



公益財団法人 SBS鎌田財団

2018年度 物流研究助成 成果報告書

2021年3月

公益財団法人 SBS鎌田財団

目次

- 5 SBS鎌田財団の目的
- 6 物流に関する学術研究を振興するための助成について
- 6 物流研究助成の選考委員について
- 7 はじめに
- 7 2018年度(2018/7/1～2019/6/30)物流研究助成事業

2018年度研究報告

- 9 輸送機器向け走行中ワイヤレス給電システムに適したモータに関する研究
静岡大学 工学部 電気電子工学科 助教 青山 真大

- 16 物流とマーケティングの統合可能性と方法
～マーケティング視点による物流課題解決への取り組み
流通経済大学 流通情報学部 准教授 横井 のり枝

- 24 スマート物流社会を実現する無線給電RFIDにおける印刷プロセス型アンテナの開発
東京大学 大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻 特任准教授 渡邊 峻一郎

- 31 自律移動が可能な手押し台車の開発
愛媛大学 大学院理工学研究科 機械工学コース 准教授 李 在勳

- 42 物流業における健康経営の推進に関する研究
愛知学院大学 経営学部 教授 丹下 博文

- 47 企業間の垂直連携による物流生産性向上に関する研究
ー加工食品における企業連携による商取引条件、商慣行の見直しー
流通経済大学 流通情報学部 教授 矢野裕児

- 67 物流用マルチコプタードローンの着陸時転倒防止機構の開発
名古屋大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 飛行・制御講座 教授 原 進

- 80 物流作業の効率化に向けたパッシブ方式 人体通信によるピッキングシステムの開発
東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科 助教 村松 大陸

- 87 2019年度 新規採択研究助成 一覧
- 88 公益財団法人SBS鎌田財団

SBS鎌田財団の目的

趣意

物流はこれまで経済社会の構造変化と共に進歩してきました。近年ではネット通販の発展等、多様化する消費者ニーズに応えるべくサービスの高度化を果たしています。

しかしながら、サービス品質が向上する一方で、旧来から効率化という根本的課題を抱え続けています。物流の効率化は、物流に直接携わる関係者にとってはもちろんのこと、企業、一般消費者にとっても重要な課題であります。また、輸送の安全確保も重要課題の一つです。社会に安全・安心を与えるためには、事故のない輸送を実現しなければなりません。そして、もう一つの課題が環境負荷の低減です。物流分野はこれまで大幅なCO₂排出量削減を実現しているものの、昨今の地球温暖化の状況から、さらなる努力を続けなければなりません。

これらの課題解決には、学際的な研究が継続的に行われる必要があります。当財団は、物流の学術研究を支援することで、あらゆる産業にかかわりを持ち経済や生活に不可欠な社会インフラである物流の進化を促し、産業全体の競争力強化と国民生活の向上に寄与することを目的に設立したものであります。

事業

この法人は、次の各号に掲げる事業を行う。

1. 物流の振興・発展に資する学術研究に対する助成
2. 物流の振興・発展に資する研究集会、シンポジウム、セミナー等の開催に対する助成
3. 学生・生徒に対する奨学金の給付
4. その他この法人の目的を達成するために必要な事業

物流に関する学術研究を振興するための助成について

物流分野の振興・発展に資する学術研究に対する助成、同分野における研究集会、シンポジウム、セミナー等開催に対する助成を通じて、当分野の学術および産業の振興・発展をもって産業全体の発展と国民生活の向上に寄与することによる社会貢献を目的とします。

【助成内容】

- (1) 物流分野の振興・発展に資する学術研究
 - (2) 物流分野の振興・発展に資する研究集会、シンポジウム、セミナー等の開催
- 公募によって上記内容の申請に対して、必要資金の全部または一部を助成

【助成予定件数】

- (1)(2)合わせて6件、1件50万円を上限とする。(総額300万円)

【応募方法】

- ① 毎年1回 大学および関連研究機関に公募の案内を発送(日本全国400校程度)
- ② 毎年1回 当財団および助成支援団体のホームページ等への掲載により公募

【応募制限】

大学・大学院・その他研究機関に在籍し、物流分野に係る研究活動に従事する個人または団体を対象とする

【募集時期】

募集期間 10月1日～11月末

【決定時期】

3月(本人に通知)

【助成期間】

4月1日から1年間

【選考方法】

全ての応募から有識者からなる選考委員会にて選考後、理事長が助成を決定する。

物流研究助成の選考委員について

当財団の物流研究助成の選考委員は多様な物流業務形態および現場業務に精通した豊富な経験と物流学術研究ならびに物流コンサルティングなどの実績に富んだ、幅広い知見を有した識者から構成されています。

選考委員長 靄岡 征人(SBSロジコム株式会社 取締役常務執行役員 営業本部長)
市川 隆一(株式会社サプライチェーン経営研究所 代表取締役)
豊増 隆弘(ノーウェアアベニュー株式会社 代表取締役)

はじめに

本成果報告書は2018年度物流研究助成に採択された研究の成果をとりまとめたものである。当年は、23件の応募が寄せられ、9件が採択された。どれも公益性、社会性、先見性、そして学術性に優れた研究である。

今回寄せられた研究も社会インフラである物流らしく、極めて関連範囲が広い。こうした研究・報告が、今後の物流および産業全体の振興および国民生活向上の一助になることを心から願っている。

最後に、当研究助成に貴重な研究成果を寄せられた研究者の皆様をはじめ、ご協力をいただいた全ての方々に心から感謝を申し上げる次第である。

2021年4月

公益財団法人 SBS鎌田財団
代表理事 鎌田 正彦

2018年度(2018/7/1～2019/6/30)物流研究助成事業

助成件数と助成額(2019年3月25日に開かれた理事会で承認)

プログラム	応募件数	助成件数(件)			助成金額(千円)		
		新規採択	継続	合計	新規採択	継続	合計
物流研究助成	23	9	0	9	4,499	0	4,499

採択助成研究一覧(研究期間：2019/4/1～2020/3/末)

No	氏名(職位)所属機関	研究課題	助成額(千円)
1	青山 真大(助教) 静岡大学 工学部 電気電子工学科	輸送機器向け走行中ワイヤレス給電システムに適したモータに関する研究	500
2	横井 のり枝(准教授) 流通経済大学 流通情報学部	物流とマーケティングの統合可能性と方法 ～マーケティング視点による物流課題解決への取り組み	500
3	渡邊 峻一郎(特任准教授) 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻	スマート物流社会を実現する無線給電 RFIDにおける印刷プロセス型アンテナの開発	500
4	李 在勲(准教授) 愛媛大学 大学院理工学研究科 機械工学コース	自律移動が可能な手押し台車の開発	500
5	丹下 博文(教授) 愛知学院大学 経営学部	物流業における健康経営の推進に関する研究	500
6	矢野 裕児(教授) 流通経済大学 流通情報学部	企業間の垂直連携による物流生産性向上に関する研究 —加工食品における企業連携による商取引条件、商慣行の見直し—	499.14
7	宇田川 真之(特任助教) 東京大学 大学院 情報学環 総合防災情報研究センター	災害時の救援物資物流に関する図上演習用教材の研究開発	500
8	原 進(教授) 名古屋大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 飛行・制御講座	物流用マルチコプタードローンの着陸時転倒防止機構の開発	500
9	村松 大陸(助教) 東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科	物流作業の効率化に向けたパッシブ方式 人体通信によるピッキングシステムの開発	500

輸送機器向け走行中ワイヤレス給電システムに適したモータに関する研究

静岡大学 工学部 電気電子工学科

助教

青山 真大



研究題目: 輸送機器向け走行中ワイヤレス給電システムに適したモータに関する研究

①研究開始当初の背景

昨今の環境負荷問題に対する物流を担う輸送機器分野における解決策として、輸送機器の電動化が盛んに研究開発されている。輸送機器の電動化社会の実現に向けて、走行中ワイヤレス給電技術が注目されている。この技術により、走行中給電は電車のように必要なエネルギーをインフラが供給し、電動車自体が持たなければならないエネルギーを最小限にできるため、走行エネルギーのETC化社会という新しいインフラシステムの提案が可能となり、物流の発展と振興に大きな進歩をもたらす意義がある。

②研究の目的

本研究では、走行中ワイヤレス給電システムの低コスト化と高効率化を目的に、走行中ワイヤレス給電システムの実機実証と、走行中ワイヤレス給電システムに適したモータの基礎検討を行う。前者はTAMIYA製ミニ四駆を改造して、電池やコンデンサ等のエネルギー蓄電装置を有さないで受電コイルのみを有し、路面側から給電されるエネルギーを走行中に逐次給電しながら走行する。路面側は送電コイルと受電コイルに給電するためのインバータで構成されるシステムを開発する。後者は、走行中ワイヤレス給電の航続距離向上を実現するために、駆動源となるモータの軽量化が重要となる。鉄心使用量を大幅に低減してもトルクを発生できるように磁界共振結合原理で駆動するモータの構造について電磁界解析にて基礎検討を行う。

③研究の方法

前述のとおり、本研究は小テーマとして以下の2つあり、それぞれについて述べる。

3-1. 走行中ワイヤレス給電システム

- 1) 3D-CADソフト「SolidWorks」を使用して送電コイルボビンや受電コイルボビンの構造設計、3Dプリンターを使用して両コイルボビンの製作、TAMIYA製ミニ四駆を改造して走行車両を試作する。
- 2) 回路シミュレータ「PSIM」を使用して高周波励磁用インバータの回路設計、基板加工機（オリジナルマインド製CIP100）を使用してインバータ基板の製作およびインバータ試作を行う。
- 3) 超音波センサおよびワンボードマイコン「Arduino」を用いて走行中車両検出システムの構築およびリレー制御による送電コイル用インバータ切替えシステムの構築。
- 4) 走行中ワイヤレス給電の実機検証

3-2. 走行中ワイヤレス給電システムに適したモータの基礎検討

- 1) 無鉄心構造の基礎検討として 3D プリンターで無鉄心モータの製作および駆動試験
- 2) 電磁界シミュレーションによる電磁共振結合モータの原理を実現する磁気回路検討
- 3) 電磁界シミュレーションによるモータ駆動性能の予測

④研究成果

図 1 に本研究で実施した内容を示す。

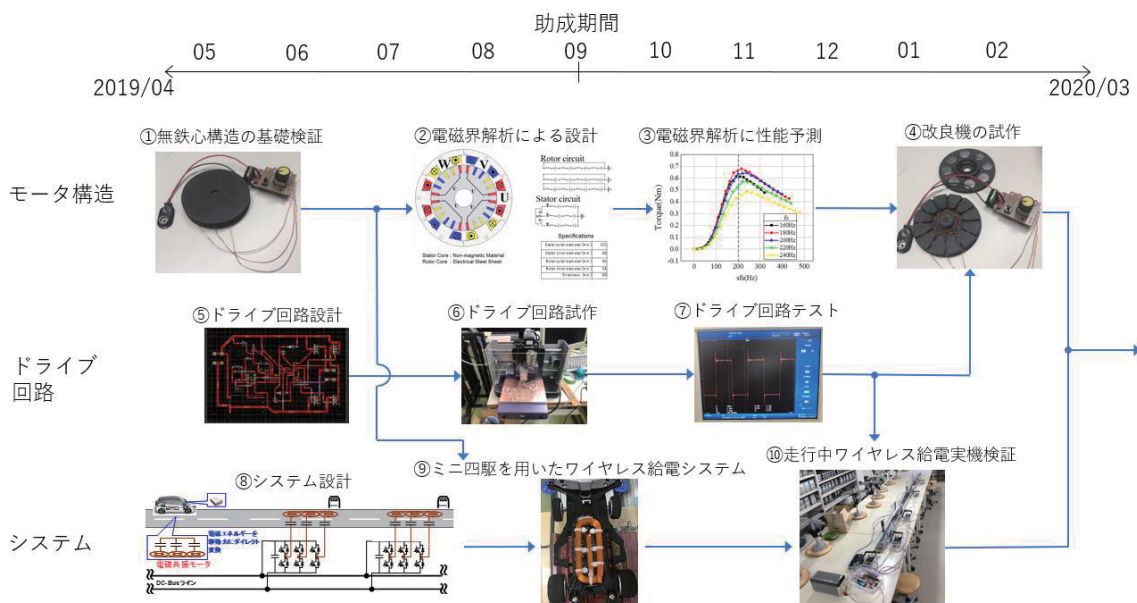


図 1. 本研究で実施した内容

4-1. 走行中ワイヤレス給電システム

図 1 の⑧システム設計で走行中ワイヤレス給電システムの机上検討を行い、同図の⑨ミニ四駆を用いたワイヤレス給電システムを試作、⑩走行中ワイヤレス給電実機検証を行った。図 2 に示す送電コイル励磁用インバータ回路の設計および製作、通電インバータリレー制御回路の製作を行った。

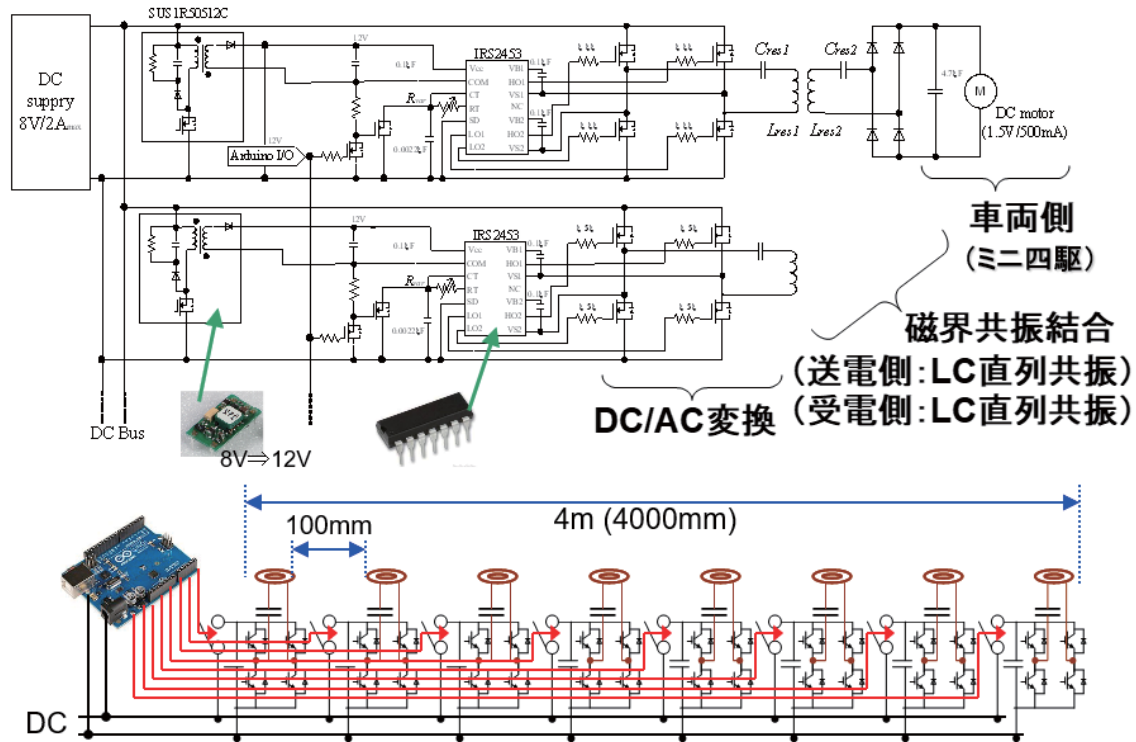


図 2. 送電用コイル励磁用インバータおよび通電インバータリレー制御

また、図 3 に示すようにワイヤレス給電時の電圧および電流波形の観測をオシロスコープと電流プローブおよび電圧プローブ(差動)を用いて行い、システムの評価と実機検証を行った。

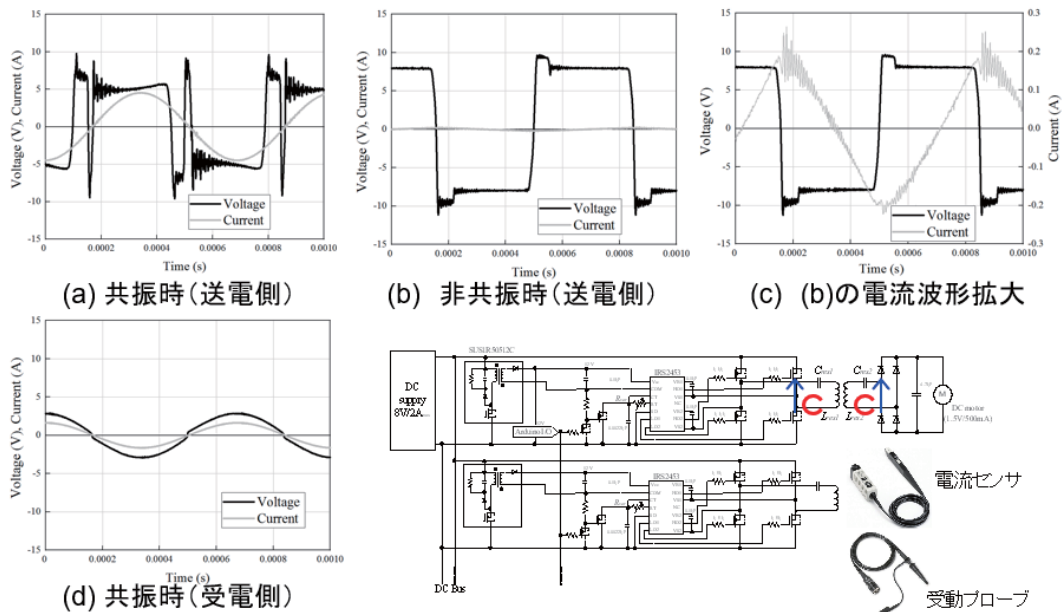


図 3. 電圧・電流波形計測によるワイヤレス給電システムの評価

本研究期間における研究成果は、電子情報通信学会 無線電力伝送研究専門委員会主催のコンテスト「ミニ四駆ワイヤレス給電走行レース～WPT 受電台車を牽引！」～（2019年9月10日に大阪大学豊中キャンパスで開催）に出場し、走行中ワイヤレス給電システムの展示および実機実証を行った。

参考 URL : https://www.ieice.org/~cs/wpt/contest/Cont_2019-society/

4-2. 走行中ワイヤレス給電システムに適したモータの基礎検討

コアレス構造で駆動可能なモータの基礎検討のため、鉄粉入りフィラメントを用いて3Dプリンターでステータとロータを製作してアキシシャルギャップ構造のモータを試作した。乾電池で駆動可能な小型検証機を試作し、コアレス構造で自己始動しながら回転が可能なことを実機検証できた。

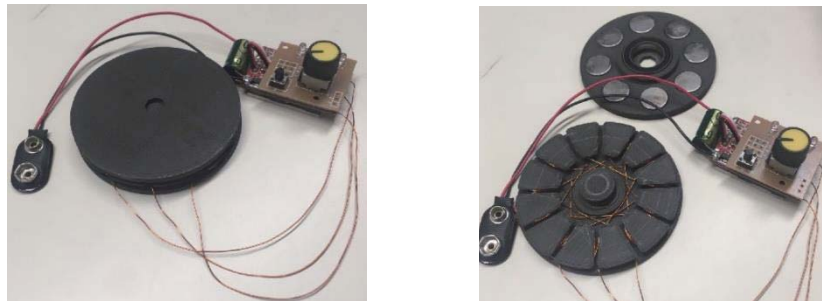


図 4. 3D プリンターで試作したコアレスモータ

電磁界シミュレーションにて LC 共振結合形誘導電動機の磁気回路設計を行った。図 5 に示すように、研究室で実験するために小型小容量で磁気回路設計をした。85kHz での磁気回路構築を試みたが、磁束密度を既存モータと性能が比肩する値まで高めることができず、現状は 200Hz の励磁にとどまっている。電磁力は磁束密度×二次電流×導体長で決まり、鉄心の透磁率が大きく諸性能に関係するため、性能向上に必要な個所にだけ鉄心を配置する構造で鉄心使用量を低減しながら性能と小型軽量化を両立できる磁気回路を現在検討している段階である。

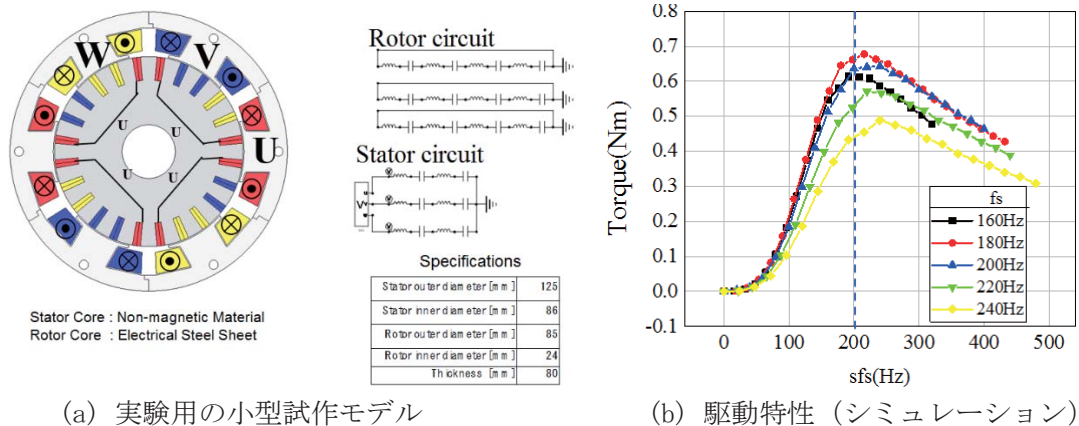


図 5. 研究室での実験用に小型設計した LC 共振結合形誘導電動機

⑤今後の課題

小テーマにおいてそれぞれ以下の課題が挙げられる。

5-1. 走行中ワイヤレス給電システム

- 1) 今回の基礎実験では直線距離を走行するワイヤレス給電システムの検討を行ったが、実際には登坂路やS字カーブ、雨天、道路への金属類の落下物、渋滞、走行性能の異なる様々なタイプの車両への対応、車両のダイナミクスなど様々なシチュエーションがある。ワイヤレス給電時は特に送電用コイルと受電用コイル間に金属類の落下物があると誘導加熱原理で金属落下物を加熱してしまうため、落下物を検知して落下物を誘導加熱しない状況でワイヤレス給電を行わなければならない。また、登坂路においては車両ダイナミクスによる上限振動で送電コイルと受電コイル間のギャップが逐次変動するため、ギャップ長が変化しても車両走行に必要なエネルギーを安定的に供給できる必要がある。
- 2) システムを小型化するためには、ワイヤレス給電する周波数を高周波化させてエネルギーの蓄電を行う受動素子（インダクタやコンデンサ）の容量を小さくする必要がある。一方、我が国では電波法施行規則第46条の2第1項10号にEV用WPT装置に関する規則が定められており、磁界共振型WPT方式により利用周波数79～90kHz（85kHz帯）、最大送電電力7.7kW、電力伝送距離最大30cm程度が利用条件に定められている。この制約の中で受動素子の小型化も実現するためには85kHzで共振するモードと3倍調波で共振するモードも付加した多段共振させるのが望ましい。さらに、現状の技術では受電後に一旦整流し、モータを駆動する任意の周波数にインバータで再度電力変換を行っている。このエネルギー変換回数を低減すれば部品点数の削減と小型軽量化を実現できる。

5-2. 走行中ワイヤレス給電システムに適したモータの基礎検討

- 1) 5-1の2)で述べたように走行中ワイヤレス給電システムの実現には車両側におけるエネルギー変換回数の削減による小型軽量化が重要となる。そのためには受電した85kHz帯の周波数のエネルギーでそのまま磁界共振結合によってトルクを発生させることができるモータの開発が重要となる。巻線形誘導電動機の技術を基盤として、ステータとロータともにLC共振回路で構成され、85kHz帯を共振周波数に設定することでエネルギー変換回数を削減することが可能になる。
- 2) 前述の磁界共振結合形モータの場合、高周波励磁されるため鉄心部における鉄損増加が懸念される。鉄心使用量を大幅に低減もしくは少量のフェライトコアを用いることで車両駆動用モータ要求仕様を満たすモータ技術が重要となる。

⑥主な発表論文等

6-1. 学術論文

現在、研究成果をまとめた内容を電気学会論文誌Dへ投稿するため論文作成中。

6-2. 発表

電子情報通信学会 無線電力伝送研究専門委員会主催のコンテスト「ミニ四駆ワイヤレス給電走行レース～WPT 受電台車を牽引！」～（2019年9月10日に大阪大学豊中キャンパスで開催）に出場し、走行中ワイヤレス給電システムの展示および実機実証を行った。

