

エアコンにおけるファームウェア設計プロセスの改革

Innovation of Firmware Design Process for Air Conditioners

小泉 哲弥 神戸 崇幸 秋山 和彦

■ KOIZUMI Tetsuya ■ KAMBE Takayuki ■ AKIYAMA Kazuhiko

エアコンにおいては、基本機能である冷暖房の省エネ化に加え、フィルタ自動掃除機能や空気清浄機能の搭載など高付加価値化の要求が高まっている。また、搭載されるファームウェアに対しても、多様な機能を実現するため仕様の複雑化が加速するなか、品質向上と短納期開発という二律背反する要求の両立が求められている。

東芝キャリア(株)は、エアコン用ファームウェアに適合した開発プロセス改革に取り組んでおり、開発時間の多くを占めるテスト工程を見直し、フロントローディングを実現するため、ファームウェア シミュレータの開発を推進している。

Residential air conditioners are increasingly required to have value-added functions such as automatic air filter cleaning and air purification in addition to energy-saving performance in basic cooling and heating operations. In this situation, the improvement of product quality and shortening of the overall development time are also necessary for the firmware installed in air conditioners.

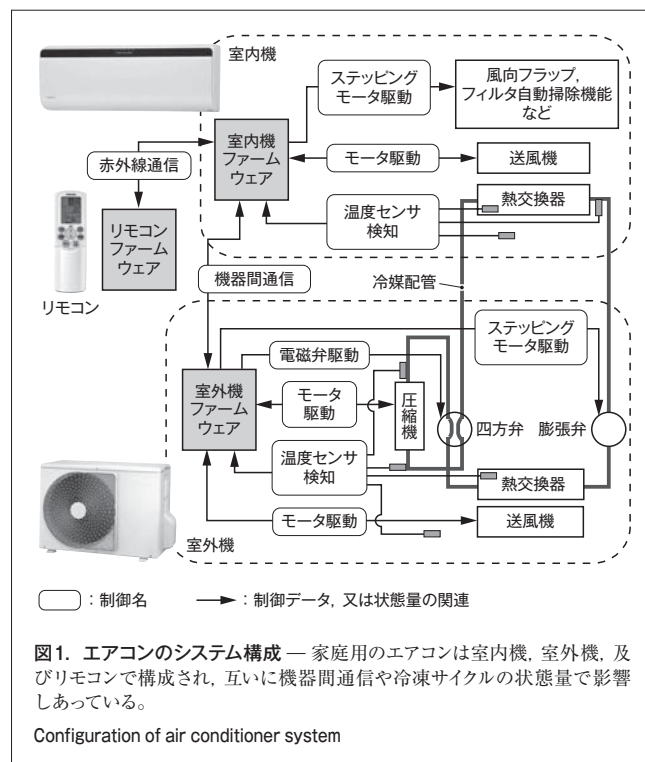
Toshiba Carrier Corporation is promoting innovation of the firmware design process for air conditioners. We have focused on the test process, which accounts for the major part of the development process, and have been developing a firmware simulator. This will realize front-loading of the firmware test process for air conditioners.

1 まえがき

組み込みソフトウェアの分野では、システムにおけるソフトウェアの占める割合が大きくなっており、仕様の多様化と複雑化により、開発規模が加速的に増大している。東芝キャリア(株)のエアコン用ファームウェアも例外ではなく、省エネ化を実現するための温度制御やモータ制御の複雑化に加え、フィルタ自動掃除機能や空気清浄機能の搭載といった高付加価値化に伴い、10年前と比較して、開発規模は10倍以上に急増している。

このような背景のもと、当社は、品質向上と短納期開発という二律背反する要求を両立させるため、東芝グループ全体で推進しているSPI (Software Process Improvement) のフレームワークに基づいたプロセス改善活動⁽¹⁾を実践してきた。

