

## 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 関数型パラダイムで実現するB5G時代の資源透過型広域分散コンピューティング環境
- ◆受託者 (大)東京大学、高知県(大)、(大)大阪大学、(株)シティネット、さくらインターネット(株)、(学)近畿大学
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和5年度(3年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和3年度から令和4年度までの総額97百万円(令和4年度75百万円)

## 2. 研究開発の目標

Beyond 5G時代の通信インフラの利点・機能を積極活用したIoTアーキテクチャを創出し、アクターベースの関数型言語であるElixir(エリクサー)を礎とした革新的なコンピューティング環境を開拓することを目指す。

## 3. 研究開発の成果

### 研究開発項目1)

#### ① : 資源透過型の分散処理プラットフォーム

項目 1-a) アーキテクチャの検討・設計

項目 1-b) プラットフォームのElixirによる実装

エンドデバイス(エッジデバイス)からクラウドに至るネットワークに配置される構成要素であるexMEC(extended MEC)に対して、これらのノードの資源特性に対して柔軟に処理を配置できる透過的な並列処理基盤を研究開発する。

### 研究開発項目2)

#### ② : IoTノードの能率的な実行環境

項目 1-a) ヘテロSoC向けBEAM処理系の設計・実装

項目 2-b) B5G向け通信ミドルウェア

IoTシステムの構成要素であるIoTノード(エンドデバイス、exMECおよびクラウド)について、Elixirプロセスが能率的に実行できる技術の研究開発する。

### 研究開発項目3)

#### ③ : 計算資源配分の決定手法

項目 3-a) 最適配分アルゴリズム

項目 3-b) 優先制御と競合解決アルゴリズム

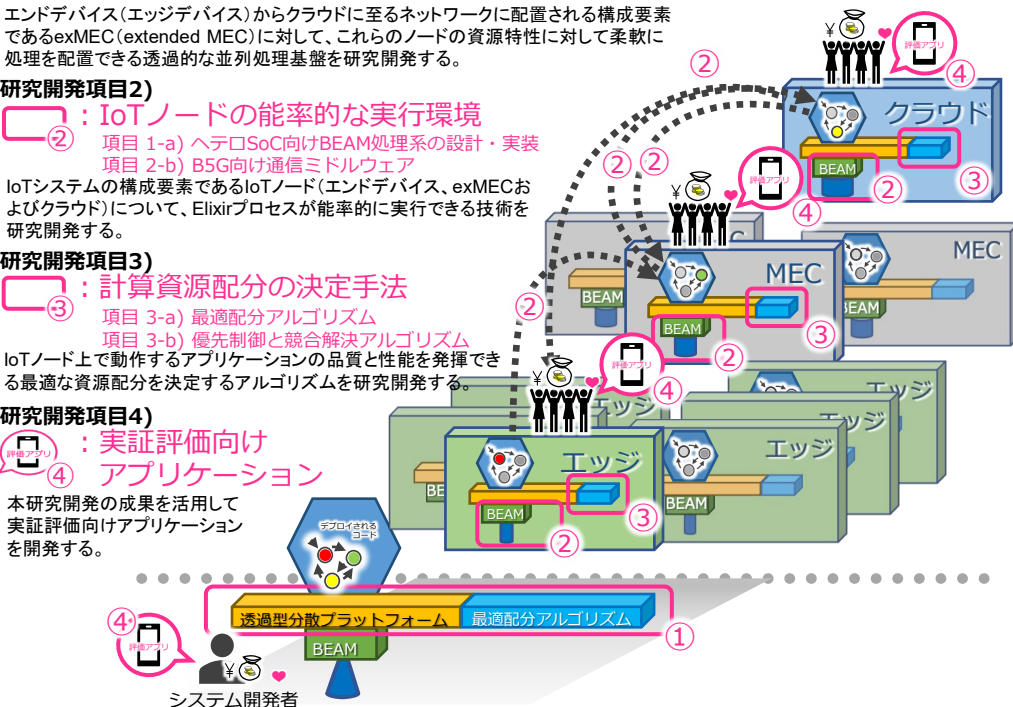
IoTノード上で動作するアプリケーションの品質と性能を発揮できる最適な資源配分を決定するアルゴリズムを研究開発する。

### 研究開発項目4)

#### ④ : 実証評価向けアプリケーション

本研究開発の成果を活用して実証評価向けアプリケーションを開発する。

### 研究開発目標



- 凡例
- ① : 最適配分アルゴリズム
  - ② : 透過型分散プラットフォーム
  - ③ : BEAM (Elixir処理系)
  - ④ : IoTノードの計算資源

### 研究開発成果 1-a) アーキテクチャの検討・設計

本研究開発の起点であるDripcastのJavaによる既存実装について仕様検証と検証、ソースコード解析を実施した。これを踏まえて、Elixirならびに汎用向けの抽象化フレームワークの策定、ならびにElixir実装に向けた基礎検討と機能検証を実施した。

### 研究開発成果 1-b) プラットフォームのElixirによる実装

Elixirでの実装を前提とした設計・検討を行い、Giocciと名付けた資源透過型プラットフォームの基本的な4層(client, relay, engine, store)の初期実装を完了した。

### 研究開発成果 2-a) ヘテロSoC向けBEAM処理系の設計・実装

小規模コアおよび汎用向けコアを混載したもの、および、プロセッサとFPGAを混載したそれぞれのヘテロSoCについて、BEAM処理系のIoTノード向けプラットフォームであるNervesの移植に成功した。また、高知工科大学の屋内に敷設したLocal5G基地局を柱として、マルチクラウド環境を含めた広域分散型の実証実験環境を整備した。

