

特集事例

上智大学 伊呂原研究室 —経営工学の社会実装への挑戦—

伊 呂 原 隆*

Irohara Laboratory, Sophia University

— A Challenge to Social Implementation of Industrial Engineering —

Takashi IROHARA

キーワード：経営工学，生産物流，産官学連携，共同研究

1. はじめに

当研究室では、1999年4月より経営工学分野、特に生産・物流システムの設計・解析・評価に関する研究・教育を行っている。現在所属している学生は、学部生が6名、博士前期課程が11名、博士後期課程が2名、研究生が1名の総勢20名である。このなかには、英語コースの学生3名が含まれており、博士前期課程に2名（ヨルダン人，中国人），博士後期課程に1名（インドネシア人）が在籍している。

本学の英語コースは英語のみでの学位取得が可能で、講義、ゼミ、日常会話を含めすべて英語によるコミュニケーションを行っている。同じ部屋に日本語を解さない学生がいることは、研究室のグローバル化に一定の役割を果たしているように感じている。

これまでに当研究室に在籍した学生は、学部生が123名、博士前期課程が70名、博士後期課程が5名で計198名となる（在籍中を含む）。学部卒業生と博士前期課程の修了生の多くは、製造業や情報産

業をはじめとした民間企業に就職しているが、外資系企業の経営コンサルタント、総合商社の国際物流担当、米国の大学院へ進学し博士号取得など、進路は多岐にわたっている。博士後期課程の修了生は国内外の大学（日本の国立大学，タイの国立大学）や国際機関（国際連合・世界食糧計画：United Nations World Food Program）の本部イタリア・ローマで勤務している。

毎週行っている研究室の定常的な活動は2つある。一つは学生ごとに過去1週間の研究進捗報告を行うゼミ、もう一つは国際論文誌に最近掲載された論文のなかから興味深い論文を選び、3名程度のチームで論文内容を紹介してもらい、そのあと紹介された内容について発表を聞いている側の他のチームが質問をして議論を行うゼミ（全5チーム中、毎週2チームによる発表）を行っている。

後者の論文紹介ゼミについては、自分一人で読める論文の量には限りがあるので、研究室のメンバーで協力しながら読むことによって、世界で行われている最先端の研究により多く接することができるようになるとともに、同じチームの学生同士がゼミで発表する前に、わからないことを互いに議論するような機会にもなっていると思われる。

* 上智大学理工学部情報理工学科

受付：2019年10月20日

研究室の年間活動計画としては、春の新メンバー歓迎会から始まり、春学期打ち上げ、2泊3日の夏合宿、忘年会、謝恩会など、定期的な飲み会により所属学生同士の親睦を深めることを重視している。冗談だが、学生には「飲み会はゼミよりも重要である！」などと言っている。

当研究室では、経営工学は社会の様々な場面で実際に役立つ学問であるという考えのもと、所属学生と共にいろいろな学外機関と共同研究を推進し、経営工学の社会実装に挑戦している。

以下は、当研究室で最近取り組んだ研究の一端を紹介させていただくことにより、本特集で期待される「研究室紹介」に代えさせていただきたい。ただし、秘密保持契約の関係上、現在進行中のいくつかの研究については記載していないので、ご理解いただければ幸いである。

2. 伊呂原研究室で最近取り組んだ研究

2.1 日産自動車(株)との共同研究

自動車は多数の部品から構成されるため数多くのサプライヤーから納品された部品を如何に効率よくハンドリングするかが、工場の生産性を大きく左右する。国内のサプライヤーからは多頻度小口納品による部品の在庫量最小化が可能であるが、海外のサプライヤーからはある程度の量をまとめて調達せざるを得ないため、部品調達のグローバル化に伴い多数存在する輸入部品のハンドリングが大きな課題となっている。

日産自動車では、この輸入部品について、組立直前に必要な部品を取り揃えるフォワードエリアと、そこへ補充するために比較的長期間に渡り部品を保管しているリザーブエリアに分けて部品を管理している。

部品の取り揃えを効率化するためには、部品ごとの保管量を減らしフォワードエリアを狭くすればよいが、その分、リザーブエリアからの補充頻度が増してしまうため、両者のバランスも重要な決定事項である。

