

URL <https://journal.ntt.co.jp/article/37480>DOI <https://doi.org/10.60249/25125102>

RAN向けコンテナ基盤(O-Cloud)の大規模展開の実現

NTTドコモでは、以前からコアネットワーク(NW)の領域でNW仮想化を推進しており、2025年には無線アクセスネットワーク(RAN)の領域で基地局仮想化(vRAN)を収容する分散型コンテナ仮想化基盤(O-Cloud)を開発しました。vRANは、アンテナサイトに近接した数千の分散拠点に仮想化基盤を迅速かつ簡易に展開することが課題です。本稿では大規模展開時の技術的課題と実現した解決方法について解説します。

キーワード : #NW仮想化, #vRAN, #コンテナ

とくなか
徳永
すえなが
末永
いたや
板谷
しゅういち
秀一
ひろあき
大明
こうじ
浩志
みかわ
けんじ
/三河
つるさき
あや
/津留崎
彩
NTTドコモ

はじめに

半導体技術および仮想化技術の進化により、テレコム向けの要件の厳しい通信ソフトウェア(SW)を汎用ハードウェア(HW)上の仮想化レイヤで動作させることができました。これにより、従来のHW/SW一体型の装置の場合と比較して、設備の低コスト化やSWアップデートだけによる新機能追加が可能となり、新機能追加やサービス開始までのリードタイムの迅速化を図ることができます⁽¹⁾。NTTドコモでは、2015年度から商用ネットワーク(NW)におけるコアNW^{*1}装置へ仮想化技術の適用を開始し、2025年度時点で仮想化適用率は100%に達しています。一方、無線アクセスネットワーク(RAN: Radio Access Network)では、無線レイヤのベースバンド処理などでリアルタイム性が求められるため仮想化技術の適用が難しかったところを、近年のIT仮想化技術、汎用HW、HWアクセラレータの進歩により、RAN領域にも仮想化技術が適用できるようになりました。このため、国内外のオペレーターでは、RAN領域に対する仮想化技術vRAN(virtualized RAN)の導入を進めています。

ドコモでは、O-RAN(Open RAN)^{*2}とETSI(European Telecommunications Standards Institute) NFV(Network Functions Virtualization)に準拠した、vRANを収容する分散型コンテナ仮想化基盤(O-Cloud)を開発し、2025年より商用導入を開始しました。コアNW仮想化と異なり、vRANは処理性能の観点でアンテナサイトに近接したEdgeサイトに機能配

備する必要があるため、数千の分散拠点に仮想化基盤を迅速かつ簡易に展開し、運用することが新たに課題となっています。O-Cloudの開発では、クラウドネイティブや仮想化技術を活用した構築、および運用の自動化を促進するワークフローを設計・実装することにより、それを可能としました。本稿では、具体的にどのようにアプローチすることで、技術課題を解決したか解説します。

vRAN

NW仮想化技術

NW仮想化技術とは、汎用HW上に仮想化レイヤを導入し通信SWを仮想資源上で動作させることにより、これまで専用HWと専用SWとで提供してきた高信頼・高性能のキャリアグレードの通信サービスを汎用HW上で実現させる技術、およびオーケストレーション技術^{*3}を組み合わせたものです。NW仮想化技術により、HWとSWの分離が可能になり、安価な汎用HW利用によるコスト低減やベンダロックインの回避、最先端のHWの早期導入、SWのアップデートだけによる新規機能の提供や、オープンソースの適用や効率的な開発手法によるサービス開始までのリードタイムを短縮できます。

ドコモのコアNWに対する仮想化技術 適用状況

ドコモでは、2010年代前半よりNW仮想化技術の研究開発と標準化を進め、2015年度から商用NWへの適用を開始しました。2021年度導入の5G(第5世代移動通

信システム)のコアNWも仮想化され、2023年6月には全国7地域23拠点に仮想化設備が設置され、約1万台以上のCOTS(Commercial Off-The-Shelf)サーバ群と数千台のNW機器群、25万以上の仮想マシン(VM: Virtual Machine)群を保守しています。2025年度内にすべての商用コアNWの仮想化を完了する予定です。