参考 URL : https://www.ieice.org/~cs/wpt/contest/Cont_2019-society/

物流とマーケティングの統合可能性と方法 ～マーケティング視点による物流課題解決への取り組み

流通経済大学 流通情報学部

准教授

横井 のり枝



1. 研究の背景と目的

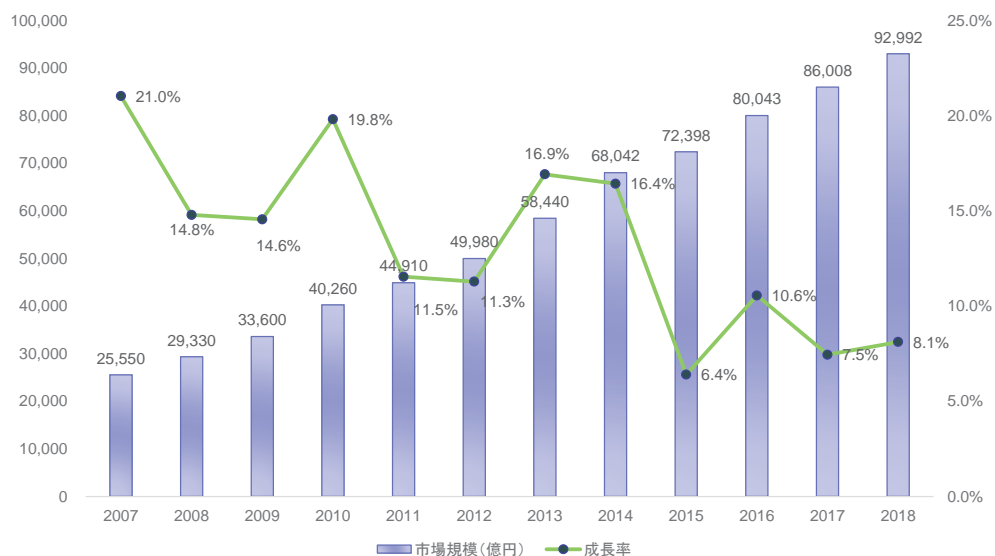
日本の E コマース市場規模は拡大している。経済産業省が毎年公表する電子商取引の実態に関する報告書「我が国におけるデータ駆動型社会における基盤整備（電子商取引に関する市場調査）」によれば、物販分野における B to C 市場規模は、2007 年には 2 兆 5,000 億円規模であったが、2013 年には 5 兆円を超え、2018 年には 9 兆円に拡大した。ここ 5 年の平均成長率は 9.8% であることから、10 兆円市場となるのは遠くない状況にある。

一方、日本の全物販市場の販売額に占める E コマース販売額の比率（以下、EC 化率）でみると、2007 年には 1.5% であったが 2011 年には 3% に、そして 2016 年には 5% を超え、2018 年には 6.2% に伸長している。カテゴリー別でみると、いずれの比率も伸びているが、2018 年は生活家電や PC 機器等の比率が 32.3% と最も高く、書籍および映像・音楽ソフトが 30.8%、そして生活雑貨や家具、インテリアが 22.5%、アパレル類が 13.0% と続く。最も低い比率は食品・飲料および酒類で 2.6% であり、他のカテゴリーに比べて 10% 以上も低い。これは食品には生鮮品が含まれ、都度購入する消費者も多いことから、店舗での購入が非食品に比して高いと考えられる。

しかし、今後は食品購入のインターネット利用も増加することが予想される。総務省の「通信動向調査」によると、インターネットを利用して商品を購入した経験比率が、衣料品では 30 代の比率が 46% と最も高い。この 30 代を頂点として、以降は年代が上がるほどその割合が下がり、60 代になると 15% 程度である。一方、食料品は 40 代が 31% と最も高い。ただし、30 代から 60 代も 3 割前後の利用経験があり、30 代以降の年代別の利用経験差がアパレル品に比べると少ない。10 代から 20 代は衣料品等に比して食品の利用経験率が低いが、個人の嗜好品として購入する食品は店舗で購入するが、インターネットを利用して生活必需品の食品を購入することは、家族に頼ることが考えられる。

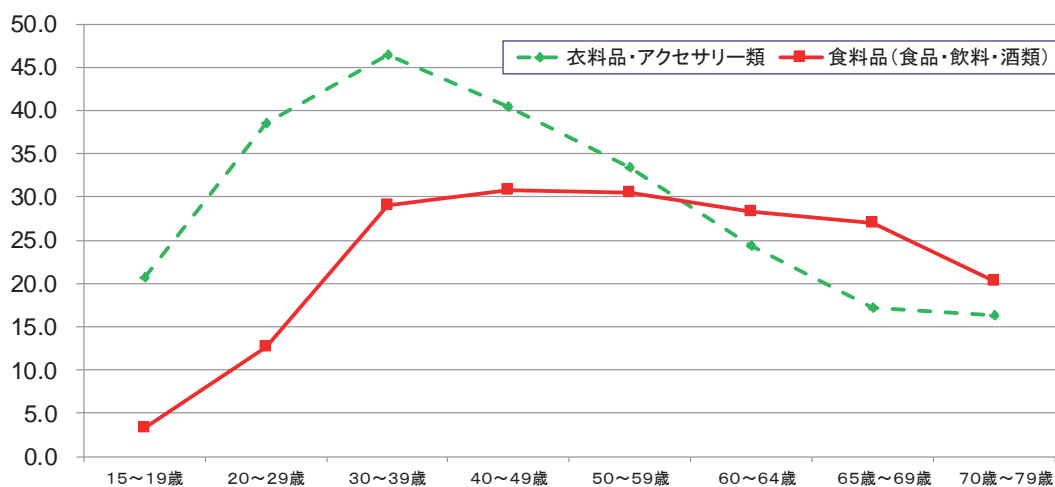
食品は、インターネットを利用することに抵抗のない世代の幅が広く、かつ同調査以降にネットスーパーの展開を積極化する事業者は増加していることから、今後は、食品もインターネット利用による買物頻度が増加することが予想できる。

図1：日本のB to C市場規模推移（物販分野）



出典：経済産業省「我が国におけるデータ駆動型社会における基盤整備（電子商取引に関する市場調査）」

図2：家庭内からインターネットを利用しての商品購入経験比率（2012年）



出典：総務省「通信利用動向調査」

注：2013年以降は食料品と日用雑貨品の合計のみが発表されているため、2012年分を掲載した

このような背景もあり、宅配便の取扱個数は増加している。国土交通省が2019年に発表した報道資料によると、調査をはじめた1992年の宅配便取扱個数は約12億個であった。そして、インターネット経由による販売が増加しはじめた1990年代後半から急激に取扱個数が増加し、1998年には約18億個になった。2008年には約32億個、さらに2018年には約42億個に増加している。

E コマース市場規模が拡大し、宅配便の取扱個数が増加する一方で、ドライバーの高齢化や再配達率の増加により、物流業者の負荷が高くなっていることが問題になっている。これらの問題の解決には、配送頻度や時間指定などの物流のサービス条件の改善と効率化だけではなく、荷主による販売促進を含めたマーケティング活動の改善と効率化が不可欠であるが、従来のマーケティングは販売するまでにとどまっているのが現状である。

そこで本研究では、E コマース市場規模の拡大にともない、さらに需要が高まる物流業界が抱える課題解決を念頭に、物流とマーケティングを統合する可能性について検討する。

2. 研究方法

最初に、マーケティング分野の既存研究より、マーケティングにおける物流の位置づけについて整理する。そもそも、マーケティングにおける基本的な戦略的要素として4つのP（製品、価格、流通、プロモーション）があり、物流を含んだ流通はその一角を占めているが、マーケティングプランの設計において、物流は製品計画や価格設定などに比して、軽視されていることがBahnt et al. (2015) によって指摘されている。そこで、これまでのマーケティングにおける物流の位置づけと役割を再整理する。

次に、消費者の買物行動を物流の視点から整理する。全物販市場の販売額に占めるEC化率が高まる現状から、消費者がインターネット経由での買物する際に重視する要素と物流との関係性を把握し、販売と物流との連携の重要性を明らかにする。

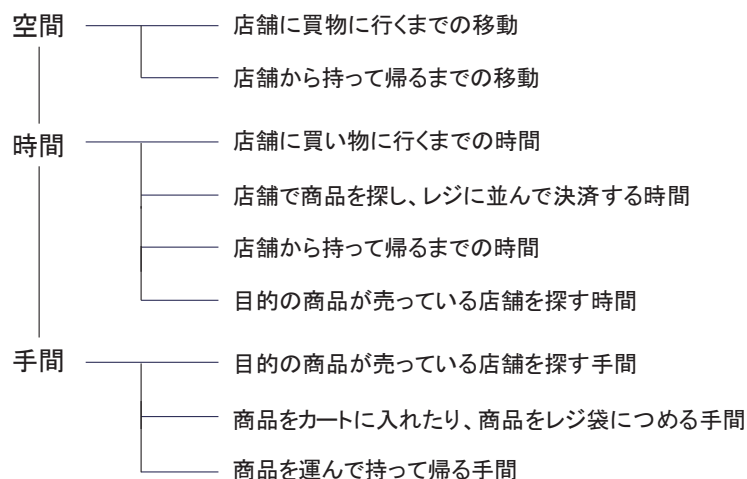
3. 研究成果と今後の課題

インターネットが発展して以降、消費者は店舗とインターネットの双方を利用して買物をするようになった。Gijsbrechts et al. (2008) は、店舗選択はひとつの店舗選択から複数店舗選択に変化したことを指摘している。その上で、店舗選択には時間や労力といったサーチコストがかかるが、複数店舗を常時利用することにより同コストを削減できること、さらにその選択にはオンラインも含まれており、商品リサーチ用と購買用に使い分ける現状をDavid et al. (2015) およびNoble et al. (2005) が明らかにしている。

実際に商品を手にとり検討するには、店舗に出向く必要がある。しかし、店舗や商品価格などのリサーチにかかるコストは、インターネットを利用することにより削減できる。検索エンジンを利用することは、物理的に移動して探すよりも手間はかからないため、インターネット利用のメリットとなりうる。

そこで、リサーチの他に、インターネット利用により消費者にとってメリットとなりうる要素を、物流視点から検討した。そして、消費者の買物行動を「空間」「時間」「手間」の3つの視点で整理した（図3）。

図3：3つの「間」で見る買物行動



出典：横井（2020）

表1：3つの「間」視点でみる店舗での買物にかかるコスト

	空間	時間	手間
1 店まで買物に行く	○	○	
2 店内で商品を探す		○	○
3 商品をカゴに入れる		○	○
4 レジに並ぶ		○	○
5 決済する		○	
6 商品をレジ袋等につめる		○	○
7 商品を運ぶ	○	○	○
8 自宅等まで帰る	○	○	○

出典：横井（2020）

注：○=要するコスト

表2：3つの「間」視点でみるインターネットによる買物で削減されるコスト

	空間	時間	手間
1 店まで買物に行く	✓	✓	
2 店内で商品を探す		○	▲
3 商品をカゴに入れる		○	▲
4 レジに並ぶ		✓	✓
5 決済する		○	
6 商品をレジ袋等につめる		✓	✓
7 商品を運ぶ	✓	✓	✓
8 自宅等まで帰る	✓	✓	✓

出典：横井（2020）

注：✓=削減されるコスト、○=要するコスト、▲=店舗での買物と同様にかかるコスト

次に、実店舗における消費者の買物においてかかるコストが、この3つの視点のいずれに当てはまるかを整理した（表1）。表中において、かかるコストに○印をつけており、項目により複数の視点が当てはまる。目的の商品を販売している店舗で買物をするには、当該店舗まで自動車や自転車、徒歩などで行かなければならない。商品を購入後には当該店舗から自宅等に帰らなければならない。つまり、消費者自らが動くという移動、「空間」を要する。その移動には「時間」を要する。時間を要するのは、移動だけではない。店内で商品を探す、商品をカートに入れる、次の商品を探す、商品をカートに入れることを繰り返し、購入したい商品をすべてカートに入れた後にレジに並び決済するには、時間を要する。レジが混雑していなければ所要時間は少なくなるが、混雑していたらさらに時間を要する。決済を終えると、商品をレジ袋に詰める作業という「手間」も必要になる。そしてそれらの商品を自家用車に運ぶ、あるいは手で持って徒歩で運ぶ手間が必要となる。さらに、ひとつの店舗で商品をすべて購入可能なワンストップショッピング型の店舗であればよいが、欲しい商品がひとつの店舗で見つからなかった場合には、上記の作業を他店舗でも繰り返すことになる。

一方、店舗での買物に比して、インターネットを利用して商品を購入する場合に削減されるコストを検討したものが表2である。店舗での買物にはかかるが、インターネットを利用した場合には削減されるコストを、✓印で示した。また、要するコストは○、そして店舗での買物と同様にかかるコストを▲で示した。要するコストは、店舗と同じボリュームで要するとは限らないが必要となるコストを示し、店舗と同様にかかるコストと分別した。

まず削減されるのは、店舗まで行き、戻ってくるまでの移動距離である。この「空間」におけるコストはすべて削減される。さらに、移動に付随する時間および手間も削減される。次に空間に付随する以外にかかる「時間」コストであるが、商品は探す時間、商品をカゴに入れる時間、そして決済を行う時間は、インターネット経由で買物をするときも、時間としてはかかるため、要するコストである。ただし、多数の商品を一度に買う場合はインターネットを利用したほうが時間はかからないなど、総時間数が削減されることもある。そして「手間」であるが、商品を探すという手間、そして画面上であっても商品をカゴに入れるという手間は必ずかかるため、店舗での買物と同様にかかるコストとした。一方、インターネットを利用すれば、決済後に商品をレジ袋につめる、商品を運ぶ時間も手間もかからないため、これらは削減されるということになる。

以上から、インターネット利用の買物では、「空間」だけではなく、「時間」「手間」の大部分のコストが削減されることが明らかである。つまり、商品を実際に触れる、あるいは商品の具体的な説明を販売員から聞くことができないというデメリットを除けば、消費者にとってインターネット利用による買物は、多くのメリットがある。

この消費者にとってメリットとなる要素に、物流が貢献する度合いは高い。買物に行く、および帰るといった移動、そして商品を運ぶという作業、つまり「空間」「時間」「手間」の多くを物流業者が代行してくれる。もちろん、インターネット上に店舗があるか

からこそ移動する必要はないのであるが、物理的な商品を手に入れるには、現在いる場所まで配送してもらわなければ買物は完結しないため、物流業者が担う役割は大きい。

以上から、これら「空間」「時間」「手間」の3つの「間」という視点により明らかになった、消費者が買物によって得られるメリットは、利便性と呼ばれる要素の一部であり、消費者がインターネットを経由して買物をするという動機になること、そしてその買物動機を創出する利便性に、物流業者の果たす役割が大きいということが明確になった。この結果を基にした研究論文を学会誌に投稿している（後述参照）。

一方、この消費者の買物動機となる利便性は、販売側にとっても競合他社との差別化要素となりうる付加価値である。それにもかかわらず、配送業者に任せてしまっているという現状は、課題として残る。荷主企業にとっては、製造から販売までは従来の仕組みで行うが、配送は販売に付随するものと捉えられたままであり、配送サービスの付加価値創造には乏しい。そこで、EC化率が10%を超え、人口ひとりあたりのEC経由の商品売上高が最も高い米国の現状を把握すべく、ヒアリング調査を行った。その結果、インターネット販売において配送を付加価値として提供し、かつ配送のタイミング等をコントロールする販売業者がおり、販売から配送までを融合していく取り組みについて知見を得ることができた。今後は、この米国実態調査の結果をもとに、日米の比較をしながら検討し、物流とマーケティングの融合のあり方についてまとめていく予定である。

参考文献：

- Bahnt, K. D., Granzin, K. L. and Tokman, M. (2015) “End-User Contribution to Logistics Value Co-Creation: A Series of Exploratory Studies”, *Journal of Marketing Channels*, 22:1, pp.3-26.
- David, N., Schramm-Klein, H., Rank, O. and Wagner, G. (2015) “Customer Segmentation in Retailing based on retail Brand Patronage Patterns”, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol.25, No.15, pp.449-459.
- Gijsbrechts, E., Campo, K., E., Nisol, P. (2008) “Beyond Promotion-based Store Switching: Antecedents and Patterns of Systematic Multiple-store Shopping”, *International Journal of Research in Marketing* Vol. 25, No.1, pp.5-21.
- Noble, S. M., Griffith, D. A., and Weinberger, M. G. (2005) “Consumer Derived Utilitarian Value and Channel Utilization in a Multichannel Retail Context”, *Journal of Business Research*, Vol.58, pp.1643-1651.
- 国土交通省 (2019) 「平成30年度宅配便取扱実績について」2019年10月1日付報道発表資料
- 経済産業省 (2018) 「我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備（電子商取引に関する市場調査）平成30年度」

総務省（2012）「平成 24 年通信利用動向調査 世帯編」

横井のり枝（2020）「物流起点の小売マーケティング研究」，日本産業経済学会『産業経済研究』，pp. 119-131.

4. 主たる研究業績

学会発表：日本フードシステム学会 2019 年度全国大会 個別報告
タイトル「小売国際化戦略と企業の業績」

投稿論文：日本産業経済学会 『産業経済研究』 2020 年 3 月発行
タイトル「物流起点の小売マーケティング研究」（学術論文、査読有）

謝辞

本研究は、SBS 鎌田財団により物流研究助成（2018 年度）をいただいたことにより実現いたしました。鎌田正彦代表理事をはじめ、公益財団法人 SBS 鎌田財団の関係各位に対しまして、心より感謝申し上げます。また、本研究に際し、ヒアリングにご協力いただいた企業の皆様、また物流の視点から数々のご助言をくださった流通経済大学の苦瀬博仁教授にも感謝申し上げます。次第です。

スマート物流社会を実現する無線給電RFIDにおける印刷プロセス型アンテナの開発

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻

特任准教授

渡邊 峻一郎



1. 研究開発当初の背景

現在、我が国では通信販売・ネット注文による経済の多様化に加え、超高齢化社会に伴う働き手・運び手不足が顕在化しており、これらを解決しうる次世代インフラの構築が急務の課題である。生産から消費までのサプライチェーンにおいて、製造・在庫管理・販売・配送・小売を様々なプレーヤーが個別に担当する中で、製品を個別個品単位で認識可能な RFID タグを用いたトラッキングシステムを利用したスマート物流社会の実現が希求されている。経済産業省が策定した「コンビニタグ 100 億枚宣言」(2017 年)に代表されるように、コンビニやドラッグストアの商品に電子タグを貼付し、個品管理を実現する新たなインフラが構築されつつある。電子タグは、電波を利用して非接触で個体を識別する素子であり、アンテナ及びユニークなデジタル ID を形成するための論理演算回路から構成され、1 円以下で製造できることが望ましいとされている。国内の印刷メーカーは、シリコンチップを用いて RFID タグの開発を進めているものの、コストの面から 1 円を下回ることは困難とされている。

研究実施者らは、超低コストかつ高性能の単結晶有機半導体技術を基盤に、RFID タグの回路技術と生産技術に発展に取り組んできた。有機半導体を用いた論理演算回路は、用途に合わせたオンデマンドな設計・実装を可能とすることから、シリコンチップと比較し圧倒的に安価かつ低消費電力な RFID タグの社会実装が可能であり、事実申請者らは印刷プロセスによる有機論理演算素子の開発に近年成功している。有機論理演算素子の開発に目処が立っている一方で、データ送受信及び電波による無線給電を可能とするアンテナの研究開発が立ち遅れている現状である。

2. 研究の目的

室温付近の印刷プロセスで製造可能な有機半導体は、製造コストを大幅に削減することが可能であり、1 円タグを実現できる素子として国内外で盛んに研究されている。その中でも、研究実施者らは単結晶の有機半導体薄膜を印刷プロセスで成膜することに成功しており、最も高速で動作する有機半導体論理回路の作成にも成功している。有機論理演算素子の開発に目処が立っている一方で、データ送受信及び電波による無線給電を可能とするアンテナの研究開発が立ち遅れている現状である。特に、全印刷型の RFID を指向する際には、印刷プロセスを用いてアンテナを製造することが望ましい。伝送・無線給電技術ともに基礎研究レベルでは原理検証が行われているものの、無線給電に関してはアンテナに接続される論理演算回路の性質を正確に考慮する必要があるため、有機半導体論理演算素子開発と一体化したアンテナ研究は皆無である。したがって、本研究では、有機半導体論理演算素子に適用可能な印刷型の UHF (920 MHz) 帯アンテナの設計・開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では、印刷プロセスで製造できる有機半導体論理演算素子と適用する UHF (920 MHz) 帯アンテナの設計・開発を行う。特に 3メートル程度の距離から無線給電による RFID タグの自律駆動を達成することを最大の目標とし、以下に示す二つの課題に取り組む。

A. 印刷可能なフレキシブルアンテナの設計

本研究では、コンビニやドラッグストアのアイテムを主な対象とし、そのパッケージに RFID タグを実装することを想定したフレキシブルアンテナの開発を行う。これらの開発に先立ち、パッケージ製造メーカーからのヒアリングを行い、RFID タグのサイズ・基板材質・強度などの設計要素を抽出する。この結果を材料科学・プロセス工学にフィードバックすることで、実装にも耐えうるフレキシブルアンテナの設計を行う。アンテナを構成する電極材料として、銀微粒子や導電性高分子を検討する。また、印刷工程と適用性のある無電解めっきプロセスによるアンテナのパターニングも精査する。

B. 電磁場シミュレーションによる高効率無線給電アンテナの開発

無線給電を高効率で行うためには、アンテナのインピーダンス整合を行い、エネルギーロスのないアンテナ設計を行う必要がある。インピーダンス整合を適切に行うためには、アンテナの形状・材質に加えて、アンテナに接続される有機半導体論理回路の周波数応答特性を正確に把握し、A で得られたタグ形状要件を満足するように電磁場シミュレーションからアンテナの設計を行う。申請者が開発した有機半導体論理回路は、5V 数十マイクロワットの低電圧・低消費電力で駆動することを確認しているため、3メートル離れた読み取り機器からの無線給電は十分可能であると予想している。

C. 印刷型有機単結晶トランジスタを用いた整流素子の開発

アンテナで受信した交流信号を直流信号に変換するためには、整流素子が必要不可欠である。今回、超短波帯 (VHF 帯: 30 - 300 MHz) で応答する有機トランジスタの開発を並行して行う。超短波帯は、FM ラジオ放送やアマチュア無線などの電波として利用されており、長距離無線通信に向けた初期検討を実施する。

4. 研究成果

A. 印刷可能なフレキシブルアンテナの設計

有機半導体集積回路の研究開発を行なっているパイクリスタル株式会社へのヒアリングの結果、5cm×7cm 程度の長方形型フレキシブル素材上にアンテナと有機論理回路の実装が理想的であることがわかった。この結果を元に、B と連動して印刷型のアンテナの設計を実施した。

フレキシブル基板上でのアンテナ電極の成膜について、銀微粒子インクを用いたスクリーン印刷によって80 マイクロメートル程度の印刷精度でパターン形成が可能であることが分かった（図 1）。アンテナ電極の精度としては十分であり、有機集積回路と組み合わせたオール印刷型の RFID の大量製造に目処が立ったと言える（論文準備中、特許出願中）。



図 1 スクリーン印刷によって作製した銀微粒子電極の微細パターンニング。

B. 電磁場シミュレーションによる高効率無線給電アンテナの開発

有機集積回路のインピーダンスを考慮したアンテナの設計を実施した。アンテナ形状の決定には CST Studio Suite を用いたシミュレーションを実施した。A で確立した印刷プロセスを用いてフレキシブル基板上に製造した印刷型アンテナのインピーダンス・周波数特性を実測した。シミュレーションと実験の結果はよく一致し、アンテナの設計・製造にも目処が立ったと言える。

また、無線給電給電に関して、3メートル程度の距離から5ボルト、50マイクロワット（有機半導体集積回路の動作に必要な電力）を目標にアンテナ受信効率と整流回路の設計を行った無機半導体実装チップを使用し、複数ステージの Dickson 回路からなる整流・増幅回路

を設計し、3メートルの距離目標は達成できなかったが、1.5メートル程度での目標を達成できた。

C. 印刷型有機単結晶トランジスタを用いた整流素子の開発

半導体集積デバイスの応答周波数は、論理演算を担うトランジスタの移動度とそのチャネル長に依存する。微細加工手法として、フォトレジストを用いたリソグラフィが広く使用されているが、多くのフォトレジストは有機半導体薄膜にダメージを与えることが知られており、有機トランジスタにおいては、リソグラフィによる高移動度と短チャネル化を両立することは困難である。

今回、有機半導体単結晶の薄膜上にフッ素系高分子膜を薄くコーティングすることで、有機半導体でのダメージフリーリソグラフィ手法を新たに開発し、1マイクロメートルスケールの微細加工を達成した。高移動度と短チャネル化を同時に達成したことで、トランジスタ遮断周波数の世界記録を2倍程度更新し、世界最速となる38 MHzを達成した。さらに、この有機トランジスタにおいて、交流信号を直流信号に変換する整流性を調べた結果、100 MHzでもその整流性が失われないことを実証した(図2)。

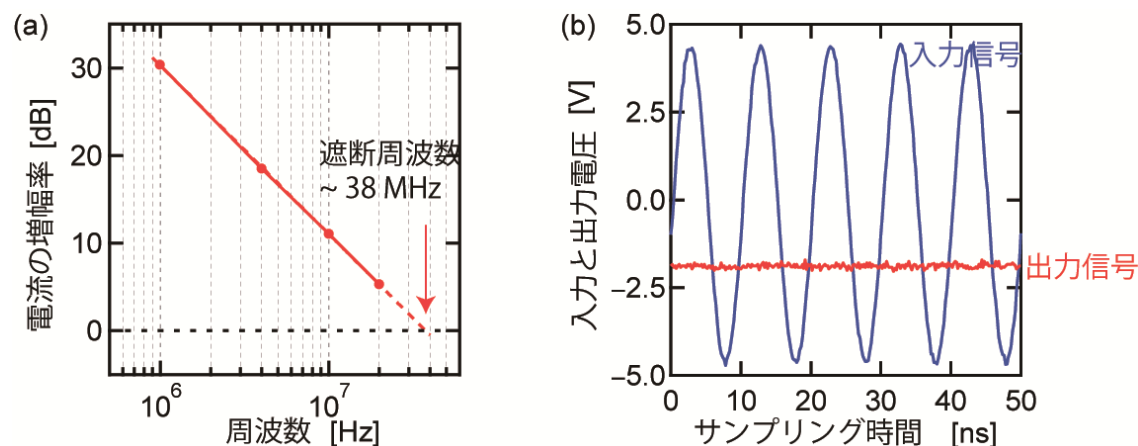


図2 作製した有機トランジスタの応答特性。

(a) 入力電流に対する出力電流の増幅率の周波数依存性。増幅率が得られなくなる周波数を遮断周波数と定義する。

(b) 入力電圧信号と出力電圧信号。100 MHzの交流入力信号を直流出力信号に変換できた。

5. 今後の課題

本研究計画では、印刷プロセスで製造される有機集積回路と適用性のあるアンテナ製造に必要な基盤技術を確立し、オール印刷プロセスを用いた低コスト RFID タグの開発に目処が立ったと言える。並行して実施した、有機単結晶トランジスタの動作周波数は、無線タグの給電に十分応用可能なレベルに達している。さらに、今後、超短波帯以上の帯域へと拡張し、長距離無線通信が可能な有機集積回路の実現が期待される。簡便な印刷プロセスで量産できることから、今後の IoT 社会を担う物流管理に用いられる低コストの無線タグや、電磁波から電力を供給する無線給電システムへの幅広い展開が考えらる。

6. 主な発表論文等

1. Tatsuyuki Makita, Ryohei Nakamura, Mari Sasaki, Shohei Kumagai, Toshihiro Okamoto, Shun Watanabe*, and Jun Takeya*

“Electroless-plated Gold Contacts for High-performance, Low Contact Resistance Organic Thin Film Transistors”

Advanced Functional Materials, in press (2020).

