

# 自然言語処理による情報検索を用いた 故障発想支援の提案

---

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

研究開発部門 第三研究ユニット

○波平晃佑 梅田浩貴 大久保梨思子 植田泰士 片平真史

森崎修司(名古屋大学) 天笠俊之(筑波大学)

e-mail: [namihira.kohsuke@jaxa.jp](mailto:namihira.kohsuke@jaxa.jp)

- ❑ ソフトウェアに対する故障モード/シナリオの識別に課題をお持ちの方
- ❑ FMEA等の分析ノウハウについての技術継承に課題をお持ちの方
- ❑ Goal Structuring Notation (GSN) の利活用を検討している方

# 発表の概要

## 課題

外部環境に強く影響を受け、複数のコンポーネントが協調する宇宙機ソフトウェアに対する故障モードの導出を行う際に、蓄積された過去知見の検索を通して、故障発想を支援する方法を検討した。しかし、自然言語処理を用いた情報検索の適用にあたり、以下の課題が発生した。

- 過去の不具合情報や故障モードをそのまま提示しても効果が低い
  - ✓ 検索ユーザは、自身の製品/ソフトウェアとの関連を推定しなければならない
  - ✓ 検索ユーザは、故障モード導出に必要な情報を多くの情報から読み解かなければならない
- 検索精度の向上に必要な学習データの作成が困難である
  - ✓ 同義語や抽象/具体表現を多数含み、情報検索で必要な語彙の関係推定が難しい
  - ✓ 情報の正規化や構造化のための学習データを生成する作業負荷が高い

## 効果

- 提案手法は、「外部環境」「コンポーネント連携」「SW処理」及び論理網羅ガイドワードに着目した検索と反映を行うことによって、故障モード導出を促進できる
- 提案手法は、GSN記法および過去の故障モード導出の際の情報の関係性に基づき、学習データを自動生成できる

# 提案手法の適用先業務：故障モード導出

## FMEAの工程

解析体制や方針を決め  
アイテムを決める

提案手法の適用先の工程

故障モードを  
導出/定義する

アイテムに故障モード  
発生頻度をランク付け  
致命度の算定

影響を解析する

重要度から対策の  
優先順位を決める

対策を検討する

故障モードとは、故障を適度の抽象度でまとめた様式のこと

| 対象     | 故障モードの例                | ポイント                          |
|--------|------------------------|-------------------------------|
| ソフトウェア | 誤入力<br>早過ぎ/遅過ぎる入力タイミング | 「抽象概念」で「論理」であるSW<br>は単体で故障しない |
| ハードウェア | 断線、摩耗、腐食               | 物理事象のため、アイテム毎で<br>パターン化しやすい   |

| アイテム名(機能名等) | 故障モード | 故障原因      |
|-------------|-------|-----------|
| イベント検出機能    | 誤った入力 | 画像センサーの故障 |

| 故障の影響                         | 対策内容                       | 対策効果                     |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 〇〇が検知できず、<br>システムが誤認識する。      | ・冗長系で対応する。<br>・入力の誤りを検出する。 | 1つのセンサーが故障しても<br>誤検知しない。 |
| 検知処理の実行が遅くなり、<br>システムの認識が遅れる。 | 検知機能が有効でないことを<br>通知する。     | システムではなく、人の判断<br>で検知する。  |

# 提案手法の適用先業務:故障モード導出

## □ ソフトウェアの故障モード導出の要件

- ✓ 「機能」の実行時の条件を考慮する
- ✓ 「機能」の実装内容を考慮する

### ハードウェア (機械、電気回路、部品など)

#### 故障モードが**既知**

- 一般的な物理事象から推定可能  
(経年劣化や摩耗など)
- 故障事例が豊富

部品単体で**静的**に捉えられる

#### 故障モードが**再利用しやすい**

- 同一同種の共通点が明確

### ソフトウェア (機能、アーキテクチャ、実装方式 など)

#### 故障モードが**未知**

- 本来正しく実装されるはずであり故障しない  
(実装ミスは故障ではない)

**動的な振る舞い**で捉える必要がある

- 動作中に誤った動きをする(実行時の条件が強く関与する)  
→「実際に発生する可能性のある故障」の識別を困難にする

#### 故障モードが**再利用しにくい**

- 共通点が不明瞭

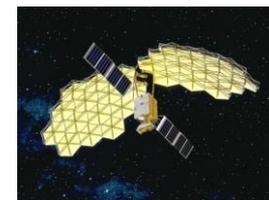
※アプリケーションSW(ビジネスロジック層)が特にこの傾向が強い  
一方、システムSW(OSやメモリ操作等の下位層/汎用要素)は  
統一的に識別しやすい(停止、再起動など)

