

# 要求・確認・定義モデルによる製品開発プロセスの分析\* (製品開発プロセスの熟成と再利用のための方法論)

## Requirement Definition Confirmation Model for the engineering process decomposition (Methodology to evolve the engineering process for reuse)

中沢俊彦<sup>\*1</sup>  
(Toshihiko Nakazawa)

The major part of the engineering process is invisibly executed in the human brain. This invisibility drastically increases uncertainty and complexity in the engineering process, and creating its consequential contradictions. The RDC model spotlights three types of fundamental elements and their interrelationships in the engineering process. These elements are Requirement, Definition and Confirmation. The engineering process can be broken down into layers of work units by these three elements and their relations. Thanks to this decomposition, the engineering process can be abstracted from the human brain, and explicitly recorded onto the permanent document containing the underlying optimal logics. This helps iterative product development projects to reuse their inherent optimal processes.

.....

**Key Words** : rdc model, requirement, definition, confirmation, work unit, the engineering process,

### 1. はじめに

経済産業省の1998年度調査によると、表1のように、日本の製造業が支出する開発費の内、開発実用化研究に充てられる額は全体の63.6%であり、基礎研究など他の用途に比べ突出していることが明らかになっている<sup>1)</sup>。

Table 1 R & D investment in 1998<sup>1)</sup>

	基礎基盤研究	応用研究	開発実用化研究
一般機械	8.7	22.0	69.2
電気機械	10.3	29.7	60.0
輸送用機械	9.4	15.6	75.0
精密機械	10.3	24.1	65.6

(経済産業省経済産業局政策局産業人材政策室：総合経営力指標平成12年度版より抜粋)

このような開発実用化研究の多くは、新種の製品

を生み出すというよりも、むしろ製品のモデルチェンジを繰り返すといった種類の製品開発であると考えられ、これは毎年市場にあふれる膨大な新製品の中で、今までに存在しなかった新しい種類の製品を見出すのはそれほど頻繁なことではないという我々の日常的な経験からも裏付けられる。日本における研究開発活動の大部分は、既に存在する技術基盤や製品基盤を基礎に、それらを流用または発展させるという形で遂行される種類の製品開発であることが推測できるのである。

このような種類の製品開発作業において、過去の製品開発手順や知識をシステムチックに蓄積し、それらを効率的、効果的に再利用することが出来れば、製品の市場投入スピードを早めることが出来る上に、成熟した開発手順と知識の積み上げにより製品そのものの信頼性も向上し、さらには、それらの効率化によって得られた資源の余裕を、より基礎的な研究分野に振り向けるなどといった研究開発施策の転換が可能となり、製品開発活動の大きな利益になると考えられる。

しかしながら、今日の製品開発活動の実情を見ると、製品開発手順や知識の再利用は設計者の裁量に

\* 原稿受付：2002年11月7日

\*1 正会員，日本アイ・ピー・エム(株) PLM コンサルティング  
(〒103-8510 中央区日本橋箱崎町 19-21)

よって為されている上に、個々人のノウハウや経験といった非常に失われやすい保管形態を頼りとする、危うい基盤の上に成り立っていると言うことができよう。このような製品開発の手順と知識管理の実態は、確立した技術や製品を基盤とした反復性の強い製品開発においてさえ不必要に設計品質のバラツキを増大させ、かつ効率化の追求を阻む主要因となっていると考えることができる。

製品開発プロセスからの均質で高品質、かつ迅速なアウトプットは、確実な品質を保証する個々の作業と、それらを関連付ける合理的な手順から生み出されるはずであるが、こういった視点での製品開発プロセスの熟成は残念ながら十分に認識され、実施されているとは言い難い。

生産プロセスが、年々その効率性を高めながらアウトプットである製品の品質を向上させているように、製品開発プロセスにおいてもその効率とアウトプットの質を共に高めていくことができるのか、本論文はその実現の出発点となる製品開発プロセスを分析し記述するための方法論について考察することを目的としている。

## 2. 製品開発プロセスの特徴

生産現場における生産性改革に目を向けてみると、テイラーの科学的管理法から始まった近代の生産プロセス改革は、プロセスの手順とプロセスを構成する個々の作業を長い年月をかけて持続的に見直すことにより大きな成果を残してきた。つまり、現在のプロセスを土台とし、それを継続的に改善するというP D C Aサイクルを回すことにより飛躍的な生産性の向上が実現されてきたのである。

製品開発プロセスにおいても同様の継続的な改善を行うためには、常に現状のプロセスを土台とした改善の積み重ねが必要と考えられるが、それを困難にしているのは、製品開発プロセス（設計、試作、評価を含んだプロセス全体）の主要部分を占める設計プロセス（図面作成やモデリング作業を中心とする形状と仕様の決定プロセス）が人の頭の中のみ存在する、つまり暗黙のプロセスであるという現実によるところが大きい。このことは、設計プロセスを不定形で場当たりの、複雑なものとする要因にもなっており、製品開発プロセス全体の継続的な見直しを困難なものにしている。

