

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04611

研究課題名（和文）不完全情報環境下におけるシステムの性能・信頼性評価

研究課題名（英文）Evaluations of system performance and reliability under incomplete information environments

研究代表者

有蘭 育生 (Arizono, Ikuo)

岡山大学・自然科学学域・教授

研究者番号：20175988

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：システムにおける各種の問題に関して意思決定を行うにあたり、利用可能な限定的情報のみに基づいて意思決定を行うことが現実的な対応である。このとき、合理的な意思決定を行うためには、限定的な情報に基づいて対象とするシステムを理解するための科学的手法が必要である。本研究では、このような状況を考慮して、いくつかのシステムにおける限定的な情報に基づくシステム解析法、およびその解析結果に基づく意思決定法について考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果は、数理統計学、情報理論、統計力学、およびメタヒューリスティクスなどの概念を考察する問題の性質に合わせて適宜活用した成果である。すなわち、社会システム工学が取り扱うべき課題に対して、一定の理論背景をもった意思決定を行うための各種の方法が構築できた。

研究成果の概要（英文）：When making decisions about several problems in various systems, it is a realistic correspondence to make decisions based only on the limited information available. In order to make rational decisions, a scientific and systematic method for understanding the target system based on limited information is necessary. Considering this situation, this study discusses system analysis methods based on limited information in several systems, and decision-making methods based on the results of such analysis.

研究分野：経営工学，社会システム工学，自然科学

キーワード：不完全情報環境 システム性能 システム信頼性

1. 研究開始当初の背景

複雑・多様化する今日の各種システムを稼働・運営する場合において、システムの信頼性・安全性を保証することは必須の課題である。ここに、システムの稼働において、稼働環境や稼働条件に普遍的に不確実性がともなう。従来、このような不確実性は確率的変動として考慮されてきた。ただし、システムの複雑化・多様化にともないシステムの稼働時の不確実性を表現する確率特性に関する情報を完全に把握することは困難になる状況が存在する。すなわち、このような不完全な情報環境下においてシステムの信頼性・安全性を保証することが必要である。しかしながら、従来のシステムの信頼性・安全性評価法は情報の収集・把握を前提としている場合が主であり、上記のような状況における信頼性・安全性評価に関する方法論を体系的に構築されてきたとはいえない。そこで本研究課題では、不完全な情報環境下におけるシステム信頼性評価法、安全性評価法を構築することを目的とする。

2. 研究の目的

種々のシステムの状態に関する解析を行うとき、多くの場合はシステムの状態記述に関する情報は原則的に完全に入手できる状況が想定される。しかしながら、現実的にシステムの状態記述に関する情報を完全に入手することは容易ではない。このため、不足の情報は何等かの仮定で補完され、完全情報を想定したうえで解析が実行される。ただし残念ながら、ここでの仮定が常に正しいことを保証することはできない。誤った仮定のもとでの解析結果には不測のリスクがともなう。そこで、現実利用可能な限定的な情報のみに基づき、可能な限り普遍的な解析結果を得ることができればこのような不測のリスクを減少させることができると考えた。一方、システムの観測結果に基づいてシステム記述のための未知情報を明らかにすることができれば、その後のシステム運用に有益なフィードバックを掛けることができる。そこで、本研究ではシステム記述のための情報が必ずしも完全には与えられていない状況における普遍的な解析モデルの開発を目的とする。

3. 研究の方法

システムの信頼性保証や最適化の問題において、利用可能な情報が限定的である場合が多く存在する。たとえば、システムの挙動を表す情報が統計的データである状況において、確率分布のような完全な情報を得ることは困難であるとしても、限られた不完全情報として故障時間や修復時間の平均値や分散に関する情報を得ることは可能である。ここで、平均値や分散といった限定的な情報を有効に活用する手法のひとつとして、確率不等式や Cauchy-Schwarz の不等式を援用する方法が存在する。

さらに、限定的な情報を最大限活用し、普遍的な結論を得る方法として最大エントロピー原理に基づく解析法が知られている。一方、最大エントロピー原理の拡張概念として統計力学の概念が存在する。統計力学では状態のエントロピーとポテンシャル・エネルギーの釣り合いにおいてシステムの平衡状態が解釈される。

