

# 米国における第 5 世代移動通信システム (5G) に関する研究開発等の動向

平成 29 年 3 月

国立研究開発法人 情報通信研究機構  
(北米連携センター)

# 目次

<b>1</b>	<b>5Gに関する研究開発動向</b> .....	<b>1</b>
1.1	研究開発動向 .....	2
1.1.1	アリゾナ州立大学率いる大学コンソーシアム(BWAC) .....	2
1.1.2	カリフォルニア大学バークレー校 .....	6
1.1.3	ニューヨーク大学(NYU) .....	11
1.1.4	ニューヨーク大学とオーバーン大学 .....	14
1.1.5	NSF(US Ignite とノースイースタン大学が主に協力) .....	15
1.2	業界団体の関連動向 .....	19
1.2.1	3GPP .....	19
1.2.2	5G Americas.....	19
1.2.3	CTIA .....	20
1.2.4	TIA .....	20
1.2.5	SCF .....	21
1.2.6	IEEE .....	23
<b>2</b>	<b>NB-IoT、LTE-Mに関する研究開発動向</b> .....	<b>24</b>
2.1	研究開発動向 .....	27
2.1.1	Qualcomm .....	27
2.1.2	Intel.....	31
2.1.3	AT&T .....	33
2.1.4	Verizon .....	37
2.2	業界団体の関連動向 .....	40
2.2.1	GSMA.....	40
2.2.2	CTIA .....	41
2.2.3	GSA.....	42
<b>3</b>	<b>移動通信システムにおけるミリ波利用に関する、メーカー・事業者等の動向</b> .....	<b>42</b>
3.1	研究開発動向 .....	43
3.1.1	Qualcomm .....	43
3.1.2	AT&T .....	46
3.1.3	Sprint .....	49
3.1.4	T-mobile .....	50
3.1.5	Verizon .....	52
3.2	業界団体の関連動向 .....	56
3.2.1	3GPP .....	56

3.2.2	ITU.....	56
3.2.3	CTIA .....	56
3.2.4	TIA.....	56

## 図表

図表 1:	5G エコシステム.....	1
図表 2:	xG とヒューマン・イントラネットの研究概念図 .....	8
図表 3:	eWallpaper の概念図と回路図 .....	10
図表 4:	PAWR の支援組織例 .....	17
図表 5:	SCF のメンバー組織.....	21
図表 6:	都市部でのスモールセルのユースケース .....	22
図表 7:	3GPP による LPWAN 技術の比較.....	26
図表 8:	LTE-IoT 周波数オプションの比較.....	27

# 1 5Gに関する研究開発動向

4Gの開発・導入を主導してきた米国にとって、他の国に先んじて5Gの開発・導入も主導できるかが大きな課題となっている。米国における5G開発は、主に大学や、大学の研究開発を支援する民間企業によって主導されてきた経緯があり、これらの大学や企業では、5Gを実現する技術とされている大規模多重入出力(Massive Multi-Input Multi-Output: Massive MIMO)やミリ波通信、スモールセル、周波数帯の共用、スモールセル等の技術が研究されてきた。このほか産業界では、ネットワークの運用コストを下げるためのネットワーク機能仮想化技術(NFV)等と5Gの相互運用についての検討も進んでいる。また米国における5G開発や関連標準・規制の導入を促している業界団体5G Americasは5Gの応用分野として、IoT(スマートグリッドやスマートシティ等含む)やD2D、超画質の動画・ゲームの配信、都市内部のデータ利用量の急増、公共安全等を挙げている。<sup>1</sup>。以下の図は、5G Americasが提示する、5Gエコシステムの概念図である。

図表 1: 5G エコシステム

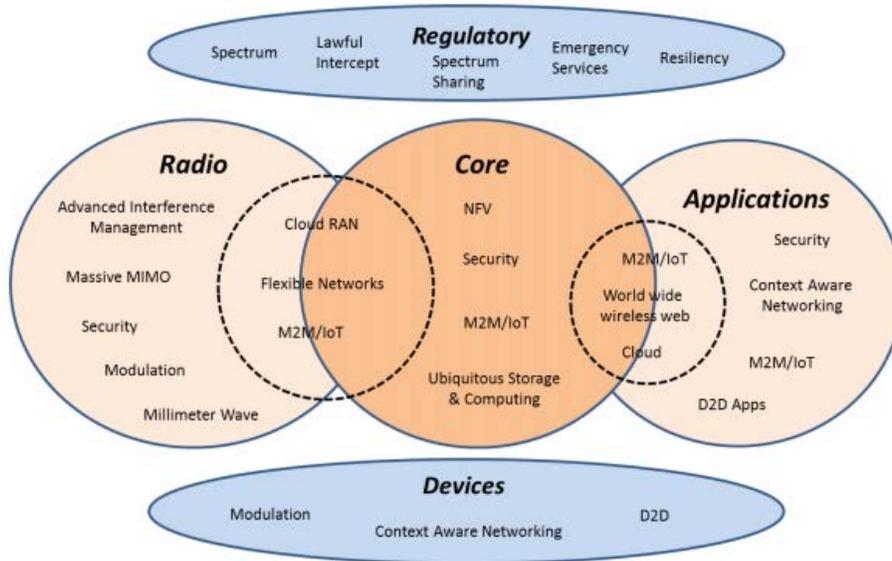


Figure 6. A Preliminary View of an End-to-End 5G Ecosystem.

2

出典: 5G Americas<sup>3</sup>

大学や業界からの声もあり、近年は連邦政府も米国内における5Gの開発を力強く支援してきた。例えば2014年10月に米連邦通信委員会(FCC)が発表した、24GHz帯以上の帯域の利用検討に係る情報提供要請(Notice of Inquiry: NOI)では、5Gの運用も前提とし、ミリ波帯と呼ばれる30GHz帯以上の帯域に加え、24GHz帯やローカル多地点配信サービス(Local Multipoint Distribution System: LMDS)等の帯域が

<sup>1</sup> [http://www.5gamericas.org/files/2414/4431/9312/4G\\_Americas\\_5G\\_Technology\\_Evolution\\_Recommendations\\_-\\_10.5.15\\_2.pdf](http://www.5gamericas.org/files/2414/4431/9312/4G_Americas_5G_Technology_Evolution_Recommendations_-_10.5.15_2.pdf)

222

<sup>3</sup> [http://www.5gamericas.org/files/2414/4431/9312/4G\\_Americas\\_5G\\_Technology\\_Evolution\\_Recommendations\\_-\\_10.5.15\\_2.pdf](http://www.5gamericas.org/files/2414/4431/9312/4G_Americas_5G_Technology_Evolution_Recommendations_-_10.5.15_2.pdf) (p.49)

検討対象とされた。また 5G を含む次世代ネットワークシステムやアーキテクチャを運用するにあたり、必要な技術(多重入出力[MIMO]やミリ波通信、同時送受信[STR]など)や、未確定ではあるが 5G に要求されるパフォーマンス等(10Gbps 以上の高速通信、伝送遅延が 1,000 分の 1 秒以下等)についても言及されている<sup>4</sup>。

その後 FCC は 2016 年 7 月、24GHz 帯以上を 5G ネットワーク用に開放する事を全会一致で決定した(スペクトラム・フロンティア・プロポーザル: Spectrum Frontiers Proposal)。FCC は、移動通信、固定通信用におよそ 11GHz(うち 3.85GHz は免許帯、7GHz は免許不要帯)の高周波数帯域を開放したほか、27.5-28.35GHz 帯、37-38.6GHz 帯、38.6-40GHz 帯を新サービス「Upper Microwave Flexible Use service」の対象とした。また、64-74GHz 帯を免許不要の帯域として設定したほか、95GHz 帯以上については、引き続き一般からの意見を募集した<sup>5</sup>。この FCC の決定は、米国における 5G 関連の取り組みを大きく前進させたものとして見られている。

また米国の産業界では、5G と並走する形で開発が進められている LTE と 5G を同一のネットワーク上で共存させる必要があるという見方が広まっており、両者を共存させるための枠組みが複数検討されている。このほか 5G Americas は、実際に 5G を運用する場合、ユーザーのニーズであるバッテリー寿命やモビリティ、シームレスな通信等の要件も満たす必要があるほか、ネットワーク運営者のニーズとして、自動化、低コスト、柔軟性、安全性等も満たす必要があるだろうとの見解を示している<sup>6</sup>。

## 1.1 研究開発動向

### 1.1.1 アリゾナ州立大学率いる大学コンソーシアム(BWAC)

コンソーシアム名: ブロードバンド無線アクセス&アプリケーション・センター(Broadband Wireless Access & Applications Center: BWAC)

**背景・概要:** BWAC は、アリゾナ州立大学が率いる、オーバーン大学、ノートルダム大学、バージニア大学、バージニア工科大学などが参加している研究コンソーシアムである。同コンソーシアムは、全米科学財団(NSF)の産学共同研究プログラム(NSF Industry & University Cooperative Research Program: I/UCRCs)<sup>7</sup>の一部として 2013 年頃から活動を活発化させている。産業界との関係が強固なのが特徴で、20 の業界パートナーとも提携関係にあり、NSF のほか、産業界からも助成金を得ている<sup>8</sup>。

<sup>4</sup> : [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-14-154A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-14-154A1.pdf)

<sup>5</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/fcc-oks-sweeping-spectrum-frontiers-rules-to-open-up-nearly-11-ghz-spectrum>  
<https://www.fcc.gov/document/fcc-adopts-rules-facilitate-next-generation-wireless-technologies>

<sup>6</sup> [http://www.5gamericas.org/files/2414/4431/9312/4G\\_Americas\\_5G\\_Technology\\_Evolution\\_Recommendations\\_-\\_10.5.15\\_2.pdf](http://www.5gamericas.org/files/2414/4431/9312/4G_Americas_5G_Technology_Evolution_Recommendations_-_10.5.15_2.pdf)

<sup>7</sup> I/UCRC には米国の 50 を超える研究所が参加しており、5G 運用を目指した研究開発を含む産業界の技術的問題に関する長期的基礎研究に共同で取り組んでいる。<https://bwac.arizona.edu/content/about>

<sup>8</sup> <https://bwac.arizona.edu/content/about>

BWAC は、ブロードバンド通信に対する企業や一般家庭、個々の市民の需要を満たすため、柔軟で効率的かつ安全なワイヤレスネットワークの構築を目指している。具体的には、以下に示すようなトピックの研究を行っており、用途や目的、応用事例としては、4G および 5G の標準化への貢献、ミリ波を利用したワイヤレス通信の実現、医療デバイスや病院の近代化、潜在的な電子戦争 (electronic warfare) への対策、クラウドコンピューティングの開発、国家安全保障、スマートグリッドやスマートメータの運用等が挙げられる<sup>9</sup>。

- 機会利用型の周波数アクセスと割り当て技術 (Opportunistic spectrum access and allocation technologies)
- 周波数取引、およびオークションのための技術 (Technologies for spectrum, trading and auctions)
- コグニティブ (認知)・レーダー (Cognitive radar)
- ワイヤレス・サイバーセキュリティ (Wireless cyber security)
- 異種デバイスのコグニティブ・センサーネットワーク (Cognitive sensor networks of heterogeneous devices)
- 画像および動画圧縮技術 (Image and video compression technologies)
- ブロードバンドアクセスやアプリケーション向けの IC および低電力設計 (IC and low-power design for broadband access/applications)

**主要パートナー:** BWAC は、産学共同研究の推奨を目的とした NSF のプログラム「I/UCRC プログラム」の一環として設立されたコンソーシアムであり、前述の 6 大学を中心とし、EpiSci, Rincon Research Corporation, Keysight Technologies, Space Micro, Raytheon, Alcatel-Lucent, InterDigital, Sprint, Intel, X2 Biosystems, L3 Communications, Motorola Solutions, N-Ask を含む約 20 の民間組織と提携関係にある。また、米海軍研究室 (Office of Naval Research) などの政府機関とも提携している<sup>10</sup>。

なお BWAC を含む、NSF の I/UCRC プログラムに参加する研究機関は、大学と産業界の両方の研究者が関心を持つトピックを研究している。NSF から補助的に助成金を受けてはいるものの、大部分は産業界からの支援に頼っており、産業界とその他からの支援額は、NSF からの支援の金額の 10~15 倍に上ると言われている。現在、I/UCRC プログラムには、60 を超える研究機関が参加しており、米国内の 200 以上の場所において、5G ワイヤレス通信を含む、産業界が抱える技術的問題を解消するための、長期的な基礎研究が実施されている<sup>11</sup>。

**予算:** NSF は 2013 年に、その後 5 年間に亘って BWAC に総額 160 万米ドル規模の研究助成金を提供する事を決めた。このほか BWAC は同年に、400 万米ドル規模の助成金を産業界から受け取っている<sup>12</sup>。ま

<sup>9</sup> <https://bwac.arizona.edu/content/research>

<sup>10</sup> <https://bwac.arizona.edu/content/bwac-partners>

<sup>11</sup> [https://engineering.olemiss.edu/electrical/news/broadband/presentations/BWAC\\_Ole\\_Miss\\_BOSE\\_2015.pdf](https://engineering.olemiss.edu/electrical/news/broadband/presentations/BWAC_Ole_Miss_BOSE_2015.pdf) (Slide 3)

<sup>12</sup> [http://www.4gamericas.org/files/8914/6774/6748/Global\\_Organizations\\_Forge\\_New\\_Frontier\\_of\\_5G\\_Final.pdf](http://www.4gamericas.org/files/8914/6774/6748/Global_Organizations_Forge_New_Frontier_of_5G_Final.pdf)

た BWAC が 2014 年に発表した資料によれば、財源総額は約 2,445 万 3,000 米ドルとされている。この内訳は以下の通りである<sup>13</sup>。

- 現物出資 (in-kind contribution) …2,000 万米ドル
- NSF からの助成金 …67 万米ドル
- 産業界からの助成金 …89 万 4,000 米ドル
- その他の連邦政府機関からの助成金 …170 万米ドル
- NSF からのその他の支援 …79 万 2,000 米ドル
- その他 …39 万 7,000 米ドル

**研究開発の動向：** BWAC は、研究成果として 2013 年に 8 本、2015 年に 9 本の研究論文を発表している。それぞれの論文では、BWAC の研究は、以下に示す 4 領域を重視して行われている<sup>14</sup>。

- 周波数取引やオークション、ミリ波通信などの先端技術や実用化プラットフォームを活用した、複数の GHz 帯の共有
- 異種デバイス(レーダー、通信システムなど)の共存
- 無線通信デバイスの導入を想定した、病院への先端通信システムの構築
- 国家安全保障問題に対処するための電子戦争技術の改良

BWAC の発表論文や研究提案書から分かる、2015 年以降に同センターが実施したワイヤレス通信および 5G 関連研究の概要は以下の通り。

- **マルチ受信機変調方式識別 (Multi-Receiver Modulation Classification)**<sup>15</sup>： コグニティブ無線 (Cognitive Radio) とは、無線端末が周囲の無線環境に関する情報を活用し、それに応じて知的判断を行うことを可能にする技術である。無線端末が周囲の環境を認知していればいるほど、環境に適応する能力も高くなる。認知レベルが最低の場合、その地域に信号が飛んでいるかどうかを把握する必要があり、関連したダイナミック・スペクトラム・アクセス (dynamic spectrum access) 分野の研究が進められてきた。

認知レベルが高い場合、どの変調方式が伝送に利用されているかを把握する必要がある。変調方式を決定するタスクは変調方式識別 (modulation classification)、認識 (recognition)、または特定 (identification) と称され、軍事および商業分野で応用されている。識別決定が人間ではなくコンピュータによって自動的に行われるという意味で、自動変調方式識別 (automatic modulation

<sup>13</sup> [https://engineering.olemiss.edu/electrical/news/broadband/presentations/BWAC\\_Ole\\_Miss\\_BOSE\\_2015.pdf](https://engineering.olemiss.edu/electrical/news/broadband/presentations/BWAC_Ole_Miss_BOSE_2015.pdf) (Slide 11)

<sup>14</sup> <https://bwac.arizona.edu/publications>

<sup>15</sup> [https://www.researchgate.net/publication/279912971\\_Multi-Receiver\\_Modulation\\_Classification\\_for\\_Non-Cooperative\\_Scenarios](https://www.researchgate.net/publication/279912971_Multi-Receiver_Modulation_Classification_for_Non-Cooperative_Scenarios)

classification)と呼ばれることもある。BWAC の研究者は、非協調通信 (non-cooperative communication) を伴う変調方式識別アプリケーションに重点をあてた研究を行ってきた。

- **大規模 MIMO のためのブラインド適応チャネル推定 (Blind-Adaptive Channel Estimation for Massive MIMO)<sup>16</sup>**: 移動体通信システムにおいて、大規模 MIMO の性能劣化要因として指摘されるのがパイロット汚染 (pilot contamination) である。パイロット汚染の潜在的ソリューションとして BWAC の研究者は、ブラインド適応チャネル推定アルゴリズムを提案した。独立成分分析 (Independent Component Analysis: ICA) によってチャネル・マトリクス (channel matrix) を知的に推測し、非混在の信号の尖度を最大化して信号を分離する。研究では、その頑強性と収束率を理由に、ファスト ICA (FastICA) と呼ばれるアルゴリズムを採用した。その結果、適応 ICA アルゴリズムを使うことにより、拡張可能な電算の複雑性は維持したまま、大規模 MIMO におけるパイロット汚染という根本的問題を解消できることが分かった。
- **宇宙通信とナビゲーション (SCaN) テストベッドのためのコグニティブ無線実験のデザイン (Cognitive Radio Experiment Design for the Space Communications and Navigation Testbed)**: BWAC 研究者は、リンク・アダプテーション (link adaptation) や信号識別アルゴリズムの研究を行い、最終的にこのアルゴリズムの宇宙アプリケーションへの応用の可能性を検討するため、ソフトウェア無線プラットフォームのプロトタイプを開発した。

米航空宇宙局 (NASA) の宇宙通信とナビゲーションプログラム (Space Communications and Navigation Program: SCaN) は、未来の宇宙通信手法を、SCaN テストベッド (SCaN Testbed) を用いて研究するプログラムである。NASA のグレン研究センター (Glenn Research Center) において開発された SCaN テストベッドは、国際宇宙ステーション (International Space Station: ISS) に実装された通信コンポーネントである。ISS にはソフトウェア無線 (Software-Defined Radio: SDR) の技術が導入されており、基地局、ISS、そして深宇宙通信間の新たな通信技術の研究に利用される。ハードウェアを再構成することにより、S、L、Ka 帯を活用する複数の波形をサポートすることができる。また SCaN テストベッドと同時に、波形定義の標準的な手法を明確化する事を目的とし、宇宙通信無線システム (Space Telecommunications Radio System: STRS) アーキテクチャも開発された。このアーキテクチャでは、ソフトウェアまたはハードウェア・レイヤーに新技術を追加できる仕様となっている。

BWAC の研究者は、伝送統計データを基に変調方式とチャネルコーディングをダイナミックに調整する、再構成可能な通信スキームの利用を提案した。再構成が可能かどうかは、メタコグニティブ・エンジン (meta-cognitive engine) によって制御される。同エンジンは、伝送統計データをリアルタイムに照合し、現在の統計データと、異なる変調スキームで収集された過去のデータを基に、意思決定を行う。メタ認知エンジンは基地局に導入され、波形を受信中の ISS に対し、現行の通信スキームに今まさに加えられている調整を知らせる役割を担う。また BWAC の研究者は、受信機に実装する軽

<sup>16</sup> <https://bwac.arizona.edu/content/blind-adaptive-channel-estimation-massive-mimo>

量のメタコグニティブ・エンジンも提案しており、実装の主な目的は、波形送受信の同期を保証し、仮に非同期になった場合は波形を共通のものに戻すことである。

システムを実演するにあたり、BWAC の研究者は、Python にメタコグニティブ・エンジンを実装し、GNU ラジオ (GNU Radio: GR) SDR フレームワーク (SDR Framework ) を無線プラットフォームとして採用した上で、米カリフォルニア州サンタクララに拠点を置く Ettus Research 社のユニバーサル・ソフトウェア無線周辺機器 (Universal Software Radio Peripherals: USRPs) を活用した。再構成可能波形には、BPSK、QPSK、8PSK、そして QAM16 変調スキームと、さらに、さまざまなチャネルコーディング・スキームを取り入れた。研究者はラボ環境において、チャネルが高次変調スキームをサポートできる場合、データスループットが顕著に増大することを示した。BWAC の研究班は現在、SCaN テストベッドでの実験用に STRS アーキテクチャを使用するため、独自システムを適応させることを目指している。

**潜在的な応用事例:** BWAC が行っている研究は、5G 技術やそのネットワークの能力や限界を検証することに役立つと予想される実験技術やアルゴリズムの今後の開発に、大きく貢献すると考えられる。また通信能力を最大化する事を目的とした、ネットワークの干渉防止や、リソース分配の最適化にも寄与する事が期待される。BWAC は具体的な焦点アプリケーション分野として、病院向けのワイヤレス通信システム、大規模ネットワークのより効率的な管理、自動レーダー情報システム、より電力効率の良いサーキット技術等を挙げている<sup>17</sup>。

### 1.1.2 カリフォルニア大学バークレー校

**センター名:** バークレー・ワイヤレス研究センター (Berkeley Wireless Research Center: BWRC)

**背景・概要:** 1999 年設立のバークレー・ワイヤレス研究センター (Berkeley Wireless Research Center: BWRC) は、ワイヤレス・システム・オン・チップ (system-on-a-chip: SoC) の開発から生まれた、産官学の研究パートナーシップである。前競争的なパブリックドメインの研究に従事する教員 7 人とおよそ 60 人の大学院生で構成されており、政府機関からの助成金と、産業界スポンサーからの支援を基に運営されている<sup>18</sup>。

BWRC の目的は、ワイヤレス通信システムに関する問題の解消と、関連する研究開発の促進であり、特に先端的な通信アルゴリズムとアーキテクチャを活用した、消費電力最小化のために最適化された高次統合 CMOS (highly-integrated CMOS) の実装に焦点を当てている。想定しているアプリケーション領域は、低・超低電力アナログ、ミックスド・シグナル (mixed signal) とデジタル回路、RF 回路、ミリ波回路、テラヘルツ回路、先端 A/D、D/A コンバータ、無線システムアーキテクチャ、アルゴリズムとワイヤレス無線 SoCs、ワイヤレス・バイオ医療センサーシステム、画像システム、高速有線通信などである<sup>19</sup>。

<sup>17</sup> <https://bwac.arizona.edu/content/tamal-bose-directs-new-centers-pursuit-5g-technologies>

<sup>18</sup> <https://bwrc.eecs.berkeley.edu/about>

<sup>19</sup> <https://bwrc.eecs.berkeley.edu/about>  
<https://bwrc.eecs.berkeley.edu/facilities>

**主要パートナー:** BWRC の産業界の主要スポンサーには、Alcatel-Lucent、Altera、Amazon の Lab 126、Analog Devices、Boeing、Huawei、Infineon、Intel、Keysight Technologies、Marvell、Oracle、Qualcomm、ST、TSMC、Texas Instruments、Xilinx などが含まれる。また、NSF、米エネルギー省 (DOE) 傘下のローレンス・バークレー国立研究所 (Lawrence Berkeley National Laboratory)、米陸軍研究所 (Army Research Laboratory)、国防高等研究事業局 (Defense Advanced Research Projects Agency: DARPA)、半導体研究協会 (Semiconductor Research Corporation)、カリフォルニア州エネルギー委員会 (Energy Commission) などからも、支援を受けている<sup>20</sup>。

**予算:** BWRC の予算の詳細は公開されていないと見られる。BWRC は元々1999年に、活動開始から3年間の予算として、産業界パートナーから270万米ドル、DARPA から数百万米ドルの研究助成金を得た<sup>21</sup>。BWRC が発表した2006年の資料によれば、当時のセンター予算は600万米ドル規模であった<sup>22</sup>。

