

機能モデルにおける補助機能の分類とその設計意図の明示化について

Classification of supplementary functions and explication of their design rationales

小路 悠介
Koji Yusuke

来村 徳信
Yoshinobu Kitamura

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguchi

大阪大学産業科学研究所
I.S.I.R, Osaka University

A type of functions of components exists in order to prevent undesirable states, which does not essentially contribute to achievement of the goal function. We call such a function a supplementary function. Although supplementary functions play a crucial role to make design improvements of artifacts, their designer's intention (so-called design rationale) often remain implicit. In this article, we describe articulation of concepts concerning a process of undesirable states and how a supplementary function prevents the process, aiming at explication of the design rationales of supplementary functions. We present extended functional models and classification of supplementary functions based on the model.

1. はじめに

人工物の部品が果たす役割や設計意図を表す機能的設計知識は、概念設計において大きな役割を果たすにもかかわらず表現方法が確立されておらず、属人的で暗黙である場合が多い。筆者らはこのような機能的設計知識を明示的に表現し、共有・再利用することを目指している。

人工物の機能には補助的な役割、例えば動作中に発生する望ましくない状態を解決するような役割を果たす機能が存在する。設計された人工物の効率や製品品質を更に向上させるような改良設計を行う場合には、補助的な機能を改良することも多く、補助的な機能に関するノウハウは蓄積され再利用されるべき重要な知識である。このような機能の存在理由を示すためにはその機能が解決している望ましくない状態について記述する必要がある。本稿では筆者らが開発を進めている機能的設計知識記述枠組み[来村 02, 03]を拡張し、望ましくない状態が発生する過程と、補助的な機能がその過程のどの部分に対し影響を与え望ましくない状態を解決しているかを明示するモデルを提案する。また、本モデルに従い補助的な機能が望ましくない状態を解決するパターンを分類した。

本モデルを用いることで不具合状態が発生する因果連鎖を違う箇所を防ぐことを提案することが可能になり、人工物の改良設計が容易になることが期待される。

2. 設計者の認識による設計物の事象の分類

本稿で取り上げる対象を明確にするため、人工物における事象を設計者の認識という視点から分類する。

まず、人工物における事象には設計者が起こるであろうと認識している事象と認識していない事象がある。本来、設計者は人工物における事象をすべて認識しているはずであるが、対象の理解不足などにより認識していない事象が存在することがある。認識していない事象が意図している事象に対して望ましくない影響を与えていることや、要求機能に対して有益な貢献をしていることもありえるので人工物の振る舞いはすべて認識し記

連絡先: 小路悠介

大阪大学産業科学研究所 知識システム研究分野

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

Tel:06-6879-8416, Fax:06-6879-2123

e-mail: koji@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

述していることが望ましい。

設計者が認識している事象は設計者が意図している事象と意図していない事象に分類できる。筆者らは機能を装置の振る舞いのある目的の元で解釈した結果であると定義するが[来村 02], 意図している事象はこれに対応する。機能はさらに本質機能と補助機能に分類できる。本質機能は要求された機能を達成するための原理に基づく達成に必須な機能である。また、補助機能は本質機能が望ましくない状態に陥らないように他の事象に対して何らかの影響を与えている機能であり、本質的に達成に必須な機能ではないので本質機能と区別している。

一方、設計者が意図していない事象とは要求機能の達成に貢献していない事象である。設計者が意図していない事象の一部は補助機能によって直接影響を受けている。その事象及び、その事象と因果関係がある事象群を補助機能対象事象として分類する。補助機能対象事象は設計者がその事象を望ましくないと判断し補助機能を用いてその影響を排除しようとしているか、その可能性のある事象である。それ以外の意図していない事象は補助機能によって対処しない(できない)事象である。さらに、補助機能対象事象は機能が望ましくない状態に変化する事象(機能不具合変化事象と呼ぶ)とそれ以外の事象(一般意図外事象と呼ぶ)に分類できる。一般意図外事象は補助機能対象事象であるので機能不具合変化事象となんらかの因果関係を持つ事象である。これらについては3章で詳しく述べる。