### 研究開発成果 2-b) B5G向け通信ミドルウェア

Elixir処理系のBEAMにDDSを組み込み可能なクライアントライブラリRclexを機能拡張し、これが動作することを確認した。また、NATを挟んでのLAN内とWAN(クラウド)との通信については、Zenohに着目して実現できることを確認した。

### 研究開発成果 3-a) 最適配分アルゴリズム

資源配分メカニズムと意思決定アルゴリズムに関するサーベイを行うとともにBeyond 5G環境に適したアルゴリズムの設計を行い、初歩的な実装とその評価を実施した。

### 研究開発成果 3-b) 優先制御と競合解決アルゴリズム

異なるドメインの間で計算資源の提供が行われる際に、単位通貨の交換レートの決定手法を提案し、評価した。複数のドメインにまたがる計算機資源の売買に関する初歩的な評価実験を行った。

### 研究開発成果 4-a) 実証評価向けアプリケーション

エッジ(デバイス)・MEC・クラウドそれぞれ、およびそれぞれの組み合わせ間で実行メトリック情報を取得するプログラムを設計・実装した。また、本研究開発試作プラットフォーム上で稼働させる実証評価向けアプリケーションを検討し、既出のアプリ例対照表の結果も参考にして本研究開発プロジェクトにおけるアプリケーションの候補を選定し、その基本設計に着手した。

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
0 (0)	0 (0)	0 (0)	72 (43)	0 (0)	4 (4)	2 (2)	2 (2)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

- (1) 多数の依頼講演やチュートリアルを実施  
CKP (Cyber Kansai Project) 夏の研究会2022、情報処理学会連続セミナー2022、EdgeTech+ 2022において、依頼講演を実施した。また、海外における学会・イベントでは、カリフォルニアで開催されたCode BEAM America 2022で2件、ネパールで開催されたAPAN55で講演を実施した。2022年8月の日本ソフトウェア科学会第39回大会 (JSSST2022) では、Elixir/Nervesのハンズオンを交えたチュートリアル講演を実施した。2022年9月には、第24回組込みシステム技術に関するサマーワークショップ (SWEST24) において、チュートリアルセッションを企画・実施した。
- (2) 産学協力研究コンソーシアムインターネット技術研究会におけるワークショップを共催  
産学協力研究コンソーシアムインターネット技術研究会の地域間インタークラウド分科会 (RIXX) が主催している第18回地域間インタークラウドワークショップ、および、RIXXとIoTデータ連携推進分科会 (PIoT) が主催している RIXX-PIoT workshop 2023 に共催し、「B5G.ex showcase」と銘打ったセッションを企画・実施した。本研究開発プロジェクトの最新の成果を発表し、当該分野の研究者や技術者と活発な議論や意見交換を実施した。  
<https://ricc.itrc.net/events/18th-workshop>    <https://ricc.itrc.net/events/PIoT2023>
- (3) 研究開発成果の展示会での発信・プレスリリース発表・受賞など  
令和4年度における展示会として、Maker Meeting for Maker Faire Kyoto および Edge Tech+ 2022 にブース出展を行った。本研究開発プロジェクトの成果を利用した広域分散コンピューティングの実証実験に関するプレスリリースを発表した ([リンク](#))。東京大学の高瀬英希が「mROS 2: 組込みデバイス向けのROS 2ノード軽量実行環境」について情報処理学会 山下記念研究賞を受賞した。
- (4) 研究開発成果をオープンソースソフトウェア (OSS) として公開  
本研究開発プロジェクトの成果をOSSとして公開し、積極的に情報発信している。注目度を示すStar数の合計はすでに目標値の300を超えている。現在の公開リポジトリのうち主要なものを示す。  
Giocci Library [https://github.com/b5g-ex/giocci\\_lib](https://github.com/b5g-ex/giocci_lib)  
Nerves System configuration for the ODYSSEY - STM32MP157C [https://github.com/b5g-ex/nerves\\_system\\_stm32mp157c\\_odyssey](https://github.com/b5g-ex/nerves_system_stm32mp157c_odyssey)  
Nerves System configuration for Kria KR260 [https://github.com/b5g-ex/nerves\\_system\\_kr260](https://github.com/b5g-ex/nerves_system_kr260)  
Rclex: ROS 2 Client Library for Elixir <https://github.com/rclex/rclex>    mROS 2 <https://github.com/mROS-base/mros2>

5. 今後の研究開発計画

2022年度に整備したLocal5G基地局ならびにマルチクラウド環境を含めた広域分散型の実証実験環境を最大限に活用し、2023年度は基盤技術の機能拡充および実用性の向上に注力しつつ、実証評価向けアプリケーションの開発に取り組む。  
資源透過型プラットフォームについては、2022年度までに完了した初期実装を実用的に活用しながら、拡張機能についてその実現方式を整理し実装を進める。IoTノードの能率的な実行環境については、ヘテロSoC向けBEAM処理系ならびに通信ミドルウェアの諸技術を資源透過型プラットフォームに統合することを目指す。資源配分アルゴリズムについても、2022年度に実施した基礎検討および初期実装の成果を資源透過型プラットフォームの機能となるようにする。実証評価向けアプリケーションについては、本研究開発の最終目標である「動く実装」を実現するため、資源配分のための実行メトリック情報取得を実現するとともに、本実証実験環境の研究開発成果を統合したアプリ用クライアントライブラリを整備する。