

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月22日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21530442

研究課題名（和文） 環境負荷低減を配慮した帰り荷確保意思決定基準によるTMSモデルに関する研究

研究課題名（英文） A Study on TMS Model by Decision-making Criterion of Getting Backhaul Loads Associated with Environmental Impacts

研究代表者

若林 敬造 (WAKABAYASHI KEIZOU)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号：90201144

研究成果の概要（和文）：本研究では、環境負荷低減を配慮したTMSモデルに必要な要件を検討した。その結果、トラック輸送に関する帰り荷確保意思決定基準と、複合輸送に関する輸送経路選択法を提案した。実績データによる評価と数値シミュレーションから、両者はCO₂排出量の低減に効果的であることが明らかとなった。従って、環境負荷低減を配慮したTMSモデルは、提案した帰り荷確保意思決定基準と輸送経路選択法を支援する機能を持つべきである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined requirements of TMS model associated with Environmental Impacts. As a result, we proposed a decision-making criterion of getting backhaul Loads for trucking transportations and a route planning method for multimodal transportations. Both of them showed effectiveness in reducing CO₂ emissions from evaluations of actual data and numerical simulations. Therefore, the TMS model associated with Environmental Impacts should have support functions for the decision-making criterion of getting backhaul Loads and the route planning method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経営学・商学

キーワード：流通・TMS

1. 研究開始当初の背景

我が国ではトラックによる輸送活動が特に活発であり、その走行時の輸送効率を向上させることは運送事業者の利益拡大のみならず環境負荷低減の面からも重要な課題となっている。特に、最近では環境負荷低減として単位輸送活動当たりのCO₂排出量削減は物流業界全体にとっての緊急課題となっている。

このため、TMSは環境負荷低減を配慮しつつ輸・配送効率向上を支援するシステムとなる必要があり、そのモデルを検討することが求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、環境負荷低減を配慮したTMSモデルに必要な機能を提案することである。

具体的な目的は、以下の4つとなる。

(1) 輸送活動の大部分を占めるトラック輸送について、帰り荷確保活動をモデル化した上で運送事業者が帰り荷確保の意思決定を行う際に従うべき意思決定基準を提案する。

(2) 提案した意思決定基準の環境負荷低減効果を明らかにする。

(3) 長距離の複合輸送について、環境負荷低減に結びつく輸送経路選択方法を提案する。

(4) 提案した輸送経路選択方法の環境負荷低減効果を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 帰り荷確保意思決定基準の提案

帰り荷確保意思決定基準については、その原型を2006年～2008年の科学研究費補助金研究成果(課題番号; 18530333)として導いている。しかし、これは比較的短距離の単純なトラック輸送モデルに基づくものである。

本研究では、高速道路を使用した長距離トラック輸送モデルを構築してこの意思決定基準の拡張を検討し、より一般的な基準として提案を行う。

(2) 帰り荷確保意思決定基準の効果検証

具体的な高速道路ICとして利用率が高い厚木ICと小牧ICを想定し、長距離トラック輸送の数値シミュレーションを行う。その結果から、提案した帰り荷確保意思決定基準の効果を検証する。

(3) 輸送経路選択法の提案

長距離の複合輸送において、複数の輸送機関を通じて合計CO₂排出量が小さくなるような輸送経路の選択方法を提案する。

(4) 輸送経路選択法の効果検証

2005年度物流センサス3日間調査結果から首都圏～北海道の複合輸送需要実績を抽出し、このデータに基づいて提案した輸送経路選択法を評価し、その効果を検証する。

(5) 集配活動での意思決定基準の効果検証

環境負荷の小さな鉄道を利用する複合輸送について、利用事業者数が最も多い梅田駅周辺に立地する鉄道コンテナトラック運送事業者の集配活動を想定し、2005年度物流センサス3日間調査結果に基づいた数値シミュレーションを行う。その結果から、提案した帰り荷確保意思決定基準の効果を検証する。

4. 研究成果

(1) 帰り荷確保意思決定基準の提案

2006年～2008年の科学研究費補助金研究(課題番号; 18530333)では、トラックの最大積載量、走行距離、輸送重量に注目して、帰り荷確保活動を図1に示すような単純な4地点を結ぶトラック輸送モデルで表現した。

