

アルテラの FPGA で構築する、TÜV 認定 機能安全システム

本ホワイトペーパーでは、産業用マシンにおける安全システム利用の加速について、市場トレンド、生産性向上の必要性、欧州機械指令での新たな安全基準の導入を挙げながら、解説します。TÜV 認定済みの FPGA 設計手法は、安全設計のパラダイムに変化をもたらすもので、開発の労力、システムの複雑さ、製品が市場に投入されるまでの期間を大幅に削減するものです。これにより、FPGA ユーザーは、自らカスタマイズしたセーフティ・コントローラを設計できるようになり、従来のマイクロコントローラや ASIC ベースのデザインに対して、大きな競合優位性を得ることができます。

はじめに

機能安全システムを開発する主な理由は、安全な操作を行うことと、障害発生時の安全な処置を確保することです。機能安全システムには例えば、列車用ブレーキ、高速ロボット等のマシンの周囲の危険区域で使用する近接センサーや、石油化学プラントのプロセス・オートメーション設備で使用される分散制御システム等が挙げられます。

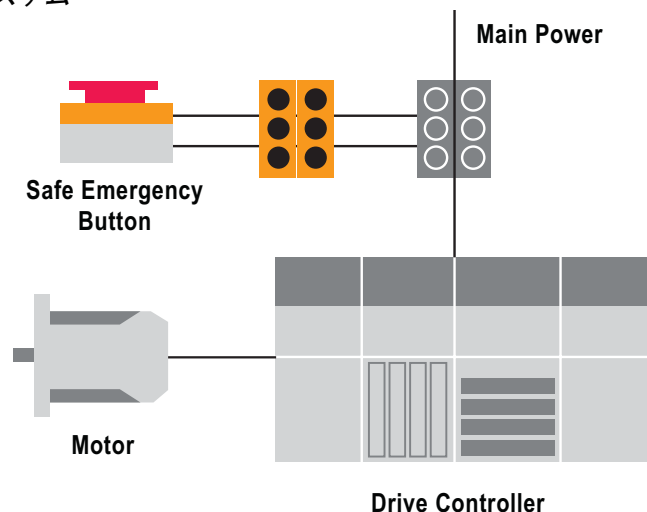
国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission) の規格 IEC 61508 「電気・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全 (Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems)」は、電気、電子、およびプログラマブル電子 (E/E/PE) 機器向けの安全システムを設計する際の規格です。この規格は、1980 年代半頃に整備され、産業界における技術的進歩に合わせて数回、改版されているものです。

さらに、特定の産業用機能安全システムにおいては、特定の要件を持つ市場や用途に合わせた派生規格も整備されています。例えば、プロセス・オートメーション (IEC 61511)、マシン・オートメーション (IEC 62061)、輸送 (railway EN 50128)、医療 (IEC 62304)、自動車 (ISO 26262)、発電、配電、輸送などです。

ローカル安全システム

従来、機能安全は専用の安全装置を持つことで保たれてきました。例えば、安全停止ボタンとメカニカル・スイッチによりドアの開放を示し、瓶詰めマシンや金属プレス等の危険場所への人員の立ち入りを防止する、などです。図 1 に示すように、このような設備は、“安全でない状況”が発生した場合に、マシンを停止するため、電源遮断機構に接続されており、マシンのフェイルセーフと、人間のオペレータがマシンを監視し、“安全でない状況”が発生すると停止ボタンを押すようになっています。こうした設備は、メイン・モーター・ドライブ等のマシンの単体部品にのみ適用されるため、「ローカル」安全システムと呼ばれます。こうしたシステムでは、安全対策によって保護できるのは、オートメーション機器のほんの数パーセントのみです。

図 1. ローカル安全システム



近年、市場では高い生産性が求められるようになり、“人間による監視”を減らした、より大規模で複雑なマシンの開発が行われるようになってきました。この結果、ひとたび障害が発生すれば、マシンと人間の両方に損害を与える危険性が、これまで以上に高まっています。こうしたリスクと、国際安全規格の変更により、マシンにおける機能安全の必要性が高まっています。

製造プロセスにおける生産性の向上

より高く、より効率的なアウトプットを可能にするために、製造プロセスはさらに複雑になり、マシンのサイズ・スピード・性能が、絶え間なく拡大、向上しています。より大きく、より速く、そしてより複雑なマシンは、より危険になり、オペレータ、マシン本体およびその周囲を保護するには、電源オフだけでは十分ではなくなりました。実際、大きく、複雑で、高速のマシンの電源を突然遮断すると、遮断の原因となった危険状態よりもさらに危険な状態になり得ます。さらに、突然の電源遮断により、商業的にも重大な影響を与えます。例えば、無制御で停止すると、マシンや処理中の製品を損傷する恐れがあり、マシンの修理、生産再開、損傷した製品の廃棄に要する時間による遅れのコストが発生します。

