



# インテル® PXA27x プロセッサ・ファミリ ビデオデコーダの表示パフォーマンス最適化

---

アプリケーション・ノート

2004 年 4 月

本資料に掲載されている情報は、インテル製品の概要説明を目的としたものです。製品に付属の売買契約書『Intel's Terms and conditions of Sales』に規定されている場合を除き、インテルはいかなる責を負うものではなく、またインテル製品の販売や使用に関する明示または黙示の保証（特定目的への適合性、商品性に関する保証、第三者の特許権、著作権、その他、知的所有権を侵害していないことへの保証を含む）に関しても一切責任を負わないものとします。

インテルは、本書に記載された内容に関して、特許または特許出願中のアプリケーション、商標、著作権等の知的所有権を保有することがあります。明示、黙示、禁反言またはその他の如何を問わず、文書およびその他の資料や情報の提供が、これらの特許、商標、著作権等の知的所有権にライセンスを供与することにはなりません。

インテル製品は、医療、救命、延命措置、重要な制御または安全システム、核施設などの目的に使用することを前提としたものではありません。

インテル製品は、予告なく仕様変更される場合があります。

機能または指示で「留保付」または「未定義」と記されているものがありますが、設計を行う際に、これらの不存在または性質に依拠することはできません。これらは、インテルが将来の定義付けのために留保しているものです。これらが将来変更されたことにより、衝突が生じたり互換性が失われたりしても、インテルは一切責任を負わないものとします。

インテル® PXA27x プロセッサ・ファミリは、エラッタと呼ばれる設計上の不具合が含まれている可能性があり、公表されている仕様とは異なる動作をする場合があります。現在確認済みのエラッタについては、インテルまでお問い合わせください。

MPEGは、ビデオの圧縮/伸張に関する国際的な規格であり、ISOによって奨励されています。MPEGコーデックまたはMPEG対応のプラットフォームを実装するには、インテル コーポレーションをはじめとする各種の団体からライセンスを取得しなければならない場合があります。

最新の仕様をご希望の場合や製品をご注文の場合は、お近くのインテルの営業所または販売代理店にお問い合わせください。

本書で紹介されている注文番号付きのドキュメントや、インテルのその他の資料を入手するには、1-800-548-4725（米国）にお問い合わせになるか、インテルのWebサイト <http://www.intel.com> にアクセスしてください。

Intel、インテル、Intel ロゴ、MMX、Intel XScale は、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

© 2004-2005 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。

\* その他の社名、製品名などは、一般に各社の商標または登録商標です。

## 目次

---

1.0	はじめに.....	5
2.0	機能の説明と使用方法.....	5
2.0.1	ハードウェア色空間変換.....	5
2.0.2	内部フレームバッファ.....	6
3.0	H.264 デコーダに対する色空間変換ハードウェアの影響.....	7
4.0	推奨事項.....	8
5.0	バッファ管理.....	9
5.1	背景説明.....	9
5.2	各種構成の検討.....	10
5.2.1	構成1：完全に独立したバッファ.....	10
5.2.2	構成2：デコーダとプレーヤがバッファを共有.....	11
5.2.3	構成3：複数の表示バッファ.....	12
5.2.4	構成4：1組のバッファをすべてに使用.....	12
5.2.5	構成のまとめ.....	13
6.0	まとめ.....	14

### 図

図1.	ハードウェア色空間変換の各ステップ.....	5
図2.	内部フレームバッファ.....	6
図3.	完全に独立したバッファ.....	11
図4.	デコーダとプレーヤがバッファを共有.....	11
図5.	複数の表示バッファ.....	12
図6.	1組のバッファをすべてに使用.....	13

### 表

表1.	必要なフレームバッファ（バイト数）.....	6
表2.	H.264 デコーダの実験結果.....	8
表3.	各構成の特性のまとめ.....	13

## 改訂履歴

---

改訂時期	改訂番号	説明
2004 年 4 月	1.0	初版

## 1.0 はじめに

インテル® PXA27x プロセッサ・ファミリの PXA27x プロセッサは、最先端のビデオおよびマルチメディア・アプリケーションに対応したシステムレベルの機能を搭載しています。これには以下の機能が含まれます。

- インテル® ワイヤレス MMX® テクノロジーで強化された Intel XScale® マイクロアーキテクチャ
- YUV から RGB へのソフトウェア変換を必要とせず、YUV 4:2:0 形式をそのまま入力可能な LCD コントローラの機能
- フレームバッファへの使用に十分な容量のオンチップ SRAM

