

クラウド型連動装置の国内外における開発動向

潮見 俊輔* 遠山 喬 寺田 夏樹 (鉄道総合技術研究所)

A survey for development of cloud type interlockings

Shunsuke Shiomi*, Takashi Toyama, Natsuki Terada, (Railway Technical Research Institute)

In recent years, the development of new interlocking devices, which divide interlocking functions into logic processors and controllers of field devices, has been promoted towards Interlocking as a Service (IaaS) in many countries. This paper surveys development of IaaS oriented interlockings named “Cloud Interlockings.”

キーワード：クラウド型連動装置, IaaS, EULYNX, DSTW, DS3
(Cloud interlocking, IaaS, EULYNX, DSTW, DS3)

1. はじめに

列車の位置やてこの操作入力、機器相互の連鎖を確保しながら、駅構内の信号機や転てつ機等の現場機器を制御する連動装置は、論理演算によりその機能を実現している。機器相互の連鎖を確保するための論理演算は、機械からリレー、コンピュータへとその手法を変えてきた。特にコンピュータを用いる電子連動装置では、遠隔地で同一線区上の複数駅を集中制御する集中連動装置の実現に至っており、特に地方線区における運営の低コスト化に貢献している。

鉄道総研では、電子連動装置を用いた集中連動装置の概念を拡張し、異なる線区の複数の駅に対して連動装置の論理演算機能を提供する「クラウド型連動装置」の開発を進めている。クラウド型連動装置は、処理能力を細分化し複数駅の論理演算を独立して実行する連動論理部と、複数の処理対象駅を連動論理部に配分して監視・制御を行うコントローラ、および現場機器を制御する現場端末から構成される。この構成と機能により、論理演算が行われている場所や装置を意識することなく、連動装置の論理演算機能をサービスとして利用できる **Interlocking as a Service (IaaS)** を実現することを目指している。本稿では、IaaS の提供を目指したクラウド型連動装置について、国内外の開発動向について調査を行った結果について報告する。

2. クラウド型連動装置

〈2・1〉 **連動装置の分類とクラウド型連動装置** 連動装置の種類は、てこの種類による分類（機械連動機、電気連動機）や連鎖などの論理演算を行う装置による分類（継電連動機、電子連動機）がある⁽¹⁾。従来の連動機の分類と

は外れるが、本稿では IaaS の提供を意図した電子連動装置を、従来の電子連動装置と区別するために「クラウド型連動装置」と呼称する。以下に IaaS およびクラウド型連動装置とその要件を定義する。

〈2・2〉 **Interlocking as a Service (IaaS)** 連動装置の論理演算により連動装置の連鎖を確保して現場機器の制御を行う機能を、制御対象の駅の所在地や所有者と分離したサービスとして提供する概念を指す。ソフトウェアの提供形態の一つである **Software as a Service (SaaS)** や、計算資源の提供形態の一つである **Infrastructure as a Service (IaaS)** になぞらえて、**Interlocking as a Service** と呼称している^{(2),(3)}。

〈2・3〉 **装置構成** クラウド型連動装置の構成例を図 1 に示す。電子連動装置などの論理演算を行う装置（以下、連動論理部）を IaaS のサービス提供者側に、現場機器の制御や状態取得の機能を持つ装置（以下、現場端末）を被制御駅に設ける。連動論理部の台数や構成はシステムにより異なる。被制御駅毎に対応した電子連動装置を固定的に割り当てる方式（アパート方式、図 1(a)）と、連動論理部に対する被制御駅の割当を特定装置に限定しない方式（シェアハウス方式、図 1(b)）の 2 通りの構成がある。

前者のアパート方式は、基本的には従来の電子連動装置の処理方法や構成を踏襲して 1 台の電子連動装置が特定の駅や同一線区上の複数駅を制御するため、制御対象駅が増えると連動論理部の台数が増加する。ネットワークを介して制御情報や表示情報を現場端末と連動論理部の間で通信するため、通信相手のアドレスや ID を予め割り当てておくことが必要となる。

一方、後者のシェアハウス方式は、連動論理部に対して処理対象駅を動的に割り当てる機能と、割当が変更された

場合でも制御情報や表示情報を通信可能とするネットワーク構成を必要とする。連動論理部に対して複数の連動論理データの演算を実行させる場合は、連動論理部の台数を処理対象駅に対して減らすことが可能となるが、個別の連動論理部で動作させるのと同様に連動論理の変更が他の演算に影響しない方式とすることが求められる。また、動的割り当ての機能のため連動論理部の上位に連動論理部をコントロールする装置が設ける場合がある。

