

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月24日現在

機関番号：	15501
研究種目：	若手研究(B)
研究期間：	2011~2012
課題番号：	23760128
研究課題名（和文）	機械・回路・ソフトウェアの統合モデリングに基づく複合型製品の資 産化支援
研究課題名（英文）	Proposition of an asset-creation method of mechatronics product based on integrated modeling of mechanical-electrical-software
研究代表者	
	古賀 毅 (KOGA TSUYOSHI)
	山口大学・大学院理工学研究科・准教授
	研究者番号： 30431787

研究成果の概要（和文）：近年、自動車や家電・航空機などといった、機械・回路・ソフトウェアが複合する製品において、設計で取り扱う情報が加速度的に高度化・複雑化している。更に、投入市場の多様化に伴い、多種類化する製品群を、多くの設計・生産拠点において同時に開発する必要に迫られており、開発費が急騰している。そこで現状のコード中心の開発を、モデルベースに改革することで、複合製品の構成を整理し、再利用を可能とし、競争力に繋げるための手法を構築した。

研究成果の概要（英文）：Today, the complexity of the mechatronics products e. g. automobile, electric product, and airplane, makes it more difficult that the engineers collaborate each other. In order to manage and control such complexity of product and product development, this research addressed a model-driven approach based on a product model. The product model describes three dimensions: the structure of the product, the function requested by the customer, and the product behavior of the software.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目： 機械工学、設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：メカトロ設計，モデル駆動開発，製品情報モデル，SysML，Modelica

1. 研究開始当初の背景：人工物の複雑化に伴う「すりあわせ型開発」の限界

近年、人工物に対して要求される機能の高度化・複雑化により、設計で取り扱う情報が加速度的に高度化・複雑化している。機械・回路・ソフトウェアから構成される人工物は、複合型製品と呼ばれる。従来、設計者同士の調整で問題を発見し排除する、という「すりあわせ型の開発」が行われているが、この複合型製品を設計開発する方法として、すりあわせに過度に依存した旧来の開発方法では、限界に来ているのではないかと、という声現場から聞かれる状況にある。

そこで本研究では、複合型製品をモデル化し、モデルを用いて開発を効率化する理論および方法論に取り組んだ。初めに、複合型製品の統合設計情報モデルを述べ、次にモデルを用いたモデル駆動型の開発マネジメントを説明する。

2. 研究目的：複合型製品の統合設計情報モデルによる、モデル駆動型の開発マネジメントの実現

本研究課題では、機械・回路・ソフトウェアの設計情報を、統合化された形で陽に記述するモデル（複合型製品の設計情報モデル）を提案し、実際にモデリングが可能なシステ

ムの実装を取り組んだ。複合型製品の設計情報モデルの具体的な内容は、以下1)～3)に示す3種類の設計情報を記述し、統合したモデルである。

- 1) 実体と接続構造、および特性パラメータの依存関係を表現する、構成のモデル（機械の構成に相当）
- 2) モノの流れを、入出力関係と変換機能によって表現する、フローのモデル（回路やシステムに相当）
- 3) 状態と遷移から構成する動的な事象を表現する、システムの挙動のモデル（ソフトウェアに相当）

3. 研究の方法：SysMLとModelicaの統合

研究方法として、最新的手法である SysML (System Modeling Language) および Modelica 言語を統合することを試みた。更に、研究代表者がこれまで研究開発してきた、製品構成の適正化手法を組み込むことで、資産化支援を行った。本分野の最先端は、ソフトウェア由来のモデリング言語である SysML

である。SysMLは、ソフトウェアのオブジェクト指向仕様記述言語である UML (Unified Modeling Language) に対し、若干のハードウェア記述を可能とするよう拡張したものである。一方で、ハードウェアに由来するモデリング言語として、機構/油圧/電気/流体/磁場等の物理現象をモデル化する Modelica が、近年設計現場で活用が進んでいる。そこで初年度は、両者を統合することで、複合製品の機能・仕様を精緻に記述可能なモデル化手法を開発した。

