

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 9 月 16 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510214

研究課題名(和文) 技術プラットフォームに基づく機能設計を含む構造・作業工程同時設計システムの開発

研究課題名(英文) Development of simultaneous design system for process design and functional design based on technology platform

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) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では技術プラットフォームに基づく製品設計を実現するため、機能要件に基づく部品・部品構造と技術情報(工程・作業情報)を同時評価することで技術的視点から特徴的な部品・部品構造の設計や製品戦略を反映できるように、異種情報を関連付ける2次元テーブルを複数用意したデータベースを構築するとともに、新製品の開発プロセスを開発した。さらに、技術プラットフォームにおけるコア技術を発展させる手段として、作業の容易性を考慮し、作業順序を決定する数理モデルの構築や、作業を容易にする作業指示と作業環境(部品供給)の方法を実作業による実験から検討した。また、多品種生産の高生産性を実現するための工程設計法を開発した。

研究成果の概要(英文)：We consider that new products could be designed in short time periods when different types of information are interactively referred such as information related to production, product structure, manufacturing, and so on. Since these types of information could be simultaneously evaluated in the reference process, products could be designed considering important level of technologies depending on characteristics of parts and quality of manufacturing on technology platform. In this study, Database system including a function to interactively refer different types of information is developed to manage product life cycle based on technology platform. As for improvement of production activity, a method to design products is developed by using the developed database system. A method of process design for mixed production line is developed to achieve high productivity. The effective methods to indicate manufacturing process and to supply parts are discussed from experiments of actual objects.

研究分野：生産システム

キーワード：技術プラットフォーム 製品設計 データベース BOM 工程設計 機能設計 QFD PLM

## 1. 研究開始当初の背景

現在の製造業では顧客ニーズの多様化による新製品開発サイクルの短期化のため、新製品を短時間で設計から製造を行い、市場へ投入することが有効な企業戦略の一つと考えられている。製品設計では顧客の要求する製品の特性を調査するとともに要求される機能を技術要件に具現化することが必要とされる。しかしながら、要求される機能を必要な品質の部品や部品構造に具現化する作業は設計者の経験や知識に強く依存し、経験や知識が十分でない設計者に対しては知識を与える仕組みや効率的な設計を支援する仕組みが要求される。設計段階において製品価値の約 70~80% が決定するとも言われており、設計者による設計の質や価値を決定してしまうことになる。この特徴は、現在、多くの企業で対策が取られているフロントローディングでの期間短縮を目的とする仕組み作りだけでは、継続的な経営活動を維持することが困難であることを指す。

多くの生産現場では、フロントローディングを含み、開発から製造の期間短縮に対して、PLM(Product Lifecycle Management)用の情報システムが導入され、異種業務間の情報共有データベースとして利用される場合が多い。PLM では異なる部署間での情報を参照することで、異種業務間でのプレビューや業務のコンカレント化による作業の効率化が進められている。

しかしながら、持続的な経営活動を考えた場合、企業の戦略的な意思決定と各種製品に対する戦術的な意思決定を支援する仕組みを製品設計に組み入れることで、短時間で市場に適した新製品の開発・製造・市場投入が可能となる。そして、製品設計情報と製造情報に設計や製造に関する戦略的な情報を組み合わせ、統合管理する情報システムを構築することができれば事業の継続的な運用が可能になると考えられる。

事業の継続的な運用、とくに販売・製造がグローバル化した環境では、海外での生産拠点は不可避であり、設計部門を国内に置いても技術の空洞化や漏洩は直面する問題である。技術の空洞化や漏洩を抑制するため、企業のコア技術(製品構造や製造方法)のモジュール化による情報の隠蔽処理を行い、その他の製品構造や最終製品の製造は海外で行うために作業を容易にすることで、低コストで商品価値の高い製品設計と製造が可能になる(図 1)。多品種であるとともに新製品の切り替え期間が大きい環境で高品質で製造を維持するためには、作業の容易性を考慮した製品設計が必要と考えられる。このような特徴的な製造方法をコア技術として、長期的に発展させることで企業の競争力を高めることができる。

