

# 電子楽器の音声処理制御のソフトウェアによる実現

2002MT011 長谷川 裕寿      2002MT062 西山 遼平  
指導教員 野呂 昌満

## 1 はじめに

現在、組み込みソフトウェア開発は、ユーザの多様な要求による製品の高性能化や開発サイクルの短縮化が求められており、系統的な開発が必要とされている。我々は、組み込みソフトウェア開発においては、プログラマ個人の技量に依存してしまい、系統的な開発支援の導入が十分行われていないと考える。系統的な開発を支援する技術のひとつとして、PLSE(Product Line Software Engineering)[2]が提案されている。我々は、音声処理組み込みソフトウェアのひとつであるエフェクタ制御ソフトウェア [1] に着目して、研究を進めてきた。エフェクタは、製品の種類が多数あり、ユーザの要求によって製品のカスタマイズが頻繁に行われている製品である。エフェクタ制御ソフトウェアは特に系統的な開発を必要としている組み込みソフトウェアの一例として挙げられる。

本研究の目的は、組み込みソフトウェア開発への PLSE の適用可能性を考察することである。系統的な開発を行うために、PLSE を適用した組み込みソフトウェア開発を行うことが有効であると考えられる。

PLSE を適用したエフェクタ制御ソフトウェア開発を行うさいに、分析の終了条件の判断基準が不明確であるという問題点を確認した。判断基準を明確にすることにより、他の組み込みソフトウェア開発において、正確な分析を行えると考えられる。一方で、他の組み込みソフトウェアと共通であると考えられる機能・非機能および構造を確認した。共通点を考慮することで、他の組み込みソフトウェア開発において、分析・設計が容易になると考えられる。

## 2 関連研究

エフェクタ制御ソフトウェア開発のために必要となるエフェクタと音声処理ソフトウェアの実現方法について述べる。

### 2.1 エフェクタ

エフェクタとは、電子楽器から入力された音声データに音声処理(波形処理)を施し、異なった音声データとして出力する装置である。ユーザはエフェクタを利用することで様々な音を表現することが可能となる。エフェクタには大きくコンパクトエフェクタ(以下 CE)とマルチエフェクタ(以下 ME)に分けられる。CE はひとつの波形処理を行う。ME は多種類の波形処理を行ったり、組み合わせたりする。エフェクタ制御ソフトウェアは得られ

る効果によって、大きく5つの系統に分けることが可能となる。以下に各系統と効果をあげる。

- ダイナミクス系
  - 最大音量と最小音量の差を再調整する。
- フィルター系
  - 音声データの高域、中域、および低域の周波数成分の調節を行い、音の高低を調節する。
- 歪み系
  - 音を歪ませる。
- モジュレーション系
  - 音声を周期的に揺らす、うねらせる。
- 空間系
  - 様々な残響を追加することによって、空間の大きさや状況などを演出する。

## 3 PLSE を適用したエフェクタ制御ソフトウェア開発

系統的な開発を行うために、エフェクタ制御ソフトウェア開発に PLSE の適用を行った。再利用可能な Feature を分析・設計し、製品の部品および製品の実現を行う。Feature とは、機能特性、非機能特性から構成されている。PLSE を適用したエフェクタ制御ソフトウェアの開発は以下の手順で分析・設計を行った。

1. Marketing Plan  
エフェクタ制御ソフトウェアのマーケットを製品を対象に分割し、市場分析
2. Product Plan  
エフェクタ制御ソフトウェアの機能特性、非機能特性を抽出
3. Product Feature Delivery Method  
ユーザの要求に合った ECWS を実現するさいの Feature の必要性と実現段階、実現技術の特徴を抽出
4. Feature Diagram  
エフェクタ制御ソフトウェアの Feature の関連を図示
5. Conceptual Architecture  
エフェクタ制御ソフトウェアの一般的な構成要素とデータの流れを図示
6. Process Architecture  
エフェクタ制御ソフトウェアの具体的な構成要素とデータの流れを図示

### 3.1 Marketing Plan

エフェクタ制御ソフトウェア市場での流通を考慮した製品の市場分析を行った。ユーザの要求、ユーザプロフィール、流通の機会が市場分析として含まれる。ユーザの

要求や製品の提供対象に分割して分析を行う。エフェクタ制御ソフトウェアは製品を対象にマーケットを分割して行った。ME をさらに細かくコンパクトマルチエフェクタ (以下 CME) とマルチエフェクトプロセッサ (以下 MEP) に分割し、エフェクタ制御ソフトウェアの各マーケットごとに分析を行った。

CE マーケットでは、得たい効果が明確である。品質が高く、ひとつの音色への音作りが細かく設定可能な構造とし、操作の容易性を重視した構造とする必要がある。CME, MEP マーケットでは、多種類の音の表現する事を目的としている。CME マーケットでは、操作の容易性を重視した構造とする必要がある。MEP マーケットでは品質が高く、多種類の音色に対して、音作りが細かく設定可能な構造とする必要がある。

