

「将来のモバイルネットワークに関する検討会」
ホワイトペーパー

第 1.0 版

2015 年 3 月 20 日制定

一般社団法人
情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE

本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、
転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

目次

はじめに.....	6
1 スコープ.....	7
2 参考文献.....	7
3 略語.....	8
4 将来のシナリオ、及び、現在のネットワークの課題.....	10
4.1 一般.....	10
4.2 超大容量 U-plane.....	11
4.2.1 概要.....	11
4.2.2 将来のシナリオ.....	11
4.2.3 現在のネットワークの技術課題.....	11
4.2.3.1 コアネットワーク.....	11
4.2.3.2 モバイルバックホール.....	13
4.2.3.3 モバイルフロントホール.....	13
4.2.3.4 モバイルバックホール/フロントホール共通の課題.....	15
4.2.3.5 将来のネットワークへの要求条件.....	15
4.3 負荷増大 C-plane.....	15
4.3.1 概要.....	15
4.3.2 将来のシナリオ.....	16
4.3.3 現在のネットワークの技術課題.....	16
4.3.3.1 コアネットワーク.....	16
4.3.3.2 端末認識子(Identification).....	18
4.4 トランスポート層.....	18
4.4.1 概要.....	18
4.4.2 将来のシナリオ.....	18
4.4.3 現在のネットワークの技術課題.....	19
4.4.4 将来ネットワークへの要求条件.....	21
4.5 超低遅延.....	21
4.5.1 概要.....	21
4.5.2 将来のシナリオ.....	22
4.5.3 現在のネットワークの技術課題.....	22
4.5.3.1 コアネットワーク.....	22
4.5.3.2 モバイルバックホール/モバイルフロントホール.....	23
4.6 超省電力.....	24
4.6.1 概要.....	24
4.6.2 将来のシナリオ.....	24
4.6.3 現在のネットワークの技術課題.....	24
4.6.3.1 モバイルバックホール.....	24
4.6.3.2 モバイルフロントホール.....	26
4.6.4 将来のネットワークへの要求条件.....	28
4.7 超災害/輻輳/障害耐性.....	28
4.7.1 概要.....	28
4.7.2 将来のシナリオ.....	29
4.7.3 現在のネットワークの技術課題.....	29
4.7.3.1 コアネットワーク.....	29
4.7.3.2 モバイルバックホール/モバイルフロントホール.....	30
4.7.4 将来のネットワークへの要求条件.....	30
4.8 端末/トラフィック/事業者等の種別の広がり.....	30
4.8.1 概要.....	30
4.8.2 将来のシナリオ.....	30

4.8.3	現在のネットワークの技術課題	31
4.8.3.1	コアネットワーク	31
4.8.4	将来のネットワークへの要求条件	31
4.9	他 RAT 連携	32
4.9.1	概要	32
4.9.2	将来のシナリオ	32
4.9.3	現在のネットワークの技術課題	33
4.9.3.1	コアネットワーク	33
4.9.4	将来のネットワークへの要求条件	35
4.9.4.1	Multi-RAT の統合管理	35
4.9.4.2	最適 RAT 選択のサポート	36
4.9.4.3	インターネットを介した通信連携	37
4.10	セキュリティ	37
4.10.1	概要	37
4.10.2	将来シナリオ	38
4.10.3	現在のネットワークの技術課題	38
4.10.3.1	ネットワーク・ハードウェア仮想化におけるセキュリティ課題	38
4.10.3.2	マルチテナント・オペレータ・アドミニストレータ環境におけるセキュリティ課題	38
4.10.3.3	構成の複雑化によるセキュリティ課題	38
4.10.4	課題解決に向けて	38
4.11	網オペレーション	39
4.11.1	概要	39
4.11.2	網管理に関する将来シナリオ	39
4.11.3	迅速性についての課題	40
4.11.4	コスト面の課題	41
4.11.5	柔軟かつ簡素化された網オペレーション	43
5	要素技術のサーベイ	44
5.1	一般	44
5.2	コア網システム技術	46
5.2.1	移動性/網アクセス管理技術	46
5.2.2	データ指向型ネットワーク技術	47
5.2.3	コンテキストウェアネットワーク技術	48
5.2.4	ユーザプロファイル管理技術	48
5.2.5	エッジコンピューティング技術	49
5.3	SDN 技術	49
5.3.1	ネットワーク仮想化技術	49
5.3.2	サービスチェイニング技術	49
5.3.3	U/C 分離技術	50
5.4	NFV 技術	51
5.4.1	スライシング技術	51
5.4.2	オートスケールイン・アウト技術	51
5.4.3	VM 間通信技術	52
5.4.4	XaaS 技術	52
5.4.5	MANO アーキテクチャ	53
5.4.6	オートヒーリング技術	54
5.4.7	サービスオーケストレーション技術	55
5.4.8	SDN/NFV 融合技術	56
5.5	MBH システム技術	57
5.5.1	高信頼化技術	57
5.5.2	クロック同期技術	57
5.6	MFH システム技術	58
5.6.1	C-RAN 伝送技術	58
5.6.2	データ圧縮技術	58
5.6.3	TDM-PON 技術	59

5.7	光伝送技術	60
5.7.1	変調技術	60
5.7.2	空間多重技術	61
5.7.3	波長多重技術	62
5.8	その他の技術	62
5.8.1	NW 省電力化技術	62
5.8.2	経済的インセンティブ技術	63
5.8.3	統合網管理	63
5.8.4	NW 最適化	64
5.8.5	信頼性向上技術	64
5.8.6	セキュリティ技術	65
6	課題、要素技術の集約とマッピング	65
6.1	課題の集約	65
6.1.1	コアネットワーク	65
6.1.2	モバイルバックホール	66
6.1.3	モバイルフロントホール	67
6.2	要素技術の集約	67
6.2.1	コアネットワーク	67
6.2.2	モバイルバックホール	68
6.2.3	モバイルフロントホール	69
6.3	課題、要素技術のマッピング	70
6.3.1	コアネットワーク	70
6.3.2	モバイルバックホール	74
6.3.3	モバイルフロントホール	75
7	考察	76
8	結論および提言	77
Annex A	無線技術	78
A.1	無線伝送技術	78
A.1.1	多素子アンテナ技術	78
A.2	無線システム技術	78
A.2.1	C-RAN 技術	78
A.2.2	HetNet 技術	80
A.2.3	RAN 共有技術	82
A.2.4	SDN 技術	82
A.2.5	SON 技術	83
A.2.6	エッジコンピューティング技術	83
A.2.7	モバイルリレー技術	84
A.2.8	近接端末間直接通信技術	84
A.2.9	無線システム間連携技術	85
A.2.10	その他の無線システム技術	87
Annex B	「将来のモバイルネットワーキングに関する検討会」参加者一覧	88

はじめに

昨今 5G を中心とする将来モバイルネットワークの研究が国内外で活発に行われている。国内では ARIB において 2020 and Beyond の無線を中心とする検討が 2013 年から活発に行われ、ホワイトペーパー[1]が 2014 年 8 月に発行されたところである。将来モバイルネットワークには、このような更なる無線技術の発展にとどまらず、本格的な IoT や新たなユースケースを可能とするサービスの提供も期待されている。

今回 TTC においては、まず、ARIB における次世代移動通信システムの検討をはじめ、国内外の研究動向、検討動向、および、日本独自のモバイル通信ビジネスの観点から、将来のモバイルネットワークの実現に必要な技術課題を抽出した。次に、抽出した課題に対して、国内外の研究機関、標準化団体で検討されている要素技術との関係を整理し、更に、今後の 2020 年以降の将来モバイルネットワークの方向性に関して考察を行った。本ホワイトペーパーは 2014 年 9 月から 2015 年 3 月まで半年間のその活動をまとめたものである。

1 スコープ

本ホワイトペーパーは、2020年またそれ以降の将来のシナリオ、および、ARIBで検討を実施した次世代移動通信システムに対応するための、現在のコアネットワーク、モバイルフロントホールおよびバックホールの技術課題を特定し、当該課題解決のための主要技術候補の動向把握を実施し、そこから、将来モバイルネットワークの方向性を考察するものである。

2 参考文献

- [1] 一般社団法人 電波産業会 2020 and Beyond Ad Hoc Group "Mobile Communications Systems for 2020 and beyond"
- [2] NTT ドコモ "ドコモ 5G ホワイトペーパー (https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_5g/DOCOMO_5G_White_PaperJP_20141006.pdf) "
- [3] Cisco Visual Networking Index "全世界のモバイル データ トラフィックの予測"
- [4] 総務省 "我が国のインターネットにおけるトラフィック総量の把握 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000316564.pdf) "
- [5] ETSI GS ORI 002-1 V3.1.1 "Open Radio equipment Interface (ORI); ORI Interface Specification; Part 1: Low Layers"
- [6] 3GPP TR 22.888 "Study on enhancements for Machine-Type Communications (MTC) "
- [7] 3GPP TS 23.003 "Numbering, addressing and identification"
- [8] Common Public Radio Interface (CPRI) "Interface Specification, CPRI Specification V6.0, August 2013"
- [9] ETSI GS ORI 001 V2.1.1, May 2013 "Open Radio equipment Interface (ORI); Requirements for Open Radio equipment Interface (ORI) "
- [10] Rep. ITU-R M.2134, 2008 "Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s) "
- [11] 3GPP TR 25.913 "Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN) "
- [12] 3GPP TR 25.912 "Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) "
- [13] 3GPP TR 36.912 "Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced) "
- [14] 島津, 大矢根, 渡辺, 矢島, 諏訪 "W-CDMA システムと共用可能な LTE システム用無線基地局装置の開発, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol. 19, No. 1, 2011"
- [15] Finisar Corporation (http://www.finisar.com/sites/default/files/pdf/FTLX1671D3BCL%20Product%20Spec%20RevC_1.pdf)
- [16] 富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社 プレスリリース (<http://www.fujitsu.com/jp/group/foc/resources/news/press-releases/2014/0709.html>)
- [17] NTT エレクトロニクス株式会社 ニュースリリース (<http://www.ntt-electronics.com/new/information/2014/9/20nm-low-power-coherent-dsp.html>)
- [18] 総務省 "平成 26 年版情報通信白書 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/h26.html>)"
- [19] 総務省 "平成 23 年版情報通信白書 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/h23.html>)"

- [20] NTT ドコモモバイル社会研究所 "災害に強い情報社会, NTT 出版, 2013"
- [21] 荒川, 安達, 西原, 大槻, 庄司 "大規模災害時における移動通信ネットワーク動的通信制御技術の研究開発, ICT イノベーションフォーラム 2013 予稿集, 2013"
- [22] 3GPP TS 23.682 "Architecture enhancements to facilitate communications with packet data networks and applications"
- [23] 3GPP TS 36.304 "User Equipment (UE) procedures in idle mode"
- [24] 3GPP TR 23.769 "Group based Enhancements"
- [25] Rec. ITU-T Y.3011 "Framework of network virtualization for future networks"
- [26] 総務省 "電波政策ビジョン懇談会 最終報告書"
- [27] 3GPP TS 36.300 "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2"
- [28] IEEE, "802.11-2012 - IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications"
- [29] 3GPP TS 23.402 "Architecture enhancements for non-3GPP accesses"
- [30] Rec.ITU-T Y.3300 "Framework of software-defined networking"
- [31] ETSI ISG NFV "Network Functions Virtualisation - Introductory White Paper"
- [32] ETSI GS NFV 001 "NFV; Use Cases"
- [33] ETSI SG NFV 004 "NFV; Virtualisation Requirements"
- [34] Rec. ITU-T Y.3001 "Future networks: Objectives and design goals"
- [35] IETF/RFC 7364 "Problem Statement: Overlays for Network Virtualization"
- [36] IETF/RFC 7365 "Framework for Data Center (DC) Network Virtualization"

3 略語

5G	5th Generation
ANDSF	Access Network Discovery and Selection Function
ANQP	Access Network Query Protocol
AR	Augmented Reality
BBU	Base Band Unit
BPS	Bits Per Second
BS	Base Station
CA	Carrier Aggregation
CAPEX	Capital Expenditure
CoMP	Coordinated Multipoint transmission / reception
CPRI	Common Public Radio Interface
C-RAN	Centralized Radio Access Network
CWDM	Coarse WDM
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation
DML	Directly Modulated Laser
DMT	Discrete Multitone Modulation
DWDM	Dense WDM
E2E	End to End
EAP-SIM	Extended Authentication Protocol - SIM
EPC	Evolved Packet Core
EPON	Ethernet PON
EPS	Evolved Packet System

E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security
GPON	Gigabit PON
GW	Gateway
HW	Hardware
I2RS	Interface to the Routing System
IaaS	Infrastructure as a Service
ICN	Information Centric Network
ICT	Information and Communication Technology
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IoE	Internet of Everything
IoT	Internet of Things
L1	Layer 1
L2	Layer 2
L3	Layer 3
LAA	Licensed Assisted Access
LB	Load Balancer
LMA	Local Mobility Anchor
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE-Advanced
LTE-U	LTE-Unlicensed
M2M	Machine to Machine
MAG	Mobility Access Gateway
MANO	Management and Orchestration
MBH	Mobile Backhaul
MCC	Mobile Country Code
M/dMU	Modulation / de Modulation Unit
MEC	Mobile Edge Computing
MFH	Mobile Fronthaul
MIMO	Multiple Input and Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MNC	Mobile Network Code
MNN	Mobile Network Node
MNO	Mobile Network Operator
MPTCP	Multi Path TCP
MS	Mobile Station
MTC	Machine Type Communication
MUX/DEMUX	Multiplexer / Demultiplexer
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NaaS	Network as a Service
NFV	Network Function Virtualization
NFVI	NFV Infrastructure
NW	Network
OAM	Operation, Administration and Maintenance
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OPEX	Operating Expense
OTN	Optical Transport Network
OTT	Over The TOP
P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
PaaS	Platform as a Service
PON	Passive Optical Network
PSM	Power Saving Mode
QoE	Quality of Experience
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RAU	Radio Antenna Unit
RE	Radio Equipment
REC	Radio Equipment Controller
REST	Representational State Transfer

4.2 超大容量 U-plane

4.2.1 概要

[2]によれば、将来のモバイル通信のデータトラフィックは1000倍となることが予想され、端末側でピーク10 Gbps以上、常時100 M~1000 Mbpsの伝送速度を経済的に確保できるような新技術の開発が期待される。そのためには、コアネットワークでのトラフィック量に応じた動的ネットワークリソース割り当て、モバイルバックホールでの1 Tbpsクラス光トランシーバ低コスト化、モバイルフロントホールでのデータ圧縮やPON方式などの適用といった技術確立が求められる。

4.2.2 将来のシナリオ

[3]によれば、モバイル通信のトラフィックは年率61%で増加し続けており、将来は1000倍の要求となることが予想されている。そのため、現状のモバイル通信のネットワークアーキテクチャで対応できるかについて課題を整理していく必要がある。

Figure.4.2.2-1では、将来のモバイル通信に求められる要求条件を記載したVAN diagramを示している。将来のモバイル通信は、4Gと比較して、Extremeエリアにおけるキャパシティ容量の増大、Rural、Urban、Dense等のエリアにおける更なる高速通信、Isolatedエリアにおけるカバレッジの拡大が求められている。

特にキャパシティ容量の増大に関しては、拡張現実やリアルタイムクラウドアクセス等のアプリケーションが想定されており、常時100~1000 Mbps、ピーク伝送速度として概ね10 Gbps程度が必要とされる。

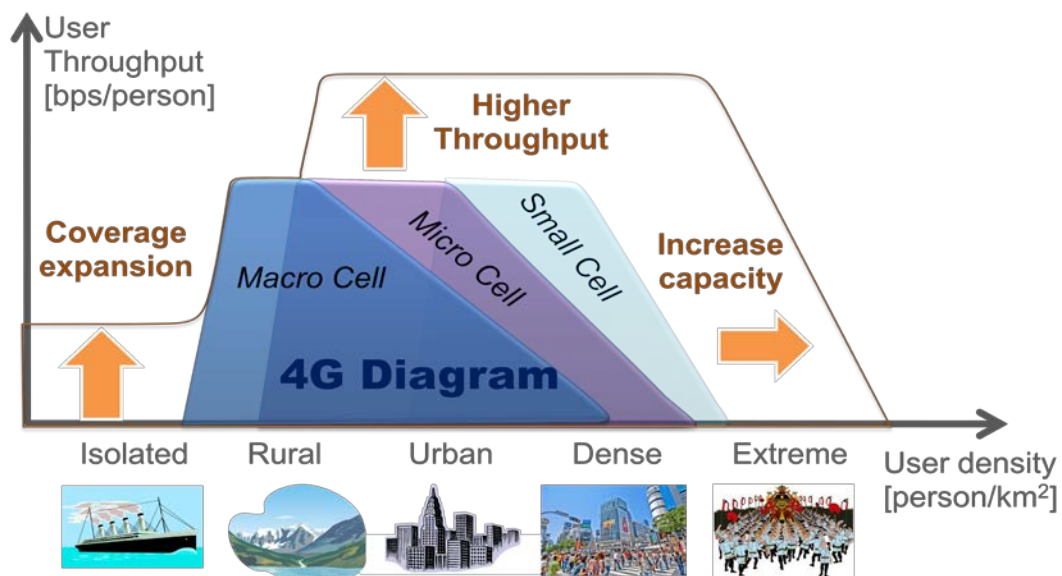


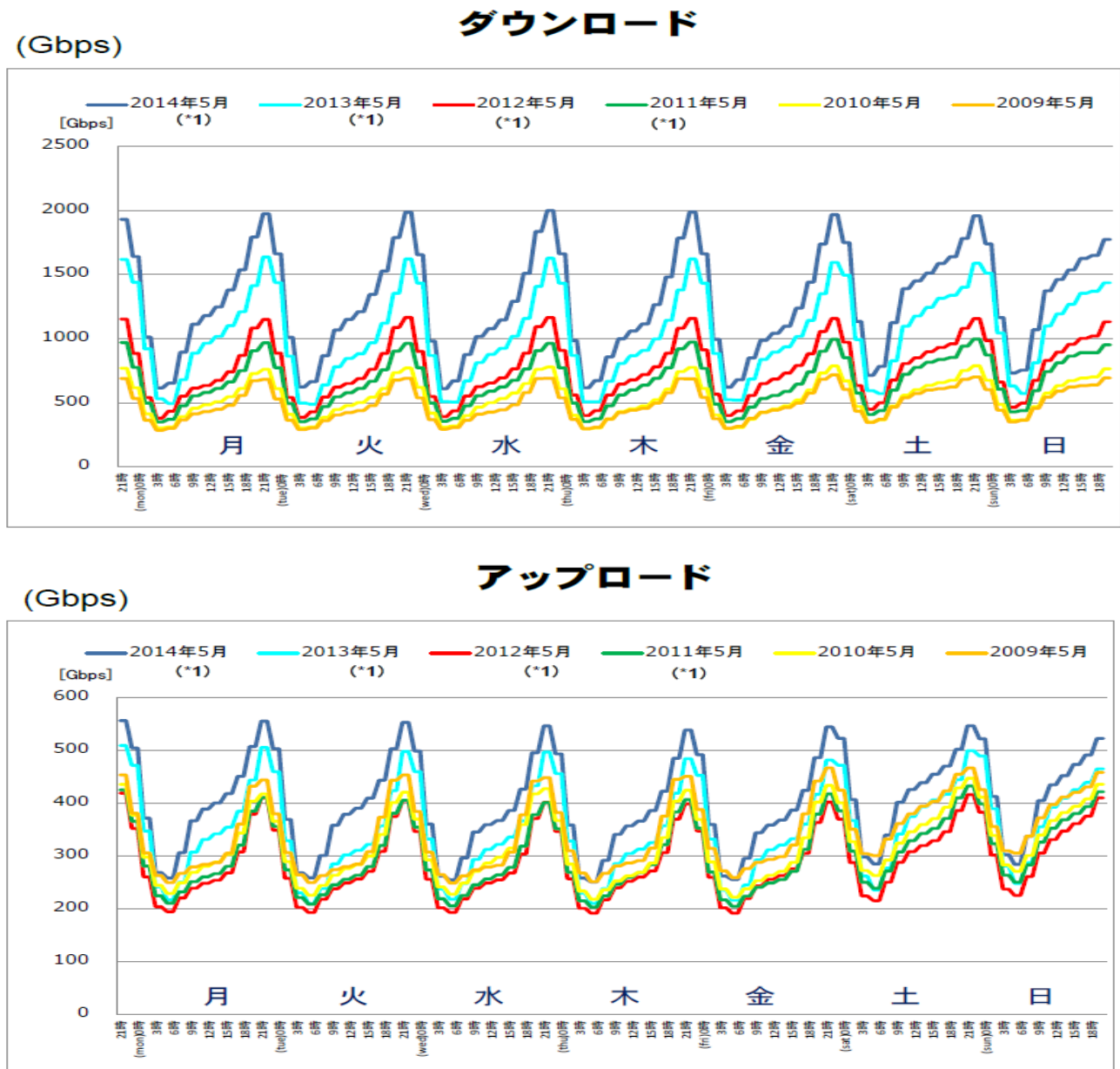
Figure.4.2.2-1 将来のモバイル通信の要求事項

4.2.3 現在のネットワークの技術課題

4.2.3.1 コアネットワーク

モバイルトラフィックの伸長要因としては、動画などの大容量パケットに加え、拡張現実やリアルタイムクラウドアクセスなど新たなアプリケーションの伸びが予想される。一方、M2M/IoTで短パケット通信も増大すると予想され、様々な種類のパケット（長/短パケット、バースト）を転送する必要がある。また、

時間帯毎にトラフィック量に大きな変動があり、災害・イベントなどにより、突発的なトラフィック急増も発生する。



(*1) 2011年5月から2014年5月のトラフィックについては、2010年11月までのトラフィックに含まれていた携帯電話網との間の移動通信トラフィックの一部を除いたもの

Figure.4.2.3.1-1 ブロードバンドサービス契約者の時間帯別トラフィックの変化(過去6年の比較)

(出典：[4])

長期的なトラフィックの増大だけでなく、トラフィック種別の多様化や一時的な急増により、Uプレーン系のコアネットワーク装置の処理負荷が増大する。コアネットワーク装置の処理負荷が増大すると、処理すべきUプレーンパケットの処理に時間を要し、結果としてデータパケットの遅延や輻輳（廃棄）として現れ、ネットワークの信頼性低下に繋がる。一方、予めトラフィックの増大を想定してコアネットワーク装置を増強することは、設備コストの増大に繋がる。

これに対応するためには、トラフィックに合わせて動的にネットワークリソースを割り当てるメカニズムが必要である。より具体的には

- ① トラフィックに合わせて、無線アクセス網や、モバイルネットワークの経路、接続先を変更する方法
- ② トラフィックに合わせてモバイルネットワークの機能やリソースの割り当てを変更する方法

が課題となる。

また、現在の EPC では、M2M/IoT 端末数が膨大になることに応じて idle 状態の通信コネクションを保持するためのメモリ保持も膨大になる、という課題がある。今後、間欠通信を行いかつ接続遅延に対する要求の低い特定の M2M/IoT 端末では常時接続しない、との手法も考えられる。

4.2.3.2 モバイルバックホール

高速且つ膨大な数の回線を集線するため、統計多重効果を考慮したとしても 100 Gbps 超の大容量回線が必要となる。例えば、1つのモバイルフロントホール（スモールセル）でピークレート 10 Gbps、ユーザ数 10000、使用率 0.01% とすると、10 Gbps の容量となる。また、1つのマクロセルに配置可能なスモールセルは約 100 であり、スモールセルあたり 10 Gbps とすると、モバイルバックホールの容量は最大 1 Tbps を考慮する必要がある。また、トラフィックの増加に従い、波長多重を適用した場合においても、トランスポンダの数の増大が懸念される。そのため高速化、大容量化、光ネットワークの構成に関しても構成の検討が必要となる。

現状では、単一波長で伝送できる技術は 400 Gbps が検討されているものの、製品レベルでは 100 Gbps までしか実現されておらず、1 Tbps を伝送するには波長分割多重（WDM）による並列伝送で実現することとなる。Figure.4.2.3.2-1 に構成のイメージを示す。WDM トランシーバは光トランシーバと波長の MUX/DEMUX で構成する。また、既存トランシーバで 1 Tbps を実現する必要台数も示す。

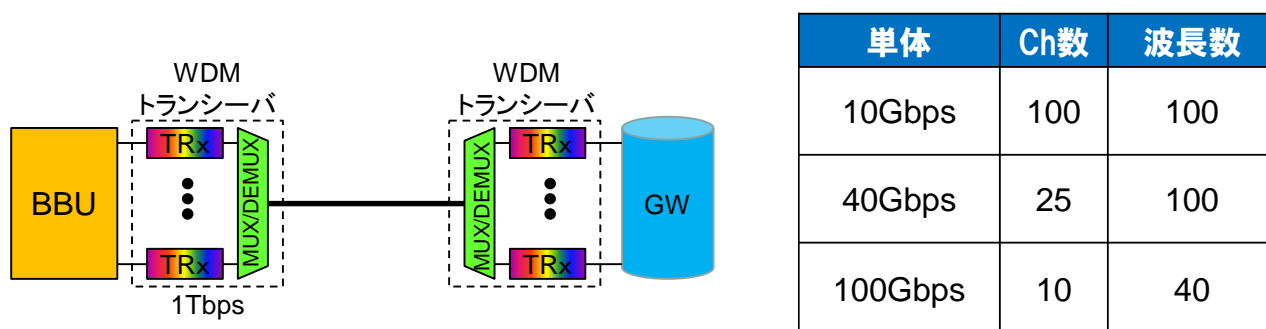


Figure.4.2.3.2-1 1 Tbps を実現する WDM トランシーバの構成

1 Tbps を実現するには単一モジュールでは実現ができず、10 Gbps/40 Gbps/100 Gbps の光モジュールを複数チャネルで構成することとなり、価格が高騰する。10 Gbps や 40 Gbps の光トランシーバは普及しているので、価格は廉価になってきているが、100 Gbps の光トランシーバは市場の動向から 2020 年でも価格は高騰すると予測されている。従い、100 Gbps トランシーバでは、チャネル数・波長数が少なく構成し易いが、価格が高騰するため、将来の普及による価格下落を期待する。また、40 Gbps トランシーバはチャネル数が少ないが、波長数は 10 Gbps トランシーバと同じとなるため、装置サイズやトラフィック量に応じた駆動制御の方法等により、10 Gbps か 40 Gbps を選択することとなる。今後、電気処理回路の高速化による 40 Gbps トランシーバの単一波長化に期待する。

4.2.3.3 モバイルフロントホール

Figure.4.2.3.3-1 にモバイルフロントホールの構成を示しており、モバイル端末のデータレート高速化（セルの大容量化）に伴い、モバイルフロントホールに使われている回線容量の増大が必至である。例えば、端

末側で 10 Gbps の速度を実現するには、現状の CPRI を用いたモバイルフロントホールでは、約 160 Gbps (16 倍程度)¹の伝送容量が必要となる。

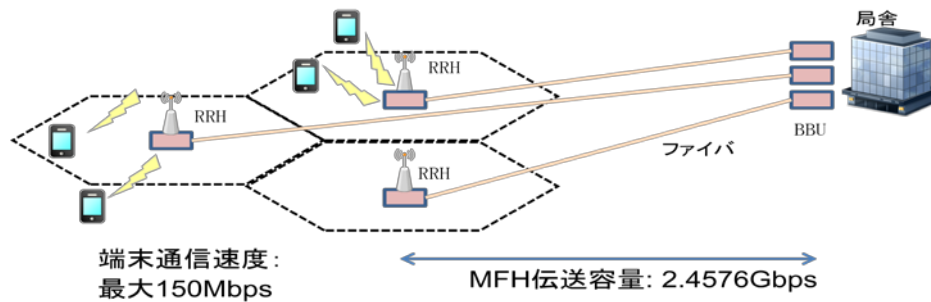


Figure.4.2.3.3-1 モバイルフロントホールの構成

また、モバイル通信の高速・大容量化に対応するために、セルの小型化が進むとみられており、半径数 km 程度のマクロセルに加えて数十～数百 m 程度のスモールセルが共存することが検討されている。例えば 2 km のマクロセルを 200 m のスモールセルに置き換えると仮定すると、表面積から換算してセル数は 100 倍にもなり、現在のフロントホールで用いられている 1 対 1 接続 (P2P) 構成ではリンク数増に伴う NW コストの高騰が懸念される。

Figure.4.2.3.3-2 および Figure.4.2.3.3-3 にマクロセルとスモールセルのリンク数を示しているが、マクロセル (半径 2 km) をスモールセル (半径 200 m) に置換えた場合、以下が想定される。

- スモールセル数は 100 倍
- スモールセル数の増加に伴い、ファイバ数、MFH 光伝送装置も 100 倍必要
- MFH 光伝送容量の大容量化に伴うコスト増の考慮が必要