**研究開発の動向:** BWRC が現在実施している研究は、大きく分けて「xG」と「ヒューマン・イントラネット (Human Intranet)」の二つに分類される。xG プロジェクトの目的は、5G ワイヤレス通信をも超える、更なる次世代型 (xG) ワイヤレス通信を研究、開発することである。一方でヒューマン・イントラネット・プロジェクトでは、人体への装着、もしくは人体内部で動作する事を想定した、医療・ウェルネス分野への応用を目的としたセンサーや電算・ストレージシステム、エネルギー・ノードなどの開発・統合を目指している。xG、ヒューマン・イントラネットの両方とも、①無線通信、RF、ミリ波、②エネルギー効率の改善、③ワイヤレス・システムとアーキテクチャ、④導入技術やファブリック (fabrics) の4つの分野を研究しており (以下の図表参照)、それぞれ異なる用途を想定している。ここでは、xG プロジェクトの詳細について紹介する。

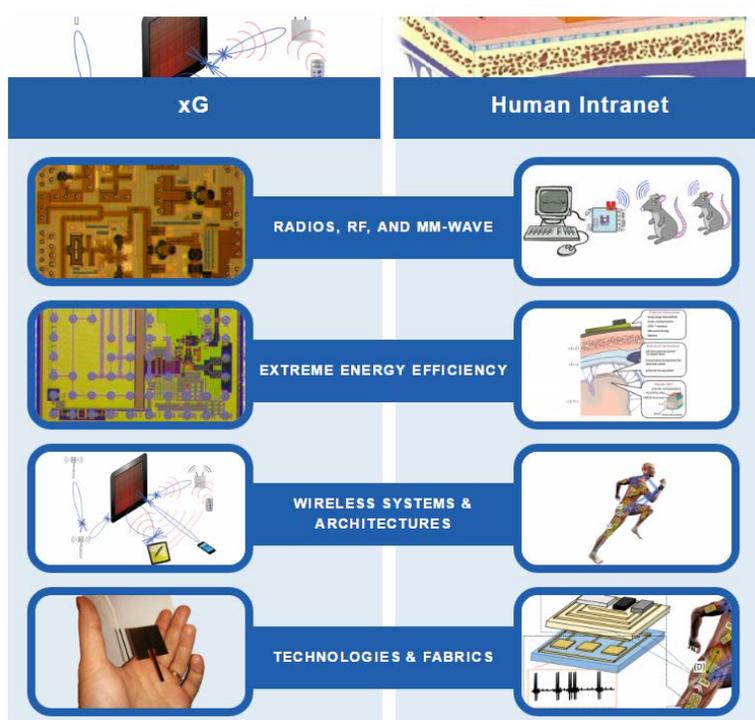
---

<sup>20</sup> <https://bwrc.eecs.berkeley.edu/sponsors>

<sup>21</sup> <http://www.berkeley.edu/news/media/releases/99legacy/1-28-1999.html>

<sup>22</sup> [http://www.hotchips.org/wp-content/uploads/hc\\_archives/hc18/1\\_Sun/HC18.T2.pdf](http://www.hotchips.org/wp-content/uploads/hc_archives/hc18/1_Sun/HC18.T2.pdf) (Slide 3)

図表 2: xG とヒューマン・イントラネットの研究概念図



出典: BWRC<sup>23</sup>

xG プログラムは、ネットワーク容量の継続的拡張、低レイテンシ、無線通信の柔軟性と高信頼性の実現を目指しており、新しい概念を実用的なプロトタイプ・デバイスに具現化することを目的としている。具体的には、レイテンシ sub-10 ミリ秒、コネクションの信頼性向上、そしてデータ転送速度の 1,000 倍以上の高速化を見込んでいる。ネットワークに統合される無線通信デバイスの数やデータ通信量は、今後も急増すると予想されており、既存の無線通信技術を改良するだけでは、十分な対応は不可能である。このため BWRC は、以下に示す様な複数の技術ソリューションを想定している<sup>24</sup>。

- 無線通信インフラを超高密度で展開することにより、低レイテンシと頑強性の向上を実現し、周波数利用率を向上させる。ただし、これには効率的な干渉軽減が必要である。
- ミリ波通信技術を導入することによって、データ転送速度を向上させる。
- ミリ波通信技術、大規模アンテナアレイ、ターミナル間協調を利用した、指向性メッシュネットワーク(directional mesh network)を導入する事によって、ネットワーク容量の拡大を図る。

<sup>23</sup> <https://bwrc.eecs.berkeley.edu/research-themes>

<sup>24</sup> <https://bwrc.eecs.berkeley.edu/research-themes>

- ネットワークの多様化を促す技術を伴った、ネットワークの高密度展開によって、モノのインターネット (Internet of Things: IoT) 可能とする M2M デバイス通信に必要な、エラー率が非常の低い、低レイテンシ通信を実現する。
- eWallpaper 技術 (もしくは大規模 MIMO、詳細後述) によって、高速かつ低干渉なマルチユーザー MIMO システムを実現させる。

BWRC で進行中の統合システムに関する研究の一例として、米半導体メーカーの Texas Instruments の無線通信開発プラットフォームである eZ430-RF2500 を基盤とした、適応可能ワイヤレス・ノード・アーキテクチャ (adaptable wireless node architecture) の開発が挙げられる。このノード・アーキテクチャは、カスタマイズ可能なさまざまな種類の電源ソースや計測ツールと互換性があり、研究向けモニタリングに必要な、発電、蓄電、センサー (電流、電圧、圧力)、状況モニタリング (condition monitoring) などの多種多様な機能を管理することができる<sup>25</sup>。

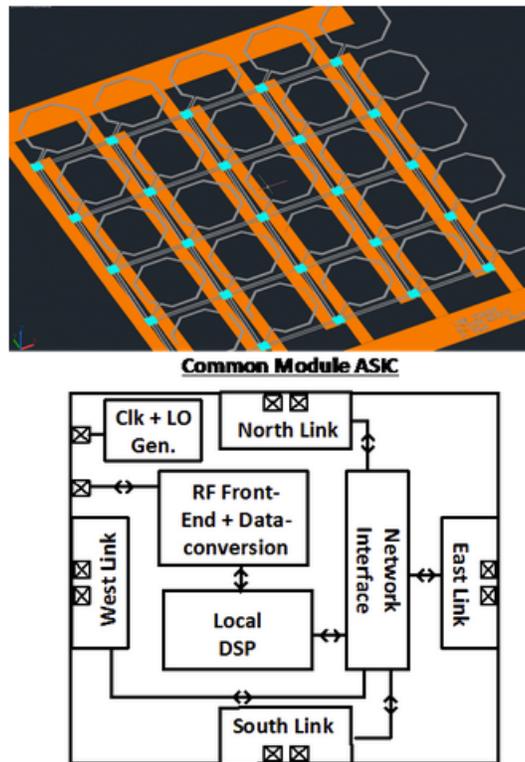
もう一つの研究の例には、eWallpaper 技術 (大規模 MIMO) があり、これは指向性ワイヤレス伝送を伴う大規模 MIMO の問題解消に重点を置いている。現在、指向性ワイヤレス伝送を実現するには、相互干渉しない大量のアンテナが必要であり、標準技術を使っても費用が非常に高くつく可能性がある。この問題に対して BWRC は、プラスチックシートからアンテナアレイを作り、顕微鏡で見なければわからないほど小さな信号処理用半導体を接着するため、印刷技術の開発に取り組んでいる。この技術が実現すれば、アンテナアレイを壁紙に埋め込み、建物全体にアンテナを設置することもできると想定されている。以下の図は、2GHz アンテナを搭載した eWallpaper の概念図と回路図を示したものであり、アンテナには 65nm CMOS チップ (図内の青色部分) が埋め込まれている。オレンジ色の部分は電力を示している<sup>26</sup>。

---

<sup>25</sup> <http://bwrc.eecs.berkeley.edu/research/integrated-wireless-systems-and-applications>

<sup>26</sup> <https://bwrc.eecs.berkeley.edu/discussion/ive-got-you-under-my-skin-no-really-technologies-will-drive-5g-and-beyond-bleeding-edge>

図表 3: eWallpaper の概念図と回路図



出典: BWRC<sup>27</sup>

**潜在的な応用事例:** xG プログラムが想定している開発中の技術の用途には、以下が含まれる<sup>28</sup>。

- 費用対効率とエネルギー効率の高いアレイラジオ (array radios) の構築
- プロセッサとインターフェースのためのエネルギー効率の最適化
- ワイヤレス制御 (Control Over Wireless) プロジェクトの遂行と、それによる産業用印刷、自動車、スマートグリッド、将来の IoT アプリケーションなどの各種アプリケーションの支援 (ワイヤレス制御プロジェクトでは、制御アプリケーションに必要な信頼性の高い低レイテンシ通信をサポートする、新ワイヤレスアーキテクチャの開発に取り組んでいる)。
- eWallpaper 技術 (大規模 MIMO) による、高速かつ低干渉マルチユーザー MIMO システムの実現
- 有機印刷やシリコンフォトニクスなどのアプリケーションをサポートする、先進的製造技術の研究

<sup>27</sup> <https://bwrc.eecs.berkeley.edu/discussion/ive-got-you-under-my-skin-no-really-technologies-will-drive-5g-and-beyond-bleeding-edge>

<sup>28</sup> <https://bwrc.eecs.berkeley.edu/intersection/radios-rf-and-mm-wave-under-xg>  
<https://bwrc.eecs.berkeley.edu/intersection/extreme-energy-efficiency-under-xg>  
<https://bwrc.eecs.berkeley.edu/projects/control-over-wireless>  
<https://bwrc.eecs.berkeley.edu/research-themes>  
<https://bwrc.eecs.berkeley.edu/intersection/technologies-fabrics-under-xg>

### 1.1.3 ニューヨーク大学(NYU)

**センター名:** ニューヨーク大学ワイヤレス(New York University WIRELESS)

**背景・概要:** ニューヨーク大学(NYU)ワイヤレスは、ワイヤレス技術の将来の課題解決と、アプリケーションへの応用に重点を置いた研究を行っている。2012年に設立され、回路設計、ミリ波ワイヤレス通信、信号処理、分散型ネットワークと電算、そして医学関係の複数分野を専門とするNYU教員28人が現在研究を行っている。同センターは、NYUポリテクニク(NYU Polytechnic)としても知られるNYUタンドン(Tandon)工学部(School of Engineering)のプログラムと、NYU医学部(School of Medicine)、NYUクーラン数理科学研究所(Courant Institute of Mathematical Sciences)のプログラムを一体化し、セオドア・ラパポート教授(Theodore Rappaport)が初代所長に就任した。

**主要パートナー:** NYUワイヤレスは、16社の企業と提携関係にあり、これはAT&T、CableLabs、Ericsson、Huawei、Intel、InterDigital、L-3 Communications、National Instruments、Nokia、Keysight Technologies、SiBeam、NextLink、Qualcomm、Straight Path Communications、Cablevision、UMCが含まれる(なお、開所当時の提携企業は6社であった)。提携企業は3年間にわたり、NYUワイヤレスに年間10万米ドルの資金提供をすることが求められており、これと引き換えにNYUワイヤレスは企業に対し、共同研究のための機器、教員や学生の技術・知識等へのアクセスを提供する。また、提携企業向けに年2回報告書を発行し、毎年開催されているニューヨーク市ワイヤレス・サミット(New York City Wireless Summit)への入場券も提供している<sup>29</sup>。

ワイヤレス・サミットは、無線通信技術に関する、産学官の合同会議で、通常、NYUワイヤレスの年次理事会の直前または直後に開催される。2017年は4月18日～21日まで、ブルックリン5Gサミット(Brooklyn 5G Summit)の開催が決まっており、テーマは「5G商用化は近いのか? (How close is 5G to commercial reality?)」である。2017年のサミットでは、全周波数帯域にわたる全般的な5Gエンドツーエンドシステムの設計、5G規制面の動向、5G商用化前システム、進化するIoT分野における5G使用事例等が議論される予定である<sup>30</sup>。

またNYUは、NSFが主導するI/UCRCプログラムの一部として、複数大学間の共同研究プラットフォームである「先端技術のためのワイヤレス・インターネット・センター(Wireless Internet Center for Advanced Technology: WICAT)」のホスト大学を務めている。WICATはNYUポリテクニク工学部を主要研究機関とし、バージニア大学、オーバーン大学、バージニア工科大学、テキサス大学オースチン校で構成される。WICATの使命は、産業界の研究パートナーと協力し、柔軟で効率的、かつセキュアなワイヤレスネットワークを構築することである。NYUワイヤレスの所長でもあるセオドア・ラパポート教授が、WICATの代表も兼任している<sup>31</sup>。

<sup>29</sup> <http://www.slideshare.net/3GDR/nyu-wireless-presentation> (Slide 40)

<sup>30</sup> <http://brooklyn5gsummit.com/>

<sup>31</sup> <http://catt.nyu.edu/partners/wicat>

**予算:** NYU ワイヤレスの年間研究予算は、約 1,000 万米ドルであり、このうち少なくとも 160 万米ドルは、提携企業から出資されていると見られる。なお同センターの 2012 年初期投資額は、資金が約 350 万米ドルと、研究施設のアップグレード予算が約 400 万米ドルだった<sup>32</sup>。

**研究開発の動向:** NYU ワイヤレスは、5G アプリケーションのための新技術開発に取り組んでいる。以下は、同センターが進めているプロジェクトの例である。

- **試作とシミュレーション・ソフトウェア(Prototyping & Simulation Software)**<sup>33</sup>: このプロジェクトの目的は、ミリ波通信の概念の具現化を目指す、オープンソース・プラットフォームを開発することである。NYU ワイヤレスのチャンネルサウンダーは、28、60、73GHz 帯を含む複数帯域に柔軟に対応し、1GHz 帯の RF を、ヌルからヌルまで 2 ナノ秒で測定することができる。

ミリ波チャンネルサウンダーのベースバンド・アーキテクチャは、National Instruments 社の製品や技術(スーパーヘテロダイン・アーキテクチャ[superheterodyne architecture]の中間周波数(IF)および局部発振器[LO]ソースのための QuickSyn 周波数シンセサイザー、デジタル・ツー・アナログ[DAC]やアナログ・ツー・デジタル[ADC]、FPGA PXI モジュールなど)を基に構築された。また、同じく National Instruments 製の開発環境 LabVIEW と LabVIEW-FPGA では、電力遅延プロファイル(PDP)の取得コード(acquisition code)とアルゴリズム、そして方位角面(the azimuth plane)および直線軌道トランスレーション測定(a linear track for translation measurements)に沿った、トランスミッター(TX)とレシーバー(RX)の機械制御を改良するための急速で柔軟な開発が可能である。チャンネルサウンダーは、スライディングコリレータ時間拡張相関、または高速広帯域相関オプション向けに再構成可能であり、チャンネルサウンダーのほかにも NYU ワイヤレスは、セキュアで使い易いデータベースと、ミリ波伝搬データへのインターフェース構築に取り組んでいる。

- **ミリ波チャンネルモデリング(mmWave Channel Modeling)**<sup>34</sup>: NYU ワイヤレスは、高密度都市環境におけるマイクロおよびピコセルラー・ミリ波ネットワークの実現可能性を、ニューヨーク市で行った測定によって、世界に初めて示した。この測定から派生した統計的チャンネルモデル(statistical channel model)は、ミリ波通信分野の研究に従事する、多くの学術および産業界組織によって広く利用されている。NYU ワイヤレスの研究者は、屋内と屋外の両環境で測定を幅広く実施しており、空間および時間的統計チャンネルモデルの開発を今も続けている。例えば、「NYUSIM オープン・ソース・ダウンロードダブル 5G チャンネル・シミュレーター・ソフトウェアプロジェクト(NYUSIM Open Source Downloadable 5G Channel Simulator software project)」では、大規模な測定が行われ、2~73GHz 帯向けの 5G ミリ波チャンネルモデルが開発された。

<sup>32</sup> <http://5gnews.org/new-york-university/>

<sup>33</sup> <http://wireless.engineering.nyu.edu/prototyping-simulation-software/>

<sup>34</sup> <http://wireless.engineering.nyu.edu/mmwave-channel-modeling/>

- **ミリ波セルラー・システム・デザイン(mmWave Cellular System Design)<sup>35</sup>**: このプロジェクトは、ミリ波帯である 30～300GHz 帯を利用する次世代セルラー・ネットワークに関して、MAC とネットワーク・レイヤーの設計に焦点をあてている。別途検討されているトピックには、セルラーシステム評価、マルチホップ中継(multi-hop relaying)、指向性ネットワーク検出、ハンドオーバー・プロトコル(handover protocols)などがある。
- **5G 実現に向けた研究コンソーシアム<sup>36</sup>**: このコンソーシアムでは、ミリ波帯を利用して信号を建物から反射させる事が可能な指向性ビームフォーミングや、それに対応した小型軽量アンテナなど、先端技術を活用するスマートで、かつコスト効率も優れたワイヤレスインフラの開発に注力し、5G 実現を目指している。また、周波数帯の共用に対応したデバイスや、それに対応したより小型でスマートなセルの開発にも取り組んでいる。このコンソーシアムには、NSF から 80 万米ドルの助成金と、企業スポンサーやにニューヨーク州経済開発局(Empire State Development)の科学技術・イノベーション課(Division of Science Technology & Innovation)から 120 万米ドルが投入されている。コンソーシアムには、政府、学术界、産業界から組織が参加しており、産業界からは Intel、Ericsson、AT&T、Huawei、Samsung、Qualcomm、NSN、L-3 Communications、InterDigital、National Instruments、また教員が設立したスピンオフ企業の Asension などが参加している。

NYU は 2014 年 12 月、28GHz 帯と 73GHz 帯を利用した実証実験に成功した。この実験では、高い周波数帯を利用したワイヤレス通信で発生する歪み(strain)が、当初の想定に比べれば、それほど酷くならないことが実証された。これにより、通信事業者らが 5G を導入する際、想定よりも少ない数のセルを配置すれば、通信を行うことができる可能性が高まった。この実験は、5G 導入に向けた道筋をつける実験(breakthrough)と言われている<sup>37</sup>。

**潜在的な応用事例:** 前述の通り NYU ワイヤレスは 5G 関連領域、特にミリ波利用技術に関する研究プロジェクトを複数実施しており、その研究の潜在的アプリケーションとしては、6GHz 帯以上の周波数利用、高周波数帯域でのチャンネルモデリングの改善、5G 向け大規模 MIMO アンテナシステム等が挙げられる。これらの研究は、NYU ワイヤレスと提携している企業による 5G システムのプロトタイプ構築にすでに利用されており、例えば 2015 年には、Nokia と National Instruments がミリ波帯である 73GHz 帯でピーク時通信速度が 10Gbps の無線通信を実演し、5G ネットワーク実現への可能性を力強く示した<sup>38</sup>。

<sup>35</sup> <http://wireless.engineering.nyu.edu/mmWave-channel-modeling/>

<sup>36</sup> [http://www.4gamericas.org/files/8914/6774/6748/Global\\_Organizations\\_Forge\\_New\\_Frontier\\_of\\_5G\\_Final.pdf](http://www.4gamericas.org/files/8914/6774/6748/Global_Organizations_Forge_New_Frontier_of_5G_Final.pdf) (Pg. 42)

<sup>37</sup> <http://www.telecompetitor.com/nyu-researchers-claim-5g-wireless-breakthrough/>

<sup>38</sup> <http://engineering.nyu.edu/press-releases/2015/04/08/nokia-networks-nyu-wireless-host-brooklyn-5g-summit-advance-super-fast-gen>

#### 1.1.4 ニューヨーク大学とオーバーン大学

**プロジェクト名:** NeTS: 小型: 共同研究: マルチギガビット・ワイヤレスネットワークのための 60GHz スペクトラルフロンティア研究

**背景・概要:** NYU の中では、次世代ワイヤレスネットワーク利用を目的とした、28~200GHz 周波数帯に関する、複数の研究プロジェクトが実施されている。このオーバーン大学との共同研究は、60GHz 帯のパフォーマンスや能力、今後の可能性に焦点を当てた研究であり、NYU のセオドア・ラパポート教授とオーバーン大学のシーウェン・マオ教授 (Shiwen Mao) がそれぞれの大学の責任者を務めている。また NSF の内部組織であるコンピュータとネットワーク・システム部 (Division of Computer and Network Systems: CNS) が、助成金を提供している<sup>39</sup>。

**主要パートナー:** このプロジェクトは、NSF のネットワーキング技術・システム (Networking Technology and Systems: NeTS) プログラムの一環として、NSF の CNS より助成金を得ている。CNS は、コンピューティングやネットワーク分野の新技术の開発を目指す研究・教育機関を支援する事を目的としており、適宜助成金も提供している。NeTS プログラムは、CNS が運営しているプログラムの一つであり、ネットワーキング分野の技術面の根本的進化に関する展開研究 (transformative research) と、次世代高性能ネットワークと将来のインターネットアーキテクチャ開発につながるシステム研究を視診している<sup>40</sup>。

このプロジェクトは、NYU とオーバーン大学の共同事業として実施されるが、各研究はそれぞれの研究班によって独立して行われる。また Samsung Electronics 等の産業界からも出資金が提供されているほか、研究者がプロジェクトに参加している<sup>41</sup>。

**予算:** NSF の CNS からは、少なくとも本プロジェクトに 2 件の助成金が提供されていると考えられ、1 件目は NYU のラパポート教授が受託者となっている 25 万米ドル、もう一件はオーバーン大学のマオ教授が受託者となっている 25 万 8,000 米ドルである。これら 2 件の助成金の期限は、2013 年 9 月 1 日~2017 年 8 月 31 日 (暫定) となっており、研究の成果や NSF の予算によっては、2017 年 9 月以降も追加的に助成金が提供される可能性がある<sup>42</sup>。このほか、Samsung Electronics などの企業からも出資が行われていると見られるが、具体的な金額は不明である。

**研究開発の動向:** このプロジェクトは、ユーザーからの需要増大や 5G 等の次世代通信ワイヤレス通信システムの導入によるデータの増加や既存の周波数帯の混雑といった問題に対処するため、60GHz 帯の可能

<sup>39</sup> [http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1320472&HistoricalAwards=false](http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1320472&HistoricalAwards=false)  
[http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1320664](http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1320664)

<sup>40</sup> [https://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=503307&org=NSF](https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503307&org=NSF)

<sup>41</sup> <http://cacm.acm.org/news/169528-nsf-grant-to-help-point-way-to-5g-wireless/fulltext>

<sup>42</sup> [http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1320472&HistoricalAwards=false](http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1320472&HistoricalAwards=false)  
[http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1320664](http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1320664)

性や能力について検討する事を目的としている。60GHz 帯にはアンライセンス帯が存在しているため、プロジェクトの研究者らは、この帯域の有効な利用方法について研究を行っている<sup>43</sup>。

最終的にこのプロジェクトでは、指向性ビームフォーミング・アンテナの技術を改善し、新たにな波長へのアクセス精度を高めることにより、インフラ整備に必要なコストを削減するほか、ユーザーにより良い通信カバレッジを提供することを目的としている。この小型の高利得アンテナ (high-gain antennas) は、シリコン CMOS チップを基に構成される予定である<sup>44</sup>。

NYU とオーバーン大学との間では、研究の役割分担が成されており、NYU はラポポート教授の下、60GHz 帯にアクセス可能で、なお多指向性 CMOS チップ経由で携帯型デバイスへの設置にも適した、新たな小型の高利得アンテナの研究と開発に取り組んでいる。このアンテナは、結果的に信号アクセスの改善に役立つと考えられる。一方でオーバーン大学側では、NYU がアンテナを開発した後、アンテナをマルチノードネットワークへまとめてリンクするために必要となるアルゴリズムとシステムプロトコルの開発に着手することになっている<sup>45</sup>。

このプロジェクトが開始された 2013 年以降、NYU とオーバーン大学の研究者から関連研究論文が 23 本発表されており、このうちの 6 本は 2016 年に発表された。前述の通り、このプロジェクトに対する NSF の助成金の暫定期限は、2017 年 8 月 31 日とされている<sup>46</sup>。

