

Title	コンビニ在庫型物流のリソースを効率化するための共同輸配送システムの定義
Sub Title	Definition of a collaborative transportation system to optimize resource utilization in inventory-based logistics for convenience stores
Author	清水, 健太(Shimizu, Kenta) 西村, 秀和(Nishimura, Hidekazu)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
Publication year	2024
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2024年度システムデザイン・マネジメント学 第597号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002024-0036

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2024 年度

コンビニ在庫型物流のリソースを
効率化するための共同輸配送システムの定義

清水 健太

(学籍番号 : 82333263)

指導教員 西村 秀和

2025 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

Definition of A Collaborative Transportation System to Optimize Resource Utilization in Inventory-Based Logistics for Convenience Stores

Kenta Shimizu

(Student ID Number : 82333263)

Supervisor Hidekazu Nishimura

March 2025

Graduate School of System Design and Management,
Keio University
Major in System Design and Management

論 文 要 旨

学籍番号	82333263	氏 名	清水 健太
コンビニ在庫型物流のリソースを効率化するための共同輸配送システムの定義			
日本の物流業界は、EC(電子商取引)市場の成長によるラストワンマイル配送の増加、多品種・小ロット輸送の増加、ドライバー不足、そして気象変動対策に起因する構造的な問題を抱えている。この問題は物流クライシスと呼ばれ、今後大きな経済的な損失が生じる可能性があるとの指摘もある。特に、喫緊の課題としては、「物流の 2024 年問題」と言われる、ドライバーの高齢化や働き方改革関連法の影響によるドライバー不足の問題が顕在化しており、2030 年には 34.1%のドライバー不足が予測されている。 このような社会的背景の中で、物流業界全体で物流の効率化に向けた取り組みが試みられているものの、コンビニエンスストアの在庫型物流（以下、CVS 物流）での取り組みは限定的である。たとえば、行政主導で行われた大手 CVS 事業者による共同配送の社会実験があるが、広範囲な実装には至っていない。また、新たな物流概念であるフィジカルインターネット(PI)や、数理モデルを基にした効率化の研究がなされ、PI が在庫や配送ネットワークの柔軟性を向上させることやネットワークの統合が有益となるなどの示唆が得られている。しかしながら、社会への実装には大きな隔たりがある。特に CVS 物流は、商社系列ごとに垂直統合されて独立しているため、共同輸配送により物流の複雑性が増してしまう。また、需給変動に柔軟に対応できない静的なルート計画が、輸配送効率の妨げとなっている。 本研究では、コンビニエンスストア (CVS) の在庫型物流を効率化することを目的として、動的な輸配送ルートを用いた CVS 間の共同輸配送を促進するシステムを提案する。このため、現在の CVS 在庫型物流について商流、トラックの流れ、指示・データの流れの観点からトラックドライバーの効率化について検討している。この結果から、トラックの積載率の向上が、トラック台数の削減を通じてドライバーリソースを削減する一方で、トラックの積載率を増やすことがドライバーへのタスク負荷の増加につながることを見出し、これらの間のトレードオフに注意が必要であることを明らかにしている。また、現在の静的な輸配送のルート計画に替わり、動的な輸配送情報に基づいてトラックのルート計画を行うことの必要性を見出している。具体的には CVS 物流の独自性とその課題に着目し、商社系列ごとに分断された物流システム間で動的な輸配送情報に基づくルートを算出し、共同輸配送を有効にするシステムである「動的共同輸配送システム(DCTS)」を定義し、CVS 在庫型物流に関連する輸配送パラメーターとその関係性を整理することで、このシステムがトラックドライバーリソースの削減に寄与することを示している。 定義した DCTS が CVS 物流に妥当であるか否かを確認するため、物流事業者および卸売事業者の有識者に対してインタビューを行い、動的ルートの算出による共同輸配送の可能性や効率化については高く評価された。その一方で、動的ルートの算出のための計算負荷、輸配送品質の維持、不慣れなルートの運行を強いられることに伴う課題など、運用面での改善が必要であることが明らかになり、今後の課題について論じている。			
キーワード (5 語) 物流クライシス、物流の 2024 年問題、共同輸送、共同配送、コンビニエンスストア			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	82333263	Name	Kenta Shimizu
Title Definition of A Collaborative Transportation System to Optimize Resource Utilization in Inventory-Based Logistics for Convenience Stores			
The logistics industry in Japan faces structural challenges such as an increase in last-mile deliveries driven by the growth of the e-commerce (EC) market, an increase in multi-variety, small-lot transportation, a shortage of drivers, and measures to address climate change. These challenges are collectively referred to as the "logistics crisis," and it has been pointed out that they could lead to significant economic losses in the future. One of the most pressing issues is the so-called "2024 logistics problem," which refers to the worsening driver shortage due to the aging workforce and the impact of work style reform-related legislation, with a projected shortage of 34.1% by 2030. Amidst this social backdrop, efforts to improve logistics efficiency are being made across the entire logistics industry. However, initiatives for inventory-based logistics in the convenience store (CVS) sector remain limited. For instance, a government-led social experiment involving joint deliveries by major CVS operators has been conducted, but widespread implementation has not yet been achieved. Additionally, new logistics concepts such as the Physical Internet (PI) and optimization studies based on mathematical models have suggested that PI can enhance inventory and delivery network flexibility and that network integration can be beneficial. However, there remains a significant gap in implementation in society. In particular, CVS logistics are vertically integrated within trading company groups, making joint deliveries more complex. Furthermore, static route planning, which cannot flexibly respond to demand fluctuations, hinders delivery efficiency. This study aims to improve the efficiency of inventory-based logistics in CVS operations by proposing a system that promotes dynamic joint deliveries using dynamic delivery routes between CVS chains. To achieve this, the study examines truck driver efficiency from the perspectives of commercial flow, truck flow, and the flow of instructions and data in the current CVS inventory-based logistics system. The findings reveal that while increasing truck load factors can reduce the number of trucks required and, consequently, driver resources, it also increases the task load on drivers, highlighting the need to consider trade-offs between these factors. Furthermore, the study identifies the necessity of replacing the current static delivery route planning with dynamic route planning based on real-time delivery information. Specifically, focusing on the unique characteristics and challenges of CVS logistics, the study defines a "Dynamic Collaborative Transport System (DCTS)" that enables joint deliveries by calculating routes based on dynamic delivery information across logistics systems divided by trading company groups. It also organizes the relevant delivery parameters and their relationships to demonstrate that this system contributes to reducing truck driver resources. To verify the validity of the defined DCTS for CVS logistics, interviews were conducted with logistics and wholesale industry experts. The results indicated a high evaluation of the potential for joint deliveries and efficiency improvements through dynamic route calculation. However, challenges such as the computational burden of dynamic route calculation, maintaining delivery quality, and operational difficulties arising from unfamiliar routes were identified, highlighting the need for further operational improvements. Future issues and directions are discussed in this study.			
Keywords (5 words) Logistics Crisis, The 2024 Problem in Logistics, Collaborative Transportation, Joint Delivery, Convenience Stores			

目次

第 1 章 緒言	1
1.1 研究の背景	1
1.1.1 物流クライシス	1
1.1.2 フィジカルインターネット・ロードマップの策定	4
1.1.3 大手コンビニエンスストアの取り組み	5
1.2 関連研究	7
1.3 研究の目的	10
1.4 研究の方法	11
1.4.1 システムズエンジニアリング	11
1.4.2 システムモデリング言語	12
第 2 章 現在の CVS の輸配送アーキテクチャーに基づく課題の分析	14
2.1 単独のコンビニエンスストアチェーンによる輸配送	14
2.1.1 商品の流れと商流	16
2.1.2 トラックの流れ	19
2.1.3 指示・データの流れ	22
2.2 現在の複数のコンビニエンスストアチェーンによる共同輸配送	26
2.2.1 商品の流れと商流	28
2.2.2 トラックの流れ	34
2.2.3 指示・データの流れ	43
2.3 現在の共同輸配送の課題	48
2.3.1 CVS 単独チェーンの配送のケース	53
2.3.2 コンビニエンスストア2社による共同配送のケース	53
2.3.3 物量の増減がある場合	54
第 3 章 動的ルート算出システムの定義	56
3.1 動的ルート算出の必要性和背景	56

3.2 動的共同輸配送システム(DCTS)の設計	60
3.2.1 システムコンテキストを考慮した対象システムの設計	60
3.2.2 動的共同輸配送システム(DCTS)内部の定義	64
3.2.3 動的共同輸配送システム(DCTS)が取得・提供するデータ	66
3.3 動的ルートによる配送シナリオ	69
3.3.1 積載率とトラック台数およびドライバータスクについての試算	69
3.3.2 コンビニ配送を考慮したケースに基づく試算	70
第4章 検証と妥当性確認	73
4.1 インタビューによる検証	73
4.1.1 「DCTS」による動的なルート作成可否について	73
4.1.2 DCTS の実務での利用可能性について	74
4.2 インタビューによる妥当性確認	74
4.3 考察	75
第5章 結論	77
5.1 動的共同輸配送システム(DCTS)の意義と可能性	77
5.2 実務適用性の検証結果	78
5.3 提案システムの課題と展望	79
5.3.1 提案システムの課題と展望	79
5.3.2 今後の展望	80
補足資料	81
参考文献	88
謝辞	91

図目次

図 1-1 他産業の影響を含んだ GDP 押し下げ額推計	1
図 1-2 加工食品の1店舗当たり平均販売アイテム数と1販売アイテム当たりの平均販売数量 (※ランク:S・A・B・C の順に売上高の高い商品を区分けしたもの)	2
図 1-3 物販系分野の BtoC-EC 市場規模及び EC 化率の経年推移(単位:億円)	3
図 1-4 トラックドライバーの年間労働時間の推移	3
図 1-5 不足する輸送能力	4
図 1-6 フィジカルインターネットが実現する価値	5
図 1-7 共同輸送のイメージ図	7
図 2-1 CVS 単独チェーン在庫型物流のブロック定義図(筆者作成)	15
図 2-2 商品の流れの観点での単独 CVS チェーンのアクティビティ図(筆者作成)	16
図 2-3 商品の流れの観点での卸売事業者内の振る舞い(筆者作成)	17
図 2-4 商流の観点での単独 CVS チェーンの内部ブロック図(筆者作成)	18
図 2-5 商流の観点での卸売事業者の内部ブロック図(筆者作成)	19
図 2-6 トラックの流れの観点での単独 CVS チェーンのアクティビティ図(筆者作成)	19
図 2-7 トラックの流れの観点での卸売事業者のアクティビティ図(筆者作成)	20
図 2-8 トラックの流れの観点での単独 CVS チェーンの内部ブロック図(筆者作成)	21
図 2-9 トラックの流れの観点での卸売事業者の内部ブロック図(筆者作成)	22
図 2-10 指示・データの流れの観点での単独 CVS チェーンのアクティビティ図(筆者作成)	23
図 2-11 指示・データの流れの観点での卸売事業者のアクティビティ図(筆者作成)	23
図 2-12 指示・データの流れの観点での CVS 事業者のアクティビティ図(筆者作成)	24
図 2-13 指示・データの流れの観点での単独 CVS チェーンの内部ブロック図(筆者作成)	25
図 2-14 指示・データの流れの観点での卸売事業者の内部ブロック図(筆者作成)	25
図 2-15 指示・データの流れの観点での CVS 事業者の内部ブロック図(筆者作成)	26
図 2-16 現在の複数 CVS チェーン共同輸配送のブロック定義図(筆者作成)	26
図 2-17 MCDC 内部のブロック定義図(筆者作成)	27
図 2-18 卸売事業者 A のブロック定義図(筆者作成)	27
図 2-19 CVS 事業者 A のブロック定義図(筆者作成)	28

図 2-20 商品の流れの観点での複数 CVS チェーン共同輸配送のアクティビティ図(筆者作成)	29
図 2-21 商品の流れの観点での MDCD 内部のアクティビティ図(筆者作成)	30
図 2-22 商品の流れの観点での A 系統 CDC のアクティビティ図(筆者作成)	31
図 2-23 商品の流れの観点での卸売事業者 A のアクティビティ図(筆者作成)	31
図 2-24 商品の流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部ブロック図(筆者作成)	32
図 2-25 商品の流れの観点での MCDC の内部ブロック図(筆者作成)	32
図 2-26 商品の流れの観点での A 系統 CDC の内部ブロック図(筆者作成)	33
図 2-27 商品の流れの観点での卸売事業者 A の内部ブロック図(筆者作成)	33
図 2-28 トラックの流れの観点での複数 CVS チェーンの共同輸配送のアクティビティ図(筆者作成)	34
図 2-29 トラックの流れの観点での MCDC 内部の振る舞い(筆者作成)	36
図 2-30 トラックの流れの観点での CDC のアクティビティ図(筆者作成)	37
図 2-31 トラックの流れの観点での卸売事業者内部のアクティビティ図(筆者作成)	38
図 2-32 トラックの流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部ブロック図(筆者作成)	39
図 2-33 トラックの流れの観点での MCDC の内部ブロック図(筆者作成)	41
図 2-34 トラックの流れの観点での CDC の内部ブロック図(筆者作成)	42
図 2-35 トラックの流れの観点での卸売事業者の内部ブロック図(筆者作成)	43
図 2-36 指示・データの流れの観点での複数 CVS チェーンの共同輸配送のアクティビティ図(筆者作成)	44
図 2-37 指示・データの流れの観点での MCDC 内部のアクティビティ図(筆者作成)	45
図 2-38 指示・データの流れの観点での CDC のアクティビティ図(筆者作成)	46
図 2-39 指示・データの流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部ブロック図(筆者作成)	46
図 2-40 指示・データの流れの観点での MCDC の内部ブロック図(筆者作成)	47
図 2-41 指示・データの流れの観点での CDC の内部ブロック図(筆者作成)	48
図 2-42 トラックの流れの観点での振る舞い(筆者作成)	49
図 2-43 パラメーターの因果ループ図	51

図 3-1 共同センターを用いた CVS 在庫型物流の構成要素(筆者作成)	57
図 3-2 ユースケース図(筆者作成)	61
図 3-3 コンビニエンスストア在庫型物流の動的な共同輸配送 アクティビティ図(筆者作成)	62
図 3-4 コンビニエンスストア在庫型物流の動的な共同輸配送 内部ブロック図(筆者作成)	63
図 3-5 DCTS の内部の振る舞いのブロック定義図(筆者作成)	65
図 3-6 DCTS の内部のアクティビティ図(筆者作成)	65
図 3-7 DCTS 内部ブロック図(筆者作成)	66

表目次

表 2-1 物流効率に影響を与えるパラメーターとその関係性(筆者作成)	50
表 3-1 輸配送依頼情報により取得するデータ (筆者作成)	67
表 3-2 物流リソース情報から取得するデータ (筆者作成)	68
表 3-3 輸配送計画により提供される情報(筆者作成)	69

第1章 緒言

1.1 研究の背景

1.1.1 物流クライシス

日本の物流業界は、「物流クライシス」と称される深刻な構造的課題に直面している。この危機は、需要と供給の不均衡が複合的に影響を与え、特に2024年問題が喫緊の課題として顕在化している。経済産業省の報告[28]によれば、物流クライシスが進行した場合、2030年には7.5～10.2兆円の経済損失が発生する可能性が指摘されている(図1-1)。

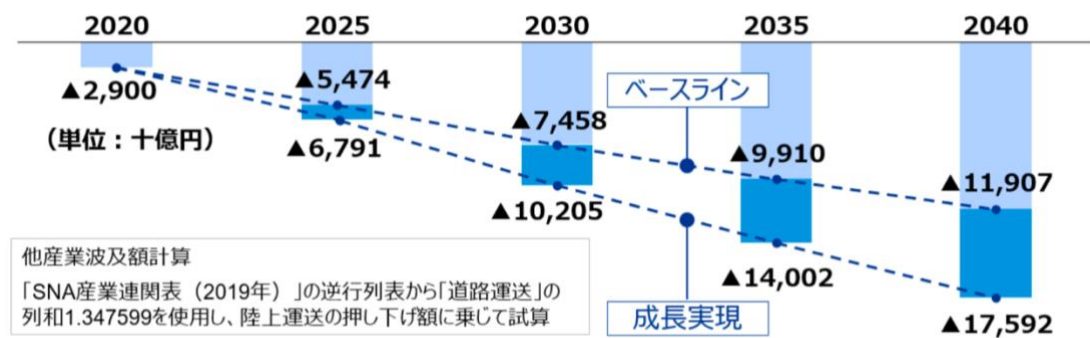


図 1-1 他産業の影響を含んだ GDP 押し下げ額推計

この課題を引き起こす要因として、以下の4点が挙げられる。

(1) 多品種小ロット需要

消費者ニーズの多様化に伴い、物流業界では多品種小ロット輸送の需要が増加している(図 1-2)。多品種・小ロット輸送の需要の増加はトラックの積載効率の低下を招いており、2018年には積載率が40%を下回っている。

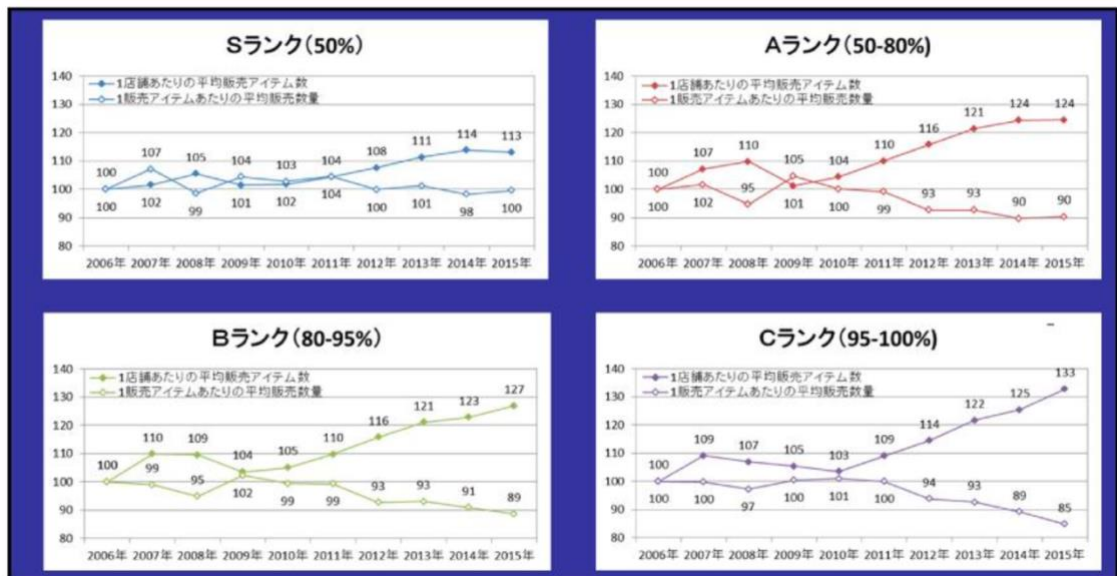


図 1-2 加工食品の1店舗当たり平均販売アイテム数と1販売アイテム当たりの平均販売数量

(※ランク:S・A・B・Cの順に売上高の高い商品を区分けしたもの)

(2) EC 需要の拡大

電子商取引(EC)の市場拡大により、特にラストワンマイル配送の需要が急増している(図 1-3). ECは著しく多くのコストがかかるラストワンマイル(配送が、最終拠点から事業所や個人宅などまでの区間となるもの)を要求するものであり、加えて当日配送や翌日配送、あるいは時間指定などの高品質のサービスを要求するものである。そのため物流コストの上昇の大きな要因となっている。



図 1-3 物販系分野の BtoC-EC 市場規模及び EC 化率の経年推移(単位:億円)

(3)物流の 2024 年問題

少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少は各産業共通の課題であるが、トラックドライバーは全産業と比較して労働時間が長く(図 1-4)、一方で大型トラックでは年間収入額は全産業より1～2割低い水準となっている。このような背景もあり、トラックドライバーの減少や高齢化が進んでいる。加えて、働き方改革関連法による時間外労働の上限規制が2024年に施行されることで、ドライバーの拘束時間が厳しく制限される。この規制により、2030年には34.1%のドライバー不足が予測されており(図 1-5)、これは物流コストの上昇に留まらず、物流サービスの提供が困難になる可能性がある。これは2030年に顕在化する問題ではなく、すでに輸送能力不足は指摘されている喫緊の問題である。

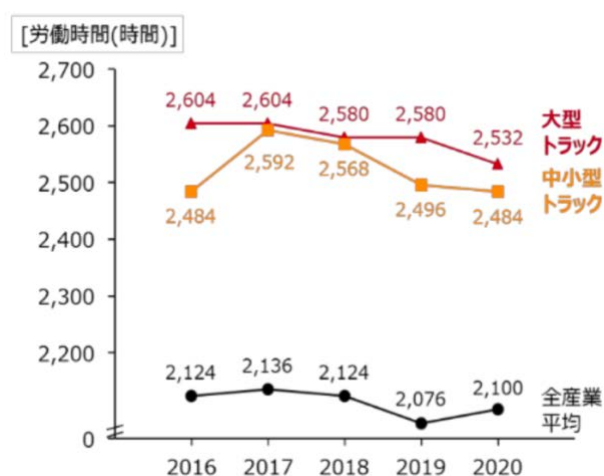


図 1-4 トラックドライバーの年間労働時間の推移

(1) 不足する輸送能力 (全体)

	不足する輸送能力の割合	不足する営業用トラックの輸送トン数
2024年度	14.2%	4.0億トン
2030年度	34.1%	9.4億トン

図 1-5 不足する輸送能力

(4) 気象変動対策

輸送部門の省エネルギーや温室効果ガスの削減についての要請も、物流コスト上昇の要因に数えられる。日本では気候変動対策として、温室効果ガスを2030年度に2013年度から46%削減すること、2050年にカーボンニュートラルを実現することを目標に掲げている。「地球温暖化対策計画」(令和3年10月22日閣議決定)は、運輸部門について、2030年度に温室効果ガスを2013年度から35%削減することを目指すとしている。この気候変動対策についても、目標達成の過程で貨物輸送の供給に対する大きな制約となる可能性がある。

1.1.2 フィジカルインターネット・ロードマップの策定

フィジカルインターネット(PI)とは、2011年にアメリカのジョージア工科大学のBenoît Montreuil教授によって提唱された、インターネットの概念を物流に応用した新たな物流モデルである。フィジカルインターネットは下記のようにされ、その目的は、物流資源の最適化と持続可能性の向上にある。[24]

フィジカルインターネットとは、相互に結びついた物流ネットワークを基盤とするグローバルなロジスティクスシステムである。目指すところは効率性と持続可能性の向上であり、プロトコルの共有、モジュラー式コンテナ、スマートインタフェースの標準化を図る。

国内では、2022年3月に「フィジカルインターネット・ロードマップ[28]」が発表された。これは2040年までのPIの実現を目標に策定された計画であり、物流の効率化・強靱化を図り、持続可能な物流ネットワークを構築することを目的に作成されている。フィジカルインターネットが実現する価値として図 1-6を掲げている。

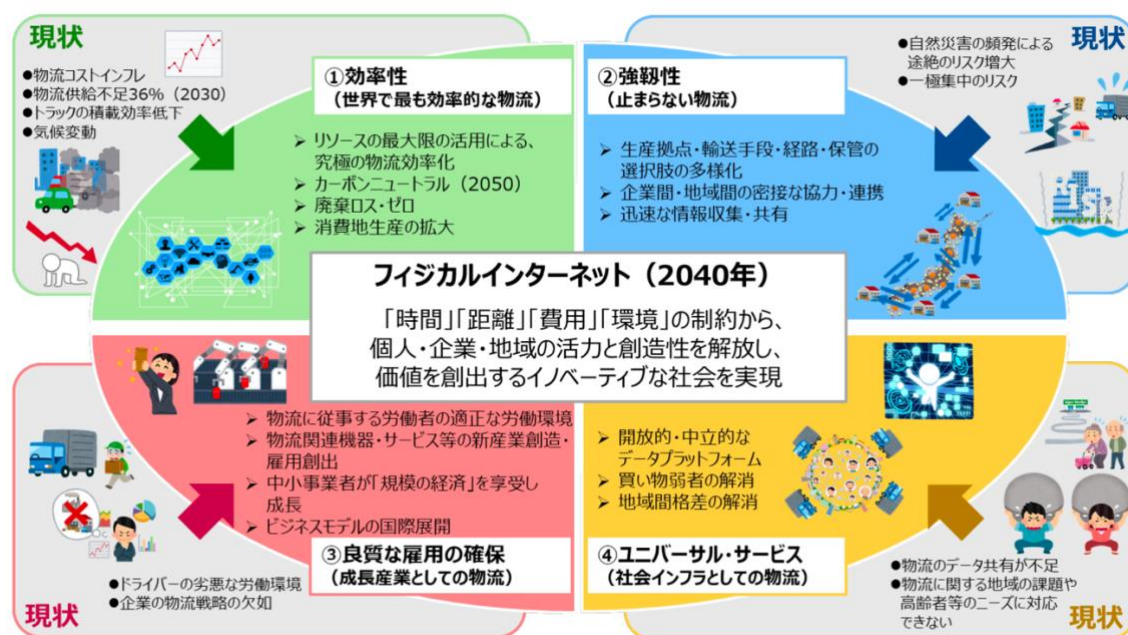


図 1-6 フィジカルインターネットが実現する価値

1.1.3 大手コンビニエンスストアの取り組み

(1) 戦略的イノベーション創造プログラムでの取り組み

1.1.1 で述べた社会背景に対して、行政や各事業者は物流リソースの効率化などを進めるべく取り組みを進めている。2022年2月、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「スマート物流サービス」プロジェクトにおいて、セブン-イレブン・ジャパン、ファミリーマート、ローソンのコンビニ3社と(公財)流通経済研究所が連携し、各社の物流センター、ならびに店舗へのチェーン横断的な共同物流の実証実験を行った。北海道の函館エリアを対象に1週間程度下記の2つの実証実験を実施した。

- ① 配送センター間の物流の効率化
- ② 遠隔地店舗(買い物困難地域)の配送の共同化

(SIP)第2期 スマート物流サービス 最終成果報告書[34]によれば、「配送センター間の物流の共同化」では、セブン-イレブンとファミリーマート、セブン-イレブンとローソンの2つの組み合わせで、幹線での共同輸送を行った。結果、1便あたりの車両台数を1台削減、走行距離を275km(従来比48%減)短縮、CO2排出量を176kg(同45%減)削減、走行時間を2.5時間(同23%

減)削減することに成功した。

「遠隔地店舗(買い物困難地域)の配送の共同化」では、函館南西エリアでセブン-イレブン・ジャパンとローソンによる店舗配送の共同配送を実施し、チェーンごとに配送する場合と比べて、配送距離が 61.9km(22%減)、CO2 排出量が 36.2kg 減、走行時間が 2.3 時間(20%減)短縮する効果を確認した。

(2) ローソンとファミリーマートによる取り組み

ローソンとファミリーマートでは、2024年4月11日輸送分より、宮城県・岩手県の各在庫拠点から秋田県の配送拠点への輸送について、下記の条件で共同輸送を開始した(図 1-7)[29]。これまで各社それぞれ輸送便を運行していたが、これにより積載量の条件が整った場合1台に積み合わせて共同輸送を行う。

- ・実施月:4～6月, 9～11月

- ・実施曜日:火曜日, 木曜日, 金曜日の積載量条件が合致した日に実施(積載量条件は下記)

週に1度、翌週のファミリーマート用車両の予測空き容量とローソンの積載予測量を確認し、1台に積載できると判断した場合にのみ実施。1台に積載できる量を超えた場合は各社ごとに輸送。

- ・対象商品:アイスクリーム, 氷, 冷凍食品などの冷凍商品

- ・配送車両:10tトラック1台

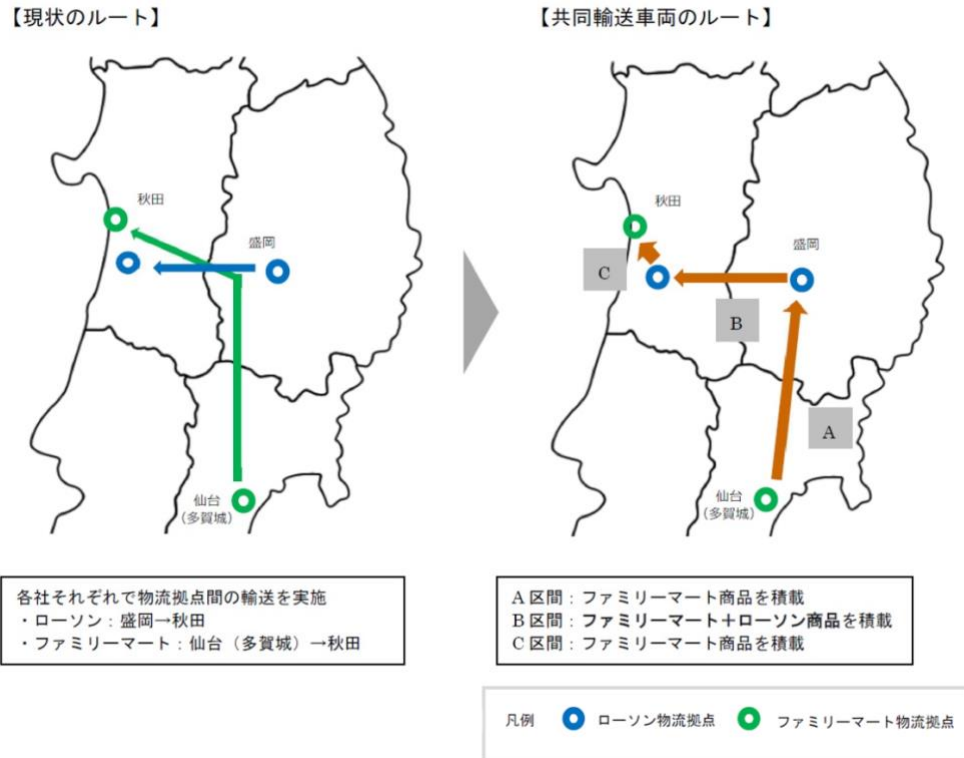


図 1-7 共同輸送のイメージ図

1.2 関連研究

本稿では、物流における近年の研究動向について、複数の研究を取り上げ、誰がどのようなことを明らかにし、どのような提案を行っているかを整理する。

Montreuil, Meller, Ballotらは、「Physical Internet Foundations[11]」において、フィジカルインターネット(Physical Internet, PI)という新たな物流システムの枠組みを提示し、経済的・環境的・社会的な持続可能性の向上を目的としている。彼らは、PIが物理的、デジタル的、運用的な相互接続性を基盤としたオープンなグローバル物流システムであることを提案し、物流プロセスのモジュール化と相互接続による効率化を主張している。研究では、PIの構築に不可欠な8つの基礎要素(効率性と持続可能性、物流ウェブ、オープングローバル物流システム、普遍的な相互接続性、エンキャプスレーション、スマートインターフェース、協調プロトコル、イノベーション)を示し、特に標準化されたコンテナ(π -containers)とスマートインターフェースによる柔軟な輸送ネットワークの構築を提案している。

