



WP399 (v1.0) 2011 年 8 月 30 日

# FPGA の処理性能を活用した 車載向け運転支援システム

著者： Paul Zoratti

---

この 5 年の間に、自動車業界では運転支援 (DA : Driver Assistance) システムが飛躍的な進歩を遂げてきました。現在の運転支援システムは真の意味でより豊かな運転体験をもたらし、運転環境に関する重要な情報をドライバーに提供できるようになっています。このホワイトペーパーでは、革新的な運転支援システムをいち早く市場に投入していく上で FPGA が果たす役割について説明しています。

## 運転支援システムの概要

より安全で快適な運転体験を提供すべく、1990年代初頭より高度な運転支援システムの開発が続けられています。そしてこの20年ほどの間に、超音波を利用した駐車支援、アダプティブクルーズコントロール (ACC)、車線逸脱警報などの運転支援システムがハイエンドの車両に採用されてきました。最近では、リアビューカメラ、死角検出、サラウンドビジョンシステムをオプションとして用意する自動車メーカーも増えています。これまで運転支援システムの導入は、超音波による駐車支援システムを除いてそれほど進んでいませんでしたが、調査会社の Strategy Analytics によると、今後10年で飛躍的に伸びていくと予測されています。

安全性機能に対する政府の規制強化や消費者の高い関心、そしてリモートセンサー技術やセンサーデータから重要な情報を抽出、解釈する処理アルゴリズムの格段の進歩も、このシステムの導入を加速させる要因となっています。これらの運転支援システムは今後さらに高性能になり、ハイエンドの車両から大衆車へと採用されていくと考えられますが、そこで大きな役割を果たすのが FPGA の処理性能です。

## 運転支援システムに採用されるセンサー技術の動向

最近ではカメラ付き携帯電話などの周辺市場を活かしてセンサーの研究開発が進められており、車載環境でも十分に通用するデバイスが厳しいコスト制約の中で製品化されるようになってきました。同様に、PCベースのツールを利用した複雑な処理アルゴリズムも改良が進み、エンベデッドプラットフォームへ移植されつつあります。

これまでは超音波技術が市場を牽引していましたが、IMS Research の予測では今後カメラセンサーが主流になると見られています (図1)。

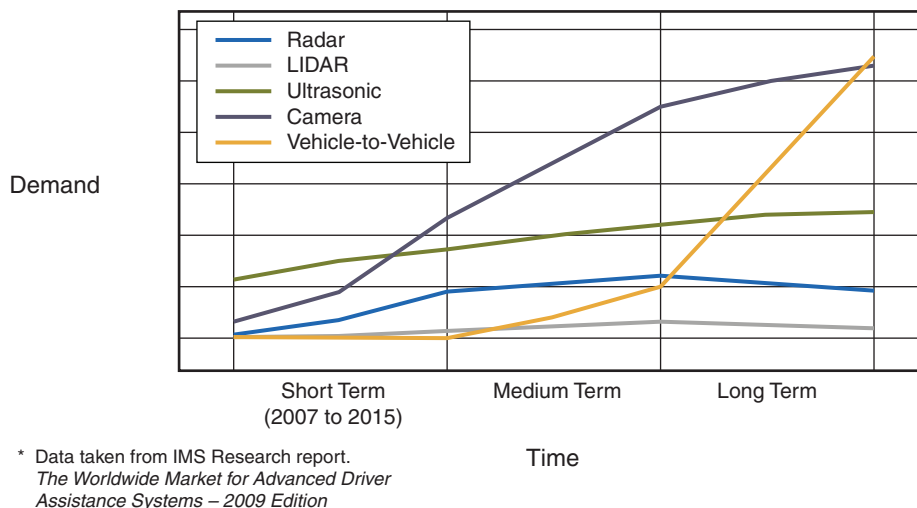


図1： 運転支援システムのセンサー別市場規模

カメラセンサーには、未処理の RAW データと処理済み出力のどちらにも高い価値があるという点で、ユニークな特徴があります。カメラで撮影したままのビデオ映像を直接表示させれば、ドライバーは危険な状況を自分で判断、評価できます。これは、レーダーなどほかのセンサーでは不可能なことです。それとは別に (同時に、と言った方がよいかもしれませんが)、ビデオ出力に画像解析技術を適用して歩行者の位置や動きなどの重要な情報を抽出することもできます。図2に示すように、特定数のカメラにさまざまな機能を分担させるようにすると、カメラからのセンサーデータを複数の用途に利用する方法がますます普及されることとなります。