〈2・4〉 連動論理の処理方法 連動論理の処理は、フェイルセーフCPUを用いてシングルスレッドで定周期毎に実行する電子連動装置と同一の方法で成立するものとする。特に、アパート方式の装置構成の場合は、1 個の連動論理データ上に記述された 1 駅または複数駅の処理を処理周期毎に実行する方式をとることができる。

一方、定周期かつシングルスレッドの処理方式でシェアハウス方式を実現する場合は、処理順序や連動論理データのローディングなどの処理周期内で複数駅の論理演算を独立して実行する方法が別途必要となる。

〈2・5〉 ネットワーク クラウド型連動装置は連動論理を行う箇所と被制御駅が異なる箇所に置かれることを前提とするため、両者の間には制御情報や表示情報のための経路を必要とする。両者は同一の地域や国内に配置されとは限られないため、完全に独立した専用線ではなく、帯域やセキュリティを確保した既存の通信ネットワークを利用することが想定される。そのため、情報の秘匿や改ざん防止のための対策をネットワークに備えるとともに、通信の遅延や途絶に対する動作などを連動論理部や現場端末側で予め定義することが必要である。

複数台の連動論理部で処理を分担するシェアハウス方式では、処理対象駅の割当等を行うための連動論理部、もしくは連動論理部をコントロールする上位装置間のネットワークが別途必要となる。

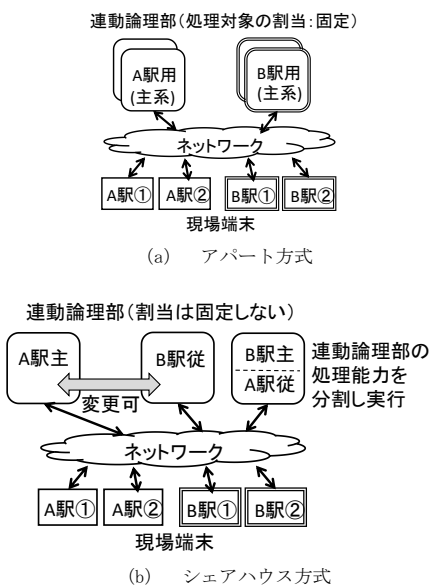


図 1 クラウド型連動装置の構成例
Fig.1. Components of cloud interlockings

〈2・6〉 サービスの提供形態 クラウド型連動装置を用いた IaaS は、連動論理部を保有するサービスの提供者と現場端末の設置者の関係から 3 種類の提供形態に分類できる (表 1)。(a)は鉄道事業者が連動論理部と現場端末を提供する従来の連動装置と同様の形態である。(b)は鉄道事業者が自社と他社に対して連動論理演算の機能を提供する形態である。(c)は鉄道事業者以外が連動論理部を保有して演算機能をサービスとして鉄道事業者に提供する形態である。

形態(a)は保守や管理の観点から連動論理部を特定の箇所に集約する効果や、これとは逆に地理的に異なる箇所に分散配置して災害等に対する強靱性を確保する効果が得られる。また、シェアハウス方式の連動論理部では余剰計算能力の利用や予備機の共通利用が可能となるため、連動論理部の数量の削減を図ることができる。形態(b)は自社設備に対しては(a)と同様であるが、他社に対しては IaaS の提供による利用料収入が見込まれる点が異なる。形態(c)は IaaS の利用料により連動論理部の維持管理が行われる。

3. 国外におけるクラウド型連動装置の開発動向

〈3・1〉 EULYNX による連動装置の IP 化 EULYNX とは信号システムの設計の標準化、特に連動装置のモジュール化と IP ネットワークを介したモジュール間の制御に関する標準の開発を目的としたプロジェクトである⁽⁴⁾。EULYNX のシステム構成を図 2 に示す。電子連動装置と現場機器、ETCS、運行管理装置等をネットワークで接続し、EULYNX で定める機器毎のプロトコル(SCI)で情報伝達を行う構成をとっている。ネットワーク上の情報伝送の使用を定義してオープンにすることで、連動装置を異なるサプライヤから供給されるモジュールを組み合わせる構成可能とすることを目指した。2014 年に開始された EULYNX プロジェクトの成果を受けて、2018 年頃より欧州において後述のクラウド型連動装置の開発、実用化が行われつつある状況である。

