

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2013～2016

課題番号：25380475

研究課題名（和文）循環型サプライチェーンにおける情報共有とリードタイムの影響

研究課題名（英文）Impact of information sharing and lead time in closed-loop supply chain

研究代表者

細田 高道（HOSODA, Takamichi）

青山学院大学・国際マネジメント研究科・教授

研究者番号：50570123

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）：循環型サプライチェーンにおける製造業者と再生業者間における情報共有とリードタイムがどのようにパフォーマンスに影響するかを数理的に研究した。まず最初に製造業者にとって最適となる発注方式を定式化した。その後、再生業者からの再生量に関する情報を事前入手した場合の効果、そしてリードタイムが変化したときの影響を定量化した。情報共有の効果については様々な要因が影響することが判明した。また、リードタイム・パラドックスと呼ばれる現象、つまりリードタイムを短くするとコストが上がる、という現象についてその発生要因を見出した。最後に循環型サプライチェーンにおいて配慮すべき事項についてわかりやすくまとめた。

研究成果の概要（英文）：We investigate the impacts of advance notice of product returns and the lead-times on the performance of a decentralised closed loop supply chain. We derive the optimal linear policy for minimising the manufacturer's inventory costs. We investigate the benefit of the manufacturer obtaining advance notice of product returns from the remanufacturer. We demonstrate that lead times, random yields and the parameters describing the returns play a significant role in the benefit of the advance notice scheme. Our mathematical results offer insights into the benefits of lead time reduction and the adoption of information sharing schemes. We also show that the lead-time paradox can emerge in many cases. In particular, the auto- and cross-correlation parameters and variances of the error terms in the demand and the returns, as well as the remanufacturing lead time, all influence the existence of the lead-time paradox. Finally we propose managerial recommendations for manufactures.

研究分野：経営学

キーワード：サプライチェーン 循環型サプライチェーン 持続的社会

1. 研究開始当初の背景

(1) 環境や持続的社會への関心の高まりもあり、使用済み製品の回収システムは世界各国において整備されつつある(Welle, 2011)。例えばペットボトルを例にとると、その回収率は多くの国において年々増加しており、日本におけるペットボトル回収率は86.9% (2015 年) (CPBR, 2015)にまで達している。また、回収され再生された原料だけを使用して新品同様のペットボトルを製造する技術も確立されている(Suntory Group, 2013)。このような動向に比べて、回収システム全体を効率的に運用するにはどのようにすればよいのかといった経済性の視点からの研究はまだ遅れているのが現状である。

(2) 使用済み製品回収システムの経済性に関する研究が遅れている原因の一つは、システム全体を対象とすると必然的にモデルが非常に複雑となってしまうことがあると推察される。回収を伴わない供給のみのサプライチェーンでさえもかなり複雑なモデルとなることが多い上に、回収のプロセスは歩留りの影響を考慮する必要があるなど、単に従来のモデルに回収プロセスを一つ追加すれば良いというレベルにとどまらない。これまでの研究では大胆な割り切り、例えばリードタイムは考慮しない、再生の歩留りは一定とする、により比較的簡易なモデルを構築することで研究を遂行することが常であった。

2. 研究の目的

(1) 製品供給と使用済み製品回収の両方を備えたシステムを循環型サプライチェーンとしてとらえ、製造業者の経済性に影響を与える要因を定量化する。特に再生業者との情報共有とリードタイムに注目する。最終的に実務家にとって有益となる示唆を見出し提供する。

(2) 循環型サプライチェーンにおける製造業者にとって最適となる製造発注方式を定式化する。

(3) 重要と想定されるがこれまでは比較的簡易的にモデル化されてきた要因、例えばリードタイムと再生の歩留り、および需要と回収のプロセスはできるだけ実態に近いモデルを採用して循環型サプライチェーンのモデルを構築する。

3. 研究の方法

以下に示す手順により研究を遂行した。なお、国際学会にて途中経過を発表をすることで研究討議を重ね、モデルの精緻化や分析方法を逐次修正しながら研究の質を高める活動を継続的に実施した。

- (1) 文献レビュー
- (2) 数理モデル構築と命題の導出
- (3) 数理モデルを活用した数値分析
- (4) 実務上有益となる示唆の提示

4. 研究成果

(1) 当初予定した数理モデルを構築することができた。このモデルは製造業者にとって在庫コストを最小化するという意味において最適な発注方式のモデルをも含んでいる。またこれまで簡易な方法でしかモデル化されてこなかった歩留りのモデルについては stochastically proportional yield model (Henig and Gerchak, 1990)を使い定式化した。我々の歩留りモデルは特定の分布を仮定していないことに特長がある。状況に応じて、一様分布、三角分布、あるいはベータ分布などを選択することができる。需要と回収プロセスのモデルについては、当初はどちらもホワイト・ノイズと仮定し、ただ相互に単期間のみ相関があるものとして定式化した。その後、国際会議における討論などで得た知見を基に改良を加え、VAR モデルとして再度定式化し直した。VAR モデルの採用は需要と回収ともに自己相関がありまた相互に複数期間にわたる相関を表現できるという点において大きな進展を本研究にもたらした。循環型サプライチェーンの研究において VAR モデルを応用したのは本研究が初と思われる。

