

状態遷移モデルに基づくソフトウェア合成方式の評価

平山雅之
深谷哲司

岡安二郎
三原幸博

(株) 東芝 システム・ソフトウェア技術研究所

ソフトウェアの仕様記述技法、部品化・再利用技術については、様々な技法が提案されている。本報告では、対象を製品組み込み型マイコン・ソフトウェアに特化して、これらの技術を統合化し、ソフトウェア開発作業を一貫して支援する分野指向 CASE IDSS- μ システムの要素技術について報告する。この IDSS- μ システムは、形式的仕様記述、オブジェクト指向部品等を核として、製品の動作仕様定義から部品合成、および仕様検証、システム試験までを支援し、従来の汎用 CASE に比べ、より高度な支援を実現している。また、本報告では、この IDSS- μ システムを実際の製品開発に適用した際の効果等についても考察を加えた。

A Study of Software Composing Technique using State Transition Model

Masayuki HIRAYAMA Jiro OKAYASU
Tetsuji FUKAYA Yukihiro MIHARA

Systems and Software Engineering Laboratory, TOSHIBA Corp.
70 Yanagi-cho Saiwai-ku KAWASAKI 210, JAPAN

About software specification description method or composing technique, many proposals are discussed in recent years. In this paper, we focus on small scale control software embedded in micro-computer and propose software composing technique. We have developed IDSS system which supports software integration from specification to composing, or testing. This IDSS system applies formal specification technique and object oriented software components. And this system enables higher support for software developments than ever been.

Moreover, we shows evaluation results of our adaptation experiments.

1. 序言

ソフトウェアの効率的な開発・生産については、従来から、様々な方法が提案されている。特に、近年のソフトウェア利用の増大に伴い、高品質なソフトウェアの効率的な開発が要望されている。これらに対する解決法として、部品化再利用技術、CASE ツールを利用した開発の一貫支援、オブジェクト指向を応用した開発等が検討されてきた。しかしながら、家電製品等で利用される比較的小規模な制御用ソフトウェアの開発は、これらの効果的な方法の採用において、それらがもつ様々な制約故に、十分にそのメリットが生かされていないのが現状である。

当社は、このような家電製品等に組み込まれる制御用ソフトウェアの開発を一貫して支援するCASE ツールとして、IDSS-μ システムの研究開発を進めている。IDSS-μ は、マイコンソフトウェアが制御を行う制御媒体に着目してソフトウェア部品を抽出し、対象製品の動作仕様からこれらの部品を合成を行う部品合成技術と、製品動作仕様を基にした仕様検証、テスト支援技術から構成される。これにより対象製品のソフトウェアの仕様記述から実行テストまでを一貫して支援し、ソフトウェアの開発効率と品質の向上を実現することを目的としている。今回、我々はこの IDSS-μ システムを実際の家電製品開発に適用し、その効果等の評価を行った。本報告では、この適用事例を踏まえて、IDSS-μ システムについて、特にソフトウェア部品合成機能を中心とした以下の項目について検討を加える。

1. IDSS-μ システム 部品合成の概要
2. IDSS-μ システムの支援要素技術
 - ・ 形式的仕様記述
 - ・ オブジェクト指向を応用した部品定義方式
 - ・ インタプリタ方式による部品合成
3. 実際の製品開発を踏まえた、本システムの導入効果に関する考察

IDSS-μ :

Integrated Development Support System
for Micro-Computer embedded products

2. IDSS-μ システム 概要

2.1 IDSS-μ システムの技術的特徴

IDSS-μ は、家電製品に組み込まれる制御用マイコン・ソフトウェアの開発を仕様作成から製品テストまで一貫して支援することを目的としている。このため、IDSS-μ システムでは、図2-1 に示すような開発支援モデルをベースに構築されている。

IDSS-μ システムを利用した開発プロセスは、図のように“仕様分析/記述”、“部品分析/定義”、“部品合成情報作成”、“部品合成”、“仕様検証”、“ソフトウェア試験”の各フェーズに分けて考えることができる。これらの開発プロセスを進めるために、IDSS-μ システムでは、次のような要素技術を応用している。

- (1) 制御対象に着目した制御用ソフトウェア部品の利用（オブジェクト機能部品）
- (2) 状態遷移モデルを拡張した対象製品の動作仕様の形式的仕様記述
- (3) 形式的仕様記述に基づく制御用ソフトウェア部品の自動合成
- (4) 形式的仕様記述、制御用ソフトウェア部品データに基づく製品動作仕様の検証
- (5) 形式的仕様記述を基にしたテストデータ自動生成、およびソフトウェア実行テスト支援