Montreuil, Ballot, Fontaneらは、物流ネットワークの相互接続性を向上させるため、デジタルインターネットの成功例に基づいたOpen Logistics Interconnection (OLI) モデルを提案している[10]。彼らは、現在の物流ネットワークが断片化され、企業や市場ごとに独立して運営されている点に着目し、統一的なインフラと標準化されたプロトコルの必要性を指摘している。

提案されたOLIモデルは、OSI参照モデルの概念を物流に適用し、物理層からロジスティクスウェブ層までの7つの階層で構成される。このモデルにより、輸送手段、倉庫、情報システムの統合が図られ、物流プロセス全体の最適化が可能となるとされている。具体的には、標準化されたコンテナや追跡システム、適切なルーティング手法の導入が物流ネットワークの効率性を向上させると主張している。

Montreuil, Ballot, Gobetらは、PIを活用したオープンハブネットワークの設計を提案している[2]。本研究は、従来の中央集約型・専用型の物流ネットワークの問題点を克服し、持続可能で柔軟な物流ネットワークの実現を目指している。研究では、物流ネットワークの断片化と持続可能性の課題を指摘し、スマートモジュールコンテナのカプセル化による物流サービスの相互接続、およびデジタルインターネットの概念を応用した分散ルーティングを提案している。フランスの食品流通ネットワークを対象としたシミュレーションの結果、燃料消費量の削減(21,380,650Lから17,104,524L)、最大配送距離の短縮(1,399kmから400km)が達成され、物流ネットワークの効率性が大幅に向上することが示された。研究の結論として、PIの導入は分散型・自己調整型の物流ネットワークの実現を可能にし、ハブ間のルーティング最適化やモーダルシフトによるさらなる効率向上が期待されると述べられている。

Yang, Pan, Ballotらは、PIの枠組みを活用した相互接続された物流ネットワークがサプライチェーンの障害(自然災害や政治的要因、交通インフラの障害などのリスク)に対してどのように回復力を向上させるかを分析している[18]。

PIを適用することで、従来のサプライチェーンモデルと比較して柔軟性が向上し、障害発生時の在庫管理の適応性が高まることが明らかになった。さらに、PIの活用により、

配送ルートや在庫拠点の動的な調整が可能となり、冗長性の確保とコスト削減の両立が可能であることが示された。特に、製品価値や罰則コスト、障害頻度が高い場合において、PIモデルの優位性が示された。

伊東，貝原，國領らは，物流業界におけるトラックドライバー不足などの課題に対処するため，需要の不確実性を考慮した共同輸送ネットワークの設計手法を提案している[19]．需要の不確実性を考慮した2段階確率計画モデルを構築し，自車輸送，物流代行サービス(3PL)，およびトラックシェアリング(FTLおよびLTL)を組み合わせた輸送モデルの比較分析を行い，LTLシェアリングがFTLよりもコスト効率が高いことを示した。

Briand, Franklin, Lafkihiらは，大量の荷物の効率的な配送というPIの課題に対処するため，競争的な入札プロセスを導入し，運送業者間の取引を最適化する新しいプロトコルを提案している[3]．提案されたプロトコルでは，荷物が各ノードに到着するたびにオークションが実行され，最適なキャリアと料金が選定される仕組みが導入されている．シミュレーション結果により，提案プロトコルを導入したPIネットワークでは，従来の輸送方式と比較して，総配送コストが削減され，空荷率が約25%低下することが示された．また，フルトラックロード(FTL)のシナリオにおいて，トータルコストが12%削減され，必要なキャリア数も10%以上削減されることが確認された。

Ezaki, Imura, Nishinariらは，リンクの生存率(link survival ratio)と非重複リンクの割合(dissimilarity)を変化させることで，ネットワーク統合による最大フローの変化を分析した．その結果，一様に重要なノードを持つネットワークでは統合による相乗効果が大い一方，コア・ペリフェリー構造を持つネットワークでは統合の効果が限定的であることが示された．研究の結果，異なるネットワーク構造(グリッド型，スケールフリー型，コア・ペリフェリー型)の統合において異種ネットワークを統合することでより大きな相乗効果を発揮することが実証された[7]．

これらの研究は，PIという新しい概念の提案や，輸配送の効率を向上させるための数理モデルの開発を行っている．しかし，物流は長年にわたり我々の生活を支える重要なイ

ンフラであり、その構造や慣習は産業ごとに異なる。したがって、抽象的な概念や数理モデルをそのまま適用するのは難しく、現在の物流システムを無視することはできない。一方、これらの研究では数理モデルや抽象的な概念の提示にとどまり、実際の物流プロセスを考慮した具体的なアーキテクチャの設計には至っていない。

1.3 研究の目的

前節では、日本の物流業界が直面している課題、ならびにそれらに対する行政およびコンビニエンスストア(CVS)事業者の取り組みについて概観した。物流は産業における生命線とも言える存在であり、優れた製品を「製造」し、「販売」することと同様に、「輸送」することが私たちの生活の豊かさに大きく寄与してきたことは疑う余地がない。しかしながら、これまで各物流事業者や各CVSチェーンが独自に最適化を図ってきた物流構造は、環境の変化によりその維持が困難になりつつある。物流機能の低下は、企業活動のみならず、消費者の生活にも直接的な影響を及ぼす重要な課題である。

「物流クライシス」や「2024年問題」など、物流業界全体で広く認識されている問題があるものの、物流の構造や運用方法は産業ごとに異なる特徴を有している。そのため、長年にわたり構築されてきた物流ネットワークや業務プロセスに対し、各産業の構造や慣習を十分に考慮することなく、フィジカルインターネット(PI)のような新たな概念を適用することは極めて困難である。

本研究では、こうした状況を踏まえ、徐々に共同輸配送の取り組みが進展しているCVS業界に着目し、特に物流センターにおいて在庫管理が可能な常温商品および冷凍商品を対象として、CVS物流の特性を考慮したシステムの提案を行う。

具体的には、現在のCVS在庫型物流に関し、商流、トラックの流れ、指示・データの流れの三つの観点から詳細に分析を行う。さらに、単独のCVSチェーンと、現在実施されている共同輸配送の事例を参考に、複数CVSチェーン間の共同輸配送を構造的に捉え、トラックドライバーのリソース管理に関わるパラメーターを整理する。その上で、動的な共同輸配送を実現するための有効なシステムとして「動的共同輸配送システム(DCTS)」を定義する。

提案されたアーキテクチャが妥当か否かを確認するため、物流事業者および卸売事業者の有識者へのインタビューを実施し、動的ルート算出による共同輸配送の実現可能性や、ドライバーのリソース最適化への寄与について検証を行う。

1.4 研究の方法

1.4.1 システムズエンジニアリング

システムズエンジニアリングハンドブック[6]によれば、システムズエンジニアリングは以下のように定義される

システムズエンジニアリングは、システムを成功裡に実現するための、学際的なアプローチ及び手段である。システムズエンジニアリングでは次のことに重点を置く。顧客のニーズ及び必要とされる機能性を開発サイクル初期に定義し、要求を文書化し、その上で設計、総合してシステムの妥当性確認に進むことである。（引用：システムズエンジニアリングハンドブック 第4版）

また、モデルベースシステムズエンジニアリング (MBSE) は、さまざまなモデルを形式化したものである。[6]では、「INCOSE Systems Engineering Vision 2020 (2007)」を引用し、MBSEをの定義を下記のように説明している。

概念設計フェーズから始まり、開発に続くライフサイクルフェーズを通してのシステム要求、設計、分析、検証、及び妥当性確認のアクティビティをサポートするモデリングの形式化された適用（引用：システムズエンジニアリングハンドブック 第4版）

また、MBSEは情報の獲得、分析、共有、及び管理する能力を高めることを通じて、以下のような利点をもたらすとしている。

- ・ コミュニケーションの改善: 開発の関係者間でのコミュニケーションを改善する

- ・ システムの複雑さを管理する能力向上:システムモデルを複数の観点から見る
ことができ、変更による影響を分析できるようにする
- ・ 製品品質の改善:一貫性,正確性,及び完全性を評価することができるシステム
の曖昧でなく正確なモデルを提供する
- ・ 知識の獲得の強化:より標準的な方法での情報の獲得とモデル駆動型アプロ
ーチに内在する組み込まれた抽象化メカニズムを利用することによる知識の獲
得及びその情報の再利用の強化. これによりサイクルタイムを短縮し,設計を修
正するための保守費用を抑制する
- ・ システムズエンジニアリングの基礎を教えそして学ぶための能力の改善:コンセ
プトの明確で曖昧さのない表現を提供する

1.4.2 システムモデリング言語

SysMLは、正式にはOMG(Object Management Group) SysML™という。「システムズモデ
リング言語 SysML[7]」では、「SysmMLは、複雑なシステムの分析、使用決定、設計、
検証、および妥当性確認をサポートする汎用の図的なモデリング言語である。ハードウ
ェア、ソフトウェア、データ、人員、設備、人工的な他の要素、そして自然物の他の要素
が含まれることがある」としており、SysMLはシステム、コンポーネントおよび、他のエンテ
ィティについて以下の面を表現できるとしている。

- ・ 構造的な構成、相互接続、分類
- ・ 昨日、メッセージおよび状態に基づく振る舞い
- ・ 物理的プロパティおよび性能プロパティの制約
- ・ 振る舞い、構造および制約の間の割り当て(例:コンポーネントへの割り当てら
れる機能)
- ・ 要求と、他の要求、設計要素、およびテストケースとの関係性

SysMLには9つのダイアグラムがあり、それらは下記の通りである。本論文では、これら

のダイアグラムを必要に応じて活用する.

- ・ **要求図**: 要求のトレーサビリティをサポートするために, テキストベースの要求と, 他の要求, , 設計要素, テストケースとの関係を表す
- ・ **アクティビティ図**: 入力, 出力, および制御の使用可能性に基づくアクションの順位づけと, アクションの入出力間の変換方法に関する振る舞いを表す
- ・ **シーケンス図**: パート間で交換されたメッセージのシーケンスに関する振る舞いを表す
- ・ **状態機械図**: イベントによって引き起こされる状態間の繊維に関するエンティティの振る舞いを表す
- ・ **ユースケース図**: 一連の目標を達成するための, 外部エンティティ(すなわち, アクター)によるシステムまたは他のエンティティの用いられ方に関して機能性を表す
- ・ **ブロック定義図**: ブロックと呼ばれる構造要素とソラレノ合成, および分類を表す
- ・ **内部ブロック図**: ブロックのパート間の相互接続とインターフェースを表す
- ・ **パラメトリック図**: エンジニアリング解析をサポートするのに用いられる $F=m*a$ などの属性値の制約を表す
- ・ **パッケージ図**: モデル要素を含むパッケージに関してモデルの編成を表す

なお, 本研究を実施するにあたり, ツールは Dassault System 社の, CATiA | Magic System of Systems Architect を慶應義塾のStudent Seat ライセンスとして付与されたものを使用した.

第2章 現在の CVS の輸配送アーキテクチャーに基づく課題の分析

本章では、コンビニエンスストア (CVS) チェーンにおける在庫型物流について、商流、トラックの流れ、および指示・データの流れの3つの観点からシステム図を記述し、課題の発見と輸配送効率向上のための介入点について考察する。

CVSの販売チャネルは、商社による垂直統合型サプライチェーンであることが、[22]において示されている。共同輸配送を行うことは、複数の垂直統合型サプライチェーンを相互接続することを意味する。これを踏まえ、2.1節では、単独のコンビニエンスストアチェーンにおける在庫型物流について説明し、2.2節では、複数のコンビニエンスストアチェーンが共同で行う在庫型物流について記述する。

システム図の作成にあたり、以下の用語を定義する：

- メーカー物流：メーカーによって手配される物流。
- ベンダー物流：卸売事業者によって手配される物流。
- リテール物流：コンビニエンスストアによって手配される物流。

さらに、システム図の可読性を向上させるため、物流の種類ごとに以下の色分けを適用する：

- メーカー物流は赤線、
- ベンダー物流は緑線、
- リテール物流は青線で表す。

2.1 単独のコンビニエンスストアチェーンによる輸配送

本章では、コンビニエンスストア (CVS) チェーンにおける在庫型物流について、商流、トラックの流れ、および指示・データの流れの3つの観点から詳細に考察する。これに先立ち、CVS単独チェーンによる在庫型物流の全体像を理解するため、コンテキストレベルのブロック定義図を示し、その構成要素について整理する(図 2-1)。

この図を基に、2.1節では、CVS単独チェーンにおける在庫型物流の詳細を、以下の3つの観点から説明する。

2.1.1 商品の流れと商流について

2.1.2 トラックの流れ

2.1.3 指示・データの流れ

このような構成により、CVS単独チェーンの物流構造を体系的に整理し、後述する共同輸配送の考察に向けた基盤を築く。

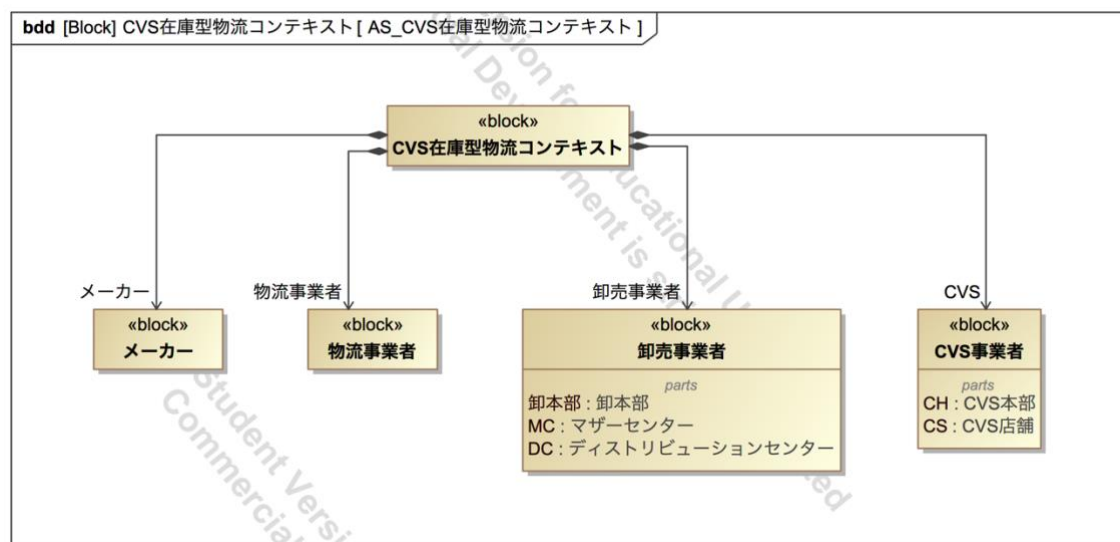


図 2-1 CVS 単独チェーン在庫型物流のブロック定義図(筆者作成)

CVS単独チェーンでの在庫型物流は、メーカー、物流事業者、卸売事業者、CVS事業者の4つの要素によって構成される(図 2-1)。物流事業者には、メーカー物流を担う物流事業者、ベンダー物流を担う物流事業者、リテール物流を担う物流事業者が含まれている。

また、卸売事業者は、卸本部、マザーセンター、ディストリビューションセンター(DC)の3つのシステムによって構成されている。CVS事業者もCVS本部とCVS店舗の2つのシステムによって構成されている。DCについてはCVS事業者が保有しているが、本論文で

は卸売事業者が内部システムとして記述する。これはスーパーマーケットやドラッグストアでは小売業者によって運営されているケースもあるが、CVSについてはほとんどが卸売業者によって運営されている実態を反映したものである。

2.1.1 商品の流れと商流

(1) 商品の流れの観点でのシステムの振る舞い

ここでは商品の流れと所有権について考察する。商品及び商品の所有権は、メーカー、卸売事業者、CVS事業者を通じて消費者へと移行する。CVS在庫物流について考察するため、メーカー、卸売事業者、CVS事業者の3者の振る舞いについて考える。また、商品と商品の所有権は分けて考える。

まず、商品の流れについて考える。メーカーは卸売事業者からの発注によって商品を出荷する。メーカーは卸売事業者の発注を受け付け、商品を出荷する。同様に、卸売事業者はCVS事業者からの発注によって商品を出荷する。これらについて整理したものが図 2-2である。出荷指示や在庫データのやりとりについては2.1.3で記述する。

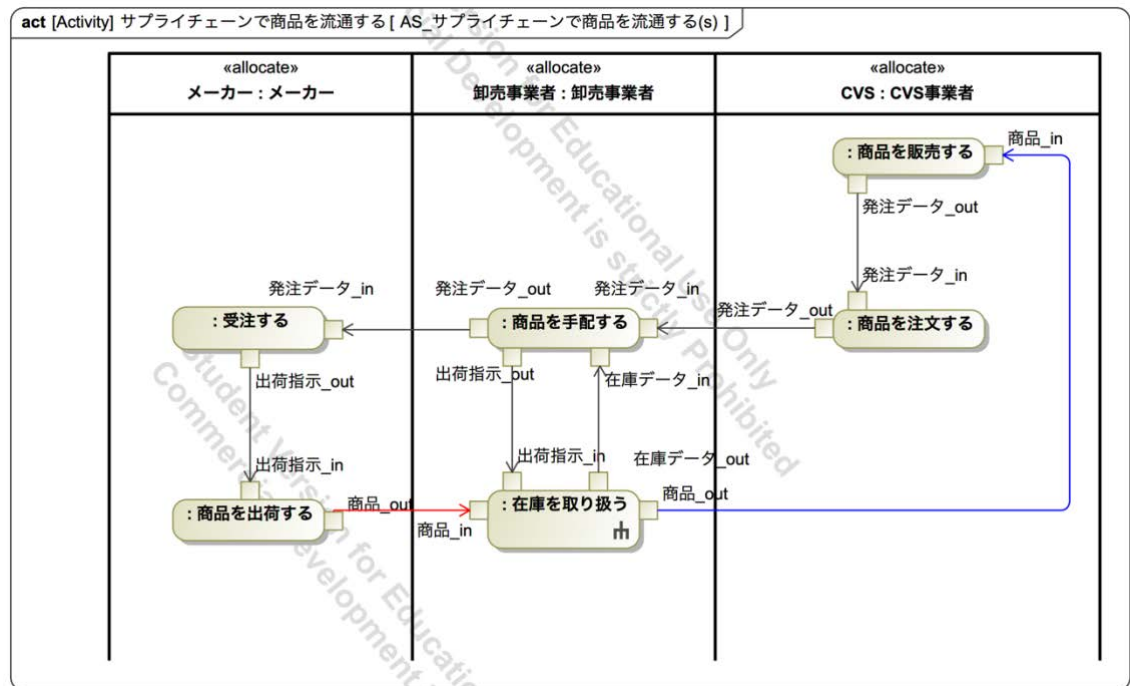


図 2-2 商品の流れの観点での単独 CVS チェーンのアクティビティ図(筆者作成)

次に商品の所有権について考察する。元々商品はメーカーが所有するが、卸売事業者への納品によって商品の所有権が卸売事業者へ移行する。同様にCVS事業者からの発注により、卸売事業者から商品が出荷され、CVS事業者が商品を受け取る時点で商品の所有権がCVS事業者へ移行する。

次に、卸売事業者内部の商品の流れについて考察する。卸売事業者の商品の在庫拠点として、マザーセンターとディストリビューションセンター(DC)がある。メーカーから出荷された商品はマザーセンターに運ばれる場合とDCに運ばれる場合がある。また、基本的にはCVS店舗への配送はDCから行われる。このため、マザーセンターからDCへの商品の移動も行われる。この卸売事業者の在庫拠点間あるいは在庫拠点からCVS店舗への出荷には、出荷指示によって行われる。これらについて表現しているものが図 2-3である。

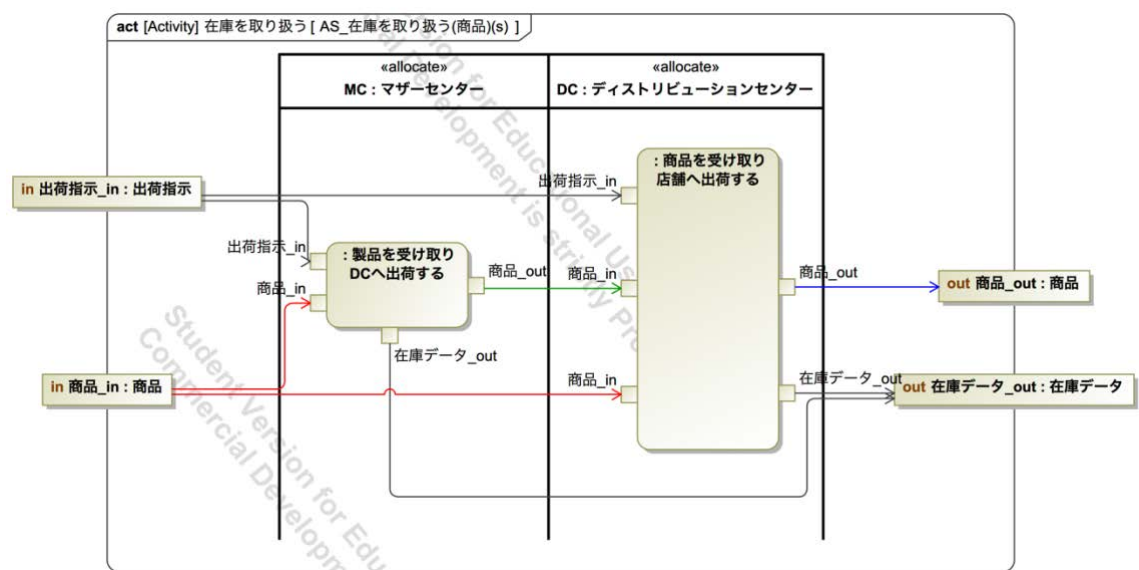


図 2-3 商品の流れの観点での卸売事業者内の振る舞い(筆者作成)

留意すべき点として、このダイアグラム上の「卸売事業者」は特定の事業会社ではなく、複数の卸売事業者が含まれていることである。小売業の物流において、しばしば「帳合」という言葉が用いられるが、これは「小売業で売られているメーカーの商品がどこの

卸売業者を通して配送・販売するかの権利」である。CVS物流において、多くの場合CVSの窓口となる卸売事業者は同じ商社系統の卸売事業者である。そして、メーカーとこの商社系卸売事業者の間には、複数の卸売事業者が介在している。図 2-2上はサンプルに表現されているが、実際にはより複雑な商品の所有権の変更があり、さらにそれはCVSチェーンごとにも異なっている。

(2) 商品の流れの観点での単独 CVS チェーンの内部構造

商品の流れの観点での、図 2-1で示したCVS単独チェーンの在庫型物流で示したブロックのパート間の相互接続とインターフェースを表すものが図 2-4である。ここでは、アクティビティ図と同様、色付きの実線が商流を示しており商品が移行している様子を示している。CVS事業者の商品の受け取り拠点は店舗のため、インターフェースはコンビニ店員となっているが、メーカーからの出荷や卸売事業者の入出荷はバースで行われるため、作業員がインターフェースとなっている。

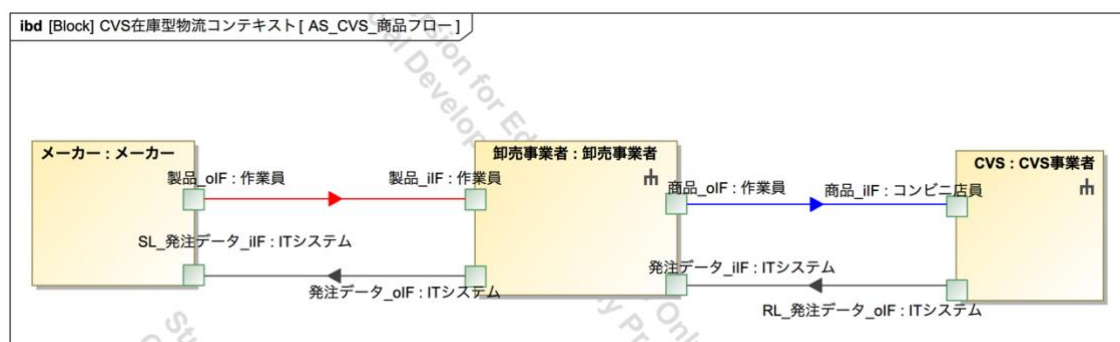


図 2-4 商流の観点での単独 CVS チェーンの内部ブロック図(筆者作成)

次に、卸売事業者の内部のブロックのパート間の相互接続とインターフェースについて図 2-5で表す。卸本部はCVSからの発注データを受け取り、DCへ出荷指示を行うことで、DCから商品が出荷される。また、卸本部は予想出荷量や在庫状況を考慮しマザーセンターへ出荷指示を出すことで、マザーセンターから商品が出荷される。赤線、緑線、青線におけるアイテムフローは商品となる。その他の実線については2.1.3で言及する。

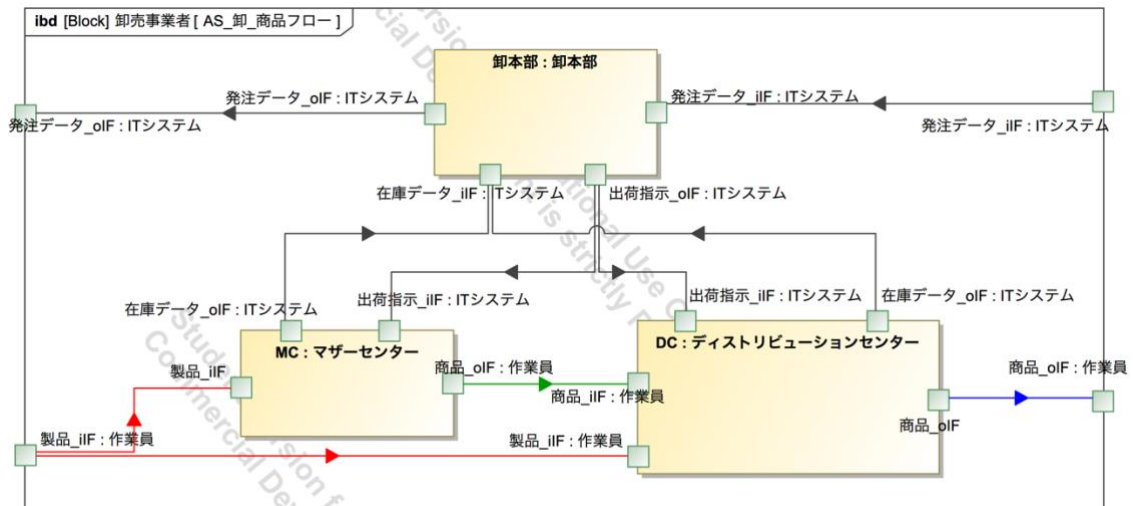


図 2-5 商流の観点での卸売事業者の内部ブロック図(筆者作成)

2.1.2 トラックの流れ

(1)トラックの流れの観点から見るシステムの振る舞い

物流事業者はメーカー、卸売事業者、CVS事業者へ商品の集荷や輸配送を行う。ここではトラックの流れの観点から、メーカー、卸売事業者、物流事業者、CVS事業者の4者の振る舞いを表す。メーカー物流、ベンダー物流、リテール物流には、実際には異なる物流事業者が行う場合もあるが、ここでは物流事業者にまとめて記述する(図 2-6)。

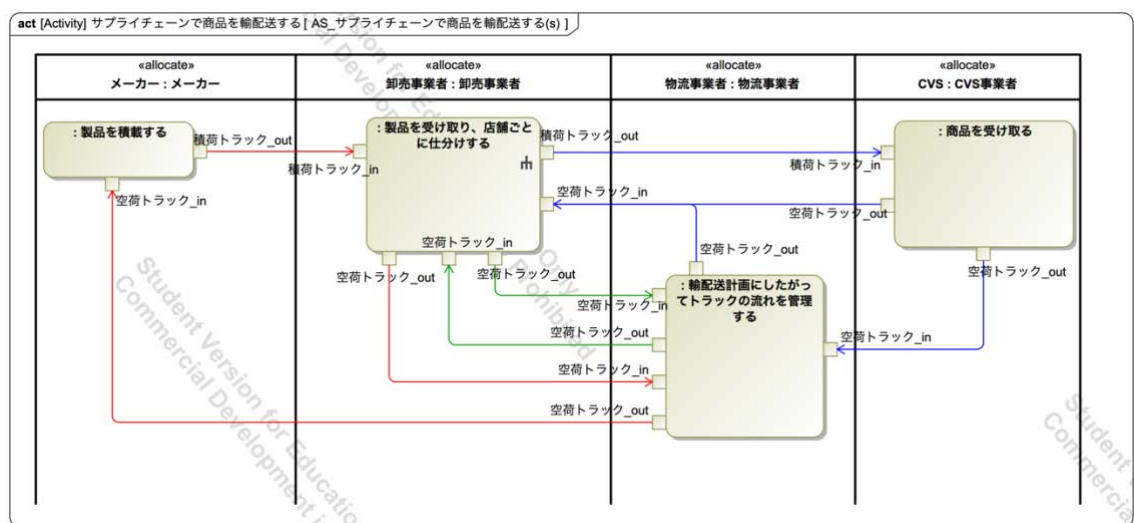


図 2-6 トラックの流れの観点での単独 CVS チェーンのアクティビティ図(筆者作成)

メーカー物流では、物流事業者がメーカー拠点へ集荷に向かい、メーカー拠点での荷物の積載後、卸売事業者の拠点へと輸送し、物流事業者拠点へと戻る。ベンダー物流では、物流事業者は卸売事業者拠点へ集荷に向かい、卸売事業者拠点間での輸送を行った後(図 2-7)、物流事業者拠点へと戻る。リテール物流では卸売事業者拠点へと集荷に向かい、CVS事業者へ配送した後、卸売事業者拠点へと戻る。何度かこの区間の配送を行った後、物流事業者拠点へと戻る。ここでのこのトラックの流れについて、物流事業者は、条件に沿ってどの拠点からどの拠点へ商品を輸配送するか計画を立て、その計画に沿ってトラックによる商品の運搬を行っている。トラックには荷物を積んでいない状態の空荷トラックと、荷物を積んでいる積荷トラックの2つの状態がある。

