

重点技術作業班 中間論点整理(案)

令和7年12月22日
事務局

| | | |
|--|-------|-------|
| 1章 ワイヤレス分野における重点技術領域の検討の背景 | | 2ページ |
| 2章 我が国のワイヤレス分野を取り巻く現状と課題 | | 14ページ |
| 検討事項 1 共通・基盤的なワイヤレス技術、ワイヤレス人材等の現状と課題 | | 16ページ |
| 検討事項 2 自営網や国・地方公共団体等の公共分野におけるワイヤレス技術の現状と課題 | .. | 26ページ |
| 検討事項 3 キャリアの通信ネットワークに関するワイヤレス技術の現状と課題 | | 32ページ |
| 3章 重点技術領域の特定に向けた検討 | | 40ページ |
| 4章 重点技術領域の推進方策に関する論点 | | 43ページ |

1章 ワイヤレス分野における重点技術領域の検討の背景

検討の背景

- 情報通信ネットワークは国民生活にとって重要なインフラであり、あらゆる産業の基盤と言われる中、特にワイヤレス技術は、次世代情報通信基盤においても「いつでも、どこでも繋がる」ネットワークの実現に不可欠。
- ワイヤレス技術が活用される領域として、携帯電話事業者（キャリア）が構築する通信ネットワーク（基地局等）がある。我が国の経済や社会を支えるインフラ基盤であるとともに、市場はグローバルに広がっており、最先端の技術の導入・活用が行われている領域である。
- また、警察・消防無線、気象レーダ、市町村防災行政無線、鉄道・電力用無線等、我が国の安全・安心や、重要な社会インフラ基盤を支える業務の領域においても、ワイヤレス技術が活用されている。
- これらのワイヤレス技術を支える我が国の機器メーカーは厳しい状況にある。通信分野は、かつては成長分野として、資本の論理に任せて競争を行ってきたが、これまでどおりの経済合理性や資本の論理に任せていると、海外ベンダーが市場を席巻し、国内ベンダーは事業継続が困難になるとも懸念されており、国内ベンダーが置かれているビジネス環境は危機的な状況にある。
- さらに、それら二つの領域に共通することとして、無線システムを構成する部材や素材といった共通・基盤的な技術についても、その重要性は増してきている。また、将来に亘って我が国のワイヤレス分野の技術力を持続的なものとしていくためには人材育成は大きな課題となっており、ワイヤレス技術を支える人材育成の在り方等も重要である。
- 他方で、ワイヤレス技術は国民生活に広く浸透してきている中、国民生活の多くがワイヤレス技術に支えられているといった認識は薄れてきており、ワイヤレス技術の重要性やワイヤレス分野を取り巻く危機感が広く国民に理解されていないといった現状がある。

重点技術に関する検討事項

検討の方向性

- ワイヤレス技術は、国民生活の安全・安心や経済活動に欠かせない社会基盤を支えるものであるという認識のもと、安定的・セキュアなサプライチェーンの確保に向けて、ワイヤレス技術の自律性や不可欠性の確保・向上を図っていくことが重要である。
- 我が国としてどのようなワイヤレス技術を維持・強化していくかを検討する際には、その技術を使ったビジネスがあることが前提になければ技術を残すことは難しく、逆に技術がなければビジネスにはならず、技術とビジネスの両方を一体で考えていく必要がある。
- ワイヤレス技術を磨き、産業が活性化し、人材が育っていくといった、技術と産業と人材の好循環なサイクルを回すことが重要となってきている。
- 他の業界・分野の取組を参考にしつつ、ステークホルダーの方々が一丸となって持続可能な通信基盤構築に向けて取り組むことが重要となってきている。

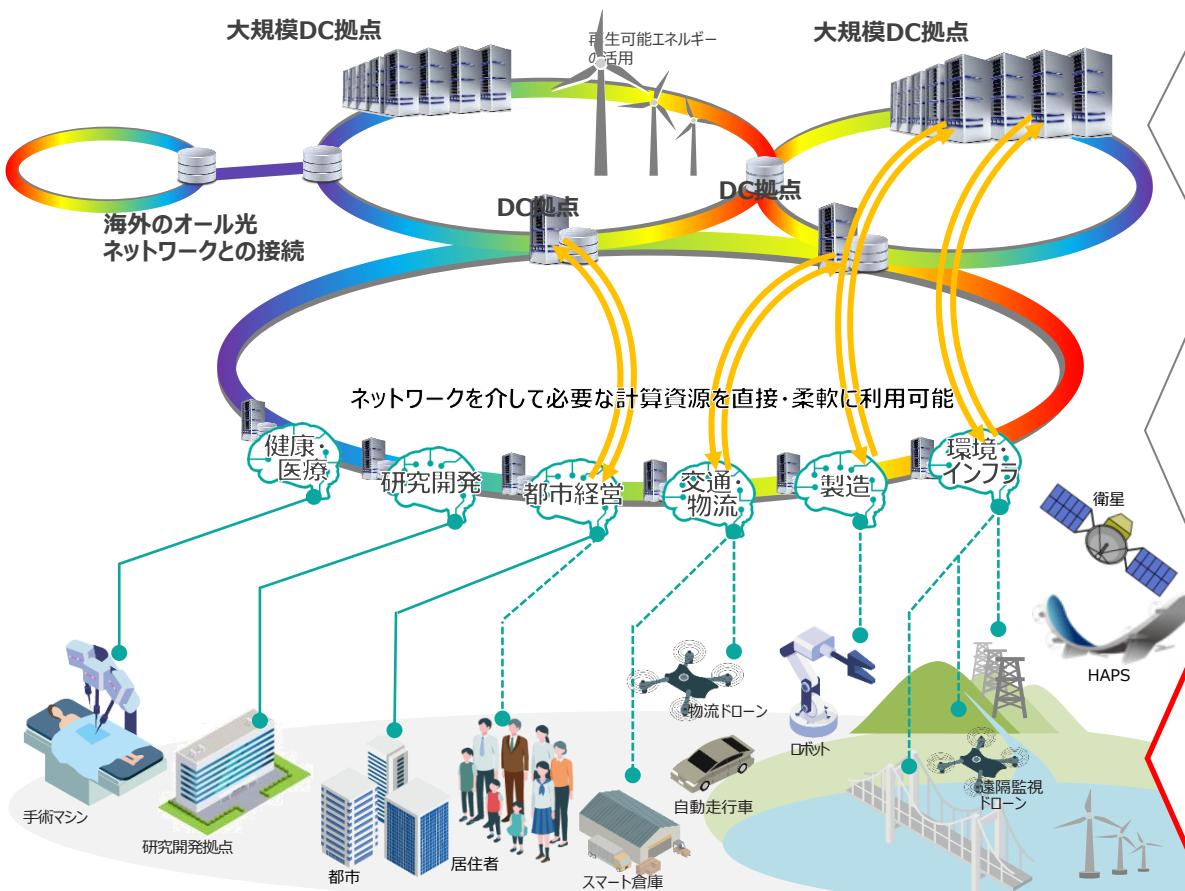


重点技術に関する検討事項

- ワイヤレス分野における市場環境の変化、仮想化・オープン化等技術の進展を踏まえた我が国のワイヤレス技術の「立ち位置」を調査・分析し、有限希少な電波のより一層の有効利用の促進に資するとともに、産業競争力の確保、経済安全保障の観点も踏まえ、我が国として重点的に取り組むべき技術分野について検討。
- また、上記技術分野を戦略的に推進するために、電波利用料等による研究開発の活用の在り方、人材育成の在り方、その他支援方策など、国、メーカー、ユーザ等関係者において推進すべき取組について検討。

(参考) 2030年代のAI社会を支えるデジタルインフラ像

- 2030年代のAI社会を支えるデジタルインフラとして、個別分野に特化した小規模・分散化した多数のAIや、これを駆動するデータセンター等の計算資源群を連携させ、モノ（自動車、ドローン、ロボット等）やセンサーを含む多様なユーザとを場所を問わずに繋ぐことが可能な、低遅延・高信頼・低消費電力な次世代情報通信基盤（Beyond 5G）が求められている
- 非地上系ネットワーク（NTN）、無線アクセスマッシュ（RAN）等、ワイヤレス技術の活用により、どこでも繋がる環境を実現し、モノやセンサー等が主たる端末となって「産業のワイヤレス化」を加速



データセンター等の計算資源

- ・オール光ネットワーク等と一体的に運用されるデータセンター等の計算資源が、様々な分野で利用される多数のAIを駆動
- ・オール光ネットワークで繋ぐことにより距離の制約が緩和され、現在、大都市圏に集中するデータセンター拠点を、再生可能エネルギーが活用可能な地域等へと分散化が可能

オール光ネットワーク（APN）

- ・今後増大が予想される大量のデータを低遅延・高信頼・低消費電力で流通させるための基幹的なインフラとして位置付け
- ・特に、計算資源・ユーザ等を連携させ、必要な計算資源を直接・柔軟に利用可能とすることで、我が国のAI開発力の強化やAI利活用を促進するゲームチェンジャーとなることが期待

非地上系ネットワーク（NTN） 無線アクセスマッシュ（RAN）

- ・ヒトよりも、モノ（自動車、ドローン、ロボット等）や、環境を把握するセンサー等が主たる端末となって、「産業のワイヤレス化」を加速
- ・RANやNTN（衛星・HAPS等）等からなる複層的なネットワークにより、非居住地域も含め、どこでも繋がる環境を実現

通信機器のコモディティ化の課題

- 資本市場からは、海外のグローバル通信機器トップベンダーも厳しい評価にあり、必ずしも国内ベンダーだけが厳しい状況にあるわけではない（海外ベンダーも苦戦している）。各社ともハードウェア事業で市場シェアを求めて、激しい価格競争が進行しており、機能、付加価値がデバイスとソフトウェアに集約している。それにより、通信機器のコモディティ化が加速。

サプライチェーンの課題

- 海外ベンダーの寡占化によって、国内技術基盤と自律性が弱体化、国内ベンダーは非常に厳しい状況にある。
- ベンダーロックインによって、柔軟なネットワーク構築が困難になりつつある懸念がある。
- 日本の強みである素材や部品の事業者と、通信事業者や最終製品事業者との間での競争連携機能が諸外国と比べて薄い。サプライチェーンが縦割りで、断絶型で統合力に乏しい現状にある。

ワイヤレス人材の課題

- 産業構造が縮小化しており、若年層からの魅力度が低下。熟練人材は高齢化しており、現場を支える技術継承の困難化が懸念されている。
- 市場の縮小と将来の不透明化によって、大学や企業における教育・研究環境としての人材育成機能も弱体化している懸念がある。
- 技術トレンドと人材ミスマッチが生じており、通信機器のソフトウェア化が進む中で、ソフトウェア人材不足が懸念。AIやウェブなど、今、若い人たちが多く入っている分野に比べて、ワイヤレス分野は参入障壁が非常に高いことも課題。

オープン化への対応

- 従来、ワイヤレスネットワークを構成する機器は全て同一メーカーのものを用いる必要があったものを、構成する機器のインターフェースのオープン化により、マルチベンダ化を可能とするOpen RAN等の取組が進展。

ソフトウェア化・仮想化への対応

- 従来、ハードウェア中心で構成されていたワイヤレス機器（基地局等）が、汎用サーバ上で動作するソフトウェアにより制御されるソフトウェア化（仮想化：vRAN）が進展。これにより、新たな機能、サービスの追加・拡充への対応が、ソフトウェアの改修により実現可能となる。

AIへの対応

- AIの適用の進展に伴い、ワイヤレスネットワークの最適化制御へのAIの活用（AI for RAN）、ワイヤレスネットワーク上でAIサービスを直接提供（RAN for AI）、基地局の同一サーバ上でvRANとAIが稼働（AI and RAN）といった、AIとワイヤレス技術の融合が期待。
- さらに今後、自動運転やロボティクスへのAIの適用など、フィジカルAIの実現にはワイヤレスネットワークが不可欠であり、その在り方等の検討が求められる（ワイヤレスAI、ワイヤレスロボティクスの視点も取り込むことが必要）。

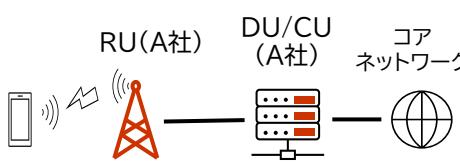
(参考) 技術トレンド(オープン化、仮想化)

