

# 自然言語で記述された要求仕様書からの状態遷移抽出法の提案と評価

M2022SE007 宮崎 大河

指導教員 佐伯 元司

## 1. はじめに

要求仕様書は、システム開発工程の初期プロセスである要求定義プロセスにおいて作成され、設計プロセスや開発プロセスなどその後の開発の基準となる重要な成果物である。しかし、要求仕様書は主に自然言語で記述されているが故に、主語や機能要求の欠落・文同士や単語間の係り受けが複雑であるなどの曖昧性等を有している。これら低品質箇所を早い段階で検出することができなければ、結果として前工程への後戻りによる開発遅延やコストの増加、顧客の要求を満たさない質の悪いソフトウェアが開発されてしまう[1]。このような背景からシステム開発の初期段階で要求仕様書の低品質箇所を特定することは、高品質なシステム開発を行うために極めて重要であると言える。

本研究では、体系的な曖昧性判定の実施かつ、幅広いステークホルダが共通の認識が得られるという観点から自然言語で記述された要求仕様書から状態遷移を抽出し、形式手法によって曖昧性の判定を実施する手法[2]に着目する。

通常、状態遷移はシステム動作を記述するものであることから要求仕様文中の動詞に着目し、状態を表す名詞を抽出していく。しかし、単に名詞と状態を対応づけていくだけでは、代名詞等の本来状態となり得ない名詞まで状態となってしまう。そこで本研究では、動詞と共起している名詞の意味的役割を解析するために格フレームを使用する。なお、状態遷移の抽出という目的から表層格のニ格・へ格と深層格の対象格を、表層格のカラ格を深層格の源泉格に対応づけて研究を進める。

以上から本研究では、自然言語で記述された要求仕様書の曖昧箇所検出の支援を目的とし、要求仕様書から日本語の特定と格フレームを活用することで形式手法を用いて意図通りの要求仕様書であるかを確認するための状態遷移抽出方法の提案と評価を行う。

## 2. 要求仕様書からの状態遷移抽出法

### 2.1. 提案手法の概要

本研究は、以下の3つのプロセスで状態遷移の抽出を行っていく。

- ① 対象文抽出プロセス
- ② 名詞リスト・状態リスト作成プロセス
- ③ 状態遷移抽出プロセス

まず、プロセス①にて分析対象となる要求仕様書から対象文の抽出とその後のプロセスのための分割を行い、プロセス②にてそれら対象文から各文の全名詞等を格納する名詞リストと各文の遷移を表す動詞(以下、遷移動詞と呼ぶ)にかかる対象格を格納する状態リストを作成する。最後にプロセス③でそれらの情報を用いて、文構造に応じた状態遷移の抽出を行う。ここで述べた対象文とは本研究で状態遷移抽出に使用する文で詳細は2.2.1.節で

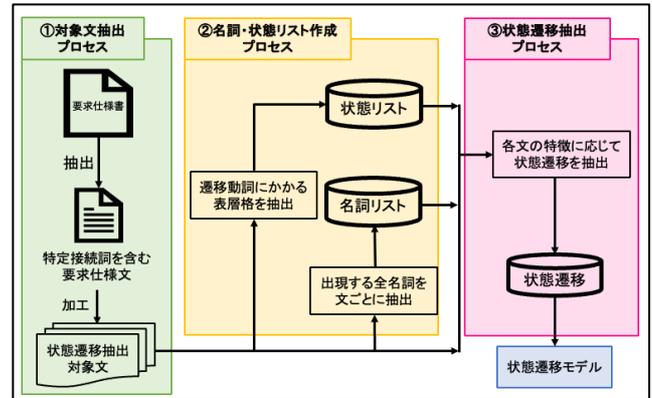


図 2.1: 提案手法プロセスの概要

述べる。これら3つのプロセスの関係性を図 2.1 に示す。

### 2.2. 対象文抽出プロセス

#### 2.2.1. 抽出すべき要求文

状態遷移を抽出するため、下記の特徴を持つ文を対象文と呼び、要求仕様書から抽出を行う。

- (ア) 特定の接続詞を文中に保有
- (イ) {条件部} + {動作部}にてシステム動作を記述
- (ウ) 抽出できる状態遷移が文中に1つ

まず、(ア)については、システムの遷移を表す文のみを抽出するため、「とき」「ならば」「場合」「あと」など主に順接の接続詞を文中に保有していることを条件とした。(イ)については、抽出対象の一定の雛形を決定するため、1文の中でシステムが遷移を行う条件とその当該条件によるシステム動作を記述するという文型をとっていることを条件とした。(ウ)については、現時点での適応範囲の限界として1文から抽出できる状態遷移が1つである要求仕様書を対象とすることから設定した。