(2) 再生業者から再生量と歩留りに関する情報を提供してもらうことにより製造業者は在庫コストを下げることができることを示した。再生業者から提供される情報により、製造業者は自らが持つ将来の需要予測値と現在の在庫量を基に決定する新規製造量をより適切な量とすることができ、このことが結果として在庫コスト削減につながることを示した。

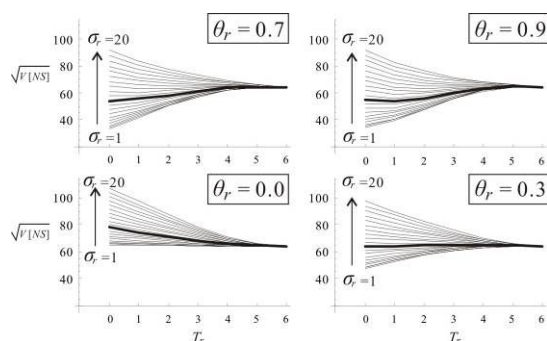
(3) 回収を伴わない供給のみのサプライチェーンの場合、需要をホワイトノイズとするとブルウィップ効果は発生しない、というのが定説であるが、循環型サプライチェーンにおいては同条件でもブルウィップ効果が発生することを示した。この発見は同時に、すでに広く知られている供給のみのサプライチェーンについて知見が、循環型サプライチェーンにそのまま当てはまるとは限らないことを示唆しており、この分野における研究の重要性を示している。

(4) 回収量の平均値が上昇するとブルウィップ効果もそれに従って大きくなりキャパシティコストも上昇する可能性を示した。回収量の増加は持続的社會には良い効果であるが、ブルウィップ効果により製造業者のキャパシティコストが上昇することを考慮すると製造業者にとってはコスト増という影響があることになる。しかし我々は同時にこのブルウィップ効果も再生業者からの情報共有があれば低減することが可能であることを示した。供給のみのサプライチェーンにおける情報共有の効果は広く知られているが、循環型サプライチェーンにおいても情報共有の効果とその重要性が本研究により示唆されたことになる。

(5) 再生リードタイムの方が製造リードタイムより長い場合、製造業者の在庫コストは再生リードタイムからは全く影響を受けないことを示した。リードタイムの変化は常に在庫コストに効果あるいは影響があるというのが供給のみのサプライチェーンにおける定説であるが、必ずしも同様のことが循環型サプライチェーンでは成立しないことになる。

(6) 製造リードタイムの方が再生リードタイムより長い場合、製造業者の在庫コストは回収量の平均値が上昇するに従い高くなることを示した。回収量を今後も増加させていくことは持続的社会という視点からすると好ましいが、同時にそれは製造業者にとっては高い在庫コストにつながってしまう、ということの意味する。しかし、このトレードオフの状況は製造リードタイムと再生リードタイムの長さの相対的な関係に依存しているので、製造リードタイムの方を短くすることで解決することができることも示した。

(7) 様々な状況においてリードタイム・パラドックスという現象が発生することを示した。リードタイム・パラドックスは、再生リードタイムが長くなると製造の在庫コストが下がる、という直感に反する現象のことを指し、最初の報告は Van der Laan et al. (1999) である。例を以下の図に示す。



4つのグラフのどれにおいても、縦軸は製造の在庫コストの指標（在庫量の標準偏差）、横軸は再生リードタイムを示している。また、回収プロセスの誤差項の標準偏差を1から20まで1ステップづつ変化させ、それぞれの値について線を描写している（つまり1つのグラフには20本の線があることになる）。需要プロセスの誤差項の標準偏差は10に固定している。太線は回収と需要の誤差項の標準偏差が10で一致しているケースを示している。4つのグラフの違いは、需要と回収の相関の程度を決めるパラメータがそれぞれ0、0.3、0.7、0.9となっていることである。各グラフにおいて既に述べたように縦軸がコスト、横軸が再生リードタイムなので、右下がりの線があれば、それは再生リードタイムが長くなればコストが下がる、つまりリードタイム・パラドックスが発生していることを示している。

(8) リードタイム・パラドックスが観測

されるには、製造リードタイムの方が再生リードタイムより長いことが必要であることを示した。また、回収の誤差項の標準偏差が需要のそれより大きいと、より発生しやすいことも示した。このことは、再生リードタイムの方が長い場合に限ってであるが、回収のプロセスにより多くのノイズが影響している状況においては、リードタイム・パラドックスが発生している可能性が高いことを示唆している。