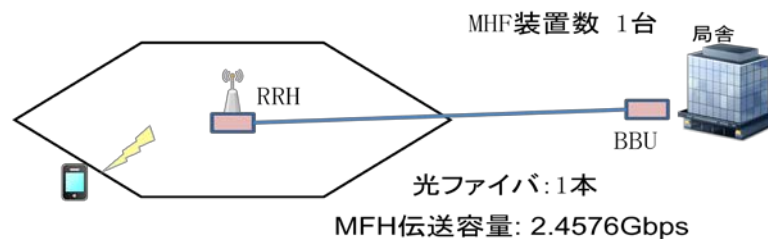


Figure.4.2.3.3-2 マクロセルのリンク数

¹ LTE(下り 150 Mbps)に適用した場合のモバイルフロントホール光伝送容量(20 MHz, 2x2 MIMO, CPRI 転送)は以下の式にて算出できる。つまり、端末通信速度に対して 16 倍の MFH 容量が必要となる。

$$20\text{MHz} \times 15(\text{sample width}) \times 1.536(\text{over sampling}) \times 2(I/Q) \times \frac{16}{15}(\text{control OH}) \times \frac{10}{9}(8B10B) \times 2(2x2 \text{ MIMO}) = 2.4576\text{Gbps}$$

(参考: [5], 7.1.1)

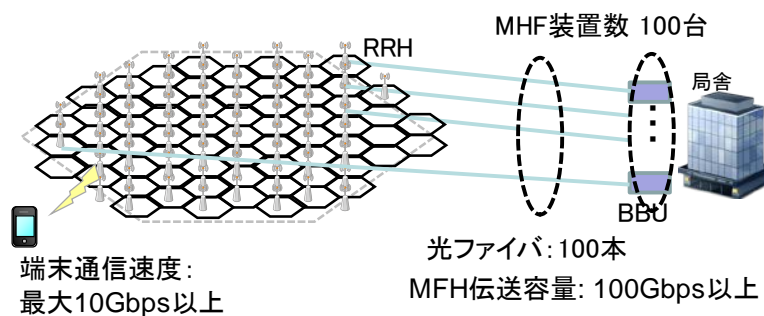


Figure.4.2.3.3-3 スマールセルのリンク数

これらの議論を踏まえ、モバイルフロントホールに対する課題を整理すると、①100 Gbps 以上の大容量伝送、および、②リンク数の増大、が挙げられる。

①100 Gbps/セル以上の大容量伝送については、伝送データ量の削減や伝送データの圧縮による効率化が考えられるが、現状の CPRI 伝送の場合、利用されている無線信号を光レイヤで識別できないため、無線信号全ての送信が必要となる。また、利用されている帯域幅を光レイヤで識別できないため、ピークレートを想定した算出となっているといった課題が挙げられる。

②リンク数増大については、P2P 構成を使用しているため、ファイバ数や装置数が多くなり、そのままの構成ではコストが増大する事が想定される。そこで、P2MP への変更が考えられ、具体的な実現方式としては、PON (TDM 方式や WDM 方式等) が挙げられる。

4.2.3.4 モバイルバックホール/フロントホール共通の課題

モバイルバックホール/フロントホールのリンク数の増大

モバイルバックホールにおいても、4.2.3.3 に示したセルの小型化によるリンク数の増大が課題となる。このため、モバイルバックホール/フロントホールのいずれにおいても 1 対 1 接続 (P2P) 構成ではリンク数増に伴う NW コストの高騰が懸念される。また、リンク数増に伴い装置数が増加し、消費電力も莫大になる。そのため、モバイルバック/フロントホールを経済的かつ低消費電力に構築するためのアーキテクチャを検討する必要がある。

4.2.3.5 将来のネットワークへの要求条件

100 Gbps を超える伝送容量への対応、多様なトラフィックへの対応、現行の 100 倍以上へのセル数の増大といった要件に対して、柔軟かつ経済的に対応することが求められる。

4.3 負荷増大 C-plane

4.3.1 概要

[1]によれば、将来のモバイルネットワークにおいては、M2M/IoT 端末の収容により、従来 (2012 年比) の約 100 倍の端末を収容する必要がある。M2M/IoT 端末の通信特性は特定の時間に集中するなどヒトによる通信とは特性が異なる。またスマートセル化が進むことでハンドオーバーの機会も増加する。以上の影響により、コネクション接続/切断、ハンドオーバー、ページングの C-Plane 処理負荷が特定の場所・時間において急激に増加する可能性があることが、コアネットワークでの課題となる。また、M2M/IoT 端末は GW を介して接続される等、収容するアーキテクチャの多様化も予想され、端末数増大による端末認識子の ID 桁数不足の問題と合わせて、端末の認識子の再定義が必要となる。

4.3.2 将来のシナリオ

携帯電話等だけでなく、様々な機器がネットワークに接続され、相互に情報交換等を行う環境である IoT や、ヒトが介在せず、ネットワークに繋がれた機器同士が相互に情報交換等を行う機器間通信技術である M2M が進展している。

更に、M2M/IoT 端末は、同一サービス、同一地域、或いは同一 Local network に接続された端末などの括りでグループ化する技術が有効と考えられ、既に関連する検討が 3GPP でも行われている。3GPP における検討事例を Fig.4.3.2-1 に示す。

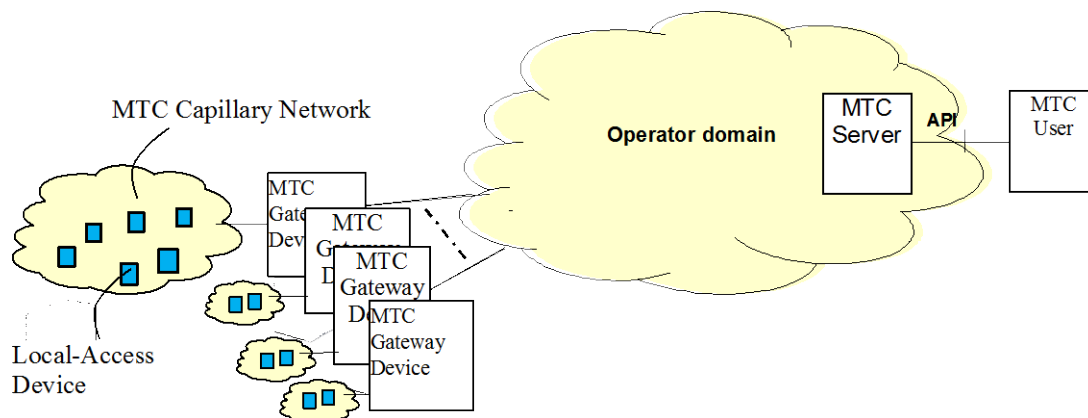


Figure.4.3.2-1 3GPP における検討事例 ([6]から引用)

Figure.4.3.2-1 では、M2M/IoT 端末が Local-Access Device と示されており、前述の様に、M2M/IoT 端末は膨大な数になると想定されると共に、各 M2M/IoT 端末が Local network に收容される様なアーキテクチャの多様性を踏まえると各 M2M/IoT 端末を MTC サービスプロバイダが複数のアクセス回線を跨いで直接管理する場合もあり得る。また、膨大な数の M2M/IoT 端末を総合的に管理するための端末認識子 (Identification) についても十分検討が必要である。M2M/IoT 端末を含む携帯電話等の端末認識子 (Identification) について 4.3.3.2 章で考察する。

4.3.3 現在のネットワークの技術課題

4.3.3.1 コアネットワーク

M2M/IoT 通信は、多数の端末から小容量のデータが一定の時間帯に集中して発信される傾向が高いなど、従来の通信とは異なる特性を有する。このため、ある程度ランダムに通信を行う携帯電話等のヒトの動きを前提にした従来のネットワークリソース管理・制御手法では、集中する制御信号 (C-Plane) を処理できずネットワークが破綻するおそれがある。C-Plane を集中処理する装置 (例えば MME) に負荷が集中し、これにより、ネットワークに接続できない、大きな遅延の発生、音声通話などのサービス停止等の様々な問題が発生すると予想される。以下、C-Plane において今後大量発生すると予測されるモバイル NW の制御処理を述べる。

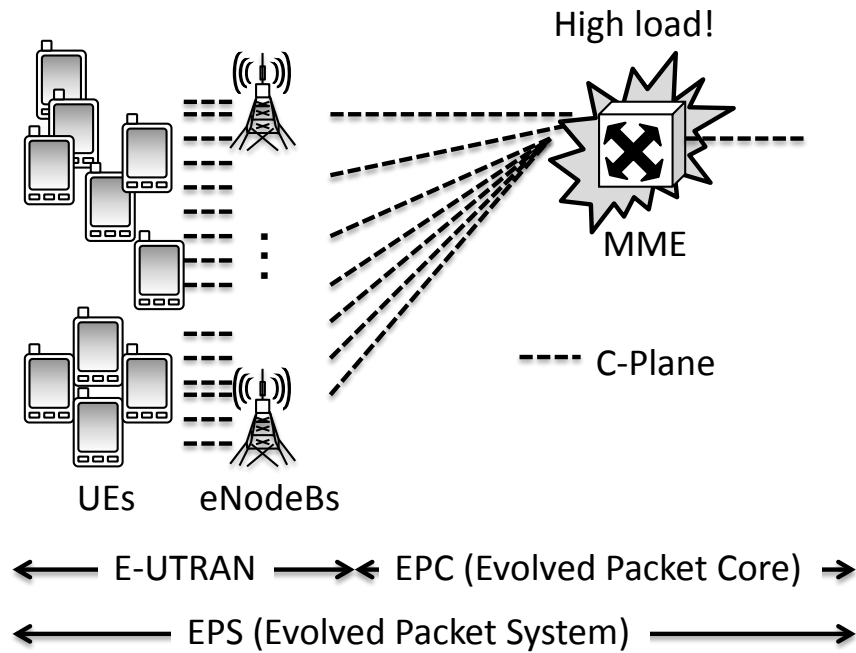


Figure.4.3.3.1-1 C-Plane の負荷集中の課題

コネクション接続/切断処理

通信端末の通信によりネットワーク上で発生する制御コネクションの接続/切断処理及び通信路（ベアラ）を確立する処理に関する負荷である。ネットワーク上で接続/切断処理が発生する条件とは、移動端末が Connected 状態から Idle 状態へ遷移する場合と、Idle 状態から Connected 状態へ遷移する場合である。またグループ化された複数の通信端末が一斉にコネクション接続/切断する場合も想定される。センサー系の頻繁に通信する通信端末の増加により特定のエリアや時間帯に処理負荷が集中する。これにより現行の特定の MME の C-Plane の処理負荷が集中するという課題がある。

ハンドオーバー処理

通信端末の移動の動作によりネットワーク上で発生するハンドオーバー処理に関わる負荷である。ネットワーク上でハンドオーバー処理が発生する条件とは、移動端末が Connected 状態で基地局間を移動した場合である。今後、基地局のsmallセル化によりハンドオーバーの発生頻度が上昇するため、特定のエリアや時間帯にハンドオーバー処理が集中し、MME や S-GW のコア装置と eNodeB の C-Plane の処理負荷が集中するという課題がある。

着信呼び出し（ページング）処理

モバイルネットワークでは、待ち受け状態の通信端末に新たな下りトラフィック（下りデータ又は音声着信）が到着した場合にページング信号を送信する。移動端末は自端末宛てのページング信号の受信に応じて、下りトラフィックを受信するためにネットワークへの接続処理を開始する。この接続処理は制御コネクション及び通信路（ベアラ）を確立する処理であり、今後多種多様化する M2M/IoT 端末との通信が増加する場合、センターにあるサーバから通信端末に対して PUSH 通知する機会が増加すると予想されており、特定のエリアや時間帯に PUSH 処理が集中し、MME や eNodeB の C-Plane の処理負荷が高まるといった課題がある。今後、NW の負荷に応じて PUSH 通知のタイミングを平滑化させるなどの手法が必要となる。

4.3.3.2 端末認識子(Identification)

現在の携帯電話端末は、SIMカードに紐づけられた IMSI という認識子 (Identification) で管理されている。また、IMSI は Figure.4.3.3.2-1 に示す構造を持ち、ITU-T 勧告 E.212 が定義する番号計画で規定される。これは各端末が MCC、及び MNC で表されるモバイルオペレータに帰属する事が前提となっている。今後、M2M/IoT 端末に関するビジネスモデルは大きく多様化する事が想定されるので、IMSI による現在の Device 承認はビジネスの多様化の阻害要因となる可能性がある。また、現在の 3GPP 仕様[7]によると IMSI は 15 桁以下と定められている事より、大量の M2M/IoT 端末を収容するには不十分とも考えられる。そのため、大量の M2M/IoT 端末を識別でき、効率的な着信手法の検討が必要となる。

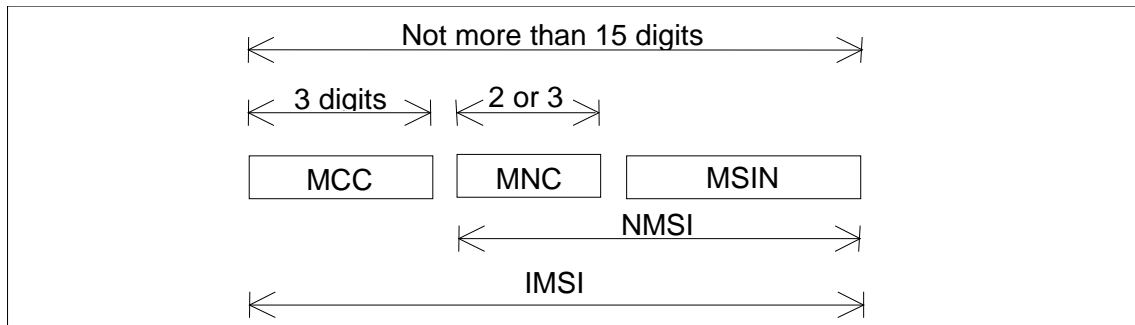


Figure.4.3.3.2-1 IMSI の構造 ([7]から引用)

4.4 トランスポート層

4.4.1 概要

将来のモバイルネットワークにおいては、様々な周波数帯を用いたヘテロジーニアス（異種混合）環境になると考えられている。しかしながら、ヘテロジーニアス環境においては、既存の TCP/IP 通信ではエンドエンドでの輻輳制御やマルチパス通信への対応の不足から、ハンドオーバー頻発による帯域、遅延の急激な変動には対応できない事が想定される。また、多種多様なアプリケーションが誕生することが予想されており、異なるネットワーク側の変動に対する許容度を持ったアプリケーションが動作することが想定される。これらすべてのアプリケーションの要求を満たすネットワークの構築は、技術的/ビジネス的に困難であるため、ヘテロジーニアス環境に適した新しいトランスポート層が必要となってくる。

4.4.2 将来のシナリオ

将来のモバイルネットワークでは、様々な無線アクセス技術の相互接続によるヘテロジーニアスネットワークとなることが予想される。すなわち、マクロセルのカバレッジの上送信電力の小さいピコセル（半径数十メートル～数百メートル）やフェムトセル（半径数十メートル以下）などのスモールセルがオーバーレイするネットワーク構成となる（Figure.4.4.2-1）。この、ヘテロジーニアスネットワーク内をユーザが移動する場合、スモールセルを短い時間で通過することが想定される。この時、複数の周波数を同時に利用するにせよ、高速に切り替えて利用するにせよ、アクセス回線の品質（帯域/遅延）が離散的に変化する。例えば、スモールセル内に入った時には、マクロセルのエリア内よりも高速な帯域を利用可能となる。しかしながら、セルのカバレッジは狭いため、移動によりその帯域を使えなくなってしまう。

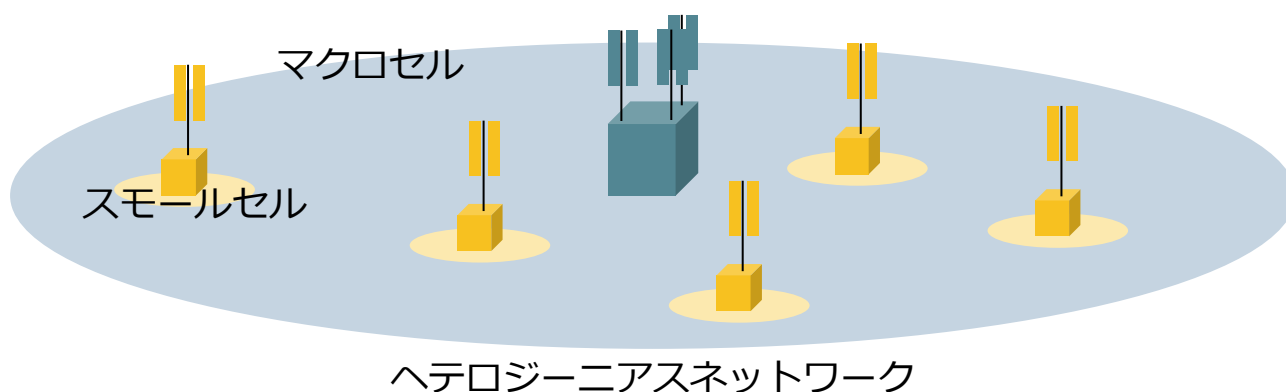


Figure.4.4.2-1 ヘテロジーニアスネットワーク

4.4.3 現在のネットワークの技術課題

現在の TCP/IP を用いた輻輳制御アルゴリズムは、ウィンドウサイズベースの制御であり、基本的に少しずつウィンドウサイズを広げ、パケットロスなど輻輳が発生した場合にウィンドウサイズを閉じるという制御を繰り返す。これに対して、現在、無線アクセス網に向けた TCP 輻輳制御技術が提案・実装されているが、これらは高遅延・広帯域回線に対応するためであり、ヘテロジーニアスネットワークのような離散的な品質変化に対応するためのものではない。2015 年現在 Linux OS において標準となっている CUBIC も高遅延・広帯域回線に対応した TCP であるが、急激な品質の変化には対応できない。

技術的課題を明確にするために、iperf を用いた Linux PC 間でファイル転送実験を行った。PC 間には有線回線で接続されており、ネットワークエミュレータを用いて帯域を 100 Mbps に制限している。ファイル転送開始から 5 秒後に、ネットワークエミュレータを用いて伝送遅延を 10 ミリ秒から 50 ミリ秒に上昇させた場合と、その逆の場合の実験結果を Figure.4.4.3-1 に示す。縦軸は、100 ミリ秒単位での平均スループットである。

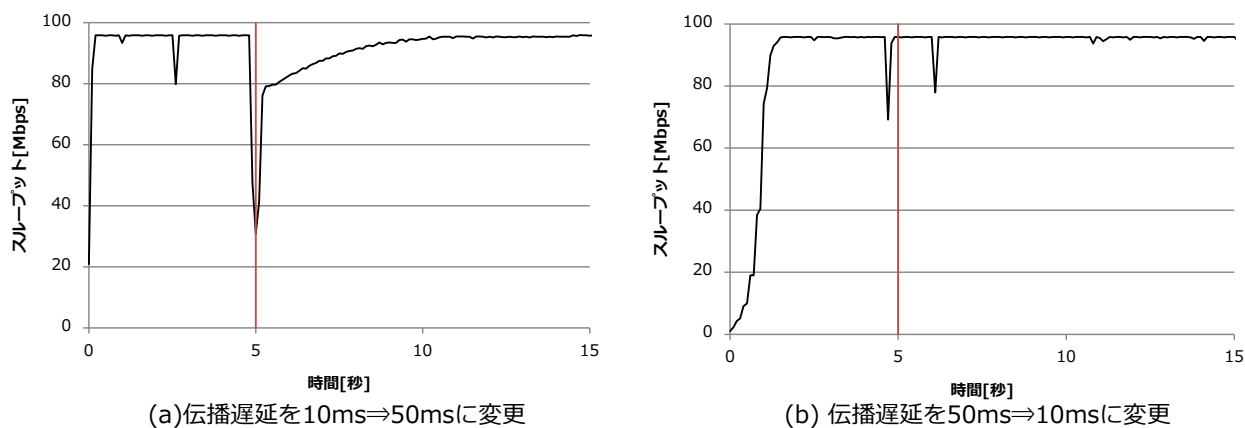


Figure.4.4.3-1 遅延を急激に変化させた場合のスループット変化

また、同様の環境で遅延を 10 ミリ秒に固定し、帯域を 100 Mbps から 500 Mbps に変化させた場合のグラフを Figure.4.4.3-2 に示す。これらの結果より、遅延が小さくなる場合や、帯域が小さくなる場合にはパケットロスなどは発生しているが、即座に品質の変化に追従していることが分かる。一方で、遅延が大きくなる場合や、帯域が大きくなる場合においては、十分に回線品質を利用するために 5 秒ほど必要となることが分かる。これは人の歩行速度を 1.4 m/s とすると 7 m ほど移動することを意味する。このため、カバレッジが数十 m しかない場合、十分にそのエリアの回線品質を利用できないまま、エリアをでてしまう可能性もある。

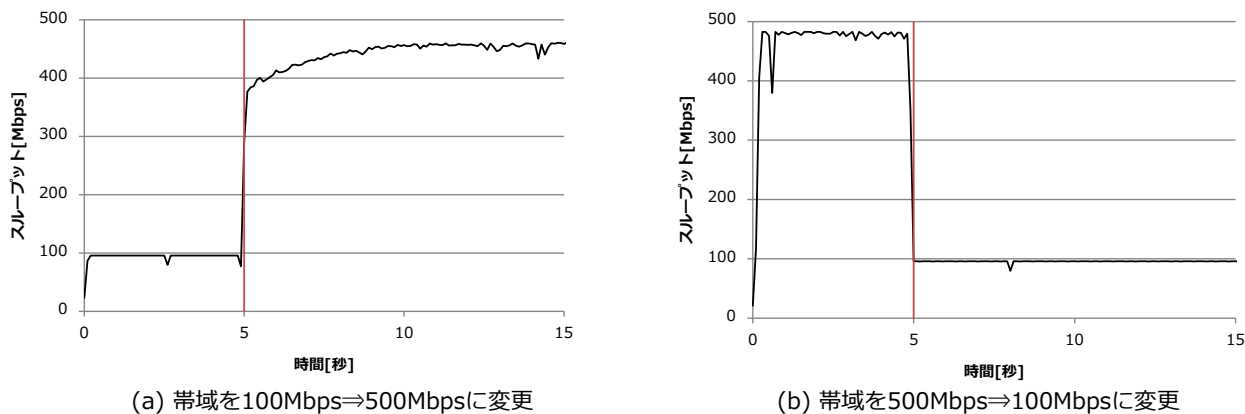


Figure.4.4.3-2 帯域を急激に変化させた場合のスループット変化

MPTCPは複数のパスを利用することによって、複数のインターフェースの同時利用による高速通信や、シームレスなインターフェース切り替えを実現する技術である。しかしながら、複数パス経路の挿入や、新しいTCP/IPパスのネゴシエーションなどのオーバーヘッドが存在するため、ヘテロジニアスネットワークにおいては、十分に性能を發揮できない場合がある。Figure.4.4.3-3に、Wi-Fi (802.11g) 回線を持った端末が、iperfを用いてファイルをダウンロードした時の平均スループットを示す。この時、30秒おきにa秒間だけ1Gbpsの回線に接続されるとする。MPTCPによりシームレスに2つのインターフェースを利用できるが、接続時間aが4秒未満の時は、1Gbpsの回線を利用できていないことが分かる。すなわち、スモールセルの滞在時間が4秒未満の場合は、MPTCPを用いてもスモールセルの帯域をまったく利用できずに通過してしまう。今回、各PCのIPアドレスはstaticに設定しており、現実のようにL2でのネゴシエーションやIPアドレスの割り当て時間を考慮すると、MPTCPも必ずしもヘテロジニアスネットワークに適用可能であるとは言えない。

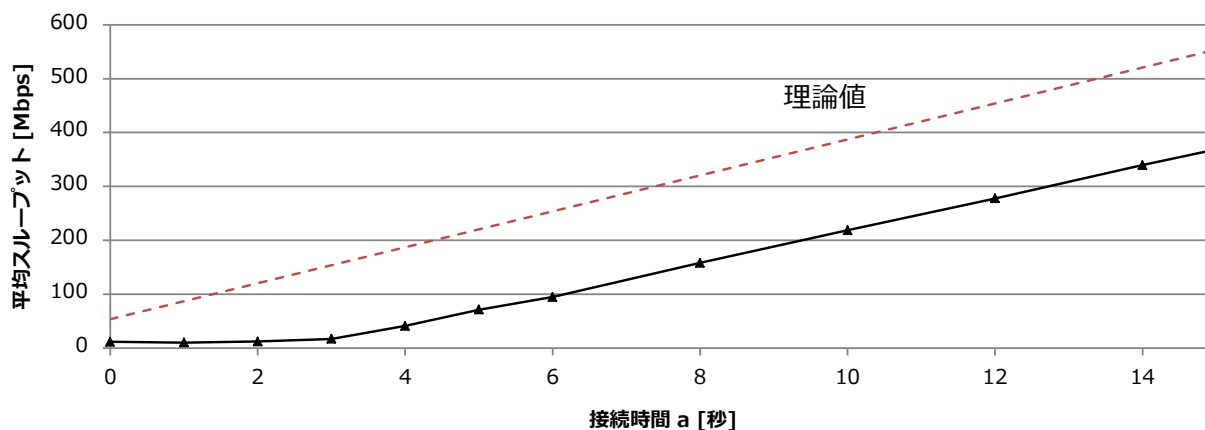


Figure.4.4.3-3 2つのネットワーク混在環境においてMPTCPを用いた場合のスループット

さらに、無線回線において、広帯域の回線を提供したとしてもアプリケーションによっては効果がないケースも想定される。Figure.4.4.3-4にAndroidで専用アプリを用いてYouTubeの動画を見た場合の1秒単位での平均スループットを示す。本アプリケーションはTCP/IPを用いているが、現在はアプリ側の制御によりレートが500kbpsに制限されている。このため、それ以上の帯域を用意したとしてもアプリは利用しない。また、0~7秒間でバースト的に受信しているのは、ジッタを吸収するためのバッファリングであり、最初に回線遅延など品質を計測してから動画の再生を開始している。このため、途中で回線品質が変化した場合、バッファ溢れが発生し、動画再生に支障が出る可能性もある。このように、多種多様な端末・アプリケーションが接続される将来モバイルネットワークにおいては、すべてのアプリケーションに対して低遅延・広帯

域の回線を提供することは、効果が無いケースも想定される。すなわち、アプリケーションに合わせた回線品質の提供が重要であるとともに、アプリケーションと連携した回線品質の設定が重要である。

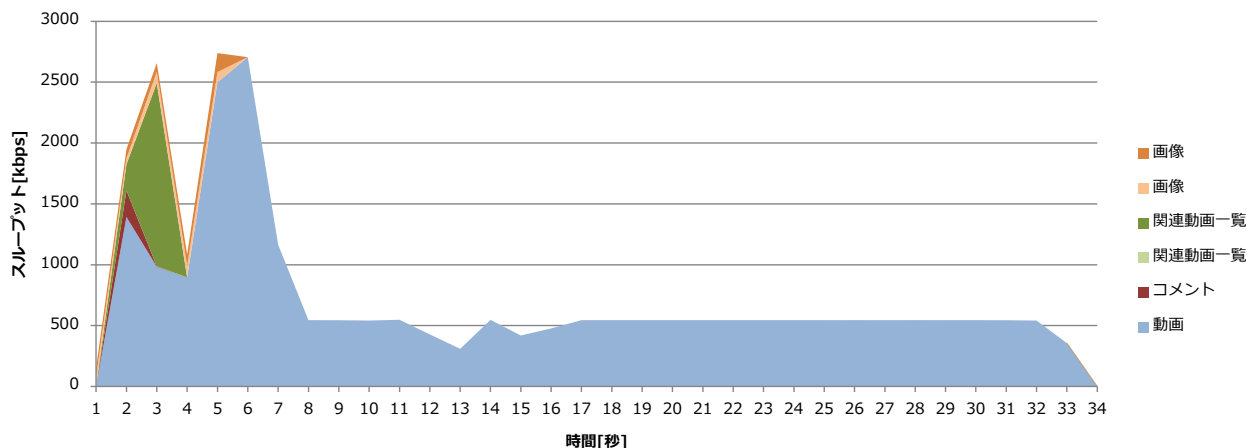


Figure.4.4.3-4 Android 端末上で YouTube を視聴した時の 1 秒単位での平均スループット

4.4.4 将来ネットワークへの要求条件

以上より、ヘテロジーニアス環境においてトランスポート層が考慮すべき課題は以下の通りである。

- 頻繁な回線変化に追従可能なトランスポート層の制御
- アプリケーションの要求に合わせた回線品質の提供

これらの役割は、アプリケーションとネットワークの間に位置するトランスポートレイヤの役割であり、多種多様な端末・アプリケーションと、多種多様なアクセス網から構成されるヘテロジーニアスネットワークの間を取り持つ技術が必要とされている。

これらを解決する技術としては、既存の TCP/IP だけでなく、近年注目を浴びている ICN（データ指向型ネットワーク技術）の活用についても考慮すべきである。ICN では送信者と受信者の分離（decoupling）が特徴の 1 つとして挙げられており、現在のエンドーエンドでのセッションに依存しない通信を可能としている。また、CA などの L2 での複数周波数帯域の統合、SDN などネットワークの仮想化など、トランスポート層より下位層の技術とのクロスレイヤ技術も検討すべきである。

4.5 超低遅延

4.5.1 概要

将来のモバイルネットワークにおいては、リアルタイム性が必要となる新サービスの提供が求められており、E2E で 1 ミリ秒以下という要求条件への対応が検討されている。伝送距離による遅延は一意的に決まる物理量であるため、①各伝送装置の配置最適化による敷設経路の最短化、②変復調処理時間、プロトコル変換処理時間などの処理遅延の削減、③これらを実現するネットワーク全体のアーキテクチャの検討、などの技術確立が求められる。

