



(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	4	2
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	78	51
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	1	0
	展示会	1	0
	受賞・表彰	8	4

(7) 具体的な実施内容と成果

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

- 研究開発項目 1-a 車両・デバイスエッジを用いたフローティングコンポーネント技術
  - ・ 令和 4 年度に引き続き、F-CPS における機能滞留を想定した大容量データ滞留方式の改良、シミュレーション評価を実施した。効率的なデータ拡散・データ滞留を実現し、空間全体のデータ送信数を削減しつつ高いカバー率を実現した。
  - ・ 屋内における時空間データ滞留実現に向けて、GPS 情報を利用しない新しいデータ送信制御手法を提案し、実機による実験からその有効性を評価した。
  - ・ 研究開発項目 3-a における統合試験実験に向けて、時空間データ滞留方式を実装し、ユースケースを想定したデータ滞留について検証した。
- 研究開発項目 1-b 効率的かつ高信頼な F-CPS 運用を実現する MEC 連携に関する研究
  - ・ 令和 4 年度に提案した F-CPS エッジデバイスの異常動作の検出による監査機構の「高度化」を目指し、提案手法によって検出した異常動作の発生要因 (i) 送信/ (ii) 受信デバイス、(iii) 通信環境) を特定するデータ分析手法を新たに考案し、シミュレーション評価を通じてその有効性を確認した。
  - ・ F-CPS エッジデバイスの異常動作の検出による監査機構の「広域化」を目指し、データの運用・管理ポリシーや通信環境が異なる複数の地域間での連携時のエッジデバイスの異常動作の検出手法の実機実装方法について検証した。
  - ・ 研究開発項目 3-a における統合試験実験に向けて、監査機構を実機に実装し、実機環境において監査機構の基礎評価を行い、有効性を確認した。
- 研究開発項目 1-c 広域の F-CPS 間連携技術に関する研究
  - ・ 多対多データ転送に関して、In-network キャッシュを利用した中継ノードでのデータ書き換えを活用し、5 つ以上の異なる 1 対多データ転送の並列実行のスケジューリング手法を改善し、20 個以上のノードから成るネットワークにおいてファイル転送完了時間を平均 10%以上短縮した。
  - ・ 品質劣化リンクの実時間検知に関して、In-network 処理を利用したスイッチ間連携による分散化によって、コントローラを介さない劣化リンク検知手法を開発し、20 個以上の仮想リンクを持つネットワークにおいて検知完了時間を平均 10%以上短縮した。

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コンテナ実行基盤技術

- 研究開発項目 2-a 軽量性と高可搬性を備えたコンテナ技術
  - ・ WebAssembly(Wasm) コンテナ実行基盤に対して Web 通知機能を用いたユーザへの情報提示インタフェースの設計、実装を完了。研究開発項目 3-a にて実施した統合試験実験において滞留する情報の配信が行えることを検証した。
  - ・ Wasm コンテナ実行基盤において Wasm コンテナ内から NATS プロトコルを用いたインタフェースおよび分散スケジューラ機能に対応する制御機構の基盤への実装が完了。本実装を用いてスケジューラコンテナがコンテナ実行基盤と通信し、コンテナ実行基盤と協調して滞留機能を実行する Wasm コンテナを配置できることを確認した。
  - ・ 来年度、研究開発項目 3-b における広域連携実証実験に向けて Wasm コンテナから Web 上で XR 情報を表示するための WebXR 技術について API 調査及び初期検証を先行実施

した。

- 研究開発項目 2-b Beyond コンテナのためのセキュリティ監視技術
  - ・ Unikernel を用いる Beyond コンテナの通信監視時の性能を向上させ、VMI を用いたコンテナの外からのシステム監視を実現した。
  - ・ Unikernel を用いる Beyond コンテナを VMI を用いて様々なハイパーバイザ上で監視できるようにした。
  - ・ Wasm を用いる Beyond コンテナの状態を VMI を用いてコンテナの外から監視できるようにし、システムインタフェースの利用状況も監視できるようにした。
- 研究開発項目 2-c 滞留機能の分散処理に対応するミドルウェア技術
  - ・ 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性能評価を完了し、NATS プロトコルを用いた Pub/Sub 型通信を可能とするインタフェースの設計および実装を完了。本インタフェースを用いた NATS プロトコルによる Pub/Sub 型通信および Query-Response 型通信によるメッセージの送受信を行い、Wasm コンテナ実行基盤上で Wasm コンテナが外部サーバやコンテナ間で通信できることを確認した。
  - ・ Wasm コンテナのステート情報を保持、移行するマイグレーション機能に関する設計及びコンテナ実行基盤への機能実装を完了。マイグレーション機能により 1 分以内にマイグレーションを完了できることを確認した。
- 研究開発項目 2-d 機能滞留に対応する機能スケジューリング基盤技術
  - ・ 分散型機能スケジューリング基盤についてスケジューリングフローのシーケンスおよびインタフェースの設計を完了。Wasm コンテナ管理基盤(CMS)に対してスケジューラコンテナハスケジュールに必要な情報を配信する機能の追加およびコンテナエンジンノードのリソース状況や対応インタフェースに応じてスコア評価とフィルタリングを分散して実施するスケジューラ機能を Wasm コンテナとして実装完了した。
  - ・ 開発した分散型スケジューラに対して 1,000 ノードの仮想ノードを Wasm コンテナ実行基盤へ接続、1~10 台のスケジューラコンテナが分散して今年度中に評価実験によって最大 10,000 個のコンテナを同時にスケジューラする評価実験を実施、全てのコンテナのスケジューラ処理を正常に完了することを確認した。

