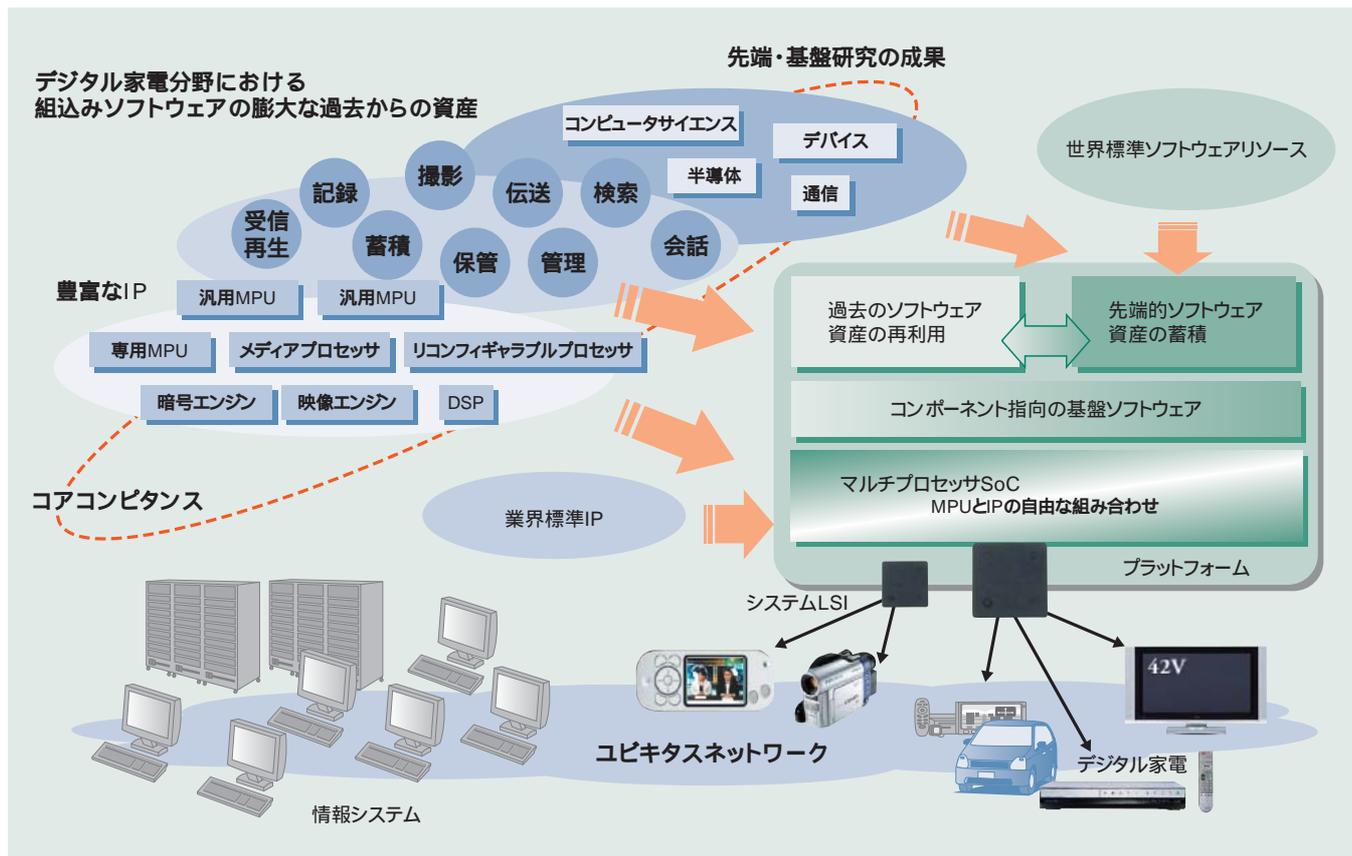


デジタル家電のプラットフォーム技術

Platform Technologies for Digital AV Systems

桑原 禎司 Tadashi Kuwabara



注:略語説明 MPU(Micro Processing Unit), IP(Intellectual Property), SoC(System on Chip), DSP(Digital Signal Processor)