#### 2.2.2. 要求文の抽出と加工

2.2.1.節で示した特徴を持つ文の抽出方法と加工の手順を図 2.2 に示す。

まず、条件を満たす接続詞を事前に特定接続詞リストとして登録しておく。次に、分析対象の要求仕様書各文に対して形態素解析で品詞を基にリストに格納された接続詞を持つ文を抽出する。その後、抽出された各文の当該リストの接続詞までの部分を{条件部}、それ以降の文節を{動作部}として分割し、それらの情報を原文と共に格納する。

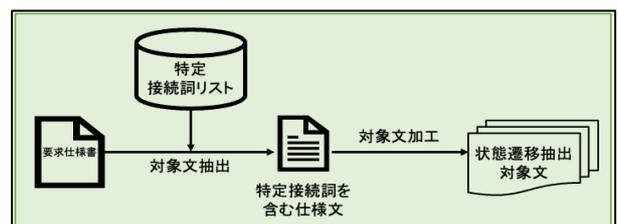


図 2.2: 対象文抽出プロセスフロー

## 2.3. 名詞リスト・状態リスト抽出プロセス

### 2.3.1. 名詞リストの格納情報と作成プロセス

プロセス②で作成される名詞リストに格納される情報と作成手順をまとめる。名詞リストには、各文における条件部出現名詞と動作部出現名詞の全名詞ペアを格納する。そのプロセスを図 2.3 に示す。

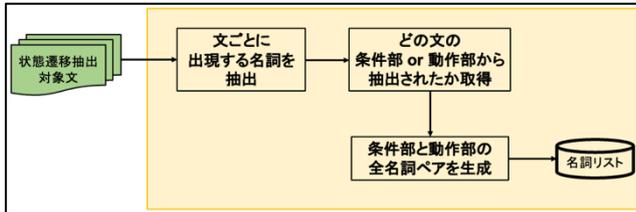


図 2.3: 名詞リスト抽出プロセスフロー

初めにプロセス①で抽出した状態遷移抽出対象文から形態素解析を用いて文中に出現する名詞を抽出する。その後、それら名詞がどの文のどの位置(条件部もしくは動作部)から抽出されたかという情報を基に文ごとに条件部と動作部の全名詞ペアを名詞リストに格納していく。

### 2.3.2. 状態リストの格納情報と作成プロセス

プロセス②で作成される状態リストに格納される情報と作成手順をまとめる。状態リストには、遷移動詞にかかる対象格(表層格のニ格・へ格)となる名詞が格納される。そのプロセスを図 2.4 に示す。

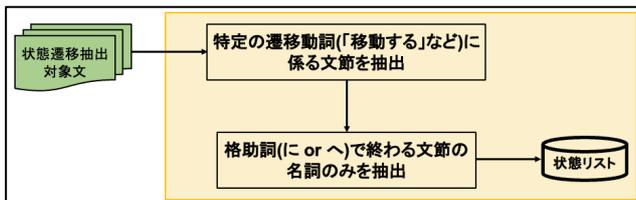


図 2.4: 状態リスト抽出プロセスフロー

まず、プロセス①で抽出した状態遷移抽出対象文から構文解析で特定の遷移動詞にかかる文節を抽出する。その後、抽出された文節の中から形態素解析にて、当該文節の中で【名詞】+【格助詞「に」または「へ」】で構成されている文節の名詞のみを抽出し、格納する。この処理を対象文全文に行い、状態リストを作成していく。

## 2.4. 状態遷移抽出プロセス

プロセス③では、2.2.節、2.3.節で抽出・加工したデータを基として状態遷移の抽出を行う。なお、状態遷移を抽出する際、特定の遷移動詞に関する遷移前状態を深層格の源泉格に、遷移後状態を状態リストに格納されている深層格の対象格に対応づけることによって抽出する。

この対応づけを踏まえて本プロセスでは、要求仕様文の文型に応じて異なる抽出方法を取る。具体的には、以下の2つのケースである。なお、本プロセスで状態遷移の遷移元状態、遷移先状態の検出に失敗すると、曖昧である可能性がある。

