

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：77103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12148

研究課題名(和文) 先端的進化算法と機械学習を活用した高速化算法開発と実時間生産システムへの応用

研究課題名(英文) Developing Fast Algorithms based on Advanced Evolutionary Algorithms with Machine Learning and Applying to Real-time based Manufacturing and Logistics Systems

研究代表者

玄 光男 (Gen, Mitsuo)

一般財団法人ファジィシステム研究所・研究部・特別研究員

研究者番号：20095003

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：半導体製品の各種素子は所定の処理時間内での使用要求から、制約時間内で処理できない時は不良品となり生産効率に影響を及ぼす。本研究の目的は先端的進化計算と機械学習を活用した高速化算法を開発し、生産・物流システムの最適化問題に応用することで、多目的進化計算ベースのアルゴリズムや協調進化算法を開発し、国際誌に提案した。

ジョブショップスケジューリング問題(JSP)やサステイナブルな閉ループSCモデルへの応用研究はNP困難な問題であり、フレキシブルJSPモデルにハイブリッド進化算法の開発し、生産・物流システム、高速列車の時刻管理や多種VRP問題等への数値実験例で有効性を明らかにし、国際誌に報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に半導体製品は各種素子から構成され、生産工程は実時間スケジューリング問題であり、特に各種素子は所定の処理時間内の要求仕様の必然性から、制約時間内で処理できない時は不良品となり生産効率に影響を及ぼす。本研究の目的は先端的進化計算と機械学習を活用した高速スケジューリング算法を開発し、生産・物流システムや高速列車の時刻管理の最適化問題等に応用することである。ハイブリッド型多目的進化計算ベースのアルゴリズム開発研究：ハイブリッド協調進化算法(CoEA+PSO)を開発し、共有リソースのスケジューリング問題解法に応用し、更に差分進化(DE)を組み込んだ手法の有効性を明らかにし、国際誌に掲載した。

研究成果の概要(英文)： Various devices of semiconductor products are required to be processed within a specification processing time in the real-time based manufacturing system, and if they cannot be processed within the specified time to them, they become defective products and affect production efficiency. The purpose of this research is to develop a high-speed algorithm that utilizes advanced evolutionary computation and machine learning, and apply it to various optimization problems in production and logistics systems. We published the proposed algorithms and experimental results with the effectiveness in the several international journals. Application research to flexible jobshop scheduling problem and sustainable closed-loop supply chain model are NP-hard problems, and we developed advanced hybrid evolutionary algorithms for FJSP in the production / distribution system, time scheduling of high-speed train, and VRP problems and demonstrated the effectiveness with experiments in the several journals.

研究分野：ソフトコンピューティングと生産・物流問題への応用

キーワード：進化算法 遺伝的アルゴリズム 粒子群最適化 機械学習 生産スケジューリング 持続可能なサプライチェーン

1. 研究開始当初の背景

今日の製造業では、インターネットの普及に基づきグローバル競争の激化や事業環境変化に対応しながら、顧客により安心して安全な製品を届け続けることの重要性が増しており、生産現場ではより一層の生産コスト削減と、製品品質に関するサステナビリティの実現の両立が求められている。インターネット時代は各種データがデジタル化され簡単に大量に得られる時代で、これらの大量のデータを分析・解析し、それにより生産設備の能力増強、生産スピードの向上のための生産状態のパターン認識方法と生産最適化方法などの新たな方式が要求されている。このような状況を踏まえ、研究代表者らは、先進的生産システムのビッグデータ活用による進化技術の活用を目指し、科学研究費補助金(1)~(4)を受けて研究開発を進めてきた。

- (1) 基盤 C (H17~19) 先進的進化計算法に基づく生産スケジューリングとロジスティクスに関する研究,
- (2) 基盤 C (H20~21) ロボットベースの組立てラインバランスのシミュレータに関する研究,
- (3) 基盤 C (H24~26) 先進的進化計算法に基づく不確実環境下の最適生産計画・スケジューリング研究,
- (4) 基盤 C (H27~29) ビッグデータ環境下における最適生産計画・スケジューリング研究。

研究代表者らは、科学研究費プロジェクトの実施経験を踏まえ、生産・物流システムの最適化問題に進化計算法の先進的な技術を活用・普及させるために、国内外で進化計算法の基礎と応用に関する専門書(文献[1]~[6])や招待論文(文献[7])を刊行し、更に(社)電気学会で「進化技術応用調査専門委員会」を設立し、全国から進化計算法の専門家の執筆による『進化技術ハンドブック』I基礎編, II情報・通信システム編, III生産・物流システム編の3巻を刊行し、情報・通信システムや生産・物流システム分野への進化計算法の活用・普及を実施してきた(文献[8]~[10])。

一般に半導体製品等の生産システムは各種半導体デバイスをリアルタイムベースで製造していることから、従来の数理計画ソフトウェア CPLEX と比較して、高速処理可能なリアルタイム生産スケジューリングシステムが求められている。本研究では研究代表者らが数年に亘り開発を続けてきた最適生産・物流システム研究開発に、ハイブリッド型進化計算法に基づき機械学習の機能を加え、高速処理のために GPU ベースを取り入れた先進的・実践的な生産・物流スケジューリングアルゴリズムの研究開発を目指すことである。新たに機械学習、特にディープラーニングや強化学習を用いた生産状態のパターン認識方法と知能的なリアルタイムスケジューリング最適化を取り入れ、新幹線のような高速列車の時刻管理問題には GPU ベースの並列化研究は、本研究の学術的にも特色・独創的であるといえる。