ここで着目したいのは、リテール物流である。リテール物流では、DCから出発したトラックは複数のCVS店舗を回り、配送を終えた後にDCへ戻る。この際、DCから最初のCVS店舗への移動、および便の最後の店舗からDCへの移動では、トラックが空荷である状態が発生する。特に、地方エリアではこの移動距離が長くなる傾向があり、輸送の非効率性が生じる。この空荷回送がトラックリソースの最適活用を阻害する要因となっている可能性がある。

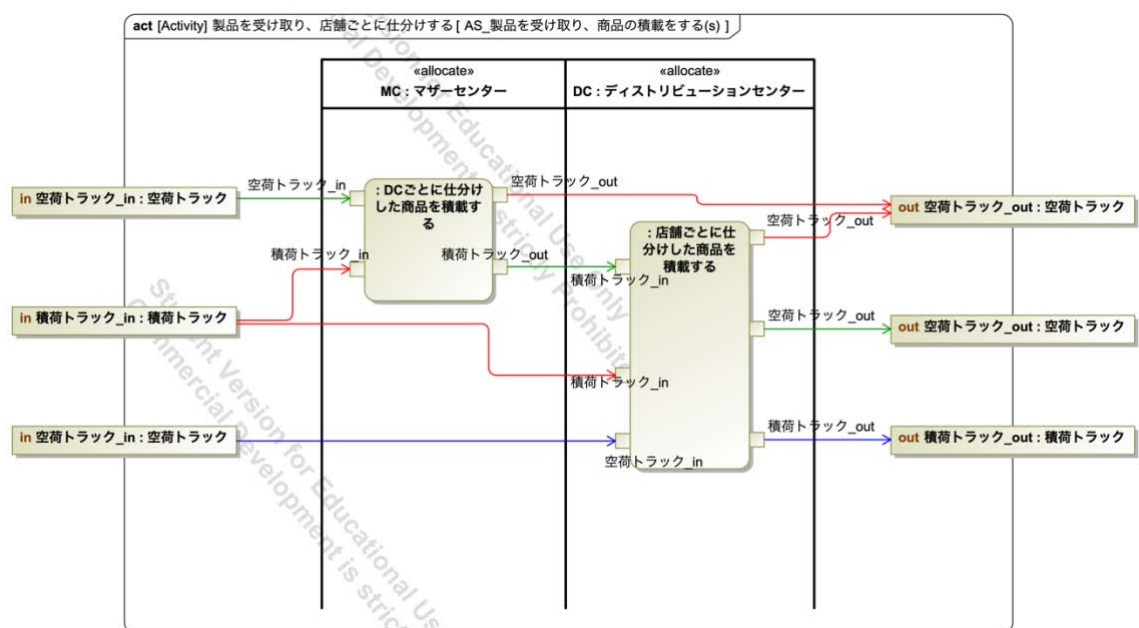


図 2-7 トラックの流れの観点での卸売事業者のアクティビティ図(筆者作成)

(2)トラックの流れの単独 CVS チェーンの内部構造

トラックの流れについて、図 2-1で示したCVS単独チェーンの在庫型物流で示したブロックのパート間の相互接続とインターフェースを表すものが図 2-8である。ここではトラックの流れについて示しているため、各パートを繋ぐコネクタを流れるアイテムフローはトラックである。コネクタは道路を表しており、卸売事業者、物流事業者、CVS事業者のインターフェースはトラックのインターフェースとなるため、駐車場やバースとなる。ただし、都市部でのコンビニエンスストアでは駐車場がない場合も多く、その場合は路上に駐車することもある。特に路上にトラックを停める場合、近隣住民や道路の利用者への影響が小さくなるよう、駐車できる時間帯や駐車場所に対して、強い制約がかかっているケースも存在する。

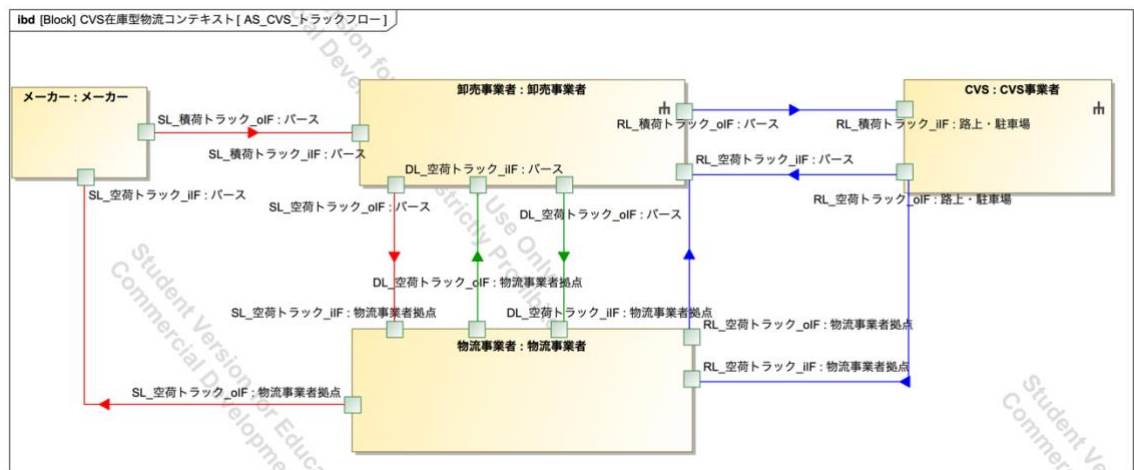


図 2-8 トラックの流れの観点での単独 CVS チェーンの内部ブロック図(筆者作成)

図 2-8で記載されている卸売事業者の内部について示しているものが図 2-9である。図 2-8と同様アイテムフローはトラックを表しており、インターフェースはバースである。なお、コネクタの命名について、メーカー物流に関するものにはSL (Supplier Logistics)、ベンダー物流に関するものはDL (Distributor Logistics)、リテール物流はRL (Retailer Logistics)と記載している。

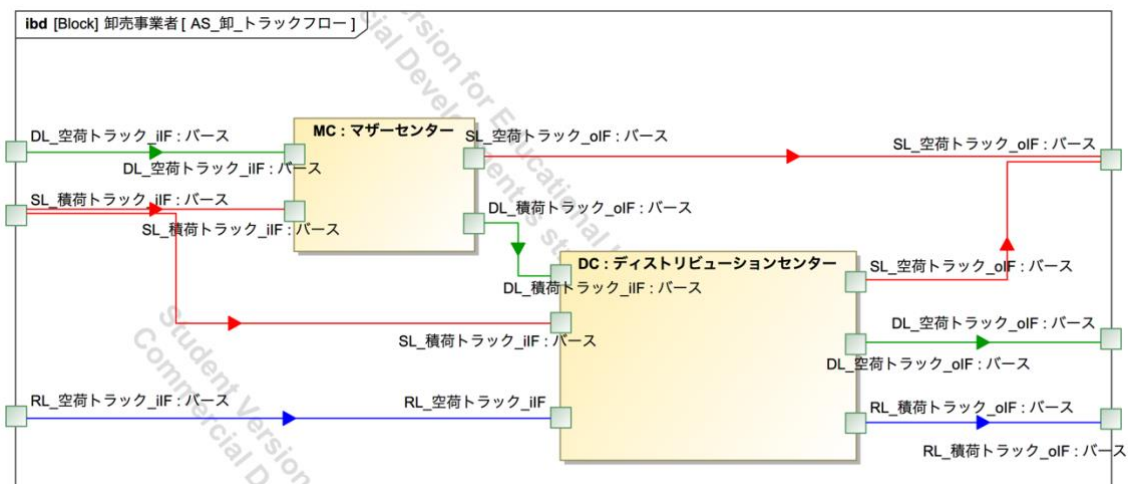


図 2-9 トラックの流れの観点での卸売事業者の内部ブロック図(筆者作成)

2.1.3 指示・データの流れ

(1) 指示・データの流れの観点から見るシステムの振る舞い

本節では、トラックの手配や商品の手配に関する指示・データの流れについて記述する。図 2-10に示すアクティビティ図は、指示や情報の振る舞いを表現しており、オブジェクトフローにはデータや情報、指示が含まれる。

メーカー物流においては、卸売事業者からの発注を受けたメーカーが受注内容を確認し、物流事業者へ輸送依頼情報を送付する。物流事業者は、トラックのナンバーやドライバーの情報を含む輸送計画をメーカーへ提供する。発注プロセスでは、卸本部がマザーセンターやDC(ディストリビューションセンター)からの在庫データを受信し、出荷状況と必要在庫量の予測を照らし合わせて発注を行う(図 2-11)。

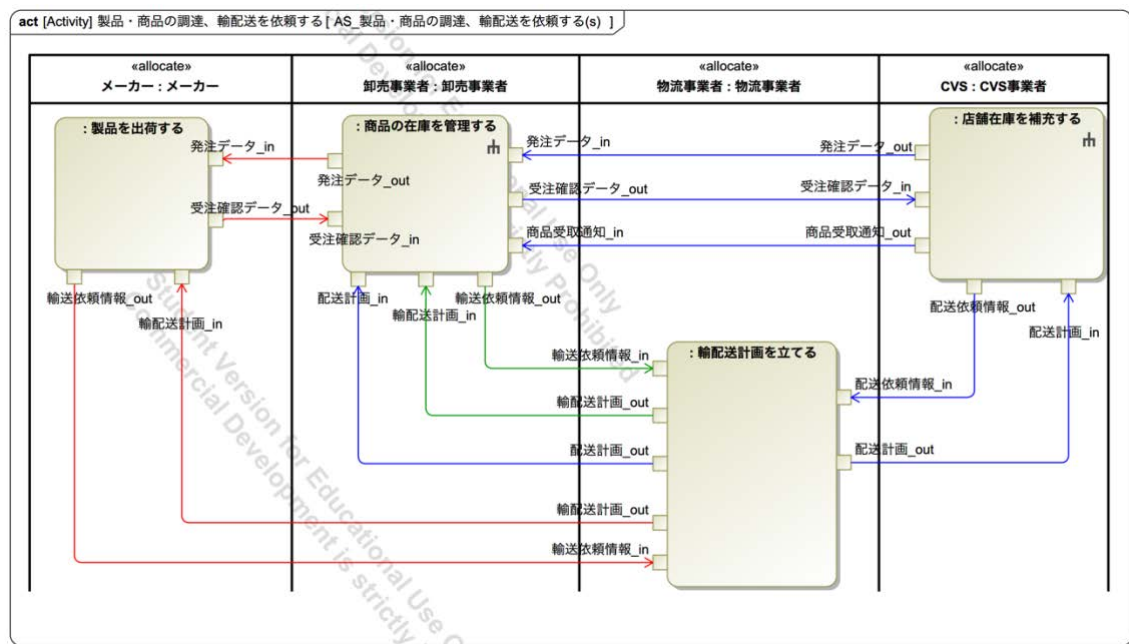


図 2-10 指示・データの流れの観点での単独 CVS チェーンのアクティビティ図(筆者作成)

ベンダー物流では、DCから卸本部へ在庫データおよび出荷状況が送信される。これを
 基に、卸本部はマザーセンターへ出荷指示を行い、同時に物流事業者へ輸送依頼情
 報を送付する(図 2-11)。物流事業者は依頼情報を受け取ると輸送計画を立案し、卸
 売事業者へ送信する。卸売事業者はこれを確認後、発地であるマザーセンターと納品
 先であるDCの両方へ情報を提供する。

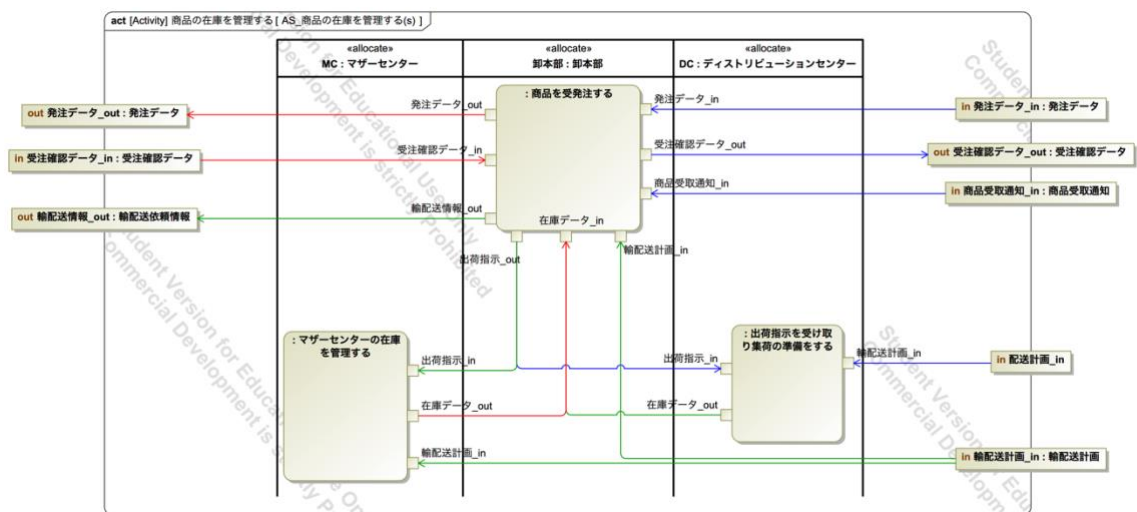


図 2-11 指示・データの流れの観点での卸売事業者のアクティビティ図(筆者作成)

リテール物流は、図 2-12のCVS店舗からCVS本部への商品の発注を起点に行われる。各店舗からの発注情報をCVS本部が集約し、卸売事業者へ発注を行う。この卸売事業者への発注は図 2-11の卸本部が受け取り、卸本部は受注確認データをCVS本部へ送る。図 2-12でCVS本部から出力された配送依頼情報は、図 2-10の物流事業者に入力され物流事業者は配送計画を立てる。この配送計画は、発地である図 2-11のDCと納品先である図 2-12のCVS店舗に送られる。商品がCVS店舗に送られた後、商品受取通知が卸本部へ送られ、リテール物流が完了する。

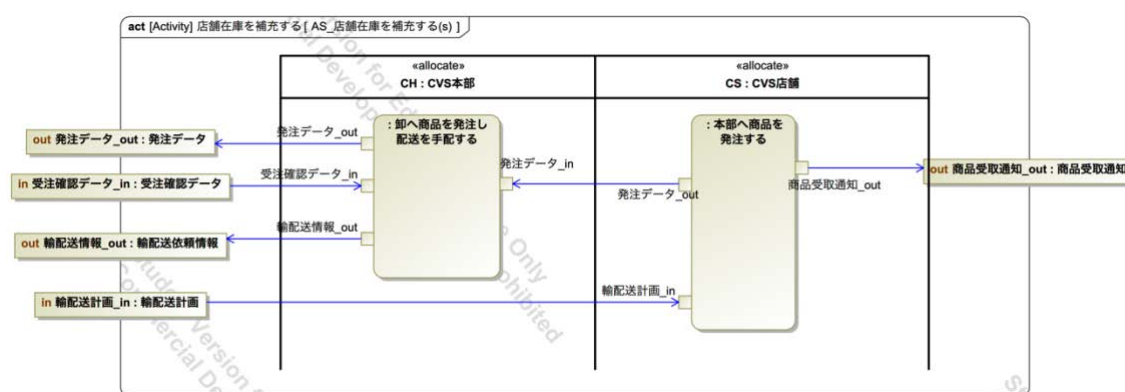


図 2-12 指示・データの流れの観点での CVS 事業者のアクティビティ図(筆者作成)

(2) 指示・データの流れの単独 CVS チェーンの内部構造

指示・データの流れについて、図 2-1 で示した CVS 単独チェーンの在庫型物流で示したブロックのパート間の相互接続とインターフェースを表すものが図 2-13 である。

各構成要素であるメーカーや卸売事業者、物流事業者、CVS 事業者のインターフェースは主に情報のインターフェースとなり IT システムとなり、コネクターはインターネットをはじめとする IT システムのネットワークとなる。メーカーと卸売事業者間の注文のやりとりや、卸売事業者と CVS の注文のやりとりは主に Electronic Data Interchange (EDI) のようなシステムを通じて行われる。

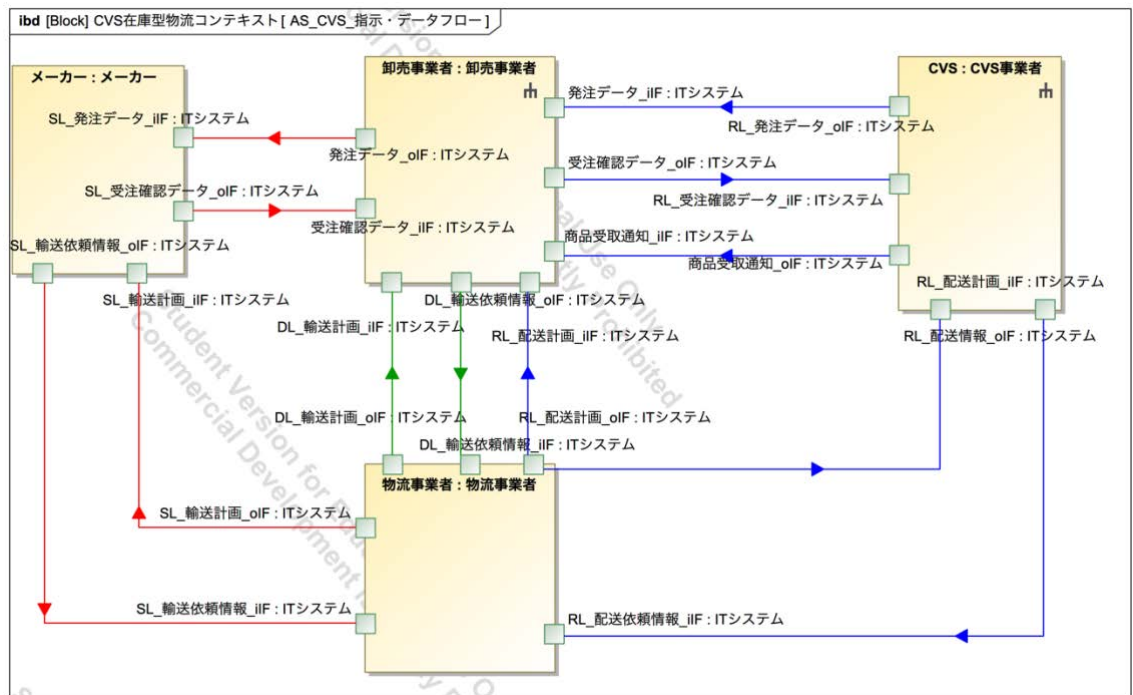


図 2-13 指示・データの流れの観点での単独 CVS チェーンの内部ブロック図 (筆者作成)

図 2-13における卸売事業者とCVS事業者の内容について記述した内部ブロック図は図 2-14と図 2-15である。

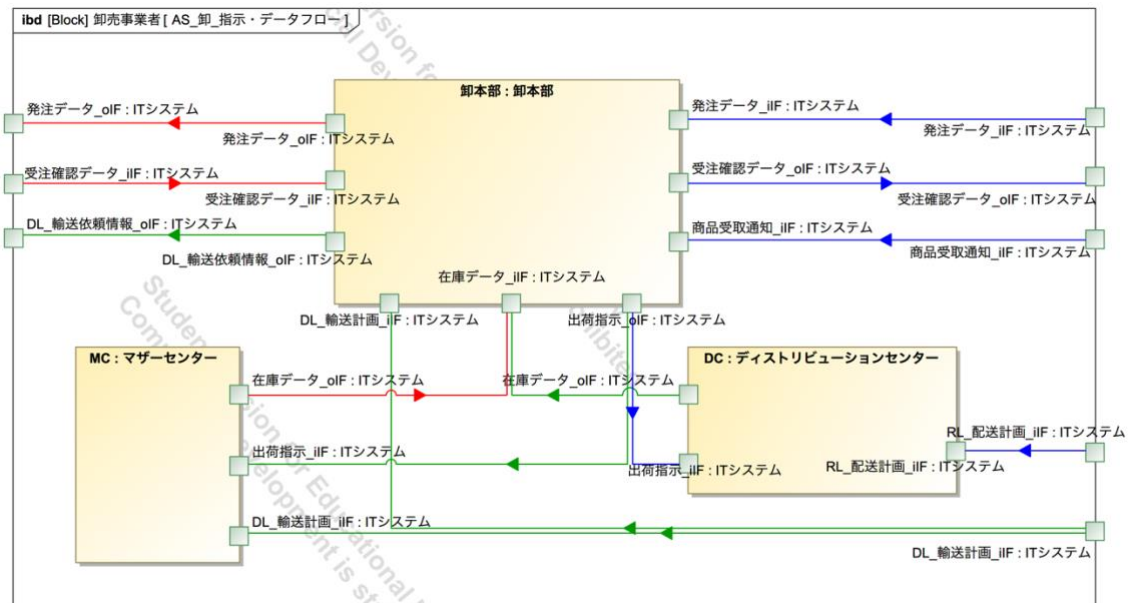


図 2-14 指示・データの流れの観点での卸売事業者の内部ブロック図 (筆者作成)

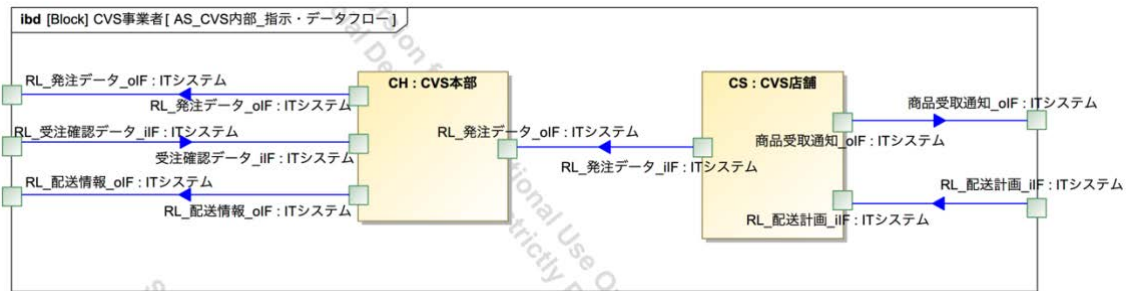


図 2-15 指示・データの流れの観点での CVS 事業者の内部ブロック図(筆者作成)

2.2 現在の複数のコンビニエンスストアチェーンによる共同輸配送

ここまではCVSチェーンが1社の場合の輸配送について述べてきた. 本節では現在行われている共同輸送やSIPでの実験内容を参考に, 複数CVSチェーンによる共同輸配送システムについて記述する.

複数のCVSチェーンによる共同輸配送の構造要素は, メーカー, 物流事業者, 複数のコンビニエンスストアチェーン販売チャネル(MCDC: Multi-Chain CVC Distribution Channel)である(図 2-16). この複数CVSチェーン販売チャネルには商社によって垂直統合された複数の販売チャネルが存在している. ここでは2つのCVS販売チャネル(CDC: CVC Distribution Channel))があるものとする.

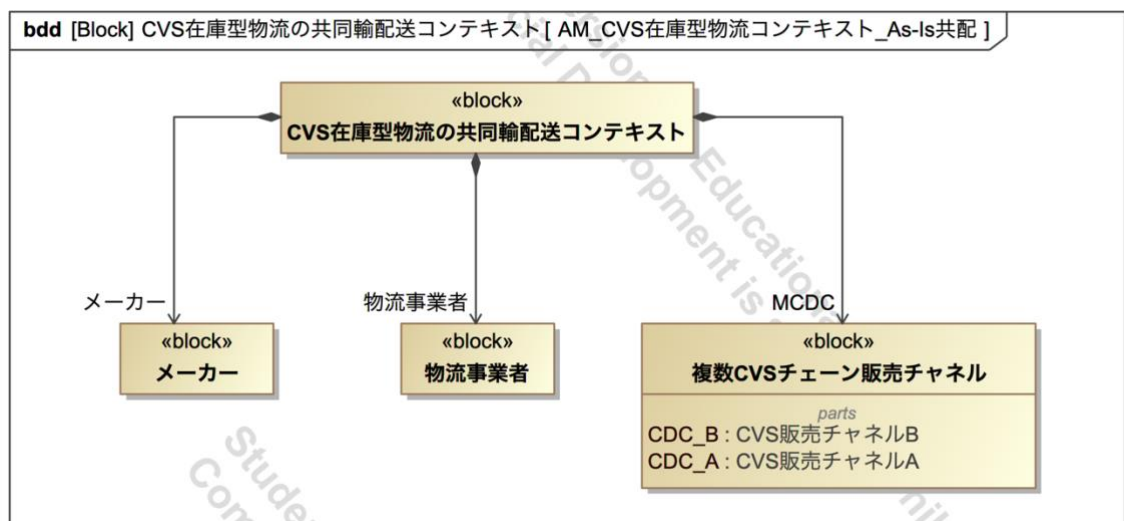


図 2-16 現在の複数 CVS チェーンの共同輸配送のブロック定義図(筆者作成)

CDCはA系統, B系統ともに卸売事業者とCVS事業によって構成されており, A系統のCDCの卸売事業者を卸売事業者A, CVS事業者をCVS事業者Aとする(図 2-17).

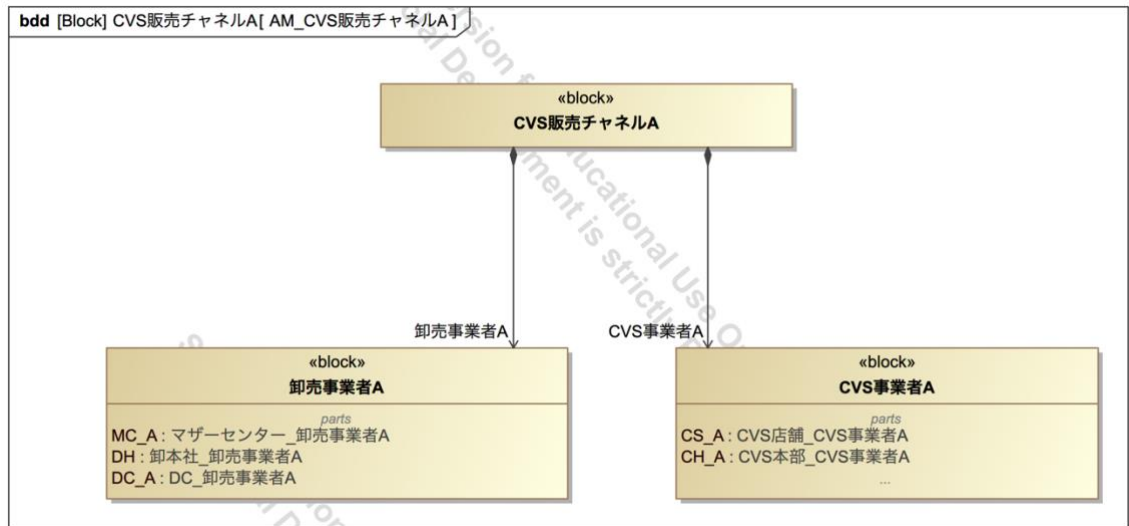


図 2-17 MCDC 内部のブロック定義図(筆者作成)

卸売事業者AとCVS事業者Aについては, 2.1と同様, 図 2-18, 図 2-19の構成となっており, B系統のCDCについてもA系統のCDCと同様の構成になっているものとする

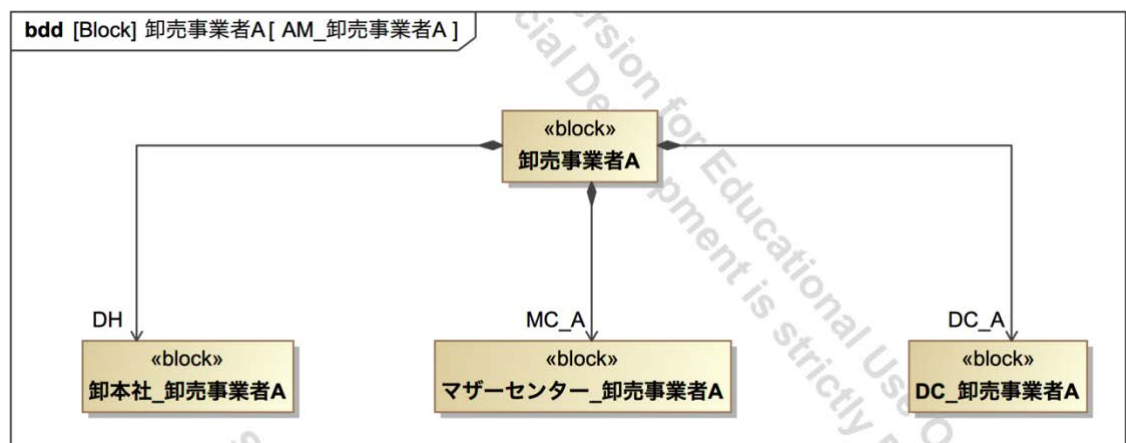


図 2-18 卸売事業者 A のブロック定義図(筆者作成)

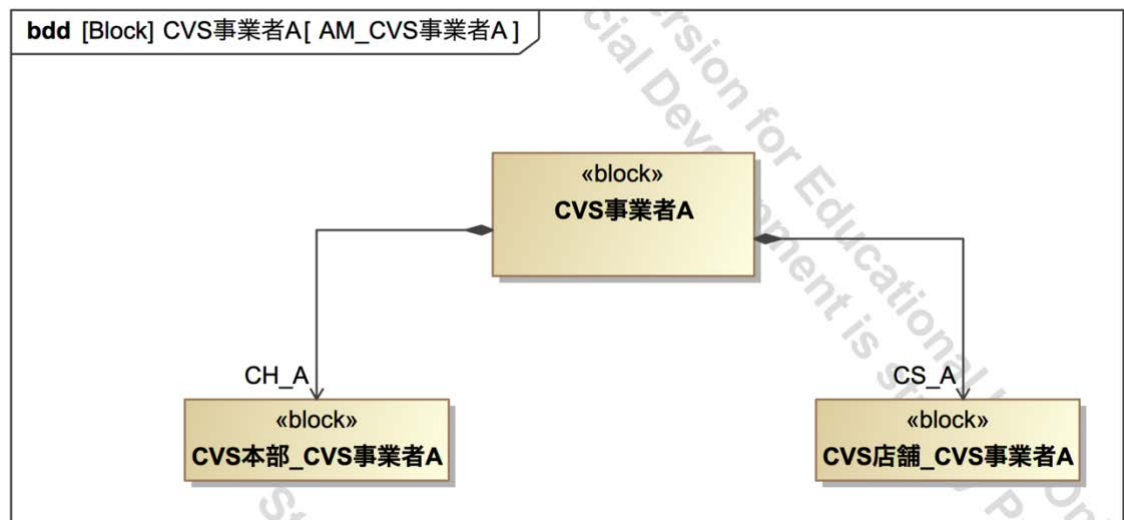


図 2-19 CVS 事業者 A のブロック定義図(筆者作成)

以下, 2.1.1から2.2.3にかけて, 2.1と同様, 商流, トラックの流れ, 指示・データの流れに分けて説明する.

