

Systematic Drive Safety

SIL-3 ドライブ技術向けモジュール型 FPGA
プラットフォームによる統合テスト





E-Darc は、制御システムメーカーの Ferrocontrol 社によって開発されている、新しい FPGA ベースのドライブコントローラです。Ferrocontrol 社では、dSPACE のハードウェアとソフトウェアを活用して、個々のモデルの安全性と信頼性をテストし、最も厳しい品質ガイドラインへの適合性を確認しています。

私たちは Ferrocontrol 社で、ドライブ技術（ハードウェアおよびソフトウェア）の分野で、加工機メーカーやエンドユーザー向けに、自動化コンポーネントと完全自動化ソリューションの開発、製造、販売を行っています。私たちの目標は、複雑なシステムでも簡単に設定および保守が行えるコントローラを開発することにあります。これにより、高度に自動化された量産プロセスを、効率的かつ経済的に設計することができます。こうした要件を満たすために、私たちは FPGA ベースのドライブコントローラ E-Darc を開発しました。

E-Darc、FPGA ベースのドライブシステム

E-Darc は特に、木材加工やウインドウフレームのマシニングセンタなど、ドライブおよび自動化技術におけるマルチアクスル用途、および一般的な CNC 加工センタに適しています。2 ~ 32 A の出力電流を持つアクスルモジュールと、5 ~ 25 kW の範囲の供給モジュールによって、広範囲のユーザー要件をカバーしています。対処できるコントローラの数、使用可能な供給電力にのみ依存します。E-Darc 自体には制限はありません（図 1）。私たちは、ドライブ制御全体が 1 つの FPGA 上に並列して搭載されたシ



図1: E-Darcドライブコントローラは、複数のアクスルをまとめて制御する複数のモジュールで構成されています。

システムを設計しました。この擬似的なアナログ制御システムは、位置および回転速度の制御に対しても、最大限のダイナミクスを発揮します。位置と電流の計測値の取得には、オーバーサンプリング方式が採用されており、制御ループで余分なレイテンシを発生させることなく、制御の質が向上します。このため、実際の値フィルタは必要ありません。プロファイルジェネレータおよびコントローラの状態機械などのオーバーレイされた機能は、ソフトコアプロセッサ Nios II® 上で実行されます。このプロセッサも FPGA 上に搭載されているので、1つの中央コンポーネントによってアクスルコントローラ全体のファームウェア全体が実行されます。私たちは、MATLAB®/Simulink® を用いて制御アルゴリズムを開発し、それを後で Synopsys 社の VHDL 自動コード生成ツールを用いて変換しました (図2)。

Ferrocontrol 社では、E-Darc に加えて、RePower と呼ばれるオプションの供給モジュールを提供しています。これは、エネルギー回生を使用し、供給主電源から有効電力のみを引き出します。

dSPACE 製品を使用した開発

E-Darc の開発では、dSPACE の開発ツールとハードウェアが使用されました (図2)。私たちのドライブシステムは、フィールドバス通信、エンコーダ評価、電源ユニットなど、個別のハードウェアモジュールで構成されています。個々のモジュールの完成度をチェックするために、私たちは、dSPACE HIL テストベンチ上

ドバックすることができます。統合テストを実行して、単体モジュール間における相互作用のテストを行いました。このテストは、microTOOL 社の in-Step テストデータベースを使用して作成され、dSPACE AutomationDesk を用いて自動化されました。こうして実現されたシームレスなプロセスにより、SIL 3 に従って、セーフティクリティカルなモジュールの機能的な信頼性を容易に検証できるようになりました。

E-Darc システムのモジュール型の設計

E-Darc のモジュール型のアクスル制御設計には、着脱可能なインクリメンタルエンコーダカードだけでなく、フィールドバスカードも含まれています。このモジュール型の設計では、次のエンコーダをサポートしています。

- リゾルバ
- SSI
- Hiperface®
- EnDat® 2.1
- EnDat® 2.2 (セーフティ)

さまざまな用途に対応するために2つのスロットが用意されています。着脱可能なフィールドバスモジュールにより、システムがアップグレード可能になり、いかなる特定のフィールドバスシステムにも依存しなくなります。現在使用可能なモジュール

「dSPACE HIL テストベンチを使用すれば、E-Darc ドライブコントローラを、安全技術関連などの、厳しい品質ガイドラインに適合させることができます」

Andreas Pottharst 氏, Ferrocontrol Steuerungssysteme

でシミュレーションを実施し、システム全体の開発プロセスの大幅なスピードアップを図りました。FPGA プラットフォームの従来の開発プロセスは、VHDL コーディング、論理合成、および Place&Route の複数の手順から成っています。これにより、モジュールとアルゴリズムを互いに別個に開発して、かなり初期段階からそれらを広範囲にわたってテストし、テスト結果を開発プロセスに対して繰り返しフィー

