

# AIによる無線アクセスネットワーク 運用管理の高度化

## 目次

はじめに.....	2
ネットワーク技術の方向性.....	3
ネットワーク技術の動向.....	3
標準化の動向.....	4
ネットワーク技術の将来予測.....	6
RAN 運用の高度化.....	7
RAN 運用の課題.....	7
サービス多様化によるネットワークの複雑化.....	7
ネットワーク消費電力の増大.....	7
富士通が目指す RAN 運用管理の高度化.....	8
アプローチ.....	8
提供価値.....	8
RAN の運用管理アーキテクチャ.....	10
RAN の運用管理を支える富士通の先進 AI 技術.....	11
重要時刻と予測の不確実性を考慮した時系列予測技術.....	11
Wide Learning™.....	12
Constrained KPI-managing Multi-Agent Reinforcement Learning (CK-MARL).....	13
富士通が提案する RAN 運用高度化ソリューション.....	14
停波による基地局省電力運用ソリューション.....	14
サービス断エリアの救済ソリューション.....	16
動画配信サービス向け QoE 監視ソリューション.....	17
多様なサービスに対応した QoE 監視ソリューション.....	19
おわりに.....	20
Acronyms.....	21

## はじめに

ネットワークを取り巻く社会の状況は、日々進化・発展しています。動画付きのソーシャルメディアがコミュニケーション手段として普及し、オンラインゲームやアバター体験などがネットワーク越しに行われ、多様な視聴チャネルがネットワークを介して配信されています。ライフスタイルの変化に伴い、自宅などでのリモートワーク、オンラインミーティングが定着し、産業分野では、工場、農業、交通などの各々の現場において、センシングやリモート制御がネットワークを活用しながら行われています。

2020年から展開が始まった5Gネットワークは、大容量(10G)、低遅延(1ms)、多数収容(100万台/km<sup>2</sup>)という特長を生かし、様々な用途において社会実装が進んでいます。ホログラムや拡張現実など、今後さらに進化するであろうデジタル社会に向けて、2030年頃をターゲットに6Gの検討も始まりつつあります。6Gにおいては5Gの各々の機能を拡張すると共に、消費電力削減による環境への配慮も求められていきます。

無線アクセスネットワークサービスの提供は、直接的には基地局などのネットワーク機器によって行われます。そして、ネットワーク機器自体も広帯域を提供するミリ波のサポート、ハードウェア基盤の高性能化など、それ自体が進化していきます。ただし、ネットワークへの要求が多様化し、大きく使い方が変化していく中では、環境への配慮も考えながらネットワークシステム全体として柔軟に要求に応じていく必要があります。また、災害や緊急事態発生時には、突発的、局所的に大きな負荷がネットワークに押し寄せるかもしれません。多様化するアプリケーションや突発的な事象に対してネットワークリソースをダイナミックに動かすためには、人手では対応困難な事象において適切な判断が行える人工知能(AI: Artificial Intelligence)の役割が重要になると考えています。

ネットワークの世界の外におけるAI技術の適用領域拡大には目を見張るものがあります。蓄積されたビッグデータを活用しながら、様々な現場でAIの活用が進んでいます。例えば、翻訳、コールセンター、病院での診断サポートなど、ヒューマンリソースの効率化に加え、人間では気づかなかった事象や関係性の示唆、さらに大規模言語モデルによる人間の文章とほぼ同レベルの流暢さと論理性を持ったテキストの自動生成サービスの登場などにより、多言語への対応や多くの業務の効率化が可能になり、人々の生活や産業を改善し、豊かにしています。

ネットワークもオープン化、仮想化、スモールセル化などが進み、クラウドと同じように、柔軟にリソース配備を変更できるようになってきました。また、アプリケーションの重要度や特徴に応じて、流れるデータをスライスという単位に分類し、スライス毎に最適なりソース割当てが可能となるネットワークアーキテクチャが整いつつあります。さらに、無線アクセスネットワークでは、RIC(RAN Intelligent Controller)と呼ばれるAIを活用するコントローラがアーキテクチャ上に定義されています。

本ホワイトペーパーでは、AI活用がレディになりつつある無線アクセスネットワークの動向と、無線アクセスネットワークとAIを組み合わせた先進的なユースケースや実現する技術について紹介いたします。大きく社会に影響を持つようになったAIはネットワークに対しても今後大きな革新をもたらすでしょう。

図1に本ホワイトペーパーの位置付けを示します。

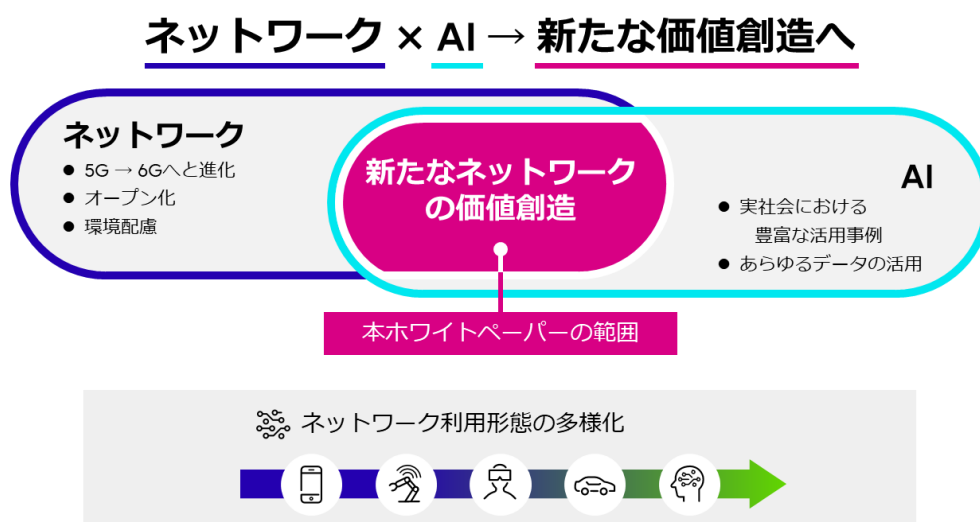


図1 本ホワイトペーパーの位置付け

# ネットワーク技術の方向性

## ネットワーク技術の動向

図 2 は現在のネットワーク技術の動向を示したものです。

今まで、無線基地局、スイッチ、ルータといったネットワーク製品は、主としてハードウェア製品として提供されてきました。現在では、ネットワーク機能をソフトウェアで構成し、汎用コンピュータ上のアプリケーションとして実現する仮想化と、そのインタフェースのオープン化が進んできています。これによってネットワークを構成する様々な要素を分解することが可能になり、構成要素単位での変更や、複数ベンダの構成要素を組み合わせるなど柔軟なネットワーク構築が実現できます。そのような中で、安心安全で省電力に運用できるネットワークを実現していくためには、分解された各構成要素を適切に組み合わせるインテリジェントなオーケストレーションが重要です。

この時、ネットワークの入り口として、スマートフォンに限らず車・工業機械・VR 機器など、あらゆるモノがつながる無線アクセスネットワーク (RAN: Radio Access Network) は特に重要で、そのオーケストレーションと運用高度化が、ネットワーク制御の大きなポイントになります。

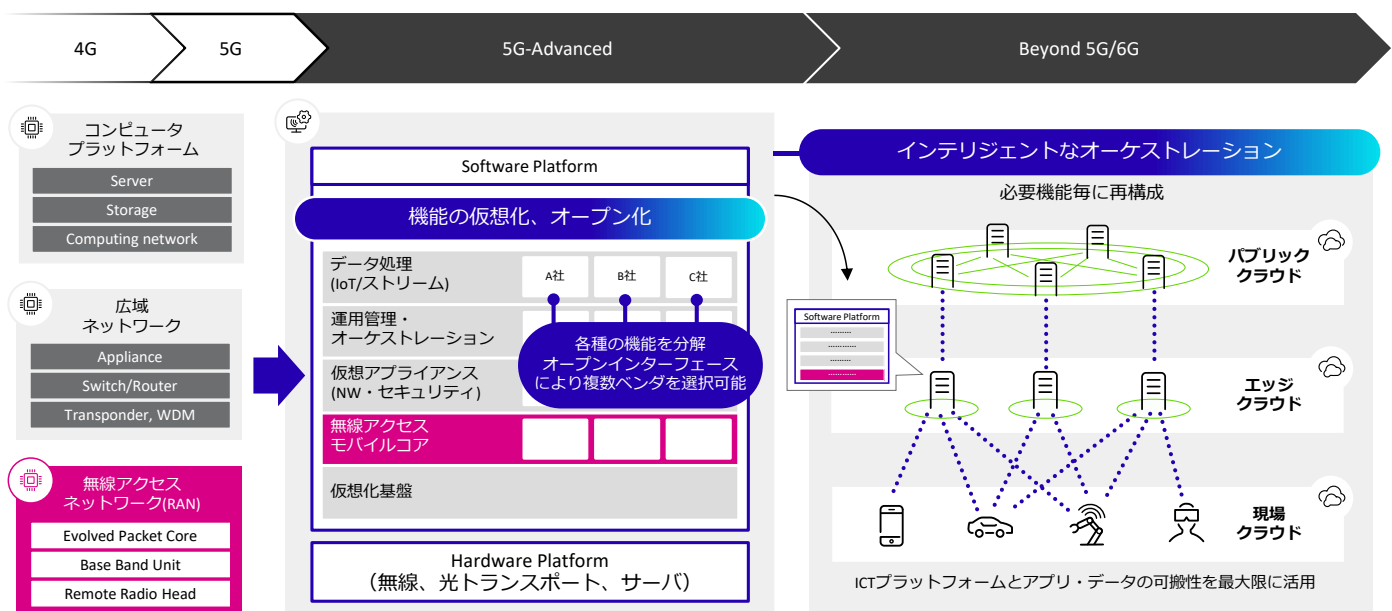


図 2 ネットワーク技術の動向

## 標準化の動向

移動体通信システムの国際標準化団体である 3GPP (3rd Generation Partnership Project) と、そのオープン化や相互検証を進めている企業アライアンスの一つである O-RAN ALLIANCE における RAN の標準化の動向を図 3 に示します。富士通は 3GPP と O-RAN ALLIANCE の両団体に参加しており、標準化活動に積極的に貢献しています。