- I. 文の動作部に源泉格が存在する場合
- II. 文の動作部に源泉格が存在しない場合

### 2.4.1. 文の動作部に源泉格が存在する場合

本節では、動作部に源泉格(表層格:カラ格)が存在する場合の状態遷移抽出手順を示す。

まず、プロセス①で抽出した状態遷移抽出対象文であり、かつ動作部に源泉格が存在するという文型をとっている各文に対し、構文解析を用いて、【名詞】+【格助詞「から」】で構成されている名詞部分を抽出する。そして、当該源泉格の名詞とプロセス②で作成した状態リストに格納されている当該文の遷移後状態に当たる名詞を結びつけることで状態遷移を抽出する。

### 2.4.2. 文の動作部に源泉格が存在しない場合

動作部に源泉格(表層格:カラ格)が存在しない場合の状態遷移抽出フローを図 2.5 に示す。

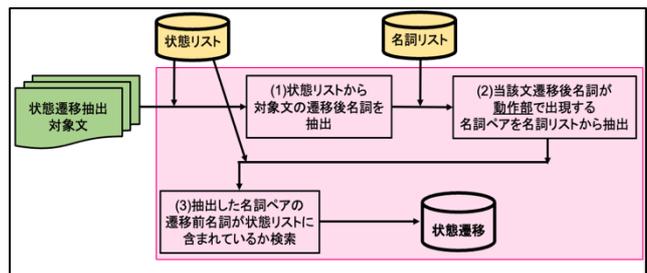


図 2.5: 状態遷移抽出フロー(源泉格無し)

状態遷移抽出対象文であり、かつ動作部に源泉格が存在しないという文型をとっている各文に関しては、対象格の名詞を基に他の要求仕様文から遷移元の情報を得る。具体的には、状態リストから当該文の遷移後状態(深層格:対象格)の名詞を検索する。その後、名詞リストから当該名詞が動作部で出現する名詞ペアを選択する。そして、該当する名詞ペアの中で条件部から抽出された名詞が状態リストに含まれている、即ち同一要求仕様書中の他の文において遷移後状態として抽出されている名詞のペアを抽出し、状態遷移とする。

## 3. プロトタイプの実装

### 3.1. 実装範囲

本研究の提案手法により要求仕様書から状態遷移を抽出するためにプロトタイプを実装する。プロトタイプの実装範囲は、2.2.2.節、2.3.節、2.4.節である。

### 3.2. プロトタイプの実装環境

本研究ではプロトタイプの開発環境として、次のコンポーネントを用いた。オペレーティングシステムは macOS バージョン 14.1 を採用し、実装言語として Python 3.10.11 を使用した。形態素解析には MeCab バージョン 0.996 を、構文解析には CaboCha バージョン 0.69 をそれぞれ利用した。なお、MeCab で参照する辞書はより幅広い新語や固有名詞に対応しており、精度が高い形態素解析を行えるという観点から mecab-ipadic-Neologd を用いた。

### 3.3. 複合名詞に対する実装時の考慮

本研究では、状態名などを抽出する際、複合名詞を1つの名詞として扱う必要がある。しかし、MeCab を利用した

形態素解析では、これら複合名詞が形態素ごとに分割・抽出されてしまう。そこで本プロトタイプ実装時には、それらを連結し、任意の複合名詞として抽出する処理を追加した。

## 4. 提案手法の評価

### 4.1. 実験の目的

実験によって、自然言語で記述された要求仕様書に対して提案手法を適用した際の有用性を抽出できた状態と状態遷移に着目し、評価するために実験を行なった。なお、この評価実験は以下に示す Research Question (RQ) に答えるために実施する。

RQ1: 提案手法は状態を正しく抽出できているか

RQ2: 提案手法が抽出する状態は、人間が抽出する状態を全て抽出できているか

RQ3: 提案手法は状態遷移を正しく抽出できているか

RQ4: 提案手法が抽出する状態遷移は、人間が抽出する状態遷移を全て抽出できているか

### 4.2. 実験の手順

4.1.で立てた RQ に対する評価実験のフローを図 4.1 に示す。

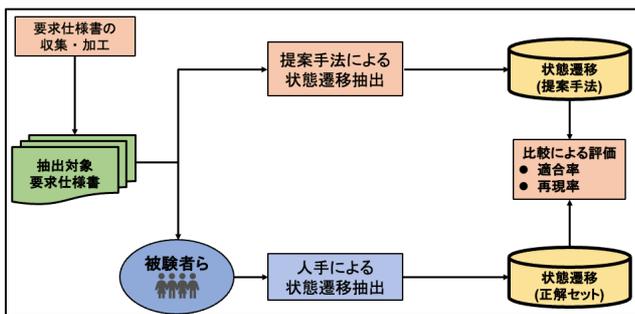


図 4.1: 評価実験のフロー

まず、著者が実験対象となる要求仕様書の収集・選定を行なった後、加工を行う。次に要求仕様書に対して提案手法を適用し、状態遷移を抽出する。それと同時に、同一の要求仕様書に対して被験者らによる人手による状態遷移の抽出を行い、この結果を提案手法を評価するための正解セットとする。その後、これら2つの方法で得られた結果を比較し、評価を行う。

