

平成 29 年度原子力規制庁委託成果報告書

原子力規制検査等への情報処理技術の活用に関
する調査

みずほ情報総研株式会社
平成 31 年 3 月

本報告書は、原子力規制委員会原子力規制庁からの委託により実施した業務の成果を取りまとめたものです。

本報告書に関する問合せは、原子力規制庁までお願いします。

目 次

1. 作業要領	1
1.1. 本調査の目的	1
1.2. 本調査の概要	1
1.3. 本調査の役務内容	1
(1) 原因分析の結果の論理性の確認に対して適用可能な技術の網羅的な調査	1
(2) 調査した技術の原因分析の結果に対する試行的適用	2
(3) 原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計	2
(4) まとめ	2
1.4. 調査結果	3
(1) 原因分析の結果の論理性の確認に対して適用可能な技術の網羅的な調査	4
I. 背景の整理	4
ア. 「システミックアプローチ」について	4
イ. システミックアプローチに基づく「論理性」の定義	4
ウ. 原子力以外の分野における既存適用事例の把握	9
II. 論理性の確認に対応可能な手法の調査	11
ア. 自然言語処理技術	12
イ. その他情報処理技術	18
III. 情報処理技術の将来動向の調査	20
(2) 調査した技術の原因分析の結果に対する試行的適用	24
I. 課題の設定	24
II. 実施プロセス	26
III. データの整備等	26
ア. ヒューマンファクタ事例データベースの整理	26
イ. トラブル事例の報告書の整理	27
ウ. 一般事故のデータの整理	27
エ. 専門用語の抽出	28
IV. 検証方法と結果	28
ア. 文の抽出・分類	28
イ. 文間の関係性の分析	30
ウ. 検証結果のまとめ	31
(3) 原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計	33
I. 現時点の技術で開発可能なシステムの概念設計	33
II. 平成 30 年度末以降 4 年以内の開発可能と考えられる自然言語処理技術を想定したシステムの概念設計	34

(4) まとめ.....	36
1.5. 参考資料.....	38
(1) 報告会議事録.....	38
(ア) 中間報告会	38
(イ) 最終報告会	39
1.6. 参考資料.....	41

1. 作業要領

1.1. 本調査の目的

現在原子力規制庁が検討を進めている「原因分析に係るガイド」においては、事業者による不適合の原因分析の状況を確認することとしている。原因分析の状況の確認においては「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等が論理的であるかどうかを確認することが重要であることから、本事業は、原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムを開発することを目的とする。

平成 29 年度事業では、原因分析の結果の論理性の確認に対して適用可能な技術を網羅的に調査し、調査した技術を原因分析の結果に対して試行的に適用し、原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計を行う。

1.2. 本調査の概要

本事業は、原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムを開発することを目的として、平成 29 年度事業では、原因分析の結果の論理性の確認に対して適用可能な技術を網羅的に調査し、調査した技術を原因分析の結果に対して試行的に適用し、原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計を行う。

具体的には、原因分析の結果の論理性の確認に対して適用可能な技術（情報処理技術を含む。）を調査する。また、調査した技術を、一般産業界及び原子力業界において実施された原因分析の結果に対して試行的に適用する。さらに、試行的適用の結果から、調査した技術をどのように応用すれば原因分析の結果の論理性の確認に対して有効となるかを検討し、原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計を行う。

1.3. 本調査の役務内容

(1) 原因分析の結果の論理性の確認に対して適用可能な技術の網羅的な調査

原因分析の結果の論理性の確認に対して適用可能な技術を網羅的に調査する。ここで、原因分析の結果の論理性の確認の観点には、少なくとも以下の項目を含めるものとして調査を実施する。

- 原因分析の結果から「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章の抽出
- 「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章それぞれの論理性の判断
- 「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章同士の論理性の判断

また、調査対象とする技術には、少なくとも情報処理技術を含めるものとする。調査の方法は、文献による調査、契約期間内に開催される国内外の学会等の参加による調査等とする。

(2) 調査した技術の原因分析の結果に対する試行的適用

一般産業界及び原子力業界において実施された原因分析の結果に対して、調査した技術を試行的に適用する（ただし、適用対象とする原因分析の結果には非公開情報を含まないものとする）。なお、この試行的な適用においては、原因分析の結果の論理性の確認の観点で、調査した技術を応用することを含めるものとする。

(3) 原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

試行的適用の結果から、調査した技術をどのように応用すれば原因分析の結果の論理性の確認に対して有効となるかを検討し、原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステム（現時点の技術で開発可能なもの及び平成 30 年度末以降 4 年以内に開発可能と考えられるもの）の概念設計を行う。

(4) まとめ

(1)から(3)までの成果（応用した技術を含む）をまとめるとともに、原因分析の結果の論理性の確認に対する技術の適用に際しての更なる課題や応用の可能性等についてもまとめる。

なお、本調査にあたって、委託事業開始時における研究実施計画の説明のためのキックオフ会を開催する。また、事業進捗状況の説明のための中間報告会及び最終成果報告会を開催するものとし、これらの会合には、第三者有識者（3 名程度）を招聘し、報告内容に対する意見聴取を行い、この結果を研究内容や成果のとりまとめの参考とする。なお、報告会の開催や報告書の作成に当たっては、原子力規制庁殿と相談の上で進める。

受託者は、原子力規制庁殿担当官と 1~2 ヶ月に 1 回程度の打合せを行うとともに、事業の進捗を詳細に把握し、月報を作成して原子力規制庁殿に提出する。また、事業の途中段階において、原子力規制庁殿からの要請があった場合は、途中段階の状況を原子力規制庁担当官に報告する。

1.4. 調査結果

1.3 の役務内容の各項目の相関図を図 1-1 に示す。なお、全体を通じて事業進捗の管理と成果総括に係る活動（キックオフ会合、中間報告会及び最終報告会の開催、打合せの実施、月報の提出等）を実施する。

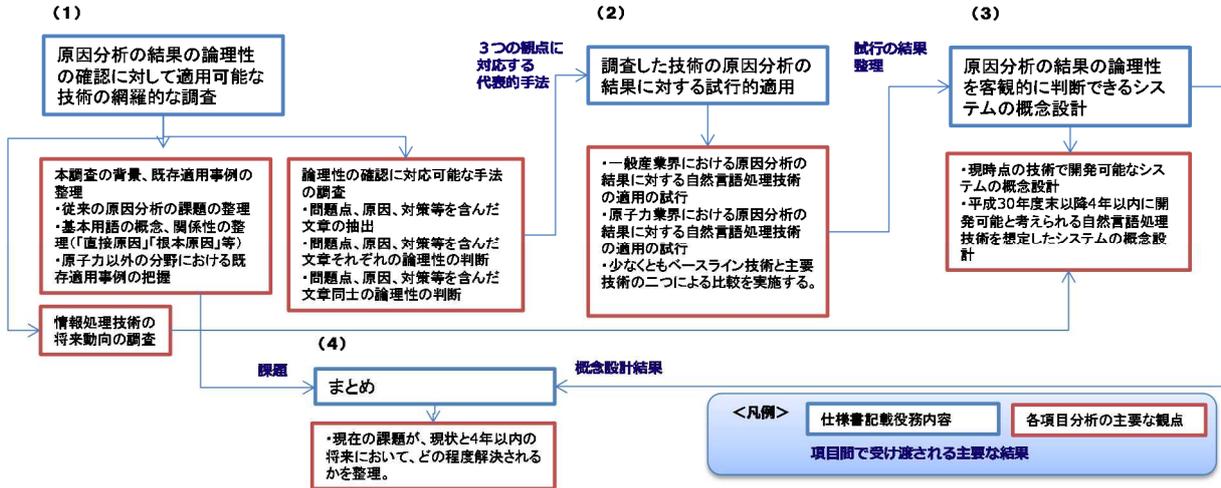


図 1-1 本調査の作業項目

(1) 原因分析の結果の論理性の確認に対して適用可能な技術の網羅的な調査

I. 背景の整理

ア. 「システミックアプローチ」について

実用発電用原子炉等の安全文化及び原因分析に係る活動に関し、平成 28 年 11 月 22 日の第 45 回原子力規制委員会において、安全文化及び原因分析に係るそれぞれのガイドの策定に向けて検討を進めることが了承された。

IAEA においては、平成 28 年 6 月、安全のためのリーダーシップとマネジメントに関する安全要件である GSR Part2 が策定されており、今後策定する両ガイドにその内容を反映することが適当である。

特に、GSR Part2 の中において、技術的、人的及び組織的な要因間の相互作用を適切に考慮し、システムを全体として捉えるアプローチであるシステミックアプローチは、

- 適切な安全方策の特定及び実践
- 強固な安全文化の醸成

に不可欠であるとされている。



図 1-2 システミックアプローチ概念図¹

従って、論理的な原因分析の文章は、システミックアプローチの枠組みと整合的であることが期待される。本調査では、論理性の判断に関する条件を、可能な限りシステミックアプローチの枠組みに基づいて整理する。

イ. システミックアプローチに基づく「論理性」の定義

事故報告書など原因分析を行う文書について、必要となる自然言語処理の枠組みは、「テキストと、何らかの記法により表された「論理性」を対応付けること」で定式化可能であると考えられる。

一般的事実（現象、人の行動、環境等）をテキストで表現することを考える。また、一般的事実

¹ 原子力規制庁、「GSR Part2 における重要な概念の共通理解」、平成 29 年 7 月 27 日。
 <<http://www.nsr.go.jp/data/000197627.pdf>>

を状態の変化（人的，組織的，システムの）としてグラフ構造として表現する。ここで、ノードは状態を、エッジは遷移を示す。そのとき、理想的なテキストは完全に逆写像で一般的事実を表現することが可能である。しかしながら、人が作成したテキストの逆写像のグラフは完全とは限らない（グラフ構造の不完全）。例えば、グラフ構造が複数に分断されたり、状態や遷移の欠落、過剰が発生する。

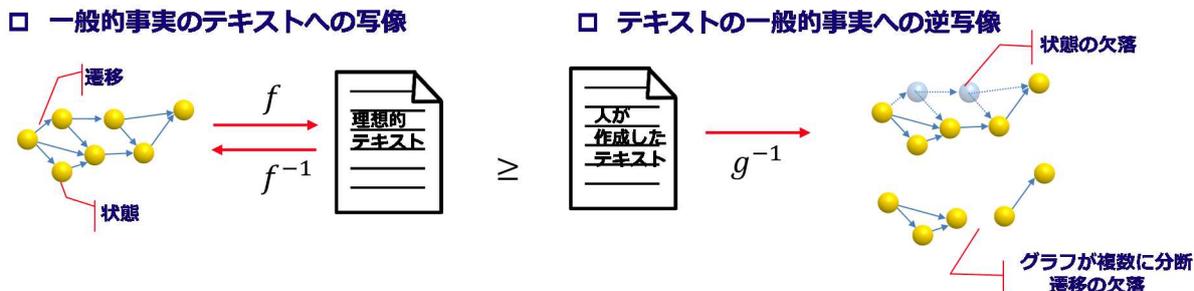


図 1-3 一般的事実のテキストの写像（左）理想的テキスト、（右）人が作成したテキスト

上記のグラフ構造を考えた場合、人が作成したテキストの論理性（妥当性）についての検証としては以下のような場合がある。

- ① 一般的事実との比較
- ② 作成されたグラフ構造の妥当性を検証
 - グラフ構造が一つの構造として表現できているか？（遷移の欠落の可能性）
 - グラフ構造の状態を示す内容が欠落していないか？（状態・遷移の欠落の可能性）
 - グラフ構造の状態を示す内容が過剰ではないか？（状態・遷移の過剰の可能性）
 - グラフ構造の遷移を示す内容が過剰ではないか？（遷移の過剰の可能性）



図 1-4 テキストのグラフ構造の状態や遷移の欠落（水色の○は状態の欠落を、破線は遷移の欠落を示す）

一般的事実との比較はテキストとは別に、一般的事実の情報が必要で、テキスト単独からだけでは不可能である。一方、グラフ構造の妥当性はある程度検証することができる。テキストから作成されるグラフ構造が 1 つで表されていない場合は、遷移の欠落の可能性があり、グラフ構造は複数に分断される。しかしながら、状態や遷移の欠落・過剰については、確認が困難である。ただし、状態や遷移の欠落については、方法論に当てはめて確認することである程度可能である。

方法論（例えば、システミック・アプローチなど）が存在することが必要となる。

ここで、逆写像されたグラフの妥当性の検証として、最大共通部分グラフの考え方を導入する。最大共通部分グラフとは、2つの無向グラフ $G_1(V_1, E_1)$ 、 $G_2(V_2, E_2)$ の両者の部分グラフと同型で、かつ頂点数最大の連結グラフである。例えば下記において、 G_1 と G_2 は同型である。 G_3 は G_1 の部分グラフと同型、 G_1 と G_3 の最大共通部分グラフは G_3 、 G_1 と G_4 の最大共通部分グラフは G_5 となる。

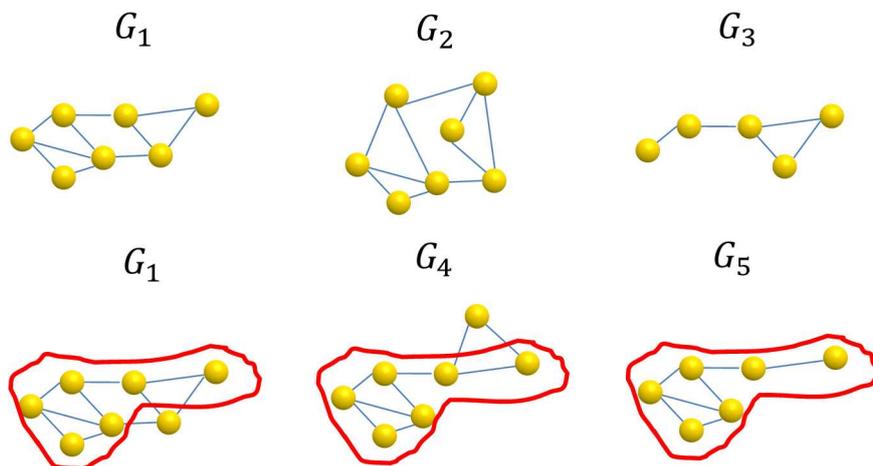


図 1-5 最大共通部分グラフの考え方

一般的事実のテキスト表現における状態・遷移表現の欠落，一致，過剰パターンは，作成されたグラフ構造における状態・遷移の欠落，一致，過剰のパターンは，最大共通グラフの考え方から以下のように分類される。

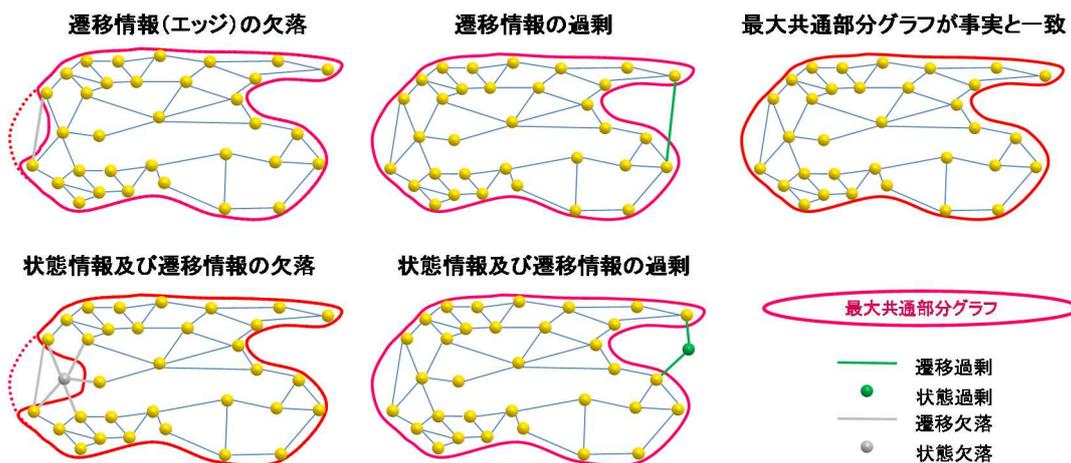


図 1-6 一般的事実のテキスト表現における状態・遷移表現の欠落，一致，過剰パターン

以上より、一般的事実のテキスト表現における妥当性の検証の困難度を検討すると、人が作成したテキスト表現の妥当性についての検証は状態や遷移の欠落や過剰によって、困難度が変化する。に妥当性の検証の困難度を示す。

表 1-1 一般的事実のテキスト表現における妥当性の検証の困難度

状態	妥当性の検証の困難度	備考
遷移情報の欠落	方法論に当てはめて欠落しているものは可能な場合がある	ある状態への複数の遷移情報の内、少なくとも1つの情報は存在
状態情報及び遷移情報の欠落	方法論に当てはめて欠落しているものは可能な場合がある	情報状態が欠落している
最大共通部分グラフが事実と一致	可能	
遷移情報の過剰	余計な遷移状態を認識することは不可能	間違った遷移情報がある
状態情報及び遷移情報の過剰	余計な遷移状態及び状態情報を認識することは不可能	間違った状態情報がある

以上の一般的テキストの妥当性の検証に関する議論から、事故の原因分析資料の論理性を考える。まず、事故の原因分析資料をテキストに写像することを考える。事故の原因分析資料における状態はシステミック・アプローチに基づく状態（原因、問題点、対策）として分類することができる。また原因は技術的原因（物理現象、システム状態等）、人的原因（人の行動、心理等）、組織的原因（組織文化、体制等）に分けられる。

本事業では、状態には、原因が含まれ、原因を遡った最後の原因が問題点とし、原因とはある事象につながった理由、きっかけ等であり、問題点とは、原因を遡った最後の原因であり修正をした方が良い部分である。対策とは問題点をなくす方法であると定義する。

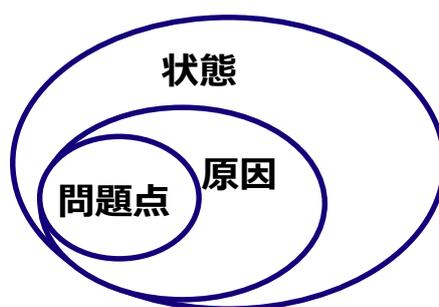


図 1-7 本事業で定義する原因、問題点の関係

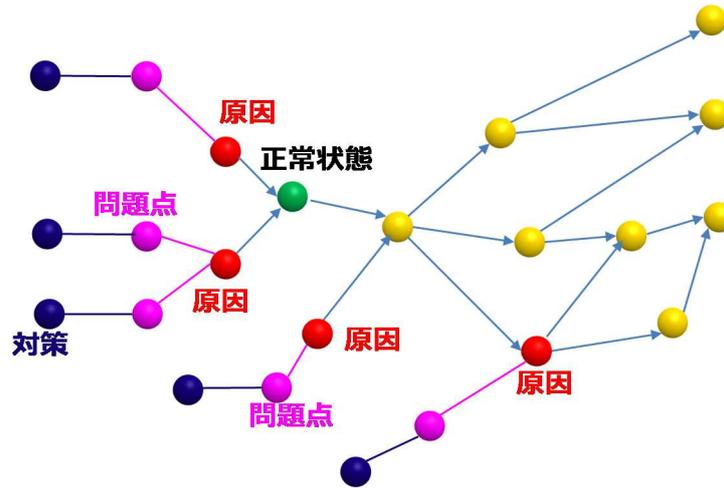


図 1-8 システムック・アプローチによる事故報告書のグラフ構造のイメージ

以上から、人が作成した事故原因分析資料の論理性についての検証は2段階が考えられる。

- ① 作成されたグラフ構造が1つの構造として表現できているか？（遷移/状態の欠落）
- ② 作成されたグラフ構造の状態を示す内容が欠落していないか？（遷移/状態の欠落）

②については、方法論に当てはめて欠落を確認する。事故原因分析資料の方法論としてシステムックアプローチに基づく原因分析、原因→問題点→対策の構造を適用する。

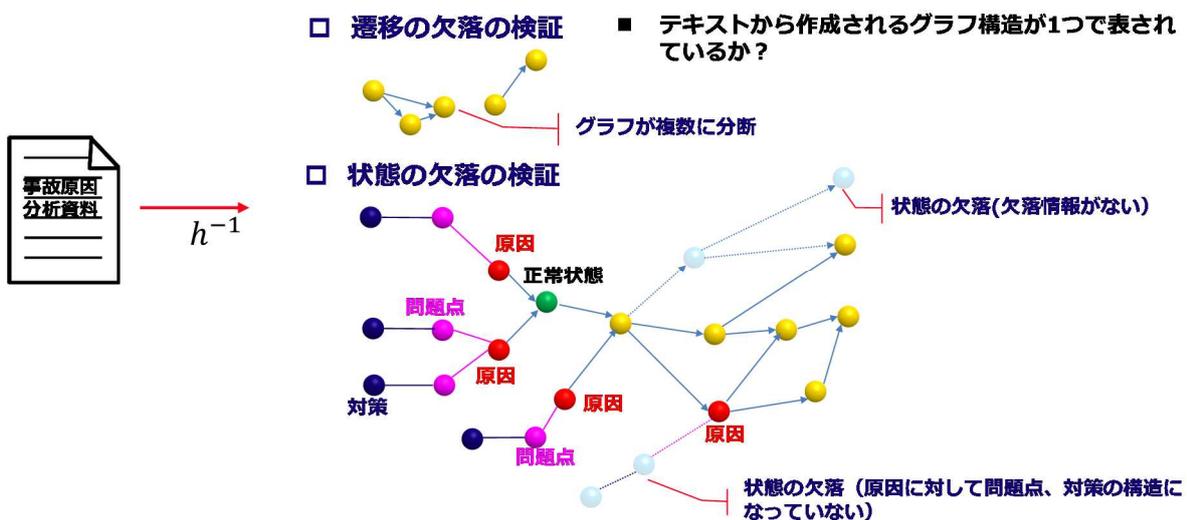


図 1-9 事故原因分析資料の論理性の検証

原因分析の木構造による原因分析の論理性の検証の方法論として、技術的原因や人的原因の直接原因からなぜなぜ分析等により、システムックアプローチ（技術的原因、人的原因、組織的

因)により原因分析が行われる。ここで、原因分析では、遡った原因が複数ある場合もある。遡った原因木の最後のノード(状態)が問題点となる。その問題点には対策が少なくとも1つ以上対応していなくてはならない等の検証ができる。

参考として、実際の事故分析報告書に基づくグラフ構造を図1-10に示す。ここで、青色は原因を、オレンジ色は対策を示す。事故分析書を原因と対策に分類し、その関係性を整理することで作成することができた。これより、グラフ構造により、原因、問題点、対策を整理することができることから、この考え方が原子力業界の事故原因分析においても、適用可能であると考えられる。

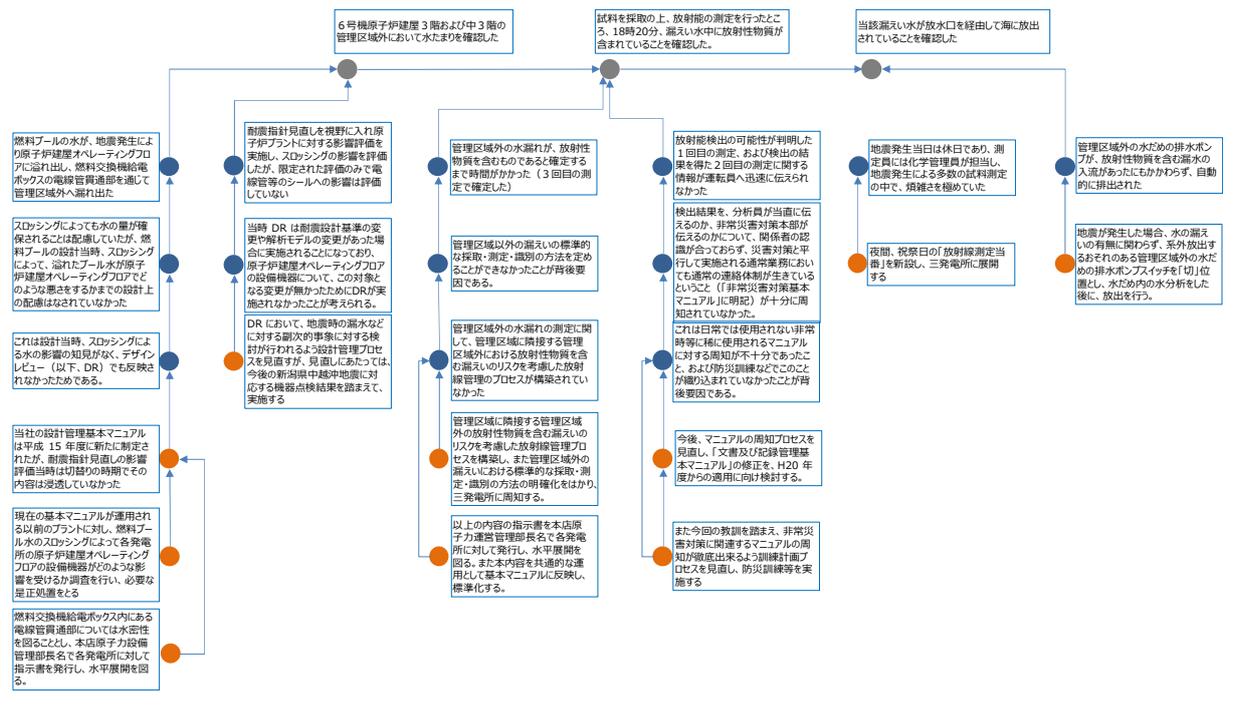


図 1-10 事故分析報告書に基づくグラフ構造のイメージ

ウ. 原子力以外の分野における既存適用事例の把握

原子力以外の分野でも論理的検証の研究がなされており、レポート、論文、マニュアルなどに対して論理的検証を行う研究が報告されている。

東北大学の松本章代准教授はレポートや論文などの科学的文書の推敲・構成を支援するシステムの研究^{2,3}を行っている。システムでは論理性的の検証として主に以下の3点をチェックしている。

1. 分かりにくい文の抽出

形態素解析・構文解析を行い、文を構成する句・節の数、主語と述語の関係、修飾-被修飾関係とその距離などの情報に対して機械学習により判別式を作成する。

² "科学的文章の推敲・校正を支援する教育システムの構築"、東北学院大学教養学部論文集 第167号、松本章代

³ "他文書との比較に基づく学生レポートにおける問題点の解析"、人間情報学研究 第20巻 2015年3月 pp.29-38、松本章代

2. 全体の流れの可視化

文章より修飾表現を除き、あらすじを可視化する。

3. 非論理的な記述の検出

大学教員が書いたレポートを好例として比較し、接続表現と文末表現に対して主成分分析、対応分析を行い語句の散布図と文章の散布図を重ねたグラフ（バイプロット）を作成する。

また、有明工業高等専門学校菅沼 明教授はマニュアルを書く際に、係り受け解析により複数の係り受け解が求められる文の抽出を抽出することで、読み手に誤解されるような文章の抽出の抽出を行っている⁴。

愛知工業大学川端元子教授は学生が書く文書の分析を通じて、学生の文章を非論理的にしている要因として接続表現に関する未熟さがあり、具体的に未熟な文書に多い表現として以下をあげている。⁵

