

## 事例研究

# 機能分解木記述による設備異常の原因究明とその解決事例

住友電工(株) 柏瀬雅一 篠木秀次,

Sumitomo Electric Industries, Ltd. Masakazu Kashiwase, Shuji Shinoki

住友電装(株) 布瀬雅義,

Sumitomo Wiring Systems, Ltd. Fuse Masayoshi

大阪大学産業科学研究所 溝口理一郎 來村徳信

I. S. I. R Osaka Univ Riichiro Mizoguchi Yoshinobu Kitamura

## 要 旨

生産設備等のプロセスを明示的に表現し、またその要素となる各種の製造や検査に関わる機能と方式知識をオントロジー工学の概念から体系化し、知識と技術の蓄積・再利用を支援するソフトウェア・ツール構築内容を、主に設備故障原因の究明に適用して慢性的問題の早期解決に寄与した事例、成果を報告する。

**キーワード：**設備異常、品質不良、プロセス開発、技術管理、知識・技術の体系化

## Summary

Aiming at capturing functional knowledge on designers easily applicable to other domains, we have developed an ontological framework for its systematic description. Ontology engineering are applied to production systems, and their various manufacturing and inspection processes, for explicit functional modeling of the systems, and systematic accumulation and re-use of 'way' knowledge of their elements. This paper reports on a successful deployment of the framework for resolving the cause of the manufacturing machine trouble.

Keywords: Machine trouble, Quality trouble, Manufacturing process development, Technology management, Knowledge systematization

## 1. はじめに

近年、日本の終戦直後に生まれた世代が定年を迎え、経済成長を支えてきた人々の知識・技術が企業から消失されることが懸念されている。これが「2007年問題」と言われている。この問題解決のために、技術の継承が企業の重要な課題として取り上げられ、熟練技術者をマイスター制度等で重用し、技術を継承する取り組みがなされるようになってきた。ところが、材料型の製品生産の場合は、機器組立型のそれとは異なり、図面や3D-CADに表現できないため、この技術の継承が容易ではなく、どのように知識・技術を記述し蓄積して、後代に残し再利用していくかという難題を解決しなければならない。特に機器組立製品の設備異常は物理的に現象が見えるため究明しやすいが、一方、材料型製品の場合は熱処理や化学的反応等の現象が見えづらく、プロセス条件の経験や設備保全技術の知識が問題解決

の要となるためその究明が難しい。

住友電気工業(株)と住友電装(株)はIMS国際共同研究プログラムに参画し、知識・技術の体系化による開発・量産化支援を目指した研究を進めてきた。その結果、知識・技術の記述の仕方として大阪大学・産業科学研究所 溝口研究室と共同でオントロジー工学<sup>[1]</sup>の概念に基づき、製造プロセスの機能と方式を機能分解木によって記述する知識・技術の体系化手法を開発した。

本報告では、この手法が新プロセスの開発や新製品の量産化に資するだけでなく、設備故障の原因究明や設備に起因した品質問題の解決ツールとしても有効であることを以下の順序で事例により紹介する。

- 1) 知識・技術の記述ツールの開発意義と目的,
- 2) 量産化支援ツールの構成,
- 3) 機能分解木の記述法,
- 4) 設備異常の原因究明とその適用事例。

## 2. 知識・技術の記述ツールの開発意義と目的

材料型の製品生産では、同一製品を異なるプロセスで製造できる場合が多いため、製品の外観は同じでも製造プロセスの革新により、品質やコストで差別化を図れる場合が多い。つまり材料型製品の製造プロセスは材料組成や材料加工など化学的、物理的なものであり、全く別の組成・加工原理に基づいて、大幅な特性・精度向上やコスト低減を実現する可能性を持っている。しかしこれらの製造プロセスを明示的に表現し、それらの技術知識を体系的に取り扱う手法、ツールは未だ実用レベルでは実践例が無く、これらの研究開発は意義深い。

このような背景から、新製品の量産化支援はもとより、製造プロセス、それを具現化する製造設備の開発、改良、さらには設備保全と故障原因究明等を早期に解決することを目的にこのツール開発を進めてきた。