本研究では、①フォワードエリアにおいて組み立

てラインへ供給する部品の取り揃えを効率化するピッキング方法、②パレットの状態で数段に渡り積み重ねられているリザーブエリアにおける部品の保管方法、そして、③リザーブエリアからフォワードエリアへの部品の補充方法の3つのテーマについて取り組んだ。研究の詳細とその成果については、[1]～[3]をご参照いただきたい。

2.2 (株)リコーとの共同研究

リコーとは使用済み複合機のサプライチェーンに関する共同研究を行っている。持続可能な開発目標(SDGs)に言及するまでもなく、近年は環境問題への全世界的な意識の高まりもあり、顧客が使用した製品を回収、選別し、リユース、リサイクルへつなげていくことは、我々が直面する最重要課題の一つであると言っても過言ではない。

このような背景のもと、共同研究として2つの研究テーマに取り組んだ。一つのテーマは、複合機の回収、選別、リユース、リサイクルの各拠点を含むネットワークの最適化である。

同社の製品は日本全国で販売・使用されているため回収拠点は日本全国に広がっている。したがって、回収した製品の輸送コストを抑えなければ、日本全国に選別・リユース・リサイクルの拠点を配置し、回収した複合機を各地で処理するようなネットワークを構築するのがよい。

しかしながら、このようなネットワークでは各種の処理が分散化されるため、各拠点における規模の経済性が働きにくく効率が悪い。

一方で、すべての処理を日本全体で1カ所のみに限定した場合、大量処理による生産性向上は期待できるものの、大量の複合機を長距離輸送するための輸送コストが問題となる。

そこで、本研究では、輸送費、処理費、保管費、作業費などを合わせた総費用を最小化するネットワークの最適化について研究を行っている。

もう一つの研究テーマは、回収してきた複合機がリユース可能な良い状態であるか、もしくは分解してリサイクルするしかない悪い状態であるかを判別するための方法論の構築である。

1台ずつ丹念に時間をかけて調べれば両者を判別できるものの効率性の観点からは望ましくない。そこで、回収した複合機本体の固有情報（稼働時間、印刷枚数など）を活用し、最適なリユースができるようにする仕組み「回収機診断システム」の基礎となる研究を行った。この診断システムは、リコーの御殿場事業所で実用化され、事業所見学者にも入口で説明されている。研究の詳細とその成果の一部については、[4]～[8]をご参照いただきたい。

2.3 合同会社 西友との共同研究

西友とは小売業におけるサプライチェーン設計に関して様々なテーマで共同研究を行っている。西友は店舗における販売と顧客へ直接配送するネット販売（ネットスーパー）の両流通経路を有しており、共同研究でもこの両者を対象としている。

いずれの流通経路でも、メーカーから入荷した種類も量も膨大な商品を店舗や顧客へ届けるサプライチェーンの設計が肝となる。

- ・倉庫内設計では、在庫型商品と通過型（クロスドック型）商品を、どのような比率で、倉庫内のどこに保管し、どのように出荷するべきなのかの検討。
- ・配送経路に関しては、顧客向けの出荷は作業効率の高い倉庫から行うべきなのか、配送リードタイムを短くできる顧客近くの店舗から行うのがよいのか、もしくは両者の折衷案として倉庫から出荷し中継地点（デポ）を経由して顧客へ配送するほうがよいのかなどの検討。
- ・顧客がネットスーパーを利用して注文する場合、配送時間枠の設定は配送効率にどのような影響を及ぼすのかの検討。

上記のほかにもいろいろなテーマで共同研究を行ってきた。研究の詳細とその成果の一部については、[9]～[15]等をご参照いただきたい。

2.4 テルモ(株)との共同研究

医療機器メーカーのテルモとは2018年末より生産スケジューリングに関する共同研究を開始した。研究対象工程の一部は、メイクスパンを最小化する

並列機械スケジューリング問題となるが、各機械に割り当てられる作業者のスキルレベルによって作業時間が異なるため、ジョブの処理順序を決める際に、2つの資源制約（機械と作業者）を同時に考慮する問題となる。研究の詳細とその成果の一部については、[16]をご参照いただきたい。

2.5 国際的な共同研究

日本の経営工学に対する考え方を世界へ広めるよいチャンスであると考え、当研究室ではサバティカルを取得された海外の先生等と積極的に共同研究を行っている。以下にその一端を紹介する。