小説家が物語を文章として書き綴り、推敲を重ねるように、設計者も設計プロセスの推敲を行うためには、暗黙、それゆえに複雑かつ不定形な設計プロセスを記述し、見直すための何らかの“言語”が必要である。

## 3. 既存のプロセス記述手法

業務の分析・記述手法として昨今注目されている手法に、業務モデルの記述からオブジェクト指向のソフトウェアの実装へと連なる連続した手順を提供するUML (Unified Modeling Language)<sup>2)</sup>がある。本論文で論じている独自の製品開発プロセスの分析・記述手法の解説に入る前に、UMLによって製品開発プロセスの記述が可能かどうかについて論じておくのは本論文で考察する独自の手法の必要性を確認する上からも有意義であろう。

結論から言うと、UMLのようなソフトウェア開発を目的とした業務モデルの記述手法は明示的な業務プロセスを前提として成り立っていると言える。図1に示すように、例えば顧客や注文といった記述の対象となるオブジェクトが明示的に存在し、それらの関係が比較的容易に確定し得ることが前提となる。そのような特徴をもつ業務プロセスは、UMLによって確度の高いモデル化が可能である。

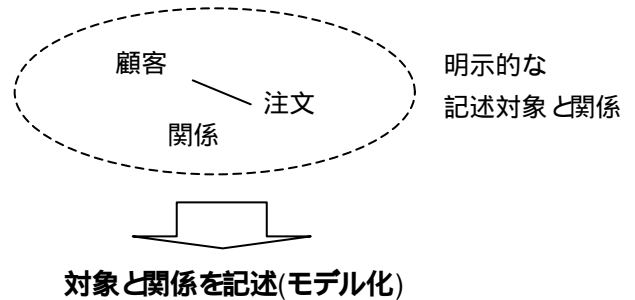


Fig 1 Explicit model

一方、設計者の頭の中に存在する暗黙的なプロセスである設計プロセスを主要部分とする製品開発プロセスは、記述対象となるオブジェクト自体がたいへんあいまいで、さらにはそれらの関係も非常に混沌としている。それゆえにUMLの手順に沿っての直接的な分析・記述は困難であると言うことができる。製品開発プロセスの分析と記述については、暗黙のプロセスという設計プロセスの特性を踏まえた工夫が必要である。

設計プロセスをどう捕らえるかについては以前より多くの試みがなされており、設計者へのインタビューや質問によるもの、設計者の口述と作業の観察によるもの、設計者間のディスカッションによるもの<sup>3)</sup>や文章による記述<sup>4)</sup>などの様々な方法が紹介されている。

## 4. RDCモデル

本論文では、より実用的な手法の開発に向けて、暗

黙のプロセスである設計プロセスを明示的に記述するため方法論についての研究を行った旨を報告する。

設計者自身が実施するこの手法は、対象が暗黙のプロセスであることを考慮し、以下のような工夫を特徴としている。

1. 設計プロセスの不確定さと複雑さに起因する思考の発散を軽減させるために、プロセスを構成する設計要素の記述と設計要素間の関係の記述を別々のステップで行う。
2. 適合項目という概念を設け、設計要素のグルーピングを行うことにより思考の範囲を絞る。
3. 設計要素を要求、定義、確認という3種類の属性によって類別し思考の焦点を絞る。
4. 設計要素について発見のきっかけとなるキーワードを提供する。
5. 少数の要素間の関係のみに注目しプロセスの分析を行う。

このステップバイステップで分析と記述を行う工夫により、分析者となる設計者は思考を発散させることなく自身の設計プロセスの実体へと迫ることができる。そしてその記述過程においてプロセス全体を論理的に推敲することが期待されるのである。

この方法によるプロセスの分析と記述を要求・定義・確認モデル（Requirement・Definition・Confirmationモデル、以下RDCモデルと称する）と呼ぶこととした。図2にその流れを示し、また次節よりその手順の詳細を解説する。

