

## 電子連動装置スマイル

秋田 雄志(技術顧問)

### 三本の矢

鉄道信号システムは、列車運転を安全かつ効率よく制御することを使命とし、鉄道の自律神経のような役割を果たしています。

列車の衝突や脱線、踏切横断者(車)との衝突などを防ぐために、鉄道信号システムにはさまざまな安全技術が組み込まれていますが、それらの技術の根底をなす基本概念として、①閉そく(Block)、②インターロック(Interlock)、③フェールセーフ(Fail safe)の3つを挙げることができます。閉そくは列車衝突を防護するために排他区域(列車の縄張り)を確保する鉄道固有の概念、インターロックは競合する操作や制御の相互間で一定の条件が整わない限り実行させない連鎖の概念、フェールセーフは故障が発生したら安全な状態に確実に復帰させる概念です。毛利元就の「三本の矢」のように、これら3つの基本概念に基づく技術方策の1つが欠けても列車制御の安全は保証できません。

電子連動(Electronic Interlocking)は、その名のとおりコンピュータ制御によって駅構内の信号機や分岐器にインターロックを施し、列車の衝突や脱線を防ぐ装置です。もし装置が故障したときには、確実に信号を赤にして列車を停止させるなど、どうすれば汎用のマイコンを使用してフェールセーフを実現できるかがこの装置の開発における最大の課題でした。

### ダイナミクスとフェールセーフ

電子連動装置の研究開発が始まった1970年代の中頃は電磁リレーで回路構成した継電連動装置が主流でした。この装置は、接点の短絡故障の発生確率が開放故障の発生確率の1/100から1/1,000という、故障モードに非対称性を有する鉄道信号用リレーを使用してフェールセーフを実現していたのです。

汎用電子部品にこのような非対称性は期待できません。そこで先ず思い浮かぶのは多重系構成による高信頼化です。しかし、ハードウェアを二重化して相互診断する方法だけでは、故障系の識別と制御出力の安全を必ずしも保証できません。誤ったコンピュータが自分こそが正しいと判断したり暴走したりすることが想定されるからです。この解決策は第三のハードウェア；“行司役”に故障系の検出を委ねることです。“行司役”は、自分自身が故障した場合もシ

ステムを安全状態へ確実に移行させる性能(フェールセーフ)を具備する必要があります。

鉄道技研と信号メーカーで構成したR&Dチームは行司役の実現方法の検討と内外の安全技術調査を進めました。そして、電気試験所(現 産業技術総合研究所)で発明されたフェールセーフ発振論理がコンピュータの制御出力照合に利用できるを考え、その原理を応用してフェールセーフな“出力照合回路”を開発しました。同じ頃、3台のコンピュータを用いて演算やデータ処理のつどハード的に多数決を行う密結合の「三重系多数決方式」がカーネギーメロン大学から発表されました。しかし、この方式を安全制御に用いるには問題があり、もし多数決回路が故障すると処理結果の正当性を保証できなかったのです。我々は「振り子」のように周期的に動作状態を変化させる“振り子回路”と称するフェールセーフ比較回路を考案し、多数決回路の診断に適用しました。この密結合の方式は、①高頻度に処理内容を診断できる、②ソフトウェアに負担をかけない、など優れた特長をもっています。

“出力照合回路”と“振り子回路”の2組の行司役は、入力が一致、かつ自分が正常のときのみダイナミック動作を継続し、入力が不一致または自分が故障すると出力を安全状態に固定して停止することで、協同してシステムのフェールセーフを保証します。

電子連動装置では、従来のパネル式制御盤に替えてCRTを採用しましたが、画面表示が正しく更新されなかったり表示色が化けると駅員の判断を誤らせる原因になります。このような異常事象が生じたら一目でわかるように、画面端に三原色マークを表示して周期的に点滅する手法を適用しました。ここにもダイナミック動作を原理とする手法が採用されています。

### 機能分散マルチプロセッサ

電子連動装置は進路数が100あるいはそれ以上の大規模駅への適用を当初目標としていました。連動機能のみならず進路制御の自動化や保守データ管理などの機能を付加することで省力化を進めようとしたのです。当時は8ビットマイコンの時代で、多くの機能を実現するにはマイコンの集合体で対処する必要がありました。そこで、共有メモリを介してデータを交信するマルチプロセッサ方式を考案し

