

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23560132

研究課題名(和文) 経済性を考慮したグリーンサプライチェーンのための生産計画と輸送計画の動的最適化

研究課題名(英文) Dynamic optimization of production and transportation schedules for green supply chains considering economic efficiency

研究代表者

谷水 義隆 (tanimizu, yoshitaka)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60275279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：低炭素型社会を実現するには、経済的優位性の高い環境保全の方法が必要である。本研究では、これまでに提案した動的サプライチェーンモデルを拡張して、生産工程と輸送工程の二酸化炭素排出量を考慮したグリーンサプライチェーン(Green Supply Chain)モデルを作成した。次に、二酸化炭素排出量の最小化と利益・顧客満足度の最大化を考慮した多目的最適化手法を提案し、環境保全と経済成長を同時に考慮したグリーンサプライチェーン管理手法を構築した。さらに、GSCシミュレーションシステムを開発し、その有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：Sustainability issues, such as greenhouse gas emissions, have become serious problems facing the international community. This research proposes a green supply chain model in consideration of carbon dioxide emissions in both production processes and transportation processes in supply chains by modifying the existing dynamic supply chain model. This research also proposes a method to improve production and transportation schedules in order to minimize the carbon dioxide emissions and maximize the profit of manufacturing company and satisfaction of customer. The effectiveness of the proposed method is verified through some computational experiments by using a developed prototype of green supply chain simulation system.

研究分野：機械生産工学

キーワード：グリーンサプライチェーン リアルタイムマネジメント 温室効果ガス 生産スケジューリング 輸送計画 遺伝的アルゴリズム

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 1994年、米国のミシガン州立大学において、「グリーンサプライチェーン (Green Supply Chain)」の概念が提案された。グリーンサプライチェーンは、製品ライフサイクルの全般を通じて、環境に及ぼす影響の低減を狙いとしている。グリーンサプライチェーンの研究テーマには、低炭素型社会、循環型社会、省エネルギー・クリーンエネルギーなどがある。米国の調査機関が、日米欧30社の大企業を調査した結果、80%強の企業がグリーンサプライチェーンに強い関心を示している。

(2) 人為的に発生する二酸化炭素の排出量は、自然界の吸収量の2倍を超えており、低炭素型社会の実現が希求されている。日本は、2010年3月に「地球温暖化対策基本法案」を閣議決定し、2020年までに二酸化炭素排出量を25%削減することを決定した。そのため、今後、製造企業に対して、二酸化炭素排出量の低減は、さらに厳しくなることが予想される。しかし、2009年12月の「第15回気候変動枠組み条約締結国際会議 (COP15)」では、京都議定書の採択に至っておらず、二酸化炭素排出量の低減は進んでいるとは言えない。

(3) 欧州の企業に対して、グリーンサプライチェーンの可能性を調査した報告書によると、環境問題は、企業の経済活動において、制約条件でしかないことが示唆されている。そのため、二酸化炭素排出量の低減を推進するには、環境保全の活動に経済的優位性を高める仕組みが必要であると考えられる。

## 2. 研究の目的

研究代表者は、これまでに、物品調達の取引先を契約ごとに組み替える「動的サプライチェーン」の研究を行ってきた。既存の研究では、製造企業 (サプライヤ: Supplier) が、自身の生産スケジュールを改善しながら、顧客 (クライアント: Client) と交渉を繰り返すことで、利益と顧客満足度を最大化する最適な契約をリアルタイムに締結する「二階層動的サプライチェーンモデル」を提案した。さらに、サプライヤとクライアント間の輸送を考慮して、生産スケジュールと輸送計画を同時に改善する拡張モデルを提案した。

本研究では、まず、既存のモデルを拡張し、企業内および企業間における二酸化炭素排出量を考慮したグリーンサプライチェーンモデルを構築する (図1)。次に、二酸化炭素排出量の最小化と利益・顧客満足度の最大化を考慮した多目的最適化手法を提案し、環境保全と経済成長を同時に考慮したグリーンサプライチェーン管理手法の確立を目指す。これにより、企業、顧客だけでなく、自然環境も含めた Win-Win-Win の関係 (利益最大 - 顧客満足度最大 - 低炭素) を構築することを目的とする。

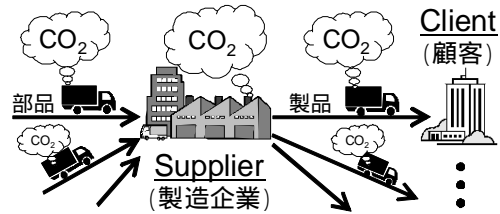


図1 グリーンサプライチェーンモデル

## 3. 研究の方法

本研究は以下の手順で行う。

(1) 輸送工程における二酸化炭素排出量を考慮したグリーンサプライチェーンの最適化手法を提案する。以下に、研究課題をまとめる。

輸送工程の二酸化炭素排出量を考慮した二階層グリーンサプライチェーンモデルの作成

多目的遺伝的アルゴリズムを用いたグリーンサプライチェーンの最適化手法の提案  
 計算機実験による有効性の評価

(2) 既存の手法を拡張し、生産スケジュールと輸送計画の両方を考慮したグリーンサプライチェーンの新たな最適化手法を提案する。以下に、研究課題をまとめる。

生産スケジュールと輸送計画の改善の繰り返しによる最適化手法の提案  
 計算機実験による有効性の評価

(3) 輸送時における二酸化炭素排出量だけでなく、生産工程における二酸化炭素排出量も同時に考慮した生産スケジュールと輸送計画の最適化手法を提案する。以下に、研究課題をまとめる。

