

2.6.7 ネットワークサービス実現技術

(1) 研究開発領域の定義

高度化・複雑化・多様化するネットワークサービスの実現に際して、機能的・性能的・コスト的な要件のみならず、ネットワークの形態・場所・時間（サービス提供の即時性を含む）などのさまざまな条件を満足するネットワークを「最適化」されたリソース量で「簡単（シンプル）」に提供可能とするネットワーク構築・構成技術に関する領域を対象とする。

(2) キーワード

マルチレイヤオーケストレーター、サービスイネーブラー、SBA、Open API、Digital Service Reference Architecture

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

産業利用を目的としたネットワークに関しては、従来ではそれぞれの業界の用途に応じたネットワークを構築し、それぞれの業界に閉じて運用管理する方法が採用されてきた。この方法では、各業界の当事者から見た要件に基づいてネットワークを設計・構築するところから始め、それぞれのポリシーに基づいて運用管理する作業を行うことが必要であった。しかし、昨今ではさまざまな業務や事業にネットワークを利用する。加えて、課題先進国と言われるわが国をはじめとして多くの国が人口減少・高齢化や環境問題・自然災害などの社会課題に対するソリューションの早期実現を必要としている。それらのソリューションがさまざまな産業界で事業展開している企業から創出されることを想定すると、複数の産業界が簡易かつ共通のインターフェースを通じてネットワークをソリューションの構成要素としてタイムリーかつロケーションフリーで利用できることが期待される。このような状況においては、それぞれの用途に合った物理的なネットワークをひとつひとつ構築・運用・管理していたのでは非効率かつ不便であり、また運用管理上のコストも大きくなる。

要件に対応して異なる性能を提供するネットワークの具体例として、例えば第5世代移動通信システム(5G)があげられる。5Gは4Gまでのいわゆるコンシューマユースとしての携帯電話やスマートフォン上の音声通話や動画閲覧などの高速・大容量の通信が必要なアプリケーションのみならず、産業機器の制御やセンサー機器からのデータ収集の用途を想定して多数の端末を接続する技術要件を定義し、その要件を実現する仕様を規格化してきた。

上記のような通信方式の確立や普及に合わせて、さまざまな産業用途の利用要件に適合したネットワークを柔軟かつ簡単(シンプル)に提供する技術が確立され実用化されれば、これまでの利用形態であるコンシューマユースのみならず、実際にネットワークの産業利用を実現・促進する仕組みを具現化することが可能となる。

なお、その実現に必要な主要機能としては、例えば以下があげられる¹⁾。

- ①アプリケーションごとのネットワーク利用計画の決定
- ②アプリケーションが実現するサービスレベルを満足するためのパフォーマンス管理
- ③ネットワークが提供可能な品質、スケジュールの可視化

2.6.5で述べたネットワークコンピューティングの研究領域の発展も相まって、通信ネットワークは、単なる通信インフラからさまざまな産業界のユーザーが事業基盤・サービス基盤として利用できる社会インフラへの変革が求められており、その変革を支えるために、さまざまな利用要件を満たすネットワークサービスを実現する技術が極めて重要である。

[研究開発の動向]

上述の通り、産業向けには専用の通信ネットワークが用いられてきた。エンタープライズ向けにはキャリア

が専用線サービスを提供しており、電力、交通、金融などの事業者は自営の通信ネットワークを構築・運用している。近年ではハイパースケーラーと呼ばれる大規模クラウドサービスプロバイダーがデータセンターネットワーク（の一部）を自ら構築・運用するケースもある。クラウドサービスの提供にあたってはアジリティ、スケーラビリティ、アベイラビリティが求められるため、データセンターのインフラは仮想化され、ネットワークに対してはソフトウェア制御によりフレキシビリティや自動化を実現するSDN（Software-Defined Networking）技術が適用されている。さらに、増大し続けるデータ量や低遅延処理の要求に対応するため、データ処理をよりデータソースに近いエッジに分散させる動きもある。また、クラウドサービスでは、プラットフォームとしての使いやすさを考慮したApplication Programming Interface（API）も提供されている。

