

## リアルタイム組込みシステム製品を選択するための重要なヒント

### はじめに：

軍事・防衛アプリケーション向けに開発されたシステムには、システムインテグレータの特別なニーズをサポートできるベンダーの特別クラスの電子コンポーネントが必要です。もちろん、ハードウェア製品は、開発された戦闘機器の重要な目標を満たすパフォーマンスレベルを提供するために、幅広い動作モードと環境で動作する必要があります。しかし、その他にも重要な要素があります。



各プロジェクトは固有であるため、システムインテグレータが運用システムを最終顧客に可能な限り効率的かつ効果的に提供するには、優れたシステム開発ツールが不可欠です。これらのハードウェアおよびソフトウェア製品のベンダーは、顧客が最適な製品を選択し、開発中にそのサポートをして製品の継続的な可用性を実現するライフサイクル管理ソリューションを提供する必要があります。インテグレータは、製品およびベンダーを選択する際にいくつかの重要な推奨事項に従うことにより、リスクを回避し、開発作業の時間を大幅に削減できます。

### ハードウェアのヒント：

[Open Standards]

現在、DoD 調達要件により、組込みハードウェアコンポーネントの新しいオープンシステムスタンダードへの準拠が義務付けられています。これらには、SOSA、CMOSS、MORA、その他いくつかの規格があります。これは政府にとって、ベンダー間の相互運用性、より早い調達、競争力のある価格設定などの利点があります。新しいテクノロジーにアップグレードするため、システム全体を交換する代わりに、オープンスタンダードにより準拠モジュールをより迅速に、はるかに低コストで交換できるため、展開されたシステムの有用なライフサイクルが延長できます。

ベンダーは、オープンスタンダードに従うことで専門分野の設計と開発に集中することで利益を得る一方、他のベンダーはサプライチェーンを完成させるため、補完的で互換性のある製品を生産します。これにより、将来の長期プログラムでこれらのオープンスタンダードに依存することに政府の自信が生まれます。

## 熱管理：

シリコンデバイスの回路密度が縮小する事で、トランジスタまたはエレメントごとの電力消費は低下する傾向にありますが、これはクロックレートの増加によって相殺されることがよくあります。また、より多くの要素を特定サイズのパッケージに収めることができ、デバイスごとの電力をバックアップします。ファインピッチのボールグリッドアレイパッケージは、プリント回路基板の部品密度を高め、今日の組み込みシステムではスロットごとにかかなりの熱を発生させることにつながります。

新しい組み込みシステムを設計する際には、設計者が各モジュールの熱源をできるだけ早く特定することが不可欠です。幸いなことに、人気のある VPX 仕様では、強制空気、エアフロー、伝導冷却、液体冷却など、多数の利用可能なソリューションが定義されています。プロジェクトの開始時に適切な熱管理ソリューションを選択することで、コストのかかる再設計サイクルと重大な遅延を回避できます。



Airborne Radar

## 同期：

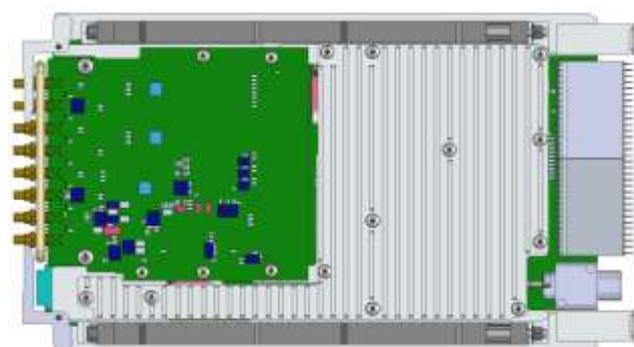
5G ワイヤレス、空中レーダ、SAR レーダ、電子対策システム、指向性通信リンクなど、フェーズドアレイアンテナアプリケーションの数は増え続けていますが、これらはすべて、送受信のビームフォーミングをサポートするために複数素子のアンテナを必要とします。

各アンテナ素子信号には、他のすべての素子に対して正確に制御されたプログラム可能な位相シフトが必要です。各信号は、多くの場合 DSP 回路によりこれらの正確な位相シフトを簡単に処理できる専用のデータコンバータに接続します。ただし、データコンバータは、完全に同じサンプルクロックエッジで各サンプルを集録および生成する必要があります。大規模なアレイの場合、すべてのチャンネルを処理するために多数の素子が複数のボードまたはシャーシ間で同期動作する必要があります。