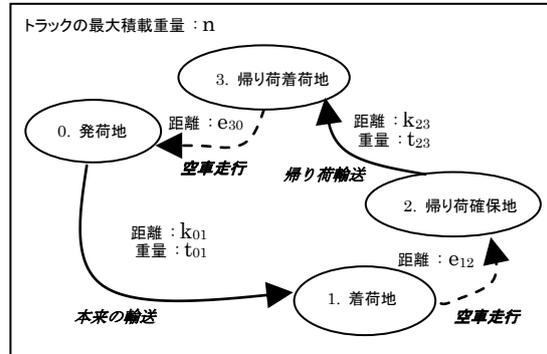


図1 帰り荷確保のモデル1

そして図1より、トラックが帰り荷を確保せず、発荷地と着荷地を往復した場合に比べ、帰り荷確保により積載効率が向上するための条件として成立する<式1>を帰り荷確保意思決定基準として導いた。

$$EDR < (2BWR - 1) BDR + 1 \text{ <式1>}$$

ここで、EDRは本来の輸送距離に対する空車走行距離合計の相対比、BDRは帰り荷輸送距離の相対比である。また、BWRは本来の積載重量に対する帰り荷輸送の積載重量の相対比である。

本研究では、トラックによる長距離輸送を念頭に置き、図1のモデルを高速道路のインターチェンジを含む6地点を結ぶ図2のモデルに拡張し、帰り荷確保により積載効率が向上するための条件を検討した。

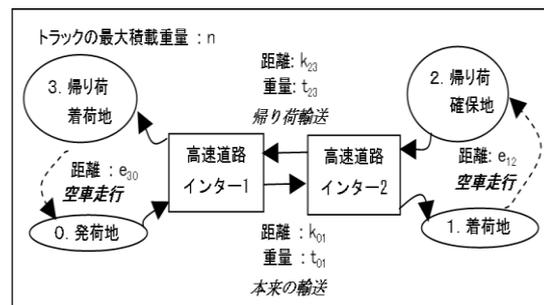


図2 帰り荷確保のモデル2

その結果、<式1>をそのままの形で帰り荷確保意思決定基準として使用することを提案した。

(2) 帰り荷確保意思決定基準の効果検証

2006年～2008年の科学研究費補助金研究では、図1のモデルに当てはめて、比較的短

距離のトラック輸送を想定したモンテカルロ・シミュレーションを行い、〈式 1〉の意思決定基準が輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量の減少と限界利益の増大に効果的であることを示した。

本研究では図 2 のモデルに当てはめて長距離のトラック輸送を想定したモンテカルロ・シミュレーションを行い、提案した意思決定基準の効果を検証した。

① シミュレーションの方法

今回のシミュレーションでは、輸送活動の活発さと利用率の高さから図 2 の高速インター1としては小牧 IC を、高速インター2としては厚木 IC を仮定した。また、発荷地は小牧 IC から名古屋港周辺までの距離の範囲内に、着荷地は厚木 IC から横浜港周辺までの距離の範囲内にランダムに発生させた。

シミュレーションでは、表 1 に示す 3 つの輸送ケースに対応させて 4t トラックによる輸送をそれぞれ 200 回行い、それぞれのケースの限界利益平均値と輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量平均値を算出した。

表 1 輸送ケース

ケース 1	常に帰り荷を確保せず、本来の輸送のみを行い、同じルートを空車走行して戻る。
ケース 2	提案した意思決定基準に合致する時に帰り荷を確保した輸送を行う。その他の場合は同じルートを空車走行して戻る。
ケース 3	限界利益が向上する時のみ帰り荷を確保した輸送を行う。その他の場合は同じルートを空車走行して戻る。

② シミュレーションの結果

各輸送ケースにおいて限界利益平均値の 95%信頼区間をグラフ化したものを図 3 に示す。また、Games-Howell の方法により、各平均値を多重比較した結果を表 2 に示す。

