

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02804

研究課題名（和文）ヘテロな開発運用時代の保守進化を支える全方向ソフトウェア追跡

研究課題名（英文）Trace ANY: tracing any software in any direction to support software system maintenance and evolution

研究代表者

鷲崎 弘宜（Washizaki, Hironori）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70350494

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では言語を含む環境や成果物に対しロバストな追跡技術を実現し、追跡結果に基づいて保守進化を促すための変更・再利用支援技術の確立の達成のため、（1）要求モデルを含代表的な複数のモデル間の追跡手法、（2）環境や成果物の詳細によらない一定抽象度で記述されたソフトウェア開発知識やパターン間の追跡手法を研究し、様々なソフトウェア成果物および関連文書・知識・パターン間の追跡を実現した。さらに、それらの追跡を束ねた高信頼かつ多様な環境や成果物群に対してロバストな追跡のために（3）推移的追跡手法を研究するとともに、（4）追跡を通じてソフトウェア保守進化の活動を具体的に支援する環境を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ソフトウェアの開発・運用・保守進化の任意の工程におけるソフトウェア要求や知識・パターン群を含む様々な要素を起点として、水平・垂直の両方向に追跡可能とし、この全方向追跡により多様な成果物の変更・再利用を支援する仕組みを実現する点が独創的である。結果として適切な抽象度で効率的な修正、変更、拡張を実現する。成果を公開しており、ヘテロな開発運用時代において様々な組織が高信頼かつ高効率な保守進化を進めるうえで強力な技術基盤を提供すると共に、今後の発展を促す重要な研究基盤となることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：To realize robust software traceability link recovery techniques for various environments and artifacts, including languages, and to establish change/reuse support techniques to promote maintenance and evolution based on traceability recovery results, we studied (1) traceability recovery techniques between representative models, including requirement models, and (2) traceability techniques between software development knowledge and patterns described at a certain level of abstraction, independent of environment and artifact details. Furthermore, we studied (3) transitive traceability recovery methods for robust traceability recovery of various environments and artifacts and (4) environments that concretely support software maintenance and evolution activities through traceability links.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェア開発効率化・安定化 ソフトウェア学 ソフトウェアモジュール ソフトウェア開発環境

1. 研究開始当初の背景

研究の学術的背景

様々な機器がネットワークで繋がりつつある中で多くのソフトウェアは、複数の開発者や開発チームが、様々な開発手法、様々なモデリング言語やプログラミング言語を含む開発環境による多様な成果物・要素を組み合わせる用いて開発され、組み込み機器からクラウドまで様々な実行環境を組み合わせる運用されつつある。

ヘテロな開発運用を経るソフトウェアには、変化しやすい要求や環境に応じて、必然的に頻繁な運用保守が、それも箇所や要求に応じてしばしば異なるタイミングで求められる。ここで、保守や進化のあらゆる活動を誤りなく効率的に進め、ソフトウェア成果物間に一貫性を持つためには、要求を含むソフトウェアのあらゆる成果物・要素間における対応関係を追跡できる(トレーサビリティがある)必要がある。追跡可能とする関連は追跡リンク(トレーサビリティリンク)と呼ばれる。追跡には、工程を超えた実現・対応関係を辿る水平方向と、同一工程内の依存関係を辿る垂直方向の二種類があり、いずれも保守進化のために重要である。

2. 研究の目的

その重要性にもかかわらず追跡リンクは、成熟した開発組織であっても開発環境の多様さなどにより失われている。この状況打破のため国内外で近年、追跡リンクを回復し追跡する手法が多数研究されているが、既存の追跡手法は特定の開発環境(モデリング言語やプログラミング言語を含む)や成果物のみを対象とし、ヘテロな開発運用時代における多様な環境や手法に基づく成果物・要素を扱えない。従って、水平方向にも垂直方向にも要求や要素の関係をヘテロな開発運用時代に十分に追跡できていない。複数の追跡手法の結果をまとめる試みもなく、環境や成果物を超えた連携により実現される機能要求や、横断的に散らばって実現される非機能要求を正確に追跡できていない。結果としてヘテロな開発運用時代において欠陥修正や変更、拡張が必要な箇所の特定が著しく困難であり、追跡に基づく変更管理と保守進化の支援を実現できていない。