2. 研究の目的

(1)リアルタイムベースのスケジューリングアルゴリズムの開発を目指す

最近、リアルタイムベースの生産スケジューリングシステムが注目されているが、動的環境における不確定要素の変化を把握することは困難であり、現実の生産過程で考慮すべき変動的な要素を既存の数学モデルに取り入れることは困難であり、実用的な問題にはスケジューリング有効性の正確な評価メカニズムが適用できない。これらの問題を解決するために「ものづくりビッグデータ」にファジィモデル化を試み、更にリアルタイム対応可能な高速処理型の分散型進化計算法による進化計算法を開発し、高効率アプローチには先進的なハイブリッド型進化アルゴリズムの研究開発が必要であり、ここに重要な実用性と先見性がある(図1参照)。

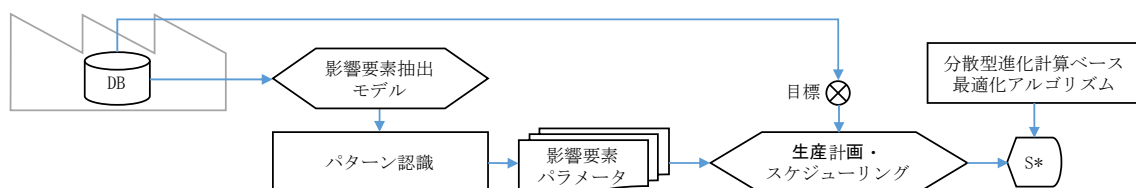


図1 生産計画・スケジューリングの分散型進化計算ベースの最適化アルゴリズム

(2) 学習機能を組み込んだハイブリッド型高速進化アルゴリズムの開発

本研究は、リアルタイムベースの生産状況で高速スケジューリング処理を配慮し、生産計画・スケジューリング問題に適応した分散処理型進化計算アルゴリズムに機械学習(文献[11])の学習機能等をハイブリッド化した高速の進化計算アルゴリズムを提案し、そこから動的最適化の考えを取り入れた新たな最適化アルゴリズムの開発を目指すものである。

3. 研究の方法

実社会の生産・物流システムのスケジューリング問題の数理計画モデルは、ほとんどが NP 困難な問題で従来の最適化ソフトウェア CPLEX 等では制限時間内で最適解を求める事は困難である。そこで、メタヒューリスティックな進化計算アルゴリズムが注目されている。

現実に研究代表者が台湾・国立清華大学(NTHU)に招聘教授として訪問中(2012~2014)に台南にあるサイエンスパーク 3 内にある TSMC とのプロジェクトでもリアルタイムベースの半導体素子生産スケジューリング問題を遺伝的アルゴリズム(GA)によって共同で研究開発を行い、学会誌(IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing)に掲載した論文(vol.28, no.3, pp.353-366, 2015)は、同誌 TSM Best Paper Award (2016)を授賞している。この様な研究開発の実績を踏まえ、同研究室で開発してきた数々のハイブリッド型 GA の研究実績(文献[1-10])を中心に、最新の機械学習(文献[11])から厳選したアルゴリズムの組合せの適応性を定量的に分析し、先端的進化算法と機械学習を活用した高速化算法の研究開発を実施する。

4. 研究成果

(1) サステナビリティ閉ループサプライチェーン問題(SCSC)のハイブリッド型 GA 開発

近年、地球温暖化問題や天然資源の枯渇による深刻な地球環境問題に直面し、環境問題の保全が叫ばれている昨今、21 世紀の経済社会では、大量生産、大量消費、大量廃棄型経済システム

表 1 リバースロジスティクスの実験結果

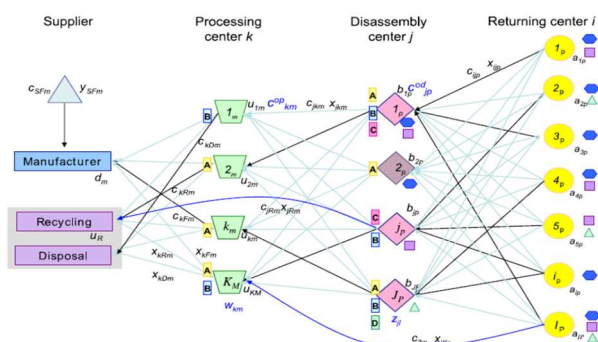


Fig. 2. Multi-stage reverse logistics network model.