### 4.3. 実験対象の要求仕様書と割り当て

著者が収集し、加工した実験対象となる要求仕様書3つを用意した。これら3つの要求仕様書に対して、被験者4人のうち異なる2名が状態遷移抽出を行い、具体的な割り当てについては表 4.1 に示す。実験に使用した各要求仕様書の概要と規模は次の通りである。

仕様書1: オンライン注文に関する情報システムの要求仕様書であり、学部生の演習で使用されていた仕様書を簡略化したものである。著者が加工後の規模は、50 文程度である。

仕様書2: 電子制御されるポットに関する情報システムの要求仕様書であり、話題沸騰ポット[3]の第2章

2.7 節のタイマーボタンに関する要求の記述部分を抜粋し、使用した。なお、著者が加工後の規模は、35 文程度である。

仕様書3: 仕様書2と同一の要求仕様書からの抽出であり、温度制御行為(沸騰行為・保温行為・アイドル)に関する一連の要求仕様を記述している。なお、著者が加工後の規模は、45 文程度である。

表 4.1 仕様書の割り当て

	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D
仕様書 1	○	○		
仕様書 2			○	○
仕様書 3		○		○

## 4.4. 実験の結果

### 4.4.1. 状態の RQ に対する結果

状態に関する RQ1, 2について、正解セットで抽出された状態に対する提案手法で抽出された状態の適合率と再現率それぞれに着目することで答えを得ることができる。表 4.2 に仕様書1, 2, 3から提案手法と2つの正解セットにより算出した状態に関する適合率・再現率を示す。

表 4.2 状態に関する適合率・再現率

	Precision①	Precision②	Recall①	Recall②
仕様書 1	1	1	0.89	0.73
Average	1		0.81	
仕様書 2	1	1	1	0.67
Average	1		0.835	
仕様書 3	1	1	1	0.5
Average	1		0.75	

状態の適合率は、仕様書1, 2, 3の全ての抽出結果から1であり、再現率は仕様書1では平均0.81、仕様書2では平均0.835、仕様書3では平均0.75であった。

### 4.4.2. 状態遷移の RQ に対する結果

状態遷移に関する RQ3, 4について、正解セットで抽出された状態遷移に対する提案手法で抽出された状態遷移の適合率と再現率に着目することで答えを得ることができる。表 4.3 に仕様書1, 2, 3から提案手法と2つの正解セットにより算出した状態遷移に関する適合率・再現率を示す。状態遷移の適合率は、仕様書1では平均0.82、仕様書2, 3では1であった。再現率は仕様書1では平均0.55、仕様書2では平均0.585、仕様書3では平均0.535であった。

表 4.3 状態遷移に関する適合率・再現率

	Precision①	Precision②	Recall①	Recall②
仕様書 1	0.909	0.73	0.67	0.42
Average	0.82		0.55	
仕様書 2	1	1	0.67	0.5
Average	1		0.585	
仕様書 3	1	1	0.67	0.4
Average	1		0.535	

## 5. 考察

### 5.1. RQ に対する考察

RQ 1, 2 について, 表 4.2 より状態の適合率は 1 であり, 再現率は 0.5~0.89 で推移している. この結果から提案手法は, 正しくかつある程度漏れがないように状態を抽出していると言える.

RQ 3 について, 表 4.3 より状態遷移に関する適合率は 0.73~1 で推移している. この結果から提案手法は, 状態遷移を正しく抽出できていると言える.

RQ 4 について, 表 4.3 より状態遷移に関する再現率は 0.4~0.67 で推移している. 各仕様書において, 平均 0.5 程度の再現率しかないため, 正解セットと比較した際の提案手法の再現率は決して高いとは言えず, 漏れがある.

### 5.2. 誤抽出や未抽出への考察

False Negative や False Positive となった状態や状態遷移について以下のような要因が考えられる.