生産工程における二酸化炭素排出量を考慮したモデルの拡張  
 最適化手法の拡張  
 計算機実験による有効性の評価

以上の研究課題を解決することで、二酸化炭素排出量の最小化と利益・顧客満足度の最大化を考慮したグリーンサプライチェーン管理手法を確立する。

## 4. 研究成果

(1) 輸送工程における二酸化炭素排出量を考慮したグリーンサプライチェーンの最適化を行った。研究の手順を以下に示す。

既存の研究で提案した動的サプライチェーンモデルを拡張して、輸送工程の二酸化炭素排出量を考慮した二階層グリーンサプライチェーンモデルを作成した。ここでは、二酸化炭素排出量を算出する指標として、改良トンキロ法を用いた。改良トンキロ法とは、平成18年に経済産業省、国土交通省および関係機関が共同でまとめた二酸化炭素排出量算定方法であり、改正省エネ法でも採用されている。これにより、積載量が異なる輸送機器ごとに、二酸化炭素排出量を詳細に計算することができる。

輸送工程における二酸化炭素排出量を減らすためには、輸送機器の小型化や輸送回数の低減が考えられる。しかし、これにより、輸送能力が低下するため、顧客の要求納期を満たすことが困難になり、製造企業にとっては契約機会の損失となる。そこで、契約獲得数を減らすことなく、二酸化炭素排出量を抑えた適切な輸送機器の大きさと輸送回数の計画が必要である。ここでは、多目的遺伝的アルゴリズムを用いて、生産スケジュールと輸送計画を改善し、二酸化炭素排出量の最小化と契約獲得数の最大化を行う手法を提案した。

グリーンサプライチェーンシミュレーションシステムのプロトタイプを開発し、計算機実験を行うことで、その有効性を検証した。ここでは、サプライヤ1つとクライアント1つで構成される2階層グリーンサプライチェーンモデルに対して、計算機実験を行った。サプライヤは、初期スケジュールとして10台の工作機械で10個の製品を製造する生産スケジュールを持つ。クライアントは、サプライヤの生産活動中に、連続的にオーダーを与える。実験の結果の一例を図2に示す。これにより、提案手法は、利益を損なうことなく二酸化炭素排出量を削減できることがわかる。

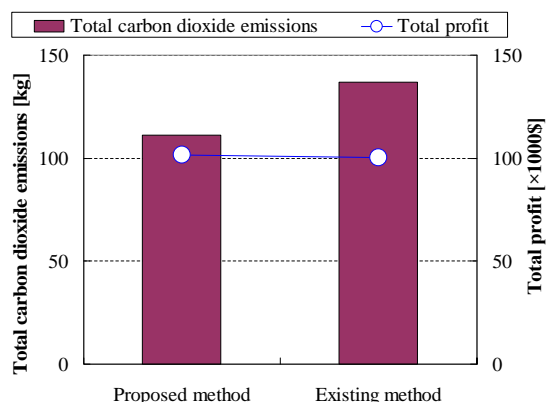


図2 実験結果の一例

(2) これまでに提案した手法は、生産スケジュールを決定した後に、輸送計画を作成する。そのため、輸送計画において十分に改善することができない輸送の無駄が含まれる場合があることが分かった。そこで、既存の手法を拡張して、輸送工程の二酸化炭素排出量のさらなる削減を志向した新たな最適化手法を提案した。研究の手順を以下に示す。

既存の手法では、生産スケジュールの際に、輸送便の出発時刻や最大積載量の制限を考慮していないため、輸送計画を作成する段階では改善しきれない輸送の無駄が発生した。そこで、本研究では、生産スケジュールに基づいて生成した輸送計画から再び生産スケジュールを改善し、これを繰り返すことで、輸送工程における二酸化炭素の排出量をより削減する手法を提案した。

既存のグリーンサプライチェーンシミュレーションシステムを拡張して、計算機実験を行った。ここでは、サプライヤ1つとクライアント1つで構成される2階層グリーンサプライチェーンモデルで実験を行った。その結果、企業間取引の契約数やサプライヤの利益を損なうことなく、既存の手法よりも、二酸化炭素排出量を削減できることを検証した。また、複数のサプライヤを含むモデルに対しても同様の実験を行い、有効性を検証することができた。

(3) これまでの研究成果を拡張して、輸送時における二酸化炭素排出量だけでなく、生産工程における二酸化炭素排出量も同時に考慮した生産スケジュールと輸送計画の最適化手法を提案した。研究の手順を以下に示す。