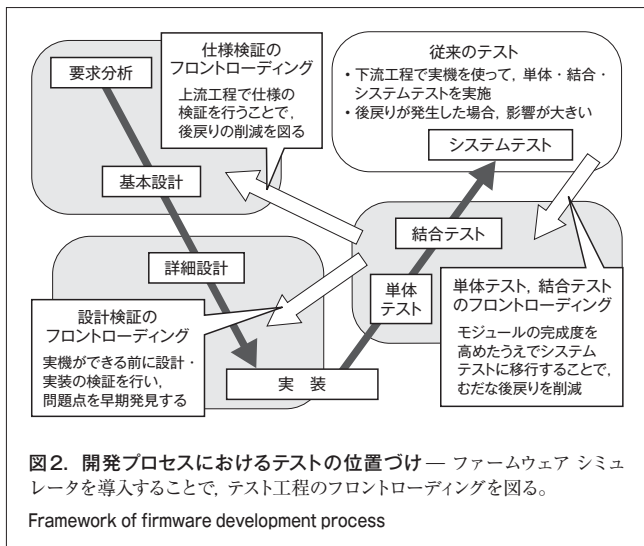
特にテスト工程は、従来はハードウェアの制約により下流工程でのシステムテストを中心に実施していたため、開発プロセスの多くの時間を費やしていた。このテスト工程を上流工程へフロントローディングし、品質の向上、後戻り工数の削減を実現するため、エアコン用ファームウェア シミュレータの開発・導入を積極的に推進してきた。



2 エアコン用ファームウェアのテストの特徴

エアコンでは図1に示すように、圧縮機などの機構システム、冷凍サイクルを中心とした熱流体システム、リモコンなどのヒューマンインタフェース、そしてそれらを制御するファームウェア

が高度に統合化されている。これらを高品質の製品として提供するためには、開発プロセスの最終工程であるシステムテストの役割が重要である。しかしながらエアコンの制御では、圧縮機をはじめとするハードウェアの動作と、室内温度や外気温度などの状態量及びその時間変化とが、互いに密接に影響



しあう。そのため、テスト条件の絞込みが難しく、従来の開発プロセスでは多くの時間をこのシステムテストに費やしていた。

このシステムテストの内容を分析したところ、開発中の不具合の約40%は単体テストや結合テストで抽出できる内容であること、及びその検証のために実機でのシステムテストを繰り返すという後戻り作業が多いことがわかった。

従来のテストが実機を用いたシステムテストに大きく依存していた要因として、テスト環境の問題が挙げられる。これまでは、エミュレータと制御基板、圧縮機やモータなどのハードウェアを利用してテスト環境を構築していたが、次のような問題点があった。

- (1) 制御基板などのハードウェアが完成していないと、テストができない
- (2) テストをするたびに、周辺ハードウェアの条件設定が必要である
- (3) ファームウェアの実行中断やステップ実行時に、周辺ハードウェアとの同期がとれない
- (4) 実機ハードウェアを用いたテストでは外部環境を再現することが難しく、同一条件のテストを繰り返すことが困難である

これらの問題を解決するためには、実機ハードウェアに依存しないテスト環境として、ファームウェアシミュレータを導入するのが有効であると考えた。これにより図2に示すように、単体テストと結合テストの工程をフロントローディングするとともに、仕様の妥当性も実機ハードウェアができる前に検証できるようになる。次章以降では、当社で開発したエアコン用ファームウェアシミュレータの概要と、その活用について述べる。

3 ファームウェアシミュレータの開発

3.1 プラットフォームの選定

ファームウェアシミュレータに対する要求仕様を以下に示す。

- (1) 外部環境との協調性 プログラム実行の一時停止や再開をする場合に、周辺ハードウェアや機器間通信などの入出力のタイミングも同期する。
- (2) 製品への非依存性 開発プロセスの上流工程でのテストでは、実機がなくてもテストができる。
- (3) シミュレータ環境への移植性 製品に搭載するファームウェアのテストを目的とするため、シミュレータのためのプログラム変更は最小限とする。
- (4) マイコンの移植性 製品に使用するMCU (Micro Controller Unit) のシリーズやメーカーを変更しても、シミュレータ環境は小変更で対応できる構成とする。
- (5) カスタマイズの容易性 プログラマーやテスト担当者が、エアコンの機能やハードウェアに合わせてカスタマイズできる構成とする。

表1に示すシミュレータ案において、メーカー純正ツールに依存しない案2のほうが、前記のマイコンの移植性やカスタマイズの容易性の面で優れている。コンパイラがメーカー純正のものとは異なるというデメリットがあるが、ファームウェアシミュレータを単体テストや仕様検証に適用する際には問題とならないため、案2の方法を選択した。