図 2 多段階リバースロジスティクスネットワーク例

Problem No.	Computational time [sec]			Average no. of Pareto solutions S		
	pri-awGA	mo-hGA	Improvement Rate(%)	pri-awGA	mo-hGA	Improvement Rate(%)
1	0.02	0.02	0.00	3.0	3.0	0.00
2	0.11	0.09	18.18	5.0	5.8	16.00
3	0.35	0.27	22.86	5.4	7.2	33.33
4	2.98	2.14	28.19	8.0	10.8	35.00
5	6.24	4.27	31.57	10.6	14.8	39.62
Case study	16.82	10.25	39.06	17.2	25.4	47.67

から循環型経済システムへの変換が迫られ、企業は次々とリサイクルに取り組み始めている(文献[12-13])。現在、物流業界では材料部品メーカーの段階から消費者段階に至る物流に加えて、更には製品の再利用や温暖化減少のため、リバースロジスティクス(Reverse Logistics)が大きく注目されている。

使用済み製品に対するリサイクル問題は、単純な費用削減の問題ではなく、生産戦略の一環として把握し、営業・生産活動に反映させることができる。従って、製造企業のサプライチェーンにおいて、製品寿命が終了後、最後の使用者から使用済み製品を効率的に回収し製品を分解し、リサイクルができる流通チャンネルを最終消費者以降にまで拡張することが求められている(文献[14])。サステナブル閉ループサプライチェーン(Sustainable Closed-Loop Supply Chain: SCSC)モデルはリバースロジスティクスを含めた物流ネットワークモデルである。

本研究では SCSC モデルは 3 目的(総コスト費 f_1 と CO_2 総発生量 f_2 の最小化, 社会的影響度 f_3 の最大化)とシステム制約条件を定式化し、多目的の GA, HGA, 更に提案する Pro-HGA の進化アルゴリズム(多目的 HGA+Cuckoo)でそれぞれ次の 2 種類のモデル例を解いた結果は表 2-3

Scale	Manuf-acturer	DC	Collection Center	Recovery Center	Market/Customer	Disposal Center
1	8	6	6	8	1	1
2	24	20	20	24	1	1

表 2 SCSC モデル 1 の実行結果

Measure	Problem 1			Problem 2			Problem 3		
	GA	HGA	pro-HGA	GA	HGA	pro-HGA	GA	HGA	pro-HGA
S	0	0	7	0	1	6	1	1	5
$R_{NDS}(S_i)$	0.00	0.00	1.00	0.00	0.14	0.86	0.14	0.14	0.72
$DI_R(S_j)$	1,743	2,228	0	666	692	0	5,047	2,412	0
CPU time	5.12	5.91	6.03	5.12	5.91	6.03	5.12	5.91	6.03

表 3 SCSC モデル 2 の実行結果

Measure	Problem 1			Problem 2			Problem 3		
	GA	HGA	pro-HGA	GA	HGA	pro-HGA	GA	HGA	pro-HGA
S	1	1	3	2	1	3	2	1	5
$R_{NDS}(S_i)$	0.20	0.20	0.60	0.33	0.17	0.50	0.25	0.12	0.63
$DI_R(S_j)$	1,557	1,170	673	213	321	469	807	530	0
CPU time	5.15	6.33	6.59	5.15	6.33	6.59	5.15	6.33	6.59

の通り、提案手法の **pro-HGA** が従来手法より有効であった。ここで各モデルで 2 目的の最適化問題としてアルゴリズムを設計していることから、**Problem 1 ~ 3** はそれぞれ各モデルの目的関数(f_1 と f_2 , f_2 と f_3 , f_2 と f_3)に対応している。各表の計算時間 CPU time [s]からも分かるように今後は GPU ベースのアルゴリズムへの研究開発が求められる。

(2) 高速列車の時刻管理スケジューリング問題の並列多目的進化アルゴリズム開発

2019 年 4 月から開始したプロジェクトはハイブリッドサンプリング戦略(HSS)を多目的進化アルゴリズム(MoEA-HSS)に組み込んで GPU 環境で並列化を実現し計算時間を高速化する研究である。ここではタイ国・バンコク市の地下鉄 BRT transit line で 13 駅間を 7 車両が営業時間(5:00 – 24:00)を行う運行計画で従来の多目的進化アルゴリズム(SPEA2, NSGA II, MoEA-HSS)と GPU による並列化の PMoEA-HSS と更に差分進化(DE)に K-平均クラスタリングを組み込んだ並列多目的進化アルゴリズム PMoEA-HSS+DE の 5 種類の進化アルゴリズムによる計算時間[sec]をそれぞれ表 4 に示している。この表から明らかに提案した並列多目的進化アルゴリズム PMoEA-HSS+DE が最も優れており、次に PMoEA-HSS が従来の多目的進化アルゴリズム(SPEA2,

表 4 5 種類の進化アルゴリズムによる計算時間[sec]

w_q	SPEA2	NSGAII	MoEA-HSS	PMoEA-HSS	PMoEA-HSS + DE
(0.7, 0.3)	0.686	0.699	0.798	0.723	0.638
(0.5, 0.5)	0.340	0.339	0.330	0.329	0.273
(0.3, 0.7)	0.933	0.887	0.816	0.879	0.736