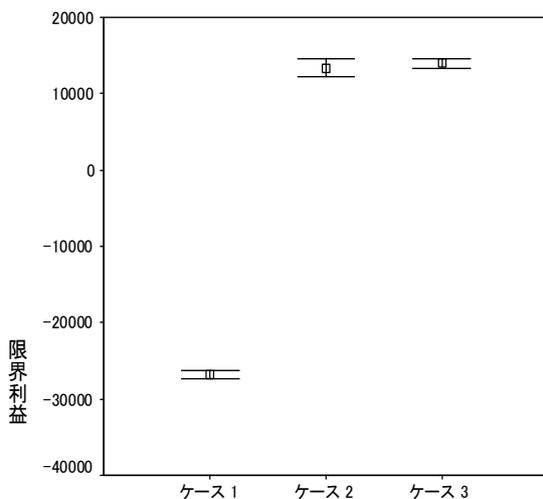


図 3 限界利益平均値の 95%信頼区間 [円]

表 2 限界利益の多重比較

ケース		平均値の差	有意確率
(I)	(J)	(I - J)	
1	2	-40217.74**	< 0.010
1	3	-40832.59**	< 0.010
2	3	-614.84	0.632

各輸送ケースにおいて輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量平均値の 95%信頼区間をグラフ化したものを図 4 に示す。また、Games-Howell の方法により、各平均値を多重比較した結果を表 3 に示す。

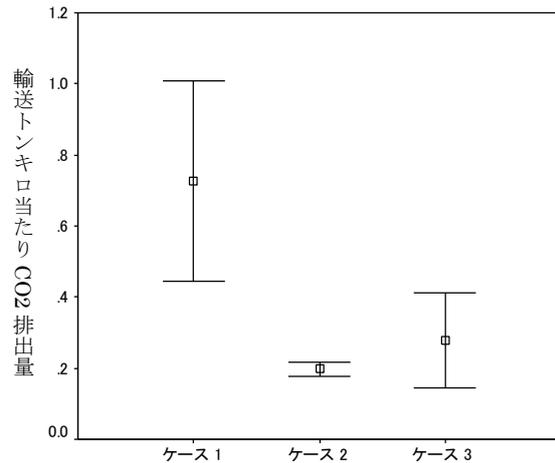


図 4 輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量平均値の 95%信頼区間 [kg]

表 3 輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量の多重比較

ケース		平均値の差	有意確率
(I)	(J)	(I - J)	
1	2	0.5291**	< 0.010
1	3	0.4486*	0.013
2	3	-0.0806	0.463

これらの結果から、高速道路の使用によって輸送ルートが固定化され易い長距離のトラック輸送においても、提案した意思決定基準は、輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量の減少と限界利益の増大に効果的であることが認められる。

詳細な限界利益の計算に比べて〈式 1〉の計算は、TMS が一般に管理しているデータから行えるため、提案した意思決定基準の TMS への実装は容易であろう。

(3) 輸送経路選択法の提案

長距離輸送の場合、図 3 から判るように帰り荷確保を積極的に行わなければ利益が得られず、帰り荷確保が常態化している現状を示している。

長距離輸送においてさらなる環境負荷低

減を目指す方策としては、CO₂排出量の低い輸送経路の選択が考えられる。特に近年はトラックと共に環境負荷の低い船舶・鉄道を利用する図5のような複合輸送が注目されており、複数の複合輸送経路の中から、CO₂排出量の低い輸送経路を選択することが重要となっている。

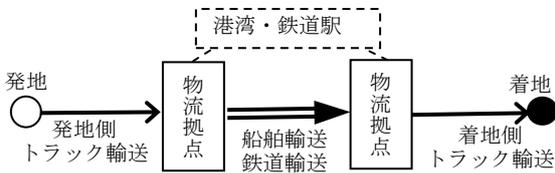


図5 複合輸送

複合輸送経路上には複数の輸送機関が存在するが、それらのトンキロ当たり CO₂ 排出原単位はそれぞれ異なる。これらに関して経済産業省と国土交通省の CO₂ 排出量算定方法ガイドラインでは次の表4の値を示している。

表4 トンキロ当たり CO₂ 排出原単位

輸送機関	トンキロ当たり CO ₂ 排出量
船舶	0.039 kg / トンキロ
鉄道	0.022 kg / トンキロ
営業用普通トラック	0.173 kg / トンキロ

