

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01186

研究課題名（和文）グローバル製品戦略のための製品・技術プラットフォーム・マネジメント技法の開発

研究課題名（英文）Development of management procedure on product and technology platform for global product strategy

研究代表者

荒川 雅裕（Arakawa, Masahiro）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：70288794

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では製造業における製品の企画，設計，製造，販売にわたる製品ライフサイクルを対象に製品プラットフォームと技術プラットフォームの視点に基づき，多品種生産を効率的，経済的に行うための製品・製造設計の“しくみ”を提案するとともに，“しくみ”を実現するための最適化アルゴリズムやICT・IoTシステムの開発を行う。

研究成果の概要（英文）：In this study, system and mechanism is proposed to effectively design product including service and production in Product Lifecycle composed of planning, design, manufacturing, and market of products. Especially, the system and the mechanism are constructed based on functional characteristics of product and technological function of production from views of product platform and technology platform. Optimal algorithm and ICT and IoT system are developed in order to realize the system and the mechanism.

研究分野：生産システム工学

キーワード：製品・技術プラットフォーム 製品戦略 生産・工程設計 作業設計 最適化アルゴリズム 作業困難さ QFD 多目的最適化

## 1. 研究開始当初の背景

近年の製造業のグローバル化は、製品の低価格化とともに多品種化と製品ライフサイクルの短命化を進め、製造現場では短期間で市場に受け入れられる製品の設計・開発を進めることが必要となっている。多くの企業では異種部署間での情報共有のため、PLM(Product Lifecycle Management)による情報システムが導入され、設計情報や製造情報を共有され、業務の効率化が図られている。多くの製品は既存製品の変更や改良によって新製品の開発が進められているが、部品やモジュールの構造を技術・品質のレベルを考慮して分割し、複数の組合せ案を考えることで多様な製品開発を行うことができ、既存製品の部品やモジュールの利用の可能である。グローバル化した市場・生産環境を対象とした製品設計を行うことで、容易な製品設計によって市場規模の大きい製品の開発が行える。自社のコアとなる高い技術によるモジュールや部品を組み込むことで、商品の付加価値を与え、競合他社に比べて優位性の高い製品設計ができる。

本研究では上記の取り組みをグローバル生産環境下での製品戦略の手段として扱う。継続的に新製品の開発を行うため、市場が要求する製品の特徴を継続的に評価し、販売・利用された結果から市場の要求分析を行い、市場の要求に対する製品の機能と構造に基づく製品設計法を開発する。さらに、製品設計の情報を製造や販売に関する情報に利用することで効果的な運用を行うための製品プラットフォームと技術プラットフォームに基づく、コア技術となる仕組みを提案する。

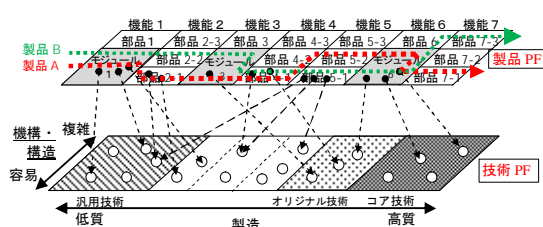


図1 製品・技術プラットフォームによる製品構成の概要図

## 2. 研究の目的

研究当初では、製品の特性や技術の特性に基づき、短期間で高生産性、高品質で付加価値の高い製品開発、製造設計・運用を実現するためのプラットフォームを構築することを目的とした。この“プラットフォーム”のためのデータベースの基礎はすでに過去の研究で構築している。

本研究ではプラットフォームを利用した運用方法として、製品企画と製品設計、製品設計と製造設計、製品設計と工程設計、需要と配送・在庫管理に関する異種業務間での情報の利用による意思決定の方法とを開発する。すなわち、異種業務間の情報を同時に利用することで、コア技術になりうる課題に着

目し、最適な条件を決定するための情報システムやアルゴリズムを構築する。

## 3. 研究の方法

本研究では製造業における製品の企画、設計、製造、販売にわたる製品ライフサイクルを対象に製品プラットフォームと技術プラットフォームを組み合わせ、多様な情報を組み合わせたコア技術(とくに、管理や意思決定の技術)を、多品種生産について効率的、経済的に行うための製品の企画設計や製造設計・運用、さらに配送運用の“しくみ”として提案する。さらに、“しくみ”を実現するための最適化アルゴリズムや情報システムの開発を目的とする。

