

TTCに寄せて

移動通信コアネットワーク標準化活動を振り返って

～TTC会長表彰を受賞して～

株式会社NTTドコモ
石川 寛

1. はじめに

この度は「移動通信ネットワークアーキテクチャ・プロトコルの標準化にかかわる功績」に対し、大変名誉ある2025年度 情報通信技術賞 TTC 会長表彰を賜りまして、大変光栄に存じます。これまでご指導ご支援くださった皆様に、心より御礼申し上げます。

この表彰は、私一人の力ではなく、長年にわたり社内外の多くの方々と連携しながら取り組んできた標準化活動の成果の賜物と深く感じております。特に、移動通信システムのコアネットワークに関する3GPP (3rd Generation Partnership Project) での地道な活動をご評価いただけたことを、大変嬉しく、そして光栄に存じます。

これを機会に、本表彰に大きくかかわった当方の標準化活動について振り返るとともに、その中でも特に印象に残った「VoLTE ローミングの実現」と「5G と5G ローミングの仕様化」という2つのテーマについて、その技術的背景や意義を少しでもお伝えできればと存じます。加えて、3GPP CT WG4 およびTSG-CT の副議長として活動する機会を得ましたので、この経験についても触れたいと思います。

2. 標準化活動との歩み

2.1 3GPP の世界へ

私が初めて標準化の世界に足を踏み入れたのは、社会人になって数年が経った頃でした。OJT 期間が終了するやいなや、上司から「来月の3GPP の会合に参加してほしい」との指示を受けたのが、すべての始まりです。「標準化」という言葉に馴染みすらなかった私は、右も左もわからぬまま、海外の会合へと向かいました。

会場で目の当たりにしたのは、世界中から集まったエキスパート達が、多様なアクセントの英語で無数の略語を駆使しながら白熱した議論を進める光景でした。技術用語の多さに加え、議論の背景にある各社の戦略や思想を読み解くこともできず、ただ圧倒された

時間を過ごしたことを鮮明に覚えています。これが、世界の通信仕様が創られる最前線かと、衝撃を受けた瞬間でした。

2.2 IMS との出会いと学び

当時、3GPP では3G (UMTS) の機能拡充が進む一方、次世代音声基盤としてIMS (IP Multimedia Subsystem) の検討が始まっていました。私はこのIMSに関連する検討に関わることになり、ここで標準化の基礎を学びました。

IMS はIETF (Internet Engineering Task Force) で規定されたSIP (Session Initiation Protocol) などの汎用プロトコルを大胆に取り入れた仕組みです。旧来の電話網技術とインターネット技術では、設計思想が異なる中で、「なぜこの仕様が必要なのか」「どのような課題を解決しようとしているのか」という背景を理解することの重要性を痛感しました。ここで得た知見と経験が、後に私が深く関わることになるVoLTE ローミングのグローバルな普及・促進への貢献の礎になったと考えています。

2.3 5G 標準化の最前線へ

そして、5G の検討が本格化するタイミングで、私は3GPP のコアネットワーク (CT WG4) におけるStage3 (プロトコル規定) の検討を中心に活動することになりました。

5G の標準化は、4G のコアネットワーク (EPC) を拡張して5G の無線 (NR: New Radio) を収容するNSA (Non-Standalone) と、コアネットワークも含めて全く新しいシステムとして設計するSA (Standalone) という、二つのアプローチが並行して進められました。

コアネットワークについて、NSA が4G のプロトコル規定をベースに比較的軽微な機能追加で実現されたのに対し、SA は後述する様々な5G の要求条件を満たすため、HTTP/2 をベースとした全く新しいブ

ロトコル (SBI: Service Based Interface) を採用しました。これは通信業界にとって非常に大きな変革でした。Release 15 で初版仕様が策定された後、Release 16、17 と検討を重ねることで、機能の改善や安定性の向上が図られ、徐々に商用レベルへと成熟していきました。

私もこの流れの中で、Release 17 で仕様化された UDR (Unified Data Repository) の障害発生時における復旧手順に関する仕様 (ReP_UDR) のラポータ (仕様作成の取りまとめ役) を務めさせていただきました。各社の実装思想の違いから必要性を巡る議論が紛糾する場面もありましたが、オペレーションの実現性を考慮した案を提示し、最終的にコンセンサスを形成できた経験は、多様な意見から一つの仕様を創造する標準化活動の醍醐味と難しさを改めて教えてくれる貴重な機会となりました。