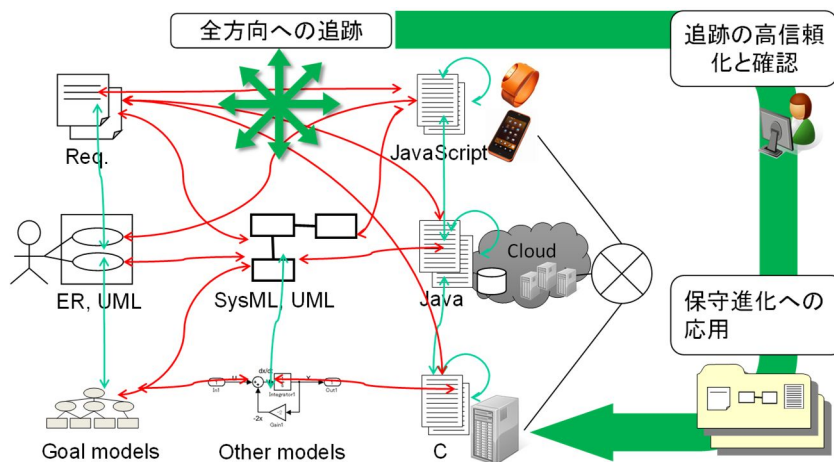
そこで本研究では、代表者らの研究成果を応用および発展させて、言語を含む環境や成果物に対しロバストな追跡技術を実現し、追跡結果に基づいて保守進化を促すための変更・再利用支援技術の確立を目的とした。これらにより、ヘテロな開発運用時代において工程を超えた適切な抽象度における変更必要箇所の特定、変更、再利用を迅速かつ高精度に実現し、保守進化の基盤を与えることを目的とした。

3. 研究の方法

代表者らは10年以上、対象を限定して要求とプログラムソースコード間の追跡リンク回復にトップカンファレンス CAISE, ICSME 発表を含む多数の実績を持つ。その取り組み中で、ヘテロな開発運用時代の保守進化に向けて多様な成果物の全方向追跡の必要性を認識した。一方で代表者らは、ソフトウェアの一定抽象度による解析再利用技術に15年以上の実績を持つ。科研費・基盤 B 等の支援下、頻出問題と解決のパターン化再利用にトップカンファレンス ASE 発表を含む世界的実績を持つ。また基盤 C や若手 B 等の支援下で多言語対応のコード解析や履歴解析、アスペクト指向プログラミングによる横断的関心事のモジュール化と変更管理に実績を持つ。これらを発展させて、多様な環境・成果物に対する全方向追跡の実現の着想を得た。

具体的には研究目的の達成のため、(1)要求モデルを含代表的な複数のモデル間の追跡手法、および、(2)環境や成果物の詳細によらない一定抽象度で記述されたソフトウェア開発知識やパターン間の追跡手法を研究し、様々なソフトウェア成果物および関連文書・知識・パターン間の追跡を目指した。

さらに、それらの追跡を束ねた高信頼かつ多様な環境や成果物群に対してロバストな追跡のために(3)複数の異なる追跡結果をまとめる推移的追跡手法を研究するとともに、(4)追跡を通じてソフトウェア保守進化の活動を具体的に支援する環境を研究した。研究の全体像を図に示す。



4. 研究成果

言語を含む環境や成果物に対しロバストな追跡および保守進化の支援のために、(1) 代表的な複数のモデル間の追跡手法、(2) 知識やパターン間の追跡手法、(3) 複数の異なる追跡結果をまとめる推移的追跡手法、(4) 追跡を通じたソフトウェア保守進化支援環境についてそれぞれ以下に示す新規性および有用性に優れた具体的成果をあげた。それらは国際的に高く評価され、国際論文誌や国際会議ほかにおける多数の発表機会を得て、ソフトウェア追跡を通じた保守進化の研究および実践に対して顕著な影響を与えた。

各成果の詳細を以下に示す。

(1) モデル間追跡

代表的なモデル間の追跡として、ビジネス要求に代表される上位の要求とシステムの機能要求他との追跡関係の設定維持、ならびに、非機能要求と機能モデル間の追跡を実現した。

具体的には、目標、戦略、システムの関係は曖昧であることが多いため、それらの相互関係から得られる成功の度合いも曖昧な場合がある。アジャイル開発の普及に伴い、目標や戦略の変化に応じてシステムを調整することは難しくなっている。そこで本研究では、ゴール指向の目標・戦略モデル GQM+Strategies とシステムモデル SysML を追跡連携させ、ビジネス要求とシステム機能を体系的に整合させる方法を提案した [Mimura21]。そして、業務要求からシステム機能への追跡の観点と、両者のギャップを埋めるための解決策の観点から、提案手法を評価した。その結果、提案手法は業務要求からシステム機能への整合性を保つだけでなく、顧客ニーズと開発したシステムとのギャップのギャップを解決し、同時に戦略や要求の変化にも対応することができることを確認した。

加えて、分析・設計で作成した機能モデルから要求への追跡リンクを復元することは、既存システムの再利用・改善・保守を行う上で非常に重要である。一般に、機能および非機能要求は、分析者や設計者によって暗黙的に解釈され、非体系的に機能モデルに織り込まれてる。本研究では、このような機能モデルをモデル部品に分解し、その部品から要求、特に非機能要求を正確に追跡する方法を提案し、機能モデルとしてはユーザビリティを重視して画面遷移モデルを採用した形で実現した [Ogata17]。

