

燃焼安全制御技術を用いた コントローラの開発

Controller Development Using Combustion Safety Control Technology

株式会社 山武

アドバンスオートメーションカンパニー

熊澤 雄一

Yuichi Kumazawa

キーワード

燃焼安全, 火災検出器, 安全, 制御, メンテナンス, フェールセーフ, スタートチェック

工業用燃焼炉(以下、工業炉)の燃焼安全制御機器としてバーナインターロックモジュール(RX-L)とバーナコントロールモジュール(RX-R)を開発した。RX シリーズは従来からの燃焼安全制御にもとづいた安全性確保と、省スペース/省配線のユーザの利便性向上、様々な設備へ柔軟に対応できる制御性、メンテナンス性の向上を製品コンセプトとして開発を行った。

本稿ではその設計及び背景となる燃焼安全について報告する。

We have developed a burner interlock module (RX-L) and a burner control module (RX-R) as combustion safety control devices for industrial combustion furnaces. The key concepts behind the development of the RX series are (1) ensuring safety based on conventional safety control, (2) improving user convenience through compact design and reduced wiring, (3) flexible controllability capable of accommodating various types of facilities, and (4) improvement of maintainability. This paper describes the design of the above-mentioned modules and the background concept of combustion safety.

1. はじめに

従来から山武では欧米の燃焼安全規格に準拠した燃焼安全技術を独自に確立して、製品開発・販売を行い社会に貢献してきた。これまで燃焼安全規格は海外(特にアメリカのUL規格、欧州のEN規格)で先行して規定されていたが、日本でも工業用燃焼炉の安全通則(JIS B 8415)が2008年11月に改正され、工業炉を設計・製造するメーカーや使用するユーザーはJIS規格に規定された設備のリスクアセスメントの実施など、従来設備からの安全見直しを行わねばならず、大きな負担となっている。

RX シリーズは、燃焼設備を改正JISに対応するための考慮があらかじめされている初めての燃焼安全コントローラである。さらに、従来製品では外付け部品やコントローラを外部計装することにより実現していた、マルチバーナや火災の個別監視計装なども標準機能としてサポートし、ユーザーの計装負担を軽減している。ユーザーはあらかじめ、作り込まれている安全機能を専用ソフトウェア(パソコンロード)から選択することで、該当する設備に要求される安全機能や制御仕様を実現

できる。

一方、内部設計では、マイコンを使用した安全設計・燃焼制御の技術を確立し、従来のアナログ回路安全設定・燃焼制御方式では実現できなかった、制御性/拡張性を向上させた。



図 1. RX シリーズ外観

左から RX-L バーナインターロックモジュール
RX-R, バーナコントロールモジュール×3台

2. 燃焼安全

2.1 概要

燃焼設備とは熱風・高温雰囲気を作り出す設備で、可燃性の燃料と点火源を持つことから、爆発のリスクを含む装置である。よって可能な限り爆発などの事故を防ぎ安全に運転するための制御装置が必要となる。RX シリーズなども含む広義の燃焼安全装置とはバーナなどの燃焼設備を安全に運転するために使用されている装置で、装置の目的は「爆発を防ぐこと」となる。

バーナ等、燃焼装置において爆発を防ぐためには爆発の3要素「燃料・空気・点火源」のうち少なくとも1つ以上を制御して、爆発が発生しない条件を作り出すことが肝心である。ただし、「空気」は地表上のどこにでも存在するため簡単に燃焼室内に侵入する。また、燃焼装置を運転している場合は常に炉内が加熱され赤熱しているため、「点火源」が存在することとなる。

したがって、爆発を防ぐ現実的な方法は「燃料」の制御ということになる。炉内に噴出した燃料はすべて燃焼させて、炉内に未燃燃料を蓄積させない。一方、炉内に噴出した燃料が燃焼されなかった場合、すなわち点火の失敗や、運転中に何らかの原因でバーナが断火してしまった場合は、燃料の供給を直ちに停止すればよい。

2.2 安全機能

山武の燃焼安全用コントローラはすべて上記の設計思想の元に開発されており、RX シリーズでもこれを踏襲している。燃焼安全用コントローラに必要な基本的な機能を以下にまとめる。