本研究では補助機能対象事象である機能不具合変化事象と一般意図外事象を明示化することで補助機能の設計意図を明確にすることを目指す。従って、本研究におけるモデルで表現する事象は図1で太い枠で囲っているノードで示している事象

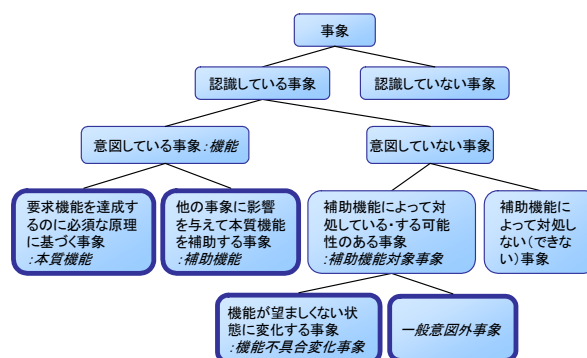


図1 設計者の認識による事象の分類

になる。

3. 不具合について

3.1 機能不具合状態と一般意図外事象

機能があるコンテキストにおいて望ましくない状態になっていることを機能不具合状態と呼ぶ。機能不具合状態には機能がその定義に沿わなくなっている場合(機能停止状態と呼ぶ)と、機能属性が望ましくない場合がある。機能がその定義に沿わないとは機能概念オントロジー[來村 02]の定義に沿わないという意味であり、入力対象物は正常に入力されているが注目出力対象物を出力しない状態や入力ポートに入ってくるべき対象物が入力されず、注目出力対象物が意図している物質とは違う物質になっている状態などを含む。また、機能属性とは機能の特性を表す属性のことで、代表的なものとしてプロセス効率や安定性などが挙げられる。つまり、本稿では機能停止状態に加えて、効率などがその時要求される基準値よりも小さい状態であることも機能不具合状態と呼ぶ。機能モデルにおいてある機能が機能不具合状態であることを、その機能の右上に丸い吹き出し等を付けることで示す。表示方法については次節で詳しく述べる。

一般意図外事象はそのシステムで起こる現象を、要求機能を果たすという目的とは別の目的に基づき解釈したものである。そのため、機能とは独立しており、機能達成木とは別に表現する必要がある。また、一般意図外事象は主体に具体的なものとしての装置を持たない事象であることが多い。これは意図された事象ではないので設計時にあらかじめ装置を配置されることがないためである。ただし、ある機能の主体を果たしている装置が同時に一般意図外事象の主体を果たしていることも多い。

一般意図外事象は他の一般意図外事象と結びつき、よりグレインサイズの大きい事象を達成することがあり、このような達成関係を機能達成木と同様に方式知識を用いた木構造によって表現する。2章で述べたように意図しない事象と機能の間の違いは、ある振る舞いをどのような視点に基づき解釈するかという設計者の認識だけである。

3.2 機能不具合状態の発生過程

機能達成木の最上位の機能が機能不具合状態になることを不具合が発生しているという。不具合が発生するまでの過程は大きく分けて、ある部分機能が最初に機能不具合状態になるまでの過程(機能不具合発生過程と呼ぶ)とその機能不具合状態が最上位機能まで伝播する過程(機能不具合状態伝播過程と呼ぶ)に分けられる。また、機能不具合状態伝播過程における最初の機能不具合状態を特に第一機能不具合状態と呼び、最上位の機能の機能不具合状態を最終機能不具合状態と呼ぶ。

まず、機能不具合発生過程について考えると、ある部分機能が第一機能不具合状態になる原因として一般意図外事象が存在する場合と存在しない場合がある。図2に一般意図外事象が存在する場合の例を示す。図の右側の木が本質機能達成木であり、半導体生産プロセスにおけるワイヤソーを用いたインゴットを切断する装置の機能構造を示している。また、左側の木は、「ワイヤを分割する」という一般意図外事象が達成される過程を示している。「ワイヤを分割する」が達成されると本質機能木の部分機能「摩擦力を生成する」は、その装置「ワイヤ」が破壊されるため機能停止状態に陥る。これを丸い吹き出しを用いて示している。第一機能不具合状態に変化させる一般意図外事象を特に機能不具合原因事象と呼び、機能不具合原因事象を全体事象とする達成関係を示す木を機能不具合原因事象発生木と呼ぶ。図2では機能不具合原因事象と第一機能不