3GPP では Release18 以降を 5G の直接的な発展形である 5G-Advanced と呼称し標準仕様の策定を予定しており、5G の継続的な改善と共に、インテリジェントなオーケストレーションに関連してネットワークデータ分析機能 (NWDAF) に加えて AI の導入や、ネットワークのエネルギー効率化といった新しい検討が行われています。

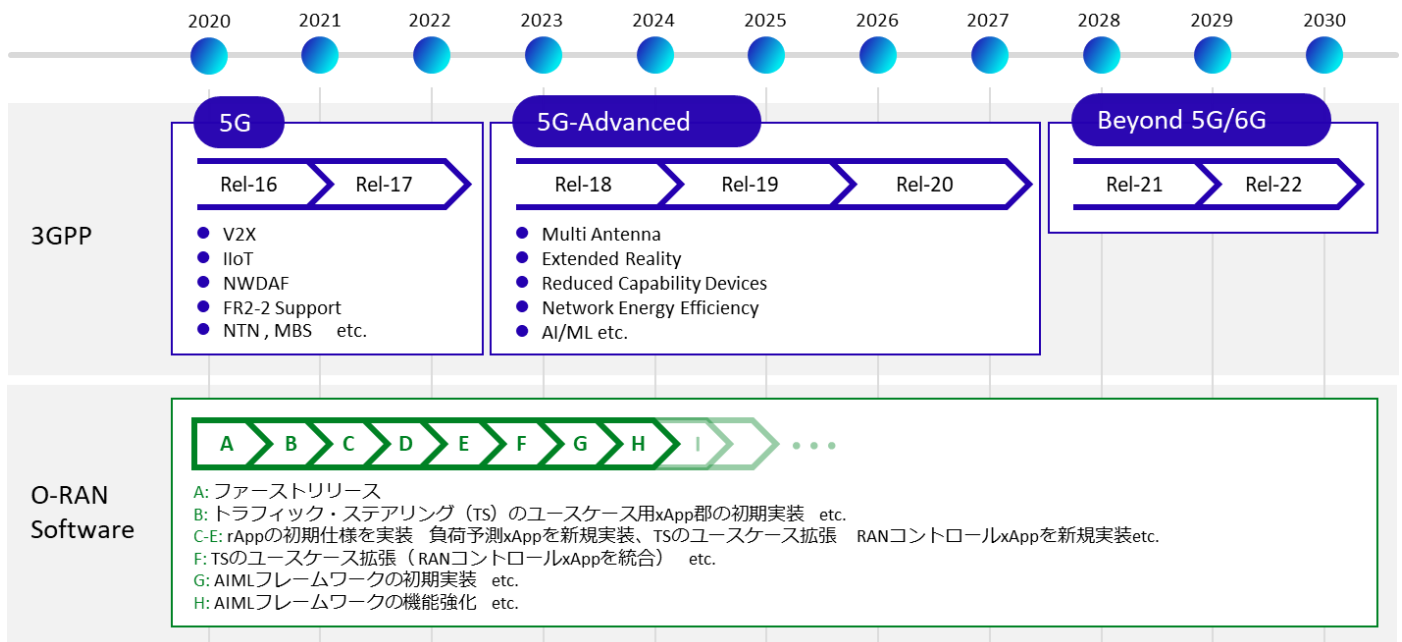


図 3 RANの標準化

O-RAN ALLIANCEは「オープン」「インテリジェント」という2つのビジョンを掲げており、そのビジョンの実現に向けて定義されたアーキテクチャを図4に示します。

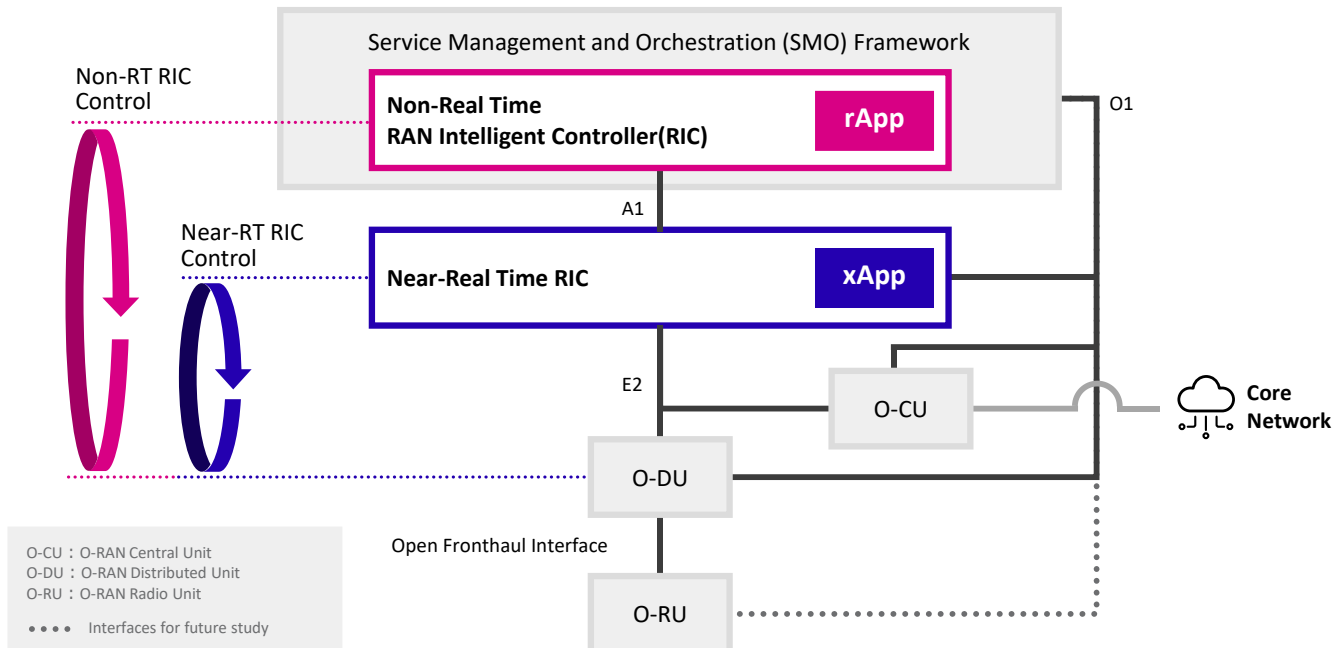


図4 O-RAN アーキテクチャ

RICはRANのリソース管理の最適化やオペレーションの自動化を実現するプラットフォームであり、制御周期の違いにより、非リアルタイムな処理を行う「Non-RT RIC (Non-Real Time RIC)」と、準リアルタイムな処理を行う「Near-RT RIC (Near-Real Time RIC)」に分かれています。

Non-RT RICは、RANの保守やオーケストレーションを行う「SMO (Service Management and Orchestration)」の内部に配置され、AIを活用した分析によって最適化した設定パラメーターを、O1インタフェースを介してO-CUやO-DUに設定することができます。また、RANの制御に関わるポリシーを生成しA1インタフェースを介してNear-RT RICへ通知することができます。

Near-RT RICは、E2インタフェースを介しO-CUやO-DUの情報を収集し、Non-RT RICから通知された制御ポリシーにしたがってO-CUやO-DUを制御します。

Non-RT RICではrApp、Near-RT RICではxAppというアプリケーションを用いて、各種情報分析や制御ポリシーの生成・実行を行います。rApp・xAppはRICのフレームワークから独立したアーキテクチャになっています。

A1、E2、O1はO-RAN ALLIANCEで標準化されたインタフェースあり、これらにより構成要素単位の変更や、構成要素間の相互接続が柔軟に実現でき、異なるベンダで作成された構成要素を組み合わせたマルチベンダシステムの構成を容易にします。

上記アーキテクチャとO-RAN ALLIANCEの定める仕様を実装した“O-RAN Software”は2019年11月に初版がリリースされて以降も機能拡張が進み、2022年12月にはAIMLフレームワークを実装したG Releaseが公開されています。

## ネットワーク技術の将来予測

標準化の動向から、RAN 領域に関わる技術の将来的な動向の予測を図 5 に示します。

基地局装置などの無線アクセス技術の領域では、高周波帯通信技術やエッジコンピューティングの活用など Beyond5G/6G に向けた通信速度や遅延などの性能面の向上が続けられると共に、ネットワーク機能の仮想化によりソフトウェア基地局を実現し、O-RAN ALLIANCE などで標準化されたオープンインタフェースに対応させることで、マルチベンダ間の相互接続が行われていくと考えます。

また、RAN 領域を監視・制御するネットワーク運用技術としては、AI を活用した用途別スライシングやリソースの最適管理、エネルギー効率化などが重要になっていきます。これらを実現するために、基地局全体を柔軟に制御するインテリジェントなオーケストレーションの要求が高まると予想されます。

