

研究領域「IoTが拓く未来」事後評価（課題評価）結果

1. 研究領域の概要

Society5.0 が実現された超スマート社会においては、IoT(Internet of Things)でつながった人、モノや機器から生み出される大量かつ多様なデータを、サイバーフィジカルシステム(CPS)において、AIやビッグデータ処理などの情報科学技術により分析・活用し、インテリジェントな機器等をニーズに合わせて制御することで、機器単体では決して得られない新しい価値やサービスを創発することが期待されています。一方、IoT機器に潜む脆弱性をつく外部からの攻撃等も危ぶまれ、高度な攻撃にも耐えるIoTセキュリティやプライバシーに配慮した高度なデータ収集・流通・蓄積・解析基盤等の開発も急務です。

この超スマート社会のCPSを支えるには、カーボンニュートラルなシステム、セキュリティやプライバシー保護をデザイン時点から組み込んだデータエコシステムの実現などが重要です。特に、日本が世界をリードするためには、この急速に進展するIoT環境の戦略的活用を支援する基盤技術の研究開発を加速することが必須です。

本研究領域は、超スマート社会の実現を見据え、従来技術の単純な延長では得られない、質的にも量的にも進化した次世代IoT技術の基盤構築を目指します。例えば、IoT機器から得られる多種大量のデータをリアルタイムに統合・分散処理する技術、IoT環境における機能・性能・実装の課題を飛躍的に解決する要素技術、IoT機器の脆弱性、データ保全性等の課題を根本的に解決するセキュリティ技術やプライバシー強化技術等を対象として、大胆な発想に基づいた挑戦的な研究を推進します。

なお、本研究領域は文部科学省の人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト（AIPプロジェクト）の一環として運営します。

2. 事後評価の概要

2-1. 評価の目的、方法、評価項目及び基準

「戦略的創造研究推進事業(先端的低炭素化技術開発及び先端的カーボンニュートラル技術開発(ALCA-Next)を除く。)の実施に関する規則」における「第4章 事業の評価」の規定内容に沿って実施した。

2-2. 評価対象個人研究者及び研究課題

2020年度採択研究課題

- (1) 五十部 孝典（兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科 教授）
IoT機器の長期的な安全性確保のためのビヨンド軽量暗号の開拓
- (2) 猿渡 俊介（大阪大学大学院情報科学研究科 准教授）
物理空間と電脳空間を統合するための電波空間APIの実現
- (3) 塩川 浩昭（筑波大学計算科学研究センター 准教授）
超高速な多モーダルIoTデータ統合処理基盤
- (4) 新津 葵一（京都大学大学院情報学研究科 教授）
環境適応エネルギー・データ統合管理IoT基盤
- (5) 西尾 理志（東京工業大学工学院情報通信系 准教授）
機械学習するIoT通信ネットワーク基盤
- (6) 廣井 慧（京都大学防災研究所 准教授）
IoT連携基盤による先端防災ITの実現
- (7) 廣森 聡仁（大阪大学サイバーメディアセンター 准教授）

- 測域センサを搭載した複数UAVによる共通IoTセンシング基盤
- (8) ホ アンヴァン (北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 准教授)
タッチIoT: 触れるインターネット実現のための肌感覚送受信機の開発
- (9) 松田 裕貴 (奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 助教)
人の知覚を用いた参加型IoTセンサ調整基盤の創出
- (10) 山際 伸一 (筑波大学システム情報系 准教授)
高性能ストリームデータ圧縮技術の開発

2-3. 事後評価の実施時期

2024年1月 各研究者からの研究報告書に基づき研究総括・領域アドバイザーによる事後評価

2-4. 評価者

研究総括

徳田 英幸 情報通信研究機構 理事長／慶應義塾大学 名誉教授

領域アドバイザー

板谷 聡子 情報通信機構経営企画部企画戦略室 プランニングマネージャー
荻野 司 重要生活機器連携セキュリティ協議会 代表理事
菊池 浩明 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科 専任教授
栗原 聡 慶應義塾大学理工学部管理工学科 教授
佐古 和恵 早稲田大学理工学術院 教授
戸辺 義人 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科 教授
中澤 仁 慶應義塾大学環境情報学部 教授
原 隆浩 大阪大学大学院情報科学研究科 教授
東野 輝夫 京都橘大学工学部情報工学科 副学長／教授
吉岡 克成 横浜国立大学大学院環境情報研究院 教授

