

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510206

研究課題名(和文)生産座席方式を用いた多品種受注設計生産システムに関する研究

研究課題名(英文)A Study on Sales-production Support System Using "Production Seats" for Engineer-to-Order Companies

研究代表者

翁 嘉華 (Weng, jiahua)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号：40367040

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、多品種個別受注生産を行う企業が抱えている、仕様変更多発及び莫大な部品在庫問題に対して、顧客に対し正確な製品機能仕様や納期を回答可能な、営業支援用の生産座席システムを開発した。具体的には、製品機能仕様を正確に提案できるよう、顧客要求を定義し、要求の矛盾や情報の過不足を検出・修正できるシステムを開発した。また、製品機能仕様と構成部品の要素機能との関係を明らかにした上で部品材料・在庫コストの低減可能な、製品需要の部品所要量への展開方法、既存部品の共通化方法、及び生産座席枠の作成方法を開発した。また、事例や数値実験により、本提案が仕様変更及び部品在庫コストを低減できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：To solve the problems of frequent specification changes and large parts inventory in Engineer-to-order companies, a support system using "production seats" is developed for the sales department to accurately propose product specifications and for production department to prepare parts in advance. Usually, production seats are prepared for each single product. However, this seat unit is not practical for the ETO companies because they need to provide enormous types of products for individual customers. Therefore we propose to use the product functional specification items to prepare production seats. To achieve this aim, customer requirements and product functional specifications are abstracted. Parts demand calculation methods are also developed by using the seats information of product functional specification items. The effects of the support system on decreasing specification changes and parts inventory are confirmed by numerical calculations and a case study on drilling machines.

研究分野：生産工学

キーワード：個別受注生産 顧客要求仕様 製品機能仕様 部品要素機能仕様 生産座席

1. 研究開始当初の背景

海外生産移転が進展しているにも関わらず、高度な技術を海外に流失させないように国内生産の維持に努める企業がある。これらの企業は、顧客サービス率を一定水準に保つ為に、多品種少量注文でも短納期で応えられるよう、製品の設計から生産迄の一貫サービスを顧客に提供している。

(1)しかし、多種多様の注文に対して迅速に見積を提示しなければ成らない為、検討不十分な見積案を提案し、受注後に仕様変更が頻繁に起こり、結果的に赤字受注となってしまう事態が少なからず発生している。

(2)また、短納期対応のため、仕様確定前に生産準備をしなければならず、このため事前に膨大な種類の部品を用意する必要があり、膨大な部品在庫コストを要することが問題となっている。

2. 研究の目的

そこで本研究は、営業・設計・生産部門間の連携をスムーズに行い、短時間に見積及び生産準備が可能となる営業支援システムを開発する。その際に、飛行機や新幹線の座席予約という考え方を活用し、営業用の生産座席システムを構築することを研究目的とする。また、従来の生産座席システムは生産能力の予約に着眼しているのに対して、本研究では生産の効率を考えながら営業支援の生産座席システムを開発することを特徴としている。具体的には、

(1)まずは、基本設計として、正確に製品仕様の提案ができるように、顧客要求を定義し、顧客要求の矛盾や要求情報の過不足を検出できるシステムを開発する。

(2)次に、製品機能仕様と構成部品の要素機能との関係を明らかにし、その上で、部品在庫コストを減らすことを目的とする製品需要の部品所要量への展開方法と、部品標準化方法を開発する。

(3)最後に、正確に顧客に製品仕様や納期を回答できるように、営業支援用の生産座席システムの作成方法を提案する。

3. 研究の方法

(1)顧客の製品への要求(以下要求仕様)を定義するためには、工作機械メーカー及びそれらの製品を用いて生産活動を行う企業等から、製品(工作機械)に関する仕様項目を調査する。また、顧客が何故、製品(機械・設備)を必要とするのかを5W1H(何時・何処で・何の為・誰か・どのように機械を使いたい)の観点で考え、要求仕様表現項目の候補をリストアップする。また、穴開け加工機を例に提案した要求仕様項目の妥当性を専門家へのヒヤリングによって検証する。

(2)製品機能(以下、動作機能)と部品機能(以下、要素機能)との関係を明らかにするためには、切削技術や工作機械の原理に関連する資料を調査するが、今回は穴開け加工に限定し、動作機能項目、要素機能項目、それらの項目間の関係を明らかにする。

(3)顧客の要求を漏れなく聞き出したか、要求に矛盾がないかを、引き合い段階で検出できるようにするためには、顧客の要求機能値から製品動作機能値を求める必要がある。従って、この問題を制約充足問題として解き、自動的に計算できる機構を実装する。

