

A STUDY ON MODEL DRIVEN ARCHITECTURE

(モデル中心型アーキテクチャに関する研究)

学位論文内容の要旨

従来のソフトウェア設計に関する研究はプログラム構造設計が主だったが、最近のソフトウェアシステムの大規模・複雑化と分散ミドルウェアに代表されるプラットフォームの多様化へとそのパラダイムがシフトするに従って、要求分析を起点としたオブジェクト指向設計に軸を移してきている。例えば、UMLを中心に、設計パターン、リファクタリング、統合型開発支援ツール等は新しい設計法研究の成果である。しかしながら、これらの研究は主に実装/プログラミングに近い部分の設計技法、すなわちプラットフォーム依存の設計法であり、理想的な形態であるプラットフォーム独立な設計に対して統一的な解をもたらし得ない。一方、インターネットにおいては、Web Services/SOAP 基盤の確立によって、組織境界を超えた自由なソフトウェアシステム結合が可能になってきており、プラットフォーム独立なモデルを中心とした統一開発および相互運用性確保が強く求められている。これに対処すべく OMG(UML等の国際標準化団体)はプラットフォーム独立な標準化を進めるための参照モデルとして OMG/MDA を提唱している。しかし、現時点ではモデル言語定義など未解決課題を抱えているだけでなく、Web Services 応用やモデル共有をも含んだ包括的な方法論を与えていない。本論文はこれらの課題解決のためにこれまで行ってきた研究成果をまとめたものである。

本論文は、プラットフォーム独立性を主眼にモデル中心アーキテクチャの方法論を確立することを第一の目的としている。これは、ソフトウェア設計モデルを任意のモデル言語で記述できる点、および、プラットフォーム独立モデルとプラットフォーム依存モデル(または実装)を分離マッピングできる点で従来のアプローチと異なっている。これらに加え、方法論実現上の課題であるメタモデリング言語を提案すること、更には、リポジトリによらないモデル共有の方式として、モデル動的整合によるモデル協調方式を提案することを目的としている。

本研究では、特定のプラットフォームは対応するモデリング言語（メタモデル）で特徴付けられること、プラットフォーム独立モデルはプラットフォーム固有モデリング言語を機能的に特殊化し作成した上位モデリング言語によって記述できること、および、これらモデリング言語間にマッピングを設けることで実装から乖離しないモデルが構築可能なことの三つを方法論の骨子としている。方法論はいくつかの先行研究を素材として導出されている。上位モデリングに関しては、応用領域に応じた言語制約（プロファイリング）手法を示すとともに、小型メタモデリング言語の必要性を摘出し、新たなメタモデリング言語 sMML が提案されている。sMML は数学的帰納法を用い厳密に定義され、実際のモデル言語を例として適用実験を行い簡易性・機能性が評価されている。モデル協調に関しては、共通リポジトリを前提にせず、疎結合されたモデル間で動的にインタフェースと振舞を調整するアルゴリズムが提案され、インターネット Web Services を主要プラットフォームとしユースケースを示し効果を評価している。更に、方法論の応用として、インターネットサ

ービスへの適用、疎結合ロボット連携への適用が述べられている。

本論文は9章から構成されている。

1章では、背景、用語定義、関連研究、モデル中心アーキテクチャの目的、本論文が提案する方法論の概観が述べられている。

2章～4章では、モデリング言語とプロファイルに関する研究結果を素材として方法論構築のための要素が述べられている。

2章では、図式モデル言語の一つである FL に関して、数学的帰納法を用いた言語定義を示した上で、フローモデルのプラットフォーム独立性は、オペレーションとプラットフォーム機能のマッピングはモデル変換に帰着されることが示されている。また、モデル変換の例として、フローチャート正規化アルゴリズムが示されている。

3章では、文書交換の国際標準プロファイル開発を素材にし、基本メタクラスを特殊化することで特定応用分野向けモデリング言語が作成できること、および、メタモデル拡張によるモデル言語制約の定式化が述べられている。

4章では、分散オブジェクトミドルウェア(CORBA, Java, DCOM 等)と Web サービスの研究開発状況のサーベイを行い、モデル中心の方法論への要件を明らかにしている。

5章では、2章～4章の結果をもとに、モデル中心アーキテクチャ方法論が提案されている。まず、独立化すべきプラットフォームとそのモデリング言語(メタモデル)を特定する。次に、これらモデリング言語を機能的に特殊化してプラットフォーム独立な上位モデリング言語を定義する。両モデリング言語間にはマッピングを定義しておく。上位モデリング言語を用いてモデルを作成する。これにより、プラットフォーム独立だが実装マッピングが規定されたモデルが構築できる。本論文では、以上を、新たな類型(stereotype)を導入してメタフレームワークとして定義している。本方法論の一部は、UML 限定ではあるが OMG/MDA 標準化指針にも既に採用されている。上位モデリング言語の定義には、言語制約と言語新規作成の二方法がある。

