

機関番号：13302
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20500045
 研究課題名（和文）形式的検証とウェブオントロジーの融合による大規模情報システム設計支援
 研究課題名（英文）Design-assistance system of large scale information systems based on formal method and web ontology
 研究代表者
 高木 理（TAKAKI OSAMU）
 北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科・助教
 研究者番号：30388011

研究成果の概要（和文）：本研究の主な成果は、大規模情報システム開発における要件分析に用いられるワークフロー図を中心とした仕様書の作成・検証手法および支援ツールの研究開発である。特に、複数の設計者が共同して少しずつ作成および整合性の検証を行いながら、ワークフロー図の全体を矛盾なく作成することを可能にする手法であるインクリメンタルなワークフロー図の設計・検証手法の基礎理論を構築した。さらに、医療サービスのオントロジーを用いて、要件分析に必要な異なる種類の仕様書を互いに関連付けながら設計するためのフレームワークの研究開発を行った。

研究成果の概要（英文）： We have developed methodologies and assistance tools of development and verification of large scale specifications including workflows, which are employed in requirement analysis of large scale information system development.

Especially, we have developed a fundamental theory for incremental development and verification framework of workflows, which consists of a methodology and tools that help multiple designers cooperate with others in developing and verifying large scale workflows incrementally. Moreover, we developed a framework to design multiple kinds of specifications for requirement analysis by connecting them based on an ontology of medical services.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：仕様記述・仕様検証

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：情報システム，仕様書，業務フロー図，データモデル図，画面遷移図，UML，webオントロジー，形式的手法

1. 研究開始当初の背景

(1) 産業技術総合研究所は2006年に所内の一連の情報システムの再開発プロジェクトに着手した。このプロジェクトにおいて、固有の開発ベンダーに依存しない利用者主導のシステム開発と運用を可能にする包括的

なフレームワークの研究開発が行われた。このフレームワークにおける一連の要求仕様書の集まりは、業務フロー図，データモデル図，ユースケース記述書などから構成されている。（以下、これらの要求仕様書の集まりを「EA要求仕様」と呼ぶ。）

(2) 情報システムの開発において、良質な要求仕様は開発の手戻りを減らし、開発コストを削減できるとされている。申請者達は、EA 要求仕様の中核である業務フロー図の作成・検証ツール“Aist Workflow Verifier”（以下、AWV）を開発し、複数の自治体による情報システムの開発現場への導入を行ってきた。AWV は、業務フロー図のグラフとしての構造の検証および特定の部分グラフの抽出を行いつつ、業務フロー図の中で記述されるエビデンス（業務のための書類）のライフサイクルの整合性の検証を行う機能を持つ。しかしながら、現時点での AWV には、以下のような課題が残されている。

- ① AWV は業務フロー図の作成支援および検証を行うが、EA 要求仕様のその他の要素（データモデル図やユースケース記述書など）の作成や検証を行う機能までは作られていない。
- ② 現段階での AWV における、複数の業務フロー図の関連付けは、業務フロー図内のキーワードに対する文字列としての単純な比較操作に基づいて行われている。そのため、内容は同じなのに字面が異なるキーワードを持つ業務フロー図どうしの関連付けなどが出来ない。

要求仕様が複数の開発現場にまたがって作成される場合、キーワードなどの言葉の“揺れ”は頻繁に起こるため、上記の②のような課題を解決することは重要である。また、上記の①に対応して、異なる種類の仕様書を包括的に作成、検証あるいは検索するためには、仕様書に対するグラフとしての構造と、仕様書を構成しているキーワードや文章という、仕様書の両面の要素に対して、これまで以上に柔軟な解析や意味付けと、それに基づく仕様書どうしの比較・関連付けを行う仕組みが必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、先に述べた課題を踏まえ、EA 要求仕様の設計支援システムの開発を目指す。この設計支援システムによって、EA 要求仕様を構成する業務フロー図やデータモデル図などの異なる種類の仕様書を互いに関連付けながら、EA 要求仕様の作成、検証および検索を行うことが出来る。より具体的には、以下の要求仕様の設計手法および支援ツールの開発を目指す。

- ① 複数の設計者が共同して業務フロー図の作成および検証を可能にする手法および支援ツールの開発（AWV の発展型ツールの作成）
- ② 業務フロー図を含む、要件分析に必要な要求仕様書を互いに関連付けながら、設計および検証することを可能にする手法および支援ツールの開発

