

# 石油化学プラント危険箇所検索への 5G-10 演繹データベース手法の応用

鈴木孝彦\*1

高木利久\*2

牛島和夫\*1

\*1.九州大学工学部

\*2.九州大学情報処理教育センター

## 1. まえがき

最近、工業のさまざまな分野において、設計作業のCAD化が盛んに進められている。それにともない、機械可読な形で入力された部品の属性データや接続関係を各種の検索作業に利用しようとする動きが出てきた。本稿では、このような検索問題の解決に演繹データベースの手法が有効であることを示し、実現手法の検討をおこなう。検索問題の事例として、石油化学プラントにおける危険箇所検索を取り上げる。

## 2. プラント危険箇所検索問題

石油化学プラントでは、機器と配管が複雑に接続されており、設計時の予想を超えたトラブルが発生することがある。そのため、新たなトラブルが発生するごとに、トラブル箇所と類似した接続関係にある部分を洗い出し、検査をおこなう必要がある。石油化学プラントの機器配管図面では、機器や配管が1図面当たり1000以上、1プラント当りの図面は100枚程度にのぼる。検索もれの防止および省力化のために、機械可読な形で入力された図面から部品(機器や配管の総称)の接続関係を読み込み、部品データベースから属性を読み取ることによって、洗い出し作業をコンピュータ化したいという要求がある。

個々の部品の属性は従来のデータベースの手法を用いて検索可能である。問題となるのは、部品Aが複数のパイプを介して部品Bと間接的に接続している、といった接続関係の検索である。この場合、接続している部品を単純に全て求めればよい、というわけではなく、部品の属性を考慮した条件付きの接続関係を求める必要がある。例えば、パイプAとパイプBが、メクラバルブを介して接続している場合、危険箇所検索の立場からは、パイプAとパイプBは分離していると考え、接続関係にあるとはみなさない。

接続関係に基づく検索においては、部品Aが部品Bと接続していないことを示すこと(否定)、および部品Aと接続している部品を全て枚挙すること(集合)の処理が重要である。

このような検索を実用的な効率で処理するためには、経験的知識を利用した検索範囲の限定(検査時にだけ使うバルブは検索対象から外すなど)を考慮することが重要である。しかし、本稿では経験的知識については扱わない。

## 3. 従来の手法による検索処理

接続関係は、各部品をノードとし、接続関係を枝としたグラフとして表現できる。しかし、属性を考慮した検索問題に対し、一般的でかつ効率のよいグラフアルゴリズムを構成するのは困難である。

一方、属性を考慮した接続関係をホーン節で記述すれば、検索問題を、再帰を含む論理プログラムとみなすことができる。ところが、プラント図面のように、接続関係がループを成すグラフの上では、接続関係を素直に表現してPrologに

よる検索をおこなっても、検索が停止しない場合や検索効率が悪くなる場合がある。Prologで正しい検索をおこなうためには、検索順の制御を行うためや、検索履歴の記憶のために使用する情報をプログラム中に記述する必要がある。

## 4. 演繹データベースによる検索処理

否定や集合を含むホーン節で記述された、再帰的ルールに基づく検索を効率よくおこなうためには、演繹データベースにおける再帰質問処理の手法が有効である。プラント危険箇所検索問題への演繹データベースの手法の適用を考えたとき、その手法がどこまで有効であるか、再帰、否定、集合それぞれの処理について考察する。演繹データベースの処理法として代表的な2つの手法、一般化マジックセット法<sup>(1)</sup>とQSR法<sup>(1)</sup>を取り上げる。

### 4-1. 再帰

検索効率を向上させるためには、接続関係に現れる属性を利用して検索範囲を限定する必要がある。演繹データベースの再帰質問処理ではこれを、解を求めるのに必要な事実(relevant fact)を、変数束縛の伝搬を利用して削減する問題として扱う。