4. 研究成果

研究成果として、複合型製品を表現可能なモデルを構築し、学術論文として公開した。さらに、提案する複合製品モデルに基づき、実際に精緻な統合モデリングが可能なツールのプロトタイプを開発した。主にソフトウェアと機械を表現可能な SysML と、回路を中心に表現可能な Modelica 言語に準拠し、オブジェクト指向言語 Smalltalk を用いて、段階的なモデリング手法を織り込んだツールを開発した。さらに、開発した複合型製品のモデリング・ツールを利用して、複合製品群

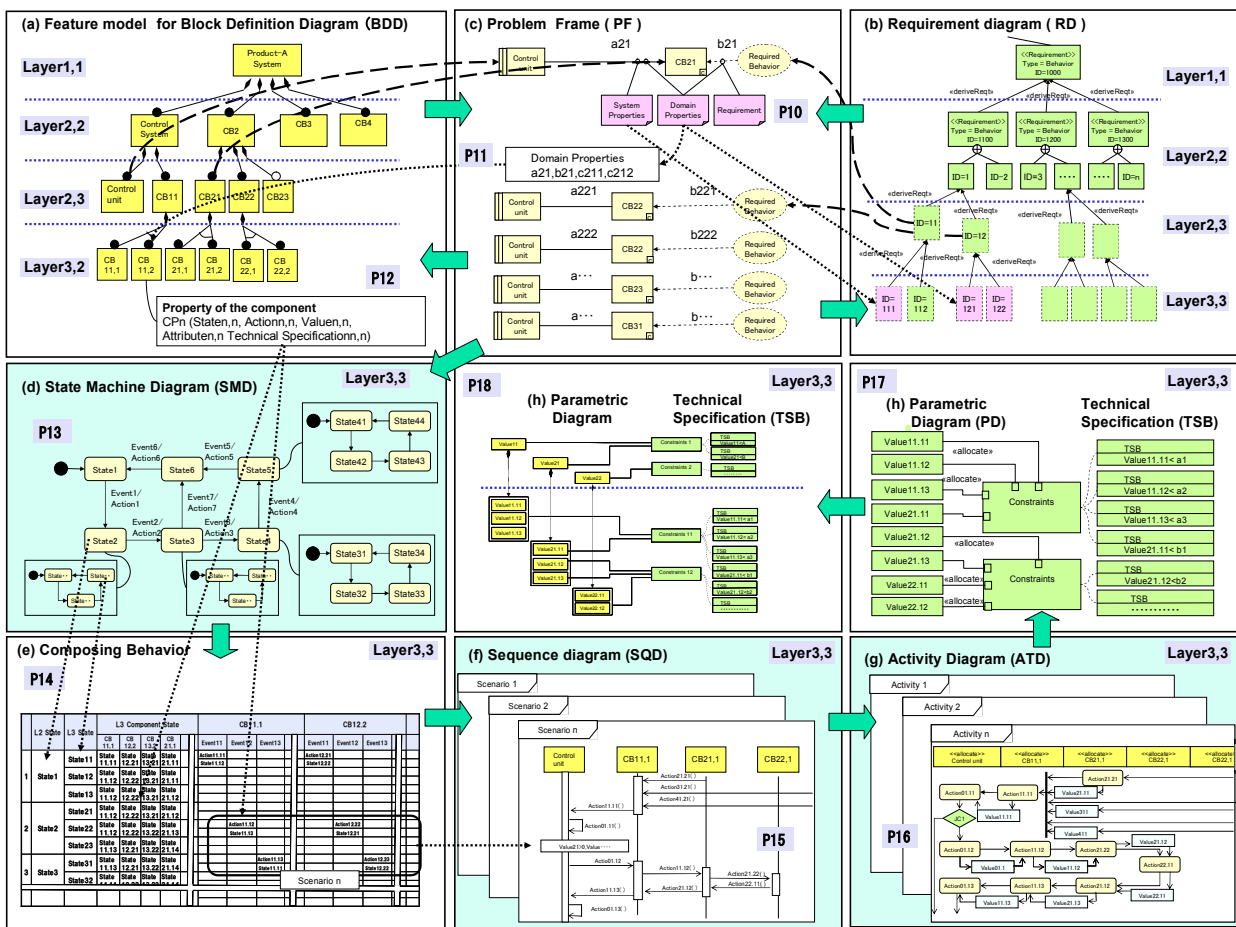


図1. 機械・回路・ソフトウェアが複合する製品の設計手法

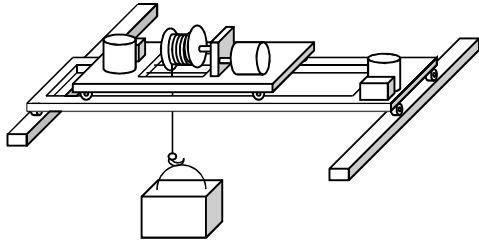


図2. 設計適用事例 (知能クレーン)

(製品系列, 製品ファミリ) の構成を適正化することで, 複合型製品のプラットフォーム化・資産化を支援する手法を構築した.

1) 機械・回路・ソフトウェアが複合する製品の設計手法