3. 研究の方法

異なる種類の仕様書、あるいは、複数の開発現場にまたがって作成される仕様書を、互いに関連付けながら、作成、検証あるいは検索するためには、仕様書に対するグラフとしての従来の構造解析や、キーワードに対する文字列としての比較程度の技術では不十分である。そこで、形式的検証と web オントロジーとを融合させた技術を応用する。

形式的検証において用いられるペトリネット、プロセス代数および図式構造の抽象化の技術は、グラフ構造上の解析に大きな効力を発揮する。しかし、このようなグラフ構造上の解析に基づく仕様書の比較や関連付けを行う際にも、仕様書の中の最も細かな要素であるキーワードや文章どうしの意味的な関係に関する情報は重要である。一方、web オントロジーはキーワードや文章どうしの意味的な関係の解析に最も有効な技術の 1 つである。そして、キーワードや文章どうしの関係も、それらが記述されている仕様書のグラフ上の構造に依存する場合がある。そこで、形式的検証と web オントロジーに基づいて、グラフ構造上の解析とキーワードや文章の解析を、お互いに活用しあいながら実現する技術の研究を行い、その技術を用いて設計支援システムを開発する。

4. 研究成果

(1) まず、本研究の中核であるワークフローに関する研究成果について述べる。

- ① 地域中核病院における医療情報システム導入のための要件分析プロセスのプロトタイプを考案した。その中で、医療サービスプロセスを業務フロー図上で記述するための、患者の動きに関するシンタックスおよびセマンティクスを提案した。これによって、医療サービス独特のプロセスを包括的に記述する方法が得られた。さらに、実際の大学病院における外来患者に対する一連の医療サービスを業務フロー図で記述し、実用性を確かめた。
- ② 目的に基づくサービスプロセスのモデル化手法の研究を行った。薬剤処方サービスプロセスを、薬剤などのアウトカムの作成という目的に合わせて自動生成するための手法を研究した。より具体的には、処方箋、服薬指導書、薬袋の構造からアウトカムを生成するまでのアクティビティの組み合わせを計算し、アウトカムの監査および差戻しを含む、サービスプロセスの生成手法を考案した。
- ③ 大規模なサービスプロセスのモデル化手法について、非循環なサービスプロセス（ワークフロー）におけるコントロールフローに関する整合性と、ワークフロー上の各アクティビティによって生成、

利用、保管または破棄されるエビデンスのライフサイクルの整合性をインクリメンタルに検証するための基礎理論をまとめ、論文として発表した。

- ④ ワークフローをインクリメンタルに設計・検証するための方法論に関して、従来の非循環ワークフローにおける一般正当性の概念を循環ワークフローに拡張した。このために、循環ワークフローにおけるループを差し戻しフローと通常のフローの組合せと見なし、ノーマルな差し戻し付きワークフローに対するセマンティクスを与えた。さらに、このセマンティクスに対応する全体正当性を定義し、与えられた差し戻し付きワークフロー W が全体正当性を満たすことと、 W の通常の作業に関する部分と差し戻しに関する部分がそれぞれ非循環ワークフローとして従来の正当性を満たすことの同値性を証明した。さらに、この定理を基礎にして、従来の非循環ワークフローにおける一般正当性を、差し戻し付きワークフローにおける一般正当性として拡張することによって、差し戻し付きワークフローのインクリメンタルな設計・検証手法の基礎理論を構築した。

(2) 本研究の第2の中核的課題である、オントロロジーに基づく、複数の要求仕様書の統合的作成・検証技術に関しては以下のような成果が得られた。

- ① 医療サービスに関連する諸概念をモデル化することによって、要件分析のためのオントロロジーを構築する手法を考案した。さらに、要件分析オントロロジーから医療情報システムの機能要件リストを自動生成するツールの開発にも着手した。このツールによって、機能要件を漏れなく書き下すことが可能となる。
- ② 研究中の医療情報システム要件分析の記述内容と、実際の2つの中核病院での医療情報システム導入における発注・応札仕様書との比較を行った。その結果、実際の発注・応札仕様書は曖昧な点が多く含まれていることが明らかになった。
- ③ 宮崎大学医学部付属病院における薬剤部門システムの要件分析を医療サービスに関するオントロロジーに基づいて行った。より具体的には、薬剤処方などの医療サービスに関する業務プロセス、ユースケース、データモデルを作成するための共通のオントロロジーを作成し、そのオントロロジーに基づいて要件分析のための各モデルを作成するツールを開発し、実際の開発現場に適用した。このツールによって、用語の揺れや曖昧さを解消しつつ実際の要件分析を完了させる