2. Akifumi Yamamura, Takaaki Sakon, Kayo Takahira, Takahiro Wakimoto, Mari Sasaki, Toshihiro Okamoto, Shun Watanabe*, and Jun Takeya* (*corresponding author)

“High-Speed Organic Single - Crystal Transistor Responding to Very High Frequency Band”

Advanced Functional Materials, **30**, 1909501 (2020).

東京大学プレスリリース「世界最速トランジスタを実現 — 短チャネルと高移動度を両立する微細加工技術を開発 —, 2020年2月26日」

3. Tatsuyuki Makita, Akifumi Yamamura, Junto Tsurumi, Shohei Kumagai, Tadanori Kurosawa, Toshihiro Okamoto, Mari Sasaki, Shun Watanabe*, and Jun Takeya* (*corresponding author)

“Damage-free Metal Electrode Transfer to Monolayer Organic Single Crystalline Thin Films”

Scientific Reports, in press (2020).

東京大学プレスリリース「高精細にパターンニングされた電極をさまざまな表面に取り付けられる手法を開発, 2020年3月13日」

4. Xiaozhu Wei, Shohei Kumagai*, Kotaro Tsuzuku, Akifumi Yamamura, Tatsuyuki Makita, Mari

Sasaki, Shun Watanabe*, and Jun Takeya (*corresponding author)

“Solution-processed flexible metal-oxide thin-film transistors operating beyond 20 MHz”

Flexible and Printed Electronics, **5**, 015003 (2020).

5. Tatsuyuki Makita, Shohei Kumagai, Akihito Kumamoto, Masato Mitani, Junto Tsurumi, Ryohei Hakamatani, Mari Sasaki, Toshihiro Okamoto, Yuichi Ikuhara, Shun Watanabe*, and Jun Takeya* (*corresponding author)

“High-performance, semiconducting membrane composed of ultrathin, single-crystal organic semiconductors”

Proceedings of the National American of Sciences, **117**, 80 (2020).

東京大学プレスリリース「シールのようにピタッと貼れる高品質な有機半導体の超薄膜を開発, 2019年12月17日」

自律移動が可能な手押し台車の開発

愛媛大学 大学院理工学研究科 機械工学コース

准教授

李 在勳



1. 研究開始当初の背景

自律移動機能は既に無人搬送車 (AGV) に適用され多く利用されている。しかし既存の技術は、レーザスキャナなどの高価な装置を使用するとともに磁気テープやランドマークなどの現場環境の整備が必要であるため、個別の台車のみに応用することは難しい問題がある。

そこで本研究では、ドローンに使われているトラッキングカメラを用いた位置推定方法を活用して、台車のみで自律移動が可能な新しい技術を開発する。提案する方法は、安価なセンサと小型の計算機で構成されるコンパクトな制御システムを台車に組み込むことで、作業現場を追加的に整備することなく台車のみによる自律移動を可能にする。特に、手押し操作の移動によって移動命令の経路計画を行うことで、関連知識や技術のない人でも簡単に使用できる、非常に独創的な方法を提案する。

搬送用台車は、物流分野を含む様々な産業現場において物体を運ぶ作業に最も多く利用されており、本研究の成果は生産性を向上させる革新的な技術になると予想される。

2. 研究の目的

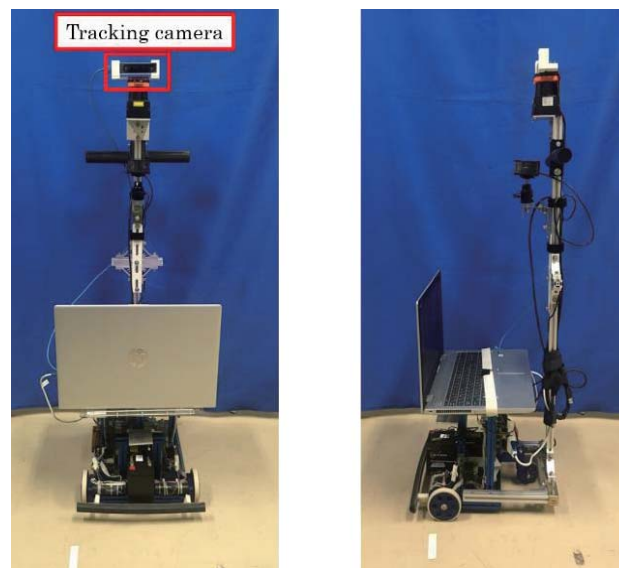
本研究の目的は、物体搬送用台車のための自律移動技術を開発することである。具体的には、使用者が手押し操作で一度移動した経路を認識し、再び安全に自律移動することが可能な新しい搬送用台車を開発する。

3. 研究の方法

本研究ではドローンに多く使用されている自己位置推定機能を有するトラッキングカメラを台車の自律移動に応用した。自律移動機能のための位置推定アルゴリズムを開発した後、手押し台車の移動制御を行なった。

3.1 実験システム

台車の代わりに実験システムとして Fig. 1 の移動車ロボットを開発して利用した。車体の左右の前輪が駆動輪として用いられ、後輪のフリーキャストが車体を水平に維持するために装着されている。駆動輪には回転角度を計測するエンコーダが装着されており、両車輪の回転角度を測定しオドメトリ法で台車の自己位置を推定することが可能である。しかし、一般的なオドメトリ法による自己位置推定には累積誤差があるため、長距離の移動では正確な位置情報が得られない。本研究では、トラッキングカメラとオドメトリ法の両方を同時に活用することで安定的な自己位置の推定を目指す。そのトラッキングカメラを実験システムの上部に、前方方向に装着した。移動車ロボットの上板には自己位置推定と移動制御の計算のための計算機を装着した。その仕様を Table 1 に示す。

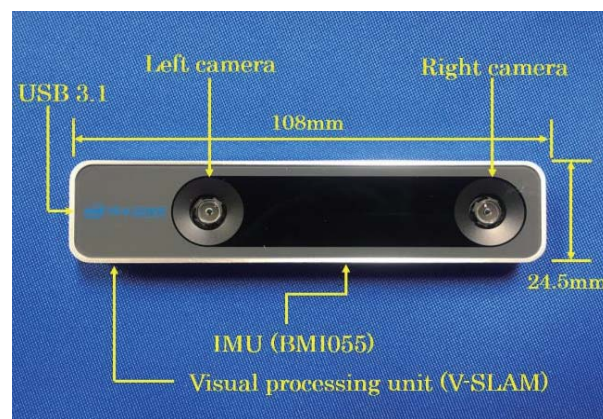


(a) Front view

(b) Side view

Fig. 1. Mobile robot with tracking camera**Table 1.** Specifications of the computer utilized

Part	Name
Processor	Intel® Core™ i3-8130U CPU @ 2.20GHz×4
Memory	3.7 GB
Operating system	Ubuntu16.04LTS 64bit

**Fig. 2.** Intel RealSense Tracking Camera T265

実験システムのメインセンサとしては、Fig. 2 に示す Intel 社製のトラッキングカメラである T265 を利用した。このセンサは左右の魚眼レンズ付きのグレースケールカメラと慣性センサ(IMU, Inertial Measurement Unit)からの計測データを用いて、内部にあるマイコンが VSLAM 法 (Vision-based Simultaneous

Localization and Mapping)による自己位置推定計算を行う。また、VPU(Vision Processing Unit)を用いることで省電力(1.5W)の時間遅延が少ない計算を可能である。さらに、台車のオドメトリ法による位置情報などを融合することも可能である。

3.2 自己位置推定アルゴリズム

移動車システムの自己位置情報は、車輪の回転角度測定からのオドメトリ法によるものと、トラッキングカメラからのものの両方を利用し安定的な位置情報を推定する。両方の座標系をFig. 3に示す。トラッキングカメラでの座標系は、右方向がx、上方向がy、背後方向がzであるが、本研究では図3に示すように前方方向を X_c 、左方向を Y_c 、上方向を Z_c と定義する。ただし、移動車システムは平面上に移動するのでトラッキングカメラの高さは無視する。オドメトリ法による自己位置に対する座標系は両車輪の中心にあってその方向はトラッキングカメラと同様に定義する。

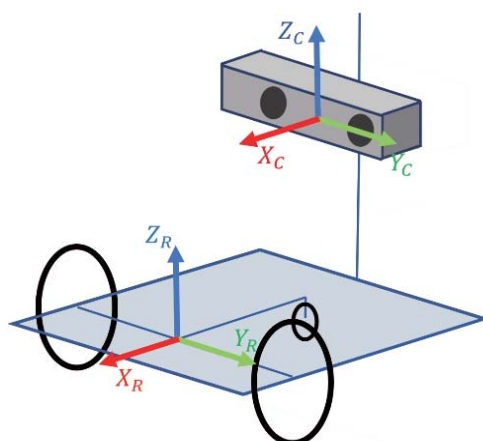


Fig. 3. Coordinate systems of tracking camera and robot

トラッキングカメラは慣性センサのデータを活用しているため、急な動きや振動などが発生した時に位置情報に大きな誤差が起こる短所がある。振動が許容範囲内であれば画像処理から得られた特徴点の比較によって位置誤差の除去が可能であるが、車輪が凹凸や段差を乗り越えるなどの大きい振動が発生した場合は位置誤差が大きくなる。従って、ドローンのようにプロペラや移動による機体での振動は、許容範囲内にあるためトラッキングカメラの位置推定への影響を抑えることが可能である。しかし、移動車システムの場合は車輪が地面の凹凸と接触する際の振動がトラッキングカメラにおいて大きい位置誤差を発生させる。一方、車輪の回転角度測定とオドメトリ法による位置推定は、走行距離が長くなるほど誤差が累積されて大きくなる問題があるが、車輪の振動による急激な位置誤差は発生しない。そこで本研究では、トラッキングカメラの振動による急激な位置誤差を、オ

ドメトリ法による位置情報を用いて除去するアルゴリズムを提案する。

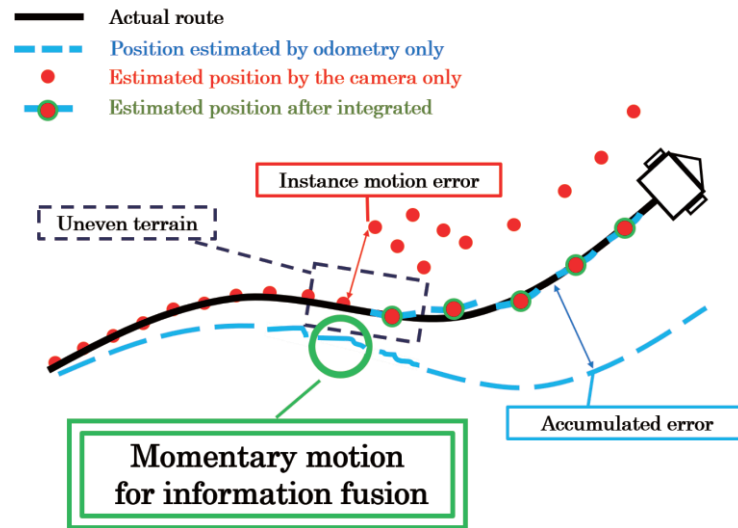


Fig. 4. Concept to solve tracking camera's instant position error due to vibration by using odometry information

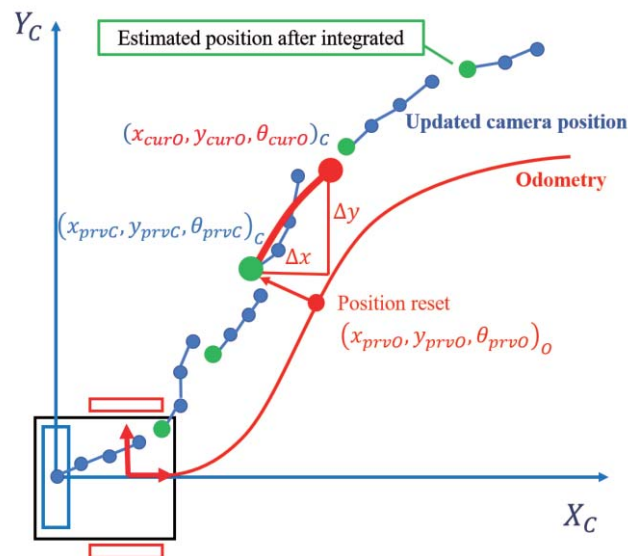


Fig. 5. Obtaining current position with respect to camera coordinate system by using odometry measurement during one-time interval

移動中に振動が発生した時の位置推定方法を Fig. 4 に示す。移動車システムが波線の四角形で示した凹凸の地面を走行する際に、トラッキングカメラのみで位置推定する場合は赤点で示すような急激かつ大きい位置誤差が発生する。しかしオドメトリ法による位置情報は走行距離が長くなるほど位置誤差が増加するため、凹凸の地面でも小さい位置誤差は発生するが急激な変化や大きい誤差は発生しない。従って、トラッキングカメラによる位置情報に急激な変化がある時にオドメトリ法による位置情報を反映することで安定的な位置推定を可能にできる。

その具体的な方法を Fig. 5 に示す。サンプリング周期毎に、トラッキングカメラで推定した現在の位置をオドメトリ法によるロボットの現在の位置として更新する。同時に、ロボットはオドメトリ法を用いてそのサンプリング時間の間に以前の位置から移動した現在位置とそれに基づいた移動速度を計算し、その値をトラッキングカメラに転送する。トラッキングカメラはロボットからの移動速度を用いて振動による急激な位置誤差を除去する。

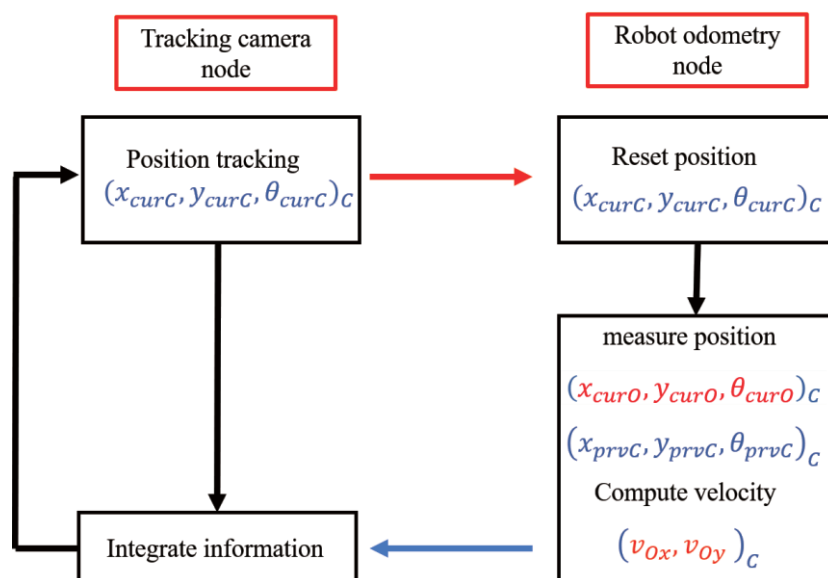


Fig. 6. Schematic of ROS to integrate information

以上のような情報の流れは Fig. 6 のように構成されており、ROS のミドルウェアで構築した。ROS での情報の更新は 20[Hz]で行われる。ここで、 (x_c, y_c, θ_c) はトラッキングカメラの ROS ノードで推定した現在の位置、 (x_o, y_o, θ_o) はオドメトリノードで両車輪の回転角度から推定した現在の位置である。従って、以前の位置である (x_{prevC}, y_{prevC}) と、サンプリング時間の間に移動した位置をオドメトリ法で推定した現在の位置 (x_o, y_o, θ_o) から、現在の移動速度は次のように計算できる。

$$v_{Ox} = \frac{x_o - x_{prevC}}{\Delta t} \quad (1)$$

$$v_{Oy} = \frac{y_o - y_{prevC}}{\Delta t} \quad (2)$$

この移動速度はオドメトリ法を用いた計算であるため、地面の凹凸による振動に対して安定的な移動情報を得ることが可能であり、トラッキングカメラでの位置推定において振動に影響を受けやすい慣性センサによる位置誤差を除去する役割を行うこととなる。

3.3 自動帰還のための自律移動機能

本研究で開発した自己位置推定機能を基に、移動した経路の情報を用いて出発した位置に自律で復帰する移動機能を開発した。自己位置推定のための ROS プログラムに、手押し移動中に移動経路を記録するノードと、自律移動機能で出発地点に帰還するためのノードを追加してプログラムを開発した。その構造を Fig. 10 に示す。

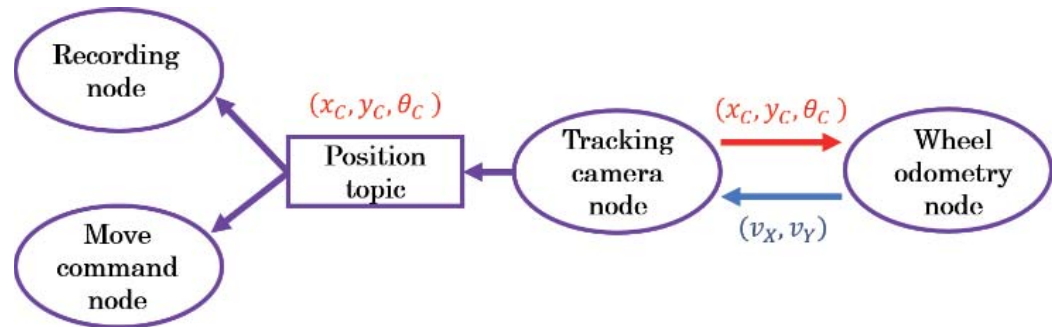


Fig. 10. Schematic of ROS for memory homing

4. 研究成果

4.1 自己位置推定実験

開発した実験システムと提案した方法を用いて、地面の凹凸を追加する際の自己位置推定性能に対する実験を行なった。Fig. 7 は実験場所の様子を示す。室内のロビであり、盲人のための凹凸ブロックの部分がある。また、移動システムは四角形の経路に手押しで移動させた。

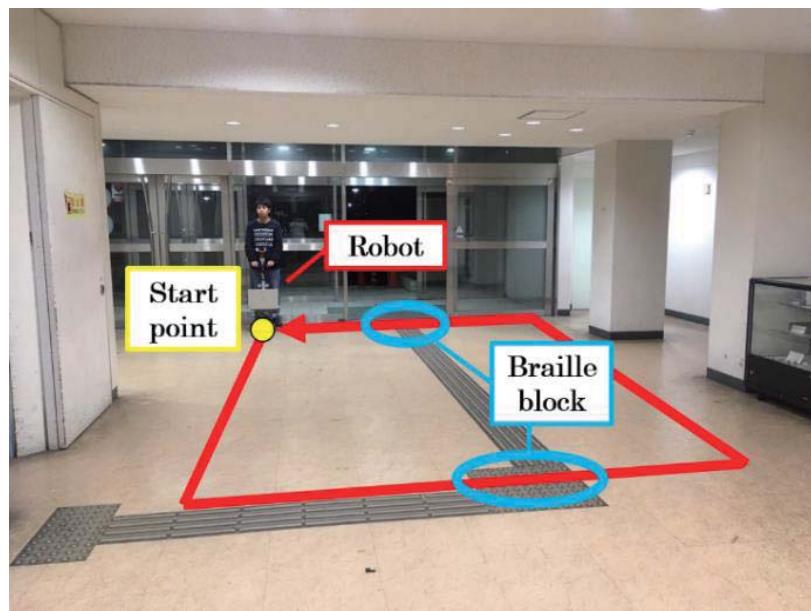


Fig.7. Experiment environment

先ず、提案した方法を適用せずトラッキングカメラのみで位置推定実験を行なった結果を図8に示す。4回の移動実験結果から、凹凸ブロックの部分进行する場合だけでなく、平坦な部分で移動する時でも振動の影響で急激な位置誤差が発生することがわかる。

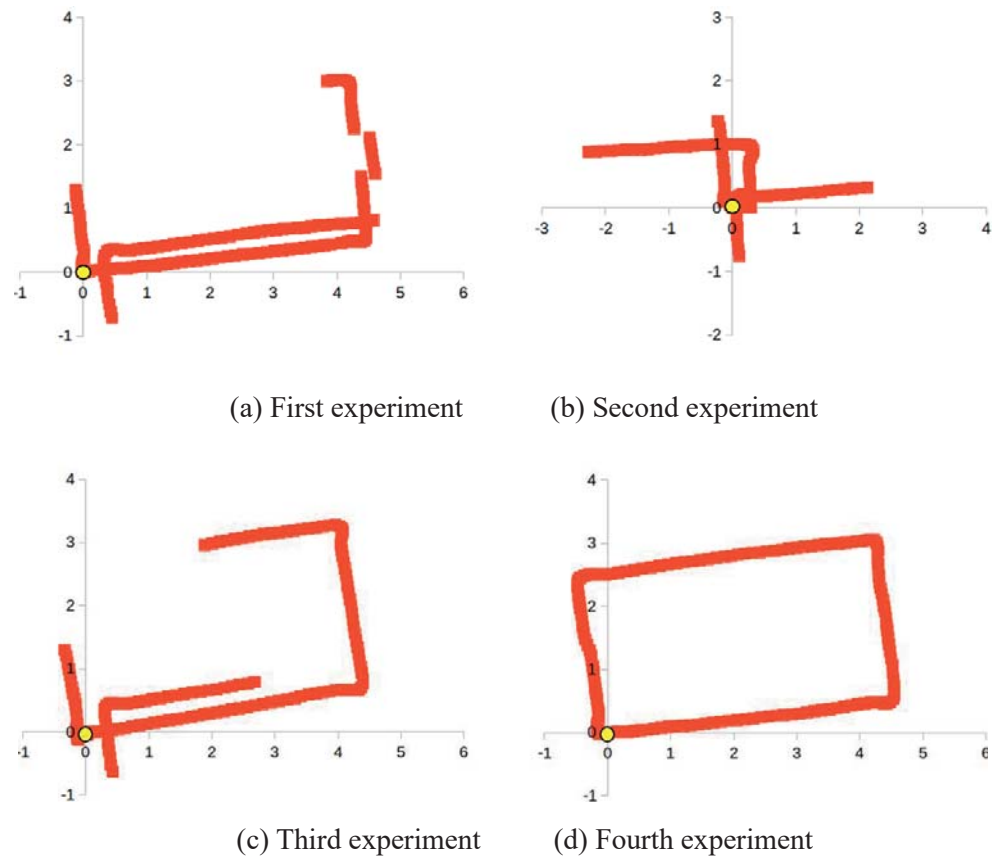


Fig. 8. Example results of position estimation experiment using only tracking camera

提案したアルゴリズムによる位置推定実験の結果を Fig. 9 に示す。オドメトリ法からの移動速度を算出し位置推定に適用することで、凹凸ブロックの部分进行する時においても安定的な自己位置推定が可能であることがわかる。