2.2.1 商品の流れと商流

ここでは商品の流れや商流の観点からシステムの振る舞いについて記述した後に, 図 2-16~図 2-19で定義したブロックのパート間の相互接続やインターフェースについて記述する.

(1) 商品の流れの観点でのシステムの振る舞い

A) 商品の流れの観点でのメーカーと MCDC の振る舞い

メーカーとMCDC間の商品の流れを示したものが図 2-20である. さらにMCDCの内部の商流を図 2-21 で表している. 図 2-20でメーカーから商品がMCDCに流れている.

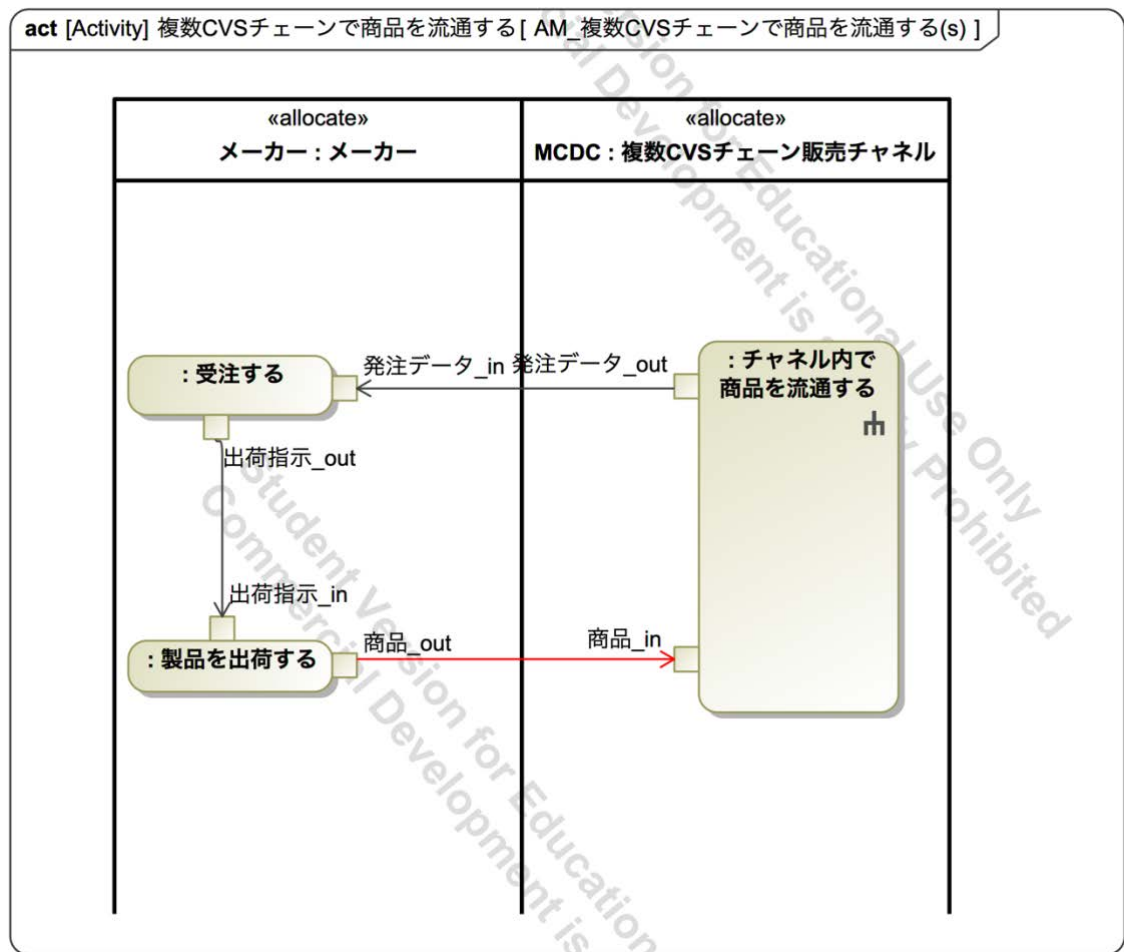


図 2-20 商品の流れの観点での複数 CVS チェーン共同輸配送のアクティビティ図(筆者作成)

B) 商品の流れの観点での MCDC 内部の振る舞い

次に、MCDC内部の振る舞いについて記述する。図 2-21で表した通りCDCごとに商品が運ばれており、CDC間での商品の交換は行われない。これは商流でも同様で、例えばセブン-イレブンで抱えている在庫をローソンに提供することはない。

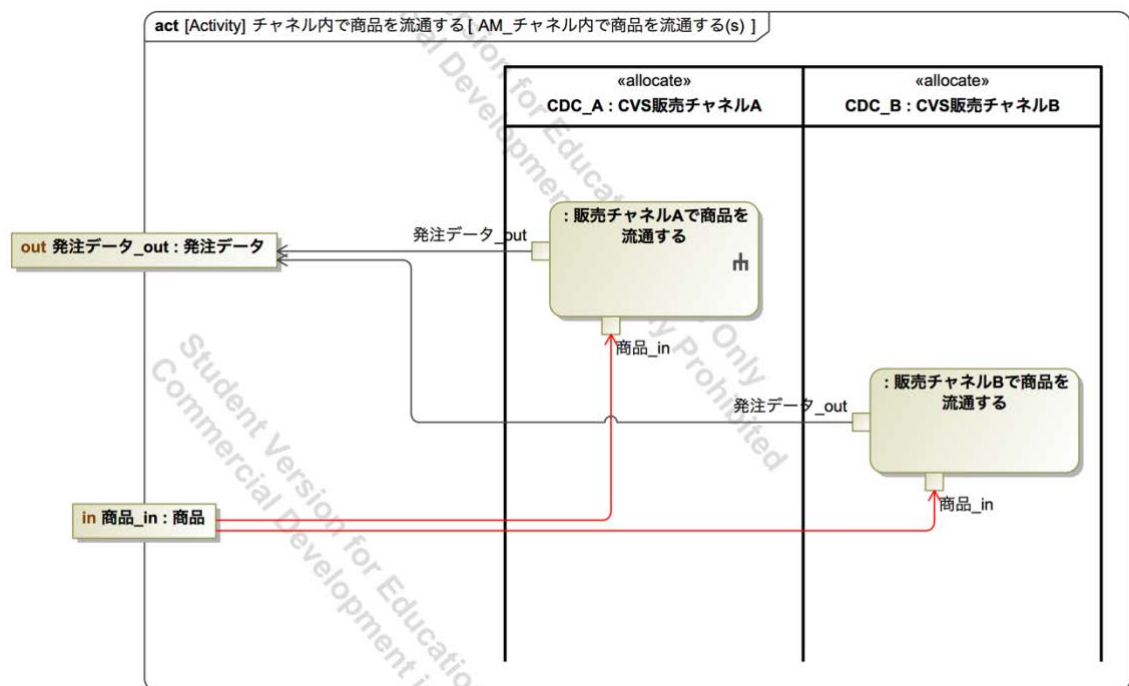


図 2-21 商品の流れの観点での MDCD 内部のアクティビティ図(筆者作成)

C) 商品の流れの観点での CDC 内部の振る舞い

Aシステム内部のCVS販売チャンネル(CDC)内部の商品の流れについて記述する。これは、内部システムである卸売事業者AとCVS事業者Aの振る舞いについて述べたものが、図 2-22 および図 2-23である。卸売事業者はメーカーに対して発注を行いメーカーからの商品を受け取り、卸売事業者はCVS事業者からの発注によって商品を出荷する(図 2-22)。さらに卸売事業者内部の振る舞いとして、メーカーから出荷された商品はマザーセンターに運ばれる場合とDCに運ばれる場合がある。また、基本的にはCVS店舗への配送はDCから行われる。このため、マザーセンターからDCへの商品の移動も行われる。この卸売事業者の在庫拠点間あるいは在庫拠点からCVS店舗への出荷には、出荷指示によって行われる(図 2-23)。

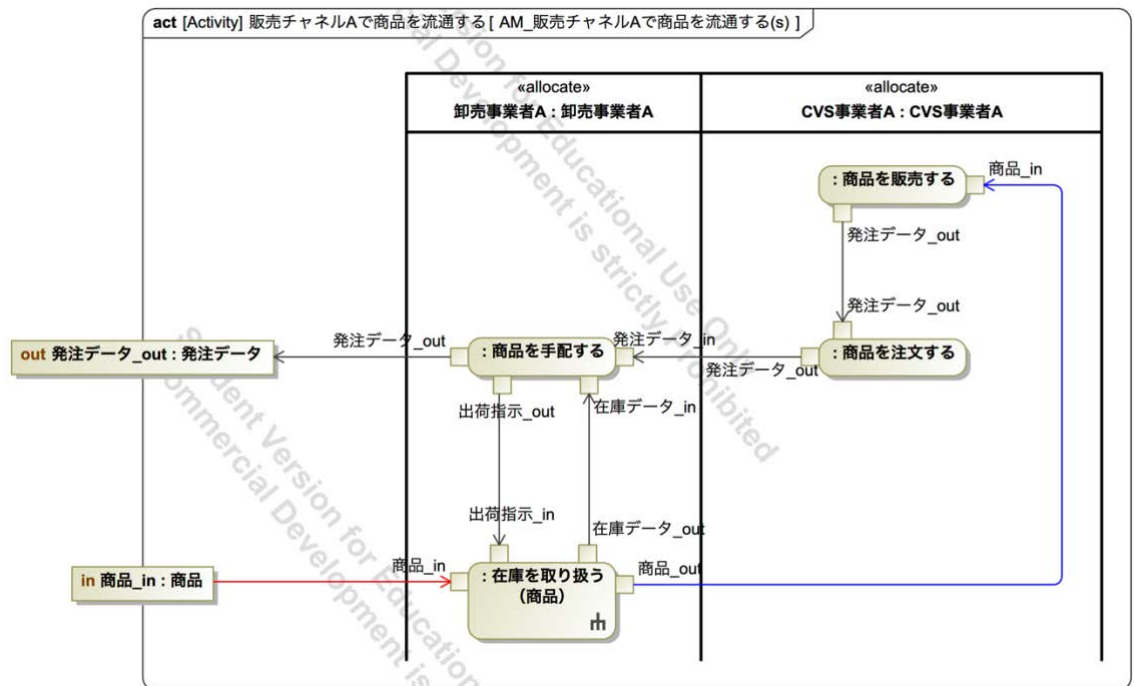


図 2-22 商品の流れの観点での A 系統 CDC のアクティビティ図(筆者作成)

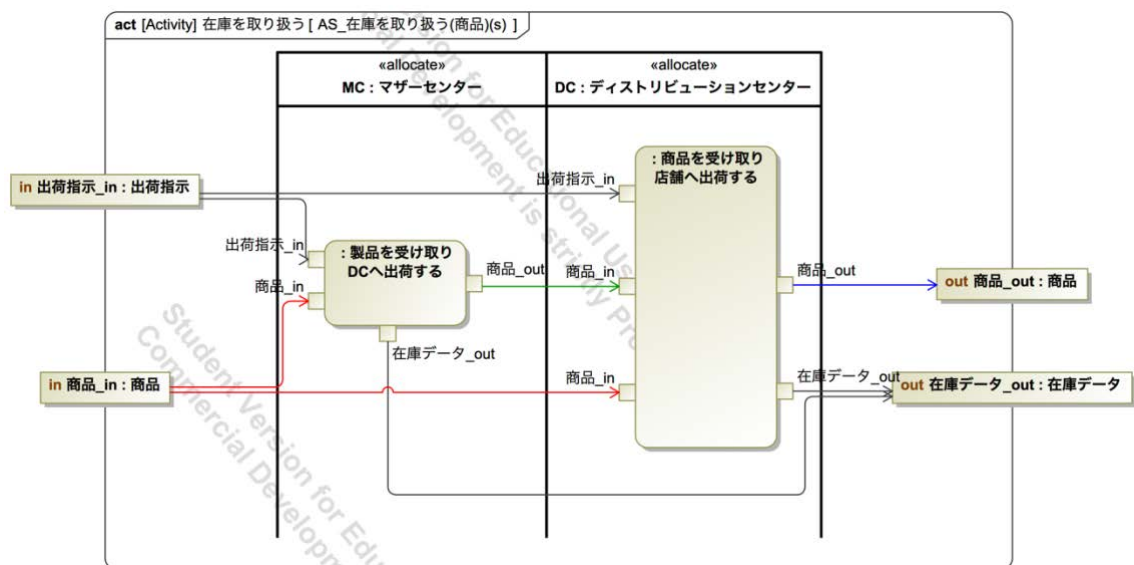


図 2-23 商品の流れの観点での卸売事業者 A のアクティビティ図(筆者作成)

(2) 商品の流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部構造

A) 商品の流れの観点での複数 CVS チェーンによる共同輸配送

複数のCVSチェーンによる共同輸配送について、商品の流れの観点でコンテキストレベルでの内部構造を示したものが、図 2-24である。このダイアグラムでは物理的な商品の流れを示しているため、各ポートは倉庫内の作業員となり、各ポート間のコネクタ上を流れるアイテムフローについては、色付きのコネクタは商品となる。



図 2-24 商品の流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部ブロック図(筆者作成)

B) 商品の流れの観点での MCDC 内部構造

図 2-24に記述のあるMCDCの内部構造について記述したものが図 2-25 である。

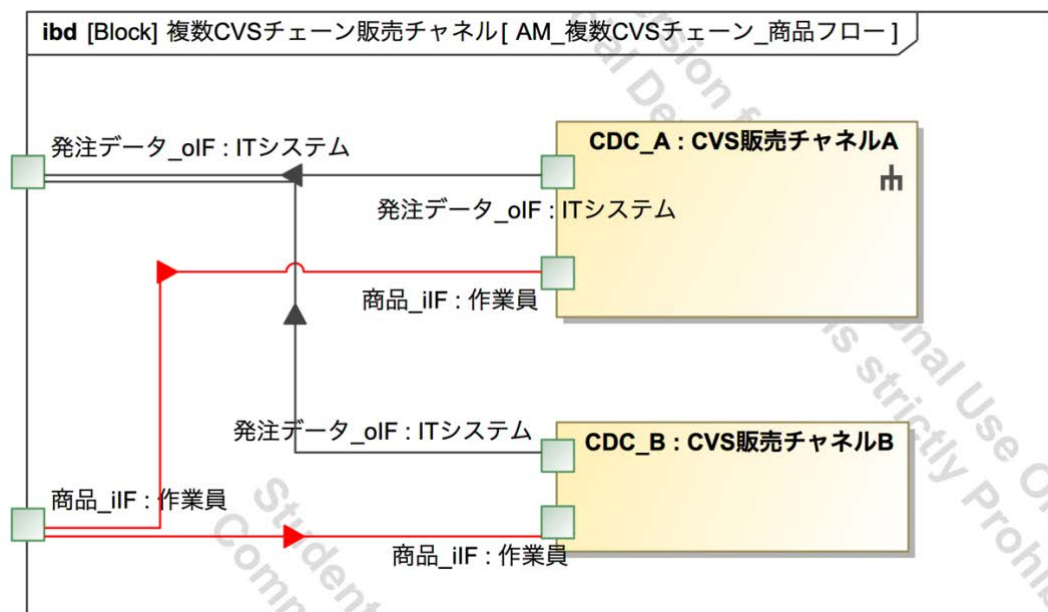


図 2-25 商品の流れの観点での MCDC の内部ブロック図(筆者作成)

メーカーはCDCへそれぞれ商品を送っているため、アイテムフローは商品となる。これらの商品をインターフェースとなるのはそれぞれの作業員となる。

C) 商品の流れの観点での CDC の内部構造

図 2-25のA系統のCDC (CDC_A) の内部について記述した内部ブロック図が図 2-26である。さらに内部の卸売事業者Aの内部について記述したものが図 2-27である。CVS事業者の商品の受け取り拠点は店舗のため、インターフェースはコンビニ店員となっているが、メーカーからの出荷や卸売事業者の入出荷はバースで行われるため、作業員がインターフェースとなっている(図 2-26)。

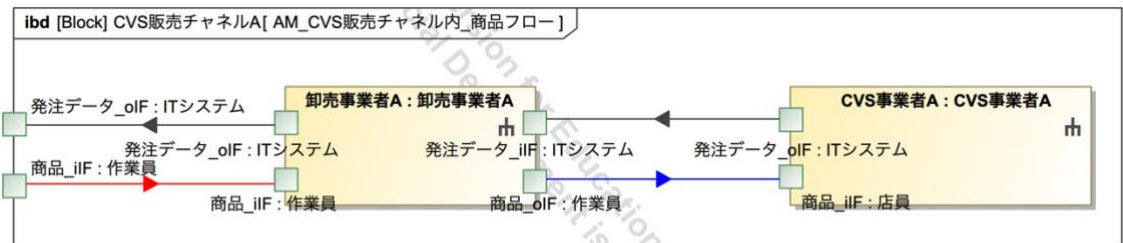


図 2-26 商品の流れの観点での A 系統 CDC の内部ブロック図(筆者作成)

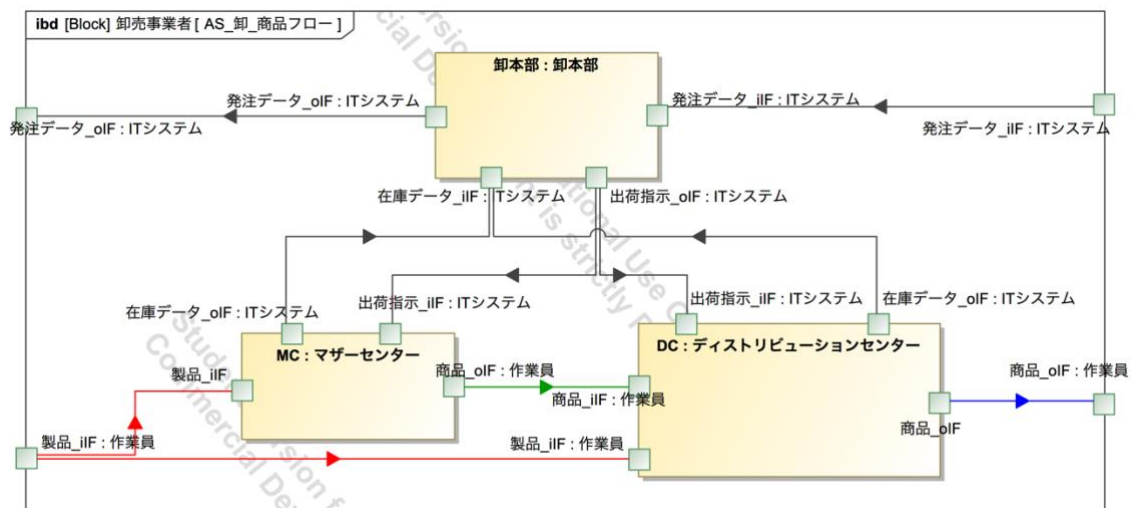


図 2-27 商品の流れの観点での卸売事業者 A の内部ブロック図(筆者作成)

2.2.2 トラックの流れ

(1) トラックの流れの観点でのシステムの振る舞い

A) トラックの流れの観点でのメーカーと MCDC の振る舞い

トラックの流れの観点での複数 CVS チェーンによる共同輸配送について、まずは図 2-16 を元に、メーカー、物流事業者、MCDC の 3 者の振る舞いについて図 2-28 で示す。CVS 単体の物流を表した図 2-6 と比較をすると、メーカー物流については同様であり、卸売事業者と CVS 事業者についてもこれらは MCDC に含まれているため物流事業者とのやりとりについては同様である。物流事業者はトラックの流れを管理しており、メーカーや MCDC に対して空荷トラックを送り、輸配送を終えた空荷トラックを迎え入れている。また、メーカーは、物流事業者から来る空荷トラックを迎え入れ、荷物を積載したトラックを MCDC へ送り出す。

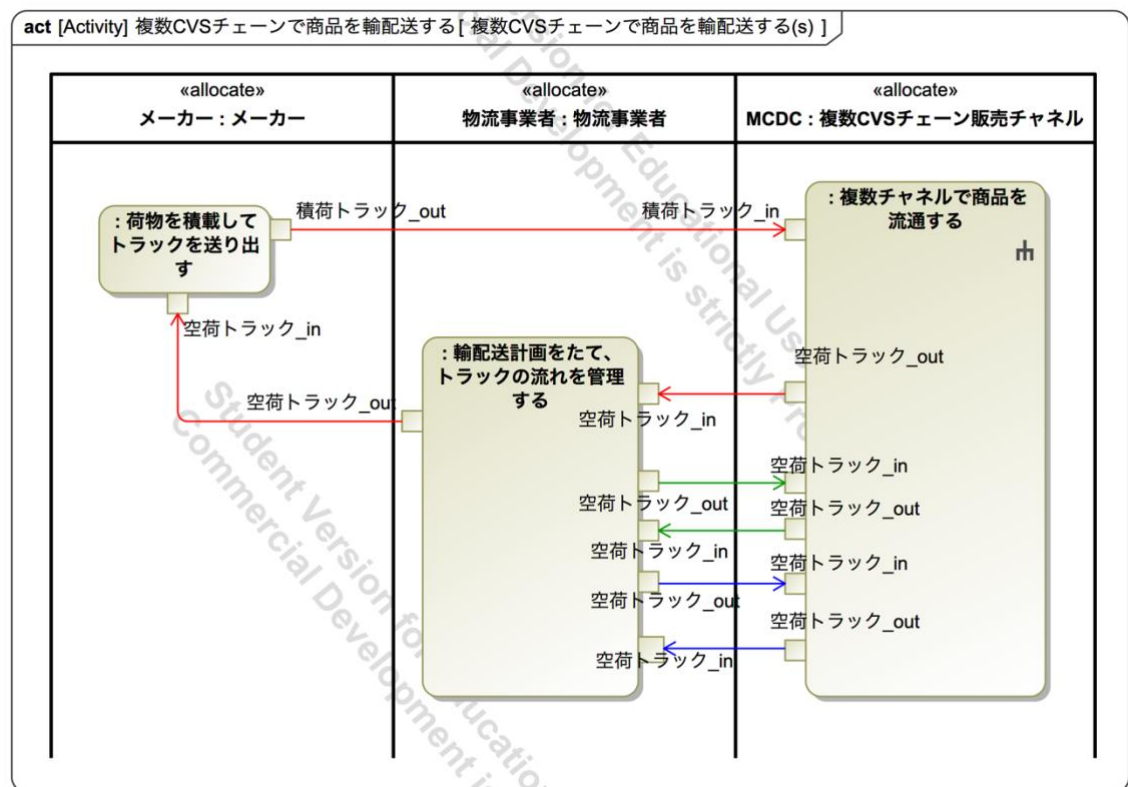


図 2-28 トラックの流れの観点での複数 CVS チェーンの共同輸配送のアクティビティ図(筆者作成)

B)トラックの流れの観点での MCDC の振る舞い

図 2-28で示されているMCDCの振る舞いである「複数チャネルで商品を輸配送する」について、この内部の振る舞いを記述したものが図 2-29である。

MCDC内部のトラックの流れについて、図 2-29では、A系統のCDC (CDC-A)とB系統のCDC (CDC-B)間でのトラックの流れについて記述しており、各CDCはトラックを受け入れ自チャネルの荷物を積み下ろしするため、振る舞いは「チャネルAの商品を積みおろす」「チャネルBの商品を積みおろす」としている。以下に説明するパターンが反映されている。

- ・ メーカー物流

メーカーから来る積荷トラックがMCDCを空荷トラックとして出て行くまでには、CDC-AまたはCDC-Bの内部で完結しているパターンと、CDC-AとCDC-Bの両方に向かうパターンがある。

- ・ ベンダー物流

ベンダー物流は、マザーセンターからDCへの輸送である。CDC-Aのマザーセンターをマザーセンター-A、DCをDC-A とし、CDC-BのマザーセンターとDCをそれぞれマザーセンター-B、DC-Bとする。この時、CDC-AもしくはCDC-B内部でのみトラックが移動する場合に加えて、下記のパターンが存在する。このようにCDC-AとCDC-B間では積載トラックの移動が発生する。

- マザーセンター-A → マザーセンター-B → DC-A → DC-B
- マザーセンター-A → マザーセンター-B → DC-B → DC-A
- マザーセンター-B → マザーセンター-A → DC-A → DC-B
- マザーセンター-B → マザーセンター-A → DC-B → DC-A

- ・ リテール物流

リテール物流は、DC-AおよびDC-Bから、A系統・B系統のCVS店舗 (CVS-A、CVS-B) への配送である。この時、CDC-AおよびCDC-Bの内部のみでトラックが移動する場合に加えて、下記のパターンが存在する。

- DC-A → DC-B → CVS-A → CVS-B
- DC-A → DC-B → CVS-B → CVS-A
- DC-B → DC-A → CVS-A → CVS-B
- DC-B → DC-A → CVS-B → CVS-A

店舗からDCへ荷物の集荷に向かう場合があるため、下記のパターンが追加される。

- CVS-A → DC-A
- CVS-A → DC-B
- CVS-B → DC-A
- CVS-B → DC-B

このトラックの流れの複雑性はA系統のCDCとB系統のCDCの拠点が分かれている、それぞれが独立した物流網を持つことに起因する。拠点が別々に存在する中で、トラックのみの共同化を行った結果、経由地点が増えることに繋がりトラックの流れが複雑化している。ここから、お互いのCVS店舗を除く物流拠点の共同化がトラックの流れの複雑性を取り除くのではないかという一つの示唆が得られる。これはフィジカルインターネット(PI)におけるPIハブの発想に近いものである。

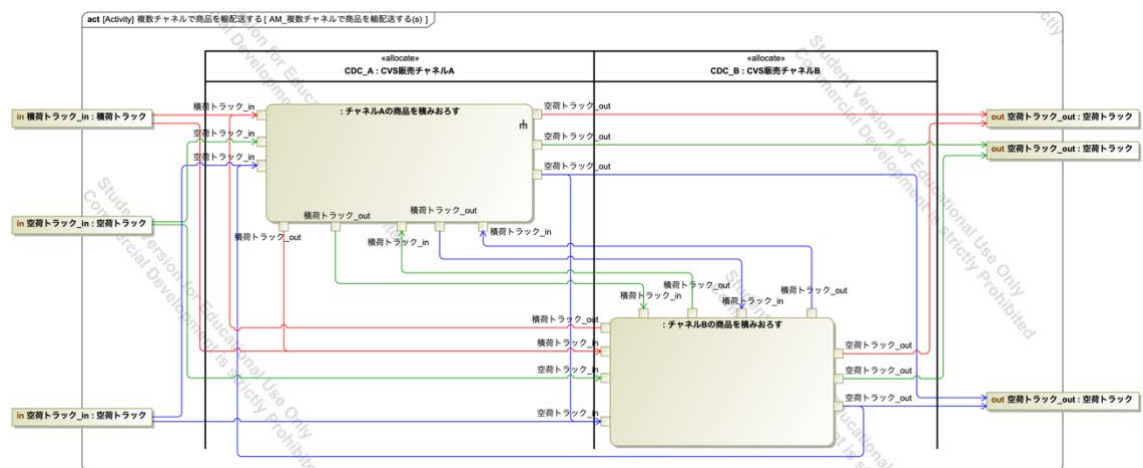


図 2-29 トラックの流れの観点での MCDC 内部の振る舞い(筆者作成)

C) トラックの流れの観点での CDC の振る舞い

図 2-29ではそれぞれのチャンネルごとに独立した拠点によって、トラックの流れが複雑化している示唆が得られた。次に、この中の一つのアクティビティである「チャンネルAの商品を積みおろす」について、内部の振る舞いを示したものが図 2-30である。

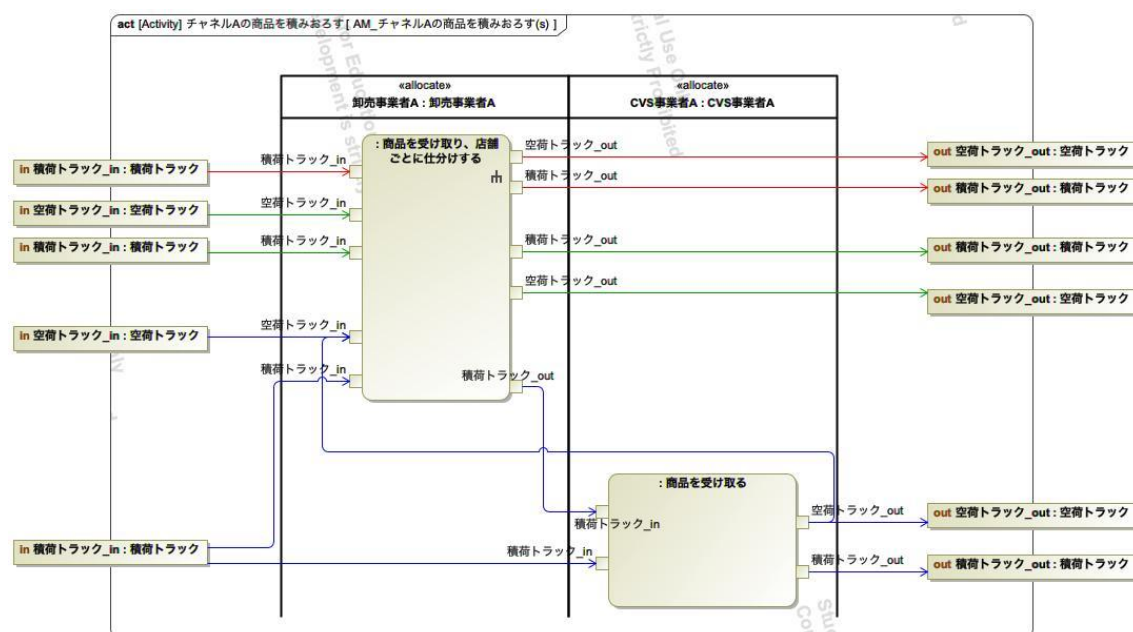


図 2-30 トラックの流れの観点での CDC のアクティビティ図(筆者作成)

