

(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	2	2
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	27	27
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	1	1
	展示会	1	1
	受賞・表彰	4	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
 - ・ 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を提案した。シミュレーション評価により、データ滞留方式の有効性を明らかにした。
 - ・ 翌年度以降の実証実験を見据えて、F-CPS の基礎となる時空間データ滞留方式を実装し、実機による実現可能性について検証を行った。
 - ・ 機能滞留によって提供されるアプリケーションの実行基盤を試験的に構築し、情報滞留システム内におけるアプリケーション実行に対する実現可能性について検証した。
 - ・ 現実環境におけるデータ滞留方式の課題を抽出すると共に、障害物による受信電波強度の変動を考慮した送信制御手法を提案し、実機実験により有効性を評価した。
- 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
 - ・ デバイスエッジとコンポーネントの信頼性を担保するブロックチェーン技術を活用したフローティングコンポーネント監査機構を設計し、シミュレーションによりその有効性を確認した。
 - ・ MEC 連携によるデータ分析・機能抽出機構の実現に向けた基礎検討として、通信・計算資源の効率・公平利用を両立するネットワーク型データ前処理決定アルゴリズムを設計し、その有効性に関する知見を得た。
 - ・ MEC 連携によって実現されるネットワーク型データ前処理の効果に関する初期検証を実機環境での実験により明らかにした。
- 研究開発項目 1-c 広域の F-CPS 間連携技術に関する研究
 - ・ 高速高効率な多対多ファイル転送手法を任意のトポロジーに適用できるように拡張し、シミュレーションによって送信者優先順序に関する知見を得た。
 - ・ 障害リンク検知のための計測経路の設計手法をより最適化し、任意のトポロジーに適用できるように拡張し、シミュレーションによって有効性を確認した。
 - ・ 動的 in-band 制御チャネルの実装を通じた P4 ソフトウェアスイッチの実機での検証を行い、ソフトウェア実装での転送性能に関する知見を得た。

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
 - ・ Wasm の既存ランタイム技術について調査と動作確認を完了した。
 - ・ Wasm 技術を用いて複数 OS/プロセッサアーキテクチャ上で動作する Wasm コンテナ実行基盤のアーキテクチャの設計と試作ソフトウェアの仕様策定を完了した。
 - ・ 試作ソフトウェアの実装を完了し、Linux/Windows サーバおよびタブレットにて同一の Wasm コンテナの動作実験および性能評価試験を完了した。
 - ・ Unikernel についてオープンソースソフトウェア Nanos を用いた Linux サーバ/シングルボードコンピュータにおける軽量性評価実験を完了した。
- 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
 - ・ 既存のアプリケーションを動作させることが可能な Unikernel の調査および性能評価を

行った。

- Unikernel を用いた Beyond コンテナの通信を監視する機構を開発した。
- Beyond コンテナ外部から監視する必要があるUnikernel内のカーネルデータを調査し、監視対象データの候補を特定した。
- Wasm アプリケーションの様々な実行形態について監視手法の検討を行った。
- 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
 - メッセージングモデル・既存プロトコルの調査を実施。調査結果を踏まえ、性能評価の実験対象となるモデル・プロトコル等、実験環境の仕様策定を完了した。
 - 既存メッセージングプロトコル 7 方式の評価実験を完了。複数のパケットサイズ、送信頻度、遅延条件における各方式の特性を踏まえ、F-CPS 基盤のメッセージング方式のベースとなるメッセージングモデルおよびプロトコルを検討し、次年度の研究開発のターゲットを決定した。
- 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
 - Wasm コンテナ実行基盤に対して制御、管理を実施する Wasm コンテナ管理基盤について試作ソフトウェアの仕様策定を完了。
 - 試作ソフトウェアの実装および検証が完了、研究開発項目 2-a で開発を実施したコンテナ実行基盤と接続した評価試験を実施し、コンテナランタイムを最大 10 デバイス接続した場合も Wasm コンテナをスケジュールし分散実行できることを確認した。

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
 - 日米横断型テストベッドの中の Seattle-COSMOS 間の VLAN 接続を完成させ、転送性能試験によって想定する性能を確認した
- 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
 - JGN の P4 テストベッド利用の準備を開始し、RISE に代わり P4 テストベッドを日米横断型テストベッドに接続する試験を開始した
 - 米国側研究者との日米テストベッドの横断的利活用について議論を開始した