**潜在的な応用事例：** 本プロジェクトが解消を目指している課題には、5G が導入された際の周波数帯の逼迫が含まれている。本プロジェクトを通して、60GHz 帯の利用や新しいアンテナ技術の開発に進展が見られれば、5G の導入がよりスムーズになると想定される。オーバーン大学は、高精細動画のストリーミングや、自動車の追突回避システム等の高い正確性と安全性が求められる機器等への応用を検討している<sup>47</sup>。

### 1.1.5 NSF (US Ignite とノースイースタン大学が主に協力)

**パートナーシップ名：** 先端ワイヤレス研究プラットフォーム (Platform for Advanced Wireless Research: PAWR)

**背景・概要：** PAWR は、次世代ワイヤレス技術とサービスのための前競争的研究課題に取り組む官民パートナーシップであり、研究プラットフォームの構築、ワイヤレス技術とデータネットワーキング教育の強化、産学パートナーシップの推進、学术界から産業界への技術の移転と商業化を目指している。PAWR は、ワイヤレス通信技術分野における米国の国際的なリーダーシップ維持を目的としたオバマ政権のイニシアティブの

<sup>43</sup> [http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1320472&HistoricalAwards=false](http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1320472&HistoricalAwards=false)

<sup>44</sup> <http://cacm.acm.org/news/169528-nsf-grant-to-help-point-way-to-5g-wireless/fulltext>

<sup>45</sup> <http://cacm.acm.org/news/169528-nsf-grant-to-help-point-way-to-5g-wireless/fulltext>

<sup>46</sup> [http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1320472&HistoricalAwards=false](http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1320472&HistoricalAwards=false)

[http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=1320664](http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1320664)

<sup>47</sup> <http://cacm.acm.org/news/169528-nsf-grant-to-help-point-way-to-5g-wireless/fulltext>

「先端ワイヤレス研究イニシアティブ (Advanced Wireless Research Initiative: 2016 年 7 月発表)」において、NSF が主導して創設された (なお NSF は同イニシアティブ下で、他にも複数のプロジェクトを運営している)。同イニシアティブには、DARPA、米国立標準技術院 (National Institute of Standards and Technology: NIST)、電気通信情報局 (National Telecommunications and Information Administration: NTIA) などとも関与しており、個別のプロジェクトを運営している<sup>48</sup>。

NSF は 2016 年 8 月、PAWR を主導する役割を担う PAWR プロジェクトオフィス (PAWR Project Office: PPO) の運営主導組織の公募を始め、同年 11 月に受付を終了した。2017 年 3 月には、PPO の主導組織に US Ignite とノースイースタン大学が決まり<sup>49</sup>、PAWR 下で行う実証研究をホストする 4 都市 (実験プラットフォーム) の公募が始められる予定である。これら 4 都市では、既存のセルラー・ネットワークを模倣するソフトウェア・デファインド無線アンテナネットワークを市全域で導入し、学術研究者や通信事業者、起業家などが、関連技術やソフトウェア・アルゴリズムの実験と検証、改良を実践的な環境で行う<sup>50</sup>。

**主要パートナー:** PAWR では PPO を中心に、政府系パートナーと産業界パートナーが連携する。産業界パートナーは、資金や機器、研究材料、工学専門知識、マーケティング機会等の支援を提供し、米国政府機関は助成金、実験用周波数免許の提供、その他の支援を提供する予定である<sup>51</sup>。

米国政府関連組織の中で PAWR のパートナーとして名が挙がっているのは、現時点では NSF のみであるが、ホワイトハウスの科学技術政策室 (Office of Science and Technology Policy: OSTP) と NSF が主導して創設した非営利団体 US Ignite<sup>52</sup> は、PAWR の PPO 主導組織の一つとなっている。US Ignite は、社会的に大きな影響をおよぼす可能性のある次世代ギガビットアプリケーションの開発と導入において、米国がリーダーシップを発揮することを目指している。

企業パートナーに関しては、複数の関連企業が PAWR の活動を支援するため、PAWR 業界コンソーシアムを創設している。PAWR 業界コンソーシアムは、研究優先事項を NSF と共有し、学術界および産業界のアイデア、リソース、そして専門知識の交換を推進する。加盟企業には、Nokia Bell Labs、Samsung、Keysight Technologies、Juniper Networks、InterDigital、National Instruments、Qualcomm、Viavi Solutions、Sprint、AT&T、Verizon、T-Mobile、HTC、Intel、Carlson Wireless Technologies、SSC、Commscope、Oracle、Ericsson など。ほかに電気通信産業ソリューションズ連合 (Alliance for Telecommunications Industry Solutions: ATIS)、CTIA - The Wireless Association、電気通信工業界 (Telecommunications Industry

<sup>48</sup> <https://www.us-ignite.org/wireless/>

<sup>49</sup> <https://www.advancedwireless.org/>

<sup>50</sup> <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2016/07/15/fact-sheet-administration-announces-advanced-wireless-research>

<sup>51</sup> <https://www.us-ignite.org/wireless/>

<sup>52</sup> <https://www.us-ignite.org/about/what-is-us-ignite/>

Association: TIA)の業界3団体が含まれる<sup>53</sup>。これらの企業は、初期投資を十分上回る最先端研究リターン  
の確保が期待されている<sup>54</sup>。

図表 4: PAWR の支援組織例



出典: US Ignite

**予算:** PAWRの予算は8,500万米ドルであり、そのうち5,000万米ドルを助成金という形でNSFが、残る3,500万米ドルをワイヤレス通信事業者、デバイス製造事業者、機器ベンダーなど20社強が参加する新設の業界コンソーシアムが現金および現物で出資する<sup>55</sup>。

なおNSFからの助成金は、NSFが向こう7年間に亘り、先端ワイヤレス研究イニシアティブの一環として提供する4億米ドルの中から拠出される。これらの助成金は、ワイヤレス通信分野の基礎研究や、先端ワイヤレス研究プラットフォームの開発に利用される。またNSFからの助成金には、PPO設立のために向こう5年間で必要な500万米ドルの予算が含まれる。PPOの目的は、実験プラットフォームの設計、開発、導入、そして運用の管理であり、PPOはNSFコンピュータ情報科学工学局(Directorate for Computer and Information Science and Engineering: CISE)管轄下に置かれる<sup>56</sup>。

**研究開発の動向:** PAWRが予定している4つの実証実験では、当面の研究領域として、以下の6つが想定されている<sup>57</sup>。

<sup>53</sup> <https://www.us-ignite.org/wireless/>  
<https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2016/07/15/fact-sheet-administration-announces-advanced-wireless-research>

<sup>54</sup> <https://www.us-ignite.org/wireless/>

<sup>55</sup> <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2016/07/15/fact-sheet-administration-announces-advanced-wireless-research>

<sup>56</sup> <https://www.nsf.gov/pubs/2016/nsf16585/nsf16585.htm>

<sup>57</sup> <https://www.us-ignite.org/wireless/>

- **ミリ波帯**: 26GHz 以上のミリ波帯における研究開発とシステム試験を可能にする技術について研究する。数ブロック(街区)をカバーするスモールセルネットワークでの 100Gbps 高速データ通信を目指す。
- **ダイナミックスペクトラム(Dynamic Spectrum)**: サブ 6GHz 帯に注目し、今後利用可能な周波数帯の特定と、画期的な周波数の利用モデルの確立を目指す。同時に、周波数帯の共用と保護問題についても研究する。
- **アーキテクチャ**: 次世代型ワイヤレス通信ネットワークのエッジ(端)で稼働する、データネットワーク・アーキテクチャのために、実験用アーキテクチャを検討する。
- **規模に応じたモビリティ(Mobility-at-Scale)**: 大型かつ高密度の異種ワイヤレスネットワークの評価を含む、トランスポート層から MAC レイヤーに至る複数レイヤーにおける重大な課題に対処するため、規模に応じたネットワーク・モビリティについて研究する。重大な課題とは、例えばコネクション管理、負荷分散、モビリティ管理などである。
- **広帯域ホワイトスペース(Wide-area Whitespace)**: ホワイトスペースを活用したワイヤレスネットワークを構築し、長距離ワイヤレス・メッシュ・コネクションを介した遠隔地への 1Gbps 通信の設計と構築、実演を試みる。
- **ネットワーク計測(Network Metrology)**: ワイヤレスネットワークの性能を測定およびモニターする機能を進化させる方法を模索し、ワイヤレスネットワークのセキュリティ、信頼性、性能を改善する手法の研究をサポートする。

これら 6 つの領域に加え、サイバー物理システム、サイバーセキュリティ、IoT、ロボティクス、スマートおよびコネクテッドヘルス、そしてビッグデータを含む、実践的なアプリケーションやサービスを実演するため、「スマートで接続されたコミュニティ・ネットワーク(Smart and Connected Community networks)」の例として将来は機能するであろう、プラットフォームの開発も予定されている<sup>58</sup>。

PAWR の主導組織である PPO は今後、これらの研究領域に関する実証研究を行うのに相応しい、都市プラットフォームを特定するため、検討を行う予定である。最終的には、この検討の結果に加え、NSF や PAWR 業界コンソーシアムとも協議した上で、対象となる都市の選定を開始する<sup>59</sup>。

**潜在的な応用例:** PAWR の目的は、今後重要となるワイヤレス通信アプリケーションに関連する研究開発を行う組織を、支援することである。それらのアプリケーションとは具体的に、クラウド対応無線アクセスネットワーク、無線・ネットワークプロトコル、アンテナ設計、ソフトウェア・デファインド無線トランシーバー、リソース共有アルゴリズム、周波数共有、モバイルアプリケーションのためのミリ波帯の利用、ワイヤレスネットワーク・セキュリティ、ネットワーク計画(network planning)、異種ネットワークアーキテクチャ、エンドツーエンド(end-to-end)ネットワークのサービスの質(QoS)、周波数ポリシー強制、エンドユーザー・アプリケーション性能、周

<sup>58</sup> <https://www.us-ignite.org/wireless/>

<sup>59</sup> <https://www.nsf.gov/pubs/2016/nsf16585/nsf16585.htm>

波数データ解析と適応能力などである。NSF はこれらの技術の研究を推進する事で、5G ネットワークを超える次世代ワイヤレス通信ネットワークの開発と具現化に役立つとみている<sup>60</sup>。

## 1.2 業界団体の関連動向

### 1.2.1 3GPP

標準化団体の 3GPP (Third Generation Partnership Project) は、5G LTE 標準の策定に積極的に取り組んできた。2016 年、3GPP は NB-IoT と eMTC 技術、小型セル・デュアル接続とアーキテクチャ、そしてその他ワイヤレス技術領域の標準を定めたワイヤレス技術仕様のリリース 13 (Release 13) を発表した。3GPP によるリリース 14 (Release 14) 策定作業は 2017 年 6 月の完了が見込まれている<sup>61</sup>。その後は 2018 年 9 月にリリース 15 (Release 15) において 5G フェーズ 1 (5G Phase 1) 仕様が、また 2020 年にリリース 16 (Release 16) として 5G フェーズ 2 (5G Phase 2) の取りまとめ完了が予定されている<sup>62</sup>。

2017 年 2 月、3GPP は 5G Americas と協力し、5G を明確に定義し、さらに将来の 3GPP 仕様のリリース計画を示す白書を出版した<sup>63</sup>。他の国際的業界団体および標準策定団体も 5G 定義に取り組んでいる。2015 年には、ワイヤレスベンダー、研究者、そしてモバイルオペレーターの欧州コンソーシアムである Next Generation Mobile Networks Alliance が 5G の定義を試みた白書を出版した<sup>64</sup>。2017 年 2 月には国際連合 (United Nations) 傘下組織の国際電気通信連合 (International Telecommunications Union) も草案を発表している<sup>65</sup>。

ほかにも 3GPP は業界イベントに参加し、それらを開催することもある。2016 年 11 月 10 日、3GPP SA2 委員長 (Chairman) のフランク・メイドマン氏 (Frank Mademann) は 5G Infrastructure Association の 5G 会議において、「5G 生態圏の実現 (Enabling the 5G EcoSphere)」をテーマに講演を行った<sup>66</sup>。モバイル・ワールド・ कांग्रेस (Mobile World Congress) や 5G ネットワーク・インフラに関する ETSI サミット (ETSI Summit on 5G Network Infrastructure) など、3GPP は世界的会議にも参加している。2015 年 9 月、3GPP はミリ波のチャンネルモデリング研究などを議論する 5G ワークショップを主催した<sup>67</sup>。

### 1.2.2 5G Americas

5G Americas は電気通信サービス事業者と機器メーカーで構成する業界団体であり、LTE と 5G の普及活動に注力している。スモールセルの導入、エッジコンピューティング、IoT、5G に向けた業界の進捗状況、そして米国と米州における LTE 導入に関する統計資料とデータといった LTE 関連トピックの白書や、その

<sup>60</sup> <https://www.nsf.gov/pubs/2016/nsf16585/nsf16585.htm>

<sup>61</sup> [www.3gpp.org/specifications/releases](http://www.3gpp.org/specifications/releases)

<sup>62</sup> [http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1825-5g-logo\\_news](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1825-5g-logo_news)

<sup>63</sup> [http://www.5gamericas.org/files/6814/8718/2308/3GPP\\_Rel\\_13\\_15\\_Final\\_to\\_Upload\\_2.14.17\\_AB.pdf](http://www.5gamericas.org/files/6814/8718/2308/3GPP_Rel_13_15_Final_to_Upload_2.14.17_AB.pdf)

<sup>64</sup> <https://www.ngmn.org/5g-white-paper.html>

<sup>65</sup> <https://www.itu.int/md/R15-SG05-C-0040/en>

<sup>66</sup> <https://5g-ppp.eu/2nd-global-5g-event-enabling-the-5g-ecosphere-november-9-102016/>

<sup>67</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/11/19/qualcomm-research-demonstrates-robust-mmwave-design-5g>

他教育用資料も作成している。5G Americas 代表のクリス・ピアソン氏 (Chris Pearson) は、モバイル・ワールド・コンGRESS (Mobile World Congress) などの 5G 関連イベントに講演者としてたびたび登壇している。

5G Americas は関連組織との連携も活発で、例えば 3GPP とは、LTE 技術のための 3GPP の新たな標準化活動に関する詳細な白書も発表している<sup>68</sup>。また 5G Americas は 2017 年 2 月、5G 開発を支援する韓国の非営利団体 5G Forum と覚書を交わしたことを発表した<sup>69</sup>。2017 年 3 月にはスモールセル普及を目指すオペレーター団体のスモールセル・フォーラム (Small Cell Forum: SCF、詳細後述) と共同で、オペレーターによるスモールセルの効率的導入を支援する詳細な指針を発表している<sup>70</sup>。

### 1.2.3 CTIA

CTIA - The Wireless Association は米国のワイヤレス通信業界を代表する業界団体であり、ワイヤレス分野の継続的イノベーションと投資を促進する政策のためのロビー活動を行っている。CTIA の 5G 関連プレスリリースの多くは、ワイヤレス業界関連の政府の動きに対するパブリックコメント (意見) を表明するものである。たとえば、2017 年 2 月には CTIA スタッフが FCC 職員に面会し、連邦、州、そしてロカルレベルでのスモールセル導入のための政策の合理化を求めた<sup>71</sup>。

ほかにも CTIA は、ワイヤレス業界の年次調査や、ワイヤレス関連データの出版、または最新の業界報告書を広く知らしめることにより、消費者および業界メンバーへ業界情報を発信する業界啓蒙活動を調整する役割も担っている。CTIA は、1,000 社以上が出席する業界見本市を併設する年次 CITA スーパー・モビリティ会議 (CTIA Super Mobility conference) など、ワイヤレス業界の成長を促進するイベントも主催する。2016 年のスーパー・モビリティ会議では、市、住宅、オフィス、そして小売り店舗向けの 5G と IoT 技術を重点的に紹介する「スマート体験 (smart experiences) ブース」に力を入れていた<sup>72</sup>。セルサイトとワイヤレスインフラ専門家のニーズに特化したイベントのタワー・アンド・スモール・セル・サミット (The Tower & Small Cell Summit) も、同会議に合わせて実施されている<sup>73</sup>。

### 1.2.4 TIA

米国電気通信工業会 (The Telecommunications Industry Association: TIA) は、標準策定、政策と支援、商機、市場インテリジェンス、そしてイベントと人材交流を通じ、ハイテク通信ネットワーク関連の機器メーカーとサプライヤーを代表する団体である。

<sup>68</sup> [http://www.5gamericas.org/files/6814/8718/2308/3GPP\\_Rel\\_13\\_15\\_Final\\_to\\_Upload\\_2.14.17\\_AB.pdf](http://www.5gamericas.org/files/6814/8718/2308/3GPP_Rel_13_15_Final_to_Upload_2.14.17_AB.pdf)

<sup>69</sup> <http://www.5gamericas.org/en/newsroom/press-releases/5g-americas-and-5g-forum-announce-memorandum-understanding/>

<sup>70</sup> <http://www.5gamericas.org/en/newsroom/press-releases/small-cell-forum-and-5g-americas-continue-lower-barriers-dense-network-deployment/>

<sup>71</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/ctia-pushes-fcc-to-streamline-small-cell-deployment-policies>

<sup>72</sup> <http://www.ctiasupermobility2016.com/exhibit/index.cfm/smart-experiences>

<sup>73</sup> <http://www.ctiasupermobility2016.com/events/eventdetails.cfm/2845>

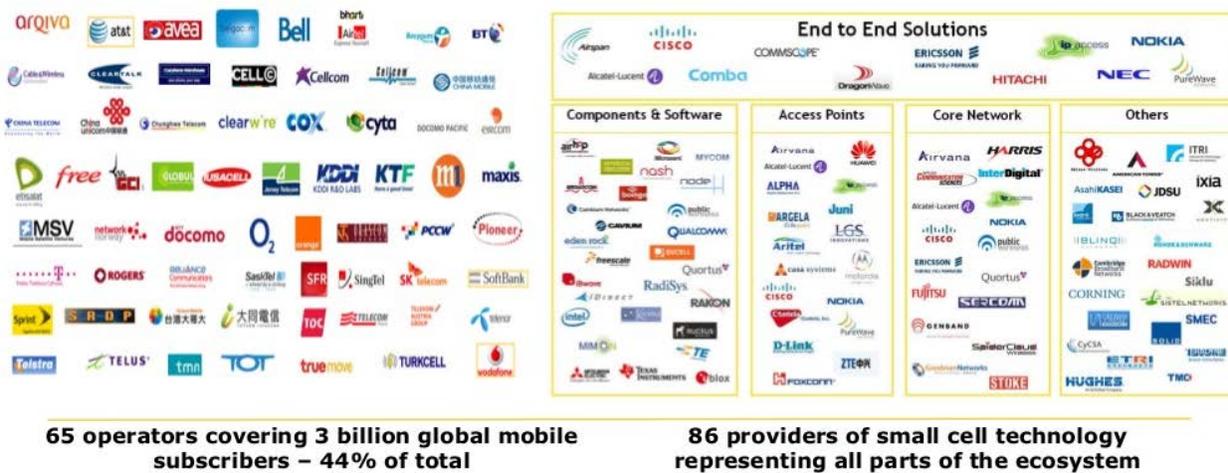
TIA は、5G 技術をテーマに学究界および業界専門家を対象に行ったインタビューの動画を複数公開している。最近の動画の中には、通信ネットワークオペレーターの現在および将来の 5G 戦略を調査したものや、AT&T のネットワーク視覚化戦略に関するインタビュー、5G 実現のための技術に関するものが含まれる<sup>74</sup>。TIA はモバイル・ワールド・ कांग्रेसなどの主要な 5G 関連イベントにも参加し、会員向けワークショップも主催している。たとえば 2015 年には、分散型アンテナ・システム(DAS: Distributed Antenna Systems)とスモールセル・アーキテクチャに重点を置く一連のワークショップを TIA メンバー向けに開催した<sup>75</sup>。

### 1.2.5 SCF

スモールセル・フォーラム(Small Cell Forum: SCF)は、スモールセルの大規模展開を目指し、また統合異種ネットワーク(HetNets: integrated heterogeneous networks)の実現を加速するために活動する業界団体であり、業界標準の採用と、業界に有利な規制環境、および共通アーキテクチャと相互互換性を支援している。SCF は世界的に毎年複数のワークショップを主催しており、モバイル・ワールド・ कांग्रेसではブースを出展し、会員企業に講演の機会を与えるプログラムを設けている<sup>76</sup>。

SCF はキャリア主導の団体であり、SCF 技術グループの活動と成果をけん引する要件をオペレーター会員が策定している。SCF ボードメンバーには、Airspan、AT&T、Cisco、CommScope、Ericsson、Huawei、ip.access、Node-H、Nokia、Qualcomm、Reliance Jio、Samsung Electronics America、ソフトバンク、SpiderCloud Wireless、Vodafone などが含まれる<sup>77</sup>。以下の図は、SCF の会員団体を示している。

図表 5: SCF のメンバー組織



出典: SCF<sup>78</sup>

<sup>74</sup> <http://www.tianow.org/5g-channel>

<sup>75</sup> <http://www.tiaonline.org/events/understanding-small-cell-and-das>

<sup>76</sup> <http://www.smallcellforum.org/events/mwc-2017/>

<sup>77</sup> <http://www.smallcellforum.org/press-releases/small-cell-forum-helps-mobile-industry-deliver-practical-profitable-5g/>

<sup>78</sup> <https://www.slideshare.net/SmallCellForum1/julius-robson-small-cell-backhaul/2>

SCF は、主要なスモールセルのユースケースの検討を行っており、例えば以下の様な都市施設への導入を目指している。最近では、現行の 4G ネットワークと将来の 5G ネットワークの両方を検討するスモールセル・オペレーター向けに実用的運用手引書シリーズをまとめている<sup>79</sup>。

図表 6: 都市部でのスモールセルのユースケース



出典: SCF<sup>80</sup>

SCF はそのウェブサイトで、世界的なスモールセル導入の事例研究について、特に屋内の事例に注力して紹介している。以下は、米国の事例研究の一部である<sup>81</sup>。

- **中小企業(SMEs: Small & medium enterprises):** Qualcomm は、3 万平方フィートの自社キャンパスにスモールセル・ソリューションを導入した。同社の自己最適化ネットワーク(Self-Optimizing Network)サービスによって、企業が Wi-Fi 導入の場合と同じリソースを使い、簡単なガイドラインだけでスモールセルをいかに独力で導入できるかを例示するためである<sup>82</sup>。SCF が力を入れる別の事例研究は Sprint に関してで、Sprint はトラフィック集約的な小規模および中規模事業所でスモールセルを広範に導入するにあたり、Commscope の S1000 スモールセルを採用したことを発表した<sup>83</sup>。別の事例研究では、SpiderCloud Wireless が Verizon コールセンター向けにスモールセルを導入し、14 万平方フィートの施設で VoLTE と動画の集中的利用が可能になったことが紹介された<sup>84</sup>。

<sup>79</sup> <http://www.smallcellforum.org/press-releases/small-cell-forum-helps-mobile-industry-deliver-practical-profitable-5g/>

<sup>80</sup> <https://www.slideshare.net/SmallCellForum1/lte-world-summit-presentation-by-art-king-of-spidercloud?ref=http://www.smallcellforum.org/resources/presentations/>

<sup>81</sup> <http://www.smallcellforum.org/resources/deployment-stories/>

<sup>82</sup> [http://www.smallcellforum.org/site/wp-content/uploads/2016/11/Qualcomm\\_UltraSON-Trials.pdf](http://www.smallcellforum.org/site/wp-content/uploads/2016/11/Qualcomm_UltraSON-Trials.pdf)

<sup>83</sup> <http://www.commscope.com/NewsCenter/PressReleases/CommScope-to-Provide-Sprint-with-Small-Cells-for-In-building-Wireless/>

<sup>84</sup> <https://www.slideshare.net/SmallCellForum1/spidercloud-wireless-scaling-small-cells-indoors>