アプリケーションの負荷に応じてシステムを構成し、さまざまな方法で上記のリソースが利用できます。また、色空間変換のハードウェア・アクセラレーションと内部 SRAM との組み合わせによって、ビデオのデコード時に電力効率の面で大幅なパフォーマンスの向上が可能になります。本書では、色空間変換ハードウェア・エンジンと内部 SRAM をさまざまな構成で使用し、H.264 でデコードされたビデオ・シーケンスを表示した場合のパフォーマンスを比較した結果について紹介します。さらに、ハードウェア色空間変換と内部 SRAM の最適な使用方法に関する推奨事項についても紹介します。ただし本書では、インテル® ワイヤレス MMX® テクノロジーによる影響がないことを前提としています。

## 2.0 機能の説明と使用方法

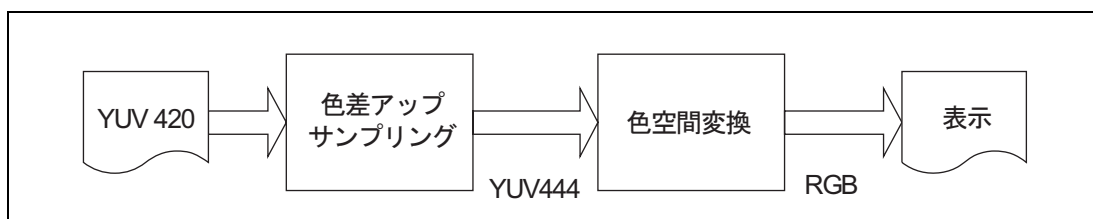
ビデオ・アプリケーションにおける表示チェーンとは、アプリケーションによって生成されたデータを画面に表示するプロセスのことです。PXA27x プロセッサは、コンテンツ・セットのさまざまな表示が可能な LCD コントローラを搭載しています。表示チェーンの操作性とパフォーマンスに影響を与える機能には、以下の2つがあります。

- ハードウェア色空間変換
- 内部オンチップ・メモリ

### 2.0.1 ハードウェア色空間変換

PXA27x プロセッサの LCD コントローラには YUV 4:2:0 Planar を表示するためのモードが用意されています（他に YUV422、YUV444、RGB など、数多くの形式があります）。YUV 4:2:0 Planar は、H.264 をはじめとするビデオデコーダで広く使われている出力形式です。このモードを使用すると、CPU サイクルをソフトウェア変換に費やす必要がなくなるため、ビデオデコード全体のパフォーマンスが向上します。図 1 に、ハードウェアによって強化される機能と、各機能間における色空間フォーマットを示します（色差アップサンプリングと色空間変換については、製品仕様書にて詳述しており、本書では示していません）。

図 1. ハードウェア色空間変換の各ステップ



ハードウェア色空間変換を使用した場合、ビデオデコーダは標準的なYUV 420出力を生成し、そのデータをLCDコントローラによって表示できるようにします。LCDコントローラは、データを表示しながら、必要な色差アップサンプリングと色空間変換を実行します。

## 2.0.2 内部フレームバッファ

デコードされた表示対象イメージを格納するメモリ領域は、フレームバッファと呼ばれています。ビデオデコーダは、デコードされたイメージをフレームごとにこのバッファに格納し、LCDコントローラは、リフレッシュ・レートでバッファからの読み出しを行います。LCDコントローラは、LCDの表示サイズとリフレッシュ・レートによっては、システム内のバス帯域幅を大量に消費する可能性があります（図2を参照）。

PXA27xプロセッサは256KBのSRAMをオンチップで搭載しており、そこにフレームバッファを格納することによってLCDコントローラがリフレッシュのためにオフチップのSDRAMにアクセスする回数を削減することができます。内部メモリはアクセス・レイテンシが低くアクセス・スループットが高いため、表示対象データを格納する際に効果を発揮します。

ハードウェア色空間変換を使う際は、フレームバッファを2つ使用する必要があります。つまり、通常のRGBベースフレームと、YUV形式のフレーム（オーバーレイ2）です。オーバーレイ2のピクセルを表示可能にするには、ベースフレームの対応するピクセルをトランスペアレントとしてマークしなければなりません。

