

# 第5世代移動通信システムの標準化

長谷川史樹\* 平 明德\*\*\*  
 福井範行\*\*  
 長谷川文大\*\*\*

## Standardization Trends and Activities on 5th Generation Mobile Communication System

Fumiki Hasegawa, Noriyuki Fukui, Fumihiro Hasegawa, Akinori Taira

### 要 旨

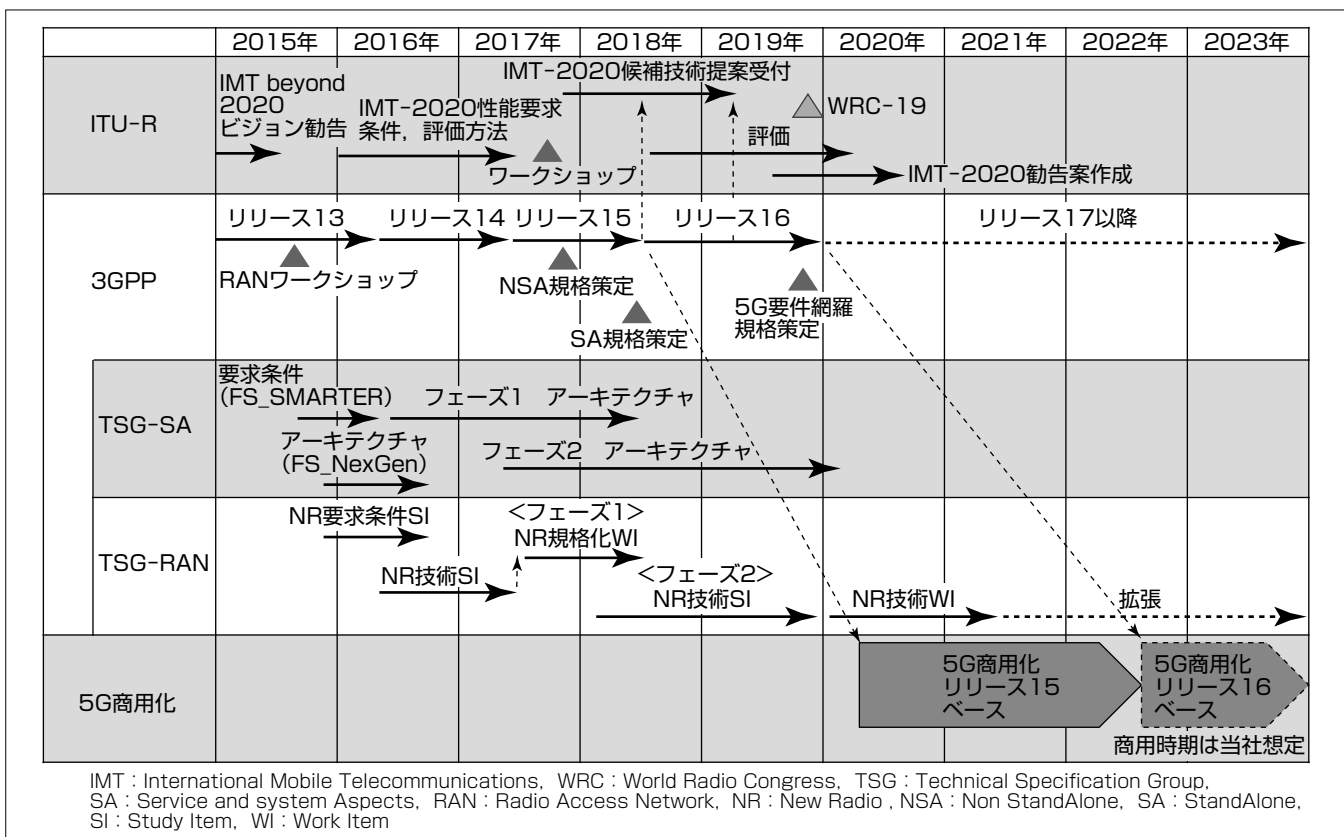
移動通信トラフィックの世界的な増大とIoT(Internet of Things)時代の多種多様なニーズに応えるため、高速大容量・多数同時接続・超高信頼低遅延を実現する第5世代移動通信システム(5G)の国際標準化が進められている。