例えば、マシンが新聞を印刷するとします。効率を高めるために、これらのマシンは非常に高速で新聞を処理します。マシンの速度は危険なので、オペレーション時は、マシンの可動部分からオペレータを保護することが重要です。人員が印刷機の危険区域に立ち上がった場合、安全センサーが危険な状態を検出し、マシンを安全な状態に切り換えます。1つの大型モーターで全ての作業を行う、小さなマシンの場合、メイン・ドライブの電源を遮断し（安全停止）、受動ブレーキにより、可能な限り速やかにマシンを停止します。しかしながら、大型マシンの場合、十分に速やかな停止を行うことはできず、生産再開には多くの時間と労力を要します。印刷処理を再開する前に、印刷途中の新聞紙を何百メートルもマシンから取り除く必要があります。さらに、突然の電源遮断により、新聞紙の破れ、マシンの詰まりが発生したり、インク供給やローラー・アライメントの再設定が必要になることがあります。このように、安全停止により、最低限の安全水準が得られる一方で、商業的に大きな影響をもたらす恐れがあります。

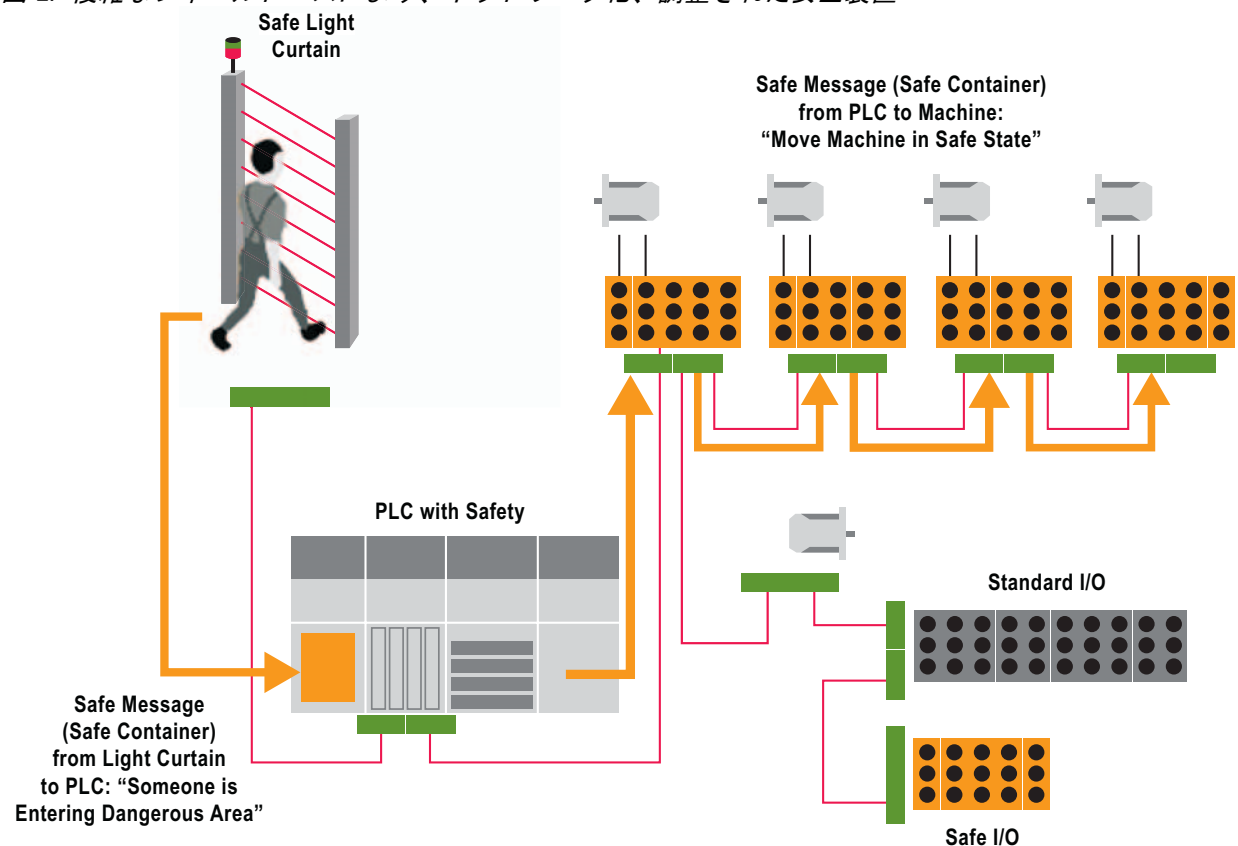
最新のシステムは、はるかに大型で柔軟になり、1つのモーターで駆動するのではなく、多数のネットワーク化され、高度に調整されたドライブを使用しています。複数のドライブを持つ場合、マシンを効率的に安全な状態に切り換えるには、単なる電源オフでは不十分になります。その代わりに、安全システムをマシン全体に分散させ、各々のドライブが各自に遮断するとともに、マシンの他の部分と通信して同様のプロセスを行うことを指示します。安全性を重視するドライブとセンサーはネットワーク化され、セーフティ・コントローラに接続されます。セーフティ・コントローラは、危険な状態を検出し、調整しながらマシンを遮断して安全な状態にします。これにより、“安全でない状態”から人員を迅速に保護し、残りのマシンと製品への影響を低減します。