**デジタル家電の進化を支える
さまざまな技術とプラットフォーム**

ユビキタス情報社会におけるデジタル家電分野とIT(Information Technology)分野の技術融合, 情報システムとデジタル家電の連携は, デジタル家電を飛躍的に進化させる。デジタル家電の進化の中心となるのは, 技術・ノウハウの集積を図り, その再利用を可能にするプラットフォームである。

デジタル家電は, ユビキタス情報社会ではユビキタスネットワークに接続され, 社会インフラストラクチャーの一部となり, 情報システムと結び付くことによって今までは考えられなかった利便性を提供することが可能になる。しかし, そのようなデジタル家電を持続的に開発し, 発展させていくためには, 組込みシステムの開発・生産性危機の克服という課題を解決しなければならない。

日立製作所は, この課題を解決するために, (1) 自社が保有する豊富で品質の高いハードウェア・ソフトウェア

資産, (2) デジタル家電とIT分野の最先端技術の成果, および(3) 世界標準のITリソースを短期間にシステムLSIに集積できる能力を持つデジタル家電向けプラットフォームの開発を推進している。このプラットフォームにより, デジタル家電分野とIT分野のリソース融合を加速させ, システムLSIと, デジタル家電製品からサービス・ソリューションまでを統合した, ユビキタス情報社会にふさわしいデジタル家電ライフのソリューションを提供する。

1 はじめに

日立グループのプラズマ・液晶デジタルテレビ, HDD(Hard Disk Drive)/DVD(Digital Versatile Disc)レコーダ, DVDビデオカメラなどのデジタルAV(Audio-Visual)機器は, 日立グループが強みとするPDP

(Plasma Display Panel)/LCD(Liquid Crystal Display)などのディスプレイパネル, HDDやDVDなどの最先端キーデバイス, デジタルAV処理用に特化したシステムLSIと組込みソフトウェアを垂直統合した, 日立を代表する組込みシステムである。組込みシステムの開発では, システムLSIと集積された組込みソフト

ウェア、および、すり合わせ型(垂直統合型)の開発技術が強さの源泉となる。システムLSIの設計手法や、組み込みソフトウェアの開発技術については、さまざまな研究が行われている^{1),2)}。例えば、松下電器産業株式会社は、商品分野を越えた組み込みシステムの開発効率の向上を目指したデジタル家電の統合プラットフォームを発表した。これは、システムLSIのアーキテクチャを固定し、メディア処理などをソフトウェアで実装することにより、ハードウェアの設計・製造コストの低減を図ることを目的としている。また、ハードウェアから上位のソフトウェアまでを含めたプラットフォームに基づく組み込みシステムの開発手法が研究されている³⁾。

日立グループは、デジタル家電分野とIT(Information Technology)分野、自社のコアコンピタンス(中核的競争力)と世界標準の技術をシステムLSIに集積して、短期間にデジタルAV機器が開発できるコンポーネント指向プラットフォームの開発に取り組んでいる。

ここでは、コンポーネント指向プラットフォームへの現在までの取り組み、および将来の展望について述べる。

2 組み込みシステムの特徴と課題

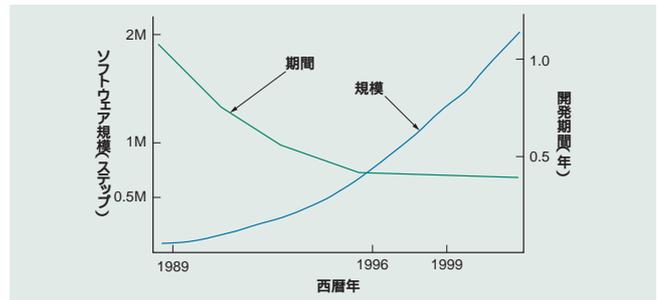
デジタルAV機器をはじめとする組み込みシステムでは、コストパフォーマンス、消費電力、フォームファクタ(形状因子)などの強い制約の下で、特別な機能の集合(例えばデジタル放送の受信、表示、蓄積など)を実現しなければならない。また、機能の実装をハードウェアとソフトウェアのどちらで行うかを決定する必要がある。近年、組み込みシステムの規模の増大や複雑化により、開発期間の予測、管理が困難になり、大幅な開発の遅延を招くこともある。組み込みシステムを開発するうえでの問題点は以下のとおりである。

