

Cell リファレンスセットのソフトウェア構成

Configuration of Cell Reference Set Software

雨宮 治郎 水野 聡 野末 浩志 有馬 雄吾

■ AMEMIYA Jiro ■ MIZUNO Satoshi ■ NOZUE Hiroshi ■ ARIMA Yugo

Cell リファレンスセットは、Cell Broadband Engine (CBE) の持つ能力を最大限に引き出すソフトウェアを提供する。ハイパーバイザオペレーティングシステム (OS) の Beat は CBE 上に仮想計算機実行環境を作り、複数 OS の同時動作を可能にする。また、CBE の特徴である SPE (Synergistic Processing Element) を仮想化することで、実際の個数以上の SPE を論理的に使用できる環境を提供する。Beat 上の OS として Lv2Linux と ITRON を用意した。Lv2Linux と ITRON は、Beat が提供する通信機能により互いに通信することで連携動作が可能である。このように Cell リファレンスセットでは、OS レベルで柔軟なソフトウェア構成が可能である。また、Cell リファレンスセットの入出力 (IO) を制御する SuperCompanionChip™ のドライバも用意した。

ユーザーはこれらのソフトウェア環境を使うことにより、容易に CBE を評価することができ、早期にソフトウェア開発に着手することができる。

Toshiba provides the Cell reference set and its software. The software allows users to make best use of the Cell Broadband Engine (CBE). Using the functions of the CBE, the Hypervisor operating system (OS) "Beat" gives a virtual machine environment to each of multiple OSes running simultaneously. Beat virtualizes Synergistic Processor Elements (SPEs), which are one of the features of the CBE, enabling a programmer to use more SPEs than actually exist in the CBE. We have ported Lv2Linux and ITRON running on the virtual machine environment provided by Beat. Lv2Linux and ITRON can communicate with each other by the communication method between logical partitions, which is also provided by Beat, enabling cooperative operation between them. In addition to making flexible OS composition possible, as described above, the Cell reference set software also incorporates drivers for the SuperCompanionChip™ (SCC), which controls the various input-outputs (I/Os) of the reference set.

Cell reference set users can easily evaluate the CBE using this software, allowing them to start software development at an early stage.

1 まえがき

Cell リファレンスセットで提供するソフトウェアは、基本ソフトウェア、応用ソフトウェア、及びソフトウェア開発ツールで構成される。その階層構造を図1に示す。

Cell リファレンスセットは複数 OS の同時実行環境 (以下、マルチ OS 環境と呼ぶ) を提供しており、その OS はハイパーバイザ OS とゲスト OS の二つのレイヤから構成されている。

ここでは、これら二つの OS レイヤ、すなわち Cell Broadband Engine (CBE) のマルチ OS 環境を実現するハイパーバイザ OS の Beat 及びその上で動作するゲスト OS の Lv2Linux と ITRON、そして SuperCompanionChip™ (SCC) を操作するデバイスドライバについて述べる。

なお、これらの OS 上で動作する SPE マネジメントについての詳細と、応用ソフトウェアとしての AV アプリケーション、開発ツールについての詳細は、この特集の他の論文で述べる。

