

## 先進的仮想化ネットワークの基盤技術の研究開発

### Research and development of infrastructure technology for advanced virtualized networks

代表研究責任者 大谷 朋広 (KDDI 株式会社)

研究開発期間 令和3年度

#### 【Abstract】

5G services have already been launched in Japan, and it is expected that services leveraging 5G features will be deployed in various fields such as medicine, education, and transportation. In order to realize such services, the application of virtualization technologies such as Cloud-native Network Functions (CNFs) to network infrastructure is expected to improve efficiency and flexibility of these services, on the other hand, there are also several concerns that the increased complexity of network infrastructure due to the virtualization technologies may lead to network failures that are difficult to identify the cause or resolve.

To resolve such concerns, this R&D project aims to establish 1) network failure prediction technology, 2) ultra-high-speed ICT system design technology, and 3) dynamic and optimal control technology for computing infrastructure resources in CNFs environments to ensure the safety and reliability of network infrastructure. This paper presents the results of this R&D project and reports on the objectives, results, and plans for achieving the policy goals (outcome goals).

#### 1 研究開発体制

- 代表研究責任者 大谷 朋広 (KDDI 株式会社)
- 研究分担者 大谷 朋広 (KDDI 株式会社)  
田中 淳裕 (日本電気株式会社)  
原井 洋明 (国立研究開発法人 情報通信研究機構)
- 総合ビジネスプロデューサ 中村 秀治 (株式会社三菱総合研究所)
- ビジネスプロデューサ 宮澤 雅典 (KDDI 株式会社)  
福田 靖 (日本電気株式会社)  
矢野 博之 (国立研究開発法人 情報通信研究機構)
- 研究開発期間 令和3年度
- 研究開発予算 総額 389百万円

(内訳)

令和3年度 (令和2年度3次補正予算)
389百万円

## 2 研究開発課題の目的および意義

2020年3月には、我が国において第5世代移動通信システム（以下「5G」という。）サービスが開始され、今後、医療、教育、交通など様々な分野において「超高速（eMBB）」、「超低遅延（URLLC）」、「多数同時接続（mMTC）」といった5Gの特長を活用したサービスが本格的に展開されることが期待されている。また、昨今の新型コロナウイルス感染症を発端としたウィズコロナ、アフターコロナにおける新たな生活様式への移行が求められており、それらの生活様式に対応するための新たなサービスが創出されることも想定される。

今後、こうしたサービスに対応するため、仮想化技術の通信ネットワークにおける活用が急速に進むことによる効率性及び柔軟性の向上が見込まれる一方、通信ネットワークの複雑化に起因する原因特定や障害復旧が容易でない通信障害の発生も懸念されている。そのため、早期に本研究開発を実施することにより、社会経済活動の基盤である通信ネットワークの安全・信頼性を確保するとともに、関連技術の国際標準の獲得による国際競争力の強化を図ることを目的とする。

## 3 研究開発成果（アウトプット）

### 3.1 障害事前予測技術

- ・CNFにおいてコンテナ技術の導入が見込まれる5Gコア網の疑似ネットワークを構築し、ネットワークノード及びCNF基盤を通じて流れるトラフィック量の変化、ネットワーク機能が実装されているコンテナから生成されるCPUやメモリ等のリソース利用状況データなどの情報を用いたシミュレーションによるCNFネットワークの挙動のモデル化。
- ・事前予測の精度への寄与度が高いと評価されるデータ項目を中心としたデータセットを用いた高次元回帰分析などによる障害事前予測及び未然対処技術の確立。

Kubernetes上で5Gコア網の疑似ネットワークをコンテナ技術によるCNFとして構築し、CNF基盤上でLinux eBPF（Extended Berkeley Packet Filter）機能を用いて5Gコア網の各ネットワークファンクションのコンテナ単位の詳細メトリックを収集する機構を確立した。

eBPFにより収集される詳細メトリックについて5Gコア網の各ネットワークファンクションとのマッピングを行い、障害事前予測を行うAIモデルへ適用するためのデータ収集基盤を確立した。

想定障害パターンそれぞれにおいて有効なeBPFの詳細メトリックを導出し、障害事前予測に寄与するデータセットを確立した。

将来発生するネットワーク障害へ未然に対処するために、eBPFのデータセットを入力として再帰型ニューラルネットワークの深層学習であるLSTM（Long Short Term Memory）モデルを用いた障害事前予測技術を確立し、10分後に発生するネットワーク障害を3分以内（150秒後）に検知できることを確認した。

