

機関番号：12612

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510130

研究課題名 (和文) 社会における納期制約のリスクと多期間問題に関する数値的研究

研究課題名 (英文) A Mathematical Study on Risks of the Limited-cycle problem in Multi-period in society system

研究代表者

松井 正之 (MATSUI MASAYUKI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：00034413

研究成果の概要 (和文)：

はじめに、多期間制約問題を対象としたbalancing・アプローチによる体系化を行なった。さらに、多期間制約モデルの解析を行い、期間リスク・ノンリセットモデルに対して、(1)基準時間と基準工程によって加工スピードを切替える政策を考え、(2)加工時間が指数分布と任意の分布に従う場合に、それぞれの政策の下での期待コストの導出、(3)そして数値実験により最適な基準工程と基準時間の導出・考察を行った。期間リスク・リセットモデルに対して、(4)期待コストの導出を行い、さらに各工程への作業者の配置問題について、(5)作業者が2種類の場合の最適配置の導出を行った。そして、(6)コストと作業者の加工時間分布の関係によって最適配置を導出可能な定理を提案した。それに、(7)3種類の作業者が存在する場合にも数値実験により最適配置法則を提案した。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, we considered a limited-cycle problem in multi-period with a balancing approach. A limited-cycle problem in multi-period is systematically classified to non-reset model and reset model. In non-reset model, first we considered controlling the production process by switching to a faster processing rate at a given period (period-based) or a station (station-based). Next, the mathematic formulations of the total expectation for the above were proposed. Finally, the property of an optimal switching period and an optimal switching station were investigated in detail through numerical experiments. Meanwhile, in reset model, first the mathematic formulation of the total expectation was proposed. Then the problem of workers' assignment to each station was considered. When two kinds of worker exist, properties of workers' optimal assignment which can take a minimized total expected cost of the production process were proposed under a relation between distribution of workers' processing time and costs. Finally, some properties of which three kinds of worker exist were given by numerical experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

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：多期間制約サイクル問題、最適切替、最適配置、生産座席予約問題、生産ライン

1. 研究開始当初の背景

不景気が続き、悪い環境の中でどうやって生き残るかはますます課題化されつつある。また、市場のグローバル化につれ、商圏はますます大きな広がりを見せ、多くの製品・サービスが世界市場での競争を余儀なくされている。このようなビジネス環境の中で、納期を守るといったスケジューリング問題は企業にとって重要な課題の一つであると言える。

受注生産では、受注の内容として製品ごとに品質、納期、時期、数量などを顧客の要求によって決定される。受注を受けた各製品は各工程で異なる処理を順に受けて完成品となる。

一般に受注生産における製品は顧客側、生産者側に対し納期遅れによって大きな機会損失を与える。また顧客からの要求に応えるためには、できるだけ製品、仕掛品、資材や部品の在庫量を減少し、在庫費用を低減しようようにする必要がある。

生産活動における各工程では、作業時間のバラツキや欠品、機械故障なども発生し、ひとつの工程の遅れは後工程すべてに影響を与え、製品の納期にもしばしば影響を及ぼすことがある。このように遅れてしまった計画を取り戻すのは多大な労力・コストを要するため、工程（期間）ごとに目標加工時間を設定して作業遅れか否かの判断を行い、状況に応じて作業スピードを速くすること、すなわち人員を増やすなど稼働率を上げることで製品の納期達成を目指すという管理が行われると考えられる。

不確定下では、ある期間の成果や効率はその期間だけではなく、それ以前の期間に発生したリスクに左右されることが考えられる。本研究では、このようにリスクが過去の状況に依存し、そして複数の期間にわたり反復的にリスクが発生する状況を想定し、その場合の期待リスク最小化問題について議論する。この種の、サイクル制約をもつ期間が多期間にわたる問題を多期間制約サイクル問題という。通常、ある工程（期間）が納期（制約）を満足するかどうかは前工程（前の期間）の状態に依存するが、このようにリスクが過去の状況に依存し、さらに複数の期間にわたり反復的（サイクリック）にリスクが発生する状況を総称して表現するモデルを多期間制約サイクルモデルと呼ぶ。また、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依存しないモデルを特にリセットモデル、一方その影響が後工程に直接影響があるモデルをノンリセットモデルと呼ぶ。