外部評価者

該当なし

3. 総括総評

本領域では、IoT 技術領域においてイノベーションの源泉となる先駆的な成果が期待できる 10 件の革新的・挑戦的な研究課題を採択し、1) 既存技術に対する優位性、2) IoT 領域の戦略目標への具体的な貢献シナリオ、3) 社会実装に向けた適用アプリケーションやサービスと効果検証方法等の明確化・詳細化を熟慮した研究を推進してもらった。

IoT が切り拓く超スマート社会に実現に向けた重要課題の解決と広範囲な情報科学技術の融合に向けて、リアルタイムデータ統合、リアルタイムデータ流通プラットフォーム、IoT センシング技術、IoT セキュリティ・動的セキュリティ制御に関する研究に取り組んだ。

塩川氏の高性能マルチモーダルデータ処理基盤、西尾氏の機械学習向け情報ネットワーク基盤、廣井氏のリアルタイム IoT データ連携基盤では、IoT サービスを支えるリアルタイムデータ統合・流通の機能・実装を飛躍的に向上可能とする要素技術と基盤理論を創出・検証した。新津氏のエネルギー・データ統合管理基盤、山際氏の高性能ストリームデータ圧縮基盤では、ハードウェアを用いた IoT データ統合・流通の消費電力性能を飛躍的に向上可能とする基盤技術と実装方式を構築した。猿渡氏の物理・電脳空間を統合する電波空間 API、廣森氏の複数 UAV を用いた時空間情報センシング、ホ氏の触覚情報を主とする五感情報の蓄積・共有・解析基盤、松田氏の参加型 IoT センサ調整基盤では、多種多様なセンシング情報のリアルタイム共有を実現する新しい IoT センシングの要素技術と実装技術を開拓するとともに、新たなユースケースでの有効性を実証した。五十部氏の長期的な安全確保を実現するビヨンド軽量暗号では、標準暗号 AES の 1/10 遅延、世界最軽量の回路規模と低消費電力性能を実現した。さらに、暗号鍵そのものの漏洩を難読化により防止するホワイトボックス暗号の実現によるセキュリティ課題を根本的に解決する基礎理論と実装方式を確立した。

以上のように各研究は、超スマート社会の実現を見据え、従来技術の単純な延長では得られない、質的にも量的にも進化した次世代 IoT 技術の基盤構築の達成に資する成果を上げられた。当初計画を超えて飛躍した研究者、次世代リーダーたる見識・実績を獲得し世界トップレベルに成長した研究者も多く、今後の本研究領域における情報科学技術の融合と更なる研究成果の発展が大いに期待できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： IoT 機器の長期的な安全性確保のためのビヨンド軽量暗号の開拓

2. 個人研究者名

五十部 孝典（兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科 教授）

3. 事後評価結果

攻撃者が暗号化プログラムにアクセス可能な環境下においても、復号化プログラム生成と鍵盗難が困難であり、軽量実装と動的機能更新を可能とする共通鍵暗号技術の確立に挑戦する研究である。多種多様な IoT デバイスの安全性や安心性を低コスト（ソフトウェア）でかつ長期的・永久的に保証可能とする高機能軽量共通鍵暗号技術の確立と実環境での効果検証により、IoT セキュリティにおける根本課題の克服を目指した。

IoT 機器の長期的な安全性確保を実現する要素技術として、複製困難性を持つホワイトボックス暗号の設計理論と暗号アルゴリズムの開発に取り組み、当初目標である IoT 向けの軽量暗号の設計や安全性評価を構築し、特に標準暗号 AES の 1/10 遅延、世界最軽量の回路規模と低消費電力性能を実現した点は高く評価できる。更には、企業との共同研究や標準化活動を推進し、具体的な社会実装に向けた成果展開を推進・加速している点も特筆すべき成果である。

