

速度監視ユニット「RCX3-SMU」(機能安全認証)の紹介

Introduction of the “RCX3-SMU” Speed Monitoring Unit (Functional Safety Certified)

上野 賢治 三重野 幸介 磯野 真滋 坪井 康太郎 保科 大樹
荒澤 聖人 堀田 敦 西村 祐樹 中西 菜緒



Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd.'s Robotics Business Unit (hereafter referred to as “the Company”) has introduced a range of industrial robots to the market, including SCARA robots developed for the in-house production lines of motorcycles, single-axis robots, Cartesian robots, and the next-generation transport robot Linear Conveyor Module, which is based on the concept of “minimizing idle time in transport processes to zero.” These robots have consistently contributed to the automation of production equipment in various industries, including the assembly of electronic components and the transportation of automotive parts. In recent years, due to factors such as labor shortages and rising labor costs across various industries, the demand for automation has rapidly increased, leading to continuous growth in the demand for industrial robots. Along with this trend, the market’s demand for safety from robot manufacturers has intensified. In response, the Company is introducing the “RCX3-SMU” Speed Monitoring Unit, the first of Yamaha’s industrial robot products to receive functional safety certification, developed to support the design of production equipment with enhanced safety features.

1 はじめに

ヤマハ発動機(株)ロボティクス事業部(以下、当社)では、モータサイクルの社内生産ライン向けに開発したスカラロボットをはじめ、単軸ロボット、直交ロボット、そして“搬送工程の無価値時間を限りなくゼロへ”をコンセプトとした次世代搬送ロボットである「リニアコンベアモジュール」といった産業用ロボットを世に送り出している。これらのロボットは、電子部品の組み立てや車載部品の搬送など、様々な業界における生産設備の自動化に貢献し続けている。

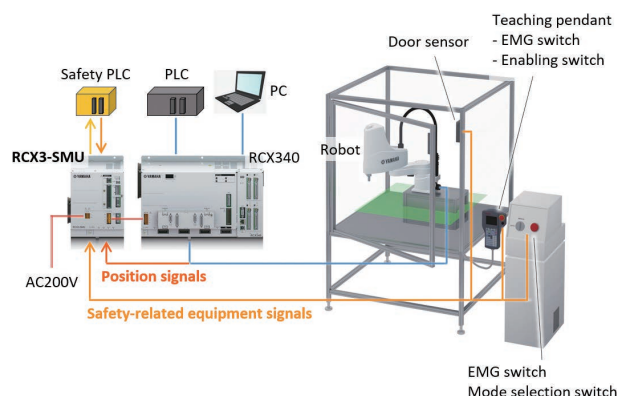
近年、様々な業界で労働力不足や人件費の高騰などの理由から、自動化のニーズが加速し、産業用ロボットの需要は増大

の一途をたどっている。それに伴い、市場からのロボットメーカーへの“安全性”の要求がより一層高まっている。このような状況を受けて、より安全性の高い生産設備設計を支援するために開発した、当社の産業用ロボット製品として初めての機能安全認証取得製品である速度監視ユニット「RCX3-SMU」について紹介する。

2 機能安全

危険源そのものを取り除きリスクをゼロにすることを“本質安全”と呼ぶのに対し、付加的な機能によって人や環境へのリスクを除去、もしくは許容できるレベル(＝安全な状態)まで低

「RCX3-SMU」は認証機関 TÜV SÜD による機能安全認証を取得している。「RCX3-SMU」が備える安全機能は PL d / SIL 2の安全性能を有しており、ISO 13849-1³⁾や IEC 61508⁴⁾といった国際規格の要件に則ったプロセス(図1)、技法や措置を用いて開発されている。



「RCX340」がロボット動作を制御するのに対し、「RCX3-SMU」は、ロボットの動作速度と位置、また周辺安全機器の状態を、「RCX340」の制御とは独立して監視する。

Concept Design Phase

- Safety Requirement Spec.
- Safety Plan
 - Management
 - Process
 - V&V
 - T&M

Detailed design & Development Phase

- Factory Inspection
- Final Review
- Certificate
- Into Production

Functional Safety Management Audit

System Requirement Spec.

