

安川電機の高性能ロボット・コントローラー YRC1000 サーボ制御や機能安全にインテル® FPGA を採用

安川電機は 2016 年発売のロボット・コントローラー YRC1000 に複数のインテル® FPGA を採用しました。あわせて、インテルの「IEC 61508 認証済み機能安全データパッケージ」を導入し、機能安全規格の認証工数の削減を図っています。

YASKAWA

会社名：株式会社安川電機

住所：〒806-0004 福岡県北九州市八幡西区
黒崎城石 2-1

事業内容：モーション・コントロール装置、産業用ロボット
システム・エンジニアリングなどの提供

<https://www.yaskawa.co.jp/>

労働人口の減少などを背景に 産業用ロボットの導入が増加

産業機器市場で特に成長著しいのがロボットです。労働人口の減少や高齢化を背景とした労働力の不足と人件費の高騰に対応するために、工程の効率化や自動化が急務となっているなかで、さまざまな作業や搬送を担う多軸型ロボットが製造現場などに急ピッチで導入されています。また、安全柵によって隔離する従来型ロボットに加え、人のいる空間で使われる協働ロボットや自走型の自動搬送車の導入も増えつつあります。

ロボット制御には以前は ASIC(カスタム LSI) が使われてきましたが、プロセスの微細化に伴って開発費が上昇しており、しかも開発期間は年単位におよびます。

また、ロボットには安全対策が不可欠です。例えば何らかの理由で人が安全柵の内側に入ってしまった場合、ライトカーテンなどで侵入を検知して、ロボットの動作を速やかに停止しなければなりません。こうした安全対策のうち、電氣的または電子的な手段を用いる手法を「機能安全」と呼び、関連する規格への適合が必須要件となっています。そのため、規格への準拠を証明する認証作業がロボットメーカーにとっては負担となっていました。

そうした課題を踏まえ、ASIC の代替としてロボットへの採用が進んでいるのが、ロジックの再構成が可能なインテル® FPGA です。インテル® FPGA はデバイスとして信頼性が高く、これまでも多くの産業機器に使われてきました。機能安全規格への準拠および認証取得に関しても業界でいち早く取り組んできた実績があります。ここでは安川電機のロボット・コントローラーへの採用事例を取り上げます。

高速・高精度制御、小型化などが特徴 安川電機のロボット・コントローラー YRC1000

安川電機(本社・福岡県北九州市八幡西区)は産業用ロボットの大手メーカーです。6 軸の垂直多関節型を中心に、アーク溶接、スポット溶接、塗装、ハンドリング・組立、バイオメディカル、パレタイジング、プレス間ハンドリング、シーリング・切断・レーザー加工、バリ取り・研磨、塗装、液晶ガラス・パネル搬送、半導体ウエハー・太陽電池ガラス基板搬送用など、さまざまな目的に対応した製品を「MOTOMAN(モートマン)」というブランドでグローバル展開しており、「世界の 4 強」と称されるロボットメーカー 4 社の一角を占めています。さらに近年は、生産ラインで人と並んで作業する協働ロボットにも力を入れています。

産業用ロボットは、多軸のアームを持つ本体（マニピュレーター）のほか、ロボットに動きを教えるプログラミング・ペンダントと呼ばれる端末と、ペンダントで教えた動きを元に各軸の動きを制御するコントローラーが必要です。

2016年6月に発売された同社の高性能ロボット・コントローラーが「YRC1000」です。加速度制御の改善により、従来設けられていた速度制限を廃し、マニピュレーターが出し得る最高速度での動作を実現。また、アーム先端の軌跡制御を一新し、テスト運転時やブレイバック動作時を含め、動作速度によらずほぼ同一軌跡での動きが可能です。さらに、従来のロボット・コントローラー DX200 に対して体積比で 50% の小型化が図られていて、同社ではクラス最小サイズと謳っています。そのほか、電源のグローバル対応などの特徴を備えています(図1)。