ことに成功した。

- ④ 形式的検証と web オントロロジーとの融合技術を応用して、検索者の目的や意図を記録しつつ、それらを推論して、検索者の目的や意図に合った検索結果を導くための基礎理論およびオントロロジーを構築した。さらに、この基礎理論とオントロロジーを用いて、複数の医療DBに渡って、検索者の目的や意図を踏まえつつ、適切な医療データを抽出する方法を開発した。

【国内外におけるインパクト】ワークフローのインクリメンタルな設計・検証手法と、オントロロジーを用いた要求仕様書の統合的な設計・検証フレームワークの研究は、実用性の高さの面で高く評価されている。特に、インクリメンタルな検証のための基礎理論については、ICSEA2009における2度目の Best Papers Award の受賞や、国内の研究会において複数の発表依頼があったことから、高い評価が得られていることが裏付けられている。

【今後の展望】ワークフローのインクリメンタルな設計・検証のための基礎理論と、オントロロジーに基づく統合的な仕様書作成技術を組み合わせ、サービスのアウトプットの構造からサービスプロセスモデルを生成および検証する技術の研究を行っているところである。今後、この研究を進めることによって、多数の設計者が共同して様々な種類の仕様書を同時に矛盾なく設計・拡張することを可能とする、これまでよりも更に大規模な要件分析フレームワークの構築と、それらの技術の医療サービスへの応用の実現を目指している。

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12件)

- ① G. Peter, N. Izumi, K. Hasida, Foundations for Effective Portal Service Management, Global Journal of Business Research, vol.5, 査読有, 2011, p131-141
- ② G. Peter, N. Izumi, K. Hasida, Privacy Challenges in Contemporary Social Web, INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERDISCIPLINARY SOCIAL SCIENCES, vol.5, 査読有, 2011, p143-154
- ③ G. Peter, N. Izumi, K. Hasida, Free Cloud-Based Services: Menace or Aid?, INTERNATIONAL JOURNAL OF KNOWLEDGE, CULTURE AND CHANGE MANAGEMENT, vol.10, 査読有, 2011, p1-12
- ④ Osamu Takaki, Izumi Takeuti, Takahiro Seino, Noriaki Izumi, Koichi

- Takahashi, Incremental verification of consistency properties of large-scale workflows from the perspectives of control flow and evidence life cycles, International Journal On Advances in Software, 査読有, vol.2. 2009, p147-161
- ⑤ Masaki Nakamura, Takahiro Seino, Generating test cases from proof scores in the OTS/CafeOBJ method, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, 査読有, E92-D 2009, p1012-1021
- ⑥ Geczy Peter, 和泉 憲明, 赤穂 昭太郎, 橋田 浩一, Usability Management of Information Systems in Knowledge-Intensive Organizations, INTERNATIONAL JOURNAL OF KNOWLEDGE, CULTURE AND CHANGE MANAGEMENT, 査読有, vol.8, 2009, p29-36
- ⑦ Geczy Peter, 和泉 憲明, 赤穂 昭太郎, 橋田 浩一, Analytics and Management of Collaborative Intranets, Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, 査読有, vol.10, 2009, p623-631
- ⑧ Geczy Peter, 和泉 憲明, 橋田 浩一, Service-Oriented Innovation Management of Organizational Portals, The Business Review, Cambridge, 査読有, vol. 14, 2009, p201-207
- ⑨ Geczy Peter, 和泉 憲明, 赤穂 昭太郎, 橋田 浩一, Behaviorally Founded Recommendation Algorithm for Browsing Assistance Systems, Annals of Information Systems, 査読有, vol.8, 2009, p317-334
- ⑩ 高木理, 竹内泉, 清野貴博, 和泉憲明, 高橋孝一, Verification of evidence life cycles in workflow diagrams with passback flows, International journal on advances in software, 査読有, vol.1-1, 2008, p14-25
- ⑪ Masaki Nakamura and Takahiro Seino, Generating test cases for invariant properties from proof scores in the OTS/CafeOBJ method, IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, vol.5, 2009, 1012-1021
- ⑫ Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田 浩一, Mining Human-Web Interactions, IADIS INTERNATIONAL JOURNAL ON WWW/INTERNET, 査読有, vol.6-2, 2008, p1-15.
- [学会発表] (計 40 件)
- ① G. Peter, N. Izumi, S. Akaho, K. Hasida, Human Behavior on Web: What is Known International Conference on Social Science and Humanity, 2011年02月27日, シンガポール (マレーシア)
- ② O.Takaki, N. Izumi, K. Murata, K. Hasida, A Medical Information Retrieval Based on Retrievers' Intentions, The 4th International Conference on Health Informatics (HEALTHINF 2011), 2011年1月28日, ローマ (イタリア)
- ③ 清野貴博, 岡本圭史, 和泉憲明, 橋田浩一, 情報システムの構造化仕様のための業務オントロジーの試作, 知能ソフトウェア工学研究会 (KBSE), 2010年11月25日, 静岡大学 (静岡)
- ④ K. Okamoto, Y. Kinoshita, T. Seino, N. Izumi, K. Hasida, H. Takamura, A Design for an Assessment Process for Dependability based on a Formal Model, The 2nd IASTED International Conference on Advances in Management Science and Risk, Assessment (AMSRA 2010), 2010年11月24日, プークェット (タイ)
- ⑤ O.Takaki, I. Takeuti, N. Izumi, K. Hasida, Incremental Verification of Consistency Property of Large-Scale Workflows That Contain Passback Flows, The 9th JOINT CONFERENCE ON KNOWLEDGE-BASED SOFTWARE ENGINEERING (JCKBSE'10) 2010年8月26日 カウナス (リトアニア)
- ⑥ O.Takaki, I. Takeuti, N. Izumi, K. Hasida, Syntax and Semantics of Workflows That Include Passbacks, The 5th International Conference on Software Engineering Advances (ICSEA 2010), 2010年8月24日, ニース (フランス)
- ⑦ 清野貴博, 中村正樹, OTS/CafeOBJ 法に基づく並行システムの実装とテスト生成, システム数理と応用研究会 (MSS), 2010年8月5日, 金沢大学 (石川)
- ⑧ G. Peter, N. Izumi, K. Hasida, Social Intelligence Technology Research Laboratory, International Conference on Interdisciplinary Social Sciences, 2010年08月03日, ケンブリッジ大学 (イギリス)
- ⑨ G. Peter, N. Izumi, K. Hasida, Free Cloud-Based Services: Menace or Aid? The Management Conference, 2010年07月28日, モントリオール (カナダ)
- ⑩ 岡本圭史, 清野貴博, 和泉憲明, 橋田浩一, 木下佳樹, 高村博記, 形式モデルに基づくディペンダビリティのアセスメントプロセスの設計, 第42回情報システム学, 2010年5月28日, 大阪

