

Beyond 5G海外動向調査

MRI 三菱総合研究所

はじめに

- 日本・欧州・米国・韓国・中国の5カ国におけるBeyond 5G/6Gの方向性・動向・テストベッドについて調査を行い、各国の特徴を取りまとめた。
- 調査内容
 - Beyond 5G/6Gの方向性
 - 各国の政府、またはそれに準じる組織が示しているBeyond 5G/6Gの方向性について
 - 研究開発における主要な取組
 - 各国の政府、またはそれに準じる組織が実施している研究開発の体制や取組について
 - Beyond 5G関連の公開資料
 - 各国の代表的なBeyond 5G/6Gの関連書類とそのURL
 - 実証環境における取組
 - Beyond 5G/6G、またはそれに関わる共通実証環境について
 - 予算額
 - 各国の政府がBeyond 5G/6Gの取組に出資している金額

欧州

- 欧州では、6Gの研究開発の基本軸を設定し、軸に沿ったホワイトペーパーや研究開発を進めている。

カテゴリ	調査内容
Beyond 5Gの方向性	<ul style="list-style-type: none"> EUの6Gフラグシップ・プロジェクトであるHexa-Xが発表した「6G Vision, use cases and key societal values」では、以下6つの研究開発を6Gに必要であると定義している。 <ol style="list-style-type: none"> ①Connecting intelligence: AI/ML技術を現実世界に適用するためのフレームワークの構築 ②Network of networks: 家庭・機械・データセンタ内等の環境間の相互運用性・スケーラビリティの確保 ③Sustainability: 省エネルギーなデジタルインフラの構築 ④Global service coverage: デジタルディバイドがなくなるよう世界各国のサービスとの連携の実現 ⑤Extreme experience: 数百GbpsからTbpsまでの速度・超低遅延等の実現による現存しない新たなサービスの構築 ⑥Trustworthiness: 機密性、完全性、可用性、プライバシー、セキュリティを確保した通信の構築
研究開発における主要な取組	<ul style="list-style-type: none"> Hexa-Xは、活動開始後1年間に9件のホワイトペーパーをリリースしている。 Hexa-Xでは、5Gネットワーク時代の性能KPIsに加えて6Gが社会実装された時の様々なユースケースで生み出される社会的価値を加味したKVIs(Key Value Indicators)を新しく定義している。今後はKVIsを基に研究開発を進めていく。
Beyond 5G関連の公開資料	<ul style="list-style-type: none"> 6G Vision, use cases and key societal values https://hexa-x.eu/wp-content/uploads/2021/02/Hexa-X D1.1.pdf
実証環境における取組	<ul style="list-style-type: none"> Fraunhofer IPTとEricssonが共同で、スマートシティ・産業を目的として5Gテストベッドを構築している。
予算額	<ul style="list-style-type: none"> EC(European Commission)はEUにおける新しいネットワーク構築に向けたSNS(Smart Network and Services)パートナーシップの一環として、Beyond 5G/6Gの研究開発に、2021年～2027年の6年間で€900M(1,180億円)を投資すると発表した。 Beyond 5G/6G関連のプロジェクトはフラグシップ・プロジェクトのHexa-Xを始め9件を推進中であるとし、これら9件のプロジェクトへのECの投資額は€60M(78.6億円)と報告されている Beyond 5G/6G関連プロジェクトは20件あり、これらプロジェクトへの総投資額€95.1M(124.6億円)である。

5G-Industry Campus Europe

- EUの5G-smartの一部として開発されたテストベッドであり、Fraunhofer IPTとEricssonが共同で構築した。5Gにおける製造・工場分野の新たなアプリケーション開発を目的とした設備である。
- オープンに利用できる設備ではないが、Fraunhofer IPTとEricssonのパートナー企業や共同研究先の大学と共に、製造・工場分野の新たなアプリケーションを開発することを目指している。