- ・「私」「思う」や敬体「です」「ます」の使用に現れる、特定個人の書き手や読み手。
- ・論理的展開を非可視化する表現「あと」「ただ」「で」など

⁴ "文書推敲支援における読み手に誤解される文の抽出"、情報処理学会 研究報告 2007-DD-61(5)、菅沼 明、小野 貴博

⁵ "論理的文書における接続表現の機能－学生の作文の分析を通じて"、愛知工業大学研究報告 第44号 2009年、川端 元子

II. 論理性の確認に対応可能な手法の調査

上記論理性の定義を受けて、その判定が可能な手法の調査を実施した。具体的には、事故報告書における記載内容から論理性の分析を行うことから、文の記載内容や関係性を分析する情報処理技術である自然言語処理技術を中心に調査を実施した。

本調査では、以下のとおり原因分析の結果のテキストから、文の抽出を行い、抽出した文に対して、文内あるいは文間の論理性の判断を行うことを目的としている。

- 原因分析の結果から「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章の抽出
- 「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章それぞれの論理性の判断
- 「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章同士の論理性の判断

文の抽出や分類については、後述する単語分割及び情報抽出を要素技術として活用することで実現が期待される。また、文及び文間の論理性について、人間が用いる自然言語では複数の主語・述語が記載されることが多い。そのため、文と文間の論理性を分析する上で、談話構造解析等の応用技術では、一文内でのまとまり（談話）間の分析や文間の分析を行うことを目的としている。

なお、自然言語処理を用いて分析を行うためには、技術に加えデータが必要となることから、本調査では、情報抽出や談話構造解析等の利用可能な技術の調査に加え、活用可能なデータの整理を実施した。

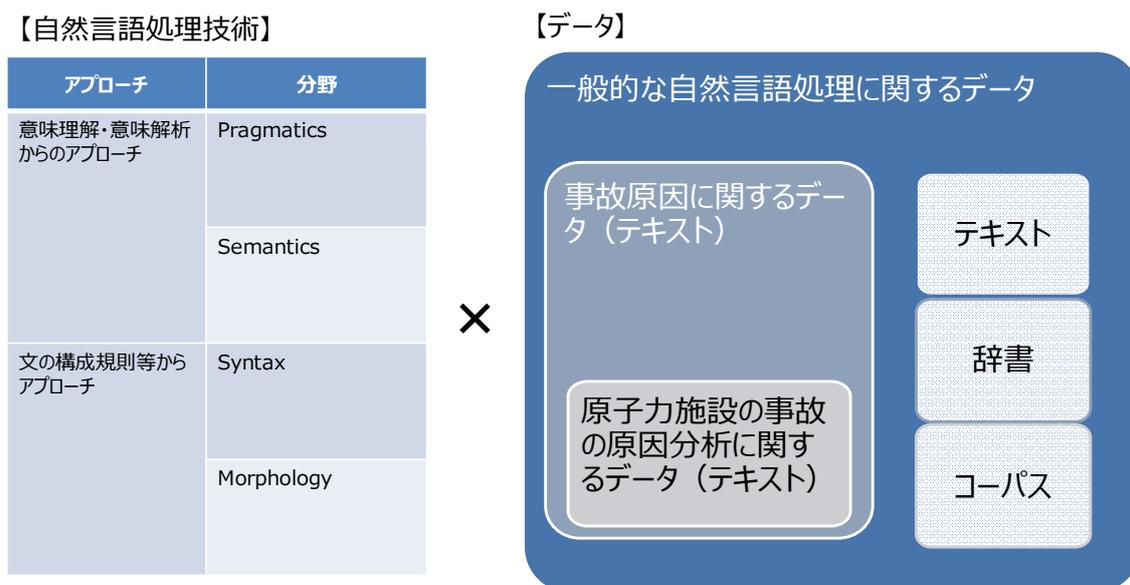


図 1-11 調査対象とする自然言語処理技術とデータ

ア. 自然言語処理技術

人によって意思疎通のために用いられる言語である“自然言語”を処理するための技術は非常に幅広く、周辺技術の進展も相まって、毎年のように新たな技術が提案されている。

自然言語処理の技術は、様々な技術に支えられる境界領域に位置する応用技術でもあり、体系的な整理は行われていない（行うことができない）。しかしながら、自然言語処理技術の中でも、基礎と呼ばれる技術と応用と呼ばれる技術がある。



図 1-12 自然言語処理の技術類型⁶

本調査では、自然言語処理に関する古典的な技術と最新技術について文献ベースで調査し、活用可能な技術の整理を行った。文献調査時点で活用可能性の高いと判断した技術（研究領域）は下表のとおり。

表 1-2 活用が期待される主な自然言語処理技術

研究領域	研究テーマ	アルゴリズム・ツール名称	概要
Semantics and Pragmatics	格フレーム解析		用言とそれに関する名詞を作成し、単語間の関係を解析する。
	語義曖昧性解消	SynCha	複数の語義が存在する単語に対して、どのような語義かを分類する。
	述語項構造解析		文章に含まれる述語とその項を同定する。
	テキスト含意認識		二つの文章が与えられた際に片方から一方が推論可能かを判断する。
	照応解析		省略された主語の補間を行う。
	談話構造解析		文内のまとまり（談話）や文間の関係を分析する。
	ベクトル空間解析		ベクトル空間モデル
		tf-idf	文書に含まれる単語の重要度を評価する手法。単語の出現頻度と逆文書頻度を用いて、特定の文書にしか出現しない単語の重要度を評価する。
		word2vec	大量のテキストデータより各単語の意味ベクトルを形成する手法。単語同士の意味の近さや単語同士の意味の結合等が可能になる。
		GloVe	グローバルな行列分解のモデルとlocal context windowのモデルを組み合わせてよい単語ベクトルを学習する。
		fastText	各単語を文字ngramで表現し、それらのベクトル表現を学習する。
	doc2vec	任意の長さの文書をベクトル化する技術で、文やテキストに対して分散表現（Document Embeddings）を獲得可能。	
Syntax	句構造解析		文章を階層的な構造を持った句（名詞句、動詞句など）へと変換する。
	文節チャンキング		文章から文節（最小の言語単位）への分割を行う。
	係り受け解析	CaboCha, KNP	単語ごとに分けられた文章から文節間の意味的な修飾関係を解析する。
	依存構造解析		単語間の依存関係を文章から抽出する。ほぼ掛受解析と同義。
Morphology	単語分割	形態素解析 (MeCab, JUMAN)	文章から形態素（意味を持つ最小単位）への分割を行う。
	頻度解析		単語の出現頻度を分析する。
	専門用語抽出	TermExtract	単語への分割を行った上で、文章に含まれる専門用語を抽出する。

⁶ Preferred Infrastructure 「大規模データ時代に求められる自然言語処理」

以下では、前述の表の中でも、特に本事業の目的に関係する自然言語処理技術に着目し、基礎と応用のそれぞれの領域別にその技術を整理する。

a. 基礎的な自然言語処理技術

ここでは、自然言語処理技術のうち、基礎的（要素）技術として位置付けられるものを整理する。ここで整理される技術の多くは、応用的な自然言語処理を実装する上での前処理として利用されることが多い。

以下では、代表的な自然言語処理の基礎的技術を示す。

A. 単語分割

自然言語処理が扱うテキストデータは非構造データであり、機械的に処理することが困難である。構造的データとして分析する手段として、単語に分割することが挙げられる。単語の頻度や単語の意味等をもとに分析する応用技術も多数提案されている。

英語等の外国語においては、単語間に空白（スペース）が入り、機械的に分割することが可能であるが、日本語は単語の区切りが明確でないことから、分割処理を行う技術が存在する。こうした技術は、形態素解析と呼ばれ、文を意味を持つ最小単位である形態素に分割し、品詞や活用、見出し語などを判別し付与することを可能としている。

B. 構文解析

A の単語分割で形態素に切り分けた結果から、形態素間の統語論的な関係（修飾や被修飾等）を解析する手法である。構文解析の過程や結果は構文木として木構造で表現されることが多い。

C. 意味解析

人間は、意味（背景知識）を理解した上で、構文を構築している。この意味を利用して構文解析を行う技術を意味解析と呼ぶ。文中の単語は意味を持ち、単語間には統語論的な関係があるが、これらは文内の関係を示す表現（例えば形容詞等）だけでは一意には決まらない曖昧性を含んでいる。適切な構文解析（構文木を選択）するためには、意味的情報や文脈情報を用いる必要がある。難易度が高く、基礎的な研究領域であるものの、重要な研究課題とされている。

D. 文脈解析

複数の文に跨がる構文解析及び意味解析を行う技術を文脈解析と呼ぶ。文脈解析は、単文ではなく複文に対して実施することから、非常に難易度が高く、基礎的な研究領域であるものの、現在でも重要な研究課題（タスク）とされている。

E. 情報抽出

情報抽出は、特定の文章等から必要な情報を抽出する手法である。情報抽出は、文章等からの情報の抜き出し（固有表現抽出と呼ばれる）、情報の正規化を行い、情報間の関係整理を行う技術で構成される。

b. 応用的な自然言語処理技術

a. で示した基礎的技術も活用しつつ、自然言語処理の分野では多様な応用研究のタスク（研究課題）が存在し、それらに対して開発が進められている。

自然言語処理においては、一つの文を対象にした研究は盛んに行われており（前述の形態素解析や構文解析）、一定の実用レベルに達し、様々な応用研究において基礎処理として利用されている。一方、本調査で対象とする文と文の間の論理性の分析等、高度な文章処理を目的とした自然言語処理の応用において、高い精度を実現するためには、文章中の話題のまとめりや文間の接続関係などの分析が必要となる。

ここでは、それらの応用的な技術のうち、論理性の分析等に活用可能性のある技術を整理する。

A. Discourse Analysis（談話構造解析、談話関係分析）

談話構造解析は文章中の文と文の間の役割的關係や話題の推移を明らかにする手法である。談話構造解析の研究は従前より進められ、様々なモデルが提案されている。

例えば、原田ら⁷は、文の話題の中心である焦点の推移に着目するセンタリング理論を拡張し、文がそれまでに出現したどの文から派生しているか（派生元）の決定を可能とする技術を開発している。下図のように、文章中の各文を節とし、文（派生先）とその派生元の文との間の接続関係を辺とする談話構造木を生成する。

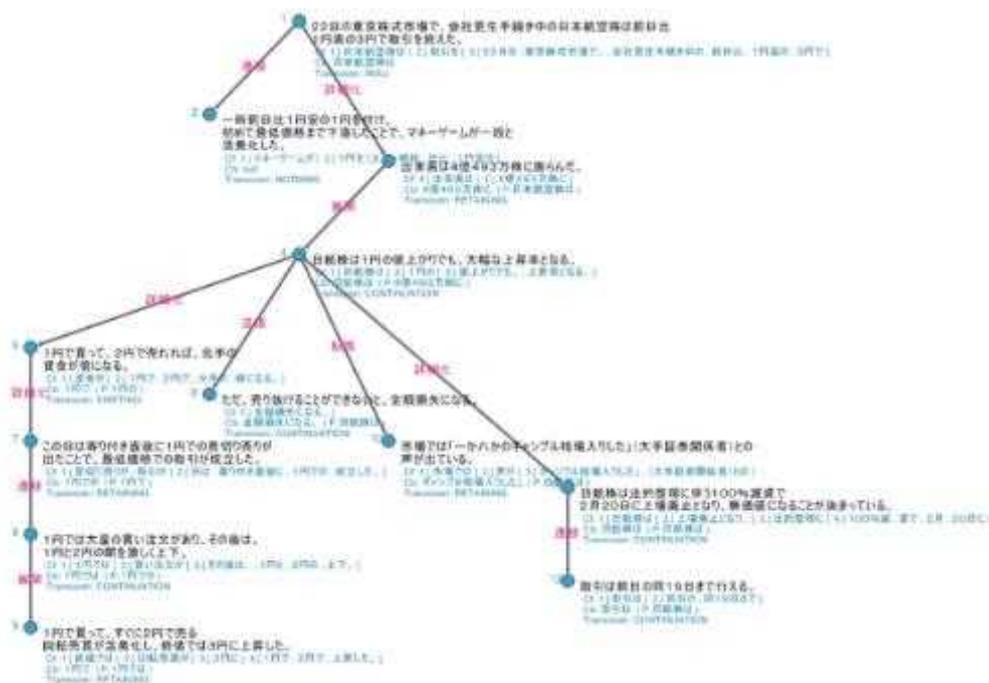


図 1-13 談話構造解析の例

(出所) 青山学院大学 原田研究室ウェブサイト⁸

⁷ 梅澤俊之, & 原田実. (2011). センタリング理論と対象知識に基づく談話構造解析システム DIA. 自然言語処理, 18(1), 31-56.

⁸ <http://www-haradalb.it.aoyama.ac.jp/dia.html>

提案された手法は、①形態素・構文・意味解析を実施し、②談話構造木を構築し、③文間接続関係の判定を行う。具体的には、談話構造木は、句点で区切られた文を一つのノードとし、各ノードは一つの親ノードを持つと仮定して構築する。さらに、文間の接続関係として9種類（詳細化、展開、原因—結果、逆説、遷移、転換、並列、例提示、質問—応答）を付与する。

特に談話構造解析では、接続詞等で文と文の関係が明らかである明示的な関係（explicit relations）に加え、暗示的な関係（implicit relations）の分析が重要な問題となっている。

最新の研究では、深層学習を用いて文を構成する談話の分散表現を学習し、暗示的な関係を獲得するためのモデルを構築する取組みが見られる。以下に、代表的な研究を示す。

① Wei Shi, Vera Demberg. “Learning to Explicitate Connectives with Seq2Seq Network for Implicit Discourse Relation Classification.”

同研究は、機械翻訳に利用される LSTM を用いたモデルの一つである Sequence to Sequence model (Seq2Seq) 利用し、異なる文や談話間の単語列 (Sequence) を入力し、その関係性を分析する手法を提案している。

② Hongxiao Bai, Hai Zhao. “Deep Enhanced Representation for Implicit Discourse Relation Recognition.”

同研究では、文を単語、文、文と文の関係（ペア）の3階層のモデルを構築することで、文脈情報を踏まえた単語の意味づけを行い、文間の関係分析の精度向上を行う手法を提案している。

③ Yizhong Wang, Sujian Li, Jingfeng Yang, Xu Sun, Houfeng Wang. “Tag-Enhanced Tree-Structured Neural Networks for Implicit Discourse Relation Classification.”

同研究では、構文解析の結果（構文解析木）をニューラルネットワークに組み込む Tree-LSTM モデルと Tree-GRU モデルを開発し、構文情報も含めた文間の関係性分析の手法を提案している。

④ Dai, Zeyu, and Ruihong Huang. "Improving Implicit Discourse Relation Classification by Modeling Inter-dependencies of Discourse Units in a Paragraph."

同研究では、2つの文や談話からだけでは判断できない談話関係を推測することを目的として、段落レベルで文や談話関係を入力できる Bi-LSTM モデルを提案している。

また、談話構造解析の応用例（先行研究）として、法的分野の文書に対する談話関係の研究が報告⁹されている。同研究では、米国の訴訟の筆記録に含まれる文の間に見られる関係を分類するためのメカニズムを開発し、訴訟筆記録の文の間に見られる関係タイプを定義し、機械学習モデルとルールベースのアプローチを組み合わせることによって、関係のタイプに従って文のペアを分類することを可能としている。

⁹ Identifying Relationships Among Sentences in Court Case Transcripts using Discourse Relations, <https://arxiv.org/abs/1809.03416>

談話構造解析の分析には、談話関係のアノテーションを付与したコーパス（データ）が用いられることが多い。利用可能なデータについては、後述する。

B. Argument Mining（論証マイニング、議論マイニング）

議論学に基づきながら自然言語の談話構造を解析する談話構造解析の一類型である。文章から議論の単位を認識し、議論単位の役割を推定する。役割は、主張（Claim）と事実・前提（Premise）が設定されることが多いが、様々な定義で研究が進められている。Argument Mining は、ディベートや裁判の自動化、フェイクニュースの検出等への応用が研究されている。

典型的な手法は以下のとおりである。系列ラベリングにより特徴量を抽出し、SVM（Support Vector Machine）により主な主張、主張、前提に要素分類を行う。さらに、セグメント対に、SVMを用いて接続あり、接続なしの関係特定（2値分類）を行う。整数計画問題を用いて要素分類及び関係特定結果が全体最適となるよう調整した上で、接続ありと判定されたセグメント対の関係をSVMにより分類する（ここでは、主張のSupport=根拠や支持、主張へのAttack：反論や批判と設定）。

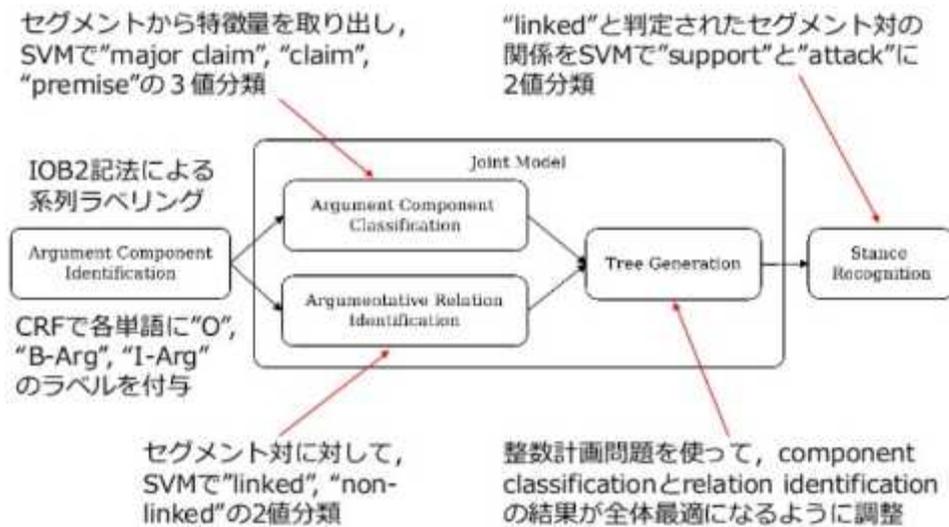


図 1-14 岡崎, “自然言語処理による議論マイニング”

c. 活用可能なデータ

A. 自然言語処理のための一般データ

自然言語処理技術を活用するために一般的に利用されている主なデータは以下のとおり。

表 1-3 自然言語処理に活用される主なデータ（一般データ）

類型	データ	概要
テキスト	Japanese Text Initiative	日本古典文学の電子テキスト・データベース。
	書籍デジタル化委員会	インターネット上に散在する日本語のテキストのアーカイブ。
	近代文学データベース	教育小説、植民世界、読書論のデータベース。
	Wikimedia	Wikipediaに掲載された記事データ。
辞書	IPA辞書	情報処理振興事業協会（現情報処理推進機構）が策定した品詞体系（THiMCO97）に基づいて策定された品詞体系日本語辞書。
	UniDic辞書	国立国語研究所の規定した言語単位で整理された辞書。現代書き言葉、現代話し言葉、古文用が提供されている。
	NAIST辞書	IPADIC に対し固有名詞以外の語に対して全数品詞の見直しを行ったもの。
コーパス	日本語 Wordnet	NICTの監修により作成された意味辞書／概念辞書。単語がsynsetと呼ばれる同義語のグループに分類され、簡単な定義や、他の同義語のグループとの関係が記述される。
	京都大学テキストコーパス	毎日新聞の記事に各種言語情報を人手で付与したテキストコーパス。
	NAISTテキストコーパス	京都大学テキストコーパスで利用されている記事に対して述語と表層格の関係、事態性名詞と表層格の関係等の情報を付与。
	国立国語研究所コーパス	書籍、雑誌、新聞、白書、Web、法律などから無作為に抽出した約1億語のテキストに形態論情報、文書構造タグを付与したコーパス。
	NPCMJコーパス	現代日本語の書き言葉と話し言葉のテキストに対し文の統語・意味解析情報をアノテートしたコーパス。
その他	学習済みモデル	自然言語処理等で用いられる機械学習のネットワークモデルについて、訓練された（学習済み）モデルが公開されており、これらも利用可能。

また、談話構造解析のためのコーパスも公開されている。

（英語）Penn Discourse Tree Bank、RST discourse treebank



図 1-15 Penn Discourse TreeBank のデータイメージ

（日本語）京都大学ウェブ文書リードコーパス

B. 事故原因に関するデータ

事故原因に関する自然言語のデータも公開されており、利用することが可能である。

表 1-4 事故原因に関する自然言語データ

類型	データ	概要
テキスト	失敗知識データベース	機械、化学、石油、石油化学、建設、電気・電子・情報、電力・ガス、原子力、航空・宇宙、自動車、鉄道、船舶・海洋、金属、食品、自然災に関する失敗事例をまとめたデータベース。2008年までの事例が掲載。
	事故事例データベース	高圧ガス保安法関係事故についての分析・評価結果を取りまとめたデータベース。
	廃棄物および循環資源における安全情報データベース	一般廃棄物、産業廃棄物、特別廃棄物等における火災、爆発、異常発熱、中毒、汚染等の事故事例を掲載したデータベース。2013年に更新。
	リレーショナル化学災害データベース	経済産業省所管の火薬類、高圧ガス関連の災害事例や消防法危険物関連災害事例、その他の化学プラント関連災害事例を整理。
	運輸安全委員会報告書	鉄道事故、運輸事故等に関する原因分析等の報告書が掲載。
	事故情報データベース	消費者向けの製品事故の調査結果が掲載されたデータベース。

C. 原子力事故の分析に関するデータ

原子力施設の事故の原因分析に関するデータは以下のとおり。

表 1-5 原子力分野の事故の原因分析等に関する自然言語データ

類型	データ	概要
テキスト	ヒューマンファクター事例データベース	原子力規制庁が有する構造化された日本の事故分析事例のデータベース（約300事例）
	トラブル事例の報告書	原子力事業者から核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）または放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（放射線障害防止法）に基づき報告された事故・トラブルの内容が公表されている。

イ. その他情報処理技術

論理性の確認に直接的に利用可能な技術ではないが、原因分析の可視化するための手法やツールが提案されている。以下では、原因分析の論理性に関する手法やツールを紹介する。

a. CREAM(Cognitive Reliability and Error Analysis Method)

CREAM は、Erik Hollnagel 教授が開発した原因分析の手法であり、認知システム工学を活用し、ヒューマンファクタによる過ちやトラブルについて、その周りとの関わりを分析することができる。関わりについては、「人（一般的な機能・特定の機能）」、「テクノロジー（装備・手順・インタフェース）」、「組織（組織・コミュニケーション・訓練・周辺環境・労働環境）」をエラーの生起要因として捉えて分析する。

CREAM は 2000 年代より原因分析の手法の一つとして利用が進められてきた（例えば、我が国においても海難事故の分析等に利用されている）が、Erik 教授によると、誤分析を招く可能性があるとしている¹⁰。

CREAM をツールとして利用できるよう Web アプリケーション「CREAM Navigator」が開発され、公表されている

¹⁰ Erik 教授のウェブサイト上に免責事項として注意がなされている。
<http://erikhollnagel.com/ideas/cream.html>

b. FRAM(the FUNCTIONAL RESONANCE ANALYSIS METHOD)

FRAM は、Erik 教授が新たに考案したエラー解析の手法である。FRAM では、個々の機能の詳細な定義(6つの基本特性を分析)を行い、分析結果として全体の関係性がモデル化され、システムの成功要因が導出される仕組みである。従来の様々な分析手法が演繹的(失敗に基づく分解)であるのに対し、FRAM は機能的(成功に基づく統合)を指向している。

III. 情報処理技術の将来動向の調査

本項目では、平成 30 年度末以降 4 年以内に利用可能と考えられる情報処理技術の将来動向の把握のため、人工知能研究の大まかな発展の道筋の把握を行い、平成 30 年度末以降 4 年の時点での技術レベルを想定する。

図 1-16 に、これまでの人工知能研究の大まかな流れを示す。図から分かるように、人工知能の中心的研究には、ルールベースの機械学習から統計的機械学習に至る流れと、ニューラルネットから最近の深層学習に至る流れが存在する。前者は記号（シンボル）を操作対象の中心に据えるためシンボリズム、後者はニューラルネットの接続形態（コネクション）に基づいているためコネクショニズムと呼ばれる。人間の脳内の情報処理に置いては、この両者が同時に存在し協調しながら情報処理を行っているものと考えられるため、今後はこの 2 タイプの情報処理をどの様に統合していくかが重要になると考えられている。¹¹

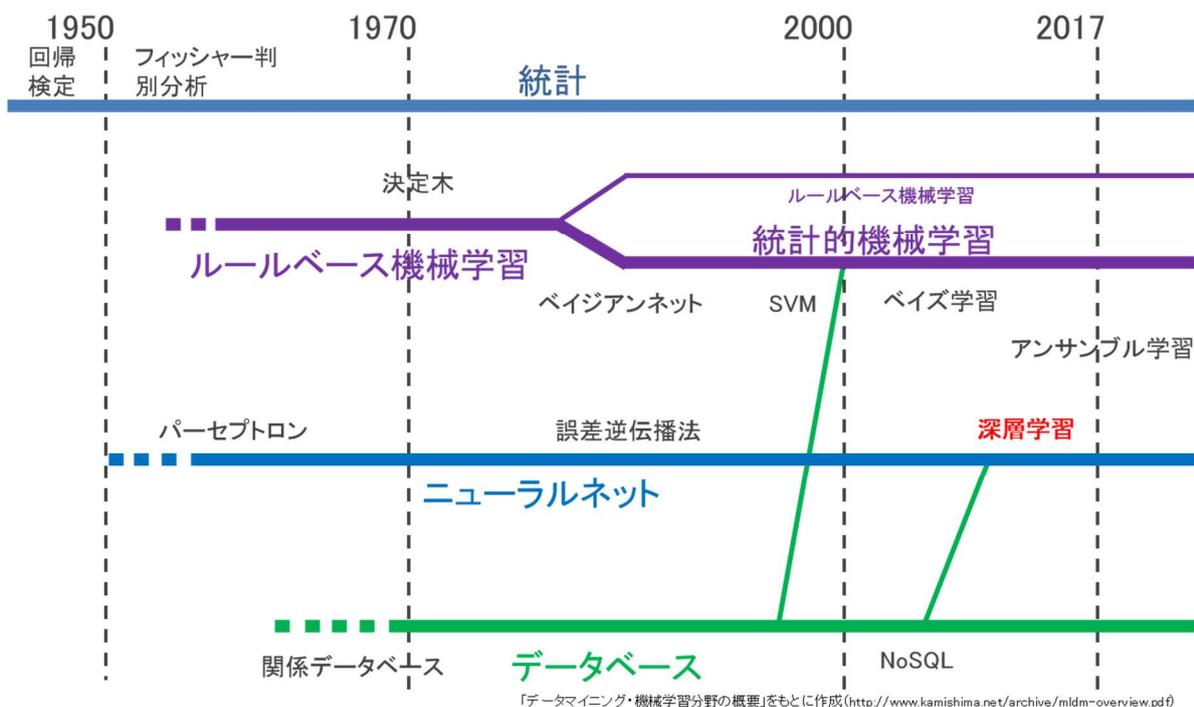


図 1-16 人工知能の歴史¹²

自然言語処理が対象とする自然言語は、表面的には記号の列で表現されるため、表層的にはシンボリズムで処理が可能である。しかし、word2vec 以降の深層学習においては、意味内容のニューラルネットワーク上での活性化関数の値をベクトルにしたもの（分散表現）の重要性が明らかとなっている。このことと、上記の今後の人工知能研究の流れを考えあわせると、自然言語処理

