

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04620

研究課題名(和文)個別受注設計生産における「生産座席」を用いた新生産方式の開発

研究課題名(英文)A New Operating System Applying the Concept of "Production Seat Booking System" for Engineer-to-Order Production

研究代表者

翁 嘉華 (Weng, Jiahua)

神奈川大学・工学部・准教授

研究者番号：40367040

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)：本研究は、「生産座席」の概念を、超多品種個別受注設計生産に導入し、部品過不足による失注及び莫大な在庫問題の解決を目指す。具体的に、製品単位で「座席」を用意する従来方式の代わりに、製品の機能・性能を表す「機能項目・性能区分」項目で生産座席(=受注予約枠)を設定することを提案し、超多品種でも座席方式を適用可能にした。また、市場動向や座席毎の受注確率等の情報を活用した部品所要量見積方式を提案し、部品消費実績を基に見積る方式に比べ、部品の過不足を低減できることを確認した。その上、手配済部品の効率的な利用を考慮した「座席」設定方法を提案し、失注及び部品在庫を低減できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

見込み生産や少品種の受注生産にしか生産座席方式が適用できていない現状に対して、製品「機能項目・性能区分」単位で座席を定義することを提案し、超多品種でも座席方式を適用できるようにした点では、学術的に意義がある。また、部品消費実績の代わりに引き合い情報を活用した部品手配量見積法を提案し、その上、手配済み部品の活用を考慮した予約座席の設定方法を提案し、座席方式を用いない受注方式に比べ、失注と在庫両方を低減できることを数値実験で確認した。当方式の利用によって、対象企業が抱えている部品過不足による失注及び膨大な部品在庫問題を解決可能なこと示せたことで、産学両方にとって意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on engineer-to-order (ETO) manufacturing firms which need to provide customized products in short due date. Because parts need to be readied before orders arrive, high parts inventory and low order-received rates always form the bottleneck to efficiency. To solve this problem, a new operating system applying the concept of "production seat booking system" is developed. Order-receiving schedule of each product functional specification items are represented as "seats", such that salespeople can easily check whether a vacant seat is available and then quote an accurate delivery due date to their customers. Methods of preparing parts by using the future inquiry information, and predetermining order-receiving plan to utilize the available parts are proposed. The effect of the proposed operating system on both increased orders and reduced parts inventory are confirmed.

研究分野：社会システム工学・安全システム

キーワード：個別受注設計生産 生産座席 Engineer-to-order

1. 研究開始当初の背景

産業設備は日本の製造業の基盤であり、今まで世界を牽引してきたが、近年、新興国の発展によってその地位が動揺している。国際的競争力を増す為には、国内外からの多様な注文を短納期で対応する体制の構築が必要で、超多品種個別受注設計生産でも高い生産効率を維持する必要がある。現在、短納期対応のため、調達リードタイムが長い部品を受注前に手配する必要があるが、用意した部品と実際に必要な部品との乖離が常に存在する。その結果、部品過不足による失注や大量在庫が多発し、機会損失及び製造コストの割高が産業設備メーカーの経営を圧迫している。

2. 研究の目的

上記問題を解決するために、申請者らの先行研究で、交通機関の切符予約のように生産能力を事前に予約する目的で開発された生産座席方式の導入を提案した[1]。しかし、先行研究では製品グループ単位で座席を用意しており、グループ内での品種の注文が来ても対応できるように部品を用意しないと行けないため、共通部品以外の部品在庫を低減することができない。また、先行研究は生産座席の枠数が与えられていることを前提としていて、座席数の設定については検討していない。従って、本研究は、生産座席の設定とその利用方法の開発に焦点を当て、失注率及び部品在庫の低減を図る。

3. 研究の方法

(1)生産座席数の設定及び運用方法の基本設計を行う。具体的には、将来の市場動向等の情報を用いて生産能力（月次生産座席総枠数）を設定する。また、従来の製品単位や製品グループ単位で座席を設定する代わりに、製品の機能・性能を表す「機能項目・性能区分」単位で座席を定義することを提案する。また、工作機械を例に、協力企業へのヒアリング等により、製品「機能項目・性能区分」単位で6ヶ月先の需要予測が可能であることを確認する。その上で、営業部門が所有する顧客との商談情報などを活用した部品所要量見積法を提案し、従来の部品消費実績を参照して所要量を見積る方法より、部品の過不足を低減できることを検証する。