カテゴリ	内容
目的	5Gの新しいアプリケーションを実環境下の生産環境で探求し、テストするための包括的な5Gネットワークを備えたテストベッド
実施している研究例	<ul style="list-style-type: none"> • ロボティクス・エッジクラウド連携・データのリアルタイム収集、可視化・ブロックチェーン • 3Dセンサ・マルチセンサプラットフォーム・5Gのデータストリームを処理できるセンサ開発
研究の主対象(通信の要素技術・サービス・混合)	5Gにおける新しいサービス開発(一部5G対応のスマートセンサ開発等デバイス研究もある)
運用主体	EUの5G-smartプロジェクトのサポートを受けて、Fraunhofer IPTとEricssonが構築・運用している。
想定利用者	Fraunhofer IPTとEricssonのパートナー企業や共同研究先の大学
導入機器・スペック等	<ul style="list-style-type: none"> • 4G(2.3Ghz)回線、5G回線(3.7~3.8Ghz、26Ghz)、10G回線、複数アンテナ • 工場用大規模機器、各種センサ、Mobile Edge Computingが可能な機器
利用条件	Fraunhofer IPTとEricssonのパートナー企業、または共同研究先であることが求められている。

米国

- 米国では、政府として提示している内容は少ないが、民間企業・大学が中心となり、団体を立ち上げて活動を行っている。また、複数のテストベッドを構築している。

カテゴリ	調査内容						
Beyond 5Gの方向性	<ul style="list-style-type: none"> 米国のキャリアなどの企業を中心に立ち上げられたNext G Allianceが公表している資料にて北米の6G Visionが紹介されている。その中では以下の6つの軸が示されている。 <table border="0"> <tr> <td>①Trust, Security, and Resilience</td> <td>②Digital World Experience</td> </tr> <tr> <td>③Cost Efficient Solutions</td> <td>④Distributed Cloud and Communications Systems</td> </tr> <tr> <td>⑤AI-Native Network</td> <td>⑥Sustainability</td> </tr> </table> 	①Trust, Security, and Resilience	②Digital World Experience	③Cost Efficient Solutions	④Distributed Cloud and Communications Systems	⑤AI-Native Network	⑥Sustainability
①Trust, Security, and Resilience	②Digital World Experience						
③Cost Efficient Solutions	④Distributed Cloud and Communications Systems						
⑤AI-Native Network	⑥Sustainability						
研究開発における主要な取組	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発に関して以下5つの方針が進んでいる。 <ol style="list-style-type: none"> ①国防省傘下DARPAの研究開発:研究開発プログラムJUMP(Joint University Microelectronics Program)の1つとして、無線通信・センシングシステムの研究開発を目的とした6G技術開発を推進すると発表している。 ②NSF(National Science Foundation)の研究開発支援:小都市規模のテストベッドネットワーク構築と、その上での先端無線通信技術の開発を目的としたPAWR(Platforms for Advanced Wireless Research)を2017年3月より推進中である。 ③国際会議6G Symposiumの開催:Northeastern大学のWIoT(Wireless Internet of Things)研究室とInterDigitalが共催し、2020年9月に第1回会合を実施した。 ④Next G Allianceの立ち上げ:ATIS(Alliance for Telecommunications Industry Solutions)が6Gでの技術リーダーシップ確保の必要性を産学官に呼びかけ、2020年10月に発足した。 						
Beyond 5G関連の公開資料	<ul style="list-style-type: none"> Roadmap to 6G https://nextgalliance.org/ 						
実証環境における取組	<ul style="list-style-type: none"> PAWRでは、COSMOS(エッジコンピューティング)・POWDER(無線アクセスネットワーク)・AERPAW(無人航空機)・ARA(地方における無線利用)というテストベッドを構築している。 						
予算額	<ul style="list-style-type: none"> 上記①のJUMPの6センター全体で5年間で約2億米ドル、②ではNSFと民間合わせて1億米ドル規模の投資を行う予定である。 バイデン大統領は選挙期間中の公約で、5Gをはじめとする先端・新興技術の研究開発に4年間で3,000億ドル投資すると宣言している。 						

COSMOS

- クラウドエッジコンピューティングをターゲットとした広帯域・低遅延な通信と関連するアプリケーションの実証を目的に、構築された実環境のテストベッドである。
- 基本的に誰もが利用できる環境であり、既にカメラなどのセンサも街中・建物に設置されている。大きく4つの軸で実証研究が進められ、通信技術・アプリケーション共に研究されている。