研究成果は国内外で評価され、特に暗号分野のトップ国際会議 5 つ（CRYPTO、ASIACRYPT、EUROCRYPT、FSE、CHES）全てへの論文採択、および FSE でのベストペーパー 2 年連続受賞は、世界が認める顕著な成果・業績であり、2023 年文部科学大臣表彰若手科学者賞の受賞を含め、情報セキュリティ・暗号分野のトップランナーとしての飛躍に繋がった。Beyond 5G/6G 向けに軽量暗号技術やホワイトボックス暗号技術の更なる低遅延化・低消費電力化に挑戦する大型研究プロジェクトの獲得・推進や、本さがけプログラムの研究者と合同で申請・採択された 2024 年度 JST AIP 加速課題の推進を通じて、研究成果の更なる発展と社会実装の加速化を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 物理空間と電脳空間を統合するための電波空間 API の実現

2. 個人研究者名

猿渡 俊介（大阪大学大学院情報科学研究科 准教授）

3. 事後評価結果

バッテリーレス通信とワイヤレスセンシングと無線電力伝送の要素技術を統合・融合する電波空間基盤の構築に挑戦する研究である。電波特性を活かした IoT データ収集とエネルギー伝送を可能とする電波空間基盤技術の確立と実環境での効果検証により、IoT センシング時と通信時のエネルギー消費における根本課題の克服を目指した。

実世界空間とサイバー空間を接続する API として電波空間を自在に操作可能とする要素技術の確立に取組み、物理空間情報を抽出するワイヤレスセンシング、低消費電力化で高い通信効率を実現するバックスキャッタ通信、分散配置された送信アンテナを用いた電波電力伝送の研究開発を推進した。特にワイヤレスセンシングにおいては、当初の達成目標を超える位置測位精度 10 倍、測位頻度 100 倍を実現した点は高く評価できる。更には、本研究成果の一部をオープンソースとして公開し世界中の研究者から利活用可能としており、具体的な社会実装に向けた成果展開を促進・加速している点も特筆すべき成果である。

研究成果は国内外で評価され、特に情報処理学会での論文賞受賞や国際学会でのベストペーパー受賞、複数の招待講演依頼は、ワイヤレスセンシング分野のトップ研究者としての飛躍につながった。国内外研究者との連携を積極的に進めており、ワイヤレス通信・センシング分野での新たな研究プロジェクト（科研費・基盤研究 A）の獲得や米国 UCSD の Prof. Dinesh Bharadia との共同研究体制の強化等、研究成果の更なる発展が期待できる。電波空間 API を利活用する具体的ユースケースでの効果検証と社会課題の解決に向けた基盤技術の高度化への更なる貢献を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 超高速な多モーダル IoT データ統合処理基盤

2. 個人研究者名

塩川 浩昭（筑波大学計算科学研究センター 准教授）

3. 事後評価結果

IoT データに頻出部分集合として潜む基調構造を検出し、基調構造に基づく超高速データ解析手法の実現に挑戦する研究である。超膨大量 IoT データのリアルタイムかつ高精度な分析・理解を可能とし、時空間的計算資源を大幅に削減する高性能マルチモーダルデータ処理技術の確立と実環境での効果検証により、IoT データ解析の資源制約における根本課題の克服を目指した。

IoT データに対する高性能マルチモーダルデータ処理基盤の開発として、アルゴリズム理論の開拓、IoT データ分析アルゴリズム開発、大規模データ分析アプリケーションやユースケースでの実践・実利用に取り組み、最大 10,000 倍高速化が可能となる性能限界の理論検証や、異種データ類似計算や多次元時系列データクラスタリングアルゴリズムの 100～3,000 倍高速化を達成した点は高く評価できる。更には、開発手法が創薬分野における標準化合物の高速・高精度検索ライブラリに組み込まれる等、具体的な社会実装に向けた成果展開を推進・加速している点も特筆すべき成果である。

