

横浜国立大学大学院環境情報学府  
博士論文

実体性判断に基づく製品に生じた不具合の  
因果関係抽出に関する研究

A Study on Causal Relation Extraction of  
Product Failure Information  
Based on Word Tangibility

情報メディア環境学専攻

07TC016 大森 信行  
OHMORI, Nobuyuki  
請求学位 博士(工学)

責任指導教員 森 辰則 教授

提出年月日 平成 24 年 4 月 26 日  
請求年度 平成 24 年度 6 月修了

## あらまし

製品の信頼性向上は製造業における中心的な課題であり、開発工程においては信頼性を評価するための手法が利用されている。現在利用されている信頼性評価のための主な手法は、対象製品の故障や不具合に関する原因と、故障や不具合による影響を予測していく方法であり、故障に関する原因と影響を漏れなく適切に予測していくことが信頼性評価の品質に大きく影響し、結果的に製品の信頼性に影響する。

このため、設計者が不具合の因果関係連鎖を漏れなく把握することは困難であること、故障の洗い出しの不完全性等により十分な解析ができないことが信頼性評価における問題点としてあげられている。

この問題の解決のために、開発工程において製品に関する不具合情報をはじめとした蓄積されている情報の共有や活用を進めることで、以前には開発工程で気づかれなかった不具合の原因を未然に取り除き、製品の信頼性向上を目指す試みが行われてきている。

しかし、これらの不具合情報の活用においては、情報が開発に活用できる形態で蓄積されていないため、そのままでは開発工程に活用できないことが課題となっていた。そのため、不具合情報を活用しようとするこれまでの多くの研究では、開発工程において必要となる情報を不具合情報から取り出して、例えば「ノウハウ集」「べからず集」などの開発作業時に活用できる形式に編集している。この作業を主に人手によって行っていたために、不具合情報を活用しようとする試みは工数や時間といった開発リソースに比較的に余裕のある企業やプロジェクトでの利用が中心であり、開発リソースの制約が厳しい企業やプロジェクトには十分には普及していなかった。

そこで本研究においては、製品の信頼性評価支援のため、情報抽出技術により、不具合事例文書から開発に必要な情報を自動的に取り出す技術を提案した。本研究における情報抽出の基本となる考え方は、「不具合事例に出現したある製品 A に生じた不具合は、その製品 A と同種の製品、すなわちその製品 A と同じクラスに属する別の製品 B にも起こり得る。」というものである。この考え方に従い、開発中の製品と同じクラスの製品に生じた不具合の原因を不具合情報から抽出することが本研究の目的である。

このために次の 2 点の技術を開発した。

- (1) 開発中の製品について，その構成部品の名称を文書集合から抽出する
- (2) 不具合の因果関係の記述を不具合事例文書から抽出する

ある製品と同じクラスに属する製品の記述を抽出するために「開発中の製品について，その構成部品の名称を文書集合から抽出する」技術を開発した．これは，本研究では，ある製品と別の製品が同じ構成部品を持つ場合に2つの製品は同じクラスの製品と判断するためである．例えば，自動券売機とコピー機は，ともに用紙送りのためのローラを構成部品にもつ点で同じクラスの製品と判断する．また，製品開発において必要な不具合情報は，構成部品に生じた不具合の原因に関する記述であるので，不具合の原因と結果，つまり不具合の因果関係を抽出する技術を開発した．先ほどのコピー機の例では，「湿度が上昇して，紙詰まりしやすくなった」，「ミラーに汚れが付着し，印刷がかすんだ」等が因果関係である．

以下では，この2点の技術の実現に向けた本研究における取り組みについて述べる．まず，この2点の技術の開発のための基盤となる技術として不具合事例文から製品・部品を示す語を抽出する手法を提案した．提案手法では，製品・部品を示す語を抽出するために，判別の対象となる語の統語的パターンの特徴ならびにシソーラスを利用し多数決による判別を行う．主な特徴としては，判別対象の語の係り先動詞，当該動詞の項構造として当該動詞のする文節を係り先にもつ文節の格助詞，および当該格助詞の前の名詞，判別対象の語に隣接する文節の名詞等である．実験の結果，提案した手法による製品・部品を示す語の抽出性能は，辞書のみを利用する場合と比べ，再現率およびF値を大きく向上できることが分かった．また，提案した多数決を用いる手法は，多数決を用いない手法と比べて，精度，再現率，F値を向上できることが分かった．

評価対象製品の構成部品の情報を抽出する手法としては，人手により指定した対象製品に含まれる部品の例と，文書集合を入力として，インスタンス(対象製品とその部品を表す語のペア)とパターンを反復的に獲得する手法を提案した．この手法は，パターンの獲得と，インスタンス(特定の関係にある語のペア)の獲得を繰り返すブートストラッピング手法に基づいている．本研究では，ある特定の製品，および，その構成部品という関係にある語のペアを獲得しようとしているが，従来のブートストラッピング手法は，part-of 関係における全体-部分関係の全体の方をある特定のものに限定した抽出は行っておらず，(地域, 市)，

(物質、イオン) および (水、酸素) といった広い範囲の関係を抽出対象としている。つまり、従来のブートストラッピング手法は、本研究よりも広い範囲の語を抽出しようとする手法といえる。このため、従来のブートストラッピング手法を本研究に適用しようとする、わずかなインスタンスしか獲得できないという問題が発生する。そこで本研究においては、十分な量のインスタンスを、精度を維持しながら獲得する手法を提案した。提案手法では、パターン獲得において、共起するインスタンス範囲に基づく獲得パターンの制御を行う。また、多数のインスタンスと共起するが獲得すべきでないインスタンスとも共起するパターン(ジェネリックパターン)、ならびに多数のパターンと共起するが獲得すべきでないパターンとも共起するインスタンス(ジェネリックなインスタンス)に対するフィルタリングを行う。実験の結果、獲得パターンの制御およびジェネリックなパターンおよびインスタンスのフィルタリングにより抽出性能が向上することが確認できた。

製品・部品に関する不具合の因果関係を抽出する手法として、判別対象の文に出現する語のユニグラム、および構文的な特徴と意味的な特徴を利用する手法を提案した。構文的な特徴として、手がかり表現と係り先または係り元の関係にある文節を対象として、当該文節に出現する助詞を利用する。また、意味的な特徴としては、助詞の前の語がオントロジーに出現する場合には、オントロジー中の当該語の階層的な意味情報を利用する。さらに、因果関係の抽出において、意味的な特徴および構文的な特徴を実体語の観点から拡張した特徴を利用する。提案した手法による製品・部品に関する不具合の因果関係抽出の性能は、ユニグラムとバイグラムを利用する場合と比べると、適合率と F 値を向上できることが分かった。

# 目次

<b>1</b>	<b>序論</b>	<b>8</b>
1.1	背景と目的	8
1.1.1	はじめに	8
1.1.2	背景	9
1.1.3	目的	10
1.2	論文の構成	12
<b>2</b>	<b>本研究の位置づけ</b>	<b>14</b>
2.1	信頼性に関する用語および対象とする不具合の定義	14
2.1.1	信頼性に関する用語	14
2.2	本研究で対象とする不具合について	16
2.2.1	トラブルとの関係	16
2.2.2	ヒューマンエラーとの関係	16
2.2.3	ヒューマンエラーが原因となり製品等の故障が発生した不 具合	17
2.2.4	製品等の故障が原因となりヒューマンエラーが発生した不 具合	18
2.2.5	抽出対象とならないヒューマンエラー	19
2.3	製品開発工程の概要	19
2.3.1	信頼性を確保するための手法について	20
2.4	本研究における信頼性向上のための支援	22
2.5	本研究で開発する技術について	23
2.5.1	本研究で開発する技術の利用イメージ	23
2.5.2	本研究で開発する技術	25
2.5.3	信頼性評価における課題の解決	25

2.6	製品の信頼性向上に関する研究	27
2.6.1	不具合情報を活用するための研究	28
2.6.2	不具合情報の自動抽出技術	28
2.6.3	オントロジーを活用する研究	29
2.6.4	製品の信頼性向上に関する研究のまとめ	31
2.7	情報抽出に関する研究	33
2.7.1	固有表現抽出に関する研究	33
2.7.2	事態性判別に関する研究	34
2.7.3	因果関係抽出に関する研究	34
2.7.4	不具合情報の自動抽出に関する研究	35
2.8	実験に利用する不具合情報について	36
2.8.1	不具合情報の例	37
2.8.2	本研究で使用した不具合情報	37
2.9	本研究で扱う不具合情報の対象範囲	39
2.9.1	信頼性評価に必要となる不具合に関する知識	39
2.9.2	本研究で扱う不具合情報の位置づけ	42
2.9.3	本研究で利用した不具合情報により支援できる信頼性評価	43
<b>3</b>	<b>不具合事例文からの製品・部品を示す語の抽出 語の実体性による分類</b>	<b>45</b>
3.1	はじめに	45
3.2	背景とアプローチ	46
3.2.1	不具合事例文の記述内容と構成要素	46
3.2.2	製品開発における不具合事例の利用	47
3.2.3	不具合事例に纏わる「モノ」を示す語の抽出に関連する研究	47
3.2.4	不具合事例からの製品や部品を示す語の抽出	48
3.2.5	対象とする製品と実体物の定義	48
3.3	製品ならびに部品を指し示す表現の抽出手法	49
3.3.1	タスクの定義と実現方法	49
3.3.2	事態性判別に関する素性の検討	50
3.3.3	係り先の動詞についての項構造の素性	50
3.3.4	係り先名詞に関する素性	51

3.3.5	隣接文節に関する素性 . . . . .	51
3.3.6	分類語彙表に関する素性 . . . . .	51
3.3.7	広域な特徴を利用した多数決 . . . . .	53
3.4	実験 . . . . .	55
3.4.1	実験設定 . . . . .	55
3.4.2	実験結果 . . . . .	59
3.5	考察 . . . . .	61
3.5.1	辞書項目の有無による判定性能への影響 . . . . .	61
3.5.2	名詞の係り先に関する素性について . . . . .	61
3.5.3	判別に有効な素性について . . . . .	62
3.5.4	判別結果の例と多数決の効果 . . . . .	64
3.5.5	実体性のある語の抽出により予想できる効果 . . . . .	69
3.6	第3章のまとめ . . . . .	69
<b>4</b>	<b>製品の構成部品の抽出技術</b>	<b>70</b>
4.1	背景とアプローチ . . . . .	70
4.2	関連研究 . . . . .	71
4.2.1	ブートストラッピング手法による関係獲得に関する研究 . . . . .	71
4.2.2	本研究の位置づけ . . . . .	72
4.3	提案手法 . . . . .	73
4.3.1	<i>Espresso</i> アルゴリズム . . . . .	73
4.3.2	提案手法 . . . . .	75
4.4	評価実験 . . . . .	79
4.4.1	実験設定 . . . . .	79
4.4.2	実験結果 . . . . .	82
4.5	考察 . . . . .	83
4.6	実体語抽出との組み合わせの効果 . . . . .	87
4.6.1	実験設定 . . . . .	87
4.6.2	実験結果 . . . . .	90
4.7	第4章のまとめ . . . . .	92
<b>5</b>	<b>不具合事例文書からの製品・部品に関する因果関係抽出手法</b>	<b>93</b>
5.1	はじめに . . . . .	93

5.2	背景とアプローチ	94
5.2.1	不具合事例文の記述内容と構成要素	94
5.2.2	製品開発における不具合事例の利用	94
5.2.3	製品に関する不具合の因果関係抽出に関する研究	95
5.3	因果関係の抽出手法	96
5.3.1	タスクの定義と実現方法	96
5.3.2	因果関係抽出に関する素性の検討	97
5.3.3	製品等の抽出に関する素性の検討	100
5.3.4	不具合の抽出に関する素性の検討	102
5.4	実験	102
5.4.1	実験設定	102
5.4.2	実験結果	107
5.4.3	抽出された文の例	107
5.5	考察	110
5.5.1	素性“(6) 実体語ユニグラム”についての調査	110
5.5.2	素性“(4) 実体語の分類語彙表番号のペア”についての調査	111
5.6	第5章のまとめ	112
<b>6</b>	<b>結論</b>	<b>113</b>
6.1	本研究で得られた成果	113
6.1.1	語の実体性に基づいて製品および部品を示す語を抽出する 手法	113
6.1.2	評価対象製品の構成部品を示す語を抽出する手法	114
6.1.3	因果関係を表す文を抽出する手法	115
6.2	今後の課題	115
6.2.1	本研究で扱う不具合情報の対象範囲について	115
6.2.2	語の実体性に基づいて製品および部品を示す語を抽出する 手法について	115
6.2.3	評価対象製品の構成部品を示す語を抽出する手法について	116
6.2.4	製品に生じた不具合の因果関係を抽出する手法について	117
	謝辞	118



発表文献	120
参考文献	122

## 目 次

1	第3章から第5章の各技術と、本研究の目的の関係 . . . . .	13
2	間瀬ら [間瀬 02] による機械設計の基本的な思考の過程 . . . . .	20
3	本研究における情報抽出の基本的な考え方 . . . . .	24
4	本研究における部品情報抽出の概要 . . . . .	26
5	本研究における因果関係抽出の概要 . . . . .	26
6	大和らの研究 [大和 08] における不具合文書の例 . . . . .	38
7	畑村ら [畑村 03, JST] の作成した失敗知識データベースにおける 不具合文書の例 (抜粋) . . . . .	38
8	不具合事例文を構成する因果関係と実体物を示す語の例 . . . . .	47
9	分類語彙表 [分類 04] の階層構造 (抜粋) . . . . .	54
10	分類語彙表 [分類 04] のデータ構造 (抜粋) . . . . .	54
11	実体性判別システムの入出力および処理の流れ . . . . .	56
12	提案手法におけるブートストラッピングの概要 . . . . .	73
13	パターンと新規獲得インスタンスとの関係 . . . . .	76
14	新規獲得パターンの制御のための動作 . . . . .	77
15	構成部品抽出システムの入出力および処理の流れ . . . . .	80
16	反復毎のインスタンス累積獲得数 . . . . .	83
17	全体 - 部分関係の部分として獲得した部品名の適合率の評価 . . . . .	84
18	正解部品異なり数の比較 . . . . .	84
19	不具合事例における製品に生じた因果関係の例 . . . . .	94
20	素性の抽出例 . . . . .	98
21	実体語に関する素性の抽出例 . . . . .	101
22	因果関係抽出システムの入出力および処理の流れ . . . . .	104
23	利用した手がかり表現 . . . . .	106

# 表 目 次

1	実体性判別に利用した素性一覧 . . . . .	58
2	提案手法による実体性判別の性能 (二次多項式カーネル) . . . . .	60
3	提案手法による実体性判別の性能 (線形カーネル) . . . . .	60
4	多数決による判別性能 (二次多項式カーネル) . . . . .	60
5	多数決による判別性能 (線形カーネル) . . . . .	61
6	実体性の判別に有効な素性 (正例について上位 20 個) . . . . .	65
7	実体性の判別に有効な素性 (負例について上位 20 個) . . . . .	66
8	実体性の判別例と多数決の有効な語の例 (実体性のある語) . . . . .	66
9	実体性の判別例と多数決の有効な語の例 (実体性のない語) . . . . .	67
10	実体性の判別例 (多数決なし) . . . . .	68
11	実体性の判別例 (多数決あり) . . . . .	68
12	獲得されたインスタンスの部分 (部品) の例 . . . . .	86
13	獲得されたパターンの例 . . . . .	86
14	正解獲得数の比較 . . . . .	86
15	実体語抽出実験の実験結果 (条件 1) . . . . .	91
16	実体語抽出実験の実験結果 (条件 2) . . . . .	91
17	実験に用いた素性の一覧 . . . . .	105
18	因果関係抽出の実験結果 . . . . .	108

# 第 1 章

## 序論

### 1.1 背景と目的

1.1節は、本研究の背景と目的について記述した 1.1.1節「はじめに」、1.1.2節「背景」および 1.1.3「目的」の 3 つの節で構成されている。背景と目的の詳細については、1.1.2節および 1.1.3節で述べるが、その内容を簡潔にまとめたものが 1.1.1節の「はじめに」である。

#### 1.1.1 はじめに

##### 背景の概要

製品の信頼性向上のために、不具合情報をはじめとする製品開発に関連する情報の共有が有効であるという指摘があり、情報の蓄積が進められているが、これらの情報共有が十分には進んでいないという課題がある。その理由として、必要な形式で情報が蓄積されていないことがあげられる。すなわち、製品開発、特に信頼性評価において必要な情報とは、評価を行おうとする開発中の製品について、どのような不具合が発生する可能性があるかという不具合の発生原因の予測に関する情報であるのに対して、これまでに蓄積されている情報には、それらの情報が含まれているものの、それ以外の多くの種類の情報が含まれている。以上の背景についての詳細は 1.1.2節で述べる。

## 目的の概要

上記の「背景の概要」で述べた信頼性評価における課題を解決するために、本研究では情報抽出技術を利用するアプローチにより、不具合事例文から現在開発中の製品に関連する情報のみを取り出す方法を検討する。すなわち、「開発中の製品と同種の製品の不具合の因果関係」を抽出することを目的とする。ここで、「同種の製品、つまり同じクラスの製品」を取り出す理由は、それらの製品には、開発中の製品と同様の不具合が起こりやすい、と考えたためである。また、本研究において、2つの製品が同じクラスに属するかどうかの判断の基準は、同一部品を含むかどうかを基準とした。

「開発中の製品と同種の製品の不具合の因果関係」を抽出するという信頼性評価における目的を達成するために、本研究では製品の構成部品に関する情報抽出と、製品に関連する不具合の情報抽出の技術を開発する。「製品の構成部品に関する情報抽出」は、開発中の製品について構成部品の情報を抽出することを可能とし、「製品に関連する不具合の情報抽出」は、製品および部品に関する不具合の情報抽出を可能とする。この2種類の技術を組み合わせることで、信頼性評価における目的である、「開発中の製品と同クラスの製品に生じる可能性のある不具合の因果関係」を達成できる。以上の目的についての詳細は1.1.3節で述べる。

### 1.1.2 背景

製品の信頼性向上は製造業における中心的な課題であり、事故や故障の発生を防ぐために多くの試みが行われているが、十分な信頼性が達成できたとは未だいえない状況である[JST, 製品 12, 製品 08]。製品の信頼性を向上させるため、信頼性評価における以下の課題に着目し、不具合情報をはじめとした製品に関する情報の共有や活用を進めることで、以前には開発工程で気づかれなかった不具合の原因を取り除き、製品の信頼性向上を目指す試みが行われてきた[鹿島 11, 香川 06, 中山 05, 長江 05, 成子 05, 用田 04]。

- 信頼性評価の品質が個人の知識や経験に依存すること。
- 製品に関する知識が開発に利用できる形態で蓄積されていないこと。

同様に製品情報の共有を目指す研究として、オントロジーをはじめとする製品情報を記述する仕組み [來村 02] や、不具合情報をはじめ、開発や設計の過程を記録して活用するための枠組みに関する研究 [野間口 09, 間瀬 02] が多く行われてきた。また、製品の不具合に関する知識の蓄積も進められてきており、社内に蓄積されるのみでなく、一部の情報ではあるものの公開された不具合情報 [JST, 製品 08] も存在している。一方、これらの製品情報の共有に関する研究は、開発の事例やノウハウ、不具合事例等を開発工程で利用できる形態に人手によりまとめる試みが主流であり、開発に利用できる情報を取捨選択する上である程度の工数が必要となる。実際の製品開発工程に適用されてきた実績からも製品の信頼性向上に有効な手法であり、現実的な工数で対応できる手法といえるものの、大企業を中心に普及されはじめている現状からは、より時間的・コスト的に厳しい環境での開発を行う中小企業等に十分に普及した手法とまではいえない。

製造業の現状として、開発における課題として人手不足をあげる企業も多い [長野 11]。多くの中小企業に代表されるように開発に利用できる工数がきわめて制限された中で製品開発を実施している企業において、上記の課題を解決するために人手を要する製品情報の共有に関する研究を利用するには、もっとも人手のかかる「不具合事例から必要な情報を取り出す」という工程を自動化し、より少ない人手で情報を取り出せる仕組みが必須である。

### 1.1.3 目的

本研究では、これまでの研究において人手により行われてきた作業を自動化するための情報抽出技術を開発する。具体的には、不具合事例文書から開発中の製品に関する不具合の情報を抽出し、開発を行う技術者に提示するために、製品または部品（以下、製品等という）の不具合に関する因果関係の記述を抽出する技術を開発する。また、多くの製品情報の共有に関する研究において、対象製品領域（製品ドメイン）がある程度限定されており、広い製品群を対象とした研究は少なかった。広い製品群を対象とした場合には、その構成部品に関する知識を技術者が保有するとは限らないため、製品に関する知識、特にその構成部品に関する知識を持たない場合、上記の不具合の因果関係のうち、どの不具合が開発中の製品に関連するものかどうかの判断ができない。そこで、評価を実施する技術者が対象製品の構成部品を完全に把握していない場合であっても、ある程度の評価ができるように支援するために、本研究において、開発中の製品に含まれる部品

の情報，すなわち「開発中の製品の構成部品を表す語」を大規模な文書集合から自動的に抽出する技術を開発する．本研究においては，第4章で述べるとおり，大規模な文書集合として開発する製品を表す語を含む WWW 文書を利用する．構成部品を示す語を抽出する技術により，蓄積されている不具合事例文から，開発中の製品に関連する不具合情報を抽出することが可能となる．具体的な例として，開発中の製品が「コピー機」である場合に，コピー機に含まれる構成部品の全てを把握していない場合であっても，「構成部品を示す語を抽出する技術」によりコピー機に一般的に含まれる部品として，以下のような部品があることが分かる．

例)「構成部品を示す語を抽出する技術」により抽出されるコピー機の構成部品: ローラ，軸受け，光源，プリズム，トナーケース，定着器，トレイ，…

一方，以下の不具合事例文は自券販売機に関する不具合であるが，「ローラ」に生じた不具合を原因とする因果関係を記述している．

抽出される不具合事例文の例:

温度低下により自動券売機のゴム製のローラが硬化した結果，用紙の排出不良が起きた．

この場合には，コピー機にも「ローラ」が含まれることが分かっているので，この不具合事例文は，開発中の製品であるコピー機に関連する不具合情報として抽出することができる．この結果，コピー機においても低温による「ローラ」に生じる不具合について検討する必要があることが分かる．

以上を踏まえ，まとめると本研究においては，製品の信頼性向上を目指した製品情報の共有のために必要な技術として，「開発中の製品に関する不具合の因果関係を抽出する」方法の開発を目指す．その実現のため，以下の技術を開発する．

- 開発対象製品の構成部品に関する情報抽出．
- 製品に生じた不具合の因果関係に関する情報抽出．

本研究では，この2つの技術により，以下の支援を目指す．製品開発において，開発中の製品の構成部品ごとに信頼性評価を行う作業を支援することを目指し，広い範囲の製品についての支援を行うために，開発中の製品の構成部品の情報を自動的に抽出する技術を開発することで，構成部品に生じた不具合を，その製品

に関連する不具合として提示することが可能となる。また、信頼性評価を行う対象の部品にどのような状況で不具合が生じるかの予測の支援のため、「不具合事例から必要な情報を取り出す」という作業を自動化する技術を開発することで、過去の不具合情報から、開発中の製品の不具合に関する因果関係を抽出して不具合の原因を提示することが可能となる。

## 1.2 論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第1章は序論であり、第2章では、製品に関する情報を活用することで、製品の信頼性向上を目指す方法および情報の抽出を自動的に行う方法等の本研究の関連研究について概観し、本研究の目的と位置づけについて述べる。第3章では、本研究において不具合事例文から、製品または部品に関する記述を取り出すための基盤的な技術として製品および部品を表す語を抽出する手法について述べる。この手法においては、製品または部品、すなわち実体物を表す語を実体語と定義し、実体語には、文脈におけるその語の出現パターンの特徴や意味的な特徴に共通した特徴が存在する、という考えに基づき、その特徴を利用して実体語を抽出を行う。第4章では、信頼性評価を行う対象の製品の構成部品を抽出する手法について述べる。製品と部品の関係にある2つの語(語対)と、そのような語対と共起するパターンを反復的に抽出する手法について述べると共に、抽出性能を向上させるために抽出するパターンを制御する方法について述べる。第5章では、製品に生じた不具合の因果関係に関する記述を抽出する手法について述べるとともに、第4章で述べた実体物を表す語の抽出技術を応用して因果関係抽出の性能を向上させる方法について述べる。第6章では結論を述べる。

本研究で開発する第3章から第5章の研究内容と、本研究の目的である「開発中の製品に関連する不具合の因果関係を抽出」との関係を図1に示す。第3章は、このように本研究の「製品または部品に関する不具合の記述の抽出」における基盤となる技術である。以下に、第3章で抽出する実体語と、第4章で抽出しようとする製品およびその構成部品を示す語のペア、ならびに第5章で抽出しようとする因果関係の記述を含む文との関係について述べる。第4章で述べる、ある製品および、その構成部品を示す語は、いずれも第3章で述べる実体物を表す語、つまり実体語である。したがって、第4章で抽出しようとする、ある製品および



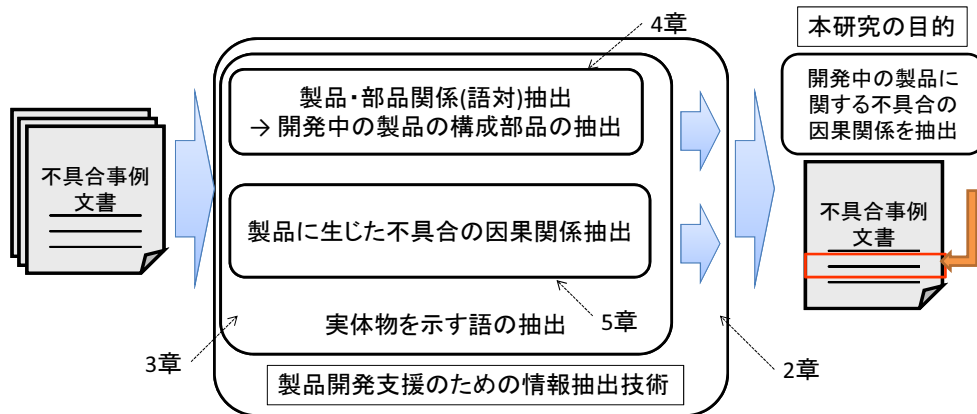


図 1: 第 3 章から第 5 章の各技術と，本研究の目的の関係

その構成部品を示す語のペアは，抽出対象文書に出現する実体語の集合から，製品と部品の関係にある語のペアを選択したものに当たる．このような実体語と，製品と部品の関係にある語のペアとの関係に着目し，第 4 章で述べる製品および，その構成部品を示す語を抽出する方法に対して，第 3 章で述べる実体語の抽出手法を組み合わせることにより，実体語の抽出性能の向上を試みている．第 5 章では，製品および部品に生じた不具合の因果関係に関する記述，すなわち第 3 章で述べる実体物に生じた不具合の因果関係に関する記述を抽出しようとしている．因果関係が成立するかどうかの判断は，文書内に記述されたあらゆる事象について行うべきであるが，本研究においては，5.3 節の通り因果関係の有無の判断は，文を単位として行うこととした．したがって，第 5 章で抽出しようとする文は，抽出対象文書において実体語が出現する文のうち，不具合および因果関係に関する記述が含まれる文にあたる．このような実体語と抽出しようとする文との関係に着目し，第 5 章では，第 3 章で述べた実体物を表す語の抽出技術を応用して因果関係抽出の性能向上を試みている．

## 第 2 章

# 本研究の位置づけ

本章では，製品開発工程の概要，信頼性評価における課題，および本研究における課題解決に向けたアプローチを中心に本研究の位置づけ述べる．

2.1節では信頼性評価と不具合に関する用語の定義について，2.2節では対象とする不具合について述べる．2.3節から2.5節では，製品開発工程の概要および課題，ならびに本研究における当該課題の解決策について述べる．2.6節と2.7節では信頼性向上と情報抽出に関する関連研究について述べる．2.8節では実験に利用する不具合情報の内容について，2.9節では，本研究で扱う不具合情報と信頼性評価に必要な情報の比較について述べる．

### 2.1 信頼性に関する用語および対象とする不具合の定義

本研究では製品の信頼性評価に向けた不具合情報の自動抽出技術を開発している．このうちの製品の信頼性評価に関する用語，および対象とする不具合について以下で述べる．

#### 2.1.1 信頼性に関する用語

##### 信頼性

本節では，信頼性に関する用語として主に JIS 規格による定義を述べる．まず，信頼性とは，JIS 規格 [JIS00] によれば「アイテムが与えられた条件の下で，与えられた期間，要求機能を遂行できる能力．」と定義されている．

例えば、与えられた条件は製品の利用される環境における環境ストレス（温度、湿度、負荷など）の保証範囲 [安食 88] であり、与えられた期間とは一般的には保証時間を示す [安食 88] である。要求機能を遂行できる能力は、LED 照明装置を例にすれば、一定の明るさで発光すること、などである。これらは、開発工程において検討され決定されるものである。アイテムとは、対象とする部品、構成部品、デバイス、装置等の総称 [JIS00] であり、JIS 規格では、特別な場合には人間も含むとされている。

製造後のある時点における製品の性質を扱う品質 [JIS06] と信頼性を比較すると、品質は、時間のパラメータを考えない問題である [安食 88] のに対して、一般に信頼性は「時間の経過に伴う機能の安定性（機能の劣化）」を扱う [安食 88] という特徴がある。また、品質は製造工程における製品の性質を主に扱うのに対して、信頼性は主に出荷以後（製造工程よりも後）における劣化を扱う。

## 故障と不具合

故障は、アイテムが要求機能達成能力を失う事象（イベント）のことである [JIS00]。

与えられた条件の下で、与えられた期間内に故障や不具合が発生することの多い製品は、信頼性が低い製品と呼ばれる。

本研究における不具合は、ある製品または部品の故障、当該故障の原因となった事象および当該故障によって生じる影響を含んだ事象のことである。ここでの不具合には、与えられた条件を超えていた場合、あるいは与えられた期間を超えていた場合に生じた故障も含む。例えば、1 年ごとに定期的に交換するべき部品を、誤って 2 年間使い続けてしまい、破損したというような事例である。本研究においては、製品等に故障の発生する原因の事象を広く収集したいため、このような事例についても不具合の記述として抽出の対象とする。

信頼性は主に出荷以後（製造工程よりも後）における劣化を扱うことから、本研究では、不具合についても主に出荷以後の製品の利用開始後に発生したものを対象とする。

## 信頼性評価

JIS 規格 [JIS00] によれば、信頼性評価および信頼性予測は以下のように定義される。信頼性を算出するという点では同様の内容を表すが、信頼性評価は、試験およびフィールドデータに基づいており、試作品や量産品等の何らかの製品が

完成しているのに対して，信頼度予測は設計時の見積もりであるので必ずしも製品が完成しているとは限らない点が異なっている．

信頼性評価 試験及びフィールドデータを基にしてアイテムの信頼性特性値 (数量的に表した信頼性の尺度：信頼度，保全度，故障率，平均寿命，MTBF，MTTF，MTTRなどを総称する．) を推定すること．

信頼度予測 アイテムの信頼性特性値を設計時に定量的に見積ること．

本研究においては，開発工程において信頼性または信頼性特性値を見積もることを信頼性評価という．つまり，JIS規格における信頼性評価と信頼度予測を総称して信頼性評価と呼ぶ．また，信頼性解析 [青山 01] も本研究における信頼性評価と同様の用語である．

信頼性評価を行う具体的な手法として，FMEA[JIS11a]，FTA[JIS11b]等が主に利用される [東芝 11]．本研究における情報抽出技術は，2.5節で述べるとおり，このような信頼性評価の活動を支援することを目指している．

## 2.2 本研究で対象とする不具合について

本研究においては，2.5.2節で述べるとおり，製品および部品に生じた不具合の因果関係を抽出の対象としている．本節では，これらの不具合と一般的なトラブルとの関係，およびヒューマンエラーとの関係について述べる．

### 2.2.1 トラブルとの関係

本研究で抽出しようとする不具合に関しては 5.2.3節で述べるように丹治らが抽出しようとするトラブル [丹治 09] に包含されるものである．丹治らの抽出しようとする対象は「交通渋滞で遅刻した」というような製品および部品に関係しないトラブルが含まれるのに対して，本研究では製品および部品に生じたトラブルすなわち，2.1.1節で述べた不具合を抽出しようとしている．

### 2.2.2 ヒューマンエラーとの関係

ヒューマンエラーは，製品に発生する不具合の主要な原因の一つである．例えば，(独)製品評価技術基盤機構 (NITE) が平成 19 年度から平成 21 年度に収集

した消費生活製品を中心とした事故のうち，NITE データベースで公開している 13,093 件のうちで，製品そのものが主要な事故原因であったものは 36% であり，ヒューマンエラーが主要な事故原因と考えられる事故は 23% である [製品 11] 。

本研究で抽出対象となるヒューマンエラーは，製品に生じた不具合の原因となるもの，および製品に生じた不具合の結果として生じたものである。この 2 種類のヒューマンエラーと本研究において抽出しようとする不具合の関係を本節において整理する。ヒューマンエラーには様々な定義があるが，例えば，「すべきことが決まっている」とき，「すべきことをしない」あるいは「すべきでないことをとる」こと [小松 08]，または，意図しない結果を生じる人間の行為 [JIS00] 等と定義されており，ヒューマンエラー自体は製品等に生じた故障ではない。一方，上記のようなヒューマンエラーが原因となり，製品等の故障が発生した不具合，および製品等の故障が原因となりヒューマンエラーが発生した不具合は，2.1.1 節で述べたとおり本研究において抽出する不具合である。

2.2.3 節および 2.2.4 節においては，上記のヒューマンエラーに関する 2 種類の不具合について述べる。

### 2.2.3 ヒューマンエラーが原因となり製品等の故障が発生した不具合

本研究の抽出対象となるヒューマンエラーが原因となり製品等の故障が発生する不具合としては以下の 2 点が考えられる。

- (1) 製品開発工程におけるヒューマンエラーにより，製品が故障する不具合
- (2) 製品利用時におけるヒューマンエラーにより，製品が故障する不具合

2.5 節で述べるとおり，本研究では不具合の原因に注目している。本節では不具合の原因となる上記の 2 種類のヒューマンエラーについて，代表的な不具合事例およびヒューマンエラーの種類とともに説明する。

#### 製品開発工程におけるヒューマンエラー

製品開発工程における主なヒューマンエラーで，製品の故障に繋がるものとしては以下があげられる。

- (1) 不具合発生の可能性を知らずに不具合発生の可能性のある製品等を開発および製造する行為
- (2) 製造時や設計時の錯誤(取り違い, 思い込み)や失念(し忘れ)[小松 08] 不具合発生の可能性のある製品等を開発および製造する行為

(1) は, (腐食の発生可能性を考慮せずに) 配管に新しい補強材を利用したところ, 配管が腐食したという事例が該当する. ここで, 不具合発生の可能性を知らなかったということから, これは, 「作業に必要な知識や技量の不足」 [小松 08] という種類のヒューマンエラーに該当する. (2) には, 設計時における部品番号の書き間違い, または製造時における部品の取り違いにより, 本来取り付けるものとは別の部品を取り付けたため, 与えられた期間より短い期間の利用で壊れたという事例等が該当する. これは, 錯誤(取り違い, 思い込み)や失念(し忘れ)[小松 08] という種類のヒューマンエラーに該当する.

