

構成部品相関図の探究とそれを活用した機能系統図作成テクニックの考案

Investigation of Correlation Diagrams among Components and Consideration of Functional System Chart Creation Technique utilizing These Diagrams

(株)ミツバ
事業統括部 開発管理課
内村 浩之 VES

★要旨

VE 実施手順において機能の整理段階で機能を目的-手段の論理に基づいて機能系統図を作成する。この機能系統図は設計の考え方の理解やアイデア発想の誘発などに寄与し、次のステップである機能評価を行う上での材料となる。ゆえに機能的研究法の重要な位置づけといえよう。このためその作成過程及び完成度は機能的研究における活動成果に大きく影響を及ぼす。

この機能系統図の作成においては VE 活動メンバーの知識・経験・スキルによってその完成度、及び作成工数に差が生じてくる。本論文では製造段階の VE 活動において構成部品相関図を活用した機能系統図作成テクニックを考案するとともに VE 実践論文「VE 実践における機能抽出の課題と効果的な機能抽出方法の考案」^(注1)で考案した構成部品相関図を更に探究し向上させた内容を提案する。

★キーワード

製造段階の VE 活動、開発設計段階の VE、機能系統図、構成部品相関図、UH 相関図、図面

1. はじめに

VE 実施手順において機能定義段階で果たすべき機能を定義し、それを目的-手段の論理に基づいて機能系統図を作成する。その作成過程では、設計の考え方の理解促進や不必要機能の排除や必要機能の追加を行い、対象テーマの果たすべき機能を明確にしていながら VE 活動メンバー間のコミュニケーションの活発化と創造力を刺激しアイデア発想の誘発に寄与する。また機能定義の次のステップである機能評価では、機能系統図を基に得られた機能分野から必要とする機能の達成に費やされるコストを分析し、あるべきコストを評価し、価値の低い機能分野の優先順位をつけて、そこから代替案作成段階のアイデア発想へ検討を進めて行く。つまり機能系統図は、機能的研究法の重要な役割を担っていると同時にその作成過程及び完成度は活動成果に大きく影響を及ぼす。

機能系統図作成過程では、機能を定義した機能カードから目的機能追求、手段機能追求を行い目的-手段の論理に基づき体系図にしていくが、VE 活動メンバーの知識・経験・スキルによって、その作成過程及び完成度に差が生じてしまう。これは、VE は人が主体の活動であり、人間要素が活動成果に大きく影響されるからである。

本論文では製造段階の VE 活動において機能系統図作成過程にて効果的なアプローチ方法として構成部品相関図を活用した機能系統図作成テクニックを考案する。

また、VE 実践論文「VE 実践における機能抽出の課題と効果的な機能抽出方法の考案」^(注1)で考案した構成部品相関図を更に探究し向上させた内容を提案する。以後他の相関図との差別化を図るために執筆者が考案する構成部品相関図を執筆者のイニシャルを取り「UH 相関図」と記

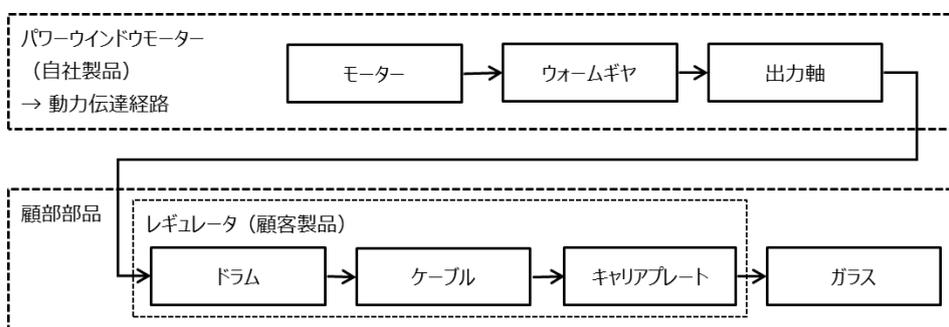
述する。

2. 今回 VE 実践した製品の概略説明

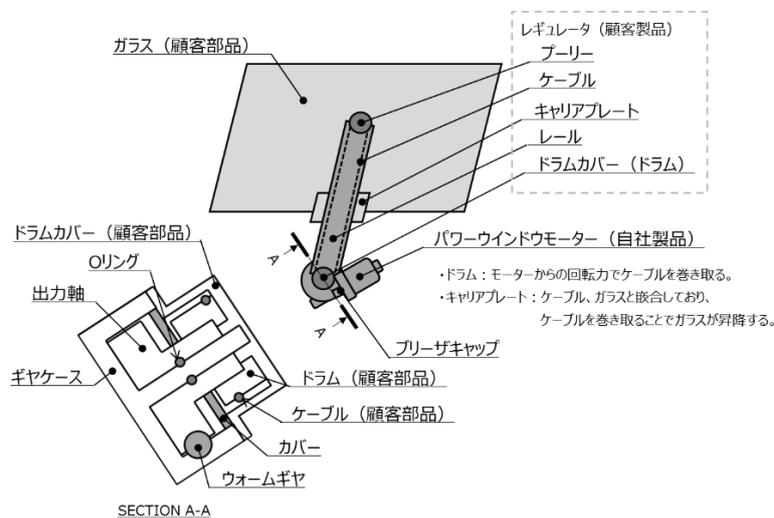
本論文の考案にあたり、今回 VE 実践したパワーウィンドウモーターの概略を説明する。

