

# 欠陥を設計開発プロセスの課題として認識するための 欠陥分類方法に関する研究<sup>\*</sup>

## Defect classification to identify inadequacies in design processes

中沢俊彦<sup>\*1</sup>

(Toshihiko Nakazawa)

“Quality should be built up in process” is the common motto in many manufacturing companies. While this motto is applicable to production processes in the companies, it is considered of value on their product development processes. However, in product development processes, devices and techniques for preventing occurrence of quality problems, like poka-yoke and control chart in production processes, aren't available. One of the reasons of that is that most of design processes have been unstructured, and it is difficult to identify “which process” has “what kind of weakness” in such unstructured processes. For the processes like this, this paper proposes to identify “which process” has “what kind of weakness” by analyzing the outcomes (in fact, failures) in accordance with a technique based on Orthogonal Defect Classification and RDC Model.

**Key Words** : orthogonal defect classification, rdc model

### 1. はじめに

「品質はプロセスで作りこむ」という思想は品質管理の世界では一般的な考え方である。生産プロセスではこの思想の下、欠陥品流入防止、欠陥発生防止、欠陥品流出防止の仕組みをプロセスに組み込む継続的な努力が為されている。

製品の欠陥は生産に起因するものと設計開発に起因するものとに大別することができるが、例えば国土交通省が実施した平成13年度の自動車のリコール原因分析<sup>1)</sup>を例にとってみると、リコール数152件(国産、輸入車、乗用車、貨物、二輪車の合計)の内、設計原因が53%、製造原因が47%とされており、生産と設計開発に起因する欠陥はほぼ同比率で発生していることが示されている。

設計開発プロセス上の欠陥防止の仕組みとしては設計標準化、FMEA、デザインレビュー(以下DR)、チェックリスト、テストなど様々な手法が知られている。代表的な生産プロセスと設計開発プロセスの欠陥防止の仕組みの対比を表1に示したが、設計開発プロセスにおける欠陥防止の仕組みは、図面やCADデータに記述された設計パラメータや仕様を設計開発プロセスの最終成果物と考えると、成果物の

品質に直接注目した欠陥の検証に重きが置かれる傾向にあることがわかる。生産プロセスにおける原材料管理や外注管理、設備管理、計測管理、作業方法の標準化<sup>2),3)</sup>といった適切なプロセスとプロセス上での正しい作業を保証する、すなわちプロセスの質を高めることによって欠陥防止を行おうとする考え方は、設計開発プロセスでは十分な具体策に繋がっていないように見受けられる。もちろん、チェックリストやデザインレビュー(DR)などによる設計開発プロセスの成果物である図面やCADデータの記述内容への一品一様の完成度評価の実施は、生産プロセスにおいて半製品や製品の検査が必要不可欠であるのと同様に重要ではあるが、設計開発プロセスにおいてもプロセスそのものの質を高めることによって最終成果物の品質を高めるといった品質保証のあり方について、生産プロセスと同様の検討が為されるべきであろう。

**Table 1** Examples of techniques to prevent failures

	生産プロセス	設計開発プロセス
欠陥流入防止	原材料管理, 外注管理	
欠陥発生防止	設備管理, 計測管理, 作業方法標準化, 人間教育, ポカヨケ	設計標準化, FMEA, FTA, チェックリスト, 失敗事例整備, CAD/CAE教育
欠陥流出防止	検査	DR, クオリティーゲート, テスト

\* 原稿受付: 2007年1月20日

\*1 正会員, 東京大学大学院工学系研究科(〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1)

設計開発においてプロセスの仕組みに注目した欠陥防止機能が十分に具現化されていないのは、設計開発プロセス、特にその中核を成す設計プロセスが人の頭の中で行われる非定型のビジネスプロセスであるため、どのプロセス要素にどのような欠陥発生原因があり、どの様な欠陥防止機能を講じれば良いのかを特定しにくいところに理由があると考えられる。

最近では、人の頭の中で行われてきた欠陥防止のメカニズムを明示的に取り出し構造化するストレス-ストレンクスモデル<sup>4)</sup>（以降、SSM）が提唱され、注目されている。SSM は定義属性、制御属性、ストレンクス、ストレス、不具合モードという 5 つの要素の因果関係によって欠陥の発生メカニズムをモデル化するものである。SSM は欠陥の発生源となる設計者の知識活動に注目して欠陥を発生させる 5 つの要素の関係パターンを調べ、発生する可能性のある欠陥を予測するが、本研究では、発生した欠陥に注目して、欠陥の発生と市場への流出がどの設計プロセス要素のどのような能力の不足によって生じるかを、交差欠陥分類法と開発プロセスのモデル化手法である RDC モデルを用いて推定することを試みた。

交差欠陥分類は元々ソフトウェア欠陥要因分析手法として発展してきた方法論であるので、後述の分類カテゴリーにはハードウェアの欠陥分析には適当でない概念が存在する。また欠陥原因を設計開発のプロセス要素に求めるためのロジックは本研究の目標を十分満たすには至っていない。そこで交差欠陥分類の分類カテゴリーをハードウェアに適合するように解釈し直すと共に、欠陥を設計開発のプロセス要素に結びつけるためのロジックを RDC モデルの考え方を発展させることによって構築した。