例えば、印刷機は、ラインの問題発生箇所を停止し、すべての印刷機能を手際よくシャットダウンし、適切な方法でマシン内の新聞紙を処理します（速やかに新聞紙を切断して、使用不可能な材料を廃棄する等）。これにより、速やかに安全に停止させ、復旧時間を短縮し、マシン内の製品の損害を低減します。

図 2 に示す、ネットワーク化という手法は、産業機器市場において、以下の 2 つのトレンドをドライブするものです。

- 安全性を重視する装置の数（マシン当たり）が大幅に増加。安全監視は、システム全体にわたって広がる多数のノードを処理し、シャットダウンによる安全上のリスクと商業的影響を最小化するよう、制御された方法で、安全上の問題に対応できなければなりません。
- 安全なオペレーションを実行し、マシン全体の安全装置間で安全な処理を行うために、安全装置への接続には、高速の通信メディアが必要。速度の向上と低コストという要求により、使用されるバス通信メディアは、フィールドバスから産業用イーサネット規格に移行しています。

図 2. 複雑なフィールドバスにより、ネットワーク化、調整された安全装置



機械装置のための新しい国際安全規制

近年、規制機関は安全性に重点的に焦点を当てており、その結果、産業用マシンと環境には、高い水準の安全性が求められるようになりました。その動機は、マシンによる人体の被害を防止するためだけではありません。安全基準を遵守すれば、工場所有者、マシン製造業者、コンポーネント製造業者は、裁判に訴えられる心配をしなくてよいのです（重大な過失が発生した場合を除く）。こうした法的保障を得るには、システムを安全に設計し、その後、TÜV 等の信頼される認定機関から安全性について認定を受けなくてはなりません。こうした認定により、マシン製造業者や工場所有者は、特定の障害が発生した際に訴訟から免責されます。

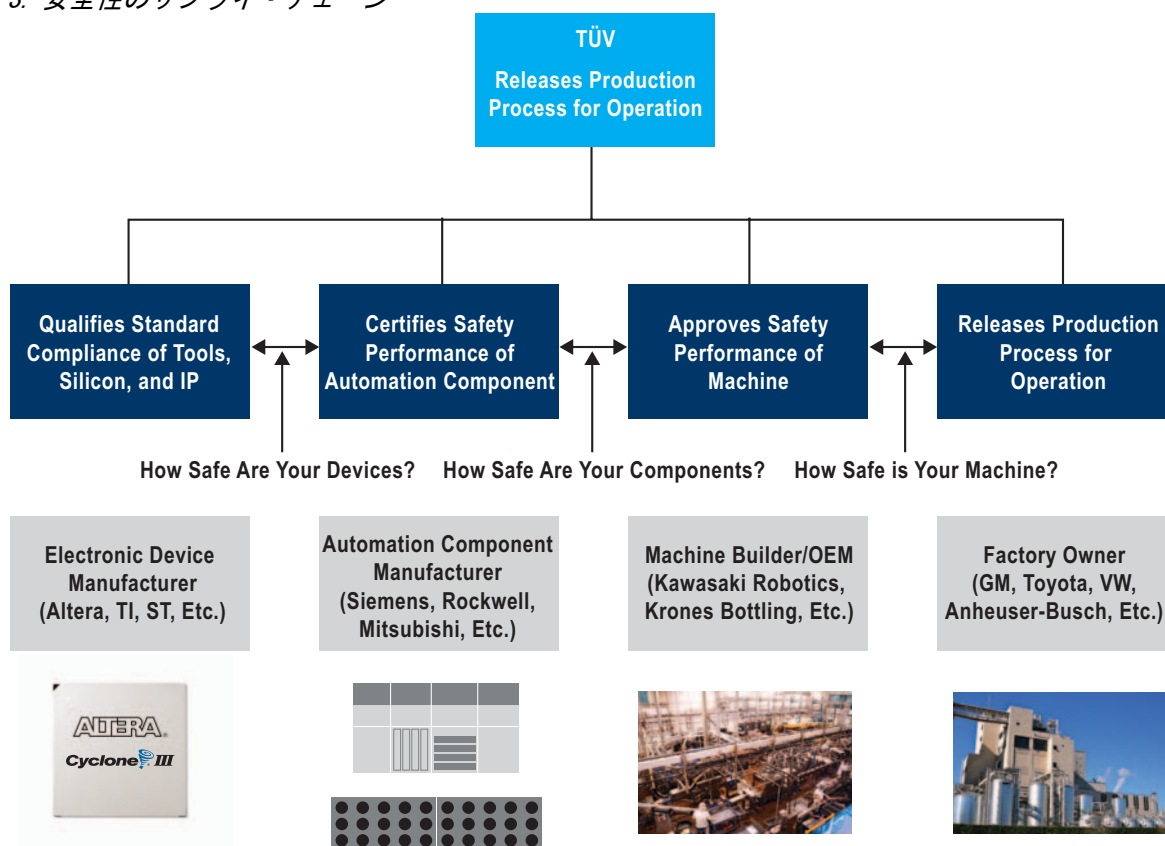
欧州規格 EN 954-1 等の、旧来の安全基準は、マシンの決定論的障害評価を適用します。この評価では、マシンがいかにして人物の傷害を防止するかを測定することで、潜在的障害または危険な状況の評価します。新しいマシンの規格では、マシンの特定コンポーネントで障害が発生する定量的、質的確率の評価が追加されています。この規格では、具体的な危険シナリオの発生確率の計算が、マシンのセーフティ・コンセプト評価に含まれていることが求められます。