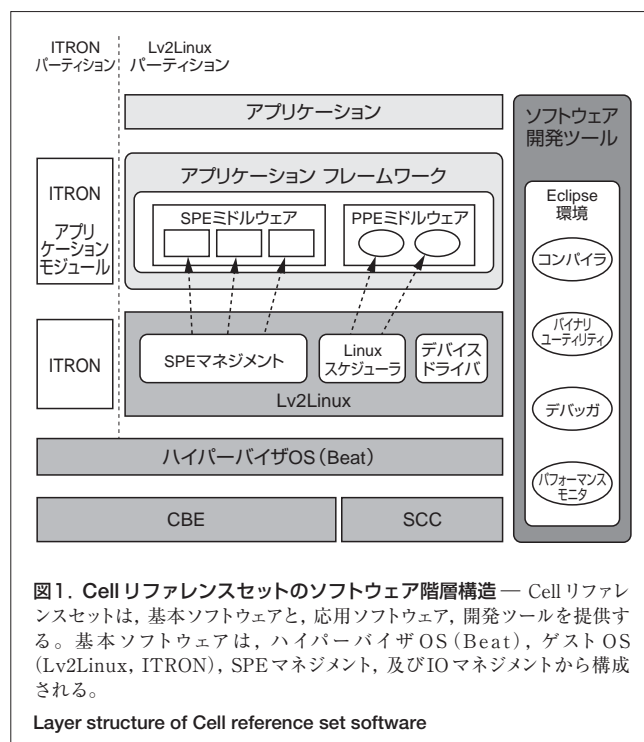


図1. Cell リファレンスセットのソフトウェア階層構造 — Cell リファレンスセットは、基本ソフトウェアと、応用ソフトウェア、開発ツールを提供する。基本ソフトウェアは、ハイパーバイザ OS (Beat)、ゲスト OS (Lv2Linux, ITRON)、SPE マネジメント、及び IO マネジメントから構成される。

Layer structure of Cell reference set software

2 ハイパーバイザ OS Beat

2.1 マルチ OS のメリット

東芝の Cell リファレンスセットは、マルチ OS 環境を提供している。CBE は、プロセッサやメモリなどのハードウェアをソフトウェアに対して分割し割り当てる機能を持っている。この仕組みを“論理パーティショニング”と呼ぶ。ハイパーバイザ OS の Beat は、この論理パーティショニングの機能を使うことにより複数の仮想計算機実行環境を作り、それらの上で OS が個別に、かつ同時に動作できるようにする。論理パーティション上で動作する OS をゲスト OS と呼ぶ。ゲスト OS は独立に動作し、基本的に互いの動作に影響を与えない。しかし一方で、Beat の機能を利用することで互いに通信を行うことも可能である。この結果、一つの Cell リファレンスセット上で、独立した複数ゲスト OS による協調動作が可能になる。

マルチ OS 環境がもたらす代表的なメリットを、以下に示す。

- (1) 各種 OS の特長を生かしたシステムの構築
- (2) OS も含めたソフトウェア資産の活用
- (3) 特定処理の分離実行環境の実現
- (4) OS 障害の隔離

(1) について例えば、Linux^(注1) と ITRON を同時に動かすことにより、Linux の豊富で充実したソフトウェア環境と資産を利用した処理をしつつ、一方で、ITRON のリアルタイム処理を同時に行えるシステムを実現できる。これは従来のハイブリッドシステムに相当し、このような形態は、従来の単一 OS 構成では実現できなかった。

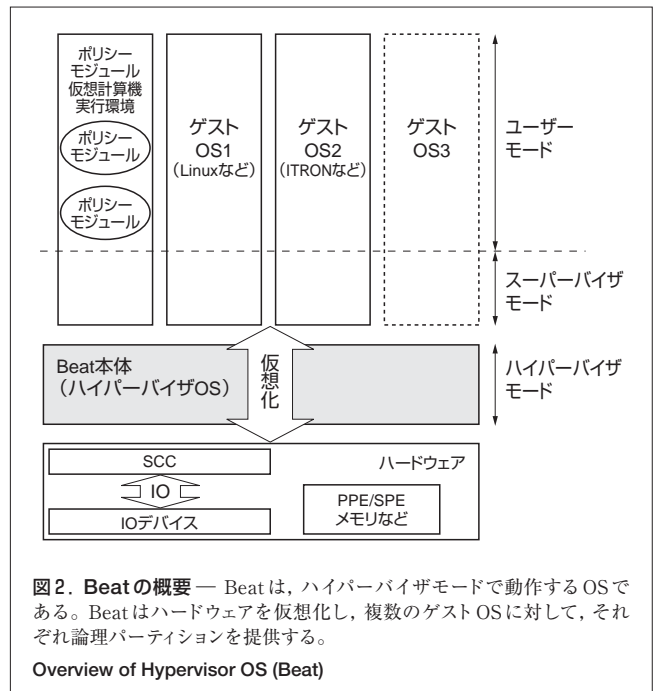
(2) について近年、組込み分野でも Linux が採用されるケースが増えてきたが、一方で、過去の ITRON などのソフトウェア資産をそのまま利用したいという要求も根強い。このような場合に、過去のソフトウェアを OS 環境ごと実行することで移植の作業が不要になる。