# 提案手法の適用先業務:故障モード導出

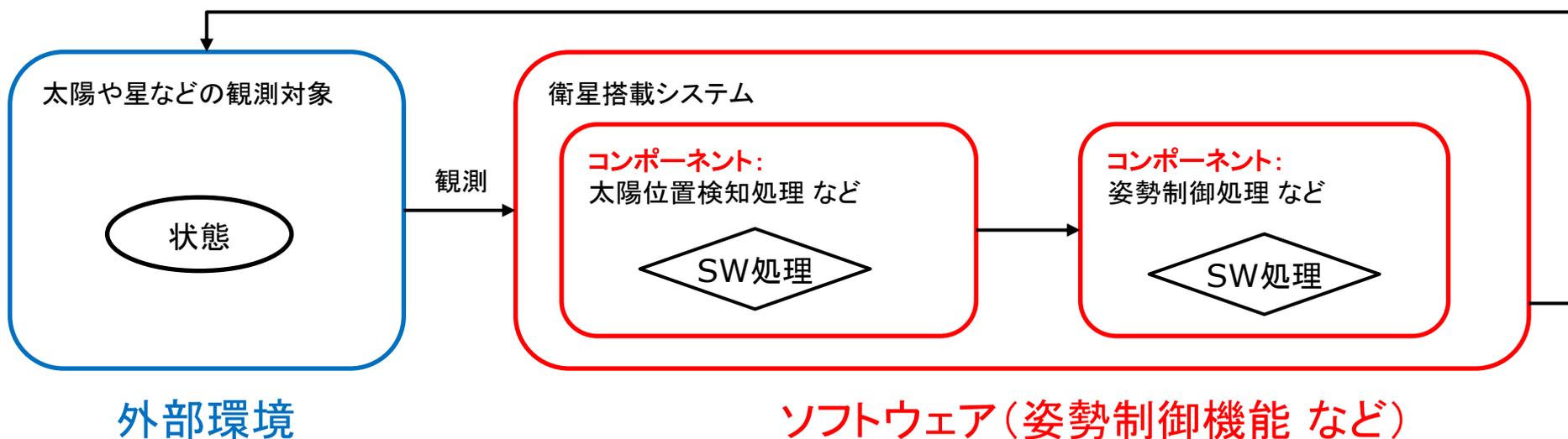
## □ 宇宙機システムSWの故障モード導出の要件

- ✓ 外部環境との相互作用を考慮する
- ✓ 複数コンポーネントの連携を考慮する

<宇宙機システムの動作>



フィードバック（衛星の姿勢変更を介して見え方が変化する等）



# 過去知見の活用のニーズ

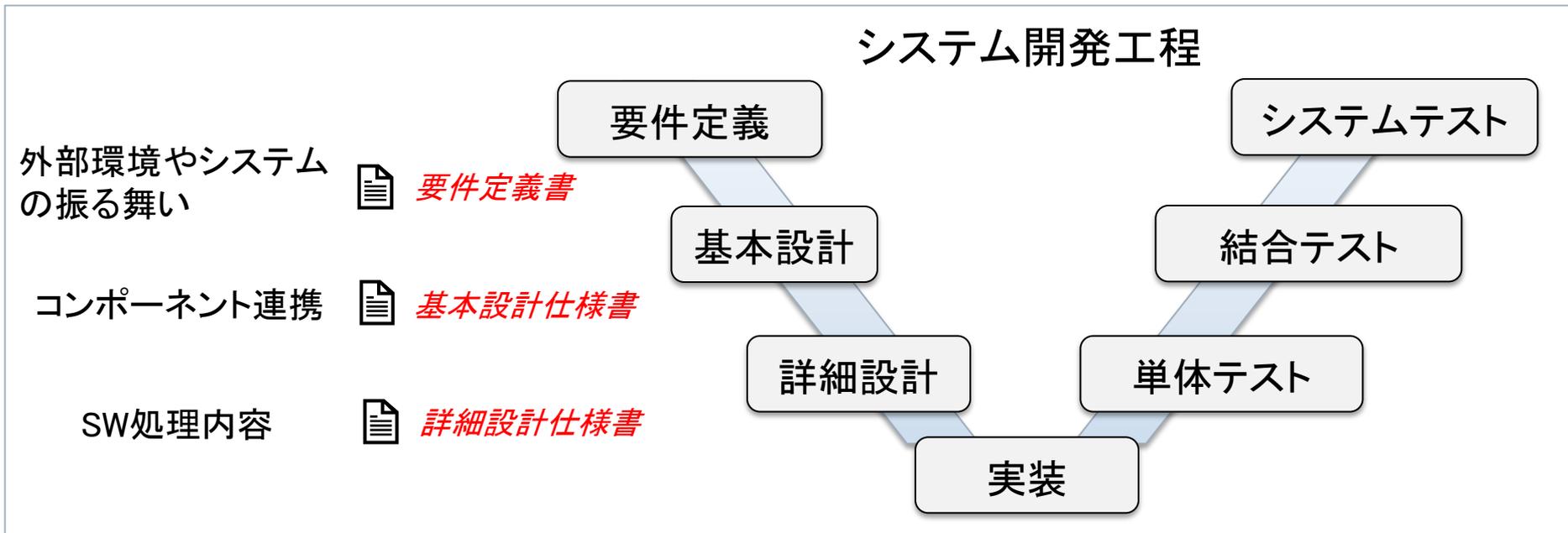
まとめると、宇宙機システムSWの故障モード導出は

- ✓ 外部環境との相互作用
- ✓ 複数コンポーネントの連携方法
- ✓ SW処理内容

を考慮しないとイケない



分析者は、関連する開発文書等を参照し  
「機能」の故障モードを導出することになる  
→しかし参照する情報や範囲は膨大となる



# 過去知見の活用のニーズ

「外部環境」「コンポーネント連携」「SW処理」に関して  
参照する情報や範囲は膨大となる

不具合情報や故障モード等の過去知見の活用で  
分析者は効率的に条件を探索できるようになる

## 【過去知見活用の利点】

- 過去の不具合情報や故障モードは、発生時の条件や状態、入出力値に関する情報が含まれている
- 経年劣化等の単体故障のハードウェア故障と異なり、SW故障モード発想には故障に繋がる原因や条件を含む情報は有用な情報である