図2. 内部フレームバッファ

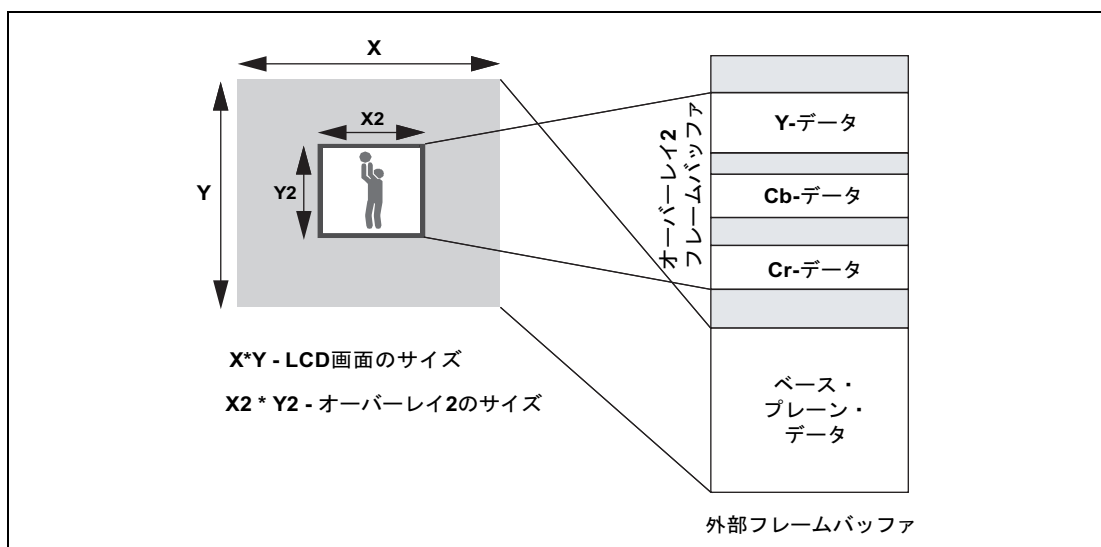


表1に、QVGAおよびVGAにおいて各形式に必要なフレームバッファを示します。

表1. 必要なフレームバッファ（バイト数）

	VGA	QVGA
RGB16	614400	153600
YUV 4:2:0	460800	115200
4bpp	153600	38400
1bpp	38400	9600

YUV 4:2:0 のバッファは、3つの独立したバッファで構成されており、Y、U、Vのそれぞれに1つのバッファが割り当てられています。Yバッファは8bpp、UバッファとVバッファはそれぞれ2bppです。上記の表では、3つのバッファすべてを合わせた場合に必要な12bppの合計メモリサイズを示しています。

両方のフレームバッファを使用するには、256KBの内部SRAMでは十分でない点に注意が必要です（表1を参照）。もう1つの問題として、オーバーレイ2が全画面の場合（ビデオ再生アプリケーションでは一般的です）、表示されるベースフレームのピクセルがないにもかかわらず、LCDコントローラはベースフレームを決められたリフレッシュ・レートで読み出すため、バスサイクルが無駄に消費されることが挙げられます。

こうした問題を解決する方法の1つが、ベースフレームの形式を16bpp未満に変更することです。これは、表示可能なベースフレームがない場合に有効な方法です。LCDコントローラでは、4bppと1bppがサポートされています。この形式のいずれかに切り替えると、ベースフレームとLCDのリフレッシュ・アクセスに必要なフレームバッファを大幅に削減できます。

1bppを使用して必要なベース・フレームバッファを減らした場合、ベース・フレームバッファとオーバーレイ2フレームバッファの、SRAM（256KB）やSDRAMへの配置を検討することができます。QVGAとVGAのそれぞれについて、複数の構成のもとでH.264デコーダを用いた実験を行いました（次のセクションを参照）。

ユーザは、内部メモリ空間内にどのデータ・オブジェクトを配置するのか決める必要があります。メモリ・サブシステム内でのバッファの配置は重要です。最適なバッファ構成については、セクション5で説明します。

一部のアプリケーションでは、LCDフレームバッファを外部SDRAMに配置し、多くのアプリケーションによって利用されるローカル・フレームバッファに内部SRAMを使用する方法が適しています。ローカル・フレームバッファが内部にあるため、アプリケーションはバッファ内のイメージを迅速に更新できます。次に、システムDMAによってアプリケーションのフレームバッファからLCDフレームバッファにイメージをコピーして、表示を行います。これは、表示が複数のオーバーレイで構成されている場合にも効果的です。

### 3.0 H.264 デコーダに対する色空間変換ハードウェアの影響

---

各種のフレームバッファ構成のもと、Mainstone I（403MHzのCPU、201.5MHzのシステムバス、100.75MHzのメモリおよびLCDコントローラ周波数）上でH.264デコーダを実行する実験を行いました（表2を参照）。ビデオ・シーケンスは、320×240では518Kbps、640×480では1,932Kbpsに圧縮された「stuart」（映画から抽出された24fps、30秒間のシーケンス）であり、Bフレームは未使用です。QVGAの場合、ポートレート・モードの表示が使用され、ビデオ・シーケンスは事前にローテートされません。そのため、表示のためのYUVコピーにおいてイメージ・ローテーションを行っています。

