

ゲーム機の製品イノベーションにおける 技術戦略論的視点から見た「位置取り」問題

1. 「旧世代機との互換性」と「旧世代機からの性能向上」という基準に基づくポジショニング分類

(1) 「旧世代機との互換性維持」と「旧世代機からの飛躍的な性能向上」のトレードオフ関係

一般的に、製品イノベーションに際して、「旧世代機との互換性維持」と「旧世代機からの飛躍的な性能向上」の両立を一つの技術的要素によって実現することは極めて困難であり、互いにトレードオフ関係にある。新世代機のための新しい中核的技術に関して「旧世代機との互換性維持」を実現しようとするれば、「旧世代機からの飛躍的な性能向上」は実現困難になる。逆に新しい中核的技術に関して「旧世代機からの飛躍的な性能向上」を実現しようとするれば、「旧世代機との互換性維持」は実現困難になる。

なおこうした議論に際しては、任天堂の携帯型ゲーム専用機に関する製品イノベーション、すなわち、ゲームボーイ(1989) ゲームボーイカラー(1998) ゲームボーイアドバンス(2001) DS(2004)という製品イノベーションのあり方に典型的に示されているように、「製品」機能に関する互換性維持という視点からの評価に際して、「CPU など個々のモジュールのレベルにおける互換性維持」と「製品レベルにおける互換性維持」とを異なるレベルの事柄をきちんと区別する必要がある。

「旧世代機との互換性維持」と「旧世代機からの飛躍的な性能向上」のトレードオフ関係の存在の結果として、ゲーム専用機の製品イノベーションのあり方に関して、図1のようなポジショニング分類が可能である。

図1 CPUが「一度に処理できる情報量」という性能指標から見たポジショニング分類



「旧世代機との互換性」と「旧世代機からの性能向上」という二つの評価軸

なお図1における「旧世代機との互換性」という横軸は、新世代機において旧世代機のゲームソフトが「問題なく動作することを実現した製品イノベーション」であるのか、あるいはその逆に「まったく動作しないか、動作にかなりな問題がある製品イノベーション」であるのかという分類軸である。「旧世代機からの性能向上」の度合いという縦軸は、新世代機が旧世代機と比較して「飛躍的な性能向上を成し遂げた製品イノベーション」であるのか、あるいはその逆に、「性能向上の相対的度合いが小さな製品イノベーション」であるのかという分類軸である⁽¹⁾。

たとえば、任天堂 NINTENDO64 はスーパーファミコンに対して、任天堂 GAMECUBE は NINTENDO64 に対して大きな性能向上を成し遂げてはいたが、旧世代機のゲームソフトは動作しなかった。すなわち、任天堂 NINTENDO64 という新世代機は旧世代機であるスーパーファミコンと非互換であった。

またソニーの現行 PS3 は、旧世代機の PS2 から飛躍的な性能向上を成し遂げてはいるが、初期 PS3 とは異なり、製造コスト低減のために PS2 用ソフトを動作させるための CPU 回路や GPU 回路を省略し、PS2 のソフトの動作は保証外となっている。

一方、任天堂 Wii は GAMECUBE の CPU や GPU の漸進的改良をおこなったモジュールを採用することで、性能向上の度合いは低い、GAMECUBE との高い互換性を実現している。

任天堂の DS は、ソニーの PSP と比較してかなり性能が低い製品ではあるが、旧世代機のゲームボーイアドバンスのソフトがうまく動作するように設計された製品であり、旧世代機であるゲームボーイアドバンスとの互換性が高い。

製品の技術的評価に際しての注意点 --- 現実の製品の持つ機能(function)の多種性、および、機能に関する性能(performance)評価指標の多様性

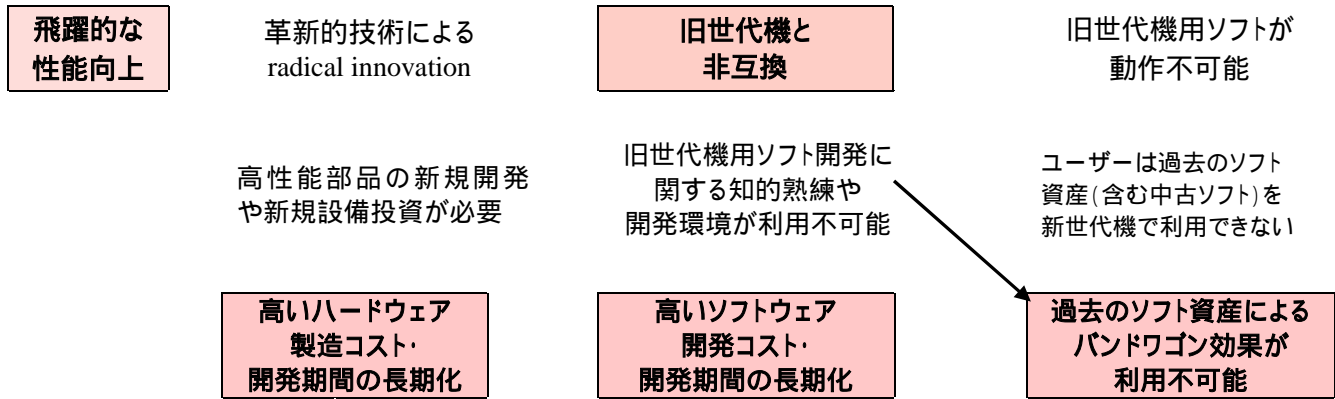
現実の製品では顧客の製品選択において重視される製品機能が一つではなく複数であるため、ポジショニング分類は図1のような単純な形ではない。現実の製品は複数の機能を持っているが、現実の製品イノベーションにおいてそれぞれの機能に関して性能向上の度合いが必ずしも同じではない。

たとえば音楽ソフトにおけるアナログレコードからカセットテープへの媒体変化の製品イノベーションにおいては、大きさや取り扱いやすさという機能に関しては性能向上があったが、再生可能な音楽の周波数特性やランダムアクセスなどの機能に関しては性能ダウンであった。

ゲーム専用機でいえば、CPU モジュール以外に、GPU モジュール、ROMカセット、CD、DVD、ブルーレイなどの記憶媒体装置モジュール、入力装置モジュールに関する音声認識機能、タッチパネル機能など、各構成モジュールごとに多種多様な機能が存在する。そしてそれらの各機能のそれぞれにまた多種多様な性能評価指標が存在する。

(1) 本稿で議論の対象としているのは、**既存機能に関する性能向上**だけである。任天堂 DS や Wii などの製品イノベーションに典型的に見られるような、**これまで存在しなかったまったく新しい機能の追加による製品の全体的意味での性能向上**というような問題は基本的には議論の対象外とする。なお既存機能に関する性能向上の度合いは、原則として同一企業の旧世代製品を比較対象とするが、ソニーの PSP や NEC の PC-FX などのように先行の自社製品が存在しない場合は旧世代機の標準的な機種を対象としている。

基本戦略1 > 「性能向上重視」戦略(ソニーのPSP、現行PS3、任天堂N64、GAMECUBEなど)



性能による差別化の実現を目指す戦略としての、「性能向上重視」戦略

製品イノベーションによって飛躍的な性能向上の実現を第一の目標として製品開発を推進する「性能向上重視」戦略は、差別化による競争優位獲得のための一つの方法である。CPU が一度に処理できる情報量という視点からは、セガの SG-1000(1983)からメガドライブ(1988)への製品イノベーション、任天堂におけるファミコンからスーパーファミコンへの製品イノベーションの両者が 8 ビット CPU から 16 ビット CPU へという CPU モジュールレベルにおける radical innovation を実行したものと見て、「性能向上重視」戦略の立場にたつ製品イノベーションと位置づけることができる。

性能向上のみを重視した戦略を採用した場合には、旧世代機との互換性確保が技術的に困難になることや、ハードウェア製造コストや対応ソフトウェア開発コストが増大するだけでなく、ハードウェア本体および対応周辺機器・対応ソフトウェアの開発期間が長期化しがちであるといったことが問題となる。

例えば NINTENDO 64 はその当時としては高性能すぎたためにソフトウェア開発が困難であったと任天堂の関係者が述べている⁽²⁾。またソニーは PS3 において、単なるゲーム機の枠を超えた製品作りを目指した⁽³⁾こともあり、旧世代技術と基本的に異なる次世代技術の採用による性能向上を追求した。その結果としてスタート・アップ時に大きな問題点を抱えることになり、任天堂の Wii に対して相対的競争優位を確保することができなかった。例えば PS3 用のコンパイラなど新世代ハードウェアに対応したソフトウェア開発環境それ自体の開発の遅れや CPU のマルチコア化に対するゲームソフト開発者の能力不足の結果として、PS3 の元々の発売予定時期の 2006 年 3 月時点でも「PS3 向けにゲーム開発を行っているほとんどの企業では、本格的なゲームの開発の作業ステップにまで、まだたどり着いていなかった」というような主張がなされている。

