

NTT DOCOMO

テクニカル・ジャーナル

Technical Journal

Vol.27 No.1 | Apr. 2019

DOCOMO Today

- 5G時代のコアネットワークに向けて

Event Reports

DOCOMO Open House 2018

— ビジネスを, 世界を, 5Gで革新する. —

Technology Reports (特集)

ネットワークオペレーションの さらなる効率化と高度化を実現する スマートOPS

- スマートOPS概要
- フルフィルメントOSS導入による
設備構築業務自動化の実現
- AIによる保守業務高度化の実現

Standardization (特集)

無線アクセスネットワークのオープン化・ インテリジェント化に向けた標準化動向

- O-RAN Alliance標準化動向
- O-RANフロントホール仕様概要

Technology Reports

- 5Gエリア最適化に貢献する電波可視化技術
— 3GPP対応リアルタイム電波ビジュアライザ —

5G時代のコアネットワークに向けて

コアネットワークは、スマートフォンや基地局のアンテナのような普段皆様の目に触れるものではありませんが、携帯電話を利用されるお客様の通信を確実に繋げ、音声通信やデータ通信に付加価値を提供するという非常に重要な役割を担っています。私は入社以来コアネットワークの開発に関わってきましたが、使用する通信プロトコルや装置のアーキテクチャは世代ごとに変化してきました。特にIP化および仮想化が大きな転機となっていると考えています。

まず、通信プロトコルのIP化に関してですが、以前はコアネットワーク装置間の通信プロトコルであるNo.7共通線信号方式を中継するためには、専用の装置が必要となっていました。一方、現在のLTEで使用されているGTP（GPRS Tunneling Protocol）やDiameterといったコアネットワーク装置間の通信プロトコルはIPベースとなっており、音声通信もSIP（Session Initiation Protocol）を用いたVoLTE（Voice over LTE）という方式でIP化されています。また、No.7共通線信号についてもSIGTRAN（SIGnaling TRANsport）という形でIPネットワーク上でも利用可能となっています。これにより、音声やデータおよび通信を制御する信号をコアネットワーク装置間でやり取りするネットワークを、ルータやスイッチといったITの世界で広く使われている汎用の装置で構成することが可能となりました。さらにIP技術を活用することにより柔軟で信頼性の高いネットワークを構築可能となっています。

次に仮想化についてですが、以前はコアネットワークを構成する装置は、高性能で信頼性の高い専用のハードウェア上で専用のソフトウェアが動作する構成であり、ハードウェアを自由に選択することが困難でした。一方ITの世界ではクラウド上でアプリケーションを動作させることが当たり前となり、ハードウェアを意識しない形で迅速かつ効率の良いサービス提供をすることが可能となりました。そこで、通信システムとしてもIT技術のメリットを享受するために、ETSI ISG NFV（European Telecommunications Standards Institute Industry Specification Group Network Functions Virtualisation）を中心に国際的に議論がなされ、ドコモはETSI ISG NFVのアーキテクチャに準拠する形で2016年3月にネットワーク仮想化基盤の運用を開始しています。これにより低コストな汎用ハードウェアを利用可能とするとともに、迅速なサービス提供や災害・障害発生時の信頼性向上が図られています。現在も既存の専用ハードウェアであっ



ネットワーク開発部 部長

おと
音 ひろゆき
洋行

た各種通信装置の仮想化を推進しています。

最後に今後の方向性について触れたいと思います。ドコモは2019年9月に5Gのプレサービスを、2020年春に5Gの商用サービスを開始予定です。当初の構成としては既存のLTE用交換機であるEPC（Evolved Packet Core）を拡張する形態となりますが、5Gの重要な目的である新ビジネス創造を促進するため、コアネットワークにおいても新たな技術の研究開発に取り組んでいます。1つはスライシングという技術です。これは、ネットワークを仮想的に分割することで多様化する産業のニーズに合わせた最適な通信を提供する技術です。もう1つはMEC（Multi-access Edge Computing）という技術です。これは5Gの無線区間の低遅延性を活かすために有線区間の遅延も短くしてしまおうというものです。簡単に言うと処理を行うサーバや交換機をお客様が使用されている位置の近くに持っていくという考えです。これらの技術をより高度に活用するためには、コアネットワークは仮想化された柔軟なものである必要があるため、5Gの国際標準化団体である3GPP（3rd Generation Partnership Project）の中では次世代のパケット交換機である5GC（5G Core）の議論が、当初からクラウドネイティブという考えを基になされております。ドコモはITを通信の世界に適用する際の課題を、国際的な連携により先導して解決することで、5G時代のコアネットワークの発展に関し継続して世界をリードしていきたいと考えております。

[Contents]



DOCOMO Today

5G時代のコアネットワークに向けて 音 洋行 1



特別寄稿

身近な無線を体験する 三木 信彦 4



(P.6)

Event Reports

DOCOMO Open House 2018 ―ビジネスを、世界を、5Gで革新する。― 06

5G

AI

IoT

Technology Reports (特集)

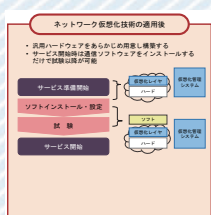
ネットワークオペレーションのさらなる効率化と高度化を実現するスマートOPS

スマートOPS概要 18

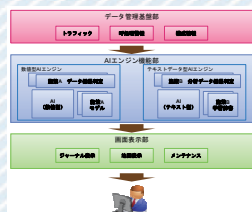
ネットワークオペレーション

自動化

AI



(P.21)



(P.28)

フルフィルメントOSS導入による設備構築業務自動化の実現 21

フルフィルメント

自動化

NFV

AIによる保守業務高度化の実現 28

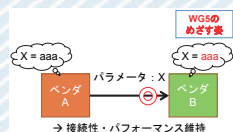
AI

サービス品質監視

予兆検知

Standardization（特集）

無線アクセスネットワークのオープン化・インテリジェント化に向けた標準化動向



(P.36)

O-RAN Alliance標準化動向 36

RAN オープン化 O-RAN

O-RANフロントホール仕様概要 43

RAN フロントホール オープン化

Technology Reports

5Gエリア最適化に貢献する電波可視化技術
—3GPP対応リアルタイム電波ビジュアライザー— 56

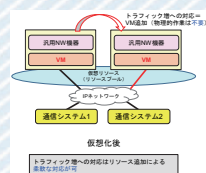


(P.56)

NR 電波可視化 チャンネルサウンディング

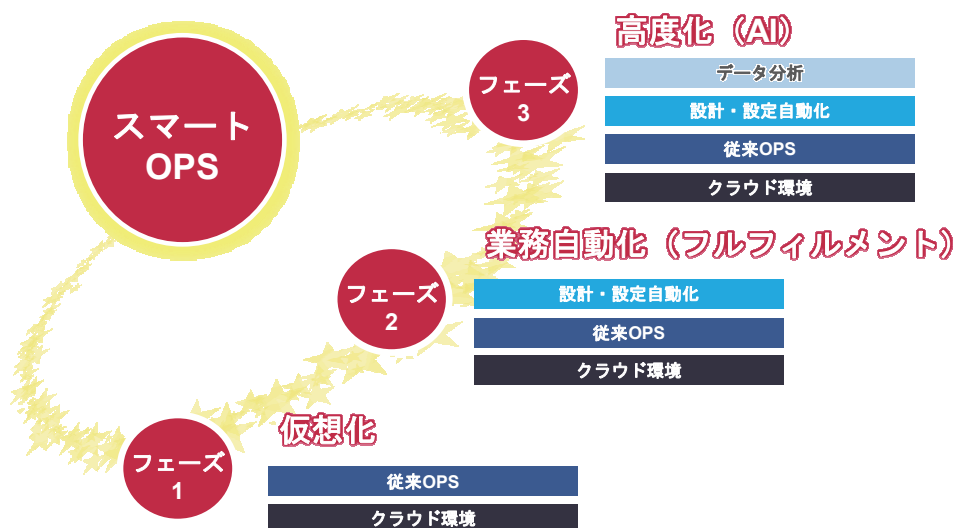
Topics

仮想化基盤における汎用NW機器共用化への取り組み 65



(P.65)

ネットワーク仮想化 汎用NW機器仮想化 汎用NW機器共用化



Technology Reports（特集） スマートOPS概要（P.18）

スマートOPS概要

身近な無線を体験する

香川大学 創造工学部 教授 ^{み き のぶひこ} 三木 信彦さん

インターネットへの接続といえばかつては有線であったが、いまやほとんどの端末では移動通信システム（LTEなど）、Wi-Fi[®]*1といった無線が主になっている。また、モノのインターネットの普及などを背景に、さらに無線通信でインターネットへ接続する端末は増加すると考えられる。このように、無線はとても身近なものでありながら、実際には見えないため、その特性はわかりづらい。

私の研究テーマの1つに、効率的な無線リソースの割当てを計算機シミュレーションにより行うというものがあり、その際には、基地局と端末間の無線区間の電波状況などをモデル化する必要がある。例えば、受信信号電力の減衰要因が、距離減衰、シャドウイング*2、マルチパスフェージング*3に大別され、それぞれを数学的にモデル化するということである。これを学生に説明すると、もちろん文字通りにプログラムを作成し、シミュレーションで評価することはできるものの、実際に目で見えるものではないため、表面的な理解にとどまっているように感じる。

私自身も実感を伴って無線通信を理解するには非常に時間がかかった。記憶をたどれば、実感を得るようになったのは、第4世代移動通信システム（4G）に向けた屋外実験を通してからで、調べ直してみると、本屋外実験用装置は、2002年3月に4Gにおける実験装置の試作を開始、同10月に室内実験において下り100Mbps、上り20Mbpsの信号伝送に成功、翌年5月に屋外実験を開始と報道発表されている。

実験は、横須賀市内で行われたが、あの場所を何度訪れたか数えきれないくらいに多くの時間を費やした。特に、さまざまな環境（直接基地局が見える環境から、完全に反射波しか存在しない環境まで）が含まれる1周数分のコースについては、今でもスタート地点からゴール地点までどのような環境と

なっていたか克明に思い出せるほど回った。移動局、基地局ともに受信電力、パケットの誤り率特性とともに、伝搬遅延特性をリアルタイムで測定した。伝搬遅延特性とは、伝播路の遅延波特性を表すもので、時間の経過に対する受信電力の強弱の関係から電波伝搬遅延の特性を示しており、遠くの建物などで反射した電波は遅延時間が大きく表れる。送信点と現在位置との間の建物などの遮蔽物との関係と伝搬遅延特性、受信電力特性、誤り率特性を比べてみることで非常に多くのことを学んだ。特に本実験装置は再現性が高く、繰り返しデータを取得することによって、実感が伴うようになった。誌面の都合上、比較的わかりやすい例のみを挙げているが、非常に多くのことを本実験から学んだ。

以上のように、繰り返し実験を行えたことに非常に感謝している。とはいえ、これは誰でも経験できるものではない。別な方法で学生に無線の実感を得てもらいたいと、いろいろ考えた末にたどり着いた方法のひとつが、LoRa[®]*4モジュールである。

LoRaはLPWA（Low Power Wide Area）*5の1種であり、免許不要周波数帯である920MHzを用いる。比較的安価に販売され、通信事業者でなくとも自営網の構築ができる。そして、20mW以下と送信電力は小さいものの、最小62.5kHzの狭帯域信号であるため、1km以上の比較的広いカバレッジを実現でき、距離減衰、建物遮蔽に起因するシャドウイングなどの測定が可能であると考えられる（もちろん、学生が自分の手でモノのインターネットを実際に作成してみるという意図もある）。この測定を実現するため、こちらも安価で販売されているラズベリーパイ*6、それに接続するセンサモジュールを購入した。ラズベリーパイでデータ取得するためのソフトもインターネット上で公開されており、容易に実装するこ



Profile

1996年京都大学工学部卒業，1998年京都大学大学院工学研究科修士課程修了，2009年應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了．1998年4月NTT移動通信網株式会社（現 株式会社NTTドコモ）入社．LTE，第4世代移動通信無線アクセス技術の研究，開発に従事．2013年4月香川大学工学部．2018年4月より現職．IEICE, IEEE会員．

とが可能である．

今回はセンサで測定したデータをゲートウェイ（基地局）に送信することが，主なLoRaの使用構成であるため，GPSセンサをラズベリーパイに接続し，LoRaモジュールで送信する構成を実装した．ゲートウェイでは，受信時に受信信号強度（RSSI：Received Signal Strength Indication）が出力可能であり，この値とGPSの位置情報を対応づけることによって，各地点で送信した場合の減衰量が計算できる．

測定方法は，ゲートウェイを創造工学部キャンパス屋上に設置し，歩いて測定した結果を地図アプリ上に表示した．地図アプリを用いて確認すると，見通しの有無によって大きく減衰量が変わることが一目瞭然であった．創造工学部キャンパス周辺は讃岐平野に位置し，とても平坦であるため，上記特性が非常によく理解できる．また，キャンパスを出た直後であっても，建物に遮られて直接アンテナが見えない場合には，大幅に減衰すること，一方で一部高い位置にあるため池（香川県にはため池が多い）の土手などから直接見通しがある場合には，比較的遠くても減衰量は少ない．当り前の現象ではあるものの，自身で測定し，地図をじっくり見る，また距離に対する減衰量といったグラフを作成し，秦式^{*7} [1] と比較するなどを通して，学生たちが実感を伴って理解していくのが見てとれた．市販品ゆえにできることに制限があるとはいえ，LoRaモジュールは，免許不要周波数であり，送信機，受信機の設置位置は，その高さを含んで自由に変更できる．本来のLoRaモジュールの使い方とは異なっていると思うが，比較的簡単，かつ安価に無線の特性を理解する方法として有効だと考える（その意味では，下りリンクで作成して地形と受信電力を自分の目で確認できるほうがよかったかもしれない）．

上記，無線通信を理解するための実験として，今年度から3年生の学生実験にLoRaを用いた実験を取り入れた．具体的には，温度湿度センサにより取得したデータをラズベリーパイ経由でLoRaモジュールに入力し，無線で送受信する構成を実装させている．また，複数位置でRSSIを取得することによって簡単な伝搬特性を確認する実験も行っている．まだ試行錯誤中であるので，今後改善していきたい．

本稿では，見えない無線を実感する取組みとして，自身のかつての屋外実験とともに，現在実施しているLoRaモジュールを用いた学生実験について述べた．ドコモ在職時には，LTE標準化を含む貴重な経験に恵まれたが，これらを今後の研究活動に活かすとともに，さまざまな形で還元できるように，今後も努力していきたい．

文 献

- [1] M. Hata: "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," IEEE Trans. Veh. Tech., Vol.VT-29, No.3, pp.317-325, Aug. 1980.

- *1 Wi-Fi®：Wi-Fi Allianceの登録商標．
- *2 シャドウイング：移動通信端末が建物の影などに入ることによって受信電力が低下する現象．
- *3 マルチパスフェージング：電波が地形や建物によって反射や回折を繰り返し，複数の電波となって受信機に到達する現象．
- *4 LoRa®：LPWA（*5参照）の一種であり，無線局免許を必要としない周波数帯（アンライセンズバンド）を採用している無線方式．米国の半導体メーカー大手のSemtech社を中心に2015年に設立された業界団体である「LoRaアライアンス」がグローバルにオープンスタンダードとして仕様，規格化を提案している．LoRaはSemtech Corp. の登録商標．
- *5 LPWA：低消費電力でキロメートルレベルの広い領域を通信範囲にできる無線通信技術．
- *6 ラズベリーパイ：ラズベリーパイ財団によって開発された主に教育用のシングルボードコンピュータのひとつ．モノのインターネットの実装によく用いられる．ラズベリーパイ ファンデーションの商標または登録商標．
- *7 秦式：伝搬損失の距離特性を簡便に表した実験式．

Event Reports

5G

AI

IoT

DOCOMO Open House 2018 ―ビジネスを、世界を、5Gで革新する。―

R&D戦略部 ^{あくざわ}阿久澤 まり ^{たまおき まさひろ}玉置 真大
5Gイノベーション推進室 先進技術研究所 イノベーション統括部 サービスイノベーション部
IoTビジネス部 移動機開発部 法人ビジネス戦略部

ドコモは2018年12月6、7日の2日間にわたり、東京ビッグサイト^{※1}にて「DOCOMO Open House 2018 ―ビジネスを、世界を、5Gで革新する。―」を開催した。本稿では、本イベントの開催模様の紹介、ならびに主だった展示の詳細について解説する。

1. まえがき

「DOCOMO Open House 2018 ―ビジネスを、世界を、5Gで革新する。―」（以下、本イベント）が、2018年12月6、7日の2日間にわたり、東京ビッグサイトにて開催された。

ドコモは、2020年のさらにその先を見据え、パートナーの皆様とのさまざまな「新しい価値」の協創により、お客さまの期待を超えるサービスを展開し、多くの「驚き」と「感動」を提供したいと考えている。これをふまえ、従来のDOCOMO R&D Open Houseは文字通りドコモR&Dの先進性・技術力を世の中に広く伝える位置づけであったが、今回のDOCOMO Open HouseではR&Dの技術的成果に限

定せず、法人部門によるビジネスソリューションやNW部門の取組みの紹介などを含めた、全社一丸となって行った。会場では、協創を進めているパートナーの皆様と、5G、AIやIoTなどの最新技術と、それらを活用したビジネスソリューションについて紹介し、また多彩な講演やプログラムも実施し、来場者数は約14,000人と、盛況のうちに終わることができた（写真1）。

本稿では、本イベントにおける主だった展示・講演の詳細について解説する。

2. イベント概要

本イベントでは、NTTからの9件の出展を含めて

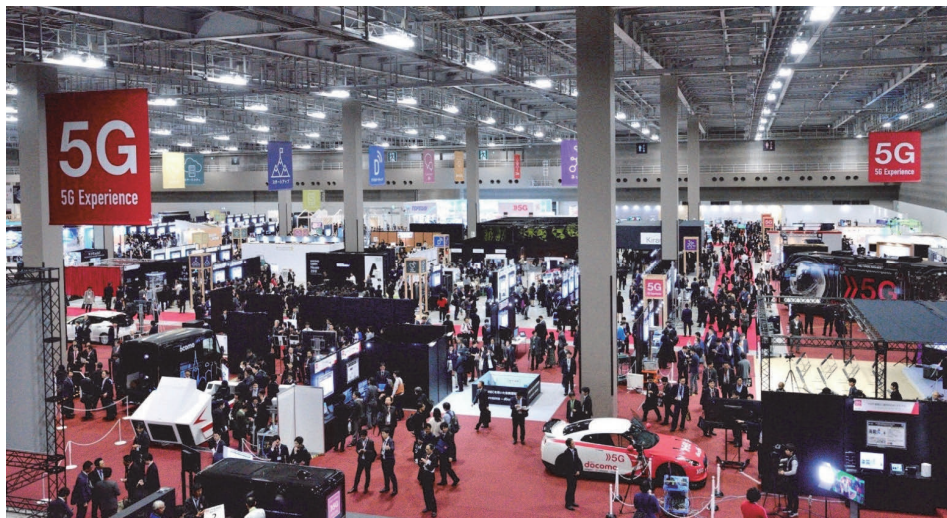


写真1 DOCOMO Open House 2018の様相

239件の展示を行い、それぞれ「デバイス・UI/UX」「AI」「IoT」「スマートシティ」「イノベーションチャレンジ」「New Exciting」「ヘルスケア」「スタートアップ」「デジタルマーケティング」「災害対策」「ネットワーク」「5G Solution」「5G Experience」「CSR」「2020」の15カテゴリに分類し公開した。各展示では、実際に動作可能な実機による体験やデモを通して、来場者にドコモの描く世界観を伝えることができた。

講演においても、初日の基調講演にて、吉澤 和弘代表取締役社長が「5Gでより豊かな未来を」と題して、5G時代に向けたドコモがめざす未来や中期戦略について紹介し（写真2）、2日目には阿佐美 弘恭代表取締役副社長が「ドコモが描くデジタルトランスフォーメーション」と題して、ドコモのマーケティング環境の変化とそれに向けた変革について紹介した（写真3）。その他、ドコモ幹部だけではなく、Sunwoo Lee氏（Korean Telecom）、Philippe Lucas氏（Orange）、藤岡 雅宣氏（エリクソン・ジャパン）、深堀 昂氏（ANA）、梶谷 ケビン氏（ANA）、金山 淳吾氏（一般財団法人渋谷区観光協会）、須藤 憲郎氏（一般社団法人渋谷未来デザイン）など



写真2 吉澤社長による基調講演



写真3 阿佐美副社長による基調講演

による、多数の社外パートナーによる多彩なテーマに沿った講演も行われた。

3. 5G Experience

5G Experienceのエリアでは、2020年商用化を見据えた新たな5Gサービスの実現に向け、幅広い業界のパートナーとの協創によるトライアル事例・デモを展示した（写真4）。特に、産業ロボットや建設機器の遠隔操作、遠隔医療、高臨場遠隔合奏から、コネクテッドカーなどの次世代モビリティへの取り組み紹介まで、5Gの特徴を最大限に活かした近未来のサービスを、実際に5G通信を介した体感型デモで披露した。また、さらにその先の5G Evolution and 6Gに向けた研究開発の取り組み状況や成果を発表した。

3.1 ヒューマノイドロボットの遠隔操縦

トヨタ自動車（株）と共同で5Gによるヒューマノイドロボット（T-HR3[®]*2）の遠隔操縦を実演した。遠隔地（東京ソラマチ[®]*3）にいる操縦者と会

場のT-HR3を、一部区間に5Gを活用して接続した。5Gを用いることにより、T-HR3の動作制御と操縦者への力（トルク）のフィードバックを低遅延でやり取りし、あたかもT-HR3が操縦者の分身であるような感覚で自在かつ安全に操縦できることを披露した。T-HR3が「ブロックを積み上げる、片付ける」「目隠しをして触感だけでコマを迷路のゴールに導く」「人と握手をする」などの細やかな動作を実演し、有線接続時と遜色ないレベルで制御できる様子を実演し、来場者からは多くの反響を得た。利用シーンとしては、家事・介護などの日常作業から建設・医療現場の作業支援まで、幅広い領域への適用が期待される。

3.2 遠隔高度医療「モバイルSCOT」

5G通信を活かした「モバイルSCOT[®]（Smart Cyber Operating Theater）*4」を東京女子医科大学と共同で展示した。5G通信を介して、手術の映像と医療情報を遠隔地の「モバイル戦略デスク」にいる医師と共有し、合意形成しながら高度な手術を行う様子をデモで示した。5Gの高速・低遅延通信



写真4 5G Experienceブース

*2 T-HR3[®]：トヨタ自動車(株)の登録商標。
*3 東京ソラマチ[®]：東武鉄道(株)の登録商標。

*4 SCOT[®]：遠隔スマート治療支援システム。（株）東京女子医科大学の登録商標。

により、遠隔地からでも高品質な映像でリアルタイムに施術の状況が確認でき、高度医療を“いつでもどこでも”高い水準で享受できることを示した。例えば、経験豊富な専門医師がどこにいても手術をサポートでき、有事の際には病院搬送が困難な場所でも最良の診断・高度な治療を可能とするなど、医師が不足する過疎地や災害現場などでも高水準な医療環境が提供できる。

3.3 メタマテリアル技術を適用した反射板

高周波数帯の電波を利用する5Gのエリア整備に向けて、Metawave社が開発したメタマテリアル^{*5}技術を適用した反射板を、実際に会場に設置して5Gデモを行うとともに、メタマテリアル反射板を組み込んだ5G伝送のフィールド実証に世界で初めて成功した様子を紹介した。本反射板は、設置場所に応じた設計をすることで、特定の方向に反射波を誘導することができ、建物の影や基地局からの見通しの悪い場所でも高品質な5Gエリアの拡大が可能となる。会場でも、2018年11月の5Gトライアルサイトでの反射板を用いたフィールド実験の検証成果を紹介するとともに、実際にメタマテリアル反射板を設置して会場内に5Gエリアを形成し、28GHz帯での5G電波到来の様子を電波ビジュアライザで目視できるデモを実施した。それにより、直進性の高い高周波数帯での電波においても、5Gエリアの効率的かつ柔軟なエリア整備・拡大が可能になることを示した。

2020年商用サービス開始に向けた5G通信システム開発の進行とあわせて、5Gが実現する新たなサービスも具体化・ビジネス化といった、次の段階へのシフトが加速している。5G Experienceエリアでは、多業種のパートナーとの協創による5G通信を用いた体感型デモ展示により、あらゆる業界・産業でのユースケースにおける5Gの有用性を見学者に実感いただき、多くの驚きと共感を得ることができた。さらに、ドコモが考える5Gのその先の未来

へと、新たな価値創造を生むイノベーションに向けて、ドコモR&Dの研究開発はさらなる進展を遂げていることを示した。

4. AI

ドコモでは「究極のパーソナルエージェントの実現」および「社会課題の解決や産業の効率化」をめざし、AI技術の開発とソリューション化を進めている。

AIのエリアでは、ドコモのAIエージェントであるmy daiz（マイデイズ）を支える技術、自然対話プラットフォーム、画像認識、など、最新のAI技術と具体的なアプリケーションを展示し、お客様に体感いただいた。

4.1 AIエージェント×AI Geeks

AIエージェント×AI GeeksのブースではドコモAIエージェントAPI（Application Program Interface）^{*6}を先行活用しているパートナー企業21社の協力の下、AIエージェントを活用した27個のソリューションを1つのエリアにまとめショッピングモールのような形で紹介した（写真5）。来場者に、たいへん多くのソリューションと活用事例を見てもらい、自社での活用のイメージが湧いたなどの意見をいただいた。また、協力してもらったパートナー



写真5 AIエージェント×AI Geeks

^{*5} メタマテリアル：電磁波に対して自然界の物質にはない振舞いをする人工物質のこと。

^{*6} API：機能やデータを利用するための汎用化されたインタフェース。

様にも問合せが多数来ており、お客様とパートナー様をつなぐとても良い機会となった。

4.2 自然対話プラットフォーム

自然対話プラットフォームを活用した対話システムを数多く展示した。“スポーツ観戦がさらに楽しくなるチャットボット^{*7}”では、リアルタイムに変化する試合状況に応じて話しかけたり、チームや選手に関するうんちく情報を知識データベースを用いて応答したりすることができる。“雑談対話サービス「かたらいTM*8」”は4000万規模の発話シナリオデータベースをもっているため、シナリオ作成が不要で短期間での対話サービスの提供が可能である。また、開発者が手軽に自然対話プラットフォームの開発環境を使うことができる「xAI ML SUNABATM」や、日本語以外の対話サービスを実現する多言語化の取組みも紹介した。中には“自然対話エンジンFAQチャットボット”や“my daiz”など、すでに商用化されているサービスの展示もあり、さまざまな利用シーンにあわせて音声・対話技術の導入を推進するドコモの取組みをアピールした。

4.3 画像認識

“5G監視カメラ画像認識”は、ドコモの5Gネット

ワークに直接接続するクラウド基盤上で人物検出やトラッキング、属性推定などの画像認識技術を監視カメラに適用する。したがって監視カメラ映像がインターネットに流れることなく、高度な画像認識技術が適用できるため、セキュリティやプライバシーに配慮した監視カメラソリューションを提供できるようになる。他にも“AI除草ロボット”は、ロボット上で動作する画像認識技術により、高速に作物と雑草を見分け、除草しながら自動で走行する。

本イベントでは画像認識技術単体ではなく、5Gネットワークやエッジデバイスも含めたトータルなソリューションとして、付加価値を高める取組みを来場者に理解していただいた。

ドコモは、AI・ビッグデータを活用したサービス・ソリューションの開発により、さまざまな業界のパートナーとの協創を通じたユーザ体験の拡張と新たな市場の開拓を進めていく。

5. IoT

IoTのエリアでは、「働く人も、暮らす人も“新たな価値”でつながる、明日へ」をテーマに、現代社会を取り巻くさまざまな課題解決に向けた、ドコモのIoT技術を紹介した（写真6）。来場者の関心も非



写真6 IoTエリア

^{*7} チャットボット：音声やテキストチャットを介して、人との会話を自動的に行うプログラム。

^{*8} かたらいTM：「かたらい」および「SUNABA」は(株)NTTドコモの商標。

常に高く、積極的な質問を多数いただき、ドコモのIoTに対する期待を肌で感じた。

5.1 docomo IoTスマートメンテナンスパッケージ

「docomo IoTスマートメンテナンスパッケージTM*9」は、産業設備に後付け可能なセンサから取得した振動データを用いて、①設備の稼働監視、②異常振動の検知、③振動に現れる故障予兆の検知、を提供するパッケージサービスである。

2018年12月にサービス提供を開始した本サービスは、クラウドへの振動データの蓄積・可視化に加え、ISO10816^{*10}で定められる回転設備^{*11}の診断基準に準拠した定量診断や、機械学習を用いた振動特徴量の推移予測などの技術によって構成されている。

本サービスにより、お客様の設備の監視、異常検知、故障予知保全を可能とし、壊れない設備、止まらない製造ラインの実現を支援する。

5.2 AIインフォテイメントサービス

「AIインフォテイメントサービス[®]」は単なる移動手段だったクルマを便利で楽しいモビリティ空間に変えるクラウドサービスである。

- ・世界最高水準の雑音下音声認識精度をもち、目

的地検索などのクルマで必要な操作を自然な対話で行う「自然対話技術」

- ・日常の行動を学習し、お客様の趣味趣向を理解した最適な行動をRecommendする「行動先読み技術」
- ・人気施設の検索や話題のイベント情報、渋滞の予測などの必要な情報をタイムリーに配信する「高度情報検索・配信技術」
- ・お客様の声の高さ、音色、抑揚などから感情を分析する「感情認識技術」

これらのAI技術でお客様を理解し、安心安全で便利で快適なインフォテイメントサービスを提供している。

5.3 リモートモニタリングサービス

「リモートモニタリングサービス」は、富士通株式が携帯電話の開発などで培ってきた音響解析技術を駆使し、咳やいびき、テレビの音などを独自のアルゴリズムで解析、プライバシーに配慮しながら生活者の見守りを行うサービスである（写真7）。主な特長としては、居室内に設置されたIoT機器が、音や人の動きなどをセンシングし、あらかじめ設定されたしきい値を超える大きな音や、ある一定の時間



写真7 リモートモニタリングサービス

*9 docomo IoTスマートメンテナンスパッケージTM：「docomo IoTスマートメンテナンスパッケージ」および「AIインフォテイメントサービス」は、(株)NTTドコモの商標または登録商標。

