

# 5G 標準化動向

5G Standardization

永田 聡 柿島佑一 武田一樹 原田浩樹 武田和晃



第5世代移動通信システム（5G）では高度化モバイルブロードバンド（eMBB: enhanced Mobile Broadband）、大規模マシントイプ通信（mMTC: massive Machine Type Communications）、超信頼・低遅延通信（URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communications）など様々な適用シナリオのサポートを目指している。本稿では、3GPP（3rd Generation Partnership Project）で検討されている5Gの標準化動向について概説する。

キーワード：LTE, 5G, 3GPP, 標準化

## 1. ま え が き

近年のスマートフォンやタブレット端末の普及により、いつでもどこでも気軽にインターネットを通じたサービスやアプリ、動画像や音楽などが楽しめるようになり、通信事業者にはあらゆる環境でより一層高いユーザ体感品質を提供するモバイルブロードバンド（MBB: Mobile Broadband）の実現が期待されている。更に、あらゆる‘もの’が無線でネットワークに接続する世界であるIoT（Internet of Things）が近年非常に注目されており、IoTによって開拓される新領域のサービスは今後ますます重要になってくるものと考えられる。

このような期待を背景に第4世代（4G）であるLTE（Long Term Evolution）及びLTE-Advancedの次世代となる第5世代の移動通信システム、すなわち5Gの議論が近年非常に活発化し、世界各地で5Gの推進団体や

研究プロジェクトが誕生し、5Gのコンセプトや要求条件が盛んに議論された<sup>(1)</sup>。また、移動通信システムの標準化パートナーシッププロジェクトである3GPP（3rd Generation Partnership Project）では、2015年9月に「3GPP RAN Workshop on 5G」会合<sup>(2)</sup>を開催し、これを皮切りに本格的な5Gの標準化議論が開始されている。

本稿では5Gで想定されるサービスや適用シナリオ、要求条件、標準化スケジュールとともに要素技術について述べる。以下、本稿の構成を述べる。2.では5Gで想定されている適用シナリオ、要求条件を概説する。3.では3GPPを中心に5Gの標準化スケジュールについて述べる。4.では3GPPにおいて仕様化された5Gの要素技術について説明し、5.において本稿の結論をまとめる。

## 2. 5G 適用シナリオと要求条件

5Gの適用シナリオと要求条件は、国際電気通信連合の無線通信部門（ITU-R: International Telecommunication Union-Radio Communication Sector）や各地域における標準化団体等で議論されてきた<sup>(3)~(6)</sup>。3GPPにおいても5Gの適用シナリオと要求条件に関する基礎検討（Study Item）が2016年12月から開始され、検討結果がTechnical reportにまとめられている<sup>(7)</sup>。5Gの代表的な適用シナリオとして以下が挙げられる。

- ・ 高度化モバイルブロードバンド（eMBB: enhanced Mobile Broadband）

永田 聡 正員（株）NTT ドコモ 5G 推進室  
E-mail nagatas@nttdocomo.com  
柿島佑一 正員（株）NTT ドコモ 移動機開発部  
E-mail yuichi.kakishima.vc@nttdocomo.com  
武田一樹 正員（株）NTT ドコモ 5G 推進室  
E-mail kazuki.takeda.zd@nttdocomo.com  
原田浩樹 正員（株）NTT ドコモ 移動機開発部  
E-mail hiroki.harada.sv@nttdocomo.com  
武田和晃 正員（株）NTT ドコモ 5G 推進室  
E-mail kazuaki.takeda.bs@nttdocomo.com  
Satoshi NAGATA, Kazuki TAKEDA, Kazuaki TAKEDA, Members (5G Laboratory, NTT DOCOMO, Inc., Yokosuka-shi, 239-8536 Japan), Yuichi KAKISHIMA, and Hiroki HARADA, Members (Communication Device Development Department, NTT DOCOMO, Inc., Yokosuka-shi, 239-8536 Japan).  
電子情報通信学会誌 Vol.101 No.11 pp.1052-1057 2018年11月  
©電子情報通信学会 2018

- ・ 大規模マシンタイプ通信 (mMTC: massive Machine Type Communications)
- ・ 超信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communications)

eMBB は、通信の高速化・大容量化を含めたモバイルブロードバンド化を目指したシナリオである。mMTC はスマートフォンに代表される携帯端末に加えて、各種センサや家電機器などの様々な端末がインターネットを介して大量につながる IoT を考慮したシナリオとなっている。URLLC は自動運転車、産業用ロボット、遠隔医療など IoT の一種ではあるが高いリアルタイム性や信頼性が必要とされるミッションクリティカルサービスをサポート／アシストする使い方を旨としたシナリオとなっている。