(1) システムLSIにおける設計生産性の危機¹⁾

ムーアの法則に従う半導体技術の集積度は年率58%で伸び、設計生産性の伸びは21%にとどまっている。両者の伸び率の差は、製造可能な最大規模のシステムLSIの設計効率が年率30%($1.58/1.21 \sim 1$)で低下していることを意味する。この問題は設計生産性危機と呼ばれている。

(2) 組み込みソフトウェアの危機

組み込みソフトウェアは、規模の増大と複雑化の一途をたどる一方で、製品の開発期間は年々短くなっている(図1参照)。このような状況にもかかわらず、組み込みソフトウェアの開発現場では、以下のように1990年代初めのソフトウェア危機以上の問題を抱えている。



出典:情報処理学会誌²⁾

図1 ソフトウェア規模と開発期間の変遷
携帯電話の平均的なソフトウェア規模と開発期間の変遷を示す。開発規模は加速度的に増える一方、開発期間は年々短くなっている。

- (a) デジタルAV機器ではOS(Operating System)としてRTOS(Realtime OS)が採用されている。パソコンの機能が高いIOSに比べると、RTOS用の開発ツールは貧弱で開発効率が低い。
- (b) デバッグと性能評価に実機環境が必要であり、多くの場合、開発最終段階でしかこれを用意できないため、ソフトウェアの検証期間を圧迫する。
- (c) 組み込みソフトウェアの多くの開発現場では、いまだに旧態依然とした構造化手法が適用されており、開発効率を改善しにくい。
- (d) OSや開発環境が独自であるため、開発リソースを確保しにくい。

3 コンポーネント指向プラットフォーム

3.1 システムプラットフォームに求められる要件

システムLSIの設計生産性危機に加えて、デジタルAV機器の開発では、放送受信の各種方式への対応と光ディスクなどの記録フォーマットの相違により、きわめて多くの異なる方式に対応した処理が必要となる。例えば、デジタル放送受信では、衛星・地上波デジタル・CATVなどのメディアから放送を受信するものの、その方式は地域・媒体ごとに異なっている。各方式の映像とシステムの多重化方式は同じでありながら、音声の符号化方式や変調方式などの仕様が異なる。HDD/DVDレコーダによる光ディスクへの受信映像の録画では、媒体ごとにフォーマットが異なる。また、レコーダはVideo-CD(Compact Disc)/DVDなど既存の各種コンテンツの再生機能が要求されるため、さまざまな規格に対応する必要がある。この分野の進展は今もなお継続しており、地上波デジタル放送によるモバイル機器向け放送など新しいメディアへの対応が求められる、今後さらに新たな方式が次々と出てくると考えられる。

このように急激に進化する多様なメディアを扱うデジタルAV機器では、従来のような低コスト化を目的としたフルカスタム設計ではなく、柔軟性が高く、開発期間を短縮できる開発手法が不可欠となる。

前述した組込みソフトウェア開発の課題点については、オープンかつ高機能なOSでプラットフォームを構築し、広範な開発リソース、新しい設計開発手法とツールを導入すれば解決できると考えがちである。しかし、今まで開発し、蓄積してきたソフトウェア資産の移植の負荷が、そのような新しいプラットフォーム導入の妨げとなっている。そのため、オープンかつ高機能でありながら、低コストで過去のソフトウェア資産を再利用できる枠組みを備えたプラットフォームが求められる。さらに、システムLSI構成の激しい変化に対応することが可能なソフトウェアの再利用設計の枠組みが必要となる。

以上のことから、システムプラットフォームに求められる要件は、柔軟性が高く、再利用設計に基づき、効率よく大規模なシステムLSIと組込みソフトウェアの開発が行える枠組みを提供することであると考えられる。