### 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

- 研究開発項目 3-a F-CPS 基盤の開発とユースケースに基づいた実証実験
  - ・ 研究開発項目 1、2 の成果の一部を統合し、ユースケースに基づいた実証実験に向けた統合試験実験を実施した。
  - ・ 九州工業大学 戸畑キャンパスにある GYMLABO 内において、NICT B5G テストベッドに設置した MEC サーバから機能（地域特化型アプリケーション）を配信、Wi-Fi ダイレクトを用いたデータ滞留システムによりデータを拡散・滞留することで、ユーザ（モバイル端末）が地域内情報をリアルタイムに利活用可能であることを明らかにした。
- 研究開発項目 3-b ポリシーの異なる F-CPS 間の広域連携実証実験
  - ・ 2024 年度の実証実験に向けて日米間を接続する P4 プログラマブルネットワークを用いるための API の設計・開発を実施した。
  - ・ JGN の P4 テストベッドの試行利用を進めると共に九工大および COSMOS との VLAN 接続を完了した。

## (8) 今後の研究開発計画

### 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

- 研究開発項目 1-a 車両・デバイスエッジを用いたフローティングコンポーネント技術
  - ・ 地域内で使用する「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の改良、評価を実施
  - ・ F-CPS 実現に向けて屋内向けに時空間データ滞留システムの改良を行い、実機実験により有効性を評価
  - ・ 上記の成果を研究開発項目 3 と統合、実証実験を実施
- 研究開発項目 1-b 効率的かつ高信頼な F-CPS 運用を実現する MEC 連携に関する研究

- 監査機構の「高信頼化/汎用化」のための学習の効率化手法を新たに考案し、ネットワークシミュレータを用いて、多様な通信環境における提案手法の有効性を示す。
- 監査機構の「広域化」を実現する MEC 間の連携制御機構を改良し、テストベッド環境上で実証実験を行い、有効性を評価
- 上記の成果を研究開発項目 3 と統合、実証実験を実施
- 研究開発項目 1-c 広域の F-CPS 間連携技術に関する研究
  - 多対多ファイル転送においては、In-network キャッシュを利用した中継ノードでのデータ書き換えのスケジューリングおよび異なるタイミングで参加する送信者を含む場合のスケジューリングの最適化を進める
  - 品質劣化リンク実時間検知においては、In-network 処理を利用したスイッチ間連携によるコントローラを介しない劣化リンクの高速検知をさらに改良する
  - 上記の成果の一部は P4 機能を持つ広域テストベッドを利用して実験・検証し、実用化へ向けた課題を抽出する

#### 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コンテナ実行基盤技術

- 研究開発項目 2-a 軽量性と高可搬性を備えたコンテナ技術
  - 研究開発項目 2-c および 2-d で研究開発を進めたミドルウェアおよびスケジューリング技術を統合し、WebAssembly (Wasm) ベースの Beyond コンテナ実行基盤の構築を実施
  - Wasm コンテナ 向けの WebXR 機能およびインタフェースを拡張開発し、XR デバイスの制御をおこなう Wasm コンテナの研究開発を実施
  - 上記の成果を研究開発項目 3 と統合、実証実験を実施
- 研究開発項目 2-b Beyond コンテナのためのセキュリティ監視技術
  - Unikernel を用いる Beyond コンテナについて、VMI を用いてカーネルデータを監視する性能および、コンテナの通信を監視するオーバヘッドを調査
  - Wasm を用いる Beyond コンテナについて、コンテナの状態やシステムインタフェースの利用状況を監視する性能を調査
  - 開発したセキュリティ監視技術を用いて Beyond コンテナの異常な挙動が検知できることを検証
- 研究開発項目 2-c 滞留機能の分散処理に対応するミドルウェア技術
  - NATS プロトコルによる Pub/Sub 型メッセージシステムを用いて Wasm コンテナ間の連携動作を確認し、複数の Wasm コンテナがチェーン状に連携して情報を処理することで F-CPS における滞留機能が実現可能であることを実証
  - 滞留機能のステート情報移行技術において、メモリ情報の送受信インタフェースおよびタイミングを改善、毎秒 1 台のデバイスエッジが参加/離脱する模擬環境において評価を実施
- 研究開発項目 2-d 機能滞留に対応する機能スケジューリング基盤技術
  - 分散型スケジューリング機能を研究開発項目 2-a で開発する Beyond コンテナ実行基盤上へ導入
  - 複数台の異なる OS、CPU を搭載した実機デバイスで構築した基盤上で、分散型スケジューリング機能の協調動作や分散処理の有効性を評価
  - 実証実験において地理情報やユーザの位置情報、ノードの備える機能に応じたフィルタリングやスコアリングをベースとしたスケジューリングを統合、ノード配置や滞留機能間の情報連携や情報配信への有効性を評価

#### 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

- 研究開発項目 3-a F-CPS 基盤の開発とユースケースに基づいた実証実験
  - 2023 年において前倒して実施した統合試験実験の結果から得られた様々な課題を解決するため、システムの改良と検証を実施
  - 九州工業大学戸畑キャンパスの GYMLABO、及び屋外において、ユースケースに基づくフィールド実験を実施
- 研究開発項目 3-b ポリシーの異なる F-CPS 間の広域連携実証実験
  - 米国 CCNY の連携研究者と連携し、上記の例をベースとした広域連携実証実験のための

アプリケーションの具体的な設計及び開発を実施

- 2023 年までに構築した日米横断テストベッドネットワークの P4 実験環境の試験実験を実施
- 日米横断型広域テストベッドを用いた F-CPS 広域連携実証実験を実施

(9) 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)