(2) 知識・パターン間追跡

環境や成果物の詳細によらない一定抽象度で記述されたソフトウェア開発知識やパターン間の追跡についてセキュリティ知識や脆弱性情報を中心に研究し、加えてそれらの基盤を与える各種のソフトウェアパターンの整理体系化を進めた。

具体的には、セキュアなソフトウェアの開発および保守進化の実現の上では、脆弱性の深刻度を評価し、サイバー攻撃への対策の優先順位を迅速かつ正確に決定するために、脆弱性情報と攻撃情報を収集する必要がある。Common Vulnerabilities and Exposures (CVE) は、脆弱性やインシデントを列挙したリストであり、Common Attack Pattern Enumeration and Classification (CAPEC) は、攻撃パターンを列挙したリストである。本研究では機械学習ベースの自然言語処理および情報検索技術の応用を通じて、これらのリスト間で追跡できるように共通リンクを直接見つける手法を提案した [Kanakogi22]。そして、提案手法を用いて、TF-IDF、Universal Sentence Encoder、Sentence BERT などの類似性指標と一般的なアルゴリズムの組み合わせを実験的に評価し、リスト間での追跡のためのリンクの特定に有用なことを確認した。

加えてそれらの基盤を与える各種の特に典型的な設計としてのデザインパターンの整理体系化を、セキュリティパターン [Washizaki21]、IoT デザインパターン [Washizaki20]、ならびに、機械学習デザインパターン [Washizaki22] についてそれぞれ進めて成果を公開した。

(3) 推移的追跡

高信頼かつ多様な環境や成果物群に対してロバストな追跡のために、モデル間や知識・パターン間といった様々な追跡結果をまとめる推移的追跡手法を実現した。具体的には、膨大な数のソフトウェア成果物とその関係を管理するのに役立つ自動的な追跡リンク回復手法が存在するが、言語や抽象度の点で記述が異なるソフトウェア成果物に対してはうまく機能しない。これらの弱点を克服するために、本研究では、第3の成果物を仲介することにより、2つの成果物間の推移的追跡リンクを回復する Connecting Links Method (CLM) を提案した [Tsuchiya19]。CLM をソフトウェア成果物の種類に制限されることなく汎用的に適用するために、3つの成果物間の直接の追跡リンクのスコアを用いて、最終的な追跡リンクの関係スコアを算出する標準的な方法を考案した。さらに、ソフトウェアのバージョンを考慮した CLM の改良を提案した。CLM を3つのソフトウェア製品に適用して評価した結果、テキストの類似性を利用した従来手法と比較して、言語タイプや語彙が異なるソフトウェア成果物に対してより有効であることを明らかにした。

(4) 支援環境

追跡を通じてソフトウェア保守進化の活動を具体的に支援する環境や手法として、追跡技術の選択支援、ならびに、モデリングツール上や各種の開発環境上における追跡支援の仕組みを実現した。

具体的には、ソフトウェア開発の成果物間の追跡リンクを作成、維持、回復するための技術は膨大な数が提案されており、それらの潜在的な利用者が自らのプロジェクトに適した技術を選択することは容易ではない。そこで本研究では、追跡技術のユーザに対する特徴づけのためのモ

デルを提案した [Kaiya19]。提案モデルは、特徴モデルとして表現され、情報源や対象、結果、プロセスといった特徴を必須としており、そうした特徴を参照することで、利用者が自分に適した技術を選択するのに有益である。提案モデルを基に、いくつかの追跡技術のモデル事例を記述し、その結果についての考察結果を公開した。

加えて、ソフトウェアの開発上の目標が適切な手段で適切に達成されているかどうかを確認するためには、目標のさらなる委譲関係や分解関係を追跡できる必要が、実際のソフトウェアシステムでそれを確認することは、システムが複雑であるため容易ではない。そこで本研究では、そうした追跡の関係を確認するためのツールを実現した [Kaiya20]。提案ツールは既存の UML モデリングツールのプラグインとして実装され、目標の依存関係や分解関係をビジュアルに表現するものである。実験を通じて、提案ツールにより追跡の関係を特定支援できることを確認した。

さらに、コミュニケーションと成果物管理のために様々な異なるツールを用いている開発プロジェクトにおいてコミュニケーションや成果物の情報が分散してしまうため、相互に関連のある情報の追跡と参照を可能とするプロジェクトベース学習向けのコミュニケーション支援環境を開発・運用し、その有用性を確認した [工藤 19]。