2. 研究の目的

現在、製造企業において企業ニーズ（納期の確実化、低コスト化など）に柔軟に対応するシステムを作ることが求められている。生産計画を立て、その計画に沿って生産を行っていても欠品や故障などの影響で生産スケジュールが遅れ、さらにその遅れが後工程全てに影響を与える状況が考えられる。遅れの発生を最小限に抑え、システムの総費用を低くするため、

- (1) 期間リスク・ノンリセットモデルにおいて、生産の途中で加工率を切り換える（加工率を上げる）ことで問題の解決を目指す。そのために、どの時点（工程）で加工率を切り換えれば最適であるか（切替モデル）を考察すること
- (2) 期間リスク・リセットモデルにおいて各工程への作業員（機械）の配置に着目をし、最小限遅れ、最低の総費用をもたらす配置順を見つけ、その配置順の規則性を導き出すこと

が、本研究の目的である。

3. 研究の方法

本研究を進めるための準備として、多期間制約サイクルモデルとして考察されるモデル調査のために国内外の文献調査をし、特に多期間制約問題を対象としたバランシング・アプローチによる体系化を行なう。そして、多期間制約モデルの解析を行う。そして、①期間リスト・ノンリセットモデルに対して、システム信頼度の近似式やシステムの最適構成算出方法または設備配置の最適配置算出方法の考えを応用し、一般的な加工時間分布の時の期間リスク・ノンリセットのモデルに対する期待コストの導出及びこれを用いた最適配置解法アルゴリズムを提案する。そして数値実験（数学ソフトウェア：Mapleを用いる）により、その有効性を実証する。また②期間リスト・リセットモデルに対して、最適配置の規則性を解析的に導くための第一歩として、まず、2種類（通常と特殊）の作業員が存在する場合において、特殊な作業員が1人いる場合をはじめ、そして、2人いる場合の最適配置の規則性を定理として提案する。さらに3種類の作業員が存在する場合、数値実験を通じての関連性を考察する。最後に③多期間制約サイクル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

本研究を進めるための準備として、多期間制約サイクルモデルとして考察されるモデル調査のために国内外の文献調査をし、

特に多期間制約問題を対象としたバランス・アプローチによる体系化を行なった(論文①②③). さらに, 多期間制約モデルの解析として(図1),

- (1) 期間リスク・ノンリセットモデルに対して, 納期遅れの調整政策として, 基準時間(図2)によって加工スピードを切替える政策と基準工程(図3)によって加工スピードを切替える政策を考え, また, 加工時間が指数分布に従う場合と任意の分布に従う場合に, それぞれの政策の下での期待コストの導出, そして数値実験により最適な基準工程と基準時間の導出・考察を行った(論文①③, 学会発表②③⑥⑧⑩). また,

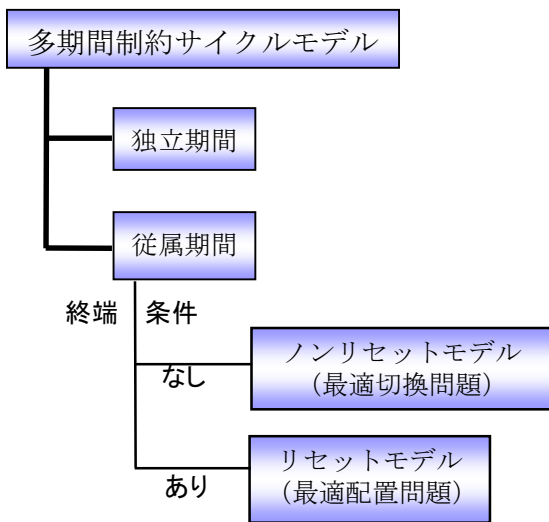


図1 多期間制約サイクルモデルの分類

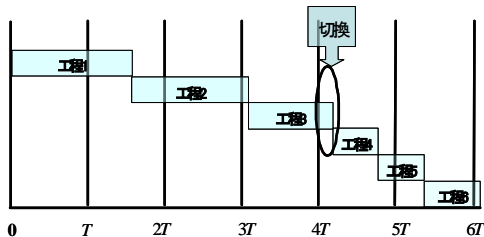


図2 基準工程切替モデルの切替例
($k=3$ のとき)