香港中文大学（The Chinese University of Hong Kong）の Janny Leung 先生とは人道支援ロジスティクスに関する研究 [17]、英国エジンバラ大学（University of Edinburgh）の Daniel Black 先生とは顧客へのサービスレベルを考慮した在庫管理に関する研究 [18]、インドネシアの Petra Christian University の I Gede Agus Widyadana 先生とは、生鮮食料品等の在庫配送計画に関する研究 [19]、タイ国立チェンマイ大学（Chiang Mai University）の Chompoonoot Kasemset 先生とは大学における時間割作成に関する研究 [20]、同じくチェンマイ大学の Warisa Wisittipanich 先生とはクロスドック倉庫の設計に関する研究 [21], [22]、をそれぞれ行った。

また、本学理工学研究科に英語コースが開設されてから、海外の若手研究者が博士後期課程の大学院生として在籍するようになり、人道支援ロジスティクスに関する研究 [23], [24]、サプライチェーンリスク管理に関する研究 [25], [26]、生産スケジューリングに関する研究 [27], [28] を行った。

2.6 社会人ドクターとの研究

当研究室には社会人ドクターが1名在籍し、拠点選定問題（Facility Location Problem）と配送計画問題（Vehicle Routing Problem）を融合したLRP（Location Routing Problem）に関する研究を行っている [29], [30]。

幸いなことに、当該学生は業務内容と関連した分

野から博士論文の研究テーマを選ぶことができ、学術的な研究成果を将来の業務に活かしやすい環境にある。

また、研究室のほかの学生は、社会人ドクターと身近に接することにより、現在研究している分野が社会で実際に役に立っていることをいろいろな形で認識できるようになり、非常によい刺激になっていると思う。

理工系では博士前期課程を修了してすぐに企業へ就職するケースが多い。実務を経験し、さらに深く学んでみたくなった段階で、社会人ドクターとして大学院へ戻り、博士の学位を取得して、新たな道を歩むというのは大変素晴らしいことだと思う。このような観点から、今後、社会人ドクターが増加することを期待している。

2.7 川崎市との共同研究

当研究室と川崎市は「道路沿道における大気環境の改善を目的とした交通流シミュレーション」に関する共同研究を行っている。

この研究では、川崎市の大気環境および交通状況の知見と当研究室の経営工学の知見を活かした共同研究により、交通量の抑制や集中の平準化などの交通需要マネジメント方策を検討し、主に神奈川県道6号東京大師横浜（産業道路）沿道における更なる大気環境改善を目指している。

交通流シミュレーションでは、セルオートマトン法を用いて個々の車両の挙動をコンピュータ上で模擬的に再現し、NO_x など大気汚染物質の排出量算定に必要な車両速度の算出を行っている。

本共同研究に期待される効果は、運送事業者が迂回ルートを走行するメリットについて、これまでの環境面（環境負荷低減）に加え、経済面（燃費の改善、時間短縮）を数値で示すことで経路変更を促すなど、研究成果を産業道路沿道の大気環境改善に活かすことである。

なお、この共同研究については、2019年9月4日付けの神奈川新聞で“渋滞と環境改善—迂回メリット数値化—”として報道された〔31〕。

3. ま と め

以上のように、経営工学は社会の様々な場面へ応用が可能であると考えている。当研究室では、経営工学の社会実装へ挑戦し続けることを通して、独りよがりではなく、他者のために他者と協力しながら (for others, with others), 真の問題を発見する能力とそれを効率よく解決する能力を兼ね備えた学生を社会へ送り出していきたい。

末筆ながら、このような貴重な執筆の機会を与えてくださった「経営システム」誌編集委員会と、当研究室の設立以来20年以上にわたり研究活動を支えてくれた当研究室の修了生・卒業生・所属学生に心より感謝し、結びの言葉としたい。

