

# 知識移転のための生産知識表現の提案

山本修一郎<sup>1</sup>, 藤本英雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋国際工科専門職大学

<sup>2</sup>名古屋工業大学

<sup>1</sup>愛知県名古屋市中村区名駅 4-27-1

<sup>2</sup>愛知県名古屋市昭和区御器所町

## A Production Knowledge Representation for Knowledge Transfer

Shuichiro Yamamoto<sup>1</sup>, Hideo Fujimoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IPUT in Nagoya, 4-27-1, Meieki, Nakamura-ku, Nagoya Aichi Japan

<sup>2</sup>Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, Aichi, Japan

### 概要

製造業における生産工程の設計では、経験者が持つ経験知である不具合究明知識の初心者への移転が必要になっている。レナードとスワップは、実験的学習を通じて経験知を習得することが重要だと指摘した。しかし、具体的な経験知の表現方法や実験的学習方法を明らかにしていない。表現できなければ、経験知は暗黙知のままであり、熟練者から初心者への知識移転は個別的・非効率であるだけでなく再利用が困難である。

本稿では、生産工程の不具合究明に必要な経験知を獲得するための生産工程を表現する生産知識表現(Production Knowledge Chart, PKC)を提案する。また、PKC で一般的な生産工程を表現することにより、提案手法の有効性を明らかにする。さらに、今後の展望について述べる。

### Abstract

In the design of production processes in the manufacturing industry, it is necessary to transfer the defect investigation knowledge, which is the empirical knowledge of experienced workers, to beginners. Leonard and Swap pointed out the importance of acquiring empirical knowledge through experimental learning. However, they have not clarified the explicit empirical knowledge representation method and the experimental learning method. If the knowledge cannot be represented, empirical knowledge remains tacit, and the knowledge transfer from experts to beginners is not only individual and inefficient, but also difficult to reuse.

In this paper, we propose a production knowledge chart (PKC) that expresses the production process to acquire the empirical knowledge necessary for investigating defects in the production process. In addition, we clarify the effectiveness of the proposed method by expressing a general production process with PKC. In addition, we will discuss future research.

## 1. はじめに

製造業の現場では、生産工程の設計で発生する不具合究明知識を経験者から初心者が継承する必要がある。このためには、経験者が持つ経験知である不具合究明知識を初心者に移転するための方法を明かにする必要がある。

これまで、専門家の持つ経験知の重要性が指摘され、経験知の移転方法が分析されている。しかし、日本の製造業の現場には、経験知の移転方法が十分浸透しているとはいえない。この理由は、経験知の移転方法が一般的な記述であるため、生産工程の設計知識を具体的に表現できないからである。知識を表現できなければ知識移転は難しい。設計知識を表現できなければ、設計の不具合知識も表現できず、不具合究明知識も継承できない。

本稿では、製造業における生産工程を設計するためのモデルとして Production Knowledge Chart (PKC)を表現するとともに、不具合究明知識の移転プロセスに適用できることを明らかにする。

以下では、まず 2 節で関連研究を説明する。次いで、3 節で生産工程の知識表現手法として PKC を提案する。4 節では、PKC の適用例を説明する。5 節で、考察を述べ、6 節でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 関連研究

以下では関連研究について説明する。

### 2.1 ディープスマート

レナードとスワップが、現実の問題に対処するために、熟練者が複雑な状況を瞬時に把握して、迅速に賢明な判断を下すための専門知識をディープスマート(Deep smart)と定義した[1]。すなわち、「直接的な経験に立脚した暗黙の知識に基づく洞察を生成できる、信念と社会的影響によって形成される強力な専門知識」がディープスマートである。

たとえば、生産工程設計では、経験者から初心者への不具合究明知識の移転が課題になっている。経験者が持つ不具合究明知識はディープスマートの例である。

レナードとスワップは、実験的学習を通じて経験知を習得することが重要だと指摘した。しかし、具体的な実験的学習方法を明らかにしていない。また、ディープスマートの知識表現についても明らかにしていない。ディープスマートを表現できなければ、暗黙知のままであり、熟練者から初心者へのディープスマートの知識移転は個別的であり水平展開が難しい。

