

# 安全 PLC TOYOPUC-PCS-J

## Safety PLC TOYOPUC-PCS-J

河村 誠 M. KAWAMURA 荒木 力 T. ARAKI

In 2004, JTEKT became the first in Japan to market a safety PLC (programmable logic controller), the TOYOPUC-PCS. This product, which improves machine safety, conforms with the international safety standards IEC61508 SIL3 and ISO13849-1 PL e. Since its launch, approximately 10 000 sets have been sold. The TOYOPUC-PCS is equipped with a safety remote I/O communication function and is suitable for large-scale safety control on applications such as automotive production lines, but this time JTEKT has developed a new TOYOPUC-PCS-J series as a compact/low-cost safety PLC for individual machines.

**Key Words:** machine safety, safety PLC, compact/low-cost, international safety standard, tool-less exchange, integrated PC tools

### 1. はじめに

2000 年ごろから欧州を中心に安全規格の体系化が急速に進められ、それに伴い、規格に適合した安全制御機器を各社が競って開発し市場に投入してきた。特に「電気／電子／プログラマブル電子安全関連システムの機能安全性：IEC61508」の国際規格の出現により、マイコン制御による安全制御機器を認証機関で認証取得できるようになり、安全プログラマブルロジックコントローラ（以下、安全 PLC と称す）や安全コントローラが開発され、過去に設備制御がリレーから PLC に置き変わったように、順次導入されるようになってきた。

また、これまで安全制御設計の重要な参照規格であった EN954-1 は 2009 年 12 月末に失効し、新たに整合規格として ISO13849-1 (2006) に置き換わる。この規格を適用するときには、従来の制御構造の論理的な考え方に加えて、確率論を用いたシステム全体でのパフォーマンスレベル (PL) の算出が必要になり、これまで以上に安全設計が重要視され、それに対応するための工数が必要となる。ところが、安全 PLC のように 1 ユニットで安全システムが構成可能な機器を採用することにより、比較的容易にこの規格に対応することができる。

ジェイテクトは、こうした動きにいち早く対応し、2004 年に国内で初めて安全 PLC を開発し、自動車メーカーの各種車両の製造設備を中心に約 1 万セットの安全 PLC システムを販売してきた。

今日では、国内他社でもさまざまなタイプの安全 PLC や安全コントローラが開発されており、安全制御機器市場での競争が激しくなっている。



図 1 TOYOPUC-PCS-J  
TOYOPUC-PCS-J

### 2. 安全 PLC の導入メリット

安全 PLC の導入により、従来からのハードワイヤの安全制御の問題点を解決するとともに安全規格の適用を容易にするというメリットがある。

#### 2.1 ハードワイヤ安全制御の問題点

安全リレーを使用したハードワイヤ回路には、以下のような問題がある。

1) 回路が複雑になる

安全回路の複雑さから、以下のような問題が発生する。

- ・配線ミスなどで、設備の立上げに時間がかかる
- ・制御盤が大きくなる
- ・配線コストが高い

・設計・調整時間が膨大になる

2) 設備の稼働率が低い

有寿命品であるリレーの故障などによる予期せぬ異常で非常停止した場合、リレーを使用したハードワイヤ回路ではテストなどを使用して異常の原因を調査しなければならぬため、復旧に時間がかかる。

2.2 安全 PLC による安全制御の利点

安全 PLC を使用した安全制御では、ハードワイヤ回路の問題点を改善し、以下のような利点を得られる。

1) 回路のシンプル化

安全制御の電気回路は図2のような入カ-ロジックソルバ-出力の回路構成になるが、安全 PLC ではロジックソルバ部分をソフトウェア化して実行するために、ロジックソルバ部分が単一機器によるシンプルな構成になる。

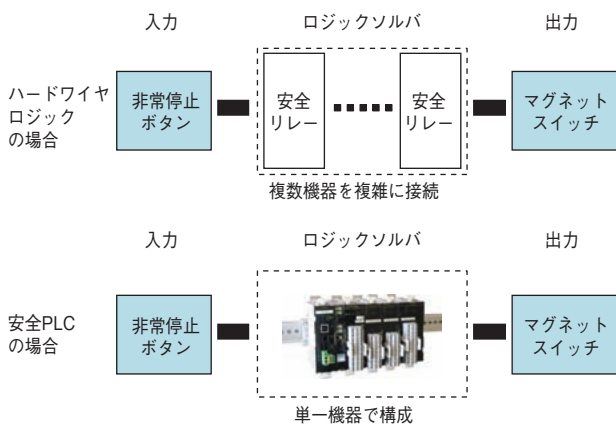


図2 電気回路構成  
Electric circuit structure

2) 制御盤の小型化

電気回路がシンプルになることで、制御盤全体で小型化が可能である。図3に安全 PLC を工作機械へ適用した場合の効果例を示す。この例では、比較的大型の機械であるので大きな効果を得ることができる。

