

意味的連想検索方式による化学プラントトラブル事象の 因果関係計量データベースの実現

横山 誠人[†] 佐々木 史織[‡] 清木 康[†]

[†] 慶應義塾大学環境情報学部 〒252-0816 神奈川県藤沢市遠藤 5322

[‡] 慶應義塾大学政策・メディア研究科 〒252-0816 神奈川県藤沢市遠藤 5322

E-mail: [†] {masato, kiyoki}@mdbl.sfc.keio.ac.jp, [‡] sashiori@mdbl.sfc.keio.ac.jp

あらまし 本稿では、化学プラントにおいて突発的に発生するトラブルに対して解決策に関連のある情報源を提示するための、意味的連想検索を用いた因果関係計量データベースの実現方式とその応用を示す。近年、職能に関する知識の共有や伝承の必要性が高まっている。本方式では、労働者個人に帰属する情報発見手法の暗黙知を事象間の因果関係を表すマトリクスとして表現し、因果関係計量を有する意味的連想検索空間を生成することで、組織において共有可能な形式知に変換する。この空間を用いることにより、利用者は、発生するトラブルと過去の原因-結果関係の履歴との関係性を計量し、原因箇所を特定し、その解決策に関連のある再利用可能なドキュメント群を自動的に検索することが可能となる。また、利用者の知識を空間へのフィードバックとして学習させることにより、検索空間の精度を高めることが可能である。本稿では、実際のSBR（スチレンブタジエンゴム）合成プラントにおける化学物質と化学反応によるトラブル事象を対象に、本方式の有効性について示す。

キーワード 因果関係計量, 情報検索, 知識発見, 意味的連想検索

An Implementation of a Causal Computation Database for Emergent Troubles in a Chemical Plant using a Semantic Associative Search method

Masato YOKOYAMA[†] Shiori SASAKI[‡] and Yasushi KIYOKI[†]

[†] Faculty of Environmental Information, Keio University 5322 Endo, Fujisawa, Kanagawa, 252-8520 Japan

[‡] Graduate School of Media and Governance, Keio University 5322 Endo, Fujisawa, Kanagawa, 252-8520 Japan

E-mail: [†] {masato, kiyoki}@mdbl.sfc.keio.ac.jp, [‡] sashiori@mdbl.sfc.keio.ac.jp

Abstract In this paper, we present an implementation method of a causal computation database using a Semantic Associative Search method for searching documents related to solution of emergent troubles in a chemical plant. In recent years, sharing and succession of knowledge related to occupational abilities are highly required among engineering experts. We convert implicit knowledge about professional skills on information discovery and expertise, which is liable to belong to individual workers to sharable formal knowledge by expressing causal relation of troubles as matrixes. By using a causal computation database created by these matrixes and a semantic associative search, it is possible to compute the relation between the emergent troubles and the record of past accidents. A user can identify the causes and effects of emergent troubles and acquire documents related to solution of the troubles automatically. To examine the availability of this database, we have performed several experiments using data of chemical reactions between materials in a chemical synthesis plant of SBR(Styrene-Butadiene Rubber).

Keyword Causal Computation, Information Retrieval, Knowledge Discovery, Semantic Associative Search

1. はじめに

ものづくりの現場におけるベテラン（熟練）技術者や技能者が培ってきた技術や技能、ノウハウの共有・伝承手段の必要性は年々高まってきている[1]。しかし、ベテラン技術者間で共有されてきた技術や技能は形式的な形で表現されていない暗黙知が多く、大量の情報源の中から事象に関する的確な情報を発見する方法自体が暗黙知となっていることも多い。現在、こういった暗黙知の伝承における課題は、OJT(on-the-job training)の実施やベテラン技術者自身が積極的に文章に書き起こすことなどによって対応がなされている。一方、製造工場などにおけるトラブル事象に対する情報は日々オペデータにより記録されていることが多く、原因や結果を発見するための情報は大量に存在してい

る。しかし、実際にはこの大量の情報群から得られる因果関係などは整理・分析されておらず、十分には活用されていない。

ある製造工場でトラブルが発生した際、直接的な原因を解明することは容易であるが、その根本的な原因を発見することは困難である。根本原因を発見し改善しなければトラブルは解消されず、根本原因の発見時期が遅れるほど製造工場は稼働できず損失が大きくなる。また、根本原因の早期発見は、生産効率を向上させるだけではなく、二次災害の防止にもつながることから最重要課題のひとつとされている。これまで根本原因の発見には、ベテラン技術者の過去の経験による情報発見のノウハウが役立っていた。ベテラン技術者の根本原因発見のプロセスを模倣することで根本原因

の早期発見が可能となると考えられる。また、暗黙知として労働者個人に帰属していた情報発見手法の知識を形式知化し、組織内で共有、活用することで、トラブル発生後に起こり得る二次的なトラブルを予測し、その対策を講じることができる。

本稿では、化学プラントにおいて突発的に発生するトラブルに対して解決策に関連のある情報源を提示するための、意味的連想検索を用いた因果関係計量データベースの実現方式とその応用を示す。本方式は、製造工場で記録された大量の情報群から抽出した因果関係をマトリクス上で表現し、因果関係計量を有する意味的連想検索空間を生成することで、ベテラン技術者の情報発見手法を再現する。利用者は、本方式によって生成された意味的連想検索空間を用いることで、化学プラント内で発生するトラブルと過去の原因-結果関係の履歴との関係性を計量し、原因箇所を特定することが可能となる。また本稿では、実際のSBR合成プラントにおける化学物質と化学反応によるトラブル事象を対象に、本方式の有効性について示す。

