

運用管理者の視点と経験を活用する自動ラック監視システムの開発

代表研究者 小 川 康 一 広島大学情報メディア教育研究センター 准教授

1 研究の背景と目的

データセンターをはじめ、大学や企業の情報基盤では、サーバ、ネットワークスイッチ、ストレージ、電源装置等の多数の ICT 機器がサーバラックに高密度で収容されている。これらの機器は、SNMP、ログ、テレメトリ、監視エージェント等を用いて常時監視されているが、監視ソフトウェアから取得できる情報は、管理通信が正常に利用できることを前提とする。電源断、管理ネットワークの断絶、ケーブルの抜け、機器前面にのみ表示される警告表示、筐体の物理的な異常等が発生した場合には、運用管理者が現場へ移動し、ラック番号、搭載位置、機器型番、LED インジケータ、表示器、ケーブル接続等を目視で確認する必要がある。特に少人数で多数の機器を管理する大学情報基盤では、夜間や休日を含む現地確認の負担が大きく、障害原因の切り分けと復旧着手を遅らせる要因となる。

固定カメラをラックごと、あるいは機器ごとに配置する方法は、外観情報の遠隔取得に有効である。しかし、ラック内には監視対象となる表示箇所が多数存在し、機器の増設や交換によって配置も変化するため、多数のカメラと配線が必要とする。また、監視したい箇所は機器前面全体ではなく、電源 LED、ポート LED、アラーム表示等の限定された位置であり、運用管理者は障害の種類や機器の役割に応じて見るべき箇所を選んでいく。したがって、外観を単に撮影するだけでなく、運用管理者が有する「どの機器のどこを確認するか」という視点を監視システムへ登録し、必要な位置へカメラを移動させる仕組みが必要である。

本研究の目的は、運用管理者の視点と経験に基づく監視箇所を構造化し、サーバラック内を移動するカメラによって ICT 機器の物理状態を遠隔取得する「自動ラック監視システム」を開発することである。具体的には、42U のフルラック前面を上下左右に走査できる「ラック監視レール」を設計・試作する。次に、監視対象ネットワークに障害が発生しても利用可能な独立通信経路とクラウド側の収集基盤を構築する。さらに、スマートグラスと AR マーカーを用いて、管理者が現場で確認するラック位置、機器型番、LED 位置を登録する。そして、取得した画像、機器情報、状態情報および対応情報を関連付ける知識ベースと管理画面を構築する。また、実機を頻繁に動作させることなく制御とデータ収集の流れを検証するため、ラック監視レールのシミュレータおよびブラウザ型デジタルツインを開発する。これらを 3 年間で段階的に実施し、移動、撮影、送信、蓄積、確認、事前検証を一連の監視ワークフローとして扱える基盤を確立することを目指した。

本研究の特徴は、論理的な監視情報を追加するのではなく、既存の監視では取得しにくい物理的な観測を、少数の移動カメラで取得する点にある。また、監視位置を設計者が固定的に与えるのではなく、現場の運用管理者が通常行っている確認手順から登録することで、設備や機器構成の違いに対応する。さらに、監視対象ネットワークから独立した通信経路、メッセージング基盤、知識ベース、シミュレータを組み合わせ、物理装置だけでなく、運用に必要な情報収集と設定作業を含む統合監視システムとして設計、検討した。

2 研究方法

本研究は、2023 年度から 2025 年度までの 3 年間で実施した。2023 年度は、ラック監視レールの機構、駆動系、制御装置およびデータ蓄積方式の基礎を構築した。2024 度は、モバイル SINET, mdx, Apache Kafka および SINETStream を用いたデータ収集基盤を実装し、監視データの送信性能を評価するとともに、スマートグラスを用いた監視箇所登録を試作した。2025 年度は、フルラックを対象とする機構と監視動作を整理し、国際会議で成果を発表した。また、実機試験の安全性と再現性を高めるため、SINETStream を利用するラック監視レール・シミュレータとブラウザ型 3D シミュレーションを用いたデジタルツインへと展開した。図 1 に、2023 年度から 2025 年度までの各年度の主要な実施内容と研究展開を示す。