## 2. 2 ものこ分析

製造業の生産工程を改善する手法として、もの・こと分析が提案されている[2]。もの・こと分析では、材料や製品など対象を「もの」とし、材料から製品を作る一連の活動を「こと」とすることにより、生産工程を分析して、無駄を発見して最適化することができる。「こと」の分類例を表1に示す。

しかし、もの・こと分析では、図を定式化していないという課題があった。このため、2.3 で述べるように Systemigram を用いた、もの・こと図式の定義と、それによる分析手法が提案されている[3]。

表1 ものを変換することの分類

こと	説明
分解と結合	要素に分解, 要素を結合
挿入・削除	対象に要素を挿入 対象から要素を削除
搬入・搬出	倉庫に物品を搬入 倉庫から物品を搬出
特性変化	位置, 密度, 方向, 温度
変形	対象物の形を別の形に変形

## 2.3 Systemigram

Systemigram の起源は、Checkland によるソフトシステム方法論 (SSM, Soft System Methodology) [4]で用いられたシステムモデル図にある。複雑な人間活動を分析するために考案された方法論が SSM である。人間活動システムに含まれる個々の活動は「動詞」で表現できるから、人間活動システムを定義するためには動詞間の「結合性」も表現できる必要がある。このような活動間の関係を SSM では概念モデルと呼ぶ。概念モデルの構成要素は、活動、活動間の論理的な依存関係、外部入出力と制御活動への出力からなる。SSM の概念モデルを記述するために用いられる図式がシステムモデル図である。

Boardman は、システムモデル図が自然言語表現と対応しやすいことに着目して、より明確に自然言語による文章と対応する図式として、Systemigram(システムグラム)を提案した。Systemigram [5-8]ではシステムと問題の構造を分かりやすく表現することができる。

Systemigram では名詞句をノードとし、名詞句間の関係を示す動詞句でノード間の関係を定義する。Systemigram では、以下の3つの技法がこれまでに開発されてきた。

(1) 文章構造に注目することにより Systemigram を作成する

(2) Systemigram を用いて、エンタープライズアーキテクチャやビジネスプロセスアーキテクチャなどの目的に対するアーキテクチャ設計法を開発する

(3) アーキテクチャに基づいてソリューション実装上の考慮点を具体化する Systemigram 技法を開発する。

最近では、複雑なシステムを分析するために、Systemigram が利用されている。たとえば、エンタープライズアーキテクチャや SoS( System Of Systems)の複雑性を分析するために Systemigram が用いられるようになっている。

Clegg と Boardman は製造業の CE(Concurrent Engineering) プロセスに Systemigram を適用する方法を提案している[9]。複雑な人間活動からなる SoS の Network Enabled Capability (NEC)分析ではシステム工学の概念が不可欠であることから、Blair, Boardman, Sausser が Systemigram モデルによる包括的な NEC の可視化手法を提案している[10]。

Mansouri, Boardman, Sausser[11]が Maritime Transportation System of Systems (MTSoS)を対象として、システム間のレジリエンスやセキュリティなどの重要特性を Systemigram で分析している。

Mussante, Frittmann, Edson[12]が過去の大地震発生時の災害管理を Systemigram で分析した結果を一般化することにより、Systemigram による災害管理テンプレートを提案している。また、災害テンプレートを他の地震発生時の災害管理に適用して、災害管理の重要成功要因を特定できると報告している。

Arnold と Wade が提案した Systems Thinking Systemigram[13]は、多様なシステム思考手法を統一的に定義する Systemigram である。Systems Thinking Systemigram は、明確なゴール、システム思考の要素、および要素間の相互接続からなる。

McDermott と Nadolski が世界的な天然ガスの供給企業からなる複雑な社会技術システムのフレームワークを Systemigram でモデル化している[14]。また、彼らは、システムエンジニアリングとシステム思考の間には2つのギャップがあると指摘している[15]。すなわち、利害関係者にとっての包括的な価値とシステム設計ツールとしての Systemigram と、その実践教育による能力開発である。