H/W Requirement Spec.

S/W Requirement Spec.

System Test

Lifecycle Audit

EMC/ENV Test

Fault Insertion Test

H/W Design Spec.

S/W Design Spec.

H/W Unit Test

S/W Unit Test

S/W Integration Test

H/W Production

S/W Implementation

- 1) パフォーマンスレベル (PL) : ISO 13849-1 で定義される安全度を表す数値
- 2) セーフティインテグリティレベル (SIL) : IEC 61508 で定義される安全度を表す数値
- 3) ISO 13849-1 : 制御システムの安全関連部に関する国際規格
- 4) IEC 61508 : 電気・電子・プログラマブル電子システムの機能安全に関する国際規格

当社の産業用ロボット製品は、お客さまが設計、製作する生産設備の部品として使用される。生産設備には十分な安全性が要求されるが、「RCX3-SMU」はその安全性実現を支援するための製品である。

The diagram illustrates the RCX3-SMU system architecture, which is divided into three main functional blocks: POWER BOARD, CONTROL BOARD, and RCX3-SMU.

- POWER BOARD:** Receives **AC200V** input. It contains a main power switch and outputs **Control power** (to RCX340) and **Motor power**.
- CONTROL BOARD:** Contains two microcontrollers, **MCU1** and **MCU2**.
 - MCU1:**
 - Switch OFF:** Detects dangerous conditions and diagnostic errors.
 - Monitoring:** Inputs Monitoring, Outputs Monitoring, Speed Monitoring, Area Monitoring.
 - Self Diag.:** Performs self-diagnostic checks.
 - MCU2:**
 - Switch OFF:** Detects dangerous conditions and diagnostic errors.
 - Monitoring:** Inputs Monitoring, Outputs Monitoring, Speed Monitoring, Area Monitoring.
 - Self Diag.:** Performs self-diagnostic checks.
 - Mutual Diag.:** A central block for mutual diagnostic checks between MCU1 and MCU2.
- RCX3-SMU:** Receives **Safety-related equipment signals** and **Position signals** from the CONTROL BOARD. It outputs signals to **RCX340**.

図3 安全機能と診断機能の概略図

「RCX3-SMU」内のMCU (Micro Controller Unit) は、設定速度に対するロボット速度の超過、設定領域(位置)に対するロボット可動部の逸脱、および安全柵扉センサ信号のOFF(安全柵扉の開放)といった危険状態を検知すると、「RCX340」へのモータ動力電源を遮断することでロボットを停止させ、安全な状態に移行させる。

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW 46

【診断機能】

「RCX3-SMU」は2つの MCU を備えており、内部で2系統に冗長化された入力信号を、各 MCU が独立してかつ相互に診断することで、Fail-Safe を実現している。電源電圧、動力遮断回路、RAM、ROM などの自己診断、MCU 間での相互診断で異常検知すると、「RCX340」へのモータ動力電源を遮断することでロボットを停止させ、安全な状態に移行させる。

以降に、安全機能と診断機能により作動する動力遮断機能、また代表的な安全機能として、速度監視機能と領域監視機能について説明する。

4 動力遮断機能

モータ動力電源を遮断しロボットを安全な状態に移行させる動力遮断機能は、作業者の安全において最も重要な安全機能であり、十分な信頼性を備えている必要がある。また、機能安全に対応していない生産設備の場合、生産設備全体を停止させる“非常停止”での動力遮断が主な安全な状態への移行手段であるのに対し、機能安全に対応した生産設備では、安全機能での動力遮断により、生産設備全体は稼働継続させつつ一部分の設備のみ安全な状態に移行させるシステムを、比較的容易に設計することが可能となる。そのため生産性向上などを目的として安全機能による動力遮断が実行される頻度が多くなることが想定される。