こうした開発の遅れの技術的原因は、SCE、IBM と東芝とで共同開発した PS3 用マイクロプロセッサ「セル(Cell)」の基本的アーキテクチャがそれまでとは大きく変化したことにある。すなわちセル・プロセッサは、8 つの SPE(Synergistic Processor Unit)と呼ばれる RISC プロセッサ・ユニット⁽⁴⁾、および、それらをコントロールする PPE(Power Processor Element)という総計 9 つの演算コア・ユニットから成り立つマルチコア・プロセッサになっている。単純化して言えば、9 個の CPU が 1 つのチップの中に収められているのであり、それぞれの演算コア・ユニットの性能を最大限に引き出すことができれば、スーパーコンピュータ並みの性能を引き出すことができる、とされている。

しかしこれまでのゲーム開発においては基本的には 1 個の CPU の動作だけを考えていればよかったのであるが、PS3 ではセル・プロセッサの性能を最大限に引き出すとすると、複数の演算コア・ユニットをうまく協調動作させて同時並行的に動作させることが必要になる。しかも同時並行的動作をうまく実現するためには、ゲームのソフトウェア開発の段階できちんと配慮することが必要となる。しかしながら、そうしたプログラミングのために必要な技術やノウハウは過去のものとは根本的に異なる。こうしたことが対応ソフトの開発期間の長期化をもたらす大きな技術的要因の一つである。

なお対応ソフトの開発費増大や開発期間長期化の技術的原因は、セル・プロセッサの性能を最大限に引き出すプログラミングが極端に難しいということだけでなく、3DCG の開発環境がこれまでのゲームソフトで幅広く使われてきているマイクロソフト社の DirectX ではなく、ゲームソフト開発者にはあまりなじみがない SGI(シリコングラフィックス)社の OpenGL ベースのオリジナルエンジ

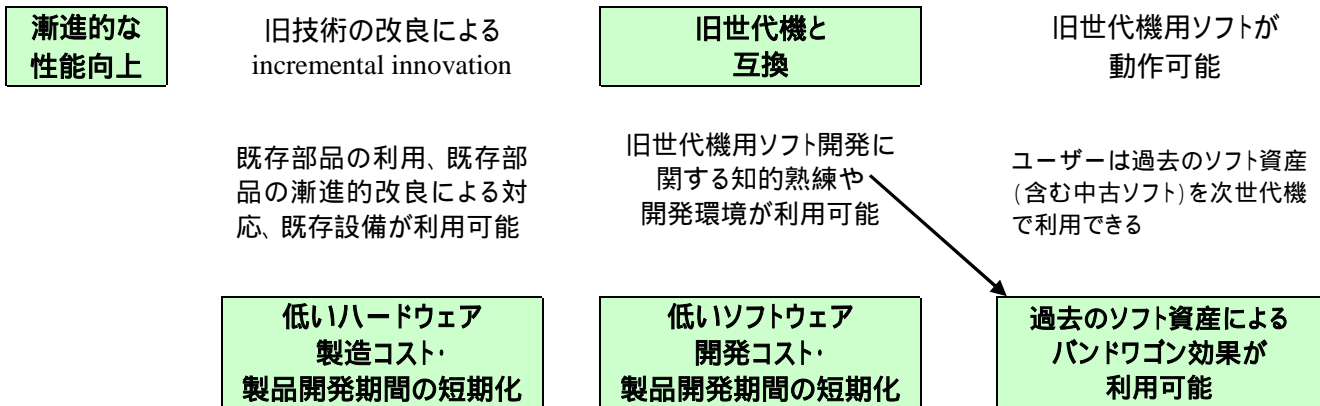
(2) 「[レポート] 任天堂、「GAMEBOY ADVANCE」と「NINTENDO GAMECUBE」発表」『マイコミジャーナル』2000 年 8 月 25 日記事、<http://journal.mycom.co.jp/news/2000/08/24/09.html> において、任天堂総合開発本部長(当時の)竹田氏が「NINTENDO 64 は高い性能のためソフトウェア開発を困難にしまった、またスペックの数値はあくまでピークの最大瞬間性能であって、実際のゲームでは発揮できない」と述べている。

(3) このことに関して、SCEI 社長(当時の)久夛良木氏は、「コンピュータを徹底的にやろうと考えてきた。一方、ここへ来て、PC はついに行き着いちゃった。だから、今度は、確実に、IBM などのパートナーと一緒に、次のコンピュータをやりたい。今回考えてるのは、徹底的にコンピューティングそのものを変えること。(コンピューティングの)パラダイムを変えたい。」とか「他社は、ゲーム機と言ってるかもしれないが、我々はずっと発表文でもコンピュータエンタテインメントと言っている。エンタテインメントでありかつコンピュータなんだと。そこが重要。」と述べている。後藤弘茂(2005)「SCEI 久夛良木社長インタビュー(1)「PLAYSTATION 3 でコンピューティングを変える」」PC watch 2005 年 6 月 8 日付け記事、<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2005/0608/kaigai186.htm>

(4) ただし 1 つは冗長性確保のための予備であり、同時に使われるのは 7 つの SPE だけである。

ンであることにもある、と言われている⁽⁵⁾。もちろん、ソニーも開発環境の充実に努めているが⁽⁶⁾、まだ十分な効果を上げてはいないのである。

基本戦略2 > 「互換性重視」戦略(任天堂 Wii など)



大量生産による「規模の経済」効果、累積生産量の増大による「経験曲線」効果、あるいは、生産プロセスに関する技術革新によって、高性能な既存モジュールが低価格化した場合には、高性能モジュールの新規開発をおこなうことなく製品の高性能化を実現することができる。すなわち、それまでの技術との内容的連続性が低い革新的技術を開発 / 採用して要素モジュールに関する radical innovation を実行しなくても、製品の高性能化を実現することができる。

性能向上を特に重視した製品開発を選択するのか、それとも性能向上を犠牲にしてでも互換性を重視した製品開発を選択するのかという問題は、「製品のターゲットをどのようなユーザー層とするのか?」、「製品プラットフォームの持続可能性をどの程度のものとするのか?」、「製品の外的システム性に関するバンドワゴン効果の利用をどのようなものとするのか?」などといった諸問題と関連している。

ゲーム・マニアをターゲットとして考えた場合には、新世代機の既存機能のハードウェア的性能が旧世代機よりも飛躍的な性能向上を実現していなければ、新世代機の新規購入や旧世代機からの買い換えの促進にはさほど寄与しないと考えられる。東京ゲームショウ2005の入場者を対象としたアンケート調査における「今後購入したいと思う家庭用ゲーム機」に関して、Wiiの20.9%に対してPS3が71.8%という高性能機であるPSの方がゲーム・マニア層において人気が高いという調査結果はそのことを端的に示している。

これに対してゲーム初心者ターゲットとして考えた場合には、新世代機の新規購入や旧世代機からの買い換えに関して、新世代機の既存機能に関するハードウェア的性能が旧世代機からの抜本的な性能向上を実現していることは必ずしも必要ではない。しかも市場規模としては、ゲーム初心者層やゲーム未経験者層の方がゲーム・マニア層よりもかなり大きい。ゲーム・マニア層における人気が相対的に低いWiiの方が累積販売台数においてPS3をはるかに上回っているのはそのためである。

Wiiのハードウェア的性能の「低さ」に関しては任天堂の岩田聡社長自身も「『次世代ゲーム機三つどもえの戦い』と言われるが、我々は全く意識していない。社内で『次世代』という言葉を使うのを禁止しているくらいで、高精細な画像のゲームを追求する気はない。」(「初心者層を開拓、『次世代』とは一線・任天堂社長」『日本経済新聞』2006年5月12日朝刊)と認めている。演算処理速度や画面解像度などといった技術的性能を第一の評価軸とはしないというこうした技術的決断はWiiの製品開発において意図的に採用されたものである⁽⁷⁾。

ゲーム機の旧世代機から新世代機への製品イノベーションに際して、技術開発の方向性に関する基本的戦略は前述したように、互換性維持重視戦略と性能向上重視戦略の二つである。ただしそうした二つの戦略が基本的戦略となるのは製品コストを極小化するという制約下においてである。