3) 設備稼働率の向上

リレー主体の機器構成から電子機器へ置き換わることにより、信頼性が格段に向上し、MTBF が大幅に改善される。

4) メンテナンス性向上

テストで調査していた異常箇所の調査は、パネル PC などによるオンラインモニタが可能である。また、電気回路がシンプルになることから、異常箇所の配線が見つけやすくなり、メンテナンス性が向上する。

5) 安全規格対応

IEC61508, IEC62061 での SIL 計算あるいは、ISO13849-1 の PL 計算が容易になり、安全規格対応の設備設計が容易になる。SIL 計算, PL 計算は、ともに接続されるすべての安全関連機器を考慮に入れる必要がある(図4)。

安全 PLC を使用すると図5のようなシンプルな構成になるため、容易に計算できる。図6および図7は図5の構成での SIL 計算の例を示している。

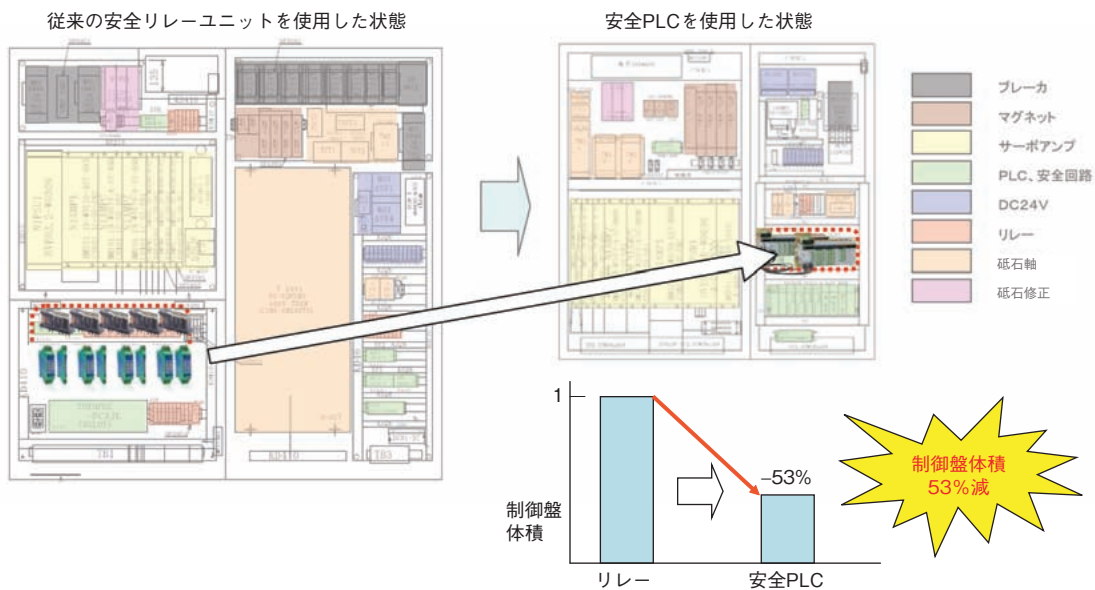


図3 制御盤の小型化  
Downsizing of control panel

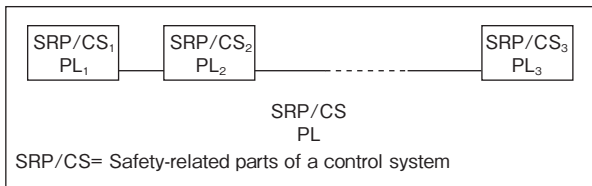


図4 一般的なSIL/PL計算モデル  
SIL/PL calculation model (normal)