(4)短納期で超多品種の製品を提供可能とするため、企業は膨大な製品仕様を予め用意しようとする場合がある。しかし、この場合膨大な部品を事前に用意することに繋がる。そこで、売価をアップすることなく上位機能値の製品を提案できれば顧客を満足させることができると考え、事前に用意する製品仕様数を減らすことを試みる。製品動作仕様項目毎に存在する多様な項目値に対して、どの値を削除するかを決定する問題を、部品在庫コスト低減と部品コスト上昇抑制の両方を評価して決定できるアルゴリズムを開発する。

(5)製品の動作機能項目値(例えばX軸最大移動速度が12000mm/分)を發揮させる部品構成が複数あることに着目し、製品の動作機能項目値毎の需要量をどの部品に展開すれば部品在庫コストを減らせるかを、組み合わせ問題として解く。短時間で多大な組み合わせを探索するため、部品種類毎の過去累積平均との乖離が小さくなるように展開できるアルゴリズムを開発する。

(6)また、対象製品の場合、性能値が上位の部品が、下位部品の性能値を充たせることに着目し、既存部品全種類ではなく、その一部を用意すれば、製品の動作機能を發揮することができ、且つ、部品の在庫コストを減らせることを証明する。ただし、上位部品にすることにより部品コストが上昇することがあるので、どの仕様値の部品を用意リストに残すか、即ち、既存部品の共通化を行う。この問題は組み合わせ問題で計算量が多いため、メタヒューリスティクスを用いたアルゴリズムを開発する。

(7)顧客に製品仕様及び納期を正確に且つ即答できるように、営業支援用の生産座席システムの構築を行う。対象製品の場合、製品動作機能項目が多く、また製品動作機能項目毎に多種類の値が存在するため、期毎に、製品動作機能項目値毎に座席(提供可能台数)を用意することは膨大なデータ表になり実用的ではない。このため、生産座席枠の単位と、生産側のコスト及び営業側の売上との関係を調べる上で、期待利益が最大となる生産座

席枠単位を設定する。この決定問題も大規模な組み合わせ問題であるため、メタヒューリスティクスを用いた作成アルゴリズムを開発する。

4. 研究成果

(1) 研究の方法(1)(2)に従って、対象製品（工作機械等）に対して、顧客の製品に対する要求を表現する「要求仕様」項目を設計した。また、対象製品の機能を示す「動作機能仕様」項目も定義した。更に、穴開け加工機を例に、要求仕様項目と製品動作仕様項目との関係（以下は製品機能モデル）を明らかにした。穴開け加工機を例として開発した製品動作仕様項目、要求仕様項目と、それら仕様間の変換機構については、専門家へのインタビューによって妥当性を確認した。また、これらの仕様項目の定義を行うことによって、顧客からの必要情報の聞き漏れを防ぐことができ、結果的に顧客への見積提案期間を短縮できることを実証した（図1）。

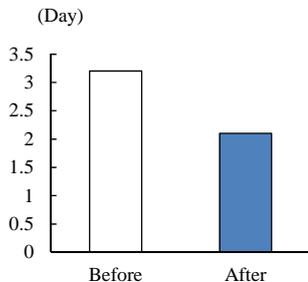


図1 提案前後の平均見積日数

(2) 研究成果(1)をベースに、以下2つの処理機構を開発した：①企業側が予め設定されている（既に基本設計が完了した）製品機能仕様値では対応できない用途仕様項目値の検出、及び修正ガイドシステム②実現できる用途仕様値に対して、企業側が設定している基準仕様値との乖離が最小となるような製品仕様値の決定方法。

また、B社での調査により、これらの処理機構の開発により、当該企業の仕様変更理由の内、「顧客要求の確認漏れ」(38%)、「実現困難な要求仕様」(14%)を発見することができ、事前に仕様変更を防げることを確認した。

(3) 部品材料費と部品在庫コストを合わせた総コストの低減を目的関数とした、製品動作機能項目値の設定アルゴリズムを開発した。また、穴開け加工機を例に、製品動作機能値の削減によって、部品種類を7割弱減らせることや、部品材料と在庫の総コストを約6%低減できることを数値実験より検証をした(表1)。

表1 提案による製品仕様

	部品仕様数	部品コスト	在庫量	在庫コスト	総コスト
現状	797	36,491,065	22,833	10,054,518	46,545,583
提案方式	248	37,850,348	14,214	5,840,898	43,703,346

(4) 製品の需要変動が大きい中で、現状の製品種類毎に専用部品を用意する方法は、多様な部品を用意しなければならず部品在庫コストが拡大することに繋がることを指摘し、部品在庫コストの低減を目指す、既存部品の共通化方法を提案した。具体的には、「上位性能は下位性能の要求を満たす」、「特定の製品仕様を充たす部品仕様の組み合わせは複数例存在する」という対象製品の特徴を生かし、部品種類毎の既存仕様値の削減方法を提案し、部品材料及び在庫の総コストを削減できることを確認した（図2、この試算例の場合約9%の削減ができた）。