先進的な成果として、LSTM-Autoencoderモデルを利用し、正常時のトラフィックデータをもとにした復元値と実測値の差分情報の大きさから、5Gコア網内で発生する異常を検知するという異常検知による障害事前予測技術を確立した。

### 3. 2 超高速化 ICT システム設計技術

- ・サービスを提供する構成（アプリケーション及びインフラ）を分単位で設計する技術や機能部品、サービスの要求条件の選択肢及び障害パターンといった設計に必要な情報の追加に要する時間の短縮化技術の確立。
- ・多様なサービス構成に対応した設計のモデル化。

想定される多様な要件や障害事象に対し事前に網羅的な設計を実施しておくことで実際の要求や障害事象の発生時に対応する設計を高速に導出する超高速設計導出技術、および要件と障害事例のパターンを組み合わせることで要件と障害事象の多様なバリエーションを生成するバリエーション生成技術の考案、試作、実証を完了した。加えて、利用者が上記技術を活用するための GUI およびサービス実行環境の整備を実施した。

また、教育用アプリの活用を想定した具体的なシナリオに基づき、10 万件の要件と設計事例の整備を完遂。この事例データを用いた実証により、平均で 2.5 秒、最大でも 10 秒以内に設計を導出可能であることを実証。到達目標である 3 分を大幅に過達した。

先進的な成果として、ある要件に基づく過去の設計プロセスを再利用することでこれと類似した要件に基づく設計を高速化する高速再設計技術の開発と、設計サーバを並列化した高速設計基盤の整備を実施することで、事前に実施する網羅的な設計を高速化した。これにより、10 万件の事例データ整備を 65 時間で完了できることを実証した。

### 3. 3 基盤計算機リソースの動的かつ最適制御技術

- ・VM (Virtual Machine) 及びコンテナ 2 階層型の環境においてそれぞれの技術の特長を活かした最適な計算機リソース動的制御を実現するため、AI 等も活用したモデルを導出することにより、アプリケーション要求の発生時や障害予測を含む障害検知時といった状況変化の際に、各アプリケーションの品質を維持するための計算機リソース調整を高速（例えば秒単位）で自動判断可能な技術を確立。
- ・上記の導出モデルによるリソース調整と合わせて高速（例えば分単位）での構成変更を可能とするため、2 階層型のサーバ仮想化環境を前提とした通信ネットワーク基盤の設計、実装及び動作検証。

アプリケーションを構成する CNFs の CPU 利用変動データを、回帰パラメータ最適値自動探索を行う最小二乗サポートベクター回帰 (LS-SVR: Least-Squares – Support Vector Regression) によって分析し、さらにその分析結果に基づいて CNFs 間リソース調停の解を導出する手法を設計し、それらの自動逐次処理において秒単位 (12CNFs に対して約 7 秒) で解導出を達成した。

CNFs/VNFs (Virtual Network Functions) リソースのモデル化及び ED-RNN (Encoder-Decoder - Recurrent Neural Network) 適用手法を提案し、VNFs のみ (VM 単階層) 対象の既存手法と同程度の性能 (NFs (Network Functions) 再配置回数や CPU 不足等) を達成しつつ、秒単位で NFs 移行スケジューリングの解導出を達成した。

ETSI OSM (Open Source MANO (Management and Orchestration)) をベースに、リソース情報取得及び AI ベースのリソース制御を可能とするためのインターフェースを拡張したネットワーク機能運用システムを設計及び実装した。

先進的な成果として、上記のネットワーク機能運用システム及び制御解導出アルゴリズムを組み込み可能な AI エンジンを含む検証用ネットワーク基盤を、NICT テストベッド (JGN) 上に環境構築し、