図1 3年間の研究展開の概要

2-1 ラック監視レールの設計と制御

本研究では、監視対象を一般的な42Uサーバラックの前面とした。最初に複数のラックを計測し、支柱間の幅、前面扉との間隔、機器前面までの奥行き、設置可能な固定位置を確認した。ラックは製品や設置環境によって構造が異なり、内部空間も限られるため、薄型化と剛性の両立が主要な設計課題となった。本研究では、まず機能の実現を優先し、縦方向のリニアレールに横方向のリニアレールを搭載する二軸構成を採用した。横方向の台座にはWebカメラ、必要に応じて照明、制御用小型コンピュータを搭載し、指定されたラック内のU位置および横方向の位置へ移動して撮影する。

駆動方式については、DCモータとステッピングモータ、複数のモータドライバを比較した。位置を再現しやすく、Raspberry Piから制御可能であることからステッピングモータを中心に検証し、バイポーラスステッピングモータドライブIC「L6470」を用いた駆動回路を採用した。縦向きに設置したレールでは、台座にカメラや横方向レールを搭載すると負荷が増加し、無負荷時と同じ条件では安定して移動できないことが確認された。このため、モータトルク、駆動電流、加減速、レール摩擦、台座重量を考慮して動作条件を調整した。モータ軸とリニアレールの駆動軸を接続するカップリングについても、軸ずれの許容範囲、剛性、振動を比較し、複数種類を試験した。

制御装置にはRaspberry Pi 4Bを用いた。指定位置までの移動量をステップ数へ変換し、縦軸と横軸を順に駆動する。監視動作は、①縦方向へ移動して対象機器のU位置で停止する、②横方向へ移動して監視箇所に合わせて、③WebカメラでLED等を撮影する、④画像処理結果、時刻、ラック番号、U位置等のメタデータと画像を収集サーバへ送信する、⑤次の監視箇所へ移動する、という5段階で構成した。移動と通信を完全に直列化すると監視時間が長くなるため、撮影済みデータの送信を次地点への移動と並行して実行できる構成を想定した。

安全面では、ラック内のケーブルや機器前面への接触を避けるため、移動範囲をソフトウェアで制限し、初期位置を基準として停止位置を管理した。一方、ステップ数のみの位置制御では、負荷や機械的な滑りによって誤差が累積する可能性がある。そのため、本研究の試作段階では監視ワークフローの成立を優先しつつ、将来的にはリミットスイッチ、エンコーダ、距離センサ等による原点復帰と位置補正が必要であると整理した。

2-2 独立通信経路とデータ収集基盤

監視対象となるネットワーク機器やサーバに障害が発生した場合、同じネットワークをラック監視システムが利用すると、最も監視が必要な時に画像を送信できない。このため、監視装置の通信には国立情報学研究所が提供するモバイルSINETを用い、対象ネットワークとは独立した移動体通信経路を確保した。収集サーバをデータ活用社会創成プラットフォームmdx上に構築し、Ubuntu 22.04、Apache KafkaおよびSINETStream consumerを配置した。監視装置側はSINETStream producerとして動作し、メッセージングシステムを介して監視データを送信した。

SINETStreamを採用した理由は、通信先やメッセージング方式に依存する処理をアプリケーションから分離し、設定変更によって収集先やプロトコルを切り替えやすくするためである。監視装置ごとに独自の送受信処理を実装すると、認証、暗号化、再接続、エラー処理等が個別化し、拠点やラックが増えた際の保守が難しくなる。共通のデータ収集ミドルウェアを利用することで、画像取得とレール制御に関する処理を監視アプリケーション側へ集約し、通信基盤を再利用できる構成とした。図2に、ラック監視レール、独立通信