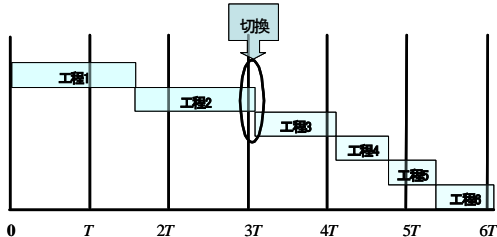


図3 基準時間切替モデルの切替例
($kT=3T$ のとき)

- (2) 期間リスク・リセットモデルに対しても, 期待コストの導出を行い, さらに各工程への作業者の配置問題について, 作業者が2種類の場合の最適配置の導出を行った(学会発表①).

そして, 各モデルにおいて, さらなる発展として, 以下のことを実施した.

1. 期間リスク・ノンリセットのモデル
システム信頼度の近似式やシステムの最適構成算出方法または設備配置の最適配置算出方法の考えを応用し, 一般的な加工時間分布の時の期間リスク・ノンリセットのモデルに対する期待コストの導出及びこれを用いた最適配置解法アルゴリズムを提案した. そして数値実験により, その有効性を実証した(学会発表②③).

2. 期間リスク・リセットモデル

期間リスク・リセットモデルについては,

- (1) 通常の作業者と特殊な作業者の2種類の作業者が存在する場合を考え, 特殊な作業者が1, 2名の時の最適配置法則を提案した. また, 3人以上の場合には, 数値実験の結果を用いて最適配置法則の検討を行った. 特に
- (2) 2種類の作業者が存在する場合には, コストと作業者の加工時間分布の関係によって最適配置を導出可能な定理を提案した.

① 特殊な作業者が1人いる場合(学会発表④⑦⑩),

- 特殊な作業者(作業速度が遅い)が1人, 通常な作業者が $n-1$ 人の場合(図4-(a)),
- 特殊な作業者(作業速度が速い)が1人, 通常な作業者が $n-1$ 人の場合(図4-(b)),

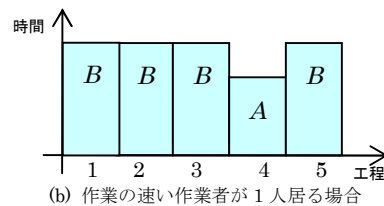
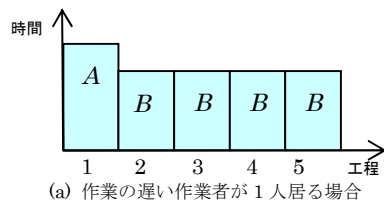


図4 特殊作業者が1人居る

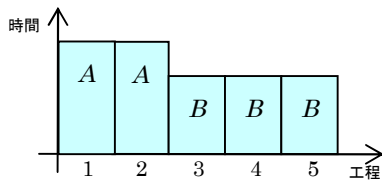


図5 遅い特殊作業者が2人居る場合

②特殊な作業者が2人いる場合(学会発表⑨⑩)

- 作業速度が遅い特殊な作業者が2人、通常の作業者が $n-2$ 人の場合(図5)の最適配置の規則性を定理として提案した。

- (3) 3種類の作業者が存在する場合にも数値実験により最適配置法則を提案した(学会発表⑨⑩)。
3. 多期間制約サイクルモデル問題から固有問題へのフィードバックを行った。
上記で得られた多期間制約サイクル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⑤)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④, 学会発表⑤)。

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5件)

【和文】

- ① 山本久志, 孫晶, 大石貴之, 松井正之, ノンリセット多期間制約サイクルモデルにおける最適切換問題に関する研究～基準工程により加工率を切替える場合～, 日本経営工学会論文誌, 査読有, Vol. 61, No. 4, 2010, pp. 234-243