(3) について例えば、オープンな OS 環境に加えて、外界からのアクセスを制限したクローズドな OS 環境を構築し、その中で、DRM (Digital Rights Management) などの秘匿したい処理を分離して安全に行うという使い方ができる。また、ソースコードのライセンスの観点からも分離のメリットがある。

(4) については、ゲスト OS は互いに影響を受けることなく動作するので、OS の障害の波及を防止することができる。例えば、アプリケーションが OS を巻き込んでフリーズしてしまう場合でも、同時に動作しているリアルタイム OS には影響は及ばない。そのほかに、システム全体の管理など止まってはならない重要な処理を、独立した他の OS に分離するなどが考えられる。

2.2 Beat

Beat は、CBE の特権モードであるハイパーバイザモード(注1) Linux は、Linus Torvalds 氏の米国及びその他の国における登録商標。



で動作する(図2)。ハイパーバイザモードは一般の OS が動作するスーパーバイザモードより高位なモードである。Beat は、仮想計算機の制御に必要なハードウェアや、そのほかの重要なハードウェアリソースをゲスト OS から隠蔽(いんぺい)する。Beat 上で動作するゲスト OS は、ゲスト OS インタフェースと呼ぶ一種のシステムコールを発行することにより、各種サービスを Beat に要求する。例えば、メモリのアドレス変換機構のハードウェアへのアクセスは、ゲスト OS インタフェース経由で行う。ゲスト OS 間の通信も Beat のサービスとして提供される。

Beat は、ハードウェアとしての計算機資源を管理して、CBE アーキテクチャ上でゲスト OS が動作するための論理パーティションを構築する。Beat が管理する計算機資源とは具体的には PPE (PowerPC Processor Element) や SPE (Synergistic Processor Element) の使用時間、メモリ、バスバンド幅、デバイスなどである。これらの計算機資源が、Beat により論理パーティションに割り当てられる。論理パーティションは複数構築することができ、それぞれの論理パーティションでゲスト OS を動作させることができる。各ゲスト OS は、Beat が割り当てた計算機資源を使用して、各論理パーティション上で互いに独立に動作する。計算機資源の割当て方針は、システムの“ポリシー”と呼ばれる。ポリシーを実行するために、ポリシーモジュールパーティションと呼ばれる特別な論理パーティションが存在し、その上でポリシーモジュールと呼ばれる特別なシステム管理用ソフトウェアが実行されている。ポリシーモジュールは論理パーティションの作成と、論理パーティションへの資源の割当て、論理パー

ティションの起動などを実行する。

Beatは、ゲストOSどうしが通信を行うための手段として論理パーティション間通信機能を提供する。論理パーティション間通信機能は、ゲストOSインタフェースとして用意される。論理パーティション間の通信手段としては、イベント(論理パーティション間の割込み)、メッセージ、共有メモリがある。論理パーティション間通信機能を使うことで、複数論理パーティション間の協調処理が可能になる。

そのほかのBeatの特徴について述べる。BeatはSPEを仮想化する機能を持つ。Cellには7個の物理SPEが実装されているが、Beatは仮想的に7個よりも多くのSPEのイメージをゲストOSに見せることができる。これを論理SPEと呼ぶ。論理SPEは、物理SPE上で実行されるコンテキストと仮想化のための管理情報から構成される。物理SPEの数を超えて多数の論理SPEを作成することができるが、論理SPEのコンテキストが物理SPEにロードされているときにだけ、実際に処理が行われる。物理SPEは時分割で論理SPEに割り当てられ、Beatが論理SPEのコンテキストのロード又はセーブ処理を行う(コンテキストスイッチ)。SPEの実行コンテキストのロード及びセーブ処理は非常に複雑である。Beatによる論理SPEのサポートやSPEコンテキストのロード又はセーブ処理の結果、ユーザーは物理数の制限やSPEコンテキスト操作の煩わしさから開放される。

