

博 士 論 文

シソーラスを用いた要求獲得に関する研究
(Study on requirements elicitation using thesaurus)

2018 年 8 月 27 日

加藤 潤三

立命館大学審査博士論文

シソーラスを用いた要求獲得に関する研究 (Study on requirements elicitation using thesaurus)

2018 年 8 月 26 日

加藤 潤三

KATO Junzo

主査：大西 淳教授

Principal referee : Professor OHNISHI Atsushi

要旨

論文題名：シソーラスを用いた要求獲得に関する研究

加藤 潤三

要求の欠落がない要求仕様書を作成することは、要求工学の課題である。本研究の狙いは、要求獲得時に顧客の要求を十分に獲得して要求の欠落を減らすことである。要求の欠落を減らせるかどうかは顧客から要求を獲得する技術者(要求分析者)の能力(分析能力)と知識(ドメイン知識)に依存する。本研究は要求分析者のドメイン知識不足が原因による要求の欠落に注目している。

本研究の課題は、ドメイン知識のモデル化問題とモデル化したドメイン知識の利用問題の双方を解決することである。これらの問題を解決するために、①ドメイン知識を機能と機能構造に着目したメタモデルの決定、②モデル化したドメイン知識を利用する要求獲得手法、および③ドメイン知識のモデル化手法とその支援ツールを開発した。

1. シソーラスのメタモデル

このシソーラスは、本研究の要求獲得手法(THEOREE)用にドメイン知識をモデル化したものである。メタモデルは、動作と動作対象で表現される機能と機能の構造、機能に付随する品質制約と環境制約(品質以外の制約)から構成される。シソーラスはメタモデルの具体例である。シソーラス内のドメイン知識は、機能と機能構造に着目してモデル化されている。

2. シソーラスを使った要求獲得手法(THEOREE)

THEOREE は、顧客が最初に示す要求の一覧(初期要求リスト)を入力し、要求分析者が顧客と対話して獲得した要求を追加した要求の一覧(改訂要求リスト)を出力する要求獲得手法である。要求分析者は、初期要求リストにある要求を分析し、要求と対応するシソーラスの機能を識別する。識別した機能を顧客との対話の話題とする。顧客と話題について対話することにより要求を獲得する。以降、要求分析者はシソーラスの機能構造を辿り次の話題を決めて顧客と対話によって要求を獲得していく。要求分析者が決める話題は、シソーラスの機能を辿ることによりシソーラスのドメイン知識を組織的に網羅した話題になる。要求分析者と顧客との対話は要求を明確にし、多くの要求を獲得する機会を与える。よって、獲得する要求は多く、欠落を減らすことができる。

3. シソーラスの構築手法と支援ツール

ドメインエキスパートとドメインエキスパートでない要求分析者が作業を分担し、ドメインエキスパートの負荷を減らすことを狙った手法である。(1)要求分析者が技術文書からシソーラスに登録すべき機能の候補を抽出し、(2)ドメインエキスパートが候補を吟味することで、これらの候補からシソーラスに登録する機能と機能に付随する非機能要素を決定するという作業分担と順序である。なお、支援ツールは(1)の作業を支援する。

メタモデルについては、THEOREE,およびシソーラス構築手法と支援ツールのいずれも

有用性が確認できたため、シソーラスのメタモデルは要求獲得において有用である.

Abstract

Title : Study on requirements elicitation using thesaurus

KATO Junzo

Describing requirements specifications without missing requirements is a challenge for requirements engineering. The purpose of this study is to sufficiently elicit a client's requirements in the requirements elicitation phase to reduce missing requirements. Whether missing requirements can be reduced depends on an engineer's (i.e., requirements analyst's) capability to elicit requirements from the client and his/her knowledge (domain knowledge). This study focuses on missing requirements due to the requirements analyst's lack of domain knowledge.

The aim of this study is to resolve both the problem modeling of domain knowledge for eliciting requirements and the problem of how to use the modeled domain knowledge for eliciting requirements. In order to resolve these questions, we (1) determined a metamodel to organize domain knowledge focusing on functions and functional structure, (2) developed a method for eliciting requirements by using organized domain knowledge, and (3) developed a method and an assistance tool for modeling of domain knowledge.

1. Metamodel of a thesaurus

A thesaurus is domain knowledge modeled for the purpose of requirements elicitation method (THEOREE) in this study. The metamodel comprises of functions and functional structure that are expressed by actions and action objects, and quality constraints and environmental constraints (other than quality constraints) incidental to the functions. A thesaurus is a concrete example of the metamodel. Domain knowledge within a thesaurus is modeled in terms of functions and functional structure.

2. Method for eliciting requirements by using a thesaurus (THEOREE)

THEOREE is a method for eliciting requirements in which a client inputs a list of initial requirements (initial requirements list) into the system, which then outputs a list of requirements (revised requirements list) including additional requirements that a requirements analyst elicited through interacting with the client. The requirements analyst analyzes the requirements in the initial requirements list to identify functions in the thesaurus corresponding to the requirements. The analyst uses the identified functions as topics in the interaction with the client. Through the interaction the analyst elicits the client's requirements on a topic. After that, the analyst follows the functional structure of the thesaurus to determine the next topic to elicit requirements through another interaction with the client. By following the functional structure of the thesaurus, the analyst is able to determine topics which systematically cover the domain knowledge in the thesaurus. These interactions between the analyst and client make requirements clear and provide opportunities to elicit many requirements. Therefore, this method makes it possible to elicit many requirements and reduce missing requirements.

3. Thesaurus development method and assistance tool

The thesaurus development method is aimed at reducing the domain expert's workload by dividing tasks between a domain expert and a requirements analyst who is a non-domain expert. The work division and sequence are such that (1) a requirements analyst extracts from technical documents candidates for functions that should be registered with the thesaurus and (2) a domain expert scrutinizes the candidates to determine which functions and non-functional elements pertaining to the functions to register with the thesaurus. The supporting tool assists the process in (1).

Regarding the metamodel, as we were able to confirm the usefulness of THEOREE, the thesaurus development method, and the supporting tool, the metamodel of thesaurus is useful in requirements elicitation.

目次

1. はじめに	1
1.1 背景.....	1
1.2 要求プロセスの課題.....	4
1.3 要求の欠落問題	6
1.4 本論文の目的と研究課題	9
1.5 本論文の構成.....	10
2. 課題解決へのアプローチ	11
2.1 課題の分析と問題解決の方針.....	11
2.2 解決へのアプローチ	16
3 要求獲得のためのドメイン知識.....	19
3.1 要求獲得手法とモデル化したドメイン知識.....	19
3.2 シソーラスの要件.....	19
3.3 シソーラスのメタモデル	22
4. 要求獲得手法(THEOREE)	25
4.1 概要.....	25
4.2 手順.....	25
4.3 実験.....	33
4.4 考察.....	41
5 シソーラス構築手法と支援ツール	45
5.1 概要.....	45
5.2 構築手法	46
5.3 構築支援ツール	55
5.4 事例研究	62
5.5 考察	71
6. 関連研究	74
6.1 THEOREE の関連研究.....	74
6.2 シソーラスの構築手法と支援環境の関連研究.....	77

7. 考察.....	80
7.1 研究課題を解決したか	80
7.2 実験および事例研究から得た知見.....	81
8. おわりに	82
謝辞.....	84
参考文献.....	85
付録.....	①
A. THEOREE の手順における要求分析者と顧客との間の対話例	①
B. 顧客と要求分析者の対話の事例.....	⑩
C. 改訂要求リスト.....	⑪
D. THEOREE の評価実験で使った表形式のシソーラス	⑬

1. はじめに

1.1 背景

近年、ソフトウェアシステムが人間社会の中で果たす役割は重要になり、ソフトウェアがなんらかのサービスを人間社会に提供する数と量は共に増加している。ソフトウェアシステム開発プロジェクトは、より高品質で、より短期間で、そしてより安価にソフトウェアシステムを開発するように要請されている。ソフトウェアシステム開発プロジェクトの求められるのは、予算内で納期どおりにソフトウェアシステムを開発し納めることである。Pohl[1]は、ソフトウェアシステム開発プロジェクトの成功と失敗のデータとして The Standish Group Report (CHAOS)の報告（表 1）とその分析を引用して、プロジェクトが成功しない重大な要因は、システム要求の扱い方であると述べている。

表 1 はプロジェクトの成功と失敗を TYPE1, TYPE2, TYPE3 に分類している。TYPE1 は、プロジェクトの成功であり、最初の仕様書に記載されたすべての機能(feature and functions)を備え、納期内で、しかも予算内で完了しているプロジェクトを示している。TYPE3 は、失敗したプロジェクトであり、プロジェクトは開発サイクルの途中で中止されていることを示している。TYPE2 は、成功していないが、製品を納めて運用しているプロジェクトなので失敗もしていないTYPE1 でもTYPE3 でもないプロジェクトである。TYPE2 は、予算や見積時間を超えている、および/または運用している機能数が元の要求仕様書に記載された機能(feature and functions)より少ない製品を納品したプロジェクトである。The Standish Report(CHAOS) 1995[3]は、TYPE1（成功の特徴）、TYPE2, TYPE3（失敗の特徴）を分析した結果、プロジェクトの成功/失敗の特徴として、成功要因の上位に「要求の明確な記述」、TYPE2 の上位に「不完全な要求仕様」、TYPE3 の上位に「不完全な要求」があると報告している。

Pohl[2]は、この The Standish Group Report (CHAOS)[3]を引用して、ソフトウェア開発プロジェクトの失敗要因は不完全な要求仕様書にあると述べている。

要求とは、ソフトウェアプロジェクトが開発するソフトウェアシステム（以降、ソフトウェアと言う）への顧客と利用者（以降、顧客と利用者を合わせて顧客と言う）のニーズと顧客のソフトウェアへの期待を述べたものである。

表 1 プロジェクトの成功と失敗の比率 1995-2009[1]
引用：The Standish Group(CHAOS) studies [The Standish Group 2009]

年	プロジェクトの結果のTYPE		
	TYPE1	TYPE2	TYPE3
1994	16%	31%	53%
1996	27%	40%	33%
1998	26%	28%	46%
2000	28%	23%	49%
2002	34%	15%	53%
2006	35%	19%	46%
2009	32%	24%	44%

要求仕様書を作成する作業を「要件定義」または「要求分析」と表現することが多い。Davis[58]は、「要求分析とは、(1)解決を必要とする問題について、それを引き出したり学んだりすること、および(2)問題解決のために、システムの外部の（ブラックボックスとしての）振る舞いを規定することを含む一連の活動である。要求分析の最終的な成果物は、要求仕様書である」と述べている。一方、1980 年後半から 1990 年後半にかけて IEEE Std.1223-1998 [24]と IEEE Std. 830-1998 [23]が開発され、各々計算機システム要求仕様書の規格[24]とソフトウェア要求仕様書の規格[23]として出版された。本論文では、計算機システムの要求仕様書とソフトウェア要求仕様書を区別せず要求仕様書とする。規格[23],[24] は、Davis[58]の要求分析をより具体化したものである。規格[23],[24] を発展させた要求工学の規格として ISO/IEC/IEEE 29148:2011[22]が開発され出版された。規格[22]は、規格[23],[24]にシステム運用の構想を加えた要求仕様書の作成プロセス、要求仕様書に記載する情報と要求仕様書の持つべき性質を述べている。

規格[22]では、要求仕様書が持つべき性質を個別の要求とこれらをまとめた要求仕様書が持つべき性質に分けている。本章では、個別の要求と要求仕様書を区別せず、要求仕様書の持つべき性質とする。規格[22]が述べている要求仕様書が満たすべき性質を以下に列挙する。

- ・ 一意性：一意に解釈できること。
- ・ 無矛盾性：他の要求との衝突や矛盾がないこと。

- ・ 完全性：追加の説明はないこと。
- ・ 単独性：要求を述べている一つの文は一つの要求しか述べていなく、それ以外はない。
- ・ 実現可能性：技術的に実現可能である。
- ・ システム境界の明確性：スコープを明確に示し、スコープを超えた記述がないこと。
- ・ 取得可能性：購入可能で実現可能であること。
- ・ 早すぎる設計がないこと（実現非依存性）：制約で述べていない設計上の決定が先行した要求でないこと。実現とは独立した要求であること。

これらの要求仕様書が持つべき性質のなかで、一意性、無矛盾性、完全性、システム境界の明確性の性質を満たさない要求仕様書を不完全な要求仕様書とすることが多い。規格[23]では、すべての要求を含んでいること（要求に欠落がないこと）を要求仕様書の完全性で述べている。この要求に欠落がないことを、完全性に加えることにする。

次に述べる LAS(The London Ambulance Service)は、これら要求仕様書が満たすべき性質を満たさない要求仕様書を実装した結果発生した事故（事件とも言われる）である。

1992 年に起きた LAS 開発の事件の報告書[4]とその分析[5]によれば、この LAS の事件の原因の一つとして、重要な利害関係者(stakeholder)である救急車のオペレータと救急車の配車係から要求を獲得していなく、これが不完全な要求仕様書の原因になったと述べている。さらに報告書は、不完全な要求仕様書ではないが、これらは要求仕様書の欠陥として「早すぎる設計(premature design)がないこと」と「実現非依存性(implementation free)」という性質も満たしていないと述べている。

報告書は、これらの要求仕様書の欠陥に加えて、要求仕様書の問題として、開発者が理解できないほど要求が複雑すぎることで、要求仕様書が非常に詳細でありシステムの運用を目的とした高度に精密な内容である一方他のシステムとの関係と他のシステムとの詳細なインタフェースがないこと、そして将来のサプライヤーが追加するアイデアを組み込む余地がほとんどないほど規範的であったと述べている。

この報告は、「1992 年の LAS 開発プロジェクトの失敗の要因の一つは不完全な要求仕様書を実現したことである。特に、必要な機能が要求仕様書に記載されていなかったことがプロジェクトの失敗の原因であった」と述べている。

以降、要求仕様書が一意性、無矛盾性、完全性、システム境界の明確性の性質を持たない要求仕様書を誤りのある要求仕様書とする。

Pohl[1]は、システムの受入時のテストで要求仕様書に誤りがある場合はその改修にかかる費用は要求を獲得できて開発した場合の 100 倍かかる」と述べている。 Davis[58]も「要求仕様書に誤りがあれば、見つけるのが

後になればなるほどとんでもなく高くつく」と述べ、誤りがない場合の開発費用と比較して、要求仕様書の誤りが設計まで残っていたら、それを見つけて修正するのに 5 倍、コーディングまで残っていたら 10 倍、テストまで残っていたら 20 倍、納入後まで残っていたら 200 倍の費用がかかると述べている。

開発費用の面からも、誤りのある要求仕様書を作らないことはソフトウェア開発プロジェクトを成功させるために重要である。

1.2 要求プロセスの課題

規格[22]では要求仕様書を作成するプロセスが要求プロセス（以降、要求仕様書を作成するプロセスを要求プロセスと言う）である。本節では、この要求プロセスで誤りのある要求仕様書の作成を回避できるかを、要求仕様書の誤りを発見できるかという観点で検討する。誤りのある要求仕様書の作成を回避できれば、ソフトウェア開発プロジェクトの失敗するリスクを軽減できるからである。規格[22]の要求プロセスには、「利害関係者要求定義プロセス」と「要求分析プロセス」がある。本節では、規格[22]に従い、顧客の代わりに顧客を包含した利害関係者（システムまたはニーズや期待を満たすシステムが所有する特性に、権利、共有、資格、または関心のある個人や団体）を使う。

要求プロセスにおける最初のプロセスである「利害関係者要求定義プロセス」は利害関係者要求の獲得、利害関係者の要求の定義、利害関係者の要求の分析と維持のアクティビティからなる。

「利害関係者要求定義プロセス」では、まず利害関係者から要求を獲得する。次に、獲得した要求を正しく解釈して利害関係者の要求を定義する。それから、定義した利害関係者の要求が他の要求と衝突していないか、利害関係者のニーズと期待を反映しているかを確認する。このプロセスの出力は、衝突を解消して利害関係者の確認を得た要求である。最後に、定義した利害関係者の要求を追跡可能なように維持管理する。

要求プロセスを構成するもう一つの「要求分析プロセス」は、獲得した利害関係者の要求から要求仕様書を作成するプロセスである。このプロセスは、実現するシステムへの制約（非機能要求）と提供する機能を明確にして仕様化する。「要求分析プロセス」の要求定義の仕様化と仕様書作成過程で、一意性、無矛盾性、規格[22]の完全性と実現可能性に誤りがあれば発見できる。さらに要求定義間の不整合とシステム境界の明確でないという誤りも発見できる。しかし、要求の欠落を発見するための手段（手法やツール）がないため、「要求分析プロセス」で要求の欠落という誤りを発見することは困難であり、要求の欠落という誤りのある要求仕様書を作成するリスクが残る。

要求の欠落がある場合、Sommerville[27]は「要求仕様書から顧客の要求を欠落した場合、顧客はシステムを受け入れない」と述べており、Glass[59]は、要求仕様書にある要求の抜けは仕様の誤りの中で最も難しいと述べている。

要求プロセスの課題の一つは、要求の欠落が発生するリスクを軽減することである。

要求の欠落の発生リスクを軽減する方策を、「要求分析プロセス」で要求の欠落を発見することではなく、「利害関係者要求定義プロセス」で多くの正しい要求を獲得することとする。利害関係者が関与する「利害関係者要求定義プロセス」で多くの正しい要求を獲得できれば、要求の欠落を減らすことができる。次節で、要求の欠落を減らす方策を検討する。図1は、本節で述べた要求プロセスの流れと要求の欠落について示している。

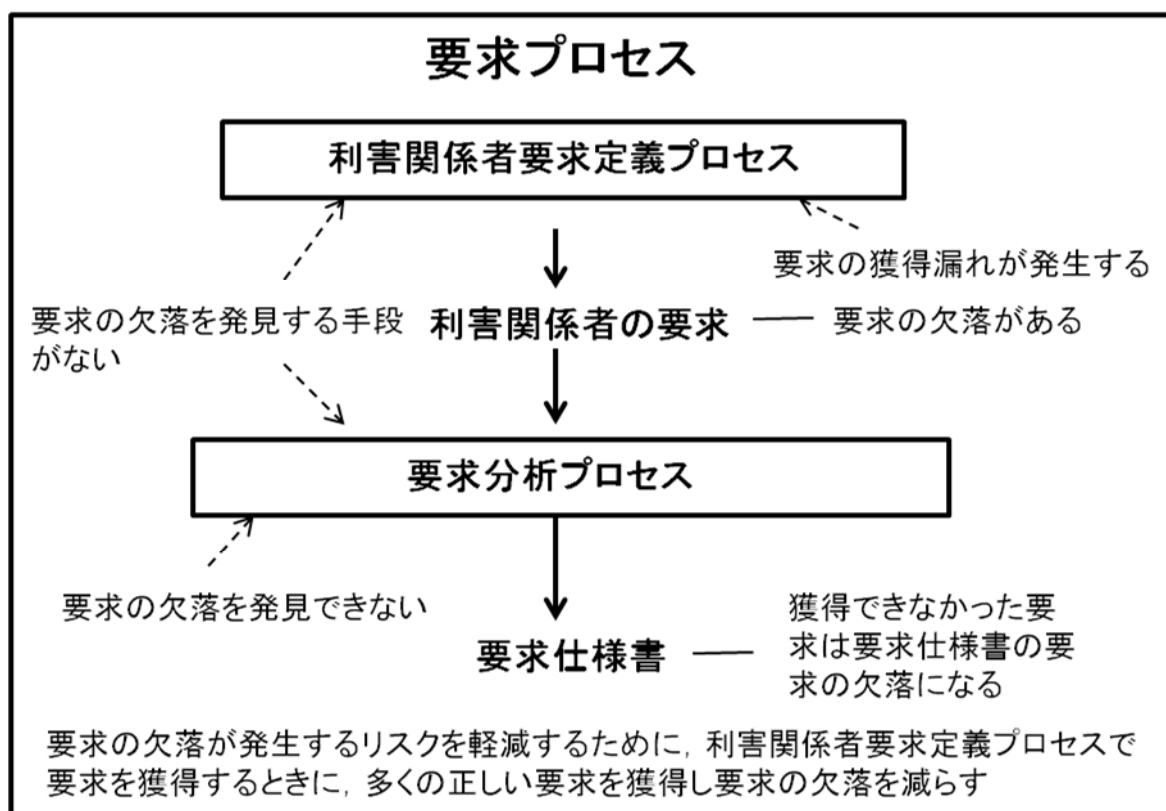


図1 要求プロセスの流れと要求の欠落

1.3 要求の欠落問題

1.2 節で述べたように、要求プロセスにおいて発生した要求の欠落を発見することが困難である。要求が欠落しているかどうかはわからないため、要求の欠落が発生するリスクが残る。本節では、顧客の要求を獲得する「利害関係者要求定義プロセス」において要求の欠落が発生するリスクを軽減する方策を検討する。

顧客の要求を漏れなく獲得するという事は、最初から顧客の要求が決まっており、技術者が顧客の要求をすべて獲得できることを想定している。しかし、McCracken[60]で述べているように、顧客が最初からすべての要求を系統的に認識していることはほとんどない。顧客は後で要求を追加するか要求を変更する。したがって、最初に要求を漏れなく獲得するよりも、系統的に繰り返し要求を獲得し、結果として欠落を減らすのが現実的である。要求の欠落を減らすことは、要求の欠落が発生するリスクを軽減する。

要求を獲得するのは技術者である。要求を獲得できるかどうかは、技術者の能力と知識に依存する。要求の欠落を減らすための方策を検討するために、要求の獲得が技術者の能力と知識に依存するという問題を分析する必要がある。以降、要求プロセスを担当する技術者、すなわち、要求を獲得し、獲得した要求を定義し、定義した要求を仕様化する技術者を要求分析者とする。

要求の欠落は、「利害関係者要求定義プロセス」において、要求分析者が要求を獲得できなかったときに発生する。要求獲得において、要求分析者に必要な能力と知識という観点から、要求の欠落が発生する原因を考察する。要求獲得において、要求分析者に求められる能力は、分析能力である。

ここでいう分析能力とは、物事を抽象化し表現できる能力や逆に抽象的な概念を具体化し表現できる能力と表現した対象間の関係を論理的に把握し、要求仕様書が持つべき性質を満たしているか確認できる能力を指している。抽象化とは、物事の本質的な部分を取り出しそれを整理することを意味する。たとえば、インタビュー主体で自然言語記述の仕様書を作るための要求獲得作業を行う場合には、インタビューのヒアリング結果から本質的な事項を取り出し、整理分類して分かりやすい文章で書き下す能力である。この能力により顧客の意図、期待とニーズを正しく表現でき、顧客が内容を確認できる。

さらに、分析能力には、要求の獲得手法、コミュニケーション能力、要求の分析手法とレビュー等の確認手法についての知識と知識の応用力も含まれている。要求獲得から要求仕様書の作成までで、要求分析者に必要

な能力はこの分析能力である。この要求分析者の分析能力は、教育・訓練と経験によって向上させることができる。

要求分析者に求められる知識として、ソフトウェア開発についての知識とドメイン知識がある。ソフトウェア開発についての知識は分析能力の一部を構成しているので、分析能力に含める。ドメイン知識は、Jackson[6], Zave[28]等が述べているように、要求仕様書が要求を満たしていることを示すために必要である。顧客の要求を満たした要求仕様書を作成するときにドメイン知識がないと、誤りのある要求仕様書を作る。日本では、このドメイン知識を業務知識と言うこともある。要求を獲得するときだけでなく、要求仕様書を作成するときも、ドメイン知識は要求仕様の誤りの発見や要求の仕様化に必要である。

ソフトウェア開発におけるドメイン知識には、(a) 問題領域の知識と(b) ソフトウェアの実現や環境に関する知識がある。(b)は要求仕様書の性質の実現可能性、検証可能性と関係している。本論文で着目している知識は、(a)である。本論文におけるドメイン知識とは、問題領域である開発対象となる世界の知識である。この問題領域は Jackson[6]のアプリケーションドメイン(application domain)を含んだ領域であり、問題領域固有の知識は、問題領域毎に異なっている。問題領域の例として、銀行業務、レンタカー業務、オンラインショップの業務、医療業務、携帯電話の制御などを挙げることができる。

Zave 等[28]はドメイン知識の役割として、「要求と要求仕様の間には隔たりがあり、ドメイン知識がこの間の橋渡しをする」と述べている。要求仕様書は要求を実現可能なシステムの要求仕様書として表現したものであり要求と同じでないことがある。ドメイン知識はこの要求仕様書と要求との間をつなぎ、要求仕様書の妥当性を説明する。本論文は、ソフトウェアの開発に関心があるので、領域を開発対象となる世界と言い換え、ドメイン知識を「開発対象となる世界の知識」とする。

たとえば、銀行業務の知識もその一つである。ソフトウェアの開発対象が銀行業務の与信業務で、既に計算機で運用されている預金業務と連携するシステムを開発するとしたとき、アプリケーションドメインは、与信業務一般ではなく、開発したソフトウェアを運用する銀行の与信業務と連携する運用中の預金業務である。要求仕様書に記述するのはこのアプリケーションドメインについてであり、与信業務一般ではない。特定の銀行の与信業務の知識に限定すると、他の銀行での与信業務の開発において利害関係者の要求獲得に必要な知識をすべて含んでいるとは限らない。したがって、本論文で言うドメイン知識は、アプリケーションドメインよりも広い世界の業務知識である。銀行の例では、銀行法等の法律、日本銀行と行政機関の通達やガイドライン、銀行が取扱っている預金商品や与信商品等の

ソフトウェアの外にある世界の規則、取扱商品、そして慣習等の知識が該当する。

顧客の世界も時間とともに変化するため、一度、ドメイン知識を身につけたとしても、継続してフォローしないとドメイン知識不足が発生する。例えば、他社が販売する新しい商品の知識不足や、制度の変化による以前の知識の陳腐化が発生する。要求分析者のドメイン知識は、要求分析者の努力で維持されており、組織的に維持されていない。要求分析者の持つドメイン知識は要求分析者に属している。

高い分析能力を持つがドメイン知識が不足している（ドメイン知識がないことも含む）要求分析者が「利害関係者要求定義プロセス」を実施すると、ドメイン知識が不足しているため顧客との意思疎通が円滑に進められなかったり、顧客とのインタビュー等で顧客が何を期待しているかを理解できなかったりする。結果として、要求獲得時に要求の欠落が発生する。つまり、ドメイン知識の不足が原因で、分析能力が高い要求分析者でも要求を欠落させてしまうことがある。ドメイン知識が要求分析者に必要である。

したがって、高い分析能力と要求獲得に必要な開発対象領域の知識（ドメイン知識）がある要求分析者なら多くの正しい要求を獲得し、要求の欠落を減らすことができる。

著者が関係したソフトウェア開発プロジェクトにおいて要求の欠落が発生したときの分析担当者の能力と知識は以下のものであった。

- ・ 分析能力はあるが、ドメイン知識が不足している要求分析者
- ・ 分析能力が未熟で、ドメイン知識が不足していない要求分析者
- ・ 分析の能力は未熟で、ドメイン知識が不足している要求分析者

