

物流センターの自動化に関する研究(前半)

—物流サービスにおける柔軟性と自動化の関係—

Research on automation in distribution center
- Relation between flexibility of logistics service and automation -



麻生 佐智世：流通経済大学 大学院物流情報学研究科
修士課程

略 歴

慶應義塾大学文学部卒業。物流会社勤務を経て、2021年より流通経済大学大学院物流情報学研究科修士課程在籍。

[要約] 近年、物流の人手不足が問題となっており、2021年に閣議決定された総合物流施策大綱でも自動化・機械化の取組の推進が挙げられる等、官民で物流の自動化の推進に積極的な姿勢が見受けられる。

本稿では、物流事業者にとって自動化は物流業務の生産性の向上及び効率化を実現し、人手不足等の課題解決に役立てられる一方で、サービスの便益といった部分にも影響を与える可能性があるという仮説の下、自動化と物流サービスの柔軟性の関係について検証する。そして検証結果を基に、物流事業者の物流センターにおける自動化の活用の仕方を考察することを本研究の目的とする。

本研究の対象は物流事業者の物流センターにおける物流を対象とする。その中でも、マテハン機器を対象とする。なお、物流センターは倉庫、TC (Transfer Center)、DC (Distribution Center)等、上記の物流の機能を提供するノードのことを指す。

「構成」

本稿は序章を含め8章構成とし、現状把握、課題の抽出及び検証、考察、まとめで構成される。本号では課題の抽出(第4章)までを掲載し、課題の検証以降は次号に掲載する。

1. はじめに

1.1 研究の背景

人口減少による作業員の減少やインターネット通販(EC)市場の急成長により、物流の人手不足が問題となっている。さらに、新

型コロナウイルスの影響も物流が直面する課題に大きな影響を及ぼしている。これらの問題を踏まえ、2021年から2025年の総合物流施策大綱では、①物流DXや物流標準化の推進によるサプライチェーン全体の徹底した最適化(簡素で滑らかな物流)、②労働力不足対策

と物流構造改革の推進(担い手にやさしい物流)、③強靱で持続可能な物流ネットワークの構築(強くてしなやかな物流)が提言されている。特に①では具体的な対策として、「労働力不足や非接触・非対面型の物流に資する自動化・機械化の取組の推進」が挙げられているだけでなく、取組に対する数値目標も設定されており、日本政府も物流の自動化及び機械化に積極的な姿勢を示している。

機器への投資状況について、公益財団法人日本ロジスティクスシステム協会(JILS)の「物流システム機器生産出荷統計」では、全産業の物流システム機器の売上が2010年度は2,716億円であったのに対し、2020年度は5,116億円と10年で約1.8倍に増えている。倉庫・運輸業界でも同時期の10年間で約226億円から約373億円に増加しており、物流事業者の物流システム機器への投資が増えていることがわかる(図1)。

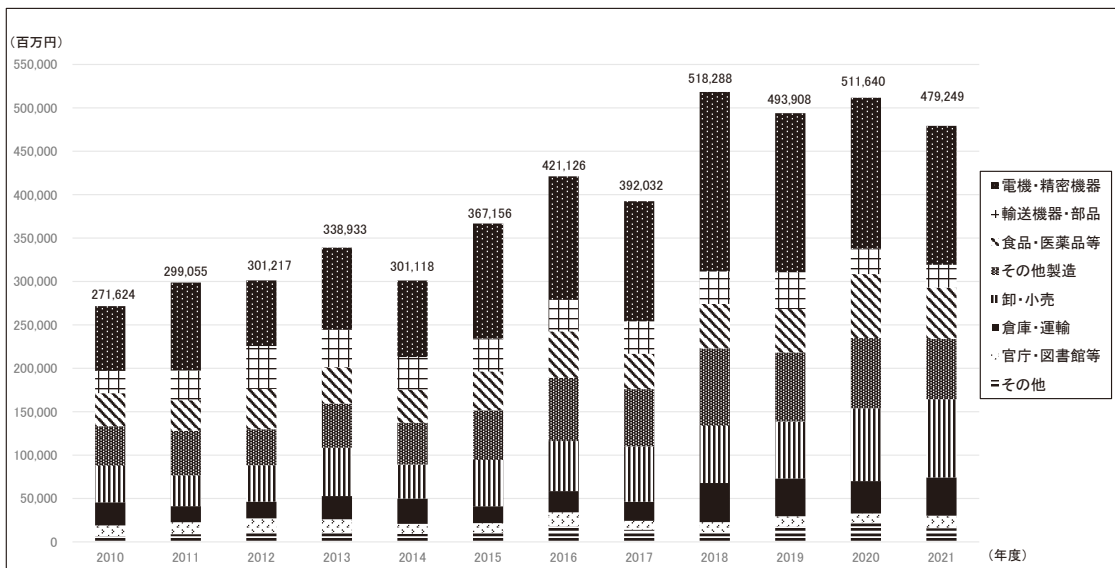
今後の予測として、矢野経済研究所では物流ロボット関連の国内市場規模が2030年度には2020年度に比べ、約8倍の約1,510億円に拡大すると予測している。小野塚(2019)も今後の物流について、「物流の装置産業化」という言葉を使い、これまでの労働集約型からの転換を指摘しており、物流業界では自動化により、作業主体が人から機械へと変わっていくことが見込まれる。