- **金融セクター:** 多国籍金融サービス企業の米 Fidelity Investments は、米国ロードアイランド州の自社オフィスで AT&T と Ericsson のスモールセル・ソリューションを採用し、最大 5,000 人のサブスクライバーに UMTS と LTE サービスを提供している<sup>85</sup>。
- **大学セクター:** カンザス州のフォート・ヘイズ州立大学 (Fort Hays State University) は、大学施設で座席数 7,600 のコロシアムに Commscope と Nex-Tech Wireless のスモールセル・ソリューションを導入し、高密度 LTE を提供している<sup>86</sup>。
- **スポーツ会場:** Parallel Wireless は、カリフォルニア州サンタクララのリーバイス・スタジアム (Levi's Stadium) で開催されたスーパーボウル 50 (Super Bowl 50) においてスモールセルを導入し、公安当局向けに音声とデータ通信サービスを提供した<sup>87</sup>。

また SCF は 2017 年 2 月、ホスピタリティ・セクター向けに施設に包括的な高速屋内音声およびデータ・カバレッジを提供するためのスモールセル導入を支援する、ホスピタリティ・セクター・イニシアチブ (Hospitality Sector Initiative) を発表した。それにともない、Marriott International と Grange Hotel Chains が SCF のエンタープライズ諮問委員会 (Enterprise Advisory Council) に加入している<sup>88</sup>。

SCF が現在優先するソリューションには、スモールセル/Wi-Fi 統合、SON 進化 (SON evolution)、スモールセル・レイヤーの仮想化、マルチオペレーター・ニュートラル・ホスト (multi-operator neutral hosts) による大規模展開の促進、商業化をけん引する API 提供のための共通アプローチの実現、そして進化する 5G 標準へのスモールセルの統合などがある<sup>89</sup>。

## 1.2.6 IEEE

電気電子技術者協会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) は世界最大の技術専門家組織であり、160 カ国以上から 42 万人を超える会員を擁している。「IEEE 今後の方向性 5G イニシアチブ (IEEE Future Directions 5G Initiative)」は、世界のさまざまな 5G 関連研究について情報を集約し、5G 関連の課題解決に取り組む業界、学术界、そして政府の専門家コミュニティに提供する取り組みである。コミュニティのメンバーは、出版物、動画、記事や論文、インタビュー、オンラインセミナー、ニュースレター、ワークショップ、そして会議を含む幅広いリソースを利用することができる。

<sup>85</sup> [http://www.smallcellforum.org/site/wp-content/uploads/2016/05/ATT\\_Fidelity\\_Ericsson\\_v2-final.pdf](http://www.smallcellforum.org/site/wp-content/uploads/2016/05/ATT_Fidelity_Ericsson_v2-final.pdf)

<sup>86</sup> [http://www.smallcellforum.org/site/wp-content/uploads/2016/03/CommScope-Nextech\\_FtHaysUni.pdf](http://www.smallcellforum.org/site/wp-content/uploads/2016/03/CommScope-Nextech_FtHaysUni.pdf)

<sup>87</sup> [http://www.smallcellforum.org/site/wp-content/uploads/2016/02/Parallel\\_Superbowl\\_PublicSafety.pdf](http://www.smallcellforum.org/site/wp-content/uploads/2016/02/Parallel_Superbowl_PublicSafety.pdf)

<sup>88</sup> <http://www.smallcellforum.org/press-releases/telecoms-industry-body-small-cell-forum-launches-hospitality-sector-initiative-drive-delivery-high-quality-ubiquitous-cellular-coverage/>

<sup>89</sup> <http://www.smallcellforum.org/press-releases/small-cell-forum-helps-mobile-industry-deliver-practical-profitable-5g/>

IEEE の 5G イニシアチブの主要活動は、通信エコシステムにおける短期(向こう 3 年間)、中期(同 5 年間)、そして長期(同 10 年間)の研究、イノベーション、ならびに技術トレンドを特定する「技術ロードマップ (Technology Roadmap)」を策定することである<sup>90</sup>。

IEEE は世界で複数の 5G サミット(IEEE 5G Summit)を開催しており、2017 年は 18 件が予定されている。これらの 1 日サミットは、5G、IoT、ソフトウェア・デファインド・ネットワーク(SDN: software-defined networking)・NFV、ビッグデータ、サイバーセキュリティなどの新興技術領域に焦点を当てている<sup>91</sup>。5G の主要トピックに関する国際的な技術ワークショップも頻繁に開催しており、たとえば 2017 年 6 月には、「5G のためのスモールセル・ネットワーキング (Small Cell Networking for 5G)」をテーマに中国マカオでのワークショップ開催が計画されている<sup>92</sup>。

## 2 NB-IoT、LTE-M に関する研究開発動向

通信事業者と半導体企業は 2015～2016 年、IoT アプリケーション向けの低消費電力・広帯域ネットワーク (low power wide area network: LPWAN) をサポートする新たな周波数技術の開発に取り組んできた。2016 年 6 月には標準化団体の 3GPP が、eMTC (LTE-M、LTE Cat M1 とも呼ばれる)、NB-IoT (Narrowband-IoT、Cat M2、LTE Cat-NB1 としても知られる)、そして EC-GSM-IoT (EC-EGPRS としても知られる) の 3 仕様をリリース 13 (Release 13) の一部として発表した<sup>93</sup>。

EC-GSM-IoT が GSM 帯域を使うのに対し、NB-IoT と eMTC はいずれも LTE 技術から発展した技術である。ライセンス帯域を使用する NB-IoT と eMTC は、Sigfox や LoRa、Ingenu などのアンライセンス帯域を使用する既存の LPWAN 規格の代替技術と位置付けられている。既存の LTE 周波数帯域や関連インフラを基盤とした eMTC と NB-IoT は、基地局にソフトウェアアップグレードを行うことで導入が可能であり、通信事業者にとって魅力的な技術となっている<sup>94</sup>。

eMTC 仕様は、スマートメーターやエム・ヘルス (mHealth、モバイル通信技術のヘルスケアへの応用の意)、身体装着機器 (ウェアラブル機器) など、少量データだけを送信し、通信帯域をあまり必要としない IoT デバイスへの応用を念頭に設計された。eMTC のメリットは、LTE ネットワーク向けのゲートウェイモジュールのコストを低く抑えられること、バッテリーの寿命を長くできること (IoT デバイスに搭載したバッテリーの寿命は、10 年以上とも言われている)、既存の通信カバレッジの課題である地下や建物内での LTE カバレッジを拡大できること等が挙げられる<sup>95</sup>。

<sup>90</sup> <http://5g.ieee.org/about/technology-roadmap>

<sup>91</sup> <http://www.5gsummit.org/>

<sup>92</sup> <http://conference.researchbib.com/view/event/65402>

<sup>93</sup> <http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1785-nb-iot-complete>

<sup>94</sup> <http://www.wireless-mag.com/News/43074/att-and-sierra-wireless-to-trial-lte-m-lpwan-modules-for-iot.aspx>

<sup>95</sup> <http://www.wireless-mag.com/News/43074/att-and-sierra-wireless-to-trial-lte-m-lpwan-modules-for-iot.aspx>

eMTC 仕様は、商業化が見込まれる LTE 技術 2 件のうちの最初の 1 件である。現在、eMTC は米国と日本で最も人気のある標準規格だが、欧州と中国では NB-IoT に対する注目度の方が高いと言われている<sup>96</sup>。米国では Verizon が 2016 年 11 月に eMTC の実証実験を実施しており、2016 年末までに商業化し、2017 年第 1 四半期に全米展開する計画を明らかにしている。一方で AT&T は自前の商用ネットワーク全体を対象に、2017 年に同技術を提供する意向を示している。移動体通信事業者らで構成される業界団体の GSM Association (GSMA) によれば、他国の事業者らも、Verizon や AT&T と同様のタイミングでの導入を検討している<sup>97</sup>。

NB-IoT は、eMTC (LTE-M) 導入から約 6~9 カ月後の商用展開が見込まれている<sup>98</sup>。Huawei や Vodafone といった米国以外の国の通信事業者と、MediaTek や Nokia などのメーカーがこれまでに NB-IoT への支持を表明している。NB-IoT は、デバイスの複雑性と消費電力を抑えた上で、建物内の奥深くと広帯域のカバレッジを提供する。こういった特徴は、地方そして都市部のセンサーアプリケーションにとって重要な要素であり、特にガスメーターや水位計、煙探知器といったアプリケーションに特に適している<sup>99</sup>。

EC-GSM-IoT ネットワークについては、実証実験がすでに開始されており、最初の商用展開が 2017 年に予定されている。EC-GSM-IoT 標準はすべての主要モバイル機器ベンダーとチップセットおよびモジュールメーカーから支持されており、既存の 2G、3G、そして 4G モバイルネットワークと共存可能と言われている<sup>100</sup>。一方で、米国における EC-GSM-IoT 標準への注目度は、他国に比べて低いように見受けられ、その理由の一つとして、EC-GSM-IoT の潜在的な応用事例が、LET 基盤の NB-IoT の応用事例と一部重複する点が考えられる<sup>101</sup>。

専門家の分析によると、eMTC と NB-IoT が迅速に受け入れられてきた背景には、2 つの重大要因がある。1 つの要因は、既存の 2G ネットワークが老朽化してきており、周波数帯をより効率的に活用できる 4G ネットワークに置き換える必要があるためである。もう 1 つの要因には、LoRa や SigFox のような消費電力を節約可能な、広帯域通信技術からの競争圧力があることが挙げられる。以下は、新しい LPWAN 技術 3 件を比較した表である<sup>102</sup>。

---

<sup>96</sup> <https://www.pycom.io/wp-content/uploads/2016/11/Pycoms-view-of-LTE-M-around-the-world-Nov2016.pdf>

<sup>97</sup> <https://www.pycom.io/wp-content/uploads/2016/11/Pycoms-view-of-LTE-M-around-the-world-Nov2016.pdf>  
<http://www.wireless-mag.com/News/43074/att-and-sierra-wireless-to-trial-lte-m-lpwan-modules-for-iot.aspx>

<sup>98</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160912/opinion/reader-forum-myths-trends-cellular-iot-tag10>

<sup>99</sup> <http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/nb-iot-setting-the-pace-in-the-race-to-5g/a/d-id/725298>

<http://www.iiotjournal.com/articles/view?14887>

<sup>100</sup> <http://www.gsma.com/connectedliving/extended-coverage-gsm-internet-of-things-ec-gsm-iot/>

<sup>101</sup> <http://www.fiercewireless.com/special-report/cellular-s-nb-iot-ec-gsm-and-lte-cat-m-face-off-against-sigfox-lora-and-others>

<sup>102</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160912/opinion/reader-forum-myths-trends-cellular-iot-tag10>

図表 7: 3GPP による LPWAN 技術の比較

## Summary for eMTC, NB-IOT and EC-GSM-IoT

	eMTC (LTE Cat M1)	NB-IOT	EC-GSM-IoT
Deployment	In-band LTE	In-band & Guard-band LTE, standalone	In-band GSM
Coverage*	155.7 dB	164 dB for standalone, FFS others	164 dB, with 33dBm power class 154 dB, with 23dBm power class
Downlink	OFDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo Code, 16 QAM, 1 Rx	OFDMA, 15 KHz tone spacing, 1 Rx	TDMA/FDMA, GMSK and 8PSK (optional), 1 Rx
Uplink	SC-FDMA, 15 KHz tone spacing Turbo code, 16 QAM	Single tone, 15 KHz and 3.75 KHz spacing SC-FDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo code	TDMA/FDMA, GMSK and 8PSK (optional)
Bandwidth	1.08 MHz	180 KHz	200kHz per channel. Typical system bandwidth of 2.4MHz [smaller bandwidth down to 600 kHz being studied within Rel-13]
Peak rate (DL/UL)	1 Mbps for DL and UL	DL: ~50 kbps UL: ~50 for multi-tone, ~20 kbps for single tone	For DL and UL (using 4 timeslots): ~70 kbps (GMSK), ~240kbps (8PSK)
Duplexing	FD & HD (type B), FDD & TDD	HD (type B), FDD	HD, FDD
Power saving	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX
Power class	23 dBm, 20 dBm	23 dBm, others TBD	33 dBm, 23 dBm

\* In terms of MCL target. Targets for different technologies are based on somewhat different link budget assumptions (see TR 36.888/45.820 for more information).

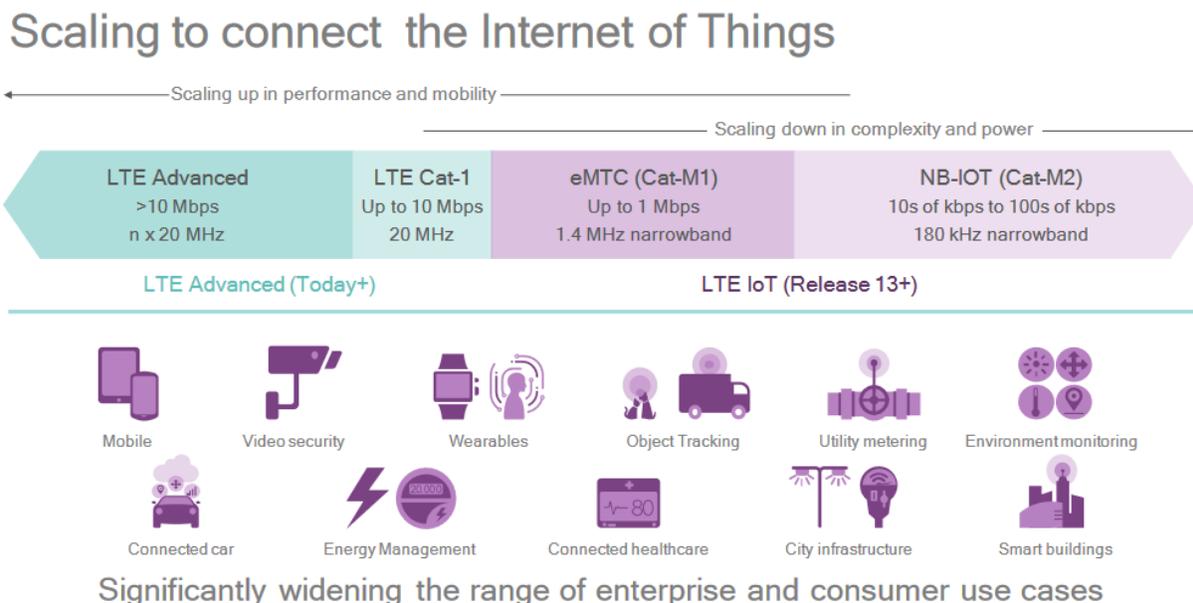
出典: 3GPP<sup>103</sup>

これら 3 件の新技術のほかにも、既存の IoT 標準である Cat-1 が米国および海外の複数キャリアによってすでに導入されている。しかし、Cat-1 で利用する比較的広い帯域幅は、現在または将来的な IoT 用途の多くにとっては不必要と考えられており、Cat-1 の場合、運用コストも eMTC および NB-IoT チップセットの約 3 倍と高い<sup>104</sup>。以下の図は、Cat-1 などの比較的古い規格を eMTC、NB-IoT と比較し、それぞれの一般的なユースケースを示している。

<sup>103</sup> [www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1805-iot\\_r14](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1805-iot_r14)

<sup>104</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160912/opinion/reader-forum-myths-trends-cellular-iot-tag10>

図表 8: LTE-IoT 周波数オプションの比較



出典: Qualcomm<sup>105</sup>

## 2.1 研究開発動向

### 2.1.1 Qualcomm

**背景・概要:** Qualcomm は、IoT アプリケーションに特化した 2 種類のチップセットシリーズ (MDM9x07 と MDM9x06) を擁している。そのうち MDM9x07 シリーズは、IoT 向けのスナップドラゴン X5 LTE (9x07) (Snapdragon X5 LTE [9x07]) モデムと MDM9207-1 モデムで構成され、スマートシティ、商用アプリケーション、及び産業デザイン分野の LTE Cat1 アプリケーションでの利用を想定している。もう一方の MDM9x06 シリーズは、eMTC (Cat M1) および NB-IoT アプリケーション向けの MDM9206 モデムから成る。いずれもソフトウェアアップデートによって、デュアル eMTC/NB-IoT (Cat M1/NB-1) モードへのアップグレードを可能にすることが見込まれている<sup>106</sup>。MDM9x06 チップセットシリーズは、Sequans、Intel、Altair などの製品と競合すると見られる<sup>107</sup>。

スナップドラゴン X5 LTE モデム (9x07) は、下り速度が最大 150Mbps の LTE カテゴリー 4 (LTE Category 4) をサポートする。かたや MDM9207-1 モデムは、下り速度が最大 10Mbps の LTE Cat1 をサポートする。MDM9207-1 モデムにはパワーセーブモード (PSM) が採用されており、電池寿命は単 3 電池 2 個で最長 10 年間である。これらのモデムは、世界の主要なセルラー標準規格と互換性を確保するよう設計されている。ほ

<sup>105</sup> <https://www.atis.org/5G2016/presentations/LeadingThePathTo5g.pdf>

<sup>106</sup> <http://www.prnewswire.com/news-releases/qualcomm-announces-broad-ecosystem-adoption-of-its-lte-category-m1nb-1-modem-designed-to-support-reliable-optimized-cellular-connectivity-for-the-internet-of-things-300346153.html>

<sup>107</sup> [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1330407](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1330407)

かにも、リナックス OS (Linux OS)、ARM コーテックス A7 (Cortex A7) プロセッサ、Qualcomm の MU-MIMO 技術対応 VIVE 802.11ac Wi-Fi、ブルートゥース 4.2 (Bluetooth 4.2)、ブルートゥース・ロー・エネルギー (Bluetooth Low Energy)、統合 GNSS に対応した。また、設計の複雑性の軽減、開発コストの抑制、そして早期商業化を可能にするため、チップセットプラットフォーム全体で拡張可能なソフトウェア再利用をサポートした<sup>108</sup>。

現在、60 以上の相手先商標製品製造会社 (original equipment manufacturers: OEMs) が Cat 1 ソリューション向けに MDM9x07 シリーズチップセットを採用している。Qualcomm は MDM9x07 シリーズの顧客として以下の企業を挙げている<sup>109</sup>。

- NEOWAY (ネットワークングと電気通信機器、およびサービスを提供する中国の多国籍企業)
- Quectel (専用 M2M/IoT ワイヤレスモジュール提供企業)
- Sierra Wireless (ワイヤレス通信機器設計と製造の多国籍企業)
- Simcom (M2M ワイヤレスジュールとソリューション提供企業)
- Telit (ワイヤレス M2M および付加価値サービス提供企業)
- Wistron Neweb Corporation (通信製品向け製品設計と製造企業)
- ZTE Corporation (電気通信機器とシステム提供の中国の多国籍企業)

一方で Qualcomm の MDM9206 モデムは、eMTC (LTE Cat M1) と NB-IoT アプリケーション向けモデムである。同社は 2016 年 10 月、モジュール OEM が MDM9206 基盤 eMTC (Cat M1) 製品を 2017 年初旬に市場投入するとの見通しを示し、NB-IoT へのソフトウェアアップグレードも、その直後に提供される予定と発表した<sup>110</sup>。Qualcomm は、Quectel、SIMCOM、u-blox、Wistron Neweb Corporation などの ODM が、eMTC (Cat M1) に対して強い関心を持っていると見ており、まずは eMTC (Cat M1) の開発に注力している。一方で NB-IoT の開発プロジェクトは、約 1 四半期ほど遅れて進んでいる。

MDM9207 と MDM9206 モデムは、新規 IoT アプリケーション向け需要をサポートするモデムを開発するという、Qualcomm の包括的計画の一端を成す製品である。Qualcomm の製品管理担当上級副社長のセージ・ウィレネガー氏 (Serge Willenegger) は、「IoT は、人々をモノに接続する以上のものになる。IoT によって情報管理システムが端 (エッジ) にまで拡張され、それによって機械とデバイスによる相互作用と、ほとんどの業界において増加するサービス機会と業務効率をサポートすることが可能になる。我々の eMTC (Cat M1) と NB-IoT (NB-1) 向け MDM9206 モデムをめぐるモメンタムは、新たな領域の IoT アプリケーションとサービス

<sup>108</sup> <https://www.qualcomm.com/www.qualcomm.com/news/releases/2016/06/26/qualcomm-announces-advanced-connectivity-solutions-drive-broad-ecosystem-adoption-of-4G-LTE-modems-for-iot-in-smart-city%2C-commercial-and-industrial-applications>

<sup>109</sup> <https://www.qualcomm.com/www.qualcomm.com/news/releases/2016/06/26/qualcomm-announces-advanced-connectivity-solutions-drive-broad-ecosystem-adoption-of-4G-LTE-modems-for-iot-in-smart-city%2C-commercial-and-industrial-applications>

<sup>110</sup> <http://rethink-wireless.com/2016/10/20/qualcomm-launches-edge-analytics-iot-camera-aims-for-lte-expansion/>

をサポートする確実かつ最適化された LTE セルラー接続に対する需要があることを反映している」と述べている<sup>111</sup>。

**主要パートナー：** Qualcomm は、eMTC (Cat M1) 製品の実証実験について AT&T および Verizon とも協力関係にある。Qualcomm は、AT&T の IoT 向け eMTC (AT&T は LTE-M と呼んでいる) のネットワークとモジュール技術の実証実験に参加した最初の企業の 1 社である。この実験は、サンフランシスコで 2016 年 11 月に開始された。また Qualcomm の MDM9206 モデムは、Verizon の IoT 開発者向けの Thingspace プラットフォームにも統合されている<sup>112</sup>。

**予算：** Qualcomm の IoT または NB-IoT/LTE-M 関連研究開発予算の詳細については、公表されていないと見られるが、2016 年 11 月 2 日に Qualcomm は、今後の市場予測の中で、大手通信事業者が NB-IoT ネットワークを 2017 年に導入し、その結果同社のモデム売上高が増加するとの見通しを示した。Qualcomm のスティーブ・モレンコフ (Steve Mollenkopf) 最高経営責任者 (CEO) によると、同社はオペレーターによる NB-IoT と産業用ならびに IoT デバイスへの注力を「好ましい傾向」と評価し、同分野を「成長機会」と捉えている<sup>113</sup>。

#### 研究開発内容：

- 2015 年 10 月、Qualcomm は IoT アプリケーション向けの MDM9207-1 および MDM9206 LTE モデムを発表した。MDM9207-1 は、スマート計測、セキュリティ、資産管理、身体装着機器、POS、そして産業用自動化などの IoT アプリケーションのために設計されており、Cat-1 LTE 接続を提供する。MDM9206 によってデバイスメーカーは、eMTC (Cat M1) と NB-IoT の特徴である超低消費電力化と通信範囲拡大を一層進めることができるだけでなく、ナローバンドモデムによって効率的に対処できる低通信速度の IoT アプリケーション向けにコスト最適化ソリューションが可能になる。MDM9207-1 チップセット搭載製品は、2016 年上半期の市場投入が見込まれている。
- 2016 年 2 月、Qualcomm のエンジニアリング担当副社長のデュルガ・マラディ氏 (Durga Malladi) は、NB-IoT 技術に関する会議に、講演者の一人として参加した。この際に同氏は、NB-IoT 技術商業化にあたり想定される最も重要な要素として、コストと複雑性の軽減を挙げた<sup>114</sup>。

<sup>111</sup> <http://www.prnewswire.com/news-releases/qualcomm-announces-broad-ecosystem-adoption-of-its-lte-category-m1nb-1-modem-designed-to-support-reliable-optimized-cellular-connectivity-for-the-internet-of-things-300346153.html>

<sup>112</sup> <http://rethink-wireless.com/2016/10/20/qualcomm-launches-edge-analytics-iot-camera-aims-for-lte-expansion/>  
<http://www.prnewswire.com/news-releases/qualcomm-announces-broad-ecosystem-adoption-of-its-lte-category-m1nb-1-modem-designed-to-support-reliable-optimized-cellular-connectivity-for-the-internet-of-things-300346153.html>

