

# 博士論文審査報告書

## 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

--

ソフトウェア進化とは、要求や環境の変化に対応するためにソフトウェアの機能を追加・変更することを意味する。ソフトウェアの活躍する場面が広がり、Webアプリケーション、携帯端末やデジタル家電に代表される組込みシステムなど、ソフトウェアシステムが生活を支える存在となっている近年において、要求や環境の頻繁な変化に対するソフトウェアの変更は必須であり、確実なソフトウェア進化の実現はソフトウェア工学が目指す本質的な課題となっている。

このソフトウェア進化を確実に遂行するためには、進化の要因となる変更要求に対して、既存ソフトウェアの変更のために生じる影響を正確に分析する必要がある。また、継続的な進化のためには、変更による生じるコードの複雑さの増加をできる限り抑制することも求められる。しかし現段階において、この2つの要件を同時に満足するような体系的なソフトウェア開発プロセスは確立されていない。

このような背景のもと、本論文では、ソフトウェア進化を考慮した開発プロセスとして、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を提案している。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る。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している。また本論文では、整形されたゴールモデルを入力として進化時のシステム設計・実装を支援する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提案している。ソフトウェア構成要素間の依存関係を考慮した要素同定を要求分析の段階から実践し、その結果に基づいて体系的に設計・実装を遂行することで、進化に頑強なソフトウェアシステムの実現が可能となる。

以下、各章の概要とその評価をまとめる。

第1章「序論」では、本論文の背景、目的、各章の関係と意義についての概要が述べられている。ソフトウェア進化に関する研究動向が示され、本論文で扱うソフトウェア進化を考慮したシステム開発手法に求められる要件が定義されている。

第 2 章「ソフトウェア進化を考慮した開発プロセス GCLD」では，ソフトウェア進化に対する本論文でのアプローチについて論じ，提案するソフトウェアシステム開発プロセス GCLD の概要が示されている．確実なソフトウェア進化を実現するためには，システム構成要素間の依存関係を最小化し，進化の影響を限定化することが有効であると考えられるが，本論文で提案する 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，Control loop の抽出と実装の支援を目指した開発プロセスである．

第 3 章「ゴール指向要求記述を用いた Control loop の同定」では，ゴールモデルからの Control loop の同定手法を提案している．ソフトウェアを Control loop の観点で分解するために，進化の要因となる新たな要求が記述されるゴールモデル上において，システムを構成する Control loop を同定するための整形プロセスを導入している．第 3 章では，整形後の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も示している．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形式的に定義し，本手法の有効性を清掃ロボットの開発事例に基づいて提示している点で評価できる．

第 4 章「開発支援ツール」では，GCLD に従ったソフトウェア進化を支援するためのゴールモデルコンパイラとプログラミングフレームワークを提案している．ゴールモデルコンパイラとは，整形されたゴールモデルからシステム構成を表現したコンフィギュレーションを生成するものである．一方，プログラミングフレームワークは，コンパイラによって導出された Control loop を実装するための API と実行環境を開発者に提供するものである．ゴールモデルコンパイラは整形後のゴールモデルから形式的にシステム構成を決定することが可能であるとともに，変更箇所を同定する各種情報の生成も可能である．また，プログラミングフレームワークは依存関係を最小化した Control loop の配置により，動的なソフトウェア進化を実現することも可能であり，これらを清掃ロボットの進化実験を通じて示している点で評価できる．

第 5 章「評価実験」では，制御システムとモデリングツールの 2 種類のドメインを対象としたソフトウェア進化実験に基づいて，提案する開発プロセス GCLD の適用可能性と有用性を検証している．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，および，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 を対象として，それぞれベースラインとなる典型的な開発スタイルとの比較による進化実験を実施している．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を確認するとともに、GCLD ではソフトウェア進化に対して精度の高い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効果があることを確認している。

第 6 章「考察」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している。5 章の実験結果から、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を確認するとともに、GCLD 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ている。

第 7 章「関連研究」では、他の研究分野における関連研究と比較した場合の本論文の意義を示している。

第 8 章「結論」では、本研究の成果を要約するとともに、今後の課題に対する展望を述べている。

以上を要するに、本論文は、ソフトウェアの確実かつ効率的な進化というソフトウェア工学が目指す本質的かつ困難な課題に対して、Control loop という自律的な構成要素に着目し、開発初期フェーズからの依存関係を最小化する構成要素決定を実現するための一つの具体的な開発手法を提案したものである。また、提案手法を支援するためのツール群を実装している点、複数のソフトウェアに対する進化実験を通じて本開発手法の有効性を示している点は高く評価できる。よって、本論文はソフトウェア工学の発展に大いに貢献するものであり、博士（工学）早稲田大学の論文として価値あるものと認める。

2013 年 2 月

審査員

主査	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	深澤 良彰
	早稲田大学教授	工学博士（慶応義塾大学）	中島 達夫
	早稲田大学准教授	博士（情報科学）（早稲田大学）	鷺崎 弘宜
	電気通信大学教授	工学博士（早稲田大学）	大須賀 昭彦