱れといったリスクをとまなうために、調査で知る限りでは、現場においてあまり歓迎されていないという現実的側面を持つ。動的スケジューリングは、リアクティブ方式とリアルタイム (ディスパッチング) 方式の二つに大別でき、各方式について 1980 年代から研究が活発化し、さまざまな成果が報告されている。それらの中心は、生産方式・生産システムの様式に応じた「手法・手順」の提案である。また実務レベルにおいては、APS に見られるように、注文受付から作業指示に至るまでをコンカレントに支援する管理方式が登場し、その派生方式も含め、一定の成果を上げている。一方、動的スケジューリングに関する研究に共通する「実現されていないこと」については次のように要約できる：

- (i) どのタイミング (when-to) でどの手順を用いて (how-to)、どの区間を変更 (where-to) すればよいか？ またその評価は？ という率直かつ直感的な疑問を解決するための包括的モデルが十分に確立されていない。
- (ii) 多くの場合、生産効率の向上が主目的であり、計画変更の容易性や安心感をもたらすための方法やシステムの在り方が議論されていない。

2. 研究の目的

1 章で述べた課題に対して、これまでの研究を通じて、動的スケジューリングの本質は「頑健性 (Robustness)」であり、それを基軸として意思決定の即応性や生産効率性を講じるべきであるという考えに至った。頑健性の向上は、計画の変更が容易であり、かつ変更の規模をできる限り抑えること、すなわち「現場にやさしい」意思決定プロセスへとつながることが期待できる。当該研究では、頑健性を重視した動的スケジューリングの実現を目指し、実用的な意思決定モデルの構築を図る。

3. 研究の方法

- (1) 文献調査を通じて、不確実性をともなう

計画立案の意思決定プロセスに関する研究、計画変更のタイミングに関するモデル・手法を分類・整理する。また、実際に利用されているプロジェクト・スケジューラや生産管理システムの実状を把握するために、事業所・工場の実地調査を行う。

- (2) ダミーによるスケジューリング戦略 (マッチアップ戦略) についてダミーの配置に対する理論モデルを構築する。モデルの妥当性を検証するためのシミュレーション・プログラムを構築し、数値実験を行う。

4. 研究成果

- (1) 文献調査：関連研究の状況を把握することを目的として、主に Science Direct に登録されているジャーナルを中心に、とくにクリティカルチェーン・マネジメントに関するジャーナルを収集・調査した (International Journal of Production Research, European Journal of Operational Research, Computers and Industrial Engineering など)。製造分野・生産管理のみならず、プロジェクト管理、プロセッサ・スケジューリングの分野においても当該研究テーマと関連する研究は行われている。とくに重要なキーワードとして、slack, disruption management があり、関連研究とは別角度の視点を持つために、これらのキーワードを含む研究の調査を実施した。プロジェクトなどのスケジューリングについて、その確実性への対処に関する書籍 (Disruption Management 等) や論文から、意思決定モデルの分類整理を試みた。とくに人的資源の変化・変動に起因する不確実性について、系統だった整理ができた。

実地調査：実際に利用されているスケジューラやプロジェクトの計画・運用の実状を把握するために、鉄鋼や情報システム系等の会社・事業所を訪問した。担当者への計画の立案・変更に関して具体的なインタビューを通じて、動的スケジューリングの実用モデルの実現への重要な知見を得た。

- (2) ダミーに基づくスケジューリング戦略について、意思決定の枠組みを固め、所与のダミーをスケジュール上に配置する方法についていくつかのアプローチを検討した。意志決定の枠組みは次のとおりである。

Step 1. スケジュールに配置すべき時間的ゆとりの総量 (ダミー総量; K) を決定する。

Step 2. ダミー総量に基づいて、クリティカル経路を構成する作業 (クリティカル

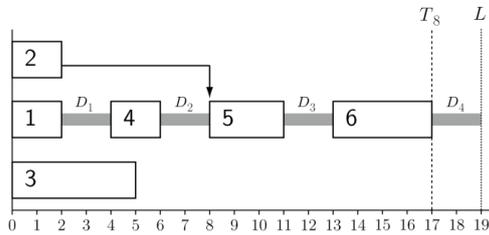
作業)の個数分 (N_c) に応じたダミーを用意する。

Step 3. 先頭のクリティカル作業にダミー D_0 を配置し, ダミー D_j ($1 \leq j \leq N_c$) をクリティカル作業 $a(j)$ の直後に配置していく。この結果, スケジュール上のクリティカル・パスは,