図1に, 構築した機械・回路・ソフトウェアが複合する製品の設計手法を示す. 要求図を用いて, 階層に従い要求を展開したのち, フィーチャモデルを利用して構成要素をブロックとして定義する (図1 (a)). 要求図から, サブ要求を取り出し, プロブレムフレーム法に従って部分問題を宣言する (図1 (b)). サブ要求と制御システム, 被制御ド

メインからコンテキスト図を作成し, 必要なドメイン・プロパティを生成する (図1 (c)). 各ドメイン・プロパティより, 能動的なイベントであるアクションやトリガーを抽出し, 背後に存在する状態を洗い出すことで, 状態遷移図として展開する (図1 (d)). 各レベルのコンポーネントごとに, 振る舞いを状態遷移表を用いて解析することで, エラーや漏れ抜け, 重複, 動作タイミングなどといった動作ロジックを確認する (図1 (e)). 各動作ごとにシミュレーションすることで, シーケンス図 (図1 (f)), アクティビティ図 (図1 (g)) を作成し, パラメータ間の関係から技術仕様を満足するかどうか判定する (図1 (h)).

2) インテリジェント・クレーンを題材とした手法の有効性適用検証

設計適用事例として, 知能クレーンの設計を題材に, 構築した手法を適用し, その有効性を検証した.

