

# QFD による組込みソフトウェア分析・設計の 品質管理モデリングに関する一考察

小松由香里\*\*\*\*, 吉原真也\*, 石橋慶一\*, 秋山義博\*\*, 中谷多哉子\*\*\*  
片峯恵一\*, 鵜林尚靖\*, 橋本正明\*

## A Discussion on QFD-based Quality Control Modeling of Embedded Software Requirement Analysis and Design

Yukari Komatsu\*\*\*\*, Shinya Yoshihara\*, Keiichi Ishibashi\*, Yoshihiro Akiyama\*\*, Takako Nakatani\*\*\*  
Keiichi Katamine\*, Naoyasu Ubayashi\*, Masaaki Hashimoto\*

筆者らは、組込みソフトウェアの要求分析と設計のフェーズにおいて品質作り込みを行うため、ERVM(Earned Requirement Value Method)を拡張し、QFD によるシステム要求のトレーサビリティに着目した品質管理モデルを検討した。現在、組込みソフトウェア開発プロジェクトの分野では、要求分析と設計に関する品質の問題が重要視されている。そのため、システム開発の要求分析と設計のフェーズにおいて、十分に品質を作り込まなければならない。要求分析と設計のフェーズにおいて品質を作り込まなければ、実装フェーズにおいて手戻りが発生し易く、最終的にシステム稼動時に障害が発生するといったプロジェクトの失敗に陥り易い。本稿では、今回検討した品質管理モデルを考察し、今後の研究課題を述べる。

We have enhanced ERVM (Earned Requirement Value Method) and studied a quality control model from the viewpoint of QFD-based traceability of system requirements. The study is aimed at getting the product of good quality in the requirement analysis and design phases of embedded software. One of the serious problems is the quality of requirement analysis and design in the field of embedded software development projects. Therefore, it is essential to get the good quality in the requirement analysis and design phases. If the good quality is not obtained in the requirement analysis and design phases, the project will easily fail by the rework in the implement phase and the malfunction in the operation. In this paper, we discuss the model and describe the future study.

Key Words & Phrases : 組込みソフトウェア, ERVM, 品質機能展開, HoQ, 品質管理, トレーサビリティ  
Embedded Software, Earned Requirement Value Method, Quality Function Deployment,  
House of Quality, Quality control, Traceability

### 1. はじめに

現在、我々の身の回りでは、携帯電話や、デジタル家電、車載機器などの組込みソフトウェアが数多く利用されている。また、インターネットに接続できる機器も増え、数年前に比べて機能が大幅に増加した。このような状況下において、メーカーは他社より早く製品をリリースしなければならない。

このような背景から、組込みソフトウェアの大規模化と複雑化が進む一方で、開発期間の短縮に

対する要求が強くなっている。また、経済産業省 2004 年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書[1]によると、開発中に発生した手戻りの原因は要求仕様の内容や仕様書の不備にあること、組込みソフトウェアの課題は品質向上にあることが挙げられており、要求仕様と品質の問題が重要視されている。

組込みソフトウェア開発プロジェクトでは、要求分析と設計のフェーズにおいて十分に品質を作り込む必要があり、顧客の意図を的確に最終製品へ反映することが肝要である。要求分析と設計のフェーズにおける失敗は、プロジェクトの納期遅れやコスト超過だけでなく、システムが使われなといったプロジェクトの失敗に直結するためである。

本稿では、上記の問題の改善を図るため、組込みソフトウェア開発の要求分析と設計のフェーズ

受付日 : 2005 年 9 月 29 日

\*九州工業大学(Kyushu Institute of Technology)

\*\*日本アイ・ビー・エム株式会社(IBM Japan, Ltd.)

\*\*\*九州工業大学(Kyushu Institute of Technology)/  
有限会社エス・ラグーン(S-Lagoon Co., Ltd.)