3.2 システムプラットフォームの構築

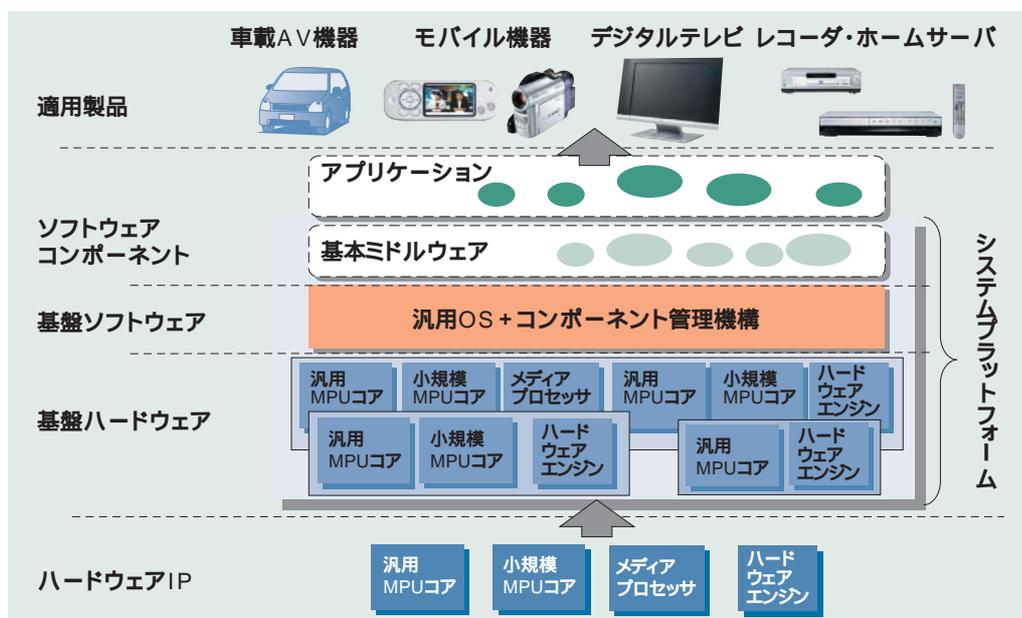
日立グループは、SHマイコン(汎用MPU(Micro Processing Unit)コア)、ブロードギア(メディアプロセッサ)、DSR(Digital Signal Processor)やコーデックなど、デジタル家電に不可欠なさまざまなIP(Intellectual Property)と、これまで開発してきた豊富なソフトウェア資産を持っている。これら使用実績がある信頼性の高いハードウェア・ソフトウェア部品を再利用する設計の

基盤となるコンポーネント指向プラットフォームの構成を図2に示す。

このプラットフォームでは、コンポーネント管理機構により、ソフトウェアコンポーネントをさまざまなハードウェア構成に適応させることができる。したがって、ハードウェアの開発は、ソフトウェア資産の継承という制約から解放され、実現すべき製品の機能、性能、消費電力、開発・製造コストから最適なIPを組み合わせることにより、低コストで高性能なハードウェアを開発することが可能になる。現在では、専用ハードウェアと汎用MPU、および小規模な複数の専用MPUを混載するマルチプロセッサ構成のハードウェアを基盤ハードウェアとして開発している。

基盤ソフトウェアの汎用OSは、Windows¹⁾やLinux²⁾のようにパソコンやサーバの世界で広く普及しているOSである。これらのOSを採用することにより、先進的な開発手法とそれに基づくツールの利用や、世界中の豊富な開発リソースを活用するオフショア(海外での)開発が可能になる。一方で、コンポーネント管理機構により、国内の組込みシステムで最も多く利用されているRTOSであるμITRON上で開発してきたソフトウェア資産を低コストで汎用OSに移植し、汎用OSの優れた開発環境に統合することが可能になる。汎用OSとしては、組込みLinuxを候補の一つと考えており、「CE Linuxフォーラム」⁴⁾に参加し、デジタル家電に適した組込み

- 1) Windowsは、米国およびその他の国における米国Microsoft Corp.の登録商標である。
- 2) Linuxは、米国およびその他の国におけるLinus Torvaldsの登録商標あるいは商標である。