経路、mdx 上の収集基盤、知識ベースおよび管理者用画面から構成される自動ラック監視システムの全体構成を示す。

1 回の監視で送信するデータは、撮影日時を示すタイムスタンプ、ラック識別子、ラック U 位置、機器識別情報、画像処理結果および約 1MB の撮影画像である。収集サーバでは受信データを保存し、管理者用 Web 画面から撮影画像とメタデータを対応付けて確認できるようにした。監視地点の増加を考慮し、画像そのものと検索に用いるメタデータを分離して扱い、時刻、ラック、機器、状態から対象画像を絞り込める構成を検討した。

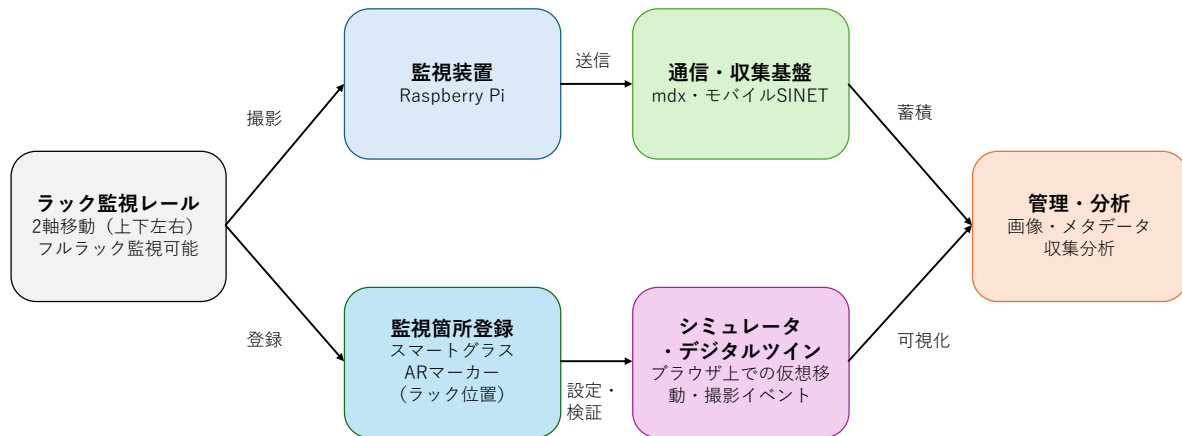


図2 自動ラック監視システムの全体構成

2-3 知識ベースと管理者用画面

ICT 機器の LED 表示は、メーカー、機器種別、型番、ポートや部品の役割によって意味が異なる。同じ色で点灯していても、機器によって、正常、警告、通信中、冗長系切替などの異なる意味をもち、画像だけから状態を判断するには、機器固有の情報との対応付けが必要である。本研究では、メーカー、機器種別、型番、LED 画像、表示状態、想定される障害、確認事項および対応情報を関連付ける知識ベースを検討した。

プロトタイプではグラフデータベース Neo4j を使い、各情報をノード、情報間の関係をエッジとして表現した。例えば、特定型番のネットワークスイッチと前面 LED 画像を関連付け、その表示が示す状態や確認すべき項目へたどれるようにした。関係を明示することで、機器型番から該当する LED 画像を検索する場合だけでなく、観測された表示状態から関連する機器や対応情報を逆方向に検索できる。管理者用画面では、受信した画像、ラック位置、機器情報、判定結果を表示し、必要に応じて知識ベースの関連情報を参照できる構成とした。

この知識ベースは、障害原因を自動的に確定するものではなく、物理観測と運用知識を接続するための基盤である。監視システムが取得した画像に対して、どの機器のどの表示を撮影したのか、その表示が通常どのような意味を持つのかを管理者が確認できることを重視した。将来的に画像認識や異常判定を高度化する場合にも、学習データと機器情報、判定根拠、対応手順を対応付ける役割を担う。図3に、知識ベースにおける機器情報、LED 画像・表示位置、表示状態、想定される障害、および確認事項・対応情報の関係を示す。