本研究では, 信頼性評価を行う上で, 評価者が十分な知識を持たない場合でも一定の品質の評価を行うための支援を目指していることから, ヒューマンエラーの観点からは, (1) のヒューマンエラーを削減することが目的であるといえる.

#### 製品利用時におけるヒューマンエラーとの関係

製品利用時におけるヒューマンエラーは, 製品として与えられた条件, または与えられた期間といった制約を製品のユーザが知らない状態で制約を超過して利用する行為や, 知っていても条件や期間を越えたことに気づかずに利用する行為で, 製品等の不具合の原因となったものである. 例えば, 2.1.1節で述べた1年ごとに定期的に交換するべき部品を, 交換を忘れて2年間使い続けてしまい, 破損したという事例が該当する. これは, 失念(し忘れ)[小松 08] という種類のヒューマンエラーに該当する.

#### 2.2.4 製品等の故障が原因となりヒューマンエラーが発生した不具合

製品等の故障が原因となりヒューマンエラーが発生した不具合は, 本研究における抽出対象となる不具合である. 本研究では, 主に製品の利用開始以後における不具合を対象としているので, このヒューマンエラーも, 製品の利用開始以

後に生じたものとなる。例としては、交換時期を交換表示灯の点灯で知らせる部品において、表示灯が点灯したが劣化して暗く、点灯を見落としてしまったために、交換せずに使い続けて破損した、といった事例では、表示灯が劣化して暗いことが、見落としというヒューマンエラーの原因となっている。

### 2.2.5 抽出対象とならないヒューマンエラー

本研究においては、2.5.2節で述べるとおり、製品および部品に生じた不具合の因果関係を最終的な抽出の対象としているので、製品または部品に生じた不具合と、その原因または結果としてヒューマンエラーに因果関係が成り立つ記述のみが抽出の対象となる。従って、ヒューマンエラーは発生したが、製品または部品に不具合は生じなかった例は抽出の対象とならない。例えば、1年ごとに定期的に交換すべき部品を、交換を忘れて2年間使い続けたが壊れなかったという事例では、交換を忘れたことはヒューマンエラーだが、製品の不具合が起こっていないことから、このヒューマンエラーは不具合の原因ではないので抽出の対象とはならない。

## 2.3 製品開発工程の概要

製品の信頼性向上は製造業における中心的な課題であり、事故や故障の発生を防ぐために多くの試みが行われているが、十分な信頼性が達成できたとは未だいえない状況である [JST, 製品 12, 製品 08]。

製品開発工程は、要求仕様に基づいて製品の仕組みや構造等を決定していく設計の工程と、設計に従った製品を製造する工程、その設計および製品の検証を行う評価の工程に大きく分けることができる。設計には、試行錯誤の繰り返しを通じた設計解の具体化が必要であり、設計作業を支援するシステムの必要性が指摘されている。図2は、間瀬ら [間瀬 02] による機械設計における基本的な思考の過程である。この図2は“要求”、“機能”、“機構”、“構造”、という一連の課題解決の過程により思考を段階的に詳細化していくことを示しているが、間瀬らによれば実際の設計は必ずしもこの順番では行われるとは限らず、“要求”から“機構”や“構造”にジャンプしたり、機構から機能にさかのぼったりすることがある。このような特徴を持つ設計の支援としては、失敗事例から得られる教訓や設計の定石等を設計者が必要なときに必要な形で参照できることが必要と指摘し

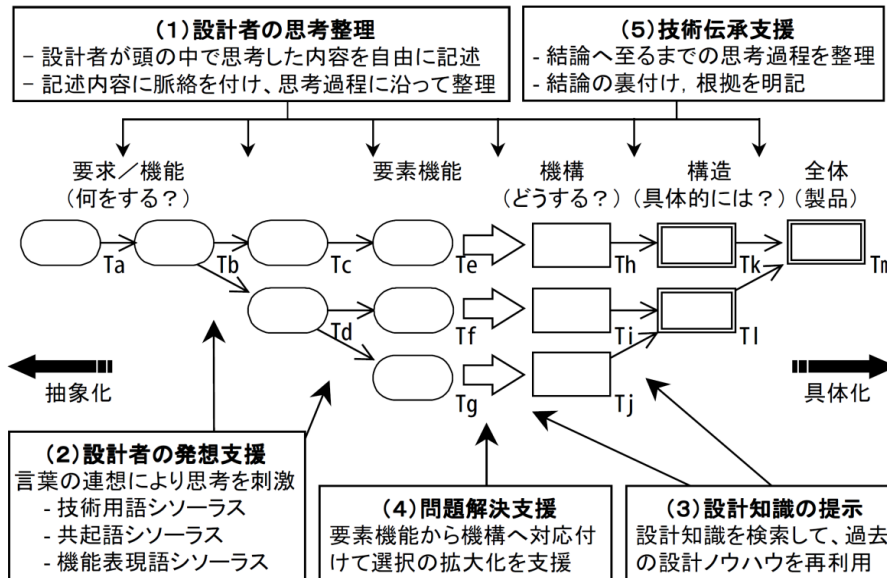


図 2: 間瀬ら [間瀬 02] による機械設計の基本的な思考の過程

ている。また、設計は設計対象の性質の一部を要求仕様として、対象に関する知識を用いて対象の記述を得ること [下村 06]、つまり、対象を一意に決定する過程であり、単純な演繹的な操作では行えない。

設計工程での結果に従って作業を行う、製造や評価の工程においても、すなわち製造の手順を設計したり、評価に必要なテスト計画を設計したりする場合においても、同様の問題が考えられる。つまり、製品の信頼性を確保するためには、その開発工程全体において、不具合の入り込まない作業を行うことが必要であり [青山 01]、本節で述べたとおり設計は単純な操作では解決できない複雑な作業であることから、信頼性の高い製品開発のためには様々な支援が望まれている状況であると考えられる [野間口 09, 下村 06, 間瀬 02]。

### 2.3.1 信頼性を確保するための手法について

開発工程において、信頼性向上のためには、FTA [JIS11b] や FMEA [JIS11a] により代表される信頼性評価手法 [塩見 83] が広く用いられる。FTA (Fault Tree Analysis) は、製品の故障等のある事象を対象とし、その原因となる原因事象への展開を、展開が必要でない事象に展開されるまで繰り返す。これにより、根本原因まで分解を行い、その根本原因の発生確率から、最初の事象の発生確率を



算出する手法である。FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)は、ある部品に想定される故障状態を列挙し、それらが発生したときの上位の部品が受ける影響を評価する手法である。FTAはトップダウン、FEMAはボトムアップ[青山01]という違いはあるものの、対象製品の故障や不具合に関する原因と、故障や不具合による影響を予測していく方法であり、故障に関する原因と影響を漏れなく適切に予測していくことが信頼性評価の品質を大きく影響する。

一方、このような特徴から、これらの手法は設計者が不具合の因果関係連鎖を漏れなく把握することは困難であること[鹿島11, 田村02]、故障の洗い出しの不完全になること[田村05b, 青山01, 鄭97]等により十分な評価ができないことが問題点としてあげられている。信頼性評価の中心となる故障原因の洗い出しが、評価を行う技術者の考え及び範囲に頼っている[青山04]ため、信頼性評価手法に関するJIS規格[JIS11a, JIS11b]では知識のある専門家の参加が望ましいとされている。特に、評価を実施した技術者やプロジェクトメンバーが有効な知識や経験を保有しない場合には、十分な評価ができないという上記の問題が顕在化する。

また、多くの組織においては不具合に関する事例を蓄積しているが、開発に活用できる形態で蓄積されていないため、そのままでは開発工程に活用できない[中山05, 畑村03, 間瀬02, 青山01, 畑村00]という問題がある。この場合には、社内やプロジェクト内には信頼性評価を行う上で利用できる情報が蓄積されているものの、開発での利用にあたり必要な形式で蓄積されていないため活用されないという問題がある。

以上をまとめると、製品開発における信頼性評価では不具合に関する情報の利用に関して以下の問題がある。

- 信頼性評価の品質が個人の知識や経験に依存すること。
- 蓄積された知識が開発に利用できる形態で蓄積されていないこと。

以上は、主に設計工程を対象とした信頼性の評価手法であるが、製造工程により製造された製品について、設計工程で決定した通りの機能や機構が実現されているかどうかを検証する工程が評価工程であるので、製品の信頼性評価については製造工程や評価工程においても、同様の考え方が適用できると考えられる。なお、2.1節で述べたとおり、JIS規格[JIS00]においては、設計時に信頼性を見積もることを信頼性予測と定義しており、試験及びフィールドデータに基づいて

信頼性を推定することを信頼性評価と定義している。

## 2.4 本研究における信頼性向上のための支援

2.3.1節の通り，信頼性評価においては，故障要因の選定が個人の知識や経験に依存することが問題となる．この問題の解決のために，ある製品の開発期間内での主な対策としては，以下が考えられる．

- (1) 開発に従事するメンバとして熟練技術者を加える方法 [青山 01, JIS11a, JIS11b]
- (2) 熟練技術者が持つ知識と同様の知識を提供する方法

また，ある製品の開発期間よりも長期的な対策としては，技術者に対する教育により，信頼性評価に関わる知識や技術の習得を図ることが考えられる．

本研究は，このうち (2) の不具合に関する知識を提供する仕組みのための基盤的な技術を開発する．なお，2.6.1節で述べる製品開発に不具合情報を活用する研究も同様に上記 (2) に位置づけられるが，これらの研究は開発に必要な情報を主に人手により抽出するのに対して，本研究は情報の抽出を自動化しようとする点で異なっている．本研究においては，2.3.1節で述べたとおり，これまでに蓄積された不具合情報が十分には利用されていない原因は，開発に利用できない形態で保存されているためであると考えられる．従って，必要な情報を必要な形態にあわせて取り出すことにより，信頼性評価においてこれらの情報を十分に活用でき，不具合を漏れなく把握するための支援が可能となる．そこで，信頼性評価を製品の構成部品毎に実施することを仮定し，評価の選定を支援するために，同種の製品に含まれる部品を対象の候補として提示するとともに，信頼性評価を行う対象の部品がどのような状況で不具合が生じるかの予測の支援のため，過去の不具合情報から，製品等の不具合に関する因果関係を抽出して不具合の原因を提示する．

以上により，信頼性評価を行う技術者やプロジェクトメンバが，開発中の製品や，その利用環境等についての十分な知識を持たない場合であっても一定品質の評価を可能とするための支援を目指す．そのために必要となる技術の詳細について2.5節で述べる．

## 2.5 本研究で開発する技術について

本研究で開発する技術について以下に説明する．本研究における信頼性評価支援のための情報提示の基本的な考え方は，次の通りである．

不具合事例に出現したある製品 A に生じた不具合は，その製品 A と同種の製品，すなわちその製品 A と同じクラスに属する別の製品 B にも起こり得る．

よって，不具合事例文書における開発中の製品と同じ種類の製品すなわち同じクラスに属する製品について不具合の原因の記述が利用者に提示する情報となる．ここで，同じクラスに属する製品かどうかの判断は，本研究では，同じ部品を含むかどうかにより行う．

したがって，本研究の目的は，信頼性評価支援のために，開発中の製品について，その構成部品の情報を取得し，不具合事例文書中の構成部品に関する不具合の原因の記述を抽出してユーザに提示することである．この目的を実現するためには以下の 2 点を実現する必要がある．本研究では，これらを実現するための技術を開発する．

- (1) 開発中の製品について，その構成部品の名称を文書集合から抽出
- (2) 不具合の因果関係の記述を不具合事例文書から抽出

開発が必要となる技術についての詳細は，2.5.2 節で述べる．なお，1.2 節で述べたとおり，上記の技術のうち (1) は主に第 4 章で，(2) は第 5 章で述べる．

信頼性評価における本研究を活用した支援の例について以下に述べる．図 3 は，新たに対象製品「直管型 LED 蛍光灯」を開発する場合を例として，本研究における不具合事例文書からの情報抽出の基本的な考え方に従い，対象製品に関連すると思われる不具合情報を抽出する例である．この例における，本研究の不具合情報の具体的な利用イメージについては 2.5.1 節で後述する．

### 2.5.1 本研究で開発する技術の利用イメージ

本研究で開発した技術の，製品開発における利用イメージについて以下に説明する．ここでは，ある企業が，LED 照明の市場に新たに参入するために LED 照明機器として「直管型 LED 蛍光灯」を開発することを想定する．

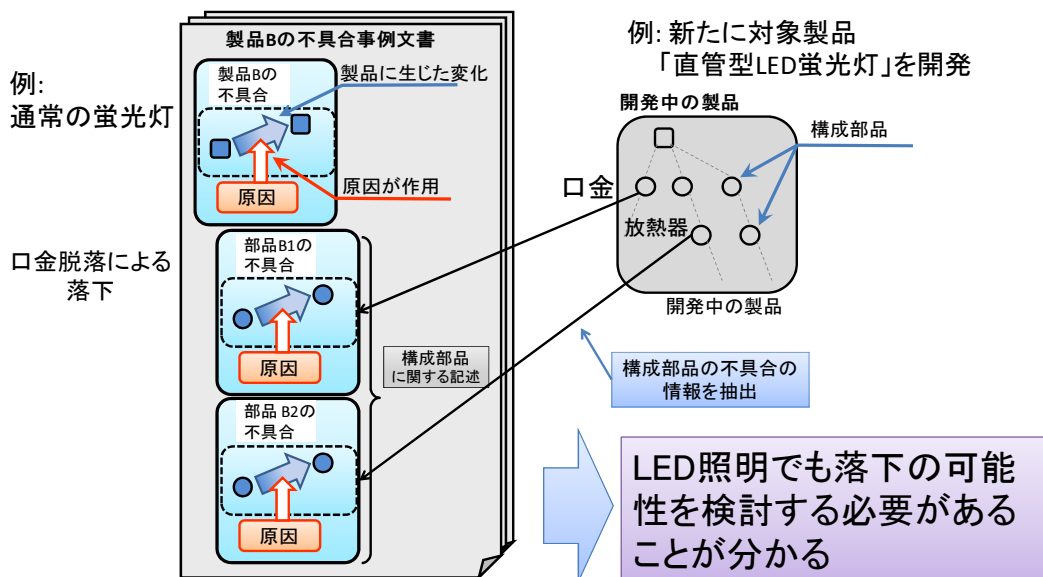


図 3: 本研究における情報抽出の基本的な考え方

はじめに，LED 照明機器について十分な知識がない場合であっても信頼性評価を行うための支援として，製品の構成部品の抽出技術により，LED 照明機器の構成部品の名称を獲得する．

例) 「部品・製品」関係を抽出する技術により抽出される LED 照明機器の構成部品: LED 素子，ソケット，電源，口金，…

続いて，因果関係抽出技術により，不具合事例文書から，製品および部品に生じた不具合の因果関係の記述を抽出する．不具合事例文書には，対象製品である直管型 LED 蛍光灯以外の製品について生じた不具合の情報が記述されている．そのような不具合事例文から，LED 照明機器の構成部品である「口金」が含まれてものを抽出した例を示す．

抽出される不具合事例文の例:

「揺れにより口金が緩んだため，蛍光灯が落下した」

この不具合事例文は，「口金が緩んだ」という原因により，「蛍光灯の落下」という不具合が発生したという事象を記述している．この不具合事例文を提示することで，開発する LED 照明機器でも，「口金が緩む」という原因で，「LED 照明機器の落下」という不具合の発生する可能性を検討できるようになる．不具合の発生可能性を検討した結果，対策が必要な場合には，例えば，口金の緩み防止や，落下防止装置の追加等を検討することで，製品の信頼性向上が実現でき

る。

## 2.5.2 本研究で開発する技術

2.5節の冒頭で、不具合事例文書から製品開発に必要な情報を自動で抽出するために必要な技術として、以下の2点を開発することを述べた。その概要について以降で説明する。

- (1) 開発中の製品について、その構成部品の名称を文書集合から抽出
- (2) 不具合の因果関係の記述を不具合事例文書から抽出

図4は、本研究における部品情報抽出の概要である。開発対象製品が与えられても図4の左側のように、最初はその構成部品、つまり信頼性評価の対象部品に関する情報は得られていない。そこで、本研究では構成部品の情報を自動的に獲得する技術により、同種の製品に含まれる部品を提示することで、図4の右側のように評価対象部品の候補を得ることができる。

図5は、本研究における因果関係抽出の概要である。本研究では製品等に生じた不具合に関する因果関係を抽出する。抽出しようとする不具合は、何らかの原因が製品等に作用することにより、その製品等の状態や機能に変化が生じることと考えている。因果関係抽出により、ある製品等に生じた不具合の原因に関する情報を得ることができる。

因果関係抽出において抽出した不具合の発生した製品等と同一のものが、開発対象製品の部品情報抽出の結果として得られた部品に含まれる場合は、当該部品について、信頼性評価が必要であることが分かる。すなわち、当該部品に対して、抽出した不具合の原因と同様の負荷が加わった場合であっても信頼性が確保できるかを検討する必要があることが分かる。

## 2.5.3 信頼性評価における課題の解決

2.3.1 節で述べた信頼性評価における2つの問題点について、本研究では以下のような解決が可能となる。製品の信頼性評価を実施する技術者以外の不具合に関する情報を利用することができ、「信頼性評価の品質が個人の知識や経験に依存する」という問題を解決するとともに、不具合事例から開発中の製品に関連し

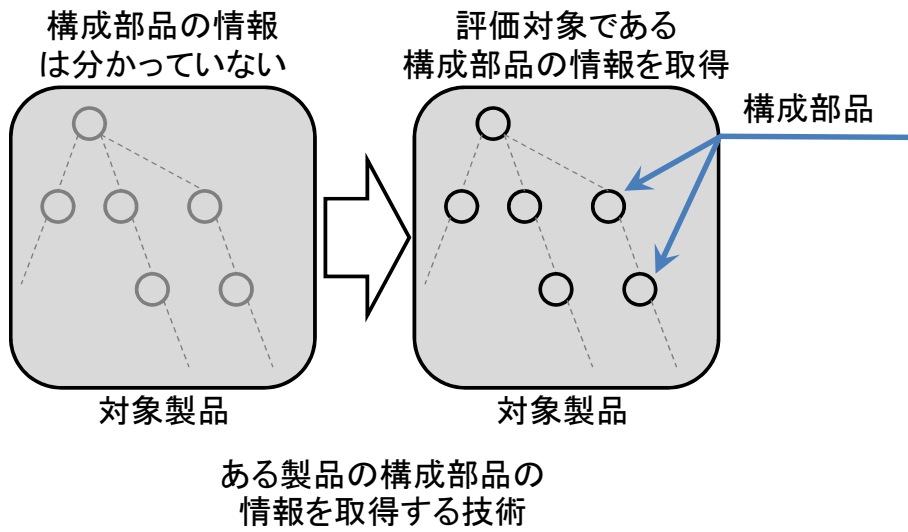


図 4: 本研究における部品情報抽出の概要

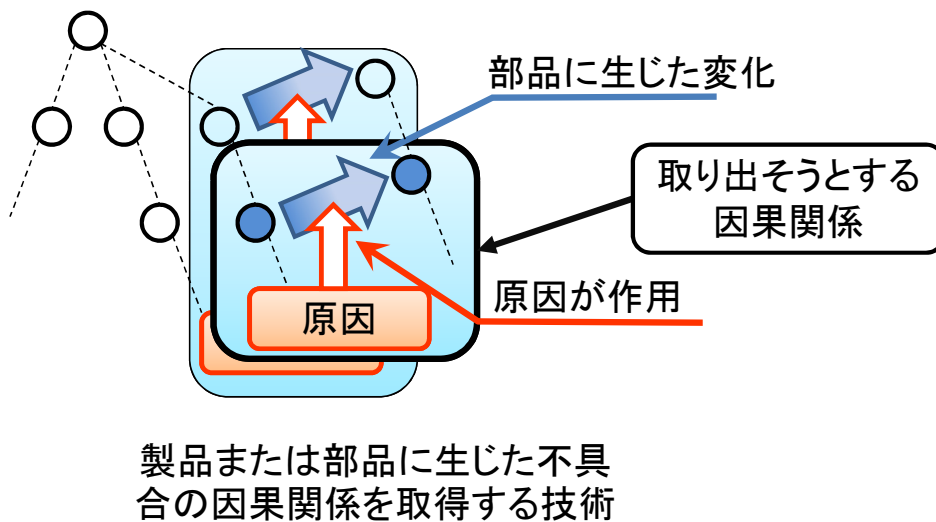


図 5: 本研究における因果関係抽出の概要

た不具合の原因を抽出して提示することで、「蓄積された知識が開発に利用できる形態で蓄積されていない」という問題を解決する。

## 2.6 製品の信頼性向上に関する研究

本研究のアプローチは、既存の情報から開発に必要な情報 [畑村 03, 間瀬 02] を取り出すことを目標とするものである。本節では、同様のアプローチで製品の信頼性の向上を目指す研究について述べる。

まず、2.6.1節で述べるように不具合情報を活用する研究が多く行われているが、これらは基本的に不具合情報を活用できるように編集したり形式を変更するために、人手による一定量の作業が必要であるという問題がある。2.6.3節で述べる製品開発にオントロジーを利用する研究についても、同様にオントロジーの準備をはじめ人手による一定量の作業が必要である。一方、2.6.2節で述べるように自動的に必要な不具合を抽出する研究は、あまり行われていない。これらの研究に対する本研究の主要な特徴は以下の通りである。

- 不具合事例文書から、製品の信頼性評価において有効な不具合情報を自動的に抽出する技術を開発することにより、これらの研究よりも、不具合情報の活用のために必要となる人手による作業量を大きく削減している点
- 広い範囲の製品の信頼性向上に利用できる情報抽出技術である点

不具合情報の抽出を自動化することで、抽出した情報に不要な情報が混じったり、必要な情報が漏れることが考えられるので、そのような抽出性能の低下を防ぎ、必要な情報を漏れなく取り出すための方法を開発している。

また、2.6.1節および2.6.2節で述べる不具合情報を抽出し、製品開発で利用することを旨とする研究では、多くの研究において、対象製品のドメイン、すなわち製品の種類がある程度限定されているのに対し、本研究はより広い製品を対象としている点も特徴である。第3章の実体性判断においては、対象を「電気・電子および機械分野の製品」としているが、これ以外の第4章および第5章の技術については、製品および部品という概念が成立する製品群についての記述であれば、対象として扱うことができる。

## 2.6.1 不具合情報を活用するための研究

本節では本研究同様のアプローチで、信頼性向上のために不具合情報の活用を目指す研究について述べる。

大企業を中心に開発の事例やノウハウ、不具合事例等を開発工程で利用できる形態に人手によりまとめ、製品開発で利用する試みが行われている [鹿島 11, 中山 05, 香川 06, 長江 05, 成子 05, 用田 04]。これらの研究は、実際の製品開発工程に適用されてきた実績からも製品の信頼性向上に有効な手法であり、現実的な工数で対応できる手法といえる。一方、これらの研究においては不具合事例から製品開発に利用できる情報を取り出し、それらをいわゆるナレッジとして一定の品質にまとめ上げるために、ある程度の工数を必要とする手法である。製造業を対象に行われた調査 [長野 11] によれば、現在、開発における課題として人手不足をあげる企業も多いことから、本研究では、多くの中小企業に代表されるように開発に利用できる工数がきわめて制限された中で製品開発を実施している企業においても製品開発の現場で利用することを想定し、情報抽出技術を活用して、人手をできる限り抑えて不具合事例から開発に必要な因果関係を自動的に取り出すことを検討した。人手により取り出した場合との性能の比較は、第 3 章から第 5 章の実験結果において説明する。

また、不具合に関する知識の共有や活用をめざし、不具合の連鎖を表現する「機能・不具合オントロジー」を構築し信頼性向上に活用する研究 [小路 07] も行われている。本研究において抽出しようとする不具合の因果関係は、機能・不具合オントロジーにおいて記述される複数の不具合の連鎖のうち、個々の不具合の連鎖に相当するものと考えられる。なお、オントロジーに関する研究については 2.6.3 節で述べる。

## 2.6.2 不具合情報の自動抽出技術

2.6.1 節に述べたとおり、社内に蓄積された不具合情報について情報抽出を行った研究が行われている。これに対し、本節では不具合情報から製品開発に利用できる情報を自動的に抽出することを目指す研究について述べる。

稗方らは、造船会社が保有する不具合文書から、不具合の発生した部品と、故障内容の抽出を行っている [HYT10, 稗方 08]。稗方らの研究は、抽出対象が不具合事例文書であり、対象とする文書の種類は本研究と同じである。一方、稗方



らは不具合の発生部品と不具合内容，すなわち語の単位を抽出対象とするのに対して，本研究では，製品等に関する不具合の因果関係を含む文を抽出対象としており，抽出の対象が異なっている．

伊田らは，社内に蓄積された不具合事例集や不具合調査レポートを対象に，文の構造に着目して機械学習の手法を利用して因果関係を抽出する方法を提案している [伊田 04]．本研究でも伊田らと同様に因果関係の抽出に，文の構造や機械学習の手法を利用している．一方，伊田らが抽出しようとする因果関係は，製品に生じた不具合の因果関係である必要はなく，正常な動作に関する因果関係も含まれる．本研究では，製品等に関する不具合の因果関係と，それ以外の因果関係とを判別することを目指しており，そのために実体語等に注目している点が異なっている．また，本研究において訓練および評価事例は，複数の種類の製品に生じた不具合事例の文書集合であり，単一の文書集合であるのに対して，伊田らはある特定の種類の製品についてのトラブル事例集等の文書を評価事例とし，訓練および評価事例で異なる文書集合を利用している．このように，問題設定が異なっているため，伊田らの研究と直接性能を比較することはできない．

これらの研究は不具合情報を活用することで，製品等の品質の向上を目指すものであり，2.6.1節で述べた研究と同じ目標の研究といえる．一方，開発に活用できる形態で蓄積されていないため，そのままでは開発工程に活用できない [中山 05, 間瀬 02, 青山 01] という問題に対するアプローチは，2.6.1節で述べた研究と，本節の研究とで次のような違いがある．2.6.1節の研究は，不具合に関する情報を主に人手により開発作業で利用するために適した形，利用しやすい形態とするのに対して，本節で述べた研究では，不具合情報から開発作業で利用するために適した情報を自動で抽出するというアプローチを取っている．

本研究は，不具合情報から開発作業で利用するために適した情報を自動で抽出することを目指すものであり，本節で述べた研究と同様に自動的に情報を抽出するアプローチを取っている．

### 2.6.3 オントロジーを活用する研究

製品開発の事例やノウハウ，不具合事例を記述するための基盤として製品に関するオントロジーを開発することによる支援が試みられている．オントロジーにより，不具合や製品の機能を記述するための方法である「枠組み」を準備することで，これまでにあまり共有が進んでいない不具合や製品に関する情報の活用を

目指すというアプローチである。

來村ら [來村 02] は、設計知識を暗黙的かつ属人性が強いものと指摘し、設計知識の共有には製品領域や学問領域に依存せずに領域を横断して共有するための基盤となる「枠組み」が必要と述べ、知識の再利用のため、機能的な設計知識を記述するためのオントロジーの構築を目指している。特に設計は機能レベルの要求仕様を、具体的な部品の属性に変換する行為であることから、製品開発における不具合等の知識の利用のために、機能的な知識を記述するための対象領域 (製品種類) への依存度が異なる複数の階層的なオントロジーを提案している。

この他にも、技能に関するオントロジーによる技能獲得を目指した研究 [周俊 06]、オントロジーを活用して不具合を高精度かつ網羅的に抽出することを目指す研究 [大和 08]、不具合の連鎖する過程を表現するオントロジーを、人工衛星の電源システムの信頼性評価に適用した研究 [小路 07]、オントロジーに基づく機能表現方式を不具合診断に適用し、迅速な原因究明を実現した事例 [溝口 02]、専門家の作成したドキュメントから、改修対象の構造や、改修行為、対象の症状についてのオントロジーを作成することで、構造や症状等が類似する部品に着目して症状をグループ化して深いレベルで取り扱うこと、また、対策が類似したドキュメントを検索・提示したりすることにより若手技術者の改修設計を支援することを目指す研究 [岩爪 97]、などの研究がおこなわれており、ノウハウや不具合に関する知識の表現と再利用に有効であることが示されている。

これらは、知識の共有により信頼性の向上を目指す点で、本研究と同様である。一方、2.6.1節に述べたとおり、不具合情報を製品開発に利用できる形態に編集し、ナレッジとしてまとめ上げるために一定量の工数が必要となるのと同様に、精度の高いオントロジーの作成には、一定量の工数が必要になる。本研究では、特定の製品のみでなく、多くのドメインの製品を対象とすることを目指していることから、対象とする多くのドメインについて一定の品質のオントロジーを準備することは困難である。