¹¹ 例えば、独立行政法人情報処理推進機構「AI 白書 2017」参照。

¹² 神寫敏弘「データマイニング・機械学習分野の概要」をもとにみずほ情報総研作成。

においては、分散表現と記号（単語等）表現の間の相互変換を必要に応じて行いながら、全体の意味内容の処理を行うものになっていく可能性が高い。

表 1-6 は、自然言語処理の分野の研究で利用されている課題、データセット（shared task と呼ばれる）と、それぞれの課題の SOTA(state of the art)論文¹³を 2018 年 12 月時点でまとめたものである。

これらの課題のうち、代表例として Language Modelling、Machine Translation、Question Answering の最近の精度向上を示す（図 1-18～図 1-20）。Language Modelling は、文の次に来る単語を予測するという課題であり、数多くあるタスクの中で基本的なタスクであると言える。ここ 2 年程度の間にも、大きく精度が向上しており、今後も精度の伸びは期待できるものと考えられる。Machine Translation(英文-仏文間の機械翻訳)、Question Answering（質問応答）についても同様である。

これらのモデルの多くは、Bi-LSTM（Recurrent Neural Network の一種）、アテンションモデル¹⁴、文脈依存の分散表現の利用等、深層学習を用いた分散表現に基づく処理と記号処理を統合した処理を何らかの形で行っているものである。今後さらに、これらのモデルを発展させ、より明示的に記号に基づく推論、仮説生成等を行う機能と連携することにより精度が向上していくものと考えられる。

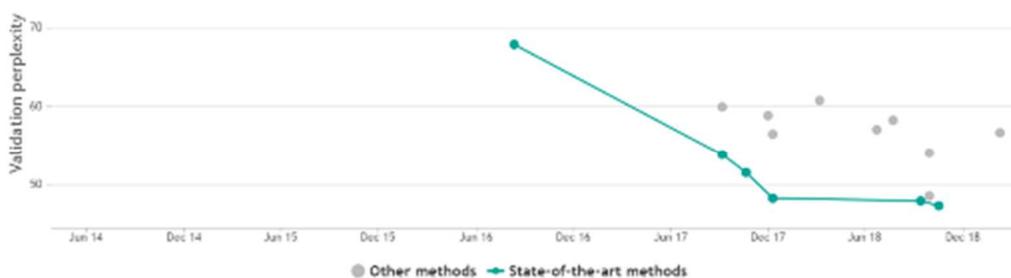
¹³ ここでは、SOTA の定義は単純に各々の課題で最高精度を出している論文とする。

¹⁴ 例えば、<https://arxiv.org/abs/1706.03762>

表 1-6 自然言語処理技術の動向

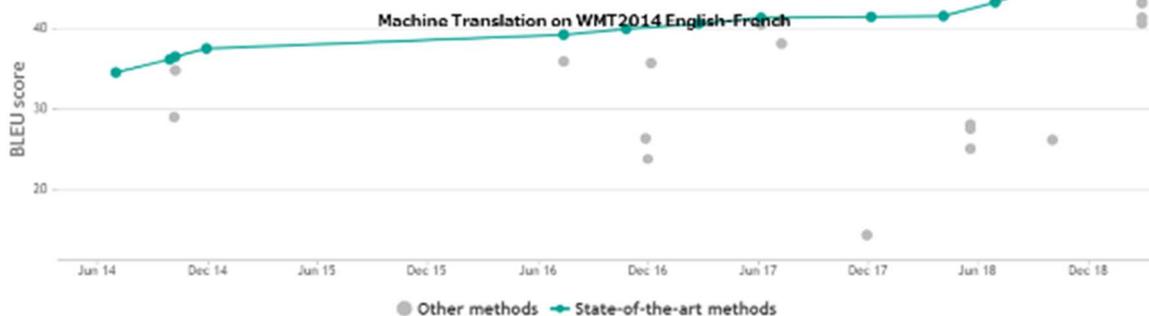
タスク		説明	SOTA論文
大分類	小分類		
Natural language inference		推論(文章に照らして仮説の真偽を判定)	Improving Language Understanding by Generative Pre-Training
Question answering		質問応答(文章内容に関する質問に答える)	BERT + MMFT + ADA (ensemble) (Microsoft Research Asia)
Language modeling	Word Level Models	次に来る語の予測	FRAGE: Frequency-Agnostic Word Representation
	Character Level Models	次に来る文字の予測	Transformer-XL: Attentive Language Models Beyond a Fixed-Length Context
Coreference resolution		同一entityを参照している語の認識	Higher-order Coreference Resolution with Coarse-to-fine Inference
Entity linking		文章中のentityを知識ベースのentryに紐づけ	DeepType: Multilingual Entity Linking by Neural Type System Evolution
Information extraction	Open Knowledge Graph Canonicalization	知識ベースの同一エントリーの認識	CESI: Canonicalizing Open Knowledge Bases using Embeddings and Side Information
Named entity recognition		固有表現抽出	Contextual String Embeddings for Sequence Labeling (FLAIR embeddings)
Relation prediction		二つのnamed semantic entity間の関係の推測	Predicting Semantic Relations using Global Graph Properties Translating Embeddings for Modeling Multi-relational Data
Relationship extraction		語の間の関係を推測	RESIDE: Improving Distantly-Supervised Neural Relation Extraction using Side Information
Semantic parsing		意味構造のパーシング(AMR等)	An AMR Aligner Tuned by Transition-based Parser
Semantic role labeling		意味役割のラベリング	Jointly Predicting Predicates and Arguments in Neural Semantic Role Labeling
Taxonomy learning	Hypernym Discovery	上位概念の認識	A Hybrid Approach to Hypernym Discovery
Text classification		テキスト分類	Universal Language Model Fine-tuning for Text Classification
Word sense disambiguation		文脈依存の単語意味同定	SUPWSD: A Flexible Toolkit for Supervised Word Sense Disambiguation
CCG supertagging		CCGでのsuper tagging	Semi-Supervised Sequence Modeling with Cross-View Training
Dependency parsing		主辞と他の語の依存関係認識	Semi-Supervised Sequence Modeling with Cross-View Training
Constituency parsing		句構造文法に基づくパーシング	Constituency Parsing with a Self-Attentive Encoder
Shallow syntax		構文解析	Contextual String Embeddings for Sequence Labeling (FLAIR embeddings)
Part-of-speech tagging		語に品詞をタギング	Morphosyntactic Tagging with a Meta-BiLSTM Model over Context Sensitive Token Encodings

図 1-17 自然言語処理技術の動向



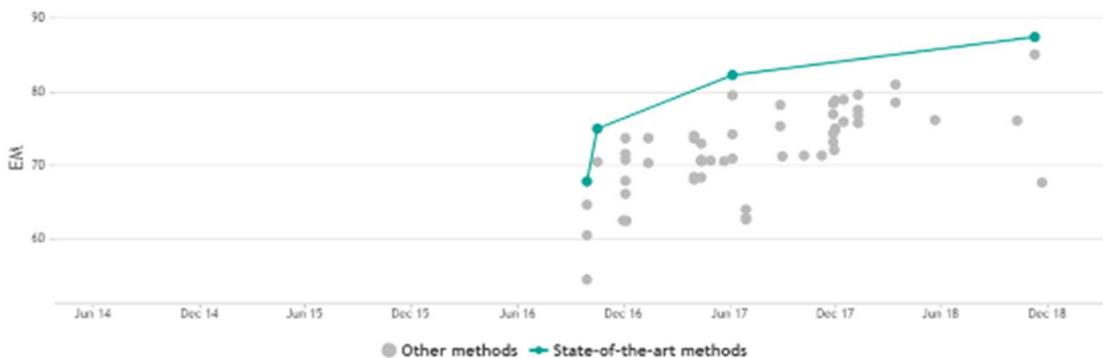
(出所) C. Jang, et. al., "FRAGE: Frequency-Agnostic Word Representation," arXiv:1809.06858 (2018).
<https://paperswithcode.com/sota>

図 1-18 Language Modelling on Penn Treebank (Word Level)の精度向上



(出所) S. Edunov et. al., "Understanding Back-translation at Scale," in Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (2018).
<https://paperswithcode.com/sota>

図 1-19 Machine Translation on WMT2014 English-French の精度向上



(出所) J. Devlin et. al., "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding," arXiv:1810.04805(2018).
<https://paperswithcode.com/sota>

図 1-20 Question Answering on SQuAD1.1 の精度向上

(2) 調査した技術の原因分析の結果に対する試行的適用

調査した技術の試行的適用の方法と結果について示す。

I. 課題の設定

論理性の整理を踏まえると、自然言語処理技術により、原因分析報告書のテキストを分析し、

- ・ 事象の背後にある「原因」と根本的な原因に対する「対策」を特定（ノード）
- ・ 原因分析結果をグラフ構造として生成（エッジ）
- ・ グラフ構造から、エッジの欠損やノードの欠落などを特定する

ことを理想的なゴールとする。

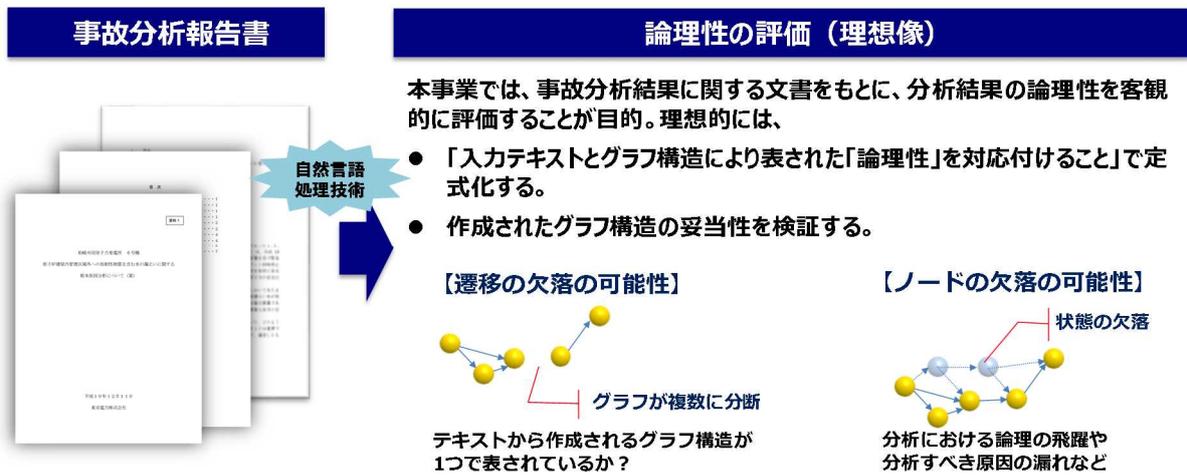


図 1-21 論理性の評価の理想像

しかしながら、現行の技術やデータでは、理想的なゴールの達成が難しいことから、本試行では、以下のとおり原因及び対策が記載された章・項に記載された文から、「原因及び対策が記載された文を抽出」し、「抽出した文間の関係性の推定に関する技術の精度を検証」した。

なお、原因及び対策が記載された文の抽出においては、原因・対策・その他に分類するとともに、原因を人的・組織的、その他の3類型で評価する。

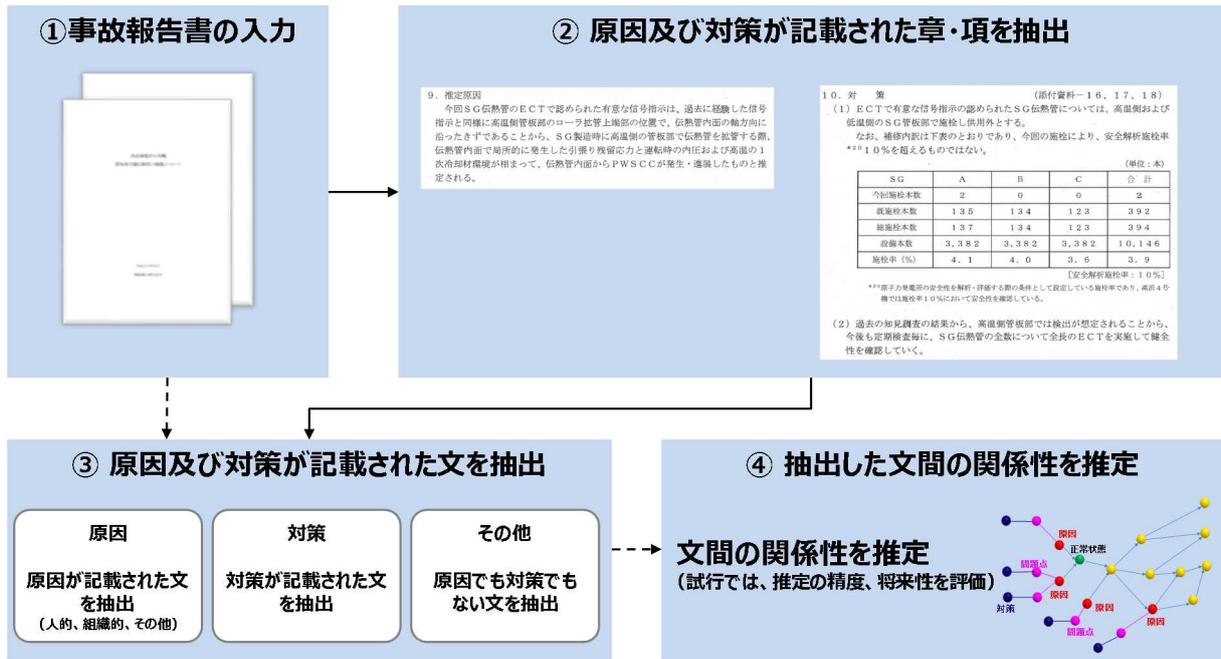


図 1-22 試行の全体像

II. 実施プロセス

本試行の実施プロセスは以下のとおり。

表 1-7 実施プロセス

実施項目	概要
1. 検証に向けた前処理	
1.1. データの整備	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自然言語処理等の技術を適用するために、原因、対策の文に対して、ラベル付けを実施（教師データの作成） ✓ ラベル付けは、原子力事故及び他産業での事故報告書に対して実施 <ul style="list-style-type: none"> ・ヒューマンファクタ事例データベース ・トラブル事例の報告書 ・運輸安全委員会事故等報告書（航空、鉄道、船舶）、等
1.2. 専門用語の抽出	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 専門用語及び複合語を抽出 ✓ 高度情報科学技術研究機構（原子力百科事典） ✓ ヒューマンファクタ事例データベースからの機械的抽出
2. 検証	
2.1. 原因、対策の抽出	原因分析報告書より「原因（人的要因）」、「原因（組織的原因）」、「原因（その他）」及び「対策」の記載された文を抽出
2.2. 原因、対策の関係性を評価	抽出した原因と原因間、原因と対策間の関係性を評価するための技術の精度検証
2.3. 原因分析のグラフ構造の生成	遷移の欠落や状態の欠落を評価する仕組みの開発可能性を検証

III. データの整備等

ア. ヒューマンファクタ事例データベースの整理

ヒューマンファクタ（HF）事例データベースは、国内のトラブル事例（法令報告対象のみ）及び海外のトラブル事例から、HF 関連の記述を抽出し、データベースとして構造的に整理したものであり、本事業の目的で原子力規制庁より提供を受けた（1966年～2016年3月の250事例）。



図 1-23 ヒューマンファクタ事例データベースの概要

（出所）原子力規制庁公表情報をもとに作成

ヒューマンファクタ事例データベースでは、原因を「個人特性要因」、「作業特性要因」、「作業環境特性要因」、「職場環境特性要因」、「管理特性要因」の5要因に分けて整理しているが、本事業では、「個人特性要因」を人的原因、「作業特性要因」、「作業環境特性要因」、「職場環境特性要因」及び「管理特性要因」を組織的原因と定義し、分析に活用した。

表 1-8 試行に活用するデータ項目（ヒューマンファクタ事例データベース）

原因	対策	その他
【人的】 ・ 個人特性要因備考	・ 防止対策	(該当する項目は無) → 追加の報告書で 補完 (12事例)
【組織的】 ・ 作業特性要因備考 ・ 作業環境特性要因備考 ・ 職場環境特性要因備考 ・ 管理特性要因備考		
【その他】 (該当する項目は無) → 追加の報告書で補完 (12事例)		

イ. トラブル事例の報告書の整理

ヒューマンファクター事例データベースで掲載されていない 2016 年度以降の最新のトラブル事例（原子炉等規制法または放射線障害防止法に基づく報告）よりデータを追加・補完した（合計 12 文書）。なお、対象文書は、実用炉及び特定原子力施設からの報告に限定した。

追加・補完したデータのイメージは以下のとおり。

表 1-9 試行に活用するデータ項目（トラブル事例の報告書）

原因	対策	その他
【人的】 ● 現場作業員は、排気管伸縮継手の定期取替えを行っておらず、ベローズを取扱う経験が少なかったため、ベローズが薄肉構造で運転中の変異を吸収するために設置された、打つ痕の影響を受けやすい部材であるという意識が低かった。 ● このため、排気管伸縮継手に打痕が付くことを防止する対策を取らず、打痕を見つけた際にも健全性に影響を与えるものではないと誤って判断した。	● 打痕の要因として、現場作業要領の不備があることから、排気管伸縮継手の取替え手順に以下の内容を追加し、取付け作業時に打痕が付くことを防止する。 ● 取付け作業時のベローズと治工具の接触を防止するための養生を行う旨を作業手順に追加する。 ● 取付け時の排気管伸縮網での落下を防止するため、排気管伸縮網手に落下防止対策を行う旨を作業手順に追加する。 ● 不適切な工具の使用により打痕が付くことを防止するため、使用する工具を作業手順に追加する。 ● 取付け時における打痕等の異常を検知するため、取付け後の外観点検時の判定基準を明確化し、点検手順に追加する。 ● 打痕の見落としを防止するため、鏡を利用し、狭隙部まで確認する旨を作業手順に追加する。 ● 打痕の要因として、排気管伸縮継手のような薄肉部材に対して打痕が与える影響に関する意識不足があることから、以下の対策を来ない、薄肉部材に対して打痕が与える影響に対する意識の向上を図る。 ● ディーゼル機関の排気管伸縮継手の作業要領にベローズの取扱いに関する注意を記載する。	● なお、平成19年に5号機D/G(B)排気管伸縮継手の破損が認められた次章について、破損した排気管伸縮継手の運転回数（184回）及び運転時間（201時間）が本事故発生時の運転回数（163回）及び運転時間（212時間）と比較的近かったが、平成19年の破損事象は排気管伸縮継手のベローズとフランジ部の隙間が不足し接触したことにより発生した摩耗部を起点として破損したものであり、本事故との関連性はない。 ● 排気管伸縮継手破損事象の発生要因が「組立時における打痕・傷」及び「熱疲労」の複合要因で発生したものと推定したことを踏まえ、以下の再発防止対策を行う。 ● 排気管伸縮継手1個が完全に破損した場合であってもD/Gの機能は維持できることを確認しているが、本事故が打痕を一因として発生したため、今後偶発事象が発生する可能性も含め検討を行った。
【組織的】 ● 現場作業における作業要領において、ベローズを取扱う際の注意点の記載がなく、また、取替え作業時の適正工具の使用を含めた作業手順が明確でなかった。		
【その他】 ● 組立時の打痕と熱疲労の複合要因により、当該排気管伸縮継手のベローズに初期き裂が発生し、当該排気管伸縮継手の内圧にて初期き裂が進展し、破損に至ったと推定した。		

ウ. 一般事故のデータの整理

一般産業における事故分析報告書の活用を検討するために、国土交通省 運輸安全委員会が報告する航空事故に関する分析報告書の情報を整理した。



原因 (人的)	原因 (組織的)	原因 (その他)	対策
データベースにはVOR A進入が未登録であり、機長及び副操縦士は、FMGCの設定がぬい状態で進入するとならざることを知らなかった。	機長及び副操縦士が適切なTEEMを実践できなかったことについては、同社の運航乗務員に対するCRM/TEM教育・訓練において、機長及び副操縦士にCRM/TEMのスキルが十分に定着するに至っていないことによる可能性が考えられる。	ひらが印刷されたことについては、飛行中の機長により機長に意図しない方向転換が生じ、ひらが印刷されたことで、前記の通り機長に意図しない方向転換が生じたことによるものと推定される。	同社は、運航部門にレコーダー継続が実施された場合でも、機体の継続が実施されていない状態に於いては、機長に必要に応じて改善していく必要があり、また、MODへの資格付与要件及び教育について、見直す必要があると考えられる。
副操縦士はMCDUの操作が不慣れであり、機長は十分な準備確認がなされず、アプローチインジカタは拡大表示されたものと認識された。	同社は、データベースに未登録の進入方式を実施する際のリスクを考慮することはなかったと考えられ、同機長がデータベースに未登録である旨の情報を空港資料に加える等の措置は講じていなかった。	同社は、データベースに未登録の進入方式を実施する際のリスクを考慮することはなかったと考えられ、同機長がデータベースに未登録である旨の情報を空港資料に加える等の措置は講じていなかった。	空港管理者は、機長のコメントを未だに新たな一つの機長として、一般的に機長の指示通りに機長を示す標準を高くについて検討することが望ましい。
機長は、VOR A進入中の滑走路16Lの見え方のイメージ及び右側向で同機長が進入するイメージが不明瞭で進入を開始したものと認識された。	同社は、運航乗務員の空港資料による自己管理についての知識が不足していたことによるものと推定される。	本重大インシデントは、機長による機長の指示が不明瞭であったことによるものと推定される。VOR A進入方式で滑走路16Lは後方の視認性が悪いこと等の注意喚起を行った。	本重大インシデント発生直後、運航乗務員に対し、進入許可の重要性の認識、SOPの遵守及びアラートへの対応等、基本に定めたオペレーションの厳格な実施を要求する文書を発行し、VOR A進入方式で滑走路16Lは後方の視認性が悪いこと等の注意喚起を行った。
同機がSAZANの下限高度を逸脱して降下していることについては、機長及び副操縦士が適宜適切な手帳に記入し、本進入プロシージャの認識が不十分なことによるものと考えられ、機長が滑走路16Lを見合わせるため、MDAに誘導されたことによるものと推定される。	本重大インシデント発生時、機長及び副操縦士がVOR A進入を適切に実施できなかったことについては、同社の人的情報の取得・活用・管理に関する知識が不足していたことによるものと推定される。	本重大インシデントは、右側ウィンドシールドからのタミル語のタグが機長の視界に入り、機長の視界が遮られたことによるものと推定される。	平成29年1月6日、VOR A進入に係る暫定的MCDUの入力方法を紹介する技術情報を発行した。

図 1-24 航空事故調査報告書からのデータ抽出・整理イメージ

エ. 専門用語の抽出

原子力分野の専門用語を以下の方法で整理した。

- ① 高度情報科学技術研究機構が公表する“原子力百科事典「ATOMICA」”の抽出
- ② ヒューマンファクタ事例データベースからの抽出

※②においては、専門用語を抽出するための自然言語処理技術「Termextract」を用いた。

IV. 検証方法と結果

ア. 文の抽出・分類

文の抽出については、原子力規制庁が有するヒューマンファクタ事例データベースの記載内容及びトラブル事例の報告書をもとに、原因と対策の抽出・分類を実施した。実装した手法は以下のとおり。

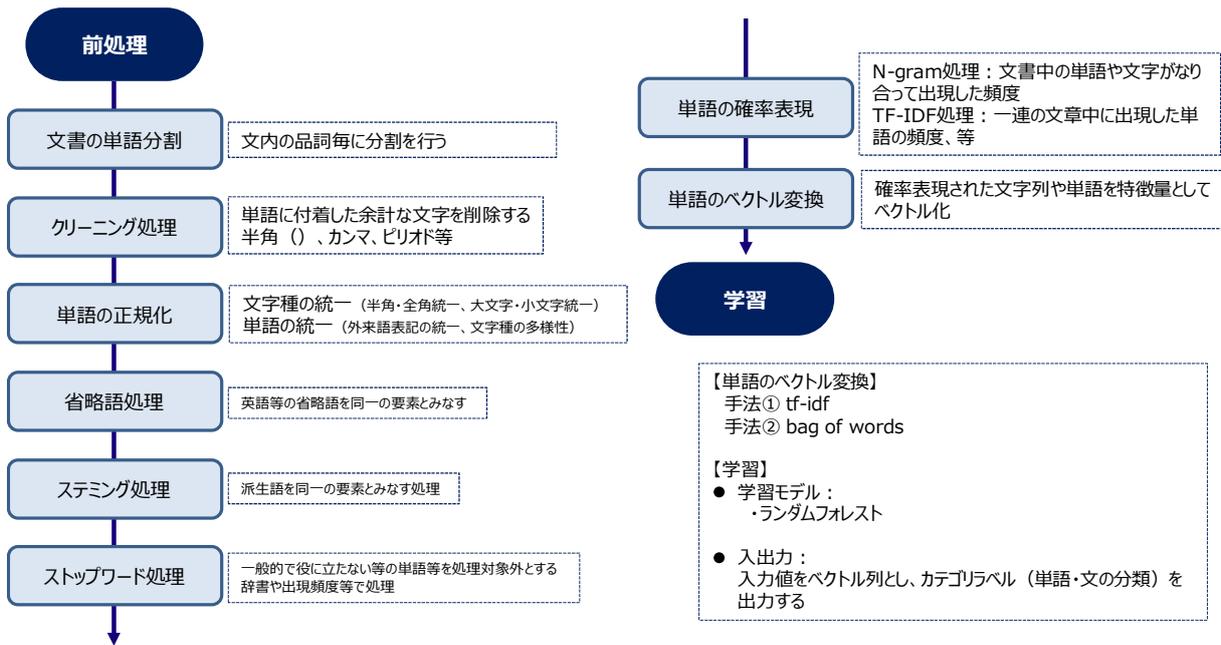


図 1-25 文の分類及び抽出に利用した手法

学習したモデルの評価を交差検定 (クロスバリデーション)¹⁵により実施した。図 1-26 で、縦の原因・対策・その他が判別結果、横が正解データである。誤判別率は平均で 37.2% (1 回目 36.9%、2 回目 38.5%、3 回目 36.1%) であった。

1 回目				2 回目				3 回目			
	原因	対策	その他		原因	対策	その他		原因	対策	その他
原因	78	12	18	原因	77	9	22	原因	80	15	14
対策	7	28	19	対策	9	25	20	対策	15	28	14
その他	4	6	7	その他	4	5	8	その他	4	4	9

図 1-26 学習したモデルの結果 (文の分類)

トラブル事例の報告書には、原因を記載する章や節に、その他の文として原因分析の過程等が記載されるケースがあるほか、対策の章や節に、その他の文として原因分析の結果を総評するなど、その他の文には、原因や対策に近い文言が含まれている。これらにより、正当率は低まったと考えられる。実際に、その他を除いた 2 分類の場合は、誤判率は 13%程度であった。

さらに、原因に対して、人的原因、組織的原因、その他の 3 分類を行う学習済モデルを構築した。図 1-27 で、縦の原因・対策・その他が判別結果、横が正解データである。

