

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月11日現在

機関番号：21201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700258

研究課題名（和文） 多段複合型工程を対象としたスケジューリング・システムの開発

研究課題名（英文） Development of scheduling system for multistage composite process

研究代表者

岡本 東（OKAMOTO AZUMA）

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授

研究者番号：10305310

研究成果の概要（和文）：多段複合型工程を対象として、生産計画・スケジューリングを行うシステムと、その手法の開発を行った。多段複合型工程とは、資材を分解して半製品・製品を作成する分解型工程と、資材・半製品を組み立てて製品を作成する組立型工程が組み合わせられた工程である。数値実験の結果、条件によりヒューリスティックとメタ戦略を選択する方法が有効であった。実装した情報システムは、最近の標準ウェブ技術により多くのウェブブラウザでの利用が可能となった。

研究成果の概要（英文）：A planning and scheduling system for multistage composite process was developed. And, planning and scheduling techniques for the system were also developed. The multistage composite process is composed from disassembly process and assembly processes. As results of numerical experiments, selecting heuristics and meta-heuristics by condition was effective. The system can be used through most modern web browsers based on recent standard web technologies.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,100,000	330,000	1,430,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、図書館情報学・人文社会情報学

キーワード：経営情報

1. 研究開始当初の背景

(1) 製造業において、最適化理論に基づくスケジューリングが実用になり、情報システムの活用は必須のものとなった。しかし、製造業に原材料を供給する素材型産業など、分解

型工程や多段複合型工程をもつ産業においては、従来の理論がそのままでは適用できない場合も多く見受けられる。

(2) 機械工業等の組立型工程では、製品の生

産数から資材の所要量が求められる。製品の種類が複数ある場合にも、求めた所要量の和が最終的に調達すべき資材総所要量となる。一方、素材型産業に多く見られる分解型工程では、製品の生産量がたまたま資材を使い切る場合を除き、余剰部品（仕掛品・半製品）が発生する。複数の種類の製品の生産量から資材所要量を無駄のない形で求める場合には、各製品のための資材所要量の和ではなく、製品の生産量を明らかにした後にそれらの和から資材所要量を求める必要がある。

(3) 多段複合型工程においては、生産計画に基づいて製品の生産数が先に決め、資材所要量を求めるという一方向の手順ではなく、余剰部品を利用して製造可能な製品がある場合には製品の製造数を修正し資材を無駄なく利用するなどの調整が必要となる。その際、製品数が増えるにつれ、余剰部品から製造可能な製品の組合せは、急激に増加する。このため、生産する品目や量を決定するための方法について多くの課題がある。

2. 研究の目的

(1) 対象領域における生産計画を具体化し生産スケジューリングを行うと同時に、結果として得られたスケジュールを用いて生産計画の検証を行うアルゴリズムの開発を行う。このため、対象領域に該当する企業における調査をもとに、生産計画および生産スケジューリングの特性を明らかにする。また、SCP (Supply Chain Planning) ・ロジスティクスについて既存研究の調査を行い、対象領域に適合する理論を明らかにする。本研究の範囲とSCP・ロジスティクスの関係を図1に示す。

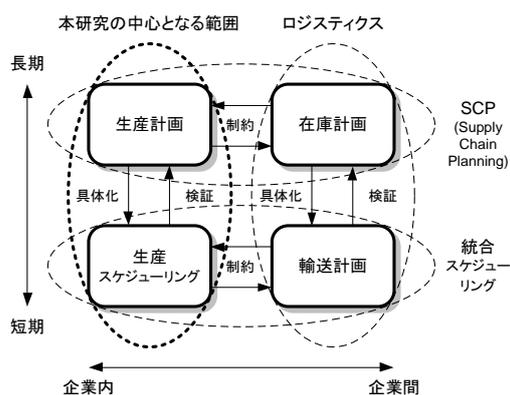


図1 本研究の範囲

(2) ウェブベースの計画・スケジューリングのシステムとして本研究成果の実装を行う。具体的には、先行研究の成果として構築されたウェブベースのスケジューリング・システ

ムに、新規開発した計画・スケジューリング手法を組み合わせる。また、従来のスケジューリング・システムの問題点を改善する。

3. 研究の方法

(1) 平成22年度は素材型産業（鋼板製造など）や食品加工業の調査、生産スケジューリングを主とし、生産計画・在庫計画・輸送計画の部分モデルの作成を行う。また、それぞれの部分モデルにおける最適化手法の調査および新規開発を行う。

(2) 平成23年度に部分モデルの統合による統合モデルの作成を行い、前年度に開発した部分モデルにおける最適化手法をもとに、全体における最適化手法の開発を行う。

(3) 最後に、先行研究で構築済のウェブベースのスケジューリング・システムをもとに、新規開発した手法を実装し、APS (Advanced Planning and Scheduling) 型のスケジューリング・システムとして構築を行う。