2.5.2節で述べた本研究において開発する技術のうち、「開発中の製品について、その構成部品の名称を文書集合から抽出」する技術は、文書集合から、ある製品についての構成部品の情報を抽出することを目指している。この結果として抽出された構成部品の情報は、ある製品を全体としたときに全体 - 部分関係の部分に相当する語の集合であり、構成部品間の階層的な関係は指定されていない。

これに対して、例えば、古崎ら [古崎 09]、小路ら [小路 07]、來村ら [來村 02]

等が研究している製品に関するオントロジーは，構成部品について部品同士の接続関係も表現するものであり，本研究で抽出を目指す構成部品の集合の情報よりも，多くの情報を含んだものである．

#### 2.6.4 製品の信頼性向上に関する研究のまとめ

2.6.1節から2.6.3節では，既存の情報から開発に必要な情報を取り出すことにより，製品の信頼性向上を目指す研究について述べた．本節では，それらの研究と本研究での違いについて比較する．

##### 不具合情報を活用するための研究

2.6.1節で述べた信頼性向上のために不具合情報の活用を目指す研究との比較では，不具合事例文書を中心とする既存の情報から開発に必要な情報を取り出して活用することにより製品の信頼性向上を目指すというアプローチは同様である．これに対して本研究で対象としているのは，特定の種類の製品のみでなく，広い範囲の製品を対象としている点が異なっており，また，2.6.1節の研究は，不具合に関する情報を主に人手により開発作業で利用するために適した形，利用しやすい形態に編集するのに対して，本研究では必要な不具合情報を自動的に抽出する点が異なっている．以上をまとめると，2.6.1節の研究は人手により情報を編集するため，作業の工数が多く必要となるが，より精度の高い情報に編集することが可能である．また，多くの製品を対象とするにはそれだけ多くの工数が必要となるため，特定の種類の製品を対象としている研究が中心である．これに対して，本研究では情報を自動的に抽出するため，作業の工数は大きく削減できるが，人手で情報を取り出した場合よりは，抽出性能の低下が予想される．抽出性能の比較は第3章から第5章の実験結果において説明する．また，一つの製品についての情報抽出に必要な工数を大きく削減できるため，多くの製品を対象とすることが可能となる．

##### 不具合情報の自動抽出技術

必要な情報が開発に活用できる形態で蓄積されていないため，そのままの形態の情報は開発工程に活用できないという問題に対して，2.6.1節の研究は，不具合に関する情報を主に人手により開発作業で利用するために適した形，利用し

やすい形態とするのに対して、2.6.2節で述べた研究では、不具合情報から開発作業で利用するために適した情報を自動で抽出するというアプローチを取っており、本研究も2.6.2節と同様に自動的に情報を抽出するアプローチを取っている。一方、2.6.2節で述べた稗方ら [HYT10, 稗方 08] の研究では、不具合の発生した箇所名と不具合現象名の抽出をしようとしている。このうち箇所名は本研究では第3章で述べる実体物に相当する。伊田ら [伊田 04] の研究は、因果関係を含む文を抽出しようとしている。よって、本研究で抽出しようとする「製品に生じた不具合の因果関係」を表す文は、伊田らの抽出しようとする文に包含されるものである。このように、これらの研究は、本研究とは情報抽出における問題設定が異なっている。以上をまとめると、2.6.2節で述べた研究では、本研究と同様に、不具合情報から必要な情報を自動で抽出しようとしており、工数の削減が期待できる。一方、本研究では第5章で述べるように製品および部品に生じる不具合の因果関係を抽出しようとするが、2.6.2節の稗方ら [HYT10, 稗方 08] の研究は抽出対象が文でなく語である点が、伊田ら [伊田 04] の研究は抽出対象が「因果関係を含む文」である点が本研究とは異なっている。

#### オントロジーを活用する研究

2.6.3節のオントロジーを活用する研究は、情報の共有により製品の信頼性の向上を目指す点で、本研究と同様である。一方、精度の高いオントロジーの作成には、人手による作業が必要であり一定量の工数が必要になる。2.5.2節で述べた本研究において開発する技術のうち、「開発中の製品について、その構成部品の名称を文書集合から抽出」する技術は、文書集合から、ある製品についての構成部品の情報を自動的に抽出することを目指している。この結果として抽出された構成部品の情報は、ある製品を全体としたときに全体 - 部分関係の部分に相当する語の集合であり、構成部品間の階層的な関係は指定されていない。これに対して、例えば、古崎ら [古崎 09]、小路ら [小路 07]、來村ら [來村 02] 等が研究している製品に関するオントロジーは、構成部品について部品同士の接続関係も表現するものであり、本研究で抽出を目指す構成部品の集合の情報よりも、多くの情報を含んだものである。したがって、オントロジーを活用する研究は、知識の共有により信頼性の向上を目指す点で、本研究と同様である。一方、本研究では、情報抽出技術により人手をできるだけかけずに、多くの領域の製品に対して、自動的に全体 - 部分関係の部分に相当する語の集合を抽出しようとするのに

対して、オントロジーは、作成には人手をより多く必要とするが、ある特定の種類の製品について、部品同士の接続関係等のより多くの精度の高い情報を含んでいる点が異なっている。

## 2.7 情報抽出に関する研究

本研究は、2.5節で述べたとおり、情報抽出技術を活用して、製品開発に有効な情報を自動的に抽出することを目指す。本節では、本研究に関連する情報抽出の研究について述べる。

### 2.7.1 固有表現抽出に関する研究

固有表現抽出は、あるカテゴリに属する語を抽出する技術であり、多くの研究が行われてきた[土屋 08, 笹野 08, 山田 02]。第 3章で述べる実体物を示す語の抽出と、固有表現抽出の研究との関係を述べる。

IREX[SI00]では、組織名、人名、地名、日付表現、時間表現、金額表現、割合表現、固有物名のカテゴリに属する語の抽出を行っている。IREXの定義によれば、固有物名(Artifact)は、「人間の活動によって作られた具体物、抽象物を含む物の固有物の名前」であるので、本研究で目指す実体物を含む。しかし、曲名等の作品名、法律名といった抽象物の名前も同時に含むため、固有物名に属する表現ということのみでは、製品や部品を示す語かどうかの判別としては不十分である。

関根らの拡張固有表現[SN04]は、IREX等の固有表現を以下のように拡張した固有表現である。IREXでは上記の8種類のカテゴリを利用しているが、拡張固有表現では、200種類の階層的なカテゴリが用意されている。拡張固有表現には、製品名(Product)という階層があり、その中に材料名、車名、船名等が存在する。これらは、本研究で抽出を目指す製品名および部品名のうちの一部が属するカテゴリであるが、実体性の判別は、これらの固有表現カテゴリに属しない、より広範囲の語について実施する必要がある。同時に、拡張固有表現の製品名(Product)には法令名、勲章名といった抽象物の名前も同時に含まれるため、ある語が製品名(Product)というカテゴリに属するかどうかのみでは、その語が実体物を示す語かどうかの判断はできない。したがって、実体性の判別は、拡張固有表現のカテゴリに属しない、より広範囲の語について実施する必要がある。

る。

また、本研究では、第4章で述べるように、ある特定の製品の構成部品の名称を行っているが、上記の固有物名 (Artifact) および拡張固有表現における製品名 (Product) には、複数種類の製品の構成部品の名称が含まれており、特定の製品に含まれる部品だけをとりだすことはできない。

### 2.7.2 事態性判別に関する研究

小町らは、事態性名詞の項構造解析において、語の事態性を判別する研究を行っている [小町 10]。ここで、事態性とは、ある名詞が事態を示す用法で使われている状態のことであり、名詞が、コト (事態) を指すかモノ (物体) を指すかという意味的な違いに対応する。

本研究で抽出しようとする実体物を示す語および、ある製品とその構成部品名を示す語は、不具合に纏わる事態に登場する製品や部品を表す語であり、モノを表す語であるので、事態性を持たない語と考えられる。よって、第3章の実体物を示す語の抽出においては、小町らの利用した事態性判別のための素性を、事態性のある名詞を取り除くために利用することを考える。以下が事態性のある名詞を取り除くための素性の例である。本研究における、これらの素性の利用方法について詳細は3.3.2節で述べる。

- 注目語の後ろのサ変名詞
- 名詞接尾辞の有無 (揮発 - 性, 耐熱 - 性, 自動 - 的)

### 2.7.3 因果関係抽出に関する研究

Blanco ら [BCM08] の指摘するように、因果関係抽出は従来では手作業で作成された対象ドメインに依存するルールを利用して行われており、近年では機械学習手法に基づいた F 値で 0.8 程度の高性能な抽出を行う手法が提案されている [CC06, Gir03]。

ここでは、機械学習を用いて因果関係抽出を行う研究について述べる。因果関係の記述を抽出する研究はこれまでも行われており、因果関係を構成する原因、結果の記述を精度よく抽出する手法が報告されている [坂地 11, BCM08, CC06, 乾 04, Gir03]。乾ら [乾 04] は、「ため」を含む文を対象に cause 関係等、因果

知識の分類，抽出を行っている．坂地ら [坂地 11] は，新聞記事を対象として，文中の手がかり表現に着目し，文中の助詞のペアや，オントロジーに基づく語の意味等に基づいて因果関係を抽出している．なお，不具合事例文書からの因果関係の抽出を行う研究については，2.7.4節で述べる．また，因果関係抽出において，文を単位とするよりも，より小さな単位を抽出対象とする研究として，坂地ら [坂地 08] は，構文パターンを用いて因果関係抽出を行っており，根拠を表す表現（以下，根拠表現），および結果を表す表現（以下，結果表現）をそれぞれ抽出している．これに対して，本研究の因果関係抽出は，製品の不具合に関する因果関係の抽出を目指しており，根拠表現と結果表現のそれぞれを抽出しようとする坂地らの研究とは問題設定が異なっている．因果関係の記述された文において，その文から根拠表現と結果表現のそれぞれを抽出しようとしており，坂地らの研究の方が難易度の高い問題を扱っている．

坂地らの手法 [坂地 11] は，多種類の手がかり表現に対応できること，抽出対象が名詞句や動詞句ではなく，文全体を対象としている，といった特徴がある．本研究においても，坂地らの手法 [坂地 11] を改良した機械学習に基づく手法を提案している．

一方，第5章で述べるとおり，本研究では因果関係の記述のうち，製品および部品に生じた不具合に関するもののみを抽出しようとしているので，これまでに行われた因果関係抽出に関する研究とは目標および問題設定が異なっている．また，本研究では抽出にあたり，文の特徴として第3章で述べる実体語に関する情報を利用する等の，これまでの因果関係抽出とは異なる手法を利用している．

## 2.7.4 不具合情報の自動抽出に関する研究

2.6.1に述べたとおり，製品開発において不具合事例を活用することで信頼性の高い製品を効率的に開発することを目指す研究，試みは数多く行われている．

活用しようとする不具合情報を不具合事例文書から自動的に抽出する試みは，2.6.2節に述べた稗方ら [HYT10, 稗方 08] が行った造船会社が保有する不具合文書から，不具合の発生した部品と故障内容を抽出する研究，および伊田ら [伊田 04] が行った，社内に蓄積された不具合事例集や不具合調査レポートを対象に，文の構造に着目して機械学習の手法を利用して因果関係を抽出する研究等が行われているものの，多くの研究が行われているわけではない．

本研究においても，不具合情報の自動抽出を目指しており，これらの研究と同

じ目標を目指している。一方，2.6.2節に述べた通り，本研究では，抽出しようとする対象が文である点，ならびに製品等に関する不具合の因果関係と，それ以外の因果関係とを判別することを目指しており，そのために実体語等に注目している点が上記の研究と異なっている。

## 2.8 実験に利用する不具合情報について

本研究では過去に発生した不具合情報から，不具合の因果関係を取り出そうとしている。本節では実験に利用する不具合情報について述べる。

古賀は，製品に作用するストレス（負荷）について

- 製品に作用するストレスを正しく知ることは，製品の機能および使用環境を知ることを意味する
- 各企業や組織体は独自の存在価値としてその情報を持っている

であると述べ，自動車を例に，「自動車がその生涯においてどのような使用をされ，その結果どのように振舞い，どれだけのストレスにさらされるのかを知ることが，自動車を設計する上において重要な設計知識である」と述べている [古賀 05]。

すなわち，一般的に，ある製品について どのような状況で破損したか，という情報や，その原因や破損により発生した状況等の調査・分析内容は営業秘密，営業上のノウハウと位置付けられ，社内に記録・蓄積されるものの，複数の製品についてまとまった形で社外に公表されることはほとんどない。公表されるのは，製品リコール [国土，製品 08] を行う場合や，ある製品について利用方法を説明する一環として注意を喚起する場合等の例外的な場合のみである。2.6.1節で述べたとおり，不具合情報を活用しようとする研究が多く行われていることから不具合情報自体に開発上有効な情報が埋もれているという期待があることを示唆していると考えられる。

一方，不具合の再発防止を主な目的として，製品に関する不具合情報の収集とその公表が進められている。失敗知識データベース [JST] は，各分野の失敗事例をその分析結果と共に収集し公表している。消費生活製品（電気製品，燃焼器具等）に関する事故の情報は，経済産業省・消費者庁および独立行政法人製品評価技術基盤機構が収集し，公表を行ってきている [製品 08]。自動車のリコール，



改善対策，サービスキャンペーン等の不具合については，国土交通省が収集を行っている状況や対策とともに公表を行っている [国土]．製品や部品に起因しない事故についても含まれるものの航空事故，鉄道事故，船舶事故については，運輸安全委員会が事故原因を調査し，調査結果と共に事故内容を報告書として公表 [航空，鉄道，船舶] している．

### 2.8.1 不具合情報の例

実際の不具合情報の例を図 6 および図 7 に示す．図 6 は，稗方らの研究 [大和 08] において紹介されている造船会社設計部門の保有する不具合文書の例である．

「不具合に関する記述」欄に不具合の内容が記載されており，ここではワッシャーの取り付け位置を間違えたという不具合が記載されている．

図 7 は，畑村らの構築した「失敗知識データベース」 [畑村 03, JST] に含まれる不具合の例である．「失敗知識データベース」は，失敗事例を分析して教訓を抽出し，知識として活用できるようなデータベースを目指して開発され，一般公開されている [JST05]．一文書は，事例名称，事例概要，原因といった複数の段落により構成されており，各段落に表題に対応した内容の説明が記載されている．なお，一文書は，この他に経過，対策，背景，損失や社会への影響等の段落で構成される．一文書は，概ね 20 から 30 程度の段落で構成されている．

### 2.8.2 本研究で使用した不具合情報

第 3 章の実体性判断に関する技術，第 4 章の製品の構成部品を抽出する技術，および第 5 章の因果関係抽出に関する技術では，開発した技術の評価として，不具合情報 [JST] から，情報抽出を行う実験を行った．この不具合情報を選択した主な理由は，以下の 2 点である．1 点目として，多くの不具合情報が公開されない中で，公開されている不具合情報であるためである．2 点目として，2.8.1 節の通り，概要や原因，経過，対策といった本研究で取り出そうとする製品等に関する不具合の記述とともに，「製品の不具合が原因で製造企業の業績が悪化した」といった製品や部品に関わらない記述も含まれていることから，本研究で目指す「製品に生じた不具合の因果関係」の記述を抽出する性能の評価に適しているためである．

不具合文書 ID	A-001
製品の種類	1656
対応状態	Closed
記述者氏名	山田
日付	2008/4/15
タイトル	艀装完成検査
不具合に関する記述	事前確認をお願いします．(1)パイプサポートのスプリングワッシャーの取付け位置が違う．(2)U ナットが使用されていない．(3)...
対応内容に関する記述	それぞれ次のように対応しました．(1)...
添付ファイル	無し

図 6: 大和らの研究 [大和 08] における不具合文書の例

事例名称	装置試運転中の水分膨張による破裂
事例概要	試運転を行っていたところ，乾燥装置の鉄製ドラムが突然破裂し作業員 2 名が重軽傷を負った．
事象	改造工事でドラムの長さを約 300mm 伸ばしたが，この時充填したキャストを十分に乾燥させないで閉じたため，LP ガスの燃焼中に水分が膨張し破裂に至ったもの．
原因	設計・構造上の不良

図 7: 畑村ら [畑村 03, JST] の作成した失敗知識データベースにおける不具合文書の例 (抜粋)

## 2.9 本研究で扱う不具合情報の対象範囲

研究における前提条件として、本研究で扱う不具合情報の知識と、信頼性評価に必要な不具合情報の知識について本節で説明する。

信頼性評価は 2.1.1 節で述べたとおり、平均寿命や故障率等の信頼性特性値を見積もる製品開発工程における一部の作業である。従って、信頼性評価においても製品開発工程と同様に準拠すべき標準や規格、使用可能な加工法、設備等の多くの情報が必要となり、それらの情報を抽出する手法も必要である [中尾 99]。本研究では 2.5 節で述べたとおり、信頼性評価における課題の解決のために、不具合の原因を抽出することを目指しているため、本節においても不具合情報を対象としている。

### 2.9.1 信頼性評価に必要なとなる不具合に関する知識

ある製品の開発において信頼性評価に必要なとなる知識

ある製品の開発において信頼性評価に必要なとなる知識としては、以下が考えられる。

- (1) 不具合に関する基礎的な自然科学的現象に関する知識 (基礎的な自然科学的現象に関する知識)
- (2) 不具合の発生に関する知識 (過去に発生した不具合あるいは明らかに予測できる不具合の原因と結果)
- (3) 不具合の影響に関する知識
- (4) 不具合の発生防止策に関する知識

(1) の基礎的な自然科学的現象に関する知識は、不具合の因果関係を理解するために必要な基礎的な知識である。不具合に至る因果関係の多くは、よく知られている自然科学的メカニズムに基づいている [田村 02]。例えば、製品の強度よりも小さな荷重が繰り返し加わり、疲労破壊により製品が破壊した現象や、ケーブルが金属板に接触して振動したためケーブル被覆が摩耗した現象、等の知識である。(2) および (3) は不具合の原因やその影響に関する知識であり、小路らのいう不具合過程に関する知識 [小路 05] である。(4) の不具合の発生防止策に関

する知識は、小路らのいう不具合防止方法に関する知識 [小路 05] であり、中山のいう不具合対策知識 [中山 05] である。

#### 定性的知識および定量的知識について

前節の (1) から (4) の知識は、当該製品に関する定性的知識および定量的知識の両方を含む。定性的知識は、2.5.1節で述べた次の例のように、蛍光灯用のある種類の口金に、一定の大きさの揺れが発生することでソケットから脱落する、といった不具合の因果関係を中心とした知識である。

不具合事例文の例:

「揺れにより口金が緩んだため、蛍光灯が落下した」

定性的知識は、田村ら [田村 05a] が定性予測知と呼ぶものであり、不具合に関して「どこで、なぜ、なにが起きたか」を表現する。定性的な知識は、主にテキストによって表現されるが、図によって表現された情報も含まれる。図の例としては、2.1.1節で述べた信頼性評価である FTA は、製品の故障等のある事象を対象とし、その原因となる原因事象への展開を、展開が必要でない事象に展開されるまで繰り返すが、これにより、得られた不具合の発生原因を木構造状に展開したものの等である。いわゆる「不具合事例集」として編集された情報は、定性的知識が中心である [畑村 03, JST, 国土, 製品 08]。

定量的知識は、以下の例のように信頼性や不具合に関する特性値を数値および数式により表現したものであり、田村 [田村 05a] が定量予測知と呼ぶものである。例としては以下のようなものがある。

- Miner 則、フックの法則、オームの法則等の数式
- 応力 - ひずみ曲線、ヒステリシス曲線等のグラフ
- 各材料物性などを整理したデータベース
- 信頼性試験の結果やフィールドでの故障状況等から得られた信頼性特性値

定量的知識は数値や数式で表現される知識であり、概念や意味を表現するものではない。そのため、定量的知識を利用する際には、その概念や意味を表す定性的知識と組み合わせて利用される [田村 05a]。

2.5.1節で述べた蛍光灯の落下に関する不具合の例では、以下が定量的知識の例である。これらは、規定の手順により取り付けた場合に、どのような条件での程度の期間、脱落しない状態で保持できるかについて述べたものである。

- ある荷重  $P_1$ [N] が加わると、50% の確率で脱落する。
- 口金にある種類の振動 (加速度  $a_1$ [m/s<sup>2</sup>] , 周波数  $f_1$ [Hz]) が加わった時に、時間  $t_1$  以上、脱落せずに保持できる。

この例においては、荷重  $P_1$ [N] と脱落の確率 50% の関係およびそれぞれの数値、振動 (加速度  $a_1$ [m/s<sup>2</sup>] , 周波数  $f_1$ [Hz]) と保持可能時間  $t_1$  の関係およびそれぞれの数値が定量的知識である。これらは、蛍光灯を保持するという機能の信頼性を表す数値であり、2.1.1節で述べた「数量的に表した信頼性の尺度」であるので、“信頼性特性値”である。

また、ある製品について製造されたうちの一定量の製品についての不具合の発生状況が記録されている不具合事例文書、つまり“信頼性データベース”[鈴木 08]を用意しておくことで、ある製品において、発生しやすい不具合や、どのような状況で何割の不具合が発生したかという信頼性に関する数値的な情報が得られる。このような文書集合は、個々の文書の情報としては定性的知識であるが、統計的な処理をすることで定量的知識を得ることが可能である。例えば、ある不具合を表す語が多く出現していれば、そのような不具合の発生確率が大きいことが予想できる。

#### 信頼性評価における定性的知識および定量的知識の利用

開発工程における信頼性評価の流れを製品の寿命を例として以下に説明する。例えば、信頼性の評価として、製品の平均寿命を予測する際には、定性的知識に基づいて環境温度や入力電圧といった寿命に影響する要因の洗い出しを行い、定量的知識によってある要因 (環境温度) による故障が発生するまでの予測寿命  $t_{pre}$  を計算する。予測寿命  $t_{pre}$  が、要求されている寿命  $t_{req}$  以上の時間であれば、寿命に関しては要求されている信頼性が満たされていることになる。

製品に要求される信頼性が満たされない場合には、不具合の発生防止策を講じることが必要になる。具体的には、開発中の製品の仕様の変更や、製造工程の変更等を行うことになる。その際には、本節冒頭で述べた“(4) 不具合の発生防止策に関する知識”に基づき、不具合防止策から、故障の発生を要求される信頼性

に応じた頻度や環境下に限定できるものを，不具合防止策を実施した際のコストを考慮して選択する．製品開発における信頼性評価としては，防止策の選択と，その防止策により，要求される信頼性が満たされることの検証までが必要である．

## 2.9.2 本研究で扱う不具合情報の位置づけ

本研究では，2.8.2節で記述した通り，第3章から第5章において，不具合事例文書 [JST] から，情報抽出を行う実験を行った．

この不具合事例文書は，主にテキストにより表現されており，事例概要，事象，経過，原因，対処，対策，背景，物的被害，社会への影響等が記載されている [JST05]．つまり，2.9.1節における信頼性評価に必要な4種類の知識のうち，“(2) 不具合の発生に関する知識”，“(3) 不具合の影響に関する知識”，および“(4) 不具合の発生防止策に関する知識”について記載されている．“(1) 基礎的な自然科学的現象に関する知識”については，本研究で利用した不具合情報には含まれていない．対象不具合の分野の専門家でなくても理解できる程度の文章となっているが，必ずしも“金属疲労”や“フランジ”といった基本的な用語や現象について詳しい説明がされているとは限らない．

また，定性的知識と定量的知識のうち，主に定性的知識が記載されている．記載された不具合の説明に必要な範囲で，製品の平均寿命や故障率，利用環境の温度や圧力といった数値的な知識は記載されているものの，例えば，温度と寿命の関係を現すグラフや，記載されている構成部品の全てについての平均寿命や故障率といった数値的な知識が記録されているわけではない．

以上をまとめると，本研究で利用した不具合文書は，2.9.1節で述べた信頼性評価に必要となる情報のうち，以下の3種類の定性的知識を中心に記載したものである．

- (2) 不具合の発生 (原因) に関する知識
- (3) 不具合の影響に関する知識
- (4) 不具合の発生防止策に関する知識

### 2.9.3 本研究で利用した不具合情報により支援できる信頼性評価

本研究で不具合情報として利用した不具合事例文書により支援できる信頼性評価について以下に説明する。

製品の信頼性評価は、2.9.1節で述べたとおり、不具合に関する定性的知識により、当該製品の信頼性に影響を与える環境や現象を洗い出し、その影響の程度を定量的知識により予測および評価するという流れで行う。

2.3.1節で述べた製品開発における信頼性評価を行う上での課題は、当該製品の信頼性に影響を与える環境や現象を洗い出す作業での問題点であることから、主に不具合の定性的知識を適用する段階で生じた課題であるといえる。よって、この課題は、評価を行う技術者が、信頼性評価に十分な不具合の定性的知識を保有していない、もしくはそのような知識を活用できる状況でないと考えることができる。

本研究で利用した不具合事例文書には、上記で説明した3種類の不具合関連の定性的知識が含まれるので、本研究で提案した手法により開発中の製品に関する不具合情報を不具合事例文書から取り出すことができる。すなわち、不具合事例文書から信頼性評価に必要な定性的知識を取り出す作業の支援が可能になる。

一方、“(1) 基礎的な自然科学的現象に関する知識”が含まれないことから、2.9.2節で述べたとおり、“金属疲労”や“フランジ”といった信頼性評価を行う上で必要となる基本的な用語や現象を解説するような情報は、本研究で利用した不具合事例文書に含まれていない。これらの情報を提示するには、別の手法または情報源が必要となる。

また、定量的知識は本研究で利用した不具合事例文書に記載されていないことから、本研究の手法により、開発中の製品の信頼性に影響を与える可能性のある不具合に関する記載を正しく抽出することができたとしても、その不具合の原因が、開発中の製品の信頼性に、どの程度の影響を与えるかを数値的に予測することはできない。

例えば、「80度の高温環境で利用したため部品Aが破損した」という記述からは、高温での利用が原因となり、要求された寿命よりも短い時間で部品Aが故障したことが分かる。対策としては、利用時の部品Aの温度を下げること、高温でも破損しない材質に変更すること、等が候補となることが予想できる。しかし、“材質毎の利用可能な温度上限”のような定量的知識は利用した不具合事

例文書には記載されていないため，どの程度まで温度までは要求された寿命が確保できるのか，どの材質に変更するとどの程度の寿命が予測できるか，といった数値的な信頼性評価，つまり JIS 規格でいう信頼度予測 [JIS00] は，本研究で利用した不具合事例文書および本研究で提案した手法では行うことができない．また，2.9.2節で述べた“信頼性データベース”とは異なり，異なった製品についての不具合毎に一文書が作成されており，ここから，ある製品の不具合の発生件数の傾向を得ることはできない．このためには，別の手法または情報源が必要となる．

従って，開発中の製品の信頼性評価のために，本研究で利用した不具合情報から提案した手法を利用して当該製品に関する情報を有効に利用するためには，ユーザは，当該製品に発生しうる不具合について“(1) 基礎的な自然科学的現象に関する知識”を持っている，または，それらの知識にすぐにアクセスできる必要がある．また，本研究で提案した手法によって，不具合に関する定量的知識を提供することはできないため，ユーザは定量的知識についてもアクセスできる必要がある．



## 第 3 章

# 不具合事例文からの製品・部品を示す

## 語の抽出 語の実体性による分類

製品開発における不具合情報の活用のためには開発中の工業製品に関連する情報を抽出して提示する必要があるが、工業製品に関する不具合事例文等から製品やその部品に関する情報を抽出する情報抽出技術の研究はこれまで行われてこなかった。不具合情報の活用のために必要な技術として、第 3 章では、ある語が製品や部品を示す程度である実体性の判別に基づき、不具合事例文から製品やその部品を示す語を抽出する手法を提案する。実体性の有無の判別を行う 2 値分類を実施するため、実体性判別の対象となる語自身の特徴、統語的パターンの特徴ならびにシソーラスを利用する。また、判別性能を向上する方法として、判別の対象となる語と同一の語で別の位置に出現するものに対する判別結果に基づく多数決による判別を行う。SVM(Support Vector Machine) を利用した 2 値分類器により提案した手法の有効性を検証する実験を行ったところ、辞書項目との照合による判別手法と比べ、提案する手法の方が性能が高かった。また、多数決による判別により SVM のみによる判別よりも判別性能が向上した。

### 3.1 はじめに

製造業における製品開発においては、信頼性確保は常に重要な課題であるが、自動車のリコール [国土] に代表されるように、十分な信頼性が達成できている状況とは言えない。2.4 節および 2.5 節で述べたとおり、本研究では蓄積されている不具合事例や事故事例等の故障情報に着目し、これらの不具合事例等を効

率的に活用することで、信頼性の高い製品開発を支援する手法を検討している。製品開発に不具合事例等を活用するには、不具合事例等から開発中の製品に関連する情報を抽出して提示する必要がある [畑村 03]。このための一つの手法として、第 3 章では、不具合事例文から、不具合に關与する製品や部品の記述を特定・抽出する手法について提案する。

新聞記事や Web から製品情報を抽出する研究は従来より行われている [井出 96, 富田 98] が、工業製品に関する不具合事例文等から製品やその部品に関する情報を抽出する研究はこれまで行われてこなかった。本研究では、製品や部品は実体性を持つことに着目し、ある名詞 (複合名詞を含む) が抽出対象の製品や部品であるかどうかを実体性の有無により判別することを検討する。文書に現れる名詞が実体物を指し示すかどうかの判別のために、語の統語的パターンの特徴ならびにシソーラスによる意味的な特徴に基づき学習した 2 値分類器を用いる手法を提案し、実験により抽出性能を評価する。

## 3.2 背景とアプローチ

### 3.2.1 不具合事例文の記述内容と構成要素

不具合事例は、ある製品や部品等の実体物やそれらの実体物間の関係が、原因事象により変化する状況を表した文書である。実体物としては不具合の発生した実体物の他に、原因事象を引き起こした実体物や結果として影響を与えた実体物も含まれる。これらの各実体物について実体物単体および複数の実体物群に要求される機能や役割等の属性についての記述、原因となる事象によってこれらの機能や役割が失われる状況が記述される。不具合事例文は、これらを組み合わせて構成されている。このような不具合の原因や結果は、製品、部品に関する事態の記述である。不具合事例に纏わる事態の記述には「モノ (物体)」と「コト (事態)」を示す語が登場するので、開発中の製品に関する不具合事例を検索するには、このうちのモノを抽出した上で、それが検索したい製品と一致するかどうかを照合する必要がある。

図 8 において、本研究で抽出しようするのは不具合の原因事象の実体物を指し示す表現である「パイプ」ならびに原因事象の結果として不具合の生じた実体物を指し示す表現である「ボルト」である。一方で「揺れ」のような名詞は実体



合状態等を抽出する手法を提案しているが、不具合の生じた部品の抽出の適合率が20%程度であり、精度向上が必要であると報告している。

### 3.2.4 不具合事例からの製品や部品を示す語の抽出

本節では、不具合事例に纏わる事態に登場するモノに関する記述と、そのうち本研究で抽出しようとする記述について述べる。本研究において想定する電気製品や機械製品等の製品に関しては、不具合の起こった箇所や部品等は不具合事例に纏わる事態に登場するモノとして記述されると考えられる。一方、不具合事例においては、不具合の生じた製品や部品の他に、オペレータ(操作者)や、床面(設置箇所)、荷物(積荷)等も登場する。これらの語は不具合の原因や結果、影響に纏わるモノ(具体物)を示すが、製品や部品には該当しない。開発中の特定の製品についての事例を検索する上では、これらの情報は対象外となる可能性があることから、抽出しないことが望ましいものである。したがって不具合事例文において、不具合に纏わる事態に関連するモノの表現から、製品、部品を示す語のみを取り出すことが本研究の目的である。本研究では、抽出の手法として、後述する語の実体性に着目する。文脈の情報から語の実体性を判別する研究や、不具合事例に纏わる事態に登場するモノの抽出を語の実体性に基いて行う研究は我々の知る限り行われていない。