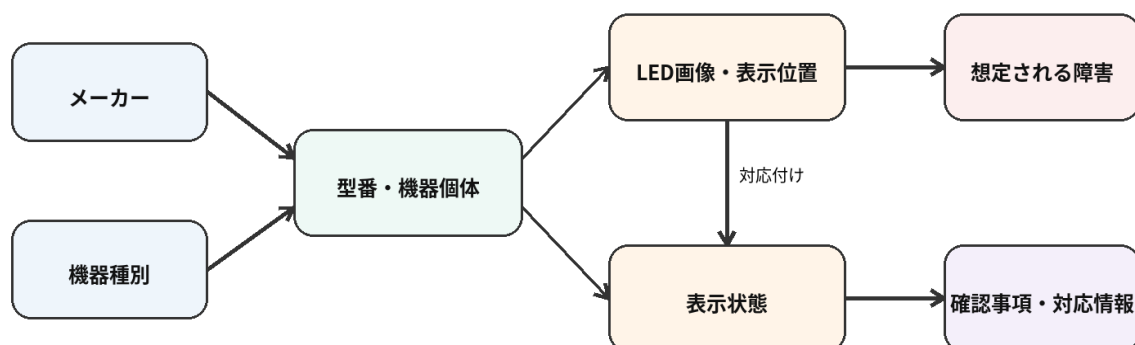


図3 知識ベースにおける機器・表示状態・対応情報の関係

2-4 スマートグラスによる監視箇所登録

監視ルールを自動的に動作させるためには、対象となるラック、機器、撮影位置を事前に登録する必要がある。図面や管理台帳だけから LED 位置を入力すると、実際の機器配置との差異や入力誤りが生じやすい。そこで、運用管理者が現場で確認している視点をその場で取得するため、EPSON 製スマートグラス MOVERIO を用いた Android アプリケーションを試作した。

登録手順は、①ラックに配置した AR マーカーを読み取り、ラック識別子と位置基準を取得する、②監視対象機器の型番または識別情報を登録する、③カメラで LED インジケータ等の監視箇所を撮影する、という流れである。AR マーカーによりラック座標系を定義し、撮影対象を機器情報と対応付けることで、管理者が注目した位置をラック監視ルールの停止位置へ変換するためのデータを生成する。表示部を備えたスマートグラスを用いることで、作業者は両手を空けたまま登録内容を確認できる。

本研究期間には、Android 上で AR マーカーの読取り、機器情報の入力、監視箇所撮影までの基本機能を実装した。運用管理者が実際の障害対応でどの箇所をどの順番で確認するかを自動抽出する段階には至っていないが、暗黙的であった「見る場所」を監視装置が扱えるデータへ変換する入口を構築した。今後成果をまとめて発表する予定である。図 4 に、AR マーカーによるラック位置の取得から、機器情報の登録、監視箇所の撮影、およびルール停止位置への変換までの流れを示す。

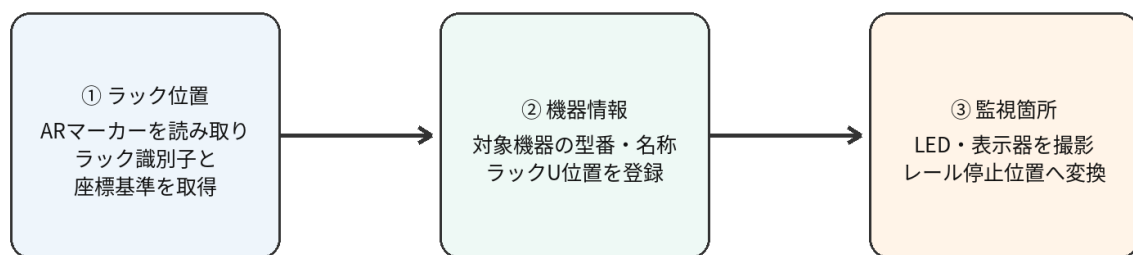


図 4 スマートグラスを用いた監視箇所登録の流れ

2-5 シミュレータとブラウザ型デジタルツイン

ラック監視ルールはサーバラック前面で物理的に動作するため、制御プログラムの不具合や誤った座標設定があると、機器や配線へ接触する危険がある。また、実機を用いる試験では、同じ条件を繰り返すための準備時間が長く、通信遅延やデータ欠損を含む異常条件を再現しにくい。そこで最終年度には、実機と同じ監視命令、位置情報、撮影イベントおよび収集データを扱うラック監視ルール・シミュレータを開発した。