【英文】

- ② Yamamoto Hisashi, Sun Jing, Matsui Masayuki, A study on limited-cycle scheduling problem with multiple periods, Computer & Industrial Engineering, 査読有, Vol. 59, No. 4, 2010, pp. 675-681
- ③ Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, A study of optimal switching problem in limited-cycle with multiple periods, Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering), 査読有, Vol. 11, No. 12, 2010, pp. 933-937
- ④ Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Takahiro Yamaguchi, Hideki Nagatsuka, An evaluating algorithm for system state distributions of generalized

multi-state k-out-of-n: F systems, 日本経営工学会論文誌(英文版), 査読有, Vol. 61, No. 6E, 2010, pp. 347-354

- ⑤ Sun, J., Matsui, M., Models of P-Control Chart with Tardiness Penalty, International Journal of Productivity and Quality Management, 査読有, Vol. 6, No. 2, 2010, pp. 137-155

〔学会発表〕(計12件)

【国際学会・査読有】

- ① Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, ZuoCai Man, Optimal switching period in limited-cycle problem with multiple periods, The 11th proceeding of Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference (APIEMS2010), 査読有, 2010年12月8日, CD-ROM
- ② Xianda Kong, Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, A study of the optimal arrangement of processing system with two kinds of special workers in the limited-cycle problem with multiple periods, The 11th proceeding of Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, 査読有, 2010年12月8日, CD-ROM
- ③ Tomonori Komuro, Hisashi Yamamoto, Tomoaki Akiba, Hideki Nagatsuka, A trend on the optimal arrangements in a multi-state consecutive-k-out-of-n: F system, The proceeding of 4th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling (APARM2010), 査読有, 2010年12月2日, pp. 357-364
- ④ Jing Sun, Hisashi Yamamoto, Masayuki Matsui, Oishi Takayuki, A Study of optimal switching point on Limited-Cycle Problem with Multiple Periods, the proceeding of 19th International Conference on Production Research 2009 (ICPR 2009), 査読有, 2009年8月1日, CD-ROM
- ⑤ Jing Sun, Yamamoto Hisashi, Masayuki Matsui, Kuniyoshi Watanabe, A Study on Limited-Cycle Problem with Multiple Periods, The 9th Asia Pacific Industrial Engineering & Management System Conference and the 11th Asia Pacific Regional Meeting of International Foundation for Production Research, 査読有, 2008年12月4日, CD-ROM

【国内学会・査読無】

- ⑥孔憲達, 孫晶, 松井正之, 山本久志, 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研究 ～2人の特殊作業者が居る場合～, 日本経営工学会平成22年度秋季大会, 査読無, 2010年10月24日, pp. 250-251
- ⑦孔憲達, 孫晶, 松井正之, 山本久志, 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研究 特殊加工率を有する加工者が少人数の場合, 日本経営工学会平成22年度春季大会, 査読無, 2010年5月15日, pp. 14-15
- ⑧満作才, 孫晶, 松井正之, 山本久志, ノンリセット多期間制約サイクルモデルにおける最適切替問題に関する研究 ～基準時間により加工スピードを切替える場合～, 日本経営工学会平成21年度秋季大会, 査読無, 2009年11月7日, p86-87
- ⑨孔憲達, 孫晶, 松井正之, 山本久志, 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研究 ～特殊な加工者が2人の場合～, 日本経営工学会平成21年度秋季大会, 査読無, 2009年11月7日, p84-85
- ⑩大石貴之, 孫晶, 松井正之, 山本久志, ノンリセット多期間制約サイクルモデルにおける最適切替問題に関する研究－基準工程及び時間より加工スピードを切替える場合, 日本経営工学会平成20年度秋季大会, 査読無, 2008年10月19日, p296-297
- ⑪渡部訓祥, 孫晶, 松井正之, 山本久志, 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－加工率は2種類の場合, 日本経営工学会平成20年度秋季大会, 査読無, 2008年10月19日, p298-299
- ⑫吉川聡子, 山本久志, 松井正之, 多期間制約サイクル問題における最適切替方法に関する研究～ノンリセットモデルの場合(第2報), 日本経営工学会平成20年度春季大会, 査読無, 2008年5月1日, p148-149

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松井 正之 (MATSUI MASAYUKI)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・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) 研究分担者

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