1.2 研究の目的

物流事業者が自動化を導入するあたり、費用対効果や荷主との契約期間で費用回収が可能かといったコストの問題が懸念事項として挙げられる。これらの問題の解決が見込まれることで、物流事業者は自動化のためのマテハン機器やシステムの導入を決断する。

しかし、自動化の促進にはコスト以外の問題についても検討する必要があると考えられ

図1 業種別物流機器売上の推移



公益財団法人日本ロジスティクスシステム協会「物流システム機器生産出荷統計」(2014~2021年)より作成

る。それは、物流事業者は荷主の要望に応じた物流を提供することが求められていることに関係がある。言い換えると、荷主の要望に見合ったマテハン機器を導入し、物流の自動化を行うことは作業の生産性の向上が見込める。その一方で、作業主体が機械になることは、荷主からの突発的な依頼に必ずしも迅速に対応できるとは限らず、このことが自動化の促進の妨げとなると考えられる。つまり、物流事業者は通常業務を安定的に稼働させること以外にも、緊急出荷や需要の変動へ対応することに役割がある。

本研究では、物流事業者にとって自動化は物流業務の生産性の向上及び効率化を実現する一方で、サービスの便益といった部分にも影響を与える可能性があり、それが自動化の促進を妨げる要素になっているという仮説を立て、研究を進める。具体的には、物流センターなどの物流の現場に自動化は直接的な効果をもたらす。これが上述した生産性の向上や効率化である。しかし、自動化は突発的な依頼に対応することが難しいといった、顧客満足とも関係があることを仮説とし、これを検証する。そして、検証結果を基に、物流事業者の物流センターにおける自動化の活用の仕方を考察することを目的とする。物流事業者はサービス提供者であり、機能としての物流だけでなく、機能に付随する活動も含め荷主から評価される(サービスを利用される)と考える。

本研究の対象は物流事業者の物流センターにおける物流を対象とする。また、物流センターにおける自動化は、マテハン機器のハー

ドウェアと倉庫管理システム(WMS)等のソフトウェアに分けられるが、本研究ではハードウェアのマテハン機器を対象とし、ソフトウェアは対象としない。つまり、物流の6つの機能のうち、保管、荷役、流通加工、包装に関する自動化を対象とする。なお、物流センターは倉庫、TC (Transfer Center)、DC (Distribution Center)等、上記の物流の機能を提供するノードのことを指す。

2. 言葉の定義

2.1 自動化

自動化及び関連する言葉は辞典によると、以下のとおり言及されている。

自動化

(広辞苑第6版)

人手をかけず、機械が処理する方式に変えること

(JIS工業用語大辞典第5版)

処理過程又は装置を自動操作に置き換えること、またはその結果

自動

(広辞苑第6版)

特別の手続きをしなくても自然に行われること

(JIS工業用語大辞典第5版)

指定された条件下で、人手の介入なしに機能を果たす処理過程又は装置に関する用語

自動操作

(JIS工業用語大辞典第5版)