CDC内部は図 2-17に記述の通り、卸売業者とCVS事業によって構成されている。以下の図はCDC-Aについて記述したものであり、卸売事業者を卸売事業者A、CVS事業者をCVS事業者Aとしている。

振る舞いについて、2.1.2の図 2-6および図 2-7で説明した単独のCVSチェーンでの輸配送におけるトラックの流れとの差異について説明する。卸売事業者とCVS事業者の振る舞いについては変更が共同輸配送になったことによる変更はないが、トラックの流れについては違いがある。

メーカー物流においては、卸事業者Aで商品を下ろした後に別の卸売事業者へ輸送するケースがあるため、積荷トラックが卸売事業者から出ていく場合が考えられる。次に、ベンダー物流であるが、こちらは他の卸売事業者を経由し卸売事業者Aに来る場合

や、卸売事業者Aを出発し他の卸売事業者へ向かう場合があるため、積荷トラックの入出力が追加されている。最後にリテール物流だが、こちらはベンダー物流と同様の理由で積荷トラックの入出力が追加されている。

D) トラックの流れの観点での卸売事業者の振る舞い

卸売事業者内部のトラックの流れについて、振る舞いについて表したものが図 2-31であり、マザーセンターおよびDCの振る舞いについて記述している。各センターは商品の受け取りやトラックへの積載を担っている。マザーセンターはベンダー物流の起点となるため、DCごとに商品を仕分けしている。また、DCではCVS店舗へ配送を行う拠点であるため、店舗ごとに商品を積載する。

メーカー物流、ベンダー物流において複数事業者の拠点への輸送があるため、積荷トラックが卸売事業外へ出力されるケースがある。また、リテール物流について、他事業者のDCや店舗を経由し自社のDCへトラックが入力されるケースがあり、空荷トラックと積荷トラックのいずれもDCへのインプットとなりうる。これらの内容は、図 2-31に反映されている。

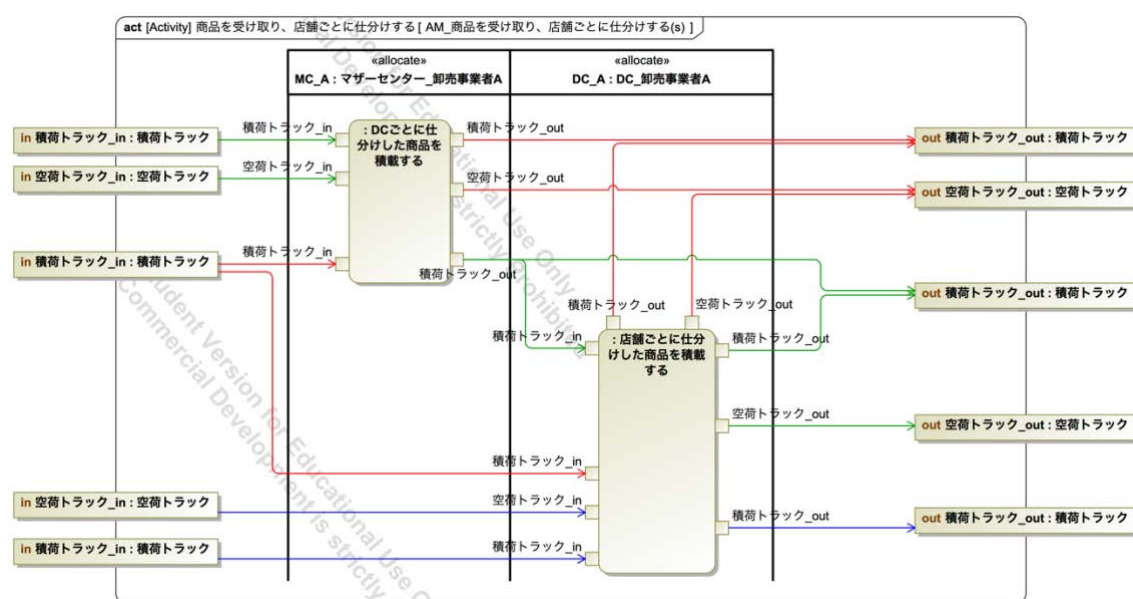


図 2-31 トラックの流れの観点での卸売事業者内部のアクティビティ図(筆者作成)

(2)トラックの流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部構造

A)トラックの流れの観点での複数 CVS チェーンによる共同輸配送

トラックの流れの観点で複数のCVSチェーンによる共同輸配送について、コンテキストレベルでの内部構造を示したものが図 2-32である。ブロックのパート間の相互接続とポートについて示している。ここではポートでトラックの状態も併せて示しており、空荷トラックと積荷トラックを区別して記述している。また、メーカー物流、ベンダー物流、リテール物流ごとに物流の種類についても区別して記載している。

各パートのポートはトラックの出発地・停車地となる。2.1.2にて記述しているものと同様、倉庫ではバースで荷物の積み卸しを行うため、メーカー物流とベンダー物流については主にバースがポートとなる。CVS店舗については駐車場やあるいは都市部の店舗であれば路上への駐車となるため、コンビニ駐車場や路上がポートとなる。

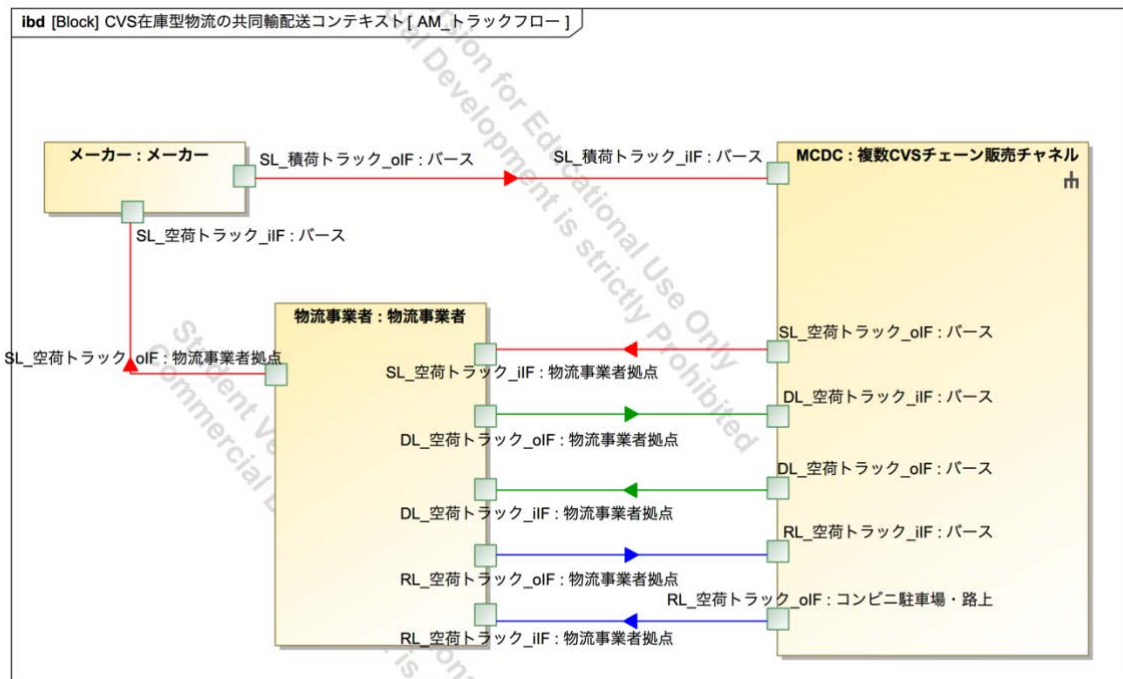


図 2-32 トラックの流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部ブロック図(筆者作成)

B)トラックの流れの観点での MCDC 内部構造

図 2-33は図 2-32のMCDCの内部構造について表したものである。 商社系統ごとの CDCが含まれ、ここではA系統のCDCとB系統のCDCとしている。 この中のコネクタについては図 2-29と同様、下記のパターンが存在しており、それらを反映させたものである。

- ・ メーカー物流

メーカーから来る積荷トラックがMCDCを空荷トラックとして出て行くまでには、CDC-AまたはCDC-Bの内部で完結しているパターンと、CDC-AとCDC-Bの両方に向かうパターンがある。

- ・ ベンダー物流

ベンダー物流は、マザーセンターからDCへの輸送である。 CDC-Aのマザーセンターをマザーセンター-A, DCをDC-A とし, CDC-BのマザーセンターとDCをそれぞれマザーセンター-B , DC-Bとする。 この時, CDC-AもしくはCDC-B内部でのみトラックが移動する場合に加えて, 下記のパターンが存在する。 このようにCDC-AとCDC-B間では積載トラックの移動が発生する。

- マザーセンター-A → マザーセンター-B → DC-A → DC-B
- マザーセンター-A → マザーセンター-B → DC-B → DC-A
- マザーセンター-B → マザーセンター-A → DC-A → DC-B
- マザーセンター-B → マザーセンター-A → DC-B → DC-A

- ・ リテール物流

リテール物流は, DC-AおよびDC-Bから, A系統・B系統のCVS店舗(CVS-A, CVS-B)への配送である。 この時, CDC-AおよびCDC-Bの内部のみでトラックが移動する場合に加えて, 下記のパターンが存在する。

- DC-A → DC-B → CVS-A → CVS-B
- DC-A → DC-B → CVS-B → CVS-A
- DC-B → DC-A → CVS-A → CVS-B

- DC-B → DC-A → CVS-B → CVS-A

店舗からDCへ荷物の集荷に向かう場合があるため、下記のパターンが追加される。

- CVS-A → DC-A
- CVS-A → DC-B
- CVS-B → DC-A
- CVS-B → DC-B

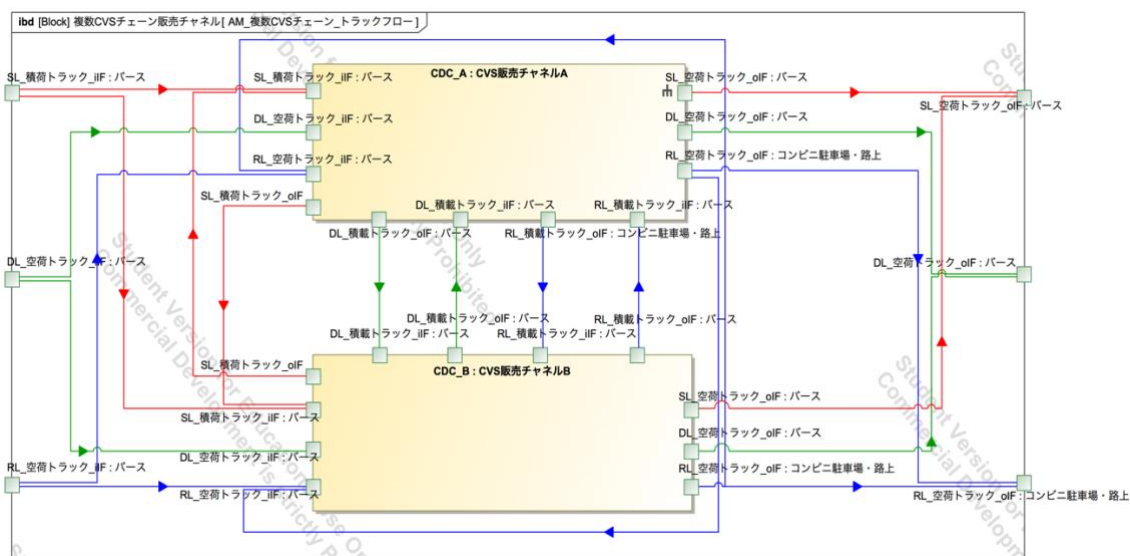


図 2-33 トラックの流れの観点での MCDC の内部ブロック図(筆者作成)

C) トラックの流れの観点での CDC の内部構造

図 2-33におけるA系統のCDC内部について内部構成を記述したものが図 2-34である。なお、B系統のCDCについてはA系統と同様の内容となる。トラックの流れについては、図 2-30の説明で述べたとおり、単独CVSチェーンでの在庫型物流(図 2-6)と類似したものであるものの、B系統の卸売事業者拠点経由、あるいはCVS店舗経由でのトラックの出入りがあるため、図 2-34ではそのトラックの流れが反映されている。

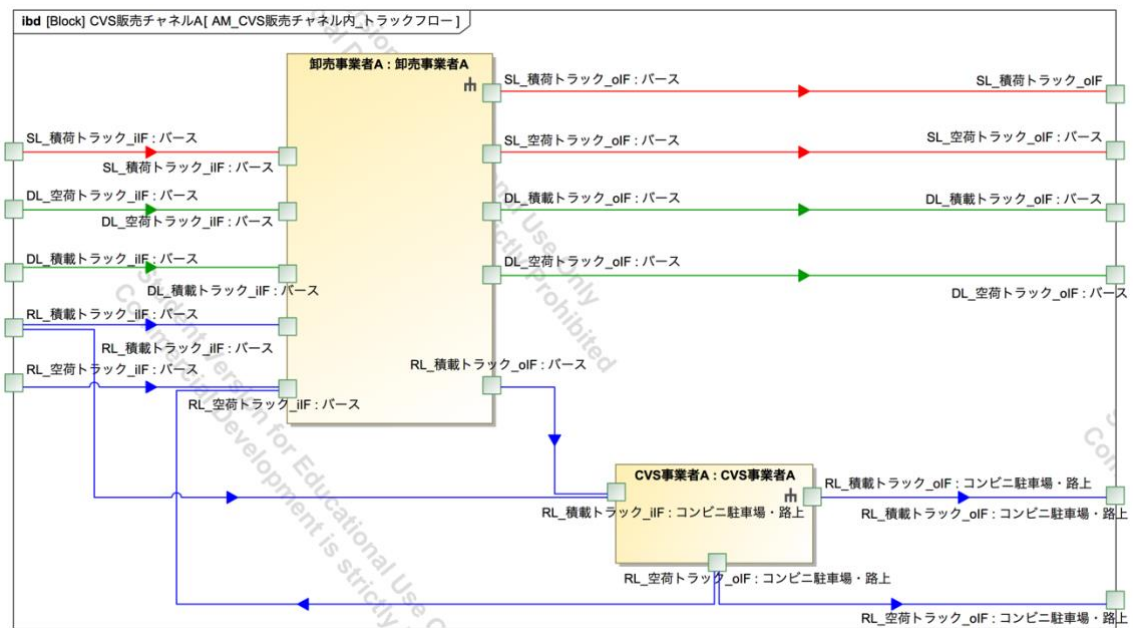


図 2-34 トラックの流れの観点での CDC の内部ブロック図(筆者作成)

D) トラックの流れの観点での卸売事業者の内部構造

図 2-34に記述されている卸売事業者Aの内部構造を示したものが図 2-35である。本節でのトラックの流れについて記述している内容と同様、単独CVSチェーンでのトラックの流れに加えて、複数CVSチェーンでのトラックの流れであるためにベンダー物流とリテール物流は他のCDCからのトラックの出入りが反映されたダイアグラムとなっている。具体的には、下記のパターンが存在する。

- ・ ベンダー物流
 - マザーセンター_A → マザーセンター_B → DC_A → DC_B
 - マザーセンター_A → マザーセンター_B → DC_B → DC_A
 - マザーセンター_B → マザーセンター_A → DC_A → DC_B
 - マザーセンター_B → マザーセンター_A → DC_B → DC_A
- ・ リテール物流
 - DC_A → DC_B → CVS店舗_A → CVS店舗_B
 - DC_A → DC_B → CVS店舗_B → CVS店舗_A
 - DC_B → DC_A → CVS店舗_A → CVS店舗_B

- DC_B → DC_A → CVS店舗_B → CVS店舗_A

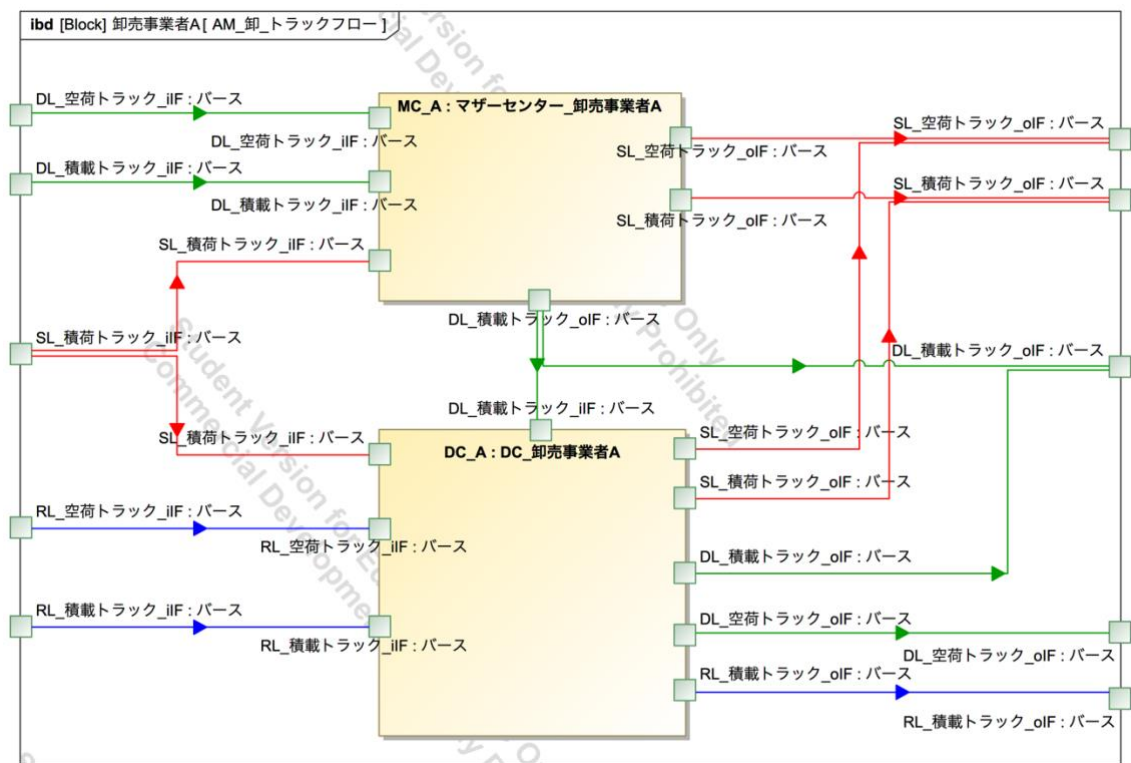


図 2-35 トラックの流れの観点での卸売事業者の内部ブロック図(筆者作成)

ここまで記述した内容が、共同輸配送でのトラックの流れである。

2.2.3 指示・データの流れ

(1) 指示・データの流れの観点でのシステムの振る舞い

A) 指示・データの流れの観点でのメーカーと MCDC の振る舞い

次に、指示・データの流れについて記述していく。ここで主にやり取りされる情報は、発注に関する情報、輸配送に関する情報、在庫に関する情報となる。最初に、メーカー、物流事業者、MCDCによる3者の振る舞いについて説明する。

メーカー物流について、MCDCからの発注データを受け取ったメーカーはMCDCに発注内容の確認を行う。さらにメーカーは輸送依頼情報を物流事業者へ送り、物流事

業者は輸送依頼情報をもとに輸送計画を策定し、メーカーへ送付する。

ベンダー物流、リテール物流では、MCDCから輸送依頼情報、配送依頼情報が物流事業者へ送られ、物流事業者は輸送計画、配送計画を策定しMCDCへ送付する。ベンダー物流やリテール物流は予め想定物量を元に輸配送ルートが定められているため、輸送計画や配送計画では実際に輸配送を行うトラックのナンバーや担当ドライバーの情報が更新され、やり取りされる形となる。これらについて示されているのが図 2-36 となる。

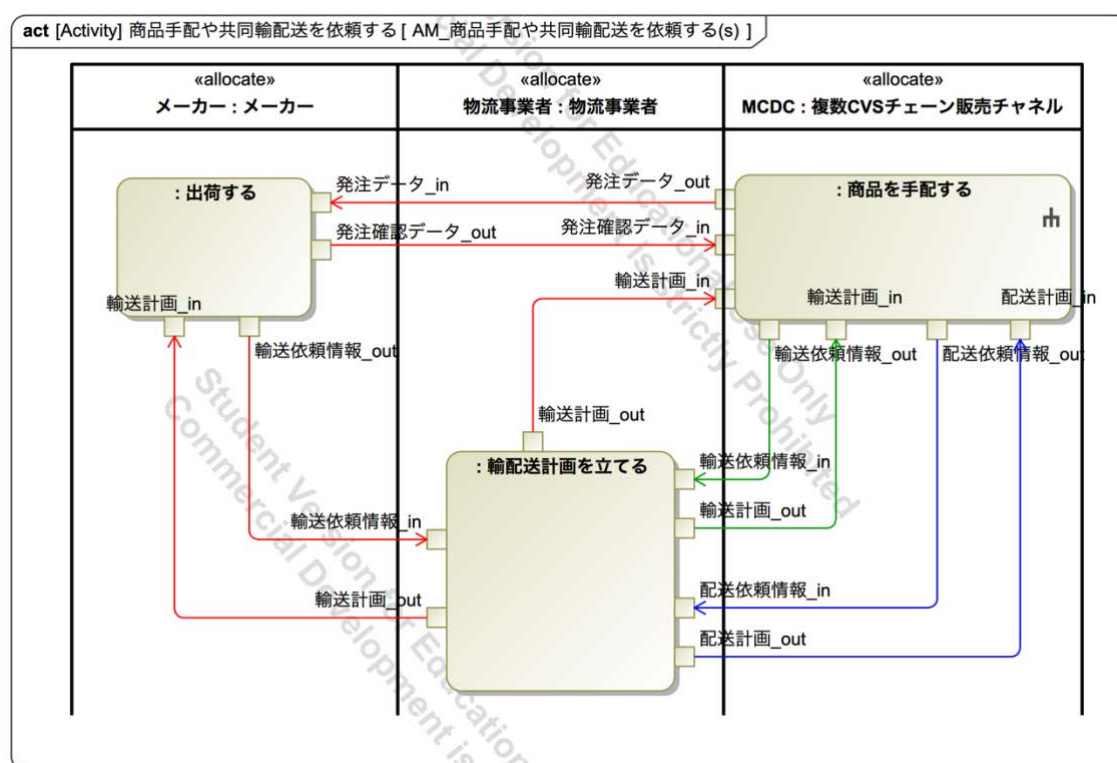


図 2-36 指示・データの流れの観点での複数 CVS チェーンの共同輸配送のアクティビティ図(筆者作成)

B) 指示・データの流れの観点での MCDC の振る舞い

図 2-36のMCDCの振る舞いである「商品を手配する」の内部の振る舞いについて記述したものが図 2-37である。ここまで述べたように、商品の流れはCDCの系統ごとに独立しており、また商流についてもCDCごとに異なるためCDCごとにメーカーへ手配を行う。また拠点もそれぞれ独立した倉庫や店舗のような拠点を有しているため、輸配送依頼

もCDCごとに行うことになる。したがって、指示やデータのやり取りも各CDCごとに独立したものとなる。これらの振る舞いについてまとめたものが図 2-37である。

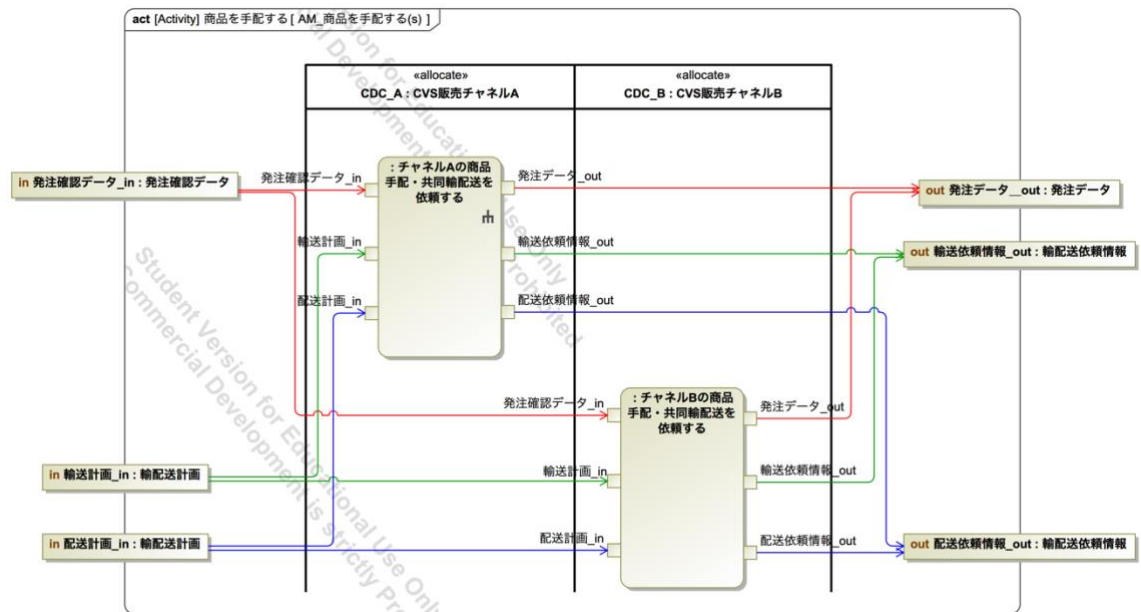


図 2-37 指示・データの流れの観点での MCDC 内部のアクティビティ図(筆者作成)

C) 指示・データの流れの観点での CDC の振る舞い

図 2-37のCDC内部の振る舞いである「チャネルAの商品の手配・共同輸配送を依頼する」の内部の振る舞いについて図 2-38で示す。チャネルBはチャネルAと同様となる。

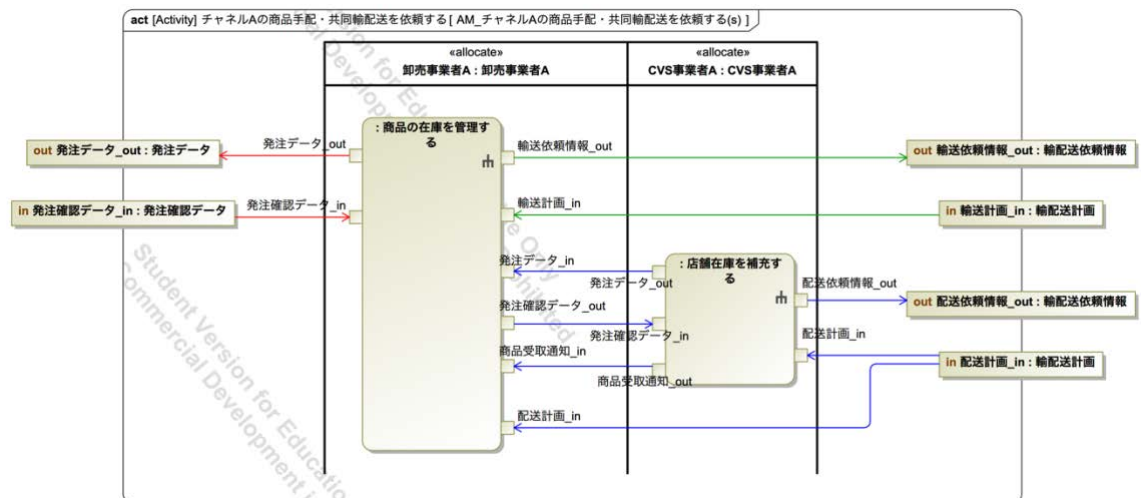


図 2-38 指示・データの流れの観点での CDC のアクティビティ図(筆者作成)

単独CVSチェーンでの指示・データの流れの観点でのアクティビティ図(図 2-10)に対して、共同輸配送になることで新たにやり取りするデータに違いはない。したがって、卸売事業者Aの振る舞いの内部については図 2-11, CVS事業者Aの振る舞いの内部については図 2-12と同様となる。

(2) 指示・データの流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部構造

A) 指示・データの流れの観点での複数 CVS チェーンによる共同輸配送

次に図 2-16で示した複数のCVS単独チェーンの共同輸配送のブロックのパート間の相互接続とインターフェースについて記述する。やり取りされる指示やデータは全てITシステム上でやり取りされる。したがって、各パートのインターフェースはEDI(Electronic Data Interchange)をはじめとしたITシステムとなる。またこのパートは多くの場合で異なる企業であるため、各パートを繋ぐコネクタはインターネットのようなネットワークとなる。

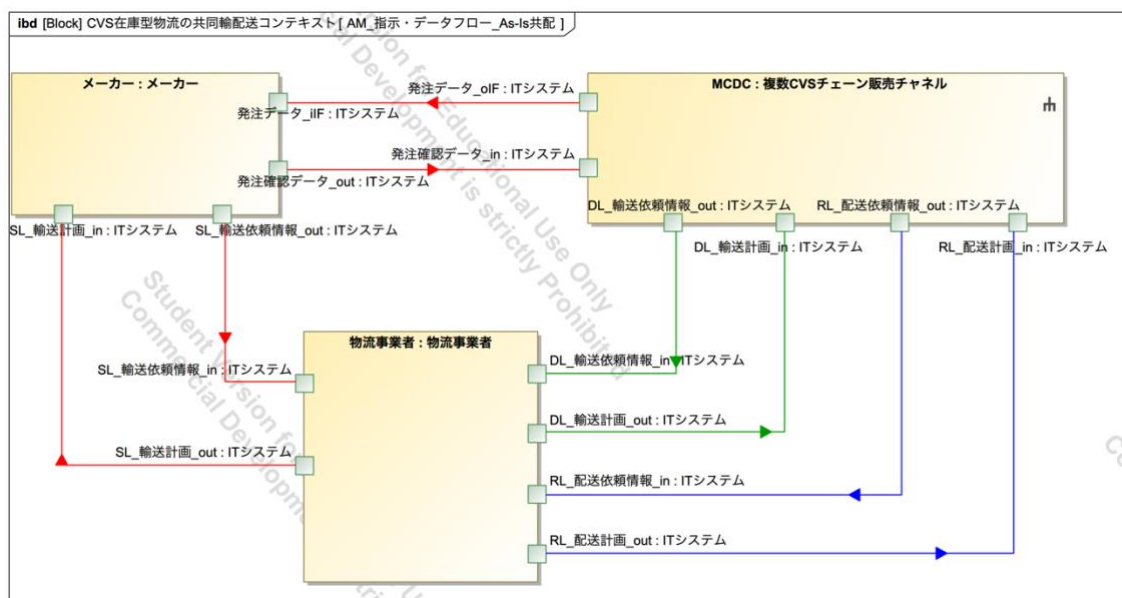


図 2-39 指示・データの流れの観点での複数の CVS チェーンによる共同輸配送の内部ブロック図(筆者作成)

