

# 設計品質管理のための設計プロセス計画と検証及び要求開発のための一手法に関する研究—体系的RDCモデルによる設計プロセスの可視化—<sup>†</sup>

中沢俊彦\*/増田 宏\*\*

Development of a Methodology for Design Process Planning, Validations and Requirement Definitions for Managing Design Qualities—Design Process Recording by the Systematic RDC Model—

\*Toshihiko NAKAZAWA/\*\*Hiroshi MASUDA

In the field of product designing, a person skilled in designing creates drawings and specifications which are considered optimum for a certain design object based on knowledge, his/her patterns of thinking, and so on obtained from long years of experience. The majority of such knowledge consist of tacit knowledge the person.

Moreover, the design process may be iterative due to change of requirement, trial and error, and/or the like, and thus the design process is difficult to be described appropriately by a conventional process description method of sequential execution type.

The systematic RDC model is developed for capturing such implicit and explicit works in product design processes by describing external requirements, concept definitions, internal requirements, detailed definitions, and confirmations of the each work elements for design process planning, design process validation and requirement definitions. This method facilitates our review, communization, standardization of a design process, and consequently improves the design quality.

*Key words* : Design process modeling, Design quality, Requirement definition, RDC model

## 1. はじめに

製品設計の現場では設計に求められる品質を確保するための様々な手法・仕組みが活用されている。例えば、Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) は設計成果物である図面や CAD データに内在する不具

合を予見し、不具合の未然防止策を行うために有効な方法である。また、再発防止チェックリストや失敗事例集は、過去の失敗体験を蓄積し、同種の不具合の再発を防止する方法として用いられている。さらに、それらの未然防止策や再発防止策を製品構造にまで落とし込んだ設計標準が多くの設計現場で整備され設計品質の向上に役立てられている。再発防止チェックリストや失敗事例集といった設計知識の明示化手法を駆使する一方、暗黙的な設計知識を活用するための仕組みであるデザインレビューも多くの設計現場で実践され効果を上げている。

しかしながら注意深く見てみると、これらの仕組みは設計の中間成果物や最終成果物といった設計作業からの出力情報(設計情報)の品質管理が主たる目的とな

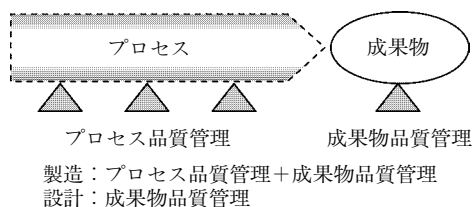
<sup>†</sup>平成 21 年 10 月 6 日 受付

平成 22 年 8 月 19 日 改訂

平成 23 年 2 月 2 日 採択(論文誌編集委員会)

\*エルエムエス ジャパン(株)

\*\* 東京大学



図・1 製造と設計活動における品質管理

っていることに気付く。

生産現場では、かねてより半製品検査や完成品検査のみで不良品のプロセス外への流出を完全に防ぐのは困難であるとの認識から、プロセスそのものの品質を高めることによって不良の発生を食い止める製品品質管理が行われている。このような生産現場の取り組みとは対照的に、設計現場では、設計プロセスから出力される成果物を対象にしたチェックが設計品質管理の主たる方法になっていると考えられる(図・1参照)。

生産現場ではよく知られた標語である「品質は工程で作ら込む」という思想は、設計現場においても有益な考え方であると思われる。この思想が設計プロセスの品質管理へ反映されにくいのは、設計プロセスそのものが捉え所のない対象であることにその理由を求めることができる。生産プロセス内の不具合発生防止の仕組みであるプロセスパラメータ管理、作業手順の標準化、ポカヨケなどに代表される様々な生産品質管理施策は、明示的に認識可能な実体のあるプロセスが存在していることによって、施策の計画、導入、実践、効果検証のサイクルを回すことができる。これに対して、設計プロセスはその多くの部分が設計者の暗黙的な意思決定作業によって構成されており、存在の把握ですら容易ではない。

今日、製品が投入される市場環境は急速に変化しており、市場からの品質要求も複雑化している。このような環境に対応するためには、これまでの設計成果物に対する定型的な品質管理に加え、設計プロセスそのものの品質をニーズに合わせて柔軟に調整していく管理手法が必要であると思われる。そのためには、まず設計プロセスの可視化を高い精度で行うためのプロセスの文書化手段が求められると考える。

設計プロセスの文書化が実現されることにより、

- ① 設計プロセスを設計者個人の暗黙知から設計者間の共有知識へと変えることができる。
- ② 設計プロセスが設計者間や設計組織で共有された結果、様々な設計目標に対して最も適切な内容と手順に体系化され標準化される。
- ③ 設計プロセスの検証が容易になり、設計者自身

と第三者による設計上の考慮点や作業項目の抜け漏れの検証精度が向上する。

- ④ 要求が明示的に記述されることによって、認識された要求自体の適切性の検証と共に、要求に対する設計内容の妥当性の管理が可能になる。などの効果が期待できる。

そこで、本稿では設計プロセスの可視化を目的としたプロセスの文書化手法の提案を行う。第2章では、既存手法による設計プロセス文書化の困難さの要因について論じ、第3章で新手法の具的な提案を行う。また、第4章では、自動車部品の設計プロセスへの提案手法の適用例について述べ、第5章で考察を示す。

## 2. 設計プロセス文書化の問題点

### 2.1 設計プロセスの可視化を阻む要因

設計プロセスの文書化が難しいことには幾つかの理由がある。一つの理由は、設計対象物が異なれば設計プロセスも異なるということに起因する。たとえ同一種類の製品であっても、製品設計プロセスは全く同一という訳ではない。したがって、設計プロセスは特定の製品設計に対して一度だけ実行される製品固有の手順となり、このような再利用性に乏しいプロセスを苦勞して記述し可視化しようという動機がなかなか生まれにくいものと考えられる。

また、もう一つの大きな理由として設計情報の創造プロセスである設計プロセスは、そのほとんどの部分が設計者の頭の中のみ存在するという点がある。設計の大まかな流れは、自動車の設計などで適用されている「企画設計→基本レイアウト→詳細設計→試作検証」といった標準手順、また Pahl と Beitz<sup>[1]</sup>の推奨する「役割の明確化→概念設計→実体設計→詳細設計」といった体系的な設計手順など、ある程度標準化された手順が存在している。しかしながら、その細部にいたっては、ほとんどが設計者の頭の中で行われる暗黙的なプロセスである。このために、過去に実行された設計プロセスは、多くの場合、明示的な形では残されておらず、設計者ごとの癖や習慣すなわち、その設計者個人の暗黙知として保存され再利用されている。

また、これらの理由に加え、設計プロセスが反復(Iteration)を特徴とするプロセスである<sup>[2],[3],[4]</sup>ことも、既存の多くのプロセス記述手法が用いているフローチャート形式などの逐次実行型を前提とする手法によってプロセスを記述することを困難にしている。

## 2.2 設計プロセスに関する従来研究

Baldwin ら<sup>[5]</sup>は、設計対象の人工物が設計パラメータと呼ばれるより小さなユニットに分解できるとし、設計パラメータを選択する行為を設計タスクと定義した。さらに、設計タスク間の関係には、設計パラメータ間の物理的・論理的な相互依存性と同形の設計構造があるとした。このモデルは、プロセスを要素に分割して分析するための有用な指針を提供しているが、設計意図や要求品質をどのように明示化するかについては十分に言及されていない。