表 2. H.264 デコーダの実験結果

構成	表示 / ビデオ	ベースフレーム	オーバーレイ 2 フレーム	正規化された FPS の合計	色空間変換
1	QVGA	SD 16bpp	未使用	1.0	18%
2	QVGA	SD 16bpp	SD	1.11	7.5%
3	QVGA	SD 1bpp	SD	1.13	7.1%
4	QVGA	SD 16bpp	SR	1.13	6.1%
5	QVGA	SD 1bpp	SR	1.16	6.25%
6	QVGA	SR 1bpp	SR	1.16	6.25%
7	VGA	SD 16bpp	未使用	1.0	15.2%
8	VGA	SD 16bpp	SD	1.05	8.0%
9	VGA	SD 1bpp	SD	1.10	7.1%
10	VGA	SD 16bpp	SR (UV)	1.07	7.0%
11	VGA	SD 1bpp	SR (UV)	1.11	6.4%
12	VGA	SR 1bpp	SR (UV)	1.11	6.4%
SD : SDRAM SR : オンチップ SRAM (UV) : U と V のみ SRAM 内。Y は SDRAM 内 CC: 合計 fps 中で色空間変換に使用される部分。オーバーレイ 2 使用時は YUV フレームコピー					

#### 所見：

- ソフトウェアによる色空間変換の代わりに LCDC によるハードウェア色空間変換機能を使用することにより、非常に大きなパフォーマンス効果が得られます。
- ベース・フレームバッファの形式を 16bpp から 1bpp に切り替えると、再生パフォーマンス全体でさらに 2～3% の向上が可能です。
- オーバーレイ 2 フレームバッファを SRAM に配置すると、さらに 2% の向上が可能です。この結果は、SRAM を他の用途で使用することを検討する際にも役に立ちます。

## 4.0 推奨事項

このセクションでは、H.264 の全体的な再生パフォーマンスが最も高い場合に基づいて、フレームバッファ /SRAM の推奨構成を紹介します。ビデオを全画面で再生すること、そしてベースフレームのピクセルを表示する必要がないことを前提条件とします。

- ハードウェア色空間変換を使用する。
- ベースフレーム形式を 1bpp に切り替えて、ベースフレームバッファのサイズとベースフレームのリフレッシュ・バス・サイクルを最小限に抑える。
- 最小の 1bpp ベースフレームは、サイズが極めて小さく、パフォーマンスへの影響が少ないため、SRAM や SDRAM に配置できる。

YUV フレームバッファ（オーバーレイ 2）は、SRAM（内部メモリ）に配置する必要があります。QVGA の場合、3 つのバッファ（YUV）がすべて 256KB の SRAM 内に収まります。VGA の場合、U バッファと V バッファは収まりますが、Y バッファは SDRAM に配置しなければなりません。SRAM にフレームバッファを配置するには、特定のデバイスに対する SRAM の使用法を BSP レベルで決定することが必要になります。

H.264 デコーダの場合、こうした選択をすると、全体的な再生パフォーマンス（デコードおよび表示）がソフトウェア色空間変換による再生よりも QVGA で 16%、VGA で 11% 向上します。MPEG-4 のようにあまり複雑でないデコーダでは、パフォーマンスの向上率はさらに大きくなります。

## 5.0 バッファ管理

---

PXA27x プロセッサの LCD コントローラに搭載された、YUV 4:2:0 を直接表示する機能では、デコードされた表示対象ビデオフレームをフレームバッファに格納する方法についての問題が生じます。前述の実験結果によると、H.264 を使った場合、フレームコピーの使用は再生フレーム時間全体の約 6% を占めるため、フレームコピーが必要となる回数をできるだけ減らすことを推奨します。ここでは、諸条件を考慮に入れながらこの問題について検討します。また、単一のフレームコピーが H.264 デコーダでの使用に適しており、ビデオプレーヤの要件を満たしつつ最大限のパフォーマンスを引き出せる理由について説明します。

### 5.1 背景説明

ビデオ・ビット・ストリームは、ビデオデコーダによって YUV フレームにデコードされます。YUV フレームは、色空間変換後に再生アプリケーション（プレーヤ）によって表示に使用されるほか、後続のフレームをデコードする際の参照フレームとしても使用されます。プレーヤもデコーダも、デコードされたフレームのバッファリングを必要としますが、それぞれ目的が異なります。

ビデオデコーダは、デコード用に複数の YUV バッファを確保する必要があります（現在デコード中のフレーム用に 1 つ、以前の参照用に 1 つ、B フレーム使用時は今後の参照用にさらに 1 つ）。H.264 の場合、以前の参照用のフレームと今後の参照用のフレームを複数持つことができるため、H.264 デコーダはさらに多くの YUV バッファ（最大で合計 16+1）を使用する可能性があります。