### 3.2.5 対象とする製品と実体物の定義

本研究では「抽象的な概念でなく実在するもので、工業製品やその部品として利用されうるモノ」を「製品や部品に関する実体物」と定義する。

これは、溝口らの定義による具体物[溝口 05]のうち、「存在に空間が必要なもの」に包含される概念である。また、ある語が製品または部品に関する実体物を示す文脈で利用されるときに、その語は実体性を持つと定義する。以降の記述では、語「実体物」を「製品または部品に関する実体物」の意味で用いる。また、「実体性」を「ある語が製品または部品を指し示している状態」の意味で用いる。以上の定義によれば、名詞のうち、製品や部品に関する実体性を持つもの、すなわち、製品や部品となり得る語をその特徴を利用して抽出することが本研究の目標である。考察を行う不具合情報の分野として、電気製品・機械製品を構成する製品・部品を対象とした。これらの分野の製品は、収集した不具合事例

文に多く含まれていることと、部品や部材を加工したり組み立てたりといった製造方法が共通しており、故障の状況の記述に一定の規則性が期待できるためである。化学製品等についての不具合事例は第3章では対象としない。これは、加工・組立により製造する電気・機械製品に対して、化学製品等は、原材料の化学反応が主な製造工程であることから、不具合の内容も異なることと、液体や気体等の製品の表現は、第3章で想定した実体物とは異なると考えられ、化学製品等を示す語の抽出には実体物の抽出とは異なる手法が適することが予想されるためである。

### 3.3 製品ならびに部品を指し示す表現の抽出手法

本節では、本研究におけるタスクを定義し、機械学習による実現方法について述べる。機械学習においては、実体性を持つ名詞の統語的パターンの特徴、シソーラスによる語の意味的特徴ならびにユニグラムを素性とし、サポートベクターマシンによる2値分類器を構成し、不具合事例文に現れる名詞が実体物を表すかどうかを判別する。以降では、判別対象となっている語を注目語と定義する。

#### 3.3.1 タスクの定義と実現方法

本研究における不具合事例文中の製品または部品を示す語の抽出に関するタスクを以下のように定義する。

- (1) 実体性を判別すべき注目語が、その出現する文および文中の出現位置情報と共に与えられる。
- (2) 与えられた語が実体性を持つ語であるか、持たない語であるかを判別する2値分類を行う。

本研究では、このタスクにおける2値分類を機械学習に基づいた手法により実現する。具体的には、判別対象の語が現れる文脈から素性を抽出してサポートベクターマシン(SVM)[高村10, Bis08, Bis07]により分類を実施する。次節以降で、抽出する素性等の実装について述べる。

### 3.3.2 事態性判別に関する素性の検討

名詞の実体性の判別は、名詞が属するクラスを判別する問題といえる。本研究に関連する語のクラス判別の研究として、小町らは名詞の事態性の判別を行っている [小町 10]。

2.7.2節で述べたとおり、事態性とは、名詞が事態を示す用法で使われている状態のことである。コト(事態)を指すかモノ(物体)を指すかという意味的な違いに対応する。本研究で抽出しようとする語は、不具合に纏わる事態に登場する製品や部品を表す語であり、モノを表す名詞であるので、事態性を持たない名詞である。従って、注目語の後ろのサ変名詞ならびに名詞接尾辞の有無といった、小町らの事態性判別のための素性を、事態性のある名詞を取り除くために利用することを検討する。

図8の例では「揺れ」と「原因」という2つの名詞のうち、「揺れ」は事態性判別のための素性により、事態であると判別され、その結果として実体性を持たないと判別されることを期待する。ただし、判別材料となる分類語彙表は分類語彙表の利用方法は小町らの小町ら [小町 10]の方法ではなく、3.3.6節の方法で利用する。この方法は、語の表す概念の階層的な情報を表現するための方法である。

### 3.3.3 係り先の動詞についての項構造の素性

事態性の無い名詞を取り出せたとしても以下に示す例のように取り出した語の全てに実体性があるとは限らない。そこで、実体性のある語に特徴的な統語パターンを素性として利用することを検討する。

事態性を持たず、かつ、実体性の無い名詞の例:

時間(「1時間」), 組織名(「A社」), 性質名(「剛性」, 「脆性」)

不具合事例は、製品や部品の構成要素間の関係や、不具合の原因や結果の状況等、不具合事例に纏わる事態におけるモノの関係を記述したものである。このうち、実体物を表す語は、これらの関係における格に対応した後置詞句の要素として現れると考え、以下を素性として抽出する。ただし、以下の2の動詞が「する」の場合はその前の語を抽出する。

- (1) 注目語を含む文節の格助詞

(2) 注目語を含む文節の係り先文節の動詞

(3) 上記の係り先文節を係り先に持つ別の文節の格助詞と，格助詞直前の名詞

### 3.3.4 係り先名詞に関する素性

3.3.3節の係り受けに関する素性は，注目語の係り先の動詞についての項構造の情報を抽出したものである．一方で，注目語の係り先が動詞でない場合として，注目語に連体化の助詞「の」が続く場合(例:「部品の減衰率」)等がある．このように係り先が名詞句である場合には，係り先名詞と，係り先名詞主要部の品詞(細分類を含む)を素性とする．本素性は，予備実験から，注目語の係り先が動詞でなく，項構造の素性が抽出できない場合に，判別性能向上が確認できたことから追加した．

### 3.3.5 隣接文節に関する素性

文において並列関係で表記されている語は，同じ性質を持つ語同士であることから，次の仮説を導入する．「いま注目している語と別の語の間に並列関係を表わす助詞が現れ，その別の語が実体物を表わすならば，いま注目している語も実体物である」この仮説に従い，前後の文節の助詞および助詞の前の名詞を素性として抽出する．この助詞には格助詞のみでなく他の助詞も含む．例えば部品間の接続状態や取り付け方法等を表現する文「ケースとパイプをねじで固定した．」において，「ケース」の実体性の判別に後続文節の「パイプ」と「を」という語を利用する．この素性は，係り受け関係は利用せず，注目している語の文節に対して，前後に隣接して出現する文節の情報を素性として利用する．小町ら[小町10]は「Aの」という注目語の前に出現する語Aと「の」が続く表現の情報を事態性判別の素性としているが，小町らが特定の助詞が出現する前の文節の素性に着目するのに対し，本研究では対象を前後の文節と，全ての種類の助詞に着目するため，小町らの手法を拡張したものに相当する．

### 3.3.6 分類語彙表に関する素性

語の意味的な特徴を利用するためシソーラスとして，分類語彙表[分類04]を利用する．分類語彙表で表現している概念階層については，本節で後述する．注

目している語が、分類語彙表の見出しに一致する場合、その見出しに対応する分類番号(5桁)を素性とする。また、語が複合語の場合には、複合語を構成する各語について同様に分類番号を素性とする。

分類番号は上位の桁ほど、より上位の概念に対応している。この関係を表現するため、1つの分類番号は、先頭から*i*桁分の数字列( $i = 1 \sim 5$ )を素性値とする5種類の素性に分割して表現する。

この方法は、概念の階層構造を素性として利用する研究[宮崎08, 松尾99]のうち、松尾らがEDR概念辞書に対して行った手法[松尾99]と同様の方法である。

語が複数の語彙を持つ場合、すなわち語が分類語彙表における複数の見出しに一致する場合には、本研究においては、それぞれの見出しに対応する分類番号を素性とする。例えば、ある語が分類番号10000および20000に対応する2つの見出しと一致した場合には、それぞれの分類番号を上記のとおり5種類の素性に分割して表現し、2つの分類番号を、1, 10, 100, 1000, 10000, 2, 20, 200, 2000, 20000という10種類の素性で表現する。

#### 分類語彙表について

本研究では、概念階層を表現する辞書として分類語彙表[分類04]を利用する。分類語彙表は、2004年に発行された概念階層および階層に属する語を表現したオントロジーである。ある語と同一の階層に属する語を得る使い方により、ソーラス(類義語辞書)としても利用することができる。収録総語数9万6千語、異なり語数は約8万語である。

分類語彙表は特に工業製品に特化して用語を収録したものではなく、広く日本語一般の用語を対象とした辞書である。2.6節で述べたように、広い種類の工業製品に関する用語辞書やオントロジーは公表されていないため、本研究においては工業製品に特化した辞書やオントロジーは利用できないという前提がある。そこで、概念の階層構造が比較的単純であり、素性へ反映する際に複雑な作業が不要であるため、概念階層を素性として用いた時の抽出性能の変化を評価しやすいこと、公表されている辞書のうち、情報抽出をはじめとする自然言語処理分野の研究での多く利用されていること、および3.3.2節で述べたとおり本研究では小町ら[小町10]の提案する事態性判別に関する素性を利用しており、小町らの事態性判別の研究においても利用されていることから、分類語彙表を利用した。

分類語彙表では、図9に示すように、4階層からなる概念階層と、その最下層



に位置づけられる語彙により構成されている。4階層の概念階層は、最も広い概念に対応する最上位階層から順に類，部門，中項目，分類項目と呼ぶ。分類項目には対応する分類番号が付与されている。分類番号は、先頭から3桁の各桁が、それぞれ類，部門，中項目の番号に対応し、下2桁が分類項目に対応する。語彙は分類項目の下位に位置し、語彙に対応した見出しにより表現される。図9においては、「記憶装置」，「配電盤」および「リモコン」が語彙を表す見出しである。同表記異義語は、見出しの文字列が同一で、上位の分類項目が異なる語彙として表現される。

分類語彙表のデータ構造は、図10に示すような表形式のデータである。ある語がどの分類項目に属するかを調べるためには、以下の手順で取り出した行における分類番号列の値が、当該語の分類番号となる。

- (1) 分類語彙表において「見出し」列が、当該語と一致する行を取り出す。
- (2) 取り出した行から、分類番号列の値を取り出す

図10の例では、「記憶装置」という語の分類番号は、14630であることと、類は体，部門は生産物，中項目は機械，分類項目は機械・装置であることが分かる。

分類語彙表においては、ある語が複数の意味を持つ場合がある。ボルトという語は、固定用のボルトという意味と、電圧の単位という意味を持ち、それぞれ分類語彙表における「ピン・ボタン・くいなど」という分類項目(分類番号14151)の行、および「助数接辞」という分類項目(分類番号11962)の行に現れている。

### 3.3.7 広域な特徴を利用した多数決

これまでの素性が同一文内の特徴を利用するのに対し、他の文を含めた文書集合内のより広域な特徴を利用する方法として、多数決による方法を提案する。

今回対象とする不具合事例文は、特定の製品や部品のある事象について記載したものであることから、同一の語であれば出現位置が異なるものであっても、実体性の有無が変わらないこと、すなわち実体性についての曖昧性は少ないことが予想される。そこで、局所的な文の統語的なパターンによる判別誤りを、他の出現箇所の判別結果で修正できることを期待する。判別対象となる注目語のみでなく、文書集合の他の箇所に出現する同一の語(多数決用の語)についても判別を行い、それらの判別結果の多数決で最終的な判別結果を決定する。多数決の方法

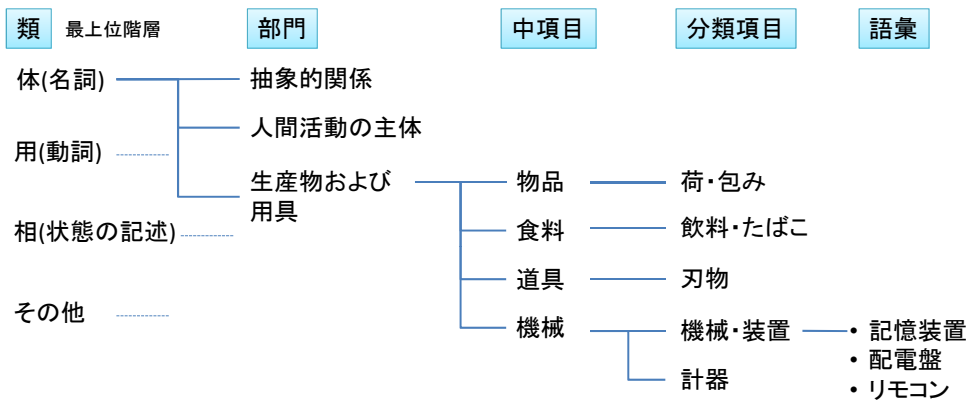


図 9: 分類語彙表 [分類 04] の階層構造 (抜粋)

レコードID 番号	レコード 種別	類	部門	中項目	分類項目	分類番号	見出し
056149	A	体	生産物	機械	機械・装置	14630	機械装置
056150	A	体	生産物	機械	機械・装置	14630	メカニズム
056151	A	体	生産物	機械	機械・装置	14630	メカ
056152	A	体	生産物	機械	機械・装置	14630	記憶装置
056153	A	体	生産物	機械	機械・装置	14630	メモリー
056154	A	体	生産物	機械	機械・装置	14630	ブラックボックス

図 10: 分類語彙表 [分類 04] のデータ構造 (抜粋)

としては，多数決用の語について以下を計算し (1) の投票結果と (2) の判別結果が一致する場合には，その結果を最終的な判別結果とし，一致しない場合には，多数決用の語の判別結果は利用せずに，個別の語についての判別結果に従う．

(1) の投票数が同数の場合には，(2) の結果を採用する．

- (1) 多数決用の語ごとに判別結果に応じて正例または負例へ投票する
- (2) 多数決用の語のうち，分離超平面からの距離が最大のものの判別結果を計算する

この提案手法は (1) と (2) の判別結果が一致する場合に多数決による結果を採用する．それに対して，(1) の投票総数の多いものを最終的な判別結果とし，(2) を投票総数が同値の場合のみタイプブレイクに利用する方法と，提案手法との性能を比較する予備実験を行ったところ，提案手法の方がよりよい性能を示した．このことから，提案手法を採用した．

## 3.4 実験

### 3.4.1 実験設定

実験に利用したシステム

提案手法に基づく実体性の判別には  $SVM^{light}$  [Joa09] を用いた実体性判別システムを構築し，3.3.2節から 3.3.6節の素性を利用して各文脈における各語の実体性の有無を学習した．実験における実体性判別システムの入力および出力，ならびに主な処理の流れを図 3.4.1 に示す． $SVM^{light}$  は線形カーネルもしくは二次の多項式カーネルを用いた．学習時の判別の正しさとマージンの大きさの間のトレードオフについてのパラメータ  $C$  は，予備実験より 1.0 とした．その他のパラメータはデフォルト値とした．

システムへの入力である，訓練事例ならびに評価事例は WWW 等で公開されている不具合事例文 [JST] のうち，3.2.5節に示した実体性のある 500 語と，実体性のない 500 語との計 1000 語ならびに語の出現する文 (1 文あたり平均 63.7 語) である．このうち正例および負例の異なり数は正例 329 語，負例 371 語である．本研究で抽出しようとしている製品や部品を示す語は正例，それ以外の語は負例とした．システムへの入力は，実体性を判断しようとする語および当該語の

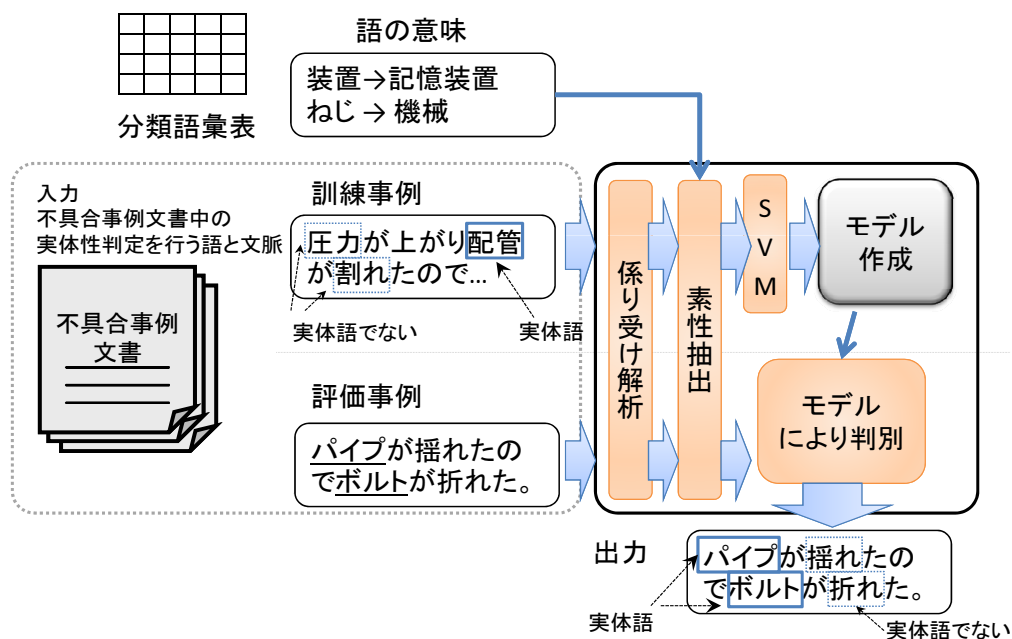


図 11: 実体性判別システムの入出力および処理の流れ

出現する文と、文中の実体語の出現位置である。出力は、実体性を判断しようとする語についての、実体性の判断結果である。

主な処理の流れは、訓練事例の語および文を入力し、文の係り受け解析を実施して、素性の抽出を行い、SVM に基づくモデルを学習する。その後、評価事例の語および文を入力し、同様に係り受け解析と素性抽出を行い、訓練事例により作成したモデルにより、評価事例の語の実体性を有無を計算し、結果を出力する。係り受け解析には CaboCha 0.53[工藤 02] を利用した。形態素解析結果で、品詞が名詞および未知語である語が連続したものは 1 語の複合語として実体性の判別を行った。3.3.6 節で述べた分類語彙表に関する素性を抽出するため、素性抽出においては、分類語彙表の情報を利用する。

#### 実験の条件

上記の 1000 語について、以下に示す条件で、10 分割交差検定を実施した。交差検定の各検定においては、評価事例を 100 語、訓練事例を 900 語とし、それぞれ正例と負例を半数ずつとした。評価事例と同一の語が訓練事例に含まれた場合は、訓練事例から当該語を除いた上で、評価を行った。

- (1) 辞書との照合による判定 (ベースライン)
- (2) 提案手法 . ただし , 事態性判別に関する素性を除く
- (3) 提案手法 . ただし , 動詞と項構造に関する素性を除く
- (4) 提案手法 . ただし , 隣接文節に関する素性を除く
- (5) 提案手法 . ただし , 係り先名詞に関する素性を除く
- (6) 提案手法 . ただし , 分類語彙表に関する素性を除く
- (7) 提案手法 . ただし , 主要部に関する素性を除く
- (8) 提案手法 (すべての素性を使用)
- (9) (8) + 注目語特徴による修正

実体性判別の実験に用いた素性を表 1 に示す .

(1) は辞書による判別の性能評価のため SVM を用いず , 分類語彙表のうち製品または部品を表す語と考えられる , 部門が生産物である 8 中分類のうち , 食品でない 7 中分類に属する語 (合計 7726 語 , 異なり数 7228 語) と注目語が一致したときに実体物であると判別し , 他の場合には実体物でないと判別した . (2) から (8) の SVM による判別では 3.3.2 節から 3.3.6 節の素性に加え , 注目語の前後 1 文節の形態素ユニグラムと , 注目語の主要部の表層表現に関する素性を利用した . (2) は , 注目語の文節と前後 1 文節の範囲の形態素ユニグラムと 3.3.6 節の分類語彙表に関する素性を利用した . (7) は注目語の主要部の表層表現に関する素性のみ利用しなかった . (8) は , 3.3.2 節から 3.3.6 節の素性を利用した . (2) から (6) は , それぞれ 3.3.2 節から 3.3.6 節に対応する素性を一つずつ (8) から除いたものである . (9) は提案手法により実体物であると判別された語のうち , 品詞細分類が「固有名詞 (国名)」のものや , 数字のみのもの等の明らかに実体物でないと判別できるものについて , 実体物でないと修正した結果である . また , 多数決における訓練事例および条件は上記 (8) の提案したすべての素性を利用する条件と同一とし , 語単独についてと同様の交差検定を行った . 多数決においては , 評価事例に含まれる語を多数決用の語として語の含まれる文とともに不具合事例文から取り出して多数決を行った . 1000 語のうち , 多数決用の語が得られたものは 861 語 (異なり数 570 語) であり , 一語あたりの平均の多数決用の語の数は約 133 語だった .

表 1: 実体性判別に利用した素性一覧

<p>形態素ユニグラム</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ユニグラムが出現すれば 1 とする</li> </ul>
<p>事態性判別に関する素性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 分類語彙表の素性を除き，小町ら [小町 10] の方法による</li> </ul>
<p>分類語彙表に関する素性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注目語の分類番号</li> <li>・ 複合語を構成する語の分類番号</li> </ul>
<p>係り先の動詞についての項構造に関する素性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 係り先動詞</li> <li>・ 注目語がとる格助詞</li> <li>・ 係り先動詞がとる格助詞 (品詞別)</li> </ul>
<p>係り先名詞に関する素性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 係り先名詞</li> <li>・ 係り先名詞主要部の品詞</li> </ul>
<p>隣接文節に関する素性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 前文節の助詞と，その前の名詞</li> <li>・ 後文節の助詞と，その前の名詞</li> </ul>
<p>注目語の主要部に関する素性</p>

### 3.4.2 実験結果

実験結果として得られた再現率と精度，F 値について，利用したカーネルが二次多項式カーネルの場合を表 2 に，線形カーネルの場合を表 3 にそれぞれ示す．なお，表 2 および表 3 における“(1) の辞書との照合による判定”の結果は，一つの実験結果を両方の表に掲載したものである．

太字は再現率と精度，F 値それぞれの列において SVM を利用した (2) ~ (9) の中で最良の性能を示す数値であり，下線は各列の (2) ~ (8) の中で最良の性能を示す数値である．表 2 (多項式カーネルの結果) および表 3 (線形カーネルの結果) の両方で，精度については“(1) 辞書との照合による判定”が最大であり，他のどの条件よりも最良の性能を示した．SVM を利用した条件 (2) 以降については，多項式カーネルと線形カーネルの両方で精度，F 値はともに条件 (9) が最良の性能であった．

ベースラインである“(1) 辞書との照合による判定”との比較では，多項式カーネルと線形カーネルの両方の結果において，SVM を利用した際には，条件 (6) では再現率が 30 ポイント向上するとともに，F 値が 20 ポイント以上向上した．条件 (6) を除く条件 (2) から (9) ではベースラインと比べ，再現率が 40 ポイント以上向上するとともに，F 値は 30 ポイント以上向上した．精度については多項式カーネルの条件 (9) で最も性能がよいが (1) を 4.7 ポイント下回る結果となった．

多数決による判別を行った結果について，二次多項式カーネルと線形カーネルを利用した場合の判別性能をそれぞれ表 4 と表 5 に示す．多数決による判別を行っていない条件である表 2 および表 3 の (8), (9) と比べ，それぞれ表 4 および表 5 の (a), (b) は，0.8 ポイントから 1.6 ポイント F 値が向上した．

多項式カーネルでは，表 2 (9) と表 4 の (a) の F 値の差は 0.5 ポイントであり，注目語特徴による修正と，他の文にわたる広域な情報による判別では，同程度の性能向上が得られることが分かった．

表 2: 提案手法による実体性判別の性能 (二次多項式カーネル)

利用した素性		精度	再現率	F 値	
(1)	辞書との照合による判定	89.9%	30.2%	45.2%	
(2)	事態性判別の素性を除く	83.6%	82.6%	82.8%	
(3)	動詞と格を除く	82.8%	<b>83.4%</b>	82.9%	
(4)	隣接文節の素性を除く	83.3%	83.2%	83.1%	
(5)	SVM 利用	係り先名詞を除く	84.7%	82.8%	<u>83.5%</u>
(6)		分類語彙表の素性を除く	68.2%	68.6%	68.2%
(7)		主要部の素性を除く	83.0%	82.2%	82.4%
(8)		提案したすべての素性を使用	84.0%	83.0%	83.3%
(9)		(9) + 注目語特徴による修正	<b>85.2%</b>	83.0%	<b>83.9%</b>

表 3: 提案手法による実体性判別の性能 (線形カーネル)

利用した素性		精度	再現率	F 値	
(1)	辞書との照合による判定	89.9%	30.2%	45.2%	
(2)	事態性判別の素性を除く	<u>83.8%</u>	81.4%	82.4%	
(3)	動詞と格を除く	83.6%	81.8%	82.5%	
(4)	隣接文節の素性を除く	83.2%	<b>82.0%</b>	82.4%	
(5)	SVM 利用	係り先名詞を除く	83.4%	81.0%	82.0%
(6)		分類語彙表の素性を除く	72.6%	67.0%	69.2%
(7)		主要部の素性を除く	81.9%	80.6%	81.1%
(8)		提案したすべての素性を使用	83.5%	82.0%	<u>82.6%</u>
(9)		(9) + 注目語特徴による修正	<b>85.6%</b>	82.0%	<b>83.6%</b>

表 4: 多数決による判別性能 (二次多項式カーネル)

条件	精度	再現率	F 値
(a) 多数決による判定	85.4%	84.0%	84.4%
(b) (a) + 注目語特徴による修正	86.0%	84.0%	84.7%



表 5: 多数決による判別性能 (線形カーネル)

条件	精度	再現率	F 値
(a) 多数決による判定	85.8%	83.0%	84.2%
(b) (a) + 注目語特徴による修正	87.1%	83.0%	84.8%

## 3.5 考察

### 3.5.1 辞書項目の有無による判定性能への影響

今回の実体性のある語の抽出における、既存辞書である分類語彙表との照合による判定での性能について検証する。3.4.2節の結果では、辞書との照合による判定は高い精度が得られるものの、再現率が 30.2% と非常に低い。また、実験に用いた 1000 事例のうち、語が辞書に含まれる割合は 44% である。このことから、辞書に含まれていない語について、実際には実体性があるが負例と判別しているものが多いと予想される。また、辞書に関する素性が利用できない場合、すなわち、注目語および注目語が複合語の場合には各構成語がともに辞書項目に含まれない語の判別精度について検証する。実験に用いた 1000 語のうち、この条件に該当する語 (合計 120 語, 異なり数 70 語) について、多項式カーネルで 3.4.2節の (8) の条件での判別結果を調査したところ、精度 59.6%, 再現率 82.4%, F 値 69.1% であった。辞書の情報を利用できない語については、再現率は 80% を超えたが、精度は 60% 程度にとどまった。原因としては、提案した手法で利用した素性のうち辞書に関するものを除いた素性は、辞書による再現率低下を補うような特徴が中心となっているため、辞書項目が存在しない場合には十分な精度が得られないことが考えられる。

### 3.5.2 名詞の係り先に関する素性について

名詞の係り先に関する素性は、3.3.4節の通り注目語に連体化の助詞「の」が続き、係り先が名詞である場合の情報を抽出することを期待して追加したものである。係り先名詞に関する素性の有無による性能を比べるため、3.4.2節で述べた実験結果である表 2 および表 3 において (5) と (8) の条件を比較した。表 3 の線形カーネルでは本素性により、F 値は 0.6 ポイント向上した。表 2 の多項式カー

ネルでは 0.2 ポイントと僅かであるが本素性を使わない方が性能がよかった。実体性の無い語を正例に誤判別した数のうち、注目語に「の」が続き、係り先が名詞であるものの数は、多項式カーネルにおいては (5) と (8) ではほとんど変化がなく、本素性の効果は認められない。この原因としては、多項式カーネルは判別にあたり素性の 2 つの組み合わせを考慮するため、他の素性で本素性に相当する情報が取得されており、対象とした 1000 語では、本素性で新たに取得できた情報が少ないことが原因と思われる。

### 3.5.3 判別に有効な素性について

実体性有無の判別にあたり、どの素性が有効かを調査した。素性の影響は SVM 学習の結果を表す式 (3-1) から導出した式 (3-3) の係数から得ることができる [鈴木 06, 平尾 03]。導出の過程は後述する。

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) + b \quad (3-1)$$

$$\text{ただし, } K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}) = (\mathbf{x}_i \cdot \mathbf{x} + 1)^2 \quad (3-2)$$

$$f(\mathbf{x}) = A + \sum_{i=1}^n B_j x_i + \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n C_{jk} x_j x_k \quad (3-3)$$

$$\text{ただし, } A = b + \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i \quad (3-4)$$

$$B_j = 3 \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i x_{ij} \quad (3-5)$$

$$C_{jk} = 2 \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i x_{ij} x_{ik} \quad (3-6)$$

ここで、 $\mathbf{x}$  は評価事例であり、評価事例  $\mathbf{x}$  の特徴ベクトルの要素が  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  である。訓練事例として  $m$  個の事例  $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_m$  を考える。訓練事例

$x_i$  の特徴ベクトルは  $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$  である．各訓練事例に対応して正例または負例を表すクラスラベルが  $y_1, y_2, \dots, y_m \in \{+1, -1\}$  である． $\alpha_i$  と  $b$  は SVM の学習の結果として得られ， $\alpha_i$  は Lagrange 乗数の最適解であり， $\alpha_i$  と  $b$  は  $f(x)=0$  なる分離超平面を表すパラメータである． $K(x_i, x)$  はカーネル関数であり，本論文では線形カーネルと二次多項式カーネルを用いているが，ここでは二次多項式カーネルの場合について調査した．

式 (3-1) は SVM の学習結果であるので，与えられた評価事例  $x$  について  $f(x)$  の計算結果の符号から  $x$  が正例か負例かを判別できる．式 (3-3) は，式 (3-1) の内積を展開し，第 3 章における実験では特徴ベクトルの各次元のとり値が 0 または 1 であることを考慮すると導出できる．式 (3-3) では，係数  $A$  は SVM の学習の結果として得られた  $\alpha_i$  と  $b$  ならびに訓練事例のクラスラベル  $y_i$  から求まる数値であり，係数  $B_j, C_{jk}$  はともに  $\alpha_i$  と  $y_i$  ならびに訓練事例  $x_i$  の特徴ベクトルの要素  $x_{ij}$  から求まることが分かる．

この式 (3-3) によれば，係数  $B_j$  は評価事例  $x$  における素性  $x_j$  が成立するときの判別に対する寄与の度合い，係数  $C_{jk}$  は 2 つの素性  $x_j$  と  $x_k$  が同時に成立するときの寄与度と考えられる．よって，これらの係数の絶対値が大きいほど，判別に有効であり，係数の値が正の時は実体性有りの判別に，負の時は実体性無し判別に有効であることが分かる．なお，判別に対する係数  $A$  の寄与の度合いは，評価事例  $x$  においてどの素性が成立するかには依存しないため，以降で述べる有効な素性の調査には利用しない．

10 分割交差検定の各交差検定において，評価事例中の正しく判別された語ごとに，特徴ベクトルにおける素性に対応した各次元のとり値が 1 の素性および値が 1 の二素性の組から，式 (3-3) における対応する係数の絶対値の大きな順に 20 個を取り出した．これを 10 分割交差検定の各交差検定について行った結果から，多項式カーネルの条件 (8) の場合について，係数の正と負のものに分けて，それぞれ出現回数の多い順に 20 位までを表 6 および表 7 に示した．同一の素性であっても交差検定の訓練事例集合が異なる場合には係数の値が異なるため，各学習において相対的に絶対値の大きなものを取り出すために，係数の絶対値の大きな素性に限定して頻度の大きなものを取り出した．表 6 および表 7 の種別欄では，B と C がそれぞれ単一素性の係数と二素性の組の係数を表し，数値が単一素性または二素性の組の頻度を表している．

一つの素性を示す種別 B よりも，二素性の組を示す種別 C の方が多く出現し

ている。このことから、表2、表3 および表4、表5 において多項式カーネルの方が高い性能を示した理由として、二つの素性の組み合わせが有効に働いたためと考えられる。また、表中の「(なし)」は抽出しようとしたパターンに一致する語等が評価事例に存在しなかったことを示す。

正例については、係り先の動詞が存在せず、後続文節の助詞の前に名詞がなく、「の」と名詞が続くパターンで複合語の一部が分類語彙表の生産物および用具(例: 機械, ファン, コンプレッサー)を示すカテゴリ(上位2桁が14)に一致するパターンが正例の抽出に有効であることが分かる。このパターンに一致した例としては、ローディングブロック, スナップリング, 旋回輪, 減速機等がある。表6の太字が該当する素性である。なお、「上位2桁14」のカテゴリは、3.4.1節の辞書による判定でも利用した製品または部品を示すカテゴリが含まれている。また、3.5.2節の注目語に「の」と名詞が続く例もこのパターンに一致する。