5G ではこれらの三つの代表的な適用シナリオを考慮して、表 1 に示すように要求条件が規定されている。具体的には eMBB 向けに下り 20 Gbit/s、及び上り 10 Gbit/s のピークデータレートが規定されており、これは 4G の IMT-Advanced の値と比較して 20 倍に相当する。更に、容量や端末の体感データレートについても IMT-Advanced と比較して 3 倍以上となる高い目標値が規定されている。一方、mMTC と URLLC は 5G における新たな適用シナリオであり、mMTC では 1 km<sup>2</sup> 当たり 100 万台の端末接続、URLLC では遅延 1 ms で

BLER (Block Error Rate) = 10<sup>-5</sup> を満たすパケット通信の実現、という新たな要求条件がそれぞれ規定されている。

### 3. 5G 標準化スケジュール

ITU-R では、2016 年から 5G の技術性能要求作成を進め、作成された性能要求を満たす無線インタフェース提案を 2017～2019 年に掛けて受け付ける。その後、提案された無線インタフェースに基づき 2019～2020 年に掛けて無線インタフェース勧告案の作成が行われる予定である。

3GPP では ITU-R のスケジュールに沿う形で 2019 年末までに複数の Release において段階的な 5G の標準化仕様策定を行うことを予定している。具体的には 2016～2017 年初旬まで掛けて検討が行われた Release 14 において従来の無線通信方式である LTE, LTE-Advanced (Pro) 無線通信方式との後方互換性のない新しい無線アクセス技術 New Radio (NR) の基礎検討を行い、候補となる要素技術の技術検討、妥当性の評価を行った。その後、2018 年中旬まで計画されている Release 15 において詳細仕様検討 (Work Item) を行い、Phase 1 と呼ばれる初期段階の 5G 標準仕様を策定する。なお、Release 15 ではノンスタンドアローンと呼ばれる LTE と NR の組合せで運用するケースのコア仕様を 2017 年 12 月までに終わらせるとともに、NR のみで運用可能なスタンドアローン仕様を 2018 年 6 月までに終わらせる予定である。

### 4. 5G NR 要素技術

#### 4.1 無線フレーム構成

NR では、表 2 に記載の無線チャネル、及び各種参照信号が定義されている。これらのチャネル・参照信号は、OFDM 信号として時間・周波数・空間から成る無

表 1 5G の適用シナリオと要求条件

ユースケース	主要評価指数	5G	
		下り	上り
eMBB	ピークデータレート	20 Gbit/s	10 Gbit/s
	ピーク周波数利用効率	30 bit/(s・Hz)	15 bit/(s・Hz)
	制御プレーン遅延	10 ms	
	ユーザプレーン遅延	4 ms	
	送受信点当り周波数利用効率 (bit/(s・Hz・TRxP))	IMT-A (ITU-R Rec. M) の 3 倍超	
	エリア当りトラフィック容量 (bit/(s・m <sup>2</sup> ))		
	ユーザ体感データレート (bit/s)		
	5% 値ユーザの周波数利用効率 (bit/(s・Hz・user))		
mMTC	ターゲット移動速度	時速 500 km	
	カバレッジ	最大カップリング損 164 dB	
	端末バッテリー寿命	10 年超	
	接続密度	100 万台/km <sup>2</sup>	
URLLC	ユーザプレーン遅延	0.5 ms	
	信頼度	ユーザプレーン遅延 1 ms 以内、 ブロック誤り率 10 <sup>-5</sup> (32 Byte のデータ量)	

表 2 NR 無線チャネル

無線チャネル名	用途
PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)	ダウンリンクデータの送受信
PDCCH (Physical Downlink Control Channel)	アップ／ダウンリンクデータのスケジューリング等
PBCH (Physical Broadcast Channel)	ダウンリンク報知情報の送受信
PRACH (Physical Random Access Channel)	アップリンクランダムアクセス
PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)	ダウンリンクデータの送受信
PUCCH (Physical Uplink Control Channel)	アップリンク制御情報の送受信