- RANを構成する機器のインターフェースのオープン化や基地局処理機能の仮想化が進展。ソフトウェアによる多様な構成が実現し、従来の無線設備から段階的に移行が進む。
- 従来の最適設計された専用H/WのCU/DUに対して、サーバ/GPU（海外ベンダ依存）+汎用S/Wライブラリ活用/顧客別カスタマイズ&性能チューニングにより、汎用品の組合せで同等性能を引き出すことが課題。

① 無線設備のインターフェースのオープン化

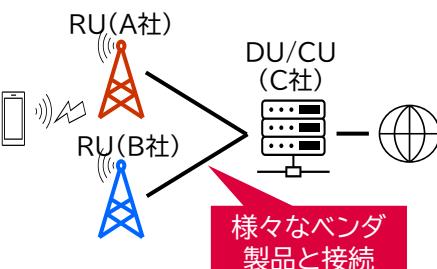
従来

無線設備の各ユニットは、同一メーカーが提供するハードウェアとソフトウェアを使用。



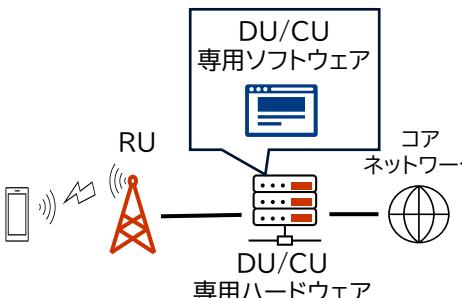
O-RAN

各ユニットのインターフェースがオープン化され、様々なベンダ製品を組み合わせて構築が可能。



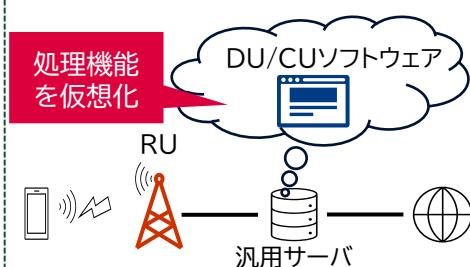
従来

無線設備のDU/CUは特定ベンダーの専用ハードウェアと一体化したソフトウェアを使用。



vRAN

ハードウェアで実現していたネットワーク機能の一部を分離して、汎用サーバー上のソフトウェアに実装。



動向・予測

- ・ ベンダーロックイン脱却やネットワーク柔軟性の確保等を志向し、日本や欧米を中心導入。
- ・ O-RANは段階的に導入が進み、無線設備市場(出荷/収益ベース)に占めるO-RANの割合は2024年5月現在で約7%だが※1、2029年には25%へ増加する予測※2。
- ・ さらに、複数の通信事業者でRUを共用するO-RANインフラシェアリング等の研究開発が進む。

動向・予測

- ・ ネットワーク運用の効率性向上やコスト低減につながることが期待され、日本や各国の一部の通信事業者で導入。
- ・ vRANは大幅に拡大し、無線設備市場(出荷/収益ベース)のうちvRANが占める割合は現在約8%程度から2028年には20%へ増加する予測※3。
- ・ さらに、vRANとAIを1台のサーバ上に共存させるAI RANといった新たなアーキテクチャが登場。

注)RU:アンテナと接続されており、電波を送受信するハードウェア装置。DU:通信品質を維持するための制御を行う装置。CU:複数のDUと接続され、各種の制御や最適化を行う装置。

出所)※1 TechChannel News Dell' Oro予測(2024/5/10) ※2 DRI「オープンRAN:先行研究レポート」※3 OMDIA

(参考) RAN技術の高度化の変遷

- RAN技術は、リアクティブなSONからプロアクティブなAI RANへと進化している。

3GPP Rel. 8以降のLTEに自己組織型ネットワーク(SON)が導入

- RANが無線環境やトラフィックに応じて様々なパラメータを自律的に調整・最適化・修復を可能にして、自己構成・自己最適化・自己修復を実現することを目的に。
- 標準化では、必要なインターフェースやデータの仕様が定められたが、アルゴリズム自体は各ベンダー独自の実装に委ねられており、標準化の対象外であった。
- SONの実装は一般的にルールベース。

LTE

2009-19

SON機能は5G NR (New Radio)に拡張

- SONは5G初期の標準(Rel.15/16)ではなく、LTEのSONフレームワークを拡張する形で5G NRに導入。
- Massive-MIMOなどの新たな5G無線機能に適応し、初期5Gの展開においてRAN自動化への強い要求が生じた。

初期5G

2019-22

AI/MLによるRAN自動化

AI/MLによる5G RANの自動化は、3GPP Rel. 18で標準化

- AI/MLによる5G RANアーキテクチャに関する研究は2020年に、標準化は2022年に開始。
- SONとAIベースのアプローチの重要な違いは、リアクティブ(受動的)からプロアクティブ(能動的)への転換。

2022~

無線インターフェースへのAI適用

無線I/Fに対するAIの適用は、5G-Advancedで仕様化予定

- 2024年、3GPPはRel.19において、AI/MLアルゴリズムを無線インターフェースに適用する標準化作業を開始。
- AI/MLモデルやアルゴリズムを取り入れた新しい無線インターフェース設計は、性能向上や複雑性・オーバーヘッドの削減を実現。

2024~

AIネイティブな無線アクセスシステム

6Gは初のAIネイティブ無線アクセスシステム

- 3GPPリリース21(2027年開始予定)は6Gに関する初の標準リリースとなる予定。
- ITU-RのIMT-2030フレームワーク文書では、統合されたAIと通信が6Gの6つのユースケースの一つとして定義されている。
- そのため、6Gは世界初のAIネイティブな無線アクセスシステムとなることが期待されている。

2027~

※ SON : Self-Organizing Network, ML : Machine Learning

(出典) 重点技術作業班第3回資料3-1 (株式会社三菱総合研究所提出資料)

- 主要キャリアは、AIとRANの融合による効率化・高度化を目指しつつ、エッジAIや自動運用、顧客体験の最適化など多様なユースケースを展開。

| | 日本 NTT | 日本 Softbank | 韓国 SKTelecom | 米国 T-Mobile US | 中国 China Mobile | サウジアラビア STC |
|--------------------|---|--|---|--|---|--|
| ビジョン | <ul style="list-style-type: none"> 世界初のGPU加速型5Gネットワーク | <ul style="list-style-type: none"> コストセンターからプロフィットセンターへのAI RAN | <ul style="list-style-type: none"> 通信ネットワークインフラをエッジAIインフラに変革 | <ul style="list-style-type: none"> 多目的な無線アクセスおよびAIサービスプラットフォーム | <ul style="list-style-type: none"> インテリジェントコンピューティングカードによる5G-Aの推進 | <ul style="list-style-type: none"> AIによる自律型RAN運用(SON) |
| ユースケース | <ul style="list-style-type: none"> RANの性能・効率の最適化 | <ul style="list-style-type: none"> RANの性能向上、効率化、予防保守 AI on RAN：自動車、ロボット等 | <ul style="list-style-type: none"> AIによるRANの自動最適化、周波数効率向上 AI on RAN：自動運転、物流、セキュリティ等 | <ul style="list-style-type: none"> 顧客体験の最適化 AIとRAN：エッジでのAI | <ul style="list-style-type: none"> ネットワーク性能の最適化 インテリジェントな運用・保守 AI端末支援（地上、空、宇宙） | <ul style="list-style-type: none"> トラフィック管理と負荷分散 エネルギー効率 |
| 実装 | <ul style="list-style-type: none"> vRAN (CPU、DPU、GPU) | <ul style="list-style-type: none"> GPU搭載vRAN | <ul style="list-style-type: none"> xPU (CPU、GPU、NPU、RANアクセラレータ) 搭載vRAN | <ul style="list-style-type: none"> GPU搭載vRAN | <ul style="list-style-type: none"> 専用カード付きRAN | <ul style="list-style-type: none"> SON内蔵専用RAN |
| エコシステム (パートナー等) | <ul style="list-style-type: none"> SW (1Finity、Mavenir、NEC、NTTデータ) チップセット・HW (AMD、Dell、富士通/1Finity、HPE、Intel、NVIDIA、Qualcomm) AIパートナー：Nokia、SK Telecom | <ul style="list-style-type: none"> Arm 1Finity NVIDIA | <ul style="list-style-type: none"> NTT Nokia Samsung Electronics | <ul style="list-style-type: none"> Ericsson Nokia NVIDIA Red Hat | <ul style="list-style-type: none"> Huawei Tencent ZTE | <ul style="list-style-type: none"> Nokia |

- ワイヤレス分野の諸課題（サプライチェーンの課題、ワイヤレス人材の課題等）や技術トレンド（オープン化、ソフトウェア化・仮想化、AIへの対応等）を踏まえ、次の三つの観点から検討することが必要。
 - **観点1 自律性・不可欠性の確保の観点**
 - **観点2 ビジネス上の戦略、産業構造、技術トレンド、レイヤー構造の観点**
 - **観点3 他分野・他産業との連携の観点**



観点 1

自律性・不可欠性の確保の観点

- 我が国の安全・安心を守るとともに、経済安全保障上の観点から、ワイヤレス技術における自律性と不可欠性をどのように確保していくべきか、我が国として特に注力すべき／国内に残すべきワイヤレス技術の検討が必要ではないか。
- サプライチェーンの確保のために必要な対応を念頭において検討が必要ではないか。
- 国内ベンダーが撤退や外国企業に買収された場合等、経済安全保障上の懸念はどこにあるか。

観点 2

ビジネス上の戦略、産業構造、技術トレンド、レイヤー構造の観点

- グローバルベンダーが優位にある市場動向を踏まえ、我が国の各企業におけるビジネス上の戦略やワイヤレスビジネスを巡る産業構造を踏まえた検討が必要ではないか。
- オープン化・ソフトウェア化やAIの潮流など技術トレンドを踏まえ、我が国が取り組むべき重点技術領域を特定するとともに、推進方策としての施策を講ずることが必要ではないか。
- ワイヤレス技術として、ハードだけでなく上位レイヤ（アプリケーションやサービス）を意識したワイヤレス技術の在り方を検討すべきではないか。

観点 3

他分野・他産業との連携の在り方

- ワイヤレス分野だけを議論するのではなく、他分野・他産業との連携を含めた検討が必要ではないか。（ワイヤレス技術を利用するユーザー企業における利用シーンを想定し、ワイヤレス技術をどう磨いていくか、どう使ってもらうかを検討することが必要。）
- 車、ロボット、IoT・センサー等においてワイヤレス技術が活用されることも鑑みた検討が必要ではないか。
- 特に、工場の生産ライン等において、ワイヤレス技術をどのように使えばよいかわからない（気づいていない）ケースもあることから、他分野・他産業の課題解決に向けたワイヤレス技術の活用をどう図っていくか。

- 1 昨今、国際情勢はかなり変化しており、ワイヤレス分野にとどまらず、経済安全保障はますます重要になっている。経済安全保障は、端的には2つの要素として自律性及び不可欠性があるところ、これらは必ずしも市場ニーズとはリンクしない。実際、ワイヤレス分野において、国家的支援を受けた他国企業が技術開発を先行して行い、あるいは低価格販売によってシェアを拡大しており、これに国内ベンダーが太刀打ちできない事態が生じている。
- 2 市場ニーズがあるところであったとしても、経済安全保障の観点で重要であれば、国の予算その他の支援によるテコ入れなども行いながら、官民が連携して取り組むことが非常に重要ではないか。また、Open RANやAIネイティブインフラといった今後期待されている技術を念頭に置きながら、直ちに経済合理性が伴わないところについても、予算を確保しながら技術開発を継続できるような環境の構築が必要。
- 3 日本が先進的な技術を生み出し、先行した市場になる環境を作ることも必要。一般的に、先行する市場には、グローバルな研究開発投資が向けられる傾向があり、海外の有力プレーヤーとも連携して、グローバル市場のニーズを反映した研究開発の枠組みやサプライチェーンを意識した取組が重要。（海外の有力プレーヤーの呼び込み、巻き込みもが重要）
- 4 クラウドネイティブが進んでいく中、コアネットワークを中心にパブリッククラウド上でネットワークを構成することが容易になってきている。vRANなど、ソフトウェア化が進んでいる。クラウド上でネットワークを構成することで、アプリケーションとの親和性が従来以上に高まることを念頭におくべき。
- 5 Open RAN、vRAN、AI RANといったキーワードが出ているが、今後の中長期的な技術のトレンドとしては、オープン化・ソフトウェア化は大きな方向性。一時停滞したり、あるいは既存ベンダが抵抗したりという市場の状況はありうるが、どうやって乗り越えていくかが非常に重要な課題。
- 6 ハードに近いところも当然重要ではあるが、それを産業につなげるという意味では上位レイヤーのアプリケーションに近いところが重要で、ソフトウェアの目線で見た時にその周辺を開拓することも含めて、もう一度Open RANを見直すという選択肢はある。