(2)用意した生産能力及び部品在庫・入庫予定量を限度に、受注量の最大化を目的とした座席設定アルゴリズムを開発するが、その際に、必要部品の過不足に着目し、欠品のため前期に設定した座席数を達成できなかった製品「機能項目・性能区分」を特定し、その区分（もしくは複数機能項目・性能区分の組合せ）に対応可能な部品代替案を探索する。ただし、図1に示したように、部品と製品機能項目との関係は、必ずしも1対1の関係ではない為、効率的に代替案を探索する必要がある。従って、部品種類（例えば、モーターやボールネジ）毎に、その部品種類の各タイプ（例えば最大回転速度が1000回転/分のモーター）に対して、どの「機能項目・性能区分」又は「機能項目・性能区分」の組合せの代替案として使用可能かという観点から、部品仕様を迅速に探索できる仕組みを開発する。

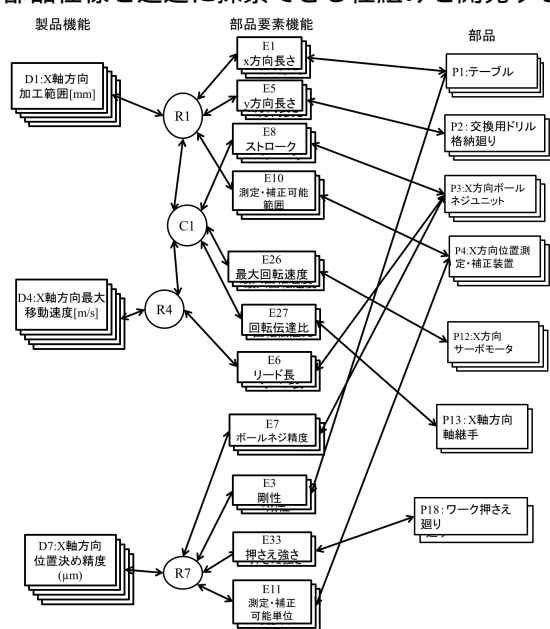


図1 部品と製品機能仕様との関係図（一部抜粋）

(3) 製品「機能項目・性能区分」で定義した生産座席の座席数設定方法を提案する。具体的には、複数期間（12週）の部品流用まで考慮できる、数分程度の実用時間内で良い解を見出せる座席設定アルゴリズムを開発する。

(4)受注案件の座席への引当方法を検証する。単純な先入れ先出し方式で座席の引当方法と希望納期が同じ案件を纏めて引当てる方法の比較検討を行う。その際に、希望納期が属する週に、当該注文の全ての「機能項目・性能区分」に空き席があれば、受注が成立する。空き席がなければ、希望納期の前の期を遡って空き席を確認し、席があれば受注し、なければ失注とする。

4. 研究成果

(1)対象製品の中長期（3~6ヶ月先）需要が予測可能なことを明らかにした。このため、調

達リードタイムが長い部品に対して、将来の月単位の受注可能量と「機能項目・性能区分」毎の受注確率の情報をベースに、部品所要量の見積方法を提案した。具体的には、各種部

品と製品機能項目・性能区分との関係を整理し、部品を次に示す4つのタイプに分類し、それぞれの部品所要量展開式を開発した。単機能・専用部品（一つの製品機能項目かつ一つの性能区分のみに使用する部品）、単機能・共通部品（一つの製品機能項目にしか関連しないが、複数の性能区分に使用する部品）、多機能・専用部品（複数の製品機能項目に関連するが、ひとつの製品機能項目・性能区分の組み合わせのみに使用する部品）、多機能・共通部品（複数の製品機能項目に関連し、かつ、複数の製品機能項目・性能区分の組み合わせに使用する部品）。

提案部品見積法の効果を検証するために、長期需要予測誤差(1)を変化させ、また生産座席は短期需要予測情報を基に作成することを考慮して、短期需要予測誤差(2)も変化させて検討した結果、部品在庫を大幅低減できることを確認した(表1)。また、部品不足に関しては特定なタイプに不足が生じるが、このデメリットは、以下(2)に示す方法で解消できるようにする。