パワーウィンドウは、パワーウィンドウモーターの動力をレギュレータ(ドラム→ケーブル→キャリアプレート)へ伝達させ、ガラスを昇降させるシステムである。

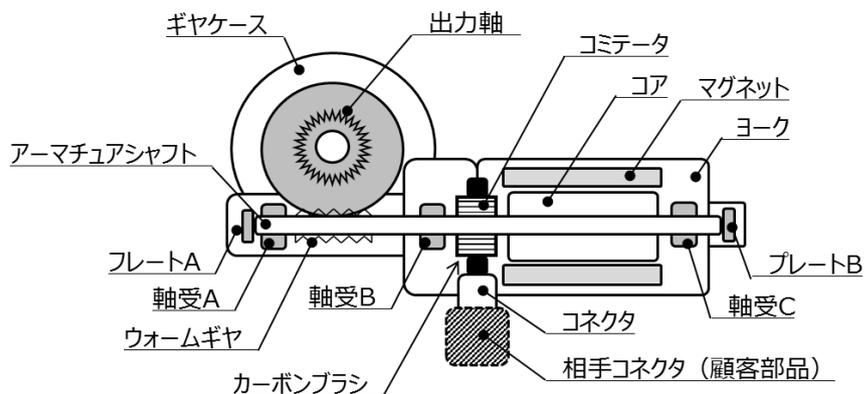
パワーウィンドウシステムの動力伝達経路と概略部品(顧客と自社製品)の関係を図表1に示す。また、パワーウィンドウシステムがどのような部品で構成されているか概略図を図表2に示し、そのパワーウィンドウモーターの断面図を図表3に示す。但し本論文で説明するパワーウィンドウモーターは内容の複雑化を回避するため、構成部品は便宜的に簡略化した構造を基に説明する。



図表1 パワーウィンドウシステムの動力伝達経路と概略部品(顧客と自社製品)の関係



図表2 パワーウィンドウシステムを構成する概略部品



図表3 パワーウインドウモーターの断面図(略図)

3. 機能系統図作成の課題と作成テクニックの考案

VE 実施手順における機能系統図の作成手順は、機能の定義をカード化し、そのカード群から1枚のカードを選定し、「何のために」を質問し目的機能(上位機能)を追求する。あるいは「どのようにして」を質問し手段機能(下位機能)を追求する。このように機能の定義で抽出したすべてのカードをこの方法に基づき目的-手段の体系図を作成していく。

この機能カードはシステムを構成する部品点数の規模にもよるが数百枚となるケースが少なくなく、この様な方法では作業も含め工数的負担が大きくなる。また VE 活動は効率的な目標達成が期待できるチームを編成することが理想であるが、現実的には、会社の規模や社内の配置転換、熟練した技術者の退職、または、知識や経験の浅い技術者や不慣れな人達がチームとして活動しなければならない場面もあり、必ずしも理想のチーム編成ができない場合もある。このような状況下で VE 活動を実践する際、実践計画に対して、機能系統図作成段階で大幅な遅延、延いては、時間的制約等から結果を先走り、本質を見失い中身の無い活動になってしまう可能性もあろう。

製造段階の VE 活動は既に機能が存在し、製品仕様も確立していることから UH 相関図を活用し知識・経験・スキルに依存することなく誰でも簡単に作業的手順で機能系統図を作成することができないかの観点で摸索・検討し今回の考案に至った。

4. UH 相関図の説明と探究

まずは機能系統図作成テクニックを説明する前に UH 相関図についての説明と探究した内容について記述する。

UH 相関図の作成手順及び機能抽出する方法については VE 実践論文「VE 実践における機能抽出の課題と効果的な機能抽出方法の考案」^(注1)で記述しているのでそちらを参照されたい。ここでは概要説明と探究した内容について記述する。