分析能力が未熟な要求分析者が作成した要求仕様書は、利害関係者のニーズと期待から乖離していることが多い。獲得した要求の本質的な事項を取り出し、整理分類して分かりやすい文章で要求を書き下す能力がないため、顧客の意図や期待とニーズを正しく表現できず、顧客が内容を確認できないからである。この結果、要求の欠落が発生する。分析能力が未熟な要求分析者の場合はドメイン知識が不足しているかどうかとは無関係に獲得した要求に欠落が生じる。

分析能力が未熟な要求分析者を分析能力のある要求分析者に教育・訓練と経験によって育成すれば、分析能力が未熟な要求分析者が分析能力のある要求分析者になり、要求を獲得するための能力を持つ要求分析者を確保できる。つまり、要求の欠落を減らすために解くべき問題の一つである分析能力については解決法がある。

分析能力がありドメイン知識が不足している要求分析者のドメイン知識不足という問題が残っている。要求欠落問題で解決法がないのは、ドメイン知識の不足による要求の欠落である。次節で、この問題を分析する。

1.4 本論文の目的と研究課題

1.3 節で述べたように、分析能力がある要求分析者でもドメイン知識が不足していれば、要求の欠落が発生する。このドメイン知識の不足による要求の欠落を減らすための解決策を提案することが本論文の目的である。

要求分析者は、顧客のニーズあるいは期待を、開発するソフトウェアが顧客に提供するサービスあるいは機能として要求仕様書に記述する。規格[22]の要求仕様書では、サービスを機能として仕様化する。要求仕様書の主な内容は、(1) 機能の要求（以降、機能要求と言う）、(2) 機能と関係付けた非機能要求(品質条件や品質以外の制約)である。顧客は、まず機能要求の欠落があれば、期待するサービスを受けることができないため、システムを受け入れない。機能要求があっても、機能に関係した非機能要求が顧客のニーズや期待に合わなければ、システムを受け入れないことがある。

成功しているプロジェクトには高い分析能力があり要求獲得に必要なドメイン知識もある要求分析者が、始めから参加している。これは著者の経験からも言える。分析能力があり要求獲得に必要なドメイン知識もある要求分析者を熟練要求分析者ということにする。熟練要求分析者は経験からドメイン知識の要求分析における役割とその重要性を知っており、持っているドメイン知識の範囲内のプロジェクトに参加する。ドメイン知識が不足しているプロジェクトには参加しないか、熟練要求分析者としてではなく対象ドメインのドメイン知識が不足している要求分析者として参加する。あるドメインの熟練要求分析者でも、別のドメインでドメイン知識が不足していれば熟練要求分析者ではない。

熟練要求分析者は、要求獲得のためにドメイン知識をモデル化し、そのモデル化したドメイン知識を利用して要求を獲得する手法（利用法）を持っている。熟練要求分析者のドメイン知識は、要求獲得に特化したモデル化したドメイン知識である。

熟練要求分析者のモデル化したドメイン知識とその利用法は、熟練要求分析者で閉じていて、要求分析者間で共有できない。要求分析者間で共有できるような熟練要求分析者と同等のモデル化したドメイン知識と、その利用法を開発し、分析能力がありドメイン知識は不足している要求分析者に提供すれば、熟練要求分析者と同程度に要求を獲得できる。要求分析者間で共有するためには、要求獲得で必要なドメイン知識表現と、この知識表現を利用し要求を獲得する手法についての分析と検討が必要である。

要求の欠落を減らすために、分析能力がありドメイン知識は不足している要求分析者に提供するのは、熟練要求分析者のと同等なモデル化したドメイン知識とドメイン知識を利用した要求獲得手法である。本論文の支援対象を表2に示す。

表 2 本論文の支援対象

	モデル化したドメイン知識とそれを利用した要求獲得手法を提供する	本論文の支援対象
熟練要求分析者	提供の対象外	×
分析能力がありドメイン知識は不足している要求分析者	ドメイン知識不足による要求の欠落を減らせる	○
分析能力がない要求分析者	要求の欠落を減らせない	×

要求分析者のドメイン知識不足が原因で発生する要求の欠落を減らすことが論文の課題であり，具体的には，次の問題 1 と問題 2 を解決することである．

問題 1：要求獲得に適したドメイン知識をモデル化する方法がない

問題 2：要求獲得に適したドメイン知識のモデル化ができたとしても，このドメイン知識を利用した要求獲得手法がない

これらの問題への解決策を本論文で述べ，その有用性を示す．なお，6.1 節の関連研究で最近の研究について述べるが，本研究で設定した課題は副論文で示した課題と大きく変わっていない．副論文の一つ[7]は 2009 年の出版であるが現時点で，本論文の課題は研究課題として残っており，本論文で提案する課題への解決法に代わるような解決法は提案されていない．

1.5 本論文の構成

2 章で，1.4 節で述べた課題の分析と解決へのアプローチを述べ，3 章で，要求獲得のためのドメイン知識表現であるモデル化したドメイン知識（本論文ではシソーラスと言う）を説明する．4 章でこのシソーラスを用いた要求獲得手法（THEOREE）を述べ，5 章でこのシソーラスの構築法と支援ツールについて述べる．関連研究を 6 章で述べ，7 章で研究の課題を解決できたかと関連する知見を考察として述べ，8 章で本論文のまとめと今後の課題を述べる．

2. 課題解決へのアプローチ

2.1 節で本論文が解決すべき問題を分析し、問題解決の方針を述べる。2.1 節で述べた問題解決の方針に沿った解決へのアプローチを 2.2 節で述べる。本論文で提案する問題解決へのアプローチは、分析能力がありドメイン知識は不足している要求分析者が熟練要求分析者と同等に要求を獲得し、要求の欠落を減らすことを目的にしている。本章では、分析能力がありドメイン知識は不足している要求分析者を要求分析者と言う。

2.1 課題の分析と問題解決の方針

1.4 節で述べた問題の分析と問題解決の方針を本節で述べる。2.1.1 節でドメイン知識のモデル化について分析し、2.1.2 節でドメイン知識を利用した要求獲得法ドメイン知識を分析する。分析では、必要に応じ、熟練要求分析者の要求獲得作業を参考にする。これらの分析結果から、2.1.3 節で「問題 1: 要求獲得に適したドメイン知識をモデル化する手段がない」と「問題 2: 要求獲得に適したドメイン知識のモデル化ができたとしても、このドメイン知識を利用した要求獲得手法がない」の解決方針を述べる。

2.1.1 ドメイン知識とモデル化に関する分析

ドメイン知識は、開発または更改するソフトウェアの開発対象となる世界の知識である。このドメイン知識を要求獲得のためにモデル化する。ドメイン知識のモデル化で適用するメタモデルは、使う目的によって異なる。本論文で述べるドメイン知識のメタモデルは、ソフトウェアの開発または更改において要求獲得に適したメタモデルである。

要求プロセスでは、まず要求分析者は利害関係者の要求を獲得し、それを定義する。次に、この要求を仕様化して要求仕様書を作成する。要求仕様書の基本構成は機能要求、および機能に関係付けられた非機能要求である。

顧客は、顧客のニーズや期待を、開発するソフトウェアが提供するサービスや機能の形で提示する。熟練要求分析者は、開発するソフトウェアが提供するサービスや機能についての知識を使い、顧客が述べるニーズや開発されるソフトウェアへの期待を要求として獲得し、機能の要求（以降、

機能要求と言う)として定義する. 機能はその抽象度の違いによって, 機能とその詳細化という入れ子関係を持つ. この機能の入れ子関係に着目した構造を機能構造とする. 熟練要求分析者は, 機能と機能構造を上手く使い要求を獲得している.

熟練要求分析者が開発するソフトウェアが提供するサービスや機能について説明することによって, 顧客は, 提供されるサービスとか機能について具体的なイメージを持ち, ソフトウェアへのニーズや期待を述べやすくなるという効果がある. 要求獲得時に, 顧客は具体的なイメージを持つことによって要求の欠落に気付くという効果も期待できる.

顧客の提示するサービスや機能の抽象度は高いものから具体的なものまでその粒度が一定ではない. 熟練要求分析者のインタビューによる顧客の要求獲得では, 熟練要求分析者は, 提示された抽象度の不揃いのニーズや期待をソフトウェアが提供する機能で表現する. この機能の抽象度を揃えるため, 顧客の承認を得ながら機能の抽象度を上げることがある. これにより, 熟練要求分析者は獲得する要求の範囲を確定している. 一方, 熟練要求分析者は, 提示される抽象度の高い要求を詳細化し顧客の承認を得ながら要求を獲得する. この抽象度の高い要求の詳細化とは, 要求文にある機能要求と非機能要求を識別し, ソフトウェアの要求として必要な粒度まで機能を詳細化することである.

ソフトウェア開発において, 要求仕様書に記載する機能要求は顧客の要求を満たす必要がある. この機能要求に, 顧客のニーズを満たす機能や顧客が期待する機能が入っていないとき, 機能要求の欠落が発生する. 1.4節で述べたように機能要求の欠落はプロジェクトの失敗の原因となる.

機能と機能構造に着目してモデル化したドメイン知識を要求分析者に提供する. 要求分析者は, このモデル化したドメイン知識を熟練要求分析者の要求獲得と同じような使い方(利用法)をして機能要求を獲得すると想定する. 要求分析者が, 顧客へのインタビュー等で機能構造の階層をたどり, 抽象度の高い機能要求を詳細化しながら機能要求を獲得すると仮定すると, 要求分析者は機能と機能構造に着目してモデル化したドメイン知識を使い, 熟練要求分析者と同程度に要求を獲得できる.

これを実現するためには, 機能と機能構造に着目した構造を持つメタモデルでモデル化したドメイン知識を構築し提供する必要がある. このメタモデルでモデル化したドメイン知識の利用法の提供があつて, 熟練要求分析者レベルの要求獲得を実現できる. 機能と機能構造に着目してモデル化したドメイン知識は, 要求分析者の作業である機能の識別と機能の詳細化を支援しているからである.

熟練要求分析者の要求獲得法の特徴は, 機能の詳細化である. この詳細化作業を支援するメタモデルについて分析する. メタモデルを構成する重要な概念は機能であり, 機能を動作と動作対象で表現する. この機能の表

現は, Pohl ら[2]の要求テンプレート(Requirements Template)や規格[22]の要求構文の例(Examples of Requirement Syntax)の機能の表現と同程度である. 機能を詳細化するとは, その機能の意味をより明確にすることを含んでいる. 機能の詳細化は機能分割に相当するため, 集約関係に対応し, 動作対象の詳細化は動作対象の構成要素への分割(集約関係)または動作対象の範囲の限定(継承関係)に対応している.

たとえば, 見積書という動作対象の下位の動作対象に見積日がある. 見積りの依頼者は, この見積日を和暦にするか西暦にするかを選択して指定する. この選択を継承関係で示す. この動作対象の詳細化によって, より下位の明確な概念やそれが含んでいる概念に置き換えるとともに, 機能に関連する概念(たとえば, 非機能要求である制約など)を必要に応じて追加する. この詳細化作業に必要なドメイン固有の知識をモデル化したドメイン知識が提供しなければならない. したがって, 要求分析者が機能の詳細化をするときの思考の遷移から, 重要と思われる概念と概念間の関係を表現したのが要求獲得に適したメタモデルである.

要求獲得で有用なメタモデルがあっても, ドメイン知識を収集し, モデル化する手段がないとモデル化したドメイン知識を構築できない. 要求獲得を目的にモデル化したドメイン知識は, 要求獲得用として, 正しいドメイン知識と要求獲得に適したメタモデルを持つドメイン知識である. このドメイン知識を構築する手段がないと, モデル化したドメイン知識を要求分析者に与えることはできない. モデル化したドメイン知識が正しければ, 要求仕様書の作成における要求の欠落というリスクを軽減できるが, ドメイン知識が正しくない場合, 誤りのある要求仕様書を作成し, 要求の欠落は避けられない. 正しいドメイン知識を機能と機能構造に着してモデル化する手段が必要である.

ドメイン知識のメタモデルが機能と機能構造に着目したものなら, このメタモデルでモデル化したドメイン知識は, 機能と機能構造に着目してモデル化したドメイン知識になる. これを要求分析者に提供したとしても, 要求の欠落を減らせない. 熟練要求分析者はこのドメイン知識を利用して要求を獲得する手法(利用法)も使って要求を獲得している. 要求の欠落を減らすには, 次節で分析するドメイン知識の利用法も必要である.

2.1.2 ドメイン知識の利用法に関する分析

2.1.1 節で述べたように, 機能と機能構造に着目してモデル化したドメイン知識を提供するだけでは不十分であり, それを利用し要求を獲得する利用法が必要である. 1.4 節で述べたように, 熟練要求分析者のモデル化したドメイン知識とそのドメイン知識を利用した要求獲得手法の特徴は,

機能の詳細化でドメイン知識を使っていることである。要求獲得の局面（顧客への質問，顧客への提案，顧客への確認，顧客の要求にある機能の識別）によってこのドメイン知識の活用法が異なる。

これは，熟練要求分析者の固有な知識とノウハウである。したがって，要求分析者間でこのノウハウを共有するためには，モデル化されたドメイン知識の活用法を組み入れ，そしてこのドメイン知識を利用して要求を獲得する手順を要求獲得手法として明示し，提供しなければならない。手順は，機能の詳細化作業を支援し，このドメイン知識を網羅するように系統的に要求を獲得するように設計されていなければならない。モデル化したドメイン知識とその活用法だけでは，このドメイン知識を網羅した要求獲得ができるかどうかの保証はないからである。この要求獲得手法を要求分析者に提供する必要がある。

この要求獲得手法を要求分析者に提供すれば，熟練要求分析者と同程度に要求を獲得でき，要求の欠落を減らせる。

2.1.3 問題解決の方針

本節で述べるのは，2.1.1 節と 2.1.2 節の分析から導いた問題解決の方針である。この方針の目的は，要求獲得において，要求分析者が多くの要求を獲得し，要求の欠落を減らすことである。分析の結果の要約を表 3 で示す。要求分析者に不足しているドメイン知識を，2.1.1 節で述べたメタモデルでモデル化したドメイン知識で補うことと，このモデル化したドメイン知識を利用した要求獲得手法，および質の良いドメイン知識をモデル化する手段を具体化し，要求分析者に提供することが問題解決の方針である。

表 3 分析結果の要約

ドメイン知識とモデル化に関する分析	<p>ドメイン知識表現では要求獲得に適したメタモデルを使う。このメタモデルでモデル化したドメイン知識は要求獲得に適したものである。要求獲得の基本的な作業は機能の詳細化である。</p> <ul style="list-style-type: none">・要求分析者の機能の詳細化作業を支援するためのメタモデル・機能の詳細化のために，機能と機能構造に着目したメタモデル・このメタモデルでモデル化したドメイン知識は，要求獲得に適している・このメタモデルでモデル化したドメイン知識を要求分析者に提供する・ドメイン知識を機能と機能構造に着目してモデル化する手段が必要
ドメイン知識の活用法に関する分析	<p>上記のメタモデルでモデル化されたドメイン知識を活用し機能の詳細化を支援する手法が，モデル化したドメイン知識を利用して多くの要求を獲得する手法である。</p> <ul style="list-style-type: none">・機能を詳細化するためのドメイン知識の活用法を示す・機能と機能構造を系統的に利用する手順を示す・ドメイン知識の活用法とこれを組み入れた要求獲得手順を手法として要求分析者に提供する

(1) 問題解決の方針

以下が，問題解決の方針である．この問題解決の方針と 1.4 節で挙げた本論文で解くべき問題との対応は本節の(2)で述べる．

方針 1) ドメイン知識を要求獲得に適した知識としてモデル化すること．

- a ドメイン知識表現にメタモデルを使う．メタモデルは，機能と機能構造着目した体系で一定の規則に従っている．
- b モデル化したドメイン知識は，要求分析者が要求獲得において機能を識別し，機能の詳細化を支援する．
- c 要求分析者のドメイン知識の不足を補う．

方針 2) モデル化したドメイン知識を利用し要求を獲得する手法を提供すること．

- a 要求分析者が顧客の機能要求を獲得し，正しく要求を定義できるようにドメイン知識の活用法を提供する．
- b 要求分析者が，モデル化したドメイン知識を利用して，機能を識別し，それを詳細化し系統的に要求を獲得する手順を示す．

方針 3) 正しいドメイン知識をモデル化する手法と支援ツールを提供すること．

- a モデル化するドメイン知識は要求獲得に必要な知識のみを含む．
- b ドメイン知識のモデル化は，効率良く正確に実施できること．
- c 要求獲得に必要なドメイン知識は，正しいドメイン知識が記載してある入力から抽出し，モデル化するための手順を示す．
- d cのために，支援するツールが必要なら用意する．

(2) 本論文の課題と解決法の方針の対応

以下に，1.4 節で述べた本論文で解決する問題と，本節(1)で述べた解決法の方針の対応を示す．

問題 1：要求獲得に適したドメイン知識をモデル化する手段がない．

方針 1) ドメイン知識を要求獲得に適した知識としてモデル化すること．

方針 3) 正しいドメイン知識をモデル化する手法と支援ツールを提供すること．

問題 2：要求獲得に適したドメイン知識のモデル化ができたとしても，このドメイン知識を利用した要求獲得手法がない．

方針 2) モデル化したドメイン知識を利用し要求を獲得する手法を提供すること．

2.2 解決へのアプローチ

2.1 節で述べた問題解決の方針に基づいた解決法を実現することによって、要求獲得時にドメイン知識不足による要求の欠落、特に機能要求の欠落を減らす。解決へのアプローチを構成する解決法の間関係を図 2 で示す。

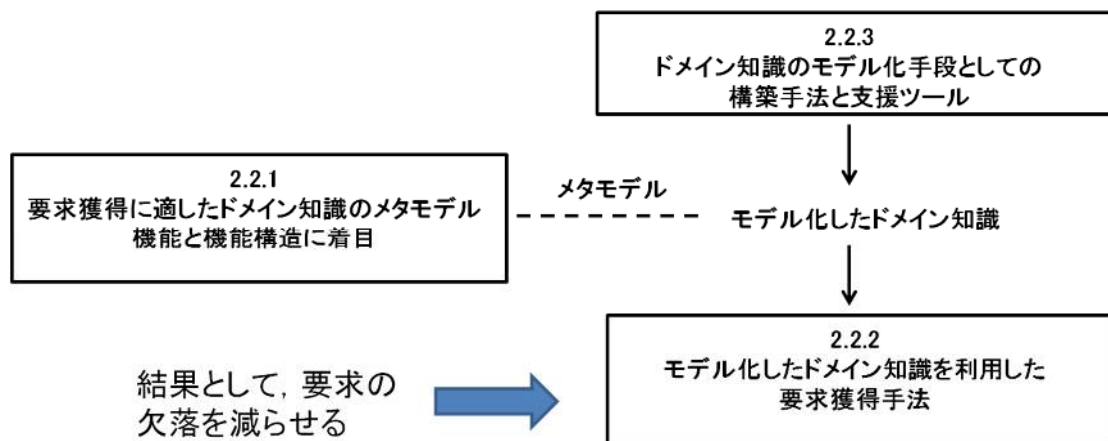


図 2 解決へのアプローチの関係

1.4 節で述べた問題 1 は要求獲得に適したドメイン知識のメタモデルとモデル化する手法と支援ツールの提供であり、ドメイン知識のメタモデルが明確になれば、このドメイン知識を利用した要求獲得手法を決定でき、問題 2 の解決法が決まる。

本論文の課題を解決するアプローチは、要求獲得において有用なドメイン知識のメタモデルに従ってモデル化されたドメイン知識の提供、次に要求獲得でこのドメイン知識を利用した要求獲得手法の提供、そして正しいドメイン知識をモデル化する手法とこの手法の支援ツールの提供であることを説明する。

2.2.1 要求獲得に適したドメイン知識

1.4 節の問題 1 は、ドメイン知識を要求獲得に適した知識としてモデル化しその手段を明確にすることを求めている。本節では、ドメイン知識表現としてメタモデルを適用したドメイン知識のモデル化について述べ

る。なお、ドメイン知識を収集し、モデル化する手段（手法と支援ツール）については 2.2.3 節で述べる。

要求獲得に適したドメイン知識は、次の概念から構成されるメタモデルを適用し、ドメイン知識をモデル化したものである。このメタモデルを要求獲得用のメタモデルと言う。

最小単位は単語である。対象世界が違っても同じ単語で異なる意味や使用方法がある。ドメイン知識はこの違いについての知識でもある。機能を動作と動作対象で表現し、動作と動作対象を単語で表現する。ソフトウェアが提供する機能なので動作主体はソフトウェアである。

要求分析者が要求を獲得するために必要な要求獲得用のメタモデルは次の要素からなる。

- ① 詳細化の過程で機能を表現する動作と動作対象
- ② 機能に関係する非機能要求（環境や品質特性による制約）
- ③ 機能間の階層（集約関係）、動作対象間階層(集約関係)と動作対象間の継承関係

要求獲得に適したモデル化したドメイン知識は、これらを明示的に表現していなければならない。

2.2.2 モデル化したドメイン知識の利用法

1.4 節の問題 2 の解決方法は、モデル化したドメイン知識を利用した要求獲得手法を開発し提供することである。モデル化したドメイン知識を利用した要求獲得手法は、このドメイン知識の活用法と機能の詳細化作業を基本とした要求の獲得手順からなる。要求分析者は、モデル化したドメイン知識を利用した要求獲得手法を使うことにより自身のドメイン知識を補いながら系統的に機能を詳細化し要求を獲得する。提供するモデル化したドメイン知識の範囲内で、このドメイン知識を利用した要求獲得手法を要求分析者に提供すれば、要求分析者は、多くの要求を獲得でき、ドメイン知識不足による要求の欠落を減らすことができる。

このモデル化したドメイン知識を利用した要求獲得手法を本論文では THEOREE と言う。THEOREE の目的は、ソフトウェア開発における要求獲得でドメイン知識の不足が原因で発生する機能要求の欠落を減らすことである。

2.2.3 ドメイン知識のモデル化手段としてのモデル化手法と支援ツール

ドメイン知識のモデル化手段としての手法と支援ツールについて述べる．ドメイン知識のモデル化の手段の目的は，正しいドメイン知識をモデル化する手段を提供することである．THEOREE が，このモデル化したドメイン知識が正しいことを前提としているからである．正しいドメイン知識をモデル化するために，以下のような特徴を持つ手法と支援ツールを開発する．

- ① モデル化手法とその支援ツールによって，モデル化したドメイン知識が正しいドメイン知識であることを確認できる．
- ② ドメイン知識の情報源は実際に運用されているシステムの操作マニュアル，仕様書，設計書等の技術文書とする．
- ③ ドメイン知識のモデル化は，ドメイン知識の構築手法とこれを支援するツールによって，手法の各手順の入力，正当性を確認する．
- ④ 支援ツールは，モデル化したドメイン知識を効率良く構築することも支援する．

3 要求獲得のためのドメイン知識

3.1 要求獲得手法とモデル化したドメイン知識

本論文で提案する要求獲得手法(THEOREE)は、要求分析者が機能と機能構造および機能に関係する非機能要求（本章では、環境制約と品質制約に分けている）という観点からモデル化したドメイン知識を利用した要求獲得手法である。THEOREE は本論文で述べるモデル化したドメイン知識を前提とし、このドメイン知識の活用法と要求獲得手順を提供している。本論文で述べるモデル化したドメイン知識は THEOREE 用にモデル化したドメイン知識でもある。以降、モデル化したドメイン知識を THEOREE 用シソーラスまたはシソーラスと言い、2.2.3 節で述べたモデル化手法をシソーラス構築手法と言う。

THEOREE は、要求獲得では機能の詳細化作業が重要であるという観点で開発された手法で、1.4 節に挙げた問題 2 の解決法である。つまり、モデル化されたドメイン知識であるシソーラスを利用した要求獲得手法である。THEOREE の目的は、要求分析者が THEOREE を応用することにより、ソフトウェア開発における要求獲得で機能要求の欠落を減らすことである。この目的のために、多くの機能要求を獲得し、その結果として機能要求の欠落を減らすというアプローチを採用している。2.2.1 節で述べた要求獲得用のメタモデルは、機能と機能の詳細化に必要な知識を表現している。このメタモデルを使いモデル化したドメイン知識は THEOREE の観点と整合する。そして、THEOREE と、シソーラスの構築手法は、要求獲得用のメタモデル（以降、メタモデルと言う）を共有する。

3.2 シソーラスの要件

要求獲得では、最初に提示される抽象度の高い要求を詳細化し、顧客の確認を得ながら獲得した要求を要求文として記録し、これを要求として定義する。要求の詳細化では、要求文から機能要求と非機能要求を識別し、ソフトウェアの要求として定義可能な粒度まで続ける。THEOREE のシソーラスは、この機能を識別し、機能を詳細化することを支援するドメイン知識である。

要求獲得において要求分析者に求められるドメイン知識は、次の特性を持つと仮定する。なお、THEOREE は、ソフトウェア機能要求の獲得を支援するために、ソフトウェア機能に関するドメイン知識の特性に着目している。類義語や用語集において、ドメイン知識としてモデル化される用語に付随する一般的な関係の知識については THEOREE では対象外としている。

特性 1 用語の識別と用語間の関係

ドメイン固有の用語が識別されており、用語間の関係が明示的に示されていること。

特性 2 機能の識別

ドメイン固有の機能の識別および動作と動作対象によって機能が明示されていること。

特性 3 機能間の関係

機能間の詳細化関係が明示されていること。

特性 4 機能に関する制約

機能に関する非機能要求が明示的に示されていること。

要求分析者がシソーラスを利用して要求を獲得するとき、与えられるシソーラスは特性 1 から特性 4 のすべてを満たしたシソーラスである。

種々のドメイン知識表現が上記特性 1 から特性 4 で述べた要求獲得で求められる特性を持つかどうかを表 4 で示す。表 4 で挙げた知識表現と特性の関係から、用語集はこれらの特性を持たない。一般的なシソーラスは、類似語、反意語、継承という用語間の関係を持つ。しかし機能を識別するための関係は持っていない。THEOREE で採用したシソーラスは、ソフトウェアの機能と機能間の関係と機能に関する非機能要求、動作と動作対象に着目して用語間の関係をモデル化し整理しており、動作対象への制約（環境制約）も表現できる。

THEOREE とシソーラス構築手法の関係を図 3 で示す。THEOREE の概要を図 3 の右側に、シソーラス構築手法の概要を左側に示す。なお、シソーラス構築手法の要求分析者 A と THEOREE の要求分析者 B は同一である必要はない。4 章で要求獲得手法 THEOREE を述べる。5 章でシソーラスの構築手法と支援ツールを述べる。

表 4 要求獲得で求められる特性の有無

特性 知識表現	特性1 用語間の関係	特性2 機能の識別	特性3 機能間の関係	特性4 機能に付随する 非機能要求
用語集	×	×	×	×
一般的なシソーラス	○	×	×	×
THEOREEの シソーラス	○	○	○	○

