

## 故障診断のための故障モデルと推論方式

5 J-2

植田正彦<sup>†\*</sup> 笹島宗彦<sup>‡</sup> 来村徳信<sup>‡</sup> 池田満<sup>‡</sup>  
小堀聡<sup>†</sup> 角所収<sup>††</sup> 溝口理一郎<sup>‡</sup><sup>†</sup>龍谷大学理工学部, <sup>‡</sup>大阪大学産業科学研究所, <sup>††</sup>兵庫大学経済情報学部

## 1 はじめに

近年, モデルベース故障診断システムの研究が盛んに行なわれているが, 扱う対象としての故障の概念が明確に定義されていないという問題がある. 例えば「侵入」という故障の概念のひとつのインスタンスを考えてみると, その指し示す内容は必ずしも明確ではなく, 流体が流入するという「事象」や, 穴やすきまの存在といった流入の「条件」, 修理の対象となる「箇所」などの複数の概念を表していると考えられる. つまり, 故障概念は多数の概念的プリミティブから構成されていると考えられるが, この概念プリミティブの集合の要素やそれらの対応関係は不明確なままである. 従来のモデルベース故障診断システムに関する研究では, パラメータレベルのモデルを用いた故障診断手法についてのみ考察しており, 故障概念に関する深い考察はなされていない. そのため, 故障概念の把握は人間のモデル構築者の主観にまかされており, 一般性のないモデルが記述される可能性がある. また, 故障診断タスクは記号レベルでの意味のみが定義されており, 人間の認知しうるレベルにおける意味が不明確である.

本研究は, 故障概念の統一的表現のための故障オントロジーの確立を目標とする. 故障オントロジーは, 故障概念を表現する際の概念的プリミティブの集合とそれらの間の関係からなる. プリミティブは人間の概念レベルにおける意味を与えられており, それらを制約関係に基づいて結び付けることで, 故障概念を表現する. また, 故障診断タスクは故障オントロジーのプリミティブを用いて定義される. この故障オントロジーに基づいて表現された概念的な故障によって, パラメータで表現しにくい故障を表現することができる. 例えば, タービンの羽根の「変形」という故障は, 羽根の角

度や面積といったパラメータとの間の関係の把握が難しいため, パラメータでは表現しにくい.

筆者らは, パラメータレベルの故障についてはすでに考察を行ない, パラメータレベルでの故障をパラメータ故障と制約式故障に分類し, 診断方式を提案している [1]. 故障オントロジーはこれらのパラメータレベルの故障とのマッピングについても検討する必要がある. また, 概念的な故障の起こるメカニズムの知識についても検討してきた [2].

本稿では, 文献 [3] より抜き出した概念レベルでの故障概念の具体例を整理し, 故障概念の表現モデルについて述べ, 故障オントロジーの一部を明らかにする. また, パラメータレベルと概念レベルの間の変換についてもふれる.

## 2 故障モデル

「故障」とは, 「故障原因」が「故障箇所」で起こることによって, 「故障徴候」が発生することをいう. 故障原因は徴候を発生させる因果連鎖の考慮している範囲における最上流のことである. すなわち, 何処を因果連鎖の最上流と思うかは人間の考慮する範囲に依存する. 故障診断システムでは与えられたモデルの範囲での最上流が故障原因となる. 一方, 故障箇所はどの部品が故障しているかを表し修理の対象を示す.

故障語彙は故障原因を概念レベルで表現する際の語彙であり, 条件状態, 動作, 結果状態の要素で表現できる. これらは独立ではなく, それぞれ関係を持つ. 「故障が起きる条件」が整った下で, 「故障を起こす動作 (事象)」が起き, ある「故障状態」になると考える. 条件状態には必要条件と促進条件とがある. 必要条件とはその条件を満たしていなければ故障状態になり得ないもの. 促進条件はその条件がなくても故障状態になるが, 故障状態への移行を促進するものである. 促進条件には「触媒の存在」が挙げられる.

故障語彙の例として「漏れ」を考察する. 「漏れ」は漏れる場所 (穴) がなければ漏れないため, 条件として「部品に穴がある」ことが挙げられる. この条件の下で「液体が漏れる」動作が行なわれる. この動作によって

## Fault model and reasoning method for troubleshooting

Masahiko UEDA<sup>†</sup>, Munehiko SASAJIMA<sup>‡</sup>, Yoshinobu KITAMURA<sup>‡</sup>, Mitsuru IKEDA<sup>‡</sup>, Satoshi KOBORI<sup>†</sup>, Osamu KAKUSHO<sup>††</sup> and Riichiro MIZOGUCHI<sup>‡</sup><sup>†</sup>Faculty of Science and Engineering, Ryukoku Univ., <sup>‡</sup>I.S.I.R., Osaka Univ. and <sup>††</sup>Faculty of Economics and Information Science, Hyogo Univ.