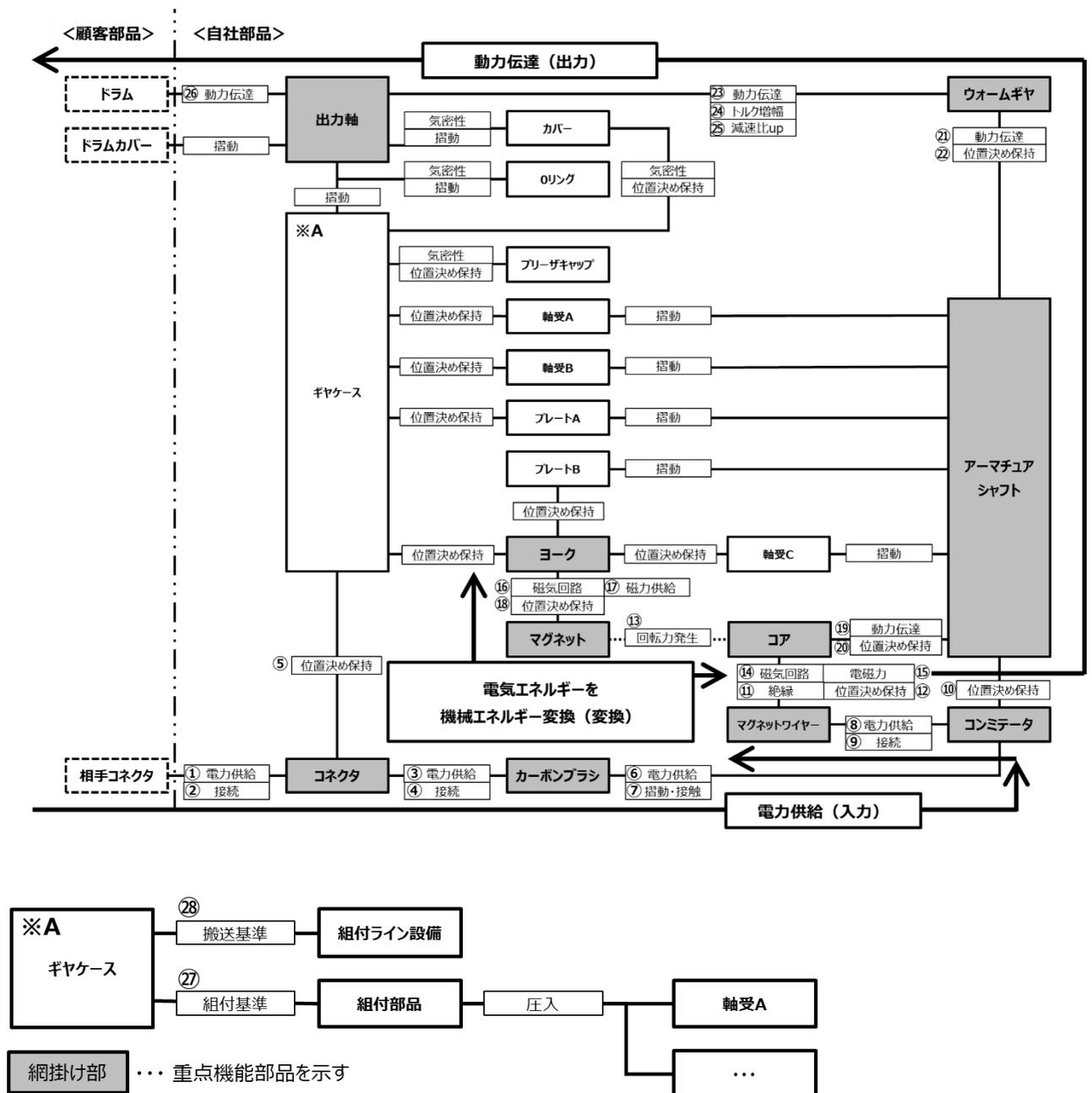
4.1 UH 相関図の概要説明

これはシステム製品を構成する部品間で相互作用している部位を線(点線)で結び、その部品間が何のために相互作用しているかを考え、結んだ線(点線)の上に「状態キーワード」を記載し体系図で表し視覚化したものである。またものごとのはたらきである入力-変換-出力を矢印で示し

視覚的に表現したものである。ここで「状態キーワード」と記述したが、前述の通り部品間が何のために相互作用するかを考えて抽出するキーワードであることからその内容の適切性を考え「機能キーワード」と名称を改める。

4.2 UH 関連図の探究

今回 VE 実践を行ったパワーウィンドウモーターについての UH 関連図を図表4に示す。これは図表1、2、3のパワーウィンドウモーターを対象に UH 関連図を作成したものであり、これを基に今回探究した内容を説明する。



図表4 パワーウィンドウモーターのUH 関連図

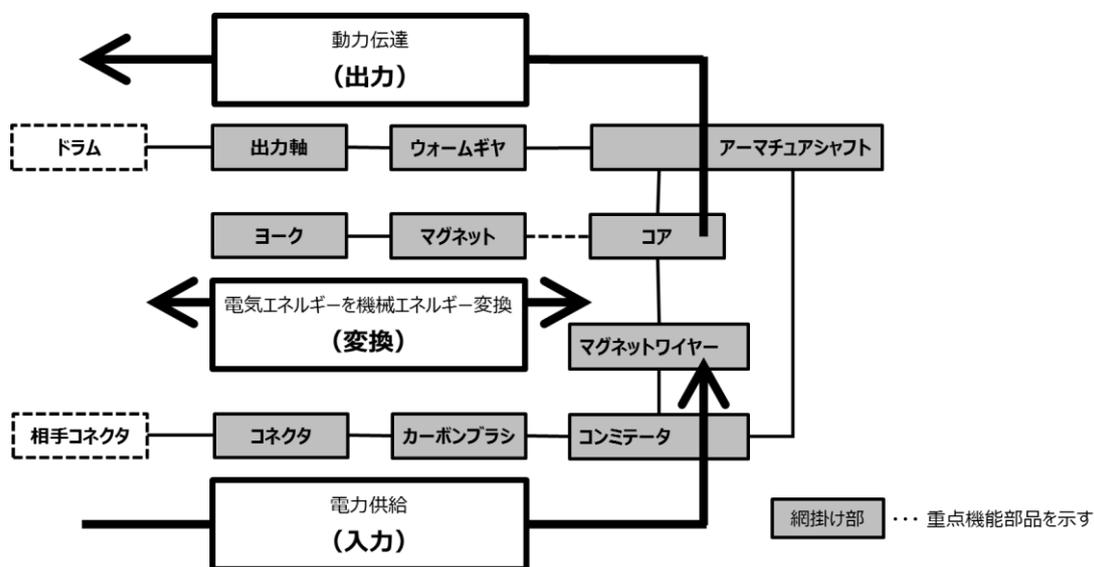
4. 2. 1 重点機能系列と補助機能系列及び UH 相関図

図表4のUH相関図から入力-変換-出力に関係する部品を抜粋したものを図表5に示す。

UH相関図は、入力-変換-出力に関係する因子を矢印で示し、その矢印を経由する部品が基本機能を達成させるための重点部品となる。つまり図表5で抜き出した部品の機能が重点機能系列になる。ゆえに基本的な設計方式を決定づける部品(機能)といえよう。

このため重点機能系列になる部品と線(点線)で結ばれた部品がそれを補う補助機能になる。また、重点機能系列になる部品と直接線(点線)で結ばれていない部品は、基本機能とは別に顧客要求からくる付随する機能である。たとえば、図表4に示すブリーザキャップは重点機能系列になる部品と直接線(点線)で結ばれておらず、これは顧客要求である防水性の機能を達成させるために必要な部品であり、これは補助機能となる。