ITU-R(International Telecommunication Union Radiocommunication sector: 国際電気通信連合無線通信部門)は、5Gに相当するIMT-2020(International Mobile Telecommunications-2020)の無線インタフェース技術勧告案を2020年秋に完成させる予定である。

3GPP(3rd Generation Partnership Project)は、2020年の5Gサービス開始に向けて二つのフェーズ(フェーズ1:リリース15, フェーズ2:リリース16)でNR(New Radio)

規格策定を進めている。リリース15で策定する5G機能は、高速大容量を実現するeMBB(enhanced Mobile Broad-Band)と一部の低遅延機能となる。リリース16では、多数同時接続を実現するmMTC(massive Machine Type Communication), 超高信頼・低遅延(URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communication)機能が策定され、5G要件全てを網羅した規格策定完了を予定している。

三菱電機は、5Gで想定される多数アンテナ素子を用いた移動通信システム向けに、初期同期及び参照信号に関連する技術提案を行い、3GPP規格策定と2020年サービス開始に貢献している。



### 2020年商用開始, 及び2020年以降の商用に向けた5G標準化スケジュール

3GPPは、2020年の商用化に向けて、リリース15(2017年3月~2018年6月)で規格策定中である。2017年12月には、円滑な5G導入を可能とするNR基地局とLTE(Long Term Evolution)基地局が連携したシステム構成であるNSA規格策定が完了した。2018年6月には、NR基地局単独で端末との接続を行うSA規格策定が完了する予定である。その後、2018年6月から、リリース16の規格策定が開始される予定である。

### 1. ま え が き

第5世代移動通信システム(5G)の2020年商用化を目指して、携帯電話方式の国際標準規格作成を行っている3GPP(3rd Generation Partnership Project)を中心として、5G規格策定が進められている。

5Gでは、スマートフォンなどに代表される高速データ通信(eMBB: enhanced Mobile BroadBand)の更なる大容量化に加えて、センサ等の多数同時接続(mMTC: massive Machine Type Communication)、超高信頼・低遅延通信(URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communication)の三つの要求をカバーすることが求められており、2020年の商用化を目指して、標準化が進められている。

本稿では、3GPPでの5G標準化動向と当社の取組みについて述べる。

### 2. 5G標準化動向

3GPPでは、2015年9月にワークショップ(3GPP RAN-workshop on 5G)が開催され、5Gの新無線インタフェース(New Radio Access Technologies)の規格化議論が開始され、技術検討が2017年3月まで実施された。その後、二つのフェーズ(フェーズ1: リリース15、フェーズ2: リリース16)で規格化を進めている。5G規格の主な策定方針は次のとおりである。

#### (1) スケジュール

2020年のサービス開始に向けた5G基本仕様規格を2018年6月までに策定(リリース15: 2017年3月~2018年6月)し、その後、5G要件の全てを網羅した規格を2019年12月までに策定(リリース16: 2018年6月~2019年12月)する。

#### (2) 名称・分類

リリース15以降のLTE(LTE-Advanced pro)発展系とNR(New Radio)を全て含み“5G”と呼ぶ(図1)。

さらに、2017年3月のRAN Plenary会合で、規格策定スケジュールがアップデートされ<sup>(1)</sup>、リリース15の中でLTEとの併用を前提としたNSA(Non StandAlone)とSA(StandAlone)を分けて規格策定し、NSAについては、SAの6か月前に規定することが合意された。図2にNSAとSAの構成例を示す。NSAについては、5G初期導入で、既存のインフラを利用するための手段として考えられた構成となり、NR基地局とLTE基地局が連携して動作する。一方、SAについては、5GC(NexGen Core)とNR基地局が接続されて動作するケースが例として挙げられる。NSAについては、2017年12月にステージ3

と呼ばれる詳細プロトコルとパラメータを定めた仕様を規定し、その後、2018年6月までにSAを含めた仕様を規定する予定となっている。

LTE規格と2017年12月に合意したNSAのNR規格との比較を表1に示す。5Gの特徴となる大容量化を実現するために、利用するコンポーネントキャリアの帯域幅は、最大20MHz(LTE)から最大400MHz(NR)に拡張され、サブキャリア間隔は、15kHz(LTE)から15/30/60/120kHz(NR)に拡張された。また、低遅延通信を実現するための技術の一つとして、送信単位長が0.5ms(LTE)から0.125ms(NR)となり、扱う単位が小さくなった。