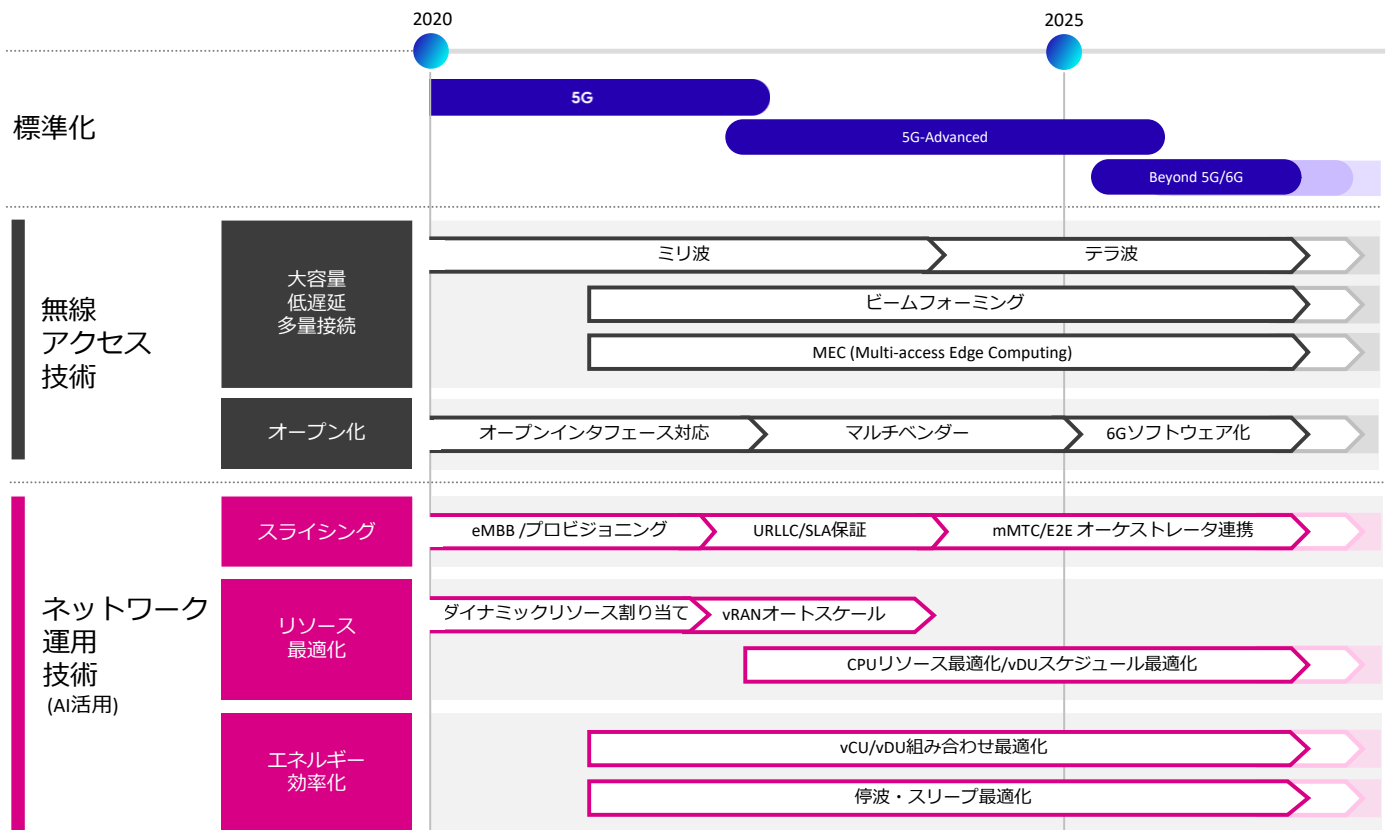


図 5 ネットワーク技術の将来予測

## RAN 運用の高度化

### RAN 運用の課題

RAN におけるインテリジェントなオーケストレーションを進める上で、サービス多様化によるネットワークの複雑化と消費電力の増大への対応が大きな課題となります。

### サービス多様化によるネットワークの複雑化

ネットワークを介したサービスをユーザーが快適に利用するには、サービスやデバイスの種類、トラフィック量などに応じて、多種多様な構成要素を最適に組み合わせたネットワークが必要になります。前述したようにネットワークを介した新たなサービスが次々と登場しており、構成要素の組み合わせは非常に複雑になっています。

また、イベント開催などによる短期間の人流変化や、新しいビルの建設などに伴う通信環境の変化によっても、繋がりやすさといったネットワーク品質は刻々と変動し、突発的な災害や故障・障害発生時には速やかな復旧が強く求められるなど、環境の変化に対応したネットワークの素早い再構築が求められています。

サービスの多様化により複雑化した構成要素の組み合わせを、変動に対してどのように素早く行うかが大きな課題となります。

### ネットワーク消費電力の増大

パリ協定や SDGs で定められた世界共通目標の達成に向け、企業による気候変動に対する取り組みへの期待が高まっており、様々な業界で温室効果ガスの排出量削減や再生可能エネルギーの利用促進の取り組みが活発化しています。

一方、ネットワークの全世界における消費電力の予測<sup>1</sup>を見ると、2018 年に 395 TWh、2030 年に 2,400 TWh と増加予測されており、内訳をみると特に RAN の消費電力が支配的（RAN の消費電力が占める割合：2018 年 93%、2030 年 88%）です。

トラフィック量やデバイス数の増加を伴うサービスの進化・高度化は、膨大な数の基地局展開によって実現されていきます。そのため、RAN 全体としての消費電力削減を達成するためには、基地局装置そのものの低消費電力化に加え、基地局を管理・運用する RAN 運用の高度化が大きな課題となります。

---

<sup>1</sup> 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター. “情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol. 5) ” (令和 5 年 2 月)  
<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2022-pp-05.pdf>

## 富士通が目指す RAN 運用管理の高度化

こうした課題を、富士通はネットワークの品質の現在値と今後の予測値に基づいてネットワーク機器をリアルタイムに制御する「プロアクティブな RAN 自動最適化」で解決していきます。プロアクティブな RAN 自動最適化によって、品質が劣化したあとのタイムリーな対応に留まらず、サービスに影響を及ぼし得る品質劣化にも予見的に対応できるようになり、ユーザーは高品質な 5G ネットワークを活用する様々な先進的なサービスを快適に利用できるようになります。

### アプローチ

富士通はプロアクティブな RAN 自動最適化に向けて、図 6 に示す 2 つのステップで取り組みます。

第 1 のステップでは、先進的な AI 技術を活用し、予知保全的かつ自動的な運用管理を実現します。具体的には、人では発見することが難しいスループットや遅延などのネットワークの品質 (QoS: Quality of Service) の劣化を事前に予測し、その原因の分析や対処作業を自動的に実行します。

第 2 のステップでは、ユーザーがサービスを利用する際に実際に感じるユーザー体感品質 (QoE: Quality of Experience) を品質評価の指標として新たに追加し、QoE を一定水準以上に保つことによって、ユーザーが満足できる品質のネットワークの提供を実現します。具体的には、従来の QoS では検出できなかったユーザーが感じる品質劣化への対応や、ユーザーが知覚できない過剰な品質のために使われているリソースの他サービスへの割り当てなどによって、より多くのユーザーがサービスを快適に利用できるようにします。



図 6 RAN 自動最適化へのアプローチ

### 提供価値

図 6 に示した課題解決のアプローチを図 7 の実例を基に示します。

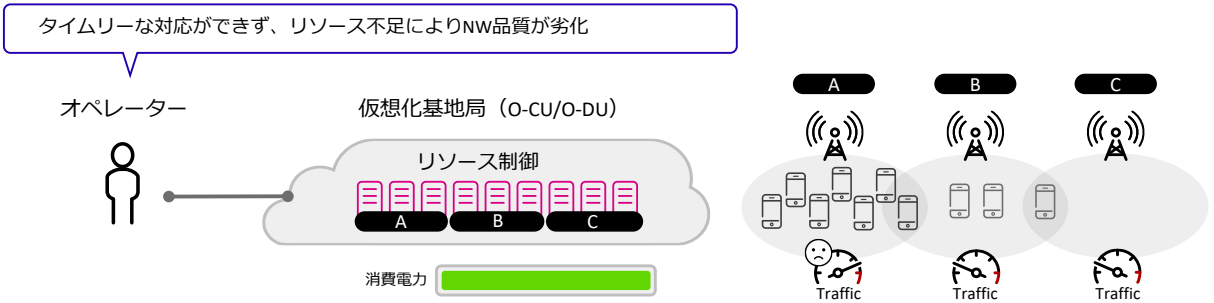
従来の RAN 制御では、定期点検のタイミングや障害が発生してからオペレーターがトラフィック量やパケットロスなどの情報を参考にネットワークの品質の測定・パラメーター調整や障害対応を行っているため、状況の変化にタイムリーに追従することができず、ユーザーの QoE 低下や、障害復旧に時間がかかるなどの問題がありました。

これに対して、ステップ 1 として AI によるプロアクティブな自動運用を適用すると、AI がリアルタイムに QoS スコアを予測することで、QoS 劣化の兆候を検知し、QoS を劣化させないためのネットワークリソースの再調整 (1-a) や、必要な QoS に対して過剰に使用されているネットワークリソースの開放などの対処 (1-b) を自動的に実行します。これにより、QoS の劣化を防ぎながら、余剰リソースを削減することで消費電力の低減を可能とします。