ビデオ再生アプリケーション（プレーヤ）は、デコードされたフレームのプールを表示用に確保する必要があります。このプールは、一定のフレームレートでオーディオに合わせて同期的に空にされ、デコーダによって非同期的に満たされます（デコード時間はフレームごとに大きく異なります）。最も遅いデコード時間がフレーム時間全体に比べて短ければ（PXA27x プロセッサ 520MHz 上で MPEG-4 QCIF ビデオをデコードする場合など）、このプールは必要ありません（バッファ数を 1 つに減らせます）。

LCD コントローラ DMA の読み出し元となるメモリバッファは、物理メモリの連続したセクションでなければならず、ソフトウェアがそこから物理アドレス（DMA のプログラム用）と仮想アドレス（標準的なアクセス用）の両方が取得可能である必要があります。

表示対象のピクセルを確実にメモリ内に格納するには、その領域をキャッシュ不可能として構成する必要があります。ただし、最大限のストア・パフォーマンスを引き出すには、バッファリングを行ってください。

こうした特性のバッファの動的割り当てに必要なサポートを OS が提供していない場合は、物理メモリ空間をバッファ用に確保しなければなりません（1 つまたは 2 つのフレームバッファ用に行われているのと同様）。

## 5.2 各種構成の検討

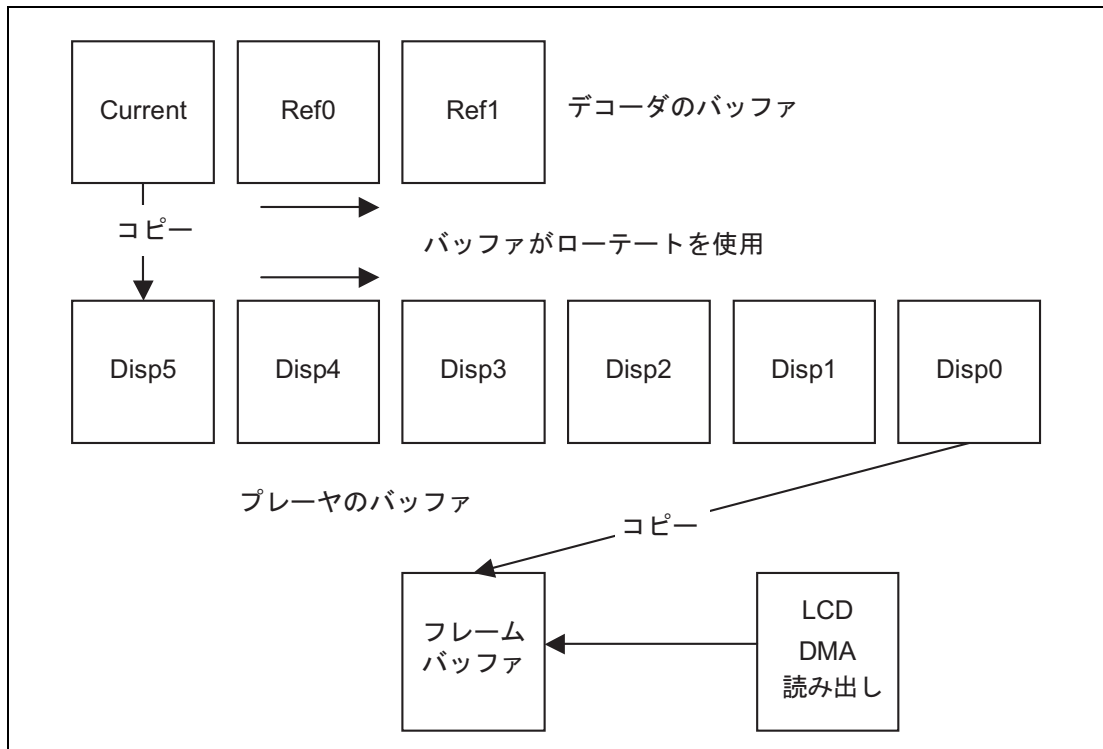
図3～図6に想定可能なデコーダ/プレーヤ/ディスプレイのバッファ構成を示しており、表3には各構成の特性を記載しています。各図に示されたデコーダとプレーヤのバッファ数は単なる例であり、実際のデコーダやプレーヤではバッファ数が異なるケースも考えられます。こういった構成は、データサイズやメモリ要件、実行されるコピー操作の回数、ソフトウェアやアプリケーションの観点から見たバッファ管理の複雑さによって異なります。

ビデオビューアやムービー・ウォッチャのように一般的なビデオデコード用アプリケーションでは、アプリケーションをコンポーネントに分解できます。例として、プレーヤ（アプリケーション全般）や、ビデオクリップをデコードするビデオデコーダ（デコーダ）などがあります。