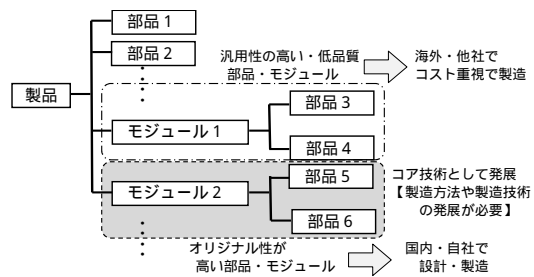


図1 部品・モジュールの製造方法・拠点の分割と持続的運用の概略図

## 2. 研究の目的

本研究の目的として、機能、製品構造、工程作業の情報を通観し、コア技術となる部品や作業を抽出し、抽出した部品や作業に関する技術を構造化・モジュール化することで技術プラットフォームを構成する方法を検討する。そして、異種業務間で相互的に設計変更が反映される仕組みを有する情報システムを構築する。また、技術プラットフォームに基づき、製品設計と製品製造の効率化を目的とする仕組みを開発する。前者は、作業の容易性を評価する製品設計法を指し、後者は作業の容易性と高生産性のための工程設計法を指す。

さらに、製品設計では市場の要求する特徴をいかに調べ、その特徴を具現化することが必要とされる。製品設計では製品の要求機能を具現化することで実現されるが、市場が要求する特徴を調べ、特徴を具現化する部品や部品の構造を設計できれば、既存製品の一部を新しい部品や部品構造に当てはめることで市場に受け入れやすい製品の多品種化の設計が可能となる。このような製品特性を評価することで一部の部品や部品構造の抽出・交換で新製品の設計を行えるため、技術プラットフォームの適用が可能となる。

上記目的から、本研究では既存製品の改良と拡張を主対象として、機能要件に基づく部品・部品構造と技術情報(工程・作業情報)を同時評価することで技術的視点から部品構造や作業の要素を構造化し、分析機能と戦略策定機能を含めることで技術プラットフォームとして管理するシステムを開発する。

## 3. 研究の方法

本研究では持続的な製品開発のため、技術プラットフォームに基づき、製品の要求機能を具現化する設計を含めた製品構造と工程・作業を同時評価するシステムを開発する。継続的な製品開発のため、既存製品の改良と拡張に注目し、(1)抽象的な要求仕様から具現化した製品構造を創造するために機能と製品・部品構造の事例を関連付けたデータベースを構築する。その中で、抽象的に表現された要求機能に対して適切な部品・部品構造を提示する機能、(2)製品機能から提示された製品構造(部品機構、および部品)を組合せて製品を構築する機能、(3)(2)で組み合わされた部

品構成から作業を容易にする部品の配置や部品の取付け順序を自動生成する機能を実現する。そして、(4)要求機能，製品・部品構造，工程作業の関連を可視化し，コア技術に関する部品構造や作業技術を隠蔽し，モジュール化するための技術プラットフォームを分析する仕組みを含める。ここで，要求機能，製品・部品構造，工程作業の情報を関連付け，技術的視点からコア技術をモジュール化する仕組みのため，異種情報を関連付ける2次元テーブルを複数用意したデータベースを構築する。

そして，データベースを利用する持続的な製造活動のため，コア技術テクノロジーとして多品種生産の製造方法に着目し，下記の2点を検討する

(a)作業易化のための作業指示と作業環境の設計法，

(b)混流生産を対象とする工程設計法の開発。

さらに，データベースを利用した新製品開発の方法として，(c)インターネット上のレビューから，市場要求の分析と要求に基づく新製品開発法を検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 異種情報データベースシステムの開発

本研究では 製品のアーキテクチャに着目し，生産技術や製品の機能・構造に関する設計情報を持続的に管理するためのデータベース・システムの開発を試みた。このシステムでは異種情報を関連づけた複数の表を用意し，異種情報間の参照をリアルタイムで行う機能を有する。具体的には参照対象とする生産情報には，製品の部品表(e-BOM：engineering - Bill of Materials) 要求特性(機能)，技術機能(機能を実現するための技術)，品質要求，作業の品質情報，計画情報などを想定し，各情報を関連付ける2次元テーブルを組み合わせ，表を選択することで必要な情報を逐次参照し，部品や製造情報を改良する仕組みを持つ(図2)。2次元テーブルは2種類の異なる生産情報を関連付け，各テーブルにおいてQFD(Quality Functions Deployment)に基づく，階層化した情報を適用するなど情報精度による分析や対策案の策定が可能となる。また，キーとなる情報に着目することで，異種業務部署間に置いても特定部品と機構に関して製造方法や製品構造の改良，保有技術の分散的な管理や長期的な発展を行うことができ，持続的な製品開発のプロセスの管理を実現できる(図3)。本システムでは生産情報に関する以下の処理を行うサブシステムの連携を想定する。