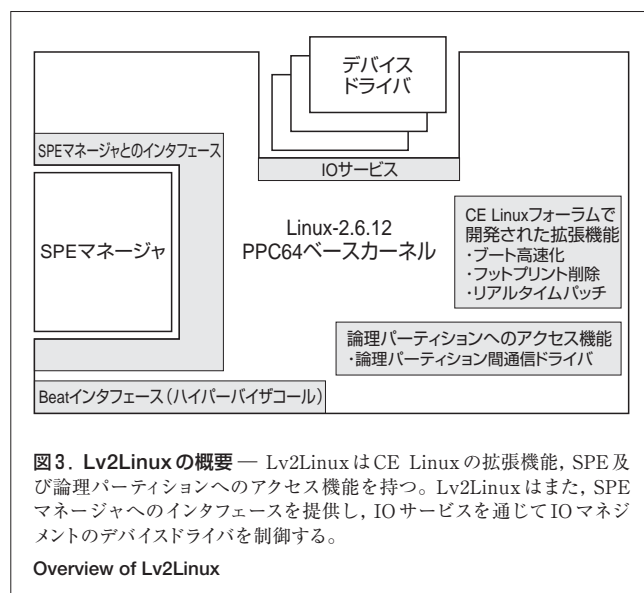
また、Beatの特徴の一つにフレームスケジューリングがある。これは、AV処理を効率的に行うことを目的としたスケジューリング方式である。ビデオフレームの周期の中でPPEやSPEなどの物理資源を各論理パーティションに割り当てることで、リアルタイム制約を持つ複数のAV処理を確実にかつ効率よく行うことができる。

3 ゲストOS LinuxとITRON

Cellリファレンスセットは、オープンソースのOSとして採用が進むLinuxと、組込みOSとしてもっとも広く使われているITRONをゲストOS用意することで、ユーザーの開発コスト低減に貢献できる。

3.1 Lv2Linux

近年、コンシューマエレクトロニクス製品は高機能・高性能化しているにもかかわらず、製品開発サイクルの短縮が要求され、ソフトウェアの開発コストをいかに下げることが非常に重要なポイントになってきている。そのような情勢のなかで、Linuxが製品に採用されることが多くなってきた。これは、オープンソースの流れのなかで優秀な技術者が協力して育ててきたLinuxが、プログラム開発及び機能拡張の容易さ、適用範囲の広さ、安定性といった面で優れたOSになってきたことによる。Linuxへの機能拡張の取組みも盛んで、特に



コンシューマエレクトロニクス製品へのLinuxの適用を行うため、関連企業が集まって形成したコミュニティの一つにCE Linuxフォーラムがある。そこでは、Linuxに対してコンシューマ機器に必要なと思われる諸機能の開発を行っており、CellリファレンスセットのLinuxは、その成果も取り込んでいる。

そのような状況のもとに、Cellリファレンスセットでは、Linuxコミュニティが提供するPowerPC^(注2)64ビット(PPC64)Linux 2.6カーネルをBeatへ移植した(図3)。このLinuxは、Beatが提供する論理パーティション上のゲストOSとして動作するため、Level 2 Linuxを略してLv2Linuxと呼んでいる。Lv2Linuxでは、PPC64 Linuxカーネルが提供する機能は基本的に利用可能で、標準Linuxのアプリケーション及びドライバの実行環境を提供するものである。

またLv2Linuxには、CE Linuxフォーラムによって開発されたLinuxへの機能強化パッチが適用されている。特にAVアプリケーションで重要なリアルタイム性能の強化やブートの高速化、製品コストを下げるためのフットプリントの削減などが実現されている。実際に、割込み遅延時間は当初1msオーダであったが数百μsオーダに削減でき、ブート時間も33%高速化できた。

Lv2Linuxは、CBEの特徴であるSPE及び論理パーティションへアクセスするインタフェースを提供する。SPEへのインタフェースにより、当社独自のSPE管理機能を介してSPEにアクセスでき、SPEを容易かつ効率的に使うことが可能になる。また、論理パーティション間通信ドライバが組み込まれているため、Lv2Linux上のアプリケーションが、ほかの論理パーティション上のOSあるいはアプリケーションと通信を行うことができる。

(注2) PowerPCは、IBM Corporationの商標。

3.2 ITRON

ITRONは、1984年から始まったTRONプロジェクトの成果として仕様が標準化されたリアルタイムOSである。以来、組込みOSとして様々な機器で使われてきたため、ITRONのソフトウェア資産は大きい。したがって、CBEを組込みプロセッサとして利用する場合に、ITRONの資産を有効に使うことができ、設計期間を短縮することができる。