線リソース上にマッピングされる。NR では、複数のサブキャリア間隔による OFDM 信号が定義された。具体的には、LTE と同じサブキャリア間隔である 15 kHz に加え、30 kHz、60 kHz、120 kHz、240 kHz とする OFDM 信号をサポートする。これは、前述のように多様なユースケースをサポートすることに加え、既存セルラ周波数帯から、ミリ波と呼ばれる数十 GHz 搬送波帯に至るまでをカバーするためである。データ・制御チャネルの割当は、14 個の OFDM 信号により構成されるスロットを基準単位として行われる。スロットは一つまたは複数で 1 ms 区間となるサブフレームを構成する。10 サブフレーム分のスロットにより、無線フレームが構成される。以上から、OFDM シンボルのサブキャリア間隔  $15 \times 2^\mu$  kHz、スロット当りのシンボル数  $N_{\text{slot}}^{\text{symb}}$ 、無線フレーム当りのスロット数  $N_{\text{slot}}^{\text{frame}, \mu}$ 、そしてサブフレーム当りのスロット数  $N_{\text{slot}}^{\text{subframe}, \mu}$  は、表 3、図 1 のような

表 3 スロット・サブフレーム・フレーム

$\mu$	スロット当りのシンボル数 $N_{\text{slot}}^{\text{symb}}$	無線フレーム当りのスロット数 $N_{\text{slot}}^{\text{frame}, \mu}$	サブフレーム当りのスロット数 $N_{\text{slot}}^{\text{subframe}, \mu}$
0	14	10	1
1	14	20	2
2	14	40	4
3	14	80	8
4	14	160	16

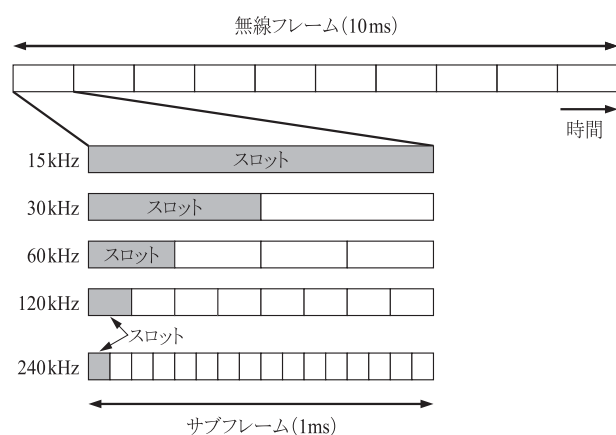


図1 スロット・サブフレーム・フレーム

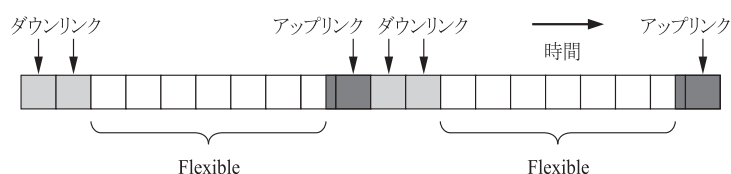


図2 NRにおけるTDD

関係になる。

なお、サブキャリア間隔 60 kHz では、1 スロットを 12OFDM 信号で構成し、その分 Cyclic Prefix (CP) を長くする Extended CP (ECP) も設定可能である。

NR では LTE とは異なり、フレーム構成は TDD や FDD で区別されず同じ構成となる。加えて、スケジューリング・ハイブリッド ARQ (Automatic Repeat Request) 制御等も共通の仕組みが提供されており、複信方式依存の仕組みが極めて少ないシステムである。TDD においては、通信方向としてアップ／ダウンリンクを設定可能なだけでなく、アップ／ダウンリンクのいずれにも利用可能な「Flexible」を設定することもできる。Flexible リソースについては、上位レイヤシグナリングや物理レイヤシグナリングの指示に基づいて、アップ／ダウンリンクいずれでも利用することができるため、トラヒック等に応じて柔軟にリソースを利用することができる。例を図 2 に示す。周波数領域では、データ・制御チャネルの割当は、所定のサブキャリア間隔の OFDM 信号において、12 個のサブキャリアから成るリソースブロック (RB) を基準単位として行われる。NR では、初期アクセスに必要な帯域 (Initial Bandwidth Part) を除き、端末 (UE: User Equipment) がキャリアの帯域幅 (若しくはシステム帯域幅) を意識せず、NW により設定された帯域幅に基づいて NW に接続することができる。NW によって設定される帯域幅は Bandwidth Part (BWP) と呼ばれる (図 3)。これにより様々な帯域幅接続能力を持った端末を収容できる上に、トラヒックやデータ量に応じて BWP を制御し端末の電力消費を抑えるような運用が可能となった。