参 考 文 献

- [1] 亀崎拓也, 伊呂原隆, 豊泉成典, 新井一貴, 横山俊哉, 新倉 修: “自動車工場の部品倉庫における棚の高さによるピッキング時間の違いと部品同士が同時に生産ラインへ出庫される頻度を考慮した3次元の部品配置問題”, 日本経営工学会2018年秋季大会予稿集(2018)
- [2] 平田和音, 伊呂原隆, 豊泉成典, 松村 剛, 横山俊哉, 新倉 修: “パレットを積載保管する倉庫における部品の保管位置割当問題”, 日本経営工学会論文誌, Vol.70, No.1, pp.21-34 (2019)
- [3] 青山泰大, 伊呂原隆, 豊泉成典, 松村 剛, 横山俊哉, 新倉 修: “自動車工場の部品倉庫において補充する部品の組合せを考慮したフォワード・リザーブ割当問題”, 日本経営工学会論文誌, Vol.69, No.4, pp.184-193 (2019)
- [4] Nagasawa, K., Saito, T., Irohara, T., Deguchi, Y., Hanada, K., Abe, K. Kishi, M. and Shimizu, T.: “Redesigning an Existing Recovery Logistics Network in Closed Loop Supply Chain”, J. Jpn. Ind. Manage. Assoc., Vol.67, No.4E, pp.348-357 (2017)
- [5] 齊藤 輔, 長沢敬祐, 伊呂原隆, 出口裕一, 花田和己, 安部和博, 岸 正泰, 清水達也: “クローズドループサプライチェーンにおける施

- 設の統廃合に関する研究”，日本経営工学会 2014 年秋季研究大会予稿集 (2014)
- [6] 東 昂佑, 伊呂原隆, 小島和弥, 高久龍一郎, 三島圭一, 清水達也, 桑山尚司: “マハラノビス距離を利用した複合機の品質診断”, 日本経営工学会 2016 年春季大会予稿集 (2016)
- [7] 佐々木彩子, 伊呂原隆, 岸 正泰, 高久 龍一郎, 三島圭一: “複合機の部品リユースにおけるコスト最小化を目的としたリバースロジスティクスの再構築”, 日本経営工学会 2018 年春季大会予稿集 (2018)
- [8] 佐々木彩子, 伊呂原隆, 坂牧宏明, 高久龍一郎, 岸 正泰: “使用済み複合機の選別拠点の数および配置を考慮したリバースロジスティクスネットワークの最適化”, 日本経営工学会 2019 年秋季大会予稿集 (2019)
- [9] 高橋拓弥, 伊呂原隆: “クロスドッキングセンターの出庫エリアにおけるシュート・ドック割り当てとその解法の提案”, 日本経営工学会論文誌, Vol.68, No.2, pp.58-73 (2017)
- [10] 林建太朗, 伊呂原隆, 佐々木喜仁: “需要に基づく商品分類を考慮したピッキング形態”, 日本経営工学会論文誌, Vol.68, No.1, pp.33-46 (2017)
- [11] 森山卓哉, 伊呂原隆, 佐々木喜仁: “ネットスーパー市場におけるハブアンドスポーク方式導入による物流ネットワーク最適化”, 日本経営工学会 2019 年秋季大会予稿集 (2019)
- [12] 藤本昂矢, 伊呂原隆, 中村一馬, Garry, D.: “商品管理温度帯を考慮したクロスドック倉庫ネットワークにおけるトラックの輸送計画”, 日本経営工学会 2018 年秋季大会予稿集 (2018)
- [13] 岩田 凌, 伊呂原隆, 佐々木喜仁, 伊藤田浩由: “重なりのある配送時間枠を考慮した店舗出荷型ネットスーパーにおける配送計画問題”, 日本経営工学会 2017 年秋季大会予稿集 (2017)
- [14] 林建太朗, 伊呂原隆, 佐々木喜仁, 伊藤田浩由: “店舗出荷型ネットスーパーにおける仕分作業を考慮したピッキングモデル”, 日本経営工学会 2017 年秋季大会予稿集 (2017)
- [15] 原田康平, 伊呂原隆, Teshima, A., Donaghy, G.: “クロスドック方式における混雑の緩和と平準化を目的とした入出荷トラックスケジューリング”, スケジューリング・シンポジウム 2015 講演論文集, pp.145-150 (2015)
- [16] Akbar, M., Irohara, T., Ito, Y. and Takahashi, T.: “A Dual Resource Constrained Batch Scheduling Problem with Different Operator Skills”, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS), Kanazawa, Japan (2019)
- [17] Irohara, T., Kuo, Y.-H. and Leung, J. M. Y.: “From Preparedness to Recovery: A Tri-level Programming Model for Disaster Relief Planning”, Computational Logistics, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Vol. 8197, pp.213-228 (2013)
- [18] Black, D. and Irohara, T.: “Recourse Actions Within Inventory Systems: The Effect of Customer Service Levels”, The Operational Research Society, OR59 Annual Conference, Loughborough, UK (2017)
- [19] Widyadanaa, G. A. and Irohara, T.: “Modelling Multi Tour Inventory Routing Problem for Deteriorating Items with Time Windows”, J. Sci. Iran., Vol.26, No.2, pp.932- 941 (2019)
- [20] Kasemset, C. and Irohara, T.: “University Course Timetabling Problem Considering Day and Time Pattern”, Int. J. Oper. Res., Vol.36, No.3, pp.375-398 (2019)
- [21] Wisittipanich, W., Irohara, T. and Hengmeechai, P.: “Truck Scheduling Problems in the Cross Docking Network”, Int. J. Logist. Syst. Manage., Vol.33, No.3, pp.420-439 (2019)
- [22] Wisittipanich, W., Irohara, T. and Hengmeechai, P.: “Particle Swarm Optimization for Truck Scheduling Problem in Cross Docking Network”, Int. J. Ind. Syst. Eng., accepted.