人力によらず電氣的又は機械的にある操作の必要を検知し、機器に行わせる操作

両辞典より、3つの言葉には下線で示した「人手をかけない」及び「機械が行う」という特徴が挙げられ、自動化の作業主体は機械だということが分かる。また、これまでの作業主体は人であったという意味も読み取れる。これらの特徴を基に本稿では自動化を、「これまで人が行っていた処理を機械が行い、人による操作・判断を不要とすること」と定義する。

自動化が言及される際、「機械化」と共に使用されることが多い。機械化は広辞苑によると、「生産・労働手段に機械を導入すること」とされており、機械を利用する点や作業の効率化を図るという目的においては自動化と類似の言葉である。自動化と機械化の違いは操作及び作業の判断の主体が機械か人かにより判断される。言い換えると、自動化はマテハン機器が担う範囲が機械化よりも広く、作業の判断という点においても機械化に比べ、自動化を目的としたマテハン機器の機能の方が優れていると捉える。

2.2 物流における柔軟性

Marchet et al. (2018)は、柔軟性が3PL事業者の競争優位性及び荷主からの選定基準となっていることを指摘している。荷主の委託の仕方を、物流機能単体として委託する「戦術系」と、物流のプロセスの全体もしくは幅広く委託する「戦略系」に分けた場合、荷主の3PL事業者選定の指標はそれぞれ異なる指標が選定基準となっているが、どちらの委託の

仕方においても柔軟性は共通して3PL事業者選定の指標の1つであるとの分析結果を示している。さらに、物流事業者の柔軟性とは「刻々と変わる荷主の要請にその都度対応すること」としており、柔軟な対応がオーダーメイドの物流を提供していると解釈できる。

阿保(1991)は、物流システムの柔軟度について顧客からの例外的な要求、緊急要求に対応できる能力としている。

唐澤(2000)は、Lambert(1994)を引用し、「システムの柔軟性は突発的な出来事に効果的に応答すること」とし、さらに状況の変化に対応できることとしている。

Bowersox(2004)は、「特別な状態と異例ないし予想外の顧客要求に対しての、企業の対応能力に関わるもの」としており、さらに、「ロジスティクス面での卓越性の真髄は、柔軟さの能力にゆだねられている」としている。つまり、物流における柔軟性が製品の競争優位性に作用していると考えられる。

これらの見解より、物流における柔軟性とは顧客からの視点であり、物流事業者が状況の変化に応じて対応することと理解する。物流の柔軟性が顧客からの視点ということは、提供する物流サービスの柔軟性と理解することができる。つまり、物流事業者と荷主、もしくは発荷主と着荷主といった関係において、物流の柔軟性が考慮される。

3. 日本におけるマテハン機器の歴史と現状

3.1 自動化の歴史

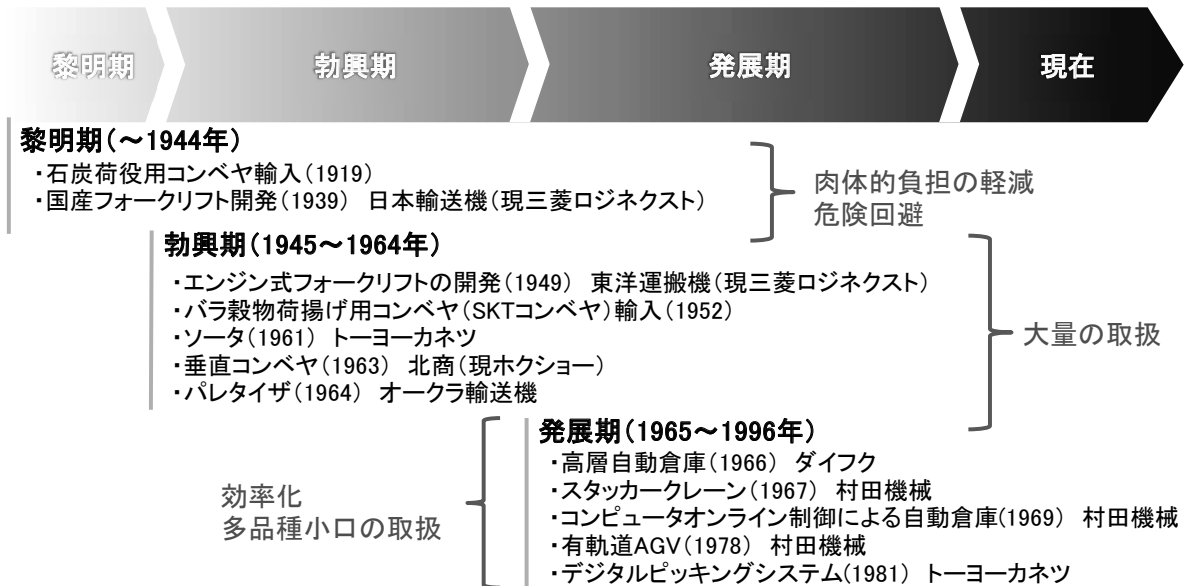
オークラマテハン研究所(1998)は、マテハン機器の開発を「黎明期(～1944年)」、「勃興期(1945～1964年)」、「発展期(1965～1996年)」の3つに区分している。これらの区分に国内大手マテハン機器メーカーの開発状況を追記し、さらに「現在」の区分を追記した図が図2である。