欧州では、既にこの新しい手法を取り入れ、IEC 61508 を新しい欧州機械指令 2006/42/EG に書き換えています。2009 年 12 月 29 日以降、欧州の施設と工場に出荷されるすべてのマシンは、この指令を遵守することが前提になっていました。しかしながら、ほとんどのマシン製造業者は、これらの指針に従って出荷する準備ができていなかったため、この日付は 2011 年に延期されました。日本、米国、およびカナダでも、現在同様の指令が準備中です。

機能安全認定

マシン製造業者と工場所有者は、国際的に認められた安全基準を遵守しなくてはなりません。しかし最新式のマシンとプラント設計においては、まずその設計が適切な安全基準と規制に準じていることを、認証認定機関または産業団体から認定されなくてはなりません。マシンまたは工場の安全性に関する全体像を認定機関に提供するためには、所有者または運営者は、マシンの構築に使用されるすべてのコンポーネントの情報と資料を用意しなければなりません。マシン製造業者は通常、センサー、ドライブ、PLC 等のオートメーション・コンポーネントを、オートメーション・コンポーネント製造業者から調達しており、これらのコンポーネントも、適用規格に合うよう設計しなくてはなりません (図 3 参照)。そのため、コンポーネント供給業者も、関連する安全マニュアルをマシン製造業者に提供しなくてはなりません。

図 3. 安全性のサプライ・チェーン



機能安全装置は“複雑な電気、電子装置”と見なされるため、オートメーション・コンポーネント製造業者は設計時に特に影響を受けます。こうしたソフトウェア、ハードウェア、ツール、機械部品等のコンポーネントでは、システム設計全体、製品の発案・使用開始から廃棄まで、製品寿命の全ての段階において、安全性が密接に関連します。安全性を確保するには、ハードウェア、ソフトウェアの両方を含め、安全基準の「観点」で、システムをあらゆる側面から考慮しなくてはなりません。例えば、適切なオペレーションは、システムのハードウェアに依存するため、ソフトウェア単体では安全性を保証することはできません。同様に、ハードウェア単体では、安全上の要件を満たすことはできません。そのため、安全性に対する、総合的なアプローチが不可欠になります。

さらに、機能安全の設計は、デザインが良ければ保たれるというものでもありません。システムの適切または不適切な動作は、故障率、生産、プログラミング、使用など、多くの要因に影響されます。

そのため、システムの機能安全について検討する際は、高度に統合されたソフトウェアとハードウェアの両面、セルフ・テスト機構、フェイルセーフの状態等、コンポーネントのあらゆる面を見る必要があります。その結

果、安全性インテグリティ・レベル (SIL) クラスで分類される、故障確率（「危険」を伴うオペレーション下での、1時間あたりの故障の確率）において、複合的または平均的な、特定の水準を得ます。

- SIL4: 10^9 以上、 10^8 未満（最低限 110,000 年に 1 回の故障）
- SIL3: 10^8 以上、 10^7 未満（最低限 11,000 年に 1 回の故障）
- SIL2: 10^7 以上、 10^6 未満（最低限 1,100 年に 1 回の故障）
- SIL1: 10^6 以上、 3×10^6 未満（最低限 380 年に 1 回の故障）
- SIL1: 10^6 以上、 10^5 未満（最低限 110 年に 1 回の故障）

産業マシン製造業者が求める基準は、SIL3 になると予想されています。その結果、システム設計者、ハードウェア・エンジニア、ソフトウェア・エンジニアは、この安全性インテグリティ・レベルを満たすために、システムのインテグリティを立証し、システムのセルフ・テストを実装し、フェイルセーフの状態を規定することになります。

高いインテグリティ

安全性に関連するシステムのインテグリティを評価するために、電気 / 電子機器の構想段階と設計の間、以下のような様々なパラメータを考慮する必要があります。

- ハードウェアの故障率 - 単位時間当たりの故障 (FIT) レート
- 安全側故障割合 - 特定のソフトウェアまたはハードウェア障害が、システム全体の故障率にどの位関与しているか？
- 自己診断率 - 位相同期ループ (PLL) 誤動作またはメモリ・ビット反転等の、エラーの発生を、どのようにして、どれ位効率的に検出できるか？
- テスト時間 - システムのインテグリティを保証するために、どの位の頻度でテストを実施する必要があるか？
- 共通原因故障 - その故障がシステム全体の故障の原因となるような、電源装置等の、システム内の単一の要素が存在するか？