5Gの大きな特徴の一つに、利用可能な周波数帯域の大幅な拡大が挙げられる。従来LTEでは6GHz以下の周波数帯がサポートされていたが、5Gでは新たに24.52~52.60GHzの高周波数帯がサポートされた。高周波数帯の

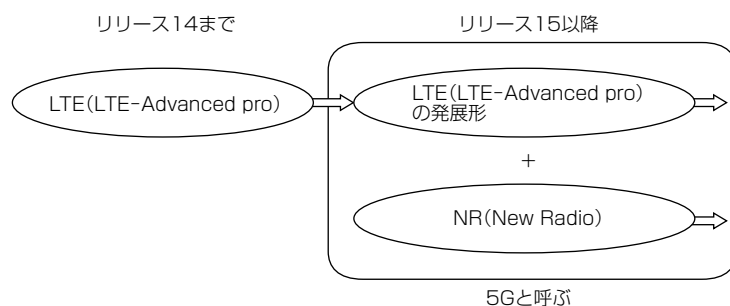


図1. 5Gの名称

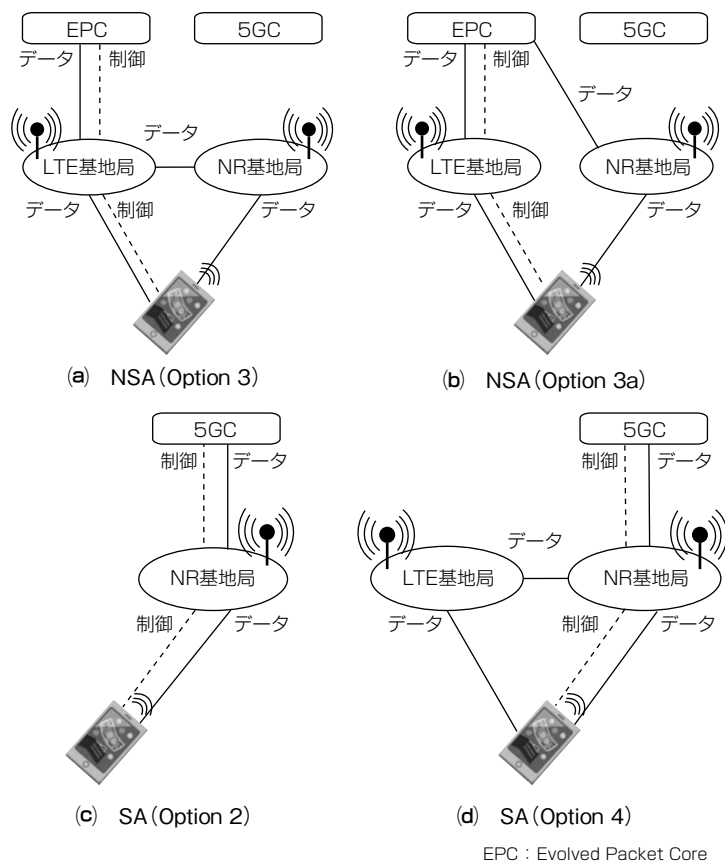


図2. NSAとSAの構成例

表 1. LTE規格とNR規格の比較

	LTE(LTE-Advanced pro)	Rel-15 NR(2017年12月)
コンポーネントキャリアの帯域幅	~20MHz	~400MHz(6GHz以下では~100MHz)
キャリアアグリゲーション	~640MHz幅(32CC×20MHz)	~6.4GHz幅(16CC×400MHz)
多元接続方式	下り: OFDM 上り: DFT-s-OFDM	下り: OFDM 上り: OFDM, DFT-s-OFDM
サブキャリア間隔	15kHz	15/30/60/120kHz(データ用)
送信単位長(最小値)	0.5ms(Short TTI)	0.125ms(サブキャリア間隔120kHz時のスロット長)
最大多値変調	下り: 256 QAM 上り: 256 QAM(リリース14から)	下り: 256QAM 上り: 256QAM
MIMO最大多重数(システム)	下り: 8 上り: 4	下り: 12 上り: 12(直交ポート数)