## 3. 量産化支援ツールの構成

製造プロセスや設備の開発に広く用いられている従来の実用的手法は、品質機能展開<sup>[2]</sup>（QFD：Quality Function Deployment）、方式系統図、FMEA（Failure Mode & Effects Analysis）、及び仮説系統図<sup>[3]</sup>、等が挙げられ、比較的多く活用され効果のある手法であるが、これらが検討対象とする製造プロセスが明示的に表現されていないがために、種々の非効率を生んでいる。

第一に、プロセスや設備の開発から量産立ち上げ、及びその後の設備保全や設備故障の原因究明と対策には、多くの専門知識を有する技術者、現場管理者、及び作業者の連携が必要であるが、対象となるプロセス自体が表現できないことから、相互理解の欠落やコミュニケーション不足を生じやすく、衆知を集めにくいことから漏れが生じやすく正確さに乏しい。

第二に、従来の量産化支援ツールは「図表化」された検討内容を容易に蓄積して再利用できないことで、以前に同様な問題を解決した経験があっても、再利用可能な蓄積がないため、問題発生の度に図表を作成し

ていては組織としての技術蓄積は制約を受ける。

以上の問題を解決するためには、製造プロセスを汎用的表現によりガイドラインを定めて明示的に表現し、さらにその要素となる各種の製造や検査に関わる知識を体系的に蓄積して再利用するツールが必要となる。

図1<sup>[4]</sup>にその構成を示す。

図1に示すように量産化支援ツールの中心に位置するのが製造プロセスの表現と、その知識ベースとしての方式サーバである。製造プロセスとは「加工対象物の属性変化の系列」と定義され、「属性変化」を起こすには様々な「方式」がある。分野を問わず様々な「方式」の知識を体系的に蓄えておき、プロセス設計、設備設計の際に、最適な方式を検索して適用すれば、設計作業の質と効率の大幅な向上が図れると考えられる。

また、この方式サーバの中には設備保全、過去の設備トラブル履歴、及び種々の失敗事例の情報も記述し蓄積できるため、方式選択における人の判断をアシストすることによって設備故障等の原因究明が速やかに行えることが期待できる。

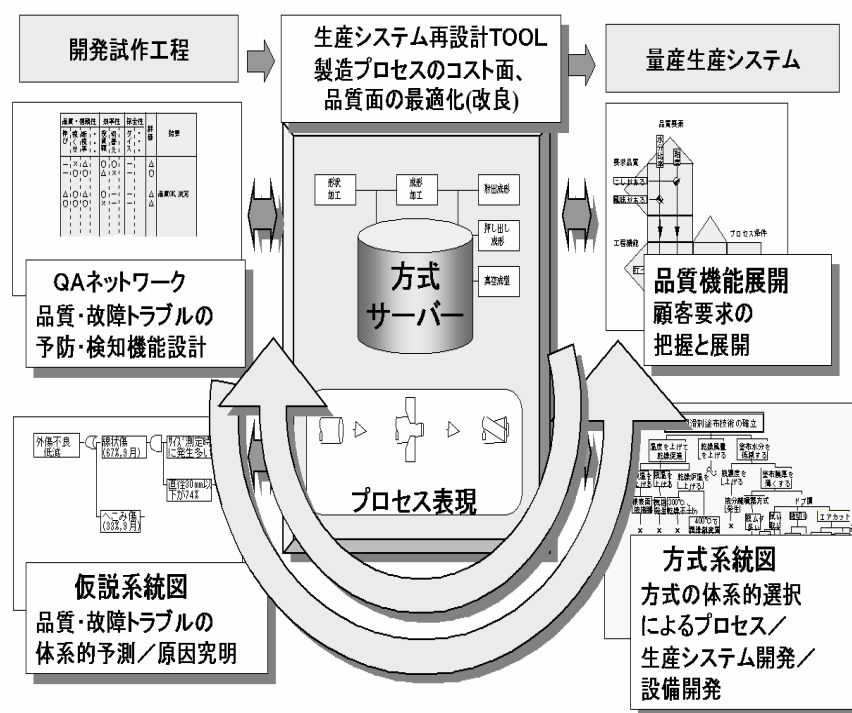


図1. 量産化支援ツールの構成

- ・目的機能：方式の目的である加工対象物の属性変化
- ・下位機能：目的機能達成のために用いられる機能
  - 通常、一つの方式は二つ以上の下位機能がANDでつながった形で構成
- ・方法：並列に記述された下位機能群
- ・副次効果：当該方式が目的とする加工対象物の属性変化以外に対象物や作用物の属性に与える影響
- ・不具合事象：副次効果をそのまま放置すると発生する事象
  - 対象物では「不良」、作用物では「故障」等の事象につながる
- ・原理：方式が利用している物理的、化学的原理