2. 関連研究

因果関係に関する情報検索に応用可能な方式として、ベイジアン・ネットワーク[14][15]がある。ベイジアン・ネットワークは、 n 個の確率変数 X_1, X_2, \dots, X_n 間に成立する因果関係や相関関係といった依存関係を条件付確率として設定し、その同時確率分布を有効グラフを用いて表現したものである。

ベイジアンネットワークを適用した情報探索は、検索問い合わせとして入力した事象単語について、同時確率が大きいと推定される事象を検索結果の上位にランキングする方式として実現されている。したがって、ベイジアン・ネットワークによる情報探索では、検索問い合わせとしてある事象単語を入力した場合に、その事象の原因または結果として、発生確率は低いが、専門知識により重要であると判断されるような事象群を検索ランキング上位に獲得することは考慮されない。

これに対して、本方式により実現される検索方式では、ベクトル成分の数値における重みにより、重要性や関連の強さを表現することが可能であるため、発生確率は低いが、専門知識により重要であると判断されるような原因結果事象群を検索ランキング上位に獲得することが可能となる。

3. 意味の数学モデルによる意味的連想検索方式

本節では、本方式により実現する化学プラントトラブル事象の因果関係計量データベースシステムにおいて、因果関係計量に適用している“意味の数学モデル”による意味的連想検索方式の概要を述べる。詳細は文献[2]~[6]に述べられている。

3.1. メタデータ空間 MDS の設定

特定領域の知識を網羅的に表現した相関マトリクスを固有値分解することで、特定領域に関するメディアデータの意味的な関連性の計量を行うための正規直行空間(以下、メタデータ空間 MDS)を設定する。

3.2. MDS へ写像するメディアデータベクトルの設定

メタデータ空間 MDS に写像するために、メディアデータをベクトル化する。メタデータを統一的特徴語(以下、feature)で構成される相関マトリクスで表現しベクトル化することで、同一空間上における検索対象メディアデータ間の相関が距離計算により求めること

ができる。

検索対象となるメディアデータ P には、 t 個の基本データ w_1, w_2, \dots, w_t がメタデータとして付与されていることを前提とする。

$$P = \{w_1, w_2, \dots, w_t\} \quad (1)$$

各基本データはベクトル表現された feature で表される。

$$w_i = (f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{im}) \quad (2)$$

検索対象となる各メディアデータは、メタデータとして付与されている t 個の基本データが合成され、ベクトル表現された後、メタデータ空間 MDS に写像される。

3.3. MDS の意味空間の選択と相関の定量化

検索者は与える文脈を複数の単語を用いて表現する。検索者が与える単語の集合をコンテキスト(文脈)と呼ぶ。このコンテキストを用いてメタデータ空間 MDS に各コンテキストに対応するベクトルを写像する。これらのベクトルはメタデータ空間 MDS において合成され、意味重心を表すベクトルが生成される。意味重心から各軸への射影値を相関とし、閾値を超えた相関値(以下、重み)を持つ軸からなる部分空間(以下、意味空間)が選択される。

選択されたメタデータ空間 MDS の意味空間において、メディアデータベクトルのノルムを検索語列との相関として計算する。これにより、与えられたコンテキストと各メディアデータとの相関の強さを定量化している。この意味空間における検索結果は、各メディアデータを相関の強さについて整理したリストとして与えられる。

また、メディアデータを特徴づける feature の数が多い場合、どのような意味空間が選ばれても、意味空間におけるメディアデータのノルムが大きくなる傾向がある。そのため、本来文脈との相関が強いと考えられるメディアデータベクトルのノルムよりも、feature の数が多いメディアデータベクトルのノルムが大きくなってしまい、適切な抽出が行われないことがある。そのため、メタデータ空間 MDS でのメディアデータベクトルを 2 ノルムで正規化している。

4. 実現方式

本節では、化学プラントトラブル事象の因果関係計量データベースのデータ構造、について述べる。本方式によって実現された因果関係計量データベースを用いることにより、次の四つの点が実現可能となる。

- (1) トラブルの根本原因と点検必要箇所の特定
- (2) トラブルの解決策の情報源の獲得
- (3) 二次災害の予測と防止
- (4) 物質、現象、原因、結果などの情報発見に関する暗黙知の共有・伝承

4.1. データ構造

各技術者により作成された文書、または、製造工場においてオペレータにより生成された情報群 D には、原因事象 C_s と結果事象 R_t が含まれていることを前提とする。また、各事象は、予め定めた化学分野の物質メタデータ m と現象メタデータ p の組合せで構成されている。また、原因事象 C と結果事象 R は同じデータ構造を持ち、情報により、互いに原因事象にも結果事象にもなり得る。原因事象 C 群と結果事象 R 群の和集合を事象群 E とする。

$$\begin{aligned} D &= \{C_1, C_2, \dots, C_m, R_1, R_2, \dots, R_n\} \\ C_s &= (m_a, p_b) \quad R_t = (m_c, p_d) \\ E &= \{e_1, e_2, \dots, e_r\} = C \cup R \end{aligned}$$