¹⁵ 交差検定は、用意したデータを任意の数 (本試行では 3 つ) に分け、1 回目はそのうちの一つをテストデータ、それ以外を学習データとして、学習・評価。2 回目は 1 回目と異なる別のデータをテストデータとして使い、3 回目は 1,2 回目と異なるデータで評価を行う。その上で、各回で測定した精度の平均を取る手法。

1回目				2回目				3回目			
	人的	組織的	その他		人的	組織的	その他		人的	組織的	その他
人的	27	8	6	人的	32	4	5	人的	30	6	6
組織的	10	24	13	組織的	8	24	14	組織的	3	30	13
その他	5	2	17	その他	3	4	18	その他	4	3	18

図 1-27 学習したモデルの結果（原因の分類）

本試行では、簡易的なモデルを作成して検証を行ったが、以下のとおり改善可能な課題がある。一つは、複数のデータを組み合わせることによる影響である。ヒューマンファクタ事例データベースでは、事業者から提出された報告書から原因や対策に関する記述を抽出しているが、その特性上、文全体ではなく、一部が掲載される。一方、データの拡充や補完のために組み合わせたトラブル事例の報告書では、文そのものをデータとして整理している。

もう一つは、データ量である。トラブル事例の報告書対象となる事故の件数は少なく、年間 10 件弱である。自然言語処理のためのデータとしては十分とは言えない。

さらに、データの質に関しても問題がある。原子力事故の報告の制度やルールの変化により、データベースに登録された年度によって記載内容や粒度、形式が異なることが影響していると考えられる。

イ. 文間の関係性の分析

文間の関係性の整理については、先に取り上げた先進的な技術を用いて、文間の関係性を分析可能な手法を整理し、実現可能性を検証した。手法によっては、コーパスの開発が必要など、技術的な可能性は高くとも、本事業での実施難易度が高い手法が存在する。

試行では、試行が可能なものとして、英語の談話コーパス（Penn Discourse Tree Bank v2）とそれを活用したオープンソースの談話関係分析のツールを用いて、試行を実施した。用いたツールは以下のとおり。

- TagNN-PDTB（p.XX の③の技術）
- paragraph_implicit_discourse_relations（p.XX の④の技術）

検証においては、Penn Discourse Treebank 2.0 コーパスを用いて学習を実施した。なお、Penn Discourse treebank では、以下のとおり Explicit（明示的）な文間の関係を付与したアノテーションと、Implicit（非明示的な）文間の関係を付与したアノテーションの両方を有する。

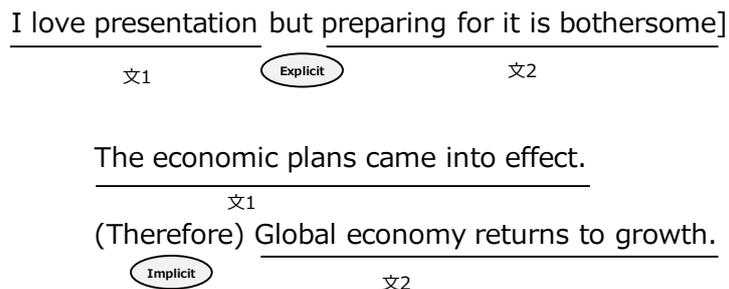


図 1-28 Penn Discourse treebank に格納されているデータ（文とアノテーション）の例

検証は、以下の a.及び b.のオープンソースソフトウェアを用いて実施した。検証に用いるデータは先行研究に倣い、Penn Discourse Treebank のセクション 2-20 を学習用データとし、セクション 21-22 をテスト用データとした。

さらに、正当率の談話関係のアノテーションについて、第一レベルの関係クラスと第二レベルの関係タイプのそれぞれで検証した。

a. TagNN-PDTB

第一レベルの関係クラス（4 ラベル）の正解率：55.23%。

第二レベルの関係クラス（11 ラベル）の正解率：42.23%

（うち、原因と結果に関する正解率：45.52%）。

b. paragraph_implicit_discourse_relations

第一レベルの関係クラス（4 ラベル）の正解率：55.96%。

第二レベルの関係クラス（11 ラベル）の正解率：43.473%（うち、原因と結果に関する正解率：45.84%）。

ウ. 検証結果のまとめ

事故分析報告書の本文をシステムに読み込ませ、自動的に論理性を評価する仕組みを構築することは、現時点の自然言語処理技術では難易度が高い。一方で、技術の更なる進展やデータ整備が進むことで、一定の論理性評価の支援は可能になると推測される。技術及びデータの観点から今後の展望を以下のとおり整理した。

表 1-10 検証結果のまとめ（技術の現状評価と課題）

	技術の現状と展望	課題
文の分類	<ul style="list-style-type: none"> 文の分類については、一定の精度で達成。データの拡充とモデルのチューニング等により更なる精度達成が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> 学習に利用可能な教師データ数が少ない場合、十分な学習は困難となる。 データのアンノテーションには高いコストがかかり、日本語のアンノテーション付きデータは限定的。 事故報告書の記載内容（表現、形式、用語）は事業者によって異なることから、評価したい文書側のルール化も必要と史料。 構造化されたドメイン特化辞書の整備も課題。
文間の関係性の分析	<ul style="list-style-type: none"> 文の属性の特定や特定の文間の関係性の分析に取り組む先行研究が見られる。 深層学習の登場以来、自然言語処理技術の精度は向上しつづけている状況にある。 今後は、深層学習で獲得される意味の分散表現と、記号で表現される論理演算とをスムーズに連結するメカニズムの研究が進むことが期待されている。 当面は、Web上の非構造テキストから論理的なRelationを自律的に収集、成長する枠組みを構成し、段階的に精度を向上していくシステムとすることが現実的と考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> また、事故報告書の記載内容（表現、形式、用は事業者によって異なることから、評価したい文書側のルール化も必要と史料。 文間の関係性の推定には、原子力事故等に関するナレッジと組み合わせることが有効と史料。

(3) 原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

I. 現時点の技術で開発可能なシステムの概念設計

- 前項で整理した表より、現在で実用に耐えうるレベルに達している技術の範囲を特定
- 特定された技術範囲で対応可能なユースケースを整理する。

前述の技術調査及び試行の結果を踏まえ、短期的に実現しうる仕組みについて検討を行った。文の分類精度については、データの更なる拡充やモデルのチューニング等により一定水準の水準に達することが期待される。一方、文の間の関係性の分析については、現時点のトップレベルの技術を用いても実用的な水準に達する見込みは無い。

事故報告書から原因・対策が記載された章・項の抽出は、事故報告書の構成等の基準の統一及び章番号・章タイトルの画像・テキスト処理により達成できると考えられる。

そのため、短期的には、下図に示す実線部分はシステムにより一定の自動化が可能であり、破線部分は人手による作業あるいはシステムと人の協働により実現されると期待される。

並行して、研究フェーズとして、ドメイン特化した知識の抽出（及び強化学習等による自動化等。参考参照）を実施し、最先端技術の取込みを行うことにより、随時精度の更新が図れるものと考えられる。

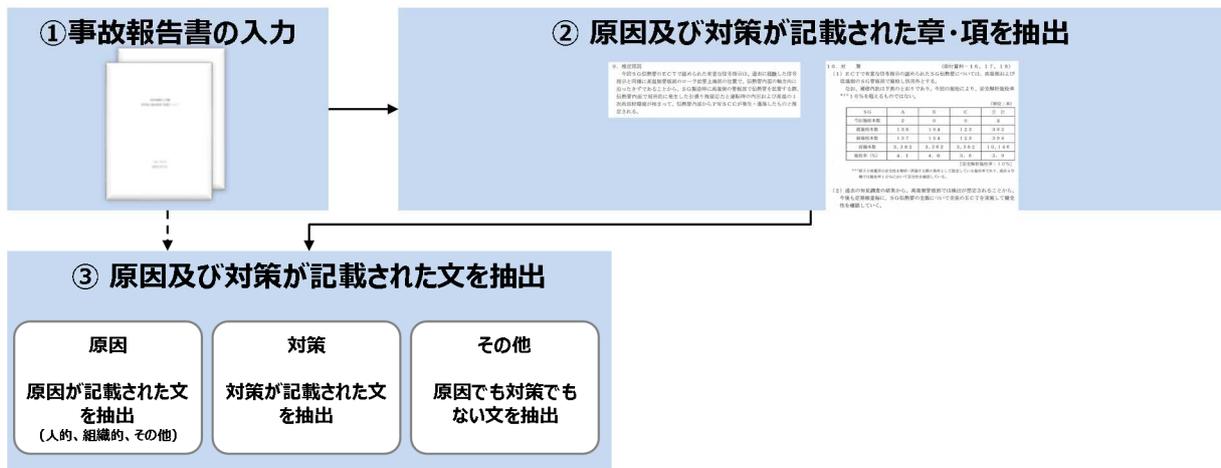


図 1-29 現時点の技術で開発可能な仕組み

II. 平成 30 年度末以降 4 年以内に開発可能と考えられる自然言語処理技術を想定したシステムの概念設計

本項目では、「情報処理技術の将来動向の調査」によって得られた情報から、平成 30 年度末以降 4 年以内に利用可能と考えられる自然言語処理技術をもとに、システムの概念設計を行う。

昨今の自然言語処理技術の精度の向上スピードを鑑みると、前項での「現時点の技術で開発可能」なシステムの概念設計に加え、4 年以内には、2 文の間の関係性の判定についても、ある程度の自動化が可能レベルに達している可能性が高い。そのため、原因、対策が記載された文を抽出された次のステップとして、それらの文の間の関係性まである程度の精度で判別する機能まで付与することが可能である。但し、完全自動化は困難と考えられるため、最終的には人間による判断を援用して利用するシステムとなると考えられる。

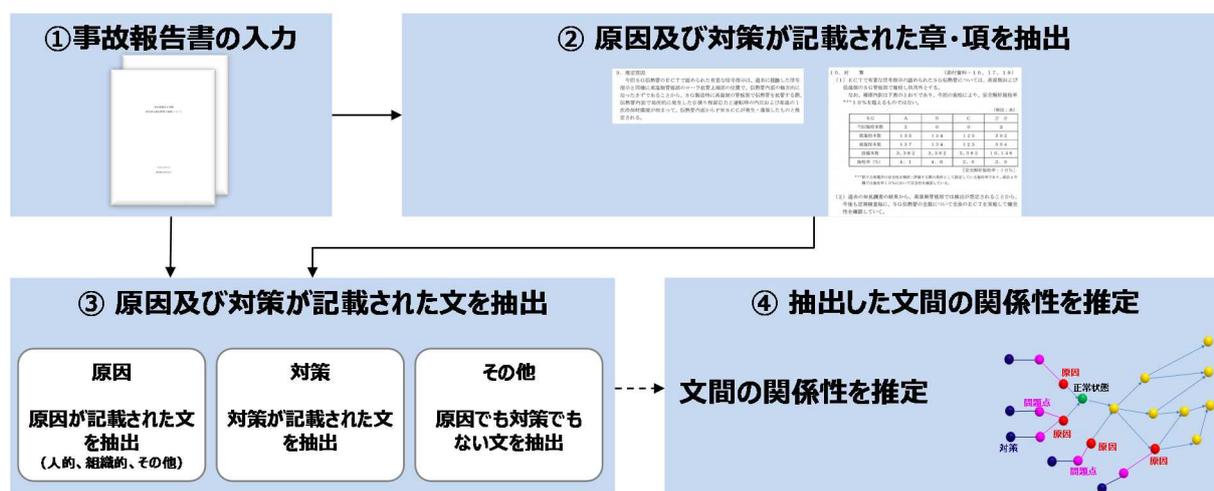


図 1-30 論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

また、システム全体としては、自然言語処理技術の精度向上に随時キャッチアップが可能となる様に、必要に応じて個別の機能コンポーネントを交換可能な設計としておくことが必要である。

さらに、4 年後を考えたとしても、入力文のみの情報により文の構成要素（段落、文、節、句等）の関係を判定することには限界があると考えられる。そのためには、背景知識を援用して判定することにより精度を向上する仕組みを考慮することが望ましい。知識ベースは、通常（主語、述語、目的語）の三つ組み（トリプル）で表現される。原子力分野に特化した背景知識を離散表現（トリプル）の形で格納し、利用時には分散表現に変換して援用する形が望ましい。従って、システム内に分散表現と離散表現を格納しておくことにより、今後発展すると期待される「分散表現と離散表現を融合した情報処理」の研究成果をスムーズに取り込むことが期待できる。また、知識ベースに格納する知識抽出のためには、Web 等の非構造テキストから知識表現

の抽出する機能も可能とすることが望ましい。さらに、オプションとしては、その様な知識獲得全体のプロセスを強化学習で制御することも考えられる。

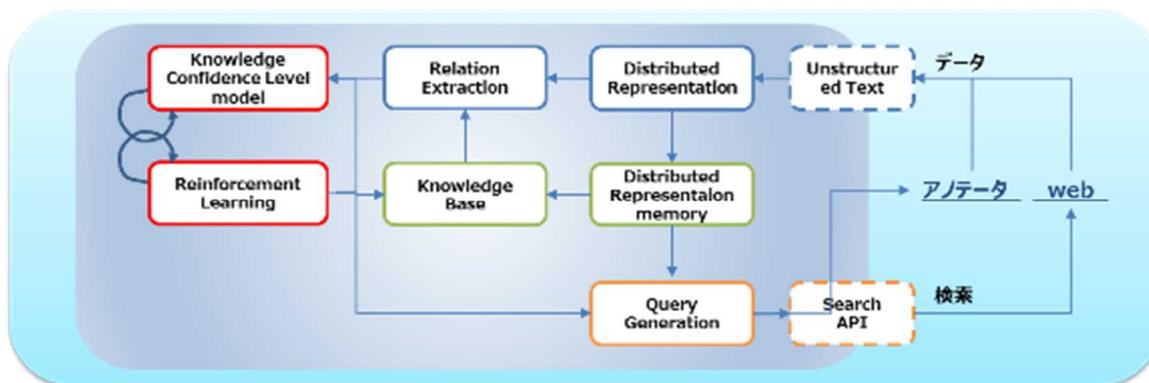


図 1-31 論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

(4) まとめ

本調査では、原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムを開発することを目的として、原因分析の結果の論理性をどのように考えたらいいのか、適用可能性のある情報処理技術、特に自然言語処理技術の網羅的調査、試行的適用、さらにこれらの調査結果を総合して現状で可能なシステムの概念設計及び4年以内に可能なシステムの概念設計を実施した。

原因分析の結果として得られるテキストの論理性を確認するには、原因の因果関係が確かに記述され、事象の連鎖を接続していけば最後に根本的な原因に到達できるということが理想的なテキストであると考えられる。また、その根本的な原因の内容に対応した対策が取られているということが重要である。原因分析の結果の論理性を判断するには、上記の観点からの分析を行うことが必要であると考えられる。

実際には、これは理想的な解析が出来た場合の話である。深層学習の最先端の自然言語処理技術まで調査を行った結果によれば、昨今の深層学習を取り入れた自然言語処理技術を用いたとしても、上記の理想状態を実現することは困難である。

本調査の網羅的調査及び試行により、「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章の抽出は、ある程度の精度で可能であることが明らかとなった。従って、現段階で可能なシステムは、この範囲の機能を備えたシステムになるものとなると考えられる。このレベルであれば、完全自動は困難であるとしても、最後に人間の判断を行うことを前提としたシステムとすることにより、十分実用的なものになると考えられる。

それ以上のレベル、すなわち「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章それぞれの論理性の判断、「発生したトラブルの問題点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等を含んだ文章同士の論理性の判断等においては、接続詞等から明らかでない場合には、少なくとも現状の自然言語処理技術では、論理関係判定の精度が半々程度であり、実用性は乏しい。但し、現在の自然言語処理技術の発達のスピードから考えると、4年後には現在よりも相当の進展がある可能性が高いこと、原子力分野に特化した辞書の利用、背景知識（ナレッジベース）の利用等、周辺技術も併せた精度向上が図れることを考慮すると、文章内や文章間の論理性の判定も（最終的には人間が判断するという前提のもとに）実用的な範囲に入る可能性が高い。

また、現在の深層学習では、なるべく多くのアノテーション付きデータが存在することが必要である。自然言語処理における文の間の論理的関係を判別するタスクでは、1クラスあたり千件程度の教師データが用意されている。現状で入手可能、もしくは今後累積されるデータの量は、若干千件を下回るものと考えられる。そのため、本調査では対象としなかった Web 上で入手可能なデータにアノテーションを行い、学習データに追加する作業がシステムの構築とは別に必要となる。¹⁶

¹⁶ なお、著作権法の改正（「著作権法の一部を改正する法律（平成30年法律第30号）」平成30年5月25日公布、平成31年1月1日施行）により、人工知能（AI）の開発のための学習用データとしての利用等においては、権利者の許諾なく行えることとなった。

<http://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/hokaisei/h30_hokaisei/>

以上から、現時点、4年後それぞれにおいて実用的なシステムが想定され得ることが判明した。随時自然言語処理技術の発展を取り入れ可能なシステムとして設計し、段階的にバージョンアップしていく方式が望ましいものと考えられる。

1.5. 参考資料

(1) 報告会議事録

本調査の事業進捗状況の説明のため、第三者有識者 2 名を招聘して中間報告会及び最終報告会を実施し、報告内容に対する意見聴取を行い、研究内容や成果のとりまとめの参考とした。

第三者有識者のうち 1 名は下記、もう 1 名は匿名（情報工学系の大学教授、データマイニング、機械学習、統計科学等の有識者）である。

革新知能統合研究センター 言語情報アクセス技術チーム チームリーダー
合同会社ランゲージ・クラフト 代表 関根 聡

なお、中間報告会及び最終報告会における説明資料を添付資料とする。

(ア) 中間報告会

日時 : 平成 31 年 2 月 18 日 (月) 15:30~17:30

開催場所 : みずほ情報総研株式会社 T107 会議室

議事内容 :

事業の背景、目的について原子力規制庁より説明、みずほ情報総研より調査内容の中間報告を行った後、下記の質疑応答を実施した。

<今回調査の目標に関して>

有識者「論理的な客観性という意味は、書かれた事項の意味が真実に照らして論理的であることをチェックするという意味か、それとも、テキストのみが与えられたものとして、表面的な構造を見ればよいのか？」

→ 「まずは表面的な論理構造が見えるだけでも有用である。」と回答。

有識者「最後に人による判断が入ってもいいのか。」

→ 「入っても良い。そのような事項も含めて、現状の技術でどこまで出来るのかを整理する。」

<データの量や質について>

有識者「新規のデータは毎年どの程度あるのか。その量が少なければ省力化の効果は少ない。」

→ 「事業者から原子力規制庁に報告が行われる不適合事象は年間 10 件程度である。現在原子力規制庁が設立されてから 7 年なので、凡そ 70 件程度たまっている。原子力規制庁に報告義務の無い不適合以外の事象を含めるとさらにデータ量は多くなる見込みである。また、不適合以外の事象にもレベルがあり、一番低いレベルでは 1 発電所あたり 300 件/年程度の件数がある。但し、原子力規制庁に報告が来るわけではなく、発電所を訪問して見ることはできる、という現状であ

る。なお、本調査の目的は、省力化だけでなく、恣意的でない判断が可能であること、検査官の教育、という意味もある。」

有識者「大きな事故と小さな事故では適切な分析方法も異なる可能性がある。」

有識者「事故報告書の構成や構造については、規制やルールがあるのか。」

→ 「2009年から根本原因分析を行っている。根本原因分析に関しては、2009年以降に統一的な記載がなされている。但しフォーマットまで決まっている訳では無い。」

<現在の分析手法について>

有識者：「文の抽出に関し、現在誤検出となっている事例も、語尾を特徴量として取れば精度が上がるのではないか。」

→ 今後検討し、可能であれば対応する。

有識者：「ランダムフォレストであれば、feature importance を見たら良いのではないか。」

→ 今後検討し、可能であれば対応する。

有識者：「航空事故報告書と一緒に分析するのはやめた方が良い。ヒューマンファクター事例データベースに紐づいている報告書を集められるのであれば集めてアノテーションをした方が良い。」

→ 「入手可能な報告書をを追加し、アノテーションされたデータを可能な限り追加する。」

有識者：「辞書を単にリストではなく、更に分類すると精度があがるのではないか。」

→ 「今後の課題としてまとめる。」

有識者：「文の抽出・分類について、本来、原因と対策に加えて「それ以外」の分類も必要である。」

→ 検討して最終報告会で報告する。

<システムの概念設計について>

有識者：「知識ベースを援用すると設計はその通りと考える。」

有識者：「Implicit relation を文から読み取るのは現状では難しい。しかし、関連技術の進展速度も速いので、4年後の予測も出来ない。」

有識者：「ドメインを原子力の事故分析に特化して、どの程度精度が出るかを見るのが短期的には現実的。また、原因、対策の抽出をしてから、単語レベルで文間の関連を見るという方法でもそれなりに精度は出るのではないか。」

有識者：「報告の概念設計は、直近で可能な話と将来的な話が混在しているので、実現時期別に整理して欲しい。」

→ 「整理する。」

(イ) 最終報告会

日時 : 平成31年3月8日(金) 15:30~17:30

開催場所 : みずほ情報総研株式会社プレゼンテーションルーム

議事内容 :

みずほ情報総研より調査内容の最終報告を行った後、下記の質疑応答を実施した。

有識者：「文の関係の検討の入力は2つの分を入力してその関係を分類したのか。英語での検証であるが、英語から日本語になる時に問題にならないか？日本語特有の処理が必要か？」

→ 「言語の違いで、日本語の方が若干精度のレベルが下がると予想される。文脈情報も加味する自然言語処理技術を用いることで正解率が上がっていくと期待される。」

有識者：「今回の試行は原因と対策で100程度である。データの数が少ない点を今後どうしていくのか検討する必要がある。」

→ 「課題の一つとしてまとめる。例えば、原因と結果の **relation** の判定のみに絞ると学習データ数は1000件程度でも問題ない可能性もある」。

有識者：「現時点で自動化で可能なレベルはどの程度か？」

→ 「現状で8割が正解し、2割が人手がいる程度である。」

有識者：「残りの2割を人手で分類するには専門知識が必要か？」

→ 「専門知識は必要だが、少し訓練すれば出来る程度である。」

有識者「専門家の知識が見える形にする必要がある。素人でもかける報告書の書き方、このような項目を入れると良いといった、知識を形式化、文書化する必要もある。また、報告書の修正前と修正後のデータも有効なデータとなる。」

→ 「課題として報告書に記載する。また、報告書には完全な機械化が難しいのであれば、機械と人がどのように作業分担すれば現状でも可能かの示唆も記述する。」

1.6. 参考資料

中間報告会及び最終報告会における説明資料を添付する。

原子力規制委員会原子力規制庁

「平成29年度原子力施設等防災対策等委託費（人的組織的要因の体系的な考慮に係る規制研究（原子力規制検査等への情報処理技術の活用に関する調査））事業」

中間報告

みずほ情報総研株式会社

Mizuho Information & Research Institute, Inc.

目次

1. 事業の概要（背景・目的）
2. 課題の設定とアプローチ（自然言語処理技術）
3. 自然言語処理技術の適応を見据えた調査
 - 3.1. 自然言語処理技術の動向
 - 3.2. 事故分析結果の分析に利用可能なデータの現状
4. 自然言語処理技術の試行と課題
5. 論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

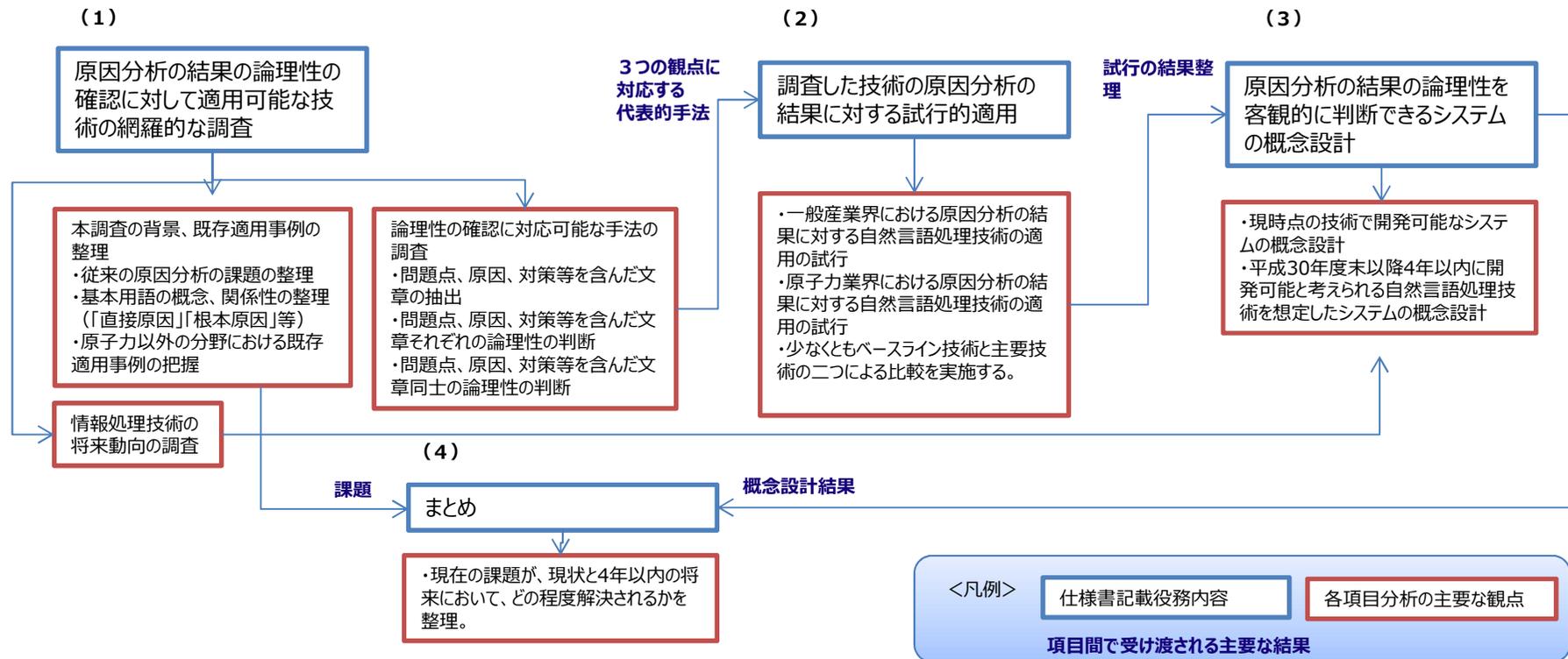
1. 事業の概要

本調査事業の目的

- ▶ 現在、原子力規制庁が検討を進めている「原因分析に係るガイド」においては、事業者による不適合の原因分析の状況を確認することとしている。
- ▶ 原因分析の状況の確認においては「発生したトラブルの原因点」、「発生したトラブルの原因」、「発生したトラブルへの対策」等が論理的であるかどうかを確認することが重要であることから、本事業は、**原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステム**を開発することを目的とする。
- ▶ 平成29年度事業では、原因分析の結果の論理性の確認に対して**適用可能な技術を調査**し、調査した技術を原因分析の結果に対して試行的に適用し、原因分析の結果の論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計を行う。