4.5.2 将来のシナリオ

将来のモバイルネットワークでは、4G では対処不可能であったレイテンシーの極めて低い新しいモバイルサービスの登場が期待されている。具体的 E2E 遅延として、触覚通信、AR、自動運転などに 1 ミリ秒という要求条件が検討されている。

4.5.3 現在のネットワークの技術課題

4.5.3.1 コアネットワーク

将来のモバイルネットワークでは、ネットワークへ極めて厳しい要求条件が課せられることとなる。取り組むべき課題は大きく分けて以下の 2 点に集約できる。

- (1) 距離による物理的遅延
- (2) ネットワークアーキテクチャへのインパクト。

距離による遅延は、媒体（光ファイバ、など）で決まってしまうので、それ以上の低減は、ネットワークアーキテクチャの側面から検討する必要がある。

現状の EPC アーキテクチャでは、通信パスは P-GW をアンカーポイントとして構成される。低遅延通信をサポートするためにはアンカーポイントを通信端末から近距離に配置する必要がある。LTE では、Figure 4.5.3.1-1 に示すように Home eNode B をサポートするためにアンカーポイントとして Local GW が通信端末の近くに導入されている。しかし、Local GW が固定されていて再配置できないので、V2V サービスのような高速のモビリティと低遅延の両方のサポートが必要な場合、端末の移動に伴い Local GW が端末から離れてしまい、遅延の増大を招くという課題がある。（例として、Figure 4.5.3.1-1 に示す。UE1 が eNodeB 3 から eNodeB 2 へ、更に eNodeB 1 に移動するに従い、遅延が増大してしまう。）

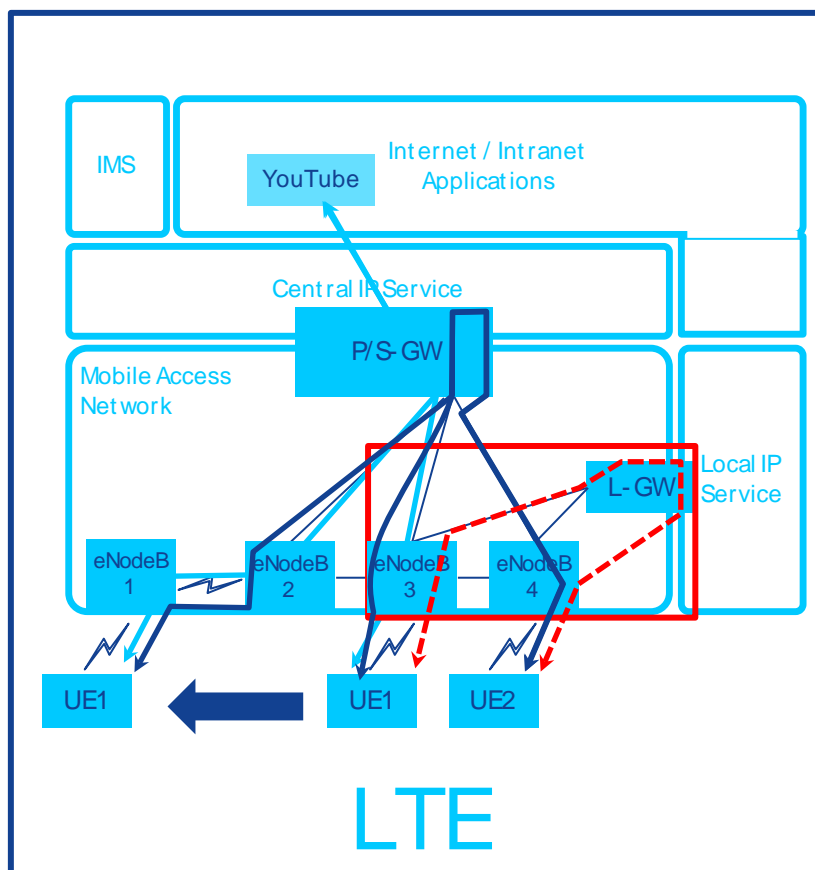


Figure 4.5.3.1-1 4G Network(LTE)の問題点

ればならないのではないかと議論が出てきている。MBH link による遅延 ($t_{\text{link_MBH}}$) はさらに、MNN 内に配置された MBH 送受信機の処理遅延 ($t_{\text{TRx_MBH}}$)、MBH link での伝搬遅延 ($t_{\text{medium_MBH}}$)、BS 内に配置された MBH 送受信機の処理遅延 ($t_{\text{TRx_MBH}}$) に分けて考えることができる。なお、[12]の 13.3 節内注釈によれば、user plane latency の定義は今後の検討課題ともなっている。

例えば、E2E 遅延として 1 ミリ秒が求められるような場合、この遅延量は、光ファイバの実効距離換算で 100 km の伝送距離（往復）に等しい。距離による物理的遅延量 ($t_{\text{medium_radio}}$ 、 $t_{\text{medium_MFH}}$ 、 $t_{\text{medium_MBH}}$) は一般に、伝送媒体（屈折率）が決まれば伝搬距離に比例して決まる物理量であるため、RAN 内の MFH や MBH を構成する伝送媒体の敷設経路の最短化や伝送媒体自身の改善・革新が行われないうち、縮めることはできない。そのため、将来モバイルで要求される遅延量から、変復調処理（シリパラ変換、多重分離、信号歪み補償なども含む）に必要な時間、フレーミング処理やマルチアクセス処理に必要な時間、プロトコル変換処理に必要な時間など距離以外の要因による処理遅延量 ($t_{\text{TRx_MS}}$ 、 $t_{\text{RAU_BS}}$ 、 $t_{\text{M/dMU_BS}}$ 、 $2 \times t_{\text{TRx_MFH}}$ 、 $2 \times t_{\text{TRx_MBH}}$) を差し引いた後、RAN に割り当てられる実効的な伝送距離を換算し、適用地区の敷設条件（例えば、地理的制約や地権的制約、自然保護・遺産保護的制約、景観的制約、ファイバ余長の確保など）を考慮した上で、RAN 内の装置を適切に配備・配置する必要がある。例えば、[13]の Annex B.2 によれば、距離以外の要因による処理遅延量として、MS での処理 ($t_{\text{TRx_MS}}$) と BS での処理 ($t_{\text{RAU_BS}} + t_{\text{M/dMU_BS}}$) にそれぞれ 1.5 ミリ秒程度の時間が想定されている。この想定値は将来モバイルに求められる前記の要求値 1 ミリ秒を超えているため、何らかの改善が必要となる。以上から、一つの RAN でより広い領域をカバーするためには、距離以外の要因による処理遅延量を如何に縮めるかが課題となる。逆に、距離以外の要因による処理遅延量の改善が見込めない場合には、要求遅延量を満たすために距離による物理的遅延に割り当てられる遅延量を減らさざるを得ない。物理的遅延に割り当てられる遅延量が減ると、個々の RAN でカバーできる領域が狭くなるため、これまでと同等（もしくは、それ以上）のサービスエリアを確保するためには RAN を大量に設ける必要がある。その場合、RAN 間を効率的に接続することのできるコアネットワークのアーキテクチャも検討する必要があるが出てくる。

4.6 超省電力

4.6.1 概要

将来のモバイルネットワークでは、モバイルバックホール・フロントホールにおける伝送速度の増大や装置数の増大に伴い、消費電力の増大が懸念されるが、地球温暖化を代表とするエネルギー問題の重要性の高まりを鑑みると、最低限 4G と同程度、目標として 1/10 の効率化が図れるような新技術の開発が期待される。そのためには、システムやネットワークの構築に当たり、装置自体の高電力効率化、トラフィック変動に応じた稼働系制御、新たなモバイルフロントホール伝送方式などの技術検討が求められる。

4.6.2 将来のシナリオ

1000 倍にも増大すると予想されるトラフィックを収容するには、それに応じてパケット交換装置や基地局装置といったネットワーク装置の数を増やす必要がある。特に、ネットワークの高速化や広帯域化、エリア拡大を目的として、セルの小型化や C-RAN 構成を用いた基地局敷設が進むと考えられており、モバイルバック・フロントホールを構成する装置数の急増が予想される。従って、それに伴う消費電力の増大が懸念される。

4.6.3 現在のネットワークの技術課題

4.6.3.1 モバイルバックホール

モバイルバックホールにおける省電力化の課題は、下記に大別できる。

無線レートの高速化及び収容数の増大に伴う上位集線 SW (GW) -BBU 間において、

- 光トランシーバの高速化及び電気処理回路の高速化による光伝送装置の消費電力増大
 - 集線容量の増大に伴う時間的なトラフィック変動差による無駄な電力消費の増大
- である。

モバイルバックホールに要求される通信容量

4.2.3.2 を参照。

超大容量光伝送装置の消費電力

【光トランシーバの消費電力】

現在、製品レベルの光トランシーバは、Table.4.6.3.1-1 に示す通りである（参考：[14], [15], [16], [17]）。表に示す各種トランシーバは伝送距離 40 km に対応したものである。

Table.4.6.3.1-1 光トランシーバの種類と消費電力

伝送レート	規格	消費電力
～1 Gbps	1000BASE-LH	≤1 W
～10 Gbps	10GBASE-ER	≤1.5 W
～100 Gbps	100GBASE-ER4	≤9 W
	デジタル コヒーレント	≤20 W (DSPのみ)

伝送装置における光トランシーバ部の消費電力は、

$$\text{消費電力} = (\text{実現容量}) / (\text{トランシーバ単体の伝送容量}) \times (\text{トランシーバ単体の消費電力})$$

で表すことができ、Figure.4.6.3.1-1 で示す結果となる。1 Tbps を実現するには、150 W 以下であるが、マクロセルは約 10 万あり、さらに上位との冗長構成を取るとすると、150 W×10 万×2=30 MW となる。

バックホールではトラフィックの増加に従い、波長多重を適用した場合においても、トランスポンダの数の増大が懸念される。そのため高速化、大容量化、光ネットワークの構成に関しても構成の検討が必要となる。

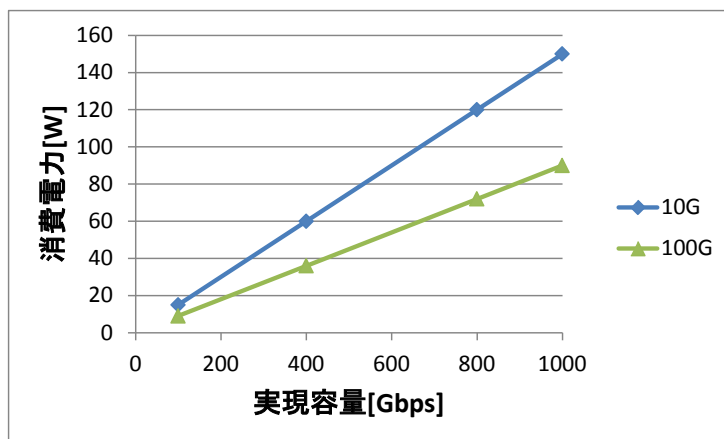


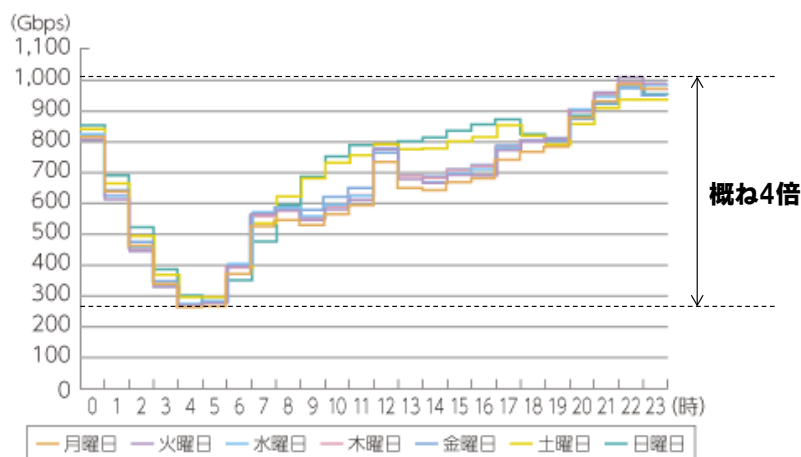
Figure.4.6.3.1-1

【電気処理回路（インターフェース処理）の消費電力】

また、既存スイッチ装置のインターフェース処理部の消費電力は約 30 W/10 G-1 ポートであるため、1 Tbps のインターフェース処理部を実現する消費電力は 3000 W となり、光トランシーバに比べ 20 倍の消費電力であり、ネットワーク全体では、600 MW となる。従い、電気処理回路の集積化（40 G、100 G）による消費電力削減が必要である。

トラフィック変動による無駄な電力消費

Figure.4.6.3.1-2 に[18]に示される移動通信トラフィック量の時間帯変化を示す。実際のトラフィックは時間帯によって大きく変動しており、現在の統計では最大時と最小時で概ね 4 倍もの違いがある。従い、常に最大の伝送レートで駆動した場合は、無駄に電力を消費することとなり、トラフィック容量に応じた可変制御（チャンネル単位の駆動制御）を行うことにより、電力消費を削減することが可能となる。例えば、40 Gbps トランシーバで構成する場合は、40 Gbps ステップで、1ch～25ch の駆動制御を行うこととなる。



引用元：総務省 平成26年度版 情報通信白書

Figure.4.6.3.1-2 移動通信トラフィック量の時間帯変化

4.6.3.2 モバイルフロントホール

Figure.4.6.3.2-1 にモバイルフロントホールの構成を示す。モバイルフロントホールにおける省電力化の課題は、下記の 3 点に大別できる。

- BBU-RRH 間は CPRI 規格により接続されており、実際のトラフィックの多寡にかかわらず常時固定レートで通信が行われている。

- スマールセル化（装置数増加）によって、消費電力の総量が増大する。
- 無線レート的高速化に伴う BBU-RRH 間の光トランシーバ、電気処理回路等の高速化によって、装置単体の消費電力が増加する。

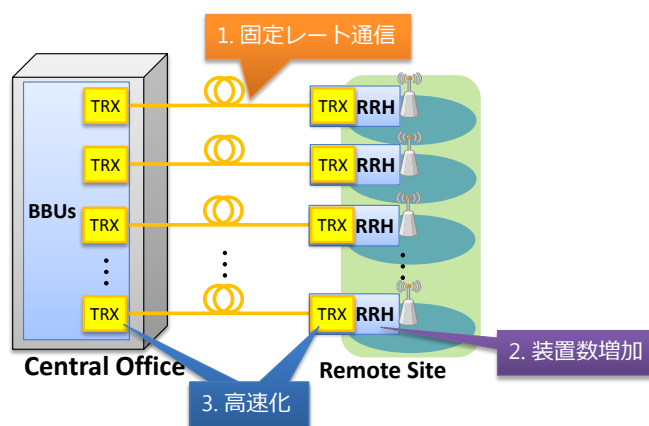


Figure.4.6.3.2-1 モバイルフロントホール構成と省電力化の課題

固定レート通信による消費電力

モバイルフロントホールにおいても、モバイルバックホールと同様に移動通信トラフィック量の時間帯変化が問題となる。特に、セル間でのトラフィック量変動はさらに大きく、スマールセル化によってより顕著化すると考えられる。そのため、固定レート通信である現在の規格・システム設計では、トラフィックが少ない時間帯において消費電力を浪費していることになる。

装置数増加に伴う総消費電力の増大

将来のモバイルネットワークでは、更なるトラフィックの増大に対応するためにスマールセル化が検討されている。これはセル数の増加、すなわちセルを構成するネットワーク装置数の増加につながるため、総消費電力の増大が懸念される。そこで、ここではスマールセル化がモバイルフロントホールの総消費電力に与える影響を試算した。

Table.4.6.3.2-1 に試算仮定を示す。現在のネットワークは、6セクタのマクロセルを想定し10万局あるものと仮定した。将来のネットワークは、現在のマクロセルに加えてスマールセルが重畳されることを想定し、1セクタのスマールセルが100万局あるものと仮定した。試算に用いた装置の消費電力は文献[14]を参考にした。また、スマールセルの伝送レートは1 Gbps と10 Gbps の2種類を検討した。その際、10 Gbps 時の消費電力は、1 Gbps 時の1.5倍と仮定して計算した。

Table.4.6.3.2-1 試算条件

	現在	将来
セル構成	MBH (マクロセル)	MBH (マクロセル) + MFH (スマールセル)
セル数	10万	10万 (マクロ) + 100万 (スマール)
セクタ数/セル	6 / マクロ	6 / マクロ 1 / スマール
装置の消費電力	マクロ : 4.5 KW (6 port BDE + 6 port BRE)	マクロ : 4.5 KW スマール : 1.2 KW (6 port BDE), 0.1 KW (1 port LRE)
伝送レート	マクロ : 1 Gbps	マクロ : 1 Gbps スマール : 1 Gbps or 10 Gbps

現在のネットワークにおける消費電力 $P_{current}$ と将来のモバイルネットワークにおける消費電力 P_{future} の算出式をそれぞれ下式に示す。なお、 N_{cell} はセル数、 N_{sector} はセルあたりのセクタ数、 P_{equip} は装置の消費電力、 N_{port} は装置のポート数である。

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{current} = N_{cell}(macro) \times N_{sector}(macro) \times \left(\frac{P_{equip}(BDE)}{N_{port}(BDE)} + \frac{P_{equip}(BRE)}{N_{port}(BRE)} \right) \\ P_{future} = P_{current} + N_{cell}(small) \times N_{sector}(small) \times \left(\frac{P_{equip}(BDE)}{N_{port}(BDE)} + \frac{P_{equip}(LRE)}{N_{port}(LRE)} \right) (\times 1.5) \end{array} \right.$$

試算の結果、モバイルフロントホールの総消費電力は現在のネットワークでは 450 MW であるのに対し、将来のモバイルネットワークでは最大 900 MW と、現在の 2 倍もの消費電力を要することが分かった。なお、原子力発電所 1 基の発電力は約 500 MW である。

高速化による装置単体の消費電力増大

モバイルフロントホールの消費電力は、光トランシーバ部、電気処理回路部、および RF アンプが大きな要因を占める。無線レートの高速化に伴いこれら装置も高速化を要するため、消費電力が増加する。

光トランシーバの消費電力は Table.4.6.3.1-1 の通りである。光トランシーバについては、10 Gbps までは十分な省電力化が施されており影響が小さい。100 Gbps 級になると急激に消費電力が増加することになり、スモールセル時の消費電力と比較するとその影響は無視できないものとなる。また、電気処理回路や RF アンプについても、高速化が消費電力増に与える影響を検討する必要がある。将来のネットワークでは高周波数帯を追加することも考えられるため、周波数帯の追加による影響も検討することが求められる。

4.6.4 将来のネットワークへの要求条件

ネットワーク全体の消費電力増大を抑えるには省電力化が不可欠であり、1/10 の効率化を実現するためには、システムやネットワークの構築に当たり、装置自体の高電力効率化、トラフィック変動に応じた稼働系制御、新たなモバイルフロントホール伝送方式などの技術検討が求められる。

モバイルバックホールについては、端末速度が 10 Gbps になることから統計多重効果を考慮しても現在の 100 倍以上の伝送容量が必要となる。既存技術で 100 Gbps~1 Tbps の能力を持つ光トランシーバを実現すると既存の 8 倍以上となるため、集積化などの低消費電力を実現するデバイス開発が必要となる。しかしながら、単純な集積化による消費電力削減では 1/10 の効率化は難しいため、トラフィック量に応じた伝送装置（光トランシーバ、インターフェース回路等）の駆動制御が必要となる。

モバイルフロントホールについては、スモールセル化により消費電力が現在の 2 倍になることが予測されるため、通信システム全体で 1/10 に効率化するには、現在装置から 1/20 の省電力化が求められる。そのためには、実トラフィック量や接続 UE 数に応じて、それらが少ない場合に抜本的に消費電力を制御できる構成が必要である。また、光トランシーバは伝送レートが 10 Gbps を超過すると急激に消費電力が増加するため、無線伝送レートが 10 Gbps に高速化する将来のモバイルネットワークでは、CPRI 等に代わり、光伝送レートを無線伝送レートと同程度まで低減できる新たな伝送方式が必要となる。

4.7 超災害/輻輳/障害耐性

4.7.1 概要

将来のモバイルネットワークは、収容するトラフィックの増加や、IoT を始めとして収容端末の拡大が見込まれるため、社会インフラとしての重要性がこれまで以上に高まる。従って、災害時の輻輳や障害に対して強靭なネットワークであることがこれまで以上に求められる。既存のネットワークでは、災害発生時には集中するトラフィックに対し、ネットワークリソースの一時的な工面で対処することに留まっており、緊急時に必要なネットワークリソースを十分に確保できていない。将来のネットワークでは、迅速に増強することを可能とする等、根本的な対処を行う必要がある。

4.7.2 将来のシナリオ

災害耐性は、輻輳に関する耐性と、障害に関する耐性の両面から考えられる。

輻輳に関しては、[19]によれば、平成 23 年の東日本大震災時には携帯電話の音声通話に関し、通常の 50~60 倍のトラフィックが発生した。広域にまたがった基地局からのサービス要求の集中により、ネットワーク処理資源が不足し、輻輳が発生した。そのため、通信事業者は、80~95%の通信規制を実施した。ユーザの音声通信は、極度につながりにくくなり、被災地においては、音声がつながるまで平均 12 回程度、繋がらずにあきらめるまでに平均 14 回程度発信したとの調査結果がある（[20] 第 2 章 地震・津波被害と情報行動）。

障害、つまり、網機能の損傷による予期せぬ通信処理の途絶については、地震や津波の影響により、通信ビル内の設備の倒壊・水没・流失、地下ケーブルや管路等の断裂・損壊、電柱の倒壊、架空ケーブルの損壊、携帯電話基地局の倒壊・流失などにより、甚大な被害が発生した（参考：[19]）。

災害耐性に関する将来のシナリオとして特定の数値目標レベルが共有されているわけではないが、上述の東日本大震災を教訓とした情報通信ネットワークの更なる強靱化が、行政、ユーザ双方より求められている。

4.7.3 現在のネットワークの技術課題

4.7.3.1 コアネットワーク

輻輳に関しては以下のように考えられる。

既存のネットワーク

災害時（あるいは年末年始など公共のイベントの際）には、移動通信事業者は一般的に、ネットワーク機能を維持し重要な通信（優先呼、緊急呼など）を疎通させるため、他のそれほど重要でない通信の疎通を犠牲にしてネットワークリソースを確保してきた。ここでネットワークリソースとは、RACH の容量、ネットワークノードの信号処理能力を想定している。

具体的には、RACH の容量を考慮すべきであると共に、信号を reject するのにネットワークノードの処理能力が使われてしまうことを考慮し、そもそも端末から発呼させないという「アクセス規制メカニズム」を主に採用してきた。これは、基地局が端末への報知情報に必要な情報を加えることにより、端末で起動される。

様々なユースケースに応じ、様々なアクセス規制メカニズムが検討されてきた。大きく分けて、端末単位のアクセス規制メカニズムと、呼種毎のアクセス規制メカニズムがある。既存のメカニズムでは、前者として、全端末に順に規制をかけるもの、MTC 用端末のみに規制をかけるもの、がある。後者として、音声のみ規制をかけるもの、音声以外のみ規制をかけるすなわち音声のみ疎通させるもの、アプリケーション単位で特定の発呼だけ疎通させるものがある。（これは、災害伝言板、および、災害用音声お届けサービスだけ疎通させる、という使い方が考えられている。）

将来も既存のネットワーク機能に依存し続けた場合の課題

既存のネットワーク機能では、大規模災害時にも、利用可能なネットワークリソースをやりくりして対応しているだけであり、リソースを増やすという処理集中に対する根本的な対応が出来ていない。将来何らかの新機能を導入しないならば、ユーザの通信は犠牲となり続ける。

ただ、ここで、大規模災害発生時に、ネットワーク処理資源を補充することができれば、より多くのトラフィックを疎通させることができる。平成 23 年度に NTT ドコモ他が総務省から受託した、「大規模災害時における移動通信ネットワーク動的制御技術の研究開発」における、大規模災害を想定した仮想化技術の実証実験において、EPC リソースを 30 分以内に 5 倍に増加させることにより、呼の疎通率を 20 回に 1 回から、4 回に 1 回つながるまでに改善することを確認している（[21]参照）。（注：再呼の影響を排除した設定で実験した。）

更に、資源補充を短時間で行うことによって、生じていた再呼を無くし、輻輳の収束時間をより短くすることが期待される。ユーザの安否確認によってトラフィックが増加し始めるのが、災害が発生してから5分後程度であり、再呼をさけるためには、速やかなネットワーク処理資源の補強が望まれる。

以上のことから、5分程度で速やかにネットワーク処理資源を増強することが将来に向けた課題となる。また、その実現には、再アタッチ等を生じさせるような、輻輳ノードに更に影響を与えてしまう手順は避けるべきである。

障害に関しては以下のように考えられる。

既存のネットワーク

呼の状態管理と呼の処理とが単一の物理ノードの中で密接不可分に実装されているため、当該ノードで障害が起こると、関係する呼は全て中断してしまう。

将来も既存のネットワーク機能に依存し続けた場合の課題

呼の状態管理と呼の処理とを別々の物理ノードで行い、呼の状態管理を行うノードのみの障害耐性を特別に高めることで、網全体の障害耐性を向上できる可能性がある。

4.7.3.2 モバイルバックホール／モバイルフロントホール

基地局ダウン時等のバックホールノードの変更、トポロジ変更柔軟かつ動的に対応し、通信回線を確保可能な信頼性の高いネットワーク構築が必要となる。

4.7.4 将来のネットワークへの要求条件

システムは、要求に応じた円滑なリソース再配置を、5-30分間に、WANでつながった複数ノード間で、隣接ノードの設定変更なく、ユーザのサービス断なく、行えるべきである。

システムは、呼状態管理と呼処理を別ノードで行えるべきである。

4.8 端末/トラフィック/事業者等の種別の広がり

4.8.1 概要

将来モバイルネットワークでは、これまでのモバイルネットワークよりさらに社会に浸透することが予想される。これまでのフィーチャーフォンやスマートフォンなど人が利用することを前提とした端末だけではなく、機器に組み込まれることを前提した端末が多数出現することが予想され、様々な要件が出現する。それに伴い、トラフィックパターンも異なる可能性がある。通信のエンドポイントが人ではなく、機械(Machine)となり、M2M通信向けの端末が爆発的に増えることが予想される。さらにM2Mで行われる情報のやりとりはこれまでのIPネットワークでのサーバクライアント間のデータのやりとりとは大きく異なるトラフィックパターンを持つことが予想される。さらに、多様な事業者がモバイルネットワークを運用することが予想される。このように、端末要件やトラフィックパターンの多様化、モバイルネットワーク事業者の多様化により、ネットワークに新しい課題が出現する。

4.8.2 将来のシナリオ

人が利用する従来型のモバイル端末トラフィックについては、高精細大画面と撮影機能を備えた端末の普及に伴い各種コンテンツの動画メディア化や、OTTサービスの拡大が進み、動画トラフィックが増加する。また、M2M端末の普及が進み、M2M端末によるトラフィックが急増することが予想される。

M2M 端末は一般的にセンサーネットワークのような接続形態が想定され、生産施設、ライフライン、ビルや住宅、家電、自動販売機、重機等の管理・監視、遠隔制御等のユースケースが予想される。デバイスの移動性は比較的強く、個々のトラフィック発生頻度・データ量共に小さいのが特徴であるが、単位面積当たりの端末接続数は非常に多くなる。2020 年以降、M2M を包含し IoT、IoE への進展に伴い、収容する端末、アプリケーションはさらに多様化し、また MVNO としてのモバイルサービスへの参入者が増加すると見られる。

4.8.3 現在のネットワークの技術課題

4.8.3.1 コアネットワーク

要件の異なる端末、トラフィックの収容

M2M 端末については、スマートメータ等のユースケースでは、ユーザが充電や電池交換を意識せず長時間デバイスを動作させる使い方が想定され、内蔵電源のみで 10 年間のバッテリー駆動といった要件があり、ほとんどの時間をスリープモードで運用する。3GPP では、[22], [23]において PSM が規定されているが、こうした M2M 端末は網から呼び出せなくなるため、緊急時等必要な時に迅速に網から呼び出せるようモード変更に対応させることと、バッテリー長寿命化の両立が課題となる。また、こうした M2M 端末は移動性が少ないユースケース前提であるが、IoT のようにあらゆる物が通信するケースでは、ウェアラブル端末や、ペットに通信モジュールを装着したり、物流貨物への搭載や車両にモジュールが内蔵されることが想定され、前述した M2M デバイスの要件に加え、高移動性のサポートも追加要件となる等、ユースケース毎に最適化が必要となる。

また、数が多い M2M 端末の効率的な収容のため、通常のモバイル端末とは異なる、M2M 端末のグループ単位でのポリシー制御やアドレッシング等が必要と考えられ、3GPP で関連するスタディが行われている ([24]参照)。