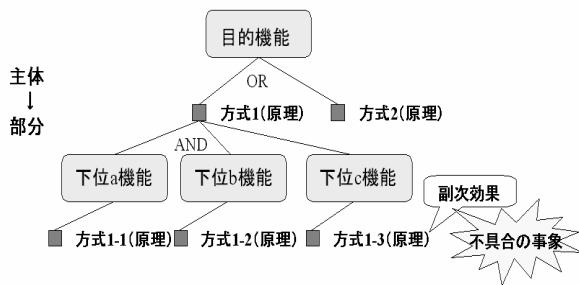


図2. 機能分解木による方式知識の記述方法

#### 4. 機能分解木の記述方法

方式そのものをコンピュータが処理可能な形で記述するために、特定の方式を図2に示す要素から機能分解木を記述することにした。

機能分解木は、「機能」とそれを実現する「方式」の集合体で表現し、階層的に積み重ねて図式化していくものである。但し、将来的に蓄積した方式知識を再利用する場合等のためにも、機能分解木の記述に際してのオントロジーとのインターフェイスが必要であり、記述のガイドライン<sup>[5]</sup>を設けている。

#### 5.1 基板の研磨設備異常による品質問題解決事例

新設設備の立上の際に生じた設備に起因する品質問題を解決した事例を紹介する。

##### 5.1.1 品質不良の状態

製品を研磨し洗浄した際に、品質規格をはるかに上回るパーティクルが表面に付着し、その原因究明のために試行錯誤を繰り返し、数ヶ月が経過する事態が生じていた。不良品が共通する問題は、その他に表面が乾きやすいことも挙げられていた。過去、同様の設備を複数台設置してきたが、このような現象ははじめてであり、その後に追加設置した設備ではこの現象が現れず、この設備固有の問題として迷宮入りになりかけていた。

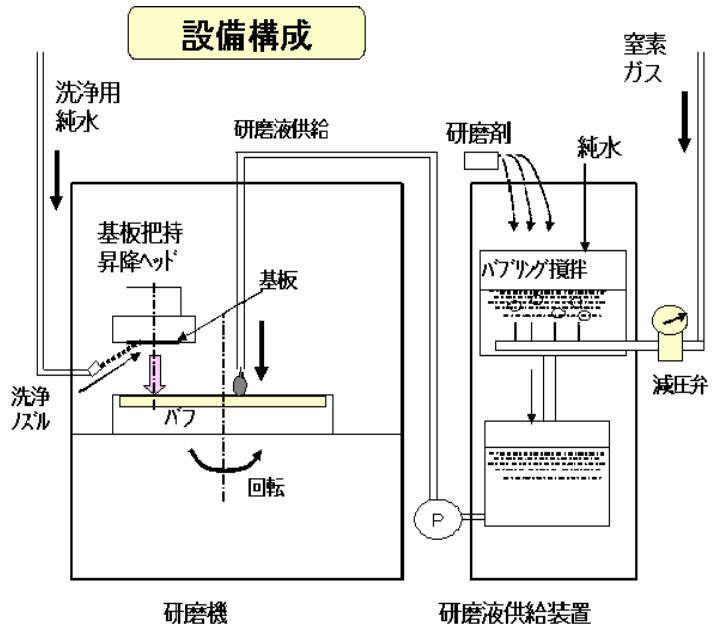


図3 研磨設備の構成

##### 5.1.2 研磨プロセスを機能分解木により記述

この問題解決に対する支援要請を受け、製造部門のオペレータ、製造技術者等から現場を駆けずり回ってヒヤリングを行い、過去の経験から仮説系統図を記述して問題解決を進めてきたが、経験したことのない現象だけに、未知の異常を推定する手掛かりがみつからなかった。そこで、機能分解木により設備の機能と方式を記述することにした。