研究成果は国内外で評価され、特に大規模分散データ処理分野の最難関国際会議・論文誌（AAAI、IJCAI、ISWC 等）への複数採択は、世界が認める顕著な成果・業績であり、本分野のトップランナーとしての飛躍に繋がった。確立した超高速データ解析アルゴリズム群を応用する企業や開発研究者との連携、本成果を活用し社会問題の解決に挑戦する様々な新規研究プロジェクトの獲得・推進等、標準化を含む研究成果の更なる発展が期待できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 環境適応エネルギー・データ統合管理 IoT 基盤

2. 個人研究者名

新津 葵一（京都大学大学院情報学研究科 教授）

3. 事後評価結果

エネルギー管理とデータ管理を統合した IoT 基盤を構築し、エネルギー需給量の変動に適応可能なデータ管理手法の実現に挑戦する研究である。エネルギー収集量と電力変換量を動的に制御可能とするエネルギー・データ統合管理技術の確立と実環境での効果検証により、IoT サービスのエネルギー制約における根本課題の克服を目指した。

IoT サービスのエネルギー・データ統合管理技術として、光環境に応じて自律的に機能を最適化するスタンダードセル集積回路設計、CPU 不要の低消費電力化を可能とする動的電源電圧周波数制御 (DVFS) 方式の確立に取り組み、様々な半導体プロセス (65nm/22nm Planer、12nm FinFET) において新規回路の動作実証に成功した点は評価できる。実用可能性が検証できた一方で、これを利活用する具体的なユースケースでの効果検証は今後の課題であり、更なる基盤技術の高度化と応用システム・サービスの構築・実証を期待する。

研究成果は国内外で評価され、半導体集積回路分野のフラグシップ国際会議 (ISCAS、ISSCC) への複数採択は学術的価値の高い成果であり、ベストペーパー受賞を含め国際的な活躍が期待される研究者としての飛躍につながった。本成果を利活用する企業や開発研究者と連携する社会実装プロジェクトの推進、IoT 関連での海外連携・国際共同研究の推進等、社会的インパクトの大きい成果展開に向けた更なる発展を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 機械学習する IoT 通信ネットワーク基盤

2. 個人研究者名

西尾 理志（東京工業大学工学院情報通信系 准教授）

3. 事後評価結果

IoT データの高度な地産地消を目的とし、予測精度を損なうことなく通信資源を 1/100 に削減可能とする、機械学習と情報ネットワークを融合した新しい原理に基づく IoT データ処理技術の創出に挑戦する研究である。通信ネットワークを巨大なニューラルネットワークとして高度な機械学習に利活用することを可能とする IoT 機械学習向け情報ネットワーク技術の確立と実環境での効果検証により、AI 技術を活用した高度な IoT サービスの創出と社会実装を目指した。

IoT 機械学習向け情報ネットワーク基盤におけるトラフィック量削減・低遅延性向上・プライバシー保護を実現する要素技術として、AI モデルの分散連合学習（Federated Learning）方式と学習した AI モデルを用いた分散推論方式の確立に取り組み、特に推論精度を下げることもない大幅なトラフィック量削減（20～99%）、GAN を利用したプライバシー保護性能の向上、パケット損失頻発（60%）環境下での分散推論精度維持等の新技术を確立した点は高く評価できる。更には、研究成果を Split Computing Framework として実装・オープンソース化し、物体検出や生成系 AI に適用した新たな技術展開の探索や、具体的な社会実装に向けた成果展開を推進・加速している点も特筆すべき成果である。

研究成果は国内外で評価され、多くの国際論文誌や国際学会に採択された成果は計 180 件以上の被引用を達成する顕著な業績であり、2022 年電子情報通信学会末松安晴賞の受賞を含め情報通信ネットワーク分野における AI（分散連合学習）研究者のトップランナーとしての飛躍に繋がった。分散連合学習を応用する企業や開発研究者との連携、ロボティクス・自動運転・セキュリティ領域での新たな社会問題の解決に挑戦する大型研究プロジェクトの獲得・推進、国際共同研究の推進等による成果の更なる発展が期待できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： IoT 連携基盤による先端防災 IT の実現