今回、過去FMEA活動を通して蓄積された故障モードの検索を通して  
故障発想を支援する方法を検討した

# 過去知見の情報検索の課題

不具合情報や故障モードをそのまま提示しても効果が低い  
(新たな故障モード追加に繋がらない)



過去の不具合情報

提示

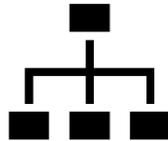


?



分析者

(あるSWの故障モード導出中)



過去の故障モード導出分析結果

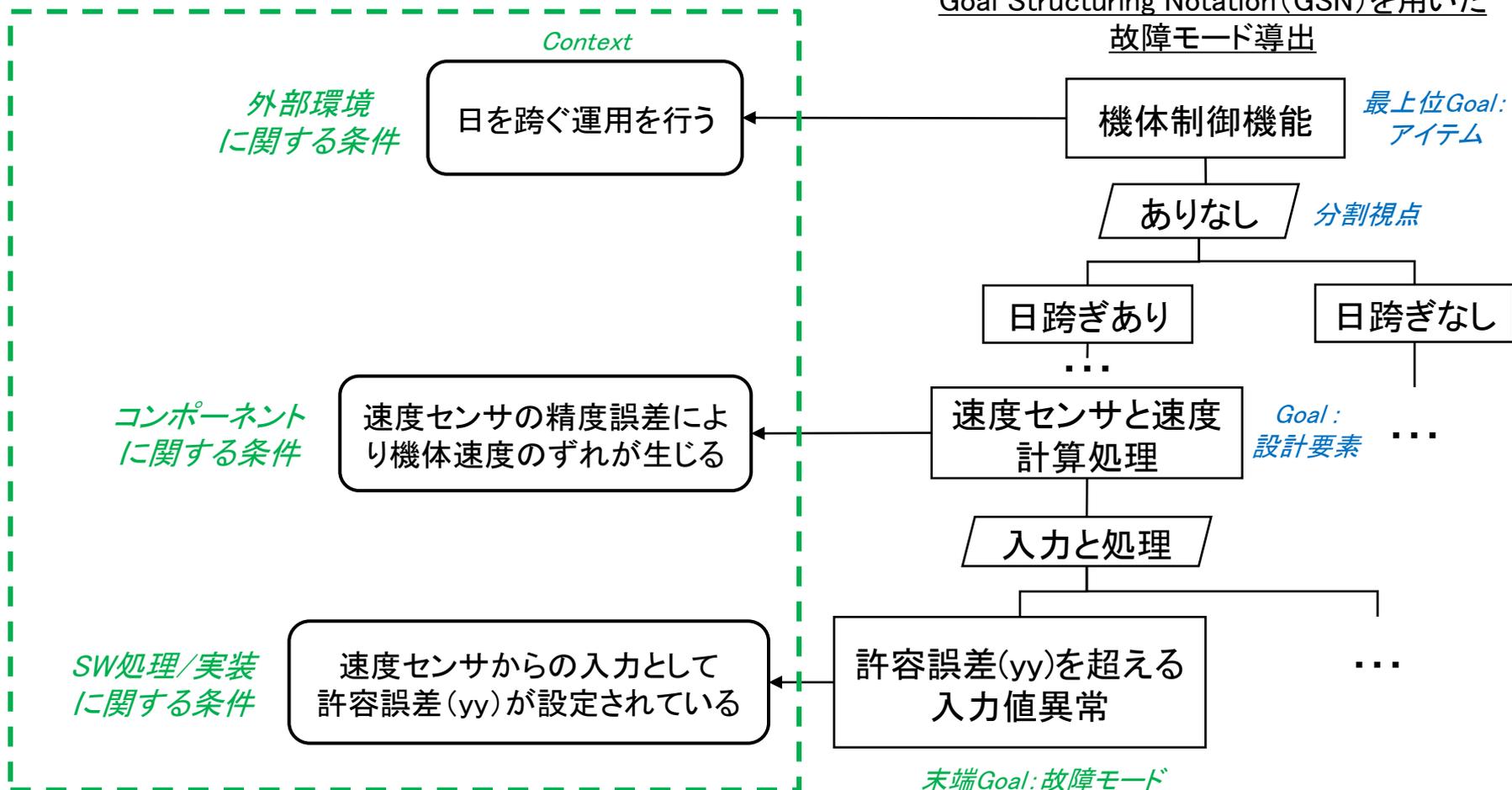
## 【原因】

- 不具合情報は
  - ✓ 個別製品での具体的な事例として記載される
  - ✓ 記載者によって、同義語等の表記ゆれや語彙省略がある
  - 分析者は、自身の製品やSW処理との関連を推定しなければならない
- 故障モード導出の分析結果は
  - ✓ 外部環境やシステム、SW処理までの多くの仕様情報や思考情報を含む
  - 分析者はその中から必要な情報を読み解く負荷が大きい