具体的には下記の5テーマに取り組んだ。

- (1)市場製品の要求分析とサービスを含む新製品の創作方法の開発
  - (2)QFD の利用による製品の機能と部品構造による製品設計・機能拡張法の検討
  - (3)混流生産に対する生産平準化による工程設計法の開発
  - (4)作業設計組み立て順序決定法の開発
  - (5)需要変動に対する安全在庫量を考慮する期間巡回配送計画法の開発
- (1)と(2)では製品の企画と(概念・基本)設計、(3)と(4)では製品の詳細設計から生産設計、(5)では製造・販売と物流の設計・管理に関する異種業務情報を利用したシステムを開発する。これらは製品のライフサイクルを全体について、製品に含まれる機能の特性や製造技術の特徴を分析・分類することで、適切かつ最適な条件を選定する意思決定を供給できると考えている。

さらに、この1,2年間で、工場の設計や運用・管理のための情報収集や運用管理のための対策としてICTやIoTシステムの構築や導入が進められている。このため、製品ライフサイクルでの管理・運用においてICT化やIoT化への対策が重要となっている。その一方で、中小企業を対象とする工場ではコストや人材の問題で導入が困難な企業も多い。このような理由から、本研究の一部として、管理・運用の問題として、アンケートや現地調査から、中小企業への自動化やICT・IoTシステム導入の課題と対策も検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 市場製品の要求分析とサービスを含む新製品の創作方法の開発

本課題に対して(1-1)インターネット上の既存製品のレビュー情報を利用した市場要求の分析と(1-2)市場要求の分析結果による製品の部品・部品構造の特徴の分析と新製品の設計法の開発を行った。

市場の製品の要求機能の分析から新製品を創作するしくみを拡張し、利用に関するサービスを組み込むことで製品価値を高める製品を創造する方法を開発した。

提案方法は、類似製品についてWeb上の情

報を集め、情報の文書解析からを行うことでポジティブな表現のキーワードと関連する動詞を調べるとともに、ネガティブな情報を調べることで、市場に受け入れやすい機能と利用方法を分析するしくみを開発した。さらに、利用者と企業間の情報交換を行うサービスを組み込むことで、製品とサービスの組み合わせにより付加価値が高い製品を創造するための意思決定のプロセスの方法を提案した。この提案法を電動歯ブラシに適用し、サービスを含めた新製品の開発例を示した。

図1は提案するレビューを利用した要求分析と製品設計法の概要を示す。表1はQFDを用いた機能の具体化例の一部を示す。

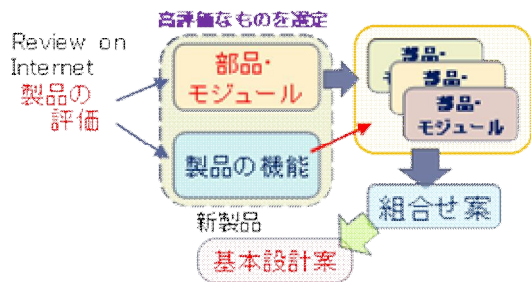


図1 レビューを利用した要求分析と製品設計法の概要

表1 QFDを用いた機能の具体化例 (一部)

1次 (顧客の状態)	2次 (KJ法)	3次 (機能)	4次 (具体的な方策)
歯をきれいにしたい	<知覚> 歯がきれいになったことを実感したい	歯の汚れ具合を知りたい	歯の汚れを客観的に評価する
	<技術> 歯をうまく磨きたい	歯ブラシをうまく歯に当てたい	歯磨きの高い技術を持っている人が磨く
ほこりを取る		電動歯ブラシの機能を生かしたい	歯ブラシの効果的な使い方を教える

## (2) QFDの利用による製品の機能と部品構造による製品設計・機能拡張法の検討

QFD(Quality Function Deployment)の機能展開の方法を利用して製品の機能に着目し、部品の交換による多品種製品の設計を手順化したテンプレートを開発した(図2はテンプレートの一部を示す)。手順化した方法を大学学部教育に導入し、要求機能の決定から製品設計の演習を行い、製品のオリジナリティや作業の効率化に関する提案法の効果を調べた。実習では卓上自動掃除機的设计を課題として、製品案を設計し、教育用電子回路システム(LittleBits)を用いて実機を作成した。さらに、製品の設計時に作成したQFDによる機能展開の表を利用して、新しい機能を拡張する設計案を構築する課題に取り組み、有効な設計案が提出された。教育カリキュラムへの導入によって開発したテンプレートや運用

