

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 22 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510161

研究課題名(和文) 納期制約世界における切換数理とコントロール系に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Switching and Control for Limited-Cycle Problem with Multiple Periods

研究代表者

松井 正之 (Matsui, Masayuki)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：00034413

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円、(間接経費) 1,110,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、リセットとノンリセットの視点から、リスクを最小にするための最適配置と最適切換問題について考察を行った。最初に、リセットモデルに対して、混合ラインの固定サイクル投入方式を対象に作業者の最適配置法則を見出し、特に特殊作業者が2人及び3人存在する場合の定理を提案した。混合ラインの可変サイクル投入方式を対象に作業者の最適配置法則に関する考察も行った。次に、リセット多期間制約サイクルモデルに対して、複数作業の工程の生産ラインにおける最適な切換方策を導くため、フェーズ数により各工程を細分された多期間制約サイクルモデルを提案した。そのための期待コスト式を導出する定理を導くこともできた。

研究成果の概要(英文)：In this research the issue of minimum expected risk in a certain period will be discussed assuming the risk appears in a multi-period repeatedly. In reset model, as a mixed line, when the system is a fixed-rate launching system, optimal worker assignments are researched and the rules of optimal worker assignment are proposed as theorems. When the system is a variable-rate launching system, optimal worker assignments are researched and the rules of optimal worker assignment are proposed as theorems. Under some certain conditions, the invariance rule of optimal worker assignment is proposed. In reset model, first, in order to consider the more flexible switch strategy, the optimal switching problem is discussed by subdividing the process with phases, and the corresponding model is presented. Next, the mathematic formulation of the total expectation for the above case is proposed. Finally, the policy of optimal switching is investigated by Erlang numerical experiments.

研究分野：社会・安全システム科学

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：多期間制約モデル 最適配置問題 最適切替問題 生産ライン

1. 研究開始当初の背景

生産システムの設計には生産する品種や数量の変動、生産ピッチの変化や短納期の注文に対応しつつ、作業順序、作業への設備や作業者等の資源の割り当て、資源配置計画、製造費用の削減等の計画が不可欠である。日々の生産活動を支える生産管理分野において、生産スケジューリングやラインバランシングの問題解決は生産性の向上や生産費用の削減及び納期厳守の実現に対して極めて重要である。生産活動を行う現場においてある期間に遅れが生じた場合、それが次の期間に影響を及ぼし、納期遅れや費用増加の原因となる。このように、各期間に納期制約等によるリスクが存在し、リスクが多期間において発生した場合システム全体に影響を及ぼす状況を表現したモデルが多期間制約サイクルモデルである。

多期間制約サイクル問題においては、各工程において加工が遅れた場合にその影響が後工程に依存しない、または当該工程で人員増強等により後工程に影響させない場合（本研究ではリセットモデルと呼ぶ）、と各工程において加工が遅れた場合にその影響が後工程に直接影響がある場合（本研究ではノンリセットモデルと呼ぶ）に分けられる。

生産ラインにおけるラインバランシングを考えた場合、各期間に制約として目標作業時間（サイクルタイム）が存在した場合、作業者の処理能力の差異は重要な問題となる。そのため、生産ラインのバランスを保つために適切な作業者を適切な工程に配置すること（最適配置）、及び加工スピードを適切に切り替えることが重要な課題となる。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本研究では、

- (1) リセット多期間制約サイクルモデルに対して、期待費用を最小とする最適配置問題において、現場での使いやすさを考え、簡便な最適配置の算出方法を提案する。そのために、作業者を少数のグループに分け、最適配置法則を見いだす。そのことによって、多期間制約サイクルモデルにおける最適配置問題に対して新たな解法を提案し、生産現場における生産性及び品質の向上に寄与することを目的とする。
- (2) ノンリセット多期間制約サイクルモデルに対して、加工が遅れた場合に加工時間を早めることにより遅れを回復するというノンリセット多期間制約サイクルモデルを考える。モデルでは、加工率の切換を考え、どの時点で加工率を切り換えれば最適であるかを論議する。本研究では、加工時間分布として、各工程での各要素作業をフェーズに対応させたアーラン分布を取り上げ、アーラン分布

の一般性を利用し、従来に比して広範囲の場合の切換方策を導くことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究をスムーズに進めるために、国内外の文献を調査し、本研究に関連する分野の最新成果を随時に把握する。そして、