(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
 - 2022 年度に引き続き、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の改良、評価を実施
 - 数 MB から数十 MB のデータを 100 から 1000 台規模のデバイスエッジにより滞留できることをシミュレーションにより評価
 - 提案手法を実機上に実装開発し、テストベッド環境上で実験をしつつ、得られた知見に基づき改良・評価を実施
- 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
 - 2022 年度に引き続き、F-CPS デバイスエッジの監査機構の高度化と広域化に向けた改良と評価を実施
 - 複数の F-CPS 連携を目指し、複数台の MEC と 10 台以上で構成される F-CPS を 1 セットとし、隣接する 2 つ以上の F-CPS における監査機構の連携制御を設計し、ネットワークおよびブロックチェーンシミュレータを用いて評価
 - 実証実験へ向けて本監査機構の開発実装を推進
- 研究開発項目 1-c 広域の F-CPS 間連携技術に関する研究
 - 一対多および多対多に 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導入し、ファイル転送完了時間を平均 10%以上短縮し、20 個以上のノードから成るネットワークにおいて 5 つ以上の異なる 1 対多データ転送を同時並列実行を適切なスケジューリングを実現
 - 品質劣化リンクの実時間検知に In-network 処理を利用したスイッチ間連携による分散

化を導入し、20 個以上の仮想リンクを持つネットワークにおいて劣化リンク検知完了時間を平均 10%以上短縮

- 動的コントロールチャンネルの仕組みを導入し、上記のデータ転送や品質劣化リンク検知を複数の分散コントローラの連携の下で実現する P4 ベースのフレームワークを設計

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
 - コンテナ内で動作する滞留機能からユーザ端末や IoT 機器に接続されたセンサーデバイス等へのアクセスやユーザ端末に GUI 等で情報提示を行うための外部アクセス手法の検討およびインタフェースの実装を進める。
 - 研究開発項目 1 で開発を行うフローティングコンポーネント技術のコンテナ実行基盤への実装を進める。
 - 研究開発項目 2-d で開発する機能スケジューリング基盤をコンテナ実行基盤上へ実装を進め、動的な滞留機能の配置が可能であることを確認する。
- 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
 - VM 外部から VM のメモリを解析する技術である VMI を用いて Unikernel を用いる Beyond コンテナの内部状態を監視する機構を実装する。
 - Beyond コンテナがデバイスエッジ間で移行して異なるハイパーバイザ上で動作するようになった場合でも、監視をシームレスに継続できるようにする機構の実装を進める。
 - Wasm を用いる Beyond コンテナについても、より適した監視方法を決定した上でアプリケーションの監視を行う機構を設計し、実装を開始する。
- 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
 - Wasm コンテナ実行基盤においてメッセージング機能を持ったミドルウェアを実装し、Wasm コンテナを連携可能とする。
 - ミドルウェアを用いて機能のステート情報をデバイスエッジで保持、移行する技術を設計、実装を進める。
 - 機能のステート情報の保持、移行技術によって 1 デバイスエッジの接続持続時間が 1 分程度の環境で継続的に機能が実行できることを確認する。
- 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
 - デバイスエッジや滞留機能数に応じて、自律的に周辺のデバイスエッジ上で増減可能なスケジューリング機能の実装を行う。
 - 本スケジューラを使用した際の CPU 使用率、メモリ使用量、デバイスエッジへの機能のスケジューリング時間等を測定し、理論的に 1,000 台のデバイスエッジが含まれるコンテナ実行基盤上でスケジューラが動作可能なことを確認

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
 - 本研究課題におけるユースケースに基づいた実証実験を実施するために、研究開発項目 1 および研究開発項目 2 により得られる成果を統合するための要件および課題を抽出した上で、設計、および試作を実施
- 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
 - 広域連携実験に必要な日米の地域テストベッドと P4 テストベッドを含む日米横断型広域テストベッドとを接続
 - F-CPS 間の連携に必要な API/インタフェースの設計、試験実装を完了
 - ポリシーが同一の F-CPS 間の連携をラボレベルでの実証実験を完了する。

(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)