図表4のように重点機能系列になる部品(灰色カード)と補助機能系列になる部品を区分け(色分け等)することで、その製品の基本的な設計方式を把握できるとともにどの部品がどのように重点機能を補っているかが視覚的に把握することができる。



図表5 UH相関図の入力-変換-出力を抜粋(重点機能となる部品)

4. 2. 2 一時的に必要な機能とUH相関図

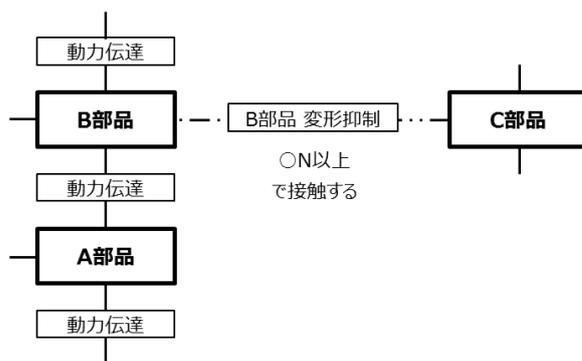
顧客の要求する機能を達成するためにシステム製品は、複数の部品から構成され、それぞれの部品にはその機能を達成させるためのそれぞれ手段的機能が存在する。つまりシステム製品は、それらの手段的機能の集合体で顧客の要求する機能を達成している。しかし、システム製品完成状態では機能しない機能も存在する。それは製品の組付けのみに必要となる機能である。たとえば、ギヤケースに軸受 A を圧入する際に圧入後の精度を確保するためギヤケースに圧入基準を設けるなどの機能を追加したり、また、組付においてギヤケースに搬送基準を設けるなどの機能を追加したりする。これらは組付け時に一時的に必要な機能であるが、システム製品の完成状態においては機能しない機能である。また、エマージェンシーなどの様にシステム製品完成状態において一時的に機能するものもある。UH相関図では、このように一時的に必要な機能が存在す

る部品については図表4の部品カードに※Aのように表現する。

このように一時的に必要な機能は、設計担当者が変わった場合、その意図が伝承されず不要だと思いきその機能を削除してしまう可能性もあり手戻りに繋がる恐れがある。UH 相関図は部品カードに※をつけ、それがついている部品には一時的に必要な機能が存在することが把握できるのでこれを回避できる。

4. 2. 3 状態変化で機能するパターンと UH 相関図

設計思想によっては状態変化により部品間を非接触状態から接触状態にさせる場合やその逆の場合もありうる。たとえば、荷重の増加に伴い、その部品の変形を考慮し、その部品が破壊しないように他の部品を接触させ変形を抑制させることで耐久性を向上させる場合やスイッチの様に状態変化により通電・無通電にする場合など。このような場合は製品設計者の意図した機能をよく確認し UH 相関図を作成するとよい。またこのような場合は部品間を二点車線で結びその付近にそれが成立する条件と部品間の状態(接触する・しない等)を記載する。この例示を図表6に示す。



図表6 状態変化により機能するパターン

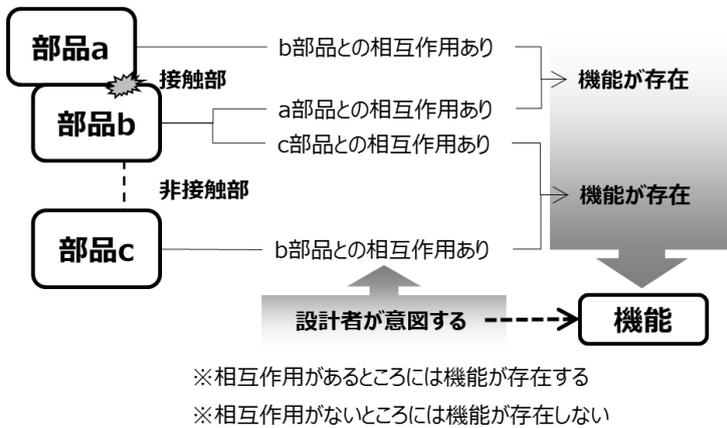
4. 2. 4 製品設計者の意図と機能について

本パワーウインドウモーターの製品設計は、顧客からの要求事項とさまざまな制約条件に対して、製品競争力を向上させつつ、どのようにしたら必要な機能を最小限の資源で満足できるかを意識して設計を行っている。製品を構成する部品点数を最小限にしつつその時代における最適な材質、加工、技術などを摸索・検討・選択し、それらの部品をどのように相互作用させ機能を満足させたらよいか設計を行った。その際、設計者が意図して部品間を接触させる部位には相互作用(動力伝達、振動伝搬、熱伝導、位置決め保持、ガイドなど)があり機能が存在する。また非接触部においても設計者が意図して部品間に相互作用(電磁力や磁力、電波、音波など)をもたせた部位には機能が存在する。ゆえに設計者が意図して相互作用させる部品間には機能が存在するといえよう。これらの関係について模式図にまとめたものを図表7に示す。

つまり設計者は顧客要求を満足させる製品を成立させるために構成する各部品において相互作用させるべき部位を明らかにして、接触させたい部位、接触させてはいけない部位を明確にし、製品を構成する各部品の接触部に基準を設け図面に寸法を指示する。これらの部位は材質、加工方法、耐久性やコストなど構成部品のバランスを鑑みてどの部品・部位を厳しい寸法で管理するか検討し決めていく。このため設計者の意図に反して部品間が接触したり、接触しなかったりす