設計プロセスの文書化は、Baldwin の捉え方と同様に、プロセスを設計タスクや作業の集合として捕捉する手法を中心として、すでに様々な種類の手法が存在する<sup>[6],[7],[8],[9]</sup>。表・1 は、それらの手法をまとめたものである。ここに示すように、これらの文書化手法は設計プロセスのいくつかの構成要素に着目し、それぞれの視点でのプロセスの姿を描き出す。例えば、GATE モデルは、設計プロセス上に複数の閘門を設け、閘門の通過条件を示すことによって、閘門に至る前に実施すべき作業とその完了条件を規定する。品質機能展開(QFD)は設計要求から設計パラメータの導出を「House of Quality」と呼ばれる2段階の変換表によって関連づけることによってプロセスを明示化する。

しかしながら、前章で挙げた設計プロセス文書化の

表・1 代表的な設計プロセスモデル化の方法

モデル化手法	注目する要素	可視化される情報
ガント チャート	・設計作業 ・作業の日程	・大まかな作業順序 ・日程上の作業分布
PERT	・設計作業 ・作業間の前後関係 ・作業時間	・厳密な作業順序 ・任意の2作業間のリードタイム ・クリティカルパス
IDEF 0, IDEF 3	・設計作業 ・作業のインプット、コントロールメカニズム、アウトプット ・プロセスフロー	・プロセスの構造 ・設計リスク ・作業順序
DSM	・設計作業 ・作業間の依存関係	・作業の反復 ・反復が最小の作業順序 ・相互依存する作業グループ
GATE モデル	・設計作業 ・設計局面	・作業局面の完了条件 ・作業のデッドライン
IPO モデル	・インプット、プロセス、アウトプット	・作業の実行順序
Signposting モデル	・タスク ・設計の状態 ・設計遷移の可能性	・タスクの有効性
QFD	・要求品質 ・品質特性 ・機能特性	・要求品質の重要度 ・要求のあいまいさ

期待値と照らし合わせると、これらの手法は設計プロセス文書化の効果を十分に具現化していないと思われる。そこで、本研究ではこれらの期待値に合う設計プロセス文書化手法の確立を目指し、設計プロセスの文脈(論理的な流れ)を追いながらプロセスを詳細に文書化する方法論を考案した。

## 3. 本研究で提案する新手法

本章では、新しい設計プロセスの文書化手法として体系的RDCモデルを提案する。まず、本方法論の全体像を示し、次に、本方法論の分析ステップの詳細について述べる。さらに、具体的な事例を用いて手法の実行可能性を示す。

本方法論は設計知識の蓄積を目的として過去に実行された設計プロセスの形式知化を行うことを第一義とするが、製品設計を開始する前の設計プロセスの計画手法、及び要求開発手法としても活用することも想定する。

通常、設計プロセスは、概念レベルと詳細レベルのフェーズに分けて考えることができる。前者は、「概念設計」<sup>[1]</sup>や「システム設計」<sup>[10]</sup>が相当し、後者は、「実体設計」や「詳細設計」がそれに該当する。こうした設計プロセスの分解をPahl, G., Beitz, W.らが「体系的(Systematic)設計過程」と呼んだ。本研究でも、体系的な設計過程に沿った設計プロセスの文書化を考える。

本研究の基礎となった研究に、設計プロセスを構成する「要求認識作業」(Requirement identification)「設計定義作業」(Definition)「確認作業」(Confirmation)という3種類の作業要素に着目してプロセスを文書化する手法であるRDCモデル<sup>[11],[12]</sup>があり、単一のフレームワークによって多種多様な製品の設計プロセスが分析できることが示されている。RDCモデルでは設計プロセスを巨視的に要求認識作業→定義作業→確認作業の流れに分解しているが、この手法の適用検証が進むに従い、この分類は必ずしも実際の設計プロセスの構造を適切に表現したものとはなっておらず、RDCモデルに則った記述では重要な設計要素の抜け漏れが多く発生することが明らかになってきた。

PahlとBeitzが述べているように、設計作業にはより細かい思考順序に沿った文脈が存在する。そこで、本研究では個々の設計タスクを概念設計フェーズと詳細設計フェーズに分離したモデルを考え、この思考順序を前提とした設計プロセスを記述するフレーム

ワークを提案する。この方法により、従来のRDCモデルと比較して以下のような機能の向上を図ることができた。

① 設計者が暗黙的に行っている設計上の意思決定作業をプロセスの論理的な繋がりを辿って洗い出すことができるようになり、意思決定作業の分析精度が飛躍的に向上した。

② 設計プロセスを構成する各作業の体系的フレームワークに沿った分類により、作業間の関連を正しく把握できるようになった。この結果、各作業の妥当性が容易に検証できるようになった。

③ 確認作業を確認の対象ごとに分類して記述することによって、確認の記述の正確性が高まるとともに、記述の抜け漏れが減少した。

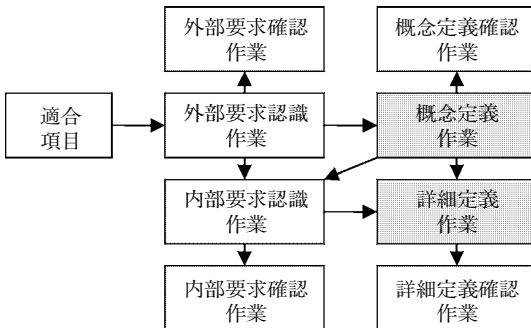
④ 外部から与えられる要求と設計者自らが設定する要求を区別して記述できるようになった。この区別化によって設計プロセスの文書化機能に加えて、要求開発の機能を持つことができた。

これらの結果、より正確な設計プロセスの文書化が可能になり、第1章で述べた期待値の具現化手段としての評価に耐える設計プロセス分析手法へと発展した。この新しい設計プロセスの文書化手法を、上述の体系的設計過程に則った手法であることから、体系的RDCモデルと呼ぶ。

本稿では、体系的RDCモデルによって設計プロセスの文書化が可能であることを論証と事例を持って検証する。さらに、この手法は設計対象物の種類を問わない汎用的な方法であることについても述べる。

### 3.1 体系的RDCモデルのフレームワーク

体系的RDCモデルでは、要求認識作業は概念設計フェーズにおける「外部要求認識作業」と詳細設計フェーズにおける「内部要求認識作業」に分別され、設計定義作業は概念設計フェーズにおける「概念定義作業」と詳細設計フェーズにおける「詳細定義作業」に分別される。さらに、それぞれの過程に付随する確認作業を基本要素として設計プロセスを記述する。



図・2 体系的設計プロセス

業」と詳細設計フェーズにおける「詳細定義作業」に分別される。さらに、それぞれの過程に付随する確認作業を基本要素として設計プロセスを記述する。

図・2に体系的RDCモデルが記述する設計プロセスのフレームワークを示す。図中の矢印は本モデルが前提とする設計作業の論理的な流れの方向を示している。表・2に各設計作業要素の定義をまとめる。

### 3.2 体系的RDCモデルによる分析ステップ

次に、体系的RDCモデルの分析・記述手順を、具体例を交えて述べる。ここでは、便宜的に文書化の手順に番号を振っているが、これは実際の文書化作業をこの順序通りに行うという意味ではない。設計プロセスの文書化は、分析者の頭に浮かんだ一つの設計作業項目を発想の基点として、関連する作業要素の記述へ