注:略語説明

- AV(Audio-Visual)
- OS(Operating System)
- MPU(Micro Processing Unit)
- IP(Intellectual Property)

図2 コンポーネント指向プラットフォームの構成例
基盤ソフトウェアでソフトウェアとハードウェアを分離することにより、それぞれの設計・開発の自由度を向上させる。コンポーネント化による再利用技術で、さまざまなハードウェアへのソフトウェアの適用が容易になる。

Linuxの検討を推進している。Linuxをいっそうデジタル家電に適したものにするため、信頼性やリアルタイム性の向上などの改良に取り組んでいる。

システムプラットフォーム(基盤ハードウェア・基盤ソフトウェア・基本ミドルウェア)は、システムLSI、あるいはそのチップセットとして実装され、そのうえでそれぞれの製品に必要なアプリケーションが開発される。

4 システムLSIのアーキテクチャ

4.1 マルチプロセッサシステム

前述したように、デジタルAV機器には多くの放送方式やメディアの記録フォーマットへの対応と、さらなる高機能化が求められる。このため、デジタルAV機器で使用するシステムLSIには高い処理能力とフレキシビリティが必要とされる。これらのシステムLSIへの要求に応えるため、マルチプロセッサ構成のアーキテクチャをシステムLSIに採用している(図3参照)。

マルチプロセッサ構成にすることにより、処理能力を向上させるとともに、特有の機能を実行するハードウェアエンジンと、それを制御する専用のサブMPUとを組み合わせてモジュールとし、複数のメインMPUとモジュールでシステムLSIを構成する。従来はメインMPUで実行していた処理を専用のサブMPUに分散することにより、メインMPUの負荷を軽減するとともに、システムLSI全体の処理能力を高めることができる。このアーキテクチャを採用したシステムLSIが持つ優れた特徴は、以下のとおりである。

(1) 設計・開発の柔軟性と開発コストの低減

サブMPUのソフトウェアの変更により、モジュールの機能を変更することができる。例えば、同じモジュールを用いて、MPEG- α Moving Picture Expert Group

2), MPEG-4, MPEG-4 AVC(Advanced Video Codec), VC1(Video Codec 1)などの異なる仕様のデコード処理を実現することができる。通常、複数の仕様に対応したデコーダをカスタムハードウェアで構成すると、きわめて複雑なものとなり、回路規模と開発工数が増大する。

(2) リアルタイム処理の効率化

リアルタイム性が要求される処理をサブMPUに行わせることで、メインMPUに対するリアルタイム性の要求性能を緩和することができる。これにより、RTOSに比べてリアルタイム性に劣るLinuxなどの汎用OSを採用することが容易になる。

(3) 回路規模の削減と省電力化

サブMPUのカスタム化により、メインMPU、サブMPU、ハードウェアエンジンへの処理の振り分けと各MPU構成のそれぞれに最適化を行い、回路規模を削減して、消費電力を低減することができる。

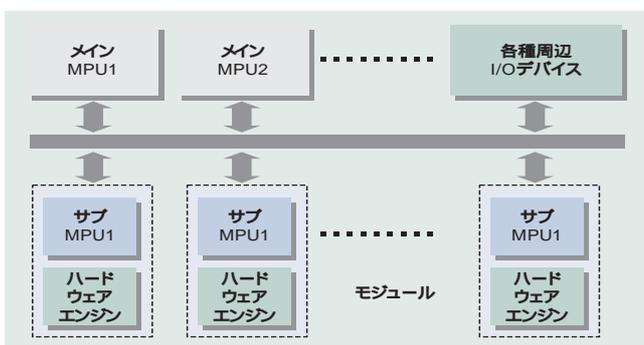
各モジュールはIPとしての完成度を高め、高性能で信頼性の高い部品としてさまざまな製品で再利用する。