Engen ら[16]がシステム思考を適用することにより、高水準ビジネス要求の理解に基づくプロジェクト目標を達成する方法についてより深い洞察を獲得できるとしている。具体的には、開発プロジェクトで達成したい状態として、ノルウェー大陸棚で会社の支配的な市場シェアを回復するための Systemigram を作成している。

Bonilla-Ortiz と Verma[17]が MOSA(Secure Modular Open Systems Approach)を提案して、Systemigram をプログラム保護とシステムセキュリティエンジニアリングを MOSA ライフサイクルに組み込むことにより、多くの複雑な構成要素と関係からなる問題の理解を容易化できると指摘している。

システム工学で注目されているフレームワークとして、Martin による7人の侍フレームワークがある[18]。システムグラムと7人の侍フレームワークを比較した結果、システムグラムと7人の侍フレームワークが用いるグラフ構造は同じであること、システムグラムによって、7人の侍フレームワークを表現できることが明らかになっている[19]。中坊[20]が7人の侍フレームワークがロボットシステムの実用化に役立つと指摘している。

## 2.4 OPM (Object Process Model)

Dori が提案した OPM(Object Process Methodology) には、Object と Process がある[21-23]。たとえば、航空機設計の OPM[24]には、Object として、Stakeholder Needs Set と、3個の Assumptions and Constraints Set、3個の Requirements があ

る。Process には、Defining と Realizing, Implementing という 3 種類の Process がある。さらに、物理的な Object として、Aircraft, System, item, item component がある。

OPM と Systemigram が比較されている[25]。Systemigram では、OPM のプロセスを振舞とし、OPM の論理的な Object を動機に、物理的 Object を構造に対応付けている。

### 3. 生産知識チャート PKC の提案

#### 3.1 構成要素

PKC (Production Knowledge Chart)には、もの・情報、コト・活動情報、活動の主体という 3 種類の構成要素がある。これらに対応する図形を表 1 に示す。

表 1 構成要素

構成要素	図形
もの・情報	
こと・活動	
活動の主体	

PKC では、生産工程で発生する不具合を扱うために、もの・情報、コト・活動情報、活動の主体についての変化を表現する必要がある。このため 3 種類の構成要素に対する変化要素を定義する。これらの変化要素に対応する図形を表 2 に示す。

表 2 変化要素

変化要素	図形
もの・情報変化要素	
こと・活動変化要素	
活動主体変化要素	

#### 3.2 関係

PKC の構成要素間には異種関係と同種関係がある。異種要素関係には、活動の入出力関係と主体と活動との関係がある。表 3 に異種要素関係を示す。

表 3 異種関係

関係の種類	図形
活動への入力	
活動からの出力	
主体による活動	

また、PKC の同種要素関係を表 4 に示す。

同種要素関係には、ものの属性関係、活動属性関係、ものの要素関係、活動要素関係、ものの分類関係、活動分類関係がある。ものの属性関係と活動属性関係には内部形がある。内部形では、モノと活動の属性を図形内部に記述する。なお、変化要素についても同種関係を記述できる。以下では、表 4 について説明する。

[ものの属性関係]もの O に、属性 a がある

[活動属性関係]活動 P に、属性 q がある

[ものの要素関係]もの O に、要素 x がある

[活動要素関係]活動 P に、要素活動 p がある

[ものの分類関係]もの R は、もの O の一種である

[活動分類関係]活動 Q は、活動 P の一種である

表 4 同種関係

要素関係	図形
ものの属性関係	
活動属性関係	
ものの要素関係	
活動要素関係	
ものの分類関係	
活動分類関係	

変化元から変化先への影響伝搬としての変化要素間の関係を表 5 に示す。変化元要素と変化先要素は、変化要素である。変化元となる変化要素の変化が変化先の変化要素に影響することを表す。