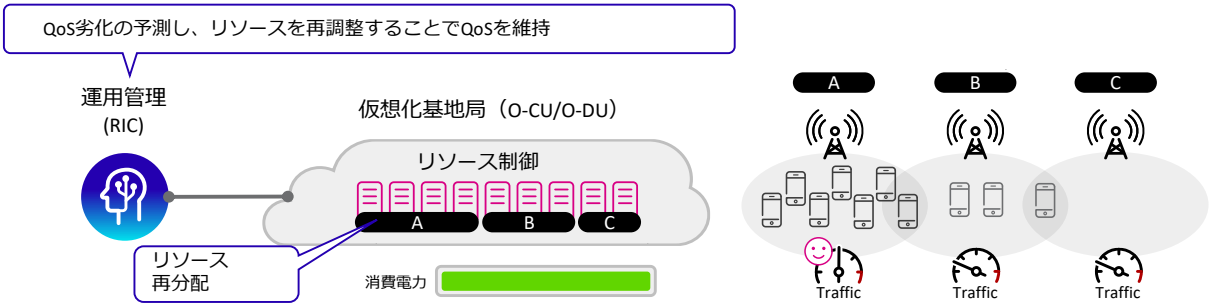
さらに、ステップ 2 として QoE を評価指標としたリソース最適化を適用すると、AI がリソースの変動に対する QoE スコアを予測することで、ユーザーの体感品質を保つために必要なリソースが把握できます。必要なリソースに対してそれを上回るリソースが使用されている場合は、過剰な品質のために使用されるリソースとして削減が可能になります。これによりユーザーの QoE を低下させずに、消費電力をさらに低減することができます。



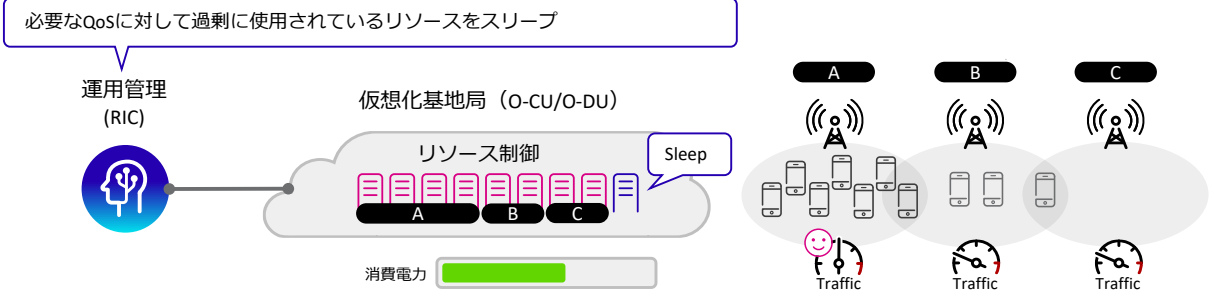
**従来** Traffic増加に対してリソースが不足しネットワーク品質が低下



**Step 1-a** リソースを自動で再調整しネットワーク品質を維持



**Step 1-b** ネットワーク品質を維持しながら、消費電力を削減



**Step 2** ユーザー体感品質を維持しながら、消費電力をさらに削減

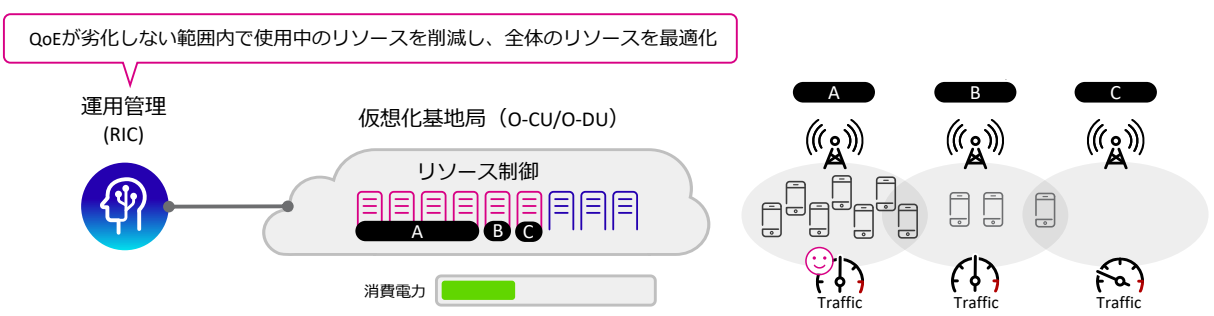


図 7 低消費電力とネットワーク品質/ユーザー体感品質の両立

## RANの運用管理アーキテクチャ

プロアクティブなRAN自動最適化を実現するためのアーキテクチャを図8に示します。本アーキテクチャは、図4に示したO-RANアーキテクチャに対して、SMO内部のNon-RT RICフレームワーク上に「QoS監視・予測」「リアルタイムQoE監視」および「動的RAN最適制御」を実現するrAppを追加し、「QoE監視用パケット分析」を実現するコンポーネントを追加しています。

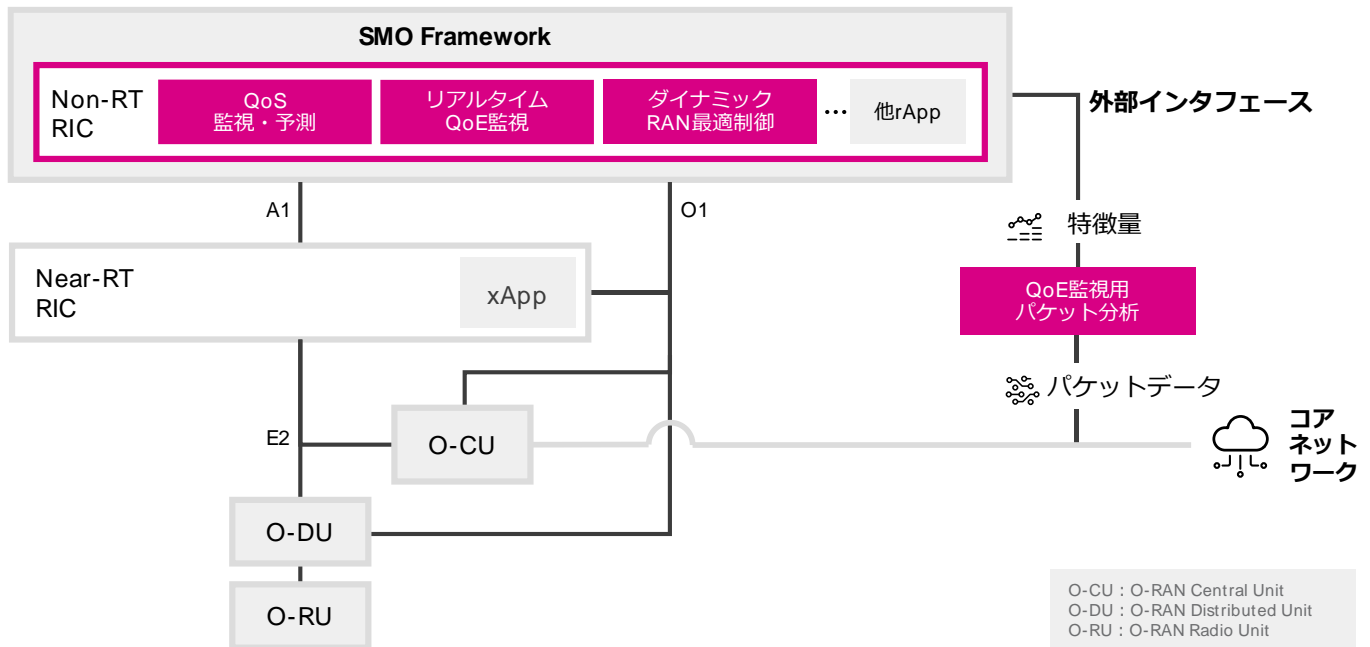


図 8 RAN 運用管理アーキテクチャ

追加した rApp およびコンポーネントの機能は以下の通りです。

### 1. QoS 監視・予測

ネットワークの品質を示す QoS の現在値の算出と将来値を予測する rApp です。QoS の現在値は、O1 インタフェースを介して、O-DU や O-CU から収集した性能データの統計情報から算出します。算出した QoS の現在値は SMO 内に蓄積しておき、時系列データ分析によって将来値を予測します。

### 2. リアルタイム QoE 監視

ユーザー体感品質を示す QoE の現在値を推定する rApp です。QoE の現在値は、後述する「QoE 監視用パケット分析」コンポーネントから取得したデータに基づいて推定します。リアルタイムに取得したパケットデータの分析結果を利用することで、O-DU や O-CU の性能データの統計情報から算出した QoS の現在値では顕在化しない短期間に発生するユーザー体感品質の変化を検出できるようになります。

### 3. ダイナミック RAN 最適制御

QoS の予測値や QoE の現在値と、基地局の無線通信処理の遅延や消費電力などの RAN システムに要求される様々な性能や条件を満たすように、O1 インタフェースや A1 インタフェースを介して、O-DU や O-CU の稼働状態や動作パラメータを制御する rApp です。特に、QoS の予測値を積極的に用いることによって、品質劣化へのプロアクティブな対応を実現します。

### 4. QoE 監視用パケット分析

パケットデータを取得し、QoE の現在値を推定するための特徴量を抽出する外部コンポーネントです。膨大なパケットデータをリアルタイムに漏れなく取得して、特徴量を高速に抽出して蓄積します。蓄積した特徴量は Non-RT RIC フレームワーク上の「リアルタイム QoE 監視」コンポーネントが、外部インターフェースを使って取得します。