現在のデジタル家電用のシステムLSIは、一つのメインMPUと複数のモジュールで構成されている。プラットフォームの基盤ハードウェアは、デジタル放送受信系、メディア制御系などの複数のシステムLSIで構成されている。将来は、半導体プロセスがさらに微細化することにより、放送受信系とメディア制御系などの複数のシステムLSIを1チップ化することが可能になり、それぞれのシステムLSIに含まれているメインMPUとモジュールは同一チップ内に集積される。通常、このようなマルチプロセッサ化はソフトウェア構造が複雑になるため、ソフトウェアの開発工数が増大する。しかし、以下に述べるコンポーネント技術の分散処理機構により、過去のソフトウェア資産を有効に活用して、マルチプロセッサ環境でのソフトウェア開発の効率を向上させることができる。

4.2 アーキテクチャの適用例とその効果

日立グループが2005年に発売したDVDカメラに採用しているシステムLSIには、前述のアーキテクチャを採用している。このLSIは、DVDメディアの制御や、MPEGのコーデック処理などを行うLSIである。このアーキテクチャの採用と開発手法の改善により、従来に比べて開発期間を半減するとともに、品質向上を実現した。従来の開発と、このアーキテクチャによるコーデック部のトップ検証でのバグ曲線の比較を図4に示す。

現在、このアーキテクチャを使用して、さらに次期のシステムLSIを開発中である。



注:略語説明 I/O(Input-Output)

図3 システムLSIのアーキテクチャ
複数のメインMPUと、専用ハードウェアと小規模な専用MPUを組み合わせた複数のモジュールでシステムLSIを構成する。

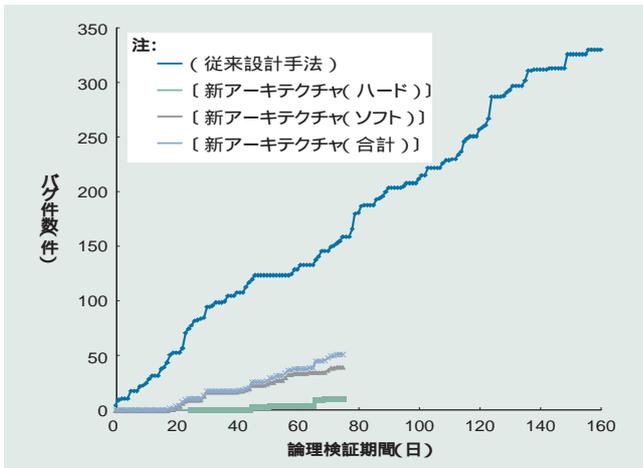


図4 マルチプロセッサ構成のアーキテクチャ適用による生産性向上の例
従来のシステムLSI開発に比べ、バグ件数は $\frac{1}{5}$ 以下に、検証に必要な期間が $\frac{1}{2}$ にそれぞれ減少した。

5 コンポーネント技術と管理機構

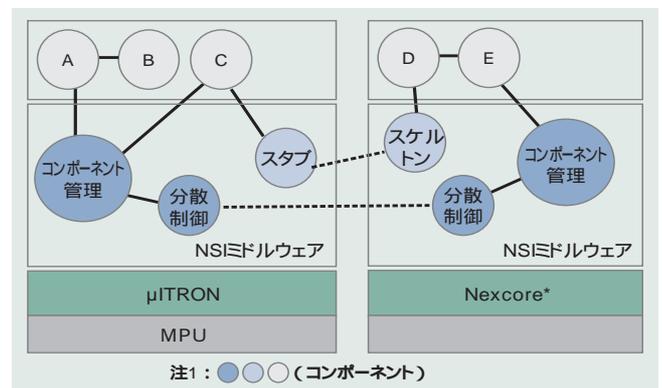
5.1 コンポーネント指向基盤技術

コンポーネント指向プラットフォームは、フランスのNexWave Solutions社（以下、NexWaveと言う。）が開発した“NSI（NexWave Software Infrastructure）”^{3）}を核に、同社と日立グループが共同で開発を進めているコンポーネント管理機構によって実現される。