各情報に含まれる原因事象と結果事象より因果関係を読み取り、因果関係マトリクスを生成する。

トラブルが発生した際には、センサーにより物質メタデータ m と現象メタデータ p が認知され、トラブル事象 T が生成される。

$$T = (m_k, p_l)$$

4.2. 因果関係計量のためのベクトル空間マトリクスの生成

本節では、本方式を実現するための因果関係計量機能を伴ったベクトル空間検索方式[7][8]の概要を述べる。

4.2.1. 因果関係性を扱うベクトル空間の生成

事象間の因果関係を計量するためのベクトル空間として、3つの特徴マトリクス M, M_C, M_R を生成する。

Step-I *feature*, 基本データ群と特徴づけの設定

3つのマトリクス M, M_C, M_R に対して r 個の事象群 E を *feature*, 基本データとしてそれぞれのマトリクスの縦軸、横軸に設定した、 $r \times r$ の正方マトリクスを生成し、3つのマトリクス M, M_C, M_R に対して特徴づけの設定を行う。ただし、事象間の因果関係は、製造工場で記録されている大量の情報群より抽出可能であることを前提する。

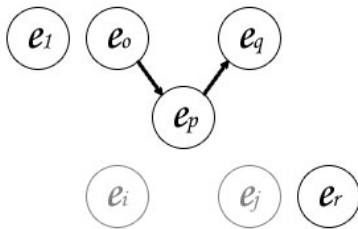


図1 事象データ群

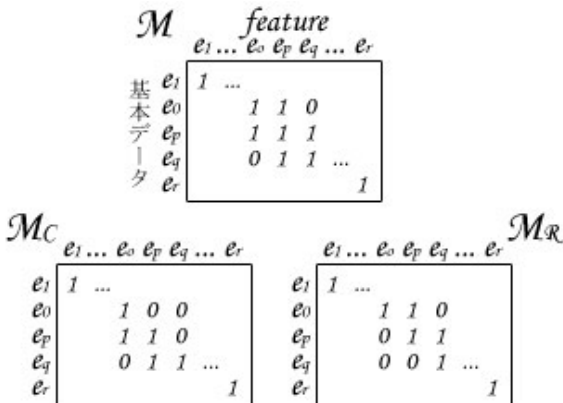


図2 ベクトル空間生成用マトリクス

M : 基本データ中の事象について、*feature* の中から自分自身を表す事象、直接的な原因である事象、および直接的な結果である事象に“1”を設定し、それ以外の事象に“0”を設定する。

M_C : 基本データ中の事象について、*feature* の中から自分自身を表す事象、および直接的な原因である事象に“1”を設定し、それ以外の事象に“0”を設定する。

M_R : 基本データ中の事象について、*feature* の中から自分自身を表す事象、および直接的な結果である事象に“1”を設定し、それ以外の事象に“0”を設定する。

図1の事象 e_o について、事象 e_o は直接原因、事象 e_l は直接結果となり、図2のような特徴マトリクスが生成される。

Step-II ベクトル空間生成用マトリクスの組の設定

3.2.1節で生成した3つのベクトル空間マトリクス M, M_C, M_R を用いて「ある事象の原因である事象群」、「ある事象の結果である事象群」のような検索目的に応じたベクトル空間マトリクスの組合せについて述べる。ある事象の原因である事象群の検索を目的とする場合：検索対象ベクトルを形成するためのベクトル空間マトリクスとして M_R を、問い合わせベクトル形成のためのベクトル空間マトリクスとして M_C を設定する。

ある事象の結果である事象群の検索を目的とする場合：検索対象のベクトルを形成するためのベクトル空間マトリクスとして M_C を、問い合わせベクトル形成のためのベクトル空間マトリクスとして M_R を設定する。

Step-III 意味の数学モデルの適用

2章で概説した意味の数学モデルで提案されている手法では、マトリクスデータ M (もしくは M_C, M_R) に対して相関マトリクス $M^T M$ (もしくは $M_C^T M_C, M_R^T M_R$) を固有値分解し、算出された固有ベクトルから構成されるメタデータ空間 *MDS* を生成する。データ間の距離を計量する検索系が構築可能となる。

4.2.2. 検索語ベクトルの拡張

3.2.1において示したように、生成した各事象ベクトルでは、直接的な因果関係を有する事象にしか値が与えられていない。これまでのプロセスにより、目的(3)は実現可能となったが、目的(1)(2)(4)に関わる、トラブルの根本原因となり得る間接的な原因の検索は実現することができない。間接的な因果関係まで含めた検索を実現するための方式を示す。

検索者が与える検索語事象ベクトルを拡張するアルゴリズムを以下に示す。

- (1) 与えられた事象ベクトルの要素のうち“1”が付与されている事象を列挙する。
- (2) 列挙したそれぞれの事象について、事象ベクトルの“1”が付与されている要素に拡張関数 f_{expand} を適用する。
- (3) (2)における各ベクトルをもとの検索語ベクトルに足し合わせる。

(1)~(3)の操作を再帰的に適用する。一般的には、次のような関数を適用する。

$$f_{\text{expand}}(x, \text{phase}) = x * k^{\text{phase}}$$

x は対象としているベクトルの要素の値、 k は任意の定数、*phase* は再帰のフェーズを表し、拡張定数を超えるまで適用し続ける。より間接的な事象ほど因果関係性を低くするには、 $k < 1$ とし、逆に、より間接的な事象ほど因果関係性を高くするには $k > 1$ とすればよい。