2章 我が国のワイヤレス分野を取り巻く現状と課題

- 本作業班においてこれまで行ってきた構成員・関係事業者等へのヒアリング結果等を踏まえ、次の3つの検討事項について、ワイヤレス分野を取り巻く現状と課題の整理を行う。

検討事項 1**共通・基盤的なワイヤレス技術、ワイヤレス人材等の現状と課題****検討事項 2****自営網や国・地方公共団体等の公共分野におけるワイヤレス技術の現状と課題****検討事項 3****キャリアの通信ネットワークに関するワイヤレス技術の現状と課題**

| | 日時 | ヒアリングを行った構成員・関係事業者等 |
|----------------------------------|--------------------------|--|
| 重点技術作業班 第1回 | 9月18日（木） 10:00～12:00 | 森川主任、堀越構成員、黒坂構成員 |
| 電波有効利用委員会・重点技術作業班 合同ヒアリング 第1回 | 10月8日（水） 14:00～16:00 | 日本電気株式会社、1FINITY株式会社 |
| 重点技術作業班 第2回 | 10月20日（月） 14:00～16:00 | 楽天モバイル株式会社、ソフトバンク株式会社、KDDI株式会社、株式会社NTTドコモ |
| 重点技術作業班 第3回 | 10月22日（水） 10:00～12:00 | 株式会社三菱総合研究所、石井構成員、白石構成員、シャープ株式会社、クアルコムジャパン合同会社 |
| 電波有効利用委員会・重点技術作業班 合同ヒアリング 第2回 | 11月5日（水） 10:00～12:00 | 京セラ株式会社、トヨタ自動車株式会社、青木孝文 氏（東北大学 理事・副学長（企画戦略総括）・プロボス・CDO） |
| 重点技術作業班 第4回 | 11月27日（木） 15:00～17:00 | 株式会社三菱総合研究所、エリクソン・ジャパン株式会社、ノキアソリューションズ＆ネットワークス合同会社、株式会社村田製作所、日本無線株式会社、アイコム株式会社 |

(注) 重点技術作業班第1回以外は、議事に企業の非公開の技術情報等が含まれることから、作業班運営方針等に基づき、会議を非公開で開催。

検討事項1

共通・基盤的なワイヤレス技術、ワイヤレス人材等の現状と課題

1 共通・基盤的なワイヤレス技術の課題

ヒアリングを通じて指摘された事項

- ワイヤレス分野は有線と違い、電波を出すところは必ずアナログな技術が使われる。アナログ技術はデジタル技術と比べて模倣困難性が高く、一度その技術が失われると取り戻すことが難しいことから、アナログ技術を保有し続けることが必要。また、RFの部品領域は世界の中でも日本のプレゼンスが高く、RFモジュール、フィルタ、アンテナ技術等の部材、素材の領域についても検討が必要。

(ヒアリングにおいて聴取した意見等)

- 1 RFの設計やSOCの開発は、単なる理論だけではなくて、経験値や職人的な感覚が必要。ICを使った製品開発とは異なり、RFやSOCの開発を基礎から教育することや人員確保に苦心しており、無線機の開発に必要な基礎教育の充実は必要。
- 2 無線通信において信号の送受信の処理を行う基盤技術であるRFの設計に係るノウハウの積み重ねは重要。市販の集積回路（IC）を採用して容易に設計を行うこともできるが、公共分野等で求められる一定以上のレベルの製品については、市販のICでは設計評価基準を満たさないことが多く、独自に個別部品を組み合わせて回路設計を行うことがある。
- 3 ものづくりからコトづくりへの流れが加速し、コア技術の競争力が低下していることが懸念。ワイヤレス分野では、一度技術を失えば、復活には莫大なコストと時間が必要。日本が強みを持つO-RAN等の基地局技術に加えて、スマートフォンやロボット、車を含むIoT機器等、エッジに関する日本のエコシステム維持・強化への支援は、国力強化、経済安全保障の確保の観点からも必須。
- 4 RFの部品領域は世界の中でも日本のプレゼンスが極めて高い。フィルタやパワーアンプを国内の工場等で生産して海外に展開することでグローバルにも強みを持っている企業や、高い性能の領域のところに絞ったアンプ・制御技術・フィルタの開発をしている企業もあり、RFモジュール、フィルタ、アンテナ技術等の部材、素材の領域についても議論が必要。
- 5 部材系ベンダーの中には、そのサプライチェーンの中で大きなプレーヤーの下に入り込むことで大きく海外での売上げを伸ばしている事例を見ることができる。サプライチェーン上の位置づけやそこに入り込む競争力が、部材系ベンダーと上のレイヤーのセット系ベンダーで大きく違い、上に行けば行くほどスケーラビリティや統合的なオペレーション、保守運用体制といった大きなスケールを持たないと競争できないという市場構造がある。

2 ワイヤレス人材に関する事項

ヒアリングを通じて指摘された事項

- 大学等と連携したワイヤレス人材の育成が必要。また、ワイヤレス人材はワイヤレス技術を開発する側でも利用する側でも求められることから、他分野・他産業とも連携し、ワイヤレス人材の必要性を周知し、更なる魅力向上を図るべき。

(ヒアリングにおいて聴取した意見等)

- 1 資本の論理でしようがないという見方もあるが、このままにしておくと、日本からワイヤレス技術やノウハウがなくなってしまうことが最大の懸念。一度撤退してしまうと、この分野は再参入の障壁は非常に大きく、日本で培ってきたノウハウがなくなってしまい、人材が育てられなくなってしまうという点が非常に大きな課題。
- 2 我が国において現状のまま何もしないでいると、産業自体も細ってくるし、人材も細ってくる。人材育成の裾野の広さも重要であり、特に、上位のアプリケーションに近いところで試行錯誤できる環境も必要で、そこでのイノベーションがより求められる。
- 3 人材育成の面では、どこの大学や研究機関がワイヤレス分野に注力しているかも特定しながら、ワイヤレスに関する技術や知見を獲得することが将来的にどうプラスになるかを周知していく活動など、すべての関係者が協力して取り組んでいくべき。
- 4 日本のエレクトロニクス企業は、20世紀には技術力の高さに裏づけられた機能・性能の価値を競争優位の源泉としてきたが、戦略やマーケティング等の力はつかないまま成長してきた。現在でもプロ理系人材の能力は高いが、プロ文系人材の能力の欠如が、単に技術力競争ではなくなった通信産業の競争における弱み。企業内でプロ文系人材の登用とエンジニアに対する文系人材能力のリスクリングが必要。
- 5 無線機器メーカーは、直近で儲かるビジネスに特化する形で人材の配置・育成を行っており、その他を切り離す方向性となっているが、切り離しの対象になりかねない通信事業領域にも高い技術力を有したエンジニアが多数いる。ここに戦略能力を付加するか、リスクルることで、小規模でも生き残れる事業戦略を構築できるよう、国を挙げてサポートしていくことが大切。
- 6 人材にも、ワイヤレスを開発する側の人材と利用する側の人材がって、両方が必要。すべての産業において無線が必要であり、利用する側にも無線を分かっている人材、保守・運用する人材が多数必要になるはずで、そこが弱体化していくのは避けるべき。

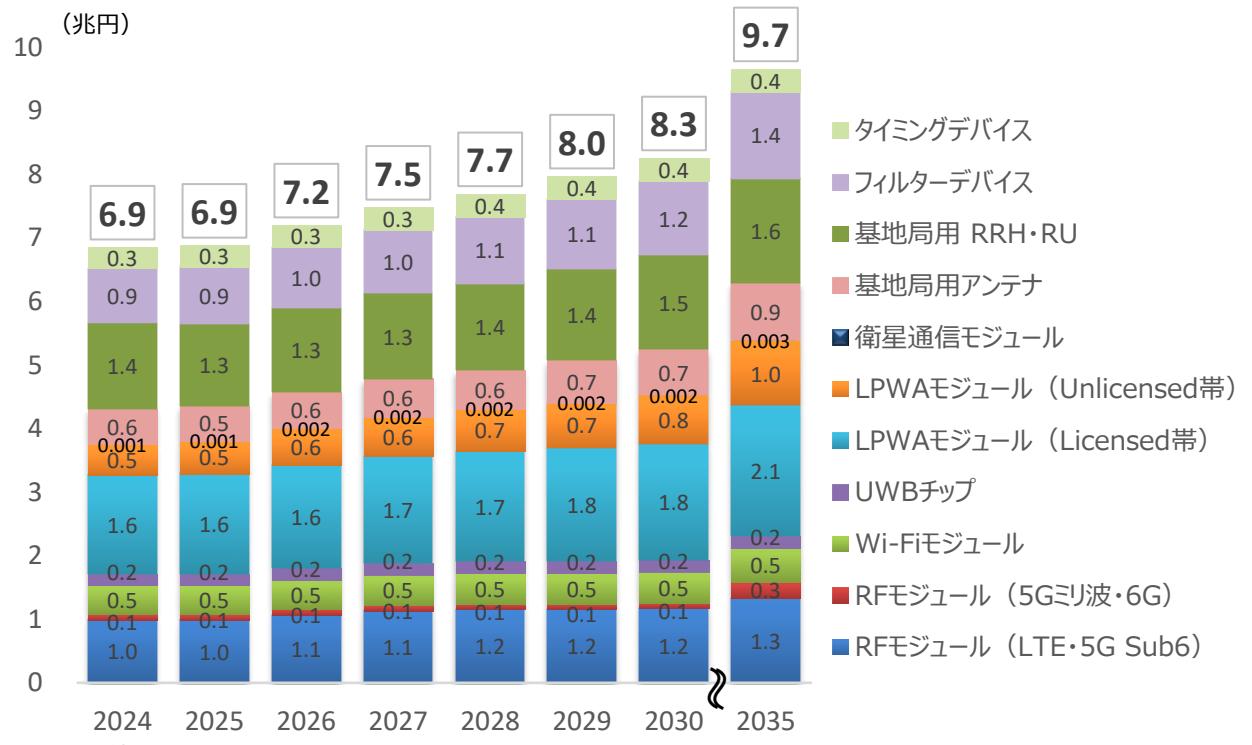
(参考) 通信向け部材・モジュール市場規模の推移・予測

19

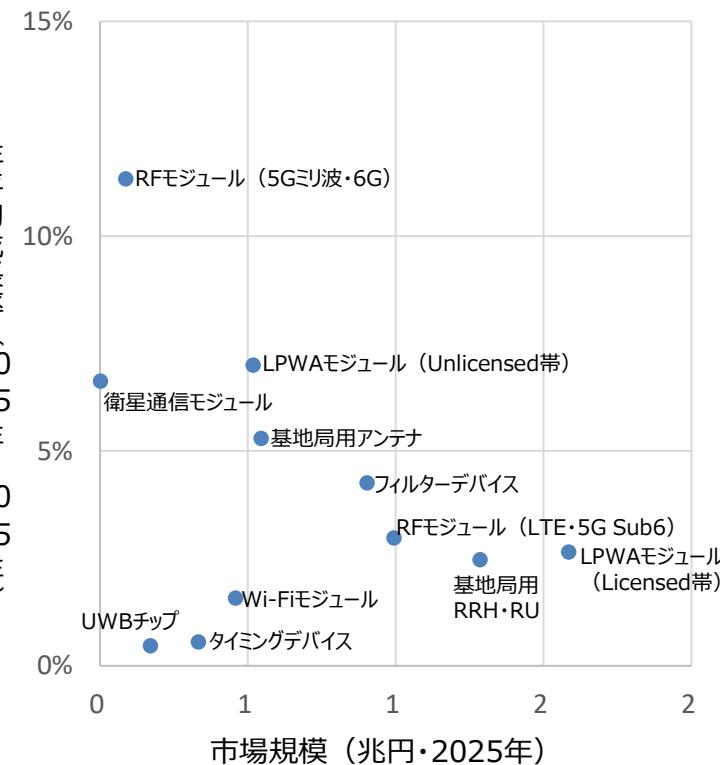
- 通信向け部材・モジュール市場規模（グローバル）は2025年で約6.9兆円となる見込み（前年比0.4%増と横ばい）
- 6G（2030年頃～想定）に向けては、インフラ機器としての基地局用デバイスが伸び、2035年には10兆円規模となる。
- RFモジュール（5Gミリ波・6G）は徐々に立ち上がり、2030年段階では寄与度は低い。LPWAはコンシューマ向けでは家電やホームIoT機器向けの需要拡大、産業用途では省人化や防災・減災といった観点で搭載が拡大。