このような動作は、この機能がボード設計の一部であり各ボードに接続されたタイミングおよび同期ジェネレータでサポートされている場合にのみ実現できます。チャンネル同期がシステム要件である場合、ボードに推奨コネクタ、ケーブル、同期ジェネレータを備えたこの機能が含まれていることを確認してください。

## インストールされた機能：

どのシステムでも典型的な役割を果たすリアルタイム組み込みボードには、割り当てられた役割をサポートするいくつかの基本機能が含まれている必要があります。たとえば、シングルボードコンピュータ (SBC) は、ほぼ常に PCIe ルートコンプレックス、PCIe アドレス空間、ネットワークインターフェイス、USB、シリアル、ビデオなどの CPU 周辺機器 I/O にマッピングされたシステムメモリを実装し



Pentek's Conduction-Cooled Model 5983-313 VPX Board

ます。標準の CPU チップセットには、これらの機能のほぼすべてが含まれており、Windows または Linux のサポートソフトウェアドライバーは、一般的にボードベンダーから提供されます。

A/D および D/A コンバータを備えた FPGA ソフトウェア無線モジュールのようなボードには、はるかに異なる役割と要件があります。ここで一般的に必要な機能には、厳しいタイミング要件を満たすトリガー、ゲーティング、タイムスタンプ、同期エンジンが含まれます。サンプルクロック周波数シンセサイザは、オンボード GPS レシーバーまたは外部ソースからの 10 MHz システムリファレンスを受け入れる必要があります。DMA コントローラは、PCIe インターフェイスを介してデータコンバータとシステムメモリ間でデータを移動する必要があります。外部 SDRAM のメモリコントローラは、リアルタイムデータコンバータストリームをバッファリングおよびキャプチャし、PCIe インターフェイスと通信する必要があります。

低レベルの BIOS 初期化を備えた標準チップセットの恩恵を受ける SBC とは異なり、ソフトウェア無線ボードにこれは存在しません。代わりに、各ハードウェアリソースを開発し、FPGA に組み込む必要があります。同様に重要なのは、これらすべてのリソースを必要に応じて機能させるために必要なソフトウェアライブラリとドライバーです。ボードベンダーが、それらをサポートするソフトウェアライブラリとともに工場出荷時にインストールする機能として含めない限り、システムインテグレータはこれを独自に開発、設計、テスト、文書化する必要があります。

リスク、費用、不確実な遅延を最小限に抑えるために、システムインテグレータは、ボードベンダーにこれらの重要なリソースが含まれていることを確認する必要があります。

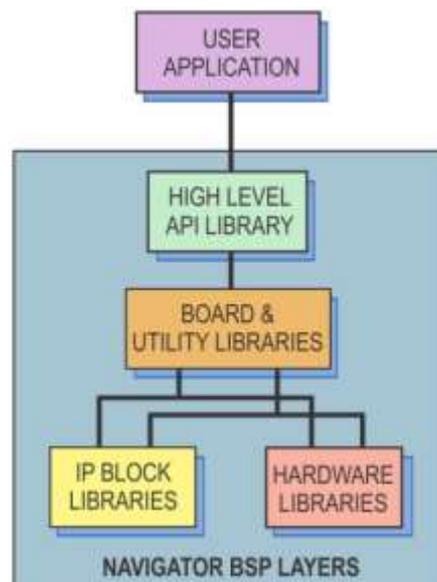
## 開発のヒント：

### 「ソフトウェア開発」

オープンシステムアーキテクチャは電気的および機械的な相互運用性に役立ちますが、すべてのリアルタイム組み込みシステムは、特定の固有のアプリケーションに合わせて慎重に構成する必要があるさまざまなハードウェア要素の集まりです。プラグアンドプレイ機能を備えた汎用の PC ボードと異なり、ほとんどの組み込みボードは特定のタスクを実行するように明示的に構成し、特定の外部入力、出力、タイミング信号の使用方法を指示し、システム内の他のボードとの通信タイミング、方法の指示をする必要があります。これは、通常、Linux または Windows OS を実行しているシステムコントローラで実行するカスタム C プログラムを作成することによって達成されます。

組み込みボードベンダーがプログラム可能なハードウェア機能用の C 言語機能を提供している場合でも、それらの提供内容は完全性と使いやすさにおいてベンダーによって大きく異なります。一部の製品は、ボード上のデバイスのプログラム可能なレジスタへのアクセスを提供するだけであり、開発者はデバイスメーカーのデータシートを使用して、設定するビットを決定する必要があります。ボードの詳細なブロック図があっても、これは非常に面倒です。