B) 指示・データの流れの観点での MCDC の内部構造

図 2-40のMCDCの構造について記述したものが図 2-40である。図 2-37のアクティビティ図について先に述べたが、CDCの系統ごとに情報の流れも独立している。この内部で用いられているシステムは企業によって異なっている。

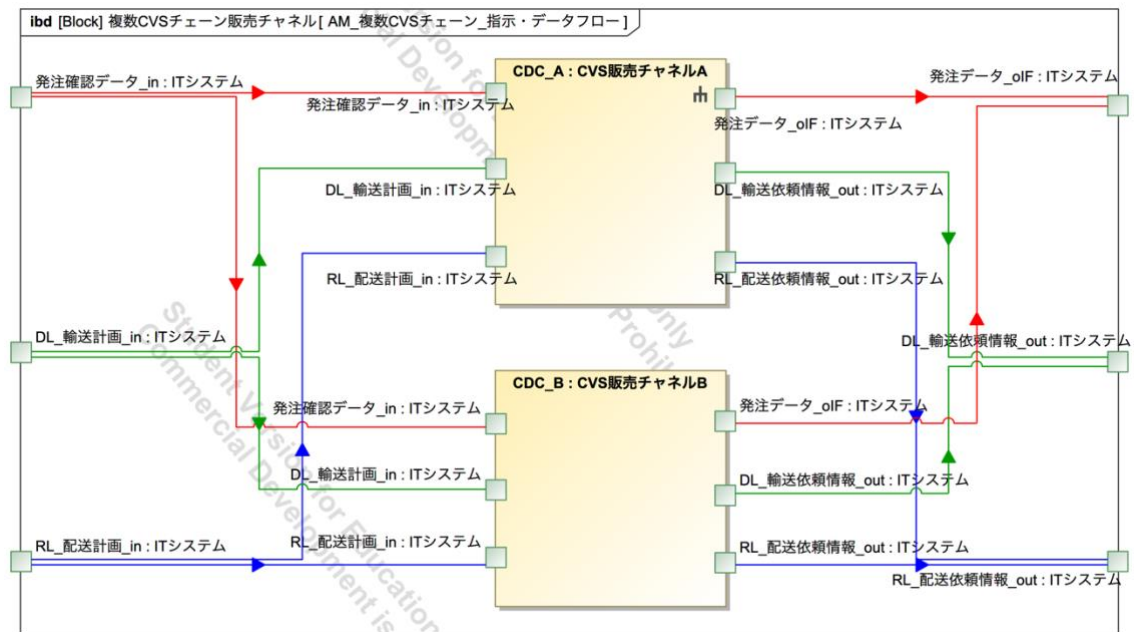


図 2-40 指示・データの流れの観点での MCDC の内部ブロック図(筆者作成)

C) 指示・データの観点での CDC の内部構造

CDC内部の構造について示したものが図 2-41である。図 2-41は、単独CVSチェーンによる指示・データの流れの内部構造について示した図 2-13における、卸売事業者とCVS事業者間の内部構造と同様である。また、図 2-41における卸売事業者Aの内部構造については、図 2-14, CVS事業者Aの内部構造については図 2-15と同様である。

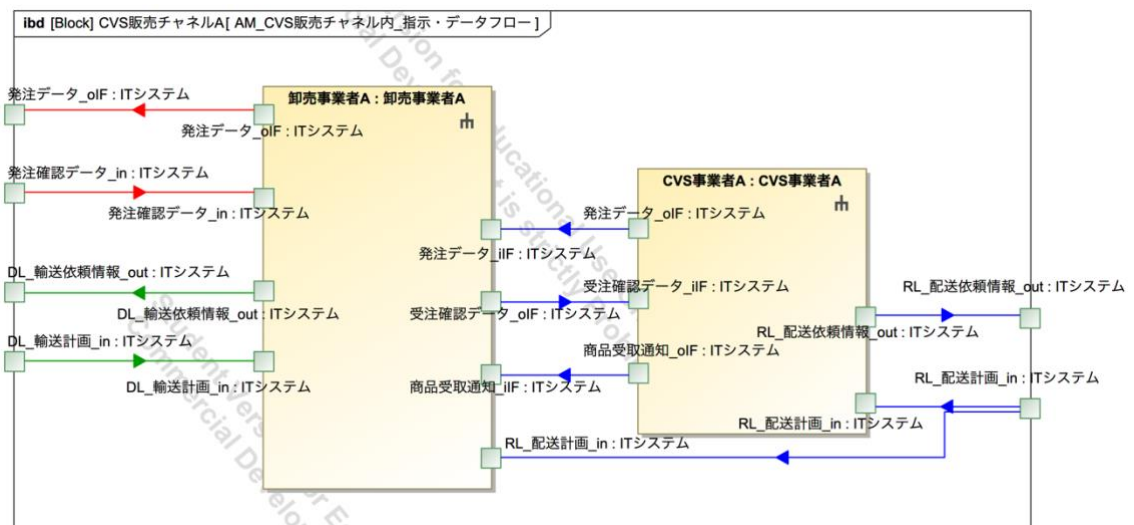


図 2-41 指示・データの流の観点での CDC の内部ブロック図(筆者作成)

2.3 現在の共同輸配送の課題

CVS物流システムでは、店舗ごとに細分化された需要に対応するため、小ロット配送を前提とした構造が採用されている。この方法は、需要が安定している商品や状況では一定の効率性を発揮する一方で、予測物量と実際の物量に差異が生じる場合や、需要変動が大きい新商品・季節商品には対応が難しいという課題がある。

特に、静的ルート計画に基づく輸配送では、需要変動への柔軟な対応が困難であり、予測物量が過大または過小となることで輸配送効率が低下する場合がある。また、突発的な需要の変化が生じると、共同輸配送の計画そのものが成り立たないケースも想定される。さらに、予測物量と実際の物量の差が小さい場合でも、静的な計画の下ではリソースの無駄が発生することが避けられない。

このような課題を明確にするために、本研究では、輸配送効率を定量的に評価するための主要なパラメーターを設定した。このパラメーター設定は、伊東ら[19]によって提示されているパラメーターを参考にするともに、本研究で示した2.1節および2.2節の物流ダイアグラムを基に整理する。

具体的例として、図 2-42を用いた有識者とのディスカッションから導出したパラメーターとの関係性について示す。

リテール物流で卸売事業者とCVS事業者間のトラックの往復であるが、ここではDCを出発したトラックがCVS店舗を複数経由し荷物を下ろし、DCに戻って再度荷物を積載するというトラックの往復を示している。ここでのトラックの積載率を高めると言うことは1台のトラックが1往復で多くの店舗を回ることができることを示している。したがって、積載率を高めることでトラックの台数が削減されることがわかる。トラックの台数とドライバーのリソースは比例するため、積載率の向上はトラックの台数の削減を通じて、ドライバーのリソース削減につながることをわかる。

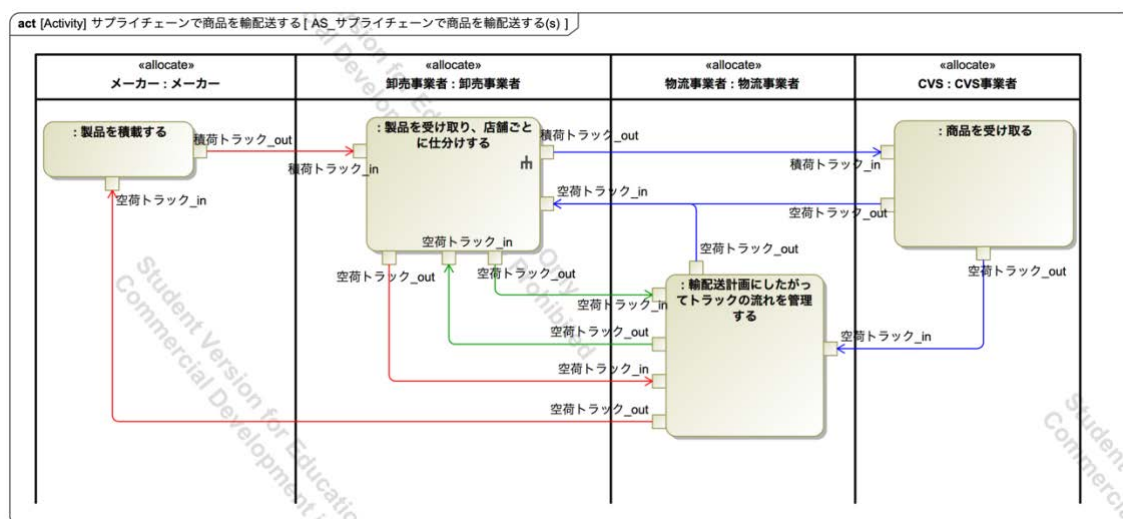


図 2-42 トラックの流れの観点での振る舞い(筆者作成)

このようにして導出したパラメーターとその関係性を整理したものが表 2-1参照である。さらに、表 2-1が影響元と影響先のパラメーター同士の関係性について記述しているのに対して、表に記載のパラメーター同士が全体としてどのように関係しているのかを因果ループ図で記述したものが図 2-43である。

表 2-1 物流効率に影響を与えるパラメーターとその関係性(筆者作成)

影響元のパラメーター	影響先のパラメーター	パラメーター間の関係性
積載率(L)	トラック台数(N)	－
積載率(L)	荷積・荷卸時間(T_1, T_3)	＋
トラック台数(N)	ドライバー数(D)	＋
荷積・荷卸時間(T_1, T_3)	ドライバー稼働時間(T)	＋
荷積・荷卸時間(T_1, T_3)	ドライバー数(D)	＋
待機時間(T_4)	ドライバー稼働時間(T)	＋
輸配送時間(T_2)	ドライバー稼働時間(T)	＋
輸配送距離(v)	輸配送時間(T_2)	＋
総輸配送物量(V)	トラック台数(N)	＋
トラックの輸配送容量(C)	トラック台数(N)	－

図 2-43ではドライバーリソースに影響する要素として、先ほどの例から積載率に着目すると、積載率は、トラック台数を介してトラックドライバーのリソースにネガティブに働くのに対して、荷積・荷卸時間に対してポジティブに働くため、ドライバー稼働時間を介して、トラックドライバーのリソースにポジティブに働く。

したがって、積載率の上昇は、トラック台数の削減を通じてドライバーのリソース削減につながる一方で、積荷・積卸でのドライバーのタスク増加によるドライバーの稼働時間の増加を介して、ドライバーリソースの増加につながるトレードオフの関係性を持っている。

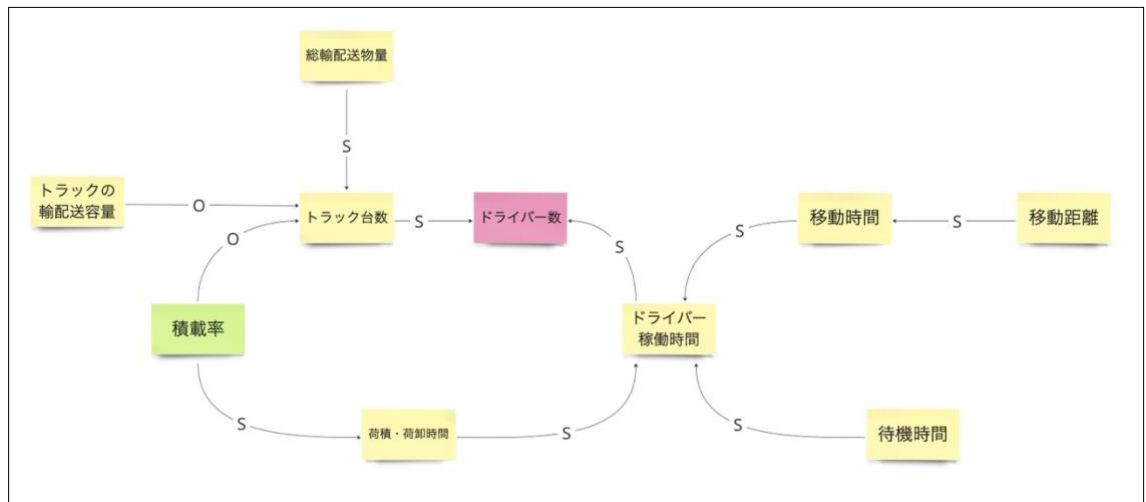


図 2-43 パラメーターの因果ループ図

表 2-1のパラメーターの関係性を用いて、本節では例を用いて説明する。必要とされるドライバーの人数(D)と必要とされるトラックの台数(N)、総輸配送量(V)、トラック積載可能量(C)、積載率(L)の関係性は以下の通り示すことができる(1)。なお、 l は1台あたりに乗るドライバーの人数の係数である。(1)の式で示されているのは、ドライバーのリソースはトラックの台数に比例するが、このトラックの台数は、総輸配送量とトラックの輸配送容量、トラックの積載率から導くことができる。総輸配送量が増えるとトラックの台数が多く必要となることは自明であるが、これはより多くの商品を運搬可能なトラックを用意するあるいはトラックの積載率を高めることで、トラックの台数のを最小限にすることができる。トラックドライバーのリソース効率化をするためには、大型のトラックを用いるかトラックの積載率を高めることが必要である。

$$D = lN = l \frac{V}{CL} \quad (1)$$

輸配送を考える上で制約となるドライバーの稼働時間についても考える。ドライバーの稼働時間に浮いては、働き方改革関連法による時間外労働の上限規制が設けられたことにより今まで以上に厳しい制限となる。(1)ではより多くの荷物を積載し輸配送することがリソース効率化につながるとしたが、積載率を高め様々な店舗やセンターを経由したとしても、稼働時間を超過してしまうと、これは実現できないルートとなる。ドライバーの稼働時間の内訳は、トラックに荷物を積む時間を T_1 、移動時間を T_2 、荷物を下ろす時

間を T_3 , 荷物をトラックから店舗へ運ぶ時間を T_4 の合計, 1度の輸配送にかかるドライバーの稼働時間 T は以下となる(2).

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (2)$$

T_1, T_2, T_3 についてそれぞれパラメーターの関係性について考察したものが, 下記の数式の(3), (4), (5)である. なお, k_1 はトラックに積載率100%の商品を荷積みするのに要する時間, s はトラックの平均速度, v はトラックの輸配送距離, k_3 は積載率100%のトラックから全ての商品を荷卸しするのに要する時間とする. この時, T_1, T_2, T_3 は下記となる.

$$T_1 = k_1 L \quad (3)$$

$$T_2 = \frac{v}{s} \quad (4)$$

$$T_3 = k_3 L \quad (5)$$

(3)と(4)からわかるように, 積載率の上昇は一度の輸配送にかかるドライバーのタスクを増加させ, 商品の積卸時間を増加させる方向に働く. 積載率を高めることはより多くの拠点に商品を届けことができ, かつトラックの台数・トラックドライバーのリソースを減らす一方で, ドライバーの1度の輸配送にかかる時間を増やす.

以上をもとに, 東京都足立区を対象としたCVS店舗について, 以下の2つのケースについて考察を行った:

ケース1: 単独CVSチェーンによる配送(セブン-イレブン単体, ローソン単体).

ケース2: 共同配送(セブン-イレブンとローソンの統合配送).

考察を行う上でのパラメーターについては下記のように設定する.

トラック積載量(C): 2000kg

トラック1台あたりのドライバー(l): 1

トラック走行速度(v):分速700m

荷物の積込時間(k_1):20分

荷物の卸時間(k_3):20分

待機時間(T_4):DC待機時間が10分, 駐車スペースから店舗への運搬は10分

2.3.1 CVS 単独チェーンの配送のケース

実際のセブン-イレブンとローソンからそれぞれ5店舗をサンプルとして用いる. セブン-イレブンとローソンのDCについては住所が公開されていないため住所を仮定するものとする. (対象とする店舗及び仮想DCの住所は補足資料 1, 補足資料 2の通り.)

CVSの物流における積載率については, 現在の国内の貨物自動車の積載率を参考とし40%とし, 各店舗への実物量は160kgとする.

これらの条件下で配送を行う場合, セブン-イレブンの配送に必要なドライバーの人数(D)は1名となる.

実際の倉庫および店舗間の距離はGoogle Mapを参考にルートを作成したとこり11,510mであるため移動時間 T_2 は16分となる. また, T_1 および T_3 はそれぞれ8分, T_4 は6店舗を経由するため60分となる.

ドライバーの稼働時間(T)は, 1時間32分となり, 規定時間内での配送が可能である.

同様の条件に基づきローソンについても考える. トラックの移動距離は14,180mであるため移動時間 T_2 は20分となる. また, T_1 および T_3 はそれぞれ8分, T_4 は6店舗を経由するため60分となる.

ドライバーの稼働時間(T)は, 1時間36分となり, 規定時間内での配送が可能である.

2.3.2 コンビニエンスストア2社による共同配送のケース

2.3.1の条件に基づいて, 静的なルートに基づいた共同配送のケースについて考察す

る。2.3.1で検討したセブン-イレブン、ローソンの店舗についてルートを作成したところ、移動距離は20,250mであったため移動時間は29分となる。また、 T_1 および T_3 はそれぞれ16分、 T_4 は6店舗を経由するため60分となる。したがってドライバーの稼働時間(T)は、3時間1分となり、規定時間内での配送が可能であるため、共同配送はドライバーの削減につながっていると考えられる。

2.3.3 物量の増減がある場合

実際の物流では、想定物量と実物量の間にギャップが生じることが一般的である。本節では2.3.1および2.3.2のケースにおいて、物量が増減した場合の影響について検討する。

(1) 実物量が想定物量を超過した場合

2.3.1のセブン、ローソンの各店舗における物量が1.3倍になった場合、CVS単独チェーンではトラック1台で配送が可能であり、それぞれのドライバーの稼働時間内での配送が可能となる。

対して、共同配送の場合、積載率が100%を超えてしまう。現在ローソン社とファミリーマート社の共同輸送では静的ルートに基づく輸送であるため、1台に積載できる量を超えた場合は各社ごとに輸送とされているが、配送においても静的ルートに基づく配送が行われる場合は共同輸送と同様、各社ごとに輸送が行われると考えられる。したがって、必要となるトラックドライバーのリソースはCVS単独チェーンの配送と同じになる。

(2) 実物量が想定物量を下回った場合

実物量が想定0.7倍に減少した場合、CVS単独チェーンでは、トラック1台での配送が引き続き可能であり、稼働時間内に収まる。

一方、共同配送では、トラック1台での配送は可能であるものの積載率が56%まで低下する。これはCVS単独チェーンごとにトラックを走行させる場合ドライバーリソースの削減にはつながっているものの、積載率についてはさらなる積載率向上の余地がある。特に

，配送業務ではDCと店舗間の往復が複数回行われるため，積載率の向上によって運行本数の削減が可能となればエリア全体におけるトラックドライバーのリソース削減に寄与すると考えられる．

以上を踏まえ，本研究では静的計画の限界を克服するために，動的ルート算出の必要性を提案する．動的ルート算出は，リアルタイムな需要変動や交通状況を考慮し，柔軟かつ効率的な輸配送ネットワークを実現するための手段として期待される．次章では，動的ルート算出システムの具体的な設計とシミュレーション結果について議論する．

第3章 動的ルート算出システムの定義

3.1 動的ルート算出の必要性と背景

コンビニエンスストア(CVS)の物流システムは、各チェーンが独自に物流ネットワークを構築し運用している。これらのネットワークは、商社による垂直統合型サプライチェーンとして機能し[22]商品調達から配送までが統合的に管理されている。これにより、2.2.2の図 2-29で示したように、各チェーンは効率的な運営を行っているが、一方で、独立したネットワーク構造ゆえに、複数チェーン間での物流資源の共有や最適化が進みにくいという課題がある。

近年、異なる物流ネットワークを統合することによる輸配送効率の向上が注目されている。特に共同輸配送の手法は、物流資源を共有化し、輸配送コストの削減や環境負荷の低減を図るうえで効果的であると考えられている。しかし、現在の共同輸配送は主に静的ルート計画に基づいて運用されており、この手法にはいくつかの課題がある。

静的ルート計画では、輸配送量を事前に予測し、それに基づいて輸配送ルートを固定する。この方法は、安定した需要に対しては一定の効率性を発揮するものの、予測が外れた場合には柔軟な対応が困難となる。例えば、輸配送量が予測を超過した場合には、既存のルートでは対応しきれず、追加のトラック手配が必要となる。一方、輸配送量が減少した場合には、トラックの積載率が低下し、輸配送効率が著しく低下することがある。また、突発的な需要変動や新商品の発売といった非定常的な事象に対しては、静的な計画の限界が顕著に表れる。

こうした課題を克服するための新たなアプローチとして、近年注目されているのが「フィジカルインターネット(Physical Internet, PI)」の概念である。PIは、物流ネットワーク全体を統合し、リソースを柔軟に共有することを目的としたシステムであり、輸配送効率の飛躍的な向上が期待されている。このような考え方を一部参考にして、複数事業者によるセンターの共同化を行うことでトラックの流れの複雑性を解消する方法が考えられる。

卸売事業者の保有および管理するセンターで、事業者の垣根を超えて商品を共同保管する方法である。このような考え方に基づいてアクティビティ図を記述する。この共同センター案を採用する場合のCVS在庫型物流について、構成要素をブロック定義図で記述する(図 3-1)。

CVS在庫型物流は、物流事業者、メーカー、複数CVSチェーン販売チャネル(MCDC)によって構成されており、さらにMCDCは共同センター、CVS事業者A、CVS事業者Bによって構成されている。

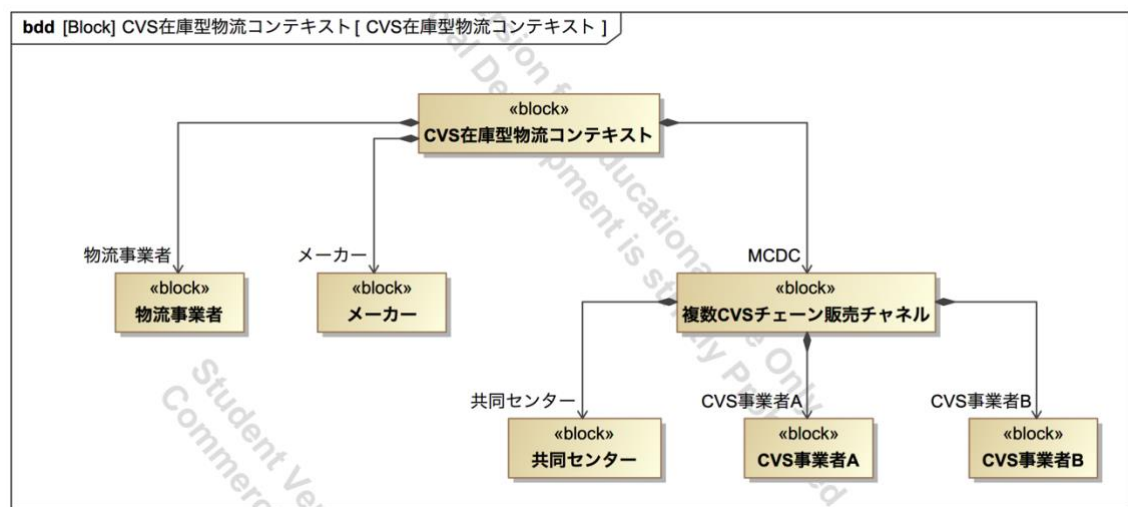


図 3-1 共同センターを用いた CVS 在庫型物流の構成要素(筆者作成)

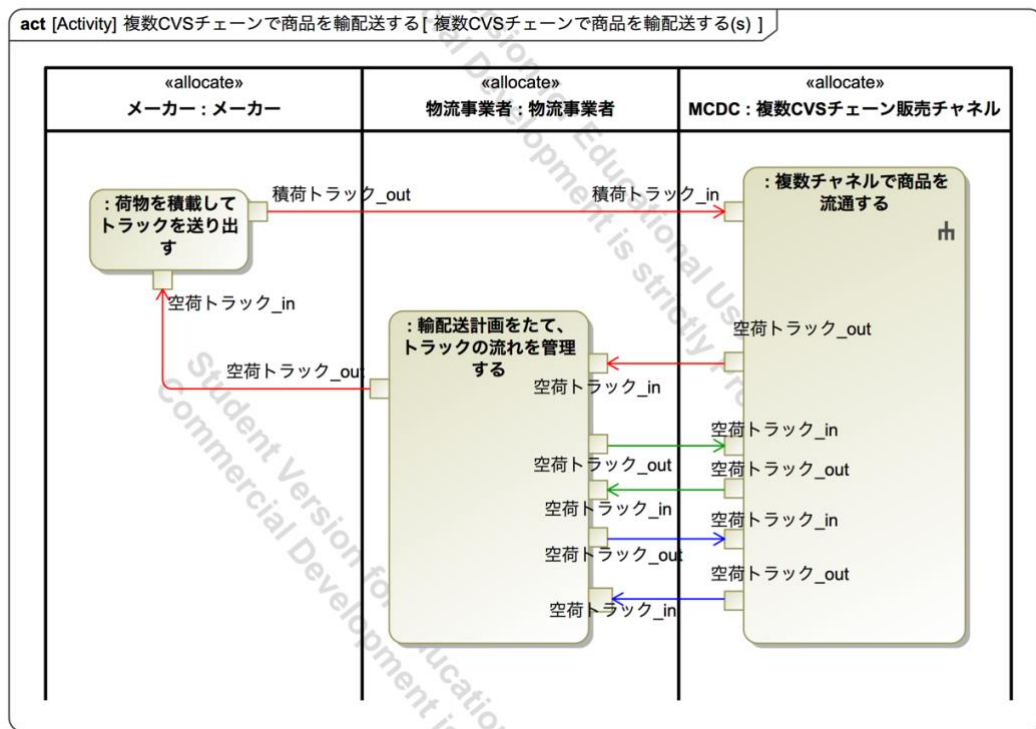
この場合での、共同センターを用いたCVS在庫型物流のアクティビティ図について、コンテキストレベルは図 2-28で記述したものと同様であるが、物流事業者は輸配送計画の通りにトラックの流れを管理する。

- メーカー物流

物流事業者はメーカーへ空荷のトラックを送り、MCDCから空荷トラックを迎え入れる。
また、メーカーでは、商品を積んだトラックを送りだし、MCDCで商品を下ろす。

- ベンダー物流・リテール物流

物流事業者はMCDCへ空荷トラックを送りだし、MCDC内でトラックが商品を運搬した後、空荷トラックをMCDCから迎え入れる。



【再掲】図 2-28 トラックの流れの観点での複数 CVS チェーンの間共同輸配送のアクティビティ図(筆者作成)

このMCDCによるアクティビティである「複数チャネルで商品を流通する」の内部のアクティビティ図が図 3-2である。

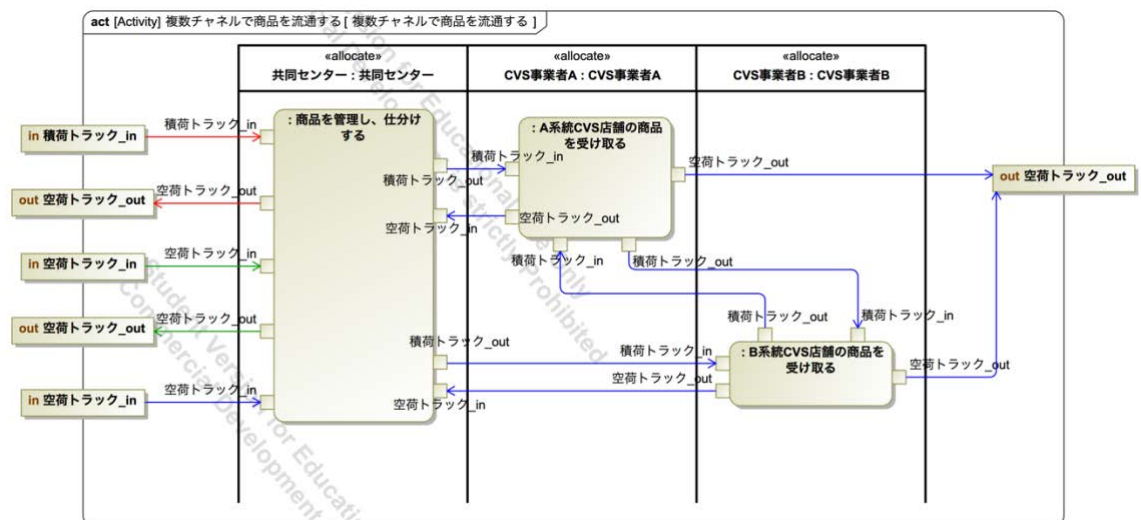
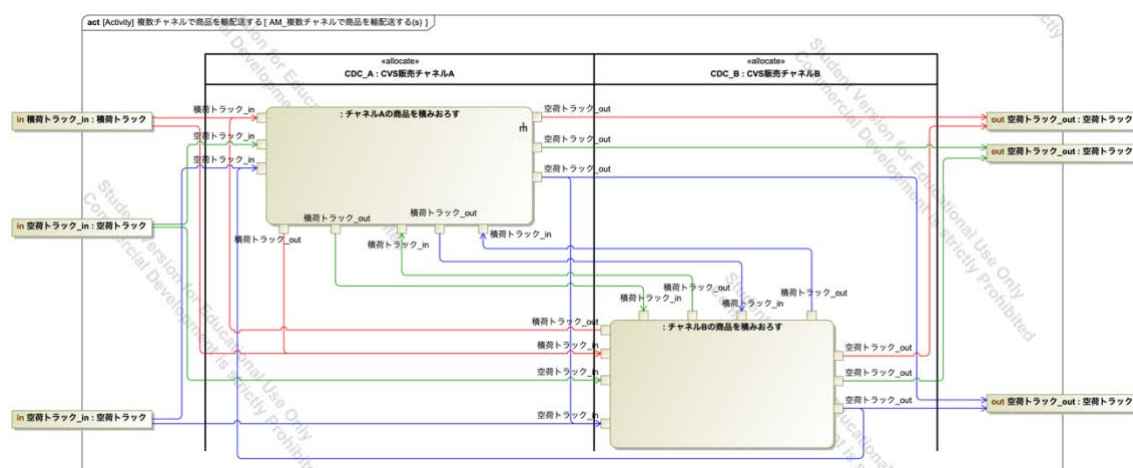