合状態が「機能停止影響」というリンクで結ばれているがこのリンクについては4章で詳しく述べる。また、機能不具合原因事象発生木の対象物の中で、機能が起動することで生成される対象物を、その機能不具合原因事象発生木のトリガーと呼ぶ。トリガーを生成する事象は、ある本質機能または補助機能が含まれる振る舞いをトリガーを生成するという違う目的の元で解釈した事象であるといえる。ただし、動作中に系外から入力される(系外の環境またはユーザーが生成する)対象物もトリガーに含める。図2の例の場合、トリガーは摩擦熱である。

一方、機能が第一機能不具合状態になる原因として一般意図外事象が存在しない場合とは、補助機能によって対処することが可能な機能不具合発生過程が存在しない場合である。これは、一般に機能不具合状態に対しては(他の機能不具合変化事象が原因となっていない場合を除き)、何らかの原因となる一般意図外事象が存在するはずであるが、その事象が自然現象など補助機能によって対処することが不可能な事象の場合、設計を考慮する上で記述することは無意味であるので省略されている場合であると考えられる。この場合、原因は機能的側面からは機能達成方式の選択が不適切であったとみなすしかないため、機能達成方式自体が原因であるとみなす。従って、この第一機能不具合状態が発生しないようにするためには方式を変更するしかないことになる。例えば、上述したワイヤソーを用いたインゴット切断装置の場合、「力を生成する」機能を達成する方式として摩擦力方式を用いているが、摩擦力方式を用いると一つのインゴットを切断するまでに何度もワイヤソーを往復する必要があり、その観点からは機能属性「プロセス効率」が低いといえる。これがそのコンテキストにおいて望ましくないと評価されるならば「力を生成する」機能が機能不具合状態になりその原因は「摩擦力方式」である。

次に機能不具合状態伝播過程について考えると、機能構造に沿って伝播していく場合と機能構造に沿わない場合がある。図2は機能構造に沿って伝播していく例である。第一機能不具合状態は部分機能「摩擦力を生成する」の機能停止状態である。また、これにより上位の機能が機能停止状態に陥ることを、角丸四角の吹き出しを用いて表している。また、最終機能不具合状態である最上位の機能「分割する」の機能停止状態を星型ノードを用いて表示している。図2の例のような本質機能木のみを用いて機能不具合状態伝播過程を示すことができる場合を機能構造に沿った機能不具合状態伝播過程という。機能構造に沿った機能不具合状態伝播過程は、一般に、ある機能の状態が変化すると、同じグレインサイズにおいてその機能と因果関係のある機能も状態が変化し、対象物の流れで最下流にあたる部分機能(部分機能列で最も右に描かれる機能)の状態が変化すると全体機能の状態も変化するというに基づいている。一方、機能不具合状態伝播過程が機能構造に沿わない場合とは、機

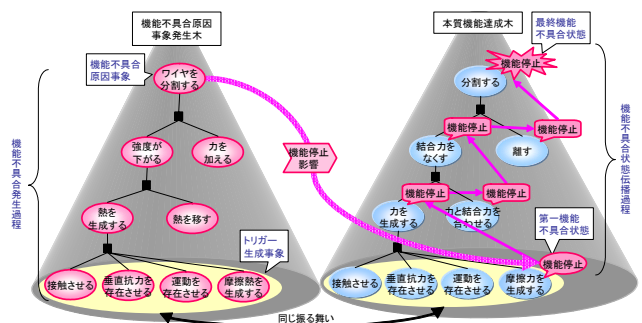


図2 あるインゴット切断装置の機能達成木とその不具合

能不具合状態に陥っている機能の振る舞いを別の視点から解釈した結果である一般意図外事象が、他の一般意図外事象と結びつき、機能達成木上で離れた位置にある別の機能を機能不具合状態にしている場合である。そのような機能不具合状態伝播過程は別の木構造を用いて表現される。

