様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成２１年　５月２０日現在

研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2006～2008
課題番号：１８５００００２５
研究課題名（和文）　組込みソフトウェア非正常系仕様化のための要求分析とプロマネの実践的モデリング研究
研究課題名（英文）　A Study on Practical Modeling of Requirement Analysis and Project Management for Unexpected Obstacle Specification of Embedded Software

研究代表者
橋本　正明（HASHIMOTO MASAAKI）
九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授
研究者番号：20253560

研究成果の概要：現在，我々の生活の周辺では，家電機器や医療機器などに，コンピューターが組込まれている．そのコンピューターを制御するための組込みソフトウェアは，次世代の我が国経済の牽引役として大きく期待される一方，我々の生活に密接するため，その品質が大きく問題視されている．そこで，組込みソフトウェアの要求分析や設計の際に，家電機器や医療機器などに起き得る障害を見つけ出すための分析手法を，技術とプロマネの両面から明らかにした．

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２００６年度	1,200,000	0	1,200,000
２００７年度	1,200,000	360,000	1,560,000
２００８年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総　計	3,400,000	660,000	4,060,000

研究分野：総合領域
科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア
キーワード：ソフトウェア工学，組込みソフトウェア，非正常系，モデリング，仕様化，ソフトウェア開発効率化・安定化

１．研究開始当初の背景

現在，我々の周辺では，家電機器や医療機器などに，様々な組込みソフトウェアが利用されている．さらに，将来のユビキタス社会においては，組込みソフトウェアは生活のあらゆる場所で動作し，種々のシステムが有機的に結合してくる．そのため，2004 年の経済産業省の「組込みソフトウェアの開発力向上に向けた施策と提言」においては，組込みソフトウェアが次世代の我が国経済の牽引役として，大きく期待されている．一方，同年の経済産業省の「組込みソフトウェア産業実態調査報告書」においては，組込みソフトウェアの要求仕様と品質が大きく，問題視されている．

ところで，家電機器などは，子供も含めて不特定多数の者が利用するので，組込みソフトウェアの開発においては，利用環境や運用状態に対して，正常ではない状況を徹底的に配慮することが必須である．実際，組込みソフトウェア規模の約８割を，例外処理機能が占めるのは，そのためである．しかし，その配慮が現実には抜け落ちやすいことが，組込みソフトウェアの要求仕様設定の難しさであり，品質問題の大きな原因の一つとなっている．そのため，要求仕様設定時に，例外処理機能の抜け落ちを防止するための技術開発が望まれている．

２．研究の目的

組込みソフトウェアの正常系仕様と非正常系仕様を，以下のように定義する．

(1) 組込みソフトウェアの正常系仕様は，アーキテクチャ設計が始まる前には既に決定されており，操作マニュアルに記載される動作を規定する．

(2) 組込みソフトウェアの非正常系仕様は，障害や，デバイス材料の劣化，過負荷，誤操作など，正常系仕様から外れた動作を規定する．

もちろん，非正常系仕様もその内容を解明して，システム仕様書に明確に記載しなければならない．しかし，現実には仕様から抜け落ちやすいので，ソフトウェア開発プロセス全体を通して非正常系仕様と呼び，正常系仕様とは区別する．

本研究では，組込みソフトウェアの正常系仕様やアーキテクチャやハードウェア・デバイスに，動作環境も含めて分析することによって，非正常系仕様を解明するための技術を，ソフトウェア・エンジニアリングとプロジェクト・マネジメントの両側面から研究する．分析技術としては，仕様の構造面を分析するための静的モデリング技術と，障害シナリオを分析するための動的モデリング技術を研究し，さらに両技術を相補的に組合せた分析手法を研究する．また，分析の抜け落ちが生じないように，分析手法全体の統御についても研究する．

この研究の特徴として，以下があげられる．

(1) 組込みソフトウェア非正常系の概念モデル

(2) 非正常系仕様化の静的モデリング技術として，組込みシステムにその動作環境も含めた対象世界を情報過程と見なして，それを非正常系の視点から分析するための情報フロー・ダイアグラム

(3) 非正常系仕様の動的モデリング技術として，障害シナリオを分析するために，状態遷移表に類似した分析マトリクス

(4) 従来，ハードウェア・デバイスの非正常系仕様を決めるための分析においては，デバイスの特性から障害を推測するための FMEA(Failure Modes and Effect Analysis)手法や，デバイス間の流れの異常から障害を推測するための HAZOP(the HAZard and OPerability)の Guide Word 手法や，障害から原因を推測するための FTA(Fault Tree Analysis)手法があった．ハードウェア・デバイスを含む組込みシステムを対象とする本研究においては，これらの手法は全て，有用である．そこで，従来は別個に発展してきた，これらの手法を融合して，上記の静的・動的モデリング技術に適用