3. VoLTE ローミングのグローバル展開への貢献

3.1 IMS の登場と VoLTE がもたらした価値

3G 時代の後半、音声サービスを従来の CS (Circuit Switched: 回線交換) 網から、VoIP 技術を用いて PS (Packet Switched: パケット交換) 網上で実現する IMS が標準化されました (図1)。これが、現在「VoLTE (Voice over LTE)」として広く知られる高音質音声サービスの基礎となった仕様の登場した瞬間です。

IMS は、特定のアクセス網に依存しない「Access Agnostic」な設計思想を持っており、4G/LTE や 5G でのモバイル音声 (VoNR: Voice over New Radio) はもちろん、Wi-Fi や固定アクセス網における音声サービス基盤としても幅広く活用されています。

4G/LTE の普及とともに導入された VoLTE は、

お客様に次のような明確な価値を提供しました。

- 従来よりも高音質な音声通話：広帯域な音声コーデック (AMR-WB など) の利用が可能に。
- 高速なデータ通信の継続：通話中も Web ブラウジングや動画視聴などが速度低下なく継続可能に (CS Fallback が発生しないため)。
- 発着信時間の短縮：3G の CS 網へ切り替わる際の遅延 (RAT 切替え) がなくなり、瞬時に繋がるように。

これらのメリットは、スマートフォンの利用体験を劇的に向上させるものでした。

3.2 VoLTE ローミングにおける技術的・商業的課題

このように利用者メリットの大きい VoLTE ですが、こと国際ローミングにおいては、技術的・商業的なハードルが高く、4G データローミングの普及ペースと比較して、その展開は大きく遅れていました。その背景には、ローミングのアーキテクチャを巡る根深い課題がありました。

そもそも、国際ローミングには、端末が滞在している事業者網 (VPLMN: Visited PLMN) でサービス进行处理する LBO (Local Breakout) と、契約者情報を持つ事業者網 (HPLMN: Home PLMN) までデータを転送して処理する HR (Home Routed) の2方式があります (図2)。

3G までの音声通話は、VPLMN にある交換機 (MSC/VLR) で呼処理を行う LBO のみでした。海外にいる利用者宛に電話をかけると、日本の呼び出し音とは異なる音が聞こえるのは、VPLMN の交換機が呼出音を生成しているためです。一方、データ通信は、契約者固有の接続先 (ISP など) に接続するため、