CC: Component Carrier, TTI: Transmission Time Interval, QAM: Quadrature Amplitude Modulation

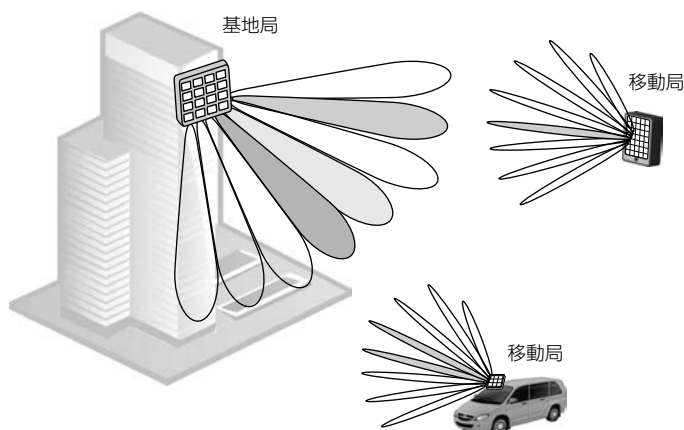


図 3. 5Gシステム構成の一例

活用で広い信号周波数帯域が確保できる一方、伝搬損失が増大し、通信可能距離が短くなる。通信可能距離を伸ばすため、受信強度が特定の方向に集中するように、5Gでは、図3に示すような超多素子アンテナと狭ビームを基地局・移動局双方で積極的に利用する。従来のLTEと異なり、送受信で適切にビーム方向を合わせる必要があり、超多素子アンテナによるビームフォーミングに必要な機能が規格化されている。

### 3. 標準規格と当社の取組み

この章では、3GPP規格作成段階で当社が関与した技術項目を取り上げ、規格内容と当社の取組みを述べる。

#### 3.1 セルサーチとランダムアクセス

この節では、端末が接続先基地局を選定するセルサーチの実施と、ランダムアクセスを確立させるまでを述べる。

端末によるセルサーチのため、基地局は同期信号を周期的に送信する。同期信号は、SSB(Synchronization Signal Block)と呼ばれる4 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)シンボルの信号ブロックに含まれる<sup>(2)</sup>。SSBには、SSBインデックス、システム情報伝送チャネルの配置などを報知する報知信号(PBCH: Physical Broadcast Channel)も含まれている。図4は、狭ビームを使ったマルチビーム運用時の基地局がSSBを送信する様子を示している。異なるタイミングで順次ビーム方向

を切り替え、5msの時間内にサービスエリア全体へSSBを送信する。端末はSSB検出を行い、基地局及びSSBを選定し、タイミング同期及び周波数同期を確立する。さらに、受信したシステム情報から、選択したSSBのインデックスに紐(ひも)づけられたランダムアクセスチャネル(PRACH: Physical Random Access Channel)のリソースを特定する。

接続要求を行う端末は、選定した基地局に対してランダムアクセス手順を行う。はじめに、先に述べた動作で特定したPRACHリソースから決まるプリアンブルIDとPRACHタイミングでプリアンブル信号(Message 1)送信を行う。次に、プリアンブル信号受信応答(Message 2)であるRAR(Random Access Response)を一定ウィンドウ内で待つ。アイドル状態から接続要求を行う端末ではRARを受信すると、続く手順であるMessage 3, Message 4を基地局と送受信し、ランダムアクセスを確立させる。ところで、ビームフォーミングを行う端末で、送信ビームと受信ビームの間で可逆性が成立していない場合、プリアンブル信号送信ごとの送信ビーム方向決定は端末に委ねられている。このような端末がRARを受信せずにプリアンブル信号を再送する場合、再送時のビーム方向を前回送信時と同一としたときは送信電力値の増大(パワーランピング)を実施し、ビーム方向を切り替えたときは前回と同じ送信電力値とする<sup>(2)</sup>。また、ビーム方向の切替え有無に関わりなく、プリアンブル信号再送ごとに送信回数をカウントアップし、規定される最大送信回数以内に送信回数を制限する<sup>(3)</sup>。以上が、3GPPで規定された規格内容である。