6章では、上位モデリング言語を新規定義するための、メタモデリング言語 sMML が提案されている。sMML は、(1)小さい言語、(2)完結性、(3)UML 定義との整合性を方針として設計されている。(1)は、従来の MOF Core では24個、UML Core では55個であった基本言語要素を3個に最少化することで達成されている。(2)は、MOF や UML が reflection を用いているのに対し、直接数学的に定義することで実現されている。sMML 言語定義に加え、小規模モデリング言語定義への適用実験と UML 再定義への適用実験をとおして、簡易性および機能性が検証されている。

7章では、モデル中心アーキテクチャを、インターネットに代表される大域的環境で成立させるために必須であるモデル共有を、モデル協調の点から論じている。局所モデルに振舞情報を追加し、システム間で動的に交換しモデルを整合化させる方式とアルゴリズムが提案されている。当該局所モデルはプラットフォーム独立であるが、同時に記述言語(WSDL)へのマッピングが定義されており、Web Services プラットフォーム実装への変換が可能となっている。ユースケースを使った実験では、従来方式では生成 BTf の61%が invalid であったが、本方式では invalid な BTf は生成されないことが判明している。本結果は、自律的 Web サービスでのビジネスプロトコル動的生成の初期的成果にもなっている。

8章では、インターネット応用が述べられている。インターネットサービス応用として大型計算センターでの大規模可視化サービスをプラットフォーム独立に利用するシステムへの適用、および、インターネットを用いたロボット疎結合プロトコルへの適用が述べられている。また、これらの実装基盤である、小型 HTTP コミュニケータ SMACH の開発が述べられている。

9章では、本論文全体の要約と結論が述べられている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	嘉数 侑 昇
副査	教授	大内 東
副査	教授	大森 隆 司
副査	教授	和田 充 雄

学位論文題名

A STUDY ON MODEL DRIVEN ARCHITECTURE

(モデル中心型アーキテクチャに関する研究)

本論文は、ソフトウェアシステムの複雑化、プラットフォームの多様化、および、インターネット普及によるソフトウェア設計範囲の発散に対処すべく、プラットフォーム独立モデルを中心としたソフトウェアシステムの設計方法論を提案し、インターネットアプリケーションなどに応用することにより、その妥当性を示した研究成果をまとめたものである。

1章は、序論である。

2章～4章では、モデリング言語とプロファイルに関する研究結果を素材として方法論導出のための要素が述べられている。2章では、図式モデル言語の一つであるフローチャートに関して言語定義を示した上で、フローモデルのプラットフォーム独立性はオペレーションとプラットフォーム機能のマッピングとモデル変換に帰着されることが示されている。3章では、文書交換国際標準開発を素材にし、基本メタクラスを特殊化することで特定応用分野向けモデリング言語が作成できること、および、メタモデル拡張によるモデル言語制約の定式化が述べられている。4章では、分散オブジェクトミドルウェア(CORBA, Java, DCOM 等)と Web サービスのサーベイを行い、モデル中心の方法論への要件を明らかにしている。

5章で、モデル中心アーキテクチャ方法論が提案されている。その骨子は以下のとおりである：まず、独立化すべきプラットフォームとそのモデリング言語を特定する。次に、これらモデリング言語を機能的に特殊化してプラットフォーム独立な上位モデリング言語を定義する。両モデリング言語間にはマッピングを定義しておく。上位モデリング言語を用いてモデルを作成する。以上により、プラットフォーム独立だが実装マッピングが規定可能なモデルが構築できることが示されている。本方法論の一部は、UML 限定ではあるが OMG/MDA 標準化指針にも既に採用されていることにも言及している。

6章では、上位モデリング言語を新規定義するための、メタモデリング言語 sMML が提案されている。sMML は、小さい言語、完結性、および、UML 定義との整合性を方針としており、基本言語要素を最少化し、直接数学的に言語定義を行い、UML Core に結合可能とすることで実現されている。厳密な言語定義を行った後、小規模モデリング言語定義への適用実験ならびに UML 再定義への適用実験を通して、簡易性および機能性を検証している。

7章では、モデル中心アーキテクチャを、モデル協調の点から論じている。局所モデルに振舞情報を追加し、システム間で動的に交換しモデルを整合化させる方式とアルゴリズムが提案されている。実装実験を通して、方式の妥当性、インターネットプラットフォームへのマッピングの可能性、および、従来方式に対して不正なトランザクション発生は半減することを明らかにしている。

8章では、インターネットサービス応用として大型計算センターでの大規模可視化サービスをプラットフォーム独立に利用するシステムへの応用、インターネットを用いたロボット疎結合プロトコルへの応用、および、これらの基盤である小型 HTTP コミュニケータ SMACH を開発した結果が述べられている。

これを要するに、著者は、プラットフォームに対応するモデリング言語を機能的に特殊化することでプラットフォーム独立なモデルを作成することを中核としたモデル中心型アーキテクチャの設計方法論を提案し、それに必要なメタモデリング言語、モデル協調方式を開発、実装し、多くの応用システムを通して提案手法の正当性・妥当性を検証した。これにより、ソフトウェア工学に関する研究分野において多くの新知見を得たものであり、情報工学、ソフトウェア工学、および複合情報学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。