部品・モジュール市場規模の推移（グローバル）

市場規模の推移及び予測



各市場の規模と成長性



出所) 富士キメラ総研『AI/IoTを実現するモジュール/デバイス関連市場 2026』

(出典) 重点技術作業班第4回資料4-1 (株式会社三菱総合研究所提出資料)

- 周波数帯の拡張・MIMO多重化・高密度化が主要トレンドとなり、主要デバイスで点数増加・高度化が進行。
- 統合化・小型化・低損失化・高耐熱化・高精度加工など部品レベルの要求が急上昇し、SAW/BAW・MEMS・高周波材料など国産部品メーカーが強みを發揮する領域が拡大。
- 今後は、8インチ化・貼合技術・電極薄膜化・微細パターン化など製造技術の差が競争力を左右するといえる。

| 項目 | 主なトピック | 主な動向 |
|--------------------------|---|---|
| RFモジュール (LTE・5G Sub6) | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 5. 5G (2026年-2027年) ✓ 送信側MIMOによる点数増 ✓ モジュール統合による点数減 | <ul style="list-style-type: none"> 2026年～2027年に5Gの新しい周波数帯が導入され、高速化が期待。ただし、これはスマートフォンなど既存のアプリケーションに対する利便性向上などが目的。 5GでMIMO多重化が進み送受信系モジュールが増加、Rx側でダイバーシティ採用が増大。 広帯域化・UHB (Ultra High Band : 6～7GHz以上の高周波帯) の進展で、部品実装面積などの観点からモジュール統合が進展。 地域限定モデルや低価格モデルに向けたモジュールは対応周波数を絞り低コスト化も進展。 |
| RFモジュール (5Gミリ波・6G) | <ul style="list-style-type: none"> ✓ ミリ波対応による増加 ✓ 端末筐体の工夫による減少 | <ul style="list-style-type: none"> 高周波数帯域サービスが拡大、移動体向けの接続性の高い低遅延サービスが徐々に拡大。 ミリ波端末はアンテナ/配線が複雑化し、端末側モジュール点数が増える傾向。 配置最適化によりミリ波モジュールの点数が削減されるケースもあり、設計差が大きい。 |
| 基地局用アンテナ | ✓ 周波数帯拡大とM-MIMO化 | Sub6帯でMassive MIMOの導入が拡大、アンテナ素子の点数増加が継続。 |
| 基地局用RRH・RU | ✓ 統合化による部品増 | 5G/6G向けRRHは高密度化・多ポート化で部品点数増加。M-MIMO対応モデルで顕著。 |
| フィルターデバイス | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 高周波対応で貼合・電極パターン微細化 ✓ 8インチウェハ採用拡大 | <ul style="list-style-type: none"> 高周波帯の挿入損失低減に向け、貼合技術・電極薄膜化・微細パターン化が必須、歩留まり・素材選定が重要。Sub6-6GHz超でμm以下加工が求められ、各社が製造技術を強化。 8in対応が本格化し、SAW/BAW双方で生産効率が向上。 歩留まり確保や材料均一性など課題は残るが、将来的な主流化が進む見込み。 |
| タイミングデバイス | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 高周波化による水晶・SAWの高密度化 ✓ 小型化・低背化、MEMS・水晶パッケージ対応 | <ul style="list-style-type: none"> 高周波帯で水晶の発振精度確保が重要となり、光トランシーバ向け周波数の安定化が進展。 SAW・水晶の高周波化が市場要求に対応。 0806 (0.8mm×0.6mm:汎用スマホ向け小型パッケージ) サイズ開発や高度実装で小型化が進むほか、MEMSの小型振動子の量産性が向上。0604 (0.6mm×0.4mm : さらなる高密度実装向け超小型品) サイズも視野に入るなど、小型パッケージの技術進化が継続。 |

- 端末向け：5G普及とオンデバイスAI需要が成長を牽引、低価格帯からハイエンドまで市場が二極化している。
- 基地局向け：寡占構造の中で省電力化とOpen RAN対応が焦点、新規参入も台頭している。
- インフラ向け：クラウド化とAI処理の拡大がMEC市場を爆発的に成長させ、省電力設計が必須に。

区分**端末向け**

(スマホ・IoT機器に搭載されるAP/ベースバンド・モデムなど)

関連市場/主なプレイヤー

5Gチップセット：
2023年393億ドル→2030年約1500億ドル (CAGR+20.7%)
Qualcomm (Snapdragon)
MediaTek (Dimensity)
Apple (A/Mシリーズ、モデム内製)
Samsung (Exynos)
UNISOC, Google Tensor

市場ドライバ・動向等

- 高価格ハイエンド端末ではSoC性能・カメラ/AI処理が差別化軸となり、低価格帯では5G普及・コスト低減が主ドライバー。
- スマホ/IoTで生成AI・機械学習処理を端末内で行うニーズ拡大、SoC設計におけるAIエンジン・メモリ帯域・電力効率が重要性増
- Apple が独自モデムチップなど通信チップを自社設計する方向。
- ハイエンドのミリ波対応は部品の追加コストが必要、消費電力増など課題
- 高性能化/多バンド化によりRF部品数が増加、SoC+モデム+RF組合せ設計が端末価格・消費電力に影響。電源管理ICや熱設計などのチップ需要増。

基地局向け

(RAN装置に搭載されるSoC/ASIC。信号処理、Massive MIMO制御、Open RAN用加速カード等)

Massive MIMOチップ：2027年430億ドル
Qualcomm (QRU100/X100)
Intel (FlexRAN)
Huawei (Kirin/基地局SoC)
Marvell (OCTEON)
NEC・1Finity

- RAN市場は大手ベンダ寡占、チップベンダとしての影響力も強い。
- 既存スマホSoCメーカー（例：Qualcomm）が基地局向けRU/DUチップに参入、競争ダイナミクスが変化。
- Massive MIMO（64T64R以上）やビームフォーミング技術の標準化、チップ設計・集積化・省電力性が重要に。
- 基地局運用コスト（電力/冷却）がキャリアの大きな負担であり、チップ設計にも低消費電力・熱設計重視の要求が増加。

インフラ向け

(通信コア・DC・エッジMECで使うCPU/GPU/FPGA/専用アクセラレータ。RAN仮想化やAI処理を支える)

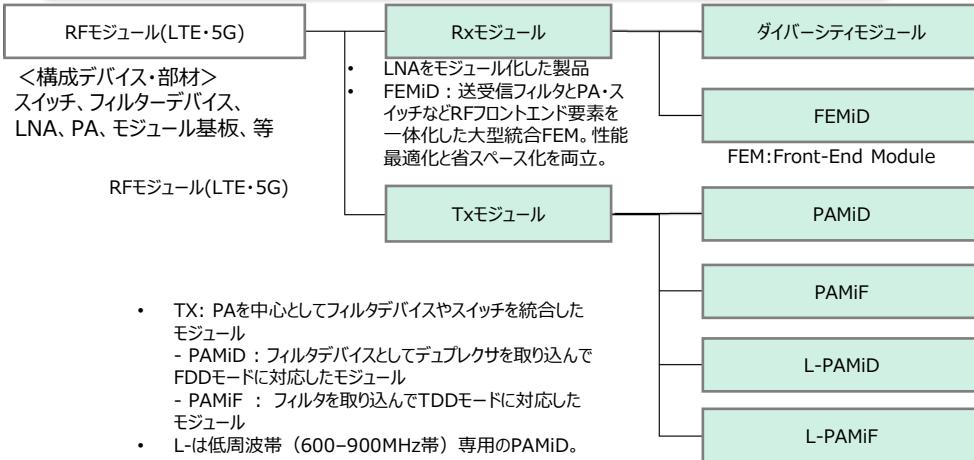
MEC市場：
2024年52億ドル→2033年約1,700億ドル (CAGR+47.6%)
Intel (Xeon/Atom)
ArmサーバSoC
NVIDIA (GPU/DPU)
Marvell, Broadcom
Qualcomm (vRANチップ)

- NW・コア装置・エッジサーバなどがクラウドネイティブ化し、通信処理チップがサーバ/DC用ハードウェアに近づき、従来とは異なる設計・量産モデルが必要。
- vRAN、NW最適化、エッジAI応用のため、CPUだけでなくGPU/FPGA/DPU/NPU型チップの需要が急増。
- CAPEX・エッジ分散拡大でインフラ向けチップ需要増、自律運用・セキュリティチップ（暗号化アクセラレータ等）へのニーズが上昇。
- DC・NW装置の消費電力量・PUE削減の課題はチップ設計（省電力、高効率、集積度向上等）に直接影響。

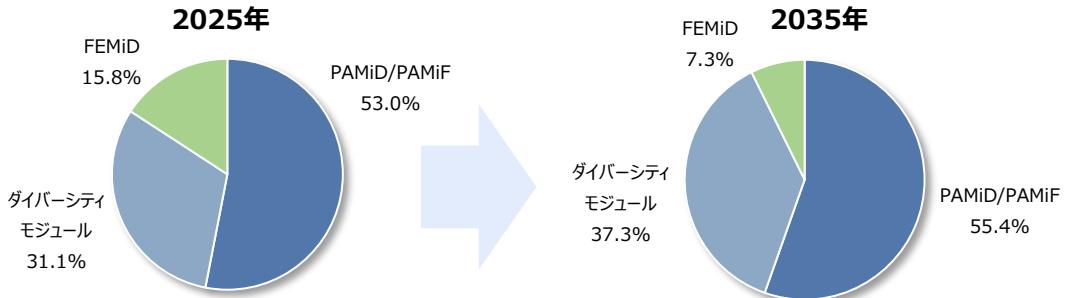
(参考) RF(LTE・5G Sub6)の市場動向

- 5.5G向け帯域など、**5Gスマホ向け中心にMIMO多重化で送受信モジュール数が増加、特にRx側ダイバーシティの強化が進む。**一部モジュール統合も進むが、全体としては高周波化に伴う構成高度化が市場拡大を支える。
- 日本企業は構成デバイスを国内で内製化できる村田製作所を中心に高品質モジュールで優位、中国メーカーが台頭中。

市場構成



デバイスタイプ別（出荷数ベース）



- PAMiD/PAMiFが過半を占めつつ、5G普及でダイバーシティモジュール比率が上昇、FEMiDがやや縮小する見込み。
- 今後も送信系が中心の構成は維持される一方、受信系モジュールの強化が進み、Rx側の比重が高まる構造にシフト。

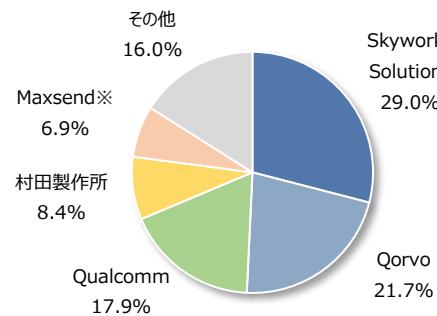
出所) 富士キメラ総研『AI/IoTを実現するモジュール/デバイス関連市場 2026』

競争状況（グローバル市場）

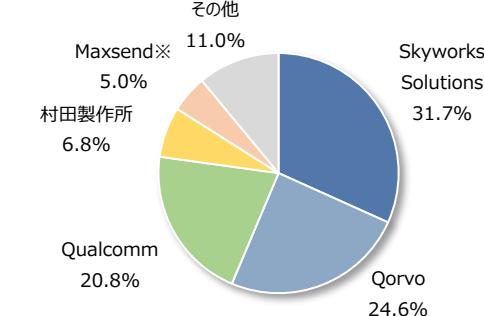
| 国 | 主な参入企業 |
|----|---|
| 日本 | 村田製作所(Rx-D, Rx-F, Tx) |
| 米国 | Broadcom(Tx), Qorvo(Rx-D, Rx-F, Tx), Qualcomm(Rx-F, Tx), Skyworks Solutions(Tx) |
| 中国 | Maxscend(Rx-D, Rx-F, Tx), Microgate(Rx-D, Rx-F), Radrock Tech(Tx), Smarter Microelectronics(Rx-D, Rx-F), Sunway Communication(Rx-D, Rx-F, Tx), Vanchip(Rx-D, Rx-F, Tx), Lansus Technologies |
| 韓国 | WiSoL |