4. 事象属性を変化させる影響について

前節で述べたような機能不具合原因事象が機能を変化させる関係は、補助機能が一般意図外事象を変化させる関係と同じ関係であるとみなせる。本章ではこのような関係を一般化し、これを構成する要素について述べる。

4.1 事象属性変化影響

ある事象によって他のある事象の属性を変化させているような原因・結果関係を事象属性変化影響関係と呼ぶ。ある事象の属性を変化させるためには、影響を受ける事象の入力対象物(媒体を含む)か装置を変化させる必要がある。入力対象物を変化させるとは、もともと振る舞いの中に記述されていた入力対象物の属性を変化させる、もしくは新たに対象物を入力することである。新たに対象物を入力する場合、その対象物を直接入力する場合とすでに存在している入力対象物を媒体として入力する場合がある。また、装置を変化させる場合、影響を与える事象は装置を対象物として扱うことになり、装置を担っていた物体に対しロールの切り替えが行われる。

4.2 事象属性変化影響の要素

事象属性を変化させる影響にはいくつかの要素がある。まず、どの事象属性が変化しているかと、その事象属性が向上しているか低下しているかという要素がある。ここでいう向上と低下はコンテキストに依存するものではなく単にどう変化しているかという意味で使う。また、事象を停止させるような影響、または事象を起動させるような影響も事象属性変化の一部であると考え、特に事象停止、事象起動と呼ぶ。

次に 4.1 節でも述べた影響を受ける事象の何を変化させているかという要素がある。大きく分けると、入力対象物と装置がある。さらに、事象属性の変化がそのコンテキストにおいて良いものか悪いものかという要素がある。これはその事象の変化だけで判断できるものではなくその後の状態の伝播を踏まえて判断することになる。そのコンテキストにおいて良い事象変化を与える事象というのは意図されたものであれば補助機能であり、悪い影響を与えるものは不具合原因事象ということになる。

他に事象属性変化影響の要素として影響の可逆性と影響を与える時間区間が挙げられる。可逆な影響とは、影響を与えている事象が停止すると変化影響を受けていた事象が変化を受

ける前に戻る影響を意味し、不可逆な影響とは、影響を与えている事象が停止した後も事象の変化が続く影響を意味する。また、影響を与える時間区間には連続的か間欠的か、影響を受ける事象が動作中か休止中か等がある。

4.3 事象属性変化影響の表記

事象属性変化影響を、影響を与える事象から受ける事象の属性変化を表す丸い吹き出しへ矢印を引いて表し、変化する事象属性とその変化をリンクの名称として表記する。図 2 では「機能停止影響」が名称として表記されている。4.2 節で述べた各要素についても記述するが図 2 では表記は省略している。既存の対象物を変化させることで属性変化を与える場合、直感的には事象と事象の間に新たに事象を存在させているように感じるが、その場合も現在は事象属性変化を表す丸い吹き出しに対して矢印を引いて表している。

5. 補助機能の分類

5.1 影響を与えている部分による補助機能の分類

3.2 節で述べたように不具合が発生する過程は、機能不具合発生過程と機能不具合状態伝播過程に分けられる。これに従い補助機能を分類する。

まず、機能不具合発生過程のトリガーとなっている対象物が生成されないように、事前に部分機能に対し何らかの影響を与えて解決している補助機能が挙げられる。これを補助機能 a とする。次に、機能不具合原因事象発生木の部分事象に対し事象停止影響などの影響を与え、機能不具合原因事象が達成されないようにしている補助機能がある。これを補助機能 b とする。また、機能不具合状態伝播過程の途中で伝播を止めるような影響を与えている補助機能がある。機能構造に沿った伝播の場合に機能不具合状態になっている機能を望ましい状態に変化させ伝播を止める補助機能を補助機能 c1 と呼ぶ。また、空間伝播など機能構造に沿わない伝播の場合に、その一般意図外事象に対し事象停止影響などの影響を与え伝播を止める補助機能を補助機能 c2 と呼ぶ。