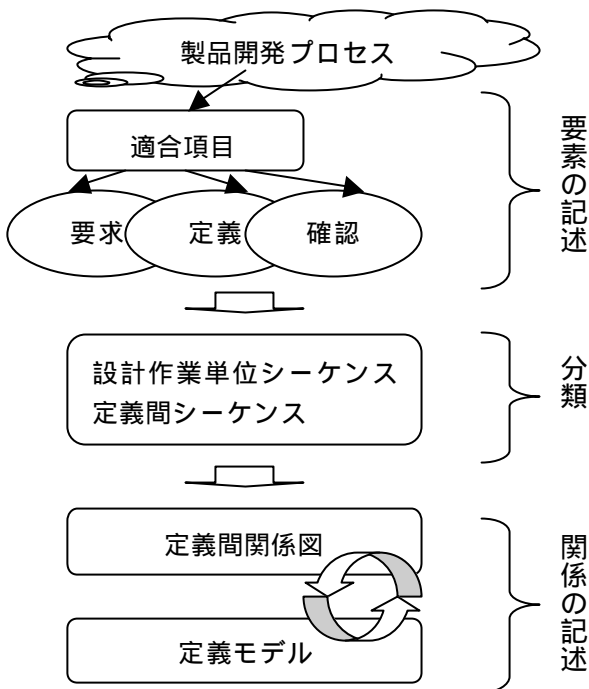


Fig 2 RDC Model

#### 4.1. 対象製品の決定

RDCモデルにより製品開発プロセスの分析を始めるにあたって、まず分析する対象製品とその開発プロセスの選定を行う必要がある。RDCモデルの最初の適用対象には、一般的なタイプの製品で、記憶が定かであるという意味から最近開発の終了した製品を選択するのが好ましい。記述した内容の網羅性を高めるために、製品を特定せずにプロセスの分析作業を行うのは、分析作業自体に発散と混乱を招き、精度の良い結果を得る妨げとなる。複数の製品開発プロセスの記述を目指す場合でも、まず一製品に絞り分析を行い、その結果を活用しつつ、類似製品に対する分析を進めるアプローチを取るべきであろう。

#### 4.2. 適合項目

RDCモデルによる製品開発プロセスの分析の最初のステップとして行う作業が、適合項目の洗い出しである。

RDCモデルでは、製品開発とは“製品の構造や仕様を定める個々の決定事項を何らかの外部および内部対象に対して適合するよう規定していく行為”であると解釈する。この時、製品が適合すべき外部および内部対象のことを“適合項目”呼ぶ。適合項目はまた、製品開発プロセスを開発の作業目的によって大別するための枠組みを与える。

図3は適合項目を概念的に示した図である。

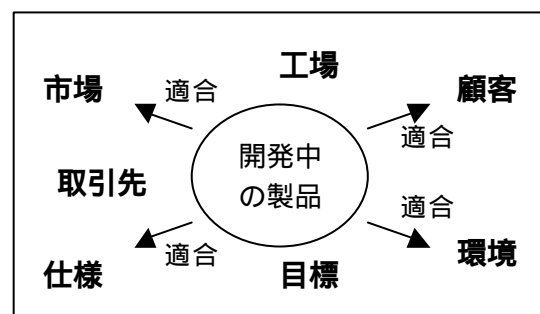


Fig 3 Objects to adapt

適合項目は、製品設計プロセスを作業目的ごとにグループ分けし、以降の分析作業を単純化する。この単純化により、プロセス分析者は自らの思考を収束させ、製品開発プロセスの分析という複雑な作業に容易に取り組むことができるようになる。

参考として図4に一般的な適合項目の例（自動車部品の例）を示す。

意匠，レイアウト，内部構造，周辺部品，接触/被接触相手，嵌号/被嵌合相手，子部品，基準，標準，工程，設備，金型，SPEC，機能目標，コスト目標，重量目標，派生，強度，信頼性，品質目標，組立性，成形/加工性納入形態，サービス性，安全性，リサイクル性，など

Fig 4 Objects to adapt of Automotive components

適合項目を見出す作業の中で見落とさないようにしなければならないのは，構成部品のレイアウト問題などに代表される製品自身の内部条件に対する適合性である．適合項目 = 製品の適合対象と考えると外部にのみ目が行きがちになるが，これは自身の成立性を保証するものであり，あらゆる製品でこの種の項目を入れる必要があると考えられる．図4の例では“内部構造”がこれに当たる．

### 4.3. 設計要素

RDCモデルでは，製品開発プロセスを構成する要素は，“要求”，“定義”，“確認”という3種類の設計要素の何れかに分類できるという仮説を前提とする．この仮説は，筆者が経験を有する自動車及び自動車部品の設計事例に対する要素分析を通じて帰納的に求められたものである．

#### 要求 (Requirement)

顧客要求，目標，限界，前提条件，制約条件，使用条件，製造条件，仕様，基準，標準，法規，環境，使用可能な部品群，使用可能な素材群など，製品に対する条件や制約を言う．

#### 定義 (Definition)

形状，形状の制約(寸法や方向，取りうる範囲など)，機構，構造，位置，使用する部品など，設計の検討や決定を行う際に設計者が考える単位である．

#### 確認 (Confirmation)

試験項目，評価項目，検査項目，報告項目など，設計内容に対する明示的または経験的な検証項目を言う．

これらの設計要素は前節で述べた適合項目のそれぞれについて，内在する要素として抽出できる．

適合項目から設計要素を抽出する際は，適合項目そのものの内容が，要求，定義，確認のどの概念に

近いかを意識し，最も概念の近い要素より見出していくと良い．例えば，製品のデザインや仕様といった設計から見て条件となる適合項目については要求要素から洗い出し，それらの影響を受ける定義要素，さらにその確認要素と関連の糸を手繰り寄せていく．同様に，内部構造など自身に関わるものは定義要素から，検査や評価に関わるものは確認要素から取り組むほうが全体の要素を漏れなく抽出できる．

このような設計要素への分解を，全ての適合項目について行うことにより，製品開発プロセスを構成する基本要素を洗い出して行く．ここで注意しなければならないのは，ある適合項目について洗い出す設計要素はその適合項目が規定する範囲にとどめること(要素の関連を考える内に，往々にして他の適合項目の要素へと飛躍してしまうことがある)と，この段階では関係する他の定義要素を考慮する必要はない(例えば，分析中の適合項目中の定義要素の決定条件として，他の適合項目中の定義要素が見出されることがあるが，ここでは，そのような定義要素は要求要素と考えなくて良い．そのような定義要素同士の参照関係は後述の定義間関係図で明らかにされる．)という二点である．