シミュレータでは、指定された監視地点へ仮想ルールを移動させ、撮影イベントとメタデータを生成し、SINETStream を介して収集側へ送信する。これにより、実機の駆動部を使用せずに、監視地点の設定、メッセージ形式、収集サーバの処理、管理画面への反映を確認できる。さらに、ブラウザ上でラック、機器、縦横ルール、カメラ位置を 3D 表示するデジタルツインを構築し、ルール移動と撮影イベントを視覚的に確認できるようにした。ブラウザ方式とすることで、専用アプリケーションを導入せず、遠隔地から監視動作を確認しやすい構成とした。

本研究では、シミュレータを単なる動画表示ではなく、監視システムと同じデータ流を利用する検証環境として位置付けた。実機、シミュレータ、収集基盤が共通のメッセージ形式を用いることで、制御ロジックや表示機能を段階的に検証できる。2025 年度には、SINETStream を利用したラック監視ルール・シミュレータの開発と評価を国内シンポジウム[5]で発表し、ブラウザ型 3D シミュレーションによるデジタルツインを国際会議で発表した[6]。

3 研究成果

3-1 フルラック監視機構の実現

研究の初年度に行ったラックの計測結果と、リニアルール、モータ、モータドライバおよびカップリングの比較をもとに、縦方向と横方向を組み合わせた試作機を構築した。従来の小型試作では 9U 範囲の監視を対象としていたが、本研究では 42U ラック全体を対象とする構成へ拡張した。実際のサーバ室に設置し、縦移

動、横移動、対象位置での停止、Web カメラによる撮影を確認した。図 5 に、フルラックを対象として試作したラック監視レールの側面 (a) および正面 (b) を示す。

フルラック化によって、横方向レールと監視装置の重量が縦方向駆動へ影響すること、ラック内の設置空間が製品ごとに異なること、前面扉やケーブルとの干渉を考慮する必要があることが明らかになった。これらは小型試作では十分に現れなかった課題であり、実寸大機構を構築したことで具体化できた。一方、単一のカメラを二軸で移動させ、複数機器の異なる表示箇所を順次撮影する基本動作を実現し、多数の固定カメラを配置せずにラック外観を監視する方式の実現可能性を示した。本研究の成果は、2024 年度の情報処理学会 IOT 研究会[2]および 2025 IEEE ICCE-Taiwan[4]で発表した。

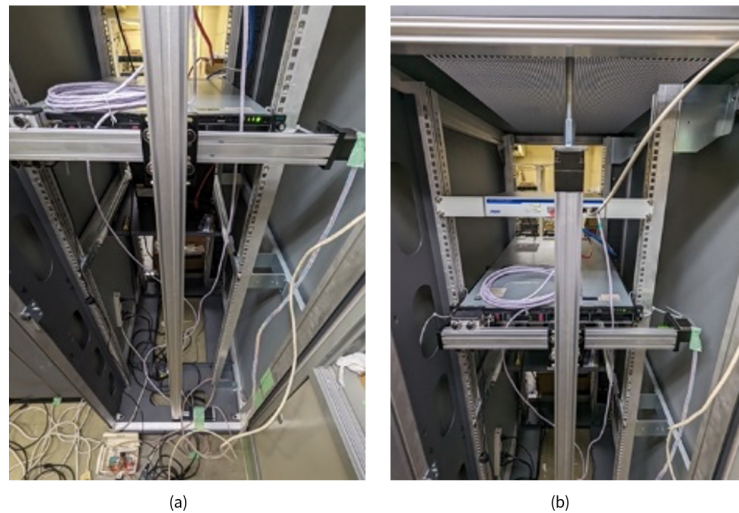


図 5 フルラックを対象としたラック監視レール試作機：(a) 側面、(b) 正面

3-2 監視データの送信性能

モバイル SINET を介し、監視装置から mdx 上の収集サーバへ、タイムスタンプ、ラック番号、U 位置、画像処理結果および約 1MB の画像を送信した。Apache Kafka では TLS 暗号化を使用しない試作条件とし、1 回の監視データ送信時間を 5 回測定した。5 回の測定結果とその平均値を表 1 に示す。送信時間は 0.9264～0.9853 秒であり、平均は 0.9525 秒であった。全測定が 1 秒未満で完了し、レールが次の監視地点へ移動する時間内に送信処理を進められる見通しを得た。