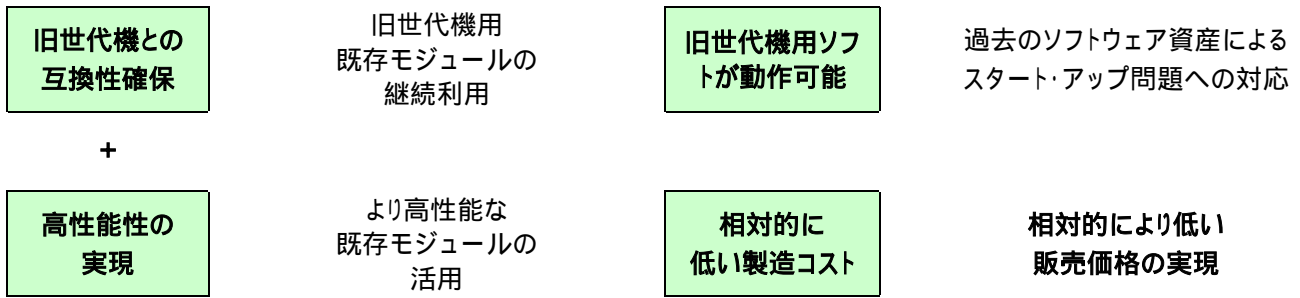
当然のことながらそうした制約をはずし製造コストの増大を許すことで互換性維持と性能向上の両立を図ろうと試みることは可能である。こうした場合には、技術戦略のシナリオとしてはさらに次に述べるような三つの戦略的選択肢が可能となる。

(5) 後藤弘茂(2004)「SCEIがPlayStation 3にOpenGL ES 2.0採用か」<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2004/0729/kaigai104.htm>, DirectXがゲーム専用機で最初に用いられたのはセガのDreamcastである。その後、マイクロソフトのXboxおよびXbox360でも採用されている。

(6) 例えば、ソニー(2007)「プレイステーション3」タイトル開発環境を大幅強化～開発効率の向上、多様な開発スタイルへの対応によりPS3®ゲーム開発を強力に支援～」ソニーの2007年11月19日プレスリリース、<http://www.scei.co.jp/corporate/release/071119a.html>などを参照のこと。

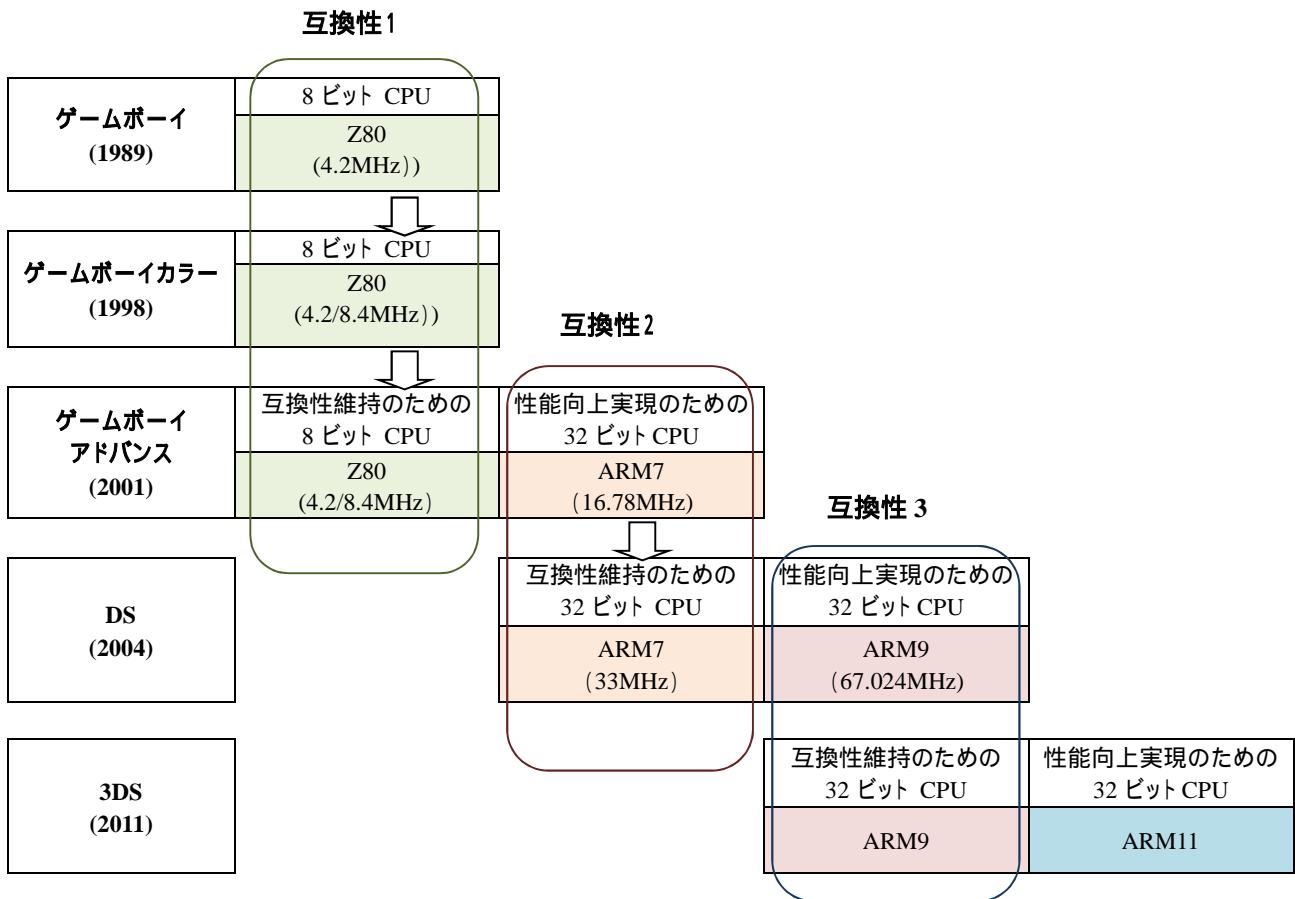
(7) この点に関してWiiプロジェクトの統括者の竹田氏は、「従来の[技術]ロードマップをそのまま踏まえるなら、「より速く、より豪華に」というふうになったと思うんです。つまり、豪華な映像を速く映し出す、という方向ですね。しかし、その方向に進んだとして、お客さんにどれほどのインパクトがあるだろうかと感じたんです。より豪華にするときの開発側の苦労やコスト、お客さんに新しさを感じてもらうことの効率の悪さ。そういったものを、開発の途中で感じるようになりました。」と述べている。任天堂(2006)「社長が訊くWiiプロジェクト - Vol.1 Wiiハード編 第1回」<http://www.nintendo.co.jp/wii/topics/interview/vol1/index.html>

MIX 戦略 1 > 「性能向上と互換性の両立」戦略 (1) (任天堂ゲームボーイアドバンス、任天堂 DS など)



旧世代機用既存モジュールを継続利用する場合には上記のような MIX 戦略 1 が成立する。この MIX 戦略 1 は、旧世代機用既存モジュールを継続利用することで旧世代機との互換性確保をおこないながら、旧世代機とは互換性がないが低価格化した高性能モジュールを利用することで一定の性能向上を図るものである。このような形態での漸進的性能向上の場合には、任天堂ゲームボーイアドバンスや任天堂 DS などにおいて見られたように、互換性維持のためにも低価格化した既存モジュールを利用することで性能向上と製造コストの抑制の両立が可能である。

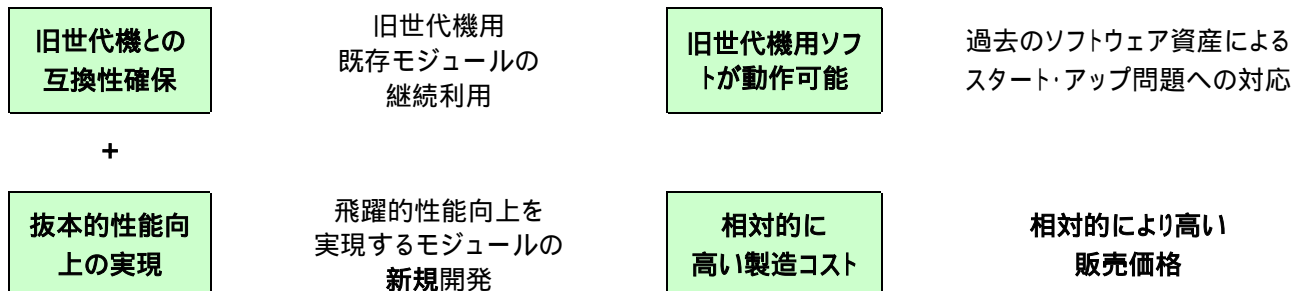
図 2 任天堂の携帯型ゲーム専用機の内蔵 CPU から見た互換性確保の歴史の変遷



任天堂ゲームボーイアドバンスは、高性能性の実現のために 32 ビット CPU (動作周波数 16.78MHz の ARM7TDMI、15MIPS) を搭載するとともに、ゲームボーイアドバンス以前の歴代のゲームボーイ・シリーズという旧世代機で使用されていた 8 ビット CPU の Z80 系マイクロプロセッサをも搭載することで、旧世代機用ソフトがうまく動作するようにしている。(なおハードウェアの世代識別のために、ゲームボーイアドバンス用カートリッジにはそれ以前のゲームボーイ用カートリッジと異なり、カートリッジ裏面の両側に切り欠きがある。すなわち、その切り欠きの有無により、ソフトがゲームボーイアドバンス用かどうかを識別し、動作させる CPU の切り替えを行っている。)