マテハン機器の開発の変遷を調査した結果、それぞれの時代のニーズに適合したマテハン機器が開発されてきたことが分かる。黎明期では、作業者の肉体的負担の軽減や危険

回避を目的としている。勃興期、発展期は大量生産・大量消費の時代に相当し、貨物を大量に取り扱えることに特徴がある。また、発展期後半はバブル崩壊の時期に相当し、コスト削減や改善といった効率化や多品種小口といった顧客毎の細かいニーズへの対応へと遷移している。

そして現在はロボットを活用したマテハン機器の開発が進んでいる。これまでのマテハン機器は物流センターの建設に合わせて導入するような大掛かりな設備であったのに対し、ロボットを活用したマテハン機器は複数台を利用することに特徴が見られる。複数台の利用は、業務の拡大、縮小に伴いマテハン機器の台数の増減を可能にする。一方で、現

図2 マテハン機器の開発の変遷



参考
 オークラ輸送機株式会社HP: <https://www.okurayusoki.co.jp/company/history.html>
 株式会社ダイフクHP: <https://www.daifuku.com/jp/company/history/>
 村田機械株式会社HP: <https://logistics.muratec.net/jp/about/history/>
 トーヨーカネツ株式会社HP: <https://www.tksl.co.jp/company/history.html>
 オークラマテハン研究所『マテハン昭和史』オークラ輸送機株式会社

筆者作成

時点では1つの目的(作業もしくは工程)に対し、1つの機器が利用されており、役割については、これまでのマテハン機器と同じである。

3.2 現在の自動化

現在の物流における自動化の導入は、EC市場の成長が加速したこと、人手不足、さらに技術の進化が主な要因であると考えられる。経済産業省の「電子商取引実態調査」によると、物販系のEC市場規模は2013年が5兆9,931億円であったのに対し、2021年は13兆2,865億円と毎年成長を遂げている。新型コロナウイルスの流行により2020年は12兆2,333億円と伸長率は前年比で21.7%と大幅に拡大したが、行動制限が緩和された2021年も8.61%と成長していることから、ECの利用が消費者の間で定着してきた証左であると、調査結果で報告している。上記の状況を考えると、ECの利用は今後も増加すると見込まれる。

EC向けの物流では商品を直接消費者に届けるため、ピース単位での取り扱いが基本となる。取り扱い単位が細くなることにより、ピッキング回数や仕分けの作業が増え、作業量への対応が迫られるようになった。具体的にはピッキングの回数増加に伴う歩行距離の増加が作業の生産性に影響を及ぼしている。

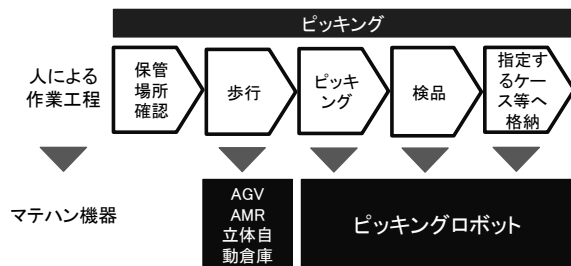
具体的なマテハン機器については、AGV (Automated Guided Vehicle)、自律走行ロボット (AMR (Autonomous Mobile Robot))、立体自動倉庫、ピッキングロボット等がある。