3GPPでは、送受ビーム可逆性が成立していない端末の送信ビーム方向決定を端末に委ねることを決定後、ビーム方向切替え時のパワーランピング手法を検討した。検討では複数の提案が挙がり、迅速なランダムアクセス確立と不適切なビーム方向への干渉抑圧を論点として議論が行われた。この課題に対して当社は、提案を行うとともに各提案の長所・短所をまとめ、規格決定に貢献した<sup>(4)</sup>。規格化されたパワーランピング手法は先に述べたとおりであり、例えば図5(a)に示すようなビーム方向の切替え手順であればパワーランピングが適切に動作する一方、図5(b)に示すよ

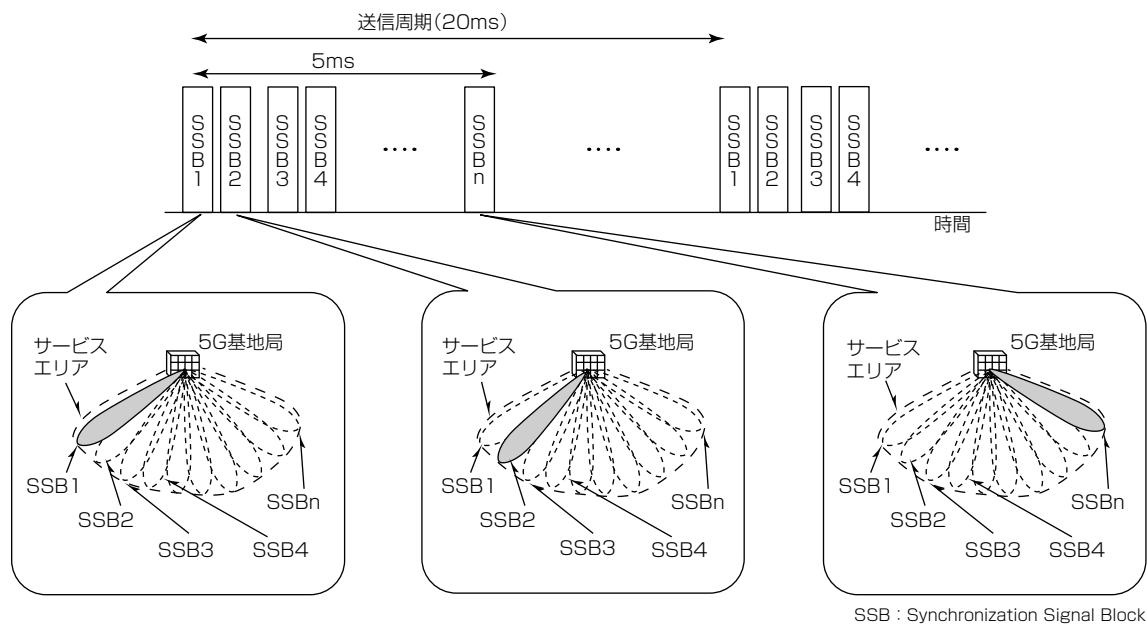


図4. 基地局によるSSB送信

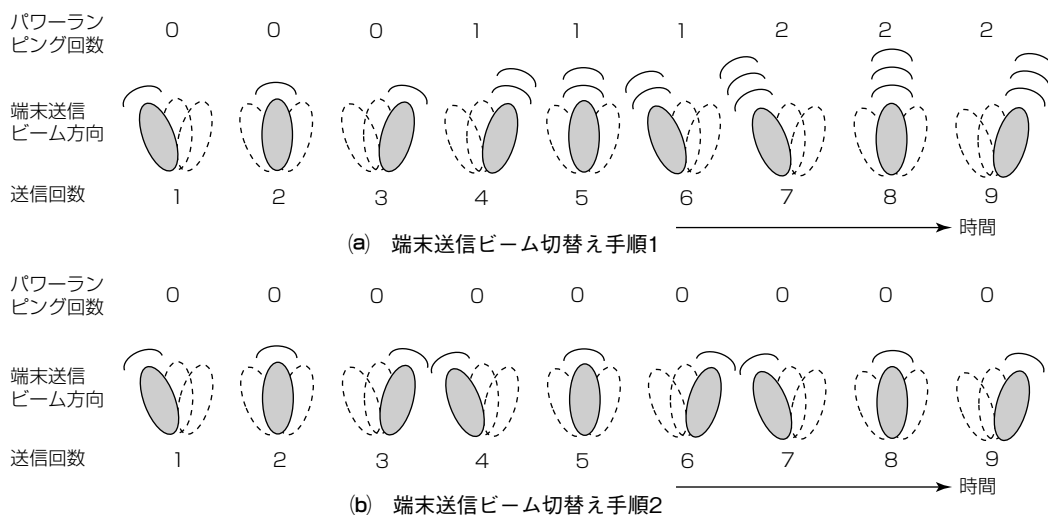


図5. プリアンブル送信時のビーム方向切替えとパワーランピング

うな切替え手順であるとパワーランピングが動作しない。そのため、十分な送信電力に至る前にプリアンブル信号最大送信回数に達する可能性がある。この課題に対して、当社は、プリアンブル信号の送信回数規定でも複数の選択肢を挙げ、議論促進を図った<sup>(5)</sup>。

### 3.2 下りリンク向け復調用参照信号

#### 3.2.1 復調用参照信号の種類

この節から、当社の3GPPでの参照信号に関する提案について述べる。MIMO(Multiple Input Multiple Output)伝送に関わりの深い参照信号の一部として、復調用参照信号(DeModulation Reference Signal : DMRS)が挙げられる。DMRSを用いることによって端末は伝送路及び、送信側で施されたデジタルプリコーディング行列を推定することが可能になる。DMRSは送信されるデータレイヤに割り当てられ、DMRSの直交数が多重可能なレイヤ数に影響する。