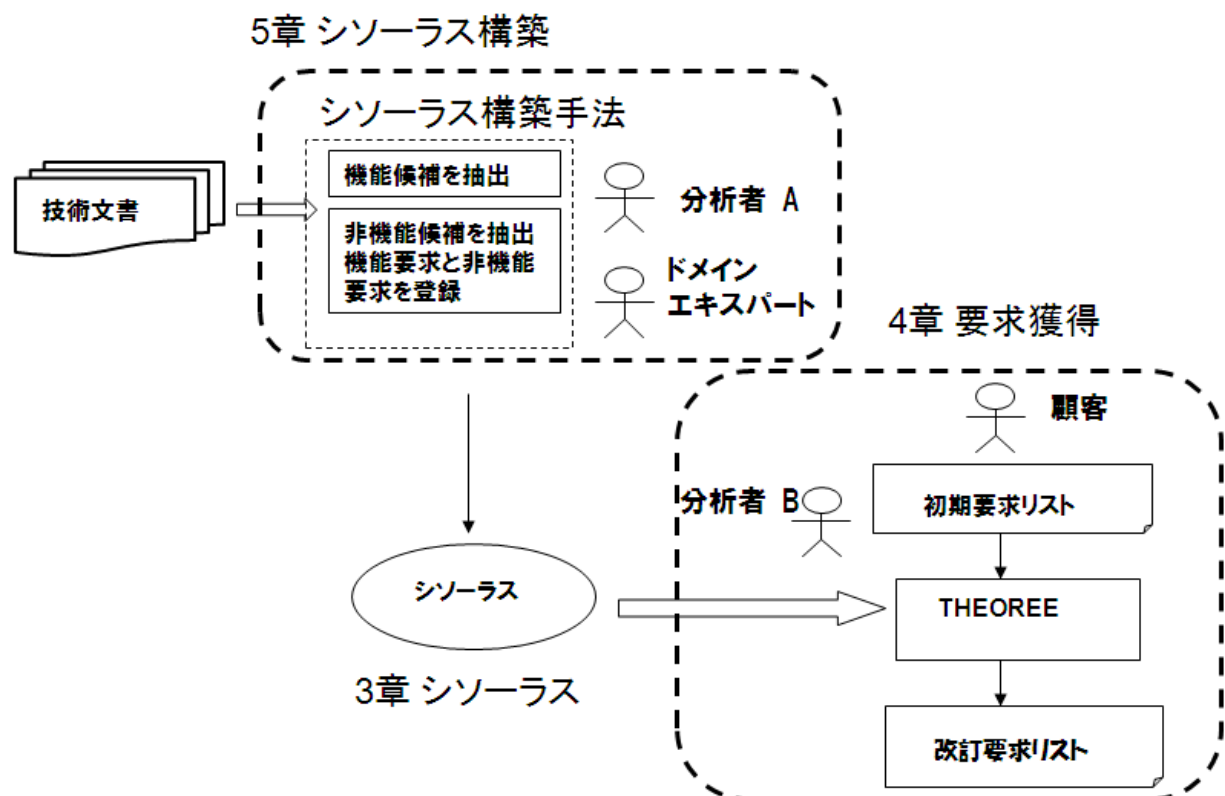


図 3 シソーラス構築手法と THEOREE

3.3 シソーラスのメタモデル

THEOREE とシソーラスの構築手法は同じメタモデルを持つシソーラスである。THEOREE で使うシソーラスのメタモデルを図 4 に示し、シソーラスの例を図 5 に示し、メタモデル図 4 の表記法について説明する。

矩形はクラスを、菱形は集約を、線は関連を表している。多重度は示さない代わりに文章で説明する。ドメインは機能群（1 個以上の機能）によって構成される。機能はさらに詳細な機能群（has a）を持つことがある。機能は 1 個の文で表現され、文は 1 個以上の動作対象と 1 個の動作から構成される。動作対象はそれを構成する 1 個以上の下位の動作対象（has a）を持ち、2 個以上の動作対象の下位概念（is a）を持つことがあり、動作対象制約として 1 個以上の環境と関係を持つことがある。機能には品質制約として 1 個以上の品質特性と機能制約として 1 個以上の環境と関係を持つことがある。品質特性はさらに 1 個以上の詳細な品質副特性を持つことがある。メタモデル中の文は、動詞が 1 個しかない単文に限定しており、文と「構成される（has a）」関係で、文中の動詞が表している動作と文中に出現する動作対象を表す語句と関連付けられている。これにより、複数の意味を持つような動詞の 1 つの意味を動作対象との 1 つの組である単文で表し区別している。単文で機能を表現することにより、動詞が複数の意味を持っていたとしても、動作対象との組の単文で表現した機能においては、動詞はこの機能に限った意味として識別できる。

メタモデルの具体例（図 5）を使い、シソーラスとメタモデルの関係を説明する。この例は、見積書ドメインのシソーラスで、4.3 節の実験でドメインエキスパートが提示したシソーラスの一部の図式表現である。図 5 は図 4 のインスタンスである。図 4 のメタモデルと図 5 のシソーラス例との対応を簡単に説明する。たとえば、図 4 にある「機能」を「単文」で表現し、「機能」への品質制約を「品質特性」によって与えることを文法として定義している。図 5 は、この文法に語句を与えたときの文を示している。図 5 の「見積書を作成する」という「機能」は（見積書を作成する：機能と表記）で表現される。「入力の手間を省く」という「品質特性」は（入力の手間を省く：品質特性）で表現される。機能「見積書を作成する」は品質特性「入力の手間を省く」によって品質制約を受けるという文になる。また、図 4 中の「機能」は、「動作」と「動作対象」によって構成されることを文法として定義されている。図 5 の「見積書を作成する：機能」は「見積書：動作対象」と「作成する：動作」から構成されるという機能になる。図 5 の「見積書を印刷する：機能」は見積書を印刷する機能を示

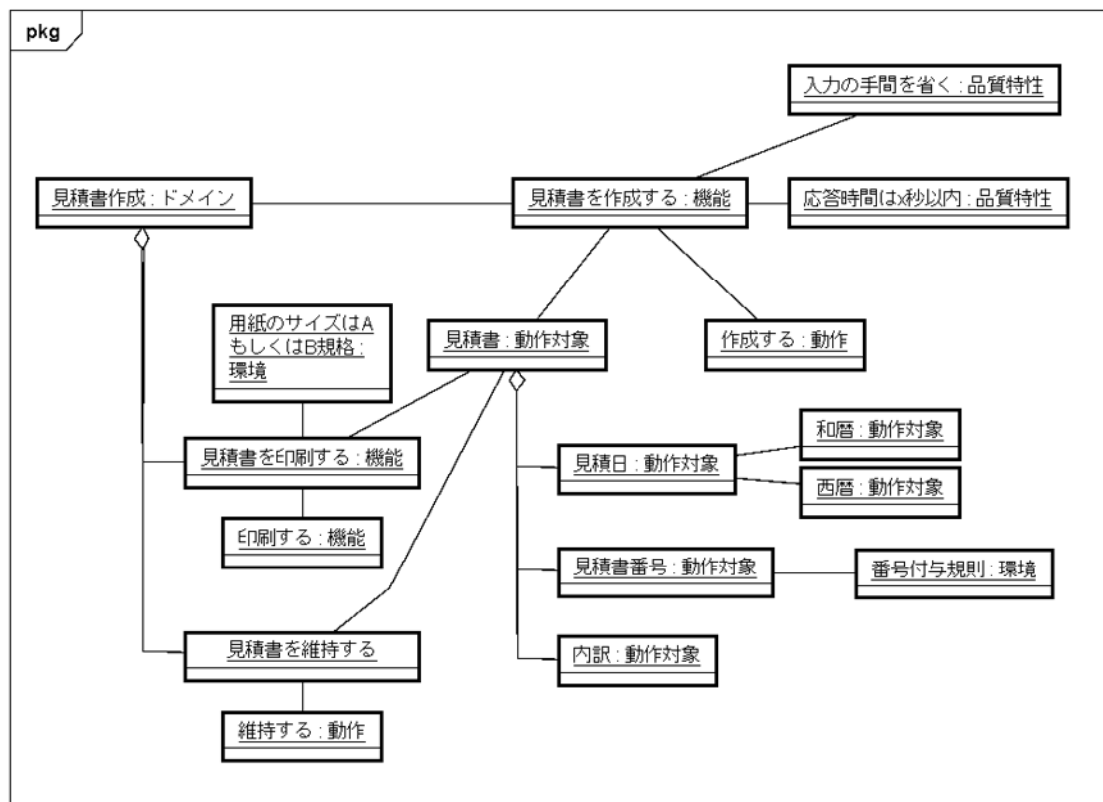


図5 見積書作成システムのシソーラスの一部

4. 要求獲得手法(THEOREE)

4.1 概要

THEOREE は 1.4 節の問題 2「要求獲得に適したドメイン知識のモデル化ができたとしても、このドメイン知識を利用した要求獲得手法がない」の解決法であり、モデル化されたドメイン知識であるシソーラスを利用した要求獲得手法である。シソーラスは、あらかじめ同じドメインの技術文書等から作成されていることとする。本節では、THEOREE を簡単に紹介し、4.2 節で THEOREE の手順と実行例を述べる。

THEOREE は、顧客が最初に提示する初期要求リストを入力し、顧客との対話によって要求を獲得し、改訂要求リストを出力する手法である。この改訂後の要求リストにある要求が THEOREE を応用して獲得した要求であり、すべて顧客の承認を得たものである。この対話でシソーラスを利用する、

顧客と要求分析者の対話は、話題を中心に進行する。話題とは、シソーラスにある動作(動詞)と動作対象(名詞)と要求文にある動作(動詞)と動作対象(名詞)が一致(類似語であってもよい)した機能とこの機能に関する品質制約、環境制約を示す。

手順の説明のなかでも触れるが、顧客の要求文から機能を識別し、識別した機能を対話の話題にすると、対話を識別した最上位の機能から詳細化するとき、そして対話における顧客への質問文や提案文を作成するときにシソーラスを活用する。他に、シソーラスにある最上位の機能の詳細化の検討が終了しているかという確認でも活用する。顧客によっては、シソーラスにある最上位の機能を要求していないこともあるので、話題として取り上げたが要求にはならないものもある。なお、初期要求リストには、最上位の機能要求が多く含まれる。

4.2 手順

顧客は初期要求リストを用意する。初期要求リストは、顧客から要求分析者に最初に渡される要求である。要求として記述されている内容は、抽象度の高い要求から詳細な要求までその粒度は不揃いであり、整理されていない。要求分析者は、シソーラスを参照しながら顧客へのインタビュー

などにより、初期要求リストにある要求（以降、初期要求という）を分析し、誤りがあればそれを除去し、下位の機能とか動作対象があれば、より詳細な要求に変換していく。改訂要求リストとは、初期要求を詳細化し、顧客の確認を得た要求文から構成される要求文のリストを示す。

改訂要求リストは、初期要求リストにある要求と要求分析者が編集し顧客の確認と承認を得た要求を含んでいる。

4.2.1 節で THEOREE の手順を説明する。図 6 は THEOREE の手順 1 以降の手順を UML のアクティビティ図[56]を使い示している。手順の実行例を 4.2.2 節で示す。なお、例で示しているのは、初期要求リストを受取ってから、質問と確認を 2 回繰り返した例である。追加要求が生じた場合は、初期要求と同じ扱いをするため、手順の説明では省略している。

4.2.1 THEOREE の手順

THEOREE の手順を図 6 の手順に従って述べる。シソーラスの活用法については、それを使う手順の中で触れる。

手順 0：初期要求リストを受け取る

初期要求リストを顧客から受け取る。

手順 1：対話の話題を決定

初期要求リストの要求文を分析し、話題を決める。

要求文の分析では、要求文にある単語を手がかりにし、動作を動詞、動作対象を名詞としてシソーラスを検索する。一致した動作と動作対象から機能を識別する。識別した機能に下位の機能が存在する場合は、要求を詳細化するために、識別した機能を話題にする。機能に関する品質特性や環境についても話題として取り上げる。取り上げなかった話題は、未検討話題(未検討の状態の話題)とする。

話題を検討する順序は要求分析者の判断に任せるが、シソーラスの最上位の機能から取り上げる。また、分析過程で要求分析者は、要求間の矛盾を発見したり、実現不可能な要求文を発見したりすることがある。これらの要求を、要求分析者は、手順 2 の質問文や確認文を使い顧客と相談することによって、矛盾を解決したり、実現可能な要求に置き換えたりする。

手順 2：質問文・提案文・確認文を作成・提示

質問文とは、要求獲得において不明な事項を、顧客に問い合わせる文である。提案文とは、新規要求を顧客に提示する文である。確認文とは、要求として採用するか否かを、確認のために、顧客に問い合わせる文である。

この手順における要求分析者の作業は、次の 2 つである。

(1) 質問文、提案文または確認文を作成する

話題は、手順 1 と手順 3 で決定される。決定された話題を検討して作成する質問文、提案文または確認のために作成する確認文の 1 つ以上を作成するのが手順 2 である。

手順 2 では決定した話題を保留し、未検討話題にすることもある。話題と対応する機能に関する用語をシソーラスより抽出し、質問文や提案文を作成する。

(2) 顧客に質問・提案文、要求の確認文を提示する。

手順 3：質問・提案・確認の回答を受け取り分析する

回答によって次のように場合に分かれる。

場合 1 要求の確認文への回答あるいは、提案への回答のとき
回答に基づいて改訂要求リストに追加するか否かを判断する。

場合 2 回答が質問への顧客の回答のとき
必要に応じてシソーラスを検索し、回答の内容に応じて要求として採用するかどうかを判断する。

質問と確認の終了判定

次の条件をすべて満たしたとき、質問と確認を終了する。

- 条件 1) 顧客に提示した質問や提案を作成するために検索した用語の下位に用語が残っていない。すなわち、シソーラスの最下位の用語に達した。
- 条件 2) 顧客への要求確認がすべて終了した。
- 条件 3) 保留した質問・提案はない。

手順 4：改訂要求リストの編集と顧客への改訂要求リストの送付

この手順の作業は以下である。

- (1) 改訂要求リストを編集する。
- (2) 改訂要求リストの承認を顧客に求める。

手順 5：改訂要求リストへの顧客からの回答を受取り分析する

この手順の作業は以下である。

- (1) 顧客からの回答を受け取る。
 - (2) 回答を分析する。
- 回答によって以下の場合に分かれる。

- ① 回答に条件付の承認があるとき、条件をコメントとして書き下し、コメントと改訂要求リストの要求文との対応を確認したうえで、改訂要求リストにコメントを反映し手順4に戻る。
- ② 回答がすべて承認のとき、THEOREE 手順の終了判定に進む。

THEOREE 手順の終了判定

未検討話題が残っていれば手順2に戻り、未検討の話題が残っていないならば THEOREE の手順を終了する。

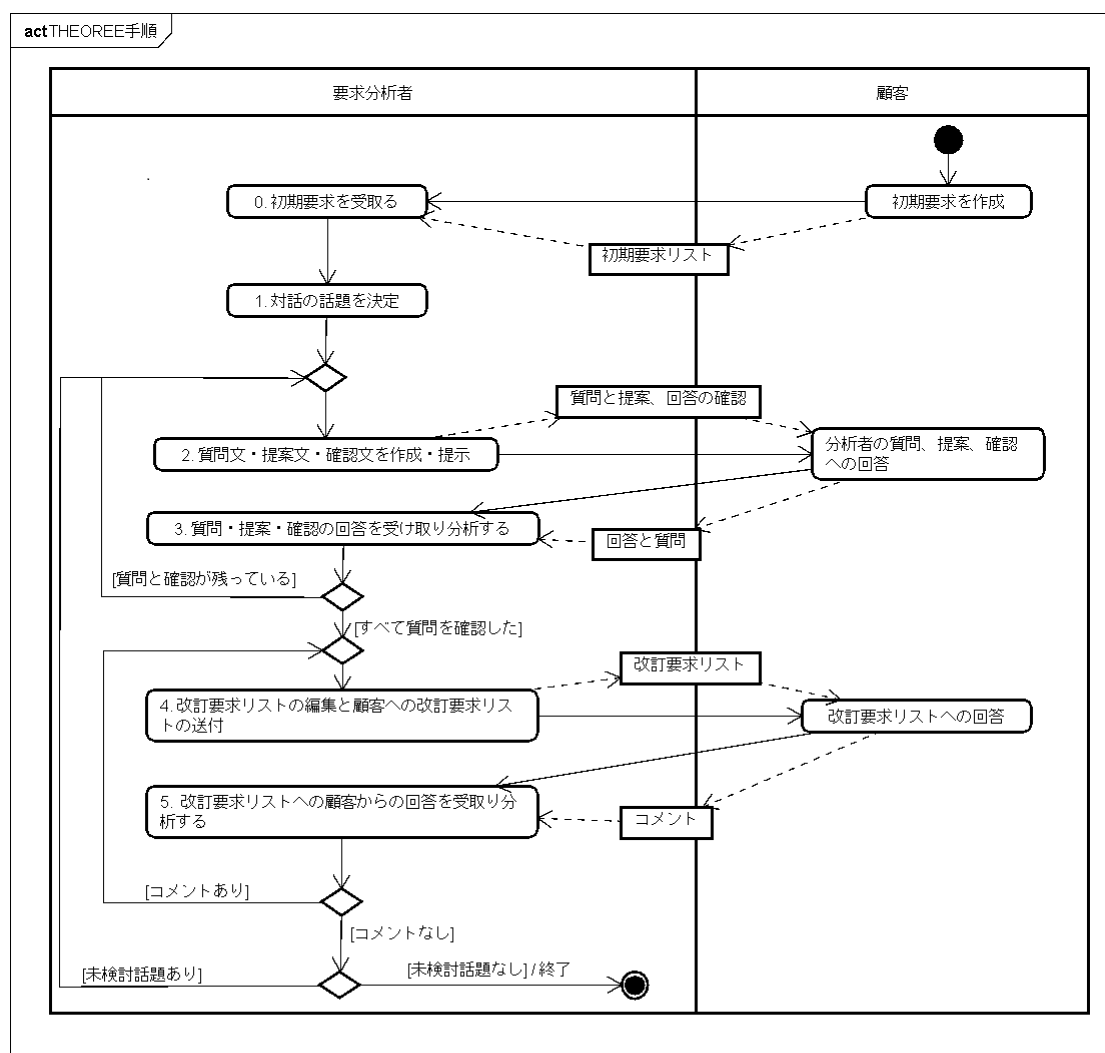


図 6 THEOREE の手順

4.2.2 要求獲得の例

THEOREE においてシソーラスをどのように使うかを説明するために、具体例を使い手順に沿って説明する．ここでは話題の識別，質問文の作成についても具体例で説明する．

THEOREE におけるシソーラスの使い方を，図 6 の手順に沿って説明する．図 7 のシソーラスを使い，要求分析者と顧客の対話における話題がシソーラスのどの部分に着目しているかを説明する．シソーラスの構成要素を引用するときは，構成要素の名前を下線で示す．本節では，質問文の作成に限定し，着目点をシソーラスの構造に沿って移動することによって質問文が作られる様子を述べる．なお，対話の詳細な例を付録 A に示す．

(0th) 手順 0：初期要求リストを受取る
初期要求

(IR1)「見積書を作成する機能を実現したい」
(IR2)「見積書の作成でキィボードからの入力操作を減らしたい」
.....

(1st) 手順 1：対話の話題を決定
シソーラスを検索し，
(IR1)は，①「見積書を作成する」という機能と，(IR2)は②にある「入力の手間を省く」という品質制約と対応させる．

図 7 のシソーラスの<1>に着目する．

機能とその品質制約は，①見積書を作成する：機能と②入力の手間を省く：品質特性と応答時間は x 秒以内：品質特性で示されている．図 5 のシソーラスで示したように，①見積書を作成する：機能に焦点を合わせ，この機能を要求として確定するために①見積書を作成する：機能を話題に選ぶ．

①見積書を作成する：機能は⑤作成する：動作と④見積書：動作対象から構成される．

図 7 の<1>に着目した話題は，次の 3 点である．

話題 1：見積書を作成する．

話題 2：入力の手間を省く．

話題 3：応答時間は x 秒以内

なお，見積書を作成する機能の詳細が決まった後，話題 2 を取り上げることにする．

(2nd) 手順 2：質問文・提案文・確認文を作成・提示

(1) 確認文の作成

確認文の例

初期要求にある次の項目を要求とします。よろしいでしょうか。

「見積書を作成する」

「見積書を作成するときに入力操作を減らしたい」

(2) 質問文の作成

話題 2 は、個々の設定項目ごとに要求を確かめる必要がある。したがって、見積書の設定項目が明らかになるまで保留し、これらが明らかになった後で、話題として取り上げる。

シソーラスの<1>から着眼点をその構造に沿って移動する。初期要求に見積書の項目が明示されていないため、図 7 の<2>に着目して質問文を作成する。

「①見積書を作成する：機能」は⑤作成する：動作と④見積書：動作対象から構成される。これから質問文を作成する。直接シソーラスを引用すると、「見積書は見積書という動作対象と作成するという動作からなります。動作対象を構成する項目について教えてくださいか」となり、顧客が理解できるように分かりやすい日常語で表現しなすと、次のような質問文になる。

質問文の例

「見積書の作成で設定する項目を教えてくださいか。」

上記の質問文の代わりにシソーラスにあるすべての動作対象を列挙した質問文を作成することも可能である。

(3rd) 手順 3：質問・提案・確認の回答を受取り分析する

顧客からの回答例

「見積書には次の項目を設定します

見積書番号、見積日、有効期間、件名....」

シソーラスを参照し、①見積書：動作対象を構成する項目⑦見積日：動作対象、⑥見積書番号：動作対象、⑧内訳：動作対象... が含んでいる項目と回答の項目を照合し、一致したので、図 7 の<2>から着眼点をその構造に沿って移動し、④見積書：動作対象の下位にある<3>から次の話題を決める。④見積書：動作対象には、図 7 の<3>で示すシソーラスの要素が残っているため、手順 2 に進み、顧客への質問文を作成する。顧客から図 7 の<3>で示す個別の動作対象についての回答を得たため、これらを話題とする。

図 7 の<4>に着眼点を移し、それから話題を決める場合、⑦見積日：動作対象は下位に和暦または西暦があり、どちらかを決める必要があるため、

暦を話題にする。これを話題 4 とする。図 7 の<5>に着眼点を移し，それから話題を決める場合，⑥見積書番号：動作対象については⑨番号付与規則：が環境制約としてあるので，見積書番号の付与規則を話題にする。これを話題 5 とする。

(4th) 手順 2：質問文・提案文・確認文を作成・提示

(3rd)で決定した話題について次のような質問文を作成する。

質問文の例

話題 5 から次の質問文を作る。

「見積書番号の付与規則について教えてくださいか。」

話題 4 から次の質問文を作る。

「見積日の暦と設定方法について教えてくださいか。」

顧客からの回答

「見積書番号は 12 文字の文字列で，番号の発番規則については別途送ります。」

「暦は，利用者が和暦か西暦を選択できるようにお願いします。」

以上のように改訂要求リストをより完全なものにしていく。

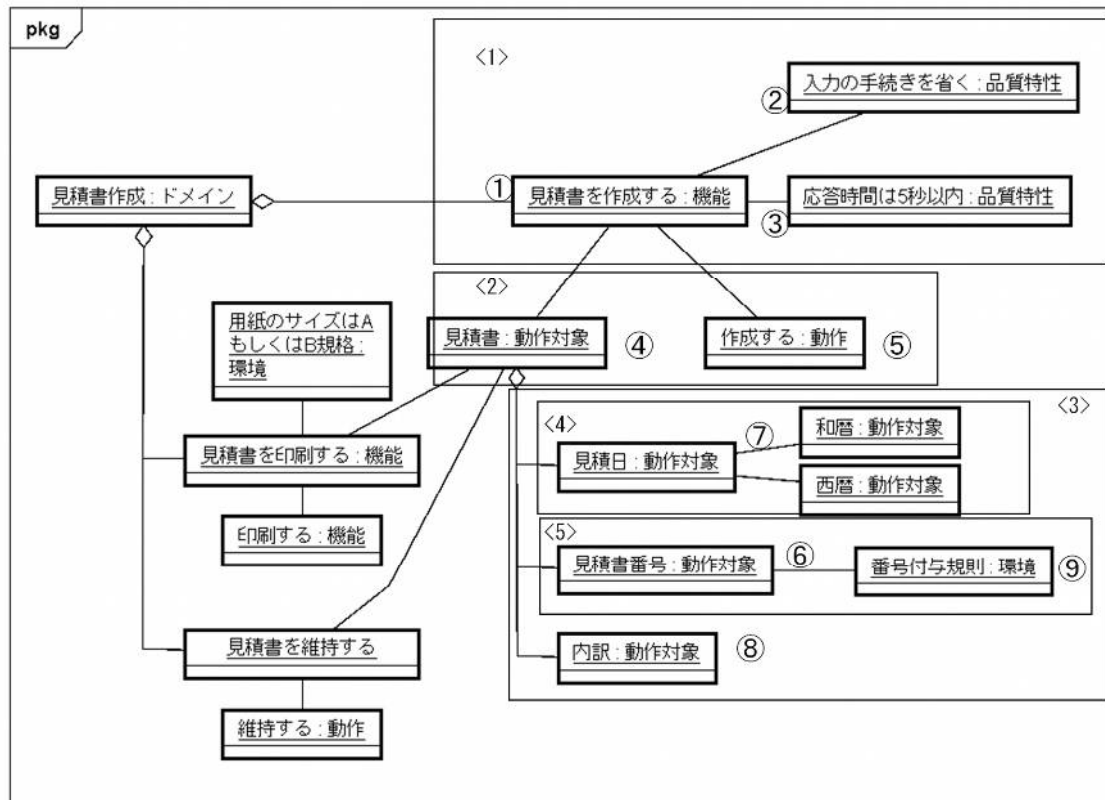


図 7 シソーラスの着目点の移動

4.3 実験

THEOREE 手法の効果を確認するために、THEOREE 手法の適用者と非適用者に同じ課題を与え、要求獲得した結果を比較する実験を行った。この比較実験の計画段階で、①要求分析者の分析能力、②要求分析者の保有しているドメイン知識による影響がない、あっても比較結果が判断できなくなるほど影響を与えないように、実験の体制と課題のドメインを選択することを、比較実験の方針とした。

なお、要求分析の知識、経験と分析能力といった背景の異なる人々に方法がうまく機能するかどうかを判断するために3つの異なる組織（各々をA,B,Cと呼ぶ）毎に被験者（THEOREEの適用者と非適用者の双方）を用意し同じ実験をした。

4.3.1 実験の目的

THEOREEの適用者はTHEOREEの非適用者と比較して、獲得要求の数が多くかつ正しいことを示すことが実験の目的である。

THEOREEのシソーラスがドメイン知識を補完し、獲得した要求の欠落を減らす効果は、獲得した正しい要求数によって表現されると仮定した。つまり、ドメイン知識の補完になったかは、被験者の獲得要求のうち、正しい要求数の差異に表れると考え、実験結果を確認することにした。