3.3 ピッキングにおける自動化の分類

上述したマテハン機器はいずれもピッキング作業に関するマテハン機器である。

これまで人が行っていたピッキング作業を工程ごとに細分化すると、図3のように表すことができる。さらに、図3は上述したマテハン機器がどの工程を自動化しているかを記している。

図3 人によるピッキング作業の工程とマテハン機器の作業範囲



筆者作成

AGV及びAMRは、これまで作業主体が人であった際の商品を取りに行くための歩行を自動化している。立体自動倉庫は保管も担っているが、ピッキング作業における自動化では、AGV及びAMRと同様に歩行のみが自動化され、他の工程の自動化はされていない。一方、ピッキングロボットは、商品のピッキングだけでなく、数量、欠損状況等の検品作業も自動化し、荷主へ納品する際のモノの品質に直接作用している。

歩行の自動化は保管場所へ到達するまでの速さを実現することができるが、歩行が速くても次の工程で滞留が生じてしまうと、作業全体が進まなくなる。

さらに、次の工程への引き継ぎ待ちが発生

してしまうことで、歩行を担っているマテハン機器の稼働率が上げられないことが懸念される。すなわち、歩行の自動化は次の工程の作業スピードを考慮し、マテハン機器の導入台数を検討する必要がある。

上述のとおり、細分化したピッキング作業の工程を荷主への効果という視点で考えた時、歩行は荷主にとっては非付加価値活動であり、工程としてのピッキングは付加価値活動と捉えることができる。

現時点の物流センターにおける自動化は、歩行のような非付加価値活動を削減するためのマテハン機器の開発が進んでいる。これまで、物流は数量、サイズ等、荷姿が一定ではなく、人の知見や判断により、それらを効率的に取り扱っていた。つまり、付加価値活動には状況に応じた判断が求められる。そのため、判断を必要としない歩行のような非付加価値活動を自動化する方が技術的に容易であったと考えられる。それはAGVや立体自動倉庫が決められたとおりの搬送を行うことに見出せる。EC向けの物流はピッキング回数が多いことを言及したが、ピッキング回数に応じて歩行も増えることは、非付加価値活動が増えるということである。この非付加価値活動が多いという点にAGVや立体自動倉庫が作用し、省人化の効果を得られるため、EC向けの物流と自動化は親和性が高いと理解できる。

一方、付加価値活動の自動化の実現には、マテハン機器自身が状況に応じて判断する「自律化」が求められる。AI等の情報技術の発展がマテハン機器の自律化を促す。付加価

値活動の自動化、特にピースピッキングの自動化については、現時点ではAGV等、歩行の自動化に比べると実用化はまだ進んでいないように思われるが、今後の技術の発展とともに進んでいくものと予想される。

人によるピッキングについて上村ら(2018)がピッキング作業者の意識及び行動特性について分析しており、ピッキング作業者の意識及び行動特性と生産性については、「①先の作業を見通せる知識・想像力、②作業スピードや判断を早くしようとする意識、③やりにくい作業を解決しようとする姿勢と生産性の関係が深い」としている。当たり前のことではあるが、マテハン機器には想像力や改善に対する意識は備わっていない。マテハン機器による1時間当たりのピッキング数量は人が実施した場合の作業量に未だ追い付いていないことから、これらの意識がピッキング作業において、生産性の向上に寄与しており、さらにそれはマテハン機器と比べた際の人間の優位性と捉えることができる。

3.4 物流事業者の自動化の取り組み

既に自動化を実装している物流施設としてSGホールディングスの「Xフロンティア」(東京都江東区)、日立物流の「ECプラットフォームセンター」(埼玉県春日部市)、三菱倉庫の「SharE Center misato」(埼玉県三郷市)等が挙げられる。これらはいずれもEC向けの物流に対応しており、マテハン機器のシェアリングを実現している物流センターである。マテハン機器を複数の荷主の業務で共用することで、マテハン機器の稼働率を上げている。X

フロンティアは24時間365日稼働しており、物流センター内の作業が自動化に代わることで長時間稼働を実現し、物流センターの稼働率を高めていることがうかがえる。しかし、マテハン機器の機能の制約により、これまでのようなオーダーメイドの物流ではなく、荷主がマテハン機器の制約に合わせることになる。