(9) リードタイム・パラドックスが発生している場合に、製造リードタイムを短くするか再生リードタイムを長くすることが、1) プルウィップ効果削減、2) キャパシティ効果削減、3) 製造の在庫コスト削減につながることを示した。また、どの方策がより効果が大きいかを数値シミュレーションにより検討した。リードタイム・パラドックスが発生している条件では再生リードタイムを長くしても効果はあるものの、その大きさにおいては製造リードタイムの短縮の方が優れていることを示した。

(10) 既往の循環型サプライチェーンの研究の中でリードタイム・パラドックスは存在しないと報告している論文がある。例えば、Zhou and Disney (2006) や Cannella et al. (2016) がそうである。本研究ではそれらの論文の前提条件やモデルを詳細に検討し、さらに本研究で構築したモデルを活用することで、この違いの理由を見出した。具体的には、リードタイム・パラドックスは需要と回収の相関が正の場合は発生しにくいことを本研究で構築したモデルにより示した上で、Zhou and Disney (2006) や Cannella et al. (2016) ではまさに正の相関を仮定として採用していることを指摘した。

(11) 実務家向けへの提言を以下のように2つのルールとしてまとめた。

ルール1：再生リードタイムの方が製造リードタイムと等しいか長い場合、製造リードタイムを短縮すれば在庫とキャパシティの両方のコストを同時に下げることができる。またこの時、回収量の平均値が上昇しても在庫コストは上昇しない。再生リードタイムを短縮することは在庫コスト削減には結びつかないが、輸送中在庫の削減等の効果はある。

ルール2：再生リードタイムの方が製造リードタイムよりも短い場合、a) リードタイム・パラドックスが発生している可能性があること、b) 回収量の平均値が上昇すれば製造業者の在庫コストは上昇すること、を理解しておく必要がある。最初のaは再生リードタイムを短くすることはコスト削減とはならないことを示している。またbは持続的社会を維持する社会的コストが上昇する可能性を示している。これらa、bを避けるにはまず製造リードタイムを再生リードタイムと同じになるまで短縮すればよい。実現後はルール1に従えばよい。

<引用文献>

Welle, F., 2011. Twenty years of PET bottle to bottle recycling - An overview. *Resources, Conservation and Recycling* 55, 865-875.

CPBR, 2015. Recycling Rate of PET Bottles. Council for PET Bottle Recycling. <http://www.petbottle-rec.gr.jp/english/actual2.html>.

Suntory Group, 2013. Suntory Group Corporate Social Responsibility Report2013. http://www.suntory.com/csr/report/pdf/2013/report_all.pdf.

Henig, M., Gerchak, Y., 1990. The structure of periodic review policies in the presence of random yield. *Operations Research* 38, 634-643.

Van der Laan, E., Salomon, M., Dekker, R., 1999. An investigation of leadtime effects in manufacturing/remanufacturing systems under simple push and pull control strategies. *European Journal of Operational Research* 115, 195-214.

Zhou, L., Disney, S. M., 2006. Bullwhip and inventory variance in a closed loop supply chain. *OR Spectrum* 28, 127-149.

Cannella, S., Bruccoleri, M., Framinan, J. M., 2016. Closed-loop supply chains: What reverse logistics factors influence performance? *International Journal of Production Economics* 175, 35-49.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Hosoda, T., Disney, S. M. and Gavirneni, S. (2015) "The impact of information sharing, random yield, correlation, and lead times in closed loop supply chains", *European Journal of Operational Research* 246(3): 827-836. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.036>

〔学会発表〕(計 4 件)

1) Hosoda, T., Disney, S.M. (2016) "Lead-time Paradox in Closed Loop Supply Chains with Auto- and Cross-correlated Demand and Return Processes", OR58: The OR Society Annual Conference, Portsmouth, UK, Sept. 6 - 8.

2) Hosoda, T., Disney, S.M., Gavirneni, S. (2015) "Dynamics of Closed Loop Supply Chains", 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dubai, UAE, March

3 - 5.

3) Hosoda, T., Disney, S.M., Gavirneni, S. (2014) "When can advance notice be most beneficial for closed loop supply chains?", The Eighteenth International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck, Austria, February 24 - 28.

4) Hosoda, T., Disney, S.M. (2013) "The impact of information, lead-times and yield on a closed loop supply chain", 26th European Conference on Operational Research, Rome, Italy, July 1 - 4.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

細田 高道 (HOSODA, Takamichi)
青山学院大学・国際マネジメント研究科・教授
研究者番号 : 50570123

(2)研究協力者

Professor Stephen M. Disney, Cardiff University, UK
Professor Srinagesh Gavirneni, Cornell University, USA