製品の機能と環境負荷を同時考慮するモジュールの設計システム，

製品設計段階で作業困難さを評価するとともに作業順序を生成するシステム，

要求機能から，製品の構造や機構を具現化する意思決定を支援するシステム，

から について具体的な方法の提案，情報

システムの設計を行い，各サブシステムを連携する2次元テーブルの設計と製品の設計段階での改良プロセスを開発した。また，持続的な製品開発のための製品プラットフォームと技術プラットフォームの適用法を提案し，情報システムの運用法を示した。

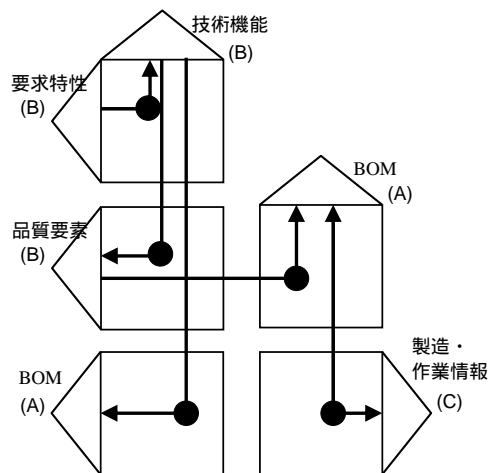


図2 異種データ間のデータベースの概要図

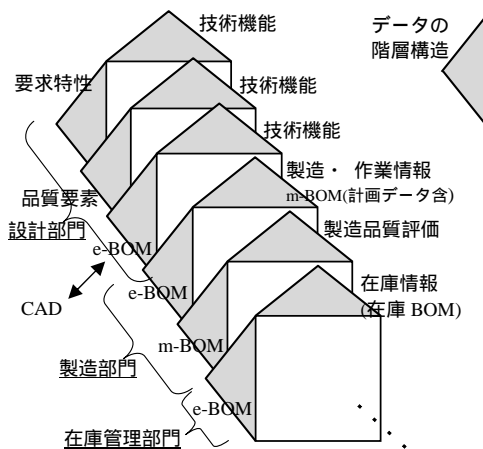


図3 異種業務部署間での対応表によるデータ連携の例(概略図)

##### (2) 高生産性を目的とする混流生産ラインの工程設計法の開発

生産工程(製造方法)のアーキテクチャに着目し，生産性を高めるための生産ラインの設計方法と自動化アルゴリズムを開発した。この方法では混合生産を対象として，生産性向上のため，ラインバランスとともに作業時間の変動を削減する要素作業の工程への割り付け案を作成する。さらに，工程間の作業時間差や作業時間の変動による生産のブロッキングやスターベーションによる生産性の抑制するためのバッファ量と配置の最適案の作成をエージェントシミュレーションの利用から評価した。そして，要素作業の工程への割り付けにおいては，生産ラインのサイクルタイムと全工程の作業時間の分散量の最小化を目的関数とする多目的問題として取り扱い，多目的遺伝的アルゴリズムを開発した。これにより，工程内の作業時間

の変動を抑制しながら生産性向上を実現する工程設計法を開発した。

さらに、多品種生産に対応するため、上記の工程設計法を拡張し、複数製品のe-BOMによる部品構造や製造方法の類似性、要素作業の先行関係図を関連付けることで階層型クラスタリング法によって複数の要素作業を組み合わせる方法を開発した。複数の類似製品を混流生産させるための工程設計の問題を多目的問題として扱い、数理モデルの構築と多目的遺伝的アルゴリズムの開発を行った。これにより、e-BOM、m-BOM (manufacturing - Bill of Materials) から製品の部品構造や要素作業の特徴を考慮して高生産性を目的とする生産ラインの自動設計が可能となった。

さらに、混流生産において、需要量や部品供給の変動リスクを抑制するための制御として、生産の「平準化」を実現する工程設計法を開発した。平準化を実現するため、各異種製品に対してラインバランスと類似作業の同一工程への割り付けを考慮した割り付け操作方法を開発した(図4)。工程設計案の評価は、エージェントシミュレーションによる製品の投入ロット数の変化に対して、従来の重み付き法に比べて高生産性の結果が得られた。