本手法によって設計開発プロセスの脆弱性を把握することができれば、生産プロセスと同様に、設計開発プロセスにおいてもプロセスそのものの質を高めることにより製品品質を向上させようという機運が高まるものと期待される。

## 2. 交差欠陥分類

交 差 欠 陥 分 類 ( Orthogonal Defect Classification, 以下 ODC ) はソフトウェアの開発における欠陥原因分析のために考案された欠陥の分類手法である。これはあるソフトウェア開発で発生した欠陥を以下に示すカテゴリーに分類し、得られたデータを様々な組合せで交差させることによって、設計開発プロセス上の問題点を解明しようとする手

法である。<sup>5)-7)</sup>

1 ) Activity : 設計より欠陥を排除するために設計開発プロセス内に設けられた活動、欠陥の見つかったフェーズ ( シミュレーション, テスト, など )

2 ) Trigger : 欠陥が発見されるきっかけとなった操作、欠陥を誘い出すための製品に与える刺激 ( 特定の操作シーケンス, 過剰な負荷など )

3 ) Impact : 欠陥が流出した場合の影響 ( 環境への影響, 補償費用の発生など )

4 ) Defect Type : 欠陥の種類 ( 本研究ではソフトウェアの欠陥の種類をそのまま当てはめることはできないため、ハードウェアの欠陥に対しては、疲労故障, 金属故障, 機械的磨耗などの機械故障モード<sup>8)</sup>を設定した )

5 ) Target : 修正を行うべき設計対象領域やコンポーネント

6 ) Qualifier : 欠陥の原因となった設計開発上の不備 ( 見落とし, 誤った選択, 未確認, など )

7 ) Source : 欠陥の発生由来 ( 社内, 社外, など )

8 ) Age : 欠陥が発生した設計対象領域やコンポーネントの新規性に関する分類 ( 従来方法, 新規方法, 標準化された構造, など )<sup>9)-11)</sup>

本研究では、製品の欠陥情報を ODC のカテゴリーに分類し交差させることによって設計プロセスに内在する問題点を表出させる手法について検討を行った。ODC は QC7 つ道具の“層別”と基本的に同じ考え方によって欠陥原因を探索する方法であるが、上記に示した独自の欠陥分類カテゴリーを提供しているところにそのユニークさがある。

欠陥と設計開発プロセスを結びつける ODC の欠陥分類カテゴリーとしては、欠陥が発見されたプロセスを認識するためのカテゴリーである Activity と、開発プロセス上のどのような不備が欠陥に繋がったかを識別する Qualifier があるが、本研究ではこの Qualifier カテゴリーを、RDC モデルを発展させた概念を基により厳密に定義することによって、欠陥の原因となった開発プロセス上の不備を同定するための分類カテゴリーとすることとした。

### 3. RDC モデルをベースとして設定した欠陥原因分類規約

設計開発プロセスの分析，記述手法として RDC モデル<sup>12)</sup>がある． RDC モデルでは，図 1 に示すように，設計開発プロセスを要求プロセス（要求や設計条件の認識作業），定義プロセス（製品の仕様や構造，形状に関する意思決定作業），確認プロセス（製品定義が要求を満たしていることの検証作業）という 3 種類の作業プロセスとそれらのプロセス間の関連で構成されるものとしてプロセスのモデル化を行う方法論である．

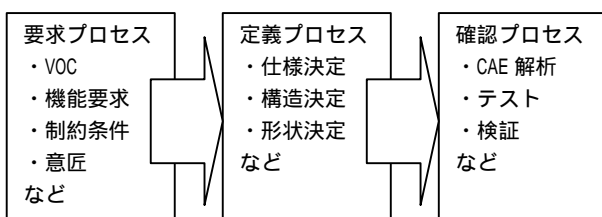


Fig.1 Descriptions of design processes by RDC model

本研究では，欠陥分類を行うにあたって，欠陥の原因となった作業上の不備である Qualifier カテゴリーを RDC モデルに準拠して，要求プロセス，定義プロセス，確認プロセスのいずれかの不備として求めることとした．この分類によって，欠陥を発生させるプロセスをよりの確に同定しうることが期待される．

但し，RDC モデルでは各プロセスに対しての詳細な考え方が示されていないことから，本研究では RDC モデルの各プロセスを厳密に定義すると共に，新たに欠陥をそれらのプロセスの不備へと結びつけるための分類規約を設定し，この規約に従って欠陥の分類を行うこととした．以下にプロセスの定義と新設した分類規約の詳細を説明する．

#### \* 要求プロセスの不備

所与の要求には 設計対象物や構成要素へのインプットと 設計対象物や構成要素の性質がある．上述の SSM では の中で，特に欠陥を引き起こす要因となるものをストレス， の中でストレスに対する耐性に関わる特性をストレングスと呼んでいる．設計者はこれら所与の要求を理解し，設計者が設定する任意の要求である 設計対象物全体と構成要素の挙動や性質に対する目標値を策定する．