このような状況から、本研究では選択対象の経路に沿って1トンの荷物を輸送したことを想定して、経路選択用 CO₂ 排出量 α を〈式2〉で簡単に算出し、この値の最も小さな輸送経路を選択する方法を提案した。

$$\alpha = \sum_i c_i k_i \quad \langle \text{式2} \rangle$$

ここで、 c_i は輸送経路に沿って i 番目に利用される輸送機関のトンキロ当たり CO₂ 排出原単位、 k_i はその輸送機関による輸送距離である。

(4) 輸送経路選択法の効果検証

輸送貨物量が多く、必ず複合輸送が行われる首都圏（東京都・埼玉県・千葉県・神奈川県）から北海道向けの輸送に着目し、その複合輸送経路を調べてみると、2005年度物流センサス3日間調査結果ではフェリーおよび鉄道を利用した経路が全体の99%以上を占めていた。

そこで、これらの実績輸送経路を提案した経路選択法により変更した場合の効果を次の手順により評価した。

- ① 経路変更し易い到着日が指定されていない営業用トラックによる一車貸切輸送データ（1,216件）を抽出する。

- ② 抽出されたデータから得られた選択可能経路（67本）について、物流拠点（フェリー港または鉄道駅）間の距離を調査し、トラック輸送距離については発着地の座標を基に Google Map の検索を行って求める。

- ③ 1,216件の輸送について、表5に示す3種類の経路選択を行った場合の CO₂ 排出量平均値と輸送料金平均値を算出する。

表5 経路選択方法

経路	選択方法
実績	実績どおりの経路を選択する。
提案法	提案した経路選択用 CO ₂ 排出量 α の値を計算し、その最も小さい経路を選択する。
省エネ法	正確な改正省エネ法ベースの CO ₂ 排出量の値を計算し、その最も小さい経路を選択する。

各経路選択において CO₂ 排出量平均値の95%信頼区間をグラフ化したものを図6に示す。また、Tukeyの方法により、各平均値を多重比較した結果を表6に示す。

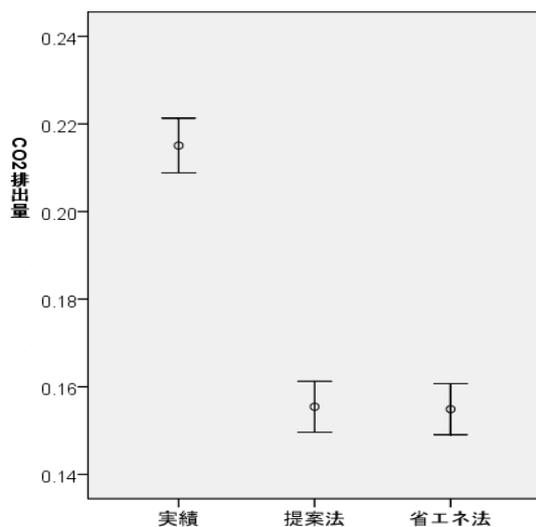


図6 CO₂ 排出量平均値 95%信頼区間[トン]

経路選択法 (i)	経路選択法 (j)	差 (i-j)	検定統計量 (t _{i,j})
実績	提案法	0.596	13.879**
	省エネ法	0.602	14.008**
提案法	省エネ法	0.001	0.130

*: 5%有意 **: 1%有意

各経路選択において輸送料金平均値の95%信頼区間をグラフ化したものを図7に示す。また、Tukeyの方法により、各平均値を多重比較した結果を表7に示す。

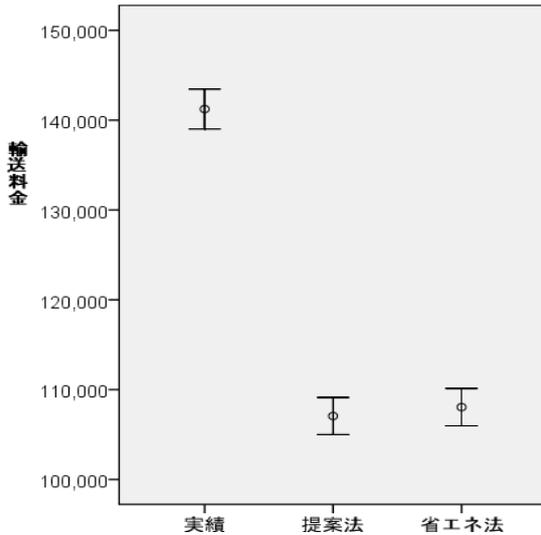


図7 輸送料金平均値 95%信頼区間 [円]

