

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04894

研究課題名（和文）サービスシステム設計理論と最適化技術の融合による組織連携に基づく配送システム設計

研究課題名（英文）Design of Delivery Systems Based on Organizational Collaboration through the Integration of Service System Design Theory and Optimization Techniques

研究代表者

吉本 一穂 (Kazuho, Yoshimoto)

早稲田大学・理工学術院・名誉教授

研究者番号：50158507

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ドライバー不足、配送要求の多様化により、社会インフラとしての物流システムの存続が危惧されている。既に、企業単体の改善努力は限界に近づき、飛躍的な配送効率向上のためには、事業者間の連携に基づく、サプライチェーン全体での標準化、最適化に取り組む必要がある。中でも、共同配送（水平の連携）、荷主の配送要求の緩和に基づく配送効率化（垂直の連携）は有効性が期待できる。本研究では、これらの2つの連携に焦点を当て、実企業と共同で問題を解決した。ヒアリングより問題を数理最適化問題として定式化し、解法を開発し、実データを用いた有効性の検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物流危機が問題となっている昨今において、配送効率の飛躍的な向上を達成するため、効率的な共同配送方法、および、配送要求の緩和に基づく配送効率の向上、に関する調査・分析を行い、サービスシステム設計理論にもとづく設計を行うとともに、最適化・シミュレーション技術を用いた効果検証を行う事で、組織連携に基づく全体最適な配送システムを構築をしている。本課題で実現される姿は、社会全体で物流改革を行うものであり、超スマート社会の「モノやサービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供されるとともに、社会システム全体が最適化され、経済発展と社会的課題の解決を両立していける社会」の実現にも貢献できる。

研究成果の概要（英文）：The shortage of drivers and the diversification of delivery demands are threatening the sustainability of logistics systems as a social infrastructure. The improvement efforts of individual companies have already reached their limits, and to achieve a significant increase in delivery efficiency, it is necessary to pursue standardization and optimization across the entire supply chain based on collaboration between businesses. Notably, joint delivery (horizontal collaboration) and improving delivery efficiency through the relaxation of shippers' delivery requirements (vertical collaboration) show great promise. This study focused on these two types of collaboration and worked with real companies to solve the problems. We formulated the issues as mathematical optimization problems based on interviews, developed solutions, and validated their effectiveness using real-world data.

研究分野：ロジスティクス

キーワード：ロジスティクス 物流 フィジカルインターネット

1. 研究開始当初の背景

ドライバー不足、配送要求の多様化により、社会インフラとしての物流システムの存続が危惧されている。既に、企業単体の改善努力は限界に近づき、飛躍的な配送効率向上のためには、事業者間の連携に基づく、サプライチェーン全体での標準化、最適化に取り組む必要がある。中でも、共同配送（水平の連携）、荷主の配送要求の緩和に基づく配送効率化（垂直の連携）は有効性が期待できるが、組織連携の推進は容易ではなく、連携の効果を明確にしなければならない。具体的には、以下の点を明らかにする必要がある。

【課題1】効率的な共同配送方法の確立（水平連携）

トラックの実車時の積載率の全国平均は40%程度（国土交通省）であり、余剰キャパシティの有効利用が求められる。荷主同士、または、物流業者同士が共同配送を行うことで、余剰キャパシティの共有が期待できる。そのためには、どのような企業の組み合わせが、共同配送としての効果が大きいのか、または小さいかを、明らかにする必要がある。

【課題2】配送要求の緩和に基づく配送効率化の方法確立（垂直連携）

過大な配送要求は、個別対応の配送を余儀なくされるため、多頻度少量配送につながり、配送効率を落とす事になる。このため、荷主と物流業者が連携し、配送要求を緩和することで、全体として高い配送効率を達成することが期待できる。そのためには、どの配送要求を緩和すれば、大きなインパクトがあるのかを明らかにする必要がある。

本研究では、上記の水平・垂直方向の連携をまとめて「組織連携に基づく配送システム」と定義する。また、上記の課題1,2を研究課題の核心をなす学術的「問い」と定義する。

2. 研究の目的

本研究では、配送効率の飛躍的な向上を達成するため、効率的な共同配送方法、および、配送要求の緩和に基づく配送効率の向上、に関する調査・分析を行い、サービスシステム設計理論にもとづく設計を行うとともに、最適化・シミュレーション技術を用いた効果検証を行う事で、組織連携に基づく全体最適な配送システムを構築することを目的とする。

学術的な独自性の1点目は、異なる組織間での連携に着目して配送の全体最適化を目指す点である。与えられた制約条件のもとでの最適化を目指していた従来研究に対して、「もし制約条件を緩和したならば、どうなるか」という What-if Simulation を含めた分析を行う点が、これまでにない新しい観点である。独自性の2点目は、総論的な分析ではなく、オペレーションレベルでの緻密な分析にもとづき、組織連携のメリット・デメリットを明らかにする点である。企業間連携については、「総論賛成・各論反対」となる事例が多いため、申請者らの研究グループで培った最適化・シミュレーション技術を最大限に用いて、緻密な分析を行い、実現性の高い提言を行う。独自性の3点目は、サービス・システムの設計理論と最適化・シミュレーション技術を融合した観点で研究を行う点である。「荷主を顧客、物流企業をサービス提供者」と捉えれば、組織連携に基づく配送システムは、「サービスの顧客・提供者による価値共創活動」とみることができる。このため、サービスシステムの設計理論の活用により、大きな付加価値が期待できる。この方法論の確立により、今後のサービス研究においても、他分野への応用可能性を各段にあげることになり、学術的貢献が高い。