この結果により、画像を含む監視データを遠隔の収集基盤へ送る基本性能を確認した。また、監視対象ネットワークとは独立した経路を用いるため、対象機器の通信障害時にも、取得した監視画像を遠隔の収集基盤へ送信できる構成となった。SINETStream を用いた実装では、監視プログラムが通信ライブラリの詳細を直接扱う必要を減らし、Kafka サーバや収集先の設定を外部化できた。これにより、複数ラックや異なる拠点へ展開する際の再利用性を高めた。

ただし、評価時点では TLS 暗号化のオーバーヘッド、電波状態が変化する条件、複数監視装置から同時に画像を送る条件を十分に評価していない。したがって、平均 0.9525 秒という結果は試作環境での基礎値であり、大規模展開時には暗号化、輻輳、保存処理を含む総合評価が必要である。

1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均
0.9393 秒	0.9473 秒	0.9853 秒	0.9640 秒	0.9264 秒	0.9525 秒

表 1 監視装置から収集サーバへの監視データ送信時間

3-3 監視情報の構造化と確認

知識ベースの試作により、機器メーカー、種別、型番、LED 画像、表示状態、障害事例、対応情報を関係として登録し、機器情報から関連画像や状態を検索できることを確認した。従来の表形式データベースでは、

機種ごとに異なる表示箇所や一つの表示が複数の状態と関係する場合に表構造が複雑になりやすい。グラフ構造を用いることで、機器を中心とした検索だけでなく、観測結果や状態を起点とした検索も記述しやすくなった。

管理者用画面では、収集した画像とメタデータを対応付けて表示する機能を実装した。これにより、遠隔地の管理者が「いつ、どのラックのどのU位置にある機器を撮影したか」を確認できる。自動判定の精度だけに依存せず、原画像を提示して管理者が判断できることは、障害対応における誤判定リスクを抑える上で重要である。知識ベースに関する研究の成果は、IOTS 2023 で発表した[1]。

3-4 管理者視点による監視箇所登録

スマートグラスを用いた試作では、AR マーカーからラック位置を取得し、機器型番を入力した後、監視対象となる LED を撮影する一連の手順を Android 上で実装した。管理台帳だけで監視位置を定義するのではなく、実際のラック前で管理者が注目した場所を登録できるため、機器交換や配置変更に追従しやすい。登録情報をラック監視レールの移動座標、撮影対象、知識ベースの機器情報へ対応付けることで、人が行う確認と自動監視を接続する枠組みを示した。

一方、位置登録の精度、作業時間、装着性、異なる熟練度の管理者間での登録差については、十分な人数を対象とした評価には至らなかった。また、機器の型番を自動認識する機能や、複数の LED が密集する場合の位置指定方法も今後の課題である。本研究の成果は、運用経験全体を自動抽出するものではなく、管理者が確認する対象を明示的に取得する初期段階に位置づけられる。

3-5 シミュレータによる統合検証

最終年度に開発したラック監視レール・シミュレータでは、監視地点への移動、撮影イベント、メタデータ生成、SINETStream を用いた送信、収集側での受信という流れを、実機を動作させずに再現した。これにより、監視地点の座標や順序を変更した場合の動作確認、収集サーバの受信処理、管理画面への反映を繰り返し検証できた。シミュレータから実機と同じ形式のデータを送ることで、実機完成前や保守中でも上位システムの開発を継続できる。

