

組み込みソフトウェアのソフトウェアアーキテクチャに関する研究

－ 副題：家庭電化製品の制御ソフトウェアを例として －

2000MT050 牧野佑美 2000MT054 宮嶋拓郎 2000MT106 山下宗大
指導教員 野呂昌満

1 はじめに

家庭電化製品の機能は年々高度化・複雑化している。一方、家庭電化製品は一般消費財であり、新製品開発までの期間が短い。その制御ソフトウェアの開発においても機能が逐次追加され、開発時間の短縮、費用の削減が求められている。

家庭電化製品のソフトウェア開発にはオブジェクト指向技術が導入されつつあるが、オブジェクト指向ではクラスに横断するコンサーンが散在してしまうという問題がある。その問題を回避するためにアスペクト指向技術が注目されている。

本研究の目的は、我々の研究室で提案されているアスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャスタイル(AOSAS)[2]が組み込みソフトウェア開発に有効であるか考察することである。組み込みソフトウェアの応用領域は広いので、家庭電化製品の応用領域に対して適用する。以下の手順にしたがい AOSAS の有用性を確認する。

- 比較的構造が単純な製品をオブジェクト指向で設計・実現し、ハードウェアの構造を分析
- オブジェクト指向技術で問題となるコンサーンの横断を解決するためにアスペクト指向を適用
- 家庭電化製品に共通な構造を一度に全て抽出することは困難なので、比較的抽象度の低いアプリケーションフレームワークの設計・実現
- 家庭電化製品に共通な構造を抽出するために、設計したものをさらに抽象化し、家庭電化製品のアスペクト指向アプリケーションフレームワークとする

なお、牧野は電気ポット、宮嶋はアーキテクチャ、山下は家庭電化製品を主に担当する。考察に関しては3人で担当する。

2 電気ポットのアスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャとアスペクト指向アプリケーションフレームワーク

家庭電化製品の中でもタイマ・センサが付いている、ユーザインタフェースが単純で簡単に使用できるという点で電気ポットは一般性が高いと考え、題材として使う。電気ポットをオブジェクト指向で設計し、その電気ポットにアスペクト指向を適用する。適用したものを抽象化し、電気ポットのアプリケーションフレームワークを設計する。

2.1 アスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャスタイル

AOSAS はオブジェクト指向分割、アスペクト指向分割、合成を統一的に説明する手法である。構成要素はフィールド、ロール [3]、オブジェクトである。構成要素間の関係は以下のものがある。

1. ロールとフィールドの結合関係
2. ロールとオブジェクトの結合関係
3. フィールドとロールの関係
4. ロールの関係

1~3は AspectJ[1] のメッセージフックで記述できる。

2.2 オブジェクト指向設計

電気ポットのハードウェア制御を分析するために、オブジェクト指向設計する。このとき実機の役割を仮想的に実現するために、ハードウェアをシミュレータとして考える。われわれの作成した電気ポットの機能として、

- 湯を沸かす
- ロックを解除し湯を出す
- タイマを設定する
- 各機能作動の前にエラーチェックをおこなう
- 洗浄する

電気ポットをオブジェクト指向で設計した結果、電気ポットに最低限必要な機能は、湯を沸かす、湯を出すという機能であると考えられる。以上の機能から電気ポットに必要な構成要素は heater, pump, sensor, button, display であると考えられる。

ソフトウェアの構造は注目する視点ごとに最適な構造が異なる。組み込みソフトウェアをオブジェクト指向で開発するさいの問題を指摘する。図1は湯を沸かすときのエラーチェックのシーケンス図である。時間に関する制御にともなったエラーチェックと並行処理が横断することが確認できる。また、シミュレータの機能であるハードウェアの状態を表示させるという処理を実現させようとしたときにも、ハードウェア部とハードウェア制御部が横断してしまうということを確認した。

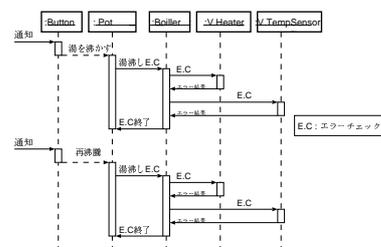


図1 エラーチェックのシーケンス図

2.3 アスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャ

2.2 節述べた問題を解決するために電気ポットをアスペクト指向設計する。オブジェクト指向設計したさいの横断するコンサーンを整理すると、HW 制御フィールド、並行処理フィールド、実時間フィールド、ハードウェアフィールドの4つのフィールドに分割できる。ハードウェアフィールドとは電気ポットの実機の役割を仮想的に実現するものである。また、ハードウェアフィールドを加えることで、シミュレータ部は取り外しやすい構造になる。図2は電気ポットをアスペクト指向設計した図である。フィールド内のロールは、オブジェクト指向設計した電気ポットを4つのフィールドに基づいて分割したものである。