セルフ・テスト

系統的または確率論的故障を検出するためには、システムにテスト機能を実装することが重要です。一般的には、E/E/EP マシンの各コンポーネントの機能を解析し、1つの機能障害がどの程度マシンの動作に影響するかを確認します。こうしたセルフ・テスト（または診断テスト）により、故障を検出する確率、いわゆる自己診断率が得られます。しかしながら、このテスト機構は、実際に故障を正しく検出するために、それ自身もテストを行う必要があります。安全システムの適切な自己診断率を達成するために、縮退、データ完全性、ドリフト、アクセス障害等を検出する、巡回実行型のセルフ・テストを集積することが必須です。故障モデルと、達成可能な自己診断率は、IEC 61508 で示されています。

例えば、セーフティ・アプリケーションを実行するためにメモリを使用している E/E/PE マシンはすべて、メモリ・テストが必要になります。

メモリの潜在的な故障ポイントは、メモリ・セルの破損（静的故障）と、ビット反転（確率論的故障）です。いずれの故障も、一定の効率で検出する必要があります。そのため、システム設計者は、セーフティ・コンセプトにおいて、適切なテスト方針、事後措置を導入する必要があります。

フェイルセーフの状態

故障発生時、または安全関連情報が破損した場合、システムを安全な状態に切り換える必要があります。すでに説明したように、現在の産業用アプリケーションのほとんどで、安全な状態を「電源オフ」または「出力信号オフ」状態と定めています。また将来の安全システムでは、コンポーネントの安全な制御や安全なアプリケーションを必要とする、安全なトルクまたは安全な制限速度について、さらに高度な状態を定めています。

システムの安全性インテグリティの認定

IEC 61508 では、安全装置の設計、配備、オペレーション、廃棄の方法について記載しています。この規格に準ずる会社はすべて、その会社の設計またはマシンの安全性に対する適合性を証明、文書化し、IEC 61508 に準拠するものとして販売することができます。しかしながら、マシン製造業者と工場所有者は通例として、中立の立場の個人による、コンポーネントの開発プロセスの検査、そのセーフティ・コンセプトとの適合性の確認、規格に対する仕様の適合性の確認、故障計算の正確さの確認を提示する、第三者の認定機関からの証明書に頼っています。

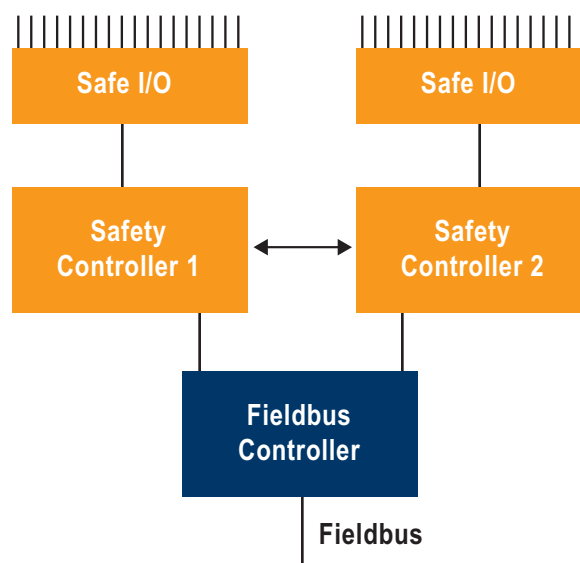
ドイツの TÜV (技術検査協会、technical supervising association) は、複雑な産業用マシンの認定において 100 年を超える歴史を持ち、それぞれ独自の規格や規制を持つ様々な産業向けの認定機関です。現在 TÜV は、産業機器の認定作業において最高の評価を獲得しており、機能安全認定における第一級の認定機関になっています。安全性を重視するデザインの設計と配備においては、認定機関と協力して作業することを強くお勧めします。これにより、世界中のどこでも、満足して受け入れられることを保証します。

FPGA によるフレキシビリティの提供

プロセス・オートメーション (石油化学プラント等) またはディスクリット・オートメーション (包装機械等) などの産業用オートメーションで使用されるネットワークは、フィールドバス (低速、それほど決定論的ではない) または産業用イーサネット (高速、選択的に高度に決定論的) に基づいています。現在、約 20 種類のフィールドバス規格と、20 種類のイーサネット規格が使用され、Siemens 社により開発された、Profibus (フィールドバス) / Profinet (産業用イーサネット) が、約 30% と、世界最大のマーケット・シェアを持っています。Rockwell Automation 社が開発した DeviceNet/EtherNet/IP、三菱が開発した CC Link/CCLink IE、Ethercat (Beckhoff 社)、Powerlink (B&R 社)、Sercos III (Bosch Rexroth 社) 等の新しい規格が、産業用オートメーションの市場の特定地域、サブセグメントで大きなシェアを取りつつあります。

こうした通信規格に関する注目すべき事実は、フィールドバス / 産業用イーサネットを使用するセーフティ・コンセプトにおいて、機能安全装置間の安全性に関するデータの通信メディアとして、これらの規格が導入されているという点です。フィールドバス指向のセーフティ・コンセプトは殆どすべて、SIL 3 についてはデュアルチャネル・アーキテクチャを想定しており、セーフティ・デュアルプロセッサ・システムはセーフティ・アプリケーションを実行し、図 4 に示すように、安全でない通信 / ネットワーキング・サブシステムに接続されます。