負例の判定に有効な素性としては、分類語彙表の「抽象的關係」(例: 軸, 支点, 構造)を示すカテゴリ(上2桁が11)と、「人間活動 - 精神および行為」(例: ワーク, 配管, 操作)を示すカテゴリ(上2桁が13)に一致することと、係り先の動詞と名詞がないパターンが有効であることが分かる。表7の太字がこれらに該当する素性である。係り先がない語の例は、サ変名詞の他に体言止めの文末の語、「である」や「になる」が後に続く「こと」や「ため」といった名詞である。

#### 3.5.4 判別結果の例と多数決の効果

実体性の判別例と多数決の有効な語の例を表8および表9に示す。表8および表9のうちで、多数決を行わない場合の実体語の判別例を表10に、多数決を行った時の結果を表11にそれぞれ示す。表11は、多数決の前後で判断結果が変わった語である。

表8は、実体性のある語(実体語)についての例であり、表9は、実体性のない語についての例である。下線は未知語と形態素解析された語(主辞)である。多数決なしの例について、「リフマグ」や「スペック」等の未知語とされた専門用語であっても正しく判別されていることが分かる。一方、判別を誤った例として、「信号」は、製品(信号機)と合図の2つの意味を持ち、文脈では合図の意味で用いられた。「電源」は、製品(電源装置)とエネルギーの意味がある。提

表 6: 実体性の判別に有効な素性 (正例について上位 20 個)

種別	頻度	素性	
C	305	複合語 分類番号上位 1 桁: 1	複合語 分類番号上位 2 桁: 14
B	305	複合語 分類番号上位 2 桁: 14	
C	169	形態素: の	複合語 分類番号上位 2 桁:14
C	164	前隣接文節の名詞:(なし)	複合語 分類番号上位 2 桁:14
B	154	形態素: の	
C	151	分類番号上位 2 桁:14	複合語 分類番号上位 2 桁:14
C	151	分類番号上位 2 桁:14	複合語 分類番号上位 1 桁: 1
C	151	分類番号上位 1 桁: 1	複合語 分類番号上位 2 桁:14
C	151	分類番号上位 1 桁: 1	分類番号上位 2 桁:14
B	151	分類番号上位 2 桁:14	
C	142	後隣接文節の名詞:(なし)	複合語 分類番号上位 2 桁:14
C	138	形態素: の	係り先動詞:(なし)
B	134	複合語 分類番号上位 1 桁: 141	
C	132	複合語 分類番号上位 2 桁:14	複合語 分類番号上位 1 桁: 141
C	129	複合語 分類番号上位 1 桁: 1	複合語 分類番号上位 1 桁: 141
C	126	係り先動詞:(なし)	複合語 分類番号上位 2 桁:14
C	119	前隣接文節の助詞:(なし)	前隣接文節の名詞:(なし)
C	115	複合語 分類番号上位 1 桁: 11	複合語 分類番号上位 2 桁:14
C	104	前隣接文節の助詞:(なし)	複合語 分類番号上位 2 桁:14
B	104	後ろに助詞とサ変名詞がある	

表 7: 実体性の判別に有効な素性 (負例について上位 20 個)

種別	頻度	素性	
B	386	複合語 分類番号上位 1 桁: 1	
C	279	分類番号上位 1 桁: 1	複合語 分類番号上位 1 桁: 1
B	279	分類番号上位 1 桁: 1	
C	255	複合語 分類番号上位 1 桁: 1	複合語 分類番号上位 1 桁: 11
B	254	複合語 分類番号上位 1 桁: 11	
C	182	複合語 分類番号上位 1 桁: 1	複合語 分類番号上位 1 桁: 13
B	182	複合語 分類番号上位 1 桁: 13	
C	178	形態素: の	複合語 分類番号上位 1 桁: 1
C	157	係り先名詞:(なし)	複合語 分類番号上位 1 桁: 1
C	157	係り先名詞品詞:(なし)	複合語 分類番号上位 1 桁: 1
C	156	分類番号上位 1 桁: 1	複合語 分類番号上位 1 桁: 11
C	148	分類番号上位 1 桁: 11	複合語 分類番号上位 1 桁: 11
C	148	分類番号上位 1 桁: 11	複合語 分類番号上位 1 桁: 1
C	145	分類番号上位 1 桁: 1	分類番号上位 1 桁: 11
B	141	分類番号上位 1 桁: 11	
B	126	注目語格:(なし)	
C	116	形態素: の	複合語 分類番号上位 1 桁: 11
C	112	後隣接文節の名詞:(なし)	複合語 分類番号上位 1 桁: 13
C	112	ユニグラム:、	複合語 分類番号上位 1 桁: 1
B	105	係り先動詞:(なし)	

表 8: 実体性の判別例と多数決の有効な語の例 (実体性のある語)

多数決	判別結果	実体性のある語
多数決なし	正例と判別	<u>リフマグ</u> , <u>ジブ</u> , <u>ウィープホール</u>
	負例と判別	危険性物質, 電源, 信号
多数決あり	正例と判別	<u>バルジ</u> , フランジ, 軸受け
	負例と判別	機体, 車体, 主配管

表 9: 実体性の判別例と多数決の有効な語の例 (実体性のない語)

多数決	判別結果	実体性のない語
多数決なし	正例と判別	人々, 障害物, 積荷, 食料
	負例と判別	過剰 <u>スペック</u> , オペレータ自身, 工事管理者
多数決あり	正例と判別	ため, こと
	負例と判別	飛行状態, 熱膨張, ため

案手法では、実体性に関する曖昧性を考慮していないために、誤りが発生したと考えられる。曖昧性のない「人々」や「食料」等の語は、実体性のある語と判別された。これは、今回提案した素性の範囲では他の実体性のある語と同様のパターンで利用されているためであり、新たな素性を含めた別の判別手法が必要である。特に「人々」「障害物」「積荷」のような、不具合事例に纏わる「モノ」を示す語であるが、製品や部品を示さない語を取り除く方法は今後の課題である。

表 8 および表 9 において、多数決の結果を「多数決あり」の欄に示す。それらの語をまとめたものが表 11 である。これらの語は、多数決の前後で判別結果が変わった語である。誤った判別に変化した語 (合計 13 語) がある反面、正しい判別に変化した語 (合計 25 語) の方が多く、全体として性能が向上していることが分かる。多数決の手法は、時間のかかる人手での正解作成の作業量が多数決なしの場合と変わらず、かつ、性能向上の効果が得られることから、実用上でも有効な手法といえる。

誤った判別に変化した語については、正しい判別に変化したものと比べ、多数決用の語が少なく、正例、負例への投票数の差も小さいという特徴があった。多数決により正例に判別された語のうち、投票数の差が 10 以下のものを調査したところ、正しく判別した語 (実体性のある語) で該当する語は 4 割以下であるのに対して、誤った判別した語 (実体性のない語) では 6 割程度が該当した。

上記の誤った判別をした語に含む「ため」「こと」は、正例、負例の投票数がそれぞれ 300 以上であるが、誤った判別となっている。一方、別の評価事例の「ため」は、正しく「実体性なし」と判別できている。また、「ため」は貯蔵する機能を持つ製品や部品を示す語として、分類語彙表のうち、多くの製品や部品を示す語が属するカテゴリ「生産物および用具」(上 2 桁が 14) に属する。このカテ

表 10: 実体性の判別例 (多数決なし)

実体性の有無	判別結果	語の例
実体性あり	正例と判別	<u>リフマグ</u> , <u>ジブ</u> , <u>ウィープホール</u>
	負例と判別	危険性物質, 電源, 信号
実体性なし	正例と判別	人々, 障害物, 積荷, 食料
	負例と判別	過剰 <u>スペック</u> , オペレータ自身, 工事管理者

表 11: 実体性の判別例 (多数決あり)

語の実体性	判別結果	語の例
実体性あり	正例と判別	<u>バルジ</u> , <u>フランジ</u> , 軸受け
	負例と判別	機体, 車体, 主配管
実体性なし	正例と判別	ため, こと
	負例と判別	飛行状態, 熱膨張, ため

ゴリに関する素性は表 4 に示すとおり係数が大きいために、「ため」が誤って実体性があると判別されていると考えられる。

「こと」のような一般的な語では、数が限定されることから、提案手法によらず、語の表層や品詞の情報等により、明らかに実体性のない語として 3.4.1 節の (9) と同様に取り除く方が望ましいと考える。また、「ため」は本節で述べたとおり、提案手法が実体性に関する曖昧性を考慮していないことが一つの原因となっているので、曖昧性を考慮することで解決できる可能性がある。なお、1000 語の中では、多数決前の時点で、「こと」は 13 語中 2 語が、「ため」は 6 語中 5 語が正しく判別された。「こと」は 13 語全てで表 4 の正例の判別に有効な「前隣接文節の名詞と助詞が存在しない」というパターンに一致するため、誤判定しやすくなっている。従って、提案手法で考慮していない語前方の動詞の情報により性能向上の可能性があることが予想できる。



### 3.5.5 実体性のある語の抽出により予想できる効果

開発する製品の信頼性向上のために不具合事例を利用する際には、不具合の原因を調べるため記載された因果関係を中心に参照することが予想される。製品の不具合の因果関係の分析 [來村 99] や因果関係の記述を抽出する研究 [乾 04, 坂地 11] はこれまでも行われており、因果関係を構成する原因、結果を精度よく抽出する手法が報告されている。乾ら [乾 04] は、「ため」を含む文を対象に cause 関係等、因果知識の分類、抽出を行っている。不具合事例文の因果関係抽出にもこれらの手法が有効と考えられる。

これらの成果を不具合事例文に適用して抽出した因果関係から、本研究の提案手法により実体性のある語を抽出することで、製品や部品について発生した不具合の因果関係の抽出が可能となる。

## 3.6 第3章のまとめ

不具合事例文からの製品や部品の抽出のために、実体性の判別に基づく手法を提案し、実験により係り受けや隣接文節の情報を用いて性能向上ができることを確認した。

実体性の判別結果としては、表 8 および表 9 より、辞書には出現しない語として、リフマグ、ジブ、およびウィーブホールは、正しく実体語として抽出された。

今後の課題としては、より性能向上のために適した素性の検討や、不具合事例に纏わる「モノ」を示すが、製品や部品ではない語を取り除く方法等が考えられる。性能向上のための素性の候補については、固有表現抽出においては、解析の対象語と同じ語が同一文内に出現している場合、同じ語に対する解析結果を考慮することにより、固有表現抽出の精度が向上する報告があることから、[笹野 08]、本研究の実体語の判別においても、同一文内の判別対象の語と同じ語の判別結果を考慮することで、精度が向上する可能性があると考えている。

## 第 4 章

# 製品の構成部品の抽出技術

第 4 章では，信頼性評価における評価対象製品（以下では対象製品という）の構成部品の情報を獲得するための手法について提案し，実験を通して有効性を検証する．提案手法は，汎用的なブートストラッピング手法である *Espresso* に対して，対象製品の構成部品の情報を獲得するための改良を行ったものである．

### 4.1 背景とアプローチ

2.4 節および 2.5 節で述べたとおり，本研究では蓄積されている不具合事例や事故事例等の故障情報に着目し，これらの不具合事例等を効率的に活用することで，信頼性の高い製品開発を支援する手法を検討している．2.5 節で述べた考え方に従い，製品，部品について発生した不具合内容を記述した不具合事例文書から，評価対象製品と同種の製品の不具合事例等を検索するには，評価対象製品の構成部品を表す語句を得て，これを不具合事例文書に含まれる語句と，照合する必要がある．つまり，対象製品と全体 - 部分関係にある語句を不具合事例文書に見つけ出すことが必要になる．これは例えば，PC と同種の製品に発生した不具合事例を検索するために，PC に内蔵される HDD やメモリについての不具合事例を参考にする場合に相当する．2.5.1 節における「直管型 LED 蛍光灯」の例では，LED 素子，ソケット，電源，口金等についての不具合事例を参考にする場合に相当する．

第 4 章では，信頼性評価の対象製品の構成部品についての不具合事例の検索のために，信頼性評価の対象製品およびその構成部品を表す語のペア，および WWW 文書を入力とし，WWW 文書内に出現する評価対象製品の部品を表す単語を自

動的に獲得する手法を提案する。

本手法は，WWW 文書から評価対象製品の部品情報を獲得することを目的として，ブートストラッピングにより関係獲得を行う汎用的な *Espresso* アルゴリズム [PP06] に改良を加えたものである．開発工程における作業の効率化を目的としていることから，単語の獲得にあたり，作成コストの大きな辞書を用意することなく，人手をできるだけかけずに単語を獲得するため，ブートストラッピング手法の利用を検討した．

## 4.2 関連研究

本研究では，評価対象製品を構成する部品を表す単語の獲得を目指しており，その本質は製品と全体 - 部分関係にある単語を順位づけし獲得することにある．全体・部分に対応する単語対が獲得対象となるので，これをインスタンスと呼ぶ．新たなインスタンスの獲得のために，ブートストラッピング手法を用いた研究について述べる．これらは，少量のシードインスタンスから，新たなインスタンスを得るためのパターンの抽出と，新たなインスタンス獲得を反復的に行うものである．

### 4.2.1 ブートストラッピング手法による関係獲得に関する研究

ブートストラッピング手法は，自然言語処理において，語義曖昧性解消，固有表現抽出および関係抽出等，様々なタスクに利用されてきた．本研究で提案する手法は，ブートストラッピング手法を関係抽出に応用したものである．

全体 - 部分関係の獲得では，人体部位同士の関係にある単語対をインスタンスとして獲得する研究 [荒牧 06] がある．この研究では，複数のパターンの間の関係を利用し，ブートストラッピングの反復によるノイズ発生を防いでいる．

ブートストラッピング手法では反復の際にいったん多数のインスタンスと共起するが獲得すべきでないインスタンスとも共起するパターン (ジェネリックパターン) を獲得すると，それ以降獲得するインスタンスはシードとの関連性の低いものに移り変わってしまう“意味ドリフト”という問題がある [小町 08a, 小町 08b]．

知識獲得のためにパターンの獲得を行う研究では，精度が低いパターンをフィルタリングして獲得を防止しており [PRH04, RH02]，このようなフィルタリングの対象となるパターンはジェネリックパターンに該当するものといえる．

ブートストラッピングを行う研究 [小町 08a, PP06] においても, ジェネリックなパターンおよびインスタンスの影響を防ぐために, それらをフィルタリングする手法が提案されている。ジェネリックなインスタンスは, 多数のパターンと共に共起するが獲得すべきでないパターンとも共起するインスタンスである。 *Espresso*[PP06] は, 汎用的な関係獲得のアルゴリズムであり, 一つの特徴としてパターンとインスタンスを抽出するための得点計算において, 性能向上のためにジェネリックパターンまたはジェネリックインスタンスを考慮した計算方法を提案している点がある。 *Espresso* アルゴリズムの詳細は, 4.3.1節に述べる。あるカテゴリに属する単語をインスタンスとし, シードと検索クエリログから, インスタンスと検索クエリのパターンを獲得する研究 [小町 08a] では, ジェネリックパターンの獲得を防ぐため共起インスタンス数に基づいてパターンがジェネリックパターンであるかどうか判断を行っている。

WWW 文書を対象として獲得した HTML パターンにより共通の上位概念を持つ語彙を獲得する研究 [水口 07] では, パターンに一致して抽出された単語のうち出現ページ数が一定以上のものを獲得することで, 誤った単語の獲得を防いでいる

#### 4.2.2 本研究の位置づけ

本研究では, 工業製品とその構成部品において成立する全体 - 部分関係を対象としており, 不具合事例文書に現れる部品を表す語句を同定する。その際に検索対象となる不具合事例文書とは別に, 大規模な文書集合として WWW 上の文書を利用する。これは, 不具合事例文書は特定の製品, 部品について発生した不具合を記述したものであり, それ以外の製品, 部品についての全体 - 部分関係が記述されないことが多く, 不具合事例文書のみからでは全体 - 部分関係の獲得が困難であると考えたためである。

関係獲得において抽出したパターンを利用する研究は広く行われているが, 第4章で述べる研究の貢献は, a) 全体 - 部分関係のうち, 評価対象製品を構成する部品のみを獲得を目的とする点, b) 汎用的な関係獲得手法である *Espresso* アルゴリズムを基にして, 対象製品と全体 - 部分関係にある単語を獲得するための改良を行っている点にあると考える。

本研究では, ある特定の製品, および, その構成部品という関係にある語のペアを獲得しようとしているが, 筆者の知る限り, 従来のブートストラッピング手

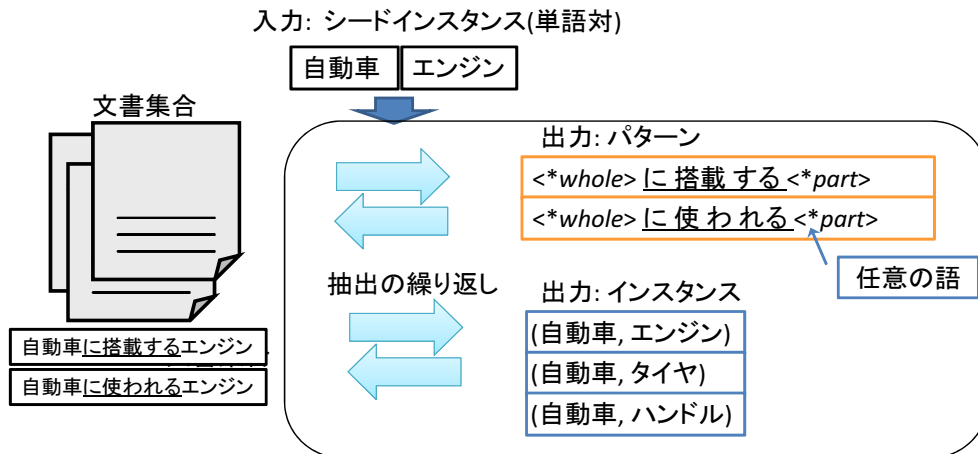


図 12: 提案手法におけるブートストラッピングの概要

法は, part-of 関係において 全体 - 部分関係の全体の方をある特定のものに限定した抽出は行われておらず, 本研究において改良を行ったアルゴリズムである *Espresso*[PP06] では, 例えば, (地域, 市), (物質, イオン) および (水, 酸素) といった広い範囲の関係抽出を対象としている. つまり, 従来のブートストラッピング手法は, 本研究よりも広い範囲の語を対象に抽出する手法といえる. このため, 従来のブートストラッピング手法を本研究に適用しようとする, わずかなインスタンスしか獲得できないという問題が発生する. そこで, 提案手法では, パターン獲得において, 共起するインスタンス範囲に基づく獲得パターンの制御を行い, この問題の解決を目指す.

### 4.3 提案手法

提案手法の基となる *Espresso* アルゴリズムと, 評価対象製品の部品情報を獲得することを目的とした *Espresso* に対する改良点について述べる. 図 12は, 提案手法におけるブートストラッピングの概要である.

#### 4.3.1 *Espresso* アルゴリズム

Pantel らの提案する *Espresso*[PP06] の動作は, インスタンスと共起するパターンの抽出, パターンの順位づけ・獲得, インスタンスの順位付け・獲得の繰り返しである. システムへ入力されたシードインスタンス (特定の関係にある単語ペ

アの集合) によるパターン抽出から開始する。パターン抽出には Pantel らは Ravichandran らの方法 [RH02] を用いている。以下に, *Espresso* におけるインスタンスおよびパターンの信頼度計算とその結果に基づくインスタンスおよびパターンの獲得方法について述べる。

#### インスタンスおよびパターンの信頼度計算

*Espresso* の特徴として, ジェネリックパターンの扱いがあげられる。大規模な文書集合では, あるインスタンスがジェネリックパターンにより獲得されている場合であっても, インスタンスとして正しいものであるときは, 当該インスタンスは, 「信頼度の大きなパターン」とも共起することを仮定し, これに基づいてインスタンスとパターンの信頼度を計算する。ジェネリックパターンは, 多数のインスタンスと共起するが獲得すべきでないインスタンスとも共起するパターンであるので, ジェネリックパターンの特徴として, 再現率が高く, 適合率が低いことがあげられる。これに対して, 信頼度の大きなパターンとは, 適合率が高く再現率は低いという特徴を持つパターンである。

パターン  $p$  の信頼度  $r_\pi(p)$  は, 式 (4-1) に示す通り, 抽出されたインスタンスの集合  $I$  に含まれるインスタンス  $i$  との自己相互情報量  $pmi(i, p)$  をインスタンス  $i$  の信頼度  $r_i$  により重み付けしたものの平均値により定義される。

$$r_\pi(p) = \frac{\sum_{i \in I} \frac{pmi(i, p)}{\max_{pmi}} r_i(i)}{|I|} \quad (4-1)$$

ここで,  $r_i(i)$  はインスタンス  $i$  の信頼度,  $\max_{pmi}$  は, 全パターンと全インスタンスの間の自己相互情報量の最大値である。人手により与えられたシードインスタンスの信頼度  $r_i(i)$  は 1 とする。 $pmi(i, p)$  は, 単語  $x$  と  $y$  が構成するインスタンス  $i = \{x, y\}$  と, パターン  $p$  との自己相互情報量であり, 次の式 (4-2) により推定する。

$$pmi(i, p) = \log \frac{|x, p, y|}{|x, *, y| |*, p, *|} \quad (4-2)$$

ここで,  $|x, p, y|$  は単語  $x$  および単語  $y$  を伴うパターン  $p$  の頻度であり, “\*” は, ワイルドカードを表す。自己相互情報量には, 低頻度のインスタンス, パターンに大きなスコアを割り当てる傾向があるため, 信頼度計算においては, 式 (4-3)

のとおり  $pmi(i, p)$  と discounting factor (DF) [PR04] との積を自己相互情報量として利用する。

$$pmi(i, p) = DF \times \log \frac{|x, p, y|}{|x, *, y| |*, p, *|} \quad (4-3)$$

インスタンス  $i$  の信頼度  $r_i(i)$  は、抽出されたパターンの集合  $|P|$  に含まれるパターンの信頼度と同様に式 (4-4) のとおり定義する。

$$r_i(i) = \frac{\sum_{p \in P} \frac{pmi(i, p)}{\max_{pmi}} r_\pi(p)}{|P|} \quad (4-4)$$

ここで、 $\max_{pmi}$  はパターン信頼度の計算と同じように計算される。以上のように、インスタンスとパターンの信頼度は再帰的に定義される。

#### インスタンスおよびパターンの獲得方法

*Espresso* は、各反復において上位  $k$  個のパターンと、上位  $m$  個のインスタンスを獲得する。 $k$  は、前回の反復の  $k$  に 1 を加算した値とする。パターンは各反復の最後に破棄されるが、インスタンスは破棄されることなく反復の繰り返しの従い累積的に獲得される。

### 4.3.2 提案手法

提案手法では *Espresso* アルゴリズムに対して以下の 3 点の改良を行った。

#### 改良 1: 共起範囲に基づく獲得パターンの制御

*Espresso* アルゴリズムによる部品獲得の予備実験を行ったところ、反復を繰り返しても新たなインスタンスが獲得できないことが判明した。これは、パターンの信頼度計算の結果、シードインスタンスを含む獲得済みのインスタンスのみと共起するパターンが上位にランキングされて獲得されるため、未知のインスタンスと共起する新規パターンが獲得できなかったためである。そこで、各反復において未獲得の新たなインスタンスと共起するパターンのみを獲得するという共起範囲に基づく獲得パターンの制御を提案する。これにより、反復の進展にしたがって新たなインスタンスが獲得できるようになることが期待される。

この獲得パターンの制御により期待されるインスタンス獲得の動作および効果を図 13 により説明する。図 13 は、パターンと新規に獲得されるインスタンスと

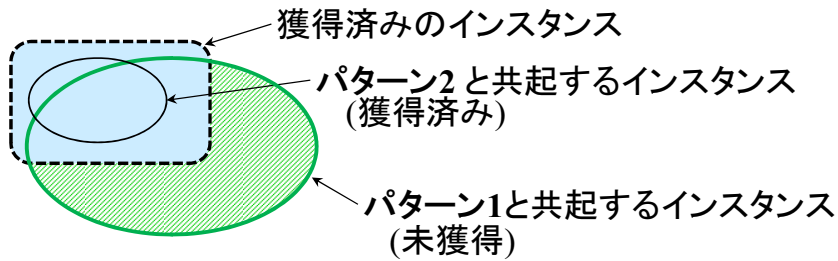


図 13: パターンと新規獲得インスタンスとの関係

の関係を示す。破線の四角が、既に獲得されたインスタンス集合を示す。円に囲まれた範囲は、それぞれの円が示すパターンと共起するインスタンスを示す。

パターン 1 と共起するインスタンスの一部、すなわち図 13の斜線の部分のインスタンスは、まだ獲得されていないため、この状態においてパターン 1 は新たなインスタンス、すなわち斜線部分のインスタンスを獲得する可能性がある。一方パターン 2 は新しいインスタンスを獲得する可能性はない。これは、パターン 2 と共起するインスタンスは、この状態において全て獲得済みであるためである。オリジナルの *Espresso* では、パターンの信頼度計算において、パターン 1 よりも出現頻度の小さいパターン 2 の方に大きな値をつける傾向があるので、獲得パターンの制御においては、新たなインスタンスを獲得する可能性のあるパターンを優先して獲得する。

パターンの獲得フェーズにおける、新規獲得パターンの制御のための動作を図 14に擬似コードによって示す。図 14では、*AcquirePatterns* が、新たなインスタンスを獲得する可能性のあるパターン、すなわち獲得するパターンを返す関数であり、入力は抽出されたパターン集合  $P$ 、獲得するパターン数  $m$ 、以前に獲得されたインスタンス集合  $I_{acquired}$  である。パターン集合  $P$  は、*Espresso* における信頼度の大きな順に保存されているものとする。また、 $InstancesCooccur(p)$  は、パターン  $p$  と共起するインスタンスの集合を返す関数である。



Input: extracted patterns  $P$ ,  
 previously acquired instances  $I_{acquired}$ ,  
 patterns acquisition number  $m$   
 Output: acquired patterns  $P_{acquired}$

```

function AcquirePatterns( $P, I_{acquired}, m$ )
  // number of patterns to be acquired
   $number \leftarrow 0$ 
   $I_{candidates} \leftarrow \{\}$ 
   $P_{acquired} \leftarrow \{\}$ 
  for each  $p$  in  $P$ 
     $I_{new} \leftarrow \text{NewInstanceAcquirable}(p, I_{acquired})$ 
    if  $1 \leq \text{length}(I_{new})$  then
      add  $p$  to  $P_{acquired}$ 
       $number = number + 1$ 
    end
    if  $number == m$  then
      return  $P_{acquired}$ 
    end
  done
  return  $P_{acquired}$ 

```

```

function NewInstanceAcquirable( $p, I_{acquired}$ )
   $I_p \leftarrow \{\}$ 
   $I_p \leftarrow \text{InstanceCooccur}(p)$ 
  return  $I_p \cap \overline{I_{acquired}}$ 

```

図 14: 新規獲得パターンの制御のための動作

## 改良 2: インスタンスとパターンのフィルタリング

インスタンス，パターン双方の獲得時にジェネリックなインスタンスおよびパターンのフィルタリングを行い，ジェネリックでないもののみを獲得する．フィルタリングは小町ら [小町 08a] の提案する方法により，パターンはインスタンスとの共起数，インスタンスはパターンとの共起数に基づいた基準により行った．ここで，あるインスタンスおよびパターンがジェネリックなものであるかどうかを判断するための基準は以下の通りである．

インスタンス 既に抽出されたインスタンスのうち，最も共起パターンが多いインスタンスの共起パターン数の 1.5 倍以上のパターンを抽出するインスタンス

パターン 既に抽出されたパターンのうち，最も共起インスタンス数が多いパターンの共起インスタンス数の 2 倍以上のインスタンスと共起するパターン

$n$  回目の反復におけるジェネリックパターンの判断基準となる閾値  $t_n$  は，式 (4-6) および式 (4-5) に従い次の手順で計算される．

式 (4-5) の  $a_j$  は， $j$  回目の反復で抽出されたパターン  $p_s$  ( $p_s \in P_j$ ) について計算した  $c_{s,j}$  の最大値であり，式 (4-5) により計算する．ここで， $P_j$  は， $j$  回目の反復で抽出されたパターンの集合である． $c_{s,j}$  は，パターン  $p_s$  と共起して以前の反復で抽出されたインスタンスの異なり数であり ( $p_s \in P_j, 1 \leq s \leq k$ )， $P_j$  は  $j$  回目の反復で抽出されたパターンである．

次に式 (4-6) に従い， $a_j$  ( $1 \leq j \leq n-1$ ) の最大値の 2 倍を  $n$  回目の反復におけるジェネリックパターン判断のための閾値  $t_n$  とする．ジェネリックインスタンスの判断基準となる閾値も同様の手順で計算する．

$$a_j = \max \{c_{1,j}, c_{2,j}, \dots, c_{s,j}, \dots, c_{k,j}\} \quad (4-5)$$

$$t_n = 2 \times \max \{a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_{n-1}\} \quad (4-6)$$

なお，パターンについては，本節で述べた改良 1 の「共起範囲に基づく獲得パターンの制御」と，改良 2 のフィルタリングの両方の基準を満たしたものを獲得することになる．

### 改良 3: 製品および部品に特化したパターンの利用

*Espresso* では、少量のテキストにより生じる疎なデータの影響を減らすために、獲得したパターンにおける用語の一般化を行っている。本研究では、a) 十分な量の WWW 文書を対象としていること、b) 特定の製品の構成部品を獲得においては、用語の一般化により対象製品を特徴付ける表現、すなわち対象製品に特化したパターンが欠落する可能性があるため、獲得したパターンの一般化は行わなかった。

## 4.4 評価実験

提案手法にて評価対象製品の構成部品を表す語が獲得できるかを調査するため、評価対象製品を「自動車」とし、その構成部品を獲得する以下の実験を行った。

### 4.4.1 実験設定

本節では、実験に利用したシステムの概要を説明し、その後に、システムの処理内容を述べる。

#### 実験に利用したシステム

提案手法に基づく評価対象製品の構成部品を表す語を獲得する実験には、構成部品抽出システムを利用した。

構成部品抽出システムの入力、出力、および主な処理の流れを図 4.4.1 に示す。

システムへの入力、は、シードインスタンスと文書集合である。入力された文書集合を対象として、4.3.1 節で述べたとおり、パターンとインスタンスの抽出と獲得を反復的に行う。システムの出力は、各反復において獲得されたインスタンスとなる。文書集合の詳細およびパターンとインスタンスの抽出と獲得方法については、本節で後述する。

#### システムへの入力 (シードインスタンス)

システムへの入力であるシードとしては、「自動車」という語と、自動車の構成部品を表す語のペアからなるインスタンスを与えた。シードとなるインスタンス

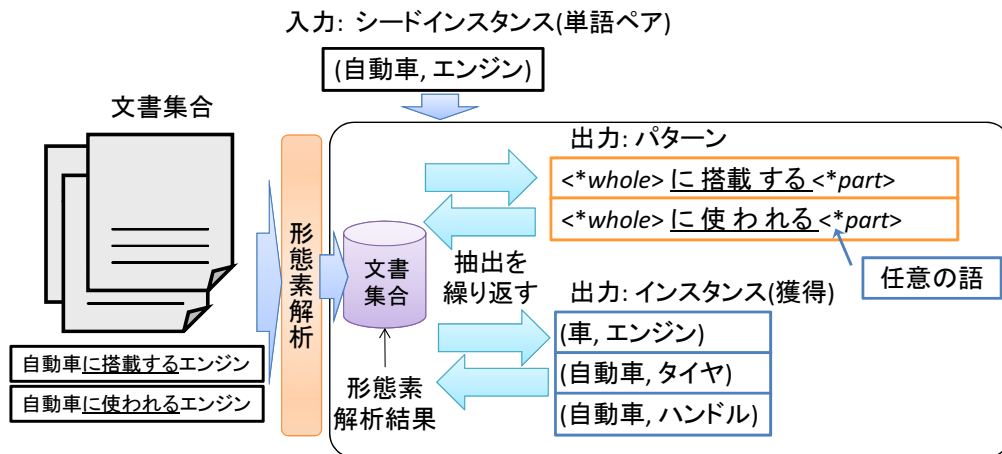


図 15: 構成部品抽出システムの入出力および処理の流れ

は以下の例を含む 10 個である。

シードインスタンスの例:

(自動車, エンジン), (自動車, ブレーキ), (自動車, タイヤ)

システムへの入力 (文書集合)

システムへの入力である文書集合は、以下の手順により収集する。

シードインスタンスを構成する単語対を一对以上含む WWW 文書 (約 8700 文書) を検索エンジン<sup>1</sup> を用いて収集する。これらを ChaSen [松本 03] により形態素解析した品詞情報付きの形態素列をシステムへの入力とした。形態素列としては、文の形態素解析の結果のうち、表層形ではなく原形を利用した。文の切り出しは、読点およびならびに HTML タグの出現位置を文の区切りとみなした。なお、システム内部では、文書集合は形態素解析済の形態素列の形式で保持する。

インスタンス, パターンの抽出と獲得

4.3.1 節で述べたとおり、各反復において信頼度計算結果に基づき、上位  $k$  個のパターンと、上位  $m$  個のインスタンスを獲得する。 $k$  は、前回の反復の  $k$  に 1 を加算した値とする。パターンは各反復の最後に破棄されるが、インスタンスは破棄されることなく反復の繰り返しに従い累積的に獲得される。最初の反復におけるパターンの獲得数  $k$  は 5、インスタンスの獲得数  $m$  は 20 個とした。

<sup>1</sup><http://developer.yahoo.co.jp/>

メモリ使用量削減のため，パターンとしては，形態素数が 3 以上 10 以下のものを抽出し，インスタンスとしては 5 形態素以下の名詞または未知語からなる語を抽出した．

パターンの例は以下のような品詞情報付きの形態素列で，前反復より入力されたインスタンスの全体 - 部分に該当する箇所のそれぞれを記号  $\langle *_{\text{whole}} \rangle$ ， $\langle *_{\text{part}} \rangle$  に置き換えたものである．パターンの長さの計算においては，記号  $\langle *_{\text{whole}} \rangle$ ， $\langle *_{\text{part}} \rangle$  はそれぞれ 1 形態素の長さをもつものとして扱った．

パターンの抽出過程において，あるインスタンスと共起する文字列を取り出すのが，当該文字列において全体と部品を表す語が連続して出現する場合には，その文字列はパターンとしては抽出しない．例えば，“自動車”と“部品”という語がインスタンスとして獲得されており，共起する文字列として「エンジンやブレーキ等の“自動車部品”は～」が得られた場合に，“自動車”と“部品”を記号  $\langle *_{\text{whole}} \rangle$ ， $\langle *_{\text{part}} \rangle$  に置き換えたパターンは抽出しない．これは，パターンに一致するインスタンスの抽出において，上記記号は任意の語または複合語に一致し，当該語をインスタンスとして抽出するが，その際に，上記記号が連続して出現する場合には，記号に一致する箇所の語または複合語を取り出すことは可能であるが，提案手法のみでは全体と部分に語を分けて取り出すことができないためである．例えば，パターン「ブレーキ等の  $\langle *_{\text{whole}} \rangle$   $\langle *_{\text{part}} \rangle$  は」は，文「ブレーキ等の“自動車重要保安部品”は」に一致するが，“自動車重要保安部品”から全体と部分を分けて取り出すことはできない．なお，これは複合語から特定の関係にある語のペアを抽出するタスクであり，第 4 章における問題設定とは異なるタスクである．

パターンの例：

$\langle *_{\text{whole}} \rangle$  で使われる  $\langle *_{\text{part}} \rangle$  などの駆動系部品

自己相互情報量  $pmi(i, p)$  の算出方法

*Espresso* のパターンおよびインスタンス抽出の処理においては，文書集合の全体を対象として，それぞれパターンに一致する語のペア，および語のペアに一致するパターンを検索することになるため，文書集合中の文書を先頭から順に走査しながら，そのような照合を行う処理では大きな計算量が必要となる．特にパターン抽出フェーズにおいて計算コストが大きなアルゴリズムと指摘されている

[小町 08a] . このような計算コスト削減のため , 本研究では全文検索エンジンを利用して以下のとおり信頼度計算を実施した .