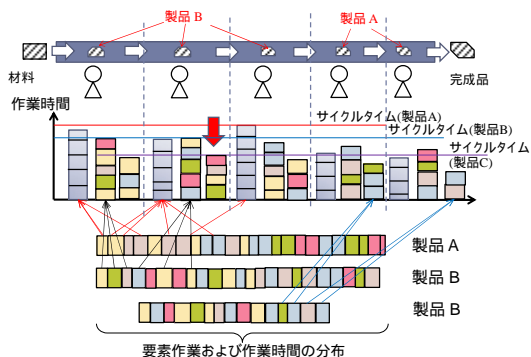


図4 平準化を考慮する要素作業の割り付けの概要図

### (3) 作業を容易にするための作業環境・作業順序決定法

多品種生産に柔軟に対応するとともに、新製品開発サイクルに適応し、短期間でのライン切り替えを実現するため、手作業による組み立て作業を対象に(a)作業環境、(b)作業指示、(c)作業順序の視点から、作業設計法を検討した。(a)では部品供給法を、(b)ではデジタルマニュアルによる作業指示の提示法について、実作業による動作分析などから、作業を容易にする仕組みを検討した。

部品供給(a)に関しては、同一部品や類似部品を同一箇所に置くことで部品供給を行う方法(a-1)と連続する作業ごとに部品供給を行う方法(a-2)を検討した。実験結果から、(a-2)が他方よりも、総作業時間を短縮し、作業ミスも少なくすることが明らかになった。さらに、(a-2)の方法は、作業の習熟の効果が大きく現れる。これらの結果は、部品供給に(a-2)

を選択することにより、作業を容易にするだけでなく、作業の習熟の効果を促進させることを示した。

作業指示(b)に関しては、多品種生産に対してデジタルマニュアルを利用することで柔軟で高品質な作業を検討した。組み立て実験での被験者のアンケート結果や、長い作業時間や作業ミスの発生した要素作業を調べることで、その時点でのデジタルマニュアルの問題点を明らかにし、マニュアルの改良を行った。改良したマニュアルを利用して、被験者により、組み立て実験を行ったところ、作業時間と作業ミスの明確な削減が得られた。

作業順序(c)に関しては、作業困難さを定量化し、作業困難さの最小化を目的とする数理モデルを構築した。これにより、作業を容易にする部品取り付け順序を決定する方法を提案できた。

これらの結果から、新製品の製造に柔軟に対応できる作業工程を構築する仕組みを提案でき、多品種少量生産に対するコアな(作業)技術として維持できる。その一方で、本研究の成果の適用により、グローバル化する製造工場の立ち上げや作業切り替えに短期間で効果が期待できる。

### (4) インターネットレビューに基づく市場要求の分析と新製品開発法の開発

(1)での異種情報データベース・システムおよび考え方を利用して、顧客の抽象的要求から製品の機能および部品及び部品構造を具現化し、新製品を開発する方法を検討した。そして、その開発法を支援するプロセス及び情報システムの開発を行った。提案する新製品の開発方法をインターネット上のレビューを利用した新製品開発に適用する。レビューから顧客の評価の高い機能や部品・部品構造を分析し、具体的な部品・部品構造に当てはめることで、評価の高い製品の部品構造を構築する。この構成された部品・部品の特徴を参考にすれば、新製品の開発が短期間で行えるものと考えられる。図5は本研究で検討した新製品の開発において、要求機能に対して、該当する部品・部品構造を抽出し、組み合わせるプロセスと利用する情報の構造の概要図である。製品の機能はQFDの表記に基づき、精粗度の異なる機能の表現が関連付けられ、詳細な機能は部品や部品構造に関連付けられる。レビューの特徴から顧客の要求内容と感性的な条件を抽出し、データベース内で要求情報と部品等に関連付ける。既存製品の部品・部品構造を利用し、レビューから抽出された情報から評価の優れた製品の機能や部品・部品構造を抽出し、組み合わせることで新製品の構造を決定する。

また、この開発方法とデータ構造を利用することで、製品企画に対して適切な感性の情報を与え、該当する部品構造を選択して新製品の基本設計を行うことが可能である。開発した情報システムでは、顧客要求の情報と部