表・2 体系的RDCモデルの設計作業要素

<b>外部要求(External Requirement) 認識</b> 外部環境や人工物内部自体より設計対象となる人工物全体又は人工物の一部に対する要求の存在と大きさを定性的、定量的に認識する作業(ただし、モデル化を行う際は、～を認識する作業と書くこと記述が冗長であるため、認識する対象や値の名称をもって簡略記述することも可とする。例えば、「耐久性に対する要求を認識する作業」というところを、事前の計画の場合は「耐久性」と、または過去のプロセスを分析する場合、要求の値までわかっている場合は「耐久性 20 万回」などと記述する)。
<b>概念定義(Conceptual Definition)</b> 外部要求作業として認識された要求に耐えうように、または満足するように人工物の構成や構造コンセプトを定義する作業(または定義作業の対象の名称をもって簡略記述しても可)。
<b>内部要求(Internal Requirement) 認識</b> 人工物全体または人工物の一部が満たすべき要求の目標値(仕様)を定める作業(または簡略した表現として認識しようとする要求の名称、認識作業の結果認識された値を記述しても可)。
<b>詳細定義(Detail Definition)</b> 内部要求作業によって定められた要求の目標値が実現されるように人工物全体または人工物の一部を定義する作業(または定義作業の対象の名称をもって簡略記述しても可)。
<b>確認(Confirmation)</b> 要求認識作業で規定された要求の存在や大きさのあいまいさを是正するための作業、または定義作業の結果が要求で定めた目標値を満たしているかどうかの検証作業。
* Note: モデル化の際、作業の名称を記述するか、作業の対象を記述するかについては混乱が生じやすい。製品の設計実行前に計画のために記述する場合は作業名称または作業対象名称、作業の結果得られると期待される目標値を記述することになる。また、設計プロセスの実行後の事後の記録として記述する場合は作業の結果認識または定義された値となることが多い。したがって、設計作業とプロセスのモデル化を併行して進める場合は、これら事前の計画の記述と事後の結果の記述が混在したものとなる。

とネットワーク状に広がっていくため、実際の文書化作業は各手順を前後しつつその詳細度を高めていく。

### ① 適合項目の抽出

まず、体系的RDCモデルによる設計プロセス文書化の基本となる分析が、設計対象となる製品が適合しなければならない対象(オブジェクト)の洗い出しである。

体系的RDCモデルでは、設計とは“製品の構造や仕様を、要求の発生源と考えられる対象に適合するように規定していく個々の意思決定作業の集合”であると解釈する。この時、製品が適合すべき対象のことを“適合項目”と呼ぶことにする。人やモノや抽象的な概念など、設計を行う際には様々な“満足させなければならない相手”が存在するが、適合項目はそれらの対象であると考えると理解しやすい(図・3参照)。

さらに、わかりやすい例として工場内の製造設備に取り付けるプッシュスイッチ(図・4参照)の設計プロセスを想定して適合項目を洗い出した例を示す(表・3参照)。

この表からもわかるように適合項目は多層層に記述することができる。例えば、レベル1の適合項目の一つとしてスイッチの製造工程が記述されているが、この製造工程はさらに樹脂成形工程、プレス工程、機械加工工程、表面処理工程、組立工程といったスイッチの様々な製造工程に分解することができ、さらに樹脂成形工程は表示板成形工程とノブ成形工程に分解され、これらのオブジェクトが設計対象物の適合対象であることが分析されている。

### ② 外部要求認識作業の分析

図・2に示したように、「外部要求認識作業」は適合項目から直接導出される要求事項を認識する作業である。言い方を変え、次項で述べる適合項目に適合する設計コンセプトを決定するに当たっての必要な要求事項を認識する作業と考える。

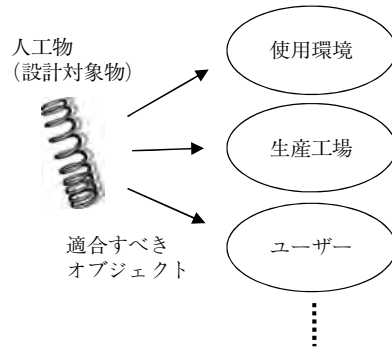
例えば、“ユーザー”という適合項目より、「扱いやすいこと」「使い方がマニュアルを見なくともわかること」などといった要求事項を認識することができる。また、“使用環境”という適合項目より認識される外部要求事項として、「識別しやすいこと」「メンテナンスしやすいこと」などが考えられるであろう。

このような定性的な要求事項の認識作業に加え、「200ルクスの照度下で0.7以上の視力を持つ第一・第二色覚異常者が識別できること」「標準工具を用いて5分以内に取り外しが可能なこと」などといったより定量的な要求事項の認識作業も記述することができる。

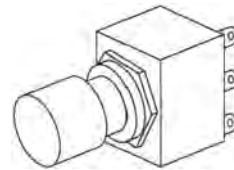
外部要求認識作業は、このような要求事項を認識するための作業であるが、「扱いやすいこと」を認識する(した)作業」と書くこと冗長であるため、単に「扱いやすいこと」と認識される(された)要求事項のみを記述する。

認識された外部要求事項が定性的であるか定量的であるかは、設計者がその外部要求事項をどの程度具体的に把握できているかのバロメータにもなる。例えば、「扱いやすいこと」といった要求事項には、そもそも定量化するための方法や単位が存在しない場合が多く、その解釈は受け取る人によってまちまちである可能性が高い。それ故、このような定性的な要求事項の、要求としての正確さは必然的に低くなる。

このような曖昧な外部要求認識作業を検証するために「外部要求確認」作業がある。例えば、「使い方がマニュアルを見なくともわかること」という定性的な



図・3 適合項目



図・4 プッシュスイッチ

表・3 プッシュスイッチの適合項目例

製品	適合項目 (レベル1)	適合項目 (レベル2)	適合項目 (レベル3)	
スイッチ	使用環境			
	ユーザー			
	適用機械			
	製造工程	樹脂成形工程	表示板成形工程	ノブ成形工程
		プレス工程		
		機械加工工程		
		表面処理工程		
		組立工程		

外部要求事項の精度を高めるために、「ユーザーに対する試作品またはモックアップによる当該器具の直感的な利用可能率を調査する」といった確認作業が設計プロセスに存在する場合がある。製品のユーザー層の調査と的確なセグメンテーション及びテスト計画を伴うことによって、例えば、「使い方がマニュアルを見なくともわかること」⇒「試作品による調査によって過去に同等装置を扱った経験のある熟練作業者の90%がマニュアルなしで使えること」といったように、認識される外部要求事項の記述精度を高めることができるようになる。

すでに洗い出された外部要求認識作業の正確性を高めるためのこのような確認作業に加え、適合項目そのものが、そもそもどのような要求事項を包含しているかを洗い出す作業も、外部要求確認作業として記述されなければならない重要な作業要素となる。例えば、「スイッチの適用機械(適合項目)市場における同機能スイッチの実態調査」などは認識すべき外部要求事項を精度良く洗い出すための典型的な確認作業である。