「RCX3-SMU」では、動力遮断回路、および電源投入時に発生する大電流から後段回路を保護するための突入防止回路のスイッチとして、一般的なメカニカルリレーではなく半導体リレーを使用しており、動力遮断回数の制限を実質的になくしている。その上で、各半導体リレーの ON 状態と OFF 状態が、スイッチングシーケンスに応じて正しく変化することを確認することで、動力遮断回路の故障診断を実現しており、動力遮断機能に要求される信頼性を満たしている(図4)。

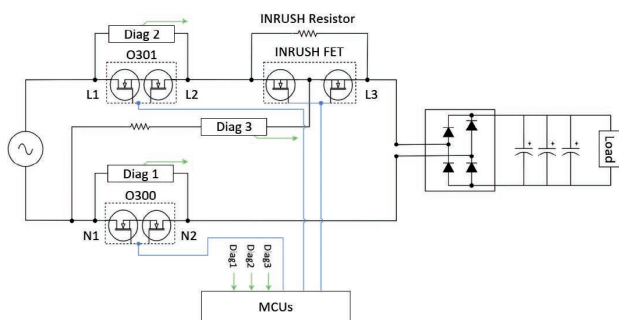


図4 動力遮断回路

5 速度監視機能、領域監視機能

速度監視機能は、ロボット動作位置の教示などの作業者が安全柵内で行う作業の際に、ロボットが高速動作して作業者に接触するリスクを低減するための安全機能である。各ロボットアームの先端と、エンドエフェクタ(長方形で定義)の頂点を速度監視点として設定が可能で、速度監視中は全ての速度監視点について設定速度(最大250mm/s)に対する速度超過を監視する(図5)。速度超過を検知すると、動力遮断機能によりロボットを停止させる。

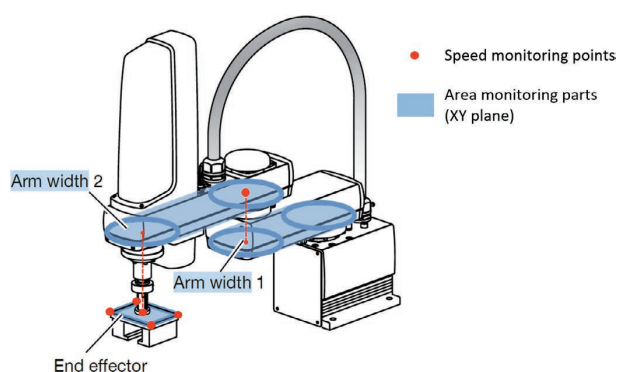


図5 速度監視点と領域監視部位

領域監視機能は、安全柵内の作業者にロボットが接近して作業者に接触する、作業者が挟まれる、といったリスクを低減するための安全機能である。各ロボットアームとエンドエフェクタを可動部として設定、またロボットの可動領域を設定でき、領域監視中は可動領域に対する可動部の逸脱を監視する(図5、図6)。領域逸脱を検知すると、動力遮断機能によりロボットを停止させる。

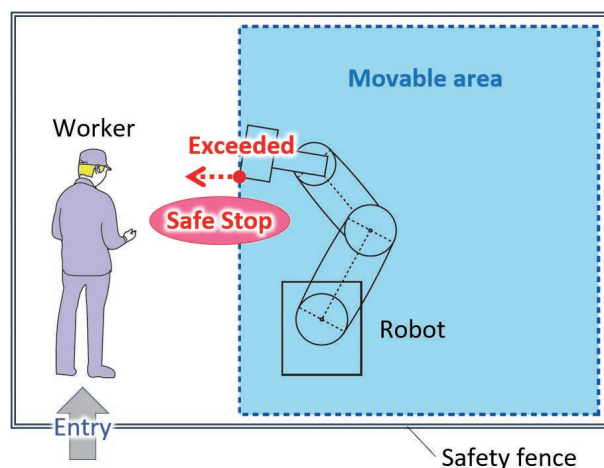


図6 領域監視

6 人とロボットの協働

「RCX340」で制御可能なロボットは、人と同じ(安全柵で仕切られていない)空間で一緒に作業できるように設計されている“協働ロボット”ではないため、基本的には稼働中の生産設備の安全柵内で、作業者とロボットが一緒に作業することはできない。しかし、「RCX3-SMU」の速度監視や領域監視などの安全機能を用いることで、お客さまにて設計していただく生産設備が、作業者のリスクが十分に低減される設計になっていれば、例えば稼働中に扉を開けて NG 品を抜き取るといった、限定的ではあるが作業者とロボットの協働作業を行うことが可能である(図7)。