### 5.2.1 構成1：完全に独立したバッファ

構成1は、デコーダ、プレーヤ、ディスプレイに別々のバッファを用いるアーキテクチャを表しています。デコーダとプレーヤは、ローテート方式でバッファを使用します。例えば次のフレームでは、デコーダバッファの Ref1 が Current バッファになり、デコーダバッファの Current が Ref0 バッファになります。このアーキテクチャは、モジュール性が最も優れており、イメージ・ローテーションと SRAM 内でのフレームバッファに対応していますが、フレームごとに2回のフレームコピーが必要になるというパフォーマンス上のペナルティがあります。LCD 色空間変換機能がないデバイスの場合、Disp0 からフレームバッファへのコピーは、ソフトウェア色空間変換に置き換えられます。これは、必要に応じてイメージ・ローテーションが行われるポイントでもあります。構成1については、図3を参照してください。

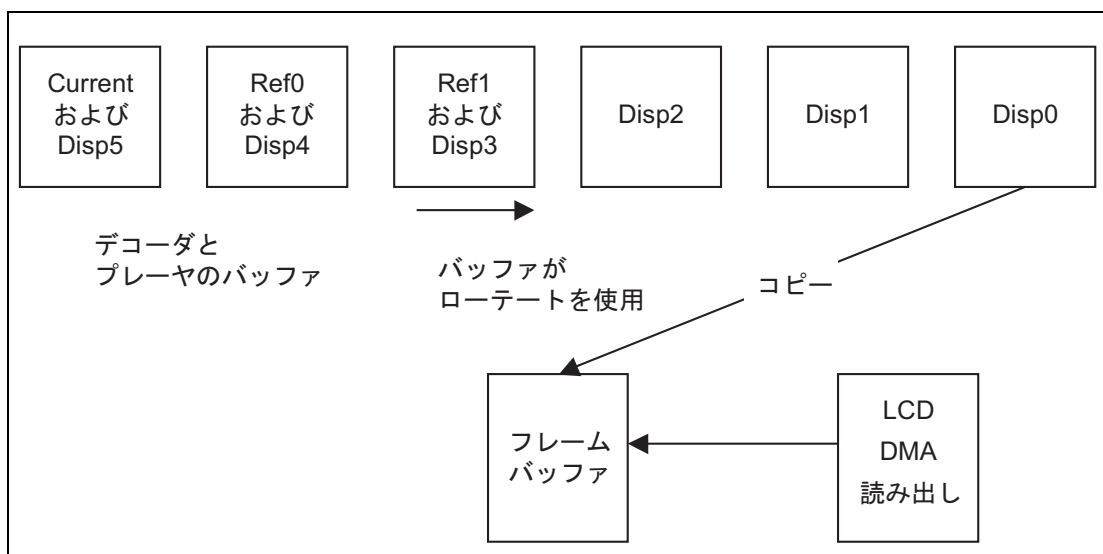
図 3. 完全に独立したバッファ



### 5.2.2 構成 2：デコーダとプレーヤがバッファを共有

構成 2 は、デコーダとプレーヤが共有バッファを使い、ディスプレイ用に別のバッファを用意したアーキテクチャを表しています。このアーキテクチャでは、デコーダとプレーヤとの結合度が増す代わりに、構成 1 のフレームコピーを 1 回減らしています。バッファ内のデコード済みフレームが表示されるまで、デコーダは新しいフレームをそのバッファに格納できません。構成 2 は、アプリケーション・ソフトウェアとディスプレイとの独立性を確保しており、イメージ・ローテーションと SRAM 内でのフレームバッファに対応しています。構成 2 については、図 4 を参照してください。