ブラウザ型デジタルツインでは、ラックとレール機構を 3D 空間に表示し、縦横の移動と撮影地点を可視化した。物理装置の状態とデジタル表示を対応付けることで、管理者は現在位置と次の動作を直感的に把握できる。特に、誤った監視座標や移動順序を実機試験前に発見できる点、遠隔の共同研究者が同じ画面で動作を確認できる点が有効である。シミュレータの成果は IOTS 2025、デジタルツインの成果は 2026 IEEE ICTT-Pacific で発表した。

以上により、ラック監視レール、監視装置、独立通信経路、収集サーバ、知識ベース、監視箇所登録、シミュレータを個別に構築し、共通の監視データとメッセージを介して連携させた。本研究の3年間の成果は、単一の完成製品の構築にあるのではなく、物理監視を運用へ導入するために必要な機構、通信、設定、データ管理および事前検証の要素技術を整理し、実装した点にある。

4 考察

本研究により、サーバラック内の ICT 機器を対象とする移動型外観監視について、フルラック規模の機構と遠隔収集の実現可能性を示した。固定カメラ方式と比較すると、移動型は1台のカメラで複数位置を撮影でき、機器追加に対して監視地点をソフトウェア上で追加できる利点がある。一方、すべての地点を同時に観測できないため、監視周期、移動距離、障害の緊急度を考慮した巡回計画が必要となる。常時変化する表示を監視する用途と、障害発生後に詳細確認する用途では求められる速度が異なるため、本システムは既存の論理監視を置き換えるのではなく、アラート発生時の追加観測や定期点検を補完する位置付けが適切である。

独立通信経路を用いる構成は、監視対象ネットワークの障害時にも画像を取得する上で重要である。モバイル SINET とデータ創成基盤の mdx を利用したことで、現地装置と遠隔サーバを迅速に接続し、研究開発に必要な計算・保存資源を柔軟に準備できた。SINETStream によるメッセージング処理の共通化は、実機とシミュレータの双方で同じ収集処理を利用することにもつながった。今後は、TLS を含むセキュリティ設定、複数装置の同時接続、通信断からの再送、保存容量の見積りを含め、実運用を想定した非機能要件を評価す

る必要がある。

運用管理者の視点を取り込むという観点では、スマートグラスによる監視箇所登録と知識ベースにより、「どこを見るか」と「観測結果をどう解釈するか」をデータとして関連付ける枠組みを得た。しかし、本研究で取得・構造化できた運用経験は、主として監視対象の選択と登録に関するものであり、障害状況に応じて次に何を確認するか、どの時点で復旧操作へ移るかといった戦略的な知識までは自動化していない。今後は、既存監視から得られる論理情報と画像等の物理観測を統合し、複数の原因を区別するために次の観測地点を選択する能動診断へ発展させる余地がある。

機構面では、ラック内へ取り付けるための厚みと重量、異なるラック構造への適応、位置誤差の累積、長時間連続運転時の耐久性が課題として残った。実用化には、薄型レーン、軽量の台座、絶対位置センサ、接触検知、緊急停止、電源・通信ケーブルの取り回しを含む再設計が必要である。また、前面扉を閉じた状態での観測や、複数ラック間の移動は本研究の対象外であり、設置方式と利用場面を明確にする必要がある。

シミュレータとデジタルツインは、これらの機構制約をすべて解消するものではないが、実機を動かす前に監視座標、移動順序、メッセージ処理を確認する手段として有効である。特に、物理装置の開発と上位システムの開発を分離し、共通インタフェースを通じて並行作業できることは、研究開発期間の短縮と安全性向上に寄与する。今後は、実機から取得した位置・電流・振動等のデータをデジタルツインへ反映し、異常の予測や保守時期の推定へ展開することが考えられる。