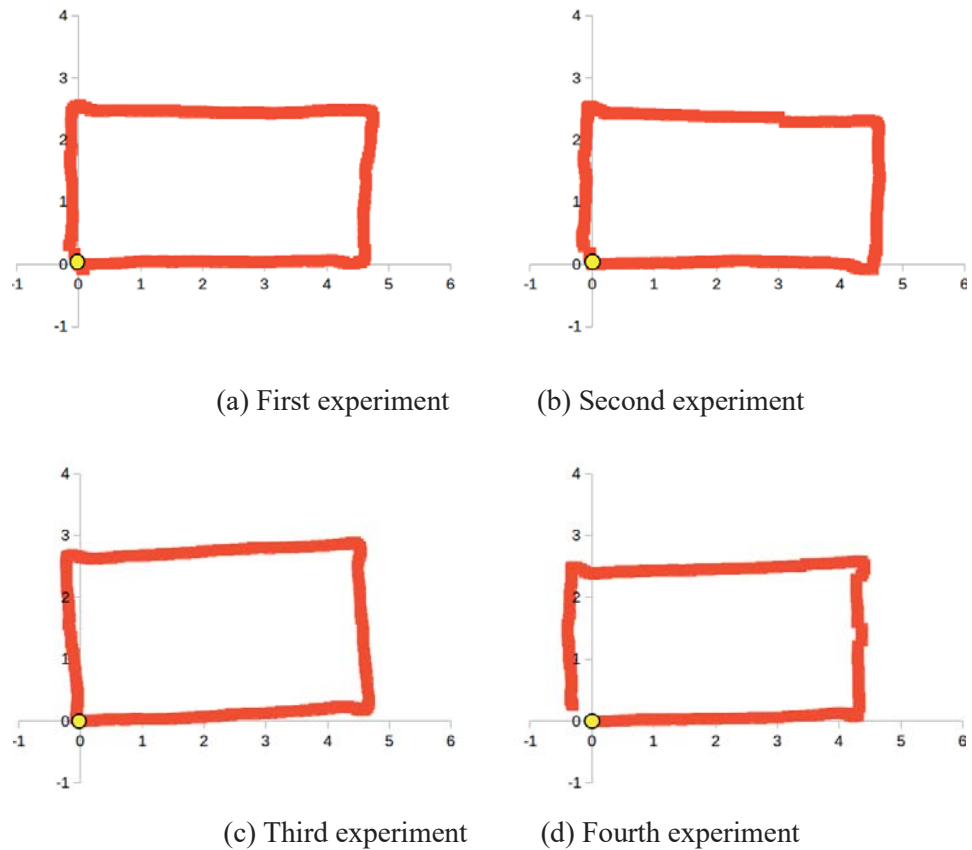


Fig. 9. Example results of position estimation experiment using tracking camera

4.2 自動帰還のための自律移動実験

本研究で開発した自己位置推定機能を基に、移動した経路の情報を用いて出発した位置に自律で復帰する移動実験を行なった。その実験の様子を Fig.11 に示す。手押し動作で出発地から目的地まで経路を記録しながら移動し (Fig.11 (a), (b))、自律移動モードに切替える (Fig.11 (c))。その後、移動システムは自動で出発地に向かって回転し方向を変えて (Fig.11 (d))、自律で移動し (Fig.11 (e))、出発地に到着したら停止する (Fig.11 (f))。

この実験から、開発した実験システムと提案した位置推定および自律移動アルゴリズムによって、移動システムの手押し動作による移動の後に出発地に自律で復帰することが可能であることが証明された。



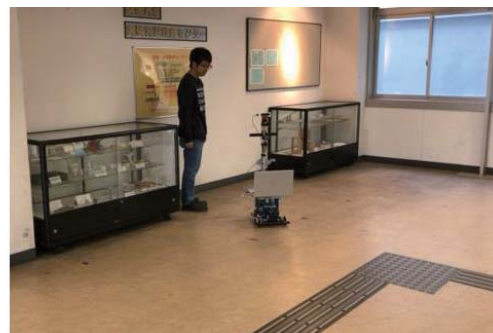
(a) Start passive moving



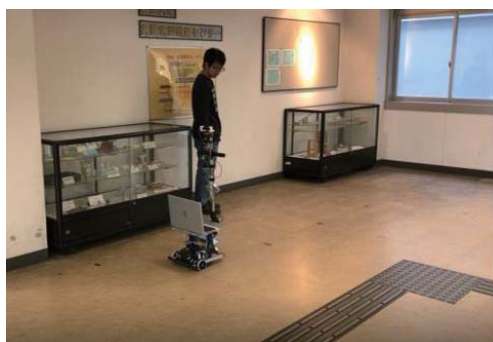
(b) Save motion trajectory



(c) Switching mode



(d) Automatic spinning



(e) Automatic moving



(f) Automatic stopping

Fig. 11. Experiment of memory-based homing motion

5. 今後の課題

本研究を通して、移動システムにおけるトラッキングカメラを用いた安定的な自己位置推定方法と、その位置情報に基づいて手押し動作での移動中の経路を記録して出発地点に自律で帰還する技術が開発された。この技術を実際の産業現場に応用するために、長距離での移動に対する安定的な自己位置推定、自律移動のための経路追従、障害物回避、手押し動作と自律移動の切替が可能な台車の製作などの継続研究を計画している。

6. 主な発表論文等

- [1] Takumi Miyamoto, Phillip R. Caronti, Jae Hoon Lee, and Shingo Okamoto, Development of an Autonomous Mobile Vehicle Having a Memory Based Homing Algorithm with an Embedded Tracking Camera, Proceedings of the Twenty-Fifth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2020 (AROB 25th 2020), pp. 397-401, B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 22-24, 2020.
- [2] 田中 良磨(愛媛大), 李 在勲(愛媛大), 岡本 伸吾, 自律移動機能を有する台車の開発, 日本機械学会中国四国支部学生会第50会学生員卒業研究発表講演会, 10a3, 2020年3月.

物流業における健康経営の推進に関する研究

愛知学院大学 経営学部

教授

丹下 博文



1. 研究成果の概要

本研究助成における研究開始当初の背景、研究の目的、研究の方法、研究成果、および今後の課題等は以下のようにまとめられる。

本研究の目的は日本の物流業の中核となっているトラック運送業を中心に、日本の産業界全般だけでなく物流業界においても最近注目を集めるようになった「健康経営 (healthy management)」の推進に関する学術的な研究を行い、物流業界の発展に寄与する点にある。特に日本で物流業の中核をなすトラック運送業界はトラックドライバーの不足とその高齢化だけでなく、働き方改革にともなう長時間労働の是正とともに生産性の向上や輸送の効率化が喫緊の課題となっている。しかし、その一方で脳・心臓疾患の罹患率が高く健康起因事故が多発し社会問題化する懸念が常にあり、この点からも本研究の社会的意義は極めて大きいと考えられる。

「健康経営」とは企業が従業員の健康管理に積極的に取り組むことによって従業員の生産性ととも企業価値を向上させる経営手法を指し、本研究の特色として環境経営から健康経営への時代の変遷を研究活動の前提的考察としている点が挙げられる。つまり、2000年代初頭に環境への配慮を重視する経営、あるいは持続可能性 (サステナビリティ: sustainability) のある経営を指す環境経営が注目された。ところが、21世紀の今日では環境経営は当然または常識的なことと認識されるようになり、それに代わって関心が高まってきたのが、働き方改革や過労死の増加などを背景に従業員の健康管理を重視する健康経営である。

例えば2016年度には経済産業省により、従業員の健康管理を経営的な視点で捉えて戦略的に取り組む法人を見える化 (可視化) し健康経営優良法人として認定・公表する顕彰制度が創設され、翌17年度から認定が始まった。この認定制度は大規模法人部門と中小規模法人部門の2部門に分かれ、そのメリットには①健康経営に熱心な企業として対外的な企業イメージや社会的評価が向上する、②従業員の健康に配慮する環境を整えるプロセス自体が従業員の健康意識や働くモチベーションを高めロイヤルティ (忠誠心: loyalty) の向上につながる、などが掲げられている。

そうだとすれば中小規模法人部門のある同認定制度は、中小企業率が99%以上で零細性が極めて強いトラック運送業にとり非常に有用な制度になるのではないかと合理的に推測される。したがって、この認定制度を含めた物流業における健康経営の推進に関する本研究は、最終的に物流業界にとって従業員の健康増進はもはや経費増につながるコスト要因 (コスト・センター: cost center) ではなく、生産性を向上させて収益源 (プロフィット・センター: profit center) となり業績向上に必要な不可欠な戦略的投資となる動向を、学術的な観点から考察を加えて明確に提示することを目指すわけである。

こうして経済産業省を中心に健康経営優良法人認定制度が始まったのが2017年度であることから推測されるように、日本で健康経営を推進する動きが活発化したのは2010年代に入ってからで、これ以降、産業界や行政機関において健康経営に関する実務的な調査研究が実施されてきた。実際、物流業界でも健康経営優良法人の認定を取得する企業が現

れている。しかし、物流分野で日本最大の学術団体である日本物流学会の最新の研究報告や投稿論文等の研究成果を調べてみると、日本では物流分野において健康経営の推進に関する学術面からの研究は未だ行われていない。

一方、個人主義の欧米では健康管理は基本的に個人の責任として取り扱われることが主流になっていると想定されるため、企業経営の観点より個人のキャリア・アップの観点からの研究が進んでいるのではないかと推測される。また、高齢化が進む中国でも今後、健康経営の推進に関する研究が注目を集めるのは確実な情勢にあるといえよう。したがって健康経営の推進は物流業界に限らず他の多くの業界にも波及する可能性が高いとともに、日本だけでなく世界的にも普遍性のある重要な学術研究のテーマになると確信される。

上述したように日本の物流業界は現在、トラックドライバーの高齢化や人手不足、長時間労働の是正といった難題に直面しているが、物流業にとって健康経営の導入と普及は企業経営面において大きなメリットをもたらすことは疑う余地がないと考えられる。とりわけ中小企業率が極めて高いトラック運送業では、健康経営優良法人認定制度の中小企業法人部門において認定取得を目指すのが最も具体性があり現実的であろう。しかし、認定を取得すればそれで良いというように短絡的に理解してはならず、そこには認定取得を通して物流業の成長と発展に向け将来を見据えた戦略的な観点が必要になってくるであろう。20世紀末に「物流を制するものは企業、そして社会を制する」と唱えられ、21世紀になってからは「マーケティングからロジスティクスの時代へ」と主張されるようになり、さらに現在では「物流危機」とともに「物流革命」とすら叫ばれる情勢変化のなかで、健康経営に戦略性を持たせることが必要不可欠になる時代が訪れつつあると予想されるからである。

実際、世界的に人生100年時代の到来が注目を集めるようになり日本の物流業も高齢化と長寿化の潮流にさらされなければならない動向を想定しなければならない。例えば2016年にイギリスで出版され人生100年時代へのライフ・シフト (Life Shift) を説いて世界中で話題となった『THE 100-YEAR LIFE: Living and Working in an Age of Longevity』と題する著書のなかでは次のように指摘されている。つまり、技術 (technology) とグローバル化 (globalization) が生活の仕方を年々大きく変えてきたのと同じように、人生100年時代をうまく生き抜くために必要な変化が起こる。今後、来たるべき数10年の間にロボットや人工知能の導入によって労働市場で重要な変化が起こり、いくつかの伝統的な仕事が消滅し新しい仕事が出現する。以前のような寿命の短い時代では労働市場が比較的安定しており、20歳代で習得した知識や技能は大きな再投資なしでキャリアを継続させることを可能にした。現在の急速に変化しつつある労働市場で70歳代や80歳代まで働き続けようとする際は、生産性を維持するためにはもはや知識をブラッシュ・アップ (brush up) するだけでは足りず、学び直したり (re-learning) 技能を磨き直す (re-skilling) ことに大きな投資をし時間を割かなければならない。

さて、日本で健康経営は21世紀になってから働き方改革にともない環境経営に代わって注目を集めるようになった。この背景には上述した人生100年時代と呼ばれるほど急速に進む高齢化の波が大きく関わっていることは間違いない。事実、日本の高齢化率は上昇の一途をたどり、総務省が敬老の日になんで発表した資料によれば、日本の総人口が2019年9月16日現在で1億2,617万人となるなかで65歳以上人口は3,588万人 (うち男性が

1,560万人で女性が2,028万人)となり、総人口に占める割合(高齢化率)が28.4%に達し過去最高を更新したと推計されている。100歳以上の高齢者も初めて7万人を超えた。さらに19年は団塊の世代(1947~49年生まれ)が70歳以上になる年に当たる。世界的に見ても、この日本の高齢化率は第2位のイタリアの23.0%、第3位のポルトガルの22.4%、第4位のフィンランドの22.1%を5ポイント以上も引き離し、日本の高齢化が突出して進んでいる実態を裏付けている。国立社会保障・人口問題研究所の推計では日本の高齢化率は今後も上昇し続け、25年には30.0%に達し日本は本格的な人生100年時代を世界で最初に迎える長寿国になるであろう。

また、2018年において仕事に就いていた65歳以上の高齢者は過去最多の862万人に達して就業者全体の12.8%を占め、高齢者は空前の人手不足を支える重要な戦力になっているとまで報じられている。加えて厚生労働省の簡易生命表によれば18年における日本人の平均寿命は女性が87.32歳で男性が81.25歳となって過去最高を更新し、特に男性の平均寿命の80歳超えは13年から6年間続いている。そうであれば日本の世界的に突出した高齢化現象は健康経営の戦略的な重要性を大きく高めるだけでなく、社会保障制度の見直しや、高齢化にともなう買い物弱者対策のような移動にともなう生活支援を拡充しなければならなくなり、この点からも豊かな国民生活を支える物流に対する需要が将来的に増大すると予想される。

一方、米国企業に関する社会貢献(フィランソロピー:philanthropy)の状況を見ると、企業フィランソロピーは「長期的な投資(investment)」として戦略的に捉えられている。この土台となっているのが「啓発された自己利益(enlightened self-interest)」という考え方であり、「フィランソロピーは企業として利益に直接つながらないかもしれないが、長期的かつ間接的には企業にとって有益なことである」と説明されている。現にアメリカでは1990年ころにはすでに「戦略的フィランソロピー(strategic philanthropy)」という概念が使われており、フォランソロピーは企業の本来的な活動になりつつあるとさえ唱えられた。こうして「戦略的社会貢献」という概念が発祥したのである。

これと同じように世界的に人生100年時代を迎えつつある21世紀の今日、日本の物流業において従業員健康増進に対する投資を表すいわゆる健康投資は「啓発された自己利益」という付加価値を必ず生み出すと合理的に予想される。したがって、このような基本認識をもとに戦略的社会貢献と同じように企業経営における戦略的な観点から、トラック輸送を中心に「経済の大動脈」として「産業活動の根幹」となる物流活動を担う物流業界だからこそ、むしろ他の多くの業界に先駆けて戦略的な健康経営、すなわち「戦略的健康経営(strategic healthy management)」というまさに新しい戦略的な概念を提唱し普及・定着させて推進する必要があると考えられるわけである。

2. 主な発表論文等

(1) 論文

丹下博文「物流業における健康経営の推進に関する研究」

愛知学院大学論叢『経営学研究』第29巻・第1号（2019年12月発行）

(2) 学会発表

2020年4月後半において日本物流学会中部部会の研究報告会にて「物流業における健康経営の推進に関する研究」というテーマで研究報告をする予定であったが、新型コロナウイルス感染拡大の悪影響によって研究報告会が延期された。したがって研究報告会が開催できるようになった際に、同上の研究報告をする予定である。

(3) 講演

- ① 丹下博文「日本の物流と健康経営」中国物流学会全国大会の日本物流フォーラムにおける招待講演、2019年11月、中国の南京市：日本語から中国語への同時通訳
- ② Hirofumi Tange, “The Promotion of Healthy Management on the Logistics Industry and Supply Chain in Japan”, 2019 International Conference on Logistics and Supply における招待講演、2019年11月、中国の北京市にある北京物資学院における英語による講演

企業間の垂直連携による物流生産性向上に関する研究

—加工食品における企業連携による商取引条件、商慣行の見直し—

流通経済大学 流通情報学部

教授

矢野 裕児



①研究開始当初の背景

荷主企業における共同物流が新たな展開をみせている。近年のドライバー不足あるいは物流センター内の作業員不足の問題、物流コストの上昇によって、共同物流の取り組みにおいて、従来の物流コスト削減という視点だけでなく、物流サービスをどのように維持するかという視点が欠かせなくなっている。同時に、荷主企業において、ライバル企業との間で商品では競争するが、物流では協調するという意識が高まったほか、発荷主だけでなく、着荷主も含めた連携の動向がある。

物流の共同化については、昔からその必要性がいわれ、その取り組みの歴史も古い。地域単位、業界単位で、一部実施されてきたところであるが、大きく普及しているわけではない。従来の共同化の取り組みとして、その多くは届け先が共通な場合が多い、あるいは需要変動あるいは帰り荷がないといったことによる積載率が低い状況を解消するため、複数企業の荷物を組み合わせるといった発想のものが多い。このように複数企業の荷物を組み合わせることによって、効率化された事例も多くみられるが、その一方で共同化を実施しようと検討したものの、配送距離が伸びてしまうなどの理由から、実現に結び付かなかった場合も多い。実際に、既往研究論文において、一般的に共同配送は配送距離を延ばす結果になるという指摘もある。

一般的に、共同化すれば物流コスト削減に結び付くという誤解があるが、従来あった物流センターを維持したまま、かつ物流条件を変えずに実施しようとした場合、成立条件を満たすのは難しいといえる。すなわち、単なる荷主企業間の物流の組み合わせだけでは、共同化は進展せず、さらにその効果も小さいのであり、従来の単純な組み合わせによる共同化には限界があるといえる。今後の共同化は、物流の仕組みの変更を伴う議論が必要といえる。

②研究の目的

最近取引関係にある企業が垂直連携によって、納品頻度、注文のロット、リードタイム等の納品条件の見直しといった商取引条件、商慣行の見直しにより、物流の効率化を図ろうとする動向がみられるようになってきている。これらの取り組みによって、物流の計画化、平準化が可能となるほか、車両等の管理による計画化、納品時の作業の見直しをし、生産性向上が図られることとなる。このような状況を踏まえ、本研究は物流の生産性の現状、「ホワイト物流」における垂直連携の取り組み状況を整理、分析し、企業間の垂直連携による物流生産性向上の展開の方向性について検討するものである。

③研究の方法

本調査では、まず日本生産性本部資料を用いて、物流業の生産性の現状を整理した。さらに、「ホワイト物流」に関する荷主企業の取り組み状況を分析した後、加工食品物流業界を中心として、発着荷主企業のリードタイムの短縮、平準化等の垂直連携による商取引条件、商慣行の見直しによる物流効率化取り組み事例について、その現状と問題点を把握する。現状把握は、事例を中心にヒアリング調査を実施する。具体的には、下記の項目について、検

討し、垂直連携の展開の可能性を明らかにした。

- ・取引企業間における垂直連携事例の整理(連携主体、納品条件の見直し等の商取引条件、商慣行の見直しによる連携内容)
- ・垂直連携による課題の整理(連携主体、連携内容、課題)
- ・水平・垂直連携による共同物流展開可能性に関する検討

④研究成果

1. はじめに

物流危機ともいわれる状態が深刻化している。従来は、供給が需要を上回り、荷主企業からみれば、トラックはいつでもすぐに見つかった。ドライバーがいないという問題は、2013年秋から深刻化し、2014年4月の消費税値上げ前に、駆け込み需要により貨物輸送量が急増し、物が運べないという事態が発生した。その後も荷主企業は、繁忙期を中心として、トラックが確保できないという状態に直面している。さらに物流サービスも、短いリードタイムでの対応、各種の付帯作業など相当無理な物流条件を要求しても、比較的安価な物流コストで、物流事業者が対応するという状態ではなくなった。ドライバー不足は、短期的ではなく長期的な問題となっており、物流サービスをこれまでのように提供できない状況となっている。

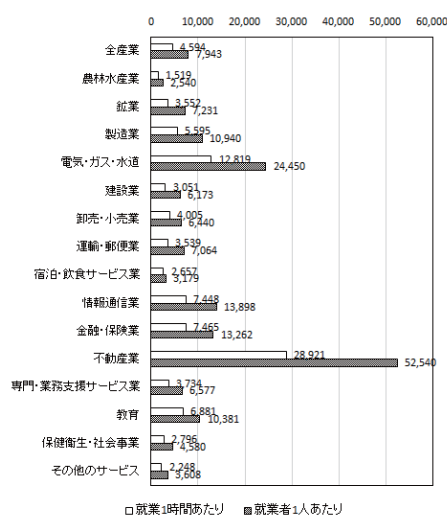
このような物流危機が発生した背景として、まずドライバー不足が多く指摘される場所であるが、同時に現在の物流が非効率なところが多く、生産性が低いということがあがる。最近取引関係にある企業が垂直連携によって、納品頻度、注文のロット、リードタイム等の納品条件の見直しといった商取引条件、商慣行の見直しにより、物流の効率化を図ろうとする動向がみられるようになってきている。これらの取り組みによって、物流の計画化、平準化が可能となるほか、車両等の管理による計画化、納品時の作業の見直しをし、生産性向上が図られることとなる。そこで本稿では、まず物流危機の背景である物流が抱える低い労働生産性の現状と問題点について検討する。そして、本稿では加工食品における、物流の生産性向上に向けての施策展開について検討する。特に、各種商取引条件、商慣行が物流条件を規定し物流生産性向上を妨げている関係について整理すると同時に、加工食品物流において進められているリードタイム見直し、平準化の取り組みといった企業連携による商取引条件、商慣行の見直しの動向について検討する。そして、企業間の垂直連携による物流生産性向上の展開の方向性について検討するものである。

2. 物流の生産性の現状と問題点

2-1. 業種別労働生産性の現状

物流の生産性が低いということが良く指摘される。そこで、業種別の名目労働生産性水準をまとめたのが、図表-1である。物流業ということでは比較できないため、運輸・郵便業で比較する。日本においては、製造業に比べて、サービス業の生産性が低いことがよく指摘される。実際には、サービス業と一口に言っても、業種によって大きな差異がある。業種別

にみると、就業1時間あたり・就業者1人あたりのいずれの指標においても不動産業、電気・ガス・水道、情報通信業、金融・保険業といった資本集約的な分野で労働生産性が高い。一方、農林水産業、その他のサービス業、宿泊・飲食サービス業、保健衛生・社会事業など比較的多くの人手を必要とする分野で相対的に低くなっている¹⁾。運輸・郵便業も低くなっており、小売業、飲食店よりは若干高いものの生産性が低い状況が窺える。運輸・郵便業は全産業に比べて、就業1時間あたりが0.77、就業者1人あたりが0.89となっている。特に就業1時間あたりが低いということは、長時間労働の傾向が強いといえる。製造業と比べた場合は就業1時間あたりが0.63、就業者1人あたりが0.65となっている。



図表-1 名目労働生産性(2018年、単位：就業1時間あたりは円、就業者1人あたりは千円)
出典：(公財)日本生産性本部「生産性統計」より作成

2-2. 業種別労働生産性の推移

図表-2は、代表的業種の労働生産性指数(2015年を100)の推移について、それぞれの業種の推移をわかりやすくするために、1990年代、2000年代、2010年代前半(2010~2014年)、2010年代後半(2015~2019年)の指数平均をまとめたものである²⁾。なお、指数表については道路貨物運送業の比較も可能である。製造業は1990年代平均が76.5だったのに対して、2000年代、2010年代前半、後半と生産性が確実に上昇していることがわかる。ただし、2010年代においては伸び率が下がっている。サービス業においては、情報通信業、金融業、保険業が着実に上昇してきている一方で、他の業種においては下降傾向も多くみられ、卸売業、医療、福祉では顕著である。小売業、飲食店については、もともと労働生産性が低いが、ほぼ横ばいで推移している。道路貨物運送業の労働生産性は、1990年代平均が115.7だったのに対して、2000年代平均が105.8、2010年代前半が101.9と下降し続け、2010年代後半が101.8と横ばいとなっている。ただし、道路貨物運送業の2018年、2019年平均については104.8と、近年上昇傾向にあることが特徴となっている。以上のように、製造業が常に生産性上昇がみられるのに対して、道路貨物運送業は2010年代前半までは下降傾向であったが、2018年、2019年は、最近の運賃上昇傾向などもあり、生産性が上昇傾向にある。

	サービス産業計	情報通信業	運輸業、郵便業	卸売業	小売業	金融業、保険業
1990年代平均				119.1	98.3	
2000年代平均		89.2	105.1	124.5	91.5	87.1
2010年代前半平均	101.0	96.2	96.2	107.5	100.3	90.4
2010年代後半平均	99.2	102.3	101.2	99.1	99.8	99.5
2018年、2019年平均	99.6	105.3	103.1	99.1	100.3	101.4