ると機能を損ない不具合に繋がる可能性がある。

このためその製品の現仕様理解と改善に向けたアプローチを行う上で設計者の意図した機能を確り把握することは非常に重要である。



図表7 設計者が意図する相互作用と機能

4. 2. 5 製品設計者の意図した機能とUH 相関図

UH 相関図は、前述したようにシステムを構成する部品間で相互作用している部位を「機能キーワード」として体系図に表現していることから、設計者の意図した機能を明らかにしているといえよう。ゆえにUH 相関図から設計者の意図した機能を把握することができる。

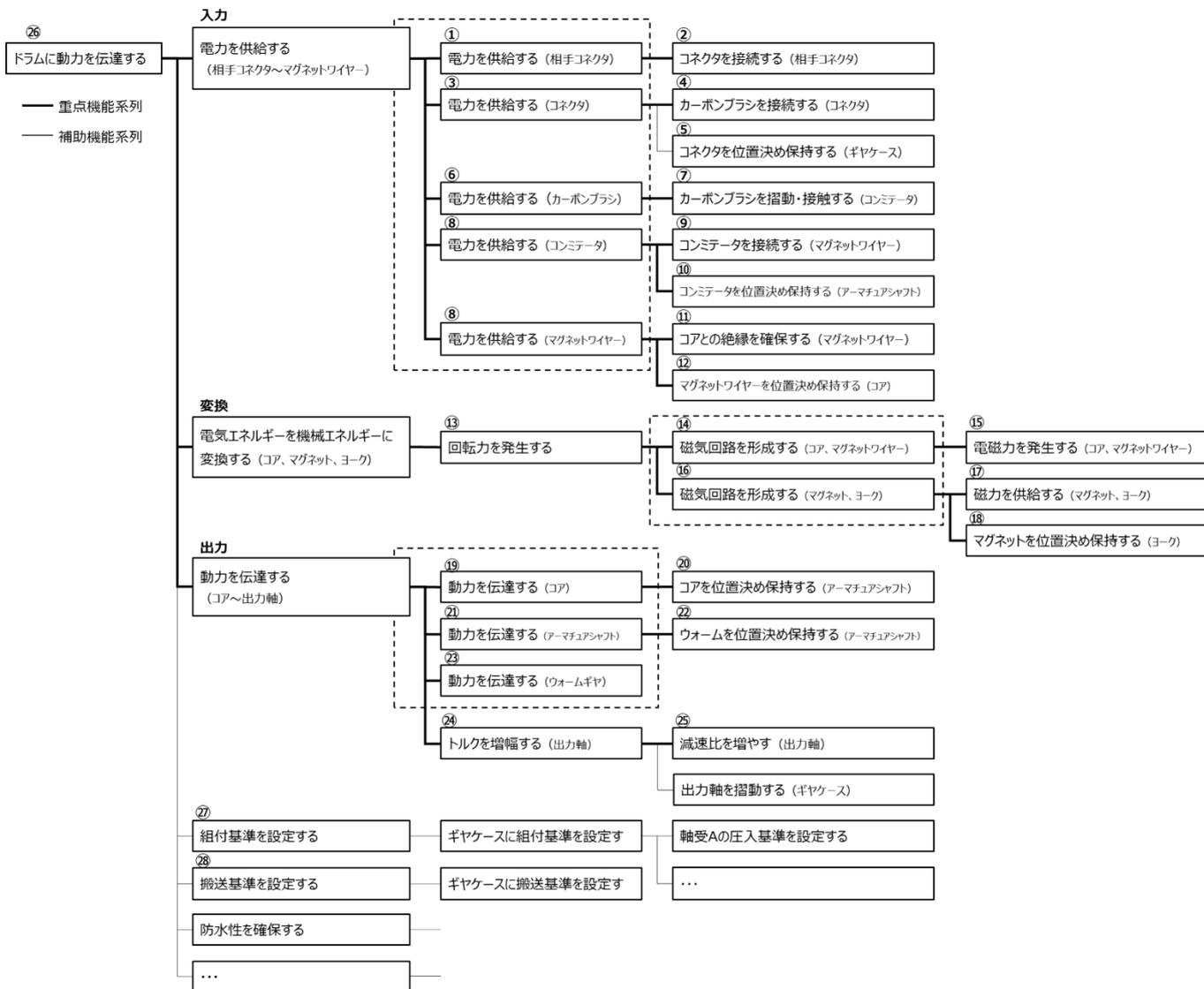
4. 2. 6 UH 相関図の期待される効果

UH 相関図の期待される効果については、VE 実践論文「VE 実践における機能抽出の課題と効果的な機能抽出方法の考案」^(注1)で記述しているのでそちらを参照されたい。ここでは今回の探究により新たに判った効果を記述する。

- (1) 設計者の意図した機能を把握することができるため、その製品の図面と併用し、設計思想を若手設計者、派生開発設計者、新に製品設計する担当者などへのスムーズな伝達と理解促進に有効である。(接触する部品間の図面を確認することで、どこがどの様に接触しているかがスムーズに把握でき、余計な図面を確認する手間がはぶけ理解促進に有効である)
- (2) 重点機能と補助機能になる部品を区分け(色分け等)することで両者が視覚的に把握できる。(抜本的な仕様改善する場合の着想となる)
- (3) 一時的に必要な機能や状態変化で機能するパターンも把握することができ、VE 活動メンバーへの製品構造の精通と設計者への製品構造伝承に有効である。
- (4) 競合他社製品や新たに進出する分野の他社製品などのテアダウン(分解調査)を行う場合に、その部品を分解し、部品間が接触する部位と非接触部でも何か相互作用している部位はないかの視点からUH 相関図を作成することができるので、その製品の構造探究と機能分析に有効である。

