

輸配送計画システムのドメインモデル構築とその要求分析への応用

阿部 昭博^{†,†††,☆} 小橋 一夫^{††} 玉井 哲雄^{††}

近年、物流業務効率化の手段として輸配送計画システムの構築を試みる企業が増えている。しかし、複雑な物流システムの理解、組合せ最適化問題に対する数理的分析を必要とするため、その要求分析は容易ではない。本論文では、輸配送計画システムの要求分析支援を目的として、ドメインモデルの構築とその要求分析への応用について述べる。ドメイン分析は次の3つの基本方針に沿って実施する。第1に、類似するシステムドメインである生産計画システムとの比較を通して、ドメインモデルの要求仕様を明確化し、それをドメイン分析のゴールとする。第2に、ドメインモデルの記述は、代表的なオブジェクト指向分析手法 OMT を基本としながらも、構成要素ごとに最良の記述法を選択する方法をとる。第3に、ドメインモデルの利用は、現状の要求分析が抱える課題の解決に焦点を絞る。得られたドメインモデルを実際の要求分析に適用した結果、従来の要求分析で課題となっていた、(1) 業務特性を考慮した組合せ最適化問題の分析、(2) 設計工程以降のリスク把握、(3) 分析者間のコミュニケーションについて大幅に改善できるとの見通しを得た。

Domain Model for Transportation and Delivery Scheduling System and Its Application to Requirements Analysis

AKIHIRO ABE,^{†,†††,☆} KAZUO KOBASHI^{††} and TETSUO TAMAI^{††}

In recent years, many companies have considered constructing a transportation and delivery scheduling (TDS) system as a method for improving the efficiency of physical distribution. However, requirements analysis of the TDS system is problematic because understanding of complicated physical distribution systems and mathematical analysis of combinatorial optimization problems are required. In order to improve the requirements analysis process using a domain model, this paper discusses the construction of the domain model and its application to requirements analysis. In the domain analysis, we adopt the following three ideas. First, in order to clarify the goal of this domain analysis, we compare the TDS system with the production scheduling system that belongs to the similar domain. The results of the comparison are referenced when we set the requirements specifications of the domain model. Secondly, we select the best notation for each element of the domain model, taking OMT as a standard. Thirdly, regarding the use of the domain model, we focus on solving problems in requirements analysis. The result of applying the obtained domain model to actual examples indicates the following effects: (1) analysis of combinatorial optimization problems in which the characteristics of the business are taken into consideration, (2) risk management of the following development processes, and (3) improvement of communication among the analysts.

1. はじめに

近年、日本の物流業務においては、コスト削減、短

納期、良質な顧客サービスへの対応が強く求められている。この背景としては、メーカー、小売、卸、運輸を問わず、価格破壊を中心とした流通の変革、顧客ニーズの多様化、不況下における物流費用の見直し、道路環境の悪化による車両稼働率の低下、多品種小口配送による配送コストの増加があげられる。そして、これら物流業務の課題解決の手段として、効率的な輸配送ルート・スケジュールの計画と管理を行う輸配送計画システムの構築を試みる企業が増えている。

輸配送計画システムは、複雑な物流の業務環境を理解したうえで、大規模かつ種々の制約を持つ組合せ最適化問題を解き、物流の効率化を実現する必要がある

† 松下電器産業株式会社マルチメディアシステム研究所
Multimedia Systems Research Laboratory, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

†† 松下通信工業株式会社情報システム事業部
Information Systems Division, Matsushita Communication Industrial Co., Ltd.

††† 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学系
Graduate School of Arts and Sciences, University of Tokyo

☆ 現在、岩手県立大学

Presently with Iwate Prefectural University

ため、ビジネスアプリケーションの中でも開発難易度の高いシステムに位置付けられている。特にその要求分析は、業務特性を考慮した組合せ最適化問題の分析、設計工程以降のリスク把握、分析者間のコミュニケーションといった点で課題が多い。

輸配送計画システムが扱う組合せ最適化問題は、経路・スケジュール決定問題とも呼ばれ、古くからOR (Operations Research) 分野において、理論面での研究^{1),2)}がさかんに行われてきた。近年は、OR手法に、AI手法^{3),4)}、地理情報技術^{5),6)}なども併用し、実用に耐えうる近似解法の開発とその実問題への適用が進みつつある。

解法研究とは対比的に、輸配送計画システムの開発方法論的研究は立ち遅れている。これは、輸配送計画システムに限った状況ではなく、生産計画システムなど組合せ最適化問題を扱うシステム分野においても同様であり、開発現場から課題として指摘されている⁷⁾。OR分野では、生産スケジューリング問題の複雑度や解法をデータベース化し、システム開発の効率化を図るための研究の重要性が認識され始めている⁸⁾。AI分野では、計画問題向きエキスパートシステムの開発方法論⁹⁾やオントロジーに基づくスケジューリング知識の再利用¹⁰⁾として議論が行われている。しかし、ソフトウェア工学に立脚した議論は少なく、特に要求分析に焦点を絞った研究は行われていなかった。

我々は、ドメインモデルによる要求分析支援を目的として、輸配送計画システムのドメイン分析を実施する。ドメイン分析は、共通分野・領域(ドメイン)に属する類似したアプリケーションシステムを分析することにより、ドメイン固有の用語、知識、問題のとらえ方、システム構造、システム開発方法、ソフトウェア部品などを明らかにするプロセスである¹¹⁾。そして、ドメイン分析の結果をいずれかの方法で記述し、再利用可能にしたものをドメインモデルと呼ぶ。

本稿では、輸配送計画システムにおけるドメイン分析と、得られたドメインモデルによる要求分析支援について述べる。以下、2章で輸配送計画システムの概要について説明する。3章でドメイン分析の実施手順とドメインモデルの基本構造について詳細に説明し、4章で得られたドメインモデルを実際の要求分析に適用した例を示す。最後に、5章で本研究で実施したドメイン分析に関する考察を行う。

2. 輸配送計画システム

本章では、対象ドメインの特徴と、輸配送計画システム開発における要求分析の課題について述べる。

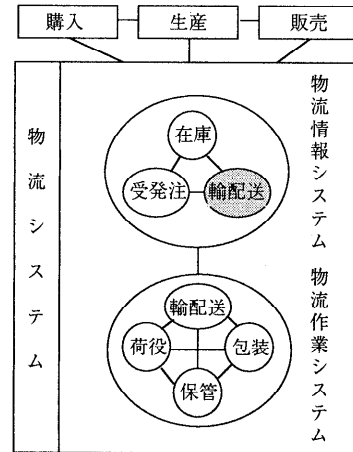


図1 輸配送計画システムの位置づけ

Fig. 1 Transportation and delivery scheduling system in the physical distribution system.

2.1 対象ドメインの概要

輸配送計画システムは、図1に示すように物流情報システムのサブシステムとして位置付けられる。物流システムは、企業活動における諸機能、すなわち購入・生産・販売活動にともなう物的流通を効率化するものであり、大別して物流情報システムと物流作業システムから構成される。物流システムの構築・運営は、製造業、小売業などが自社組織(専門の物流子会社もこれに含める)によって行う方法と、物流業者に委託する方法がある。物流情報システムは、購入・生産・販売システムと連携しながら受注から出荷までの情報処理を統合化する。物流作業システムは、輸配送、保管、荷役、包装のオペレーションに種々の技術を導入して省力化・効率化を図るとともに、企業活動の各機能間を結び付ける。加えて、企業活動を支える物流以外に、宅配便に代表される消費者物流も需要が年々増加し、物流の一分野を形成している。これら物流においては、一般に、物流拠点間の運搬を「輸送」、物流拠点から需要者への運搬を「配送」と区別することが多い。

輸配送計画システムは、物流拠点をノード、輸配送路をアークとする物流ネットワーク上での効率的な輸配送ルート・スケジュール・車両割当ての計画、管理を行う。このシステムの導入によって期待されているのは輸配送コストの削減であり、輸配送コストは車両数、走行距離、走行時間、要員数、積載率、輸配送頻度、輸配送量、稼働率といった評価指標によって表すことができる。図2は輸配送計画システムの典型的な処理イメージを示している。支店から本社のホストコンピュータに集められた発注データは、配送センターの

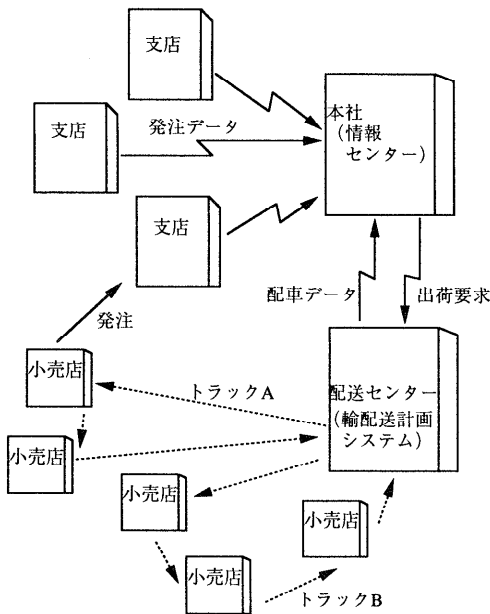


図2 輸配送計画システムの処理イメージ

Fig. 2 Example of transportation and delivery scheduling system.