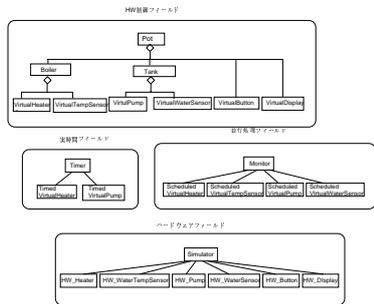


図2 電気ポットのアスペクト指向設計

さらに、我々の研究室で提案された AOSAS を適用する。湯を沸かす・湯を出すという機能を運用とし、洗浄するという機能を保守とする。これら2つは構成要素やロールの振る舞いが異なるので、configuration をコンサーンとして分離する。図3は適用した図である。

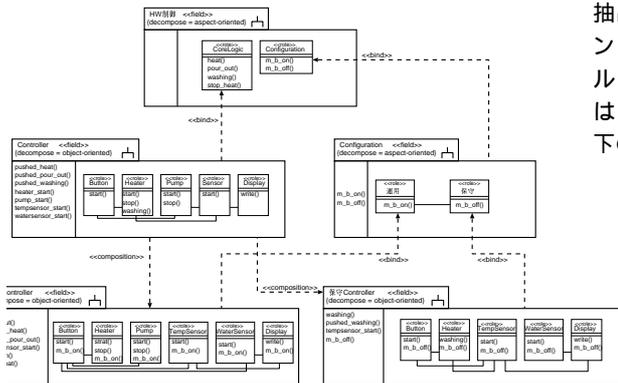


図3 アーキテクチャ

2.4 アスペクト指向アプリケーションフレームワーク

アスペクト指向を適用した電気ポットのハードウェア制御フィールドを家庭電化製品の制御ソフトウェアにおいて重要であると考えさらに抽象化する。抽象化したときロール間に is-a 関係を定義する。スーパークラスに、最低限必要な機能を実現するメソッドを定義することで、アスペクト指向アプリケーションフレームワークのフローズスポットとなる。図4は電気ポットのアスペ

クト指向アプリケーションフレームワークの図である。

- ホットスポット ...conc_Pot, conc_Heater, conc_Pump, conc_Button, conc_Sensor, conc_Display
- フローズスポット...Pot, Heater, Pump, Button, Sensor, Display

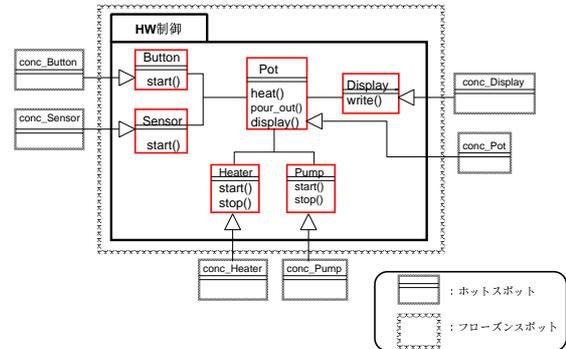


図4 電気ポットのアプリケーションフレームワーク (ハードウェア制御部)

3 家庭電化製品のアスペクト指向アプリケーションフレームワーク

電気ポットのアスペクト指向アプリケーションフレームワークを一般化し、家庭電化製品のアスペクト指向アプリケーションフレームワークを設計する。さらに、他の事例に適用する。

3.1 アスペクト指向アプリケーションフレームワークの一般化

電気ポットのアスペクト指向アプリケーションフレームワークをさらに抽象化することにより、一般的な構造を抽出し、家庭電化製品のアスペクト指向アプリケーションフレームワークを設計する。ハードウェア制御フィールドを抽象化したものを以下の図5に示す。われわれは、ハードウェア制御フィールドの構成要素として、以下の4つを抽出する。

- InputDevice...入力に関するロール
- OutputDevice...出力に関するロール
- SimpleBehaviorHardware(SBH)...Start と Stop という単純な振る舞いをするハードウェアのロール
- Controller...上の3つのロールをコントロールするロール

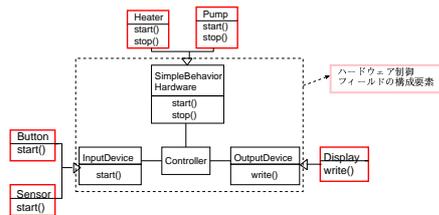


図5 ハードウェア制御フィールドの抽象化

4つの構成要素のサブクラスはホットスポットとなる。このホットスポットは、3.3節で述べた電気ボットのアスペクト指向アプリケーションフレームワークのフローズスポットとなる。