## RANの運用管理を支える富士通の先進AI技術

プロアクティブなRAN自動最適化を実現するためには、品質の変化を的確に予測し、多くの性能や制約を満たしながら品質を改善するようにO-DUやO-CUなどの稼働状態やパラメータを制御する必要があります。これまで、様々なAIを活用した予測技術や制御技術が開発されてきましたが、「予測結果はどのくらい信頼できるのか」「なぜそのように予測したのか」「制御しても問題はないのか」など、特にミッションクリティカルなシステムを制御する際に重要となる疑問に対して、答えることができませんでした。

富士通では、様々な場面でAI技術を安心して利用できるようにするために、「信頼できるAI」や「説明可能なAI」を始めとする先進的なAI技術の開発に取り組んでいます。以降で、富士通が提案するプロアクティブなRAN自動最適化を実現するための研究開発中のAI技術について説明します。

### 重要時刻と予測の不確実性を考慮した時系列予測技術

ネットワークシステムにリソースを割り当てる際の根拠になる通信トラフィックなどのQoSの予測では、できるだけ実際の需要を下回らない近い値を予測するだけでなく、急激な変化やピークが現れるなどの重要な時刻に信頼性の高い値を予測することが求められます。

本技術は、対象システムの最適化あるいは制御によって達成すべき性能を数学的に定義した関数を分析し、性能を最大化する上で重要な時間帯を自動的に求めて、予測モデルを構築する際にその時間帯の予測精度を重視するようにします。さらに、所定の信頼度に基づく予測値の不確実性（ばらつき）を算出し、各時刻の予測値に対して個々の予測値のばらつきに基づく適切なマージンを設定した時系列予測モデルを構築します（図9）。これにより、時間変動の大きな通信トラフィックに対しても、信頼性と安全性を両立する予測が可能となります。本技術を「QoS監視・予測」rAppに適用することによって、QoSの変動を適切に予測し、ネットワークシステムにリソースをプロアクティブに割り当てることができます。

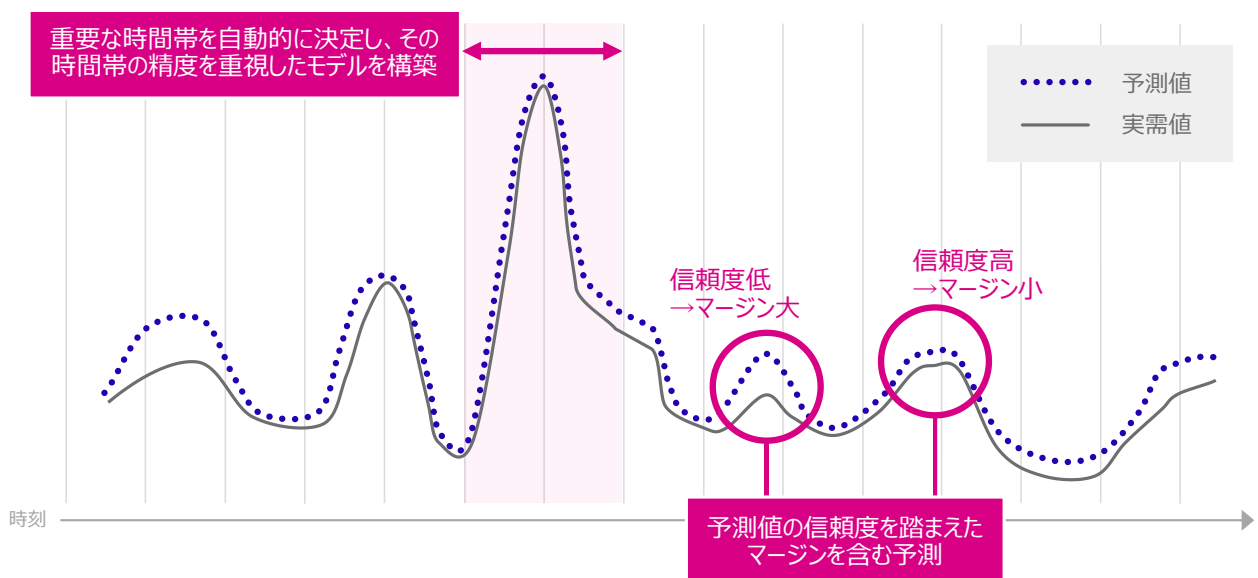


図9 重要時刻と予測の不確実性を考慮した時系列予測

## Wide Learning™

AI技術をモバイルオペレータのネットワーク運用などのミッションクリティカルな業務に適用する場合には、前述した「判断結果の信頼性・安全性」だけでなく、「なぜそのように判断したのか」という「判断根拠の説明性」も重要です。ところが、現在の一般的なAI技術では、判断根拠はブラックボックス化されており、人はその判断根拠を知ることはできません。

本技術は、入力データ項目の全ての組み合わせによって記述された膨大な数の「仮説」を高速かつ網羅的に列挙し、統計的に検証して重要な仮説を発見し、この重要な仮説を用いて予測や分類などの知的な判断を自動的に行って、判断に用いた仮説を根拠として示します（図10）。これによって、ネットワークの様々なメトリクスから影響を受けるQoEの推定において、QoEに影響を及ぼす重要な仮説を導出でき、説明性の高い推定モデルを構築できます。さらに、入力データ項目の組み合わせが異なる仮説によってQoEの推定結果が変わる場合には、推定結果の差を生じさせた仮説を構成する入力データの差分を対処すべきアクションとしてリコメンドできます。このため、本技術を「リアルタイムQoE監視」rAppおよび「QoE監視用パケット分析」コンポーネントに適用することによって、パケットデータから説明性の高いQoE推定を実現することができ、QoEに変化があった場合には、どのような対処を取れば良いかを特定できるようになります。

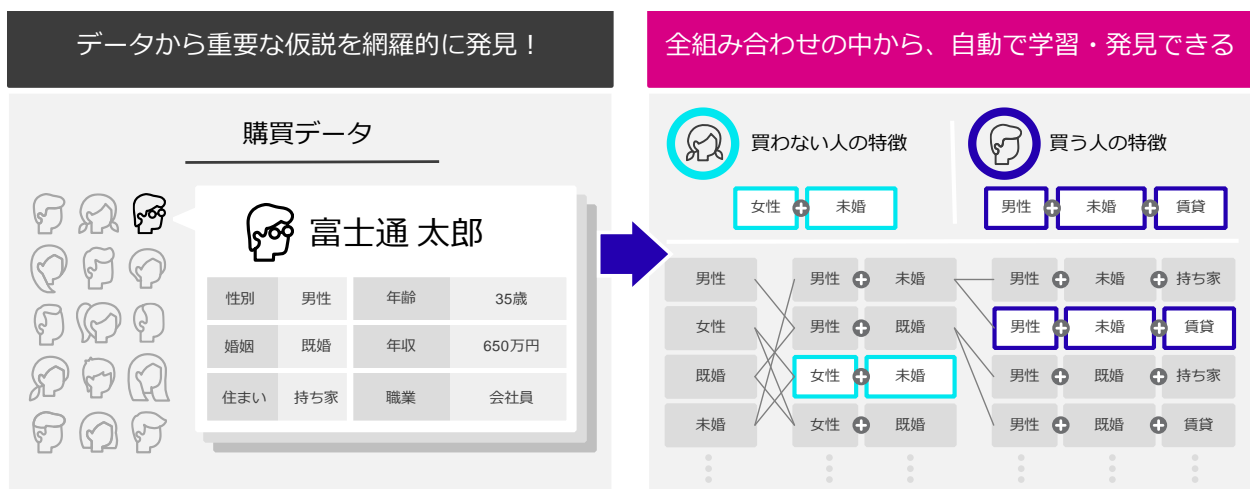


図 10 Wide Learning™

## Constrained KPI-managing Multi-Agent Reinforcement Learning (CK-MARL)

AI エージェントが自身の行動による経験を通じて制御方策を学習することによって、最適な制御を実現する「強化学習」と呼ばれる AI 技術があります。ところが、1つの AI エージェントが多くの対象を管理する集中型のシングルエージェント強化学習では（図 11 左）、対象エリア全体から生成される大量のデータをリアルタイムに処理することは困難です。そのため、モバイルネットワークのように、広範囲の O-DU や O-CU などからリアルタイムにデータを収集・処理し、きめ細かに O-DU や O-CU を制御するような場面には適用できません。

CK-MARL は、最適化する管理対象のある対象エリアを複数の小さなエリアに分割し、個々のエリアに対して AI エージェントを配置する分散型のマルチエージェント強化学習です。CK-MARL では個々の AI エージェントは対応するエリアの制約条件を満たすように制御を行いつつ、他の AI エージェントと情報を交換しながら協調動作して、全エリアに対する制約条件も満たすように制御し、対象エリア全体を最適化することができます（図 11 右）。このように、個々の AI エージェントは分割されたエリア周辺のデータのみを処理すれば良いため、最適化の対象エリアが拡大してデータ量が増大しても、エリアを適切に分割することによってスケーラブルに対応することができます。本技術を「ダイナミック RAN 最適制御」rApp に適用することによって、大規模なモバイルネットワークにおいても、分割した個々のエリア内でのスループットや通信遅延などの QoS を満たすように制御しながら、エリア全体の合計消費電力を規定値以下に抑制するなどの、複雑なリアルタイム最適化を実現できるようになります。