設備の構成を図3に示す。研磨材と純水を攪拌槽に投入し、室素ガスを減圧弁から槽内へ供給してバフリング攪拌を行う。攪拌した研磨液は、配管を通りバフ研磨面へ注入され、基板表面を研磨する設備構成になっている。

この設備構成を「機能」と「方式」で階層的に記述すると図4のように表される。例えば、「基板を研磨する」という「機能」を達成するために、この設備の場合は「遊離砥粒方式」という「方式」を採用している。次に、この「遊離砥粒方式」は、「基板を掴む」、「砥液を付ける」、「基板を磨く」、及び「基板を洗う」という「機能」群によって成立していると記述できる。さらに「基板を掴む」という機能を達成するための「方式」を下段へと記述していくと、最終的には個々の構成部品にまで分解される。

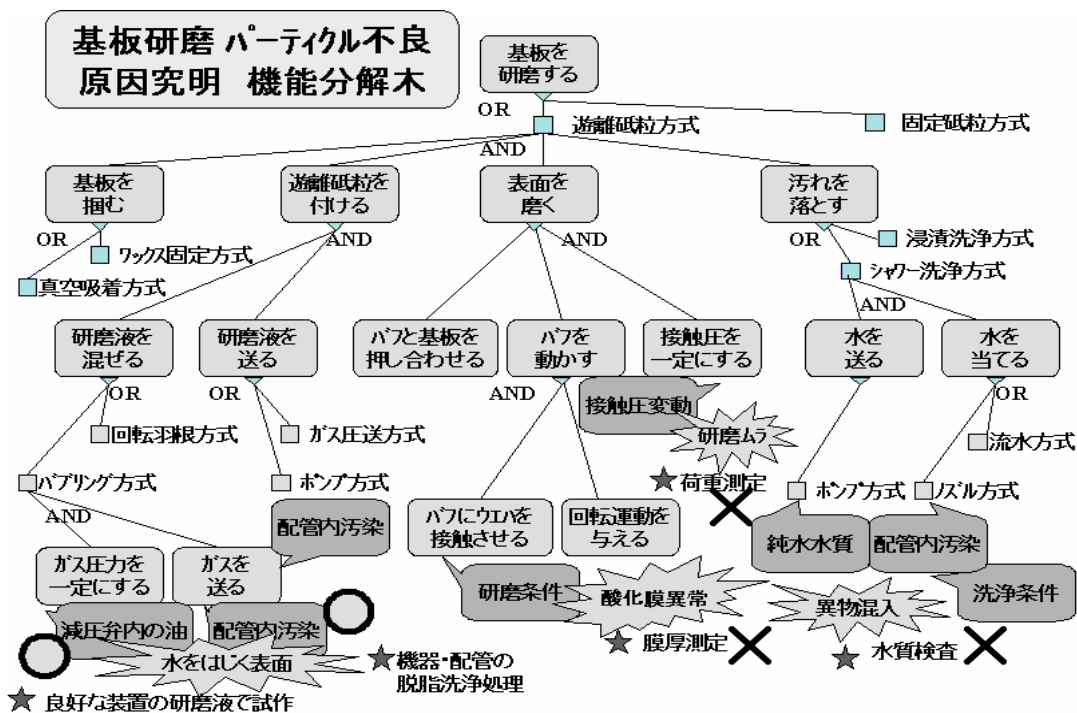


図4 研磨設備の機能分解木記述例

### 5.1.3 不具合の経験と仮説の記述、及び検証

ここで、「機能」が達成不能な不具合を経験した知識に基づき記述するだけではなく、未経験の不具合についても「もしもこの機能が達成不能場合どのような不具合が想定されるか」を仮説として挙げておく。この仮説を優先度に応じて検証した結果、図4に異常の無い部位に×印、異常部位に○印を示した様に経験したことのない「バブリング攪拌方式の減圧弁内におけるパッキンの油付着」の仮説が機器の分解によって検証することができた。通常、設備メーカーが購入する減圧弁は脱脂された機器を採用するが、今回は機器の異品混入があり、これが原因であることが判明した。

このように設備の「機能」と「方式」を全てについて記述することで、過去の知識を記述して衆知を集め、情報を共有化するだけではなく、新たな問題発見によって原因究明が図れることが実証できた。