プラント危険箇所検索における例として、蒸留塔と接続しているリークバルブを求める問題を取り上げる。直観的には、まず蒸留塔を検索し(蒸留塔の数が少ないため)、そこから出ているパイプをたどって、リークバルブを捜すようにすれば検索範囲を限定できる(図1)。検索中にたどるパイプ等が、「必要な事実」に相当する。

```
query( X, Y ):-
    connect( X, Y ),      % (a)
    leakvalve( X ),      % (b)
    distillation( Y ).   % (c)
```

% (c)から検索すれば、connectをたどる回数が減少する。

図1: 必要な事実の削減

一般化マジックセット法は、接続関係や部品の属性を記述したデータベースからボトムアップに処理を進めていく手法である。この手法の基本は、検索ルールの書き換えに基づく、変数の束縛伝搬の実現である。

プラント危険箇所検索問題では、プラント全体に対し、検索条件を満たす対象を全て求める。そのため、利用者の与える質問中には引数の束縛は現れず、変数束縛の最適な伝搬を求める問題は複雑になる。変数束縛の最適な伝搬の決定とは、上の蒸留塔とリークバルブの例でいえば、検索範囲を最大限に限定できる検索順序を決めることである。

上の例では、蒸留塔 distillation( Y )を検索することによって、変数 Y が束縛され、connect( X, Y )によってその

束縛が変数  $X$  に伝搬される。束縛の最適な伝搬を求めるためには、例えば、リークバルブに比べれば蒸留塔の数は少ない、などのデータの意味や統計に基づく情報が必要である。

QSQR 法はゴールの展開を集合単位でおこなうトップダウンの処理法である。変数の束縛状態は、ゴールの展開に応じて自然に伝搬される。そのため、通常の問題については、ルールの前処理は必要なく、実行メカニズムもそれほど複雑ではない。しかしながら、ある種の再帰問題では正しく解が求まらない場合がある。

プラント危険箇所検索において QSQR 法の不完全性が問題になる場合があるか、また問題になるならば、結果が不完全になる場合を検索問題のパターンから予測できるかどうか検討中である。

QSQR 法を改良して、どんな問題に対しても正しい解を求めるようにするためには、ルールの前処理と複雑な実行制御とが必要となる。

#### 4-2. 否定

再帰と否定とを含む論理プログラムでは、一般にはプログラムの意味さえも決定できない。しかし、否定を含む再帰的な質問が、階層化 (Stratified) データベース<sup>(2)</sup>の条件を満たすならば、常に質問の解を決定できることが知られている。階層化データベースとは、述語の再帰的な定義中に、自分自身の否定を含まないデータベースである。

検索問題が Stratified かつ Allowed (否定リテラルのすべての引数がボディの正リテラル中に現れる場合、と考えてよい) な場合、一般化マジックセット法に基づいて書き換えたルールから、正しい解を求めることができる。QSQR 法でも、4-1 で述べた特殊な場合を除いては、Stratified かつ Allowed の条件下で否定を正しく取り扱うことができる。

プラント危険箇所検索問題において、否定は、検索範囲の限定のため使われることが多い。例えばある部品 (または部品の組合せ) が現れたらそこから先を検索する必要がないことを示すために使われる。このような目的には、Stratified かつ Allowed の制限は不自然なものではない。

しかし、Allowed データベースを考えた場合、上に挙げた否定の処理技法には無駄な探索が含まれている。すなわち負リテラルの引数全てが束縛されている場合、その否定を証明するためには、反例の一つを見つければよいにもかかわらず、上に挙げたどちらの処理法でも全ての反例を見つけようとする。否定が何層にも重なる場合を除いては、1つの反例で充分であるという性質を利用した最適化が可能である。例えば、「リークバルブと接続していない」部品を求める問題を考える。部品 A がリークバルブと 2 系統の配管で接続していると。この場合、どちらの処理法でも、両方の系統で接続していることを 2 重にチェックした後に、部品が検索範囲外である、とする。この場合、1 系統での接続を確かめたら検索を終了してかまわない。

