

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00175

研究課題名(和文) 多品目多段工程動的ロットサイズスケジューリングにおける実行可能解への収束の加速化

研究課題名(英文) Accelerating Convergence to a Feasible Solution in a Multi-Item Multi-Process Dynamic Lot size Scheduling Problem

研究代表者

小林 稔 (Kobayashi, Minoru)

福岡工業大学・情報工学部・准教授

研究者番号：50537644

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：生産スケジューリング問題は短時間で生成できることが望ましいが、大規模なスケジューリング問題やデータの性質によっては長い計算時間を要する場合がある。本研究ではこのような問題に並列処理技術や数値モデルの性質の改善によって計算時間の加速化の方法を提案し、数値実験による検証を行った。その結果、数値モデルの性質改善では1/600の計算時間で、並列処理技術の援用では約1/3の計算時間の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生産スケジューリング問題が短時間で解けるようになることは、製造業における操業スケジュールの生成の手間を省き、ひいては我が国の生産性の向上に資するものであり、数学的に問題を取り扱うことによって誰もが扱えるようになるため、学術的意義や社会的意義を有していると考えられる。

研究成果の概要(英文)：It is desirable to be able to generate the production scheduling problem in a short time, however it may take a long calculation time depending on the large-scale scheduling problem and the nature of the data. In this research, we proposed a method for accelerating the calculation time by applying the parallel processing technology and by improving the properties of mathematical models, and verified it by numerical experiments. As a result, we obtained 1/600 of calculation time for improving the property of mathematical model and about 1/3 of calculation time by using parallel processing technology.

研究分野：生産管理

キーワード：生産スケジューリング 並列処理 計算時間短縮 高速処理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、多品目多段工程動的ロットサイズスケジューリング (Multi-Item Multi-Process Dynamic Lot size Scheduling: MIMPDL) モデルの研究に従事してきた。このモデルの解法は Lagrange 分解・調整法と呼ばれている。この問題の実用上の課題は2つある。一つは数学的構造は非凸であり、解までの理論的な収束が保証されないこと。もう一つは、解法として用いる Lagrange 分解・調整法が、大規模問題に対しては調整箇所が膨大となるため、計算の反復回数が多くなることが避けられないこと、である。すなわち、既存の生産スケジューラと対比して、生成スケジュールの計算精度の性能は高いが、計算時間については性能が劣るため、特に実用上問題となっている。

2. 研究の目的

本研究では上で述べた実用上の問題を克服することを目指すものである。具体的には、1. 目的関数に二次の項の追加を行った新しい Lagrange 乗数の更新ルールを提案すること、2. 並列処理を実装した求解プログラムを作成し、数値実験により検証することである。

3. 研究の方法

(1) 目的関数への二次項の追加に関しては、拡張 Lagrange 分解・調整法という方法が多品目単一工程動的ロットサイズスケジューリングモデルに対して既に提案されているが、MIMPDL モデルに対しては適用されていない。そこで本研究課題では、拡張 Lagrange 分解・調整法またはそれと類似のアイデアの適用を試みる。具体的には MIMPDL モデルにそのまま適用するのではなく、このモデルを工程別に分割したモデルである多品目単一工程非一様多機械動的ロットサイズスケジューリング (Multi-Item Single-Process Unrelated Multi-Machine Dynamic Lot size Scheduling: MISPUMMDLS) モデルの連結型に帰着させ、この MISPUMMDLS モデルの目的関数への二次項を追加することによって目的関数の数学的性質を凸にし、収束までの時間短縮を図ろうとするものである。

(2) 数値実験については近年のコンピュータにはマルチコアの CPU が搭載されているため、上記を実装したコンピュータプログラムの開発についても、並列化などの技術を取り入れたプログラムの開発を行い、300 ジョブ程度の比較的大規模な問題に対しても 30 秒以下にまで計算時間を短縮させ、高速化を図ろうとするものである。

4. 研究成果

(1) 目的関数への二次項の追加に関しては、以下の研究成果を得た。まず、研究の方法 (1) で述べた方法に基づいて MIMPDL モデルを MISPUMMDLS モデルへと帰着させて (図 1)、この 1 工程のみのモデルを対象として目的関数への二次項の追加を行った。この二次項の追加については反復計算時の解の収束までに発生する振動を抑えることを目的としているが、反復 2 回目以降の目的関数に対して、各タイムスロットにおける反復計算時点での在庫量と反復 1 回前の在庫量との差を定数や変数で基準化した値の 2 乗を追加した。これを実装したプログラムにより、二次項追加前と全く同じパラメータで数値実験を行ったところ、解の振動が抑制され、二次項追加前には求解までに 20 万回以上の反復回数を要したが、二次項追加後には 309 回で実行可能解が得られた (図 2)。その他の評価指標についても実用上問題ない差異であった。