ロボット制御、サーボ制御、機能安全の実装に複数のインテル® FPGA を採用

高性能化や高精度化を実現するにあたって、同社では、ロボット制御、サーボ制御、機能安全などに、複数のインテル® FPGA を採用しました(図2)。

安川電機が評価したインテル® FPGA の主なメリットは次のとおりです(図3)。

(1) サーボ制御の高性能化と低消費電力化：多軸のマニピュレーターを動かすには、各軸のエンコーダーで検出した現在の位置や角度を元に、三角関数などを用いた複雑な演算処理によって所定の移動量に応じた制御情報を算出し、モーターに指示を送出しなければなりません。こうした運動学計算（キネマティクス）を精度高く、かつ、高速に実行するには、マイクロプロセッサでのソフトウェア処理よりもハードウェア処理のほうが適切です。すなわち、DSP を内蔵して 32ビットの倍精度浮動小数点演算をハードウェアによって高速に、かつ、データミニスティック^{*1}に実行できるインテル® FPGA が最適といえます。

また、インテル® FPGA には PCI Express* などのハード IP も豊富に用意されていますので、安定したバス接続に加えて周辺ロジックの統合が可能であり、回路の小型化および低消費電力化が図れます。

低消費電力化によって筐体のファンレス化が可能となるため、摩耗が起きる機械部品（ファン）を省略できるとともに、塵埃の吸い込みを防げます。

(2) IEC 61508 などの機能安全規格で求められる安全関連システム（Safety Related System）のほとんどをインテル® FPGA に集約できます。また、複数のインテル® FPGA を用いれば相互監視も可能です。(1)と同様に、ハードウェア処理によるデータミニスティック^{*1}な動作が可能であり、遅れの許されない安全監視に最適といえます。

さらにインテルでは、第三者認証機関にて IEC 61508 の認証を取得した「IEC 61508 認証済み機能安全データパッケージ」を提供しており、これを導入することでコントローラー製品の機能安全認証の工数削減が図れます。

(3) 低コスト化：プロセス微細化や合理化により FPGA 自体のコスト競争力が向上しているほか、周辺ロジックの統合、統合に伴う回路の小型化、ロジックを柔軟に構成できることによる開発期間の短縮などを考慮すると、トータルコストとして有利です。

(4) 長期安定供給：産業機器は10年以上使われることが一般的であり、メンテナンスも考えると、デバイスには長期供給が求められます。インテル® FPGA は産業分野のお客様の要件を満たす長期供給を行っています。

(5) 開発期間：ASIC を開発する場合と比べて開発と検証サイクルを短縮できるほか、なんらかの不具合が見つかった場合、あるいは機能変更・機能強化が必要となった場合にも、FPGA であれば速やかにロジックを修正することができます。


なお、図2に示すように、インテル® FPGA のほかに、インテル® プロセッサおよびインテルのネットワーク・コントローラーも採用されています。

複数のインテル® FPGA でエンコーダーを相互監視 機能安全規格に則った安全機能を実装

ロボットをはじめとする産業機器の使用にあたっては、故障や誤動作

図1. 安川電機のロボット・コントローラー「YRC1000」の特長

製品コンセプト
クラス世界最小サイズで、さまざまなレイアウトにスッキリフィットし、高密度配置によりコンパクトな設備を実現します。



【YRC1000の特長】

- ・ IP54
- ・ 大型機種まで対応
- ・ 外部 3 軸内蔵可能
- ・ 高精度軌跡制御
- ・ 機能安全
- ・ サーボ電源個別制御
- ・ 電源回生標準搭載（中・大型機種）
- ・ 国内、欧州、米国、アジア仕様 4 種類の盤を準備
- ・ 380 ~ 480V にトランスレスで対応