### 4.4. 設計作業単位

定義要素は何らかの要求要素の制約を受け，また何らかの確認要素の検証対象となりうる．そこで，ある適合項目内において任意の定義要素は，その定義要素と関連する複数の要求要素および確認要素と結びつけられグループ化することができる．これは，設計者が設計を行う際の基本的な作業単位と考えることができるため，設計作業単位と称する．

例えば，前節の設計要素の洗い出し作業で適合項目Aに要求要素AR1, AR2, AR3...ARi, 定義要素AD1, AD2, AD3...ADj, 確認要素AC1, AC2, AC3...ACkが見出されたとしよう．そこで，AD2についての設計作業単位はその関連を考慮し表2(太字の設計要素)のように表現することができる．

Table 2 Work unit

要求	定義	確認
AR1	AD1	AC1
AR2	<b>AD2</b>	AC2
AR3	AD3	AC3
AR4	AD4	AC4
AR5	AD5	AC5
	AD6	

設計作業単位は製品開発プロセス内の独立したサブプロセスとも捉えることができる。従って、設計作業単位内の設計要素を製品の開発日程上に配置すると、この属性を明確に表現することが出来るようになる。このような形式の図を設計作業単位シーケンス図と呼ぶこととした。

図5では、表2で示した設計作業単位を構成する要素を開発日程上に配置しそれらの要素間のシーケンスを明らかにしている。実際の製品開発では同じ定義や確認作業を繰り返し行い設計の完成度を高めていくケースが多々ある。そのような場合は、その繰り返し作業を素直に本図に表現することが大切である。定義要素が要求要素に働きかけることもあるため、矢印の方向は必ずしも一方向にはならない。

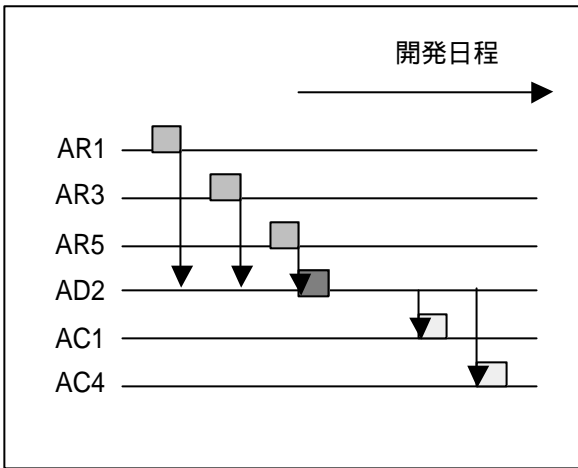


Fig 5 Work unit sequence

同様の作業を、全ての適合項目内の全ての定義要素に対して行うことにより、プロセス全体の設計作業単位と設計作業単位シーケンス図を作ることができる。図6に示すように、このようにして製品開発プロセスは複数の設計作業単位に分解され、積層的に表現することができるのである。

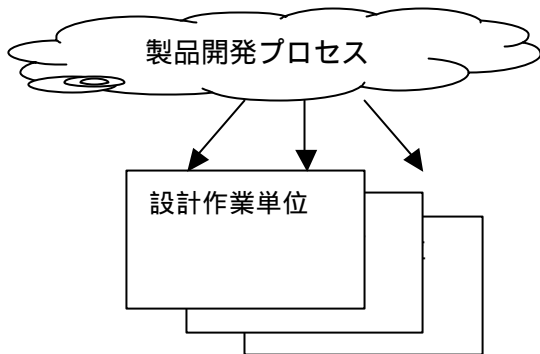


Fig 6 Laminated expression of the engineering process by the work units

#### 4.5. 定義間シーケンス

適合項目Aに見出された定義要素をAD1, AD2, AD3...ADi, 適合項目Bに見出された定義要素をBD1, BD2, BD3...BDj, 適合項目Cに見出された定義要素をCD1, CD2, CD3...CDkとしたとき、これら全ての要素を日程上に配置し、定義要素間のシーケンスを表す図が定義間シーケンス図である(図7)。

定義間シーケンス図では製品開発プロセス中の全ての定義要素が表記対象となるが、20から30程度の構成部品を持つ製品でも定義要素数は100前後となる可能性があり、シーケンスを正確に記述するのが難しい作業となってしまう。従って、定義間シーケンス図を用いてシーケンスを表す場合は、少数の限定的な定義要素間のシーケンスを表す目的で用いることが妥当であり、製品設計プロセス全体を対象とする場合は定義要素の厳密な順序を知るといよりも、むしろ定義要素を実行フェーズごとに大まかにグルーピングする(図中のF1, F2, F3, この場合、矢印はあっても無くても良い)目的で用いるべきであると考えられる。