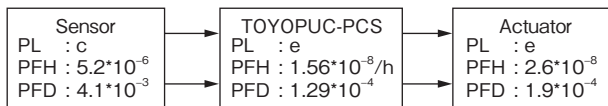


図5 安全PLCを使用した場合のSIL/PL計算モデル  
SIL/PL calculation model with safety PLC

低需要モードでのシステム全体のSIL値（この例ではSIL = 2）

The SIL of the entire system is calculated as follows:

$$\begin{aligned}
 PFD &= PFD_{\text{sensor}} + PFD_{\text{TOYOPUC-PCS}} + PFD_{\text{actuator}} \\
 &= 4.1 \times 10^{-3} + 1.29 \times 10^{-4} + 1.9 \times 10^{-4} \\
 &= 4.4 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

Result according to Table 1-1: SIL=2

図6 低需要モードのSIL計算

SIL calculation for low demand mode

高需要モードでのシステム全体のSIL値（この例ではSIL = 1）

The SIL of the entire system is calculated as follows:

$$\begin{aligned}
 PFH &= PFH_{\text{sensor}} + PFH_{\text{TOYOPUC-PCS}} + PFH_{\text{actuator}} \\
 &= 5.2 \times 10^{-6} / h + 1.56 \times 10^{-8} / h + 2.6 \times 10^{-8} / h \\
 &= 5.3 \times 10^{-6} / h
 \end{aligned}$$

Result according to Table 1-2: SIL=1

図7 高需要モードのSIL計算

SIL calculation for high demand mode

各需要モードでのSIL値の判定表

表1 SIL値の判定表

Judgment table of SIL value

Table 1-1 Operating mode with low demand rate

$\Sigma$ PFD	SIL
$> 10^{-4}$ up to $< 10^{-3}$	3
$> 10^{-3}$ up to $< 10^{-2}$	2
$> 10^{-2}$ up to $< 10^{-1}$	1

Table 1-2 Operating mode with high demand rate/continuous demand

$\Sigma$ PFH	SIL
$> 10^{-8}$ up to $< 10^{-7}$	3
$> 10^{-7}$ up to $< 10^{-6}$	2
$> 10^{-6}$ up to $< 10^{-5}$	1

また、ISO13849-1のPL計算では、安全PLCを用いると構成機器の数が少なくなるため、高いPLを適用することができる。

前述の例では、PLはcを適用できるが、ハードワイヤ回路で複雑な機器構成になって、PL=cの構成要素が3つ以上になってしまうとPLはbが適用されて、ワランク下がってしまう（表2）。

表2 PL値の判定表

Judgment table of PL value

The PL of the entire system is calculated as follows:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{low}} &= c \\
 N_{\text{low}} &= 1
 \end{aligned}$$

Result according to Table 1-1: PL=c

Determination of the PL of an entire system.

$P_{\text{low}}$	$N_{\text{low}}$		PL
a	$> 3$	⇒	none, not permitted
	$\leq 3$	⇒	a
b	$> 2$	⇒	a
	$\leq 2$	⇒	b
c	$> 2$	⇒	b
	$\leq 2$	⇒	c
d	$> 3$	⇒	c
	$\leq 3$	⇒	d
e	$> 3$	⇒	d
	$\leq 3$	⇒	e

### 3. 従来のTOYOPUC-PCSの問題点と TOYOPUC-PCS-J開発のねらい

国内初の安全 PLC である TOYOPUC-PCS は、前述のような効果があり、ニーズが最も大きい大規模設備をターゲットとして開発された。

その特長は、最大 24 局、2 048 点の安全リモート I/O 通信を持ち、大規模安全制御が可能でありながら、最大応答速度は設備規模に関係なく 50.5ms と、きわめて優れた安全性能を持っていることである。

自動車製造ラインの管理を集中制御で行う場合や大型の設備には、安全リレー制御と比較して、サイズとコストの両面で大きなメリットがあった。

一方、小型単体設備の場合、安全制御は依然として安全リレーベースのもので構成されているため、この領域に導入できる小型で低コストな安全 PLC が期待されていた。

そこで、従来の TOYOPUC-PCS の優位性を継承し、小型単体設備でサイズ・コストの面でメリットをもたらす安全 PLC : TOYOPUC-PCS-J を開発した。