また、上記のような数理統計学的知見、情報論的概念などとは異なり、局所的情報に基づく生物の群知能を模倣したメタヒューリスティクス手法が存在する。この群知能に基づく問題解決法では、局所情報の利用の仕方による求解プロセスでの多様性が求解能力の向上につながる可能性をもっている。

本研究では、上記の数値統計学的知見、情報論的概念、および群知能を用いて、それぞれの課題の解決に対して利用可能な限定的情報、不完全な情報環境下での各種球界方法の構築、および改善について考究する。各課題に対する求解のための解析モデル、逆解析モデル、メタヒューリスティクスを構築する。構築した各種の方法を援用し、システムの最適化についても考察する。

4. 研究成果

- [1] 日本経営工学会論文誌, Vol.72, No.2, pp.99-109 (2021). DOI 10.11221/jima.72.99
製造業者、卸売業者および販売業者の3つの業者からなる直列型サプライ・チェーンにおいて、需要量の分布が未知で、その平均と分散のみが予測値として所与である状況での契約問題に関する合理的な交渉過程を明らかにするための考察を行った。成果として、製造業者、卸売業者および販売業者の3つならびにそれ以上の業者からなる直列型サプライ・チェーンでの契約問題の協調的交渉解を導いた。
- [2] 日本経営工学会論文誌, Vol.72, No.3, pp.159-168 (2021). DOI 10.11221/jima.72.159
プロセスから逐次得られるデータがポアソン過程に従う場合に、このプロセスの状態の変化を明らかにするための状態追跡法について考察を行った。成果として、尤度理論に情報量規準を併用することで、ポアソン過程における状態の変化点を検出する方法を構築し、数値計算を用いて、提案手法の妥当性や応用の可能性を明らかにした。
- [3] *Quality and Reliability Engineering International*, Published Online First: 2021年11月24日 (2021). DOI 10.1002/qre.3028
一般に、製造工程において安定的な製造を実現するまでには一定の時間を要する。この状況下で、量産体制への移行を実現するために工程状態が安定状態にあるか否かを見極めることが必要となる。本研究では、ベイズ理論と情報理論を用いて、初期流動管理における工程の不確実性・不確定性を限られたサンプル情報を用いて、工程の安定性を評価する手法を構築した。加えて、安定性評価のためのルールの設計法についても考察し、一方法を提案した。
- [4] *Journal of Industrial and Management Optimization*, Vol.18, No.1, pp.25-44 (2022). DOI 10.3934/jimo.2020141
待ち行列システムに到着した客が、待ち行列の長さに躊躇し、そのままシステムから退去するという行動を balking 現象という。本研究では、統計力学の概念に基づいて、balking の強さを考慮したうえで、マルコフ型待ち行列システムの定常状態解析のための理論的アプローチについて考察した。成果として、balking の強さを考慮した M/M/s 待ち行列システムの平衡状態確率を分析するための統計力学モデルを提案した。また、balking の強さを推定するための手順を定義した。さらに、提案した統計力学モデルを利用して、balking を伴う M/M/s 待ち行列システムのパフォーマンスを向上させる方法を検討した。
- [5] 日本経営工学会論文誌, Vol.71, No.2, pp.76-79 (2020). DOI 10.11221/jima.71.76
各確率変数の期待値、分散、定義域などの限られた確率的特性に基づいて、いくつかの確率変数の平均についての上限確率の上限を評価するための Hoeffding 確率不等式の性