カテゴリ	内容
目的	クラウドエッジコンピューティングをターゲットとした広帯域・低遅延な通信と関連するアプリケーションの実証を目的としたテストベッド
実施している研究例	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無線の全二重通信の実証 ・ 光無線x-haulネットワークの実証 ・ クラウドエッジコンピューティングを利用したARの実証 ・ スマートシティのアプリケーションの実証
研究の主対象(通信の要素技術・サービス・混合)	通信の最新技術・サービス共に実証することを目的としたテストベッド
運用主体	PAWRとNSFのサポートを受け、ラトガース大学・ニューヨーク大学・コロンビア大学を中心に構築・運用
想定利用者	特になく、民間事業者・研究機関・大学等幅広く利用されている。
導入機器・スペック等	ミリ波環境、クラウド・エッジ環境、x-haulネットワーク環境、SDN・SDR環境、カメラなどのセンサ(具体的な機器は、 https://wiki.cosmos-lab.org/wiki/Hardware#HardwareInfo にて紹介)
利用条件	特になし。企業・団体として申込、企業・団体の中に複数ユーザを作成することで、利用可能である。

POWDER

- ソフトウェア化された無線アクセスネットワークを実証することを目的に構築されたテストベッドである。
- 通信の要素技術研究向けに計測機器含めた様々な機器が設置されている。トライアルを設けており、本格的な機器利用には、実施したい内容を提出する必要がある、提出者は企業の部長クラスである必要がある。

カテゴリ	内容
目的	ソフトウェア化された無線アクセスネットワークを実証することを目的に構築されたテストベッド
実施している研究例	<ul style="list-style-type: none"> ・ ソフトウェアデザインの5G通信に関する実証 ・ 巨大なMIMOを利用した実証 ・ アメリカ独自の帯域であるCBRSの実証 ・ 無線周波数・高周波のモニタリング
研究の主対象(通信の要素技術・サービス・混合)	通信の要素技術を実証することを目的としたテストベッド
運用主体	PAWRとNSFのサポートを受け、ウタ大学が運用
想定利用者	特になく、民間事業者・研究機関・大学等幅広く利用されている。
導入機器・スペック等	5G無線アクセスネットワークの構築、無線周波数のモニタリング機器・発信機、エンドポイントデバイス、5G OTA環境等 (具体的な機器は、 https://docs.powderwireless.net/hardware.html にて紹介)
利用条件	特になし。最初はトライアウトで申し込み、一部機能に触れることができる。その後、実際の無線機器を利用するためには、プロジェクト申請する必要がある。特に厳しい審査ではないが、提出者が企業の部長クラスであることが求められている。

AERPAW

- 5G通信における無線の無人航空機(ドローン)に関する実証を行う目的に構築されたテストベッドである。
- 通信環境と無人航空機における様々なシナリオを実証することが可能である。また、無人航空機だけでなく、無人地上機の実証も行うことが可能である。また、構築中のテストベッドであり、一部の機能のみが利用可能である。

カテゴリ	内容
目的	5G通信における無線の無人航空機に関する実証を行う目的に構築されたテストベッド
実施している研究例	<ul style="list-style-type: none"> ・ 固定されている無線基地とドローン間の通信の実証 ・ 固定されている無線基地と地上機間の通信の実証 ・ 複数の無線基地と複数のドローン・地上機の通信の実証
研究の主対象(通信の要素技術・サービス・混合)	ドローン運航シナリオにおける必要な通信の要素技術の開発
運用主体	PAWRとNSFのサポートを受け、ノースカロライナ大学を中心に運用
想定利用者	特になく、民間事業者・研究機関・大学等幅広く利用されている。
導入機器・スペック等	Software Defined Radios、ドローンエミュレーション、Intel Xeon Processor、ドローン、無人地上機等 (具体的な機器は、 https://sites.google.com/ncsu.edu/aerpaw-wiki/aerpaw-user-manual/1-aerpaw-overview/1-4-equipment-information にて紹介)
利用条件	特になし。最初はトライアウトで申し込み、一部機能に触れることができる。その後、実際の無線機器を利用するためには、プロジェクト申請する必要がある。プロジェクト申請時に利用希望の機器などを指定する必要がある。