括弧は各社の取扱い（Rx-D : Rxモジュール/ダイバーシティモジュール、Rx-F:Rxモジュール/FEMiD、Tx : Txモジュールの略）

市場シェア（出荷数量ベース）



市場シェア（出荷金額ベース）



※Maxscend Microelectronics

＜日本企業の動向例：村田製作所＞

- Rx・Tx双方のRFモジュールを揃え、フィルタ・PA・スイッチを内製化する国内完結型の生産体制を持ち、全構成デバイスを日本国内で製造。
- 5G初期は LTCCダイバーシティモジュールで中国スマホ向けに強みを持ったが、近年は中国メーカーの台頭でシェア後退も見られる。

(出典) 重点技術作業班第4回資料4-1 (株式会社三菱総合研究所提出資料) を一部修正

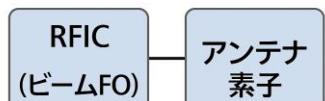
(参考) RF(5G ミリ波・6G)の市場動向

- ミリ波対応スマホが限定的で、iPhone16でAiP/AiM搭載数が削減された影響で、2024年に市場規模は急速に縮小。
- 準ミリ波対応でアンテナ搭載数増加が進む一方、スマホでは感度確保のため搭載箇所の最適化が進み、搭載数は削減傾向にある。モジュール集約化で、将来的にはミリ波対応でも搭載数は1桁台に収束する見通し。

市場構成

デバイスタイプ

AiP (Antenna-in-Package)



- モジュール基板に両面基板を用いてチップ型のアレイアンテナを表面に、RFモジュールやRFICを裏面に配置し、アナログ信号の伝送距離を短くすることで信号伝送品質を追求
- 高周波で配線損失を抑えられ、スマホ向けミリ波対応で一般的

AiM (Antenna-in-Module)



- より汎用的な片面基板を用いてアンテナとRFフロントエンド以降を分離（同じモジュール内だがパッケージは分離）
- 中距離の配線で接続（AiPより損失は大きい）、コスト・設計自由度はAiPより高い

- モジュール基板に両面基板を用いてチップ型のアレイアンテナを表面に、RFモジュールやRFICを裏面に配置し、アナログ信号の伝送距離を短くすることで信号伝送品質を追求
- 高周波で配線損失を抑えられ、スマホ向けミリ波対応で一般的

デバイスタイプ別（出荷数ベース）

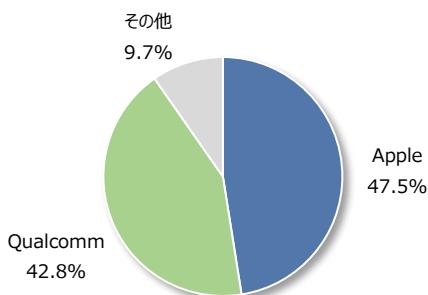


- 比率でみると、今後はAiMがAiPを上回る構成比へシフトする見通し。
- 用途別では、スマートフォンとCPE向けがメインだが、低コストなラストワンマイル用途のCPE需要が底堅く、緩やかなプラス成長は維持。

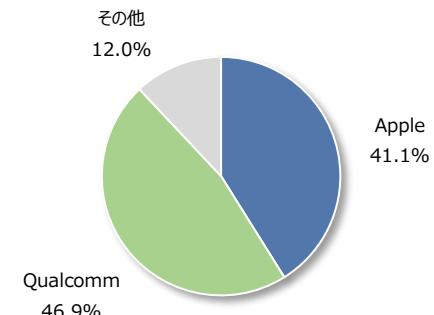
競争状況（グローバル市場）

| 国 | 主な参入企業 | 主要生産/研究開発拠点 |
|----|----------|---------------|
| 日本 | 村田製作所 | 日本（滋賀）、中国（深圳） |
| 米国 | Apple | 生産委託 |
| | Qualcomm | シンガポール、生産委託 |
| 中国 | MediaTek | 生産委託（ASE、ほか） |
| 韓国 | Samsung | 韓国 |

市場シェア（出荷数量ベース）



市場シェア（出荷金額ベース）



＜日本企業の動向例：村田製作所＞

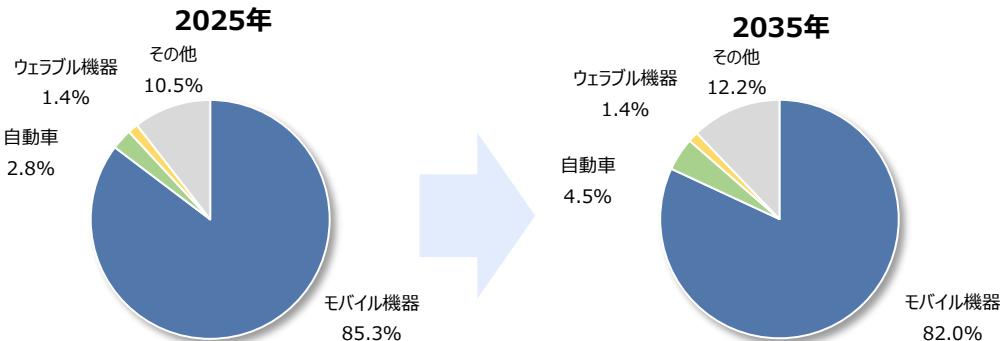
- 同社樹脂多層基板「メトロサーク」で優れた高周波特性を持つAiMを開発。
- 高密度実装が求められるスマートフォンにおいて、形状自由度のある同社の製品はミリ波対応スマートフォンの省スペース化に貢献をしている。
- 同製品はSamsungのRFICと組み合わせてスマホに採用。

(参考) フィルタの市場動向

- フィルタは、今後は自動車・IoT向けなど用途が多様化し、SAW主体からTF-SAW・BAW・LTCCなど高周波対応へ。
- 市場シェアは村田製作所が出荷数量・金額ともに最大、Broadcom、Qualcommなど海外勢との競争が激化。
- 10GHz超対応LTCCや異種接合型フィルタの比率が増えるなど、日本企業の微細加工・接合技術の競争優位に期待。

市場構成

用途別（出荷数ベース）



- ・ スマホの高周波化と低価格帯の5G化で数量は増えつつも、車載通信の高度化やIoTモジュール拡大が牽引、非スマホ領域の比重が上昇

デバイスタイプ別（出荷数ベース）



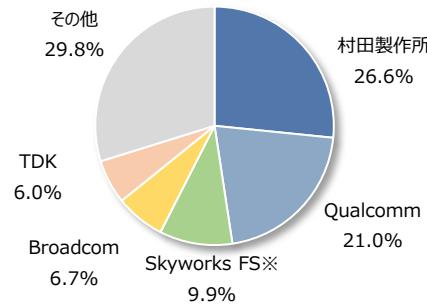
出所) 富士キメラ総研『AI/IoTを実現するモジュール／デバイス関連市場 2026』

競争状況（グローバル市場）

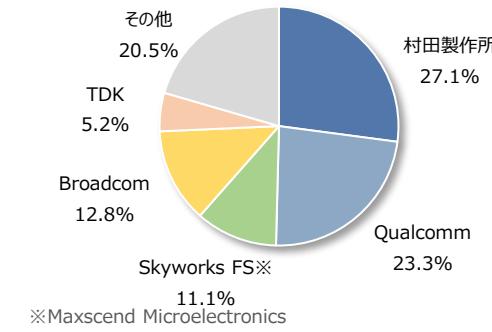
| 国 | 主な参入企業 |
|----|---|
| 日本 | 太陽誘電モバイルテクノロジー(S/L), TDK(L), 村田製作所(S/B/L), 京セラ, 阪新エヌ・データ |
| 米国 | Akoustis(S/B), Broadcom(S/B), Qualcomm(S/B), Skyworks Filter Solutions(L), Qorvo |
| 中国 | CETC(S), Starshine(S), Tiangtong(S), Chemsemi, Glead Electronics, Maxscend, MDK Opto, Microgate, San'an, Shoulder |
| 韓国 | WiSol(S/L), SAWNICS |
| 台湾 | Tai-Saw Technology |

括弧は各社の取扱い
(S:SAW, B:BAW, L:LTCCの略)

市場シェア（出荷数量ベース）



市場シェア（出荷金額ベース）



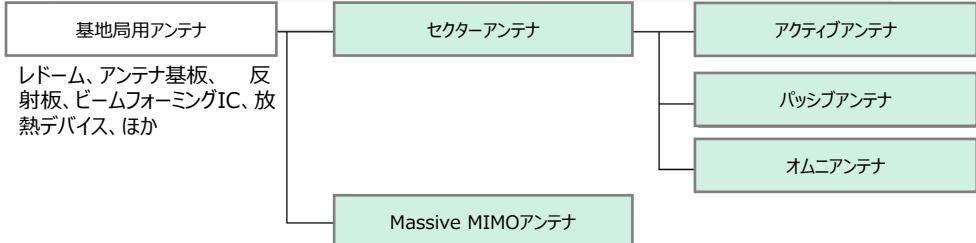
※Maxscend Microelectronics

(出典) 重点技術作業班第4回資料4-1 (株式会社三菱総合研究所提出資料)

(参考) 基地局用アンテナの市場動向

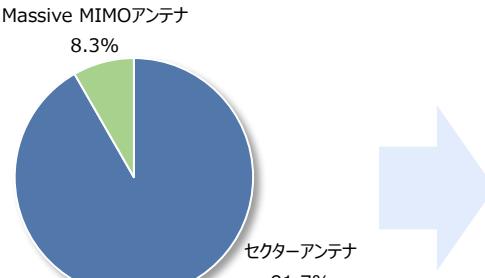
- 近年は通信キャリア各社の投資控えにより市場は大幅減少（直近は、中国の基地局投資の徐々に回復し、下落幅は緩やか）
- 世界全体の投資動向としては、5Gにおける新バンド対応などの動きはあるものの、6Gに向けた投資の開始まで大きな動きはなく、市場は2028年後半から徐々に上向いていくと予想される。

市場構成

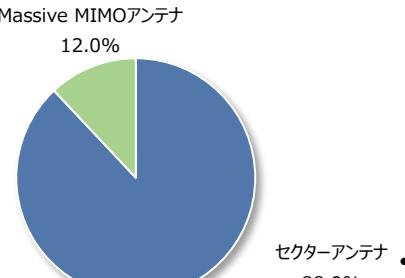


- セクターアンテナでは多周波対応が進んでおり、1本のアーチ周波数帯に対応する製品も登場。
- Massive MIMOは高トラフィックエリア向けの展開が中心、筐体の大きさや重量の面から設置場所を選ぶため、国や地域によっては設置スペースが確保できず採用が進まないケースあり。
- 多素子化と多周波対応のR&Dが活発、Massive MIMOアンテナを複数枚アレイ状に並べた超多素子アンテナやデュアルバンド対応アンテナも進展。

デバイスタイプ別（出荷数ベース）



デバイスタイプ別（出荷数ベース）

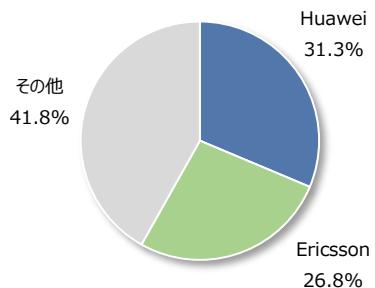


- 5.5Gから6Gに向けて、高周波数帯への対応が進展。今後の6~7GHz帯は、当初別体のアンテナとして収容される見通し。
- 設置スペースの問題などから1アンテナ当たりの対応周波数は増加傾向だったが、セクターアンテナの今後の採用周波数帯では別体とする動きあり。

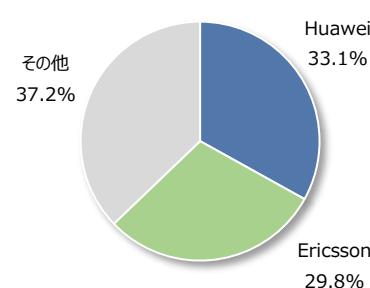
競争状況（グローバル市場）

| 国 | 主な参入企業 |
|----|--|
| 日本 | 電気興業 |
| 米国 | CommScope |
| 欧州 | Ericsson, Nokia |
| 中国 | Huawei, Mobi Antenna Technologies, Comba Telecom Systems, Tongyu Communication |
| 韓国 | KMW |