### 3.2 Product Plan

エフェクタ制御ソフトウェアを実現するための機能特性、非機能特性を抽出する製品分析を行った。機能特性をユーザが要求するサービスと、提供するサービスを操作するためのオペレーションに分類する。サービスとは、エフェクタの機能である「歪ませる」、「響かせる」などである。オペレーションとは、エフェクタの効果に対する操作を行う GAIN Control, LEVEL Control などである。非機能特性としては、実時間処理, 並行処理, 品質などが示される。分類することで、製品の構築のための Feature が明確になる。

### 3.3 Product Feature Delivery Methods

エフェクタ制御ソフトウェアを実現するさいの Feature の必要性と実現段階, 実現技術の特徴を示した。基盤の構成要素となる Feature の抽出が可能となる。エフェクタ制御ソフトウェアにおいて A-D 変換, D-A 変換, デジタル信号処理 [3] を行う部品が基盤の構成要素となる。CE はデジタル信号処理を行う Feature をひとつしか持たない。CME, MEP ではデジタル信号処理を行う Feature を複数持つ。

### 3.4 Feature Diagram

Product Plan をもとに、エフェクタ制御ソフトウェアを構成する Feature の関連を示した。エフェクタ制御ソフトウェアの Feature の共通性と変更容易性を分析することが可能となる。Feature Diagram は、以下の 4 つの階層に分割して作成することによって、実際にエフェクタ制御ソフトウェアを構築するさいに利用可能となる。

- Capability layer
  - エフェクタの制御ソフトウェアにおいて、機能特性や非機能特性のつながりを表している
- Operating environment layer
  - エフェクタのハードウェアに関する部分 (ボタンやディスプレイなど) を表している
- Domain technology layer
  - Domain に特化した技術を表している
- Implementation technique layer
  - 一般的なソフトウェアなどの実現に利用される技術を表している

例として MEP の Feature Diagram を図 1 に示す。

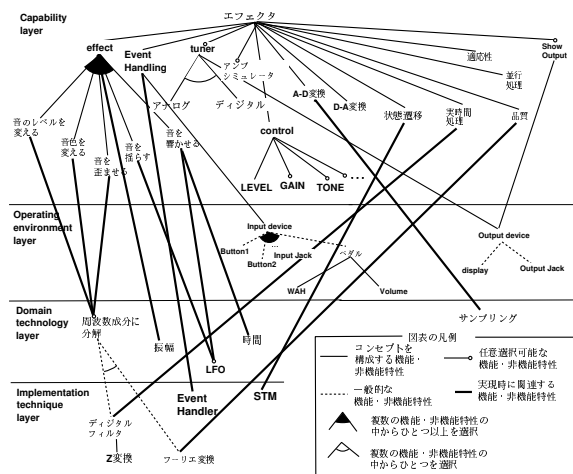


図 1 エフェクタ制御ソフトウェアの Feature Diagram

### 3.5 Conceptual Architecture

エフェクタ制御ソフトウェアの各マーケットを対象として設計される製品の機能を実現するための部品、部品間の依存関係を図示した。動的に操作される要求・返答を表すことによって、実現するさいに Feature に必要な部品が明確になる。例として MEP の Conceptual Architecture を図 2 に示す。

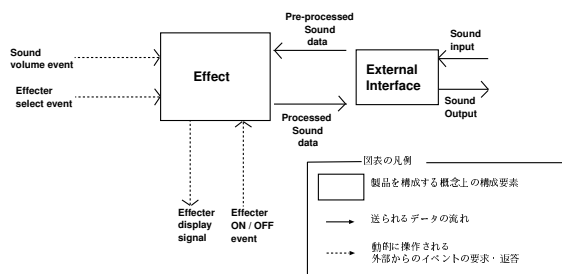


図 2 MEP の Conceptual Architecture

MEP の Conceptual Architecture はふたつのコンポーネントからなる。External Interface では、外部からの入出力を行う部品を表している。Effector Control では、各エフェクタを制御するための部品を表している。実行効率を向上させるために Button からのイベントは Effector Control に送られる構造となった。

### 3.6 Process Architecture

エフェクタ制御ソフトウェアを実行するさい具体的なコンポーネントの処理とコンポーネント間の音声処理の構造を図示した。実行時の処理の流れを視覚的に理解することが可能となる。例として MEP の Process Architecture を図 3 に示す。