法の妥当性を確認した。

## (3)混流生産に対する生産平準化による工程設計法の開発

需要の変動や、材料や部品供給の変動に対して、欠品を削減し、生産性を高めるために生産の平準化を実現するための工程設計を短時間で算出するアルゴリズムを開発した。

本研究では、混流生産における生産の平準化とともに工程間の仕掛り在庫を削減するため、工程内の最大作業時間と工程間の総作業時間差の二つの目的関数を考慮する数理モデルを構築した。さらに、要素作業数と工程数が増加した条件においても、短時間で近似最適解を得るために PSO と局所探索法を組み合わせた二目的最適化アルゴリズムを開発した。提案したアルゴリズムは数値実験によって得られた結果をシミュレーションにより評価することで有効性を示した。

図3は混流生産の生産ラインに対する生産平準化のための工程設計の概要を、図4は工程間の仕掛量の評価法の概要を示す。図5は開発したアルゴリズムにおける局所探索法による探索の概要を示す。

1次	2次	3次	Little Bits 部品	その他部品	構造	原価	実現性	大きさ	安定性	掃除効果
動く	回転モーターで移動	2軸	DC Motor	車輪	前の後ろの1軸を直接モーターに取り付け、モーターを共に回転させる	◎	△	◎	◎	◎
	スイングで回転拡大	4軸	DC Motor	車輪、車軸、ギア、ストロー	前の後ろの2軸を左右同時に動かすように設計し、ギアを用いてモーターの回転を軸に伝え、車輪を回転させる	◎	◎	◎	◎	◎
		ワイパー	DC Motor, Servo Motor, Fan	車輪、モップ	サーボモーターのアームにモップなどを取り付け、モーターによる遠征によりスイングさせる	△	◎	△	◎	◎
	停止する	押しボタン	Button, Latch		ボタンを押すことで、ボタンを押してから再び押すまで動作を続ける	◎	◎	◎	◎	◎
スライドスイッチの切り替え		Slide Dimmer		スイッチにより、オン/オフをボードで制御する	◎	◎	◎	◎	◎	
落下防止	音感知センサー	Sound Trigger		音を感知してから再び感知するまで動作を続ける	◎	◎	◎	◎	◎	
	自動で停止	タイマー	Button, Timeout	on/offモードでボタンに接続、ボタンを押したら動作を止め、設定時間経過後、自動で停止する	◎	◎	◎	◎	◎	
ほこりを取る	吸塵型	モップ		(モーターが前輪に動く場合)前輪の後ろに摩擦の大きいものを取付ける	◎	◎	◎	◎	◎	
	吸引型	モップ		車体の下に取付け	◎	◎	◎	◎	◎	
ほこりを捨てる	吸引型	モップ		車体の前部下	◎	◎	◎	◎	◎	
	吸引型	モップ		車体の前部下	◎	◎	◎	◎	◎	
ほこりを捨てる	吸引型	モップ		車体の前部下: 集めたほこりは気が付くまで捨てて捨てる	◎	◎	◎	◎	◎	
	吸引型	モップ		汚れたシートを外して捨てる	◎	◎	◎	◎	◎	
ほこりを捨てる	吸引型	モップ		汚れたシートを外して洗い、再度取り付ける	◎	◎	◎	◎	◎	
	吸引型	モップ		汚れたシートを外して洗い、再度取り付ける	◎	◎	◎	◎	◎	