また、自動化の実証研究を物流事業者が独自に行っている事例もある。日本通運ではショールーム型の先端物流施設「NEX-Auto Logistics Facility (NEX-ALFA)」(東京都江東区)を2020年に開設し、鴻池運輸も「人と機械のハイブリッド現場」の実現を目標としており、「鴻池技術研究所イノベーションセンター」(東京都品川区)という研究施設を設けている。

これらの事例のように、実際の物流現場にマテハン機器を導入する前に効果を計測することで、期待と成果の乖離を埋めることができ、効果的なマテハン機器を選択することができる。また、この計測結果は物流事業者の自動化に対するノウハウとして蓄積される。

マテハン機器の導入の仕方として、「RaaS (Robot as a Service)」を利用する方法がある。RaaSはロボット(マテハン機器)を必要な期間、必要な台数をレンタルすることができる。購入してマテハン機器を所有することと比べ、レンタルは季節変動等、物量の変動に応じてマテハン機器の増減が可能である。澁澤倉庫では、アパレル向けの業務で「t-sort」という仕分けロボットをプラスオートメーションよりレンタルしており、作業の繁忙に合わ

せてロボットの台数を変更し、波動に対応している。

4. 課題と検証

4.1 課題

前章の現状把握より、マテハン機器による自動化は生産性を向上が見込まれることを理解した。しかし、2.2で定義した物流における柔軟性に加え、自動化及び物流における顧客サービスと取引について、先行研究を調査した結果(表1)、「自動化により物流の柔軟性が画一的になる」という課題が生じると考えられる。自動化におけるマテハン機器の決められたとおりの作業及び仕様は、物流事業者が提供する物流サービスに影響があることが懸念される。さらに、顧客サービスと取引の先行研究により、物流事業者は1社との取引関係を重視しており、これまでの物流の提供

表1 先行研究の整理

■自動化

先行研究	参考事項
Westernacher Consulting GmbH(2017)	自動化の分類
Varila et al.(2005) 鈴木、中村(2021) 堂本(2022)	自動化のメリット/デメリット
片亀(2019) 海野、比戸(2022)	導入の留意点
久保田(2022)	普及の課題
大澤(2020)	自動化による物流事業者の変化

■顧客サービスと取引

先行研究	参考事項
Ballou(1992)	顧客サービスと売上 取引関係の維持
Christopher(2003)	取引関係の維持
美藤(2009)	アメリカのロジスティクス研究における アベイラビリティの見解と日本の 物流事業者の顧客サービスの関係

の仕方を考えると、マテハン機器の制約により、突発的な状況に対応できるという柔軟性が一定となってしまうということが考えられる。さらに、競合他社が同等の自動化を実現するマテハン機器を利用すれば、同じ作業結果となり、差別化が図れなくなってしまうという懸念もある。

自動化により物流の柔軟性が画一的になるということは、①物流事業者の独自性が見出せないこと、②イレギュラーな状態に対応できないという2つの要素が挙げられる。①の独自性とは、物流事業者が荷主から選定される要素のことで、競合他社と比べた際の競争優位性と捉える。②のイレギュラーな状態は事前に取り決められない状態のことで、具体的には緊急対応やシステム停止や災害といった障害発生が挙げられる。

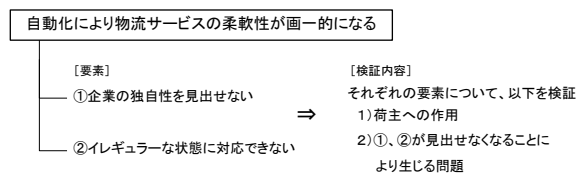
4.2 検証方法

上述した課題の要素である①物流事業者の独自性が見出せないこと、②イレギュラーな状態に対応できないことについて、物流事業者のサービスに与える影響をそれぞれ検証する。検証する内容は①及び②がこれまでどのように荷主へ作用していたかを理解することに加え、自動化により①及び②が見出せなくなることで生じる問題とする。

