

二重化対応の PLC による計装システム

1. はじめに

パソコンと PLC で構成される PLC 計装システムに対する要求は、その利用範囲が拡大するにつれて、その要望も多様化してきた。当社が PLC 計装システムを発売した当初は、冗長化に限って言うと、その要望はほとんどなかったと言っても良い。それは、DCS と PLC が明確に使い分けられていたからだと考えられる。しかし、近年の急速な情報化技術・オープン化技術の発展により、PLC 計装の適用アプリケーションが拡大し、更に実績を重ねるにつれて、PLC 計装システムへ冗長化を含めた信頼性の強化が求められるようになってきた。

当然のことながら、プロセス制御では、その重要度や危険度に応じて、システム全体の信頼性を考慮しなければならない。そのため、PLC 計装システムにおいても、その機器の故障がシステムの動作に重大な影響を与える場合は、信頼性を向上させるために冗長化等の対策を行う。いかなるシステムでも故障は必ず存在するが、それをどう許容できるレベルまでリスクを低減できるか、というリスク・マネジメントが非常に大切である。

2. PLC への冗長化要望

化学プラント、製薬プラント、環境設備（水処理など）、半導体製造装置（ガス／純水装置など）、輸送設備（船舶、空港内設備など）では、24H連続稼働など、システムを停止させることができない、システムダウン発生時の復旧コストが大きい、システムダウンにより有害物質の漏れや爆発などが発生する可能性があるなどの理由から、システムの一部のユニットに故障やエラーが発生しても、システム全体をダウンさせずに制御を継続し、かつ復旧できることが求められている。

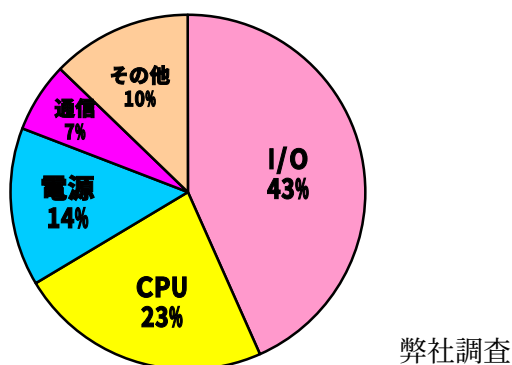
当社ではこのような要望に応え、従来から大型サイズの PLC で二重化システムを発売しており、多くのアプリケーションで二重化対応の PLC を数多くご採用いただいている。しかし、激変する経済環境の中でシステムの更なるダウンサイジング化が求められており、その要望に応えるべく、当社の最新の PLC である SYSMAC CS1（以下、CS1）ベースによる二重化システムを開発した。

3. PLC の信頼性について

ご存じのように、PLC は電源ユニット、CPU ユニット、通信ユニットなどの特殊ユニット、I/O ユニットなどの機能単位が、独立したモジュールとして設計されていて、その制御用途や制御規模に合わせてこれらを組み合わせてシステムを構築することができるのが特長である（ビルディングブロックタイプ）。もちろん、小規模制御のためにコストや設置スペースを節約するために1パッケージに一定の機能が組み込まれているタイプのもの

も存在するが、上記のアプリケーションでは、ビルディングブロックタイプが採用されるケースが多い。

このビルディングブロックタイプの PLC システムにおけるトラブル発生箇所には、以下の傾向がある。ちなみに、図 1 のグラフにはユニットの故障と故障を伴わない動作エラーを含んでいる。



(図 1 : トラブル比率グラフ)

図 1 のグラフをみていただいてわかるように、システムのトラブルでは、圧倒的に I / O ユニットの故障が多く、次いで CPU ユニットの動作エラーまたは故障、電源ユニットの故障の順となっている。また、昨今の PLC へのネットワークシステムへの導入比率の増加から通信ユニットのトラブル比率も増加傾向にある。

PLC システムにおいてユニット故障やエラーが発生しても、システム全体をダウンさせずに制御を継続し、かつ復旧できるようにするためには、PLC を利用する側の工夫も必要ではあるが、PLC そのものがこれらの傾向を踏まえた対策機能を具備しておく必要がある。