- [23] Manopiniwes, W. and Irohara, T.: “Stochastic Optimization Model for Integrated Decisions on Relief Supply Chains: Preparedness for Disaster Response”, *Int. J. Prod. Res.*, Vol.55, No.4, pp.979-996 (2017)
- [24] Manopiniwes, W., Nagasawa, K. and Irohara, T.: “Facility Location Alternatives between Expected and Worst Case Time Performance in Humanitarian Relief Logistics”, *J. Jpn. Ind. Manage. Assoc.*, Vol.66, No.2E, pp.142-153 (2015)
- [25] Khojasteh-Ghamari, Z. and Irohara, T.: “A Decision-Making Approach for Supplier Selection in Presence of Supply Risk”, *J. Ind. Eng. Manage. Sci.*, Vol.2018, No.1, pp.1-14 (2018)
- [26] Khojasteh-Ghamari, Z. and Irohara, T.: “Supply Chain Risk Management: A Comprehensive Review”, In: Khojasteh, Y. (ed.) *Supply Chain Risk Management*, Springer (2018)
- [27] Akbar, M. and Irohara, T.: “Scheduling for Sustainable Manufacturing: A Review”, *J. Clean. Prod.*, Vol.205, pp.866-883 (2018)
- [28] Akbar, M. and Irohara, T.: “A DRC Scheduling for Social Sustainability: Trade-Off between Tardiness and Workload Balance”, In: Ameri, F., Stecke, K., von Cieminski, G. and Kiritsis, D. (eds.) *Advances in Production Management Systems. Production Management for the Factory of the Future. APMS 2019. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol.566, Springer (2019)
- [29] 細田順子, 伊呂原隆: “容量および重量制約による注文分割を考慮した物流拠点の選定及び配送ルート決定”, *日本経営工学会論文誌*, Vol.69, No.4, pp.163-173 (2019)
- [30] Hosoda, J. and Irohara, T.: “Location Routing Problem with Delivery Modes”, *Int. J. Logist. Syst. Manage.*, accepted.
- [31] “渋滞と環境改善—迂回メトリック数値化—”, *神奈川新聞*, 2019年9月4日 (2019)

伊呂原 隆

日本経営工学会において、第32・33期(2013~2017年)研究・表彰担当理事、第35期(2019~2021年)国際・渉外担当理事、2018年学会賞(学術)受賞。1998年3月早稲田大学大学院修了。博士(工学)。1998年4月早稲田大学助手。1999年4月上智大学講師、准教授を経て2010年4月より上智大学理工学部教授となり現在に至る。2006~2007年米国・ジョージア工科大学客員研究員。専門は生産・物流システム。文部科学省 科学技術・学術審議会 専門委員、スケジューリング学会副会長、日本マテリアル・ハンドリング協会理事、APIEMS (Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems)理事、日本インダストリアル・エンジニアリング協会 IE レビュー誌編集委員、日本生産性本部経営アカデミー「生産革新マネジメントコース」講師、日本規格協会「生産管理研究会」主査などを務める。