*10 ISO10816：回転機械におけるコンディションの総合判断に広く用いられる規格。

*11 回転設備：モータ、ポンプ、コンプレッサーなどの、ある軸を

中心に回転する機構をもつ設備。

以上人の動きがない状態を検出すると異常があったと判断しコールセンターに通知し、常駐の看護師による安否確認を実施すること、さらにはセンシングしたデータを活用しての健康相談の対応や、定期的な連絡による健康に関するアドバイスまで提供することが挙げられる。

6. デバイス・UI/UX

デバイス・UI/UXのエリアでは、モバイルサービスの進化を切り拓くデバイス技術や、新たなUI/UXを実現する技術など、23件の展示を行った（写真8）。新しいデバイスの利用形態であるデバイスクラスター、デバイスやOSにかかわらず一貫したAR（Augmented Reality）^{*12}/MR（Mixed Reality）^{*13}体験を提供するための技術であるAR/MRプラットフォーム、資料や映像などを共有しながらコミュニケーションが可能なアバターコミュニケーション基盤を利用したアプリケーション（XRテレプレゼンスミーティング、アバターコミュニケーション「dSPS」）をお客様に

体感頂き、さまざまな反応をいただいた。

6.1 デバイスクラスター

5G時代にふさわしい新しいデバイスの利用形態として、スマートフォンやタブレット・周辺機器などのシェアリング利用や公共デバイスとの情報連携を行う技術の展示を行った。この技術は、ユーザ認証やデバイスの管理・制御、課金などの機能を備えた基盤であり、例えば、普段はスマートフォンを利用しているが旅行中だけタブレット端末をレンタルして自分のアプリやデータを引き継いで利用する、駅の改札を出る際にどちらの方向に進めばよいか、改札機に自分のためのナビ情報を表示するといった使い方を可能にする。

今後は、この技術をオープンに利用可能とし、対応するデバイスやサービスを提供するパートナー提携・協創を拡大していきたいと考えている。

6.2 AR/MRプラットフォーム

5G時代の新体感サービスの1つとして期待されている。



写真8 デバイス・UI/UXエリア

^{*12} AR：現実世界を写した映像に、電子的な情報を重ねて、ユーザに提示する技術。

^{*13} MR：現実世界を写した映像に、電子的な情報を重ねて、ユーザに提示する技術。ARと異なり、自由視点での表示など情報を実際にそこにあるかのように提示する。

るAR/MRにおいて、デバイスやOSに依存しない一貫したAR/MR体験を提供するための技術の紹介を行った。複数のAndroid™*14/iOS*15/Windows®*16端末間で、インタラクティブにAR/MRコンテンツを楽しめるデモ体験コーナーを設置し、合わせて、上記の複数のデバイスのAR/MR空間内における、位置／傾き／視野をリアルタイムで管理している画面も展示した。

来場者には、クリスマスツリーへの仮想的なオーナメントの飾り付け、3Dサンタクロースや雪だるまの塗り絵、AR大画面ディスプレイといった「クリスマスのリビングで楽しむAR/MR体験」を通し、技術の先進さにも共感をいただいた。

6.3 XRテレプレゼンスミーティング／アバターコミュニケーション「dSPS」

新しいコミュニケーションの形として、VR空間内で各人がアバターになり、資料や映像などを共有しながらコミュニケーションできるアバターコミュニケーション基盤の展示を行った。展示では、本技術基盤を用い、①瞬時にアバター生成が可能な3Dフルボディスキャナを用いたテレプレゼンスミーティ

ングアプリケーション、②大画面で映像を視聴しながら会話や映像を楽しめるアプリケーションを紹介した。

来場者からは、VR空間内で行うコミュニケーションや映像視聴に可能性を感じるなど、今後の商用化を期待する声を多くいただいた。

ドコモは、お客様への新たな価値の提供、パートナーとの協創を生み出すサービスの実現に向けて、今後もデバイス・UI/UXの技術開発を進めていく。

7. トップガン

トップガンのエリアでは、2017年10月よりドコモが推進している、法人のお客様と、ドコモのR&D部門、法人部門が三位一体で連携してソリューションを創出する取組み（トップガン）を紹介した（写真9）。13の展示コーナーでは、トップガンの概要、進行中の11プロジェクトおよび、今後立上げ予定の1プロジェクトを紹介した。

7.1 Location Net

Location NetはBLE（Bluetooth® Low Energy）*17



写真9 トップガンエリア

*14 Android™：米国Google LLC. の商標または登録商標。

*15 iOS：米国およびその他の国におけるCisco社の商標または登録商標であり、ライセンスに基づき使用されている。

*16 Windows®：米国Microsoft Corp.の米国およびその他の国における登録商標。

*17 BLE：Bluetooth®の拡張機能の1つで、低消費電力機器向けにBluetooth 4.0規格の一部として策定された規格。Bluetoothは携帯端末を無線により接続する短距離無線通信規格で、米国Bluetooth SIG Inc. の登録商標。

を活用した人やモノの位置把握を可能にするソリューションである。展示コーナーでは、オフィスや工場・倉庫での従業員の位置や導線管理をイメージできるように、本イベント会場内の22カ所に検知機を設置し、来場者に配布したBLEの位置のヒートマップを大型液晶ディスプレイでリアルタイム表示した。ヒートマップは写真10の通り。

7.2 プログラミング教育用ロボットembot

embotは、段ボールと電子基板で組み立てるロボットを、タブレット上でプログラミングし操作可能とする小学生向けのプログラミングキットである。トップガンエリアの入口には来場者を出迎えるような形で巨大embotを展示し（写真11）、また、来場者向けに即売会も実施した。

7.3 おしゃべり案内板

おしゃべり案内板TM*18は画面へのタッチと音声に対応したインタラクティブなAI案内／受付サービスである。Saya^{*}19との対話を体験していただけるおしゃべり案内板を写真12の通り展示した。

本イベント全体が大盛況であった効果もあり、多くのお客様がトップガンエリアに来場し、ソリューション協創の取組みとしてのトップガンそのものや、各プロジェクトが解決できる課題や利用シーンに多くの関心が寄せられた。中にはお客様の具体的な課題について相談があり、オープンハウス後に具体的なソリューション提案や商談に発展するケースもあった。トップガンを通じてドコモがお客様に提供できる価値を理解いただくとともに、具体的なビジネスにつながる場としても非常に有意義な出展となった。

8. 5G Solution

5G Solutionエリアでは、ドコモ5Gオープンパー

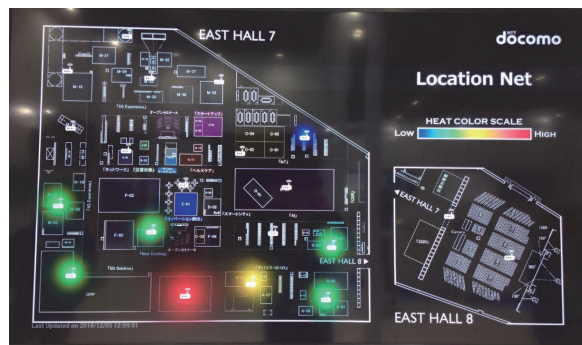


写真10 Location Net 会場内のリアルタイムヒートマップ



写真11 巨大embot



写真12 おしゃべり案内板

*18 おしゃべり案内板TM：(株)NTTドコモの商標。

*19 Saya：最先端のコンピューターグラフィックスを表現媒体とし、夫婦で活動するTELYUKAの手から誕生したオリジナルバーチャルヒューマン。2015年に発表し瞬く間に世界中で話題になる。ハンドメイドで生まれた彼女は、独特の有機感を持ち、人間とは違う新しい存在（GUIDE）としての役割を探索。

進化と成長を見せていくプロジェクトを進行中。

トナープログラムに参加のさまざまなパートナー企業との協業による5Gソリューションを展示するとともに、5Gオープンセミナー、ワークショップなど多彩なプログラムを実施した（写真13）。

2018年2月より開始したドコモ5Gオープンパートナープログラムのパートナー企業・団体数は増加し続け、今やその数は2,000社を超え（2019年4月時点）、業界・業種も多岐にわたっている（写真14）。

本イベントでは、本プログラムのこれまでの歩みと各地域での連携、過去3回実施されたワークショップの講演内容を振り返るパネルを展示した。来場者にドコモが5Gを活用した未来の実現へ着実に前進していることを実感していただいた。

展示エリアでは、AR/VR、AI、画像認識、8K映像、ドローン、IoT、デジタルサイネージ*20など5Gの高速・低遅延・大容量を活かした31種類のソリュー



写真13 5Gオープンパートナープログラム紹介



写真14 全国に拡大するオープンパートナープログラム

*20 デジタルサイネージ：デジタル技術を用いた広告媒体のこと。ディスプレイやプロジェクタを用い、時間や場所などに応じて表示する広告内容を変化させることが可能であり、従来のポスターなどとは異なる広告メディアとして注目されている。

ションを展示した。

8.1 高専ワイヤレスIoT技術実証コンテスト

地域課題解決や、新たなサービス創出を図る本コンテストの、5G部門で採択された2つの技術を展示した。沖縄工業高等専門学校のダイビングゴーグルに「5G+AR」の技術を適用し、さまざまな情報をダイバーに提供する技術、また、豊田工業高等専門学校のスポーツにおける3次元の臨場感をVRで体感する技術の展示を行った。

8.2 AVATAR MUSEUM

ANAホールディングス株式会社、凸版印刷株式会社、東京大学大学院 暦本研究室が取り組みを進める「AVATAR MUSEUM」では、美術館、水族館、博物館などの観光地に設置された4K 360度カメラ搭載の「分身ロボット」を使い、ロボットが撮影するリアルタイムな全方位の映像を見ることで、遠隔地からでも高い臨場感で観光を体験できるソリューションを展示した（写真15）。



写真15 AVATAR MUSEUM

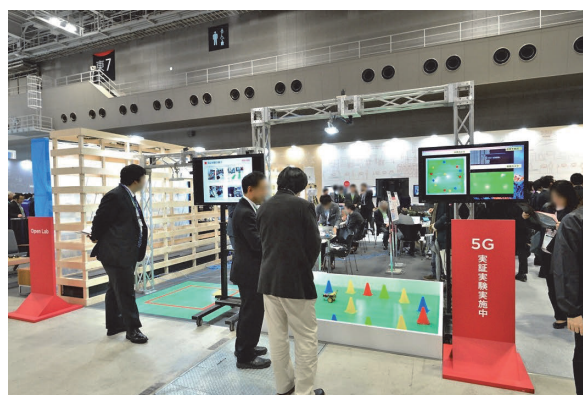


写真16 ドコモ5Gオープンラボ実証実験の再現

8.3 ドコモ5Gオープンラボ

ドコモでは5Gを体感できる場として「ドコモ5Gオープンラボ」を四谷、大阪、沖縄、グアムに設置し、多くのパートナー企業に利用いただいているが、本イベント内では、パートナー企業が実際に同ラボで行った実証実験を再現した（写真16）。

8.4 オープンパートナーイベント

本イベントでは、パートナー企業の講演、数十名での少人数参加型のアイデア創出ワークショップなど、実践的なものが多く行われた（写真17）。

1日目、2日目両日の午前では、「SDGs×5Gを使ったオープンイノベーション実践のコツ」と題し、数十名の参加者が各テーブルで数人のグループに分かれ、ワークシートを用いてSDGs（Sustainable

Development Goals）^{*21}の観点からビジネス課題とその解決策を考えるトレーニングを実践した。

また両日を通して「5G展示ツアー×ワークショップ」も実施した。数人のグループに分かれ、ドコモ社員が会場内の5Gの展示を説明しながら回る「5G展示ツアー」のあとに、グループごとに分かれて、参加型のアイデア協創ワークショップを行った。

パートナー企業による講演としては、1日めの午後に開催された「IoT×5Gスペシャルセッション」にて、エリーパワー株式会社、富士通株式会社、ユニアデックス株式会社の3社が、SDGsの観点から社会の課題解決を図るIoTソリューション開発の取り組みを紹介した。

2日めの午後には、「5G Co-Creation Session」と

^{*21} SDGs：「Sustainable Development Goals（持続可能な開発目標）」の略称で、2015年に国連総会で採択された2016年から2030年までの国際目標である。持続可能な社会の実現をめざし、17の目標と169のターゲットを掲げている。



SDGs×5Gを使ったオープンイノベーション実践のコツ



アイデア協創ワークショップ



IoTソリューション開発の取組み



5G Co-Creation Session

写真17 オープンパートナーイベント

してドコモ5GオープンイノベーションクラウドTM*22
参加パートナー企業様によるセッションが行われた。
株式会社ワコム、トレンドマイクロ株式会社、株式
会社リコー、NTTテクノクロス株式会社が登壇し、
VR、セキュリティ、IoT、AIなど、それぞれさま
ざまな観点からのソリューションを紹介した。

9. あとがき

本稿では、2018年12月6、7日に開催された

「DOCOMO Open House 2018 ～ビジネスを、世
界を、5Gで革新する。～」の開催模様の紹介、お
よび展示についての解説を行った。

ドコモでは、2019年の5Gサービスの開始に向け、
お客様に楽しさ、驚きのあるサービスを創り出し、
体感、ライフスタイル、ワークスタイルなどを革新
していく。また、日本の成長と豊かな社会の実現を
めざして、社会課題の解決に取り組んでいく。

*22 ドコモ5GオープンイノベーションクラウドTM：(株)NTTドコモ
の商標。

スマートOPS概要

ドコモ・テクノロジー ソリューションサービス事業部

たけうち 竹内	やすひろ 康裕	とみざわ 富澤	あきゆき 彰之
しばた 柴田	せいじ 精司	すわ 諏訪	ゆういち 裕一

5Gや多様なIoTサービスに向けて、モバイルネットワークにおいては高速・大容量化、および通信形態の多様化といった変革が始まっており、いまや人間同士の通信手段からさまざまな産業や社会生活を支える社会基盤へと発展しつつある。同時にネットワークの安定運用を担うOPSの重要度もより高まる。そこで、ドコモでは「スマートOPS」と称し、OPSの抜本的な効率化および高度化を推進してきた。本稿ではスマートOPSについて解説する。

1. まえがき

オペレーション・システム（OPS：Operation System）^{*1}は、ネットワークを構成する各装置の稼働状況・警報発生状況の集約監視や、各装置に対する設定の実施のために利用される、モバイルネットワークの安定運用において極めて重要なシステムである。

今後、モバイルネットワークがさまざまな産業や社会生活を支える社会基盤へと進化するにつれ、拡大・複雑化が必至であるネットワークにおいて、SLA（Service Level Agreement）^{*2}の異なるサービスごとに、効率的な運用を実現するOPSが必要となる。

そこでドコモでは、スマートOPS構想を掲げ、OPSの抜本的な効率化および高度化を推進している。スマートOPS構想では、OPSの進化に向け、大きく3つのフェーズで技術革新を図った。本稿では、これら技術革新の概要について解説する。

2. スマートOPSの構成

ドコモでは安定したモバイルサービスを継続的に提供することを目的として、ネットワークの運用業務に利用するOPSの開発および商用導入を行ってきた。近年、複雑化・多様化が進むモバイルネットワークを取り巻くさまざまな状況から、ネットワー

ク運用に対してさらなる効率化・迅速性・高度化への要求が高まっている。これらのネットワーク運用に対する要求を満たし、高品質なモバイルサービスの提供を続けるべく、ドコモではスマートOPSと称したOPSの改革を進めてきた。スマートOPSは3つのフェーズで構成されている（図1）。

(1)フェーズ1：仮想化

フェーズ1では、OPSを稼働させる環境を従来の物理環境から、OpenStack^{*3}による仮想化クラウド環境^{*4}へ移行するとともに、地理的に離れたロケーションへOPSを分散配備することで、災害時における業務継続性を向上させた。これによりOPS設備の効率的かつ俊敏・柔軟な運用と高信頼性を実現した。

フェーズ1に関しては、本誌過去記事にて紹介しているため詳細はそちらを参照いただきたい [1]。

(2)フェーズ2：業務自動化（フルフィルメント^{*5}）

フェーズ2では、フルフィルメントOSS（Operation Support System）^{*6}と称すシステムを導入し、業務自動化の推進を図っている。5Gおよび

IoT（Internet of Things）サービスの拡大・多様化により、ネットワークの設備構築・設定変更に対する迅速性がますます要求されることとなる。また一方で複雑化するネットワークに対する構築運用業務においても高品質ネットワークの維持は必須条件である。

この課題に対し、業務の自動化に際して迅速化と高品質を両立するべくフルフィルメントOSSと称する新たなOPSを導入した。フルフィルメントOSSでは、ネットワーク設備のIPアドレス^{*7}や装置番号などのリソース情報や設計ルール・ポリシーを一元管理し、設計・設定の自動化を実現する。フェーズ2は本誌特集記事で詳細を説明する [2]。

(3)フェーズ3：高度化（AI）

フェーズ3では、複雑化するネットワークにおいても高品質なサービス提供を維持するため、AIおよびビッグデータを活用しネットワークオペレーションの高度化を図っている。

ネットワークから収集された、警報情報、装置状

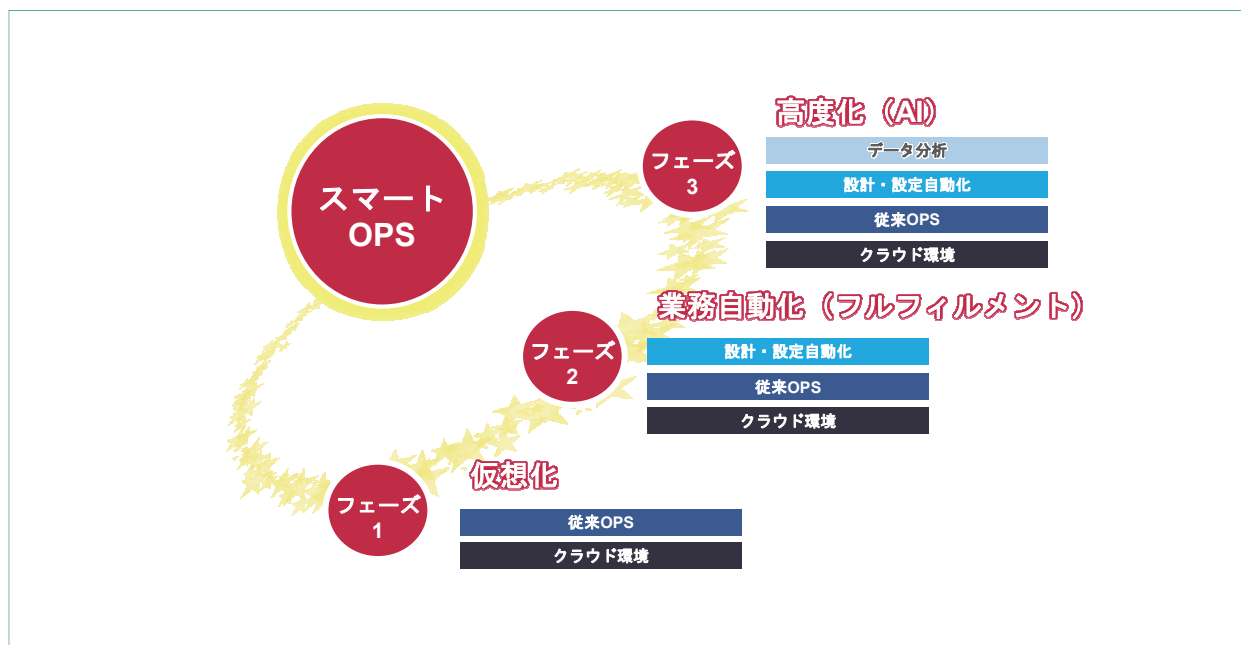


図1 スマートOPS概要

^{*3} OpenStack：サーバ仮想化技術を用いて、一台の物理サーバを仮想的に複数のサーバのように動作させ、仮想サーバをユーザが利用するクラウドサービスごとに割り当てるクラウド基盤のソフトウェア、オープンソースソフトウェアとして提供されている。

^{*4} クラウド環境：仮想化を実現するための仮想化プラットフォーム

ム、VMware、OpenStackなどが挙げられる。

^{*5} フルフィルメント：通信サービスを提供するためのネットワーク設備の構築（設計・設定）を指す。

態。トラフィックなどのビッグデータから、AI技術を活用し監視・分析・措置に必要な情報をリアルタイム解析する。これにより、従来以上にきめ細やかかつ、予兆・予測に基づくプロアクティブ*8なネットワークオペレーションが可能となる。フェーズ3についても本特集記事で詳細を解説する [3]。

3. あとがき

本稿では、ドコモネットワークの進化を支えるスマートOPSについて解説した。フェーズ1：仮想化ではOSSの経済化・信頼性向上を果たし、フェーズ2：業務自動化（フルフィルメント）では、従来人手で実施していた業務の自動化を行い、フェーズ3：高度化（AI）では、人間では実施できない高度かつきめ細やかなネットワーク解析を実現する。

以上により、スマートOPSでは、従来以上の効率的かつ高度なネットワークオペレーションの継続提供を実現する。今後もネットワークや提供サービスのさらなる拡大・変動に合わせ、OPS機能の適用領域拡大や精度向上を図り、高品質なドコモネットワークの維持に貢献していく。

文 献

- [1] 岸川，ほか：“クラウド環境と仮想化技術を用いた大規模OSS移行の実現,” 本誌, Vol.25, No.2, pp.29-37, Jul. 2017.
- [2] 石居，ほか：“フルフィルメントOSS導入による設備構築業務自動化の実現,” 本誌, Vol.27, No.1, pp.21-27, Apr. 2019.
- [3] 塩津，ほか：“AIによる保守業務高度化の実現,” 本誌, Vol.27, No.1, pp.28-35, Apr. 2019.

*6 OSS：事業者の運用支援システム。通信事業者の場合、提供しているサービスを運用するために、ネットワークやシステムの「障害管理」「構成管理」「課金管理」「性能管理」「セキュリティ管理」のすべて、もしくは一部を行う。

*7 IPアドレス：インターネットやイントラネットなどのIPネットワークに接続されたコンピュータや通信機器1台1台に割り振ら

れた識別番号。

*8 プロアクティブ：事前措置を指す。

フルフィルメントOSS導入による 設備構築業務自動化の実現

ドコモ・テクノロジー株式会社 ソリューションサービス事業部

コアネットワーク部

株式会社ドコモCS コアネットワーク部

いしい けんたろう たかやなぎ かずお
石居 健太郎 高柳 和央
わきたか けんたろう
協高 健太郎
たなか ゆうた
田中 勇太

5Gサービスの提供開始やIoTサービスのさらなる拡大・多様化に向け、ネットワークの設備構築業務に対する柔軟性・迅速性が求められている。それを解決すべく、ドコモではコアネットワーク設備へ仮想化技術の導入を進めてきたが、複雑な設計・設定業務を大幅に軽減させ、さらなる高品質なネットワークの運用のために、コアネットワーク設備のライフサイクルの一部である設計・設定投入の自動化・効率化を実現するフルフィルメントOSSを導入した。

フルフィルメントOSSでは、サービスを提供するために必要となるネットワーク設備の構築・変更に必要な装置の設計ルールや設計パラメータを入力情報として取り込み、各装置が必要とする図面やパラメータを自動で管理・設計可能とし、設備構築における業務効率化と品質向上を果たした。

1. まえがき

5Gサービスの提供開始やIoTサービスのさらなる拡大・多様化に向け、ネットワークの設備構築業務に対する柔軟性・迅速性が求められている。

ドコモでは、ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ^{*1}で定義されたネット

ワーク仮想化における共通の要求条件や参照アーキテクチャを規定しているNFV (Network Functions Virtualisation) ^{*2}に基づき、コアネットワーク ^{*3}仮想化基盤システムを開発した [1] [2]。2016年3月より商用サービスを開始し、「信頼性の向上」「サービスの早期提供」「混雑時の繋がりやすさ」「ネットワーク設備と運用の経済性向上」を果たしている。

©2019 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 ETSI：欧州電気通信標準化機構。欧州における電気通信分野の標準仕様を策定する非営利団体。

*2 NFV：電気通信事業者のネットワークを仮想化技術により汎用ハードウェア上で実現すること。

ドコモでは、NFV導入によりハードウェアの構築は設備需要に合わせて計画的に、ソフトウェアの構築は必要な時に実施するオンデマンド対応が可能となった。ドコモは、その工事工程を俯瞰し、かつ確実に把握できるように見える化し、仮想化設備構築におけるさらなる信頼性向上・迅速化・効率化、およびOPEX（OPERating EXpense）*4削減に取り組むため、NFV関連装置のライフサイクルの一部である設計・設定業務を自動化・効率化するためにフルフィルメントOSS（Operation Support System）*5を導入した。

本稿ではフルフィルメントOSSの概要を解説する。

2. フルフィルメントOSSの自動化対象と要求事項

フルフィルメントOSSは、構築・変更が必要な装置の設計ルールや設計パラメータなど、入力情報を取り込む事で、図1に示すネットワーク仮想化技術

適用後の設備構築業務を自動化するシステムである。

現状の仮想化設備構築業務は、ハードウェアとソフトウェアの設計構築業務が分離可能となり、オンデマンド対応ができるようになった。それにより業務は効率的になったといえるが、設備構築における膨大な数の設計パラメータや設計ルールを扱う、高度かつ複雑な業務プロセスの最適化や、大量の工事が並行して行われていることから、各設備構築工事の進捗を確実に把握かつ効率的に行うために俯瞰的かつ確実に把握できるように見える化の徹底などの課題もあった。これらの課題をフルフィルメントOSSの導入により解決し、ネットワーク仮想化の導入効果を最大化するため、以下の要求事項を満たす必要がある。

- ・仮想化設備構築に適した業務プロセスへの見直し
- ・設備構築で必要とする図面やパラメータの効率的な管理・自動設計
- ・設計から竣工までの工事全体の俯瞰的な工程進捗管理

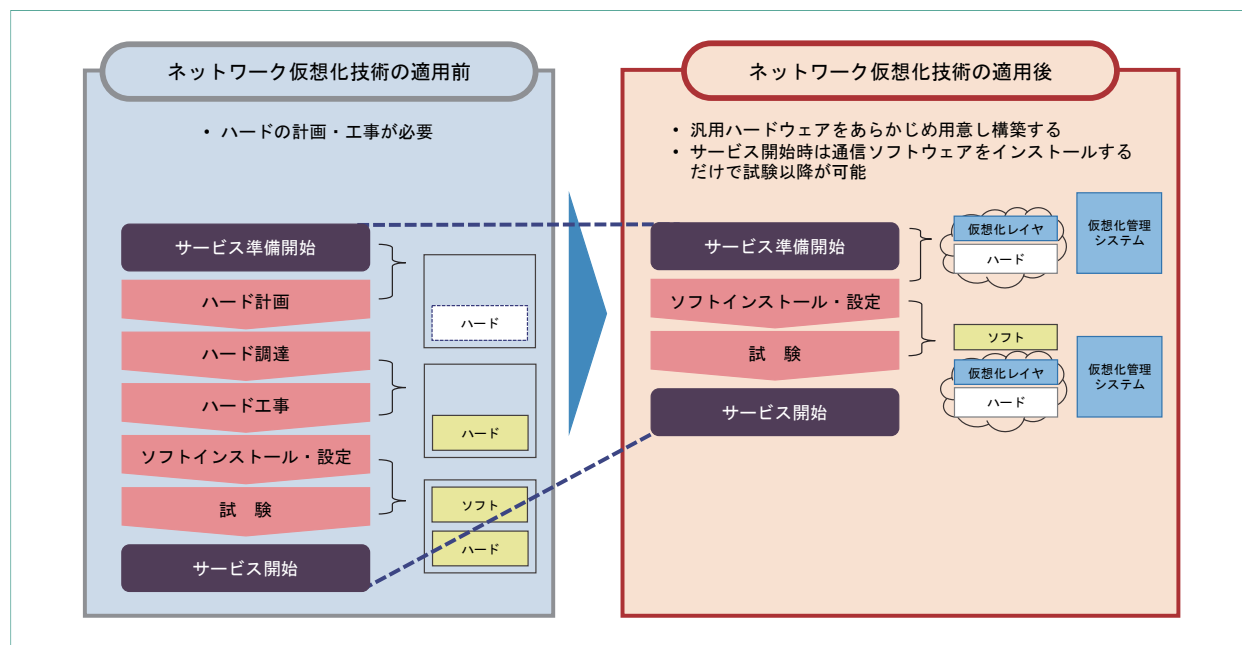


図1 ネットワーク仮想化技術適用によるサービス開始までの設備構築工程の変化

*3 コアネットワーク：交換機、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

*4 OPEX：設備の設計設定や維持管理するために発生する費用。

*5 OSS：移動通信網で発生している故障や輻輳の発見とそれに対する制御・措置を行っているシステムのこと。事業者の運用支

援システム。通信事業者の場合、提供しているサービスを運用するために、ネットワークやシステムの「障害管理」「構成管理」「課金管理」「性能管理」「セキュリティ管理」のすべて、もしくは一部を行う。

3. 標準仕様にに基づく設備構築業務プロセスの最適化

仮想化設備構築に適した業務プロセスの見直しにあたり、TM Forum (TeleManagement Forum)^{*6}の中でオペレーションの業務標準化を提唱しているeTOM (enhanced Telecom Operation Map)^{*7}のフレームワーク^{*8}をリファレンスモデルとした [3]。eTOMのフレームワークを図2に示す。

本フレームワークは、サービスを利用する顧客、提供されるサービス、サービスを構成するリソース、およびリソースを提供するサプライヤ／パートナーの4層でオペレーション対象を分離している。分離した各オペレーション対象に対して、顧客情報やサービスの構成に関する情報の管理や支援準備の業務、サービスの実現や構築に必要なフルフィルメント領域の業務、サービス運用中の維持管理に関するアシュアランス領域の業務およびサービス利用料の請求に必要な業務を体系的に整理している。

仮想化設備構築業務は、本フレームワークにおけるフルフィルメント領域の「サービスの構成設定と起動」「リソース提供」に該当する。該当部分では、サービスの実現に必要な現状の設備利用状況の把握および設備計画業務や、設備の構築が必要となる物理設計および論理パラメータ設計業務、機器への設定および試験業務の業務フローが標準化されている。