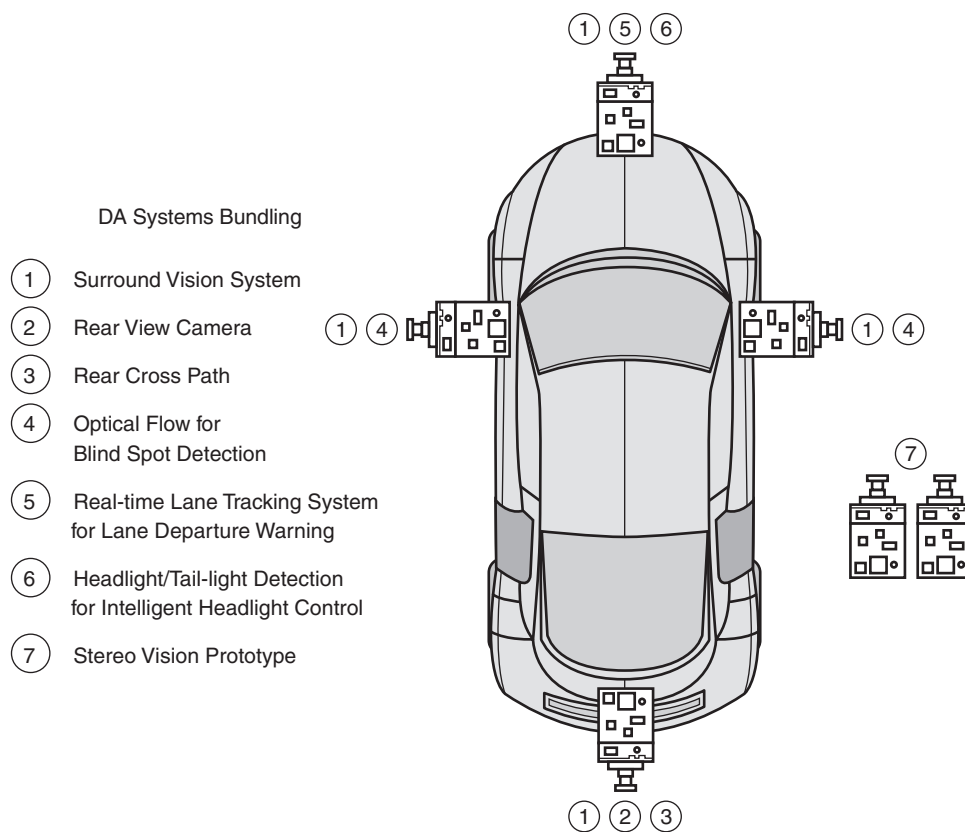


図 2： 複数の運転支援機能を分担

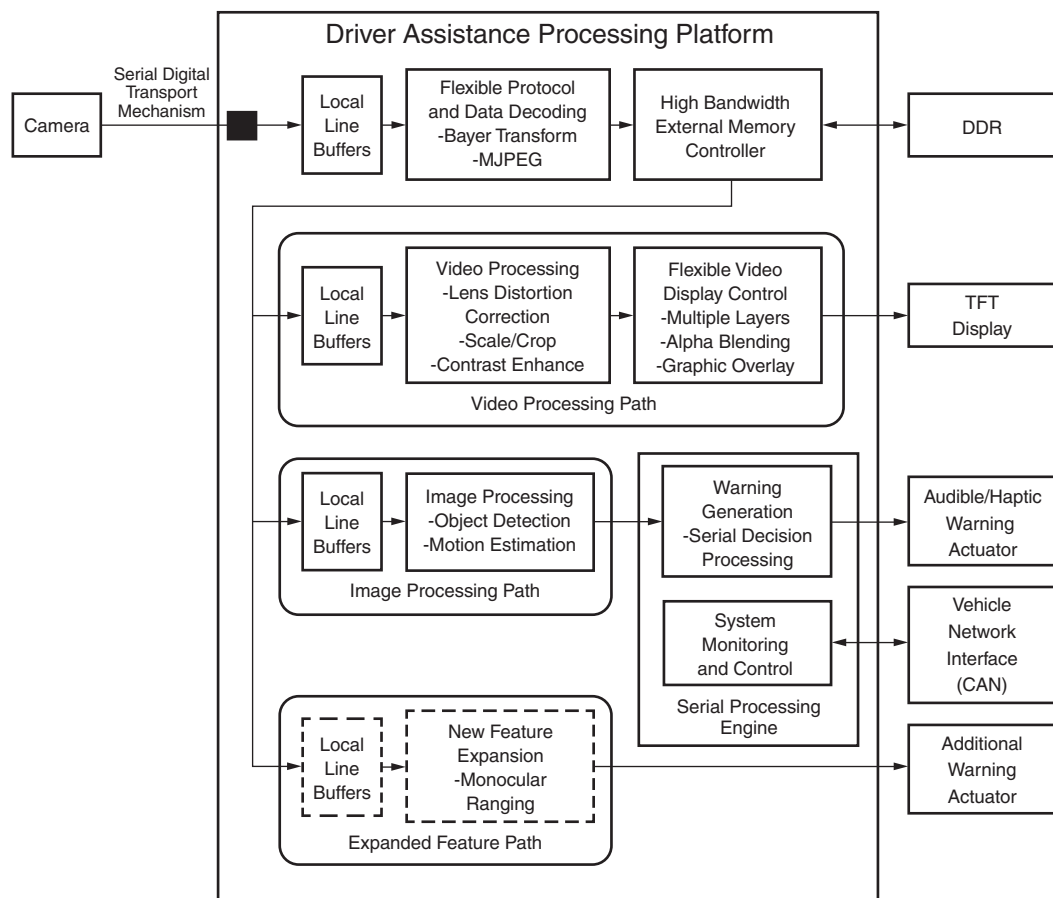
このようなアプリケーションを考えた場合、カメラベースの運転支援システムの処理プラットフォームには次の要件が求められます。

- ビデオ処理とイメージ処理の両方をサポートできること。
  - ここでのビデオ処理とは、カメラで撮影した RAW データを適切に処理してドライバーに表示する機能です。イメージ処理とは画像解析技術を適用してビデオ ストリームから動きなどに関する情報を抽出することをいいます。
- 同時に実行される機能に関しては、それぞれのアルゴリズムに対して並列に処理するためのデータパスを用意すること。
- 多くの先進機能にはメガピクセルの画像解像度が要求されるため、純粋な処理能力だけでなくコネクティビティとメモリ帯域幅も重要。

## 運転支援システムの処理プラットフォームに求められる条件

FPGA は、運転支援システムの処理プラットフォームに求められる要件を満たすことができます。たとえば、後方障害物警告機能を備えた広角リアビューカメラの場合、車両後方エリアのイメージを歪み補正して表示することがシステムの目的です。また、バックしている車両の予測進路に横から物体が侵入してきたら、物体検出と動き推定のアルゴリズムによって警告音が発せられます。