5 まとめ

本研究では、運用管理者の視点と経験を活用し、サーバラック内の ICT 機器の LED や前面表示等の物理状態を遠隔取得する自動ラック監視システムを開発した。3 年間の研究を通じて、42U のフルラックを対象とする二軸ラック監視レーン、Raspberry Pi と Web カメラによる監視装置、モバイル SINET、mdx、Apache Kafka および SINETStream を用いたデータ収集基盤、Neo4j による知識ベース、スマートグラスを用いた監視箇所登録、ラック監視レーン・シミュレータおよびブラウザ型デジタルツインを構築した。約 1MB の画像を含む監視データは、試作環境において平均 0.9525 秒で収集サーバへ送信できた。フルラック規模で縦横移動と撮影を行う基本機構を実現し、実機と同じ形式のデータを生成するシミュレータによって、制御から収集までの流れを安全に検証できるようにした。また、管理者が現場で注目するラック位置、機器型番、LED 位置を登録し、観測画像と状態・対応情報を関連付ける枠組みを示した。

本成果は、既存の論理監視を補完し、電源断、管理通信断、前面表示による警告等の物理的な状況を遠隔確認するための基盤となる。今後は、装置の薄型・軽量化、位置補正と安全機構、暗号化通信を含む性能評価、画像認識精度の向上、監視順序の最適化、熟練者の診断戦略の取得を進めることで、少人数で複雑な情報基盤を維持するための実用的な保守支援システムへ発展させる予定である。

謝辞

本研究は、公益財団法人電気通信普及財団の研究調査助成を受けて実施した。モバイル SINET、mdx および SINETStream を利用した研究開発では、国立情報学研究所の協力のほか、同研究所の小林久美子氏、北川直哉氏、竹房あつ子氏、櫻田武嗣氏をはじめとする関係各位の協力を得た。また、研究期間中のシステム開発と検討、評価にご協力いただいた群馬大学および広島大学の関係者に謝意を表する。

【参考文献】

- [1] 小川康一、浜元信州:ICT 機器自動監視システムの知識ベース構築手法の検討, インターネットと運用技術シンポジウム論文集 2023, pp.81-82, 2023.
- [2] 小川康一、浜元信州:ラック全体の IT 機器を監視するラック監視レーンの設計と開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2024-IOT-65, No.14, pp.1-5, 2024.
- [3] 小川康一、浜元信州, 小林久美子, 北川直哉, 竹房あつ子:SINETStream を用いた ICT 機器自動監視システムのデータ収集基盤構築と評価, インターネットと運用技術シンポジウム論文集 2024, pp.105-106, 2024.

- [4] K. Ogawa, “Design and Development of a Full-Rack Monitoring Rail System for Servers and Network Devices,” 2025 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan), 2025, doi: 10.1109/ICCE-Taiwan66881.2025.11208104.
- [5] 小川康一, 小林久美子, 櫻田武嗣, 北川直哉, 竹房あつ子: SINETStream を利用したラック監視レール・シミュレータの開発と評価, インターネットと運用技術シンポジウム論文集 2025, pp.90-91, 2025.
- [6] K. Ogawa, “A Digital Twin for Rack Monitoring Rail Systems Using Browser-Based 3D Simulation,” 2026 IEEE 2nd International Conference on Consumer Technology (ICCT-Pacific), 2026, doi: 10.1109/ICCT-Pacific69083.2026.11518694.
- (注書き) 本報告書に掲載した写真・図は, 研究代表者が本研究の実施過程で作成または撮影したものである。

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
ICT 機器自動監視システムの知識ベース構築手法の検討	インターネットと運用技術シンポジウム 2023	2023 年 11 月
ラック全体の IT 機器を監視するラック監視レールの設計と開発	情報処理学会 IOT 研究会 (IOT65)	2024 年 5 月
SINETStream を用いた ICT 機器自動監視システムのデータ収集基盤構築と評価	インターネットと運用技術シンポジウム 2024	2024 年 11 月
Design and Development of a Full-Rack Monitoring Rail System for Servers and Network Devices	2025 IEEE ICCE-Taiwan	2025 年 7 月
SINETStream を利用したラック監視レール・シミュレータの開発と評価	インターネットと運用技術シンポジウム 2025	2025 年 12 月
A Digital Twin for Rack Monitoring Rail Systems Using Browser-Based 3D Simulation	2026 IEEE ICCT-Pacific	2026 年 3 月