

博士論文概要

論文題目

ゴール指向要求記述に基づいたソフトウェア
システム進化手法に関する研究

Software Evolution Based on Goal-Oriented
Requirements Description

申請者

中川	博之
Hiroyuki	NAKAGAWA

ソフトウェアの活躍する場面が広がり、企業システムのみならず、ライフライン、交通システムなど、ソフトウェアシステムが社会基盤の一つとして認識されるようになって久しい。また、近年では、携帯端末や Web 上のシステム、デジタル家電に代表される組み込みシステムなど、ソフトウェアシステムは我々の身近でも生活を支える存在となっている。近年、そのようなソフトウェアシステムにおいて、バグ対応などの継続的な保守だけでなく、要求や環境の頻繁な変化への対応が特に求められるようになり、変化に対応するための機能の追加・変更などのソフトウェア進化 (Software Evolution) が強く求められるようになってきている。しかし現段階においては、進化の要因となる変更要求の分析から、実装コードの変更までを統合的に扱うソフトウェア開発プロセスが確立されているとは言い難い。特に、ソフトウェア進化を扱うためには、変更要求に対してソフトウェアを変更するにあたり生じる影響を正確に分析できる必要があり、また、継続的な進化も考慮すると、変更によるコード上の複雑さの増加をできる限り抑制することが求められるが、その体系的な方法はいまだ確立されていない。

そこで、本研究では、ソフトウェア進化を考慮した開発プロセスとして、機能単位での拡張が容易なソフトウェア開発手法を追求する。本研究では進化の影響を限定化するために、制御モデルとして知られる **Control loop** に着目し、**Control loop** をシステムの構成要素と位置付けるシステム開発プロセス **GCLD** を提案する。**Control loop** は環境情報の収集、現状の分析、意思決定、アクション実行といった、環境情報の取得から環境に対する作用、つまりアクションまでの一連のアクティビティを独立して提供可能な実行単位であり、複数の **Control loop** によりシステムを実現することで、ソフトウェア進化時の変更影響の局所化が期待できる。**GCLD** では、要求の構造化が可能であるゴール指向要求記述、つまりゴールモデルを利用し、要求が記述されたゴールモデルに対して整形プロセスを適用することで、要求記述から **Control loop** を抽出し、**Control loop** により構成されるシステム構成を決定する。また本研究では、整形されたゴールモデルから、進化時のシステム設計・実装を支援する各種情報の取得法も検討し、システム構成や **Control loop** の階層構造、進化におけるモデル間の差分情報などの各種情報を自動生成するゴールモデルコンパイラと、**Control loop** を構成要素としたシステムの実装を支援するプログラミングフレームワークを **GCLD** の支援ツールとして導入する。

さらに本研究では、ゴール指向要求分析のモデリングツールとして実用されている **k-tool** と、シミュレータ上での制御システムを模した清掃ロボットを対象としたソフトウェア進化実験を実施し、その結果から **GCLD** の有効性を評価した。本実験結果から、**Control loop** を構成要素とする **GCLD** においても実用化されたソフトウェアが構築可能であることが確認できたとともに、**GCLD** では、ソフトウェア進化に対して、より正確な影響範囲分析が可能となること、また、実

装コードの複雑さ増加を抑制することが可能であることが確認された。これらの進化実験から、本研究で提案する開発プロセス GCLD により、進化に頑強なソフトウェアシステムの実現が期待できる。

本論文の各章の概要と構成は以下の通りである。まず、第 1 章では、本論文の背景であるソフトウェア進化に関する研究動向について述べ、ソフトウェア進化を実現するためにシステム開発手法に求められる要件を定義する。本研究では特に、影響分析 (Impact analysis) の支援と、複雑さ (Complexity) の抑制を要件として定義し、この 2 つの要件を満足するシステム開発手法の構築を目的とする。