図 4. 3 個のマイクロコントローラを使用した、一般的なディスクリット SIL 3 の実装



このネットワーキング・サブシステムでは、一般に、表 1 に示す通信規格のうち一つが実装されます。

表 1. 通信規格

会社名	フィールドバス規格	産業用イーサネット規格	安全性拡張部分	Notes
Siemens	Profibus (1)	Profinet (1)	Profisafe	
Rockwell	DeviceNet	EtherNet/IP (1)	CIP Safety	
三菱	CC-Link (1)	CC-Link IE (1)	CC-Link Safety	
Beckhoff	CANopen	EtherCAT (1)	Twinsafe	種々のフィールドバスをサポート
B&R	CANopen and others	Powerlink (1)	Powerlink Safety	種々のフィールドバスをサポート
Bischoff Rexroth	SERCOS II (1)	SERCOS III (1)	CIP Safety	種々のフィールドバスをサポート

Note:

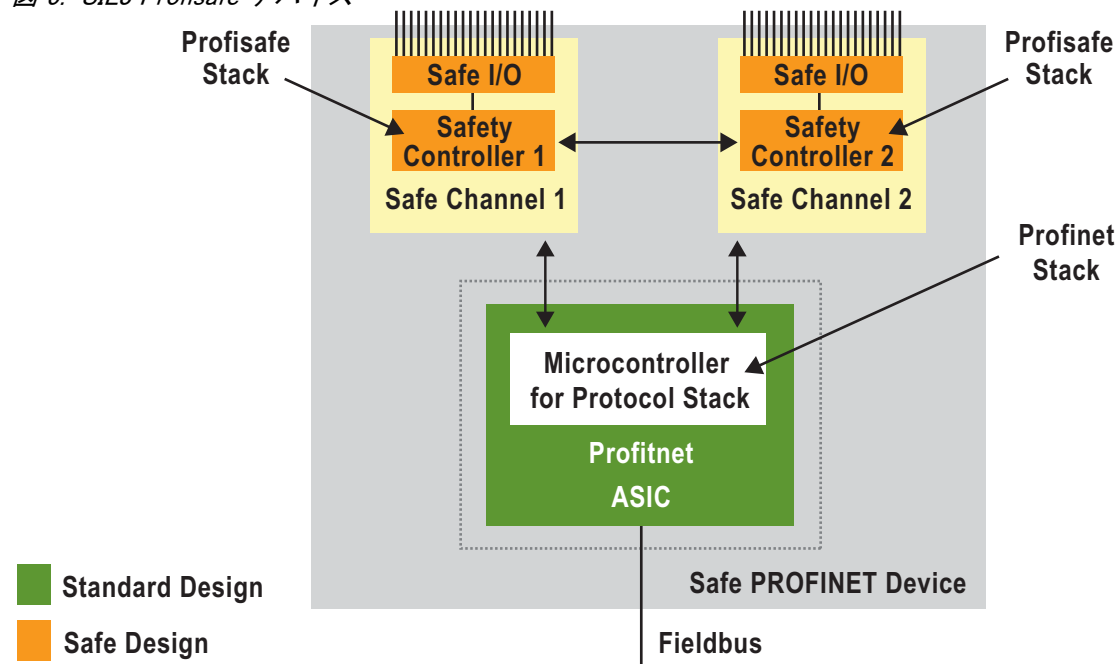
(1) ベンダ独自の ASIC がある、または FPGA IP として提供される、独自仕様の MAC、Switch や HUB が必要。

- 表 1 に記載されていないフィールドバスは、十分なセーフティ・コンセプトが示されていないため、このホワイトペーパーでは説明していませんのでご注意ください。

安全設計におけるシステムの複雑さの増大

Profinet を使用するマシンにオートメーション・コンポーネントを組み込むために、製造業者は、通信レイヤに Profinet を、セーフティ・レイヤに Profisafe を実装する必要があります。そのため、図 5 に示すように、SIL3 システムの Profisafe スタックを実行するために、通信コントローラとしての Profinet ASIC を 1 個と、2 個のマイクロコントローラを実装する必要があります。

図 5. SIL3 Profisafe デバイス



上記と同じ製造業者が、次に、EtherCAT ネットワークを実装したマシンの供給を求められた場合、EtherCAT ASIC と、Twinsafe 用の具体的なアーキテクチャを実装する必要があります。使用する各々の付加的ネットワークは、デザインは別々に開発して、IEC 61508 に従って認定を受ける必要があるため、オートメーション・コンポーネントの設計者にとって大きな負担になります。

この負担の点で、FPGA には 2 つの大きなメリットがあります。独自開発の ASIC を使用する代わりに、フィールドバスと産業用イーサネット IP を FPGA IP として利用できます (実際、SERCOS III や Ethernet Powerlink 等、

いくつかの産業用イーサネット・プロトコルは、FPGA IP としてのみ利用可能)。FPGA デザインでは、FPGA に MAC IP と通信ソフトウェアを読み込むだけで、バリエーションの少ないデバイスを特定の通信規格に合わせて利用できるという点でメリットがあります。そのため、バリエーションが少ない場合、あるいは産業用イーサネットの場合でも、独自の FPGA デザインにより、上記に示したすべての産業用イーサネット IP (ただし CC-link と CC Link IE ASIC でのみ利用可能な、三菱の CC テクノロジーを除く) の実装を支援します。