NSGA II, MoEA-HSS)よりも高速で計算処理している。更に日本の高速列車(新幹線)の東京-新大阪間の“こたま”, “ひかり”, “のぞみ”列車時刻管理スケジューリング問題において幹線内で信号機故障による事故や台風による大雨等によって列車運行時刻の変更, すなわち再スケジューリングが早急に対処すべき緊急課題である。ここで, 第 1 目的関数 f_1 は列車すべての総遅延時間の最小化と第 2 目的関数 f_2 はキャンセル列車数の最小化を考え, 従来の多目的進化アルゴリズム(SPEA2, NSGA II)と GPU による並列化の PMoEA-HSS に差分進化(DE)に機械学習から K-平均クラスタリング法を組み込んだ並列多目的進化アルゴリズム PMoEA-HSS+DE の Pareto 最適化グラフはそれぞれ図 3 に示す通りとなる。この Pareto フロントグラフからも明確に提案する並列多目的進化アルゴリズム PMoEA-HSS+DE が他手法(SPEA2, NSGA II)よりも優れた Pareto 最適解を示しており, 更に表 5 で示しているように提案した PMoEA-HSS+DE の各目的関数が従来の多目的進化アルゴリズム(SPEA2, NSGA II)の各目的関数値よりも何れのケースで小さいこと, すなわちベスト最良解になっていることで, 提案手法の有効性を明らかにしている。図 4 は 60 分の列車運行時刻の遅延によって回復された再スケジュール例である(文献[15-17])。

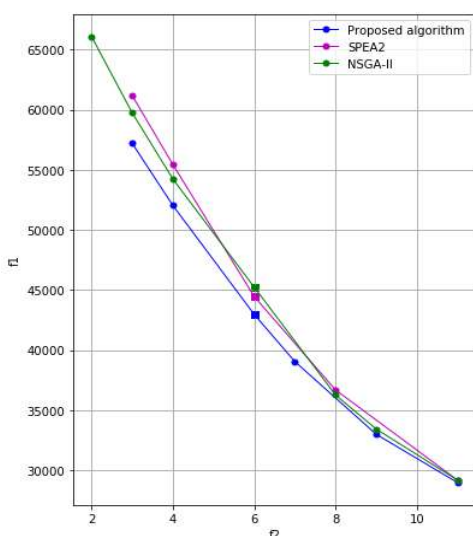


表 5 従来の多目的進化アルゴリズムと提案する並列多目的進化アルゴリズム PMoEA-HSS+DE の Case 1~3 の各目的関数値

	Case 1		Case 2		Case 3	
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
A1	10558	0	95383	0	75936	0
A2	4561	5	34071	17	28896	11
SPEA2	6922	2	18854	5	45241	6
NSGA-II	7152	2	19036	5	44462	6
Proposed algorithm	6982	2	18732	5	42976	6

図 3 各多目的進化アルゴリズムの Pareto フロントグラフ

研究成果には他に, 半導体製品のハードディスクデバイス(HDD)やパネル表示デバイス(TFT-LCD: Thin Film Transistor - Liquid Crystal Device)等のリアルタイムベース生産システムの半導体のスケジューリングモデルは, フレキシブルジョブショップスケジューリング(FJSP)問題に定式化される重要な研究課題の一つであり, 本研究では各種アクティブが不確定で三角型ファジィ数で定式化したファジィ FJSP 問題を協調的共進化算法(CoEA)と機械学習の Markov 確率場 (Markov Random Field)を活用した研究開発や相互適応型 GA とセルフ適応分割法を組み