また任天堂 DS は、高性能性の実現のために動作周波数 67MHz の 32 ビット CPU の ARM946E-S(75MIPS) を搭載するとともに、ゲームボーイアドバンスの ARM7TDMI(15MIPS) をサブ CPU として搭載することで、ゲームボーイアドバンス用ソフトとの互換性を実現している。(ただし任天堂 DS は 8 ビット CPU の Z80 は搭載していないため、ゲームボーイ、ゲームボーイカラー用のソフトは使用できない。)

MIX 戦略2 > 「性能向上と互換性の両立」戦略(2) (ソニーの PS2、初期 PS3 など)



旧世代機用既存モジュールを継続利用することで旧世代機用ソフトウェアが動作するようにハードウェア的互換性確保を図る一方で、旧製品とは互換性がないが抜本的な性能向上を成し遂げた高性能モジュールを新規に開発・採用することで製品の抜本的な性能向上を実現する、という技術戦略が採用される場合もある。たとえばソニーの PS2 および初期 PS3 などの場合にそうした戦略が採用された。

こうした場合には、旧世代機用既存モジュールは低価格になっているにしても、抜本的な性能向上を成し遂げた高性能モジュールの新規研究開発費用およびそうした新規モジュール量産のための新規設備投資が必要なため、性能向上と製造コストの抑制の両立は困難となる。

例えば、ソニーはPS2の製品イノベーションに際して、CPUモジュール「Emotion Engine」、GPUモジュール「Graphics Synthesizer」などといった新規開発モジュールの製造ラインに対して総額1200億円を投じたと言われている。こうした設備投資に対して「果たしてこれで採算が取れるのか」といぶかる声が少なからずあったと言われている⁽⁸⁾。

たし飛躍的性能向上を実現するモジュールを自社主導で新規に開発することは、そのゲーム機のプラットフォームの sustainability の確保という視点からは有意義な選択である。すなわち PC とは異なり、ゲーム機ではそのハードウェア性能を最初から最後までを基本的には変化させないという製品特性があるため、プラットフォームを長期的に存続させようとする時には製品投入初期からなるべく高性能にしておく必要がある。

また長期的に存続できた場合には、製品の生産台数の規模が大きくなればそれだけ減少する製品1台当たりの固定費用負担分の減少効果 = 「規模の経済」(economy of scale)効果や製品の累積販売台数 = 累積生産量の増大にともなう「経験曲線」(experience curve)効果に起因する製造コストの低減を享受することができる。それにより製品出荷時には赤字であっても、長期的には黒字化することが可能になる。

例えば、PS3の製造コスト低減の見込みに関して、メリルリンチ日本証券のアナリストの栗山史は、上表のように CPU やブルーレイディスクの製造コストが3年後には1/3以下になると予測している⁽⁹⁾。実際、「PLAYSTATION 3の製造コストは米国発売時には1台につき約800ドルだったが、現在は約400ドルになっている」と考えられている⁽¹⁰⁾。

例えば、PS3の製造コスト低減の見込みに関して、メリルリンチ日本証券のアナリストの栗山史は、上表のように CPU やブルーレイディスクの製造コストが3年後には1/3以下になると予測している⁽⁹⁾。実際、「PLAYSTATION 3の製造コストは米国発売時には1台につき約800ドルだったが、現在は約400ドルになっている」と考えられている⁽¹⁰⁾。

Table 1: PlayStation 3 bill of material analysis

Playstation 3	Components	Est. Cost at launch	Est. Cost after 3 years
CPU	IBM Cell Processor		
	1 PPC Core @3.2GHz		
	1 VMX vector unit per core	\$230	\$60
	512KB L2 cache		
GPU	7xSPEs @3.2GHz		
	NVIDIA RSX @550MHz	\$70	\$50
	Full HD (up to 1080p) x2 channels		
Optical Media	Blu-ray	\$350	\$100
	Memory		
	256MB XDR Main RAM	\$50	\$30
	256MB GDDR3 VRAM at 700 MHz		
HDD	Detachable 2.5" HDD	NA	NA
USB	6 ports (front x4, rear x2)	\$5	\$3
Ethernet	Gigabit Ethernet	\$5	\$4
	1x input, 2x output		
WiFi	802.11 b/g	\$5	\$3
Bluetooth	Bluetooth 2.0	\$5	\$5
Other components	Analog IC		
	ASICs	\$80	\$65
TOTAL	I/O components	\$900	\$320

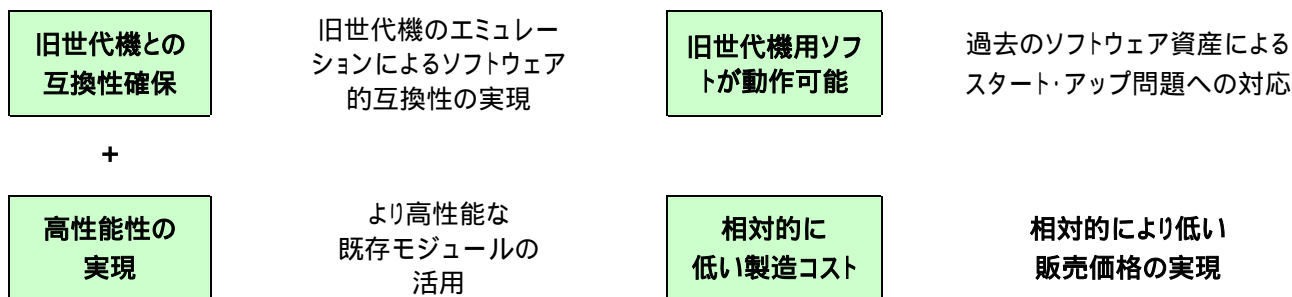
Source: Merrill Lynch

(8) 「プレイステーション2 ムーアの法則とともに進化」『日経エレクトロニクス』2006年07月17日号,p.180

(9) 岩本有平;坂和敏(2006)「メリルのレポートに揺れるプレステ3 -- SCEは「発売日変更予定なし」」,CNET Japan 2006/02/21 付けニュース <http://japan.cnet.com/news/tech/story/0,2000056025,20096901,00.htm>

(10) Boyes, Emma(2008);石橋啓一郎訳(2008)「ソニーのPS3、製造コストは発売時の半分に--アナリストが分析」, CNET Japan, 2008/01/17 付けニュース, <http://japan.cnet.com/news/biz/story/0,2000056020,20364988,00.htm>

MIX戦略3 > 「性能向上と互換性の両立」戦略(3) (XBOX360、任天堂WiiのVirtual Consoleなど)



MIX 戦略3は、互換性をハードウェア的ではなくソフトウェア的に実現することを目指す技術戦略であるという意味で、MIX 戦略1やMIX 戦略2とは技術的にまったく異なるアプローチである。MIX 戦略1やMIX 戦略2では旧世代機との互換性を旧世代機用モジュールの搭載というハードウェア的手段によって実現しているのに対して、MIX 戦略3では旧世代機との互換性をエミュレーション・ソフトの新規開発によりソフトウェア的手段によって実現している。

互換性をソフトウェア的に実現するMIX 戦略3の場合の方が、互換性をハードウェア的に実現するMIX 戦略1やMIX 戦略2の場合よりも、製品1台を製造するのにかかるトータルの限界費用(生産量を1単位増加させることにともなう総費用の増加分)は相対的に小さくなる。

というも旧世代機との互換性をハードウェア的に実現する場合には、互換性確保のための製品設計費という固定費用(初期費用)だけでなく、そうしたハードウェアを製造(あるいは購入)するための費用という可変費用が必要になるが、後者の可変費用が製品価格と比べてゼロに近い額になることはないからである。(例えば初期PS3ではPS2との互換性確保のためのCPU/GPUハードウェア・モジュールの製造コストとして製品1台あたり27ドルをかけている。)

これに対して、旧世代機との互換性を実現するためのソフトウェアのコピー費用は製品価格と比べれば無視できるほど少額であるから、旧世代機との互換性実現に関わるソフトウェアの開発費用はほぼすべて固定費用であり、可変費用はほぼゼロと見なせる。

旧世代機のエミュレーションによるソフトウェア的互換性の実現という技術戦略は、マイクロソフトのXBOXからXBOX360への製品イノベーションや、任天堂のGAMECUBEからWiiへの製品イノベーションにおいて採用されている。