参考文献（主要発表文献）：

- [Mimura21] Natsuki Mimura, Shuji Okuda, Hironori Washizaki, Katsutoshi Shintani, Yoshiaki Fukazawa, "Systematical Alignment of Business Requirements and System Functions by Linking GQM+Strategies and SysML," International Journal of Service and Knowledge Management (IJSKM), Vol. 5, No. 1, pp. 15-35, 2021.
- [Ogata17] Shinpei Ogata, Yukiya Yazawa, Kozo Okano, Haruhiko Kaiya, Hironori Washizaki, "Traceability Link Mining - Focusing on Usability -," 41st IEEE Computer Society Signature Conference on Computers, Software, and Applications (COMPSAC 2017), Fast Abstract, Torino, Turin, Italy, July 4-8, 2017.
- [Kanakogi22] Kenta Kanakogi, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Takehisa Kato, Hideyuki Kanuka, Atsuo Hazeyama, Nobukazu Yoshioka, "Comparative Evaluation of NLP-Based Approaches for Linking CAPEC Attack Patterns from CVE Vulnerability Information," Applied Sciences, Special Issue on Software Engineering: Computer Science and System, Vol. 12, No. 7, pp. 1-15, 2022.
- [Washizaki21] Hironori Washizaki, Tian Xia, Natsumi Kamata, Yoshiaki Fukazawa, Hideyuki Kanuka, Takehisa Kato, Masayuki Yoshino, Takao Okubo, Shinpei Ogata, Haruhiko Kaiya, Atsuo Hazeyama, Takafumi Tanaka, Nobukazu Yoshioka, G Priyalakshmi, "Systematic Literature Review of Security Pattern Research," Information, Vol. 12, No. 1:36, MDPI, pp.1-27, 2021.
- [Washizaki20] Hironori Washizaki, Shinpei Ogata, Atsuo Hazeyama, Takao Okubo, Eduardo B. Fernandez, Nobukazu Yoshioka, "Landscape of Architecture and Design Patterns for IoT Systems," IEEE Internet of Things Journal, Vol. 7, No. 10, pp.10091 - 10101, 2020
- [Washizaki22] Hironori Washizaki, Foutse Khomh, Yann-Gael Gueheneuc, Hironori Takeuchi, Naotake Natori, Takuo Doi, Satoshi Okuda, "Software Engineering Design Patterns for Machine Learning Applications," IEEE Computer, Vol. 55, No. 3, pp. 30-39, 2022.
- [Tsuchiya19] Ryosuke Tsuchiya, Kazuki Nishikawa, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Yuya Shinohara, Keishi Oshima, Ryota Mibe, "Recovering Transitive Traceability Links among Various Software Artifacts for Developers," IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E102-D, No.9, pp.1750-1760, 2019
- [Kaiya19] Haruhiko Kaiya, Atsuo Hazeyama, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Nobukazu Yoshioka, Hironori Washizaki, "Towards A Knowledge Base for Software Developers to Choose Suitable Traceability Techniques," 23rd International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2019), pp. 1-9, Budapest, Hungary, September 4-6, 2019.
- [Kaiya20] Haruhiko Kaiya, Wataru Fujita, Ryotaro Yamada, Atsuo Hazeyama, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Nobukazu Yoshioka, and Hironori Washizaki, "Experimental Evaluation of Traceability Checking Tool for Goal Dependency Modeling", 13th International Joint Conference on Knowledge-based Software Engineering (JCKBSE2020)
- [工藤 19] 工藤くりこ、樫山淳雄、鷲崎弘宜、"ソフトウェア開発 PBL におけるチャットと成果物の関連付けによるコミュニケーション支援環境の開発", 情報処理学会 第 81 回全国大会, 2019