併せた多目的進化計算法等を開発したが、ページ数制限から関連文献([18-21])を参照されたい。

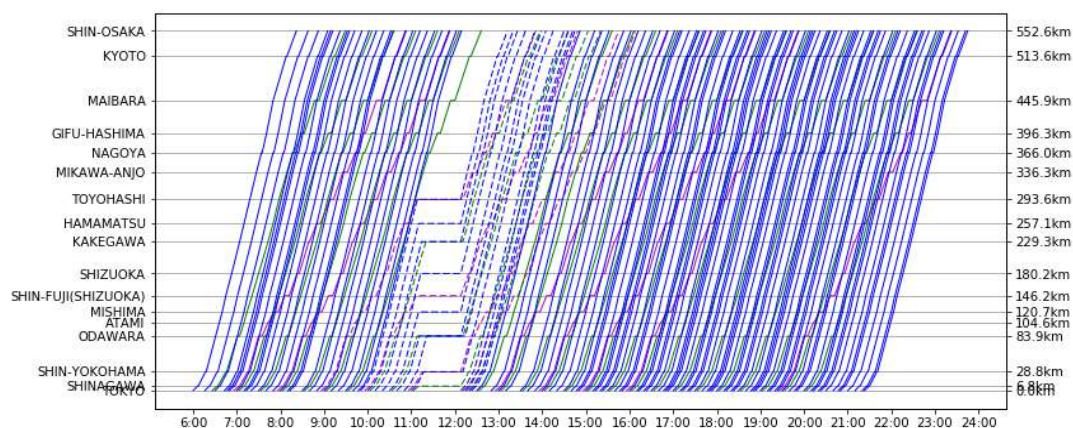


図 4 60 分の列車運行時刻の遅延による再スケジュール例

引用文献

- [1] Mitsuo Gen and R. Cheng, 1997: "Genetic Algorithms and Engineering Design", 432pp, Wiley, New York.
- [2] Mitsuo Gen and R. Cheng, 2000: "Genetic Algorithms and Engineering Optimization", 512pp, Wiley, NY.
- [3] 玄光男・林林, 2008: 『ネットワークモデルと多目的 GA』, 267pp; 共立出版.
- [4] Mitsuo Gen, R. Cheng, and L. Lin, 2008: "Network Models and Optimization: Multiple Objective Genetic Algorithm Approach", 710pp, Springer, London.
- [5] Mitsuo Gen, D. Green, O. Katai, B. McKay, A. Namatame, R. Sarker, and B. T. Zahng Eds., 2009: "Intelligent and Evolutionary Systems", Studies in Computational Intelligence, 187, 240pp, Springer-Verlag, Heidelberg.
- [6] X. Yu and Mitsuo Gen, 2010: "Introduction to Evolutionary Algorithms", 430pp, Springer, London.
- [7] L. Lin and Mitsuo Gen, 2018: Hybrid Evolutionary Optimization with Learning for Production Scheduling: State-of-the-Art Survey on Algorithms and Applications, *Int. J. of Production Research*, vol. 56, no.1-2, pp.193-223.
- [8] (社)電気学会進化技術応用調査専門委員会編, 2010.2: 『進化技術ハンドブック』第 I 巻 基礎編, 263pp, 近代科学社. (編集委員会委員長: 玄光男);
- [9] (社)電気学会進化技術応用調査専門委員会編, 2011.11: 『進化技術ハンドブック』第 II 巻 情報・通信システム編, 304pp, 近代科学社.
- [10] (社)電気学会進化技術応用調査専門委員会編, 2012.6: 『進化技術ハンドブック』第 III 巻 生産・物流システム編, 320pp, 近代科学社.
- [11] 大和田 勇人・玄光男・下川 朝有・郝新厂・張聞強 訳, 2022: 『機械学習』, 近代科学社, 448pp (周志華, 2016: 『机器学习』, 425pp, 清华大学出版社)
- [12] J.E. Lee, Mitsuo Gen, and K.G. Lee, 2009: Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, vol.128, pp.381-394
- [13] J.E. Lee, K.Y. Chung, K.D. Lee, and Mitsuo Gen, 2015: A multi-objective hybrid genetic algorithm to minimize the total cost and delivery tardiness in a reverse logistics, *Multimedia Tools and Applications*, vol.74, no.20, pp.9067-9085.
- [14] Y.S. Yun, A. Chuluunsukh, and Mitsuo Gen, 2020: Sustainable closed-loop supply chain design problem: A hybrid genetic algorithm approach, *Mathematics*, vol.8, pp. 1-18.
- [15] K. Nitisiri, Mitsuo Gen, and H. Ohwada, 2019: A parallel multi-objective genetic algorithm with learning-based mutation for railway scheduling, *Computers & Industrial Engineering*, vol.128, pp.381-394
- [16] K. Nitisiri, H. Ohwada, and Mitsuo Gen, 2019: A hybrid genetic algorithm for railway rescheduling: Case study of high-speed train in Japan, *Proceedings of Fuzzy Systems Symposium*, 6pp, Osaka University.
- [17] K. Nitisiri, H. Ohwada, and Mitsuo Gen, 2019: Hybrid genetic algorithm with autotuning parameters and K-mean clustering strategy for multimodal optimization, *J. of Society of Plant Engineers Japan*, vol. 31, no. 3, pp. 58-67.
- [18] L. Sun, L. Lin, Mitsuo Gen, and H. Li, 2019: A hybrid cooperative co-evolution algorithm for fuzzy flexible job shop scheduling, *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol.27, no.5, pp.1008-1022.
- [19] L. Sun, L. Lin, H.J Li, and Mitsuo Gen, 2019: Cooperative Co-Evolution Algorithm with an MRF-Based Decomposition Strategy for Stochastic Flexible Job Shop Scheduling, *Mathematics*, vol.7, pp. 1-20
- [20] Mitsuo Gen, L. Lin, and H. Ohwada, 2021: Advances in hybrid evolutionary algorithms for fuzzy flexible job-shop scheduling: State-of-the-art survey, *Proc. Inter. Conf. on Agents and Artificial Intelligence*, pp.562-573.
- [21] W.Q. Zhang, C. Li, W. Yang, and Mitsuo Gen, 2022: Hybrid evolutionary algorithm with sequence difference-based differential evolution for multi-objective fuzzy flow-shop scheduling problem, *Inter. J. of Internet Manufacturing and Services*, vol. 8, no. 4, pp.308-329.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 23件 / うち国際共著 23件 / うちオープンアクセス 23件）

1. 著者名 K Nitisiri, Mitsuo Gen and H. Ohwada	4. 巻 130
2. 論文標題 A parallel multi-objective genetic algorithm with learning based mutation for railway scheduling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 381 - 394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cie.2019.02.035	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 該当する
1. 著者名 JR Cheng and Mitsuo Gen	4. 巻 128
2. 論文標題 Accelerating genetic algorithms with GPU computing: A selective overview	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 514 - 525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cie.2018.12.067	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 該当する
1. 著者名 L Sun, L Lin, Mitsuo Gen, and HJ Li	4. 巻 27
2. 論文標題 A hybrid cooperative co-evolution algorithm for fuzzy flexible job shop scheduling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Fuzzy Systems	6. 最初と最後の頁 1008 - 1022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TFUZZ.2019.2895562	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 該当する
1. 著者名 WQ Zhang, Y Wang, Y Yang and Mitsuo Gen	4. 巻 130
2. 論文標題 Hybrid multiobjective evolutionary algorithm based on differential evolution for flow shop scheduling problemsal evolution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 661 - 670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cie.2019.03.019	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 該当する