# 過去の故障モード導出の分析結果の例

## JAXAに蓄積された故障モード導出に関する情報の構造

3つの条件を識別しながら故障モードを導出する



# 過去知見の情報検索の課題

## 自然言語処理を用いた情報検索において 検索精度の向上に必要な学習データの作成が困難

### 【原因】

- 個別の製品事例として、同義表現や抽象/具体表現が多数含まれているため、語彙の関係推定が難しい
- 検索精度を上げるためには、固有表現やその関係性に関する知識を大量に確保する必要があるが、そのためには文章を正規化や構造化する必要があり、その学習データを生成する作業負荷は高い

#### ■ 語彙の正規化の例

抽象表現 : 「姿勢センサ」

具体表現 : 「恒星姿勢センサ」、「スタートラッカーセンサ」等

#### ■ 構造化の例(アノテーション作業) >

(抜粋)

<SW処理に関する原因>

制御キャンセル機能における制御中心時刻の前後に確保する時間マージンが過大であったこと  
にため、搭載ソフトウェアが時間不足と判断し意図しない制御キャンセルが発生した。

# 故障モード導出への要件や課題、対策

## 故障モード導出の要件

### 分析対象に依る特性

- 外部環境/コンポーネント連携/SW処理の条件を考慮する

## 情報検索適用時の課題

### 不具合情報/ 故障モード提示の課題

- 検索ユーザが、自身の製品やSW処理との関連性の推定しなければならない
- 多くの仕様情報や思考情報を含むため、検索ユーザはその中から故障モード発想に必要な情報を読み解く負荷が大きい

### 自然言語処理上の課題

- 同義表現や抽象/具体表現が多数含まれているため、情報検索における語彙の関係推定が難しい
- 情報の位置づけや関係性を獲得するための学習データを生成する作業負荷が高い