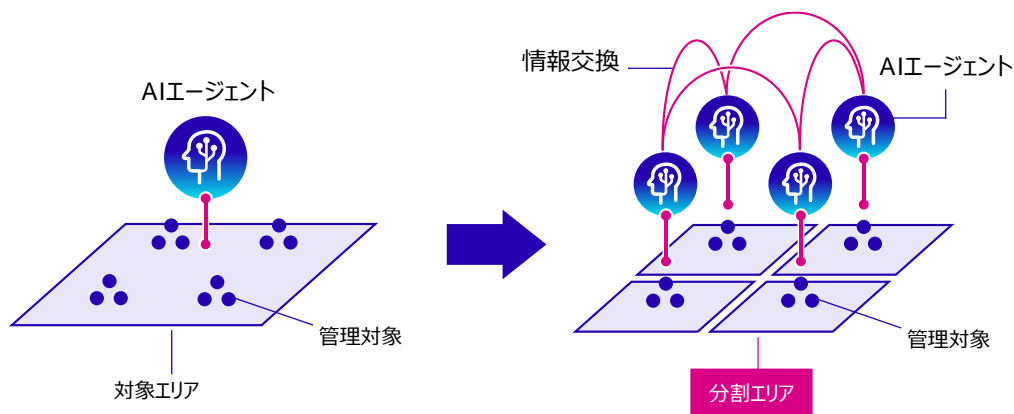


図 11 CK-MARL

富士通では、本節で説明した先進的な AI 技術以外にも、様々な AI を活用して RAN の運用を高度化する技術開発を進めています。次節では、現在取り組んでいる具体例について紹介します。

## 富士通が提案する RAN 運用高度化ソリューション

本節では、富士通が現在開発しているソリューションを紹介します。

はじめに、AIによるプロアクティブな自動運用を実現するステップ1のソリューションとして、停波による基地局省電力運用ソリューションとサービス断エリアの救済ソリューションについて説明します。

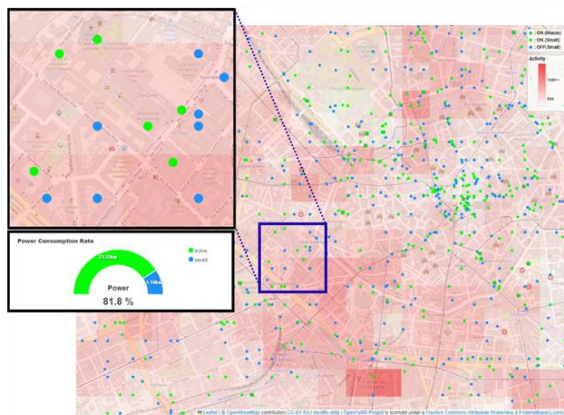
続いて、QoEを評価指標としたリソース最適化を実現するステップ2の初期段階のソリューションとして、動画配信サービス向けQoE監視ソリューションと多様なサービスに対応したQoE監視ソリューションについて説明します。

### 停波による基地局省電力運用ソリューション

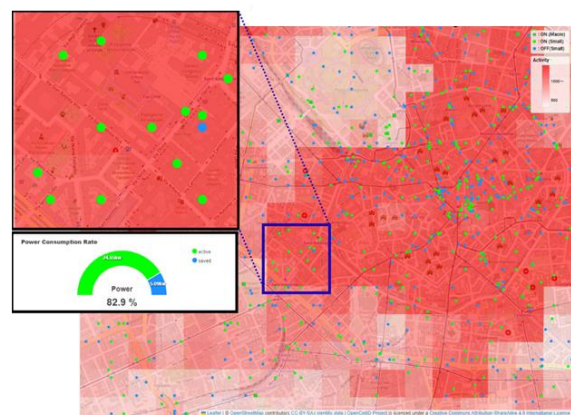
富士通では、5Gの高スループットや低遅延などのQoSを維持しながら省電力を実現するため、前節で説明した先進AI技術CK-MARLを用いた基地局省電力運用ソリューションを開発しました。本ソリューションでは、通信トラフィックの変動に応じて、O-RU毎にアクティブあるいはスリープのいずれかの状態を設定します。このとき、アクティブ状態のO-RUをスリープ状態に変更すると消費電力を低減することができる一方で、そのO-RUに接続していたユーザー端末は周辺の他のO-RUに接続し、新たな接続先のO-RUの負荷が増加します。そのため、本ソリューションでは、全てのO-RUの負荷が一定の閾値を超えないようにそれぞれのO-RUの状態を設定します。これによって、全てのO-RUの処理負荷の制約を満たしつつ、消費電力の削減を実現できます。このような制御のための方策は、CK-MARLが広範囲な地域特性、時間変動を持つトラフィックデータを用いた学習を行うことで自動的に獲得できるため、人手による設計作業は不要です。

図12は、本ソリューションをイタリアミラノ市のトラフィックデータに適用した際の画面例です。本ソリューションではミラノ市を約250m四方のエリアに分割し、各エリアをさらに4分割した領域をトラフィックが少ないときは薄い赤、多いときは濃い赤で表示し、O-RUがアクティブのときは緑、スリープのときは青で表示しています。図12左はトラフィックが少ない場合で、半数以上のO-RUが青のスリープ状態になっていますが、図12右のようにトラフィックが増加してくるとそれまでスリープ状態だったO-RUが緑のアクティブ状態に変わっています。今回、CK-MARLによって、約1000台のO-RUを30分毎に制御できることを確認しました。

① トラフィックが少ない場合



② トラフィックが多い場合



©OpenStreetMap <https://www.openstreetmap.org/copyright>  
Scientific Data is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License  
OpenCellID Project is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

図12 停波による基地局省電力運用ソリューションの運用画面例

図13に、ミラノ市の一部のトラフィックデータを用いて、全てのO-RUがアクティブだった場合に対して、消費電力の削減のみを目的とした従来の強化学習とCK-MARLを適用した場合の効果を示します。消費電力に関しては、従来の強化学習が25.3%、CK-MARLが23.5%削減可能という結果が得られましたが、従来の強化学習は基地局の最大負荷に関する制約条件を満たしていないため、通信処理に遅延が発生するなどの通信品質に関する問題が発生する場合があります。これに対して、CK-MARLは制約条件を確実に満たしながら、消費電力を20%以上削減を実現できます。

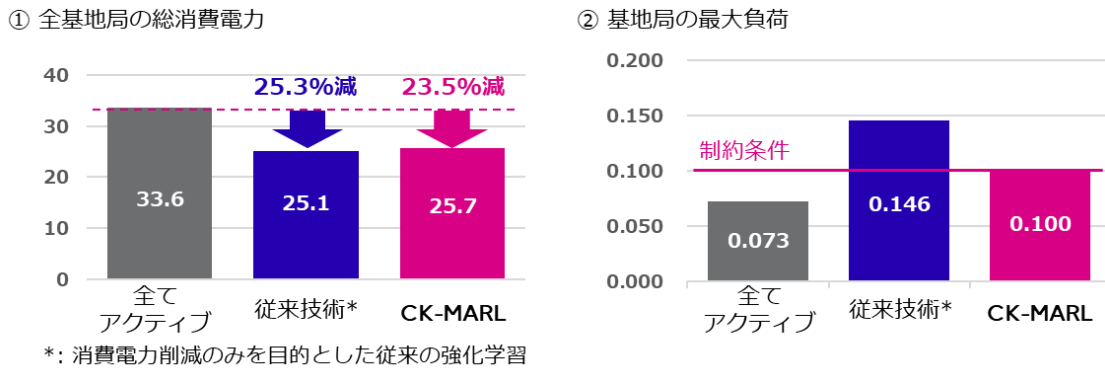


図 13 停波による基地局省電力運用ソリューションの効果例

本ソリューションは、SMOのNon-RT RIC上のrAppに搭載したCK-MARLで実現しており、CK-MARLはRANの各ノードから取得したトラフィックデータやO-RUの稼働状態を用いてそれぞれのO-RUの制御方策を決定しています。また、きめ細かなスリープ状態を設定できる次世代O-RUと組み合わせることで最大で50%の消費電力を削減可能なことも分かっており、今後は実環境での検証を進め、安心・安全・省電力のサステナブルなネットワーク環境の実現を目指します。

## サービス断エリアの救済ソリューション<sup>2</sup>

あらゆる人やモノがつながる 5G 以降の RAN は、重要な社会インフラであり、サービスの継続性が求められます。特に災害等の緊急事態の発生時には、サービス断エリアの迅速な検出と復旧が重要ですが、現状ではサービス断エリアの正確な把握からサービス復旧までには数日を要しており、大きな課題となっています。

富士通では、この課題を解決するため、サービス断エリアを検出する異常検知 AI と、サービスが継続している隣接基地局のエリアを拡張してサービス断エリアをカバーするためのアンテナ設定を算出するチルト角算出 AI により、迅速にサービス断エリアを復旧するソリューションを開発しました。