本調査事業の実施内容

▶ 本調査事業の実施内容は以下のとおり。



2. 課題の設定とアプローチ

課題の設定とアプローチ

- ▶ 事業者が実施した原因分析の結果について、論理性を分析評価するために適応可能な技術を調査し、将来の技術進展も見据えて実用に向けた課題等を検討することが目的。
- ▶ 事業者から提出される分析結果は、左下図のとおり、分析報告書として（文書データ）として得ることができる。
- ▶ 解決したい問題に対して考えられる原因が洗い出されているか（根本的な原因にたどり着いているか）を評価することが理想的なゴールとして設定。

事故分析報告書



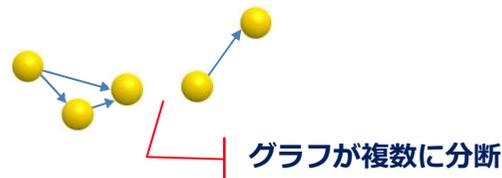
自然言語
処理技術

論理性の評価（理想像）

本事業では、事故分析結果に関する文書をもとに、分析結果の論理性を客観的に評価することが目的。理想的には、

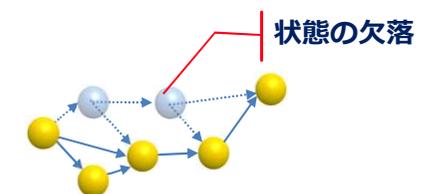
- 「入力テキストとグラフ構造により表された「論理性」を対応付けること」で定式化する。
- 作成されたグラフ構造の妥当性を検証する。

【遷移の欠落の可能性】



テキストから作成されるグラフ構造が1つで表されているか？

【ノードの欠落の可能性】



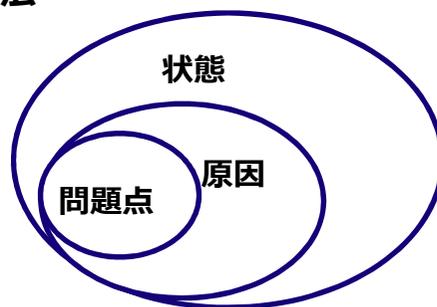
分析における論理の飛躍や分析すべき原因の漏れなど

(参考) 原因分析結果の論理性について

- ▶ 理想的には、「入力文書とグラフ構造により表された「論理性」を対応付けること」で定式化
- ▶ 作成されたグラフ構造の妥当性を検証することで、「論理性」を検証。

グラフ構造のノードを以下に分類

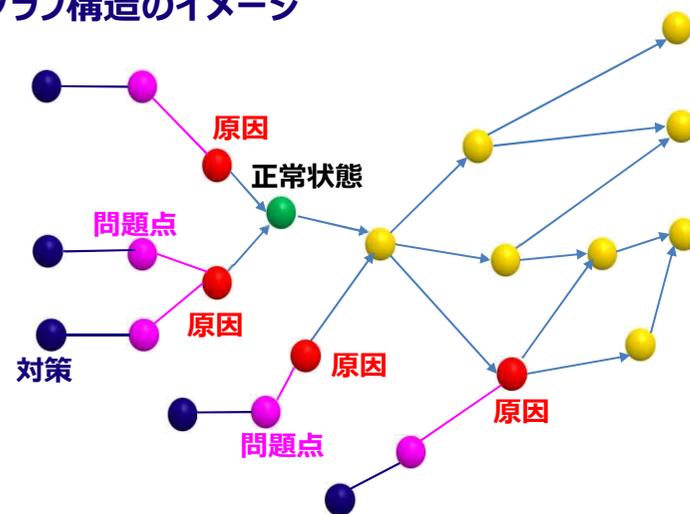
- 原因** : ある事象につながった理由、きっかけ等
- 問題点** : 原因を遡った最後の原因
(修正をした方がよい部分)
- 対策** : 問題点をなくす方法



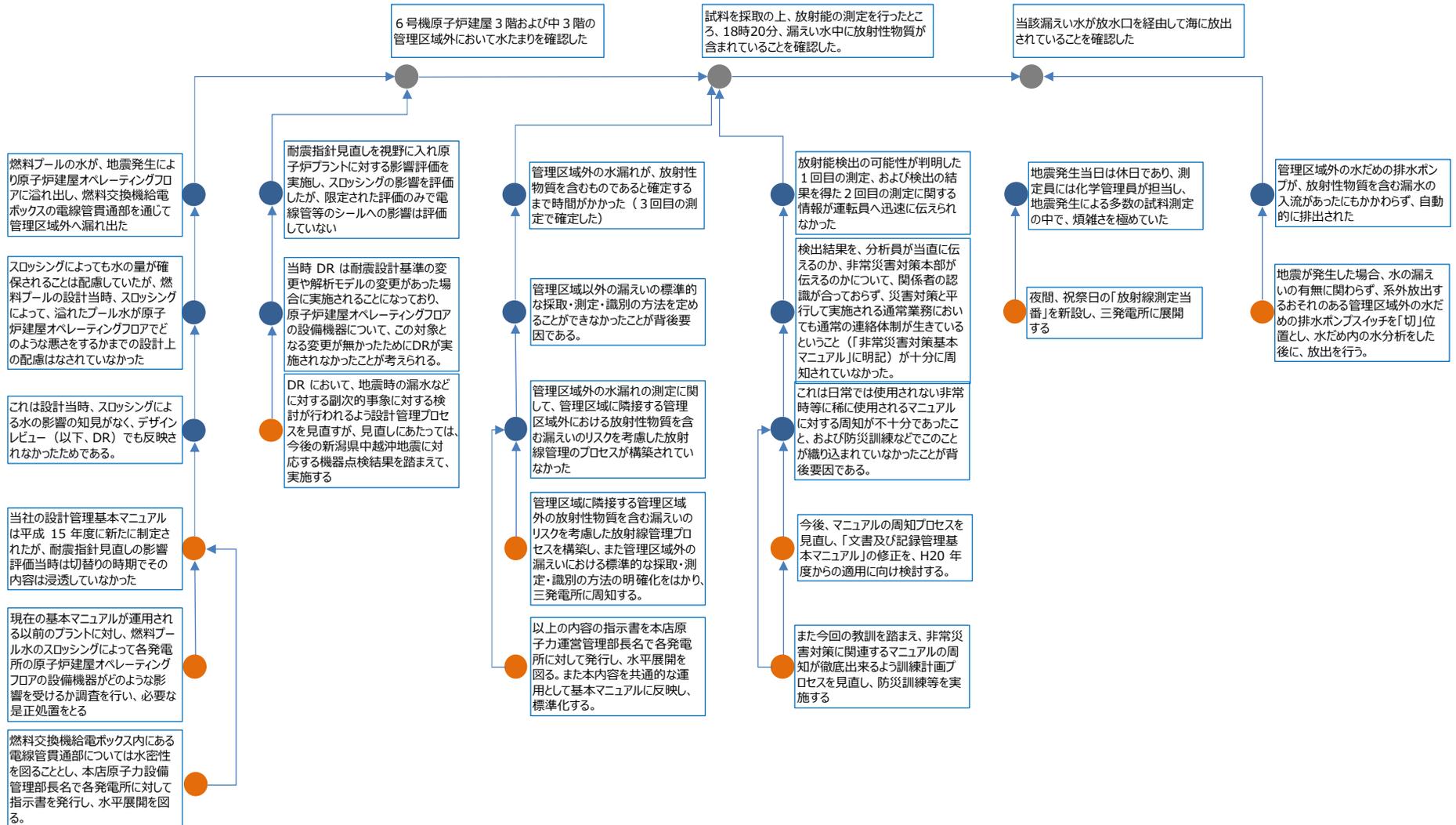
原因の分類

- 人的原因** : 人の行動, 心理等
- 組織的原因** : 組織文化, 体制等
- その他** : 物理現象, システム状態等

グラフ構造のイメージ



(参考) 事故分析報告書に基づくグラフ構造のイメージ



課題の設定とアプローチ

- ▶ 理想的なゴールとアプローチ：
 - 自然言語処理技術により、原因分析報告書のテキストを分析し、
 - ・ 事象の背後にある「原因」と根本的な原因に対する「対策」を特定（ノード）
 - ・ 原因分析結果をグラフ構造として生成（エッジ）
 - ・ グラフ構造から、エッジの欠損やノードの欠落などを特定する
- ▶ 上記の達成に向けて、自然言語処理技術の現状を調査分析し、現在及び中長期的な将来を見据えた適応可能性を検討する。
 - 自然言語処理技術の現状
 - 自然言語処理技術の将来動向
 - 事故分析結果の分析に利用可能なデータの現状

3. 自然言語処理技術の適応を 見据えた調査

本事業で検討する技術及びデータの枠組み

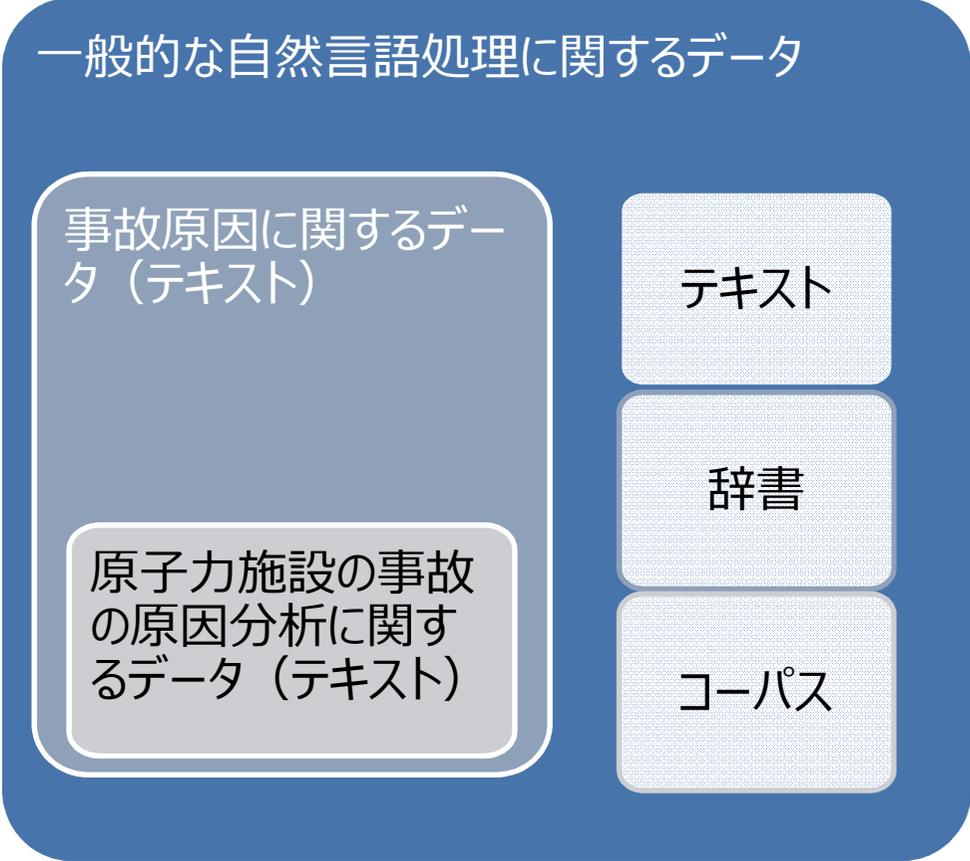
▶ 自然言語処理技術の適応可能性を検討するにあたり、最新の技術現状と利用可能なデータについて整理を実施。

【自然言語処理技術】

アプローチ	分野
意味理解・意味解析からのアプローチ	Pragmatics
	Semantics
文の構成規則等からアプローチ	Syntax
	Morphology

×

【データ】



3.1. 自然言語処理技術の動向

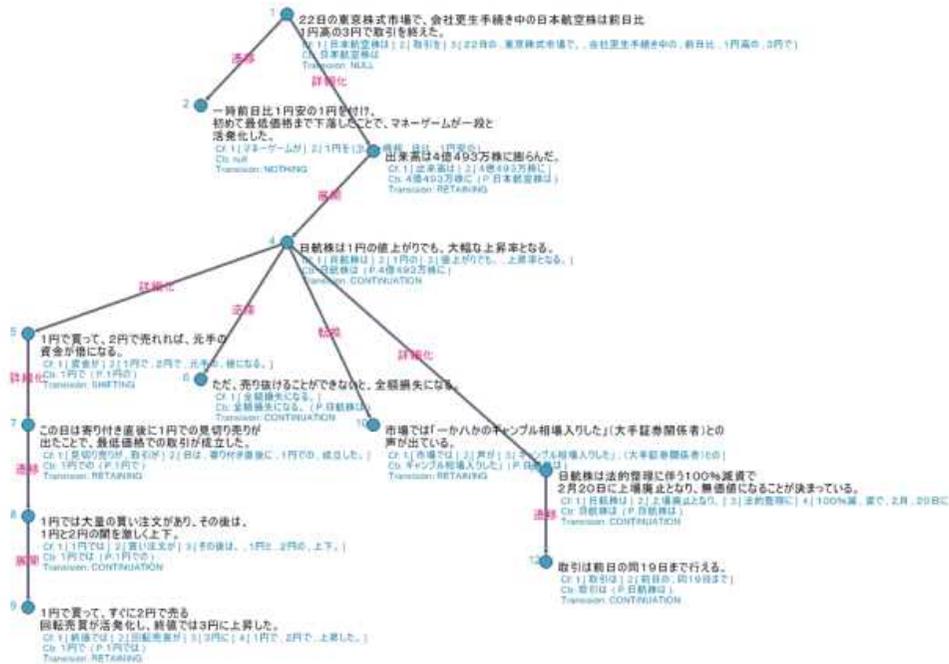
▶ 自然言語処理は応用領域も広く多様な研究が行われており、本事業に関連する技術の最新動向をリサーチ。本事業に関連する主な研究タスクとSOTA論文は、以下のとおり。

タスク		説明	SOTA論文
大分類	小分類		
Natural language inference		推論(文章に照らして仮説の真偽を判定)	Improving Language Understanding by Generative Pre-Training
Question answering		質問応答(文章内容に関する質問に答える)	BERT + MMFT + ADA (ensemble) (Microsoft Research Asia)
Language modeling	Word Level Models	次に来る語の予測	FRAGE: Frequency-Agnostic Word Representation
	Character Level Models	次に来る文字の予測	Transformer-XL: Attentive Language Models Beyond a Fixed-Length Context
Coreference resolution		同一entityを参照している語の認識	Higher-order Coreference Resolution with Coarse-to-fine Inference
Entity linking		文章中のentityを知識ベースのentryに紐づけ	DeepType: Multilingual Entity Linking by Neural Type System Evolution
Information extraction	Open Knowledge Graph Canonicalization	知識ベースの同一エントリーの認識	CESI: Canonicalizing Open Knowledge Bases using Embeddings and Side Information
Named entity recognition		固有表現抽出	Contextual String Embeddings for Sequence Labeling (FLAIR embeddings)
Relation prediction		二つのnamed semantic entity間の関係の推測	Predicting Semantic Relations using Global Graph Properties Translating Embeddings for Modeling Multi-relational Data.
Relationship extraction		語の間関係を推測	RESIDE: Improving Distantly-Supervised Neural Relation Extraction using Side Information
Semantic parsing		意味構造のパーシング(AMR等)	An AMR Aligner Tuned by Transition-based Parser
Semantic role labeling		意味役割のラベリング	Jointly Predicting Predicates and Arguments in Neural Semantic Role Labeling
Taxonomy learning	Hypernym Discovery	上位概念の認識	A Hybrid Approach to Hypernym Discovery
Text classification		テキスト分類	Universal Language Model Fine-tuning for Text Classification
Word sense disambiguation		文脈依存の単語意味同定	SUPWSD: A Flexible Toolkit for Supervised Word Sense Disambiguation
CCG supertagging		CCGでのsuper tagging	Semi-Supervised Sequence Modeling with Cross-View Training
Dependency parsing		主辞と他の語の依存関係認識	Semi-Supervised Sequence Modeling with Cross-View Training
Constituency parsing		句構造文法に基づくパーシング	Constituency Parsing with a Self-Attentive Encoder
Shallow syntax		構文解析	Contextual String Embeddings for Sequence Labeling (FLAIR embeddings)
Part-of-speech tagging		語に品詞をタギング	Morphosyntactic Tagging with a Meta-BiLSTM Model over Context Sensitive Token Encodings

3.1. 自然言語処理技術の動向 関連技術の例

▶ Discourse Analysisの例

- ❑ 談話構造解析は文章中の文と文の間の役割的關係や話題の推移を明らかにする手法。
- ❑ 先行研究（原田ら）は、文の話題の中心である焦点の推移に着目するセンタリング理論を拡張し、文がそれまでに出現したどの文から派生しているか（派生元）の決定を可能とする技術を開発。
- ❑ 下図のように、文章中の各文を節とし、文（派生先）とその派生元の文との間の接続関係を辺とする談話構造木を生成する。



接続関係	概要
詳細化	派生元で述べられた話題を継続し、詳しい内容が派生先で述べられている
展開	派生先で派生元に関連する新たな話題を提示する
原因-結果	派生元が原因でその結果として派生先が起こる
逆説	派生先が派生元から予測される結果に反する事象である
転換	派生先で派生元に関連のない話題が提示されている
遷移	時間変化に伴い、派生元の事象が派生先の事象に推移する
並列	派生元と派生先が並列関係にある
例提示	派生元で述べられた事象、状態の具体例が派生先で提示される
質問-応答	派生元の問題に対して派生先で答えが示される

3.1. 自然言語処理技術の動向 関連技術の例

▶ Discourse Analysisの例②

- 法的分野の文書に対する談話関係の分析に関する先行研究も発表されている。
- 同研究では、米国の訴訟の筆記録に含まれる文の間に見られる関係を分類するためのメカニズムを開発。
- 訴訟筆記録の文の間に見られる関係タイプを定義し、機械学習モデルとルールベースのアプローチを組み合わせることによって、関係のタイプに従って文のペアを分類。

3.1. 自然言語処理技術の動向 関連技術の例

▶ Discourse Analysisの例③

- Discourse Analysis実装のためのデータについて
 - ・談話関係のアノテーションを付与したコーパスが用いられることが多い。
 - ・談話関係のコーパスとしては、Penn Discourse Tree Bank、RST discourse treebank、京都大学ウェブ文書リードコーパスが提供されている。
- オープンソースソフトウェアについて
 - ・Discourse Analysisに関する先行研究の幾つかは、オープンソースソフトウェアとして無償で公開されている。
 - ・後述のとおり、本事業では、無償公開されているオープンソースソフトウェアを利用して試行を実施し、適応可能性を評価。

談話関係ラベル

- ・ Expansion (展開)
 - ・ Conjunction (接続)
 - ・ Instantiation (例示)
 - ・ Restatement (換言)
 - ・ Alternative (選択)
 - ・ Exception (例外)
- ・ Temporal (時間)
 - ・ Asynchronous (非同期)
 - ・ Synchronous (同期)
- ・ Comparison (比較)
 - ・ Contrast (対比)
 - ・ Concession (譲歩)
- ・ Contingency (関係可能性)
 - ・ Cause (原因)
 - ・ Condition (条件)



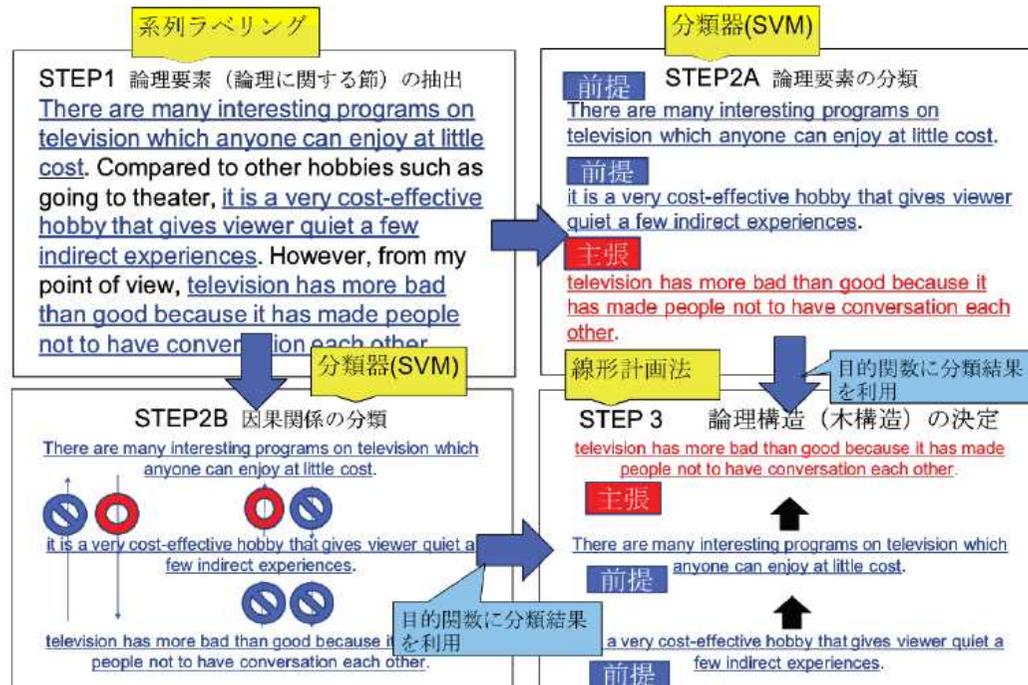
利用可能なオープンソースソフトウェアの例

- TagNN-PDTB
2つの文間の関係について、文毎に構文解析を行った結果を用いて2つの文間の関係を推論する。
- paragraph_implicit_discourse_relations
暗黙 (Implicit) の談話関係の予測精度を高めるために、パラグラフのより広い文脈において、談話ユニットに分割し、ユニット間の関係を推測

3.1. 自然言語処理技術の動向 関連技術の例

▶ Argument Mining

- 先行研究 (Stab and Gurevych(2017)) では、コーパスに含まれる文章から学習した分類器を用いて、下図のように四つのサブタスクを実行することで論理構造を推定
 - ① 系列ラベリング手法を用いて与えられた文章から論理に関する文や節を論理要素として抽出
 - ② 抽出された論理要素に対して
 - ・要素が「主張」であるか「前提」であるかの二値分類を行う。
 - ・各論理要素間に因果関係があるかどうかの分類を行う。
 - ③ 線形計画法を用いて二つの分類結果を統合し、論理構造を推計する。



3.2. 自然言語処理技術の動向

▶ 自然言語処理技術の進化

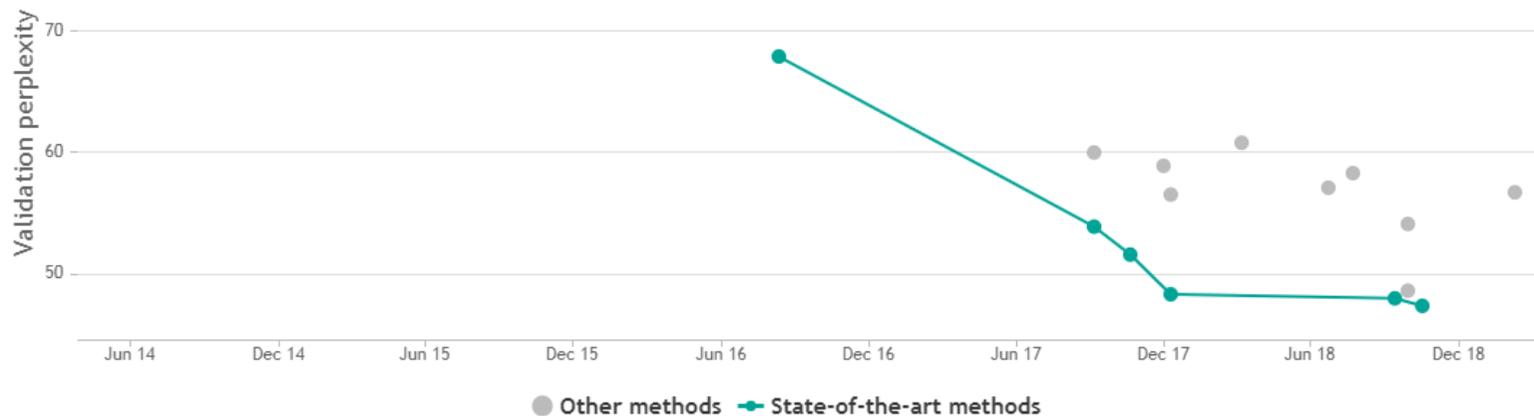
- 代表例としてLanguage Modelling, Machine Translation, Question Answeringの最近の精度向上を示す（次頁以降参照）
- 今後も同程度の精度の伸びは期待される

▶ 今後の課題

- 分散表現と離散表現をどのように融合していくかが一つの課題
- 強化学習、curriculum learning等の学習プロセスの制御との統合

3.2. 自然言語処理技術の動向

- ▶ タスク : Language Modelling on Penn Treebank (Word Level)
- ▶ 次に出現する単語を予測

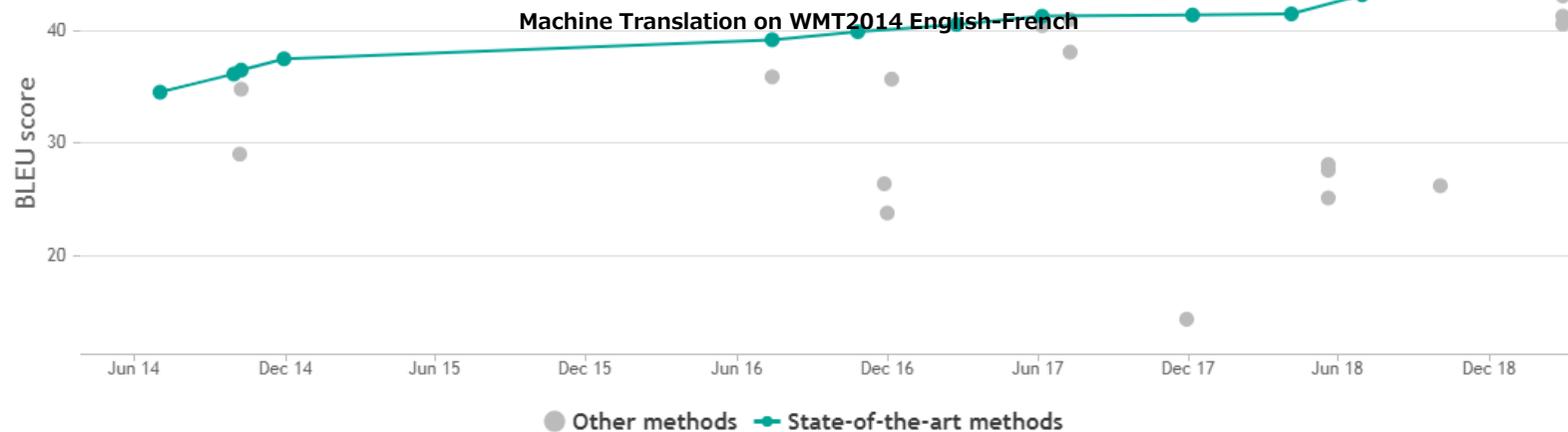


(出所) C. gong, et. al., "FRAGE: Frequency-Agnostic Word Representation," arXiv:1809.06858 (2018).