「液体が外に存在する」又は、「部品内の液体の量が減る」の結果が生じる、と表現できる。

これら条件、動作、結果は、変化する主体・変化した属性の組で表現することができる。

### 3 故障の分類

前章で示した表現方法で故障語彙を表現することで、診断のための次の観点を挙げることができた。

#### 3.1 故障条件

故障が起きる条件の有無より、故障に条件故障と無条件故障があることがわかる。例えば、「付着」「摩耗」は条件故障であり、「劣化」「変質」は無条件故障である。

無条件故障である「劣化」は、条件・動作・結果の組で表現しようとする、動作は「使用される」とし、その結果として「部品の質が低下する」と表現できる。しかし、「劣化」は条件がなくても起こる。無条件故障は、外的要因がなくても必然的に起こってしまう故障であり、自然に変化が蓄積されて故障を起こす。すなわち、無条件故障は後に示す長期現象故障であることがいえる。

#### 3.2 故障動作時間

故障はその動作の継続時間によって、長期動作故障、短期動作故障、瞬間動作故障の3つに分類することができる。長期動作故障は、故障動作がごく少量の変化しか生まず、その変化が蓄積され閾値を越えることで初めて故障するものである。例えば、「劣化」が挙げられる。短期動作故障は、「位置の狂い」などの動作の継続時間が短い場合でも起こり得る故障を言う。しかし、長期動作故障においては必ず長い継続時間が必要である。瞬間動作故障は結果状態が正常・異常の二値をとり、故障動作が瞬間で終る故障である。たとえば、「脱落」の「抜け落ちる」動作は瞬間に終ると考えられる。

#### 3.3 変化属性

結果に挙げられる属性は、その故障によって変化した属性である。この属性は、性質、形状、存在の3つに大きく分けることができ、性質故障、構造故障、存在量故障に故障を分類することができる。例えば、「劣化」「付着」は性質故障、「変形」「そり」は構造故障、「侵入」「漏れ」は存在量故障である。

## 4 推論

#### 4.1 概念レベル故障間の推論

故障語彙の要素のうち、条件・結果はそれぞれ状態を表している。したがって、ある故障の条件状態が、別の故障の結果状態になっていることがある。この関係により、ある故障の条件状態から、因果連鎖を遡ること

で、さらに深い故障原因を推論することができる。例えば、「偏心」の条件状態は「部品の形状が変化する」であり、この状態を結果として持つ概念レベルの故障「変形」が原因となる。さらに、「変形」の条件である「部品の強度に勝る力が加わる」ことが原因として挙げられる。

#### 4.2 概念レベルとパラメータレベルとの変換

パラメータレベルの故障には、単一の物理的パラメータの異常値で表現できるもの(パラメータ故障)と動作モードで表現するもの(制約式故障)がある。このパラメータレベルと概念レベルの故障の故障を結び付けるために、解釈知識を記述する。解釈知識を記述する容易さは、故障概念の結果属性の種類に依存する。構造故障や、多くの性質故障は物理的パラメータに直接変換することは難しい。例えば、構造故障「変形」の結果状態である「形状の変化」は、物理的パラメータに直接表現することは難しい。そこで、「IF 羽根の形状変化 THEN 羽根効率低下」のように、詳細な因果関係を省略してルールの形の解釈知識を記述することで、パラメータ故障に変換する。また「破断」は、一つのパラメータの異常値として捉えることができないため、ふるまいが変化したと考え、動作モードを記述して制約式故障に変換する。一方、存在量故障や性質故障の一部は、数値で表現することができ、それらはパラメータ故障に直接変換できる。

この解釈知識を使用することにより、パラメータレベルの故障から概念レベルの故障を推論することができる。例えば、パイプの断面積  $S$  が減ったというパラメータレベルの故障原因が推論されたなら、解釈知識より「断面積変化」の結果属性を持つ「閉塞」であることがわかる。「閉塞」から概念レベルの故障間の推論を行なうことで、「付着」が導出される。

## 5 まとめ

故障の表現形式について考察をおこない、概念レベルの故障とパラメータレベルの故障を診断する方式を提案した。今後の課題として、様々な故障を実際に記述することで、検討を行なう必要がある。

## 参考文献

- [1] 植田, 笹島, 来村, 池田, 小堀, 角所, 溝口, "KCIII における故障の分類と故障診断方式", 1995 年度人工知能学会全国大会論文集, 18-4, pp.469-472(1994)
- [2] 山口, 溝口, 中村, 小澤, 鳥越, 野村, 角所, "対象モデルと故障モデルに基づく知識コンパイラ II の構築と評価", 人工知能学会誌 Vol.7, No.4 pp.663-674(1992)
- [3] 関西電力神戸支店技術研究委員会, "新版 火力発電用語辞典", オーム社