M2M 端末のトラフィックパターンとしては、C-plane トラフィックが U-plane より相対的に多く、通常のモバイル端末トラフィックを収容する目的で構築されている既存のコアネットワークに混在させて収容することは効率が悪い。また、トラフィック当りのデータ容量が少ない M2M 端末に対し、事業者が請求できる利用料は、通常のモバイル端末に比べて極めて低くなり、事業者の収益を圧迫する可能性がある。さらに、通常のモバイル端末においても、各種コンテンツの動画メディア化の他、触覚通信、AR 等を利用した新サービス、アプリケーションにより、トラフィックパターンが大きく異なってくる可能性もある。このため根本的に設計思想を異にした別ネットワーク構成とすべきだが、設備投資が過大となることが課題となる。

NW 機能開放の柔軟性向上

M2M/IoT を含むアプリケーションの多様化に伴い、より利用者の利便性を高めるため MVNO の増加が予想される。MVNO に対し、必要なコアネットワーク機能、十分なリソースを開放するため、ネットワークの柔軟性が必要となる。また、多くの開放要求を満たす中で、MVNO 個々に機能要求の多様性が出て来るため、新たな機能要求を満たすための拡張性が必要となる。

4.8.4 将来のネットワークへの要求条件

動画等の大容量トラフィックが増加する一方、M2M/IoT のトラフィック増加、MVNO の増加に対応するため、端末/トラフィック/事業者別の特性に応じ必要な機能、ネットワークリソースを論理的に構成可能なネットワーク仮想化基盤を提供する必要がある。ITU-T 勧告[25]では、ネットワークリソースを仮想化し多様なサービスに応じ論理的に仮想ネットワークを構成する LINP ((Logically Isolated Network Partitions) のコンセプトが定義されており、前述の各課題の解決のために有効なフレームワークを提示している。

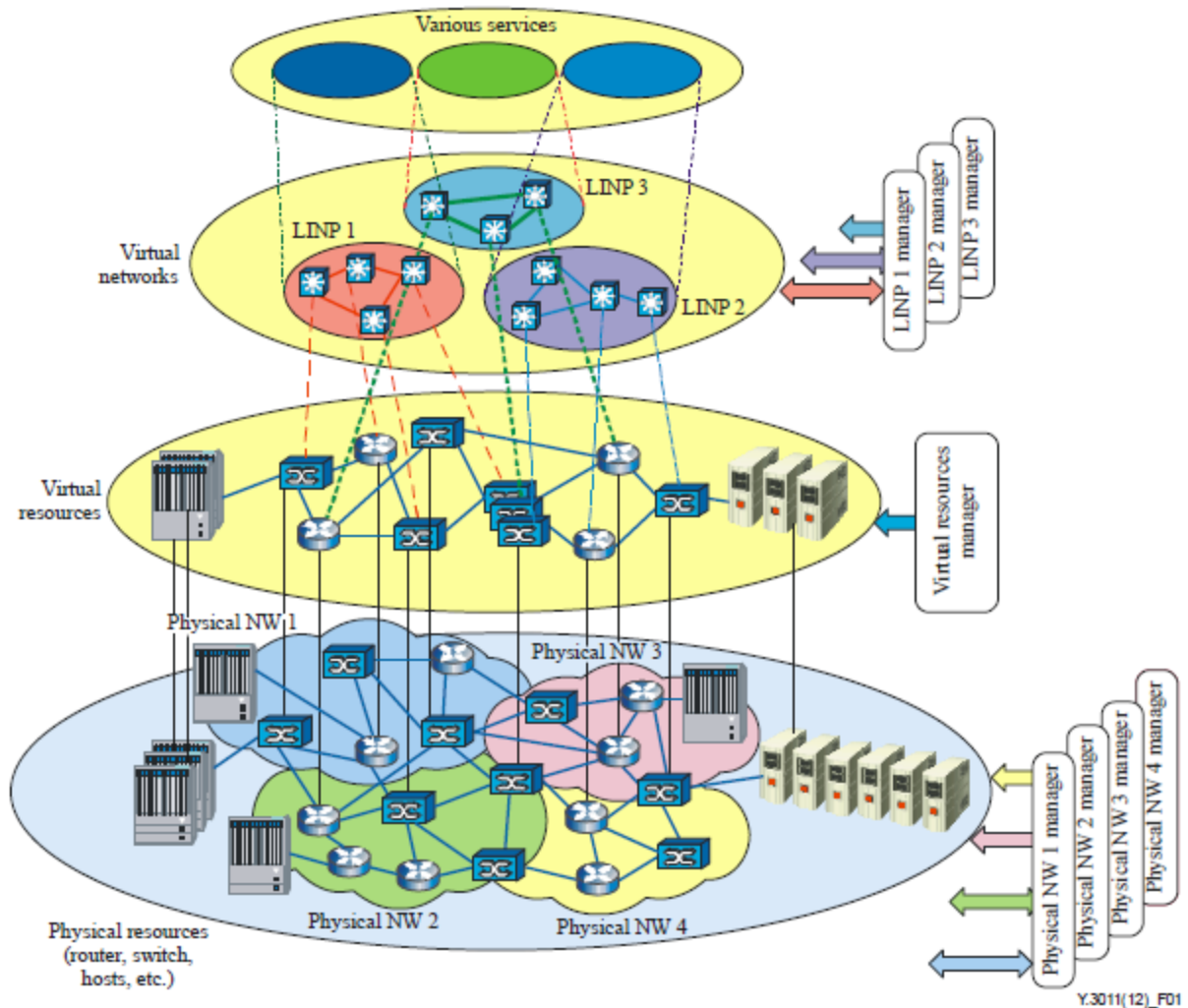


Figure.4.8.4-1 ネットワーク仮想化の概念的アーキテクチャ

(出典：[25])

4.9 他 RAT 連携

4.9.1 概要

将来のモバイルネットワークでは、周波数リソースが有限であること、および単位面積あたりのセル数が増加することでMNOにとってのコスト負担が増すことから、既存RATのセルや、無線LANを統合して使用するMulti-RAT環境となることが予想される。そのため、異なるRATを統合して管理し効率化を図るとともに、多様な特性を持つRATで構成されたヘテロジニアスネットワークにおけるユーザのQoE向上のため、最適セル選択のネットワーク側からのサポートが必要となる。また、各RATの収容ネットワークが単一のモバイルネットワークとは限らないため、インターネットを介した通信連携も重要な課題となる。

4.9.2 将来のシナリオ

現状の1,000倍のトラフィック収容を実現するためには、周波数利用効率 (bps/Hz/cell)、周波数帯域幅 (Hz)、単位面積あたりのセル数 (cell/km²) の各要素を、例えばそれぞれ10倍にすることが必要となる。このうち、周波数帯域幅について、2014年現在、携帯電話等に割り当てられている帯域は約610MHz、無線LAN用の周波数帯は約350MHz幅であり、合計960MHz幅である。[26]によれば、6GHz帯以下の周波

数でモバイルでの利用対象となる 2900 MHz 幅のうち、2020 年代には無線 LAN を含めて 2700 MHz の割当が総務省の目標として示されている (Figure. 4.9.2-1) ことから、約 3 倍程度の周波数拡大は、無線 LAN を合わせた形で見込むことができる。その上で不足する周波数帯域幅については、6 GHz 帯以上の高周波帯の活用が見込まれている。従って、将来のモバイルネットワークでの周波数帯域幅の目標達成のためには、単一の RAT に割当られた周波数帯域だけでは困難であり、無線 LAN の帯域幅、および 6 GHz 以上の帯域での新 RAT を統合的に活用していくことが必要となる。

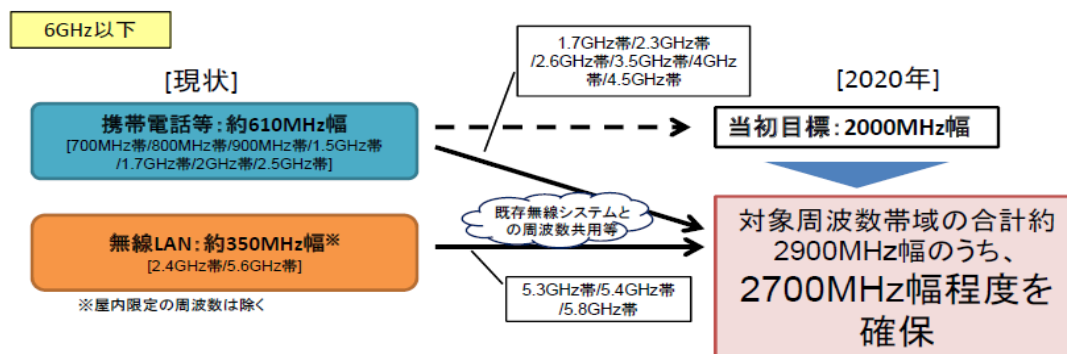


Figure.4.9.2-1 日本の周波数の割当状況、計画

(出典：[26])

また、単位面積あたりのセル数に関して、小セル化によるセル数の増大は MBH/MFH、基地局に関わる CAPEX/OPEX の増大を招くため、モバイルオペレータにとってコストの課題が生じる。将来のモバイルネットワークのために既設のセルを全て更改することはコスト負担的にも現実的ではないため、既存の RAT (LTE 等) や、無線 LAN のセルを活用しながら、ヘテロジーニアスネットワーク環境を構築していくことが必要となり、Multi-RAT 連携が必要となる。

4.9.3 現在のネットワークの技術課題

4.9.3.1 コアネットワーク

現在でも都市部等のトラフィックが逼迫する領域において、無線 LAN オフロードが積極的に行われており、最適 RAT 選択や無線 LAN とモバイルのシームレス接続等の RAT 連携が実現されている。無線 LAN とモバイルの連携の内容は、具体的には Figure.4.9.3.1-1 に示すように、連携のレイヤにより異なり、ネットワークとしてタイトに連携するものから、ネットワークにインパクトが薄い疎な連携まで様々であり、3GPP 等で連携技術が各種標準化され、実用化されている。

Multi-RAT 連携の対象となるセルとしては、Table.4.9.3.1-1 に示すように、セルラ技術と、IEEE 802.11 の無線 LAN 技術のセルに大別され、それぞれ技術の進展、周波数帯の拡大により、将来のモバイルネットワークにおいて連携するセルの種類は増加する。ここで挙げた RAT 以外にも、将来的には、例えば IoT 端末の収容のため、センサーネットワーク系 RAT も統合するなどの発展も考えられる。基本的には既存連携技術は将来のモバイルネットワークであっても適用可能であるが、将来のモバイルネットワークでの Multi-RAT 環境では、従来よりも連携するセルの属性の多様性が増加することが特徴的な変化として挙げられる。周波数帯はミリ波等の高周波帯のセルの活用が考えられることから、従来よりも狭小・高速のセルがヘテロジーニアスネットワークに組み込まれる。また、各 RAT のオペレータも単一であるとは限らず、バックホール回線の品質や、提供されるサービスもセルによって異なる可能性もある。更に、将来のモバイルネットワークでは超低遅延性のような新たな要件が定義されるが、全てのセルで実現できるとは限らないため、要件を満足するセルと満足できないセルが混在する可能性がある。以上のような RAT の多様性の増加により、ネットワークアーキテクチャに新たな機能が必要となる。具体的には Multi-RAT の統合管理機能や、最適 RAT 選択のサポート機能の具備が挙げられる。

以上では、主にモバイルネットワーク内での RAT 連携について述べた。しかし、今後、モバイルネットワーク外、すなわち、インターネットに接続される端末やサーバとの通信に対する要求も増す。端末やサーバのモビリティに対する追従性、たとえば、シームレスな移動を担保しつつ、通信遅延短縮や通信容量増大という品質向上を図るために、モバイルネットワークとインターネットの接続も含めた通信連携が必要となる。その際、以下の課題解決が重要である。

- 高信頼シームレスハンドオーバー：インターネットとの接続点が特定の箇所に限定されることで起きる障害範囲と通信遅延の増大の解消
- シームレスアクセス：IoT 端末など、従来のモバイル端末と異なる OSI7 階層モデルの第 3 層や第 2 層の通信方式を介したアクセスの実現
- 異種 RAT 間集約：リンクアグリゲーション（例：3GPP における Carrier Aggregation, Dual Connectivity([27]参照)）やマルチパス通信（例：MPTCP）に異種 RAT 間適用や通信速度の向上

他にも、モバイルネットワーク内と同様に、通信中のネットワークトラフィック変動に応じた RAT 選択変更、アプリケーションに応じた RAT 選択などは、インターネットを介したモバイル通信連携においても解決が必要となる。

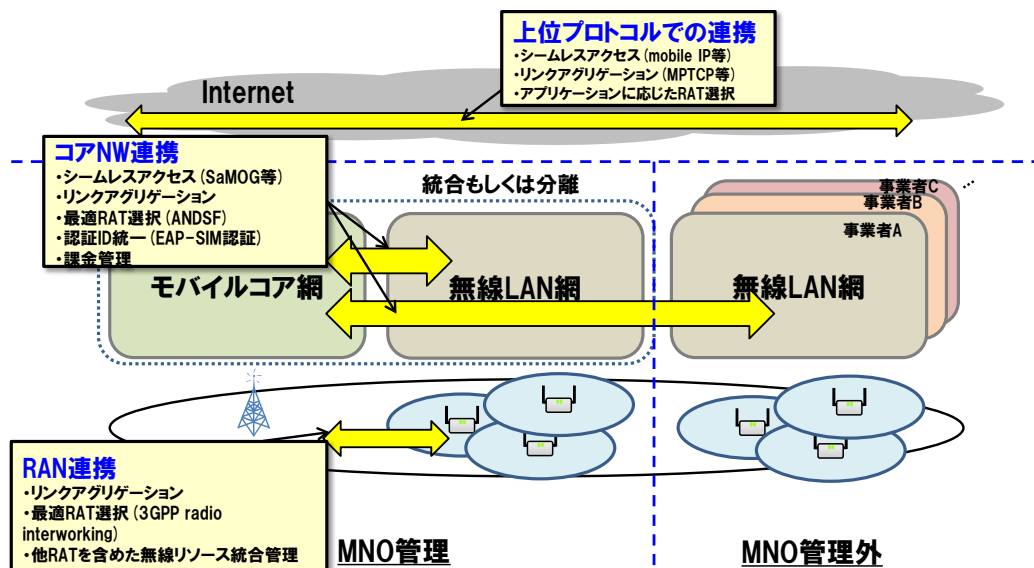


Figure.4.9.3.1-1 モバイルと無線 LAN の連携

Table.4.9.3.1-1 Multi-RAT 連携の主な対象

分類		RAT	周波数帯	セル半径	速度
セルラ	ライセンスバンド	LTE/LTE-A	<3GHz	数十 m～ ～数十 km	<3Gbps
			3.5GHz	数十 m～数百 m	
		5G	<6GHz,	T. B. D.	最大 10Gbps
			>6GHz(ミリ波等)	T. B. D.	
無線 LAN	アンライセンスバンド	LTE-U(LAA)	5GHz 帯有力	数十～100m 程度	T. B. D.
		IEEE 802.11 a/b/g/n/ac (Wi-Fi)	2.4GHz, 5GHz,	数十～100m 程度	数 Mbps～6.9Gbps
		IEEE 802.11ad (WiGig)	60GHz	10m 程度	数 Mbps～6.9Gbps
		IEEE 802.11ax	2.4GHz, 5GHz	T. B. D.	T. B. D.
		IEEE 802.11ah	<1GHz	T. B. D.	T. B. D.

4.9.4 将来のネットワークへの要求条件

4.9.4.1 Multi-RAT の統合管理

モバイルオペレータは多様な RAT のセルを管理する必要があり、効率的に管理するとともにリソースを最大限に生かすためには、Multi-RAT を統合管理する機能の具備が必要である。統合的な管理には大きく (a)RAT 間のインターフェース変換、(b)RAT 間の協調伝送・負荷分散の実現に分けられる (Figure. 4.9.4.1-1)。

(a)RAT 間インターフェースの変換は、モバイルコアネットワークに対して、5G 時代の RAT だけでなく、IMT-2000 等の既存 RAT、および無線 LAN 等の他 RAT を、統一したインターフェースで収容できることが、コアネットワーク設備管理のシンプル化の観点から望ましい。また、将来的に新たに登場する柔軟な拡張性を持ったインターフェースであることが望まれる。

(b)RAT 間協調伝送・負荷分散は、重複したカバーエリアにおける RAT 間協調伝送(例えば無線 LAN の相互干渉のモバイル側からの制御による改善)、MAC 層レベルでの RAT 間協調スケジューリング等や、複数の RAT 間の負荷分散が考えられ、単に RAT を独立に配備する以上の収容能力を実現するものである。協調の内容に応じて、基地局間接続を考慮したアーキテクチャが必要となる。

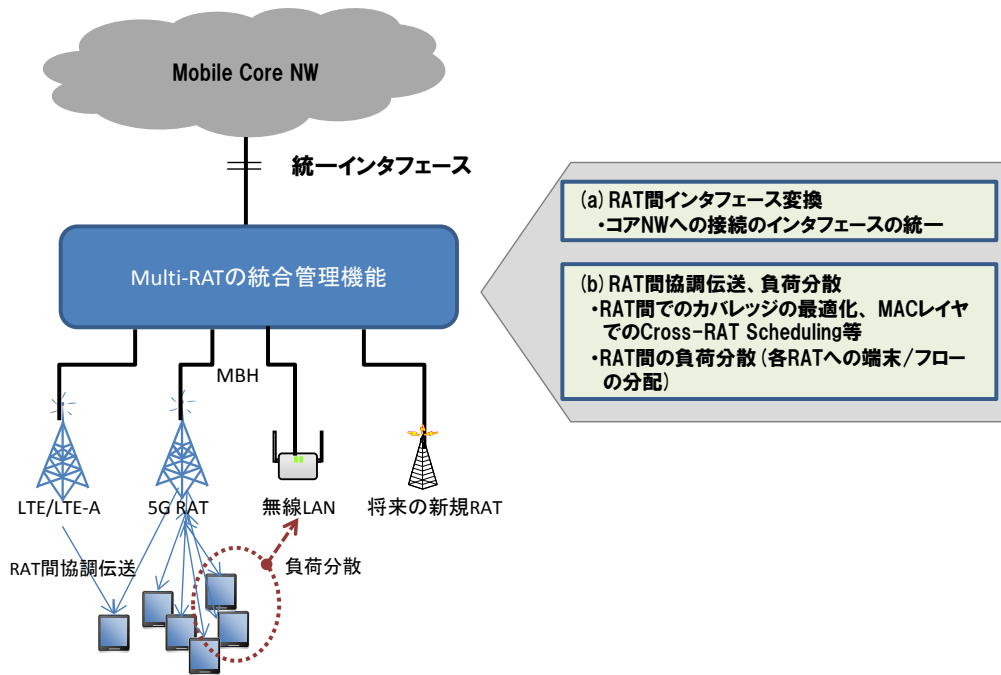


Figure.4.9.4.1-1 Multi-RAT の統合管理

4.9.4.2 最適 RAT 選択のサポート

多種多様な RAT を渡り歩くヘテロジニアスネットワーク環境でのユーザの QoE を最大化するためには、多様な RAT の最適な利用のサポート機能をネットワークに具備することが必要である。これまでは無線 LAN とモバイルの選択程度で十分であり、基本的には無線 LAN の方が高速・安価であったため無線 LAN 優先の選択で概ね満足のいく選択が可能であったが、将来のモバイルネットワークでは、小セル化によりセル間のハンドオーバー頻度は増加し、セルの属性が多様化するため、アプリケーションの特性に応じて使用するセルを高速かつ最適に判断できるようにする必要がある。このため、端末主導もしくはネットワーク主導での RAT 選択のためには、無線品質、無線リソースの使用率、バックホール回線の帯域・品質、提供されるサービス等の情報をネットワーク側で収集し、端末に対して RAT 選択のための情報もしくは RAT 選択の指示を通知する手段が有効であると考えられる。従来技術でも例えば無線 LAN におけるビーコン信号や ANQP ([28]参照) によるネットワーク情報の取得、あるいは 3GPP 技術である ANDSF ([29]参照) によるネットワーク選択ポリシーの配信等、各 RAT 毎に情報の提供や NW 選択ポリシー配信手段が用意されているが、将来のモバイルネットワークでは RAT 間での統一的な手段、統一的な基準での端末への情報提供手段およびネットワークからの RAT 選択の制御手段を定めることが、Multi-RAT の効率利用と高い拡張性を実現すると考えられる (Figure. 4.9.4.2-1)。このための RAT 間をまたがった標準化が重要となる。

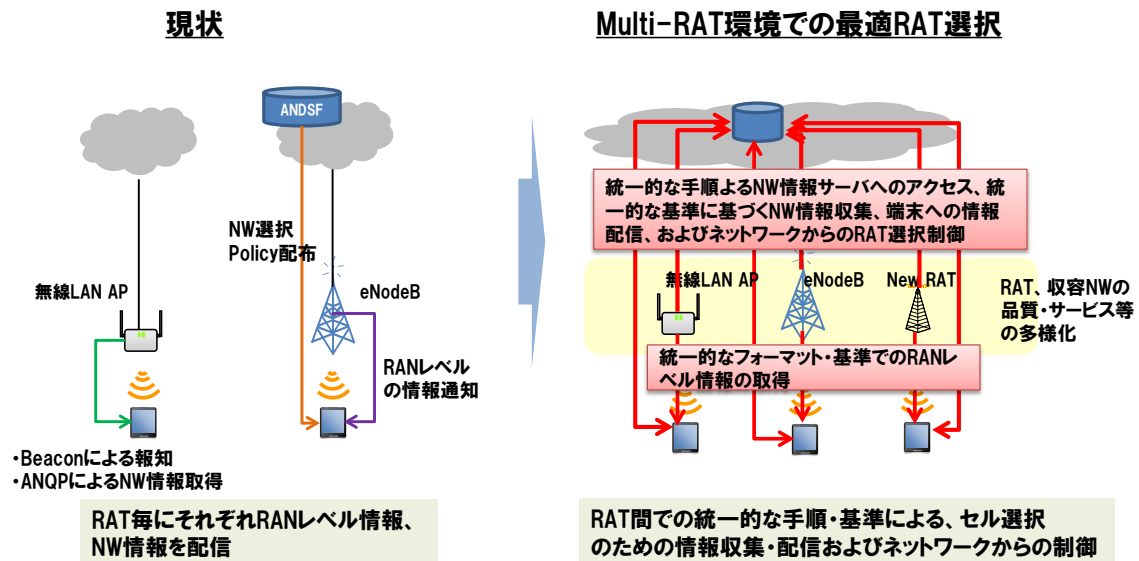


Figure.4.9.4.2-1 Multi-RAT の選択のサポート

4.9.4.3 インターネットを介した通信連携

ここでは、インターネットを含めたシームレスな移動を担保しつつ、アプリケーションに対する通信遅延短縮や通信容量増大という品質向上を図るために、高信頼シームレスハンドオーバーと異種 RAT 間集約に関してモバイルネットワークの RAT とインターネットが通信連携するための要求条件を記す。

- 高信頼シームレスハンドオーバー：インターネットとの接続点が特定の箇所に限定されることで起きる障害に対する耐性の課題と、通信遅延の増大を解消する。端末のモバイルネットワーク内の他 RAT への移動においては、ネットワーク側の LMA と RAT 側の MAG との連携によりすでにシームレスな通信が可能となっている。しかしながら、インターネットとの接続において、端末が上流で接続される LMA やその近傍で障害があると、すでにあるインターネットとの接続性は失われる。また、端末が異なる LMA に属する RAT に移動したり、インターネット側の通信相手が該当 LMA と離れたネットワークに移動したりすると遅延が増大する。これらの問題を解決する LMA の変更を含めたネットワークと複数 RAT との連携によるシームレスハンドオーバー機能が必要である。
- 異種 RAT 間集約：Multi-RAT 利用のリンク集約や複数パス通信というモバイルネットワーク内の連携に加え、インターネット回線を含めた複数パス利用による通信品質向上が要求される。先に述べたバックホール側の品質をネットワークから通知するのと同様、インターネット接続点の品質をネットワーク側から通知したり、端末側から品質を通知したりするなどの仕組みが考えられる。

4.10 セキュリティ

4.10.1 概要

将来ネットワークにおいてセキュリティはますます重要な位置づけになることが予想される。ネットワークの構築にあたっては、設計段階からセキュリティを考慮する「セキュリティ・バイ・デザイン」という考え方が重要になる。また、これまでのネットワークと大きく異なる点として、ネットワークおよび計算機資源の仮想化を考慮する必要がある。このような仮想化によっていくつかのセキュリティ課題が解消することが見込まれる反面、新たなセキュリティ課題が発生してくる可能性がある。本節では、セキュリティに関する将来シナリオ・課題および提言を行う。

4.10.2 将来シナリオ

将来、モバイルネットワークはさらに重要な社会基盤のひとつとなって、人々の生活が大きく依存することになると予想される。そして、この基盤への依存度が高まるにつれて、この基盤を狙ったサイバー攻撃の複雑化・巧妙化も同時に進むと考えられる。また、モバイルネットワークは、ネットワークおよび計算機資源のさらなる高可用性・高効率性・柔軟性を目指して、SDNのようなネットワーク仮想化技術やハードウェア仮想化技術さらにNFVのようなネットワーク機能仮想化技術が前提となると考えられる。SDN/NFVの導入に当たって、以下のセキュリティ課題を検討する必要がある。

4.10.3 現在のネットワークの技術課題

4.10.3.1 ネットワーク・ハードウェア仮想化におけるセキュリティ課題

ネットワーク・ハードウェア仮想化技術は、あらたに制御層を導入することによって、ネットワークや計算機を抽象的に取り扱えることができ、柔軟なネットワーク・計算機資源の管理が実現できる。このことによって、これまでのセキュリティ上の課題のいくつかが解決されることが期待できるが、あらたな脅威も同時に考慮しておく必要がある。つまり、新たに導入された制御層が正常に機能している限りセキュリティ強化につながるが、万が一攻撃者に攻略されてしまうと甚大な被害につながる可能性がある。したがって、SDNコントローラ、NFVにおけるオーケストレーター、仮想マシンにおけるハイパーバイザーもしくはVMMのセキュリティを担保することが重要になる。

4.10.3.2 マルチテナント・オペレータ・アドミニストレータ環境におけるセキュリティ課題

NFV環境では、汎用的なインフラストラクチャNFVI提供者を前提とする。このNFVIには、複数のIaaS事業者、NaaS事業者、PaaS事業者を組み合わせることが想定されている。具体例としては、NMOのインフラストラクチャを借り受けてサービスを提供するMVNOが考えられる。MVNOは、現在のようなネットワークだけを提供するサービス形態から、上位サービスとの連携など様々な組み合わせに発展していくことが考えられる。このような環境の中は、ネットワークインフラストラクチャサービスを垂直統合してサービス提供していた現在のネットワークと大きく前提が異なってくる。つまり、ネットワークとサービスの提供事業者が異なっているため、それらのオペレータ・アドミニストレータも異なるという状況が頻繁に発生する。そのような複数の管理者が存在する場合には、管理者間の相互認証、権限委譲を円滑かつ安全に実施する必要がある。

4.10.3.3 構成の複雑化によるセキュリティ課題

ネットワーク・ハードウェア仮想化環境では、物理構成と論理構成が一对一に対応していないため、これまでのような運用者が図面を作成して・目視確認することが困難になることが考えられる。このような状況を解決するために、コンピュータによる支援を前提とした運用、ネットワーク・マシンの構成自動化、サービス構成の自動検証といった技術が導入されると考えられる。これにマルチオペレータ・アドミニストレータの課題が加わると、課題がさらに複雑になってしまう。例えば、全体としての本来の意図と異なる構成が生成されてしまったり、悪意のあるテナントによるサイバー攻撃が可能になってしまったりする可能性がある。

4.10.4 課題解決に向けて

このような課題を解決するためには、個別に行われてきたアカウント・マシン・システムのセキュリティ管理を連結して、全体としてのセキュリティを担保する技術が要求される。まず、計算機資源のセキュリティ確保のためには、耐タンパデバイスを信頼の起点とするセキュアブートを前提にする必要がある。そして、

そのセキュリティ状態を次の起点としてハイパーバイザーをセキュアにブートし、さらに VNF まで信頼の連鎖をつなげる。また、起動した後に攻撃を受ける可能性があるため、定期的に安全性を検証する（アステーション）技術が必要になる。このアステーションを利用したセキュリティ連鎖の確保には、ホスト内部からだけでなく遠隔からの検証（リモートアステーション）も必須である。さらに、複数のハイパーバイザーの間のセキュリティ連携によるオーケストレーターとしてのセキュリティ担保、複数のオーケストレーターの連携によるセキュリティ担保というような連鎖が必要となってくる。以下に具体的なセキュリティ課題を列挙する。

- 信頼連鎖・関係構築技術およびその基礎となるセキュアブート、リモートアステーション
- 同一のポリシーをもったトラストドメインの規定
- トラストドメインの間の情報共有および信頼関係の構築

4.11 ネットオペレーション

4.11.1 概要

モバイルネットワークの高速、大容量、低遅延化が進むに伴い、ネットオペレーションにも大きな変革や新たな対処が求められる。

移動体通信においては、フィーチャーフォンから、より高機能・高性能なスマートフォンへの移行が進み、その上で動作するアプリケーション開発のハードルが下がったことも相まって、流通するアプリケーションの数が増えている。また、MVNO 事業の拡大や IoT、M2M 通信の増加も予想されており、その結果として次々と多種多様な新機能・新サービスが誕生することとなり、通信サービス提供における競争も激化し始めている。今後、無線技術の高度化・高速化に合わせて、更に端末の高機能化・高性能化が進むことが予想され、新機能・新サービスを如何に迅速に提供できるかが鍵となってくる。