- 府立大学 (大阪)
- ⑪ 清野貴博, 玉川奨, 飯島千絵, 岡本圭史, 和泉憲明, 橋田浩一, 山口高平, オントロジーに基づくサービスプロセスからの共通構造抽出法, 第42回情報システム学会, 2010年5月28日, 大阪府立大学 (大阪)
- ⑫ G. Peter, N. Izumi, K. Hasida, Analytics: Foundation of Effective Portal Service Management, Global Conference on Business and Finance, 2010年05月26日, サンジョゼ(ブラジル)
- ⑬ Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田浩一, User-Centric Management of Portal Services, International Conference on e-Commerce, e-Administration, e-Society, e-Education, and e-Technology, 2010年1月26日, マカウ (中国)
- ⑭ Geczy Peter, 和泉憲明, 橋田浩一, Human-Oriented Deployment and Innovation of Portal Services, Global Conference on Business and Finance, 2010年01月04日, ハワイ (アメリカ)
- ⑮ Geczy Peter, 和泉憲明, 橋田浩一, Service-Oriented, Innovation Management of Organizational Portals, The Economics and International Business Research Conference, 2009年12月11日, マイアミ (アメリカ)
- ⑯ 竹内泉, ピン数進数から作られるフラクタル図形, 高知タイル貼り小研究集会2009, 2009年10月24日, 高知
- ⑰ Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田浩一, Evidence-Based Management of Organizational Web Services, International Conference on Economics, Business Management and Marketing, 2009年10月11日, シンガポール (マレーシア)
- ⑱ Noriaki Izumi, Osamu Takaki, Koiti Hasida, Service System Development Based on Web Process Ontology, ICSEA 2009年09月22日, ポルト (ポルトガル)
- ⑲ 竹内泉, 確率論理による通信の秘匿性の形式化, 代数, 論理, 幾何と情報科学研究集会, 2009年09月14日, 鳥取
- ⑳ Geczy Peter, 和泉憲明, 橋田浩一, Service Science: Review of Approaches, International Conference on Service Science, 2009年08月06日, 香港 (中国)
- 21 竹内泉, 様相論理による通信の安全性の記述, 京都・数学の哲学研究集, 2009年05月16日, 京都
- 22 橋田浩一, 和泉憲明, 知識循環と持続可能なサービスの設計, 情報処理学会第155回知能と複雑系研究会, 2009.3.20, 函館
- 23 竹内泉, 様相論理による通信の安全性の記述, 代数系アルゴリズムと言語および計算理論, 2009.2.17, 京都
- 24 Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田浩一, Evidence-based Management of Organizational Portals, E-CASE, 2009.1.9, シンガポール (マレーシア)
- 25 高木理, 清野貴博, 和泉憲明, 鈴木斎王, 荒木賢二, 新見隆彦, 橋田浩一, 医療情報システム設計のための業務知識の記述法と形式的検証, 第28回医療情報連合大会, 2008.11.25, 横浜
- 26 Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田浩一, Analytics and Management of Collaborative Intranets, CollaborateCom, 2008.11.15, オーランド (アメリカ)
- 27 高木理, 竹内泉, 清野貴博, 和泉憲明, 高橋孝一, Incremental Verification of Large Scale Workflows Based on Extended Correctness, The 3rd International Conference on Software Engineering Advances (ICSEA 2008), 2008.10.30, スリーマ (マルタ共和国)
- 28 Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田浩一, HUMAN-WEB INTERACTION RESEARCH, International Conference on WWW/Internet, 2008.10.14, フライブルグ (ドイツ)
- 29 Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田浩一, Human-Centric Design of Percipient Knowledge Distribution Service, World Summit on the Knowledge Society, 2008.9.25, アテネ (ギリシャ)
- 30 Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田浩一, Web Behaviormetric User Profiling Concept, E-Commerce and Web Technologies, 2008.9.4, トリノ (イタリア)
- 31 高木理, 清野貴博, 竹内泉, 和泉憲明, 高橋孝一, Workflow Diagrams Based on Evidence Life Cycles, The 8th Joint Conference on Knowledge - Based Software Engineering 2008 (JCKBSE 08), 2008.8.27, アテネ (ギリシャ)
- 32 清野貴博, 高木理, 和泉憲明, 橋田浩一, オントロジーを用いた異種仕様書にまたがる用語の一貫性確保に関する一考察, 知能ソフトウェア工学研究会 (KBSE), 2008.8.25, 札幌
- 33 Geczy Peter, 和泉憲明, 赤穂昭太郎, 橋田浩一, Usability Management of Information Systems in Knowledge-Intensive Organizations,