能を改善することを目的とした数値解析手順について検討を行った。成果として、部分的にはあるものの、Hoeffding 確率不等式の性能改善を実現した。

- [6] *RAIRO – Operations Research*, Vol. 55, S327-S341 (2021). DOI 10.1051/ro/2019064
統計力学の概念に基づいて、balking を伴う M/M/1 待ち行列システムでの balking の強さを考慮した定常状態解析モデルを構築した。くわえて、構築した統計力学的平衡状態解析モデルに基づき、観測されたデータを使用して、balking の強さを推定する手順を明らかにした。
- [7] *Quality Technology & Quantitative Management*, Vol. 18, No. 1, pp. 117-133 (2021). DOI 10.1080/16843703.2020.1796207
これまでの研究で提案した MTTF の評価の考え方を拡張することにより、2 コンポーネント優先待機冗長システムにおける故障時間分布の分散 (VOFT) の評価方法を提示した。さらに、MTTF と VOLT を利用して、最大エントロピー原理に基づいたシステムの信頼性関数を導出する手順を提案した。いくつかの数値アプリケーションを通じて、この研究で開発された信頼性関数を導出するための手順の妥当性が示された。
- [8] *Complexity*, Volume 2021, Article ID 6610670, 7 pages (2021). DOI: 10.1155/2021/6610670
アリコロニー最適化 (ACO) に関して、求解プロセスでの候補解の多様性と候補解の選択が重要な要素であると考え、アリ・エージェントの行動の多様性を維持しながら、TSP を解析する能力を向上させることを目的としたアリ・エージェントの個別記憶を使用したアリシステムとして ASIM を提案した。既存の ACO アルゴリズムと ASIM をいくつかの TSP ベンチマークに適用し、ASIM の TSP の解析に対する適用性を確認した。
- [9] *Complexity*, Vol. 2019, Article ID 1956521, 8 pages (2019). DOI 10.1155/2019/1956521
空間 HD ゲームにおける協力者の絶滅の問題を解決することを課題として、best takes over update rule を別のルールに置き換える新しい空間 HD モデルを開発し、更新ルールを変更することによる空間 HD ゲームでの協力者の絶滅の問題への影響を調査した。更新されたルールに基づく改善モデルが、従来の空間 HD モデルと比較して、特徴的な人口パターンを生成し、協力者の生存を実現できることが明らかになった。
- [10] *International Journal of Production Economics*, Volume 221, March 2020, Article 107468, 7 pages (2020). DOI 10.1016/j.ijpe.2019.08.003
プロセスでの工程能力指数の状態を監視するための管理図の期待運用コストを削減する目的で、第 2 サンプル段階の判断ルールが第 1 サンプル段階のデータレコードから独立させるという特徴を組み込んだ工程能力指数のための 2 重サンプル管理図について考察し、ダブルサンプル管理図の設計アルゴリズムを構築した。数値比較により、提案されたダブルサンプル管理図は、既存のシングルサンプル管理図に対して、期待運用コストに関して有利であることが確認された。
- [11] *International Journal of Production Research*, Vol. 58, No. 8, pp. 2550-2559 (2020). DOI 10.1080/00207543.2019.1598594

平均総検査量 (ATI) と平均サンプリング頻度 (ASF) のトレードオフを考慮して, 受入品質損失限界検査計画の概念に基づく段階に依存しない選別型 2 段抜取計画 (SIDSPS) を提案した. 選別型 1 回抜取検査 (SSPS), 選別型繰返反復グループ抜取検査 (RGSPS), および SIDSPS における ATI と ASF に関するいくつかの数値比較を通じて, この研究で提案された SIDSPS の有用性が確認された.