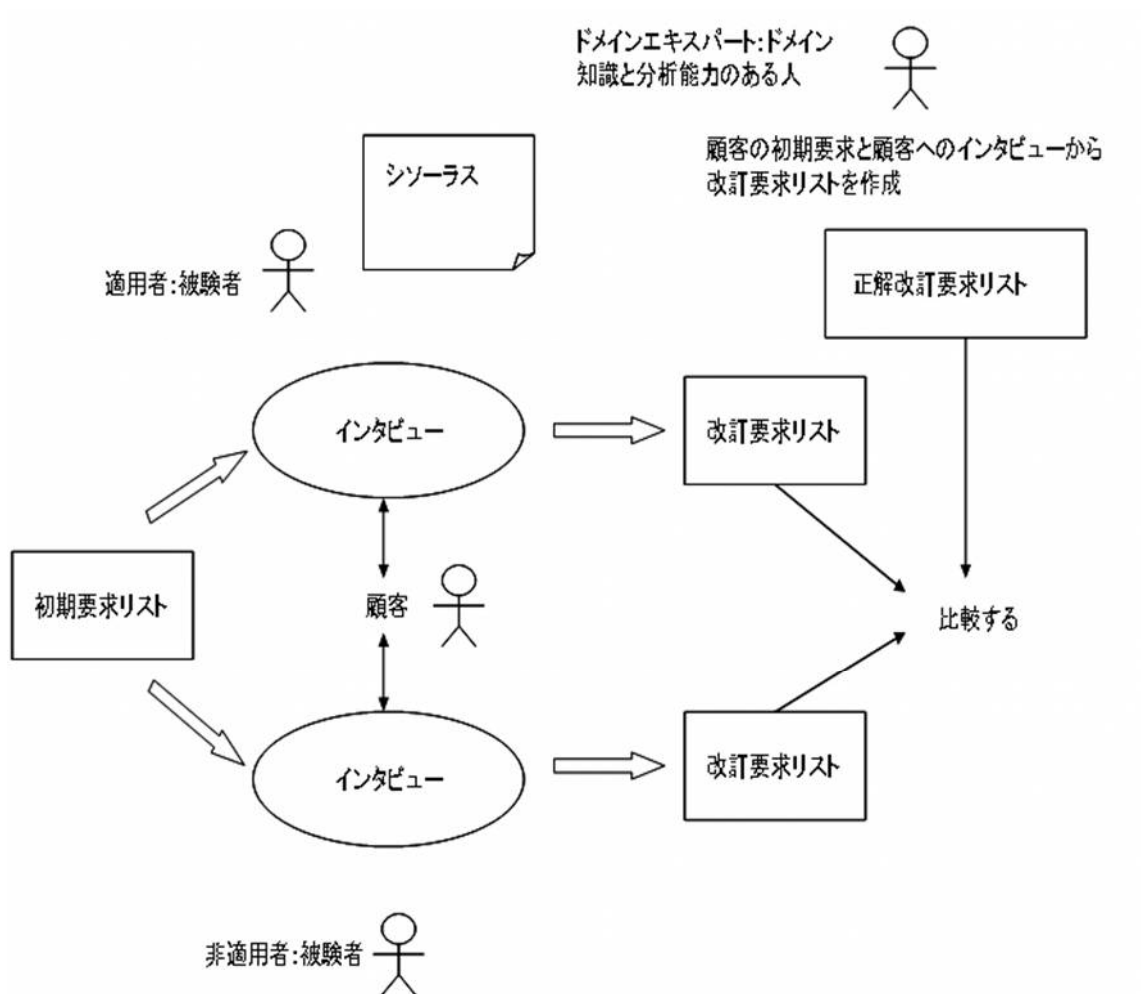


図 8 実験の概要

表 5 被験者の要求工学に関する教育

組織	要求工学	ソフトウェア工学	ソフトウェア開発 演習・実験
A	受講せず	1	5
B	1(半期)	1	5
C	1(半期)	5	5

4.3.2 実験体制

実験の前に、対象ドメインと要求分析のエキスパートをたてて要求を獲得し、改訂要求リストの正解を得ておいた。実験の構成要員は、顧客、被験者、エキスパートの3種類からなる。各々の役割を次に説明する。顧客は THEOREE の顧客の役割を、THEOREE 適用者は THEOREE の要求分析者の役割を、THEOREE 非適用者とエキスパートはシソーラスを参照しない要求分析者の役割を担った。図 8 に実験の概要を示す。

(1) 実験における構成員の役割

顧客：

実験要員として1名を当てる。要求獲得時に異なる組織からの同一質問には同じ回答を返すようにした。

被験者：組織毎に

THEOREE 適用者1名（以降、適用者と言う）

THEOREE 非適用者1名（以降、非適用者と言う）

エキスパート：

1名を当てる。あらかじめ、従来の要求獲得のやり方で、顧客にインタビューし正解となる要求文を獲得し、改訂要求リストを用意した。

被験者は、分析能力の同程度の要求分析者で、適用者と非適用者の組を3つ用意した。当実験の被験者は見積書作成システムを開発した経験がなく、計算機科学の分野の知識は十分に持っていると考えられる計算機科学を専攻した学生とした。分析能力が同程度とする基準は、授業において同じ要求分析のコースを学習したかどうかである。したがって、分析能力は、各組織の要求工学に関する教育に依存する。この基準に基づき、被験者の属する組織別にグループ化した。

なお、エキスパートは、要求獲得の経験が30年、見積書作成等の見積関係の経験が20年の実務者である。被験者は、組織毎に表5で示すような要求工学に関する教育を受けている。表5の数値は科目数を示す。ソフトウェア工学でも要求工学に関する教育を行っており、ソフトウェア工学も要求工学に関する教育に入れた。組織Aの被験者はいずれも要求工学の講義は受けておらず、ソフトウェア工学を1科目、ソフトウェア開発演習・実験を5科目受けている。組織Bでは、要求工学を1科目（半期）、ソフトウェア工学を1科目、ソフトウェア開発演習・実験を5科目受けている。組織Cでは要求工学を1科目（半期）、ソフトウェア工学を5科目、ソフトウェア開発演習・実験を5科目受けている。

(2) 期間：2 週間

(3) 実験の範囲:課題領域はPC オンラインショップにおける見積書作成.

(4) 前提：分析能力は組織毎に均一またはほぼ同じ程度である.

分析能力の違いを考慮し，3 つの異なる組織（A,B,C）で独立に比較実験をする.

(5) 実験結果の比較対象

組織毎に，適用者と非適用者を割り当て，各々に同一の初期要求リストを与え，要求獲得の実験を行った．エキスパートにも同じ初期要求リストを与えた．実験結果である改訂要求リストを比較する．組織間の比較はしない.

(6) 適用者と非適用者の違い

適用者には，課題の他に，THEOREE のシソーラス作成手順[56]によってドメインエキスパートが予め作成していたシソーラス(ノード：用語数 105)を与え，シソーラスとその見方，シソーラスの使い方を事例で示した．非適用者には，シソーラスを与えない．その代わりに知識を得る手段は任せる．適用者に与えたシソーラスは付録 D に記載している.

(7) 有用性を判定するための仮説

次の仮説が同じ組織内で成立するならば，THEOREE は要求獲得方法として有用である.

(仮説 1) 獲得した要求数が THEOREE の非適用者よりも多い．非適用者の獲得した要求と比べ大きな差異があること.

(仮説 2) 獲得した要求数の内，正答数が，THEOREE の非適用者よりも多い．非適用者の正答数と比べ大きな差異があること．なお，正答とはエキスパートが獲得した要求と同じ要求を獲得した場合を正答とみなす．正答数とはこの正答の数である.

- 1) 初期要求リストを元にして, 要求獲得を行う. 最終的な成果は改訂された要求リストとなる. 顧客とは電子メールによって質問や確認等のやりとりを行う. 電子メールは全て記録され, 後の分析に用いられる.
- 2) シソーラスを用いた要求獲得, シソーラスを用いない要求獲得の 2 形態の実験を進める. 要求獲得プロセスや成果である改訂要求リストの差異を分析したいので, 各被験者はお互いに実験に関する話し合いや相談等はしないこと.
- 3) 被験者はドメイン知識は持たないが, 要求分析の知識・能力は持つと仮定している. この仮定に反することがあれば, 最終レポートに明記すること. ドメインは見積もり書作成であり, この分野について WWW 等で知識を仕入れるのは構わないとするが, どのような知識を仕入れたかは最終レポートに明記すること.
- 4) 報告書 (最終レポート) には, 改訂要求リスト, 報告書, 感想文を含むこと.

図 9 予備説明

- ・ 当社の Web サイトに見積書作成機能を追加したい.
- ・ 見積りの対象は PC の HW,SW,ネットワーク機器, サブライ商品とする.
- ・ 利用者が購入価格の見積りを シミュレートできるようにしたい.
- ・ Web サイトの閲覧者は見積書の発行を依頼し, 見積書を受取ることができること.
- ・ 販売担当者が介在しなくても見積書を閲覧者に送れること.
- ・ 見積書を発行する都度, 見積書を発行した記録を残したい.
- ・ 見積書の作成でキィボードからの入力を減らしたい.

なお, 当社の Web サイトには現在見積書の作成機能はありません. 現在, Top ページに 見積書作成へのリンクを張ることを考えていますが, 良い提案があればこれにこだわられません.

図 10 初期要求リスト

4.3.3 実験の手順

次の順序で実験を行った。

(1) 実験前：予備説明を実施した。

予備説明の内容を図 9 に示す。なお、予備説明は図 9 の印刷物を渡し、説明した。同時に、要求仕様書の構成について IEEE std.830-1998[23]の説明資料を、実験の前に全員に配布した。

(2) 実験開始：

適用者には初期要求リストとシソーラスを、非適用者には初期要求リストのみを配布した。初期要求リストを図 10 に示す。

(3) 実験中：

顧客と E-Mail によって対話（インタビュー）し、要求を獲得する。

(4) 実験終了：終了条件と報告

予め定めた期間（2 週間）が経過した時点、あるいは要求の獲得が終了したと被験者が判断したときに対話を終了する。終了後、被験者は報告書（最終レポート）を提出する。

(5) 終了後：改訂要求リストの比較

被験者の改訂要求リストとエキスパートの作成した正答改訂要求リストとを比較する。なお、組織 C の THEOREE 適用者の改訂要求リストを事例として付録 C で示す。

4.3.4 実験結果

実験結果としてインタビューの一部を付録 B に、改訂要求リストを付録 C に記載した。THEOREE の有用性を示す目的で実験結果を集約したデータを表 6 と表 7 に示す

表 6 は、組織別の適用者、非適用者のメール回数、メール内の質問数、確認または提案数を示している。たとえば、組織 C の適用者は 4 回のメールがあり、1 回目のメールには質問が 11 個、確認または提案が 1 個あったことを表 6 は示している。

表 7 は、エキスパートが作成した正答と各組織の適用者、非適用者が報告した改訂要求リストを THEOREE の有用性の観点から集約したデータを示している。

表 7 の各行について詳細に説明する。「獲得総数 w 」は、改訂要求リストにある要求数を示す。「エキスパートに有 x 」は、被験者の獲得した要求の正答数を示す。正答とした要求は顧客の確認が取れている。改訂要求リスト中の要求文で、初期要求にあるものの数を x_1 、シソーラスにある

ものの数を x_2 、シソーラスにないが対話によって獲得し顧客の確認を得たものの数を x_3 で示す。エキスパートの作成した改訂要求リストの要求文の内訳として、「初期要求リストにある x_1 」が 7 個、「シソーラスに有 x_2 」が 74 個、「シソーラスに無 x_3 」が 29 個あることを示している。「エキスパートに無 y 」は、エキスパートの改訂要求リストにはない要求で、被験者がインタビューによって獲得し、顧客の確認を得たものである。

仮説 2 では、被験者の作成した改訂リストにある要求は、すべてエキスパートが作成した改訂要求リストに含まれていることを前提としている。実験結果では、正答ではなくても顧客の承認を得た要求があり、仮説 2 の前提とは異なる結果がでた。なお、仮説 2 のところでも述べたように、正答とは「エキスパートに有 x 」のことであり、当実験では正答数は 110 個である。この正答ではなくても顧客が承認した要求が「エキスパートに無 y 」である。妥当な要求とは、この正答ではなく顧客が承認した「エキスパートに無 y 」に属す要求を正答である要求に追加した要求である。表 7 に正答率は仮説 2 の正答率、妥当率はこの「エキスパートに無 y 」の要求を含めた獲得した要求の比率である。

「要求分析者の判断で登録した要求文 z 」は、「エキスパートに有 x 」と「エキスパートに無 y 」のいずれにもなく、要求分析者が自分自身の判断で登録した、顧客の確認が取れていない要求文の数である。「エキスパートに有 x 」と「エキスパートに無 y 」は要求として顧客の確認が取れているものであり、妥当な要求として扱う。一方、「要求分析者の判断で登録した要求文 z 」は妥当な要求として扱わない。

「妥当な要求数 ($x+y$)」では、たとえば、組織 A の適用者は正答数(x)が 29 個、「エキスパートに無 y 」が 3 個で妥当な要求数は 32 個であることが分かる。各組織内の獲得した妥当な要求数は、適用者は非適用者に対して次のように多い。組織 A では適用者が 32 個、非適用者が 4 個で、 $32/4 = 8$ 倍も多く適用者が獲得している。組織 B では適用者が 50 個、非適用者が 24 個で、 $50/24 = 2.1$ 倍も多く適用者が獲得している。組織 C では適用者が 48 個、非適用者が 30 個で、 $48/30 = 1.6$ 倍も多く適用者が獲得している。

「正答率 (x/w)」とは、正答な要求と獲得した要求の比率である。「正答率 (x/w)」についても、各組織内での適用者と非適用者の比率を示している。組織 A では $88/57 = 1.5$ となっており、適用者が非適用者よりも正答数が多く、被験者と比べて大きな差異がある。

「妥当率 ($(w-z)/w$)」とは、妥当な要求と獲得した要求の比率である。「妥当率 ($(w-z)/w$)」についても、各組織内での適用者と非適用者の比率を示している。妥当率では組織 A の適用者が非適用者の $97/57=1.7$ 倍であり、組織 B と組織 C では適用者と非適用者の差はなかった。

「活用率 (x2/74)」は、エキスパートが従来の要求獲得のやり方で改訂要求リストに追加した要求の数(74 個)と各組織の適用者がシソーラスを活用して改訂要求リストに追加した要求の数の比率を示す。たとえば、組織 A の適用者は、34%=(25/74)%である。

なお、エキスパートの欄の”-“は、検討の対象外であることを示す。

表 6 質問と確認または提案の回数

組織		A		B		C	
質問回数		非適用者	適用者	非適用者	適用者	非適用者	適用者
1	質問	2	7	3	7	10	11
	確認または提案	-	-	1	-	-	1
2	質問	-	4	-	-	11	27
	確認または提案	-	3	-	3	1	5
3	質問	-	-	-	1	4	1
	確認または提案	-	-	-	3	-	3
4	質問	-	-	-	-	-	1
	確認または提案	-	-	-	-	-	1
総数	質問	2	11	3	8	25	40
	確認または提案	-	3	1	6	1	10
獲得総数		7	33	24	50	30	48

表 7 獲得要求数の比較

組織		A		B		C	
	エキスパート (正解)	非適用者	適用者	非適用者	適用者	非適用者	適用者
獲得総数 w (= x+y+z)	110	7	33	24	50	30	48
1.エキスパートに有 x (=x1+x2+x3)	110	4	29	20	45	27	46
1.1 初期要求 x1	7	1	3	3	6	4	7
1.2 シソーラスに有 x2	74	3	25	17	38	12	20
非適用者との比 %	-	-	833%	-	224%	-	167%
1.3 シソーラスに無 x3	29	0	1	0	1	11	19
2.エキスパートに無 y	0	0	3	4	5	3	2
3. 要求分析者の判断で登録した要求文 z	0	3	1	0	0	0	0
正答な要求数 x の非適用者との比 %	-	-	725%	-	225%	-	170%
妥当な要求数 (x+y)	-	4	32	24	50	30	48
非適用者との比 %	-	-	800%	-	208%	-	160%
正答率 (x/w) %	-	57%	88%	83%	90%	90%	96%
非適用者との比 %	-	-	154%	-	108%	-	106%
妥当率 ((w-z)/w) %	-	57%	97%	100%	100%	100%	100%
非適用者との比 %	-	-	170%	-	100%	-	100%
活用率 (x2/74) %	-	-	34%	-	51%	-	27%

4.3.5 結果の比較

組織によって要求分析に関する知識と訓練の差があると想定しているので、組織別に結果を比較し仮説を検証する。ここでは、THEOREE の効果を組織別に次の 2 点について、適用者と非適用者との間で比較し、4.3.2 節(7)で述べた仮説を検証した。

(1) 仮説 1 獲得した要求数は適用者が非適用者よりも多い

表 7 の総獲得数(w)から組織 A,B,C とともに THEOREE 適用者が非適用者と比較して獲得した要求件数が多い。すべての組織において獲得数は、THEOREE 適用者が非適用者と比較して獲得した要求件数は多く、獲得数には大きな差異がある。

組織 A：適用者の要求数は $4.7=33/7$ 倍

組織 B：適用者の要求数は $2.1=50/24$ 倍

組織 C：適用者の要求数は $1.6=48/30$ 倍

仮説 1 は成立した。

(2) 仮説 2 獲得した要求に含まれる正答数適用者が非適用者よりも多い

正答数を示す表 7 の「エキスパートに有 x」から、組織 A,B,C とともに THEOREE 適用者が非適用者と比較して獲得した正答数が多い。

表 6 の「正答な要求数 x の非適用者数との比」の行において THEOREE 適用者が非適用者と比較して正答数は多く、その数には大きな差異がある。

組織 A：適用者の正答数は $7.25=29/4$ 倍

組織 B：適用者の正答数は $2.25=45/20$ 倍

組織 C：適用者の正答数は $1.7=46/27$ 倍

仮説 2 は成立した。

4.4 考察

(1) THEOREE の長所

次に挙げる THEOREE の長所は実験で示した項目の他に、THEOREE の有用性を示している。

① シソーラスによる質問のナビゲーション効果

THEOREE の適用者は、シソーラスが機能と機能間の関係に着目した構造であることを理解し、初期要求リストの要求とシソーラスの階層との対応から質問をしていることがメールの履歴の追跡から分かった。シソーラスの構造に従い、下位の用語をたどることによって、詳細化が上手くできた。THEOREE のシソーラスの構造が効果的に作用した。

② 過度な詳細化や具体化、早すぎる設計の抑制

要求分析者が要求獲得で陥りやすい、要求の過度な詳細化、具体化など要求の実現である設計に関する質問や提案は、THEOREE の適用者には見られない。要求分析者は、自分の関心のあるところに質問を集中し、実現手段の提案まですることがある。その結果、与えられた期間内に顧客が期待する要求を獲得できなく、要求の欠落を起こすことがしばしば現場で見られる。シソーラスはこのような現象を抑制する効果があるようである。実験に際して、非適用者から機能をどこまで詳細に分析すればよいかの判断が難しかったというコメントがあり、本手法の適用者全員に対して、そのようなことはなかったかという聞き取り調査をしたところ、シソーラスの最下位の用語が獲得する要求の最も細かい粒度を示していると判断したので分析の詳細度で困ることはなかったとの回答を得た。

③ 分析能力が同じという条件の下で有用な要求獲得方法

組織 A,B,C 間では分析能力の違いがあると想定した。同一組織内では分析能力の差はないと想定している。分析能力が同じであるなら、顧客から要求を獲得する能力は同じと考え、正答にない要求を顧客から獲得する能力には差がないと考えられる。同じ分析能力があるなら、適用者と非適用者との間には差があると考えられる。したがって、妥当な要求数を比較することによって、THEOREE が有効であるかどうかを判断する際の指標として使用できる。ここでは、組織別の妥当な要求数($x+y$)の適用者と非適用者との比較結果を考察する。

組織 A：適用者の妥当な要求数は 8 倍

組織 B：適用者の妥当な要求数は 2.1 倍

組織 C：適用者の妥当な要求数は 1.6 倍

上記のように、同一組織内では THEOREE は有用であることを示している。

(2) THEOREE の短所

獲得した要求の品質は、シソーラスの品質に依存する。THEOREE は図 4 のメタモデルで示したシソーラスがないと上手く機能しない。このようなシソーラスの検索を支援するツールがあれば、THEOREE はより有用になると言える。実験によって発見した THEOREE が今後解決しなければならない問題点として次の 2 点を挙げることができる。

① シソーラスの不備

シソーラスにない要求をエキスパートも 29 件獲得した。シソーラスの用語が不足していることを示している。THEOREE では、シソーラスが初めから完全であることを前提とせず、不足していれば都度、追加し進化させることも考慮しているため、THEOREE 自身の問題とは考えない。

29 個のシソーラスに含まれていない項目を分析した結果、次の(a),(b),(c)の 3 分類になった。

(a) シソーラスで明示されるべき項目：7 個

(b) 他のドメイン知識に含まれ、見積書の領域には含まれないため、明示できなかった項目：3 個

(c) ドメイン知識ではないが、たまたま要求としてあがった項目：19 個

なお、(a),(b),(c)については、次のような対応を考えている。

(a)については、メタモデルに共起関係を追加し、要求分析者が共起関係を参照し要求を獲得できるように支援する。これによって不足を減らすことができる。

例：見積書の定型書式は複数用意できること。

「用意できること」と「用意したものを削除できること」は共起関係にあり、顧客から「用意できる」という回答を受け取ったときに、共起関係をたどり「削除できる」という言葉にたどりつくため、この例では、「登録してある見積書の定型書式を削除できること」が顧客の回答に入っていないなくても、この共起関係から得た要求を獲得できる。

(b)については、シソーラスの検索機能を充実させ他の関連するドメイン知識を参照可能にすることで解決できる。

(c)については、特定の外部要因によって発生しうるため、シソーラスの不備ではない。特定の外部要因のシソーラスに登録可能な表現法と構造について検討する。

例：値引きのルール

顧客別に値引きの規則があるなど、値引きのルールが顧客によって異なる。実験では、顧客からの次の回答が、顧客独自の値引きルールであり、特定の外部要因で発生したと考えられる。

値引きのルールの例

「100%の値引きはない」

② シソーラスの活用率

表 7 で分かるように、活用率は、組織 A で $34\%=(25/74)\%$ 、組織 B で $51\%=(38/74)\%$ 、組織 C で $27\%=(20/74)\%$ であった。これらは、必ずしも適用者がシソーラスを活用せずに、要求を獲得したことを意味するものではない。むしろ少ない活用率でも、要求獲得に効果があり、さらに活用率を上げることで、獲得要求数を向上できることを意味している。シソーラスを表形式（付録 D）で提供し、検索機構がなかったことが、活用率が低い原因の一つである。活用率を向上させるには、シソーラスの検索機能が必要である。

(1) THEOREE の効果

THEOREE はシソーラスを系統的に閲覧しながら要求を獲得する手法である。シソーラスの代替として、特別な加工や整理がされていない既存類似システムの仕様書が要求獲得時にそのまま提供された場合に、以下のよ

うな問題を想定できる。THEOREE を応用することによって、これらの問題を解決し、効率良く要求を獲得することができる。

①既存仕様書から必要部分，不要部分を取捨選択するために，文書全体の構造や依存関係を十分に理解していなければならないが，その把握が難しい．この結果，依存性のある要求の欠落が発生したり，相互に矛盾する要求や不要となる要求を残したりしてしまう恐れがある．

②仕様書に入っていない要求項目の追加は困難である．

③複数の仕様書を要求分析者に提供した場合，それらを比較検討し理解するコストや手間が大きい．

(2) 比較実験について

THEOREE の比較実験については，次に挙げるような実験結果の妥当性への脅威がある．妥当性をより確かにするために，追加の実験が必要であり，今後の課題である．

① 被験者数が組織ごとに 2 名ずつ計 8 名であるため，統計的な妥当性を主張できるほど多くない．

② 適用ドメインが一つに過ぎないため，他のドメインで同様な結果になると主張できない．

③ 被験者のスキルが実験結果に影響を与える可能性がある．本実験における被験者選択には恣意が入らないよう注意したものの，結果として THEOREE の利用者のスキルが際だって高くなってしまった可能性は捨てきれない．

5 シソーラス構築手法と支援ツール

5.1 概要

(1) シソーラス構築手法への要求

次の項目を満たす構築手法であること．

- ① 構築するシソーラスの構成要素は, 条件 1) 要求獲得に有用な構成要素が正しく抽出されていること, 条件 2) 抽出した構成要素に漏れがないことを満たす.
- ② 4.4 節 THEOREE の考察の(2)で述べたように, THEOREE の有用性は使うシソーラスの品質に依存するため, シソーラスの構築にドメインエキスパートの参画は必須である.
- ③ 要求分析者が要求獲得において多くの要求を獲得するためには, 課題領域のドメイン知識に欠落がないようなシソーラスが望ましい. しかし, 一挙に課題領域のドメイン知識のすべてを網羅したシソーラスを構築することは困難であるため, シソーラスの進化を前提にした構築手法とする.
- ④ ドメインエキスパートの知識はシソーラスの構築に欠かせないため, ドメインエキスパート自身がシソーラスを構築することが望ましい. しかし, ドメインエキスパートに多大な作業を要求することは現実的でなく, 実行可能とは言えない. よって, シソーラス構築手法は, 計算機による支援を含めて, シソーラス構築の際のドメインエキスパートの労力を減らすための工夫がある.
- ⑤ シソーラスの品質にシソーラス構築担当者の属人性が影響しないように計算機による支援も含めた工夫がある.
- ⑥ 構築するシソーラスの情報源は入手可能な運用されている技術文書である.