<https://paperswithcode.com/sota>

3.2. 自然言語処理技術の動向

- ▶ タスク : Machine Translation on WMT2014 English-French
- ▶ 英仏翻訳

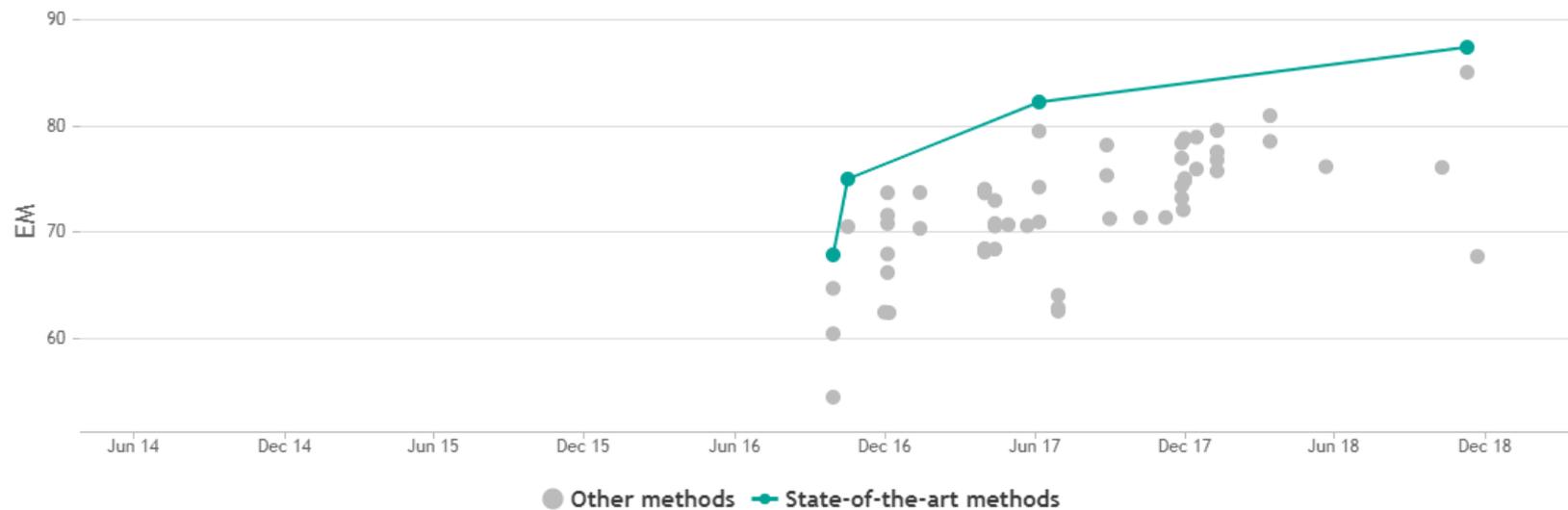


(出所) S. Edunov et. al., "Understanding Back-Translation at Scale," in Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (2018).

<https://paperswithcode.com/sota>

3.2. 自然言語処理技術の動向

- ▶ タスク : Question Answering on SQuAD1.1
- ▶ 質問応答



(出所) J. Devlin et. al., "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding," arXiv:1810.04805(2018).

<https://paperswithcode.com/sota>

3.2. 自然言語処理技術の動向

▶ タスク : Relation Classification (SemEval 2010 Task8)

▶ 文の二つのentityが与えられた時、その関係性の分類を下記10種類の中から判定

- Relation 1 (Cause-Effect)
- Relation 2 (Instrument-Agency)
- Relation 3 (Product-Producer)
- Relation 4 (Content-Container)
- Relation 5 (Entity-Origin)
- Relation 6 (Entity-Destination)
- Relation 7 (Component-Whole)
- Relation 8 (Member-Collection)
- Relation 9 (Message-Topic)
- Relation 10 (Other)

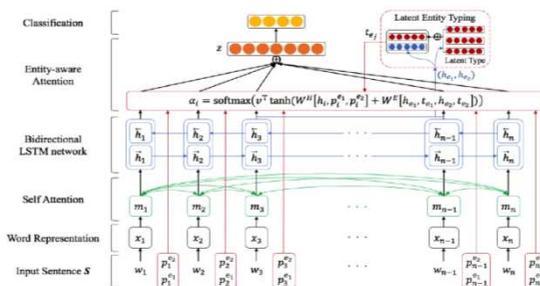
□ Cause-Effectの例 : 下記crashとattackの関係

□ The train <e1> crash </e1> was caused by terrorist <e2> attack </e2>

▶ “Semantic Relation Classification via Bidirectional LSTM Networks with Entity-aware Attention using Latent Entity Typing,” J. Lee et al., (2018).

□ 比較的シンプルなネットワーク構造 (Bi-LSTM + Self-Attention + 単語の潜在タイプ認識)

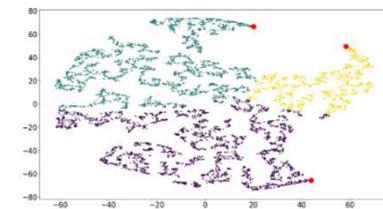
□ F1スコア 85.2%



Type1 : worker, chairman, author, king, potter, cuisine, spaghetti, restaurant, sugars, bananas, salad, bean

Type2 : systems, engine, trucks, valve, hinge, assembly, woofers, mainspring, wriggle, circuit, motor

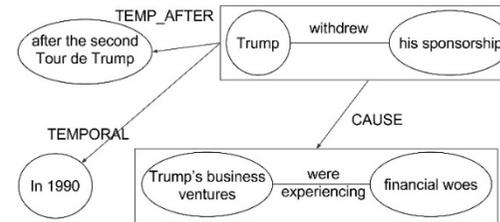
Type3 : virus, tsunami, accident, dust, riot, pandemic, pollution, earthquake, contamination, debt, congestion, drugs, marijuana



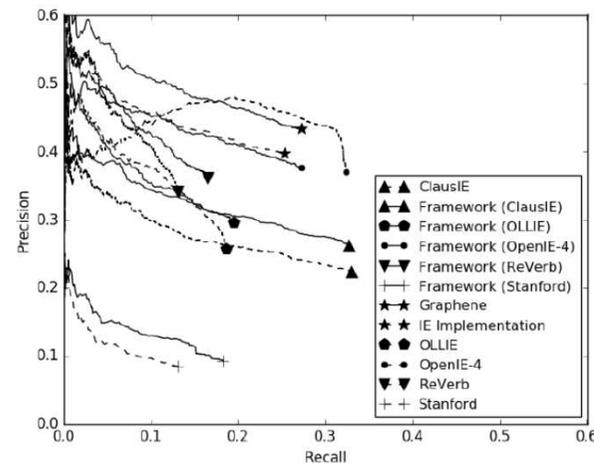
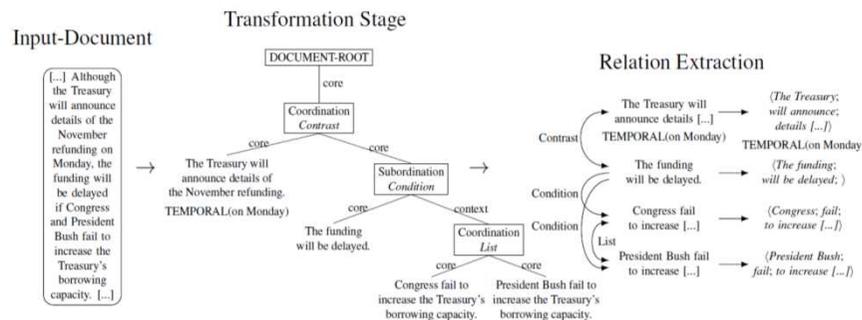
3.2. 自然言語処理技術の動向

- ▶ タスク : Open Information Extraction
- ▶ 与えられた文から、Relationを表すトリプル (subject, predicate, objective) を抜き出す

Trump withdrew his sponsorship after the second Tour de Trump in 1990 because his business ventures were experiencing financial woes.



- ▶ “Graphene: Semantically-Linked Propositions in Open Information Extraction,” M. Cetto et al. (2018).
- ▶ 入力文から、文構造の中間表現を生成した後にRelationを抽出



3.2. 自然言語処理技術の動向

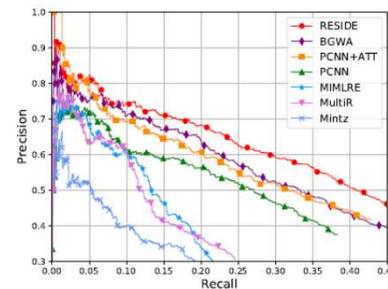
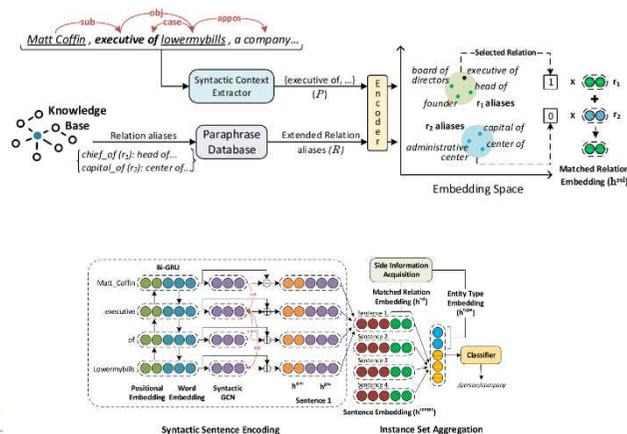
- ▶ タスク : Relationship Extraction
- ▶ 任意の文からRelationを表すトリプル (subject, predicate, objective) を抜き出す

Morris Smith Miller (July 31, 1779 -- November 16, 1824) was a United States Representative from New York. Born in New York City, he graduated from Union College in Schenectady in 1798. He studied law and was admitted to the bar. Miller served as private secretary to Governor Jay, and subsequently, in 1806, commenced the practice of his profession in Utica. He was president of the village of Utica in 1808 and judge of the court of common pleas of Oneida County from 1810 until his death.

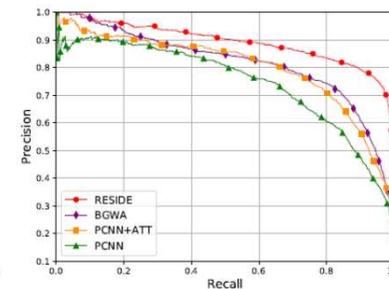


(Morris Smith Miller, place of birth, New York City)

- ▶ “RESIDE : Improving Distantly-Supervised Neural Relation Extraction using Side Information” S.Vashishth et al., in Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, pp. 1257–1266 (2018).
- ▶ 別途OpenIEによって得られているトリプルを利用



(a) Riedel dataset



(b) GIDS dataset

3.3. 事故分析結果の分析に利用可能なデータの現状

▶ 一般的な自然言語処理に関する主なデータは以下のとおり。

類型	データ	概要
テキスト	Japanese Text Initiative	日本古典文学の電子テキスト・データベース。
	書籍デジタル化委員会	インターネット上に散在する日本語のテキストのアーカイブ。
	近代文学データベース	教育小説、植民世界、読書論のデータベース。
	Wikimedia	Wikipediaに掲載された記事データ。
辞書	IPA辞書	情報処理振興事業協会（現情報処理推進機構）が策定した品詞体系（THiMCO97）に基づいて策定された品詞体系日本語辞書。
	UniDic辞書	国立国語研究所の規定した言語単位で整理された辞書。現代書き言葉、現代話し言葉、古文用が提供されている。
	NAIST辞書	IPADIC に対し固有名詞以外の語に対して全数品詞の見直しを行ったもの。
コーパス	日本語Wordnet	NICTの監修により作成された意味辞書／概念辞書。単語がsynsetと呼ばれる同義語のグループに分類され、簡単な定義や、他の同義語のグループとの関係が記述される。
	京都大学テキストコーパス	毎日新聞の記事に各種言語情報を人手で付与したテキストコーパス。
	NAISTテキストコーパス	京都大学テキストコーパスで利用されている記事に対して述語と表層格の関係、事態性名詞と表層格の関係等の情報を付与。
	国立国語研究所コーパス	書籍、雑誌、新聞、白書、Web、法律などから無作為に抽出した約1億語のテキストに形態論情報、文書構造タグを付与したコーパス。
	NPCMJコーパス	現代日本語の書き言葉と話し言葉のテキストに対し文の統語・意味解析情報をアノートしたコーパス。
その他	学習済みモデル	自然言語処理等で用いられる機械学習のネットワークモデルについて、訓練された（学習済み）モデルが公開されており、これらも利用可能。

3.3. 事故分析結果の分析に利用可能なデータの現状

▶ 事故原因に関するデータ、原子力施設の事故に関するデータは以下のとおり。

【事故原因に関するデータ】

類型	データ	概要
テキスト	失敗知識データベース	機械、化学、石油、石油化学、建設、電気・電子・情報、電力・ガス、原子力、航空・宇宙、自動車 鉄道、船舶・海洋、金属 食品、自然災に関する失敗事例をまとめたデータベース。2008年までの事例が掲載。
	事件事例データベース	高圧ガス保安法関係事故についての分析・評価結果を取りまとめたデータベース。
	廃棄物および循環資源における安全情報データベース	一般廃棄物、産業廃棄物、特別廃棄物等における火災、爆発、異常発熱、中毒、汚染等の事件事例を掲載したデータベース。2013年に更新。
	リレーショナル化学災害データベース	経済産業省所管の火薬類、高圧ガス関連の災害事例や消防法危険物関連災害事例、その他の化学プラント関連災害事例を整理。
	運輸安全委員会報告書	鉄道事故、運輸事故等に関する原因分析等の報告書が掲載。
	事故情報データベース	消費者向けの製品事故の調査結果が掲載されたデータベース。

【原子力施設の事故の原因分析に関するデータ】

類型	データ	概要
テキスト	ヒューマンファクター事例データベース	原子力規制庁が有する構造化された日本の事故分析事例のデータベース（約300事例）
	事故分析報告書の原文	原子力事故に関する、実際の事故分析報告書（4事例）

3.3. 事故分析結果の分析に利用可能なデータの現状

- ▶ 事故分析報告書より、原因、対策に関する記載を抽出・分類するために、原子力規制庁が保有するヒューマンファクタ事例データベースを活用。
- ▶ ヒューマンファクタ事例データベースは、事業者から提出された事故分析報告書をもとに、原因や対策に関する記載を構造的に保存したもので、本事業では、下記の項目における記載内容を教師データとして活用する。

発生日時	件名	原因 (人的)		原因 (組織)			対策
		個人特性要因備考	作業特性要因備考	作業環境特性要因備考	職場環境特性要因備考	管理特性要因備考	
1966-11-26 16:30:00	配電盤改造工事中の感電死	2-2 2週間に亘る長期活線作業のための疲労。前回の同種作業に対する慣れによ...	2-2 長期に渡る活線作業による精神的注意負荷過大。	1-1 活線箇所への注意札標示が不適切。使用プライヤーの絶縁処置の不備。...	NaN	NaN	1. 充電部の保護処置を十分に行う。2. 使用工具に絶縁テープを巻く。
1967-01-23 21:20:00	蒸気タービン低圧蒸気連絡管蒸気漏洩事故について	1-2 復旧作業の急ぎによる時間的焦り。3-2 当該部品脱落は頻繁に発生しており、作...	1-3 蒸気連絡管下部の付け根フランジ部のスタッドボルト締め付けのため作業姿勢の制約が大きい	2-1 当該ドレン抜配管フランジは、蒸気連絡管下部付根のため作業場所が狭い。	NaN	NaN	1. 蒸気連絡管付根のフランジタイプでスタッドボルトによる締め付けのため、蒸気漏洩を起こし易...
1967-01-24 15:00:00	蒸気管フランジ漏洩事故について	3-2 多数の垂直スプリングハンガーの調整作業の慣れのため、その調整値の注意力が低下した	2-3 多数の蒸気配管垂直スプリングハンガー調整の繰り返し作業	1-1 ハンガー調整目盛が見にくかった。(推定)2-2 蒸気配管上の高所作業。	NaN	2-2 垂直スプリングハンガー調整後の調整値確認のチェックシート不備。	蒸気管垂直スプリングハンガーの調整を完全に行った。
2000-07-23 21:17:00	タービン制御油漏洩に伴う原子炉手動停止について	1-3-2 ボルト組み立て作業の慣れで注意力が減少し、違うユニットのボルト再組み立て作業を実...	NaN	3-1-1 HCUは同種同型で多数有り、ミラー配置になっているため間違い易い。	4-2-1 指示不適切のため北側と南側のHCUの逆止弁を勘違いし別のユニットを実施した。又は...	NaN	1.以下の作業管理方法の改善 a・ダブルチェックによる確認の強化。b・作業...
2000-09-01 10:15:00	A-蒸気発生器伝熱管の損傷について	4-1,4-3 開口部からの異物混入のプロセスについて経験および知識不足。...	NaN	NaN	NaN	NaN	以下の事項を当社社員及び各協力会社に徹底を図ると共に、社内標準(請負工事仕様)...

4. 自然言語処理技術の試行

4.1. 試行の全体像

- ▶ 事故分析報告書に対する論理性の検証に関する作業項目は下表のとおり。
- ▶ 可能な限りベースライン技術及び現在のSOTAに近い技術で可能性を比較する。
- ▶ ただし、データ不足等の要因により別データでの検証/SOTA整理等に変更する可能性。

実施項目	概要
1. 検証に向けた前処理	
1.1. データの整備	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自然言語処理等の技術を適用するために、原因、対策の文に対して、ラベル付けを実施（教師データの作成） ✓ ラベル付けは、原子力事故及び他産業での事故報告書に対して実施 <ul style="list-style-type: none"> ・ヒューマンファクタ事例データベース ・運輸安全委員会事故等報告書（航空、鉄道、船舶）、等
1.2. 専門用語の抽出	専門用語及び複合語を抽出 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 高度情報科学技術研究機構（原子力百科事典） ✓ ヒューマンファクタ事例データベースからの機械的抽出
2. 検証	
2.1. 原因、対策の抽出	原因分析報告書より「原因（人的要因）」、「原因（組織的原因）」、「原因（その他）」及び「対策」の記載された文を抽出
2.2. 原因、対策の関係性を評価	抽出した原因と原因間、原因と対策間の関係性を評価
2.3. 原因分析のグラフ構造の生成	遷移の欠落や状態の欠落を評価する仕組みを開発・試行
2.4. 「原因」「問題点」の評価	グラフ構造の構造から、最終的な原因及び問題点が組織的原因まで遡っているかを検証
2.5. 不適切な表現・記述	原因分析報告書より抽出した、“原因”、“問題点”、“対策”を含んだ文について推奨されない表現等が用いられていないかを分析（例：不適切など）

4.2. データの整備

- ▶ ヒューマンファクター事例データベースを利用。ヒューマンファクター事例データベースの項目は、人と組織の原因分析に関して該当する記述を抽出・整理したもの。
- ▶ 利用したデータは以下の項目。特性要因備考を“原因”として、防止対策を“対策”としてモデルを構築。

発生日時	件名	原因 (人的)		原因 (組織)			対策
		個人特性要因備考	作業特性要因備考	作業環境特性要因備考	職場環境特性要因備考	管理特性要因備考	
1966-11-26 16:30:00	配電盤改造工事中の感電死	2-2 2週間に亘る長期活線作業のための疲労。前回の同種作業に対する慣れによ...	2-2 長期に渡る活線作業による精神的注意負荷過大。	1-1 活線箇所への注意札標示が不適切。使用プライヤーの絶縁処置の不備。...	NaN	NaN	1. 充電部の保護処置を十分に行う。2. 使用工具に絶縁テープを巻く。
1967-01-23 21:20:00	蒸気タービン低圧蒸気連絡管蒸気漏洩事故について	1-2 復旧作業の急ぎによる時間的焦り。3-2 当該部品脱落は頻繁に発生しており、作...	1-3 蒸気連絡管下部の付け根フランジ部のスタッドボルト締め付けのため作業姿勢の制約が大きい	2-1 当該ドレン抜配管フランジは、蒸気連絡管下部付け根のため作業場所が狭い。	NaN	NaN	1. 蒸気連絡管付け根のフランジタイプでスタッドボルトによる締め付けのため、蒸気漏洩を起こし易...
1967-01-24 15:00:00	蒸気管フランジ漏洩事故について	3-2 多数の垂直スプリングハンガーの調整作業の慣れのため、その調整値の注意力が低下した	2-3 多数の蒸気配管垂直スプリングハンガー調整の繰り返し作業	1-1 ハンガー調整目盛が見にくかった。(推定)2-2 蒸気配管上の高所作業。	NaN	2-2 垂直スプリングハンガー調整後の調整値確認のチェックシート不備。	蒸気管垂直スプリングハンガーの調整を完全に行った。
2000-07-23 21:17:00	タービン制御油漏洩に伴う原子炉手動停止について	1-3-2 ボルト組み立て作業の慣れで注意力が減少し、違うユニットのボルト再組み立て作業を実...	NaN	3-1-1 HCUは同種同型で多数有り、ミラー配置になっているため間違い易い。	4-2-1 指示不適切のため北側と南側のHCUの逆止弁を勘違いし別のユニットを実施した。又は...	NaN	1.以下の作業管理方法の改善 a・ダブルチェックによる確認の強化。b・作業...
2000-09-01 10:15:00	A-蒸気発生器伝熱管の損傷について	4-1,4-3 開口部からの異物混入のプロセスについて経験および知識不足。...	NaN	NaN	NaN	NaN	以下の事項を当社社員及び各協力会社に徹底を図ると共に、社内標準(請負工事仕様)...

4.2. データの整備

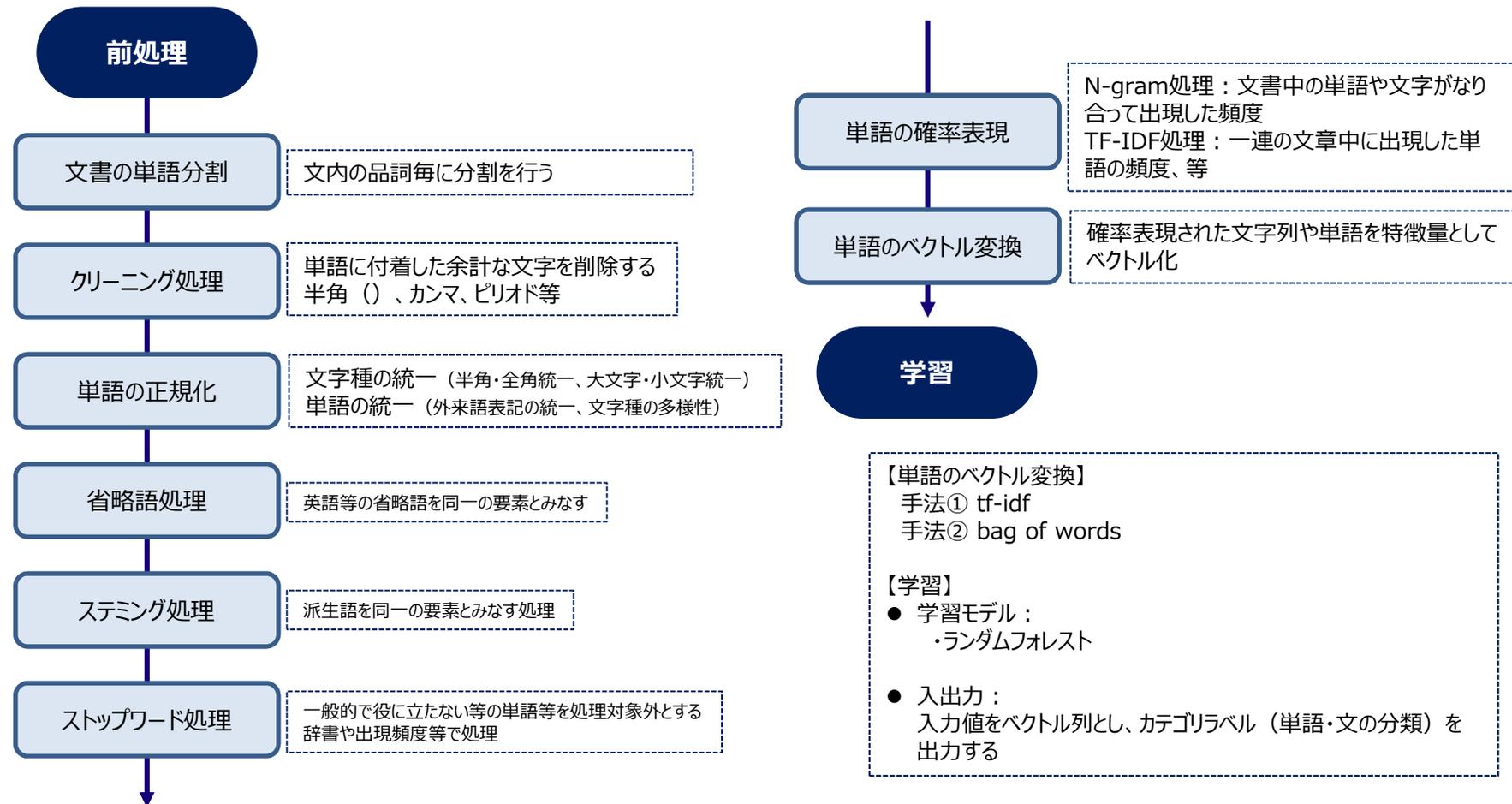
▶ ヒューマンファクター事例データベースでは、データ数が少ないことから、国土交通省 運輸安全委員会が報告する航空事故に関する分析報告書より、学習データを生成し、補完。



原因 (人的)	原因 (組織的)	原因 (その他)	対策
データベースにはVOR A進入が未登録であり、機長及び副操縦士は、FMGCの設定がない状態で進入することとなったと考えられる。	機長及び副操縦士が適切にTEMを実践することができなかったことについては、同社の運航乗務員に対するCRM/TEM教育・訓練において、機長及び副操縦士にCRM/T E Mのスキルが十分に定着するに至っていなかったことによる可能性が考えられる。	ひもが切断したことについては、飛行中の風の力により供試体に激しい揺れや回転が生じ、ひもが振り回ったことで、面取りされていない鋭い縁を有するロープカッターホルルの縁との間に擦れが生じたことによるものと推定される。	同社は、深夜時間帯にレギュラー運航が発生した場合でも、機体の継続運航等について迅速に協議できる体制を整え、その体制を継続的に評価し、必要に応じて改善していく必要が、また、M O Dへの資格付与要件及び教育について、見直す必要があると考えられる。
副操縦士はMCDUの操作にかなりの時間を費やし、機長は十分な準備時間が取れず、アプローチフリージングは慌ただしく行われたものと考えられる。	同社は、データベースに未登録の進入方式を実施する際のリスクを考慮することはなかったと考えられ、同進入がデータベースに未登録である旨の情報を空港資料に加える等の措置は講じていなかった。	滑走路終端付近及び過走帯の積雪等の状態が悪かったことも、同機のオーバーランに関与したのと考えられる。	空港管理者は、類似のヒューマン・エラーを未然に防ぐための一つの施策として、一時的に閉鎖中の滑走路に閉鎖を示す標識を置くこと等について検討することが望ましい。
機長は、VOR A進入中の滑走路16Lの見え方のイメージ及び右旋回で周回進入経路に入るイメージがない状態で進入を開始したのと考えられる。	同社は、運航乗務員の空港資料による自習内容についての知識習得状況について管理していなかった。	本重大インシデントは、機長による制動の開始が遅れたこと及び同機のパワーレバー (P L) がディスク位置にセットされず減速に必要な制動力を得られなかったことのため、同機が滑走路をオーバーランしたものと推定される。	本重大インシデント発生直後、運航乗務員に対し、進入前準備の重要性の認識、S O Pの遵守及びアサーションの励行等、基本に忠実なオペレーションの励行を促す文書を発行し、VOR A進入方式がデータベースに登録されていないこと、滑走路16Lは夜間の視認性が悪いこと等の注意喚起を行った。
同機がS A Z A Nの下限高度を逸脱して降下していることについては、機長及び副操縦士が通常とは違う手順に慣れおらず、本進入プロファイルの確認が不十分となったことによるものと考えられ、機長が着陸滑走路16Lを見付けるため、早くM D Aに到達しようとしたことが関与した可能性が考えられる。	本重大インシデント発生時、機長及び副操縦士がVOR A進入を適切に実施することができなかったことについては、同社のリスク情報の収集・活用と運航乗務員による知識習得状況の確認が不十分であったことが背景にあった可能性が考えられる。	本重大インシデントは、右席ウィンドシールドヒーターのターミナルブロックのスクリーに緩みが生じていたため、接点の電気抵抗が増大してターミナルブロックが過熱したことで、周辺の可燃物及び部品が焼損し、機内に煙が発生したことによるものと考えられる。	平成29年1月6日、VOR A進入に係る暫定的なMCDUの入力方法を紹介する技術情報を発行した。