図 3-2 トラックの流れの観点での共同センターを用いた場合の MCDC 内部のアクティビティ図

再掲であるが、現在のMCDC内部のトラックの流れ(図 2-29)と比較すると、トラックの流れの複雑さが軽減されていることがわかる。共同センターでは複数事業者の商品在庫を保管し、配送店舗ごとに仕分けを行うことで、在庫状況や移動距離から考え最適なセンターから複数事業者の店舗への輸配送を行うことができる。



【再掲】図 2-29 トラックの流れの観点での MCDC 内部の振る舞い(筆者作成)

しかし、この共同センターを用いた物流効率化には課題も多い。共同センターを活用した商品共有管理は、商品や商品の所有権の複雑化を招き、現行の物流プロセスに大きな変更を求める。またこのセンターの運営にあたってどのようなプロセスを行うのかを考える必要があるが、これについて考えるためには、複数企業が保有する商品の管理があるため商流を含めたプロセスの設計や、倉庫管理システムの標準化などを行う必要がある。これらの観点から、多くのステークホルダー間での利害調整が必要であり、喫緊の問題であるドライバー不足に対して即効性のある解決策とは考えにくい。

一方で、トラックとドライバーのリソース共有に関しては、既存の社会実験や企業の取り組み事例が存在しており、実現可能性が高いと考えられる。このため、本研究では、商社系統の異なるCVS在庫物流同士に対して動的な共同輸配送を有効にするシステムである「動的共同輸配送システム(DCTS)」の提案を行う。このシステムは、静的ルート計画の限界を克服し、リアルタイムで需要変動や輸配送リソースの状況に適応することで、輸配送効率のさらなる向上を目指すものである。

3.2 動的共同輸配送システム(DCTS)の設計

3.2.1 システムコンテキストを考慮した対象システムの設計

(1) 外部システムと対象システムの振る舞い

本システムの設計においては、現行のトラックの流れや商品の流れに大幅な影響を与えないことを前提とする。この設計方針により、既存の物流プロセスを活用しつつ、動的な共同輸配送によるドライバーリソースの効率化を目指す。本システムでは、メーカー物流は既に複数のコンビニチェーン間で1:N物流が実現されているため対象外とし、ベンダー物流およびリテール物流を対象とする。これにより、対象範囲を絞り込み、輸配送効率の向上を図ることを目的とする。

図 3-3は、コンビニエンスストアの在庫型物流を動的な共同輸配送で行う際のコンテキストを表している。このユースケース図では、動的共同輸配送システム(DCTS)を対象システムとし、外部システムとして物流事業者、メーカー、複数コンビニエンスストアチェーン販売チャンネルが含まれる。「複数コンビニエンスストアチェーン販売チャンネル」には、複数のコンビニエンスストアチェーンのコンビニエンスストア事業者と卸売事業者が含まれ、これらのプレイヤーが動的ルート算出システムに輸配送を依頼する役割を担う。

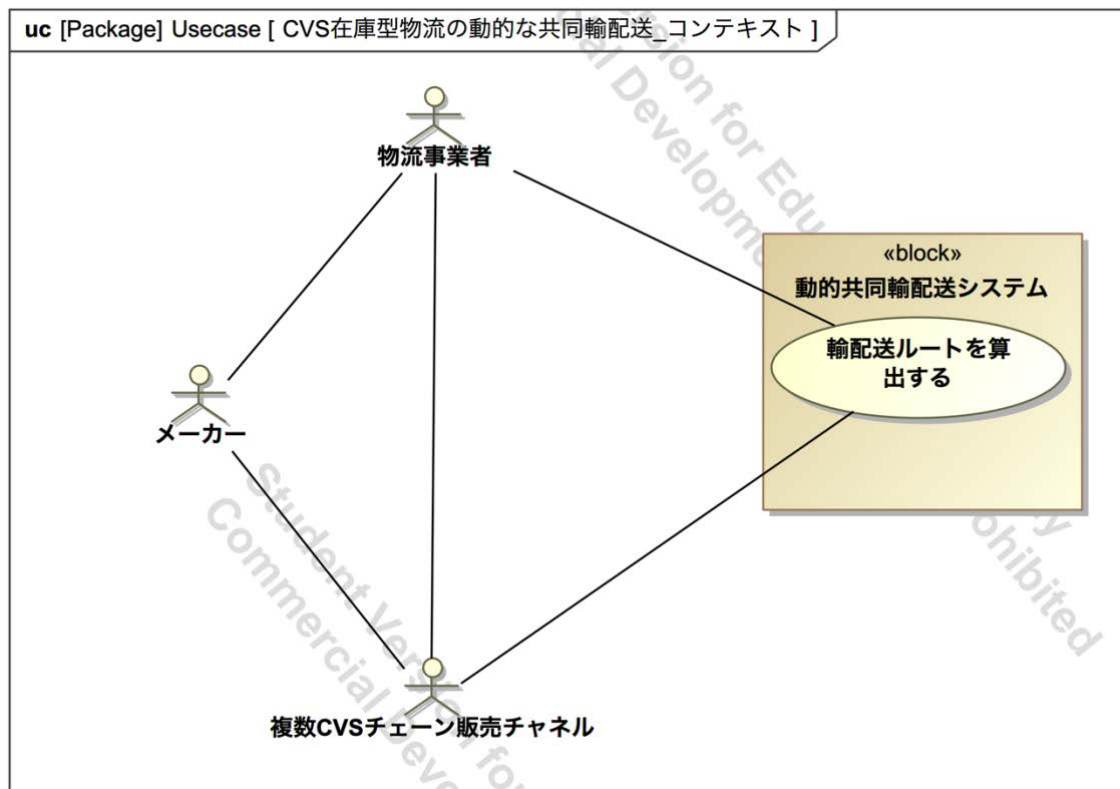


図 3-3 ユースケース図(筆者作成)

図 3-3を踏まえて、外部システムと対象システムの振る舞いを検討する。本システムでは、トラックや商流には変更を加えず、指示やデータの視点から物流プロセスを最適化することを目指す。この外部システムおよび対象システムの振る舞いを具体的に表したものが図 3-4である。

図 3-4では、赤線がメーカー物流、緑線がベンダー物流、青線がリテール物流を示しており、第2章で示した図2.36との比較が可能である。従来の共同輸配送(図 2-36)では、複数のCVSチェーン販売チャネル(MCDC)と物流事業者が直接輸配送情報をやりとりし、事前に固定されたルートに基づいて輸配送を行っていた。一方、本提案の動的ルート算出システムでは、物流に関するデータのハブとして機能し、リアルタイムで最適な輸配送ルートを提示する役割を担う。

具体的には、メーカー物流については提案システムの対象外としており、物流事業者が従来通り輸送計画を立てる。一方、ベンダー物流およびリテール物流については、動的ルート算

出システムがこれらの輸配送計画を統合し、物流事業者に計画を提示する仕組みを採用している。この仕組みにより、物流事業者は輸配送リソースを効率的に活用し、需要の変動や突発的な配送要求にも柔軟に対応できる。

また、動的ルート算出システムは、各販売チャネルや物流事業者からリアルタイムで得られるデータを集約・解析し、その時点で最適な輸配送ルートを算出する。これにより、従来の静的ルート計画における柔軟性の欠如や積載率の低下といった課題を解決することが可能となる。

本アクティビティ(図 3-4)は、これらの動作を視覚的に示すものであり、提案システムの基本的なプロセスを理解するための基盤となる。

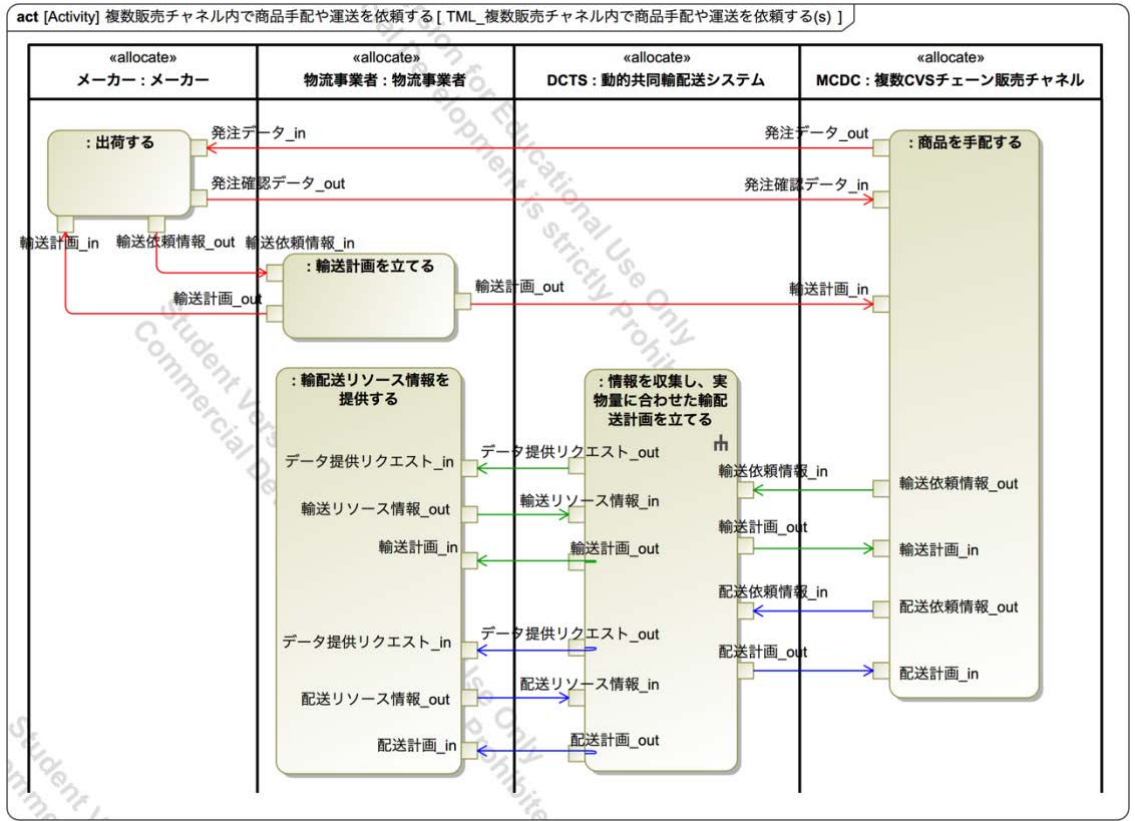


図 3-4 コンビニエンスストア在庫型物流の動的な共同輸配送 アクティビティ図(筆者作成)

ベンダー物流の場合、動的共同輸配送システム(DCTS)は複数コンビニエンスストア販売チャネルから輸送依頼情報を受け取り、物流事業者へ輸送リソースに関するデータ提供リクエスト

を送る。物流事業者はデータ提供リクエストに応じて、DCTSへ輸送リソース情報を送る。
DCTSは輸送依頼情報と輸送リソース情報をもとに輸送計画を立て、複数コンビニエンスストア販売チャンネルと物流事業者へ輸送計画を送付する。リテール物流についても同様のやりとりを物流事業者、DCTS、複数コンビニエンスストア販売チャンネルの3者で行う。3者間でやりとりされる具体的な情報については、3.2.3にて詳細を記述する。

(2) 外部システムと対象システムの構成

上記では外部システムと対象システムの振る舞いについて記述した。ここからはシステムの構造について記述する。図 3-5は、コンビニエンスストア在庫型物流の動的な共同輸配送のコンテキストについて、外部システムと対象システムの構造を記述した内部ブロック図である。以下は図 3-5における、ベンダー物流とリテール物流についての説明となる。

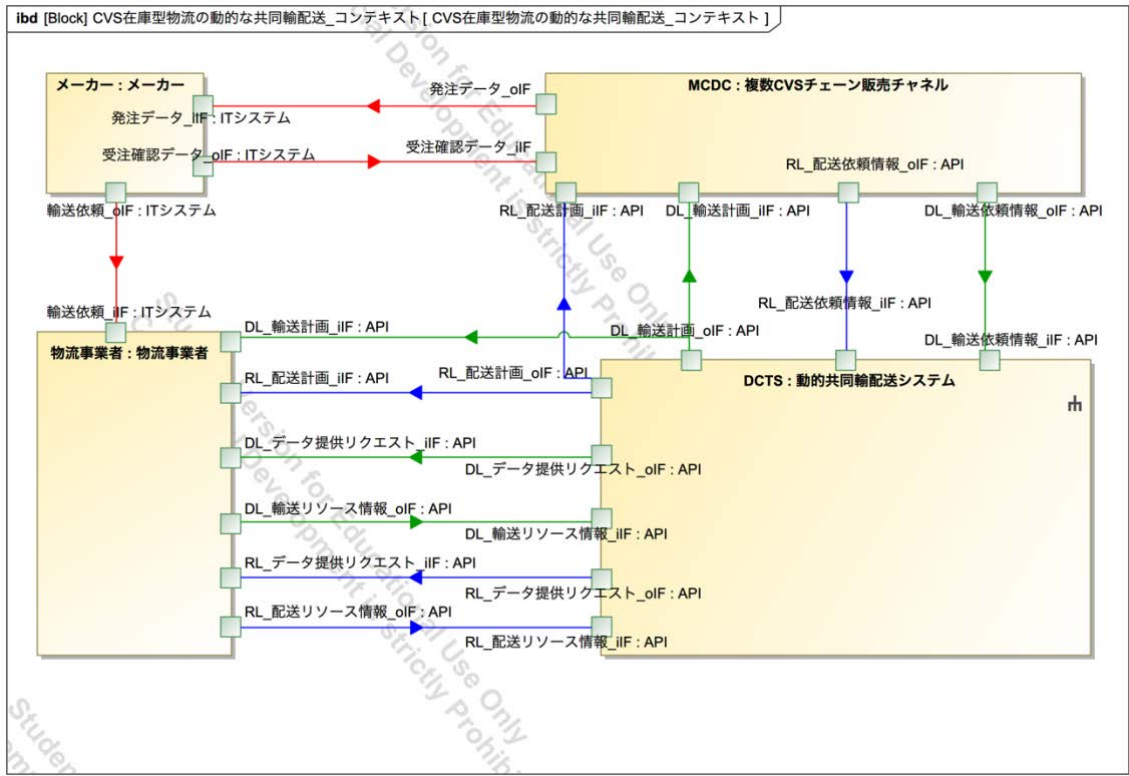


図 3-5 コンビニエンスストア在庫型物流の動的な共同輸配送 内部ブロック図(筆者作成)

ベンダー物流、リテール物流での指示やデータのやりとりは、複数CVSチェーン販売チャンネル

, DCTS, 物流事業者の3つのシステムから構成される。複数CVSチェーン販売チャネルからDCTSへ輸送依頼情報, 輸配送計画がやりとりされる。また, 物流事業者とDCTSとの間では, 輸配送に関するデータ提供リクエスト, 輸配送リソース情報, 輸配送計画がやりとりされる。これらはいずれもインターフェースとしてApplication Programming Interface (API)を用いる。

3.2.2 動的共同輸配送システム(DCTS)内部の定義

3.2.1 で述べたコンテキストをもとに, DCTSの内部システムの構成や振る舞いについて述べる。

(1) DCTS の内部システムの振る舞い

DCTSの内部の振る舞いは図 3-6の通りである。各振る舞いについての説明は下記の通り。

- データを収集して変換する
複数CVSチェーン販売チャネルから「輸配送依頼情報」を受け取る
物流事業者へ輸配送に関する「リソース情報」を要求する
物流事業者から「リソース情報」を受け取る
これらの収集したデータを分析可能なデータに変換する
- 輸配送計画を出力する
変換データを蓄積して輸配送計画を立てる
- 輸配送計画を出力する
物流事業者や複数CVSチェーン販売チャネルに対して, それぞれに関する輸配送計画を出力する

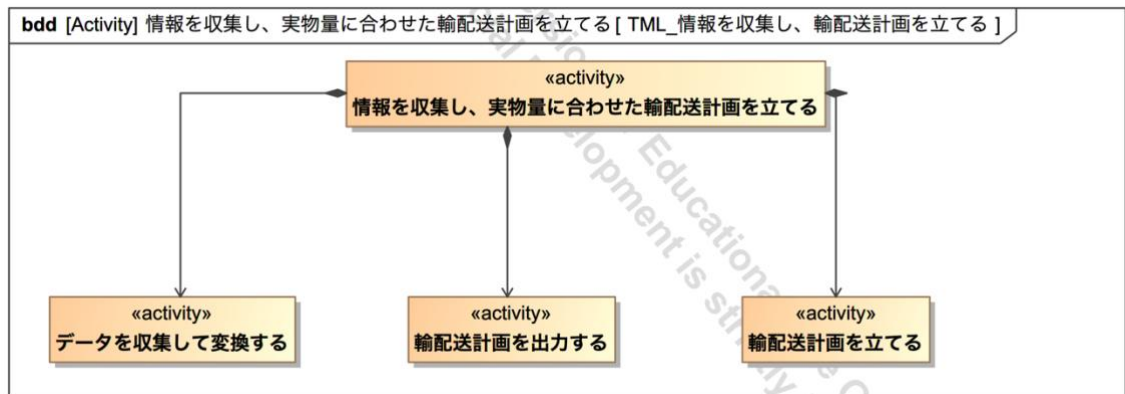


図 3-6 DCTS の内部の振る舞いのブロック定義図(筆者作成)

複数CVSチェーン販売チャンネル内には複数の卸売事業者やコンビニエンスストア事業者が含まれているが、これらのステークホルダーが利用している商品コードなどは標準化されておらず、輸配送計画を立てるためにはこれらの情報を変換する必要がある。物流事業者から得られた輸配送リソース情報と輸配送依頼情報をもとに輸配送計画を作成する。作成した輸配送計画は、各社に対応したものを出力する。これらについてまとめたものは図 3-7となる。

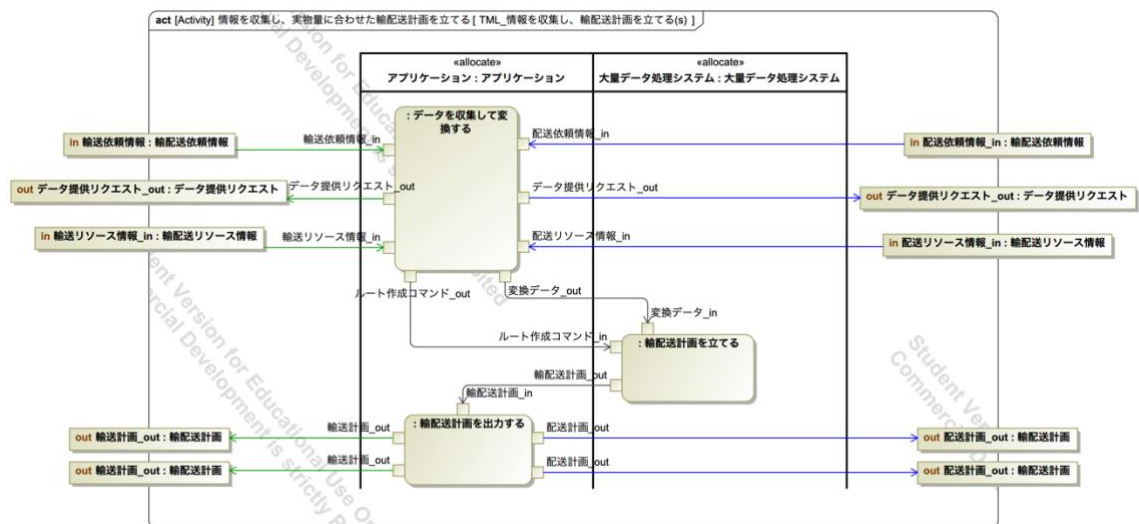


図 3-7 DCTS の内部のアクティビティ図(筆者作成)

データの変換やデータ提供のリクエスト、輸配送計画を渡すといったトランザクションは

アプリケーションによって行うものとし、輸配送依頼情報や輸配送リソース情報の大量なデータを用いた計算については、大量データ処理システムによって行うものとする。

(2) DCTS の内部システムの構成

DCTSの内部システムの構成について述べる。動的ルート算出システムの内部には、アプリケーションと大量データ処理システムが存在する。これらの内部構成についてまとめたものが図 3-8 である。外部システムをDCTSを繋ぐポートはAPIとなり、アプリケーションのポートにつながっている。

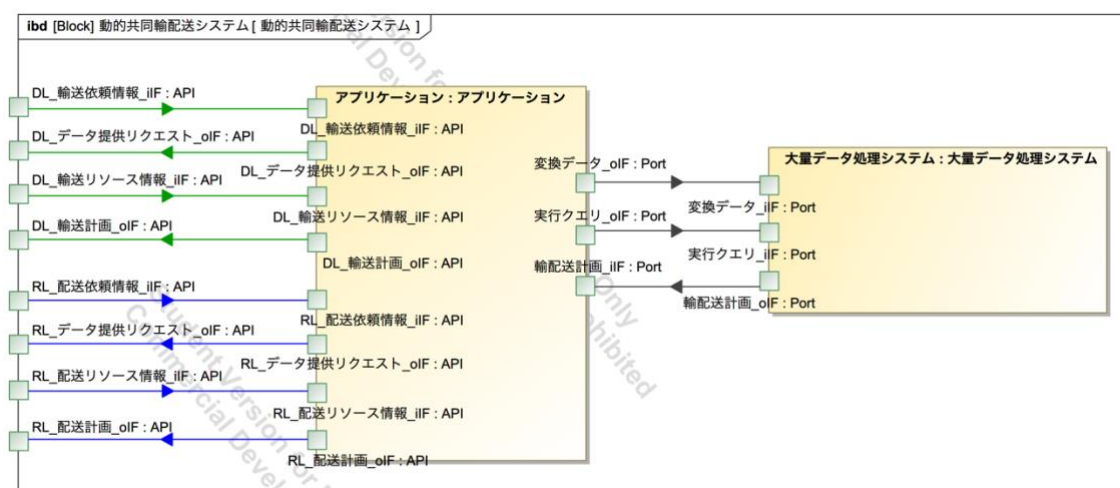


図 3-8 DCTS 内部ブロック図(筆者作成)

3.2.3 動的共同輸配送システム(DCTS)が取得・提供するデータ

前述の通り、DCTSはMCDC(Multi-Chain CVS Distribution Channel)と物流事業者から(1)輸配送依頼情報と(2)物流リソース情報を取得して(3)輸配送計画を提供する。(1)および(2)から取得するデータは、物流システムの主要パラメーターにや「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期 スマート物流サービス 最終成果報告書[34]」の内容を参考に策定した。同報告書では、2022年に実施した北海道函館エリアでの大手コンビニエンスストアによる共同配

送で利用されたITシステムについて記述されている。各データ項目は、積載率、輸配送時間、トラック台数などのパラメーターの算出に必要であり、これにより実物量とトラックおよびドライバーのリソース状況に応じたルート算出を行う。

(1) 輸配送依頼情報から取得するデータ

輸配送依頼情報は、動的ルート算出システムがMCDC (Multi-Chain CVS Distribution Channel) から取得するものであり、輸配送計画の基礎データとして機能する。これらの情報は、複数CVSチェーンから収集され、動的なルート最適化に必要な要素を提供する。ここに、2.3 で整理したパラメーターとの関係性を示したものが表 3-1である。

表 3-1 輸配送依頼情報により取得するデータ（筆者作成）

取得する情報	情報の内容	関連するパラメーター
発地情報	輸配送の起点となる地理情報(例: 倉庫や配送センターの所在地)。	輸配送距離、輸配送時間
輸配送先情報	目的地に関する情報(例: CVS 店舗の所在地)。	輸配送距離、輸配送時間
集荷条件 (時間)	発地点での集荷可能な時間枠。	制約条件として、輸配送距離、輸配送時間、ドライバー数、積載率、待機時間などに影響
輸配送条件	目的地での輸配送可能な時間および駐車スペースの有無や駐車場所の指定。	制約条件として、輸配送距離、輸配送時間、ドライバー数、積載率、待機時間などに影響
荷主 ID	荷主を識別するための情報。	
商品の種類と輸配送条件	商品の特性(例: 食品, 飲料, 雑貨など) 商品ごとの温度管理条件(例: 常温, 冷蔵, 冷凍)。	制約条件として、輸配送距離、輸配送時間、ドライバー数、積載率、待機時間などに影響

商品情報と その数量	各商品 ID とその数量や配送単位 (例: ケース 数, 個数).	総輸配送物量、荷積・荷下時間
---------------	--------------------------------------	----------------

(2) 物流リソース情報から取得するデータ

物流リソース情報は、動的ルート算出システムが物流事業者から取得するデータであり、輸配送ルートの計画作成に必要なリソース状況を提供する。これにより、複数の輸配送依頼に対してリソースの効率的な割り当てが可能となる(表 3-2)。

表 3-2 物流リソース情報から取得するデータ (筆者作成)

取得する情報	情報の内容	関連するパラメーター
トラック情報	利用可能なトラックの積載容量および最大積載重量.	トラックの輸配送容量、トラック台数
人的リソース情報	ドライバーの稼働状況, 労働時間.	トラックの輸配送容量、トラック台数
車両の台数	利用可能なトラックの台数.	ドライバー数
車両の状態情報	メンテナンス状況および利用可能性.	トラック台数

(3) 輸配送計画によって提供するデータ

動的ルート算出システムが作成する輸配送計画は、MCDCおよび物流事業者に提供され、実際の輸配送業務における指針として機能する(表 3-3)。

表 3-3 輸配送計画により提供される情報(筆者作成)

取得する情報	情報の内容
輸配送ルート情報	トラックの配送順序および経路情報.
配送スケジュール	各目的地での到着予定時刻および出発予定時刻.
積載計画	各トラックに割り当てる積載内容.
リソース割り当て情報	ドライバーおよびトラックの割り当て情報.