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Hironori Washizaki, Shinpei Ogata, Atsuo Hazeyama, Takao Okubo, Eduardo B. Fernandez, Nobukazu Yoshioka	4. 巻 Vol. 7
2. 論文標題 Landscape of Architecture and Design Patterns for IoT Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Internet of Things Journal	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JIOT.2020.3003528	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Eduardo B. Fernandez, Hironori Washizaki and Nobukazu Yoshioka	4. 巻 Vol. 9, No. 4
2. 論文標題 Using Security Patterns to Develop Secure Systems - Ten years later	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Systems and Software Security and Protection	6. 最初と最後の頁 46-56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4018/ijsssp.2018100103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ryosuke Tsuchiya, Kazuki Nishikawa, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Yuya Shinohara, Keishi Oshima, Ryota Mibe	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Recovering Transitive Traceability Links among Various Software Artifacts for Developers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2018EDP7331	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kiyoshi Honda, Hironori Washizaki and Yoshiaki Fukazawa	4. 巻 27, No.6
2. 論文標題 Generalized Software Reliability Model Considering Uncertainty and Dynamics: Model and Applications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering	6. 最初と最後の頁 967-993
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1142/S021819401750036X	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Ryosuke Ishizue, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Sakae Inoue, Yoshiiku Hanai, Masanobu Kanazawa and Katsushi Namba	4. 巻 28, No.1
2. 論文標題 Metrics Visualization Techniques based on Historical Origins and Functional Layers for Developments by Multiple Organizations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering	6. 最初と最後の頁 1-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218194018500067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Masatoshi Yoshizawa, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Takao Okubo, Haruhiko Kaiya and Nobukazu Yoshioka	4. 巻 7(2)
2. 論文標題 Implementation Support of Security Design Patterns Using Test Templates	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/info7020034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takanobu KOBORI, Hironori WASHIZAKI, Yoshiaki FUKAZAWA, Daisuke HIRABAYASHI, Katsutoshi SHINTANI, Yasuko OKAZAKI, and Yasuhiro KIKUSHIMA	4. 巻 E99D(9)
2. 論文標題 Exhaustive and efficient identification of rationales using GQM+Strategies with stakeholder relationship analysis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2219-2228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2015KBP0009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kiyoshi Honda, Hironori Washizaki and Yoshiaki Fukazawa	4. 巻 27
2. 論文標題 Generalized Software Reliability Model Considering Uncertainty and Dynamics: Model and Applications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering	6. 最初と最後の頁 1-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S021819401750036X	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kenta Kanakogi, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Takehisa Kato, Hideyuki Kanuka, Atsuo Hazeyama, Nobukazu Yoshioka	4. 巻 12(7)
2. 論文標題 Comparative Evaluation of NLP-Based Approaches for Linking CAPEC Attack Patterns from CVE Vulnerability Information	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app12073400	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kenta Kanakogi, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Takehisa Kato, Hideyuki Kanuka, Atsuo Hazeyama, Nobukazu Yoshioka	4. 巻 12(8)
2. 論文標題 Tracing CVE Vulnerability Information to CAPEC Attack Patterns Using Natural Language Processing Techniques	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/info12080298	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Natsuki Mimura, Shuji Okuda, Hironori Washizaki, Katsutoshi Shintani, Yoshiaki Fukazawa	4. 巻 5(1)
2. 論文標題 Systematical Alignment of Business Requirements and System Functions by Linking GQM+Strategies and SysML	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Service and Knowledge Management	6. 最初と最後の頁 15-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.52731/ijskm.v5.i1.540	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hironori Washizaki, Tian Xia, Natsumi Kamata, Yoshiaki Fukazawa, Hideyuki Kanuka, Takehisa Kato, Masayuki Yoshino, Takao Okubo, Shinpei Ogata, Haruhiko Kaiya, Atsuo Hazeyama, Takafumi Tanaka, Nobukazu Yoshioka, G Priyalakshmi	4. 巻 12(1)
2. 論文標題 Systematic Literature Review of Security Pattern Research	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 1-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/info12010036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tian Xia, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Haruhiko Kaiya, Shinpei Ogata, Eduardo B. Fernandez, Takehisa Kato, Hideyuki Kanuka, Takao Okubo, Nobukazu Yoshioka and Atsuo Hazeyama	4. 巻 12(2)
2. 論文標題 CSPM: Metamodel for Handling Security and Privacy Knowledge in Cloud Service Development	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Systems and Software Security and Protection	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4018/IJSSSP.20210101.0a1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Eduardo B. Fernandez, Hironori Washizaki, Nobukazu Yoshioka, Takao Okubo	4. 巻 15
2. 論文標題 The design of secure IoT applications using patterns: State of the art and directions for research	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Internet of Things	6. 最初と最後の頁 1-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.iot.2021.100408	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hironori Washizaki, Foutse Khomh, Yann-Gael Gueheneuc, Hironori Takeuchi, Naotake Natori, Takuo Doi, Satoshi Okuda	4. 巻 55(3)
2. 論文標題 Software Engineering Design Patterns for Machine Learning Applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Computer	6. 最初と最後の頁 30-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MC.2021.3137227	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Eduardo Buglioni Fernandez, Nobukazu Yoshioka, Hironori Washizaki, Joseph William Yoder	4. 巻 5(7)
2. 論文標題 Abstract security patterns and the design of secure systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cybersecurity	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s42400-022-00109-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計46件（うち招待講演 11件 / うち国際学会 35件）