また、機能不具合状態に陥った機能を代替する機能が設計されている場合、機能不具合状態に陥ったことを感知し代替機能を起動することで、機能不具合状態を解決する補助機能がある。これを補助機能 d とする。

5.2 補助機能の位置

本節では機能達成木において補助機能を表記する位置について述べる。補助機能は達成関係に関して本質的な役割を果たす機能ではないので従来、どこに記述するべきか曖昧であった。

補助機能を表記する方法として、機能達成木の対象物の流れに沿って挿入することが考えられるが、補助機能には補助機能 c1 の場合でも、補助影響を与える側の対象物を変化させるものだけでなく、装置などに影響を与えるものもあるので、対象物の流れに沿って表記する位置を決めるのが困難な場合がある。また、補助機能 b, c2 の場合に対象物の流れで記述する位置を決めることができないのは自明である。そのため本モデルでは、補助機能を補助されている機能と並べて表記することとする。ここで「補助されている」とは、補助機能 c1 の場合は補助機能から影響を受けていることであり、補助機能 a,b,c2,d の場合は不具合原因事象(c2 の場合は一般意図外事象)による影響

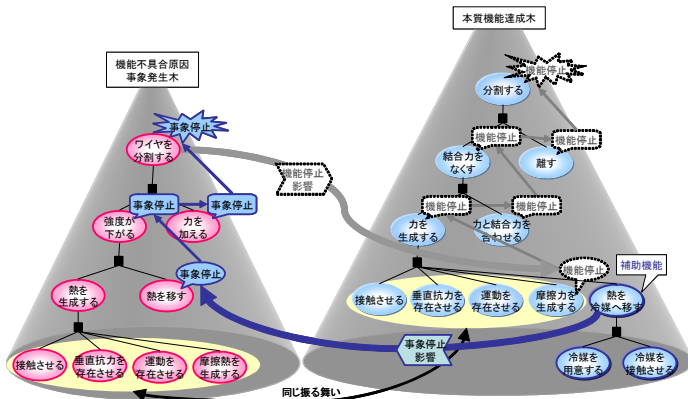


図 3 補助機能の設計意図を明示化したインゴット切断装置の機能達成木

を受けなくなっていることを意味する。補助機能が対象物の流れの中のどこに作用するかは、事象属性変化影響リンクによって表現される。

図 3 に図 2 で述べたインゴット切断装置の不具合を解決している「(ワイヤの)熱を冷媒へ移す」という補助機能を付けた例を示す。この場合、機能「熱を冷媒へ移す」は機能不具合原因事象発生木の部分事象「(ワイヤに)熱を移す」の入力対象物である熱を入力させなくすることで「(ワイヤに)熱を移す」を事象停止状態に変化させ、機能不具合原因事象を達成できなくしている。従って、この補助機能は補助機能 b である。また、機能不具合原因事象が停止しなければ与えていた機能不具合変化影響とそれにより起こっていた機能不具合状態伝播過程を点線で囲ったノードと薄い矢印で示している。この補助機能により機能不具合変化影響を受けなくなっているのは本質機能達成木の部分機能「摩擦力を生成する」であるのでこの補助機能は「摩擦力を生成する」と同じグレインサイズに位置している。

6. 部分機能間関係と全体部分関係について

6.1 部分機能間関係

部分機能間関係とは機能達成木における同じグレインサイズの部分機能の間の関係のことである。ある部分機能が他の部分機能に果たす役割には主貢献と補助貢献という二種類がある。本質機能は他の本質機能に対し主貢献を行うか、他の本質機能から主貢献を受ける機能である。また、補助機能は本質機能に対し補助貢献を行う。補助機能 a の場合、影響リンク先と補助貢献先が同じ機能になるため、影響による属性変化が補助貢献のラベルに用いられる傾向にあったが概念的には別のものである。

貢献関係はほぼメタ機能[来村 02]と同じ概念であり、主貢献の下位概念として供給、駆動、可能がメタ機能と同様に存在する。また、補助貢献の下位概念として 5.1 節で述べた補助機能の種類が対応するものがあると考えており現在検討中である。