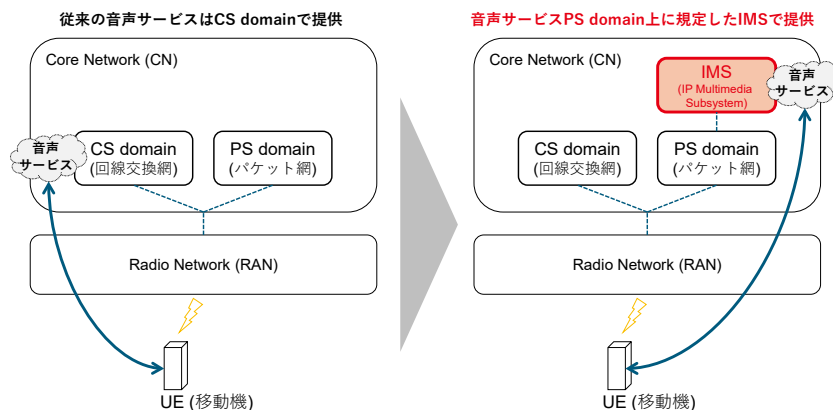


図1 PS ドメイン上で音声サービスを実現する IMS

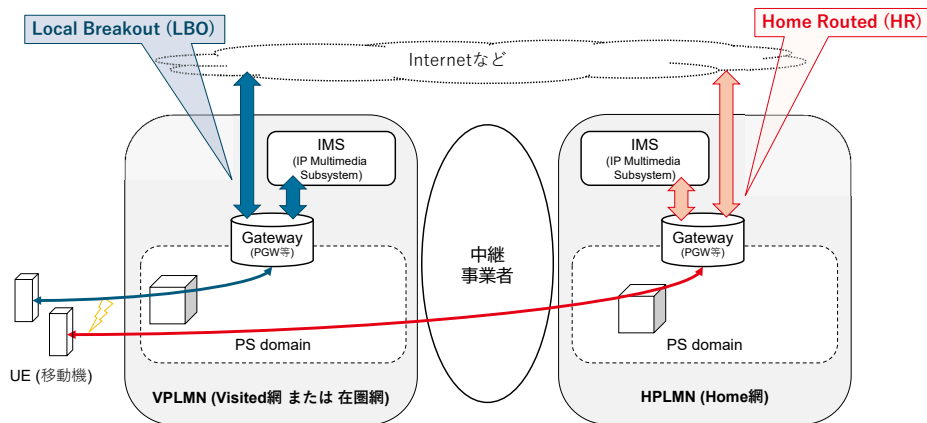


図2 LBO と HR のアーキテクチャの違い

HPLMN のゲートウェイ装置（GGSN/PGW）を経由する HR が基本です。

VoLTE ローミングでは、この LBO と HR のどちらを選択するかが大きな論点となりました。CS 音声の慣例に従えば LBO が自然ですが、IMS アーキテクチャの特性が事態を複雑にしました。IMS では、加入者ごとの呼処理を行う S-CSCF という中核装置が、原則として HPLMN に存在します。LBO で VoLTE ローミングを実現しようとする、VPLMN の装置（P-CSCF）と HPLMN の装置（S-CSCF）が事業者間をまたいで直接 SIP 信号で通信する必要が生じます。

しかし、当時、LBO 方式でこの事業者間接続を実現するための中継事業者のサービスは整備されておらず、すぐに商用化できる状況ではありませんでした。また、SIP 信号はそのプロトコルの実装依存の高さから相互接続性の確保も困難で、ローミングの開通に向けた接続試験にかかる工数増大も懸念されました。こ

れが、LBO 方式の実現を阻む大きなハードルでした。

3.3 S8HR アーキテクチャの確立と課題解決

そこで、データローミングと同様の HR 方式をベースに VoLTE を実現するアプローチが有力となりました。HR 方式であれば、VPLMN は VoLTE の呼制御に関与せず、すべての SIP 信号をデータとして HPLMN へ転送するだけなので、設計がシンプルになります。また、HPLMN が自社のサービスとして直接制御できるという利点もありました（図3）。

しかし、HR 方式にも解決すべき重要な課題がありました。

1. 緊急呼（Emergency Call）：

HR 方式では呼処理が HPLMN（本国）で行われるため、発信者がいる場所（VPLMN）の警察や消防に接続できません。これは人命にかかわるため、絶対的な要件でした。

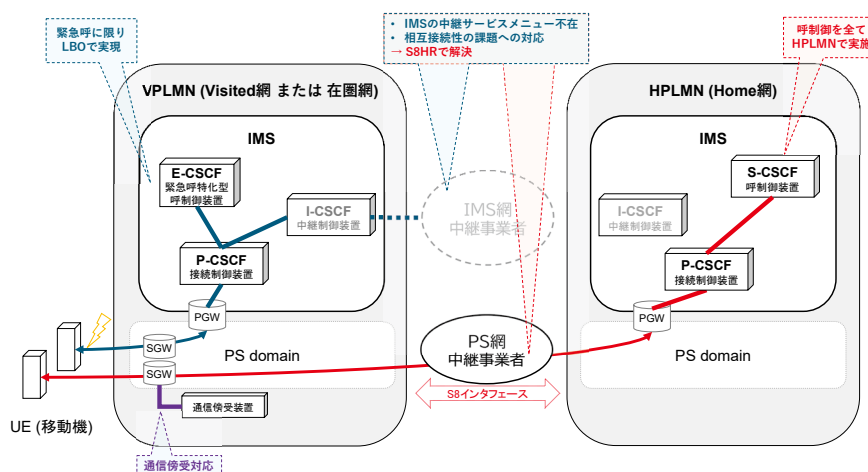


図3 S8HR 採用による VoLTE ローミング実現の課題解決

(解決策) 緊急呼に限り、LBO と同様に VPLMN 内で呼処理を完結させる仕様が策定されました。具体的には、端末が緊急呼を検知すると、通常呼とは異なる LBO 接続を行い、VPLMN 内に設置された緊急呼専用の IMS ノード (E-CSCF) に接続することで、発信者の位置情報に基づいた適切な緊急機関への接続を実現しました。緊急呼は、付加サービスの考慮が必要な通常呼よりも処理を簡素化していることも、LBO にて実現できる大きなポイントの 1 つです (図 3)。