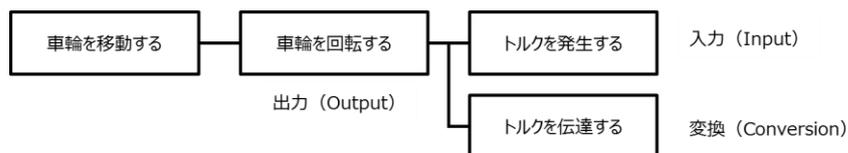
5. UH 相関図を活用した機能系統図の作成

UH 相関図を活用して作成した機能系統図を図表8に示す。

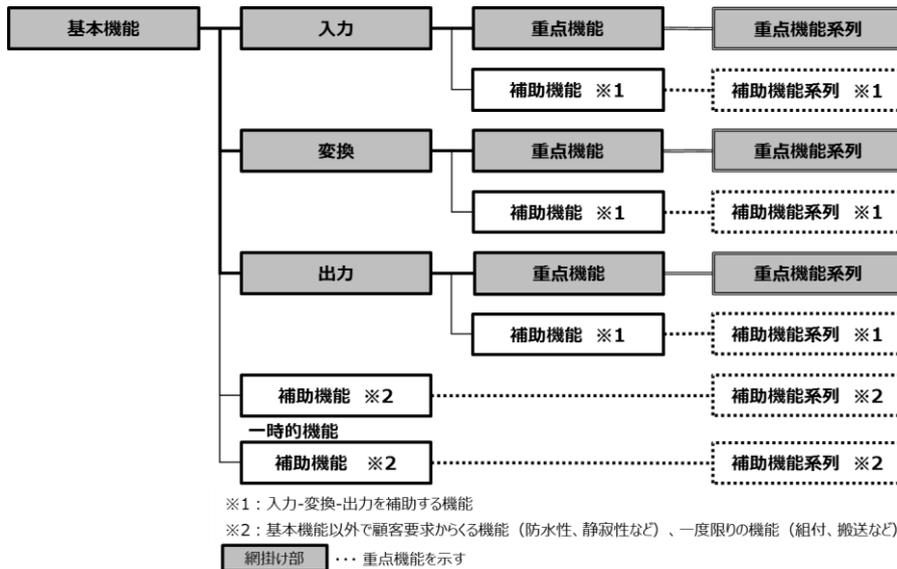


図表8 UH 相関図を活用して作成した機能系統図(其の1)

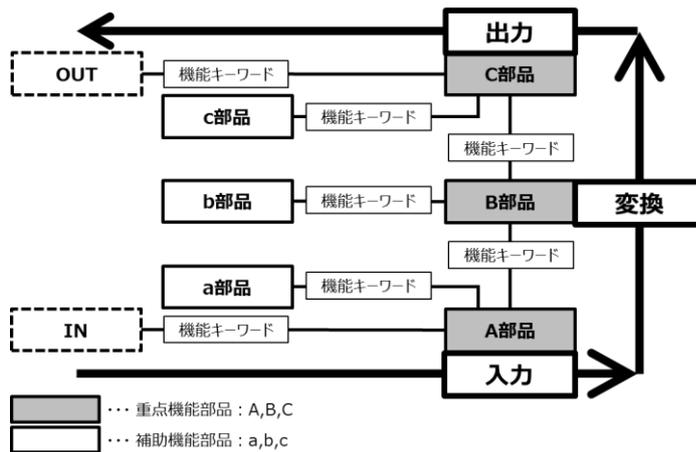
5.1 UH 相関図を活用した機能系統図作成テクニックの概要



図表9 目的-手段による機能の整理(注2)



図表10 UH 相関図を活用した機能系統図の概念図



図表11 UH 相関図の概念図

図表9^(注2)は、「VE ハンドブック」より引用したものである。

図表10はUH 相関図を活用した機能系統図作成の概念図を示し、図表11はUH 相関図の概念図を示す。

図表9は基本機能の右に出力を配置しているが、図表10では入力-変換-出力の機能がそれぞれ達成することで、基本機能を達成すると考え、出力も入力、変換と同様に独立従属関係に配置した。

図表10より入力-変換-出力にはそれぞれ重点機能が存在し、それらを補助する機能は※1として配置し、顧客の要求を満たすための付随機能も存在するので、これについては独立従属関係として補助機能※2に配置した。たとえば、防水性を確保するなどの機能である。また、一時的に必要な機能についても独立従属関係として補助機能※2に配置した。これは一時的に必要な機能もそれに費やされるコストが発生する可能性もあるので、機能評価を行いその機能を達成させるための手段も見直しが必要になる場合があるからである。また、一時的に必要な機能も

補助機能として機能系統図に表現することにより活動メンバーに共有でき、より製品理解に役立つからである。図表10のように補助機能の近辺に一時的機能であることを明記しておくとう判りやすい。

図表11で示すUH 相関図より、入力-変換-出力(部品 A、B、C)の機能と補助機能部品(部品 a、b、c)の機能を定義し、それらを図表10に示した機能カードに当てはめて機能系統図を作成する方法が、UH 相関図を活用した作成テクニックの概要である。

5.2 具体的な作成手順

図表12(図表4と図表8)から具体的な作成手順を説明する。作成手順は図表12に示す①～⑦の順で行う。

I. UH 相関図の入力-変換-出力(重点機能)から機能の定義を行い、

機能カードを配置する(①～③)

次に重点機能を補う補助機能から機能の定義を行い、機能カードを配置する(④)