異なる伝送路環境及び多重数を想定し、OFDM向けに2種類が用意されているDMRS配置パターンそれぞれで、最大ポート数までサポートする場合の2シンボルのDMRS多重方法を図6に示す。コンフィギュレーション1(図6(a))はIFDM(Interleaved Frequency Division Multiplexing)をベースとした手法であり、周波数軸上の位置、時間・周波数方向のOCC(Orthogonal Cover Code)によって最大8ポートが構成できる。櫛状になったDMRSの配置が特長である。コンフィギュレーション2(図6(b))は4ポート単位(同一色)でOCCを適用し、周波数方向で3グループ配置することによって最大12ポートが構成できる。各ポート間は直交関係にあるため、ビーム間で干渉が生じる場合でも高SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)で伝送路推定が可能である。

5Gで各端末に割り当てられるポート番号及びDMRSが挿入されていないグループの数がレートマッチング用に

通知される。また、DMRSはスロット前方に配置される前方DMRS(Front-Loaded DMRS: FL-DMRS)と後方に付加的に配置される追加DMRS(ADditional DMRS: AD-DMRS)に分けられる。図7に配置例を示す。下りリンクの場合、FL及びAD-DMRSの配置位置は前方の制御信号及び後方の上りリンク向けシンボル数によって様々な設定が用意されている。またAD-DMRSの数も端末の移動速度によって、3シンボルまで用意されている。

3.2.2 DMRSに関する当社提案

LTEの下りリンクでの直交多重数である8から、当社はMIMOユーザー多重(Multi User MIMO: MU-MIMO)向けにDMRSの直交多重数を12まで増やすことを他社と協力して推進し、合意を得た<sup>(6)</sup>。

さらに周波数領域で、DMRSの密度を変えて周波数利用効率を向上させる方式も当社は3GPPで提案している。伝送路特性が周波数領域で変動しない場合、周波数領域でのDMRSの密度を減らし、データの密度を増やすことで