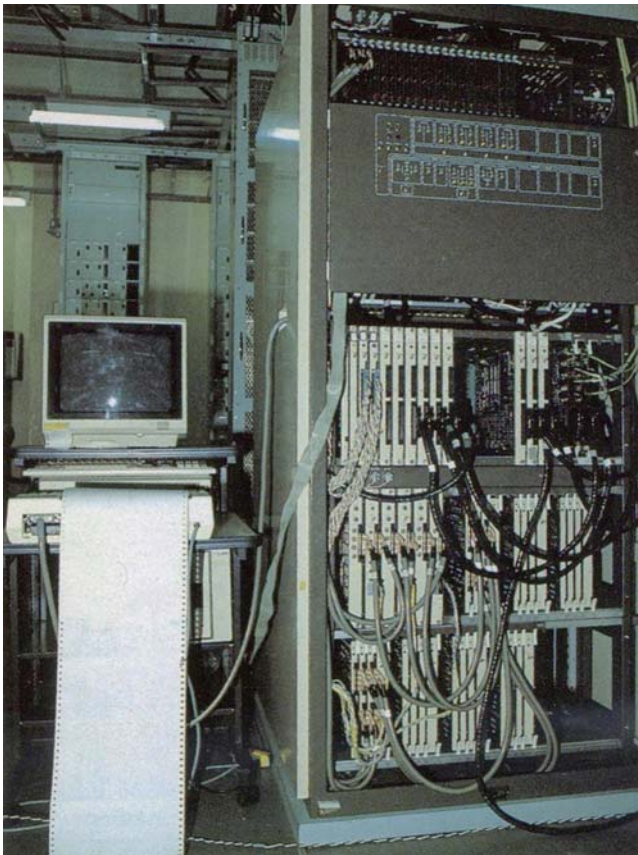


図1 試験中の電子連動装置1号機  
(東神奈川駅機器室)

て、電子連動装置の安全の「カナメ」である保安系は三重系多数決方式を、その他の機能対応のプロセッサは二重系待機予備方式をそれぞれ採用するユニークなシステムを開発し、高信頼化とフェールセーフを同時に実現しました。

機能分散マルチプロセッサ方式は技術的には優れた方式でしたが、ハードウェア実装が複雑化したほか、ソフトウェアのバグ取りにかなり難渋しました。ただし、安全の中核を担う保安系については、試作機を上越線石内駅に仮設して現用の継電連動装置との動作比較や耐環境性評価の試験を3年間実施していたので、そのハードとソフトはともに安心でしたが。

1号機の実用開始日が迫ってきた頃、万々に備えてバックアップのための継電連動装置を準備しておくようにと本社の上層幹部から指示がきました。この方策は、完成を目指して頑張っている実行部隊の氣勢をそぐことが明白なため、ごく一部の人以外には情報が伏せられました。幸い実用化に成功して、このバックアップ装置はお蔵入りとなりました。



図2 電気工事が作成配布した実用化記念のタイピン

### 後日談

1985年3月10日に電子連動1号機が京浜東北線東神奈川駅で実用化されました。連日連夜の確認試験で疲労した実行部隊の面々が機器室で見守るなか、一番列車の制御を迎えました。しかし、列車が駅へ進入してくる気配がありません。関係者は装置の動作記録を印字したり線路わきへ飛び出したりと、機器室は騒然となりました。やがて、既存のATC（自動列車制御装置）において電子連動装置との結合部に不具合があると判明し、一安心。

開発着手から10年、先輩を含め多くの信号技術屋の思いがやっとかなったのです。実用化のR&Dリーダーであった私も感慨ひとしおでした。

ところで、この電子連動装置の愛称“スマイル”の由来は、列車の安全を頑固に守る鉄道信号の固いイメージを払しょくすべく、SMILE (Safe Multiprocessor system for InterLocking Equipment) と名付けられたのです。いつの頃か、研究室で熱海へ行った際、店先で“スマイル馒头”が売られているのを見たときは思わず笑ってしまいました。

鉄道技研を中心に、電子連動装置のシステム構成法や安全・高信頼化技術を内外の学会へ積極的に発表もしました。20～30年前にフォールトトレランス（高信頼化技術）の分野で交流した大学の先生方とは、今も年に数回集まってワインで喉を潤しながら、その時々で技術的課題について楽しく議論します。これも電子連動に関与したおかげと感謝しております。

電子連動装置は、鉄道信号の電子化の先駆けとなり、安全が要求される新しい制御システムの実現に少なからず影響を与えたと思っています。