たとえば任天堂Wiiのバーチャル・コンソール(Virtual Console)機能を利用すると、ファミリーコンピュータ、スーパーファミコン、NINTENDO64、PCエンジン、メガドライブ、NEOGEO、マスターシステム、MSXなど過去のゲーム機で発売されたゲームソフトをWii上でプレイすることができる。このバーチャル・コンソール機能による過去のソフトウェア資産の活用は、ゲーム機メーカーの任天堂だけでなく、ゲーム・ソフトウェア開発メーカーにとっても有意味である。すでに対応ハードウェアが生産されていないゲームソフトに対しても販売機会が与えられるからである。

Virtual Console

ファミコン **500円程度**
 スーパーファミコン **800円程度**
 NINTENDO 64 **1,000円程度**

クレジットカード または
 Wiiポイントプリペイドカード
 で決済



[左図の出典]
 任天堂(2006)「2006.9.14 Wii Preview 社長プレゼン全文」
http://www.nintendo.co.jp/wii/topics/wii_preview/presentation/04.html

また任天堂Wiiのバーチャル・コンソール機能ではネットからのダウンロードという形式で販売されることにより、「物理的な在庫を持つ必要がない。またパッケージ・ソフトとは異なり、短期間にどんなに数多くの製品が売れても売り切れることない。また逆に、あまり人気がなく市場における需要が小さい場合であっても、販売店に在庫がなく買うことができないということもない。すなわち、いわゆる「ロングテール」需要に対しても対応可能である。」という利点をもっている。

2. < 参考資料1 > MIX 戦略2における性能向上と初期製造コスト抑制の両立困難性

---- Wii と初期 PS3 の製造コストの比較 ----

MIX 戦略1や MIX 戦略3によって開発されたゲーム機の製造コストが相対的に低く、MIX 戦略2によって開発されたゲーム機の製造コストが相対的に高いことは、下記のようにソニーPS3が高性能な部品・モジュールを使用している結果として個々の部品・モジュールの推定製造コストがかなり高いことに端的に示されている。この推計値によれば、ソニーPS3の推定製造コストは、製品出荷額の約2倍、任天堂Wiiの製造コストの約5倍にもなっている。その結果として製品出荷時において、Wiiは1台当たり約40ドルの黒字であるのに対して、PS3は約400ドルもの赤字である。

なおPS2も、PS3と同じく性能向上重視戦略に基づいた製品であり、その出荷開始時期には販売価格(約300ドル)よりも製造単価(約440ドル)の方が高かった⁽¹¹⁾。

	Wii		初期 PS3 (20GB モデル)		Wii と初期 PS3 との価格比
	会社名	価格	会社名	価格	
CPU	IBM	13.0	IBM + ソニー + 東芝	89.0	7 倍
GPU	ATI/NEC	29.6	NVIDIA	129.0	4 倍
旧世代機 CPU/GPU	---		MIPS + ソニー + 東芝	27.0	旧世代機との互換性確保のためのモジュール
I/O ブリッジコントローラー	---		東芝 + ソニー	59.0	
DRAM	サムスン	7.8	サムスン	48.0	6 倍
HDD	---		Seagate	43.0	
DVD	松下電器	31.0	---		
ブルーレイ	---		ソニー	125.0	4 倍
電源		11.3	ソニー	37.5	3 倍
Bluetooth モジュール			ソニー	4.1	
その他		46.1		205.3	
組立コスト		19.5		39.0	2 倍
製造単価		158.3		805.9	5 倍
推定出荷額		196.0		399.2	定価の 8 掛けを卸売価格と推定
1 台当たり推定利益額		37.7		406.7	Wii は製品出荷時から黒字であるのに対して、PS3 は出荷額を上回る赤字である

[出典]東洋経済編集部(2006)「ハードもしっかり黒字！Wiiはコストの優等生(1)」『週刊 東洋経済』2006年12月16日号

[原出所]アイサプライ(iSuppli)社の推定値

任天堂Wiiは製品の構成モジュールを基本的には他社から購入しているため、上記の表における総製造コストは基本的に**可変費用**(variable cost)として位置づけることができる。すなわち、任天堂が自社で構成モジュールを生産しているわけではないので構成モジュールの生産設備費用などの固定的な初期コスト = **固定費用**(fixed cost)の負担がない代わりに、製品の生産台数の規模が大きくなればそれだけ減少する製品1台当たりの固定費用負担分の減少効果 = 「規模

(11) 「PS2の製造コストを試算 440米ドルと製品価格を上回る - 8割をエレクトロニクス部品が占める」『日経エレクトロニクス』2001年01月29日号.p.176およびpp.183-184

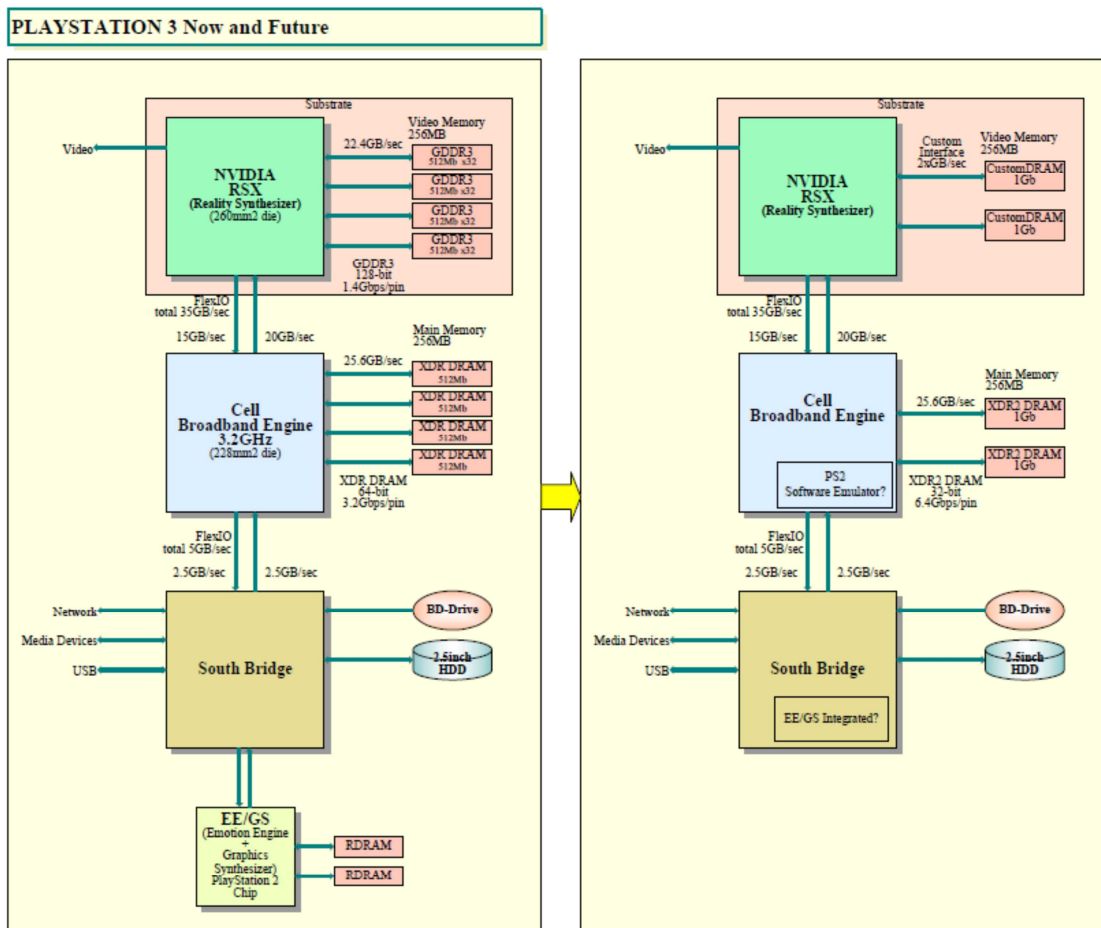
の経済」(economy of scale)効果や製品の累積販売台数 = 累積生産量の増大にともなう「**経験曲線**」(experience curve)効果に起因する製造コストの低減を享受することは基本的にはできない。(モジュール供給業者との交渉によって、モジュール供給業者側で実現したコスト低減の一部を購入費の値引きという形式で受け取ることはできるであろうが・・・)

したがって任天堂がゲーム機製造の安定的継続性を確保するためには、なるべく安価な既存モジュールを利用して製品を組み立てることで出荷時点からハードウェアに関して黒字化を確保することが必要である。

これに対して、ソニーの場合は、前述したように、PS3関連の主要構成モジュールの開発や生産に自社が関わっているため、累積販売台数 = 累積生産量が増大すれば自社が関係している構成モジュールの製造単価は経験曲線効果によって減少するため、製品1台当たりの製造単価の低減をかなり見込むことができる。

なおゲーム機の製造コストの低減は下図のように、メインメモリやビデオメモリの1個あたりの容量増大による使用数量の削減、旧世代機との互換性確保のためのCPUやGPUなどのハードウェア部品をソフトウェアによるエミュレーションによって取り除くことなどによって低減することができる。ソニーはこの手法でPS2においても製造コストを下げている。

実際、iSuppli社によれば、最新のPS3(80GBハードディスク内蔵モデル)のハードウェアの製造コストは\$448.73で、2007年中頃の初代PS3の製造コスト\$690.23から35%も削減できている。こうした製造コストの削減が可能になったのは、経験曲線効果、部品調達先の変更および半導体部品の統合によるものである。iSuppliによれば、こうしたコストダウンの要因として特に大きいのが、NVIDIA社製グラフィックスチップReality Synthesizer(RSX)が初代PS3の\$83.17から最新PS3で\$58.01と低下したことや、東芝/IBM製Cellプロセッサが初代PS3の\$64.40から最新PS3で\$46.46と低下したことである。なお同ニュースリリースによれば、60GBのハードディスク内蔵の初代PS3の部品点数は4048個であったのに対して、最新のPS3では2820個と約30%も少なくなっている⁽¹²⁾。



Copyright (c) 2006 Hiroshige Goto All rights reserved.