(2) 支援ツールの必要性

シソーラス構築手法の入力は技術文書である．技術文書には, 仕様書, 方式設計書, 操作マニュアル等があり, 各々の文書はその目的がある．技術文書のほとんどは日本語で記述されているため, それらからシソーラスの構成要素を抽出する稼働時間は無視できない．

- ① 計算機によって日本語で記述されている文書からシソーラスの構成要素を抽出することを支援する必要がある．計算機によって抽出することにより，抽出漏れは防げるという効果も期待できる．
- ② 抽出された構成要素から機能の構成要素と非機能要求になりうる文を仕訳けたい．ただし，文書にある文脈依存性を計算機に頼ることは難しく，計算機で粗く機能の構成要素になりうる単文と単文を構成する単語および非機能を述べている可能性がある文を抽出するに留める．
- ③ シソーラスに登録すべきシソーラスの構成要素を決めるためには，単文の構成要素からシソーラスに登録すべきでない単文を選択し除外する作業がある．この作業には，除外漏れや誤って除外した等の手戻りが発生する．手戻りが可能なように作業毎に結果を残し，誤って除外した単文を戻すことを可能にする．そして，機械的に除外できる単文は機械的に除外し，その後は人の判断による除外を支援する必要がある．

5.2 構築手法

THEOREE で利用するシソーラスは，ドメイン知識をソフトウェアの要求獲得のために機能と機能構造に着目してモデル化したものである．ドメインエキスパートの負荷を減らすために，構築手法は，ドメイン知識が不足している要求分析者でもドメインエキスパートの代わりにシソーラスに登録すべき知識を収集する手順と，ドメインエキスパートが収集した知識を精査しモデル化してシソーラスに登録する手順から構成される．すでに，3 章で要求獲得のためにモデル化したドメイン知識であるシソーラスを，4 章でシソーラスを使った要求獲得手法(THEOREE)を述べた．ここで述べるのは，シソーラスの構築手法である．5.2.1 節で構築手法の全体像を，5.2.2 節以降で構築手法の詳細を説明する．

5.2.1 概要

(1) 構築手法の入力と出力

構築手法は，日本語で記述された技術文書をその情報源(入力)とする．この技術文書からシソーラス構成要素である機能と機能に関する非機能要求を抽出し，抽出した機能の詳細化関係，機能の動作対象の詳細化関係と継承関係を加えてシソーラスの構成要素と構成要素間の関係を決定する．これらをシソーラスに登録(出力)する．

(2) 入力する技術文書の種類と条件

シソーラスの構築手法を応用して構築するシソーラスの質は、入力する技術文書の質に依存する。正しいドメイン知識を記載している技術文書であること。

入力する技術文書は、日本語で書かれた技術文書とする。技術文書は、仕様書等に限らず、ユーザマニュアルや操作マニュアル等の既存のソフトウェアの提供するサービスや機能を記述してある技術文書を含む。既存の仕様書からシソーラスを構築することができれば効率は良いが、対象ドメインの仕様書が公開されていて入手可能とは限らないからである。

メンテナンスされている技術文書であることも入力する技術文書の条件である。なお、入手可能な技術文書であることは言うまでもない。

(3) 計算機による支援を組み入れた手法

技術文書には、機能と非機能要求以外の情報を含んでいる。技術文書を人手で解析しソフトウェアの機能と非機能を抽出する手法でなく、計算機の支援を組み入れた手法を選択した。開発したのは、シソーラス構築手法とその支援ツールである。支援ツールについては 5.3 構築支援ツールで述べる。

(4) シソーラスの構築手法の構成要素

シソーラスの構築手法の構成要素は、次の 3 要素である。

- ① 技術文書にある機能に関する単文を抽出すること。
- ② 抽出した単文から機能を識別する。機能に関係する非機能要求を一般化して機能と関係付けること。
- ③ 識別した機能間の詳細化関係、機能を構成する動作対象の詳細化関係と継承関係を決定する。これらを THEOREE のシソーラスに登録すること。

(5) シソーラス構築の担当者

シソーラス構築を担当するのはドメイン知識の不足している要求分析者とドメインエキスパートである。各々が担当する手順は異なる。ドメインエキスパートがシソーラスに登録する機能と機能構造および機能に関する制約を最終的に決定する。

要求分析者の担当：

技術文書から機能と非機能要求に関する情報を抽出する。

ドメインエキスパートの担当：

抽出した機能と非機能要求に関する情報を構造化し、シソーラスに登録可能なように編集する、これをシソーラスに登録する。

(6) シソーラス構築手法

シソーラス構築手法の概要を表 8 と図 11 で示す。表 8 で、手順の名前と識別のための ID（手順 1～6）を使い手順を識別し、手順ごとに手順を構成する作業および入力と出力を示している。以降の構築手法の説明では、手順 ID を手順の識別に用いる。ある手順での出力は、後続する手順の入力として使用されることがある。「手順からの出力」欄の表で(*)が付いているものは、その手順の入力が手順の終了時に変更される可能性があることを示している。たとえば手順 2 で作成した機能候補一覧表は手順 3 の入力であり、手順 3 でその内容が変更される可能性があるため、出力では機能候補一覧表(*)と記載している。表 8 には参考のため、後述するツールの説明で使う支援ツールのシート名も示している。

図 11 では、手順 1 から手順 3 までを要求分析者が担当し、手順 4 から手順 6 をドメインエキスパートが担当することも示している。ドメインエキスパートが、手順 1 と手順 3 の出力から、シソーラスに登録する機能と非機能要素を決め、機能や動作対象間で関係を追加し、機能や非機能要素を見直して機能や非機能要素を追加・削除することを担当していることは、図 11 と表 8 から分かる。

詳細な手順を説明する前に、シソーラスの構築手順を要約すると次のようになる。

- ① 動詞に着目し動作を、名詞に着目し動作対象を識別し、これらから機能（動作および動作対象）を抽出する。（手順 1, 2, 3）
- ② 非機能要素である品質制約と環境制約は関連する機能を明らかにしてから抽出する。（手順 4）
- ③ 抽出した機能と非機能要素の関係付けを行い、機能を構造化してから、これらをシソーラスに登録する。（手順 5, 6）

構築支援のためのツールが支援するのは、上記①である。シソーラスの構築手法は特定のビジネス形態には依存せず、多様なビジネス形態に対応できることを想定して開発した。

担当者の役割と想定する必要なスキルを要約すると、次のようになる。

- ・ 要求分析者は技術文書から「動作」と「動作対象」を抽出するスキルを持っていること。
- ・ ドメインエキスパートは抽出結果を精査し、機能と動作対象を構造化し、そしてシソーラスに登録するための編集とシソーラスに登録するスキルを持っていること。

なお、構築に参加したドメインエキスパートは構築したシソーラスの品質を確認し、保証する。

表 8 シソーラス作成手順の入力／出力

手順ID	手順名	作業名	ツールのシート名	手順への入力	手順からの出力
手順1	単文化, 単文化した文書の形態素解析と係り受け解析	T1-1: 複文または重文の単文化		技術文書	機能候補単文一覧表 非機能要素候補文一覧表
		T1-2: 計算機による形態素および係り受け解析	S1-2 機能候補単文一覧表		
手順2	単文で表現した機能の取捨選択	T2-1: シソーラスに登録すべきでない単文の削除	S2-1機能候補単文一覧表	機能候補単文一覧表	機能候補一覧表
		T2-2: 動作と動作対象の組を決定し機能を表現	S2-2機能候補一覧表		
手順3	用語の統一	T3-1: 機能を述べている単文の用語の統一	S3-1別名一覧表	機能候補一覧表	機能候補一覧表(*) 別名一覧表
		T3-2: 機能の確認と重複した機能の削除	S3-2機能候補一覧表		
手順4	非機能要素の追加	T4-1: 非機能要素の抽出		非機能要素候補文一覧表 機能候補一覧表 別名一覧表	非機能要素一覧表
		T4-2: 非機能要素を機能または動作対象との関係付け			
手順5	用語間の関係の見直しと再構成	T5-1: 動作対象間の関係の決定		機能候補一覧表 別名一覧表 非機能要素一覧表	機能(動作と動作対象)一覧表 機能間の関係(詳細化関係)一覧表 動作対象間の関係(詳細化関係と継承)一覧表 非機能要素一覧表(*)
		T5-2: 機能(動作と動作対象)間の関係の決定			
		T5-3: 機能(動作と動作対象)の追加・削除			
手順6	シソーラスへの登録	T6-1:登録		手順5の出力	シソーラス

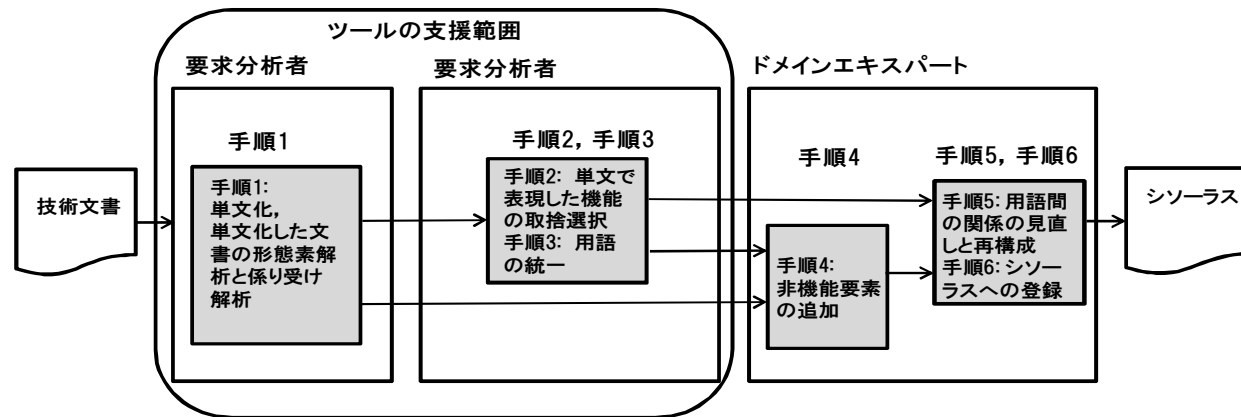


図 11 シソーラス作成手順と担当者

表 9 非機能要素候補の一覧

定義	例
形容詞や副詞, 形容動詞	早い, すばやくなど
制限や人の動作を示す語	以上, 以下, 未満, 限る, 限定, 満たす, 留意, 復帰, 準拠, ガイドライン, コンプライアンス, 従う, 実現, 説明, 有効, 信頼, 学習, 定義, 理解, など
単位などを示す語	年, 月, 日, 時間, 時, 分, 秒, 年間, 月間, 秒間, メモリ, バイト, 個, A4, B5, など
～性で終わる語	信頼性, 効率性, 信頼性など
環境を示す語	ハードウェアやオペレーティングシステム, ミドルウェアなど

表 10 シソーラスに登録すべきでない単文の特徴

特徴番号	特徴
①	製品への問合せを述べている
②	製品の実行環境を述べている
③	予め導入設置すべき他の製品を述べている
④	実装に依存した機能や製品の実行環境が持つ機能を述べている
⑤	動作対象の状態を述べている
⑥	ドメインとは無関係なことを述べている
⑦	目的格があいまい(もしくは欠落)

5.2.2 手順

シソーラスの構築手順の各手順を、手順の概要、手順の目的、それから手順内の作業の順に説明する。

手順 1：単文化、単文化した文書の形態素解析と係り受け解析

手順 1 は、構築手法の最初の手順である。表 8 に示すように手順 1 は 2 つの作業 T1-1（単文化）と T1-2（日本語の解析）からなる。入手可能な技術文書から、機能候補単文一覧表と非機能要素候補文一覧表を出力する。

(1) 手順 1 の目的

情報源（入力する技術文書）を解析し手順 2 以降の作業で使えるような様式で、情報源から機能と機能に関係する非機能要素のみを選択し出力する。

(2) 手順 1 の作業

T1-1：複文または重文の単文化

計算機で機能と非機能の候補を抽出する前に、計算機で係り受けを解析して重文と複文を検出し、要求分析者は技術文書にある複文または重文を複数の単文に置き換える。

シソーラスでは機能を動作 1 個と動作対象を 1 個以上の組み合わせで表現し、機能間の構造以外の機能間の関係は表現しない。たとえば、「～の後で、－する」という時間的な前後関係はシソーラスにはないため、シソーラスにない関係が無視して単文化する。

T1-2：計算機による形態素および係り受け解析

語彙解析プログラムと語彙解析プログラムの解析結果から機能候補単文一覧表と非機能要素候補文一覧表を出力する。語彙解析プログラムで技術文書のテキスト部分（T1-1 で単文に修正したもの）を語彙解析し、その結果を分析し、入力した単文を名詞と動詞の組に変換し、この組が機能の表現であると計算機で判定する。機能の表現であると判定された入力の単文を候補機能候補単文一覧表として動詞と 1 個以上の名詞の組で出力する。非機能要素候補文一覧表として表 9 で示す非機能要素候補となる語を含んでいる単文を出力する。機能候補単文には計算機で判定した目的格の有無も出力する。

手順 2：単文で表現した機能の取捨選択

入力する機能候補単文一覧表には、シソーラスに登録すべき機能を表現している単文とそうでない単文が混在している。表 10 で示すシソーラスに登録すべきでない単文を機能候補単文一覧表から除外する。機能候補単文一覧表から除外されずに残った単文の動詞を動作、名詞を動作対象として機能候補一覧表を作成する。

(1) 手順 2 の目的

手順 1 の計算機処理で機能候補を抽出した。計算機処理で除外できなかった登録すべきでない単文を機能候補単文一覧表から除外するのが目的である。

(2) 手順 2 の作業

T2-1：シソーラスに登録すべきでない単文の削除

表 12 に示すシソーラスに登録すべきでない単文の特徴①～⑦のいずれかを持つ単文かどうかを判断し、機能候補から除外する。

T2-2：動作と動作対象を決定し機能を表示

T2-1 の出力である機能候補単文一覧表から、手順 2 の出力である機能候補一覧表を作成する。この機能候補一覧表の単文は、動詞に付加された受身や否定の情報と名詞に付加された助詞の情報が削除され、動詞を動作、名詞を動作対象として表現している。

手順 3：用語の統一

手順 2 の出力である機能候補一覧表中の動作もしくは動作対象の中で同義と判断したものがあれば、そのうちの一つを代表名とし、別名一覧表に登録する。以降で、別名一覧表にはまだ登録されていない新しい同義語が出現するたびにこれらを代表名と対応させ、別名一覧表に登録していく。すべての同義語に代表名を対応させたのが、手順 3 で作成される別名一覧表である。手順 2 の出力である機能候補一覧表の用語を代表名に変換し、機能候補一覧表を更新する。同時に機能候補一覧表中の重複を排除する。以上の作業を行った結果が、手順 3 の出力の機能候補一覧表である。

ただし、入力する技術文書に複数の意味を持つ用語があり、動詞と名詞の対で動詞の意味、名詞の意味を識別できない場合は、用語の統一をせず、手順 5 のドメインエキスパートの判断にまかせる。

(1) 手順 3 の目的

技術文章中に出現している同義語を一つの語（以降、代表名と呼ぶ）に統一することである。統一することによって、次の効果がある

- ・ 重複した機能を発見し、重複のない機能を抽出する
- ・ 手順 5 の作業負荷を減らす。

(2) 手順 3 の作業

T3-1：機能を述べている単文の用語の統一

用語を統一するために、別名一覧表を作成し維持する。手順 2 の出力である機能候補一覧表中の動作もしくは動作対象の中で同義語と判断したものがあれば、そのうちの一つを代表名とし、別名一覧表に登録する。さらに、技術文書で表現された用語が適切でないときは、技術文書にない用語を代表名にする。以降で、別名一覧表にまだ登録されていない新しい同義語が出現するたびにこれらを代表名と対応させ、別名一覧表に登録していく。すべての同義語に代表名を対応させたのが、手順 3 で作成される別名一覧表である。

同じ機能を述べている単文中に出現する動詞と動作対象を表す用語を統一する。手順 2 の出力である機能候補一覧表中の動作と動作対象の同義語を代表名に置換する。

T3-2：機能の確認と重複した機能の削除.

T3-1 の出力である代表名に置換された機能候補一覧表にある重複した機能を除外する. 機能候補一覧表の中に同じ機能を示す単文が複数あれば 1 個を残し, 他は除外する.

T3-1 と T3-2 の作業結果が, 手順 3 の出力の機能候補一覧表である.

手順 4：非機能要素の追加

非機能要素候補文一覧表から非機能要素を述べている単文を選択し, 単文にある非機能要素と手順 3 の出力である機能候補一覧表にある機能または動作対象と関係付ける. これは, 要求の実現可能性は機能または動作対象への環境制約（機能制約, 動作対象制約）と品質制約と関係しているため, 実現可能な要求仕様書を作成するためにも必要な手順である.

(1) 手順 4 の目的

要求仕様書に記載する非機能要素を抽出し, 機能または動作対象と関係付ける.

(2) 手順 4 の作業

T4-1：非機能要素の抽出.

手順 1 の出力である非機能要素候補文一覧表から非機能要素を述べていると判断した文を選択する.

T4-2：非機能要素と機能との関係付け.

非機能要素を述べていると判断した単文に含まれている非機能要素と, 手順 3 の出力である機能候補一覧の機能とを関係付け, その情報を非機能要素一覧表に付加する. その際には, 非機能要素に応じて関係を品質制約または環境制約（機能とは機能制約, 動作対象とは動作対象制約）に分類する. たとえば, 手順 1 の結果得られた非機能要素候補文に「見積書の用紙のサイズを A4 で印刷する」という文があるとき, <印刷する, 見積書>機能, すなわち文として表現すれば「見積書を印刷する：機能」と「用紙のサイズ」を環境制約（機能制約）として関係付ける. なお, 非機能要素と関係付ける機能が手順 3 の出力である機能候補一覧表にないとき, 作業 T5-3 までその非機能要素を残す.

手順 5：用語間の関係の見直しと再構成

THEOREE[7]で使用するシソーラスは, 機能間の詳細化関係, および動作対象間の詳細化関係と継承関係を表現している. 手順 3 の出力の機能候

補一覧表にはこれらの関係が記述されていないため、手順 5 でこれらの機能間と動作対象間の関係を追加する。

以降、機能の詳細化関係を機能の構造、機能の動作対象の詳細化関係と継承関係を動作対象の構造と言い、機能の構造を決めることを機能の構造化、動作対象の構造を決めることを動作対象の構造化と言う。メインエキスパートは、手順 5 の T5-1 で動作対象の構造化をし、T5-2 で機能の構造化をする。T5-3 でドメインエキスパートは、表 11 で示すような、元の技術文書にない機能と非機能要素を追加し、不適切な機能（動作と動作対象）と非機能要素を削除する。構造化した機能と動作対象に非機能要素である環境制約と品質制約を関係させる。

(1) 手順 5 の目的

手順 3 の出力の機能候補一覧表には機能間の関係が記述されていない。シソーラスに登録可能なように、機能の構造と動作対象の構造を決め、シソーラスに登録できる形式に編集する。

(2) 手順 5 の作業

T5-1：動作対象間の関係の決定

入力した機能候補一覧表の動作対象に着目し、技術文書にある用語の範囲内で動作対象間の詳細化関係と継承関係を定める。

T5-2：機能（動作と動作対象）間の関係の決定

動作対象間の詳細化関係をもとに、機能間の詳細化関係を定める。たとえば前作業 T5-1 において、動作対象「見積書：動作対象」、「内訳：動作対象」、「明細行：動作対象」について詳細化関係があることが判明したとする。このとき、これらを持っている各機能「見積書を作成する：機能」、「内訳を設定する：機能」、「明細行を設定する：機能」についても詳細化関係があるかを検討し、決定する。事例研究の最終結果の図 17 には、これらの詳細化関係がすべて追加されている。

T5-3：用語および用語間の関係の追加・削除

ドメインエキスパートは、T5-2 の出力に表 11 の①、②で示すような機能があれば機能要素一覧表に、表 11 の③で示すような非機能要素があれば非機能要素一覧表に追加する。また、シソーラスに登録すべきでないと判断した機能と非機能要素があれば削除する。②では、元の文に動作対象のない動作があり、それが必要な動作であれば動作対象を追加する。また③では、元の文に非機能要素だけがあるとき、それが必要な非機能要素であれば、それに対応する機能を追加する。いずれにおいても、それらが必要でなければ削除する。

表 11 T5-3 でドメインエキスパートが追加・削除する機能と非機能要素

追加	①	動作対象のみの文に動作を追加した機能
	②	動作のみの文に動作対象を追加した機能
	③	元の技術文書では明示的に述べられていない機能と非機能要素
削除		シソーラスに登録すべきでないとドメインエキスパートが判断した機能と非機能要素

手順 6：シソーラスへの登録

構造化した機能をシソーラスに登録し、要求分析者がシソーラスを利用して要求を獲得できるようにする。

(1) 手順 6 の目的

構造化した機能をシソーラスに登録する。

(2) 手順 6 の作業

ドメインエキスパートが手順 6 を実施する。

T6-1：登録。

ドメインエキスパートが最終的なシソーラスの構造を確認したうえで、追加すべき要素に登録する。

5.3 構築支援ツール

要求分析者が構築手法に従ってすべて手作業で手順 3 まで実施し、機能候補一覧表を作成すると、要求分析者の稼働は多く負荷は高い。さらに、機能候補一覧表の質が要求分析者の属人性に依存することも想定できる。構築手法の効果をより確かにし、要求分析者の属人性による影響を減らすために支援ツールを開発した。開発したのは、シソーラスの構築手法の手順 1 から手順 3 までを支援するツールであり、このツールを構築手法の評価で使った。この節で説明するのは、構築手法を支援する環境（支援ツール）である。手順 4, 手順 5, 手順 6 の支援環境は、手順 1, 手順 2, 手順 3 の支援環境の効果を評価してから開発する予定である。これらは、今後の課題である。

(1) ツールへの要求

手順 1 の形態素解析と係り受け解析による機能候補単文と非機能要素候補文の抽出を実現することの他に、以下に示す要求を満たすこと。

要求 1. 単文の取捨選択や用語の統一操作を可視的にわかりやすくする。

要求 2. 表 9, 表 10, 表 12 に基づいたガイドラインを適用する。

要求 3. 手戻りがあるため、操作前の状態に簡単に戻せる。さらに、単文を取捨選択したか理由と用語の代表名と元の用語を残し、後でこれらを参照でき、元に戻せる。

要求 4. 同義語の判定のために、候補となっている動作、動作対象でソートできる。

要求 5. 単文の取捨選択と用語の統一において、文脈を考慮できるように入力文書の指定した文の前後の文を参照できる。

(2) 要求の具体化

要求 1 を満たすために、表現を表形式にした。動作と動作対象の一覧を表形式で表示し、マウスで取捨選択が可能のように、マイクロソフト Excel を手順 2, 手順 3 の支援ツールの実行環境とした。

要求 2 のために、単文の取捨選択時に、各手順で使用するガイドライン（表 9, 表 10, 表 12 参照）をメニューとして表示し、メニューの選択によりこれらのガイドラインを活用できるようにした。

要求 3 については、各手順で作成される機能候補一覧表などの各々の表をマイクロソフト Excel のシートとし、各手順の作業を始める前のシートを残し、いつでも作業前に戻せるようにした。除外した機能候補は除外した機能を除外理由と一緒に格納するシートに移動し、除外で使ったガイドラインも参照できるようにした。なお、除外した機能候補は後で元のシートに戻すこともできる。同義語の統一については、別名一覧表を別のシートとして用意し、別名一覧表の代表名に置換するようにした。

要求 4 については、動作と動作対象の対で同義であるかどうかの判定を支援するため、各々でソートできるようにした。

要求 5 のために、文番号をキィとして入力文書の文識別し、キィによって識別された文を別ウィンドウで表示できるようにした。

(3) ツールの支援機能と実装

手順 1, 手順 2, 手順 3 の順に、支援機能とその実装について 5.3.1 節, 5.3.2 節, 5.3.3 節で説明する。

5.3.1 手順 1 の支援

シソーラスに登録する単文であるかどうかは、要求分析者とドメインエキスパートが決める。このための情報を元の技術文書から抽出し提供する。抽出するのは、機能を述べている可能性のある単文と非機能要素が含まれている単文である。

(1) 支援の目的

入力である技術文書から、要求分析者とドメインエキスパートが機能を述べている単文か、非機能要素を含んでいる単文かを判定しやすいように、単文を抽出して出力する。

(2) 実装

日本語解析のソフトウェア製品への入力は単文とする。この日本語解析製品が出力する形態素解析と係り受けの汎用の解析結果を入力し、機能を表現している単文、非機能要素を含んでいる単文を抽出するソフトウェアを実装する。係り受けの解析は、入力文書にある文の単文判定にも使える。単文判定で、単文でない文があれば、要求分析者が単文化したテキストを再度日本語解析製品に入力し、手順 1 の支援ツールを実行する。汎用の解析結果から目的に合った情報を抽出し整理する機能を手順 1 の支援ツールで実装した。

日本語解析製品として実績がある Cabocha[9]を日本語解析のソフトウェア製品として採用した。Cabocha が手順 1 の支援ツールの処理に適した XML(Extensible Markup Language)[10]で解析結果を出力することは、採用理由のひとつになった。入力であるテキスト形式の技術文書を Cabocha に入力し、Cabocha の出力から機能候補単文一覧表と非機能要素候補文一覧表を作成する。これらは手順 1 の支援の基本機能である。機能候補単文一覧表の作成処理では基本機能の他に、単文化と手順 2 以降の作業を支援するために以下のような処理も行っている。Cabocha の解析結果の処理は Java で実装した。

- ① 目的格名詞の抽出：機能候補単文一覧表の欄に、目的格がある場合は目的格の名詞を、目的格がない単文には「目的格なし」を出力する。
ここで目的格は「名詞+格助詞「を」」における名詞を示す。
- ② サ変動詞の処理：「～+名詞-サ変接続+を行う」または「～+名詞-サ変接続+をする」を「～+名詞-サ変接続+する」に変換し、動作欄に「名詞-サ変接続+する」を出力する。たとえば、「見積書の印刷を行う」は、「見積書」＋「印刷する」に変換する。
- ③ 単文でない場合の警告：作業 T1-1 で要求分析者が正しく単文化を行わなかった場合に備え、単文となっていない文を検出した場合は警告を出力する。

5.3.2 手順 2 の支援

(1) 支援の目的

シソーラスに登録する機能を表現する単文を残す

(2) 実装

機能候補単文一覧表の単文から除外する単文を選択し、除外する作業を支援する。要求分析者が個人の環境で作業することができるよう、マイクロソフト Excel のマクロで実装した。実装した機能は以下である。

- ① 除外対象候補を抽出する：ツールは「用語チェック」操作の実行によって除外対象候補文を抽出する。
- ② 除外対象を削除する：利用者が選択した除外対象文を削除する。ここで削除は、完全な削除ではなく、保管場所として用意された別のシートへの移動として実装されているため、要求分析者はいつでも除外した文を復元することができる。
- ③ 前後の文を参照する：要求分析者が除外の可否を判断するための参考情報として、技術文書中で対象文とその前後の文を参照できる。
- ④ 除外理由を付与する：後でドメインエキスパートが精査できるよう、除外のための理由を付与する。除外理由は表 12 の項目のいずれかであり、利用者が選択する。なお、表 12 の特徴欄の番号は、表 10 で示した単文の特徴のどれに対応するかを番号で示している。

以下に、ツールを使った手順 2 について図 12、図 13 を使い説明する。作業対象シートは S2-1 機能候補単文一覧表（表 8 のツールのシート名参照）である。

機能マーク (F) を除外マーク (FX) に変更 除外理由をコメントに挿入

文番号	SubNo	フラグ	コメント	動作	動作対象(1)	動作対象(2)	動作対象(3)	動作対象(4)	動作対象(5)
3	1	F		読取	下記テキスト(1枚)				
3	2	FX	名詞実行環境	使う	ソフト(1枚)				
5	1	F		設定する	自社データ(1枚)	見積書(2枚)			
5	3	F		作成できる	***目的格なし***	見積書(1枚)			
6	1	F		作成する	見積書(1枚)				
7	1	F		登録できる	***目的格なし***	マスタ登録(3枚)			
8	1	F		計算する(受身)	***目的格なし***	消費税(3枚)			
10	1	F		設定する	社名・〒・住所・電話・F	自社データ			
12	1	F		設定する(否定)	自社データ(1枚)				
14	1	F		印刷する(受身・否定)	データ(1枚)	商社(3枚)			
15	1	F		使える	***目的格なし***	マスタ(1枚)			
16	1	FX	単文不完全な要求となる機能	登録する	***目的格なし***	マスタ(1枚)			
18	1	F		設定できる	自社データ(1枚)				
18	2	FX	名詞実行環境や他の製品の参照	新規作成ボタン(1枚)					
19	1	FX	単文不完全な要求となる機能表示する(受身)	入力画面(1枚)					
20	1	FX	名詞実行環境や他の製品の参照	顧客入力ボタン(1枚)	メニューバー(3枚)				