〈3・2〉 SIMIS IaaS SIMIS IaaS は、Siemens 社の電子連動装置を用いたクラウド型の連動装置である。装置構成

表 1 クラウド型連動装置のサービスの提供形態
Table 1. Types of cloud interlocking by owner of devices

分類	連動論理部	現場端末	提供形態
(a)	鉄道事業者	鉄道事業者	自社内完結
(b)	鉄道事業者	鉄道事業者(自社) 鉄道事業者(他社)	自社内完結 +他社提供
(c)	鉄道事業者以外	鉄道事業者	他社提供

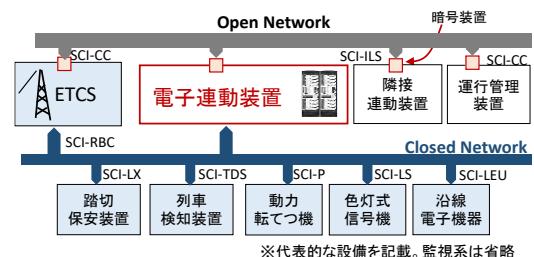


図 2 EULYNX のシステム構成
Fig.2. System configurations of EULYNX

成を図 3 に示す。Siemens 社のデータセンタに電子連動装置を設置し、対となる駅の現場機器の制御装置を制御するアパート方式の装置構成である⁽²⁾。連動論理部は既存の Siemens 社の電子連動 SIMIS であり、ネットワークは暗号装置を介して約 50km 離れたデータセンタと被制御駅を結ぶ構成である。サービスの利用形態はメーカー(Siemens)が鉄道事業者に連動論理処理をサービスとして提供する形態である。現場機器を制御する試験が 2018 年 8 月から 10 月に行ったのち同年 10 月から実運用が開始されている。既存の電子連動装置を遠隔化した構成ではあるものの、IaaS の提供を実用化した点でクラウド型連動装置の最初期の実用例であるといえる。

〈3・3〉 DSTW DSTW は、ドイツ鉄道(DB)が提唱し実用化を進めているクラウド型連動装置である。デジタル連動(Digitales Stellwerk)とも呼ばれ、連動装置の集約化や保守管理の集中化、ETCS (European Train Control System) の導入を進める施策とあわせて、ドイツ全土を 157 地区に区分して 2040 年までに段階的に導入する計画が提唱されている。

図 4 に DSTW と DSTW を配置する保守区と連動機器室の機能を集約した TSO (Technikstandort, Technology location) の構成を示す。DSTW についても駅毎に連動装置を配置するアパート方式の構成であり、現在は既存の電子連動装置を必要数だけ TSO に設置して駅やエリア毎に処理を行う方法が取られている⁽⁵⁾。ネットワークは暗号装置や電源装置、ネットワークスイッチを設けた現場器具箱と、更に複数の現場機器の制御・表示の入出力機能を備えた現場端末装置の機器を介して連動処理部が現場機器を制御する構成である。DSTW は連動論理処理から現場機器までを DB が保有する形態であるが、ETCS による列車制御、隣接連

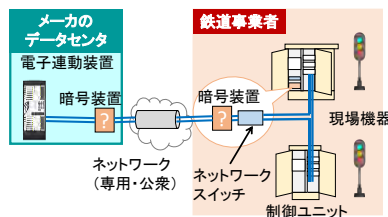


図 3 SIMIS IaaS の構成

Fig.3. Configurations of SIMIS IaaS

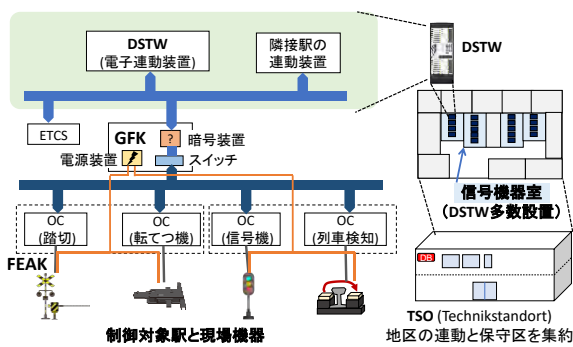


図 4 DSTW の構成と TSO

Fig.4. System configurations of DSTW and TSO

動装置との連携のための機器の集約や保守区等との一体化等の鉄道事業者がクラウド連動装置を保有する利点を活用した代表事例であるといえる。DSTW は 2018 年 3 月よりチェコに国境を接する地区(単線区間の連動駅 3 駅)で導入され、2020 年以降に導入地区が拡大されることが計画されている。