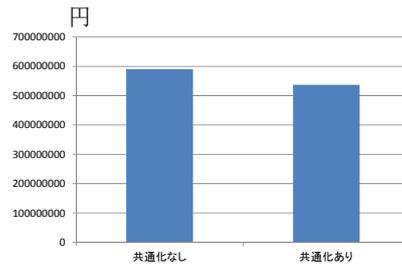


図2 部品共通化の効果

(5) 製品の機能・性能を満たせる部品の組み合わせが複数あることに着目し、部品所要量の変動を抑えることを目的とした製品需要展開先部品の選択方式（以下展開先選択方式）を提案し、その効果を確認した。具体的には、製品が持つ機能・性能と、部品が持つ機能との関係を明らかにし、予め決められた部品以外に代替できる部品候補が複数あることを示した。その上で、需要展開先部品を選択する際に、過去の累積部品所要量の平均との乖離を最小にする部品選択ロジックを開発し、数値実験により、部品所要量変動の低減や、部品安全在庫コストの削減に効果があることを確認した（図3）。

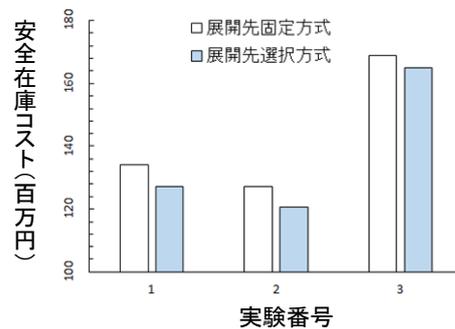


図3 部品展開先選択方式の効果

(6) 従来では、生産座席システムは生産側の生産能力確保を目的として設計したのに対して、本研究は営業支援を目的とした生産座席システムを開発した。また、従来では一つの座席には一つの製品品種しか対応できないのに対して、本研究は、対応可能な膨大な製品品種群をグループ（製品動作機能項目・

値の組み合わせの視点で作成)に分け、グループ単位で対応する生産座席を設定する方法(即ち、ある生産座席は指定されたグループ内のどの製品品種にも対応できること)を提案した。数値実験により、製品毎に座席を用意する方式より、高い期待利益を得られることを確認した。更に、提案法の効果を、対象製品群の部品共通率と需要変動率という2つの生産環境で考察し、提案法には有効範囲が存在することを明確にした(図4、図5)。なお、図4と図5に示している比較対象の基準方式は、製品単位で座席を設定する方式である。

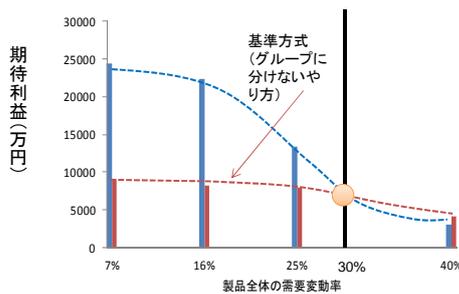


図4 製品全体需要変動率と期待利益との関係

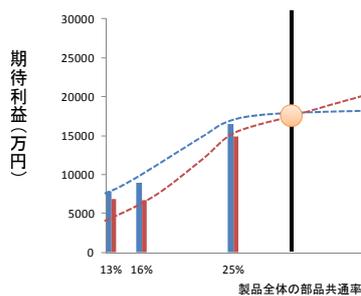


図5 製品部品共通率と期待利益との関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計12件)

- ① J.Weng, S.Akasaka, H.Atsushi, H.Onari, A Study on Value Setting of Product Functional Specifications with Consideration of Parts and Inventory Costs for Engineer-to-Order Production, Asian J. of Management Science and Applications, 査読あり、2015印刷中
- ② 赤坂信悟、翁嘉華、内藤進也、京野英貴、大成尚、部品仕込製品受注生産における部品需要変動を低減するための部品共通化方法の研究、日本経営工学会春季大会予稿集、査読なし、Vol.2015、2015、pp.192-193
- ③ 翁嘉華、赤坂信悟、部品仕込製品受注生産における部品所要量変動制御方法に関する研究、日本生産管理学会第41回