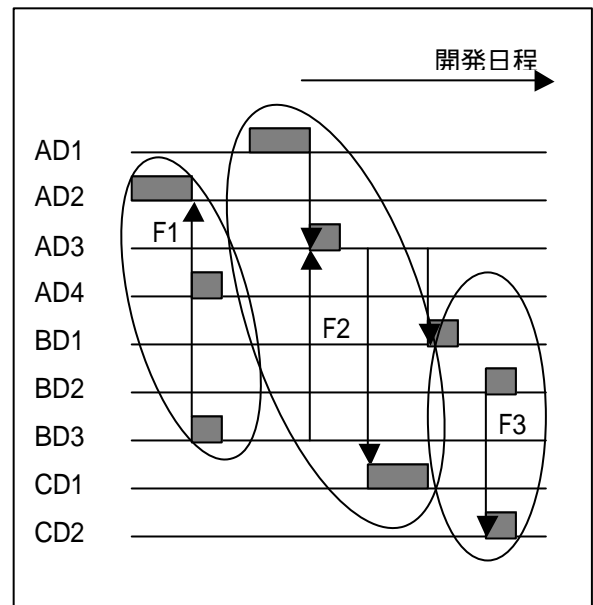


Fig 7 Definitions sequence

#### 4.6. 定義間関係図

前述したように、定義要素が増えてくると定義間シーケンス図を用いて全ての定義間のシーケンスを表そうとすると定義間の関係が複雑に交錯してしまい、理解しにくい図となってしまう。このような定義要素間の関係を表すには、全体的なシーケンスを意識しないで定義要素間の参照関係を明らかにする

ことのできる定義間関係図を用いる。

図7の定義間シーケンス図と同じ内容を定義間関係図に記述したのが表3である。第一列と第一行にここまでの分析で見出した適合項目と定義要素を同順に並べている。第一列に示した定義要素を決定するにあたって、第一行のどの定義要素を参照する必要があるかを表中の印で示す。

また、競合関係にある定義間関係（機能面を考えると大きくしなければならないが、レイアウトを考えると小さくしなければならないというような複数の定義要素間の相反する関係）にはC（コンフリクト）マークを記入する。

Table 3 Definitions relation diagram

	AD1	AD2	AD3	AD4	BD1	BD2	BD3	CD1	CD2
AD1	x								
AD2		x						C	
AD3			x						
AD4				x					C
BD1					x				
BD2						x			
BD3							x		
CD1		C						x	
CD2				C					x

定義間関係図は製品開発プロセス全体に対して作成することもできるし、定義間シーケンス図で認識したフェーズ毎に作成することもできる。

このダイアグラムは、製品設計プロセス上に存在する定義要素間の全ての参照関係を表すことができるが、この表の上で直接、定義要素間の参照関係の整合性を整えるのはかなりの集中力を必要とする難しい作業となるはずである。最初は直感的に、Cを配置し、次に説明する定義モデルによる検証結果を本ダイアグラムへフィードバックすることにより、定義間の参照関係の記述を信頼度の高いものにしていくことができると考える。

#### 4.7. 定義モデル

定義モデルは、一つの定義要素に注目し、その定義要素へ影響を与える要求要素と確認要素（設計作業単位に記述）と他の定義要素（定義間シーケンス図と定義間関係図に記述）をその参照関係を考慮して配置することによりモデル化して表記したものである。

例えば、表3上の定義要素AD2に対する定義モデルを作成する場合、このダイアグラムよりAD2が参照する他の定義要素はBD3、競合関係にある定義要素はCD1であることがわかる。また、AD2の設計作業単位（表2）よりAR1、AR3、AR5の3つの要求要素とAC1、AC4の2つの確認要素を関連する設計要素として導くことができる。これらの要素を2次元空間上に配置し、その配置関係によって相互の関係をモデル化するのである。（図8）ここで、片側に矢印がある線は参照関係を、両側に矢印がある線は上述のコンフリクト関係を表している。

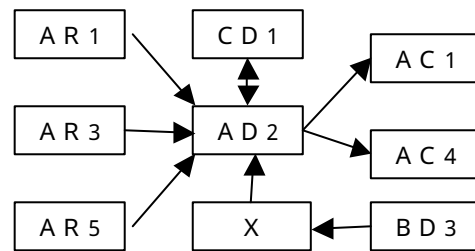


Fig 8 Definition model

このモデル化によって、頭の中で漠然と描いている設計のロジック上の矛盾を発見することができ、しばしば足りない要素や余分な要素、新たな関係を見出すことになる。このモデルを使った思考作業によって設計ロジックの洗練化と合理化を得ることができるのである。また、この結果を定義間関係図にフィードバックすることにより、定義間関係図をより完成度の高いものにすることができる。図8では、BD3はAD2へ直接影響を与えるのではなく新たな定義要素Xを介して影響を与えるという関係が見出されたことを示しており、この修正は定義間関係図（表3）へフィードバックされなければならない。

### 5. 実施例

#### 5.1. 分析対象

本稿では、筆者が設計経験を有する自動車用前照灯（ヘッドランプ）に対し、RDCモデルによる分析・記述を行った結果を報告する。図9に自動車用前照灯とその周辺部品の側断面の概略図を示す。自動車用前照灯はバルブ（電球）から発せられた光を反射鏡によって車両前方に向けて反射させることによって、自動車の前方を照らし出す。バルブには一定の寿命があり、寿命が来ると自動車や前照灯自体を分解することなく、前照灯後部よりバルブ交換作業を行う必要がある。本稿では、この交換作業（サ