表 5 変化要素関係

変化関係	図形
変化要素関係	変化元要素 ..... 変化先要素

#### 3.3 生産工程の知識表現

担当が材料から設備を用いて製品を生産することを表現する PKC 図を図 1 に示す。

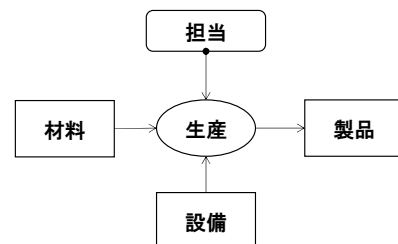


図 1 生産工程知識の表現例

次に、金属板の切断担当と部材の結合担当からなる部品の生産工程を図 2 に示す。

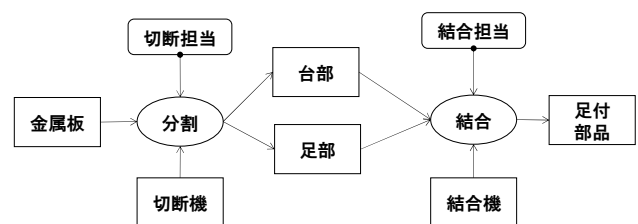


図 2 連続する生産工程の例

切断担当は切断機を使用して金属板を台部と足部に分割する。次に、結合担当が台部と足部を結合機を用いて結合することにより、足付部品を生産する。

### 4. 具体例

以下では、生産工程における部品の変化に伴う製品不具合への適用事例を説明する。

#### 4.1 生産工程の変化例

生産工程における部品属性変化に伴う品質属性への影響を表現すると図3のとおりである。

図3では、金属板の長さ属性が変化要素である。挿入操作のタイミング属性に変化が生じて、製品の変化要素品質に影響があることを分かる。図示したように、PKCでは、要素ごとに、変化要素を識別して、影響関係を表現できる。

実際の生産工程では、製品の品質不良が発生すると原因究明のために、変化要素を探索する。この過程で、部品の長さ属性が変化したこと、その結果、挿入活動のタイミング属性が影響を受けたことが判明する。従来は、このような図がないため、担当者の思考過程で判断するしかなかった。PKC図を用いることで明確に不具合原因の特定と不具合発生過程を説明できることが分かる。