ARA

- 地方における5G利用の実証研究を行うことを目的に構築されたテストベッドである。
- まだ、構築中であり、2024年5月に全ての機能が揃ったテストベッドが公表される予定である。

カテゴリ	内容
目的	地方における5G利用の実証研究を行うことを目的に構築されたテストベッド
実施している研究例	<ul style="list-style-type: none">・ 映像を用いた自動農業・ 地方におけるEnd-to-Endのインフラとアプリケーションの構築・ ARを用いた農業体験
研究の主対象(通信の要素技術・サービス・混合)	地方・農業における5G通信のユースケースの構築
運用主体	PAWRとNSFのサポートを受け、アイオワ大学を中心に運用
想定利用者	特になく、民間事業者・研究機関・大学等幅広く利用されている。
導入機器・スペック等	実際の農場地、各種の通信帯域(194Thz、11GHz棟)、MIMO機器、Software Defined Radios等(テストベッド構築中であり、概要のみの記載)
利用条件	現在検討中

韓国

- 韓国では、Samsung・LGの民間企業を中心として、韓国政府と共に6Gの研究開発だけでなく、実装まで見据えて計画している。

カテゴリ	調査内容
Beyond 5Gの方向性	<ul style="list-style-type: none"> 韓国における6Gの中心企業であるSamsungより発表されている「The Vision of 6G」では、以下3つが6Gに必要なであると定義している。 <ol style="list-style-type: none"> ①Performance: 速度・電力効率・スペクトル効率・遅延・接続密度・信頼性・ピーク速度において、5Gより高い精度の実現 ②Architectural: モバイルデバイスの処理能力の限界の課題解決・AIを前提とした柔軟なネットワーク構築などの実現 ③Trustworthiness: データやAI利用におけるセキュリティとプライバシーの確保
研究開発における主要な取組	<ul style="list-style-type: none"> 2021年6月に、韓国政府の科技情通部が2028年での6Gネットワークの実装を目指して、標準規格やコア技術の構築を内容とする「6G R&D推進戦略」を発表した。2026年にサービス試行、2028～2030での世界に先駆けての商用化を目指すとしている。 Hyper-Performance、Bandwidth、Precision、Space、Intelligence、Trustの6つの分野で6Gの技術開発・サービス研究開発を行っている。ユースケースとしては、Digital Healthcare、Self-Driving Cars、Smart Cities、Smart Factoriesが挙げられている。
Beyond 5G関連の公開資料	<ul style="list-style-type: none"> 「The Vision of 6G」 https://news.samsung.com/global/samsungs-6g-white-paper-lays-out-the-companys-vision-for-the-next-generation-of-communications-technology 「6G Spectrum Expanding the Frontier」 https://cdn.codeground.org/nsr/downloads/researchareas/2022May 6G Spectrum.pdf
実証環境における取組	<ul style="list-style-type: none"> 中小企業向けの5Gネットワークで動作する機器を実験できる施設を構築した。
予算額	<ul style="list-style-type: none"> 韓国政府は、6Gの実現に向けて2021～2026年までで、2200億ウォン（220億円）を投資すると発表した。

中国

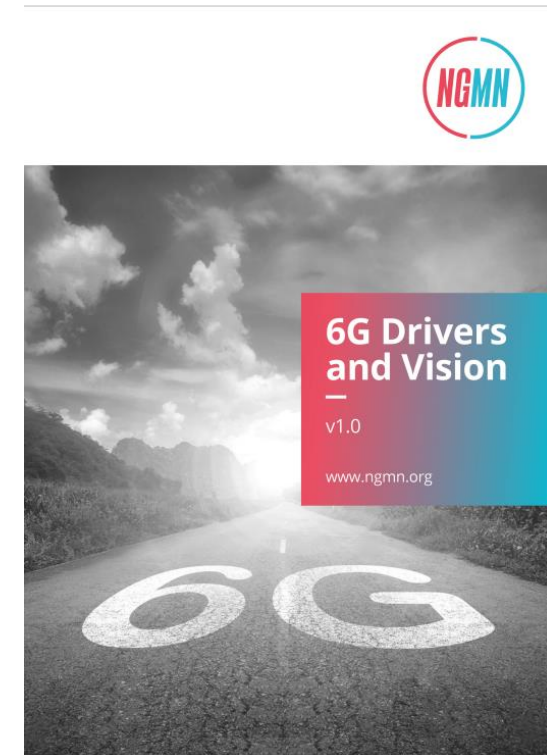
- 中国では、多くの民間企業・大学が参画しているIMT-2030での作業を中心として、6Gの研究開発を進めている。