機能カードを配置する際は、上位下位機能を考え配置する。

II. 上記以外の補助機能から機能の定義を行い、機能カードを配置する(⑤～⑥)

⑤基本機能とは別に顧客の要求があれば補助機能として記載する。

⑥一時的に必要な機能が存在する場合は記載する。

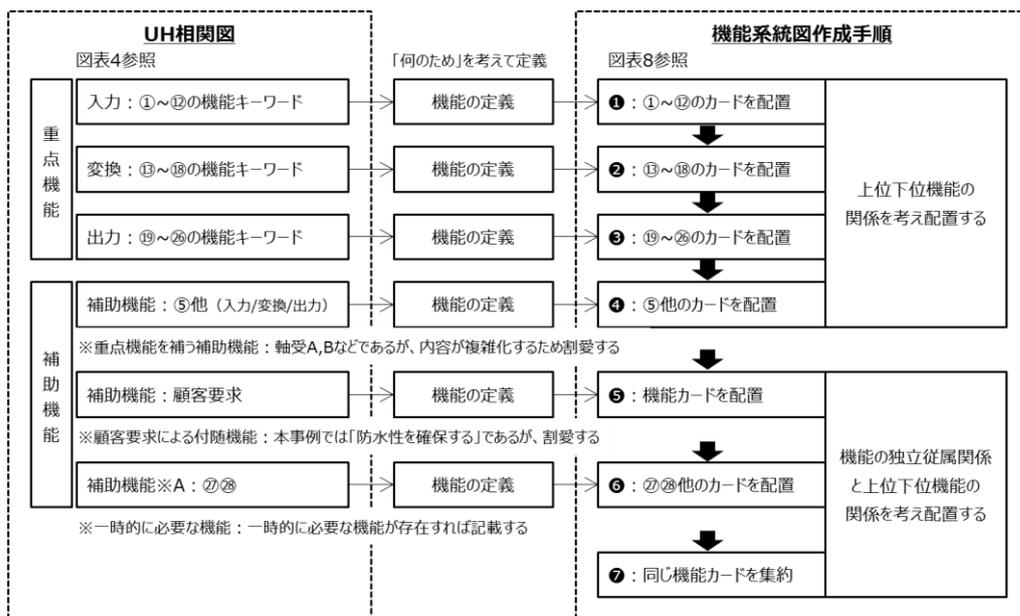
機能カードを配置する際は、機能の独立従属関係及び上位下位機能の関係を考え配置する。

III. 同じカードを集約する(⑦)

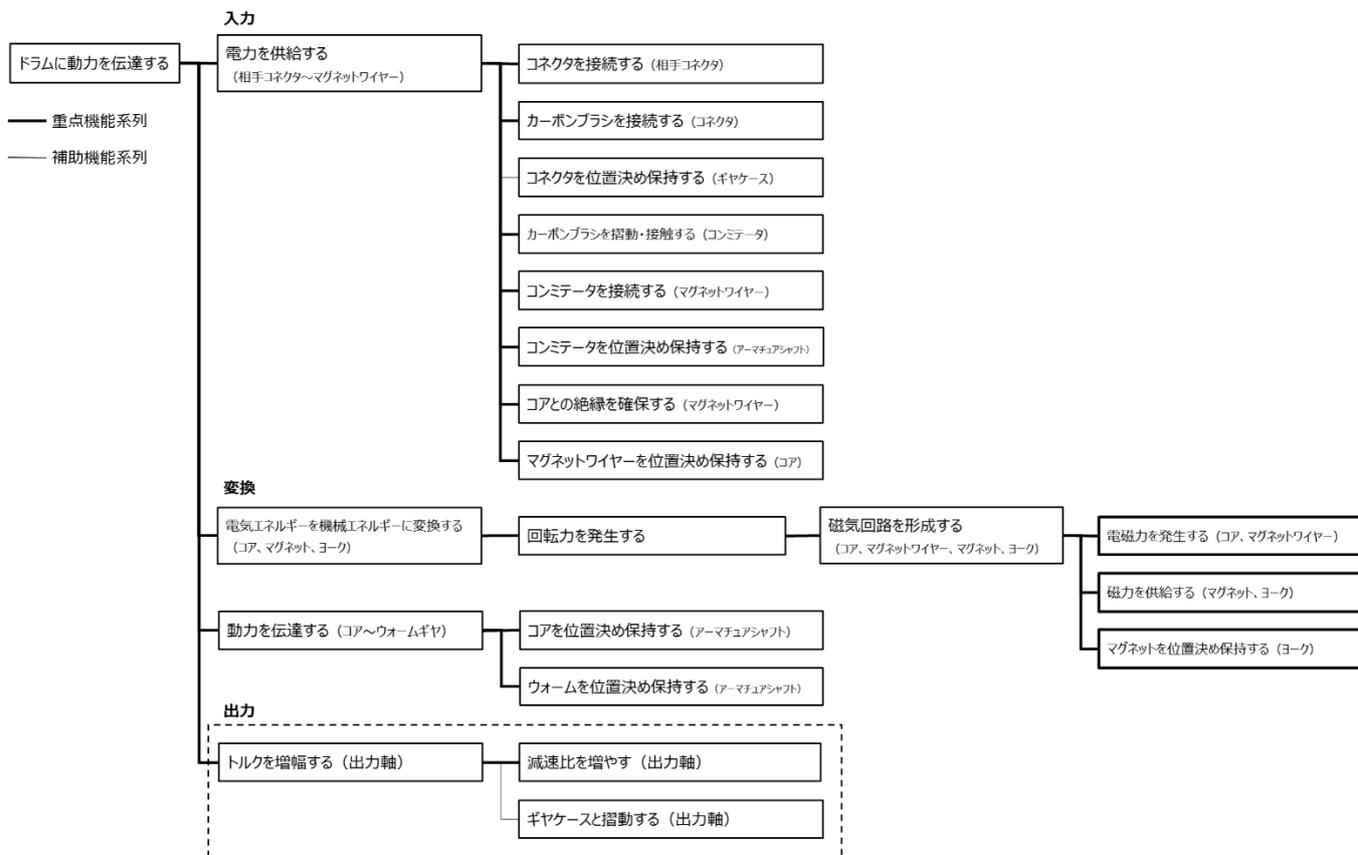
図表8で同じ機能カードが複数ある部位(点線で囲われた機能カード)を一つに集約する。