輸配送計画システムに転送される。輸配送計画システムは、小売店への配送を効率良く回るための配送ルート、スケジュールを立案し、必要なトラック台数を求める。この結果に基づいて、配車担当者は配車の指示を出す。

輸配送計画システムは、その特性から物流業のシステム、荷主（自社製品の輸配送を行う製造業、小売業など）のシステムに分けて議論されることが多く¹²⁾、本研究においても輸配送計画システムドメインのサブドメインとして、物流業向けのシステムドメイン（以下、物流業サブドメイン）と荷主向けのシステムドメイン（以下、荷主サブドメイン）を定義する。物流業サブドメインのシステムは、消費者物流もそのサービス対象とするため、広域かつ大規模な物流ネットワークを対象とする。これは、日本の伝統的な行政区域に準じて中型の物流中継点（ハブ）を設置し、各ハブ間を直通2点間のトラック輸送を主体として形成されることが多い。加えて、航空便、鉄道便などが、トラック輸送を補完する形で使用される。たとえば、大手企業の場合では、中型ハブが担当するエリア内に集配拠点（デポ）を20～30カ所設置し、約17000台のトラックを使って、エリア内の集配を行っている。一方、荷主サブドメインのシステムは、多品種小量生産に対応した小口・多頻度配送の実現が重要となる。そのため物流ネットワークは、生産地から消費地を結ぶもので

あり、物流業のシステムに比べてその規模は小さいものの、扱う商品によって産業構造や流通チャネルが異なるため非常に複雑である。

2.2 要求分析の課題

現場での実用を目指した輸配送計画システムの開発は、一般に、システム化対象に含まれる組合せ最適化問題の抽出・定式化、組合せ最適化問題に対する実用的な解法の開発・検証、運用システム機能の開発といった手順を踏む必要があるため、ウォーターフォールモデルの開発プロセスにプロトタイプングを併用する機会が多い。すなわち、要求分析工程では、仕様探索型のプロトタイプングを実施し、解くべき組合せ最適化問題を明らかにする。設計工程では、実験型のプロトタイプングを実施し、システム実現上のボトルネックである組合せ最適化問題の解法を開発・検証し、実用性を確保する。これら開発プロセスの特徴は経験的に把握されている程度であり、開発方法論的な取組みは特になされていない。そのためシステム開発上の課題は多く、特に、要求分析においては以下の課題が存在する。

業務特性を考慮した組合せ最適化問題の分析(課題1)

輸配送計画システムは物流効率化の手段であるが、そのシステム化にあたっては、対象となる物流業務の特性を理解し、そのうえで解くべき組合せ最適化問題の分析を行う必要がある。特に最近の経営取組みとして、業務プロセス自体を見直して経営を効率化しようというビジネスプロセスリエンジニアリング(BPR)が増えているため、要求分析はいつそう難しさを増している。

設計工程以降のリスク把握(課題2) 要求分析の出力である要求仕様は、利用者との間の契約的意味合いがあるため、技術的な実現可能性を考慮したうえで定義されるべきものである。しかし、輸配送計画システムの要求分析においては、解くべき問題を把握すること自体が難しく、さらに解法の実用性に対する不確実性も存在するため、要求仕様実現のための設計工程以降のリスク把握が困難となっている。

分析者間のコミュニケーション(課題3) 要求分析を行うシステムエンジニアは、物流情報システム開発に熟知しているものの、組合せ最適化問題のような数理的かつ専門性の高い問題を扱うことには慣れていない。そこで、組合せ最適化問題に精通したエンジニア(便宜的にORエンジニアと呼ぶ)との共同作業が不可欠となるが、ORエンジニアは、アルゴリズム開発の知識は豊富でも、現実の物流をう

まく理解できない。このような双方のエンジニアの専門性の違いから、システムエンジニアとORエンジニアは十分な協力関係を築くことが難しい。

3. ドメイン分析

本章では、ドメイン分析の基本方針、分析プロセス、得られたドメインモデルの基本構造について述べる。

3.1 基本方針

ドメイン分析の手順 ドメイン分析に対する方針やゴールを明確にしないままアドホックに作業を行うことは、非効率であり、失敗する可能性も高くなる。我々は、輸配送計画システムドメインと生産計画システムドメインの比較を行ったうえでドメインモデルの要求仕様を設定し、ドメイン分析のゴールを明確にするというアプローチをとる。生産計画システムドメインは、輸配送計画システム同様に組合せ最適化問題を扱う類似システムドメインの1つである。ドメイン分析の手順は、図3に示すように、類似システムドメインとの比較(Step1)、ドメインモデルの要求仕様設定(Step2)、類似システム群の分析(Step3)、ドメインモデルの構築(Step4)、ドメインモデルの修正・拡張(Step5)とする。ドメインモデルの修正・拡張では、要求分析における試用を通して、ドメインモデルの妥当性や実用性を評価し、問題点の改善を図る。特に、ドメインモデル利用の初期の時点では、ドメインモデルの要求仕様に対する見直しや追加といったフィードバックがかかる可能性がある。また、要求分析で対象としたシステムは、ドメインモデル拡充のための新たな分析情報として再利用できる。

ドメインモデルの記述 ドメインモデルの記述は、問題ドメインモデル(Problem Domain Model, 以下PDモデル)と、アプリケーションドメインモデル(Application Domain Model, 以下ADモデル)に分けて行う。そのうえで、代表的なオブジェクト指向分析手法の1つであるOMT¹³⁾を基本としながらも、モデルの構成要素ごとに最良の記述法を選択する方法をとる。オブジェクト指向分析手法を採用した理由は、オブジェクトに着目した自然なモデリングを実現でき、ドメインモデルの修正・拡張も容易に行えるためである。特に、OMTは、3つのモデルを備え、記述力が高い。ドメインモデルの記述におけるOMTの適用指針とその有効性は、すでに先行研究によって示されている¹¹⁾。

要求分析におけるドメインモデルの利用 ドメインモデルの利用は、2.2節で示した要求分析の課題の解

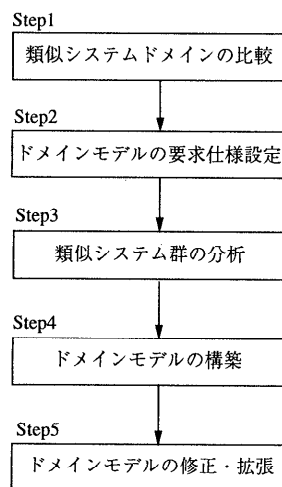


図3 ドメイン分析の手順
Fig. 3 Domain analysis steps.

決に焦点を絞る。PDモデルは、システム化の対象業務を分析する(業務分析フェーズ)際に参照し、課題1の解決を図る。ADモデルは、組合せ最適化問題に対するシステム化の要求仕様を定義する(システム要求仕様化フェーズ)際に参照し、課題2の解決を図る。ドメインモデルの提供形態は、システムエンジニアとORエンジニア双方で利用できるハンドブック形式とし、課題3の解決を図る。以下、図3の手順に沿ってドメイン分析の詳細について述べる。

3.2 類似システムドメインとの比較

類似システムドメインである生産計画システムとの比較では、組合せ最適化問題を扱うシステムの特徴を明らかにするために、過去の開発事例^{14)~16)}を用いて、対象業務とシステム構造の比較を行った(表1)。

比較の結果から、輸配送計画システムは以下の特徴を持つと考える。

- 計画立案の対象については、輸配送計画システム特有の物流ネットワークおよび物流プロセスについて理解することが重要である。
- 生産計画システムと同様、従来手作業で行われていた立案計画業務の特徴(立案担当者の業務手順、考慮するビジネスルール、使用する帳票の特徴)について整理する必要がある。
- システム構造は、入力、処理、出力ともに生産計画システムと類似している。

3.3 ドメインモデルの要求仕様設定

3.2節での比較をふまえ、ドメインモデルの要求仕様を設定する(表2)。ドメインモデルの具体的な記述

表1 輸配送計画システムと生産計画システムの比較

Table 1 Comparison of the transportation/delivery scheduling with the production scheduling.