■グローバルでのテレコムにおけるvRAN導入背景

従来、RAN仮想化には、無線信号処理やデータ暗号化で行われる高次の計算が可能なHWが必要とされ、これを安価かつ容易に導入できないことがボトルネックでした。しかし、昨今の汎用HWの性能向上や、高次の計算に特化したHWアクセラレータの登場により、RAN仮想化が可能になってきました。この背景から国内外のオペレータはvRANの取り組み、導入を進めています。

■O-Cloudの大規模デプロイにおける技術課題

O-Cloudの構築、大規模展開には、以下(1)~(3)の課題があります。

*1 コアNW: ゲートウェイ装置、位置管理装置、加入者情報管理装置などで構成されるNW。移動通信システムを構成するNWのコア部分。移動機は無線基地局などで構成されるRANを経由してコアNWとの通信を行います。

*2 O-RAN: O-RAN Allianceにおいて、3GPPの仕様の範囲外である基地局の実装や運用の自動化に関する仕様を定めたもの。

*3 オーケストレーション技術: アプリケーションやサービスの運用管理を自動化するために、必要となるリソースやNWの接続性の管理・調停を実現する技術。

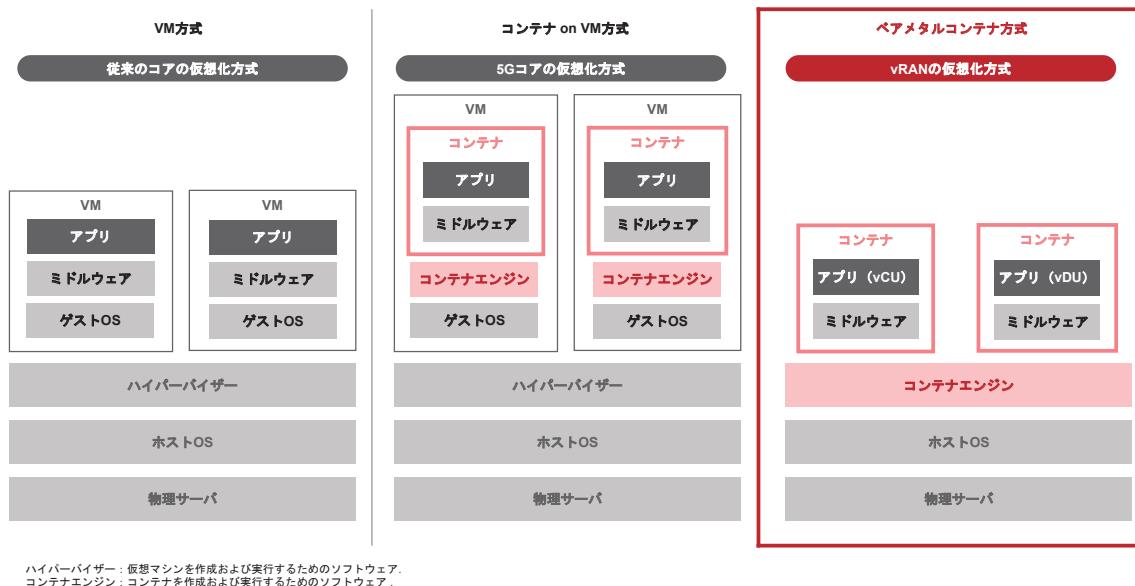


図1 O-Cloudにおける仮想化方式

(1) O-Cloudコンポーネント設計

ドコモのコアNWの仮想化装置は、全国7地域23拠点のオンプレミス環境で構築されています。一方、vRANでは全国の数千に分散した拠点で大規模展開していくことから、従来のコアNWのアーキテクチャを踏襲すると設備コストが増大します。そのため、仮想化基盤展開に必要な所要時間・工数を最小化するためのワークフローを考慮し、仮想資源の管理制御機能部やHWの物理レイヤの監視制御機能部など、仮想化基盤のどの機能部をパブリッククラウド・オンプレミス環境に配置すると効率的に基盤展開できるか、十分な検討が必要です。

(2) 自動化と遠隔保守の促進による構築・保守作業の効率化

vRANでは、オンプレミス設置環境がCentralサイト（東京・大阪）、Regionalサイト（各都道府県）、Edgeサイト（アンテナサイトに近接した全国数千の分散拠点）の大きく3つに分類されます。具体的には、Central・Regionalサイトは、データセンタ相当のドコモビルが該当し、Edgeサイトは、全国各地のNTT局舎やアンテナサイト、民間ビルなどに近接する収容函が該当します。特にEdgeサイトについては設置環境に起因する制約条件（限られた設置スペースや空調など）に対応した機器・物