図2に, 適用対象である知能クレーンの概要を示す. 積み荷を吊り上げ, XYZ 3次元に動作させることが可能なシステムであり,

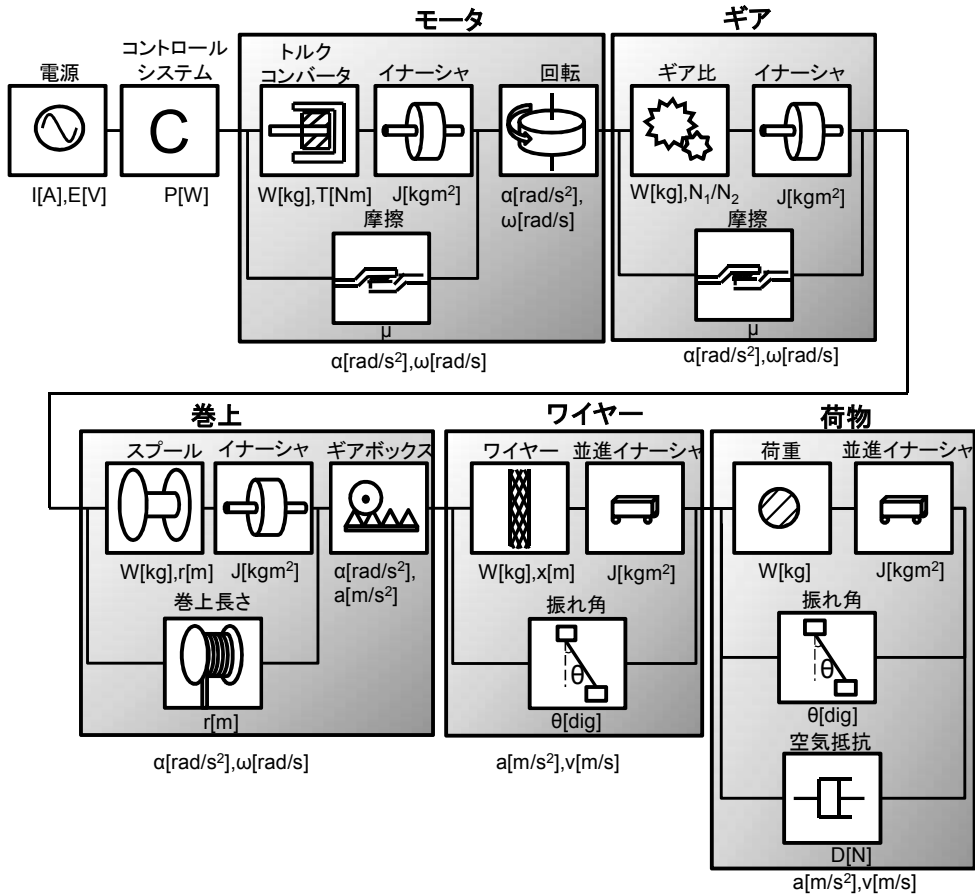


図3. 知能クレーンの機能設計結果

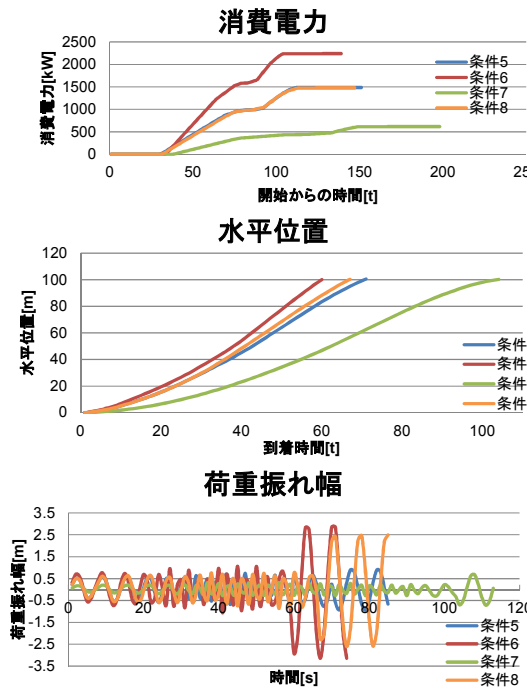


図4. シミュレーションと性能向上

(1) 積み荷の揺れ幅最小化 (2) 経路の最短化 (3) 非常時の安全停止, といった機能が要求されている。

図3に, 知能クレーンの機能設計を行った結果を示す. モータやギア, 巻き上げユニット, ワイヤーなどが, 各力学 (材料・機械力学・振動工学・熱工学) に従う支配方程式によって定義され, お互いの動作が決定する。

図4に, 構築した製品情報モデルのシミュレーション結果を示す. 消費電力, 搬送速度, および安全性の観点から, ソフトウェア・ハードウェア両者の仕様が異なる設計案を比較した結果を示している。

以上の結果は, 経路の変更および積み荷の揺れ幅制御ロジックの変更により, 最適動作が変化し, 最適なモーターの仕様などを求めることが可能となったことを示している. つまり, 複合製品を陽に情報モデルとして定義し, その上で設計を行うことによって, 従来では困難であったソフトウェアとハードウェアの同時段階的な協調設計を容易化した. このことにより, 従来のソフトウェアやハードウェアの個別最適化による設計に比べて, パレート解上に存在しない新たな価値を持つ設計案を創出できたとと言える. よって, 本研究課題で構築した, 複合製品の設計情報モデルおよび設計支援法は, 有効であるという結果を得ることができた, と結論する。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