〈3・4〉 DS³ DS³ (Distributed Smart Safe System)

は、既存のフェイルセーフ CPU に代わり、既製品 (COTS, Commercial Off The Shelf) のマルチコア CPU を用いて連動装置を含む安全系の処理を行うことを提唱する手法である。DS³ で構成した電子連動装置 SIMIS AT を用いた連動装置を試作し、オーストリア国鉄の Achau 駅において実車に対して制御を行う試験を 2020 年 11 月に実施している⁽⁶⁾。

DS³ では同一のアプリケーションを 1 台の CPU 上の複数のコアで同時に演算させて比較器に出力させる処理や、多数のコアを有する CPU において複数のアプリケーションを複数のコアで同時に演算させる処理、および複数の CPU 上で同一の演算を実行させて処理結果をクロスチェックする処理などが提案されている。

今後は、DS³ を基軸として、連動論理処理のクラウド上の計算機への移行や、地理的に異なる箇所での演算による冗長性の確保技術の開発が計画されている。進路数が多い大駅に DSTW 等を適用するための処理の高速化や、メーカーによる IaaS の提供に有用な低コスト化など将来想定されるニーズに対応する技術開発が着実に進められている。

4. 国内におけるクラウド型連動装置の開発

〈4・1〉 クラウド型連動装置の概要

鉄道総研では、連動装置の機器更新の費用削減、災害等に対する強靱化、制御機能と機器の分離、および IaaS を目指したクラウド型連動装置を開発している⁽³⁾。クラウド型連動装置の基本構成を図 5 に、機能を表 2 に示す。論理演算を行う複数台の連動論理部と現場機器の制御を行う現場端末のほか、連動論理の割当てと動作の監視を行うコントローラを設けた構成としている。

〈4・2〉 セグメントの割り当てとコントローラ

クラウド型連動装置では、処理周期における連動論理部の処理能力をセグメントと呼ぶ単位に分割して、連動論理データを各セグメントに割り当てて処理する方式を提案している(図 6)。各連動論理部のセグメントに対してコントローラが連動論理データを割り当てることで、複数駅の論理演算

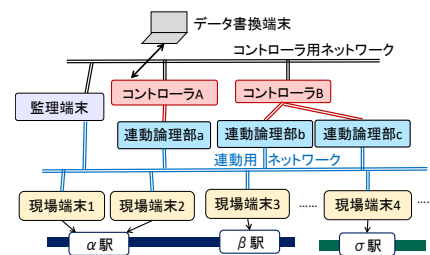


図 5 クラウド連動装置の基本構成

Fig.5. System configurations of RTRI cloud interlocking

を数台の連動論理部が担うシェアハウス方式の装置構成とすることを提案している。

コントローラについては別稿⁽⁷⁾にて詳述するが、コントローラ相互と連動論理部に対して以下の機能を備える。

- (a) データ書換装置からの連動論理データ等の入力
- (b) 連動論理データ等の保管とデータの共有
- (c) セグメントへの連動論理データの割り当て操作
- (d) 連動論理, セグメント割当の連動論理部への入力
- (e) 連動論理部およびコントローラ相互の死活監視
- (f) 異常時のセグメント再割り当て

〈4・3〉 連動論理部と現場端末 連動論理部は連動装置としての機能や演算の考え方は既存の電子連動装置と同一とするが、前述のセグメントの割り当てに従って処理を行う機能、および処理を行いながら一部の処理を停止させて、データの追加や削除、変更を許容する機能を提案している。

連動論理部と現場端末を結ぶネットワークの遅延により論理演算に必要な情報が揃わないことで演算が行えない事態に対する影響を軽減するため、情報の一部が揃わない状態でも演算が成立する時に、3 値論理を用いて結果を出力する手法を提案した。詳細については別稿⁽⁸⁾にて記載する。

クラウド型連動装置においては、予備としての n 重系を異なる連動論理部のセグメントに配し、それぞれが表示情報等をもとに演算を行った結果を現場端末に出力する。現場端末は、連動論理部から送信された制御情報に付与された優先度の属性をもとに、相対的に高い優先度の連動論理部から送信された情報を選択して用いる機能を持つ。連動論理部の系切替は、コントローラ側からセグメント割当時に付与する連動論理部の優先度を切替後の主系に対して従