対象業務の特徴		
	輸配送計画システム	生産計画システム
計画立案の対象	物流ネットワーク, 物流プロセス, 要員, 車両, 荷物	製造機器, 生産プロセス, 要員, 製品, 材料
計画立案業務 (システム導入前)	立案担当者が人手で作成 計画の記述と現場指示は帳票を使用 ビジネスルール, 経験則の存在	同左 同左 同左

システム構造の特徴

	輸配送計画システム	生産計画システム
入力	輸配送注文 DB, 輸配送マスタ DB	生産注文 DB, 生産マスタ DB
処理	OR 手法とエキスパートシステムの併用	エキスパートシステム
出力	ガント図, ダイアグラム, 地図等	ガント図中心

表2 ドメインモデルの要求仕様

Table 2 Requirements specifications of the domain model.

問題ドメイン (PD) モデル

構成要素	記述方法
物流ネットワーク	オブジェクト図
物・情報の流れ	事象トレース図, 状態図
計画業務処理	データフロー図
計画作成知識	ルール表現
計画作成帳票	ガント図等
組合せ最適化問題	数理モデル

アプリケーションドメイン (AD) モデル

構成要素	記述方法
解法	フローチャート, ルール表現, 表形式
データベーススキーマ	オブジェクト図
ユーザインタフェース	オブジェクト図

例については、3.5 節で示すこととし、ここでは構成要素の概要とその記述方法の選択理由について述べる。

PD モデルは、要求分析の中でも特に業務分析フェーズにおいて参照される。物流ネットワーク、物・情報の流れは計画立案の対象を理解するのに役立つ。計画業務処理、計画作成知識、計画作成帳票は、システム化の対象となる輸配送計画業務処理の理解に役立つ。組合せ最適化問題は、輸配送計画業務処理を含む数理的な特徴を明確にする。AD モデルは、要求分析におけるシステム要求仕様化フェーズにおいて参照される。構成要素は組合せ最適化問題を扱うシステム部分の入力、処理、出力の検討に必要な情報的に絞っている。

ドメインモデルの記述は、OMT を基本としながらも、表2のように構成要素ごとに最良の記述法を選択する方法をとる。OMT で記述しない構成要素が、本ドメインの特徴を示しているとも考えることができる。計画作成知識、解法に利用されるヒューリスティクスは、ビジネスルールや立案担当者の経験則を記述するため、ルール表現が適している。計画作成帳票は、管

理工学のツールとして定着している各種の図表を用いる。組合せ最適化問題、解法の記述は、数理モデルとフローチャートを用いるのが自然である。

3.4 類似システム群の分析

輸配送計画システムドメインに属する類似システム群の分析は、我々が開発・コンサルテーションを実施した以下の5つのシステム事例を中心としながら、補足的に物流情報システム担当SEへのヒアリング、他社システム構築事例を紹介した文献、組合せ最適化問題の解法をまとめた文献²⁾などを情報源とした。以下に、自ら開発に携わった5つのシステムの概要を示す。これらはいずれも物流業サブドメインに属している。

- 配車計画システム: 輸送ハブから複数デポまで放射状に広がる定期トラック路線を対象として、輸送便への効率的な車両割当てを決定する。輸送便の経路、スケジュールはすでに人手で作成されており、車両の割当てのみをシステム化の対象とする。
- 輸送ダイアグラム作成支援システム: 上記の配車計画で扱うような定期トラック路線において、輸送便のダイアグラムを作成する。ダイアグラムは、定常的な輸送需要に対して、車両の積載量、荷積・荷卸に必要な作業時間、勤務形態などの制約条件を考慮する必要がある。
- 配送経路決定システム: デポから複数荷主への配送において、車両数と効率的な配送経路を決定する。経路の決定には、デジタル道路地図を活用する。
- 輸送シミュレーションシステム: 全国にまたがる広域物流ネットワーク上の集荷、輸送、配送を対象として、輸配送に関するパラメータを操作した際の輸配送状況の変化をシミュレートする。シミュレーションとしては、ある地域へ最短時間で輸送するための便乗継ぎパターンの決定、一定時間で

到達可能な物流拠点の抽出などが行える。

- 輸送容器回送計画システム：全国数十地点間で、空になった輸送容器の回送を効率的に行うための回送計画を立案する。回送計画は、輸送容器の需給予測を行ったうえで、回送コストをできるだけ抑えるようにトラック数、経路を決定する。

類似システム群の分析における基本的な方針を以下に示す。

(1) PD モデル構築に必要な情報の抽出

各システム事例の業務設計書、要求仕様書、文献を情報源として、PD モデルの各構成要素についての情報を抽出する。ドキュメントの記載内容が不十分であったり、理解できない箇所については、担当者へのヒアリングを実施する。組合せ最適化問題については、(3) の方針に基づいて分析を行う。

(2) AD モデル構築に必要な情報の抽出

各システム事例のシステム設計書、プログラム設計書、ソースコードを情報源として、AD モデルの各構成要素についての情報を抽出する。解法については、(4) の方針に基づいて分析を行う。

(3) 組合せ最適化問題についての情報の抽出

組合せ最適化問題の整理は、文献 2) の問題分類に従って行う。輸配送計画システムで扱う広域物流の組合せ最適化問題は、基本的に決定すべき点は経路とスケジュールであり、どちらを決定するかによって、経路決定問題、スケジュール決定問題、前記 2 つの混合問題の 3 つに大分類できる。これらの分類はさらにいくつかの中分類を持つ。この分類に沿って、収集したシステム事例に含まれる問題の分類を決定する。文献 2) の分類に該当しない問題は別に整理しておく。

(4) 解法についての情報の抽出

文献 2) の問題分類に該当する解法を、5 つの類似システムのほか、文献より収集する。解法は大きく、OR 最適解法、OR 近似解法、AI 手法、モダンヒューリスティクス（遺伝的アルゴリズムの応用など）の 4 つのタイプに分けることができるが、モダンヒューリスティクスについては、実用システムの事例報告がまだ少ないため、今回のドメインモデル構築では対象外とする。

3.5 ドメインモデルの構築

類似システム群の分析によって得られた情報をもと

にドメインモデルの構築を行う。なお、以下に示すドメインモデルの例は、4 章における実際の要求分析への適用例にて参照する。

3.5.1 PD モデル

PD モデルは、表 2 に示すように物流ネットワーク、物・情報の流れ、計画業務処理、計画作成知識、計画作成帳票、組合せ最適化問題の 6 つの構成要素から成る。これらモデルの構築は、a) 類似システム群の分析結果をネットワーク構造およびサービスの点から整理する、b) PD モデルのうち、OMT を使う部分を記述する、c) 計画業務作成知識、計画業務帳票を計画業務処理（データフロー図）に関連づけて整理する、d) 組合せ最適化問題のモデルを記述するという基本手順で進める。

物流ネットワークは、物流拠点と輸配送路を表す狭義の物流ネットワーク、狭義の物流ネットワーク上を移動する車両・荷物等の移動物、輸配送での情報の流れを形成する情報ネットワークそれぞれの関係をオブジェクト図で記述する。物流ネットワークは、国土の地理的特徴のほか、企業規模に適した編成パターンをとる。我々のドメインモデルにおいては、物流ネットワークの編成パターンを 3 階層型、2 階層型、スーパーハブ型の 3 つに分けて記述している（図 4）。3 階層型は、全国展開している大手の物流業で多く見られる。2 階層型は、中堅規模の物流業のほか、荷主物流で見られる。スーパーハブ型は、Federal Express など米国の大手物流業に多く採用されているが、日本では航空便を主体とした一部の地域にのみ見られる程度である。図 5 のオブジェクト図は、2 階層型を表したものである。

物・情報の流れは、事象トレース図と状態図で記述する。図 6 の事象トレース図は、配送地から支店に商品を発注し、デポから配送する際の物・情報の流れの一部を示している。図 7 の状態図は、出荷指示にともなうデポ内での各作業のタイミングを示している。