4. 研究成果

(1) 本研究の対象においては、生産計画・生産スケジューリング・在庫計画・輸送計画の連携が、他の形態の製造業以上に重要となり、これらを統合した形でのスケジューリング手法を確立することが最終的な目標となる。これはAPSまたはその一部にあたるが、多段複合型工程を対象とした研究は過去にほとんど見られない。また、多段複合型工程をもつ食品加工業を対象とした先行研究の範囲は生産計画のみである。「生産計画と在庫計画」や「生産スケジューリングと輸送計画」は互いにパラメータや制約を与え合う関係にある。また、「生産計画と生産スケジューリング」や「在庫計画と輸送計画」は、それぞれ前者のものを具体化した結果が後者のものであり、詳細な時間軸で具体化された結果が実現可能性の検証結果ともなる。「生産計画と在庫計画」を統合して取り扱うものはSCP、「在庫計画と輸送計画」を統合して取り扱うものはロジスティクスとして、数多くの研究がなされている。また、本研究代表者らは、これまでに生産・輸送を統合したスケジューリング問題、分解工程を含むスケジューリング問題に関する研究を行ってきた。以下、単に計画・スケジューリングと述べた場合には、生産計画・生産スケジューリングを表すものとする。

(2) 対象とした多段複合型工程は、上流に分解型工程・下流に組立型工程をもつ工程であ

る。この工程は、鋼板サプライチェーン（鋼板製造とそこで生産された鋼板を用いる製造業）や水産加工品サプライチェーン（生鮮品から加工品の資材を作る工場と加工品を製造する工場）に見られる。これらのサプライチェーンを調査し、計画スケジューリングモデルを作成するため調査を行った。

鋼板サプライチェーンにおいては、上流の鋼板製造に於いて、板幅や板厚による製造順序など、他の製造工程には見られない制約がある。また、板幅や板厚の他に原材料の混合比率や圧延加工の方法により、様々な種類の製品が存在する。さらに、それぞれの製品は、その鋼板を資材として用いる製造業に対して短納期で供給しなければならず、在庫を持つことは避けられない。スケジューリングによる在庫の削減は大きな課題である。

また、水産加工品サプライチェーンにおいては、原材料の品種の多さから製品も多くの種類を扱わなければならない。また、鮮度が重要であることから在庫を長期間持つことが難しい。また、取扱い製品の少ない場合においても、資材と製品で単位が異なる工程が多く、資材投入量と生産される製品の量が、歩留り以外の要因で不確実であり、所要量計算が難しいなどの課題がある。例えば、冷凍された生鮮品のブロックを解凍した際に何匹の生鮮品が取り出されるかが不確実だけでなく、取り出された生鮮品を解体した際に一匹当たりどれだけの重量が取り出されるかも不確実である。過去の統計量などから推定する方法でも、すべての工程で安全率を考慮した資材所要量計算を行うと非常に多くの資材が必要とされてしまう。

前者は、必要とされる製品の量の不確実性がありながらも、代替品の供給で済む場合はほとんどなく、事前の生産計画ではある程度の幅を想定し、需要に合わせて再スケジューリングをする方法が必要と考えられる。また、後者は販売との連携により代替品の供給が可能な場合もあるが、さらに上流からの資材供給の不確実性があり、こちらも、計画には幅を持たせておき、状況に合わせて再スケジューリングが必要と考えられる。

(3) 計画・スケジューリング手法の開発に先だって、中長期の計画を除いたスケジューリング・アルゴリズムに関する検証を行った。従来、比較的良い結果が得られるとされ良く用いられるランダムキー型遺伝的アルゴリズムについて、スケジューリング問題に適用した場合の問題点を明らかにし、それを改善した手法を開発し発表した（雑誌論文 (1)）。この結果を踏まえ、計画・スケジューリングの統合および、対象の多段複合型工程への適用についてまとめた。各製品の資材所要量の和が全体の資材所要量とはならない、余剰品

の廃棄量を減らすため製品の追加を提案する必要があるなどの、従来明らかにした分解型工程の特性に加え、複数の種類の資材から同一（互換）製品が生産可能な場合についての考慮を行った。

(4) ここまでの結果を踏まえ、在庫計画・輸送計画を除いた計画・スケジューリングの統合手法を開発した。これは、生産計画を具体化してスケジュールを作成するロジックに加えて、余剰部品の在庫の最小化を含む目的関数による最適な追加生産可能製品の組合せ候補を求めることにより、生産計画変更の提案を行うロジックを含む。余剰部品の発生を抑止しつつ、需要予測や受注を元にした生産量を満たす生産計画・スケジューリングを行うため、以下の3つを開発し、数値実験を通して比較を行った。

- ① ヒューリスティックを元にした手法
- ② 組合せ最適化問題として定式化し既存のメタ戦略を適用した手法
- ③ 各品目の生産量を統計的な分布を持つ値として表現し、そこから求められる資材所要量や余剰部品の量の分布を求める手法