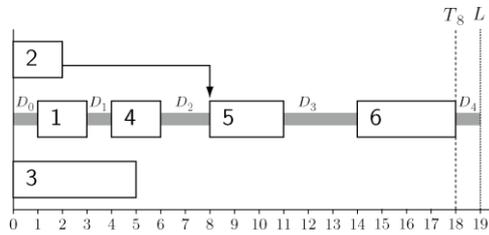
$$D_0 \rightarrow a(1) \rightarrow D_1 \rightarrow \dots \rightarrow a(N_c) \rightarrow D_{N_c}.$$

となる。

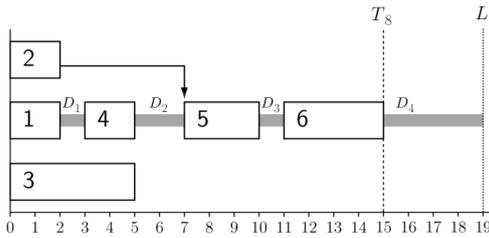
以上の手順により得られるスケジュールを緩和スケジュールと呼ぶ。緩和スケジュール



(i) ダミーの1様配置



(ii) ダミーの α 配置



(iii) ダミーの ϵ 配置

図 1: 頑健性指向型スケジュール (緩和スケジュール) の一例

は, 作業の順序変更を低減させる効果がある点で頑健性が高いスケジュールといえる。ただし, 開始時刻のずれに伴うコストをどう扱うかという問題が残される。この点については後述の数値実験で検証を行っている。さて, 上記の **Step2** と **Step3** において, 種々の配置方法を考案し, それらの特性を明らかにするとともに, その有用性をも示した。これによ

り, 頑健性を指向するスケジュールの生成方法を確立した (図 1 参照, 雑誌論文③など)。

(3) 計画の変更を極力抑えることやその適切なタイミングを講じることは, スケジュールの頑健性を維持 (ないしは向上) させることに直結する。これを実現するものとして, 拡張型事象駆動と呼ばれるモデルを考え, 従前研究の作業の累積遅延を計画変更のトリガーとするリアクティブな戦略を統合させたタイミング方策を開発した (図 2 参照)。大規模な数値シミュレーションを通じて, 提案する意志決定モデルの有用性を示した (学会発表②や⑨など)。