パターンおよびインスタンスの信頼度計算にあたり , 自己相互情報量  $pmi(i, p)$  の計算におけるパターンとインスタンスの頻度は , パターンまたはインスタンスの出現する文の数により推定した . この推定には全文検索エンジン lucene[Apache] を利用した . 全文検索エンジンにより , 文書を先頭から順に走査しながら照合することなく , 上記の文の数を取得することができ , 計算量を大きく削減できる .

パターンとインスタンスの共起頻度は , パターンとインスタンスが共起する文の数により推定した . この推定でも , 同様にパターンを構成する語を含む文を検索するために全文検索エンジンを利用して , その検索結果に含まれる文からパターンとインスタンスが共起する文の数を計算した .

## 実験の条件

実験は以下の 3 条件を実装したシステムにより行った .

- (1) Filtered : 提案手法 . 4.3.2 節の改良 1 から改良 3 を全て行う .
- (2) Not Filtered: 提案手法のうちジェネリックなパターン・インスタンスのフィルタリングを行わない .
- (3) Baseline: オリジナルな *Espresso* . パターンの獲得制御およびジェネリックなパターン・インスタンスのフィルタリングをいずれも行わない . 改良 3 のみを行う .

## 4.4.2 実験結果

### インスタンスの獲得数と精度

各システムともに 200 インスタンスを獲得するまで繰り返し動作させた . 図 16 に , 各反復におけるインスタンスの累積獲得数 , すなわち反復初回からの累積獲得数を示す .

各順位において獲得されたインスタンスについて , 全体 - 部分関係における部分 (部品) の方の精度を図 17 に , 獲得した正解部品の異なり数を図 18 に示す . ここで , (自動車 , エンジン) , (車 , エンジン) は異なるインスタンスであるが , 獲得した部品としてはエンジンであり同一である .

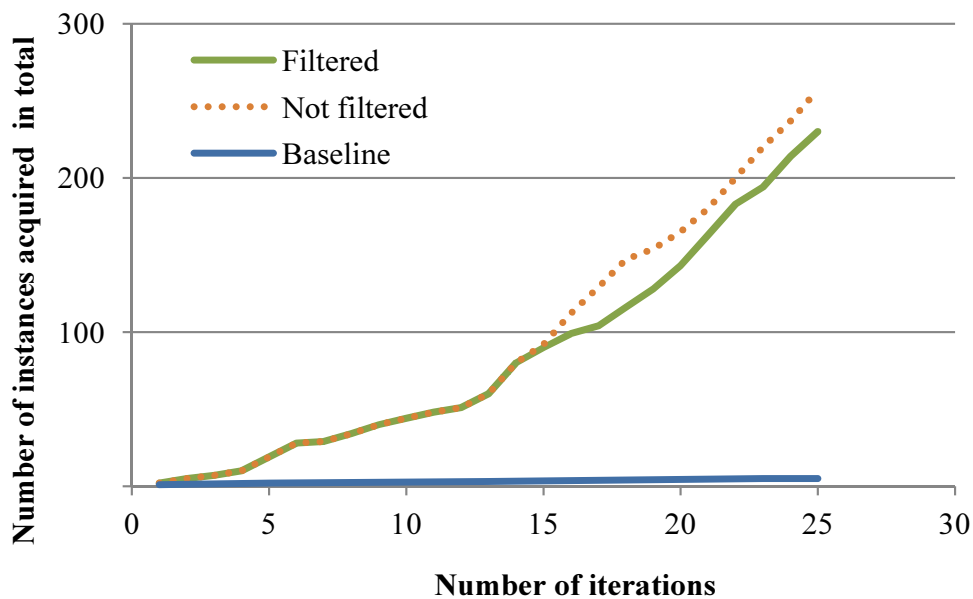


図 16: 反復毎のインスタンス累積獲得数

## 4.5 考察

各反復におけるインスタンスの累積獲得数を表す図 16において、Baseline は 4.3.2節のパターン獲得の制御を行わない条件での獲得数を示す。パターン獲得の制御を行った Not Filtered と比較して、Baseline は 25 回反復までには、きわめてわずかな数のインスタンスしか獲得できなかった。25 回反復以降であっても、Filtered や Not Filtered と比較して 10% 以下の数のインスタンスを獲得できる程度であった。このことから、パターン獲得の制御は、インスタンス獲得において十分に有効に機能したことが分かる。

各順位において獲得されたインスタンスについて、全体 - 部分関係における部分 (部品) の方の精度を表す図 17から、2 つのシステムを比較するとジェネリックなパターン・インスタンスの獲得制限を行った方が、100 位前後では精度が低いものの、150 位以降では精度が高く、それ以降の精度低下が緩やかである。図 18より 200 位までに獲得した正しい部品の異なり数は同数であった。これは、基準とした手法に対する再現率の比を表す相対再現率 [PRH04] が同程度であることを表している。以上よりジェネリックなパターン、インスタンスの獲得を制限することで、高い精度を確保し、かつ、再現率を低下せずに部品情報を獲得で

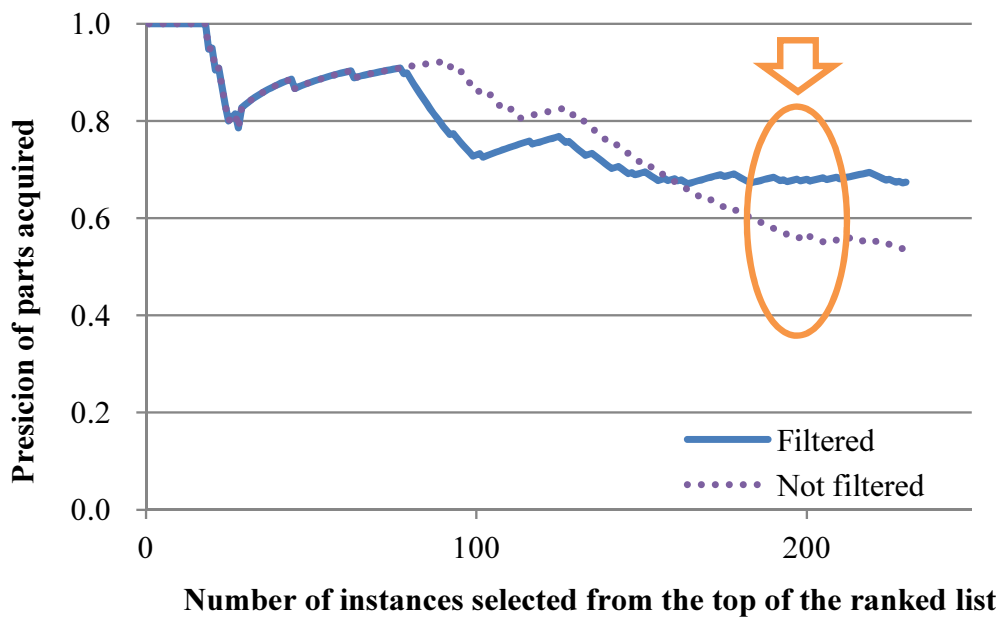


図 17: 全体 - 部分関係の部分として獲得した部品名の適合率の評価

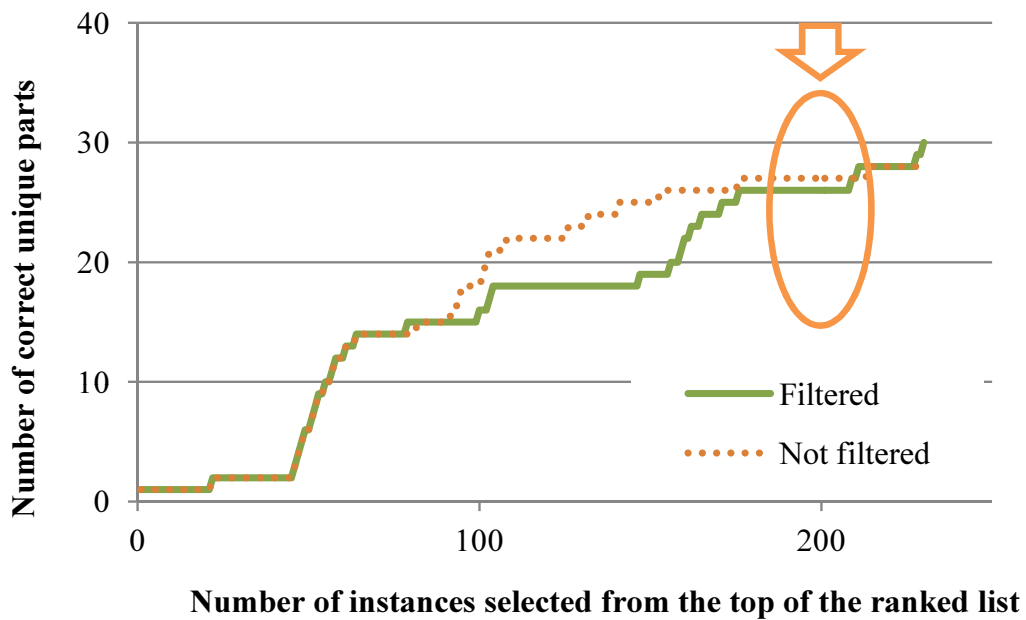


図 18: 正解部品異なり数の比較



きることが確認できた。なお，本実験ではジェネリックなパターンの獲得は抑制されたが，インスタンスは初回反復から共起数の多いものが獲得されており，共起数に基づいた獲得の抑制は行われなかった。

条件“Filtered”のシステムにより獲得したインスタンスについて，全体 - 部分関係における部分 (部品) の例を表 12 に，各反復において獲得されたパターンの例を表 13 に，それぞれ示す。

#### 反復の進展とインスタンスの抽出数

反復の進展に従い新たなパターン，インスタンスの抽出を行う効果を確認するために，初回の反復と，反復 2 回から獲得インスタンス数が 200 に達する反復 24 回までとの，それぞれで獲得した正解異なり部品数と延べ正解部品数を表 14 に示す。

初回反復で抽出され，反復 2 回以降に獲得されたインスタンスは「初回」の列に含む。正解異なり部品数は，初回の欄は初回反復でインスタンスを抽出した時点での異なり部品数であり，24 回の欄は 24 回反復を行い獲得したインスタンス数のうちの異なり部品数である。正解異なり部品数，延べ正解部品数ともに，7 割程度が反復 2 回以降で獲得されている。このことから，提案したパターン獲得の制御により，反復の進展に従って新たに正解のインスタンスとそれを抽出するパターンが抽出され，再現率が向上することがわかる。

インスタンスには，最初に抽出された時期は初回反復であるが初回反復では獲得されず，獲得された時期は 2 回反復以降であるものが存在する。このようなインスタンスのうち，部品を示す語は 40 語，異なり数で 8 語であった。今回の実験では，2 つのインスタンスの部品の方の語は同じであっても，製品の方の語が異なっていれば，別のインスタンスと判断しているので，これらのインスタンスが獲得される前に，同じ部品を示す語が獲得される可能性はある。しかし，今回の実験では，そのようなことは起こらず，2 回反復以降で上記の 8 語が獲得される際には，どの語も初めて獲得される語であった。このことから，提案したパターン獲得の制御が，反復の進展に伴って新たな語を獲得する上で有効であることが分かる。

表 12: 獲得されたインスタンスの部分 (部品) の例

ギヤ	自動車用ギヤ
エンジン用ギヤ	クラッチギヤ
ミッション	クラッチ部品
触媒	トランスミッション
エア式トランスミッション	マニュアルトランスミッション
ライト	

表 13: 獲得されたパターンの例

< *whole > で使われる < *part > などの駆動系
< *whole > のトルク、馬力、 < *part > 比等の
< *whole > 駆動系に、 < *part > 油および自動変速
では、 < *whole > 用のトランス < *part >
< *whole > 車のトランス < *part > やデフ、

表 14: 正解獲得数の比較

	反復	初回	2~24回
正解異なり部品数		9	19
のべ正解部品数		42	105

## 4.6 実体語抽出との組み合わせの効果

本節では、4.3節において述べた提案手法に対して、第3章で述べた実体語抽出の手法を組み合わせることで不具合事例文からの実体語の抽出性能が向上するかどうかを実験により検証する。実体語抽出を4.3節の提案手法に基づいて抽出したパターンを使って行った場合と、そのパターンに第3章で述べた実体語抽出の手法を組み合わせて行った場合とで、実体語の抽出性能を比較する実験を行う。

### 4.6.1 実験設定

本実験では、実体語を抽出する文書集合として、公開されている不具合事例文[JST]のうち、3.2.5節の定義に一致する文書、つまり電気製品および機械製品についての文書を利用した。4.4節で文書集合として利用したWWW文書と比較し、ここで用いる不具合事例文書は、文書数で1/10程度と小規模である。このため、4.3節で述べた提案手法の各反復において獲得されたパターンでは、十分な量の実体語が抽出できないことが予想される。そこで、多くの語を抽出するために、基本的な方針として4.3節の提案手法で獲得したパターンから一部を取り出し、実体語の抽出に利用することとした。

本実験における実体語抽出は以下の方法で行い、抽出した語が製品または部品を示す語であれば正解の語と判定した。

#### 方法1: 提案手法のパターンに基づいた実体語抽出方法

4.3節の提案手法に基づいた実体語抽出の方法を述べる。手順(1)のインスタンスおよびパターンの獲得は、後述する2条件で実施した。

- (1) 4.4節の方法に従いインスタンスおよびパターンの獲得をおこない、各反復で獲得したパターンを取り出す。インスタンスおよびパターンの獲得方法は、本節で後述する。
- (2) 取り出したパターンにおける全体 - 部分に該当する箇所を示す記号  $\langle *_{\text{whole}} \rangle$  ,  $\langle *_{\text{part}} \rangle$  のうち  $\langle *_{\text{whole}} \rangle$  を中心として周辺2語までを新たに部品抽出用パターンとして取り出す。これらの記号から2語の範囲に、(1)のパターン

の先頭や末尾がある場合は，先頭または末尾の語まで部品抽出用パターンをとする．

- (3) 同様に部分に該当する箇所を示す  $\langle *_{\text{part}} \rangle$  を中心として周辺 2 語までを新たな部品抽出用パターンとして取り出す．
- (4) 不具合事例文書 [JST] 中の文から，部品抽出用パターンにおける記号  $\langle *_{\text{whole}} \rangle$ ， $\langle *_{\text{part}} \rangle$  に一致する語を取り出す．パターンに一致し，かつ品詞が名詞，未知語，接頭語のいずれかである語が連続するものは一つの複合語として取り出した．

ただし，上記の手順 (2) または (3) において，全体または部品に該当する箇所を示す記号が，手順 (1) パターンの先頭または末尾に位置する場合は，部品抽出用パターンとしての抽出は行わない．

部品抽出用パターンを取り出す上記手順の (2) および (3) においては，パターンのうち記号  $\langle *_{\text{whole}} \rangle$ ，または  $\langle *_{\text{part}} \rangle$  を中心として周辺 2 語までが部品抽出用パターンとなるので，部品抽出用パターンの最大長は上記の記号を含んで 5 語である．

#### 方法 2: 方法 1 と実体性判断を組み合わせる方法

方法 1 で取り出した語のうち，あらかじめ作成した実体語のリストと一致する語を取り出す方法である．実体語のリストは，[大森 12] の方法に従い，事前に以下の手順で作成する．

- (1) 不具合事例文 [JST] 中の語について，正例負例各 500 語，合計 1000 語を訓練事例として作成する．異なり数は 700 語である．正例および負例とした語は，3.4.1 節の実験設定で利用したものと同一である．
- (2) 不具合事例文から取り出した語 (合計約 14 万語) について実体語であるかどうかの判断を行う．
- (3) 14 万語のうち複数回出現する語については，多数決により最終的な実体語であるかどうかを判断する．

この結果，異なり数 12643 語を実体語として抽出した．これらの語を実体語のリストとして使用した．

### 方法 3: 実体性判断のみによる方法

実体性判断のみによる方法は，方法 2 における実体語のリストに含む語を抽出した実体語として扱う．

#### インスタンスおよびパターンの獲得方法

方法 1 における手順 (1) のインスタンスおよびパターンの獲得は，次の 2 条件で実施した．条件 1 は，4.4 節の“Filtered”のシステムと実験と同一の方法である．条件 2 は，条件 1 に対して以下の変更を行ったものである．これらは，予備実験において性能が向上したことから行った．

インスタンス信頼度の補正 各反復におけるインスタンス信頼度の計算において，あるインスタンスの部品の方を表す語が，シードインスタンスに含まれる部品の方の語と一致する場合は，当該インスタンスの信頼度を式 (4-7) に従い補正する．

表層表現の利用 システムへ入力する形態素列として，形態素解析の結果のうち，原形ではなく表層形を利用した．

文の切り出し方法 文の切り出しは，読点およびならびに HTML タグの出現位置の他に，空白を文の区切りとみなした．

$$R'_i(i) = c_1 \times R_i(i) + c_2 \quad (4-7)$$

ただし，

$$R'_i(i) = \log r'_i(i) \quad (4-8)$$

$$R_i(i) = \log r_i(i) \quad (4-9)$$

$$c_1 = \frac{1}{2} \quad (4-10)$$

$$c_2 = \frac{\max_{i \in I} \{\log r_i(i)\}}{2} \quad (4-11)$$

ここで，補正前のインスタンス信頼度は  $r_i(i)$ ，補正後のインスタンス信頼度は  $r'_i(p)$  である．式 (4-8) および (4-9) において，信頼度の対数により計算を行

うのは、各反復における信頼度が大きな範囲の値をとるためである。例えば、4.4節の“Filtered”のシステムでは、初回反復後におけるインスタンス信頼度の最大値と最小値は $10^6$ 倍程度の開きがある。式(4-11)における $\max_{i \in I} \{\log r_i(i)\}$ は、各反復における抽出されたインスタンス集合 $I$ に含まれる各インスタンス $i$ について、補正前のインスタンス信頼度の対数を計算した結果の最大値である。すなわち、式(4-8)における $R'_i(i)$ の値は、最小値は $c_2$ 、最大値は $2 \times c_2$ つまり $\max_{i \in I} \{\log r_i(i)\}$ となる。

#### 4.6.2 実験結果

実験結果について述べる。4.6.1節の手順に従って実験を行った結果を、手順1についての2つの条件毎に表15と表16に示す。結果は、方法1と方法2については、それぞれの精度と正解の獲得数を、方法3についてはランダムに100語を選択し、その精度を示した。

表15と表16のどちらも、方法1より方法2の方が精度が数十ポイント程度向上し、また、方法2は方法3よりも14から30ポイント程度向上した。全ての正解の数が分かっていないので直接再現率を計算することはできないが、相対再現率[PRH04]の考え方に従い、方法1の語の獲得数を基準とすると、方法2の獲得数は2割程度の低下である。

表15と表16の比較では、表16の方が精度が大きくなる傾向にあった。4.6.1節の「インスタンスおよびパターンの獲得方法」で述べた条件2が、実体語の抽出精度向上に有効であったことが分かる。

なお、表15と表16における方法3の精度は、第3章の3.4.2節で述べた結果よりも小さな値となっている。この原因としては、3.4.2節の実験では、交差検定の各検定においては、評価事例を100語、訓練事例を900語としていたのに対して、今回は評価事例を約14万語、訓練事例を1000語としており、訓練事例に対する評価事例の比が大きく異なっていることから、1000語の訓練事例に含まれる統語的なパターンの量が、約14万語の評価事例から実体語を抽出するためには十分でなかったことが考えられる。

表 15: 実体語抽出実験の実験結果 (条件 1)

方法	精度	正解獲得数	備考
方法 1: 出現パターンのみ	18.8%	75	
方法 2: 出現パターン + 実体性判断	59.2%	61	
方法 3: 実体性判断のみ	45.0%	45	ランダムに 100 語を 選択した場合

表 16: 実体語抽出実験の実験結果 (条件 2)

方法	精度	正解獲得数	備考
方法 1: 出現パターンのみ	25.5%	38	
方法 2: 出現パターン + 実体性判断	78.4%	29	
方法 3: 実体性判断のみ	45.0%	45	ランダムに 100 語を 選択した場合

## 4.7 第4章のまとめ

評価対象製品の構成部品情報の獲得のためにブートストラッピング手法 *Espresso* を改良した手法を提案した。実験により，反復の進展に従ってインスタンス，パターンを新規に抽出し，部品情報を獲得できることを確認した。

今後の課題は，部品情報の抽出性能の改善を目指し，より高精度なインスタンス獲得のための手法や，獲得した部品情報による対象製品と不具合事例との関連付け等の検討である。また，今回は大規模な文書集合として，WWW 文書を利用したが，大規模な不具合事例文書を対象とした本手法の有効性の検証が，今後の課題である。



## 第 5 章

# 不具合事例文書からの製品・部品に関する因果関係抽出手法

### 5.1 はじめに

製造業における製品開発においては、信頼性確保は常に重要な課題であるが、製品の不具合やリコールの状況に代表されるように、十分な信頼性が達成できた状況とは言えない。本研究では、2.4節および2.5節で述べたとおり、蓄積されている不具合事例や事故事例等の故障情報に着目し、これらの不具合事例等を効率的に活用することで、信頼性の高い製品開発を支援する手法を検討している。

製品開発に不具合事例等を活用するには、不具合事例等から開発中の製品に関連する情報を抽出して提示する必要がある [畑村 03]。このための一つの手法として、第 5 章では、不具合事例文に対して因果関係抽出を適用し、2.5節で述べたとおり不具合事例文書から製品や部品に生じた不具合の原因および結果に関する記述を取り出すことを検討する。ある文が製品や部品のトラブルに関する因果関係を表すかどうかの判断のために、文中の語の出現パターンに基づき学習した 2 値分類器を用いる手法を提案し、実験により抽出性能を評価する。また、抽出性能向上のために、不具合の表現においては製品や部品の挙動の記述が中心的な内容を表すことから、不具合に関与する部品や製品を示す語の出現パターンに基づく判断手法を検討する。

## 5.2 背景とアプローチ

### 5.2.1 不具合事例文の記述内容と構成要素

不具合事例文書は、情報共有を主な目的に不具合に関する情報を記載して作成された文書である。事例名称、不具合の事象内容、原因、影響、再発防止策といった項目について、項目名とともに内容が記述されている。このような不具合事例文書に現れる文を本項では不具合事例文という。不具合事例文は、不具合事例文書を構成する文であり、ある製品や部品（以下、製品等という）の実体物やそれらの実体物間の関係が、原因事象により変化する状況を表現する。不具合の発生した製品等の他に、原因となる事象を引き起こした製品等や、不具合が影響を与えた製品等も含まれる。これらの製品等について要求される機能や役割等の属性の記述、および原因となる事象によってこれらの機能や役割が失われる状況についての記述が含まれる。

図 19は、本研究で抽出しようとする製品等に関する不具合の因果関係の例である。製品である「パイプ」および「ボルト」について発生した不具合に関する因果関係を表している。

抽出する文:

パイプが揺れたために、ボルトが折れた。

図 19: 不具合事例における製品に生じた因果関係の例

### 5.2.2 製品開発における不具合事例の利用

信頼性等の向上のため開発中の製品に関連する不具合情報を活用する試みは広く行われている [製品 08, 畑村 03, JST]。製造業における製品開発では、設計者が必要としているのは、不具合事例の全般的な情報ではなく、開発中の製品に関連する不具合情報である [畑村 03]。不具合事例の活用のためには、不具合事例から必要な情報を取り出す必要がある。開発する製品の信頼性向上のために不具合事例を利用する際には、製品に関する不具合の因果関係を中心に参照することになる。つまり、以下の3つの記述を含む文を抽出する必要がある。

- 製品等に関する記述
- 不具合に関する記述
- 因果関係に関する記述

なお、不具合事例文に含まれるが抽出対象とならない文の例としては、因果関係を記述しているが製品等に関わらない記述、例えば「A社は業績が悪化し、B事業を廃止した」、製品に関する記述であるが不具合でない記述、例えば「部品Cの動作が正常に停止した」である。

次節以降で、これらの記述を抽出に関する研究について述べる。

### 5.2.3 製品に関する不具合の因果関係抽出に関する研究

#### 因果関係抽出に関する研究

因果関係抽出に関する研究は2.7.3節で述べた通り、多くの研究が行われている。本研究では、多い種類の手がかり表現に対応できること、抽出対象が名詞句や動詞句ではなく、文全体を対象としていることから、不具合事例文の因果関係抽出に坂地らの手法[坂地 11]を採用する。その際に、本節で述べる実体語の抽出の観点から改良を試みる。なお、本研究においては、手がかり表現はその表現の出現する文が因果関係を示す可能性が高いと考えられるものである。

#### 製品や部品を示す語の抽出

不具合事例文では、不具合の起こった製品等は不具合事例に纏わる事態に登場するモノとして記述されると考えられる。そこで、製品に関する記述を抽出するために、モノを示す語に関する素性を利用することを検討する。

新聞記事やWebから製品情報を抽出する研究は従来より行われているが、我々は第3章で述べたとおり、不具合事例文等から製品やその部品に関する情報、すなわち実体語を抽出する研究を行っている。実体語抽出では、不具合事例文における不具合事例に纏わる事態の記述に登場する「モノ(物体)」と「コト(事態)」を示す語のうち、モノを示す実体語を抽出する。本研究においては、製品等に関する不具合の因果関係を抽出するために、実体語抽出に関する手法を利用し、実体語や、実体語が出現する構文的なパターンに関する素性等を利用する。

## 不具合の記述の抽出

不具合の抽出に関して、丹治ら [丹治 09] により、トラブルを表す文を抽出する研究が行われている。丹治らの研究におけるトラブルは、人の行動に関する表現も広く扱っており、「パソコンの設定方法が分からなかった」といった製品等は正常に機能している状態を表す場合であってもトラブルと判断される。不具合として製品が正常に機能しない状況を中心とする本研究とは目的が異なっており、抽出しようとする対象が異なるため、丹治らの方法を本研究に適用することはできない。

また、丹治らは評価表現辞書 [小林 05] を利用している。評価表現は、個人の評価に関する情報であり、評価、要望、不満等を表現する [乾 06] ものである。これらの評価表現が本研究で目指す情報抽出において有効に利用できる可能性は考えられるが、評価表現 (表現の極性) と、製品の動作の状態 (正常の状態か、不具合の発生した状態か) とがどの程度対応するか判明しておらず、本研究で目指す情報抽出には必ずしも適するとは言えないため、本研究では評価表現に関する情報は利用しなかった。

## 5.3 因果関係の抽出手法

本章では、本研究におけるタスクを定義し、機械学習による実現方法、および、そこで利用する素性について述べる。

### 5.3.1 タスクの定義と実現方法

#### タスクの定義

本研究における製品等に関する不具合の因果関係抽出に関するタスクを以下のように定義する。

- (1) 判断対象の文が、その出現する文書番号および文書内の項目名と共に与えられる。
- (2) 与えられた文が製品等に関する不具合の因果関係を表現する文であるか、表現しない文であるかを判断する 2 値分類を行う。

## 因果関係を抽出する対象

因果関係としては、複数の文に記述されるもの、および文内において複数の語または文節間に記述されるもの等がある。例えば、「許容応力を越えた繰り返し荷重によって、製品 A が疲労破壊した」という文と、その事故の影響を記述した「その後、A 社の業績が低下し株価が下落した。」という二つの文にはそれぞれ許容応力を越えた繰り返し荷重と疲労破壊故、および、業績の低下と株価の下落という因果関係が存在する。また、一つ目の文の事象が原因となり、二つ目の文の事象が発生したという因果関係も存在する。

因果関係が成立するかどうかの判断は、文書内に記述されたあらゆる事象について行うべきであるが、本研究においては、因果関係の有無の判断は、文を単位として行うこととした。これは、任意の 2 つの出来事について、それらが文書内で現れる位置が離れるに従い、それらの間に因果関係が成立する確率は減少する [乾 05] と考えたため、また、本研究で取り出そうとする製品および部品に生じた不具合の因果関係、特にそれらの不具合の直接的な原因の記述は、製品および部品を表す語の出現位置から大きく離れることはないと考えたためである。

したがって、複数の文に渡って記述される因果関係は、本タスクにおいては抽出の対象とはならない。

## 実現方法

本研究では、このタスクの 2 値分類を機械学習により実現する。具体的には、文脈から素性を抽出してサポートベクターマシンにより分類を実施する。次節以降で、抽出する素性等について述べる。