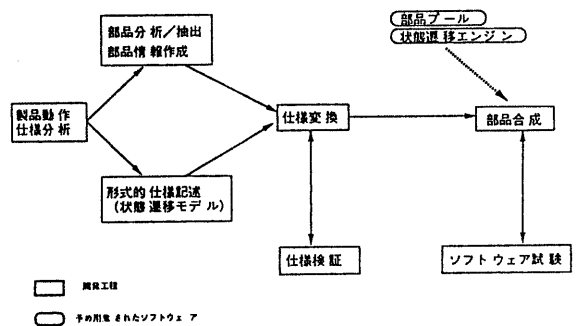


図2-1 開発支援モデル

4. 適用方法

4.1 製品動作仕様の分析および形式的仕様記述

1DSS-μ システムでは、製品の動作仕様を形式的仕様記述法を用いて表現する。1DSS-μ システムでは、形式的仕様記述を採用することにより、製品動作の明確な定義および動作のパッケージ化を図り、仕様の理解性を向上させることを目指している。通常、制御用ソフトウェアでは、システムに対する入力および出力によりその制御動作が決定される場合がほとんどであり、これらには状態遷移モデルを利用することが有効であると考えられている。しかしながら、通常の状態遷移モデルでは、その仕様記述能力に制約/限界があるため、1DSS-μ システムでは、仕様記述モデルとして、状態遷移モデルをベースに、以下の様な点を拡張した拡張状態遷移モデルの採用した。

- ・ 仕様記述のパッケージ化
- ・ 階層化
- ・ 階層をまたがる動作の継承

仕様のパッケージ化/階層化

仕様のパッケージ化とは、製品のもつそれぞれの機能を一つの単位として、一枚の状態図に対応させて記述するものである。一つの機能が、さらに下位の機能に展開される場合には、仕様を階層的に記述することができる。それぞれの状態図で記述された個々の機能は、他の状態図で記述された機能からサブルーチン的に利用される場合も想定され、仕様レベルでの引数の概念等を導入した。この仕様のパッケージ化/階層化を導入した記述は、仕様段階での構造化技法に相当する。

今回、対象とした電子レンジ制御用ソフトウェアは大別して次の3つの部分から構成される。

- メイン制御部 調理設定部、調理実行部を起動させるための制御
- 調理設定部 電子レンジの操作パネルからの調理モード、調理条件の設定に関する機能を実現する
- 調理実行部 設定された調理条件をもとに、インバータ、ヒータ等の制御を行う。

また、調理設定部をさらに詳細に分析すると、図4-1に示すように、レンジ設定、ゆでものの設定等のそれぞれの調理の設定に細分化して考えることができる。従って、この様な動作仕様については図4-2に示すように、階層概念を利用して、複数の状態遷移図によって仕様記述を行った。今回の適用対象では、表4-1に示すように、全体で27枚の状態図について、階層表現(最大4階層)を導入した。

第1階層	第2階層
設定メイン	レンジ設定、 オープン設定、 グリル発酵設定 あたため設定、 快速生解凍設定、 牛乳酒かん設定 ゆでものの設定、 煮る焼く設定、 蒸す炊く設定 菓子惣菜設定