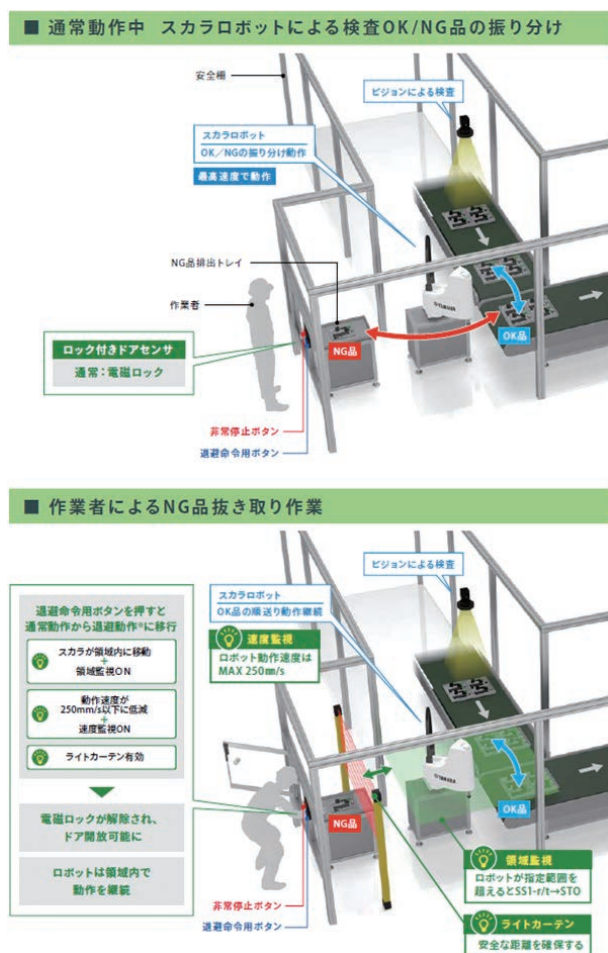


図7 人とロボットの協働作業(NG 品抜き取り)

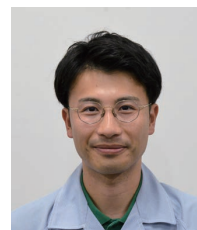
7 おわりに

当社の産業用ロボット製品としては初めての機能安全対応ということで、知見が少なく開発には大いに苦労したが、最終的に第三者認証を取得して、想定される市場要求を可能な限り満たした仕様でお客さまに製品を届けることができた。今後も産業用ロボット製品への安全性の要求はより高まっていくことが想定されるが、今回の開発の経験を糧とし、安全性はもとより、よりお客さまに喜ばれる商品性を備えた製品を開発し、ロボット産業界の発展に貢献していきたい。

■ 著者



上野 賢治
Kenji Ueno
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部



三重野 幸介
Kousuke Mieno
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部



磯野 真滋
Shinji Isono
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部



坪井 康太郎
Kotaro Tsuboi
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部



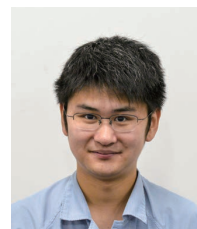
保科 大樹
Hiroki Hoshina
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部



荒澤 聖人
Masato Arasawa
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部



堀田 敦
Atsushi Hotta
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部



西村 祐樹
Yuki Nishimura
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部



中西 菜緒
Nao Nakanishi
ロボティクス事業部
技術統括部
FA 商品開発部