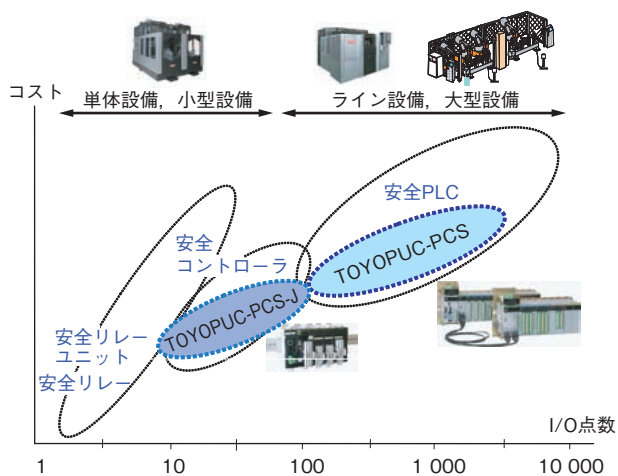


図8 TOYOPUC-PCSとTOYOPUC-PCS-Jの位置付け  
Positioning of TOYOPUC-PCS and TOYOPUC-PCS-J

### 4. 開発コンセプト

TOYOPUC-PCS-J の開発は以下のコンセプトで進められた。

#### 4.1 小型化

TOYOPUC-PCS を開発し、認証を取得したときに確立した安全 PLC 技術を基にして、安全要求事項を再検

討して、さらに効率的な回路構成を実現するなど、小型化に向けてさまざまな取組みを行った。

1) I/O 一体型 CPU モジュール, 入出力混合 I/O モジュール

CPU と I/O を一体構成にすることで、わずか 75mm 幅のモジュール構成で、最小単位の安全制御を扱うことができる。また、I/O の構成で入力回路と出力回路を混在させることで、特に小規模の設備で効率的なモジュール選択ができるようにする。

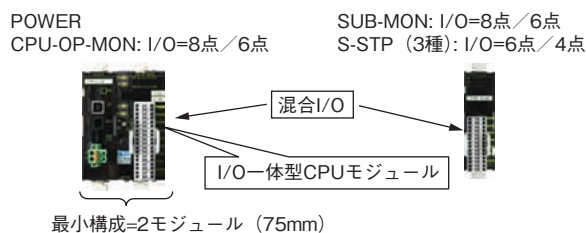


図9 モジュール Modules

2) 熱設計

効率的な回路構成にしても小型化で常に考慮しなければならない問題として熱対策が挙げられる。

熱対策の基本は、いかに放熱を良くするか、いかに発熱を抑えるかに掛かっている。TOYOPUC-PCS-J では、発熱を抑えるために出力回路の発熱量を低減した。安全 PLC の出力には、それぞれの出力を監視しているリードバック検出回路がある。TOYOPUC-PCS では負荷を二つの出力で駆動しているため、リードバック検出回路が誤動作しないように逆流防止ダイオードを実装している。この逆流防止ダイオードに負荷電流が流れるとダイオードが発熱する。

そこで、TOYOPUC-PCS-J では負荷を一つの出力で駆動することで、逆流防止ダイオードを無くし、発熱を抑制した。ただし、TOYOPUC-PCS で認められていた負荷の並列接続はできない。また、筐体作成前に熱シミュレーションを行い、発熱が仕様内であることを確認した。

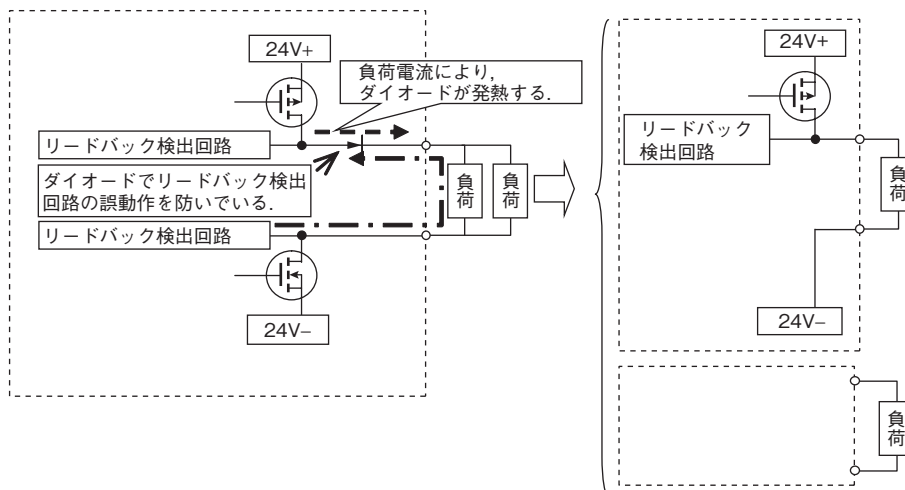


図10 発熱量低減  
Reduction of heating value

### 4.2 メンテナンス性向上

従来の TOYOPUC-PCS では、モジュール交換時には工具を使用する作業が必要だが、TOYOPUC-PCS-J では、工具を使わず交換ができ、作業性を改善できる。

