

電子レンジ制御プログラム開発支援システム
の開発

奥 都茂夫*、平石 輝彦**、堀井 誠司*、村瀬 薫*

*松下電器産業(株) 情報システム研究所

**松下住設機器(株)

電子レンジ制御プログラムを対象とした部品合成法による開発支援システムを開発したので、報告する。本システムは、部品データベースにある既存のソフトウェア部品を再利用して、製品仕様情報をもとに部品合成をおこない、部品合成の結果生じた冗長なプログラムコードを縮小化後、1チップ上で動作する電子レンジ制御プログラムを、自動生成するものである。

本稿では、電子レンジ制御プログラムの部品化方式、複数機種対応プログラム(1つのプログラムで複数機種の動作を実現)の自動生成方式、縮小化ルールベースを用いたプログラムサイズ縮小化方式を中心に報告をおこなう。

本システムを使用することにより、従来のソフトウェア開発の3~10倍の効率向上を可能とした。

A software development support system for microwave oven
control programs

Tomoo Oku*, Teruhiko Hiraishi**, Seiji Horii*, Kaoru Murase*

*Information Systems Laboratory, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd

**Matsushita Housing Products Co., Ltd

*3-15 Yakumonakamachi, Moriguchi, Osaka 570, Japan

**800 Tsutsui-cho, Yamatokoriyama, Nara 639-11, Japan

Using reusable software components and program size reduction rules, we have developed a software development support system which generates microwave oven control programs executable on one-chip micro-computer based on the specification of the microwave oven.

In this report, we present the detail in the techniques of software reusability, automatic program generation for multi-models and program size reduction method.

With this system, we have obtained three to ten times in software development efficiency compared to conventional method.

1. はじめに

ソフトウェアの生産性向上、品質向上のため、ソフトウェア部品の再利用技術は、最も実際の効果が大きいアプローチの1つである。

部品再利用によるソフトウェア開発効率向上への取り組みは、数多く報告されているが^{[1]~[6]}、1チップマイコン用ソフトウェアをターゲットとしたものは、ほとんどないといってよい。

ところが、ユーザーニーズの多様化、商品の短サイクル化から、家電機器等に搭載される制御ソフトウェアに対する変更仕様要求は、今後、ますます増大してくると考えられ、これらのユーザー変更仕様要求に対処しうる開発支援システムへの要望は、非常に強いものがある。

筆者らは、電子レンジ制御プログラムを対象とした部品合成法による開発支援システムを開発した。

本システムは、部品データベースにある既存のソフトウェア部品を再利用して、製品仕様情報をもとに部品合成をおこない、部品合成の結果生じた冗長なプログラムコードを縮小化後、1チップ上で動作する電子レンジ制御プログラムを自動生成するものである。

本稿では、まず本システムの基本方針について述べたあと、電子レンジ制御プログラムの部品化、開発支援システムの概要について述べ、さらに、本システム実用化のために不可欠な技術であった複数機種対応プログラム（1つのプログラムで複数機種の動作を実現）の自動生成方式、プログラムサイズ縮小化方式について述べる。

2. 基本方針

本システムの開発にあたり、以下の基本方針を設定し、システム開発の目標とした。

- (1) 電子レンジに関する製品仕様変更要求を入力すれば、既存のソフトウェア部品、製品仕様情報を再利用して、該当機種の実装プログラムを自動生成する。
- (2) 複数機種の製品仕様を入力するだけで、機種判別用の分岐命令が自動生成され、複数機種対応プログラム（1つのプログラム上で複数機種の動作を実現）が自動生成される。
- (3) 部品合成によって生ずる冗長性を除去し、合成されたプログラムサイズは、人手により作成されたものと同程度とする。

3. 電子レンジ制御プログラム

3.1 モデル化

電子レンジ制御プログラムの動作には、次のような特徴がある。

- (1) 複数個の内部状態を保持し、これらの状態間の遷移は、事象発生によって引き起こされる。

- (2) 事象には、外部事象（キー入力、トラブル発生）と内部事象（タイマ・アップ）があり、電子レンジ制御プログラムの基本動作は、これらの事象監視とその処理に分けることができる。