	飲食店	医療、福祉	建設業	道路貨物運送業	製造業
1990年代平均			101.4	115.7	76.5
2000年代平均	100.8	116.5	98.9	105.8	96.3
2010年代前半平均	101.0	105.2	96.9	101.9	99.0
2010年代後半平均	96.1	100.4	97.3	101.8	100.9
2018年、2019年平均	95.0	102.2	94.8	104.8	101.6

図表-2 労働生産性指数の推移(2015年を100)

注: サービス業については、代表的業種のみ掲載。空白は調査対象となっていないため。

出典: (公財) 日本生産性本部「生産性統計」より作成

2-3. 運輸・郵便業労働生産性の諸外国との比較

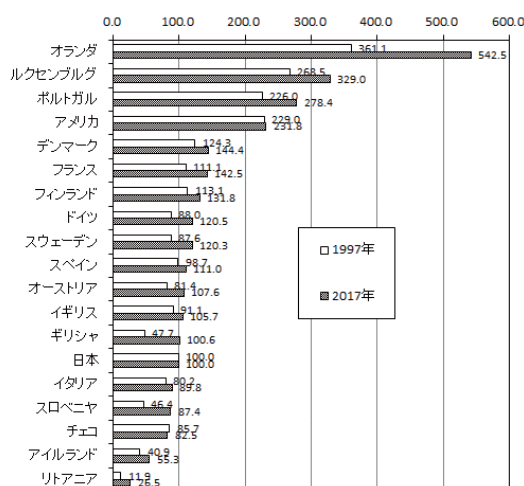
諸外国と運輸・郵便業の労働生産性を比較してみる。アメリカと比較した分析によると、2017年のアメリカと日本の業種別労働生産性水準1時間あたり付加価値額をみると、日本の労働生産性がアメリカの労働生産性を上回っている業種は化学のみであり、大半の産業において労働生産性は米国を下回っている。アメリカを100とした場合、製造業全体では69.8、サービス産業全体では48.7とアメリカの半分未満の水準にとどまっている。運輸・郵便業については43.1となっており、アメリカの半分未満である。なお、1997年は製造業全体では72.7、サービス産業全体では57.3であり、アメリカとの労働生産性格差は拡大傾向にある。特に、情報・通信、金融・保険において、その傾向は顕著である。運輸・郵便業については、1997年は43.7であり、大きな変化はない。

同様に、ドイツと比較した分析によると、製造業では日本がドイツの生産性水準を上回る、あるいは同程度の業種もあり、ドイツを100とした場合、製造業全体では83.0となっている。しかしながら、サービス産業全体では64.6と低い水準となっている。運輸・郵便業については83.0となっており、低い水準にある。なお、1997年は製造業全体では79.6、サービス産業全体では67.0となっており、大きな変化は見られない。一方で運輸・郵便業の1997年は113.7であり、日本の生産性の方が高かったのが、20年間で逆転したことになる³⁾。

以上のように、日本の運輸・郵便業の生産性は、アメリカより非常に低く、ドイツに比べても低いものとなっている。さらに主要国の運輸・郵便業の生産性水準をまとめたのが図表-3である。2017年は19ヶ国中14位となっており、第1位のオランダと比べると5分の1以下となっている。1997年では19ヶ国中8位であったのであり、20年間で順位を大きく下げたこととなる。日本の運輸・郵便業の生産性は、1997年に比べて2017年は10%弱下がっているのに対して、他の国においては生産性が上がっているといえる。このことだけから判断するのは難しいが、他の国において、運輸・郵便業は生産性を上げているのに対して、

日本は生産性向上という面から立ち遅れているといえる。

なお、労働生産性の国際比較をする場合、「サービスの質の国際格差の調整」について考慮すべきという指摘がある。運輸・郵便業においても、例えば宅配便、郵便などについて日本の方がアメリカと比較して、きめ細やかなサービスを提供しているといわれている。日本生産性本部「サービス品質の違いに関する日米比較」調査の日本とアメリカの両方でサービスの利用経験のある一般消費者を対象とした両国の各サービスの品質の差に相当する価格比（日米の各サービスへの支払い意思額の比）を用いた分析がある。それによると、運輸業では、日本のサービスはアメリカに比べて 1.225 倍のサービスの質であるという結果となっている。アメリカを 100 とした場合、質を調整前の日本の労働生産性が 43.1 であるが、質を調整後の日本の労働生産性は 52.8 ということになる。このように、質を加味しても、日本とアメリカでは労働生産性に大きな差異がある⁴⁾。



図表-3 主要国の運輸・郵便業の労働生産性水準(日本を100)

出典:滝澤美帆「産業別労働生産性水準の国際比較～米国及び欧州各国との比較～」より作成

3. 加工食品物流における生産性向上に向けての検討

3-1. 物流の生産性向上に向けての国の取り組み

国土交通省及び厚生労働省においては、トラック運送業の生産性向上、労働条件改善に向け、様々な取り組みを推進している。2015 年度から中央・各都道府県において協議会を設置・検討（厚生労働省・国土交通省、荷主、物流事業者等による協議会）、長時間労働等の実態調査、対策の検討、2016 年度からトラック運送事業者と荷主とが連携して荷待ち時間の削減や荷役作業の効率化など長時間労働の抑制を図るためのパイロット事業（実証実験）の実施、対策の具体化、2017 年度からガイドラインの策定・普及を進めている。その成果については、「荷主と運送事業者の協力による取引環境と長時間労働の改善に向けたガイドライン」として取りまとめている⁵⁾。これらの検討において重要なのは、発荷主、物流事業者、さらには着荷主が一体となって課題解決を図ろうとしていることであり、それぞれが単独では対応できないような施策についても取り組んでいる。そして、パイロット事業によっ

て得られたノウハウについて横展開を図っている。

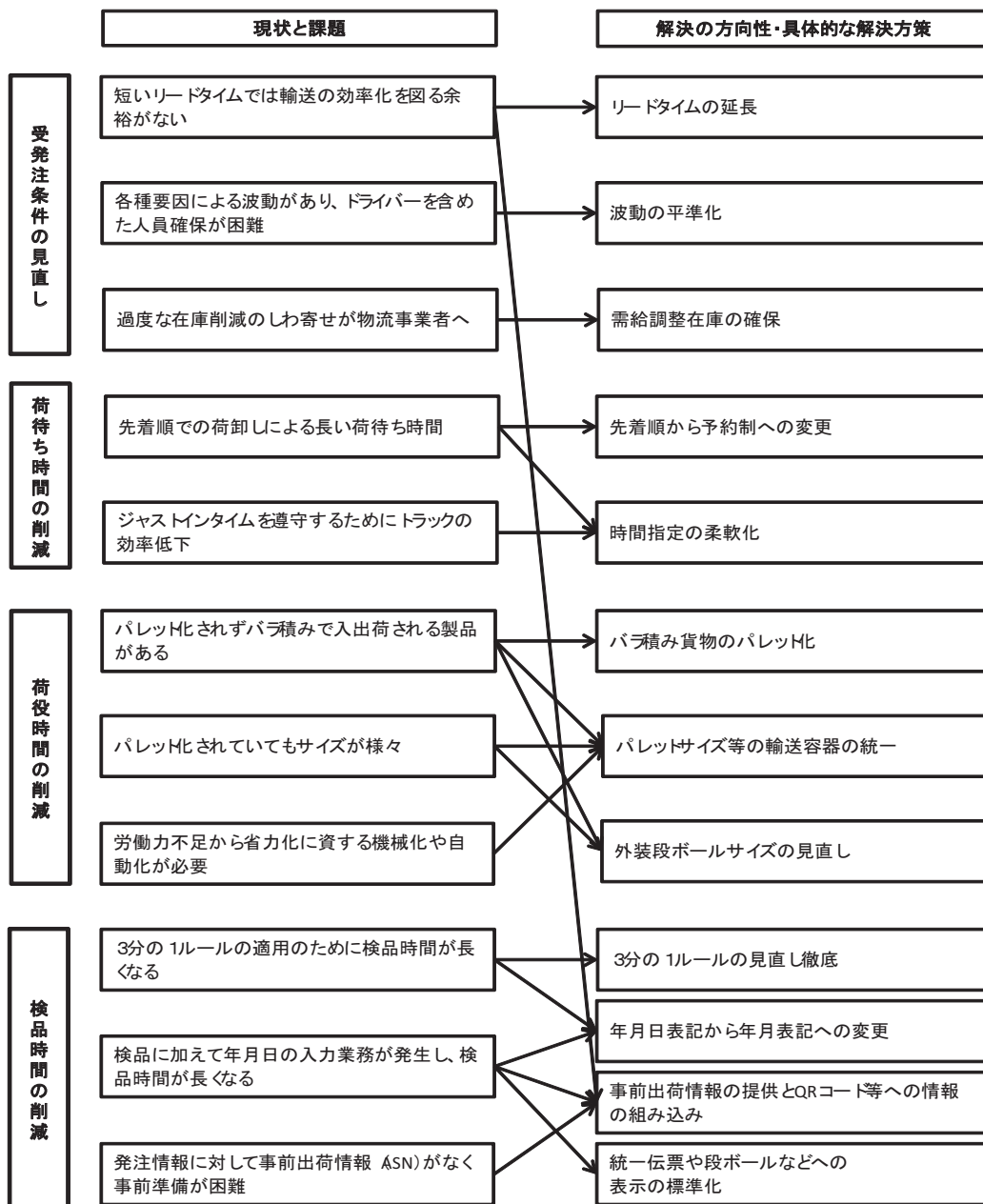
さらに2018年度から、個々の輸送品目ごとに抱える課題や特性に違いがあることを踏まえ、業界ごとに、関係者が連携して課題解決を図るため、荷待ち時間の件数が特に多い輸送分野（加工食品、建設資材、紙・パルプの3分野）について、それぞれのサプライチェーンの関係者による「物流における生産性向上及びトラックドライバーの労働時間改善に関する懇談会」を設置し、それぞれの輸送分野特有の課題の洗い出しや、実証実験、実態調査等を踏まえた解決方策の検討を行った。その成果は、2020年5月に業界別の「荷主と運送事業者の協力による取引環境と長時間労働の改善に向けたガイドライン」として取りまとめられ、公表した⁶⁾。本稿では、そのなかの加工食品物流編を踏まえて、生産性向上について検討していく。

3-2 加工食品物流における生産性向上に関する施策

3-2-1. 加工食品物流の生産性向上に向けての施策の全体像

加工食品の荷主企業が直面している問題として、「トラック到着時間を細かく指定しており、スケジュール最適化を進めにくい」を32.3%が指摘している。午前中の指定が多いことなどにより、指定時間が偏り最適化が進めにくいなどの問題が発生している。「トラックの積載率が低い」についても26.7%が指摘しており、荷合わせや共同輸送を実施する余裕がないとしている。このように問題を指摘している企業がある一方で、「配送は委託しておりトラックの状況は分からない」が33.2%にのぼっており、物流が抱える課題自体を認識していない企業が多いのも実態である。

ガイドライン(加工食品物流編)においては、加工食品物流が抱える課題として、受発注条件の見直し、荷待ち時間の削減、荷役時間の削減、検品時間の削減を挙げている。さらにこれらの課題に対する解決の方向性・具体的な解決方策をまとめている。課題と解決の方向性・具体的な解決方策の関係をまとめたのが図表-4である。



図表-4 加工食品物流が抱える課題と解決の方向性、解決策

出典:国土交通省「荷主と運送事業者の協力による取引環境と長時間労働の改善に向けたガイドライン(加工食品物流編)」より作成

3-2-2. 受発注条件の見直し

物流の現場レベルで発生している問題は、発荷主と着荷主の受発注条件に起因することも多い。ここでは受発注条件の見直しが必要な問題点について整理している。具体的には、短いリードタイムでは輸送の効率化を図る余裕がない、各種要因による波動があり、ドライバーを含めた人員確保が困難、過度な在庫削減のしわ寄せが物流事業者に行っていることが指摘されている。なお、受発注条件の見直しに関しては、次章で詳細に検討することとす

る。

ガイドラインでは、受発注条件の見直しに関連する施策として3点を指摘している。

①リードタイムの延長

加工食品においては翌日納品の場合が多く、夜間に仕分け作業が発生するほか、リードタイムが短いことにより、効率的な配車計画を組む余裕がない、車両確保が難しいといった問題が発生する。リードタイム延長における課題として、在庫過多や欠品のリスクが発生しやすくなるという課題がある。需要予測の精度向上や関係者間の合意形成、更には消費者への理解促進等により、少しずつリードタイムの延長に取り組むことが望ましいとしている。

②波動の平準化

加工食品分野における波動が発生する原因として、様々なものがあり、納入指定時刻の午前中への集中、特売による土日への入荷量の集中、月単位の管理会計による月末・月初への貨物量の集中、販売奨励金の算定期限末直前の駆け込み需要の発生、季節による消費性向の変化、長期休暇前の需要の拡大がある。貨物の入出荷量を平準化させることで、繁閑差による荷待ち時間の短縮や輸送効率の向上に繋がる。

③需給調整在庫の確保

各企業においては、在庫圧縮を図っているが、過度に実施した場合、短いリードタイム、非計画的な多頻度小口の納品を要請することに繋がりがやすく、効率が悪くなる。そのため、過度な在庫削減により物流の効率化を妨げていないか、そのバランスを検討することが必要である。

3-2-3. 荷待ち時間の削減

荷主の都合により、積み卸し、指示待ち等のために待機する荷待ち時間の問題が大きくクローズアップされている。荷待ち時間は、荷主の積み込み時、着荷主の荷受け時の両方において発生するが、特に着荷主側において発生する荷待ち時間は、荷主において把握していない場合も多く、大きな問題となっている。

荷待ち時間(荷主の都合で30分以上の荷待ちが発生したものが対象)については、1運行あたり3時間超が11%、2時間-3時間が14%、1時間-2時間が31%となっている。さらに品目別荷待ち発生件数をみた場合、加工食品での発生が最も多く、建築・建設用金属製品、紙・パルプ、飲料・酒と続いている⁷⁾。

荷待ち時間は、様々な要因が絡まって発生する。荷受けのバース数自体が少なく処理ができないということも多くあり、特に都市部において、物流施設自体が狭く、受け入れ体制ができていない場合もある。しかしながら、バースが整備されていても、早朝に車両が集中し、荷受け側のバースが足りない、作業が間に合わない、処理しきれない場合も多い。一般的な消費財においては、午前中納品が求められることが多く、ドライバーは、早く作業を終えて次の現場に行きたいということから、納入時刻が早朝に集中する。同一時間帯に車両が集中することによって、無駄な荷待ち時間が発生している場合が多い。

ガイドラインでは、荷待ち時間削減に関連する施策として2点を指摘している。

①先着順から予約制への変更

車両の受け入れが計画的にされていないために、荷待ち時間が発生することが多い。そのため、納品車両ごとに、荷受け時間帯を設定し、計画的に受け入れることによって解決しようとするものである。さらに、スマホなどを用いた納入車両の事前予約システムを導入し、特定の時間帯への車両の集中を避け、混乱をしないようにしている企業もある。これによって、着荷主側においても、事前に細かく納入台数、各車両の積載内容がわかり、効率的な荷受け、センター内作業の準備が可能となる。ただし、予約時間の幅の持たせ方やシステム運用の費用負担について、事前に関係者間で協議し合意形成を得ることがポイントとなるとしている。

②時間指定の柔軟化

納品時間が午前指定されているほか、朝一番といったように、細かく指定されている場合が多い。そのため、特定の時間に車両が集中し、荷待ち時間が発生している。そのため、時間指定や時間帯の自由度を高めることが重要となっている。同時に、時間制約が緩和されることで、計画的な配送ルートを設定することにつながり、トラックの稼働率上昇にもつながる。

3-2-4. 荷役時間の削減

納品に要する時間が長いということも大きな問題となる。その際、最も大きい問題は、パレット化されずバラ積みで入出荷される製品があり、手積み手卸しが多く発生していることである。加工食品関連では、即席めんやお菓子等で段ボール単位のバラ積みとなっていることが多い。10 トントラックでは、パレットを利用し、フォークリフトで積み卸しをした場合には15分程度で済むのに対して、手積み手卸しをした場合には2時間程度かかる。しかしながら、受け入れ側の物流施設が、パレットに対応できていない場合もある。また、荷主が、パレットを利用しない理由として、積載量を多くしたいから（パレット輸送を行うと積載効率が下がるため）のほか、パレット等を流出させたくない、パレットはあくまで保管用であり、輸送用には使用しないなどが挙げられる。メーカーから卸売業、小売業への納品については、納品するロットが比較的大きいため、パレット利用の割合が高くなっているが、それ以外の場合は、パレット利用は少なくなっている。また、パレット化されていてもパレットのサイズが複数種類あるため、積み替え、積載の効率が悪くなるという課題もある。加工食品業界ではT11型パレット、T12型パレット、飲料業界のビールパレットなどが使われている。

ガイドラインでは、荷役時間削減に関連する施策として3点を指摘している。

①バラ積み貨物のパレット化

手積み・手卸しによる荷役作業について、発着荷主が調整して、パレット化に取り組むことが必要である。ドライバーの負担が軽くなるというだけでなく、荷主にとっても、物流センター内作業員の作業時間短縮、荷受けバースの効率的な運用につながる。導入にあたっては、パレット等の輸送用機器にかかるイニシャルコストや、導入後の管理コスト等の費用分

担について関係者間で合意を形成することが重要としている。

②パレットサイズ等の輸送容器の統一

パレット等の輸送容器が統一されていないことにより、荷役時にフォークなどの荷役機器の幅を変更する作業、違うサイズのパレットに移し替えるといった作業が必要となったり、保管効率が低下するなどの作業効率を悪くする問題が発生する。実施にあたっては、サプライチェーンの範囲内での推奨サイズ（加工食品業界では T11 型パレット及び T12 型パレット）、自社商品を積載する際の積載効率、車格やバース形態などの庭先条件、サプライチェーンの各拠点での格納条件（特に自動倉庫の規格）といった内容を検討し、関係者との調整を実施することとしている。

③外装段ボールサイズの見直し

パレットを利用する際に、外装段ボールサイズの見直しも重要である。外装段ボールのサイズが統一されていない、あるいはパレットサイズと合っていない場合、パレット上の積載率の低下や、同一パレットへの異なる商品の混載が難しくなるという問題が発生する。「加工食品分野における物流標準化アクションプラン」⁸⁾では、T11 型及び T12 型パレットのサイズを考慮した外装段ボールサイズを提示しており、T11 型パレットを利用する場合は、底面は 275 mm×220 mm を基本として、また T12 型パレットを利用する場合には 300 mm×200 mm を基本として、その半分や倍数のサイズとして設計することが最も効率的であるとしている。高さについては、トラック積み込み基準の高さが 1,150 mm（パレットの高さ（100 mm）を含む）であることを踏まえ、5 段積みとすることを想定し 210 mm を基本とするとしている。

3-2-5. 検品時間の削減

荷渡し時における検品時間についても、食品については特に時間がかかることが課題となっている。荷受け側に、事前に出荷情報が伝達されていないこと、さらに食品については、賞味期限等の情報を、検品時に手入力している場合が多く、時間がかかっている。そして、3 分の 1 ルールが適用される商品は、特に細かい日付管理が必要となるため、検品時間が長くなる。検品に加えて年月日の入力業務が発生し、検品時間が長くなるといったことが指摘されている。

ガイドラインでは、検品時間削減に関連する施策として 4 点を指摘している。

①3 分の 1 ルールの見直し徹底

3 分の 1 ルールに合わせた日付管理、仕分けを実施することは、検品時間の増加に繋がっている。納品期限については、清涼飲料と賞味期間 180 日以上菓子について、大手総合スーパー、コンビニエンスストアを中心に見直しが進んでいるが、今後、さらに取組拡大が必要である。

②年月日表記から年月表記への変更

年月日による管理することにより、納品単位が小ロット化し荷受け作業が非効率となっている。さらに、着荷主が日付逆転が起きないように、検品時に日付入力を行うため、検品時間が長くなっている。「加工食品品質表示基準」において、製造から賞味期限までの期間

が3月を超えるものにあつては、年月表示で良いとしており、拡大していくことが必要である⁹⁾。

③事前出荷情報の提供とQRコード等への情報の組み込み

発荷主側から着荷主側に対して事前出荷情報が送付されず、荷受け時に、電子化された納品情報がないために、納品伝票による検品を人手で実施するということが多く発生しており、検品時間の長時間化に繋がっている。検品作業をQRコード等の読み取りのみに省略する、あるいは検品レスが進めば、大幅に検品時間が短縮する。

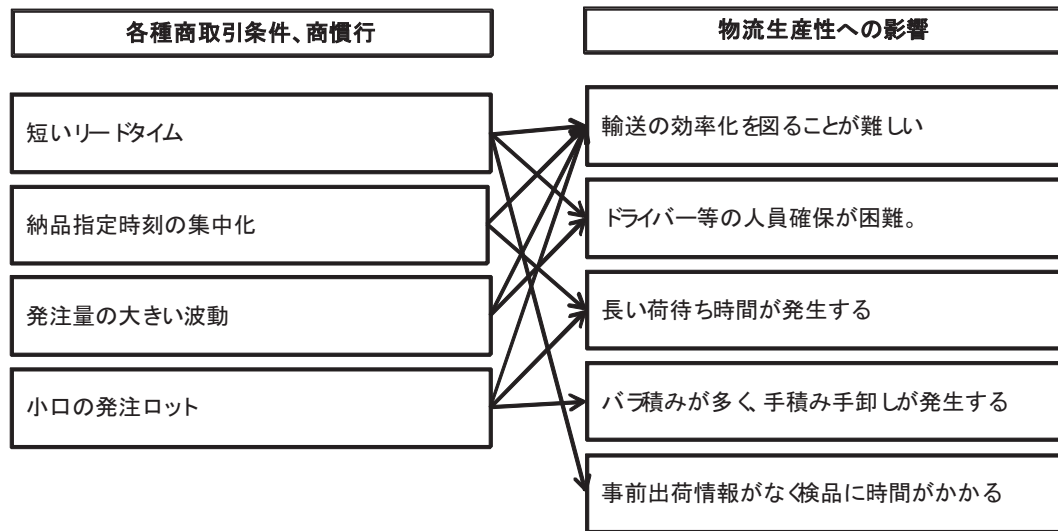
④統一伝票や段ボールなどへの表記の標準化

取引先ごとに伝票様式が違ふ、段ボールへの商品コード等の表示内容、位置が違ふ事により、商品確認に時間がかかるという問題が発生している。今後の画像認識技術を用いた検品を普及していくためにも欠かせないといえる。味の素、キューピー、カゴメ、日清オイリオグループ、日清フーズ、ハウス食品グループ本社の加工食品メーカー大手6社は、北海道での共同配送開始に合わせて、サイズ、複写枚数が異なる納品書伝票を統一化している。

4. 物流の生産性向上を妨げる商取引条件、商慣行の見直し

4-1. 物流の生産性向上を妨げる商取引条件、商慣行について

第2章で検討したように、日本の物流は生産性が低いという課題を抱えている。しかしながらその場合、単純に物流業の生産性が低いことが問題であり、そこを改善すればよいということで済まないところに大きな問題がある。物流業、特にトラック運送事業は中小企業も多く、生産性向上に向けた取り組みが遅れているという側面がある。しかしながらそれ以上に大きな問題は、各種商取引条件、商慣行が物流条件を規定する場合が多く、さらに各種商取引条件、商慣行が物流の生産性を無視したものとなっていることである。そのため、各種商取引条件、商慣行が物流生産性向上を妨げている関係にある。その関係をまとめたのが、図表-5である。このことは、第3章の3-2-2. 受発注条件の見直しに通じるところである。



図表-5 各種商取引条件、商慣行と物流生産性の関係

4-2. 加工食品関連企業の「ホワイト物流」の取組状況

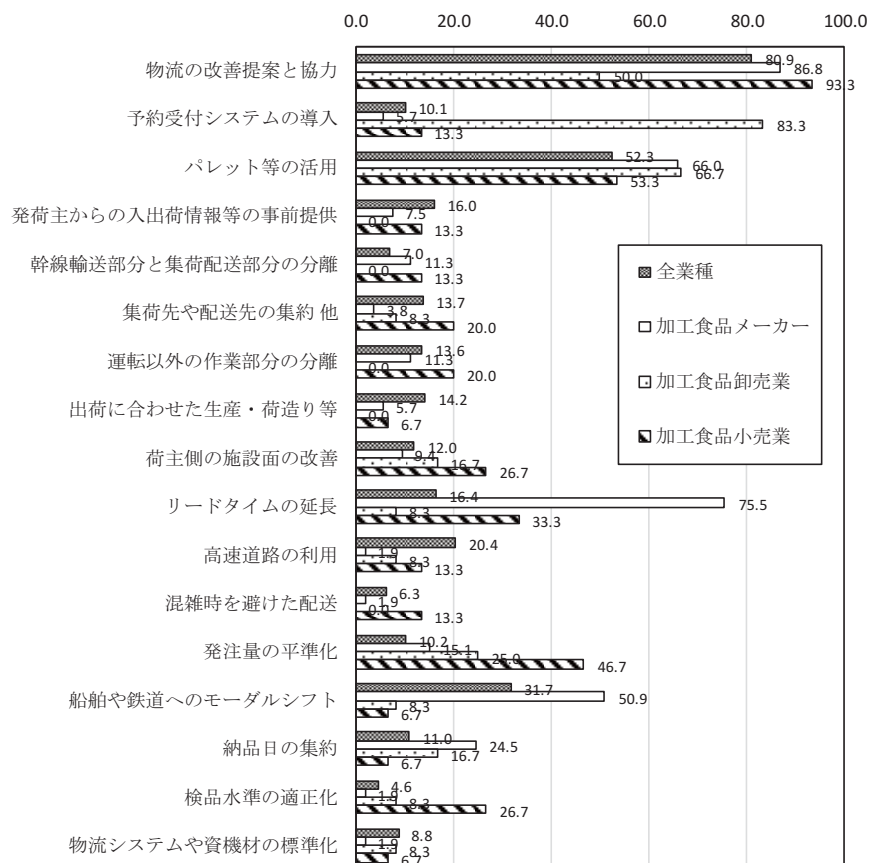
現在、政府が進めている「ホワイト物流」は、物流事業者と、発荷主、着荷主などの物流の利用者が相互理解の下に連携して、物流の効率化や生産性向上に向けての取り組みを広げていこうとするものである。そして、業界の商慣行や自社の業務プロセスの見直しにより、生産性を向上しようとするものである。2020年4月末時点の「ホワイト物流」賛同企業数は961社となっている。「ホワイト物流」推進運動の項目として、A. 運送内容の見直し、B. 運送契約の方法、C. 運送契約の相手方の選定、D. 安全の確保などがあるが、本稿ではA. 運送内容の見直しに着目し、全業種と加工食品関連企業の取組状況について比較、分析すると、次のようになる。