①は、従来手作業で行っていた手順や、これまでに作成された計画を分析および改良しルール化を行ったものである。②は、メタ戦略として遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm: GA) と局所探索を組み合わせたメメティックアルゴリズム (memetic algorithm: MA) を使用した。これは、先行研究で開発した、生産スケジューリングと輸送の統合スケジューリングのためのメタ戦略手法を元に、対象となる工程に合わせて変更したものである。③は、別の計画・スケジューリングの統合についての先行研究にておいて提案した計画とスケジューリングの統合のための手法を元に、対象となる工程に合わせて変更したものである。これは、個々の製品の生産（予定）量を統計的な分布をもつ値として表現し、これらを元に資材所要量および余剰部品の量の分布を求めることによって、余剰の発生しやすい品目を発見し有効に利用するための調整を行う方法である。従来の計画・スケジュールの順序による作成ではなく、計画と併せて不確実な要素は不確実なまま抽象スケジュールを作成し、これによりボトルネックを発見し、再計画で回避可能であれば再計画を行う。

(5) 数値実験に用いるモデルを作成するにあたり、水産物サプライチェーンの調査結果と先行研究におけるモデルを用いた。まず、計画・スケジューリングの部分モデルとして整理し、その後、これらをもとに統合モデルを作成する。最適化問題についても、各部分モ

デルに対応した部分問題を作成し、その複合問題として統合モデルの最適化問題を捉える。

(6) 数値実験の結果、多くの場合①によって実用的な解を短時間で求めることができた。また、計算時間が十分にある場合には②が有効であった。③は、計算量が最も多いものの前述の②と同等の結果しか得られなかった。これは、③の元になった先行研究の例では、明確なボトルネックが検出され、計画に反映することができていたが、本研究のモデルでは、代替製品の製造などの組合せの要素が多く、それらの選択の効果がスケジューリングにおけるボトルネックの影響より大きいことが考えられる。

(7) 数値実験の結果を踏まえ、ヒューリスティックを用いた計画・スケジューリングを基本とし、MAによる改良の試行を繰り返す方法を採用した。この改良の試行の手順を図2（学会発表(2)の図を元に作成）に示す。最終的な検証のシミュレーションには乱数のかわりに低分散列を用いた。

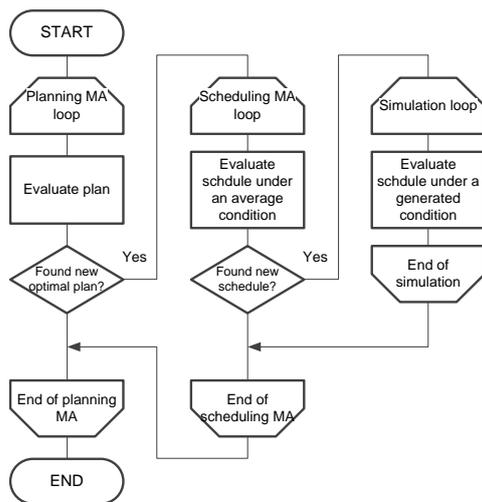


図2 計画・スケジュールの改良の手順

(8) ウェブベースのシステムとして実装を行った。実装する上で、可能な限り標準技術を導入することとした。具体的には、PSLX, XML (Extensible Markup Language), SVG (Scalable Vector Graphics), ECMA Script (ISO/IEC 16262) などである。過去の開発において問題となったSVGとECMAスクリプトの組合せに関する問題の多くは、最近のウェブブラウザの改良によってほぼ解決し、目標とした仕様通りに構築できた。

(9) 今後、ドキュメントの整備や、他システムとの連携により、使用のための環境を整備

する。また、実使用を通じて数値実験による結果に基づく理論の裏付けを行うとともに、実用的なシステムとしての発展を目指す。

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2件)

- (1) Okamoto, A. & Sugawara, M.: Solving Composite Scheduling Problems using the Hybrid Genetic Algorithm, *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A* (Selected paper from APIEMS 2010), 査読有, Vol.11, No.12, pp.953-958, 2010.
- (2) 岡本 東, 菅原光政: 特性解析に基づく生産スケジューリング手法, 日本設備管理学会誌, 査読有, Vol.23, pp.19-24, 2011.

[学会発表] (計2件)

- (1) Okamoto, A. & Sugawara, M.: Solving Composite Scheduling Problems using Hybrid Genetic Algorithm, *11th Asia-Pacific Industrial Engineering and Management Systems (APIEMS 2010)*, Renaissance Hotel Melaka, Malaysia, 2010-12-09.
- (2) Okamoto, A.: Production Planning and Scheduling for Multistage Composite Process, *International Conference on Production Research 21 (ICPR21)*, Liederhalle, Stuttgart, Germany, 2011-08-02.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 東 (OKAMOTO AZUMA)
岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授
研究者番号：10305310

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：