表7 輸送料金の多重比較

経路 選択法 (i)	経路 選択法 (j)	平均値の 差 (i-j)	検定 統計量 (t _{ij})
実績	提案法	34183.13	22.303**
	省エネ法	33199.49	21.661**
提案法	省エネ法	-983.64	0.642
*: 5%有意		**: 1%有意	

これらの結果から、提案した経路選択法は、CO₂ 排出量と輸送料金の減少に効果的であることが認められる。

詳細な CO₂ 排出量の計算に比べて〈式 2〉の計算は、TMS が一般に管理しているデータから行えるため、提案した経路選択法の TMS への実装は容易であろう。

なお提案した経路選択法では、複合輸送経路として鉄道を利用する経路を選択する傾向が強かった。この結果は、トラックのトンキロ当たり CO₂ 排出原単位が大きいことから導かれている。

2005年度物流センサス3日間調査結果から全国の空港、港湾、鉄道駅について着地側および発地側のトラック輸送距離を背後圏として調査してみると、鉄道駅が最も短くなっていた。このことから、鉄道輸送を積極的に利用することが環境負荷低減に効果的であると考えられる。

(5) 集配活動での意思決定基準の効果検証

環境負荷の小さな鉄道を利用する複合輸送では、着地側および発地側の末端でトラックによる短距離の集配活動が行われる。

短距離の集荷活動においては、廃棄パレットの回収において VSP アルゴリズムによる経路統合が環境負荷低減に効果的であることを確認している。このような経路統合

では、新たに積載重量の大きなトラックの導入が必要になる。しかし集荷活動と配荷活動を帰り荷確保で結べば、従来規模のトラックを用いた環境負荷低減が期待できる。

そこで、利用事業者数が最も多い梅田駅周辺に立地する鉄道コンテナトラック運送事業者の集配活動を想定し、提案した帰り荷確保意思決定基準の効果検証を試みた。

このため図1のモデルを発荷地と帰り荷着荷地が梅田駅に統合される形に変更し、モンテカルロ・シミュレーションを行った。

① シミュレーションの方法

まず、2005年度物流センサス3日間調査結果から梅田駅の集配活動実績における需要発生地の座標と発生頻度を抽出し、座標値から Google Map の検索を行い本来の輸送距離、空車走行距離、帰り荷輸送距離を求めた。

次に荷物の重量を 0.001 トンから 10.000 トンの間でランダムに発生させ、その輸送需要を発生頻度に合わせてランダムに需要発生地に割り振った。

シミュレーションでは表8に示す4つの輸送ケースに対応させて、8t および 15t トラックによる輸送をそれぞれ 200 回行い、それぞれのケースの限界利益平均値と輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量平均値を算出した。

表8 輸送ケース

ケース1	常に帰り荷を確保せず、本来の輸送のみを行い、同じルートを空車走行して帰る。
ケース2	提案した意思決定基準に合致する時に帰り荷を確保した輸送を行う。その他の場合は同じルートを空車走行して戻る。
ケース3	限界利益が向上する時のみ帰り荷を確保した輸送を行う。その他の場合は同じルートを空車走行して戻る。
ケース4	常に帰り荷を確保した輸送を行う。

② シミュレーションの結果

各輸送ケースにおいて限界利益平均値の95%信頼区間をグラフ化したものを図8に示す。また、Games-Howellの方法により、各平均値を多重比較した結果を表9に示す。