1. 発表者名 Hironori Washizaki, Foutse Khomh, Yann-Gael Gueheneuc
2. 発表標題 Software Engineering Patterns for Machine Learning Applications (SEP4MLA)
3. 学会等名 9th Asian Conference on Pattern Languages of Programs (AsianPLoP 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Eduardo B. Fernandez, Nobukazu Yoshioka, Hironori Washizaki
2. 発表標題 Secure Distributed Publish/Subscribe (P/S) pattern for IoT
3. 学会等名 9th Asian Conference on Pattern Languages of Programs (AsianPLoP 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hironori Washizaki, Hiromu Uchida, Foutse Khomh and Yann-Gael Gueheneuc
2. 発表標題 Studying Software Engineering Patterns for Designing Machine Learning Systems
3. 学会等名 The 10th International Workshop on Empirical Software Engineering in Practice (IWESEP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsuo Hazeyama, Hikaru Miyahara, Takafumi Tanaka, Hironori Washizaki, Haruhiko Kaiya, Takao Okubo and Nobukazu Yoshioka
2. 発表標題 A System for Seamlessly Supporting from Security Requirements Analysis to Security Design using a Software Security Knowledge Base
3. 学会等名 6th International Workshop on Evolving Security & Privacy Requirements Engineering (ESPRE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鹿子木健太, 野寄祐樹, 鷺崎弘宜, 深澤良彰, 小形真平, 大久保隆夫, 加藤岳久, 鹿糠秀行, 樫山淳雄, 吉岡信和
2. 発表標題 機械学習を用いたCVEからCAPECへの関連付け手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会 第182回DPS・第88回CSEC合同研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haruhiko Kaiya, Atsuo Hazeyama, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Nobukazu Yoshioka, Hironori Washizaki
2. 発表標題 Towards A Knowledge Base for Software Developers to Choose Suitable Traceability Techniques
3. 学会等名 23rd International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 TraceANY: Software Maintenance and Evolution Support by Extracting Links and Models
3. 学会等名 2019 International Conference for Leading and Young Computer Scientists (IC-LYCS 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironori Washizaki, Nobukazu Yoshioka, Atsuo Hazeyama, Takehisa Kato, Haruhiko Kaiya, Shinpei Ogata, Takao Okubo and Eduardo B. Fernandez
2. 発表標題 Landscape of IoT Patterns
3. 学会等名 2019 IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering Research & Practices for the Internet of Things (SERP4IoT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 工藤くりこ、樫山淳雄、鷺崎弘宜
2. 発表標題 ソフトウェア開発PBLにおけるチャットと成果物の関連付けによるコミュニケーション支援環境の開発とその初期評価
3. 学会等名 電子情報通信学会知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 工藤くりこ、樫山淳雄、鷺崎弘宜
2. 発表標題 ソフトウェア開発PBLにおけるチャットと成果物の関連付けによるコミュニケーション支援環境の開発
3. 学会等名 情報処理学会 第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironori Washizaki, Tian Xia, Natsumi Kamata, Yoshiaki Fukazawa, Hideyuki Kanuka, Dan Yamaoto, Masayuki Yoshino, Takao Okubo, Shinpei Ogata, Haruhiko Kaiya, Takehisa Kato, Atsuo Hazeyama, Takafumi Tanaka, Nobukazu Yoshioka, G Priyalakshmi
2. 発表標題 Taxonomy and Literature Survey of Security Pattern Research
3. 学会等名 IEEE Conference on Applications, Information and Network Security (AINS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haruhiko Kaiya, Ryohei Sato, Atsuo Hazeyama, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Takafumi Tanaka, Nobukazu Yoshioka and Hironori Washizaki
2. 発表標題 Preliminary Systematic Literature Review of Software and Systems Traceability
3. 学会等名 21st International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Shinpei Ogata, Yukiya Yazawa, Kozo Okano, Haruhiko Kaiya, Hironori Washizaki
2 . 発表標題 Traceability Link Mining - Focusing on Usability -
3 . 学会等名 41st IEEE Computer Society Signature Conference on Computers, Software, and Applications (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Pablo Alejandro Quezada-Sarmiento, Hironori Washizaki, Juan Garbajosa and Liliana Enciso
2 . 発表標題 Knowledge Description Model for Bodies of Knowledge in Software Engineering Context
3 . 学会等名 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kiyoshi Honda, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Masahiro Taga, Akira Matsuzaki and Takayoshi Suzuki
2 . 発表標題 Empirical Study on Recognition of Project Situations by Monitoring Application Results of Software Reliability Growth Model
3 . 学会等名 Fostering Industry-Academic Software Reliability Studies (FIARS) Workshop (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Tian Xia, Hironori Washizaki, Takehisa Kato, Haruhiko Kaiya, Shinpei Ogata, Eduardo B. Fernandez, Hideyuki Kanuka, Masayuki Yoshino, Dan Yamamoto, Takao Okubo, Nobukazu Yoshioka and Atsuo Hazeyama
2 . 発表標題 Cloud Security and Privacy Metamodel: Metamodel for Security and Privacy Knowledge in Cloud Services
3 . 学会等名 6th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuichiro Senzaki, Siyuan Liu, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Hiroshi Kobayashi and Masaharu Adachi
2. 発表標題 A Web Application to Manage and Improve Software Development Projects by SEMAT Essence
3. 学会等名 5th International Workshop on Quantitative Approaches to Software Quality (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 Security Patterns: Research Direction, Metamodel, Application and Verification
3. 学会等名 The 2017 International Workshop on Big Data & Information Security (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 Pitfalls and Countermeasures in Software Quality Measurements and Evaluations
3. 学会等名 5th International Workshop on Quantitative Approaches to Software Quality (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Joseph W. Yoder, Hironori Washizaki, Ademar Aguiar
2. 発表標題 Deliver Fast with Confidence: The Slack Time Pattern
3. 学会等名 7th Asian Conference on Pattern Languages of Programs (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryosuke Tsuchiya, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Keishi Oshima, Ryota Mibe
2. 発表標題 Interactive Recovery of Requirements Traceability Links Using User Feedback and Configuration Management Logs
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第33回大会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 Recovery of Traceability Links and Behavior Models for Software Maintenance
3. 学会等名 2016 International Conference for Top and Emerging Computer Scientists（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 沓澤脩、櫛山淳雄、鷺崎弘宜