12CNFs で7~8分（平均40秒程/CNF）での基盤再構成が可能であることを立証した。

#### 4 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた取組みの実施状況

- 1) 国際標準化を目指すべく、ITU FG-ANにて、オンライン教育における高信頼通信ネットワーク実現のユースケース、及び障害予兆検知技術・ネットワーク再設計技術・リソース制御技術に関する研究開発成果をPoCとして1件報告し、自律的ネットワークアーキテクチャのフレームワークに関するドラフト文書に関連する寄書を2件提出、議論を行い、提案内容がドラフトに反映された。
- 2) 国内外の通信事業者、サービス提供者、システムベンダ等への研究成果を広めるべく、海外にて、オープンソースソフトウェアに関する技術コンソーシアムであるLinux FoundationのプロジェクトであるCloud Native Computing Foundation (CNCF) が開催する国際カンファレンスにおいて、本研究開発成果に関する発表が2件採択され、2022年5月16日に発表した。
- 3) 学会活動では、各課題を担当する研究機関で構成するコンソーシアムとして、国際学会のAPNOMS、本プロジェクト主催のシンポジウム、及び電子通信情報学会の総合大会等に参画して国内外で情報発信を行い、口頭発表にいたっては目標の6件を大きく上回る計17件実施した。
- 4) 本研究における知財確保のため、クラウドネイティブ環境におけるネットワーク運用管理に関する主要技術について、特許7件を創生し、出願申請を完遂した。

#### 5 政策目標（アウトカム目標）の達成に向けた計画

主要な技術展開領域としてコアネットワークを想定し、事業化活動を推進していく。各課題の事業化に向けた主な計画を下表に示す。

表 1. 各課題の事業化に向けた主な計画

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度以降
<b>[ア]</b> <b>障害事前予測技術</b> 自社新規設備への適用による最適なオペレーションの実現 (KDDI(株))	商用展開シナリオ検討	商用化に向けた課題抽出・解決策立案	自社新規設備への適用検証・導入	
各種標準化、情報発信の推進 (AIによるネットワーク運用・障害検知)				
<b>[イ]</b> <b>超高速化ICTシステム設計技術</b> センシング(顔認証等)・クラウドサービス等への適用 (日本電気(株))	商用展開シナリオ検討	商用化に向けた課題抽出・解決策立案	自社サービス含めた商用開発・導入	
<b>[ウ]</b> <b>基盤計算機リソースの動的かつ最適制御技術</b> 先行検証が行えるテストベッド環境の整備等 ((国研) 情報通信研究機構)	テストベッド実証による問題抽出	テストベッドへの成果の初期展開	テストベッドでの試験運用	サービス展開、継続整備
各種標準化の推進 (AIによるネットワークの高度化全般)				

社会実装を目的とし、各社の事業化活動を上記の計画に基づいて実施していく。各社の活動が計画通り遂行されていることを定量的かつ客観的に評価するために、論文数・特許数・標準獲得数のそれぞれの観点における目標値として、以下表1に定める。今後の事業化活動においては、本目標値を定期的に確認しながら、計画を遂行する。

表 2. 社会実装に向けた目標値

	目標値(2022年度以降)
査読付き誌上発表論文数	3件(0件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	3件(0件)
特許取得数	2件(0件)
国際標準獲得数	1件(1件)

注1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

また、研究機関ごとの予想される波及効果は、次の通りである。

[ア] 障害事前予測技術 (KDDI 株式会社)

本研究開発成果は Linux やコンテナという汎用基盤上で利用できる技術のため、予想される波及効果としては、将来発生するネットワーク障害へ未然に対処するための障害事前予測技術を 5G コア網以外のネットワークや計算基盤上へ適用するというアウトカムが期待できる。具体的な適用例としては、

- ・モバイルユーザー向けの MEC やクラウド等のアプリケーション基盤
- ・ホワイトボックスをベースとしたルーター機器

等への適用が期待できる。

[イ] 超高速化 ICT システム設計技術 (日本電気株式会社)

本研究開発成果は、細部が異なる多様な要件に対して柔軟に自動設計が可能であることを立証したものであり、この成果は設計したネットワークを運用する際に生じる要件変化や障害等の事象に対して構成を柔軟に再調整する技術の実現性を示唆する成果である。そのため、本技術をさらに拡張することで、設計工程の自動化に留まらず運用全体の自動化を実現することが期待される。

[ウ] 基盤計算機リソースの動的かつ最適制御技術 (国立研究開発法人 情報通信研究機構)

本研究開発成果は、VM 及びコンテナに対するデータ分析及び計算リソース動的制御等に関する AI ベースの数理モデルを構築していることから、その波及効果は特定のエリアに閉じず、多種多様なネットワークにおいて VM/コンテナが混在したあらゆる環境に対して有効である。