4.3. 文の抽出・分類 ①実施プロセス

- ▶ 文の抽出については、原子力規制庁が有するヒューマンファクタ事例データベースの記載内容及び航空事故に関する調査報告書をもとに、原因と対策の抽出・分類を実施。実装した手法は以下のとおり。



4.3. 文の抽出・分類 ① 原因・対策の抽出

- ▶ 学習したモデルの評価結果は以下のとおり。
- ▶ 評価は交差検定（クロスバリデーション）により実施した。
 - 交差検定は、用意したデータを任意の数（本試行では3つ）に分け、1回目はそのうちの一つをテストデータ、それ以外を学習データとして、学習・評価。2回目は1回目と異なる別のデータをテストデータとして使い、3回目は1,2回目と異なるデータで評価を。そして、各回で測定した精度の平均を取る手法

1回目

	原因	対策
原因	87	12
対策	5	29

正解率：86.8%

2回目

	原因	対策
原因	88	7
対策	3	30

正解率：88.1%

3回目

	原因	対策
原因	85	10
対策	4	29

正解率：83.4%

4.3. 文の抽出・分類 ① 原因・対策の抽出

▶ 誤抽出の結果は以下のとおり。

	記載内容
結果：原因 正解：対策	<ul style="list-style-type: none">• 一次系への海水混入を可能な限り抑制すること,また混入した海水の一次系への拡大防止のため,対応手順を明確化するとともに継続的に運転員への教育を行っていく。• 海水が混入した場合の影響緩和対応として,以下を明確化する。• 塩化物イオン濃度・温度を早期に把握する。• すきま腐食の可能性の有無を判断する。• 塩化物イオン濃度低減のため,液体廃棄物処理設備による水処理を行う。• 塩化物イオン濃度・温度や水処理状況などから,必要に応じてクラッド除去作業を行う。
結果：対策 正解：原因	<ul style="list-style-type: none">• 当該移送ラインは、震災直後に緊急に設置した仮設設備であったため、誤操作等による意図しない機器の動作を防止する措置は想定していなかった。• 誤操作等による意図しない機器の動作を想定していなかった。• 当該操作にあたっては、関連書類は操作場所や操作実績等を確実に確認および記載できる手順書ではなかった。• 焼却工作室建屋は、滞留水貯留用の建屋として当面使用する予定がなかったことから、水位監視の対象としていなかったため、水位の変動に気付かなかった。• 当該移送ラインは、当面使用する予定のない設備であったため、状態管理は使用する時に管理すればよいと思っていた。• 水位の変化や消費電力の動きの監視が必要とっていなかった。• 焼却工作室建屋に受け入れ運用をするときに水位監視すればよいと思っていた。

4.3. 文の抽出・分類 ② 原因の分類

- ▶ 原因に関する文については、さらに「人的原因」、「組織的原因」、「その他」の3つに分類する。
- ▶ 学習したモデルの評価結果は以下のとおり。
- ▶ 評価は、文の抽出と同様に交差検定（クロスバリデーション）により実施した。

1回目

	人的	組織的	その他
人的	27	8	6
組織的	10	24	13
その他	5	2	17

正解率：60.7%

1回目

	人的	組織的	その他
人的	32	4	5
組織的	8	24	14
その他	3	4	18

正解率：66.1%

1回目

	人的	組織的	その他
人的	30	6	6
組織的	3	30	13
その他	4	3	18

正解率：69.0%



誤判別の結果について分析を実施中（教師データとしての妥当性等）

4.3. 文の抽出・分類 ③課題

- ▶ 分類精度は十分とは言えないが、その理由として一つはデータ量の不足があげられる。
- ▶ 本試行では、ヒューマンファクタ事例データベースに加え、航空事故に関する調査報告書の一部を取り込んだものの、データ数が不足。
- ▶ 事故分析に関する報告書等からの学習用データの生成を行うことで精度が高まると思料。
- ▶ また、学習モデルの改善余地はある。本事業においては、さらなる精度向上に向けて以下の先端技術の試行を検討
 - ① 文内の単語の語順を考慮したモデルの作成
 - ② 単語の意味を考慮したモデルの作成

4.4. 文間の関係性の分析

- ▶ 文間の関係性の整理については、先進技術を中心に、文間の関係性を分析可能な手法を整理し、実現可能性を検証中。
- ▶ 手法によっては、コーパスの開発が必要など、技術的な可能性は高くとも、本事業での実施難易度が高い手法が存在する。
- ▶ 中間報告では、簡易に試行が可能なものとして、英語の談話コーパス（Penn Discourse Tree Bank v2）とそれを活用したオープンソースの談話関係分析のツールを用いて、試行を実施。

実施手法

【データ】

- Penn Discourse Treebank 2.0 コーパスを用いて学習を実施。
- 先行研究に倣い、セクション2-20を学習用データとして、セクション21-22をテスト用データとした。
- また、談話関係のアノテーションについて、第一レベルの関係クラスと第二レベルの関係タイプのそれぞれで検証。

【ツール】

- 2つの文間の関係について、文毎に構文解析を行った結果を用いて2つの文間の関係を推論する「TagNN」を利用。

Temporal

Asynchronous
precedence
succession

Synchronous

Comparison

Contrast
juxtaposition
opposition
Pragmatic Contrast
Concession
expectation
contra-expectation
Pragmatic Concession

Contingency

Cause
reason
result
Pragmatic Cause
justification
Condition
hypothetical
general
unreal present
unreal past
factual present
factual past
Pragmatic Condition
relevance
implicit assertion

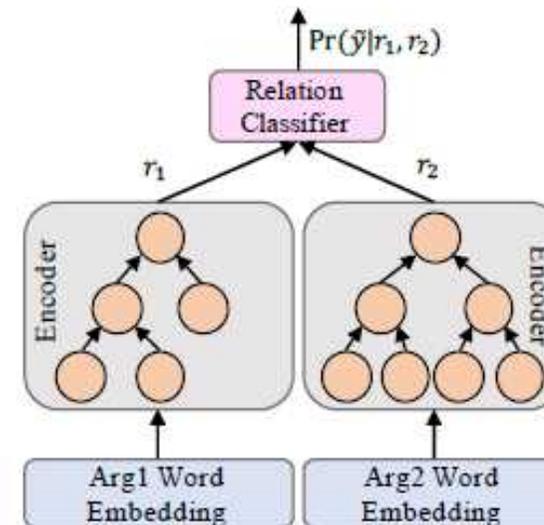
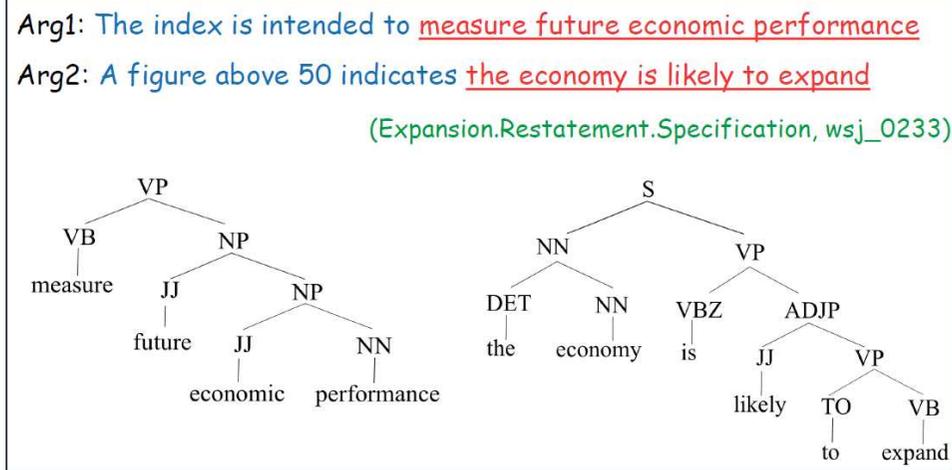
Expansion

Instantiation
Restatement
specification
equivalence
generalization
Alternative
conjunctive
disjunctive
chosen alternative
Exception
Conjunction
List

4.4. 文間の関係性の分析

▶ TAGNN-PDTB

- 構文解析の結果や過程を木構造で表現した「構文木」をニューラルネットワークに組み込み、木構造に基づくモデル（LSTM/GRU）を実装。



Models	Level-1 Classification		Level-2 Classification	
	Dev	Test	Dev	Test
Bi-LSTM	55.10	56.88	35.02	42.44
Bi-GRU	55.21	57.01	35.34	42.46
Tree-LSTM	56.04	58.89	35.76	43.02
Tree-GRU	55.36	58.98	36.09	43.78
Tag-Enhanced Tree-LSTM	56.97	59.85	35.92	45.21
Tag-Enhanced Tree-GRU	56.63	59.75	36.93	44.55

4.4. 文間の関係性の分析

- ▶ Penn Discourse treebankでは、以下のとおりExplicit（明示的）な文間の関係を付与したアノテーションと、Implicit（非明示的な）文間の関係を付与したアノテーションの両方を有する

I love presentation but preparing for it is bothersome]

文1

Explicit

文2

The economic plans came into effect.

文1

(Therefore) Global economy returns to growth.

文2

【結果】

- ▶ 第一レベルの関係クラス（4ラベル）の正解率：55.23%。
- ▶ 第二レベルの関係クラス（11ラベル）の正解率：42.23%。
 - うち、原因と結果に関する正解率：45.52%。
- ▶ 今後、原子力等事故報告書に関するテキストを用いた検証を検討

4.4. 文間の関係性の分析 中間まとめ

- ▶ 事故分析報告書の本文をシステムに読み込ませ、自動的に論理性を評価する仕組みを構築することは、現時点の自然言語処理技術では非常に難易度が高い。
- ▶ 一方で、技術の更なる進展やデータ整備が進むことで、一定の論理性評価の支援は可能になると推測される。技術及びデータの観点から今後の展望を以下のとおり整理。

【技術的観点】

- ▶ 文の属性の特定や特定の文間の関係性の分析に取り組む先行研究が見られる。
- ▶ 深層学習の登場以来、自然言語処理技術の精度は向上しつづけている状況にある。
- ▶ 今後は、深層学習で獲得される意味の分散表現と、記号で表現される論理演算とをスムーズに連結するメカニズムの研究が進むことが期待されている。
- ▶ 当面は、Web上の非構造テキストから論理的なRelationを自律的に収集、成長する枠組みを構成し、段階的に精度を向上していくシステムとすることが現実的と考えられる。

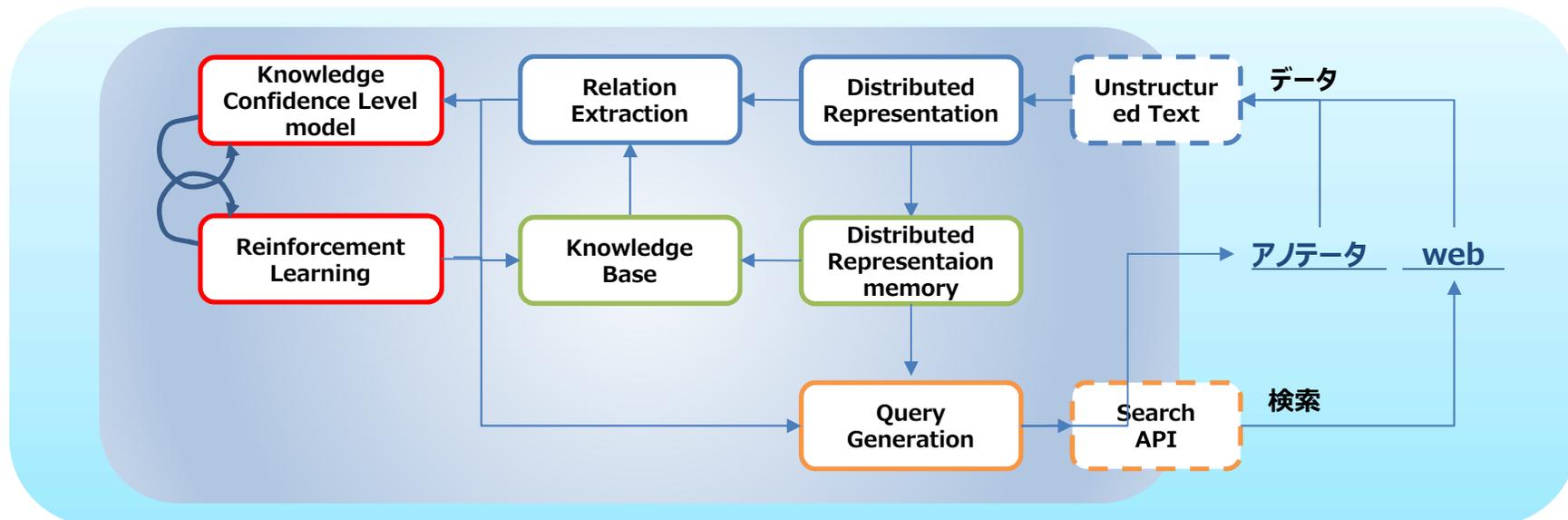
【データの観点】

- ▶ 学習に利用可能な教師データ数が少ない場合、一般に学習は困難となる。
- ▶ データのアノテーションには非常に高いコストがかかり、日本語のアノテーション付きデータは限定的。
- ▶ また、事故報告書の記載内容（表現、形式、用語）は事業者によって異なることから、評価したい文書側のルール化も必要と思料。

5. 論理性を客観的に判断できる システムの概念設計

論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

- ▶ 自然言語処理の精度は向上し続けているため、必要に応じて個別の機能コンポーネントを交換可能な様に、機能コンポーネント間の結合が疎なシステムとして構成する。これにより、随時最新のアルゴリズムを導入可能とする。
- ▶ 当面は、入力文のみの情報により文の構成要素（段落、文、節、句等）の関係を判定することには限界がある。背景知識を援用して判定することにより精度を向上する仕組みを考慮することが望ましい。
- ▶ 背景知識は、離散表現（トリプル）の形で格納し、利用時には分散表現に変換して援用する形が考えられる。
- ▶ なお、システム内に分散表現と離散表現を格納しておくことにより、今後発展すると期待される「分散表現と離散表現を融合した情報処理」の研究成果をスムーズに取り込むことが期待できる。
- ▶ ①アノテーション済み教師データによる学習で随時精度向上を図るとともに、②Web等の非構造テキストからの知識表現の抽出も可能とすることが望ましい。
- ▶ （オプション）上記②に関しては、全体を強化学習等で制御し、自律的な知識獲得を可能とすることが望ましい。



原子力規制委員会原子力規制庁

「平成29年度原子力施設等防災対策等委託費（人的組織的要因の体系的な考慮に係る規制研究（原子力規制検査等への情報処理技術の活用に関する調査））事業」

最終報告

みずほ情報総研株式会社

Mizuho Information & Research Institute, Inc.

目次

1. 中間報告における委員からの指摘事項
2. 自然言語処理の試行の実施
3. 論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

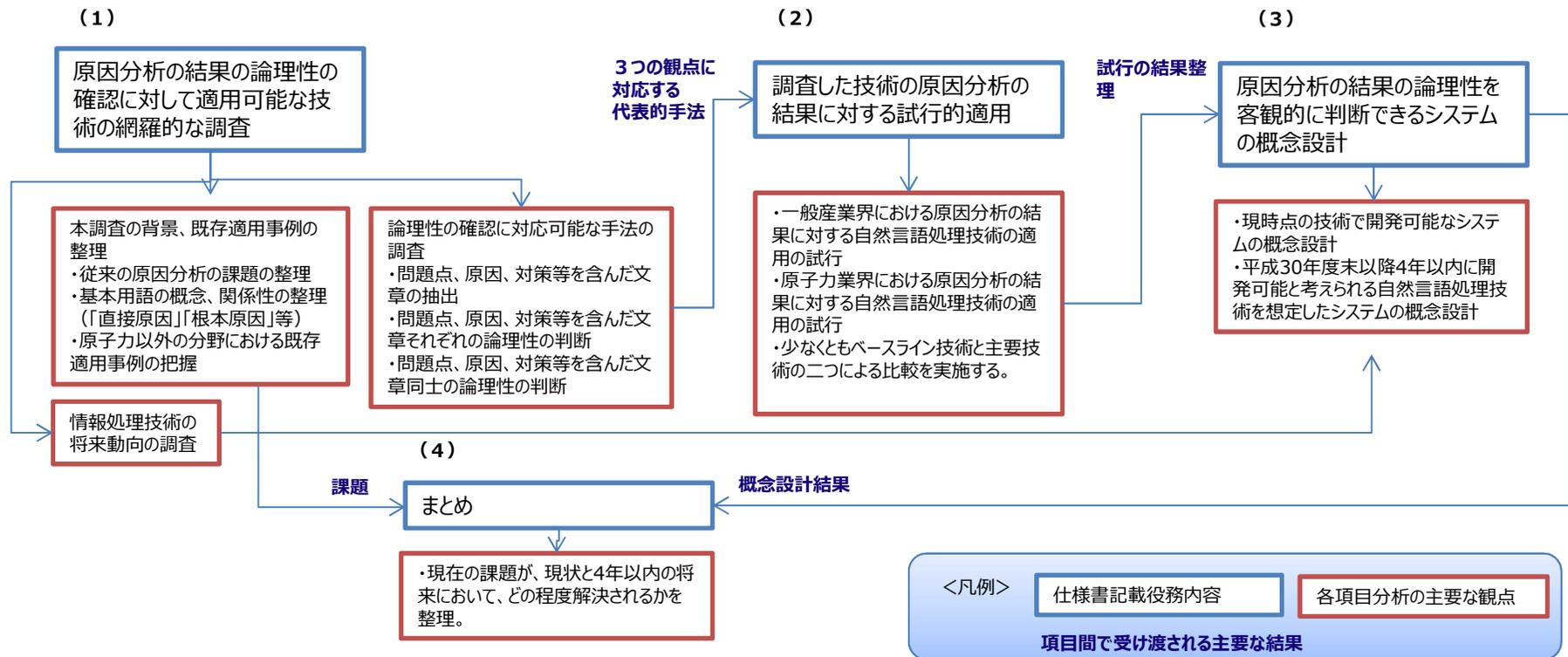
1. 中間報告における委員からの指摘事項

委員からの主な指摘事項と対応

- ▶ 前回の中間報告での主なご指摘事項とその対応については以下のとおり。
- ▶ 文の抽出・分類について、原因と対策に加えて「その他」の分類も必要。
→ 「その他」分類を加え、原因、対策、その他の区分での分類を実施しました。
- ▶ 文の抽出に関し、現在誤検出となっている事例も、語尾を特徴量として取れば精度が上がるのではないか
→ 原因と対策の2分類については、先生ご指摘のとおり語尾の特徴量を重視することで精度向上が期待されましたが、新たに、「その他」の分類を加えたことで、精度には大きく寄与しませんでした（モデルについては、追加的検討を実施中）。
- ▶ 航空事故報告書と一緒に分析するのはやめた方が良い。ヒューマンファクター事例データベースに紐づいている報告書を集められるのであれば集めてアノテーションをした方が良い。
→ 今回、新たに最新のトラブル事例の報告書12件について、アノテーションを実施し追加。原子力施設等のトラブル事例のみで解析。
- ▶ システムの概念設計について、実現時期別に整理して欲しい。
→ 現時点、4年以内の実現できる機能（+研究的活動）で整理。

(参考) 本調査事業の実施内容

▶ 本調査事業の実施内容は以下のとおり。



2. 自然言語処理技術の試行

2.1. 試行の全体像

- ▶ 事業者が実施した原因分析の結果について、論理性を分析評価するために適応可能な技術を調査し、将来の技術進展も見据えて実用に向けた課題等を検討することが目的。
- ▶ 事業者から提出される分析結果は、左下図のとおり、分析報告書として（文書データ）として得ることができる。
- ▶ 解決したい問題に対して考えられる原因が洗い出されているか（根本的な原因にたどり着いているか）を評価することが理想的なゴールとして設定。

事故分析報告書



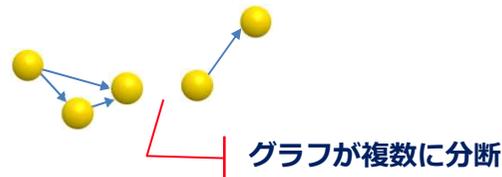
自然言語
処理技術

論理性の評価（理想像）

本事業では、事故分析結果に関する文書をもとに、分析結果の論理性を客観的に評価することが目的。理想的には、

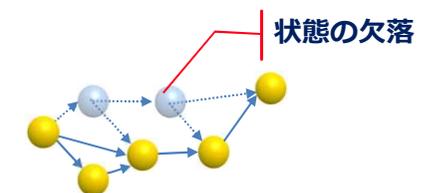
- 「入力テキストとグラフ構造により表された「論理性」を対応付けること」で定式化する。
- 作成されたグラフ構造の妥当性を検証する。

【遷移の欠落の可能性】



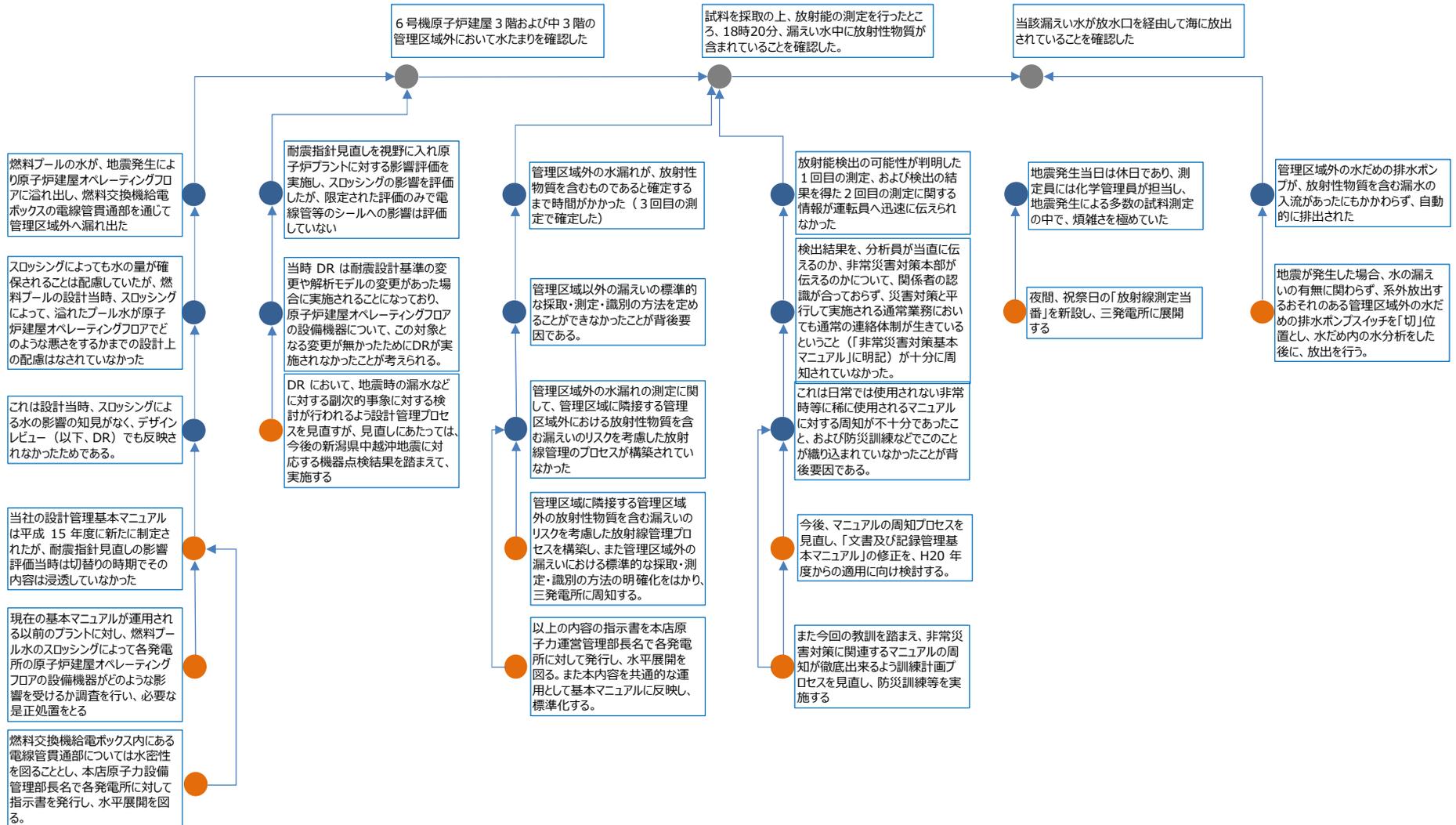
テキストから作成されるグラフ構造が1つで表されているか？

【ノードの欠落の可能性】



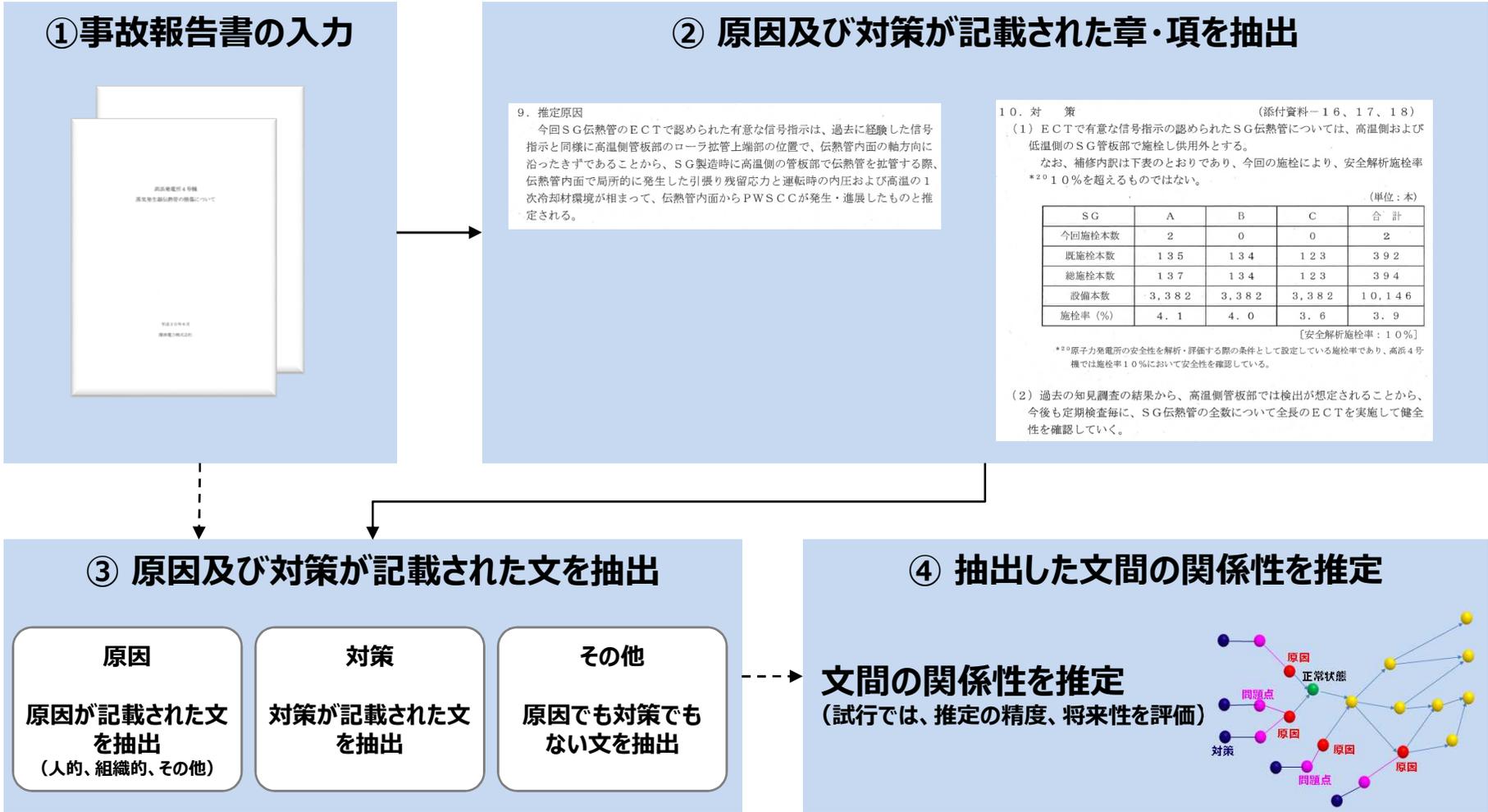
分析における論理の飛躍や分析すべき原因の漏れなど

(参考) 事故分析報告書に基づくグラフ構造のイメージ



2.1. 試行の全体像

▶ 本試行で検証するシステムのイメージは以下のとおり。



2.1. 試行の全体像

- ▶ 事故分析報告書に対する論理性の検証に関する作業項目は下表のとおり。
- ▶ 可能な限りベースライン技術及び現在のSOTAに近い技術で可能性を比較する。
- ▶ ただし、データ不足等の要因により別データでの検証/SOTA整理等に変更する可能性。

