

Title	IoTシステム開発の複雑さを低減するための統合的アーキテクチャ
Author(s)	栗林, 健太郎
Citation	
Issue Date	2025-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/19921">http://hdl.handle.net/10119/19921</a>
Rights	
Description	Supervisor: 篠田 陽一, 先端科学技術研究科, 博士

## 概要

本研究は、異種混合的 (heterogeneous) な構成が当然視されてきた IoT システムに対して、開発の複雑さを低減するために動的 (dynamic) かつ同型 (isomorphic) な IoT システムアーキテクチャ-Dynamic Isomorphic IoT System Architecture-を提案する。従来の IoT システム開発では、デバイス層、エッジ層、クラウド層それぞれで異なる技術やプログラミング言語が用いられることが多く、その異種混合性から開発効率の低下や相互運用性の問題が生じていた。また、各層間の連携やデータフローの複雑性が増大し、開発者の負担が増加している。

本研究では、これらの課題を解決するために、以下の3つの提案を行う。第1に、IoT システム全体を単一のプログラミング言語で統合的に設計・開発することを可能とするデータフロー基盤を提案・実装する。具体的には、Elixir 言語とそのエコシステムを活用し、デバイス層からクラウド層まで一貫した開発環境を構築する。これにより、各層間の技術的なギャップを解消し IoT システム開発の複雑さを低減する。第2に、IoT デバイス内のアプリケーションに対して、開発者がコードの変更を動的に適用できる手法を提案・実装する。従来は、デバイスへのコード変更にはファームウェアの更新や再起動が必要であり、開発サイクルが遅延していた。提案手法では、実行中のデバイスに対してコードの変更を即時に適用できるため、迅速な開発サイクルが実現し、開発効率が向上する。第3に、WebAssembly (Wasm) を活用した動的・同型な IoT システムアーキテクチャを提案・実装する。単一の言語による開発では、新技術の取り込みに制約が生じる可能性がある。また、動的な更新方式を指針なく持ち込むことはシステムの設計に混乱をきたしかねない。提案手法では、ポータブルな特性を有する Wasm を用いて必要な機能を容易に取り込み、各層で共通の Wasm バイナリを使用し、その部分を動的に更新可能にすることで、統合性と柔軟性を両立させる。

これらの提案手法の有効性を検証するために、実際のユースケースに基づく実装と性能評価を行った。第1の提案では、データフロー基盤として PratiPad を開発し、Elixir 言語を用いてデバイス層からクラウド層まで一貫したデータフローの設計・実装が可能となることを示した。これにより、多階層から成される現実的な IoT システムを構成可能で、データフローを見通しよく記述できる技術基盤を提案・実装し、また、それが現実的な規模で有効なものであることを示した。第

2の提案では、IoTデバイスへのコード変更の動的適用手法を提案・実装し、既存のファームウェア更新方式と比較して、更新に要する時間を大幅に短縮できることを実験的に示した。これにより、開発サイクルが迅速化し、開発者の負担が軽減される。第3の提案では、画像認識や機械学習モデルを用いたユースケースにおいて、Wasmを活用した同型IoTシステムの有用性を評価した。各層で共通のWasmバイナリを使用することで、機能の一貫性と再利用性を確保しつつ、動的な機能更新が可能であることを示した。

総合的に、本研究の提案手法は、IoTシステム開発における異種混合性の課題を解決し、開発効率の向上とシステムの柔軟性を両立させることにより、IoTシステム開発の複雑さを低減することができる。これにより、IoTシステムの迅速な開発・展開や、将来的な技術革新への対応が可能となり、IoT分野の発展に大きく貢献するものである。

**キーワード:** IoTシステム開発, 動的・同型IoTシステム, Elixir, Nerves, WebAssembly