図 3 は、カメラ信号をビデオ処理機能とイメージ処理機能に分割する様子を示したものです。こうした機能の実行では、逐次的なデジタル シグナル プロセッサ (DSP) では明らかに処理性能が不足します。実際のソリューションでは、並列処理とハードウェア アクセラレーションが必要です。



WP399\_03\_081611

図 3： ビデオ処理およびイメージ処理機能

FPGA はアーキテクチャの柔軟性が非常に高く、多様な処理アプローチに対応できます。FPGA ロジック内でカメラ信号を分割し、ビデオ処理用とイメージ処理用の独立した IP ブロックに供給することも簡単に行えます。逐次的なプロセッサ インプリメンテーションでは複数の機能でリソースを時分割して利用しなければなりません、FPGA であれば各処理ブロックの実行とクロッキングを独立して行えます。また、処理アーキテクチャの変更が必要となった場合でも FPGA ならハードウェアブロックを再プログラミングできるため、先進的なアルゴリズムの将来の進化を見越した場合、専用の ASSP (Application-Specific Standard Product) や ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) ベースのソリューションよりも FPGA インプリメンテーションの方が有利です。演算負荷の高い処理に対応するため、最新の車載向け XA Spartan<sup>®</sup>-6 FPGA ファミリーには前置加算器の付いた最大 180 の独立した MACC (Multiply-and-Accumulate) ユニットが搭載されています。