理配備構成の検討、構築時の工事や構築後の保守運用の遠隔実施、自動化によるZero Touch化および作業の最小化が求められます。

(3) NW・セキュリティ設計

名前解決やCA (Certificate Authority)構成などさまざまな設置形態へ柔軟に対応できるように、コンポーネント間のNWや疎通・暗号方式を設計する必要があります。

ドコモでは、これまでのコアNW仮想化の開発・運用の知見を踏まえ、進歩した技術を取り入れつつ、上記の課題解決とともにvRANの実現をめざしています。

■O-Cloud

従来のコアNWの仮想化基盤はVM方式で構築され、5Gコアではコンテナon VM方式^{*4}が採用されています（図1）。一方、O-Cloudではペアメタルコンテナ方式を採用しています。コンテナ方式は軽量であるため、数千の分散拠点に迅速かつ簡易に展開することが可能となります。

CU (Central Unit)・DU (Distributed Unit) 機能を仮想化したvRANアプリケーション [vCU (virtualized CU)・vDU] をコンテナ化し、O-Cloud上にデプロイすることで、RAN仮想化を実現します。

■O-Cloudの全体像

O-Cloudは、アプリケーションの起動、

停止、復旧などの制御機能、HWの障害・輻輳の監視・通知機能、コンテナの動作・処理に必要なコンテナ監視・NW機能、およびコンテナのイメージ作成・構築に必要な資材格納機能を具備します。また、全国への大規模展開のため、事前にシナリオを設定し構築を自動化することにより、省力化を実現しています。

■コンポーネント

(1) コンポーネントの役割

数千の分散拠点に展開するため、基盤構築作業はCCM (CIS Cluster Management)^{*5}により自動化されています。事前作成シナリオに応じてBIOS・OS・ファームウェア(FW)などをHWに自動設定し、そのHW上にDMS (Deployment Management Services)^{*6}・LFS (Large File Server)^{*7}・CIR (Container Image

*4 コンテナ on VM方式：VM上にコンテナランタイム環境を配置し、その上でコンテナアプリケーションを実行するアーキテクチャ。従来の仮想化インフラストラクチャとコンテナ技術の統合を目的として使用します。

*5 CCM：事前に設定されたシナリオに応じてCIS・DMSの構築と、COTSサーバーに対するBIOS、OS、ファームウェアなどの設定を、それぞれ自動で行うコンポーネント。