- Management, 2008. 8. 7, Cambridge University (イギリス)
- 34 Geczy Peter, 和泉 憲明, 赤穂 昭太郎, 橋田 浩一, International Conference on Semantic Web and Web Services, Industrial Conference on Data Mining, 2008. 7. 17, ライプツィッヒ (ドイツ)
- 35 Geczy Peter, 和泉 憲明, 赤穂 昭太郎, 橋田 浩一, Service Oriented Architecture of Intranet User-Analytics, International Conference on Semantic Web and Web Services, 2008. 7. 16, ラスベガス (アメリカ)
- 36 竹内 泉, 置き替えによる準周期タイリング, 小研究集会: 準周期タイリング及びその関連する話題, 2008. 6. 20, 高知
- 37 Geczy Peter, 和泉 憲明, 赤穂 昭太郎, 橋田 浩一, Complex User Behavioral Networks at Enterprise Information Systems, International Conference on Enterprise Information Systems, 2008. 6. 14, バルセロナ (スペイン)
- 38 高木理, 清野貴博, 竹内泉, 和泉憲明, 高橋孝一, Quality improvement of workflow diagrams based on passback flow consistency, The 10th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2008), 2008. 6. 13, バルセロナ (スペイン)
- 39 竹内 泉, Function-restricted Constructive Mathematics and Complexity-bounded Computable Analysis, Workshop on Constructivism: Logic and Mathematics, 2008. 5. 26, 金沢
- 40 Geczy Peter, 和泉 憲明, 赤穂 昭太郎, 橋田浩一, Enterprise Web Services and Elements of Human Interactions, Business Information Systems, 2008. 5. 6, インズブルック (オーストリア)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 理 (Takaki Osamu)

北陸先端科学技術大学院大学・知識科学研究科・助教

研究者番号 : 30388011

(2) 研究分担者

清野 貴博 (Seino Takahiro)

独立行政法人産業技術総合研究所・情報技術研究部門・特別研究員

研究者番号 : 10397226

竹内 泉 (Takeuti Izumi)

独立行政法人産業技術総合研究所・情報技術研究部門・特別研究員

研究者番号 : 20264583

和泉 憲明 (Izumi Noriyuki)

独立行政法人産業技術総合研究所・社会知能技術研究ラボ・主任研究員

研究者番号 : 50293593