フィールドのロールに注目したとき、抽象化したロール間に関連があるのではないかと考える。例えば、ハードウェアフィールドのSBH, InputDevice, Controllerは、システム内で並行に動く必要があるので、並行処理フィールドのScheduledObjectに関連を持つことになる。図6は、ロール間で関連があるものを表し、矢印は、関連は一方だけしか持たないことを意味する。この関連をアスペクト指向記述し、サブクラスとして定義することでサブクラスで他のフィールドとの関係を再定義する必要がなくなる。

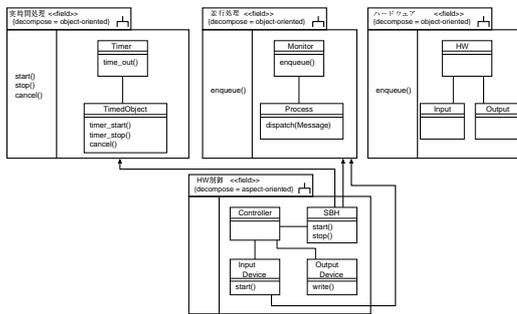


図6 ロール間の関係

われわれは、ハードウェア制御フィールドと並行処理フィールドの関連が強いと考え、ハードウェア制御フィールドと並行処理フィールドとの関連をアスペクト記述する。その関連を図7に示す。SBHとInputDevice内のフックされているメソッドが呼び出されたとき、aroundによりMonitorへのメッセージ通信に置き換わる。

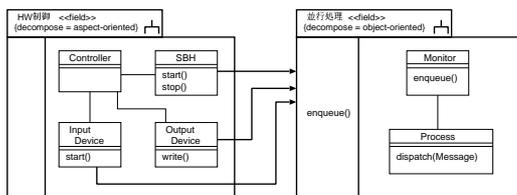


図7 ハードウェア制御フィールドと並行処理フィールドのアスペクト記述

3.2 応用例

本研究で提案した家庭電化製品のアスペクト指向アプリケーションフレームワークを洗濯機に適用する。洗濯機の必要な機能として、洗濯する、すすぐ、脱水する、表示する、を挙げる。4つの機能に必要なハードウェアとして、Button, Motor, Tank, Speaker, Display, Pump, Sensor, WashingMachineを抽出する。ハードウェアをつぎのように分類する。

- SBH・・・Motor, Pump, Tank
- InputDevice・・・Button, Sensor
- OutputDevice・・・Display, Speaker
- Controller・・・WashingMachine

これらをサブクラスとして定義することにより図8となる。

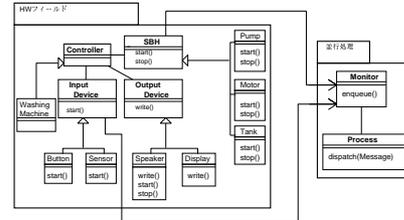


図8 アスペクト指向アプリケーションフレームワークを洗濯機に適用

図8からアスペクト指向アプリケーションフレームワークを洗濯機に適用できることがわかる。

4 考察

本研究で提案した家庭電化製品のアスペクト指向アプリケーションフレームワークの汎用性、拡張性、再利用性を示すことでAOSASは有効性を確認する。

4.1 汎用性についての考察

汎用性を示すには、本研究で提案したアスペクト指向アプリケーションフレームワークに異なる複数の家庭電化製品を適用し、適用可能な製品の性質を明確に示すことが必要であると考え。事例として録画と再生機能を持ったビデオテープレコーダを用いて考察する。必要なハードウェアとしてVideo, Button, Sensor, Motor, Head, Displayを抽出し次のように分類する。

- SBH・・・Motor
- InputDevice・・・Button, Sensor, Head
- OutputDevice・・・Display, Head
- Controller・・・Video

ただし、headは録画のときはInputDevice、再生のときはOutputDeviceとなる。図9はビデオテープレコーダにアスペクト指向アプリケーションフレームワークを適用したものである。

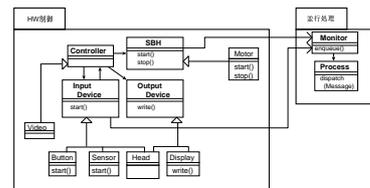


図9 アスペクト指向アプリケーションフレームワークをビデオテープレコーダに適用

図 9 からビデオテープレコーダにアスペクト指向アプリケーションフレームワークが適用できることがわかる。以上のことから上記 4 つの構成要素に分類できる製品、すなわちハードウェアが単純な製品に適用可能であることがわかる。