\*\*\*\*日本電気株式会社(NEC Corporation)

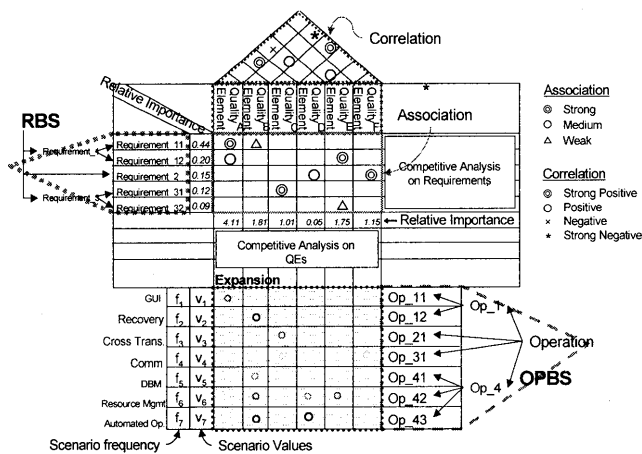


図 1 拡張 HoQ ダイアグラム

における品質作り込みを目的とした、QFD(Quality Function Deployment)による品質管理モデルを検討する。また、街灯システムの事例を用い、このモデルの適用実験について述べる。

以下、2章では、関連研究である ERVM や、組込みソフトウェア開発の問題点、プロジェクトの QCD (品質、コスト、納期) について述べる。3章では、品質管理モデルを提案し、このモデルの適用実験を述べる。4章では、このモデルを考察し、今後の研究課題について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 ERVM

ERVM[2]は、システム開発の実装フェーズにおいて、顧客がプロジェクトの成果物を利用することによって獲得できる価値を、RV(Requirement Value)として定量的に管理するための手法である。これは、品質機能展開(QFD: Quality Function Deployment)[3][4][5][6]をベースとし、図1のようなダイアグラムを用いた品質管理を行う。また、プロジェクト開始時に見積もられた PRV(Planned Requirement Value)と、達成した ERV(Earned Requirement Value)、顧客が実際に獲得した ARV(Actual Requirement Value)の3段階のRVをモニタリングすることによってRVを分析する。

QFDは、その図の形状から HoQ(House of Quality)とも呼ばれる。HoQは、顧客の要求を品質要素に展開する。拡張 HoQは、HoQに図1の Expansion 以下に示す OPBS(Operation Breakdown Structure)の概念を追加し、これを品質要素と関連付ける。OPBS中に存在する Operationとは、プロジェクトの成果物を利用した顧客の業務である。これは、顧客の現行業務を改良するオペレーション・シナリオを指し、顧客やユーザが行うシステ

ムの操作も含まれる。ERVMにおいては、この顧客業務にRVを保持させる。また、顧客業務を実現するためのシステムの機能を洗い出し、顧客業務と機能を関連付ける。さらに、この機能を実装のプロジェクト作業へ割り振ることにより、ERVMは、顧客の要求をプロジェクト作業へ反映させる。

### 2.2 組込みソフトウェア開発の問題点

組込みソフトウェアの80%は、非正常系の処理に対する機能と言われている。非正常系には、過負荷や一時的な輻輳、ハードウェアの故障、性能の劣化などが挙げられる。そのため、組込みシステムの運用環境に対して、非正常系への配慮が必要である。しかし、その配慮が、仕様設定時に抜け落ちやすい。組込みソフトウェアに対する信頼性や安全性への要求が高まる中、抜け洩れのない仕様を設定できる仕組みの確立が急務である。このため、非正常系における要件定義を、システム分析段階で抽出し、仕様に盛り込むことが必要である。

また、組込みシステムに対して、要求仕様や品質の課題が重要視される要因は、不特定多数のユーザによって、種々の環境下で使用され、丈夫・安全・安心であることを期待されるためである。このため、組込みシステムにおいては、仕様要件が、顧客からの情報に付け加え、システムのおかれている環境と運用される具体的な状況、さらに機構、ハードウェア、施工などが総合的に含まれており、分析を困難としている。