第 2 章では、ソフトウェア進化を考慮した開発プロセスの実現に対する本研究のアプローチについて論じ、本研究で提案するソフトウェアシステム開発プロセス GCLD の概要について述べる。GCLD は進化の影響を限定化するために Control loop をシステムの構成要素とした開発プロセスであり、ゴールモデルに対して整形プロセスを定義することで、システム構成要素となる Control loop を抽出する。また、GCLD においては、整形されたゴールモデルから、進化時のシステム設計・実装を支援する各種情報を取得し、Control loop を構成要素としたシステムの実装を支援する。第 2 章では、本研究でシステムの構成要素として位置付ける Control loop の概念と、第 3 章以降で提案手法を説明するために用いるシミュレータ上の清掃ロボット開発事例についても説明する。

第 3 章では、ゴールモデルからの Control loop の同定手法について論じる。GCLD においては、まず、システムを構成すべき Control loop が明確に同定されていなければならない。また、各 Control loop が協調して動作するためには、Control loop 間の関係が明示され、Control loop 間で生じ得る競合についても事前に把握されていなければならない。本研究では、進化の要因となる変更要求と、機能実現に対する責務を同時に可視化、分析するのは要求分析時が最も適していると考え、要求記述からシステム構成を決定する。GCLD では、まず、要求をゴールモデル上に記述し、本研究で導入する整形プロセスを経ることで、システムを構成するために必要な Control loop をゴールモデル上で同定する。その後、システムの構成要素として同定した Control loop を、システム構成を表現するコンフィギュレーション上に配備する。第 3 章においては、まず、ゴールモデル上で Control loop を同定するためのゴールモデル整形プロセスを定義し、その後、ゴールモデルからシステム構成を導出するコンフィギュレーション決定法と、これらを用いたソフトウェア開発法について言及する。併せて、ソフトウェア進化時のゴールモデルの再整形、コンフィギュレーションの変更の過程を、清掃ロボットの開発事例に基づいて説明する。

第 4 章では、本研究で導入する、ソフトウェア進化の支援を目的とした開発支援ツール群について述べる。第 4 章では、まず、整形されたゴールモデルから、

コンフィギュレーションや進化前後のモデル変更個所などのソフトウェア進化に必要な各種情報を生成するゴールモデルコンパイラについて述べる。続いて、**Control loop** を実装の単位とするプログラミングフレームワークについて述べる。このプログラミングフレームワークは、**Control loop** を3種類のコンポーネントにより構築し、複数の**Control loop** を並行動作させる点と、開発者が**Control loop** を制御・配備（デプロイ）するためのコマンドセットを提供する点が特徴である。第4章では、同プログラミングフレームワーク上で**Control loop** を実現するためのイディオムについても言及する。また、シミュレータ上の清掃ロボットを進化させることにより、支援ツール群の有効性を評価する。

第5章では、第3章と第4章で述べた開発プロセスと支援ツールの適用可能性と有用性を検証するために実施した、GUIベースのモデリングツールと制御システムを対象としたソフトウェア進化実験の結果を示し、第6章では、5章の実験結果から、1章で定義した各要件に対して提案手法の有用性を評価する。本研究では、GUIベースのモデリングツールとしてゴール指向要求分析のモデリングツールとして実用されているk-toolと、制御システムとしてシミュレータ上での制御システムを模した清掃ロボットを対象とした進化実験を実施し、提案する開発プロセスおよび各種ツールの有効性を評価している。本実験結果から、GCLDに基づいたソフトウェア構築においては、進化時により正確な影響範囲分析が可能となること、また、進化時の実装においても、影響範囲の小さい変更により実装コードの複雑さ増加を抑制する機能追加が可能であることが確認できた。なお、第6章では、本開発プロセスの適用範囲やアーキテクチャ非機能特性に対する特徴、提案する開発プロセスの自動化の可能性についても論じる。