図4-1 電子レンジ 調理設定部概要

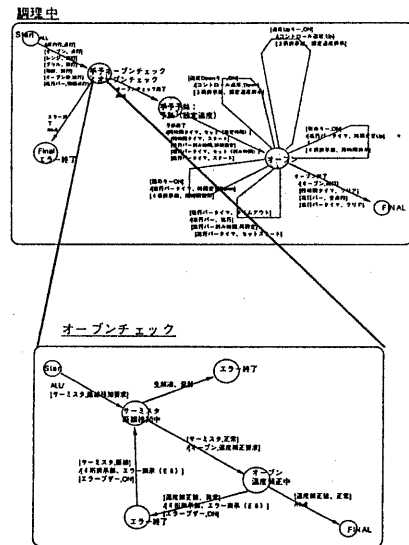


図4-2 動作仕様の階層記述例

表4-1 電子レンジ 制御用ソフトウェア構成

	構成状態関数	状態数	遷移数
メイン部	1	9	11
調理設定部	11	102	162
調理実行部	14	178	356
TOTAL	27	289	529

階層間の動作継承

このように、機能単位で状態図を分け、仕様をパッケージ化/階層化して表現する場合、複数の機能(状態図)に共通の動作は、基本的に該当する全ての状態図に記述する必要が生ずる。これは、仕様の理解性を著しく低下させるばかりではなく、合成を行う場合にも、同じ動作を行う部品を繰り返して合成する結果となり、効率面で問題が生ずる。このため、複数の機能(状態図)に共通した動作は、その上位に位置する機能概念(状態図)に記述しておくことで、その下位に展開される機能(状態図)全てにその動作が継承されるものとした。例えば、電子レンジ制御では、調理中にレンジのドアが開かれた場合には、どの様な状態であっても、必ず調理を一旦中断し、再度、ドアが閉められると調理を再開する処理を行う。このような場合、調理機能に関係する全ての状態図にこのような処理を記述すると煩雑になるばかりでなく、処理の抜け等を誘発する可能性がある。このため、調理に関して最上位に相当する状態図にこの処理を記述することにより、それ以下の調理に関する状態図には、その処理が全て反映されるように規定した。

この階層間の動作の継承により、仕様の理解性を高め、また、仕様情報の複雑化等の問題点を解決することが可能である。

4.2 部品分析

IDSS-μ システムが対象とする製品組み込み型マイコン・ソフトウェアは、製品サイクルが短く、小規模な製品仕様の変更が繰り返される場合が多い。このようなソフトウェアの開発では、より効率的な部品化/再利用がソフトウェア開発効率と品質向上の重要な要因となる。

IDSS-μ システムでは、状態遷移モデルに基づく形式的仕様記述の情報をもとに、予め用意された部品を合成・起動する。このため、IDSS-μ システムで使用するソフトウェア部品は、製品の動作仕様分析の段階から、仕様記述に着目して、イベント/アクション等に対応する以下の3種類の部品を抽出し、用意する。

イベント部品 動作仕様中に現れるイベントに相当するもので、イベントに相当する事象の発生等を検知する役割をもつ

アクション部品 動作仕様中のアクションに相当

するもので、制御対象となる媒体(ヒータ、インバータ、LED等)の制御信号等を発生させる。

サービス部品 イベント部品/アクション部品の起動に関して、時間的な制約が厳しいものについて、割り込み処理等を実現するための機能部品

部品抽出の観点

イベント/アクション部品は、次の点に注目して抽出を行う。

1. 対象製品を構成する制御媒体
2. 製品の制御動作に関係する制御対象データ

このような観点から抽出されたイベント/アクション部品は、対象製品の制御媒体および制御データに依存し、基本的に製品分野に特化したものとなる。即ち、電子レンジ用の部品、冷蔵庫用の部品といった形で分類される。このように製品分野毎に部品を抽出することで、同じ分野内の他機種への利用を促進することができ、部品の共通化が可能となる。

例えば、図4-3に示すように、電子レンジで使用されているインバータについて考えてみると、この制御媒体の動作に着目して、[停止]、[起動][起動値設定]等の部品を抽出することが可能となる。

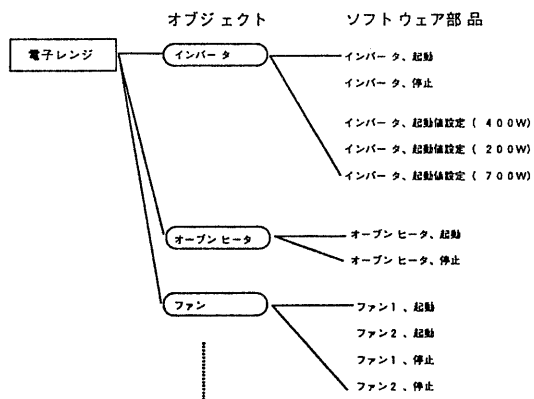


図4-3 電子レンジのオブジェクト機能部品例

オブジェクト指向を利用した部品定義

この制御媒体に着目した部品抽出の観点から、IDSS-μシステムでは、使用するイベント/アクション部品をオブジェクト機能部品の概念を採用して、体系的に定義する。

オブジェクト機能部品とは、一つの部品を〈オブジェクト〉に対する[メソッド(操作)]としてとらえるものである。この〈オブジェクト〉は、先に示した部品抽出の観点に相当する。例えば、図4-3のインパータの事例では、オブジェクトは〈インパータ〉であり、[起動値設定]、[起動]、[停止]等がそれぞれのメソッドに相当する。

また、共通性をもつ複数の〈オブジェクト〉については、クラス概念を導入する。例えば、電子レンジで使用されるタイマは、そのそれぞれがオブジェクトとして定義されるが、これらは“タイマ”クラスのインスタンスとして認識できる。

また、ある1つのオブジェクトに着目すると、それに関するメソッドには、使用順序等のルールを考えることができる。例えば、〈タイマ〉というオブジェクトを考えると、〈タイマ〉は[セット]した後はじめて[スタート]が可能となる部品使用のルールが存在する。