4.3. システム構成および演算の流れ

本節では、本方式により実現される因果関係計量データベースのシステム構成について述べる。システム構成を図3に、演算の流れを図4に示す。

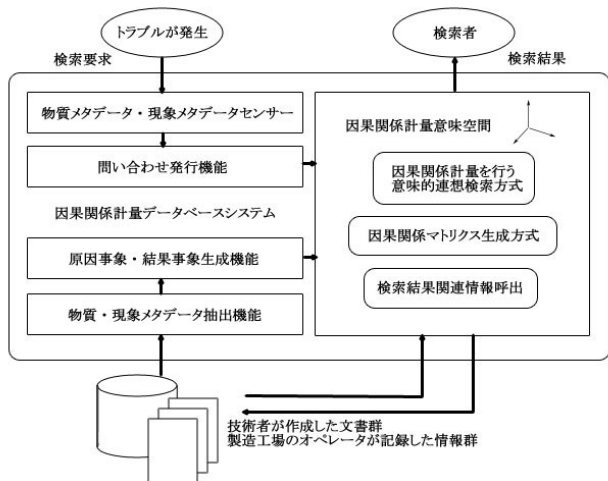


図3 システム構成図

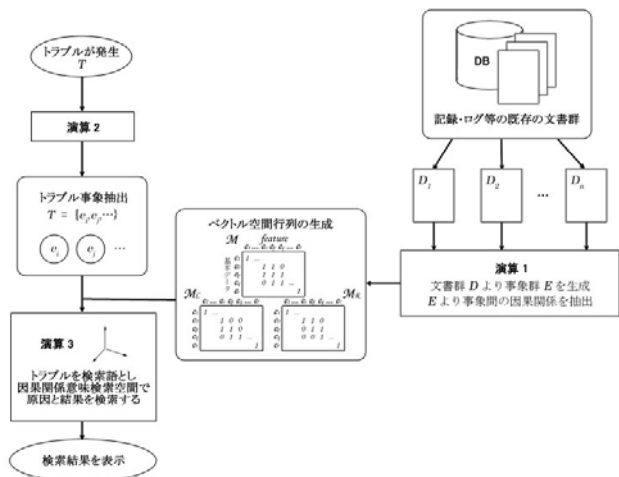


図4 演算の流れ

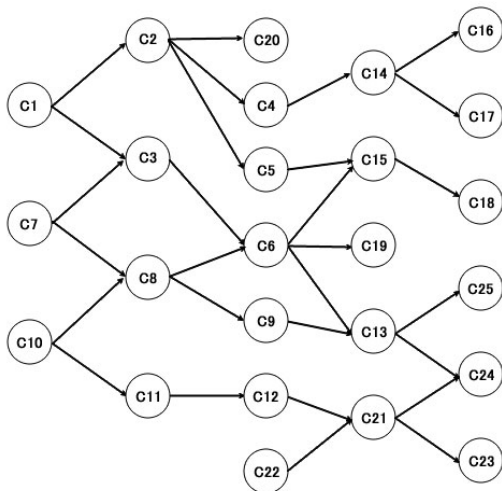


図5 擬似事象データ(実験1)

4.3.1. システム構成

物質・現象メタデータ抽出機能では、既存の文書群 D の各文書を単語単位に分割し、予め定められた化学分野の特徴語に該当する単語をメタデータとして抽出する。抽出された特徴語は物質メタデータ m と現象メタデータ p に分類される。

原因事象・結果事象生成機能では、物質・現象メタデータ抽出機能により生成された物質メタデータ m と現象メタデータ p の組み合わせより事象群 E を生成し、事象間に因果関係を付与する。因果関係が付与された事象群 E のデータはベクトル化された後、因果関係計量意味空間へ写像される。

トラブルが発生した際には、物質メタデータ・現象メタデータセンサーが物質メタデータ m と現象メタデータ p を認知し、問い合わせ発行機能によりトラブル事象 T のベクトルを生成する。また、複数のトラブルが発生した際には、複数のトラブル事象 T 群を和 (OR) 演算により合成し、検索語ベクトルを生成する。

因果関係計量を行う意味的連想検索方式と因果関係マトリクス生成方式により生成された因果関係計量意味空間では、専門家により与えられた拡張関数 f_{expand} を適用したトラブル事象 T と予め与えられた事象群 E との相関量が計量される。検索結果は、検索結果事象が記載されている文書群と共に検索者に提示される。

4.3.2. 演算の流れ

演算1：トラブル事象の記録・ログ等の既存の文書群 D より事象群 E を生成し、事象間の因果関係を抽出する。

演算2：トラブルが発生した際、センサーにより物質メタデータ m と現象メタデータ p が認知され、トラブル事象 T が生成される。

演算3：2章、3章の方式によりベクトル空間マトリクス M, M_C, M_R の組み合わせによって生成された因果関係意味検索空間を用いて、検索条件に合わせて設定し因果関係計量を行う。また、根本原因の検索に関しては、専門家の判断による重み付け (f_{expand} の適用) がなされる。

原因検索により算出された相関量の高い事象に付与している位置情報と文書情報を検索者に示すことで目的(1)(2)が実現される。結果検索により算出された相関量の高い事象に付与している文書情報を検索者に示すことで目的(3)が実現される。また、センサーにより自動生成される検索語を、任意に設定することで目的(4)が実現される。

5. 実験

ここでは、擬似事象データ、および、実際のSBR (スチレンブタジエンゴム) 合成プラント[9](図6)におけるトラブル事象を対象に検索実験を行い、本方式によって実現された意味的連想検索を用いた因果関係計量データベースの有効性について示す。

5.1. 実験1: 擬似事象データを用いた因果関係計量機能の検証

実際の化学プラントトラブル事象に類似した 25 件の擬似事象データ(図5)を用意し、因果関係が計量できるか、また、重み付けが有効に機能するかを検証する。実験1では、事象 c_6 について、因果関係が正しく計量されるかを検証する。

5.1.1. 実験環境

2章、3章で示した方式により、実験システムを構

築した。実験1では、重み付けされていない擬似データ25件と、重み付けされた擬似事象データ25件を対象データとし、化学プラントトラブル事象に類似したデータ構造の因果関係を計量できるかを検証する。また、実験2を行うことを前提とした上で、事象に対する重み付けが拡張関数により有効に機能し、検索者が要求する情報群が正しく得られるかを検証する。さらに、検索者が要求する情報群として、直接結果事象と根本原因事象を挙げ、要求に応じた因果関係検索が可能であるかを検証する。

5.1.2. 実験結果および考察

実験結果を表1～表4に示し、各実験結果に対する考察を述べる。

事象c6の結果検索を行い、表1のような結果を得た。表中の判定項目のt0は実際の検索事象自身を表し、t1は直接結果事象、t2は直接結果事象の直接結果事象あたる間接結果事象、fは結果になり得ない事象(間違い事象)を表す。表1より、特に重要である直接結果事象、つまり、トラブル発生直後に起こり得る二次的なトラブル事象が上位に計量されていることから、事象間の因果関係が正しく計量されていることが読み取れる。ただし、検索語である事象c6に対し、c19、c18、c25の順に相関値が高いことから、末端事象や因果関係にある事象の少ない事象の相関値が高くなる傾向があり、直接原因事象より上位に計量された。そこで、直接原因事象がより高い相関値を示すために、拡張関数 f_{expand} をベクトル空間行列 M_R における結果要素に統一的に与え、実験を行ったところ表2の検索結果を得た。重み付けを行わなかった表1と重み付けを行った表2を比較すると、直接原因事象であるc15とc13がより上位に、間違いの事象であるc12が下位に移動しており、重み付けのアルゴリズムを適用することで検索精度を高めることが可能であることが検証できた。

同様に、根本原因事象の検索においても、間接的な原因事象の相関値が高くなるような拡張関数を適用した。まず、重み付けを行わずに原因事象を検索し表3を得た。次に、重み付けを適用し原因事象を検索した結果、表4を得た。表3と表4を比較すると、根本原因事象となり得る事象群が、重み付けを行うことでより高い相関値を示すことがわかる。拡張関数を適用することで、検索者の要求に応じた因果関係事象の検索が実現可能であることが検証できた。

5.2. 実験 2: 化学プラントトラブル事象を用いたシステム実現可能性の検証

実際の化学プラントトラブル事象25件を用いて、本方式によって実現された意味的連想検索を用いた因果関係計量データベースの有効性を検証する。トラブル事象に関連する文書群のメタデータ例を表5に、トラブル事象が発生する位置情報を図6に示す。

5.2.1. 実験環境

実験1と同様に、実験システムを構築し、実際の化学プラントで発生したトラブル事象に関する文書25件と各文書に因果関係が記録されている80個の事象群を用いて、本方式による化学プラントトラブル事象の因果関係計量データベースの実現可能性を検証する。実験1により、拡張関数を適用することで検索者の目的にあった検索が可能であることが検証できた。実験2では、根本原因事象検索における情報発見の暗黙知を拡張関数の適用により形式化することが可能であるかを検証する。拡張関数による重み付けについて、(a)トラブルの重要度、発生頻度による重み付け、(b)点検手順による重み付けを適用した。1つの事象に対

し、その原因事象候補として複数の事象が存在するとき、トラブルの重要度や発生頻度をもとに重み付けを適用する。原因と結果の連鎖が直線的であるとき、実際の点検手順により、直接原因、間接原因のいずれかに重み付けを適用した。

5.2.2. 実験結果および考察

製品への「成形機停止」を検索語とし原因事象検索を行ったところ、実験結果として表6が得られた。

拡張関数による重み付けが適用されない場合、同じ因果関係の構造を持つ、同世代前の間接原因事象である「成形機ゴム噛み込み」と「成形機詰まり」とが同じ相関値で算出され、また、直接原因事象である「成形機ゴム噛み込み」と「成形機詰まり」が上位に計量された。実験1においても、間接原因事象の世代による相関値の差は大きく、「成形機プレス不良」や「ゴムブロック落下」のような間接原因事象は世代を超えて上位に示されることはなかった。しかし、根本原因事象を発見するためには世代を超えて上位に計量される必要があり、これに対して(a)重要度、発生頻度の1位と2位以下の拡張関数に大きな差を与える(b)検索語事象に低い拡張関数を与え、直接原因に高い拡張関数を与える設定をした。拡張関数により(a)(b)の重み付けが適用された場合、専門家による原因予測の結果と酷似した結果を得ることができた。この結果を得るために、各因果関係において何を考慮すべきか(検査において直接原因が重要であるのか、または根本原因が重要であるのか、また、複数の可能性が考えられるとき、どの可能性が検査において重要であるのか)を一つひとつ専門家に確認する必要があった。これにより、ベテラン技術者による根本原因発見手法のうち、(a)(b)に関する暗黙知を形式化化することにより実現する根本原因事象の検索が可能であることが検証できた。

6. 結論

本稿では、化学プラントにおいて突発的に発生するトラブルに対して解決策に関連のある情報源を提示するための、“意味の数学モデル”による意味的連想検索を用いた因果関係計量データベースの実現方式とその応用を示した。まず、因果関係計量に適用される、意味の数学モデルによる意味的連想検索方式を示し、これを適用したベクトル空間検索方式を示した。次に、擬似事象データおよび化学プラントトラブル事象を対象とした検索実験を行い、本方式によって実現された意味的連想検索を用いた因果関係計量データベースの有効性および実現可能性を検証した。さらに、拡張関数による重み付けを適用することで、根本原因事象の発見手法について、重要度、発生頻度、点検手順に関する暗黙知を形式化化した検索が可能であることを示した。

実験1では、拡張関数により根本原因事象の相関値を上げることができたが、まだ上位には間違い事象が検索されており、本格的な根本原因事象の検索には課題が残る。しかし、ベクトル空間上でトラブル事象の組をコンテクスト(文脈)として与えることにより、情報の損失や曖昧性・冗長性を排除した、発見的な原因や結果事象を獲得できる可能性があることと捉えることもできる。

今後は、検索対象となる全事象に統一的に適用することのできる根本原因事象の発見手法のアルゴリズムを抽出し、大量の事象データ群を対象とした定量的な評価実験を行う予定である。

表 1 実験 1 の結果事象検索結果(1)

順位	事象 ID	相関値	判定
1	c19	0.590661	t1
2	c18	0.549886	t2
3	c25	0.497830	t2
4	c15	0.447890	t1
5	c13	0.425367	t1
6	c24	0.370944	t2
<u>7</u>	<u>c12</u>	<u>0.357447</u>	<u>f</u>
8	c6	0.309070	t0
9	c10	0.228463	f
10	c11	0.222776	f
11	c7	0.209643	f
12	c4	0.193698	f
13	c8	0.188182	f
14	c20	0.186006	f
15	c16	0.182617	f
16	c17	0.182617	f
17	c9	0.181192	f
18	c2	0.158276	f
19	c1	0.153066	f
20	c3	0.136934	f
21	c14	0.136682	f
22	c23	0.117180	f
23	c22	0.114074	f
24	c21	0.109565	f
25	c5	0.092679	f

表 2 実験 1 の結果事象検索結果(2)

順位	事象 ID	相関値	判定
1	c19	0.640175	t1
2	c18	0.607917	t2
3	c15	0.553621	t1
4	c13	0.549551	t1
5	c25	0.546532	t2
6	c6	0.486261	t0
7	c24	0.420643	t2
<u>8</u>	<u>c12</u>	<u>0.320382</u>	<u>f</u>
9	c9	0.249044	f
10	c8	0.244323	f
11	c11	0.226319	f
12	c7	0.200987	f
13	c16	0.181160	f
14	c17	0.181160	f
15	c3	0.176452	f
16	c20	0.146130	f
17	c14	0.135357	f
18	c10	0.131165	f
19	c22	0.124615	f
20	c4	0.123386	f
21	c2	0.123258	f
22	c23	0.115735	f
23	c21	0.101196	f
24	c1	0.092812	f
25	c5	0.078702	f

表 3 実験 1 の原因事象検索結果(1)

順位	事象 ID	相関値	判定
1	c13	0.642570	t0
2	c6	0.543701	t1
3	c9	0.481238	t1
4	c8	0.433246	t2
5	c14	0.431993	f
6	c3	0.395242	t2
7	c25	0.373780	f
8	c24	0.348672	f
9	c21	0.311146	f
10	c7	0.301660	t3
11	c19	0.269062	f
12	c11	0.260068	f
13	c12	0.259395	f
14	c4	0.258073	f
15	c17	0.252051	f
16	c16	0.252051	f
17	c15	0.243540	f
18	c10	0.228416	t3
19	c5	0.192451	f
20	c22	0.190753	f
21	c20	0.185056	f
22	c18	0.171126	f
23	c2	0.161675	f
24	c23	0.161425	f
25	c1	0.154214	t3

表 4 実験 1 の原因事象検索結果(2)

順位	事象 ID	相関値	判定
1	c8	0.553978	t2
2	c6	0.444490	t1
3	c3	0.413511	t2
4	c9	0.410193	t1
5	c7	0.357141	t3
6	c14	0.354303	f
7	c19	0.328323	f
8	c13	0.319608	t0
9	c11	0.269904	f
10	c12	0.262496	f
11	c4	0.222853	f
12	c20	0.220885	f
13	c17	0.208505	f
14	c16	0.208505	f
15	c24	0.202238	f
16	c2	0.194421	f
17	c10	0.193062	t3
18	c25	0.186751	f
19	c15	0.175721	f
20	c23	0.171570	f
21	c21	0.163377	f
22	c1	0.159802	t3
23	c22	0.148580	f
24	c5	0.129751	f
25	c18	0.122349	f

表 5 文書データのメタデータ

文書 ID	位置情報	事象メタデータ(原因事象, 結果事象)
doc01	回転真空ろ過機	(バリ取りカッター-調整異常, バリ取り カッター-接触), (バリ取りカッター-接触, 回転真空ろ過機-異音)
doc02	重合釜	(ベアリング-異常, 軸受けゴム-噛み込み), (減速機-異常, 軸受け-発熱), (軸受けゴム-噛み込み, 軸受け-発熱), (ベアリング-異常, 重合釜-異音), (減速機-異常, 重合釜-異音)
doc03	ゴム分散室	(ゴム-粘度低下, ゴム-付着), (清掃-不備, ゴム-付着), (ゴム-付着, 分散-不良), (分散-不良, ゴム-堆積), (ゴム-堆積, ゴム-脱水不良), (ゴム-脱水不良, 含水率-上昇)
doc04	振動節	(ゴム-粘度低下, ゴム-付着), (ゴム-付着, シュート-詰まり)
doc05	乾燥機	(ベアリング-異常, ベルト-偏り), (軸-破損, ベルト- 偏り), (ベルト-偏り, ベルト-削れ), (ベルト-削れ, 異物-混入)
doc06	重合釜	(重合調整剤-過剰, ゴム-粘度低下), (ゴム-粘度低下, 回転真空ろ過機-詰まり), (重合調整剤-不足, ゴム-粘度上昇), (ゴム-粘度低下, シュート-詰まり)
doc07	モノマー回収	(重合レート-上昇, 圧力-不安定), (圧力-不安定, 重合-不良)
doc08	アジテータ	(オイルポンプ-連結磨耗, オイルポンプ-回転不良), (オイルポンプ-回転不良, タンク-発熱), (タンク-発熱, タンク-制御不能)
doc09	モノマー回収	(フラッシュタンク-シール不良, モノマー-自然重合), (モノマー-自然重合, モノマー-詰まり), (モノマー-詰まり, モノマー-流量低下), (ラテックス-混入, モノマー-自然重合)
doc10	成形機	(飛散防止板-劣化, 飛散防止板-破損), (飛散防止板-破損, 異物-混入)
doc11	回転真空ろ過機	(回転真空ろ過機洗浄機-故障, スリット-目詰まり), (スリット-目詰まり, ゴム-脱水不良), (ゴム-脱水不良, ゴム-食い込み不良)
doc12	包装機	(ヒーター圧着端子-断線, 乾燥機-停止), (フィルムモーター-発熱, 乾燥機-停止)
doc13	成形機	(PE シート-ゴム付着, 異色ゴム-混入)
doc14	成形機	(プレス-不良, ゴム-噛み込み), (ゴム-噛み込み, 成形機-停止), (成形機-停止, 乾燥機-停止)
doc15	成形機	(電気系-異常, オイルユニット-停止), (機械系-異常, オイルユニット-停止), (オイルユニット-停止, 成形機-停止)
doc16	重合釜	(凝固レート-上昇, ゴム-堆積), (ゴム-堆積, ゴム-脱水不良), (ゴム-脱水不良, 含水率-上昇)
doc17	成形機	(ゴムブロック-落下, 成形機-詰まり), (成形機-詰まり, 成形機-停止)
doc18	回転真空ろ過機	(ゴム-粘度低下, ゴム-混入), (排水-ゴム混入, 排水管-詰まり), (排水管-詰まり, 排水-逆流)
doc19	破碎機	(ベアリング-異常, 破碎機-異音), (ベアリング-異常, 振動部-異音)
doc20	重合釜	(タンク-洗浄不備, 異品種混入)
doc21	重合釜	(パッキン-欠落, 異物混入)
doc22	アジテータ	(ベアリング-異常, アジテータ-異音)
doc23	モノマー回収	(弁-不良, ラテックス-流量低下), (ラテックス-流量低下, 凝固-停止), (ラテックス-詰まり, ラテックス-流量低下)
doc24	モノマー回収	(配管-流体異常, 配管-部分腐食), (配管-部分腐食, 配管-微小漏れ), (配管-微小漏れ, 配管-臭気)
doc25	原材料タンク	(タンク-長時間運転, タンク-発熱), (タンク-発熱, 原材料-性質変化), (原材料-性質変化, 配管-詰まり), (タンク-発熱, タンク-圧力上昇), (タンク-圧力上昇, タンク-爆発)

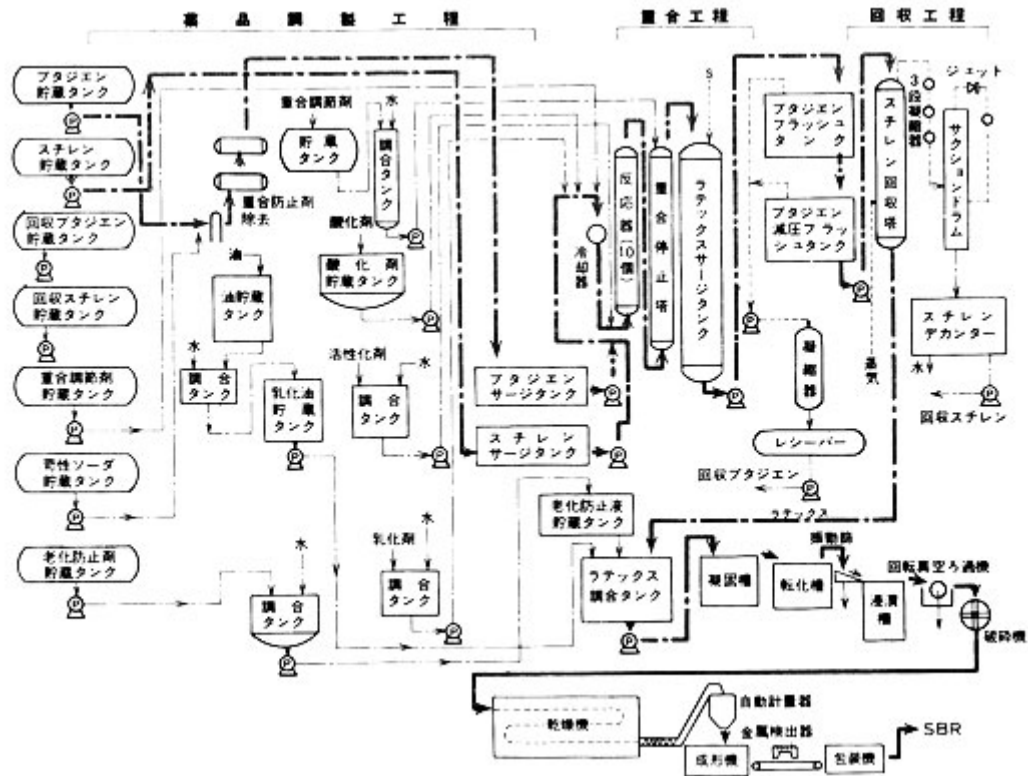


図 6 スチレンブタジエンゴム系統図 (化学プロセス集成[9]より転載)

表 6 実験 2 の原因事象検索結果

順位	提案方式による原因事象検索結果				専門家による 原因予測 事象
	拡張関数適用なし		拡張関数適用あり		
	事象	相関値	事象	相関値	
1	成形機ゴム噛み込み	0.652411	成形機プレス不良	0.782584	成形機プレス不良
2	成形機詰まり	0.652411	成形機ゴム噛み込み	0.759014	成形機ゴム噛み込み
3	オイルユニット停止	0.622919	成形機詰まり	0.717080	成形機詰まり
4	成形機停止	0.617907	オイルユニット停止	0.616595	オイルユニット停止
5	電気系異常	0.451464	成形機停止	0.616593	ゴムブロック落下
6	機械系異常	0.451464	ゴムブロック落下	0.592203	電気系異常
7	フィルムモーター発熱	0.428464	電気系異常	0.428198	機械系異常
8	ヒーター圧着端子断線	0.428464	機械系異常	0.428198	—
9	成形機プレス不良	0.395603	ヒーター圧着端子断線	0.428185	—
10	ゴムブロック落下	0.395603	フィルムモーター発熱	0.428185	—

7. 謝辞

本稿の執筆, および, 実験システムの実装にあたり, 多くの貴重なご助言を頂いた吉田尚史氏 (駒沢大学グローバル・メディア・スタディーズ学部講師), 鷹野孝典氏 (神奈川工科大学情報学部情報工学科助手) および曾根由希子氏 (慶應義塾大学 SFC 研究所上席所員) に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 岩崎日出男, 内田英夫, “ものづくりにおける技術の伝承と人材育成,” 品質, vol.36, no.1, pp.7-15, Jan.1979.
- [2] Kiyoki, Y., Kitagawa, T. and Hayama, T., “A metadata system for semantic image search by a mathematical model of meaning”, ACM SIGMOD Record, Vol.23, No.4, pp.33-41, 1994.
- [3] Kiyoki, Y., Kitagawa, T. and Hitomi, Y., “A fundamental framework for realizing semantic interoperability in a multidatabase environment”, Journal of Integrated Computer-Aided Engineering, Vol.2, No.1, pp.3-20, John Wiley & Sons, Jan.1995.
- [4] 清木康, 金子昌史, 北川高嗣, “意味の数学モデルによる画像データベース探索方式とその学習機構,” 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J79-D-II, No.4, pp. 509--519, Apr. 1996.
- [5] 宮川祥子, 清木康 “特定分野ドキュメントを対象とした意味的連想検索のためのメタデータ空間生成方式”, 情報処理学会論文誌, データベース, Vol.40, No.SIG 5(TOD2), pp.15-28, May. 1999.
- [6] Sasaki, S., Kiyoki, Y. and Yakushiji T. “Semantic Space Creation and Associative Search Methods for Document Databases of International Relations”, Proceedings of the 7th IASTED International Conference on Internet and Multimedia Systems and Applications, pp.399-405. August, 2003.
- [7] 関子泰三, 清木康, 鷹野孝典, 波内みさ, 但田育直, “事象データ間の因果関連性計量機能をともなったベクトル空間検索方式,” 情報処理学会論文誌, データベース, Vol.45, No.SIG 7(TOD22), pp.124--136, June 2004.
- [8] 鷹野孝典, 関子泰三, 清木康, “事象間の因果関係を扱う動的な文脈解釈機能を有する意味的連想検索方式の実現,” 情報処理学会論文誌, データベース, Vol.46, No.TOD25, pp.40--55, March 2005.
- [9] 藤田重文, 化学プロセス集成, 社会法人化学工学協会 (編), pp.847-852, (社) 株式会社東京化学同人, 東京, 1970.
- [10] 曾根由希子, 吉田尚史, 清木康, “精神医学分野データベースを対象とした抽象度依存計量空間と因果関係計量空間の実現方式,” 情報処理学会研究報告, 2005-DBS-137 (II), pp. 607-614, (電子情報通信学会技術研究報告 Vol.105, No.172), July 2005.
- [11] 関子泰三, 鷹野孝典, 清木康, “事象データ群の時間因果関係を扱う意味的連想検索方式,” 情報処理学会研究報告, 2003-DBS-130, pp.71-77. May, 2003
- [12] 鷹野孝典, 清木康, “異分野データベース群を対象とした意味的検索空間統合プロセスの実現,” DBSJ Letters, Vol.1, No.1, pp.55-58, 2002.
- [13] 関子泰三, 吉田尚史, 清木康, “ドキュメントデータ群を対象とした文脈依存的クラスタリングの再帰的適用による意味的知識発見方式,” 情報処理学会論文誌, データベース, Vol.43, No.SIG2(TOD13), pp.216-230, 2002.
- [14] Fung., R and Del Favero, B.: “Applying Bayesian networks to Information Retrieval,” Communications of the ACM, Vol.38, No.3, pp.42-48, 1995.
- [15] Pearl, J. : “Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems,” Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 1988.