SDNの適用領域は拡大しており、2010年代にはエンタープライズ向けにSD-WAN（Software-Defined Wide Area Network）が導入され、ゼロタッチでのプロビジョニング、ハイブリッドWANによる高可用性、アプリケーションや回線品質に基づくWAN経路の制御などが実現されるようになった。2020年に国内において商用化が開始された5Gでは、無線ドメインおよびコアドメインだけでなくトランスポートドメインも含めてその実装に仮想化（ソフトウェア化）を採り入れつつ、オーケストレーション技術と組み合わせることで、産業向けの多様な要件に対応するネットワークを、仮想的な専用ネットワークとして実現することを目指している。コネクテッドカーやドローンなどフレキシビリティが重要となるモビリティの収容も可能であり、先に触れた分野にとどまらず工場、農業・漁業などを含むあらゆる産業のプラットフォームとなることが期待される。また、インターネットのようなマルチドメインネットワークを想定したものではないが、TSN（Time Sensitive Networking）²⁾ や DetNet（Deterministic Networking）³⁾ など、EthernetやIPといった汎用有線プロトコルを産業用ネットワークに適用可能とする技術も発展している。このように、汎用的でありながら個別の特殊な要件にも対応可能なネットワークプラットフォームと、その効率的な利用のための動的なリソース運用・管理に関する研究開発が行われている。

ネットワークサービスを提供するプラットフォームとしては、クラウドサービスの場合と同様に、アプリケーションやユーザーとのインターフェースが重要である。例えばモバイルネットワーク向けではETSIのMEC（Multi-access Edge Computing）API⁴⁾ やGSMA（GSM（Global System for Mobile Communications）Association）のOneAPI⁵⁾ において、アプリケーションにネットワークの機能や状態を公開する、あるいは、アプリケーションからネットワークやネットワークの機能を制御する、さらに、ネットワークが持つ情報（端末の位置情報など）を提供するといったAPI仕様が規定されてきた。多種多様なネットワークサービスの要求に迅速に対応するには、ネットワークプラットフォーム内部の自動化も重要である。テレコムオペレーターのオペレーションに関する業界標準仕様を検討するTM Forum（TeleManagement Forum）では、業務プロセス間のAPI化も進められており、B2B2Xモデルを想定する複数サービス連携のアーキテクチャ⁶⁾、さらにそれをプラットフォーム化してビジネス提供するためのハイレベルアーキテクチャが提案されている⁷⁾。

一方で、前述のようなネットワークに対するAPIが提供する機能も、ユーザー視点ではアプリケーションが目的を達成するための手段である。今後、ますます多くのアプリケーションがLocal Area Network（LAN）や単体の5Gシステムなどの単一のネットワークドメインに閉じずに、それらが接続されたインターネットに跨って提供されるようになっていくと想定されるが、その際、ユーザーは必ずしもドメインごとの制御を望まない。また、ユーザーの要件はネットワークを直接的には意識しない、より抽象化されたものである場合もある。そのようなハイレベルな要求やサービスシナリオを、各ドメインおよび要素機能に分解し、状況や環境に合わせ最適化されたリソース量で組み上げるサービスイネーブラー、オーケストレーターの研究開発が進められている。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

アプリケーションが使用するEnd-to-Endのネットワークサービスでは、複数のネットワークドメインやさまざまなプロトコルレイヤの機能が必要となるため、ユーザーがそれらを意識せずに利用可能とするネットワークサービス実現技術の検討が進められている。エッジコンピューティングのようなネットワークコンピューティングに対応するには計算処理を実行するサーバーリソースのスケジューリングも必要となる。

ネットワークサービス実現技術としては、ネットワーク知識を不要とするユーザー要求の抽象化・テンプレート化や、そこから必要なネットワーク要件やネットワークドメインを抽出し、KPIを保持しつつネットワーク機器を管理する技術が必要となる。ここでは代表的な技術として、マルチレイヤオーケストレーター、サービスイネーブラー、Intent-Based Networkingについて紹介する。

マルチレイヤオーケストレーター

オーケストレーターは、アプリケーションから規定されるネットワーク要件に基づき、アプリケーションの実行に必要なリソースをネットワークシステムと計算システムから選択する機能である。End-to-Endでのネットワークサービスを対象に、ネットワークシステムが持つ複数のネットワークドメインやプロトコルから要求された機能を実現するために最適な要素を組み合わせ、各機器に対してプロビジョニングを行うマルチドメインオーケストレーション技術がさかんに開発されている。さらに、ネットワークドメインの抽象化技術や、ネットワークスライシングによるネットワーク仮想化技術を活用し階層化されたネットワーク機能を管理するマルチレイヤオーケストレーション技術も提案されている。欧州の6GプロジェクトHexa-X (2.6.5参照)では、ネットワークサービスのアーキテクチャをDesign Layer、Service Layer、Network Layer、Infrastructure Layerの4階層で定義し、各レイヤが協調したマルチレイヤオーケストレーションを目指している⁸⁾。