全国大会論文集、査読なし、2015、pp.125-128

- ④ 赤坂信悟、翁嘉華、大成尚、ETO 生産における製品機能モデルに関する研究、日本経営工学会論文誌、査読あり、Vol.66、No.1、2015、pp.59-66
- ⑤ S.Akasaka, J.Weng and H.Onari, A Proposal of Product Functional Structure Model for Engineer-to-Order Production, Proceedings of the 1st East Asia Workshop on Industrial Engineering, 査読あり、2014、CD-ROM収録
- ⑥ 赤坂信悟、翁嘉華、太田将志、大成尚、ETO 生産における製品機能構造モデルに関する研究、査読なし、日本経営工学会春季大会予稿集、Vol.2014、2014、pp.34-35
- ⑦ 福村莉慶、翁嘉華、赤坂信悟、大成尚、ドリル式穴明け加工機の個別受注仕様決定に用いる製品機能構造モデルの設計、日本経営工学会春季大会予稿集、査読なし、Vol.2014、2014、pp.32-33
- ⑧ J.Weng, S.Akasaka, H.Onari, A Study on Production Seat Planning for Make-to-Order Production with Make-to-Stock Parts, Proceedings of the 12th International Conference of Decision Sciences Institute and the 18th Annual Conference of Asia-Pacific Decision Sciences Institute, 査読あり、2013、pp.668-674
- ⑨ 翁嘉華、大久保寛基、赤坂信吾、生産座席方式に用いる製品グループ設定に関する研究、日本生産管理学会論文誌、査読あり、Vol.20、No.2、2013、pp.19-28
- ⑩ J.Weng, S.Akasaka, H.Onari, Acquiring Orders using Requirement Specifications for Engineer-to-Order Production, 日本経営工学会論文誌、査読あり、Vol.64、No.4E、2014、pp.620-627
- ⑪ J.Weng, S.Akasaka, H.Onari, A Study on Customer Requirements and Product Specifications for Engineer-to-Order Production, Proceedings of the 2nd Asian Conference of Management Science & Applications, 査読あり、2012、pp.164-169
- ⑫ 翁嘉華、赤坂信悟、大久保寛基、座席予約方式に用いる製品グループ設定に関する一考察、第36回日本生産管理学会全国大会講演論文集、査読なし、Vol.2012、2012、pp.193-196

[学会発表] (計10件)

- ① 赤坂信悟、翁嘉華、内藤進也、京野英貴、大成尚、部品仕込製品受注生産における部品需要変動を低減するための部品共通化方法の研究、日本経営工学会春季大会、2015.5.17、東京都八王子市

- ② 翁嘉華、赤坂信悟、部品仕込製品受注生産における部品所要量変動制御方法に関する研究、日本生産管理学会第 41 回全国大会、2015.3.15、福岡県福岡市
- ③ S.Akasaka, J.Weng and H.Onari, A Proposal of Product Functional Structure Model for Engineer-to-Order Production, The 1st East Asia Workshop on Industrial Engineering, 2014.11.9, 広島県広島市
- ④ J.Weng, S.Akasaka, H.Onari, A Support System for Accurately Determining Functional Specifications of Engineer-to-Order Products at Quotation Stage, Proceedings of the 13th International Conference of Decision Sciences Institute and the 19th Annual Conference of Asia-Pacific Decision Sciences Institute, 2014.7.19、横浜、神奈川県
- ⑤ 赤坂信悟、翁嘉華、太田将志、大成尚、ETO 生産における製品機能構造モデルに関する研究、日本経営工学会春季大会、2014.5.17、千葉県野田市
- ⑥ 福村莉慶、翁嘉華、赤坂信悟、大成尚、ドリル式穴明け加工機の個別受注仕様の決定に用いる製品機能構造モデルの設計、日本経営工学会春季大会、2014.5.17、千葉県野田市
- ⑦ J.Weng, S.Akasaka, H.Onari, A Support System for Determining Production Functional Specifications in Engineer-to-Order Environment, The 3rd Asian Conference of Management Science & Applications, 2013.12.22、雲南省昆明市、中国
- ⑧ J.Weng, S.Akasaka, H.Onari, A Study on Production Seat Planning for Make-to-Order Production with Make-to-Stock Parts, The 12th International Conference of Decision Sciences Institute and the 18th Annual Conference of Asia-Pacific Decision Sciences Institute, 2013.7.11、バリ島、インドネシア
- ⑨ J.Weng, S.Akasaka, H.Onari, A Study on Customer Requirements and Product Specifications for Engineer-to-Order Production, The 2nd Asian Conference of Management Science & Applications, 2012.9.8, 四川省成都市、中国
- ⑩ 翁嘉華、赤坂信悟、大久保寛基、座席予約方式に用いる製品グループ設定に関する一考察、第 36 回日本生産管理学会全国大会、2012.9.9、広島県広島市

6. 研究組織

(1)研究代表者

翁 嘉華 (Weng, Jiahua)
早稲田大学・創造理工研究科・助教
研究者番号：40367040

(2)連携研究者

大成 尚 (Onari, Hisashi)
早稲田大学・創造理工研究科・教授
研究者番号：60277853

大久保 寛基 (Okubo, Hiroki)
東京都市大学・創造理工研究科・准教授
研究者番号：10350464