図 14 に示すように、災害によりサービス断が発生したエリアを、基地局で収集しているパフォーマンスデータから異常検知 AI を用いて検出します。

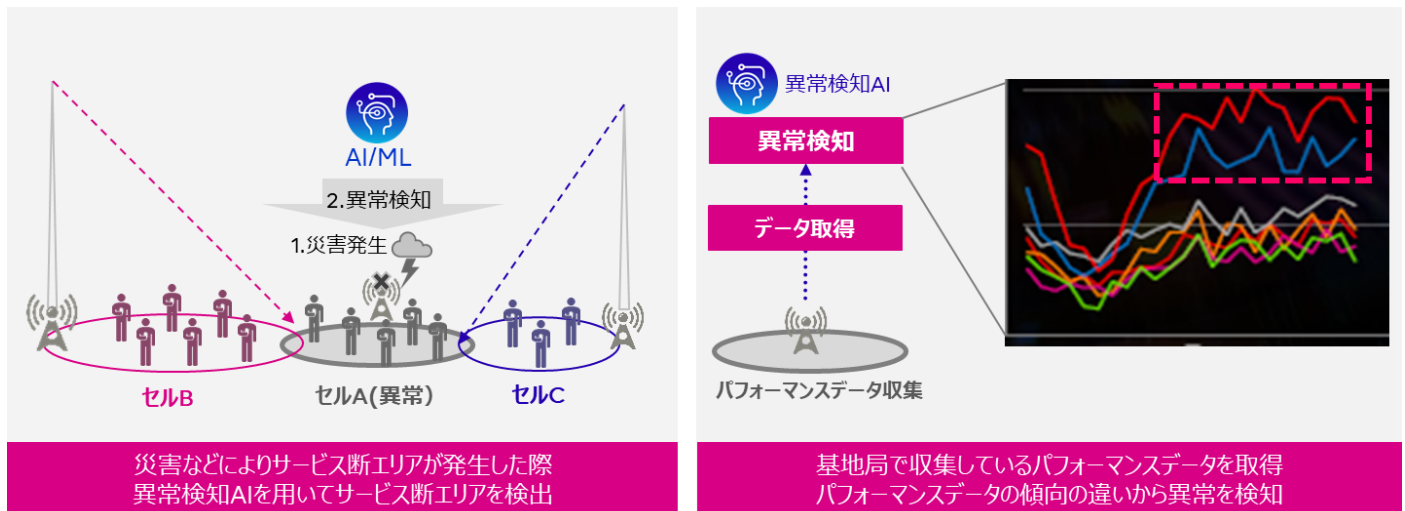


図 14 サービス断エリアの検出

図 15 に示すように、チルト角算出 AI の結果に基づいて、サービス断エリアに隣接する基地局のチルト角を変更し、エリアのカバレッジを拡張することでサービス断エリアを救済します。

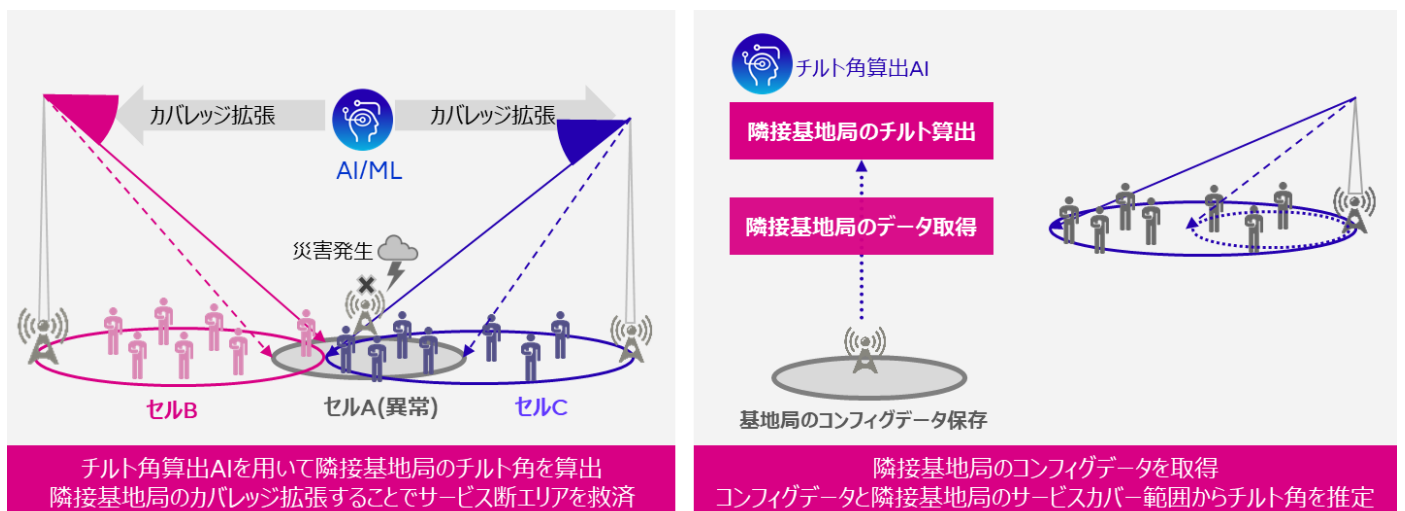


図 15 隣接基地局のチルト角算出によりサービス断エリアを救済

これにより、従来は人手によって数日要していたサービス復旧時間を 1 時間未満で実現します。

<sup>2</sup> この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「ポスト 5 G 情報通信システム基盤強化研究開発事業」（JPNP20017）の委託事業の結果得られたものです。



## 動画配信サービス向け QoE 監視ソリューション

品質と効率のバランスを取ったネットワークの提供には、QoE スコアを指標とした運用が有効です。富士通では、QoE スコアの中でも、特に人の知覚特性を考慮したメディア品質を表す主観評価値である平均オピニオンスコア(Mean Opinion Score: MOS)に注目し、トラフィックの70%以上を占めている動画配信サービスを対象として、暗号化されたパケットのみから高精度・リアルタイムに MOS を推定する AI 技術 Realtime Quality of Experience Sensing™ (RQS) を開発しました。

RQS は、図 16 に示すように、ネットワークを流れるパケットに関する特徴量を入力としてビットレートなどの映像特徴量を出力する「映像特徴量推定モデル」と、映像特徴量を入力として MOS を出力する「QoE 推定モデル」の2段階のモデルで構成されています。「映像特徴量推定モデル」の入力は特徴量を求めるための計算量を削減するため、端末から動画配信サーバへ向けた通信であるアップリンクのパケットのみを対象とした複数の統計量を利用しました。

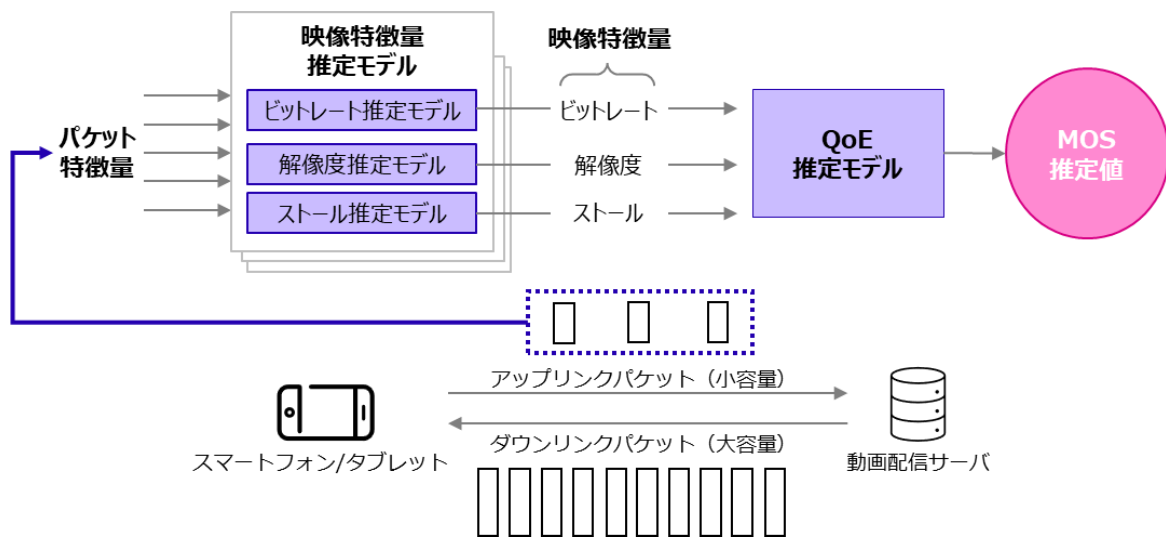


図 16 RQS 概要

これらによって、個別にチューニングされた動画配信サービスや新しい通信プロトコルが登場した場合にも、前段の「映像特徴量推定モデル」の再学習や変更のみで対応することができます。また、動画配信サービスの代表的な通信プロトコルである HTTP Live Streaming (HLS) と MPEG-DASH を用いた評価実験では、全てのパケットを利用した場合より処理データ量を 98%削減しながら、ほぼ同精度で映像特徴量を推定できました。また、動画再生アプリケーションから取得した映像品質情報を用いて MOS を推定する国際標準規格 ITU-T P.1203 に対して、85%以上の精度で同等の MOS を推定できました。

RQS を用いた動画配信サービス向け QoE 監視ソリューションを図 17 に示します。RQS は RAN とコアネットワークの間で、動画ストリーム毎のアップリンクの暗号化パケットを取得します。さらに、取得したパケットの統計値から映像特徴量を推定し、SMO 内に実装された「MOS 推定 rApp」に送信します。「MOS 推定 rApp」は受信した映像特徴量から MOS を推定し、その結果はリアルタイムでネットワーク管理者の「QoE モニタリングダッシュボード」に表示されます。