第7章では、本研究で用いた各要素技術に対する関連研究について論じる。まず、要求記述と設計モデルとの連携に関する研究について概観し、続いてアーキテクチャモデルと、実装フレームワークに関する研究について述べる。その後、ソフトウェア進化に関する実装技術の関連研究として、ソフトウェアシステムの変更のタイミングの観点から関連する各研究の動向について述べ、本研究の位置づけについて議論する。最後に、提案手法の拡張分野として考えられる、自己適応システムにおける関連研究について述べる。特に、自己適応システムにおいては**Control loop** をシステムの構成要素として位置付けている研究もあることから、本論文で提案する開発手法との親和性が高いと考えられる。

最後に、第8章で本研究の成果と得られた知見について整理し、今後の展望を示すことで、本論文をまとめる。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 中川 博之 印

(2012年11月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
1. 論文	【学術誌原著論文】
(1)	○ ゴール指向要求記述の整形に基づいたソフトウェアシステム進化手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 10, pp. 2328-2344, 2012年, 中川博之, 大須賀昭彦, 本位田真一
(2)	○ ビヘイビア記述に基づく自己適応システム実装フレームワークの提案, 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 1, pp. 1-12, 2011年, 中川博之, 大須賀昭彦, 本位田真一
(3)	自律システム実現に向けたアーキテクチャの構築, 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 1, pp. 107-115, 2011年, 西村一彦, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦
(4)	○ プロセス間競合を考慮した自己適応システムの形式仕様構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 9, pp. 1751-1764, 2010年, 中川博之, 大須賀昭彦, 本位田真一
(5)	○ ゴール指向要求分析を用いた self-adaptive システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 10, pp. 2500-2513, 2009年, 中川博之, 大須賀昭彦, 本位田真一
(6)	○ モデル変換に基づく要求記述を利用した形式仕様記述の構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 7, pp. 2304-2318, 2008年, 中川博之, 田口研治, 本位田真一
(7)	○ 要求の重要度を用いたマルチエージェントシステムの分析モデル検証, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, No. 9, pp. 2281-2292, 2007年, 中川博之, 吉岡信和, 本位田真一
(8)	○ IMPULSE: KAOS を利用したマルチエージェントシステムの分析モデル構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 8, pp. 2551-2565, 2007年, 中川博之, 吉岡信和, 本位田真一
2. 講演	【国際会議・シンポジウム】 (査読あり)
(1)	○ Towards Dynamic Evolution of Self-adaptive Systems Based on Dynamic Updating of Control Loops, in Proc. of 6th IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO 2012), pp. 59-68, 2012.9, Nakagawa, H., Ohsuga, A., Honiden, S.
(2)	Goal-oriented Approach to Creating Class Diagrams with OCL Constraints, in Proc. of the 27th ACM Symposium On Applied Computing (SAC2012), pp. 1051-1056, 2012.3, Sombat, C., Honda, K., Nakagawa, H., Tahara, Y., Ohsuga, A.
(3)	Dynamic Reconfiguration in Self-adaptive Systems Considering Non-functional Properties, in Proc. of the 27th ACM Symposium On Applied Computing (SAC2012), pp. 1144-1150, 2012.3, Horikoshi, H., Nakagawa, H., Tahara, Y., Ohsuga, A.