(1) 燃焼監視と安全遮断

炉内に未燃燃料を蓄積させないため、バーナが断火した場合に直ちに燃料を遮断する。この動作は火炎検出器、コントローラ、安全遮断弁を適切に組み合わせて使用することにより実現する。

(2) シーケンスによる燃焼装置の起動・運転・停止

コントローラはバーナを安全に起動→運転→停止するためのシーケンス（運転手順）を持つ。誰が操作しても、安全に起動・運転・停止できるように、コントローラのシーケンス及びタイマ時間は運転時に固定されており、安全を確保している。

(3) 安全起動

燃焼装置の起動時にコントローラは火炎検出器回路異常（疑似火炎信号の有無）がないか自己点検し、正常であれば起動し、もし何らかの異常があれば、起動を阻止する。この自己点検は燃焼装置の起動毎に行われ、1回/1日以上の起動/停止を繰り返すバッチ運転の燃焼装置に適用している。それに対し、24時間以上の連続運転（燃焼を止めない）の燃焼装置の場合は、連続自己点検（ダイナミック・セルフチェック）方式の機能のあるコントローラ、火炎検出器を使用する。

燃焼安全用コントローラの基本動作は安全確認形となっており、動作前あるいは動作中に安全であることを確認できる場合にのみ、点火動作や燃料供給を継続する。一旦、コントローラが安全確認できない状態になった場合は、安全機能に従い速やかに燃料遮断し燃焼器機を停止する。

2.3 RX の安全設計の特徴

従来の燃焼安全コントローラは安全機能を実現するため、ハードウェアを主体とした安全設計を行ってきた。ハードウェアを主体とした設計を行った場合、比較的単純な電子部品を使用して制御部を構成するため、FMEA (Failure mode and effects analysis)を実施することにより、構成部品が故障した際の安全動作への影響を検証でき、あらかじめ危険動作を除去できることがメリットであった。

一方、燃焼設備の多様化・多機能化にともない、今日の燃焼制御コントローラには、従来からの安全動作はもとより、あらゆる燃焼設備に対応するため拡張性の高さ、省スペース・省配線・通信機能などメンテナンス性向上などが求められるようになった。

このような新たな要求に対応するため、RX シリーズでは従来の電子部品ベースの設計ではなく、マイコンベースで設計を行った。

ただし、マイコンなどの複合電子デバイスは非常に多くの半導体素子から構成されているため、その故障モードを特定することが困難である。そのためFMEAなどの個々の部品故障から影響を検証することが困難である。つまり、故障時にどのように動作するかあらかじめ予測がつかないという問題がある。

そこで、RX シリーズではバーナ制御システムの欧州規格 EN298 や EN13611 のマイコン及びそのソフトウェアの障害対策に適合することと、独自のアーキテクチャを導入することにより、従来製品と同等の安全性を確保することとした。

なお、周辺回路については従来の部品故障解析を行い、部品故障時に不安全動作がないように設計を行った。

3. 設計

3.1 冗長化 CPU 設計

RX の制御部は独立して動作するマイコンの相互監視による冗長化 CPU 設計を用いている。これによりマイコン内部の故障、内部メモリの故障や演算実行部の故障を相互に検出できるようになり、安全確認しながらのコントローラの動作を行えるようになった。両コントローラは相互に状態を監視し、互いが正常であることを確認した場合のみ動作を継続する。

3.1.1 制御判定部

入力信号を受け、燃焼シーケンスを実行し、負荷を出

力するリレー駆動を行うのが制御判定部である。

制御部は完全に二重化している。単に二重化しているだけでなく、相互に制御データを交換し双方に矛盾が無いが常時監視している。

また、燃焼制御コントローラにとって重要なタイミング情報は、CPU間の比較及び専用クロック素子との比較も行い多重チェック構造として、正しさを保証している。

3.1.2 インターロック入力

インターロック入力は外部からの安全確認信号を入力する重要な機能である。インターロック入力回路においては、インターロック開放(安全確認信号が遮断)の場合に、制御判定部が停止を出力できないことが直接の危険動作である。よって入力回路の部品故障などがあった場合にも制御判定部で検出できるように、インターロック接点に電気的なパルス信号を印加する入力回路を採用している。インターロック短絡状態で回路が正常に動作している場合、制御判定部のパルス信号出力に対して、入力も同じパルス信号である(図2)。