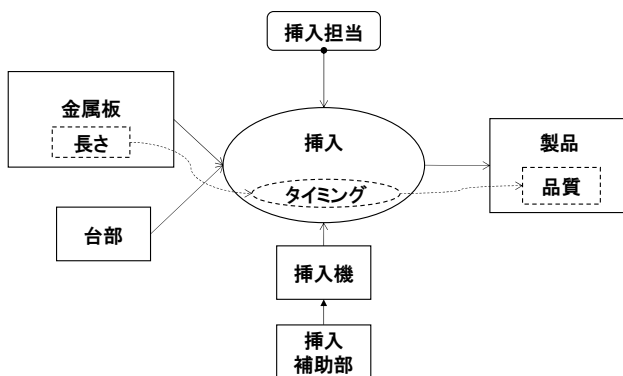


図3 生産工程の属性変化の影響分析

#### 4.2 不具合究明知識の移転構造の表現

PKCは生産工程を表現するだけでなく、不具合究明過程も表現できる。図4に、PKCによる生産工程の不具合究明活動の表現例を示す。

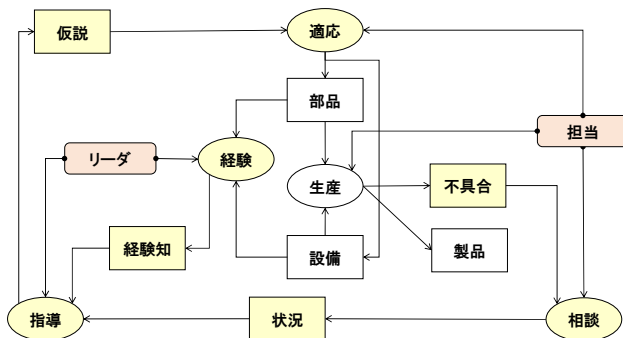


図4 PKCによる不具合究明過程の表現

この不具合究明例では、現場の担当者がリーダーの助言に従って、生産工程の不具合を究明する。担当は部品から設備を使って製品を生産する。この過程で製品の不具合が発生する。担当は、不具合が発生すると相談活動で状況情報を作成する。すなわち、具体的な相談内容については、状況を表す情報構造で記述する。図の「相談」は、相談する行為があることを記述している。相談内容として、何を記述するかは、生産工程、部品、材料、設備や不具合などからなる状況に依存する。状況を表現する構造を検討する必要がある。

リーダーは状況情報を生産についての経験活動から適切な経験知を選択して指導活動の結果として、仮説を生成する。担当は、仮説に従って部品や設備を適応すること

により、生産活動を実施する。もし、この適応活動によって不具合が解消すれば、不具合が究明できたことになる。もし、新たな不具合が発生すれば、この過程を繰り返すことにより、新たな仮説を生成して適応活動を再試行することを表現している。

### 5. 考察

#### 5.1 有効性

本稿では、生産知識の表現手法としてPKCを提案した。また、簡単な製品の生産活動事例に適用することにより、提案手法の有効性を明らかにした。また、実験による経験知識の移転を表現できることを明らかにした。

#### 5.2 適用性

本提案では、生産工程の知識表現としてPKCを提案した。適用例で示したように、PKCが生産工程知識を表現できるだけでなく、生産工程における不具合究明知識の移転にも適用できることは明らかである。

表5で、ディープスマートの経験知の移転工程に対するPKCの適用性を評価した結果を示す。表5から、PKCがディープスマートにおける知識獲得、知識形成、知識移転に適用できることが分かる。

しかし、ディープスマートの知識選別では、組織・文化的影響に適応するように形成した専門知識を選別する必要がある。しかし、PKCでは、組織・文化的要素を表現していないため、それに応じた専門知識の選択を表現できない。今後、組織・文化的要素の表現を追加してPKCを拡張する必要がある。

表5 Deep smart と PKC

Deep smart	PKC
知識獲得	もの情報、こと活動で専門知識を記述
知識形成	主体との関係で専門知識を記述
知識選別	未
知識移転	指導の下での経験知移転過程を記述

#### 5.3 Systemigram, OPM, PKC の比較

Systemigram, OPM, PMLfD3 (Process Modeling Language for D3)[26-28] と PKC の要素について比較した結果を表6に示す。

Systemigramの動機を直接表現する要素がPKCとOPMにはない。しかし、目的や要求を情報として表現することにより動機を間接的に表現できることから、表6では△とした。PMLfD3ではプロセスの根拠を記述できる。PKCとOPMの表現能力はほぼ同じである。変化要素をPKCで表現できること、OPMでは状態属性を表現できることが違いである。OPMの状態をPKCの属性で表現できると思われる。生産プロセスをモデル化するPMLfD3では振舞主体やものの構造については記述しない。

OPMとPKCの表現能力の差異を明らかにすることが今後の課題である。

表6 Systemigram, OPM, PKC, PMLfD3 の比較

Systemigram	PKC(本提案)	OPM	PMLfD3
アクタ	活動主体、変化	オブジェクト、状態	×
構造	もの・情報、属性・変化	オブジェクト、状態	×
動機	△	△	根拠
振舞	こと・活動、属性・変化	プロセス、状態	プロセス



また、OPM には、豊富な関係が定義されている。一方、PKC の関係は限定されている。この理由は、PKC では生産工程の不具合究明知識の継承を目的として必要な関係に限定したためである。

PMLfD3 による工具選定工程[27]を PKC で記述した例を図 5 に示す。この図では、PMLfD3 の根拠「工具選定方針」を PKC では、構造情報で表現している。また、PKC では工具選定担当が仕上げ工具の選定を担当することを表現できることが分かる。