2. 個人研究者名

廣井 慧（京都大学防災研究所 准教授）

3. 事後評価結果

高度な災害対応サービスの社会実装を目的とし、多種多様な対災害 IoT 実システムや災害分析・解析シミュレータ群を連携させる基盤技術の確立に挑戦する研究である。リアルタイム IoT データ連携基盤の構築や多次元データ連携手法の確立と実環境での効果検証により、数時間先の災害被害状況の高精度な予測や、社会全体の減災効果向上を可能とする IoT システム全体性能の根本課題解決を目指した。

リアルタイム IoT データ連携基盤を構成する要素技術として、複数の異なるシミュレータやシステムの複雑な同期とデータ交換を実現する連携方式や、河川の氾濫解析を対象とした時空間分解能の異なるデータの補正手法の開発に取り組み、これらの要素技術を統合した大規模水害における防災 IoT テストベッドを構築・検証した点は高く評価できる。更には、構築した連携基盤やテストベッドをオープンソースソフトウェアとして公開し、具体的な社会実装に向けた成果展開を推進・加速している点も特筆すべき成果である。

研究成果は国内外で評価され、特に国際ワークショップ IWIN（International Workshop on Informatics）において 2021・2022 年度のベストペーパーを受賞する等、国際的な活躍が期待される研究者としての飛躍につながった。2022 年度 JST 創発的研究支援事業研究課題への採択や、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) スマート防災ネットワークの構築への共同研究者としての参画等、防災・減災を中心とする様々な社会問題の解決に挑戦する大型研究プロジェクトの推進を通じた研究成果の更なる発展を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 測域センサを搭載した複数 UAV による共通 IoT センシング基盤

2. 個人研究者名

廣森 聡仁（大阪大学サイバーメディアセンター 准教授）

3. 事後評価結果

UAV（無人航空機）の3次元形状把握と複数台 UAV の巡回最適化方式を確立し、3次元地図の高速自動生成の実現に挑戦する研究である。防災ドメインに代表される社会インフラ高度化を実現するための、時空間情報を利活用する共通 IoT センシング基盤の構築と実環境での効果検証により、IoT サービスの時空間的制約における根本的課題の克服を目指した。

複数 UAV を用いた共通 IoT センシング基盤を構成する要素技術として、疎な点群データから高精度に構造物を推定する手法、不完全な点群データから建物構造異常を検知する手法、都市部に散乱する火山灰散乱状況を推定する手法の確立に取り組み、従来手法の精度を上回る推定・検知手法を構築した点は評価できる。一方で、今回実現した要素技術を統合的に利活用する具体的ユースケースでの効果検証は今後の課題であり、更なる要素技術の高度化と応用システム・サービスの構築・実証を期待する。

時空間情報を疎かつ不完全な点群データから高精度に推定する難課題に挑戦し、当初目標を概ね達成し、超スマート社会における新しい学際ニーズを創出する研究者としての飛躍につながった。複数 UAV を用いた IoT センシング技術を応用する企業や開発研究者との連携を強化し、社会的インパクトの大きい成果展開に向けた更なる研究の発展を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： タッチ IoT：触れるインターネット実現のための肌感覚送受信機の開発

2. 個人研究者名

ホ アンヴァン（北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 准教授）

3. 事後評価結果

画像化した触覚分布情報を高速収集・処理する触覚検知装置と、画像触覚情報の通信符号化方式の確立に挑戦する研究である。サイバー空間における人とシステムとの高度な実時間インタラクションを可能とする次世代 IoT サービスとしての肌感覚送受信方式の確立と実空間での効果検証により、五感情報のリアルタイム流通性能の飛躍的な向上を目指した。

五感情報のリアルタイム流通を実現する要素技術として、広範囲に渡る触覚分布を視覚化可能とする触覚検知方式、触覚情報のリアルタイム収集方式、大容量触覚情報を蓄積・共有・解析可能とする情報モデルと符号化方式の確立に取り組み、当初目標を着実に達成した点は高く評価できる。更には、国際標準化団体 W3C（World Wide Web Consortium）での WoT（Web of Things）における触覚情報流通 API 策定にも取り組み、社会実装に向けた成果展開を推進・加速している点も特筆すべき成果である。