市場シェア（出荷数量ベース）



市場シェア（出荷金額ベース）



<日本企業の動向例：電気興業>

- 5G向け広帯域・小型軽量アンテナやマルチバンド基地局アンテナを主力に、国内キャリア向けで高い採用実績を有する。
- 5G屋内外エリア構築需要を取り込みつつ、施工・保守まで一体提供するインフラトータルサポート体制を強化。

検討事項2

自営網や国・地方公共団体等の公共分野における ワイヤレス技術の現状と課題

1 国内において確保すべき（残すべき）技術

ヒアリングを通じて指摘された事項

- 防災・ライフライン分野を支える無線技術や、気象レーダ、アンテナ、中・短波無線等高度・特殊な技術ニーズへの対応が必要。また、稼働の安定性・長期保守が求められる中、技術や体制の維持・強化をどのように図っていくか検討が必要。

（ヒアリングにおいて聴取した意見等）

- 1 この領域で我が国が強みを持つべき技術、今後開発すべき技術としては、狭帯域の通信技術、ミリ波技術、多重無線、衛星－地上の統合技術のほか、高付加価値の技術・特定用途技術として、気象レーダー等、特殊でコモディティ化していない高付加価値のもの、アンテナ技術、中・短波の大電力の送信機の開発等があげられる。
- 2 公共分野の無線システムはライフサイクルが長く、10年から15年を使う前提でのづくりをする必要があるとともに、稼働の安定性が求められる一方、特定の規格に沿ったシステムが多く、汎用性が低いといった特徴がある。収益率が低く、人材不足の中で、リソース確保や研究開発が難しい状況にある。

2 将来的なワイヤレス事業への取組の方向性

ヒアリングを通じて指摘された事項

- 引き続き、ものづくりを中心として、AIやSaaSなど最先端の技術を組み合わせて、ユニークかつ高品質なものづくりを軸とした展開を日本の社会インフラ事業に対して提供していくことが必要。

(ヒアリングにおいて聴取した意見等)

- 1 国内大手ベンダーはソフトウェアに事業の重心がシフトしていると感じている。いわゆる個別のものづくりは手間がかかるため、少し敬遠されている傾向があると感じている。それに対して、ものづくりを中心として、A I や S a a S など最先端の技術を組み合わせて、ユニークかつ高品質なものづくりを軸とした展開を日本の社会インフラ事業に対して提供していく、それを広げていきたいと考えている。他社ベンダーが海外市場に出るのであれば、我々がその後の日本の無線を責任持って提供していく思いで進めている。
- 2 いわゆる社会インフラにおける I C T 事業領域は全部責任を持ってやりたいと考えている。
- 3 グローバル化したいが、日本に特化した仕様や各省庁に特化した仕様を一生懸命つくる中で、それをそのまま海外に持っていくいけない。周波数や仕様が違うということ、日本の仕様はとても高機能でコストが高いということがあり、そのまま外に持っていくというのは難しい状況。

(参考) 公衆網と比較した自営網の特徴(1/2)

- 自営網と公衆網は、レイヤー構造でみると、用途・構成・運用の柔軟性等において異なる特徴を有する。
- 特に、**自営網は現場業務と密着し、BCP・防災・産業用途など社会インフラ通信を担う堅牢かつ柔軟な基盤**であり、アプリ～部品までの国産レイヤ構造により、**現場最適化・信頼性・国内製造供給体制が強み**。

レイヤー

公衆網

自営網

アプリ層 (業務アプリ・サービス利用層)

消費者・企業横断のマルチユース環境

- ・大規模商用サービスと連携した業務系SaaS、映像伝送、AR/MR、MaaS統合サービス等
- ・更新性・拡張性が高く、アジャイル開発との相性が良い

UX設計、現場オペレーションへの最適化、国産サポート体制が強み

- ・IP無線型統合アプリ(Buddycom等)は、音声・チャット・位置情報・映像などを一体で扱え、災害対策、建設現場、介護・医療、公共交通など導入。
- ・自治体や法人ではBCP用途で導入が進み、閉域網によるセキュリティ確保、音声優先制御機能なども重要。スマートシティ連携アプリ(例:交通誘導、遠隔作業支援)との統合も進展。

プラットフォーム層 (NW管理・制御PF、ローカル5G/自営LTEコア等)

高密度なサービス提供へ対応・全体監視が中核

- ・vRAN制御、スライシング、自動トラフィック分散機能を内包
- ・AI連携による保守効率化、ベンダ横断の統合制御標準に準拠

現場での協調UI、オンプレ・ハイブリッド対応に長け、エッジ側最適化にも対応

- ・自営無線構築・運用向けに特化したネットワークPFを提供。構成にはローカル5Gコア、仮想化基盤、通信制御AIが含まれ、各社のシステムインテグレーション力が強み。導入分野はスマート工場、港湾、病院、自治体防災拠点など。
- ・近年は、AIによるトラフィック予測、干渉検知、障害予兆機能を装備したPF事例も増えている。

機器層 (無線端末・基地局・レピータ・防災無線装置等)

スケーラビリティと運用効率が中心

- ・5G/O-RAN対応、MIMO装置など
- ・装置は性能集約化・省電力・仮想化対応が進展、更新周期とソフト更新に応じた設計が求められる領域。

業種ごとの業務オペレーションと密着し、カスタム性と保守性を両立

- ・現場業務・自治体防災向けの通信機器を幅広く展開。装置は耐候・防塵・耐震設計が施され、独自周波数帯・チャンネル構成への柔軟対応が特長。
- ・鉄道・空港・トンネル・港湾など多様なインフラと連携し、冗長性・信頼性の高いシステム構築を実現。

部品層 (RF・光部品・アンテナ・モジュール等)

量産型部品開発、周波数効率・損失低減重視

- ・通信キャリア向けには、基地局・マクロセル用に高出力・高耐熱性の部品(高周波パワーアンプ、ミリ波フィルタ、GaN系半導体)が求められ、大手ベンダ等との集中連携が進む。

信頼性が重視される用途への供給に強く、技術サポート・品質保証体制も堅固

- ・自営無線向けに特化した小型・堅牢・耐環境性に優れた部品(SAW/BAWフィルタ、コンデンサ、アンテナモジュールなど)を供給。
- ・用途は防災無線端末、産業用IP無線機、鉄道や空港の通信機器など。
- ・各社は国内に設計・製造拠点を持ち、自治体や産業機器ベンダとの長期供給関係を維持。L5G対応モジュールや広温度帯対応の高周波部品等も展開。

(参考) 公衆網と比較した自営網の特徴(2/2)

- 公衆網は周波数や世代交代に左右されるトップダウン型の大規模一括更新モデルで、広域・共通基盤として効率性を重視。自営網は用途起点の分散・継続投資型で、現場最適化・カスタム性・レジリエンスに重点が置かれ、社会インフラを支えるボトムアップ型エコシステムとなっている。

視点

公衆網

自営網

バリューチェーン

- 国内産業内で部品からアプリ層まで垂直統合に近い流れが存在。
<例> TDK (SAWフィルタ等部品) → JRC (基地局装置) → 自治体 (防災ネット導入)
村田製作所 (通信モジュール) → 富士通/1Finity (ローカル5G機器) → 製造業ユーザー (工場内5G活用)

- キャリアが最終顧客で多段階の取引構造が典型。キャリアは調達先を国際的に選定する傾向、国内外ベンダ間の競合環境。
- 国内部品メーカーもグローバルOEM経由で供給するケースが多く、国産フィルタが海外基地局メーカーの装置に採用→国内キャリア網に設置される間接的な供給関係が一般的

- 国内中堅～大手メーカー同士の協業でソリューションを組み上げエンデューザに直販・SI提供するケースも（例：JRCとアイコムがPublicsafety向けにIPトランシーバ端末とプライベートLTE基地局を組み合わせた閉域通話システムを開発、海外販売で協業）

キャリア中心のトップダウン型（キャリアの投資計画に依存）

- 不特定多数へのサービス提供を担い、信頼性・カバレッジ・スループットの観点で大規模集中型のネットワークを構築。
- キャリア網は政策的な割当周波数割当に強く依存し、高度な通信プロトコル標準に沿って巨額投資で全国整備するため、特定ベンダへの依存度も高くなりがち

ユーザ主導のボトムアップ型

- 限定エリアの課題解決に資する分散型網で、公衆網から独立して動作可能、かつそのエコシステム（チップセットや端末等）の恩恵を受けつつ低コスト化・小規模化を実現可。
- 企業・自治体が目的に応じて機器・PFを組み合わせ構築、異業種間連携やオープンな技術の採用も進みやすい傾向。
- 一自治体で導入されると他自治体でも採用されやすい。

周波数・世代交代に連動した大型投資サイクル

- 投資判断は周波数割当・世代移行に強く依存。
- 基地局・コア設備は世代内高度化（5G-SA、O-RAN、MIMO高度化等）に合わせて広域一斉更新が行われるため、CAPEX水準は大きく、ベンダの需給は更新の波に強く左右。
- 大規模集中型ネットワークであるため、更新は広域一括設計・集中的施工・ソフトウェアアップグレードの統制が基本で、事業者の投資計画に強く依存するトップダウン型エコシステム。

用途側の設備更新と現場ニーズに連動する継続投資サイクル

- 投資は工場更新・設備保全・防災計画改訂・自治体の年度更新など、現場側の運用ニーズに紐づく形で発生、更新サイクルは分野ごとに多様かつ段階的。
- 部分的な拡張・段階移行で小/中規模の継続案件が積み上がる市場構造。カスタム性・現場最適化を重視、ソフト更新・アプリ統合・機能追加など用途変化等の中間更新が多い。
- 更新波が安定的に分散、関係性構築と長期収益化が可能なストック型市場になりやすい。

技術的役割/依存関係

投資・更新サイクル

- 企業経営を圧迫する問題点として、①官公需向け自営通信システムは、ライフサイクルが長い、②防災向けシステムの性格上、稼働の安定性が求められる、③使用する部品の汎用性が低く、EOL (End of Life : 提供終了時期) が短い、④特定の規格に則ったシステムが多く、汎用性が低い、⑤明確なフォアキャストがなく、又、入札案件のため、需要予測が立てづらい、といった点があげられる。
- これらの対応のために、現場は部品の長期在庫、製造仕掛け品の棚在庫が必要となるが、これは、企業経営的にはCCC (※) が悪いと判断され、積極的な投資が行いづらい。よって、リソース確保、研究開発への投資が行いづらい市場となっている。
(※) CCC (Cash Conversion Cycle) : 仕入れから代金回収までの所要日数を示す財務指標

事業継続の障害となっている課題・問題点

- 更新期間が長い (10~15年)
- 市場が小さい (少量生産となる)
- 短納期対応のための製品手配による過剰在庫 (コストUP)
- 棚卸資産削減が命題。受注生産の場合、製造部品のリードタイムが長いために単年度予算案件応札ができない。受注機会損失が生じる。
- 短期間の部品EOLによる対応コストUP。採用部品の短期間での製造中止による代替部品の選定・設計変更等維持設計に関するコストが生じる。あわせて新規開発業務が後回しになる弊害が生じる。
- 部品費、労務費の高騰

- 官公庁案件の不透明な見込数量 (フォーキャスト無し)
- 不透明な見込み数量により、設備投資の投資効果予測が困難
- 市場見通しが読みにくく、研究開発費の投資効果予測が困難
- 価格転嫁交渉も顧客側に採用されない可能性あり (一般公募・入札方式の背景)
- 安価な保守費用。採用労務単価が安く、点検項目のみ採用。24時間の保守サービス体制の構築費用が難しく、コストとして反映できない。
- 周波数帯の国際互換が低いことによるマーケット規模

検討事項3

キャリアの通信ネットワークに関するワイヤレス技術の現状と課題

1 技術のトレンド、今後取り組むべき技術

ヒアリングを通じて指摘された事項

- 仮想化、オープン化の一層の進展、AIとRANの融合(AI for/on/and RAN)が想定。また、AIも活用したゼロタッチプロビジョニングや、低消費電力化等オペレータのTCO削減に向けた技術も重要視。

(ヒアリングにおいて聴取した意見等)