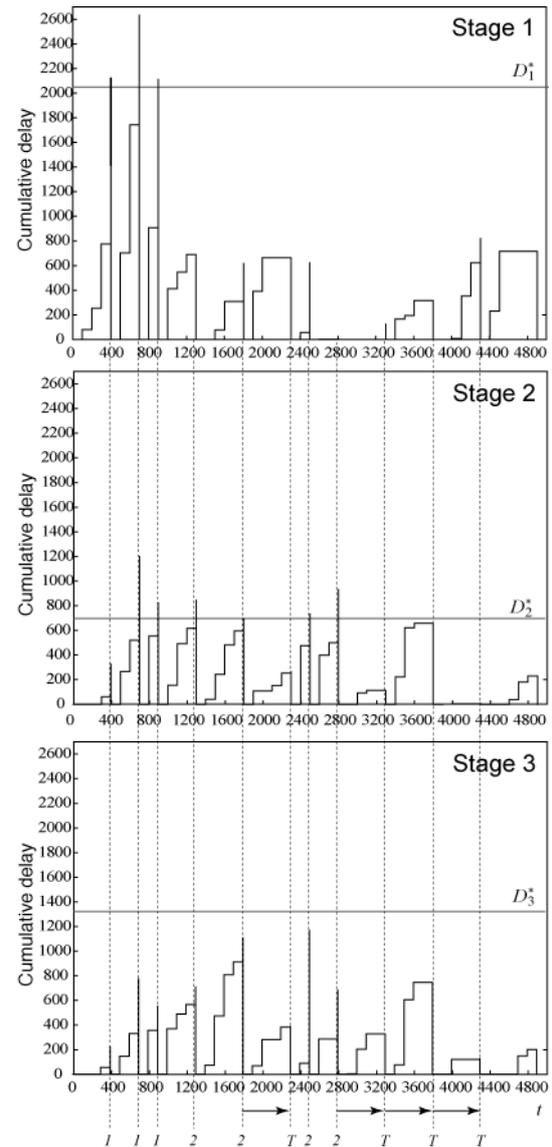


図 2: 過度の計画変更 (変更コスト) を抑える意味で頑健性を指向した計画変更のタイミング方策-拡張事象駆動型方策 (柔軟フローショップ型生産システム (3工程) での累積遅延に基づく計画変更)

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 諏訪晴彦・森田大輔・三道弘明, プロジェクト管理におけるダミーに基づくクリティカルチェーン・スケジューリング, システム制御情報学会論文誌, 査読有, 22巻, 12号, 2009, 387-396
- ② 諏訪晴彦・三道弘明, ダミージョブに基づくプロアクティブ・スケジューリングの一考察, 日本機械学会論文集C編, 査読有, 75巻, 752号, 2009, 387-396
- ③ 杉川智・諏訪晴彦, 動的スケジューリングに対するハイブリッド・タイミング方策 (単一機械モデルへの適用), 日本機械学会論文集C編, 査読有, 74巻, 740号, 2008, 1026-1033

[学会発表] (計13件)

- ① 森田大輔・諏訪晴彦, 作業時間の変動コストを考慮したロバストなプロジェクト・スケジュールの生成法, スケジューリング・シンポジウム2010
- ② 森田大輔・諏訪晴彦, プロジェクトのバッファ管理における作業時間見積もりの一考察, 日本経営工学会平成22年度春季大会(2010)
- ③ 藤原稔久・諏訪晴彦・森田浩, 作業短縮費用に基づく動的プロジェクト・スケジューリングに関する基礎的研究, 第54回システム制御情報学会研究発表講演会(2010)
- ④ 諏訪晴彦, Enhanced Event-Driven Scheduling Policy under Dynamic Flexible Flow Shop Environments, 7th CIRP Int. Conf. on ICME (2010)
- ⑤ 諏訪晴彦・森田大輔・三道弘明, New Framework of Critical Chain Scheduling in Project Management, INFORMS 2nd Int. Conf. on Engineering Systems Management and its Applications (2010)
- ⑥ 杉川智・諏訪晴彦・玉置久, Deterministic Model for Reactive Scheduling (Scheduling Multiplexing Approach), ASME International Symposium On Scheduling 2009 (2009)
- ⑦ 藤原稔久・諏訪晴彦・森田浩, Capability of CPM Based Dynamic Project Scheduling, INFORMS International Conference on Service Science (2009)
- ⑧ 藤原稔久・諏訪晴彦・森田浩, Critical Path Method に基づくリアクティブ・プロジェクト・スケジューリングに関する

基礎的研究, 第53回システム制御情報学会研究発表講演会(2009)

- ⑨ 諏訪晴彦・森田大輔, ダミーに基づくクリティカルチェーン・スケジューリングとその効果, 第53回システム制御情報学会研究発表講演会(2009)
- ⑩ 杉川智・諏訪晴彦・松本卓也・玉置久, スケジューリングコストによるリアクティブ・スケジューリングの静的最適化モデル, 第53回システム制御情報学会研究発表講演会(2009)
- ⑪ 中西大輔・諏訪晴彦, 動的な並列機械環境における累積遅延に基づくオンライン・スケジューリング方策, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会2009
- ⑫ 清水敦史・諏訪晴彦, 並列機械スケジューリングに対する時間バッファに基づくマッチアップ戦略, 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会2009
- ⑬ 中西大輔・諏訪晴彦, オンライン・スケジューリング方策のタイミングの評価に関する一考察, 第52回システム制御情報学会研究発表講演会(2008)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

諏訪 晴彦 (SUWA HARUHIKO)
摂南大学・理工学部・教授
研究者番号: 40299029

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし