

# プロセス産業に向けた「履歴テーブル」を用いた分析手法の提案

松尾 総一郎<sup>†</sup> 沼尾 雅之<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 電気通信大学大学院情報工学専攻 〒182-0026 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1 電気通信大学 情報工学科

<sup>††</sup> 電気通信大学情報工学科 〒182-0026 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1 電気通信大学 情報工学科

E-mail: <sup>†</sup>msou@nm.cs.uec.ac.jp, <sup>††</sup>numao@cs.uec.ac.jp

あらまし 本研究では、プロセス産業における製造方法・機器・作業員に関する情報や検査データから、「履歴テーブル」なる製造製品に関する時間的履歴データを保持する DB テーブルを作成することにより、製造工程における視認性を高めると同時に、これを擬似的な OLAP データキューブとして扱うことによって、歩留まりに大きく影響を及ぼす不良品・良品の製造条件の抽出を行い、それを製造工程にフィードバックすることにより歩留まりを高める事を目的とする。

キーワード OLAP, 範囲検索, 履歴 DB, 履歴テーブル, プロセス産業

## The proposal of the tools of analysis using the "History Table" towards a Process industry

Soichiro MATSUO<sup>†</sup> and Masayuki NUMAO<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Department of Computer Science, The University of Electro-Communications

1-5-1 tyohugaoka, tyohu, Tokyo, 182-0026 Japan

<sup>††</sup> Department of Computer Science, The University of Electro-Communications

1-5-1 tyohugaoka, tyohu, Tokyo, 182-0026 Japan

E-mail: <sup>†</sup>msou@nm.cs.uec.ac.jp, <sup>††</sup>numao@cs.uec.ac.jp

### 1. はじめに

近年、半導体やデバイスなど各種製品に求められる機能と性能が高度化し、それに伴い製造プロセスが複雑化し、また消費者の「安全」に対する意識の変化により品質管理の重要性が増してきている。また、モニタリング技術の発達、計算機の記憶装置（データベース）の容量は飛躍的に増大、ネットワークなどの情報インフラの発達により、製品の良し悪しといったデータや、製造工程における様々な情報（製造条件など）・発生した現象（物質の変化・反応など）に対してセンサーを用いて直接的もしくは間接的にデータ（情報）を得て蓄積することが可能になった。こうした背景から、製造現場では、製造に関するデータを分析することによって品質向上や製造効率アップに活用したいという要望が強くなってきている。

しかし、実際に収集される製造データの（項目）数や種類は非常に膨大である。これは、製造工程におけるトレースを可能し原因追及を行うために、各工程において細かくデータを収集・保持していることにも依る。また、こうした膨大な様々なデータから分析を行い、有益な情報を分かりやすくグラフなどを用いて

可視化されたデータであっても、収集されるデータの中には、分析に本当に必要なデータ以外のデータも往々にして含まれている。さらに、収集されたデータを分析し有益な情報を得るには、分析者自身が試行錯誤しながら直接データを操作し発見する必要がある、それ相応の経験とスキルが必要である。

一般に製造業としての産業は、「組立加工産業」と「プロセス産業」に大別される。本研究では、製造業の中でもプロセス産業について取り扱う。プロセス産業は、組立加工産業と比べて、「視認性が低い」、「歩留まりが低い」といった大きな課題がある。本研究では、プロセス産業における製造方法・機器・作業員に関する運転履歴データや製品検査データから、「履歴テーブル」なる製造製品に関する時間的履歴データを保持する DB テーブルを作成することにより、製造工程における視認性を高めると同時に、これを擬似的な OLAP データキューブとして扱うことによって、歩留まりに大きく影響を及ぼす不良品・良品の製造条件の抽出を行い、それを製造工程にフィードバックすることにより歩留まりを高める事を目的とした新たな分析手法を提案・提示を行う。

## 2. 製造業について

### 2.1 組立加工産業とプロセス産業

一般に製造業としての産業は、「組立加工産業」と「プロセス産業」に大別され、それぞれの様相が異なる。

「組立加工産業」は、自動車、電機・精密機器、機械、金属等に代表される、素材を加工し、部品・パーツを作り、それらを組み合わせて機能を持つ製品を製造する産業である。組立加工産業の製造工程の特徴として、多数の小さな製造工程が組み合わさり、またそれらが順に連なることによって成り立っているということが挙げられる(図1の上部)。もうひとつの特徴として、最終的な製品が製造されるまでに、製造工程ごとに、それぞれ製品検査(品質検査)が行われるといったことが挙げられる。このように製造段階において毎回製品検査を行うことにより、そこで発生した不良品が次の製造工程に廻されることが無くなるため、負の連鎖の発生(不良品の大量発生)を抑えられるといった効果がある。

「プロセス産業」は、化学、ゴム・ガラス製品、鉄鋼、非金属等に代表される、天然原料に化学反応や分離操作を施すことで、素材製品(中間財)を製造する産業である。プロセス産業の製造工程の特徴として、原料投入から最終製品が出来上がるまで、物質(主に流体)が配管・タンクなどの装置内を流れ、その中で様々な製造工程(主に原料の化学反応・分離操作といった工程)を踏むといったことが挙げられる(図1の下部)。もうひとつのプロセス産業の製造工程の特徴として、最終製品が出来上がるまで一切製品検査が行われなかったことが挙げられる。プロセス産業の製造工程における装置内での製品の製造途中の状態は、固体ではなく流体であるため、検査を行うことが出来ず、最終製品の状態である固体時でのみ検査が行われるのである。

### 2.2 プロセス産業における問題・課題点

(1) プロセス産業の問題・課題点としては、先に記述した通り、製品の製造工程における大半の時間、物質が配管・タンクなどの装置内を流れているため、製造工程の変化(工程の移行)・製造途中における物質(原料)のリアルタイムでの変化・使用している装置・機器などの劣化具合といったことを人が製造工程中に直接目視することは出来ないといった問題が挙げられる。つまりは、プロセス産業における「製造工程の視認性が低い」ということである。しかし、近年のセンシング技術の発達により、装置内部の物質の状態や変化などに対してセンサーを用いて間

接的にデータを収集したり、カメラ・モニターを用いて装置内部の状況確認といったことが可能になったが組立加工産業と比較すると、まだプロセス産業における製造工程の視認性が低い状況である。

(2) また、プロセス産業では最終製品が出来上がるまで一切製品検査が行われず、さらには、プロセス産業における製造は大量生産が原則であるため、製造工程の途中において装置内部で何らかの不具合もしくは変化が発生したとしても、製品の途中状態を検査することが出来ないため、その不具合が直接製品にどのような影響を及ぼすのかを工程中に確認することが出来ず、最悪の場合、これが原因となり延々と不良品を製造し続けてしまうといった問題が挙げられる。

(3) さらに、一般的に製品の製造工程終了後において、(各)製造工程において収集した加工・作業履歴データやセンシングデータといった運転履歴データや製品検査データを分析し、次回以降の製造の際に、その分析結果を利用し品質向上・製造効率アップに繋げる試みが製造業全体でなされている。しかし、プロセス産業では先に示した製造工程における視認性の低さと、またプロセス産業における製品が「素材」であるため、製品自体の差別化がされないといった特徴により、運転履歴データや製品検査データといった全製造履歴データから、製造工程において発生した具体的な不具合・変化といったことに対する要因・原因追及(「いつ(時間)、どこで(工程 or 場所)、何が(直接的に影響を及ぼした事柄)」)が困難であり、製造工程において収集したあらゆるデータを次回以降の製造に完全には活かされていなかった課題が挙げられる。

こうした上記の(2)(3)のことより、プロセス産業における最大の問題・課題点としては、「歩留まり改善のための要因・原因分析が難しい」ということである。ここで、歩留まりとは以下のことを示す。

$$\text{歩留まり} = \frac{\text{実際に得られた製品数(不良品でない製品)}}{\text{生産された製品数}}$$

上記の式の意より、歩留まりが低いとは、製造された製品の不良率が高いことを示し、逆に、歩留まりが高いとは、製造された製品の不良率が低いことを示す。

## 3. プロセス産業における課題の分析

### 3.1 要因・原因分析と分析データの欠損

一般的に、製造業における要因・原因分析とは、運転履歴データ(要因・原因)と製品検査データ(特性)から、その特性に関与した製造工程における要因・原因を特定することを示す。要因・原因分析によって得られた情報(知識)は、次回以降の製造の際に、主に品質改善・歩留まり改善に利用される。ここで、要因・原因分析を行う際に重要になってくる事項として、以下の2点がある。1点目として、特性の具体的な内容(特性情報=データ)が詳しければ詳しいほど、分析のバリエーションは増え、結果として要因・原因を発見しやすくなるのである。これは、要因・原因情報についても同様のことが言える。しかし、プロセス産業は、製品をひとつひとつを区別し、それぞれに製品IDを振り当て製品自体(部品・パーツを含む)を管理している組立

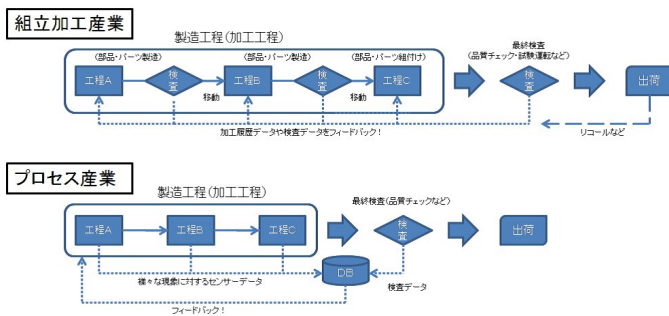


図1 各産業における製造工程による特徴の簡略図

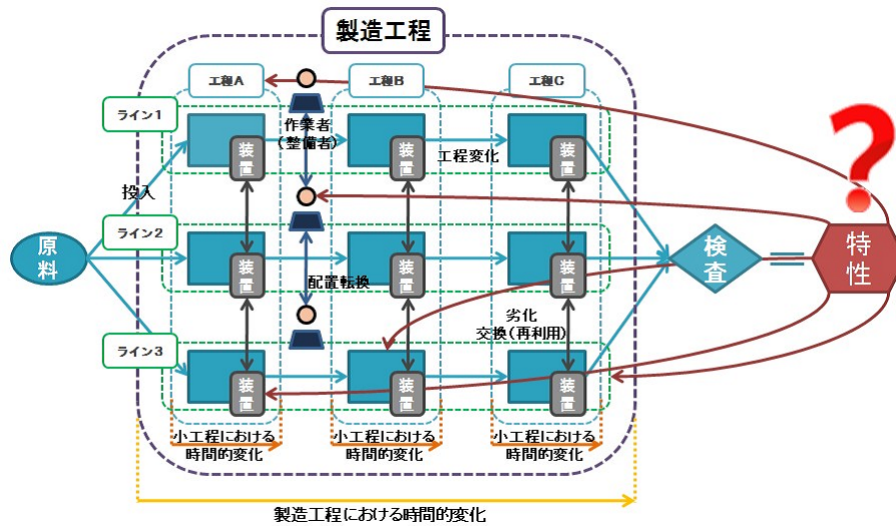


図2 プロセス産業における製造工程内部の不明確さ

加工産業とは違い、製品自体の差別化がされないため、結果として特性である製品検査データの内容が組立加工産業と比較すると乏しくなってしまう。つまり、分析対象データの粒度が粗いといった問題が挙げられる。また、特性だけでなく、要因・原因についても同様のことが言え、いつも有用なデータばかりが収集・蓄積されるとは限らないといった問題も挙げられる。

### 3.2 製造工程に対するトレーサビリティ

前項で示した要因・原因分析を行い、得られた分析結果を製造工程にフィードバックするためには、一般的に特性情報から製造工程における「いつ、どこで、何が」といったことを理解・知る必要がある。しかし、製造工程は複数の様々な工程から成り立ち、その各工程ごとに複数の要因・原因の候補が存在するため、この中から的確に選択・発見することが重要となる。つまり、これが2点目である、要因・原因情報と特性情報の結びつき(紐づけ)に関してである。そこで、製造の流れを後工程から前工程へ遡って(トレース)原因を探るシステムであるトレーサビリティシステムがある。

しかし、プロセス産業は特性情報から、製造工程内部における状況についてトレースを行うといったことは大変困難である。その理由としては、前章で記述した、プロセス産業における製造工程の視認性の低さと製品の特徴が大きく関与する。プロセス産業は全製造工程終了後に製品検査を行うため、特性情報から全製造工程における「どの工程段階で(どこで)」ということが明確に特定することが出来ない、もしくは困難であるといった問題が挙げられる(図2)。また、プロセス産業は製品を個々に区別せず(ロット単位もしくはバッチ単位で管理)、また製造途中の製品の状態が流体であるため、例えば問題のあった製品が、製造工程の「いつ」「どこで」製造(加工)されたかということが不明確であるといった問題が挙げられる(図2)。さらには、要因・原因情報と特性情報では時間的ズレが存在するため、分析を突き詰めて行う場合、こうした問題についても考慮しなければならない。

以上、2つのことより、プロセス産業において収集・蓄積され

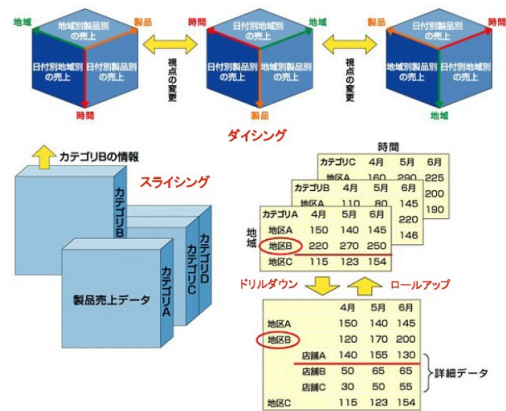


図3 OLAPによる分析操作 [12]

た要因・原因情報や特性情報などを有用に活用出来ていないといった状況(問題・課題)がある。

### 3.3 データ分析におけるスキルレス化(自動化)

データウェアハウス(DWH)とは、企業内外で日々蓄積された膨大なデータを整理・統合し、企業の戦略的な意思決定の迅速化を支援する情報検索システムである。そのDWHの中からデータ分析を行い、仮説の検証や要因・原因追究を行うためのツールとしてOLAP(On Line Analytical Processing: 多次元分析)がある。DWHの中からOLAPを用いて有用なデータ(情報)を得るには、データウェアハウスから必要となるデータを切り出し(データマート)、適切な形式にデータ変換し、分析軸(ディメンション)を様々入れ替えて、様々な角度から分析を行い発見する(図3)。しかし、これは業種や業態また目的によって異なり、最適な組み合わせから有用なデータを得るためには、分析者自身が試行錯誤しながら直接データを操作し発見しなくてはならないといった問題が挙げられる。

また、OLAPツール自体は開発された当時と比べると幾分購入しやすい価格にはなったが、中小企業にとってはまだまだ手の届きにくい代物であるといった問題が挙げられる。

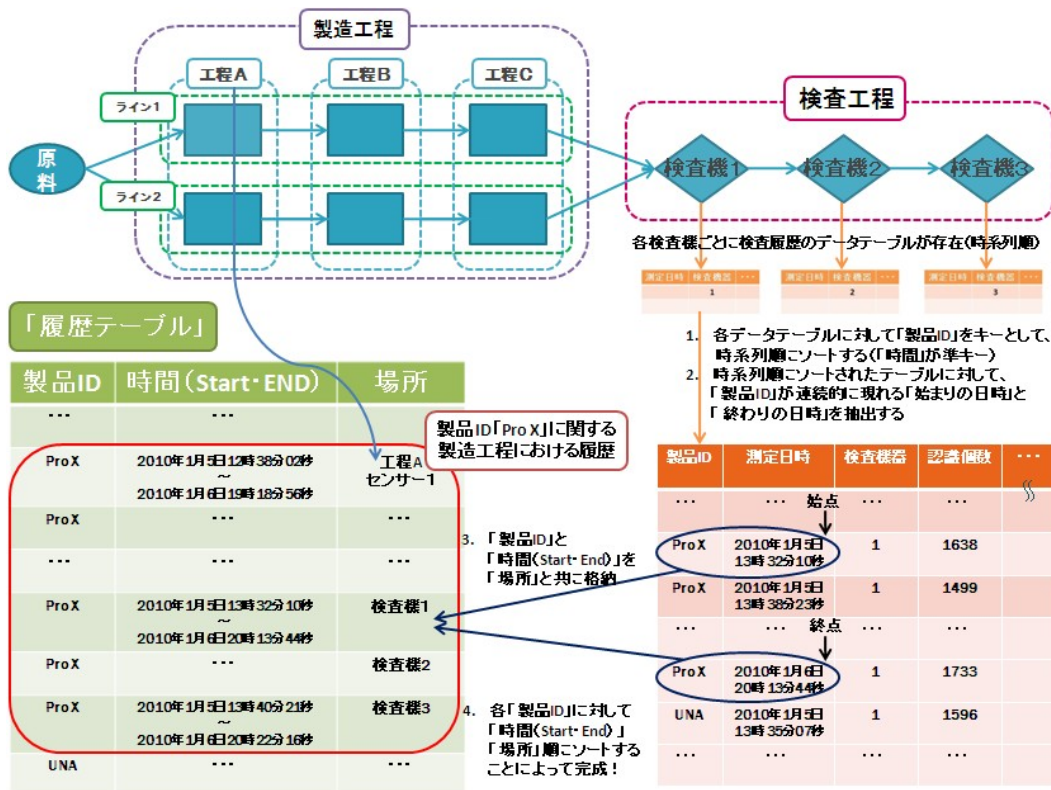


図4 既存のデータテーブルから「履歴テーブル」の変換・作成方法

#### 4. 関連研究

プロセス産業に関する関連研究として、製造工程で取得されたデータを用いて分析を行う際、どういった点について気を付けて分析を行う必要があるかということに関する研究 [3] や、製造工程における作業員のオペレーションに関するナレッジマネジメントに関する研究 [1], [2], [4] が行われている。

プロセス産業の世界において特に有名な、「ダイセル方式」[1], [2] について説明する。「ダイセル方式」とは、酢酸セルロースなどを製造するダイセル化学工業が提案したナレッジマネジメントシステムである。プロセス産業は、視認性が低いため、モニタリングによってオペレータが製造機械の運転・生産管理を行っている。オペレータは膨大な情報を監視し、管理すべきポイントごとに各工程で何が起きているのかを瞬時に判断することが求められるため、非常に高度なスキルが必要となり、この卓越した技術を持つ熟練オペレータに対して、新オペレータにどうこれを引き継いでいくかという問題がある。そこで、ダイセル化学工業では、オペレータがどういった状況でどう判断を下しているかということを熟練オペレータに聞き取り調査を行い解析し、オペレータの意思決定プロセスを顕在化し標準化した。さらに、この標準化した意思決定プロセスをシステム化し、オペレータの操作画面上で活用できるようにした。その結果、システム導入前と比較して、40%の人員で約3倍の生産性を実現し、現在では、多くの企業がこの「ダイセル方式」を取り入れているという。

#### 5. 提案分析手法

本研究で提案する分析手法は、製造製品に関する時間的履歴データを保持するデータテーブル「履歴テーブル」を用いた分析手法である。

##### 5.1 既存データテーブルの分析

製造工程や検査工程で取得される既存のデータテーブルは、「製造装置 (or 検査機器)」と「時間」を主キーとする「場所・時間」依存のテーブルである。そのため、各工程において確実にデータが取得されているのに対し、製造工程におけるデータ (運転履歴データ) と検査工程におけるデータ (製品検査データ) を直接結びつけて要因・原因分析を行うことが困難である。

##### 5.2 「履歴テーブル」の定義

本研究で提案する「履歴テーブル」は、「製品ID」と「時間」を主キーとする「製品・時間」依存のテーブルである。「時間」が主キーとして存在するので、時系列順にデータが並び、なおかつ「製品ID」も主キーとして存在するので、製品が「いつ(時間)」「どこの工程 (or 場所)」を通過したかということが明確 (鮮明) に分かるため、工程における製品のトレースを容易に行うことが出来る。「履歴テーブル」の各タプルは、それぞれの製品における各工程に関する「範囲検索 (Range Query)」であるため、「履歴テーブル」は製造工程におけるインデックステーブルとして存在する。この「履歴テーブル」を用いて他テーブルを参照し分析を行うことが可能であり、さらにこれを擬似的な OLAP データキューブとして見ることが出来る。例えば、製品の歩留まりをメジャーメントとし、カラム (ディメンジョン) を様々入れ替え、ドリルダウン・ロールアップ・スライシングと

いった、OLAP と遜色のない分析を行うことが出来、「履歴テーブル」から歩留まりに関する不良品・良品の製造条件の抽出を行う。

### 5.3 「履歴テーブル」への変換・作成方法

既存のデータテーブルから「履歴テーブル」の変換・作成方法は以下の通りである（図4）。

(1) 製造工程と検査工程における各データテーブルに対して「製品ID」をキーとして、時系列順にソートする

(2) 時系列順にソートされた各テーブルに対して、特定の「製品ID」が連続的に現れる「始まりの日時(Start)」と「終わりの日時(End)」をそれぞれ抽出する

(3) (2)で抽出した各テーブルにおける「製品ID」と「時間(Start, End)」に「場所(そのデータ取得先)」の情報を含めて「履歴テーブル」に格納する

(4) 格納された各「製品ID」に対して「時間(Start, End)」「場所」の順にソートすることにより、各「製品ID」に関する製造工程における各工程とその時間履歴を保持する「履歴テーブル」が作成される

## 6. 評価実験

### 6.1 目的

提案した分析手法に対して、実際のプロセス産業の現場において観測・収集されたデータを適用し、「履歴テーブル」を作成することによって、製造工程におけるトレースを行うことが出来るか検証する。また、「履歴テーブル」を擬似的なOLAPデータキューブとして扱うことにより、歩留まりに関する製造条件の抽出を行うことが出来るか、さらにその抽出結果に関して、企業様の分析部門の方々に対して聞き取り調査を行いその有用性を検証する。同時に、提案分析手法を用いて、特定業種に対する分析法の定式化についても行う。

### 6.2 使用したデータについて

ガラス製品の製造を行っている東洋ガラス株式会社様から頂いたガラスびん(製品)の仕上げ型(金型)に関する検査データに対して、提案した分析手法を用いて実験を行った。つまり、製品に関する検査データから、それを製造(成形)した金型に関する成績づけを行う。

検査データは、製造時期の異なる、それぞれ約2~3週間に渡って製造された同一製品に関する検査データである。具体的な内容としては、製造に使用された装置(金型)ごとに区別され、10もしくは60分間に検査した製品数・排除した製品数(不良品)のデータを保持する「認識本数・排除本数」と検査において発見された各欠点種の個数を保持する「欠点情報」である。

### 6.3 定式化した分析法の流れ

ガラスびんの検査データに対する定式化を行った分析法の流れは以下のとおりである(図5)。

(1) 生データである検査データから、データの整理・削除を行い、分析に即した形である「認識・排除テーブル」「欠点情報テーブル」を作成する

(2) (1)で作成したテーブルから金型に関する「履歴テーブル」を作成する(図6)

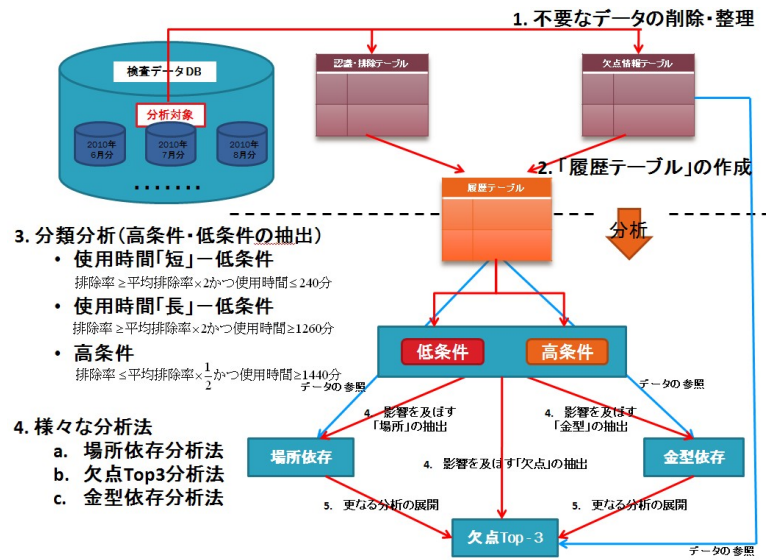


図5 ガラスびん検査データに関する分析方法の定式化の略図

収集開始日時	収集終了日時	セクション	キャビティ	現型番	旧型番	使用時間	排除率
2010/7/3 9:00	2010/7/4 8:30	1 A		40	0	1410	0.018378
2010/7/4 8:30	2010/7/7 15:30	1 A		132	40	4740	0.019475

図6 金型に関する「履歴テーブル」の抜粋例

(3) (2)で作成した金型に関する「履歴テーブル」から、特定の製造条件下において使用した金型の「使用時間」とその金型が製造した製品の「排除率(≒不良率)」の2種類の尺度を用いて、その条件下における金型に関する高歩留まり条件・低歩留まり条件(以降、それぞれを高条件・低条件と呼ぶこととする)を定義し、分類・抽出する

#### • 低条件

(I) 使用時間「短」-低条件

- 単位時間当たりの排除率が「大きい」もの
- 何かしらの問題に気が付き、すぐに金型交換されたもの

(II) 使用時間「長」-低条件

- 単位時間当たりの排除率が「小さい」もの
- 問題に対して、処理が施されず、金型交換が長時間に渡って行われなかったため、コツコツ不良品が積りに積ったもの

#### • 高条件

- 単位時間当たりの排除率が「極端に小さい」もの

- 排除率が非常に低く、かつ金型の使用時間が長いもの

(4) (3)で抽出された高・低条件に対して、様々な分析法を行う

(a) 場所依存分析法

• 特定の場所(Sec, Cav)に関する金型の装着履歴の抽出・分析を行う(場所とは金型を装着する装置の場所)

(b) 欠点Top3分析法

• 影響を及ぼす欠点の上位3つの抽出・分析を行う

(c) 金型依存分析法

• 特定の金型に関する移動履歴の抽出・分析を行う

日付		キャピティ			日付		キャピティ		
		A	B	C			A	B	C
2009年8月	使用時間「短」-低条件	6	4	7	2010年6月	使用時間「短」-低条件	7	9	9
	使用時間「長」-低条件	1	0	0		使用時間「長」-低条件	2	1	5
	高条件	0	1	0		高条件	6	7	4
2009年9月	使用時間「短」-低条件	1	1	2	2010年7月	使用時間「短」-低条件	1	1	2
	使用時間「長」-低条件	2	2	2		使用時間「長」-低条件	4	1	3
	高条件	0	5	2		高条件	0	10	2
2009年10月	使用時間「短」-低条件	6	1	0	2010年8月	使用時間「短」-低条件	1	1	1
	使用時間「長」-低条件	2	5	3		使用時間「長」-低条件	1	1	0
	高条件	1	5	6		高条件	0	4	4

図7 場所依存分析法の結果：各製造期間に関する高・低条件の各キャピティにおける出現回数

#### 6.4 抽出結果

以上の評価実験の結果、以下のような金型に関する高歩留まり条件・低歩留まり条件を抽出することが出来た。

(1) 主に高条件は、キャピティ「B」が多い(図7)

(2) 歩留まりに大きく関与する、問題となる欠点「441」が存在する(図8)

• 低条件における発生率の高い欠点が「441」に対して、高条件における発生率の高い欠点は「872」である

(3) 金型にはそれぞれ固有の特徴が存在する(金型と場所における相性)(図10)

• 低条件である金型が、特定の場所に装着されると高条件になる場合がある

(4) 欠点の相関関係が見られた(図9)

• 欠点「441」と「446」、「871」と「872」

### 7. 評価・考察

#### 7.1 性能の評価

事前に「履歴テーブル」について想定していたことに対して、行うことが出来たかということに順に評価する。

(1) 金型に関する「履歴テーブル」は図6を見てわかるように、カラム[現型番]によって、製品を製造した金型が区別され、さらにカラム[収集開始・終了日時]によって、その金型が製造した製品が具体的に検査機に存在した日時が分かる内容になっている。この「履歴テーブル」(特性)を用いることによって、ガラスびんの製造工程内部で発生した状況(要因・原因)についてある時間幅(Range)を持って参照・抽出することが可能である。例えば、製造工程の工程Aから検査機で検査されるまで約50分掛かるとする。このとき図6の金型「40」を例に用いて説明すると、2010年7月3日08:10~7月4日07:40の間に工程Aで観測されたセンサーデータは、金型「40」が生成した製品に関する工程におけるデータである。ゆえに、「履歴テーブル」を作成し用いることによって、工程のトレースが可能であるといえる。

(2) 6.3で行った分析法による結果である図7~10が示すように特定のカラムをメジャーメントとし、その他のカラムをディメンジョンとして扱うことによってOLAPと遜色ない分析を行うことが可能であることを示した。6.3の(4)様々な分析法

の(a,c)はOLAPのダイシング、(b)はドリルダウンに相当する。

(3) 6.4の結果が示すように、金型に関する「履歴テーブル」を用いて定式化した分析法に従って分析を行うことにより、金型に関する高歩留まり条件・低歩留まり条件の抽出を行うことが出来た。

上記の結果より、本手法によりプロセス産業における「視認性の低さ」といった問題を解決することが出来、同時に「履歴テーブル」と定式化した分析法によって、高価なOLAPを使用せずとも、歩留まりに関与する製造条件抽出を行うことが出来た。また、他業種についても本手法を用いることによって、製造工程内部の状況についてトレース可能になるため、その後の分析を手助けする有効な手段として成り得ると考える。

#### 7.2 有用性の検証

6.4の結果が有用であるかどうか、東洋ガラス株式会社様の分析部門の方々に聞き取り調査を行い、順に評価する。

(1) 図11を見て分かるようにガラス玉がセクション「A,B,C」に同時に投入された際、キャピティ「B」が真ん中であり、「C」側を支点としてプレス動作をするという金型の機械的な位置関係により、「A,C」側にプレス圧の変化が出やすいことが可能性として考えられるという。さらに今後、欠点種ごとに排除率への寄与を継続的に解析していくことで、キャピティ「B」が良くなりやすい原因が明確になる可能性があると考えられる。

(2) 欠点「441」は、特に低条件において最も発生しやすい欠点であるという。このため、さらに製造工程においてこの欠点が発生する要因・原因追及を行うことによって、歩留まりの改善に繋がると考えられる。また、検査モニタリングシステムにおけるこの欠点に関する閾値を変更(厳しく)することによっても改善に繋がると考えられる。

(3) 特定の金型に対して、特定の場所に投入すると成績が良い場合があるという。金型を交換し整備する際、寸法をチェックし、人手で整備される。金型は製造期間中幾度も使い回されるので、金型を使用・整備する際に、その金型の過去における成績状況(整備状況も含む)を考慮して使用・整備を行うことによって、次回以降の歩留まりを改善できると考える。

(4) 欠点「871」と「872」に関して、検査機器ではカメラを用いて認識・検出しているのだが、見ている部分が非常に近いので、同時に検出される可能性が高いという。また、欠点「441」

収集開始日時	収集終了日時	セクション	キャピティ	現型番	旧型番	使用時間	排除率	欠点コード	発生率	順位
2010/7/7 8:10	2010/7/8 10:50	10A		2	73	1600	0.051984	441	0.680107	1
2010/7/7 8:10	2010/7/8 10:50	10A		2	73	1600	0.051984	847	0.060291	2
2010/7/7 8:10	2010/7/8 10:50	10A		2	73	1600	0.051984	446	0.046466	3
2010/7/3 10:30	2010/7/5 22:40	6C		42	0	3610	0.0469325	441	0.207994	1
2010/7/3 10:30	2010/7/5 22:40	6C		42	0	3610	0.0469325	771	0.200299	2
2010/7/3 10:30	2010/7/5 22:40	6C		42	0	3610	0.0469325	865	0.170585	3
2010/7/3 10:30	2010/7/4 8:30	1C		37	0	1320	0.042119	441	0.442716	1
2010/7/3 10:30	2010/7/4 8:30	1C		37	0	1320	0.042119	446	0.146481	2
2010/7/3 10:30	2010/7/4 8:30	1C		37	0	1320	0.042119	182	0.090016	3
2010/7/3 10:30	2010/7/5 8:30	4B		65	0	2760	0.0419135	441	0.266489	1
2010/7/3 10:30	2010/7/5 8:30	4B		65	0	2760	0.0419135	771	0.199866	2
2010/7/3 10:30	2010/7/5 8:30	4B		65	0	2760	0.0419135	872	0.187208	3
2010/7/3 10:30	2010/7/7 8:10	10A		73	0	5620	0.0409765	441	0.60036	1
2010/7/3 10:30	2010/7/7 8:10	10A		73	0	5620	0.0409765	865	0.066056	2
2010/7/3 10:30	2010/7/7 8:10	10A		73	0	5620	0.0409765	862	0.041134	3
2010/7/3 10:30	2010/7/5 22:10	7A		74	14	3580	0.0409045	441	0.414978	1
2010/7/3 10:30	2010/7/5 22:10	7A		74	14	3580	0.0409045	862	0.166709	2
2010/7/3 10:30	2010/7/5 22:10	7A		74	14	3580	0.0409045	872	0.141574	3
2010/7/3 13:30	2010/7/6 8:10	7C		164	257	4000	0.0407295	441	0.417647	1
2010/7/3 13:30	2010/7/6 8:10	7C		164	257	4000	0.0407295	872	0.215756	2
2010/7/3 13:30	2010/7/6 8:10	7C		164	257	4000	0.0407295	865	0.090546	3
2010/7/3 10:30	2010/7/5 15:20	5A		146	0	3170	0.0402705	441	0.401906	1
2010/7/3 10:30	2010/7/5 15:20	5A		146	0	3170	0.0402705	872	0.179716	2
2010/7/3 10:30	2010/7/5 15:20	5A		146	0	3170	0.0402705	446	0.126841	3
2010/7/8 10:50	2010/7/9 20:40	10A		21	2	2030	0.0386565	441	0.421031	1
2010/7/8 10:50	2010/7/9 20:40	10A		21	2	2030	0.0386565	771	0.092164	2
2010/7/8 10:50	2010/7/9 20:40	10A		21	2	2030	0.0386565	867	0.060495	3

図 8 欠点 Top3 分析法の結果：2010 年 7 月における使用時間「長」- 低条件における欠点 Top3

日付		同一金型を使用					
		2009年8月		2009年9月		2009年10月	
高条件・低条件	欠点コード	出現回数	欠点コード	出現回数	欠点コード	出現回数	
使用時間「短」-低条件	446	12	176	3	441	4	
	441	5	877	2	446, 482, 771	3	
	171, 182, 865	4	7種類	1	743, 878	2	
使用時間「長」-低条件	871	1	441	5	441	8	
	872	1	182, 872, 874	2	771, 872	6	
	873	1	7種類	1	873	3	
高条件	448	1	446	5	865	9	
	812	1	865, 871	4	871, 873	4	
	865	1	182, 441	2	446, 872	3	

日付		同一金型を使用					
		2010年6月		2010年7月		2010年8月	
不良品・良品	欠点コード	出現回数	欠点コード	出現回数	欠点コード	出現回数	
使用時間「短」-低条件	441	14	441	4	446	2	
	300	10	446	2	7種類	1	
	446, 872	9	871	2			
使用時間「長」-低条件	441	14	441	9	446, 861	2	
	300	10	872	4	865, 872	1	
	446, 872	9	446, 771, 865	3			
高条件	865	11	441	8	865	7	
	441, 446	9	872	7	872	6	
	872	6	446, 865	5	861	5	

図 9 欠点 Top3 分析法の結果：各製造期間に関する高・低条件の欠点 Top3 分析法によって抽出された各欠点の出現回数上位 3 つ

と「446」はガラスびんの同じ部位（場所）に発生する欠点であるという。これに対して、「仮想バスケット」を用いた分析手法[13]を適用することによって、より具体的な欠点の相関関係を抽出することが出来ると考える。この抽出された相関関係を工程にフィードバックすることによって、歩留まりの改善に繋がると考える。

以上、聞き取り調査の結果、抽出した金型に関する高歩留まり条件・低歩留まり条件は、どれも歩留まりに関与する製造条件であった。(1,4)のように、さらに詳しく分析を行い、その原因を突き詰める必要があるものもあれば、(2,3)のように、すぐに活用することが出来、歩留まりの改善に繋がるものもあった。よって、今回抽出した金型に関する高歩留まり条件・低歩留まり条件は歩留まりの改善に有用な情報であると言える。

## 8. おわりに

本論文では、「履歴テーブル」なる製造製品に関する時間的履歴データを保持するデータテーブルを作成することにより、製造工程における視認性を高めると同時に、これを擬似的な OLAP データキューブとして扱うことによって、歩留まりに大きく影響を及ぼす不良品・良品の製造条件の抽出を行う分析手法を提案した。また、同時にこの「履歴テーブル」を用いた特定業種に対する分析方法の定式化についても行った。

実際のプロセス産業における製品の検査データに対し、提案した分析手法を用いて実験を行った結果、金型に関する「履歴テーブル」をインデックステーブルとして扱うことにより、製造工程における製品（金型）のトレースを行うことが出来、ま

使用時間「長」-低条件

収集開始日時	収集終了日時	セクション	キャピティ	現型番	旧型番	使用時間	排除率
2010/7/7 8:10	2010/7/8 10:50	10A		2	73	1600	0.051984
2010/7/3 10:30	2010/7/5 22:40	6C		42	0	3610	0.046932
.....							