このような背景から、仕様分析段階で非正常系仕様の抽出を行うための研究も行っている[7][8][9]。

### 2.3 プロジェクトのQCD

QCD(品質、コスト、納期)は、プロジェクトの成否を判断するための基準であり、この3つの観点の計画値をすべて満たすとき、そのプロジェクトは成功したとみなされる。現在のプロジェクトマネジメントでは、納期に関して、時間の観点からのクリティカル・パスが提供されており、また、コストについては、クリティカル・チェーンが提供されている。これは、リソースの競合を考慮したクリティカル・パスといえる。

しかし、品質に関するクリティカル・パスは存在しない。品質の観点からもクリティカル・パスを設定できれば、スケジューリングにおいて、プロジェクト・マネジャを支援できるので、本稿では、プロジェクトにおける品質管理を研究対象とした。

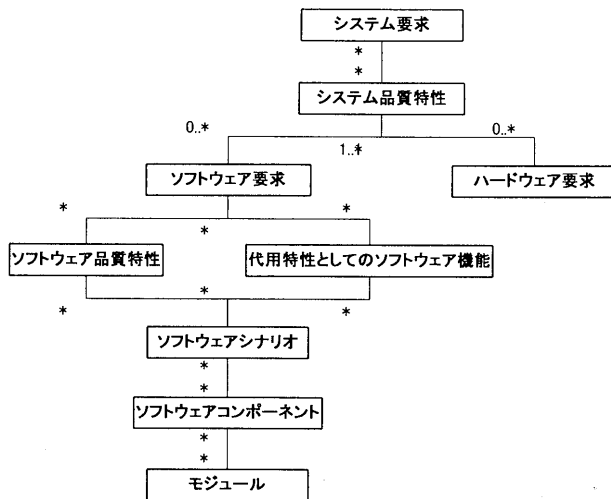


図 2 システム要求のトレーサビリティ・モデル

### 3. 品質管理に着目した ERVM の拡張

ERVM は、実装フェーズにおける成果物の品質を管理している。本研究では、これを拡張し、要求分析や設計フェーズの品質管理について検討する。以下に、組込みソフトウェア開発の要求分析と設計のフェーズを対象として、システム要求のトレーサビリティを実現するための品質管理のモデルと、そのモデルを、街灯システム開発の事例プロジェクトに適用した実験について述べる。

#### 3.1 システム要求のトレーサビリティ・モデル

品質作り込みとは、顧客の要求を確実に最終製品まで反映させることである。組込みソフトウェアにおける品質作り込みを目的とした、システム要求のトレーサビリティ・モデルを図 2 に示す。

このモデルは、システム要求が確定していることを前提としている。このシステム要求からスタートし、システム要求をシステム品質特性に展開、さらに、ハードウェア要求とソフトウェア要求に分解する。このソフトウェア要求を代用特性に展開し、代用特性からソフトウェア・シナリオ、ソフトウェア・コンポーネント、モジュールの順序で関連付ける。

要求分析と設計のフェーズでは、このモデルに現れる概念が成果物となるため、各概念間に、これらの成果物を作成するためのプロジェクト作業が存在する。以上のプロセスを経て、システム要求からプロジェクト作業までのトレーサビリティを確立する。

本モデルにおけるトレーサビリティとは、モデルに現れる各概念を関連付ける能力を指す。また、

このモデルは、要求分析や設計フェーズで品質を作り込む際、システム要求から、システム品質特性やモジュールに至るまでの各項目を洗い出すプロジェクト作業において、顧客の要求を漏れなく記述し、顧客の要求を最終製品まで反映するための支援をする。

#### 3.2 街灯システム

本研究の事例プロジェクトとして実験した街灯システムは、屋外に設置される照明であり、夜間に人が近づいてきたときに点灯する。

街灯システムにおける機能と構成は以下の通りである。昼光センサが、昼/夜の判断のため、A/D 変換によって光の量を数値として読み出す。また、人の接近を判断するため、超音波センサが、一定量以上の大きさの移動物体の最短距離を A/D 変換で数値として読み出す。街灯を点灯/消灯させる照明制御は、ラッチングリレーにより、I/O ポートより ON/OFF をパルス出力する。CPU は、上記の 3 つを統括制御し、タイマは、CPU に対する定期割り込みをカウントし、内部タイマとして用いられる。