### 5.1.4 研磨プロセスの機能分解木記述による成果

本件の原因が特定できずに混沌とした期間は4ヶ月に及んだが、機能分解木により整理し検証を開始して1週間余で原因究明でき、さらに2週間の部品交換や配管系の工事と品質確認の試運転を経て生産に至ることができた。

同時に過去の知識や経験を整理して体系化することもでき、生産技術のデータベースとしても蓄積できている。

## 5.2 焼成炉の絶縁不良問題解決事例

既設設備の昇温時に突然停止する設備トラブルの原因究明に機能分解木を記述し、仮説を検証しながら早期に解決した事例を紹介する。

### 5.2.1 設備異常の状況

新素材の新製品開発途上において既存の焼成炉を利用したサンプル生産を進めていたが、従来よりも高い温度まで昇温させる必要があった。しかし、ある温度域に到達すると過電流のため設備が緊急停止する事態となり、この原因が不明のまま数ヶ月間が経過した。

このトラブルの原因究明のため仮説を立てて検証していたが、研究者、保全担当者、炉設備メーカー等の推論が噛み合わず平行線をたどるばかりで進展が見られ

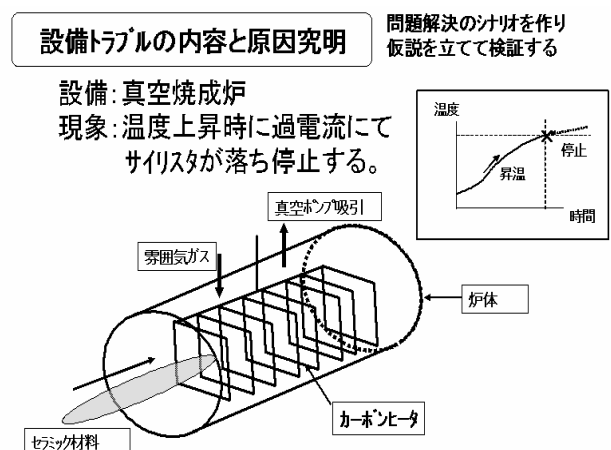


図5 焼成炉の設備概要

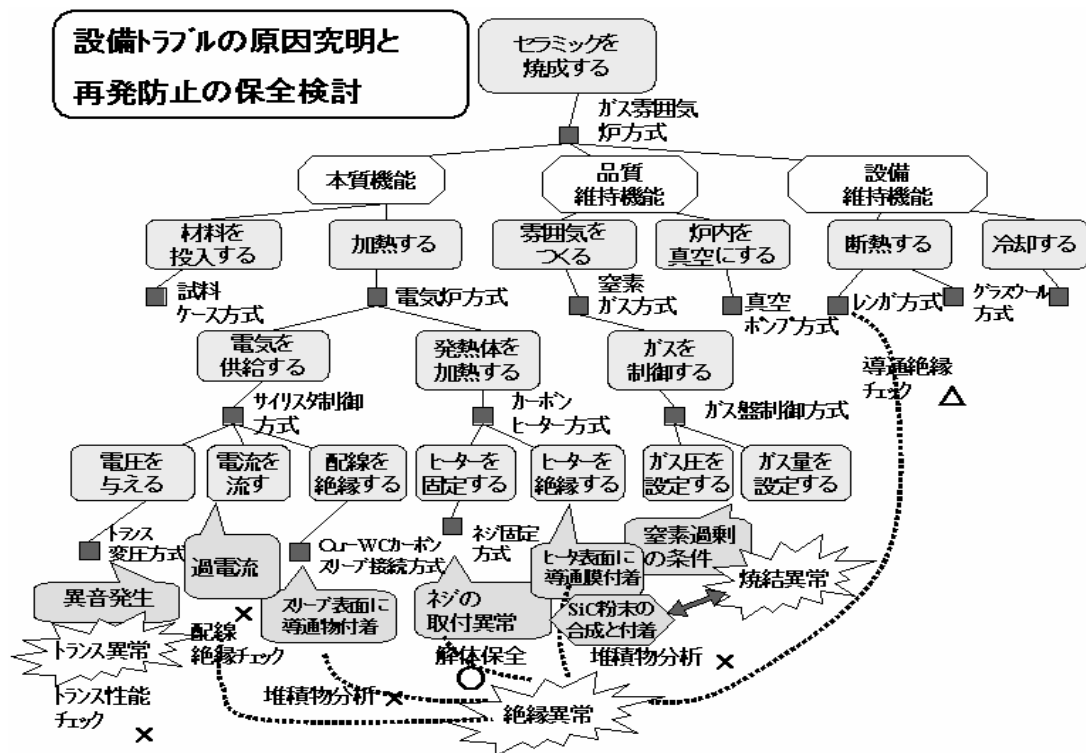


図6 焼成炉の機能分解木事例

なかった。各人の推論は、過去の経験・知識に基づくものであるが筋道のあるシナリオにはほど遠かった。そこで、弊社の生産技術部門の設備設計者が参画し、機能分解木で関係者の知識を機能分解木にて記述し現象の整理と検証の進め方を協議した。

### 5.2.2 機能分解木記述による仮説の抜け漏れ防止

当初、経験や知識に基づく仮説は次の2つであった。  
1). 焼成する材料の成分と雰囲気ガス、並びにヒータの材料であるカーボンが高温状態で化学的に合成されて導電性材料となり絶縁不良となるという仮説、  
2). そもそも、炉の温度仕様に限界があり適用不能であるという仮説、  
等が挙げられた。これらの仮説に拘らず、炉の機能を上位機能から下位可能へと記述して、仮説に抜け漏れが無いかなを確認することにした。