FPGA インプリメンテーションのもう 1 つの利点として、デバイスのスケーラビリティがあります。自動車メーカーは常に多機能化を目指しており、処理性能に対する要求は高まる一方です。たとえば、リアビューカメラで単眼測距アルゴリズムを適用し、物体までの距離情報をドライバーに知らせるという機能を追加しようとする、並列処理のパスをもう 1 つ増やさなければなりません。これを専用の ASIC や ASSP にインプリメントするには、事前にこうした拡張を想定したデザインを行っておく必要があります。それは不可能ではないにしても、実際には非常に困難です。

こうした機能を逐次型の DSP に追加するには、同じファミリのより強力なデバイスへ移行した上で (それが妥当であるかどうかは別にして)、さらにソフトウェアアーキテクチャを完全に再設計する必要があります。これに対して FPGA ベースのインプリメンテーションは、既存のブロックにほとんど変更を加えることなく、未使用の FPGA ロジックを利用して新しい機能ブロックを追加できます。当初のデバイスのリソースで新しい機能に対応できなくなった場合も、たいいていは同じパッケージでより高密度なデバイス (つまり、処理リソースの追加されたデバイス) へ移行できるため、プリント基板や既存の IP ブロックを再設計する必要がありません。

そしてもう 1 つの利点は、FPGA の再プログラミング性を活かして、相互排他的な運転支援機能に対してシリコンを再利用できることです。先ほどのリアビュー カメラの例で挙げた機能はいずれも車両がバックしているときのみ必要となるものですが、FPGA ベース システムであれば車両が前方に進んでいるときに同じセンサーと処理エレクトロニクスを利用して死角検出などの機能を実行できます。このアプリケーションでは、システムがカメラの撮影イメージを解析し、検出した物体の位置と相対的な動きを判定します。この機能とその関連処理機能はいずれもバックアップ機能と同時に必要になることはないため、システムは車両の進行状況に応じて FPGA ロジックのリコンフィギュレーションを数百ミリ秒以内に完了すればよいことになります。これにより、FPGA デバイスを完全に再利用してまったく異なる機能をごくわずかなコストで実現できます。

## 運転支援システムに必要な外部メモリ帯域幅

カメラベースの運転支援アプリケーションでは、純粋な処理性能に加えて外部メモリへのアクセスにも非常に広い帯域幅が要求されます。たとえば 4 台のカメラを使用したサラウンドビュー システムのように、複数のカメラ システムからのデータを集中処理する場合は、帯域幅への要求がきわめて厳しくなります。4 メガピクセル (1,280 x 960)、24 ビット カラー、30fps のイメージを扱う場合、イメージを外部バッファに保存するだけで 3.6Gb/s のメモリ帯域幅が必要です。イメージの読み出しと書き込みを同時に実行する場合は、必要な帯域幅は 2 倍の 7.2Gb/s となります。また、読み出し/書き込みのバースト効率が 80% とすると、必要な帯域幅はさらに増えて 8.5Gb/s となります。しかもこの目算には、中間イメージの保存やコード アクセスの要件は含まれていません。こうしてみると、カメラベースの運転支援システムはメモリ帯域に対する要求が非常に厳しいアプリケーションであることがわかります。

これらのシステムでは一般的にメモリ コントローラーも必要になりますが、これを低コストで追加するには、システムレベルでの効率的なデザインが必要です。こうしたニーズにも、柔軟性に優れた FPGA であれば十分に対応できます。XA Spartan-6 デバイスには 2 つのメモリ コントローラー ブロック (MCB) がハードマクロとして用意されており、これを 4、8、16 ビットの DDR、DDR2、DDR3、LPDDR メモリ インターフェイスとして自由にコンフィギュレーションできます。この MCB は最大クロック周波数 400MHz で動作し、12.8Gb/s の帯域幅で 16 ビット幅のメモリ デバイスにアクセスできます。しかも MCB は 2 つあるため、帯域幅は 2 倍の 25.6Gb/s に拡大します。これら 2 つの MCB は個別に動作させることも、FPGA ロジックを使用して連携動作させて仮想的に 32 ビットのデータ幅とすることもできます。

このように、FPGA のメモリ コントローラーは外部メモリ インターフェイスのデザインを自由にカスタマイズでき、運転支援システムで求められる帯域幅の要求を満たしつつ、メモリ デバイスの種類や基板層数などコストの最適化も図ることができます。