#### 4.2 初期アクセス技術

NR における初期アクセス、すなわちセルへの接続処理は、LTE における手順と同様、同期信号の検出、報知情報の取得、ランダムアクセスによる接続の確立という手順で行われる。

NR 同期信号は LTE と同様にプライマリ同期信号 (PSS: Primary Synchronization Signal) とセカンダリ同期信号 (SSS: Secondary Synchronization Signal) の二つの信号から構成されるが、NR ではセルの設置密度が非常に高いシナリオも想定し、同期信号によって表現される物理セル ID (PCID: Physical Cell Identifier) の数

はLTEの504から2倍の1,008に拡張され、併せて同期信号の系列長及び送信に用いるサブキャリア数等が変更されている。同期信号の送信周期はLTEでは5msに固定されているが、NRでは端末が想定するデフォルトの送信周期は20msであり、通信事業者が同期信号を送信する周期（最短で5ms、最長で160ms）を基地局ごとに設定し報知情報として端末に通知することが可能となっている。これにより、置局シナリオや収容する端末のモビリティに応じて同期信号の送信周期を設定することができ、屋内基地局などの低モビリティ環境では長周期を設定することで同期信号の送信頻度を低減できる。また、NRでは対応する周波数が拡張され、端末は電源投入時や圏外において広範囲の周波数で同期信号を探す必要がある。端末の負荷を軽減するため、NR同期信号を探す周波数位置の間隔はLTEよりも広げられ、それに伴いLTEでは常にコンポーネントキャリア帯域の中心に同期信号を配置していたがNRでは同期信号の周波数位置はコンポーネントキャリア帯域の中心以外とすることも可能となっている。

数十GHz以上といった伝搬減衰の大きい高周波数帯では、基地局と端末との通信可能距離を確保するために、例えば基地局側で多数のアンテナ素子を用意しビームフォーミングを適用することが考えられる。そこでNRでは単一のビームフォーミングを適用して送信する同期信号及び報知チャネル（PBCH: Physical Broadcast

Channel）を一つのSS/PBCH blockと定義し、複数のSS/PBCH blockそれぞれに異なるビームフォーミングを適用し時間多重して送信することで、基地局のカバーエリアを広げることができる（図4）。端末は検出したSS/PBCH blockに含まれるSS/PBCH blockインデックス情報から無線フレームタイミングを認識する。

#### 4.3 複数送受信アンテナ技術

##### 4.3.1 複数送受信アンテナ装置構成

NRでは三次元ビーム制御を用いたアップ／ダウンリンク信号の送受信を実現する。特に高周波数帯では、電波減衰の影響を補うために、多くのアンテナで高いビーム利得を実現することが非常に重要となる。例えば30GHz帯では、基地局及び端末でそれぞれ最大256及び32のアンテナ素子を用い、それぞれグルーピングを行った後にアンテナポートとして信号制御を行うことが可能である。図5にビームフォーミングを実現する複数送受信アンテナ回路・装置の実装例を示す。デジタルビームフォーミングは一般的に低い周波数帯で適用される構成であり、LTEの複数送受信アンテナ技術は本実装を前提に規定されている。本実装法ではデジタル信号の位相及び振幅を変化させることで送受信ビームを形成する。一方、高い周波数帯で広帯域伝送を行うシステムでは、実装コストなどの影響によりデジタル領域でビームフォーミングを行うことの困難性が増す。そのため、アナログ信号領域でビーム制御が可能なアナログビームフォーミングとデジタルビームフォーミングの組合せであるハイブリッドビームフォーミング構成が適用されることが一般的となる。NRでは、上述のビーム制御を行いつつ、空間多重を行うことが可能であり、アップ／ダウンリンクのデータ送信でシングルユーザMIMO（Multiple-Input and Multiple-Output）及びマルチユーザMIMOをサポートしている。具体的には、ダウンリンクでは最大8レイヤのシングルユーザMIMO及び最大12レイヤのマルチユーザMIMOを、上りリンクでは最大4レイヤのシングルユーザMIMOをサポートしている。