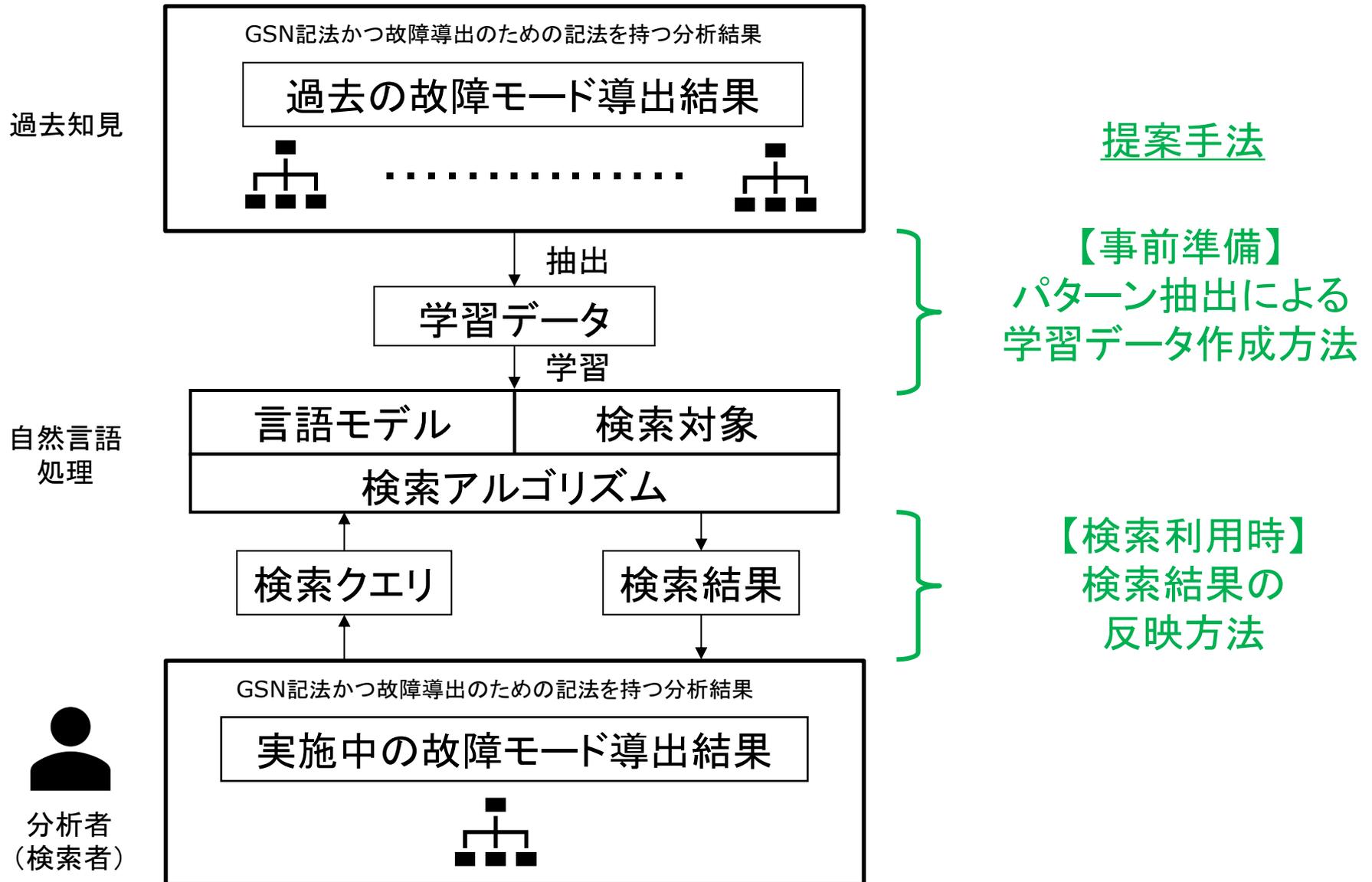
## 対策

外部環境/コンポーネント連携/SW処理に着目した検索と反映

故障モード導出時の情報の関係性から学習データを自動作成する

# 提案手法の概要

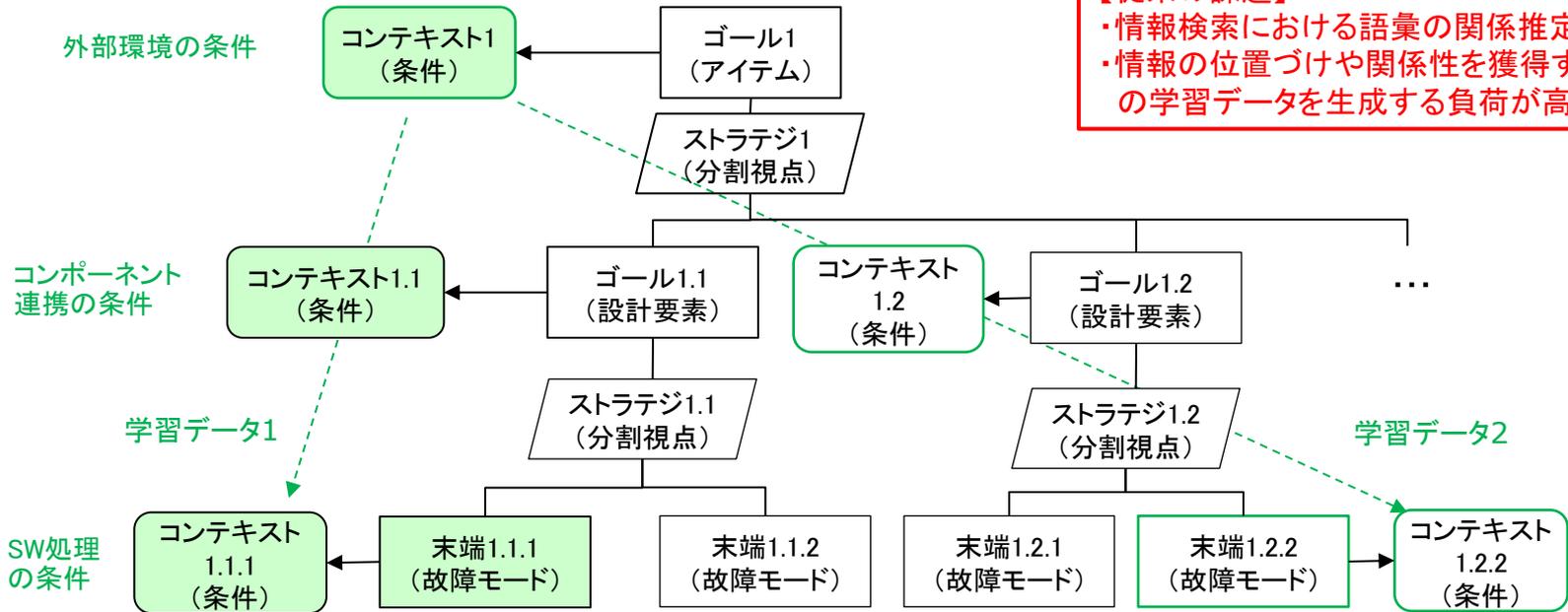
## 自然言語処理による情報検索を用いた故障発想支援



# 学習データ生成のための自然言語パターン抽出

<過去の故障モード導出の分析結果>

**【従来の課題】**  
 ・情報検索における語彙の関係推定が難しい  
 ・情報の位置づけや関係性を獲得するための学習データを生成する負荷が高い



- ・外部環境との相互作用
  - ・コンポーネントの連携方法
  - ・SW処理内容
- の位置づけと関係性を1つの情報としてパターン抽出する  
 (=その他の情報は不要)

<学習データ(言語データ)>

1つの故障シナリオ

| 学習データID | 学習データ         |                 |                   |               |
|---------|---------------|-----------------|-------------------|---------------|
| 学習データ1  | コンテキスト1内のテキスト | コンテキスト1.1内のテキスト | コンテキスト1.1.1内のテキスト | 末端1.1.1内のテキスト |
| 学習データ2  | コンテキスト1内のテキスト | コンテキスト1.2内のテキスト | コンテキスト1.2.2内のテキスト | 末端1.2.2内のテキスト |
| ...     | ...           | ...             | ...               | ...           |