NSIIは、NexWaveが開発した組込みシステムを対象とするコンポーネント指向開発の基盤となる枠組みである。特定のOSに依存することなく、モジュールの呼び出し関係にだけ着目してソフトウェアのコンポーネント化を実現する。NSIを適用した組込みシステムでは、データとプログラムをカプセル化し、コンポーネントとして管理し、あらかじめ規定したインタフェースに基づき、コンポーネント間の参照関係を動的に解決する。規定したインタフェースを介さないとコンポーネントへアクセスすることができないため、システムレベルで呼び出し関係の整合性を保証したコンポーネントの再利用が可能となる。NSIは複数のMPUでの分散処理環境を提供することができるので、コンポーネントは必ずしも同じMPU上に存在する必要はない。NSIは、従来の組込みシステムでは実現が困難とされていた優れた機能を持つ（表1参照）。なお、ダイレクトバインディング機能により、コンポーネント間の呼び出しのオーバーヘッドは生じない。NSIミドルウェアは、それ自体がコンポーネントの集合として実装される（図5参照）。また、NexWaveは、幾つかのOS上にNSIを実装している。

表1 NSIの機能概要
データとコードのプログラム化、ダイナミックローディング、分散処理機構など、従来の組込みソフトウェアでは実現が困難であった機能を提供する。

機能	概要	
カプセル化（コンポーネント化）	モジュールの利用は明示的に定義されたインタフェースでしか許可されない。	
コンポーネント構成管理	コンポーネント間の参照関係を定義されたインタフェースに基づいて解決し、管理する機能	
コンポーネント実行管理	ロードタイム管理	システム起動時に、必要なコンポーネントをロードし、参照関係を解決する機能
	ランタイム管理	コンポーネントの実行時に、動的にロードする機能
ダイレクトバインディング	コンポーネント間の呼び出しを、管理コンポーネントを介さず直接実行する機能	
分散処理機構	複数のMPUに存在するコンポーネントの実行管理機能	



注1：●○（コンポーネント）
注2：*Nexcoreは、フランスNexWave Solutions社の登録商標である。

図5 NSIの実装例
NexWave Solutions社は、NexcoreやμITRONをはじめ、幾つかのOS上にNSIを実装している。

5.2 デジタルAV機器に向けた機能拡張

日立グループは、“T-Integrator”^{3）}（μITRON上のNSIミドルウェア）を用いて自社のデジタルテレビのソフトウェアをコンポーネント化し、NSIの機能、性能などを評価した。その評価結果に基づいて、デジタルAV機器の基盤ソフトウェアに必要な以下の機能を開発し、NSIを拡張した。

- (1) コンポーネントを複数のメモリデバイスやメモリ領域に配置できるようにするマルチセクション機能
- (2) ファイルシステムを持たない製品で、交換用コンポーネントの配置が可能なコールドスワッピングの機能拡張
- (3) ICE（In-Circuit Emulator）を用いたコンポーネントのデバッグ機能

これらの機能拡張により、デジタルAV機器へのNSIの適用が初めて可能になる。

5.3 コンポーネント管理機構

コンポーネント管理機構の目的は、μITRON上で開発し、蓄積してきた過去の膨大なソフトウェア資産を

Linux上で活用すること、将来のハードウェアの進化に柔軟に対応できるソフトウェアコンポーネントの枠組みを提供することにある。

コンポーネント管理機構は、Linuxのミドルウェアとして動作し、Linuxで動作するソフトウェアをコンポーネント化する(図6参照)。さらに、同図の“LibTRON³⁾”の機能により、T-Integrator上で動作するコンポーネントをLinux上で動作させることが可能になる。LibTRONでは、システムコール変換やμITRONのタスクの状態管理など、μITRON上のコンポーネントが正しく動作するために必要なリソース管理機能を提供する。これにより、μITRON上で開発、蓄積してきたソフトウェア資産を低コストでLinuxに移植し、新しいプラットフォームで活用することができる。また、同図のプロキシ(処理代行プログラム)で、コンポーネント化ソフトウェアとLinuxのネイティブな環境で動作するアプリケーションやライブラリなど(非コンポーネント化ソフトウェア)とのコミュニケーション機能を提供するので、既存ソフトウェア資産をLinux上で新しく開発したアプリケーションに統合することが可能になる。既存ソフトウェア資産の移植性について、デジタルテレビのソフトウェアを例に試算したところ、対象ソフトウェア規模の1~3%の開発規模でプラットフォームへの移植が可能になるという見通しを得ている。