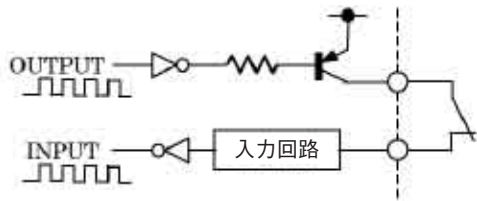


図2. インターロック入力正常時

入力インターロック開放や回路構成部品の故障(図3)などが発生した場合は、制御判定部に帰ってくる入力電気信号がHIレベルかLOレベルに固定されるため、パルス信号が途絶える。RXの制御判定部は規定のパルス信号がないことから、安全確認信号遮断(安全が確認できない)と判断して、機器を停止する。

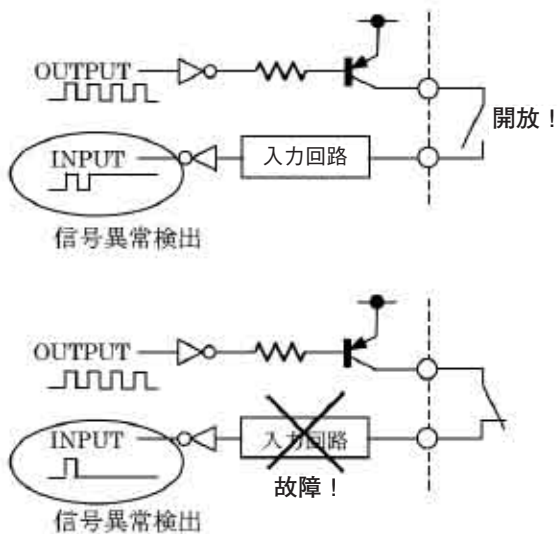


図3. インターロック入力異常

3.1.3 インターロック情報伝達

RXシリーズはRX-Lに入力されたインターロック情報を複数のRX-Rに伝達する。インターロック入力は重要な安全確認信号であり、伝達先のモジュールでもその情報の正確性とリアルタイム性が重要である。たとえば、インターロック開放(安全確認信号遮断)は速やかに各モジュールに送信され燃料供給を停止しなければならない(図4)。

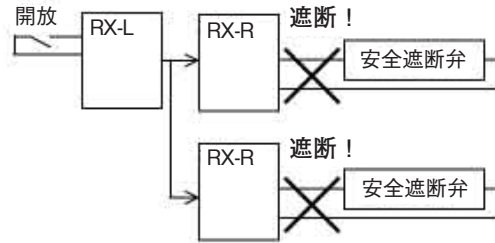
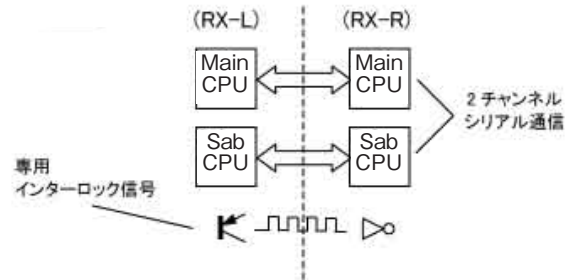


図4. インターロック開放から遮断

インターロック情報は各CPUをつなぐ2チャンネルの通信と専用のインターロック信号で構成している(図5)。

通信ではCRCコードによる誤り検出、シーケンスコードを用いた不正順序検出、時間内のデータ更新チェックなどにより通信の安全性を確保している。ただし通信リトライ、タイムアウトなど通信特有のタイムラグが発生するため、インターロック信号を設け遮断タイミングなどリアルタイム性を保証している。