- (1) 大崎 修平, 春山 繁之, 古賀 毅, 上西 研, 湿潤空気中における Al-Zn-Mg-Cu 合金の水素脆化挙動の調質による変化, Journal of The Japan Institute of Light Metals (査読有), Vol.63, No.2, 2013. 2. 28.
- (2) Tsuyoshi Koga, Ken Kaminishi, Modeling and Simulation of Product Service Systems for Design and Innovation, Journal on Innovation and Management (査読有), Vol. 1, 2013 (accepted).
- (3) 青山 和浩, 石川 朝彦, 古賀 毅, 屋地 靖人, 伊藤 邦春, 森 純一, 操業知識管理のための鋼の連続鋳造プロセスのモデリング, 日本機械学会論文集 C 編 (査読有), Vol. 78, No. 796, pp.14-26, (2012-12).
- (4) 江口隆夫, 古賀 毅, 青山和浩, 設計妥当性検証のための段階的な製品情報モデルの定義手法の提案, 日本機械学会論文集 C 編 (査読有), Vol. 78, No. 793, 3289-3304, 2012.
- (5) Kazuhiro Aoyama, Wu Chen Xi, Tomohiko Ishikawa and Tsuyoshi Koga, Development of Disassembling Module Design System for Ship-breaking Planning, Journal of SOBENA Marine Systems & Ocean Technology (査読有), (2012).
- (6) 原 辰徳, 嶋田 敏, 古賀 毅, 青山 和浩, 倉田 陽平, 矢部 直人, 本保 芳明, 浅野 武富, 加藤誠: 訪日外国人に対する観光旅行サービスの企画支援に向けて～旅行者と旅行会社の立場からみた観光情報の分解と構成～, 特集「観光とサービス工学/科学」, 観光と情報 (査読有), Vol. 7, No. 1, pp. 29-46, (2011).
- (7) 原辰徳, 古賀 毅, 青山和浩, 倉田陽平, 矢部直人, 本保芳明, 浅野武富, 加藤誠: 訪日外国人に対する観光旅行サービスの高度化に関する研究構想～サービス科学の研究基盤構築に向けた好題材として～, 観光科学研究 (査読有), Vol. 4, pp. 113-121, (2011).

[学会発表] (計32件)

- ① Tsuyoshi Koga and Ken Kaminishi, Modeling and Simulation of Product Service Systems For Design and Innovation, Proceedings of the 9th International Conference on Innovation & Management, November 14-16, 2012, Eindhoven, Netherlands. (査読有)
- ② Tsuyoshi Koga and Ken Kaminishi, PROCESS OF DESIGNING CREATIVE PRODUCT SERVICE SYSTEMS, Proc. of the Malaysia Japan International Institute Technology Joint Symposium,