要求を整理すると以下ようになる．

設計対象物や構成要素に対するインプット（力，熱，振動，刺激物（水，異物など），作動パターン，制約，Voice of Customer など）

採用しようとしている構成要素や，その組み合わせの結果として得られる設計対象物の特性（力学的特性，化学的特性，熱的特性，電気的特性，位置，運動特性など）

設計対象物全体，または構成要素の特性の目標値（耐久性 xxHr，耐熱性 yy ，挙動範囲 zzmm 以内など）

従って，要求プロセスとは 設計対象物や構成要素へのインプットに対して 構成要素とその組み合わせによって得られる設計対象物の特性値がある目標値となることを想定する作業と考えることができる．

そこで，要求プロセスが不備であるとは，上記 ， が認識できていない，または定量化できていないという状態であると考えることができる．具体的には，

R1．設計対象物全体，または設計構成要素の要求 ， の存在が認識されていない

R2．要求 に対する，採用しようとしている設計構成要素の特性，および構成要素を組み合わせ得られる設計対象物全体の特性 が認識されていない，及び，要求の存在は認識できていても、その大きさが認識されていないこと，すなわち

R3．設計対象物全体，または構成要素への要求の存在 は認識されていても，大きさが定量的に認識されていない

R4．設計対象物全体，または構成要素の特性の目標値 が正しく認識されていない

とし，これらに該当する場合，要求プロセスに不備があるものとする事とした．

R1，R3 はインプットの存在と大きさの認識不備，R2，R4 は設計対象物と構成要素の特性と大きさの認識不備と考えると理解しやすい．

#### \* 定義プロセスの不備

設計者が， 設計対象物と構成要素へのインプッ

トの存在と大きさ、採用しようとしている構成要素の特性、設計対象物と構成要素の挙動や性質の目標値という3つの要求を正しく設定できたとしても、その目標値を設計対象物と構成要素上で確実に得るためには、設計者が任意に設定する設計パラメータ（寸法、材質、構造、プログラムのシーケンスなど）とその結果得られる挙動や性質を結びつける設計上の法則、実験データ、経験値などの設計ロジック、または設計根拠が必要である。そこで、定義プロセスの不備とは、

D1. 正しく認識された要求と設計対象物や構成要素の性質・挙動のズレの要因となる設計ロジックの適用エラー（予測知の適用の誤り）であると規定することができる。

しかしながら、要求に対する適切な設計解を導く設計ロジックが常に存在するとは限らず、そのような場合は、何らかの想定（仮説）によって設計パラメータとその結果得られる挙動や性質を結びつける設計上の意思決定を行わなければならないことが多い。本研究では、このような根拠の不十分な意思決定を行った場合は、必ず検証作業が設定されていなければならない場合、もし、適切な検証が実行されていない場合は、次の確認プロセスの不備と位置付けることにする。

**\* 確認プロセスの不備**

そこで、確認に関わるプロセス上の問題としては、

C1. 要求を満たす設計解を得るための十分な設計ロジックが存在しない中で、仮説によって設定した不確実な定義に対する確認の不備

を設定する。

一方、確認プロセスには、この不確実な定義に対する確認と共に、不確実な要求に対する確認プロセスも存在する。例えば、新しい市場へ製品を投入する場合などは、製品の利用される環境などが未認識であることが多く、このような要求の不確実さを解消するために市場調査などの確認作業が行われることが一般的である。しかしながら、本研究では、このような不確実な要求に対する確認の不足によって欠陥が発生した場合については、それを確認の不備ではなく、要求の不備と位置付けることとした。なぜならば、要求の不確実さを解消するための確認作業は要求の認識プロセスに他ならないからである。但し、実際の製品開発プロセスでは要求の定量化が、

測定が困難などの理由によって実現できないため、定量化を行わずに、設計対象物または構成要素の特性が要求を満たすか否かの判定のみを行う開発方法が存在する。例えば、「使いやすさ」という要求の定量化は困難であるため、試作品を製作して、直接定義された設計対象物と構成要素の特性や挙動が「使いやすさ」という要求を満足しているかを確認するというようなケースである。この例において、「使いやすくない」設計が為された要因を要求の不備とするよりは、むしろ確認の不備と考えるのが妥当である。従って、C1 と共に確認プロセスの不備として、