- ・各行が1つの学習データ言語
- ・自然言語モデルへの学習データや検索対象に利用する

# 検索アルゴリズム

検索クエリと検索データとの  
文章類似度(コサイン類似度)順で順位付け

※今回は  
検索クエリはアイテム名固定  
("○○機能")



過去の  
故障モード導出結果

検索クエリ  
(自然言語)

学習データ  
(自然言語)

①パターン抽出による  
学習データ作成

言語モデル(word2vec/skip-gram)

②学習データを使い  
言語モデル生成

検索クエリ  
(ベクトル)

検索データ  
(ベクトル)

検索データ  
(ベクトル)

③言語モデルを使い  
検索クエリと学習データを  
ベクトル化(数値化)

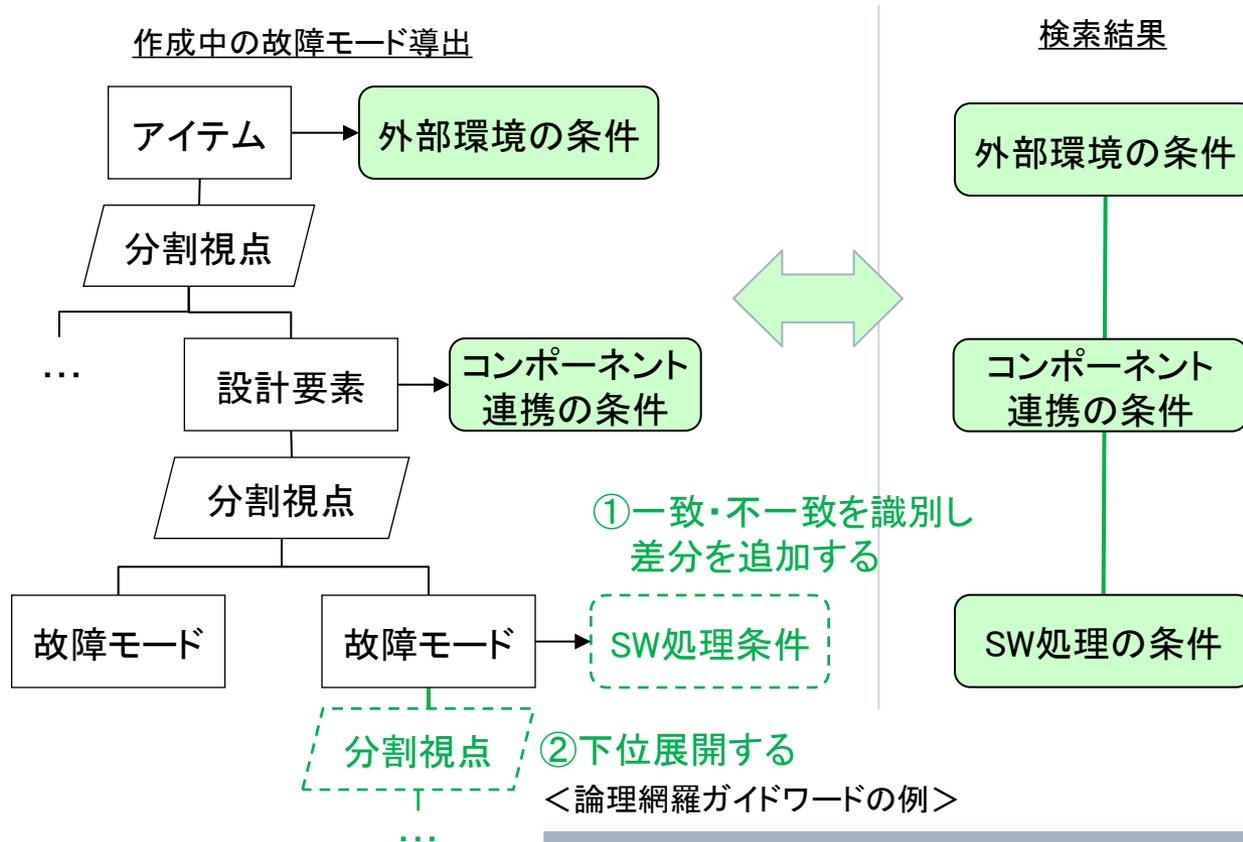
④組み合わせ毎に  
コサイン類似度を計算

・  
・  
・

# 検索と反映：検索結果を使った故障モード導出への反映方法

## 検索結果の反映方法

- ① 検索結果と一致していない部分を識別することで、自製品について従来とは異なる条件を発見する
- ② その条件に対して論理網羅ガイドワードを適用し、見逃していた条件や故障モードを発見する



**【従来の課題】**

- ・検索ユーザが、自身の製品の利用状況やSW処理との関連性の推定しなければならない
- ・検索ユーザは必要な情報を読み解く負荷が大きい

| 追加した条件                    | 論理網羅ガイドワード<br>(二項対立、MECE) |
|---------------------------|---------------------------|
| 処理に使用するデータの取得をパラメータから取得する | 内部/外部                     |
| Nポイント連続で条件を満足した場合に処理を行う   | データ抜けが連続/断続               |