<sup>113</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/qualcomm-scores-strong-chip-sales-predicts-nb-iot-growth-2017/2016/11/>

<sup>114</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160221/internet-of-things/nb-iot-nearing-commercialization-2017-deployment-target>

- 2016年6月、Qualcommは、OEMやモジュールOEM60社強から、IoT向けスナップドラゴンX5 LTE[9x07]モデムとMDM9207-1モデムに対する支持を受けており、これらのMDM9x07チップセットファミリーを基に開発される製品は100件以上に上る予定であると発表した<sup>115</sup>。
- 2016年10月、Qualcommは4G/5Gサミットを香港で主催した。サミットでの講演者の関心は、5G展開に向けた進捗と、コネクティビティならびにコンピューティングの進歩とIoTを取り巻く課題への対処、そしてLTE技術の将来だった<sup>116</sup>。10月27日、Qualcommはオランダの世界的半導体メーカーであるNXP Semiconductors N.V.を380億米ドルで買収すると発表した。専門家の分析によると、QualcommがNXPを買収した主な理由の一つは、それによって5GおよびIoT分野において商機を拡大できるためであるという<sup>117</sup>。

**潜在的な応用事例：** MDM9x07チップセットシリーズ(Cat-1向け)のアプリケーションには、スマートエネルギーと計測、建物警備、インフラサポート、産業用制御と自動化、小売業界向けPOSアプリケーション、資産管理、医療ソリューション、照明、アフターマーケット・テレマティクスが含まれる<sup>118</sup>。

MDM9x06シリーズ(eMTC[LTE Cat M1]とNB-IoT向け)のIoT関連アプリケーションとしては、スマートエネルギーと計測、建物警備、インフラ、産業用制御と自動化、小売業界向けPOS、資産管理、医療ソリューション、照明、アフターマーケット・テレマティクスなどがある。MDM9206は、Qualcommの前世代LTE製品に比べて消費電力量が少ないこと、通信距離が広いことが特徴である<sup>119</sup>。

QualcommのNB-IoTとeMTC(Cat M1)チップセットシリーズは、ナローバンドLTE IoT技術をサポートしている。ナローバンドLTE IoT技術によって、IoTデバイスの複雑性が軽減され、電池を複数年もたせることや、建物の奥深くなど、従来は通信が難しかった場所にも到達するカバレッジの拡大が可能になる<sup>120</sup>。Qualcommの事業開発担当上級ディレクター(Senior Director, Business Development)のベン・ティモンズ氏(Ben Timmons)はCat-1やNB-IoTのような技術について、その導入は5Gの導入より先になるものの、5Gネットワーク環境下において拡張されるだろうと述べている。同時にティモンズ氏は、構造が比較的単純という理由で、複数企業がCat-1とNB-IoT向けに最初のチップセットを開発していると指摘。しかし主流の5G向けチップセットに関しては、それと同じようにはいかないだろうとの見方を示している<sup>121</sup>。

<sup>115</sup> <https://www.qualcomm.com/www.qualcomm.com/news/releases/2016/06/26/qualcomm-announces-advanced-connectivity-solutions-drive-broad-ecosystem-adoption-of-4G-LTE-modems-for-iot-in-smart-city%2C-commercial-and-industrial-applications>

<sup>116</sup> <http://4g5gsummit.qualcomm.com/agenda>

<sup>117</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/qualcomm-scores-strong-chip-sales-predicts-nb-iot-growth-2017/2016/11/>

<sup>118</sup> <https://www.qualcomm.com/www.qualcomm.com/news/releases/2016/06/26/qualcomm-announces-advanced-connectivity-solutions-drive-broad-ecosystem-adoption-of-4G-LTE-modems-for-iot-in-smart-city%2C-commercial-and-industrial-applications>

<sup>119</sup> <http://rethink-wireless.com/2016/10/20/qualcomm-launches-edge-analytics-iot-camera-aims-for-lte-expansion/>

<sup>120</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/06/26/3gpp-narrowband-iot-standardization-now-complete-next-narrowband-5g>

<sup>121</sup> <http://www.mobileeurope.co.uk/news-analysis/spectrum-allocation-vital-for-5g-qualcomm-urges-governments>

## 2.1.2 Intel

**背景・概要:** Intel は NB-LTE 技術の開発に注力しており、これはインフラとチップセット両方向けに、既存の LTE ネットワーク技術の高いレベルで再利用できるためである。セルラーIoT が新たなエコシステムやネットワークインフラ、チップセットを開発するためには、別途投資を必要とするため、Intel は既存投資を活用できることが NB-LTE 技術を大きな商機と考えている<sup>122</sup>。

Intel は、eMTC/NB-IoT 向けに 2 つのモデムを開発した。Intel XMM 7115 モデムは、業界第一弾となる NB-IoT 基盤のデバイスとアプリケーションをサポートするよう設計された<sup>123</sup>。もう一方の Intel XMM 7315 モデムは、LTE モデルとアプリケーションプロセッサを一つの半導体に一体化したもので、eMTC (LTE-M) と NB-IoT 標準規格の両方をサポートする。XMM 7315 は、広帯域カバレッジ、低消費電力、低コストが求められるアプリケーションに適している<sup>124</sup>。

2016 年 2 月初め、業界専門家は低消費電力 LTE 市場の重要プレイヤーの例として、Altair、Sequans、Qualcomm を挙げ、Intel もいずれこの分野で台頭すると予測し、顧客向け完全プラットフォーム提供をめぐる Qualcomm と競合する可能性を指摘した<sup>125</sup>。

**主要パートナー:** NB-IoT と eMTC 技術に関する Intel の共同研究は、主に米国以外の国際パートナーとの間で行われてきたと考えられる。2016 年 6 月、Intel は中国上海で開催されたモバイル・ワールド・コンGRESSにおいて、Ericsson ならびに Nokia と共同で NB-IoT 技術の実演を行った。Intel は同社のモデムとモジュールを使うセルラーIoT 技術の研究開発について、中国の China Mobile、英国 Vodafone、スイスの Telia、韓国の KT といった国際的ネットワーク・オペレーターとも提携関係にある<sup>126</sup>。

**予算:** Intel は、eMTC/NB-IoT 関連研究開発予算を公表していないと見られる。しかし、Intel の IoT グループ (Internet of Things Group) の 2015 年売上高は 23 億米ドルだった<sup>127</sup>。また IoT グループの 2016 年第 3 四半期売上高は、前年同期比 19% 増の 6 億 8,900 万米ドルであった<sup>128</sup>。

### 研究開発の動向:

<sup>122</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/nokia-ericsson-intel-back-nb-lte-yet-another-wireless-technology-for-iot>

<sup>123</sup> <http://www.intel.com/content/www/us/en/mobile/modem-solutions.html>

<sup>124</sup> <https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-accelerates-path-to-5g/>

<sup>125</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/nokia-ericsson-intel-back-nb-lte-yet-another-wireless-technology-for-iot>

<sup>126</sup> <http://www.fiercewireless.com/europe/ericsson-plans-world-first-cellular-iot-demonstration-intel-china-mobile>  
<http://www.wireless-mag.com/News/40684/nokia-demonstrates-nb-iot-with-intel-and-vodafone.aspx>

<https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2016/06/17/telia-ericsson-nokia-intel-invest-in-nb-iot-for-2017-commercial-launch/>

[http://www.netmanias.com/en/post/korea\\_ict\\_news/10727/iost-iot-kt-lte-nb-iot-nokia/kt-demonstrated-the-world-s-first-nb-iot-based-service](http://www.netmanias.com/en/post/korea_ict_news/10727/iost-iot-kt-lte-nb-iot-nokia/kt-demonstrated-the-world-s-first-nb-iot-based-service)

<sup>127</sup> <http://www.fool.com/investing/general/2016/02/06/how-intel-corporations-internet-of-things-business.aspx>

<sup>128</sup> <http://www.intc.com/financials.cfm>

- 2015年9月、Nokia、Ericsson、Intelは、NB-LTEについて提携したと発表した。3社はNB-LTEの商用展開に必要な製品の開発と市場投入で協力する。Intelは、NB-LTEチップセットと製品のアップグレードを2016年に開始し、同技術の商用展開をサポートする計画である。一方、NokiaとEricssonは、ネットワークのアップグレードに注力し、低消費電力M2M通信のためのNB-LTE最適化をサポートする<sup>129</sup>。
- 2016年、NokiaはIntelならびにVodafoneと協力し、同年6～7月に上海で開催予定のモバイル・ワールド・コンGRESSでNB-IoT技術を実演することを明らかにした。実際の実演ではNokiaのNB-IoT対応ネットワーク機器とIntelのクライアントデバイス技術を使い、Vodafoneが想定する将来のNB-IoTネットワークカバレッジを披露した<sup>130</sup>。
- 2016年6月、IntelはNB-IoT技術に関するスウェーデンの通信事業者Telia、Ericsson、Nokiaとの共同開発研究を発表した<sup>131</sup>。6月27日、Intel、Ericsson、China Mobileは、セルラーLPWA IoT技術のエンドツーエンド・インターコネクションをモバイル・ワールド・コンGRESS上海において実演すると発表。実演では、商業化前のセルラーIoT技術を実装したEricssonのRBS6000マルチモード基地局と、IntelのXMM 7115モデム、China Mobileの環境監視アプリケーションとプラットフォームを利用した<sup>132</sup>。
- 2016年7月、欧Telitは、同社LTEモジュールのLE910-SV1が、Verizonから北米4G LTEネットワークに対するオペレーション認証を受けたと発表した。LE910-SV1はLTEバンド2、4、13をサポートするシングルモードLTE CAT-1 IoTモジュールで、IntelのXMM 7120 LTEモデムを基盤に開発された<sup>133</sup>。
- IntelとNokiaは2月、5Gネットワークの包括的試験施設を米国(ニュージャージー州マレイ・ヒル)とフィンランド(エスポー)に共同で設立すると発表した。商用ソリューション向けの標準策定作業が進む中、この施設では「ライブ環境」での5Gソリューションを開発し、5Gネットワークの導入と運用モデルに取り組む。Intelは、Intel 5G Mobile Trial Platform、ならびにNB-IoT、ミリ波大規模MIMO、スモールセル、ネットワークスライシング(network slicing)、SDN 仮想 RAN、そしてマルチアクセス・エッジ

<sup>129</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/nokia-ericsson-intel-back-nb-lte-yet-another-wireless-technology-for-iot>

<sup>130</sup> <http://www.wireless-mag.com/News/40684/nokia-demonstrates-nb-iot-with-intel-and-vodafone.aspx>

<sup>131</sup> <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2016/06/17/telia-ericsson-nokia-intel-invest-in-nb-iot-for-2017-commercial-launch/>

<sup>132</sup> <http://www.fiercewireless.com/europe/ericsson-plans-world-first-cellular-iot-demonstration-intel-china-mobile>

<sup>133</sup> <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2016/06/17/telia-ericsson-nokia-intel-invest-in-nb-iot-for-2017-commercial-launch/>

<http://www.businesswire.com/news/home/20160715005495/en/Telit-LE910-SV1-LTE-CATEGORY-1-IoT-Module-Receives>

ジ・コンピューティング(MEC: Multi-Access Edge Computing)を含む領域の専門知識や技術を提供する<sup>134</sup>。

**潜在的な応用事例:** NB-IoT は、認可されている狭帯域幅(180kHz)への小型デバイスとセンサーによる効率的接続を可能にし、貴重で乏しいセルラー帯域において増え続けるネットワーク負荷を軽減すると同時に、ネットワーク容量と周波数効率を改善すると期待される。また NB-IoT は、デバイスの複雑性の軽減、低消費電力化とともに、建物奥を含む広帯域カバレッジをサポートする。これらの特徴は、地方および都市部のセンサーアプリケーションにとって重要な要素である。NB-IoT は特に、ガスメーター、水位計、煙探知器などのアプリケーションに適している<sup>135</sup>。

Intel は IoT を 5G 技術開発における主要な領域として見ており、2016 年 6 月のワールド・モバイル・コンGRESSにおいて同社は、主要 IoT 研究開発プロジェクトの例として、小型無人航空機(ドローン)向けの空中 LTE の利用や、モバイル・エッジ・コンピューティング(Mobile Edge Computing)、ミリ波、NB-IoT などの技術を挙げた<sup>136</sup>。

また Intel は、5G の土台を作る技術ソリューションについて、デバイスおよび機器メーカー、ネットワーク・オペレーター、そしてサービス事業者と協力する機会としても NB-IoT 技術に言及している。例えば Intel は 2016 年 6 月のモバイル・ワールド・コンGRESSにおいて、Ericsson ならびに Nokia と協力し、NB-IoT 技術の実演を行った。同年 2 月には、EC-GSM-IoT のカバレッジ拡張実験を Orange、Ericsson と共同実施している<sup>137</sup>。

### 2.1.3 AT&T

**背景・概要:** AT&T は、同社の既存周波数において LTE 技術をすでに活用しており、既存インフラを使って管理が可能なこと、また非 LTE 代替技術よりも安全性が高いことから、LTE 技術(eMTC(LTE-M)、NB-IoT)の開発に注力することを決めた。2016 年、AT&T は eMTC(LTE-M)対応ネットワークの実証実験を立ち上げ、2017 年に自社商用ネットワーク全体で eMTC(LTE-M)を幅広く提供する計画を発表した<sup>138</sup>。2017 年には自社ネットワークで NB-IoT デバイスの実証実験を行う予定で、2018 年初旬の製品化を目指している

<sup>139</sup>。

---

<sup>134</sup> <https://globenewswire.com/news-release/2017/02/21/925957/0/en/Nokia-and-Intel-launch-5G-acceleration-labs-in-US-and-Finland-to-help-operators-bring-5G-innovations-to-market.html>

<sup>135</sup> <http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/nb-iot-setting-the-pace-in-the-race-to-5g/a/d-id/725298>  
<http://www.iotjournal.com/articles/view?14887>

<sup>136</sup> <https://newsroom.intel.com/editorials/the-era-of-5g-the-machines-are-coming/>

<sup>137</sup> <https://newsroom.intel.com/editorials/the-era-of-5g-the-machines-are-coming/>

<sup>138</sup> <https://www.pycom.io/wp-content/uploads/2016/11/Pycoms-view-of-LTE-M-around-the-world-Nov2016.pdf>

<sup>139</sup> [http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-settles-on-lte-for-cellular-iot/d/d-id/724289?\\_ga=1.191899946.1082273097.1480708387](http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-settles-on-lte-for-cellular-iot/d/d-id/724289?_ga=1.191899946.1082273097.1480708387)

AT&T は、スマートメーターや身体装着(ウェアラブル)機器など向けに eMTC (LTE-M) の開発に注力している。また、煙探知器やネットワーク型モニターといった低消費電力アプリケーションにおいても、NB-IoT モジュールの利用を計画している。このほか、IoT 向け Wi-Fi および衛星アプリケーションについても検討を進めている。また 2016 年初めには、非 LTE LPWAN ソリューションも検討していたが、顧客からの強い要求が無いことを理由に、同年 6 月に検討を取りやめた<sup>140</sup>。

AT&T の eMTC (LTE-M) および NB-IoT 関連の活動は、同社の包括的 IoT 戦略の一環として実施されている。主力の IoT ソリューションとアプリケーションは、コネクテッド車両、資産管理、産業用 IoT、そしてスマートシティといった領域に重点を置いている<sup>141</sup>。

また AT&T は、サービス管理プラットフォーム、開発者プラットフォームの 2 種類の IoT プラットフォームも提供している。サービス管理プラットフォームの AT&T コントロール・センター(AT&T Control Center)では、AT&T ポータルとアプリケーション・プログラマー・インターフェース(API)を利用し、接続性を管理するツールと、ジオフェンシングや時間的制約のある通信(time sensitive communications)などのサービスを顧客に提供する。もう一方の開発者プラットフォームでは、ソフトウェア・エンジニア向けに IoT アプリケーション開発ツールを提供する<sup>142</sup>

**主要パートナー：** AT&T は 2016 年 10 月、サンフランシスコにおいて最初の eMTC (LTE-M) 対応の設備を利用し、商用向けの実証実験を開始した。同社は 2017 年に、自社の商用ネットワーク全体で eMTC (LTE-M) を幅広く提供していく計画である。実証実験には、Altair、Ericsson、Qualcomm Technologies、Sierra Wireless、Telit、u-blox、Wistron NeWeb Corp. (WNC)、Xirgo Technologies を含む、複数技術プロバイダーのソリューションが採用されたほか、次のような企業も参加した<sup>143</sup>。

- **Badger Meter**(メーター製造会社) – スマート水位計向け通信を改良するための eMTC (LTE-M) ネットワークの活用方法を分析。
- **CalAmp**(衛星通信用部品製造会社) – コネクテッド車両と資産を効率的に管理するための eMTC (LTE-M) ネットワーク活用方法の研究。
- **Capstone Metering**(水位計と水管理アプリケーション提供会社) – 接続性、センサー監視、そして地下に設置されたスマート水位計の電池需要に焦点を置いた、スマートシティ向けセンサー技術を改良する eMTC (LTE-M) の実演。
- **PepsiCo** – スマート自動販売ソリューション向けセンサーアプリケーションの研究。
- **Samsung** – 身体装着機器向け eMTC (LTE-M) 基盤ソリューションの分析。

<sup>140</sup> [http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-settles-on-lte-for-cellular-iot/d/d-id/724289?\\_ga=1.191899946.1082273097.1480708387](http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-settles-on-lte-for-cellular-iot/d/d-id/724289?_ga=1.191899946.1082273097.1480708387)

<sup>141</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160118/internet-of-things/att-iot-tag4>

<sup>142</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160118/internet-of-things/att-iot-tag4>

<sup>143</sup> <https://www.pycom.io/wp-content/uploads/2016/11/Pycoms-view-of-LTE-M-around-the-world-Nov2016.pdf>  
<http://itwatchit.com/att-switches-north-americas-first-lte-m-commercial-site/>  
[http://about.att.com/story/north\\_americas\\_first\\_lte\\_m\\_site\\_to\\_grow\\_401.html](http://about.att.com/story/north_americas_first_lte_m_site_to_grow_401.html)

**予算:** AT&T は、NB-IoT または eMTC (LTE-M) 関係の予算情報を公表していないと見られる。

#### 研究開発の動向:

- 2016 年 1 月、AT&T はスマートシティおよび産業用 IoT アプリケーション向けコネクテッド・センサー用に Altair が開発した、低電力 Cat 1 LTE オンリー・チップセットを採用すると発表した。AT&T によると、同社の Cat 1 LTE オンリー・モジュールは、下り速度で最大 10Mbps と、上り速度で最大 5Mbps をサポートする<sup>144</sup>。
- 2016 年 2 月、AT&T は Ericsson が同社の LTE ネットワーク向けに、Cat-M および NB-IoT ソフトウェアを導入すると発表した。Cat-M は身体装着機器やユーティリティメーターのようなコネクテッド機器をサポートし、もう一方の NB-IoT は、煙検出器、汚染モニター、産業用・農業用センサーをサポートする<sup>145</sup>。この発表は、半導体製造会社の Sequans が、Verizon 向けに Cat-M ソリューションを提供すると発表した 1 週間後に行われた<sup>146</sup>。AT&T は eMTC (LTE-M) の実証実験の準備を進めており、2016 年末に NB-IoT の実証実験を実施することも明らかにした<sup>147</sup>。
- 2016 年 6 月、AT&T はそれまで他の LPWA 仕様を検討する可能性を示唆していたにもかかわらず、セルラー IoT アプリケーション用技術として LTE の開発に注力することを明らかにした。AT&T は 2017 年に自社ネットワークで NB-IoT デバイスの実証実験を行い、2018 年初旬に製品化して販売する意向である<sup>148</sup>。
- 2016 年 10 月、AT&T はサンフランシスコの eMTC (LTE-M) LPWA 専用ネットワーク向けの実験設備を整備したことを明らかにした。サン・ラモンの AT&T Labs 内に設けられた設備は、11 月の eMTC (LTE-M) の実証実験をサポートする<sup>149</sup>。
- 2016 年 11 月、AT&T はサンフランシスコにおいて eMTC (LTE-M) の実証実験を開始した。実証実験では、Altair (LTE チップセットを提供)、Ericsson、Qualcomm Technologies、Sierra Wireless、Telit、u-blox、Wistron NeWeb Corp (WNC)、Xirgo Technologies を含む複数技術プロバイダーのソリューションを採用した<sup>150</sup>。実験で利用されたネットワークは、Badger Meter、CalAmp、Capstone Metering、PepsiCo、Samsung などのパートナーと協力し、スマートメーター、警告システム、自動販売機といった IoT アプリケーションを接続するために使用されている。AT&T の IoT ソリューション・製品開発担当上級副社長のキャメロン・コーシー氏 (Cameron Coursey) は、モバイル・ワールド・ライブ (Mobile

<sup>144</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160118/internet-of-things/att-iot-tag4>

<sup>145</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160223/internet-of-things/iot-mwc-verizon-att-ingenu-tag4>

<sup>146</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160216/internet-of-things/lte-iot-sequans-cat-m-verizon-tag4>

<sup>147</sup> [http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-to-test-4g-specs-for-unwiring-iot/d/d-id/721248?\\_ga=1.159368634.1082273097.1480708387](http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-to-test-4g-specs-for-unwiring-iot/d/d-id/721248?_ga=1.159368634.1082273097.1480708387)

<sup>148</sup> [http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-settles-on-lte-for-cellular-iot/d/d-id/724289?\\_ga=1.191899946.1082273097.1480708387](http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-settles-on-lte-for-cellular-iot/d/d-id/724289?_ga=1.191899946.1082273097.1480708387)

<sup>149</sup> <http://itwatchit.com/att-switches-north-americas-first-lte-m-commercial-site/>

<sup>150</sup> <http://itwatchit.com/att-switches-north-americas-first-lte-m-commercial-site/>

World Live)が11月17日に行った取材に対し、NB-IoT に比べて潜在的アプリケーションの幅が広い eMTC (LTE-M)は、LPWA 技術にとって「この上なくすばらしい」環境を提供すると述べている<sup>151</sup>。

- AT&T は 2017 年 2 月、IoT 向け eMTC (LTE-M) ネットワークの米国展開を、予定より早い 2017 年第 2 四半期に開始すると発表した。メキシコでも 2017 年末までに導入する<sup>152</sup>。

AT&T は同時に、RM2 および Capstone Metering などと提携し、第 2 弾となる eMTC (LTE-M) 試験を、オハイオ州コロンバス地域で開始したことを明らかにした。RM2 はパレットの開発と管理、供給を手掛ける世界的企業で、これまでに RM2 とその顧客企業による運送中のパレット追跡を可能にする LTE-M 無線機を内蔵した新パレット (BLOCKPal) を開発した<sup>153</sup>。AT&T は、カリフォルニア州サン・ラモンでの最初の試験を 2017 年 3 月まで継続する計画である<sup>154</sup>。

また同月、AT&T と Ericsson は Qualcomm 製モデムを使用し、Voice over LTE (VoLTE) の実演を実施した。この新技術によって、Cat-M1/LTE-M 対応 IoT デバイス上で IoT アプリケーション向けに通常の音声サービスが可能になる。モバイル音声サービス機能を IoT デバイスに拡張することで、セキュリティアラーム・パネル、遠隔ファーストエイド・キット、身体装着機器、デジタルロック、使い捨ての衣服用セキュリティタグ (disposable security garments)、その他 IoT 対応アプリケーションとサービスなどの領域へエンタープライズサービスを拡張する機会が開けると期待される<sup>155</sup>。

**潜在的な応用例:** eMTC (LTE-M) と NB-IoT は、4G 技術であると同時に、大規模 IoT、クリティカル通信 (critical communication)、そしてモバイルブロードバンドといった、5G の主要な技術と併用できる可能性がある。5G 技術と併用する場合、IoT アプリケーションをブロードバンドネットワークから切り離し、モバイルブロードバンド用の周波数帯を節約することが可能となると言われている<sup>156</sup>。