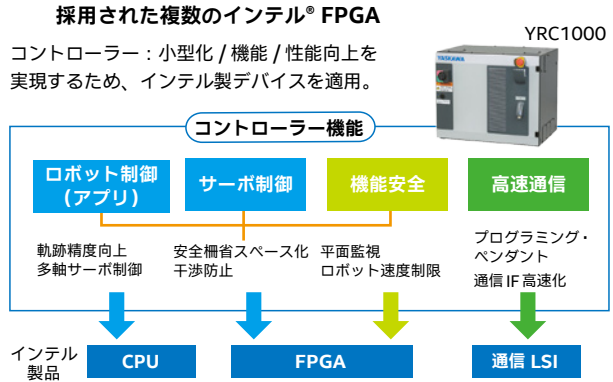
50% 小型化*

世界最小 グローバル仕様 省エネ

*安川電機比

図2. 安川電機のロボット・コントローラー「YRC1000」に採用された複数のインテル® FPGA

コントローラー：小型化 / 機能 / 性能向上を実現するため、インテル製デバイスを適用。



コントローラー機能

- ロボット制御 (アプリ)**: 軌跡精度向上、多軸サーボ制御
- サーボ制御**: 安全柵省スペース化、干渉防止
- 機能安全**: 平面監視、ロボット速度制限
- 高速通信**: プログラミング・ペンダント通信 IF 高速化

インテル製品: CPU, FPGA, 通信 LSI

安川電機の採用条件

- ・ 小型、高性能
- ・ 低消費電力(ファンレス)・低コスト
- ・ 長期安定供給(10年以上)

が発生した場合、あるいは誤操作をした場合でも、周囲の人命や財産に影響をおよぼさないように、あるいは影響を最小限に抑えられるように、厳格な安全対策が必要不可欠です。安全柵の物理的な施錠や注意書きによる喚起など、安全対策にはさまざまなアプローチがありますが、電気回路や電子回路またはソフトウェアを用いてリスクの低減を図る方法を特に「機能安全 (Functional Safety)」と呼んでいます。

機能安全を実現するには、対象のシステムに「安全関連システム」と呼ぶ機能ブロックを付加する必要があります。YRC1000 では独立した基板上 (安全基板) に安全関連システムが実装されています (図4)。

安全基板上のインテル® FPGA が担っているのが、各軸のエンコーダー・データに基づくアーム位置とアーム速度の常時監視です。例えば、あらかじめ設定した動作領域からアームが何らかの理由で逸脱してしまったときや、設定速度以上の速度で動いたときなどに、各軸のモーターを即時停止するなどの措置を行います。

さらに YRC1000 では、複数のインテル® FPGA を用いてエンコーダー・データの相互監視と安全制御を行うなど、信頼性と安全性をさらに高める工夫が盛り込まれています。

インテルの IEC 61508 認証済みパッケージを導入 コントローラーの認証工数と期間短縮に寄与

機能安全規格への遵守・適合は国や地域によっては必須要件となっています。例えば、EU は機械指令「2006/42/EG」として IEC 61508 の遵守を義務化しています。そのため、機器を提供するメーカーは、該当規格を包含するように社内の品質マネジメント・システムを変更し、開発プロセスや検証プロセスなどの実務に反映していかなければなりません。

あわせて、機器が機能安全規格に適合していることを証明するために、第三者機関による認証を取得するのが一般的です。

インテルでは、IEC 61508 の第 2 版が発行された 2010 年に、その重要性を鑑みて、インテル® FPGA を搭載したシステムの機能安全

認証の工数を短縮する「IEC 61508 認証済み機能安全データパッケージ」の提供を業界に先駆けて開始しました。

この機能安全データパッケージは、IEC 61508 の SIL3 までの設計を対象に、第三者機関であるドイツの TÜV Rheinland の認定を取得しており、以下で構成されています。