計画業務処理は、データ入出力と処理の関係を明確にするためにデータフロー図で記述する。図 8 のデータフロー図は、人手で配送計画を立案する際に参照する情報、作成する帳票と各処理の関係を示している。データフロー図ではうまく記載できない

- if 積載容量の異なる車両が混在
then 容量の大きい車両から割り付ける
- if 配送先に制約条件が付加されている
then 制約条件の厳しいところから割り付ける

といったビジネスルールや経験則は、計画作成知識としてルール表現で記述する。計画業務処理で使用する

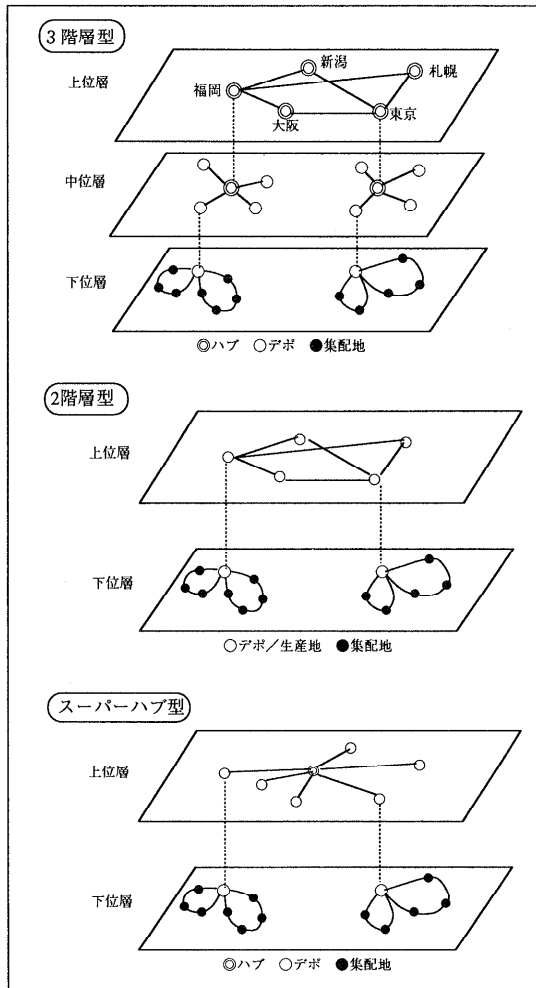


図4 物流ネットワークの編成パターン
Fig. 4 Distribution network patterns.

様々な帳票のフォーマット，表記方法，他の帳票との参照関係は，計画作成帳票として整理しておく。帳票の種類としては，路線図，ダイヤグラム，要員ガント図，車両ガント図，便接続表，輸送パターン図，在庫変動グラフ，地図などがある。

3.5.2 組合せ最適化問題の分類

PDモデルの構成要素の1つである組合せ最適化問題については，文献2)の分類のうち輸配送計画システムとして不要と思われるものを削除し，混合問題として新たに扱いたいものを追加し，最終的には3つの大分類，11の中分類で問題タイプを定義した。

経路決定問題は，中分類として巡回セールスマン問題 (TSP: Traveling Salesman Problem)，車両経路問題 (VRP: Vehicle Routing Problem)，郵便配達人問題 (CPP: Chinese Postman Problem) を持つ。巡

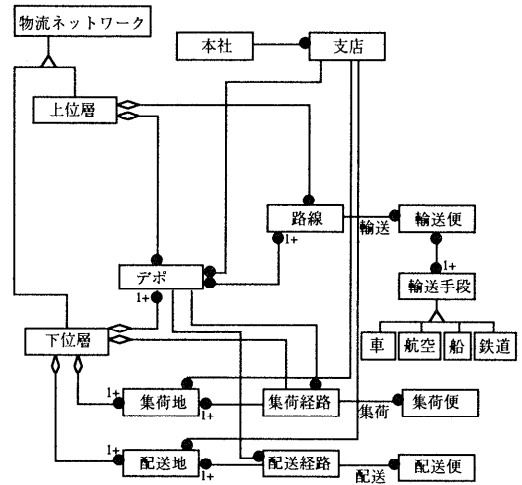


図5 オブジェクト図の例 (物流ネットワーク)
Fig. 5 An object diagram (distribution network).

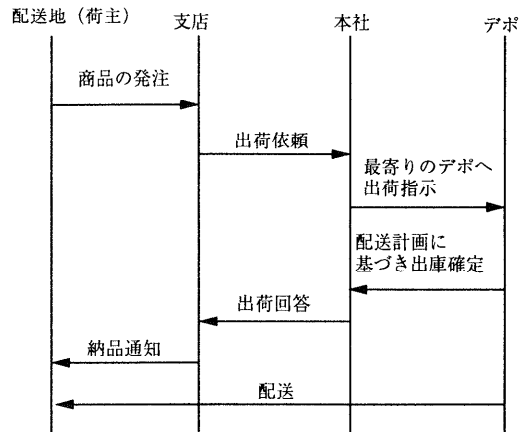


図6 事象トレース図の例 (物・情報の流れ)
Fig. 6 An event diagram (materials/information flow).

回セールスマン問題は，セールスマンがネットワーク上のオフィスに相当するノードを出発して，他のすべてのノードをただ1回訪問して，再びオフィスに戻ってくる場合，最短経路を求める問題である。これは，経路を決定する様々な問題に適用できる。車両経路問題は，工場から出発したトラックが小売店へ商品を配送するような，車両の経路を求める問題である。郵便配達人問題は，すべてのアークを少なくとも1回通過する経路の中で最短のものを見つける問題であり，郵便物の配達のように需要点が密集しアーク上に存在するような問題に適用できる。

スケジュール決定問題は，中分類として車両スケジュール問題 (VSP: Vehicle Scheduling Problem)，

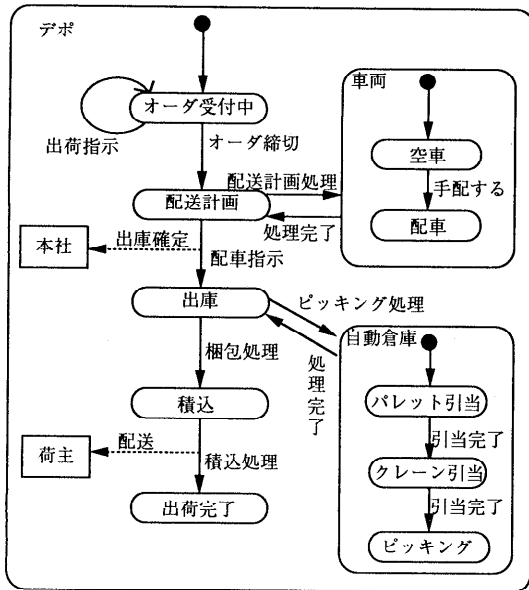


図7 状態図の例(物・情報の流れ)
Fig. 7 A state diagram (materials/information flow).

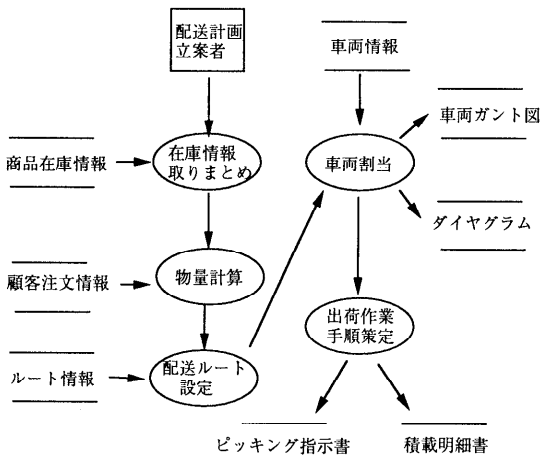


図8 データフロー図の例(計画業務処理)
Fig. 8 A data flow diagram (scheduling transaction).