アルテラでは、図 6 に示すように、標準の産業用イーサネット IP と、エンベデッド・セーフティ・コントローラを、FPGA ワンチップに組み込むためのフレキシブルな方法を提供しています。これにより、通信レイヤ、セーフティ・レイヤの 1 チャンネルを、FPGA ワンチップに実装できます。これにより、単に、デバイス数の削減により、スケーラビリティを提供してシステムの複雑さを低減するだけでなく、独自のシステム設計によって、各種の安全規格に求められる、安全なコントローラと安全でないコントローラを共同で配線するための複数の手法を得ることができます。

図 6. フレキシブルなアルテラ FPGA により、機能安全設計を簡略化

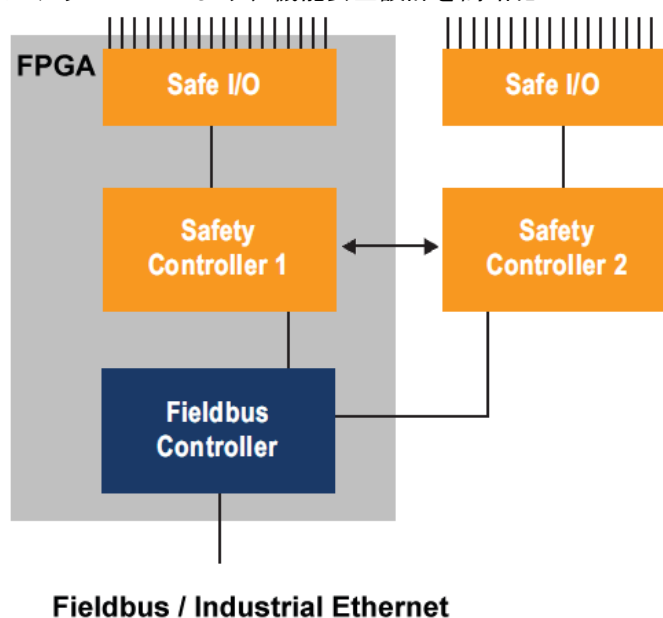


表 1 に示す IP はすべて (CC-Link/IE を除く) アルテラの FPGA で利用でき、セーフティ・コントローラと組み合わせ、種々のフィールドバスと産業用イーサネット規格のフレキシブルでスケーラブルな統合を保証するものです。

使用するコンポーネントとツールの適合性の証明

IEC 61508 では、電子設計の故障確率の、量的および質的評価のために従う必要のある一連の要求事項を定めており、セーフティ・コンポーネントの設計に使用するツールと電子部品の評価が必要であることを示しています。要求事項の中心は、検証と妥当性確認 (V) のフローであり、これは設計サイクル全般に適用されます。V フローで使用される設計ステップとツールは、認定されるか (コストがかかり過ぎ、特殊過ぎるため、現実的でない)、または使用時に証明されなければなりません。

「使用時に証明」は、安全設計で使用される半導体部品にも適用されます。一般に、設計者は、明確な一連の信頼性データと品質データ、ならびに安全設計においてこれらの項目の適合性を検証するための算術計算を提供する必要があります。設計者は一般にこのようなデータは所持しておらず、電子部品とツールの製造業者が、設計者の認定プロセスを大幅に短縮できるよう、広範囲にわたるデータを提供します。このデータは通常、TÜV により精査および認定された、安全マニュアルの形式で提供されます。この事前の認定により、設計者は TÜV との間の作業を省略でき、安全装置の開発における市場投入までの期間を短縮することができます。

安全設計のためのシステム性能の評価

それまで緊急停止ボタンがあった場所に、安全センサー入力を追加し、安全出力を通じて電源を遮断することは、それほど難しいことではありません。そのため、低コストのマイクロコントローラではこのようなシステムがよく使用されています。

産業用イーサネット・ネットワークングを採用した場合、セーフティ・アプリケーションに加えて、セーフティ・プロトコル・スタック (Profisafe 等) をセーフティ・コントローラ上で実行する必要があります。これらのセーフティ・スタックは、セーフティ・ファームウェアのサイズを大幅に増加させるだけでなく、システム・サイクル毎 (1ms 等) に実行する必要があるため、システムの更新サイクル時間に依存して、処理性能に大きく影響します。しかし、コストが最も安いほとんどのマイクロコントローラは、このようなタスクを容易に実行できます。

しかしながら、性能に与える実際の脅威は、安全システム全体の自己診断率に内在しています。例えば、セーフティ・コントローラのすべてのメモリ (外部と内部の両方) は、セーフティ・アプリケーションの実行と平行して、継続的に一貫性を確認する必要があります。安全性を目的とした通常のマイクロコントローラ・システムの、システム一貫性の診断テストにおいては、システム性能の 50% ~ 80% を消費します (システムのサイクル時間と SIL 分類による)。