### 5.3.2 因果関係抽出に関する素性の検討

因果関係抽出のために 5.2.3 節で述べた坂地ら [坂地 11] が利用した素性を利用する。素性の抽出例を図 20 に示す。

#### 助詞のペア

構文的な素性として助詞ペアを以下の手順で抽出する。手がかり表現を含む文節 (核文節) が係り先となる文節に現れる助詞を前部助詞リストに追加する。手がかり表現の係り先文節 (基点文節) が係り先となる文節 (ただし、核文節を除

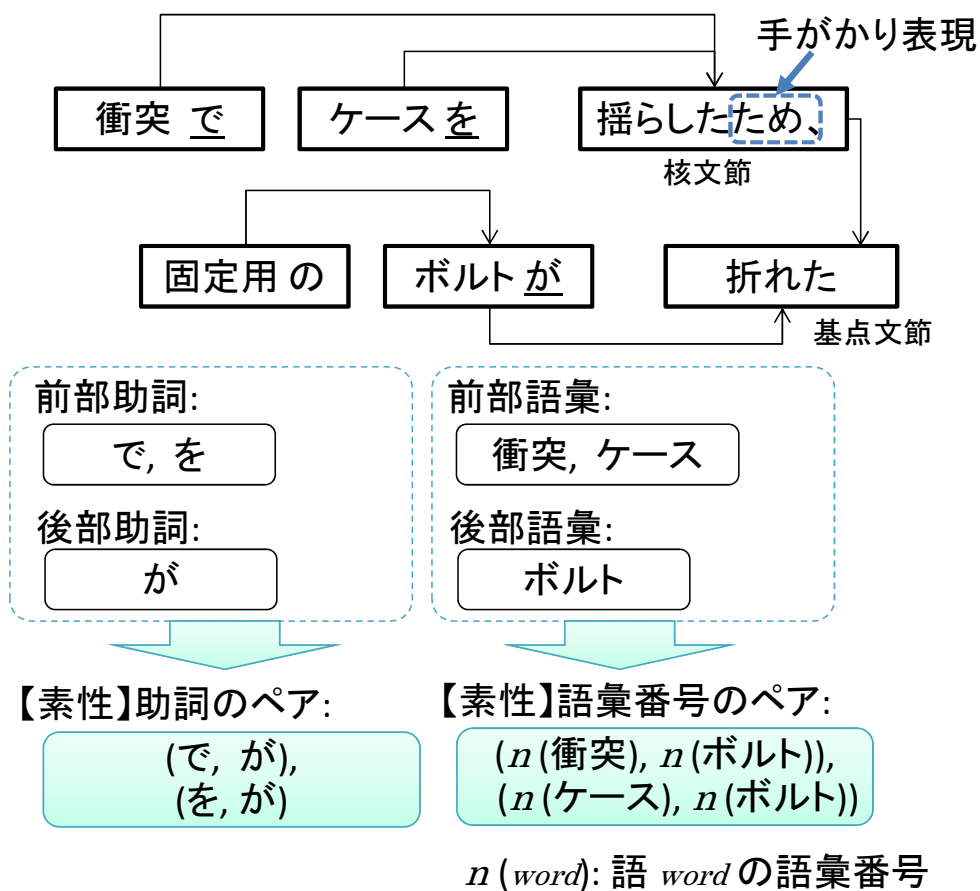


図 20: 素性の抽出例

く)に現れる語のうち、助詞を後部助詞リストに追加する。核文節および基点文節が係り先となる文節に助詞が存在しない場合は、対象となる助詞が存在しないことを示す記号 `null` を、それぞれ前部助詞リスト、後部助詞リストに追加する。前部助詞リストと、後部助詞リストの助詞の全ての組み合わせ(助詞のペア)を素性とする。

なお、坂地ら [坂地 11] は上記の方法で前部助詞リストまたは後部助詞リストに助詞が取得できなかった場合には、核文節または基点文節が係り先となる文節以外に現れる助詞を前部助詞リストまたは後部助詞リストに追加しているが、本研究では、核文節または基点文節が係り先となる文節のみを対象とした。これは、坂地らのように助詞を取り出す範囲を広げない場合の抽出性能を検証することを目的としたためである。また、今回利用した手がかり表現は 5.4.1 節で述べる。

#### 語の語彙番号のペア

前部助詞リストおよび後部助詞リストの助詞を取り出した文節にオントロジーに含まれる語があれば、オントロジー中の語番号を、それぞれ前部語彙、後部語彙として取り出し、前部語彙、後部語彙の各組み合わせを素性とする。前部語彙、後部語彙が、それぞれ取り出せなかったときは `null` を追加する。オントロジーとしては、坂地らは、小林らの拡張言語オントロジー [小林 10] の 6 階層目の意味カテゴリを用いたが、本研究では 3.3.6 節で述べた分類語彙表 [分類 04] を利用し、見出しが文節中の語と一致する行における分類番号の上位 4 桁を利用した。

また、本研究では、第 3.3.6 節で述べたとおりこの方法は、概念の階層構造を素性として利用する研究 [宮崎 08, 松尾 99] の手法を利用している。すなわち、分類語彙表の分類番号が上位の桁ほど、より上位の概念に対応している関係を表現するため、1 つの語の分類番号を先頭から  $i$  桁分の数字列 ( $i=1 \sim 4$ ) で表現される 4 つの数値に分割して表現する。

語彙番号のペアとしては、同一の桁数の語彙番号のペアのみを取り出す。例えば、1234, 5678 という 4 桁の語彙番号からは、(1,5), (12, 56), (123, 567), (1234, 5678) の 4 つの語彙番号ペアを素性とする。

## 手がかり表現の直前形態素の品詞

手がかり表現の直前の語により，その文が因果関係を表す確率が異なることから，手がかり表現の直前形態素の品詞を素性とする．図 20 の例では，「ため、」の直前の「た」の品詞である助動詞となる．

## ユニグラム・バイグラム

文に出現する形態素のユニグラムとバイグラムを抽出する．

### 5.3.3 製品等の抽出に関する素性の検討

与えられた文書に含まれる語がモノを示す語であるかどうか，つまり第 4 章で述べた，実体語であるかどうかを判別する手法に基づいて，文中のモノの状態や挙動の表現に関する素性を抽出する．本研究では，実体語を判別する手法により，対象文書に現れる実体語をあらかじめ抽出する．素性を抽出する際に，文に出現した語のうちあらかじめ抽出した実体語に一致する語について，当該語を実体語であると判断する．これらの素性は，前節の坂地ら [坂地 11] の因果関係抽出手法を実体語に関する記述に拡張した素性である．

図 20 の例から，これらの実体語に関する素性を抽出する例を図 21 に示す．

#### 実体語と助詞の組

同一文節内に出現する実体語と助詞の組を素性として取り出す．図 21 の例では (ケース, を), (ボルト, が) となる．

#### 実体語の語彙番号と助詞の組

上記の「実体語と助詞の組」の抽出方法において，実体語を語彙番号に置き換え，語彙番号と助詞の組を素性とする．図 21 のとおり，語彙番号は，1 語について 4 つの素性で表現するため，ここでも上記「実体語と助詞の組」の 1 つの組から 4 つの語彙番号と助詞の組を素性として取り出す．図 21 の例では  $(n(\text{ケース}), \text{を})$ ， $(n(\text{ボルト}), \text{が})$  となる．図 20 に示すとおり， $n(\text{word})$  は語 *word* の語彙番号を示す．仮に語「ケース」の語彙番号が 1234 であったとすると， $(1, \text{を})$ ， $(12, \text{を})$ ， $(123, \text{を})$  および  $(1234, \text{を})$  という実体語の語彙番号と助詞の組が 4 つ得られることになる．



手がかり表現がある場合のみ利用

実体語と助詞の組:

(ケース, を), (ボルト, が)

実体語のペア:

(ケース, ボルト)

実体語の語彙番号と助詞の組:

( $n$ (ケース), を),  
( $n$ (ボルト), が)

実体語の語彙番号のペア:

( $n$ (ケース),  $n$ (ボルト))

実体語と共起する助詞のペア:

(を, が)

手がかり表現がない場合でも利用

実体語 (ユニグラム):

ケース, ボルト

実体語とともに出現する助詞:

を, が

図 21: 実体語に関する素性の抽出例

#### 実体語のペア

5.3.2節の「助詞のペア」の抽出方法と同様に素性を抽出する。ただし、前部助詞リストおよび後部助詞リストに追加した助詞と同一文節に出現する実体語を、それぞれ前部実体語リスト、後部実体語リストに追加する。その後、前部および後部実体語リストの全ての組み合わせ、すなわち実体語のペアを素性として取り出す。図 21の例では (ケース, ボルト) となる。

#### 実体語の語彙番号のペア

5.3.2節の「語の語彙番号のペア」の抽出方法と同様に素性を抽出する。ただし、前部語彙または後部語彙として取り出した語番号の語が実体語である場合には、当該実体語の語番号を前部実体語語彙または後部実体語語彙として取り出す。語が実体語でない場合には、当該語の語番号は前部語彙、後部語彙への追加は行わない。その後、前部および後部実体語語彙の全ての組み合わせ、すなわち実体語の語彙番号のペアを素性として取り出す。図 21の例では ( $n$ (ケース),  $n$ (ボルト)) となる。5.3.2節の「語の語彙番号のペア」における語彙番号のペア

と同様に，ここでも，語彙番号のペアとしては，ペアを構成する2つの数字の桁数が同一のもののみを素性として取り出す．

#### 実体語と共起する助詞のペア

5.3.2節の「助詞のペア」と同様に素性を抽出する．ただし，前部助詞リストまたは後部助詞リストに追加した助詞と同一文節に実体語が存在する場合には，当該助詞を前部実体語助詞リストまたは後部実体語助詞リストへ追加する．助詞と同一文節に実体語が存在しない場合には，当該助詞は前部助詞リストおよび後部助詞リストへの追加は行わない．その後，前部および後部助詞リストへの助詞の全ての組み合わせ，すなわち実体語と共起する助詞のペアを素性として取り出す．図21の例では(を, が)となる．

#### 実体語のユニグラム

文中に出現する実体語のユニグラムを素性とする．

#### 実体語とともに出現する助詞

動詞を係り先に持つ文節のうち，文節内に実体語が出現する文節の助詞を素性とする．

### 5.3.4 不具合の抽出に関する素性の検討

不具合事例文から抽出しようとする不具合は，過去に発生した事象であるため，文中には過去形で記述される．これに対して製品等の正常な動作や機能は，日本語においては非過去形で記述される．このことから，文の時制(非過去形または過去形)は不具合を表しているかどうかを判断する一つの手がかりであると考え，文の時制を表す文末の語とその品詞を素性として用いる．

## 5.4 実験

### 5.4.1 実験設定

本節では，実験に利用したシステムの概要を説明し，その後，システムの処理内容を述べる．

## 実験に利用したシステム

提案手法に基づく因果関係の抽出実験には SVM<sup>light</sup> [Joa09] を用い、構築した因果関係抽出システムを利用した。因果関係抽出システムの入力および出力、ならびに主な処理の流れを図 5.4.1 に示す。SVM では 5.3.2 節の素性を利用して製品の不具合に関する因果関係を表す文・表さない文をそれぞれ正例・負例として学習した。SVM<sup>light</sup> は二次の多項式カーネルを用い、その他のパラメータはデフォルトとした。

システムへの入力である、学習事例ならびに訓練事例は WWW 等で公開されている不具合事例文 [JST] に現れる 400 文 (異なり数は 321 文) ならびに語の出現する文書情報であり、正例および負例とも 200 語ずつである。本研究で抽出しようとしている製品等に関する不具合の因果関係を表す文は正例、それ以外の語は負例とした。

主な処理の流れは、以下の通りである。訓練事例の文を入力し、文の係り受け解析を実施して、素性の抽出を行い、SVM に基づくモデルを学習する。その後、評価事例の文を入力し、同様に係り受け解析と素性抽出を行い、訓練事例により作成したモデルにより、評価事例の文が因果関係を含んでいるかどうかを計算し、結果を出力する。

係り受け解析には CaboCha 0.53 [工藤 02] を利用した。形態素解析結果で、品詞が名詞および未知語である語が連続したものは 1 語の複合語として実体性の判別を行った。5.3.2 節および 5.3.3 節における語彙番号に関する素性を抽出するため、素性抽出においては、分類語彙表の情報を利用する。また、本節において後述するように手がかり表現および文書中の実体語のリストを利用する。

## 実験の条件

上記の 400 文 について、以下に示す素性を利用する条件で、5 分割交差検定を実施した。交差検定の各検定においては、評価事例を 80 文、訓練事例を 320 文とし、それぞれ正例と負例を半数ずつとした。評価事例の文と同一文書から取り出した文が訓練事例に含まれる場合は訓練事例から当該文をとりのぞき、さらに、評価事例と同一の文が訓練事例に含まれた場合も、訓練事例から当該文を除いた上で、評価を行った。

実験に用いた素性および実験条件を表 17 に示す。(1) から (8) が、今回新た

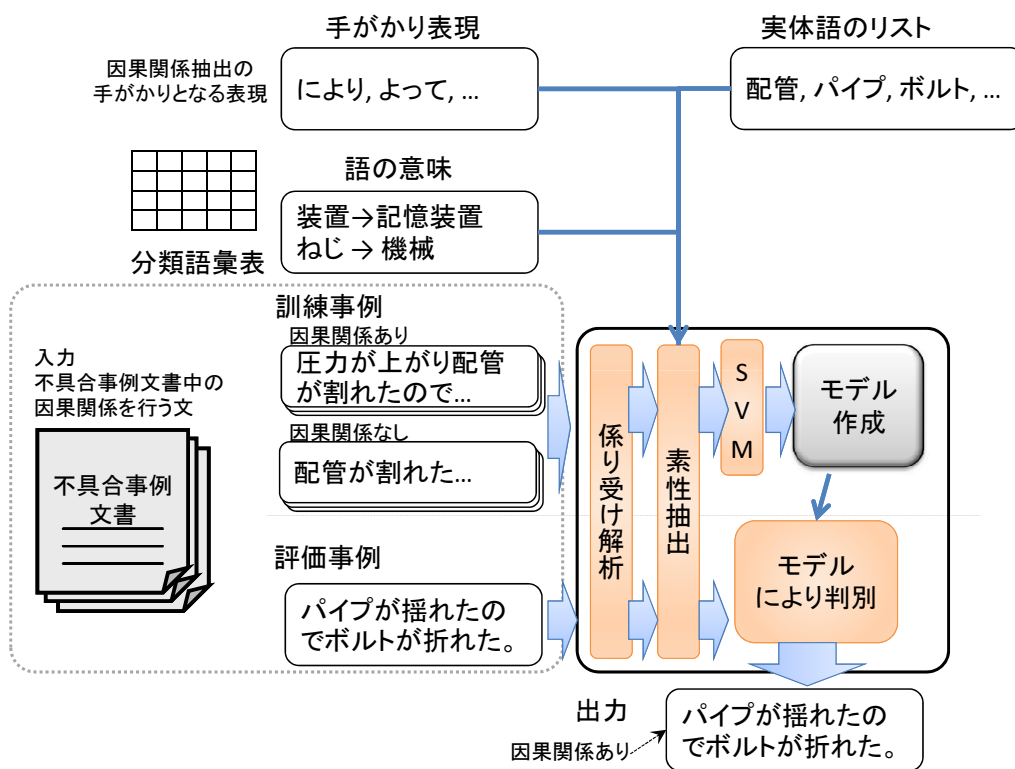


図 22: 因果関係抽出システムの入出力および処理の流れ

に提案した素性であり，(1) から (7) はそれぞれ 5.3.3 節の「実体語の組」から「実体語とともに出現する助詞」の段落に記載した素性，(8) は 5.3.4 節の文末の語に関する素性である．ユニグラムとバイグラムに関する素性を利用した条件をベースライン 1 とし，坂地らの方法である先行研究の方法をベースライン 2 とした．ベースライン 2 は，坂地ら [坂地 11] の手法において，5.3.2 節で述べたとおり，素性の抽出にあたり助詞を取り出す対象の文節は，核文節または基点文節が係り先となる文節のみを対象としている点，およびオントロジーとして分類語彙表を利用している点を変更した方法である．

実験に利用した手がかり表現は，図 23 に示す．

表 17: 実験に用いた素性の一覧

ベースライン 1	ユニグラム・バイグラム
ベースライン 2	坂地らの方法
ベースライン 1 に素性を追加	(1) 実体語と助詞の組
	(2) 実体語の意味番号と助詞の組
	(3) 実体語ペア
	(4) 実体語の分類語彙表番号のペア
	(5) 実体語と共起する助詞のペア
	(6) 実体語ユニグラム
	(7) 実体語とともに出現する助詞
	(8) 文末の語
ベースライン 2 に素性を追加	(1) 実体語と助詞の組
	(2) 実体語の意味番号と助詞の組
	(3) 実体語ペア
	(4) 実体語の分類語彙表番号のペア
	(5) 実体語と共起する助詞のペア
	(6) 実体語ユニグラム
	(7) 実体語とともに出現する助詞
	(8) 文末の語

を背景に	を背景に、	を受け	ため、
に伴う	に伴い、	を反映して	で、
をきっかけに	により、	に支えられて	によって
を反映し、	が響き、	ためで、	を受けて
により	ためで	を受けて、	に伴い
による	後、	ために	で
ように	契機に	の結果	して
ために、	し、	ず	による
ので	から、		

図 23: 利用した手がかり表現

### 実体語であるかどうかの判断方法

ある語が実体語であるかどうかの判断は、第 3 章の方法に従い以下の手順で実施した。

- (1) 不具合事例文 [JST] 中の語について、正例負例各 500 語、合計 1000 語を訓練事例として作成する。異なり数は 700 語であり、このうち 213 語が 400 文中に出現する。
- (2) 不具合事例文から取り出した語 (合計約 14 万語) について実体語であるかどうかの判断を行う。
- (3) 14 万語のうち複数回出現する語については、多数決により最終的な実体語であるかどうかを判断する。

この結果、異なり数 12643 語を実体語として抽出した。これらの語を実体語のリストとして使用し、実験においては、実体語のリストに出現する語を実体語であると判断した。

なお、実体語の抽出を完全に正しく実行できれば、実体語を含む文の集合は本研究で抽出しようとする文を完全に包含することになる。よって、実体語を含む文をあらかじめ抽出したうえで、その文が不具合に関する因果関係を含むかどうかを 2 値分類すればよくなり、問題設定が本研究と異なる。しかし、完全に正

しい実体語抽出は実現できていないため、本研究においては素性の一つとして扱うこととした。

#### 5.4.2 実験結果

実験結果について表 18に再現率と精度，F 値を示す。これは交差検定における各検定の平均値である。性能指標毎に，最良の性能を示す素性の組み合わせを調べたところ，精度の最大は「ベースライン 2(坂地らの方法)+ 文末の語」，再現率の最大は，「ベースライン 1(ユニグラム・バイグラム)」，F 値の最大は「ベースライン 2 + (1) 実体語と助詞の組」を利用する場合であった。性能指標毎に 1 位の数値を太字で，2 位の数値には下線を追加して表現した。なお，再現率は，同じ数値で 2 位の条件が 3 つあるため，その 3 つの数値を下線と共に記載した。ベースライン 1 との比較では，新たに提案した実体語に関する素性を追加することで精度，F 値が向上した。ベースライン 2 との比較では，「ベースライン 2 + (1) 実体語と助詞の組」では精度・再現率・F 値が向上し，F 値は全条件の中で最大となった。「ベースライン 2 + (7) 文末の語」では，精度が向上し全条件の中で最大となった。なお，表 18のベースライン 2 は，坂地ら [坂地 11] の手法において，5.4.1節で述べたとおり，助詞を取り出す文節の変更と，オントロジーとその素性抽出方法の変更とを行った方法である。

#### 5.4.3 抽出された文の例

5.4.2節の実験結果において，抽出しようとする因果関係が正しく判断された文，および誤って判断された文の例を本節で述べる。ここで，例として取り上げる文は，「ベースライン 2 と (1) 実体語と助詞の組」を組み合わせた条件で因果関係抽出を行った結果である。

正しく判断された文

抽出しようとする因果関係が含まれており，抽出された文の例を以下に示す。これらは，交差検定において正例の訓練事例として与えた文である。

- (1) ~ 共振が引き金となり再熱器管に漏洩、開口、減肉が発生
- (2) 専門家の検査によると脚立の支えの脚の部分に構造的な問題があり分裂、  
破砕したと報告されている

表 18: 因果関係抽出の実験結果

ベースライン				
	素性	再現率	精度	F 値
ベースライン 1	ユニグラム・バイグラム	69.00 %	86.86 %	76.71 %
ベースライン 2	坂地らの方法	73.50 %	87.72 %	79.78 %
ベースライン 1 に素性を追加				
	素性	再現率	精度	F 値
(1)	実体語と助詞の組	69.00 %	86.86 %	76.71 %
(2)	実体語の意味番号と助詞の組	69.50 %	86.62 %	76.89 %
(3)	実体語ペア	71.00 %	87.06 %	77.97 %
(4)	実体語の分類語彙表番号のペア	72.50 %	84.82 %	77.91 %
(5)	助詞のペア (実体語と共起するもの)	71.00 %	87.06 %	77.97 %
(6)	実体語ユニグラム	68.50 %	87.32 %	76.57 %
(7)	実体語とともに出現する助詞	74.00 %	86.10 %	79.46 %
(8)	文末の語	70.50 %	87.22 %	77.65 %
ベースライン 2 に素性を追加				
	素性	再現率	精度	F 値
(1)	実体語と助詞の組	<b>74.00 %</b>	87.80 %	<b>80.11 %</b>
(2)	実体語の意味番号と助詞の組	<b>74.00 %</b>	87.32 %	<u>79.89 %</u>
(3)	実体語ペア	72.00 %	87.02 %	78.63 %
(4)	実体語の分類語彙表番号のペア	<b>74.00 %</b>	84.92 %	78.82 %
(5)	助詞のペア (実体語と共起するもの)	72.50 %	87.06 %	78.98 %
(6)	実体語ユニグラム	69.50 %	<u>88.86 %</u>	77.72 %
(7)	実体語とともに出現する助詞	71.50 %	88.38 %	78.90 %
(8)	文末の語	71.00 %	<b>88.96 %</b>	78.43 %



- (3) 転石に乗り上げた時や、高速で走行している時に、車体とキャビンとの相対運動で、弾性ゴムが剪断変形してリンクが引っ張られる

抽出しようとする因果関係が含まれておらず、抽出されなかった文の例を以下に示す。これらは、交差検定において負例の訓練事例として与えた文である。各文末の括弧内は、製品、不具合、因果関係の記述のうち、当該文に含まれている記述を表す。

- (1) フォトセンサでコンベアの停止ができなかった (製品・不具合)
- (2) 対応としては、本事例のような、応力腐食割れの対策が有効である (不具合)
- (3) 定期的に行われる圧延ロールの交換作業に多くの時間がかかっていた (製品)

#### 誤って判断された文

抽出しようとする因果関係が含まれているが、抽出されなかった文の例を以下に示す。これらは、交差検定において正例として与えた文である。

- (1) クーリングタワーの水にダストが混入しポンプが破損
- (2) 栓溶接部の許容応力以上の繰り返し荷重によって、疲労破壊した
- (3) 締結作業の効率化でボルト座が陥没した

抽出しようとする因果関係が含まれていないが、抽出された文の例を以下に示す。これらは、交差検定において負例として与えた文である。各文末の括弧内は、製品、不具合、因果関係の記述のうち、当該文に含まれている記述を表す。

- (1) 開梱したところ、黄銅部品にクラックが発生していた (製品・不具合)
- (2) しかし、共振を回避したはずの低い渦列の周波数 (すなわち流速) でも、流れの方向に振れる (不具合)
- (3) 光センサーを検出対象でない壁や床と離して設置し、外乱光を遮光板でカットした (製品)

- (4) 全く腐食性の心配がない大気環境であると過信していたことに油断があった (因果関係・不具合)
- (5) また、当時の気象観測は、現在の気象衛星を活用しての台風情報とは違い、台風の位置、強さ、速度、方向などの把握は極めておそまつであった (因果関係)

## 5.5 考察

ベースライン 1 に今回提案した素性 (1) から (8) を追加すると、再現率は (7) で 5 ポイント、(4) で 3.5 ポイント向上し、(6) で 0.5 ポイント低下した。精度は、(4) で 2 ポイント程度低下し、他は 1 ポイント以内の増減であった。F 値は、(1) と (6) を除いて向上した。

ベースライン 2 に今回提案した素性 (1) から (8) を追加すると、再現率は (1)、(2) および (4) で 0.5 ポイント向上し、(6) で 4 ポイント低下した。精度は (6)、(7) および (8) で 0.6 から 1.2 ポイント向上し、(4) で 2 ポイント以上低下した。F 値は、(1) で 0.4 ポイント、(2) で 0.1 ポイント向上した。

以上の結果において他の条件と比べ、性能の低下が大きかった次の 2 条件について、素性の抽出回数を調査した。

- 再現率の低下 素性 (6) を追加した場合
- 精度の低下 素性 (4) を追加した場合

### 5.5.1 素性“(6) 実体語ユニグラム”についての調査

実体語のユニグラムを追加した場合に再現率低下する原因について検討する。実体語ユニグラムは、語の有無のみの情報を表している。

追加した素性 (1) から (7) のうち、素性 (6) と他の条件と比べると、他の条件では利用している手がかり表現前後の統語的パターンの情報を、素性 (6) のみが、利用していないという特徴がある。

よって、原因としては、実体語の出現情報のみでなく、例えば素性 (1) や (2) のように、実体語の情報と統語的パターンとを組み合わせた特徴が、抽出性能向上により有効であることが考えられる。ベースライン 1 よりもベースライン

2の方が、全体的に抽出性能が向上しているが、これもベースライン2の坂地ら  
の方法で利用する、手がかり表現前後の統語的パターンの情報が、因果関係の抽  
出に有効であるため、と考えられる。このことから、再現率低下の原因として  
ベースライン2と実体語ユニグラムに関する素性では、他の条件と同程度の量  
の正例を抽出するのに必要な量のパターンが抽出できていないことが考えられ  
る。

### 5.5.2 素性“(4) 実体語の分類語彙表番号のペア”についての調査

実体語の分類語彙表番号のペアに関する素性を追加すると、再現率は上昇する  
ものの、精度が低下する傾向があった。この原因としては、抽出しようとする因  
果関係が含まれている文(正例)の多くに出現し、かつ因果関係が含まれていな  
い文(負例)に出現しているいくつかの素性が存在していること、そのような素  
性により負例を誤って正例と判断して抽出していることが考えられる。ベースラ  
イン2に素性(4)を追加した条件において、そのような素性の調査を行った。

その結果、“(4) 実体語の分類語彙表番号のペア”の素性は52種類が抽出され  
ており、正例および負例の両方の文で出現するものは11種類であった。この11  
種類のうち、出現する文が最も多い素性は「分類語彙表に含まれている語が、手  
がかり表現の前および後の両方の表現で出現しないこと」を表す素性であり、正  
例170文、負例70文程度に出現していた。比較的性能のよかった条件で用いた  
素性(1)と(2)について同様の調査を行った結果は以下の通りである。

- 素性“(1) 実体語と助詞の組”では、約100種類が抽出され、このうち正例  
と負例の両方に出現する素性はなかった。
- 素性“(2) 実体語の意味番号と助詞の組”では、約280種類が抽出され、正  
例と負例の両方に出現するのは約50種類である。出現する文が最も多い  
素性は、正例17文、負例6文に出現していた。

(1)および(2)の調査結果と比べると、上記の素性(4)における出現する文が  
最も多い素性は、正例と負例との両方に出現し、両者のうちでは正例に多く出現  
している。すなわち、素性(4)の当該素性は、本節冒頭で予想した特徴によく一  
致する。したがって、再現率を向上させ、精度を低下させた原因はこの素性であ  
る可能性が大きい。

なお、この「分類語彙表に含まれている語が、手がかり表現の前および後の両方の表現で出現しない」素性が出現する文は正例と負例をあわせて 240 文程度であり、対象とした 400 文において半数以上が該当している。この原因として、本研究では、5.3.2 節で述べたとおり、文中から素性となる語を抽出する際に、坂地ら [坂地 11] の手法よりも狭い範囲を対象としていることが考えられる。

## 5.6 第 5 章のまとめ

不具合事例文からの製品開発に利用できる因果関係を抽出するために、製品等に関する不具合の因果関係を取り出す手法を提案し、実験により実体語に関する情報を用いると性能が向上することを確認した。今後の課題として、今回利用した手がかり表現を含まない文における判別性能を向上させるための新たな素性の検討や、文が不具合・製品・因果関係等を含むかどうかにより、判別性能へどのような影響があるかの調査等が考えられる。

素性については、5.5 節に述べたとおり、本研究では、文中から素性となる語を抽出する際に、坂地ら [坂地 11] の手法よりも狭い範囲を対象としている。そこで坂地らが提案するような、より広い範囲を対象とすることで、より多くの素性を抽出でき、性能が向上する可能性がある。また、5.3.2 節では、単一素性について文中の出現状況を調査したが、3.5.2 節、および 3.5.3 節でも述べたとおり、今回の実験で利用した二次の多項式カーネルは、判別にあたり単一素性のみでなく、二素性の組みの寄与度も考慮する。そこで、二素性の組みの寄与度も含めた、より詳細な調査を行い素性および二素性の組み毎の判別性能への影響を明らかにすることも今後の課題である。

# 第 6 章

## 結論

本章では，本研究の成果についてまとめるとともに，今後の課題を明らかにする．

### 6.1 本研究で得られた成果

本論文では，製品開発工程，特に製品の信頼性評価において必要となる情報を不具合事例文書から抽出するための情報抽出手法を提案した．具体的には，情報抽出手法として，信頼性評価を評価対象製品の構成部品毎に行ううえでの支援のために 評価対象製品の構成部品の情報を抽出する手法と，評価対象製品または部品に生じた不具合の原因の影響を評価する支援のために語の実体性に基づいて不具合の因果関係を抽出するための手法を提案した．それぞれの手法の成果について，以降で説明する．

#### 6.1.1 語の実体性に基づいて製品および部品を示す語を抽出する手法

語の実体性に基づいて不具合の因果関係を抽出するために，不具合事例文から製品・部品を示す語を抽出する手法を提案した．

提案手法では，製品・部品を示す語を抽出するために，判別の対象となる語の統語的パターンの特徴ならびにシソーラスを利用し多数決による判別を行った．主な統語的パターンとしては，判別対象の語の係り先動詞，当該動詞の項構造として当該動詞のする文節を係り先にもつ文節の格助詞，および当該格助詞の前の

名詞，判別対象の語に隣接する文節の名詞等である．

実験の結果，提案した手法による製品・部品を示す語の抽出性能は，辞書のみを利用する場合と比べ，二次多項式カーネルと線形カーネルのどちらを用いた場合であっても，再現率および F 値を大きく向上できることが分かった．また，提案した多数決を用いる手法は，多数決を用いない手法と比べて，精度，再現率，F 値を向上できることが分かった．

### 6.1.2 評価対象製品の構成部品を示す語を抽出する手法

評価対象製品の構成部品の情報を抽出する手法としては，シードとして，人手により指定した対象製品に含まれる部品の例を入力として，インスタンス (対象製品とその部品を表す語のペア) と共起するパターンを抽出し，パターンを順位づけして獲得し，インスタンスを獲得する，という動作を繰り返す手法を提案した．

本手法は，WWW 文書から試験対象製品の部品情報を獲得することを目的として，ブートストラッピングにより関係獲得を行う汎用的な *Espresso* アルゴリズム [PP06] に改良を加えたものである．開発工程における作業の効率化を目的としていることから，単語の獲得にあたり，作成コストの大きな辞書を用意することなく，人手をできるだけかけずに単語を獲得するため，ブートストラッピング手法を利用した．