要員スケジュール問題 (CSP: Crew Scheduling Problem) を持つ。車両スケジュール問題は、効率の良い車両割当てをを求める問題である。要員スケジュール問題は、定期トラック路線の乗員を決定するような、ある仕事に対して、乗員や作業員を効率良く割り当てる問題である。

混合問題は、中分類としてトラック配送問題 (VRSP: Vehicle Routing and Scheduling Problem), 航空機輸送問題 (ARSP: Airplane Routing and Scheduling Problem), トレーラ輸送問題 (TRSP: Tractor Trailer Routing and Scheduling Problem), スクールバス問題 (BRSP: School Bus Routing and Scheduling Problem), ごみ収集問題 (SRSP: Street Sweeper Routing and Scheduling Problem), 回送計画問題 (FRSP: Forward Routing and Scheduling Problem) を持つ。トラック配送問題は、配送センターから小売店へ配達する際の経路とスケジュール両方を求める問題である。航空機輸送問題は、航空機による各都市間の輸送ルートとスケジュールを不確定な貨物量を考慮しながら求める問題である。トレーラ輸送問題は、トラクタにより牽引されるトレーラにいくつかの地点で荷物を集荷し、それをいくつかの地点に配送する問題であり、集荷と配送が混在している点の特徴となっている。スクールバス問題は、学校の始業時間までに、決められたノードの前後関係制約を考慮して経路とスケジュールを立案するもので、荷物の集荷計画に应用できる。ごみ収集問題は、路上のごみを複数の車で収集する経路とスケジュールを立案するもので、需要点が密集した集荷計画に应用できる。回送計画問題は、コンテナやパレットといった輸送容器が空になった際に、空容器を必要としている物流拠点に回送を行う経路とスケジュールを立案する問題である。回送は、各物流拠点ごとの容器の在庫管理問題と密接に関係している。

ing Problem), トレーラ輸送問題 (TRSP: Tractor Trailer Routing and Scheduling Problem), スクールバス問題 (BRSP: School Bus Routing and Scheduling Problem), ごみ収集問題 (SRSP: Street Sweeper Routing and Scheduling Problem), 回送計画問題 (FRSP: Forward Routing and Scheduling Problem) を持つ。トラック配送問題は、配送センターから小売店へ配達する際の経路とスケジュール両方を求める問題である。航空機輸送問題は、航空機による各都市間の輸送ルートとスケジュールを不確定な貨物量を考慮しながら求める問題である。トレーラ輸送問題は、トラクタにより牽引されるトレーラにいくつかの地点で荷物を集荷し、それをいくつかの地点に配送する問題であり、集荷と配送が混在している点の特徴となっている。スクールバス問題は、学校の始業時間までに、決められたノードの前後関係制約を考慮して経路とスケジュールを立案するもので、荷物の集荷計画に应用できる。ごみ収集問題は、路上のごみを複数の車で収集する経路とスケジュールを立案するもので、需要点が密集した集荷計画に应用できる。回送計画問題は、コンテナやパレットといった輸送容器が空になった際に、空容器を必要としている物流拠点に回送を行う経路とスケジュールを立案する問題である。回送は、各物流拠点ごとの容器の在庫管理問題と密接に関係している。

3.5.3 ADモデル

ADモデルは、表2に示すように解法、データベーススキーマ、ユーザインタフェースの構成要素から成る。モデルの構築は、a) ADモデルのうちOMTを使う部分を記述する、b) 組合せ最適化問題に対応する解法を記述する、という基本手順で進める。

解法は、組合せ最適化問題のタイプと、それに対して利用可能なアルゴリズムを表形式で整理し、アルゴリズムの処理そのものは、フローチャートで記述する。また、アルゴリズムの一部として利用できる立案担当者のビジネスルール、経験則などは、ルール表現で補助的に記述する。データベーススキーマは、計画を立案する際の入力となる情報(便データ、線路データ、車両データなど)をオブジェクト図で記述する。OMTではオブジェクト図で記述したデータベーススキーマをリレーショナルモデルの第3正規形にシステマティックに変換する手順を示しており、商用RDBMSへの対応も容易に行える。ユーザインタフェースは、立案した計画の確認表示・編集用として必要となるダイヤグラム、ガント図などのユーザインタフェース仕様をオブジェクト図で記述する。

	経路決定問題	巡回セールスマン問題(TSP)	車両経路決定問題(VRP)	郵便配達人問題(OPP)	スケジュール決定問題	車両スケジュール問題(VSP)	要員スケジュール問題(CSP)	経路・スケジュール混合問題	トラック配送問題(TRSP)	航空機輸送問題(ARSP)	トラレーフ輸送問題(TLSP)	スクールバス問題(BRSP)	ごみ収集問題(GRSP)	回送計画問題(RRSP)
計画の対象物														
車両		×	×	×		×			×		×	×	×	×
要員		×		×			×							
求めるもの														
経路		×	×	×					×	×	×	×	×	×
スケジュール						×	×		×	×	×	×	×	×
対象業務														
集荷		×	×	×		×	×				×	×	×	
輸送		×				×	×			×				
配送・配達		×	×	×		×	×		×		×			
回送		×				×	×							×
需要地の配置														
密集する				×										×
密集しない		×	×			×	×		×	×	×	×		×
計画レベル														
日程レベル						×	×							×
時刻レベル						×	×		×	×	×	×	×	

図9 対象業務特性/問題タイプの対応表

Fig. 9 Relationship matrix between characteristics of business and combinatorial optimization problem types.

3.6 ドメインモデルの修正・拡張

構築したドメインモデルは、要求分析を担当するシステムエンジニアとORエンジニアに試用評価してもらい^{17),18)}、修正・拡張を数回繰り返した。分析者らは、初期のドメインモデルに対して有用性を認めてくれたものの、一方で、実際の要求分析で利用していくために解決すべきいくつかの問題点も指摘した。主要な問題点としては、以下の3つがあげられた。

- システム化の対象業務に含まれる組合せ最適化問題が、PDモデルで示した分類のどのタイプの問題に対応するかを特定しにくい。数理的な定式化だけでは、システムエンジニアにとって理解しにくい(問題点1)。
- システム化に対する種々のユーザ要求のもとで、どの解法を選択すべきかを簡単に検討できない(問題点2)。
- 要求分析におけるドメインモデルの利用手順が明確化されていないため、現行の要求分析作業との

かわりがはっきりしない(問題点3)。

これら問題点への対応として、以下の方針でドメインモデルの修正・拡張を行った。問題点1については、システムエンジニアが把握した対象業務の特徴から、組合せ最適化問題のタイプを容易に特定するための表を設けた(図9)。この表は、対象業務の特徴を表す項目と、組合せ最適化問題のタイプを表す項目の対応関係を示したものである。問題点2については、初期のモデルで用意した問題タイプと解法を対応づける単純な表を改良し、システム化に対するユーザ要求の特性に基づき解法を選択できるようにした(図10)。この表は問題タイプごとに用意され、解法の入力となるデータベース、出力となるユーザインタフェースとの関連も記述できる。なお、2つの表を参照して得られる組合せ最適化問題のタイプとそれに対応する解法は、あくまでも要求分析段階で把握したシステム化の概略仕様であるため、後の設計工程において、プロトタイプングを実施しながら、システム化対象固有の特性を

	OR最適解法	解法① minimum cost flow algorithm	OR近似解法	解法② concurrent scheduler	解法③ two step approaches	解法④ interchange heuristics	AI手法	解法⑤ expert system
解導出の方針								
最適解	×							
実行可能解								
初期解				×	×			
初期解の改善が可能					×	×		
立案者と同等レベル								×
制約条件								
デポの数								
1つ		×						
複数				×	×	×		×
車両の種類								
単一		×						
混合				×	×	×		×
車両の走行時間制約								
扱える				×	×			×
扱えない		×			×			
入力とするデータベース								
顧客注文		×		×	×	×		×
初期ダイヤ						×		
車両情報				×	×	×		×
ルート情報		×		×	×	×		×
立案結果の表示								
ダイヤグラム				×	×	×		×
路線図								
車両ガント図		×		×	×	×		×

図 10 システム化特性/解法の対応表 (車両スケジュール問題)
 Fig. 10 Relationship matrix between characteristics of systematization and combinatorial optimization problem methods (Vehicle scheduling problem).