[12] 日本経営工学会論文誌, Vol.69, No.3, pp.131-142 (2018). DOI 10.11221/jima.69.131

検査個数の減少と同時に, 検査自体における負担軽減の観点から, 有限回の抜取検査で必ず検査を終了させ, 検査の設計および運用を容易にすることで実務的な有用性を保証することを目的として, 平均検査個数を考慮した計量規準型 2 段抜取検査およびその設計法を新たに提案し, その有用性を検証した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 有園 育生、竹本 康彦、末廣 貴俊	4. 巻 72
2. 論文標題 直列型サプライ・チェーンにおける限られた需要情報のもとでの契約問題の協調的交渉解	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 99 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.72.99	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 棚橋 秀斗、竹本 康彦、有園 育生	4. 巻 72
2. 論文標題 ポアソン過程における状態追跡法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 159 ~ 168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.72.159	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takemoto Yasuhiko、Arizono Ikuo	4. 巻 Online First
2. 論文標題 Stability evaluation in process mean using Bayesian statistics and information theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quality and Reliability Engineering International	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qre.3028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Arizono Ikuo、Takemoto Yasuhiko	4. 巻 18
2. 論文標題 Statistical mechanics approach for steady-state analysis in M/M/s queueing system with balking	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 25 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2020141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 光岡 拓夢、有園 育生、竹本 康彦	4. 巻 71
2. 論文標題 Hoeffdingの確率不等式の性能向上のための数値解析的手法に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 76 ~ 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.71.76	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Arizono Ikuo, Takemoto Yasuhiko	4. 巻 55
2. 論文標題 An analysis of steady-state distribution in M/M/1 queueing system with balking based on concept of statistical mechanics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RAIRO - Operations Research	6. 最初と最後の頁 S327 ~ S341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/ro/2019064	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirata Ryosuke, Arizono Ikuo, Takemoto Yasuhiko	4. 巻 18
2. 論文標題 On reliability analysis in priority standby redundant systems based on maximum entropy principle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quality Technology and Quantitative Management	6. 最初と最後の頁 117 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/16843703.2020.1796207	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 Tamura Yoshiaki, Sakiyama Tomoko, Arizono Ikuo	4. 巻 2021
2. 論文標題 Ant colony optimization using common social information and self-memory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2021/6610670	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sakiyama Tomoko、Arizono Ikuo	4. 巻 2019
2. 論文標題 Reversible transitions in a cellular automata-based traffic model with driver memory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2019/1956521	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomohiro Ryosuke、Arizono Ikuo、Takemoto Yasuhiko	4. 巻 221
2. 論文標題 Economic design of double sampling Cpm control chart for monitoring process capability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Production Economics	6. 最初と最後の頁 107468 ~ 107468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijpe.2019.08.003	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 Arizono Ikuo、Yoshimoto Kazunori、Tomohiro Ryosuke	4. 巻 58
2. 論文標題 Variable stage-independent double sampling plan with screening for acceptance quality loss limit inspection scheme	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Production Research	6. 最初と最後の頁 2550 ~ 2559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00207543.2019.1598594	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 有園 育生、友廣 亮介、竹本 康彦	4. 巻 69
2. 論文標題 品質損失を評価基準とする計量規準型2段抜取検査の提案	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本経営工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 131 ~ 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11221/jima.69.131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 棚橋秀斗, 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 ポアソン過程のための状態追跡法
3. 学会等名 日本経営工学会2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植中隆平, 竹本康彦, 有園育生
2. 発表標題 ベイズ理論に基づく工程分散の安定性評価に関する一考察
3. 学会等名 日本品質管理学会第121回研究発表会（関西支部）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuto Tanabashi, Yuto Torisaka, Yasuhiko Takemoto, Ikuo Arizono
2. 発表標題 A State Tracing Method for the System Data Obeying Poisson Distribution
3. 学会等名 The 26th International Conference of Production Research (ICPR 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹本康彦, 佐藤大輔, 有園育生
2. 発表標題 限定された情報に基づく点検周期の決定方法に関する一考察
3. 学会等名 日本経営工学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Ryosuke Hirata, Ikuo Arizono, Yasuhiko Takemoto
2 . 発表標題 Study on Preventive Maintenance for Priority Standby Redundant System
3 . 学会等名 The 9th IFAC Triannual International Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control - MIM 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tatsuya Yamaguchi, Tomoko Sakiyama, Ikuo Arizono
2 . 発表標題 Proposal on Network Exploration to Avoid Closed Loops
3 . 学会等名 The 12th WAMS2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Hirata, I. Arizono, Y. Takemoto
2 . 発表標題 Reliability Analysis in 2-Component Standby Redundant System with Priority through Maximum Entropy Principle
3 . 学会等名 180th The IIER International Conference (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Suehiro, I. Arizono, Y. Takemoto
2 . 発表標題 Collaborative Bargaining Solution for Contract Problem in Tandem Supply Chain Composed of Three Members with Only Limited Information of Demand
3 . 学会等名 The 19th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018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
研究 分担者	竹本 康彦 (Takemoto Yasuhiko) (70382257)	近畿大学・理工学部・准教授 (34419)	
研究 分担者	崎山 朋子 (Sakiyama Tomoko) (30770052)	創価大学・理工学部・准教授 (32690)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------