工作機械の稼働時における環境負荷を二酸化炭素の排出量に換算することで、生産工程における二酸化炭素排出量を算出する手法を適用し、既存のグリーンサプライチェーンモデルを拡張した。

生産工程における二酸化炭素排出量と製造企業の利益および顧客の要求納期を考慮して、適切な製造条件を決定する手法を提案した。

既存のグリーンサプライチェーンシミュレーションシステムを拡張して、計算機実験を行った。これにより、異なる製造条件の特徴を示すとともに、提案手法の有効性を示した。

以上より、生産および輸送工程における二酸化炭素排出量を削減するとともに、製造企業の利益および顧客満足度を同時に満たすグリーンサプライチェーン管理手法を構築することができた。

## 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7件)

Hiromasa Ito, Yoshitaka Tanimizu, Katuhumi Amano, Koji Iwamura, Nobuhiro Sugimura, Work allocation in transportation scheduling considering carbon dioxide emissions reductions in dynamic supply chains, 査読有, Proceedings of ISCIIE / ASME International Symposium on Flexible Automation 2014, 2014-105L, 6 pages (2014).

Yoshitaka Tanimizu, Chisato Ozawa, Yusuke Shimizu, Buntaro Orita, Koji Iwamura, Nobuhiro Sugimura, Flexible multi-layered dynamic supply chain models with cooperative negotiation, 査読有, International Journal of Automation Technology, Vol. 7, No. 1, pp. 128-135 (2013).

Yoshitaka Tanimizu, Katuhumi Amano, Kana Harada, Chisato Ozawa, Nobuhiro Sugimura, Multi-objective production and transportation scheduling considering carbon dioxide emissions reductions in dynamic supply chains, 査読有, International Journal of Automation Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 322-330 (2012).

Y. Tanimizu, B. Orita, Y. Shimizu, C. Ozawa, Y. Maeda, K. Iwamura, N. Sugimura, Computational evaluation of order selection methods in dynamic supply chains, 査読有, Procedia CIRP, 3, pp. 281-286 (2012).

谷水義隆, 織田文太郎, 清水悠介, 小澤知里, 前田泰宏, 岩村幸治, 杉村延広, 動的サプライチェーンにおける適応戦略の構築に関する研究(オーダ選択手法の提案と実験的評価), 査読有, 日本機械学会論文集(C), Vol. 77, No. 784, pp. 4339-4351 (2011).

Yoshitaka Tanimizu, Chisato Ozawa, Yuusuke Shimizu, Buntaro Orita, Koji Iwamura, Nobuhiro Sugimura, Evaluation of Multi-Layered Dynamic Supply Chain Models with Cooperative Negotiation, 査読有, Proceedings of International Symposium on Scheduling 2011, pp. 39-44 (2011).

谷水義隆, 動的サプライチェーン環境における適応戦略とサステナビリティ, 査読無, 計測と制御, 計測自動制御学会 vol.50, No.7, pp. 469-475 (2011).

#### [学会発表](計5件)

Hiromasa Ito, Yoshitaka Tanimizu, Katuhumi Amano, Koji Iwamura, Nobuhiro Sugimura, Work allocation in transportation scheduling considering carbon dioxide emissions reductions in dynamic supply chains, International Symposium on Flexible Automation 2014, (2014年7月16日, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県・淡路市)).

松下 渉, 清水悠介, 谷水義隆, 岩村幸治, 杉村延広, グローバルサプライチェーンにおける生産能力の異なるサプライヤの選定方法に関する基礎的研究, 日本機械学会関西支部第89期定時総会講演会, (2014年3月19日, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス(大阪府・堺市)).

天野勝文, 谷水義隆, 伊藤寛将, 岩村幸治, 杉村延広, 低炭素型サプライチェーンにおける経済性を考慮した生産スケジュールと輸送スケジュールの多目的最適化, 2013年度精密工学会春季大会学術講演会(2013年3月13日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都・目黒区)).

Y. Tanimizu, B. Orita, Y. Shimizu, C.

Ozawa, Y. Maeda, K. Iwamura, N. Sugimura, Computational evaluation of order selection methods in dynamic supply chains, The 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2012. (2012年5月17日, アテネ(ギリシャ)).

Yoshitaka Tanimizu, Chisato Ozawa, Yuusuke Shimizu, Buntaro Orita, Koji Iwamura, Nobuhiro Sugimura, Evaluation of multi-layered dynamic supply chain models with cooperative negotiation, International Symposium on Scheduling 2011 (2011年7月2日, 大阪大学中之島センター(大阪府・大阪市)).

#### [図書](計1件)

貝原俊也, 谷水義隆, 西 竜志, 企業間の戦略的提携 マルチエージェント交渉による次世代 SCM (サプライチェーンマネジメント講座4) 朝倉書店, 192 pp. 5-8, pp. 58-68, pp. 129-164, pp. 166-170 (2011).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

谷水 義隆 (TANIMIZU, Yoshitaka)

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 60275279