また、ネットワークの高性能化に加えて、社会インフラとして果たすべき高信頼性も求められることとなり、サービスダウンタイムを無くす等の取り組みも必須となる。さらには、そのような高性能、高信頼の将来モバイルネットワークサービス提供を低コストで実現することも重要となってくる。

4.11.2 ネット管理に関する将来シナリオ

将来のモバイルネットワークを構築する有望な技術の一つとして、ネットワーク観点では仮想化技術が近年注目されつつある。これは、仮想化されたネットワーク機能をサーバ上のアプリケーションとして論理的、且つ動的に構成して活性化するものである。これには、アプリケーションからインフラまでが、

- 機能の部品化/仮想化、及び組み合わせ
- 標準化された技術、オープンな技術の活用
- デプロイメントの簡素化/自動化
- 統合管理による運用の省力化

などをサポートすることによって実現される。

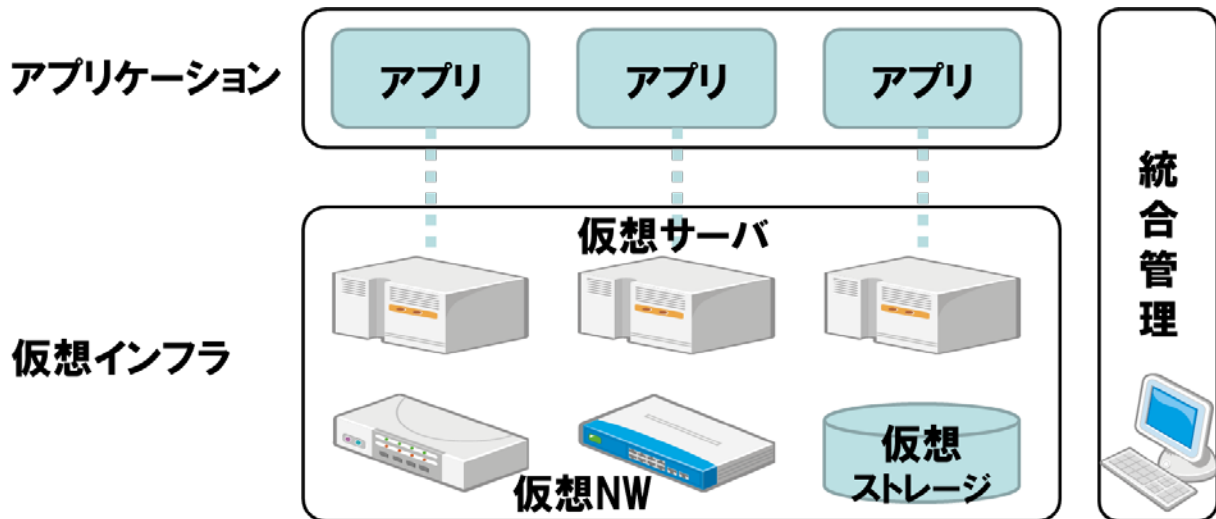


Figure.4.11.2-1 ネットワーク仮想化のイメージ図

このネットワーク仮想化技術の導入によって、次のような効果を期待することができる。

- 期間の観点でオーバーヘッドとなる物理的な工事を減らす、あるいは無くすることができる。
- 開発環境と商用環境の差異を最小化しやすいことにより、試験期間が短縮できる。
- 逐次の機能追加／不具合対処のようなアジャイル開発による期間短縮も期待できる。
- 新サービスの普及度合いに応じて動的、且つ論理的にリソースが追加できる。
- 新サービスが当たらなければ規模を縮小、あるいは止めて、リソースを他サービスに再利用できる。

これらにより、新機能・新サービスがより迅速に提供できるような環境が整っていくことが期待される。

ネットワーク仮想化技術は同時に、ネットワーク機能のソフトウェア化とハードウェアの汎用化の側面から、コスト削減にも有効と期待される。また、ネットワーク機能のソフトウェア化は網オペレーションの自動化の効果も期待でき、OPEXの低減とヒューマンエラーの回避にも有効である。

以上のことから、将来的なモバイルネットワークのオペレーションについては、迅速性とダウンタイムゼロ化、新機能実現、コスト面、及び自動化と柔軟かつ簡素なオペレーションといったそれぞれの課題が想定される。以下に各課題についての詳細について述べる。

4.11.3 迅速性についての課題

新機能・新サービス提供の迅速性確保

これまで新機能・新サービスを提供する際は、一般的には移動機上のアプリケーション開発（機能・サービスによっては不要）に加え、ネットワーク側においてもそれに必要な設備の調達や物理的な工事を実施することで提供されてきた。しかしながら、ネットワーク側で新機能・新サービスの提供を司るアプリケーションにおいても、多くの場合、その実行のために特定の環境（ハードウェアやネットワークを始めとしたインフラ）を必要とするなど、アプリケーションとインフラの間の依存度が高く、あらかじめ工事に要する期間（以降、工期）がかかるインフラを独立して整備しておくということが難しかった。そのため、この工期が迅速な新機能・新サービス提供を阻んできた。ネットワークの仮想化は、この依存度を下げて汎用的な共

通化されたインフラ整備を可能にすることで、工期の短縮にもつながる技術としても近年注目されており、本ホワイトペーパーの他章で触れられているように、様々な標準化団体において検討が進められている。

サービスダウンタイムゼロ化

HW 障害に対しては、基本的には冗長構成を持たせる手法を取らざるを得ない。

二重化システムの場合には一たび HW 障害が発生した場合には、片系運用状態となることから、片系運用状態での信頼性確保が課題となる。

又、NW が仮想環境である場合には、LB 構成による N 分散構成、又は片系障害時に自動的に新しい SBY を増設するシナリオが必要となる。

本機能は NFV におけるオートヒール機能として検討されており、本機能の拡充・採用が今後の検討課題となる。

尚、障害（特にアタッチバースト等における障害時）後の復旧においては、現状のバースト耐久性は、MME、S/P-GW、AAA、Diameter 等関連ノードの内、最も性能の低いノードに依存しており、障害後の一斉接続に時間を要する課題がある。これを仮想化により柔軟・動的に CPU リソース割り当てを行うとで、従来よりも一桁又は二桁復旧能力を向上させることが望まれる。

本機能は NFV におけるオートスケール機能として検討されており、本機能によるオートスケール、リソース平準化、リソース入れ替え等の拡充・採用が今後の検討課題となる。

尚、障害個所を素早く識別可能とするための Alarm Quality の向上も重要であり、問題個所の素早い特定とそれに続く復旧時間の短縮化・信頼性確保がコア NW 管理での重要課題である。

仮想化等による新機能の実現

NW に新機能を導入する場合におけるファイル更新に関しては、商用サービスに影響を及ぼさない範囲で行う（夜間での数ノード毎に更新等）ことが主流となっており、これを仮想化環境で NFV ファイル更新機能によりノード内トラフィックを動的に短時間に他ノードに移行することで、昼間帯も含めて実施することにより、インサービスファイル更新の自動化を図ることが期待されている。NW としては NFV オートテスト機能を実装し、ファイル更新の正常性確認の時間を短縮することが検討課題である。

尚、このほか OAM の IF として使用されている CORBA 等はシステム間依存性の強いプロトコルであり、実装する際に高コストとなるとともに OAM 標準化実装の弊害ともなっている。今後は OpenStack 等でも使われ業界標準になっている REST-IF のプロトコルを採用することも検討する必要がある。

尚、現在 3GPP における国際標準化においては、

- ① NFV に関しては Study Item として Technical Report を作成中であり、ETSI NFV、TMF、OPNFV と連携して検討を行っている。（アーキテクチャ、ユースケース、各ユースケースのプロシージャの議論が主）
- ② NFV 以外では、Alarm quality improvements としてアラーム定義の最適化による保守者不可の低減を図る Work Item、Application and Partitioning of Itf-N として現状の OAM 仕様から Requirement を再抽出し、規定の簡略化を図る Study Item が討議されている。

4.11.4 コスト面の課題

網管理のコスト増加の前提として、従来の中央集約的な運用管理アーキテクチャが挙げられる。

Figure.4.11.4-1 に示す様に、従来は通常、中央集権的な運用管理システムが、各種設備を遠隔から管理（FCAPS）する。ここで、多くのオリジナル情報は設備側が有するため、運用管理システムは、定期的なポーリングや設備からのイベント通知を通じて情報収集することとなる。

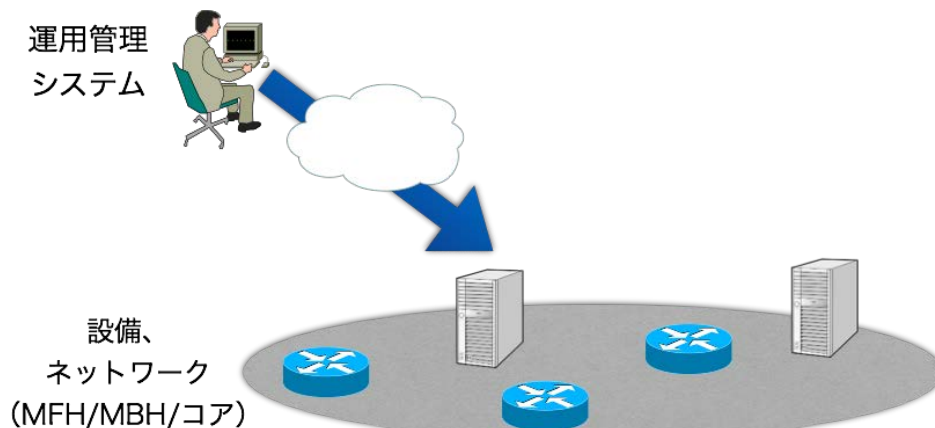


Figure.4.11.4-1 従来の中央集権的な網管理

網管理の CAPEX 削減

- ・ ネットワークサービスに求められる品質が厳格化する中、ネットワーク設備の種類や機能の複雑化と肥大化により運用管理情報は増加傾向にあり、従来の運用手法による品質の維持・向上が益々困難になることが予想される。ネットワークサービス品質を維持するため、運用管理システムの刷新や巨大化などにより対応することも想定され、運用システムコストが上がる懸念される。
- ・ CAPEX の増加要因
 - 監視、管理データの肥大化（関連するデータベースや運用管理システムの規模の増大）
 - 下記 OPEX 増加要因に伴う対応の一環によるシステム規模の増大や複雑化

網管理の OPEX 削減

- ・ HW の増設や変更に伴い迅速なソフトウェアの配置を可能とするマネジメントフレームワークによって網運用のコストを縮小させる（5GPPP の目標：20%以上削減）柔軟なシステム変更を可能とする網構成と運用管理システムとの組み合わせで取り組むものと思われる。
- ・ OPEX の増加要因
 - 網機能の複雑化に伴う、障害対応工数の増加、テスト環境での検証の困難化
 - 設備の汎用化に伴う信頼性の低下（故障率の増加）
 - 構成変更への要求頻度の増加（MVNO、XaaS）
 - データの多様性（M2M、IoT、Flash Crowd、Content (4K、8K)、Latency Sensitive）への対応

上記のコスト増加要因に関連する研究課題としては、従来型運用管理アーキテクチャによる（コスト）制約を低減する運用管理アーキテクチャが挙げられ、具体的には下記が検討すべき課題として挙げられる。

- ・ 運用管理機能（FCAPS）、および、係る運用データの配置方法（分散化など）
- ・ より高度な運用データ分析技術（スケール性の向上、予兆検知など）
- ・ より柔軟な構成変更やプログラム性の実現

4.11.5 柔軟かつ簡素化された網オペレーション

柔軟かつ迅速な網オペレーション

ネットワーク機能の向上や仮想化技術の導入に伴い、モバイルネットワーク設備の種類や機能は今後ますます複雑化、肥大化することが予想される。同時に MVNO の増大、IoT や M2M 分野の拡大に伴って、モバイルネットワークの利用形態が多様化し、利用者側からのサービス要求も多様化して、それらに柔軟かつ迅速に応えることが益々困難になることが予想される。そのようなネットワーク環境においては、[30]で示されるようにネットワーク資源を直接的にプログラムし、組み合わせ、制御、管理可能とする技術群の導入が必要になってくると思われる。

[31]によれば、特に仮想化 NW 技術を導入した際には、ソフトウェア化された NW 機能のライフサイクル管理や、保守者要求により迅速にサービススケールを変更できるような、ネットワークリソースの最適配置も重要になる。

ネットワークオペレーション自動化

将来モバイルネットワークの高速化、高性能化と高度な SLA 管理の必要性から、オペレーションの自動化も必須となってくる。

例えば ETSI NFV-ISG においては、[32], [33]によると、キャパシティ調整、ソフト更新、検出された障害対応についての自動化が要件として挙げられている。また、[34]によれば、**In-system network management** として、効率的に動作、維持が可能で、かつサービスや通信の増加をサポートできる管理機構の必要性がハイレベルな要求条件として規定されており、特に、管理データや情報を効率的かつ効果的に処理でき、これらの情報を関連する情報や知識に変換して管理者に届けられる機構が挙げられている。

以上のようなオペレーション自動化は OPEX 削減にも有効と想定される他、人的ミスが起きる余地の削減にも期待できる。

ネットワークプロトコル標準化

新たな標準化規定などによるネットワークプロトコル導入に際しては、既存設備で対応し続けることは難しく、新たなプロトコル標準の策定に加えて、対応する機器の開発、導入も課題になってくると想定される。将来的なモバイルネットワーキングについては、まだ各標準化団体で要求条件を策定している段階であり、必要なネットワークプロトコルの必要性については明確化されていないが、例えば IETF においては NW 仮想化技術を用いたオーバーレイ NW でのトンネリングプロトコルについて検討されている（参考：[35], [36]）。仮想化技術を用いた管理ポリシーの異なる NW の収容についても将来モバイルネットワーキングの要件の一つとなることが想定され、これらプロトコルの利用も有効になってくると考えられる。

5 要素技術のサーベイ

5.1 一般

国内外の次世代移動網に関わる研究活動や各種標準化団体の活動の調査と分析を行い、課題解決のための主要技術候補となる要素技術を抽出する。サーベイを実施した団体を Table.5.1-1 に示す。

Table.5.1-1 サーベイ実施団体名

章番号	技術分類	要素技術 (大項目)	要素技術 (小項目)	サーベイ団体等	
5.2.1	コア網システム技術	移動性/網アクセス管理技術	モビリティ管理	ITU-T	
			拡張識別子	ITU-T	
5.2.2		データ指向型ネットワークング技術		ITU-T	
				4G Americas NetWorld2020	
5.2.3		コンテキストアウェアネットワークング技術		4G Americas	
5.2.4		ユーザプロファイル管理技術	ユーザプロファイル管理	Wireless World Research Forum (WWRF)	
			端末仮想化	NetWorld2020	
5.2.5		エッジコンピューティング	モバイルエッジコンピューティング	ETSI ISG MEC	
5.3.1	SDN 技術	ネットワーク仮想化技術		ITU-T	
5.3.2		サービスチェイニング技術		IETF	
5.3.3		U/C 分離技術	I2RS, SDN		IETF
			SDN コントローラ		ONF
	EPC 仮想化技術		電子情報通信学会		
5.4.1	NFV 技術	スライシング技術		ITU-T	
5.4.2		オートスケールイン・アウト技術	オートスケールイン・アウト技術	ETSI ISG NFV	
			リソースの効率的運用	Wireless World Research Forum (WWRF)	
5.4.3		VM 間通信技術	NVO3, SDN	IETF	
5.4.4		XaaS 技術		ETSI ISG NFV	
5.4.5		MANO アーキテクチャ	仮想化ネットワーク管理		3GPP
			MANO (ライフサイクル管理)		ETSI ISG NFV
			MANO (リソース配備変更)		ETSI ISG NFV
5.4.6		オートヒーリング技術		ETSI ISG NFV	
5.4.7		サービスオーケストレーション技術	NW 仮想化、統合網管理		ITU-T
	サービスオーケストレーション技術		ITU-T		
	サービスオーケストレーション技術		ETSI ISG NFV		
5.4.8	SDN/NFV 融合技術	SDN/NFV 融合技術		IETF	
		SDN/NFV 融合技術		ARIB 2020 and Beyond AdHoc	
		セキュアブート、アテストーション、リモートアテストーション、トラストチェーン		ETSI	

5.5.1	MBH システム技術	高信頼化技術	キャリアグレード Ethernet 方式	MEF (Metro Ethernet Forum)
5.5.2		クロック同期技術	クロック分配方式 (UDWDM-OFDM 限定)	IEEE/OSA
5.6.1	MFH システム技術	C-RAN 伝送技術	MFH 伝送方式 (機能分岐点変更: レイヤ 1 処理を AP)	電子情報通信学会
			RU/DU の機能分割	NGMN
5.6.2		データ圧縮技術	無線データ動的圧縮技術	IEEE/OSA
5.6.3		TDM-PON 技術	帯域割当制御 (DBA:Dynamic Bandwidth Allocation)	IEEE/OSA
			帯域割当制御	IEEE ICC
			無線データ圧縮	IEEE ICC
			C-RAN 機能分割	IEEE ICC
5.7.1	光伝送技術	変調技術	DMT 方式	電子情報通信学会
			UDWDM-OFDM 方式	IEEE/OSA
5.7.2		空間多重技術	MC-SMF 伝送方式 (Multi Core-Single Mode Fiber)	IEEE
5.7.3		波長多重技術	フレキシブルグリッド割当方式	IEEE
5.8.1	その他の技術	NW 省電力化技術	光スイッチング方式	ITU-T
			スリープ機能	ITU-T
			トラフィック制御 (最小)	ITU-T
5.8.2		経済的インセンティブ技術	SLA 管理など	ITU-T
5.8.3		統合網管理		ITU-T
5.8.4		NW 最適化	リソース割当の最適制御	ITU-T
			ネットワーク機能の最適制御	ITU-T
5.8.5		信頼性向上技術		ITU-T
5.8.6		セキュリティ技術		ITU-T
				Wireless World Research Forum (WWRF)

5.2 コア網システム技術

5.2.1 移動性/網アクセス管理技術

要素技術名	モビリティ管理
(1)本技術の説明	膨大な数のノード（通信機器）が様々な種類の異なるネットワーク（たとえば、携帯電話と無線 LAN 等）間をダイナミックに移動するようなネットワークで、高速で大規模な移動を簡単にできること。また、ノードの移動特性に関係なく、モバイルサービスをサポートすること。
(2)本技術が解決する課題	多種セル・多種 RAT・WiFi を組み合わせたサービスを容易にユーザへ提供することが困難。
(3)本技術の効果	端末の無線アプローチ状態に最適化されたアクセスの提供により、サービス接続性が向上。
(4)本技術の成熟度/問題点	端末に対して様々な無線アクセスの提供と最適化されて管理システムの導入
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001

要素技術名	拡張識別子
(1)本技術の説明	モビリティとデータアクセスをスケーラブルにサポートできる新しい識別の構成を提供すること。
(2)本技術が解決する課題	多種セル・多種 RAT・WiFi を組み合わせた制御への対応。ドメイン間移動および多種多様端末への対応。
(3)本技術の効果	ホストとデータの間で効率的にネットワーク化するために新しい識別構造を定義することで ID の動的なマッピングとデータとホスト ID の間で動的なマッピングが可能。
(4)本技術の成熟度/問題点	Y.3031 にて概要について記載済み
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001、Y.3031

5.2.2 データ指向型ネットワーク技術

要素技術名	データ指向型ネットワーク技術
(1)本技術の説明	大量のデータを最適かつ効率的に処理できること。そのために、これまではデータのある場所を中心にアクセス方式が設計されてきたが、将来ネットワークでは場所ではなくデータそのものを中心としてアクセスできる手法を確立する。
(2)本技術が解決する課題	データのある場所を中心にアクセス方式が設定されていたため、アクセス手続きが煩雑となりアクセス時間の増大につながる。
(3)本技術の効果	データアクセスにかかる時間の短縮、および手続きの簡略化
(4)本技術の成熟度/問題点	Y.3033 にて概要について記載済み
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001、Y.3033

要素技術名	データ指向型ネットワーク技術
(1)本技術の説明	位置に依存したアドレッシングではなく、コンテンツの名前等によって通信する。通信相手の位置を意識しない。またコンテンツのキャッシングを想定するため、エンドツーエンド通信が不要。
(2)本技術が解決する課題	通話などの対一通信ではなく、データの配信・取得する用途が通信の用途の中心に変化した状況に適合する。
(3)本技術の効果	配信の効率化、資源・設備最適化が期待できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	構想段階
(5)検討組織	4G Americas
(6)参考文献	4G Americas, 4G Americas' Recommendations on 5G Requirements and Solutions, OCT 2014

要素技術名	データ指向型ネットワーク技術
(1)本技術の説明	ロケーションベースではなく、名前ベースによるネットワークングを実現する。コンテンツ、ユーザ、デバイス等に名前をつけ、それを動的に結びつけることにより通信を実施。
(2)本技術が解決する課題	場所に紐付かない通信アーキテクチャであり、本質的にモビリティマネージメントが必要ない。またマルチキャストも容易。
(3)本技術の効果	効率的な情報配信が可能。またユーザ近傍のキャッシュからコンテンツ取得をすることにより。配信遅延が少ない。
(4)本技術の成熟度/問題点	構想段階
(5)検討組織	NetWorld2020
(6)参考文献	NetWorld2020 ETP 5G: Challenges, Research Priorities, and Recommendations

5.2.3 コンテキストウェアネットワーキング技術

要素技術名	コンテキストウェアネットワーク
(1)本技術の説明	ネットワーク環境、加入者情報、デバイス情報、アプリケーション要件、オペレータポリシーなどに基づいて、ネットワークがサービスのアトリビュートを機能にマッピングして最適なサービスを自律的に提供する環境
(2)本技術が解決する課題	特性によらない一定の通信サービス提供と比較して、多様な要件に適合したリソース配備を可能とする。
(3)本技術の効果	デバイスやアプリケーションの特性に応じた動的サービス提供と、設備投資コストの最適化
(4)本技術の成熟度/問題点	ユーザサイドのコンテキスト収集に関わるセキュリティを課題とする指摘が存在する模様
(5)検討組織	4G Americas
(6)参考文献	4G Americas, 4G Americas' Recommendations on 5G Requirements and Solutions, OCT 2014

5.2.4 ユーザプロファイル管理技術

要素技術名	ユーザプロファイル管理
(1)本技術の説明	User Profile に関して Virtual Identity (VID)を Private/Professional/Casual の3つに分類し、User は各々を使い分けられているとの Concept。これらに関して従来 ETSI, 3GPP, Liberty Alliance, W3C 等で検討がなされ、Identity provider での SSO、decentralized な Open ID (但し認証方式規定無)、Generic User Profile (ETSI STF342)等が規定されている。
(2)本技術が解決する課題	Profile Management Framework を統一するために Personalization & Identity provider を設け 3rd Party 等も含めて同一の Profile Management を行うとともに、Application により User Profile の拡張も可能とする Concept。
(3)本技術の効果	M2M 等の新サービス、Application 等による複数の User Profile 管理が容易となる。
(4)本技術の成熟度/問題点	ETSI での検討は当初の TISPAN 寄りで GS INS シリーズでドキュメント化。ITS 側では TS 102 941 で標準化。 Identity Management は ITU-T SG17 でも検討中。
(5)検討組織	Wireless World Research Forum (WWRF)
(6)参考文献	WWRF Outlook 3 (User Profiles, Personalization & Privacy)

要素技術名	端末仮想化
(1)本技術の説明	一つの端末を複数の分離されたサービスを提供するために論理的に分割するもの。
(2)本技術が解決する課題	セキュリティポリシーや利用の仕方の区別をする方法(たとえば仕事用と個人用)として、現状では異なる端末を用いるが、利便性が悪い。
(3)本技術の効果	ユーザが複数のサービスやアクセスネットワークに同時にアクセスするために必要な機能を提供。例えば、BYOD 環境においても、仕事用と個人用の端末を論理的に分割することが可能。
(4)本技術の成熟度/問題点	構想段階
(5)検討組織	NetWorld2020
(6)参考文献	NetWorld2020 ETP 5G: Challenges, Research Priorities, and Recommendations

5.2.5 エッジコンピューティング技術

要素技術名	モバイルエッジコンピューティング技術
(1)本技術の説明	モバイル加入者に近接する無線アクセスネットワークに IT とクラウドコンピューティング能力有するプラットフォームを設置する技術。また、サードパーティが本プラットフォーム機能を利用するための API を提供する技術。
(2)本技術が解決する課題	モバイル加入者へ簡単にセキュアで柔軟性のあるアクセスを提供する。モバイルトラフィックの増加によるレスポンスの低下への対応。
(3)本技術の効果	モバイル加入者へのレスポンス性の向上、コンテンツ、サービス、アプリを加速させる。アプリ開発者とコンテンツプロバイダー向けにアプリとサービスがコンテキスト関連サービスを提供するのに使用されるリアルタイム無線ネットワーク情報（加入者位置、セルロード等）へのダイレクトアクセスと同様に、超低遅延で、広帯域のサービス環境を提供可能となる。
(4)本技術の成熟度/問題点	ホワイトペーパー発行(2014/9)
(5)検討組織	ETSI ISG MEC
(6)参考文献	ETSI ISG MEC ホワイトペーパー

5.3 SDN 技術

5.3.1 ネットワーク仮想化技術

要素技術名	ネットワーク仮想化技術
(1)本技術の説明	一つの物理的なネットワークリソースを複数の論理的に独立したネットワークを作り出す技術。また複数の物理的なネットワークリソースを仮想的に多重化することで一つのネットワークリソースとして扱うことができる技術。
(2)本技術が解決する課題	多様なサービスアプリケーションが発生から生まれるネットワーク機能への多様な要求への柔軟な対応が困難。
(3)本技術の効果	網管理の簡素化、柔軟性の向上 新機能・新サービス導入の迅速性確保
(4)本技術の成熟度/問題点	ハイレベル要求条件、アーキテクチャを定義
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3300

5.3.2 サービスチェイニング技術

要素技術名	サービスチェイニング技術
(1)本技術の説明	サービスチェイニング（SDN 制御）のためのプロトコルを規定。具体的にはサービス属性のマーキング（メタデータ）付与方法など。
(2)本技術が解決する課題	柔軟なサービスチェイニングの実現。網の完全集中(SDN)制御から、部分的な分散制御も可能になる。
(3)本技術の効果	従来は、固定的なマーキング情報のみに基づく簡単な振り分けに制限されていたが、本技術により、アプリケーションに応じた柔軟な振る舞いが網内で定義できるようになることが期待される。
(4)本技術の成熟度/問題点	プロトコルが完全に規定される迄には至っていないが、比較的検討が具体化している。個別のプロトコルであるため、本アドホックで取り扱うには粒度が細か過ぎる懸念がある。参照するのが望ましい。
(5)検討組織	IETF
(6)参考文献	draft-boucadair-sfc-requirements, RFC 7364, RFC 7365

5.3.3 U/C 分離技術

要素技術名	I2RS, SDN
(1)本技術の説明	Routing を中心とした SDN 的制御のためのプロトコルを規定。
(2)本技術が解決する課題	(IP)ルーティングやフォワーディングに関する SDN 的な管理制御を実現する。
(3)本技術の効果	従来は基本的には分散プロトコルによる自律動作を前提としていたルーティングやフォワーディングといった機能に関しても、SDN アプローチによりオープンにプログラムが可能になることが期待される。
(4)本技術の成熟度/問題点	アーキテクチャ、ユースケース等の議論段階である。
(5)検討組織	IETF
(6)参考文献	draft-ietf-i2rs-architecture, RFC 7364, RFC 7365

要素技術名	SDN コントローラ
(1)本技術の説明	モバイル網のトラフィック管理を仮想的に集中制御
(2)本技術が解決する課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 負荷分散 ・ コンテンツフィルタリング ・ ポリシー管理と実行 ・ 災害対策と復旧 ・ モバイルトラフィックのオフロードとローミング ・ コンテンツに応じた NW 容量最適割当 ・ トラフィック最適化"
(3)本技術の効果	負荷分散、コンテンツフィルタリング、トラフィック最適化等について集中管理による最適制御が可能。
(4)本技術の成熟度/問題点	ホワイトペーパーでのコンセプトレベル記述であり、具体的な制御やスケラビリティに関して検証が必要。
(5)検討組織	ONF
(6)参考文献	ONF White Paper "Software-Defined Networking : The New Norm for Networks"

要素技術名	EPC 仮想化技術
(1)本技術の説明	3GPP が規定したインターフェースはそのまま残し、S-GW/P-GW の内部に SDN コントローラと複数のスイッチを配置し、OF-mpc プロトコルで制御する仕組み。
(2)本技術が解決する課題	時間によるトラフィックの変動や地理的なトラフィックの変動により、一部の時間帯や地域に集中。トラフィック変動に柔軟に対応可能、モバイルネットワーク内で固定化された IP アドレスの経路を柔軟に変更可能な技術が求められる。
(3)本技術の効果	資源の有効利用によるコスト削減・電力削減の効果がある。
(4)本技術の成熟度/問題点	<p>【成熟度】</p> <p>SDN ベースモバイルネットワークの試作、ビデオ信号のみをオフロードするパスで S-GW/P-GW のトラフィック量低減等をシミュレーションでの確認段階</p> <p>【問題点】</p> <p>SDN コントローラの統合</p>
(5)検討組織	電子情報通信学会
(6)参考文献	NEC/2014 通信ソサイエティ大会チュートリアル BT-1-5