- November 21-23, 2012, Kuala Lumpur Malaysia. (査読有)
- ③ T. Kasamatsu, T. Koga, K. Kaminisi, Modeling and Visualization of Product-Service Systems for Success of Business, Proceedings of the 4th CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems, Tokyo, Japan, November 8th - 9th, 2012. (査読有)
- ④ Tsuyoshi Koga, Planning Method and Processes for Realizing new Product-Service-Systems, Proceedings of the 12th Design Engineering Workshop, pp. 29-34, September 25-26, 2012, Seoul, Korea. (査読有)
- ⑤ Takao Eguchi, Tsuyoshi Koga and Kazuhiro Aoyama, MANAGEMENT OF RELATIONSHIPS BETWEEN PRODUCT INFORMATION ON MODEL BASED DESIGN PROCESS, 14TH INTERNATIONAL DEPENDENCY AND STRUCTURE MODELLING CONFERENCE, DSM' 12, KYOTO, JAPAN, SEPTEMBER 13-14, 2012. (査読有)
- ⑥ Daisuke Yonehara, Yukio Fukuyama, Tsuyoshi Koga, and Ken Kaminisi, Topological Structure Design with Bio-Inspiration, Proceedings of the 11th Design Engineering Workshop, pp. 59-62, November 24-26, 2011, Tosu, Japan.
- ⑦ Yusuke Odoh, Tatsuya Kasamatsu, Tsuyoshi Koga, and Ken Kaminisi, Proposition of System Model for Representation of Function, Structure, and Behavior of Mechatronics Product, Proceedings of the 11th Design Engineering Workshop. pp. 29-34, November 24-26, 2011, Tosu, Japan. (査読有)
- ⑧ Yusuke Odoh, Tatsuya Kasamatsu, Tsuyoshi Koga, and Ken Kaminisi, Development of Concurrent Engineering Tool for Early Design of Mechatronics Product, Proceedings of the 8th International Conference on Innovation & Management, 210-215, November 30, 2011, Kita-Kyushu, Japan. (査読有)
- ⑨ Tatsuya Kasamatsu, Yusuke Odoh, Tsuyoshi Koga, and Ken Kaminisi, Development of Design Tool of Business System via Modeling and Visualization, Proceedings of the 8th International Conference on Innovation & Management, November 30, 2011, Kita-Kyushu, Japan. (査読有)
- ⑩ Tadashi Gotoh, Takao Eguchi, Tsuyoshi Koga, and Kazuhiro Aoyama, Requirement Model for Mechanical, Electrical and Software Integrated Products Using SysML, Proceedings of the 8th International Conference on Innovation & Management, 956-964, November 30, 2011, Kita-Kyushu, Japan. (査読有)
- ⑪ Daisuke Yonehara, Yukio Fukuyama, Tsuyoshi Koga, and Ken Kaminisi, Biomimicry for Design of Topological Structure, Proceedings of the 3rd International Symposium on Digital Manufacturing 2011, pp. 35-40, November 29 - December 2, 2011, Kita-kyushu, Fukuoka, Japan. (査読有)
- ⑫ Yukio Fukuyama, Daisuke Yonehara, Tsuyoshi Koga, and Ken Kaminisi, Topological Synthesis based on Step-by-step Decomposition, Proceedings of the 3rd International Symposium on Digital Manufacturing 2011, pp. 303-309, November 29 - December 2, 2011, Kita-kyushu, Fukuoka, Japan. (査読有)
- ⑬ Kazuya Oizumi, Naoto Yoshie, Tsuyoshi Koga, and Kazuhiro Aoyama, MANAGEMENT OF PRODUCT DEVELOPMENT PROJECTS THROUGH INTEGRATED MODELING OF PRODUCT AND PROCESS INFORMATION, Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED11), DS68 3-393 (CD-ROM), 15-18, August 2011, Technical University of Denmark, Denmark. (査読有)
- ⑭ 村田 秀則, 岩田 剛治, 佐藤 了平, 森永 英二, 古賀 毅, システムデザイン手法フレームワーク SDSI-Cubic に関する研究-システムデザインワークフローの自動構築-日本機械学会 第22回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 3204, 2012.9.26-28, 広島.
- ⑮ 中野 高聖, 古賀 毅, マルチドメインの設計探索のための製品機能と構造に着目した設計プロセスの導出, 日本機械学会 第22回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 3202, 2012.9.26-28, 広島.
- ⑯ 米原 大介, 古賀 毅, バイオミミクリーによる構造発想支援 第二報: 節構造がオイラー座屈に与える影響, 日本機械学会 第22回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 2109, 2012.9.26-28, 広島.
- ⑰ 尾藤 優介, 古賀 毅, Modelica と SysML の統合による企画設計支援, 日本機械学会 第22回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 2110, 2012.9.26-28, 広島.
- ⑱ 古賀 毅, 大崎 修平, 春山 繁之, 上西 研水素エネルギー社会に向けたアルミニウム合金の水素環境脆化のメカニズム分析, 日本機械学会 第22回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 3411, 2012.9.26-28, 広島.
- ⑲ 米原 大介, 古賀 毅, バイオミミクリーによる構造発想支援, 2012年度精密工学会秋季大

会学術講演会 講演論文集, 2012. 9. 14-16, 北九州市.