2. 発表標題 中大規模OSS開発時のInformation seekingのためのトレーサビリティ可視化ツールの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 沓澤脩、橋浦弘明、櫛山淳雄、鷺崎弘宜
2. 発表標題 中大規模OSS開発時のInformation seeking のためのトレーサビリティ可視化ツールの試作
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Haruhiko Kaiya, Ryohei Sato, Atsuo Hazeyama, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Takafumi Tanaka, Nobukazu Yoshioka and Hironori Washizaki
2 . 発表標題 Preliminary Systematic Literature Review of Software and Systems Traceability
3 . 学会等名 21st International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Shinpei Ogata, Yukiya Yazawa, Kozo Okano, Haruhiko Kaiya, Hironori Washizaki
2 . 発表標題 Traceability Link Mining - Focusing on Usability -
3 . 学会等名 41st IEEE Computer Society Signature Conference on Computers, Software, and Applications (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kenta Kanakogi, Hironori Washizaki, Yoshiaki Fukazawa, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Takehisa Kato, Hideyuki Kanuka, Atsuo Hazeyama, Nobukazu Yoshioka
2 . 発表標題 Tracing CAPEC Attack Patterns from CVE Vulnerability Information using Natural Language Processing Technique
3 . 学会等名 54th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Jati H. Husen, Hironori Washizaki, Hnin Thandar Tun, Nobukazu Yoshioka, Hironori Takeuchi and Yoshiaki Fukazawa
2 . 発表標題 Traceable Business-to-Safety Analysis Framework for Safety-critical Machine Learning Systems
3 . 学会等名 1st Conference on AI Engineering and Software Engineering for AI (CAIN 2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Haruhiko Kaiya, Wataru Fujita, Ryotaro Yamada, Atsuo Hazeyama, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Nobukazu Yoshioka, and Hironori Washizaki
2 . 発表標題 Experimental Evaluation of Traceability Checking Tool for Goal Dependency Modeling
3 . 学会等名 13th International Joint Conference on Knowledge-based Software Engineering (JCKBSE2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Haruhiko Kaiya, Shogo Tatsui, Atsuo Hazeyama, Shinpei Ogata, Takao Okubo, Hironori Washizaki
2 . 発表標題 A Tool to Manage Traceability on Several Models and Its Use Case
3 . 学会等名 24th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Jomphon Runpakprakun, Sien Reeve Ordonez Peralta, Hironori Washizaki, Foutse Khomh, Yann-Gael Gueheneuc, Nobukazu Yoshioka, Yoshiaki Fukazawa
2 . 発表標題 Software Engineering Patterns for Machine Learning Applications (SEP4MLA) - Part 3 - Data Processing Architectures
3 . 学会等名 28th Conference on Pattern Languages of Programs (PLoP 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Hironori Washizaki, Atsuo Hazeyama, Takao Okubo, Hideyuki Kanuka, Shinpei Ogata, Nobukazu Yoshioka
2 . 発表標題 Analysis of IoT Pattern Descriptions
3 . 学会等名 2021 IEEE/ACM 3rd International Workshop on Software Engineering Research and Practices for the IoT (SERP4IoT 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名	Hironori Washizaki, Hironori Takeuchi, Yann-Gaell Gueneuc, Foutse Khomh, Naotake Natori, Naohisa Shioura and Takuo Doi
2. 発表標題	Machine-Learning Software-Engineering Design Patterns: Literature Review and Practitioners' Insights
3. 学会等名	2nd International Workshop on Machine Learning Systems Engineering (iMLSE 2020) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Hironori Washizaki, Foutse Khomh, Yann-Gael Gueheneuc, Hironori Takeuchi, Satoshi Okuda, Naotake Natori, Naohisa Shioura
2. 発表標題	Software Engineering Patterns for Machine Learning Applications (SEP4MLA) - Part 2
3. 学会等名	27th Conference on Pattern Languages of Programs in 2020 (PLOP '20) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Hironori Washizaki, Hironori Takeuchi, Foutse Khomh, Naotake Natori, Takuo Doi, Satoshi Okuda
2. 発表標題	Practitioners' insights on machine-learning software engineering design patterns: a preliminary study
3. 学会等名	36th IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME 2020) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Hironori Washizaki
2. 発表標題	Metamodel and Patterns for Cloud Security and Privacy
3. 学会等名	The Thirteenth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization (CLOUD COMPUTING 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 Software Engineering Patterns for Machine Learning Applications: Research and Practice
3. 学会等名 3rd International Workshop on Machine Learning Systems Engineering (iMLSE 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 Patterns for New Software Engineering: Machine Learning, IoT and Security Patterns
3. 学会等名 The Seventh International Conference on Fundamentals and Advances in Software Systems Integration (FASSI 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 Machine Learning Software Engineering Patterns: Classification and Practitioners' Insights
3. 学会等名 The Sixteenth International Conference on Software Engineering Advances (ICSEA 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 Software Engineering Patterns for Machine Learning Applications
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hironori Washizaki
2. 発表標題 Patterns for New Software Engineering: Machine Learning and IoT Engineering Patterns
3. 学会等名 AsianPLoP 2020: 9th Asian Conference on Pattern Languages of Programs (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川 貴一, 櫛山 淳雄, 橋浦 弘明, 鷺崎 弘宜
2. 発表標題 ウォーターフォール型ソフトウェア開発 PBL におけるビルドエラーの調査方法の提案
3. 学会等名 ポスター, ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小形真平, 鷺崎弘宜, 石川公一
2. 発表標題 長期的大規模プロジェクトのドキュメントを事例としたトレーサビリティリンク回復の実践と課題
3. 学会等名 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川公一・小形真平・岡野浩三・鷺崎弘宜
2. 発表標題 洗練パターンの適用履歴に基づくゴール間の類似度算出手法
3. 学会等名 電子情報通信学会知能ソフトウェア工学研究会, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢澤幸也, 小形真平, 岡野浩三, 海谷治彦, 鷲崎弘宜
2. 発表標題 画面遷移モデルに着目したユーザビリティパターン抽出手法の提案
3. 学会等名 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム SES2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鷲崎弘宜, 夏天, 鎌田夏実, 大久保隆夫, 小形真平, 海谷治彦, 加藤岳久, 鹿糠秀行, 田中昂文, 樋山淳雄, 山本暖, 吉岡信和, 吉野雅之
2. 発表標題 セキュリティパターン研究の分類体系と文献調査
3. 学会等名 情報処理学会第198回ソフトウェア工学研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hironori Washizaki, Nancy Mead	4. 発行年 2017年
2. 出版社 IEEE Computer Society	5. 総ページ数 284
3. 書名 30th IEEE Conference on Software Engineering Education and Training, CSEE&T 2017, Savannah, GA, USA, November 7-9, 2017	