### ③ 概念定義作業の分析

「概念定義作業」は、外部要求作業の結果認識された要求事項を満たすために製品の構造や構成を定義する作業である。

通常の製品設計プロセスでは、外部要求認識作業の結果認識された要求事項を満たすために、製品の大きな構造や、どのような構成要素や部品を組み合わせるかが検討される。また、その際に個々の構成要素や部品をどのようなレイアウトにするかが決められる。例えば、上述の工作機械に使用するスイッチの種類を押しボタンスイッチにするのか、シーソータイプ(ロッカースイッチ)にするのか、密閉型のシールタイプにするのか、開放タイプにするのかなどの選択が概念定義として行われる。また、部品を付ける・付けない、特定の形状を採用する・しないなどといった意思決定も概念定義であると考えられる。

設計活動の多くは、既存の設計概念を発展させる流用設計である。このような参考となる先行設計事例がある場合、設計者は無意識に概念定義作業を行っている場合がある。例えば、従来製品では、スイッチを機械本体に締結する方法としてネジを使っていたとする。このような先行事例がある場合、設計者は新製品の設計時に「締結方法(としてネジの採用)を決定する」という意思決定(概念定義)を行っているにもかかわらず、明示的な意思決定内容としては意識していな

い場合がある。体系的RDCモデルでは設計プロセスの論理的流れを追うために、このような明示化されていない意思決定作業も洗い出す必要がある(なぜなら、ネジの採用という概念定義が記述されていないと、その後の締結力の決定という外部要求事項の認識やネジの本数、径といった詳細定義作業の記述と結びつく概念定義作業が存在しないことになってしまうからである)。そのためには、外部要求認識作業で認識された外部要求事項を実現する上で、どのような概念定義の選択や決定が行われるのかを注意深く考え、書き出していく必要がある。

概念定義作業において決定した設計コンセプトの検証作業が「概念定義の確認作業」である。例えば、概念設計で選択した密閉タイプのスイッチが工場環境下で長期間問題なく作動するのかわ、防塵テストや防水テストなどの確認作業によって検証する必要がある場合などが概念定義確認作業の典型的な例である。

### ④ 内部要求認識作業の分析

「内部要求認識作業」は、概念定義作業で定められたコンセプトまたはその構成要素が外部要求事項を満たすために備えるべき特性の定性的な目標、及び定量的な目標値(仕様)を認識、決定する作業である。

先の工作機械用のスイッチのケースを考えてみると、「ユーザー」という適合項目において、「扱いやすいこと」という外部要求事項に対して概念定義作業の結果「押しボタンスイッチ」が選定された。この場合、扱いやすさを実現するために押しボタンスイッチが備えなければならない具体的な特性が内部要求事項となるので、「操作力:1N以下」といった目標値や、もっと具体的に「バネ定数:2N/mm以下」といった内部要求事項の認識作業または認識された内部要求事項が記述できる。また、特に感性的な要求などの場合、定性的な記述にならざるを得ないことが多い。したがって、「他のスイッチと見間違わない色であること」といった定性的な内容も内部要求事項として書き出すことが重要である。

内部要求認識作業も外部要求認識作業と同様に、記述の冗長性を避けるため内部要求事項の記述をもって内部要求認識作業と考える。

また、付随する確認作業があれば「内部要求確認作業」として記述する。

### ⑤ 詳細定義作業の分析

「詳細定義作業」は内部要求認識作業によって定められた特性が実現されるように製品または製品の部分や要素を定義する作業である。具体的には、図面や

CAD データに記載される形状、寸法、材質、表面処理などのパラメータを定義する作業を記述する。

通常の製品開発プロセスでは多くの評価や検証試験が行われる。これらの活動は、そのほとんどが詳細定義された内容に対する確認作業、すなわち「詳細定義確認作業」である。

詳細定義作業では、信頼できる設計ロジック、過去の経験、試験データなどの設計根拠が揃っていない中で形状や寸法を決めてしまうことがあるが、そのような詳細定義作業は不具合の温床となる可能性がある。事前計画として設計プロセスを記述する場合、明示的に行われている評価や検証試験に加えて、このような根拠の曖昧な詳細定義作業に対してどのような詳細定義の確認が必要なのかを熟慮して書き出すことも重要である。

外部要求認識作業、概念定義作業、内部要求認識作業、詳細定義作業とそれらに付随する確認作業、すなわち設計作業要素の分析は前段階の適合項目の分析において分析ツリーの最下層となった適合項目すべてに対して行う。表・4は、表・3のスイッチの事例における適合項目の一つである「ユーザー」について設計作業要素を分析した例の一部である。

分析者は、まず適合項目である「ユーザー」より発せられる外部要求認識作業を記述していくことができる。その際、外部要求事項を明確化するための調査項目や検討項目、試験項目などがあれば外部要求確認作業として記述する。

その後、外部要求事項を満たすための設計コンセプトの選定作業を概念定義作業として記述する。検証項目があれば、概念定義確認作業として列挙する。

さらに、概念定義作業で選択された設計定義の詳細仕様を設定する作業を内部要求認識作業として記述し、設定された内部要求事項を満たすためのパラメータなどの決定作業を詳細定義作業に記述するという設計の思考順序に従い表を埋めていく。

また、その逆に寸法などの設計パラメータに記述内容が近く比較的認識しやすい詳細定義作業から出発してその根拠を追うことによって順次上流の手順へと遡って設計プロセスを記述していくことも可能である。このように体系的 RDC モデルによる設計プロセスの分析は上流から下流、下流から上流のいずれの順序も取ることができるため、最も認識しやすい設計作業要素から分析を開始することができる。

通常、設計作業要素間の関係は多対多の関係になる。例えば表・4の場合、3つの外部要求事項を満た

表・4 プッシュスイッチ「ユーザー」の設計作業要素分析例

① 適合項目 … ユーザー	外部要求確認作業	概念定義確認作業
	同機種に採用されているスイッチの種類調査	(空欄)
	② 外部要求認識作業	③ 概念定義作業
	扱いやすいこと	押しボタンスwitchの選択
	熟練作業者の90%がマニュアルなしで操作できること	(空欄)
	連続して1000回押しした後、作業者に障害が発生しないこと	(空欄)
	④ 内部要求認識作業	⑤ 詳細定義作業
	スイッチ操作力: 1 N 以下	接点の材質
	バネ力(押し込み時): 0.7 N 以下	接点の構造、形状
	バネ力(戻り時): 0.4 N 以下	トラベル量
	内部要求確認作業	詳細定義確認作業
工程能力調査, ばらつきを検証 (空欄)	操作力テスト 節度感テスト	

すための1つの概念定義作業が記述されている。このような場合、利用しない概念定義のセルは空欄となる。

### 3.3 設計作業要素間の関係の記述

従来の RDC モデルでは設計作業要素間の関係は一つ一つの定義作業ごとに一枚のチャート上で定義作業要素と関係する要求認識作業要素および確認作業要素を線で結びつけて示す方法で記述していた。