サービスイネーブラー

サービスイネーブラーはアプリケーション開発の利便性を向上するための機能であり、新たなサービスの開始時において、共通的な補助機能を抽象化・テンプレート化された形式でネットワークが提供し、アプリケーション開発ではそのコア機能にフォーカスすることにより、低コストかつ早期でのアプリケーション展開が可能となる。またサービスイネーブラーはユーザーに対してのみでなく、システム間のインターフェースにおいても重要な機能となる。ネットワーク機能のイネーブラーとして、サービスやアプリケーションでの使用頻度の高い端末の位置管理や、端末グループ管理、通信品質制御などの機能をアクセスしやすい形でAPIとして公開する。3GPPではService Enabler Architecture Layer (SEAL)として、端末位置情報などを提供するAPIが定義され⁹⁾、APIの実装方式の検討が進められると共に^{10)、11)}、さらなるAPI拡張が検討されている。またアプリケーション機能のイネーブラーとしては、例えば映像配信時の多地点同期や、エリア監視におけるセンシング情報のフィルタリングなどが提案されている¹⁰⁾。さらにイネーブラーとして開発ツールや自動コード生成機能、セキュリティ機能の提供も想定される⁸⁾。

Intent-Based Networking

アプリケーションが必要とするネットワーク要件を抽出するのではなく、ネットワークに期待する動作、期待値、制約をIntentという形でリクエストし、ネットワークシステム内にて要件への変換およびネットワーク機器への制御を行うIntent-Based Networking技術が検討されている。特にIntentを解釈しネットワーク要件を定義するために必要なIntent抽出技術¹²⁾、リソース要件変換技術¹³⁾と共に、サービスの品質を監視することでIntent解釈の精度を向上する等の要素技術の検討が進められている。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

国内は、総務省の研究開発プロジェクトや民間開発プロジェクト、国際は、関係業界コンソーシアムについて紹介する。

総務省研究開発プロジェクト

従来のネットワーク仮想化技術ではアプリケーションごとにネットワークリソースや計算リソースが消費されるため、リソースを過剰に割り当ててしまう課題があった。「IoT 機器増大に対応した有無線最適制御型電波有効利用基盤技術の研究開発」では、アプリケーション機能をネットワーク上の複数ノードに分散配置するとともに、重複するアプリケーションデータの集約・削減を行うオーケストレーション技術が開発された。

情報通信研究機構 Beyond 5G 研究開発促進事業

情報通信研究機構では、2020年から5Gの特長をさらに高度化・拡張した7機能（超高速・大容量、超低遅延、超多数同時接続、超低消費電力、超安全・信頼性、拡張性、自律性）に着目した要素技術の開発課題の一つとして、ネットワークオーケストレーション技術、Beyond 5G サービス・アプリケーション技術を取り上げており、サービスレイヤまで含めたネットワーク全体におけるオーケストレーション技術の研究開発を進めている¹⁴⁾。

IOWN

IOWN GF (Innovative Optical and Wireless Network Global Forum) は、2020年1月に設立され、フォトリソネットワーク技術を基盤にコンピューティングやネットワークのインフラを統合し、End-to-Endでのサービスを実現するためにマルチドメイン、マルチレイヤ環境における迅速なICTリソースの配備を最適化するための技術検討を進めている。

IOWN GFではユースケースをもとに既存技術とのギャップを分析し、新規技術の要件抽出、アーキテクチャ検討、レファレンスデザインの開発を通じ、スムーズな社会実装を目指している。

5GAA

自動車分野において5G活用を検討する5GAA (5G Automotive Association) が2016年にドイツのミュンヘンに本部を設置し、結成された。5GAAは、世界的な業界横断組織となり、自動車メーカー、その関連メーカー、通信オペレーター、通信メーカーなどから100社以上が参画している。5G技術を車両内や車両外（路側等を含む）に導入した際のサービスやソリューションを検討している。

5GAAでは、検討結果をWhite PaperやTechnical Reportという形でWeb公開している。特にネットワークについては広域利用（国境跨ぎを含む）サービスや狭域利用（エッジコンピューティングによる超低遅延化を含む）サービスを実現するための構成等を含んで検討を進めている。

5G-ACIA

5G-ACIA (5G Alliance for Connected Industries and Automation) は、工場をはじめとする産業利用における5Gの在り方を検討するために2018年に結成された組織である。ドイツのZVEI（電気電子工業連盟）を中心に発足し、現在はグローバルのさまざまな企業が参画している。オートメーションやロボットのなどの製造系企業だけでなく、通信オペレーター、通信メーカーなどからも参画して、5Gの産業利用におけるサービスやソリューションを検討している。