上記(1)~(2)は、電子レンジ制御プログラムの動作モデルとして、状態遷移モデルが最適であることを示している。

図3-1に、状態遷移図の例を示す。

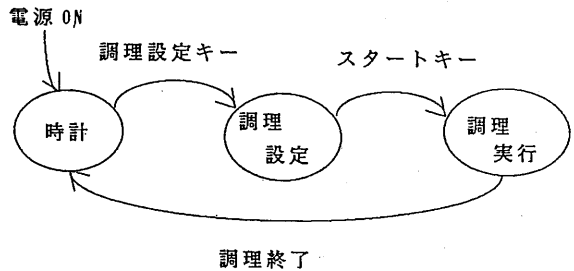
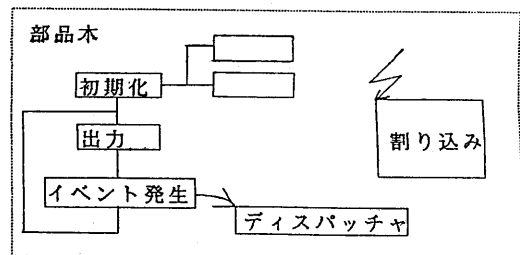


図3-1 状態遷移図の例

3.2 部品化

本システムでは、上記モデルに従い、部品化をおこない、再利用の単位とした。

図3-2に、本システムの部品体系図を示す。



状態遷移表現

状態	s 1		s 2		s n	
事象	e 1	e 2				
e 1						
e 2						

図3-2 部品体系図

図3-2において、状態遷移表の1つの枠、部品木における1つのノードが部品であり、再利用の単位である。

4 システム概要

4.1 システム構成

図4-1に、本システムのシステム構成図を示す。
システムは、4つの処理部と3つのデータベースより構成されている。

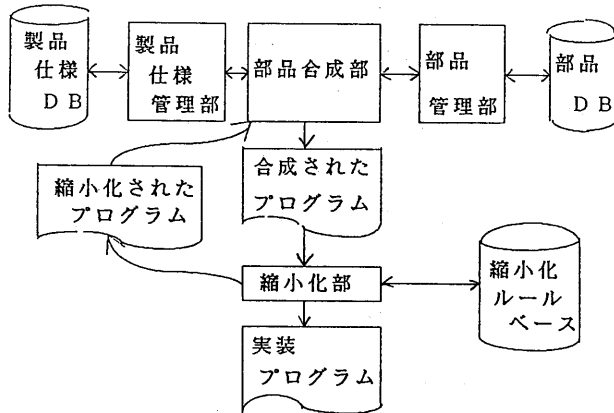


図4-1 システム構成図

(1) 製品仕様データベース

製品仕様データベースは、以下の4種類のファイルより、構成される。

- ・ベースファイル
ユーザが仕様項目・仕様階層の定義をおこなうファイル。
- ・DD/D
各機種ごとの仕様項目の定義が、おこなわれているファイル。
- ・製品仕様データファイル
ユーザが各機種ごとに、仕様項目のデータ値を入力したファイル。
- ・機種データファイル
機種ごとの仕様値が、構造化されて格納されたファイル。

(2) 部品データベース

部品データベースは、部品管理テーブルと部品とから構成される。部品管理テーブルは、機種ごとの部品とそのファイル名との対応テーブルであり、部品データベース生成ツールより、部品の登録がおこなわれる。

(3) 縮小化ルールベース

縮小化のルールが、プログラムシヨルールの形 (if-thenの形) で記述されたファイルである。縮小化部は、部品合成された結果に対して、この縮小化ルールを適用し、プログラムサイズ縮小化を図っている。

(4) 製品仕様管理部

製品仕様データベースの管理、アクセス手段を提供する。

(5) 部品管理部

機種ごとの部品の管理、および部品データベースへのアクセス手段を提供する。

(6) 部品合成部

部品データベースよりとりこまれた部品の合成ルールに従い、部品合成をおこなう。

(7) 縮小化部

部品合成された結果に対して、縮小化ルールを適用し、冗長なプログラムコードを縮小化後、実装プログラムを生成する。

4.2 部品記述

部品は、部品ヘッダと部品本体とから構成される。

(1) 部品ヘッダ

合成時における部品の変更形態には、

- 1) 部品内の処理の流れを変えるもの (整形処理)
 - 2) 部品内のパラメータ値を変えるもの (整合処理)
- の2つがある。

部品合成法として、部品合成時に適用する上記合成ルールをシステムで一元管理し、部品合成するアプローチもあるが、電子レンジ制御プログラムのように、機種ごとに、処理の流れ、パラメータ値が異なるようなプログラムでは、システムで全部品の合成ルールを一元管理すると、部品内処理変更の際、システムの管理情報をも変更しなければならない。