当社では上記に挙げたシステムのトラブルに備えて、冗長性の向上とダウンタイムの短縮のための機能を、CS1 に組み込むことで、より信頼性の高いシステムをご提供する。

4. SYSMAC CS1 の特徴

CS1 による二重化システムの特長をご紹介します前に、この製品のベースとなっている CS1 の仕様を簡単にご紹介しておく。(表 1)

表 1 : 「SYSMAC CS1」 基本仕様

形式	CS1H-CPU67H
I/O 点数	5 1 2 0 点
プログラム容量	2 5 0 K ステップ
データメモリ容量	4 4 8 K ワード
内蔵通信ポート	ペリフェラルポート×1 / RS232C×1
外部記憶用メモリ	メモリカード（コンパクトフラッシュ）用スロット標準装備
制御方式	ストアードプログラム方式
入出力方式	サイクリックスキャン方式と都度処理方式
プログラム言語	ラダーチャート
命令種類	約 4 0 0 種
命令実行時間	基本命令：0.02 μ s～
	応用命令：0.04 μ s～
プログラムタスク数	2 8 8
自己診断機能	サイクルタイム時間監視、CPU 以上監視、I/O バス異常監視、メモリ異常監視 等

この製品は PLC としては、業界最高速のプログラム実行処理性能を誇り、38K ステップのラダープログラムを 1ms でスキャンすることができる。

また、Ethernet、コントローラリンク、DeviceNet など各種ネットワークに対応し、通信以外にも、アナログ入出力ユニット（絶縁型含む）、ループ制御用ユニット（詳細は後述）、温度センサユニット、高速カウンタユニットなど、豊富な機能モジュールを揃えている。

プログラム設計においても、その効率を高めるため、約 4 0 0 種類及ぶ命令を標準で用意している。例えば、倍精度の浮動小数演算、文字列操作。データ検索などのテーブルデータ処理、PID 演算など、ラダープログラムでは設計が難しい処理に関しても専用命令を、構造化プログラミングにも対応した Windows 用プログラミングツールを使用して設計いただくことができ、各種デバッグにおいてもパソコン上の動作シミュレーションも可能である。

5. 二重化対応 PLC 「CS1D」の特長

今回ご紹介する PLC の二重化システム、CS1D は上記の CS1 をベースに、以下の特長を付加した PLC システムである。

- 1) 主要ユニットの二重化による冗長性の向上
- 2) 他のユニットに影響を与えないユニット単位の稼働中交換によるダウンタイムの短縮

3) 要求される冗長度に合わせて選択できるシステムバリエーション
以下、それぞれの特長について、詳細を紹介する。

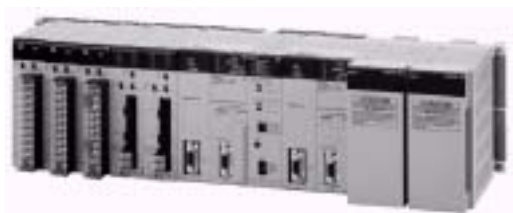


写真1：二重化 PLC「CS1D」外観

5.1 冗長性の向上のために

信頼性を求められるシステムに、まず求められることは、「システムを止めずに正常な稼働状態を維持する」ことである。しかしながら、どんな機器においても寿命はあるし、故障や動作エラーが発生する可能性はある。

CS1 二重化システムでは、上記で述べた PLC システムにおけるトラブル（故障と動作エラー）発生傾向を踏まえて、そのトラブルによりシステム全体のダウンにつながる主要部分を二重化することができる。二重化の対象としては、電源ユニット、CPU ユニット、通信ユニットである。これらのユニットは製品の寿命やその他の要因により稼働中に故障や動作エラーが発生した場合、もう片方のユニットが稼働中の状態を引き継ぎ、システム動作を停止させることなく継続させる。また、動作停止したユニットもシステムを停止させることなく正常なユニットに交換することができる。（図2）



図2：「CS1D」システム構成図

PLC システムの核となるのが CPU ユニットであるが、CS1 二重化システムでは、CPU の二重化にホットスタンバイ方式を採用している。二重化の方式には、ホットスタンバイ方式、ウォームスタンバイ方式、コールドスタンバイ方式など、異常発生時の切り替わり