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
(4)	○ gocc: A Configuration Compiler for Self-adaptive Systems Using Goal-oriented Requirements Description, in Proc. of the ACM/IEEE 6th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (SEAMS 2011), co-located with ICSE 2011, pp.40-49, 2011.5, Nakagawa, H., Ohsuga, A., Honiden, S.
(5)	○ IMPULSE: a Design Framework for Multi-Agent Systems Based on Model Transformation, in Proc. of the 26th ACM Symposium On Applied Computing (SAC2011), pp.1416-1423, 2011.3, Nakagawa, H., Ohsuga, A., Honiden, S.
(6)	○ A Framework for Validating Task Assignment in Multi-agent Systems using Requirements Importance, in Proc. of the 13th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA2010) (Early Innovation Track), pp.443-458, 2010.11, Nakagawa, H., Ohsuga, A., Honiden, S.
(7)	○ Cooperative Behaviors Description for Self-* Systems Implementation, in Proc. of the 8th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS2010), pp.69-74 (ショートペーパー), 2010.4, Nakagawa, H., Ohsuga, A., Honiden, S.
(8)	○ Formal Specification Generator for KAOS, in Proc. of the 22nd IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE2007) (Tool Demonstrations Track), pp.531-532 (ツールデモンストレーション), 2007.11, Nakagawa, H., Kenji Taguchi, Honiden, S.
(9)	○ Analysis of Multi-Agent Systems based on KAOS Modeling, in Proc. of the 28th International Conference on Software Engineering (ICSE2006) (Emerging Results Track), pp.926-929 (ポスター発表), 2006.5, Nakagawa, H., Karube, T., Honiden, S.
	【国際ワークショップ】 (査読あり)
(10)	○ Towards Effective Use of Requirements Description in Self-adaptive System Development, in Proc. of the International Workshop on Modern Science and Technology 2010 (IWMST2010), pp.100-105 (アブストラクト査読), 2010.9, Nakagawa, H., Ohsuga, A., Honiden, S.
(11)	○ Constructing Self-adaptive Systems Using KAOS Model, in Proc. of the 2nd IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops (SASOW 2008), pp.132-137, 2008.10, Nakagawa, H., Ohsuga, A., Honiden, S.
	【国内ワークショップ・シンポジウム】 (査読あり)
(12)	○ KAOS モデルを利用した self-adaptive システムの構築, ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE2008), pp.21-30, 2008.11, 中川博之, 大須賀昭彦, 本位田真一

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
(13)	○ コンポーネントモデルを用いた JADE ビヘイビア実装手法の提案, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム (JAWS2008), pp. 1-8, 2008.10, 中川博之, 大須賀昭彦, 本位田真一
(14)	○ KAOS を利用したマルチエージェントシステムの分析モデル構築, ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE2006), pp. 131-136, 2006.11, 中川博之, 本位田真一
(15)	○ 要求の重要度を用いたロール・組織構造の同定”, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2006), pp. 1-8, 2006.10, 中川博之, 本位田真一
(16)	○ KAOS を用いたマルチエージェントシステムの分析支援, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2005), pp. 253-260, 2005.11, 中川博之, 荻部卓哉, 本位田真一
3. その他	(その他学術誌原著論文) 下記の他、8 件
(1)	服飾オントロジーを用いた EC サイトにおけるユーザデザイン嗜好の推定と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 11 (2012 年 11 月掲載決定), 全泰賢, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦
(2)	センチメント分析とトピック抽出によるマイクロブログからの評判傾向抽出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J94-D, No. 11, pp. 1762-1772, 2011 年, 橋本和幸, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦
(3)	コンテンツ投稿型 SNS における未知性と意外性を考慮した推薦エージェントの提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J94-D, No. 11, pp. 1800-1811, 2011 年, 住元宗一朗, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦
(4)	ユビキタスコンピューティングにおけるアプリケーション開発手法に関する研究動向, 日本ソフトウェア科学会 学会誌『コンピュータソフトウェア』, Vol. 25, No. 4, pp. 121-132, 2008 年, 鄭顕志, 中川博之, 川俣洋次郎, 吉岡信和, 深澤良彰, 本位田真一
	(その他国際会議・シンポジウム) 下記の他、12 件
(5)	Support for Video Hosting Service Users using Folksonomy and Social Annotation, in Proc. of 2012 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WIC 2012), pp. 472-479, Ishino, K., Orihara, R., Nakagawa, H., Tahara, Y., Ohsuga, A.
(6)	(その他国内ワークショップ・シンポジウム) 下記の他、37 件 自律システム実現に向けたアーキテクチャの構築, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2009), pp. 524-531 (優秀論文賞受賞), 2009.10, 西村一彦, 中川博之, 中山健, 田原康之, 大須賀昭彦