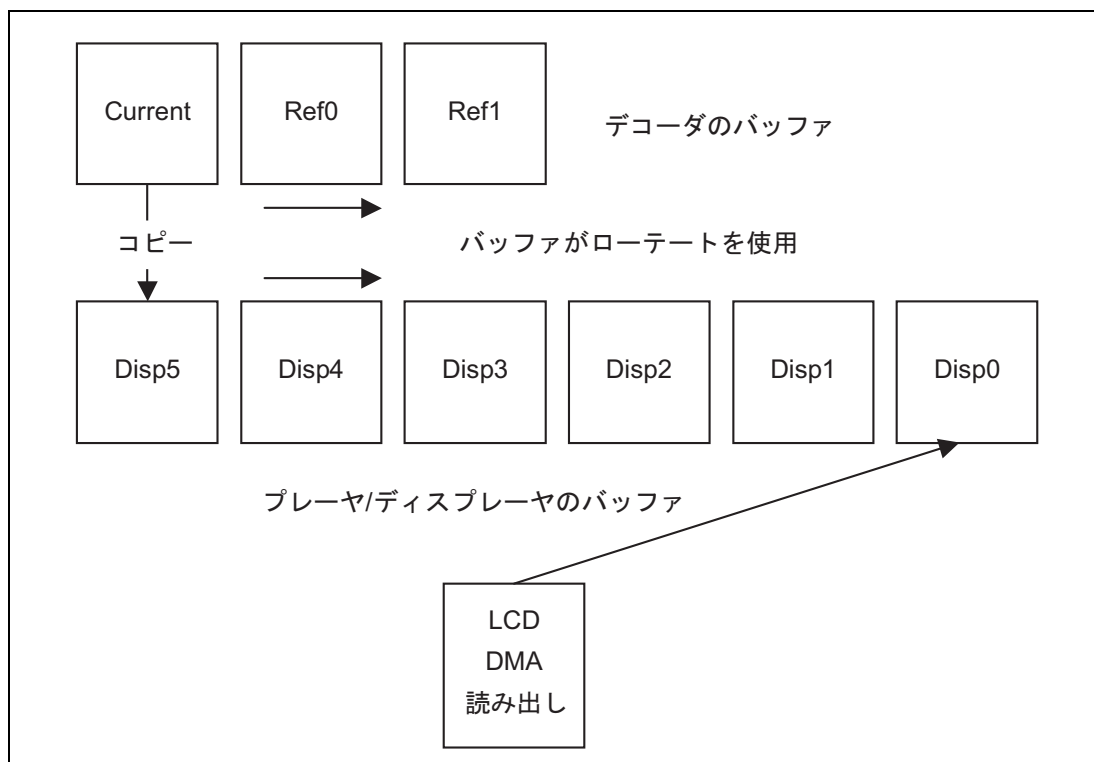
図 4. デコーダとプレーヤがバッファを共有



### 5.2.3 構成3：複数の表示バッファ

構成3は、デコーダとプレーヤがそれぞれ別のバッファを使い、表示にはプレーヤのバッファを直接使用するアーキテクチャを表しています。LCD DMAは、バッファごとに切り替えられます。このアーキテクチャでは、プレーヤをディスプレイに緊密に結合させながらも、デコーダとプレーヤとのモジュール性を維持しています。また、構成1のフレームコピーを1回減らせる利点があります。イメージ・ローテーションには対応していますが、オンチップSRAMをフレームバッファに使用することはできません。構成3については、図5を参照してください。

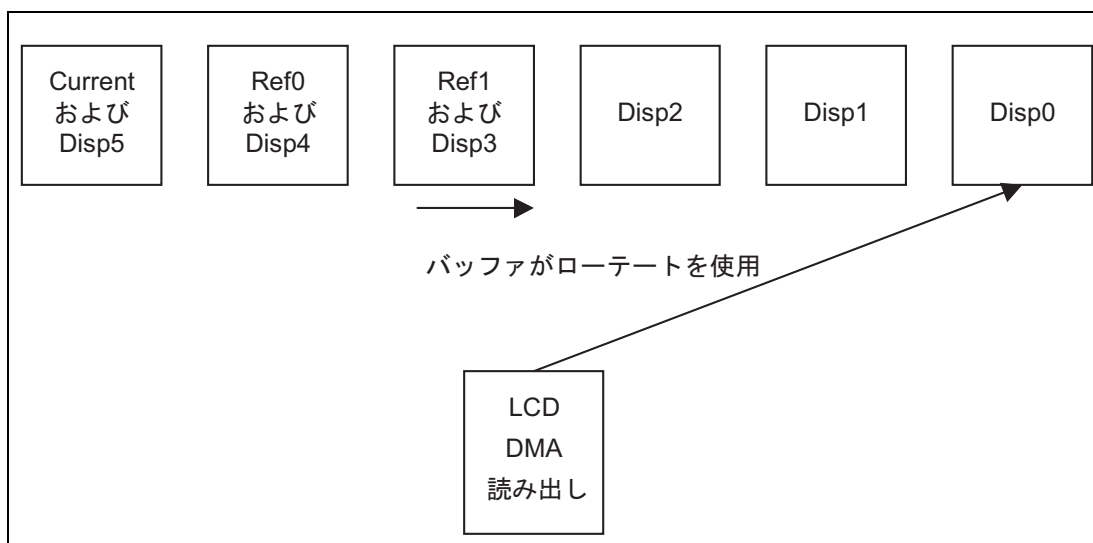
図5. 複数の表示バッファ



### 5.2.4 構成4：1組のバッファをすべてに使用

構成4では、デコーダ/プレーヤ/ディスプレイを緊密に結合させる代わりに、構成1のフレームコピーを両方ともなくしています。イメージ・ローテーションにも、オンチップSRAMをフレームバッファに使用することにも対応していません。この構成では、バッファ・レイアウトをDMAの要件に合わせる必要があります。H.264 デコーダや同様のデコーダの場合、必要なレイアウトが満たされていません。H.264 デコーダのバッファでは、各行の最後にデコーダの参照フレーム用の予備バイトがあります。構成4については、図6を参照してください。