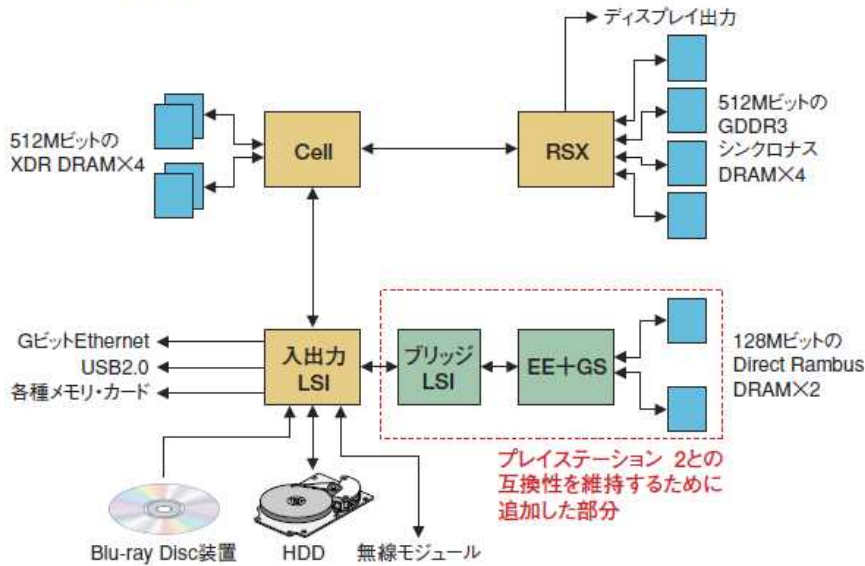
[出典]後藤弘茂(2006)「PS3、Wii、Xbox 360 のコストを探る」『PC Watch / 後藤弘茂の Weekly 海外ニュース』
<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2006/1227/kaigai328.htm>

(12) iSuppli(2008)“Second-Generation PlayStation 3 Features Cost Reduction, Supplier Shifts” *iSuppli News*,2008/12/29
<http://www.isuppli.com/NewsDetail.aspx?ID=19842>

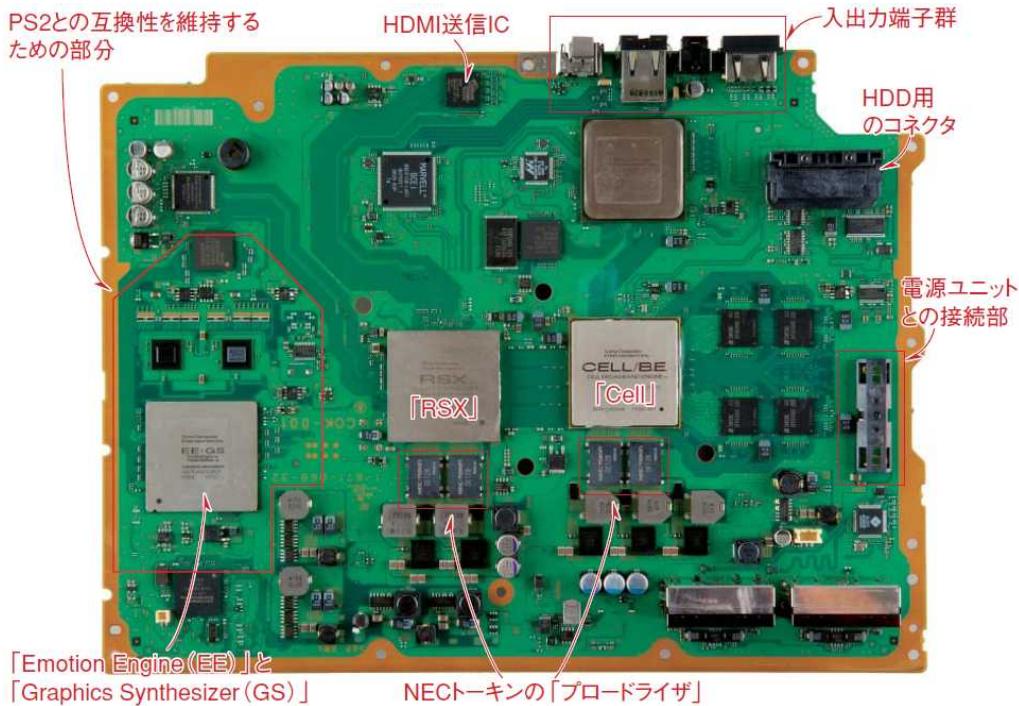
3. < 参考資料2 > 初代 PS3 における PS2 とのハードウェア的互換性確保のための技術的構成

初代 PS3 では、PS2 とのハードウェア的互換性確保のために、128Mbit の RDRAM 2 個とともに、PS2 で使われていた CPU モジュール「EE」(Emotion Engine) と GPU モジュール「GS(Graphics Synthesizer)」を 1 チップ化した LSI を搭載している。

PS3 のブロック図



[図の出典] 「全貌を現した PS3 と Wii その開発思想を読み解くー
アプローチは好対照」『日経エレクトロニクス』2006年12月4日号 ,p.87



[図の出典] 日経エレクトロニクス編集部(2006)「開けて分かった PS3 のすべて - 放熱機構と電源ユニットに苦心の跡」『日経エレクトロニクス』2006年11月20日号,p.59

4. < 参考資料 3 > PS3 固有の機能を生かしたソフトウェア開発上の様々な困難

---- PS3 におけるハードウェアの radical innovation に起因する諸問題 ----

PS3 用ハードウェアは、ソニーが radical innovation を追求した結果として、過去のゲーム機ハードウェアとの技術的連続性がきわめて低い。技術的性能向上を特に重視した製品イノベーションのそうした抜本的革新性のために、旧世代機と新世代機の間での互換性は低くなった。

そのため、

ソフトウェア開発環境それ自体の開発期間の長期化(そのためソフトウェア開発キットは PS3 販売直前でも未
完成であり、ゲームソフト開発会社が利用できなかった)

新規開発の「CELL」プロセッサが非対称型複数コア・システムであることに起因する新しいプログラミング・
テクニック習得の必要性

新規開発の「CELL」プロセッサの CPU サブモジュール「SPE」コアのハードウェア性能を生かしたプログラミ
ング作成のハードルの高さに起因する習熟時間の増大

などの問題が生じている。

そうしたことの結果として、PS3 本来のハードウェアの性能を生かし切り、旧世代機との本当に違いを感じさせることができるゲームソフトを PS3 発売時に用意することが困難になった。

(2) ゲーム・ソフトウェアを開発するためのソフトウェアや開発用試作機の開発の遅れ

PS3 のハードウェア構成が技術的に従来と大きく異なっている結果として、PS3 というハードウェアに対応したゲーム・ソフトウェアを開発するためのソフトウェア、すなわち、ソフトウェア開発キット(Software Development Kit、以下、SDK と略)の開発も遅れた。PS3 用 SDK は、当初の販売予定日を半年近く過ぎた 2006 年 9 月の東京ゲームショー近くになっても、まだバージョン 0.93 の段階に止まっていた。製品の発売直前になってもまだバージョン 1.0 状態になっていない結果として、PS3 用ゲーム・ソフトウェアの開発者たちは、まだ不完全であり、バグも多く含まれている SDK をベースにしてゲーム・ソフトウェアを開発しなければならなかった。