表1 従来部品見積法と提案法との比較

| Methods | | Lack | | Excess | | |
|-------------|------|-------|----------|--------|----------|-----|
| | | Types | Quantity | Types | Quantity | |
| Traditional | | 4 | 95 | 18 | 904 | |
| Proposal | σ1 | Lack | | Excess | | |
| | | Types | Quantity | Types | Quantity | |
| | ±10% | ±10% | 9 | 73 | 12 | 108 |
| | | ±30% | 9 | 165 | 13 | 283 |
| | | ±50% | 9 | 242 | 13 | 437 |
| | ±30% | ±10% | 9 | 124 | 12 | 176 |
| | | ±30% | 9 | 200 | 13 | 323 |
| | | ±50% | 9 | 246 | 13 | 396 |
| | ±50% | ±10% | 9 | 169 | 13 | 218 |
| | | ±30% | 9 | 231 | 12 | 351 |
| | | ±50% | 9 | 256 | 13 | 445 |

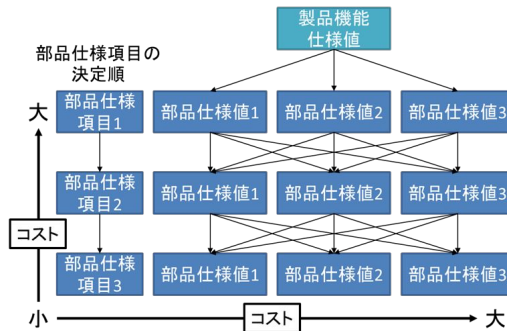


図2 部品仕様決定の探索木

(2)対象製品は、「機能・性能の上位互換性」があり、顧客の要求に満たせる製品機能・性能の組み合わせが複数ある。また、製品機能項目・性能区分毎(またはその組み合わせ)に対して、構成部品案も複数あることが特徴である。したがって、部品欠品時に、代替部品の利用を考慮した製品仕様の提案が可能である。満足しなければならない顧客要求に対して製品機能仕様値とその構成部品の仕様決定問題は、制約充足問題であるため、バックトラック法を用いた探索法を開発した。その際に、目的関数を部品コストの最小化とし、効率的に探索できるように、部品仕様の決定に対しコストの大きい部品種から順に決定することと、個々の部品に対してコストの小さい部品仕様値から順に探索する工夫をした。探索木に当てはめた時のイメージは図2に示す。35件の顧客要求例を対象に、在庫部品の中からコストの最も安い部品構成を計算した。その結果、部品コストを考慮しない製品仕様回答法に比べ、平均38%のコスト低減ができることを確認した。さらに、対象問題を定式化し最適化パッケージであるGurobi Optimizerを用いて計算した結果、わずか1%の差しかないことも確認した。数秒単位で計算できることと、最適解との乖離が少ないことより、提案法が実用できると言える。

(3)これまで開発した部品所要量展開方式は、膨大な製品種類をあたかも一つの製品品種のように、仮想的な統合BOM(Bill of Material 部品表)を作成し所要量を計算しているため、製品機能項目・性能区分毎の受注確率が固定(一つの値)であっても、取りうる注文の組み合わせが複数ある。したがって、部品在庫が保証できる受注予定枠を作成するために、個々の商談が成約に至った度、瞬時に部品の在庫変化を見直し、製品機能項目・性能区分毎の目標受注数を最大に達成できるように、製品機能項目・性能区分毎の受注予約枠を更新する必要がある。営業日に、複数の営業スタッフが同時に活動していることを考え、秒単位の計算時間で受注予定枠(予約座席)数を更新できるアルゴリズムの開発が必要となる。したがって、メタヒューリスティックの一つであるタブーサーチを用いて、生産座席(=受注予約枠)設定アルゴリズムを開発した。効率よく良い実行可能解を見つけるため、複数の初期解を生成し、同時に解の改善探索を行うことにした。また、改良探索、即ち、部品残量を確認しながら受注枠を増やす探索を行う際に、増やせる可能性が高いと考えられる次の4点、