金型番号「2」に関する【金型依存】

収集開始日時	収集終了日時	セクション	キャピティ	現型番	旧型番	使用時間	累積使用時間	排除率
2010/7/3 10:30	2010/7/3 14:10	5C		2	0	220	220	0.0984845
2010/7/5 1:10	2010/7/6 4:50	10B		2	260	1660	1880	0.0132785
2010/7/7 8:10	2010/7/8 10:50	10A		2	73	1600	3480	0.051984
2010/7/9 16:10	2010/7/9 22:40	8A		2	160	390	3870	0.0445755
2010/7/11 8:30	2010/7/14 15:10	2A		2	1	4720	8590	0.014934
2010/7/15 8:20	2010/7/18 15:40	4A		2	130	4760	13350	0.0201745

2010年7月期の製造における平均排除率=0.018818

図 10 金型依存分析法の結果：2010年7月の製造において使用された金型「2」に関する移動履歴

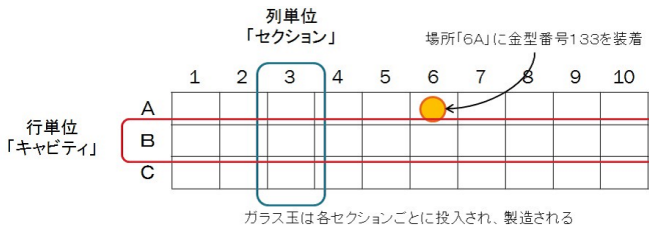


図 11 ガラスびんの成形装置の略図

た同時に本手法により高価な OLAP ツール使用せずとも、不良品・良品の製造条件抽出を行うことが出来、その結果についても検査データを提供して下さった企業様の分析部門の方々から認められる結果であった。さらに、分析の定式化についてもその有用性が確認された。

今後の課題としては、要因・原因情報を絡めたより有用・鮮明な製造工程条件の抽出、定式化した分析方法の拡張・システム化や、リアルタイムでの製品・装置の異常・予測検知といったことなどが挙げられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、製造工程における製品検査データを提供して下さった東洋ガラス株式会社様にお礼を申し上げます。

文 献

- [1] 「RIETI - プロセス産業における生産革新の取り組み」, <http://www.rieti.go.jp/events/bbl/07060801.html>
- [2] 小河義美 and 小園英俊, “ プロセス産業における生産革新の取り組み ”, 生産と技術, 第 62 巻, 第 4 号, pp. 37-40, 2010
- [3] 山下善之, “ プロセス産業におけるデータマイニング活用 ”, 日本化学会情報化学部会誌, Vol.25, pp. 57, 2007.
- [4] Norio MATSUKI, “ Acquisition of skills on the shop-floor : - Visualization and substitution of skills in manufacturing - ”, Synthesiology English edition, 3, pp. 77-85, 2010.
- [5] 藤田充苗, 宮本一代, 岡田明, 春日井孝昌 and 衣川純一, “ 鉄鋼材料熱履歴データベースとその利用例 ”, 情報管理. Vol.43, No.9, pp. 819-831, 2000.

- [6] 大坂宏, “ プロセス産業の生産現場情報化の動向 ”, 化学装置, 9 月号, pp. 17-25, 2007.
- [7] 箭内信一, 吉澤隆司, 田口孝史 and 佐々木敏章, “ 製粉工場におけるトレーサビリティを目指した MES 構築事例 ”, 日立評論, Vol.86 No.3, pp. 25-28, 2004.
- [8] 近藤晴彦, “ データマイニングを活用した製造ラインのデジタル QC システム ”, 東芝レビュー, Vol.58 No.7, pp. 19-22, 2009.
- [9] 近藤晴彦, “ データを活用した品質向上のための仕組み構築 ”, 東芝レビュー, Vol.64 No.5, pp. 14-17, 2009.
- [10] 櫻井保志, “ 時系列データのためのストリームマイニング技術 ”, 情報処理 47(7), pp. 755-761, 2006-07-15.
- [11] 藤巻遼平, 中田貴之, 塚原英徳, 佐藤彰典 and 山西健司, “ 障害診断のための異常パターンマイニング ”, 全国大会講演論文集第 70 回平成 20 年 (3), p.p 45-46”, 2008-03-13.
- [12] 「はじめのビジネスインテリジェンス」, [http://otndnld.oracle.co.jp/beginner/bi/1\\_1/index.html](http://otndnld.oracle.co.jp/beginner/bi/1_1/index.html)
- [13] 沼尾雅之, 松澤裕史 and 松尾総一郎, “ 集約バスケットからの相関関係マイニング ”, 第 3 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (2011).
- [14] 「東洋ガラス株式会社」, <http://www.toyo-glass.co.jp/>