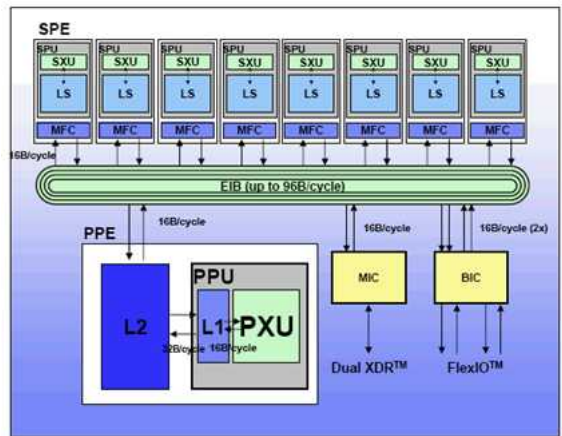
「ゲームソフトの開発に必須である PS3 の開発用試作機や、描画処理の心臓部であるミドルウェアと呼ばれるソフトの供給は、「そもそも当初の計画よりも半年ほど遅れていた」(SCE 関係者)。ノしかも、供給量が十分ではなく、多くのソフト会社が待たされる結果になった。ようやく開発機が届いたかと思えば、別のメーカーが供給している主要部品の一部が間に合わず、入っていないといった笑えない話まである。」⁽¹³⁾

(3) 複数コアを内蔵した CPU システムで最大パフォーマンスを引き出すための新しいスキル

これまでゲーム機で使用されてきたマイクロプロセッサはその内部に 1 個の CPU コアしか持たない。これに対して「Cell」プロセッサは、右図に示されているように、その内部に「PPE」(Power Processor Element) コア 1 個と 8 個の「SPE」(Synergistic Processing Elements)コアを内蔵した複数の CPU コアから構成されるシステムとなっており、その技術的構造が従来のものとは抜本的に異なっている。

そのためこれまでのプログラミングのように、1 個の CPU コアのパフォーマンスを限界まで引き出すという発想でのプログラミングではなく、Cell プロセッサのアーキテクチャをよく理解した上で複数の CPU コアに負荷をバランスよく分散させながら協調動作をさせ CPU システムとしてのパフォーマンスが最大になるように配慮するプログラミングの技術が必要とされる。

すなわち、これまでとはまったく異なるスキルがプログラマーに必要とされるのである。それゆえ、従来型の「いわゆる「ハードを叩いて性能を引き出す」型のスキルだけでは、うまく通用しない。」⁽¹⁴⁾とか、「汎用マイクロプロセッサ向けのソフトウェア開発



[上図]CELL プロセッサのアーキテクチャ
[出典]IBM, “The Cell architecture,” IBM Research, <http://domino.research.ibm.com/comm/research.nsf/pages/r.arch.innovation.html>

(13) 「「ゲーム業界」が消える 次世代機は日本をハリウッドに変えられるか」『日経ビジネス』2006年01月09日号,p.122

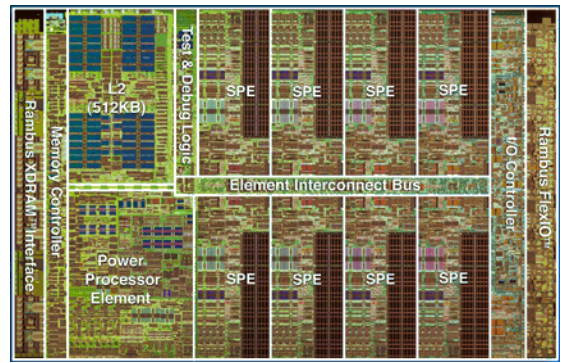
(14) 後藤弘茂(2006)「綱渡り状態だった東京ゲームショーのPS3」PC watch 2006年9月27日付け記事, <http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2006/0927/kaigai304.htm>

しかし知らない技術者の意識を根底から変える必要がある。」⁽¹⁵⁾ などとされている。

さらにまた CELL のように、性能やタイプが異なる複数の CPU コアが混在している非対称型マルチコアの場合には、Core2Duo や Core2Quad のような同一性能の複数 CPU コアからなる対称型マルチコアの場合よりもプログラムが複雑になる。

[右図]CELL プロセッサの内部構造写真

[出典]IBM, "The Cell architecture," IBM Research, <http://domino.research.ibm.com/comm/research.nsf/pages/r.arch.innovation.html>



(4) 新規開発の CPU サブモジュール SPE に対応したプログラミングの困難性

1) SPE 対応プログラミングの複雑性

PS3 での飛躍的性能向上を実現するために新規開発された CPU サブモジュールの「SPE(Synergistic Processor Element)」を利用するプログラミングの作成は複雑でハードルが高く、新規にかなりの学習時間を必要とするため「初期タイトルでは、SPE をフルに活かすことは絶対に無理。まだ、試しに使ってみる程度。習熟するには、かなり時間がかかる」[後藤弘茂(2006)前掲記事]とされている。

2) リアルタイム処理の制約要因としての SPE の内部メモリ容量の小ささ

SPE コア利用のプログラミング作成においてはさらにまた、SPE の各コアに内蔵されている内部メモリ容量が 256KB と相対的に小さいことがボトルネックとなっている。256KB の容量に、実行プログラムとプログラム実行に必要なデータを納めないと、ゲームソフトで必要とされるリアルタイム処理が困難になる。しかも SPE 内蔵メモリに比べて動作速度がかなり遅い外部 DRAM へのアクセス速度を改善するためにバッファリング処理をおこなう場合には、SPE 内蔵メモリを 2 分割して 128KB で使わなければならない。SPE コア内蔵メモリが 256KB ではなく 1MB もあればプログラミングのための労力がかなり軽減され全然違っていとされている。

「これまでも、ゲームデベロッパは、「ここで 1 命令(32bit 長)削れば、4 bytes 分メモリが節約できる」といった、ケチケチプログラミングを強いられてきた。程度の差はあれ、PS3 でも、それに似た状況は続いている。もっとも、Cell については「やればやるほどパフォーマンスは出せる」という声もあり、決して皆がネガティブなわけではない。しかし、労力が必要で、ハードルが高く、時間がかかることは確かだ。」[後藤弘茂(2006)前掲記事]とされている。

(5) 画素数向上に対応したソフトウェア開発費用の増大

現行アナログ地上波放送用 TV の解像度は 640 ドット×480 ドットの約 30 万画素であるのに対して、次世代デジタル地上波放送用 TV の解像度は 1920 ドット×1080 ドットの約 200 万画素である。次世代のフルハイビジョン TV の画素数は旧世代機の約 7 倍近くにもなっている。

画素数が増加すればするほど、それだけ精細な画像を構築することができるが、その分だけソフトウェア開発費用も増大することになる。

「単純に画面解像度が縦横 2 倍になるだけで、表示空間は 4 倍に広がる。その広いゲーム空間を“高精細”に制作しなければならず、従来と比べて数倍の時間とコストがかかってしまう。プレイステーション 3(PS3)や Xbox360 のように高画質を売りにしたゲーム機向けのタイトルがなかなか増えない理由もそこにある。とってゲームソフトの値段を 4 倍にするわけにもいかないため、目標販売本数が引き上げられ、赤字プロジェクトになりやすい。」「産業を創る --- 映像メディア編」『日経コンピュータ』2008 年 03 月 24 日号,p.159

また一方でこうした表示画素数の増大に対して、GPU モジュール「RSX」の設計性能がボトルネックになっているという問題点もある。というのも RSX のメモリ帯域は、そのモジュールの原型である GeForce 7800 GTX の約半分しかない。そのことが画像処理のボトルネックとなり、「RSX は解像度さえ低ければ最高の GPU なのだけど、HDTV 表示になると苦しい」[後藤弘茂, 2006]とも言われている。

(15) 日経エレクトロニクス編集部(2005)「ゲーム機を出発点に 次の10年を駆け抜ける」『日経エレクトロニクス』2005年02月28日号,p.96

5. < 参考資料5 > ゲーム機ハードウェアの浮動小数点数演算能力

代表的なゲーム機ハードウェアの浮動小数点数演算能力の比較 [単位:GFLOPS]

ゲーム機名称	浮動小数点演算能力			備考
	CPU	GPU	システム全体	
ドリームキャスト	1.4			SH-4 動作周波数 200MHz 360MIPS(注1)
Xbox	1.5			
PS2	6.2			Emotion Engine 単体(注2)
PSP	2.6	7	9.6	システム全体はピーク時性能(注3)
ゲームキューブ	2.5	10.5	13	(注4)
Wii			21	(注5)
Xbox 360	115	885	1,000	(注6)
PS3	218	1,800	2,000	(注7)

下記の注で明記した以外の出典は、日本語版ウィキペディアの「FLOPS」, <http://ja.wikipedia.org/wiki/FLOPS> の記述による。

(注1) ドリームキャストの本体仕様に関するセガのWebページ(<http://web.archive.org/web/20010306142759/www.sega.co.jp/dreamcast/hardware/spec.html>)の記述による数値である。

(注2) 照山竜生ほか(1999)「6.2GFLOPSのマイクロプロセッサを開発」『日経エレクトロニクス』1999年10月4日号,p.138

(注3) PSPのCPUコアの性能に関しては、後藤弘茂(2005)「PSPチップは第3のPlayStationアーキテクチャ」PC Watchの2003年8月1日付け記事 <http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2003/0801/kaigai008.htm>で詳しい検討がなされている。