5.4 NFV 技術

5.4.1 スライシング技術

要素技術名	スライシング技術
(1)本技術の説明	ネットワークの利用効率を向上させるために、ネットワークを複数の仮想的なネットワークに分離（スライシング）し、それぞれのネットワークを別々に管理できるようにするネットワーク仮想化技術。
(2)本技術が解決する課題	新規にネットワークを構築する場合は、設備の物理的な追加が必要であった。
(3)本技術の効果	限られたネットワーク物理リソースを有効活用することができ、設備投資コストを低減させることができる。
(4)本技術の成熟度/問題点	.3011 にて要求条件が記載済み
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001、Y.3011、Y.3012

5.4.2 オートスケールイン・アウト技術

要素技術名	オートスケールイン・アウト技術
(1)本技術の説明	仮想化ネットワークにてリソース使用のリアルタイム監視と連携して、リソースの最適配置を行う。
(2)本技術が解決する課題	ネットワークリソース配置の自動最適化
(3)本技術の効果	仮想化したネットワーク内ではリソースの規模や配置変更が容易であり、実トラフィック状況やサービス要求に対してソフト制御による自動かつリアルタイムでのネットワークリソースの最適化が可能。
(4)本技術の成熟度/問題点	ETSI ISG NFV Phase1 による要求条件の標準化は関連 SDO で行われる。また、Phase2 で改訂があり得る。
(5)検討組織	ETSI ISG NFV
(6)参考文献	ETSI ISG NFV / Network Functions Virtualisation – Introductory White Paper

要素技術名	リソースの効率的運用
(1)本技術の説明	Traffic の時間的分布を想定し、Voice では BH に 20%、Non-Voice では 25% が集中し、高 Dense Region で 50Gbps/km ² の Throughput が必要と予想。 Transport NW に関しては 2.08Gbit/s/RAN node (2.09Tbit/s/IP-Backbone)が必要
(2)本技術が解決する課題	局地的な Traffic 変動、接続 Node 数増大に対応するため、Core Network 側も Dynamic Resource management 及び Self Configuration/ Self Optimization の採用を提言。
(3)本技術の効果	局所的な Traffic 変動等によるバースト的な障害発生の防止が可能
(4)本技術の成熟度/問題点	NFV 等の技術適用により、Dynamic Resource Management の実現性は達成可能。Transport の分野においては、無線 Backhaul 等の活用が検討されている。
(5)検討組織	Wireless World Research Forum (WWRF)
(6)参考文献	WWRF Outlook 7 (Requirements and vision for NG-Wireless)

5.4.3 VM 間通信技術

要素技術名	NVO3, SDN
(1)本技術の説明	VM などのエンティティ間でオーバーレイを作るための Tunneling プロトコル
(2)本技術が解決する課題	オーバーレイのフローに応じた適切なフォワーディング（負荷分散等）をアンダーレイで実現することや、VM マイグレーションも考慮した ID 空間の柔軟性の実現
(3)本技術の効果	従来のトンネル技術だけでは実現が難しい、サービスチェイニングされた仮想ネットワークのスケール性の維持が期待される。
(4)本技術の成熟度/問題点	概ね方式が固まってきている点では成熟度は高い。個別のプロトコルであるため、本アドホックで取り扱うには粒度が細か過ぎる懸念がある。
(5)検討組織	IETF
(6)参考文献	IETF/RFC 7364, RFC 7365

5.4.4 XaaS 技術

要素技術名	XaaS 技術
(1)本技術の説明	多種サービスや複数ネットワークユーザーに利用できるシングルプラットフォームを提供する。
(2)本技術が解決する課題	NW 機能解放の柔軟性向上
(3)本技術の効果	コアネットワークを包括的に仮想化してプラットフォーム化し、IaaS、PaaS、SaaS 等での多種サービス、複数ネットワークユーザー（サービスプロバイダ、MVNO ユーザ等）へのリソース共有により設備費用を低減する。
(4)本技術の成熟度/問題点	ETSI ISG NFV Phase1 による要求条件の標準化は関連 SDO で行われる。また、Phase2 で改訂があり得る。
(5)検討組織	ETSI ISG NFV
(6)参考文献	ETSI ISG NFV / Network Functions Virtualisation – Introductory White Paper"

5.4.5 MANO アーキテクチャ

要素技術名	仮想化ネットワーク管理
(1)本技術の説明	仮想化された 3GPP ネットワークの管理に関するスタディ。
(2)本技術が解決する課題	仮想化されたネットワークと従来の(非仮想化)ネットワーク、及びそれらが混在した時のネットワーク管理アーキテクチャや機能の関係の整理。
(3)本技術の効果	仮想化された 3GPP ネットワークを標準化によって統一された方式で管理できるようになる可能性があり、また従来ネットワークとの混在も考慮されることで、仮想化環境へのマイグレーションもやりやすくなることが期待される。
(4)本技術の成熟度/問題点	2014 年 8 月にスタディが開始されたところで、検討内容をまとめる技術報告書の 2015 年 1 月時点のバージョンは 0.3.0。
(5)検討組織	3GPP
(6)参考文献	3GPP SA WG5 / TR 32.842 (http://www.3gpp.org/DynaReport/32842.htm)

要素技術名	MANO(ライフサイクル管理)
(1)本技術の説明	階層化ネットワークのソフトウェアファンクションのライフサイクルを運用管理システムで管理する。
(2)本技術が解決する課題	サービス創造時間の短縮
(3)本技術の効果	コアネットワークを包括的に仮想化し、統一された運用管理システムによりサービス提供（追加、変更）の期間を短縮する。
(4)本技術の成熟度/問題点	ETSI ISG NFV Phase1 による要求条件の標準化は関連 SDO で行われる。また、Phase2 で改訂があり得る。
(5)検討組織	ETSI ISG NFV
(6)参考文献	ETSI ISG NFV / Network Functions Virtualisation - Introductory White Paper および- Update White Paper"

要素技術名	MANO(リソース配備変更)
(1)本技術の説明	ネットワークの仮想化によりネットワーク内のリソースの配置変更の柔軟性を高める。
(2)本技術が解決する課題	保守者の要求による柔軟な網オペレーションの実現
(3)本技術の効果	仮想化したネットワーク内ではリソースの規模や配置変更が容易であり、保守者の要求による状況や計画に基づいた迅速なサービススケール変更が可能。
(4)本技術の成熟度/問題点	ETSI ISG NFV Phase1 による要求条件の標準化は関連 SDO で行われる。また、Phase2 で改訂があり得る。
(5)検討組織	ETSI ISG NFV
(6)参考文献	ETSI ISG NFV / Network Functions Virtualisation – Introductory White Paper

5.4.6 オートヒーリング技術

要素技術名	オートヒーリング技術
(1)本技術の説明	一つの機能が全体の障害要因とならず、かつ、サービスの提供と継続性が確保されるように回復性と安定性を持たせる。
(2)本技術が解決する課題	障害耐性の向上
(3)本技術の効果	仮想化されたネットワークでの HW 障害によるサービスおよびリソースの柔軟な配置変更により網の信頼性が向上する。
(4)本技術の成熟度/問題点	ETSI ISG NFV Phase1 による要求条件の標準化は関連 SDO で行われる。また、Phase2 で改訂があり得る。
(5)検討組織	ETSI ISG NFV
(6)参考文献	Network Functions Virtualisation – Update White Paper

5.4.7 サービスオーケストレーション技術

要素技術名	NW 仮想化、統合網管理
(1)本技術の説明	様々なトラフィック特性や振る舞い（たとえば、小さいデータが膨大な数の端末から発せられる状況や非常に高精細な映像信号を特定の場所に送る等）を持つネットワークサービスを容。また、センサー端末等の膨大な数のデバイスのネットワークへの接続。
(2)本技術が解決する課題	要件の異なる(多様な移動性、多様な遅延許容性を持つ)端末の効率的収容。新機能・新サービス導入の迅速性確保。
(3)本技術の効果	ネットワーク特性の異なる多様な端末やサービスを収容する。新機能・新サービス導入への時間短縮。
(4)本技術の成熟度/問題点	要求条件/アーキテクチャの具体化
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	Y.3001: Future networks: Objectives and design goals

要素技術名	サービスオーケストレーション技術
(1)本技術の説明	新しいユーザからの要求によって生まれる新しいサービスをサポートするための機能的な柔軟性。将来にわたっていかなるユーザの要求にも応えられるネットワークを実現するのは現実的に困難なので、それを補うためにネットワーク機能のダイナミックな変更を可能とする技術を開発する。
(2)本技術が解決する課題	網側が提供する機能は固定的であり、新しいサービスの実現には新規設備の追加等のために開発や工事等が必要となる。また既存サービスへのインパクトが無いように導入には慎重を要する。
(3)本技術の効果	既存ネットワークインフラへの柔軟な新規機能の追加が可能になることで、新規サービスを迅速に容易に提供できるようになる。
(4)本技術の成熟度/問題点	要求条件/アーキテクチャの具体化
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001

要素技術名	サービスオーケストレーション技術
(1)本技術の説明	装置の縮退とともに汎用装置を適用する。
(2)本技術が解決する課題	CAPEX/OPEX（電力消費を含む）の低減
(3)本技術の効果	コアネットワーク機器の縮退と汎用品化により設備費用と運用費用を低減し、かつ、消費電力を低減する。
(4)本技術の成熟度/問題点	TSI ISG NFV Phase1 による要求条件の標準化は関連 SDO で行われる。また、Phase2 で改訂があり得る。
(5)検討組織	ETSI ISG NFV
(6)参考文献	ETSI ISG NFV / Network Functions Virtualisation – Introductory White Paper

5.4.8 SDN/NFV 融合技術

要素技術名	SDN/NFV 融合技術
(1)本技術の説明	SDN や NFV に関する研究課題とソリューション
(2)本技術が解決する課題	4つの課題 (Policy-based management, Analytics for visibility and orchestration, Security and service verification, Virtual Network Function (VNF) performance modeling to facilitate transition to NFV) が挙げている。ただし、継続的に課題抽出が行われている段階。
(3)本技術の効果	現時点において、具体的な技術が特定されていないため、具体的な効果を示す事は難しい。
(4)本技術の成熟度/問題点	研究課題として議論が開始された段階であり、議論が熟しているとは言い難い。
(5)検討組織	IETF
(6)参考文献	draft-ietf-i2rs-architecture, RFC 7364, RFC 7365, draft-boucadair-sfc-requirements

要素技術名	SDN/NFV 融合技術
(1)本技術の説明	<ul style="list-style-type: none"> SDN によるソフトウェア主導ネットワーク制御、NFV ベースの NW 機能の仮想化。 ノードの機能的なチェーンや上位の運用サポートシステムは NFV MANO (Management and Orchestration)で管理。
(2)本技術が解決する課題	5G では IoT 等のサービスの多様化に対する効率的なネットワークの構築、新規サービスの迅速な展開、信頼性の向上が従来よりも求められる。
(3)本技術の効果	<ul style="list-style-type: none"> SDN/NFV 構成により NW の複雑性を軽減、オペレーションの高度化。 NFV によりシステムのロールアウトが容易。 プラットフォーム共通化による CAPEX、OPEX、エネルギー消費量の削減。
(4)本技術の成熟度/問題点	SDN, NFV については一部実用化済み。
(5)検討組織	ARIB 2020 and Beyond AdHoc
(6)参考文献	ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group White Paper, "Mobile Communications Systems for 2020 and beyond", Version 1.0.0, [A7.1]

要素技術名	セキュアブート、アテストーション、リモートアテストーション、トラストチェーン
(1)本技術の説明	仮想マシンを起動する際に、あらかじめ定められた構成で起動されていることを検証する技術。さらに、起動中のマシンが改ざんされていないことを検証する技術。また、安全に起動されている機器同士をつなぎ合わせて、システムとしての安全を確保する技術。
(2)本技術が解決する課題	システムに対する外部からの攻撃。NFV/SDN によってハードウェア仮想化、ネットワーク仮想化が前提にする場合、従来考慮されていなかった脅威が発生する。
(3)本技術の効果	安全にサービスを提供することができる。
(4)本技術の成熟度/問題点	<p>【成熟度】</p> セキュアブートなど個別の技術は成熟しつつあるが、システムとしての脅威分析などは着手されていない。
	<p>【問題点】</p> アーキテクチャだけでなく、個別の実装における検証も必要である。
(5)検討組織	ETSI
(6)参考文献	ETSI GS NFV-SEC 003 V1.1.1 (2014-12) Network Functions Virtualisation (NFV); NFV Security; Security and Trust Guidance

5.5 MBH システム技術

5.5.1 高信頼化技術

要素技術名	キャリアグレード Ethernet 方式
(1)本技術の説明	MEFでは、IEEE802.3で規定されたEthernet技術にOAM等を追加することで、キャリアが提供する通信網に適用できるキャリアグレードEthernet技術仕様をMEF標準として作成している。その一環としてMEFでは、モバイルバックホール向けのキャリアグレードEthernet技術を、MEF22シリーズとして標準化している。
(2)本技術が解決する課題	キャリアのコア網やアクセス網で広く使われているキャリアグレードEthernet技術をモバイルバックホール網に使うことにより、モバイルバックホール構築の低コスト化に貢献する。
(3)本技術の効果	キャリアグレードEthernetは、伝送容量やノード数の変化にQoSを伴って対応することができ、さらに責任分界点が明確なことやサービス管理を完備していることから、効率的かつ高信頼なモバイルバックホール網を低コストに構築することができる。
(4)本技術の成熟度/問題点	現行のMEF22.1は4G(LTE)に基づいて作成されており、そのAmendment 1ではSmall cellに対応している。伝送容量等の諸機能はコア網に沿って規定されていることから、3GPPで5G仕様が固まれば早期に対応可能と思われる。
(5)検討組織	MEF (Metro Ethernet Forum)
(6)参考文献	MEF22.1 Overview, MEF22.1, MEF22.1 Amendment 1

5.5.2 クロック同期技術

要素技術名	クロック分配方式 (UDWDM-OFDM 限定)
(1)本技術の説明	将来のモバイルバックホールソリューションの一つ、UDWDM-OFDMAシステムにおいて、同期イーサ収容時に必要となる同期クロック分配再生を実現する技術。
(2)本技術が解決する課題	基地局間のハンドオフや搬送波周波数精度のような基本的な同期機能に加え、OFDMではシステムレベルの同期が必要。近年、単波長直接検波OFDMシステムでのクロック分配再生技術は示されたが、多波長化にはスペクトル効率劣化を引き起こすビートの抑制などの課題がある。
(3)本技術の効果	本稿ではSSB(Single Sideband Modulation)変調ならびにDSP不要な包絡検波技術の適用により、UDWDM-OFDMAシステムにおいて、同期クロック50MHzの分配再生を、30Gbps、24.56GHz、40Km伝送の条件下で行うことができ、モバイルバックホールへの適用が期待できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献では、実験室での原理確認の段階。 【問題点】 分配再生方式の標準化が課題。
(5)検討組織	IEEE/OSA
(6)参考文献	Novel Synchronous Clock Distribution and Recovery for High-Speed UDWDM-OFDMA-based Mobile Backhaul

5.6 MFH システム技術

5.6.1 C-RAN 伝送技術

要素技術名	MFH 伝送方式（機能分岐点変更：レイヤ 1 処理を AP）
(1)本技術の説明	符号化機能を残し、レイヤ 1 処理はリモート AP へ移行し、OFDM シンボル毎に分割して伝送する。
(2)本技術が解決する課題	CPRI による光張出方式では、MFH のデータレートが膨大となり、経済的な実現が困難となる
(3)本技術の効果	MFH における伝送遅延低減の効果がある
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 方式提案レベル 【問題点】 方式比較が必要
(5)検討組織	電子情報通信学会
(6)参考文献	NEC/2014 通信ソサイエティ大会チュートリアル BT-1-3

要素技術名	RU/DU の機能分割
(1)本技術の説明	C-RAN 構成における RU (RRH) と DU (BBU) の機能分割点を検討・再定義する。
(2)本技術が解決する課題	DU-RU 間のデータ通信帯域と C-RAN の利点 (CoMP 効果の最大化や資源共用、負荷集中等) の間にあるトレードオフを最適化することを目的としており、5 種類の分割点について検討している。
(3)本技術の効果	機能分割点の選択によりメリット (効果) とデメリットのトレードオフがある。 たとえば従来の分割点 (RU: AD/DA, 圧縮、DU: L1, L2, L3) の場合、C-RAN の利点は大きいが大容量なデータ通信帯域が必要である。一方、L1/L2 の間で分割すると、帯域を大きく削減できるが、C-RAN の利点は小さくなる。
(4)本技術の成熟度/問題点	データ通信帯域の削減と C-RAN の利点最大化を両立する方式は挙げられていない。他の分割点も存在するため、更なる比較検討が求められる。
(5)検討組織	NGMN (Next Generation Mobile Network)
(6)参考文献	NGMN / “Suggestions on potential solutions to C-RAN”, 4.2.3 Allocation of signal processing functions between RU and DU/DU cloud

5.6.2 データ圧縮技術

要素技術名	無線データ動的圧縮技術
(1)本技術の説明	無線信号の使用周波数帯域幅に応じて IQ データの圧縮処理を行う。
(2)本技術が解決する課題	モバイルフロントホール部の超高速化かつ膨大な配線数によりコストが高騰する。 一般的なベースバンド信号の転送では固定レートとなり、シェアードネットワークである TDM-PON の適用は不向き。
(3)本技術の効果	無線信号の動的な圧縮を行うことで統計多重効果が期待でき、モバイルフロントホールへ TDM-PON の適用効果を拡大できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献では、無線帯域割当情報の取得を前提として、圧縮機能の原理確認実験の段階。 【問題点】 圧縮方式の標準化が課題。
(5)検討組織	IEEE/OSA
(6)参考文献	Optical Fiber Communication Conference 2014 (OFC2014) Tu3F.4

5.6.3 TDM-PON 技術

要素技術名	帯域割当制御(DBA:Dynamic Bandwidth Allocation)
(1)本技術の説明	BBUからモバイルスケジューリング情報を取得し、TDM-PONでの帯域割当制御に反映させる。
(2)本技術が解決する課題	モバイルフロントホール部の超高速化かつ膨大な配線数によりコストが高騰する。 モバイルフロントホールへ既存のTDM-PONを適用した場合、遅延要求(<1ms)を満たせない。
(3)本技術の効果	遅延要求を満たすTDM-PONの適用によりモバイルフロントホールの配線数およびコスト削減が期待できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献では、モバイルスケジューリング情報の取得を前提として、固定レートの疑似トラフィックによる原理確認実験の段階。 【問題点】 実際のモバイルスケジューリングおよびトラフィック情報の取得方法が課題。
(5)検討組織	IEEE/OSA
(6)参考文献	Optical Fiber Communication Conference 2014 (OFC2014) Tu3F.3

要素技術名	帯域割当制御
(1)本技術の説明	BBUからモバイルスケジューリング情報を取得し、TDM-PONでの帯域割当制御に反映させる。 無線信号の使用周波数帯域幅に応じてIQデータの圧縮処理を行う。 BBU-RRHの機能分割を行う。
(2)本技術が解決する課題	モバイルフロントホール部の超高速化かつ膨大な配線数によりコストが高騰する。モバイルフロントホールへ既存のTDM-PONを適用した場合、低遅延化、広帯域化が課題となる。
(3)本技術の効果	TDM-PONの適用によりモバイルフロントホールの配線数およびコスト削減が期待できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献では、課題整理を中心に従来技術の紹介を行っており、原理確認実験の段階。 【問題点】 標準化が課題。
(5)検討組織	IEEE ICC
(6)参考文献	Operator Perspective on Next-Generation Optical Access for Future Radio Access

要素技術名	無線データ圧縮
(1)本技術の説明	無線信号の使用周波数帯域幅に応じてIQデータの圧縮処理を行う。
(2)本技術が解決する課題	モバイルフロントホール部の超高速化かつ膨大な配線数によりコストが高騰する。一般的なベースバンド信号の転送では固定レートとなり、シェアードネットワークであるTDM-PONの適用は不向き。
(3)本技術の効果	無線信号の動的な圧縮を行うことで統計多重効果が期待でき、モバイルフロントホールへTDM-PONの適用効果を拡大できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献では、無線帯域割当情報の取得を前提として、圧縮機能の原理確認実験の段階。 【問題点】 圧縮方式の標準化が課題。
(5)検討組織	IEEE ICC
(6)参考文献	Operator Perspective on Next-Generation Optical Access for Future Radio Access

要素技術名	C-RAN 機能分割
(1)本技術の説明	BBU-RRH の機能分割を行う。
(2)本技術が解決する課題	モバイルフロントホール部の超高速化かつ膨大な配線数によりコストが高騰する。一般的なベースバンド信号の転送では固定レートとなり、シェアードネットワークである TDM-PON の適用は不向き。
(3)本技術の効果	無線信号の動的な圧縮を行うことで統計多重効果が期待でき、モバイルフロントホールへ TDM-PON の適用効果を拡大できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献では、無線帯域割当情報の取得を前提として、圧縮機能の原理確認実験の段階。 【問題点】 圧縮方式の標準化が課題。
(5)検討組織	IEEE ICC
(6)参考文献	Operator Perspective on Next-Generation Optical Access for Future Radio Access

5.7 光伝送技術

5.7.1 変調技術

要素技術名	DMT 方式
(1)本技術の説明	DMT は位相成分を使用せずに強度成分だけを使い、複数のサブキャリアに変調を行う。各サブキャリアの変調度は伝送品質により決定される。
(2)本技術が解決する課題	TDM-PON は遅延に問題、WDM-PON は経済性に問題。
(3)本技術の効果	MFH における超高速伝送の低コスト化が可能となる
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 10 km で 100Gbps 以上の DML 伝送を実験確認の段階。DML 自体は ADSL で利用されている技術。 【問題点】 他方式との比較が必要
(5)検討組織	電子情報通信学会
(6)参考文献	富士通/2014 通信ソサイエティ大会チュートリアル BT-1-4

要素技術名	UDWDM-OFDM 方式
(1)本技術の説明	同期クロック 50MHz 分配再生が実現できる Single Sideband Modulation 方式
(2)本技術が解決する課題	基地局間のハンドオフや搬送波周波数精度のような基本的な同期機能に加え、OFDM ではシステムレベルの同期が必要。近年、単波長直接検波 OFDM システムでのクロック分配再生技術は示されたが、多波長化にはスペクトル効率劣化を引き起こすビートの抑制などの課題がある。
(3)本技術の効果	本稿では SSB(Single Sideband Modulation)変調ならびに DSP 不要な包絡検波技術の適用により、UDWDM-OFDMA システムにおいて、同期クロック 50MHz の分配再生を、30Gbps、24.56GHz、40Km 伝送の条件下で行うことができ、モバイルバックホールへの適用が期待できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献では、実験室での原理確認の段階。 【問題点】 分配再生方式の標準化が課題。
(5)検討組織	IEEE/OSA
(6)参考文献	Novel Synchronous Clock Distribution and Recovery for High-Speed UDWDM-OFDMA-based Mobile Backhaul

5.7.2 空間多重技術

要素技術名	MC-SMF 伝送方式 (Multi Core-Single Mode Fiber)
(1)本技術の説明	空間多重伝送方式に関する調査報告書。SC-SM 伝送を基準とし、MC-SM(Multi-Core Single-Mode)伝送、SC-FM(Single-Core Few-Modes)伝送、MC-FM 伝送に関して利点と欠点をまとめる。
(2)本技術が解決する課題	MC-SM、SC-FM は長距離伝送が可能という報告もあり、近未来解としては優位性が高い。しかし、一本のファイバに対するコア実装密度が簡単に限界を迎えることが予想される。
(3)本技術の効果	将来的には MIMO 技術を応用した MC-FM 伝送による容量拡大が期待される。
(4)本技術の成熟度/問題点	<p>【成熟度】</p> <p>MC-SM は SC-SM に匹敵する長距離伝送結果が得られている。一方で MC-FM は SC-SM の 1/100 程度の距離しか実験的には実証されていない。しかし、アクセスで必要となる距離(40km)の伝送成功結果が既に報告されている。</p>
(5)検討組織	<p>【問題点】</p> <p>研究室レベルであり、フィールド試験は報告されていない。また、実用化には新たなファイバ敷設が必要となるため、インフラコストも課題。</p> <p>IEEE</p>
(6)参考文献	<p>【検討組織】</p> <p>Prysmian Group</p> <p>【参考文献】</p> <p>ECOC 2014 Tu.4.1.1 Next-Generation Fibers for Space-Division-Multiplexed Transmissions</p>

5.7.3 波長多重技術

要素技術名	フレキシブルグリッド割当方式
(1)本技術の説明	将来のモバイルフロントホールソリューションの一つとして、「CWDM ライクな」送受信方式（短期解）、「DWDM ライクな」送受信方式（長期解）、ならびに将来のモバイルバックホールソリューションの一つである DWDM システムにおいて、波長多重グリッドの割り当てを固定でなく可変とすることで帯域を効率化する技術が示されている。
(2)本技術が解決する課題	フロントホールへの適用技術として CWDM があるが 2 芯双方向伝送であり、1 芯双方向伝送が前提である FTTH 設備の適用（敷設ファイバの再利用）は不可能である。 また、コアネットワークに適用される DWDM(Dence Wavelength Division Multiplexing) 技術では波長多重グリッドを 50GHz 単位に固定的に分け 90 波長を多重伝送する。しかしながら 50GHz 間隔はマージンを含んでおり 37.5GHz 間隔でも伝送が可能で、更なる多重化の余地がある。
(3)本技術の効果	文献【A】では、「CWDM ライクな」送受信方式として 20nm 離れた 2 波長をそれぞれ送受に使用して一芯双方向とする技術（短期解）、さらなる発展形として「Self-seeded Reflective Semiconductor Optical Amplifier(RSOAs)」を用いてパッシブで自動的な波長アサインが可能となる「DWDM ライクな」送受信方式（長期解）が提案されており、モバイルフロントホールへの適用が期待できる。 文献【B】では、波長多重グリッドの任意選択制御を可能にする WSS (Wavelength Selective Switch)などの技術開発により、波長多重グリッドを 50GHz 固定でなく可変とすることが可能となり、より効率的な大容量伝送としてモバイルバックホールへの適用が期待できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 研究や議論のまとめの位置づけ。 【問題点】 実用性が課題。
(5)検討組織	IEEE
(6)参考文献	【A】 Orange Labs Networks /ECOC2014 Tu.4.2.1 Things You Should Know About Fronthaul 【B】 British Telecom./ECOC2014 Mo3.1.1 Core Networks in the Flexgrid Era

5.8 その他の技術

5.8.1 NW 省電力化技術

要素技術名	光スイッチング方式
(1)本技術の説明	デバイス、機器、およびネットワークレベルの技術を利活用し、エネルギー効率を最大化させると共にユーザの要求を最小のトラフィックで実現できるようにすること。デバイス、機器、およびネットワークレベルの技術が独立して動作するのではなく、ネットワークのエネルギーの節約のために連携して動作すること。
(2)本技術が解決する課題	トラフィック量が増大することによる消費電力の増加、24H 運用することでの発熱問題、消費電力の増加。
(3)本技術の効果	電子スイッチから光学スイッチに交換することでの省電力化。
(4)本技術の成熟度/問題点	Y.3021 にて概要について記載済み
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001、Y.3021

要素技術名	スリープ機能
(1)本技術の説明	デバイス、機器、およびネットワークレベルの技術を活用し、エネルギー効率を最大化させると共にユーザの要求を最小のトラフィックで実現できるようにすること。
(2)本技術が解決する課題	トラフィック量が増大することによる消費電力の増加、24H運用することでの発熱問題、消費電力の増加。
(3)本技術の効果	ネットワーク機器にスリープ機能を盛り込むことでの省電力化。
(4)本技術の成熟度/問題点	Y.3021にて概要について記載済み
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001、Y.3021

要素技術名	トラフィック制御（最小）
(1)本技術の説明	デバイス、機器、およびネットワークレベルの技術を活用し、エネルギー効率を最大化させると共にユーザの要求を最小のトラフィックで実現できるようにすること。
(2)本技術が解決する課題	トラフィック量が増大することによる消費電力の増加、24H運用することでの発熱問題、消費電力の増加。
(3)本技術の効果	キャッシュを用いることでのトラフィック量の最小化による省電力化。
(4)本技術の成熟度/問題点	Y.3021にて概要について記載済み
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001、Y.3021

5.8.2 経済的インセンティブ技術

要素技術名	SLA 管理など
(1)本技術の説明	ユーザ、様々なプロバイダ、政府機関、および知的財産権保持者等、多様なステークホルダー間で繰り広げられる経済的衝突を解決するために、持続的な競争環境を提供するように設計されること。
(2)本技術が解決する課題	経済的な理由による新規ネットワーク技術の開発、実用化されことなく、または継続可能にならない状態の発生。
(3)本技術の効果	全ての ICT テイクホルダーへ経済的インセンティブを与えることで、ネットワークが持続的に発展する状態を構築する。
(4)本技術の成熟度/問題点	要求条件/アーキテクチャの具体化
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001