ービス作業)を可能にするバルブの位置決定に至るRDCモデルを説明する。

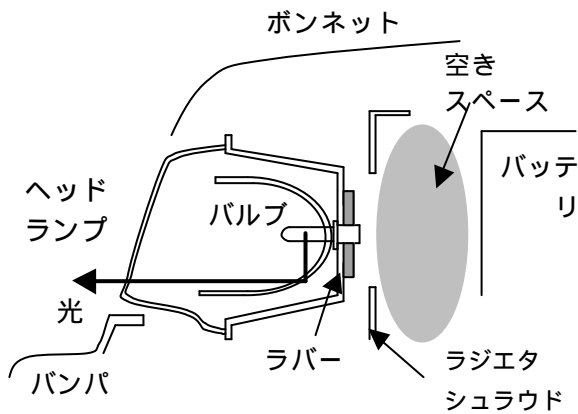


Fig 9 Motor vehicle head lamp

### 5.2. 適合項目

自動車用前照灯について見出した適合項目を表4に示す。ここで、ある適合項目をさらに複数の適合項目へと分解した方が、以降の分析作業を進めやすいと思われるものは2次の適合項目として適合項目の分解を行った。

Table 4 Objects to adapt of motor vehicle head lamp

1次の適合項目	2次の適合項目
デザイン	
灯体内部構造	
配光目標	
コスト目標	
車両レイアウト	
外観品質目標	
エイミング要件	
顧客試験基準	
顧客組立工程	
顧客品質基準	
公差目標	
自社品質基準	
金型加工要件	レンズ
	リフレクタ
	ハウジング
部品成形要件	レンズ
	リフレクタ
	ハウジング
部品加工要件	レンズ
	リフレクタ
	ハウジング
自社組立工程	
自社試験基準	
自社工程内検査装置	
サービス性	

### 5.3. 設計要素と設計作業単位

ここからの作業は、バルブ位置を決定するための分析と記述を実施した。

まず表4の適合項目より、バルブ位置の決定に影響すると経験上考えられる項目を選び出した。(表中の太字部分)これらの適合項目について設計要素の洗い出しと設計作業単位の関連付けを行った。

設計要素の抽出事例として、適合項目の一つである“サービス性”に対する設計要素を表5に示す。自動車用前照灯の場合、大まかに言って灯体そのものの交換作業とバルブの交換作業を限られたスペースの中で確実に行うことが“サービス性”に対する適合性であり、その設計要素の全てをこの表の中に見出すことができる。

表5の設計要素の中で“バルブ位置”という定義要素に注目し、この定義要素に関して設計作業単位を求め、表中に太字で表示した。

Table 5 Work unit (service-ability)

要求	定義	確認
バッテリー	灯体形状	灯体交換作業性
ラジエタシュラウド	灯体固定位置	<b>バルブ交換作業性</b>
ワイヤハーネス	ラバー形状	ラバー再組付性
ラジエタ	電球固定金具	
車載工具	<b>バルブ位置</b>	
	締結ネジ	

(適合項目：サービス性)

同様に、バルブ位置の決定に影響する他の適合項目について、設計要素の抽出と設計作業単位への関連付けを行った(結果は省略する)。

### 5.4. 定義間関係図

ここまでの作業で洗い出した定義要素を定義間関係図にまとめ、定義要素間の参照関係とコンフリクトの検討を行った。(表6)

定義間シーケンスの作成は定義間関係図と同義のため省略した。

Table 6 Definitions relation diagram of the head lamp

適合項目	定義	配光目標	配光目標	灯体内部構造	灯体内部構造	灯体内部構造	灯体内部構造	灯体内部構造	灯体内部構造	灯体内部構造	車面レイアウト	車面レイアウト	自社試験基準	自社工程内検査装置	デザイン	デザイン	サービス性	サービス性	サービス性	サービス性	車面レイアウト	自社工程内検査装置	自社工程内検査装置	自社組立工程	自社組立工程	自社組立工程	ハウジング金型	ハウジング金型	レンズ金型	レンズ金型	公差目標	公差目標	公差目標	公差目標		
配光目標	リフレクタ反射面	×																																		
配光目標	リフレクタ形状		×																																	
灯体内部構造	リフレクタサイズ			×																																
灯体内部構造	バルブ位置				×																															
灯体内部構造	ボンネットとの境界部構造					×																														
灯体内部構造	バンパーとの境界部構造						×																													
灯体内部構造	グリルとの境界部構造							×																												
灯体内部構造	フェンダー側構造								×																											
灯体内部構造	アジャストスクリューレイアウト									×																										
車面レイアウト	バルブ位置										×																									
車面レイアウト	ラバー径											×																								
自社試験基準	バルブ位置												×																							
自社工程内検査装置	リフレクタ反射面	○												×																						
デザイン	レンズ面														×																					
デザイン	レンズ外周基本面															×																				
サービス性	バルブサービス穴位置																○																			
サービス性	カバータイプ																	○																		
サービス性	バルブ位置																		○																	
サービス性	バルブ固定スプリング形状																			○																
車面レイアウト	シール溝レイアウト																				○															
自社工程内検査装置	レンズ固定フックレイアウト																					○														
自社工程内検査装置	レンズ固定フック形状																						○													
自社組立工程	レンズシール方向																																			
自社組立工程	レンズ固定フック形状																																			
自社組立工程	レンズ固定フックレイアウト																																			
自社組立工程	シール溝断面形状																																			
ハウジング金型	基本抜き方向																																			
ハウジング金型	抜き角																																			
レンズ金型	基本抜き方向																																			
レンズ金型	抜き角																																			
公差目標	レンズ組付け基準位置																																			
公差目標	レンズ、ハウジング間アソビ																																			
公差目標	ハウジング補強リブ																																			
公差目標	レンズ補強リブ																																			