ガス雰囲気の炉方式を達成するためには、「材料を投入する」、「加熱する」、「雰囲気を作る」、「炉内を真空にする」、「断熱する」、「冷却する」という機能を要する。この中で例えば、「加熱する」という機能を満すためには「電気炉方式」を採用し、この電気炉方式は、「電気を供給する」、「発熱体を加熱する」から成立する。というように分解木を記述して行き、炉の構成部品に至る機能分解木を記述した。

部品レベルに至るまで細分化して機能分解木を描き、

機能が達成できない状態から推測可能な異常現象の要因の仮説を立てた。この機能分解木を図6に示す。

ここで機能分解木から新たに得られた仮説は、

- 3). 「サイリスタ制御方式」の下位の方式である「トランス変圧方式」の異常という仮説、
- 4). 「サイリスタ制御方式」の過電流異常という仮説、
- 5). 「カーボンヒータ方式」の「ヒータを固定する」機能としての「ネジ固定方式」のネジ部異常という仮説、等が挙げられた。

順次、検証調査を進めて行き、図6に示すように異常の無い部位に×印、異常の有る部位に○印を機能分解木に記入すると、当初の2つの仮説は誤りであった。結局この原因はヒータを固定しているネジ部がゆるみ、接触不良部分がスパークして過電流となったことによるものと判明した。

このように当初の仮説は過去の貴重な経験と知識から得られたものではあるが、この経験・知識がかえって思いこみになり迷宮に入り込んでしまい、そのために問題解決が難航したと考えられる。機能分解木を設備の機能と方式から辿って記述し仮説を導きだすことで抜け漏れが容易に導き出せた事例である。

### 5.2.3 焼成炉の機能分解木記述による成果

この焼成炉の故障原因究明による停止期間は、機能分解木の記述に着手するまでに約3ヶ月間を要してし



たが、これに着手後は4日間で原因が解明して稼働を開始することができた。以降、この設備のヒータ部分の定期的保全をルール化することで再発防止が図れている。

## 6. ソフトウェア・ツールの構築

この機能分解木を作成するソフトウェアが完成し、作成の速度を向上させ、機能モジュールをデータベースに蓄積して再利用を図ることが可能となった。そのCRT画面例を図7<sup>[6]</sup>に示す。