3.2 変換スクリプトの開発

エアコン用ファームウェアは、ほとんどの場合ワンチップマイコン上で動作する。そのため、限られたメモリ空間や入出力

表1. ファームウェアシミュレータの構成案

Trade-off of firmware simulator platforms

項目	開発プラットフォーム		メリット	デメリット
	コンパイラ	プログラム実行		
従来のテスト	メーカー純正コンパイラ	メーカー純正エミュレータ	<ul style="list-style-type: none"> 入出力波形、タイミング確認をすることができる 製品と同じMCU命令でテストできる 	<ul style="list-style-type: none"> 製品が必要である プログラムの中断時、周辺機器と同期がとれない テストパターンの再利用が難しい
シミュレータ案1	メーカー純正コンパイラ	命令セットシミュレータ (メーカー純正, サードパーティ)	<ul style="list-style-type: none"> パソコンだけでテストができる 製品と同じMCU命令でテストできる 製品用ファームウェアをそのまま使用できる 	<ul style="list-style-type: none"> 導入コストが高く、カスタマイズが難しい ツールの有無、機能がメーカーに依存する 波形などのハードウェアに依存する検証はできない
シミュレータ案2 (採用)	パソコン上のC言語統合開発環境		<ul style="list-style-type: none"> パソコンだけでテストができる テスト環境を柔軟にカスタマイズできる メーカー純正ツールに依存しないため移植性に優れる 	<ul style="list-style-type: none"> 生成される命令が統合環境のコンパイラに依存する 波形などのハードウェアに依存する検証はできない

ポートなど周辺機能の有効活用を目的として、ビット操作命令やデバイス命令、レジスタや入出力ポートなどのペリフェラル操作、及びC言語に埋め込まれたアセンブラ言語など、ワンチップマイコン固有の命令を多用している。パソコン上のC言語統合開発環境でコンパイルするためには、プラットフォームの相違を解消する必要があり、表2に示す内容について、製品用に開発したファームウェアを自動変換するスクリプトを開発した。

このスクリプトを適用することで、手作業では1週間以上かかる変換作業が、1時間以内で容易にパソコン上のC言語統合環境に移行できるようになった。

表2. スクリプトによるファームウェア変換処理
Conversion script for air conditioner firmware

項目	変換処理
周辺入出力レジスタ	パソコン上で仮想エリアを定義
内蔵メモリ	
ビット指定演算	マクロ処理へ置換
インラインアセンブラ命令	ダミー関数へ置換
アドレスジャンプ命令	
周期割込み関数処理	メイン関数との並列処理化

3.3 周辺ハードウェアのスタブ化

スクリプトによる変換処理を行うことで、製品用のファームウェアをパソコン上のC言語統合開発環境でコンパイルし、プログラムとして実行できるようになる。しかし、エアコン制御のテストをするためにはこれだけではまだ不十分であり、外部機器との入出力信号や、ハードウェアへの出力に対するフィードバック信号といった、周辺ハードウェアの機能を代用するためのスタブと呼ばれるプログラムの開発が必要であった。

当社は、次に示すように、周辺ハードウェアの機能に対してスタブ関数を準備することで、パソコン上のC言語統合開発環境でのエアコン用ファームウェアのテストを実現した。

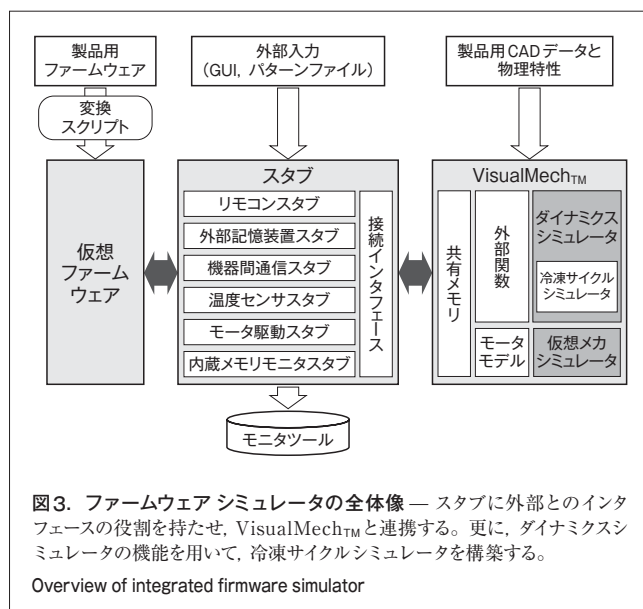
- (1) 外部記憶装置へのアクセス 製品で使用する制御データファイルを読み込み、内蔵メモリに展開する機能
- (2) リモコン通信 運転停止、温度設定などの受信信号に相当するデータを作成し、内蔵メモリに展開する機能
- (3) 機器間通信 室内・室外機間の通信信号に相当するデータを作成し、内蔵メモリに展開する機能
- (4) モータ駆動 圧縮機、送風機、換気機能などに用いられるモータの駆動信号から、回転数情報を含んだ応答信号を生成し、内蔵メモリに展開する機能
- (5) 状態入力 温度センサやスイッチ設定の値を作成し、内蔵メモリに展開する機能
- (6) 内蔵メモリモニタ出力 製品テストで使用している内蔵メモリモニタツールを、シミュレータでも使用するため