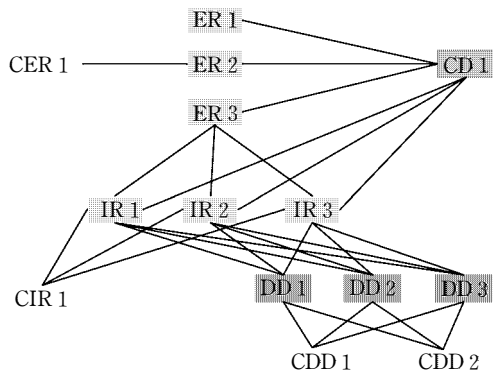
体系的 RDC モデルでは設計作業要素の種類が多く、その関係も複雑になるため、2次元のチャート上での表記が困難となる。図・5は、表・4に示した設計作業要素間の関係を2次元平面状に視覚化した例である。ここでは紙面の制約のため、表・4の外部要求認識作業を上から順番に ER 1~n, 概念定義作業を CD 1, 内部要求認識作業を IR 1~n, 詳細定義作業を DD 1~n で表し、それぞれの確認作業には先頭に C を付けることで表した(nは追番)。

このような比較的少数の設計作業要素からなる事例でも、それらの関係を示す線がかなり込み入ってしまい理解し辛いチャートになってしまうことがわかる。

このような制約から、体系的 RDC モデルによって抽出された設計作業要素間の関係を記録する場合は、他作業要素との関連情報を各作業要素の属性情報として、別途、データベースなどに保存する方法を取ることを想定している(本稿では、このデータベース仕様についての議論は省略する)。

### 3.4 要求開発手法としての体系的 RDC モデル

外部要求事項は適合項目より導出されるが、同時に



図・5 設計作業要素間関係

概念定義作業によってその達成手段が明らかになっていなければならない。すなわち、体系的 RDC モデルによって記述された外部要求事項には適合項目という明示的な要求発生源と概念定義作業というその要求を満たすための実現手段の決定作業が必要となる。

同様に、設計者が決定する内部要求事項もまた、外部要求事項および概念定義作業との関係付けにより、発生源由来の明示化が求められると共に、詳細定義作業による具現化可能性の検討が必要になる。

つまり、体系的 RDC モデルによって記述される要求事項には必ずその由来と達成方法の記述が伴っていないなければならない。

記述する要求の内容を由来と達成手段を明確にしながらか精査していく作業は要求開発と捉えることができ、このことから体系的 RDC モデルは設計プロセスの記述手法であると同時に要求開発手法としての性質を持っていると考えることができる。

#### 4. 適用事例

本章では、体系的 RDC モデルによって自動車用前照灯の設計プロセスを分析したテスト事例について述べる。

本分析事例の対象となった2灯式自動車用前照灯を図・6に示す。また、本分析作業は、当該製品の設計に携わった設計者の一人によって行われた。

表・5に体系的 RDC モデルによって洗い出された適合項目を示す。

表・6には、一例として、「サービス」適合項目に対して分析された設計作業要素を示す。また、洗い出された設計作業要素すべてを表・7に示す。

表・8にこのモデル化作業で抽出された設計作業要素数をまとめた。この分析作業に要した期間は約1週



図・6 自動車用前照灯

表・5 自動車用前照灯の適合項目例

製品	適合項目 (レベル1)	適合項目 (レベル2)	適合項目 (レベル3)
ヘッドランプ	顧客	デザイン	
		設計	配光目標
			車両レイアウト
			顧客試験基準
		サービス	
		品質	外観品質目標
			顧客品質基準
		顧客組立工程	
	法規		
	金型・成形要件	レンズ金型要件	
		リフレクター金型要件	
		ハウジング金型要件	
	部品加工要件	レンズ加工要件	
		リフレクター加工要件	
コスト目標			
自社組立工程			
自社工程内検査装置			

間であった(ただし、作業は分析者の通常業務時間外を利用して不連続に実施された)。

体系的 RDC モデルによって設計プロセスの文書化を行うと、記述された設計プロセスの様々な不備を容易に検証することができるようになる。

表・9は、「サービス」適合項目に対して分析された設計作業要素(表・6参照)の不備を見直した内容であり、ここでは7つの要素が追加されている。この例に示すように、一旦、文書化することにより、プロセスの推敲が設計者本人と第三者にとって容易に実行できるようになり、設計上の考慮点の抜け漏れリスクを減少させることができる。

#### 5. 考察

##### 5.1 記述されたモデルの質と精度について

表・10に従来の RDC モデルと体系的 RDC モデル



表・6 自動車用前照灯「サービス」の設計作業要素分析例

外部要求確認作業	概念定義確認作業
取り付け部周辺のエッジを確認	(空欄)
外部要求認識作業	概念定義作業
車載工具で灯体の取り外し、再組付けができること	標準ボルトの採用
灯体を取り外すことなくバルブ交換が可能なこと	正面または上方よりの締付け
バルブへのアクセス時手を怪我しないこと	(空欄)
バルブカバーは容易かつ確実に再組付けができること	(空欄)
バンパー A 面位置に伴うサービス作業空間	(空欄)
フェンダー先端部形状	(空欄)
フェンダーと前照灯取り付け BRKT の公差 0.7 mm	(空欄)
ラジエターグリルは取り外してもよい	(空欄)
ラジエターシュラウド形状に伴うサービス作業空間	(空欄)
バッテリー位置に伴うサービス作業空間	(空欄)
バッテリーの設置位置ばらつき 3 mm	(空欄)
車載スパナにより着脱可能なこと	(空欄)
車載ドライバーにより着脱可能なこと	(空欄)
内部要求認識作業	詳細定義作業
正面締付は締付け軌跡上の部品よりより 5 mm 以上確保すること	正面取り付け位置 4 箇所
上面締付部は締付け軌跡と車体のスキ 3 mm 以上を確保すること	上面取り付け位置 1 箇所
バルブカバーの組み付け位置を間違えないようにすること	バルブカバー上に組み付け後上方を示す印の設置
バルブカバーの組み付け終了時には節度感があること	H 4 ハロゲンランプの使用
(空欄)	標準直結コネクタの使用
(空欄)	バルブセンター位置
(空欄)	バルブカバー径
内部要求確認作業	詳細定義確認作業
(空欄)	バルブ交換軌跡の机上検討
(空欄)	実車での灯対交換性評価
(空欄)	実車でのバルブ交換性評価

によって抽出された自動車用前照灯の設計作業要素数の比較を示す。

第 3 章で述べたように、体系的 RDC モデルは設計プロセスの体系的な手順と論理的な繋がりを検討することによって文書化作業を行う。すなわち、ある作業要素の発見をきっかけとして、認識されている作業のみならず、明示的に認識されていないが論理的に存

在しなければならない作業要素を数珠繋ぎに見つけ出すことができ、結果として得られるモデルの質と精度の向上を得ることができる。しかしながら、本方法論が持つこの性質は、文書化対象となった設計プロセスの論理性がもともと曖昧あることを露呈させてしまうことも多く、通常は設計者であるプロセスの分析者は、文書化の過程で、自身の設計作業過程の論理的なつながりを再構成しなければならなくなる。反面、この過程を乗り越えることによって、今まで曖昧のままに行ってきた設計過程が明確になり、非常に質の高いプロセスを記述できるようになる。第 4 章で述べた適用事例においては、無意識のうちに決定していた多くの概念定義作業を明示的に表現することができたことに加え、内部要求事項をより定量的に記述することができた。この結果、表・10 に示すように従来の RDC モデルと比較して 5 割以上も多い作業要素の抽出を行うことができた。同様の試行を業務用複写機の設計プロセスについても行っており、この場合も文書化された作業要素数は 3 割程度向上した。