S2-1 機能候補単文一覧表 制御パネル

Ctrl ソート

シートの説明

用語チェック

次の機能から選択する

除外理由を選択

S2-1 機能候補単文一覧表を作成

除外

別のシートに出力します

☐ ソート実行

☒ S2-1 機能候補単文一覧表の実行

実行 除外操作 元の文を参照

図 12 S2-1 機能候補単文一覧表のシートによる用語チェック



図 13 S2-1 機能候補単文一覧表のシートでの除外対象の選択

除外対象の選択操作を説明する．シート S2-1 に手順 1 の解析結果がツールによって入力されており，このシートには単文（文番号で表されている）ごとに抽出した動詞（図中の表では動作欄で示されている），名詞（動作対象欄）が表示されている．図 12 の右側の制御パネルには，このシートに適用できる操作がメニューとして表示されている．図 12 では，「用語チェック」操作を実行した結果，つまりツールが除外対象と判断した文のフラグを FX に変更した結果が示されている．たとえば，文番号 2 の動作「使う」は，動作対象「ソフト」を持っているため，実行環境に関する文と判断され，フラグ FX に書き換えられた．なお，図 12 のツールによって抽出された除外対象の他に，要求分析者が独自に除外対象を選択することもできる．

図 13 のツール画面で，要求分析者は除外したい単文のフラグ欄（初期値は F が入っている）を FX に変更する．この例は，文番号 3 の動作「読む」を除外対象とする操作例である．図中の「元の文の検索」ダイアログに文番号 3 の元の文が表示されている．元の文の情報を参考にして，その除外理由を「除外操作」ダイアログの「除外理由」メニューから選択する．この例では動作が表 12 の「人の動作」であるので，「動詞：人の動作」を選択している．最後に，図 13 の「除外操作」ダイアログで，「除外操作終了」ボタンを押すことによって，FX のフラグのついた単文がシートより削除される．

S2-1 シートを例に使い，除外対象単文の除外操作を説明した．S2-2 機能候補一覧表シートでも同じ操作ができる．この S2-2 シート上では，単文の除外の他に，用語から補助情報（助詞の種類，否定表現，受動態表現）を削除できる．この作業を行った結果の S2-2 が手順 2 の出力である機能候補一覧表になる．S2-2 の例を図 14 に示す．

表 12 除外理由と対応する特徴番号

除外理由	特徴
人の動作に含まれる質問	①
実行環境	②
製品名	③
予め導入設置すべき他の製品	③
実行環境や他の製品の用語	④
状態	⑤
状態遷移	⑤
存在文	⑤
人の動作	⑥
不完全な要求となる機能文(動作対象)	⑦

5.3.3 手順 3 の支援

(1) 支援の目的

一つの機能を一つの文で表現してシソーラスに登録したい。技術文書で記述してある文の用語には、次に挙げる問題がある。

- ① ドメイン固有の用語は、同じ文書の中でも異なる用語で表現されることがある。
- ② 特定の文書で使う用語と、ドメインで一般的に使う用語が異なることがある。

この問題を解決するために、用語に代表名を与え、代表名で機能を表現することを支援する。つまり動作と動作対象の代表名を決定しやすいように表示し、決定された代表名に元の文の用語を変換する。

(2) 実装

動作と動作対象の用語を統一するために、次に挙げる支援機能を提供する。手順 2 の支援機能と同様にマイクロソフト Excel のマクロで実装した。実装した機能を次に列挙する。

- ① 別名一覧表を作成する：手順 2 の出力である S2-2 機能候補一覧表シートから S3-1 別名一覧表シートを作成する。
- ② 代表名に置換する：S3-1 別名一覧表シートを使って S2-2 機能候補一覧表シート中の動作と動作対象を代表名に変換し、S3-2 機能候補一覧表シートを作成する。

- ③ 置換後の重複機能の削除：用語統一後、動作と動作対象が同じ機能候補を重複している機能とみなし、S3-2 機能候補一覧表シートから削除する。

図 14、図 15、図 16 を用いて支援例を説明する。まず、図 14 の制御パネルの「別名一覧表を作成」を選択し、実行すると、図 15 に示す S3-1 別名一覧表が生成される。「同義語」の欄には S2-2 機能候補一覧表シート中の動作と動作対象の用語が格納され、代表名の初期値には同じ用語が使われる。要求分析者は、同義語の例を見ながら代表名を定めていく。たとえば、図 15 の下から 2 行目では、同義語：「自社データ」の代表名を「自社情報」としている。

次に、用語を変換（置換）する。図 15 の代表名：「自社情報」を用いることにより、図 14 の文番号 12 の動作対象(1)：「自社データ」は図 16 のように動作対象(1)：「自社情報」に変換される。図 15 の制御パネルの「代表名に変換し、結果を S3-2 機能候補一覧に格納」にチェックを入れてから実行することによって自動的に変換する。同様に、文番号 18 の動作：「設定できる」は動作：「設定する」に変換される。

最後に、重複機能を削除する。図 16 の例では、前述の操作により、図 9 の文番号 12、18 はともに「自社情報を設定する」となるため、文番号 12 を残し、文番号 18 を重複機能として削除している。これが手順 3 の出力である機能候補一覧表になる。

文番号	SubNo	フラグ	コメント	動作	動作対象(1)	動作対象(2)
5	1	F		設定する	自社データ	見積書
5	3	F		作成できる	***目的格なし***	見積書
6	1	F		作成する	見積書	
7	1	F		登録できる	***目的格なし***	マスク登録
8	1	F		計算する	***目的格なし***	消費税
10	1	F		設定する	社名・〒・住所・電話・FAX	自社データ
12	1	F		設定する	自社データ	
14	1	F		印刷する	データ	御社
18	1	F		設定できる	自社データ	
23	1	F		入力する	***目的格なし***	日付・渡期日
24	1	F		表示する	***目的格なし***	シート
25	2	F		選択できる	***目的格なし***	お客様名
26	1	F		入力する	摘要・数量・単位・単価	後
30	1	F		印刷できる	***目的格なし***	1ページ
31	1	F		設定する	***目的格なし***	印刷

S2-2機能候補一覧表：制御パネル

並列 ソート

ソートの説明

S3-1別名一覧表を作成

S2-2機能候補一覧表の機能

次の機能から選択する
補助情報を除く
除外機能を除外シートに移す
S3-1別名一覧表を作成
S3-2機能候補一覧表を作成
ソート実行

S2-2機能候補一覧表の
実行 除外操作 元の文を参照

図 14 S2-2 機能候補一覧表

○:動作対象, A:動作

動作対象	動作	代表名	出現数	行
○A	同義語			
A	設定する	設定する	4	5
A	作成できる	作成する	1	5
A	作成する	作成する	1	6
A	登録できる	設定する	1	7
A	計算する	計算する	1	8
A	印刷する	印刷する	1	14
A	設定できる	設定する	1	18
A	入力する	設定する	2	23
A	表示する	出力する	2	24
A	選択できる	設定する	1	25
A	印刷できる	印刷する	2	30
A	消す	削除する	1	39
○	自社データ	自社情報	4	5
○	見積書	見積書	3	5

別名一覧表の制御パネル

用語の整列
別名一覧表のソート

用語の整列
同義語で整列
代表名で整列
出現数で整列

別名一覧表のソート

☒ 代表名に変換し、結果をS3-2機能候補一覧表に格納

実行

シート#:8

図 15 S3-1 別名一覧表

文番号	SubNo	フラグ	コメント	動作	動作対象(1)	動作対象(2)	動作対象(3)	動作対象(4)
6	1	F		作成する	見積書			
8	1	F		計算する		消費税	0.05	
10	1	F		設定する	社名・〒・住所・電話・FAX	自社情報		
12	1	F		設定する	自社情報			
23	1	F		設定する		日付・納期・有効期日	入力	2004/1/1;
24	1	F		出力する		シート;	和暦	平成
25	2	F		設定する		顧客名		
26	1	F		設定する	摘要・数量・単位・単価	後	シート	
39	2	F		削除する	データ	摘要・数量・単位・単価	明細行	
40	2	F		出力する	明細行	摘要・数量・単位・単価		

図 16 S3-2 機能候補一覧表

5.4 事例研究

5.4.1 事例研究の目的・体制

要求分析者が技術文書から本手法とその支援ツールを応用してシソーラスに登録すべき機能を取捨選択した結果を分析し、本手法とその支援ツールの有用性を確かめる。

要求分析者がドメインエキスパートの代わりにシソーラスに登録すべき知識を収集し、収集した知識をドメインエキスパートがモデル化すれば、ドメインエキスパートの負荷を減らすことができる。要求分析者が手順1、手順2、手順3を行い、その結果をドメインエキスパートが引き継いで手順4、手順5、手順6を行うことによって、シソーラスの質を低下させることなく、ドメインエキスパートの作業負荷を低減させられることを示す。

要求分析者の役割を担う事例研究の参加者は、情報工学科の学部生で要求工学を学んだ、学生と社会人の計3名（I, J, K とする）である。論文

[8]の著者らが要求分析者の作成した手順3の出力を分析、評価した。実施時間は特に指定せず、参加者が要した作業時間（分単位）を報告させた。シソーラスの構成要素となる機能の抽出で使う技術文書にはインターネットで公開されている見積書作成支援ソフトウェアの操作マニュアル（以下、単に技術文書と呼ぶ）を使用した。

事例研究で見積書作成支援ソフトウェアを選択したのは、THEOREE[7]で使ったシソーラスと比較するためである。ドメインは見積書作成で、ドメインエキスパートは事務処理システムやネットワーク管理システム等の見積書作成とその管理を30年以上担当している技術者である。

ドメインエキスパートがあらかじめ用意した正解と参加者が抽出した機能の要素が合致しているかどうかで判断した。なお正解 D は、ドメインエキスパートが技術文書から提案手法により抽出しシソーラスに登録した機能の集合 A と、論文[7]のシソーラスに登録された機能群から事例研究で使用了技術文書と関連する機能を抽出した機能集合 B との和 $D = A \cup B$ とした。ただし、 A と B の要素を精査したところ、これらは等しかった。つまり、正解集合 D が THEOREE で使用したシソーラスに登録されている機能の部分集合である。

5.4.2 事例研究の範囲と前提、分析の観点

(1) 範囲

手順3の出力を評価することにより、本手法とツールを評価する。

(2) 前提

- ・ 参加者全員が、シソーラスの作成手順書を予め読んでいること。
- ・ 手順書についての不明点は手順書の作成者に問い合わせ解消していること。
- ・ 支援ツールの操作マニュアルを予め読み、練習用の課題を使い使用方法について理解し、慣れていること。

(3) 結果の分析の観点

評価者は、参加者の手順3の出力を次の4つの観点から分析した。なお、手順3の出力は技術文書に記載されている機能のみを抽出しておりそれ以外は含んでいない。

(観点1)シソーラスの構成要素を正しく抽出していること

「シソーラスの構成要素を正しく抽出していること」は「抽出した機能が正解の機能集合の構成要素であること」とする。

観点1では正答率を測りその結果を分析する。ここでの正答率を次のように定義する。

定義 正答率

ドメインエキスパートが予め用意した正解の機能集合を D 、事例研究参加者が抽出した機能の集合を A_x (ここで x は I, J, K のいずれかとする) とする。

$$\text{正答率} = |A_x \cap D| / |A_x|$$

この正答率が高いほど、シソーラスの構成要素を正しく抽出していることを意味している。

(観点 2) 技術文書からシソーラスの構成要素を漏れなく抽出していること

「技術文書からシソーラスの構成要素を漏れなく抽出していること」は「参加者が抽出した機能は、機能の正解集合 D を完全に含んでいる」とする。次に網羅率の定義を示す。

定義 網羅率

$$\text{網羅率} = |A_x \cap D| / |D|$$

網羅率が高いほどシソーラスに登録すべき機能を漏れなく抽出していることを意味している。

(観点 3) 抽出結果に要求分析者の個人差がないこと

評価者は、参加者が正しく抽出したシソーラスの構成要素を参加者間で比較し参加者の個人差を分析した。分析結果を参加者が抽出した「共通要素数の比率」で示す。

定義 共通要素数の比率

事例研究参加者 x, y が抽出した機能集合 A_x, A_y の内、正しいシソーラスの構成要素の集合をそれぞれ： $F_x (=A_x \cap D)$ 、 $F_y (=A_y \cap D)$ とする。

ここで x, y は I, J, K のいずれかで、 $x \neq y$ とする

$$\text{共通要素数の比率} = |F_x \cap F_y| / |F_x \cup F_y|$$

x と y の共通要素数の比率が高いほど抽出した正しい機能に個人差が少ないことを意味している。

(観点 4) ドメインエキスパートの負荷が減っていること

「ドメインエキスパートの負荷が減っていること」は、「要求分析者との作業分担によってドメインエキスパートの作業時間が減り、かつ作業分担による効率低下を招かないこと」と解釈する。作業時間の削減は、作業分担をした場合としなかった場合の、ドメインエキスパートの作業時間を比較して調べる。効率低下を招かないことについては、「作業分担を行った際のドメインエキスパートの作業時間が、作業分担を行わなかった場合の同手順の作業時間に比べ著しく増えないこと」と解釈する。

用いた正解集合 D は、実際に THEOREE で事例として用いたシソーラスから構成されている。このことは、すでに述べた評価の観点を満たすことができれば、入力とした技術文書に含まれていた語彙の範囲においては、

得られたシソーラスが THEOREE によって利用可能であることを示している。

5.4.3 事例研究の手順

(1) 実施前

事例研究を実施する前に以下を評価者が行った。

- ① 参加者へのシソーラスの作成手順書の配布，不明点についての問い合わせへの回答
- ② 参加者への本手法の支援ツールと操作マニュアルの配布，ツール操作の不明点についての問い合わせへの回答
- ③ 事例研究で使う技術文書を入力とする手順 1

(2) 実施

事例研究の実施時に，事例研究で使う手順 1 の出力を登録した支援ツールを配布し，参加者は手順 2 から手順 3 を手順書と支援ツールの操作マニュアルに沿って実施した。なお，参加者は互いに独立に実施し，事例研究についての情報交換はないようにした。

(3) 実施終了時

参加者は手順 2，手順 3 の作業結果を保存している支援ツールと作業に要した時間，ツールに対する感想や意見を提出した。

5.4.4 事例研究の結果

ドメインエキスパートは，シソーラスに登録する用語と事例研究で用いた技術文書に出現している用語の対応表（表 13）を作成し，これを使い，参加者 I, J, K が作成した手順 3 の出力にある用語を統一した後で重複機能を除いた。予めドメインエキスパートが作成した正解集合 D を使い，評価者が参加者の結果の比較分析を行った。その結果をまとめたのが表 14 である。「機能の正解集合 D にある」の欄の「Yes」は対象機能を参加者が抽出しかつそれが正解集合 D にあることを，「No」は対象機能を参加者が抽出したがそれは機能の正解集合 D にないことを，空欄は対象機能を参加者が抽出しなかったことを示している。この正解集合 D には 9 個の機能要素があり，図 17 に示すシソーラス中の機能要素（図では薄い灰色で示されている）をすべて含んでいる。

実際には提案手法により，機能要素だけでなく，それに関連するすべての構成要素も抽出していることに注意されたい。なお，図中において濃い

灰色で示されたノードは、手順 5 でドメインエキスパートが追加した。これらは、もとの技術文書には含まれていなかった概念である。

参加者 I, J, K が作成した手順 3 の出力に対してドメインエキスパートが手順 4, 手順 5 を実施した時間を評価者が測った。測った時間には上記の用語統一と重複機能の削除に要した時間も含んでいる。

なお、抽出の誤りや漏れの原因分析では、参加者が手順 2 と手順 3 で使ったシートを用いた。

(1) シソーラスの構成要素を正しく抽出していること

機能の正解集合 D と参加者 I, J, K の手順 3 の出力とを比較した結果を表 15 に示す。表の「内：正しいシソーラスの構成要素の数」は、機能の正解集合 D と参加者の抽出した機能が一致した個数を示している。正答率は、I が 82%, J が 100%, K が 100%であった。要求分析者 3 名の内 2 名は正しく機能を抽出し、1 名は除外すべき機能を残していた。この不適切なシソーラスの構成要素を抽出したのは参加者 I で、2 個 (2/11) 除外すべき機能候補を残していた。この原因を 5.5.1 節の(1)で述べる。

(2) 技術文書からシソーラスの構成要素を漏れなく抽出していること

参加者 I, J, K の抽出した機能・動作対象の対と正解集合 D を比較し、各参加者の網羅率を計算したものを表 16 に示す。たとえば、参加者 J は正解 9 個のうち、8 個しか抽出できていなかったことを表している。網羅率は I が 100%, J が 89%, K が 100%であった。参加者 3 名の内 2 名は漏れなく機能を抽出しており、1 名は 1 個の機能の抽出漏れがあった。J の抽出漏れの原因を 5.5.1 節の(2)で述べる。

(3) 要求分析者の個人差がないこと

参加者の対で個人差を比較した結果を表 17 に示す。表 17 の「シソーラス構成要素数」の行は参加者が抽出したシソーラス構成要素の個数を、「共通要素数」の行は、2 名の参加者が共通に抽出したシソーラス構成要素の個数を示している。I vs. J, I vs. K, J vs. K の欄は、I と J, I と K, J と K の対の比較を示している。たとえば、表中の「I vs. J」列のデータは、参加者 I, J が各々正しいシソーラス構成要素を 9 個、8 個抽出し、そのうちの 8 個が両者で共通に抽出されたことを表し、「共通要素数の比率」が 89%であることを表している。J の 1 個の抽出漏れが個人差となり、各々の対の「共通要素数の比率」は 89%, 100%, 89%であった。

(4) ドメインエキスパートの負荷が減っていること

ドメインエキスパートが参加者の手順 3 の結果から手順 4, 手順 5 を実施した時間は I, J, K の結果に対して各々 22 分, 21 分, 20 分であった。一方、

ドメインエキスパートが単独で手法とツールを使い、手順 2 から手順 5 まですを実施したときの時間は手順 2、手順 3 が 60 分で手順 4、手順 5 が 20 分であった。ドメインエキスパートが 60 分要した手順 2、手順 3 の作業を、参加者が I、J、K が終わらせた時間はおのこの 15 分、50 分、45 分とばらつきがあるが、全員 60 分以内で終了させ、8 個から 9 個の正しいシソーラスの構成要素を取り出している。

ドメインエキスパートが単独で行った場合の手順 2 から手順 5 に要した 80 分（60 分+20 分）に対して、作業分担を行った場合の、ドメインエキスパートの作業時間は 20 分から 22 分であったことから、ドメインエキスパートの負担する時間は、60 分ほど軽減されており、ドメインエキスパートの負荷を減らす効果があった。また、作業分担を行わなかった際のドメインエキスパートの手順 4、手順 5 の作業時間の 20 分に比べ、高々 2 分しか増加していないため、効率低下はなかったといってよい。本節の(1),(2)で述べたように手順 3 の成果がドメインエキスパートとほぼ同等であったことから、分業化が可能となり、これによりドメインエキスパートの負荷を軽減できることも示せた。

表 13 シソーラスの用語と事例研究の用語の対応表

シソーラス用語	事例研究での用語
自社情報	自社のデータ
顧客	顧客欄
見積書発行日	日付
納期	渡期日
有効期日	期限
項目名	摘要
紙のサイズ	A4
向き(縦・横)	縦
顧客の顧客名	マスターの顧客名
項目名	マスターの摘要
単位	マスターの単位
削除する	消す
見積書の暦	平成

表 14 参加者の抽出した機能と機能の正解集合との比較

	動作対象	動作	機能の正解集合Dにある		
			I	J	K
1	見積書	印刷する	Yes	Yes	Yes
2	見積書の暦の日付	印刷する	Yes	Yes	Yes
3	消費税	計算する	Yes	Yes	Yes
4	項目名・数量・単位・単価	削除する	Yes	Yes	Yes
5	見積書	作成する	Yes		Yes
6	顧客の顧客名・項目名・単位	設定する	Yes	Yes	Yes
7	自社情報	設定する	Yes	Yes	Yes
8	項目名・数量・単位・単価	設定する	Yes	Yes	Yes
9	見積書発行日・納期・有効期日	設定する	Yes	Yes	Yes
10	マスタ	使う	No		
11	確認メッセージ	出力する	No		
機能の正解集合Dと一致した個数			9	8	9

表 15 抽出した機能の正答率

参加者	I	J	K
選択した機能の数	11	8	9
内：正しいシソーラスの構成要素の数	9	8	9
正答率	82%	100%	100%

表 16 抽出した機能の網羅率

参加者	I	J	K
機能の正解集合Dの要素数	9		
内：正しいシソーラスの構成要素の数	9	8	9
網羅率	100%	89%	100%

表 17 抽出した機能の個人差

	I vs. J		I vs. K		J vs. K	
	I	J	I	K	J	K
シソーラス構成要素数	9	8	9	9	8	9
共通要素数	8		9		8	
共通要素数の比率	89%		100%		89%	

5.5 考察

5.5.1 構築手法と支援ツールについて

(1) 不適切なシソーラスの構成要素を抽出した原因

参加者 I は、＜使う、「目的格なし」＞、＜表示する、確認メッセージ＞を抽出した。ドメインエキスパートはこれらを以下に示すような理由で不適切と判断した。

- a. ＜使う、「目的格なし」＞については、目的格がないことから、表 10 の「⑦目的格があいまい（もしくは欠落）」に該当する。
- b. ＜表示する、確認メッセージ＞については、何の確認メッセージかが不明なため、表 10 の「⑦目的格があいまい（もしくは欠落）」に該当する。

これらは、5.4.4 節の(4)作業時間の分析で述べたように、参加者 I の実験に要した時間 15 分が他の参加者に比較し 1/3 以下であったことから、表 10 で示すシソーラスに登録すべきでない単文の吟味が不十分であったためと考えられる。表 10 の規則について例を増やすか、支援ツールに除外すべき単文があることを警告するチェック機能を追加することによって、不適切なシソーラスの構成要素の抽出を防止できると考える。一方、このことは、要求分析者が判断を誤る事例である、構成要素抽出が自明な作業ではないことも示唆している。

(2) 抽出したシソーラスの構成要素に漏れがあった原因

機能の正解集合 D に対して、参加者 I, K が 100%，参加者 J が 89%抽出している。J が除外した機能は 1 個である。手順 2 から手順 3 までの結果の表を追跡し、J が除外した機能は＜作成する、見積書＞であった。これは、見積書を一般的な名詞と判断して、表 10 の「⑦目的格があいまい（もしくは欠落）」とみなした結果である。見積書の作成システムのシソーラスを作成するのが目的であることを失念していたためと考えられる。手順書にトップレベルの機能も抽出すべきであることを記載していなかったことが原因である。手順書の改訂によってシソーラスの構成要素の抽出漏れを防止できる。

(3) 入力する技術文書について

事例研究で用いたマニュアルは、技術文書として不適切ではなかったと判断している。我々はまず、実際に入手可能な操作マニュアルのうち基準を満たすものを複数収集した。事前に定めた分量を超えるもので、そのソフトウェアの操作に関する記述を含むことを基準とした。次に、収集した

操作マニュアルを実際に読み、ソフトウェアが使用できるレベルであると判断した技術文書からひとつを入力する技術文書として採用し、利用した。利用した技術文書は対象ドメインの知識を含んでいる。また、本節の(1)で述べたように、非ドメインエキスパートである被験者がシソーラスに追加すべきでない概念を除外しないで残していた。これは、本手法で提案しているガイドライン(表 8)に参加者が従わなかった結果である。つまり、課題として与えた技術文書は、誰もが正解を抽出できるようなものではなく、事例研究の目的とは異なる問題を含んでいたと言える。

提案手法が、より大きな規模の技術文書を適切に扱えるかを今後調査する必要がある。事例研究の操作マニュアルの文の数は 162 個あり、それほど大きくはない。技術文書の文数が多くなると、特定の単語が文中で複数の意味で扱われるなど、単純な代表名への置換では対処できない可能性は無視できない。

5.5.2 支援ツールの独自性

5.2.1(6)シソーラス構築手法で述べたように、技術文書からの単語抽出や同義語排除の最終判断は、ドメイン知識の有無を問わない要求分析者ではできず、手順 4 以降においてドメインエキスパートが行わざるをえない。本ツールが支援する手法の手順 1 から手順 3 の狙いは、ドメインエキスパートによる最終判断結果の品質を維持し、作業効率を高めることにある。複数の要求分析者が関与することを想定したとき、要求分析者の属人性による影響があるとドメインエキスパートの作業効率を低下させることも考えられる。このような想定に基づき、本ツールで利用した単語抽出と同義語排除に関する手法について考察する。

この比較を行うにあたり本ツールの位置付けを再度明確にする。まず、第一に本論文のシソーラス構築手法とツールがシソーラス構築を目的としていることである。第二に、そのシソーラスは、ある要求獲得手法 [7] を要求分析者が用いて、漏れや誤りの少ない要求獲得を行なうための情報源として用いられることである。第三に、情報システムの要求獲得とは、要求獲得手法[7]のメタモデルにもあるように、あるシステムの持つ機能、すなわち動作とその動作対象を識別することが核となっていることである。

ソフトウェア開発や仕様記述の分野では、1980 年代から、自然言語仕様を形式仕様やプログラムに変換する研究が盛んに行われてきたことが報告されている[11]。これら研究の目的は自然言語記述と形式仕様やプログラムとの対応付けや変換であるため、単語や文法に制限を加えた自然言語記述を用いている。このような語彙や文法に制限を設けることは本論文

のツールの位置付けにそぐわない。プログラム等のソフトウェア成果物における内容理解においても、単語の抽出は重要な役割を担っている[12], [13], [14].これらの研究における単語は情報検索のために用いられており、本論文のツールの位置付けとは大きく異なる。

ソフトウェア開発以外の分野では、たとえば医療関連の単語辞書構築の技術が見られる[15]. この辞書の目的は、投薬や保険適用等の個々の事例を振り分けることが主な役割であり、大量の候補から登録すべき単語を取捨選択することが重要な課題となる。

本論文のツールが生成するシソーラスは振り分けのために利用されるわけではないため、登録すべき単語の取捨選択はそれほど重要ではない。専門用語の抽出においては、文書内の単語の出現頻度の偏りを用いる方式が広く用いられていることが指摘されている[16]. 本ツールが扱う動作や動作対象を表す単語は、必ずしも専門用語とは限らない。たとえば、図 5 や図 17 には一般的な単語が多数含まれている。よって、このような手法の適用は不適切である。

同義語を排除することは、シソーラスの冗長性や、本来、同じ動作対象へ適用すべき動作を相互に関連付けるための重要な処理である。

現在では、WordNet[17]等の多くの語彙的、意味的言語リソースが利用可能となっていることが指摘されている[18]. しかし、単語の同義関係は単語の表層的な形式ではなく、文脈に大きく左右されることも指摘されている[18]. 文献[18]では、文脈に応じた同義語情報を用いて、異なる自然言語間の対訳をつける研究が行なわれている。一方、本ツールの処理対象となっている技術文書は、一般的な文書の文脈情報よりも、システムの動作および動作対象に注目した手法のほうが、より単純かつ効率的に同義語を発見できる。たとえば、同じ動作対象 (データ)に適用される動作を列挙することで、異なる表現の同じ動作 (機能)を容易に発見できる。オブジェクト指向分析では伝統的に文中の主語、述語、目的語等に着目し、仕様書や設計書の構成要素を識別することが指摘されている[19], [20]. [21]本ツールでは、このような分析指針を利用して同義語排除を支援している。

6. 関連研究

6.1 THEOREE の関連研究

要求獲得にシソーラスを使う手法およびシソーラスの構築法と支援環境を扱っている関連研究について述べる．本研究のシソーラスはドメイン知識のオントロジとみなせるので，要求獲得においてオントロジを使う手法とオントロジの構築手法，これらを支援するツールの研究を関連研究とする．

2013 年時点の要求工学でオントロジを使う手法，モデルとツールをレビューした論文[30]がある．これによれば，要求工学の要求獲得でオントロジを使う研究が 66 件中 16 件あり，この内実験または事例研究によって証跡を残しているのが 7 件ある．要求獲得でオントロジを使う研究としてテキスト表現が 7 件，ゴール指向表現が 6 件，シナリオによる表現が 1 件，実体関連図（ER 図）が 1 件である．本研究のシソーラスは機能を示す要求項目を扱っており，ゴール指向表現でも，シナリオ表現でも，ER 図でもない．機能を文で表現することからテキスト表現に分類した．実験または事例研究によって証跡を残している研究では，テキスト表現が 4 件，ゴール指向表現が 3 件である．2009 年に出版した副論文[7]でとりあげ，本論文でも採用した研究課題が 2013 年時点においても研究課題となっていることをこのレビューは示している．

2014 年以降の最近の関連研究としては，ソフトウェア要求，システム要求，安全要求，セキュリティ要求においてオントロジを利用した要求獲得・分析手法が提案されている [29],[62],[63],[64]．Onyeka[29]は暗黙の要求の欠落を検出する手法である．暗黙の要求はシステムの顧客が互いに共有する暗黙知から発生する．この研究は，既存の事例から暗黙の要求を類推し，要求の欠落を検出する手法であり，検出可能な範囲は事例の質と量に依存する．既存の事例が質量共に不十分なとき，既存の事例から類推するだけでは検出できない暗黙の要求が残る．

本研究では，明示された要求を手掛かりに，シソーラスにある機能と機能構造を組織的にたどり，話題を提示しながら顧客と対話し機能要求を獲得する．対話の話題に暗黙の機能要求が挙げられることや，話題によって暗黙の機能に気づき機能要求を追加することがある．しかし，Onyeka の提案は事例に依存しているため，事例が不十分であると暗黙の要求を検出

できず要求の欠落が発生する. Nguyen ら[63]はゴールレベルのユースケースの粒度で欠落を検出する. この研究はゴール指向に特化した要求分析である. 本研究はゴール指向分析でなくても適用できるが, Nguyen らの研究はゴール指向分析以外の手法には適用できない. これらは, 仕様化した要求を分析することによって要求の欠落を示す要求分析の手法であり, 要求獲得の手法ではない.