# 提案手法の有効性評価

## ■有効性確認方法：

### 【実施方法】

1. 被験者は、仕様書参照及びHAZOPガイドワード適用し、故障モードを導出する。
2. その後、被験者は検索を行い、検索結果を参照し故障モードを追加する。

### 【評価指標】

- 検索によって追加された影響大に繋がる故障モード数

### 【実施条件】

- 分析対象の特性、被験者の属人性や実施順序が有効性評価に影響しないように実施条件を設定した(下表)

| 適用先  | 分析対象(機能) | 被験者(分析者 兼 検索ユーザ) | 検索実施順序    |
|------|----------|------------------|-----------|
| No.1 | 機能A      | 対象システム開発組織(2名)   | 従来手法→提案手法 |
| No.2 | 機能A      | 第三者検証組織(2名)      | 提案手法→従来手法 |
| No.3 | 機能B      | 対象システム開発組織(1名)   | 従来手法→提案手法 |
| No.4 | 機能C      | 第三者検証組織(1名)      | 提案手法→従来手法 |

# 提案手法の有効性評価

## 【検索条件】

4つの異なる検索方法で、提案手法との効果比較を行った

- 不具合情報の検索(1パターン)
- 故障モードの検索(3パターン)

※検索クエリはアイテム名(“〇〇機能”)と同じ

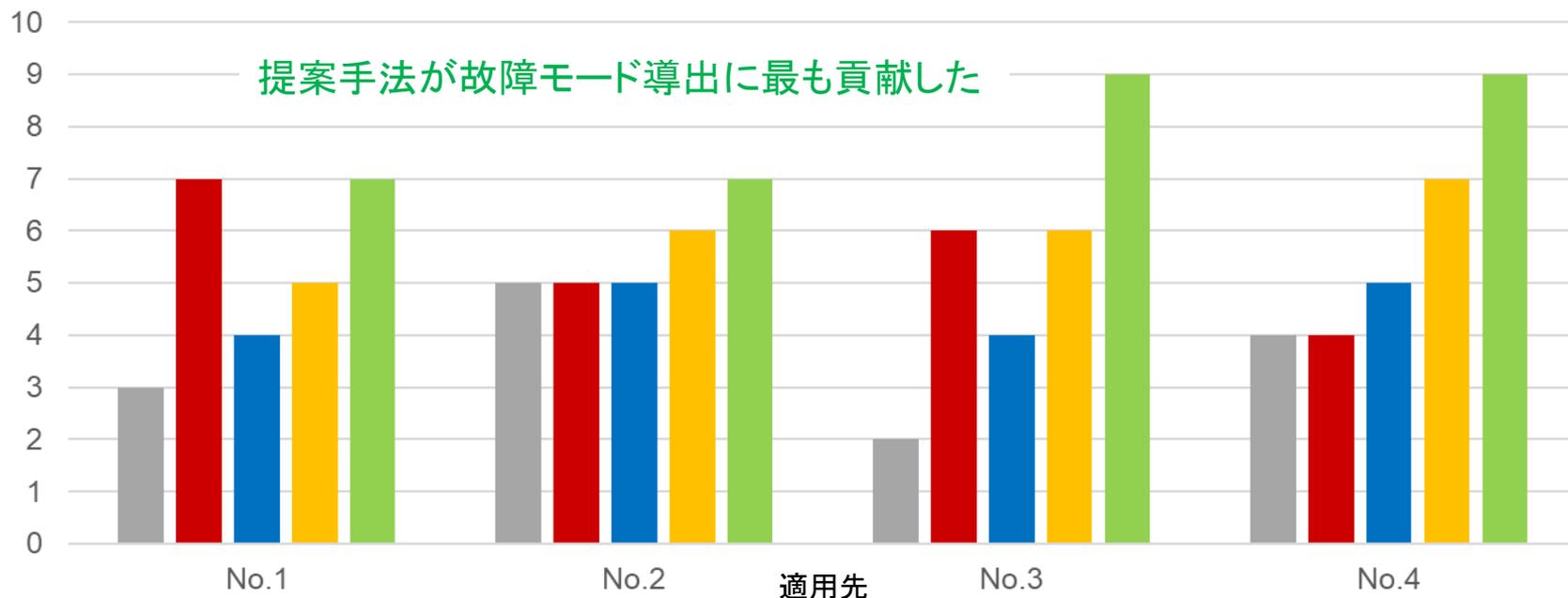
※検索アルゴリズムは「word2vec+コサイン類似度」で同じ

※検索提示数は10件で同じ

| 位置づけ   | 検索方法  |         |                      |                                         |
|--------|-------|---------|----------------------|-----------------------------------------|
|        | 不具合検索 | 故障モード検索 |                      |                                         |
|        | 従来手法  |         |                      | 提案手法                                    |
| 利用する情報 | 不具合情報 | 故障モードのみ | SW処理条件<br>+<br>故障モード | 外部環境<br>コンポーネント<br>SW処理条件<br>+<br>故障モード |