2. 合法通信傍受 (Lawful Interception) :

各国の法規制により、VPLMN は自国内で発生する通信を傍受できる必要があります。HR 方式では音声データ (ペイロード) が HPLMN にて管理されるため、ユーザ毎の音声データを直接識別・対応付けしない VPLMN での傍受が困難になります。(解決策) VPLMN 内のゲートウェイ装置 (SGW) で音声ペイロードを複製 (フォーク) し、傍受システムへ転送するアーキテクチャを 3GPP・GSMA が策定・仕様化しました。これにより、各国の法規制要件を満たすことが可能となりました (図 3)。

3. 事業者間精算 :

従来の音声ローミングは通話時間 (分単位) で精算していますが、VoLTE はデータ量 (MB 単位) で精算を行っているデータ通信の一種です。異なる精算条件だったため、新たな精算モデルの構築が必要でした。

(解決策) やり取りするデータ量で精算するモデルに加え、VoLTE で使用される音声用の高品質 session (QCI=1 の PDU Session) の接続時間で精算するモデルなどが新たに GSMA で定義され、事業者間交渉で柔軟に選択できるようになりました。

これらの課題解決策は、3GPP および GSMA で精力的な議論を経て仕様化され、「S8HR (S8 Home Routed)」と呼ばれる現在の VoLTE ローミングの主流アーキテクチャとして確立されました。この S8HR の登場により、複雑だった VoLTE ローミ

ングの技術的・商業的課題が整理され、世界中の事業者が VoLTE ローミングを導入するための道筋が示されました。(なお、S8 は 3GPP が定めた VPLMN SGW と HPLMN PGW 間のインタフェース名です。) これにより、ユーザーは海外でも国内と変わらない高品質な音声通話と高速データ通信を同時に享受できるようになったのです。私はこれらの標準化活動に関わり、また S8HR 方式の優位性の訴求をパネルディスカッション等で行い、S8HR による VoLTE 国際ローミングのローンチを実現しました。

4. 5GC と 5G ローミングの仕様化

4.1 5GC の設計思想とプロトコルの刷新

5G は、IMT-2020 として ITU が定めた 3 つの要求条件、eMBB (高速大容量)、URLLC (超高信頼・低遅延)、mMTC (多数同時接続) を実現すべく、そのコアネットワーク (5GC) はアーキテクチャが根本から見直されました。

その最大の変更点が、NF (Network Function) と呼ばれる各装置 (AMF, SMF など) 間の通信プロトコルとして、HTTP/2 をベースとした SBI (Service Based Interface) を全面的に採用したことです。これは、従来のモバイル独自プロトコルから、Web 技術で広く使われる汎用プロトコルへの大きなパラダイムシフトでした (表 1)。

4.2 Service Based Architecture がもたらす利点

5GC のアーキテクチャは SBA (Service Based Architecture) と呼ばれ、これにより多くの利点がもたらされました。

1. 柔軟性・モジュール性の向上 :

SBA では、NF のスケールイン/アウトが容易になります。例えば、NRF (Network Repository Function) は、各 NF が自身の機能や状態を登録する「電話帳」のような役割を果たします。ある NF が他の NF のサービスを利用したい場合、NRF

表 1 世代毎のプロトコル比較

世代	Mobility Management (MM)	Session Management (SM)	備考
3G (GPRS(コア))	MAP	GTP-C v0/v1	3GPP独自プロトコルが中心
4G (EPC)	Diameter	GTP-C v2	MMにIETFベースのDiameterを採用
5G (5GC)	HTTP/2 (SBI)	HTTP/2 (SBI)	MM/SMともにHTTP/2を採用

GPRS: General Packet Radio Service

EPC: Evolved Packet Core

5GC: 5G Core

に問い合わせることで、動的に相手を発見できます。これにより、静的な設定が大幅に削減され、異なる拡張機能を持つ NF を柔軟に使い分けるといった運用も可能になります。