本課題で実現される姿は、日本政府が目指す『超スマート社会（Society5.0）』と合致する。超スマート社会は、「モノやサービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供されるとともに、社会システム全体が最適化され、経済発展と社会的課題の解決を両立していける社会」と定義されている。この目標実現には、まさに社会全体での物流

の改革が求められていることは明らかであり、本研究の社会的意義は高い。

3. 研究の方法

本研究では、全体最適な配送システム構築、即ち、部分最適指向によって発生している非効率要因の把握と改善方法を明らかにする。そのサブ課題として、「効率的な共同配送方法の確立（課題1）」「配送要求の緩和に基づく配送効率化の方法確立（課題2）」を明らかにする。これらを実現するため、以下の4ステップで研究を実施した。

組織連携に基づく配送システム設計：

システムの目的・評価指標・構成機能・入出力情報や各機能要素同士の関係性の記述

組織連携を考慮した最適化モデル開発：

システム設計に基づく、目的関数・決定変数・定数・制約条件の数理的定式化

効率の良いアルゴリズムの開発：

最適化モデルを解くためのアルゴリズム

組織連携の効果検証：

アルゴリズムを用いた数値実験に基づく、組織連携による評価指標の変化

4. 研究成果

課題1の水平連携については、共同配送を実施する際に、費用配分の公平性をどの様に担保するか、ということが企業からのヒアリングで明らかになった。この分野について、Collaborative Vehicle Routing Problem という枠組みで研究が進められており、協力ゲーム理論に基づいた配分方法が提案されていた。しかし、この方法では理論的に公平性が保てるものの、現実的には計算過程が実務家からすると複雑で、本当に公平性が担保できているか判断がしにくいとの指摘があった。このような観点から、ファジィ多目的最適化理論を用いた新たな解法を提案した。それぞれの共同配送によるベネフィットを達成度という指標として定義をし、最小達成度の最大化という目的関数を定義することで、不公平性が最小化する様なモデリング・解法を実施した。実際に大手小売チェーンの共同配送プログラムにおいて、提案技法を適用し、その有効性を検証した。

課題2の垂直連携については、配送タイミングと配送ルーティングの同時最適化という形で数理的にモデル化を行った。この分野については Inventory Routing Problem という枠組みで研究が進められていた。従来研究のサーベイおよび大手外食チェーンの実務家からのヒアリングより、複数アイテム・複数車両を考慮することが実務的に重要であることがわかり、またそれを考慮した従来研究がないことが分かった。複数アイテムの具体例としては、温度帯毎に冷凍品・冷蔵品・常温品などにより、在庫・配送計画を分けて考える必要があることが分かった。また、複数車両については、三温度帯車・常温者の2種類があり、これらの車種ごとに扱えるアイテムが異なる点も考慮がひとつであることが分かった。更に、大型車・中型車といった2種類の車両もあり、大型車はより積載容量が大きいですが、いくつかの配送先には駐車できないといった Site Dependency の制約も追加した。これらをモデル化し、解決するためのヒューリスティクスを提案した。実際に大手外食チェーンに、提案技法を適用し、その有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sangkhiew, N., Pornsing, C., Ohmori, S. & Watanasungsuit, A.,	4. 巻 27(4)
2. 論文標題 An Integrated fuzzy AHP-TOPSIS for the Last Mile Delivery Mode Selection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science and Technology Asia.	6. 最初と最後の頁 265-280
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14456/scitechasia.2022.86	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 該当する

1. 著者名 Ohmori, S., & Yoshimoto, K.	4. 巻 20(3)
2. 論文標題 Max-Min Fairness Approach for Collaborative Vehicle Routing Cost Allocation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Industrial Engineering & Management Systems	6. 最初と最後の頁 429-444
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7232/iems.2021.20.3.429	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 Ohmori, S., Yoshimoto, K., Pornsing, C., & Sangkhiew, N.	4. 巻 15
2. 論文標題 Optimal berth reservation problem under flexible time slot system.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science, Engineering and Health Studies	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14456/sehs.2021.46	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Mo, J. & Ohmori, S.	4. 巻 10
2. 論文標題 Crowd sourcing dynamic pickup & delivery problem considering task buffering and drivers' rejection-application of multi-agent reinforcement learning-	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 WSEAS Transactions on Business and Economics.	6. 最初と最後の頁 636-645
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.37394/23207.2021.18.63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 吉本一穂、大森峻一	4. 巻 1
2. 論文標題 コネクテッド インダストリーとロジスティクス デザイン	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本システムデザイン学会誌	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 三原康司	4. 巻 1
2. 論文標題 トータル経営ハピネス度向上のためのインターナル・サービス設計	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本システムデザイン学会誌	6. 最初と最後の頁 5-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Shunichi Ohmori, Kazuho Yoshimoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Multi-product multi-vehicle inventory routing problem with vehicle compatibility and site dependency: A case study in the restaurant chain industry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Uncertain Supply Chain Management	6. 最初と最後の頁 351-362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5267/j.uscm.2021.2.007	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3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 三原康司
2. 発表標題 ロジスティクス・オペレーション改善とインターナル・サービス設計
3. 学会等名 日本経営工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩島 克也、大森峻一、吉本一穂
2. 発表標題 時間制運賃の庸車を考慮した配送計画に関する研究～大田市場における青果仲卸業の配送業務改革～
3. 学会等名 日本経営工学会 2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三原 康司
2. 発表標題 事業ハピネス向上のためのトータル・サービスシステム設計 インターナル・サービス価値の認識
3. 学会等名 日本経営工学会 2020年春季大会
4. 発表年 2020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
研究分担者	大森 峻一 (Ohmori Shunichi) (30649348)	早稲田大学・理工学術院・准教授 (32689)	
研究分担者	三原 康司 (Mihara Koji) (40637336)	早稲田大学・理工学術院・教授(任期付) (32689)	

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
---------	---------