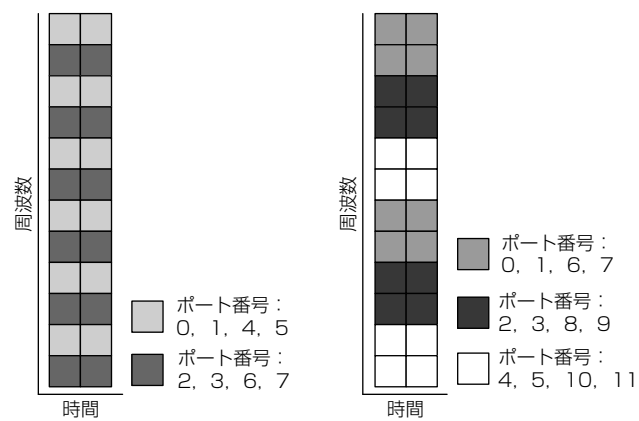


図6. 2種類のDMRS配置パターン

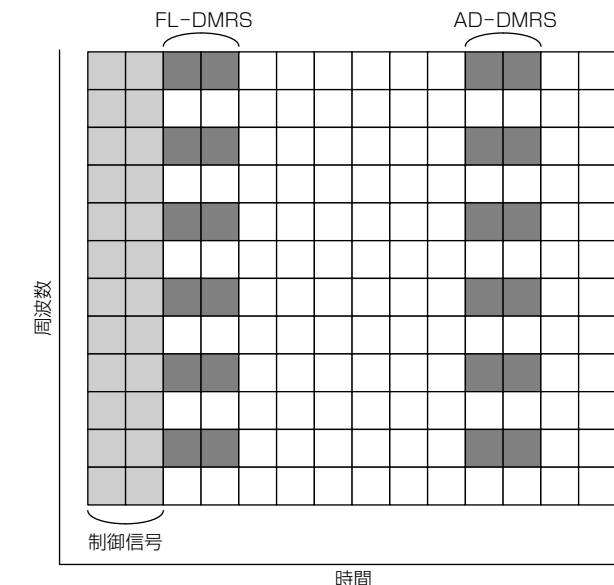


図7. コンフィギュレーション1を用いたFL-DMRSとAD-DMRSの配置例

伝送効率を高めることが可能である。当社は3GPPで、図8に示すようなRB(Resource Block)ごとにDMRSの密度を変更する方式を提案している<sup>(7)</sup>。

3.3 上りリンク向けサウンディング信号

3.3.1 サウンディング信号の配置位置及び多重方法

NRで、サウンディング信号(Sounding Reference Signal: SRS)は上りリンクのCSI(Channel State Information)測定や、TDD(Time Division Duplexing)システムでの伝送路の可逆性を活用した下りリンクのプリコーディング決定に用いられる。NR向けのSRSはLTEに比べ高頻度、広帯域な送信が特徴である。SRSポートはスロット後方の6 OFDMシンボル範囲内で連続した1, 2又は4 OFDMシンボルに設定される。SRSの周波数位置は制御部によって指定され、周波数ホッピングによって広帯域の伝送路推定を行うことが可能である。SRSはLTEと同じくZadoff-Chu系列をベースとしたもので、2又は4サブキャリアおきの櫛状に配置される。Comb-2の場合はCS(Cyclic Shift)によって8多重、Comb-4では12多重がサポートされ、NRのアンテナ数の増加に対応した多数のSRS構成が可能な設計となっている。

3.3.2 SRSに関する当社提案

当社は、SRSのスケジューリングに柔軟性を持たせること、及び使用可能なSRS数を増やすことを推進する提案を行った。LTEでは、各スロットの最後尾のシンボルだけにSRSが配置されたが、NRではSRSシンボル数の増加に伴って、同じく周期送信されるshort-PUCCH(Physical Uplink Control CHannel)との頻繁な衝突が懸念されることと、スケジューリング機能に柔軟性を持たせるため、競合時の優先順位が規定された<sup>(8)</sup>。また、LTEでSRSはセルのIDによって生成されたが、NRではサポートされる端末数が増加することが予想され、SRS系列が不足することが懸念されたため、端末ごとにSRS系列が生成されることが合意された<sup>(9)</sup>。