#### 4-3. 集合

解の枚挙は、全ての解を集合として返すグループ化オペレータの追加によって実現できる (Prolog における setof 述語と類似した機能)。集合を扱うためには、グループ化の他にいくつかの述語を定義する必要がある。プラント危険箇所検索において最も重要なのは、集合の要素にアクセスするための member である。例えば、部品 A とつながっているパイプの中に、規格 X のパイプがあるか、といった質問が考えられる。また、集合の要素数を数える cardinal も、有用である。プラント危険箇所検索において、和集合や部分集合を取る述語はあまり重要でない。

一般化マジックセット法などのボトムアップ法でグループ

化オペレータを実現するためには、グループ化をおこなうごとに階層 (stratum) を一つ追加すればよい。QSQR 法では、実行方式が集合指向であるためグループ化は簡単に実現できる。

#### 5. 従来手法の評価

一般化マジックセット法では、階層間で処理の順序を考慮する必要はあるが、ボトムアップの単純な評価法が適用できる。それに対し、QSQR 法に代表されるトップダウン処理では、常に全ての正しい解を求めることを保証するためには、前処理、実行時の制御とも複雑になる。

機構の単純性の点で、ルールの書き換えを用いたボトムアップ処理がやや優れている。また、ルール書き換えによって検索順を制御できるため、最も数の少ない部品をキーにして検索をおこなうといった最適化の可能性がある。ただし、この最適化はプラント部品の構成や接続関係に依存している。

実用上の問題として、マジックセット法は本来、質問 (ゴール) 中の引数が定数に束縛されている場合を最適化するために考案された手法だ、という点を考慮しなければならない。プラント危険箇所検索のように、変数の束縛がサブゴール中だけに限られる場合、どの程度有効であるか検討中である。

否定及び集合の処理に関しては、トップダウン法とボトムアップ法のどちらが有利であるか検討する必要がある。両者を複合させた方式についても考慮するべきである。

#### 6. 方針

上に述べたように、各種の処理法の評価には、まだ定まっていない点がある。そこで、プロトタイプとして、機構が単純であり検索内容に依存せずに正しい解を求める、という特長を持つ、ボトムアップ処理系を作成する。この処理系を、プラント危険箇所検索問題に適用し、性能を評価する。

検索問題において、必要な事実の数は、ボトムアップ、トップダウンの処理法にかかわらず、変数束縛の伝搬法に強く依存すると予想されるので、変数束縛の最適な伝搬に関して研究を進める。さしあたり、人間が記述した順に束縛伝搬をおこなう処理系を作る。次の段階として、最適な伝搬の実現を支援するシステムを考える。

ボトムアップ評価を効率よく実現するためには、事実の検索と登録とを高速化することが重要である。この問題に関しては、従来からハッシュ技法が研究されている。プラント危険箇所検索問題では、例えば、部品の半分近くがパイプという属性を持ち、そのため属性を基にハッシュ関数を決めた場合効率が悪く、と予想できるので、検索領域の性質を考慮にいたしたハッシュ法を検討する必要がある。

#### 7. 謝辞

本稿中、石油化学プラントの危険箇所検索問題と、機械可読な図面の検索への利用とに関して、三井石油化学工業 (株) 芝尾絃一氏から多くの有益な御示唆をいただいたことをここに明記し、感謝いたします。

#### 参考文献

1. Bancilhon, F. and Ramakrishnan, R. [1988], Performance Evaluation of Data Intensive Logic Programs.

2. Apt, K. R., Blair, H., and Walker, A. [1988], Towards a Theory of Declarative Knowledge.

\* Both 1 and 2 appeared in Foundations of Deductive Databases and Logic Programming (J. Minker, Ed.), Morgan Kaufman Publishers, Los Altos, CA.