5.8.3 統合網管理

要素技術名	統合網管理
(1)本技術の説明	効率的に動作、維持が可能で、かつサービスや通信の増加をサポートできる管理機構。特に、管理データや情報を効率的かつ効果的に処理でき、これらの情報を関連する情報や知識に変換して管理者に届けられる機構。
(2)本技術が解決する課題	各ネットワークコンポーネントに管理システムが別々に存在するため運用効率が低い。またネットワーク管理運用能力はオペレータの熟練度に依存してしまうため、ノウハウの伝承が必要となる。
(3)本技術の効果	網管理の簡素化、柔軟性、OPEX の削減。オペレータの知識等の効率的な伝承。
(4)本技術の成熟度/問題点	要求条件/アーキテクチャの具体化
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001

5.8.4 NW最適化

要素技術名	リソース割当の最適制御
(1)本技術の説明	サービス要件とユーザの要求に基づいて、ネットワーク機器の性能を最適化し、十分な性能を提供できること。ネットワーク機器の様々な物理的な限界を考慮してネットワーク内の様々な最適化を実行できること。リソース割当の最適制御として、デバイスレベル（光伝送レイヤと電気伝送レイヤの割合制御）とシステムレベル（暗号化実施レイヤの制御）の最適化を実施する。
(2)本技術が解決する課題	設備計画において最大ユーザ最大トラフィックを考慮した過剰な設備計画が実施されることがある。
(3)本技術の効果	ユーザの実際の要求に則した、最適なネットワーク機器の設置を実施することで、過剰な設備投資を抑制する。
(4)本技術の成熟度/問題点	要求条件/アーキテクチャの具体化
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001

要素技術名	ネットワーク機能の最適制御
(1)本技術の説明	サービス要件とユーザの要求に基づいて、ネットワーク機器の性能を最適化し、十分な性能を提供できること。ネットワーク機器の様々な物理的な限界を考慮してネットワーク内の様々な最適化を実行できること。パス最適化、トポロジ最適化、アクセスポイント最適化、キャッシュとストレージの最適化、コンピュータ機能の最適化
(2)本技術が解決する課題	設備計画において最大ユーザ最大トラフィックを考慮した過剰な設備計画が実施されることがある。
(3)本技術の効果	ユーザの実際の要求に則した、最適なネットワーク機器の設置を実施することで、過剰な設備投資を抑制する。
(4)本技術の成熟度/問題点	要求条件/アーキテクチャの具体化
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001

5.8.5 信頼性向上技術

要素技術名	信頼性向上技術
(1)本技術の説明	困難な状況においても、耐障害性を持ち、高い信頼性を持つよう設計、運用、開発されること。
(2)本技術が解決する課題	ミッションクリティカルサービスへのネットワークサービスの提供が課題。
(3)本技術の効果	網信頼性の更なる向上および、多様なユーザに対するサービスの提供のためのセキュリティ、プライバシーの確保。
(4)本技術の成熟度/問題点	各技術領域において本課題へ取り組む必要がある
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001

5.8.6 セキュリティ技術

要素技術名	セキュリティ技術
(1)本技術の説明	安全性とユーザのプライバシーを考慮して設計されること。ミドルレベルアクセス制御（ユーザ識別、認証）による実現。
(2)本技術が解決する課題	オンラインのユーザ特定やプライバシー情報の保護。特に子供や障害者、少数グループ含め、安心安全なオンライン環境を提供する。
(3)本技術の効果	網信頼性の更なる向上および、多様なユーザに対するサービスの提供のためのセキュリティ、プライバシーの確保。
(4)本技術の成熟度/問題点	各技術領域において本課題へ取り組む必要がある
(5)検討組織	ITU-T
(6)参考文献	ITU-T Y.3001

要素技術名	セキュリティ技術
(1)本技術の説明	ICTの進展及び端末の高度化・小型化により Privacy 関連の懸念が増大しており、これに対応するため、Security 関連の対応が重要である。
(2)本技術が解決する課題	Security by design の基本的な考え方として <ul style="list-style-type: none"> ・ 問題対応としない(先取盛込)。 ・ Default Setting と考える。 ・ Add on な機能としない。 ・ Privacy 確保によって degrade を生じさせない。 ・ E2E で Privacy 確保を考える。 ・ Privacy 確保方法の透明性と可視化。 ・ User Friendly が重要としている。
(3)本技術の効果	Security 確保を考慮した設計を行うことにより、網の信頼性確保が容易となる。
(4)本技術の成熟度/問題点	EU では Network and Information Security (NIS) Platform を中心として ENISA 等の活動中
(5)検討組織	Wireless World Research Forum (WWRF)
(6)参考文献	WWRF Outlook 11 (Cyber Security in Future Internet)

6 課題、要素技術の集約とマッピング

6.1 課題の集約

6.1.1 コアネットワーク

コアネットワークの課題は以下となる。

・ **超大容量 U-plane** : 長期的なトラフィックの増大やトラフィック種別の多様化および一時的な急増により、Uプレーン系のコアネットワーク装置の処理負荷が増大する。コアネットワーク装置の処理負荷が増大すると、処理すべき Uプレーンパケットの処理に時間を要し、結果としてデータパケットの遅延や輻輳（廃棄）として現れ、ネットワークの信頼性低下に繋がるという課題がある。

・ 負荷増大 C-plane :

M2M/IoT 通信は、多数のデバイスから小容量のデータが一定の時間帯に集中して発信される傾向が高いなど、従来の通信とは異なる特性を有することが予想されるため、従来の制御手法では集中する制御信号（C-Plane）へ対処できず、大きな遅延の発生、音声通話などのサービス停止等の様々な問題が発生するという課題が予想される。

また、M2M/IoT 端末に関するビジネスモデルは大きく多様化する事が想定され、デバイス認証に用いられる識別子である 15 桁の IMSI では今後発生する大量の M2M/IoT 端末を収容するに不十分となる課題が予想される。

・トランスポート層に関する課題

ヘテロジニアス環境においては、既存の TCP/IP 通信ではハンドオーバー頻発による帯域、遅延の急激な変動には対応できない事が想定される。また、多種多様なアプリケーションが誕生することが予想されており、異なるネットワーク側の変動に対する許容度を持ったアプリケーションが動作することが想定される。これらの要求を全て満たす、ヘテロジニアス環境に適した新しいトランスポート層が必要となってくる。

・**超低遅延**：将来の新サービス、アプリケーションにおいて触覚通信や AR、M2M の様なリアルタイム制御等、今までに無い低遅延が要求されることが予想され、ネットワークへ極めて厳しい E2E 遅延の要求条件が課せられることとなる。距離による物理的遅延への対応とネットワークアーキテクチャへの変更を検討する課題がある。

・**超災害/輻輳/障害耐性**：大規模災害発生時にネットワーク処理資源を補充させることで、より多くのトラフィックを疎通させることができ、資源補充を短時間で行うことで、生じていた再呼を無くし、輻輳の収束時間をより短くすることが課題である。

・**端末/トラフィック/事業者別、網管理**：要件の異なる端末やトラフィックを同一のコアネットワークに収容することは管理方法が異なることやトラフィック特性が異なることから効率が悪くなるため、M2M/IoT/IoE 端末など異なるトラフィック特性のアプリケーションを持つ端末を効率的に収容する網構成の検討が必要となる。また、多様化する MVNO のサービス/アプリケーションに対して、必要なネットワーク機能や十分なネットワークリソースを提供可能にするために、ネットワークの柔軟性・拡張性の検討が課題となる。

・**他 RAT 連携**：将来モバイルに求められる周波数帯域幅の目標達成のための複数 RAT の統合活用を実現するためには、インターネットとの接続点が特定の箇所に限定されることで発生する障害と遅延増大の解消を実現する高信頼シームレスハンドオーバー、多量な IoT 端末などにスムーズな通信アクセスを実現するシームレスアクセス、リンクアグリゲーションやマルチパス通信の異種 RAT 間への適用や通信速度の向上させる異種 RAT 間集約を実現させることが課題である。

6.1.2 モバイルバックホール

モバイルバックホールの課題は、以下の大容量化・超低遅延化・超消費電力化である。

・**超大容量 U-Plane**：高速且つ膨大な数の回線を集線するため、統計多重効果を考慮したとしても 100 Gbps 超の大容量回線が必要となる。例えば、1つのモバイルフロントホール（スモールセル）でピークレート 10 Gbps、ユーザ数 10000、利用率 0.01% とすると、10 Gbps の容量となる。また、1つのマクロセルに配置可能なスモールセルは約 100 であり、スモールセルあたり 10 Gbps とすると、モバイルバックホールの容量は最大 1Tbps を考慮する必要があるため、課題は 10 Gbps/40 Gbps/100 Gbps 単位での N 倍拡張と拡張に伴うコスト高騰となる。

・**超低遅延**：現在のモバイル網アーキテクチャではコア装置が基地局と離れた場所で管理されているため、モバイルバックホール/フロントホールにおいて、伝送距離による遅延、経由する装置の遅延などを考慮しなければならない。

・**超省電力**：リンク数増に伴い装置数が増加し、消費電力も膨大となる。例えば、1 Tbps を実現するトランスシーバの消費電力は約 150 W 以下となるが、基地局が 10 万台とすると、冗長化も含め消費電力は 30 MW となる。そのため、モバイルバックホール/フロントホールを経済的かつ低消費電力に構築するためのアーキテクチャを検討する必要がある。また、電気処理回路（インターフェース回路）も 1 Tbps の処理となるため、既存では 10 Gbps の処理回路で約 30 W であり、ネットワーク全体で約 600 MW となる。従い、課題は N 倍の装置規模に対する電力削減と未使用中の無駄な電力削減となる。

6.1.3 モバイルフロントホール

- ・**超大容量 U-Plane**：モバイル端末のデータレート高速化（セルの大容量化）に伴う、モバイルフロントホールに使われている回線容量の増大への対応。例えば、端末側で 10 Gbps の速度を実現するには、現状の CPRI を用いたモバイルフロントホールでは、約 100 Gbps 以上の伝送容量が必要となる。また、セルの小型化に伴うセル数増大（100 倍程度）に対応するため、現在のモバイルバック/フロントホールで用いられている 1 対 1 接続（P2P）構成ではリンク数増に伴う NW コストの高騰が懸念される。
- ・**超低遅延**：現在のモバイル網アーキテクチャではコア装置が基地局と離れた場所で管理されているため、モバイルバックホール/フロントホールにおいて、伝送距離による遅延、経由する装置の遅延などを考慮しなければならない。
- ・**超省電力**：BBU-RRH 間は CPRI 規格により接続されており、実際のトラフィックの多寡にかかわらず常時固定レートで通信が行われている。スモールセル化（装置数増加）によって、消費電力の総量が増大する。無線レートの高速化に伴う BBU-RRH 間の光トランシーバ、電気処理回路等の高速化によって、装置単体の消費電力が増加する。
- ・**超災害/輻輳/障害耐性**：基地局ダウン時等のバックホールノードの変更、トポロジ変更柔軟かつ動的に対応し、通信回線を確保可能な信頼性の高いネットワーク構築が必要となる。

6.2 要素技術の集約

6.2.1 コアネットワーク

コアネットワークに関連する要素技術は以下となる。

- ・**移動性/網アクセス管理技術**：端末の無線環境やアプリケーションに最適化された無線アクセスの提供により、サービス接続性を向上させ、またノードの移動特性に関係なくモバイルサービスをサポートすることを目的とした技術であり、他 RAT 連携を実現させるための無線システム間連携技術を含んでいる。また、端末の多様な無線アプローチにおけるモビリティとデータアクセスをスケラブルにサポートするための新しい識別子を定義すること目標としている。
- ・**データ指向型ネットワークング技術**：データアクセスにかかる時間短縮および手続き簡略化のため、データそのものを中心としてアクセスする方式であり、コンテンツの名前等によって通信する。通信相手の位置を意識せずコンテンツ、ユーザ、デバイス等に名前をつけ、動的に結びつけることにより通信を実施する技術である。
- ・**コンテキストウェアネットワークング**：ネットワーク環境、加入者情報、デバイス情報、アプリケーション要件、オペレータポリシーなどに基づいて、ネットワークがサービスのアトリビュートを機能にマッピングして最適なサービスを自律的に提供する環境のこと。
- ・**ユーザプロファイル管理技術**：M2M/IoT 等の新サービスやアプリケーションによる複数の User Profile を容易にし、一つの端末へ複数の分離されたサービスを提供するために論理的に分割するための技術。User Profile の Virtual Identity (VID) を Private/Professional/Casual の 3 つに分類し、User は各々を使い分けしているとの概念である。
- ・**エッジコンピューティング**：モバイル加入者に近接する無線アクセスネットワークに IT とクラウドコンピューティング能力有するプラットフォームを設置する技術。また、サードパーティが本プラットフォーム機能を利用するための API を提供する技術。
- ・**SDN - ネットワーク仮想化技術**：一つの物理的なネットワークリソースを複数の論理的に独立したネットワークを作り出す技術。また複数の物理的なネットワークリソースを仮想的に多重化することで一つのネットワークリソースとして扱うことができる技術。

・**SDN - サービスチェイニング技術**：固定的なマーキング情報に基づく簡単な振り分けに制限されていたものを、サービス属性に応じたマーキング（メタデータ）付与により柔軟なサービスチェイニングを実現させ、網の完全集中(SDN)制御から、部分的な分散制御も可能となる技術。

・**SDN - U/C 分離技術**：分散プロトコルによる自律動作を前提としていたルーティングやフォワーディングといった機能に関して、SDNアプローチによりオープンにプログラムが可能になる技術。IETF I2RS, SDN等により検討されている。また負荷分散、コンテンツフィルタリング、トラフィック最適化等についてモバイル網のトラフィックを集中制御可能とするSDNコントローラ技術もその一つである。また時間によるトラフィックの変動や地理的なトラフィックの変動により一部の時間帯や地域に集中させ、トラフィック変動に柔軟に対応可能とし、モバイルネットワーク内で固定化されたIPアドレスの経路を柔軟に変更可能とすることで、資源の有効利用によるコスト削減・電力削減の効果を見込める。

・**SDN - スライシング技術**：ネットワークの利用効率を向上させるために、ネットワークを複数の仮想的なネットワークに分離（パーティショニング）し、それぞれのネットワークを別々に管理できるようにするネットワーク仮想化技術。

・**SDN - オートスケールイン・アウト技術**：仮想化ネットワークにてリソース使用のリアルタイム監視と連携してリソースの最適配置を行う技術。仮想化したネットワーク内ではリソースの規模や配置変更が容易であり、実トラフィック状況やサービス要求に対してソフト制御による自動かつリアルタイムでのネットワークリソースの最適化が可能となる。

・**NFV - VM 間通信技術**：VMなどのエンティティ間でオーバーレイを作るためのTunnelingプロトコルであり、オーバーレイのフローに応じた適切なフォワーディング（負荷分散等）をアンダーレイで実現することや、VMマイグレーションも考慮したID空間の柔軟性を実現する。

・**NFV - XaaS 技術**：多種サービスや複数ネットワークユーザーに利用できるシングルプラットフォームを提供する技術であり、コアネットワークを包括的に仮想化してプラットフォーム化し、IaaS、PaaS、SaaS等での多種サービス、複数ネットワークユーザー（サービスプロバイダ、MVNOユーザ等）へのリソース共有により設備費用を低減する。

・**NFV - MANO アーキテクチャ**：仮想化されたネットワークと従来の（非仮想化）ネットワーク、及びそれらが混在した時のネットワークを運用管理する技術であり、仮想化したネットワーク内ではリソースの規模や配置変更が容易であり、保守者の要求による状況や計画に基づいた迅速なサービススケール変更が可能となる。

・**NFV - オートヒーリング技術**：一つの機能が全体の障害要因とならず、かつサービスの提供と継続性が確保されるように回復性と安定性を持たせる技術。仮想化されたネットワークでのHW障害によるサービスおよびリソースの柔軟な配置変更により網の信頼性が向上する。

・**NFV - サービスオーケストレーション技術**：様々なトラフィック特性を持つネットワークサービスを收容し、センサー端末等の膨大な数のデバイスのネットワークへの接続することを可能とする技術。ネットワーク機能のダイナミックな変更を可能とする技術。既存ネットワークインフラへの柔軟な新規機能の追加が可能になることで、新規サービスを迅速に容易に提供できるようになる。コアネットワーク機器の縮退と汎用品化により設備費用と運用費用を低減し消費電力を低減する。

・**NFV - SDN/NFV 融合技術**：仮想マシンを起動する際に、あらかじめ定められた構成で起動されていることを検証する技術。さらに、起動中のマシンが改ざんされていないことを検証する技術。また、安全に起動されている機器同士をつなぎ合わせて、システムとしての安全を確保する技術であり、SDNによるソフトウェア主導ネットワーク制御およびNFVベースのNW機能の仮想化技術を用いる。ノードの機能的なチェインや上位の運用サポートシステムはNFV MANOで管理することで、SDN/NFV構成によるNWの複雑性を軽減、オペレーションの高度化を実現する。NFVによりシステムのロールアウトが容易となりプラットフォーム共通化によるCAPEX、OPEX、エネルギー消費量の削減が可能となる。

6.2.2 モバイルバックホール

モバイルバックホールに関連する要素技術は以下となる。

- ・**フレーム処理技術**：MEFでは、IEEE 802.3で規定されたEthernet技術にOAM等を追加することで、キャリアが提供する通信網に適用できるキャリアグレードEthernet技術仕様をMEF標準として作成している。その一環としてMEFでは、モバイルバックホール向けのキャリアグレードEthernet技術を、MEF22シリーズとして標準化している。
- ・**空間多重技術**：光ファイバを束ねるSDMであるが、通常のシングルモードファイバではなく、コアが複数あるマルチコアファイバで伝送を行うため、光ファイバは1本である。実現可能な波長数が不足する場合にファイバ数で補う。ただし、開発途上であり、製造・敷設コストが課題である。
- ・**波長多重技術**：DWDMシステムにおいて、波長多重グリッドの割り当てを固定でなく可変とすることで帯域を効率化する技術。WSSの開発により、フレキシブルグリッドを実現している。伝送路を他の基地局回線と共有するときには有効である。
- ・**NW省電力化技術**：デバイス、機器、およびネットワークレベルの技術が独立して動作するのではなく、ネットワークのエネルギーの節約のために連携して動作すること。例えば、集線スイッチ部分を光学スイッチで実現する。光トランシーバにスリープ機能を具備し、トラフィック量に応じて必要だけ駆動する。
- ・**NW最適化技術**：ネットワーク機器の様々な物理的な限界を考慮してネットワーク内の様々な最適化を実行できること。例えば、ユーザの実際の要求に則した、最適なネットワーク機器の設置を実施することで、過剰な設備投資を抑制する。例えば、リソース（スイッチ、光トランシーバなど）を最適な容量で配置・駆動する。

6.2.3 モバイルフロントホール

- ・**C-RAN伝送技術**：C-RANは複数のセルのBBU(Base Band Unit)のリソースを集約し、アンテナと無線信号送受信部を張り出す基地局アーキテクチャ。リソース集約によるCAPEX/OPEX削減効果、CoMPやVirtual Multi Transceiver技術等の高度なセル間協調伝送技術を利用可能となる効果がある。
- ・**データ圧縮技術**：無線信号の使用周波数帯域幅に応じてIQデータの圧縮処理を動的に行う技術。無線信号の動的な圧縮を行うことで統計多重効果が期待でき、モバイルフロントホールへTDM-PONの適用効果を拡大できる効果がある。
- ・**TDM-PON技術**：PON上で時分割多重を行い、既存の光アクセスで使用している敷設済み光ファイバを利用することで、経済的に多数のRRHをBBUと接続することを可能とする技術。モバイルフロントホールにTDM-PON技術を適用する際に遅延が課題となるため、無線区間のスケジューリング情報と連携したDBA技術等の開発が必要となる。
- ・**変調技術**：モバイルフロントホールにおける超高速伝送の経済的実現を可能とする変復調技術。
- ・**空間多重技術**：光ファイバを束ねるSDMであるが、通常のシングルモードファイバではなく、コアが複数あるマルチコアファイバで伝送を行うため、光ファイバは1本である。実現可能な多重数が不足する場合にファイバ数で補う。ただし、開発途上であり、製造・敷設コストが課題である。
- ・**波長多重技術**：「CWDMライクな」送受信方式（短期解）、「DWDMライクな」送受信方式（長期解）により、超高速伝送を実現。フレキシブルグリッド技術の適用で、波長多重の更なる向上が可能となる。
- ・**NW省電力化技術**：デバイス、機器、およびネットワークレベルの技術が独立して動作するのではなく、ネットワークのエネルギーの節約のために連携して動作すること。例えば、集線スイッチ部分を光学スイッチで実現する。光トランシーバにスリープ機能を具備し、トラフィック量に応じて必要だけ駆動する。

6.3 課題、要素技術のマッピング

6.3.1 コアネットワーク

次に示す Table.6.3.1-1 にて、コアネットワークに関する課題と要素技術のマッピングを行い、各課題を関連の要素技術が解決できるか、記載する。表中にチェック“✓”にて表記された項目は 5 章に記載の要素技術が明らかに有効であると判断したものに対して記しているが、チェックされていない技術要素が必ずしも有効ではないとは限らない。

Table.6.3.1-1 課題と要素技術のマッピングーコアネットワーク（1 / 4）

課題	課題詳細	コア網システム技術					SDN 技術			NFV 技術							
		移動性/網アクセス管理技術	データ指向型ネットワークワーキング技術	コンテンツストアウェアネットワーク	ユーザプロファイル管理技術	エッジコンピューティング	ネットワーク仮想化技術	サービススケーリング技術	U/C 分離技術	スライシング技術	オートスケールイン・アウト技術	VM 間通信技術	XaaS 技術	MANO アーキテクチャ	オートヒーリング技術	サービスオーケストレーション技術	SDN/NFV 融合技術
超大容量 U-plane	U-plane の処理負荷増大					✓	✓							✓			
負荷増大 C-plane	セッション/ベアラ数の増大								✓		✓			✓			
	ID/識別子の増大	✓		✓	✓												
	シグナリングの増大								✓		✓			✓			✓

Table.6.3.1-2 課題と要素技術のマッピングーコアネットワーク（2／4）

課題	課題詳細	コア網システム技術					SDN 技術			NFV 技術							
		移動性/網アクセス管理技術	データ指向型ネットワークワーキング技術	コンテキストウェアネットワーキング	ユーザプロファイル管理技術	エッジコンピューティング	ネットワーク仮想化技術	サービスシェイピング技術	U/C分離技術	スライシング技術	オートスケールイン・アウト技術	VM間通信技術	XaaS技術	MANOアーキテクチャ	オートヒーリング技術	サービスオーケストレーション技術	SDN/NFV融合技術
超低遅延	距離による物理的遅延		✓			✓											
トランスポート層に関する課題	頻繁な回線変化/様々なアプリケーションへの対応		✓														
超災害/輻輳/障害耐性	柔軟な輻輳制御・負荷分散						✓				✓				✓		
端末/トラフィック/事業者別、網管理	要件の異なる端末/トラフィックの収容			✓	✓											✓	
	NW機能開放の柔軟性向上									✓			✓				

Table.6.3.1-3 課題と要素技術のマッピングーコアネットワーク（3/4）

課題	課題詳細	コア網システム技術					SDN 技術			NFV 技術							
		移動性/ 網アクセ ス管理 技術	データ 指向型 ネット ワーキ ング技 術	コンテ キスト アウェ アネッ トワー キング	ユーザ プロフ ァイル 管理技 術	エッジ コンピ ューテ ィング	ネット ワーク 仮想化 技術	サービ スシェ イニン グ技術	U/C 分 離技術	スライ シング 技術	オート スケー ルイ ン・ア ウト技 術	VM 間 通信技 術	XaaS 技術	MANO アーキ テクチ ャ	オート ヒーリ ング技 術	サービ スオー ケスト レーシ ョン技 術	SDN/N FV 融 合技術
他 RAT 連携	最適 RAT 選択、高 信頼性シ ームレス ハンドオ ーバー、 シームレ スアクセ ス、異種 RAT 間集 約の実現	✓															
迅速性	新機能・ 新サービ スの迅速 性確保							✓					✓			✓	
	サービス ダウンタ イムゼロ 化						✓				✓			✓			
	仮想化等 による新 規機能の 実現												✓			✓	✓

Table.6.3.1-4 課題と要素技術のマッピングーコアネットワーク（4／4）

課題	課題詳細	コア網システム技術					SDN 技術			NFV 技術							
		移動性/ 網アク セス管 理技術	データ 指向型 ネット ワーキ ング技 術	コンテ キスト アウェ アネッ トワー キング	ユーザ プロフ ァイル 管理技 術	エッジ コンピ ューテ ィング	ネット ワーク 仮想化 技術	サービ スステ ィニン グ技術	U/C 分 離技術	スライ シング 技術	オート スケー ルイ ン・ア ウト技 術	VM 間 通信技 術	XaaS 技術	MANO アーキ テクチ ャ	オート ヒーリ ング技 術	サービ スオー ケスト レーシ ョン技 術	SDN/ NFV 融 合技術
コスト	網管理の CAPEX 削減							✓	✓			✓					
	網管理の OPEX 削 減						✓			✓				✓			
柔軟・ 最適化	柔軟か つ、簡素 化された 網オペレ ーション の実現						✓			✓			✓				

6.3.2 モバイルバックホール

Table.6.3.2-1にて、モバイルバックホールに関する課題と要素技術のマッピングを行い、各課題を関連の要素技術が解決できるか、記載する。

Table.6.3.2-1 課題と要素技術のマッピングーモバイルバックホール

課題		新技術				
		フレーム処理技術	空間多重技術	波長多重技術	NW 省電力化技術	NW 最適化技術
超大容量 U-plane	N 倍拡張		✓	✓		
	コスト高騰	✓				✓
超低遅延						✓
超消費電力	N 倍の電力増大	✓			✓	
	無駄な電力				✓	✓

6.3.3 モバイルフロントホール

Table.6.3.3-1 にて、モバイルフロントホールに関する課題と要素技術のマッピングを行い、各課題を関連の要素技術が解決できるか、記載する。

Table.6.3.3-1 課題と要素技術のマッピング – モバイルフロントホール

課題		C-RAN 伝送技術	データ圧縮技術	TDM-PON 技術	変調技術	空間多重技術	波長多重技術	NW 省電力化技術
超大容量 U-plane	N 倍拡張	✓	✓		✓	✓	✓	
	コスト高騰	✓	✓	✓	✓			
超低遅延								
超省電力								✓
超災害/輻輳/障害耐性		✓						

7 考察

これまでの検討により、以下の知見が得られる。

- 超低遅延の実現のためには、コアネットワークに新技術の導入が必要である。また、ノードの配置、モバイルフロントホールおよびバックホールの伝送媒体の敷設経路に物理的制約が発生する。新技術の導入、また、網配備上の制約に見合う便益が得られるか、今後、要求条件の再評価が必要である。
- 超大容量、及び、IoT 端末数の爆発的増加に、低 CAPEX、低 OPEX（含む省電力）のコアネットワーク、モバイルフロントホールおよびバックホールで応える、との点は、商用網技術の延長、仮想化技術の導入のみでは、容易に解決できない。今後、数値評価を更にすすめる、新技術導入以外に解決できないとなれば、早期に新技術検討を深化させるべきである。
- 処理能力・機能割当の柔軟性は、割当にかかる時間を問わないならば、既存の技術で解決できる。割当にかかる時間を短縮するためには、新技術の導入が必要。新技術の導入に見合う便益が得られるか、今後、要求条件の再評価が必要である。
- 網管理機能向上は、仮想化技術の導入により改善が期待できる。仮想化によるコアネットワークの機能アーキテクチャ自体への影響は限定的であるが、多様な性能要件（容量、遅延など）、輻輳耐性、省電力化の観点ではネットワーク全体で最適化して要件を満足させる際の鍵となる。実現手法や新技術の更なる検討が必要である。

コアネットワーク

4章で検討した将来のシナリオに対し現在の技術課題を検討した結果、将来の理想的なモバイルネットワークを実現させるためにはコアネットワークが及ぼす影響は大きいことがわかった。すでに顕在化し始めている U-plane や C-plane 負荷増加の課題に加えて、超低遅延や網管理など新たな課題の対応が必要となってくる。

これらの課題を解決する要素技術として、現在先行して検討が進んでいる SDN や NFV による仮想化技術が有効であり、更なる課題解決のためにはデータ指向ネットワークやコンテキストウェアネットワークやエッジコンピューティング技術のような新たな技術要素の検討が必要となる。

モバイルバックホール

超大容量の実現には、統計多重効果を考慮してもモバイルバックホールでは 1Tbps 級に登る膨大な通信容量が必要となる。このため、モバイルバックホールの消費電力を 1/10 に効率化の上では、トラフィック量に応じた伝送装置（光トランシーバ、インターフェース回路等）の駆動制御も必要となる。また、装置の大規模化や消費電力の高騰を避けるため、デバイスの集積化技術の進展も期待される。