考慮した解法の開発・検証を行う必要がある。問題点 3 については、社内のシステム開発標準の要求分析工程におけるドメインモデル利用のあり方を考察したうえで¹⁸⁾、利用手順を表 3 のように定めた。

上記の問題点を解決したドメインモデルは、要求分析での詳細な利用手順、物流用語集、例題などを含んだハンドブック形式としてリリースの形態が定まった。

4. ドメインモデルの要求分析への適用例

本章では、得られたドメインモデルを実際の要求分析に適用した例について述べる。適用事例としては、物流業サブドメインの 2 システム、荷主サブドメインの 2 システムがあるが、ここでは荷主サブドメインに属する X 社向け配送計画システムの要求分析を例に説明を行う (物流業サブドメインのシステムへの適用例については、文献 19)、20) を参照されたい)。

4.1 対象問題の概要

関東を中心に工場を 2 カ所、配送センターを 12 カ所持ち、各配送センターから 30 程度の小売店に毎日配送を行っている加工食品メーカー X 社の物流部門の担当者から、以下のような配送計画業務の現状の課題をヒアリングした。

- 現状のトラック配送計画業務

配送センターごとに立案担当者が 2 人程度おり、小売店からの発注に基づき、翌日の詳細な配送計画を手作業で立案し、さらに当日に多少の微調整を行っている。配送ルートは、過去の実績をもとに固定で設定している。各配送センターは多少のばらつきがあるものの複数車種のトラック 10 台程度が運行可能である。数年前、配送体制が見直されたことにより配送量が増加し、各配送センターのトラックは不足がちである。この対策として、各配送センターは不足分を契約業者の最奇りの備車 (レンタル車両) センターより確保している。配送計画の立案は、搭載する荷物による車種決め、労働協約に基づく最長走行時間の厳守、備車の確保などを考慮する必要があるため、業務を熟知した担当者しか行えない。そのため、担当者は土曜日でも必ず勤務しなければならず、負荷が非常に高い。

- 配送計画システム導入への期待

将来的には配送ルートの最適化を実施したいが、まずはできるだけ早く現行ルートのうえで配送計画立案のシステムを稼働させ、担当者以外でも立案できる体制を確立したい。システムの導入効果としては、計画の最適化よりも、立案業務の効率化と突発的な配送要求への対応を狙っている。

4.2 要求分析の結果

課題解決のためのシステムを X 社に提案するために、ドメインモデルを用いて要求分析を行った。以下、表 3 の利用手順に従って要求分析作業の概要を示す。

(1) 業務分析

(a) 物流ネットワークは、2 つの工場、12 の集配

表3 ドメインモデルの利用手順

Table 3 Procedure for using the domain model.

1. 業務分析における PD モデルの参照	
1)	「物流ネットワーク」を表すオブジェクト図を参照して、システム化対象とする物流ネットワークの編成パターン（3階層型，2階層型，スーパーハブ型のいずれか）を特定し，その構造を理解する。
2)	「物・情報の流れ」の事象トレース図を参照して，対象としている輸配送業務に類似した事象トレース図（業務シナリオに相当）を選択する。
3)	選択した事象トレース図に関連する状態図を参照して，各物流拠点での業務のタイミングを理解する。
4)	「計画業務処理」を表すデータフロー図を参照して，計画立案業務のデータ入出力と処理の関係を理解する。
5)	「計画作成知識」を表すルール表現を参照して，データフロー図では表しきれないビジネスルール，経験則を理解する。
6)	「計画作成帳票」を表す各種帳票を参照して，データフロー図の入出力の詳細を理解する。
7)	「組合せ最適化問題」のタイプを決定するための表を参照して，システム化の対象業務に含まれる問題タイプを特定する。複数候補が得られる場合もある。
8)	以上から，システム化におけるユーザ要求を明確にする。
2. システム要求仕様化における AD モデルの参照	
1)	「解法」を選択するための表を参照し，ユーザ要求に適した解法を選択する。解法の詳細は，フローチャート，ルール表現を参照する。
2)	「データベーススキーマ」を表すオブジェクト図を参照して，入力項目を洗い出す。
3)	「ユーザインタフェース」を表すオブジェクト図を参照して，出力項目を洗い出す。
4)	以上から，システム（組合せ最適化問題を扱うソフトウェア部分）の入力，処理，出力の概略仕様を定義する。

センターとその配下の小売店から成る2階層モデルである（図4，図5参照）。

- (b) システム化の対象としている業務は配送業務であるが，配送ルートの設定は当面システム化の対象外となっている。そのため，車両の割付けのみが立案の対象となる（図6から図8参照）。
- (c) 対象とする配送業務の特徴から，問題のタイプは車両スケジュール問題として扱うこととする（図9参照）。
- 計画を立案する際の対象は配送トラック
 - 計画として求めたいのはスケジュール
 - 対象業務は配送
 - 需要地は密集していない
 - 計画は時刻レベル
- (d) システム化に対するユーザ要求を整理する
- 早期のシステム稼働を望んでいる
 - システム導入によって，立案担当者以外でも立案できるようにする
 - 計画の最適化にはこだわっていない
 - 制約条件として，複数のデポ（配送センターで不足した場合，契約業者からの備車があるため），複数タイプの車両，車両連続走行時間の上限を考慮する必要がある。
- (2) システム要求仕様化
- (a) システム化に対するユーザ要求から，解法2，

4，5が候補として考えられる（図10参照）。しかし，ユーザはシステムの早期稼働を望んでおり，かつ立案担当者が繁忙をきわめている現状から考えて，立案担当者の協力が不可欠な解法5の導入は容易ではない。

- (b) したがって，この問題に対してまず適用を検討すべきは解法2，4であると考ええる。
- (c) 解法4は，なんらかの方法ですでに得られた初期解を改善するための解法であるため，単独での適用はできない。そのため，解法2で得られた初期解を解法4で改善する方法をとることにする。
- (d) 解法2，4の入力として用意するデータベースは，顧客注文，車両情報，ルート情報とする。初期ダイヤについては解法2の出力を利用する（図10参照）。
- (e) 詳細なデータ項目は，ADモデルのデータベーススキーマを参照して決定する。
- (f) 解法2，4の出力として用意するユーザインタフェースは，ダイヤグラム，車両ガント図とする（図10参照）。
- (g) 詳細な表示項目は，ADモデルのユーザインタフェースを参照して決定する。

最終的に，提案するシステムの概略仕様は図11のようになった。ただし，現時点では考慮すべき制約条件の詳細が明らかになっていないため，解法2，4の

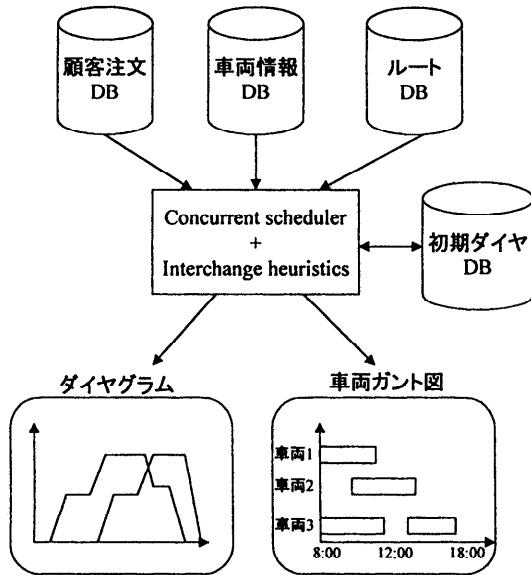


図 11 要求分析の結果

Fig. 11 Result of requirements analysis.

併用で実験的なプロトタイプングを実施し、実用システムの可能性を検証する必要があることをユーザに理解してもらった。解法 2, 4 で十分扱えない場合は、解法 5 によるシステム構築が代替案としてあることもあわせて説明した。

5. 考 察

本章では、要求分析におけるドメインモデル利用の評価、実施したドメイン分析プロセスの評価、関連研究との比較という観点で考察を行う。

5.1 ドメインモデルの評価

4 システムの要求分析に対する適用を通して、ドメインモデルの有効性と残された課題が明らかになった。**導入効果** 要求分析者は、ドメインモデルを利用することの意義を、1) 輸配送計画システムの要求分析に必要な知識が体系化されたこと、2) 専門分野の異なるシステムエンジニアと OR エンジニアが共同で要求分析に取り組むための基盤を得ることができたこと、にあると評価した。そして、従来要求分析で課題 (2.2 節) となっていた、a) 業務特性を考慮した組合せ最適化問題の分析、b) 設計工程以降のリスク把握、c) 分析者間のコミュニケーションについて大幅に改善できるとの見通しを得た。加えて、業務知識のない開発メンバの教育に役立つ、要求分析作業の標準化につながる、といった副次的な効果も期待できることが分かった。しかし、ドメインモデルはあくまでも過去の開発から得られた知見をまとめ

たにすぎず、最適な仕様の検討を保証するものではない。場合によっては、新しい視点でのシステム化の検討を妨げてしまう恐れがある。ドメインモデル利用の効用と限界については、利用者によく理解してもらうことが必要である。