はるかに優れたアプローチで、ボードベンダーは影響を受ける他の操作へのリファレンスを含み、実行されるボードレベルの操作全体に関連する文書化されたコマンドパラメータを備えた高レベルの C ライブラリ関数を提供します。これらの高レベルコマンドには、特殊な操作の変更を可能にするために、低レベルライブラリの基本的なコレクションが含まれている必要があります。



さらに洗練された製品は、システムコントローラーで実行される API コマンドプロセッサプログラムを備えた真の API（アプリケーション・プログラミング・インターフェイス）です。このようにして、専用の実行可能な C プログラムを再コンパイルする必要なく、API コマンドをコントローラーに送信して解析・実行ができます。API コマンドはイーサネット経由でコントローラーに指示でき、リモートクライアントから組み込みシステムの制御およびステータス機能を適切にサポートします。

最後に、典型的な操作シナリオを示す多数の C プログラムのサンプルは非常に貴重です。これらには、特定の順序で実行する必要がある理由など、それぞれの目的を説明するコメント付きの複数の高レベル関数呼び出しが組み込まれています。多くの場合、これらの十分にテストされたサンプルは、開発を加速するために最終アプリケーションに直接組み込むことができます。もちろん、すべてのライブラリ関数とコードサンプルに完全な C ソースコードを添付する必要があります。これらの高レベルのツールを提供するベンダーを選択することにより、システムインテグレータは開発タスクをより迅速に完了でき、変更や将来のアップグレードをはるかに簡単にサポートできるようになります。

#### 「FPGA 開発」

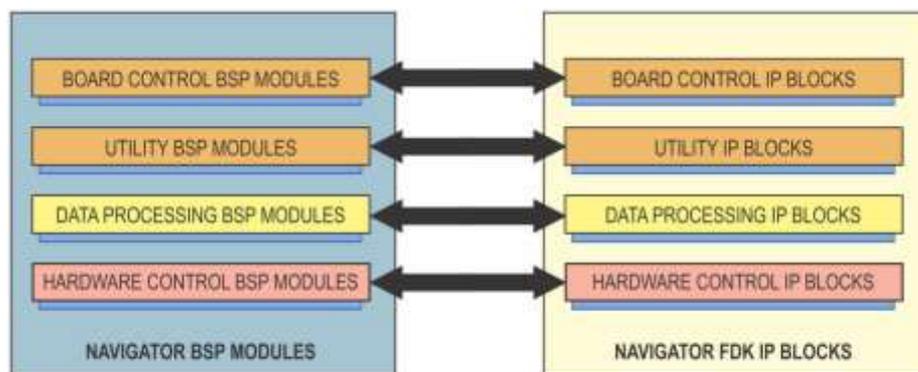
FPGA デザインは実質ハードウェアデザインであり、FPGA の基本的なハードウェアリソース（何千ものゲート、加算器、乗算器、レジスタ、スイッチ、メモリ、インターフェイス）が配線されてカスタム回路を作成します。配線接続パターンは、「ビットストリーム」を作成するために設計者からの説明的な命令をコンパイルする FPGA ベンダーのソフトウェアツールによって生成されます。FPGA に読み込まれると、ビットストリームは必要な回路に必要な相互接続を実装します。これは単に「IP」（知的財産）と呼ばれることがよくあります。

前述のように、ボードベンダーは工場で行くつかの標準 IP 機能をインストールする場合があります。ただし、多くのお客様は計算集約型のリアルタイムアルゴリズムのために、FPGA 内に追加のカスタム IP をインストールする必要があります。これらのアルゴリズムは、多くの場合システムインテグレータの「機密ソース」であり、機器への重要な付加価値を含んでいます。顧客が IP を簡単に追加できるかどうかは、ボードベンダーが提供する FPGA デザインパッケージの品質に大きく依存します。

まず、前述の機能など、工場でインストールされている重要な機能のほとんどを含むボードベンダーを探します。これにより、FPGA の設計作業全体が劇的に削減されます。JESD204 データコンバーターインターフェイスまたは DDR4 SDRAM コントローラーの開発に何年も費やすことを望む人はいません。