(5) 上記の静的・動的モデリング技術のエンジニアリング技術の上に，プロダクト・モデルとプロセス・モデルとヒューマン・リソース・モデルからなる，仕様化全体を統御するためのプロジェクト・マネジメントのモデル

最近，ソフトウェア要求工学の研究分野において，非正常系に類する例外処理について研究がなされている．たとえば,ミス・ユースケースは，悪意を持ったユースケースを UML 手法によって分析する．また，非正常系を，ゴール指向方法論によって分析するための手法も提案されている．アブユーズ・フレームは，セキュリティ問題のスコープを制限する方法である．これらの研究に共通しているのは，シリアスな障害のみを分析することを目的として，トップダウン手法を適用していることにある．

一方，組込みシステムは子供が利用することもあるので，軽微な障害の可能性も分析して対策をとることが必須である．障害は何らかの目的を持って起きているのではなく，組込みシステムやその動作環境の構成要素の特性によって，無目的に起きている．そこで，本研究は，これらの研究の批判の上に立ち，トップダウン手法とボトムアップ手法の融合を図る．このボトムアップ手法の例として，上記の FMEA や Guide Word を利用できる．

３．研究の方法

本研究は，以下に述べるように，仕様化の手法研究と統御研究に 2 分類した 7 つの研究項目に分けて研究した．

(1) 仕様化手法の研究
- ① 組込みソフトウェア非正常系仕様化のための静的モデリング技術研究
- ② 組込みソフトウェア非正常系仕様化のための動的モデリング技術研究
- ③ 仕様化の手法統合研究
- ④ 検証実験

(2) 仕様化統御の研究
- ① 組込みソフトウェア開発上流工程のプロジェクト・マネジメントのモデル研究
- ② 仕様化の統御方法研究
- ③ 仕様化手法と仕様化統御の統合研究

４．研究成果

本研究によって得られた研究成果を，前述の 7 項目に分けて，以下に述べる．なお，研

究の実施順序に従って述べる．

(1) 組込みソフトウェア非正常系仕様化のための静的モデリング技術研究

組込みソフトウェアに，組込みシステムのデバイスや，組込みシステムの動作環境も加えた対象世界を，情報過程(プロセス)として捉える．その上で，そのプロセス中の情報フローの構造を静的に分析することによって，非正常系の仕様を解明するためのモデリング技術を研究した．具体的には，情報フロー・ダイアグラムの表現モデルを規定し，更に分析手法も整理した．

(2) 組込みソフトウェア非正常系仕様化のための動的モデリング技術研究

前述の対象世界の中で起きる障害の原因現象と結果現象の動的な連鎖を，障害シナリオとして捉えた．その上で，その障害シナリオを発見し分析することによって，非正常系の仕様を解明するためのモデリング技術を研究した．具体的には，分析マトリクスと障害シナリオ構成方法を中心にして，障害の原因現象や結果現象やその中間現象の発見方法を整理した．

(3) 組込みソフトウェア開発上流工程のプロジェクト・マネジメントのモデル研究

組込みソフトウェア開発の上流工程においては，ユーザ要求分析とシステム要求分析とアーキテクチャ設計を，混然一体として進めている事例が多い．その主因として，アーキテクチャ設計によって組込みシステムの要素デバイスが決まらなければ,そのデバイスに起因する障害種別が分からず，その障害種別が分からなければ，その障害対策に対するユーザ要求も出せないことがあげられる．そこで，(a) 非正常系を考慮した組込みシステムのプロダクト・モデル，(b) 組込みソフトウェア開発上流工程のプロセス・モデル，(c) 組込みソフトウェア開発上流工程のヒューマン・リソース・モデルを研究した．

(4) 仕様化の手法統合研究

前述のように，情報フロー・ダイアグラムを適用した静的な要求分析技術と，状態遷移表に類似した分析マトリクスを適用した動的な分析技術を研究しが，後者は熟練技術者向きであり，前者は熟練技術者のもとで未熟練者も使用できる．そこで，この２つの手法の統合を図り，少数の熟練技術者と，未熟練技術者を組み合わせたチームによる分析の可能性について研究した．なお，非正常系の知識ベースについては，障害分析や失敗学などにおける知識の特徴について研究し，知識の抽象化がキーであることを明らかにした．