このように、体系的 RDC モデルを利用すると、暗黙的な設計作業要素が設計過程の論理的な再構成によって明示化されることが明らかになり、本手法が論理的に矛盾のない細密な設計プロセスを“設計”する有効な手段となることを示すことができた。

さらに、RDC モデルによる設計プロセス分析を複数の設計者によるグループ作業によって実施すると、参加者の間でお互いの設計作業過程の差異に起因する活発な意見交換が起こることが確認されており、体系的 RDC モデルが、設計プロセスに対する設計者相互のピアレビュー (Peer Review)<sup>[13]</sup>の具体的な手段になると共に、設計プロセスの標準化へと繋がることが期待できる。

## 5.2 設計現場での実行可能性について

体系的 RDC モデルによる設計プロセス分析が実際の設計現場での設計品質管理手段として有効かどうかは、常に多忙な設計現場での実行可能性が重要な指標となる。体系的 RDC モデルは、実施されるすべての製品設計プロジェクトにおけるルーティンワークの一つとして適用されてこそその効果が見込める。この点については、第 4 章で示したケーススタディにおいて、文書化作業に要する時間が設計内作業の一つとして取り組める程度の十分な小ささであることが確認できた。

表・7 自動車用前照灯のすべての設計作業要素

デザイン		標準呼吸穴を2箇所設置のこと		呼吸穴位置	
Confirmation for ER	Confirmation for CD	呼吸穴と防水リブの間隔は5mm以内のこと	呼吸穴防水リブ位置		
External Requirement	Conceptual Definition	BRKTの表面処理xx規格以上のこと	ハウジング補強リブ位置		
レンズ面はフロント面データに準拠	プラスチックレンズ	ハウジングの最小板厚2mm以上のこと	リフレクター固定レイアウト		
レンズ外周Rはデザイン外周Rに準拠	リフレクターによる配光制御	ハードコートグレードxx以上使用	金属部表面処理		
レンズ外周奥行き面はデザインデータに極力準拠	クリアレンズ	PPグレードxx以上	ハウジング板厚		
リフレクター外周形状	レンズ形状	PCグレードxx以上	ハウジング材料選定		
タミー部面形状はデザインデータに準拠	ハロゲン2灯式	リフレクター静的保持力xxN以上	レンズ材料選定		
外観はデザイン外観モデル相当のこと		Confirmation for IR	Confirmation for DD		
Internal Requirement	Detail Definition	ビレットホルダー保持力試験	実車水路走行テスト		
レンズ透明度95%以上	レンズ面		耐水性試験		
蒸着反射率97%以上	レンズ縦面		強度試験		
放物曲線	レンズ外周R		耐振試験		
各社ポリカーボネートマテリアルプロバイダー	バルブセンター		耐衝撃試験		
	リフレクターF		耐衝撃試験後光度測定		
	リフレクター開口面		耐熱性テスト		
	レンズ材質選定		耐寒性テスト		
Confirmation for IR	Confirmation for DD		耐薬品性試験		
			塩水噴霧テスト		
配光目標		サービス			
Confirmation for ER	Confirmation for CD	Confirmation for ER	Confirmation for CD		
	試作品による配光ムラ許容レベル確認テスト	取り付け部周辺のエッジを確認			
External Requirement	Conceptual Definition	External Requirement	Conceptual Definition		
路面照度基準を満たすこと	試作品による側方視認性確認テスト	車載工具で灯体の取り外し、再組付けができること	標準ボルトの採用		
スクリーン照度基準を満たすこと	Conceptual Definition	灯体を取り外すことなくバルブ交換が可能なこと	正面または上方よりの締付け		
側方視界を確保すること	ハロゲン2灯式	バルブへのアクセス時手を怪我しないこと			
配光ムラなきこと		バルブカバーは容易かつ確実に再組付けができること			
Internal Requirement	Detail Definition	バンパーA面位置にともなうサービス作業空間			
Fxx以上のこと	F	フェンダー先端部形状			
リフレクター高さxx上のこと	リフレクター幅	フェンダーとヘッドランプ取り付けBRKTの公差0.7mm			
リフレクター幅xx以上のこと	リフレクター高さ	ラジエターグリル取り外しのための隙間確保のこと			
	リフレクターパターン	ラジエターシュラウド形状に伴うサービス作業空間			
Confirmation for IR	Confirmation for DD	バッテリー位置に伴うサービス作業空間			
光束数計算	スクリーン照度試験	バッテリーの設置位置ばらつき3mm			
	路面照度測定	車載スナナにより着脱可能なこと			
	走行時視認性テスト	車載ドライバーにより着脱可能なこと			
	停車時配光ムラ評価	Internal Requirement	Detail Definition		
		正面締付けは締付け軌跡上の部品より5mm以上確保すること	正面取り付け位置4箇所		
車両レイアウト	Confirmation for CD	上面締付けは締付け軌跡と車体のスキ3mm以上を確保すること	上面取り付け位置1箇所		
Confirmation for ER	Confirmation for CD	バルブカバーの組み付け位置を間違えないようにすること	バルブカバー上に組み付け後上方を示す印の設置		
ボンネットオーバーバーストローク量	Conceptual Definition	バルブカバーの組み付け終了時には節度感があること	H4ハロゲンランプの使用		
軽衝突時バンパーA面変形量	プラスチックレンズの採用				
External Requirement	Conceptual Definition				
ラジエターシュラウドとの隙3mm以上	2灯式ハロゲンランプの採用				
フロントエンドハーネスとの隙5mm以上	PPハウジングの採用				
バンパーA面との隙5mm以上					
軽衝突時バンパーA面位置変形による破損なきこと					
ラジエターグリルとの干渉なきこと					
フェンダー					
レンズ面はデザイン面に準拠					
バッテリー					
エイミング角目標値を実現すること					
ボンネット先端との干渉なきこと					
ボンネット先端オーバーバーストロークによる干渉による破損なきこと					
Internal Requirement	Detail Definition				
ボンネットとのスキ8mm以上のこと	レンズ接着面				
バンパーとのスキ8mm以上のこと	レンズ抜き角				
ラジエターグリルとのスキ3mm以上のこと	レンズ抜き方向(水平方向)				
バルブ交換軌跡とバッテリーとのスキ5mm以上	フィラメントセンター				
レンズフック高さ	F				
	ビレットレイアウト				
	レンズフック位置				
Confirmation for IR	Confirmation for DD				
公差積み上げ計算	エイミング時のリフレクターとハウジングのスキ				
バルブ交換軌跡検証					
バルブ交換時作業性					
顧客試験基準		外観品質目標			
Confirmation for ER	Confirmation for CD	Confirmation for ER	Confirmation for CD		
耐熱テスト後の許容変形量明確化	振動テスト	レンズ色見本の承認	リフレクターパターンの承認		
	耐候性テスト	蒸着色見本の承認			
	耐薬品性テスト	External Requirement	Conceptual Definition		
	衝撃テスト	デザイン面に準拠すること	コンプレックスサーフェスリフレクター		
External Requirement	Conceptual Definition	デザインラインに準拠すること	蒸着サブリフレクターの設定		
耐水性試験にて水漏れなきこと	呼吸穴防水方式	サブリフレクターデザイン面に準拠すること	フェンダーに取り付け基準を設置		
強度にて破損なきこと	呼吸穴防水方式	カットのない透明レンズを備えること			
耐振性にて破損なきこと	呼吸穴防水方式	AI蒸着サブリフレクターを備えること			
耐衝撃性にて破損なきこと	呼吸穴防水方式	フェンダーとのスキ1.5mmとすること			
耐候性後光度の95%を確保のこと	呼吸穴防水方式	バンパーとのスキ8mmとすること			
耐熱性テスト後の変形なきこと	呼吸穴防水方式	ボンネットとのスキ6mmとすること			
耐寒性テストにて異常なきこと	呼吸穴防水方式	Internal Requirement	Detail Definition		
耐薬品性にて異常なきこと	呼吸穴防水方式	レンズPC材質透過率97%以上	レンズ材質の決定		
防錆にて錆なきこと	呼吸穴防水方式	サブリフレクター蒸着はリフレクターと同等のこと	ハードコートグレードの決定		
Internal Requirement	Detail Definition	ハウジング上の取り付け基準ピンとレンズ表面の組立公差0.5mm以下	蒸着時間の決定		
		サブリフレクターの外周はレンズ内面に沿うこと	リフレクター用BMC材質の選定		
			レンズ、ハウジング位置決め方法の決定		
			リフレクターパターンの決定		
			Confirmation for DD		
			リフレクターパターンの承認		
			完成品承認		
		顧客品質基準			
Confirmation for ER	Confirmation for CD	Confirmation for ER	Confirmation for CD		
External Requirement	Conceptual Definition	External Requirement	Conceptual Definition		
基準間の公差0.5mm以内	ハードコート品質顧客承認	基準間の公差0.5mm以内	ロボットによるレンズとハウジングの固定		
基準とレンズ表面の公差0.7mm以内	ハードコート品質顧客承認	基準とレンズ表面の公差0.7mm以内	ハウジングはPP射出成形品とする		