FPGA は、ハードウェアにおいて極めて高い性能を要する処理の並列実行が可能のため、この点でも大きなメリットを提供します。RAM テスト IP 等の、ハードウェア・ベースの診断テストを提供することで、全体的なシステム性能要件を大幅に低減し、セーフティ・アプリケーション用の処理リソースが自由になります。

結論

国際規制、ならびに生産性向上の必要性によって、産業用オートメーションのほぼ全セグメントにおいて、安全装置がより複雑化し、装置数も増加しています。規格の変更・増加により、標準のマイクロコントローラ / ASIC ベースのセーフティ・コンセプトでは、複雑な安全システムを目標コストに合わせ、設計バリエーション数を管理可能にするために必要とされる、フレキシビリティとシンプル化を提供できなくなっています。

他方で、設計者は、FPGA を使用することで、極めてフレキシブルでスケーラブルな手法で、安全設計を導入することができます。主要なフィールドバス / 産業用イーサネット・ベースの、セーフティ・コンセプトは、極めて限られた数のハードウェア設計バリエーション数でしか実装することができません。アルテラのツール、IP、半導体デバイス用の、TÜV 認定のセーフティ・データ・パッケージは、事前に TÜV の認定を得ているため、通常は非常に長くかかる認定 / 認定プロセスを、単純化、短縮します。さらに、ハードウェア・ベースの診断テストでは、FPGA 固有の並列処理により、高い処理能力を要するテスト・ルーチンを実行することで、全体的なシステム性能要件を低減します。最後に、一般的に製品寿命の長い FPGA、ならびに特定用途向け機能とファームウェア間の移行オプションにより、安全設計の機能的陳腐化を抑えます。

この TÜV 認定安全マニュアルにより推進される、FPGA ベースの設計手法は、安全設計のパラダイムに変化をもたらすもので、開発の労力、システムの複雑さ、製品の市場投入までの期間を大幅に削減します。これにより、FPGA ユーザーは、自らカスタマイズしたセーフティ・コントローラを設計できるようになり、従来のマイクロコントローラや ASIC ベースのデザインに対して、大きな競合優位性を得ることができます。

ご相談・お問い合わせはこちら

詳細情報

- 産業機器市場：
www.altera.co.jp/industrial
- ホワイトペーパー：「Lowering the Total Cost of Ownership in Industrial Applications」：
www.altera.co.jp/literature/wp/wp-01122-tco-industrial.pdf
- ビデオ・デモ：「FPGA 1 チップで、複数の産業用イーサネット・プロトコルをサポートする方法」：
www.altera.co.jp/b/support-multiple-industrial-ethernet-protocols-single-fpga.html
- Webcast 「Designing with Multiple Industrial Ethernet Standards on a Single Hardware Platform」：
www.altera.co.jp/education/webcasts/all/wc-2009-industrial-ethernet-single-fpga.html
- ホワイトペーパー：「A Flexible Solution for Industrial Ethernet」：
www.altera.co.jp/literature/wp/wp-01037.pdf
- Cyclone シリーズ FPGA について：
www.altera.co.jp/products/devices/cyclone-about/cyc-about.html
- オンライン・セミナー 「業界で最も低コスト、低消費電力の FPGA でトータル・システム・コストを削減」：
www.altera.co.jp/education/webcasts/all/wc-2009-cyclone-iv.html
- Nios II プロセッサ：最も汎用性に優れたエンベデッド・プロセッサ：
www.altera.co.jp/nios
- 開発ソフトウェア：
www.altera.co.jp/products/software/sfw-index.jsp
- アルテラ・トレーニング：
www.altera.co.jp/education/training/trn-index.jsp

謝辞

- 著者：アルテラ・コーポレーション、インダストリアル / オートモーティブ・ビジネス・ユニット、マーケット・ディベロップメント・マネージャ Frank Foerster
- アルテラ・コーポレーション、プロダクト・マーケティング・マネージャ Stefano Zammattio
- アルテラ・コーポレーション、エンベデッド・システム・ソリューション・グループ、シニア・デザイナー・エンジニア Adam Titley
- アルテラ・コーポレーション、インダストリアル / オートモーティブ・ビジネス・ユニット、シニア・テクニカル・プロダクト・マーケティング・マネージャ Jason Chiang



101 Innovation Drive
San Jose, CA 95134
www.altera.com

Copyright © 2009 Altera Corporation. All rights reserved. Altera, The Programmable Solutions Company, the stylized Altera logo, specific device designations, and all other words and logos that are identified as trademarks and/or service marks are, unless noted otherwise, the trademarks and service marks of Altera Corporation in the U.S. and other countries. All other product or service names are the property of their respective holders. Altera products are protected under numerous U.S. and foreign patents and pending applications, maskwork rights, and copyrights. Altera warrants performance of its semiconductor products to current specifications in accordance with Altera's standard warranty, but reserves the right to make changes to any products and services at any time without notice. Altera assumes no responsibility or liability arising out of the application or use of any information, product, or service described herein except as expressly agreed to in writing by Altera Corporation. Altera customers are advised to obtain the latest version of device specifications before relying on any published information and before placing orders for products or services.