- (1) インテル® FPGA の開発メソッドロジーおよびツールを用いて、IEC 61508 の認証取得要件を満たすシステムを設計するためのガイドライン
- (2) インテル® FPGA を用いたシステムの故障率および安全側故障率 (SFF) を計算する FMEDA ツール
- (3) インテル® Quartus® Prime 開発ソフトウェアを IEC 61508 に準拠する形で使用する方法、およびインテル® FPGA システムを IEC 61508 に準拠する形で使用する方法を示した安全マニュアル
- (4) Nios® II プロセッサなどの認証済み標準 IP、および FPGA、メモリー、およびクロック信号のインテグリティをモニターする、IEC 61508 準拠の診断用 IP (ソースコード付き)
- (5) インテル® FPGA デバイスの最新の信頼性レポート
- (6) TÜV Rheinland 発行の認証証明書

※機能安全データパッケージの内容は、巻末の一覧表をご覧ください*3。

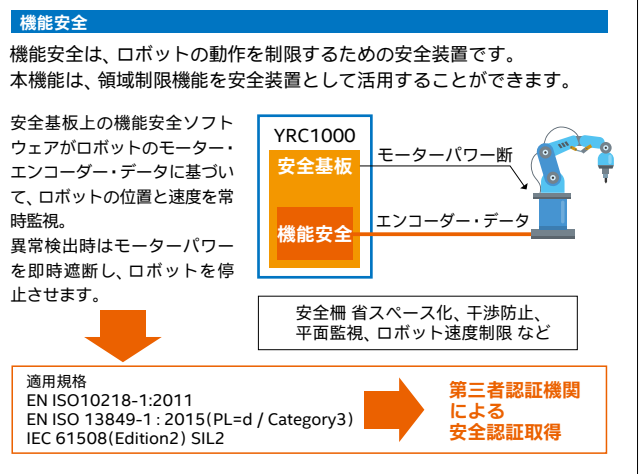
機能安全データパッケージによって、本稿で挙げたロボット・コントローラーのほか、工業用サーボドライブおよびインバーター、セーフティー・デバイス、オートメーション・コントローラーなど、安全性の維持がクリティカルとなる産業機器における機能安全の実装および認証取得に必要な時間の短縮やコストの削減が図れます (図5)。インテルでは条件によっては 2 年もの短縮が可能と試算しています。

実際に安川電機では、図5 に示した YRC1000 の安全関連システムの開発にインテルの機能安全データパッケージを活用し、IEC

図3. インテル® FPGA を採用する主なメリット

項目	メリット
サーボ制御	・FPGA 内蔵 Arm* Cortex*-A9 利用により、倍精度浮動小数点演算を実行可能、および周辺制御ロジックを含めて FPGA にて 1 チップ化 ・PCI Express* ハード IP 利用により、周辺デバイスと安定した高速バス接続可能 ・FAN レスで使用できる低消費電力 FPGA の採用
機能安全	・エンコーダーの位置情報の監視を FPGA で 1 チップ化して複数チップで相互監視 ・IEC61508 機能安全対応のデバイス (FPGA、IP) と開発環境を利用し、ユーザーは認証期間の短縮が可能
低コスト化	・民生製品と比較して、産業用途の製品は生産台数が少ないが、リーズナブルな価格にて FPGA を利用可能
長期安定供給	・デバイスを 10 年以上利用可能 (15 年以上期待) 産業用途の製品寿命は、10 年以上は必須である
開発期間	・専用 ASIC (SoC) 開発と比較して、FPGA の利用は短期間で製品開発が可能であり、繰り返し内部ロジックを変更可能な点は開発時に有効

図4. 「YRC1000」の安全機能の概要



61508 SIL2、EN ISO 10218-1:2011、EN ISO 13849-1:2015
といった安全規格の認証取得の短縮を実現しています。

産業用ロボットの変革に応える インテル® FPGA と機能安全パッケージ

生産性や効率化の飽くなき追求、IT 技術の進歩、労働人口の減少と
いった要因を背景に、工場やプラントをインテリジェント化するス
マート・ファクトリーやスマートプラントに注目が集まっています。

スマート化の推進に伴って、本稿で挙げた産業用ロボットを中心に、
協働ロボット、自律型ロボット、自律型無人搬送車 (AGV) などの導
入がさらに進んでいくでしょう。また、5G(第 5 世代移動通信システ
ム)やローカル 5G と組み合わせた遠隔制御の実証実験も始まってい