図2 機能展開を利用する製品設計のためのテンプレート

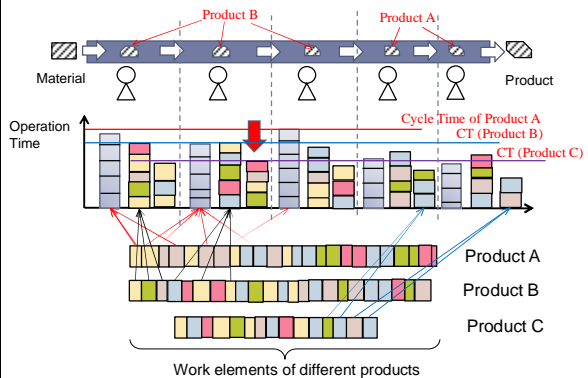


図3 混流生産の生産ラインに対する生産平準化のための工程設計の概要

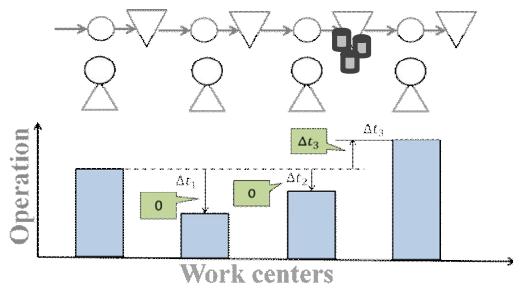


図4 工程間の仕掛量の評価法の概要

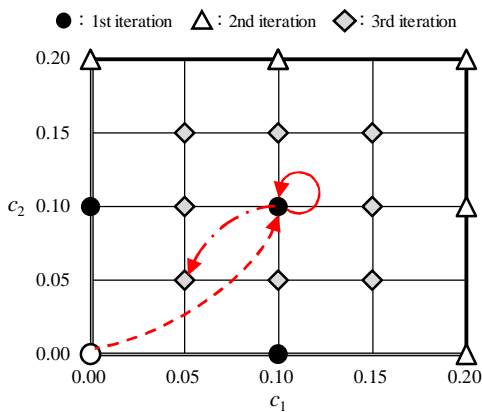


図5 局所探索法の探索の概要

#### (4) 作業設計組み立て順序決定法の開発

部品組み立て作業について、作業の困難さを製品の部品構造から定量的に評価し、困難さを最小化する部品組み立て順序を決定する方法を開発した。

組み立て作業において生じる作業の困難さとして、障害物の配置と中間製品の不安定さに着目し、作業の困難さを定量的に評価する方法を示した。さらに、作業の困難さの総評価値を最小化することで作業を容易にする部品組み立て順序を決定するための数理モデルを構築した。数値実験から数理モデルを求解するとともに、実機を利用した組み立て実験により、数理モデルの妥当性を示した。さらに、部品点数の多い場合においても部品組み立て順序を短時間で決定できるため、計算時間の削減を目的として PSO を利用した最適化アルゴリズムを開発した。数値実験により、開発したアルゴリズムの妥当性を示した。

部品組み立て作業は、一つの部品を中間製品に割り付けることの繰り返しによって表現できる。このため、一つの部品の取り付けに一つの作業(要素)を与えることで、作業の困難さを評価することができる。図6は部品組み立てによる作業困難さの評価法の概要図を示す。また、図7は作業の困難さとして障害物の条件による評価方法の例を示す。

開発した方法は部品の構造によって作業困難さの要因を追加することにより、多様な製品に適用でき、作業を容易にする部品組み立て順序を決定できる。これにより、部品の

構造はCAD情報から獲得できるため、多様な製品に適用することができ、製品設計段階で作業設計を同時に行うことができる。

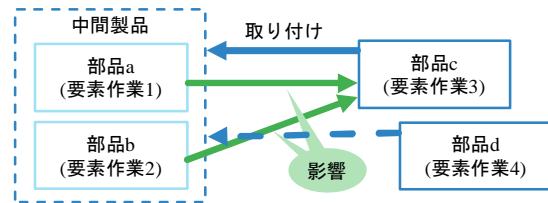


図6 部品組み立てによる作業困難さの評価法

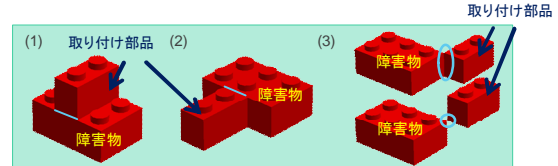


図7 障害物の存在による作業困難さの評価例

#### (5) 需要変動に対する安全在庫量を考慮する期間巡回配送計画法の開発

需要の見込み量に対する複数拠点への製品供給に対して、安全在庫を考慮して配送先を選定することで移動経路を削減するためのアルゴリズムを開発し、数値実験によって有効を示した。図8は問題のモデル図を示す。

この問題では需要変動に対して適切な安全在庫を削減するために、総配配送量と安全在庫量を同時削減する多目的問題として取り扱った。問題解決のため、数理モデルの構築と PSO(Particle Swarm Optimization)法を利用した最適化アルゴリズムを開発した。数理モデルの解法では数時間オーダーの計算が必要な問題において、最適化アルゴリズムによって1分程度で近似最適化が得られた。さらに、需要に確率変動を利用したシミュレーションによって、継続的な欠品率と総距離削減の同時削減の効果とともに適切な安全在庫量の決定に利用できることを示した。