業務プロセスの見直しは、本フレームワークの適用をめざし以下の進め方で検討した。

- ①現状の業務プロセスとタスクの洗い出し
- ②タスクの適正化と業務プロセスの整理
- ③仮想化設備の構築・設定変更業務における、共通的な設計パラメータを利用した設計業務「共通設計」「物理工事」と、構築対象ごとに異なる設計パラメータを利用した設計業務「ネットワーク設定」「仮想化基盤設定」「通信ソフトウェア設定」で設備構築業務の分離し、5つの業務モジュールの定義後、各タスクの関連する

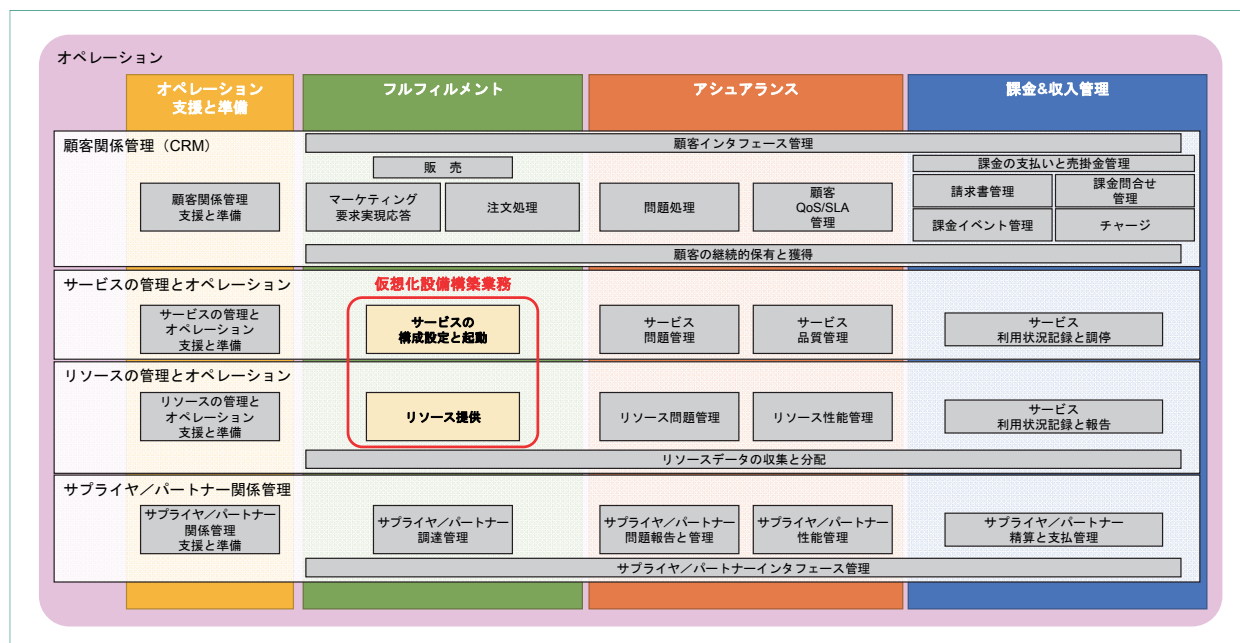


図2 eTOMのフレームワーク

^{*6} TM Forum：電気通信分野のオペレーション業務における標準仕様を策定する非営利団体。

^{*7} eTOM：TM Forumが策定した電気通信分野のオペレーション業務における業務プロセスと情報流通をまとめたフレームワーク群を指す。

^{*8} フレームワーク：ある領域のソフトウェアに必要とされる汎用

的な機能や基本的な制御構造をまとめたもの。ライブラリでは、開発者が個別の機能呼び出す形となるが、フレームワークでは、全体を制御するのはフレームワーク側のコードで、そこから開発者が個別に追加した機能呼び出す形となる。

業務モジュールへの割当て

- ④5つの業務モジュールに加え、工事全体の工程進捗管理を行う「工程進捗管理」を定義

定義した業務モジュールの区分けと業務内容を表1に示す。また仮想化設備の設計構築作業の業務モジュールを図3に示す。

4. フルフィルメントOSSのシステム構成

前章で定義した業務モジュールをフルフィルメントOSSでシステム化する上で、eTOMのフレームワークに基づき、フルフィルメントOSSのシステム構成を検討した。

表1 業務モジュールの業務内容

業務モジュール	業務内容
工程進捗管理	工事全体にわたる工程進捗管理
共通設計	ネットワークの設計ルールと設計パラメータの一元管理および設備の設計作業工程
物理工事	物理的な機器設置と配線工事および初期立上げに必要な現地設定作業工程
ネットワーク設定	SDNの物理ネットワーク機器への設定および試験作業工程
仮想化基盤設定	NFVIとVIMへの設定および試験作業工程
通信ソフトウェア設定	VNFの設定および試験作業工程

NFVI (NFV Infrastructure) : 通信ソフトウェアを実行するための汎用ハードウェアやストレージで構成される物理リソースとハイパーバイザを含めた仮想化機能を指す。
 SDN (Software Defined Network) : 通信機器をソフトウェアにて集中制御することを可能とする技術の総称。
 VIM (Virtualized Infrastructure Manager) : NFVIの制御機能を指す。

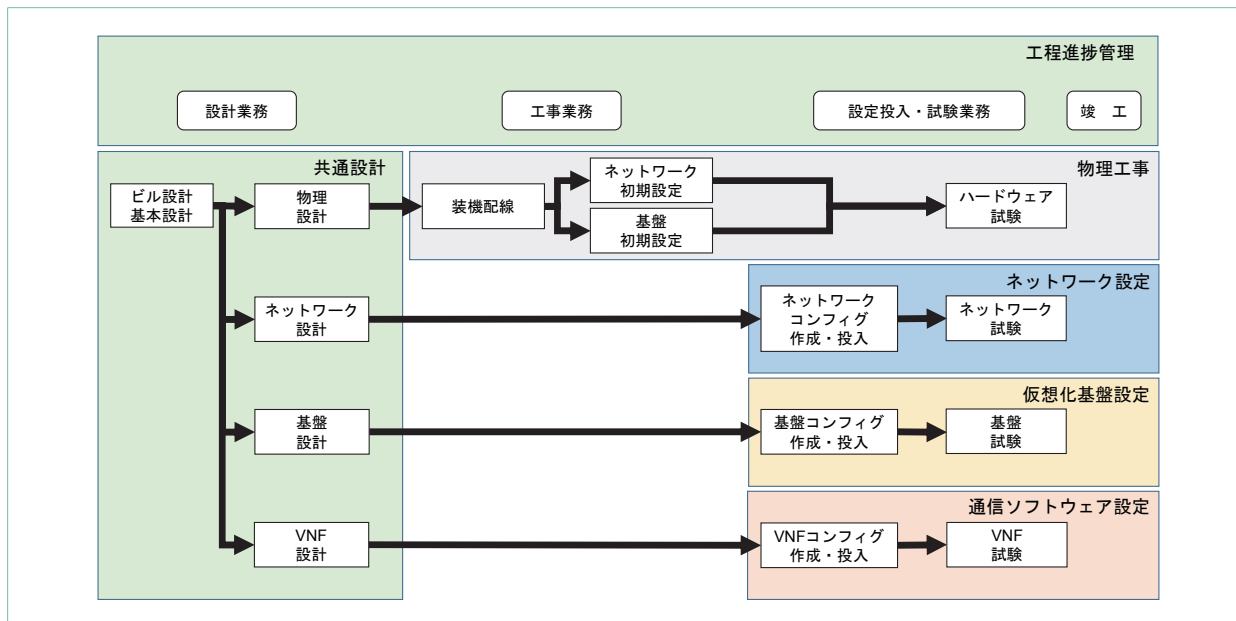


図3 仮想化設備の設計構築作業の業務モジュール化

システム構成検討にあたり、将来の適用範囲拡大対応を容易とし、かつネットワークの仕様変更への柔軟な追従を実現するため、以下の要求事項を満たす必要がある。

- ・機能区分に基づく疎結合なシステム構成
- ・ネットワークの仕様変更追従時の影響範囲を局所化

システム構成については、業務モジュールを定義する際に、構築対象ごとに設計・構築の業務区分を最適化し疎結合となるよう整理していることから、業務モジュールを基にシステム構築を行う方針とした。システム化する上で、各業務モジュールをFB (Function Block)^{*9}として定義し、FB単位にシステム化している。また、FBは管理対象の設備に関するネットワーク情報や設計パラメータのみを管理

することでネットワークの仕様変更追従時には仕様変更対象設備を管理するFB以外のFBへ影響が発生しない仕組みとし影響範囲を局所化する方針とした。

FBの定義にあたり、業務モジュールで管理する情報の特性を加味して効率的な実装をめざした。各業務モジュールが管理する情報は「工程および構築対象装置をまたがる情報」「構築対象の装置種別のみに関する情報」の大きく2つに分類が可能である。各業務モジュールで管理する情報を表2に示す。

工程進捗管理と共通設計は、工事全体の工程および対象装置をまたがる情報を管理しているため、同一FBでシステム化し工事全体の情報を一元管理する。他の業務モジュールは、構築対象の装置ごとの情報のみを保持するため、独立したFBでの実装とした。

定義した業務モジュールとFBの対応を表3に示す。

表2 各業務モジュールが管理する情報

業務モジュール	管理情報
工程進捗管理	工程および構築対象装置をまたがる工程進捗情報
共通設計	工程および構築対象装置をまたがる設計情報
物理工事	構築対象の物理作業内容と現地設定情報のみを管理
ネットワーク設定	構築対象のネットワーク機器のみに関する設定情報を管理
仮想化基盤設定	構築対象の仮想化基盤のみに関する設定情報を管理
通信ソフトウェア設定	構築対象のVNFのみに関する設定情報を管理

表3 業務モジュールとFBの対応

業務モジュール	FB
工程進捗管理	設計・インベントリFB
共通設計	設計・インベントリFB
物理工事	実際の物理工事はシステム化不可のためFB定義対象外
ネットワーク設定	ネットワークプロビジョニングFB
仮想化基盤設定	仮想化基盤プロビジョニングFB
通信ソフトウェア設定	VNFプロビジョニングFB

^{*9} FB：システムが提供するサービスを提供機能もしくは適用対象機器などの単位で分割して実装し、単体もしくは複数で連携してサービスを実現する機能部。

また、定義したFBとeTOMのフルフィルメント領域の機能区分の対応を図4に示す。

フルフィルメントOSSは表3および図4に示す通り、設計・インベントリFB、ネットワークプロビジョニング*10FB、仮想化基盤プロビジョニングFB、VNF (Virtual Network Function)*11プロビジョニングFBから構成される。仮想化設備の構築設定変更を行うフルフィルメントOSSを構成する4つのFBの役割を以下に示す。

(1)設計・インベントリFB

仮想化設備全体の構築・設定変更に必要なネットワークの設計ルールと設計パラメータを一元管理し、各設備の設計業務の自動化と工事全体の工程進捗管理を担うFBである。

本FBでの設計情報は図面として生成され、構築対象の装置種別に該当するプロビジョニングFBへ配布し効率的なタスク実行を実現する。

複雑化・多様化するネットワークの変動に応じて仕様変更される設計ルールと設計パラメータを本FBの内部データ変更のみで追従を可能とし、5GやIoTをはじめとする新たなネットワークの導入を含め、ネットワーク変化への柔軟な追従性を実現した。

今後、フルフィルメントOSSの適用装置種別を拡大する際は、本FBへの機能追加と新規FB導入のみで他のプロビジョニングFBへ影響なくフルフィルメントOSSの適用が可能となる。

(2)ネットワーク／仮想化基盤／VNFプロビジョニングFB

設計・インベントリFBから受領した図面を基に、構築対象設備のコンフィグファイル*12とコマンドの自動生成と自動投入、および正常性確認のための自動試験を担うFBである。

構築対象設備に設定・投入するコンフィグファイルおよびコマンドの生成ルールを管理しており、バージョン変更などによるコンフィグファイルおよびコマンドの仕様変更への容易な追従を可能としている。

また、ネットワーク機器、仮想化基盤およびVNFはそれぞれ異なる機器特性があるため、プロビジョニングFBを分割定義し、かつプロビジョニングFB間は連携しない構成とすることで構築対象設備の仕様変更の影響を他プロビジョニングFBへ及ぼさない構成としている。

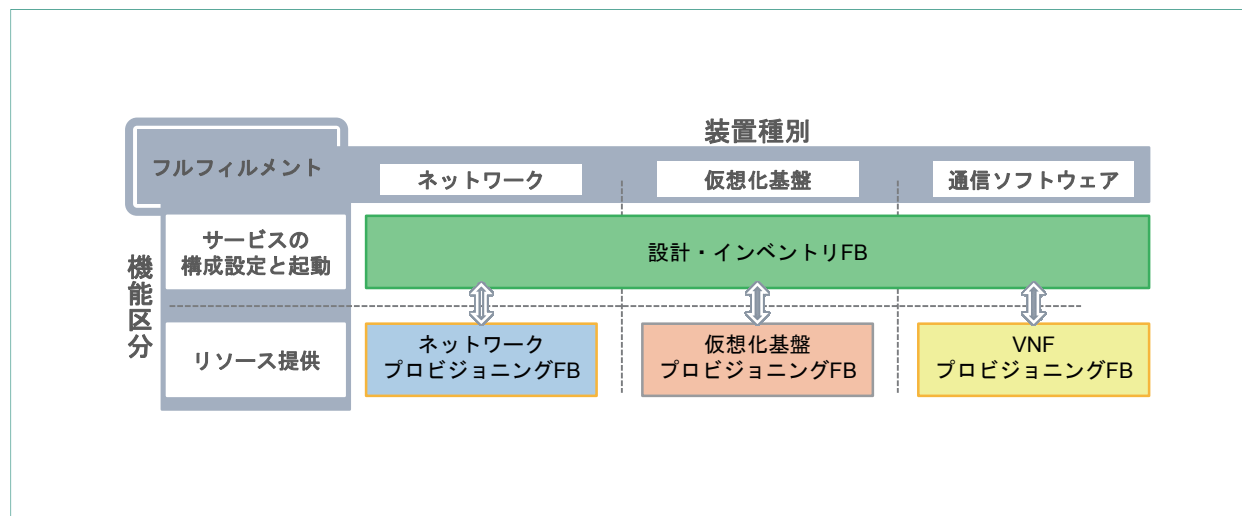


図4 定義したFBとフルフィルメント領域の機能区分の対応

*10 プロビジョニング：サービスを提供するために必要となるネットワークなどのリソースを稼働させるためのハードウェアおよびソフトウェアの各種設定・試験業務を指す。

*11 VNF：仮想マシン上で動作し、ソフトウェアで実装された通信機能を指す。

*12 コンフィグファイル：ネットワーク設備が稼働するために必要となるIPアドレスや装置番号などの各種設定を行うための情報を記載したファイル。ネットワーク設備はコンフィグファイルから自身の設定値を取り込み、設定内容に応じた振舞いを行う。

5. あとがき

本稿では複雑化・多様化するモバイルネットワークの設備構築における設計・設定投入の自動化・効率化を実現するため、コアネットワーク仮想化設備の構築・設定変更業務プロセスの見直しと、フルフィルメントOSSの導入による業務自動化を解説した。

フルフィルメントOSSの導入により、仮想化設備の建設工程における自動化対象業務の稼働が77%削減され大幅な効率化を実現した（図5）。

現在は、ネットワークプロビジョニングFBの適用範囲拡大により仮想化設備のネットワーク機器のみでなく、閉域網を構成・提供する物理ネットワーク機器への自動設計・設定の2019年度上期での適用実現に向け開発を進めている。

今後はコアネットワーク以外のネットワーク領域への適用範囲拡大、さらには装置単位からサービス単位での設計・設定自動化を実現し、ユーザのサービス要求をトリガにEnd-to-Endでサービスを迅速かつ効率的に提供することをめざす。

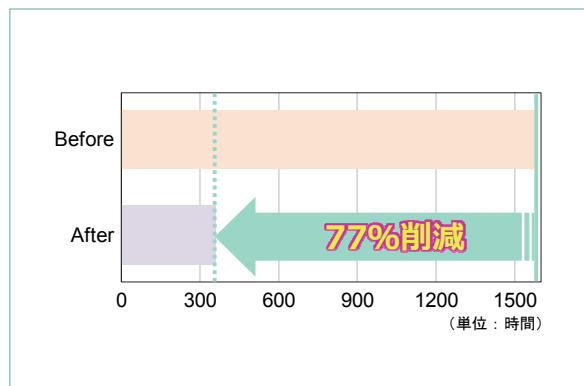


図5 フルフィルメントOSSの導入効果

文 献

- [1] ETSI: “Network Functions Virtualisation (NFV).”
<http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv>
- [2] 音, ほか: “通信ネットワークにおける仮想化技術の適用,” 本誌, Vol.24, No.1, pp.6-11, Apr. 2016.
- [3] TM Forum: “Business Process Framework (eTOM).”
<https://www.tmforum.org/business-process-framework/>
- [4] OpenStackホームページ.
<https://www.openstack.org/>

AIによる保守業務高度化の実現

ドコモ・テクノロジー株式会社 ソリューションサービス事業部

ネットワーク開発部

サービス運営部

日本電信電話株式会社 ネットワーク基盤技術研究所

しおづ 塩津	あきひろ 晃明	きむら 木村	たつや 竜也
よこた 横田	まさひろ 将裕		
やまもと 山本	こうじ 浩司		
やまぎし 山岸	かずひさ 和久		

モバイルネットワークは、ネットワーク仮想化や5Gなどの新たな技術の導入により、さらなる高度化が進んでいる。それに伴い、モバイルネットワークの保守業務量も肥大化し、従来実施しているリアクティブ（事後措置）な保守からの変革が求められている。

そこで、スマートOPS構想のフェーズ3としてAI技術を適用した高度な分析が可能なシステム開発を行い、人手では難しかった予測に基づくプロアクティブ（事前措置）な保守業務の実現に取り組んだ。

1. まえがき

モバイルネットワークは、ネットワーク仮想化^{*1}や5Gの導入により、今後、さらにサービスの多様化やネットワークの複雑化が進行すると想定される。そのような中、ネットワーク障害発生時の原因特定から復旧を行う保守運用業務（以下、オペレーション業務）も、従来型の人手でユーザーサービスの影響を

分析・特定する方法では、迅速かつ的確に分析することが困難となり、その係る作業量、作業時間の増大も明らかである。

そこで、アラーム検知後に行う従来型の事後措置（以下、リアクティブ）な保守からの変革を図るため、さまざまな分野で業務効率化が期待されるAIをオペレーション業務にも導入することとした。

本稿では、オペレーション業務にAI技術を活用

し、リアクティブな保守から事前措置（以下、プロアクティブ）な保守を実現する取組みについて解説する。

2. モバイルネットワークを取り巻く状況と業務上の課題

2.1 モバイルネットワークを取り巻く状況

これからのモバイルネットワークは、ネットワーク仮想化や5Gの導入およびIoT（Internet of Things）機器の急速な普及に伴い、低遅延・同時多数接続など、これまでの通信とは異なるトラフィック特性やネットワーク要件を必要とするさまざまなサービスでの利用へと変化を遂げようとしている。そして、これらのサービスを提供するシステムには、仮想化技術やネットワークスライシング*2など、新しい技術が導入されていく。これらのサービスを提供する論理網構成は仮想化された複数の論理リソースを用いた複雑な構成となり、オペレーション業務においても、人手で保守運用するとなると従来に比べ膨大な作業が必要となる。

2.2 オペレーション業務の現状

オペレーション業務は、24時間365日、ユーザに快適なネットワークを提供するため、高いネットワーク通信品質の維持に必要となる業務であり、今後のサービスの多様化に伴い、今まで以上にネットワーク・オペレーション業務は複雑化することが予想される。加えて、ユーザが快適さと先進性を享受できるネットワーク品質維持のため、問題が発生してから回復措置対応を実施するリアクティブな保守だけでなく、予兆、予測に基づくプロアクティブな保守への変革が必要である。

このようなプロアクティブな保守を実現していくには、ユーザ影響が発生しているのにもかかわらずNE（Network Element）*3からはアラーム通知がな

いサイレント故障*4の検知や、ユーザ体感品質に基づくネットワーク品質の可視化、故障予兆の検知、故障発生時の故障箇所特定の迅速化、サービス回復の高速化など、オペレーション業務の高度化が必要となる。

オペレーション業務は大きく、監視、分析、措置の業務に分類される。各業務概要を以下に示す。

(1)監視業務

提供サービスやネットワークの運用状況を監視し、異常を検知する業務。主に、NEから通知・収集される警報情報、装置状態、トラフィック情報などに基づき監視する。

(2)分析業務

提供サービスやネットワークで異常が検出された場合に、原因特定を行い、故障NE／部位の特定を行う業務。

(3)措置業務

特定した原因に応じ、正常状態へ回復させるための措置を行う業務。NEの回復手順に従って、遠隔制御、現地交換作業などを実施する。

2.3 AIを活用した業務の効率化

AI技術は、現在、第3次ブームを迎えている。AIは「ビッグデータ」と呼ばれる大量のデータから、特定の基準に従って自動的にそのパターンとルールを学ぶ「マシンラーニング」が実用化され、さらに、特定の基準がなく、パターンとルールさえもAIが自ら学んで知識データとして積み重ねていく「ディープラーニング」が登場した。

総務省の平成28年版情報通信白書によると、AIが実際のサービスにおいて果たす機能には、大きくわけて「識別」「予測」「実行」という3種類があるとされている[1]。ドコモでは、AIの「識別」および「予測」機能をオペレーション業務の「監視業務」および「分析業務」に適用し、「実行」機能を「措置業務」へと適用することとした。このように

*2 ネットワークスライシング：ネットワークを仮想化し、ネットワークリソースを分割して、用途に応じたサービスを提供する技術を指す。

*3 NE：システムを構成する基地局、交換局および中継装置の総称。

*4 サイレント故障：障害検知部およびメインプロセッサ部の故障などに起因する障害が発生した場合に、通信装置自身が障害を認識できないため、故障が発生したことをオペレータが把握できない故障。

AIの活用により、オペレーション業務においても業務効率化が大きく期待されている。

3. AIを活用したオペレーション業務の高度化検討

増大するオペレーション業務のAI活用による高度化についても、対応順にそれぞれ、監視業務、分析業務、措置業務に大別し、検討していくこととした。高度化イメージを図1に示す。

(1)監視業務

オペレーション・システムは、ネットワークから収集可能な警報情報、装置状態、トラフィックなどの大量データを、マシンラーニングやディープラーニングなどのAI技術を用いることにより、人手ではできない装置故障の予兆や、予測されるサービスへの影響までも検知可能となる。検知された事象は、サービス品質^{*5}の劣化状態をエリアごとに地図画面上に表示したり、サービス警報をジャーナルとして表示する。

以下に、高度化の取組み実施例を紹介する。

①無線基地局における接続品質の異常検知

無線基地局における正常時のデータの傾向を

学習し、普段と違うデータの傾向を捉えることで、ユーザへのサービス影響が発生する事象の予兆を検知可能とする。

②ユーザ体感品質低下の検知

Webページの表示時間からユーザの体感品質（QoE：Quality of Experience）を数値化することで、QoEの低下を検知可能とする。

(2)分析業務

オペレーション・システムは、監視業務でサービス品質劣化が予測された際、複雑化した論理網構成から故障要因もしくはその被疑箇所をデータ分析に基づき推定する。また、過去に人手で対応した故障対応切分けノウハウを活用して、装置アラームをトリガとした最適な分析手順をオペレータにレコメンドするなどの作業支援を実現する。

(3)措置業務

オペレーション・システムは、分析業務で特定された故障要因に対して、自動的に復旧措置を講じる。例えば、イベント会場周辺など特定の場所、時間に人が多く集まる場合、周辺基地局のチルト角^{*6}の最適調整によるエリア化を実施し、ユーザへのサービス影響の発生を未然に防止可能とする。また、遠隔保守に限らず、現地保守作業に対しても、案件ごと

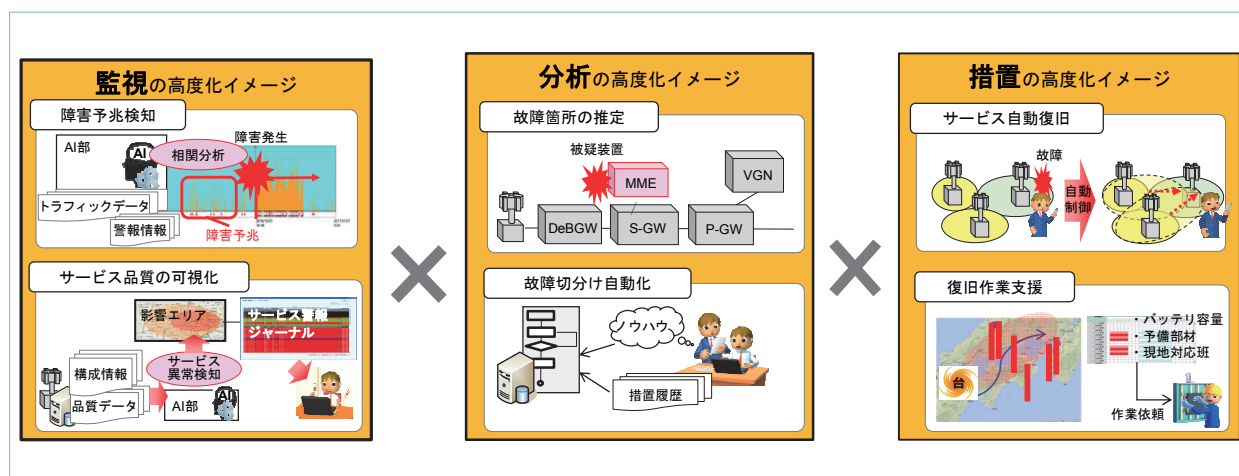


図1 AIによるオペレーション業務の高度化イメージ

^{*5} サービス品質：サービスごとに設定されるネットワーク上の品質。使用帯域の制御により遅延量や廃棄率などの制御が行われる。

^{*6} チルト角：アンテナから放射される電波の最大放射方向の垂直面内における傾き角。

に異なる必要な物品の提案や、複数の基地局で作業が必要な場合においては最適な対応順の案内などの作業支援も実現する。

4. システム構成とAI技術の業務適用事例

AI技術を用いてオペレーション業務の高度化を実現するシステム構成と、業務事例として無線基地局における接続品質の異常検知および、ユーザ体感品質低下の検知について解説する。

4.1 AI複数同時活用を可能とするシステム構成

本来、オペレーションではシステムログといったテキストデータを分析する業務、および、トラフィックといった数値データを分析する業務があり、

その業務に応じて利用するデータパターンが複数存在する。AI技術においてもテキストデータの分析、数値データの分析に秀でているアルゴリズムや製品が存在しているため、業務に応じた分析を行うことが求められる。

そのためには、さまざまなオペレーション業務に応じた多種多様なAI技術の複数同時実行が必要であり、ドコモはそれを可能とするシステムを開発した。システム構成図を図2に示す。

本システムはビッグデータを管理する「データ管理基盤部」、ビッグデータ分析を行う「AIエンジン機能部」、AIによる分析結果を表示する「画面表示部」から構成され、それぞれは独立している。そして複数のAIエンジンを採用するとともに、将来の新たなAI製品の導入や既存AI製品との入れ替えも容易に行うことを可能とした。

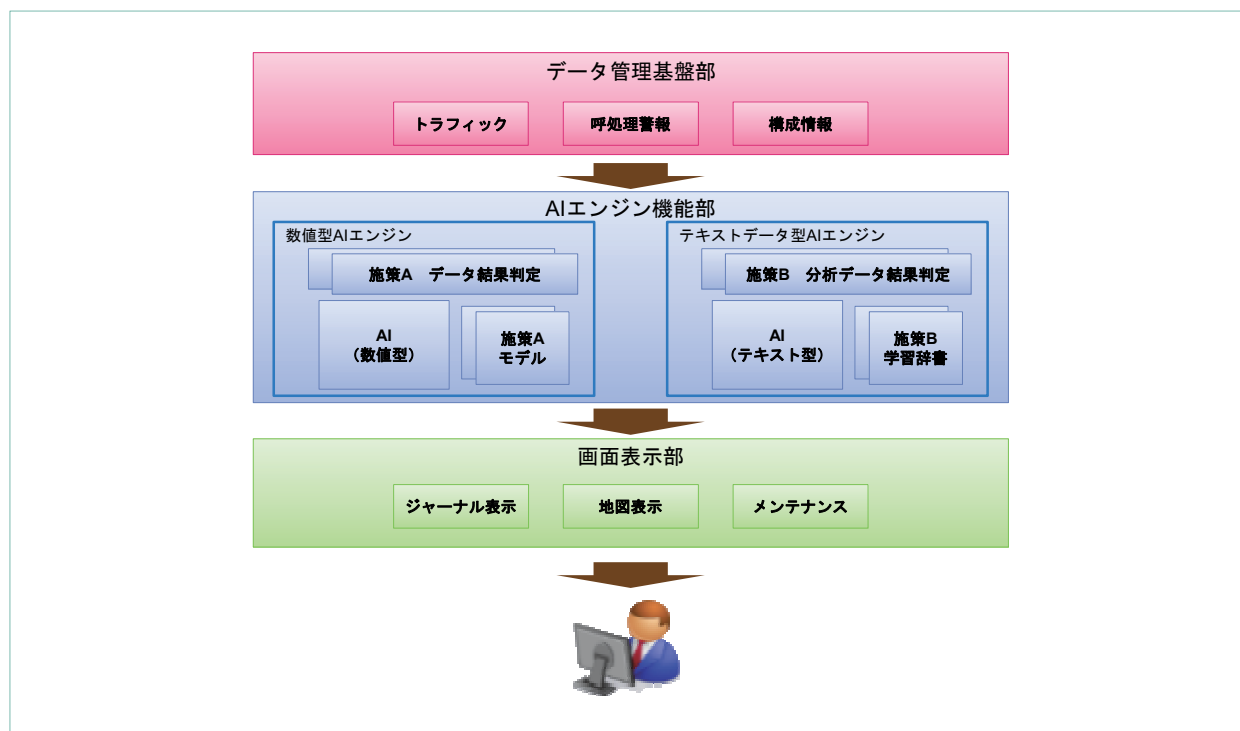


図2 システム構成図

4.2 無線基地局における接続品質の異常検知

(1) 装置アラーム監視による接続品質の異常検知

従来の無線基地局の保守業務は、装置アラームをトリガとした分析・措置業務を実施することにより、無線基地局に関する詳細な知識をもたなくても、装置の異常発生に対応することが可能であった。一方、アラーム発生時点で装置の異常がユーザに与える影響は少なからずあり、それを回避するために、装置アラーム発生前に異常を検知し、必要な対処を実施することが求められる。