全業種の取組項目として最も挙げられているのが、物流の改善提案と協力であり80.9%である。これについてはホワイト物流に参画する際の大前提となる。続いて、パレット等の活用が52.3%であり、他の項目に比べて取り組んでいる企業割合が高くなっている。手荷役が大きな問題となっており、多くの企業で見直しを進めている。続いて船舶や鉄道へのモーダルシフトが31.7%、高速道路の利用が20.4%となっている。それ以外の項目は20%未満と、取組意向は相対的に低い。リードタイムの延長が16.4%、発荷主からの入出荷情報等の事前提供が16.0%、出荷に合わせた生産・荷造り等が14.2%と続いている¹⁰⁾。

一方、2020年4月現在の加工食品関連のメーカー、卸売業、小売業の「ホワイト物流」の賛同企業は、それぞれ56社、14社、15社となっている。そのうち取組項目が記述されている53社、12社、15社を対象に整理したのが図表-6である。

物流の改善提案と協力については、メーカー、小売業の多くは取組項目として挙げている。また、メーカーではリードタイムの延長、パレット等の活用、船舶や鉄道へのモーダルシフトへの取組意向が強くなっている。卸売業では予約受付システムの導入、パレット等の活用、小売業ではパレット等の活用、発注量の平準化への取組意向が強くなっている。

前述の全業種と加工食品関連企業との傾向には大きな差異がある。特に、予約受付システムの導入については、全業種では 10.1%にとどまっているのに対して、加工食品卸売業では 83.3%と極めて高くなっている。リードタイムの延長についても、全業種では 16.4%にとどまっているのに対して、加工食品メーカーでは 75.5%、加工食品小売業では 33.3%と高くなっている。発注量の平準化についても、全業種では 10.2%にとどまっているのに対して、加工食品小売業では 46.7%、加工食品卸売業で 25.0%と高くなっている。鉄道や鉄道へのモーダルシフトは全業種では 31.7%なのに対して、加工食品メーカーでは 50.9%、納品日の集約は全業種では 11.0%なのに対して、加工食品メーカーでは 24.5%、検品水準の適正化は全業種では 4.6%なのに対して、加工食品小売業では 26.7%と高くなっている。このなかでも、加工食品関連企業におけるリードタイムの延長、発注量の平準化、納品日の集約といった商取引条件、商慣行の見直しに関わる項目の取組比率が高くなっていることが注目される。



図表-6 加工食品関連企業の「ホワイト物流」の取組項目
出典：「ホワイト物流」推進運動ポータルサイト資料より作成

4-3. 加工食品関連企業の商取引条件、商慣行の見直し取組状況

加工食品関連企業における商取引条件、商慣行の見直しに関わるリードタイムの延長、発注量の平準化、納品日の集約の取組状況を分析する。

4-3-1. リードタイム延長の取り組み

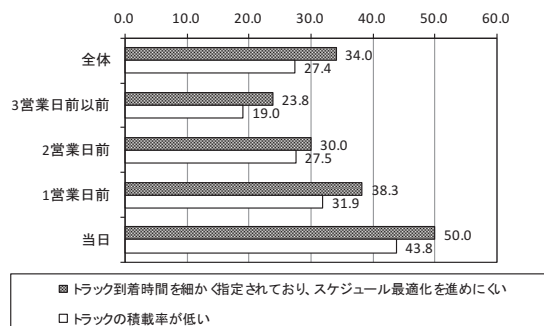
加工食品物流においては、短いリードタイムが大きな問題となっている。多くの場合、発荷主企業から物流事業者に対して午後に出荷指図があり、翌日午前中に納品する運用となっている。そのため、物流センターでは夜間に仕分け作業をし、さらにドライバーが夜間運転をせざるを得ないという状態となっている。

短いリードタイムについての課題は、「荷主と運送事業者の協力による取引環境と長時間労働の改善に向けたガイドライン(加工食品物流編)」においては下記のように指摘されている¹¹⁾。

- 短いリードタイムでは輸送の効率化を図る余裕がない
 - ・受注から納品までのリードタイムに余裕がないことから発側ですぐに仕分けなどの庫内作業が必要であり、配送時間にも余裕がないことから既定の配送ルートですぐに出荷しないと間に合わない。このため複数箇所の荷物の配送ルートの検討や混載など、積載率の向上や輸送の効率化が図れない。
 - ・また、短いリードタイムのため、事前出荷情報(ASN)が送付できない場合が多く、着荷主の入荷地において電子化された情報がなく、納品伝票による検品を人手で実施する必要があり、時間を要している。
- さらに、全日本トラック協会食料品部会「加工食品物流におけるリードタイムの延長に関する意見書」においても、下記のように指摘されている¹²⁾。
- 働き方改革関連法案の施行を受けて、長時間労働や夜間作業を前提してきた物流事業者の労働環境の改善が喫緊の課題となっているが、現状の受注日の翌日納品を前提とした加工食品物流のリードタイムが要因の1つとして改善が進まない状況となっている。
 - また、加工食品物流の夜間の運転や仕分け作業は、ドライバーとなることを敬遠する理由の1つとなっていて、ドライバー不足が深刻化している。
 - リードタイムの延長は、納品先を確定して集車、配車調整することが可能となり、効率的な配車や運行計画を立てることで車両の削減につながる。
 - 事前に出荷作業要員の手配を組むことができ、適正な要員の確保、他センターからの応援が可能となることで、出発時間の遅れを回避し、倉庫員の作業時間の短縮が可能となる。

加工食品荷主企業へのアンケート調査によると、発注が納品の3営業日以前が34.6%、2営業日以前が22.0%、1営業日以前が25.8%、当日が17.6%となっている。それぞれのリードタイムごとに直面している問題をまとめたのが図表-7である。「トラック到着時間を細かく指定しており、スケジュール最適化を進めにくい」という回答は、当日が50.0%、1営業日以前が38.3%の企業が指摘しているのに対して、2営業日以前が30.0%、3営業日以前が23.8%と少なくなっている。同様に、「トラックの積載率が低い」についても、当日が43.8%、

1 営業日前が 31.9%の企業が指摘しているのに対して、2 営業日前が 27.5%、3 営業日前が 19.0%と少なくなっている。このように、リードタイムは配送の計画化、積載率に大きな影響を与えていることが窺える。



図表-7 リードタイムと物流で発生している問題の関係

出典：「荷主と運送事業者の協力による取引環境と長時間労働の改善に向けたガイドライン」

資料より作成

「ホワイト物流」の取組状況においても、リードタイムの延長については、加工食品メーカーの 75.5%が挙げており、取組意向が強い。多くは発荷主として、取引先である卸売業、小売業にリードタイムの延長を要請し、調整するという内容となっている。さらに発荷主として、トラック運転者が適切に休憩を取りつつ運行することが可能となるように出荷予定時刻を厳守する、受注から出荷作業にかかわる運用方法を見直し、効率的かつ適切な配車、運行計画立てに取り組むといった内容がみられる。着荷主としての記述は少ないが、着荷主として幅を持たせた到着時刻を認めることなどにより十分なリードタイムを確保するというものもある。

一方、加工食品卸売業は 8.3%にとどまっている。その背景として考えられるのが、多くの企業が取組項目として挙げているのは、発荷主としての立場であり着荷主としての立場でないということが考えられる。

加工食品小売業は 33.3%となっている。着荷主として、幅を持たせた到着時刻を設定する、低回転品については週の納品回数を 3 回から 1 回に減らすなどのリードタイム延長により供給先からの便数削減を図る、特売事前確定発注の拡大などの施策が挙げられている。取組企業数は少ないものの、一部見直しが図られている。

翌日納品からリードタイムの延長については、大手食品メーカーと卸売業との間での取り組みが図表-8 のように進んでいる。

アサヒ飲料	2019年4月9日から飲料で実施。
伊藤園	卸向け飲料輸送の約9割で実施。
亀田製菓	埼玉県所沢市のセンターから神奈川方面のせんべいやあられの卸向け配送で2019年4月から実施。全国展開は検討中。
キューピー	2018年8月からお盆や年末繁忙期に実施。2019年1月から全国に拡大。
キリンビバレッジ	2019年6月から輸送全体の85%の飲料輸送で実施。
サントリー食品インターナショナル	2019年4月から順次案内を行い、卸向けの8~9割の飲料輸送で実施。
テーブルマーク	2018年10月からパックご飯の輸送で実施。
東洋水産	2019年2月中旬から、ドライ商品の発注を変更。
日清食品	2015年から、12月の繁忙期対策として全国で実施。2017年1月から全国一斉でカップ麺、袋麺の全製品で実施。
ネスレ日本	2019年4月から、ネスカフェやキットカットなど全製品で実施。

図表-8 加工食品業界でのリードタイム延長の取組状況

出典：輸送経済新聞資料より作成¹³⁾

しかしながら、小売業との間ではリードタイムの延長は進展していない事が指摘されている。そのような状況のなかで、バローホールディングスの食品スーパー「バロー」は、従来、加工食品は正午までに注文した商品を当日の夕方5時から翌朝9時までに納品するルールだったのを、翌日夕方5時と、納品リードタイムを最大24時間延長した。これに伴い各店舗では、翌々日の売れ行きを予測して発注しなければならず、欠品や過剰在庫のリスクは増すこととなるが、自動発注システムの仕組みを改良するなど影響は限定的としている¹⁴⁾。

4-3-2. 発注量の平準化、納品日の集約の取り組み

荷受け側の着荷主からみると、できるだけ在庫を圧縮する一方、販売機会をロスしないように欠品率が低い状態を望むことから、変動する需要に合わせて、多頻度で小さい単位で納入することを要請する。過度あるいは非計画的な多頻度小口の要求、大きく変動する発注量への対応は、配送効率を悪化させることとなる。しかしながら、発注量の平準化、納品日の集約等の頻度の見直しは、荷受け側の在庫を増やすことにつながることも多く、着荷主の理解、連携、協力が欠かせない。

主な大きな変動の発生原因と対策例として、下記のようなものが挙げられている。

- ・午前・午後での1日の中での波動－着荷主が一定の条件に従って納品指定時刻を分散させることにより、トラック受付の集中する時間帯をずらし、波動を解消する。
- ・週末の特売などによる週の中での波動－全ての特売品をまとめて金曜日に納入するのではなく、他の日にも分けて納入することにより、貨物量を分散させる。
- ・月単位の管理会計による月末月初の波動－管理会計の締め日を月末以外へ変更することにより、月末月初の波動を平準化する。
- ・販売奨励金の算定期限末による波動－販売奨励金の算定期限を他の波動と被らないように設定し、波動を分散化する。
- ・消費性向による季節波動－季節性向が逆になる商品を組み合わせ、トラック台数を有効活用する。

- ・長期休暇による波動—長期休暇期間分の在庫について、分散して事前に納入する。

発注量の平準化については、加工食品小売業の 46.7%が、加工食品卸売業の 25.0%が、加工食品メーカーの 15.1%が取組項目として挙げている。加工食品小売業においては、曜日波動、月波動、イベント波動の繁閑差を減らすように発注量をコントロールするほか、物量予測精度の向上が施策として挙げられている。百貨店では、中元（7 月）、歳暮（12 月）期の繁忙期を緩和すべく、6 月、11 月届を推奨し平準化を推進していくというものもある。加工食品卸売業は入荷物量の曜日波動の平準化のほか、発注支援システム活用により、発注曜日の集約や発注ロットを見直し、入荷頻度の削減、発注量の平準化に取り組む企業もある。加工食品メーカーにおいても、曜日波動や月波動などの繁閑差を平準化する施策に知り組む企業がある。さらに、納品日の集約については、加工食品メーカーの 24.5%が、加工食品卸売業の 16.7%が、加工食品小売業の 6.7%が挙げている。メーカー、卸売業、小売業とも、取引先から隔日配送化、定曜日配送化等の納品日の集約に関する提案があった場合に対応するという回答が多くなっている。すなわち、自ら主体的に動くのは難しいという問題がある。

日単位の平準化に関連して、サッポログループは、AI 技術を活用した商品需給計画システムである「Supply Chain Planning」を導入している。需要予測から生産計画、供給補充計画までを範囲とする、酒類・飲料・食品の共通システムである。SCPlanning システムの導入により、ロジスティクス領域において、計画主導型の標準化をし、在庫の適正化、物流の平準化を図っている。

加工食品関連ではないが、日本製紙と乾汽船は、配送時刻の平準化を荷受け側の卸、印刷会社等に要請している。従来、配送の 8 割が午前中の時間指定になっていたが、時間指定の解除、前倒し納品などを要請し平準化した結果、配送効率が向上し車両が 22.2%削減、配送回転数が 9.8%向上している。

5. まとめ

企業の多くは、これまでも企業単位での物流改革に取り組んできた。しかしながら第 2 章で指摘したように、日本の物流の生産性は改善していないのが現状である。その最大の原因は、根本的な物流条件が見直されてこなかったためと考えられる。リードタイム、納品ロット、納品頻度といった物流条件を決定しているのは顧客であり、取引先である着荷主である場合が多い。着荷主企業は、できるだけ実際の需要に合わせて、発注時期を遅らせ、かつ在庫をもたないように行動するのが一般的であり、短いリードタイム、多頻度小口、厳しい時間指定といった物流サービスを要求する。しかしながら、これが物流の効率化を妨げ、様々な問題を発生させている。

生産性向上への取り組みは、物流事業者、発荷主だけでは限界がある。多くの企業は、発荷主としての立場から、物流改革を遂行しても、着荷主の立場からは検討してこなかった。しかしながら前提となる物流条件を見直さなければ、抜本的な生産性向上には結びつかない。そのためには、発荷主、着荷主、物流事業者が連携し、商取引条件、商慣行の見直しも

含めた物流改革が必要といえる。「ホワイト物流」の推進は、企業連携による物流改革を推進する大きなきっかけになると考えられる。本稿で取り上げた加工食品業界においては、リードタイム延長、発注量の平準化の取り組みがみられるが、まだ端緒についたばかりであり、今後の発展が期待される場所である。

本研究の実施に当たってはSBS 鎌田財団の研究助成を利用いたしました。このような機会を与えていただいたSBS 鎌田財団に深く感謝いたします。

注

- 1) (公財) 日本生産性本部「主要産業の労働生産性水準」
- 2) (公財) 日本生産性本部「生産性統計」、労働生産性指数は、製造業を中心とした鉱工業および非製造業の物的労働生産性の変化を示すために作成されている。物的労働生産性とは、投下労働投入量あたりの産出量である。産出量は、鉱工業分野が経済産業省の鉱工業指数、非製造業分野が経済産業省の第三次産業活動指数及び全産業活動指数による。労働投入量は、厚生労働省の毎月勤労統計調査（事業所規模5人以上）による。なお、労働投入量指数は、常用雇用指数×総実労働時間指数に基づいて作成されている。
- 3) 滝澤美帆「産業別労働生産性水準の国際比較～米国及び欧州各国との比較～」公益財団法人 日本生産性本部 生産性総合研究センター生産性レポート Vol.13、2020年5月
- 4) 深尾京司、池内健太、滝澤美帆「質を調整した日米サービス産業の労働生産性水準比較」公益財団法人 日本生産性本部 生産性総合研究センター生産性レポート Vol.8、2018年1月
- 5) 厚生労働省、国土交通省、全日本トラック協会「荷主と運送事業者の協力による取引環境と長時間労働の改善に向けたガイドライン」
- 6) 国土交通省、経済産業省、農林水産省、厚生労働省「荷主と運送事業者の協力による取引環境と長時間労働の改善に向けたガイドライン(加工食品物流編)」2020年5月
- 7) 国土交通省「荷待ち時間調査」2018年
- 8) 国土交通省「加工食品分野における物流標準化アクションプラン」2020年
- 9) 消費者庁「加工食品品質表示基準」
- 10) 「ホワイト物流」推進運動ポータルサイトの2020年3月末時点の賛同企業の集計結果
- 11) 国土交通省、経済産業省、農林水産省、厚生労働省「荷主と運送事業者の協力による取引環境と長時間労働の改善に向けたガイドライン(加工食品物流編)」2020年5月
- 12) 全日本トラック協会食料品部会「加工食品物流におけるリードタイムの延長に関する意見書」2019年7月
- 13) 輸送経済新聞 2019年9月3日
- 14) 日経MJ 2020年1月31日

参考文献

木島豊希「企業間連携による物流効率化」、『流通ネットワーキング』、308号、2018年

木島豊希「サプライチェーンの効率性と正当性に関する試験的考察」、『流通情報』、543号、
2020年3月

矢野裕児「連携による物流効率化の推進」、『道路建設』、764号、2017年

矢野裕児「物流危機の背景と生産性向上に向けての展開」、『現代流通変容の諸相』中央大学
出版部、2019年

湯浅和夫、内田明美子、芝田稔子『「物流危機」の正体とその未来』生産性出版、2019年2
月

⑤今後の課題

本研究では、加工食品業界の商取引条件、商慣行の見直しに着目して分析を行った。「ホワイト物流」の取り組み状況を見ると、業種によって取り組み内容に大きな差異がある。特に、商慣行は業界によって大きな差異があり、今後、企業間の垂直連携の方向性について、検討していく場合には、業種の特徴を踏まえた検討が今後の課題となる。また、商取引条件、商慣行は荷待ち時間、荷役時間、検品時間、さらに輸送効率と複雑に絡み合っており、定量的な実態把握、分析が今後の課題となる。

⑥主な発表論文等

「物流の労働生産性の現状と生産性向上に向けての展開ー加工食品における企業連携による商取引条件、商慣行の見直しー」日本倉庫協会「倉庫」2020年7月

「商取引条件、商慣行の見直しによる物流の労働生産性向上に向けての展開(仮)」流通経済大学「物流問題研究」2020年10月予定

物流用マルチコプタードローンの着陸時転倒防止機構の開発

名古屋大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 飛行・制御講座
教授

原 進



1. はじめに

現在の物流業界が抱える深刻な問題として次の2点があげられる。1点目として業界の労働人口の低下である。国土交通省のホームページ(国土交通省, 2020)によれば、我が国においては2018年現在、トラックドライバーの高齢化も進んでおり、約7割の運送業者がドライバー不足ないしはやや不足と感じている。2点目の問題として交通渋滞があげられる。最近、オンラインショッピングに関する運送業務など配送仕様の高度な業務が増えてきており、交通渋滞が業務に与える影響の度合いが増してきている。近年頻発する自然災害による道路網の寸断や、2020年初頭から問題になってきた新感染症流行にともなう生活様式の急変などの不確かさも含みながら、物流業界への負担が今後さらに求められて行くことはほぼ間違いない。これらの諸問題解決の切り札として、トラックなどの陸上交通とは異なる、ドローンを活用した空輸による物流が期待されている。最近「空の産業革命」と呼ばれるように、ドローンを活用した配送業務は社会実装直前の状態にあり、人口の密集した都会から過疎地までわが国ではその恩恵が大いに期待できる(野波, 2017)。

本研究では、ドローンの中でも配送用途として最もポピュラーなマルチコプタを取り上げ、その着陸の効率化について検討する。これまでマルチコプタは平坦に整備されて風向風速計なども備えられたドローンポートが用意されて、そこに着陸させる使い方が多かった(国土交通省, 2020)。しかしながら、マルチコプタ空輸が普及すれば当然ドローンポートのない着地面、さらにはある程度までの斜面や段差には着陸可能であることが求められるであろう。特に、被災地への緊急配送などにおいてはこのような着陸条件が必須となる。マルチコプタに関する研究開発は飛躍的に進んでおり、飛行性能や電池寿命の改善などは進みつつあるものの、いまだにあらゆる着地面に対するロバストな着陸は難しく、少しのスロープや段差であっても大きなリバウンドを発生して転倒してしまう可能性が高い。どんなに高速で省エネルギーな配送が可能であっても、最後の着陸で転倒してしまっただけでは物流機器としては本質的な欠陥を含むことになる(原, 2018)。よって、着陸時の応答の制御(着陸応答制御)は大変重要であるが、これまで十分に組み込まれてきたとは言い難い。著者らの一部は、月惑星探査機の着陸応答制御に関する研究を行ってきており、ある種の運動量交換型着陸応答制御機構がマルチコプタの着陸応答制御にも応用可能と考えた(Hara, 2016)。しかし、配送に用いるマルチコプタの場合にはペイロードを少しでも増やすことが重要であり、制御のために別の付加マスを装備する運動量交換型機構の適用は最適な方法と言えないことがわかってきた。そのため、脚部の粘性減衰効果を強化して着陸時のリバウンドを抑制することを本研究では優先した。ところが、空中を飛行するマルチコプタの場合、オイルダンパを各脚に装着することはオイル漏れを起こした場合の地上への影響、また環境温度の変化による粘性減衰効果の変動などで安心して安定な粘性減衰効果を得ることは容易ではない。

本研究では、上記のような背景に基づき、オイルダンパではなく、環境温度変化に対する影響が小さい磁気ダンパの使用を考え、その設計手法を紹介する。まず、衝撃応答制御機構を含むマルチコプタをマルチボディダイナミクスの理論を使ってモデル化する(岩村, 2018)。そのモデルに対し、機構中の剛性や粘性減衰係数の設計パラメータについて時刻歴応答の数値シミュレーションと電磁界シミュレータを活用することでチューニングを行い、着陸時のリバウンド抑制性能の向上と機構重量の抑制を同時に満たす方法を示す。決定されたパラメータに基づく着陸応答制御機構の有効性を数値シミュレーションと、マルチコプタを模した構造物を自由落下させるシステムを用いた実験的検討により明らかにした。以下、本論文では第2章で磁気ダンパを用いた衝撃応答制御機構の説明、第3章でマルチボディダイナミクスの考え方を使っ

たモデル化とその数値シミュレーションによる検討、第4章で構造物自由落下システムを用いた実験的検討について説明し、第5章において本論文で得られた内容をまとめる。

2. 提案する衝撃応答制御機構

本論文ではマルチコプタの着陸応答制御を考えるため、マルチコプタの各脚に図1(a)に示すような、ばねと磁気ダンパがシリアルに接続された機構を装着することを考える。この機構の中心軸先端には図1(b)に表すように組み合わされた永久磁石が取り付けられており、中心軸が着陸直後に下降することによって磁場が変化し、渦電流を発生することで中心軸と壁面との間に減衰力が生成される(Takayama et al., 2008)。例えば、桑田らはこのような磁気ダンパの原理を救急車用の防振架台の開発に応用している(桑田他, 2011)。通常減衰要素として最も利用されるオイルダンパとは異なり、磁気ダンパは寒冷な環境であっても特性が変化することがほとんどないため、あらゆる地域での屋外での使用、地上から一定の高度まで広範囲に稼働させるマルチコプタにとっては好都合である。さらに、故障時のオイル漏れもなく空中を移動するマルチコプタに向けた減衰要素といえる。しかしながら、マルチコプタに対する磁気ダンパの適用は著者らの知る限りこれまで見当たらない。この適用にあたっては、ペイロードを確保するために磁気ダンパの軽量化と減衰性能の最大化を同時に考慮した設計が必須である。このような観点から本論文ではマルチコプタに対する磁気ダンパの適用方法について検討する。

図1の機構では、着陸直後に中心軸が下降することによってばねを圧縮し、運動エネルギーの一部をばねの弾性エネルギーに変換するとともに、残りの運動エネルギーの大半を磁気が発生する減衰作用で散逸させることでリバウンドを抑制する。軽量化のためにむやみに大きな永久磁石を用いることはできないが、図1(b)のような複数永久磁石の組み合わせ方により、同じ体積でも磁束密度を高くする。さらに、この組み合わせにより高密度な磁束が導電体に垂直に入り込むことで減衰性能を大きくすることができる(桑田他, 2011)。以後、図1(b)における金属とアルミニウムから成る外側の部分を「外筒部」、中心軸と永久磁石ならびに金属の組み合わせから成る部分を「磁石部」と呼ぶ。

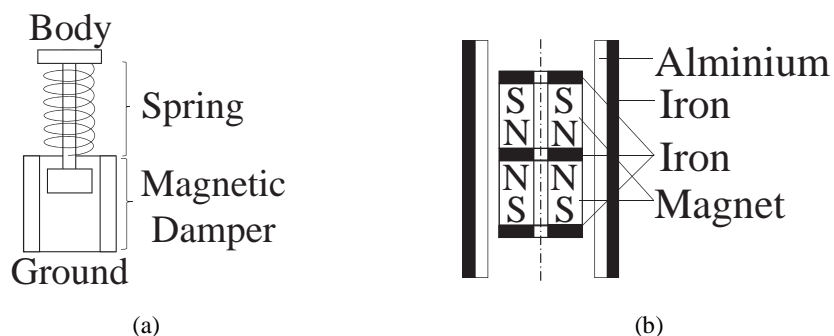


Fig. 1 The rebound reduction mechanism in this paper. Figure (a) shows the scheme of the proposed mechanism. Figure (b) shows the details of magnetic damper.