C2. 定義の結果得られた特性が要求を満たしていることを確認できていない

を設定することとする。以上の要求プロセスの不備、定義プロセスの不備、確認プロセスの不備の判定順序関係をまとめると図2に示すようになる。

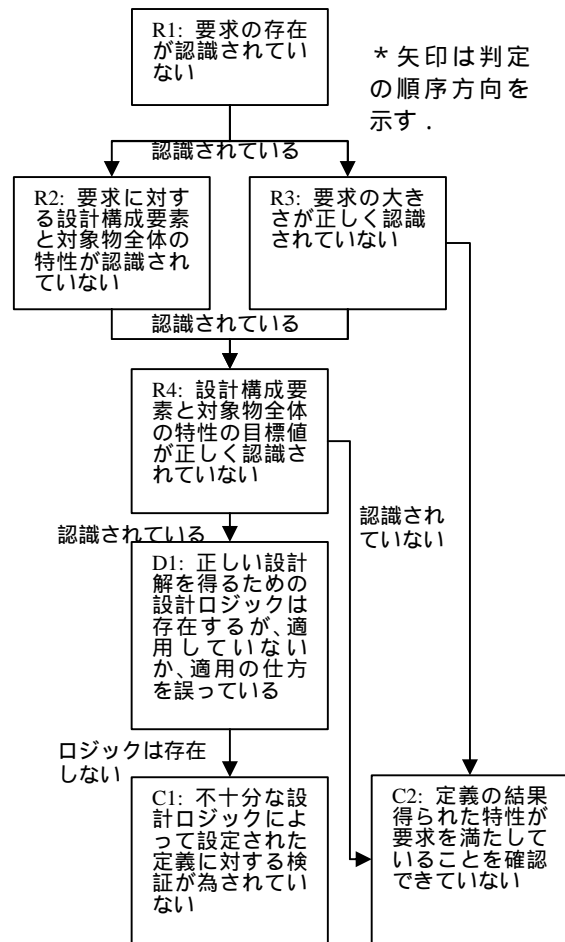


Fig.2 Steps to root cause analysis of failure by RDC model

#### 4. ODC・RDC モデルによる自動車のリコール事例の分類

本研究では、欠陥事例が数多く公開されている自動車のリコール情報を用いて 2 章, 3 章で示した欠陥分類の適用検証を行った。検証に用いたリコール情報は日本の乗用車メーカー 8 社によって日本国内で平成 14 年から 16 年の 3 年間に届けられたリコールおよび改善対策 319 件である。(1 件の届出に複数の欠陥事例が含まれているものは、別々の事例として取り扱った。また同一のメーカーによって同じ内容の欠陥が異なるタイミングに届けられているもの、または同一の内容が複数のメーカーから届けられているものは別の事例として扱った。)

公開されているリコール情報には、Activity, Trigger, Impact, Defect Type, Qualifier (RDC モデル), Target カテゴリーについての分類が可能な情報が含まれている。例えば以下の括弧内に示す 2004 年度に届けられたリコール事例を分析すると下記のような分類を行うことができる。

リコール事例：「手動変速機付車において、シフトケーブルの取付けブラケットの強度が不足しているため、過度な操作力でシフト操作を繰り返すと、当該ブラケットに亀裂が発生するものがあります。そのため、そのまま使用を続けると、当該ブラケットが破損してシフト操作が出来なくなり、走行不能となるおそれがあります」

まず、欠陥の見つかったフェーズである Activity は市場での利用状況下であるので“市場での利用”となる。欠陥の発現のきっかけである Trigger は“過度な操作力でシフト操作の繰り返し”、欠陥の影響である Impact は“リコールまたは改善対策”、Defect Type はブラケットの“疲労故障”と分析できる。Qualifier については、シフト操作力や操作回数といった要求の存在と大きさは、最も常識的な考え方を持って推測すると、通常の自動車会社の設計プロセスでは予め定量的に明らかになっているものと考えられる。一方、製品開発プロセスの能力を考えると、その明確な要求に対してブラケットの耐久性を正しく把握するためには強度耐久テストが不可欠と考えられるため、この欠陥は確認プロセスの不備によって引き起こされたと推定することができる。

以上のような推定と分類を 319 件のリコール情報の内開発要因に関わるリコールに対して行うことにより欠陥分類の適用検証を行うこととした。但し、

リコールに至った全ての欠陥について、Activity は“市場での利用”、Impact は“リコールまたは改善対策”と分類ができることから、記述を省略することとした。また、Target は欠陥原因を設計開発プロセスに求ようとする本研究の目的に寄与しないため省略した。

#### 5. リコール事例の分類結果

以下に ODC と RDC モデルをベースとした分類カテゴリーによる平成 14 年から 3 年間分のリコール情報 319 件の分類結果を示す。

##### 5.1 製造要因と開発要因

分析対象とした 319 件のリコールを、まず製造要因と開発要因に大別した。この区別は、公開情報の中に、製造要因においては“組付け不適切なため”、“加工が不適切なため”等、製造要因であることを明確に示すキーワードが、また開発要因としては“耐久性不足により”、“材質が不適切なため”、“形状が不適切なため”等の開発要因であることを示すキーワードがそれぞれあることから容易に行うことができる。

製造要因、開発要因それぞれのリコール例を表 2 に示す。

Table 2 Examples of production causes failures and designs cause failures

製造 要因	車両前部にけん引フックを取付ける金具の溶接に不適切なものがあります。そのため、けん引作業等により溶接部がはがれ、けん引フックが外れるおそれがあります。
	3 列席仕様の車両において、第 2 列席の中央席用シートベルトバックルに異品を組付けたものがあるため、当該席の座席ベルトを装着することができないおそれがあります。
	燃料タンクの燃料ポンプユニットの取付け部周辺に製造過程で生じたバリが残っているものがあり、そのまま使用を続けると、パッキンに亀裂が発生することがあります。そのため、燃料満タン時に当該パッキンから燃料が漏れるおそれがあります。
開発 要因	架装メーカーで設定しているエアスポイラにおいて、形状が不適切なため、エアスポイラの構造基準を満足していません。
	車両挙動安定化制御システム (VSA) 装備車のエンジン制御用コンピュータにおいて、制御プログラムが不適切なため、空燃比補正制御が適切に作動せず、排出ガスの成分が基準値を超える。
	燃料タンクの車体へ組み付けるフランジ部の強度が不足しているため、悪路 (凹凸路や未舗装路) 等を繰り返し走行すると、当該フランジの根元部へ過大な応力がかかり亀裂が生じるものがある。そのため、そのまま使用を続けると、フランジ部の亀裂が貫通して燃料が漏れるおそれがある。