は、CANopen、SERCOS III、および Ethercat 用のものです。アクスルコントローラに高度な耐干渉性を持たせるために、個々のモジュールは、純粋なデジタルインターフェース (SPI、Serial Peripheral Interface) を経由して、互いに接続されます。これは、アクスルコントローラとは関係なく、個々のモジュールのテストと開発が行えることを意味します。FPGA 評価用ボードに接続された

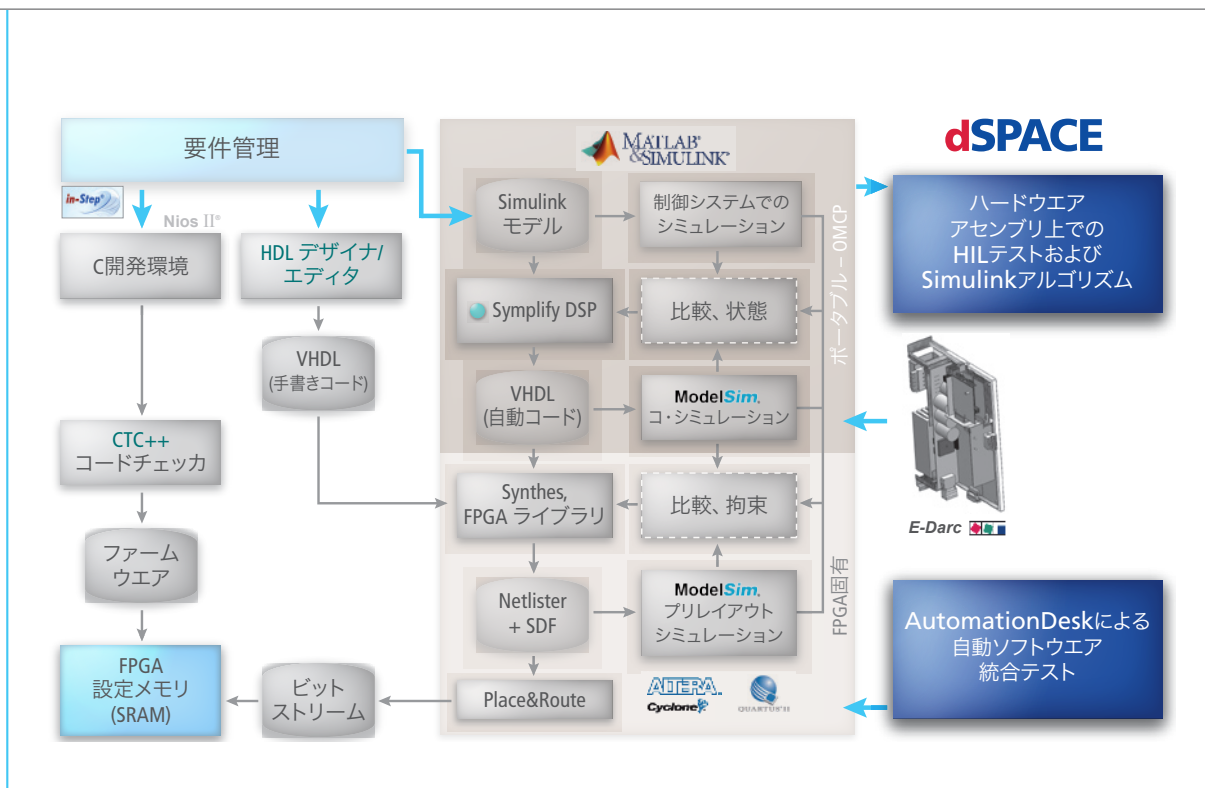


図 2 : E-Darc ドライブコントローラの開発プロセス

DS4121 ECU Interface Board および DS551 ECU Interface Plug-on-Device (POD) を使用して (図 3)、モジュールごとにすべての SPI 通信ノードをシミュレーションすることにより、すべてのモジュールを個別にテストすることができます。この目的のために FPGA 評価用ボードには、IP コアの POD への接続に加えて、標準化された SPI インターフェースが備わっています。POD は、周波数 20 MHz の高速 LVDS を経由して ECU Interface Board と通信します。

dSPACE Real-Time Interface Blockset を使用すると、デュアルポートメモリに似た「シフトレジスタ」を通して、MATLAB/Simulink のさまざまなパラメータを交換することができます。