1. 著者名 L Sun, L Lin, HJ Li, and Mitsuo Gen	4. 巻 128
2. 論文標題 Large scale flexible scheduling optimization by a distributed evolutionary algorithm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 894 - 904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cie.2018.09.025	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 該当する

1. 著者名 L Sun, L Lin, HJ Li, and Mitsuo Gen	4. 巻 7, 7318
2. 論文標題 Cooperative co-evolution algorithm with an MRF-based decomposition strategy for stochastic flexible job shop scheduling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mathematics	6. 最初と最後の頁 1 - 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/math7040318	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 該当する

1. 著者名 Mitsuo Gen, JR Cheng, K Nitisiri, and H Ohwada	4. 巻 1190
2. 論文標題 Advances in hybrid genetic algorithms with learning and GPU for scheduling problems: Brief survey and case study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances In Intelligent Systems Computing	6. 最初と最後の頁 322 - 339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-49829-0_24	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 該当する

1. 著者名 J Guo, H Yu, and Mitsuo Gen	4. 巻 149, 106779
2. 論文標題 Research on green closed-loop supply chain with the consideration of double subsidy in e-commerce environment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 1 - 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cie.2020.106779	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 該当する

1. 著者名 YS Yun, A Chuluunsukh, and Mitsuo Gen	4. 巻 8, 84
2. 論文標題 Sustainable closed-loop supply chain design problem: A hybrid genetic algorithm approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mathematics	6. 最初と最後の頁 1 - 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/math8010084	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 該当する

1. 著者名 WQ Zhang, DJ Yang, GH Zhang, and Mitsuo Gen	4. 巻 145
2. 論文標題 Hybrid multiobjective evolutionary algorithm with fast sampling strategy-based global search and route sequence difference-based local search for VRPTW	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Expert Systems With Applications	6. 最初と最後の頁 1 - 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eswa.2019.113151	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 該当する

1. 著者名 A. Syarif, D. Anggraini, K. Muludi, W. Wamiliana, and Mitsuo Gen	4. 巻 13, 5
2. 論文標題 Comparing various genetic algorithm approaches for multiple-choice multi-dimensional knapsack problem (mm-KP)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inter. J. of Intelligent Engineering & Systems	6. 最初と最後の頁 455 - 462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22266/ijies2020.1031.40	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 該当する

1. 著者名 Y Yuan, S Ye, L Lin, and Mitsuo Gen	4. 巻 149, 107316
2. 論文標題 Multi-objective multi-mode Resource-constrained project scheduling with fuzzy activity durations in prefabricated building construction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 1 - 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cie.2021.107316	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 該当する

1. 著者名 W Zhang, W Hou C Li, W Yang, and Mitsuo Gen	4. 巻 1, 3
2. 論文標題 Multidirection update-based multiobjective particle swarm optimization for mixed no-idle flow-shop scheduling problem	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Complex System Modeling and Simulation	6. 最初と最後の頁 176 - 197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/CSMS.2021.0017	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 該当する

1. 著者名 A. Syarif, A. Pamungkas, RK Mahendra, and Mitsuo Gen	4. 巻 14, 2
2. 論文標題 Performance Evaluation of Various Heuristic Algorithms to Solve Job Shop Scheduling Problem (JSSP)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inter. J. Intelligent Engineering & Systems	6. 最初と最後の頁 334 - 343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22266/ijies2021.0430.30	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 該当する

1. 著者名 J Tian, XC Hao, JB Huang, JL Huang, and Mitsuo Gen	4. 巻 160, 107316
2. 論文標題 Solving slot allocation problem with multiple ATFM measures by using enhanced meta-heuristic algorithm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	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) 10.1016/j.cie.2021	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 該当する

1. 著者名 YS Yun, Mitsuo Gen, and TN Erdene	4. 巻 20
2. 論文標題 Applying GA-PSO-TLBO approach to engineering optimization problems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mathematical Biosciences & Engineering	6. 最初と最後の頁 552 - 571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/mbe.2023025	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 該当する

1. 著者名 J Guo, G Wang, and Mitsuo Gen	4. 巻 19
2. 論文標題 Green closed-loop supply chain optimization strategy considering CER and incentivecompatibility theory under uncertainty	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mathematical Biosciences & Engineering	6. 最初と最後の頁 9520 - 9549
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/mbe.2022443	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 該当する

1. 著者名 C Anudari, YS Yun, and Mitsuo Gen	4. 巻 17
2. 論文標題 Applying GA-VNS approach to supply chain network model with facility and route disruptions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Inter. J. of Management Science and Eng. Management	6. 最初と最後の頁 1 - 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/17509653.2022.2057366	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 該当する