Yuan ら[61]の提案は, ソフトウェアプロダクトラインにおけるドメインオントロジからカスタマイズしたアプリケーションの要求を獲得する手法である. この手法は, 要求獲得における顧客と要求分析者の役割および顧客と要求分析者の対話について幾つかの示唆を与えている. ドメインオントロジのドメイン知識は共通 **feature** と可変 **feature** からなる. 計算機との対話によって, ソフトウェアをカスタマイズするための要求を獲得するアプローチである. 計算機は, ドメインオントロジを使いユーザとの対話を進行させ, ユーザから要求を獲得する. 計算機は, この要求獲得の結果をサービス記述として出力する.

この研究の事例研究の結果で, ユーザはソフトウェア開発の経験と知識が求められ, ソフトウェア開発の経験と知識があっても計算機から示されるドメイン知識の誤解や獲得した要求に誤りがあったと述べている. 獲得した要求が誤っているとき, 正しい要求が獲得されていないため要求の欠落が発生する. この事例研究の結果は, ドメイン知識に過不足がないオントロジを提供されても, 要求の欠落が発生することを示している.

本研究は, 要求分析者が顧客との対話で要求を獲得し, 要求分析者はソフトウェア開発の経験と知識を持ち, 顧客はソフトウェアへのニーズと期待を述べるという役割を前提としている. 誤解とか誤りは顧客と要求分析者の対話の中で訂正でき, 誤りによる要求の欠落を減らすことができる.

ソフトウェアは, 社会, ビジネスや法制などの変化により進化している[57]. オントロジのドメイン知識も進化する必要がある. 顧客が関心を持つ世界における社会, ビジネスや法制の変化などの変化は顧客が知っており, 要求分析者が知らないことが多い. 要求獲得時に顧客から変化を伝えられ, 要求分析者は変化した要求を顧客と対話し獲得する. 要求の欠落を少なくするためには, 顧客と要求分析者の対話は必須である. 本論文の課題は, ドメイン知識が不足している分析能力のある要求分析者が顧客から要求を獲得するとき, 要求の欠落を少なくすることである. 最新の関連研究もこの要求分析者の要求獲得時の支援に対する解の提案はない.

一方, Provenzano ら[62]は安全要求, Salini ら[64]はセキュリティ要求の獲得について, オントロジを利用した要求獲得手法を提案している.

Provenzano ら[62]は保護対象, この対象に対する脅威, その対策というようにオントロジの概念と概念間の関係を使い, 関係する概念をたどることにより安全要求を抽出する手法である. THEOREE が機能要求を機能と

機能構造をたどることによって、要求を獲得するための話題を抽出するのとアプローチは類似しているが、機能要求と安全要求は、ドメイン知識は異なるため、機能要求と安全要求を一緒に獲得することはできない。Salini ら[64]は Web アプリケーションのセキュリティを利害関係者、保護すべき情報資産とオントロジのドメイン知識をたどりセキュリティ要求を要求分析者が獲得することを支援している。THEOREE のシソーラスを安全要求のシソーラス、セキュリティ要求のシソーラスに拡張すれば、話題の対象を安全またはセキュリティに変えることができ、これを THEOREE に適用することも可能である。

このように本論文で扱った研究課題は現在でも継続している研究課題であり、本論文で提案した手法は現在も陳腐化していない。

ドメイン知識の補完を計算機によって支援するためには、ドメイン知識を計算機に蓄積・管理し、それを用いて要求を獲得する方法が求められる。

以下に要求分析分野のドメイン知識表現に関する代表的な研究例を示す。Requirements Apprentice [50]は *cliche* と呼ばれるドメイン非依存およびドメイン依存のリポジトリを持ち、特に要求の欠落の防止に関する支援を強調している。LEL (Language Extended Lexicon) [51] は問題領域の語彙とその間の関係を集めた電子辞書の一種であり、要求の獲得を念頭に開発された電子辞書といえる。LEL では、通常の国語辞典と同様に、そのドメインにおける用語の意味を簡単な日常語で説明し、その文中に出現する語句との間に参照関係があるとし、その関係を利用するようになっている。しかし、種々の意味があるにもかかわらず、この参照関係を 1 種類の関係として扱っている。要求獲得を行うためには、参照関係の意味的な種類(たとえば、*has_a* や *is_a*)や用語のカテゴリまでも考慮したほうが効果的である。FODA (Feature Oriented Domain Analysis) [52] の *feature diagram* は、一種のドメイン知識表現とみなすことができる。

Zhang 等[53]は、FODA の *feature diagram* を活用し、ドメイン知識中の依存関係を意味的に解析する手段を提案している。PAORE[54]は、Feature の集合と Feature の階層をドメイン知識表現として採用している。一方、ドメイン工学[55]は、開発全体におけるドメイン知識を再利用可能なドメイン辞書という形で提供することを目的にしている。このドメイン辞書は、用語辞書を洗練して作成される。用語辞書は、用語の列举と各用語について用語の読み方、意味、同義語とドメイン分析に必要な属性を定義しており、用語集にドメイン分析用の属性を追加したものである。これら [50],[51],[52],[53],[54],[55]のいずれも、要求獲得に特化したドメイン知識の表現と構造について追求していない。

以上のように、ドメイン知識の表現として、シソーラス、オントロジ、Feature モデル、知識ベースと名称は変えているが、本質的には語や概念間の関係を記述した辞書の域を出ない。形式的に記述された知識上で、あ

る種の計算(推論) をすることで, 暗黙の情報を引き出す試みは当然のことであり, 既存研究間の差異はほとんど無いといってよい. さらに, 要求分析者が, 要求獲得においてシソーラスをどのように使うかについての手順や方法に関する研究は THEOREE の発表時にはなかったが, レビュー[30]ではオントロジを要求獲得で使う研究が 16 件あった.

THEOREE は, 要求獲得を誘導するために機能に着目したシソーラスを使い, 要求の欠落を減らす手段にしている. 要求獲得に特化したドメイン知識を使うという文脈で, 次に挙げる課題を取り上げた手法はまだない. 以上から, 要求獲得における課題は次の 3 点である.

- ①要求獲得に適したドメイン知識の表現と構造を明らかにすること.
- ②ドメイン知識を要求獲得で使うための手法を示すこと.
- ③ドメイン知識とその要求獲得での応用方法に関する効果を評価すること.

THEOREE は, 上記の①と②の解決案を提案している. ③については THEOREE の実験による評価で示した.

6.2 シソーラスの構築手法と支援環境の関連研究

ソフトウェア工学の分野でオントロジは広く利用されている[31]. たとえば, ドメインオントロジがプログラム理解に利用されている[32]. 要求工学の分野でも, ドメインオントロジを利用した要求獲得技法が数多く研究されている[33], [34], [35], [28]. ドメインオントロジは要求項目の抜けや誤りを要求分析者が検出することに利用される場合がある. これらの技法では高品質なドメインオントロジが存在することが前提となっている. しかし, 実際には高品質のオントロジを取得したり作成したりすることは容易ではない. それゆえ, 高品質なオントロジをどのように作成するかについての研究が必要となる.

文献[36] では, 要求獲得で必要な知識を, (a) 問題領域の知識, (b) コンピュータシステムの実現技術や環境に関する知識, (c) 要求仕様書の文書化に関する知識, (d) インタビューやワークショップ等の要求獲得方法に関する知識の四通りに分類し, ドメインに特化した知識として(a) と(b)を挙げている. (b)は要求分析者が持っている知識であるが, (a)はシステム適用分野の専門家への照会が必要となる. よって, 本研究ではドメイン知識として(a)を扱った.

一般的なオントロジの作成を支援する研究はいくつか存在し[26], [37], [38], [39], ほとんどは自然言語処理技術を利用している. ある技法では既存の辞書を利用し[40], 別の技法群では Web 検索 (Web Crawling) を用いる[41], [42], [43].

Protege, OntoEdit, KAON, WebODE, TEXT-TO-ONTO 等, オントロジ作成支援ツールは数多く存在し, それらを比較検討した文献も見られる[44], [45]. これらのツールで作成されるドメインオントロジは, 一般的なので, 動作と動作対象を区別してはいない.

要求獲得のためのドメインオントロジを作成するツールとして TCORE [46] が提案されている. TCORE によって, 類似した問題領域に関する複数の技術文書(マニュアルや仕様) から, オントロジを作成することが特徴である. また, 同手法は特定の要求獲得技法[35] に特化したオントロジを生成する. 本論文の手法も特定の要求獲得手法[7] に特化したシソーラスを作成するものである. TCORE が想定する手法は, 要求項目を細かな概念に分解して, それらの関係を分析し, 拡充する方針をとっている. 一方, 本論文の手法は, 要求獲得の過程において, 機能を示す要求項目を一体の要素として詳細化していく. よって, 本論文の研究と TCORE では, 作成する知識表現への要求が異なるため, 必然的にオントロジ作成手順も異なってくる.

Omoronyia らも文書からオントロジを生成する研究を行なっている[47]. この研究は, TCORE [46] と同じく, 要求項目を細かな概念に分解して, それらの関係を分析し, 拡充する方針をとっている. TCORE との違いは, 概念間の関係の型を動的に変更できる点と, 空間的かつ時間的な制約を追加した点にある. よって, 本論文の研究とこの研究は, 作成する知識表現の要求が異なるため, 必然的にオントロジ作成手順も異なってくる.

Kaiya らは Web Crawling を利用したドメインオントロジの拡充法とツールを提案している[48]. この手法によって, 問題領域の知識を効率的に追加することが可能となっている. この手法は, 既存の知識表現(オントロジやシソーラス) に知識を追加することを想定しており, 追加対象となる知識表現は事前に準備しなければならない. 一方, 本論文の研究は, 既存の文書を知識表現(シソーラス)に変換する研究であり, その支援ツールも含んでいるため双方の研究は利用場面が異なる.

Mervin らは[49], 文書からソフトウェア要求獲得用のオントロジを構築する手順を示しているが, 本論文のシソーラスのように機能に着目しているのではなく, ドメインモデルである. この研究[49]で, ドメインオントロジの構築は繰り返し文書から抽出したドメイン知識から構築する. ドメインオントロジとのマッピングを実行する. このとき, 類義語, 同音異義語を識別し, 推論は矛盾(inconsistency)と誘導関係を検出するために実行されるような意味解析技法を要求される. 例としてドメインオントロジを使い識別されたアクタとユースケースを挙げている. ドメインオントロジを構築する目的は, ユーザが提示するクエリに正確な結果を提供することである. THEOREE においてシソーラスを構築する目的は, 要求分析者が顧客

とのインタビュー等の対話で要求を獲得することを支援することである.
THEOREE は, Mervin らとはシソーラスの構築目的が異なる.

7. 考察

7.1 研究課題を解決したか

1.4 節で述べたように、本論文の研究課題は、

問題 1：

要求獲得に適したドメイン知識をモデル化する方法がない

問題 2：

要求獲得に適したドメイン知識のモデル化ができたとしても、このドメイン知識を利用した要求獲得手法がない

を解決することである。

問題 1、問題 2 とともに、解決法の基本的な方針は、要求獲得のために機能と機能構造に着目してドメイン知識をモデル化することである。ドメイン知識を機能と機能構造に着目してモデル化するために、シソーラス構築手法とその支援ツールを問題 1 の解決策とした。そして解決策の応用結果が、入力文書から正しくかつ漏れなくシソーラスの構成要素として抽出しているなら、この解決策は有用であるとした。5.4.4 節の事例研究の結果において、観点 1：正答率の値が 100%2 名 82%1 名、観点 2：網羅率の値が 100%2 名 89%1 名であった。100%でない原因については、5.5.1 節で分析しており、手法およびツールの欠陥が原因ではないので、5.4.4 節の事例研究の結果から、シソーラス構築手法とその支援ツールによって問題 1 を解決している。

問題 2 については、THEOREE を解決策とした。4.3.2 節の(7)で、THEOREE を応用した被験者の方が THEOREE を応用しない被験者よりも獲得した要求の数が多い（仮説 1）かつ正しい要求の数も多い(仮説 2)なら THEOREE は有用であるとした。4.3.5 節の結果の比較から、実験結果は仮説 1 と仮説 2 がともに成立している。よって、THEOREE は問題 2 を解決している。

シソーラス構築手法とその支援ツールは問題 1 を解決し、THEOREE は問題 2 を解決している。したがって、本論文で述べた解決法は本論文の課題を解決している。

7.2 実験および事例研究から得た知見

(1) THEOREE の実験から得た知見

THEOREE は、要求獲得用のシソーラスを使うことによって、要求の欠落を減少させることを狙った手法である。特に、THEOREE は、ドメイン知識がまったくないわけではなく、不完全に持っている要求分析者の要求獲得支援を目的としている。この方法が不完全な知識による欠落を減らす効果があることを比較実験によって確認できた。

THEOREE 用のシソーラスは、機能の詳細化の支援を中心にしているため、機能と機能構造に着目してモデル化している。4.4 節の(1) THEOREE の長所で述べているように獲得した機能要求の粒度が揃うという効果がある。

(2) シソーラス構築手法と支援ツールの事例研究から得た知見

シソーラスの構築手法とその支援ツールによって要求分析者が技術文書から抽出した機能候補を使えば、THEOREE のシソーラス構築におけるドメインエキスパートの負荷軽減が可能であることを事例研究によって示せた。さらにシソーラスの構築手法は次の特徴があることも示せた。

- ・ 要求分析者は正しく機能を抽出できる。
- ・ 要求分析者が抽出した機能に漏れは少ない。
- ・ 要求分析者が抽出した機能の個人差は少ない。

もしドメインエキスパートが見落とすような構成要素が入力する技術文書に存在すれば、それをシソーラスの構築手法により抽出できる。これにより、Kaiya 等[35]で述べているような、ドメインエキスパートでも見落とすような要素に対しても、それが含まれているような技術文書が存在すれば、ドメインエキスパートが見落としした要素を追加できる。

(3) シソーラス構築手法の支援ツールの利用者からのコメント

実験や予備実験等でのツールの使用者からその機能の有用性に関する感想をもらっている。有用なものとして、①「用語チェック」操作による除外対象候補の抽出機能がある程度の精度で働き便利であった、②一度削除した機能候補を再吟味する際にその理由が役に立った、③表形式で表示するため目的格の有無等が一瞥でき除外等の判断がしやすかった、④同義語の判断を行うためのソート操作や前後の文の確認のための原文表示機能が役に立った、などがあった。

8. おわりに

誤りのある要求仕様書は、ソフトウェア開発プロジェクトが失敗する要因の一つである。誤りのある要求仕様書において、要求の欠落は発見が困難な問題である。要求の欠落の発生を回避するには要求獲得時に要求を漏れなく獲得しなければならない。しかし、要求を漏れなく獲得することは、現実的ではない。分析能力がありドメイン知識の不足している要求分析者に要求獲得用にモデル化したドメイン知識とそれを利用した要求獲得手法を与えることにより、熟練要求分析者と同等に要求を獲得できるようにするのが現実的である。本論文は、要求獲得における要求の欠落を減らすことに対して以下の解決策を提案し開発した。そして、それぞれの解決策が有用であることを比較実験と事例研究で明らかにした。

- ・ 機能とその構造に着目したメタモデルとメタモデルでモデル化したシソーラス
- ・ シソーラスの構築手法と支援ツール
- ・ シソーラスを利用して要求を獲得する手法 (THEOREE)

本論文で述べた解決法には、先送りした課題がある。これらを、今後の課題としてシソーラス、ツール、実験に分類して挙げる。

1. 実用的なシソーラスの構築

他のドメインや複数のドメインを考慮した実用的なシソーラスを構築するための課題として以下がある。

- ① 複数の要求分析者が同じドメインで異なる技術文書からシソーラスを構築することは現実によりうる。このためには、シソーラスをマージするための手法が必要である。
- ② シソーラスを進化させる手法と支援ツールの開発は、安定していないドメイン知識、特にシステムの類型が Lehman[57]の E 型 (TypeE) の場合、社会の変化により新しいドメイン知識の追加やすでにシソーラスにあるドメイン知識の一部の変更が発生することがある。これらに対応しシソーラスを進化させる手法が必要である。
- ③ 活用率を上げ、他のドメイン知識も参照できるように、検索機能を充実させる必要がある。

2. ツールの洗練

シソーラス構築手順の手順 4, 手順 5, 手順 6 の支援機能も追加し, ドメインエキスパートが要求分析者から引き継いで最終的にシソーラスに登録するまでを支援する.

3. さらなる実験の実施

4.4 節 (4) 「THEOREE の比較実験について」で述べているように, THEOREE の比較実験が含んでいる妥当性への脅威に対して, それらをより緩和するような新たな実験をする.

謝辞

主査の任を引き受けていただき，ご指導いただいた立命館大学情報理工学部大西淳教授に深い感謝とお礼を申し上げます．

副査の任を引き受けていただき，本論文の作成に貴重なご助言をいただいた立命館大学情報理工学部島川博光教授，丸山勝久教授に深い感謝とお礼を申し上げます．

本研究を進めるにあたり，ご指導，ご援助，助言，助力をいただいた DREE プロジェクトの皆様に深い感謝とお礼を申し上げます．

DREE プロジェクトの東京工業大学情報理工院佐伯元司教授，名古屋大学大学院情報科学研究科山本修一郎教授，神奈川大学理学部海谷治彦教授，東京工業大学情報理工院林晋平准教授には本研究をまとめるにあたり，さまざまな支援をいただいたことにお礼を申し上げます．

参考文献

- 1) Pohl K. : Requirement Engineering, Springer-Verlag, 2010.
- 2) Pohl K., Rupp C. : Requirments Engineering Fundamentals, Rocky Nook, 2011.
- 3) Standish Group : The Standish Group Report CHAOS, 1995,
<https://www.projectsmart.co.uk/white-papers/chaos-report.pdf>,
(2017/9/19).
- 4) Finkelstein A. : Report of the Inquiry Into The London Ambulance Service (February 1993), 1995,
<http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/A.Finkelstein/las/lascase0.9.pdf>
(2017/9/19).
- 5) Musick E. : The 1992 London Ambulance Service Computer Aided Dispatch System Failure, 2006,
<http://erichmusick.com/writings/technology/1992-london-ambulance-cad-failure.html> (2017/9/19).
- 6) Jackson M. A. : Software Requirementd & Specification a lexicon of practice ,principles and prejudices, Addison-Wesley, 1995.
- 7) 加藤潤三, 佐伯元司, 大西淳, 海谷治彦, 山本修一郎 : シソーラスを利用した要求獲得方法 (THEOREE) , 情報処理学会論文誌 Vol.50, No.12, pp.3001-3017, 2009.
- 8) 加藤潤三, 佐伯元司, 大西淳, 海谷治彦, 林晋平, 山本 修一郎 : 要求獲得のためのシソーラス構築支援, 情報処理学会論文誌 Vol.57, No.7, pp.1576-1589, 2016.
- 9) Cabocha/南瓜 : Yet another Japanese dependency structure analyzer, <http://code.google.com/p/cabocha/> (2012/10/28).
- 10) Extensible Markup Language (XML) 1.0,
<http://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126/> (2012/10/28).
- 11) 大森洋一, 荒木啓二郎 : 自然言語による仕様記述の形式モデルへの変換を利用した品質向上に向けて, 情報処理学会論文誌プログラミング (PRO) , Vol.3, No.5, pp.18-28, 2010.
- 12) 大場勝, 権藤克彦 : プログラム理解を支援するコンセプトキーワードの自動抽出法 ckTF/IDF 法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.8, pp.2596-2607, 2007.
- 13) 海谷治彦, 原賢一郎, 小林亮太郎, 長田晃, 海尻賢二 : ソフトウェアが中心でない製品における既存技術を利用したソフトウェア改訂支援, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.2, pp.653-661, 2012.

- 14) 林晋平, 関根克幸, 佐伯元司 : **Feature Location** を用いたソフトウェア機能の対話的な実装理解支援, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.2, pp. 578-589, 2012.
- 15) 末永高志, 松永務, 関根純, 村松正明 : 単語の重要度評価基準の検討と医療関連文書への適用評価, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM), Vol.3, No.2, pp.108-118, 2010.
- 16) 立石健二, 久寿居大 : 複数の作成者情報付き文書からの専門用語抽出, 情報処理学会論文誌データベース (TOD), Vol.47, No.SIG8(TOD30), pp.24-32, 2006.
- 17) Miller, G.A. : **WordNet: A Lexical Database for English**, Commun.ACM, Vol.38, No.11, pp.39-41, 1995.
- 18) 進藤裕之, 藤野昭典, 永田昌明 : 同義語情報を用いた確率的単語ライメントモデル, 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM), Vol.4, No.2, pp.13-22, 2011.
- 19) 金田重郎, 世古龍郎 : 認知文法に基づくオブジェクト指向の理解, 電子情報通信学会技術研究報告.KBSE, 知能ソフトウェア工学, Vol. 111, No. 396, pp. 61-66, 2012.
- 20) 佐伯元司, 米崎直樹, 榎本肇 : 自然言語の語彙分割に基づく形式的仕様記述, 情報処理学会論文誌, Vol.25, No.2, pp.204-215, 1984.
- 21) 大西淳, 阿草清滋, 大野豊 : 要求定義のための要求フレーム, 情報処理学会論文誌, Vol.28, No.4, pp.367-375, 1987.
- 22) ISO/IEC/IEEE 29148:2011 : **Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering**, 2011.
- 23) IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications, IEEE Std.830-1998, 1998.
- 24) IEEE Guide for Developing System Requirements Specifications, IEEE Std.1223-1998, 1998.
- 25) Dzung D.V., Ohnishi A. : Improvement of quality of software requirements with requirements ontology, In QSIC, pp.284-289, 2009.
- 26) Dong J.S., Feng Y., Li Y., Sun J. : A tools environment for developing and reasoning about ontologies, In APSEC, pp.465-472, 2005.
- 27) Sommerville.I, Sawyer.P : 要求定義工学プラクティスガイド, 共立出版, 2000, 富野監訳.
- 28) Zave P., Jackson M. A. : Four dark corners of Requirements engineering ACM Trans, Software Engineering and Methodology, Vol.6, No.1, pp.1-30, 1997.

- 29) Onyeka E. :A process framework for managing implicit requirements using analogybased reasoning,IEEE 7th International Conference on Research Challenges in Information,pp 1-5 2013.
- 30) Dermeval D., Vilela J., Castro j., Brito P., Isotani S. : A Systematic Review on the Use of Ontologies in Requirements Engineering, Brazilian Symposium on Software Engineering (SBES), pp.1-10, 2014.
- 31) Zhao Y., Dong J., Peng t. : Ontology classification for semantic-web-based software engineering, IEEE Trans. Services Computing, Vol.2, No.4, pp.303-317, 2009.
- 32) Zhou H., Chen F., Yang H. : Developing application specific ontology for program comprehension by combining domain ontology with code ontology, In QSIC, pp.225-234, 2008.
- 33) Breitman K.K., do Prado Leite J.C.S. : Ontology as a requirements engineering product, In RE, pp.309-319, 2003.
- 34) Lee S.W., GandhiR.A. : Ontology-based active requirements engineering framework, In APSEC, pp.481-490, 2005.
- 35) Kaiya H. ,Saeki M. : Using domain ontology as domain knowledge for requirements elicitation, In RE, pp.186-195, 2006.
- 36) Kato J., Komiya S., Saeki M., Ohnishi A., Nagata M., Yamamoto S., Horai H. : A model for navigating interview processes in requirements elicitation, In APSEC, pp.141-148, 2001.
- 37) Zouaq A., Nkambou R. : Evaluating the generation of domain ontologies in the knowledge puzzle project, IEEE Trans. Knowl. Data Eng., Vol.21, No.11, pp.1559-1572, 2009.
- 38) Li M., Zang F. : A self-feedback methodology of domain ontology modeling, World Congress on Software Engineering, Vol.2, pp.218-223, 2009.
- 39) Breitman K.K., do Prado Leite J.C.S. : Lexicon based ontology construction, In SELMAS, pp.19-34, 2003.
- 40) Wang X., Chen P., Wang X., Liu P. : Research on Chinese domain ontology modeling based on automatic knowledge acquirement from multiple dictionaries, International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, pp.360-366, 2009.
- 41) Luong H.P., Gauch S., Wang Q. : Ontology learning through focused crawling and information extraction, International Conference on Knowledge and Systems Engineering, pp.106-112, 2009.
- 42) Storey V.C., Chiang R., Chen G.L. : Ontology creation: Extraction of domain knowledge from web documents, In ER, pp. 256-269, 2005.