部品の合成形態は部品独自のものであるという観点から、本システムでは、部品のカスタマイズ方法は、その部品だけが保持し、機種により異なる製品仕様情報は、製品仕様データベースで管理するというアプローチをとった。

図4-2に、部品ヘッダの例を示す。

(2) 部品本体

部品本体は、ブロック番号とプログラムコードにより構成される。

整形ルールの適用により、部品本体の該当ブロック番号をもつ一行は、カスタマイズ時に削除される。

図4-3に、部品本体の例を示す。

図4-3の整形ルールが成立した場合、すなわち、温度調整がない場合、部品本体のブロック番号 [2] の部分が削除される。

また、整合パラメータ `oscnt1` の値が、5であった場合には、部品本体のプログラムコードに、5という値が埋めこまれる。

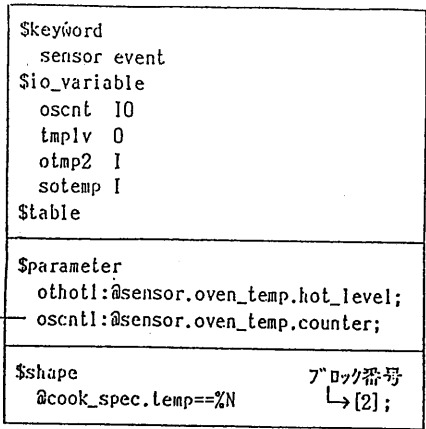
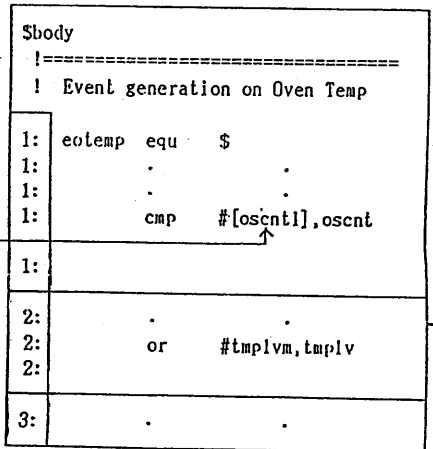


図4-2 部品ヘッダの例



ブロック番号 プログラムコード

図4-3 部品本体の例

4.3 基本的な部品合成の流れ

本システムでは、機種により異なる仕様（製品仕様）は、製品仕様データベースで一元管理している。

部品合成処理は、部品の取り込み処理と、部品のカスタマイズ処理とに分けることができるが、以下に述べるように、本システムでは、部品の取り込み順序も部品のカスタマイズも製品仕様情報により、決定される。

(1) 部品の取り込み順序の決定

本システムでは、図4-4に示すように、ユーザが入力した製品仕様情報をもとに、該当機種の部品木と状態遷移表を生成する。

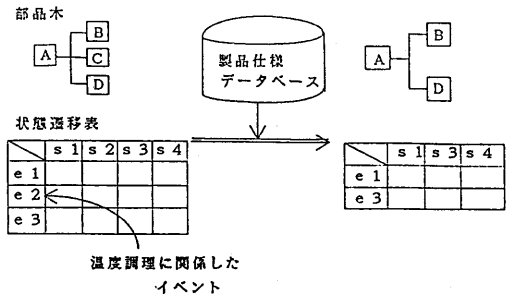


図4-4 製品仕様情報による部品木および状態遷移表の作成

たとえば、図4-4において、温度調理がない場合、事象e₂と、状態s₂が削除される。

製品仕様情報により、該当機種用に作成された部品木と状態遷移表に対して、以下の手順で部品の取り込みをおこなう。

- 1) 部品木に対しては、深さ優先で、部品データベースより部品を取り込む。
- 2) 状態遷移表に対しては、状態遷移表の事象の行に対応した部品から、順に取り込んでいく。