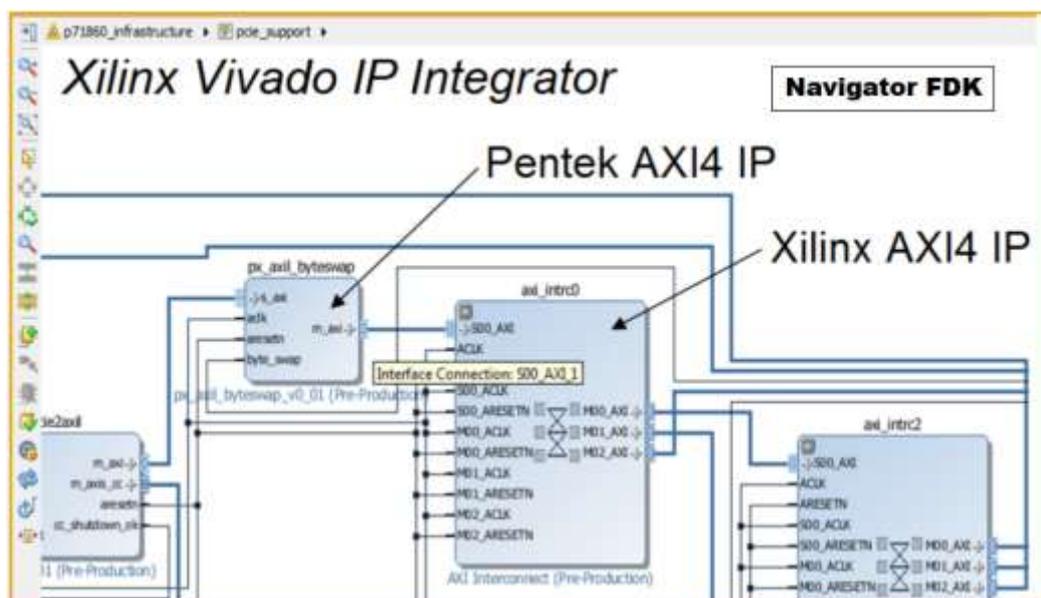
次に、ボードベンダーが、FPGA 設計者の能力（通常は VHDL または Verilog）に一致する HDL 形式で、インストールされているすべての IP モジュールの FPGA ソースコードを提供していることを確認します。

FPGA ベンダーのリファレンス IP ブロックのスタイルに合わ



Navigator BSP software modules and the Navigator FDK IP blocks they control are tightly linked to simplify custom IP development.

せて、ボードベンダーのすべての IP が AXI4 準拠ブロックとして提供されることが理想的です。AXI4 は、1 つの IP ブロックを別の IP ブロックに接続するためのハウスキューピング作業のほとんどに取り組む、ARM テクノロジーから派生した広く採用されているインターフェイス標準です。ザイリンクスの VivadoRIP インテグレータなど、FPGA ベンダーのグラフィカルデザイン入カツールを最大限に活用してください。すべての AXI4 ブロックが視覚的に表示され、プロジェクトのブロック図全体とすべての相互接続が表示されます（下図を参照）。



IP ブロックとの相互接続は、マウスクリックで追加、削除、変更できます。ブロックをクリックすると、ハイパーリンクのドキュメントが利用できます。必要な変更を行った後、プロジェクトを再コンパイルして、FPGA の新しいデザインとビットストリームを生成します。提供された FPGA IP の作成に必要なすべてのファイルを含む FPGA プロジェクトフォルダー全体を提供するボードベンダーを選択します。AXI4 に完全に準拠し、完全なドキュメントがあり、FPGA ベンダーのツールスイートを使用してコンパイルできます。

## ベンダーのヒント：

### ニューテクノロジー

オープンスタンダードの COTS 製品の主な利点の 1 つは、システムを廃棄してやり直す代わりにモジュールを交換することにより、既存のシステムを新しいテクノロジーでアップグレードできることです。もちろん、アップグレードに応じて、システムソフトウェア、さらには他のハードウェア、インターフェイス、またはコネクタの一部に変更が必要になることがよくあります。それでも、これは配備された機器の耐用年数を延ばすための十分に実証された戦略です。



FPGA、データコンバータ、メモリ、およびシステムインターフェイスの各新世代に基づいてオープンスタンダード製品を一貫して提供してきた歴史を持つボードベンダーを選択してください。

ソフトウェアおよび FPGA デザインの移行を簡素化するために、それらのベンダーからの高レベルの開発ツールを探してください。

### アプリケーションサポート：

すべての組み込みシステムは固有である傾向があるため、システムインテグレータは常に、期待どおりに動作しないと思われる複数ベンダー製品の最初の構築に遭遇します。多くの場合、各ベンダーは問題を別のベンダーのせいにして、インテグレータ自身に任せています。誰の過失かに関係なく、問題を解決した実績のあるベンダーを選択し、その経験を他のプロジェクトチームと共有します。