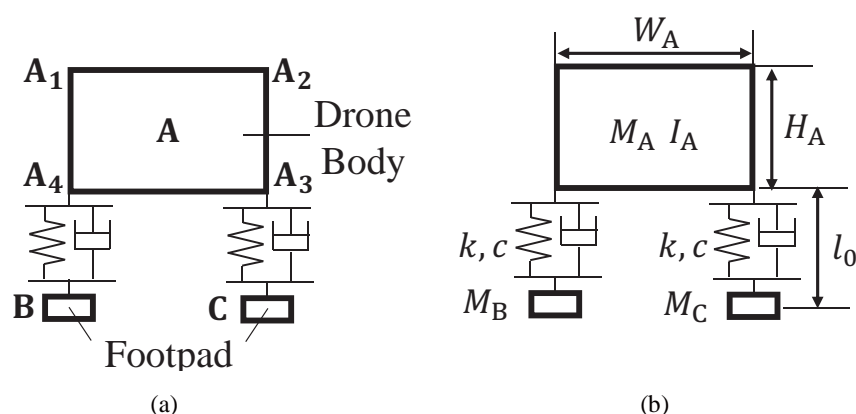


Fig.2 The proposed mechanism model. Figure (a) shows the scheme of the model. Figure (b) shows parameters of the model.

Table 1 Parameters of the simulation model

Drone body		
Mass	M_A	0.600 kg
Moment of inertia	I_A	0.0077 kg · m ²
Width	W_A	0.382 m
Height	H_A	0.089 m
Leg length	l_0	0.090 m
Footpad		
Mass	M_B, M_C	0.050 kg
Ground		
Spring constant	k_g	1.0 × 10 ⁵ N/m
Viscosity coefficient	c_g	75 N · s/m

3. 数値シミュレーションによる検討

3・1 モデル化

本章では、前章で提案した磁気ダンパを含むモデルの有効性について数値シミュレーションにより考察する。なお、数値シミュレーションは図2に示すモデルを対象に行う。図2(a)にはモデルの特定の部分を示す記号(アルファベット大文字)を含み、図2(b)にはモデル中のパラメータを示している。各パラメータの意味と値は表1にまとめる。本問題の場合には重要な2次元平面内の運動のみを対象とし、図2のモデルの紙面に垂直な成分の方向の運動については考えない。図2のモデルはマルチコプタ本体、左側脚部ならびに右側脚部の3部分から構成されており、図2(a)では各部分をA, B, Cと示している。なお、A₁からA₄の記号はマルチコプタ本体における4点の位置を意味している。図2(b)ではパラメータを示しているが、脚部B, Cの反時計回りの慣性モーメントは本研究では無視している。マルチコプタ本体と脚部は図2のように線形のばねとダンパが並列となる組み合わせにより接続されており、ばねから弾性エネルギーが解放される時間帯と磁気ダンパが減衰力を発生する時間帯はほぼ重なっていると仮定する。

本研究では、マルチボディダイナミクスの考え方を使得って図2のモデルに対し、次のような運動方程式を導出する(岩村, 2018)。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} & \mathbf{C}_q^T \\ \mathbf{C}_q & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} \\ \dot{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q} \\ \boldsymbol{\gamma} - 2\alpha\dot{\mathbf{C}} - \beta^2\mathbf{C} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{C}_q \ddot{\mathbf{q}} = -(\mathbf{C}_q \dot{\mathbf{q}}) \dot{\mathbf{q}} \equiv \boldsymbol{\gamma} \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{C} は拘束条件を表す行列、 \mathbf{q} は一般化座標、 \mathbf{M} は一般化質量行列、 \mathbf{Q} は一般化力行列、 $\boldsymbol{\gamma}$ は式(2)中の設計パラメータを意味する。 α と β は \mathbf{C} を安定化するためのフィードバックゲインであり、本論文ではともに50と設定した。添字は添字の変数で添字がつけられている行列を微分することを意味する。ここでの拘束条件 \mathbf{C} は式(3)のような直動ジョイント条件を意味する。

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} [\cos \phi_A & \sin \phi_A](\mathbf{r}_{A_1} - \mathbf{r}_B) \\ [\cos \phi_A & \sin \phi_A](\mathbf{r}_{A_2} - \mathbf{r}_C) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \quad (3)$$

上式の ϕ と \mathbf{r} はそれぞれ角度と位置のベクトルを示しており、それらの添字は図2(a)中の部分を意味する。

3・2 ばねダンパパラメータのチューニング

2章で説明したように、マルチコプタのペイロードを確保するために磁気ダンパの軽量化と減衰性能の最大化を同時に考慮した設計が重要であり、具体的には設計パラメータである図2モデル中のばね定数 k と粘性減衰係数 c をどのようにチューニングするのが課題となる。式(1)~(3)に基づきMATLAB/Simulinkを用いた数値シミュレーションを行いながらこれら2種類の設計パラメータのチューニングを行う。このシミュレーションでは、着地面から脚部先端までの初期高さを0.3 mとして静止時から鉛直方向下向きに自由落下させる場合の時刻歴応答計算を行う。なお、着地面は表1中の地面パラメータとして記載された線形のばね k_g と粘性減衰 c_g を並列に組み合わせる条件で考えている。その他各部の質量などのパラメータも表1にまとめている。

この条件で2種類の設計パラメータ k と c を変化させながら応答計算を繰り返し、磁石部が移動する最大ストロークならびに本体の最大リバウンド高さを求めた結果をそれぞれ図3と図4に示す。最大ストロークとは脚が表1の l_0 から一番縮んだ値を、最大リバウンド量は着陸後に脚部が一番高くなった位置までの高さを意味する。また、ばねには数値的な振動を抑えるためにばね定数の1/150の粘性減衰係数を並列に結合している(齋藤, 2019)。

具体的な k と c のチューニング手順を説明する：

- [1] マルチコプタなどの小型の飛翔体では通常質量制限が最も厳しいので、まず磁気ダンパの上限質量を満たすように、使用する部材の密度や強度の情報をもとに磁石部と外筒部の寸法を決める。特に外筒部の長さを決めれば磁気ダンパの最大ストロークの上限も決まる。このストローク上限を満たさないと磁石部が外筒部の端面に衝突し、応答が衝撃の影響を受けてしまう。
- [2] 次に粘性減衰係数 c を決定する。本来図1(a)の構造であれば磁石部が降下するとともに磁束の与える影響も変化するため粘性減衰係数も変化する。しかしながら c を時変のパラメータとすると図3や4の知見は使うことができず、 k の適切な選定が困難となる。そこで、本研究では c を時不変の値と仮定し、磁石部降下時の代表的な速度を使得って一定速度で磁石部が降

下すると仮定して電磁界シミュレータにより c を決定する。本研究では、シミュレータに JMAG (株式会社 JSOL) を用いた。

[3] [2]で決定した粘性減衰係数 c を用いてばね定数 k を決める。このとき、図 4 からばね定数 k を小さくすれば最大リバウンド量を小さくできることがわかる。そこで、図 3 の最大ストローク量が制限値を超えない条件を満たす限り小さなばね定数 k を決定する。以上で k と c のチューニングが完了する。

具体例として一对の磁石部と外筒部についてそれぞれ 50 g 未満、合計した機構として 100 g 未満を目標にチューニングを行った。図 2(a)のモデルでは、外筒部の質量は **B** あるいは **C** の質量の一部として、磁石部の質量は本体 **A** の質量の一部に含めて考える。JMAG による電磁界シミュレーションでは、図 5 に示すように軸対称の解析を行い、素材については、磁石部でネオジウム磁石 (N52) と冷間圧延鋼板 (SPCC) を使い、外筒部ではアルミニウム (A1070) と一般構造用圧延鋼材 (SS400) を用いると設定した。形状はすべて円筒であり、寸法については、ネオジウム磁石 (N52) が $20 \times 5 \times 6$ mm (順に、外径、内径、高さを意味する。SPCC, A1070, SS400 においても同じ。)、冷間圧延鋼板 (SPCC) が $20 \times 5 \times 1$ mm、外筒部ではアルミニウム (A1070) が $24 \times 22 \times 50$ mm、一般構造用圧延鋼材 (SS400) が $25 \times 24 \times 50$ mm と設定した。このとき、ネオジウム磁石 (N52) と冷間圧延鋼板 (SPCC) の合計質量は 33 g、アルミニウム (A1070) と一般構造用圧延鋼材 (SS400) の合計質量は 25 g でありともに目標の 50 g を達成するとともに、磁気ダンパ機構としての質量も目標を満たす 58 g となった。磁石部が外筒部内壁前を鉛直下方向に落下する際の代

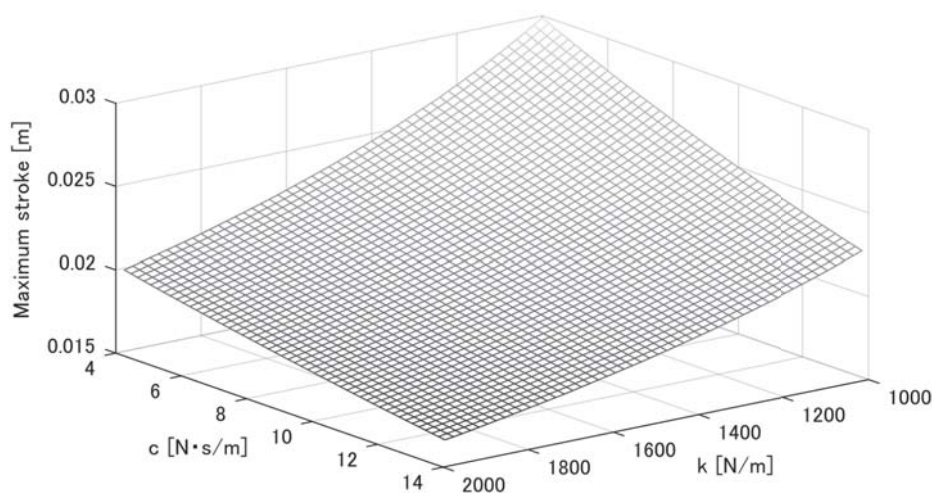


Fig. 3 Maximum stroke vs. design parameters: spring constant and viscous damping coefficient.

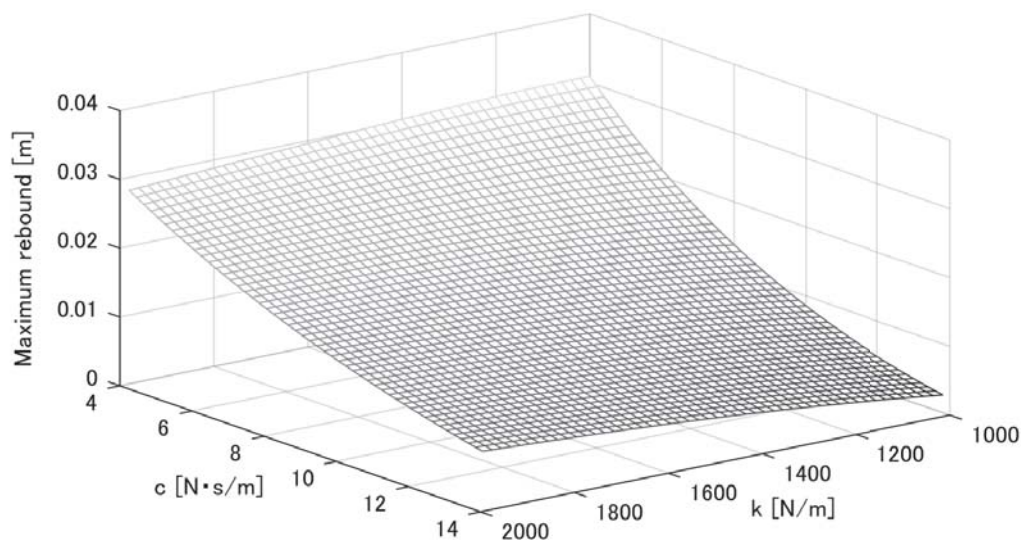


Fig. 4 Maximum rebound vs. design parameters: spring constant and viscous damping coefficient.

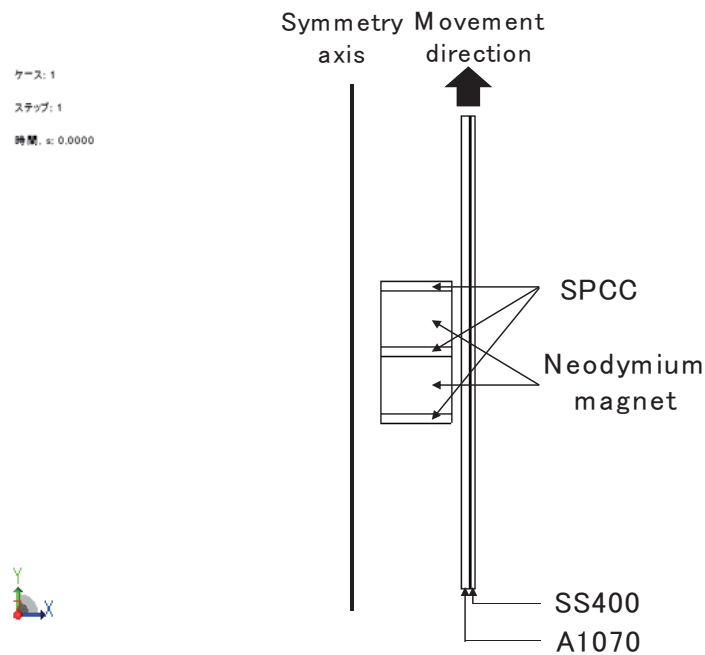


Fig. 5 JMAG analysis setting.

表的な速度は、図3, 4のシミュレーションにおいて図2(a)の A_4 と B あるいは A_3 と C の着陸寸前の相対速度を参考に4.0 m/sとした。以上のような設定により粘性減衰係数 c を求めたところ8.8 Ns/mとなった。その結果、最大ストローク長は35 mm程度となるが、後述する実際の磁石部構成部品の寸法も考慮してここでは制限値を24 mm程度と判断した。その結果、ばね定数 k は1200~1300 N/m程度が適切と選ばれた。

3・3 数値シミュレーション

本節での数値シミュレーションでは、粘性減衰係数 c を8.8 Ns/m、ばね定数は1200 N/mと選んだ。磁気ダンパ機構の有効性を確認するためにばねとダンパを剛体棒に置き換えた脚（「剛体棒モデル」と呼ぶ）の着陸時の件を表す行列 C を次のように与えている。

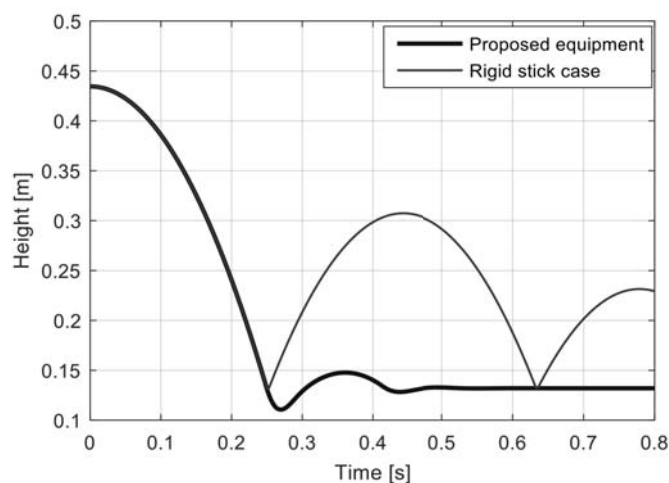


Fig. 6 Free fall response simulation results. The proposed equipment enables us to reduce rebound after landing.

$$\mathbf{c} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{AB} - \mathbf{r}_B \\ \mathbf{r}_{AC} - \mathbf{r}_C \end{bmatrix} = \mathbf{0} \quad (4)$$

ここで、 \mathbf{r}_{AB} と \mathbf{r}_{AC} はそれぞれ本体 A の変数を用いて B, C の位置を表すベクトルである。

磁気ダンパ機構がある場合と剛体棒モデルの場合の自由落下時刻歴応答を図 6 に示す。明らかに、磁気ダンパ機構によって最大リバウンド高さが 0.02 m 程度に抑えられており、その有効性が理解できる。

4. 実験的検討

本章では提案機構の有効性を実験的にも明らかにするため、マルチコプタを模擬した構造物を自由落下させる実験を行う。実際のマルチコプタを参考に、クロスレンチをマルチコプタ本体に模擬した図 7 のような対象を考える。クロスレンチの寸法が 353×353×38 mm であり、質量が 1.0 kg である。また、脚部機構の質量は付属品等を含めても目標を満たす 94.5 g となった（外筒部は 46.4 g、磁石部は 48.1 g）。各脚部にばね定数 1230 N/m のコイルばねを装着し、その下に前章で JMAG で解析した場合と、各素材ならびにそれらの寸法が同じ条件の磁気ダンパが設けられている。この対象の運動中の高度は図 8 のようにモーションキャプチャを用いて計測する。着地面には、SGNB と SUTLL と呼ばれる剛性や粘性減衰が同定可能な 2 種類のゴムシートを用いた (Miyata et al., 投稿中)。これらの同定されたパラメータを表 2 に示す。

図 9 ならびに 10 に実験時の自由落下時刻歴応答と対応する数値シミュレーションの結果を示す。実験では各着地面に対して 10 回の実験を行い、それぞれの平均的な応答に最も近かった時刻歴を示している。両図から、複数の着地面において実験結果は数値シミュレーション結果と十分類似した応答を示しており、提案機構のリバウンド抑制性能が実験的にも示された。

Table 2 Ground parameters

(a) SGNB		
Spring constant	k_g	8.194×10^4 N/m
Viscosity coefficient	c_g	77.57 N · s/m
(b) SUTLL		
Spring constant	k_g	2
Viscosity coefficient	c_g	65.00 N · s/m



(a)

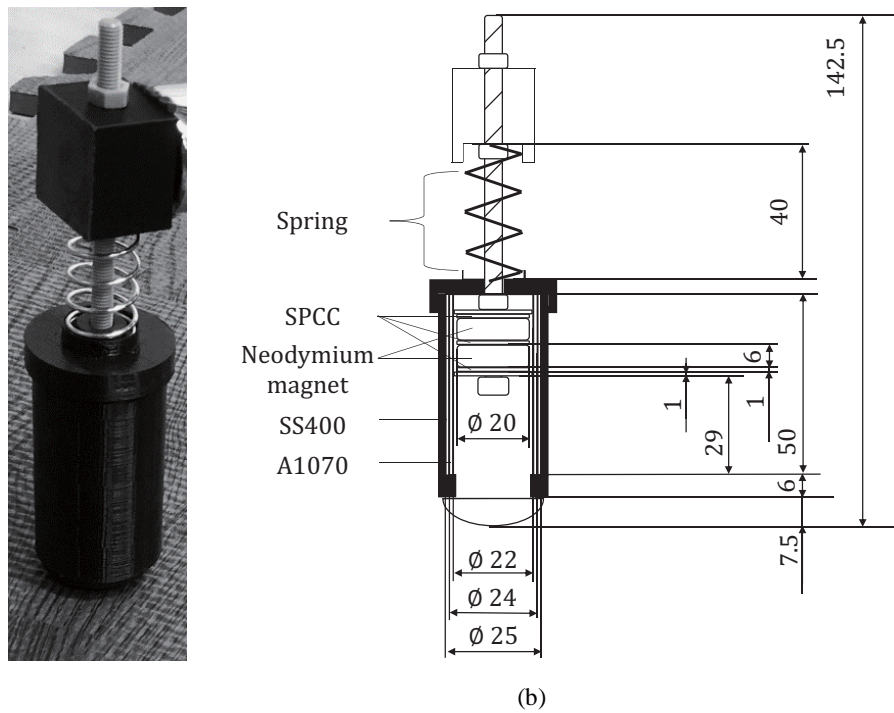


Fig. 7 Experimental object in this study. (a) The object consists of a cross wrench and four spring-magnetic damper combinations. (b) The proposed mechanism: spring-magnetic damper combination.

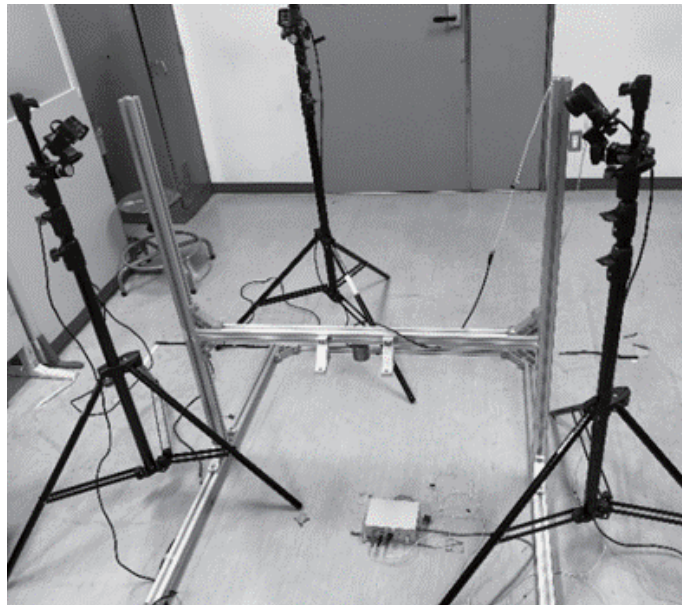


Fig. 8 Experimental system. The object's height is detected by a motion capture system.

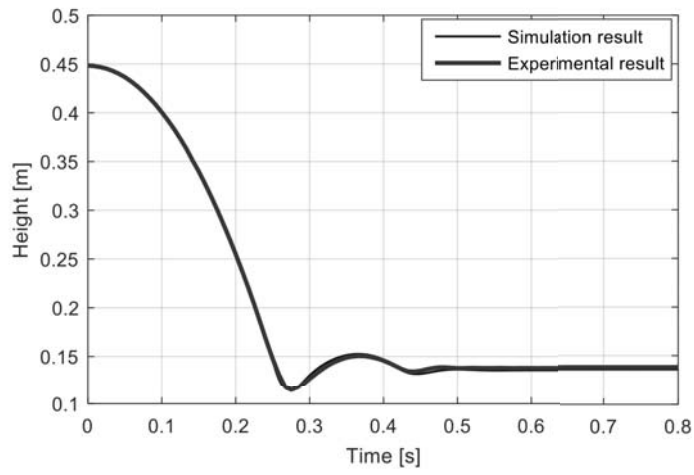


Fig. 9 Experimental result. The ground is SGNB.

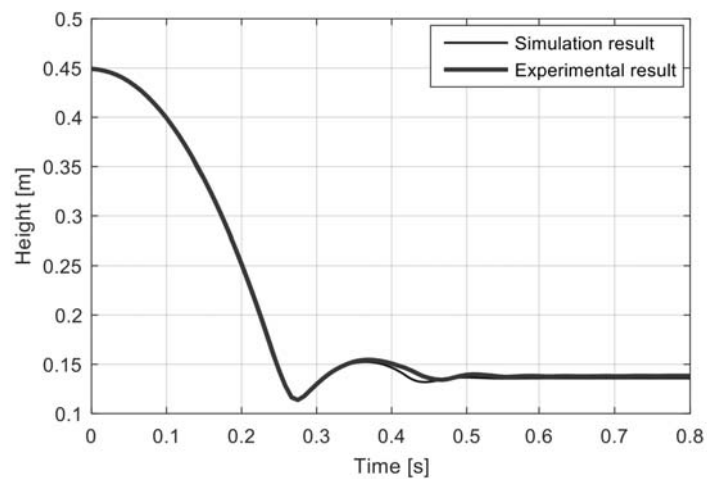


Fig. 10 Experimental result. The ground is SUTLL.