Cellリファレンスセットのソフトウェアで提供するITRONは μ ITRON4.0仕様であり、スタンダードプロファイルに準拠する。加えて、拡張同期・通信機能（ミューテックス、メッセージバッファ、ランデブ）や、動的生成、可変長メモリプール、アラームハンドラといった機能を提供する。CellリファレンスセットのITRONはBeat上で動作し、ほかのゲストOSとの通信機能も実装されている。

4 IO マネジメントシステム

Cellリファレンスセットでは、パソコンでいうところのサウスブリッジに相当するデバイスとしてSCCを使っている。このSCCは、特にAV系のIOが強化されていて、CBEと組み合わせることで高性能なコンシューマエレクトロニクス製品を開発することが可能になる。SCCの詳細については、この特集の論文“Cellを生かすSuperCompanionChip™” (p.16-20)で述べている。

CellリファレンスセットのIOマネジメントシステムでは、リファレンスセットに搭載されている周辺装置を制御するための、Lv2Linux上の各種デバイスドライバをユーザーに提供する。このIOマネジメントシステムにより、ユーザーがSCCを介して周辺装置を容易に利用することが可能となる。

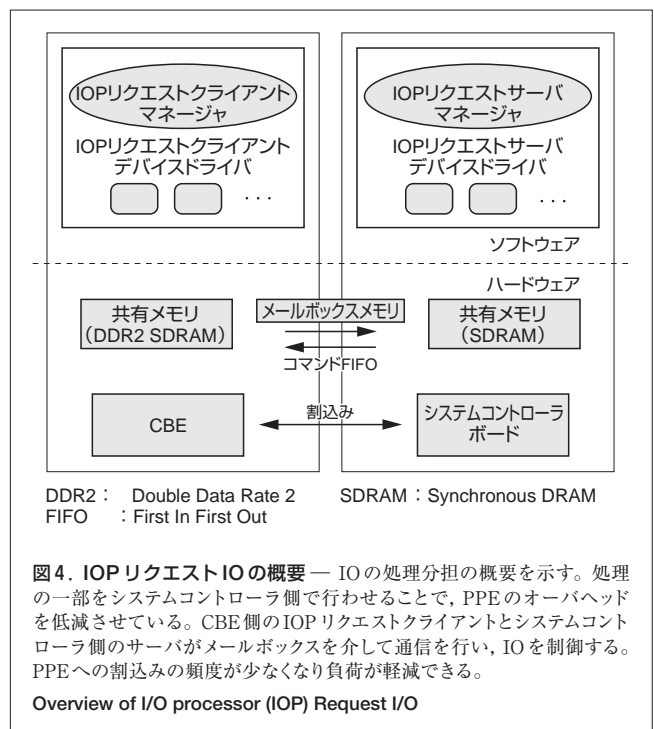
Cellリファレンスセットは、メインボード、システムコントローラボード、及びIOボード（AVボード、チューナボード、B-CAS（BS-Conditional Access Systems）ボード）で構成され、パラレルATA（AT Attachment）、Gbit Ethernet、USB2.0（Universal Serial Bus 2.0）、IEEE1394（米国電気電子技術者協会規格1394）などの一般的な周辺装置のほかに、AV機能として地上デジタル・地上アナログチューナ、BS（放送衛星）・CS（通信衛星）デジタルチューナ、B-CASカード、ビデオ入力（S端子）、ビデオ出力（D端子、HDMI（High Definition Multimedia Interface）端子）、オーディオ入力（RCA（Radio Corporation of America）端子 2チャンネル）、オーディオ出力（RCA端子 2チャンネル）、デジタルオーディオ出力（S/PDIF：Sony/Philips Digital Interface Format）などの周辺装置を持っている。

PPE自体は高速に動作するが、IOアクセスや割込み処理を頻繁に行うとPPEのオーバーヘッドが増加し、性能を十分に引き出すことが難しくなる。そこで、いくつかのIO処理に