AT&T のスモールセル・プラットフォーム担当の主要技術スタッフであるプラボカー・チトラプ氏 (Prabhakar Chitrapu) によると、IoT は拡張モバイルブロードバンド、高信頼・低遅延通信、車両アプリケーション、そしてスマートシティ・アプリケーションと共に、5G の将来を方向付ける 5 つの柱の一つである。チトラプ氏は、AT&T の eMTC (LTE-M: チトラプ氏は LTE-M を Cat M1 と呼んでいる) の実証実験が 2016 年 11 月に始まったことと、NB-IoT (同氏は Cat NB1 と呼んでいる) の研究開発が前進していることに触れた<sup>157</sup>。

<sup>151</sup> <https://www.mobileworldlive.com/videos/interviews/interview-att-on-lpwa/>

<sup>152</sup> [http://about.att.com/story/att\\_accelerates\\_deployment\\_of\\_lte\\_m\\_network.html](http://about.att.com/story/att_accelerates_deployment_of_lte_m_network.html)

<sup>153</sup> <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2017/02/att-new-cellular-technology-incorporates-composites/>

<sup>154</sup> [http://about.att.com/story/att\\_accelerates\\_deployment\\_of\\_lte\\_m\\_network.html](http://about.att.com/story/att_accelerates_deployment_of_lte_m_network.html)

<sup>155</sup> <https://globenewswire.com/news-release/2017/02/28/928334/0/en/Ericsson-AT-T-and-Qualcomm-demonstrate-VoLTE-call-for-Internet-of-Things.html>

<sup>156</sup> <https://networkmatter.com/2016/11/10/building-5g-nb-iot/>

<sup>157</sup> <http://www.rcwireless.com/20161104/carriers/5g-network-tag31-tag99>

AT&T は eMTC (LTE-M) 技術について、2017 年の商業化を目指しており、スマート・ユーティリティ・メーター、資産監視、自動販売機、警告システム、重機、エム・ヘルス (mHealth)、そして身体装着機器などの IoT ソリューション向けを想定している。同社はまた、煙検出器やネットワーク型モニターなどのアプリケーションにおいて、NB-IoT モジュールを利用する意向であり、2017 年にネットワーク上で NB-IoT デバイスの実証実験を行い、2018 年初めの販売を目指すとしている<sup>158</sup>。

#### 2.1.4 Verizon

**背景・概要:** Verizon は、M2M アプリケーションの実現を目指し、LTE 基盤の IoT 技術の開発に注力している。具体的には 2015 年 12 月に Cat 1 ソリューションを導入し、現在は eMTC (Cat M1) ソリューション開発に取り組んでいる。Verizon は LTE 技術の開発を通して、IoT 分野において他のキャリアやネットワークベンダーに対する競争力を強化することを目指している<sup>159</sup>。

Verizon は eMTC (Cat M1) を「業界のゲームチェンジャー」と表現し、チップセットをサポートすることは、IoT デバイスの開発と大規模導入のコスト削減につながるとの見解を示している<sup>160</sup>。中でも Verizon のモバイルデバイスおよびオペレーティングシステム技術担当上級副社長のローズマリー・マクナリー氏 (Rosemary McNally) は、「我々のデバイスエコシステムを進化させ、それに Cat M1 も取り込むことにより、我々は自社の 4G LTE ネットワークを、将来の IoT へのニーズに応えられるように準備している。新興の LPWA ソリューションにも直接狙いを定めている。LPWA ソリューションは、すでに米国市場に導入されているが、LTE と同じレベルの規模やカバレッジ、セキュリティを提供するものではない」と語っている<sup>161</sup>。

eMTC (Cat M1) は IoT 中心型の LTE であり、1.4MHz の帯域幅を使い 300~400kbps の通信が可能である。デバイスの電池寿命は 10 年またはそれ以上を確保しており、低スループット・センサーアプリケーションとデバイスの接続を想定して設計された<sup>162</sup>。Verizon の eMTC (Cat M1) 開発は、IoT 向け LTE 基盤ソリューションとプラットフォームを開発する包括的計画の一環として実施されている。Verizon が手掛けるその他の関連イニシアチブとしては、ThingSpace や、ユーティリティ、運輸、そしてヘルスケア業界向けのさまざまな IoT ソリューションがある。ThingsSpace は、ウェブベースの IoT 開発プラットフォームであり、単純化された IoT ワークスペースと M2M 管理センターを開発者に提供する<sup>163</sup>。

**主要パートナー:** Verizon は eMTC (Cat M1) 開発にあたり、半導体製造会社の Sequans と Altair、モジュール製造会社の Gemalto、u-blox、Telit、Sierra Wireless、通信機器ベンダーの Nokia と Ericsson などと提携している。これらベンダーは、Verizon と連携する以外にも他のパートナーとそれぞれのソフトウェアとシステム

<sup>158</sup> [http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-settles-on-lte-for-cellular-iot/d/id/724289?\\_ga=1.191899946.1082273097.1480708387](http://www.lightreading.com/iot/iot-strategies/atandt-settles-on-lte-for-cellular-iot/d/id/724289?_ga=1.191899946.1082273097.1480708387)

<sup>159</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-vows-to-launch-lte-cat-m1-for-iot-year>

<sup>160</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-vows-to-launch-lte-cat-m1-for-iot-year>

<sup>161</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-vows-to-launch-lte-cat-m1-for-iot-year>

<sup>162</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-vows-to-launch-lte-cat-m1-for-iot-year>

<sup>163</sup> <https://www.verizon.com/about/sites/default/files/state-of-the-internet-of-things-market-report-2016.pdf>

の統合で協力し、Verizon のネットワーク向けモジュールの準備を進めている。例えば Nokia と Ericsson は、eMTC (Cat M1) チップセットを搭載した独自の LTE 無線機器を Verizon のネットワークで稼働させるために、チップセットの認証取得を目指している<sup>164</sup>。

**予算：** Verizon は eMTC (Cat M1) 向け研究開発予算を公表していないと見られる。ただし、Verizon の 2015 年の IoT 関連売上高は約 4 億 9,500 万米ドルであった<sup>165</sup>。

#### 研究開発の動向：

- 2015 年 10 月、Verizon は ThingsSpace を導入した。ThingsSpace、ウェブベースの IoT 開発プラットフォームであり、単純化された IoT ワークスペースと M2M 管理センターを開発者に提供する。Verizon によると、2016 年 12 月時点で 4,000 人を超える開発者がプラットフォームを利用していた<sup>166</sup>。
- 2015 年 12 月、Verizon は IoT 向け Cat 1 LTE ネットワークの提供を発表した。それによると、米国で LTE 対応 Cat 1 IoT アプリケーションを提供するキャリアは Verizon が初めてである。また Verizon は、半導体メーカーの Sequans ならびに Altair のチップセット・プラットフォームについて、自社 LTE ネットワーク向けに認証したと発表した<sup>167</sup>。Cat 1 ネットワークに続き Verizon は、パートナーと協力し、Cat M LTE 製品の商業化を目指している<sup>168</sup>。
- 2016 年 1 月、Ericsson と Verizon は、IoT アプリケーション向けセルラー LPWA ネットワークの開発と展開を推進するために提携したと発表した。それ以前にも 2 社は Sequans (4G ワイヤレス・チップセットのプロバイダー) と協力し、Verizon の LTE ネットワークを使用する Cat 1 LTE デバイスとインフラの実証実験を行っており<sup>169</sup>、IoT ユースケースを実演する実験にも 2014 年から参加している。Ericsson と Verizon による共同実験は IoT ユースケースを想定した、実践的なネットワーク試験に重点を置き、2016 年を通じて継続された<sup>170</sup>。
- 2016 年 2 月、Sequans と Verizon は、Cat M LTE 製品の商業化加速を目的に提携したと発表した<sup>171</sup>。具体的には、Sequans の Monarch チップセットと、eMTC (Cat M1) ならびに NB-IoT (Cat M2) との互換性を確保する。Monarch チップセットは、eMTC (Cat M1) の場合で下り 300Kbps、上り 375Kbps の通信速度、NB-IoT (Cat M2) の場合で下り 40Kbps、上り 55Kbps の通信速度をサポートする。この技術によって、ナローバンド LTE アプリケーション向けに周波数の効率的利用が可能にな

<sup>164</sup> <http://industrialiot5g.com/20160901/channels/news/verizon-targets-iot-competitors-tag4>

<sup>165</sup> <http://www.edgenation.com/?p=9285>

<sup>166</sup> <http://www.verizon.com/about/our-company/internet-things>

<sup>167</sup> <http://www.edgenation.com/?p=9285>

<sup>168</sup> <http://www.sequans.com/press-release/verizon-sequans-announce-lte-cat-m-chipset-acceleration-for-iot/>

<sup>169</sup> <http://www.edgenation.com/?p=9285>

<sup>170</sup> <https://www.ericsson.com/news/1977202>

<sup>171</sup> <http://www.sequans.com/press-release/verizon-sequans-announce-lte-cat-m-chipset-acceleration-for-iot/>

るとともに、消費電力が削減され、身体装着機器など、頻繁な充電が難しいデバイス用に適した半導体の確保が可能になる。当時の発表では、Sequans は 2016 年中の Cat M の実証実験の開始を見込んでいた<sup>172</sup>。

- 2016 年 4 月、Verizon は、IoT を活用する法人顧客を対象に、Verizon の LTE Cat M、Cat 1 または Cat 0 ネットワーク技術とデバイス向けに定額無制限プランの導入を検討中であることを明らかにした<sup>173</sup>。
- 2016 年 8 月末、Verizon は 2016 年末までに eMTC (Cat M1) を導入する計画を発表した。それによって同社は、この新技术を展開する米国初のオペレーターになるとした<sup>174</sup>。
- 2016 年 9 月、Verizon は 2017 年第 1 四半期に eMTC (Cat M1) を全米展開すると発表した<sup>175</sup>。
- 2016 年 10 月末、Verizon はフロリダ州南部で展開する実用化前の eMTC (Cat M1) ネットワークを使い、同社によると世界初のライブ無線 eMTC (Cat M1) データ通信を完了したと発表した。Sequans Communications が開発した未発売の Monarch eMTC (Cat M1) 半導体を実装したデバイス試作品を使い、LTE 基地局との無線ライブ通信に成功した<sup>176</sup>。
- Verizon は 2017 年 1 月、同社の ThingSpace エンド・ツー・エンド IoT プラットフォーム向けに新モジュールを投入することを明らかにした。それにより、資産管理、産業用オートメーション、身体装着機器、そしてスマートシティなどのユースケース向け IoT アプリケーションの構築と導入、管理の簡便化が可能になる。モジュールは Qualcomm Technologies の eMTC (Cat M1) モデムを採用して Quectel と Telit が製造し、2017 年初めの出荷が予定されている<sup>177</sup>。
- モデムメーカーの NimbeLink は 2017 年 2 月、Verizon の LTE ネットワーク上で eMTC (Cat M1) 接続を実演した。同社はフロリダ州フォート・ローダーデールで開催された IoT エボリューション・エキスポ (IoT Evolution Expo) において、自社デバイスを Verizon の ThingSpace プラットフォームに直接接続した。NimbeLink はアダプターボードに eMTC (Cat M1) モデムを実装し、セルラーを利用するデバイスのインターネット接続を試みる開発業者にボードを販売している。Verizon Wireless は、NimbeLink のほかにも Link Labs と Encore Networks の 2 社をモジュールメーカーとして認定している<sup>178</sup>。

---

<sup>172</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/sequans-backs-lte-cat-m-new-monarch-chip-fueling-verizon-partnership>

<sup>173</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-could-launch-unlimited-flat-rate-pricing-for-iot-customers-2017>

<sup>174</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/verizon-vows-to-launch-lte-cat-m1-for-iot-year>

<sup>175</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/verizon-at-t-both-claim-lte-cat-m-firsts-for-internet-things>

<sup>176</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/verizon-at-t-both-claim-lte-cat-m-firsts-for-internet-things>

<sup>177</sup> <https://www.qualcomm.com/news/releases/2017/01/03/verizon-and-qualcomm-unveil-next-chapter-growth-internet-things>

<sup>178</sup> <http://www.rcrwireless.com/20170209/chips/verizon-wireless-and-nimbelink-demonstrate-cat-m1-network-for-iot-tag4>

**潜在的な応用事例：** eMTC (Cat M1) は、モバイルヘルスケア・アプリケーションと身体装着機器、スマートエネルギー計測器、産業用 IoT センサー、資産管理、スマートシティ・コントローラー、カバレッジの広い低消費電力ネットワークを必要とするその他ユースケースなど、ナローバンド LTE アプリケーション向けの利用が意図されている<sup>179</sup>。

また eMTC (Cat M1) は Verizon の現行の 4G ネットワークソリューションをサポートし、5G の基盤提供に役立つと考えられている。Verizon は eMTC (Cat M1) ソリューションが提供するメリットの例として、IoT デバイスの電池寿命の長期化(最大 10 年またはそれ以上)、モジュールのコスト低下、屋内と地下におけるネットワークカバレッジの改良に期待している<sup>180</sup>。

## 2.2 業界団体の関連動向

ここでは、主要な通信業界団体による、最近の関連動向についてまとめる。

### 2.2.1 GSMA

GSM Association (GSMA) は、モバイル通信事業者の利益を代表する国際団体であり、ハンドセットとデバイスメーカー、ソフトウェア開発企業、機器開発企業、インターネット関連企業、そして関連業界セクターの団体を含む約 800 のオペレーターと 300 社が加盟している。GSMA は、モバイル・ワールド・コンGRESSなどの業界会議の主催組織としても知られる。

GSMA は、LTE-M タスクフォース (LTE-M Task Force) を組織している。その目的は、eMTC の技術実演と概念構築の促進、eMTC デバイス導入にかかわる複雑性の軽減、eMTC の新たな商機の創造、eMTC 業界パートナー間の協力促進、そして eMTC 研究開発と導入のためのエンドツーエンドの業界チェーンの構築である<sup>181</sup>。タスクフォース責任者には、AT&T の製品開発担当上級副社長 (VP Product Development) のキャメロン・コースー氏 (Cameron Coursey) が就任した。タスクフォースには、米国市場で大きなシェアを持つ AT&T Mobility や Verizon Wireless を含む 31 社が参加している<sup>182</sup>。

GSMA は、eMTC に関する各種パネルやイベントも主催している。一例として、2016 年 11 月 3 日にジョージア州アトランタで開催された GSMA Global LTE-M Summit では、AT&T、Verizon、Altair、Sequans、Ericsson などの企業の代表者が登壇した<sup>183</sup>。

加えて GSMA は、NB-IoT 技術の活用加速を目指し、業界および業界外にも及ぶ幅広いエコシステムのステークホルダーを代表する GSMA NB-IoT Forum を発足させた。フォーラムの委員長には Vodafone Group のルーク・イベットソン氏 (Luke Ibbetson) が、副委員長 (Vice-Chair) には China Mobile のファン・ユホ

<sup>179</sup> <http://www.rcwireless.com/20160901/internet-of-things/verizon-targets-iot-competitors-tag4>

<sup>180</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/verizon-commits-lte-cat-m-iot/2016/09/>

<sup>181</sup> <https://www.pycom.io/wp-content/uploads/2016/11/Pycoms-view-of-LTE-M-around-the-world-Nov2016.pdf>

<sup>182</sup> <http://www.gsma.com/connectedliving/long-term-evolution-machine-type-communication-lte-mtc-cat-m1/>

<sup>183</sup> <http://www.gsma.com/connectedliving/event/global-lte-m-summit/>

ン氏 (Huang Yuhong) が就任している。フォーラムは、LPWA 要件を満たす NB-IoT ソリューションを強化する実演ならびに概念の実証の推進と、NB-IoT アプリケーションならびに NB-IoT 業界パートナー間の協力促進、そして将来的な成長と開発のための強力なエンドツーエンドの業界チェーン構築に取り組むとしている。現在、50 社近くがフォーラムに参加しており、それらには Cisco Systems、Ericsson、Intel、Qualcomm、Verizon Wireless など、米国の業界大手も含まれる<sup>184</sup>。

GSMA は、EC-GSM-IoT Group と名付けられた業界グループも組織しており、このグループの目的は 3GPP が策定している EC-GSM-IoT 技術や仕様の広範な採用を促すことである。このグループには、Cisco Systems、Ericsson、Intel などの米国業界大手を含む 17 社が加盟しており、関連業界内外の意見を代表する事を目指している。

### 2.2.2 CTIA

CTIA-The Wireless Association は、セルラー、パーソナルコミュニケーションサービス、拡張特化モバイル無線 (enhanced specialized mobile radio) 等を含む、すべてのワイヤレス通信セクターを代表する国際業界団体である。CTIA は、主要な業界会議の CTIA Super Mobility を主催し、また GSMA Mobile World Congress Americas 等も共催している。

2016 年 9 月にラスベガスで開催された業界会議の CTIA Super Mobility 2016 Conference では、複数企業が eMTC または NB-IoT 技術に関する開発進捗を披露した。各社による発表の例は以下の通り。

- 仏半導体メーカーの Sequans は、専用 (purpose-built) eMTC/NB-IoT (Cat M1/NB1) Monarch チップを用いて、LTE eNodeB 基地局エミュレータとのライブ通信を実演した。Monarch チップは、センサー、身体装着機器、その他のデータ通信量の少ない低消費電力 M2M および IoT デバイスなどを利用する NB-IoT アプリケーション向けの半導体である<sup>185</sup>。
- 欧州の IoT モジュールを製造業者の Telit は、匿名の米国キャリアのネットワークに導入された eMTC (Cat-M1) モジュール 4 製品と、欧州市場向け NB-IoT (Cat-NB1) モジュール 1 製品の合計 5 つの新モジュールを発表した。同社は 2016 年末にモジュールを限定出荷し、2017 年初めに商業化する意向を明らかにした<sup>186</sup>。
- スイスの IoT モジュール製造業者の u-blox は、eMTC (Cat-M1) モジュールの SARA-R4 を、2016 年第 4 四半期に市場投入する計画を発表した。同社は Ingenu との提携も発表し、両社は Ingenu の RPMA 技術をサポートする製品の開発と製造で協力する。RPMA は、Ingenu 独自の RF 変調方式を採用し、2.4GHz 帯でデータを伝送する技術である<sup>187</sup>。

<sup>184</sup> <http://www.gsma.com/connectedliving/narrow-band-internet-of-things-nb-iot/>

<sup>185</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/sequans-to-demo-lte-cat-m1-nb1-chip-at-ctia-show>

<sup>186</sup> <http://www.iotjournal.com/articles/view?14956/2>

<sup>187</sup> <http://www.iotjournal.com/articles/view?14956/2>

- 米 Verizon は会議開催の直前に、インフラ、チップセット、モジュール、そしてデバイス業界のパートナーと協力し、2016 年末までに自社 4G LTE ネットワークに eMTC (Cat-M1) 接続ソリューションを導入する計画を発表した。業界パートナーには、Altair、Sequans、u-blox、Telit、Sierra Wireless、Gemalto、Nokia、Ericsson などが含まれる<sup>188</sup>。
- 米 AT&T、ならびに組み込み型電子機器とゲートウェイ製造の加 Sierra Wireless は、2016 年 11 月に eMTC (Cat-M1) の実証実験をサンフランシスコで実施すると発表した。この実験では、Sierra の新しい AirPrime ソリューションを使用し、eMTC の動作評価を行う予定とのことである<sup>189</sup>。

### 2.2.3 GSA

Global Mobile Suppliers Association (GSA) は、GSM、3G、WCDMA、HSPA、そして LTE のモバイル電話標準規格の推進を目的とする団体である。IoT 技術について定期的に報告書を出版しており、今後は NB-IoT と eMTC の白書を四半期ごとに出す予定である。ほかにも GSA は、IoT と M2M 通信技術について議論する LinkedIn グループを組織している<sup>190</sup>。

## 3 移動通信システムにおけるミリ波利用に関する、メーカー・事業者等の動向

24GHz を超える周波数帯として定義されるミリ波は、現在の 4G 技術を上回る、毎秒数ギガビットという通信を実現する技術として期待されている。しかしながら、ミリ波を用いた通信は伝搬損失が大きく、建物やその他障害物の妨害を受けやすいことから、従来は屋内および屋外の移動体ブロードバンド通信用のアプリケーションに使うには、安定性が十分でなかった。これらの問題があるということは、すなわち、カバレッジが狭く、特に見通し外 (NLOS: non-line-of-sight) 環境における通信をサポートしないことを意味し、ミリ波をモバイル移動体ブロードバンド向けに活用することは不可能と考えられてきた<sup>191</sup>。

一方で、ミリ波のような高い周波数は波長が短いため、比較的小さな装置に多くのアンテナ素子を並べることができる。このミリ波の特徴を利用すれば、高出力の送受信が可能であり、それによって伝播と経路損失の問題を克服する狭指向性ビームの形成が可能になる。しかし、効果的なミリ波ブロードバンド通信を実現するためには、制度の高いビームサーチングやトラッキングアルゴリズムを継続的に実行し、環境、モビリティ、その他因子に基づき絶えず変化している最適ビームパス(路)を発見し、それに切り替える必要がある<sup>192</sup>。そのため、通信事業者とその技術提供者は現在、見通し (LOS: line-of-sight) およびモバイル展開の課題を克服し、ミリ波を屋内および屋外モバイル通信に活用する方法の研究に重点を置いている<sup>193</sup>。

<sup>188</sup> <http://www.iotjournal.com/articles/view?14956/2>

<sup>189</sup> <http://www.iotjournal.com/articles/view?14956/2>

<sup>190</sup> <http://gsacom.com/communities/narrow-band-iot-m2m/>

<sup>191</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/11/19/qualcomm-research-demonstrates-robust-mmWave-design-5g>

<sup>192</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/11/19/qualcomm-research-demonstrates-robust-mmWave-design-5g>

<sup>193</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/11/19/qualcomm-research-demonstrates-robust-mmWave-design-5g>

企業がミリ波の潜在的ソリューションの研究に取り組む一方で、FCC はミリ波帯(24GHz を超える周波数帯)の周波数割り当てを進めてきた。FCC は 2016 年 7 月、免許が必要な周波数から 3.85GHz を、ワイヤレス/モバイルブロードバンド向けの免許が不要の周波数から 7GHz を開放することを定めたスペクトラム・フロンティア・プロポーザルを採択した<sup>194</sup>。

## 3.1 研究開発動向

### 3.1.1 Qualcomm

**背景・概要:** Qualcomm は、過去数年にわたり 5G 研究開発に投資を行ってきた。従来、6GHz を超える周波数帯は、屋内の動画ストリーミングや屋外のバックホールアクセスなど、2 拠点間(point-to-point)の見通し(LOS)型のアプリケーションに有用と考えられていたが、Qualcomm は特に、移動中に使える通信技術など、非見通し(NLOS)環境でのミリ波活用を可能にする技術の開発に重点を置いている<sup>195</sup>。

**主要パートナー:** Qualcomm は、3GPP が主導するミリ波向けチャネルモデリングについての議論などに参加し、5G 技術の標準化のために業界関係者と緊密に連携している。Qualcomm は NYU ワイヤレスと共に、屋外環境、屋内モール、そして住宅環境でのミリ波の活用実験や、屋内から屋外、そして 22~67GHz、またそれを超える周波数帯を活用した実験を行った。両者はこの実験結果を、3GPP ワークショップに提供した<sup>196</sup>。また、Verizon と Korea Telecom の 5G セルラー試験をサポートするため、Snapdragon X50 28GHz モデムなどのソリューションの設計を進めている<sup>197</sup>。

**予算:** Qualcomm は、ミリ波の研究開発予算を公表していないと見られる。しかし、同社は年次報告書において、ミリ波帯に分類されるものを含む高周波数帯や、ユーザー向け通信速度を向上させる 5G 技術の開発の重要性に言及している<sup>198</sup>。