4.2 拡張性に関する考察

家庭電化製品は機能が逐次追加されるので容易な拡張手段が求められる。洗濯機に乾燥機能を追加し、アスペクト指向アプリケーションフレームワークの拡張性を検証する。4.1 節で設計した洗濯機に乾燥機能を追加し設計した結果、図 11 となる。乾燥 Configuration, Configuration フィールドと乾燥フィールドの関係を追加するだけで、その他の部分は変更する必要がない。オブジェクト指向で設計した場合、Tank クラスや LidSensor クラスなどのクラスひとつずつに乾燥を行うさいの Configuration を if 文で追加しなければいけなく、整理されていない構造となる。また、それぞれの Configuration に関する if 文が散在してしまう。(図 10)

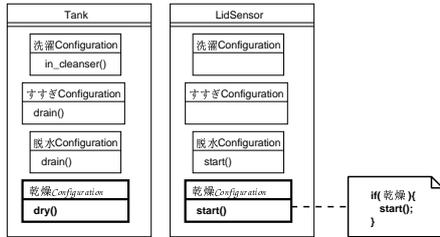


図 10 オブジェクト指向設計

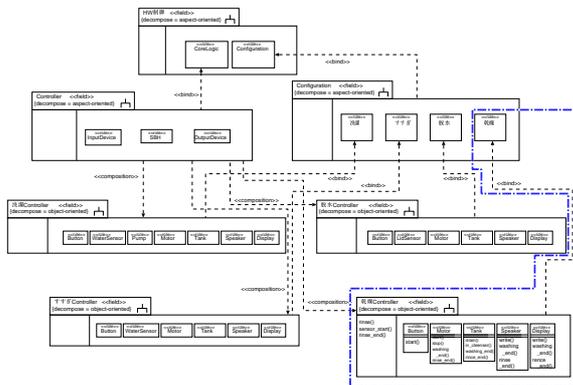


図 11 乾燥 Configuration を追加

4.3 有用性に関する考察

抽象化したロール間の関連のアスペクト指向記述のソースコード部はアスペクト指向アプリケーションフレームワークのフローズスポットの部分に記述している。よって、このアスペクト記述部は再利用できると考える。電気ポットを例として、アスペクト指向アプリケーションフレームワークを適用したとき、適

用しないときを比較する。比較するさいには、SBH とそのサブクラスである Heater, Pump の関係を用いる。SBH は並行性がある。Heater, Pump も並行性があるので、アスペクト指向アプリケーションフレームワークを適用しない場合は、Pump ロールと Heater ロールの start() メソッドか stop() メソッドが呼ばれたとき、Monitor へのメッセージに置き換えるので、Heater と Pump に around を指定しておかなければならない。しかし、アスペクト指向アプリケーションフレームワークを適用した場合は、SBH で一つ around を指定することで、サブクラスで再び指定する必要がない。(図 12) start() が呼ばれると、SBH の around により Monitor へのメッセージに置き換わる。

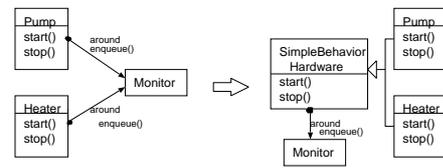


図 12 適用したときと適用しないときの比較

図 12 のアスペクト指向アプリケーションフレームワークは、図 6 の関係を実現したものである。特に、SBH は他のフィールドとの関連が強い。よって、単純な振る舞いをするハードウェアが多いものほど開発者が記述するソースコードの削減が期待できる。

5 おわりに

本研究では家庭電化製品のフレームワークを設計・実現し、フレームワークの汎用性、拡張性、再利用性を示すことにより AOSAS が家庭電化製品のソフトウェア開発に有効であることを確認した。今後の課題は、家庭電化製品以外の応用領域での有効性を調査することである。

謝辞

本研究を進めるにあたり、2 年間御指導頂いた野呂昌満教授、有益なアドバイスを頂いた張漢明助教授、蜂巢吉成講師、大学院生の熊崎敦司さん、藤原泰昌さん、森貴彦さん、後藤修平さんに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] AspectJ. <http://eclipse.org/aspectj/>
- [2] 熊崎敦司, 野呂昌満: アスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャスタイルとその実現, オブジェクト指向シンポジウム 2003 特集号 (投稿中), (2003).
- [3] T.Tamai: Evolvable Programming based on Collaboration-Field and Role Model, International Workshop on Principles of Software Evolution, (2002).