6.2 全体機能と部分機能の関係

これまで全体機能と部分機能の間には達成関係 (is-achieved-by) があるとしていたが、この関係には本質的達成関係と補助的達成関係の二種類がある。全体機能と本質的達成関係を結ぶ部分機能は、「他の部分機能に対し主貢献を行っている」、「他の部分機能から主貢献を受けている」及び、「他の部分機能から補助貢献を受けている」を一つ以上満たす部分機能である。また、他の部分機能に対し補助貢献を行っている部分機能が全体機能と補助的達成関係を結ぶ。

方式知識には全体機能と本質的達成関係にある部分機能列は必ず記述されるべきである。補助的達成関係にある部分機能は、全体機能を達成するために必須ではなく、達成原理に依存しないことがあり、コンテキストに依存して存在するため方式知識の一般性を保つためには本質機能と区別して記述されるべきである。部分機能間の関係及び、全体機能と部分機能の関係を図

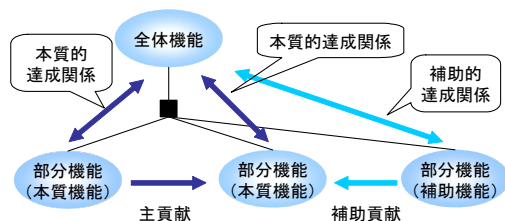


図 4 全体機能、部分機能間の関係

4 に示す。

7. 機能モデルの表示モード

ここまで、補助機能の設計意図を明示化するために必要な不具合や事象属性変化影響などに関する概念について述べてきた。しかし設計者にとって、これらの概念を用いて記述された意図外事象を含む機能モデルの情報をすべて同時に表示することは、常に必要ではなく、むしろ関心のある情報のみを表示することが望ましいといえる。本章では設計者の要求に応じた表示方法として、4 種類のモードを提案する。

① 意図事象表示モード

このモードは、設計者が意図した事象である本質機能及び補助機能の達成関係を、機能達成木を用いて表示する。

② 不具合表示モード

このモードはなぜその補助機能が存在しているかを明確にするため、その補助機能が存在しない場合にどのような不具合が生じるかを明示するモードである。そのため、意図事象表示モードに付け加えて、補助機能が解消している不具合の機能不具合発生過程、事象属性変化影響と機能不具合状態伝播過程を表示する。図 2 に補助機能を加えたものがそれにあたる。

③ 補助機能の設計意図表示モード

このモードは補助機能がどのように不具合を解消しているかを明確にするモードである。そのため、不具合表示モードに付け加えて、補助機能による事象変化影響とその事象変化状態の伝播を表示する。図 3 がこれにあたる。

④ 補助機能の設計意図限定表示モード

機能達成木に存在するすべての補助機能に対して、上の「補助機能の設計意図表示モード」で述べたように設計意図を表示すると、表示が複雑になるため見通しが悪くなり、またすべてを表示する必要がない場合がある。このモードはそのような場合に、各補助機能の設計意図を限定的に表示するモードである。このモードでは、意図事象表示モードに付け加えて、各補助機能が解消する不具合の第一機能不具合状態と最終機能不具合状態を表示する。また、あるならばその不具合のトリガーを、トリガーを生成する事象と同一の振る舞いを持つ機能から吹き出しを付けて表示し、それらと補助機能を点線の矢印で結んで表示する。

8. まとめ

本稿では補助機能の設計意図を明示する意図外事象を含む機能モデルについて述べた。ひとつのモデル上で、設計者が意図した事象である機能と意図外事象である不具合に関する事象を扱うことは、別のものとして扱われていた機能的設計知識をひとつに統合して処理していくことにつながる。また、7 章で述べた不具合表示モードが持つ情報は FMEA や仮説系統図が持つ情報を含むので、設計者の要求によって対象のモデルをそのような表示形式で示すことができると考えている。

参考文献

- [来村 02] 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, 人工知能学会論文誌, 17(1), pp61-72, 2002
 [来村 03] 来村徳信, 他: 機能的設計知識記述・共有の枠組みとその実用展開, 第 17 回人工知能学会全国大会, 1E1-04, 2003