研究成果は国内外で評価され、特に IEEE の著名論文誌 (Trans. on Mechatronics, Trans. on Robotics) への採択と被引用上位 10% の獲得は、世界が認める学術的価値の高い成果であり、ソフトロボティクス分野のトップ研究者としての飛躍に繋がった。国際共同研究の更なる推進や W3C WoT 等の社会実装・標準化の推進等、社会的インパクトの大きい成果展開に向けた更なる研究の発展を期待する。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 人の知覚を用いた参加型 IoT センサ調整基盤の創出

2. 個人研究者名

松田 裕貴（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 助教）

3. 事後評価結果

ユーザ参加型センシングから人間の知覚モデルを生成し、知覚を用いて IoT センサデータの人にやさしい「補正」を可能とする、新しい原理に基づく革新的な IoT センシング技術の創出に挑戦する研究である。人に寄り添い、真の安心安全を担保しながら利用可能なネットサービスを実現する基盤技術の確立と実環境での効果検証により、多種多様な次世代 IoT サービスの飛躍的な高度化と具体的な社会普及を目指した。

参加型 IoT 調整基盤を構成する要素技術として、不良回答の検知・防止・改善を可能とするユーザ参加型知覚データ収集方式、収集したデータに基づき知覚模倣モデルを導出する人の知覚による IoT センサ調整方式の確立に取り組み、具体的なユースケースでの効果検証により当初目標を達成した点は高く評価できる。更には、民間企業や自治体・地域コミュニティと連携し、生駒市コミュニティアプリや地域のデジタル図鑑システム、ポイ捨てゴミ分布可視化システムを用いて、具体的な社会実装に向けた成果展開を推進・加速している点も特筆すべき成果である。

研究成果は国内外で評価され、電子情報通信学会センサーネットワークとモバイルインテリジェンス研究専門委員会 2022 年度優秀発表賞や若手研究奨励賞の受賞を含め、IoT センシング分野をリードする若手研究者としての飛躍につながった。研究成果の一部は既に企業システムと連携しており、当該分野を世界的にリードするトップ研究者への更なる飛躍に向けて、国際共同研究の推進や様々な社会課題の解決に挑戦する大型研究プロジェクトの獲得・推進等、更なる成果発展が期待できる。

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 高性能ストリームデータ圧縮技術の開発

2. 個人研究者名

山際 伸一（筑波大学システム情報系 准教授）

3. 事後評価結果

無限遠のデータ列から構成されるストリームデータのエントロピー特性に基づく高度な圧縮方式の確立に挑戦する研究である。医療 IT や産業機械制御分野で有用となる次世代 IoT サービスの創出に向け、膨大な量の IoT 時系列データの処理性能 10 倍と消費電力 1/10 でのリアルタイム圧縮の実現と実環境での効果検証により、IoT システム全体の飛躍的なデータ処理性能向上を目指した。

N 個のシンボルからなるデータパターンを 1 ビットまで圧縮することを目標としたユニバーサルストリームデータ圧縮技術として、データエントロピー（データの複雑さ）に追従可能な圧縮技術の SoC(システム・オン・チップ)実装方式、ソフトウェア実装における圧縮機能のスレッド並列化方式、ステージ毎に異なるシンボル数を処理するパイプライン処理方式に取り組み、当初目標を達成した点は高く評価できる。更には、研究成果を応用し、深層学習での最良アルゴリズム選択や身体運動の良否を予測する機械学習での効果検証を実施し、社会実装に向けた成果展開を推進・加速している点も特筆すべき成果である。

研究成果は国内外で評価され、特に実システムとして運用・評価可能な FPGA ボードも利活用可能とし、国際的な活躍が期待されるストリームデータ処理分野のトップ研究者としての飛躍に繋がった。2024 年度 JST AIP 加速課題に採択されており、本研究成果を応用する企業や開発研究者との連携、様々な社会問題の解決に挑戦する大型研究プロジェクトの獲得・推進等、社会的インパクトの大きい更なる成果発展が期待できる。