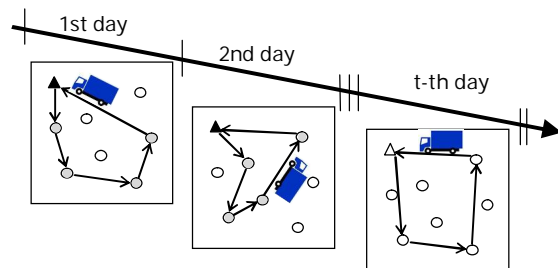


図8 多期間巡回配送計画のモデル図

#### (6) 中小企業への自動化やICT・IoTシステム導入の課題と対策

中部地区の中小企業の製造業を対象に製造現場における自動化とICT・IoTシステムの導入と運用に関するアンケートとともに現地への調査を行った。アンケート結果から自動車部品製造企業、機械装置製造企業、鋼

材加工企業について、導入や運用の特徴の分析結果や各種の企業の問題点を示した。さらに、中小企業での多工程持ち作業を対象に、継続的に低コスト、短時間でシステム導入を実現するための自動化や ICT・IoT システムのモジュール化法を示した。具体的には、工場内の作業について、改善活動を進めるとともに既存の導入システムを「作業環境」、「作業方法」、「作業指示」に分類し、特徴を関連付けることで、新しいシステムの開発が必要な場合に作業者の視点で改良を容易に行えるようシステムの“モジュール”を作ることを提案した(図 9)。

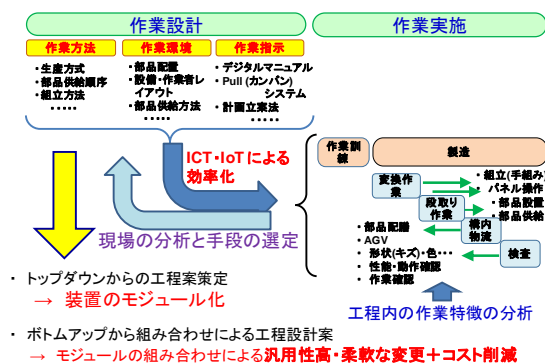


図 9 多工程作業による生産現場の自動化や ICT・IoT 化のためのモジュール化の案

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 44 件)

- (1) 荒川 雅裕, 和田 拓己, 製品構造に依存する作業の類似性を考慮する混流生産ライン工程設計法の開発, 日本機械学会論文集 Vol. 81, No. 828, p.14-00662 (2015)
- (2) 和田 拓己, 荒川 雅裕, 生産の平準化と仕掛り量最小化のための混流生産ラインの設計と評価, 日本機械学会論文集 Vol.82, No.835, p.15-00492(2016)
- (3) Suguru Nozue, Masahiro Arakawa, A Method for Design of Product-Related Services to Promote Commodity Value, IOSR Journal of Engineering, Vol.06, Issue 10 (1), pp.7-15 (2016)
- (4) Suguru Nozue, Masahiro Arakawa, Service Design Method to Promote Commodity Value of Products, Conference Proceedings APCEAS (Asia-pacific Conference on Engineering and Applied Sciences), pp.325-336 (2016)
- (5) Mizuki Ohashi, Masahiro Arakawa, Takumi Wada, Keita Sugiura: A Study of Design Method of Process and Layout of Parts and Facilities for Cell Production, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2016, 0212 (2016) (CDROM)
- (6) Yukiko Kanbara, Masahiro Arakawa, Takumi Wada, Scheduling Method for Simultaneous Reduction of Makespan and Weak Points of Workers, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems

Conference 2016, 0211 (2016) (CDROM)

(7) Masahiro Arakawa, Takumi Wada, Jing Sun, Ichiro Koshijima, Yoshihiro Hashimoto, Design of Educational Program for Management of Market, Procurement, and Production —Case Study of Educational Program for Factory Management in University—, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2016, 0213 (2016) (CDROM)

(8) 野末 卓, 荒川 雅裕, 製品の価値向上を目的とするサービス設計法の研究(QFD の要求品質展開利用による設計法の提案), 日本機械学会論文集 Vol.83No.848, p.16-00347 (2017)

(9) Masahiro Arakawa, Takumi Wada, Introducing and Managing ICT and IoT Systems in Manufacturing: The Case of Small- and Medium-sized Enterprises, JAMS International Conference on Business & Information 2017 (2017) (USB Memory)