この分析の結果、319 件の内、製造要因は 151 件（47%）、開発要因は 168 件（53%）であった。この結果は先に示した平成 14 年度の国土交通省報告に示された割合とも一致するものとなった。

## 5.2 Trigger

Trigger はどのような刺激を与えたときに欠陥が表出し得るかを示すカテゴリーである。分類の結果、対象とした開発要因のリコール 168 件に対して 129 種類の異なる Trigger が見出された。表 3 には上位 10 種類の Trigger までを示したが、最多となったのは“走行中の振動”の 7 件（4%）であった。

**Table 3** Examples of the “Trigger” (Top 10)

Trigger	発生数
走行中の振動	7
エンジンの振動	4
フロア下降を繰り返す	4
アクセルオンオフの操作を頻繁に行いながらの走行	3
高温化での連続高速走行、登坂路走行の繰り返し	3
泥水	3
PM が過大に堆積した状態での DPF の作動	3
手動操作が必要な PM 除去における DPF 自動除去機能の作動	3
長期間の点灯	3
ハンドル据え切り操作を頻繁に繰り返す	2

## 5.3 Defect Type

ある小さな故障が別の故障を引き起こすという欠陥の連鎖によってリコールの対象となる致命的な故障が起きることがあるが、ここではリコールの対象となった致命的な故障に着目するのではなく、最初に起きた故障に着目して分類を行った。表 4 に開発要因のリコールの内、表出数の多い 10 事象を示した。

**Table 4** Examples of the “Defect type”

Defect Type	表出数
疲労故障	37
干渉	18
機械的磨耗	15
シーケンスエラー	12
応力集中	8
機能不良	8
金属故障	8
熱劣化	8
クリープ	7
脱落	6

## 5.4 Qualifier (RDC)

同様に、開発要因によるリコール 168 件に対して、3 章に示した分類規約により、欠陥の発生要因となったプロセスが要求プロセス、定義プロセス、確認プロセスのいずれであるのかを分類した。ここでは公開されている限られたリコール情報から分類を行うために、便宜上以下のような分類ルールを設定し、最も確からしい Qualifier を想定することとした。

分類ルール 1: 要求プロセスを含む複数のプロセスが発生要因と考えられる場合、要求が正しく認識できていなければ定義及び確認プロセスの正確性も保証できないと考え、最上流である要求プロセスの問題として分類する。

分類ルール 2: 論理的に予測することが困難な、耐久性や経年変化、部材の強度、保持力、部品の性能などに欠陥の原因がある場合は、確認プロセスの問題とする。

分類ルール 3: バラツキに起因して発生した欠陥はバラツキの定量値を認識していなかったと考え、要求の問題として分類する。

分類ルール 4: 3 章で要求の定量化が困難な場合、定量化を行わずに、設計対象物または構成要素の特性が要求を満たすか否かの判定のみを行う開発方法が存在すると述べたが、欠陥が要求を定量化できていないことによって発生する問題（R3）なのか、定義の結果得られる特性値が要求を満たしていることの確認の不足によるものなのか（C2）、判断に迷うことがある。この判断の境界は、要求の定量化の実現手段はあるが実行されなかった場合を前者、無いか存在しても非常に困難を伴う場合を後者とする。

また、設計現場において常識的には起こりえないと考えられる不備の可能性は排除することとした（例えば、部品と部品が干渉した場合に相互の部品が被る影響を認識できないといった、プロフェッショナルな設計者が引き起こすとは考えにくい不備の可能性は排除した）。