5.5. 定義モデル

図10の定義モデルは、定義間関係図(表6)の“サービス性”適合項目中の“バルブ位置”の定義モデルを示している。表6に示された参照関係より

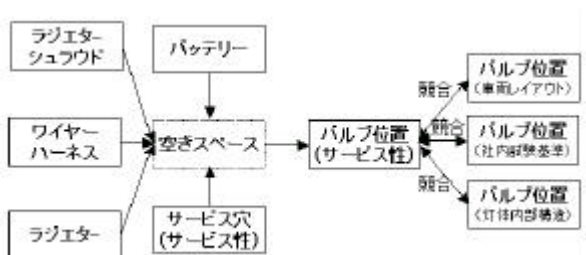


Fig 10 Definition model of the head lamp

バルブサービス穴位置を、また設計作業単位(表5)からバルブ位置に対する要求要素であるバッテリー、ラジエタシュワウド、ワイヤーハーネス、ラジエタを参照要素としてバルブ位置が導かれる設計ロジックがその配置関係によって記述されている。さらに、定義間関係図によって見出された競合関係にある他の適合項目に属する3つの“バルブ位置”定義要素も示されている。

モデルを構築する過程で、見落とししていた設計要素“空きスペース”が補完され、設計ロジック上の矛盾やあいまいさが排除された。この場合、“サービス性”適合項目内の“バルブ位置”定義要素は、



特定の位置を示すものではなく、空きスペースの制約を受ける任意の領域、すなわちバルブを置くことが可能な範囲であるとの定義の厳密解を得ることができた。また、適合項目による切り分けによって、競合関係にある定義要素が定義モデル内に個別に表示された。この競合関係にある定義要素群は設計最適化の検討対象領域と考えることができる。このようなプロセス内に内在する競合関係を正しく認識し、必要であればオフライン環境での研究で最適解を得る努力を積み重ねていくことにより、実際の製品開発プロセス（オンライン）における設計品質は著しく向上すると考えられる。

## 6 考察

RDCモデルによる製品開発プロセスの分析と記述の研究を開始して1年半が経過し、本稿で報告したヘッドランプの事例を含め、本論文執筆時点でのRDCモデルによる製品開発プロセス分析・記述事例は、自動車部品、製造機器、情報通信機器、金型の4品目、9製品となり、製品開発プロセスが要求要素、定義要素、確認要素の3種類の要素によって分解しようという仮説の検証を含め、本手法が広い範囲の製品開発プロセスに対して有効であることを確認できた。

RDCモデルによる製品開発プロセスの明示化の意義は、プロセスそのものを論理化し洗練させるといふ、本質的な意味での設計ロジックの強化が期待できるところにある。

設計プロセスはその大部分が人の頭の中にある暗黙の手続きである。このような暗黙の手続きは人の短期的な記憶力の限界によって大変煩雑なものとなっている可能性が高い。認知心理学的な立場から言うと人の短期的な記憶能力では7±2程度の事象しか一度に処理することができないといふが<sup>5)</sup>、設計プロセスのような長大なプロセス全体を、暗黙のまま、すなわち頭の中だけで整理し最も適切なロジックを持って実行することは、人の能力の上からも大変困難なことなのである。

RDCモデルは、その長大な暗黙プロセスを設計者の頭の中から取り出し、明示的に記述することを可能にする。また、RDCモデルの数々の図表は、その記述過程でプロセス上に存在する論理的な矛盾を否応無く取り除くことを設計者である分析者に求める。この作業によって、煩雑なプロセスはより合理的な手順に再構成されるのである。

さらにこの他の価値として、RDCモデルの作成過程で生成される図表は、そのそれぞれにおいて、

これまでの製品開発プロセスや手法を再考するための作業基盤を提供する。

例えば、設計作業単位（表2）は製品開発プロセスを作業の単位ごとに“要求 定義 確認”という連続した流れで表すことにより、そのプロセスが筋の通った手続きとなっているかを検証する手がかりを与える。プロセスの分析者は、しばしば、必要と思われる確認要素が存在しない、存在しても的確なタイミングに定義作業に対してフィードバックを与えていないなどといった既存のプロセスに内在する課題に気付くことになる。