〔産業財産権〕

〔その他〕

ProMeTA: Program Metamodel Taxonomy http://www.washi.cs.waseda.ac.jp/prometa/ IoT Architecture and Design Patterns http://www.washi.cs.waseda.ac.jp/iot-patterns/ Machine Learning Architecture and Design Patterns http://www.washi.cs.waseda.ac.jp/ml-patterns/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小形 真平 (Ogata Shinpei) (10589279)	信州大学・学術研究院工学系・助教 (13601)	
研究分担者	吉岡 信和 (Yoshioka Nobukazu) (20390601)	国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・准教授 (62615)	
研究分担者	海谷 治彦 (Kaiya Haruhiko) (30262596)	神奈川大学・理学部・教授 (32702)	
研究分担者	本田 澄 (Honda Kiyoshi) (40732938)	大阪工業大学・情報科学部・講師 (34406)	
研究分担者	樫山 淳雄 (Hazeyama Atsuo) (70313278)	東京学芸大学・教育学部・教授 (12604)	
研究分担者	大久保 隆夫 (Okubo Takao) (80417518)	情報セキュリティ大学院大学・その他の研究科・教授 (32721)	
研究分担者	坂本 一憲 (Sakamoto Kazunori) (60609139)	国立情報学研究所・大学共同利用機関等の部局等・特任助教 (62615)	削除：2018年11月27日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 7th Asian Conference on Pattern Languages of Programs (AsianPLoP 2018), March 1-2, 2018, Tokyo, Japan	開催年 2018年～2018年
---	--------------------

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Florida Atlantic University	The Refactory		
カナダ	Polytechnique Montreal	Concordia University		