(2) 部品のカスタマイズの流れ

部品カスタマイズ時には、取り込まれた部品のヘッダにあるカスタマイズルールに対して、製品仕様情報を問い合わせることにより、部品カスタマイズをおこなう。

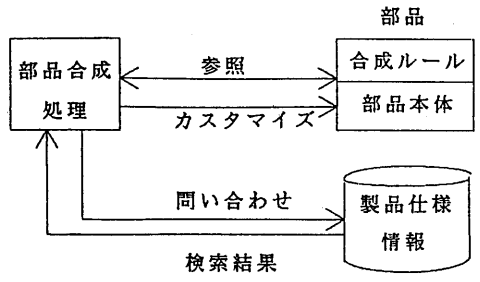


図4-5 部品カスタマイズ処理

以下、図4-6に示す例に沿って、部品カスタマイズの流れを説明する。

1) 部品の取り込み

部品合成部は、部品管理部に対して、部品名を与え、部品の取り込み要求を出す。

部品管理部では、対応する部品を部品データベースにアクセスして取り出す。

2) 部品の整形

部品合成部は、仕様管理部に対して、該当機種に温度プローブが実装されているかどうかを問いあわせる。

該当機種に温度プローブが実装されていなければ、部品の整形をおこなう。(図4-6の処理A, Bは削除される。)

3) 部品の整合

部品合成部は、仕様管理部に対して、重量のMAX値を問いあわせる。

重量のMAX値が5であった場合、パラメータに5を代入する。(整合処理)

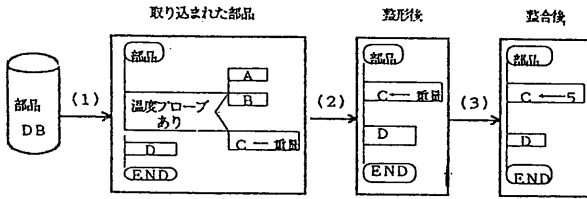


図4-6 部品カスタマイズの流れ

5 複数機種対応プログラム自動生成方式

電子レンジ制御プログラムは、ユーザーズの多様化から、多機能、多品種化の傾向を示しており、複数の機種の動作を1つのプログラム上で実現するという、複数機種対応のプログラムが求められている。