PLSE の手順にもとづき抽出された Feature からエフェクタ制御ソフトウェアの Process Architecture の作成

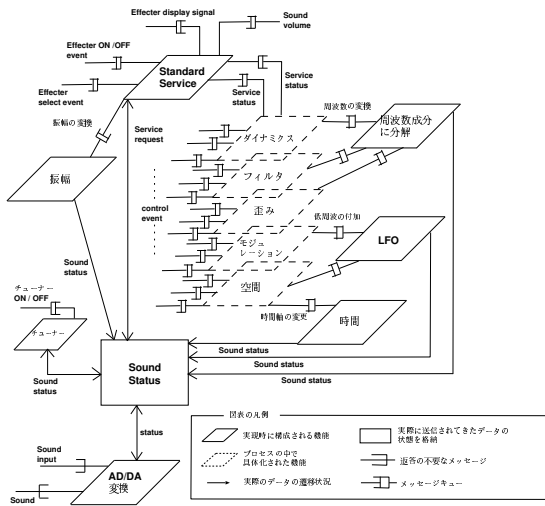


図3 MEPのProcess Architecture

を行った。エフェクタ制御ソフトウェアの動きを視覚的に表すことができた。図3ではSound Inputから入力された音声データ(Sound Status)をユーザの要求に応じて音声変換され、Sound Outputまでの工程を表す。

#### 4 考察

PLSEを適用したエフェクタ制御ソフトウェア開発について考察をおこなう。エフェクタ制御ソフトウェア開発を行った結果をもとに、他の組み込みソフトウェア開発におけるPLSEの適用について考察を行う。

##### 4.1 各開発工程における問題点に関する考察

PLSEを適用したエフェクタ制御ソフトウェア開発の分析・設計時に、以下の問題点を確認した。

- Product Planにおける問題点
- Conceptual Architectureにおける問題点
- Process Architectureにおける問題点

Product Planにおける問題点として、分析終了の判断条件が不明確という問題点が挙げられる。Product Planは製品分析なので、実現レベルまで分析する必要はないと考えられる。本研究では、分析終了の判断条件としてユーザの視点から確認できるエフェクタのFeatureまで分析を行った。この判断条件は、他の組み込みソフトウェア開発にPLSEを適用するさいにも利用できると思われる。

Conceptual Architectureの設計において、各開発工程1~4までの分析だけでは設計が不十分である問題点が挙げられる。Feature Diagramから機能を実現するための部品は導き出せたが、部品間の依存関係は導き出せなかった。実際に開発する組み込みソフトウェアの各マーケットのニーズに合わせた分析・設計が必要になると考えられる。

Process Architectureの設計において、一意に決まらない部分の存在が確認できた。機能を実現するための処理

は、Conceptual Architectureをもとに作成できるが、具体的な細かいプロセスの配列順などは自分達で考える必要がある。Conceptual Architecture同様に実際に開発する組み込みソフトウェアの各マーケットのニーズに合わせた設計が必要となると考えられる。

##### 4.2 他の組み込みソフトウェア開発へのPLSEの適用可能性についての考察

他の組み込みソフトウェアの例として、自動販売機制御ソフトウェア開発にPLSEを適用し、エフェクタ制御ソフトウェア開発との比較を以下の点について行った。自動販売機制御ソフトウェアのFeature Diagramを図4、Conceptual Architectureを図6に示す。

- Feature Diagramの比較
- Conceptual Architectureの比較

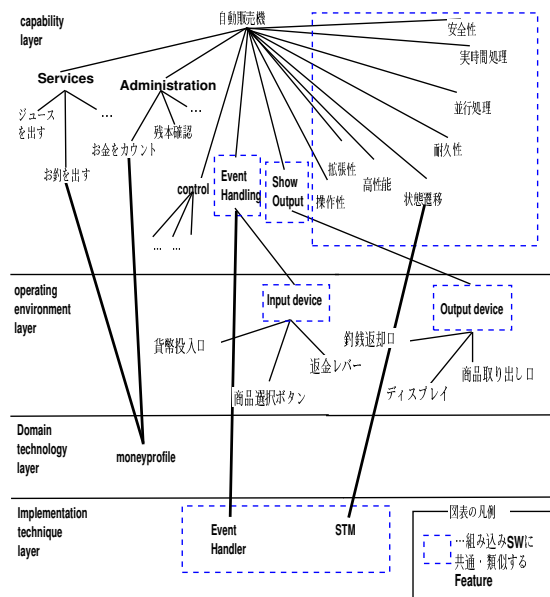


図4 自動販売機制御ソフトウェアのFeature Diagram

Feature Diagramの比較において、自動販売機制御ソフトウェアから抽出したFeatureの中に、エフェクタ制御ソフトウェアに共通するFeatureを確認した。組み込みソフトウェアにおけるFeature Diagramの基本構造が導出できたと考えられる。組み込みソフトウェアにおける基本構造を図5に示す。図5の基本構造により、組み込みソフトウェアのFeature Diagramの分析の短縮化が容易に行えると予想できる。