図表13に機能カードを集約した機能系統図を示す。

この際、機能分野「トルクを増幅する」については「動力を伝達する(コア～ウォームギヤ)」と上位下位機能の関係ではなく独立従属関係にあるので点線で囲われた位置に配置した。このように機能カードを集約する際は上位下位機能の関係と独立従属関係を考え配置するとよい。



図表12 UH 相関を活用した機能系統図作成手順



図表13 UH 相関図を活用して作成した機能系統図(其の2)

5.3 機能系統図作成過程におけるアイデア発想

機能系統図作成過程において機能カードの配置や集約する際、現手段がその上位目的を達成させるために最適なのか、もっとよい手段はないか(材料・形状・技術・工法・アナロジーなど)の観点でアイデアの素案を考えることも重要である。アイデアはふとした瞬間にひらめくことがあるので、それを書き留めておき育てていくことが大切である。今のその仕様、今のその構造を常識として捉えるのではなく、その目的を達成するための最適な手段は何かを常に考え、諦めないことが価値向上への糸口に繋がる。

6. UH 相関図を活用した機能系統図作成の妥当性

前述のように基本機能を達成するためにはシステムを構成する重点機能となる部品が存在し、またその重点機能を補う部品も存在する。UH 相関図は、ものごとのはたらきである入力-変換-出力からこの重点機能と補助機能になる部品を明らかにしている。

一方機能系統図も基本機能を達成させるための手段として入力-変換-出力の関係で整理し、目的-手段の論理に基づいた体系図より重点機能系列と補助機能系列を明らかにしていく、つまり両者には、重点機能と補助機能の共通点がある。UH 相関図から導いた入力-変換-出力(重点機能)と補助機能を機能系統図の体系図にあわせ、上位下位機能の関係及び独立従属関係を考え整理したものである。ゆえに今回考案するUH 相関図から前述した作業手順における機能系統図の作成は妥当なアプローチといえよう。

7. 本考案のポイントと効用

本考案のポイントは、製造段階の VE において機能系統図の作成過程とその完成度は、知識・経験・スキルに依存していたが、UH 相関図の活用により、作業の手順で容易に作成することができることである。今回のパワーウインドウモーターの部品点数は約40数点で、UH 相関図作成から機能の定義(重複機能含め約190枚の機能カード抽出)、機能系統図作成までに要した会合時間の合計は約20時間であった。従来のやり方との時間的改善効果は活動メンバーにより左右されるため直接示せないものの、前途の様に作業の手順で機能系統図を容易に完成することができたことが効果といえよう。今回初の試みでもあったため、ファシリテートや段取り等の創意工夫で更に時間短縮が期待できるであろう。この UH 相関図を活用した活動メンバー(現在他の製品で活用しているメンバーも含め)からは、その製品の構造や設計思想の理解、また機能を容易に明らかにできるツールであると評価を頂き、UH相関図は設計者の暗黙知を見える化したといえよう。また、UH相関図の探究により4. 2. 6で記述したUH相関図の期待される効果についても今回のVE実践を通じて確認することができ製品開発において有効なツールであるといえよう。

本提案の適用範囲は製造段階の VE 実践で確認したが、ある程度部品構成が決まった段階で UH 相関図を作成することができるので開発設計段階の VE にも活用が期待できる。

8. おわりに

製品開発をしていく上でさまざまな有効なツールがあるが、万能なツールはないと考える。そこには人間の要素による影響が成果を大きく左右するからである。それを使う人がいかにその上位目的を確り理解し活用することが重要である。中にはその帳票を完成させるのが目的になっているケースもありうる。これらのツールは上位目的を達成するためにそのツールの本質を理解した上で、自分なりにアレンジし使いこなすことも大切であると考えます。

製造段階の VE において機能系統図を作成する過程では、既に機能が存在し、仕様が確立している段階である。そこから機能系統図を作成するにあたり、そこには何らかの法則性があり、もっと合理的に作成できないか摸索した。またシステム製品では機能カードが数百点以上になるケースが多く、従来のやり方で機能系統図を作成すると工数的負担が非常に大きくなり効率が悪い、そこで UH 相関図と機能系統図の関係に共通点を見出し今回の考案に至った。今回パワーウインドウモーターを題材に UH 相関図を活用し機能系統図を作成したが、さまざまなシステム製品に活用ができるかと考える。この UH 相関図もただ作成するのではなく目的を確りもって活用することにより有効なツールになるであろう。本考案の内容が今後製品開発貢献の一助になれば幸いです。

【引用文献】

注1)内村 浩之:「VE 実践における機能抽出の課題と効果的な機能抽出方法の考案」、
バリュー・エンジニアリング誌 第316号(2022.2)

注2)上野一郎監修:「VE ハンドブック」、(社)日本バリュー・エンジニアリング協会 (2007)

【参考文献】

1) 土屋 裕 監修 産能大学 VE 研究 グループ 著:「新・VE の基本」、産能大学出版部
(1998)