## 6 査読付き誌上発表論文リスト

なし

## 7 査読付き口頭発表論文（印刷物を含む）リスト

なし

## 8 その他の誌上発表リスト

なし

## 9 口頭発表リスト

- [1]Takaya Miyazawa, "AI-Assisted Resource Control and Management for Server Virtualization Infrastructures," APAN 52 (インドネシア及びオンライン) (2021年8月4日)
- [2]大谷 朋広, "Cloud native in Telecom Network infrastructure and its operational innovation", APNOMS 2021 (オンライン開催) (2021年9月9日)
- [3]Hiroaki Harai, "AI-Assisted Computational Resource Control and Management for 5G Networks and Beyond," APNOMS 2021 (オンライン開催) (2021年9月9日)
- [4]里田 浩三、黒田 貴之, "Beyond 5G に向けたネットワークサービスの自動設計・運用", 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (オンライン開催) (2021年9月9日)
- [5]宮澤 高也、Ved P. Kafle、横田 悠右、成瀬 康, "クラウドネイティブ環境における計算機リソース自動制御管理技術への取り組み", 電子情報通信学会ソサイエティ大会、BI-4-3 (オンライン開催) (2021年9月15日)
- [6]大谷 朋広, "クラウドネイティブネットワークファンクションの技術動向と標準", マルチメディア推進フォーラム (オンライン開催) (2021年10月7日)
- [7]大谷 朋広, "AIを活用した運用支援システムの研究開発と標準化活動", 電子情報通信学会 超知性ネットワークキングに関する分野横断型研究会 (RISING2021) (機械振興会館及びオンライン) (2021年11月16日)
- [8]原井 洋明, "5G/B5G 時代における機械学習を用いた計算資源自動制御管理技術の取り組み", 電子情報通信学会 超知性ネットワークキングに関する分野横断型研究会 (RISING2021) (機械振興会館及びオンライン) (2021年11月16日)
- [9]黒田 貴之、田辺 和輝、里田 浩三, "複数の非機能要件に基づくネットワーク構成の高速な自動設計手法", 電子情報通信学会 ネットワーク仮想化研究会 (博多) (2021年11月25日)
- [10]Takayuki Kuroda, "Intent-based Network Service Operations with Models and AI/ML", IEICE ICETC 2021 (オンライン開催) (2021年12月2日)
- [11]宮坂 拓也, "クラウドネイティブ型自律的ネットワークを支える監視技術", シンポジウム「Beyond5G 時代の自律的なネットワーク運用管理の実現に向けて」(オンライン開催) (2022年1月17日)
- [12]黒田 貴之, "自律ネットワークの実現に向けた Intent に基づくサービス構成管理技術の研究開発", シンポジウム「Beyond5G 時代の自律的なネットワーク運用管理の実現に向けて」(オンライン開催) (2022年1月17日)
- [13]原井 洋明, "Beyond 5G 時代を見据えた AI 間連携による大規模ネットワーク制御技術の取り組み",

シンポジウム「Beyond5G 時代の自律的なネットワーク運用管理の実現に向けて」(オンライン開催)  
(2022年1月17日)

- [14]黒田 貴之、“ネットワーク運用の自律化に向けた AI/ML 活用の取り組み”、電子情報通信学会維持員 Webinar テクノロジートレンドシリーズ (オンライン開催) (2022年2月3日)
- [15]平山 孝弘、地引 昌弘、宮澤 高也、Ved P. Kafle、“クラウドネイティブ環境を想定した VNF/CNF 間機能移行スケジューリングにおけるエンコーダ-デコーダ型 RNN の適用可能性についての一検討”、電子情報通信学会情報ネットワーク (IN) 研究会 (オンライン開催) (2022年3月10日)
- [16]河崎 純一、“CNF における予兆検知のためのデータ収集・分析技術”、2022年電子情報通信学会総合大会 (オンライン開催) (2022年3月15日)
- [17]八鍬 豊、“自律ネットワークの実現に向けたネットワーク自動設計の強化学習技術”、2022年電子情報通信学会総合大会 (オンライン開催) (2022年3月15日)

## 10 出願特許リスト

- [1]桑原 拓也、システム構成導出装置、システム構成導出方法、及びコンピュータ可読媒体、日本、2021年9月10日
- [2]田辺 和輝、設計システム、情報処理装置、記憶媒体、出力装置、及び方法、日本、2021年11月12日
- [3]河崎 純一、ネットワーク監視装置、ネットワーク監視方法及びコンピュータプログラム、日本、2021年12月3日
- [4]黒田 貴之、システム設計装置、表示装置、システム設計方法および記録媒体、日本、2021年12月9日
- [5]丸山 貴志、演算装置、演算方法および記録媒体、日本、2021年12月9日
- [6]桑原 拓也、システム構成導出装置、システム構成導出方法および記録媒体、日本、2022年3月22日
- [7]河崎 純一、データ収集装置、データ収集方法及びコンピュータプログラム、日本、2022年3月31日