(注4) 任天堂総合開発本部長(当時)の竹田玄洋氏が「NINTENDO 64は高い性能のためソフトウェア開発を困難にしてしまった、またスペックの数値はあくまでピークの最大瞬間性能であって、実際のゲームでは発揮できない」とのことからスペックについてはあまり強調しなかった。ピーク性能より持続性能を重視し、メインメモリおよび混載メモリに遅延の少ない1T-SRAMを採用、MPUに大容量キャッシュを搭載し、実際のゲームで安定して使える性能を高めた。([出典]「レポート」任天堂、「GAMEBOY ADVANCE」と「NINTENDO GAMECUBE」発表」マイコミジャーナル2000年8月25日付け記事、<http://journal.mycom.co.jp/news/2000/08/24/09.html>)と述べているように、あくまでもピーク時の最大瞬間性能に過ぎない。

なお、GAMECUBEのシステム全体の性能は、「ATIのグラフィックチップ技術が「Nintendo GAMECUBE」に採用」『マイコミジャーナル』<http://journal.mycom.co.jp/news/2000/08/25/14.html>に基づく。GAMECUBEのグラフィックチップ「Flipper」の性能は、<http://www.nintendo.co.jp/ngc/specific/index.html>の記述に基づく。CPUの浮動小数点演算能力は、それらの数値から計算によって導出した値である。

(注5) フランス語版Wikipedia, "Wii", <http://fr.wikipedia.org/wiki/Wii>の記述による。

(注6) XBOX360のCPUの浮動小数点演算能力は西川善司(2005)「3Dゲームファンのためのプレイステーション 3基本講座～プレイステーション 3のスペック表の読み方」http://game.watch.impress.co.jp/docs/20050517/ps3_04.htmの中で紹介されているPS3発表会での資料に基づくもの。GPUはその値から計算で導出した。

(注7) ソニーのプレスリリース2005年5月17日、http://www.jp.playstation.com/info/release/nr_20050517_ps3.html

6. < 参考資料6 > 携帯型ゲーム機の任天堂 DS vs ソニーPSP の性能比較

<http://www.sanosemi.com/biztech/document/Game-DSvsPSP-2010ver2.pdf>

7. < 参考資料7 > ゲームボーイアドバンスに関する報道資料

「ゲームボーイアドバンスは、CPUに32ビットのRISCプロセッサを採用し、従来のゲームボーイから大幅に性能をアップした携帯型ゲーム機。ボディデザインもがらりと変わり、横長になった。新開発のTFTカラー液晶は、2.9インチワイド型と、従来の1.5倍のサイズとなり、十字キー、STARTボタン、SELECTボタンは画面の左へ、Aボタン、Bボタンは画面の右へと、操作のしやすいキー配置に変更している。また新たにL・Rボタンも追加されている。本体のサイズはH82×W144.5×D24.5mm、本体の重量は140gだ。

新製品の最大の特徴は、演算能力とデータ処理能力の高い32bit CPUを採用している点。



同社の浅田篤副社長は、ゲームボーイアドバンスを「スーパーファミコンとゲームボーイを融合した究極の2次元ゲームマシン」と紹介している。サウンド面でもPCMステレオ音源を追加しており複数トラックの同時演奏も可能になったという。

外観と性能は従来のゲームボーイと大きく異なるが、従来のゲームボーイソフトカートリッジを利用できる互換性を保っているのも大きな特徴だ。

[出典]「任天堂、「GAMEBOY ADVANCE」と「NINTENDO GAMECUBE」発表」『マイコミジャーナル』2000年8月25日

<http://journal.mycom.co.jp/news/2000/08/24/09.html>

8. <参考資料8> コンピュータ・グラフィックス関連の用語解説

(1) フリー百科事典「ウィキペディア (Wikipedia)」におけるポリゴンの解説

ポリゴン (polygon) とは、元々は多角形という意味であるが、主に3次元コンピュータグラフィックスにおいて、三角形や四角形(ソフトによっては五角形以上も扱える)の組み合わせで物体を表現する時の各要素を指す。

ポリゴンおよびポリラインは2次元コンピュータグラフィックスにおいても同様な意味で用いられる。例えば、地理情報システム (GIS) で地図を描く場合に、領域の輪郭をポリゴンで記述し、道路や鉄道などをポリラインで記述する。

このようなポリゴンで構成された物体は、基本的に直線と平面のみで構成されるが、線・面分割を細かくしてスムーズシェーディングなどの処理を併用する事で擬似的に曲線・曲面も表現できる。またピクサー社は単純なポリゴン形状で有機的曲面形状を制御するサブディビジョンサーフェス技術を開発している。**ポリゴンの数が増えるほど詳細な表現が可能になり、何らかの入力操作に応じてリアルタイムに表示計算を行うコンピュータやゲーム機では1秒間に処理できるポリゴンの数がハードウェアの性能の比較に用いられることもある。**例えば、ソニーのプレイステーション2に搭載された Emotion Engine は、当時としては驚異的な毎秒6600万ポリゴンを誇っていた。近年では、携帯電話向けのものでさえ、東芝の TC35711XBG のように、毎秒1億ポリゴンにも達するものさえある。しかしCPUのFLOPSと同様、1秒間に処理できるポリゴンの数だけがハードウェアの性能の優劣を決定づける要素ではない。逆に、ハードの負荷を減らす為に制作側は極力少ない数のポリゴン(ローポリゴン)でキャラクターのモデリングを行う事を要求されるため、細部の表現には各種のテクスチャマッピングと組み合わせることが多い。

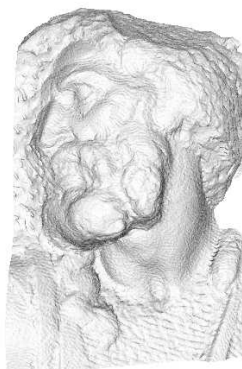
また、三角形ポリゴンを複数組み合わせ、四角形以上のポリゴンの処理を代替することは可能なので、いわゆるGPUなどは基本的に三角形ポリゴンの処理に特化した設計である(比較的知名度があるハードウェアだと、セガ Model3 に使用されている、LockheedMartin Real3D/PRO-1000などは、四角形のポリゴンベースで処理をするが、もともとが軍事シミュレータ用であり例外的な存在である)。

[出典]<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9D%E3%83%AA%E3%82%B4%E3%83%B3>

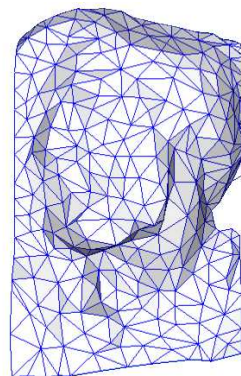
(2) フリー百科事典「ウィキペディア (Wikipedia)」におけるテクスチャマッピングに関する解説

[出典]<http://ja.wikipedia.org/wiki/テクスチャマッピング>

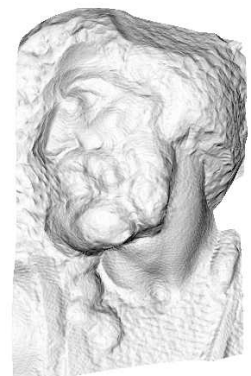
テクスチャマッピング (Texture mapping) とは、3次元コンピュータグラフィックスで作成された3Dモデル表面に質感を与えるための手法。テクスチャ (texture) とは元来、織物の質感を意味する。テクスチャは3Dオブジェクトの表面に壁紙のように貼り付けられ、ノン・テクスチャ・モデルとは比べものにならないほど質感の向上をもたらす。たとえば岩肌のテクスチャを不均等な多面体に適用すれば、多くの凸凹にポリゴンを使うことなく、現実感のある岩山を表現できる。実物を3Dモデル化する場合、細かな凹凸までモデリングしていたのでは、非効率であるし不経済でもあるため、テクスチャマッピングが多くの場面で利用され、ポリゴン数の削減とパフォーマンスの向上に寄与している。なお、表面の凹凸を再現するのにもっとも適したマッピング手法は「パンプマッピング」である。テクスチャには繰り返しパターンをもった模様、もしくは1枚絵が使われる。右は400万ポリゴンの3Dモデル。中央はそれを500ポリゴンに削減したもの。右は500ポリゴンの3Dモデルにテクスチャマッピングを施したもの。その絶大な効果がわかる。テクスチャマッピングの技法は1962年、エヴァンス・アンド・サザランド社 (Evans and Sutherland) の産業用シミュレーションCGの製作に携わっていた、ユタ大学のエド・キャットマル (Edwin Catmull) らによって開発された。



original mesh
4M triangles



simplified mesh
500 triangles



simplified mesh
and normal mapping
500 triangles