1. 著者名 K Nitisiri, K Sethanan, R Pitakaso, and Mitsuo Gen	4. 巻 17
2. 論文標題 Edge boundary variable neighborhood strategy adaptive search for a vegetable crop land allocation problem	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Inter. J. of Management Science and Engineering Management	6. 最初と最後の頁 165-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/17509653.2022.2043198	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 該当する

1. 著者名 L Sun, L Wan, J Wang, L Lin, and Mitsuo Gen	4. 巻 23
2. 論文標題 Joint Resource Scheduling for UAV-Enabled Mobile Edge Computing System in Internet of Vehicles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems	6. 最初と最後の頁 1 - 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TITS.2022.3224320	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 該当する

1. 著者名 C Hao, J Tian, H Ding, K Zhao, & Mitsuo Gen	4. 巻 17
2. 論文標題 An enhanced two-phase estimation of distribution algorithm for solving scheduling problem	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Inter. J. of Management Science and Engineering Management	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) 10.1080/17509653.2022.2085205	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 該当する

1. 著者名 WQ Zhang, H Li, W Yang, G Zhang, & Mitsuo Gen	4. 巻 171
2. 論文標題 Hybrid multiobjective evolutionary algorithm considering combination timing for multi-type vehicle routing problem with time windows	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computers & Industrial Engineering	6. 最初と最後の頁 1 - 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cie.2022.108435	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 該当する

1. 著者名 V Punyakum, K Sethanan, K Nitisiri, R Pitakaso, & Mitsuo Gen	4. 巻 197
2. 論文標題 Hybrid differential evolution and particle swarm optimization for Multi-visit and Multi-period workforce scheduling and routing problems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computers and Electronics in Agriculture	6. 最初と最後の頁 1 - 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compag.2022.106929	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 該当する

1. 著者名 WQ Zhang, X Zhang, XC Hao, Mitsuo Gen, G Zhang, & W Yang	4. 巻 20
2. 論文標題 Multi-stage hybrid evolutionary algorithm for multiobjective distributed fuzzy flow-shop scheduling problem	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mathematical Biosciences & Engineering	6. 最初と最後の頁 4838-4864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/mbe.2023224	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 WQ Zhang, C Li, W Yang, & Mitsuo Gen	4. 巻 8
2. 論文標題 Hybrid evolutionary algorithm with sequence difference-based differential evolution for multiobjective fuzzy flow-shop scheduling problem	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Inter. J. of Internet Manufacturing and Services	6. 最初と最後の頁 308-329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJIMS.2022.128636	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 -