設計作業単位はまた、コラボレーションの可能性を検討すべきプロセスの範囲を示していると考えられる。設計作業単位内の各設計要素に製品開発の関係者情報を付加すれば、コラボレーション環境を構築する際の、作業目的に応じた必要最小限の作業グループを把握することが出来ると考えられる。

このほか、開発作業単位はプロセスに内在する数々の問題を単純化し浮き上がらせる効果がある。例えば、ヘッドランプへの適用事例（表5）においては、“交換作業が可能な位置へバルブを配置する”という個別問題に単純化し、この問題の解決に際し考えるべき範囲を規定する。（この個別問題については様々な解決方法を考え得るが、それを議論するのが本論文の主旨ではないのでここでは省略する）。また、設計作業単位シーケンス図（図5）は、製品の開発期間短縮を押し進めるに当たり、必要とされる個々の改善策の適用枠として捉えることができる。このような問題の単純化は、3次元CADを中心としたデジタルツールといったコストと時間を費やす設備の導入に対し、個々の設計作業単位が抱える個別課題に対する解決策としての明確な動機付けを与えるようになるはずである。

定義間シーケンス図（図7）は製品開発の各フェーズ内の作業を整理することを助ける。RDCモデルはプロセスの現状をありのまま捉えることを目的としているため、定義間シーケンス図上で行われる定義要素のグルーピングも時間軸上の同位置にある要素を同一グループとすることになる。しかしながら、たとえばPahlとBeitz<sup>6)</sup>によって提案された設計フェーズ（製品の役割の明確化 - 概念設計 - 実態設計 - 詳細設計）などに従って定義要素を再整理することは製品開発プロセスを再構築する上で有益な試みであるかも知れない。

定義間関係図（表3）や定義モデル（図8）による設計プロセスの明示的な蓄積と標準化は、3次元CADの形状作成履歴の保持機能や製品データ管理ツ-

ルの発展も手伝って、作図やモデリング手順の再利用の試みを促すことになるであろう。

また、蓄積された設計プロセスは強力な設計ナビゲーションシステムの土台となる可能性もある。

さらに、近年行われている設計上の意思決定や問題解決支援に関する多くの研究<sup>7)~9)</sup>やオントロジー工学に基づくプロセスの記述<sup>10)</sup>は定義モデルによって隔離された作業範囲における設計支援ツールとして有効である可能性が高い。今後、これらの研究との連携も進めて行く必要がある。

製品開発プロセスの明示的な記述とそれに関連付けられた製品開発情報全般のアーカイブ化は、人から人への設計知識の伝承を促進させることになる。これは家電や自動車といった短サイクルのモデルチェンジを繰り返す製品開発の作業効率を高め、航空機のような数十年サイクルで行われる製品開発においては、情報の消失の防止と、それによる初期設計品質の向上をもたらす効果があると期待される。

## 7 あとがき

RDCモデルは設計プロセスという暗黙知を形式知に変換するための方法論であると言える。ここまでの研究によって、複数の異なる種類の製品の開発プロセスに対し本手法が有効であることが明らかになったが、今後もさらに適用事例を増やし、その有効性の範囲を検証してゆく必要がある。さらに、本手法によって得られた記述がプロセスを漏れなく記述できているかという、分析と記述の網羅性についても確認を取って行く必要があるだろう。

今後の本研究の展開として、RDCモデルによって記述された製品開発プロセスと設計プロセスの効率や妥当性を測るためのための解析手法の開発と、それによるプロセス改革の可能性についての研究を推進中である。

## 8 参考文献

- 1) 経済産業省経済産業局政策局産業人材政策室：総合経営力指標平成12年度版(2002), 38
- 2) Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J., (日本ラショナルソフトウェア株式会社訳)：UMLによる統一ソフトウェア開発プロセス, 翔泳社(2000), 41-67
- 3) Baya, V.: Information Handling Behavior of Designers During Conceptual Design, Three Experiments: Stanford University (1996), 24-26
- 4) 妻屋彰, 長柄政郎, 若松栄史, 白瀬敬一, 荒井英司：共有と再利用を考慮した設計情報の統合表現, 人工知能学会論文誌, 17巻1号(2002), 54
- 5) Simon, H. A., (稲葉元吉, 吉原英樹訳)：システムの科学 第3版, パーソナルメディア(1999), 79
- 6) Pahl, G., Beitz, W., (設計工学研究グループ訳)：工学設計 体系的アプローチ, 培風館(1995), 43-50
- 7) 武田英明, 富山哲男, 吉川弘之：設計過程の計算可能モデルと設計シミュレーション, 人工知能学会誌, Vol.7, No.5(1992), 877-887
- 8) 吉岡真治, 富山哲男：設計対象知識操作論, 精密工学会誌, Vol.67, No.9(2001), 1490-1496
- 9) 間瀬久雄, 絹川博之, 森井洋, 中尾政之, 畑村洋太郎：思考過程の思考展開図表現に基づく機械設計支援システム, 人工知能学会誌, 17巻1号(2002), 94-103
- 10) 來村徳信, 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, 17巻1号(2002), 73-84