## 11 取得特許リスト

なし

## 12 国際標準提案・獲得リスト

- [1]ITU-T・FG-AN、FG-AN-I-xxx、Architectural gap analysis for AN with respect to Y.3177, Y.3178、2021年9月1~3日
- [2]ITU-T SG13・FG-AN、FG-AN-I-158、Contribution to update AN architecture draft、2021年11月5日
- [3]ITU-T SG13・FG-AN "PoC: Automation of failure prediction, network re-design and resource control in cloud-native infrastructure", 2022年3月31日

## 13 参加国際標準会議リスト

- [1]ITU-T SG13・FG-AN (Focus Group on Autonomous Networks) 4th Meeting, Online, 2021年9月1~3日
- [2]ITU-T SG13・FG-AN (Focus Group on Autonomous Networks) 5th Meeting, Online, 2021年11月3

～5日

[3]ITU-T SG13・FG-AN (Focus Group on Autonomous Networks) 7th Meeting, Online, 2022年3月30日～4月1日

## 14 受賞リスト

なし

## 15 報道発表リスト

(1) 報道発表実績

[1] “KDDI、NEC、NICT、5G および Beyond 5G 時代に向けた、先進的仮想化ネットワーク基盤技術の研究開発内容を発表 ～より効率性と柔軟性を備えた CNF の導入に向けて～”、2021年9月7日

(2) 報道掲載実績

[1] “KDDI と NEC、NICT、先進的仮想化ネットワーク基盤技術の研究開発を進める”、EnterpriseZine、2021年9月7日

[2] “KDDI、クラウドネイティブのネットワーク基盤技術で NEC、NICT と共同研究 5G 網構築に向け”、ITmedia、2021年9月7日

[3] “KDDI、NEC、NICT が、5G および Beyond 5G 時代に向けた、先進的仮想化ネットワーク基盤技術の研究開発内容を発表”、OPTCOM、2021年9月7日

[4] “KDDI、NEC、NICT、5G および Beyond 5G 時代に向けた、先進的仮想化ネットワーク基盤技術の研究開発内容を発表”、BtoB プラットフォーム 業界 Ch、2021年9月7日

[5] “KDDI・NEC・NICT、5G および Beyond 5G 時代に向けた、先進的仮想化ネットワーク基盤技術の研究開発内容を発表”、JCN Newswire、2021年9月7日

[6] “KDDI・NEC・NICT、5G および Beyond 5G 時代に向けた、先進的仮想化ネットワーク基盤技術の研究開発内容を発表”、CAN Newswire、2021年9月7日

[7] “KDDI と NEC、NICT と共同で「先進的仮想化ネットワークの基盤技術」の研究開発内容を発表”、ケータイ Watch、2021年9月10日

## 16 ホームページによる情報提供

[1] URL: <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2021/09/07/5379.html>  
[https://jpn.nec.com/press/202109/20210907\\_03.html](https://jpn.nec.com/press/202109/20210907_03.html)

掲載情報の概要：本プロジェクトの取り組みを自社 HP に掲載。またプロジェクトの全体概要、及び、3者の役割について掲載し、活動内容をアピールした。

ヒット数：8件

## 研究開発による成果数

	令和3年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件（0件）	0件（0件）
査読付き口頭発表論文数 （印刷物を含む）	0件（0件）	0件（0件）
その他の誌上発表数	0件（0件）	0件（0件）
口頭発表数	17件（4件）	17件（4件）
特許出願数	7件（0件）	7件（0件）
特許取得数	0件（0件）	0件（0件）
国際標準提案数	3件（3件）	3件（3件）
国際標準獲得数	0件（0件）	0件（0件）
受賞数	0件（0件）	0件（0件）
報道発表数	1件（0件）	1件（0件）
報道掲載数	7件（0件）	7件（0件）

注1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。（括弧）内は、その内海外分のみを再掲。

注2：「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読（peer-review（論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの）のある出版物に掲載された論文等（Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む）を計上する。

注3：「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集（電子媒体含む）に掲載された論文等（ICC、ECOC、OFCなど、Conference、Workshop、Symposium等でのproceedingsに掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。）を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等（電子情報通信学会技術研究報告など）は、「口頭発表数」に分類する。

注4：「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等（査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む）を計上する。

注5：PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。（何カ国への出願でも1件として計上）。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6：同一の論文等は複数項目に計上しないこと。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しないこと。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。