3 章の分類手順と上記のルールによって分類された Qualifier の例を表 5 に、全ての分類の結果を表 6 に示す。

**Table 5** Examples of the “Qualifier (RDC)”

リコール例	分類及び分類根拠
リフトを急な傾斜地等で下降させると、停止位置を検出し電動モーターを停止するスイッチが作動せず、左右の移動金具が端部の金具に当たって停止することがあります。そのため、このような操作を繰り返すと、移動金具が損傷して異音が発生し、最悪の場合、リフトが傾くおそれがあります。	要求プロセスの問題 傾斜に対するスイッチの作動特性が正しく認識されていなかった (R2)
エンジンルーム内の電気配線を取り付ける位置が不適切なため、発進時などにエンジンが揺れるとヒーターホースの金属クリップタブが配線の被覆を破ってショートすることがあり、ヒューズが切れてエンジンが停止すると、再始動できなくなるおそれがある。	要求プロセスの問題 レイアウト条件として提供されるエンジンの揺れの大きさが認識されなかったものと分析 (R3)
駐車制動装置において、駐車ブレーキケーブルの低温下における耐久性が不適切なため、ケーブル外表面に亀裂が発生するものがあり、そのままの状態で使用続けると、当該ケーブルが折れ曲がり、さらにインナーワイヤーが切損し、駐車ブレーキが作動しなくなるおそれがあります。	確認プロセスの問題 駐車ブレーキケーブルの低温化での耐久性を予測する設計ロジックが不足しているにも関わらず、検証がされていなかったものと分析 (C1)
DPF（ディーゼル微粒子除去装置）において、DPF内に捕集されたPM（粒子状物質）の自動除去機能を制御するコンピュータに誤ったプログラムを組み込んだため、手動操作によるPMの除去が必要であるにもかかわらず、自動除去機能が作動することがあります。そのため、DPFの温度が異常に上昇し、排気温度センサーが損傷してエンジン警告灯が点灯し、最悪の場合、DPFが損傷してPMの排出量が基準値を超えるおそれがあります。	定義プロセスの問題 ある条件では手動操作によるPM除去が必要（既知の設計ロジック）であるにもかかわらず、自動除去プログラムを組み込んでしまったと分析 (D1)
ガソリン燃料装置を液化石油ガス仕様に変更した車両において、燃料ラインに装着された電磁弁または緊急遮断弁のフィルタカップ締付ボルトの材料及び形状が不適切なため、規定締付けトルクに対する強度が不足しています。そのため、そのままの状態で使用続けると、最悪の場合、ボルトが破断してガスが漏れるおそれがあります。	確認プロセスの問題 ボルトの許容トルク限界が認識されていなかったと分析 (R4)
燃料タンクの燃料給油用パイプと通気用パイプの材質が不適切なため、凍結防止剤や海水等の影響により局部的に腐食が生じることがあります。そのため、そのまま使用続けると、当該パイプに微細な穴が開き、燃料が漏れるおそれがあります。	確認プロセスの問題 塩水等による腐食の程度を机上で正しく予測することは困難である。テストによる検証が必要であったが正しくなされなかったと分析 (C1)
原動機において、タイミングチェーン潤滑装置のエンジンオイル噴出口の形状が不適切なため、そのままの状態で使用続けると、当該タイミングチェーンの潤滑不良が生じ、最悪の場合、当該タイミングチェーンが破損するおそれがある。	確認プロセスの問題 タイミングチェーンへのオイル供給に関わる全ての要求を定量化することは困難であるが、一方、吐出口形状が要求を満たすことも確認できていないと分析 (C2)
ウォーターポンプにおいて、タイミングベルト用アイドルプリー取り付け部の肉厚が薄いため、強度が不足しています。そのため、そのままの状態で使用続けると、最悪の場合、取り付け部が破損し、当該プリーが脱落し、タイミングベルトが外れバルブタイミングがずれ、原動機が損傷するおそれがあります。	確認プロセスの問題 アイドルプリー取り付け部への長期間の負荷を定量化するのは困難であるが、一方、取り付け部の肉厚が負荷に耐えうるかどうかの確認もできていないと分析 (C2)

**Table 6** Process that causes the recalls

欠陥の発生要因プロセス	発生数
要求プロセス	81
定義プロセス	11
確認プロセス	76

また、分類結果の詳細をそれぞれ表7、表8、表9に示した。

**Table 7** Inadequacies on the requirement processes that causes the recalls

要求プロセスの不備分析	発生数
R1: 要求の存在が認識されていない	20
R2: 要求に対する設計構成要素と対象物全体の特性が認識されていない	26
R3: 要求の大きさが正しく認識されていない	25
R4: 設計構成要素と対象物全体の特性の目標値が正しく認識されていない	10

**Table 8** Inadequacies on the definition processes that causes the recalls

定義プロセスの不備分析	発生数
D1: 正しい設計解を得るための設計ロジックは存在するが、適用していないか、適用の仕方を誤っている	11

**Table 9** Inadequacies in the confirmation processes that causes the recalls

確認プロセスの不備分析	発生数
C1: 不十分な設計ロジックによって設定された定義に対する検証が為されていない	20
C2: 定義の結果得られた特性が要求を満たしていることが確認できていない	56

## 6. リコール分類の交差結果

### 6.1 Qualifier (RDC) と Defect Type の交差

Qualifier (RDC) と Defect Type の交差結果（表出数上位）を表10に示す。R1（設計対象物全体、または設計構成要素の要求の存在が認識されていない）やR3（設計対象物全体、または構成要素への要求の存在は認識されていても、大きさが定量的に認識されていない）の要求認識要因により“干渉”問題の表出数が多いこと、C2（定義の結果得られた特性が要求を満たしていることを確認できていない）の確認不備により“疲労故障”が多く発生していることが、この分析での目立つ結果となっている。