5. おわりに

本論文では、今後物流業界での活用が期待されるマルチコプタの着陸時の衝撃応答制御問題に着目し、磁気ダンパを用いた衝撃応答制御機構を提案した。そして、その機構中の剛性や粘性減衰係数などの設計パラメータについて電磁界シミュレータも用いて、着陸時のリバウンド抑制性能の向上と機構重量の抑制を同時に満たすパラメータ決定を行った。決定されたパラメータに基づいた機構の有効性を数値シミュレーションと、マルチコプタを模した構造物を自由落下させるシステムを用いた実験的検討により明らかにした。本論文で説明した図 3, 4 に基づく設計パラメータチューニング方法については図 2 のモデル化が可能な着陸脚機構であれば、磁気ダンパ以外の場合にも、機構のストローク長や質量の影響を考慮しながら設計しなければならない場合に有力な方法となる。一方、さまざまな磁気ダンパを用いる場合、本論文のような粘性減衰係数が降下中一定との仮定が満たされない事例もあり得る。その場合の影響や適切なばね（剛性パラメータ）の選び方については今後の課題である。

本論文では、平坦な着地面に対して制御対象が鉛直に自由落下する場合の数値シミュレーションと実験による検討を行ったが、今後は斜面や段差など不整地への着陸や、制御対象が水平方向に速度を有したまま着陸する場合の有効性などについても明らかにする必要がある。さらに、衝撃力の度合いに応じて粘性減衰力を可変にできる機構の検討や、著者らの一部が従来研究してきた運動量交換型着陸応答制御など他の手法・機構との効果的な組み合わせについて検討することなども課題としてあげられる。

謝 辞

本研究は公益財団法人 SBS 鎌田財団 2018 年度物流研究助成「物流用マルチコプタードローンの着陸時転倒防止機構の開発」の支援を得て実施されたことを記し謝意を表す。また、本研究の遂行に際して大きな役割を果たした名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程 丹羽一貴君、ならびに名古屋大学大学院工学研究科 宮田喜久子助教（現 名城大学理工学部准教授）ならびに電磁界シミュレーションについてご協力いただいた名古屋大学大学院工学研究科 稲守孝哉准教授に感謝する。

文 献

- 原進、運動量やエネルギーの交換に着想を得た衝撃応答制御技術とビークル制御への応用、計測と制御、Vol. 57, No. 4 (2018), pp. 241-246.
- Hara, S., Matsui, S., Saeki, N., Maeda, T., and Otsuki, M., Proposal of non-flying-type MEID mechanism for lunar/planetary exploration spacecraft, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 10, No. 4 (2016), DOI: 10.1299/jamdsm.2016jamdsm0062.
- 岩村誠人、マルチボディダイナミクス入門 (2018)、pp. 30-50, 58-59, 122-160, 208-210、森北出版 (in Japanese).
- 株式会社 JSOL、JMAG, available from < <https://www.jmag-international.com/jp/> > (in Japanese)、(参照日 2020 年 1 月 3 日).
- 桑田勝義、大下裕樹、小島重行、小倉由美、藤田悦則、榎園正人、上野義雪、金子成彦、磁気ダンパを用いた救急車用防振架台の開発、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2011 (D&D 2011) 講演論文集 (2011)、Paper No. 605.

- 国土交通省、過疎地域の新しい物流の誕生へ～過疎地域等におけるドローン物流ビジネスモデル中間とりまとめの公表～、available from <https://www.mlit.go.jp/report/press/tokatsu01_hh_000459.html>, (参照日 2020年5月13日).
- Miyata, K., Nozaki, M., Hara, S., Yamaguchi, K., and Otsuki, M., Conceptual study on robust rebound suppression mechanism for small-body landing, submitted to Journal of Spacecraft and Rockets.
- 野波健蔵、ドローン技術の現状と課題およびビジネス最前線、情報管理, Vol.59, Issue 11 (2017), pp.755-763.
- 齋藤聡、天体着陸探査機転倒防止のための後退型衝撃応答制御機構の研究 (2019)、名古屋大学大学院工学研究科修士論文.
- Takayama, Y., Sueoka, A., and Kondo, T., Modeling of moving-conductor type eddy current damper, Journal of System Design and Dynamics, Vol.2, No.5 (2008), pp.1148-1159.

References

- Hara, S., Shock Response Control Technologies Getting Ideas from Momentum or Energy Exchange and Their Applications to Vehicle Control, Journal of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol.57, No.4 (2018), pp.241-246 (in Japanese).
- Hara, S., Matsui, S., Saeki, N., Maeda, T., and Otsuki, M., Proposal of non-flying-type MEID mechanism for lunar/planetary exploration spacecraft, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.10, No.4 (2016), DOI: 10.1299/jamdsm.2016jamdsm0062.
- Iwamura, M., Introduction to Multibody Dynamics (2018), pp.30-50, 58-59, 122-160, 208-210, Morikita Publishing (in Japanese).
- JSOL Corporation, JMAG, available from <<https://www.jmag-international.com/jp/>> (in Japanese), (accessed on 3 January, 2020).
- Kuwata, K., Oshimo, H., Kojima, S., Ogura, Y., Fujita, E., Enokizono, M., Ueno, Y., and Kaneko, S., Development of vibration isolating bed for ambulance using magnetic damper, Proceedings of the JSME Dynamics and Design Conference 2011 (D&D 2011) (2011), Paper No. 605 (in Japanese).
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Drone Logistics Business Model Study Group Interim Report in Depopulated Areas, etc., available from <https://www.mlit.go.jp/report/press/tokatsu01_hh_000459.html>, (in Japanese), (accessed on 13 May, 2020).
- Miyata, K., Nozaki, M., Hara, S., Yamaguchi, K., and Otsuki, M., Conceptual study on robust rebound suppression mechanism for small-body landing, submitted to Journal of Spacecraft and Rockets.
- Nonami, K., State of the art and issue of drone technology and business frontier, Journal of Information Processing and Management, Vol.59, Issue 11 (2017), pp.755-763 (in Japanese).
- Saito, S., Research on Retreat-Type Shock Response Control Mechanisms to Prevent Astronomical Landing Probe from Overturning (2019), Master's Thesis, Graduate School of Engineering, Nagoya University (in Japanese).
- Takayama, Y., Sueoka, A., and Kondo, T., Modeling of moving-conductor type eddy current damper, Journal of System Design and Dynamics, Vol.2, No.5 (2008), pp.1148-1159.

◎ 主な発表論文等

丹羽一貴・原 進・宮田喜久子、マルチコプタの着陸時リバウンド抑制機構の提案、日本機械学会東海支部第69期総会・講演会 (Tokai Engineering Complex 2020, TEC20) No. 203-1, 講演論文414 (2020年3月名古屋・名城大学)。

さらに、本報告書(論文)の内容をもとにして、2020年度中に学会への査読あり論文投稿を予定している。

物流作業の効率化に向けたパッシブ方式人体通信によるピッキングシステムの開発

東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科

助教

村松 大陸



【研究開始当初の背景】

荷主企業から物流業務を包括的に受託する 3rd Party Logistics (3PL) では、倉庫に保管された商品等を出荷場所へ集めるピッキング作業がコストの大部分を占めることもあり、その効率向上が重要な課題となっている。これまでにバーコードや RFID タグによる効率改善が図られているが、情報読み取り時にリーダ端末をタグ等に接触近接させる必要があり、作業効率を低下させる原因となっている。こうした問題を、申請者が専門領域とする「生体と電磁波の相互作用」を物流に応用して解決することを目指す。

エレクトロニクス技術の進歩により情報通信機器の小型軽量化が進み、スマートウォッチに代表されるウェアラブル機器が普及しつつある。ウェアラブル機器や外部機器を相互に接続する Wireless Body Area Network [1] を実現する通信方式として、人体を高周波信号の伝送路として活用する人体通信が注目されている [2]。人体通信では高周波信号が電極を介して人体に入出力され通信を行う。この伝送原理から、図 1 に示すように人体近傍のみに電界が分布し、高秘匿で低消費電力な通信が期待できる。さらに、通信対象に「触れる」という自然な動作で伝送路が確立するため、直感的なヒューマンインターフェースとしても有用である。

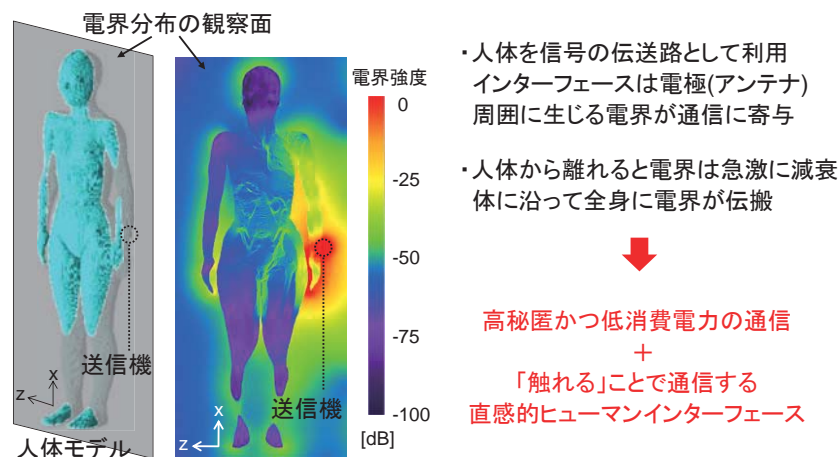


図 1 人体周囲に分布する電界の数値電磁界解析例

【研究の目的】

本研究では物流作業の効率化に向け、対象に「触れる」という自然な動作のみで機能する「パッシブ方式人体通信によるピッキングシステム」を提案する (図 2)。本システムではピッキング作業者が手首にウェアラブル端末を装着し、商品に付加されたパッシブタグ (あるいはタグに接続された導電性の包装) に触れることで、人体を介してウェアラブル機器からタグに給電し、タグからウェアラブル機器へ商品情報を伝送する。ウェアラブル機器にはあらかじめピッキングする商品情報が記録されており、作業者が誤った場合に振動や音声等で警告を行う。本研究最大の特長は、大量の商品に適用できる安価なパッシブタグの利用

を想定した人体通信システムの開発を目指すことである。

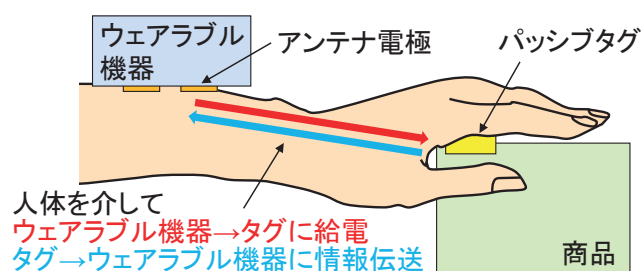


図2 パッシブ方式人体通信によるピッキングシステム

【研究の方法】

手首に装着したウェアラブル機器からタグに対して供給できる電力を最大化するため、アンテナ電極から人体および空間を見込んだ入力インピーダンスと送信回路の出カインピーダンスを整合する必要がある[3]。一般的な空間伝搬によって信号伝送を行うアンテナシステムでは 50Ω 系に整合するケースが多いが、人体を対象とした場合にはより適切なインピーダンスが存在すると考えられる。本研究では被験者実験と数値電磁界解析を併用し、個人差まで考慮しや入力インピーダンスの変化範囲について明らかにする。実験では、図3に示すステンレス製のアンテナ電極（ウェアラブル機器の背面に設置し手首に密着させることを想定）および測定系を用いて、入力インピーダンスを測定する。電磁界解析では、図4に示す詳細な手首モデル（NICT から提供された日本人成人男女の詳細人体モデル[4]を加工）を利用した。手首に装着した電極は図3に示したアンテナ電極と同様の寸法である。

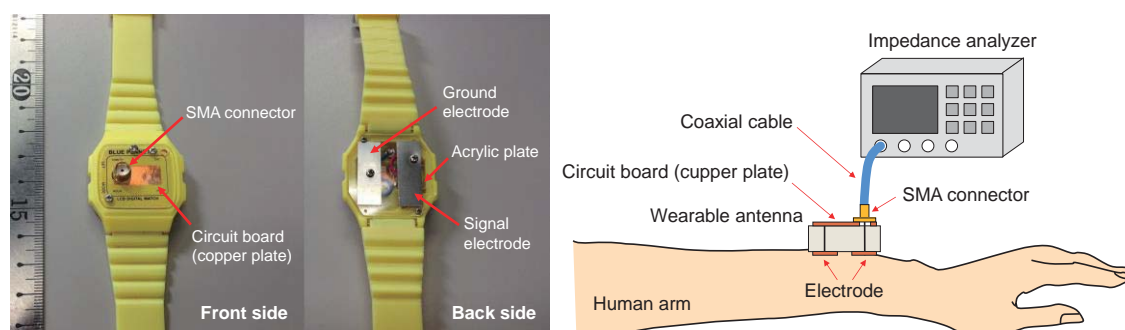


図3 ウェアラブル機器に搭載するアンテナ電極の構造と測定系

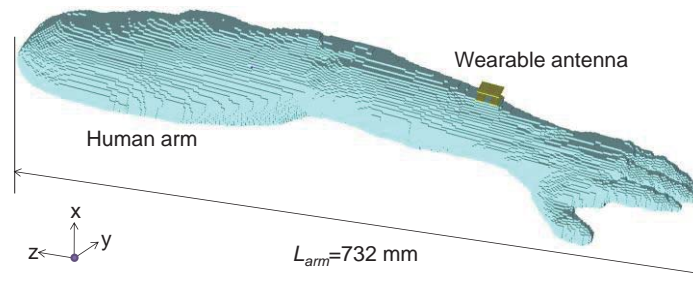


図4 数値電磁界解析モデル

次にウェアラブル機器から商品に付加されたパッシブタグに対する伝送可能な電力を評価する。測定系を図5に示す。送信機として図3と同様の寸法のステンレス電極に、バッテリー駆動の10 MHz 正弦波発振回路を接続したものをを用いる。送信回路の出力インピーダンスはおよそ300 Ω程度である。受信機は導電性の包装で包まれた商品を想定し、 $200 \times 150 \times 40 \text{ mm}^3$ の金属筐体に $5 \times 5 \text{ mm}^2$ のステンレス電極を取り付けた。パッシブタグは金属筐体とステンレス電極の間に挿入されることを想定している。受信電力を測定するための受信回路は金属筐体内に配置されており、フィルタおよび高周波増幅器から構成されている。最終的な出力電圧の観測は受信回路出力をオシロスコープに接続して測定する。被験者は20～30歳代の男女22名とした。

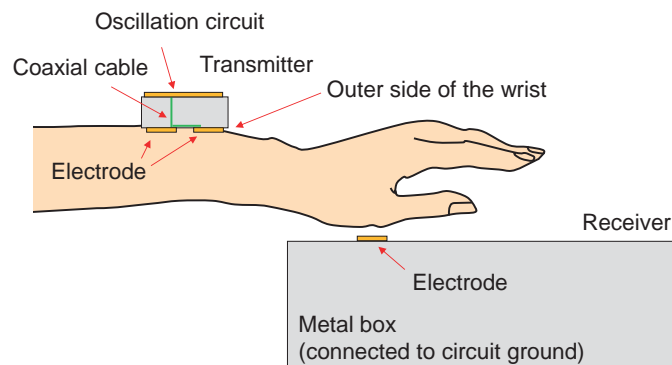


図5 ウェアラブル機器とパッシブタグ間の電力伝送効率の測定系

【研究成果】

被験者実験および電磁界解析から得られたアンテナ電極の入力インピーダンス特性を、1～100 MHz の範囲で実部と虚部に分けて図6（12人の男性被験者）と7（10人の女性被験者）に示す。黒の実線は被験者が電極を装着したときに測定された値で、赤の破線は皮膚の水分状態を変化させた手首モデルを用いた電磁界解析で計算された値である。全帯域にわたって入力インピーダンスの周波数特性の変化傾向は実験と解析で一致している。このことから、解析によって入力インピーダンスの見積もりが十分に可能であるといえる。また、被験者間に入力インピーダンスの差は周波数が低いほど増大した。これは表皮効果により、

主に腕モデルの表面に高い周波数で電流が流れるのに対し、5 MHz 未満の周波数ではより多くの電流が腕の内部組織を流れるためと考えられる。これらの結果は実際の送信回路の出力段の設計に有用な情報となる。

また、図5の測定系で測定した結果、送信-受信間の伝送効率は-54 dB だった。一般にパッシブ RFID タグの起動に必要な電力は $20\mu\text{W}$ 程度であり[5]、今回検討したパッシブ方式人体通信でも同様のタグを用いると考えると、ウェアラブル機器でおよそ 5 W 程度の送信出力が必要となる。この値は既存のパッシブタグのリーダの送信出力と比較して大きな値であり、さらにはウェアラブル機器の小型化や充電回数低減を考慮するとさらなる伝送効率の向上による省電力化が必須と考えられる。

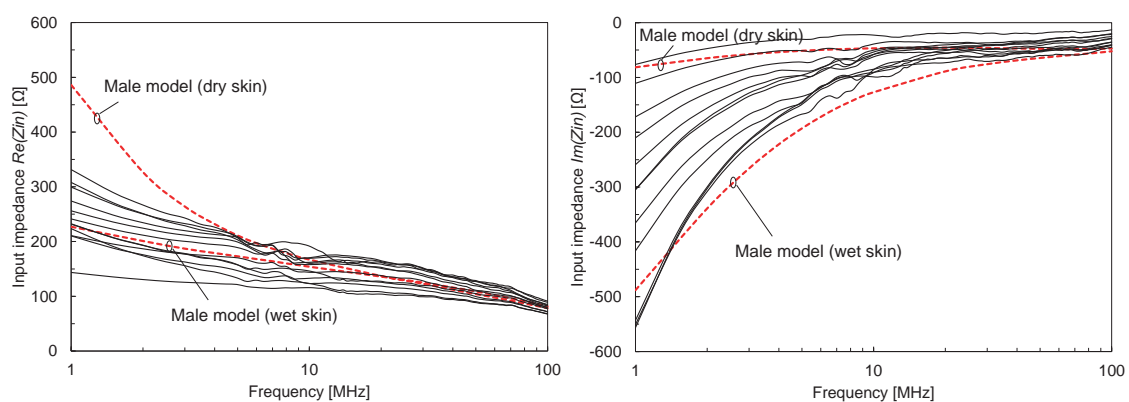


図6 男性被験者および男性モデルの入カインピーダンス特性

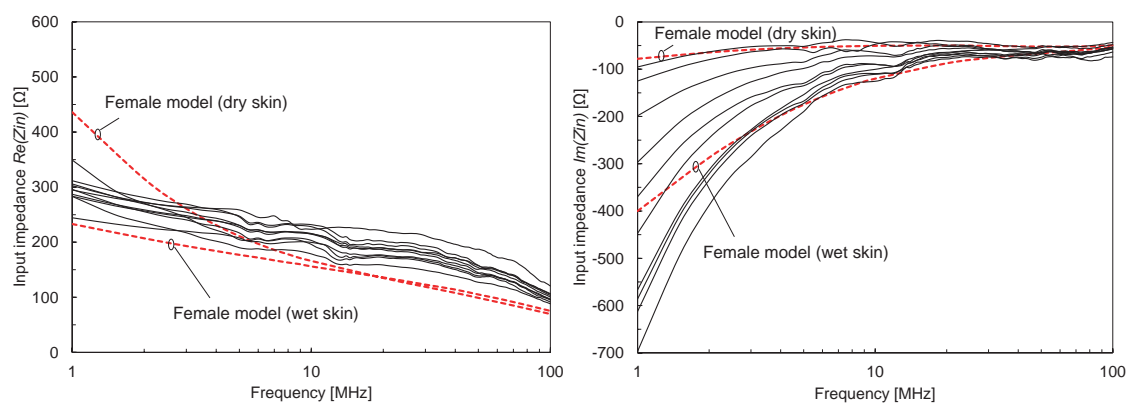


図7 女性被験者および女性モデルの入カインピーダンス特性

【今後の課題】

本研究では物流作業の効率化に向けたパッシブ方式人体通信によるピッキングシステムの開発を目的に、被験者実験と数値電磁界解析に基づいてウェアラブル機器(リーダ)のアンテナ電極の入力インピーダンスやウェアラブル機器とパッシブタグ間の伝送効率について評価した。その結果、機器設計時の回路出力インピーダンスの見積もりと、パッシブタグへの給電に必要な伝送効率の観点から、作業者が商品に触れるピッキング作業にも人体通信を応用できる見通しがたった。ただし、現状のシステム構成ではパッシブタグの起動に数W程度の電力が必要であるため、今後はアンテナ電極の構造や回路構成の最適化によるインピーダンス整合を行い、伝送効率の改善を目指す。現在は引き続き、ウェアラブル機器の装着位置、パッシブタグの接触箇所、作業者の姿勢等を変化した検討を継続しており、本ピッキングシステムの開発に必須の伝送モデル構築に近づいている。一方、電力伝送やそのモデル化については有用な成果が得られているが、通信方式は検討が十分でない。今後は特に、局部発信器を必要としないバックスキャッタ通信方式を人体通信へ適用するなどして、タグ側の回路構成の簡略化(=タグ側の小型/低コスト化)および消費電力の最小化(=ウェアラブル側の小型/低コスト化)を実現し、より実用的なシステム開発を目指す予定である。

【主な発表論文等】

IEEE Transactions on Industrial Electronics に投稿予定。

【参考文献】

- [1] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 15.6: Wireless Body Area Networks, *IEEE Computer Society*, 2012.
- [2] T. G. Zimmerman: “Personal Area Networks (PAN): Near-Field Intra-Body Communication”, *M.S. thesis, MIT Media Laboratory*, 1995.
- [3] D. Muramatsu, F. Koshiji, K. Koshiji, K. Sasaki, “Analytical and Experimental Studies on Human Body Communication between Wristwatch and Handheld Device using Muscle Homogenous Phantom at 10 MHz”, *Sensors and Materials*, Vol.26, No. 8, pp.581-589, 2014.
- [4] T. Nagaoka, S. Watanabe, K. Sakurai, E. Kunieda, S. Watanabe, “Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult male and female of average height and weight and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry”, *Physics in Medicine and Biology*, Vol.49, pp.1-15, 2004.
- [5] T. Agrawal, P.K. Biswas, “Energy consumption evaluation framework for passive RFID tag anti-collision algorithms”, *International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications*, pp.1-20, 2014.

2019年度 新規採択研究助成 一覧

2019年度は17件の応募があり、そのうち6件が採択されました。

	所属機関名	職位	氏名	研究課題	助成額 (千円)
1	日本大学 商学部	准教授	秋川 卓也 (アキカワ タクヤ)	輸送による二酸化炭素排出量と商慣行の関係 についての研究	495
2	神奈川工科大学 情報学部 情報ネットワーク・コミュニ ケーション科	教授	白杵 潤 (ウスキ ジュン)	複数台のUAVを用いた倉庫内の現品管理に関 する研究	500
3	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 物資系専攻	教授	谷本 潤 (タニモト ジュン)	物流レジリエンスを担保するIoT技術に基づく 完全自動化運転システムの基本デザイン	500
4	愛媛大学 大学院理工学研究科 機械工学コース	助教	麻生 敏正 (アソウ トシマサ)	荷主企業との契約交渉に資するトラックドラ イバの作業計測システム	500
5	愛知学院大学 経営学部	准教授	道用 大介 (ドウヨウ ダイスケ)	Additive Manufacturingがサプライチェーンに 及ぼす影響に関する研究	500
6	流通経済大学 流通情報学部	教授	上村 聖 (カミムラ シカト)	アジア向け日本産食品輸出促進のためのコー ルドチェーン需要の動向についての研究	500

公益財団法人 SBS鎌田財団

【沿革】

- 平成25年7月3日 一般財団法人 鎌田財団を設立
平成27年6月19日 内閣府から公益財団法人への移行認定を受け、「公益財団法人 鎌田財団」となる
平成27年7月1日 「公益財団法人 SBS鎌田財団」へと名称変更

【役員体制】

■理事

- 代表理事 鎌田 正彦 SBSホールディングス株式会社 代表取締役社長
理事 岸野 一夫 株式会社未来塾 代表取締役
理事 尼野 正一 税理士法人 誠和コンサルティング 代表社員執行役社長
監事 藤浦 宏史 株式会社アガットコンサルティング 代表取締役 公認会計士

■評議員

- 評議員 申田 裕治 元株式会社ジェーオージェー 専務取締役
評議員 時田 宗明 株式会社経済界倶楽部 代表取締役
評議員 鈴木 知幸 東京丸の内法律事務所 弁護士

■選考委員

- 選考委員長 靄岡 征人 SBSロジコム株式会社 取締役常務執行役員 営業本部長
選考委員 市川 隆一 株式会社サプライチェーン経営研究所 代表取締役
選考委員 豊増 隆弘 ノーウェアアベニュー株式会社 代表取締役
選考委員 池田 幸司 社会福祉法人天使園 理事長
選考委員 後藤 大介 株式会社アイディアシップ 代表取締役
選考委員 園田 恵一 元SBSロジコム株式会社 取締役専務執行役員

〒130-0012 東京都墨田区太平4-1-3 オリナスタワー
TEL.03-3829-2367 FAX.03-3829-2822
Mail : kamatazaidan@sbs-group.co.jp
url : <http://www.sbs-kamatazaidan.or.jp/>