*6 DMS：vRANアプリケーションの配置・起動、停止、復旧などの制御機能を提供するコンポーネント。

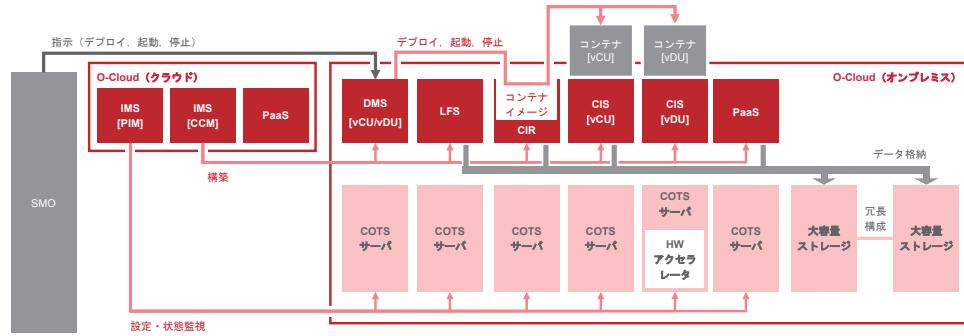


図2 O-Cloudコンポーネントと役割

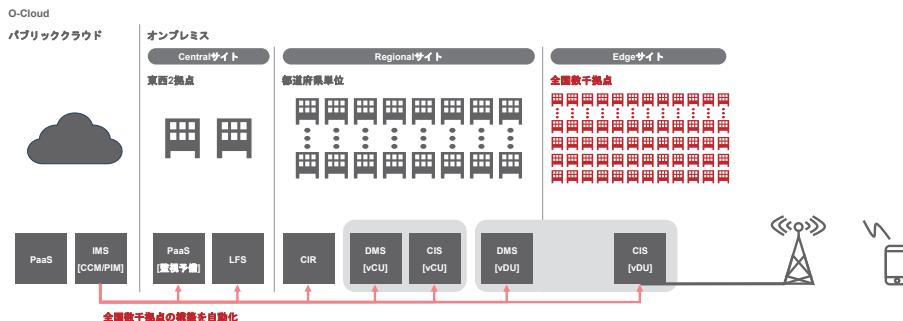


図3 O-Cloudサイト構成

Repository) *⁸・CIS (Container Infrastructure Service) *⁹・PaaS (Platform as a Service) *¹⁰など、各コンポーネントを構築し、コンテナ向け仮想化基盤を形成します(図2)。

vRANアプリケーション(コンテナイメージ)はCIRに格納され、その他構築資材はLFSに格納されます。vRANアプリケーションは、SMO (Service Management and Orchestration) *¹¹の指示に基づき、DMSによりCIS上にデプロイされ、起動・停止・復旧も同様にDMSが制御します。

運用においては、PIM (Physical Infra-

structure Manager) *¹²が物理サーバの障害・輻輳を監視し、PaaSがNW機能、時刻同期、名前解決、監視などコンテナの動作・処理に必要な機能を提供します。

オンプレミス環境の物理リソースは、主にCOTSサーバで構成されますが、vDUが動作するCOTSサーバは、物理レイヤを処理する専用HWアクセラレータが搭載されています。CIR/LFSの実データやvCU/O-Cloudログの保管には、冗長構成の大容量ストレージを設置します。

(2) O-Cloudのサイト構成

各コンポーネントは、パブリッククラウド・オンプレミス環境に配置されます(図3)。パブリッククラウドには、監視・自動化機能を集約しIMS、PaaSが配置されます。オンプレミスは、商用呼の処理、構築資材の保管、パブリッククラウドがダウンした際の監視(予備系)を行い、規模に応じてCentral・Regional・Edgeサイトに区分されます。Centralサイトは、全国東西2拠点に設置され、構築用資材の保管やパブリッククラウドがダウンした際の監視(予備系)を行うため、PaaS、LFSが配

置されます。Regionalサイトは47都道府県単位に設置され、CUの呼処理を行ったため、CIR、DMS(vCU/vDU)、CIS(vCU)が配置されます。Edgeサイトは、5Gの低遅延通信を実現するためCIS(vDU)が全国数千の拠点に分散設置されます。

オンプレミスでは、Central・Regionalサイトへの機能集約、低廉なCOTSサーバの採用、自動化による省力化でコストを最適化し、かつCIS(vDU)の分散設置により低遅延NWを構築しています。一方で、クラウドでは既存のOSS(Open Source Software)資産を活用し、開発を効率化・高速化しています。低コストのオンプレミス設備と急速に進化するクラウド技術とが連携したハイブリッド構成を採用することで、最適なソリューションを実現しました。