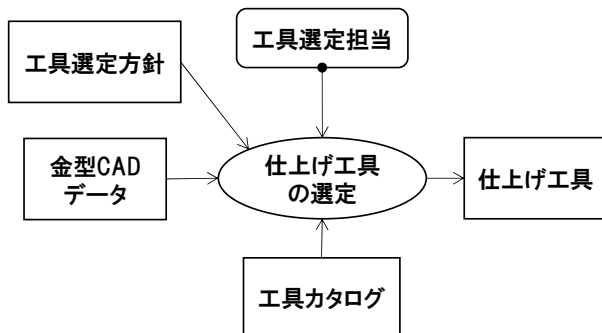


図 5 工具選定工程の PKC 記述例

#### 5.4 操作対象の構造と変化の記述

操作プロセスの対象物としての部品や材料の構造と変化を表現できることのメリットは、以下の通りである。図 3 で示したように、生産工程における不具合は、部品や材料の属性変化に伴う操作の適応が欠落した場合に発生する。逆に言えば、部品や材料属性に変化がなく、当初の設計通りであれば、正常な製品が生産できるはずである。不具合が発生した原因究明では、設計の想定範囲からの逸脱を探索することになる。したがって、操作対象の構造変化を記述できなければ、不具合原因の究明を系統的に実施できない可能性が高い。記述できなければ客観的な分析は困難である。たとえば、PMLfD3 では、プロセスの入出力の名称しか記述できず、内部構造やその関係を記述できない。

#### 5.5 生産工程設計と経験知の知識移転との統合

図 4 に示した不具合原因究明プロセスは、図 1 で示した生産工程を含んでいる。したがって、PKC を用いることにより、生産工程設計プロセスと製品生産における不具合究明に関する経験の知識移転プロセスが自然に結合できることが明らかになった。重要な経験知として、生産プロセスにおける不具合原因究明だけでなく、設計レビュー知識もある。たとえば、DRBFM(Design Review Based on Failure Mode)では、故障モード(Failure Mode)に基づいて設計の妥当性を議論する必要がある。したがって PKC による製品の故障モード表現を明かにする必要がある。たとえば、図 4 では不具合情報を矩形で表現している。不具合情報の属性として不具合モードを表現できると考えられる。故障モードには、変形、破損、切断、ショート、腐食などがあり、部品などの要素の名前とともに記述される[29]。PKC では構成要素とその変化を表現できるので、故障モードについても表現できると考えている。

また、不具合分析では、なぜなぜ分析もよく知られている。なぜなぜ分析の過程では、分析対象の構造についての知識が必要である。機械が過負荷で停止した例[30]に対するなぜなぜ分析では、図 6 に示すように、機械の構造についての知識が必要であるから、PKC による対象機械の構造表現が役立つと思われる。図 6 では、変化要素とその影響波及関係によって、機械の構造と対応付けながらなぜなぜ分析の過程を追跡できることを示している。

#### 5.6 限界

本稿では、生産工程における知識を表現する方法を提案し、実験的知識移転過程を表現できることを明らかにした。しかし、仮想的な生産工程の事例にしか適用していない。

また、提案手法の有効性を客観的に評価する方法については触れていない。たとえば、本手法を具体的な生産工程に適用して評価する必要がある。

さらに、図式表現よりも文章表現を好む現場の技術者にとっては、PKC がなじまない可能性がある。要求記述テンプレート[31]の考え方をを用いて、PKC に対する日本語表現を考案する必要がある。

#### 6. おわりに

本稿では、製造業における生産工程の知識表現モデル PKC を提案した。この結果、以下を明らかにした。

- (1)PKC により、生産工程の知識を表現できる
- (2)PKC により生産工程の不具合究明プロセスを表現できる
- (3)PKC によって、生産工程設計と経験知の知識移転を統合できる可能性があることが明らかになった