提供形態 ドメインモデルの記述は、分析者による試用結果をもとに修正・拡張 (3.6 節) を行ったため、システムエンジニア、OR エンジニア双方ともに理解しやすくなっている。ただし、現行のハンドブック形式による提供形態では、要求分析作業の効率化を図るうえで限界がある。今後は、本格的なドメインエンジニアリングを実施し、AD モデルのソフトウェア部品化とそれを用いたプロトタイプング環境の提供を行い、要求分析の中で組合せ最適化問題の明確化とそれに対する解法を素早く検討できるようにする。そして、要求分析以降の設計、実装の効率化にもつなげていく。

適用範囲 物流業サブドメインのシステム 2 事例、荷主サブドメインのシステム 2 事例に対する要求分析でドメインモデルを利用し、その有効性を確認できた。ただし、ドメインモデルを構築する際の類似システム群の分析において、結果的に物流業サブシステムのシステムを中心とした情報収集となってしまったため、荷主サブドメインに対応する部分のモデルが不十分である恐れがある。荷主サブドメインのシステムは、物流業のシステムに比べてその規模は小さいものの、扱う商品によって産業構造や流通チャネルが異なるため、PD モデルの拡充が今後必要になると思われる。輸配送計画システムは、国家的なレベルで推進が始まった高度道路システム (ITS: Intelligent Transport System)⁶⁾ 開発の主要なテーマの 1 つとして取りあげられており、今後、大手企業のみならず中堅企業まで幅広く導入に取り組むものと予想される。したがって、本研究で構築したドメインモデルの利用ニーズは今後さらに高まるものと思われる。以上から、構築したドメインモデルは輸配送計画システム全般に適用可能な枠組みを有するとともに、ドメインの境界定義も適切であったと考える。

5.2 ドメイン分析プロセスの評価

輸配送計画システムにおけるドメイン分析プロセスを汎用的なドメイン分析プロセスと比較し、その特徴を明らかにする。汎用的なドメイン分析プロセスはいくつか提案されているが、具体的な適用事例が多く報告されているという点で、D-AME プロセス¹¹⁾ を選定する。

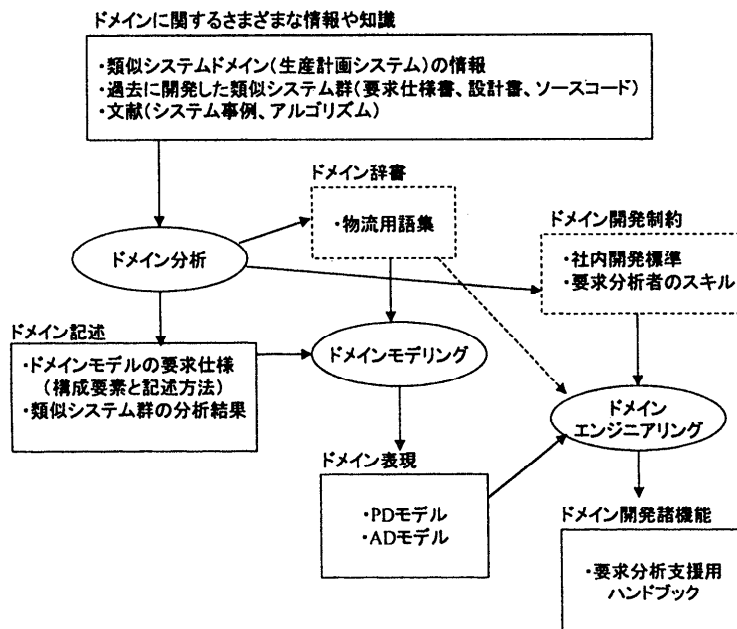


図 12 D-AME プロセスとの比較
Fig. 12 Comparison with D-AME process.

本ドメイン分析のプロセスを D-AME プロセスに対応づけてみたのが図 12 である。D-AME プロセスは、(狭義の)ドメイン分析、ドメインモデリング、ドメインエンジニアリングの 3 つのプロセスから構成される。ドメイン分析プロセスは、分析対象のドメインの中に含まれる様々な情報を整理するプロセスであり、本研究では、類似システムドメインとの比較、ドメインモデルの要求仕様設定、類似システム群の分析(図 3 の Step1 から Step3)がこのプロセスに相当する。D-AME プロセスでは、このプロセスの出力としてドメイン辞書、ドメイン開発制約が定義されているが、本ドメイン分析では明確に認識されていなかった。しかし、分析過程で明らかになったドメイン辞書に相当する物流用語集、ドメイン開発制約に相当する社内開発標準および分析者に必要なスキルは、ドメインモデルの構築と利用を行ううえでの重要な情報として参照されている。

ドメインモデリングプロセスは、ドメイン分析の出力情報をもとに、ドメインモデルを得るプロセスであり、本研究では、ドメインモデル構築、ドメインモデル修正・拡充(図 3 の Step4 から Step5)に相当する。ドメインモデル修正・拡充は、要求分析でドメインモデルを試用評価するとともに、要求分析の対象とした輸配送計画システムをドメイン分析の新たな情報源として使用してモデルを拡充するため、D-AME プロセ

スの分析プロセスに立ち戻っていることになる。

ドメインエンジニアリングは、ドメインに属するシステム開発を効率化するためのさまざまな機能、方法、開発、環境などを開発するプロセスであり、本研究では明確にこのプロセスは認識されていなかった。しかし、獲得したドメインモデルを要求分析者に利用してもらうため、ハンドブックとしての形態をとったことは、エンジニアリングプロセスの一部と考えることができる。今後予定している AD モデルの部品化とそれに基づくプロトタイプ環境の整備などは本格的なドメイン諸機能の開発であると位置付けることができる。

以上から、本研究におけるドメイン分析は、類似システムドメインと比較したうえでドメインモデルの要求仕様を定めた点と、分析とモデリングの繰返しのプロセスをドメインモデルの修正・拡充として明示的に定義している点にプロセスとしての特徴があるといえる。

5.3 関連研究との比較

本節ではスケジューリングシステムの開発方法論、要求分析とドメインモデルの関係といった点から関連研究との比較を行う。

藤本ら⁸⁾は、生産スケジューリングシステムの開発方法論を構築するための基礎的考察として、生産スケジューリング問題および解法の複雑度を定義し、デー

データベース化することを試みている。具体的には、事例を中心とした文献を収集し、a) 対象工程のモデル化とその難しさ、b) 生産スケジューリング問題の記述・定式化の難しさ、c) 解法の難しさ、d) システム実用化の難しさ、といった観点で生産スケジューリング問題および解法の分類とそのデータベース化を検討している。これは、生産スケジューリングシステムの開発方法論を考えるうえでの1つの礎になると思われるが、まだ調査研究の段階であり、実際のシステム開発での検証は行われていない。

Horiら¹⁰⁾は、知識ベースアプローチによる生産スケジューリングシステムを主に対象として、生産スケジューリング問題を解く際のタスクオンロジーに着目し、スケジューリング用の知識部品の抽出を試みている。具体的には、a) 問題記述および解法記述のための基本語彙、b) 問題解決パターン、c) 部品、の抽出といった手順でドメイン分析を行うことを特徴とする。堀らの研究が生産スケジューリングにおける知識の再利用を主眼としているのに対して、本研究は、ドメインモデルに基づいて輸配送計画システムの要求分析を支援することを目的として実施されており、ドメイン分析プロセス、ドメインモデル構造の点からも異なっている。

要求分析において、対象ドメインの特性を理解することの重要性はJackson²¹⁾など多くの研究者によって指摘されてきた。要求分析プロセスの改善を狙ったドメイン分析・モデリング研究としては、リアクティブシステムの分析・設計向きドメインモデル Asdreas STD Triad²²⁾、建築設計のドメインモデルに基づいた概念モデル記述言語 BDLの要求分析と仕様化²³⁾、事務処理ドメインにおける要求定義の作業手順と仕様記述法の再利用²⁴⁾などがある。

Arangoら²⁵⁾は、要求分析とシステム設計の統合を目的としたドメイン分析を初めて試みた。これは、特定ドメインの技術情報をハンドブック形式で提供し、要求分析とシステム設計のギャップを埋めることを可能としている。要求分析工程において設計工程のリスク把握を狙っている点とドメインモデルがハンドブック形式をとっている点で本研究との共通点を有するが、分析のアプローチおよびドメインモデル構造はまったく異なる。

6. おわりに

本稿では、輸配送計画システムにおけるドメイン分析と、得られたドメインモデルによる要求分析支援について報告した。

ドメイン分析は以下の3つの基本方針に基づいて実施した。第1に、ドメイン分析の手順は、類似するシステムドメインとの比較を通してドメインモデルの要求仕様を明確化にし、それをドメイン分析のゴールとした。第2に、ドメインモデルの記述は、代表的なオブジェクト指向分析手法 OMT を基本としながらも、構成要素ごとに最良の記述法を選択する方法をとった。第3に、ドメインモデルの利用は、現状の要求分析が抱える課題の解決に焦点を絞った。