(2) AIによる接続品質異常検知

ドコモでは日々蓄積されるトラフィック、警報、ログなどのネットワークデータを基に、普段とは異なるデータの傾向を異常とみなすことで、無線基地局における異常発生の予兆を検知する技術（以下、接続品質異常検知）を開発した（図3）。

本技術は、ネットワークデータを基に正常な状態を学習する学習フェーズ（図4のSTEP①）と、学習モデルを用いて異常検知を行う分析フェーズ（図4のSTEP②～③）に分かれる。モデル学習や分析

に用いるネットワークデータは、無線基地局の稼働期間に占める異常発生時間がわずかであり、正常時と比較すると異常時のデータが圧倒的に少ない。そこで、正常時のデータからモデル学習ができ、近年、異常検知にしばしば利用されるAE（AutoEncoder）^{*7}を採用した。AEによって正常時の入力データを再現できるよう学習し、学習モデルでは再現できない入力データが表れた場合に異常と判断することで、異常検知を実現する。

(a) 学習フェーズ

学習フェーズでは、正常時におけるネットワークデータを入力しAEのモデルを生成する。本技術では、モバイル通信の接続処理における警報情報の一種である呼処理警報データと各無線基地局で取得可能なトラフィックデータを採用した。装置故障など、あらかじめ異常と判断された期間を除いた呼処理警報データとトラフィックデータを正常時の学習用データとし、学習用データを忠実に再現できるようモデル学習を実施する。

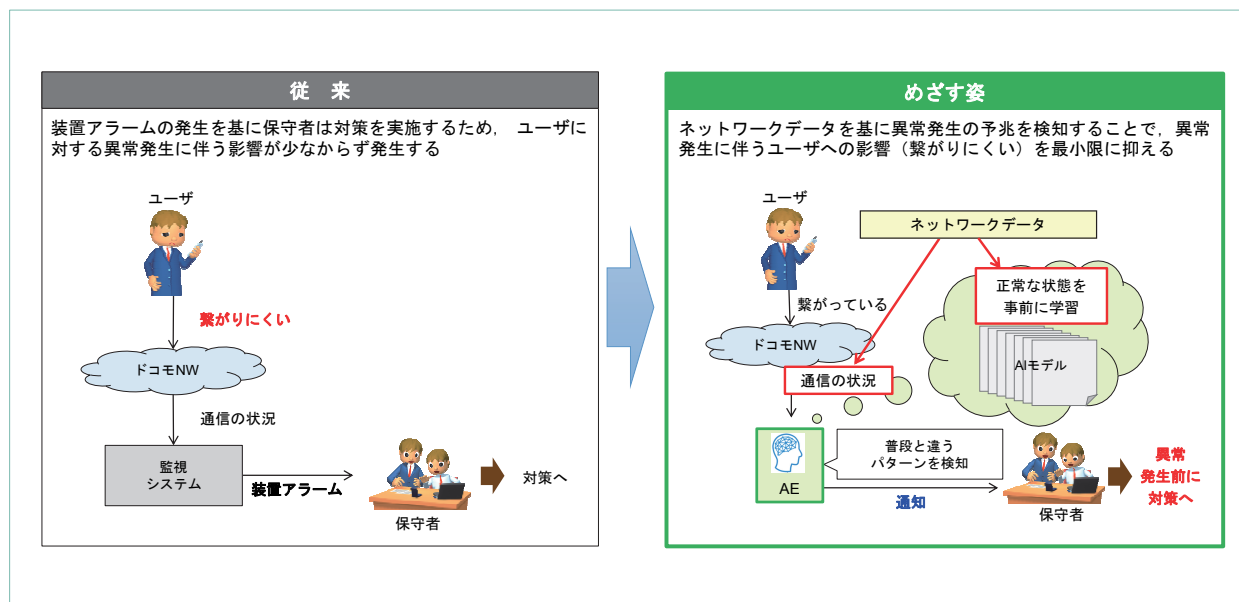


図3 AI技術による接続品質の異常検知

*7 AE：機械学習におけるニューラルネットワークを用いた次元圧縮を目的とするアルゴリズムの一種。従来はディープラーニングの事前学習に用いられる。

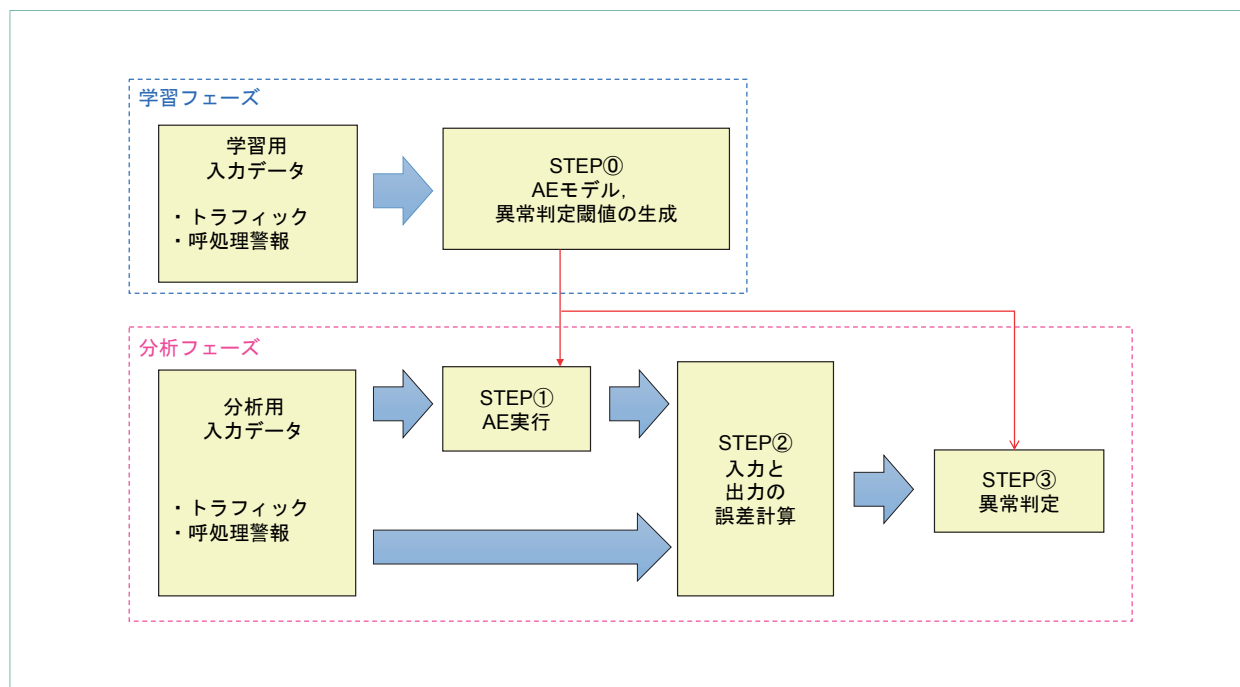


図4 AIによる接続品質異常検知の処理概要

(b)分析フェーズ

学習フェーズで生成したモデルに新たに取得したネットワークデータを入力データとして与え、モデルの出力結果と比較する。入力データが正常時に取得されたデータであれば、入力と出力に大きな違いは見られない。しかし、正常時には見られないデータを入力した場合、入力と出力に違いが生じる。そこで、入力と出力の残差平方和（RSS：Residual Sum of Squares）^{*8}を算出し、RSSが学習フェーズで算出したしきい値を超えた場合、異常と判断する。

装置アラームが発生した無線基地局を対象に本技術を適用した結果を図5に示す。

図5でプロットした赤色の点は、1回の分析フェーズによって算出したRSSを異常度としたものである。異常度がしきい値を超えた場合、異常と判定する（図5における赤点）。図5において、装置アラームに

よる異常期間の前の段階で、異常と判断される分析結果がいくつか検出されていることから、異常発生の予兆が本技術によって検知されているものと考えられる。

また、無作為に選出した無線基地局に対し、同様の検証を実施した結果、装置アラームの約6割において、その発生時期より前の段階で本システムが異常と判定していることから、異常検知について一定の効果があることを確認した。

4.3 ユーザ体感品質低下の検知

(1)現在のネットワーク監視の課題

現在のネットワーク監視では、装置アラームをトリガとして分析・措置を実施し、ネットワークへの重大な影響を未然に防いでいる。しかし、現状の監視では、集客イベントや主要ターミナル駅のような一部混雑する場所でユーザが快適なWebブラウジングの利用、および映像配信サービスの視聴がで

^{*8} 残差平方和（RSS）：残差（今回は入力値と出力値の差）を二乗して和をとった値。入力値とモデルの出力値との不一致を評価するための尺度。

きていない状況を検知することができない。

(2)課題解決に対するアプローチ

前述の「ユーザが快適なネットワークを利用できていない状況が検知できない」という課題に対して、QoEを数値化して品質状況を可視化することで、QoEの低下をいち早く検知・改善し、ユーザの快適なネットワーク利用を実現する。

(3)QoE可視化手法

ドコモはNEから収集されるトラフィックデータの特徴量^{*9}を基にQoEを1～5の範囲を持つMOS (Mean Opinion Score)^{*10}値として推定し、可視化する次のような手法を開発した(図6)。

- ①エリアごとのトラフィックデータをNEより取得
- ②取得したトラフィックデータを事前に構築した

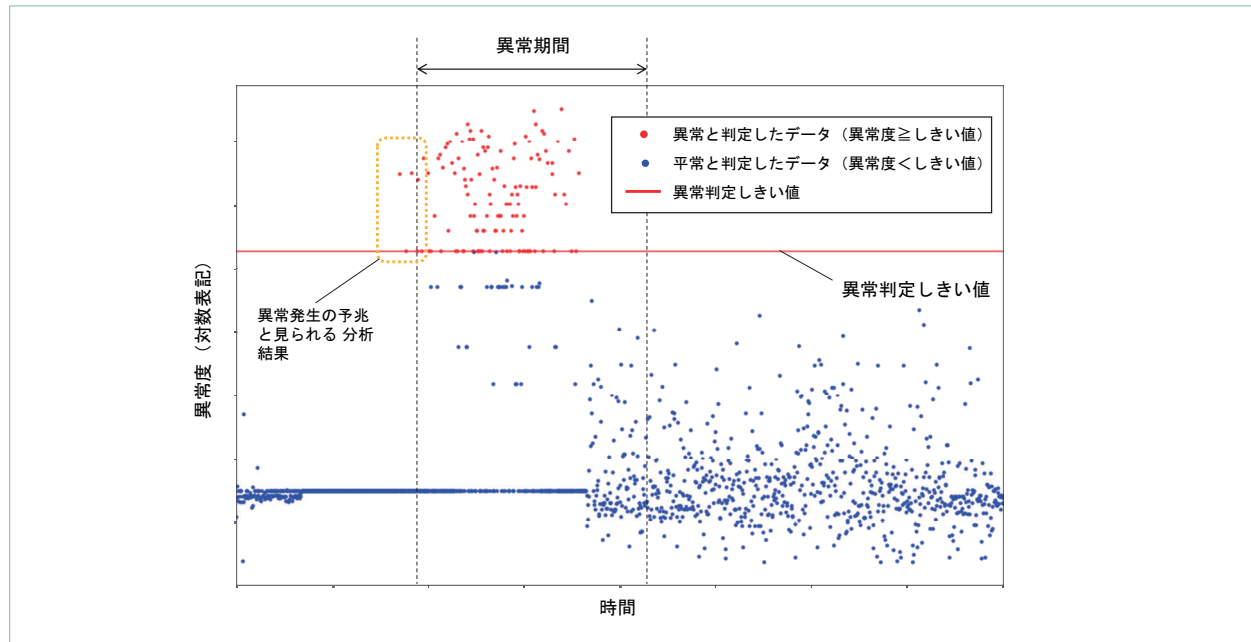


図5 接続品質異常検知の適用例

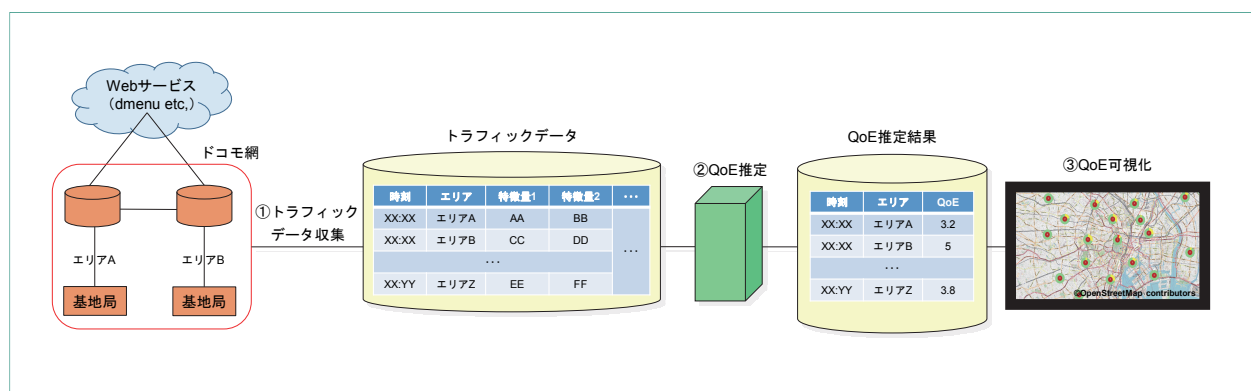


図6 QoE可視化手法概要

*9 特徴量：データから抽出される、そのデータの特徴づける量（数値）のこと。本稿における特徴量とはノードから取得される平均的なスループットなどを指す。

*10 MOS：平均オピニオン評点。広く用いられる一般的な主観品質尺度の1つ。複数の被疑者による主観的な評価を平均した値。

QoE推定モデルに入力し、エリアの平均的なQoEを推定

- ③予測したQoE情報を時間・エリアごとに数値化し、オペレータがQoEの低下状況を確認

(4)QoE推定モデル

実際のユーザの利用状況を再現したQoE推定モデルを構築するために、さまざまなエリアでフィールド測定を実施し、端末で測定したQoEと該当エリアにおけるトラフィックデータの対応関係を分析した。また、NEで収集しているさまざまなトラフィックデータの特徴量とQoEの相関^{*11}関係を分析した結果、特に平均的なスループット^{*12}、および、ユーザ数の2つの特徴量がQoEに大きな影響を与えることを確認した。以上のことから、この2つのパラメータを基にQoEを推定するモデルを構築した。

次に、推定モデルの有効性を確認するために、フィールド測定データを活用して精度検証を実施した。複数台の試験端末で測定したQoEの平均値が2.5を下回った時をQoEが低下した状況と定義し、実際にQoE低下状況を本技術により推定できた割合

を評価したところ、82.5%の精度で低下状況を検出できることを確認し、QoE低下を十分に検出が可能なことを確認した。

5. あとがき

2019年3月末、ドコモはオペレーション業務において、AI技術を用いたシステムを導入した。今後は監視対象を継続して増加させていくとともに、新たに分析業務、措置業務についてオペレーション業務の高度化を段階的に実現し、プロアクティブな保守を実現していく。

文 献

- [1] 総務省：“人工知能（AI）の現状と未来,” 平成28年版情報通信白書, 第1部, 第4章, 第2節.
- [2] 木村 竜也, 柴田 精司, 山本 浩司, 諸石 隆史, 古谷 雅典, 大谷 知行：“ネットワークオペレーションへのAI適用に関する一考察,” 信学技報, Vol.117, No.491, ICM2017-70, pp.85-90, Mar. 2018.

^{*11} 相関：2つの特徴量の関係を示す。一方の特徴量が増加した際に、もう一方の特徴量が同様の傾向で増加・減少した際に相関関係がありと言える。増加・減少傾向が異なる場合には無相関と言える。

^{*12} スループット：単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的なデータ量。

Standardization

RAN

オープン化

O-RAN

無線アクセスネットワークのオープン化・インテリジェント化に向けた標準化動向

O-RAN Alliance標準化動向

無線アクセス開発部 あべ た さいゆき 安部田 貞行 かわはら としろう 河原 敏朗

ウメシュ アニール

まつかわ りゅうすけ 松川 隆介

O-RAN Allianceは、5G時代における無線アクセスネットワークのオープン化とインテリジェント化の推進を目的に、2018年2月、ドコモと海外の主要オペレータにより設立された。今日では多くのオペレータとベンダが加盟している。本稿では、O-RAN Allianceの設立経緯、および、そのビジョンと参照アーキテクチャさらに各ワークグループの取組みについて解説する。

1. まえがき

ソーシャルネットワークサービス、ビデオストリーミング、オンラインゲームなどのモバイルサービスの利用拡大に伴い、移動通信におけるデータトラフィック量も増え続けており、今後も増加の一途をたどることが想定される。一方、あらゆるモノがインターネットにつながるIoT（Internet of Things）を実現し、他の産業との連携による新たな産業の創出や、社会的課題の解決への貢献をしていくことへの期待も高まっている。これらの実現のためには、

モバイルネットワークの高速化、大容量化の観点だけでなく、低消費電力、カバレッジ、低価格化、低遅延、信頼性などの観点も重要であり、多数のデバイスが同時に接続する通信も求められる。

移動通信の国際標準化団体である3GPP（3rd Generation Partnership Project）で策定された5G [1] は上記要求条件に応えるものであり、早期の商用化が期待されている。

ドコモでも、5Gについて2019年9月にプレサービス実施、2020年春に商用サービス開始を予定している。しかしながら従来の携帯電話、スマートフォンに向

©2019 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

けたサービスに加え、産業をまたいだコラボレーションによる新産業の創出や、新たな付加価値を加えたサービスを実現するには、さまざまな装置やモジュールを組合せて活用できるオープンな無線アクセスネットワーク（RAN：Radio Access Network）^{*1}の構築を必要とする。さらに、さまざまなサービスを効率的に提供するためにはネットワークのインテリジェント化が重要である。そこで、他のオペレータと連携し、RANのオープン化、インテリジェント化を目的とした団体であるO-RAN（Open RAN）Allianceを2018年2月に設立した。

本稿では、O-RAN Allianceの設立経緯について述べ、次にそのビジョンと参照アーキテクチャ、さらには技術検討を行う各ワークグループの取組みについて解説する。

2. O-RAN Allianceの設立経緯

O-RAN Allianceは、2018年2月にAT&T、China Mobile、Deutsche Telekom、ドコモ、Orangeのオペレータ5社により、主に米国系のxRAN Forum^{*2}

と主に中国系のC-RAN Alliance^{*3}の統合を見据えて設立された（図1）。xRAN Forumは、米国系企業が中心の団体であったが、ドコモや日韓欧企業も加入しており、一方のC-RAN Alliance同様にRANにおける相互接続可能なオープンインタフェース、ビッグデータを活用したインテリジェントな制御、仮想化などに関心をもっていた。したがって、両団体が統合することにより、多くのメリットが見込まれた。

その後、6月に初のボード会合を、9月には初のワークグループ会合の開催を経て、2019年3月現在では19社のOperatorメンバーと、ビッグベンダやベンチャーも含めた55社のContributorメンバーが加盟しており（図2）、活動が本格化している。

3. O-RAN Allianceのビジョンと参照アーキテクチャ

モバイルトラフィックの増加に伴い、モバイルネットワークとそれを構成する装置に関しては、ソフトウェアによる機能の実現、仮想化、柔軟性、

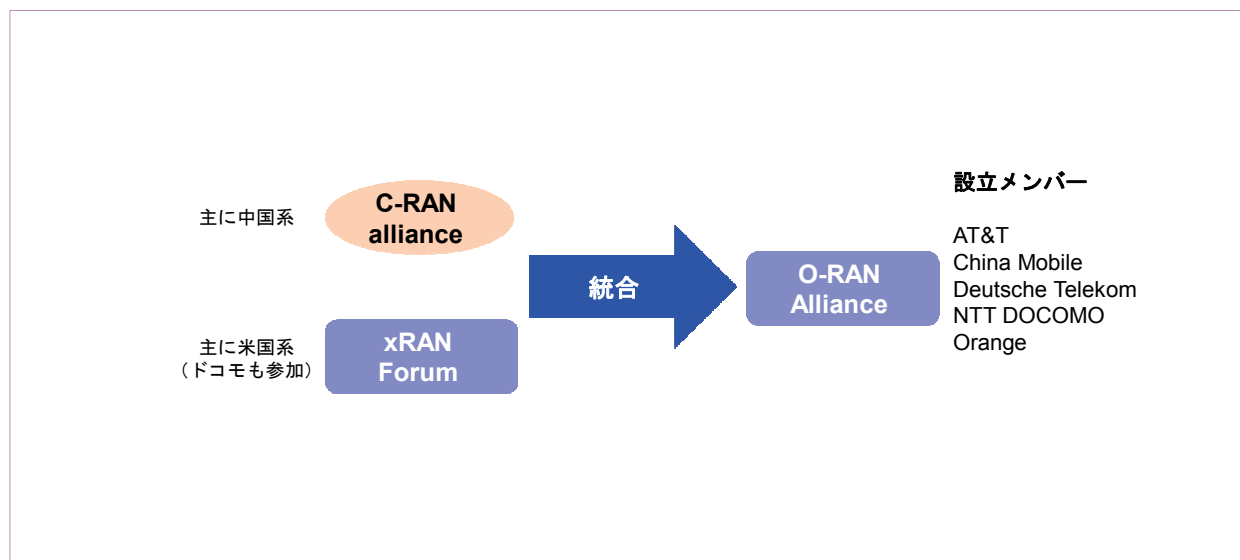


図1 O-RAN Allianceの設立

^{*1} 無線アクセスネットワーク（RAN）：コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

^{*2} xRAN Forum：拡張性の高い無線アクセスネットワークの推進を目的に活動していた業界団体。現在ではO-RAN Allianceに統合されている。

^{*3} C-RAN Alliance：C-RANの推進を目的に活動していた業界団体。現在ではO-RAN Allianceに統合されている。

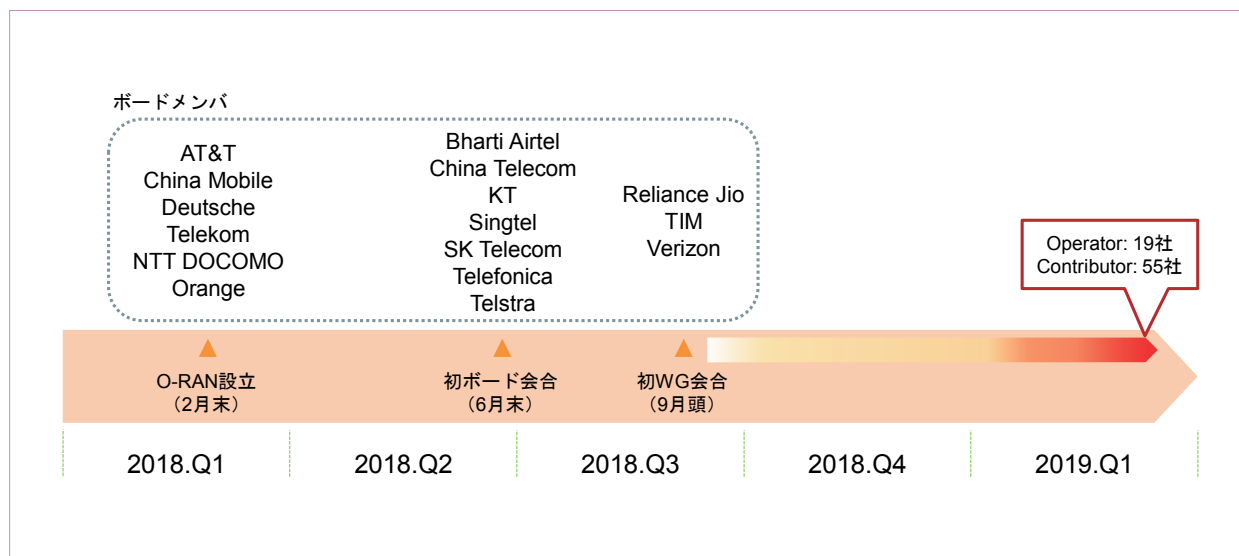


図2 O-RAN Allianceの設立後の状況

インテリジェント、省エネルギーなどの要素がより強く求められてきており、O-RAN AllianceはRANをよりオープンでスマートなものに進化させることでこれらを実現しようと考えている。具体的には、オープンで標準化されたインタフェースを用いた仮想化ネットワークの構成要素からなる、O-RAN Allianceのリファレンスデザインを規定する。また、この構成要素では、リアルタイムな情報収集と機械学習^{*4}やAI技術を活用することで、ネットワークをよりインテリジェントなものとする。以下、O-RAN Allianceのビジョンと参照アーキテクチャについて解説する。

3.1 ビジョン

(1) オープン

O-RAN Allianceでは、よりコスト効率的で柔軟な機能拡張を実現するためにはさまざまな装置やモジュールを組み合わせ活用できるオープンなRANの構築が必要と捉えている。オープンなインタフェースを規定することで、構成要素単位での機能拡張による独自サービスの短時間での構築や、特

定の要求条件を満たすカスタマイズが可能となり、また複数ベンダの装置を用いたネットワークが実現でき、より活気のあるエコシステム^{*5}の構築をめざせる。同様に、オープンソースソフトウェアやハードウェアのリファレンスデザインもイノベーションの活性化、高速化に有効と考えている。

(2) インテリジェント

O-RAN Allianceでは、5G時代のネットワークは多種多様なアプリケーションへの対応が求められ、複雑化が進むと想定しており、オペレーションやネットワークの最適化を従来のように人手で対応することが困難になることが予想される。その解決策としては学習機能を利用したより自律的かつ自動化された対応が必須であり、それを実現するために、O-RAN Allianceでは、進化を遂げてきている深層学習^{*6}の活用などにより、RANのインテリジェント化、ネットワーク全体での最適化の実現をめざす。また、O-RANのオープンなインタフェースと組み合わせたAIで最適化された自動化は、ネットワークオペレーションの新しい時代を切り開くことができると期待している。

^{*4} 機械学習：サンプルデータから統計処理により、有用な判断基準をコンピュータに学習させる枠組み。

^{*5} エコシステム：複数の企業が事業活動などの分野で連携して、お互いの技術や資産を活かし、消費者や社会までも巻き込んで、研究開発から販売、宣伝、消費にいたる一連の流れを形作る共存共栄の仕組み。

^{*6} 深層学習：多層構造のニューラルネットワークを用いた機械学習。

3.2 参照アーキテクチャ

O-RAN Allianceは活動を開始するにあたり、今後の活動のベースとなる参照アーキテクチャを作成した。O-RAN Allianceの参照アーキテクチャを図3に示す。以下、本アーキテクチャの構成要素について概説する。

(1) RIC (RAN Intelligent Controller)*7

non-Real Time (ノンリアルタイムRIC)

O-RAN AllianceではRANのインテリジェント化を担う制御部をRICと定義し、それをノンリアルタイム(>1s)なものと同リアルタイム(<1s)のものに分けている。ノンリアルタイムRICはポリシー

管理、RANの分析とAIベースの機能管理を行う。インタフェースとしては、ノンリアルタイムRICを含むオーケストレーションや自動化をつかさどるネットワーク保守基盤と、リアルタイムRICを含むeNB (evolved NodeB)*8/gNB*9との間のインタフェースとしてA1インタフェースを定義する。

(2) RIC near-Real Time (リアルタイムRIC)

リアルタイムRICはRRM (Radio Resource Management)*10機能のインテリジェント化を提供するレイヤであり、UE (User Equipment) ごとのロードバランシング*11、RB (Resource Block)*12マネージメントなど旧来のRRM機能の提供に加え、

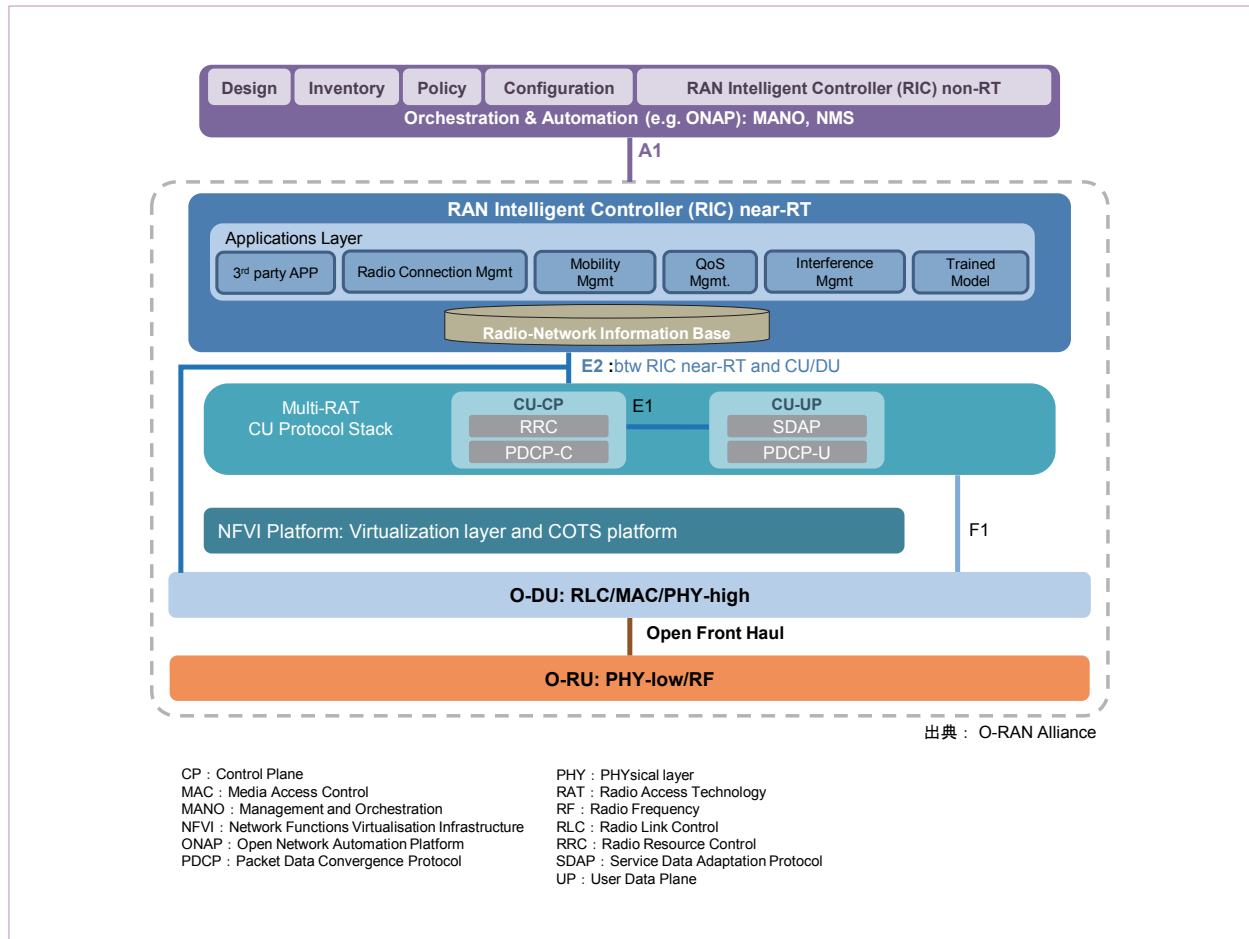


図3 O-RAN Allianceの参照アーキテクチャ

*7 RIC : RANのインテリジェント化を担う制御部。

*8 eNB : LTE無線を提供する無線基地局。

*9 gNB : NR無線を提供する無線基地局。

*10 RRM : 有限である無線リソースの適切な管理や、端末・基地局間のスムーズな接続を実現するために実施する制御の総称。

*11 ロードバランシング : 周波数間、あるいはセル間での負荷(ロード)の分散

*12 RB : 無線リソースを割り当てるスケジューリングを行う際の周波数の割当て単位。

QoS (Quality of Service) ^{*13}管理やシームレスハンドオーバー^{*14}制御などの新機能の提供も想定している。インタフェースとしては、上記ノンリアルタイムRICとの間のA1インタフェースに加え、リアルタイムRICとCU (Central Unit) ^{*15}/O-DU (O-RAN Distributed Unit) ^{*16}とのインタフェースであるE2インタフェースを規定する。