(10) Sachie Iwata, Masahiro Arakawa, Takumi Wada, Proposal of Process Design for Levelization in Mixed- Production Line, JAMS International Conference on Business & Information 2017, (2017) (USB メモリ)

(11) Masahiro Arakawa, Mizuki Ohashi, Development of Modified Particle Swarm Optimization Method for Multi-objective Logistics Problem Combined with Inventory Control in Multi-periods under Unsteady Demand, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2017 (APIEMS2017), E1-1-E1-6 (2017) (USB メモリ)

(12) Sachie Iwata, Takumi Wada, Masahiro Arakawa, Development of Algorithm based on Particle Swarm Optimization for Process Design to Promote Levelization and Productivity on Large scale-Mix Production Line, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2017, A8-25-A8-30 (2017) (USB メモリ)

(13) Masahiro Arakawa, Multi-Objective Genetic Algorithm Using Space Filter for Logistics Problem Combined with Inventory Control in Multi-periods Under Unsteady Demand, Conference Proceedings of International Research Symposium on Engineering and Technology (2017 IRSET), pp.226-238 (2017)

上記は論文(査読有).

他 論文(査読なし) 31 件

〔学会発表〕(計 39 件)

- (1) 荒川 雅裕, 部品組み立て作業における作業の困難さを考慮する組立順序決定法の研究, 生産システム部門研究発表講演会 2016, 日本機械学会, 2016/3/14, 千葉
- (2) 荒川 雅裕, 製品情報の利用による作業困難さを抑制する作業順序決定法の開発-障害物

と組み立て方向の評価-, 平成 28 年度春季研究大会, 日本経営工学会, 2018/5/28-29, 金沢

(3) 荒川 雅裕, 部品組み立て作業における作業品質を考慮するスケジューリング法, スケジューリング・シンポジウム 2016, スケジューリング学会, 2016/9/24-25, 大阪

(4) 荒川 雅裕, グローバル製品サービス設計・開発者育成のための教育プログラムの実践, 平成 28 年度秋季大会, 日本経営工学会, Oct28-29, 252-253(2016)

(5) 荒川 雅裕, グローバル製品・サービス設計プロセスの教育プログラムの開発と実践, 第 7 回横幹連合コンファレンス論文集, 横断型基幹科学技術研究団体連合, 2016/11/27-29

(6) Masahiro Arakawa, Introducing and Managing ICT and IoT Systems in Manufacturing, The Case of Small- and Medium-sized Enterprises, JAMS International Conference on Business & Information 2017, 2017/10/28-30, Aichi

(7) Masahiro Arakawa, Development of Modified Particle Swarm Optimization Method for Multi-objective Logistics Problem Combined with Inventory Control in Multi-periods under Unsteady Demand, The Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2017 (APIEMS2017), 2017/12/3-6, Yogyakarta, Indonesia

(8) Masahiro Arakawa, Multi-Objective Genetic Algorithm Using Space Filter for Logistics Problem Combined with Inventory Control in Multi-periods Under Unsteady Demand, International Research Symposium on Engineering and Technology (2017 IRSET), 2017/12/19-22, Singapore

(9) 荒川 雅裕, 中小企業を対象とする ICT 化・IoT 化に関する研究—アンケートと現場調査からの考察—, 平成 29 年度春季研究大会, 日本経営工学会, 2017/5/26-27, 東京

(10) 荒川 雅裕, 工程改善を含めた工場の ICT・IoT 化に対する取り組み, 平成 29 年度秋季研究大会, 日本経営工学会, 2017/11/2-3, 横浜

(11) 荒川 雅裕, 作業困難さを考慮する部品取り付け順序決定法に対する最適化アルゴリズムの開発, 生産システム部門研究発表講演会 2018, 日本機械学会, 2018/3/14, 東京

(12) 荒川 雅裕, Kaizen プロセスに基づく生産ラインの自動化・ICT・IoT システムの構築とモジュール化対策, 2018 年度春季大会, 日本経営工学会, 2018/5/25-26, 名古屋

他 27 件

[その他]

(1) Best Industrial Application Paper Award  
Masahiro Arakawa, Mizuki Ohashi, Development of Modified Particle Swarm Optimization Method for Multi-objective Logistics Problem Combined with Inventory Control in

Multi-periods under Unsteady Demand, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2017, Yogyakarta, Indonesia, December 3-6, 2017, E1-1-E1-6 (USB メモリ)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒川 雅裕 (ARAKAWA, Masahiro)  
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号 : 70288794