ほとんどのボードベンダーは、開発段階で技術サポートを提供する契約を提供していますが、そのサポートの質と適性はベンダーによって異なります。サポート契約が切れると、追加のサポートを受ける前に顧客は契約を更新するか、追加費用を求められます。一部のベンダーは、限られた時間または時間数の無料サポートを提供し、その後は支払いが必要となります。製品を購入する前に、潜在的なベンダーにアプリケーションサポートポリシーとコストの説明を必ず依頼してください。



### ライフサイクル管理：

ミタリプログラムのシステムインテグレータにとって最も重要な問題の1つは、コンポーネントの陳腐化、つまりサポート終了の増加です。これにより、2つの大きな問題が発生します。将来のコンポーネントの継続性は、複数年のインストールプログラムサイクルをサポートするのに十分なボードの生産を危険にさらす可能性があります。また、これらのフィールドシステムをサポートするための20~30年の保守契約は、修理に必要なコンポーネントが無いというリスクにさらされています。

システムインテグレータは当然、ボードベンダーに助けを求めており、さまざまな戦略が浮上しています。最も簡単な方法は、プログラムの存続期間中のすべてのインストールをカバーするのに十分な追加のボードを事前に購入し、予想される障害の数をカバーするスペアです。通常、エンドユーザがこのアプローチのコストを負担します。

非常に費用対効果の高い代替手段は、保税在庫部品プログラムです。ボードベンダーは、プログラムの存続期間中に必要なボードの総数を生産するために必要なすべての部品に加えて、修理のための追加部品を購入します。ベンダーはこれらのコンポーネントの代金を支払うことに同意し、ベンダーは保税在庫でそれを予約します。生産が必要な場合、これらの部品が使用されその費用は新規購入に充当されます。

プリント回路基板やハードウェアなどの部品は、後の生産のために必要に応じていつでも購入できるため、この保税在庫プログラムのコストは、フル生産の前払いのコストのほんの一部であり、ほとんどのお客様にとって非常に魅力的です。

### すべてを統合：

30年にわたって開発されたこれらの戦略の例として、Pentek社の最新製品は、Model 5950 Quartz RFSoc 3U VPX モジュールです。VITA 65 OpenVPX 標準に従って、この強力なソフトウェア無線ボードは、8チャンネルのワイドバンド A/D および D/A 変換、豊富なザイリンクス Zynq UltraScale + FPGA リソース、およびシステムコントローラー機能を処理するマルチコア ARM プロセッサを組み合わせています。

工場出荷時にインストールされている機能には、広帯域データ取得、トリガー、タイミング、およびマルチチャンネル同期用の IP が含まれます。波形生成エンジンは、顧客が作成した波形テーブルまたはオンボードの周波数シンセサイザとチャープジェネレーターからアナログ信号を作成します。リンクリスト DMA コントローラーは、ボードから PCIe Gen. 3 x8 インターフェイスと 2 つの 100 GigE インターフェイスとの間でデータを移動し、それぞれが 12 GB/s を維持できます。

これらのリソースはすべて、Pentek 「Navigator ボードサポートパッケージ」のソフトウェア開発ツールでサポートされています。高レベル API、C 言語ライブラリ、ARM 用コマンドプロセッサ、完全な C ソースコード、および完全に機能するスターターアプリケーションが含まれています。カスタム FPGA 開発用に、Pentek の Navigator FPGA デザインキットには、Model 5950 用の完全なザイリンクス Vivado プロジェクト、および新機能を追加するための 140 以上の Pentek AXI4 IP モジュールのライブラリが含まれています。

Pentek 社は、無料のライフタイムアプリケーションサポートと、十分に開発されたライフサイクル管理および保税在庫プログラムを提供しています。Pentek 社は、最新のデータコンバータと FPGA を備えた業界をリードするオープンスタンダードボードレベル製品の絶え間ない流れを導入することで、システムインテグレータが最新のテクノロジーを最大限に活用できるよう支援しています。



# PENTEK

Now Part of Mercury

## Pentek 社について

Pentek 社は、ISO 9001 : 2015 認定企業として、デジタル信号処理・ソフトウェア無線・データ収集用の組込みコンピュータボードおよびレコーディングシステムを設計・製造しています。製品には、商用環境と耐環境の両方に対応した AMC、XMC、FMC、PMC、cPCI、PCIe、VPX のフォームファクタで準備されており、レーダ、無線通信、SIGINT、ビームフォーミング等の用途に幅広く利用されています。Pentek 社の詳細については、[www.pentek.com](http://www.pentek.com) をご参照ください。