5G-ACIAにおけるネットワークに関する検討としては、TSNと5Gとの統合、OPC Unified Architectureと5Gとの統合、産業5Gアプリケーション向けに5Gネットワークが提供すべきインターフェース等があげられる。

(5) 科学技術的課題

鉄道、自動車、工場等、産業利用を目的とした通信ネットワークでは、多数の機器同士が連携・制御するため、物理層・MAC層を対象にしたリアルタイム性、高信頼性、最適化が重要である。また、機能・非機能要件にしたがった最適なネットワーク設計を行うために、ネットワーク機能の仮想化・ソフトウェア化なども重要である。さらに、アプリケーション要件に応じ、ネットワークリソースの最適化のみならず、コンピューティングリソースも含めたシステム全体のリソース最適化とネットワーク性能最大化のトレードオフの調整が必要とされる。ネットワークにおいても設計観点だけでなく、構築・運用・管理までに渡ったライフサイクル全般に対して安全・安心なシステム提供が必要となる。そのためにネットワーク監視・運用の高度化や、設計・評価の効率化、さらには、ライフサイクル間のデータ連係による付加価値創出が重要となる。本節では、これらに関する科学的技術的課題について述べる。

リアルタイム性の担保

従来の標準 Ethernet (イーサネット) 技術では不可能であった IEEE Ethernet ベースのデータ通信に、時間の同期性が保証され、リアルタイム性を担保できるようにしたネットワーク規格 TSN 技術の適用が進み、遅延に対する制約が厳しい産業用ネットワークと遅延が許容される情報系ネットワークの相互運用が可能となる。これにより異種ネットワークを同一配線で混在させることが可能となっている。ただし、TSN に基づく処理実行スケジューリング方法や、動的に変化する実行状態に柔軟に適應する方法など、ネットワークサービス実現技術としての課題は残されており、今後の研究開発が期待される¹⁵⁾。

最適化されたリソース管理・制御/システム構築

ネットワークスライス技術を活用し、QoS 要件を満たすネットワークを提供するためには、ユーザーやアプリケーションがサービス要件の入出力や運用状態を取得するための API や、サービス要件からネットワーク要件を生成する技術、ネットワークのトポロジやリソースを抽象化する技術、ライフサイクル管理に関する技術が必要である。またさまざまなエリアでデータを活用するために、複数のドメインを経由したサービス端末間での End-to-End のネットワーク接続が求められる。複数のドメインで構成される End-to-End のネットワークスライスを生成するために、オーケストレーターはドメインごとのネットワーク特性や利用可能な通信リソース量を考慮してサービス要件に応じて最適なドメイン経路の選択や、ドメインごとの使用リソース量を適切に指定し、ドメインのスライスを生成する。そのため各ドメインが保有する通信リソース量を把握し、ネットワーク全体の状態として管理する機能が必要である。また通信インフラに加えて映像処理などの計算機能が経路上に存在するケースでは、計算リソース量や処理内容も把握することにより、計算処理によるトラフィックパタンの変動を考慮して通信リソースを指定できるため、ネットワーク利用効率の向上を図ることが可能となる。ただし各ドメインのトポロジやリソース情報の通知機能の有無、制御可能なパラメータの範囲などが制約となるケースでは、オーケストレーターにてドメインごとの最適なリソース量の導出・設定が難しいことも課題である。

ネットワークサービス実現のために、システム構築の観点では、通信の高度化から計算領域の拡大に至るまで広範囲の機能を扱うことになる。また、それらの機能が有機的に融合されて動作することを担保しなければならない。一方で、さまざまな社会課題を扱うサービスの開発は、通信システムや情報処理の専門家ではない利用者が行う必要性が増加してくることから、ますます複雑化する機能の全体像を理解することは難しくなり、取り組むべき技術課題は多い。

高度化への対応と新たな付加価値の創出

CPS (Cyber Physical System)、メタバース、またはホログラムなどを利用した現実空間とサイバー区間を融合したサービスの実現のためには、デジタルツイン、エッジ AI、および触覚センシングなどの要素技術の開発、ならびにそれらが求める厳しい遅延等の要求条件に対応可能なネットワークの提供が課題となる。こ