の機能

スタブ関数からの出力データは、自動テストなど既定のシーケンスに従う場合と、任意のタイミングで手動変化させたい場合とが想定される。前者に対しては、あらかじめ作成したシーケンスパターンファイルに従う機能を、後者に対しては、GUI (Graphical User Interface) によってテストしながら自由に操作できる機能をそれぞれ搭載した。また、システムテストではすべてのスタブが連動する必要があるため、シーケンスパターンファイルは同一の時間軸上で記述できるようにした。

3.4 外部シミュレータとの連携

前述のスタブ関数を活用しテストパターンを作成することで、実機を用いない単体テストや結合テストができるようになった。更に、図3のように、スタブを外部とのインタフェースとして機能させることで、仮想メカシミュレータVisualMech™と連携し、フィルタ自動掃除機能のような機械(メカ)の動作をシミュレーションすることもできる。



また当社は、ファームウェアシミュレータの開発と並行し、VisualMech™の構成要素であるダイナミクスシミュレータ⁽²⁾を応用して、ファームウェア検証用の冷凍サイクルシミュレータも開発している。エアコンの冷凍サイクルそのものの精度を追求するのではなく、ファームウェア検証用に特化しモデルを簡略化して開発することで、冷房運転や暖房運転など一連のシーケンス動作の検証が実用的な速度でできるようにする。

4 シミュレータの効果と活用計画

既に、当社ではこのファームウェアシミュレータの活用を開始しており、単体テストツールとして当社の開発プロセスに適合できることを確認した。また、結合テストやシステムテストにつ



いては、家庭用エアコンのモデルの構築が完了し、図4に示すように、実機では困難な動作の検証など、徐々に効果を発揮し始めている。

冷凍サイクルシミュレータについても、ファームウェアシミュレータと連携させた場合の効果を検証し、テスト時間の短縮（実機の約13倍の速度でシミュレーション可能）や、テスト網羅率の向上（代表的なモジュールで、従来のテストに対して20%向上）という結果を得ており、今後その運用を開始する。

現時点では、テストパターンをそのつど作成してテストをしている段階であるためテスト効率は上がっていないが、ファームウェア開発プロセスの一部として定着させ、テストパターンを蓄積することで、テストの自動化やテストパターンの再利用を加速させていく。

今後は、システム全体の連携シミュレーションの環境を整え、制御仕様やコーディングの早期妥当性検証、テストの自動化による工数削減と網羅率向上、テストパターンの再利用、及び定型テストパターンによる変更時のデグレードの防止など、幅広いテストにファームウェアシミュレータを適用していく予定である。

5 あとがき

エアコン用ファームウェアのテスト環境として、実機に依存せずにパソコン上で動作するファームウェアシミュレータの開発について述べた。家庭用エアコンの室内機と室外機については、このシミュレータ上でシステムテストをする環境が整っており、製品に搭載するファームウェアの検証ツールとして運用を開始している。

今後、ほかのシミュレータとの統合環境の整備を推進するとともに、当社で開発するすべてのファームウェアへも展開していき、品質向上とテスト工数の半減を目標として、上流工程での設計力強化を目指していく。

文献

- (1) 舄 雄 匠, ほか. ソフトウェア開発プロセス改善活動. 東芝レビュー. 61, 1, 2006, p.6-13.
- (2) 近藤 浩一, ほか. シミュレーションによるメカトロニクス機器ファームウェア開発の革新. 東芝レビュー. 60, 1, 2005, p.60-63.
- (3) 森 俊樹, ほか. ソフトウェア品質技術の開発と適用. 東芝レビュー. 61, 1, 2006, p.26-31.



小泉 哲弥 KOIZUMI Tetsuya

東芝キャリア(株) エレクトロニクス開発部 ファームウェア開発担当主務。
業務用空調システムのファームウェア設計・開発に従事。
Toshiba Carrier Corp.



神戸 崇幸 KAMBE Takayuki

東芝キャリア(株) エレクトロニクス開発部 ファームウェア開発担当グループ長。空調システムのファームウェア開発の企画・管理に従事。電気学会会員。
Toshiba Carrier Corp.



秋山 和彦 AKIYAMA Kazuhiko

東芝キャリア(株) エレクトロニクス開発部 ファームウェア開発担当主務。空調システムのファームウェア設計・開発、及びファームウェアプロセス改善に従事。
Toshiba Carrier Corp.