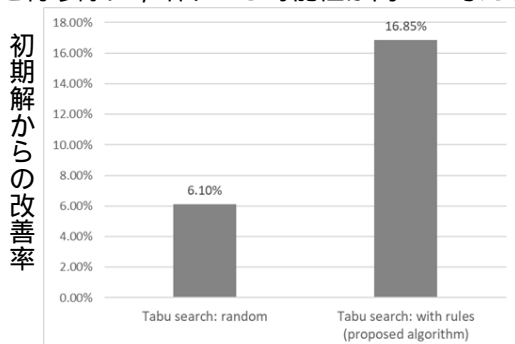


図3 工夫した探索方法の効果

不足部品の種類数が一番少ない性能値区分、
 部品合計不足数が一番少ない性能値区分、
 共有部品の使用数が一番少ない性能値区分、
 性能値が高い区分
 への受注枠数変更を優先的に試算することを提案した。提案した解の改良探索は、同じ探索回数でより精度の良い解を算出できることを確認した(図3)。

(4) 部品過不足が存在する前提で、生産座席(=受注予約枠)方式を導入し、受注枠を事前に用意する本提案(Proposed Approach)と、

生産座席 (= 受注予約枠) を用いないで、注文がある都度、部品在庫を確認し、受注順に部品を引き当てる従来の受注生産方式(First-come-first-serve Approach)と比較検討を行った。その際に、座席は短期(5~12週先)需要情報を参照して作成することを考慮し、需要予測誤差を0%、20%、50%、100%の4パターン、更に、受注後仕様変更率2%、5%の2パターンで検討を行い、その結果を表2に示す。表2より、提案法は受注率の増加と共に、部品利用率の向上も図れることが確認できる。

表2 受注率と部品消費率の比較

| Forecast error | Order changes | First-come-first-serve Approach | | Proposed Approach | |
|----------------|---------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| | | Orders received | Component consumption rate | Orders received | Component consumption rate |
| 0% | 2% | 585 | 69% | 722 | 85% |
| | 5% | 590 | 69% | 674 | 79% |
| 20% | 0% | 531 | 63% | 726 | 85% |
| | 5% | 542 | 64% | 651 | 76% |
| 50% | 0% | 480 | 56% | 583 | 68% |
| | 5% | 506 | 58% | 552 | 64% |
| 100% | 0% | 444 | 45% | 564 | 57% |
| | 5% | 459 | 46% | 529 | 53% |

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-------------------|
| 1. 著者名 Jiahua Weng, Shota Mizoguchi, Shingo Akasaka and Hisashi Onari | 4. 巻 220 |
| 2. 論文標題 Smart Manufacturing Operating Systems Considering Parts Utilization for Engineer-to-Order Production with Make-to-Stock Parts | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Production Economics | 6. 最初と最後の頁 1-7 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijpe.2019.07.032 | 査読の有無 有 |
| 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 Xiaofu Fan and Jiahua Weng | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Tabu-search-based Order Seat Planning for Engineer-to-order Manufacturing | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Asian Journal of Management Science and Applications | 6. 最初と最後の頁 160-180 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1504/AJMSA.2020.112742 | 査読の有無 有 |
| 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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 J. Weng, S.Mizoguchi, S.Akasaka and H.Onari |
| 2. 発表標題 Order-receiving planning by considering parts inventory for Engineer-to-order production |
| 3. 学会等名 The 23rd Asia-Pacific Decision Science Institute International Conference (APDSI 2018) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 赤坂信悟, 翁嘉華, 大成尚 |
| 2. 発表標題 受注設計生産における受注仕様の自動設計方式 |
| 3. 学会等名 日本経営工学会秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 X. Fan and J. Weng |
| 2. 発表標題 A study on order-receiving plan applying production seat system for sales staff in engineer-to-order manufactory |
| 3. 学会等名 2019 Asian Conference of Management Science & Applications (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y. Wu and J. Weng |
| 2. 発表標題 A Study on Parts Preparation for Engineer-to-order Production |
| 3. 学会等名 2019 Asian Conference of Management Science & Applications (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 翁 嘉華, 溝口翔大, 赤坂信吾 |
| 2. 発表標題 生産座席を用いた個別受注生産方式の提案 -部品活用方法についての一考察- |
| 3. 学会等名 日本経営工学会春季大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 劉楚恒, 赤坂信悟, 翁嘉華 |
| 2. 発表標題 製品設計変更のための設計支援システムに関する研究 |
| 3. 学会等名 日本経営工学春季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 柴田有里奈, 赤坂信悟, 翁嘉華 |
| 2. 発表標題 部品コストを考慮した製品機能仕様の決定方式 |
| 3. 学会等名 日本経営工学会春季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|