れら要素技術を活用し、ネットワークインフラ上に点在する複数機器のおおのの大容量データをリアルタイムに処理してサイバー空間でデータ分析や未来予測などのシミュレーションを実行し、その結果に基づく最適化や行動予測を現実空間にフィードバックすることで、街づくりや工場・生産ラインの改善など、社会やビジネスプロセスが進化することが期待される。また、導入コンサルティング、プロトタイプ作成、PoC (Proof of Concept) 設計・実行、商用サービス開発、および運用サービスのライフサイクル全般に亘り、複雑化したネットワークサービスに対して、ネットワーク性能を保证するための最適化・自動化、安全・安心なサービスを提供するネットワーク運用・保守の高度化・自動化などが課題である¹⁶⁾。さらに、複数サービスのライフサイクル間のデータ連係により、個別サービスでは発見が難しかった分析結果の取得等、新たな付加価値を創出可能とすることが期待される。

(6) その他の課題

総務省が主導した「Beyond 5G時代の有線ネットワーク検討会」では高度なネットワークサービスを提供するシステムに必要な技術について整理している。同検討会はニーズとシーズ双方の視点で研究開発を進める指針を示した。一方、今後のネットワーク設計には、かつてないほど多種多様な利用条件を受容するネットワークの構築・運用・管理が求められる。例えばAIがネットワークを経由して用いられる場合、AIが動作する計算リソースの配置も大きな課題となる。サービスと扱うデータの種類に応じて、現場に近いエッジクラウドもしくは中間的な地域のデータセンターを最適に選択可能とするネットワークの設計やシミュレーション/エミュレーションは、ますます解決困難な問題になる。このため、研究開発における技術の検証、特に社会実装時に近い条件での検証を可能にするテストベッド環境が必要になる。検証においては多様な要求条件を持つユーザー事業者との連携も必要であり、テストベッド環境はネットワーク環境だけでなく、例えばデジタルツインの検証可能性も考慮した環境が求められる。このことは社会実装時の使われ方や市場および社会への影響を精度良く予測するためにも重要である。

ネットワークに対する多種多様な要求条件に持続的に応え続けるには、研究開発の段階、設計構築の段階、また実用化後の運用段階を通じて、通信サービスそのもの、あるいは、通信サービスの構成要素の更新要否の監視が必要である。これには、通信サービスを提供する事業者と同サービスを利用する事業者の産業界、研究開発を担う学界、社会への影響を考慮した方向づけおよびプロモーションを行う官の継続的な連携が必要となる。このような継続的な連携の体制およびエンドユーザーにとっての利便性と受容性を含めた評価検証を行う体制の構築も課題である。

今後のネットワークは、ほぼあらゆるサービスにとって共通のインフラとなることが想定される。このため、特定の業種・分野が要求条件設定において取り残されないよう、異業種・異分野に横断的な連携の体制が必要である。このような連携を可能とする場や環境の確保も課題である。

今後のネットワーク技術を担う人材には多様性が求められる。技術力、標準化のスキル、多様な産業と要求条件を理解する力、社会への影響と受容性を理解する心理・社会的な理解力、コミュニケーション力が求められる。個人がこれらすべてを引き受ける必要はなく、それぞれの能力を持った人材を育成し、彼らが協力しあう持続的体制を含めた人材育成の営みが不可欠である。

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	↗	総務省の研究開発プロジェクトにおいてネットワークの高性能化や自律性に関する研究開発を多く実施
	応用研究・開発	○	→	主要な通信事業者を中心に基幹網において仮想化・抽象化技術を実用化

米国	基礎研究	○	→	IEEEにおいてAIを用いたネットワーク設計を行うフレームワークを検討
	応用研究・開発	◎	↗	ハイパースケーラーがクラウド上の仮想化技術を強みとして通信事業者と提携してネットワーク分野にも進出
欧州	基礎研究	◎	↗	Horizon Europeの研究開発プロジェクトにおいてHexa-X等の研究開発を実施
	応用研究・開発	○	↗	ETSIの仮想化フレームワークを活用した実証プロジェクトを推進
中国	基礎研究	△	→	IMT-2030 Promotion GroupにおいてネットワークにAIをインテグレートした技術開発を推進
	応用研究・開発	△	→	6G Alliance of Network AIにおいてAIOpsや自律性ネットワークの実証を実施
韓国	基礎研究	△	→	韓国政府が6Gパイロットプロジェクトを立ち上げユースケース等を検討
	応用研究・開発	○	→	主要通信ベンダが仮想化技術、ディスアグリゲーション技術に取り組む

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発フェーズ：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