提案手法では，パターン獲得において，未獲得の新たなインスタンスと共起するパターンのみを獲得するという共起するインスタンス範囲に基づく獲得パターンの制御を行った．また，多数のインスタンスを獲得できるが獲得すべきでないインスタンスも獲得してしまうジェネリックなパターンをフィルタリングするために，パターンの共起インスタンス数に基づくフィルタリングを行うとともに，ジェネリックなインスタンスをフィルタリングするために，インスタンスの共起パターン数に基づくフィルタリングを行った．

実験の結果，共起するインスタンス範囲に基づく獲得パターンの制御を行うことで，制御を行わない場合と比べ，10 倍以上のインスタンスを獲得できることが分かった．インスタンスを上位から 150 個以上を獲得した場合においては，ジェネリックなパターンのフィルタリングを実施することで，フィルタリングを実施しない場合と比べて精度が向上し，獲得した正しい部品の異なり数は，ほぼ同程度であることが分かった．

### 6.1.3 因果関係を表す文を抽出する手法

不具合事例文書から製品・部品の不具合に関する因果関係を抽出する手法を提案した。

提案手法では、判別対象の文に出現する語のユニグラム、および構文的な特徴と意味的な特徴を利用する。構文的な特徴として、手がかり表現と係り先または係り元の関係にある文節を対象として、当該文節に出現する助詞を利用する。また、意味的な特徴としては、助詞の前の語がオントロジーに出現する場合には、オントロジー中の当該語の階層的な意味情報を利用する。さらに、因果関係の抽出において、意味的な特徴および構文的な特徴を実体語の観点から拡張した特徴を利用する。

実験の結果、提案した手法による製品・部品に関する不具合の因果関係抽出の性能は、ユニグラム・バイグラムのみを利用する場合と比べると、再現率、精度、F 値を向上できることが分かった。また、実体語を利用する場合は、利用しない場合とを比較すると、実体語を利用することで、わずかではあるものの、再現率、精度、F 値を向上できることが分かった。

## 6.2 今後の課題

### 6.2.1 本研究で扱う不具合情報の対象範囲について

2.9節で述べたとおり不具合事例文書 [JST] から、情報を抽出する実験を行った。この文書には、不具合に関する定性的知識が含まれるものの、定量的な知識は含まれていないため、本研究においても提示できる知識は定性的知識に限られる。例えば、ある特定の種類の製品に対する不具合事例文書に対して、提案した手法を適用し、定量的知識を扱う方法を検討したい。

### 6.2.2 語の実体性に基づいて製品および部品を示す語を抽出する手法について

語の実体性の判断においては、製品または部品を示さない語であるが、実体性のある語と判別された例があった。これは、今回提案した素性の範囲では他の実体性のある語と同様のパターンで利用されているためであり、新たな素性を含め

た別の判別手法が必要である。例えば、「人々」「障害物」「積荷」のような、不具合事例に纏わる「モノ」を示す語であるが、製品や部品を示さない語を取り除く方法は今後の課題である。

本研究では、概念階層を表現する辞書として分類語彙表を利用したが、収録する概念および語の規模がより大きな辞書を利用した場合の性能評価が課題として考えられる。ただし、3.3.6節においても述べたとおり、広い種類の工業製品に関する用語辞書やオントロジーは公表されていないため、本論文の執筆時点においては、広く日本語一般の用語を対象とした辞書として、例えばEDR 辞書 [EDR01] や日本語語彙大系 [NTT97] 等が候補である。今回対象とした不具合事例文書に含まれる製品や部品がより多く含まれる辞書であれば、実体性の判別性能は、辞書のみを利用した場合、および辞書とその他の素性を利用する提案手法の場合ともに、ある程度の性能向上が期待できる。

### 6.2.3 評価対象製品の構成部品を示す語を抽出する手法について

構成部品の情報を抽出性能の評価において、インスタンスの上位から 200 個を抽出した場合の精度は 70% 程度であり、より高精度に抽出する手法の検討が課題である。

解決策として、文書からの文および単語としての切り出し方を工夫する方法が考えられる。本手法は、パターンとインスタンスの出現頻度に基づいて部品の情報を抽出するが、その際にパターンに一致する任意の長さの単語列を、部品の候補として切り出している。このため、「エンジン用ギヤ等の部品がA国製自動車に使われた」という文に「<\*\_part>等の部品が<\*\_whole>に使われた」というパターンを適用した場合に、インスタンスのうち部品としては「エンジン用ギヤ」「用ギヤ」「ギヤ」の3つが獲得される。

この現象はパターンとインスタンスの出現頻度に基づく本手法の限界であるため、さらなる精度向上には、語の専門用語らしさや語の境界を推定する手法や、インスタンスの品詞の情報を利用することで、誤った位置で語を切り出しているインスタンスの獲得を防ぐ方法が必要である。

別の課題として、表記の異なる語間での対応の問題がある。本手法で抽出した構成部品を表す語と、抽出された不具合の因果関係が記述された文に出現する部品を示す語が同一の部品を示しているにもかかわらず、表記は異なる可能性があり得る。そのような場合に同一の部品であることが認識できないと、開発中の製品に関連のあ



る不具合と認識できないことになる。しかしながら，異表記同義語を認識する研究は以前より多く行われてきており，それらの成果を製品や部品を示す語に対しても適用して，性能が向上するか検証したい。

また，本手法は，比較的大規模な文書を対象として構成部品を抽出する手法であるので，抽出対象となる大規模な文書集合として，WWW 文書を利用している。WWW 文書には，不具合事例文以外の文も含まれていることから，大規模な不具合事例文書を対象とした本手法の有効性の検証が，今後の課題である。

#### 6.2.4 製品に生じた不具合の因果関係を抽出する手法について

因果関係の抽出においては，今回利用した手がかり表現を含まない文における判別性能を向上させるための新たな素性の検討や，文が不具合・製品等・因果関係を含むかどうかにより，判別性能へどのような影響があるかの調査等が考えられる。手がかり表現を含まない文においても，実験において素性として利用した助詞が複数箇所に出現していることがあった。このような本研究で利用した手がかり表現が出現しない文から，手がかり表現が出現する文と同様に素性を取り出す方法としては，今回は人手で与えていた手がかり表現を自動的に獲得することで手がかり表現の量を増やす方法や，手がかり表現の省略された位置を推定する方法等が考えられる。

素性については，5.6節に述べたとおり，本研究では，文中から素性となる語を抽出する際に，坂地ら [坂地 11] の手法よりも狭い範囲を対象としている。そこで坂地らが提案するような，より広い範囲を対象とすることで，より多くの素性を抽出でき，性能が向上する可能性がある。また，本研究では評価表現に関する情報は利用しなかったが，不具合に関する表現を抽出する性能を向上させるために，評価表現辞書 [乾 06, 小林 05] に関する新たな素性を利用することが考えられる。

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの御指導、御助言を賜りました森辰則先生に深く感謝致します。卒業研究と修士課程に続き、今回の博士課程と長期間にわたって様々な面でご指導いただき、どうもありがとうございました。

審査委員として、研究に対するご意見・ご助言を頂いた有澤博先生、田村直良先生、長尾智晴先生、富井尚志先生に深く感謝致します。

進学にあたりご配慮をいただいた長野県工業技術総合センター 池田博通所長、酒井伸材料技術部門長、村石道弘製品科学部長をはじめ、長野県工業技術総合センターの皆様には厚く謝意を申し上げます。

また、計算機環境の維持管理、事務手続き等で研究をサポートくださった池田茂様、研究についてアドバイスをくださった渋谷英潔様、ソースコード等の研究成果をご提供くださった石下円香様をはじめ、多くのご協力をいただきました森研究室の皆様には感謝いたします。

この研究は、筆者が製品開発やシステム開発に参画した際に、開発期間等が限られた中で信頼性および品質を確保する方法について、参画したメンバとともに模索した経験が発端となりました。そのような経験を与えてくださった長野県工業技術総合センターご利用企業の皆様、ならびに東日本電信電話株式会社 ビジネスユーザ事業推進本部(当時)、および日本電信電話株式会社 サイバースリユーション研究所在籍時に参画させていただいた研究開発およびシステム構築等のプロジェクトにおいて、ご指導くださった皆様、およびメンバとして参画され多くの議論に参加してくださった皆様に感謝いたします。

長岡技術科学大学 北島宗雄先生、信州大学 島田英昭先生、独立行政法人産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門(当時)の皆様には、製品のヒューマンエラー等についての研究の機会を与えていただきました。ありがとうございました。

中村正幸様、柳澤和恵様には、英文での論文発表にあたりアドバイスをいただ

きました。大森岳史様には，実験用システムの実装に関するアドバイスをいただきました。ありがとうございました。

博士課程での研究活動を常に励まし多くの面で支えてくださった友人諸氏に感謝します。

最後になりますが，このような教育を受ける機会と研究の環境を与えてくれた両親と，そして妻に感謝します。

本研究の一部は，横浜国立大学大学院環境情報研究院平成 23 年度共同研究推進プログラムおよび平成 22 年度共同研究プロジェクトならびに平成 22 年度 横浜国立大学国際学術交流奨励事業助成を受けています。

# 発表文献

## 博士論文に関する発表文献

### 査読付学術雑誌論文

- (1) 大森信行, 森辰則. 不具合事例文からの製品・部品を示す語の抽出 — 語の実体性による分類 —. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J95-D, No.3, pp. 697–706, (2012)

### 査読付国際会議論文

- (1) Nobuyuki Ohmori and Tatsunori Mori. Novel Approach for Test Methods Automatic Selection in Product Reliability — Improved Method for Acquiring Part-Whole Relation —. In *Proceedings of the International Conference on Machine Learning and Application (ICMLA 2010)*, pp. 834–839, (2010)
- (2) Nobuyuki Ohmori and Tatsunori Mori. Causal Relation Extraction From Failure Analysis Documents, In *Proceedings of the Fifteenth IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing (ASC 2012)*, (2012). (発表予定)

### 全国大会, 研究会論文

- (1) 大森信行, 森辰則. 不具合事例文書からの製品・部品に関する因果関係抽出手法の検討. 言語処理学会第 18 回年次大会発表論文集, pp. P1192–1195, (2012).

- (2) 大森信行, 森辰則. 不具合事例からの因果関係抽出に向けた実体性のある名詞の抽出手法の検討. 言語処理学会第 17 回年次大会発表論文集, pp. 240–243, (2011).
- (3) 大森信行, 森辰則. 製品評価における試験手順の自動生成に向けた手法の検討. 言語処理学会第 16 回年次大会発表論文集, pp. 1042–1045, (2010).
- (4) 大森信行, 森辰則. 製品評価における試験手順の自動生成に向けた手法の検討. 言語処理学会第 15 回年次大会発表論文集, pp. 144–147, (2009).

## その他の関連する発表文献

### 査読付学術雑誌論文

- (1) 大森信行, 中村正幸, 高木秀昭, 滝沢正臣. 漏洩同軸ケーブルによる生体情報の計測. 日本遠隔医療学会雑誌, Vol. 7 No. 2, pp. 230–233, (2011)
- (2) 大森信行, 北島宗雄. モデルヒューマンプロセッサに基づくロータリスイッチの回転操作の分析. 人間工学, Vol. 46, No. 4 pp.272–276, (2010)

### 全国大会, 研究会論文

- (1) 大森信行, 村澤智啓, 佐藤真. 製品の信頼性評価における加速試験技術の確立. 長野県工業技術総合センター研究報告, No.6, pp.M18–M21, (2011).
- (2) 大森信行, 北島宗雄. プロトタイプングツールによる計測機器の操作時間予測. 長野県工業技術総合センター研究報告, No. 5, pp. 36–39, (2010)
- (3) 大森信行, 小坂橋竜雄, 佐須田好洋, 傳田博, 荒井剛, 山下恭弘. 音響焦点に吸音させる先端改良型遮音壁の挿入損失効果. 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2009 予稿集, p.79–80. 計測自動制御学会, (2009)
- (4) 大森信行, 北島宗雄. ユーザビリティ評価のための要素的動作の測定. 長野県工業技術総合センター研究報告, No. 4, pp. 48–52, (2009).
- (5) 小坂橋竜雄, 大森信行, 風間武, 石坂和明, 村上泰, 細尾昇平, 竜野三千生, 辰野昭司, 前島浩治, 池田健二, 丸山元広, 松浦潔, 内藤壮介. プレス加工コイ

- ルと新規絶縁材料を用いた大電流インダクタ開発. 長野県工業技術総合センター研究報告, No. 4, pp. 38-42, (2009).
- (6) 大森信行, 小板橋竜雄, 佐須田好洋, 傳田博, 荒井剛, 黒木拓, 山下恭弘. 音響焦点に吸音させる先端改良型遮音壁の挿入損失効果. 長野県工業技術総合センター研究報告, No. 3, pp. 44-49, (2008).
- (7) 大森信行. 製品の安全性・操作性評価技術. 長野県工業技術総合センター研究報告, No. 3, pp. 58-60, (2008).

## 参考文献

- [Apache] The Apache Software Foundation. Lucene. <http://lucene.apache.org/>, (参照 2012-04-02).
- [BCM08] Eduardo Blanco, Nuria Castell, and Dan Moldovan. Causal relation extraction. *Language Resources and Evaluation*, pp. 310–313, 2008.
- [Bis07] Christopher M. Bishop(著), 元田浩, 栗田多喜夫, 樋口知之, 松本裕治, 村田昇 (監訳). *パターン認識と機械学習 上*. シュプリンガー・ジャパン, 東京, 2007.
- [Bis08] Christopher M. Bishop(著), 元田浩, 栗田多喜夫, 樋口知之, 松本裕治, 村田昇 (監訳). *パターン認識と機械学習 下*. シュプリンガー・ジャパン, 東京, 2008.
- [CC06] Du-Seong Chang and Key-Sun Choi. Incremental cue phrase learning and bootstrapping method for causality extraction using cue phrase and word pair probabilities. *Information processing & management*, Vol. 42, No. 3, pp. 662–678, 2006.
- [Gir03] Roxana Girju. Automatic detection of causal relations for question answering. In *Proceedings of the ACL 2003 workshop on Multilingual summarization and question answering-Volume 12*, pp. 76–83. Association for Computational Linguistics, 2003.
- [HYT10] Kazuo Hiekata, Hiroyuki Yamato, and Sho Tsujimoto. Ontology based knowledge extraction for shipyard fabrication workshop reports. *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, pp. 7380–7386, November 2010.

- [Joa09] Thorsten Joachims. SVM *light*, 2009. <http://svmlight.joachims.org/>, (参照 2012-04-02).
- [JST] JST 独立行政法人科学技術振興機構. 失敗事例データベース. 畑村創造工学研究所 <http://www.sozogaku.com/fkd/index.html>, (参照 2012-04-02).
- [JST05] JST 独立行政法人科学技術振興機構. JST ホームページ プレスリリース 科学技術振興機構報 第 161 号 (失敗事例データベースの一般公開を開始), 2005. <http://www.jst.go.jp/info/info161/index.html>, (参照 2012-04-4).
- [NTT97] NTT コミュニケーション科学基礎研究所 (監修), 池原悟, 宮崎正弘, 白井諭, 横尾昭男, 中岩浩巳, 小倉健太郎, 大山芳史, 林 良彦 (編集). 日本語彙大系 CD-ROM 版. 岩波書店, 1997.
- [PP06] Patrick Pantel and Marco Pennacchiotti. *Espresso*: leveraging generic patterns for automatically harvesting semantic relations. In *Proceedings of the 21st International Conference on Computational Linguistics (COLING/ACL2006)*, pp. 113–120, 2006.
- [PR04] Patrick Pantel and Deepak Ravichandran. Automatically labeling semantic classes. In *Proceedings of Human Language Technology conference / North American chapter of the Association for Computational Linguistics annual meeting (HLT/NAACL)*, Vol. 4, pp. 321–328, 2004.
- [PRH04] Patrick Pantel, Deepak Ravichandran, and Eduard Hovy. Towards terascale knowledge acquisition. In *Proceedings of the 20th international conference on Computational Linguistics*, p. 771. Association for Computational Linguistics, 2004.
- [RH02] Deepak Ravichandran and Eduard Hovy. Learning surface text patterns for a question answering system. In *Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*, pp. 41–47. Association for Computational Linguistics, 2002.
- [SI00] Satoshi Sekine and Hitoshi Isahara. IREX: IR and IE evaluation project in japanese. In *Proceedings of the 2nd International Conference on*



- Language Resources and Evaluation*, pp. 1475–1480, 2000.
- [SN04] Satoshi Sekine and Chikashi Nobata. Definition, dictionaries and tagger for extended named entity hierarchy. In *Proceedings of the Language Resources and Evaluation Conference (LREC)*, pp. 1977–1980, 2004.
- [青山 01] 青山和浩, 武市祥司, 古賀毅. 信頼性設計を段階的に支援する故障情報マネージメントシステムの提案と構築. 日本機械学会 第 10 回交通・物流部門大会講演論文集, pp. 245–246. 日本機械学会, 2001.
- [青山 04] 青山和浩, 江副友亮, 古賀毅, 清雄一. 概念設計段階における信頼性向上を考慮したシナリオベース設計支援. 第 14 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp. 37–40. 日本機械学会, 2004.
- [安食 88] 安食恒雄監修, 松下電子工業株式会社編. 半導体デバイスの信頼性評価技術. 日科技連出版社, 1988.
- [荒牧 06] 荒牧英治, 今井健, 梶野正幸, 美代賢吾, 大江和彦. メタ関係を利用したテキストからの人体部位関係の抽出. 言語処理学会第 12 回年次大会発表論文集, pp. 508–511. 言語処理学会, 2006.
- [伊田 04] 伊田政樹, 中嶋宏. 不具合文書を対象とした因果知識獲得. 第 51 回自動制御連合講演会演論文集, pp. 357–360. 計測自動制御学会, システム制御情報学会, 日本機械学会, 化学工学会, 精密工学会, 日本航空宇宙学会, 2004.
- [井出 96] 井出裕二, 藤吉誠, 永井秀利, 中村貞吾, 野村浩郷. テンプレートを用いた新聞記事からの製品情報抽出システム. 自然言語処理研究会報告 96-NL-115, 情報処理学会, 1996.
- [乾 04] 乾孝司, 乾健太郎, 松本裕治. 接続標識「ため」に基づく文書集合からの因果関係知識の自動獲得. 情報処理学会論文誌, Vol. 45, No. 3, pp. 919–933, 2004.
- [乾 05] 乾孝司, 奥村学. 文書内に現れる因果関係の出現特性調査. 自然言語処理研究会報告 2005-NL-167, 情報処理学会, 2005.

- [乾 06] 乾孝司, 奥村学. テキストを対象とした評価情報の分析に関する研究動向. 自然言語処理, Vol. 13, No. 3, pp. 201-241, 2006.
- [岩爪 97] 岩爪道昭, 武田英明, 西田豊明, 太田衛, 高岡良行, 水上雄一. オントロジーを用いた現場技術情報共有の知的支援. 電子情報通信学会技術研究報告 OFS97-18, 電子情報通信学会, 1997.
- [航空] 運輸安全委員会事務局. 航空事故インフォメーション. <http://www.mlit.go.jp/jtsb/aircraft/index.php>, (参照 2012-04-02).
- [船舶] 運輸安全委員会事務局. 船舶事故インフォメーション. <http://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/index.php>, (参照 2012-04-02).
- [鉄道] 運輸安全委員会事務局. 鉄道事故インフォメーション. <http://www.mlit.go.jp/jtsb/railway/index.php>, (参照 2012-04-02).
- [大森 12] 大森信行, 森辰則. 不具合事例文からの製品・部品を示す語の抽出. 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol. 95, No. 3, pp. 697-706, 2012.
- [香川 06] 香川登志雄, 池野紀子. 設計現場でのナレッジマネジメント革新と新人技術者の育成. 日本品質管理学会誌 品質, Vol. 36, No. 1, pp. 22-28, 2006.
- [鹿島 11] 鹿島矯, 木村廣隆, 小泉英明, 今村誠. 知識の構造化による設計不具合防止システムの運用と評価. 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 5, pp. 607-620, 2011.
- [來村 99] 來村徳信, 溝口理一郎. 故障オントロジー: 概念抽出とその組織化. 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 5, pp. 828-837, 1999.
- [來村 02] 來村徳信, 溝口理一郎. オントロジー工学に基づく機能的知識体系化の枠組み. 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 1, pp. 61-72, 2002.
- [工藤 02] 工藤拓, 松本裕治. チャンキングの段階適用による日本語係り受け解析. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 6, pp. 1834-1842, 2002.
- [小路 05] 小路悠介, 來村徳信, 溝口理一郎. 統合機能モデルを用いた不具合対策知識再利用について. 2005年度人工知能学会全国大会(第19回)論文集. 人工知能学会, 2005.

- [小路 07] 小路悠介, 來村徳信, 加藤義清, 筒井良夫, 溝口理一郎. 相互運用性を指向した機能・不具合知識の統合とその概念写像に基づく知識変換. 人工知能学会論文誌, Vol. 22, No. 1, pp. 78–92, 2007.
- [古賀 05] 古賀毅. 設計・生産における製品の不具合情報の統合マネジメントに関する研究. 東京大学博士論文, 東京大学, 2005.
- [国土] 国土交通省 自動車局審査・リコール課. 自動車のリコール・不具合情報. <http://www.mlit.go.jp/jidosha/carinf/rcl/index.html>, (参照 2012-04-02).
- [古崎 09] 古崎晃司. ドメインオントロジーの構築と利用. 情報知識学会誌, Vol. 19, No. 4, pp. 296–305, 2009.
- [小林 10] 小林暁雄, 増山繁, 関根聡. Wikipedia と汎用シソーラスを用いた汎用オントロジー構築手法. 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol. 93, No. 12, pp. 2597–2609, 2010.
- [小林 05] 小林のぞみ, 乾健太郎, 松本裕治, 立石健二, 福島俊一. 意見抽出のための評価表現の収集. 自然言語処理, Vol. 12, No. 3, pp. 203–222, 2005.
- [小町 08a] 小町守, 鈴木久美. 検索ログからの半教師あり意味知識獲得の改善. 人工知能学会論文誌, Vol. 23, No. 3, pp. 217–225, 2008.
- [小町 08b] 小町守, 工藤拓, 新保仁, 松本裕治. カーネル法を用いた意味的類似度の定義とブートストラップの一般化. 言語処理学会第 14 回年次大会発表論文集, pp. 825–828. 言語処理学会, 2008.
- [小町 10] 小町守, 飯田龍, 乾健太郎, 松本裕治. 名詞句の語彙統語パターンを用いた事態性名詞の項構造解析. 自然言語処理, Vol. 17, No. 1, pp. 141–159, 2010.
- [小松 08] 小松原明哲. ヒューマンエラー. 丸善, 2008.
- [坂地 08] 坂地泰紀, 関根聡, 増山繁, 酒井浩之. 構文パターンを用いた因果関係の抽出. 言語処理学会第 14 回年次大会発表論文集, pp. 1144–1147. 言語処理学会, 2008.

- [坂地 11] 坂地泰紀, 増山繁. 新聞記事からの因果関係を含む文の抽出手法. 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol. 94, No. 8, pp. 1496–1506, 2011.
- [笹野 08] 笹野遼平, 黒橋禎夫. 大域的情報を用いた日本語固有表現認識. 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 11, pp. 3765–3776, 2008.
- [塩見 83] 塩見弘. FMEA、FTA の活用. 日科技連出版社, 1983.
- [下村 06] 下村芳樹, 吉岡真治, 武田英明, 富山哲男. アブダクションに基づく設計者支援環境の基本構想. 日本機械学会論文集. C 編, Vol. 72, No. 713, pp. 274–281, 2006.
- [鄭 97] 鄭敬勲, 飯塚悦功. FMM 図の作成による故障モードの効果的な原因および影響解析. 日本品質管理学会誌 品質, Vol. 27, No. 4, pp. 108–116, 1997.
- [鈴木 08] 鈴木和幸, CARE 研究会. 信頼性七つ道具 R7 (信頼性技術叢書). 日科技連出版社, 2008.
- [鈴木 06] 鈴木大介, 内海彰. Support Vector Machine を用いた文書の重要文節抽出 – 要約文生成に向けて –. 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 330–339, 2006.
- [製品 08] NITE 独立行政法人製品評価技術基盤機構. 平成 19 年度 事故情報収集・調査報告書, 2008. <http://www.nite.go.jp/jiko/reports/H19/H19.html>, (参照 2012-04-02).
- [製品 11] 独立行政法人 製品評価技術基盤機構生活安全ジャーナル編集事務局. NITE データベースにみるヒューマンエラーによる事故. 生活安全ジャーナル, Vol. 11, pp. 4–7, 2011. [http://www.nite.go.jp/jiko/journal/journal\\_vol11.pdf](http://www.nite.go.jp/jiko/journal/journal_vol11.pdf), (参照 2012-03-30).
- [製品 12] NITE 独立行政法人製品評価技術基盤機構. 事故情報収集制度における事故情報の調査結果について (平成 23 年度第 4 四半期調査終了分), 2012. [http://www.nite.go.jp/jiko/reports/H23/H23\\_04\\_1.html](http://www.nite.go.jp/jiko/reports/H23/H23_04_1.html), (参照 2012-04-02).

- [周俊 06] 周俊, 綿貫啓一. 機械設計のための技能オントロジー: e ラーニングへの適用. 日本機械学会 2005 年度年次大会講演資料集 (7), pp. 167–168. 日本機械学会, 2006.
- [高村 10] 高村大也, 奥村学. 言語処理のための機械学習入門. コロナ社, 2010.
- [田村 02] 田村泰彦, 飯塚悦功. 不具合に関する設計知識の運用に関する研究 – 不具合に至る因果連鎖の知識構造の構築. 日本品質管理学会誌 品質, Vol. 32, No. 1, pp. 122–135, 2002.
- [田村 05a] 田村泰彦. 構造化知識の運用に基づく設計不具合の予測と未然防止. 日本品質管理学会誌 品質, Vol. 35, No. 1, pp. 18–32, 2005.
- [田村 05b] 田村泰彦, 飯塚悦功, 松川勇樹. 工程設計のための不具合に関する知識の運用: 工程不具合の因果連鎖に関する知識構造の構築. 日本品質管理学会誌 品質, Vol. 35, No. 2, pp. 95–113, 2005.
- [丹治 09] 丹治広樹, 村田真樹, 柿澤康範. トラブルを表す文の Web からの抽出. 言語処理学会第 15 回年次大会発表論文集, pp. 140–143. 言語処理学会, 2009.
- [土屋 08] 土屋雅稔, 肥田新也, 中川聖一. 非頻出語に対して頑健な日本語固有表現の抽出. 自然言語処理研究会報告 2008-NL-185, 情報処理学会, 2008.
- [東芝 11] 株式会社東芝 (東芝 セミコンダクター & ストレージ). 東芝半導体信頼性ハンドブック (資料番号 BDJ0128H), 2011. <http://www.semicon.toshiba.co.jp/product/reliability/handbook/index.html>, (参照 2012-03-30).
- [富田 98] 富田一郎, 手塚祐一, 山本修一郎, 長岡満夫. HTML 文書からの商品情報抽出方式の提案. 電子情報通信学会技術研究報告 KBSE97-27, 電子情報通信学会, 1998.
- [中尾 99] 中尾政之, 服部和隆, 畑村洋太郎. 設計のナレッジマネジメント – 創造設計原理と TRIZ (実際の設計選書). 日刊工業新聞社, 1999.
- [中山 05] 中山康子. 設計開発における知識継承. 日本機械学会 2005 年度年次大会講演資料集 (8), pp. 357–358. 日本機械学会, 2005.

- [長江 05] 長江雅史, 篠崎順子. 製品開発におけるナレッジの活用. 日本機械学会 2005 年度年次大会講演資料集 (8), pp. 355-356. 日本機械学会, 2005.
- [長野 11] 長野県商工労働部. 平成 23 年度長野県工業技術動向調査結果, 2011.
- [成子 05] 成子由則, 有吉秀穂, 石川均, 木村文彦, 大和裕幸. モノづくりの知識継承システムの構築. 日本機械学会 第 14 回 設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp. 326-327. 日本機械学会, 2005.
- [JIS00] 日本工業規格. JIS Z 8115 デイペンダビリティ (信頼性) 用語, 2000.
- [JIS06] 日本工業規格. JIS Q 9000 品質マネジメントシステム - 基本及び用語, 2006.
- [JIS11a] 日本工業規格. JIS C 5750-4-3 デイペンダビリティマネジメント - 第 4-3 部: システム信頼性のための解析技法 - 故障モード・影響解析 (FMEA) の手順, 2011.
- [JIS11b] 日本工業規格. JIS C 5750-4-4 デイペンダビリティ マネジメント - 第 4-4 部: システム信頼性のための解析技法 - 故障の木解析 (FTA), 2011.
- [EDR01] 株式会社日本電子化辞書研究所. EDR 電子化辞書 2.0 版 仕様説明書, 2001. [http://www2.nict.go.jp/r/r312/EDR/J\\_index.html](http://www2.nict.go.jp/r/r312/EDR/J_index.html), (参照 2012-04-01).
- [野間口 09] 野間口大, 高畑一真, 藤田喜久雄. 統合型設計支援のための設計操作の動的構造化と知識管理. 日本機械学会 2009 年度年次大会講演資料集 (7), pp. 335-336. 日本機械学会, 2009.
- [畑村 00] 畑村洋太郎, 中尾政之. 設計者が欲しい設計支援システムの開発. 情報処理学会誌 情報処理, Vol. 41, No. 7, pp. 862-867, 2000.
- [畑村 03] 畑村洋太郎, 中尾政之, 飯野謙次. 失敗知識データベース構築の試み. 情報処理学会誌 情報処理, Vol. 44, No. 7, pp. 733-739, 2003.
- [稗方 08] 稗方和夫, 大和裕幸, 辻本翔. オントロジーを用いた製造現場の不具合情報検索手法に関する研究. 人工知能学会研究会資料 SIG-KST-2008-01-02, 人工知能学会研究会資料, 2008.

- [平尾 03] 平尾努, 磯崎秀樹, 前田英作, 松本裕治. Support Vector Machine を用いた重要文抽出法. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 8, pp. 2230–2243, 2003.
- [分類 04] 分類語彙表. 国立国語研究所, 2004.
- [間瀬 02] 間瀬久雄, 絹川博之, 森井洋, 中尾政之, 畑村洋太郎. 思考過程の思考展開図表現に基づく機械設計支援システム. 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 1, p. 93, 2002.
- [松尾 99] 松尾衛, 森辰則. 教師あり学習と EDR 概念辞書に基づく固有表現抽出システム. 「知識発見のための自然言語処理」シンポジウム論文集, 1999.
- [松本 03] 松本裕治, 北内啓, 山下達雄, 平野善隆, 松田寛, 高岡一馬, 浅原正幸. 形態素解析システム ChaSen Version 2.3.3 使用説明書, 2003.
- [水口 07] 水口弘紀, 河合英紀, 土田正明, 久寿居大. Web 知識を利用したブートストラップによる辞書増殖手法. 第 18 回データ工学ワークショップ論文集. 電子情報通信学会, 2007.
- [溝口 02] 溝口理一郎, 來村徳信, 布瀬雅義. オントロジー工学の成功事例 – 機能オントロジーに基づく生産技術知識の共有・再利用. 人工知能学会研究会資料 SIG-KBS-A202, 人工知能学会, 2002.
- [溝口 05] 溝口理一郎. 知の科学 オントロジー工学. オーム社, 2005.
- [宮崎 08] 宮崎林太郎, 前田直人, 森辰則. 複数注釈者による評判情報コーパスの作成と評判情報の自動抽出. 言語処理学会第 14 回年次大会発表論文集, pp. 348–351. 言語処理学会, 2008.
- [用田 04] 用田敏彦, 横張孝志, 針谷昌幸, 岡村英司. ピストン開発設計支援ナレッジベーストエンジニアリングシステムの開発. 日本機械学会 2004 年度年次大会講演論文集, pp. 243–244. 日本機械学会, 2004.
- [山田 02] 山田寛康, 工藤拓, 松本裕治. Support Vector Machine を用いた日本語固有表現抽出. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 1, pp. 44–53, 2002.

[大和 08] 大和裕幸, 稗方和夫, 辻本翔. オントロジーを用いた類似不具合事例の  
収集システムに関する研究. 日本機械学会 第 18 回設計工学・システム部  
門講演会講演論文集, pp. 48-51. 日本機械学会, 2008.