2. 装置の疎結合と開発の容易性：

4G では、トランザクション数の効率化のために一つの信号に多様な情報を詰め込む設計でしたが、これが逆に実装を複雑にしていました。一方、SBA では、「一つの API は一つの目的を果たす」という RESTful API の設計思想に基づき、各 NF の機能がシンプルになりました。これによりトランザクション数は増えるものの、NF ごとの開発や改修が容易になり、開発サイクルの高速化に繋がりました。

3. 状態管理の分離（Stateless 化）：

SBA では、NF の「処理部」と、セッション情報などの「状態（ステート）を保持する部分」を分離することが推奨されています。状態は UDR（Unified Data Repository）や UDSF（Unified Data Storage Function）といった共通データベースで管理します。これにより、処理部である NF はステートレスとなり、障害発生時に別の NF Instance が即座に処理を引き継ぐことが可能になります。これは、システムの可用性を劇的に向上させています。

4.3 5GS ローミングと SEPP の役割

4G（EPC）とはプロトコルが全く異なる 5GC では、ローミングの仕組みも新たに構築する必要がありました。特に大きな課題は、「5GC で採用した End-to-End の通信」を原則とする HTTP/2 の思想と、「従来から存在する事業者間の境界でセキュリティを担保

したい」というローミングの要求条件をいかに両立させるかでした。

4G の Diameter は、中継装置（DRA: Diameter Routing Agent）が次の宛先へ信号を転送する「Hop-by-Hop」通信でした。これにより、事業者間の境界に位置する DRA でセキュリティチェックやポリシー制御を行うことができました。

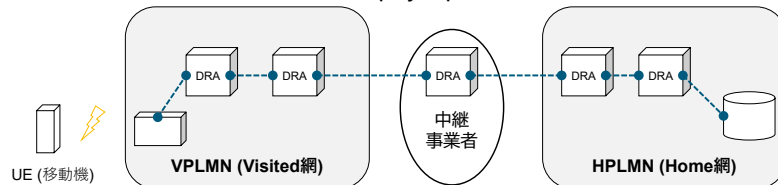
一方、5G の SBI は、送信元 NF が宛先 NF と直接 TCP や TLS セッションを確立する End-to-End 通信が基本です。しかし、他事業者の NF と直接通信を許可することは、セキュリティ上大きなリスクを伴います。

この課題を解決するために規定されたのが、SEPP（Security Edge Protection Proxy）です。SEPP は事業者網の境界に設置されるセキュリティゲートウェイであり、次のような重要な役割を担います。

- トポロジハイディング：自網内の NF 構成や IP アドレスを他網から隠蔽します。
- メッセージフィルタリング：API レベルで通信を制御し、許可されていない HTTP メソッドや URI パスへのアクセスをブロックします。
- メッセージ改変：ポリシーにより、網内の情報が外部に漏洩しないよう、必要に応じて HTTP ヘッダやペイロードの一部を書き換えます。
- TLS セッションの終端：他網との TLS セッションを SEPP で終端し、網内では新たな TLS セッションを確立することで、セキュリティ境界を明確にします。

SEPP は、SBI の柔軟性を損なうことなく、事業者間接続に必須のセキュリティを担保する巧妙な仕組みであり、5G ローミングを実現する上で不可欠な存在となっています（図4）。私はこの SEPP の仕様策

4G（EPC）における各装置で信号を終端する「hop-by-hop」モデル



5G（5GC）における、原則End-to-End、ローミング用接続に限りSEPPが終端するモデル

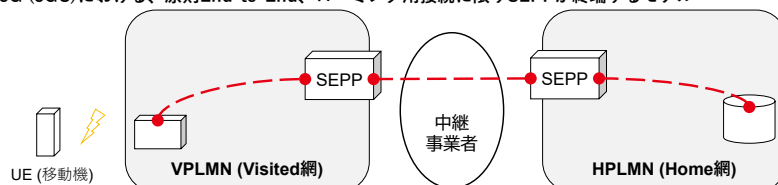


図4 4G と 5G のローミング時の信号伝送方法の違い

定の活動に取り組み、さらに複雑なビジネス要件を満たすための仕様策定を、MNO、中継事業者、通信機器ベンダなど立場の異なる方々との議論を通じて行いました。

5. 3GPP CT WG4 副議長・TSG-CT 副議長の経験

2021年4月から2025年4月まで3GPP CT WG4 副議長を、さらに2024年6月からは3GPP TSG-CT 副議長を務めております。ここでは、その経験を少し振り返りたいと思います。