また、価格競争からも、限定されたプログラムサイズの中のできるだけ多くの機種を含めたい、という要望が非常に強い。

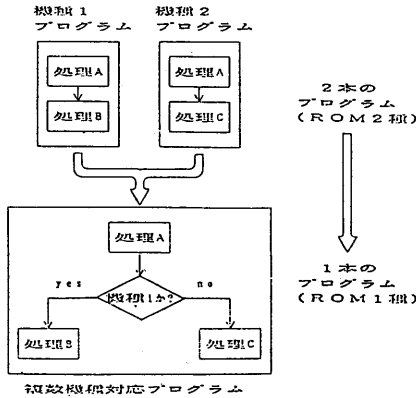


図5-1 複数機種対応プログラム

本システムでは、機種毎の製品仕様入力だけで、機種判別用の分岐命令を自動生成・挿入し、複数機種対応プログラムの自動生成を実現している。

5.1 基本的な処理の流れ

図5-2に、単一機種の場合のカスタマイズの流れを、図5-3に、複数機種の場合の流れを示す。

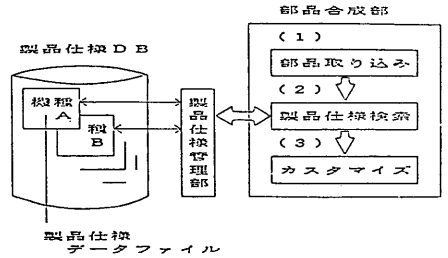


図5-2 単一機種の場合のカスタマイズの流れ

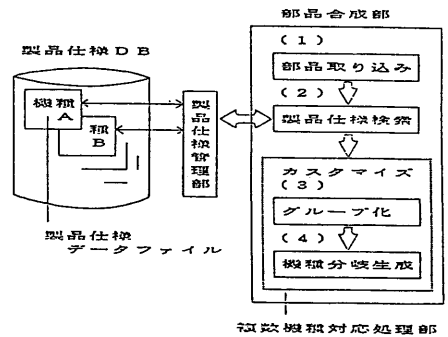


図5-3 複数機種の場合のカスタマイズの流れ

図5-3に示すように、単一機種の場合のカスタマイズが、複数機種になると、そのカスタマイズ処理にグループ化と機種分岐処理が必要となる。

5.2 機種判別用分岐命令の自動生成方法

機種による相異は、次の3点で表現できる。

- ・機能の有無
- ・データ値の違い
- ・テーブル要素値の違い

以下、本稿では、機能の有無、データ値の違いの場合について 簡単な例を用いて、プログラム生成手順の説明を行なう。

(1) 機能の有無

機種によってその機能を有するか否かでグループ化し、機種判別用の分岐命令を自動生成する。

例えば、機種A~Dに対して製品仕様を検索した結果、図5-4のような機能の有無がある場合を考える。

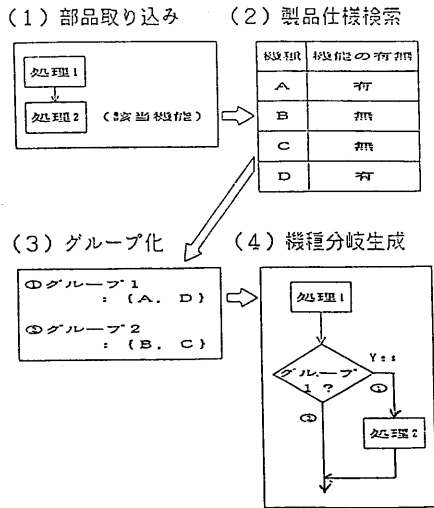


図5-4 機能の有無

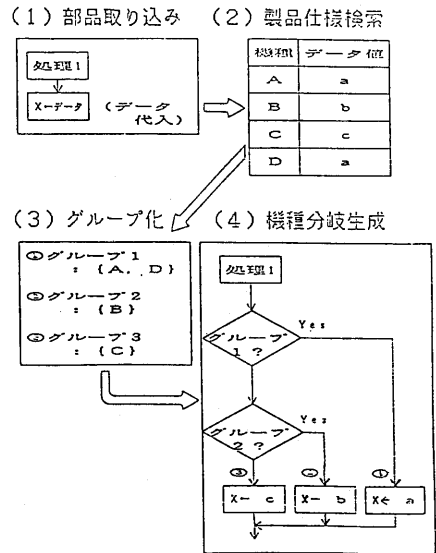


図5-5 データ値の違い

1) グループ化

機能(処理2)を有する機種AとDをグループ1に、それ以外の機種BとCをグループ2に割り当てる。

2) 機種分岐生成

グループ1に属する機種AかDを判別する分岐命令を生成し、処理2の前に挿入する。

(2) データ値の違い

機種によってその取り扱うデータの値でグループ化し、機種判別用の分岐命令を自動生成する。

例えば、機種A～Dに対して製品仕様を問い合わせた結果、図5-5のようなデータ値が得られた場合も考える。

1) グループ化

データ値が、aである機種AとDをグループ1に、bである機種Bをグループ2に、cである機種Cをグループ3に割り当てる。

2) 機種分岐生成

グループ1を判別する分岐命令と、グループ2を判別する分岐命令、およびデータを扱う処理命令を生成し、3ヶ所に分けて挿入する。

6 プログラム縮小化方式

部品合成法によるプログラム自動生成システムにおいては、部品の再利用性・記述性などから、生成されたプログラムには、冗長性が生ずる場合が多い。

ところが、1チップマイコンのようなメモリに余裕のない機器制御プログラムでは、この問題を解決しないことには、実用化は困難である。

本章では、筆者らが本システムにおいて用いたプログラム縮小化方式について述べる。