- ⑳青山 和浩, 澤田 崇弘, 古賀 毅, 屋地 靖人, 森 純一, 操業知識マネジメントにおけるトラブル報告書のテキストマイニングに関する研究, 日本機械学会 2012 年度年次大会 講演論文集, 2012. 9. 9-12, 金沢大学, 金沢
- ㉑. 米原 大介, 福山 幸男, 古賀 毅, 上西 研, バイオミクラーに基づく構造発想支援, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 137-141, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉒尾藤 優介, 笠松 達也, 古賀 毅, 上西 研, メカトロ製品の開発初期段階における協調設計支援ツールの開発, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 287-292, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉓福山 幸男, 米原 大介, 古賀 毅, 上西 研, 位相構造の段階的詳細化に基づく設計支援, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 293-297, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉔笠松 達也, 尾藤 優介, 古賀 毅, 上西 研, モデリングと可視化に基づくビジネスシステムの設計ツールの開発, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 577-582, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉕古賀 毅, 尾野 航, 平尾 彰啓, 青山 和浩, 製品設計におけるシステムズアプローチの計算機支援に関する研究, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 26-31, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉖大泉 和也, 北島 圭, 古賀 毅, 青山 和浩, 機能構造展開を利用した製品開発プロジェクトのマネジメントに関する研究, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 38-43, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉗青山 和浩, 石川 朝彦, 古賀 毅, 屋地 靖人, 伊藤 邦春, 森 純一, 操業知識管理のための鋼の連続鋳造プロセスのモデリング, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 254-259, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉘目黒 陽平, 大泉 和也, 古賀 毅, 青山 和浩, 制約条件を考慮した観光旅行サービスのモデリングに関する研究, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 399-402, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉙江口 隆夫, 古賀 毅, 青山 和浩, 段階的な設計における要求と挙動の詳細化手法の提案, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 275-280, 2011 年 10 月

21-23 日, 米沢.

- ㉚後藤 禎, 古賀 毅, 青山 和浩, 要求モデルを用いた多様な要求の反映方法, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, pp. 281-286, 2011 年 10 月 21-23 日, 米沢.
- ㉛ Tsuyoshi Koga, Tatsunori Hara, Yoshinori Taniguchi, Kazuhiro Aoyama, and Tamio Arai, 'Present Situation of Customer Participation in Service Design and Production -Interviewing Tour Agent, Airline, and Elevator Maintenance Company-, 'Proceedings of the 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems (Functional Thinking for Value Creation, Springer, ISBN 978-3-642-19688-1), pp. 320-325, Braunschweig, 2011. 5. 5-6 (査読有)
- ㉜大泉和也, 古賀 毅, 青山和浩, '海運物流に対する国際法規制の導入による温室効果ガス削減効果の推定', 日本船舶海洋工学会 平成 23 年春季講演会 講演資料集, 2011 年 5 月 19 日, 福岡県中小企業振興センター, 福岡.
- [図書] (計 2 件)
- ①MIT Press, Design Structure Matrix Methods and Applications, by Steven Eppinger, Tyson Browning (Tsuyoshi Koga: 9. 10 4G Mobile Phone LSI Chip Design), ISBN-13: 978-0-262-01752-7, June 2012.
- ②朝倉書店, サービス工学 51 の方法と実践, (古賀 毅: 3. 4 「製品サービスシステムの設計とモジュール化」) pp. 153-162, ISBN-978-4-254-27019-8, 2012.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者 :
古賀 毅 (山口大学・大学院工学系研究科・准教授)
研究者番号 : 3 0 4 3 1 7 8 7
- (2) 研究分担者
()
研究者番号 :
- (3) 連携研究者
()
研究者番号 :