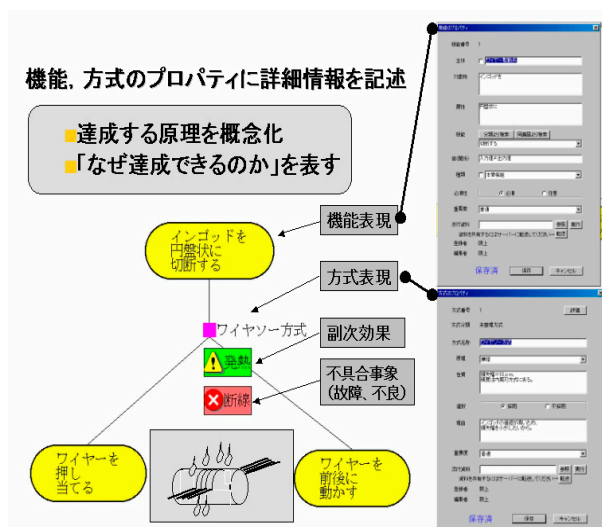


図7. 機能、方式、副次効果、不具合事象の明示法

このように対象とする機能、方式、副次効果、不具合事象をクリックするとプロパティ画面が現れ、採用理由や原理、定量的なデータ、並びに文書やURLを添付ファイルにして必要な時に閲覧できる。この方式モジュールを積み重ねて設備全体の機能分解木を作成したCRT画面を図8に示す。

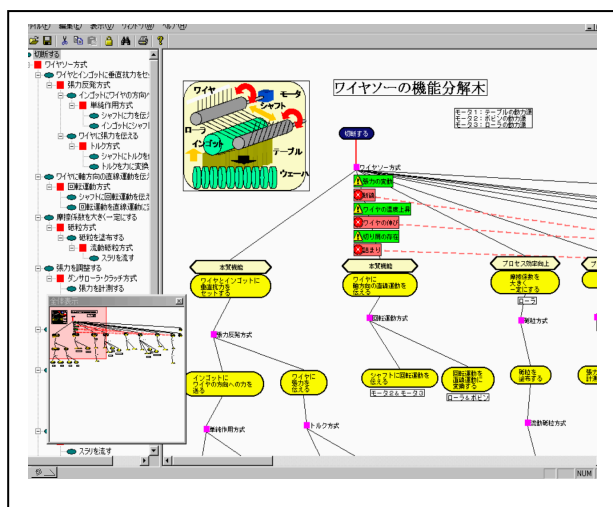


図8. ワイヤソー設備の機能分解木 CRT 画面例

CRT画面の中央から右に機能と方式を文字入力すると楕円や直線等を自動的に作図する。また解説用にビットマップによる絵を貼り付け、文字を書き込むこともできる。またCRT画面左は右側の機能と方式等の記述によって自動的に伸縮可能な階層表示となる。

実際に、このソフトウェアを用いて設備開発業務や、品質不良・故障対策に100事例以上適用してきた。これまで適用してきた事例から定量的な評価は難しいが、担当者、及びその上長の主観的な評価では、従来の数倍から一桁向上というレベルの効率化が図れている。機能分解木を描いてから、仮説系統図や方式系統図等を作成すると、従来よりもはるかに要因や代替案の取りこぼしが少なく、これが効率化の要因と考えられる。

## 7. まとめと今後の展開

方式知識の体系化と生産システム再設計のツール研究により「製造と生産のプロセス表現」が可能となり、機能分解木の記述による設備異常の原因究明や設備保全にも有効であることが実務の上で検証できた。現在オントロジー工学に基づく機能モジュール表現のための言葉と文法の整理を異業種の企業間で交流しながら技術領域の幅を広げている。今後は熟練設備技術者のものづくりに関する知識・技術を、開発したソフトウェアに蓄積し、次世代を担う若手技術者へと継承し知識・技術の再利用ができるように方式サーバを構築していく。

## 参考文献

- [1] 来村徳信, 溝口理一郎: オントロジー工学に基づく機能的知識体系化の枠組み, 人工知能学会誌 Vol. 17 (2002)
- [2] 赤尾洋二: 品質展開入門 品質機能展開活用マニュアル, 日科技連出版社 (1990)
- [3] 小野寺勝重: 国際標準化時代の実践 FTA 手法, 日科技連出版社 (2000)
- [4] 布瀬, 柏瀬, 篠木: 生産技術の体系化と生産・設備設計, 人工知能学会誌 Vol. 18 (2003)
- [5] 高橋, 吉川, 笠井, 来村, 溝口, 布瀬: 異分野間共有を目指した機能的設計知識の組織化の枠組み, The 16<sup>th</sup> Annual Conference of Japanese Society for Artificial Intelligence (2002)
- [6] 平成 15 年度 IMS 成果報告書