

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 低遅延・自律性を実現するフローティングサイバーフィジカルシステムと広域連携の研究開発
- ◆受託者 国立大学法人九州工業大学、株式会社KDDI総合研究所
- ◆研究開発期間 令和4年度～令和6年度（3年間）
- ◆研究開発予算（契約額） 令和4年度から令和6年度までの総額295百万円（令和6年度100百万円）

2. 研究開発の目標

MEC・デバイスエッジ連携によるフローティングコンポーネント技術、フローティングサイバーフィジカルシステム (F-CPS) 基盤実現に向けた Beyond コンテナ実行基盤により得られる成果を統合することで、低遅延・自律性を実現するフローティングサイバーフィジカルシステム基盤を構築し、ユースケースに基づいた実証実験を日本および米国のBeyond 5G テストベッドを用いて実施することでその有効性、実現可能性を評価する。

3. 研究開発の成果

研究開発項目1: MEC・デバイスエッジ連携によるフローティングコンポーネント技術

- 大容量データおよび空間で使用する「機能」を滞留させるためのフローティングコンポーネント技術を提案・評価する
- コンポーネントが効率的且つ高い信頼性を担保するためのMEC連携技術を提案・評価する
- F-CPS間連携のための多対多ファイル転送技術を提案・評価する
- P4ハードウェア/ソフトウェアスイッチを適切に利用するための知見を収集する

研究開発項目2: フローティングサイバーフィジカルシステム基盤に向けた Beyond コンテナ実行基盤技術

- プロセッサやOSが異なるハードウェア上で共通のアプリケーション実行可能なBeyondコンテナ基盤を開発する
- Beyondコンテナの挙動を監視する技術を提案・評価する
- 滞留機能を動的に増減するデバイスエッジ上で分散処理を実現するミドルウェア技術を開発する
- デバイスのリアルタイムな位置情報を考慮して滞留機能を配置、移動するスケジューリング手法を検討・開発する

研究開発項目3: フローティングサイバーフィジカルシステム統合実証実験

- 日米横断型テストベッドを構築する
- 研究開発項目1および2の要素技術を統合し、F-CPS基盤を実現する
- ユースケースに基づいた実証実験を実施する
- 日米間におけるF-CPS連携による実証実験を実施する

研究開発成果: フローティングコンポーネント技術の確立

- F-CPSを実現するためには地域内のデバイスでデータを効果的且つ安全に共有する技術が必要
- ブロードキャストによりデータ流通を実現する大容量データ滞留システムについて、データ流通方法とデータ到達の高信頼化技術を提案、シミュレーションと実機実験により評価した
 - 連携監査する機構「多層化ブロックチェーン」を提案し、想定外の挙動を行うノードを迅速に検出する手法を提案、シミュレーションおよび実機実験により実現可能であることを示した

研究開発成果: 日米テストベッド接続を想定したプログラマブルネットワーク基盤を検証

- F-CPS間連携を実現するプログラマブルデータプレーンネットワークに関する技術が必要不可欠
- 多対多ファイル転送に向けて、スイッチ内キャッシュと転送中データ置換えを利用する一対多転送手法の有効性を示した
 - P4スイッチの各種要素機能を異なるソフトウェア実装で検証しつつ、今後の実験に有用なハードウェアP4スイッチのための知見を得た

研究開発成果: Beyond コンテナ実行基盤の確立

- F-CPSを実現するためにはハードウェアやOSに依存しないアプリケーション実行基盤が必要
- 軽量性と高可搬性を兼ね備えたソフトウェア実行基盤技術としてWebAssembly(Wasm)技術を用いたWasmコンテナ実行基盤を開発した
 - Unikernelを用いるBeyondコンテナのシステム情報および通信を安全に監視するシステムを開発した
 - デバイスエッジ間の連携動作におけるメッセージングプロトコルと、コンテナ配置を制御するスケジューリング処理自体をWasmコンテナ化した分散型管理機能を実現した

研究開発成果: F-CPS 統合実証実験に成功

- 上記の研究成果を統合しF-CPSを実現する
- プログラマブルデータプレーンネットワークを介した日米横断型テストベッド環境を構築
 - 屋内環境情報共有、連合学習基盤をユースケースとしたF-CPS 統合試験実験を実施
 - 日米横断テストベッドを用いたF-CPS間連携として、AR/XRによる空間共有アプリケーションを開発し、九州工業大学及びニューヨーク市立大学において広域連携実証実験を実施した
 - 一部成果を国際会議 SC24 のデモ展示で成果報告した

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
4 (0)	0 (0)	4 (3)	119 (41)	0 (0)	2 (1)	3 (2)	15 (7)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- (1) 研究論文 4 件(内、国際共著 1件)、その他研究発表108件(内、国際共著 11件)
本研究開発において研究論文(採録済)4件、その他研究発表において108件の研究報告を実施し、同分野における様々な研究者と活発に議論を行っている。米国の連携先であるCCNYと国際共著論文として研究論文1件、国際会議に11件採択されている。また、国際会議のキーノート、電子情報通信学会の研究会の招待講演などにおいても発表している。
- (2) 国際ワークショップを開催
年に2回、ニューヨーク市立大学との国際ワークショップを開催
本ワークショップでは、日本からNICT、KDDI総合研究所、九州工業大学、立命館大学、海外からニューヨーク市立大学、サンノゼ州立大学、台湾科技大学から研究者が参加した。また、通信・ネットワーク技術に関連する最新の研究報告を実施すると共に、本研究開発に関係する日米間のテストベッド活用について今後の連携方針、研究推進計画について議論した。
- (3) 米国における実験を実施
2024年11月、国際会議 SC24 の展示会において、日米間のF-CPS連携のデモンストレーションを実施した。また、2024年12月、日米横断型テストベッドを用いてニューヨーク市立大学と九州工業大学を接続し、XR/ARアプリケーションを用いた F-CPS 実証実験を実施した。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- フローティングサイバーフィジカルシステムの主なユースケースとして車両情報や人流情報等のデジタルツインを活用した交通制御最適化やMaaS (Mobility as a Service)の高度化、自治体施設内での環境情報や施設情報の案内等の地域住民向けサービスといったスマートシティやスマートモビリティサービスを中心とした活用が想定される。そこで情報滞留を始めとした情報配信技術に関してITU-T SG20 (Internet of things (IoT) and smart cities and communities (SC&C))における標準化を検討していく。
- イベント特化型の情報提供アプリはフローティングサイバーフィジカルシステムにとって非常に親和性が高く、ユースケースとして適切であることを確認できた。今後はこのユースケースでの利用を軸として、社会展開を検討する。
- プログラマブルデータプレーンネットワークで利用される技術はハードウェアの開発ベンダーに大きく左右される。そのため、常に最新の動向に注意しつつ、今回構築した日米横断型のプログラマブルデータプレーンネットワークを用いた研究開発を推進する予定である。
- Wasmコンテナ技術についてはコンテナエンジンや管理基盤等のコアコンポーネントを2025年度上半期を目標にオープンソース化を行うことで、アプリ開発者が自身のアプリケーションやサービスにおいてWasmコンテナを容易に利用できる環境を整備するとともにコミュニティ型の開発にすることで継続的に最新のWasm仕様に適合することを目指す。
- Cloud Native Computing Foundation等の団体の主催するカンファレンスにおいて本技術に関連した対外発表等を行うことでWasmコンテナの特徴である高可搬性や軽量性を訴求し、さらに国内外での利用促進や新しいユースケースの開拓を図る。

6. 外国の実施機関

ニューヨーク市立大学 (City College of New York, アメリカ合衆国)