3.3 動的ルートによる配送シナリオ

3.3.1 積載率とトラック台数およびドライバータスクについての試算

2.3で整理したパラメーターとその関係性(表 2-1及び図 2-43)をもとに、積載率を高めた場合の効果について確認するため、積載率の向上によるトラックの削減効果とドライバーのタスク増加について、数値を用いて試算する。

試算については、下記の値を用いるものとする。

総輸配送物量:10,000kg

トラック積載量:2,000kg

ドライバーの積込時間(積載率100%の場合):20分

ドライバーの荷卸時間(積載率100%の場合):20分

- ・ 積載率が40%の場合

この時、トラックの台数は総輸配送物量に対して、トラック積載量に積載率を掛けた値で割ることで算出できるため、13台のトラックが必要となる。

対して、積荷と積卸にかかる時間はそれぞれ20分に積載率を掛けた時間になるため、1台あたりそれぞれ8分となるため、13台のトラックでの荷積・荷卸時間の合計は208分と

なる。

- ・ 積載率が50%の場合

上記と同様に計算すると、トラックの台数は10台となる。さらに荷積と荷卸にかかる時間は1台あたり10分となるため、10台のトラックでの荷積・荷卸時間の合計は200分となる。

よって、このケースに関して考えると積載率が10%上昇する場合、トラックを3台削減することが可能であり、1台あたりのドライバーのタスク増加による影響は3分の増加である。しかしこのタスク増加も、トラック全体での荷積・荷卸時間は8分短縮される。積載率を高めることによって1台のトラックの輸配送店舗は増えるため、移動時間や店舗での納品時間は増加するが、積載率の向上によるドライバーの積卸と荷卸のタスク増加とトラック削減のトレードオフの関係から考えると、このケースにおいては、積荷・荷卸時間の増加というデメリットに対して、積載率の増加によるトラックドライバー削減の効果は非常に大きいと考えられる。

3.3.2 コンビニ配送を考慮したケースに基づく試算

2.3.3で用いたシナリオをもとに静的なルート計画と動的なルート計画の比較を行う。

(1) 実物量が想定物量を超過した場合

動的ルート計画を適用した場合、近隣のCVS店舗への配送に超過分を割り当てることが可能となる。よって周辺店舗を追加して本ケースについて検討を行う(補足資料 3、補足資料 4)。本シナリオにおいて、総輸配送物量(V)は3,068kg、必要ドライバー数(D)は2名と算出された。

- ・ トラック1

配送店舗:補足資料 3

走行距離:19,890m

配送時間:3時間6分

- ・ トラック2

配送店舗:補足資料 4

走行距離:25,300m

配送時間:3時間23分

これにより2名のドライバーで合計18店舗の配送を実現可能であることが示された。この結果は、エリア全体での最適化を行うことで、必要なドライバー数の削減が期待できることを示唆している。

(2)実物量が想定物量を下回った場合

次に、実物量が想定物量の70%に満たない場合を想定し、動的ルート計画を適用したシナリオを検討する。現在の共同配送では積載率が56%に留まっており、積載率向上の余地があると考えられる。しかしながら、静的ルート計画に基づく現行体制では積載率向上が難しい。動的ルート計画を導入した場合、周辺店舗を配送ルートに追加することで対応可能である。

本シナリオにおいて、追加された店舗の商品を積載した場合、物量は1,680kg(積載率84%)に達し、1台のトラックで配送が可能となる。

- ・ 配送概要

配送店舗:補足資料 5

走行距離:25,119m

ドライバー稼働時間:4時間

この結果、予想物量を超過した店舗が生じた際には他便での対応が可能となるとともに、予想物量を下回った場合には必要なドライバーリソースを削減できる可能性が示唆される。

ここまでDCTSの提案とそのシステムの定義、また同システムを用いたあるケースについ

ての考察について述べてきた。次章ではDCTSの検証と妥当性確認についてまとめていく。

第4章 検証と妥当性確認

第3章で定義したアーキテクチャについて、物流事業者と卸売事業者の有識者に対してインタビューを行い検証とこのアーキテクチャが妥当か否か確認を行った。物流事業者に所属するA氏は、大手コンビニエンスストアの物流を担う企業に所属しており、実際にCVSの物流業務に携わっている。卸売事業者に所属するB氏は小売業向けの物流センターでの業務にも従事していた経験を持つ。両名に対して、3章のアーキテクチャについて説明を行った上で、動的共同輸配送システム(DCTS)が実務で利用可能であるのか、またトラックドライバーのリソース削減につながるのかといった点についてインタビューの協力をいただいた。

4.1 インタビューによる検証

第3章で定義した「DCTS」による動的なルート作成が可能か、また同システムを用いたCVS在庫型物流の共同輸配送による実務で利用可能であるのかについて、インタビューで得られたコメント内容をそれぞれの観点で要約して記載する。

4.1.1 「DCTS」による動的なルート作成可否について

- ・ A氏(物流事業者)のコメント:

動的ルート算出に用いられるパラメーター計算式については、例えば積荷時間であれば現在はカゴ車の場合やパレットの場合などがより細かく設計されているものの、表2-1のパラメーターの内容で実務においてもルート算出を行っている。このパラメーター算出を行う上で、データ項目(表3-1)からルートを検討することは可能である。

作成されたルート情報に対して、物流事業者側からトラック番号や人員情報を計画に反映させる必要がある

- ・ B氏(卸売事業者)のコメント:

パラメーターとその関係性についての違和感はない。一方で、スーパーマーケットなどはドライバーが毎回変わるので、この観点で言うのであればCVSよりもスーパーの方が輸配送品質への影響は小さい。

動的なルート算出については計算量が多く、計算が難しいのではないかと。

4.1.2 DCTS の実務での利用可能性について

- ・ A氏(物流事業者)のコメント:

CVSの物流において輸配送量は変動し、積載率が落ちたり、増え過ぎてて増便ということがある。輸配送計画が動的に変化することで、トラックの積載効率向上が可能になる。トラックの積載効率が向上するとしても、動的なルートでの輸配送は不慣れな道の運転により、道に迷う、事故を起こすなどの可能性が上がり、輸配送品質が低下する可能性がある。

動的ルートとなることで積載の順番も変わるため、倉庫内のプロセスの変更が必要となるだろう。

また、輸配送品質で言及したように、ドライバーの育成などが必要となるのでこのシステムを導入するのであれば物流事業者はドライバーの育成に力を入れる必要がある。

異なる事業者のDCやマザーセンターを経由するため、荷物の積み下ろしの効率は悪いと思うが、現実的にはトラックの共同化だけでも効果があると思う。また、トラック内部に仕切り板を入れるなどの工夫で効率を上げることは可能ではないかと考える。

- ・ B氏(卸売事業者)のコメント:

拠点の変更やルートの動的決定に伴い、輸配送品質が低下する可能性がある。コンビニでは担当のドライバーが輸配送を行うことが多いのだが、スーパーマーケットでは物量の変動が大きいことから日々ドライバーが変わっているため、スーパーマーケットの物流の方がこのような問題は起きにくいのではないかと考える。

4.2 インタビューによる妥当性確認

第3章で定義したシステムによって、CVS在庫型物流で必要とされるドライバーのリソース削減につながるかについて、有識者2名にインタビューを行った。

- ・ A氏(物流事業者)のコメント:

DCTSが導入されれば、人的リソースの削減は実現可能。需給バランスに応じた柔軟な輸配送計画により、ドライバーの稼働効率が向上すると考えられる。

現在の物流リソースの不足には荷主からの過剰な品質要求による負荷も原因の一つと考えている。DCTSの導入によって輸配送品質の低下が起こる可能性があるものの、このシステムによって荷主間での品質の均一化が期待できるのではないかと。荷主と物流事業者の双方によるフィードバックによって適切な輸配送品質となることを期待したい。

- ・ B氏(卸売事業者)のコメント:

配送効率が悪いエリア、特に物量の少ない地域においては、複数事業者が協力して共同輸配送を行う必要があるというのは各社の共通の認識ではないかと考えられる。共同輸配送の重要性は認識しているものの、例えば日本海側の地域のように物流が細いエリアでは物流の維持に困っている事業者が多いようにドミナント戦略が崩れている、あるいは崩れつつある地方とドミナントが維持できている都心などでは効率化の結果が異なるのではないかと。都市部では倉庫共同化を含めたダイナミックルーティングのようなことが考えられるのではないかと。、単独の物流網では効率化が難しく、横断的な連携が重要である一方で、都市部のようにドミナント戦略がしっかりしているエリアでは、各社が個別に物流網を最適化しているため、他社との共同配送が効率低下につながる可能性がある。

コンビニ数社というのではなく、例えばドラッグストアや地域の小売店などの小売業をまとめたても良いのではないかと。

4.3 考察

インタビューを通じて、動的ルート算出システムは輸配送効率の向上やトラックドライバーのリソース削減が一定期待できることが明らかになったが、エリアによってCVSが抱える状況は異なるため、配送効率が低い地域では共同輸配送の推進が重要であり、都市部においては既存の物流網との整合性が鍵となることが示唆された。ドライバーの削減が実際に可能であるかの確認については実際の物量などを考慮した上で妥当性確認を行うことが必要である。

本論文では、現在の物流のオペレーションに対する変更負荷を考慮し、実現性の高いドライバーリソースの削減手段として、DCTSを提案した。しかしながら、このシステムの導入に伴って、輸配送品質の維持や倉庫内プロセスの変更といった課題が伴うことも明らかになった。一方で、物流事業者A氏のコメントにもあるように、現在の輸配送に対する過剰な品質に対する要求が物流リソースに対する負荷を高めている現状については、DCTSに対して評価機能を持たせることで適切な品質による輸配送が行われる環境を作ることができるのではないかと考える。輸配送の品質をどのように評価し、適切であると評価を行うのかについては今後の課題と考える。

第5章 結論

本研究では、コンビニエンスストア(CVS)の在庫型物流を対象に、動的共同輸配送システム(DCTS)を基軸とした共同輸配送のアーキテクチャを提案し、その実務適用性について検証を行った。第1章から第4章を通じて得られた知見をもとに、以下のような結論を得た。

5.1 動的共同輸配送システム(DCTS)の意義と可能性

本研究における最大の成果は、静的な輸配送計画では対応が困難であった需要変動や輸配送リソースの柔軟性に対応するため、DCTSを設計し提案した点にある。このシステムの導入により、以下の利点が示された。

- ・ **輸配送効率の向上**

予想輸配送物量ではなく実物量に基づく動的輸配送ルートを算出するにより、トラックの積載効率を向上させ、輸配送リソースの有効活用が期待できることが確認された。

- ・ **リソース削減への可能性**

提案システムの適用により、需給バランスに基づいた柔軟な輸配送計画が可能となり、ドライバー数やトラック台数の削減に寄与することが明らかになった。

- ・ **積載率とドライバータスクのトレードオフ関係**

積載率の増加は、トラック台数の削減を通じてドライバーリソースの削減につながるのに対して、ドライバータスクを増加させるトレードオフの関係にあることがわかった。動的ルートを作成する際にはこのトレードオフの関係性に注意が必要である。

- ・ **共同輸配送の重要性の再認識**

物量の少ないエリアでは、複数事業者が協力して共同輸配送を行う必要性が改めて確認され、特にエリア間の物流効率を向上させるための連携の重要性が明らかになった。

・

さらに、物流事業者と卸売事業者へのインタビューを通じて、提案システムの実務適用性と妥

当性について具体的な見解を得ることができた点も、本研究の重要な成果である。

本システムの意義は、単なる効率性向上に留まらない。CVSは今や日常生活を支える重要な存在であり、物流はそのCVSのサービス品質を支える重要なインフラである。その効率低下はドミナント戦略の維持が難しいエリアでのサービス低下につながる。特に地方では、物流効率が低下することで生活の快適性が損なわれる可能性があり、2024年問題や物流クライシスの影響がより顕著に現れることが懸念される。このような文脈において、DCTSは、ドライバー不足の課題に対応し、地方における生活の快適性を維持するための重要なソリューションであるといえる。

これらの観点から、DCTSは、物流業界全体の効率性向上に寄与するだけでなく、社会全体の持続可能性や地域社会の維持にも貢献する可能性がある。

5.2 実務適用性の検証結果

本研究で提案した動的な共同輸配送によるコンビニエンスストア(CVS)物流や動的共同輸配送システム(DCTS)のアーキテクチャについて、物流事業者と卸売事業者の有識者へのインタビューを通じて、その妥当性と実務適用性を検討した。動的ルート算出に用いられるパラメーターやデータ項目については、実務での運用に即した内容であり、システム設計の妥当性が確認された。一方で、DCTSを実務に適用するにはいくつかの課題が明らかとなった。

輸配送品質の維持や積載順序の変更に伴う倉庫内プロセスの見直しが必要とされ、不慣れたルートを走行することによるリスクも指摘された。また、異なるディストリビューションセンター(DC)やマザーセンターを経由することで、積み下ろし効率の低下が懸念されるものの、トラック内部の仕切りを活用するなどの工夫により効率化の余地があると考えられた。

さらに、都市部ではドミナント戦略による効率的な物流網が既に機能していることから、他社との共同輸配送が非効率になる可能性が示唆された。一方、物量が少ない地方においては、複数事業者による共同輸配送が物流効率向上の鍵となることが再確認された。物流事業者からトラック番号や人員情報を計画に反映させる仕組みを含むデータ共有基盤の整備も、今後

の重要な課題である。

提案システムは、物流業界全体の効率性を向上させる可能性を持ちながらも、実務における運用課題を解決するためのさらなる取り組みが必要であることが示唆された。これにより、物流の効率化のみならず、地方やエリア特性に応じた柔軟な対応が可能となり、持続可能な物流ネットワーク構築への貢献が期待される。

5.3 提案システムの課題と展望

本研究で提案したDCTSは、輸配送効率の向上によるドライバーリソースの削減を通じた物流業界の持続可能性の確保を目的としている。しかし、その運用および実現に向けては、いくつかの課題が残されている。本節では、この課題に触れた上で、今後の展望についてまとめていく。

5.3.1 提案システムの課題と展望

(1)DCTS の課題

DCTSは、効率的な輸配送計画を実現する可能性を有する一方で、以下の課題が存在する。

第一に、動的ルート算出には膨大なデータ処理が必要となり、計算負荷が増大することが挙げられる。これにより、システム運用が複雑化する可能性がある。この問題に対しては、AIや最適化技術の進展に加え、フィジカルインターネット(PI-コンテナ)の導入を通じた商品のサイズ標準化が計算負荷の削減に寄与する可能性がある。

第二に、不慣れなルートを走行することで、道に迷う、事故を起こすといったリスクが輸配送品質に影響を与える可能性がある。このため、物流事業者間での情報共有を含む、品質低下を抑制する仕組みが必要である。例えば、ルート上の注意点や交通状況に関するリアルタイム情報を提供するシステムの導入が有効であると考えられる。

第三に、都市部におけるドライバーリソース削減の可否に関する課題である。都市部ではドミナント戦略が効率的に機能していることから、共同輸配送がかえって非効率になる可能性が示唆された。この点については、より具体的なシナリオや詳細なパラメータ値に基づくシミュレーション、実証を通じて検証する必要がある。

(2) 接続するシステムに求められる変更

DCTSを実務に導入するためには、接続する周辺システムにも一定の変更が求められる。

まず、動的ルート計画に基づく積載順序の変更が、倉庫内プロセスに影響を与える可能性が指摘される。これにより、倉庫内での商品運搬から積み込みまでの効率性が低下する懸念がある。この課題を解決するためには、トラック内部に仕切り構造を設けるといった工夫が考えられるが、さらに倉庫内プロセスの改善も求められる。特に、日々変化する配送ルートに対応するためには、商品をバースに運搬するシステムや運用フローを柔軟に設計する必要がある。

5.3.2 今後の展望

この研究では最初に物流を「商流」、「指示・データの流れ」、「トラックの流れ」の3つのビューポイントに分けて物流について考察をしたが、本研究では指示やデータの流れを新たに設計することでトラックの共同化することについてのみ言及している。したがって、トラックの流れの複雑性の解消には至っておらず、この問題に対して Physical Internet が提唱する PI-Hub による物流拠点の共同かとハブ化は一つの解決策となり得るのではないかと感じた。しかしそのためには、すでに述べているように商流のだけではなく、倉庫内の商品の管理プロセスや共同管理の仕組みの設計、またビジネス戦略や会計的な視点を用いて全容を理解し、実現可能なシステムの提案を行う必要がある。

今後は小売業の持つ商流の複雑性という特徴的な点に目を向け、より効率的な輸配送を実現できるシステムについて考察していきたい。

補足資料

補足資料 1と補足資料 2は2.3のケースの検討に用いたDCおよび店舗の一覧と各拠点間の移動距離についてまとめた表である。DCについては情報が非公開であるため、住所を仮定した。

補足資料 1: 経由拠点と拠点間距離(セブン-イレブン)

拠点名	拠点住所	拠点間 距離 (m)
セブンDC	〒121-0076 東京都足立区平野2丁目12	
セブン-イレブン 足立千住2丁目店	〒120-0034 東京都足立区千住2丁目62	4800
セブン-イレブン 北千住駅西口店	〒120-0034 東京都足立区千住3丁目74	160
セブン-イレブン 足立千住1丁目店	〒120-0034 東京都足立区千住1丁目24-7	500
セブン-イレブン 足立中居郵便局前店	〒120-0034 東京都足立区千住1丁目12-1	750
セブン-イレブン 千住寿町店	〒120-0033 東京都足立区千住寿町9-13	1000
セブンDC	〒121-0076 東京都足立区平野2丁目12	4300

補足資料 2 経由拠点と拠点間距離(ローソン)

拠点名	拠点住所	拠 点 間 距離(m)
ローソンDC	〒123-0841 東京都足立 区西新井3丁目25-1	
ローソン 千住桜木一丁目 店	〒120-0045 東京都足立 区千住桜木1丁目15-9	4500
ローソン 足立千住中居町 店	〒120-0035 東京都足立 区千住中居町12-22	850
ローソン 足立千住二丁目 店	〒120-0034 東京都足立 区千住2丁目62-12	1200
ローソン 北千住駅西口店	〒120-0034 東京都足立 区千住2丁目61	130
ローソン 千住寿町店	〒120-0033 東京都足立 区千住寿町26-8	1100
ローソンDC	〒123-0841 東京都足立 区西新井3丁目25-1	6400

3.3のケースの検討に用いたDCおよび店舗の一覧と各拠点間の移動距離についてまとめた表である。DCについては情報が非公開であるため、住所を仮定した。

補足資料 3: 経由拠点と拠点間距離(トラック 1)

拠点名	拠点住所	拠点間 距離 (m)
セブンDC	〒121-0076 東京都足立区平野2丁目12	
ローソンDC	〒123-0841 東京都足立区西新井3丁目25-1	3100
ローソン 足立千住中居町店	〒120-0035 東京都足立区千住中居町12-22	5300
ローソン 足立千住二丁目店	〒120-0034 東京都足立区千住2丁目62-12	1200
セブン-イレブン 足立千住2丁目店	〒120-0034 東京都足立区千住2丁目62	220
セブン-イレブン 北千住駅西口店	〒120-0034 東京都足立区千住3丁目74	160
ローソン 北千住駅西口店	〒120-0034 東京都足立区千住2丁目61	110
セブン-イレブン 足立千住1丁目店	〒120-0034 東京都足立区千住1丁目24-7	500
セブン-イレブン 足立中居郵便局前店	〒120-0034 東京都足立区千住1丁目12-1	750
セブン-イレブン 千住寿町店	〒120-0033 東京都足立区千住寿町9-13	650

ローソン 千住寿町店	〒120-0033 東京都足立区千住寿町26-8	600
セブンDC	〒121-0076 東京都足立区平野2丁目12	4200

補足資料 4: 経由拠点と拠点間距離(トラック2)

拠点名	拠点住所	拠点間 距 離 (m)
セブンDC	〒121-0076 東京都足立区平野2丁目12	
ローソンDC	〒123-0841 東京都足立区西新井3丁目25-1	3100
ローソン 千住桜木一丁目店	〒120-0045 東京都足立区千住桜木1丁目15-9	4500
セブン-イレブン 千住仲町店	〒120-0036 東京都足立区千住仲町11-13	2000
セブン-イレブン 千住大橋駅店	〒120-0038 東京都足立区千住橋戸町11-4	700
ローソン H足立千住関屋町店	〒120-0024 東京都足立区千住関屋町12-1	1100
セブン-イレブン 足立千住曙町店	〒120-0023 東京都足立区千住曙町9-8	1000
セブン-イレブン 足立柳原2丁目店	〒120-0022 東京都足立区柳原2丁目3-4	850

セブン-イレブン 足立日 ノ出町店	〒120-0021 東京都足立 区日ノ出町12-16	250
セブン-イレブン 足立東 綾瀬店	〒120-0004 東京都足立 区東綾瀬2丁目4-1	4700
ローソン 綾瀬中央通り 店	〒120-0005 東京都足立 区綾瀬5丁目16-9	300
セブンDC	〒121-0076 東京都足立 区平野2-12	3700

補足資料 5 経由拠点と拠点間距離

拠点名	拠点住所	拠 点 間 距 離(m)
セブンDC	〒121-0076 東京都足立 区平野2丁目12	
ローソンDC	〒123-0841 東京都足立 区西新井3丁目25-1	3100
ローソン 千住寿町 店	〒120-0033 東京都足立 区千住寿町26-8	5800
セブン-イレブン 千 住寿町店	〒120-0033 東京都足立 区千住寿町9-13	300
ローソン 足立千住 中居町店	〒120-0035 東京都足立 区千住中居町12-22	700
セブン-イレブン 足 立中居郵便局前店	〒120-0034 東京都足立 区千住1丁目12-1	220

セブン-イレブン 北 千住駅西口店	〒120-0034 東京都足立 区千住3丁目74	900
ローソン 北千住駅 西口店	〒120-0034 東京都足立 区千住2丁目61	110
セブン-イレブン 足 立千住2丁目店	〒120-0034 東京都足立 区千住2丁目62	49
ローソン 足立千住 二丁目店	〒120-0034 東京都足立 区千住2丁目62-12	750
セブン-イレブン 足 立千住1丁目店	〒120-0034 東京都足立 区千住1丁目24-7	500
セブン-イレブン 千 住仲町店	〒120-0036 東京都足立 区千住仲町11-13	290
セブン-イレブン 千 住大橋駅店	〒120-0038 東京都足立 区千住橋戸町11-4	600
ローソン H足立千 住関屋町店	〒120-0024 東京都足立 区千住関屋町12-1	1100
セブン-イレブン 足 立千住曙町店	〒120-0023 東京都足立 区千住曙町9-8	1000
セブン-イレブン 足 立柳原2丁目店	〒120-0022 東京都足立 区柳原2丁目3-4	850
セブン-イレブン 足 立日ノ出町店	〒120-0021 東京都足立 区日ノ出町12-16	250
セブンDC	〒121-0076 東京都足立	5500

	区平野2丁目12	
ローソンDC	〒123-0841 東京都足立 区西新井3丁目25-1	3100

参考文献

- [1] Akeb, Hakim, et al. "Building a Collaborative Solution in Dense Urban City Settings to Enhance Parcel Delivery: An Effective Crowd Model in Paris." *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*, vol. 119, 2018, pp. 223–33, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.04.007>.
- [2] Ballot, Eric, et al. "Physical Internet Enabled Open Hub Network Design for Distributed Networked Operations." *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing Control*, vol. 402, Springer Berlin / Heidelberg, 2012, pp. 279–92, https://doi.org/10.1007/978-3-642-27449-7_21.
- [3] Briand, Martin, et al. "A Dynamic Routing Protocol with Payments for the Physical Internet: A Simulation with Learning Agents." *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*, vol. 166, 2022, pp. 102905–, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102905>.
- [4] Chen, Sihua, et al. "Physical Internet Deployment in Industry: Literature Review and Research Opportunities." *Industrial Management + Data Systems*, vol. 122, no. 6, 2022, pp. 1522–40, <https://doi.org/10.1108/IMDS-07-2021-0416>.
- [5] Clemons, Eric K., and Michael C. Row. "Limits to Interfirm Coordination through Information Technology: Results of a Field Study in Consumer Packaged Goods Distribution." *Journal of Management Information Systems*, vol. 10, no. 1, 1993, pp. 73–96, <https://doi.org/10.1080/07421222.1993.11517991>.
- [6] Crainic, Teodor Gabriel, et al. "Physical Internet Enabled Hyperconnected City Logistics." *Transportation Research Procedia*, vol. 12, 2016, pp. 383–98, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.074>.
- [7] Ezaki, Takahiro, et al. "Synergistic Integration of Fragmented Transportation Networks: When Do Networks (Not) Synergize?" *PLOS Complex Systems*, vol. 1, no. 3, 2024, pp. e0000017–, <https://doi.org/10.1371/journal.pcsy.0000017>.
- [8] Hellström, Daniel, and Mazen Saghir. "Packaging and Logistics Interactions in Retail Supply Chains." *Packaging Technology & Science*, vol. 20, no. 3, 2007, pp. 197–216, <https://doi.org/10.1002/pts.754>.
- [9] Lemmens, Nina, et al. "Synchronomodality in the Physical Internet – Dual Sourcing and Real-Time Switching between Transport Modes." *European Transport Research Review*, vol. 11, no. 1, 2019, pp. 1–10, <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0357-5>.
- [10] Montreuil, B., et al. "An Open Logistics Interconnection Model for the Physical Internet." *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 6, 2012, pp. 327–32, <https://doi.org/10.3182/20120523-3-RO-2023.00385>.
- [11] Montreuil, Benoit, et al. "Physical Internet Foundations." *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 6, 2012, pp. 26–30, <https://doi.org/10.3182/20120523-3-RO-2023.00444>.
- [12] Pal, Amitangshu, and Krishna Kant. "Internet of Perishable Logistics: Building Smart Fresh Food Supply Chain Networks." *IEEE Access*, vol. 7, 2019, pp. 17675–95, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2894126>.
- [13] Pan, Shenle, et al. "Physical Internet and Interconnected Logistics Services: Research and Applications." *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 9, 2017, pp. 2603–09, <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1302620>.
- [14] Qiao, Bin, et al. "Dynamic Pricing for Carriers in Physical Internet with Peak Demand Forecasting." *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, 2019, pp. 1663–68, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.439>.
- [15] Sternberg, Henrik, and Andreas Norrman. "The Physical Internet – Review, Analysis and Future Research Agenda." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 47, no. 8, 2017, pp. 736–62, <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-12-2016-0353>.
- [16] Yang, Yanyan, et al. "A Model to Take Advantage of Physical Internet for Vendor Inventory Management." *IFAC-PapersOnLine*, vol. 28, no. 3, Elsevier, 2015, pp. 1990–95,

- <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.380>.
- [17] Yang, Yanyan, et al. "Innovative Vendor-Managed Inventory Strategy Exploiting Interconnected Logistics Services in the Physical Internet." *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 9, 2017, pp. 2685–702, <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1275871>.
 - [18] Yang, Yanyan, et al. "Mitigating Supply Chain Disruptions through Interconnected Logistics Services in the Physical Internet." *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 14, 2017, pp. 3970–83, <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1223379>.
 - [19] 伊東明日美, ほか. 「需要の不確実性下におけるリソースシェアリングを伴うマルチサプライヤ協調型物流ネットワークに関する研究」. *日本機械学会論文集*, vol. 89, no. 923, 2023 年, pp. 23-00009-23-00009, <https://doi.org/10.1299/transjsme.23-00009>.
 - [20] 山田忠史, et al. "貨物共同輸送の促進策に関する一考察." *土木計画学研究・論文集*, vol. 16, 1999, pp. 717–24, <https://doi.org/10.2208/journalip.16.717>.
 - [21] 山田忠史, と福井一彬. 「運賃と輸配送量を内生化した都市内共同配送モデルの構築と共同配送成立要因の基礎的分析」. *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, vol. 72, no. 5, 2016 年, p. I_871-I_877, https://doi.org/10.2208/jscejipm.72.I_871.
 - [22] 畑憲司. 「コンビニエンスストアに対する総合商社の投資行動: 川上統合のメカニズムとその活用を企図した投資事例」. *流通*, vol. 2020, no. 47, 2020 年, pp. 43–58, https://doi.org/10.14904/jsds.2020.47_43.
 - [23] ファミマとローソン共同配送 2024 年問題でライバル組む." *日本経済新聞*, 8 Apr. 2024, <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC063LP0W4A400C2000000/>. (最終閲覧日 2025/1/23).
 - [24] Ballot, Eric, Benoit Montreuil, Russell D. Meller 著, 荒木 勉 翻訳 *フィジカルインターネット 企業間の壁崩す物流革命*. 日経 BP, 2020.
 - [25] KPMG コンサルティング. *フィジカルインターネットの歴史と海外動向*. 2021 年 10 月, <https://www.example.com/pi-report.pdf>. (最終閲覧日 2020/1/23).
 - [26] システムズエンジニアリングハンドブック(第 4 版), David D. Walden, Garry J Roedler, Kevin J. Forsberg, R. Douglas Hamelin, Thomas M. Shortell 編, 西村秀和 監訳.
 - [27] システムズモデリング言語 SysML サンフォード フリーデンタール, アラン ムーア, リック スタイナー 著, 西村秀和 監訳(東京電機大学出版局)
 - [28] フィジカルインターネット実現会議. *フィジカルインターネット・ロードマップ*. 2022 年 3 月, 経済産業省, https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/physical_internet/pdf/20220308_1.pdf. (最終閲覧日 2025/1/23).
 - [29] 株式会社ローソン. "ローソン×ファミリーマート, 初の共同輸送." *ローソン*, 8 Apr. 2024, https://www.lawson.co.jp/company/news/detail/1485922_2504.html. (最終閲覧日 2025/1/23).
 - [30] 経済産業省, 国土交通省, and 農林水産省. 我が国の物流を取り巻く現状と取組状況. 2 Sept. 2022, https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/sustainable_logistics/pdf/001_02_00.pdf. (最終閲覧日 2025/1/23).
 - [31] 荒木 勉, editor. *フィジカルインターネットの実現に向けて産官学と欧米の有識者の熱い思い*. Kindle ed., 日経 BP, 7 June 2022.
 - [32] 国土交通省 自動車局. *イノベーションや地域の課題に応えるラストワンマイル配送の実現*. 6 Apr. 2023, pp. 14-23.
 - [33] 国土交通省. *総合物流施策大綱(2021 年度~2025 年度)*. 15 June 2021, https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/seisakutokatsu_freight_tk1_000179.html. (最終閲覧日 2025/1/23).
 - [34] 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 SIP スマート物流サービス 研究推進法人. *戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期 スマート物流サービス 最終成果報告書*. https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip2_seika/buturyu1.pdf. (最終閲覧日 2025/1/23).
 - [35] 三井化学株式会社. "「フィジカルインターネット実現会議・化学品ワーキンググループ」による関東・東海地区

- での共同物流の実証実験開始について." 三井化学株式会社, 11 June 2024, https://jp.mitsuichemicals.com/jp/release/2024/2024_0611/index.htm. (最終閲覧日 2025/1/23).
- [36] 持続可能な物流の実現に向けた検討会. 持続可能な物流の実現に向けた検討会 最終取りまとめ. Aug. 2023, <https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001626756.pdf>. (最終閲覧日 2025/1/23).
- [37] 石橋 忠子. "'セブンイレブンポスト 50 年に挑む.'" 激流, 2023 年 10 月号, pp. 29-55.
- [38] 石橋 忠子. "商社の系列化が拍車をかけ 80 兆円市場争奪戦が本格化." 月刊 激流, vol. 9, 2017, pp. 10-15.
- [39] 石橋 忠子. "特集 今のままでは維持できない 2024 年問題迫る物流危機" 月刊 激流, vol. 9, 2023, pp. 25-116.
- [40] 中野剛志. 政策動向のご紹介物流の 2024 年問題. 経済産業省 商務・サービスグループ 消費・流通政策課, 2023 年 7 月, https://www.hkd.meti.go.jp/hoksc/20230628_2/data07.pdf. (最終閲覧日 2025/1/23).
- [41] 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第 2 期 スマート物流サービス 物流情報標準化検討委員会. 物流情報標準ガイドライン-ver.2.01-. 2022 年 12 月, https://lisc.g.kuroco-img.app/v=1673486829/files/topics/2900_ext_1_0.pdf. (最終閲覧日 2025/1/23).

謝辞

本研究の実施および修士論文の執筆にあたり、多くの方々から温かいご支援とご協力を賜りました。ここに深甚なる謝意を表します。

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授 西村秀和先生には、主査として本論文の執筆に際し、研究内容に関する的確なご指導のみならず、研究者およびエンジニアとしての考え方や問題解決に対する姿勢についても、常に熱意をもってご指導を賜りました。私自身、先生からの貴重な助言を十分に理解するまでに時間を要したこともございましたが、その都度、粘り強くご指導いただき、幾度となく議論の機会を設けていただきましたことに、心より感謝申し上げます。

また、副査を担当していただきました同研究科教授 白坂成功先生には、ご多忙の折にも関わらず、研究内容についての的確なご助言と温かいフィードバックをいただきましたことに、深く感謝申し上げます。さらに、研究以外の場においても貴重な学びの機会をご提供いただき、その経験が本研究の遂行において多くの気づきをもたらしてくださったことに、改めて感謝の意を表します。

加えて、本研究の過程においてご協力を賜りました有識者の皆様には、私の疑問に対し丁寧にご対応いただき、厚く御礼申し上げます。皆様の物流業界に対する真摯な姿勢は、研究を進める上での大きな励みとなりました。

西村研究室(Nismlab)の皆様には、ゼミ活動を通じて多様な視点から貴重なご意見や助言をいただき、多くの学びを得ることができました。特に、ゼミの時間外においても、UAFに関する勉強会や意見交換を行う機会をいただき、研究の深化およびシステムズエンジニアリングに対する理解を深める貴重な経験となりましたことを、心より感謝申し上げます。

また、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の同期の皆様におかれましては、研究に関する悩みを共有し、ともに学ぶ中で、皆様が多忙な業務の合間を縫って研究に挑戦する姿勢に、大いに刺激を受け、モチベーションを維持することができました。心から御礼申し上げます。

最後に、大学院での学びという貴重な機会を与えてくれた父へ。残念ながら、入学を前に他界してしまいましたが、生前に寄せてくれた応援の言葉が、この二年間、私の大きな励みとなりました。深く感謝し、ここに改めて御礼を申し上げます。