**Table 10** Orthogonal of “Qualifier (RDC)” and “Defect type”

Qualifier	Defect Type	発生数
R1	干渉	5
	規則違反	3
	疲労故障	2
	浸水	2
	固着	2
R2	金属故障	5
	機械的磨耗	4
	機能不良	2
	結露	2
	熱劣化	2
	共振	2
	膨潤	2
R3	干渉	11
	熱劣化	2
	シーケンスエラー	2
	脱落	2
	溶損	2
R4	シーケンスエラー	3
	溶損	2
	電氣的磨耗	2
D1	シーケンスエラー	6
	機能不良	3
C1	疲労故障	4
	機械的磨耗	4
	クリープ	4
	熱劣化	3
C2	疲労故障	29
	機械的磨耗	6
	応力集中	6
	脱落	4
	クリープ	2
	金属故障	2
共振	2	

## 6.2 Qualifier (RDC) と Defect Type と Trigger の交差

Qualifier (RDC) と Defect Type の交差にさらに Trigger を交差させたのが表 11 である。ここでは、紙面の都合上、要求プロセス、定義プロセス、確認プロセスにて最も表出数が多かったそれぞれ、干渉、機能不良、疲労故障についての Trigger を表記した。C2 については上位 7 つの Trigger のみを示した（8 位以下の発生数は全て 1 であった）。

表出数の多い Defect Type であっても、Trigger を交差させると、その発生パターンが一気に広がってしまうことがこの表によって示されている。Defect Type だけを見ると同じような故障であっても、その発生要因は多種多様であり重複した欠陥はほとんど発生していないことがこの表では明らかとなっている。

この結果については次章でさらに詳しく考察することとする。

**Table 11** Orthogonal of “Qualifier (RDC)”, “Defect type” and “Trigger”

Qualifier	Defect Type	Trigger	発生数		
R1	干渉	走行中の振動	2		
		フロア下降を繰り返す	2		
		コネクタの位置の干渉方向へのバラツキ	1		
R2	金属故障	スイッチへの導通	1		
		走行時コイルスプリングの線間接触及び 異音防止用チューブ内にたまっている泥水	1		
		長期間のコネクタへの通電	1		
		長期間のヒータへの通電	1		
		電気負荷	1		
		R3	干渉	走行中の振動	3
				パワーステアリングベルトの接触	1
ブレーキパイプ取付け時の変形	1				
車両の振動	1				
燃料タンクの膨張	1				
配線のクラッチペダル干渉方向へのバラツキ	1				
配線のサイドフレームエッジとの干渉方向へのバラツキ	1				
配線経路の干渉方向へのバラツキ	1				
発進時などにエンジンが揺れる	1				
R4	シーケンスエラー			5 速で高速走行時	1
		PM が過大堆積した状態での DPF の作動	1		
		セレクトレバーを前進又は後退位置へ操作後のすばやいアクセル操作	1		
D1	シーケンスエラー	アクセルオンオフの操作を頻繁に行いながらの走行	3		
		エンジン冷間時の始動直後	1		
		左急旋回時にアクセルを放しクラッチの接続を切った場合	1		
		通常エンジン作動	1		
C1	疲労故障	シフト操作の繰り返し	1		
		トランクリッド開閉の繰り返し	1		
		長期間のオイルシールへの入力	1		
		長時間のアイドリング状態での使用を繰り返し行った場合	1		
C2	疲労故障	エンジンの振動	4		
		ハンドル握え切り操作を頻繁に繰り返す	2		
		急激なギヤシフト操作	2		
		昇降操作の繰り返し	2		
		振動	2		
		長期間のピンへの荷重入力	2		
		頻繁、長期間の握え切り等操能力の高くなる使用	2		

## 7. 分類および交差結果の分析

以上の分類結果を基に、これらリコールを発生させるに至った設計開発プロセスの課題について考察する。



## 7.1 Trigger

表 3 および表 11 に示す結果は Trigger の多様性、すなわち欠陥を表出させるためには多様なテストモードが必要であることを示すものとなった。この結果は、しらみつぶしの評価によって欠陥を洗いざらい搾り出すことが多大なリソース（人、物、金、時間）を必要とすることを示唆している。

今回の分析はデータ数が 168 と少ないことから、重複した Trigger があまり明確に表れていないが、その中でも「走行中の振動」、「エンジンの振動」といった振動関連の Trigger によるリコールが多く存在し、この潰しこみが設計プロセス上の課題であることを読み取ることができる。

## 7.2 Qualifier (RDC)

表 6 を見ると、要求プロセスに起因する欠陥が最も多く 81 件 (48.2%)、確認プロセスに起因する欠陥が 76 件 (45.2%) で全体の 94% を占めていることが分かった。これに対して定義プロセスに起因する欠陥、すなわち設計上の意思決定のエラーが原因となる欠陥は 11 件 (6.5%) と少ないことが分かった。

表 7 は要求プロセスについての詳細な分析結果である。この分析結果から、要求の存在そのもの、設計対象物と構成要素の特性値、及び要求の大きさが正しく認識されていないことが欠陥発生の主要因であることが推測できる。

また、表 9 の結果は、要求が認識できていない、または要求は認識できているが定義が正しいロジックによって導かれていないにも関わらず確認が確実に実行されていないことを示しており、要求や定義に不確定さが存在しているにもかかわらず、この不確定さに対する認識が不足しているという設計開発プロセス上の問題が浮かび上がってくる。この結果は、設計開発プロセスにおいて要求や定義の不確定さを適切に管理し、確認によって確実な潰しこみを行うことができれば、多くの欠陥の市場への流出を防止できることを物語っている。