6.1 本プログラム縮小化方式の特長

6.1.1 縮小化のフェーズ分け

部品合成によって生じる冗長性は部品単体の冗長性、複数部品間にまたがる冗長性、合成プログラム全体の3種に分類できる。

そこで、本システムでは縮小化を、そのレベルにより以下の3つのフェーズに分割して、合成、縮小を繰り返す方式を採用した。

(1) 部品レベルの縮小化

- ・各部品単体で処理の共有化、分岐の削除等により縮小をおこなう。
- ・本レベルでの縮小化は部品合成部において各部品の合成処理が完了したあとに実行される。

図6-1に、部品レベルの縮小化の例を示す。

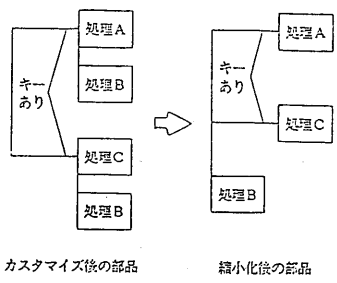


図6-1 部品レベルの縮小化の例

(2) 複数部品レベルの縮小化

- ・複数部品間にまたがる共通部分の共有化をおこなう。

図6-2に複数部品レベルの縮小化の例を示す。

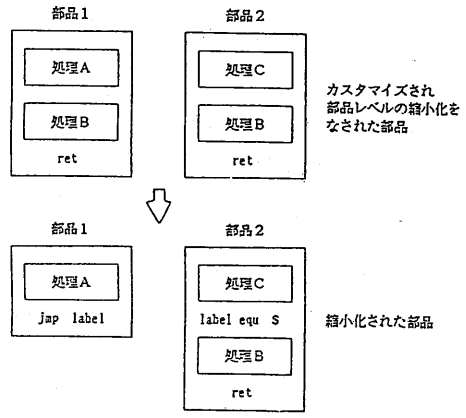


図6-2 複数部品レベルの縮小化

(3) 合成プログラムレベルの縮小化

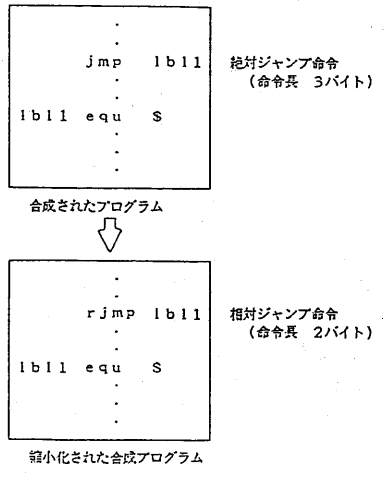


図6-3 合成プログラムレベルの縮小化

- ・合成プログラム単位で、絶対ジャンプ命令を相対ジャンプ命令に変換する等の処理をおこなう。
- ・本レベルの縮小化は合成プログラムが生成されたあとで実行される。

6. 1. 2 縮小化ルールベースの利用

本システムでは、縮小化のパターンをプロダクションルールの形 (if ~ thenの形) で記述し、ルールベース化している。このため、新たに縮小化したいパターンが生じた時は、このパターンをルールベースに登録するだけで、縮小化が可能となる。

縮小化ルールのifブロックにはマッチングすべきパターンと特殊条件を論理演算子で結合して記述する。

thenブロックには置換パターンと特殊処理を記述する。

マッチング処理、特殊条件、特殊処理は関数呼び出しの形式で記述し、それぞれ専用の関数を用意することによって実現する。

図6-4に、縮小化ルールの例を示す

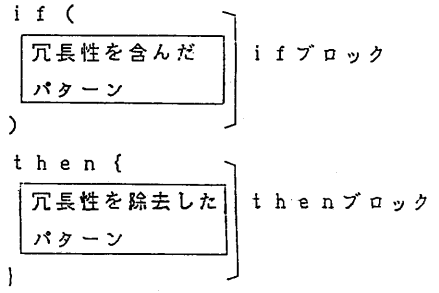


図6-4 縮小化ルールの例

6. 1. 3 縮小化部の構成

本システムの縮小化部の構成を、図6-6に示す。

- 1) ソースコード解析部
 - 部品合成部より受け取った部品のソースコードを解析し、パターンコード (命令パターンを表わすコード) 変換し、同時に記号表 (ラベル変数等のシンボルの一覧表) を作成する。
- 2) パターンマッチング部
 - ソースコード解析部で作成されたパターンコードと縮小化ルールのパターンのマッチングをおこなう。
- 3) 縮小化実行部
 - 縮小化ルールに基づいてパターンコードの置き換えをおこなう。
- 4) ソースコード復元部
 - 置換され縮小化されたパターンコードを、ソースコード解析部で作成された記号表をもとに、ソースコードに復元する。