正常時



異常時

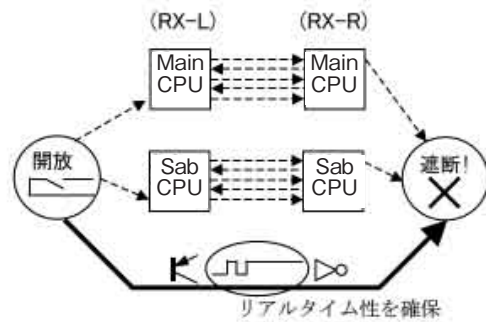


図5. インターロック情報伝達

3.2 燃焼関連の入出力

3.2.1 火炎検出部

火炎センサには AUD300(アドバンスド UV センサ)を用いることにより、火炎センサとシャッタ機構によるダイナミックチェック(火炎信号の常時監視)を行うことが可能である。通常、燃焼安全用コントローラはバーナ火炎検出中に燃料を供給し、火炎が遮断した場合燃料を遮断する。もし、火炎センサが火炎検知側で故障した場合には、バーナ断火してもコントローラは故障した火炎センサに従い火炎ありと判断して燃料供給を継続してしまうため大変危険である。

UV センサには火炎信号を検出し続ける故障モード(ON 故障)と、まったく火炎信号を検出しない故障モード(OFF故障)があるが、AUD300 と RX を組み合わせるとシャッタ機構を利用して、2つの故障モードを連続でチェックすることができる。

- ・火炎を検出した場合 → シャッタを閉じる
- ・火炎を検出できない場合 → シャッタを開く

ダイナミックチェック方式のサイクルを以下に示す(図6)。

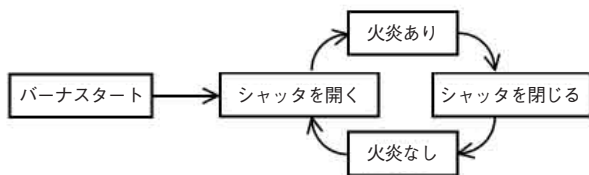


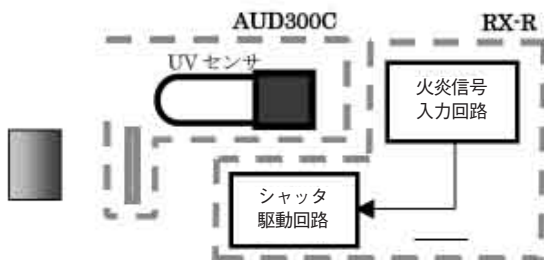
図6. ダイナミックチェックの仕組み

3.2.2 火炎検出判定

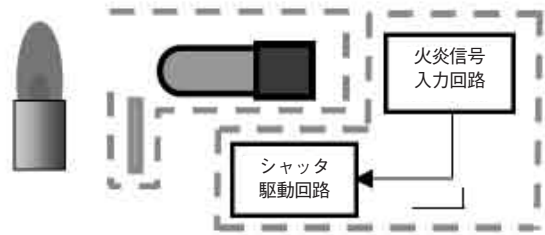
RX-R では上記ダイナミックチェック方式の周期的な動作を電気的なパルス信号に変換して制御判定部の二重化 CPU に入力し、火炎検出の判定を行う(図7)。

部品故障や火炎センサ故障でダイナミックチェックサイクルが途切れ、電気的に一方向に信号がはりつた場合でも、制御判定部で容易に故障検出することができる。また、バーナ断火時のフレームレスポンス(バーナ断火から安全遮断弁の通電遮断)は安全上特に重要なタイミングであるため、制御判定部のマイコン内部タイマだけでなく、電気回路によるアナログタイマの結果もマイコンへ取り込みタイマの多重化を構成している。

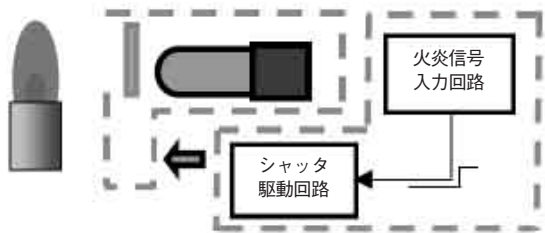
①火炎なし(シャッタ開)