レンズに気泡やフィンガープリントなど異常なきこと	レンズは PC 射出成形とする
	ハードコート処理はクリーンルームにて行う
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
成型時のハウジング公差 0.3 mm 以内	ハウジング材質 PP タルク入りとする
成型時のレンズ公差 0.3 mm 以内	ハウジング成形機サイズの決定
レンズ表面の 0.3 mm 以上の気泡、ゴミ付着 1000 mm <sup>2</sup> に 3 個以下	レンズ PC グレードの選定
	金型メーカーの選定
	クリーンルームの管理基準の決定
	工程内検査基準の決定
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
限度見本サンプルによる顧客との合意	完成品検査
<b>顧客組立工程</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
車両へのヘッドランプ組み付け軌跡が確保されていること	正面から 4 箇所、上方から 1 箇所の取り付け構造とする
既存の混流工程に備わるインパクトレンチで締結が可能なこと	上方からアクセス可能な十字アジャストスクリューの設置
既存の混流工程に備わるエアードライバでエイミング作業が可能なこと	位置決めピンによる位置決め
仮固定が可能なこと	
フェンダーと干渉しない組み付け軌跡が存在すること	
バンパーと干渉しない組み付け軌跡が存在すること	
ヘッドランプブラケットと干渉しない組み付け軌跡が存在すること	
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
取り付け足はデザインの上下限ライン以内となること	取り付け足形状
無締結状態でランプから手を離しても脱落しないこと	アジャストスクリュー位置
	位置決めピン位置
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
	組み付け軌跡検証
	エイミング作業性検証
	組み付け作業性検証
<b>法規</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
	シミュレーションによる配光検証
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
国内保安基準を満たすこと	2 灯式ハロゲン型式とする
JIS を満たすこと	H 4 バルブを利用する
ECE に適合すること	
EEC に適合すること	
FMVSS に適合すること	
ADR に適合すること	
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
照度ばらつきを考慮して各国法規基準を満たす照度を確保すること	バルブセンター位置の決定
上方への漏光をもたらす反射面のないようにすること	リフレクターパターンの決定
	F の決定
	サブリフレクター—棚部へのローレットの設置
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
	試作リフレクターによる配光評価
	成型リフレクターによる配光評価
	最終組立品による配光評価
	上方への漏光評価
<b>レンズ金型加工要件</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
デザインラインを実現すること	射出成型金型とする
デザイン面を実現すること	コーナー部はスライドコアにより成型する
既存成形機により成形可能なこと	
レンズ材質特性	
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
スライドが抜けること	レンズ形状
抜き勾配 5 度以上のこと	レンズ接着ライン吹流し
公差 0.3 mm 以下を満たすこと	型割りライン
	基本抜き方向
	スライド抜き方向
	抜き角
	ゲート位置の決定
	突き出しピンはレンズ接着リブ上に設定
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
	金型設計
	金型メーカーによる DR
<b>リフレクター金型加工要件</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
BMC 材料特性	射出成形により成形を行う
既存成形機により成形可能なこと	
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
リフレクターパターン境界上の R は 0.1 以下	抜き方向の決定
最小抜き勾配 5 度以上のこと	型割りラインの決定

必要突き出しピン間隔 30 mm 以下	突き出しピン位置の決定
最大筋肉厚 3 mm 以下	ゲート位置の決定
離型時に変形なきこと	リフレクター反射面パターン
標準ゲート構造採用のこと	
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
	金型メーカー DR
	金型設計
	成形品品質評価
<b>ハウジング金型加工要件</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
既存成形機により成形可能なこと	射出成形により成形を行う
離型時に変形なきこと	
PP タルク入り材料	
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
最小抜き勾配 5 度とすること	基本抜き方向
筋肉部 3 mm 以下のこと	接着溝吹流し
公差 0.3 mm 以下を満たすこと	取り付け足部形状
	灯体ポケット部形状
	バルブ挿入口形状
	アジャストスクリュー挿入口形状
	リフレクター固定ボス形状
	サブリフレクター固定ボス形状
	突き出しピン位置
	ゲート位置
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
	金型メーカー DR
	金型設計
	成形品品質評価
<b>リフレクター加工要件</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
既存機器を利用して成形後の 2 次加工を行うこと	BMC 射出成形リフレクターの採用
自動バリ取り機と手作業にてバリ取りを行うこと	
蒸着後の不良率を下げること	
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
バリ取り後の残バリ 0.1 mm 以下のこと	(バリの取りやすい)型割りラインの決定
	蒸着面
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
<b>コスト目標</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
標準品を利用すること	標準アジャストスクリューの利用
	標準クリップの利用
	標準締結部品の利用
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
<b>自社組立工程</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
リフレクターの自動組み付け機が利用できること	組み立て順序
ホットメルト塗布ロボットを利用できること	リフレクターアセンブリはハウジングに面直方向より圧入する
レンズはロボットで組み付けること	バルブ口金はリフレクター面直方向からの締付けにて固定
ホットメルトによる接着	
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
シール溝は再細部でも 7 mm を確保のこと	シール溝
ピボットの圧入力は 100 N 以下のこと	ピボットホルダー形状
	リフレクター圧入時治具接触面
	タッピングスクリュー
	アジャストスクリュー初期締め込み位置
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
	ロボットティーチング
	パイロット組み立て
<b>自社工程内検査装置</b>	
<b>Confirmation for ER</b>	<b>Confirmation for CD</b>
<b>External Requirement</b>	<b>Conceptual Definition</b>
自動配光測定器による検査が可能なこと	アジャストスクリューへのアクセスガイドの設置
	空気穴を塞ぐためのリブの設置
エアリークチェッカーによる検査が可能なこと	
<b>Internal Requirement</b>	<b>Detail Definition</b>
アジャストスクリューは十字であること	アジャストスクリューアクセスガイド形状
アクセスガイドの開口部は Φ 7 以上であること	空気穴密閉リブ形状
アクセスガイドは確実に自動ドライバーをアジャストスクリューに導くこと	検査治具への固定のための基準ピンの設置
空気穴密閉後のエアリークなきこと	
<b>Confirmation for IR</b>	<b>Confirmation for DD</b>
	自動検査テスト