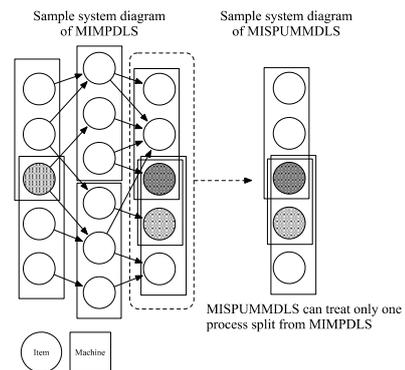


図 1 MIMPDL モデルから MISPUMMDLS モデルへの帰着

(2) マルチコア CPU を活用した並列処理技術の援用による計算時間の高速化に関しては、MIMPDL モデルを実装したプログラムを Fortran 90 によって作成し、異なる 3 つの環境での計算時間への効果を、9 品目の小規模問題と 63 品目の中規模問題のそれぞれで確認した。

MIMPDL モデルは Lagrange 分解・調整法によって、原問題を品目別の子問題に分解して他と独立に動的計画法で解いて、子問題間に生じる制約違反を調整して実行可能解を導く方法である。仮に各品目の求解処理を異なるスレッドに割り当てられれば、処理の全体的高速化が期待できる。そこで本研究では、まず手始めに、メモリ使用量を抑える方針で作られた既存プログラムの構造を活かした並列処理プログラムを作成し、小規模問題を用いて数値計算によって計算時間の検証を行った。その結果、実際には、配列を並列化する際にかかるオーバーヘッドが大きく、高速化の効果が得られるどころか、逐次処理に比べて計算が遅くなってしまおうという知見が得られた (図 3)。そこで、オーバーヘッドを小さくするためには主要な配列の共有化が有効であると考え、動的計画法で用いる関数方程式を保持するための配列と状態を保持するための配列など計 3 つの配列を共有化するようにプログラムを改良した。改良後のプログラムを用いた数値計算では、

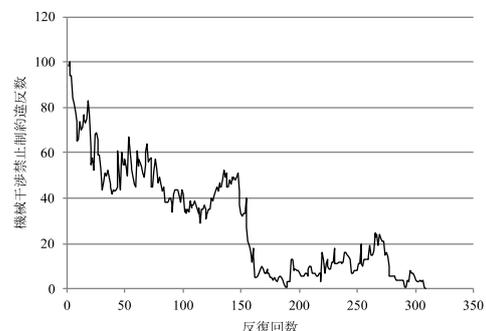


図 2 二次項追加後の制約違反数の推移

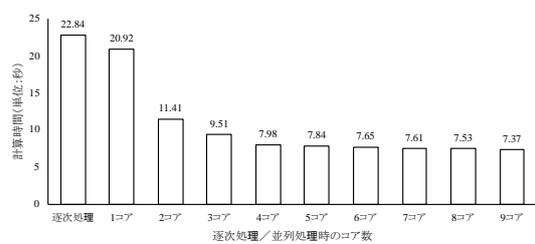
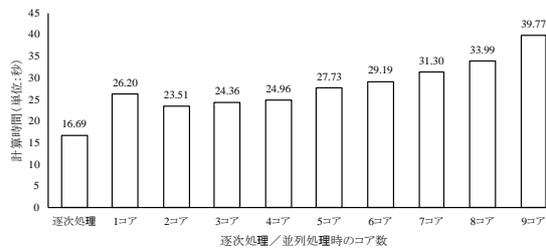


図3 逐次処理より遅くなる計算例 (9品目) 図4 並列化効果が得られた計算例 (9品目)

スレッド数を増やす度に計算時間が減少し、最大で3倍以上の加速化が達成できた(図4)。当初の予定では、OpenMPを有効化すれば、どのような計算機環境であっても計算時間が短縮されると考えていた。ところが実際に異なる計算機環境(表1参照)で実験してみると、計算機環境によって結果の様相が異なっていた。

表1 使用した計算機環境

No.	機種	プロセッサ	メモリ	ストレージ	OS
1	iMac Pro (2017)	Intel Xeon W-2191B 2.3 GHz (18 Core) (最大 4.5 GHz)	DDR4 1,333 MHz 128 GB	NVMe SSD 4 TB	macOS10.13.6 (Build 17G10021)
2	VAIO Pro PH	Intel Core i7-9750H 2.6 GHz (6 Core) (最大 4.5 GHz)	DDR4 1,330 MHz 32 GB	MVMe SSD 1TB	Windows 10 Pro (64 bit)
3	VAIO Pro PK	Intel Core i7-8565U 1.80 GHz (4 Core) (最大 4.6 GHz)	LPDDR3 16 GB	SATA SSD 256 GB	Windows 10 Pro (64 bit)