コンポーネント化ソフトウェアはハードウェアと一体化され、ブラックボックス技術として開発される日立グループ製品の強みの源泉である。一方、OSにLinuxを採用することにより、組込みシステムでも外部のリソースを活用して開発のスピードアップを図ることが可能になる。このように、すり合わせ型とモジュラー型の長所を併せ

持った開発技術と、NSIの優れた特徴を生かしたソフトウェアの再利用技術により、デジタルAV機器の開発効率は飛躍的に向上する。

6 おわりに

現状のプラットフォームでは、MPUとIPを自由に組み合わせさせてシステムLSIを構成するまでには至っていないし、ソフトウェアコンポーネントの部品化の完成度もまだ低い。しかし、これまでに開発してきた膨大なデジタルAV機器のソフトウェア資産と、Linux上で開発したホームネットワークのミドルウェア³⁾との統合により、このプラットフォームによるデジタル家電とIT分野の技術融合の効果をj確認している。これにより、今後ますます重要となるネットワークへの応用や知的コンテンツの管理などの開発では、社内外を問わずオフショア開発を含めた最適な開発体制を構築することが可能となったと考える。

システムLSIや組込みソフトウェアの新しい開発手法や技術の研究では、従来、その研究成果を適用するために開発の現場が多大な努力を払う必要があった。先端・基盤研究の成果をプラットフォームに活用する最初の例は、モデル駆動開発手法などのソフトウェア工学に基づく新しい開発手法や技術の開発現場への導入である。モデル駆動開発手法の確立には時間を要する。しかし、他社に先駆けて実用化し、業界トップの開発スピードを実現する考えである。

日立グループは、グループ各社が協力し、最終目標の達成を目指して、上述した能力を持つプラットフォームの開発を継続していく。

参考文献など

- 1) 黒坂, 外: システムレベルデザイン, 情報処理学会誌, Vol.45, No.5 (2004.5)
- 2) 平山, 外: 組み込みソフトウェア開発技術, 情報処理学会誌, Vol.45, No.7 (2004.7)
- 3) A. Sangiovanni-Vincentelli, et al.: Platform-Based Design and Software Design Methodology for Embedded Systems, IEEE Design & Test Computers (2001)
- 4) The Consumer Electronics Linux Forumホームページ, <http://www.celinuxforum.org/>
- 5) 田中, 外: 簡単・安全を目指したホームネットワーク技術, 日立評論, 86, 11, 809~812 (2004.11)

3) NSI, T-Integrator, LibTRONは、フランスNexWave Solutions社の登録商標である。

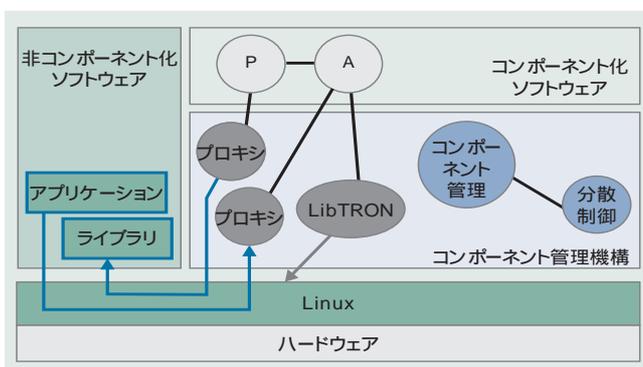


図6 コンポーネント管理機構
μITRON上で開発した既存のソフトウェア資産のLinuxへ移植と、ハードウェアの変化に柔軟に対応できるコンポーネント化の枠組みを提供する。



桑原 禎司

1980年日立製作所入社、ユビキタスプラットフォームグループ ユビキタスプラットフォーム開発研究所ブロードバンドシステム研究センター長
現在、映像メディア、モバイルメディアの研究開発に従事
情報処理学会会員
E-mail: kuwabara@msrd.hitachi.co.jp