## 7.3 Qualifier (RDC) と Defect Type と Trigger の交差

Qualifier (RDC) と Defect Type を交差させた表 10 を見ると、要求プロセスの問題で最も多い Defect Type は干渉であった。この結果から、要求

プロセスにおいて干渉物を認識できていなかったためにこれらの欠陥が発生したとの推測を得ることができる。ここでさらに Trigger を交差させた表 11 を見ると、これらの欠陥は静的な干渉ではなく、振動や経時変化、バラツキによって生じる動的な干渉であることがわかる。従って、リコールとなった干渉問題に関する設計プロセス上の再発防止策としては、動的な干渉に対する認識技術を向上させることであるとの認識を得ることができるのである。

確認プロセスにおいて、最多の Defect Type は疲労故障であり、この結果から経年劣化に対する評価がプロセス上の大きな課題として浮き上がってくる。但し、表 11 の疲労故障に対する Trigger の種類の多さとその内容が示唆するように、この検証を正しく行うためには部品や製品固有のテストモードを丹念に設定しなければならず、多大なリソースを必要とするプロセスであることが理解できる。とは言え、この分析で明らかになった Trigger の表出数の大小は、有限のリソースの中でどのテストモードを優先的に実施するかを決定する上で一つの指針を提供することであろう。

定義プロセスに原因を置く欠陥の多くは、シーケンスエラーと分類された。リコール事例を参照すると、これらの欠陥は車載コンピュータの組込みプログラミングに関わることと見て取れることから、定義プロセスにおける欠陥防止のためには、組み込みプログラムの設計において、制御対象となる機能部品とプログラムの間の複雑なシーケンスを正しく認識することが課題であると理解することができる。

## 8. おわりに

本研究によって以下に示す成果を得ることができた。

1. ODC の Qualifier カテゴリーを RDC モデルの要求プロセス、定義プロセス、確認プロセスの視点からの欠陥要因の分類カテゴリーとすることで、欠陥情報から設計開発上の課題を認識するための方法論を提案することができた。
2. また、公開されているリコール情報の分析を通じて、限られた情報を基に分析を行うために幾つかの分類ルールを設定したものの、本方法論により欠陥情報から設計開発プロセス上の課題の導出が可能であることを示すことができた。

今回は欠陥情報というセンシティブな情報へのアクセスの難しさもあり、公開されているリコール情

報を活用して分析の適用検討を行った。そのため、幾つかの分類ルールを設定し、さらに設計現場において常識的には起こりえないと考えられる不備の可能性は排除することによって情報不足を補った。今後の研究においては、企業内部に存在する広範囲の生の欠陥情報を用いて検証を行うことにより、本方法論の有効性の実証作業を進めて行くことが必要であろう。

また、欠陥情報に比較的簡便な ODC 分類カテゴリーを付加することによって設計開発上の弱点を把握するという本研究手法を企業内部の不具合管理システムやクレーム処理システムなどに組み込むことができれば、その企業は常時、自社の設計開発プロセスの質をモニタリングできるという興味深い能力を持つことになる。今後は、このようなシステムチックな方法に関する研究も実施して行きたい。

### 参考文献

- 1) 国土交通省自動車交通局：リコール届出内容の分析結果 (2002)
- 2) 石川馨：第3版 品質管理入門 A 編，日科技連出版社(1989)
- 3) 坂本碩也：生産管理入門，理工学社(1989)
- 4) 田村泰彦：構造化知識の運用に基づく設計不具合の予測と未然防止，品質，35，[1]，(2005)，18-32
- 5) Chillarege, R., Inderpal S., Bhandari, Jarir K., Chaar, Michael J., Halliday, Diane S., Moebus, Bonnie K., Wong, R and M.: Orthogonal Defect Classification - A Concept for In-Process Measurements , IEEE Transactions on Software Engineering, Vol 18, No. 11 (1992)
- 6) Chillarege, R.: ODC for Process Measurement, Analysis and Control, Proceedings, Fourth International Conference on Software Quality, ASQC Software Division, Oct 3-5, McLean, VA (1994)
- 7) Chillarege, R. and Kathryn A. Bassin.: Software Triggers as a function of time - ODC on field faults, DCCA-5: Fifth IFIP Working Conference on Dependable Computing for Critical Applications (1995)
- 8) Wang, J., X. and Roush M., L.: リスク分析工学，丸善株式会社 (2003)
- 9) Menzies, T., Lutz, R., Mikulski, C.: Better Analysis of Defect Data at NASA , Fifteenth International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering , July 1-3 , San Francisco , CA (2003)
- 10) Silberman, J.: Robot Orthogonal Defect Classification Towards and In-Process Measurement System For Mobile Robot Development, CMU-RI-TR-99-05 , The Robotics Institute , Carnegie Mellon University (1998)
- 11) IBM: Improving Software testing via ODC: Three case study (2002)
- 12) 中沢俊彦：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 38 巻第 12 号 (2003)