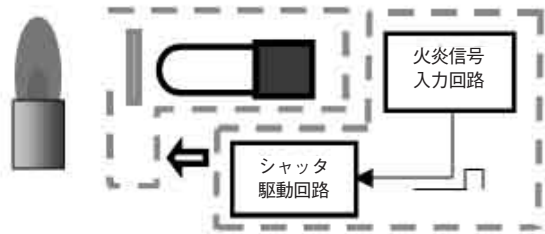
②着火から火炎センサが火炎検知



③シャッタを閉じる



④火炎センサが消炎検知



⑤シャッタを開く

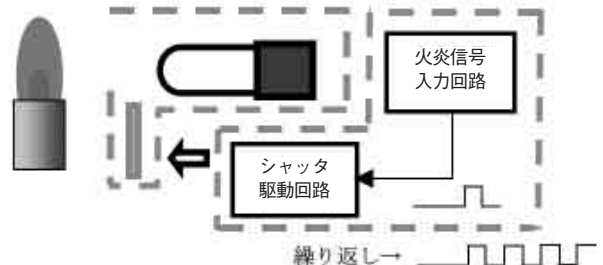


図7. 火炎検出動作

以下②~⑤の繰り返し、生成される電気信号が制御判定部に伝達され、火炎検知処理を行う。

3.2.3 リレー出力部

RX の安全機能は最終的に安全遮断弁を閉じる = 燃料供給を遮断することにより実施される。したがって RX に内蔵している負荷出力用リレー接点の溶着故障は、最も危険な故障の1つである。そのため RX-R では燃焼シーケンス動作開始前に安全遮断弁出力用リレー接点の開閉をチェックし、正常に負荷を ON/OFF できることを確認してから動作を開始するようになっている。

また、安全遮断弁の出力は両切り接点構成(リレー K1 と K2)として、単一のリレー接点故障では通電しない

構成としている。

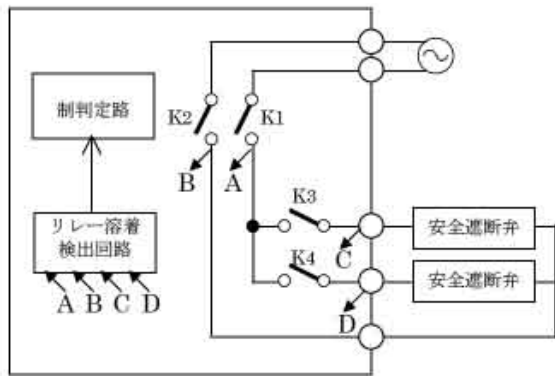


図8. リレー接点構成

たとえば、リレー K1 接点の溶着故障が発生した場合、RX の制御判定部は溶着検出信号 A を確認することにより K1 溶着と判定して K2, K3, K4 リレーを遮断することにより燃焼用負荷への電源供給を遮断する。

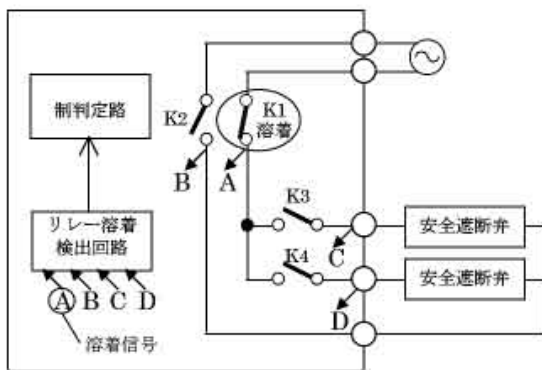


図9. リレー溶着時の検出

このように、RX では複数のリレーで安全遮断弁への通電を遮断できる接点構成をしており、かつ各リレー接点のフィードバック信号を監視しているため、意図しない安全遮断弁への通電(燃料供給)の危険は非常に小さい。

4. おわりに

本製品は山武の燃焼安全装置としてはじめての、マイコンベースのコントローラであり、従来どおりの安全設計を残しつつ、従来と比較して非常に多くの動作モードを持ち各種燃焼設備に柔軟に対応することができることが最大の特徴である。今後は UV 以外の火炎検出器対応など、RX シリーズをさらに発展させ、複雑化、高精度化する燃焼設備に安全かつ使いやすい製品を開発していきたい。

<参考文献>

- (1) 株式会社 山武 COMPO CLUB, 燃焼安全の基礎知識, <http://www.compoclub.com>
- (2) JIS B 8415 : 2008 工業用燃焼炉の安全通則
- (3) ダイナミックセルフチェックバーナコントローラの開発, Savemation Review (2005), 株式会社 山武

<著者所属>

熊澤 雄一 アドバンスオートメーションカンパニー
開発部開発 8 グループ