このようにして、オブジェクト指向に基づきイベント/アクション部品を体系的に定義していくことにより、部品合成の際に生ずる部品の誤使用を防ぐことを可能としている。

適用事例

今回の製品適用では、このようなオブジェクト機能部品の概念に従って、約30のクラス、約100のオブジェクトについて、100のメソッドを定義し部品を用意した。(図4-4)

4.3 状態遷移エンジン

IDSS-μシステムにおける部品合成は、先に示した製品動作の形式的仕様記述およびオブジェクト機能部品定義の情報をもとに、実際の部品をインタプリタ方式に合成する。この部品合成の中心となるのが、状態遷移エンジンである。

状態遷移エンジンは、図4-5に示すように、イベント検知部、アクション指示部、イベント部品部、アクション部品部、状態遷移制御部、状態遷移テーブルの6つのユニットから構成される。

1. イベント検知部/アクション指示部

対象製品に外界から与えられたイベント、また製品が行うアクションをモニタし、状態遷移制御部に情報伝達を行う。

2. イベント/アクション部品部

イベント/アクションに対応する制御用ソフトウェア部品をインストールする部品プール

3. 状態遷移テーブル

製品の動作仕様記述をトランスレータによって変換して得られる製品の制御動作を決定する状態遷移情報部

4. 状態遷移制御部

イベント検知部/アクション指示部からの製品の現状データと状態遷移テーブルに記述された制御情報をもとに、最適なイベント/アクション部品を選択してリンク、実行するインタプリタに相当する。

状態遷移エンジンの上記6つのユニットは連携して動作し、これにより制御用ソフトウェアがインタプリタ方式で実行される。

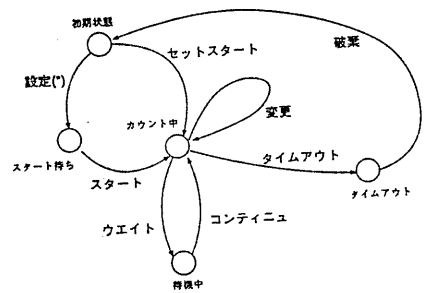


図4-4 部品の使用制約例

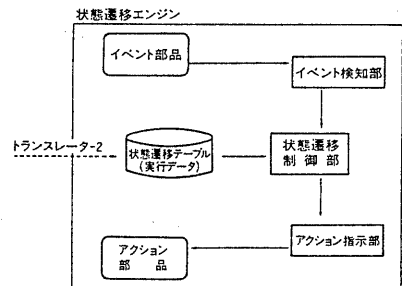


図4-5 状態遷移エンジン構成

5. 実適用結果および評価

5.1 形式的仕様記述に関する評価

既に述べたように、IDSS-μ システムでは、製品の動作仕様を形式的仕様記述法をもちいて記述・定義する。今回の製品適用では、最大4階層、27枚の状態図を用いて、製品の動作仕様定義を行った。この作業では、以下の事項が確認された。

- (1) このようにして記述された状態図は、ソフトウェア図面として、DR その他で利用することが可能である。
- (2) 状態図を利用した仕様記述は、製品動作の流れを具体的にイメージしやすく、仕様の理解性の観点から有効である。これにより仕様の誤解などによる誤りの発生を未然に防ぐ効果が確認された。

5.2 部品化/再利用に関する評価

今回の適用評価では、約100個のオブジェクト機能部品を使用した。このオブジェクト機能部品は、基本的に製品の制御媒体、制御データ等に関係するものをパッケージ化したため、部品のもつ機能がその範囲で閉じており、他の部品との関係などに影響を受けないため、非常に独立性の高いものとなった。このため、再利用についても、ここの部品の機能についてのみ検討すればよく、再利用性も非常に高くなっているものと判断させる。また、部品の情報については、オブジェクト/クラス/メソッド等の概念を導入して体系化したため、約100を越える部品についても、部品の選択が容易となり、誤使用等の問題を未然に防ぐ効果が確認された。

5.3 合成ソフトウェアに関する評価

今回のIDSS-μ システムの実製品への適用での合成ソフトウェアについては、以下のような点が明確になった。

ソフトウェア・サイズについて

合成したソフトウェア・サイズは、全体で約26 Kbytesの規模となった。今回の適用は、当社の電子レンジの制御用ソフトウェアを対象としており、従来の開発手法では約20 Kbytesのものである。従ってサイズ面では、本手法を採用することにより、約1.3倍程度アップすることになる。これは、本手法では形式的仕様記述をもとにソフトウェア部品を合成するため、