ます。高性能化と高精度化に加えて、安全性および信頼性をさらに高
めていく必要があります。

ロジックを柔軟に変更できるインテル® FPGA は、スマート化をはじ
めとする急速な市場変化や安全要求の高まりに対して有効な武器と
なるでしょう。実際に、産業用ロボットで世界をリードする安川電機
も、本稿で紹介したように、ロボット・コントローラーの高性能化、
高精度化、および機能安全の実装にインテル® FPGA を採用していま
す。また、インテルの機能安全データパッケージを導入し、機能安全
規格の認証取得に要する工数の削減を図っています。

ロボットや産業機器の変革を進めるに当たって、インテル® FPGA
および機能安全データパッケージをご活用ください。

図5. 産業用インテル® FPGA 機能安全データパッケージ

従来の製品開発スケジュール



機能安全データパッケージ³

ツール		IP 及びドキュメント		デバイス	
インテル® Quartus® Prime 開発ソフトウェア・スタンダード・ エディション v.17.0.2 ・プラットフォーム・デザイナー ・シミュレーション・ライブラリー ・合成 ・配置 / 配線 ・TimeQuest ・シグナルタップ II ・Nios® II デバッガー ・インシステム・ メモリーエディター ・消費電力アナライザー ・セーフティー・デザイン・ パーティショニング・フロー	FMEDA ツール ・インテル® Cyclone® 10 LP ・インテル® MAX®10 ・Cyclone® V ・Cyclone® V SoC	Nios® II エンベデッド・ プロセッサ DDRx メモリー・コントローラー プラットフォーム・ デザイナー IP 스위트 診断用 IP ・CRC 計算 ・SEU チェッカー ・クロックチェッカー Nios® II ロックステップ・ ソリューション	安全マニュアル ・インテル® Quartus® Prime 開発 ソフトウェア ・インテル® Cyclone® 10 LP ・Cyclone® V SoC ・Cyclone® V ・Cyclone® IV ・インテル® MAX® 10 信頼性レポート TÜV Rheinland® 認証証明書	インテル® Cyclone® FPGA ・インテル® Cyclone® 10 LP ・Cyclone® V SoC ・Cyclone® V ・Cyclone® IV インテル® Arria® FPGA ・Arria® V SoC ・Arria® V ・Arria® V GZ ・Arria® II GX/GZ	インテル® Stratix® FPGA ・Stratix® V ・Stratix® IV ・Stratix® IV GX インテル® MAX® FPGA ・インテル® MAX® 10 ・MAX® V ・MAX® II ・MAX® II Z

*1: クロックやデータのジッター (揺れ) が安定的で極めて小さく、各種データ遅延が確定的であること

*2: 実際に短縮できる開発期間は条件により異なります。

*3: 2020年10月現在

産業用機能安全については下記リンクからご確認いただくことが可能です。

<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/industrial-automation/programmable/applications/automation/functional-safety.html>



この文書は情報提供のみを目的としています。この文書は現状のまま提供され、いかなる保証もいたしません。ここにいう保証には、商品適格性、他者の権利の非侵害性、特定目的への適合性、また、あらゆる提案書、仕様書、見本から生じる保証を含みますが、これらに限定されるものではありません。インテルはこの仕様の情報の使用に関する財産権の侵害を含む、いかなる責任も負いません。また、明示されているか否かにかかわらず、また禁反言によるものとあらずにかかわらず、いかなる知的財産権のライセンスも許諾するものではありません。

Intel、インテル、Intel ロゴ、Arria、Cyclone、Nios、Quartus、Stratix は、アメリカ合衆国および/またはその他の国における Intel Corporation またはその子会社の商標です

* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

インテル株式会社

〒100-0005 東京都千代田区丸の内 3-1-1

<http://www.intel.co.jp/>

©2020 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。

2020年11月

345038-001JA
JPN/2011/PDF/CB/PSG/TI