- 43) Nakayama K., Hara T., Nishio S. : Wikipedia mining for an association web thesaurus construction, In WISE, pp.322-334, 2007.
- 44) Durham J., McLauchlan L., Yuster R. : Enabling a common and consistent enterprisewide terminology: An initial assessment of available tools, In Web Intelligence, pp.544-548, 2008.
- 45) Mikroyannidis A., Theodoulidis B. : A framework for ontology management and evolution, In Web Intelligence, pp.514-521, 2006.
- 46) Kitamura M., Hasegawa R., Kaiya H., Saeki M. : An integrated tool for supporting ontology driven requirements elicitation, In ICSOFT (SE), pp.73-80, 2007.
- 47) Omoronyia I., Sindre G., Stalhane T., Biffl S., Moser T., Sunindyo W.D. : A domain ontology building process for guiding requirements elicitation, In REFSQ, pp.188-202, 2010.
- 48) Kaiya H., Shimizu Y., Yasui H., Kaijiri K., Saeki M. : Enhancing domain knowledge for requirements elicitation with web mining, In APSEC, pp.3-12, 2010.
- 49) Mervin R., Murugesh S., Jaya A. : Ontology construction for explicit description of domain knowledge, International Conference on Innovation Information in Computing Technologies (ICIICT), 2015.
- 50) Reubenstein, H.B. Waters, R.C. : The Requirements Apprentice: Automated Assistance for Requirements Acquisition, IEEE Trans. Software Eng., Vol. 17, No. 3, pp. 226-240, 1991.
- 51) Leite, J.C.S.P., Franco, A.P.M. : A strategy for Conceptual Model Acquisition, In proc. RE'93, pp 243-246, 1993.
- 52) Kang, K., Lee, J., Donohoe, P. : Feature-Oriented Product Line Engineering, IEEE Software, Vol.19, No.4, pp.58 - 65, 2002.
- 53) Zhang W., Mei H., Zhao H. : A Feature-Oriented Approach to Modeling Requirements Dependencies, In Proc. of RE'05, pp.273-284, 2005.
- 54) Kato, J., Saeki, M., Ohnishi, A., Nagata, M., Kaiya, H., Komiya, S., Yamamoto, S., Horai, H., Watahiki, K. : PAORE: Package Oriented Requirements Elicitation, In Proceedings of 10th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC 2003), pp.17-26, 2003.
- 55) 伊藤 潔 : ドメイン分析・モデリング, 共立出版, 1996.
- 56) 加藤潤三, 佐伯元司, 大西淳, 永田守男, 海谷治彦, 古宮誠一, 山本修一郎, 蓬萊尚幸 : 要求分析のためのシソーラス作成支援, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.217, pp.41-46, 2003.
- 57) Lehman M.M, Ramil J.F., Wernick P.D. : Metrics and laws of software evolution-the nineties view, Proc. 4th International Software Metrics Symposium (METRICS '97), 1997.

- 58) Davis M.M. : ソフトウェア開発 201 の鉄則, 日経 BP 社, 1996, 松原友夫訳.
- 59) Glass R. : ソフトウェア開発 55 の真実と 10 のウソ, 日経 BP 社, 2004, 山浦恒央訳.
- 60) McCracken D.D., Jackson M.A. : Life cycle concept considered harmful, ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, Vol.7 Issue 2, pp29-32,1982.
- 61) Yuan X., Zhang X. :An ontology-based requirement modeling for interactive software customization,IEEE International Model-Driven Requirements Engineering Workshop(MoDRE),2015.
- 62) Provenzano L., Hanninen K., Zhou J., Lundqvist K. ,An Ontological Approach to Elicit Safety Requirements 2017 24th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC), pp 713-718 ,2017.
- 63) Nguyen T.H., Grundy J., Almorsy M. :GUITAR: An ontology-based automated requirements analysis tool, IEEE 22nd International Requirements Engineering Conference (RE) ,pp315-316 ,2014.
- 64) Salini P., Kanmani S. :A novel method: Ontology-based security requirements engineering framework, International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS), pp1-5, 2016.
- 65) ISO/IEC 19505-2:2012 Information technology -- Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML) -- Part 2: Superstructure

付録

A. THEOREE の手順における要求分析者と顧客との間の対話例

付録 A は、以下の初期要求リストが与えられたときの対話例である。

初期要求リスト

- 1) 「見積書を作成する機能を実現したい」
- 2) 「見積書の作成でキーボードからの入力操作を減らしたい」

(A)対話するまで(1)

(1st) 手順 1：対話の話題を決定

初期要求の要求リストの文を分析し、同じと思えるシソーラスの用語を発見し、対応させる。

(初期要求は機能的な表現が多いので、機能を示す用語を手掛りとする)

初期要求リストの次の要求について個別に話題を決める。

- 1) 「見積書を作成する機能を実現したい」の話題は、
シソーラスの用語と対応させ、同じ意味の用語を識別した結果、
＜見積書を作成する：機能＞ を初期要求の話題とする。
- 2) 「見積書の作成でキーボードからの入力操作を減らしたい」の話題は、
シソーラスの用語と対応させ、同じと考えられる用語を識別した結果、
「キーボードからの入力を減らす」は＜入力の手間を省く：品質特性＞
と同じと判断し、これを初期要求の話題とする。この話題は、＜見積書
を作成する：機能＞に関係する非機能要求である。

(1) 最初的话题

最初の話題は、初期要求の話題である。初期要求の話題の他に、次に挙げる話題を探る。

- ・ 初期要求の話題＜見積書を作成する：機能＞を手掛かりに、シソーラスの階層を下に辿るとの一つ下の階層に＜見積書：動作対象＞があり、その下には見積書を構成する項目がある。
- ・ 初期要求の話題＜入力の手間を省く：品質特性＞と同列に＜応答時間は x 秒以内：品質特性＞がある。これらは、＜見積書を作成する：機能＞に関係する。

初期要求の話題は確認対象とし、初期要求と同列にある話題は提案または質問対象とする。機能に関する話題は、その動作対象や下位の機能を次の話題とするため、質問または提案の対象とする。

(1)-1 確認する話題は、初期要求の話題とする。

(1)-2 質問か提案の判断

見積書の構成項目は、顧客によって異なることがあるため、提案ではなく質問を選択する。

＜入力の手間を省く：品質特性＞は、さらに具体化する項目であるが、具体化に関する質問または提案は、見積書の構成項目と構成項目で設定する項目が決まるまで取り上げない話題とする。設定する項目毎に設定方式を考えることになるので、見積書の設定項目が明らかになった後で、話題として取り上げるのが適切と判断した。優先順位は低い。

＜応答時間は x 秒以内：品質特性＞に関する質問または提案は＜見積書を作成する：機能＞の詳細が決まるまで取り上げない話題とする。優先順位は低い。

(1)-3 初期要求の話題の他に上げる質問か提案対象の次の話題

見積書の構成項目

(1)-4 質問か提案

設定項目については顧客から聞き出すのが良いと判断

(2nd) 手順 2：質問文・提案文・確認文を作成・提示

要求分析者は文（確認文、質問文、提案文）を顧客に分かりやすい表現にする。例えば、「キーボードからの入力操作を減らしたい」を「入力操作を減らす」、「見積書を作成するという機能は、見積書は見積書という動作対象と作成するという動作からなります。動作対象を構成する項目について教えてくださいませんか」となり、これを、顧客が理解できるように簡潔に分かりやすい日常語で表現し、「見積書の作成で設定する項目を教えてくださいませんかとする。

(B) 対話 (1)

＜要求分析者 → 顧客＞

(1) 作成した確認文

「次の初期要求にある項目を要求とします. よろしいでしょうか

「見積書を作成する」

「見積書を作成するときに入力操作を減らしたい」

確認をお願いします.

」

(2) 作成した質問文

「作成する見積書についての質問です.

「見積書の作成で設定する項目を教えてくださいか.」

」

＜顧客 → 要求分析者＞

(3) 顧客からの回答

「見積書には次の項目を設定します

見積書番号

見積日

有効期間

件名

納期

. . . .

」

(C)対話するまで(2)

(3rd) 手順 3：質問・提案・確認の回答を受取り分析する

対話(1)の(2)の質問への顧客の回答が(3)である。シソーラスを検索し、回答の内容に応じて要求として採用するかどうかを判断する。シソーラスの見積書の下位の用語に見積書番号、見積日があるため、話題として、見積書番号、見積日を取り上げる。またこれらは、見積書の項目であるので、入力の手間を省くという話題も質問に入れる。

(4th) 手順 2：質問文・提案文・確認文を作成する

見積書の作成で設定する項目は要求として確認が必要と判断して

(1) 回答への確認文を作成する。

(3) 質問文の作成

＜見積日:動作対象＞は下位に和暦または西暦があり、どちらかを定める必要があるため、暦を話題にする。＜見積書番号:動作対象＞については＜番号付与規則:環境＞が環境制約としてあるので、見積書番号の付与規則を話題にする。

図 5 では記載していないシソーラスの内容には、＜見積書を作成する:機能＞の詳細化の中に＜合計行を計算する:機能＞があり、この機能の詳細化の中に＜納期を設定する:機能＞がある。＜納期を設定する:機能＞は＜納期を算出する:機能＞、＜納期を入力する:機能＞から構成されており、これらを参照し質問文を作る。

(D) 対話 (2)

＜要求分析者 → 顧客＞

(1) 作成した確認文

「見積書の設定項目として次の項目を要求とします. よろしいでしょうか

「見積書の設定項目として次の項目がある

見積書番号

見積日

有効期間

件名

納期

...

」

確認をお願いします.

」

(2) 作成した質問文

「見積書の項目についての質問です.

① 見積書番号について

見積書番号の体系, 書式と設定方法について教えてください.

② 見積書日について

見積日の暦と設定方法について教えてください.

③ 納期について

納期はシステム側で算出するのと入力する方法があります. 納期の設定について教えてください.

|

＜顧客 → 要求分析者＞

(3) 顧客からの回答

「確認と質問への回答です.

「確認文について

「見積書の設定項目については了解しました」

」

「質問文について

- ① 見積書番号は 12 文字で書式は決まっています. 番号の発行は計算機で計算し発行するため, 入力操作は不要です
- ② 見積日は和暦, 西暦のいずれかを選択してもらいます. Defaults は和暦です. 発行日は計算機で設定します.
- ③ 納期はシステムで算出します. 算出規則は別途伝えます. 例外として, システムで算出した納期よりも遅い納期を顧客が希望するときは, 納期を直接入力できます. なお, 計算した納期を顧客に伝える方法については, 設計時点で検討しましょう.

」

」

(E) 対話するまで(3)

(5th) 手順 3 : 質問・提案・確認の回答を受取り分析する

見積書の設定項目は顧客の了解を得たので, 改訂要求リストに追加する.
質問と確認の終了判定

見積書番号, 見積書の発行日, 納期はソーラスの最下位の用語であるので, 話題の追加はない.

(6th) 手順 2 : 質問文・提案文・確認文を作成する

見積書番号と見積書の発行日(見積日), 納期についての回答を要求として確認する.

(F) 対話 (3)

＜要求分析者 → 顧客＞

(1) 作成した確認文

「見積書番号，見積日，納期について，次の項目を要求とします．よろしいでしょうか

①見積書番号について

見積書番号は 12 文字で書式は決まっている．

見積書番号の発行は計算機で計算し発行する．

②見積日について

見積日は和暦，西暦のいずれかを選択する．Defaults は和暦とする．

見積日は計算機で設定する．

③納期について

納期はシステム側から回答する．ただし，例外として，システムが出力した納期よりも遅い納期を希望する場合はお客様が入力可能にする．

確認をお願いします．

」

(3) 質問文・提案文はない

＜顧客 → 要求分析者＞

(4) 顧客からの回答

「確認への回答です．

「見積書番号と見積書の発行日，納期については了解しました．」

」

(G) 対話するまで(4)

(7th) 手順 3：質問・提案・確認の回答を受取り分析する

場合 1 の要求の確認文への回答あるいは，提案への回答なので，回答にもとづいて改訂要求リストに追加するか否かを判断する．

見積書番号，見積書の発行日，納期は顧客の了解を得たので，改訂要求リストに追加する．

質問と確認の終了判定

新たな話題がなく確認もすべて終了したので，手順 4 を実施する．

(8th) 手順 4：改訂要求リストの編集と顧客へ改訂要求リストの送付
顧客に承認を得るために改訂要求リストを編集する.

(H) 対話 (4)

＜要求分析者 → 顧客＞

(1) 作成した確認文

「改訂要求リストを送ります. 要求項目の確認と承認をお願いします.」

(2) 作成した質問文・提案文はない

＜顧客 → 要求分析者＞

(3) 顧客からの回答

「内容については承認します.

ただし, 要求毎に, 識別子を追加し, 索引を追加してください.
」

(I) 対話するまで(5)

(9th) 手順 5 改訂要求リストへの顧客からの回答を受取り分析する

改訂要求リストの編集に関する要求なので手順 4 に戻る.

(10th) 手順 4: 改訂要求リストの編集と顧客へ改訂要求リストの送付

要求毎に, 識別子を追加し, 索引を追加し, 顧客に確認を求める.

(J) 対話 (4)

＜要求分析者 → 顧客＞

(1) 作成した確認文

「改定要求リストの改訂版を送ります.
要求毎に, 識別子を追加し, 索引を追加しました.
改定要求リストの確認と承認をお願いします.
」

(2) 作成した質問文・提案文はない

＜顧客 → 要求分析者＞

(3) 顧客からの回答

「改定要求リストを承認します.
」

(K) 対話の終了

(11th) 手順 5 : 改訂要求リストへの顧客からの回答を受取り分析する

コメントはなく, しかも承認なので, **THEOREE** 手順の終了判定に従って終了は判定する. ここでは未検討な話題が残っていないので, **THEOREE** の要求獲得の手順を終了する.

B. 顧客と要求分析者の対話の事例

顧客役は同じまたは同様な質問には、同じ回答をしている。1つのメールで複数の質問を許した。紙面の都合で質問・回答の一部を次に示す。

1. 初回の質問

- Q1.見積書に必要な項目は何なのか？
- Q2.利用者は商品をどうやって選ぶのか？
- Q3.商品の情報は何を掲載したいのか？
- ...

2. 回答

Q1 への回答

見積書には、通常次のような項目が必要です。

- (1) 見積の年月日
- (2) 見積書番号
- (3) 見積先（お客様）
- ...

3. Q2 への回答.

検索し選択することを考えています。それ以外に良いアイデアがありましたら提示していただけますか。

...

4. 2回目の質問

- Q1.1. 見積書の年月日の年は西暦でよろしいですか？
- Q1.2. 見積書番号の桁数ですが、何桁程度を想定していますか？

上記のような関心のある範囲を絞る質問の他に次のような提案を含めた質問もあった。

Qx. 利用者は見積書作成機能を利用するのに、ユーザー登録等を事前に行うようにしますか？、ユーザー登録等を事前に行うことで、同じ利用者が再び利用する際の入力を減らすことができると考えられます。

C. 改訂要求リスト

下線部は初期要求そのものまたは初期要求の別の表現を示す.

1. 見積りの対象は PC の HW, SW, ネットワーク機器, サプライ商品とする.
2. 見積書には次のような項目を盛り込む<書式は1つのみである>
 - (1) 見積の年月日
 - (2) 見積書番号<12桁>
 - (3) 見積先 (お客様)
 - (4) 見積者名 (当社), 住所, 連絡先
 - (5) 見積金額 (税別)
 - (6) 見積有効期限
 - (7) 件名<基本的にはお客様が入力. ただし, 例外として, お客様の意向を汲むことがある>
 - (8) 見積金額合計 (税込)
 - (9) 内訳 <HW,SW,導入・設置作業などで更に詳細の内訳がある場合はメニュー一覧から選択し, 書式は書式設定で変更可能にする>
 - (10) 支払い条件<振込先は1つ>
 - (11) 納期<納期はシステム側から回答する. ただし, 例外として, システムが出力した納期よりも遅い納期を希望する場合はお客様が入力可能にする>
 - (12) 振込み先<システム側が提示>
 - (13) その他<お客様からの意見・要望を手入力できる>
 - ・ただし, 英数字は半角入力を行うものとする
 - ・ただし, システム内で計算する項目は以下のものがある値引き前の販売金額
値引き額
値引き後の販売金額
納期
税別の金額
税込みの金額
3. 値引きについては商品別から値引きと商品合計からの値引きがある.
4. 値引き率は, 既に商品別, またお客様別に登録している
5. 見積書内の見積先 (お客様), 見積者名 (当社), 住所, 連絡先といったお客様の個人情報に関しては, 新規のお客様の場合は手入力で見積書に記入してもらい, システム側から ID を振り分ける

6. 再度購入されるお客様に関しては、ID を入力していただくだけで、お客様本人の情報がシステム側のデータベースから呼び出せるようにする
7. その他の見積書作成部分に関して、入力行う箇所については検索し、選択するという手順をとる。ただし、お客様の要望や意見を取り入れる自由記入部分に関しては手入力となる。
8. 見積書の中で社印が必要な場合は郵送、不必要な場合はメールまたは Web ページ印刷を行えるように設定
9. Web サイト閲覧者は見積書の発行を依頼する。 その際の閲覧者の見積書を受け取る際の媒体は以下の 3 種類とする。
 - (1) Web ページで表示し、これを見積書の代替とする。
 - (2) 郵送
 - (3) 郵送をするが急ぐ場合に FAX も送る
10. 見積書の受け取り期間はシステム内でデフォルトとする。ただし、お客様が受取期間内で設定できるようにする
11. 販売担当者が介在しなくても見積書を発行する制約として以下の
ようなものがある。
 - (1) 値引きは一律または顧客別に設定してある比率を適用する。
 - (2) Web ページで表示し、これを見積書の代替する
 - (3) FAX で見積書を要求されれば FAX で見積書を送る
 - (4) 見積書番号は自動発行する。
 - (5) 後で、発行した見積書の履歴を見ることができる。
 - (6) 担当者はシステム名
12. 見積書を発行する都度、お客様に提示したデータをすべてをサーバ上のファイルに保存したい
13. 利用者が購入価格の見積りをシミュレートするためにお客様自身
に購入前に用途にあった画面を選択する。以下にその画面パターン
を挙げる。
 - ① 個別に商品を組み合わせたいお客様は商品を個別に選択し、それらを纏めて購入する場合の見積金額を表示（値引き額も入れる）
 - ② 商品をセットでかつ、オプションも購入するお客様は当社がお勧めの商品セットを提示し、そこにオプションを追加した見積金額を表示
 - ③ 商品の一式揃ったセットのみを購入したいお客様にはセットのみを表示

D. THEOREE の評価実験で使った表形式のシソーラス

表 D THEOREE の評価実験で使った表形式のシソーラス

Level0	REL	C	Level1	REL	C	Level2	REL	C	Level3	REL	C	Level4	REL	C	Level5	MK	選択	
						AG	O		計算パターン									消費税、端数処理のパターンと編集
										AG	F	検索による入力				1	ALT8	登録してある計算式を検索する
										AG	F	固定				1	ALT8	登録してある計算式を固定し使う。
										AG	F	手入力				1	ALT8	計算式は都度設定する
						AG	O		納期パターン									納期の書式と計算
										AG	F	検索による入力				1	ALT9	納期の書式と計算を検索する
										AG	F	固定				1	ALT9	登録してある納期の書式と計算を固定する
										AG	F	手入力				1	ALT9	納期と書式を都度設定する
						AG	O		見積書番号									
										AG	F	システムで発行				1		見積書発行の都度、書式に合わせてシステムが自動発行する。
										AG	F	人手で入力				1		見積書の発行の都度、人が入力する。
						AG	O		明細行									
										AG	F	項目名の手入力				1		項目名(見出し)が検索以外で入力できる
										AG	F	納期計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	単価計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	原価計算	ref	商品		1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	消費税計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	端数処理				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	値引き計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
						AG	O		合計行									
										AG	F	項目名の手入力				1		項目名(見出し)が検索以外で入力できる
										AG	F	納期計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	原価計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	消費税計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	端数処理				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	値引き計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	備考入力				1		備考欄に文字列を入力できる
						AG	O		値引き率									
										AG	F	値引き率入力				1		顧客の値引き率以外に、手入力で設定できる
										AG	F	値引きの表示				1		値引きの表現
										AG	O	値引きの対象				1		値引き対象の設定
				AG	F	検索・表示												見積書共通のデータと見積書の履歴
										AG	O	見積書一覧				1		見積書の一覧(期間、得意先、商品区分の指定も含む)
										AG	O	見積書検索				1		得意先、期間、商品区分、見積番号による検索
										AG	O	見積書明細表示				1		見積書の明細を検索し表示する
										AG	O	見積履歴				1		見積の履歴を表示する
										AG	O	未発注案件一覧				1		見積り書の作成中または送付したが未発注の案件の一覧
				AG	F	維持管理												
										AG	F	自社情報登録/変更	ref	自社情報		1		自社情報の登録と変更
										AG	F	定型文書登録/変更	ref	定型文書		1		定型文書の登録と編集
										AG	F	新規作成	ref	見積書		1		見積書を作成し登録する
										AG	F	追加	ref	見積書		1		追加発行した見積書を登録する
										AG	F	変更	ref	見積書		1		変更された見積書を登録する。
										AG	F	削除	ref	見積書		1		見積書の削除
				AG	F	編集												既存の見積書を編集し見積書を作成する
										AG	F	複写	ref	見積書		1		日付けを変更して再度見積書を作成することを含む見積書の変更
										AG	F	分割	ref	見積書		1		見積書を分割する
										AG	F	統合	ref	見積書		1		見積書を統合する

Level0	REL	C	Level1	REL	C	Level2	REL	C	Level3	REL	C	Level4	REL	C	Level5	MK	選択	
						AG	O		計算パターン									消費税、端数処理のパターンと編集
										AG	F	検索による入力				1	ALT8	登録してある計算式を検索する
										AG	F	固定				1	ALT8	登録してある計算式を固定し使う。
										AG	F	手入力				1	ALT8	計算式は都度設定する
						AG	O		納期パターン									納期の書式と計算
										AG	F	検索による入力				1	ALT9	納期の書式と計算を検索する
										AG	F	固定				1	ALT9	登録してある納期の書式と計算を固定する
										AG	F	手入力				1	ALT9	納期と書式を都度設定する
						AG	O		見積書番号									
										AG	F	システムで発行				1		見積書発行の都度、書式に合わせてシステムが自動発行する。
										AG	F	人手で入力				1		見積書の発行の都度、人が入力する。
						AG	O		明細行									
										AG	F	項目名の手入力				1		項目名(見出し)が検索以外で入力できる
										AG	F	納期計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	単価計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	原価計算	ref	商品		1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	消費税計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	端数処理				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	値引き計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
						AG	O		合計行									
										AG	F	項目名の手入力				1		項目名(見出し)が検索以外で入力できる
										AG	F	納期計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	原価計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力もできる
										AG	F	消費税計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	端数処理				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	値引き計算				1		検索と自動計算による設定以外に手入力、電卓機能を使うこともできる
										AG	F	備考入力				1		備考欄に文字列を入力できる
						AG	O		値引き率									
										AG	F	値引き率入力				1		顧客の値引き率以外に、手入力で設定できる
										AG	F	値引きの表示				1		値引きの表現
										AG	O	値引きの対象				1		値引き対象の設定
				AG	F	検索・表示												見積書共通のデータと見積書の履歴
						AG	O		見積書一覧							1		見積書の一覧(期間、得意先、商品区分の指定も含む)
						AG	O		見積書検索							1		得意先、期間、商品区分、見積番号による検索
						AG	O		見積書明細表示							1		見積書の明細を検索し表示する
						AG	O		見積履歴							1		見積の履歴を表示する
						AG	O		未発注案件一覧							1		見積り書の作成中または送付したが未発注の案件の一覧
				AG	F	維持管理												
						AG	F		自社情報登録/変更	ref	自社情報					1		自社情報の登録と変更
						AG	F		定型文書登録/変更	ref	定型文書					1		定型文書の登録と編集
						AG	F		新規作成	ref	見積書					1		見積書を作成し登録する
						AG	F		追加	ref	見積書					1		追加発行した見積書を登録する
						AG	F		変更	ref	見積書					1		変更された見積書を登録する。
						AG	F		削除	ref	見積書					1		見積書の削除
				AG	F	編集												既存の見積書を編集し見積書を作成する
						AG	F		複写	ref	見積書					1		日付けを変更して再度見積書を作成することを含む見積書の変更
						AG	F		分割	ref	見積書					1		見積書を分割する
						AG	F		統合	ref	見積書					1		見積書を統合する

Level0	REL	C	Level1	REL	C	Level2	REL	C	Level3	REL	C	Level4	REL	C	Level5	MK	選択	
				AG	F	維持管理												商品データの維持管理
							AG	O	仕入先	ref	仕入先							商品の仕入先
							AG	O	表示順位							1		商品表示の優先度
							AG	O	販売価格							1		価格
							AG	O	仕入価格							1		仕入先の価格に値引率入れた仕入価格
							AG	O	仕入先価格							1		仕入先の価格
							AG	O	類似商品価格							1		類似商品があればその代表的な商品の価格
							AG	O	商品説明							1		
							AG	F	新規追加							1		商品の追加
							AG	F	変更							1		商品属性の変更
							AG	F	削除							1		商品の削除
	AG	O	仕入先															商品の仕入先
				AG	F	検索・表示												仕入先の検索、一覧作成、エクスポート、インポート
							AG	O	仕入先一覧							1		仕入先の一覧(取引頻度別の一覧も含む)
							AG	O	仕入先							1		仕入先の検索
							AG	F	商品一覧							1		仕入先の扱い商品
							AG	O	取引履歴							1		仕入れの履歴(履歴の表示と特定のキィを与えた履歴の検索)
				AG	F	維持管理												データの維持管理
							AG	F	仕入れる	ref	商品							
							AG	O	支店・営業店							1		
							AG	O	標準納期							1		仕入先の標準納期
							AG	O	値引き率							1		仕入先の値引率
							AG	F	新規追加							1		仕入先の登録
							AG	F	変更							1		仕入先の属性の設定と変更
							AG	F	削除							1		仕入先の削除

119

REL:

AG:集約

IN:継承

AI:別名

ref:リンク先

CE:原因結果

例 仕入先 維持・管理 仕入れる ref 商品

仕入先

維持・管理

仕入れる

商品

実体

関連

C:

機能

F

オブジェクト

O

選択

ALTn: ALTn間の選択 例:ALT1は和暦年号、西暦年号の選択