今後、本手法の有効性を定量的に明らかにする評価を進めるとともに、生産工程設計と知識継承を統合する手法を考案する必要がある。

また、本手法は製造業の生産工程を対象としているが、他分野にも適用できる可能性がある。たとえば、ソフトウェアやサービスの開発工程への適用性を評価する必要がある。また、本稿で明らかにした不具合究明知識プロセスを実行する上で、具体的な知識の表現法を明かにする必要がある。たとえば、相談・指導で必要になる状況情報や仮説情報の記述法を明かにすることは重要な今後の課題である。

さらに、本稿で提案した生産工程設計知識表現と経験知の知識移転との統合方法を明かにする予定である。知識移転では、知識を表現するだけでは不十分である。表現された知識を受け手が理解するためのコミュニケーションが必要である。コミュニケーションモデルには、線形モデルと収束モデルがある[32]。線形モデルでは、話し手から受け手に情報が単一方向に流れる。収束モデルでは、話し手と受け手の間で情報が反復的な対話で相互理解に到達する。しかし、収束モデルのコミュニケーションプロセスを研究する適切な方法は開発されていない[33]。反復的な対話に基づく収束モデルで経験知の移転プロセスを説明することは重要な研究課題である。

#### 参考文献

- [1] Dorothy Leonard and Walter Swap, Deep Smarts: How to Cultivate and Transfer Enduring Business Wisdom, Harvard Business Review Press, 2005, ドロシー・レナード, ウォルター・スワップ, 池村千秋訳, 「経験知」を伝える技術ーディープスマートの本質, ランダムハウス講談社, 2005
- [2] 中村善太郎, シンプルな仕事の構想法～もの・こと分析で成功する～, 日刊工業新聞社, 2003
- [3] 山本修一郎, Systemigram によるものこと分析の試み, 信学会 KBSE 研究会 2021-43, 12/17, 2022
- [4] Checkland, P., Systems Thinking, Systems Practice, John Wiley & Sons Ltd., 1990.
- [5] J. Boardman, Wholes and Parts-A Systems Approach, IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS. VOL. 25, NO. 7, pp.1150-1161, 1995