すなわち、低コスト・低消費電力の観点からは、トラフィックに応じた最適な容量を制御する機構を実現し、効率化を図るための新技術導入が必須である。

モバイルフロントホール

大容量化に伴うコスト高騰・消費電力増大への対策として、BBU と RRH の間の機能配分見直しを含む、網構成最適化の検討が必要になると考えられる。具体的には、100 Gbps/セル以上への対応、および、現行の 100 倍が想定されるスモールセル数に対するコスト・消費電力観点での効率的収容が課題となる。消費電力の観点では、例えば通信システム全体で 1/10 に効率化するには、現在装置から 1/20 の省電力化が求められ、CPRI 等に代わる新たな伝送方式や、適切な網管理制御による通信システム全体での省電力化も課題となる。

超災害/輻輳/耐障害性のためには、モバイルフロントホールに閉じない解決策が必要になると考えられる。

8 結論および提言

本文書では、2020年またそれ以降のモバイル通信のデータトラフィックの伸び、M2M/IoT 端末の急増に伴うコネクション数増大や多種多様なサービスによるトラフィック変動幅の急増、今以上の多様な無線アクセス技術の効率的収容の必要性、更には、触覚通信、V2X、AR、M2M の様なリアルタイム制御と言った、今までに無い低遅延性が要求される新サービスの台頭、等の観点から、将来のシナリオを想定し、現在のコアネットワーク、モバイルフロントホールおよびバックホールにおける技術課題を抽出した。

加えて、昨今、国内外で活発に盛り上がりを見せる“5G”（団体毎で“5G”の解釈や定義が異なり、世界的に5Gの定義は未整備である）や将来ネットワークに関連が深いと思われる各種標準化団体や各主要国の研究活動等、想定される課題解決のための主要技術候補の技術調査を実施し、そこから、キーとなる技術課題や主要技術等の知見を得た。

- (1) 現在のモバイルネットワークは2G、3G、4G、と言った無線技術の世代に応じて、コアネットワークも進化させ、多様なサービスや無線アクセス技術を収容できるようにモノリシックなアーキテクチャを軸に新たな要求条件に応じて、機能追加してきた。しかしながら、今回の調査・検討活動でまとめたように、今後はより多種多様な端末および膨大な数のM2M/IoT 端末を収容することにより端末に応じて異なるトラフィックを効率的に収容する新たな仕組みがネットワーク側に必要となる。
- (2) コアネットワークにおいては、多様な要求条件のカテゴリ毎に最適化された複数のアーキテクチャを効率的に収容できる新たな仕組みが必要になり、将来技術として有望である、NFV、SDN 技術を軸に、更なる統合化、要素技術を発展させる必要があるように思われる。
- (3) また、現在、コミュニケーションの主流は音声以外に、ビデオ通信やSNS や各種メッセージングサービスであり、モバイルシステムとしては、IMS を固定・移動網も商用運用しているが、新たな2020年以降のコミュニケーションサービスやそのための新たなシステムの検討は国内外の技術調査をしてもあまり、見られなかった。
- (4) モバイルフロントホールおよびバックホールにおいては、主にU-Planeに関するトラフィック増大に起因する課題を中心に挙げた。フロントホール、バックホールにおける超大容量化が不可欠であるため、これを緩和するためには、更なる伝送技術の高度化が不可欠であると共に、網全体を見た適切な機能配置など新たな課題も明らかとなった。また、容量増大や小セル化に伴い、特にフロントホールにおける消費電力の高騰が深刻になる課題が明らかとなり、同課題を解決するための新たな技術やアーキテクチャの検討も不可欠である。
- (5) 網管理の観点での分析を通じて、SDN、NFV、仮想化といった比較的新しい技術の普及が想定される中で、サービスの短ライフサイクル化と管理データの肥大化により想定される網管理コストの高騰を緩和する、スケール性と柔軟性に優れた網管理技術が不可欠となる。この点は、国内外を通じて比較的共通的な課題認識と見られた。また、仮想化等の技術の普及に伴う網構成の複雑化による新たな技術課題として、ネットワークセキュリティに関する課題の存在も述べた。

今回は2020年以降にモバイルネットワークに課題になると思われる諸課題、それらの解決に有効であると思われる現在の国内外の調査活動を実施してまとめたが、TTCは、本文書で得られた知見をもとに、引き続き国内外の関係組織と連携し、検討を進めていく。例えば、今回抽出した課題の定量評価、要素技術の応用技術の検討、無線システムを含めたEnd-to-Endでの全体の新たなアーキテクチャやそのためのシステムの要求条件を議論・検討することも考えられる。つまり、将来のモバイルネットワークは無線システム技術だけでなく、コアネットワーク、伝送、及び、サービスネットワークを含めた総合的な視点に立った統合ネットワーク管理を検討することがより一層重要になると思われる。また、今後も国内外の動向を注視し、国際標準化活動を加速させるとともに、2020年以降の社会が求めるサービスやそのためのネットワークの仕組みや要素技術の研究活動をTTCが中心となって積極的に推進していくこととしたい。

Annex A 無線技術

A.1 無線伝送技術

A.1.1 多素子アンテナ技術

要素技術名	Massive MIMO
(1)本技術の説明	Massive MIMO でアンテナ数 256 サンプリング周波数を 30.72MHz の 2n 倍にすることで低遅延化"
(2)本技術が解決する課題	高周波数帯を用いることによる伝送損失の増加 高速化による遅延の増加"
(3)本技術の効果	11GHz 帯で 10Gbps 以上の伝送が可能となる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献では 10Gbps 伝送の実証、30Gbps 伝送のシミュレーションによる効果確認の段階 【問題点】 送信電力の低減
(5)検討組織	電子情報通信学会
(6)参考文献	NTT ドコモ／信学技法 RCS2013-232

A.2 無線システム技術

A.2.1 C-RAN 技術

要素技術名	DU 仮想化
(1)本技術の説明	C-RAN 構成における DU (BBU) の仮想化に関して、実装上の観点から検討されている。具体的には、DU 機能を一定数ごとにクラスタ化する”DU sub-cloud”と、”GPP (General Purpose Processor)を使用した DU Cloud”が記述されている。
(2)本技術が解決する課題	記載なし
(3)本技術の効果	【DU sub-cloud】 DU 仮想化によるコスト削減効果の最大化 【GPP を使用した DU Cloud】 無線信号処理の効率改善、汎用プロセッサによる経済化（パケット処理、コア NW&L2/L3 処理が可能）
(4)本技術の成熟度/問題点	コンセプト提案はなされているが、最適化などは今後の課題
(5)検討組織	NGMN (Next Generation Mobile Network)
(6)参考文献	NGMN / “Suggestions on potential solutions to C-RAN”, 4.2.1 DU and DU Cloud

要素技術名	RU 遠隔監視方法
(1)本技術の説明	C-RAN 構成における RU (RRH) 実装のソリューションとして、遠隔電源供給および遠隔監視方法について検討されている。
(2)本技術が解決する課題	C-RAN 構成では遠隔地に配備される RU への電源供給方法、および保守・監視方法を検討する必要がある。
(3)本技術の効果	<p>【遠隔電源供給】</p> 広範囲への電源供給・電源バックアップ・管理および盗難対策が容易、機能集約（共用）による経済化
(4)本技術の成熟度/問題点	<p>【遠隔監視方法】</p> 集中監視による監視コストの削減
(5)検討組織	記載なし
(6)参考文献	NGMN (Next Generation Mobile Network) NGMN / “Suggestions on potential solutions to C-RAN”, 4.2.4 RU and remote sites

要素技術名	MFH の経済的構築方法
(1)本技術の説明	モバイルフロントホールの経済的な NW 構築方法として、リングトポロジや OTN の利用, PON 構成における WDM の適用等が検討されている。
(2)本技術が解決する課題	既存の 1 : 1 接続のネットワーク構成では容量・リンク数の増大により設備コストが増大する。
(3)本技術の効果	経済的なネットワーク敷設が可能。
(4)本技術の成熟度/問題点	各 NW 構成でのコスト・性能比較が必要。
(5)検討組織	NGMN (Next Generation Mobile Network)
(6)参考文献	NGMN / “Suggestions on potential solutions to C-RAN”, 4.2.5 Fronthaul network solutions for C-RAN

要素技術名	C-RAN アーキテクチャ
(1)本技術の説明	C-RAN は複数のセルの BBU(Base Band Unit)のリソースを集約し、アンテナと無線信号送受信部を張り出す基地局アーキテクチャ。
(2)本技術が解決する課題	5G ではトラフィック容量の増大が言われており、そのためにはスモールセル化し、単位面積あたりのセル数の増加が必要である。そのため、増大する基地局の CAPEX/OPEX の削減が課題である。
(3)本技術の効果	<ul style="list-style-type: none"> リソース集約による CAPEX/OPEX 削減効果。 CoMP、” Virtual Multi Transceiver” 技術等、高度なセル間協調伝送技術を利用可能である。
(4)本技術の成熟度/問題点	<ul style="list-style-type: none"> 現在でも C-RAN 技術は実用化されている。 現行の C-RAN は CPRI による大容量・低遅延のデジタル RoF 伝送が用いられており、光ファイバ等の理想的な回線が必要である。また、遅延に起因する制限から一般的に使用可能な距離に制限を受ける。(例：20km 以下)。
(5)検討組織	ARIB 2020 and Beyond AdHoc
(6)参考文献	ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group White Paper, "Mobile Communications Systems for 2020 and beyond", Version 1.0.0, [A7.4]

A.2.2 HetNet 技術

要素技術名	UDN (Ultra-Dense Networks)
(1)本技術の説明	エリア内に近接し密集する大量のノードを効率的に共存させるための技術（群）。高い周波数を利用する新 RAT 技術、小セルの統合協調制御、無線バックホールを利用したノード負荷への対応等。
(2)本技術が解決する課題	エリア内のノード数増加が引き起こす以下のようなキャパシティ低下要因に対応。 ・セル間干渉増大によるセル当り周波数効率低下 ・HO 数増加によるモビリティ信号オーバーヘッドの増加・ロバスト性低下"
(3)本技術の効果	小セル間の統合協調制御により、負荷分散、HO 失敗回数の最小化、消費電力削減、メンテナンス費用低減、無線バックホールの効率化が図られ、キャパシティ向上等に寄与する。
(4)本技術の成熟度/問題点	小セル化によるセルの高集積化への対応、局所的なシグナリング集中を避けるための効率的な移動管理は 3GPP でも課題と捉えられており、EPC の高度化において解決されると想定。
(5)検討組織	METIS
(6)参考文献	METIS/Deliverable D6.2 Initial report on horizontal topics, first results and 5G system concept

要素技術名	カバレッジ最適化 (Multi-layer/Multi-band cells)
(1)本技術の説明	複数のサイズのセルを、オーバーレイして配置し、トラフィック需要に応じて最適にセルのカバレッジを実現する。 例： Coverage Cell: C-Plane 主体(オプションで U-Plane)。3GHz 以下使用。 Efficiency Cell: U-Plane 主体(オプションで C-Plane)。3～10GHz 帯使用。 Capacity Cell: U-Plane 収容。10GHz 以上使用。"
(2)本技術が解決する課題	トラフィックの発生場所は一様ではなく、局所的に集中する場合もあるため、需要に応じてセルを最適に設計する必要がある。
(3)本技術の効果	カバレッジの最適化により、投資効率向上。
(4)本技術の成熟度/問題点	単純なセルのオーバーレイは実用レベル。セル間の高度な連携は検討が必要。
(5)検討組織	ARIB 2020 and Beyond AdHoc
(6)参考文献	ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group White Paper, "Mobile Communications Systems for 2020 and beyond", Version 1.0.0

要素技術名	FiWi アクセス NW による実現方式整理
(1)本技術の説明	Fiber Wireless (FiWi) Access Network (PON [WDM PON, E-PON の両方]や無線 LAN で構成するアクセス網を指していると理解される)を使い LTE-A HetNet を実現する際の課題整理。"
(2)本技術が解決する課題	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大容量・低遅延のバックホールインフラ：CoMP (Cooperative Multi Point)実現上、基地局間を接続するネットワークについて、無線側の要求と、基地局間を接続するバックホールの性能にミスマッチが存在。CoMP の性能には遅延が重要な要素。 2. 既存の PON の、固定ブロードバンドアクセスとスモールセル用バックホールでの共用 3. ユーザ端末が補助する移動管理技術：トラフィックのステアリング(どのセル、RAT で提供するか)。 4. 実時間での障害回復アルゴリズム開発：OPEX/CAPEX の削減の観点で重要。 5. 知的な WiFi オフロード戦略の開発：RAT として WiFi を上手く活用することが重要。 6. M2M 通信とスマート(グリッド)アプリケーション対応：M2M 通信の特性に対応した方式。 7. D2D (Device to Device)通信とコンテキストウェアアプリケーション対応：基地局を介さない LTE Direct や WiFi Direct の様な端末間直接通信と、基地局を介する通信の最適な組み合わせ。D2D グループの形成方法。
(3)本技術の効果	大容量化と CAPEX/OPEX 低減の実現。適用アプリケーション拡大。
(4)本技術の成熟度/問題点	<p>【成熟度】 課題を挙げる目的の論文であり、具体的解決策は提示していない。</p> <p>【問題点】 LTE-A HetNet を主要ターゲットとして書かれているが、LTE-A HetNet に限定しない将来のモバイルネットワークでは、本論文で挙げられていない課題が存在する可能性がある。</p>
(5)検討組織	IEEE ICC
(6)参考文献	FiWi Access Networks: Future Research Challenges and Moonshot Perspectives

A.2.3 RAN 共有技術

要素技術名	共有 RAN
(1)本技術の説明	既存の RAN を仮想化し複数の仮想 RAN に分割。その RAN を個別テナントに貸し出す技術。さらに RAN 部分だけでなくバックホール部分にも仮想化を適用することが可能。
(2)本技術が解決する課題	小セル化によって起こりうる設備投資の増大を抑制することが可能。RAN 仮想化をクラウドで実施することにより、コスト上昇を抑えることも可能。
(3)本技術の効果	設備共用による CAPEX、OPEX の削減
(4)本技術の成熟度/問題点	構想段階
(5)検討組織	NetWorld2020
(6)参考文献	NetWorld2020 ETP 5G: Challenges, Research Priorities, and Recommendations

要素技術名	RAN 共有技術
(1)本技術の説明	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の MVNO でシェアする場合に、各 MVNO に割り当てる無線リソースのロードバランスをセル毎に需要に応じて最適にコントロールする。 ・RSE(RAN Sharing Enhancement)コントローラにより、空きリソースがあるセルに誘導する制御。
(2)本技術が解決する課題	5G ではトラフィック容量の増大が言われており、そのためにはスモールセル化し、単位面積あたりのセル数の増加が必要である。そのため、増大する基地局の CAPEX/OPEX の削減が課題である。
(3)本技術の効果	設備共用による CAPEX、OPEX 削減効果、省電力化。
(4)本技術の成熟度/問題点	一部実用化済み。
(5)検討組織	ARIB 2020 and Beyond AdHoc
(6)参考文献	ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group White Paper, "Mobile Communications Systems for 2020 and beyond", Version 1.0.0, [A7.5]

A.2.4 SDN 技術

要素技術名	SDN コントローラ
(1)本技術の説明	SDN コントローラによる無線アクセス網の仮想的集中制御
(2)本技術が解決する課題	無線アクセスにおけるセル間干渉
(3)本技術の効果	<ul style="list-style-type: none"> ・無線アクセスにおけるセル間干渉の効率的回避 ・より効率的な無線リソース利用
(4)本技術の成熟度/問題点	ホワイトペーパーでのコンセプトレベル記述であり、具体的な制御やスケラビリティに関して検証が必要
(5)検討組織	ONF
(6)参考文献	ONF White Paper "Software-Defined Networking : The New Norm for Networks" ONF Solution Brief "OpenFlow™-Enabled Mobile and Wireless Networks"

A.2.5 SON 技術

要素技術名	ANR、MRO、CCO
(1)本技術の説明	ANR：優先度により、リストを更新する。 MRO：HO失敗タイプの頻度によってオフセットを更新する。 CCO：ユーザスループット等の情報から最適な送信電力を設定
(2)本技術が解決する課題	スモールセルによる負荷増大やマクロセルとスモールセル間の通信品質劣化。
(3)本技術の効果	構築・運用の費用削減と安定した高品質の両立が可能となる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献ではシミュレーションによる効果確認の段階 【問題点】 マルチベンダ環境における定義・手順の整理"
(5)検討組織	電子情報通信学会
(6)参考文献	NEC/信学技法 RCS2013-234

要素技術名	カバレッジ/HOの最適化方式
(1)本技術の説明	カバレッジ最適化：送信電力を動的に制御し、エリアを変化させる。 HO最適化：閾値、マージン、タイミング等を自動調整する。
(2)本技術が解決する課題	システムパラメータの調整が複雑になり、運用負荷やコストが増大する。
(3)本技術の効果	構築・運用の費用削減と安定した高品質の両立が可能となる。また、負荷分散による資源の有効利用も可能となる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 文献ではシミュレーションによる効果確認の段階 【問題点】 実検証による効果確認
(5)検討組織	電子情報通信学会
(6)参考文献	KDDI/信学技法 RCS2013-233

A.2.6 エッジコンピューティング技術

要素技術名	データキャッシュによるネットワーク性能向上技術
(1)本技術の説明	PONを適用したモバイルバックホールに帯域割当とキャッシュマネージメントを行うコントローラを配置した Software-Defined PON アーキテクチャ
(2)本技術が解決する課題	high-definition(HD) video streaming サービスなど高トラフィックの伝送を行う必要があり、そのソリューションとして PONの適用が検討されている。一方、増え続けるトラフィックに対して、データキャッシングによるトラフィック削減が検討されている。
(3)本技術の効果	Software-defined PON を用いてビデオリクエストに対するサービス遅延時間の 50%改善および 30%の性能改善が期待できる。
(4)本技術の成熟度/問題点	【成熟度】 シミュレーション段階。 【問題点】 —
(5)検討組織	IEEE/OSA
(6)参考文献	【検討組織】 NEC Laboratories America 【参考文献】 Joint Bandwidth Provisioning and Cache Management for Video Distribution in Software-Defined Passive Optical Networks

A.2.7 モバイルリレー技術

要素技術名	Mobile Relay
(1)本技術の説明	バス、電車等の移動体内をカバーする移動するセルを導入し、シグナリングを集約する。
(2)本技術が解決する課題	高速で移動する移動体内でのユーザが多数の場合、ハンドオーバー時に大量の信号が同時に発生し、負荷が集中する。また、移動体内の通信品質の更なる安定が望まれている。
(3)本技術の効果	<ul style="list-style-type: none"> ・ネットワークの展開の容易さ、展開速度向上。 ・移動管理のシグナリング削減。 ・CAPEX/OPEX 削減。
(4)本技術の成熟度/問題点	3GPP の検討が行われている。(TR 36.836)
(5)検討組織	ARIB 2020 and Beyond AdHoc
(6)参考文献	ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group White Paper, "Mobile Communications Systems for 2020 and beyond", Version 1.0.0, [A7.2.3]

A.2.8 近接端末間直接通信技術

要素技術名	近接端末間直接通信
(1)本技術の説明	ネットワークを経由せずに近接端末を発見し、端末間に直接通話路を設定し通信を行う。 また、セル外の端末がセル内の近接端末を経由してネットワークと通信する。 通常のネットワーク経由の通信と近接端末間直接通信で同じデータを送受信する、または両ルートを必要時に切り替えることで通信の信頼性を向上させる。
(2)本技術が解決する課題	(原本には明確な記載はありませんが概ね下記と認識しています) 現在の通信方式では、端末の通信相手先が近隣に存在する場合であっても、通信路はネットワークを経由するためにネットワークリソースを無駄に使用してしまう。ネットワークリソースの効率的な利用が必要である。
(3)本技術の効果	近隣端末間で直接通信を行うことで、① トラフィックのオフロードによりバックホールコストが低減する。② 通常通信と近接端末間直接通信の両システムを用意することで、通信の信頼性が向上する。③ 単位エリア当たりの収容トラフィック（キャパシティ）が増加する。④ End-to-End のデータ転送遅延が低減する。⑤ カバリッジが改善する。といった効果がある
(4)本技術の成熟度/問題点	METIS においては、現状、具体的なソリューション・技術詳細を記述したドキュメントが無い。一方、3GPP においては Rel-12/13 仕様として検討中。
(5)検討組織	METIS
(6)参考文献	METIS/Initial report on horizontal topics, first results and 5G system concept.

要素技術名	デバイス間通信 (Device-to-Device) の拡張
(1)本技術の説明	ライセンスバンドを含むデバイス間直接通信をさらに用途を拡張して利用する。
(2)本技術が解決する課題	<ul style="list-style-type: none"> ・近接する端末間の通信・転送のさらなる最適化 ・従来型のカバレッジのデバイス間リレーによる拡大 ・複数デバイスの送受信の統合による通信の効率化 等
(3)本技術の効果	<ul style="list-style-type: none"> ・無線リソース最適化シナリオの実現方式となり得る。 ・障害により隔絶された環境での通信手段となり得る。
(4)本技術の成熟度/問題点	5G 検討当初から、後付の追加コンポーネントではなく主要なソリューションとして検討中
(5)検討組織	4G Americas
(6)参考文献	4G Americas, 4G Americas' Recommendations on 5G Requirements and Solutions, OCT 2014

要素技術名	メッシュネットワーク
(1)本技術の説明	デバイス間のメッシュネットワーク。トラフィックの一部をデバイス間のリンクで伝送する。ルーティングは SIPTO ライクなアルゴリズムで設定。
(2)本技術が解決する課題	災害・障害発生時等、エリア外となった場所に対して、迅速にネットワークを復旧、拡張できる必要がある。
(3)本技術の効果	ネットワークの展開の容易さ、展開速度向上。
(4)本技術の成熟度/問題点	メッシュネットワーク自体は既存技術があるが、モバイルの一部としての活用の検討は未成熟。
(5)検討組織	ARIB 2020 and Beyond AdHoc
(6)参考文献	ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group White Paper, “Mobile Communications Systems for 2020 and beyond” , Version 1.0.0, [A7.2.2]

A.2.9 無線システム間連携技術

要素技術名	Single Radio Controller による Multi-RAT の統合管理
(1)本技術の説明	複数の Radio Access Technology を Single Radio Controller (SRC)で統合管理し、無線リソース制御、および同一の CN インターフェースでの複数の RAT の管理を行う。
(2)本技術が解決する課題	周波数有効利用、RAT 非依存の QoE 提供、RAT 間 Interoperability 容易化及び網管理の簡素化を行う。
(3)本技術の効果	Traffic Load の分配等が容易化可能であり、それによる周波数有効利用及び User Experience 向上を図ることが可能となる
(4)本技術の成熟度/問題点	構想段階。C-RAN の導入が前提となる。
(5)検討組織	Wireless World Research Forum (WWRF)
(6)参考文献	WWRF Outlook 9 (Multi-RAT Network Architecture)

要素技術名	Unified Radio Controller による無線リソースの統合管理
(1)本技術の説明	3G/4G や WiFi といった異種無線アクセス手段を統合して利用。Unified Radio Controller(URC)による制御を行う。
(2)本技術が解決する課題	増加するトラフィックに対し、単一の RAT での収容には周波数やコストの面で限界があり、既存の RAT や無線 LAN 等の他 RAT を活用して収容する必要がある。
(3)本技術の効果	<ul style="list-style-type: none"> ・マルチバンド、マルチ RAT によるトラフィック容量の向上。 ・既存アクセス手段の活用による CAPEX/OPEX 削減。 ・異種ネットワーク間のシームレスハンドオーバー実現による QoE 向上。
(4)本技術の成熟度/問題点	3GPP において、non-3GPP アクセス収容技術は存在する。無線リソースの制御等、5G に向けて更なる高度化は成熟しておらず、検討が必要。
(5)検討組織	ARIB 2020 and Beyond AdHoc
(6)参考文献	ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group White Paper, "Mobile Communications Systems for 2020 and beyond", Version 1.0.0, [A7.2.1]
(注) 上記 2 つの技術(SRC, URC)は別団体のドキュメントで、異なった名称で記述されているが、概念は似たものである。URC は主に無線リソースの制御についての記載であるが、SRC は CN インターフェースの統合まで記載するなど、細部には違いがある。	

要素技術名	マルチ RAT インテグレーション
(1)本技術の説明	方式の異なる無線システムのシームレスな統合
(2)本技術が解決する課題	<ul style="list-style-type: none"> ・5G のユースケースに対するユーザ体験の向上 ・5G のユースケースに対するオペレーション効率の向上
(3)本技術の効果	カバレッジ拡大、収容能力の拡大に対するサービスレベルの確保や干渉回避が期待される。
(4)本技術の成熟度/問題点	既存の 3G/LTE-WiFi Integration の延長
(5)検討組織	4G Americas
(6)参考文献	4G Americas, 4G Americas' Recommendations on 5G Requirements and Solutions, OCT 2014

要素技術名	バックホール・アクセス・インテグレーション
(1)本技術の説明	バックホール無線とアクセス無線を周波数・方式面で統合する。
(2)本技術が解決する課題	スモールセル利用の拡大により増加するバックホールリンクでの無線利用のニーズに対応し、アクセスリンクとの分割による非効率を緩和する。
(3)本技術の効果	方式や無線の利用効率をより高めることにより、エンドエンドでのパフォーマンスや品質を改善する。
(4)本技術の成熟度/問題点	今後の調査による
(5)検討組織	4G Americas
(6)参考文献	4G Americas, 4G Americas' Recommendations on 5G Requirements and Solutions, OCT 2014

要素技術名	無線システム間 (ファントムセル/WiFi) 連携技術
(1)本技術の説明	MD-RRM : Multi Domain Radio Resource Management による最適システム選択。ユーザの移動状況や利用するサービスの情報に基づき、セルラ及び無線 LAN で使用する無線リソースのスケジューリングをリアルタイムで行う。
(2)本技術が解決する課題	高速化/大容量化のために、有限な無線リソースを最大限活用する。
(3)本技術の効果	無線 LAN の AP の負荷に応じた制御による高スループットの実現が可能となる。
(4)本技術の成熟度/問題点	<p>【成熟度】</p> <p>文献ではシミュレーションによる効果確認の段階</p> <p>【問題点】</p> <p>実検証による効果確認</p>
(5)検討組織	電子情報通信学会
(6)参考文献	NTT ドコモ/信学技法 RCS2013-237

A.2.10 その他の無線システム技術

要素技術名	URC (Ultra-Reliable Communication)
(1)本技術の説明	周波数配置マネジメント、ロバスト PHY メカニズム、シグナリング構成・干渉マネジメント、マルチ RAT 等による安定的かつ信頼性の高い接続の保証
(2)本技術が解決する課題	悪条件下でも高い接続信頼性、可用性を保証するため、信号の劣化、干渉の増加、デバイスの競合によるリソースの枯渇、プロトコルの不適合、機器不具合等の課題を解決する必要がある。また、通信形態によって異なる QoS 等の要件を満足する必要がある。
(3)本技術の効果	上記課題を解決することで 10～100 倍のデバイス接続数収容、デバイスバッテリーの 10 倍への長寿命化、E2E レイテンシー 5 分の 1 を達成し、安定的な接続を保証する。
(4)本技術の成熟度/問題点	具体的解決手段については言及されていないが、3GPP や IEEE での取り組み（例えば Public safety (R12)）では限定的であると述べられている。
(5)検討組織	METIS
(6)参考文献	METIS/Deliverable D6.2 Initial report on horizontal topics, first results and 5G system concept

Annex B 「将来のモバイルネットワーキングに関する検討会」参加者一覧

	役職	会員会社名	氏名
1	リーダー	株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ	岡川 隆俊
2	サブリーダー	KDD I 株式会社	林 通秋
3	委員	株式会社NTC	佐藤 浩司
4	委員	エヌ・ティ・ティ・コムウェア株式会社	佐々木 圭一
5	委員	株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ	巳之口 淳
6	委員	沖電気工業株式会社	鹿嶋 正幸
7	委員	KDD I 株式会社	田上 敦士
8	委員		山田 明
9	委員	株式会社サイバー創研	中西 健治
10	委員	シャープ株式会社	森脇 鉄朗
11	委員	独立行政法人情報通信研究機構	久利 敏明
12	委員		西永 望
13	委員	ソフトバンクモバイル株式会社	横田 大輔
14	委員	日本電気株式会社	岩井 孝法
15	委員		江川 尚志
16	委員		小島 健治
17	委員		田村 利之
18	委員		姫野 秀雄
19	委員		日本電信電話株式会社
20	委員	可児 淳一	
21	委員	河村 憲一	
22	委員	小池 新	
23	委員	ノキアソリューションズ&ネットワークス株式会社	若林 清久
24	委員	株式会社日立製作所	石川 禎典
25	委員	富士通株式会社	相川 慎一郎
26	委員		武智 竜一
27	委員	三菱電機株式会社	片山 政利
28	委員		西谷 隆志
29	委員		長谷川 史樹
30	委員		松田 哲史
31	特別委員	東京大学	中尾 彰宏
32	TTC 企画戦略委員	KDD I 株式会社	古賀 正章
33	TTC 企画戦略委員	日本電信電話株式会社	平木 健一
34	TTC 企画戦略委員	富士通株式会社	東 充宏
35	TTC 事務局	TTC 事務局	後藤 雅徳
36	TTC 事務局		斧原 晃一