5) 縮小化ルールベース

縮小化のパターンをプロダクションルールの形で記述したファイル。

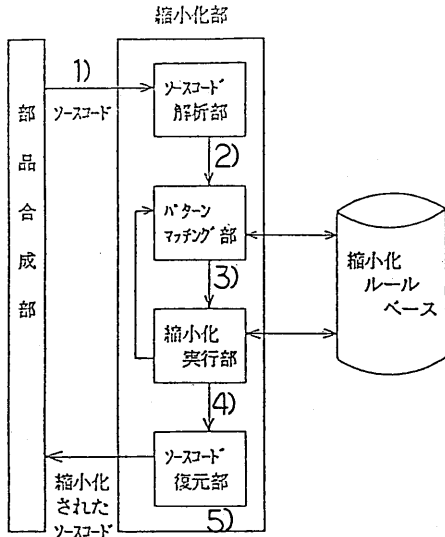


図6-6 縮小化部の構成

6. 1. 4 基本的な縮小化処理の例

以下、図6-6に示す例にそって、基本的な縮小化処理の流れを説明する。

- 1) 部品合成部からソースコードを受け取る。
- 2) ソースコードを解析し、パターンコードと記号表を作成する。
- 3) パターンコードと縮小化ルール(図6-5)のifブロックのパターンを比較する。
- 4) 3)でパターンが一致すれば、縮小化ルール(図6-5)のthenブロックのパターンに置き換え、縮小化されたパターンコードを作成する。
- 5) 縮小化されたパターンコードを記号表をもとに復元し、縮小化されたソースコードを作成する。

7. 評価

本システムの評価を行なうため、約150の部品から、40機種の電子レンジ制御プログラムを試作した。評価結果を以下に示す。

7. 1 開発工数

- 1) 既存部品の機能を再利用するだけで、新機種への対応が可能な場合 約 1/10
- 2) 新規機能に対応して部品追加を必要とする場合 約 1/3

7. 2 生成プログラムサイズ

表7-1に、本システムにより、生成したプログラムサイズ一覧表を示す。

表7-1 電子レンジプログラムサイズ一覧表

機種名	プログラムサイズ (バイト)		
	縮小前	縮小後	縮小率
A機種	4727	4077	13.8%
Bシリーズ7機種	4537	4079	10.1%
Cシリーズ2機種	4231	3787	10.5%
D機種	3201	2765	13.6%
Eシリーズ5機種	4456	3972	10.9%
Fシリーズ2機種	4105	3616	11.9%

縮小化ルール 約30で、10~15%のプログラムサイズ縮小化を実現し、本システムの実用化を可能とした。

8. おわりに

以上、筆者らが開発した電子レンジ制御プログラム開発支援システムについて述べた。

今後、マンマシンインタフェースの改良、部品化手法の徹底により、本システムの実用化が推進され、開発工数の大幅な短縮を可能とするものと考えられる。

最後に、本システム開発にあたり、有益な後助言・後協力をいただいた松下住設機器(株)クッキング機器(株)の諸氏に深謝いたします。

参考文献

- [1] 原田 実：“部品合成によるプログラム自動生成システムARIES/I”
情報処理学会 論文誌, vol. 27, No. 4, pp. 417-424(1986)
- [2] 木村 正男：“通信プログラムにおける部品化プログラミング方式”
情報処理学会 論文誌 vol. 25, No. 6, pp. 1064-1071(1984)
- [3] 垂水 浩幸：“オブジェクト指向プログラムのためのクラス検索システム”
情報処理学会 論文誌 vol. 29, No. 3, pp. 262-272(1988)
- [4] 古宮 誠一：“部品合成によるプログラム自動生成システムPAPS”
信学技報 SS87-2, pp. 5-12(1987)
- [5] 内平 直志：“MENDELにおける並列プログラムの部品結合”
情報処理学会 ソフトウェア工学研究会46-8, pp. 57-64(1986)
- [6] 古宮 誠一：“部品合成による自動プログラミング”
情報処理 vol. 28, No. 10, pp. 1329-1345(1987)