(註2) 現状

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

×：活動・成果がほとんど見えていない

○：顕著な活動・成果が見えている

—：評価できない（公表する際には、表示しない）

△：顕著な活動・成果が見えていない

(註3) 近年（ここ1～2年）の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向 →：現状維持 ↘：下降傾向

参考文献

- 1) European Telecommunications Standards Institute (ETSI), “ETSI GS ENI 005 V2.1.1 (2021-12) : Experiential Networked Intelligence (ENI) ; System Architecture,” https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ENI/001_099/005/02.01.01_60/gs_ENI005v020101p.pdf, (2023年2月26日アクセス) .
- 2) IEEE 802.1, “Time-Sensitive Networking (TSN) Task Group,” <https://1.ieee802.org/tsn/>, (2023年2月26日アクセス) .
- 3) Internet Engineering Task Force (IETF), “Deterministic Networking (detnet),” <https://datatracker.ietf.org/wg/detnet/about/>, (2023年2月26日アクセス) .
- 4) European Telecommunications Standards Institute (ETSI), “ETSI GS MEC 003 V3.1.1 (2022-03) : Multi-access Edge Computing (MEC) ; Framework and Reference Architecture,” https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/03.01.01_60/gs_MEC003v030101p.pdf, (2023年2月26日アクセス) .
European Telecommunications Standards Institute (ETSI), “ETSI GS MEC 009 V3.2.1 (2022-07) : Multi-access Edge Computing (MEC) ; General principles, patterns and common aspects of MEC Service APIs,” https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/009/03.02.01_60/gs_MEC009v030201p.pdf, (2023年2月26日アクセス) .
- 5) GSM Association (GSMA), “API Exchange,” <https://www.gsma.com/identity/api-exchange>, (2023年2月26日アクセス) .
- 6) TM Forum, “Collaboration: Member Projects,” <https://www.tmforum.org/collaboration/dsra-project/>, (2023年2月26日アクセス) .

- 7) TM Forum, “Open Digital Architecture (ODA),” <https://www.tmforum.org/oda/>, (2023年2月26日アクセス) .
- 8) Ignacio Labrador Pavón, et al., “Deliverable D6.2: Design of service management and orchestration functionalities, Version 1.1,” Hexa-X, https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2022/05/Hexa-X_D6.2_V1.1.pdf, (2023年2月26日アクセス) .
- 9) 3GPP Portal, “TS23.434: Service Enabler Architecture Layer for Verticals (SEAL) ; Functional architecture and information flows, Release 17, V17.1.0, April 2021,” <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3587>, (2023年2月26日アクセス) .
- 10) Dimitrios Fragkos, et al., “5G Vertical Application Enablers Implementation Challenges and Perspectives,” in *Proceedings of 2021 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking (MeditCom)* (IEEE, 2021), 177-122., <https://doi.org/10.1109/MeditCom49071.2021.9647460>.
- 11) Sapan Pramodkumar Shah, et al., “Service Enabler Layer for 5G Verticals,” in *2020 IEEE 3rd 5G World Forum (5GWF)* (IEEE, 2020), 269-274., <https://doi.org/10.1109/5GWF49715.2020.9221425>.
- 12) Joseph McNamara, et al., “A Flexible Interpreter For Intent Realisation,” in *NOMS 2022-2022 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium* (IEEE, 2022), 1-6., <https://doi.org/10.1109/NOMS54207.2022.9789910>.
- 13) Chao Wu, Shingo Horiuchi and Kenichi Tayama, “A Resource Design Framework to Realize Intent-Based Cloud Management,” in *Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)* (IEEE, 2019), 37-44., <https://doi.org/10.1109/CloudCom.2019.00018>.
- 14) 国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) 「Beyond 5G/6G White Paper : 日本語2.0版 (2022年3月)」 https://beyond5g.nict.go.jp/images/download/NICT_B5G6G_WhitePaperJP_v2_0.pdf, (2023年2月26日アクセス) .
- 15) Paul Pop, et al., “Enabling Fog Computing for Industrial Automation Through Time-Sensitive Networking (TSN),” *IEEE Communications Standards Magazine* 2, no. 2 (2018) : 55-61., <https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.2018.1700057>.
- 16) 情報通信審議会 「Beyond 5Gに向けた情報通信技術戦略の在り方：強靱で活力のある2030年代の社会を目指して：中間答申 (令和4年6月30日)」 総務省, https://www.soumu.go.jp/main_content/000822641.pdf, (2023年2月26日アクセス) .