CT WG4 副議長に選出された当初は、コロナ禍で対面会合（F2F 会合）が開催されない時期であり、具体的な作業も限られていたため、役割の実感が薄いところがありました。しかし、対面会合が再開されると同時にセッションの議事進行を担うようになり、参加者と直接向き合う緊張感を強く覚えました。参加者の視線を浴びるたびに「大丈夫だろうか」と不安を覚えたことを鮮明に記憶しています。予習を十分に行ったつもりでも、割り当てスケジュールを誤ってしまい、1セッション分の議論を進められなかったこともありましたが（幸い翌日にリカバリできました）。この経験から、参加者には見えにくいタイムキーピングの重要性を痛感し、それ以来「議長が休憩時間を押して議論を続ける」といった不満を口にしないようになりました。

さらに、議事進行にあたっては、参加者に近い感覚であいまいな言い方をしてしまうと、意図が全員に伝わらず議論が混乱することに気づかされました。そこで、言葉を明確にし、思っている以上にしっかりと発音し、複雑な表現を避けるなど、はっきりと伝えることを心掛けました。この点は、私にとって大きな学びとなりました。

また、各社の提案が対立する場面も少なくありません。議事進行においては中立性を保つことが不可欠であり、限られた時間の中で互いの主張を引き出し、議論を前に進める工夫が求められました。幸い、多くの場面で参加者同士が妥協点を見つけようとする雰囲気醸成でき、結果として3GPP Release 17～19にかけての仕様化や改版に貢献できたと考えています。

3GPP TSG-CT は WG を取りまとめるプレナリですが、現在その3GPP TSG-CT の副議長として活動しています。ここではセッション数の関係から直接議事進行を行う機会はないものの、より幅広い分野の課

題をどのように進めるかを、TSG-CT の議長・副議長と各 WG 議長とともに確認しながら進めています。中立性を維持しつつ、設定されたマイルストーンに沿って作業を完遂することの重要性を改めて認識し、リーダーシップチームの一員として活動を続けており、これらの経験を今後の標準化活動に貢献していきたいと考えています。

6. おわりに

本稿では、TTC 会長表彰の受賞を機に、私の標準化活動の中から「VoLTE ローミング」と「5GC と 5G ローミングの仕様化」という2つのテーマの振り返りと、3GPP CT4 WG4 と TSG-CT 副議長の経験について述べました。

VoLTE ローミングの仕様化では、既存の技術的・商業的慣習にとらわれず、IMS という新しいアーキテクチャの特性を最大限に活かすための合意形成の重要性を学びました。一方、5GC の仕様化では、通信の世界に Web 系技術の採用を目指す大きなパラダイムシフトが訪れるダイナミズムを肌で感じることができました。これらの活動を通じて、技術が単に進化するだけでなく、ビジネスモデル、運用、セキュリティのあり方と密接に連携しながら発展していく様子を目の当たりにしてきました。また、副議長としては、発言内容が誰にとってもわかるように丁寧かつ明確に話すことと、いかに公平性や時間管理に注意を払いながら進めることの大事さに気づかされました。

標準化活動は、時に地道で忍耐を要しますが、世界中のエンジニアと議論と調整を行い、一つの仕様を創り上げ、それが世界中の人々のコミュニケーションを支えるインフラとなる瞬間に立ち会える、非常にやりがいのある仕事です。

今、標準化の舞台は 5G-Advanced の高度化、そしてその先の 6G へと移りつつあります。AI の利活用、ネットワークとコンピューティングの融合、非地上網（NTN）を含むカバレッジ拡張など、新たな挑戦が山積しています。

今回の受賞を励みとし、これまでの経験を活かしながら、これからも日本の、そして世界の通信技術の発展に少しでも貢献できるよう、引き続き標準化活動に邁進していく所存です。改めて、これまでご支援いただいたすべての方々に深く感謝申し上げます。