の動作や方法によって、大きく3つの方式に分けられる。そのなかでもホットスタンバイ方式は切り替わり時間や切り替わりによるシステム動作への影響などが最も少ない方式である。

このホットスタンバイ方式を採用した当社の PLC システムは、二重化されている二つの CPU ユニットのうち片方が I / O 制御、通信制御を行い（アクティブ側）、他方がトラブルに備えて待機状態（スタンバイ側）となっているが、スタンバイ側の CPU ユニットは常に内部の状態（プログラム実行状態、I / O メモリの状態、データの状態）をアクティブ側と同じ状態に保っている。つまり、スタンバイ側の CPU は実際の制御はしていないが、アクティブ側と同じように動作しているわけである。そのため、アクティブ側の CPU ユニットに動作を継続できないような異常が発生した場合、自動的に実制御を行っている CPU をスタンバイ側の CPU ユニットに切替えることで、瞬時にその制御を引き継ぎシステム全体の動作を継続させる。その切り替わりに要する時間は数ミリオーダーで、ほとんどのシステムでは切り替わりが制御へ影響を及ぼすことはないと思われる。また、プログラムの実行状態やメモリのデータが全て引き継がれるので、プログラムにおいて、異常時のデータ待避や復旧、補正など難易度や検証行為を必要とするような処理をプログラミングする必要がなく、シングル CPU でのシステムと同じようにプログラムを組むだけで二重化できるというのが、ひとつの特長でもある。

通信の二重化においては、PLC 間、PLC と上位ホストを接続するためのネットワークであるコントローラリンクを二重化した。ネットワークの冗長性においては、ネットワーク回線と各ノードのインターフェースとなるユニットの双方に関して冗長性を高めている。具体的にはネットワーク回線では、光リング側のネットワークを採用し、ループバック機能を付加することにより、断線などにより回線上に支障をきたす箇所ができた場合、リング上につながった回線の逆ルートを使って通信を継続する機能を備えた。さらに、各ノードのネットワークユニットを二重化することで、ノード側のユニット起因によるダウンを回避することができる。当然、PLC 上のプログラムおよび上位ホスト上のプログラムにおいて、ユニットが二重化されていることを意識する必要はない。(図 3)

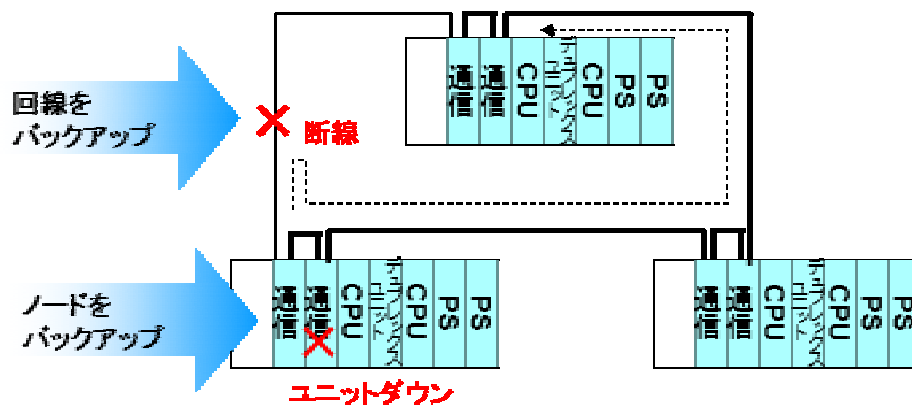


図 3：通信二重化構成図

5.2 ダウンタイムの短縮のために

「システムを止めずに正常な稼働状態を維持する」ことと同様に必要なことは、「システムの稼働を止めることなくトラブルが発生した箇所を修復できる」ことである。

PLCの信頼性についてふれた項で示したように、PLCシステムにおけるトラブル発生箇所としては、圧倒的にI/Oユニットの故障が多いという結果が調査結果から伺える。しかしながら、I/Oユニットそれぞれに対して冗長性をもたせることは、膨大なハードウェアコストの増大を招いてしまう。もちろん、それにより得られる信頼性の価値の大きさはあるものの、I/Oカード単体の故障がシステム全体のダウンに直結するようなケースは希であるとも言える。ただし、故障したユニットは迅速に交換し、正常な状態に復帰させることは重要である。CS1の二重化システムでは、システムの動作を停止させることなく、I/Oユニットの交換が可能である。また、その交換に際して、正常に稼働している他のユニットの動作に影響を与えることはない。稼働中のユニット交換は、二重化されている電源、CPUユニット、通信ユニットはもちろん、基本I/Oだけでなく、アナログ入出力ユニットや高機能I/Oにおいても可能である。