オプションの安全モジュール

このモジュール型システム (図 4) はオプションで、パフォーマンスレベル e (ISO 13849) および SIL 3 (EN 61508) に従って認定された安全技術を持つ安全モジュールを備えています。このモジュールは、自由にパラメータを設定することができ、さまざまな安全機能を提供します (図 5)。

品質ガイドラインに準拠したソフトウェア統合テスト

安全モジュールの認定では、ハードウェア自体だけでなく、開発プロセス全体が調べられます。E-Darc のハードウェアおよびソフトウェア開発に対するこのプロセス (図 2) は、厳しい品質ガイドラインに従っています。このガイドラインは、このグループのメディカルエンジニアリング部門で以前規定され、その後 Ferrocontrol 社によって採用されました。決定的な役割を果たすのは、統合テストです。この統合テストで、ハードウェアとソフトウェアが初めて一つにまとめられ (ブラックボックステスト)、基本的な機能が検証されます。これらのテストの仕様を決定して実行するために、in-Step を用いてテストケースデータベースが生成され、AutomationDesk を用いて統合テストが自動化されました。要件管理はすべて in-Step で行われました。私たちは、個々の要件とさまざまな詳細レベルのテストケースを結びつけ、開発プロセスのシームレスな監視および追跡を可能にしました。

AutomationDesk を用いて生成されたテストシーケンスのプラットフォームとして、図 3 に示すテストベンチが使用されました。

その中心部分には、PHS (Peripheral High Speed) バスを経由して I/O ボードに接続された DS1005 PPC Board から成る、dSPACE のモジュール型システムがあります。このシステムの汎用的で柔軟な I/O は、E-Darc のすべての外部インターフェースを制御および監視するのに使用可能であり、セーフティクリティカルなシステムのテストに欠くことのできない、広範囲で詳細なテストを実現することができます。

用語解説

FPGA – Field Programming Gate Array の略。製造後にユーザが設定するように設計されています。

VHDL – Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language (超高速高集積回路記述言語) の略。

SIL 3 – 電気/電子/プログラム可能な電子システムの信頼性を評価するための安全度水準 (Safety Integration Level)

CNC – コンピュータ数値制御 (Computerized Numerical Control) は、工作機械を制御する電子的方法です。

MATLAB/Simulink

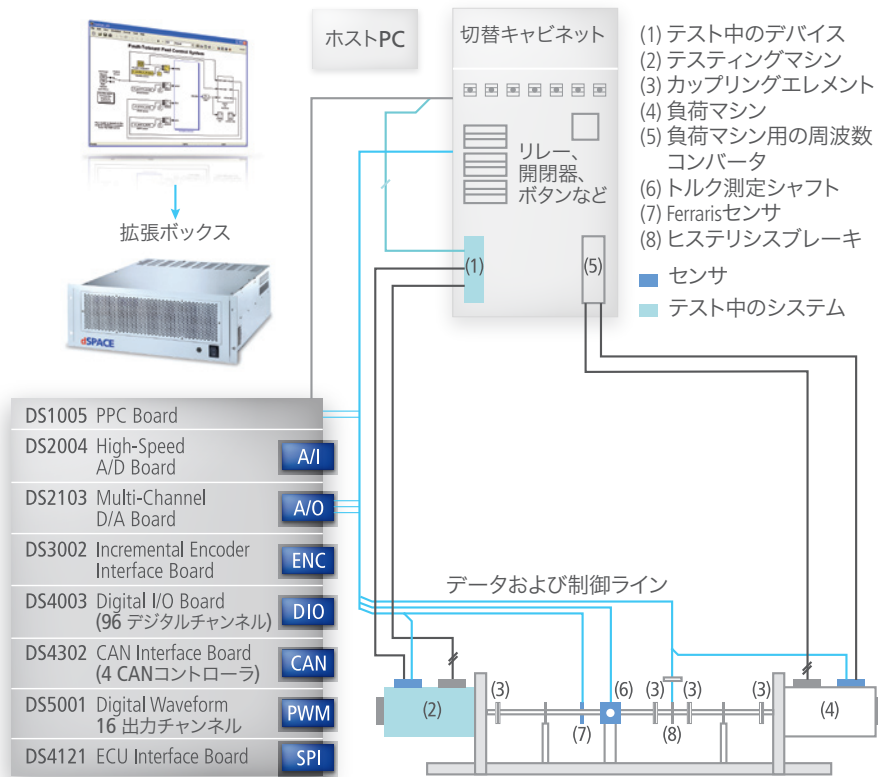


図3：統合とHILテストベンチ

■ たとえば、負荷マシンを使用すると、複雑多岐な負荷プロファイルをシミュレーションし、お客様の実機でのプロセスを再現することができます。これらのテストを実行すれば、エラーが原因で実機