構築したドメインモデルを実際の要求分析に適用した結果、従来の要求分析で課題となっていた、a) 業務特性を考慮した組合せ最適化問題の分析、b) 設計工程以降のリスク把握、c) 分析者間のコミュニケーション、の大幅な改善が可能であるとの見通しを得た。輸配送計画システムにおけるドメイン分析の意義は、数理的かつ専門性が求められる輸配送計画システムの要求分析に必要な知識が体系化されて利用できるようになったこと、専門分野の異なるシステムエンジニアと OR エンジニアが共同で要求分析に取り組むための基盤を得ることができたことにある。

今後の課題としては、AD モデルのソフトウェア部品化とそれをを用いたプロトタイプ環境構築を目指したドメインエンジニアリングの実施、荷主サブドメインのシステムに対するさらなる適用評価と PD モデルの拡充があげられる。

謝辞 本研究の機会を与えてくださった松下電器産業(株)マルチメディアシステム研究所の中野剛チームリーダー、類似システムの分析に協力いただいた同研究所の島田孝徳氏、神戸信裕氏、要求分析へのドメインモデル適用評価に協力いただいた松下情報システム(株)の渋谷哲主任技師、小平章良氏に深謝いたします。

参考文献

- 1) 今野 浩, 鈴木久敏: 整数計画法と組合せ最適化, 日科技連(1982).
- 2) Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Ball, M.: Routing and Scheduling of Vehicles and Crews, *Comput. & Ops. Res.*, Vol.10, No.2, pp.63-211 (1983).
- 3) Noronha, S.J. and Sarma, V.V.S.: Knowledge-Based Approaches for Scheduling Problem: A Survey, *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, Vol.3, No.2, pp.160-171 (1991).
- 4) 安部恵介, 築山 誠: ロジスティクスにおける輸送計画手法, 計測自動制御学会論文集, Vol.26, No.12, pp.87-94 (1990).
- 5) 山口裕人: 配送スケジューリングシステムの開発,

- オペレーションズリサーチ, Vol.39, No.3, pp.125-130 (1994).
- 6) ITS America (Ed.): *Abstracts of the Third Annual World Congress on Intelligent Transport Systems*, ITS America (1996).
 - 7) 上野信行, 中川義之, 外嶋成留: 生産スケジューリングは役にたったか?—実際の生産スケジューリング問題の課題と解法アプローチ, 精密工学会誌, Vol.60, No.4, pp.502-507 (1994).
 - 8) 藤本英雄ほか: スケジューリング問題・解法の複雑度とそのデータベース化, 生産スケジューリングシンポジウム'97 論文集, pp.233-242 (1997).
 - 9) Kerr, R.: *Knowledge-Based Manufacturing Management*, Addison-Wesley (1990).
 - 10) Hori, M., Nakamura, Y., Satoh, H., Maruyama, K., Hama, T., Honda, S., Takenaka, T. and Sekine, F.: Knowledge-level analysis for eliciting composable scheduling knowledge, *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol.9, No.4, pp.253-264 (1995).
 - 11) 伊藤 潔, 杵嶋修三, 田村恭久, 吉田裕之 (編著): ドメイン分析・モデリング—これからのソフトウェア開発・再利用基幹技術, 共立出版 (1996).
 - 12) 日通総合研究所 (編): 最新物流ハンドブック, 白桃書房 (1991).
 - 13) Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F. and Lorensen, W.: *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice Hall (1991).
 - 14) Abe, A., Nagai, A., Ishiguro, M., Maeda, T. and Nakano, G.: I-CAPE: An Expert System for Production Scheduling in Plastic Molding Factory, *Proc. Japan-U.S.A. Symposium of Flexible Automation'92*, pp.1465-1472 (1992).
 - 15) 阿部昭博, 前田哲司, 島田孝徳, 中野 剛: 樹脂成形工程におけるロット編成融合型スケジューリング手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-D-2, No.2, pp.210-220 (1996).
 - 16) Abe, A., Terano, T. and Yoshizawa, T.: QFD Approach to Managing Prototyping Processes for Knowledge-Based Scheduling Systems, *IJCAI-97 Workshop Proceedings of Validation, Verification and Refinement of AI Systems and Subsystems*, pp.61-64 (1997).
 - 17) 阿部昭博, 島田孝徳, 神戸信裕, 小橋一夫: 輸配送計画システムを対象としたドメイン分析, 情報処理学会研究報告, 95-IS-56, pp.43-52 (1995).
 - 18) 阿部昭博, 小橋一夫: 輸配送計画システムのドメインモデルについて, ソフトウェアシンポジウム'96 論文集, pp.129-137 (1996).
 - 19) 阿部昭博, 小橋一夫: 輸配送計画システムにおけるドメインモデル構築とその評価, ソフトウェア開発のためのドメイン分析・モデリング技術シンポジウム論文集, pp.21-30 (1996).
 - 20) Abe, A.: Domain Model for Transportation and Delivery Scheduling System, Chapter 7, *Domain Oriented Systems Development: Principles and Approaches - IPSJ Advanced Information Technology Series*, Ito, K. (Ed.), Gordon and Breach Science Publishers (1998).
 - 21) Jackson, M.: *Software Requirements & Specifications - A lexicon of practice, principles and prejudices*, Addison-Wesley (1995). 玉井哲雄, 酒匂 寛 (訳): ソフトウェア博物誌—世界と機械の記述, トップラン (1997).
 - 22) 杵嶋修三, 伊藤 潔: リアクティブシステムの分析・設計向きドメインモデル: Asdreas STD Triad, 情報処理学会論文誌, Vol.34, No.9, pp.2025-2036 (1993).
 - 23) 廣田豊彦, 橋本正明, 長澤 勲: 応用ドメインに特化した概念モデル記述言語に関する一考察, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.5, pp.1151-1162 (1995).
 - 24) 名取万里, 加賀谷聰, 本位田真一: ドメイン分析に基づく仕様再利用手法, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.3, pp.393-408 (1996).
 - 25) Arango, G., Schoen, E. and Pettengill, R.: Design as Evolution and Reuse, *IEEE 2nd IWSR*, pp.9-18 (1993).

(平成 9 年 11 月 17 日受付)

(平成 10 年 4 月 3 日採録)

阿部 昭博 (正会員)



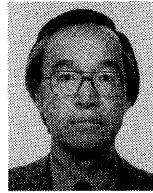
1962 年生。1985 年図書館情報大学図書館情報学部卒業。同年 (株) 富士通東北システムエンジニアリング。1988~1998 年松下電器産業 (株) 東京研究所およびマルチメディアシ

ステム研究所。その間、1996 年筑波大学大学院経営システム科学専攻修士課程修了。1998 年東京大学大学院総合文化研究科博士課程中退。現在、岩手県立大学ソフトウェア情報学部専任講師。スケジューリングシステム、地理情報システム、ソフトウェア開発技術の研究開発に従事。1996 年度本会山下記念研究賞受賞。経営情報学会、日本オペレーションズリサーチ学会、人工知能学会各会員。



小橋 一夫 (正会員)

1950年生。1972年北海道大学工学部精密工学科卒業。1974年同大学院精密工学専攻修士課程修了。同年、松下電器産業(株)入社。シーケンスコントロール用CADシステム、省エネルギー住宅の熱収支計算プログラム、運輸物流向け機器・システムの研究開発に従事。現在、松下通信工業(株)情報システム事業部主席システム技師。



玉井 哲雄 (正会員)

1948年生。1970年東京大学工学部計数工学科卒業。1972年同大学院工学系研究科計数工学専攻修士課程修了。同年(株)三菱総合研究所入社。1985年同社人工知能開発室室長。1989年筑波大学大学院経営システム科学専攻助教授。1994年東京大学教養学部教授、現在に至る。工学博士。ソフトウェアの仕様技術、検証技術、進化プロセスのモデル化等の研究およびそれらの技術の実際的な問題への適用に従事。著書に「ソフトウェアのテスト技法」(共立出版)等、訳書に「ソフトウェア博物誌」(トッパン)等がある。日本ソフトウェア科学会(理事、編集委員長)、電子情報通信学会、日本オペレーションズリサーチ学会、人工知能学会、ACM、IEEE各会員。