(3) Multi-RAT CU protocol stack

4Gおよび5Gの複数無線アクセスを含む各種プロトコル階層をサポートする機能レイヤである。仮想化に対応し、ノンリアルタイムRICからのコマンドを実行する機能からなる。インタフェースとしては、3GPPで規定されたF1/W1/E1/X2/Xnインタフェースをサポートする。

(4) O-DU and O-RU (O-RAN Radio Unit) ^{*17}

O-DUおよびO-RU機能はリアルタイムのL2 (Layer 2) ^{*18}機能、ベースバンド信号^{*19}処理、および無線信号処理を行う機能群である。O-DUとO-RU間のインタフェースとしてオープンなフロントホール^{*20}インタフェースを新たに規定する。

4. O-RAN Allianceの各ワークグループの取組み

O-RAN Allianceではそのビジョン達成に向けた技術的な検討を、分野に応じた8つのWG (WorkGroup) において実施しており、それらをTSC (Technical Steering Committee) が全体統括している (表1)。8つのWGは、大きく分けると、ユースケースや

表1 O-RAN Allianceの技術検討グループ

技術検討グループ		フォーカス分野
TSC		全体統括
WG1	Use Cases and Overall Architecture	ユースケース、および、全体アーキテクチャ
WG2	Non-real-time RIC and A1 Interface	オーケストレーションや自動化をサポートするMANOやNMSなどの保守プラットフォームよりRANにおける無線上位レイヤ手順やRANポリシーなどの最適化をサポートするリアルタイムRANインテリジェント制御部 (non-RT RIC : non-Real-Time RAN Intelligent Controller)、および、Non-RT RIC - RAN間のA1インタフェース
WG3	Near-real-time RIC and E2 Interface	ビッグデータやマシンラーニングを駆使した無線接続管理、移動管理、QoS管理、干渉管理などの最適化をサポートするリアルタイムRANインテリジェント制御部 (near-RT RIC : near-Real-Time RAN Intelligent Controller)、および、near-RT RIC - 各RANコンポーネント間のE2インタフェース
WG4*	Open Fronthaul Interface	異なるベンダ間のベースバンド処理部と無線部の相互接続を実現するオープンなフロントホールインタフェース
WG5*	Open F1/W1/E1/X2/Xn Interface	3GPPにおいて規定されているNW装置間のインタフェース (F1, W1, E1, X2, Xn) を対象した、異なるベンダ間の相互接続を実現するインタフェースのオープン化
WG6	Cloudification and Orchestration	RANのソフトウェアとハードウェアプラットフォームの分離 (仮想化)、および、汎用ハードウェアプラットフォームの活用を可能とする参照デザイン
WG7	White-box Hardware	汎用コンポーネントの組合せによるハードウェアプラットフォーム、および、それを可能とする参照デザイン
WG8	Open Source	RANソフトウェアのオープンソースによる提供

※ドコモが共同議長

^{*13} QoS : サービスごとに設定されるネットワーク上の品質。使用帯域の制御により遅延量や廃棄率などの制御が行われる。

^{*14} ハンドオーバー : 通信中の端末が移動に伴いセルをまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

^{*15} CU : 無線基地局のノンリアルタイムのL2機能、RRC機能などを実装する集約ノード。

^{*16} O-DU : 無線基地局のリアルタイムL2制御などを行う機能部。

^{*17} O-RU : O-RANにて規定されている、無線基地局の無線部。

^{*18} L2 : OSI参照モデルの第2層 (データリンク層)。

^{*19} ベースバンド信号 : 無線周波数に変換する前のデジタル信号。

^{*20} フロントホール : 基地局装置のベースバンド処理部と無線装置間の回線であり、光ファイバなどが用いられる。

全体アーキテクチャを検討するWG1, RANの無線リソース制御^{*21}最適化・自動化（インテリジェント化）を目的としたWG2とWG3, 異なるベンダ間のRAN装置の相互接続（インタフェースのオープン化）を目的としたWG4とWG5, RANのソフトウェアとハードウェアプラットフォームの汎用化（仮想化・モジュール化）を目的としたWG6, WG7とWG8となっている。

各WGの議長は、それぞれオペレータ2社とベンダ1-2社から選出される3-4名の共同議長の形態をとっているが、ドコモはインタフェースのオープン化を目的としているWG4とWG5の共同議長を務めている。以下、WG4とWG5の活動について紹介する。

(1)WG4 (Open Fronthaul Interface WG)

ベースバンド処理部を集約ノードに配置し、そこからフロントホールインタフェースを介して無線部^{*22}が配置される複数の分散ノードを張り出すC-RAN構成は、性能面やコスト面のメリットがあり、LTE時代から各国のネットワークで導入され、ドコモも同様にLTEネットワークにて採用している [2]。一方、LTEの商用C-RANで広く用いられているCPRI (Common Public Radio Interface)^{*23}仕様では、フロントホールインタフェースに関する標準規定が不十分で各ベンダが独自規定している領域が多くあることから、世界的にはベースバンド処理部と無線部は同一ベンダでしか接続できていなかった [3]。

WG4ではこの課題を解決すべく、相互接続を可能とするO-RANフロントホール仕様（詳細は文献 [4] を参照）をすでに公開しており、そのインタフェースを用いたマルチベンダの相互接続を推進している。実際には、O-RANに統合される前のxRAN Forumで作成・公開したxRANフロントホール仕様をO-RANフロントホール仕様として引き継いでいる。ドコモは、LTEネットワークにおいてパートナーベンダと協力して、独自にフロントホールを介した

マルチベンダでの相互接続を実現してきた経験を基に、このフロントホール仕様の策定に大きく寄与している。

(2)WG5 (Open 3GPP Interface WG)

WG5では、3GPPにて規定されているNW装置インタフェース（基地局内の装置インタフェースであるF1やE1（図3参照）や、eNBとgNB間のインタフェースであるX2, gNB間のインタフェースであるXnなど）を対象に、マルチベンダでの相互接続の実現とパフォーマンスの向上を目的として活動を進めている。これらのインタフェースは、考え得る運用シナリオや装置実装を可能な限りカバーすべく比較的自由度の高い設計となっている。これにより、オペレータやベンダは独自の運用／実装を実現することができる一方で、マルチベンダオペレーションを実施しようとした場合の接続性やパフォーマンスの低下（例えば、データの瞬断や、ユーザスループットの低下など）が課題となっていた。

マルチベンダオペレーションにおける課題例を図4に示す。図4(a)は、3GPPインタフェースのあるパラメータ（X）を、ベンダAの装置、ベンダBの装置がそれぞれ異なる解釈で実装していた場合の例を示している。この場合、両装置の動作が異なるため、接続性やパフォーマンスの低下につながる問題の発生が懸念される。一方で図4(b)は、ベンダA、ベンダBがパラメータXを同じ解釈で実装していた場合の例を示している。この場合、本パラメータに関する両装置の動作は一致するため、マルチベンダにおいても接続性やパフォーマンスを担保することが可能となる。

このようにWG5では、3GPPで規定されているパラメータの解釈や装置へ期待する動作などを明確化することにより、あらゆるベンダ装置の組合せによるマルチベンダオペレーションの実現をめざしている。

^{*21} 無線リソース制御：有限である無線リソースの適切な管理や、端末・基地局間のスムーズな接続を実現するために実施する制御の総称。

^{*22} 無線部：フロントホールを介してベースバンド処理部と接続される無線装置。

^{*23} CPRI：無線基地局の内部インタフェース仕様。産業団体でもあるCPRIによって規定されている。

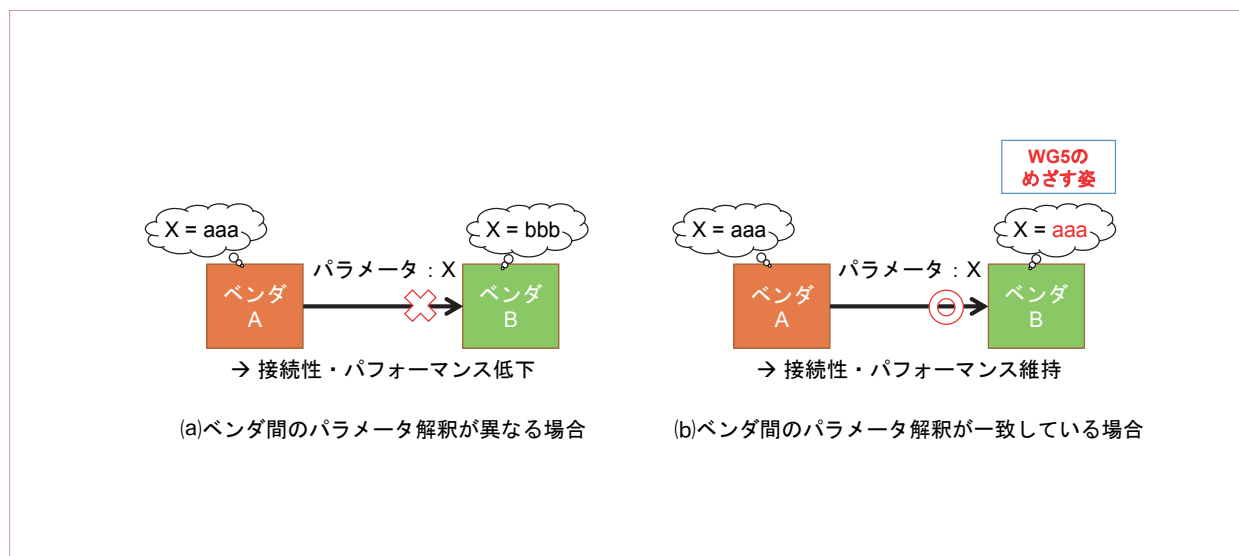


図4 マルチベンダオペレーションにおける課題

5. あとがき

本稿では、O-RAN Allianceの設立経緯、ビジョンと参照アーキテクチャ、さらに各ワークグループの取組みについて解説した。O-RAN Allianceに対する注目と期待は高く、現段階で多くのグローバルなオペレータとベンダが加盟している。そのビジョンである、「RANにおけるオープンとインテリジェントの実現」は、5G時代における無線アクセスネットワークの発展とエコシステムの拡大に寄与するものであり、それに向けてドコモは今後も継続してO-RANにおける活動を推進していく。

文 献

- [1] 永田, ほか: “3GPP Release 15標準化技術概要,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.37-46, Nov. 2018.
- [2] 安部田, ほか: “さらなるLTEの進化, スマートライフをサポートするLTE-Advancedの開発,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.6-10, Jul. 2015.
- [3] ウメシュ, ほか: “5G無線アクセスネットワーク標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.33-43, Oct. 2017.
- [4] ウメシュ, ほか: “O-RANフロントホール仕様概要,” 本誌, Vol.27, No.1, pp.43-55, Apr. 2019.

Standardization

RAN

フロントホール

オープン化

無線アクセスネットワークのオープン化・インテリジェント化に向けた標準化動向

O-RANフロントホール仕様概要

無線アクセス開発部

ウメシュ アニール

やしま たつろう
矢島 辰朗うちの
内野とおる
徹おくやま
奥山すぐる
卓

次世代の無線アクセスネットワークにおけるフロントホールインタフェースの標準仕様が2018年4月にxRAN Forumよりリリースされた。そして、2019年3月、xRAN ForumのO-RAN Allianceへの統合に伴い、O-RANフロントホール仕様として引き継がれた。本稿では、異なるベンダ間の相互接続を可能とする、初の標準として期待されるO-RANフロントホール仕様について解説する。

1. まえがき

各国オペレータの商用LTE網ですでに採用されている無線アクセスネットワーク（RAN：Radio Access Network）^{*1}のアーキテクチャとして、集約設置した基地局装置のベースバンド処理部から複数の無線部を張り出し、その間はフロントホール^{*2}を介して接続するC-RAN（Centralised RAN）^{*3}がある（図1）。C-RANには、制御部の集約により可能

となるセル間や周波数間の連携などによる性能面、および装置設置の集約により可能となるリソースプーリング、設置スペース削減などによるコスト面でのメリットがある [1]。

一方、従来C-RANで用いられてきたCPRI（Common Public Radio Interface）^{*4}ではフロントホールインタフェースに関する標準規定が不十分で、各ベンダが独自規定している領域が多くある。そのため、異なるベンダのベースバンド処理部と無線部の

©2019 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*1} 無線アクセスネットワーク（RAN）：コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

^{*2} フロントホール：基地局装置のベースバンド処理部と無線装置間の回線であり、光ファイバなどが用いられる。

^{*3} C-RAN：基地局装置を制御するベースバンド処理部を集約し、そこから光ファイバで接続された無線部を制御する構成を用いる無線アクセスネットワーク。

^{*4} CPRI：無線基地局の内部インタフェース仕様。産業団体でもあるCPRIによって規定されている。

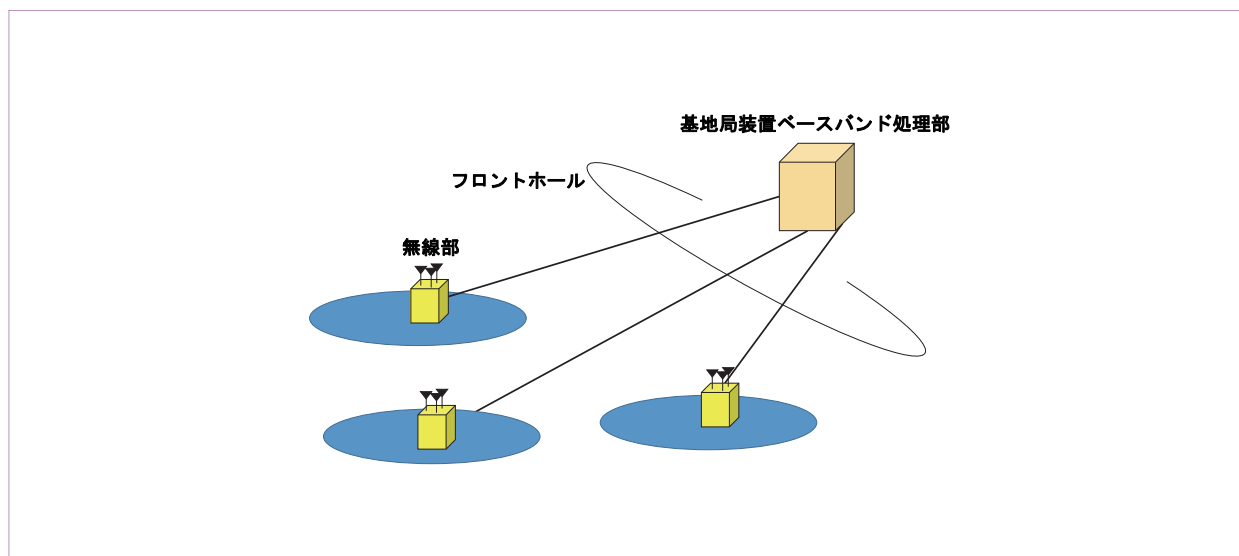


図1 C-RAN構成

相互接続（以下，マルチベンダRAN）の実現が困難である．加えて，5G時代における，周波数帯域幅の増大やMassive MIMO（Massive Multiple Input Multiple Output）^{*5}によるアンテナ数の増大によって，フロントホールの所要帯域が大きくなりすぎる点が課題であると多方面から指摘されていた [2]．

O-RAN (Open RAN) フロントホール仕様はこのような背景を受けて策定されたものであり、5G時代のマルチベンダRANの実現を推進するものとして期待される。

また、O-RANフロントホール仕様では、所要帯域の課題をかんがみ、従来ベースバンド処理部にあったレイヤ1*⁶機能の一部を無線部に配置する新たな機能分担の規定としてSplit Option 7-2xが採用されている。また、eCPRI*⁷のフレームワークに準拠しつつ、eCPRI仕様では規定されていないマルチベンダRANの実現に必要な信号フォーマットと装置動作の詳細を規定したC/U/S-Plane（Control, User and Synchronization Plane）*⁸仕様と、M-Plane

(Management Plane)*⁹仕様が策定されている。
RAT (Radio Access Technology)*¹⁰としてはNR
とLTEの両方がサポートされている。本稿では、
Split Option 7-2xについて紹介した後に、C/U/S-
Plane仕様とM-Plane仕様で規定された内容ついて
解説する。

2. Split Option 7-2x

Split Option 7-2xは、O-RANフロントホール仕様で採用された、O-DU (O-RAN Distributed Unit) とO-RU (O-RAN Radio Unit) の機能分担に関する規定である。その概要を図2に示す。

下りリンク（DL：Down Link）の処理フローでは、MAC（Medium Access Control）レイヤ*11から受信するユーザビット列に対して符号化やスクランプリング*12が実施され、変調、レイヤマッピングを実施した後、プリコーディング*13処理とリソースエレメントマッピング*14が実施されて周波数領

***5 Massive MIMO**：超多素子のアンテナを利用する大規模MIMOのこと。高い周波数帯ではアンテナ素子サイズを小さくすることができるため、5Gでの実用化が期待されている。

*6 レイヤ1: OSI参照モデルの第1層 (物理層).

*7 eCPRI：無線基地局の内部インタフェース仕様。産業団体でもあるCPRIによって規定されている。

*8 C/U/S-Plane : C-Planeは制御信号を転送するためのプロトコルで、U-Planeはユーザデータを転送するためのプロトコルである。また、S-Planeは装置間の同期 (Synchronization) を実現するためのプロトコル。

***9** M-Plane：保守監視信号を扱うマネジメントプレーンのこと。

*10 RAT : NR, LTE, 3G, GSM, Wi-Fiなどの無線アクセス技術のこと。

***11 MACレイヤ**：レイヤ2におけるサブレイヤの1つで、無線リソース割当て、データマッピング、再送制御などを行うプロトコル。

*12 スクラブラリング：送信するデータブロックに対して，ユーザやセルの識別子などによって決まる特定のビット列でマスキングする処理。

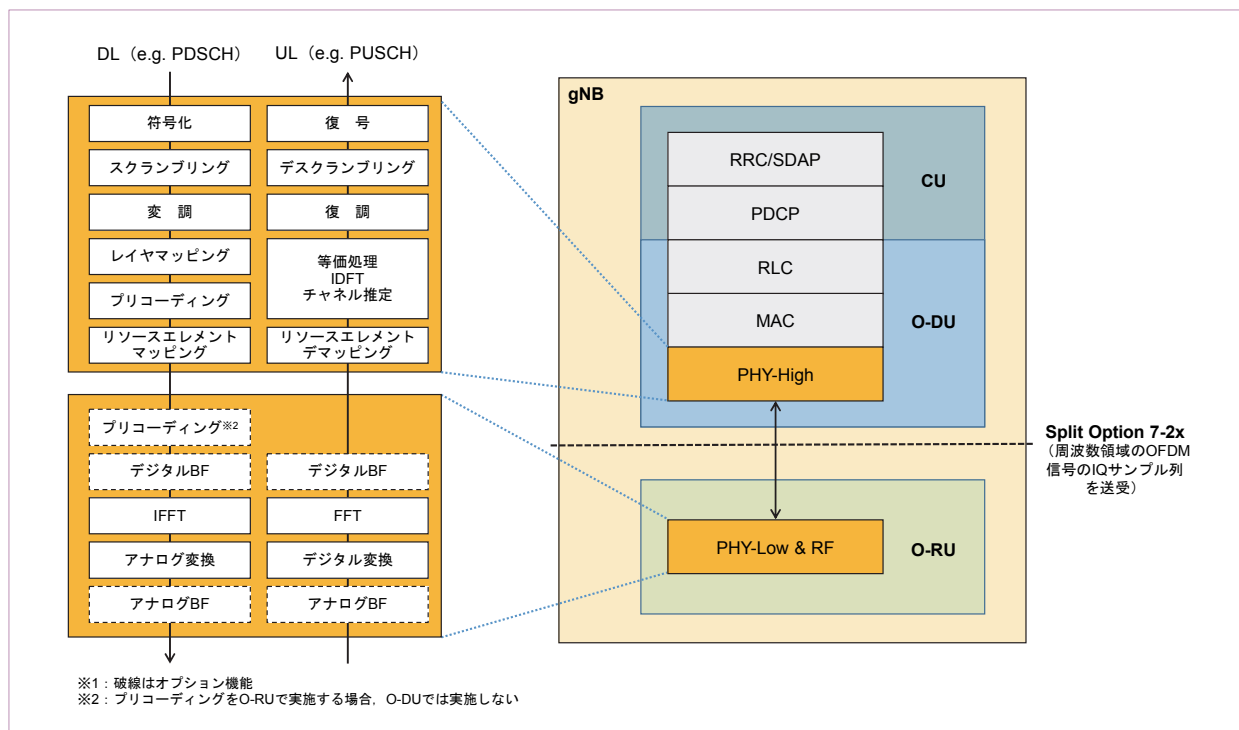


図2 O-RANフロントホール仕様で採用されたSplit Option 7-2x

域^{*15}のOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)^{*16}信号のIQサンプル列^{*17}が生成される。さらにIFFT (Inverse Fast Fourier Transform)^{*18}処理によって時間領域^{*19}のOFDM信号に変換され、その後アナログ信号へ変換される。BF (Beam Forming)^{*20}処理は、デジタルBFの場合にはIFFT処理の前、アナログBFの場合にはアナログ信号変換後に実施される。

Split Option 7-2xでは、リソースエレメントマッピングまでの機能がO-DUに実装され、O-RUは、デジタルBF以下の機能を実装するO-RU (Category A O-RU) と、プリコーディングも合わせて実施するO-RU (Category B O-RU) の両方がサポートされている。5G導入当初では実装が簡易なCategory A O-RUが主流になると想定される。フロントホー

ルでは周波数領域のOFDM信号のIQサンプル列が、MIMO空間ストリームごと (Category A O-RU)、もしくはMIMOレイヤごと (Category B O-RU) に伝送される。また、無線インタフェースのDLにおいて信号を送信しない周波数リソースについては、フロントホールでも該当するIQサンプル列を伝送する必要がない。

上りリンク (UL: Up Link) の処理フローでは、O-RUで受信し、デジタル信号に変換された時間領域のOFDM信号に対してFFT処理がされて周波数領域のOFDM信号のIQサンプル列が生成される。リソースエレメントデマッピング^{*21}後に等化処理、IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)^{*22}やチャネル推定が実施され、復調、デスクランプリング^{*23}、復号処理後のユーザビット列^{*24}がMACレイ

*13 プリコーディング: MIMOにおいて、送信する前の信号に無線伝搬路に応じた重みをあらかじめ乗算することで、受信品質を向上させる処理。

*14 リソースエレメントマッピング: LTEおよびLTE-AdvancedやNRにおいて、IQ信号系列を時間・周波数リソースにマッピングする処理。

*15 周波数領域: 信号などの解析において、その信号が各周波数においてどのくらいの成分を持っているかを示すのに用いられる。周波数領域の信号を逆フーリエ変換することで時間領域の信号に変換することができる。

*16 OFDM: デジタル変調方式の1つで、情報を複数の直交する搬送波に分割して並列伝送する方式。高い周波数利用率での伝送が可能。

*17 IQサンプル列: 複素デジタル信号の同相 (In-phase) および直交 (Quadrature) 成分のサンプリング系列。

*18 IFFT: 逆高速フーリエ変換のことで、入力された周波数成分 (離散データ) に対する時間信号系列を効率的に計算する方法。

ヤへ送出される。BF処理は、デジタルBFの場合にはFFT処理の後、アナログBFの場合にはデジタル信号変換前に実施される。

Split Option 7-2xでは、リソースエレメントマッピングからの機能がO-DUに実装され、O-RUはデジタルBF以下の機能を実装する。フロントホールでは周波数領域のOFDM信号のIQサンプル列がMIMO空間ストリームごとに伝送される。また、無線インタフェースのULにおいて信号を受信しない周波数リソースについては、フロントホールでも該当するIQサンプル列を伝送する必要がない。

機能分担は図3にあるように、O-DUで機能をもつ場合、O-RUで機能をもつ場合のトレードオフがある。一般的に、より多くの機能をO-RUにもたせた方がフロントホールの所要帯域がより小さくすむ。

例えば、フロントホールの所要帯域は、O-RUでRF機能部のみを担うCPRIに比較して、IFFT/FFT処理をO-RUに配置すると時間領域のOFDM信号に適用されるオーバーサンプリングによる増加を回避でき、DLのプリコーディング処理をO-RUに配置するとMIMO空間ストリーム数がMIMOレイヤ数より多いことによる増加を回避できる。

さらに、O-RUでレイヤ1機能部すべてを担う場合にはフロントホールの所要帯域はベースバンド^{*25}のビットレート程度となる。一方、より多くの機能をO-RUにもたせる場合、分散設置されるO-RUで必要な処理やメモリの量が増大し、また、機能修正や拡張を行う際はO-DUのみでなくO-RUへの修正も伴う場合が多くなる。

また、リソースエレメントマッピング・デマッ

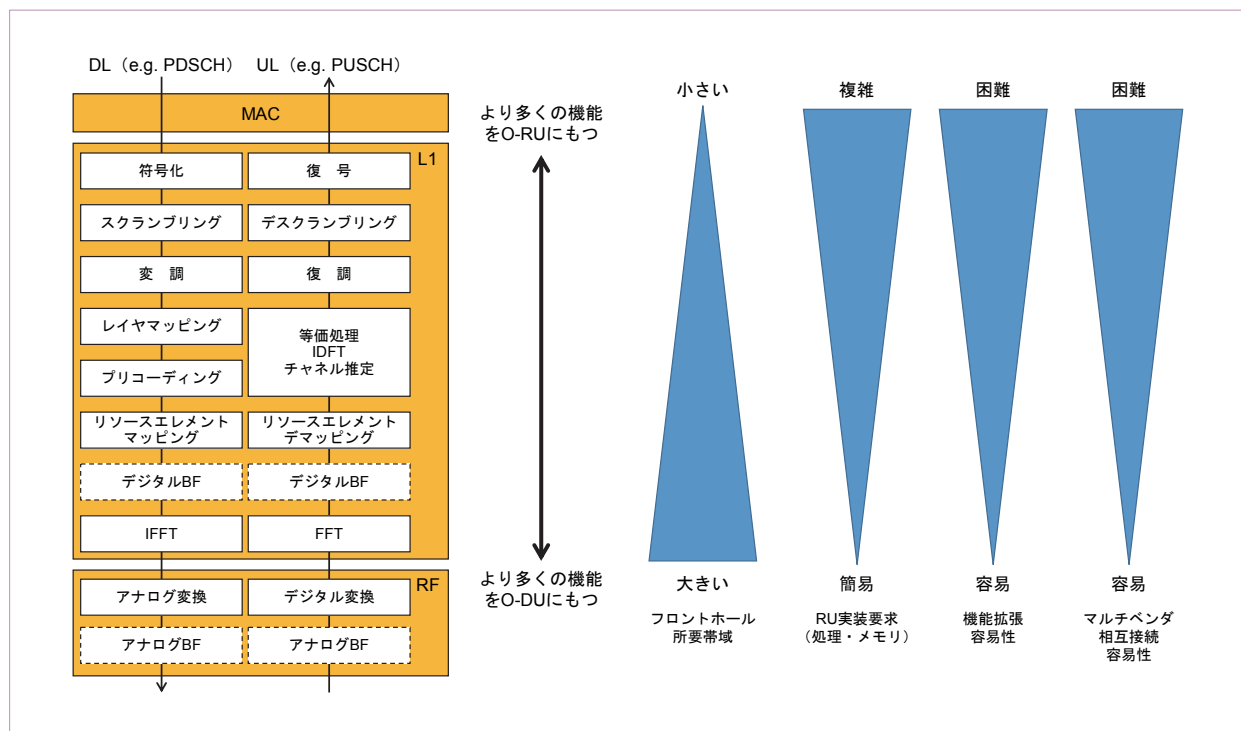


図3 O-DUとO-RUの機能分担におけるトレードオフ

*19 時間領域：信号などの解析において、その信号が各時間でどのくらいの成分をもっているかを示すのに用いられる。時間領域の信号をフーリエ変換することで周波数領域の信号に変換することができる。

*20 BF：複数のアンテナの振幅および位相の制御によってアンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加／減少させる技術。

*21 リソースエレメントデマッピング：LTEおよびLTE-AdvancedやNRにおいて、時間・周波数リソースにマッピングされたIQ信号からIQ信号系列を抽出する処理。