#### 1) DIN レールマウント

DIN レールにフックとレバーのリンク構造による取付けにより、工具を使わずにモジュールの着脱ができる。

#### 2) フックによる端子台の固定

配線側の端子台のフックを握ることで端子台の固定が解除され、工具を使わずに端子台の着脱ができる。

### 4.3 TOYOPUC-PCS との互換性

従来の TOYOPUC-PCS を導入している顧客が TOYOPUC-PCS-J を導入する、または、これからジェイテクト安全 PLC シリーズを導入する顧客が、ライン向け、単体向けと共通の使いやすさで導入できるように、以下のように TOYOPUC-PCS-J との互換性を考慮した。

- ・ TOYOPUC-PCS と同等性能を維持する。
- ・ TOYOPUC-PCS 用プログラミングツール: Pwin-Safe と操作性が同じプログラミングツールを提供している。
- ・ TOYOPUC-PCS の既存のシーケンスプログラムの流用ができる。

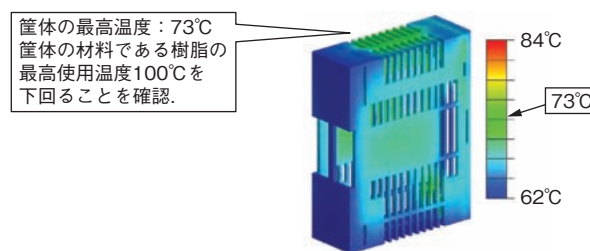


図11 発熱量低減の確認  
Checking of heating value reduction

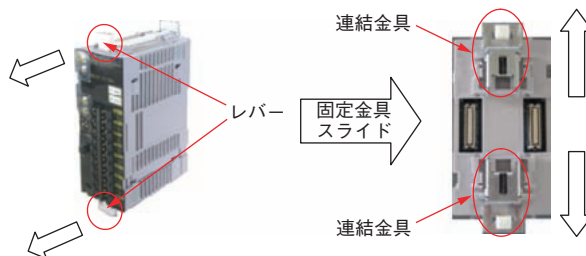


図12 モジュール構造  
Module structure

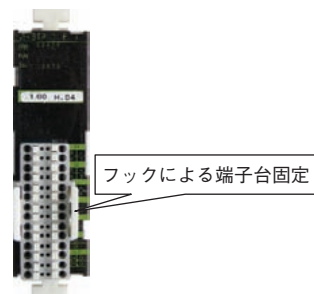


図13 端子台構造  
Structure of terminal block

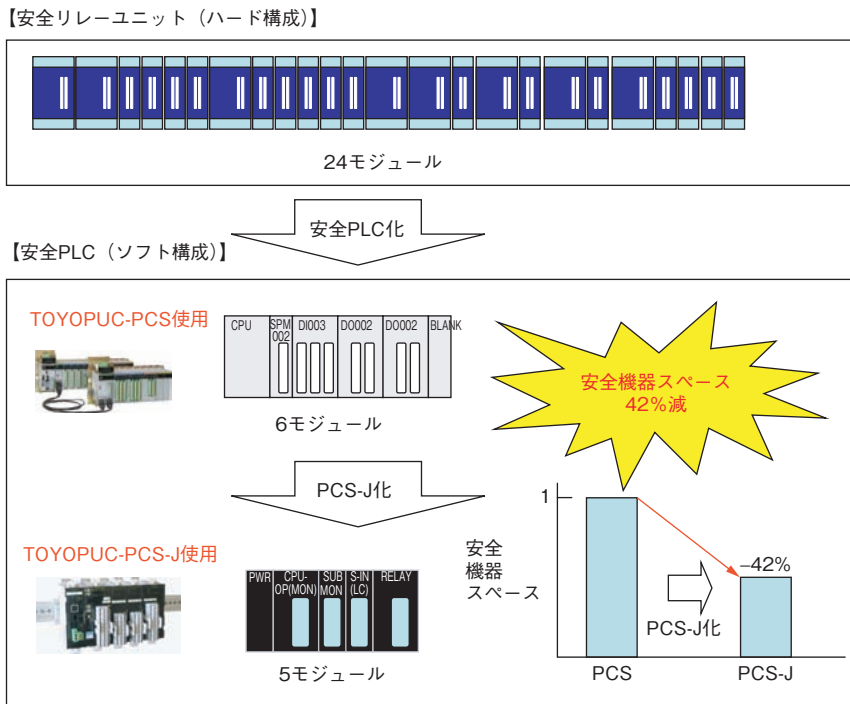


図14 小型化 Downsizing

## 5. TOYOPUC-PCS-Jの特長

このようにして開発した TOYOPUC-PCS-J は以下のような特長を持つ。

### 1) 小型化

前述の工作機械に TOYOPUC-PCS-J を採用した場合、従来の TOYOPUC-PCS-J と比較して、安全機器スペースを大幅に削減することができる (図14)。

### 2) 低コスト

単体設備での大幅なコスト低減が見込まれる。前述の工作機械での適用例では、従来の TOYOPUC-PCS では安全リレーに比べてわずかのコストメリットしかなかったが、TOYOPUC-PCS-J では機器コストの大幅な低減を実現できる (図15)。