- (1) リセット多期間制約サイクルモデルについては、混合ラインの固定サイクル投入方式（目標作業時間が一定の場合）を対象に作業者の最適配置法則に関する考察を行う。混合ラインの可変サイクル投入方式（目標作業時間が可変の場合）を対象に作業者の最適配置法則に関する考察を行う。
- (2) ノンリセット多期間制約サイクルモデルについて、多期間制約サイクルモデルの最適切換法則に対して、複数作業工程の納期遅れの調整政策として、フェーズ数により各工程を細分された多期間制約サイクルモデルを提案し、複数作業の工程の生産ラインにおける最適な切換方策を導くため、加工時間をアーランと仮定した場合の多期間制約サイクルモデルの期待コストを導出し、数値考察例により、提案定理の有用性を示した。
- (3) 最適切換と配置モデル問題から固有問題へのフィードバックとして、品質管理や信頼性工学の問題の解法を試みる。

4. 研究成果

まず、リセット多期間制約サイクルモデルにおいて、作業者が初心者と熟練者のような（処理能力が異なる）2つのグループに分けられる場合を考察した。少人数のグループに属する作業者を特殊作業員、他方のグループに属する作業者を一般作業員と定義し、特殊作業員の人数が1人または2人存在する場合の最適配置法則に関する考察を行った。具体的に、

- (1) 混合ラインの固定サイクル投入方式（目標作業時間が一定の場合）を対象に作業者の最適配置法則に関する考察を行った。そして1)処理能力の低い特殊作業員が2人存在する場合は、その2人を第1工程と第2工程に（図1）、または第1工程と最後の工程に配置（図2）、2)処理能力の高い特殊作業員が2人存在する場合は、その2人を全工程の後半に配置すること（図3）が最適となる条件を解析的に示した。特に、処理能力の高い特殊作業員が1人または2人存在する場合には、最適配置の法則を用いて簡便な最適配置の算出方法を提案した。特殊作業

者が3人存在する場合には数値実験結果を用いて最適配置法則の考察を行った。(論文, 学会発表 ②)

- (2) 混合ラインの可変サイクル投入方式(目標作業時間が可変の場合)を対象に作業者の最適配置法則に関する考察を行った。初めに, 3章で考察した各々の場合におい

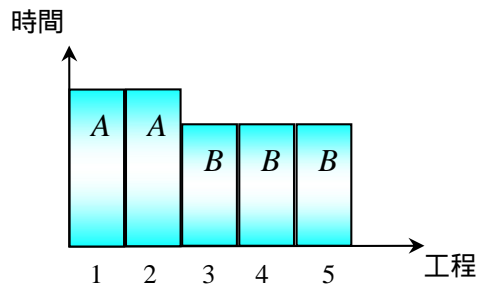


図1 $\pi(1,2)$ が最適配置の場合の配置のイメージ

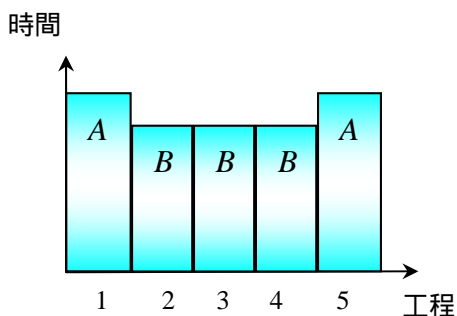


図2 $\pi(1,5)$ が最適配置の場合の配置のイメージ

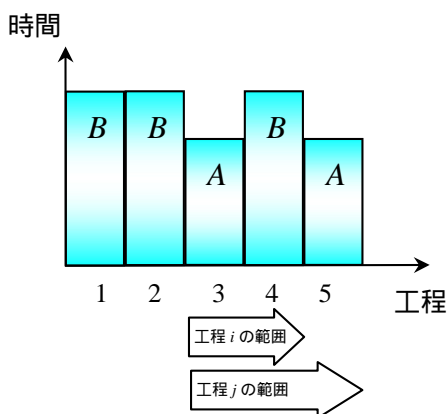


図3 $\pi(3,5)$ が最適配置の場合の配置のイメージ

て目標作業時間が一定の場合と同じ最適配置となる条件を確率変数の順序の考え方を用いて表現可能であることを解析的または数値実験によって示した。そのことにより, 目標作業時間が可変の場合でも目標作業時間が一定の場合と同じ方法

で最適配置を算出することが可能であることを示した。(学会発表)

次に, ノンリセット多期間制約サイクルモデルにおいては, 加工時間に確率的変動があり, ある基準工程を考え, その基準工程が目標時間を超えて終了した場合, より早い加工スピードに切り替えるモデルを考える。そして, その総期待コストが最小になる基準工程(最適切替方法)について考察を行う。

先行研究では, n 工程を持つ製品の生産ラインにおいて, 各工程の加工時間が平準化された単一作業である場合の最適切替問題について考察を行った(論文, 学会発表)。