*22 IDFT：離散逆フーリエ変換。周波数領域の離散データを時間領域の離散データに変換する。

*23 デスクランプリング：受信したデータブロックに対して、ユーザやセルの識別子などによって決まる特定のビット列でマスキングする処理。

*24 ユーザビット列：ユーザデータのベースバンドビット列。

*25 ベースバンド：デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

ピング処理をO-DU側で行う場合、フロントホールではユーザ多重後のデータが伝送されるため、フロントホールにおける制御信号を簡易化することができ、マルチベンダRANの実現がよりし易くなる。Split Option 7-2xはこれらトレードオフをかんがみで採用された。

3. フロントホールインタフェース概要

3.1 プロトコルスタック

O-RANフロントホール仕様で規定されているプロトコルスタック^{*26}を図4に示す。

C/U-Planeでは、eCPRIもしくはRoE (Radio over Ethernet)^{*27}で用いられる信号を直接Ethernetで伝送するプロトコルスタックと、オプションでUDP (User Datagram Protocol)^{*28}/IPを介して伝送するプロトコルスタックがサポートされている。

S-Planeでは、PTP (Precision Time Protocol)^{*29}およびSyncE^{*30}で用いられる信号をEthernetで伝

送するプロトコルスタックがサポートされている。

M-Planeでは、NETCONF (NETwork CONFiguration protocol) で用いられる信号をEthernet/IP/TCP (Transmission Control Protocol)^{*31}/SSH (Secure SHell)^{*32}で伝送するプロトコルスタックがサポートされている。

NETCONFはIETF (Internet Engineering Task Force)^{*33}においてRFC6241として策定されており、ネットワーク機器の管理で汎用的に用いられるプロトコルである。O-RANフロントホール仕様では、NETCONF上実装マターとされている、NETCONFでの操作対象となるデータモデルの部分について主に規定されている。

3.2 C/U-Plane

(1)U-Plane

U-Planeメッセージのフレームフォーマットを図5に示す。eCPRIヘッダでは、メッセージ種別(ecpriMessage)やeCPRIペイロード^{*34}のサイズ

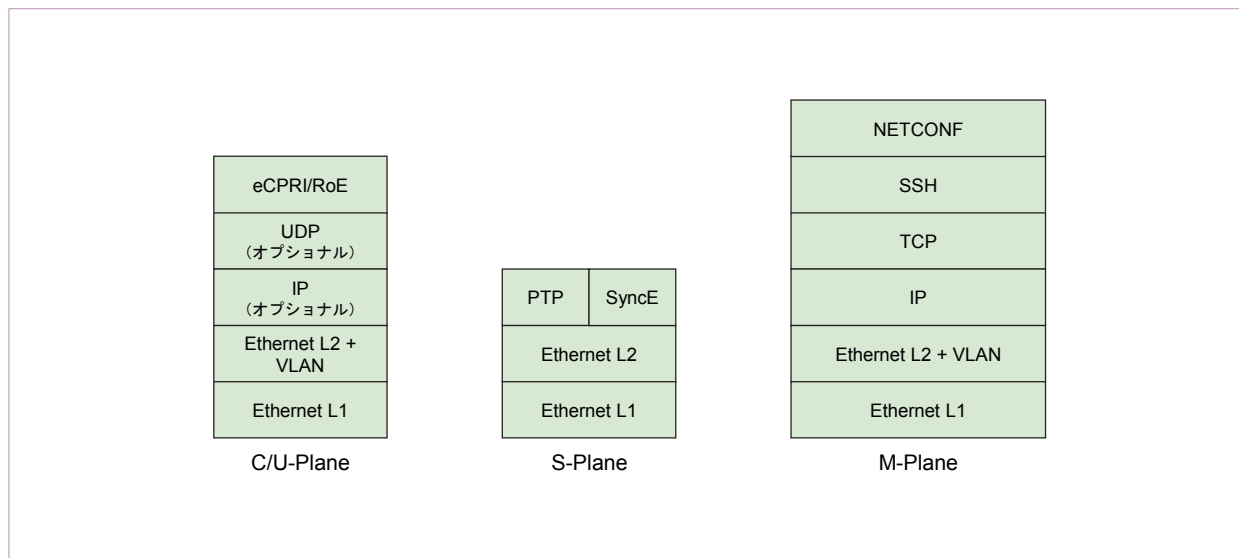


図4 各Planeのプロトコルスタック

*26 プロトコルスタック：プロトコル階層。

*27 RoE：無線基地局の内部インタフェース仕様。IEEEによって規定されている。

*28 UDP：トランスポート層のプロトコルの1つで、送達確認や輻輳制御などを行わないため処理が軽く、途中でデータが抜け落ちても問題が少ない通信に用いられる。

*29 PTP：ネットワークに接続された装置間で高精度な時刻同期をするためのプロトコル。

*30 SyncE：Ethernet上でクロック信号を伝送する方式。

*31 TCP：インターネットで標準的に利用されるIPの上位プロトコル。

ル。接続相手やデータ到着の確認・フロー制御・データの重複や抜けの検出などを行うことでIPの補完の役割を果たし、信頼性の高い通信を実現する。

*32 SSH：セキュアなリモートログインやネットワークサービスのためのプロトコル。

*33 IETF：インターネット技術標準の開発、推進を行っている標準化組織。ここで策定された技術仕様はRFC (Request For Comment) として公開される。

*34 ペイロード：通信データのうち、ヘッダなどを除いた本来通信したいデータ本体。

(ecpriPayload), メッセージの送信元先の識別子 (ecpriPcid), メッセージのシーケンス番号 (ecpriSeqid) などが通知される. O-RANフロントホール仕様では, メッセージの送受信元の識別子としてeAxC (extended Antenna-Carrier) を規定しており, 図6

のようにO-DUのポート識別子 (DU_Port_ID), バンドセクタの識別子 (BandSector_ID), コンポーネントキャリア (CC: Component Carrier)*35の識別子 (CC_ID), O-RUのポート識別子 (RU_Port_ID) から構成される. RU_Port_IDにより特定のMIMO

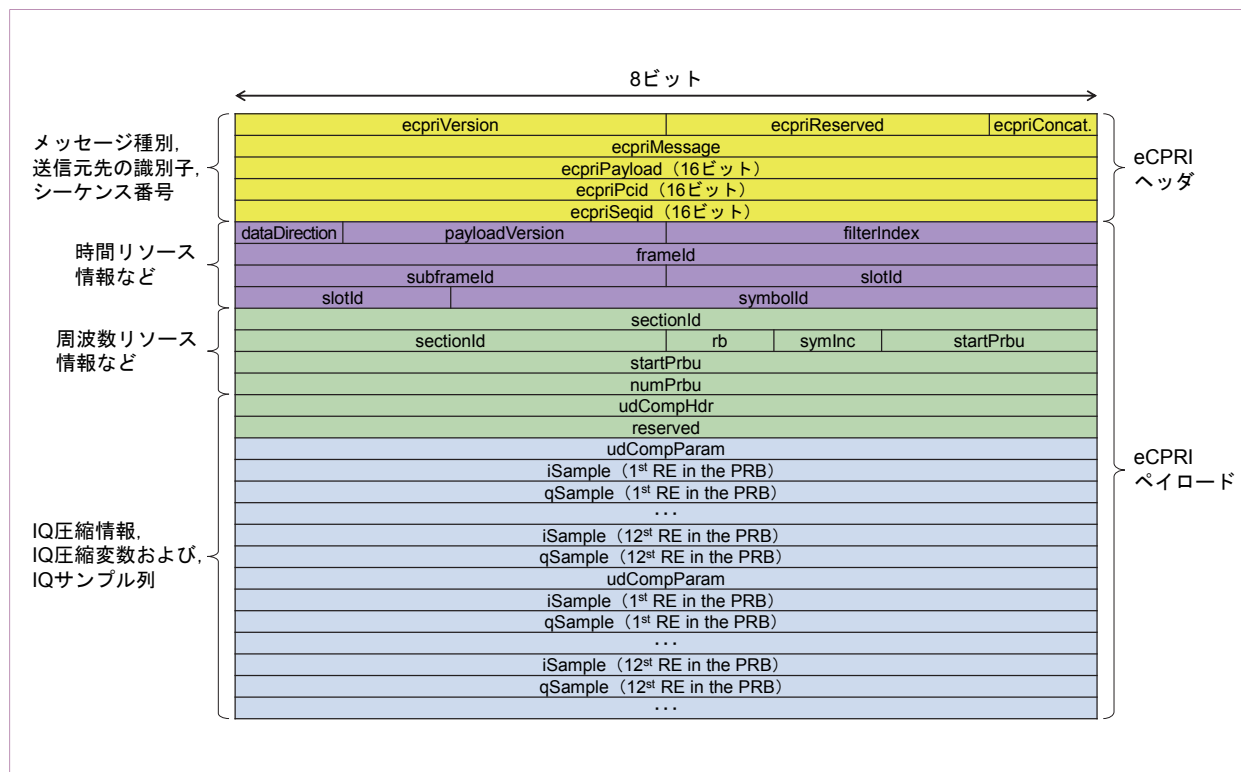


図5 U-Planeメッセージのフレームフォーマット

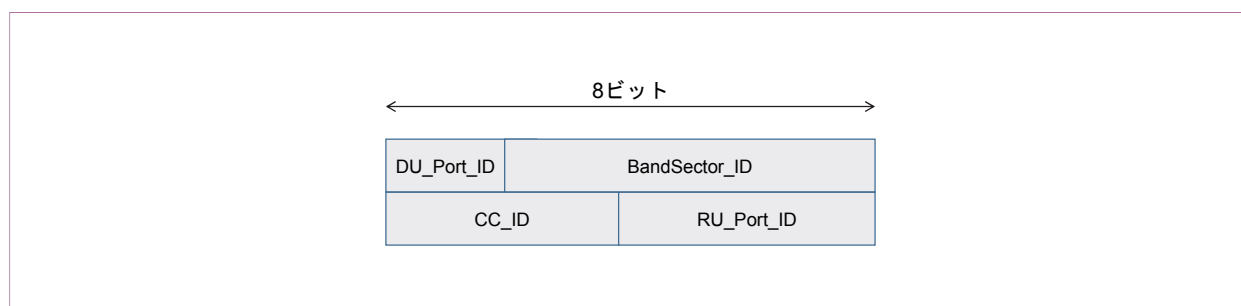


図6 eAxCの例

*35 コンポーネントキャリア (CC): CAにおいて束ねられるキャリアを表す用語。

空間ストリームやMIMOレイヤが識別される。

U-PlaneメッセージのeCPRIペイロードでは、IQ圧縮を適用した周波数領域のOFDM信号のIQサンプル(iSample/qSample)列とIQ圧縮情報(udCompHdr)を伝送できる。さらに、IQサンプル列の無線インタフェースでの送受信に適用すべき時間・周波数リソース情報などが一緒に通知される。これらeCPRIペイロードの詳細はeCPRIでは規定されておらず、O-RANフロントホール仕様で規定している。時間リソース情報としては無線フレーム^{*36}、サブフレーム^{*37}、スロット^{*38}、OFDMシンボル^{*39}の識別情報が通知され、周波数リソース情報としてはPRB(Physical Resource Block)^{*40}の開始位置とPRB数(startPRBu, numPRBu)が通知される。IQ圧縮情報では適用される圧縮方式と圧縮後のIQサンプルのビット数が通知される。IQ圧縮は、1PRB(12 IQサンプル)ごとに共通のIQ圧縮変数(udCompParam)

を用いて実施される。例えば、圧縮方式としてblock floating point^{*41}を適用する場合、IQ圧縮変数とIQサンプル列はそれぞれ浮動小数点における指数と仮数を表す。

なお、U-PlaneメッセージのフレームフォーマットはO-DUからO-RUに送信する方向と、O-RUからO-DUに送信する方向で共通のものが用いられる。

(2)C-Plane

C-Planeメッセージのフレームフォーマットを図7に示す。C-PlaneメッセージにおけるeCPRIヘッダはU-Planeメッセージと同様である。C-Planeメッセージの送信元先の識別子はU-Planeメッセージの場合のecpriPcidとは異なりecpriRtcidとなっているが、O-RANフロントホール仕様ではC-Planeメッセージの場合もeAxC(extended Antenna-Carrier)として規定している。

C-PlaneメッセージのeCPRIペイロードでは、U-

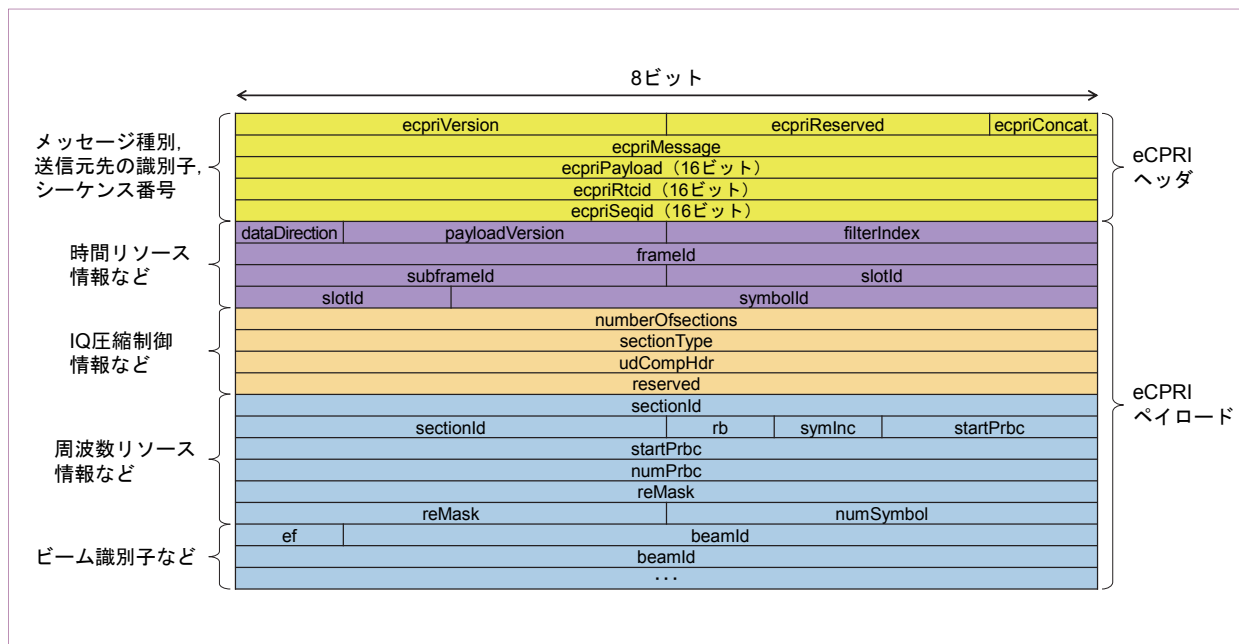


図7 C-Planeメッセージのフレームフォーマット (ビーム識別子)

- *36 無線フレーム：信号処理(符号化・復号化)を行う最小単位。1個の無線フレームは、時間軸上で複数のスロット(またはサブフレーム)によって構成され、各スロットは時間軸上で複数のシンボルによって構成される。
- *37 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり、複数のスロットから構成される。
- *38 スロット：データのスケジューリング単位。複数のOFDMシンボルから構成される。
- *39 OFDMシンボル：伝送するデータの単位であり、OFDMの場合は複数のサブキャリアから構成される。各シンボルの先頭には

CPが挿入される。

- *40 PRB：無線リソースの割当て単位であり、12サブキャリアから構成される。
- *41 block floating point：浮動小数点で表現する場合に、個々のデータごとに指数部分を算出するのではなく、データブロックごとに共通の指数部分を算出する方法。

Planeメッセージに含まれるIQサンプル列を無線インタフェースでの送受信する際に適用するBFウェイトを特定する情報とそれが適用される時間リソース情報（U-Planeメッセージと同様）、周波数リソース情報（startPRBc, numPRBc）がO-DUからO-RUに通知される。O-RUはこの情報を基に無線インタフェースの送受信に適用するビームを生成する。BFウェイトを特定する情報には複数のオプションが規定されているが、O-RANフロントホール仕様では図7のビーム識別子（beamId）を用いるものへの対応を必須化している。なお、ビーム識別子を用いるオプションはデジタルBF、アナログBF、およびそれらを組み合わせたハイブリッドBFのいずれにも適用できる。

(3)遅延管理

無線インタフェースの物理レイヤ内にO-DUとO-RUの機能分担点をおくSplit Option 7-2xでは、無線

インタフェースにおける送受信タイミング、HARQ（Hybrid Automatic Repeat reQuest）^{*42}の再送タイミングに合わせてフロントホールでのC/U-Planeメッセージを伝送する必要がある。遅延管理を行う。遅延管理にはeCPRIのフレームワークに基づいて受信ウィンドウと送信ウィンドウを採用している。

O-DUからO-RUへの送信方向の遅延管理を図8に示す。O-RUはフロントホールで受信した周波数領域のOFDM信号のIQサンプル列を、指定された時間リソース（無線フレーム、サブフレーム、スロット、OFDMシンボル）での無線インタフェースへの送信に間に合うように処理（IFFT、アナログ変換、BFなど）を完了する必要がある。そのため、O-RU受信ウィンドウの位置は、無線インタフェースへの送信タイミングからO-RUの処理遅延を加味した分の時間、手前に設定される。O-DUはC/U-PlaneメッセージをO-RU受信ウィンドウ内に届くよ

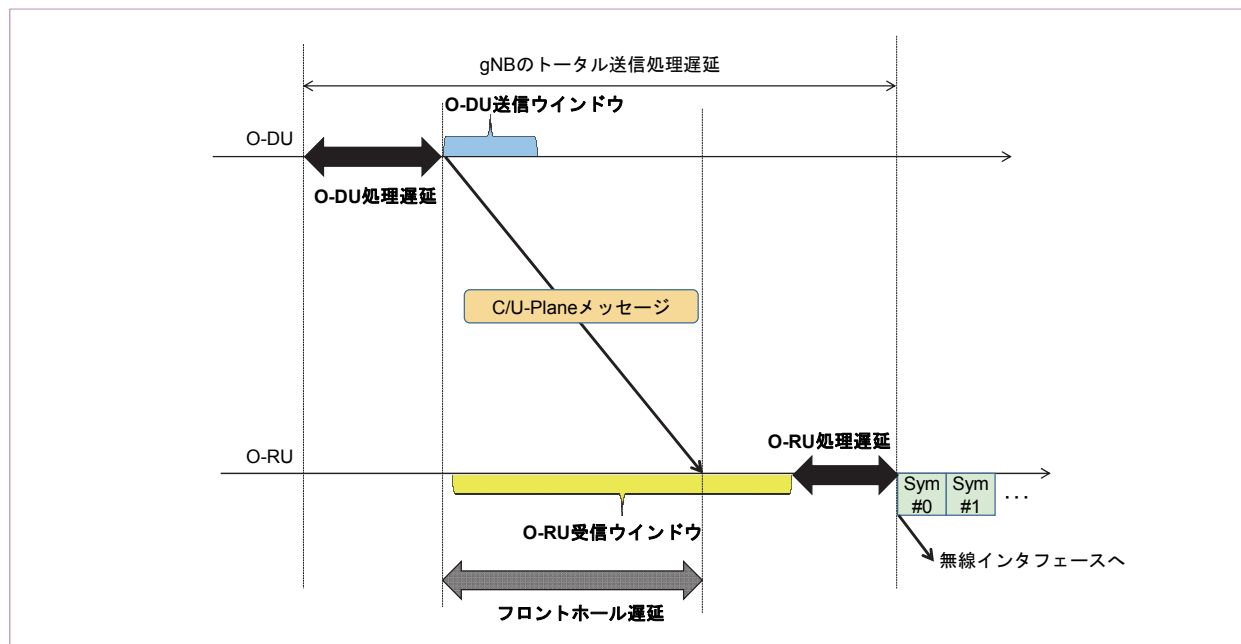


図8 遅延管理（O-DUからO-RUへの送信方向）

^{*42} HARQ：誤り訂正符号と再送を併用して、受信した信号の誤りを補償する技術。

うにフロントホールに送出する必要がある。そのため、O-DU送信ウィンドウの位置は、無線インタフェースへの送信タイミングからO-RUの処理遅延とフロントホール遅延を加味した分の時間、手前に設定される。フロントホール遅延にはその距離やスイッチの処理遅延などによる変動要素がある。O-RU受信ウィンドウのサイズは、このフロントホール遅延の変動、およびO-DU送信ウィンドウのサイズを吸収できる長さに設定される。O-DU送信ウィンドウのサイズは、O-DUがフロントホールにC/U-Planeメッセージの送出処理に要する時間を加味して設定される。

O-RUからO-DUへの送信方向にも同様なウィンドウを用いる遅延管理が適用される。また、図8では省略しているが、フロントホール仕様ではC-PlaneとU-Planeでそれぞれ別のウィンドウを定義している。

3.3 S-Plane

C-RAN構成においては、TDD (Time Division Duplex) ^{*43}、複数のO-RUを用いたCA (Carrier Aggregation) ^{*44}、MIMOなどO-RU間同期を前提とした連携制御を実現するためにO-DUとO-RU間で高い同期精度が必要とされる。O-RANフロントホール仕様

ではS-Planeとして、高性能なO-DU側とのクロックと同期することによるO-RU側での高い同期精度を実現するためのプロトコルであるPTPやSyncEをサポートしている。

3.4 M-Plane

前述までのC/U-PlaneおよびS-Planeに必要となるO-RU側へのパラメータ設定、O-RUのソフトウェア(SW)管理や故障管理などのO-RUに対する種々の管理機能をM-Planeでは提供する。O-RANフロントホール仕様では、上記を実現する種々のパラメータをデータモデルとして規定していることから、各O-RUベンダの実装に依存することなく、マルチベンダRANが実現可能となっている。

M-Planeでサポートされる機能は表1の通りである。

(1)M-Planeアーキテクチャ

M-Planeでは、O-DUやNMS (Network Management System) ^{*45}がO-RUを管理するネットワーク機器として規定されている。なお、NETCONF上ではこれらO-RUを管理するネットワーク機器がNETCONFクライアントに該当し、管理対象となるO-RUがNETCONFサーバに該当する。

アーキテクチャとして以下の2種のモデルをサ

表1 M-Plane機能概要

機能名	概要
"Start up" installation	M-Plane確立手順
SW management	O-RUのSW管理
Configuration management	O-RUのパラメータの設定・取得
Performance management	O-RUでの測定項目管理
Fault Management	O-RUの故障管理
File Management	O-RUとの間のデータファイル送受信

^{*43} TDD：アップリンクとダウンリンクで、同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

^{*44} CA：複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

^{*45} NMS：ネットワークにおける管理を行うシステム／機能の総称。

ポートする (図9)。

(a) Hierarchical model : O-RUが1台または複数のO-DUによって管理される構成である。O-DUが配下のO-RUの監視制御を終端することで、すべてのO-RUの監視制御をNWSで実施する必要がなくなり、その処理負荷を低減することが可能となる。また、既設のNMSがNETCONFに未対応であった場合においてもO-DUが本M-Planeに対応することで既設のシステムに影響なくネットワーク構築が可能であることが特徴として挙げられる。

(b) Hybrid model : O-RUがO-DUに加え、1台または複数のNMSによって管理される構成である。他のネットワーク機器の監視制御を含め、NWSでO-RUの監視制御を行う事が可能となるため、各装置の保守監視および制御を一元的に処理することが可能となることが特徴として挙げられる。

いずれのアーキテクチャにおいてもO-RUを管理するNETCONFクライアントごとに管理可能な機

能を限定することができ、例えばSW managementを行うNETCONFクライアントとFault Managementを行うNETCONFクライアントを分けて運用するなど、柔軟なオペレーションが可能となっている。

(2) M-Plane機能

(a) “Start up” installation

“Start up” installationは、O-RUとO-DUやNMSなどのNETCONFクライアント間でのM-Plane接続確立を規定したものである。M-Plane接続確立のためには、互いのTransport Layer address^{*46}などを明らかにする必要がある。

O-RANフロントホール仕様では、以下3つのオプションが規定されている。

- ・ 手動でのTransport Layer addressなどの設定
- ・ DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)^{*47}サーバによるTransport Layer addressの割当て
- ・ SLAAC (Stateless Address Auto-Configuration)^{*48}によるTransport Layer addressの割当て (IPv6対応の場合)

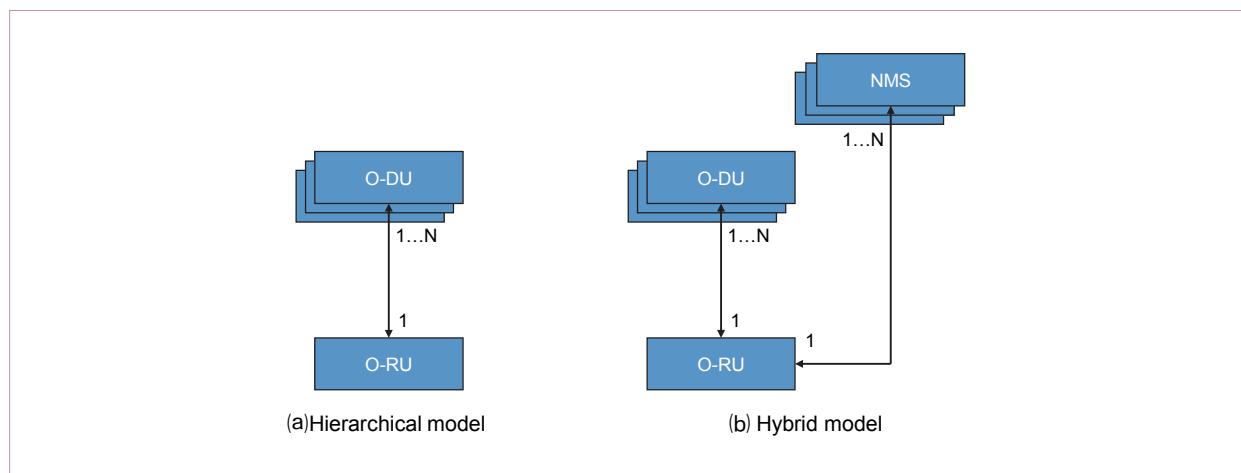


図9 M-Planeのサポートするアーキテクチャ

*46 Transport Layer address : Transport層接続確立のために必要なIP addressなどの情報。

*47 DHCP : ネットワークに接続したコンピュータに、IPアドレスなどの情報を自動的に割り当てるプロトコル。

*48 SLAAC : IPv6において、ネットワークに接続したコンピュータに、IPv6アドレスなどの情報を自動的に割り当てるプロトコル。

あらかじめ保守作業者がTransport Layer addressなどを設定するオプション以外にも、DHCPサーバやSLAACを用いて、プラグアンドプレイでアドレス解決を行う方法がサポートされている。

(b)SW management

O-DU/NMSなどNETCONFクライアントからM-Planeを介して、O-RUのSW管理が実施される。マルチベンダRANでは、ベンダの実装に大きく依存するO-RUのSWファイルの管理を異なるベンダのNETCONFクライアントが行う必要があり、O-RU実装やベンダに依存しないSW管理の仕組みが重要となる。

主な手順は以下の通りとなる。

- ①SWインベントリ
- ②SWダウンロード
- ③SWインストール

④SWアクティベーション

まず、NETCONFクライアントはO-RUベンダから提供されるO-RUのSWパッケージを保持しておく必要がある。そのパッケージには、実際O-RUが動作するために必要なSWファイルに加え、各O-RUにどのSWファイルをインストールすべきかを示すマニフェストファイルが含まれており、このマニフェストファイルがマルチベンダRAN実現の要となる。

一連の動作を図10に示す。SWインベントリにて、NETCONFクライアントは現在O-RUにどのようなファイルが格納されているか情報を取得する。取得したインベントリ情報とマニフェストファイルのビルド名／バージョンおよびファイル名／バージョンを比較し、NETCONFクライアントはO-RUへのダウン

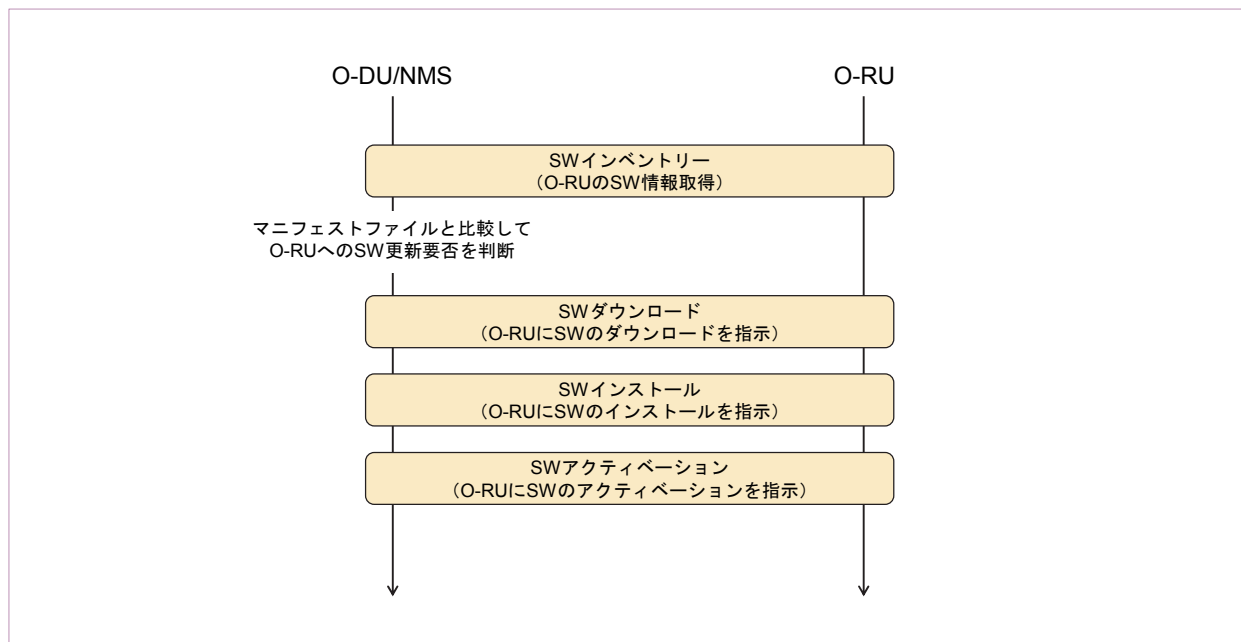


図10 SW management

ロード可否およびどのファイルのダウンロードを指示すべきか判断する。O-RANフロントホール仕様で規定されたマニフェストファイルのフォーマットにより、NETCONFクライアントはビルド名／バージョンおよびファイル名／バージョンのみを比較すればよく、O-RU実装に依存するSWファイル自身を比較する必要は無い。異なるベンダのNETCONFクライアントによるSW管理が可能となる。続いて、必要なSWファイルのダウンロードをO-RUへ指示し、ダウンロード完了後SWファイルのインストールを指示する。インストール完了後、次回起動時に使用するSWファイルをアクティベーションにて指示する。