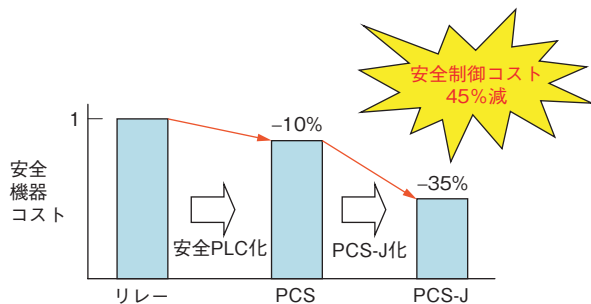


図15 低コスト Cost reduction

### 3) 高性能

表3に従来の TOYOPUC-PCS との仕様比較とラインナップを示す。プログラムサイズ、メモリ容量、処理速度とも、TOYOPUC-PCS と同等の性能を持つ。ただし、単体設備向けの仕様のため、接続できる最大の I/O 点数は、ライン設備向けの TOYOPUC-PCS のほうが多い。

### 4) 統合環境ツール：Pcwin-Safe2 の提供



すでに TOYOPUC-PCS を導入済みの顧客が、TOYOPUC-PCS-J をスムーズに導入するために、また、これからジェイテクト安全 PLC シリーズを新たに導入する顧客が、ライン向け、単体向けと共通の使いやすさで導入できるように、これら2つの安全 PLC シリーズを扱える、統合環境プログラミングツールを提供している。

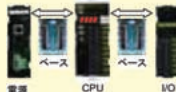
PCwin-Safe2 は、以下のソフトウェア、ユーティリティ・プログラムを備えている。

- ・ TOYOPUC-PCS 用認証プログラミングツール：PCwin-Safe
- ・ TOYOPUC-PCS-J 用認証プログラミングツール：PCwin-Safe-J

PCwin-Safe-J は PCwin-Safe と同じ操作性。認証機関から認証取得済み。PCwin-Safe で作成したプログラムデータはインポート機能により、PCwin-Safe-J で流用可能。

表3 仕様とラインナップ  
Specifications and lineup

	TOYOPUC-PCS 	TOYOPUC-PCS-J 
プログラムサイズ	12KW	16KW (コンパイル効率による)
FB プログラムサイズ	4KW	16KW
コメントサイズ	64KB	128KB
I/O 点数	2 048 点 Max (リモート I/O 含む)	256 点 Max
I/O モジュール数 (スロット数)	12 モジュール Max (12 スロット Max)	9 モジュール Max CPU モジュール含む
安全通信	あり	なし
スキャンタイム	9.5ms (安全通信なし) 18ms (安全通信あり)	15ms
最大応答時間 (Tr 出力時)	17.0ms (安全通信なし) 50.5ms (安全通信あり)	22.6ms