しかし, 実際の工程には, 単一作業ではなく複数作業で構成されることが多い。例えば, ネジ取り付け作業(工程)には, 穴をあける, ネジを入れるとネジを締める3つの要素作業が含まれる。本研究では, 加工時間分布として, 各工程での各要素作業をフェーズに対応させたアーラン分布を取り上げ, アーラン分布の一般性を利用し, 従来に比して広範囲の場合の切替方策を導くことができた(論文, 学会発表)。

さらに, 上記で得られた最適配置と切替モデルに対する結果を利用し, 品質管理における納期制約問題(論文, 学会発表, 図書)や信頼性工学等の固有問題に対し新見地からの解法及び配置則の検討を行った(論文)。

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7件)

孔憲達, 山本久志, 孫晶, 松井正之, リセット多期間制約サイクル問題における2人及び3人の特殊作業者を有する最適配置法則, 日本経営工学会論文誌, Vol. 64, No. 2, 2013, pp.157-168. (査読有)
Jing Sun, Xianda Kong, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, A Mathematical Analysis on Flexible Switch Strategy in the Limited-Cycle with Multiple Periods, Innovation and Supply Chain Management, Vol. 7, No. 4, 2013, pp. 125-130. (査読有)
Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Optimal Worker Assignment with Two Special Workers in Limited-Cycle Multiple Periods, Asian Journal of Management Science and Applications, Vol. 1, No. 1, 2013, pp. 96-120. (査読有)
Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Xianda Kong, Optimal Switching Frequency in Limited-Cycle with Multiple Periods, Industrial Engineering and Management Systems, Vol. 11, No. 1, 2012,

pp. 48-53. (査読有)
Jing Sun, Masayuki Matsui, Yong Yin, Supplier Risk Management: an Economic Model on P-chart Considered Due-Date and Quality Risks, International Journal of Production Economics, Vol.139, No. 1, 2012, pp. 58-64. (査読有)

Koji Shingyochi, Hisashi Yamamoto, Hidemi Yamachi, Comparative Study of Several Simulated Annealing Algorithms for Optimal Arrangement Problems in a Circular Consecutive- k -out-of- n : F System, Quality Technology and Quantitative Management, Vol. 9, No. 3, 2012, pp. 295-303. (査読有)

山本久志, 孫暈, 松井正之, 孔憲達, リセット多期間制約サイクル問題における最適配置法則に関する考察 少数の特殊な作業者が居る場合 日本経営工学会論文誌, Vol. 62, No. 5, 2011, pp. 239-246. (査読有)

[学会発表](計 21 件)

【国際学会・査読有】

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Optimal Worker Allocation Considering Operation Skill on Different Task in Limited-Cycle Multiple Periods, Proceedings of Asian Conference of Management Science & Applications 2013 (ACMSA2013), 2013/12/22, Kunming Wenhui Hotel, Kunming, China, on CD-ROM.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, A Study on Optimal Worker Allocation with Competitive Clever Efficiency in Limited-Cycle Multiple Periods, Proceedings of the 9th International Conference on Optimization: Techniques and Applications (ICOTA9), 2013/12/14, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan, on CD-ROM.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, A Study of Optimal Worker Allocation Focusing Efficiency vs. Task, Proceedings of the 14th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS2013), 2013/12/06, Radisson Blu Hotel Cebu, Cebu, the Philippines, on CD-ROM.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Invariance Optimal Worker Allocation in Limited-cycle Model with Multiple Periods, Proceedings of the Institute for Operations Research and the Management Sciences Annual Meeting 2013 (INFORMS Annual Meeting 2013), 2013/10/9, Minneapolis Convention Center, Minneapolis, MN, USA, on CD-ROM.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto,

Masayuki Matsui, Worker Allocation Optimization of Two Special Workers with Random Variable Target Processing Time in Limited-Cycle Multiple Periods, International Symposium on Scheduling 2013 (ISS2013), 2013/7/19, Tokyo International Exchange Center, Tokyo, Japan, pp. 115-120.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Property of Worker Allocation Optimization with Two Professional Workers in Limited-Cycle Multiple Periods, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM2013), 2012/12/12, Hong Kong Convention and Exhibition Centre, Hong Kong, China, USB memory.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Optimal Worker Allocation with Exponentially-Distributed Target Processing Time in a Limited-Cycle Problem with Multiple Periods, Proceedings of the 13th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS2012), 2012/12/4, Millennium Resort Patong, Phuket, Phuket, Thailand, on CD-ROM.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, A Study on the Target Processing Time of Worker Allocation Optimization Problem in Limited-Cycle Multiple Periods, Proceeding of Asian Conference of Management Science & Applications 2012 (ACMSA2012), 2012/9/8, Sichuan Garden Hotel, Jiuzhaigou-Chengdu, China, on CD-ROM.