前節で述べたトレーサビリティ・モデルの適用事例である街灯システム開発プロジェクトの例を以下に示す。これは、企業のヒアリングをもとに整理した。また、本研究における街灯システムは、ハードウェアの機能もソフトウェアで擬似的に実装した。

なお、組込みシステムは、システムの目的により、処理が異なる場合がある。本研究で実装した街灯システムは、道路の安全確保や防犯を主目的とした照明であり、センサ故障時には街灯を点灯させる。一方、省エネを主目的とした照明は対応が異なり、街灯を消灯させる。

- (1) システム要求  
企業のヒアリング
- (2) システム品質特性  
ISO/IEC 9126 ソフトウェア品質特性・副特性 [10]をシステムに適用したもの
- (3) ソフトウェア要求  
システム要求を分解
- (4) ソフトウェア品質特性  
ISO/IEC 9126 ソフトウェア品質特性・副特性
- (5) ソフトウェア・シナリオ  
代用特性を介し、ソフトウェア要求から展開
- (6) ソフトウェア・コンポーネントとモジュール  
企業ヒアリングをもとに、シナリオから展開
- (7) プロジェクト作業  
企業のヒアリングと、eUML[11]を参考に、一

	要求品質重要度	システム品質特性					ハードウェア要求			ソフトウェア要求																					
		機能性		信頼性			星光センサ	超音波センサ	電灯	リレー	昼夜を判断することができる	人かどうかを判断することができる	センサ値の判断結果から点灯・消灯させることができる	昼の時間を認識できる	夜の時間を認識できる	明るさのレベルを認識できる	昼と夜の判断レベルを別に設ける	センサの故障を検知できる	センサ回路の経年変化を検知できる	汚れなどによるセンサ入力部の感度の劣化を検知できる	瞬時停電発生を検知できる	リセット発生を検知できる	センサが安定するまで点灯させることができる								
		合目的性	正確性	相互運用性	標準適合性	成熟性																		セキュリティ	障害許容性	回復性					
システム要求品質	昼、人が通っても点灯せず、夜、人が通ったら点灯する。	5	◎	◎		○		○	○	○		○		○																	
	夜、犬や鳥が通っても点灯しない。	4	○	◎				○	○	○	○	○		○		○															
	夜、井戸端会議など人がとどまっている状態では点灯し続ける。	4	◎	○				○	○	○	○	○		○		○															
	夜、星光センサに車のヘッドライトが当たっても誤動作しない。	5	○	◎			○		○	○	○	○			○																
	昼、木の葉のゆれや建物の影などにより、太陽光が遮られても誤動作しない。	5	○	◎			○		○	○	○	○	○			○															
	いたずらやビルの反射光により星光センサに強い光が当たっても、精度を保つことができる。	4	○	○			◎		○								○														
	早朝や夕方に点滅しない。	4	○	◎		◎			○		○	○	○					○													
	センサ故障時に点灯して道路の安全確保ができる。	5	◎					◎	○	○	○	○	○						○												
	センサ回路が経年変化しても、精度を保つことができる。	4		○				○		○	○						○				○										
	汚れなどによってセンサ入力部の感度が劣化しても、精度を保つことができる。	4		○				○		○	○						○									○					
瞬時停電発生時にセンサが安定するまで点灯して安全確保ができる。	5	◎						○	○	○	○	○													○					○	
リセット発生時にセンサが安定するまで点灯して安全確保ができる。	5	◎						○	○	○	○	○															○			○	