トラブル発生時のシステムの迅速な修復のためには、その異常を確実にまた迅速にシステムのオペレータに伝えることが必要である。CS1二重化システムでは、CPUユニットに発生した異常（アクティブ側／スタンバイ側の両方で検知）、電源の異常、通信の異常など各種異常を自己検出する機能を備えており、異常の内容によってはCPUユニットのアクティブ状態を自動的に切り替える。加えて、ユニット前面のインジケータLEDに表示すると同時に、CPUユニット内の特殊リレーのその異常内容を出力する。また、検出した異常の発生履歴はCPUユニット内のメモリに記憶される。これらの情報は専用ツールからだけでなく、通信コマンドにより読み出すことが可能であるため、システム全体の監視にこれを利用することができ、オペレータへの迅速な通知が可能である。

5.3 システム冗長度の選択

システムの冗長度は、二重化する部分の範囲に比例する。つまりは、ハードウェアコストに比例する。ここまでに説明した二重化システムは、電源、CPUユニット、通信ユニットを二重化したシステムについてであるが、PLCの適用箇所によっては、ここまでの冗長度を必要としない場合もある。そのため、そのシステムに求められる信頼性に合わせて、システムの冗長度を選択できることも、システムの柔軟性という観点では重要な要素である。

当社では、今後の商品計画において、電源のみの二重化、通信のみの二重化、システム稼働中のユニット交換のみなど、冗長度のレベルを選択いただけるような商品バリエーションの拡張も計画している。

6. 計装制御システムへの展開

4項で少し紹介したが、CS1にはDCS並みのループ制御を行うことができるループコントロールユニット（以下、LCU）というモジュールを用意している。LCUは、計器ブロックによるプログラムが可能で、カスケード制御、比率制御をはじめ、フィードフォワード制御、オーバーライド制御、クロスリミット制御など多様な制御が可能である。プログラム作成は、ワークシートに必要な計器ブロックを貼り付け、計器ブロック間の信号をマウスで結線するというグラフィカルなプログラミングが可能である。

また、LCUではシーケンス制御のCPUとは別のCPUにてループ制御を行っているために以下の特徴がある。

- (1) ループ制御負荷が変化してもシーケンス制御に影響を与えない。
- (2) シーケンス制御がプログラミング状態（運転停止状態）でもループ制御のみの継続運転も行える。
- (3) LCUはCS1D以外の通常のCS1にも対応しており、システム規模、アプリケーションにあわせたシステム構成が可能である。

LCUは、現在のところ冗長化への対応は行っていないが、ループ制御機能を含めた冗長化を実現する商品の開発を現在すすめており、またあらためてご紹介させていただく予定である。

7. 最後に

当社では、PLC計装システムを構築されるシステムインテグレーター様への各種のサポートを行うソリューションパートナー制度も用意している。PLCのもつハードコストやランニングコストの安さ、入手のしやすさなどを最大限に生かしつつ、アプリケーションに応じたサポートを行っていく予定である。そうすることで、導入から運用管理コストまでを含めたTCO（Total Cost of Ownership）を考慮したソリューションをこれからも提供していく。本稿にご興味をお持ちの読者の皆様からのご連絡をお待ちしております。

シュンジ・クワ

オムロン(株) インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー
システム機器統轄事業部 中型PLC事業推進部 PMグループ
〒411-8511 静岡県三島市松本 66

ジュンイチ・ヨシダ

オムロン(株) インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー
システム機器統轄事業部 PLC計装事業開発グループ
〒411-8511 静岡県三島市松本 66