Jing Sun, Xianda Kong, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, A Mathematical Analysis on Flexible Switch Strategy in the Limited-Cycle with Multiple Periods, Proceeding of Asian Conference of Management Science & Applications 2012 (ACMSA2012), 2012/9/8, Sichuan Garden Hotel, Jiuzhaigou-Chengdu, China, on CD-ROM.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Two Quicker Workers' Optimal Assignment under a Limited-Cycle Problem with Multiple Periods, Proceeding of the 11th International Conference on Industrial Management (ICIM2012), 2012/8/29, International House of Tokyo Metropolitan University, Tokyo, Japan, pp. 60-66.

Jing Sun, Masayuki Matsui, A Xbar-Chart Economic Model for Supplier Quality Risk Management, Proceedings of the International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management, 2012/8/

5, Kanagawa University, Yokohama, Japan, on CD-ROM.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Optimal Worker Assignment with Two Special Workers in Limited-Cycle Multiple Periods, Asian Conference of Management Science & Applications 2011 (ACMSA2011), 2011/12/22, Sanya Pearl River Garden Hotel, Sanya, China, on CD-ROM.

Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, A Numerical Research for Two Special Workers' Optimal Assignment in Two Kinds of Workers under a Limited-Cycle Problem with Multiple Periods, Proceedings of the 12th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS2011), 2011/10/16, Beijing Friendship Hotel, Beijing, China, pp. 664-671.

Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Xianda Kong, Optimal Switching Frequency in Limited-Cycle with Multiple Periods, Proceedings of the 12th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS2011), 2011/10/16, Beijing Friendship Hotel, Beijing, China, pp. 76-81.
Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Two Special Workers' Optimal Assignment with Two Kinds of Workers under a Limited-Cycle Problem with Multiple Periods, Proceedings of the 21st International Conference of Production Research (ICPR2011), 2011/08/02, Maritim Hotel, Stuttgart, Germany, on CD-ROM.

Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, ZuoCai Man, Analysis Of Optimal Switching For Limited-Cycle Problem With Multiple Periods, Proceedings of the 21st International Conference of Production Research (ICPR2011), 2011/08/02, Maritim Hotel, Stuttgart, Germany, on CD-ROM.

【国内学会・査読無】

孔憲達, 孫晶, 山本久志, 松井正之, 可変な目標加工時間を考慮したリセット多期間制約サイクル問題における最適配置に関する研究 特殊作業者が2人居る場合, スケジューリング・シンポジウム 2013, 平成 25 年 9 月 21 日, 南山大学 (名古屋キャンパス), pp. 83-88.
孔憲達, 孫晶, 山本久志, 松井正之, リセット多期間制約サイクル問題における目標加工時間が可変な場合の最適配置に関する研究 特殊作業者が1人居る場合, 平成 25 年度日本経営工学会春季研究発表大会, 平成 25 年 5 月 19 日, 慶應義塾大学 (矢上キャンパス), pp.

146-147.

孔憲達, 孫晶, 山本久志, 松井正之, 2人の速い特殊作業者を有するリセット多期間制約サイクル問題における最適配置に関する数値的考察, 平成 24 年度日本経営工学会春季研究発表大会, 平成 24 年 5 月 27 日, 法政大学 (市ヶ谷キャンパス), pp. 168-169.

孔憲達, 孫晶, 山本久志, 松井正之, リセット多期間制約サイクル問題における最適配置法則に関する考察 2人の速い作業者が居る場合, 平成 23 年度日本経営工学会秋季研究発表大会, 平成 23 年 11 月 12 日, 岩手県立大学 (アイーナキャンパス), pp. 78-79.

② 孔憲達, 孫晶, 山本久志, 松井正之, リセット多期間制約サイクル問題における特殊作業者が2人居る場合の最適配置法則に関する考察, 平成 23 年度日本経営工学会春季研究発表大会, 平成 23 年 5 月 28 日, 愛知学院大学 (日進キャンパス), pp. 70-71.

〔図書〕(計 1 件)

Jing Sun, Masayuki Matsui, Supply Chain, Chapter: Chapter title: A Feed-Back Model of Control Chart for Supplier Risk Management, (ISBN: 978-953-307-250-0), 2011.

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者
松井 正之 (MATSUI MASAYUKI)
神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：00034413

(2)研究分担者

山本 久志 (YAMAMOTO HISASHI)
首都大学東京・システムデザイン研究
科・教授
研究者番号：60231677

(3)連携研究者

孫 晶 (SUN JING)
名古屋工業大学・工学(系)
研究科(研究院)・助教
研究者番号：20581010