		TOYOPUC-PCS	TOYOPUC-PCS-J
CPU モジュール		CPU	CPU-OP-MON (入力 8 点/出力 6 点内蔵)
電源モジュール			POWER
ベース		Base5, 8, 12	BASE (ブリッジコネクタ) 
安全通信モジュール	マスタ	S-BUS	なし
	スレーブ	RMT-S	
I/O モジュール	入力	ドライ接点 (E-Stop 等)	S-IN(E) (16 点)
		DI001 (8 点)	
		DI003 (24 点)	
	ライトカーテン	SPM002 (8 点)	S-IN(LC) (16 点)
出力	リレー	DO002 (トランジスタ 4 点/リレー 4 点)	なし
	トランジスタ	DO003 (24 点)	S-OUT (16 点)
入出力混合	なし	なし	SUB-MON (入力 8 点/出力 6 点)
			S-STP(E) (入力 6 点/出力 4 点)
			S-STP(LC) (入力 6 点/出力 4 点)
			S-STP(E/LC) (入力 6 点/出力 4 点)

- ・ TOYOPUC-PCS からのプログラム流用サポートユーティリティ・プログラム  
ウィザード形式でインポート作業をサポートするので、マニュアル無しでプログラムの流用が可能。
- ・ 関連マニュアルの一覧  
HTML 形式での一覧表示と、最新データへのアップデート機能

- ・ エラーモニタユーティリティ・プログラム  
フィールドでの経験を盛り込んだ、トラブルシューティングガイドをエラーモニタとリンクして表示することで、迅速なトラブルシューティングが可能。

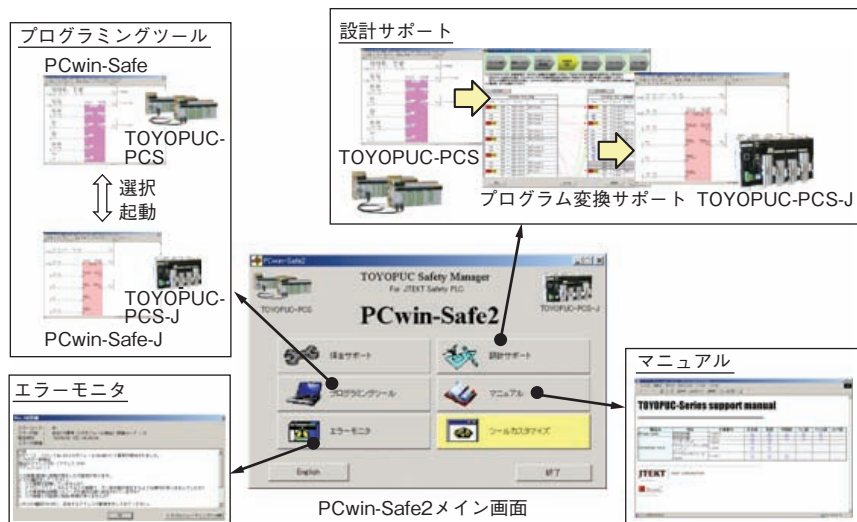


図16 PCwin-Safe2  
PCwin-Safe2

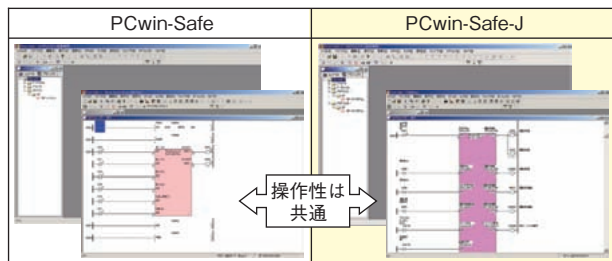


図17 操作性  
Operability

## 6. まとめ

TOYOPUC-PCS-J が TOYOPUC-PCS シリーズのラインナップに加わったことにより、単体設備からライン設備まで、自動車製造設備の幅広い用途で、システム提案ができるようになった。また自動車産業以外の設備にも、TOYOPUC-PCS-J が適用できる設備は数多くあり、今後、新たに市場展開ができる製品であると考えている。

今後も、日本の安全 PLC の先駆けとなり、約 1 万セットの出荷実績を誇る TOYOPUC-PCS シリーズがより多くの設備で活躍し、作業者が安心して働ける安全環境作りに貢献していきたい。

- \* 1 TOYOPUC は(株)ジェイテクトの登録商標です。
- \* 2 PCwin は(株)ジェイテクトの登録商標です。

## 筆者



河村 誠\*  
M. KAWAMURA



荒木 力\*  
T. ARAKI

\* 工作機械・メカトロ事業本部 メカトロ制御技術部