図 3 システム要求品質展開・要求分解

		重要度	ソフトウェア品質特性					代用特性としてのソフトウェア機能								
			機能性			信頼性		昼／夜判断機能	人／人以外判断機能	点灯／消灯判断機能	センサ故障検知機能	センサ劣化検知機能	瞬時停電検知機能	リセット検知機能		
			合目的性	正確性	相互運用性	標準適合性	セキュリティ								成熟性	回復性
ソフトウェア要求品質	星夜を判断することができる。	5	◎	◎	◎	◎				◎						
	人かどうかを判断することができる。	5	◎	◎	◎	◎				◎						
	センサ値の判断結果から点灯・消灯させることができる。	5	◎	◎	◎			◎	○		◎					
	星の時間を認識できる。	4	○	◎						○						
	夜の時間を認識できる。	4	○	◎						○						
	明るさのレベルを認識できる。	5	◎	◎	◎	○		◎		◎						
	昼と夜の判断レベルを別に設ける。	4	○	◎	◎	◎				◎						
	センサの故障を検知できる。	4							○			◎				
	センサ回路の経年変化を検知できる。	4							○					◎		
	汚れなどによるセンサ入力部の感度の劣化を検知できる。	4							○					◎		
瞬時停電発生を検知できる。	4							○						◎		
リセット発生を検知できる。	4							○							◎	
センサが安定するまで点灯させることができる。	5	◎						◎	◎		○					
代用特性重要度			161	160	0	85	0	0	135	40	94	25	40	20	40	20

図 4 ソフトウェア要求品質展開

一般的な WBS と成果物（仕様書・設計書など）を定義

街灯システム開発におけるトレーサビリティを表示した一例として、システム要求の展開とソフトウェア要求の展開を、それぞれ図 3 と図 4 に示す。

4. 考察

4.1 システム要求の獲得

本稿で提案したトレーサビリティ・モデルは、システム要求が確定していることを前提としている。そのため、システム要求の抽出が不十分

であると、その要求内容に影響を受ける後工程の作業に支障が出る。特に、組込みシステムの利用者は不特定多数であり、稼働環境も様々である。そのため、システム開発者は、利用者や稼働環境がシステムに与える影響を十分に把握した上で、システム要求を決定しなければならない。このように、組込みシステム開発においては、システム要求を獲得するまでの工程が重要であり、その工程を通して、システム要求の定義に必要な情報を十分に獲得する必要がある。

要求分析フェーズにおいて、システム要求は、ユーザ要求をもとに決定される。ユーザ要求は、システム利用者から見たシステムに対する要求である。要求分析者は、ユーザ要求をシステム

がどのように満たすかを考慮してシステム要求を決定するが、組込みシステムにおいては、システムの利用者や稼働環境を要因とした例外や障害を十分に考慮する必要がある。そのため、トレーサビリティ・モデルにユーザ要求や、システムの稼働環境の概念を追加し、システム要求の獲得支援を図ることが必要である。

今後は、ユーザ要求とシステム要求の獲得工程のアクティビティと、そのアクティビティに必要な入出力情報を整理し、トレーサビリティ・モデルに追加する。さらに、ユーザ要求や稼働環境から各プロジェクト作業までのトレーサビリティを確認し、品質のリスク低減を目指す。

#### 4.2 重要度を用いた品質管理

QFDは、システム要求の各々に対して重要度を設定し、その重要度と、トレーサビリティ・モデルに現れる各項目とのマッピングの強度を用いて、各項目の重要度を算出する。この重要度は、最終成果物が満たすべき品質に対して、各項目がどれだけの影響を与えるかを表し、重要度が高い項目においては、最終成果物に与える影響も大きい。また、注目する品質によって、各項目の重要度は変化する。たとえば、顧客の回収利益に注目した場合、顧客により多くの利益をもたらすと予想される機能にマッピングしている項目の重要度が高くなる。一方、システムに発生しうる障害に注目した場合、障害から回復するために必要な機能にマッピングしている項目の重要度が高くなる。そのため、重要度を設定する際には、それがどの品質に関するものであるかを注意する必要がある。

この重要度を各プロジェクト作業まで導くことによって、品質の観点からクリティカル・パスを設定することが可能である。

#### 4.3 プロジェクト・マネジメントのモデリング

前節までに、組込みソフトウェア開発における品質管理とリスク管理の重要性について述べた。しかし、PMBOK[12]には9つの知識エリアが存在するように、プロジェクト・マネジメントには、品質やリスク以外に多くの要因が絡んでいる。また、多くの要因が絡む問題を厳密に議論するためには、その議論に耐え得るモデルが有効である[13]。そこで、筆者らは、PMBOKに述べられている概念をベースにして、システム・エンジニアリングのプロジェクト・マネジメントをモデリングしている[14]。