が損傷したり、ツールが壊れたりする危険性が無くなります。

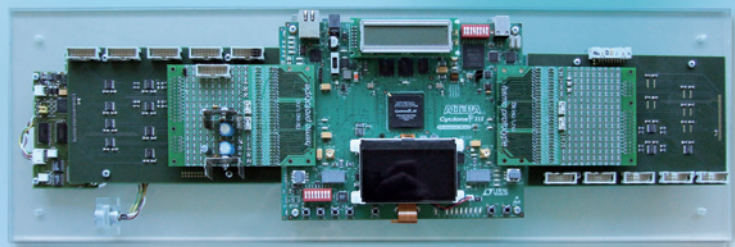
■ RTI CAN MultiMessage Blockset によって、必須の CANopen マスターを

再現することができました。この CANopen マスター に対して、Simulink で現在のオブジェクトディレクトリに基づいた DBC ファイルが統合されました。この CANopen マスター

図4：DS551を使用したFPGA評価用ボード(Altera 3C120)

まとめ

- 接続されたFPGAプラットフォームによるプロトタイピングに基づいた、広範囲のモジュールテストにより、E-Darcドライブシステムの開発スピードが速くなります。エラーが初期段階で検出されます。
- さまざまなテストケースから導出された自動化テストを含む完全なテストケースデータベースは、機能的な安全を目的としたE-Darcのドライブアセンブリを認定する上で重要な要素となります。
- 自動化テストにより、新しいファームウェアバージョンの導入に関わるテスト作業の負荷が恒久的に軽減されます。



により、機械の CNC 制御全体をシミュレーションすることができます。

るソフトウェアインターフェースが、今後に向けて計画されています。■

テストシーケンスが完了すると、AutomationDesk により、対象のモジュールに対して新しいファームウェアバージョンをリリースできるかどうかを示すテストレポートが生成されます。しかし、テスト結果をテストケースデータベースに手動で入力して、ファームウェアの現在の状態をドキュメント化することは、非常に時間がかかります。DOORS 要件管理ソフトウェアで使えるような、テスト結果をデータベースに自動的に転送す

工学博士 Andreas Pottharst
開発部門責任者
Ferrocontrol Steuerungssysteme
ドイツ



工学博士 Andreas Pottharst

工学博士 Andreas Pottharst は、Ferrocontrol Steuerungssysteme (ドイツ、ヘルフォルト) のドライブおよび PC 技術に対応する開発部門の担当者です。

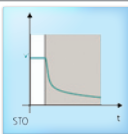
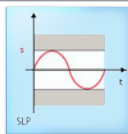
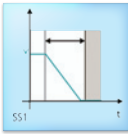
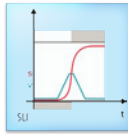

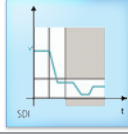
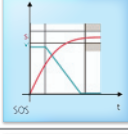

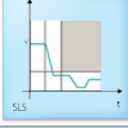
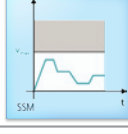
STO – Safe torque off		SLP – Safely limited position	
SS1 – Safe stop category 1		SLI – Safely limited increment	
SS2 – Safe stop category 2		SDI – Safe direction	
SOS – Safe operating stop		SBC – Safe brake control	
SLS – Safely limited speed		SSM – Safe speed monitor	

図 5 : E-Darc 安全モジュールの安全機能

Ferrocontrol 社について

Ferrocontrol 社は、制御システムのメーカーとして、36 年間、ウインドウ製造および木材加工産業のイノベーションパートナーとして活動を続けています。2006 年現在、同社は、ウィースバーデンに本社がある Eckelmann AG に属しています。Ferrocontrol 社の製品とサービスはウインドウ製造の全範囲に及んでおり、在庫管理、木材カットセンター、のこぎり、溶接機、コーナー仕上げ機、および金属製建具関連機械の制御から、出荷プロセスの緩衝系、物流管理システム、量産管理、および制御システムに至るまでさまざまな分野を取り扱っています。

顧客と市場の要求と要望に合わせた業界固有のソリューションの開発において、独自のハードウェアとソフトウェアのコンポーネントを開発、計画、製造することが会社のポリシーとなっています。