- I. 自己遷移
- II. 複数の状態を代替する名詞
- III. 文意の考慮が必要である状態遷移
- IV. 被験者の見落とし

I や II に関しては, 文型や代替する名詞の使用に関する仕様書記述時の制限, 特定の接頭詞に対する処理を追加することで対応できると考えられる. III に関しては, 文型変更や特定形態素に対する処理の追加での対応が難しく, 文型に着目して状態遷移を抽出する本手法の限界であると言える.

### 5.3. 妥当性への脅威

#### 5.3.1. 内的妥当性

本研究の提案手法の評価の際に用いた正解セットの作成には本稿の著者は関わっておらず, 全て被験者によって行われた. そのため, 正解セットにおける内的妥当性への脅威は軽減されていると考えられる.

しかし, 表 4.1 に示すように一部の被験者は, 2つの要求仕様書から状態遷移の抽出を行なっている. このことから当該被験者は, 2つ目の要求仕様書から状態遷移を抽出する際に学習効果が働いてしまっている可能性があり, 内的妥当性への脅威がある.

また, 評価実験の際に用いた要求仕様書の収集・加工は, 文型に制限等を設けていることから本稿の著者 1 名が行った. そのため, 要求仕様書の準備段階で個人の技量が影響し, 内的妥当性への脅威がある. より複数の人が要求仕様書収集・加工段階から関わることなどが必要である.

#### 5.3.2. 外的妥当性

本研究では, 3つの要求仕様書からプロトタイプシステムにより状態遷移を抽出した. オンライン注文システムに関するシステムと電気ポットに関するシステムの異なるドメインに対する要求仕様書を使用している. このことから外的妥当性への脅威はある程度軽減されていると思われる. しかし, より多くのドメインへの適用やより文量の多い要求仕様書へ適用する必要がある.

また, 2.2.1.節で示したように本提案手法は状態遷移の

抽出対象となる要求仕様書の文型に制限を設けている. そのため, 提案手法の適用範囲には限界があり, 外的妥当性への脅威がある.

## 6. 今後の課題

- i. 適用範囲の拡大  
本提案手法は, 文型や1文から抽出できる状態遷移の数に一定の制限を設けており, さらに適用した要求仕様書のドメインも限られているため, 今後は提案手法の適用範囲を拡大していく必要がある.
- ii. モデルチェッカーへの適用  
本研究では, モデルチェッカーを用いて数学的に要求仕様書の曖昧性を判定するために状態遷移の抽出を行った. そのため, 今後, 本提案手法で得た条件部と状態遷移を用いてモデルチェッカーによる曖昧性判定を実施する必要がある.

## 7. 関連研究: ユースケースの要求文解析

中村らは大規模なユースケース記述の正確かつ網羅的な分析を目的として, 格フレームや単語の概念, 概念の親子関係を定義した辞書を使用して各文を状態遷移モデルに変換する手法とそれを支援するツールを提案している[2]. この手法により, 同義語が異なる形で出現するユースケース記述でも, 同義語関係を考慮して状態遷移モデルを抽出・検査することが可能になる.

しかし, この手法は提案の範囲を[アクタ], [事前条件], [主系列], [代替系列], [事後系列]で構成されているユースケース記述のみに絞っている. ユースケース記述は, 1つの機能については主系列内で, 各機能の関係については事前条件や事後条件で遷移を表しているため, 遷移の抽出が効率的かつより大きなシステム仕様の判定が行うことができるが, 時間遷移を考慮しない各要求を並列に記述している要求仕様等には適用することができない.

## 8. まとめ

本研究では, 自然言語で記述された要求仕様書から自然言語解析と格フレームを用いることで体系的に状態遷移を抽出する方法を提案した. プロトタイプシステムを実装し, 人手で抽出した実際の要求仕様書に対して適用することで提案手法の有用性を評価した. 本研究で提案した抽出法の効率性と抽出された状態遷移に一定の正確性があることを確認した.

## 参考文献

- [1] 高橋淳也・高橋 宏季・位野木 万里:「日本語で記述された情報システムの要求仕様書中のあいまい表現が開発範囲に与える影響に関する考察」. 情報処理学会第 81 回全国大会, 工学院大学, 東京, 2019, p2.
- [2] 中村遼太郎・林晋平・佐伯元司:「ユースケース記述の検査のための自然言語要求文の解析」, 信学技報, SS2013-76, pp.25-30, 2014.
- [3] SESSMI. 話題沸騰ポット. <https://www.sesame.jp>. (Accessed on 1 / 20 / 2024).