表・8 自動車用前照灯の設計作業要素数

外部要求認識作業	86要素
概念定義作業	41要素
内部要求認識作業	54要素
詳細定義作業	85要素

## 6. おわりに

設計作業で生成された設計情報は、図面に記録することによって、内容を推敲するとともに、他者への伝達を行うことができる。ところが、そのような設計情報を図面に記録することはできても、どのような経緯や背景でそれが生成されたのかということの記述については、その有効な(実際の設計現場での実用性のある)方法が確立されておらず、知識の推敲や共有がままならない状態となっている。

本研究は、設計品質管理のために設計の経緯(プロセス)を記述する実用的な方法を検討することを目的としており、体系的RDCモデルはこの目的を達成する方法論であると考えている。

すでに、複数の製品設計プロセスへ体系的RDCモデルを適用することによって、その有効性の検証を行っている。この結果、大きな問題点を持つことなく、それら設計プロセスの文書化ができたことは手法の有効性を検証する上でも大きな収穫である。しかしながら、体系的RDCモデルによって記述されたモデルがプロセスの構成要素をどの程度網羅できているかというカバレッジについてはたびたび問題提起されている。この点を検証するためには、体系的RDCモデルと同じ視点でプロセスを分析する他の方法が必要であるが、第2章で述べたように、既存の設計プロセスモデル化手法が注目している設計プロセス上の要素はどれも同じではないため、現時点では、この検証自体が未解決の課題となっている。

体系的RDCモデルは、方法論として未だ黎明期にある。今後の実施検証を通じて様々な課題が見いだされることが予想されるが、それらは今後の研究活動や設計現場での検討を通じて解決していく所存である。

また、われわれが行う日常生活における意思決定活動も本手法で記述できることがわかってきており、人間の意思決定プロセスは設計現場でも日常生活でも共通性が高いことが明らかになってきている。今後は、体系的RDCモデルを、より一般的な意思決定プロセスの分析手段としても評価してみたい。

表・9 自動車用前照灯「サービス」の設計作業要素分析例(不備の見直し後)

外部要求確認作業	概念定義確認作業
取り付け部周辺のエッジを確認	(追加)レンズ金型スライド方向制約
外部要求認識作業	概念定義作業
車載工具で灯体の取り外し、再組付けができること	標準ボルトの採用
灯体を取り外すことなくバルブ交換が可能なこと	正面または上方よりの締付け
バルブへのアクセス時手を怪我しないこと	(追加)丸型バルブカバーの採用
バルブカバーは容易かつ確実に再組付けができること	(追加)プラスチックレンズの採用
バンパーA面位置に伴うサービス作業空間	(追加)レンズ金型抜き方向(上下左右)
フェンダー先端部形状	(空欄)
フェンダーと前照灯取り付けBRKTの公差0.7mm	(空欄)
ラジエターグリルは取り外してもよい	(空欄)
(追加)ラジエターグリル取り外しのための隙間確保のこと	(空欄)
ラジエターシュラウド形状に伴うサービス作業空間	(空欄)
バッテリー位置に伴うサービス作業空間	(空欄)
バッテリーの設置位置ばらつき3mm	(空欄)
車載スパナーにより着脱可能なこと	(空欄)
車載ドライバーにより着脱可能なこと	(空欄)
内部要求認識作業	詳細定義作業
正面締付けは締付け軌跡上の部品よりより5mm以上確保すること	正面取り付け位置4箇所
上面締付部は締付け軌跡と車体のスキ3mm以上を確保すること	上面取り付け位置1箇所
バルブカバーの組み付け位置を間違えないようにすること	バルブカバー上に組み付け後上方を示す印の設置
バルブカバーの組み付け終了時には節度感があること	H4ハロゲンランプの使用
(追加)車載ドライバーによってラジエターグリル取り付けクリップへアクセスできること	標準直結コネクターの使用
(空欄)	バルブセンター位置
(空欄)	バルブカバー径
内部要求確認作業	詳細定義確認作業
(追加)ラジエターグリルクリップへの工具アクセス軌跡検証	バルブ交換軌跡の机上検討
(空欄)	実車での灯対交換性評価
(空欄)	実車でのバルブ交換性評価

表・10 従来モデルと体系的RDCモデルによる自動車用前照灯の設計作業要素数比較

	要求	定義	確認
従来モデルにより抽出された要素数	87	73	50
体系的モデルにより抽出された要素数	140	126	60

## 参考文献

- [ 1 ] Pahl, G. and Beitz, W. (1977) : “*Engineering Design a systematic approach*”, Springer-Verlag.
- [ 2 ] Steward, D. (1981) : “The Design Structure System, A Method for Managing the Design of Complex Systems”, *IEEE Transaction on Engineering Management*, vol. 28, 71-74.
- [ 3 ] Eppinger, S. D., Whitney, D. E., Smith, R. P., and Gebala, D. A. (1989) : “Organizing the Tasks in Complex Design Projects”, *Massachusetts Institute of Technology, Working Paper* No. 3083.
- [ 4 ] Browning, T. R. (1998) : “Use of Dependency Structure Matrices for Product Development Cycle Time Reduction”, The Fifth ISPE International Conference on Concurrent Engineering.
- [ 5 ] Baldwin, C. Y. and Clark, K. (2000) : “Design Rules, The Power of Modularity”, *The MIT Press* Vol.1.
- [ 6 ] The National Institute of Standard and Technology of USA (1993) : “Announcing the Standard for INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0)”.
- [ 7 ] Earl, C. F., Eckert, C. M. and Johnson, J. H. (2001) : “Complexity of Planning in Design.”, ASME DETC & CIE.
- [ 8 ] 吉澤 正・大藤 正・永井一志(2004) : 『持続可能な成長のための品質機能展開』, 日本規格協会.
- [ 9 ] Chao, L. P. and Ishii, K. (2005) : “Design Process Error Proofing : Benchmarking Gate and Phased Review Lifecycle Models”, ASME DETC & CIE.
- [10] Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D. (2003) : “Product Design and Development : Third Edition”, *McGraw-Hill, Inc., ISBN* 0-07-123273-7.
- [11] 中沢俊彦(2003) : “要求・確認・定義モデルによる製品開発プロセスの分析”, 「日本設計工学会誌」, 年第38巻, 第12号.
- [12] Nakazawa, T. and Masuda, H. (2006) : “Requirement-Definition-Confirmation Modeling Approach for Identifying Uncertainties in Product Design Processes”, *IDETC & CIE*, Philadelphia.
- [13] Chao, Ishii, and Tumer (2004) : “Design Process Error-Proofing : Engineering Peer Review Lessons from NASA”, *Proceedings of the ASME DETC*, Salt Lake City, UT.
-