- 1 ゼロタッチプロビジョニングのような形は必須項目と考えている。狭い領域の技術力に加えて、どこかと組むことを考えていかない限り、オープン化はできない。無線である程度広いエコシステムでうまくつくり上げる中で、光、無線、ネットワークの装置、オートメーションやAIを使ったネットワークマネジメントシステムなど、ピンポイントの技術を提供し、大きなフレームワークはどこかと組んで提供する事業モデルを考えている。
- 2 6G時代はAIトラフィックが支配的になると、AIに最適化したネットワーク構築のノウハウが今後は非常に重要。AIネイティブインフラというのが国力を左右する可能性も出てくる。
- 3 AIテクノロジーは生成AIだけではなく、オートメーションやオーケストレーションという観点で不可避。今後、Open RANもAI利用の拡大に向けた計算機資源を提供していく、ケイパビリティーを持つための技術として再定義されるのではないか。また、複数の計算機資源を持った基地局が連携するときにはオーケストレーションが必要であり、このオーケストレーションをどのように実現するか、省電力や高効率を意識していかないと、オペレーションが成り立たないといったことも起きうる。

2 国内ベンダーの競争優位性、国内ベンダーと国内キャリアの関係性（国内キャリアの基地局等の調達ポリシー）

ヒアリングを通じて指摘された事項

- 国内ベンダーが基地局等の製造開発に十分な投資ができず、グローバル市場で海外ベンダーに劣後している中で、国内ベンダーとして競争優位性をどのように確保するかが課題。国内ベンダーにとって、国内キャリアに依存し過ぎず、海外キャリアに向けた事業展開が求められる。一方、Open RAN、vRANを海外に展開するためには、国内での実績も重要。国内キャリアが海外ベンダーの製品を採用することについて、サプライチェーンをどのように考えるかの検討も必要。

（ヒアリングにおいて聴取した意見等）

- 1 海外の基地局ベンダーと日本の基地局ベンダーを比べて、一体何が日本の基地局ベンダーが圧倒的に劣っているかについては、規模の経済、そして最先端の技術を取り込む速度で競争が厳しかったと認識。ビジネスの成否は、技術は当然必要になるが、事業戦略、販売網の構築、アフターケア、サポート体制の構築など、非常に複合的なもののトータルとしての成否であり、そうしたところを今後さらに磨いていく必要がある。また、研究開発だけ支援しても、その際になかなか結び付かず、海外の販路をどう構築していくか、どう体制をつくりしていくか、どう製品戦略と結びつけていくかが非常に重要である。マーケティングなどの活動が非常に重要であるところ、各社そういったところで苦しんでいる。
- 2 国内キャリア依存の脱却は、大きな事業上の危機でもあり、大きなチャンスでもある。実際に物になるかどうかは未知数であるが、AI RANなど、実証実験やフィールドトライアルをする中でフィールドや顧客との関係性を構築し、グローバルなお客様との関係を構築するという経験を経た上で、国内の通信事業者も2028年、29年に向けては新たなインフラを仮想的に作り上げていく動きが出てくることを想定して対応していく。
- 3 国内ベンダーにとって、国内事業は根幹の事業になる。国へ期待したいことは、何が何でも国内キャリアが国内ベンダーを使うことではなく、いわゆる仮想化、オープン化に対する流れをいかにキープしながら、2028年、29年にそうしたインフラの更改を促すことである。これから数年で成長した国内ベンダーの存在感を持って、国内キャリアにアプローチできることを考えていきたい。

(ヒアリングにおいて聴取した意見等)

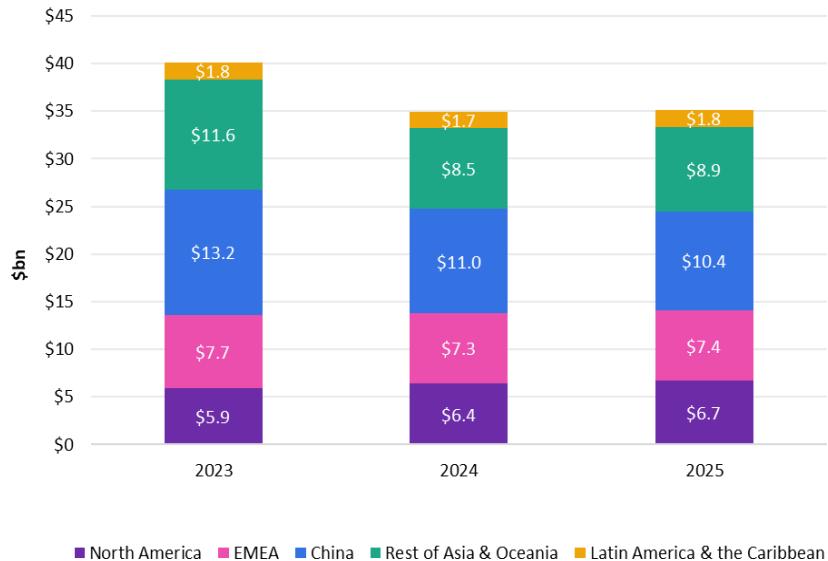
- 4 国内ベンダーが競争力がなくなってしまった理由について、新しい技術の取り込みにおいて、海外ベンダーは様々なキャリアの意見を聞いて、先取りして機能盛込みをしていくスタイルに対して、国内ベンダーは製造請負的な思想が残っていて、キャリアから指示をしないとなかなか機能実現ができない。過去はそれでも競争力が担保できたが、これだけ標準化が進んだシステムであるので、標準化した機能を素早く開発をしておけば、顧客ニーズに合わせてタイムリーに提供できることが海外ベンダーの競争力の源泉になっており、そして市場を広げていった結果、日本ベンダーは品質もコストも少し劣勢に立っているのではないかと考える。
- 5 キャリアとして国内ベンダーにも様々な選定のタイミングで声かけはしているが、コストや機能的なところで、国内ベンダーの機器の採用にはつながっていない。伝送装置やコア周辺システムで国内ベンダーの製品を活用している実績はある。
- 6 キャリアとして、基本的には国内・海外ベンダーを問わず、サプライチェーンがどうなっているか、どういった形でものを調達しているかをチェックしている。国内ベンダーに対して特段優遇することも排他することも行っていない。ただ、調達のサプライチェーンにおいて、国内メーカーが弱かったという経験はある。
- 7 サプライチェーンリスクや、価格競争の競争環境をつくる、あるいは技術的な競争環境をつくるという意味で、なるべくマルチベンダー化している。新しいベンダーを選定することができるある程度のボリュームやタイミングがあれば、積極的に新しいベンダーを選定をし、より新しい技術を安いコストで導入していく機会を狙っていく形で進めている。
- 8 1つのベンダーに完全に依存してしまうと、キャリアの事業の品質がベンダー次第で左右されてしまうので、複数社に分けて、それを我々の中でも競争させて、品質がいいものをたくさん買う、品質が悪いものはだんだんシェアが減っていく、といった緊張感を持った関係で取り組んでいきたい。

(参考) RAN市場の動向

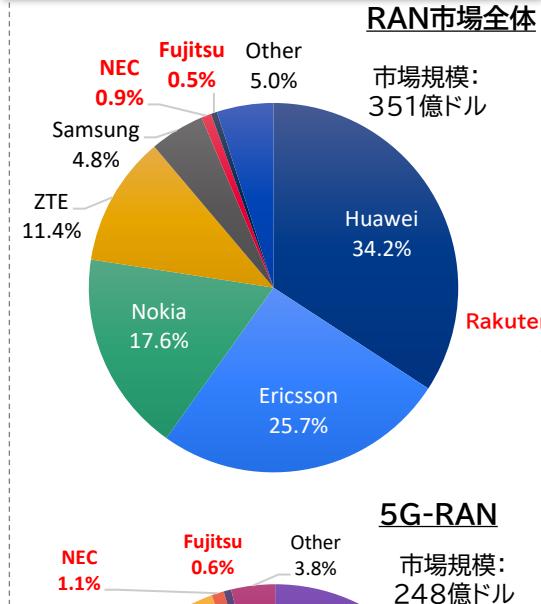
- RAN市場規模は、2023年度をピークに減少傾向。Open vRAN市場ではSamsungが全体の約3割強を占め、グローバルでは韓国・米国勢が主導する構図が続く。

RAN市場規模(地域別)の推移・予測

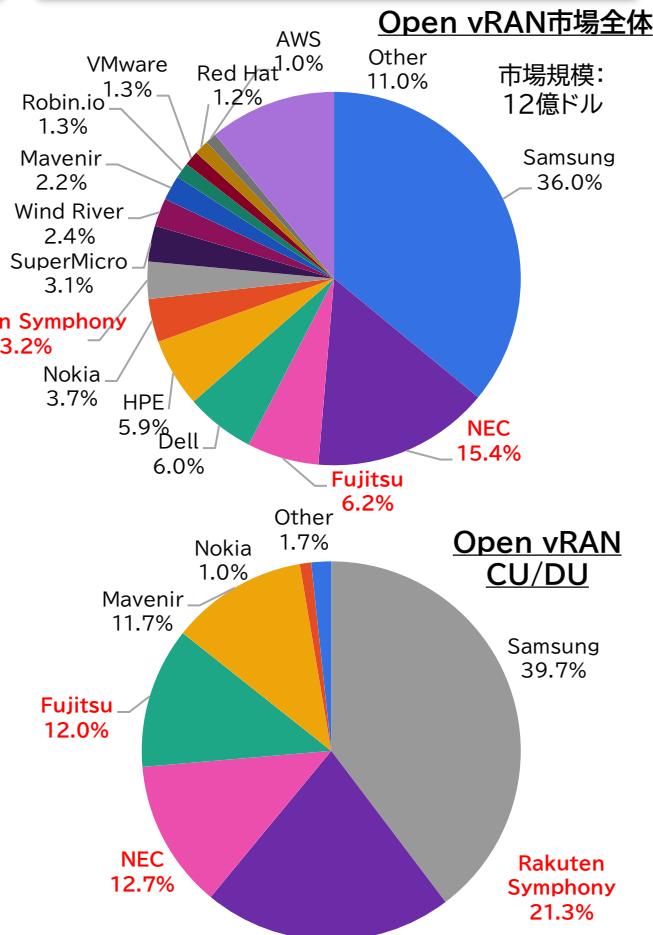
- ・ 新規加入者やデータ通信量増加といった健全な需要要因が背景に、中東・アフリカ地域が最も顕著な成長が見込まれる次いで、北米およびアジア・オセアニア(中国を除く)が続く。
- ・ 一方で、欧州および中国における投資は減少すると予測されているが、中国は依然として世界最大の市場。



RAN市場シェア(FY24)



Open vRAN市場シェア(1H24)



RAN

5GC
(コア網)

CU

DU

RU

市場概況

- 海外大手ベンダーが独占
- AT&TとMSなど、クラウド化も進展

海外ベンダ

- Ericsson : 欧米市場を中心にシェアを拡大
- Nokia : 北米、ヨーロッパで強い
- Huawei : 新興国や中国市場で圧倒的シェア米国市場からは排除。

国内ベンダ

- 日本市場に対応

- N E C : CUをはじめ、ORAN・vRAN(CU/DU仮想化)開発を推進。
- 1Finity : 低遅延やエッジ処理を重視するDUをはじめ、早期にvRAN開発に着手。
- vRANの技術的な熟度等の課題もあり、本格導入・一定規模の市場展開に至っておらず、(基地局ベンダは)事業方針等について検討を継続