# 結果：故障モード導出への貢献

導出された影響大に繋がる故障モードの数[個]

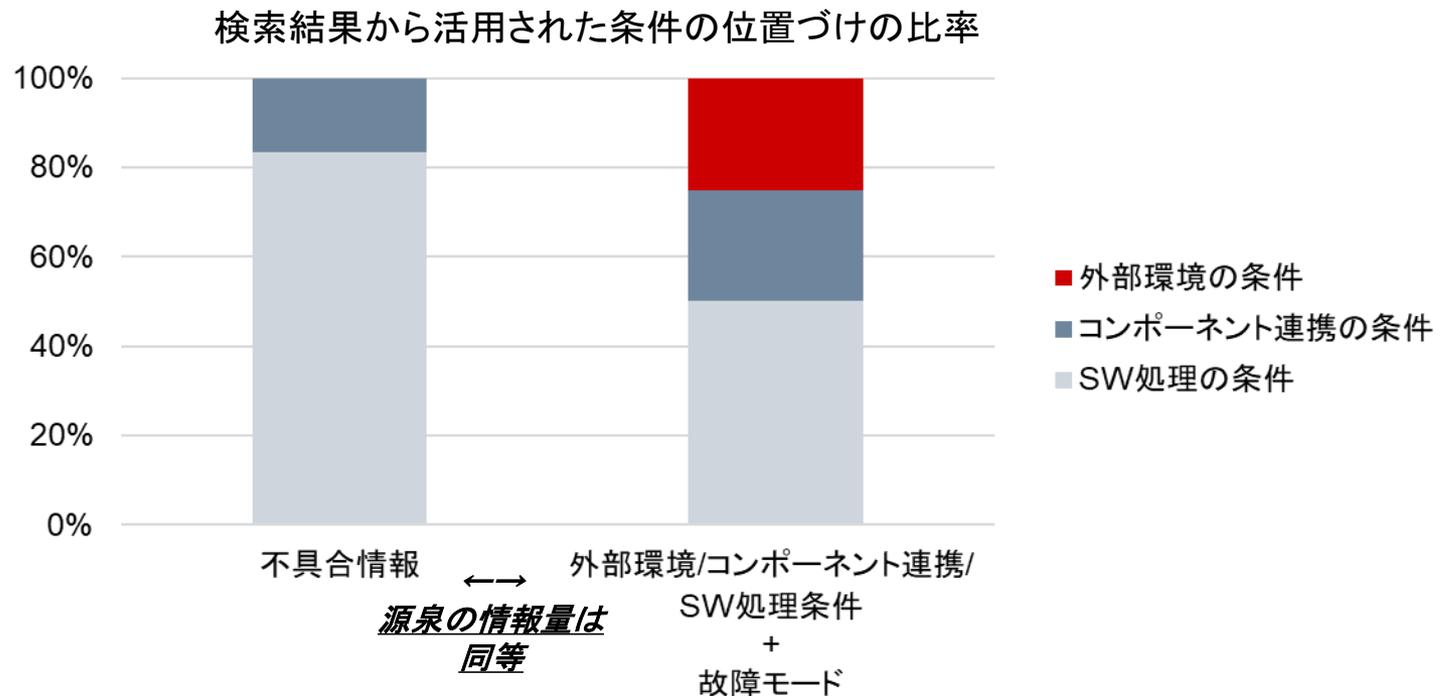


提案手法が故障モード導出に最も貢献した

| 検索前<br>(検索なし)                               | 検索後   |         |                      |                                     |
|---------------------------------------------|-------|---------|----------------------|-------------------------------------|
|                                             | 不具合検索 | 故障モード検索 |                      |                                     |
|                                             |       | 従来手法    |                      | 提案手法                                |
| 仕様書参照<br>アイテム具体化<br>+<br>HAZOPガイドワード<br>で実施 | 不具合情報 | 故障モードのみ | SW処理条件<br>+<br>故障モード | 外部環境/コンポーネ<br>ント/SW処理<br>+<br>故障モード |

# 結果：見逃してた条件の発見への貢献

- 従来の不具合情報では、外部環境に関する条件は追加されない
  - ✓ 「事象」「原因」等の視点で書かれており、階層構造は不明確
    - 階層構造視点での条件読み取りが困難
    - 「異なる外部環境」で「同じシステム構成/SW処理」に関する故障モードを見逃す  
例) 行き先の異なる探査衛星システム 等
- 提案手法では、階層構造の視点で関係をもつ情報が提示されるため、故障モード発想に必要な条件読み取りが容易



## □ 結論

- 提案手法は、「外部環境」「コンポーネント連携」「SW処理条件」及び論理網羅ガイドワードに着目した検索と反映を行うことによって、故障モード導出を促進できた
- 提案手法は、過去の故障モード導出に関する情報の関係性に基づき、故障モード導出支援に繋がる学習データを自動生成した

## □ 今後の展開

- 検索クエリを工夫する等の検索精度向上を検討する
- 検索結果へのフィードバックを取り込むことで、PDCAサイクルまで含めた検索手法および運用方法を検討する

---

ご清聴 ありがとうございます