## 運転支援システムのイメージ処理に必要なオンチップ メモリ リソース

外部メモリだけでなく、カメラベースの運転支援システムではオンチップ メモリをライン バッファとして使用することにより、ストリーミング ビデオの処理やイメージ データのブロックの解析を効果的に行えるようになります。ビデオ ライン バッファを使用する機能としては、ベイヤー変換、レンズ歪み補正、オプティカル フロー動作解析などがあります。ここでは、12 ビット ピクセルのベイヤーパターン深度情報を使用して 24 ビット カラー データを生成するベイヤー変換機能で必要なリソース量を簡単に計算してみます。RAW データのストリーミング プロセスとしてインプリメントしたバイキュービック補間では、4 ライン分のイメージ データをバッファリングする必要があります。12 ビット強度のデータを 16 ビット位置にパック化するには、1 ライン当たり約 20.5kb のストレージ、すなわち 4 ライン分のデータでは 82kb が必要となります。

FPGA には、ブロック RAM の形でオンチップ メモリ リソースが用意されています。特に XA Spartan-6 ファミリーでは、イメージ処理のニーズに対応できるようにロジック量に対するブロック RAM の比を向上させています。XA Spartan-6 デバイスでは、320MHz クロッキングに対応した 216kb ~ 4.7Mb のブロック RAM メモリがデュアルポートの 18kb ブロックとして構成されています。

## ビデオ データを転送する高速シリアル インターフェイス

運転支援処理プラットフォームでもう 1 つの問題となるのが、リモートのカメラから中央処理モジュールまたはディスプレイ モジュールへのビデオ データの転送です。現在使用されているカメラのほとんどは NTSC などのアナログ コンポジット ビデオを伝送します。しかしこの方法には、高度な運転支援システムにおいていくつかの問題があります。まず、インターレース (フィールド処理) によって物体認識および動き推定アルゴリズムの効果が低下します。また、アナログ信号は電氣的ノイズに弱く、イメージ品質が低下するという問題もあります。さらに、最近ではデジタル イメージング機器が主流になり、コンポジット ビデオ (CVBS) フォーマットとの相互変換が余分なシステム コストを生む要因となっています。

このため、データの伝送はデジタル方式の方が適しています。ただし 12 ビットのデータをパラレル伝送するとケーブルとコネクタのコストが高くなるため、最近では LVDS やイーサネットなどのシリアル伝送技術が使用されます。ピクセル データをシリアル化するには、高速インターフェイスを備えたデバイスが必要です。ピクセルの色深度が 12 ビットで 30fps のメガピクセル イメージング機器の場合、1 台だけで 500Mb/s を超えるデータが生成されます。

XA Spartan-6 デバイスには 1Gb/s を超える速度で動作する差動 I/O が用意されており、同デバイスファミリーには 3Gb/s 以上のクロッキングが可能なシリアル トランシーバーを搭載したデバイスもいくつかあります。これらの高速 I/O 機能を FPGA ロジックと組み合わせれば、最新の LVDS SerDes シグナリング プロトコルを FPGA デバイス内にインプリメントでき、外付け部品を減らしてシステム コストを削減できます。

## 運転支援システムにおける並列処理と逐次処理の機能分割

後方障害物警告機能を備えたシングルカメラ システムの例では、ビデオ処理機能とイメージ処理機能は並列処理とハードウェア アクセラレーションから恩恵を受けることは明らかですが、後方障害物の警告機能は逐次処理によって判定を行います。したがって、両方の処理をサポートできるプラットフォームの使用が有益です。

ザイリンクスの FPGA は、XA Spartan-6 デバイスで利用できる 32 ビット RISC エンベデッド プロセッサの MicroBlaze™ など、ソフト プロセッサのインスタンスをサポートしています。完全な機能を備えたプロセッサと FPGA ロジックを組み合わせることによって、最適な機能分割が可能になります。すなわち、並列処理やハードウェア アクセラレーションの効果が期待できる機能は FPGA ロジックにインプリメントし、逐次処理の方が適している機能はソフトウェア インプリメンテーションとして MicroBlaze プロセッサで実行します。MicroBlaze プロセッサはシステム オンチップ (SoC) アーキテクチャもサポートできますが、ザイリンクスの 7 シリーズ デバイスは ARM® デュアルコア Cortex™-A9 プロセッサと一連のペリフェラルをハードマクロとして集積したエクステンシブル プロセッシング プラットフォームを採用しています。ザイリンクスは、これらの 7 シリーズ デバイスを最も複雑な運転支援システム用と位置づけています。