[学会発表] 計25件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Mitsuo Gen
2. 発表標題 Hybrid evolutionary algorithms with ML & GPU for intelligent scheduling problems
3. 学会等名 The 14th International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories & Applications, Zhengzhou, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuo Gen
2. 発表標題 Advances in hybrid evolutionary optimization with learning for manufacturing scheduling
3. 学会等名 International Symposium on Semiconductor Manufacturing Intelligence, Hangzhou, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuo Gen
2. 発表標題 Hybrid Evolutionary Algorithms with Machine Learning and GPU for Scheduling
3. 学会等名 The 13th Inter. Conf. on Management Sci. and Eng. Magement, Tront, Canada. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuo Gen and G Suer
2. 発表標題 Enhancing Hybrid Genetic Algorithms with ML & GPU for Scheduling Problems: Case Studies
3. 学会等名 The 25th International Conference on Production Research, Tutorial Talk, Chicago, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玄 光男, WQ Zhang
2. 発表標題 最近の多目的進化アルゴリズムの開発とフローショップスケジューリング問題への応用
3. 学会等名 日本設備管理学会 2019年度第1回知能技術応用研究会(京都大学, 2019年9月2日)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuo Gen, J.R. Cheng, K. Nitisiri, & H. Ohwada
2. 発表標題 Advances in hybrid genetic algorithms with learning and GPU for scheduling problems: Brief survey and case study
3. 学会等名 The 14th Inter. Conf. on Management Science and Engineering Management (ICMSEM) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Z Wu, L Lin, G Gong, R Xu, Mitsuo Gen, & Y. Zhou
2. 発表標題 Evolutionary neural network structure search for DNN pruning and features separation
3. 学会等名 The Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Z Sun, J Guo, C Liang, & Mitsuo Gen
2. 発表標題 Robust optimizing a multi-period multi-objective closed-loop supply chain network for perishable goods using hybrid heuristic algorithm under uncertainty
3. 学会等名 2020 Inter. Conf. on Resource Sustainability-Sustainable Urbanisation in the BRI Era (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玄 光男, 林 林
2. 発表標題 進化算法によるフレキシブル・ジョブショップスケジューリング問題の最新状況とその事例研究
3. 学会等名 日本設備管理学会 知能技術応用研究会, 日本大学大学院生産工学研究科
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitsuo Gen
2. 発表標題 Recent advances in hybrid heuristic algorithms for multiobjective flexible job-shop scheduling
3. 学会等名 The 15th Inter. Conf. on Management Science and Eng. Management (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mitsuo Gen
2. 発表標題 Recent Advances in Hybrid Metaheuristics and Applications: Intelligent Manufacturing & Sustainable Supply Chain Networks
3. 学会等名 The 22nd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Mitsuo Gen, C. Anudari, and Y.S. Yun
2 . 発表標題 Hybridizing teaching-learning based optimization with GA and PSO: Case study of supply chain network model
3 . 学会等名 Inter. Conf. on Computational Sci. & Comp. Intelligence (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 C. Anudari, Y.S. Yun, and Mitsuo Gen
2 . 発表標題 Hybrid Meta-heuristics Approach for Solving Supply Chain Network Model under Disruption Risk
3 . 学会等名 Inter. Conf. on Computational Sci. & Comp. Intelligence (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 林 林, H. Yang (大連理工大学), 玄 光男
2 . 発表標題 Fuzzy Resource Constrained Project Scheduling Optimization with Hybrid Multiobjective Genetic Algorithm
3 . 学会等名 日本設備管理学会 秋季研究発表大会
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 玄 光男, Y.S. Yun, 林 林, 大和田勇人, C. Anudari
2 . 発表標題 Hybridizing teaching-learning based optimization (TLBO) with GA and PSO for scheduling problems
3 . 学会等名 日本設備管理学会 秋季研究発表大会
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Mitsuo Gen, L Lin, & H Ohwada
2 . 発表標題 Advances in hybrid evolutionary algorithms for fuzzy flexible job-shop scheduling: state-of-the-art survey
3 . 学会等名 The 13th Inter. Conf. on Agents and Artificial Intelligence (ICAART) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Mitsuo Gen
2 . 発表標題 How to expand hybrid metaheuristics for flexible jobshop scheduling problems with applications
3 . 学会等名 International Conference on Science, Engineering Management and IT (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Mitsuo Gen
2 . 発表標題 Enhancing hybrid metaheuristics for engineering optimization & production scheduling problems
3 . 学会等名 The 16 th Inter. Conf. on Management Science and Engineering Management, Keynote talk, Ankara, Turkey; Online conf. (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Mitsuo Gen
2 . 発表標題 Recent advances in hybrid metaheuristics for semiconductor manufacturing scheduling
3 . 学会等名 2022 Euro-Asia Conf. on Frontiers of Computer Science and Information Technology, Krynote Talk, China; Online conf.
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Mitsuo Gen
2. 発表標題 Advanced Hybrid metaheuristics for manufacturing scheduling & engineering design problems
3. 学会等名 Graduate School of Business Administration, Invited Talk, Chosun University, S. Korea (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mitsuo Gen
2. 発表標題 Recent Metaheuristics & Machine Learning for Logistics, Scheduling, and AGV
3. 学会等名 Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Invited Talk, Shanghai, China, Online (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mitsuo Gen, S Ishikawa, YS Yun, & H Ohwada
2. 発表標題 Hybridizing GA and Enhanced Jaya Algorithm for Nonlinear Least-Squares Problems
3. 学会等名 第38回ファジシステムシンポジウム, 日本知能情報ファジ学会, オンライン会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 玄 光男, 林 林
2. 発表標題 ハイブリッド型進化計算によるフレキシブルジョブショップスケジューリング問題(FJSP)解法の変遷
3. 学会等名 日本設備管理学会 知能技術応用研究会, 大分工業高等専門学校 情報工学科
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 玄 光男, 尹 永秀, & C.エルデネバタルル
2. 発表標題 混乱リスクを伴うサプライチェーンネットワークのハイブリッド型GA-Jaya-FLC アルゴリズムによる設計
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報セキュリティ研究会, 山口大学工学部, IT2022-113, ISEC2022-92
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 WQ Zhang, C Li, & Mitsuo Gen
2. 発表標題 A multiobjective memetic algorithm with particle swarm optimization and Q-learning based local search for energy-efficient distributed heterogeneous hybrid flow-shop scheduling problem
3. 学会等名 日本設備管理学会 知能技術応用研究会, 京都大学 桂キャンパス
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 J.R. Cheng and Mitsuo Gen	4. 発行年 2020年
2. 出版社 IntechOpen, London, UK	5. 総ページ数 25
3. 書名 Chapter 6: Parallel Genetic Algorithms with GPU Computing, pp.69-93, in "Industry 4.0 - Impact on Intelligent Logistics and Manufacturing"	

1. 著者名 大和田 勇人, 玄 光男, 下川 朝有, ハオ シンチャン, 張 聞強 共訳	4. 発行年 2022年
2. 出版社 近代科学社	5. 総ページ数 450
3. 書名 機械学習	

〔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	川上 浩司 (Kawakami Hiroshi) (90214600)	京都先端科学大学・工学部・教授 (34303)	

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		
韓国	Chosun University	Division of Business Administration	
中国	Dalian University of Technology	Inter. School of Information Sci. & Eng.	
中国	Henan University of Technology, China	College of Information Sci. & Eng.	
タイ	Khon Kaen University, Thailand	Dept. of Industrial Engineering	
中国	Univ. of Shanghai for Sci. & Tech.	Sino-German College	
インドネシア	Lampung University	Dept. of Computer Science	
中国	Changzhou Institute of Technology	School of Art and Design,	
米国	Ohio University	Dept. of Industrial & Systems Eng.	
米国	Broad Geophysical Technology, Inc.	Dept. of Research & Development	