表 2 クラウド型連動装置の各部の機能

Fig.2. Functions of components of RTRI cloud interlocking

装置	役割・機能
データ書換端末	データ、コマンドの入力
コントローラ	連動論理部のタスクの割り当て、制御
連動論理部	連動論理の演算
現場端末	現場機器の制御、表示情報の取得
監理端末	連動用ネットワークの監視、記録

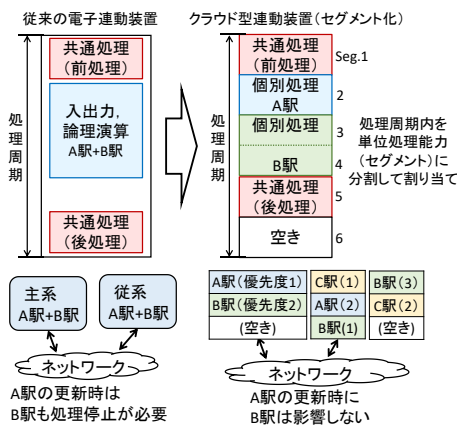


図 6 連動論理処理のセグメント化

Fig.6. Segmentation of interlocking logic processing

系を相対的に低く設定することで行う。

〈4・4〉 国内外のクラウド型連動装置の比較と今後の方向性

以上に示した国内外のクラウド型連動装置について、装置構成、連動論理の処理方法、ネットワーク、サービスの提供形態、開発段階の観点から整理した結果を表 3 に示す。欧州におけるアパート方式の構成のクラウド型連動装置は既に実用段階にあり、技術開発の重点は大駅等への対応や低コスト化、安全系アプリの同時実行等の利点が期待される COTS-CPU の電子連動装置への適用に移行しつつある。将来的には一般的な意味でのクラウドコンピューティングへの移行も見据えており、今後の開発に引き続き注目することが必要である。一方、国内のシェアハウス方式の構成をとるクラウド型連動装置は、手法の提案と検証、シミュレータの試作を進めている段階であり、今後はハードウェアとしての実装が行われる予定である。

5. おわりに

本稿では、IaaS の提供を目指したクラウド型連動装置について、国内外の開発動向について調査を行った。欧州では既存の電子連動装置を用いたアパート方式のクラウド連動が実用化段階にあるが、COTS 化やシェアハウス方式の装置構成など低コスト化や連動論理部を高稼働率で用いる研究開発が継続して進められており、今後の研究開発に引き続き注目することが必要である。最後に、クラウド型連動装置の検討にあたり協力頂いている、京三製作所、大同信号、日本信号の関係各位に感謝申し上げます。

表 3 国内外のクラウド型連動装置の比較

Fig.3. Comparison of cloud interlockings

方式	装置構成	論理処理	ネットワーク	サービス形態	開発段階
SIMIS IaaS	アパート方式	従来式	専用・汎用 (暗号化)	IaaS (メーカが提供)	実用化
DSTW	アパート方式	従来式	専用・汎用 (暗号化)	鉄道事業者が保有・運営	実用化
DS3	アパート方式	複数演算可	不明	未定	実証試験
クラウド型連動 (総研)	シェアハウス方式	セグメント方式	コントローラ用ネットワーク必要	何れの方式にも対応可	開発中

文 献

- (1) 日本産業規格：「鉄道信号保安用語」, JIS E 3013:2022, (2022)
- (2) Siemens: “Trackguard® Simis Interlocking as a Service (SIaaS)”, <https://www.mobility.siemens.com/ch/en/portfolio/rail/automation/interlocking-systems.html>, (2018)
- (3) 寺田, 潮見, 藤田, 小野, 遠山: 「クラウド型連動装置の構築に向けて」, 第 24 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-Rail2017)講演論文集, S2-5-2 (2017)
- (4) “EULYNX Domain Knowledge”, Eu.Doc.10, (2019)
- (5) A. Kaldenbach, “Die Digitale LST bei der DB Netz AG Eine Einführung in die Digitale Stellwerkstechnik”, Fachvortrag BF Bahnen (2019)
- (6) “First hardware independent cloud-enabled interlocking in operation”, <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/first-signalling-cloud-operation> (2020)
- (7) 寺田, 潮見, 遠山: 「クラウド型連動装置のコントローラ機能仕様の検討」, 第 29 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-Rail2022)講演論文集 (発表予定) (2022)
- (8) 進藤, 遠山, 櫻井: 「クラウド型連動装置における非同期連動処理の適用効果の検討」, 第 29 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-Rail2022)講演論文集 (発表予定) (2022)