(5)仕様化の統御方法研究

非正常系の要求分析全体の統御方法を明らかにするため，プロジェクト・マネジメントの面から，チーム・ビルディングについて研究した．チーム・ビルディングにおいては，チーム・メンバーのスキルの種別とレベルが特に重要である．非正常系の分析においては，機械や電気，人間系，使用環境などの多様な専門分野のスキルが必要なので，マトリクス組織型のプロジェクトが有効である．スキルのレベルについては，組込みソフトウェア・スキル標準を適用できる．

(6) 仕様化手法と仕様化統御の統合研究

前述のように，仕様化手法については，情報フローダイアグラムを用いる静的な分析手法と，分析マトリクスを用いる動的な分析手法を研究してきたが，その２つの分析手法を包含した概念モデルを完成させ，その上で両分析手法の定式化を行った．特に，分析の動的な過程は，分析者に理解し易いように，定性推論の視点から定式化した．仕様化統御については，前述の分析手法をベースにして，組込み製品の制御の視点から観測可能性と制御可能性の概念を，プロブレム・フレームの基本フレームと関係付けて研究した．この方法によって，仕様化手法を，もう一段高い視点から統御できるようになった．

(7) 検証実験

組込みソフトウェアの非正常系を分析するには，非正常系に関する知識が必要である．その非正常系の知識については，具象性と抽象性のレベルが特に重要である．具象性が高いと適用範囲が狭く，具体的な問題へ適用できる知識を選択するのが困難である．そのため，エキスパート知識を抽象化したガイドワードが有用である．そこで，既存の抽象的なガイドワードに，家電製品の構成要素種別に特有なガイドワードも加えた．その際，ガイドワード相互の抽象的な階層に着目した．また，ガイドワードと前述の基本フレームの関係も考慮した．実験の結果，ガイドワードの有用性は判明している．

５．主な発表論文等

（研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計１３件）

① Keiichi Katamine, Yasufumi Shinyashiki, Toshiro Mise, Masaaki Hashimoto, Naoyasu Ubayashi, Takako Nakatani, Conceptual Model for Analysis Method of Extracting Unexpected Obstacles of Embedded Systems, Proceedings of the Eighth

Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering, pp. 22-31, 2008, 査読有.

② Keiichi Ishibashi, Masaaki Hashimoto, Keiichi Katamine, Ryoma Shiratsuchi, Keita Asaine, Takako Nakatani, Naoyasu Ubayashi, Yoshihiro Akiyama, A Discussion on Domain Modeling in an Example of Motivation-Based Human Resource Management, Proceedings of the Eighth Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering, pp. 32-41, 2008, 査読有.

③ Keiichi Ishibashi, Masaaki Hashimoto, Keiichi Katamine, Ryoma Shiratsuchi, Keita Asaine, Takako Nakatani, Naoyasu Ubayashi, Yoshihiro Akiyama, A CCPM Application: A Motivation-based Modeling of Generating Management Scenarios, Proceedings of the 4th International Project Management Conference, pp. 532-539, 2008, 査読無.

④ 久保純哉, 井上富雄, 三瀬敏朗, 新屋敷泰史, 橋本正明, 片峯恵一, 鵜林尚靖, 中谷多哉子, 組込みシステム非正常系分析におけるQFDとガイドワードに関する考察, 電子情報通信学会, 技術研究報告, KBSE2008-23, pp. 1-6, 2008, 査読無.

⑤ 井上富雄, 三瀬敏朗, 新屋敷泰史, 橋本正明, 片峯恵一, 鵜林尚靖, 中谷多哉子, 組込みシステム非正常系分析のためのIFDと分析マトリクスを統合した定式化, 電子情報通信学会, 技術研究報告, KBSE2008-24, pp. 7-12, 2008, 査読無.

⑥ 新屋敷康史, 三瀬敏郎, 橋本正明, 片峯恵一, 鵜林尚靖, 中谷多哉子, 情報フロー・ダイアグラムによる組み込みソフトウェア非正常系の要求分析の一手法, 情報処理学会論文誌, 48 巻, 9 号, pp. 2894 - 2903, 2007, 査読有.

⑦ Yasufumi Shinyashiki, Toshiro Mise, Masaaki Hashimoto, Keiichi Katamine, Naoyasu Ubayashi, Takako Nakatani, Enhancing the ESIM (Embedded Systems Improving Method) by Combining Information Flow Diagram with Analysis Matrix for Efficient Analysis of Unexpected Obstacles in Embedded Software, Proceedings of 14th Asia-Pacific Software Engineering Conference, pp. 326-333, 2007, 査読有.