自動化によるシンプルかつインテリジェントな構築

■構築の流れ

図4のとおり、O-Cloudの構築後にRANアプリケーション構築を行うことで、

*7 LFS: 構築に必要な資材を格納・保管する機能を提供する大容量ファイルサーバ。

*8 CIR: コンテナイメージを格納・保管する機能を提供するコンポーネント。

*9 CIS: コンテナ化されたvRANアプリケーションを実行するためのリソースを提供するコンポーネント。

*10 PaaS: コンテナの動作・処理に必要なNW機能、時刻同期、名前解決、ログ機能などを提供するコンポーネント。

*11 SMO: vRANにおいてNWの管理とオーケストレーションを行うシステム。

*12 PIM: HW障害・輻輳の監視・通知を行うコンポーネント。

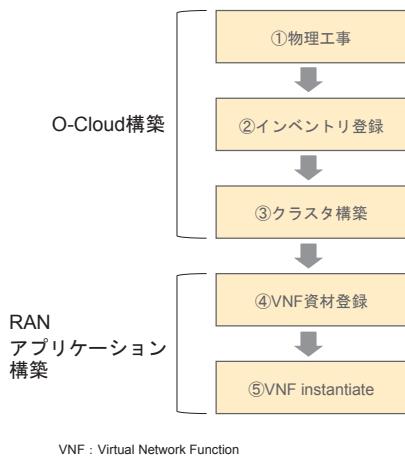


図4 基地局構築フロー

基地局機能の提供が開始されます。ここでは、O-Cloudの構築に焦点を当てて解説します。

図4に示すとおり、O-Cloudの構築は①ラックやサーバ、NW機器の物理工事、②各種インベントリ^{*13}への登録と③クラスタの構築の3段階で行われます。①では、サプライヤが事前にキッティングしたサーバを利用することにより、現地作業をラッピングや配線だけとし、SW設定をパブリッククラウド上からの投入とします。②では、IMSに存在する作業者向けインターフェースから必要情報をインベントリに登録し、③でCentral, Regional, Edgeサイトに対する作業シナリオをトリガします。以下では、インベントリの種類および登録内容、クラスタ構築作業の流れを解説します。

■インベントリの種類

O-Cloudのインベントリは、サイトインベントリ、サーバインベントリ、クラスタインベントリの3種類です。

サイトインベントリは、サーバを設置する拠点の住所、GatewayのIPアドレス、

利用可能なクラスタのタイプなど、拠点ごとの固有情報が登録されます。

サーバインベントリは、IPアドレスや管理画面への認証情報など、物理サーバの固有情報が登録され、各サーバはいずれかのサイトに紐付いています。

クラスタインベントリは、NF(Network Function)が動作するKubernetes^{*14}クラスタに紐付くインベントリであり、紐付けるサイトおよびPaaS用クラスタ、vCU用クラスタ、vDU用クラスタなどのクラスタ種別ごとに共通的な設定値(CCD:CIS Cluster Descriptor)が登録されます。CCDの活用により、大規模展開時における設定投入、および運用工程における設定管理を簡易化しています。

■インベントリへの登録

vRANでは数千の分散拠点(サイト)を構築する必要があり、サーバ単位ではさらに多くのレコードを登録する必要があるため、効率化が求められます。そこで、UI(User Interface)から1レコードずつインベントリ登録するほかに、レコードのエクスポート・インポートに対応しています。これによりレコードが流用可能となり、かつ多数のレコードを一括登録できるため、作業を効率化させます。

■クラスタの構築

クラスタ構築はシナリオ化されており、必要な設定値を登録し、シナリオをトリガすれば、作業は自動実行されます。

各インベントリへの登録完了時点では、各サイト・サーバには必要情報が、クラスタにはCCDが登録されるため、クラスタ構築時に必要な設定は、C-Plane(Control Plane)^{*15}の冗長数や、物理リソースの論理的なグルーピングなど、クラスタ個別の設定値だけです。

■保守作業

O-Cloudでは、保守作業をサイト・サーバ・クラスタ単位で効率的に実行できます。実施可能な作業は、ヘルスチェック、再起動、FW更新、BIOS設定更新などであり、例えばサーバ単位での再起動、サイト単位でのFW更新、クラスタ単位でのヘルスチェックなど、保守のユースケースに応じ

て効率的に使い分けることができます。

このように、O-Cloudではインベントリ、および構築・保守作業のシナリオ化により、大規模な展開が可能となっています。

おわりに

NTTドコモでは、vRANを収容するO-Cloudを開発し、2025年から商用導入を開始しました。コアNW仮想化と異なり、数千の分散拠点に仮想化基盤を迅速かつ簡単に大規模展開することが新たな課題でしたが、クラウド技術を活用したアーキテクチャ設計や、構築・運用作業のシナリオ化による自動化機能により、本格的に商用導入できました。今後は、コンテナ仮想化基盤の展開領域や自動化適用領域の拡大・高度化の実現に取り組んでいきます。

■参考文献

- (1) 水田・ウメシ・中島・久野：“RAN仮想化(vRAN)に向けた取組み,” NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.30, No.1, pp.14-26, 2022.



(上段左から) 德永 秀一 / 三河 賢持 /

末永 大明

(下段左から) 津留崎 彩 / 板谷 浩志

本稿で紹介したとおりコアNWで培った仮想化技術の知識をRAN領域に適用し、数千拠点へ大規模展開させる新たな挑戦に取り組んでいます。今後も技術的課題を克服しながら、開発をさらに推進していきます。

◆問い合わせ先

NTTドコモ
サービスデザイン部