#### 研究開発の動向:

- 2015 年 11 月、Qualcomm は、28GHz 帯をサポートする独自の TDD 同期システムの早期公開実演を行い、5G ネットワークに導入可能なインテリジェント・ビームフォーミングや、ビームトラッキング技術を披露した。Qualcomm の屋外試験データからの重要な発見の一つは、ミリ波を利用した代替非見通しパス(建物や構造物に信号を反射させる)の実験で、見通しパスよりも大きい出力が出たということである。この発見によって、サブ 6GHz における従来の利用とは異なるやり方で、非見通しパスを使うことが可能となった<sup>199</sup>。

この実演では、ミリ波基地局 1 つと、エンドユーザーデバイス 1 個を使用した。ミリ波基地局用アンテナのデザイン試作品には、128 のアンテナ素子と 16 の制御可能 RF チャネルが実装された。またデ

<sup>194</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/07/12/upcoming-fcc-vote-will-pave-path-5g-advancements-mobilize-mmWave>

<sup>195</sup> <http://www.fierewireless.com/tech/qualcomm-engineers-demonstrate-millimeter-wave-design-for-5g>

<sup>196</sup> <http://www.fierewireless.com/tech/qualcomm-engineers-demonstrate-millimeter-wave-design-for-5g>

<sup>197</sup> [www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1330637&mc=sm\\_eet\\_editor\\_rickmerritt](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1330637&mc=sm_eet_editor_rickmerritt)

<sup>198</sup> [http://files.shareholder.com/downloads/QCOM/3569688224x0x915400/CD71F5A8-BEAA-4EEE-B385-2CD75B48B9D3/2016\\_Annual\\_Report\\_Form\\_10-K.pdf](http://files.shareholder.com/downloads/QCOM/3569688224x0x915400/CD71F5A8-BEAA-4EEE-B385-2CD75B48B9D3/2016_Annual_Report_Form_10-K.pdf) (Pg. 8)

<sup>199</sup> <http://www.fierewireless.com/tech/qualcomm-engineers-demonstrate-millimeter-wave-design-for-5g>

バイスには選択可能な4つのサブアレイが実装され、各サブアレイには4つの制御可能RFチャネルが搭載された。この実演でQualcommは、インテリジェントな指向性ビームフォーミングを使用しミリ波の通信方向を操作できること、それによって非見通しの高密度な都市環境での移動時にミリ波通信を使えることを示そうとした<sup>200</sup>。

- 2016年6月、Qualcommは、3GPPが定めた新しい通信規格である5G New Radio (NR) 試作システムと試験プラットフォームを発表した。5G NR 試作システムは、サブ6GHz帯をサポートしており、同社の5G実証実験に利用される<sup>201</sup>。この新しい試作品は、Qualcomm Technologiesの既存の5Gミリ波試作システムに追加される<sup>202</sup>。
- Qualcommは2016年7月、FCCがミリ波帯を5G向けに開放すると決めたことに対し、支持を表明する声明を発表した<sup>203</sup>。
- Qualcommは2016年10月、Qualcomm Snapdragon X50 5G モデムを発表した。Qualcommによれば、商用5Gモデム・チップセットソリューションが発表されるのは、これが初めてである。Snapdragon X50 5G モデムは、次世代セルラーデバイスを製造する相手先商標製品製造会社(OEM)と、初期の5G試験と展開を進めるオペレーターを支援することを念頭に設計された。

Snapdragon X50 5G モデムは、最初は28GHz帯をサポートする。適応ビームフォーミングとビームトラッキング技術を備えたMIMOアンテナ技術を採用し、非見通し環境における安定した持続的モバイルブロードバンド通信を支援する。800MHzの帯域幅をサポートし、ピーク時下り速度で最大5Gbpsをサポートするようデザインされている。またそのデザインはマルチモード4G/5Gモバイルブロードバンドと、固定ワイヤレスブロードバンド・デバイス向けを想定しており、統合ギガビットLTEモデムを実装したQualcomm Snapdragon プロセッサと併用し、デュアル接続によって密接に連携させることができる<sup>204</sup>。

Qualcommによれば、ミリ波5Gネットワークを展開する通信事業者はSnapdragon X50 5G モデムを採用することで、ラボ試験やフィールド試験、そして早期のネットワーク展開でQualcommと緊密に協力することが可能になる。Snapdragon X50 5G プラットフォームには、モデム、SDR051 ミリ波送受信機、そして対応するPMX50 電源管理チップが含まれる。Snapdragon X50 5G モデムを実装する最初の商用製品は、2018年前半の発売が見込まれている<sup>205</sup>。

<sup>200</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/qualcomm-engineers-demonstrate-millimeter-wave-design-for-5g>

<sup>201</sup> [https://www.qualcomm.com/news/releases/2016/06/26/qualcomm-announces-5g-nr-sub-6-ghz-prototype-system-and-trial-platform?empid=Wireless\\_Newsletter](https://www.qualcomm.com/news/releases/2016/06/26/qualcomm-announces-5g-nr-sub-6-ghz-prototype-system-and-trial-platform?empid=Wireless_Newsletter)

<sup>202</sup> [https://www.qualcomm.com/news/releases/2016/06/26/qualcomm-announces-5g-nr-sub-6-ghz-prototype-system-and-trial-platform?empid=Wireless\\_Newsletter](https://www.qualcomm.com/news/releases/2016/06/26/qualcomm-announces-5g-nr-sub-6-ghz-prototype-system-and-trial-platform?empid=Wireless_Newsletter)

<sup>203</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/07/12/upcoming-fcc-vote-will-pave-path-5g-advancements-mobilize-mmWave>

<sup>204</sup> <https://www.qualcomm.com/news/releases/2016/10/17/qualcomm-showcases-5g-leadership-announcing-its-first-5g-modem-solution>

<sup>205</sup> <https://www.qualcomm.com/news/releases/2016/10/17/qualcomm-showcases-5g-leadership-announcing-its-first-5g-modem-solution>

- Qualcomm、Ericsson、AT&T は 2017 年 1 月、5G の大規模導入を促すため、5G NR 実験の実施で協力すると発表した。この実験は、28GHz および 39GHz 帯通信の商用展開を加速させることが目的である。3 社は実験において、これら高周波数帯で広帯域を利用してネットワーク容量を拡大する新たな 5G NR ミリ波技術を披露するとともに、複数 Gbps のデータレートを目指す。適応ビームフォーミングとビームトラッキング機能を備えた MIMO アンテナ技術に注力して非見通し通信を実現するほか、直交周波数分割多重 (OFDM) ベース波形について、5G NR 仕様の一部になると 3 社が見込む新柔軟性フレームワーク・デザイン (new flexible framework design) を使った試験にも重点を置く<sup>206</sup>。

試験は 2017 年下半期の実施が予定されており、3GPP が 2018 年後半にリリース 15 (Release 15) の一部となる公式仕様を発表後、モバイルエコシステムの高速 5G 導入への移行を促進することが意図されている<sup>207</sup>。

- Qualcomm は 2017 年 2 月、3GPP の NR 仕様に基づく 5G 接続に初めて成功したと発表した。これは、3.3~5.0GHz の中間帯域を利用する、Qualcomm Technologies のサブ 6 GHz 帯 (6GHz 以下の周波数帯を利用する) 5G NR 試作システムを使用して行われた。Qualcomm Technologies は、2 月 27 日~3 月 2 日までバルセロナで開催されたモバイル・ワールド・ कांग्रेसにおいて試作システムを公開実演した<sup>208</sup>。また同社は Snapdragon X50 5G モデム・ファミリーについて、3GPP 仕様 に則った 5G NR グローバル・システムに準拠した 5G NR マルチモード・チップセット・ソリューションをサポートすると発表した<sup>209</sup>。

**潜在的な応用例:** Qualcomm は潜在的な 5G ユースケースを広範にサポートするため、サブ 6GHz を使用するその他 5G 技術と互換性のある、28GHz 帯の 5G ミリ波対応技術の開発に取り組んでいる<sup>210</sup>。Qualcomm はプレスリリースの中で、5G 実現に向けた取り組みにおける自社のミリ波研究の重要性を強調した<sup>211</sup>。Qualcomm は、ミリ波と 5G サブ 6GHz 間の緊密な連携だけでなく、4G LTE アクセスとの複数接続も可能にする 5G 統合空間インターフェース (Unified Air Interface) のデザインを進めており、それによりミリ波デザインの安定性をさらに高めようとしている<sup>212</sup>。

<sup>206</sup> <http://www.rcwireless.com/20170104/carriers/att-5g-trials-to-expand-in-partnership-with-ericsson-and-qualcomm-tag2>

<sup>207</sup> <https://www.qualcomm.com/news/releases/2017/01/03/qualcomm-ericsson-and-att-announce-collaboration-5g-new-radio-trials>

<sup>208</sup> <https://www.qualcomm.com/news/releases/2017/02/21/qualcomm-showcases-5g-leadership-its-first-3gpp-based-5g-new-radio>

<sup>209</sup> <https://www.qualcomm.com/news/releases/2017/02/25/qualcomm-expands-industrys-first-announced-5g-modem-family-support-5g-nr>

<sup>210</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/07/12/upcoming-fcc-vote-will-pave-path-5g-advancements-mobilize-mmWave>

<sup>211</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/07/12/upcoming-fcc-vote-will-pave-path-5g-advancements-mobilize-mmWave>

<sup>212</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/11/19/qualcomm-research-demonstrates-robust-mmWave-design-5g>

### 3.1.2 AT&T

**背景・概要:** AT&T は、移動体向けの高速度通信を可能とする、超大容量モバイル通信の実現を目指すため、ミリ波技術を追求している<sup>213</sup>。同社は都市部の高密度スモールセルネットワーク向けにミリ波技術を活用し、自社のセルラーネットワークの容量を拡大しようとしている<sup>214</sup>。AT&T は 2016 年を通してミリ波技術の試験に参加した。これらの試験は、まずは商業ビルや住宅などの固定されたロケーション向けミリ波接続に注力し、その後は車両、あるいは電車で移動中の乗客が使用しているデバイスなど、動いている物体へのワイヤレス接続の試験へと移行することが意図されている。試験は現在、15GHz および 28GHz 帯を使って実施されている。

**主要パートナー:** AT&T のミリ波技術に関する研究は 5G 研究開発の一部であり、センチメートル波 (cmWave) 周波数、および 5G の高速大容量、長距離無線カバレッジを実現するその他機能の研究と並行して実施されている<sup>215</sup>。AT&T は、2016 年を通して 5G の実験で Ericsson ならびに Intel と協力し、同年には同じく Ericsson と提携し、Intel のためにミリ波技術の顧客試験を実施した<sup>216</sup>。また、Nokia は AT&T の 5G 機器ベンダーの 1 社であり、AT&T の 5G 試験に試験機器を提供している<sup>217</sup>。

**予算:** AT&T は、ミリ波研究開発の予算を公表していないと見られる。

#### 研究開発の動向:

- AT&T は 2016 年 2 月、高速 5G ワイヤレス技術のフィールド試験を 2016 年夏にテキサス州オースチンで開始すると発表した。2016 年第 2 四半期に 5G のラボ試験で Ericsson および Intel と協力し、続けて屋外での検査と試験を実施する。AT&T は、商業ビルや住宅といった固定ロケーションへの 5G 接続を 2016 年末までに見込む一方で、車両、あるいは電車で移動中の乗客のデバイスなど、動いている物体へのワイヤレス接続の実現は、より困難との見方を示した<sup>218</sup>。
- 2016 年 6 月初め、AT&T の最高技術責任者 (CTO) で AT&T Labs 社長のクリッシュ・プラブ氏 (Krish Prabhu) は、FCC が現在 28GHz 帯を固定通信用だけに認可していることに特に言及し、ミリ波アプリケーション向け固定オペレーションが向こう 2~3 年以内実現するとの見通しを示した。プラブ氏はさらに、2016 年夏に 15GHz の試験を行い、同年後半には 28GHz 試験を開始すると述べた。同氏は、2016 年後半に予定する試験では、モバイル要素を盛り込むことになるとみている<sup>219</sup>。

<sup>213</sup> [http://www.rcrwireless.com/20161004/qualcomm\\_5g/qualcomm\\_5g\\_use\\_cases/learn-importance-mmWave-5g](http://www.rcrwireless.com/20161004/qualcomm_5g/qualcomm_5g_use_cases/learn-importance-mmWave-5g)

<sup>214</sup> <http://fortune.com/2016/02/10/next-spectrum-battle/>

<sup>215</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/att-adds-nokia-5g-trials-expands-locations/2016/06/>

<sup>216</sup> <http://www.cio.com/article/3147411/mobile/att-means-business-with-a-5g-trial-at-intel.html>

<sup>217</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/att-adds-nokia-5g-trials-expands-locations/2016/06/>

<sup>218</sup> <http://www.networkworld.com/article/3032643/mobile-wireless/att-to-run-field-trials-of-5g-wireless-in-austin-this-year.html>

<sup>219</sup> <http://www.fiercewireless.com/wireless/at-t-5g-mostly-about-fixed-wireless-for-next-two-to-three-years>

6月6日、AT&Tは5G試験を他市へも拡大すること(Ericssonと協力しテキサス州オースチンで実施中の試験に加え、ニュージャージー州ミドルタウン、ジョージア州アトランタ、カリフォルニア州サンラモンで試験を実施する)、5G機器ベンダーの1社としてNokiaを追加することを発表した。

NokiaはAT&Tの5G試験に検査機器を提供する<sup>220</sup>。

- AT&Tは2016年9月、新しい研究プロジェクトのProject AirGigを発表した。このプロジェクトでは、送電線に沿って設置する低コストのプラスチックアンテナとデバイスを利用し、4G LTE および 5G 複数ギガビットのモバイルおよび固定通信向けに、ミリ波を利用する研究を実施する<sup>221</sup>。
- AT&Tは2016年10月、2拠点間ミリ波ワイヤレス技術を試験中であることを発表した。試験はミネソタ州で実施されており、屋内の有線回線を利用し、集合住宅群向けに100Mbpsのインターネット接続を提供する。試験ではミリ波ワイヤレス技術を使い、光ファイバーに接続された中央建物から複数ギガビット信号を近隣ロケーションに送信し、その後、各戸を屋内有線回線によって接続する。これら物件の顧客はAT&Tのサービスに加入後、Wi-Fiルーターを既存の電源コンセントにプラグして自宅でインターネットサービスを利用できるようになる<sup>222</sup>。

AT&Tは、固定無線ミリ波ソリューションを拡張し、従来の有線サービス領域外の物件にもインターネット接続を提供することを検討しており、候補地としてボストン、デンバー、ニュージャージー州、ニューヨーク、フィラデルフィア、フェニックス、シアトル、そしてワシントンDCを挙げている<sup>223</sup>。

10月18日、AT&TとEricssonは独自の5Gミリ波ネットワーク技術を実演し、Gbpsスループットを実現する8キャリア・シングルユーザーMIMOシステムを披露した。システムの試験では、ピーク時で最大14Gbpsの高速通信を実現した。また、8キャリアのうち1つを高精細動画のストリーミングに使用したが、ラグ、あるいはバッファリング(buffering)は見られなかった<sup>224</sup>。

- AT&Tは2016年12月、ネットワーク機器ベンダーのEricssonと協力し、Intel向けに5G技術の顧客試験を開始したと発表した。AT&Tによると、この試験は5G技術の顧客試験としては米国初であり、テキサス州オースチンのIntel施設で1ヶ月にわたり実施され、半径約300メートルの領域をカバーするセルサイトを使用する。AT&Tは、ミリ波やNFV、SDNなどの5G関連技術を提供する<sup>225</sup>。また、インターネットアクセス、VPN、統合コミュニケーション(Unified Communications)アプリケーション、4K解像度動画ストリームを含む、複数のエンタープライズ概念実証ユースケースの試験を行う計画

<sup>220</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/att-adds-nokia-5g-trials-expands-locations/2016/06/>

<sup>221</sup> [http://about.att.com/newsroom/att\\_to\\_test\\_delivering\\_multi\\_gigabit\\_wireless\\_internet\\_speeds\\_using\\_power\\_lines.html](http://about.att.com/newsroom/att_to_test_delivering_multi_gigabit_wireless_internet_speeds_using_power_lines.html)

<sup>222</sup> [http://about.att.com/story/att\\_trialing\\_fixed\\_wireless\\_millimeter\\_wave.html](http://about.att.com/story/att_trialing_fixed_wireless_millimeter_wave.html)

<sup>223</sup> [http://about.att.com/story/att\\_trialing\\_fixed\\_wireless\\_millimeter\\_wave.html](http://about.att.com/story/att_trialing_fixed_wireless_millimeter_wave.html)

<sup>224</sup> <http://www.rcwireless.com/2016/10/18/carriers/att-and-ericsson-demo-5g-using-millimeter-wave-tag4>

<sup>225</sup> <http://www.cio.com/article/3147411/mobile/att-means-business-with-a-5g-trial-at-intel.html>

である<sup>226</sup>。この試験では、15GHz および 28GHz 帯を利用する 5G VoIP の可能性を示すことも期待されている。

試験は、「1Gbps を超える高速通信」の実現を目指している。またこの試験は、4K ストリーミング動画、リアルタイム・カメラフィードを目玉に据え、ほぼ 14Gbps の高速通信を実現した、Ericsson と共同で行った 5G 公開実演の成果を基に実施される<sup>227</sup>。5G は 2019 年の仕様最終化と、2020 年の商用展開が予定されている<sup>228</sup>。

- AT&T は 2017 年 1 月、5G 実現のためのロードマップを発表した<sup>229</sup>。それによると、AT&T はスモールセル導入、ならびにキャリア・アグリゲーションなどの技術によって 4G LTE の高密度化を継続し、2017 年中に一部セルサイトにおいて、理論的に達成可能なピーク時最大 1Gbps の通信速度の達成を目指す<sup>230</sup>。

2017 年前半には固定ワイヤレス 5G 接続を利用し、動画サービスである DirecTV NOW のストリーム配信を可能にする住宅向けサービスの試験をオースチンで実施する。また、この試験の一環として、固定ワイヤレスミリ波技術を利用する次世代動画娯楽サービスを試験する。AT&T は、ミリ波試験を実施する新たな市場の検討も行っている<sup>231</sup>。また AT&T と Qualcomm、Ericsson、AT&T は、5G の大規模導入を加速させるため、5G NR 試験で協力すると発表した<sup>232</sup>。

- AT&T は 2017 年 2 月、周波数と固定無線通信サービス提供の株式非公開企業、FiberTower を買収することで合意した。同時に AT&T は、FiberTower が持つミリ波帯(24GHz 帯と 39GHz 帯)の免許を非公開の金額で獲得する。キャリアは一般的に FiberTower のサービスをワイヤレスバックホール用に利用している<sup>233</sup>。

AT&T は、ミリ波周に対応した中央 RAN(C-RAN)アーキテクチャを利用するスモールセルを導入する計画であると述べている。スモールセルによって都市部の自社ネットワークを高密度化するのが目的で、それによって通信容量を拡大し、5G の基礎を築く狙いがある<sup>234</sup>。AT&T は、C-RAN アーキテクチャを利用するスモールセルの導入をサンフランシスコ市で開始したことも確認した。スモールセ

<sup>226</sup> <https://insidetowers.com/cell-tower-news-att-starts-5g-business-trial-using-millimeter-wave-technology/>

<sup>227</sup> <https://insidetowers.com/cell-tower-news-att-starts-5g-business-trial-using-millimeter-wave-technology/>

<sup>228</sup> <http://www.cio.com/article/3147411/mobile/att-means-business-with-a-5g-trial-at-intel.html>

<sup>229</sup> [http://about.att.com/story/att\\_details\\_5g\\_evolution.html](http://about.att.com/story/att_details_5g_evolution.html)

<sup>230</sup> <https://insidetowers.com/cell-tower-news-att-starts-5g-business-trial-using-millimeter-wave-technology/>

<sup>231</sup> [http://about.att.com/story/att\\_trialing\\_fixed\\_wireless\\_millimeter\\_wave.html](http://about.att.com/story/att_trialing_fixed_wireless_millimeter_wave.html)

<sup>232</sup> <https://www.qualcomm.com/news/releases/2017/01/03/qualcomm-ericsson-and-att-announce-collaboration-5g-new-radio-trials>

<sup>233</sup> <http://www.rcrwireless.com/20170201/carriers/att-to-buy-fibertower-for-millimeter-wave-tag4>

<sup>234</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/att-quietly-buys-fibertower-millimeter-wave-assets/2017/02/>

ルは、都心の街路灯とその他インフラに主に設置され、この導入方法は、全米のほかの都市でも再現可能である<sup>235</sup>。

**潜在的な応用事例：** AT&T は最近のミリ波顧客試験において、インターネットアクセス、VPN、統合コミュニケーション・アプリケーション、4K 動画ストリームを含む複数のエンタープライズ用途での利用を検証した<sup>236</sup>。固定およびワイヤレス一体型ミリ波技術に関する 10 月の試験では、インターネット、DirecTV、そしてワイヤレスサービスを一体化して都市部の集合住宅群および複数世帯コミュニティに提供するにあたり、ミリ波技術の有効性を検討した<sup>237</sup>。

### 3.1.3 Sprint

**背景・概要：** Sprint のミリ波技術の研究開発は、同社の包括的な 5G 技術研究、並びに同社の既存のネットワーク機能を増強する目的で実施されている。このため、他の 5G 技術であるマルチ・キャリアアグリゲーション (multiple carrier aggregation)、協調ビームフォーミング CoMP (Co-ordinated Multi-Point)、大規模 MIMO 等の研究と並走して進められている<sup>238</sup>。ミリ波技術に関する Sprint の目標は、ネットワーク性能を最大化する新ツールを開発すること、及び資本効率を改善し、事業費を削減することである。同社は特に、ミリ波技術を 4K 解像度動画のストリーミングや自動運転車の実現、仮想現実コンテンツの改良等に役立てる事を目指している<sup>239</sup>。

**主要パートナー：** Sprint は、2016 年 6 月に開催されたコパ・アメリカ (Copa America) サッカートーナメント期間中、Nokia および Ericsson と協力して 5G の実演を行った。また Softbank とも協力関係にある<sup>240</sup>。

**予算：** Sprint は、ミリ波技術の研究開発予算を公表していないと見られる。

#### 研究開発の動向：

- Sprint は 2016 年 6 月 4 日、コパ・アメリカ・サッカー・トーナメントのスタジアム 2 つにおいて、試合のライブ動画を 4K ストリーミング配信するために、ミリ波通信を使用した。この実演では、73GHz 帯を利用し、下りの通信速度はピーク時で 2Gbps 以上だった。仮想現実コンテンツ会社の VideoStitch も Samsung の VR システムを使ってライブストリーミングを実演し、待ち時間数ミリ秒という 5G システムの特性のおかげで低レイテンシ配信を実現した。この実証実験では、受信する機器のアンテナを特定するビームスイッチング技術 (beam switching) が活用された。Sprint は、様々な種類の窓枠など

<sup>235</sup> <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2017/02/01/att-deploys-small-cell-solution-in-san-francisco-acquires-mmwave-spectrum-firm/>

<sup>236</sup> <https://insidetowers.com/cell-tower-news-att-starts-5g-business-trial-using-millimeter-wave-technology/>  
[http://about.att.com/story/att\\_trialing\\_fixed\\_wireless\\_millimeter\\_wave.html](http://about.att.com/story/att_trialing_fixed_wireless_millimeter_wave.html)

<sup>238</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/sprint-strikes-goooooaaaaaalllllll-5g-demo-santa-clara>

<sup>239</sup> <http://industrialiot5g.com/20160504/5g/sprint-5g-plans-tag17>

<sup>240</sup> <http://enterpriseiotinsights.com/20160504/5g/sprint-5g-plans-tag17>