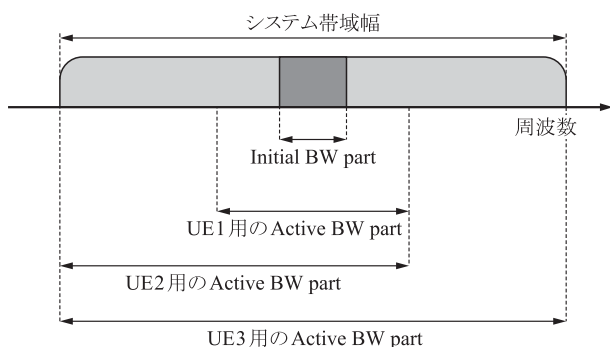


図3 システム帯域とBWPの関係

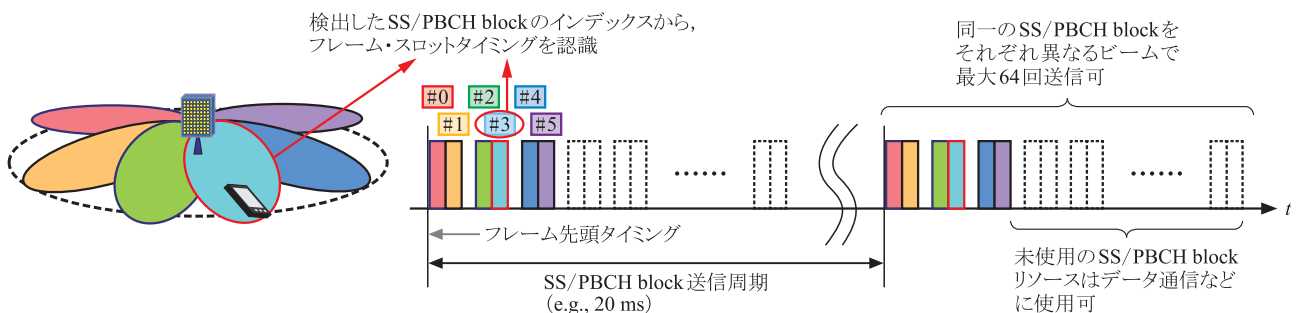
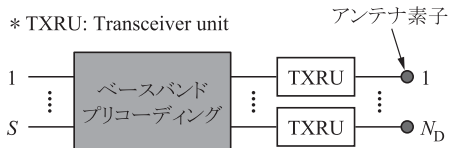
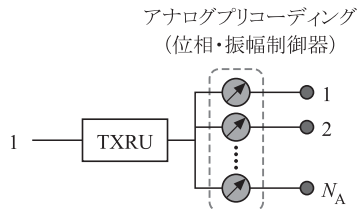


図4 NR同期信号及び報知チャネルのビームフォーミング送信

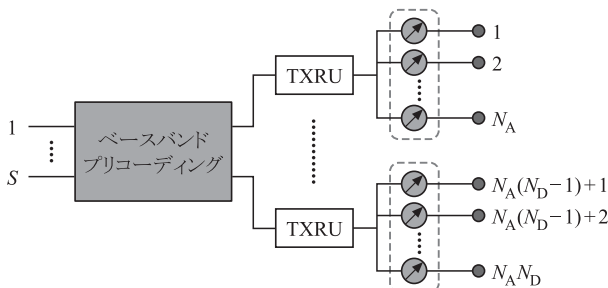




(a) デジタルビームフォーミング



(b) アナログビームフォーミング



(c) ハイブリッドビームフォーミング

図5 複数送受信アンテナ回路・装置の実装例

#### 4.3.2 参照信号

NRではLTE/LTE-Advancedの参照信号構成を踏襲しつつ、高い周波数帯での運用や複数送受信アンテナ技術などにも適した参照信号構成が規定された。また、システムの前方向互換性を考慮すると常時送信の参照信号を規定することは望ましくないため、NRでは送信オンオフや多重密度が柔軟に変更可能な参照信号構成を採用している。特徴的なデザインとして、LTE/LTE-Advancedでサポートされていたセル固有参照信号（CRS: Cell-specific RS）の機能が複数の参照信号によって実現されている。具体的にはチャネル状態情報推定、データ復調、時間・周波数トラッキングを目的として、CSI-RS（Channel State Information RS）、DM-RS（Demodulation RS）、TRS（Tracking RS）がそれぞれサポートされた。また、高い周波数帯では位相雑音が課題となるが、位相雑音を推定及び補正することを目的として位相追従参照信号（PT-RS: Phase Tracking RS）が新たにサポートされている。