例えば、63品目の中規模問題において、機種No.1では、小規模問題と同様最大で3倍程度の加速化が達成できた。ところが機種No.2とNo.3では並列処理によって逐次処理に比べて加速できたものの、その効果はNo.1ほどではなかった。結果を図5～図7に示す。

クロック周波数では機種No.2が最も高速であるため、逐次処理においては最も高速であるが、並列処理に切り替えると、搭載コア数と搭載メモリ容量が多い機種No.1に軍配が上がっている。一方機種No.2と機種No.3においては若干のスピードアップの兆候は見られるものの、劇的な改善とはいえず、単純に並列化すれば良いというわけではないことが示唆された。また、本研究課題においては実行可能解の求解までは試していないため、それらについては今後の課題とした。

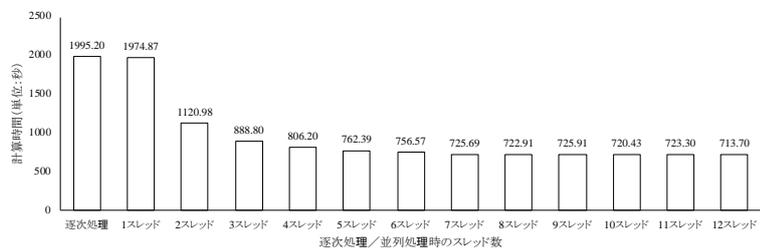


図5 機種No.1による数値計算例 (63品目)

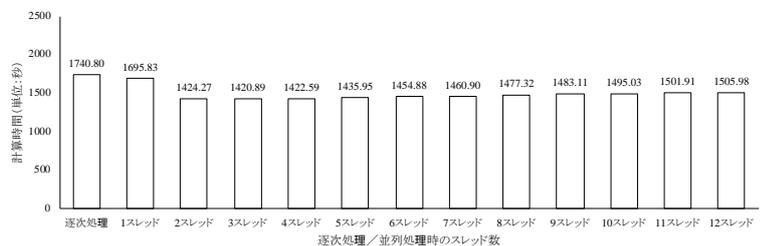


図6 機種No.2による数値計算例 (63品目)

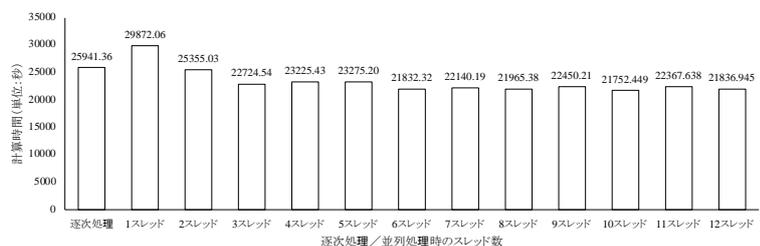


図7 機種No.3による数値計算例 (63品目)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 小林 稔	4. 巻 Vol. 26, No. 1
2. 論文標題 多品目多段工程動的ロットサイズスケジューリングモデルのOpenMPによる並列処理を用いた加速化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 生産管理	6. 最初と最後の頁 pp.109-116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小林 稔	4. 巻 Vol. 29, No. 1
2. 論文標題 OpenMPによる並列処理を用いたプログラムの加速化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 経営システム	6. 最初と最後の頁 pp.63-68
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Minoru Kobayashi	4. 巻 Vol. 6, No. 1
2. 論文標題 Suppression of Oscillations in Solution on Lagrangian Decomposition and Coordination Method -A Case of a Multi-Item Single-Process Unrelated Multi-Machine Dynamic Lot Size Scheduling Problem-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Japan Society for Production Management	6. 最初と最後の頁 pp.5-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小林 稔
2. 発表標題 多品目多段工程動的ロットサイズスケジューリング問題の並列処理による加速化
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会九州支部2019年度第1回講演会・研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林 稔
2. 発表標題 スケジューリング問題に対する並列化効果の異なる計算機環境での比較検証
3. 学会等名 公益社団法人日本経営工学会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林 稔
2. 発表標題 大規模スケジューリング問題に対する並列処理の効果の検証
3. 学会等名 一般社団法人日本経営工学会第51回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林 稔
2. 発表標題 「多品目多段工程動的ロットサイズスケジューリングの実行可能解への収束の加速化」の進捗報告
3. 学会等名 公益社団法人日本経営工学会九州支部平成30年度第2回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 稔
2. 発表標題 多品目多段工程動的ロットサイズスケジューリングモデルの並列処理を用いた加速化における問題点
3. 学会等名 一般社団法人日本生産管理学会第49回全国大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----