このモデリングが出来れば、プロジェクト・マ

ネジメント自体を、エンジニアリングの対象として、厳密に取り扱うことが可能となる。そのため、このモデルの上に、前述の品質に関するトレーサビリティ・モデルを載せる予定である。

#### 5. おわりに

本稿では、組込みソフトウェア開発の要求分析と設計のフェーズにおける品質管理を支援するため、QFDによるシステム要求のトレーサビリティを確立するモデルを提案した。このモデルを活用することにより、項目分析と設計のフェーズにおいて、顧客の要求を最終製品へ反映させる品質作り込みを支援する。

今後の課題としては、このモデルから導いたプロジェクト作業の重要度に関して概念整理を進め、品質の観点によるクリティカル・パスを設定するモデルを構築する。また、その品質クリティカル・パスと、クリティカル・チェーンや時間の観点からのクリティカル・パスとの関連も研究する。さらに、この研究に耐え得るプロジェクト・マネジメントのモデリングを研究する。

#### 参考文献

- [1] 経済産業省 商務情報政策局, 2004 年度版組込みソフトウェア産業実態調査
- [2] Yoshihiro Akiyama, Hideo Fujita and Akira Tominaga, "Earned Requirement Value Method for Large-Scale IT Project", The 17th World Congress on Project Management in Moscow, 4-6 June 2003.
- [3] 大藤正, 永井一志, 小野道照, QFD ガイドブックー品質機能展開の原理とその応用, 日本規格協会, 1997
- [4] 大藤正, 小野道照, 赤尾洋二, 品質展開法(1)ー品質表の作成と演習ー, 日科技連出版社, 1990
- [5] 情報処理振興事業協会, 品質機能展開による高品質ソフトウェアの開発手法「解説編」, コンピュータ・エージ社, 1989
- [6] 情報処理振興事業協会, 品質機能展開による高品質ソフトウェアの開発手法「活用事例編」, コンピュータ・エージ社, 1989
- [7] 三瀬敏朗, 新屋敷泰史, 橋本正明, 鶴林尚靖, 片峯恵一, 中谷多哉子, 組込みソフトウェア仕様抽出のための非正常系分析マトリクス, 情報処理学会組込みソフトウェアシンポジウム, pp. 12-19, 2004
- [8] 三瀬敏朗, 新屋敷泰史, 橋本正明, 鶴林尚靖, 片峯恵一, 中谷多哉子, 組込みソフト

- ウェア非正常系における仕様分析手法の一提案, 日本ソフトウェア科学会第 12 回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE2005(発表予定)
- [9] 新屋敷泰史, 三瀬敏朗, 江浦洋平, 畑中久典, 橋本正明, 鶴林尚靖, 片峯恵一, 中谷多哉子, 組込みソフトウェア非正常系の概念モデル, 情報処理学会組込みソフトウェアシンポジウム, pp. 8-11, 2004
- [10] JIS X 0129 ソフトウェア製品の評価 品質特性及びその利用要領, 日本規格協会, 1994
- [11] 渡辺博之, 堀松和人, 渡辺政彦, 渡守武和記, 組み込み UML-eUML によるオブジェクト指向組み込みシステム開発, 翔泳社, 2002
- [12] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) Third Edition, PMI, 2004.
- [13] Masaaki Hashimoto, Toyohiko Hirota, Yuji Imoto, Keiichi Katamine, Osamu Takata, Naoyasu Ubayashi, A Discussion on Modeling Technique of Product-Oriented Project Scheduling in an Example of Building Construction, Proceedings of the 2nd International Conference on Project Management, pp. 628-633, 2004.
- [14] 石橋慶一, 吉原真也, 橋本正明, 秋山義博, 中谷多哉子, 片峯恵一, 鶴林尚靖, プロジェクト・マネジメントのモデリングに関する考察, プロジェクトマネジメント学会 2005 年度秋季研究発表大会予稿集, pp. 300-305, 2005