品・部品構造の関連などを格納するとともに、要求から部品・部品構造の組合せ案を検索するため、顧客要求の情報として多様な情報を利用することで、セグメントに適した製品設計を可能とする。本研究では、電動歯ブラシを事例として設計法のプロセス、および情報システムによる適用例を示した。図6は開発した支援情報システムの表示例を示す。今後はレビューなどの評価を定量的に行うとともに、部品や部品構造間の適応性も定量的に評価することや、品質に対するコストの評価を組み入れることで、複数の設計案を多角的に評価できることが考えられる。

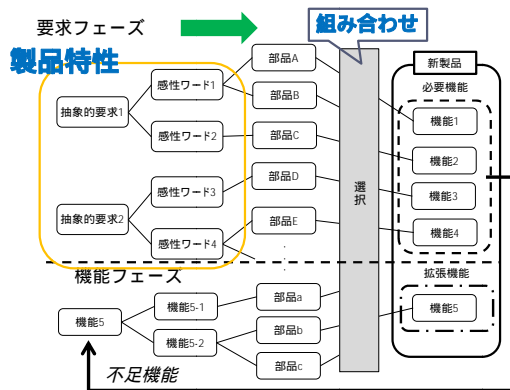


図5 要求機能から新製品を開発する方法と設計に利用する情報の構造

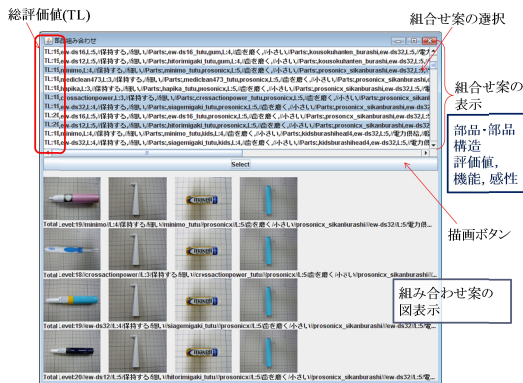


図6 開発した支援情報システムの表示例

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- (1) 豊岡 康彦, 荒川 雅裕, 分岐構造を含む多段階配送システムの在庫制御法の検討(不確定需要におけるローリング配送計画立案法の提案) 日本機械学会論文集C編 Vol. 79, No. 798, pp.190-202(2013)
- (2) Masahiro Arakawa, Hironaga Ogawa, A Study of Modular Design Including Simultaneous Evaluation of Functions of Product and Environmental Characteristics of Parts, Proceedings of Abstracts and Paper of The 13th

Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference 2012 (APIEMS2012), 2-5, pp.786-797 (2012)

(3) 小川寛永, 荒川雅裕, 機能と環境情報の同時評価を考慮するモジュール設計—ボール式マウスのモジュール設計事例—, 日本経営工学会論文誌, Vol.64, No.3, pp.205-218 (2013)

(4) Masahiro Arakawa, Takumi Wada, Multi-Objective Genetic Algorithm to Design Manufacturing Process Line Including Feasible and Infeasible Solutions in Neighborhood, Journal of Mathematics and System Science, Volume 4, Number 4, pp.209-219 (2014)

(5) Masahiro Arakawa, A Multi-Objective Genetic-Algorithm Including Dynamic Control of New Chromosomes for Logistic Problem with Inventory Control, Proceedings of International Symposium on Scheduling 2013, pp.97-102 (2013)

(6) Masahiro Arakawa, Takumi Wada, Algorithm for Process Design in Cell Production Aimed at High Productivity, Proceedings of 2013 Asian Conference of Management Science & Applications, 21-23, pp.544-551 (2013)

(7) 和田 拓己, 荒川 雅裕, 混流生産に対する生産性向上を目的とする工程設計法の開発(作業時間のバラツキとバッファによる影響), 日本機械学会論文集, Vol.81, No.825, pp.14-00660-14-00660 (2015)

(8) Takumi Wada, Masahiro Arakawa, A Study of Process Design for Manufacturing Line aimed at Levelization and Productivity on Mix Production, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2014 (APIEMS2014), pp.467-473 (2014)

(9) Masahiro Arakawa, Eriko Kato, A Study of Product Design Using Parts and Parts Structures Characterized by Reviews on Internet, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2014 (APIEMS2014), pp.2012-2017 (2014)

(10) Masahiro Arakawa, A Framework of Integrated PLM System for International Production Strategy and Production Development: 1st East Asia Workshop on Industrial Engineering (EAWIE), 査読無, SU22-3 (USB) (2014)

〔学会発表〕(計 20 件)