(c) Configuration Management

O-DU/NMSなどのNETCONFクライアントからM-Planeを介して、C/U-PlaneおよびS-Planeに必要となるO-RU側へのパラメータ設定や装置の状態取得が実施される。本機能はNETCONFに規定される標準のメッセージを使用して実現されている。必要となるパラメータのセットはYANGモジュールという形で規定されており、以下のように実現する。

NETCONFではセッション^{*49}確立時に、〈Hello〉メッセージのやり取りを実施する。このメッセージには、自装置が対応しているNETCONF上の機能や、対応しているYANGモジュールの情報が含まれており、O-DU/NMSなどNETCONFクライアントはM-Plane確立時に、O-RUが対応しているYANGモジュールを認識することが可能となる。また、NETCONFでは標準メッセージとして、パラメータの設定を行う〈edit-config〉、パラメータ値の取得を行う〈get-config〉が規定されており、これら

のメッセージをO-RUに指示することで、各種パラメータ設定やO-RUの保持するパラメータおよび状態の取得を実施する。

(d) Fault management

NETCONFクライアントはM-Planeを介して、O-RUの故障管理を行う。本機能はNETCONFで標準メッセージとして規定されている〈notification〉を用いて、O-RUからO-DU/NMSなどのNETCONFクライアントに対して通知される。故障などO-RU側で何らかの問題が発生した場合、O-RUは以下の詳細内容を含めてNETCONFクライアントに対して故障の通知を行う。

- ・ ID
- ・ 故障発生箇所
- ・ 影響を受ける箇所
- ・ 故障の深刻度
- ・ 新たに発生した故障なのか／すでに発生していた故障が解消したのか

3.5 フロントホールのネットワーク構成

O-DU、O-RU間の物理的な回線数の制約などから、フロントホールのネットワーク構成としてはPoint-to-Point (図11(a)) の他、レイヤ2スイッチ^{*50}が必要となるケースなども想定される。上述のCUS-Plane、M-Planeはそのようなネットワーク構成にも対応しており、以下にその例を示す (図11(b))。

例えば、図11(b)ケース①のように、区間ごとにフロントホールの本数を変更できる。これにより、O-DU、O-RUそれぞれは1ポート当りの能力を増やすことなく、従来と同様の能力のポートを増やすだけでフロントホール伝送能力を向上可能である。また、途中のスイッチ間は数を一本とすることができ、回線コストを抑えることも可能となる。

図11(b)ケース②のように、O-DU、O-RU間でフ

^{*49} セッション：クライアントとサーバ間でやり取りされる一連の通信のこと。

^{*50} レイヤ2スイッチ：パケットに含まれるMACアドレスを判断しパケットの中継を行うネットワーク機器。

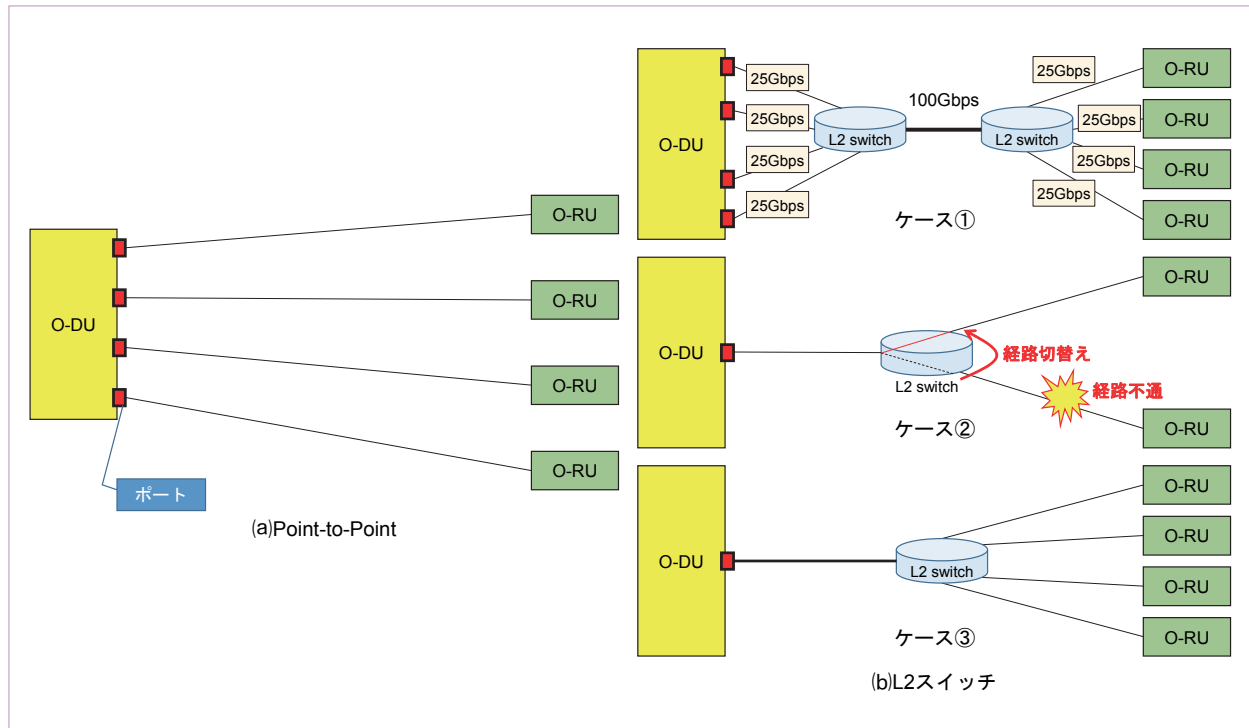


図11 フロントホールトポロジーの例

フロントホール経路に冗長性をもたせることも可能であり、いずれかの経路が不通になった場合でも他の経路を使っている装置でサービスを継続することも可能である。

図11(b)ケース③のように、O-DUが実装する物理的なポート数が限定されている場合であっても、スイッチをハブとして用いることで、より多くのO-RUと同時に接続することが可能となる。

4. あとがき

本稿では、O-RANフロントホール仕様で採用されたSplit Option 7-2xについて紹介し、O-RANフロントホール仕様で規定されたC/U/S-PlaneとM-Planeについて解説した。O-RAN Allianceでは継続

して、O-RANフロントホール仕様を用いた実際のマルチベンダRANの促進、および、O-RANフロントホール仕様そのものの拡張に向けた取組みを実施している。ドコモもマルチベンダRANの実現に向けたプロファイル（マルチベンダによる相互接続を実施する際のフロントホールの構成やパラメータ設定をとりまとめたもの）の策定など、今後も継続してO-RAN Allianceにおける活動を推進する。

文 献

- [1] 安部田, ほか: “さらなるLTEの進化, スマートライフをサポートするLTE-Advancedの開発,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.6-10, Jul. 2015.
- [2] ウメシュ, ほか: “無線アクセスネットワーク標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.33-43, Oct. 2017.

5Gエリア最適化に貢献する 電波可視化技術 —3GPP対応リアルタイム電波ビジュアライザー—

5Gイノベーション推進室 いのまた 猪又 みのる 稔 いまい 今井 てつろう 哲朗

5Gでの導入が検討されている高周波数帯の電波は、これまで利用していた周波数帯よりも波長が非常に短く、携帯電話などの移動端末周辺の人体や車両などの影響を大きく受ける。ドコモは、このような影響に伴う電波の到来状況の変化を、ヘッドマウントディスプレイにより可視化できる装置を開発した。本装置は、3GPPに準拠した基地局からの電波を360度リアルタイムに可視化し、基地局のアンテナの向きや設置位置などの置局設計を効率的に実施し、エリアの最適化を可能とする。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project)^{*1}では、第5世代移動通信システム (5G) の要求条件を実現可能とする新たな無線通信方式であるNR (New Radio) の規格が策定され [1]、現在、世界各国の携帯電話事業者において5G導入の検討が精力的に行われている。

5Gではより広い帯域幅を確保して高速・大容量 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand) 伝送を実現するために、6GHz以上の高周波数帯の利用が想定されている [2]~[4]。加えて、高信頼・低遅延通信

(URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communications) を実現する技術や、さらには、IoT (Internet of Things) 端末を多数収容 (mMTC: massive Machine Type Communications) するための技術検討がなされている。そのような中、NRのエリアを最適化していくためには、多様な利用環境における電波伝搬特性^{*2}を把握する必要があるが、高周波数帯の電波は波長が非常に短く、携帯電話などの端末周辺の人体や構造物などに大きく影響され、それに伴い、基地局からの電波の到来状況が変化する。この変化を容易に把握できるようにするため、2018年5月、ドコモは360度の電波の到来状況をリア

©2019 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

^{*1} 3GPP: 移動通信システムの規格策定を行う標準化団体。

^{*2} 電波伝搬特性: 伝搬損失、電力遅延プロファイル、角度プロファイルなどの特性を指す。

リアルタイムに可視化できるリアルタイム電波ビジュアライザーを開発した [5]。その装置は、当初、同装置の可視化範囲が180度であったのに対して、360度対応ができるようになったものの、NRに準拠した基地局からの電波については、NR信号を利用する必要があり、可視化はまだできなかった。

そこで、同年11月、ドコモは新機能であるNR信号のチャンネルサウンディング*3を採用し、NRに準拠した基地局からの電波をリアルタイムに可視化できる「3GPP対応リアルタイム電波ビジュアライザー」（以下、本装置）を開発した。本装置は、AR（Augmented Reality）*4技術により時々刻々と変化する電波の到来状況を可視化することで、基地局の設置や設定を容易にし、エリアの最適化などに活用することができる。

本稿では、本装置のシステム構成を説明し、実装例を解説する。

2. 電波可視化が対象とするチャンネル

本装置では、基地局ごとに電波を識別して可視化するためにNRのSSB（SS/PBCH Block）*5を用いる。SSBの構成を図1に示す。NRでは、直交周波数分割多重（OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing）*6を採用しており、同期信号（SS：Synchronization Signal）*7はプライマリ同期信号（PSS：Primary SS）*8とセカンダリ同期信号（SSS：Secondary SS）*9と、PBCH（Physical Broadcast Channel）および報知用チャンネル復調用参照信号（DMRS for PBCH：DeModulation Reference Signals for PBCH）*10で構成されている。また、NRでは複数のOFDMシンボル*11により、スロット*12、サブフレーム*13、フレーム*14が構成される。スロットはサブキャリア*15間隔にかかわらず14個のOFDMシンボルで構成され、フレームはサブフレーム10個で構成され、フレーム長は10msである。

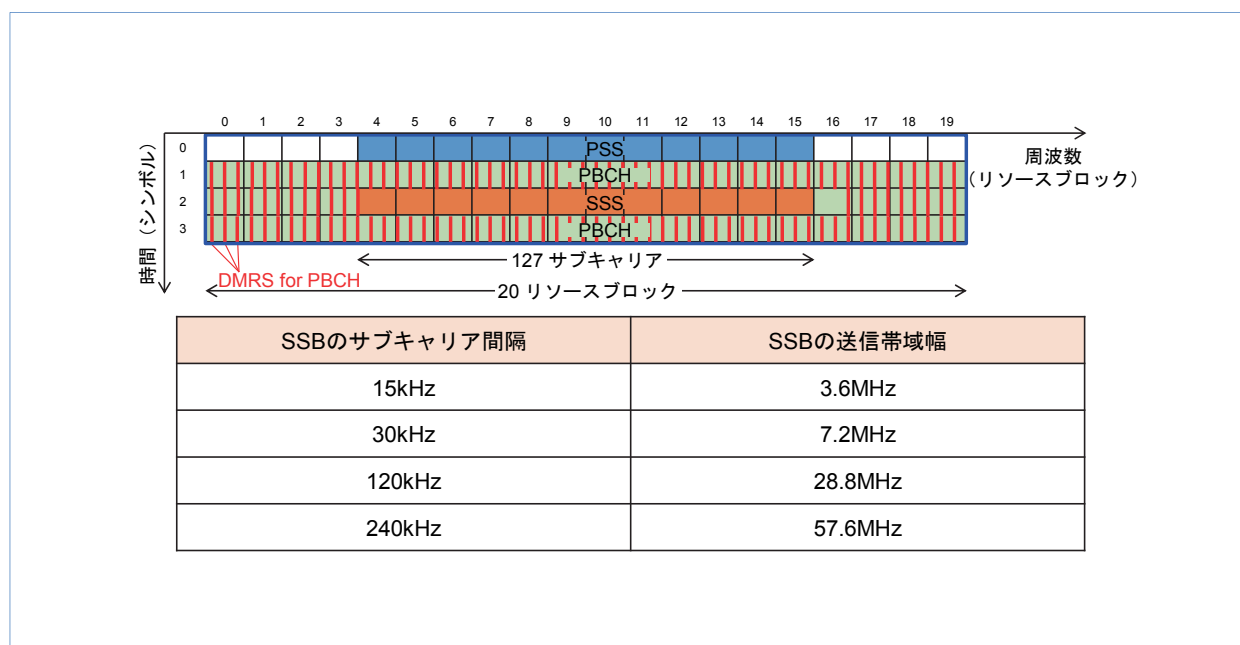


図1 SSBの構成

*3 チャンネルサウンディング：パスロス、遅延プロファイル、角度プロファイルなどの伝搬チャネル特性の測定を行うこと。

*4 AR：現実世界を写した映像に、電子的な情報を実際にそこにあるかのように重ねて、ユーザーに提示する技術。

*5 SSB：SS、PBCHから構成される同期信号／報知チャンネルブロック。主に、端末が通信開始時にセルIDや受信タイミング検出を実施するために周期的に送信されるが、NRでは各セルの受信品質測定にも流用される。

*6 直交周波数分割多重（OFDM）：情報信号を直交サブキャリアで変調するマルチキャリア変調形式。

*7 同期信号（SS）：移動局が通信の開始に必要な周波数と受信タイミングおよび同期元識別子（セルIDなど）の検出を行うための物理信号。

*8 プライマリ同期信号（PSS）：セルサーチ手順においてユーザー端末が最初に検出を試みる既知の信号。

このとき、SSB送信タイミングは5ms長の1/2フレーム内に位置する。図2はSSB送信数64個、SSB送信周期20ms、サブキャリア間隔120kHzとしたときのSSB送信構成例である。図2に示すようなSSB送信タイミングで、基地局は複数のSSBをそれぞれ異なるビームによって送信する。

3. 電波可視化のためのシステム構成

3.1 システム構成

本装置のシステム構成例を図3に示す。本装置では基地局からの電波到来状況をリアルタイムに可視化するため、360度カメラ、多素子アレーアンテナ^{*16}、チャンネルサウンダ、計算用PCが用いられる。基地局から放射された電波を多素子アレーアンテナで受信

し、チャンネル推定^{*17}した後、チャンネルサウンダでは、到来波の遅延—角度プロファイル^{*18}を解析する。なお、チャンネルサウンダは機能としてアンテナユニットとチャンネルサウンディングユニットをもつ。解析結果と360度カメラによって撮影した動画像を計算用PCで統合し画像処理を行い、ディスプレイに表示する。

3.2 機能構成

機能構成を図4に示す。チャンネル推定を行うために異なるビームごとに放射されている複数のSSBを受信してSSB送信タイミングを検出する必要がある。

アンテナユニット^{*19}において、多素子アレーアンテナを用いて受信した電波を中間周波数（IF：Intermediate Frequency）^{*20}にコンバートし、受信

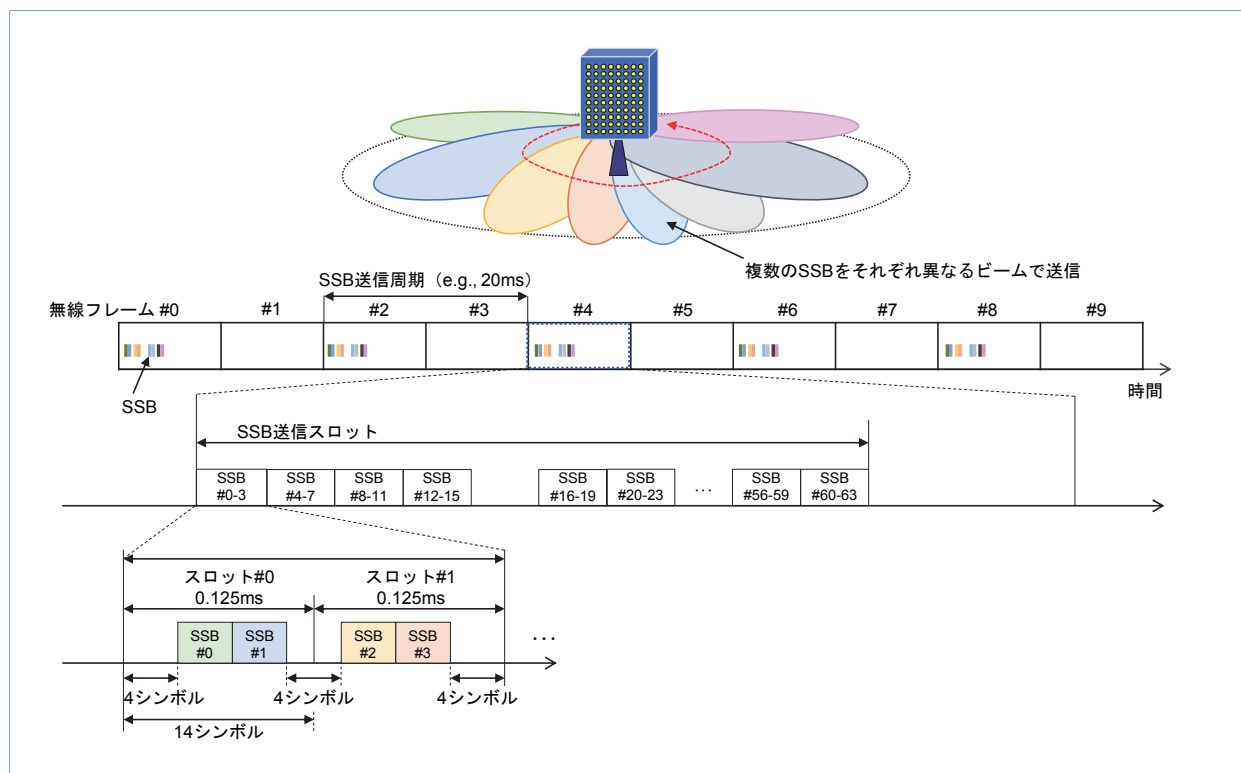


図2 SSB送信の構成例

*9 セカンダリ同期信号（SSS）：セルサーチ手順において物理セルIDを検出するために送信される既知の信号。

*10 報知用チャンネル復調用参照信号（DMRS for PBCH）：PBCH復調のための無線チャンネル状態を測定するために送信される既知の信号。

*11 シンボル：伝送するデータ単位。

*12 スロット：データのスケジューリング単位。複数のOFDMシンボルから構成される。

*13 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位。複数のスロットから構成される。

*14 フレーム：エンコーダ・デコーダが動作する周期、およびそれに対応する長さのデータ信号。

*15 サブキャリア：複数の搬送波で情報ビットを並列伝送するマルチキャリア変調方式におけるそれぞれの搬送波。

*16 アレーアンテナ：複数のアンテナ素子を配列したアンテナのこと。

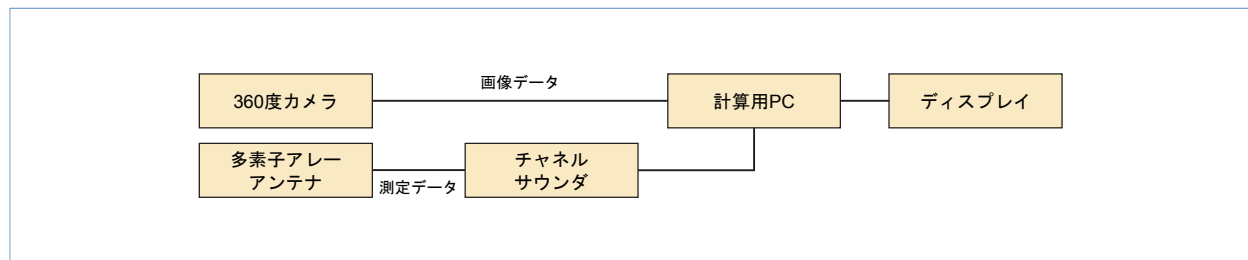


図3 システム構成

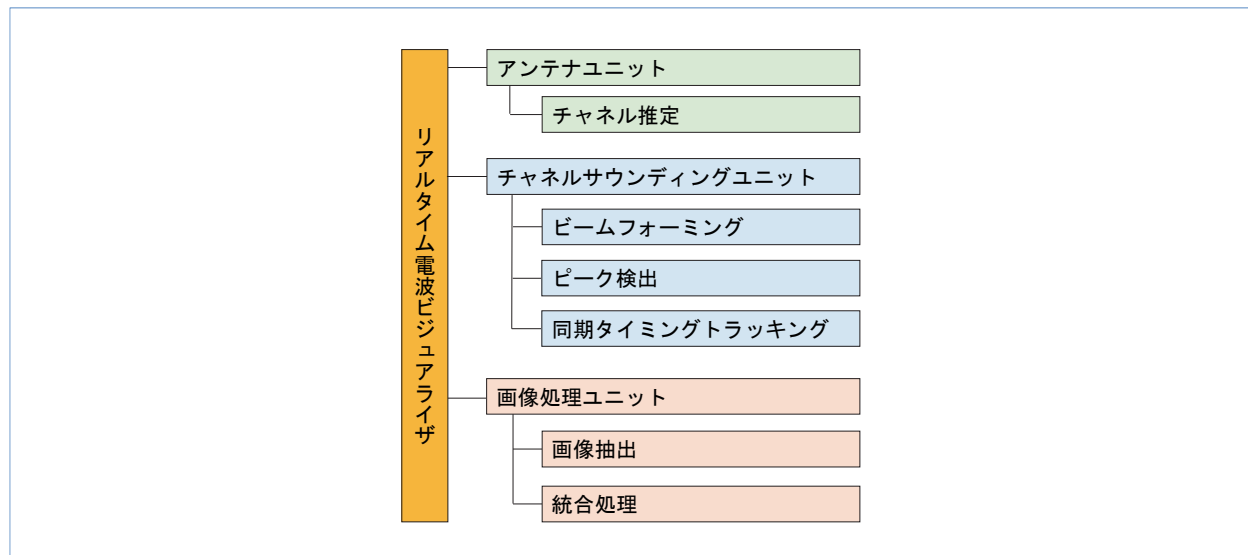


図4 機能構成

したSSと相関^{*21}演算を行い、相関値が最大となるタイミングを検出する。SSB送信タイミングの検出結果に基づきSSBを復調し、SSサブキャリア数127×アレーアンテナ素子数 N の行列であるチャンネル推定結果を算出し、逆高速フーリエ変換（IFFT：Inverse Fast Fourier Transform）^{*22}により遅延プロファイル^{*23}を算出する。一方、電波暗室^{*23}などで到来角度ごとのチャンネル推定結果を事前に測定し、ビームフォーミング^{*24}を行うための、測定データの補正データを算出しておく。

次に、チャンネルサウンディングユニットにおいて、ビームフォーミングや電波の到来方向を明確にする

ために角度プロファイルのピーク検出と、チャンネルサウンディングを安定的に実施するため同期タイミング追従を実施する。まず、アンテナユニットにおいて解析した遅延プロファイルと、事前に測定した補正データとの相関演算により、ビームフォーミングを行い、到来角度ごとの遅延—角度プロファイル^{*23}を算出する。算出結果から、到来角度ごとの受信レベルを算出し、到来方向を明確にするためにピーク検出を行い、角度プロファイルと到来方向を表すピークの解析結果が得られる。

最後に、画像処理ユニットにおいて、360度カメラで撮影した動画画像から到来角度ごとの画像データを

*17 チャンネル推定：信号が無線チャンネルを経由したときの振幅や位相などを推定すること。

*18 遅延—角度プロファイル：受信局に到達した直接波、反射波および散乱波の伝搬遅延時間と受信電力の関係を示す波形を遅延プロファイルといい、到来角度と受信電力の関係を角度プロファイルという。

*19 アンテナユニット：受信したデジタル信号を中間周波数に変換し、受信電力の増幅やアンテナ素子での受信などを行う装置。

*20 中間周波数（IF）：搬送波（キャリア）周波数よりも低い周波数。無線通信システムの多くでは、ベースバンドの送信信号を直接キャリア周波数に変調（受信信号を直接ベースバンド信号に復調）せず、中間周波数に変換した後に行う。

*21 相関：異なる信号の類似性を示す指標。複素数で表され絶対値は0～1の値をとる。1に近いほど類似性が高い。

抽出し、電波の到来状況を可視化するために、チャンネルサウンディングで得られた角度プロファイルの算出結果と、抽出した画像データを統合処理する。

4. 実装方法

本装置の構築では、円周方向32素子、垂直方向8素子の計256素子からなる超多素子の28GHz帯円筒アレーアンテナと無線処理部を組み合わせたアンテナユニットと、チャンネルサウンディングユニット、画像データと測定データを統合処理する計算用PC、および360度の電波到来状況を効率的に把握するた

めのヘッドマウントディスプレイ（HMD：Head Mounted Display）^{*25}を用いた（図5）。最大受信チャンネル数は4チャンネルであり、最大アンテナ素子数は1チャンネルあたり64素子であったため、実装可能な最大数である256素子の円筒アレーアンテナを開発している。また、360度の角度範囲から到来する電波をリアルタイムに把握するために、円筒形のアレーアンテナとしている。NRにおいてSSBのサブキャリア間隔は15kHz、30kHz、120kHz、240kHzと規定されており、またサブキャリア数は一定であるため、サブキャリア間隔ごとに送信帯域幅が異なる。そこで、表1に示すように本装置では最大80MHzの

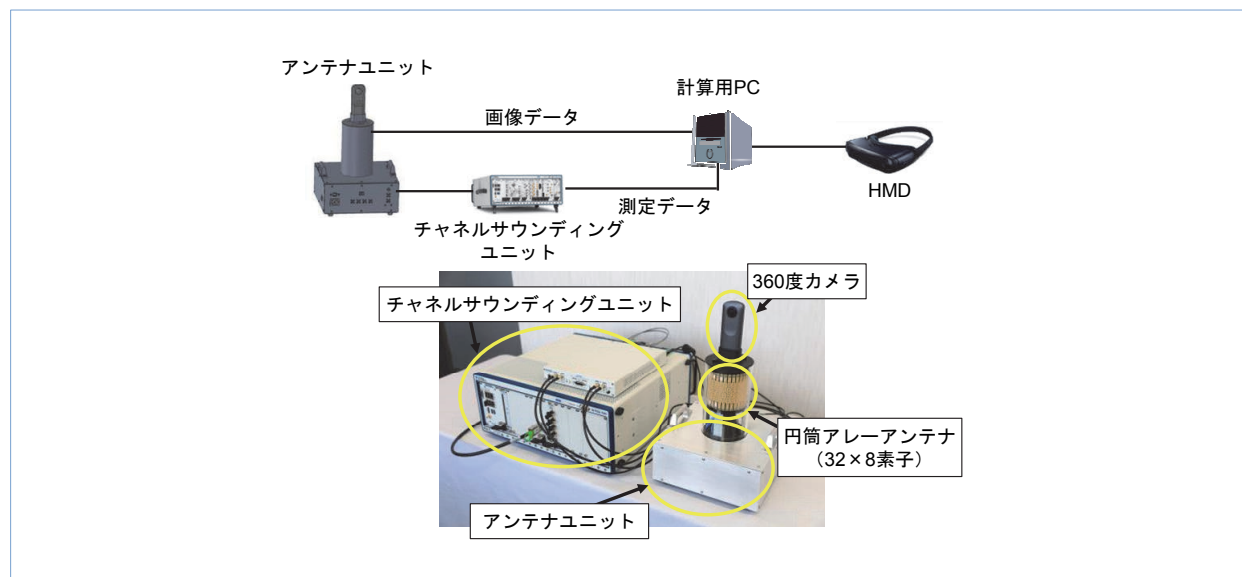


図5 システム実装例

表1 装置主要諸元

項 目	装置諸元
周波数帯	28GHz帯
最大帯域幅	80MHz
アンテナ	256素子／32面 円筒アレーアンテナ
使用チャンネル	5G NR SSB

*22 逆高速フーリエ変換（IFFT）：周波数領域の離散データを時間領域の離散データに変換する高速アルゴリズム。

*23 電波暗室：外部からの電波を遮断し、内壁6面に電波吸収体を備えることで反射波を抑制した実験設備。

*24 ビームフォーミング：複数のアンテナを用いてアンテナに指向性パターンを形成する技術。

*25 ヘッドマウントディスプレイ（HMD）：ゴーグルやヘルメットの形状をした、頭部に装着するディスプレイ装置であり、目のすぐ前に小型のディスプレイ画面が設置されている。片目だけに映像を表示する単眼タイプと、両目に映像を表示する両眼タイプがある。

解析帯域幅をサポートしている。

図6に示すようにアンテナユニットでは、チャンネル推定をFPGA（Field Programmable Gate Array）^{*26}において実施する。チャンネルサウンディングユニットではFPGAもしくはソフトウェアによりビームフォーミング、ピーク検出および同期タイミング追従処理をしており、演算量が大きいビームフォーミング処理を高速化するためにFPGAに実装し、ピーク検出や同期タイミングトラッキングはソフトウェアに実装した。また、画像処理ユニットでは、計算用PCのGPU（Graphics Processing Unit）に、HMDを装着した人の向きに応じた画像抽出や測定データと画像データの統合処理を実装している。

チャンネル推定、ビームフォーミング、ピーク検出のタイミングチャートを図7に示す。さまざまな方向から到来する電波を適切に受信するため、円筒アレーアンテナの円周方向の各素子を使用し、アンテナ素子の切替制御をしながら、SSと相関演算を行い、SSB送信タイミングを検出する。チャンネル推定