部品およびデータに若干の冗長性もたせた構造となっていることが原因と考えられる。

合成ソフトウェアの実行速度

IDSS-μ システムの部品合成は、動作仕様を逐次インタプリットして、ソフトウェア部品を合成/起動する方式であり、理論的に実行速度の低下が懸念される。しかしながら、今回の電子レンジに関する合成ソフトウェアについて見る限り、この実行速度の低下は、予想を遙かに下回るものであり、事実上、問題とならない程度のものであった。この理由としては、部品として時間制約の厳しいものについては、周期フロー内で起動するサービス部品を利用した効果が大きいためと考えられる。

5.4 作業工数についての評価

表5-1に今回の適用に要した工数比率を示す。この表を見ると、IDSS-μ システムを利用したソフトウェア開発では、仕様分析/仕様記述作業に関する工数が従来の開発方式に比べて増加することがわかる。また、同時に部品分析/部品作成に要する工数も増加することもわかる。一方、仕様変換および部品合成に要する工数は全体の極めて一部となる。今回の適用は、電子レンジ・ソフトウェアをターゲットとした最初であるため、仕様および部品の分析・作成に工数がかかったと考えられる。

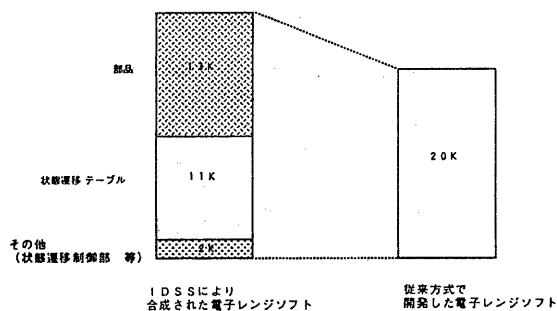


図5-1 合成ソフトサイズ

IDSS-μ システムでは、シリーズものへの適用を念頭においており、このような製品シリーズ間では、動作仕様および作成した部品の再利用がかなりの部分をしめると考えられる。従って、今回の適用でかなりの比率を占めていた仕様分析・作成、および部品分析・作成の作業は、次回以降の適用においては、かなり低減されると考えられる。

部品とも再利用するシリーズ製品の場合には、大幅な工数削減が期待できることが確認された。

IDSS-μ システムは、今回の適用対象である電子レンジ以外にも冷蔵庫制御用ソフトウェア等でも適用評価を進めており、同様に効果をあげている今後、さらに多くの製品への展開をはかり、本システムの効果を確認するとともに、システム自身の機能向上を目指していく予定である。

表 5-1 IDSS-μ システムを用いた場合の開発工数

作業内容	工数比率
仕様分析、仕様記述作業	31 %
部品分析、部品情報作成	31 %
仕様情報変換	4 %
部品作成	30 %
部品合成	4 %

6. 結言

本報告では、マイコン等に組み込まれる比較的小規模な制御用ソフトウェアの開発を一貫して支援する IDSS-μ システムについて、実際の製品開発に適用した事例を踏まえて、以下の事項について評価報告をおこなった。

- (1) 実際の適用対象として電子レンジの制御用ソフトウェアについて、その動作仕様を拡張状態遷移モデルをもちいて記述した
- (2) この動作仕様に関する情報をもとに、オブジェクト指向を応用した、ソフトウェア機能部品を分析・作成し、IDSS-μ システムにより、部品合成をおこなった
- (3) 合成されたソフトウェアは、サイズ面では従来の約1.3倍程度となるが、実行速度の低下は殆どみられず、性能面では十分に実用に供しうるものであることが確認された。
- (4) IDSS-μ システムを利用したソフトウェア開発では、仕様分析・作成、部品・分析作成に工数を要することが確認された。しかしながら、これらの作業は、仕様、

[参考文献]

- (1) 深谷 他 状態遷移モデルに基づく仕様検証の一考察、情報処理学会第43回全国大会
- (2) 岸 他 状態遷移モデルに基づくプログラム部品合成システムの開発、情報処理学会ソフトウェア工学研究会 Vol.91, No.66, 80-18 1991
- (3) 岡安 他 状態遷移仕様からのテストデータ生成方式、情報処理学会第42回全国大会
- (4) 加地 他 状態遷移をベースとした部品合成システムの試作、情報処理学会第38回全国大会
- (5) P.Coad and E.Yourdon, "Object-Oriented Analysis", Prentice-Hall, 1991
- (6) J.Rumbaugh and M.Blaha et.al, "Object-Oriented Modeling and Design", Prentice-Hall, 1991