カテゴリ	調査内容
Beyond 5Gの方向性	<ul style="list-style-type: none"> 中国の組織・大学が中心メンバーとして活動している6G技術研究開発推進作業部会(IMT-2030)から発行された「6G Vision and Candidate Technologies」より、6GにはImmersive、Intelligent、Universalの3つのトレンドが紹介されている。これらのトレンドを考慮した10つの要素技術が想定されている。 ①ネイティブAI活用ネットワーク技術 ②機能強化型無線エアインタフェース技術 ③新しい物理次元を用いた無線伝送技術 ④THz、可視光技術 ⑤通信・センシング融合技術 ⑥分散・自律ネットワークアーキテクチャ ⑦確定的ジッタ・ネットワーク ⑧コンピューティング対応ネットワーク ⑨地上・非地上ネットワーク統合 ⑩高信頼ネットワーク
研究開発における主要な取組	<ul style="list-style-type: none"> 6G技術研究開発推進作業部会(IMT-2030)から発行された「6G Vision and Candidate Technologies」を執筆する36組織のうち33組織が中国の組織・大学である。 作業部会には、必要事項WG、無線技術WG、ネットワーク技術WG、スペクトラムWG、標準化・国際団体WGの6WGが設置され、各WGにて検討が進められている。
Beyond 5G関連の公開資料	<ul style="list-style-type: none"> 6G Vision and Candidate Technologies http://www.caict.ac.cn/english/news/202106/P020210608349616163475.pdf
実証環境における取組	<ul style="list-style-type: none"> HuaweiがIndustry 4.0のテストベッドを構築しているが、5Gとの関係性は薄い。
予算額	<ul style="list-style-type: none"> 中国政府の科学技術部が国家6G専門家委員会の取り組みとして、「National Key R&D Project」の投資スキームで、6G技術研究開発プロジェクトの募集を開始し、同年12月に新しく15件のプロジェクトを認可したとの報告があるが、予算等の詳細な情報は公開されていない。

(参考)3GPPにおける6Gの方向性

- 3GPPとは、第3世代携帯電話システム(3G)の国際標準仕様を策定することを目的として、設立された団体であり、各国の標準化機関が参加している。5Gなどの標準的な携帯電話通信等についても標準化が進められている。Beyond 5G/6Gの通信技術を最終的には3GPPより標準化されることが考えられる。
- 3GPPのパートナーであるNGMNより6Gの方向性に関する文書が公開されている。

NGMNによる 6Gの方向性	ユースケースの例
持続可能性	<ul style="list-style-type: none"> ● 新規のマシン・インターフェース ● AIを使ったデジタルツインを実現する新たなインテリジェンス ● ゼロカーボン・低消費電力 ● 海空地に関係なく届く通信
信頼・安全	
安価	
レジリエンス	
包含性	
DXの実現性	



各国の特徴の比較

- 各国のBeyond 5G・6Gの明確な違いとして、6Gを通信技術として捉えているか、社会像やサービスを前提とした通信技術として捉えているかの大きな違いがあると考えられる。

国名	Beyond 5Gの捉え方	活動方針
日本	超高速・大容量、超低遅延、超多数同時接続、超低消費電力、超安全性・信頼性、自律性、拡張性をもつ通信の構築を目指している。	政府とNICTを中心として、テストベッドを構築し、研究開発を進めている。
欧州	6つのテーマの中でも、AI/ML技術を現実世界に適用するためのフレームワークの構築やデジタルディバイドがなくなるよう世界各国のサービスとの連携の実現等、 通信単体ではなく、全体の社会像の構築を目指している。	EUが予算をもちながら、Hera-xという組織を駆逐して民間企業・大学を中心に研究開発を進めている。
米国	6つのテーマ各々に対して、テーマの目的・市場・サービスを考えた上で、6Gを検討している。 特にMix reality等のデジタルと現実を融合させるテーマに対する注目度が高い。	政府組織の介入は少なく、民間企業中心のコンソーシアムを構築して研究開発を進めている。また、5Gではあるが、 ユースケースを考えた4つのテストベッドを構築している。
韓国	3つのテーマの中のArchitecturalとして、各サービスと通信の関係性を重視している。 技術分野の6つの分野については、日本の提示している機能とかなり類似している。	6Gの具体的な実装目標を掲げて、Samsung等の世界的大企業を中心に研究開発や方針を策定している。
中国	6Gについて、ユースケースを基に構築されておらず、 標準化を中心として、要素技術の研究開発に注視している。	IMT-2030という作業部会において、民間組織・大学を中心に研究開発を進めている。