作成した自動販売機制御ソフトウェアのConceptual Architectureは構成要素としてExternal Interface, VM ControlおよびDepository Controlをもつ。共通の構成要素であるExternal Interfaceは、組み込みソフトウェアに共通して存在する構成要素であると考えられる。VM ControlとDepository Controlは自動販売機特有の構成要素である。組み込みソフトウェアはExter-

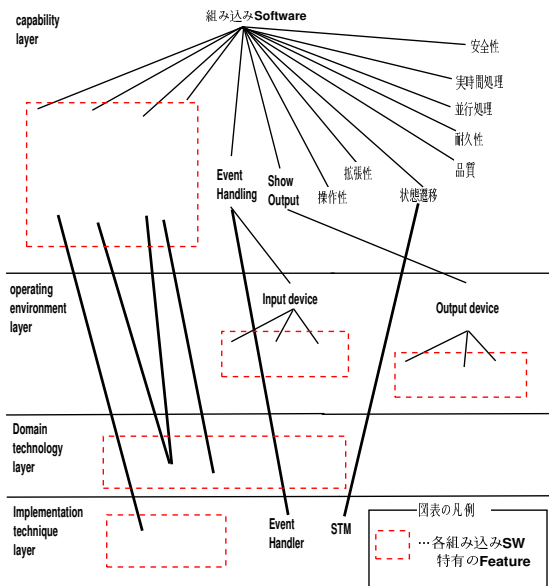


図5 組み込みソフトウェアの抽象化された Feature Diagram

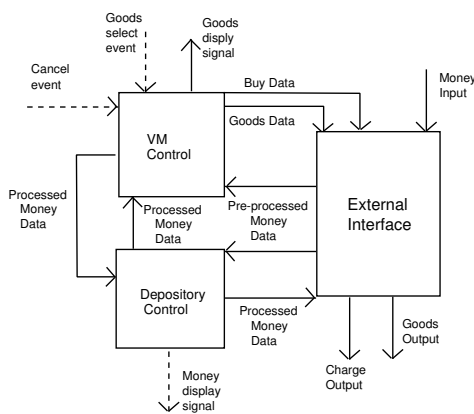


図6 自動販売機制御ソフトウェアの Conceptual Architecture

nal Interface と各組み込みソフトウェア特有の構成要素が、互いに通信を行う構造となると考えられる。Conceptual Architecture も Feature Diagram と同様の基本構造の導出が行えると予想できる。

#### 4.3 波形処理の実現方法についての考察

波形処理の実現方法について考察を行う。Marketing Plan, Product Plan, Feature Diagram をもとに、実現方法を大きく分けると、3種類の実現方法に分類できる。「振幅に変更を加える」、「時間軸をずらして、波形に加える」、「周波数成分に変更を加える」である。効果による分類と実現方法による分類の直交する様子を表1に示す。

表1 効果と実現方法によるエフェクタの分析

効果 \ 実現方法	振幅	時間	周波数
ダイナミクス	○		
フィルタ	○		○
歪み	○		
モジュレーション	○	○	○
空間	○	○	

効果によって分類した系統ごとにエフェクタ制御ソフトウェアは一から開発がおこなわれていた。効果の異なるエフェクタ制御ソフトウェアにおいて類似した実現方法が使用されているものが存在する。実現方法の観点から分析を行うことで、実現方法を再利用することが可能となり、開発サイクルの短縮化が計れると考えた。

## 5 おわりに

本研究では PLSE をもとにエフェクタ制御ソフトウェアの開発をおこなった。市場、製品、実現方法の視点から分析を行い、分析結果をもとに設計・実現を行った。エフェクタ制御ソフトウェアの開発をもとに、他の組み込みソフトウェアに対する PLSE の適用可能性について考察を行った。

今後の課題として、多種の組み込みソフトウェア開発に PLSE の適用が挙げられる。共通する Feature、問題点および解決策を考え、組み込みソフトウェア開発に PLSE を適用するさいの一般化を計る。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、熱心な御指導をいただいた野呂昌満教授、有益なアドバイスを下さった張漢明先生、大学院生の石見知也さん、小久保佳将さん、八木晴信さん、石川智子さん、坂野将秀さん、久松康倫さん、本多克典さん、水野耕太さんに深く感謝いたします。また、いつも励まし合いががんばってきた野呂研究室のみなさんに感謝致します。

## 参考文献

- [1] 安斎 直宗, エフェクタの全知識, Rittor Music, p. 213, 2004.
- [2] K.C.Kang, J.Lee, and P.Donohoe, "Feature-Oriented Product Line Engineering," *IEEE Software*, Vol. 19, No. 4, pp. 58-65, July/August, 2002.
- [3] 三上 直樹, はじめて学ぶデジタル・フィルタと高速フーリエ変換, CQ 出版, p195, 2005.