



**Title:** Scheduling and Transaction Management of Control Commands for Logical Actuators on Logical IoT Cloud (論理 IoT クラウド上の論理アクチュエータにおけるスケジュールとトランザクション管理の手法)

**Authors:** Takayuki Kushida, Yuka Kato (串田 高幸 (東京工科大学 教授), 加藤由花 (東京女子大学 教授))

**Journal:** IEEE 12th International Conference on Cyber Security and Cloud Computing, CSCloud 2025

**掲載年月:** 2025 年 11 月

### 研究概要:

サイバーフィジカルシステム (CPS) では、IT 基盤の主要なコンポーネントとしてクラウド-IoT 統合プラットフォームが必要となっている。現在までに数多く研究プロジェクトによって、この統合プラットフォームに関連した研究が行なわれてきている。我々の研究グループでは、Logical IoT Cloud (LIC) を提案している。LIC は、Sensor Cloud の拡張であり、その主要なコンポーネントとして、Logical Sensor (LS) と Logical Actuator (LA) を提案している。LIC 上の Virtual Sensor (VS) とその拡張である LS は、様々な機能を複数のアプローチによって研究されてきている。一方で、Virtual Actuator (VA) とその拡張である LA の研究は、十分になされていない。また、VA の拡張である LA は、LS と同じレベルのアクセスで利用できるようにする必要がある。

この論文では、LIC 上で利用可能な LA のアーキテクチャとその実装を提案している。一般的に物理アクチュエータである Physical Actuator (PA) は、1 つの IoT アプリケーションによって排他的に占有されて使用されている。クラウド-IoT 統合プラットフォームのコンピューティング資源の一部として利用するためには、複数の LA から一つの PA に使うときに、LIC の管理機能によってアクチュエータの機能を共有できるようにすることが必要である。

典型的なユースケースとしては、複数の IoT アプリケーションから LIC に対して LA を使用したアクチュエータへのアクセスを、それぞれのアプリケーションが独立して要求することを想定する。LIC では、これらの独立した要求があった場合、IoT アプリケーションに対してアクチュエータ機能のアクセスを調整して提供する。LIC の LA のスケジューリングとトランザクション管理として、(1) トランザクションモード、(2) パススルーモード、(3) エミュレーションモードの 3 つの動作モードを提案している。これらの動作モードを使うことで PA を効率的に制御することをサポートする。この結果、複数の IoT アプリケーションは、LIC 上の LA を使って PA を利用することができる。

### 研究背景:

CPS における主要な基盤技術として、クラウド-IoT の統合プラットフォームが提案されている。このプラットフォームでは、センサを仮想化した VS は、Sensor Cloud をはじめとして、数多くのセンサに関連した研究開発が現在までおこなわれてきている。一方で統合プラットフォームにおいて、アクチュエータを仮想化した VA に関する研究は、まだ十分に行われていない。VA には、大きく分けて次の 3 つの課題がある。

#### (1) 仮想アクチュエータ (VA) と論理アクチュエータ (LA)

LIC では、IoT デバイスを簡単に利用できるようにするため LS と LA を提供している。LA には、複数の VA があるが、これらは LIC 上の物理アクチュエータを制御するための基本的な機能しか備えていない。物理アクチュエータは、単一のハードウェアであって、複数のユーザーが LA を使用できるようにする必要がある。そのため、VA は複数の IoT アプリケーションから REST API を使って制御できるように設計する必要がある。

#### (2) 物理アクチュエータ (PA) の独占した操作

IoT アプリケーションは、コマンドによって物理アクチュエータに特定のアクションを実行して、物理環境になんからの作業をする。例えば、2 つの IoT アプリケーションが、LED ランプのオンオフを同時に制御することを想定する。このとき、LED ランプは、オンまたはオフのどちらかにする単純な物理アクチュエータである。IoT アプリケーション 1 が LED ランプを制御するときに排他的に制御する必要がある。そのため、IoT アプリケーション 2 が同じ LED ランプを制御するためには、IoT アプリケーション 1 が LED ランプを使っていないときであることが必要である。このように複数の IoT アプリケーションが同時に同じ PA を使用するとき排他的な制御が必要になる。すべての PA、LIC 上の複数の IoT アプリケーションに対して同じ問題がある。

### (3) 物理アクチュエータ (PA) の迅速な制御

自動運転の IoT アプリケーションは、自動運転の車を制御するために PA の迅速な動作が必要になる。そのため、一連の制御コマンドを PA に対して遅延なく迅速に送って動作をさせることが必要である。例えば、自動運転の車は、歩行者が道路を横断しているときに、すぐに停止する必要がある。このときの自動運転の車を制御する IoT アプリケーションは、PS で歩行者を検知して、PA を使って車を迅速に停止または減速させることになる。IoT アプリケーションでは、一連の制御コマンドを余分な処理を介さずに転送することで、PA に対して素早い動作をさせる必要がある。

#### 研究成果：

この研究の成果として、論理 IoT クラウド上の複数の IoT アプリケーションが LS と LA を使用することによって、現実世界とリンクする CPS を開発できることである。特に LA を使って複数の IoT アプリケーションが、論理 IoT クラウドの機能によって PA を排他的に操作できるようになる。

#### 社会への影響：

論理 IoT クラウドを CPS のプラットフォームとして、複数の IoT アプリケーションを動作させることによって、LS と LA をこれらの複数の IoT アプリケーションで共有できるようになる。もともと PS や PA は、ハードウェアとして単体であり、単一の IoT アプリケーションでそれぞれ独立して使っている。LIC では、LS と LA をクラウド資源の一部として利用できることになったことによって、複数の IoT アプリケーションを LIC 上で同時に動作させることができるようになる。

#### 専門用語：

**Cyber-Physical Systems (CPS)**：デジタルでの環境と実環境をフォードバックループで結びつけて構築されている社会に有用なシステムのこと。

**Internet of Things (IoT)**：物理的なものが、インターネットのように相互に接続して社会的に有用なことをすることの一連の概念。

**Virtual Sensor**：物理センサを仮想化してソフトウェアでの論理オブジェクトとして、物理センサと同等の機能を持たせることができる。

**Virtual Actuator**：物理アクチュエータを仮想化してソフトウェアでの論理オブジェクトとして、物理アクチュエータと同等の機能を持たせることができる。

**Sensor Cloud**：Virtual Sensor をクラウドのリソースの一種類として管理できるようにした拡張クラウドのこと。

**Sensors**：物理量を変換して電気信号あるいはデジタル値に変換するハードウェア。

**Actuators**：電気信号あるいはデジタル値をもとに、実環境に対して何らかの動作をするハードウェア。