⑧ 堀 昭三, 中谷多哉子, 片峯恵一, 鵜林尚靖, 橋本正明, 統合型要求工学の実証研究に向けて, 電子情報通信学会, 技術報告KBSE2007- 5, pp. 25 - 28, 2007, 査読無.

⑨ 橋本正明, 栗山次郎, 廣田豊彦, 鵜林尚靖, 井本祐二, 片峯 恵一, 哲学ゼミの１０年から見たソフトウェア・モデリングの一考察, 電子情報通信学会, 技術報告 KBSE2007-19, pp. 27 - 30, 2007, 査読無.

⑩ Toshiro Mise, Yasufumi Shinyashiki, Takako Nakatani, Naoyasu Ubayashi, Keiichi Katamine, Masaaki Hashimoto, A Method for Extracting Unexpected Scenarios of Embedded Systems, Proceedings of the Seventh Joint Conference on Knowledge - Based Software Engineering, pp. 41-50, 2006, 査読有.

⑪ Hidehiro Kametani, Yasufumi Shinyashiki, Toshiro Mise, Masaaki Hashimoto, Naoyasu Ubayashi, Keiichi Katamine, Takako Nakatani, Information Flow Diagram and Analysis Method for Unexpected Obstacle Specification of Embedded Software, Proceedings of the Seventh Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering, pp. 115-124, 2006, 査読有.

⑫ Shinya Yoshihara, Shozo Hori, Yoshihiro Akiyama, Takako Nakatani, Keiichi Katamine, Naoyasu Ubayashi, Masaaki Hashimoto, Requirement Traceability Model For Managing Unexpected Obstacle Analysis In The Upper Process Of Embedded Software Development Projects, Proceedings of the 3rd International Conference on Project Management, 2006, 査読有.

⑬ 亀谷秀洋, 新屋敷泰史, 三瀬敏郎, 橋本正明, 鵜林尚靖, 片峯恵一, 中谷多哉子, 情報フロー・ダイアグラムによる組込みソフトウェア非正常系の分析手法, 電子情報通信学会, 信学技報SS2005-76, pp. 1 - 6, 2006, 査読無.

〔学会発表〕(計７件)

① 三瀬敏朗, 新屋敷泰史, 中谷多哉子, 片峯恵一, 鵜林尚靖, 橋本正明, 高品質組込みソフトウェア設計における非機能要求に着目したプロジェクトマネジメント, プロジェクトマネジメント学会, 2008 年度春季研究発表大会予稿集, pp. 221-216, 2008.3.15, 東京.

② 堀昭三, 中谷多哉子, 片峯恵一, 鵜林尚靖, 橋本正明, 効率的な要求獲得によるリスク回避の実証研究, プロジェクトマネジメント学会, 2008 年度春季研究発表大会予稿集, pp. 470-475, 2008.3.15,

東京.
③ 石橋慶一，白土竜馬，朝稲啓太，橋本正明，秋山義博，中谷多哉子，鵜林尚靖，片峯恵一，宮下雄士，プロジェクトマネジメント手法定着のための人的資源マネジメントに関する一考察～組織－個人統合モデルの提案による定着過程の分析～，プロジェクトマネジメント学会，2007 年度秋季研究発表大会予稿集，pp. 325-330，2007.9.21，東京.
④ 橋本正明，栗山次郎，ニーズ指向の要求工学における実務と研究の連携はモデルのバトル，ソフトウェア・シンポジウム 2007，2007.6.28，新潟.
⑤ 橋本正明，要求分析，アーキテクチャ，ソフトウェア・プロセス，エンジニアリング教育について，情報処理学会，ソフトウェア工学研究会，要求工学ワーキング・グループ，2007.5.12，島根.
⑥ 吉原真也，堀昭三，秋山義博，中谷多哉子，片峯恵一，鵜林尚靖，橋本正明，組込みソフトウェア開発上流工程における要求トレーサビリティ・モデルを用いた非正常系分析支援，プロジェクトマネジメント学会，2006 年度春季研究発表大会予稿集，pp. 119-124，2006.3.16，千葉.
⑦ 石橋慶一，白土竜馬，朝稲啓太，橋本正明，秋山義博，中谷多哉子，鵜林尚靖，片峯恵一，CCPM導入事例におけるヒューマンファクタの分析 ～ローラーの期待理論モデルの適用～，プロジェクトマネジメント学会，2006 年度春季研究発表大会予稿集， pp. 300-305，2006.3.16，千葉.

６．研究組織

(1)研究代表者

橋本　正明　(HASHIMOTO MASAAKI)
九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授
研究者番号：20253560