- [6] Boardman, J and B Sauser, Systems Thinking: Coping with 21st Century Problems. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, CRC Press, 2008
- [7] Systemigrams, <http://www.boardmansauser.com/thoughts/systemigrams.html>
- [8] World of Systems, <http://www.boardmansauser.com/>
- [9] B. Clegg and J. Boardman, A Systems Approach to Process Improvement in Design and Manufacture, Systems Approach to Manufacturing, IEE Colloquium on a (Digest No.: 1996/171), pp. 3/1 - 3/9, 11 Nov 1997
- [10] Charles D. Blair, John T. Boardman, Brian J. Sauser, Communicating Strategic Intent with Systemigrams: Application to the Network-Enabled Challenge, Vol.10, Issue4, pp.309-322, 2007
- [11] Mo Mansouri, Brian Sauser, John Boardman, Applications of Systems Thinking for Resilience Study in Maritime Transportation System of Systems, pp.211-217, IEEE SysCon 2009
- [12] Jamie Mussante, Jaime Frittmann, Robert Edson, The Use of Systemigrams in System Template Development: An Example in Disaster Management, pp. 1-10, 2011.
- [13] R. D. Arnold and J. P. Wade, A definition of systems thinking: A systems approach, Procedia Computer Science, vol. 44, pp. 669-678, 2015
- [14] Tom McDermott, Molly Nadolski, Lindsey Sheppard, Use of Systemigrams to Identify Emergence in Complex Adaptive Systems, 2015
- [15] Tom McDermott, Molly Nadolski, Training Systems Engineers to Model Sociotechnical Aspects of Complex Engineered Systems, 2018 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), 2018
- [16] Siv Engen, Mo Mansouri, Gerrit Muller, Application of system thinking to frame the problem in a subsea development projects with high-level business requirements, 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE), pp.81-86, 2019
- [17] Giselle Bonilla-Ortiz, Dinesh Verma, The Need for a Secure Modular Open Systems Approach (MOSA): Building the Case Using Systems Thinking Methodologies, 2020
- [18] Martin, J., The Seven Samurai of Systems Engineering, INCOSE International Conference, 2004
- [19] 山本修一郎, 7 人の侍フレームワークとシステムigramの関係について, 第 15 回知識流通ネットワーク研究会 SIG-KSN-015-07, 2014
- [20] 中坊嘉宏, ロボットシステム実用化のための 7 人の侍フレームワーク, 日本ロボット学会誌, vol.34, No.6, pp.370-373, 2016
- [21] Dori, D., Object-Process Methodology—A Holistic Systems Paradigm, Springer (2002)
- [22] Dori, D., Model-Based Systems Engineering with OPM and SysML, Springer (2016)
- [23] E.クロウリー, B.キャメロン, D.セルヴァ, システム・アーキテクチャ--複雑システムの構想から実現まで, 稗方和夫訳, 丸善出版 (2020)
- [24] Linwen Li, Natali Levi Soskin, Ahmad Jbara, Moti Karpel, and Dov Dori, Model-Based Systems Engineering for Aircraft Design with Dynamic Landing Constraints Using Object-Process Methodology. IEEE Access, 61494/61511 (2019)
- [25] 山本修一郎, GPDAC--Goal, Process, Data, Actor, Control による知の統合, 横幹連合コンファレンス, 12月17日, 2022
- [26] 本郷結希, 木下祐介, 梅田靖, Digital Triplet 型 CPPS のための意思決定プロセス構造化支援手法の提案, JSPE, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.17-18, 2020
- [27] 佐藤剛, 梅田靖, 谷川民生, デジタルトリプレットを活用した作業支援システム, 三菱電機技法, Vol.95, No.4, pp.48-51, 2021
- [28] NEDO, 次世代ロボット・AI の中核となるインテグレート技術開発, 2020
- [29] 平岡洋二, FMEA, pp.510-513, 日本デザイン学会, デザイン科学事典, 丸善出版, 2019
- [30] 大野耐一, トヨタ生産方式--脱規模の経営をめざして-, ダイヤモンド社, 2022
- [31] 山本修一郎, 要求開発の基礎知識--要求プロセスと技法入門-, 近代科学社 Digital, 2019
- [32] ロジャーズ, E.M., コミュニケーションの科学--マルチメディア社会の基礎理論, 安田寿明, 共立出版, 1992
- [33] 山本修一郎, CMC で変わる組織コミュニケーション: 企業内 SNS の実践から学ぶ, NTT 出版, 2010

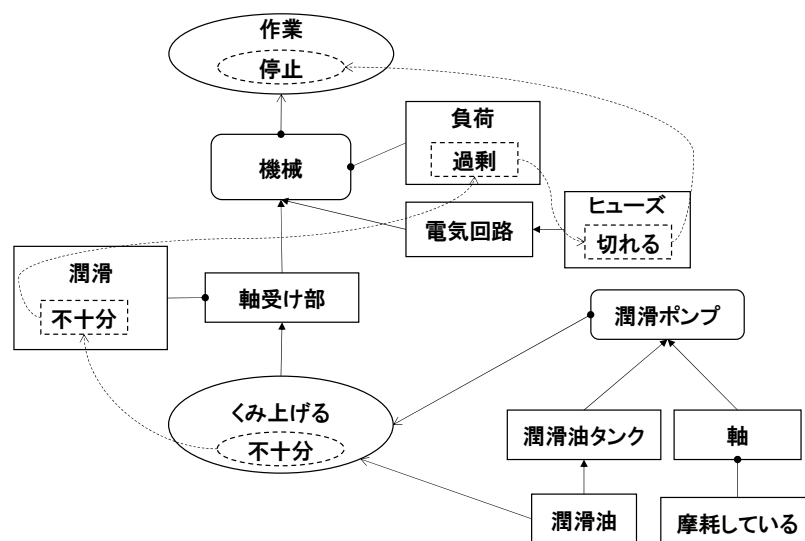


図 6 機械故障分析の PKC 記述例