(1) Masahiro Arakawa, A Study of Modular Design Including Simultaneous Evaluation of Functions of Product and Environmental Characteristics of Parts, The 13th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference 2012 (APIEMS2012), 2012/12/2-5, Phuket (Thailand)

(2) 荒川雅裕, 製品/技術プラットフォームに基づく製品設計・開発支援システムの提案, 生産システム部門研究発表講演会 2013, 日本機械

学会, 2013/3/12, 東京

(3) Masahiro Arakawa, A Multi-Objective Genetic-Algorithm Including Dynamic Control of New Chromosomes for Logistic Problem with Inventory Control, International Symposium on Scheduling 2013, 2013/7/18-20, Tokyo

(4) Masahiro Arakawa, A Multi-Objective Genetic Algorithm for Process Design Including Feasible and Infeasible Solutions in Neighborhood, The 9th International Conference on Optimization: Techniques and Applications (ICOTA9), 2013/12/12-16, Taipei (Taiwan)

(5) Masahiro Arakawa, Algorithm for Process Design in Cell Production Aimed at High Productivity, 2013 Asian Conference of Management Science & Applications, 2013/12/21-23, Kunming (China)

(6) 荒川雅裕, 作業変動を考慮する工程設計法の検討, 第 57 回システム制御情報学会研究発表講演会, システム制御情報学会, 2013/5/15-17, 京都

(7) 荒川雅裕, 混合ラインにおける部品構造・作業の類似性を考慮する工程設計, 平成 25 年度春季研究大会, 日本経営工学会, 2013/5/18-19, 神奈川

(8) 和田拓己, 生産性と安定性向上を目的とするセル生産方式の工程設計法の開発, スケジューリング・シンポジウム 2013, スケジューリング学会, 2013/9/21-22, 名古屋

(9) 荒川雅裕, 混合生産における部品・作業特性を考慮する工程設計法の検討, 平成 25 年度秋季研究大会, 日本経営工学会, 2013/11/16-17, 埼玉

(10) 和田拓己, 生産性と安定性に対する工程設計の研究, 平成 25 年度秋季研究大会, 日本経営工学会, 2013/11/16-17, 埼玉

(11) 和田拓己, 混流生産に対する生産性向上を目的とする工程設計法の開発—作業時間のバラツキとバッファ量による影響—, 生産システム部門研究発表講演会 2014, 日本機械学会, 2014/3/17, 東京

(12) 荒川雅裕, 製品構造と作業の類似性を考慮する工程設計法の開発, 生産システム部門研究発表講演会 2014, 日本機械学会, 2014/3/17, 東京

(13) 荒川雅裕, 混流生産ラインに対する最適工程設計法の提案—生産性に対する多目的問題の解法—, 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会, システム制御情報学会, 2014/5/21-23, 京都

(14) 荒川雅裕, レビュー情報を利用した部品と部品構造の抽出による製品設計法の研究, 日本機械学会 2014 年年次大会, 2014/9/7-10, 東京

(15) 和田拓己, 混合生産における生産性と平準化を目的とする製造ライン設計の研究, 日本機械学会 2014 年年次大会, 2014/9/7-10, 東京

(16) 荒川雅裕, 多目的進化型計算法による平準化を含む生産ライン設計, スケジューリン

グ・シンポジウム 2014, スケジューリング学会, 2014/9/29-30, 富山

(17) 河井智啓, グローバル生産に対する多品種生産の短期立ち上げを実現する作業設計法の研究, 平成 26 年度秋季研究大会, 日本経営工学会, 2014/11/8-9, 神奈川

(18) 和田拓己, 高生産性の平準化とバッファ最小化のための混流生産ラインの設計, 平成 26 年度秋季研究大会, 日本経営工学会, 2014/11/8-9, 神奈川

(19) 和田拓己, 平準化とバッファ容量最小化のための混流生産ラインの設計と評価, 生産システム部門研究講演会 2015, 日本機械学会, 2015/5/16, 神奈川

(20) 和田拓己, 平準化のための混流生産ラインの設計法の開発 - 作業時間と仕掛り在庫量の関係 -, 平成 27 年度春季研究大会, 日本経営工学会, 2015/5/16-17, 東京

#### 【その他】

(1) The Best Paper Award, 2013 Asian Conference of Management Science & Applications (ACMSA2013), Masahiro Arakawa, Takumi Wada: Algorithm for Process Design in Cell Production Aimed at High Productivity, 2013.12.23

#### 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