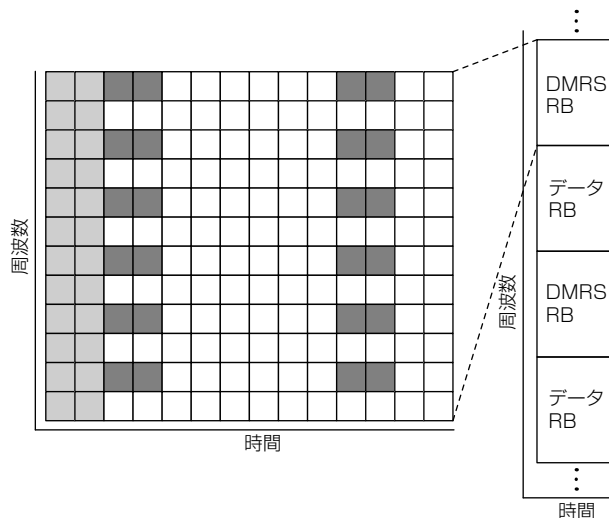


図8. DMRS及びデータを含むRBが配置された例

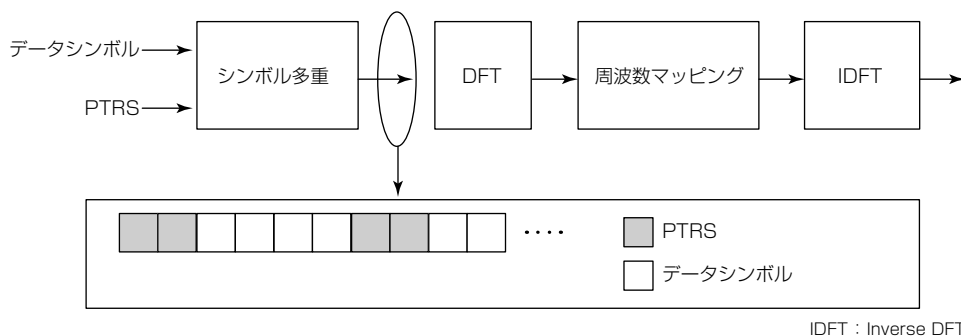


図9. DFT-s-OFDM向けPTRS挿入

### 3.4 上りリンク向け位相補正用参照信号の当社提案

NRで、高周波数帯で発生する位相雑音対策として、位相補正用参照信号(Phase Tracking Reference Signal : PTRS)が下り及び上りリンクで用いられることが合意されている。当社から、省電力及び高い位相補正性能を持つPTRS設計を提案している。当社は上りリンク向けに用いられるDFT-s-OFDM(Discrete Fourier Transform spread OFDM)向けのPTRS設計に関して、提案を行っている。DFT-s-OFDMの特長はOFDMよりも低いピーク対平均電力比(Peak to Average Power Ratio : PAPR)であるが、PTRSを挿入する方法によってPAPRが増加するおそれがある。そのため、図9に示すように当社はPTRSをDFT処理前に挿入することで、PAPR増加の防止を提案して合意を得た<sup>(10)</sup>。また、図9に示すように、位相雑音推定精度の向上のため、複数のPTRSが固められて配置されることが合意されている。

### 4. む す び

3GPPでの5G標準化に関して、規格策定状況を述べ、さらに、当社がリリース15規格策定に対して技術提案したセルサーチとランダムアクセス技術、また、5Gで特に注目されているMIMO技術に関して述べた。当社は、今後も3GPPへの継続的な参加と技術提案を行い、2020年の5G実現及び2020年以降の5G要件を網羅した国際標準化に貢献していく。

### 参 考 文 献

- (1) 3GPP : Way Forward on the overall 5G-NR eMBB workplan, RP-170741 (2017)
- (2) 3GPP : Physical channels and modulation, TS38.211 V15.0.0 (2017)
- (3) 3GPP : Medium Access Control (MAC) protocol specification, TS38.321 V15.0.0 (2017)
- (4) Mitsubishi Electric : WF on Power Ramping Counter of RACH Msg1 Retransmission, R1-1706613 (2017)
- (5) Mitsubishi Electric : WF on Maximum Number of PRACH Transmission, R1-1715230 (2017)
- (6) Mitsubishi Electric, et al. : WF on the maximum number of orthogonal DL DMRS ports, R1-1704057 (2017)
- (7) Mitsubishi Electric, et al. : WF on configurable density for DL DMRS, R1-1714815 (2017)
- (8) Mitsubishi Electric, et al. : WF on prioritization between SRS and short PUCCH transmission in case of collision, R1-1718985 (2017)
- (9) Mitsubishi Electric, et al. : WF on SRS sequence generation, R1-1709699 (2017)
- (10) Mitsubishi Electric, et al. : WF on PTRS insertion for DFTsOFDM, R1-1714920 (2017)