では、SSB送信タイミング検出結果に基づき、円筒アレーアンテナ素子を4素子毎に切り替えながら実施し、全アンテナ素子のビームフォーミング結果を加算して360度の到来状況を可視化する。そのため、本実装による処理時間は、SSB送信周期×アンテナ切替数64回の時間を要する。なお、HMD表示は、電波の到来状況を容易に把握できるように、受信レベルに応じて配色した角度プロファイルと、どの基地局からの到来電波であるかを示すセルID^{*27}と、到来方向を示す角度プロファイルのピーク位置を合わせて、4K動画像とともに統合表示させるように実装した。また、複数基地局がある場合には、基地局ごとに周波数が同じ場合でも、異なる場合でも測定が可能であり、基地局ごとにセルIDが表示できるようにしている。

本装置では専用の制御ソフトウェアによって簡易にチャンネルサウンディングし、解析結果を確認することもできる。図8の制御ソフトウェアの制御画面に示すようにサブキャリア間隔とSSB送信周期を選

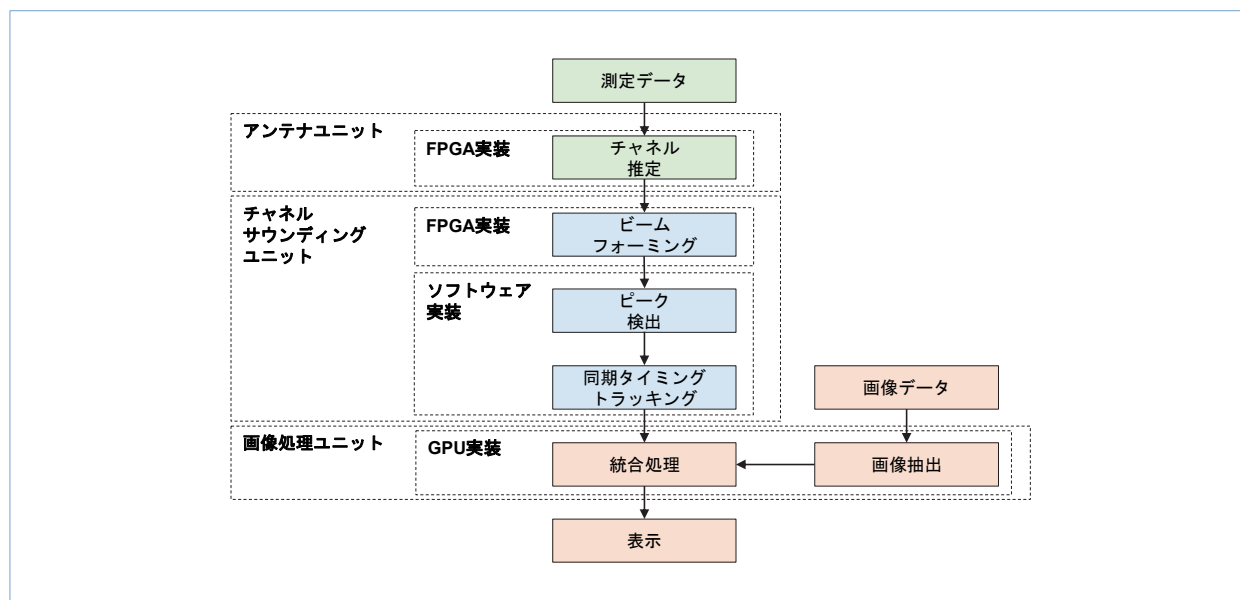


図6 実装フロー

*26 FPGA：アレイ状に並んだセルと配線用素子で構成されている書換え可能な大規模集積回路。

*27 セルID：基地局の識別子。

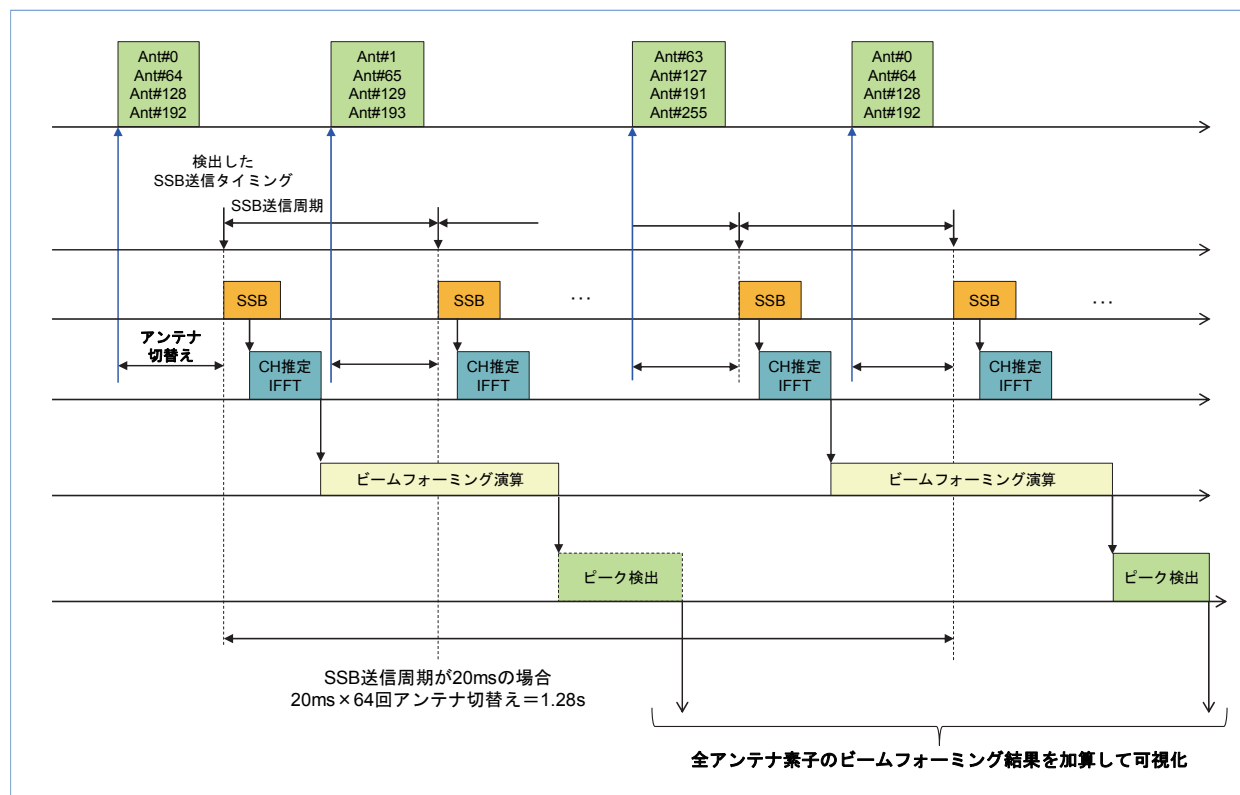


図7 チャネル推定, ビームフォーミング, ピーク検出のタイミングチャート

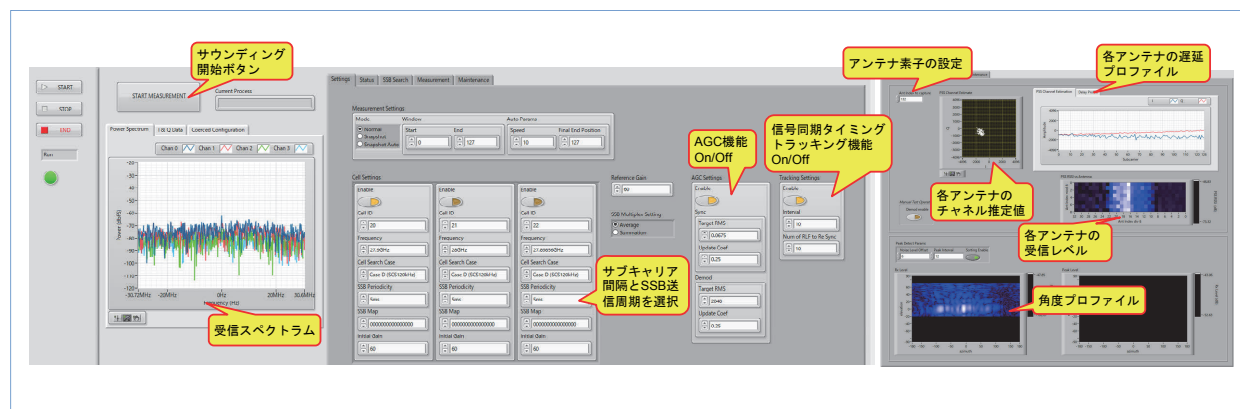


図8 チャネルサウンディング制御ソフトウェアの画面例

押し、サウンディング開始ボタンを押せば、チャネルサウンディングが実施され、中間データとして各アンテナ素子の受信レベル、各アンテナ素子の遅延

プロファイル、角度プロファイルを表示することができる。

5. ビジュアライザ観測結果

本装置を用いた電波の観測結果を図9に示す。

図9(a)は電波暗室において2つの基地局から異なる周波数の電波を送信し、電波到来状況を観測した結果である。周波数は基地局#0を27.9GHz、基地局#1を

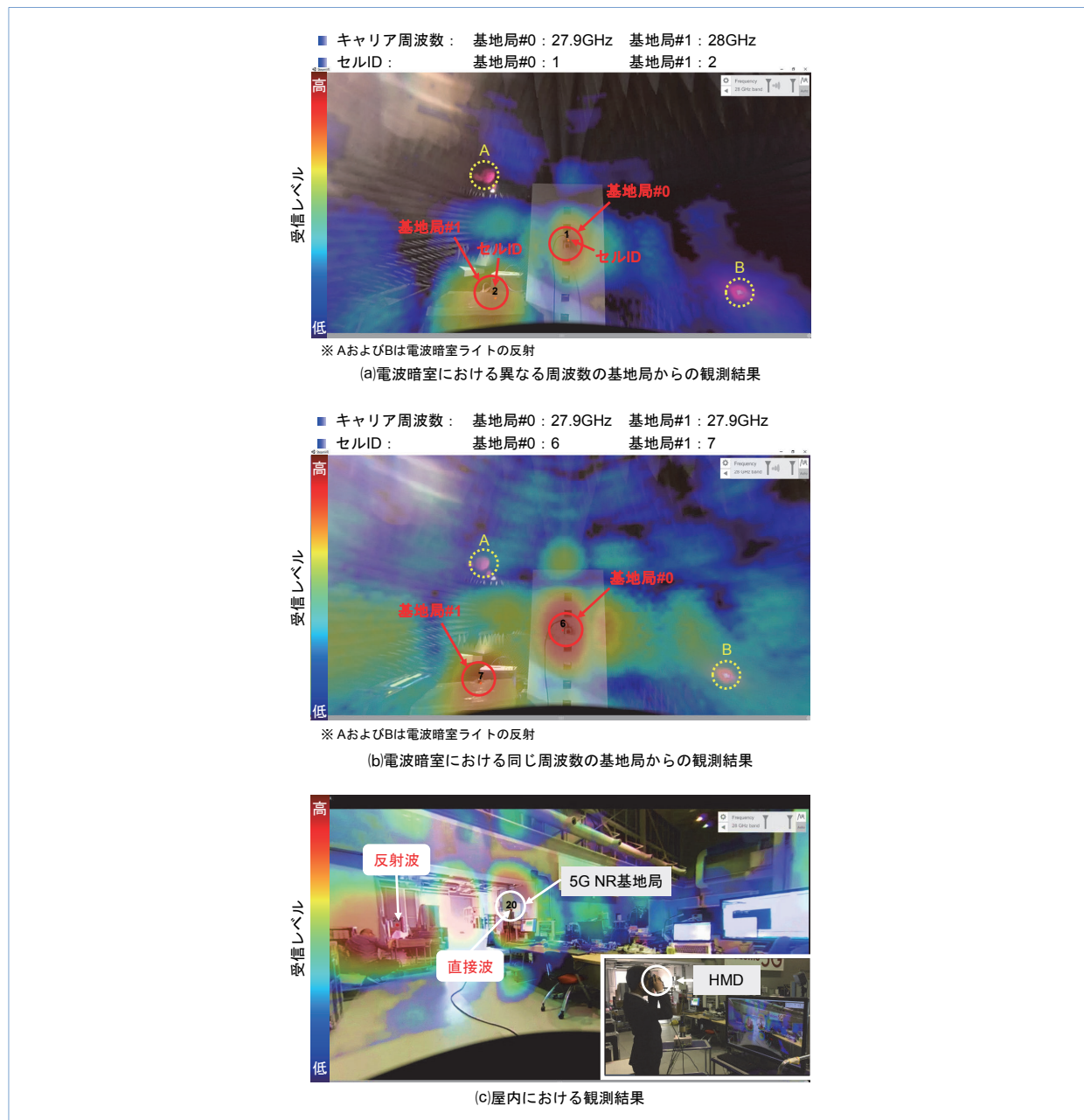


図9 観測結果

28GHzに設定し、セルIDはそれぞれ1, 2とした。図において、色のついた映像が電波の到来分布を示しており、赤色ほど受信レベルが高く、青色ほど受信レベルが低いことを示している。また、ドットは角度プロファイルのピークであり、ドットの上部にある数値がセルIDを指している。図より各基地局の送信点付近にピークが表示されており、基地局から直接到来する波を確認することができる。図9(b)は同じ周波数(27.9GHz)の電波を送信した場合の観測結果である。図9(a)よりも各基地局からの電波が干渉し、全体的に受信レベルが増加していることが確認できる。図9(c)は、屋内のマルチパス波^{*28}を観測した結果である。図より基地局からの直接波だけでなく壁などからの反射波が観測することができる。以上より装置周辺の構造物などが、基地局の電波到来状況に与える影響をリアルタイムに可視化できることを確認した。

6. あとがき

本稿では、3GPP対応リアルタイム電波ビジュア

ライザのシステム構成と実装例を解説した。本装置は、電波の到来状況を可視化し、NRに準拠した基地局におけるアンテナ指向方向などの基地局パラメータチューニングによりエリア最適化に貢献できる。今後、小型化など汎用性の高い製品開発を行い、さまざまな団体・企業に本装置をご活用いただくことで、5Gのさらなる発展に貢献していく。

文 献

- [1] 武田, ほか: “5GにおけるNR物理レイヤ仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.47-58, Nov. 2018.
- [2] NTT DOCOMO, INC.: “DOCOMO 5G white paper, 5G radio access: Requirements, concept and technologies,” Jul. 2014.
- [3] White paper on “5G channel model for bands up to 100 GHz,” Global Communications Conference, 3rd Workshop on Mobile Communications in Higher Frequency Bands, Washington DC, U.S.A, May 2016.
<http://www.5gworkshops.com/5GCM.html>
- [4] ITU-R M.2412-0: “Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020,” Oct. 2017.
- [5] T. Imai, M. Inomata, K. Kitao and Y. Okumura: “Real-Time 5G Radio Wave Visualizer,” ISAP 2018, Busan, Korea, Oct. 2018

^{*28} マルチパス波: さまざまな経路を伝搬して受信局に到達する波。

Topics

仮想化基盤における汎用NW機器共用化への取り組み

ネットワーク開発部 ^{たけうち のぶお} 竹内 伸夫 ^{すずき よしゆき} 鈴木 吉行†

ドコモにおけるモバイルネットワーク通信システムの仮想化が進んでいる中、LB (Load Balancer)*¹、FW (FireWall)*²、DNS (Domain Name System)*³といった汎用ネットワーク機器（以下、汎用NW機器）がもつ機能を今回初めてドコモ仮想化基盤システム [1] 上に実装し、2019年4月運用開始予定である。これにより、ドコモにおけるモバイルネットワーク内の複数のシステム（以下、通信システム）間で汎用NW機器を共用化でき、設計コスト、設備コストの低減が期待される。本稿では、汎用NW機器の仮想化基盤への適用において、各通信システムでの共用化を見据えた汎用NW機器の構成設計、および適用事例を解説する。

(1) ネットワーク機器の共用化にむけて

汎用NW機器を各通信システムが共用することは、設備コストの面においてメリットがある。また本来LB、FW、DNSといった汎用的な機能に対し、各通信システムが個別に求める要件の差は大きくないため、汎用NW機器は共用化にも適している。しかし、専用ハードウェア上で動作するオンプレミス*⁴型汎用NW機器の場合、通信トラフィック増加に対応するにはハードウェア増設が伴い、柔軟な対応が困難で

ある。これに対し仮想化型汎用NW機器は仮想化基盤上で共有する仮想リソース（リソースプール*⁵）にVM (Virtual Machine)*⁶を追加することで物理的な増設が不要となり、柔軟な対応が可能となる（図1）。

(2) 仮想化基盤への適用にむけて

汎用NW機器の仮想化基盤への適用にあたり、

- ① 汎用性をもたせた構成とする（設計コスト、検証コストの低減）
- ② どの機能として使われているかが分かるようにする（保守運用性の向上）
- ③ 保守運用作業の定義・共通化（保守運用性の向上）
- ④ モバイルネットワーク内の通信帯域を効率化する（設備コストの低減）

を考慮した。それらを満たすための検討ポイントを以下に解説する。

- ① LB、FW、DNSといった機能を総合して「汎用NW機器VNF」というVNF (Virtual Network Function)*⁷種別を定義し、LB、FW、DNSといった機能ごとにVMを追加しVNFを構築する。また通信トラフィック増加などに伴いVMを追加する際も別VNFとして構築することとする。

©2019 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、ドコモテクノロジー株式会社 コアネットワーク事業部

*1 LB：通信トラフィックの負荷分散を行う装置。

*2 FW：内部ネットワークに対する外部ネットワーク（インターネットなど）からの不正アクセスの防御を行う装置。

*3 DNS：IPネットワーク上のホスト名とIPアドレスの対応付けを行うシステム。

*4 オンプレミス：企業がシステムを構成するHWを自社で保有し、自社で保守運用すること。

*5 リソースプール：大量のハードウェアを束ねて、それぞれのハードウェアが保持するリソース（CPU／メモリ／HDDなど）の集合体としたものであり、これを基にさまざまな仮想マシンが作成可能となる。

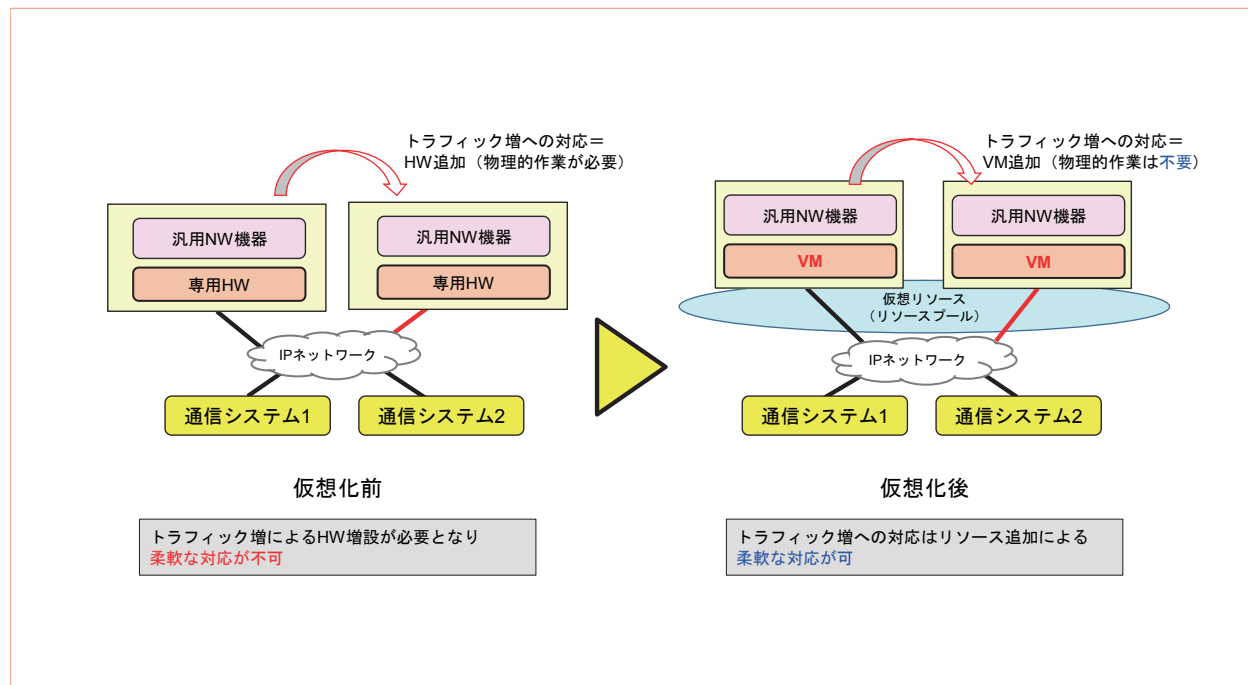


図1 汎用ネットワーク機器の共用化イメージ

この際、VNFの機能、動作を定義するVNFD（VNF Descriptor）^{*8}を共通化し、すべての汎用NW機器で同一のVNFDとした。その理由を以下に、設計コスト、検証コスト観点から示す。

- ・汎用NW機器の機能ごとやVM追加の際に異なるVNFDを定義するとその分の設計が必要となり、設計コストの増大につながる。
- ・仮想化基盤上でのVNFの機能、動作を定義するVNFDは、これを変更する際はVMを管理するための一般的な動作に関しての動作検証が必要となり、検証コストの増大につながる。

これによりLB、FW、DNSの機能ごとや通信トラフィック増加に伴うVM追加時における設計コストおよび検証コストを低減でき、柔軟な対応が可能となる。

②各VNFを一意に定義するVNFR（VNF Record）^{*9}において、新たにLB、FW、DNSといった機能や追加VMであることを定義し、それらをそれぞれ区別することで、各VNFがどの機能で動作しているか分かるようにする。これにより、OSS（Operation Support System）^{*10}などを使用した監視システム上でその定義内容を

確認することができ、監視対象の機能を把握できるなど、保守運用性の向上を実現している。

上記①、②を踏まえた汎用NW機器VNFの構成例を図2および図3に示す。

③NFV（Network Functions Virtualisation）^{*11}にてVMを管理するための一般的な保守運用作業（インスタンスエーション^{*12}、ヒーリング^{*13}など）に加え、汎用NW機器ならではの作業であるOS・ファームウェア更新作業やサーバ

- *6 VM：ソフトウェアによって仮想的に構築されたコンピュータ（仮想マシン）。
- *7 VNF：仮想マシン上で動作し、ソフトウェアで実装された通信機能を指す。
- *8 VNFD：VNFの機能や振る舞いを定義するテンプレート。
- *9 VNFR：同一VNF種別における可変値。
- *10 OSS：移動通信網で発生している故障や輻輳の発見とそれに対する制御・措置を行っているシステムのこと。事業者の運用支援システム。通信事業者の場合、提供しているサービスを運用するために、ネットワークやシステムの「障害管理」「構成管理」「課金管理」「性能管理」「セキュリティ管理」の全て、もしくは一部を担う。
- *11 NFV：通信キャリアのネットワークを仮想化技術により汎用ハードウェア上で実現すること。
- *12 インスタンスエーション：汎用ハードウェア上にVMを用意して通信ソフトウェアを立ち上げる手続き。
- *13 ヒーリング：ハードウェア障害やVM障害が発生した際に、正常なハードウェア上にVMを移動または再生成することで通信ソフトウェアとして正常な状態に復旧する手続き。

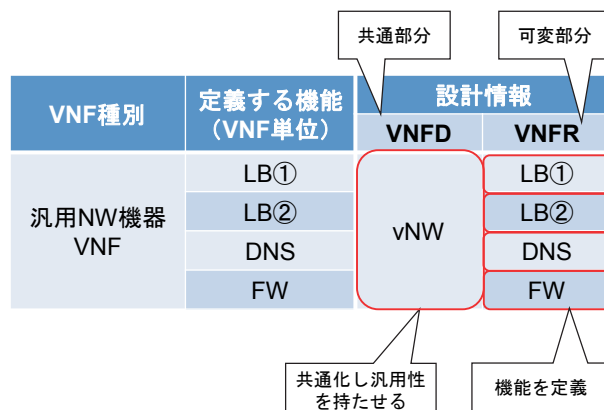


図2 汎用NW機器VNFの構成例①

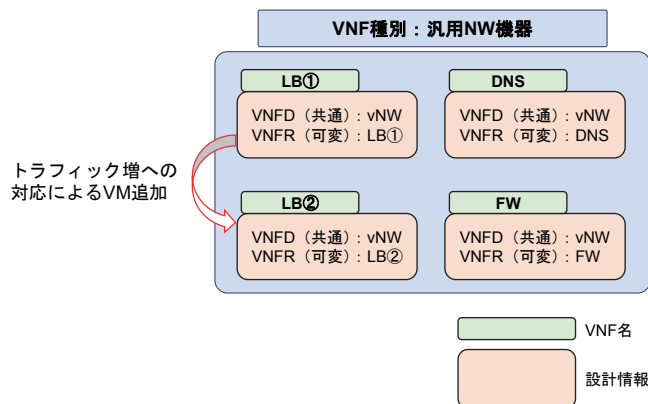


図3 汎用NW機器VNFの構成例②

ファームウェア・ハイパーバイザ[®]*14更新作業を、新たに仮想化基盤と連携する保守運用作業として定義した上で、汎用NW機器VNFの保守運用作業として共通化する。これにより、汎用NW機器VNFはどの機能であっても共通化された保守運用作業が提供され、保守運用性の向上を実現している。

- ④通信システム間の通信は異なるVNF間を接続する為のスイッチ (L3*15スイッチ) を経由したL3接続により行っているが、通信システムと汎用NW機器間の通信はL3スイッチを経由す

ることなく、サーバ間を接続するL2スイッチでの折返し通信 (L2*16接続) を行うことにより、通信帯域の効率化を実現した。

以上の検討ポイントを踏まえた汎用NW機器VNFの適用例を図4に示す。

本稿では、汎用NW機器の仮想化基盤への適用に

*14 ハイパーバイザ[®]：サーバ仮想化技術で、物理リソース上で複数の仮想マシンを実行するため、仮想マシンに実装されたアプリケーションに対する物理リソース資源の割付け・管理を行う。IBM Corp. の登録商標。

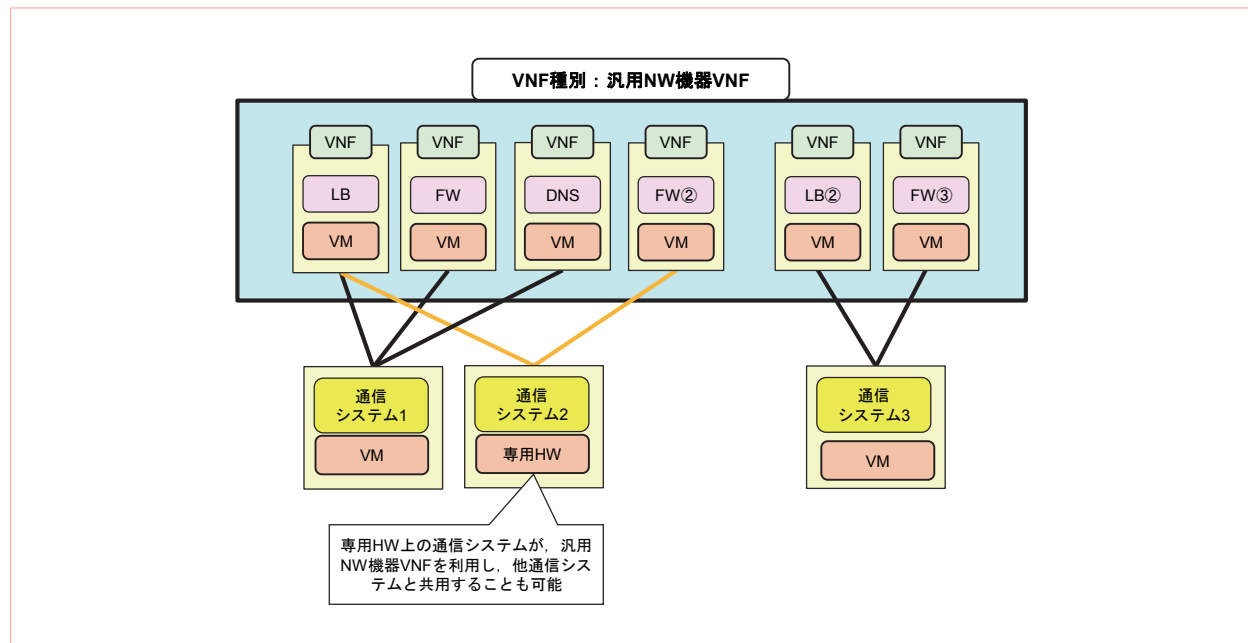


図4 汎用NW機器VNFの適用例

において、各通信システムでの共用化を見据えた汎用NW機器VNFの構成設計における各検討ポイント、検討結果および適用事例を解説した。本事例によりドコモのモバイルネットワーク通信システムにおいて、オンプレミス型汎用NW機器の仮想化型汎用NW機器への置換え、共用化へのさらなる促進が想定される。今後は、図4の適用事例のようにさまざまな通信システムでの共用化にあたり、汎用NW機器の機能ごとの特性や通信トラフィックの特性を基

に、共用化を行う、システムごとにVM追加する、といった最適なVM配置設計方針の策定を進めていく。

文 献

- [1] 鎌田，ほか：“ドコモネットワークにおける仮想化基盤システムの実用化，”本誌，Vol.24，No.1，pp.20-27，Apr. 2016.

*15 L3：OSI参照モデルの第3層（ネットワーク層）。

*16 L2：OSI参照モデルの第2層（データリンク層）。

NTT DOCOMO
テクニカル・ジャーナル Vol.27 No.1

2019年4月発行

企画編集 株式会社NTTドコモ R&D戦略部
〒100-6150
東京都千代田区永田町 2-11-1
山王パークタワー39階
TEL. 03-5156-1749

発行 一般社団法人 電気通信協会
〒101-0003
東京都千代田区一ツ橋 2-1-1
如水会ビルディング6階
TEL. 03-3288-0608

本誌掲載内容についてのご意見は
e-mail: dtj@nttdocomo.com宛

本誌に掲載されている会社名、商品名などは、各社の商標
または登録商標です。

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

© 2019 NTT DOCOMO, INC.