関しては、一部の処理をシステムコントローラボードのIOプロセッサ（IOP）上で行わせることで、PPEのオーバーヘッドを軽減させている。Cellリファレンスセットでは、IOPリクエストクライアントマネージャとIOPリクエストサーバマネージャから成るIOPリクエストマネージャを用意し、SCC上のデバイスに実際にアクセスするデバイスドライバと、デバイスのサービスを必要とするPPE側のソフトウェア間の通信手段を提供している。

CellリファレンスセットのIOマネジメントシステムでは、制御方式により、IOを以下の3種類に分類している。

- (1) IOPリクエストIO システムコントローラボードがPPEに代わって制御するIOである（図4）。アプリケーションは、Lv2Linuxカーネル内にあるIOPリクエストクライアントデバイスドライバを通して、システムコントローラボードへリクエストを送信する。この制御方式を適用するIOは、応答速度制限が緩やかなものを対象とする。各種のチューナなどのドライバが相当する。
- (2) LinuxネイティブIO PPEで動作するLv2Linuxドライバが制御するIOである。この制御方式を用いるIOは、高速処理を必要とするもので複数のアプリケーションが共有するものを対象とする。パラレルATA、Gbit Ethernet、USB2.0、IEEE1394などのドライバが相当する。
- (3) ユーザーダイレクトIO PPEで動作するアプリケーションが直接制御するIOである。この制御方式を用いるIOはストリーム処理を主としていて、高速処理を必要と



する。単体のアプリケーションが独占して使用するものを対象としており、AV入出力用のドライバなどが相当する。

5 CellリファレンスセットのマルチOSのメリット

前述のとおり、CellリファレンスセットのソフトウェアではマルチOSの構成をとることが可能である。例えば、AVアプリケーションでは、マルチOS構成をとることで、暗号化されたコンテンツを安全に扱うことが可能になる。

すなわち、ITRONが動作する論理パーティション(LPAR0)で、論理パーティション間通信以外のインタフェースを持たない暗号処理エンジンを動かしておく。もう一つの論理パーティション(LPAR1)でデジタルコンテンツを扱うアプリケーションを動かす。デジタルコンテンツは論理パーティション間通信でLPAR0の暗号処理エンジンに送られ、復号されてLPAR1に返される。復号されたコンテンツはLPAR1のアプリケーションで表示デバイスに送られる。こうすることで、暗号処理エンジンへの攻撃の機会を少なくすることができる。

6 あとがき

当社のCellリファレンスセットは、CBEとSCCの性能・機能を最大限に生かせるソフトウェアを提供する。ここでは特に、CBEのマルチOS環境を実現するハイパーバイザOSのBeatとその上で動作するゲストOSのLv2Linux及びITRON、そしてSCCを操作するIOマネジメントシステムについて述べた。これらは、製品としてCBEを使おうとするすべてのユーザーに役立つものである。

今後は、オープンソースソフトウェアコミュニティのような社外組織への働きかけを行うことで、CBEユーザーのすそ野を広げていく。CBEユーザーが増えることで新たなCBEの

使い方が提案され、また、既存のソフトウェアの発展も促されて、CBEを中心とした世界がますます豊かになっていく。当社は技術でリードし、CBEを中心とする大きな動きを作り出して、社会の発展に役だてていきたい。



雨宮 治郎 AMEMIYA Jiro

セミコンダクター社 ブロードバンドシステムLSI事業統括部
ブロードバンドシステムLSI開発センター主務。Cellリファレンスセットのソフトウェアの設計・開発に従事。
Broadband System LSI Div.



水野 聡 MIZUNO Satoshi

東芝ソリューション(株) プラットフォームソリューション事業部
要素技術開発部参事。計算機のシステムソフトウェア開発に従事。情報処理学会会員。
Toshiba Solutions Corp.



野末 浩志 NOZUE Hiroshi

ソフトウェア技術センター 先端ソフトウェア開発担当参事。
組込みオペレーティングシステムの開発に従事。日本ソフトウェア科学会、IEEE会員
Corporate Software Engineering Center



有馬 雄吾 ARIMA Yugo

セミコンダクター社 ブロードバンドシステムLSI事業統括部
ブロードバンドシステムLSI開発センター。Cellリファレンスセットのソフトウェアの設計・開発に従事。
Broadband System LSI Div.