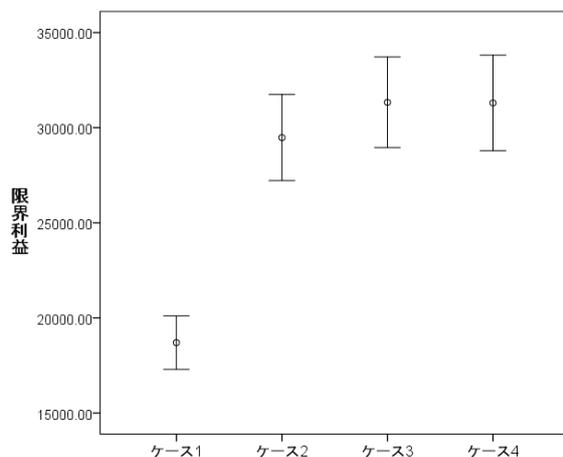


図 8 限界利益平均値の 95%信頼区間[円]
表 9 限界利益の多重比較

ケース		平均値の差	有意確率
(I)	(J)	(I - J)	
1	2	-10776.99**	< 0.010
1	3	-12630.62**	< 0.010
1	4	-12598.98**	< 0.010
2	3	-1853.64	0.632
2	4	-1822.00	0.718
3	4	31.64	> 0.990

各輸送ケースにおいて輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量平均値の 95%信頼区間をグラフ化したものを図 9 に示す。また、Games-Howell の方法により、各平均値を多重比較した結果を表 10 に示す。

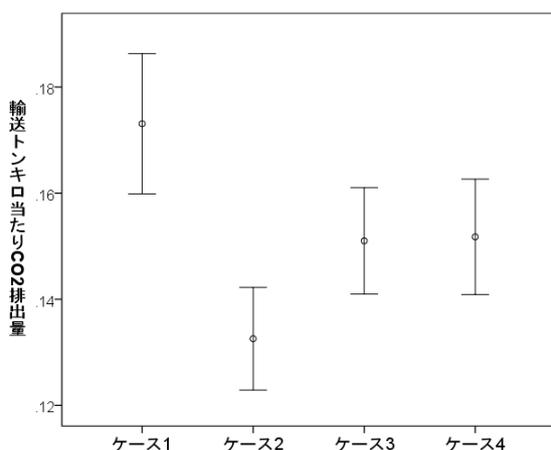


図 9 輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量平均値の 95%信頼区間[kg]

表 10 輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量の多重比較

ケース		平均値の差	有意確率
(I)	(J)	(I - J)	
1	2	0.04052**	< 0.010
1	3	0.02208*	0.045
1	4	0.02132	0.069
2	3	-0.01844*	0.046
2	4	-0.01920*	0.047
3	4	-0.00076	> 0.990

これらの結果から、鉄道コンテナトラックの集配活動においても、提案した意思決定基準は、輸送トンキロ当たり CO₂ 排出量の減少と限界利益の増大に効果的であることが認められる。

(6) 結論

本研究では、TMS が一般に管理しているデータから簡単に計算できる帰り荷確保意思決定基準と輸送経路選択法を提案した。

実績データに基づく評価と数値シミュレーションから、この両者は共に環境負荷低減に効果的であることが示された。

従って、環境負荷低減を配慮した TMS モデルは、提案した帰り荷確保意思決定基準と輸送経路選択法を支援する機能を持つべきである。

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 3 件)

- ① 若林敬造、佐藤馨一、藤田祐、CO₂ 排出量を考慮した複合輸送経路の選択、日本物流学会誌、査読有、No. 20、2012、掲載決定
- ② 藤田祐、若林敬造、渡邊昭廣、物流背後圏の分類による輸送経路の改善方策、日本情報ディレクトリ学会誌、査読有、Vol. 10、2012、27-34

[学会発表] (計 8 件)

- ① A. Watanabe, K. Sato, K. Wakabayashi, Y. Fujita, EFFECT OF GETTING BACKHAUL LOADS IN LONG-DISTANCE TRANSPORTATION, Proceedings of the 16th International Symposium on Logistics, 2011 年 7 月 11 日、Berlin, Germany
- ② 渡邊昭廣、若林敬造、藤田祐、唐澤豊、石井進、VSP によるトラックターミナルで発生する廃棄パレット回収効果について、日本ロジスティクスシステム学会、2009 年 6 月 28 日、豊橋創造大学 (豊橋市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

氏名：若林 敬造 (WAKABAYASHI KEIZOU)
研究機関・部局名：日本大学・生産工学部
職名：教授
研究者番号：90201144

(2) 研究分担者

氏名：佐藤 馨一 (SATO KEIICHI)
研究機関・部局名：北海商科大学・商学部
職名：教授
研究者番号：00091455

氏名：藤田 祐 (FUJITA YU)
研究機関・部局名：産業能率大学・経営学部
職名：教授
研究者番号：10238587