を障害物として利用し、現実世界にある障害物に 5G システムがどのように反応するかを実演した<sup>241</sup>。

**潜在的な応用事例：** Sprint の既存ワイヤレス・バックホールインフラは、ミリ波およびマイクロ波周波数技術によって支えられ、すでに Gbps 級スループットを達成している。今後は導入規模の拡大が予定されており、Sprint の将来の 5G ネットワークでは統合アクセスの一層の強化が図られる。加えて Sprint は、多種多様なセルサイト・ソリューションやスマートアンテナを追加する自社ネットワークの高密度化を進めており、ある地理ロケーション全域でのヒトあたりデータ転送速度の高速化という将来の 5G 需要に応えようとしている<sup>242</sup>。

また Sprint はミリ波通信を通して、超高速データスループットと、超低レイテンシを実現し、自動運転車の利用や高精細動画(4K および 8K)のストリーミング、仮想現実コンテンツのストリーミングの改善などを目指している<sup>243</sup>。

### 3.1.4 T-mobile

**背景・概要：** T-mobile は、2020 年を目途に 5G の運用を始める予定であり、ミリ波技術の開発は、そのステップの一つとして見ている<sup>244</sup>。同社は 2013 年、プリペイド・ワイヤレスサービスの Metro PCS を買収し、その一環として、29~39GHz 帯の 200MHz を取得した。T-Mobile は現在、28GHz 帯の 800MHz を利用し、5G 向けの通信実験を行っており、2016 年 9 月に行った実験ではスループット速度 12Gbps と 2 ミリ秒未満の低遅延を達成した<sup>245</sup>。

**主要パートナー：** T-Mobile は、Nokia、Ericsson、Samsung などと共同で、自社が擁する 28GHz 帯を利用する 5G 技術の試験を行っている。Ericsson の施設で行われた実証実験では、2 方向ビームステアリング・アンテナ技術(two-directional beam-steering antenna)が試用された。試験中、T-Mobile は 4K 動画の複数同時ストリーミング配信に成功し、音声通話も実施した<sup>246</sup>。

数 Gbps スループットと 1.8 ミリ秒という低レイテンシの達成を目指す試験では、Nokia の AirScale 無線通信プラットフォームを使用し、4K 動画の 4 チャンネル同時ストリーミングと現実仮想アプリケーションを検証した<sup>247</sup>。

---

<sup>241</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/sprint-strikes-goooooaaaaaalllll-5g-demo-santa-clara>

<sup>242</sup> <http://investors.sprint.com/news-and-events/press-releases/press-release-details/2016/Sprint-Demonstrates-5G-at-Copa-America-Centenario/default.aspx>

<sup>243</sup> <http://industrialiot5g.com/20160504/5g/sprint-5g-plans-tag17>

<sup>244</sup> <http://www.lightreading.com/mobile/spectrum/t-mobile-atandt-and-tw-means-ma-bell-not-focused-on-mobile/d/d-id/727242>

<sup>245</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/t-mobile-taps-ericsson-nokia-samsung-5g-tests/2016/09/>

<sup>246</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/t-mobile-taps-ericsson-nokia-samsung-5g-tests/2016/09/>

<sup>247</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/t-mobile-taps-ericsson-nokia-samsung-5g-tests/2016/09/>

また 2016 年の Samsung との試験では、28GHz 帯と、ビームフォーミング技術を利用する Samsung の概念実証システムを利用し、屋外環境でのモビリティを検証した。それに続く 2017 年初旬には、商業化前 28GHz システムを使う試験が計画されていた<sup>248</sup>。

**予算：** Sprint は、ミリ波技術の研究開発予算を公表していないと見られる。

#### 研究開発の動向：

- T-Mobile は 2016 年 2 月、Ericsson および Nokia と提携し、28GHz 帯を使用するフィールド試験を実施することを正式に発表した。この試験では、「大規模な帯域幅容量と、事実上ゼロ遅延をサポートする」新興 5G 技術と応用事例を検討するとされた<sup>249</sup>。
- また 2016 年 3 月には、FCC に書簡を送付し、ミリ波伝送の特性を調べる試験の許可を求めた。具体的に T-Mobile は、ワシントン州ベルビューの自社ラボで屋内 5G ユースを検証し、また建物間の信号伝播を理解するため屋外試験を実施すると FCC 側に伝えた。T-Mobile によると、試験では固定送信機と、固定デバイスから最大で半径 2 キロメートル以内で稼働するモバイル・エンドユーザー機器を使用する。各ケースについて、信号の強度、送受信特性、そしてミリ波の自社ネットワーク導入の検討に有用と思われるその他パラメーターを検査する<sup>250</sup>。
- T-Mobile は 2016 年の 5 月の FCC 担当者との会合で、ミリ波技術の初期ユースケースとして、カバレッジ格差を解消し、「必要とされる場面で追加容量を提供する」ため、「都市部および郊外地域でのスモールセル・アプリケーション」などを検証すると説明した。また T-Mobile は、IoT を含む、新たなアプリケーション要件を満たすためにもミリ波技術は使われるだろうとの見通しを示した。さらに T-Mobile は会合で、37GHz と 39GHz 帯を一つの 3GHz 帯として統合し、その免許ブロックを拡大することを FCC に求めた。T-Mobile は、独占的にライセンスされた大型帯域幅の周波数が大量にあることが、5G エコシステムにとって重大と述べた<sup>251</sup>。
- T-Mobile は 2016 年 9 月、28GHz 帯の周波数を利用する技術研究について Samsung と提携したと発表した。提携対象には、実世界のモバイル応用事例とアプリケーションなどをカバーするラボ試験とフィールド試験の両方が含まれる。2016 年の最初の試験では、T-Mobile の 28GHz 帯と、ビームフォーミング技術を実装した Samsung の概念実証システムを利用する屋外環境でのモビリティ検証などが予定されていた。またそれに続き、商業化前の 28GHz システムを使う試験を 2017 年初めに実施することが発表されていた<sup>252</sup>。

<sup>248</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160907/carriers/t-mobile-5g-plans-ensnare-samsung-28-ghz-trial-tag2>

<sup>249</sup> <http://www.tmonews.com/2016/02/t-mobile-reaffirms-5g-test-plans-trials-slated-to-begin-second-half-of-2016/>

<sup>250</sup> <http://www.lightreading.com/mobile/5g/verizon-updates-5g-spec-could-launch-ahead-of-3gpp/d/d-id/725647>

<sup>251</sup> <https://www.wirelessweek.com/news/2016/05/t-mobile-lays-out-initial-urban-use-cases-5g>

<sup>252</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160907/carriers/t-mobile-5g-plans-ensnare-samsung-28-ghz-trial-tag2>

- スペインのバルセロナで開催されたモバイル・ワールド・コンGRESSにおいて、T-Mobile USA の CTO であるネビル・レイ氏 (Neville Ray) は 2017 年 2 月、独自の 5G 試験を現在実施中であると述べる一方で、4x4 MIMO などの 5G 実現に必要な技術のほとんどが 4G の一部として開発されるとの見通しを示した。同氏はさらにモバイルサービス用に 28GHz 帯などのミリ波を使用することについて、重要な技術的課題がいまも残されていると指摘した<sup>253</sup>。

**潜在的な応用事例：** T-Mobile は、消費者のモバイルデバイス(スマートフォンなど)と、動画やソーシャルメディア関連のアプリケーションに焦点を当てた 5G 導入を計画している。提携企業との試験では、4K 動画ストリーミングや仮想現実アプリケーションなどのユースケースに重点を置いている<sup>254</sup>。

### 3.1.5 Verizon

**背景・概要：** Verizon はミリ波研究を、5G 固定ワイヤレスソリューション実現を目指す取り組みの一環として実施している。Verizon は 5G 固定ワイヤレスソリューションについて、一般顧客にブロードバンド接続を提供する費用効率の高い将来のソリューションとして、既存の FiOS 光ファイバー通信ネットワークを増強あるいは置換できると見ている<sup>255</sup>。

Verizon は、複数ロケーションで商業化前の 5G 実験を開始している。実験を通して Verizon は、数百 MHz の広帯域幅の利用、複数アンテナアレイ処理、そして 4G とは実質的に異なるキャリアアグリゲーション機能など、5G 技術の実現に必要な多くの要素を実証した<sup>256</sup>

Verizon は、28GHz 帯を利用する 5G 固定ワイヤレスソリューション開発に重点的に取り組んでいる。同社の法人向け技術担当ディレクターのゲリー・フリン氏 (Gerry Flynn) によると、Verizon の関心は、固定環境への大規模ブロードバンド提供に必要なステアリングおよび伝搬特性を検証することにある<sup>257</sup>。Verizon は研究成果を現場に応用する準備を進めており、開発中の住宅 200 戸をカバーするだけでなく、地方での応用についても調査するとしている<sup>258</sup>。

**主要パートナー：** Verizon は 2015 年末、同社の 28/39GHz 固定ワイヤレスアクセス試験とその展開のための共通かつ拡張可能なプラットフォーム構築を目的に、Cisco、Ericsson、Intel、Nokia、Qualcomm、Samsung、LG と提携し、「Verizon 5G Technology Forum (V5GTF)」を設立した<sup>259</sup>。V5GTF は、将来の標準

<sup>253</sup> <http://www.pcworld.com/article/3174400/mobile/5g-is-coming-but-dont-get-carried-away-t-mobile-usas-cto-says.html>

<sup>254</sup> <https://www.sdxcentral.com/articles/news/t-mobile-taps-ericsson-nokia-samsung-5g-tests/2016/09/>

<sup>255</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160525/carriers/verizon-looks-to-wireless-delivery-of-home-broadband-service-tag4>

<sup>256</sup> <http://www.prnewswire.com/news-releases/verizon-is-first-us-carrier-to-complete-5g-radio-specifications-pre-commercial-trials-continue-full-steam-ahead-300296230.html>

<sup>257</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160525/carriers/verizon-looks-to-wireless-delivery-of-home-broadband-service-tag4>

<sup>258</sup> <http://rethinkresearch.biz/articles/verizon-will-first-use-5g-create-fixed-wireless-broadband-networks/>

<sup>259</sup> <http://www.5gtf.org/>

策定に先立ち、5G 仕様のパラメーターの定義に取り組んでいる。2016 年 2 月、Verizon は V5GTF の一部加盟企業 (Cisco、Ericsson、Intel、Nokia、Qualcomm、Samsung) と 5G 試験を実施していることを発表した。

Samsung は、同社の Gear VR を使った 360 度仮想現実試験を実施している。例えば Verizon と Samsung は、FiOS 有線ネットワークと 5G ハイブリッド適応アレイアンテナ無線機を使い、ミリ波を利用する 5G 通信を検証した。Samsung は、自動ビームフォーミング MIMO 技術を使い、移動中の車内で 4K 動画の伝送に成功したと述べている<sup>260</sup>。

Ericsson は、Verizon の 5G 試験でビームフォーミングとビームトラッキング機能の試験に参加している。試験では、Ericsson の 5G 無線機試作品を屋外に設置し、屋内のデバイスに高精細動画をストリーミング配信した<sup>261</sup>。

Cisco は Intel および Ericsson と提携し、Verizon の法人および消費者 (住宅) 向けサービス用に 5G ルーターの開発を行っている<sup>262</sup>。

Nokia は、Verizon によるダラス-フォートワース大都市圏のライブネットワークで 5G フィールド試験を進めている。試験は屋外と住宅地で実施されている。家屋と商業ビル向けの有線ブロードバンド接続を、ワイヤレスブロードバンド接続に置き換えるユースケースなどを検証する。試験中、Nokia は 4K 動画を複数のエンドユーザーデバイスに配信することに成功した<sup>263</sup>。ほかにも Verizon は、いくつかの 5G 研究開発提携に参加している。Verizon は 2016 年 6 月、ミリ波技術に焦点を置く 5G 標準化と商業化を促進するため Korea Telecom (KT) と提携すると発表した<sup>264</sup>。

2016 年 2 月、Verizon と KT は NTT ドコモ、SK Telecom と提携し、「5G Open Trial Specification Alliance」を立ち上げることで合意した。このグループは、5G 試験の共通仕様を策定し、5G 無線機インターフェース試験に重点を置く世界の 5G 試験を対象に、共通かつ拡張可能なプラットフォームとして普及を目指す<sup>265</sup>。

**予算:** Verizon は、ミリ波技術の研究開発予算を公表していないと見られる。

#### 研究開発の動向:

- Verizon は 2016 年 1 月、ミリ波技術を使う次世代 5G サービス展開のため、超高周波数帯をモバイル事業者に開放することを求める意見書を FCC に提出した。その中で Verizon は、28GHz および

<sup>260</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/verizon-s-5g-tests-hit-10-gig-speeds-commercial-deployment-2017-possible>

<sup>261</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/verizon-s-5g-tests-hit-10-gig-speeds-commercial-deployment-2017-possible>

<sup>262</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/verizon-s-5g-tests-hit-10-gig-speeds-commercial-deployment-2017-possible>

<sup>263</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/verizon-s-5g-tests-hit-10-gig-speeds-commercial-deployment-2017-possible>

<sup>264</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160627/carriers/verizon-partners-with-korea-telecom-for-5g-trials-tag4>

<sup>265</sup> <http://www.businesswire.com/news/home/20160221005322/en/KT-NTT-DOCOMO-SK-Telecom-Verizon-Form>

39GHz 免許所有者に対しモバイルサービス用に免許の使用を認めること、それら帯域のまだ免許が付与されていない周波数をオークションにかけること、37GHz 帯と 39GHz 帯を 1 つの連続した 3GHz 帯として統合することを FCC に要請した<sup>266</sup>

Verizon は、FCC による 37GHz 帯に対する「ハイブリッド」規制案の検討に応じて意見書を提出した。規制案は、帯域の免許所有者のみに屋外オペレーション展開の権利を与え、同じチャンネルの同じ領域の屋内オペレーションの権利を、いまだ分類不確定の不動産所有者あるいはビル入居者(テナント)に与えることを定めている。Verizon は意見書の中で、そのような計画は当該周波数の価値を損なうと述べ、規制案に反対した<sup>267</sup>。

- Verizon は 2016 年 2 月、提携先の Cisco、Ericsson、Nokia、Intel、Samsung、Qualcomm と協力し 5G 試験を開始したこと、そして早ければ 2017 年の 5G サービス商業化に向けて試験が順調に進んでいることを明らかにした。

試験では、屋内と屋外の両環境で、住宅および商業ビルの両方を対象に、固定およびモバイル 5G を検証した。実施にあたっては、ミリ波およびセンチメートル波周波数帯に対応したアンテナ、ビームフォーミング、ビームトラッキング、大規模 MIMO、そしてミリ波アンテナを含む柔軟なアンテナ・フォームファクターの展開といったイノベーションを採用した。

さらに Verizon は 2 月 22 日、XO Communications の光ファイバーネットワーク事業を約 18 億米ドルで買収した。それにともない Verizon は、XO が免許を持つ 28GHz～31GHz 帯のワイヤレス周波数をリースし、さらに 2018 年末までに 2 億米ドルで買収するオプションを取得した。この取引によって Verizon は、研究開発に使える 28GHz 帯の周波数を増やすことができた<sup>268</sup>。

- Verizon は 2016 年 5 月、28GHz 帯を使用する 1 拠点対多拠点ソリューションの試験結果を発表した。それによると、4K テレビ 6 台、仮想現実機器 3 台、そしてタブレットを含む複数の接続デバイスに対する固定ワイヤレス通信速度は最大 1.8Gbps だった<sup>269</sup>。
- Verizon は 2016 年 7 月、5G 無線通信の仕様を考案したと発表した。この仕様は、Verizon の 28/39GHz 固定ワイヤレスアクセス試験と展開のための共通の拡張可能プラットフォーム策定に取り組む Verizon のグループ「5G Technology Forum」との協力の成果物である<sup>270</sup>。このフォーラムのメンバーには、Cisco、Ericsson、Intel、LG、Nokia、Qualcomm、Samsung が含まれる。発表の中で Verizon は、仕様は「重要な 5G 技術要素を試験し検証するためのガイドラインを提供」するものであ

<sup>266</sup> <https://www.wirelessweek.com/news/2016/01/verizon-asks-fcc-open-super-high-band-spectrum-mmw-5g>

<sup>267</sup> <https://www.wirelessweek.com/news/2016/01/verizon-asks-fcc-open-super-high-band-spectrum-mmw-5g>

<sup>268</sup> <http://www.investors.com/news/technology/verizon-fcc-push-mmwave-for-5g-whats-different-from-lmids/>

<sup>269</sup> <http://www.rcwireless.com/20160525/carriers/verizon-looks-to-wireless-delivery-of-home-broadband-service-tag4>

<sup>270</sup> <http://www.5gtaf.org/>

り、「チップセットベンダー、ネットワークベンダー、そしてモバイルオペレーターといった業界パートナーは、互換性のあるソリューションを開発し、標準策定前(pre-standard)の試験と機器製造に貢献できるようになる」と述べた<sup>271</sup>。

- Verizon CEO のローウェル・マッカダム氏(Lowell McAdam)は2016年8月、2017年の商用5Gサービス導入開始に向け、準備が予定通り進んでいることを確認した。また、戦略担当ディレクターのサンヨギタ・シャムサンダー氏(Sanyogita Shamsunder)を含む複数幹部が、固定ワイヤレス・パイロットの2017年の「フレンドリーな商業化前ローンチ」を目指していると語った。CFO のフラン・シャモ氏(Fran Shammo)はこれより先に、Verizonの固定5Gローンチの現実的な時期として2017年後半または2018年との見方を示していた<sup>272</sup>。

マッカダム氏は、Verizonは追加コストをほとんどかけず、既存のセルラーネットワークに5Gを追加できると述べた。同社は5Gの追加は、既存の4Gネットワークの密度をスモールセルによって高めるからであるとの見解を示している<sup>273</sup>。2016年に28/39GHzに注力してきたVerizonは、今後は37GHzと39GHz帯を使う試験を計画している<sup>274</sup>。またシャムサンダー氏は、Verizonはパートナー企業と協力し、ミリ波無線通信を使う早期実験を実施する予定であると語った<sup>275</sup>。

- Verizonは2016年12月、予定する商業化前固定ワイヤレス5G試験について、全米の約10ロケーションにおいて「数百の」5G無線通信ノードを利用して実施することを明らかにした。Verizonはこれらの試験で、一般家庭ユーザー、商用ユーザー、そして小売りユーザーを含むさまざまなユーザーを標的としている。試験では28GHz帯を利用し、試験用機器はNokia、Ericsson、Samsungから提供を受ける。Verizonは、今年初めに実施した「非常に制御されたフィールド技術試験」から脱却し、有意義な商業化前フェーズへの移行を進めると述べている<sup>276</sup>。
- Verizonは2017年2月、FCCに対し、ミリ波5Gスペクトラムにインバンド・アグリゲーション制約を導入するCompetitive Carriers Association(CCA)による提案を却下するよう求める通知を提出した。CCAはFCCへの書簡の中で、28GHz帯、37GHz帯、そして39GHz帯の周波数オークションにあたり、周波数アグリゲーションを1250MHzに制限したFCCの先の判断を評価した上で、市場競争を促進し、さらに大手キャリアによる独占を適切に抑制するため、各周波数帯に一層の制限が必要であると主張した<sup>277</sup>。

<sup>271</sup> <http://www.telecompetitor.com/verizon-5g-spec-finalized-suggesting-strong-interest-fixed-wireless-deployments/>

<sup>272</sup> <http://www.lightreading.com/mobile/5g/verizon-updates-5g-spec-could-launch-ahead-of-3gpp/d/d-id/725647>

<sup>273</sup> <http://rethinkresearch.biz/articles/verizon-will-first-use-5g-create-fixed-wireless-broadband-networks/>

<sup>274</sup> <http://www.lightreading.com/mobile/5g/verizon-updates-5g-spec-could-launch-ahead-of-3gpp/d/d-id/725647>

<sup>275</sup> <http://www.lightreading.com/mobile/5g/verizon-updates-5g-spec-could-launch-ahead-of-3gpp/d/d-id/725647>

<sup>276</sup> <https://www.wirelessweek.com/news/2016/12/exclusive-verizon-dishes-everything-you-want-know-about-its-pre-commercial-5g-trials>

<sup>277</sup> <https://www.wirelessweek.com/news/2017/02/verizon-cca-battle-over-band-aggregation-limits-5g-spectrum>

**潜在的な応用事例：** Verizon は、一般顧客、特に都市部の一般顧客向けに高速ブロードバンドを提供することに主眼を置き 5G ワイヤレスを利用する計画である<sup>278</sup>。Verizon とそのパートナーは、モバイル・ユースケースについても初期試験を現在行っている<sup>279</sup>。

## 3.2 業界団体の関連動向

### 3.2.1 3GPP

標準策定団体の 3GPP は、チャンネルモデリングに関する業界の研究開発を活用することに焦点を置き、ミリ波関連の標準策定作業に積極的に取り組んできた。2015 年 9 月には、ミリ波のチャンネルモデリング関連のセッションを含む 5G ワークショップを開催した<sup>280</sup>。

### 3.2.2 ITU

国際電気通信連合 (ITU) と 3GPP は、5G 標準研究計画の 2 フェーズにおいて提携している。まず第 1 フェーズでは 40GHz より低い周波数について研究を行い、2018 年 9 月までの完了を目指す。第 2 フェーズは 2018 年から 2019 年 12 月までの予定で実施され、最高 100GHz までの周波数に重点を置くことになっている<sup>281</sup>。

ITU は直近の世界無線通信会議 (World Radiocommunications Conference: WRC) の終了後、mmWave 周波数の標準化を世界的に調整するため、24GHz～86GHz 間で世界的に利用可能な周波数案の一覧を発表した。しかし、それには Verizon や Qualcomm といった米国企業が研究してきた 28GHz 帯が入っていないため、FCC がそれを批判している<sup>282</sup>。

### 3.2.3 CTIA

CTIA – The Wireless Association は、ワイヤレス通信業界を代表する国際業界団体である。CTIA は、24GHz を超える新しいミリ波帯をモバイル通信に開放した FCC の決定を支持しており、この決定に際し、FCC に圧力をかけたとも言われている<sup>283</sup>。また最近では、ミリ波に注目した高周波数帯に関する白書<sup>284</sup>を出版し、CTIA の業界イベントにおいてミリ波帯周をテーマに公開議論を実施した<sup>285</sup>。

### 3.2.4 TIA

米国電気通信工業会 (The Telecommunications Industry Association: TIA) は、ハイテク通信ネットワークの機器メーカーおよび供給業者 (サプライヤー) を代表する業界団体であり、2016 年 7 月の FCC によるモ

<sup>278</sup> <http://www.rcrwireless.com/20160525/carriers/verizon-looks-to-wireless-delivery-of-home-broadband-service-tag4>

<sup>279</sup> <http://www.lightreading.com/mobile/5g/verizon-updates-5g-spec-could-launch-ahead-of-3gpp/d/d-id/725647>

<sup>280</sup> <https://www.qualcomm.com/news/onq/2015/11/19/qualcomm-research-demonstrates-robust-mmwave-design-5g>

<sup>281</sup> <http://www.ni.com/white-paper/53096/en/#toc3>

<sup>282</sup> <http://www.ni.com/white-paper/53096/en/#toc3>

<sup>283</sup> <http://www.fiercewireless.com/tech/ctia-blasts-satellite-industry-s-complaints-about-5g-spectrum>

<sup>284</sup> <http://www.ctia.org/docs/default-source/default-document-library/5g-high-band-white-paper.pdf>

<sup>285</sup> <http://www.portal.ctiasupermobility.com/2016/Public/SessionDetails.aspx?FromPage=Sessions.aspx&SessionID=217&SessionDateID=6>

バイル通信向けの 24GHz 帯以上の開放を支持した<sup>286</sup>。TIA のウェブサイトでは、ミリ波技術に関して学界および業界の専門家にインタビューした動画が複数公開されている<sup>287</sup>。

---

<sup>286</sup> <http://www.tiaonline.org/news-media/press-releases/tia-files-spectrum-frontiers-comments-fcc-offers-strong-support-and>

<sup>287</sup> <http://www.tianow.org/tags/millimeter-wave-0>