#### 4.3.3 ビーム制御技術

L1/L2におけるビーム制御はビームマネジメント及びCSI（Channel State Information）取得に大別される。

ビームマネジメントは特に高い周波数で有効な技術であり、基地局と端末の相互の送受信ビームペアをL1/L2レベルで習得・維持することを目的として相対的に長周期で行われる。例えば、端末は異なる送信ビームが適用された複数のSS/PBCH blockやCSI-RSのRSRP（Reference Signal Received Power）を比較し、適切な基地局送信ビームを選択、基地局に通知することが可能である。加えて、端末側でビームペアの特性劣化を検出し、他のビームペアへの切り替えをトリガする、ビーム切断復旧技術がサポートされた。一方、CSI取得はより鋭いビームの形成やデータ信号に適用されるビームのMCS（Modulation and Coding Scheme）の決定などに用いられ、比較的短周期での制御が想定されている。

#### 4.4 チャネル符号化技術

LTEでは誤り訂正符号として、テールバイティング畳込み符号（TBCC: Tail Biting Convolutional Code）とターボ符号（Turbo code）が採用されている。NRではLDPC（Low Density Parity Check）符号及びPolar符号が採用された。LDPC符号は並列処理により復号処理の遅延を小さくすることが可能であり、Polar符号はTBCCと比較して復号演算量を抑えつつ、共にシャノン限界に漸近する優れた特性を示す。

## 5. む す び

本稿では、5Gで想定されるサービスや適用シナリオ、要求条件とともに5G NR要素技術について概説した。適用シナリオと要求条件ではeMBB, mMTC, URLLCに代表される適用シナリオとともにピーク／体感データレート、端末接続数、遅延、信頼性等の要求条件を示した。また、無線フレーム構成、初期アクセス、複数送受信アンテナ技術といった3GPP Release 15 5G NRの要素技術も併せて概説した。今後とも5G技術検討に尽力するとともに、商用サービス状況や世界の潮流を見据えながら更なる技術発展に貢献していきたい。

## 文 献

- (1) <https://5gmf.jp/>
- (2) [http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1734-ran\\_5g](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1734-ran_5g)
- (3) METIS, "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system," April 2013.
- (4) NGMN, "NGMN 5G white paper," Feb. 2015, [https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN\\_5G\\_White\\_Paper\\_V1\\_0.pdf](https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf)
- (5) ARIB, "Mobile communications systems for 2020 and beyond," Oct. 2014, <http://www.arib.or.jp/english/20bah-wp-100.pdf>
- (6) ITU-R M.2083-0, "IMT vision—Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," Sept. 2015.
- (7) 3GPP TR 38.913 v14.3.0, "Study on scenarios and requirements for next generation access technologies," June 2017.

(平成30年5月31日受付 平成30年6月12日最終受付)



なが た さとし (正員)

平 15 東工大大学院理工学研究科了。(株)NTT ドコモ入社。以来, LTE, LTE Advanced, 5G の研究開発に従事。平 23 から 3GPP TSG-RAN WG1 副議長, 平 24 から議長, 平 29 から TSG-RAN 副議長に従事。平 20 年度本会学術奨励賞, 平 27 日本 ITU 協会国際活動奨励賞など各受賞。



かきしま ゆういち (正員)

平 19-03 東工大大学院理工学研究科了。(株)NTT ドコモ入社。以来, 3GPP LTE Advanced, 5G の研究開発及び標準化に従事。現在, 同社移動機開発部・主査。平 23 年度本会無線通信システム研究会活動奨励賞, 平 23 年度本会学術奨励賞各受賞。



たけだ かずき (正員)

平 22-09 東北大学院工学研究科博士後期課程了。平 23-04 からパナソニック株式会社, 平 25-04 (株)NTT ドコモにて, 3GPP LTE Advanced, 5G の研究開発及び標準化に従事。平 21 年度本会無線通信システム研究会最多発表賞, 平 24 年度本会学術奨励賞各受賞。



はらだ ひろき (正員)

平 20-03 横浜国大学院工学府博士後期課程了。同年(株)NTT ドコモ入社。以来, 3GPP LTE Advanced, 5G 標準化の研究開発等に従事。現在, 同社移動機開発部・主査。平 22 年度本会学術奨励賞, 平 30 年日本 ITU 協会奨励賞各受賞。



たけだ かずき (正員)

平 19-03 東北大学院工学研究科博士後期課程了。平 19-04 日本学術振興会特別研究員。平 20-04 (株)NTT ドコモ入社。以来, LTE-Advanced, 5G 標準化の研究開発に従事。現在, 同社先進技術研究所・主任研究員。平 22 年度本会学術奨励賞受賞など。