図 6. 1 組のバッファをすべてに使用



### 5.2.5 構成のまとめ

表 3 に、各構成の特性についてまとめます。

表 3. 各構成の特性のまとめ

構成	SRAM 内での フレーム バッファ	フレームごとの フレームコピー 回数	イメージ・ ローテーション	デコーダ/プ レーヤの独立し たバッファ管理	標準的な バッファメモリ 割り当て
1	対応	2	対応	対応	対応
2	対応	1	対応	未対応	対応
3	未対応	1	対応	対応	未対応
4	未対応	0	未対応	未対応	未対応

構成 3 と構成 4 は、SRAM のサイズに制限があるので、SRAM へのフレームバッファの配置に対応していません。複数のバッファを表示用には、容量が不十分です。

LCD DMA コントローラはコピー中にローテートする機能を備えていないので、構成 4 はイメージ・ローテーションに対応していません。この機能は、その他の構成ではソフトウェアによって行われており、パフォーマンスをほとんど犠牲にせずにローテーションを行います。

構成 3 のプレーヤ/ディスプレイのバッファと、構成 4 のすべてのバッファの場合、バッファメモリ割り当ては、前述のフレームバッファの物理メモリ要件を満たす必要があり、結合と、場合によってはシステム全体でのメモリ使用量の制限をもたらします。

バッファをキャッシュ可能として構成できる場合、構成 4 は全体的なパフォーマンスを最大限に引き出せます (H.264 デコーダを使った実験によると、キャッシュ不可能な参照バッファを使用した場合、全体的な再生パフォーマンスが約 80% 遅くなります)。キャッシュ可能なフレームバッファを使用する方法の 1 つとして、十分なサイズのバッファプールを用いることが挙げられます。この方法では、表示時間までにプロセッサが追加のフレームをデコードし、画像の表示のためにキャッシュ・ラインをすべて排出することが、保証はできませんが、ほぼ確実になります。もう 1 つの方

法は、1つのフレームのデコードを終了するたびに、キャッシュを無効にすることなく強制的にフラッシュすることです。H.264 デコーダの実験では、そのようなデータ・キャッシュ・フラッシュによるパフォーマンスの損失は極めて小さく、測定できるほどの影響はありませんでした。

構成4には、デコーダ/プレーヤ/ディスプレイ間の緊密な結合、フレームバッファに対するメモリ割り当ての問題、イメージ・ローテーションへの未対応という欠点があります。したがって、極めて高度なパフォーマンスを必要とする専用アプリケーションのみに適しています。

構成1は、ビデオデコーダ/プレーヤ/ディスプレイ間の独立性が欠かせないアプリケーションに有効な選択肢です。例としては、さまざまなビデオ圧縮形式を使って複数の種類のデバイス上で実行されるビデオプレーヤが挙げられます。

H.264 デコーダを用いたパーソナル・ビデオ・プレーヤ (PVP) のデモでは、フレームコピー機能を PXA27x プロセッサに最適化した上で、構成2を使用しています。プレーヤとデコーダとの間に要求される結合度が妥当であり (インターフェイスおよびバッファ利用フラグの追加)、フレームコピーを1回減らせるというパフォーマンス上の利点があることが判明しました。プレーヤは、H.264 デコーダのみをサポートするように実装されているので、ほかのデコーダを使用できる柔軟性がないことは問題にはなりません。実験結果によると、H.264 の場合、構成1は約6%遅く、構成4は約6%速くなります。

## 6.0 まとめ

---

本書では、ビデオ再生アプリケーションにおいて PXA27x プロセッサのハードウェア色空間変換機能と内部 SRAM 機能を最適に使用する上での課題を扱いました。デコードされたビデオバッファの管理をはじめ、想定可能な構成をいくつか検討しているほか、H.264 デコーダを用いた実験の結果を紹介しています。こうしたプロセッサ機能を利用すれば、PXA27x プロセッサの全体的なビデオ再生パフォーマンスが大幅に向上します。





インテル株式会社

〒300-2635 茨城県つくば市東光台 5-6  
<http://www.intel.co.jp/>

© 2004-2005 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。