## まとめ

運転支援システムの処理プラットフォームを設計するには、アーキテクチャの柔軟性、プラットフォームのスケラビリティ、外部メモリ帯域幅、オンチップ メモリ リソース、高速シリアル インターフェイス、並列処理/逐次処理の機能分割などを考慮する必要があります。しかし一般的な ASSP や ASIC では、これらのニーズを満たしつつ製品のコスト競争力を維持することは容易ではないため、FPGA が非常に有力な選択肢といえます。特に、XA Spartan-6 ファミリーには運転支援システムの処理プラットフォームに求められる要件を満たす独自のオプションや機能が用意されるなど、リソースが充実しています。現在の 40nm プロセスの FPGA、そして 28nm プロセスを採用した新しい 7 シリーズ デバイスは、今後の運転支援システムの処理プラットフォームとしてその活躍が期待されています。XA Spartan-6 ファミリーとその利点の詳細は、[japan.xilinx.com/xas6](http://japan.xilinx.com/xas6) を参照してください。

4 台のカメラを使用した Spartan-6 FPGA ベースのサラウンド ビュー システムのデモは、次のサイトをご覧ください。

<http://bcove.me/79rqx0yi>

## 改訂履歴

次の表に、この文書の改訂履歴を示します。

日付	バージョン	改訂の説明
2011年8月30日	1.0	初版リリース

## Notice of Disclaimer

The information disclosed to you hereunder (the “Materials”) is provided solely for the selection and use of Xilinx products. To the maximum extent permitted by applicable law: (1) Materials are made available "AS IS" and with all faults, Xilinx hereby DISCLAIMS ALL WARRANTIES AND CONDITIONS, EXPRESS, IMPLIED, OR STATUTORY, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE; and (2) Xilinx shall not be liable (whether in contract or tort, including negligence, or under any other theory of liability) for any loss or damage of any kind or nature related to, arising under, or in connection with, the Materials (including your use of the Materials), including for any direct, indirect, special, incidental, or consequential loss or damage (including loss of data, profits, goodwill, or any type of loss or damage suffered as a result of any action brought by a third party) even if such damage or loss was reasonably foreseeable or Xilinx had been advised of the possibility of the same. Xilinx assumes no obligation to correct any errors contained in the Materials, or to advise you of any corrections or update. You may not reproduce, modify, distribute, or publicly display the Materials without prior written consent. Certain products are subject to the terms and conditions of the Limited Warranties which can be viewed at <http://www.xilinx.com/warranty.htm>; IP cores may be subject to warranty and support terms contained in a license issued to you by Xilinx. Xilinx products are not designed or intended to be fail-safe or for use in any application requiring fail-safe performance; you assume sole risk and liability for use of Xilinx products in Critical Applications: <http://www.xilinx.com/warranty.htm#critapps>.

### AUTOMOTIVE APPLICATIONS DISCLAIMER

XILINX PRODUCTS ARE NOT DESIGNED OR INTENDED TO BE FAIL-SAFE, OR FOR USE IN ANY APPLICATION REQUIRING FAIL-SAFE PERFORMANCE, SUCH AS APPLICATIONS RELATED TO: (I) THE DEPLOYMENT OF AIRBAGS, (II) CONTROL OF A VEHICLE, UNLESS THERE IS A FAIL-SAFE OR REDUNDANCY FEATURE (WHICH DOES NOT INCLUDE USE OF SOFTWARE IN THE XILINX DEVICE TO IMPLEMENT THE REDUNDANCY) AND A WARNING SIGNAL UPON FAILURE TO THE OPERATOR, OR (III) USES THAT COULD LEAD TO DEATH OR PERSONAL INJURY. CUSTOMER ASSUMES THE SOLE RISK AND LIABILITY OF ANY USE OF XILINX PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS.

本資料は英語版 (v1.0) を翻訳したもので、内容に相違が生じる場合には原文を優先します。

資料によっては英語版の更新に対応していないものがあります。

日本語版は参考用としてご使用の上、最新情報につきましては、必ず最新英語版をご参照ください。

この資料に関するフィードバックおよびリンクなどの問題につきましては、[jpn\\_trans\\_feedback@xilinx.com](mailto:jpn_trans_feedback@xilinx.com) までお知らせください。いただきましたご意見を参考に早急に対応させていただきます。なお、このメールアドレスへのお問い合わせは受け付けておりません。あらかじめご了承ください。