実施項目	概要
1. 検証に向けた前処理	
1.1. データの整備	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自然言語処理等の技術を適用するために、原因、対策の文に対して、ラベル付けを実施（教師データの作成） ✓ ラベル付けは、原子力事故及び他産業での事故報告書に対して実施 <ul style="list-style-type: none"> ・ヒューマンファクタ事例データベース ・運輸安全委員会事故等報告書（航空、鉄道、船舶）、等 → 利用せず。2016年度以降の最新事例 1 2 例を追加。
1.2. 専門用語の抽出	専門用語及び複合語を抽出 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 高度情報科学技術研究機構（原子力百科事典） ✓ ヒューマンファクタ事例データベースからの機械的抽出
2. 検証	
2.1. 原因、対策の抽出	報告書より「原因（人的要因）」、「原因（組織的原因）」、「原因（その他）」及び「対策」の記載された文を抽出 → 「その他」（原因、対策以外）の分類を追加。
2.2. 原因、対策の関係性を評価	抽出した原因と原因間、原因と対策間の関係性を評価
2.3. 原因分析のグラフ構造の生成	遷移の欠落や状態の欠落を評価する仕組みを開発・試行
2.4. 「原因」「問題点」の評価	グラフ構造の構造から、最終的な原因及び問題点が組織的原因まで遡っているかを検証
2.5. 不適切な表現・記述	原因分析報告書より抽出した、“原因”、“問題点”、“対策”を含んだ文について推奨されない表現等が用いられていないかを分析（例：不適切など）

2.2. データの整備

- ▶ ヒューマンファクター事例データベースの利用を原則とし、データ不足分を拡充するために、データベースに登録されていない最新のトラブル事例を追加で収集・整理。
- ▶ ヒューマンファクター事例データベースの情報のうち、利用するデータは右下に示したとおり。

ヒューマンファクター事例データベース

- ヒューマンファクター（HF）事例データベースは、国内のトラブル事例（法令報告対象のみ）及び海外のトラブル事例から、HF関連の記述を抽出し、データベースとして構造的に整理したもの（1966年～2016年3月の250事例）



試行に向けて活用するデータ

- ヒューマンファクター事例データベースに整理された項目のうち、以下のデータ項目を、本試行における分析に利用する。
- データの例は次頁のとおり。

原因	対策	その他
【人的】 ・ 個人特性要因備考	・ 防止対策	(該当する項目は無) → 追加の報告書で補完 (12事例)
【組織的】 ・ 作業特性要因備考 ・ 作業環境特性要因備考 ・ 職場環境特性要因備考 ・ 管理特性要因備考		
【その他】 (該当する項目は無) → 追加の報告書で補完 (12事例)		

2.2. データの整備

- ▶ ヒューマンファクタ事例データベースで利用するデータのイメージは以下のとおり。
- ▶ ヒューマンファクタ事例データベースに掲載された1966年～2016年3月の250事例よりデータを抽出。

発生日時	件名	原因 (人的)			原因 (組織)		対策
		個人特性要因備考	作業特性要因備考	作業環境特性要因備考	職場環境特性要因備考	管理特性要因備考	
1966-11-26 16:30:00	配電盤改造工事中の感電死	2-2 2週間に亘る長期活線作業のための疲労。前回の同種作業に対する慣れによ...	2-2 長期に渡る活線作業による精神的注意負荷過大。	1-1 活線箇所への注意札標示が不適切。使用プライヤーの絶縁処置の不備。...	NaN	NaN	1. 充電部の保護処置を十分に行う。2. 使用工具に絶縁テープを巻く。
1967-01-23 21:20:00	蒸気タービン低圧蒸気連絡管蒸気漏洩事故について	1-2 復旧作業の急ぎによる時間的焦り。3-2 当該部品脱落は頻繁に発生しており、作...	1-3 蒸気連絡管下部の付け根フランジ部のスタッドボルト締め付けのため作業姿勢の制約が大きい	2-1 当該ドレン抜配管フランジは、蒸気連絡管下部付け根のため作業場所が狭い。	NaN	NaN	1. 蒸気連絡管付け根のフランジタイプでスタッドボルトによる締め付けのため、蒸気漏洩を起こし易...
1967-01-24 15:00:00	蒸気管フランジ漏洩事故について	3-2 多数の垂直スプリングハンガーの調整作業の慣れのため、その調整値の注意力が低下した	2-3 多数の蒸気配管垂直スプリングハンガー調整の繰り返し作業	1-1 ハンガー調整目盛が見にくかった。(推定)2-2 蒸気配管上の高所作業。	NaN	2-2 垂直スプリングハンガー調整後の調整値確認のチェックシート不備。	蒸気管垂直スプリングハンガーの調整を完全に行った。
2000-07-23 21:17:00	タービン制御油漏洩に伴う原子炉手動停止について	1-3-2 ボルト組み立て作業の慣れで注意力が減少し、違うユニットのボルト再組み立て作業を実...	NaN	3-1-1 HCUは同種同型で多数有り、ミラー配置になっているため間違い易い。	4-2-1 指示不適切のため北側と南側のHCUの逆止弁を勘違いし別のユニットを実施した。又は...	NaN	1.以下の作業管理方法の改善 a・ダブルチェックによる確認の強化。b・作業...
2000-09-01 10:15:00	A-蒸気発生器伝熱管の損傷について	4-1,4-3 開口部からの異物混入のプロセスについて経験および知識不足。...	NaN	NaN	NaN	NaN	以下の事項を当社社員及び各協力会社に徹底を図ると共に、社内標準(請負工事仕様)...

2.2. データの整備

- ▶ ヒューマンファクター事例データベースで掲載されていない2016年度以降の最新のトラブル事例（原子炉等規制法または放射線障害防止法に基づく報告）よりデータを追加・補完（合計12文書） ※実用炉及び特定原子力施設からの報告に限定

原因	対策	その他
<p>【人的】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 現場作業員は、排気管伸縮継手の定期取替えを行っておらず、ベローズを取扱う経験が少なかったため、ベローズが薄肉構造で運転中の変異を吸収するために設置された、打つ痕の影響を受けやすい部材であるという意識が低かった。 ● このため、排気管伸縮継手に打痕が付くことを防止する対策を取らず、打痕を見つけた際にも健全性に影響を与えるものではないと誤って判断した。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 打痕の要因として、現場作業要領の不備があることから、排気管伸縮継手の取替え手順に以下の内容を追加し、取付け作業時に打痕が付くことを防止する。 ● 取付け作業時のベローズと治工具の接触を防止するための養生を行う旨を作業手順に追加する。 ● 取付け時の排気管伸縮綱での落下を防止するため、排気管伸縮綱手に落下防止対策を行う旨を作業手順に追加する。 ● 不適切な工具の使用により打痕が付くことを防止するため、使用する工具を作業手順に追加する。 ● 取付け時における打痕等の異常を検知するため、取付け後の外観点検時の判定基準を明確化し、点検手順に追加する。 ● 打痕の見落としを防止するため、鏡を利用し、狭隘部まで確認する旨を作業手順に追加する。 ● 打痕の要因として、排気管伸縮継手のような薄肉部材に対して打痕が与える影響に関する意識不足があることから、以下の対策を来ない、薄肉部材に対して打痕が与える影響に対する意識の向上を図る。 ● ディーゼル機関の排気管伸縮継手の作業要領にベローズの取扱いに関する注意を記載する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● なお、平成19年に5号機D/G(B)排気管伸縮継手の破損が認められた次章について、破損した排気管伸縮継手の運転回数（184回）及び運転時間（201時間）が本事象発生時の運転回数（163回）及び運転時間（212時間）と比較的近かったが、平成19年の破損事象は排気管伸縮継手のベローズとフランジ部の隙間が不足し接触したことにより発生した摩耗部を起点として破損したものであり、本事象との関連性はない。 ● 排気管伸縮継手破損事象の発生要因が「組立時における打痕・傷」及び「熱疲労」の複合要因で発生したものと推定したことを踏まえ、以下の再発防止対策を行う。 ● 排気管伸縮継手1個が完全に破損した場合であってもD/Gの機能は維持できることを確認しているが、本事象が打痕を一因として発生したため、今後偶発事象が発生する可能性も含め検討を行った。
<p>【組織的】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 現場作業における作業要領において、ベローズを取扱う際の注意点の記載がなく、また、取替え作業時の適正工具の使用を含めた作業手順が明確でなかった。 		
<p>【その他】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 組立時の打痕と熱疲労の複合要因により、当該排気管伸縮継手のベローズに初期き裂が発生し、当該排気管伸縮継手の内圧にて初期き裂が進展し、破損に至ったと推定した。 		

2.3. 試行結果（分類）

- ▶ 学習したモデルの評価結果は以下のとおり。
- ▶ 評価は交差検定（クロスバリデーション）により実施した。
 - 交差検定は、用意したデータを任意の数（本試行では3つ）に分け、1回目はそのうちの一つをテストデータ、それ以外を学習データとして、学習・評価。2回目は1回目と異なる別のデータをテストデータとして使い、3回目は1,2回目と異なるデータで評価を。そして、各回で測定した精度の平均を取る手法

1回目

	原因	対策	その他
原因	78	12	18
対策	7	28	19
その他	4	6	7

2回目

	原因	対策	その他
原因	77	9	22
対策	9	25	20
その他	4	5	8

3回目

	原因	対策	その他
原因	80	15	14
対策	15	28	14
その他	4	4	9

2.4. 文間の関係性の分析

再掲

- ▶ 文間の関係性の整理については、先進技術を中心に、文間の関係性を分析可能な手法を整理し、実現可能性を検証中。
- ▶ 手法によっては、コーパスの開発が必要など、技術的な可能性は高くとも、本事業での実施難易度が高い手法が存在する。
- ▶ 中間報告では、簡易に試行が可能なものとして、英語の談話コーパス（Penn Discourse Tree Bank v2）とそれを活用したオープンソースの談話関係分析のツールを用いて、試行を実施。

実施手法

【データ】

- Penn Discourse Treebank 2.0 コーパスを用いて学習を実施。
- 先行研究に倣い、セクション2-20を学習用データとして、セクション21-22をテスト用データとした。
- また、談話関係のアノテーションについて、第一レベルの関係クラスと第二レベルの関係タイプのそれぞれで検証。

【ツール】

- 2つの文間の関係について、文毎に構文解析を行った結果を用いて2つの文間の関係を推論する「TagNN」を利用。

Temporal

Asynchronous
precedence
succession

Synchronous

Comparison

Contrast
juxtaposition
opposition
Pragmatic Contrast
Concession
expectation
contra-expectation
Pragmatic Concession

Contingency

Cause
reason
result
Pragmatic Cause
justification
Condition
hypothetical
general
unreal present
unreal past
factual present
factual past
Pragmatic Condition
relevance
implicit assertion

Expansion

Instantiation
Restatement
specification
equivalence
generalization
Alternative
conjunctive
disjunctive
chosen alternative
Exception
Conjunction
List

2.4. 文間の関係性の分析

再掲

- ▶ 2018年のNAACLに掲載された手法「paragraph_implicit_discourse_relations」の性能を検証。同手法は、文の相互依存性及びその連続性のパターンをモデル化し、段落内の一連の関係を予測する段落レベルのニューラルネットワークを構築。
- ▶ 学習データ及び検証データは先ほどと同様として評価を実施。

【結果】

- ▶ 第一レベルの関係クラス（4ラベル）の正解率：55.96%。
- ▶ 第二レベルの関係クラス（11ラベル）の正解率：43.473%。
 - うち、原因と結果に関する正解率：45.84%。

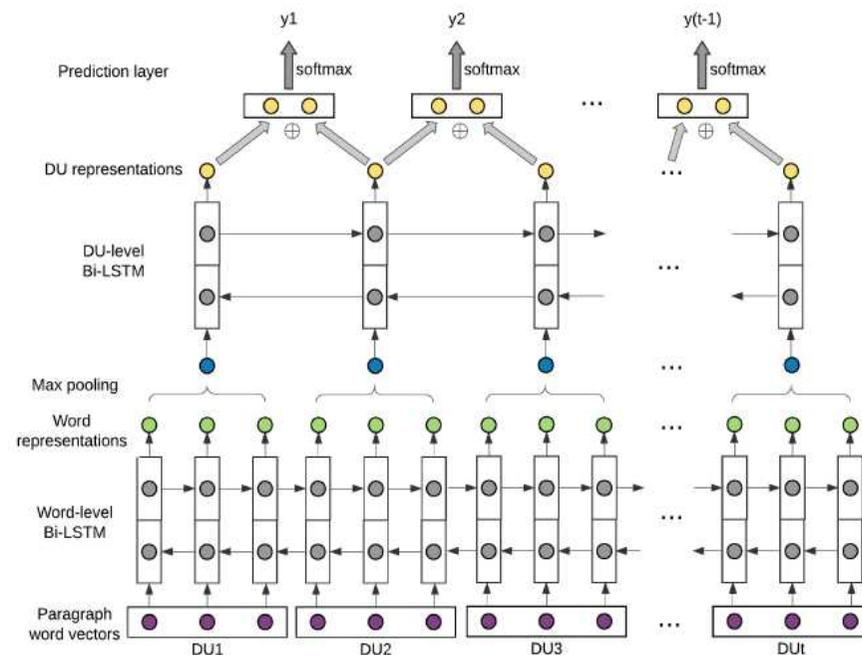


Figure 1: The Basic Model Architecture for Paragraph-level Discourse Relations Sequence Prediction.

2.4. 文間の関係性の分析

再掲

- ▶ Penn Discourse treebankでは、以下のとおりExplicit（明示的）な文間の関係を付与したアノテーションと、Implicit（非明示的な）文間の関係を付与したアノテーションの両方を有する

I love presentation but preparing for it is bothersome]

文1

Explicit

文2

The economic plans came into effect.

文1

(Therefore) Global economy returns to growth.

文2

【結果】

- ▶ 第一レベルの関係クラス（4ラベル）の正解率：55.23%。
- ▶ 第二レベルの関係クラス（11ラベル）の正解率：42.23%。
 - うち、原因と結果に関する正解率：45.52%。

2.4. 文間の関係性の分析 まとめ

- ▶ 事故分析報告書の本文をシステムに読み込ませ、自動的に論理性を評価する仕組みを構築することは、現時点の自然言語処理技術では難易度が高い。
- ▶ 一方で、技術の更なる進展やデータ整備が進むことで、一定の論理性評価の支援は可能になると推測される。技術及びデータの観点から今後の展望を以下のとおり整理。

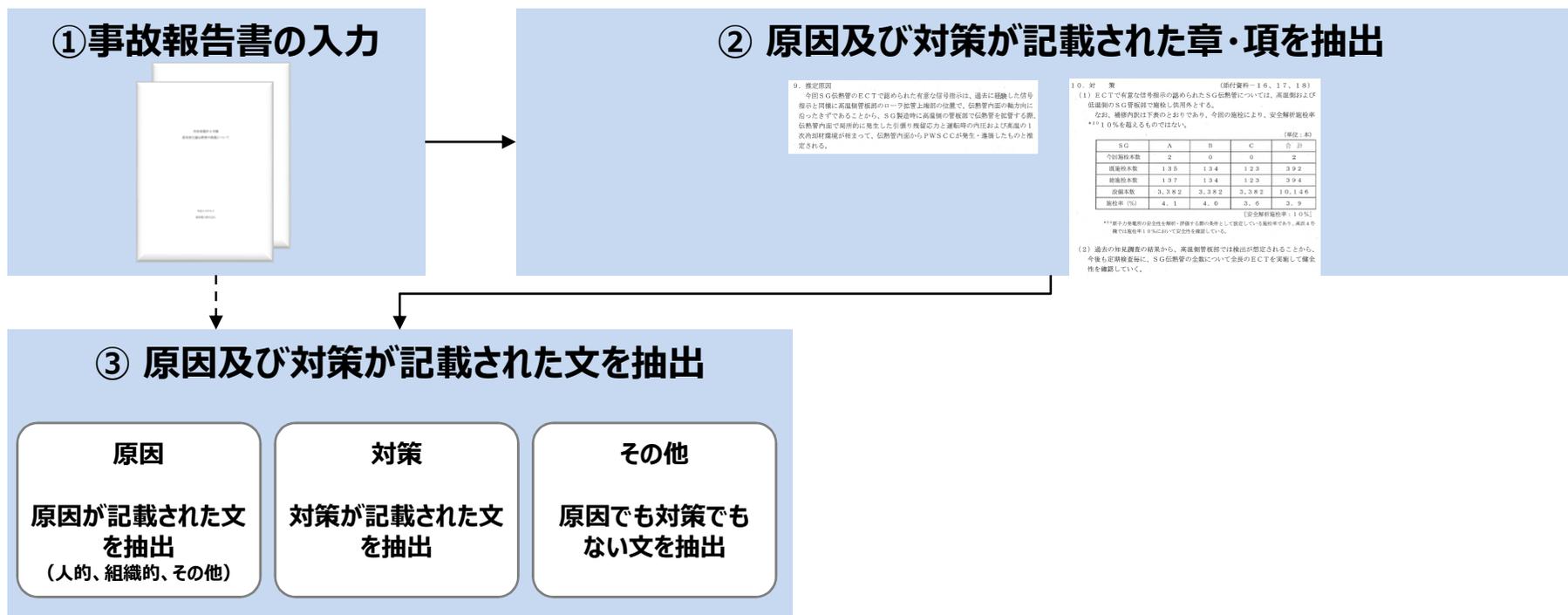
	技術の現状と展望	課題
文の分類	<ul style="list-style-type: none"> • 文の分類については、一定の精度で達成。データの拡充とモデルのチューニング等により更なる精度達成が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> • 学習に利用可能な教師データ数が少ない場合、十分な学習は困難となる。 • データのアノテーションには高いコストがかかり、日本語のアノテーション付きデータは限定的。 • 事故報告書の記載内容（表現、形式、用語）は事業者によって異なることから、評価したい文書側のルール化も必要と史料。 • 構造化されたドメイン特化辞書の整備も課題。
文間の関係性の分析	<ul style="list-style-type: none"> • 文の属性の特定や特定の文間の関係性の分析に取り組む先行研究が見られる。 • 深層学習の登場以来、自然言語処理技術の精度は向上しつづけている状況にある。 • 今後は、深層学習で獲得される意味の分散表現と、記号で表現される論理演算とをスムーズに連結するメカニズムの研究が進むことが期待されている。 • 当面は、Web上の非構造テキストから論理的なRelationを自律的に収集、成長する枠組みを構成し、段階的に精度を向上していくシステムとすることが現実的と考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> • また、事故報告書の記載内容（表現、形式、用は事業者によって異なることから、評価したい文書側のルール化も必要と史料。 • 文間の関係性の推定には、原子力事故等に関するナレッジと組み合わせることが有効と史料。

3. 論理性を客観的に判断できる システムの概念設計

論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

①現時点の技術で開発可能なもの

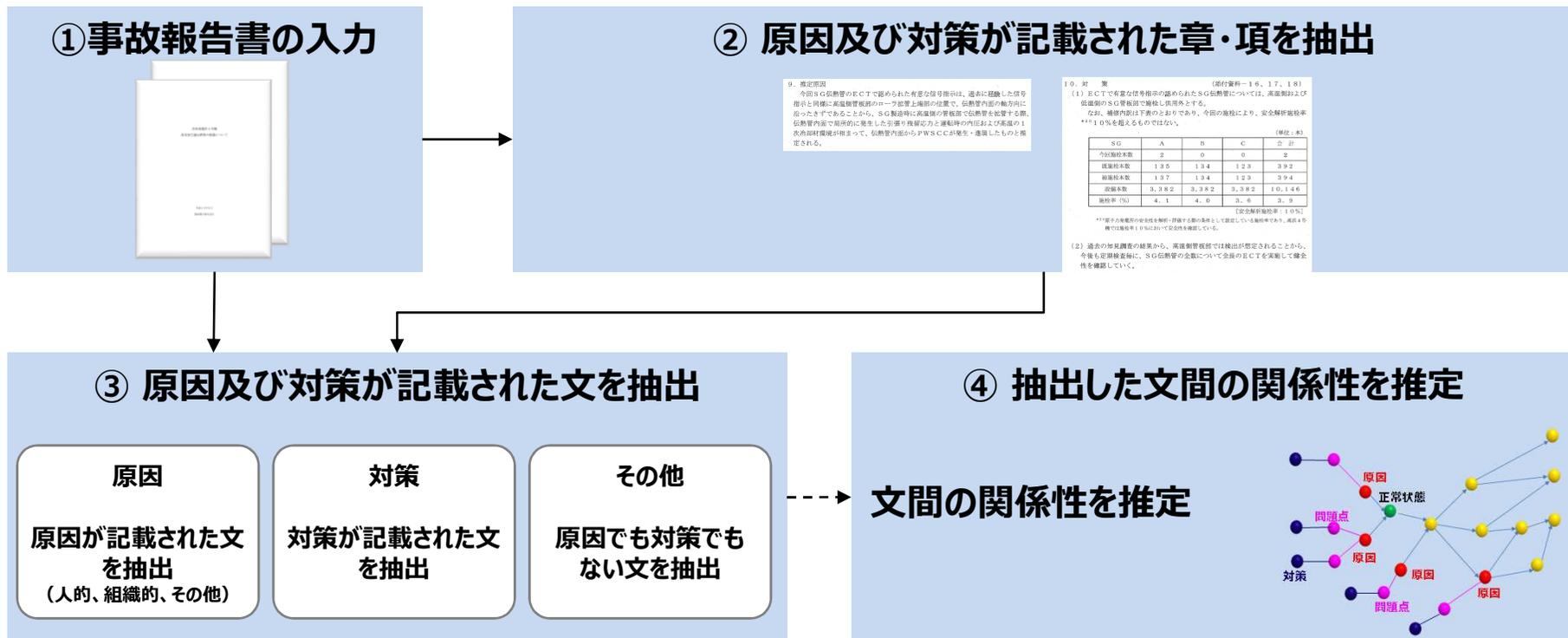
- ▶ 文の分類精度については、データの更なる拡充やモデルのチューニング等により一定程度の水準に達することが期待される。一方、文の間の関係性の分析については、現時点のトップレベルの技術を用いても実用的な水準に達する見込みは無い。
- ▶ 事故報告書から原因・対策が記載された章・項の抽出は、事故報告書の構成等の基準の統一及び章番号・章タイトルの画像・テキスト処理により達成できると考えられる。
- ▶ そのため、短期的には、下図に示す実線部分はシステムにより一定の自動化が可能であり、破線部分は人手による作業あるいはシステムと人の協働により実現されると期待される。
- ▶ 並行して、研究フェーズとして、ドメイン特化した知識の抽出（及び強化学習等による自動化等。参考参照）を実施し、最先端技術の取込みを行うことにより、随時精度の更新が図れるものと考えられる。



論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

②平成30年度末以降4年以内に開発可能と考えられるもの

- ▶ 前頁のシステムに加え、文間の関係性の分析について、ドメイン特化した知識の利用等により、人手による作業あるいはシステムと人の協働により実現される水準に達する見込みはあるものとする（破線部分）。
- ▶ 4年後には、ドメイン特化した知識の利用等の最先端技術による論理性の判断の精度の向上が期待できる。
- ▶ 「事故報告書の入力」から直接「原因及び対策が記載された文を抽出」の精度向上は期待出来るため、「原因及び対策が記載された章・項を抽出」が必要なくなる可能性も存在する。



(参考) 論理性を客観的に判断できるシステムの概念設計

- ▶ 自然言語処理の精度は向上し続けているため、必要に応じて個別の機能コンポーネントを交換可能な様に、機能コンポーネント間の結合が疎なシステムとして構成する。これにより、随時最新のアルゴリズムを導入可能とする。
- ▶ 当面は、入力文のみの情報により文の構成要素（段落、文、節、句等）の関係を判定することには限界がある。背景知識を援用して判定することにより精度を向上する仕組みを考慮することが望ましい。
- ▶ 背景知識は、離散表現（トリプル）の形で格納し、利用時には分散表現に変換して援用する形が考えられる。
- ▶ なお、システム内に分散表現と離散表現を格納しておくことにより、今後発展すると期待される「分散表現と離散表現を融合した情報処理」の研究成果をスムーズに取り込むことが期待できる。
- ▶ ①アノテーション済み教師データによる学習で随時精度向上を図るとともに、②Web等の非構造テキストからの知識表現の抽出も可能とすることが望ましい。
- ▶ (オプション) 上記②に関しては、全体を強化学習等で制御し、自律的な知識獲得を可能とすることが望ましい。