検証は物流関連事業者へのヒアリング、先行研究及び自動化の事例を基に行う。ヒアリングは日用品メーカー（1社）、物流コンサルティング（2社）、マテハン機器メーカー（1社）の計4社へ実施した。先行研究は先述した顧客サービスに加え、3PL事業者に関する

先行研究を調査した。

図4 課題検証のアプローチ



筆者作成

本号では、現状把握及び課題について言及し、検証結果及び考察については、次号に掲載予定である。

参考文献

- (1) 海野裕也, 比戸将平, 「AI×ロボット×シミュレーションで切り拓く物流の将来展望」, 『ロボット』, 2022, No.264, p.31-34
- (2) 大澤遼一, 「物流における自動化の進展と物流会社の取るべきポジション」, 『NRIパブリックマネジメントレビュー』, 2020, Vol.205, p.2-11
- (3) 片亀忠行, 「物流業界におけるロボット導入に関する一考察～物流センターにロボットシステムを導入する際に必要な知識体系の整理～」, 『倉庫』, 2019, 第153号, p.53-70
- (4) 上村聖, 黒川久幸, 麻生敏正, 「ピッキング作業者の意識及び行動特性と生産性との関係性に関する一考察」, 『日本物流学会誌』, 2018, 第26号, p.33-40
- (5) 久保田精一, 「物流自動化とマテハン機器の普及に向けた現状と課題」, 『流通ネットワーク』, 2022, No.329, p.44-47
- (6) 堂本拓磨, 「物流現場における独自のアルゴリズム研究開発を活用した自動化の実現～現場の導入まで～」, 『ロボット』, 2022, No.264, p.25-30
- (7) 美藤信也, 「SCM組織間関係における顧客サービス構造の分析－日本の物流業におけるアベイラビリティの視点から－」, 『日本物流学会誌』, 2009, 第17号, p.129-136
- (8) Gino Marchet, Marco Melacini, Sara Perotti, C. Sassi, "Types of logistics outsourcing and related impact on the 3PL buying process: empirical evidence", *International Journal of Logistics System and Management*, 2018, Vol.30, No.2, p.139-161
- (9) Mikko Varila, Marko Seppänen, Esko Heinonen, "Effects of Automation on Cost Accounting: A Case Study in Warehouse Logistics", 7th Manufacturing Accounting Research Conference Tampere Finland May 30th-June 1, 2005, 2005
- (10) 阿保栄司, 『物流サービスの戦略的展開』, 第3版, 東京, 白桃書房, 1991, p.77-82,

- (11) オークラマテハン研究所, 『マテハン昭和史』, 兵庫オークラ輸送機株式会社, 1998, p.30-42, p.52-112, p.126-128, p.188
- (12) 小野塚征志, 『ロジスティクス4.0ー物流の創造的革新』, 東京, 日本経済新聞出版, 2019, p.23-26
- (13) 唐澤豊, 『現代ロジスティクス概論』, 東京, NTT出版, 2000, p.101-127
- (14) 鈴木邦成, 中村康久, 『物流DXネットワーク ビジネスパーソンのための〈コネクティッドロジスティクス〉の基礎知識』, 東京, NTT出版, 2021, p.90-91
- (15) D.J. パワーソックス, D.J. クロス, M.B. クーパー, 『サプライチェーン・ロジスティクス』, 訳者代表 松浦春樹, 島津誠, 東京, 朝倉書店, 2004, p.69-75
- (16) Martin Christopher and Helen Peck, Marketing Logistics, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, 2003, p.22-40
- (17) Ronald H. Ballou, Business logistics management, 3rd ed., Prentice Hall, 1992, p.79-107
- (18) 経済産業省HP: 令和3年度デジタル取引環境整備事業(電子商取引に関する市場調査), <https://www.meti.go.jp/press/2022/08/20220812005/20220812005.html>
- (19) 国土交通省HP: 最近の物流政策について, <https://www.mlit.go.jp/common/001388194.pdf>
- (20) 公益財団法人日本ロジスティクスシステム協会 HP: 物流システム機器生産出荷統計調査, <https://www1.logistics.or.jp/data/manufacture.html>
- (21) "The trend towards warehouse automation.", Westernacher Consulting GmbH, 2017
- (22) 物流ロボットの市場規模, 10年後に約8倍 民間調査, 日本経済新聞, 2020年9月24日, 日経電子版