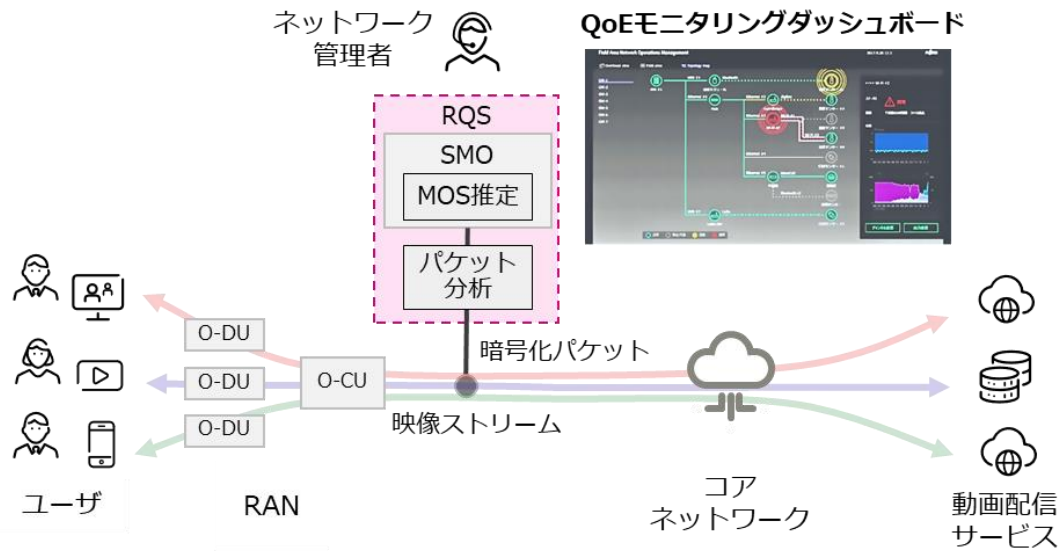


図 17 動画配信サービス向け QoE 監視ソリューション

現在、本ソリューションでは動画配信サービスの MOS をリアルタイムで可視化する機能のみを提供していますが、今後は、現実世界と仮想世界を統合する Extended Reality (XR)などの映像を活用した次世代サービスへの展開や、先に説明した Wide Learning™ を利用することで MOS をはじめとした QoE 低下時の対処方法を提示するなどの機能拡張を検討予定です。さらに、研究開発を進めているネットワークリソースの最適制御技術と統合した QoE を指標とするネットワーク運用を実現し、高品質なネットワークの効率的な提供を目指します。

### 多様なサービスに対応した QoE 監視ソリューション<sup>3</sup>

5G 以降においては、個人向け・企業向け・公共向けなどあらゆるサービスがネットワーク接続を前提としたものになっていきます。それに伴い多種多様なサービスの要件や特性(低遅延・超大容量・超多数接続)に応じたネットワークの提供が求められます。その実現には個々のサービスのユーザ体感品質を把握していくことが必要になります。

富士通では、多種多様なサービスの提供に合わせ QoE 推定によるサービス監視を短期間で実現できるようにするフレームワークを開発しました。図 18 に示す本フレームワークでは、新しいサービスが提供された場合、以下の流れで QoE 推定モデルを生成します。生成した QoE 推定モデルを使用しパケットをリアルタイムに分析することでサービス毎の品質を監視します。

はじめに、キャプチャーしたパケットの中からサービスに対応したパケットを抽出し分析します。分析で出力する品質 KPI はサービスによらず共通のもので2種類からなります。1つ目はTCP/IPレベルのネットワーク挙動を示すネットワーク品質 KPI(ロス、遅延、スループット等)です。2つ目はサービスの挙動を推定する KPI でアプリケーションが受信するパケット群を定量化したアプリ品質 KPI (パケット群の数、パケット群間隔等)です。次に、複数の品質 KPI と人またはアプリが評価した MOS 値(QoE)から、対象サービスの QoE と強く相関する品質 KPI を特徴量として絞り込みます。最後に、複数の AI アルゴリズムの中から予測精度が高いアルゴリズムを選定し、サービスに応じた QoE 推定モデルを生成します。このようにサービスに依存しない部分とサービス固有の部分とを分離し組み合わせることで多様なサービスへの対応を可能とします。生成した QoE 推定モデルを QoE 推定ライブラリに登録し続けることで対応できるサービスが拡充されていきます。

本フレームワークを適用し、リアルタイムにサービス監視を行うことで早期に QoE 劣化を検知し、それをもとにネットワークリソースの最適化や増設などを行うことでサービス品質を維持し続けることができます。今後更に増え続ける新たなサービスに対しても QoE 推定モデルを短期間で容易に適用できるようになります。

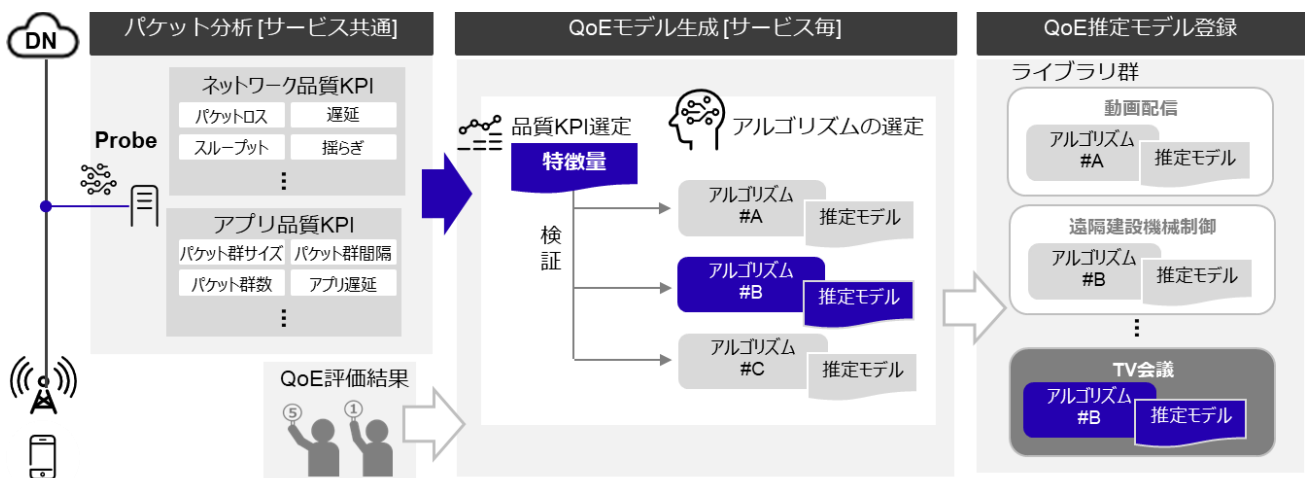


図 18 多様なサービスに対応した QoE 推定フレームワークの全体像

<sup>3</sup> この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「ポスト 5 G 情報通信システム基盤強化研究開発事業」(JPNP20017) の委託事業の結果得られたものです。

## おわりに

本ホワイトペーパーでは、無線アクセスネットワークにおけるAIの活用について、提供アプローチやポイントとなる技術と、ネットワークの複雑化や消費電力の増大という既に直面している課題に対する具体的なソリューションを紹介しました。

2030年に向けて、ネットワークでは、環境への配慮も進めながら、様々な機能・サービスが提供されていくでしょう。AIは、高度化していくネットワークを、ダイナミックに制御するために必要不可欠な技術です。今後、富士通ではAIの適用範囲を無線アクセスネットワークからエンド・ツー・エンドのネットワーク全体に広げ、ネットワークトータルの運用も意識しながら、ネットワークとAIの先進技術とソリューションの開発に取り組んでまいります。

## Acronyms

3GPP	3rd Generation Partnership Project
5G	5th Generation
6G	6th Generation
AI	Artificial Intelligence
CPU	Central Processing Unit
E2E	End-to-End
eMBB	enhanced Mobile Broadband
FR2-2	Frequency Range 2-2
HLS	HTTP Live Streaming
ICT	Information and Communication Technology
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicator
MBS	Multicast and Broadcast Services
MEC	Multi-access Edge Computing
ML	Machine Learning
mMTC	massive Machine Type Communications
MOS	Mean Opinion Score
Near-RT RIC	Near-Real Time RIC
Non-RT RIC	Non-Real Time RIC
NTN	Non-Terrestrial Network
NW	Network
NWDAF	Network Data Analytics Function
O-CU	O-RAN Central Unit
O-DU	O-RAN Distributed Unit
O-RAN	Open Radio Access Network
O-RU	O-RAN Radio Unit
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
rAPP	Non-Real Time RIC Application
RIC	RAN Intelligent Controller
SDGs	Sustainable Development Goals
SLA	Service Level Agreement
SMO	Service Management and Orchestration
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TS	Traffic Steering
URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communication
V2X	Vehicle to X (Vehicle-to-everything)
vCU	virtual Central Unit

vDU	virtual Distributed Unit
VR	Virtual Reality
WDM	Wavelength Division Multiplexing
xAPP	Near-Real Time RIC Application
XR	Extended Reality

#### 商標について

記載されている製品名などの固有名詞は、各社の商標または登録商標です。

#### 将来に関する予測・予想・計画について

本資料には、富士通グループの現在の事業だけでなく、将来に関する記述が含まれていますが、これらは記述した時点で入手できた情報に基づいたものであり、不確実性が含まれています。したがって、将来の事業活動の結果や将来に惹起する事象が本資料に記載した内容とは異なったものになる恐れがありますが、富士通グループは、このような事態への責任は負いません。

読者の皆様には、以上をご了承頂きますようお願い申し上げます。

For more information...

<https://www.fujitsu.com/global/products/network/>

#### 富士通株式会社

〒105-7123 東京都港区東新橋 1-5-2

汐留シティセンター

<https://www.fujitsu.com/jp/>

FUJITSU - PUBLIC © 2023 FUJITSU. ALL rights reserved.

Fujitsu Limited registered in many jurisdictions worldwide. Other product, service and company names mentioned herein may be trademarks of Fujitsu or other companies. This document is current as of the initial date of publication and subject to be changed by Fujitsu without notice. This material is provided for information purposes only and Fujitsu assets no liability related to its use.