各国のテストベッドの比較

- 各国のテストベッドにおける共通的特徴として、**研究対象に関わらず実環境を提供しているテストベッドであること**、**目的が明確でありユースケース例を示していること**、**設置されている機器の製品名が明示されていること**が挙げられる。
- 想定しているユースケースに関連した実環境にテストベッドが構築され、テストベッドの設置機器の詳細が公開されていることにより、研究者単独では実施することが難しい実証を行うことができると考えられる。

テストベッド名	目的	研究対象	実環境/理想環境	設置機器の詳細
5G-Industry Campus Europe(欧)	実環境下の生産環境における5Gアプリケーションの実証	サービス	実環境	無
COSMOS(米)	クラウドエッジコンピューティングをターゲットとした広帯域・低遅延な通信と関連するアプリケーションの実証	サービス/通信の要素技術	実環境	製品名が記載
POWDER(米)	ソフトウェア化された無線アクセスネットワークを実証	通信の要素技術	理想環境/実環境	製品名が記載
AERPAW(米)	5G通信における無線の無人航空機に関する実証	通信の要素技術	理想環境/実環境	製品名が記載
ARA(米)	地方における5G利用の実証研究を行うことを目的	サービス	実環境	構築中



通信・サービス共に5Gテストベッドを構築する上で、テストベッドという共通基盤との親和性が高くかつ関心が高いと考えられるユースケースを想定することが重要である。

(参考)日本

- 日本では、Beyond 5Gの定義を基に総務省・NICT等の公的組織が中心となり、研究開発プログラム・共通基盤の作成を促進している。

カテゴリ	調査内容
Beyond 5Gの方向性	<ul style="list-style-type: none"> 総務省が発表した「Beyond 5G推進戦略 ―6Gへのロードマップ」では、以下7つの機能がBeyond 5Gに必要と定義されている。 既存機能の進化：超高速・大容量、超低遅延、超多数同時接続 新規機能の構築：超低消費電力、超安全性・信頼性、自律性、拡張性
研究開発における主要な取組	<ul style="list-style-type: none"> 2030年代に期待される強靱で活力のある社会の実現に向け、Beyond 5Gの早期かつ円滑な導入、Beyond 5Gにおける国際競争力の強化を目指して「Beyond 5G推進コンソーシアム」が立ち上がっている。東京大学・NICT・通信事業者等を中心メンバーとして活動している。 Beyond 5Gの要素技術等の研究を促進を目指して以下3つの研究支援プログラムを実施している。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 機能実現型プログラム Beyond 5Gに求められる機能/技術分野ごとにプロジェクトを公募し、大規模に推進するプログラム ➢ 国際共同研究型プログラム 協調可能な相手国・技術分野を定め、戦略的パートナーとの国際共同研究開発を推進するプログラム ➢ Beyond 5Gシーズ創出型プログラム 多様な研究者の尖ったアイデアに基づく研究や、技術力を有するスタートアップ・ベンチャーによるイノベーション型の研究開発を支援するプログラム
Beyond 5G関連の公開資料	<ul style="list-style-type: none"> Beyond 5G推進戦略 ―6Gへのロードマップ https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000364.html
実証環境における取組	<ul style="list-style-type: none"> Beyond 5Gの共用研究施設・設備に向けて予算が取得され、高信頼・高可塑B5G/IoTテストベッドが2022年10月頃より提供される。
予算額	<ul style="list-style-type: none"> 総務省より補助金として、研究開発委託事業費として300億円、共用研究施設・設備として200億円が令和2年度の予算として提供されている。