- コア網のベンダが主導権を持つ

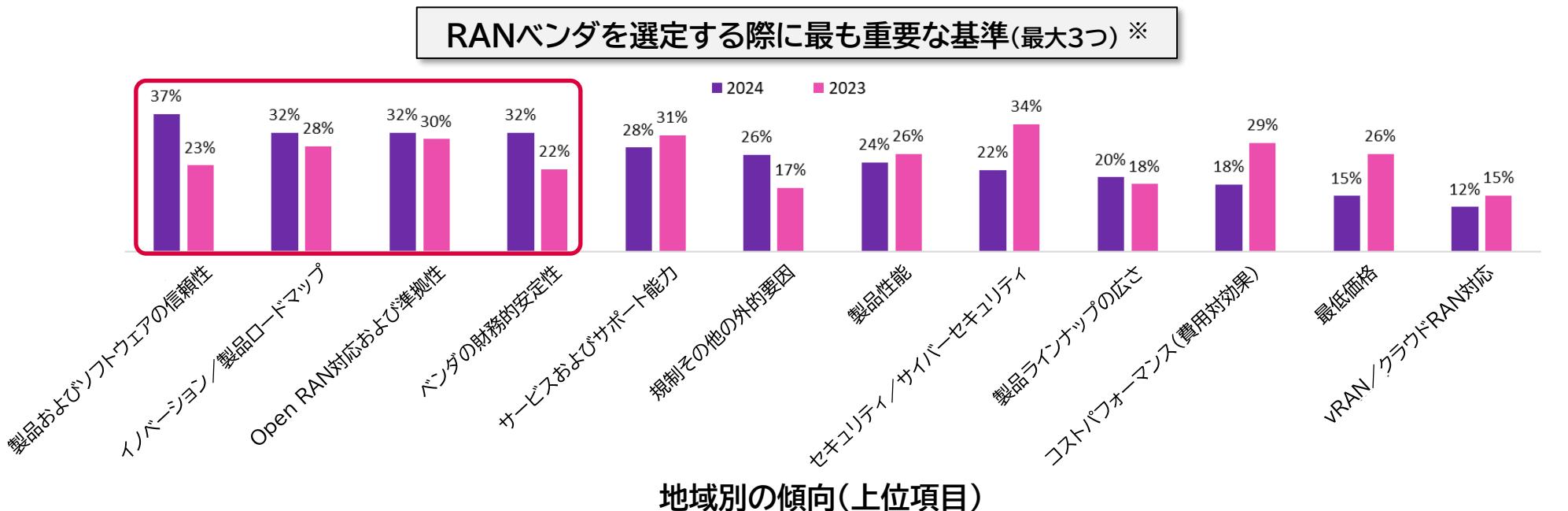
- CUと同様に海外大手ベンダが支配的

- シェアは地域によって大きく異なる
- Massive MIMO化が進展

- コンパクト設計でコスト効率の良いRUなど開発を推進。

- 2024年では、「製品及びS/Wの信頼性」や「財務的安定性」、「Open RAN対応」など、品質・継続性に関する基準が上昇。一方で、2023年に相対的に高かった「低価格」や「コストパフォーマンス」志向は後退。
- このようにRANベンダ選定において「コスト中心」から「信頼性・サポート重視」へシフトする傾向。

※OMDIA社による世界各国のキャリアに対するアンケート調査結果（2024:101社、2023:106社）



| 地域 | 1位 | 2位 | 3位 |
|-----------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| 北米・中南米 | 製品およびソフトウェアの信頼性 | サービスおよびサポート能力 | Open RAN対応 |
| 欧州 | 信頼性/ベンダの財務的安定性 | イノベーション/規制対応/製品性能 | Open RAN対応/サービスとサポート |
| アジア太平洋・中東 | 信頼性/イノベーション | Open RAN対応 | ベンダの財務的安定性/コストパフォーマンス |

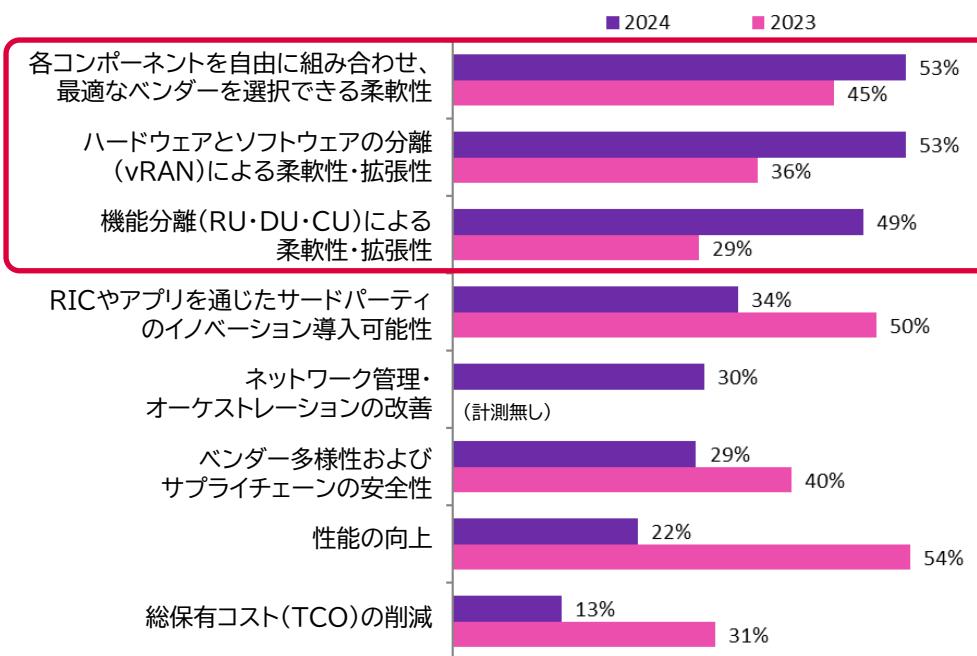
出所)OMDIA "Service Providers RAN Survey - 2024" より三菱総研作成

(出典) 重点技術作業班第3回資料 3-1 (株式会社三菱総合研究所提出資料)

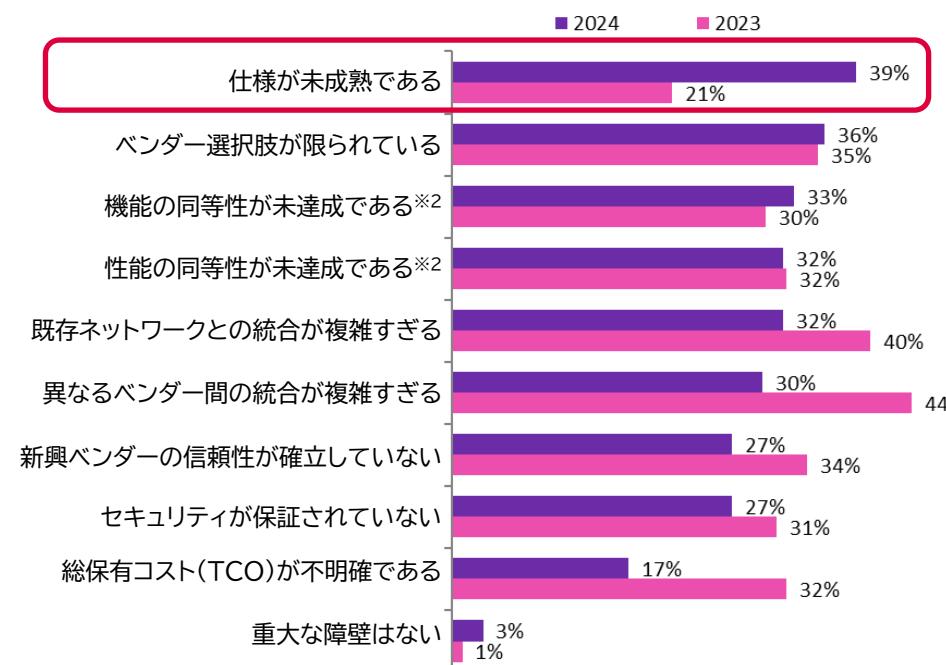
- Open vRANの導入に係る促進・障壁要因はいずれも直近で大きく変化。促進要因では、「ベスト・オブ・ブリード選択」や「柔軟性・拡張性（ハード／機能分離）」が大幅に上昇し、オープン化とマルチベンダ間の相互運用への期待が強まっている。障壁要因では、「統合の複雑さ」が減少する一方、「仕様の未成熟」が倍増、「機能・性能の同等性未達」も依然として上位にあるなど、商用化段階の相互運用性および性能等価性の確保が課題。
- 総じて、技術的柔軟性への期待と、成熟度・相互運用の現実的課題が併存する過渡期にあるといえる。

※OMDIA社による世界各国のキャリアに対するアンケート調査結果 (2024:101社、2023:106社)

Open vRANの導入を促進する上で最も重要な要素(最大3つ)



マルチベンダ型Open vRAN導入の主な障壁(最大3つ)



※2 機能・性能の同等性の例

・スケジューラやビームフォーミング、ハンドオーバー制御、QoS制御などのRAN基本機能
・遅延・スループット・安定性などの性能指標(KPI)など

出所) OMDIA "Service Providers RAN Survey - 2024" より三菱総研作成

(出典) 重点技術作業班第3回資料 3-1 (株式会社三菱総合研究所提出資料)

3章 重点技術領域の特定に向けた検討

- 重点技術領域の特定に向けた検討に当たっては、次の点に留意して検討することが求められる。

1 我が国として維持・強化すべき（残すべき）ワイヤレス技術は何か。我が国がワイヤレス技術を残せないと、どのような問題が起きるかといった検討が必要。

- なぜ我が国として重点技術領域と特定し、特定した重点技術を維持・強化しなければならないか、また、何を目指すからかといった目的（必要性）を持った整理が必要。その際、国民の安全・安心を守る無線システムの確保、産業競争力の確保、経済安全保障の観点等を踏まえた検討も必要。

2 何をすれば（何を重点技術として特定し、その推進方策を講ずれば）、ワイヤレス産業として攻めることができるか、あるいは我が国のワイヤレス産業を守ることになるかといった検討が必要。

- 特に、ワイヤレス産業の発展のために、今後、国内ベンダーが海外ベンダーとうまく組むこと（海外ベンダーが組みたいと思えるワイヤレス技術の特定）ができるかを経済安全保障上の不可欠性の観点から検討とともに、サプライチェーンの確保、重要インフラとしてのワイヤレス分野の役割、災害時・危機時におけるワイヤレス技術の維持も含め、経済安全保障上の自律性の観点からも検討が必要。

3 ワイヤレス産業全体として、技術と産業と人材の好循環なサイクルを回すためにはどうすればよいかといった検討が必要。

- このまま放っておくと、好循環とは逆回りのデフレサイクルが続いてしまい、産業が衰退し、人材が居なくなり、ワイヤレス技術がなくなるおそれがある。後戻りできなくなる不可逆ポイントはどこにあるかを捉え、不可逆ポイントを越えると、どのような問題が顕在化するかも想定しつつ、ワイヤレス技術を磨き、産業が活性化し、人材が育っていくといった好循環なサイクルを回すための検討が必要。

- 検討に当たっての観点や、ヒアリングを通じて指摘された事項を踏まえ、重点技術領域として、（1）～（5）の五つの軸から整理してはどうか。

- (1) **様々な分野や産業**（例：自動車、ロボット、組み込み系）に求められる**共通・基盤的**な重点技術（例：部材、素材、SoC、アンテナ技術、ワイヤレスIoT）
- (2) **自営網や国・地方公共団体等の公共分野**において我が国として保持すべき重点技術（例：国民の安全・安心を守る無線システム、重要インフラを支える無線システム）
- (3) 海外市場の飛躍的な獲得のための**先進的で不可欠性の確保に資する**重点技術（例：Open RAN、vRAN）
- (4) 海外に依存しないサプライチェーン維持のための**先進的で自律性の確保に資する**重点技術（例：RU技術）
- (5) その他ワイヤレス分野の高度な技術や通信以外の用途における重点技術（例：ミリ波、NTN、レーダー、測位、高周波利用設備）

重点技術領域の推進方策に関する議論の進め方

- 特定した重点技術領域について、推進すべき具体的な技術や目標（KGI・KPI）を検討。
(**短期/中期/長期といった時間軸**をもって、**誰がいつまでに何をするか、出口を意識した目標を設定**)
- 重点技術領域を維持・強化していくために講ずるべき推進方策を、次の三つの軸から整理。
 - 1 重点技術の維持・強化に関する推進方策
 - 2 ワイヤレス関連産業のビジネス創出に関する推進方策
 - 3 ワイヤレス分野の人材の確保・育成に関する推進方策

4章 重点技術領域の推進方策に関する論点

1 重点技術の維持・強化に関する推進方策

- 1－1 重点技術領域のうち、経済安全保障上特に重要な技術を引き続き自国で確保していくために、どのような取組が考えられるか。（例えば、ワイヤレス分野において、経済安全保障推進法における特定重要物資に該当するものがあるか、等）
- 1－2 重点技術領域における最先端の研究開発を推進するための研究開発制度の在り方として、どのようなものが考えられるか。（既存研究開発制度の見直し、拡充等の方向性）
- 1－3 必ずしも先進的ではない技術（いわゆる枯れた技術）についても、その技術を守る観点からどのように維持していくべきか。

2 ワイヤレス関連産業のビジネス創出に関する推進方策

- 2－1 従来型の研究開発投資や需要に基づく設備投資ではビジネスが成り立ちにくい状況にある中、どのように需要を作り、いかにビジネスとして好循環なスキームを構築していくべきか。（国内ベンダーと国内キャリアとの関係性、海外キャリアへの売り込みなど、どのように国際競争力を強化していくべきか）
- 2－2 事業化に向けた支援や制度の在り方（例えば、ミリ波の更なる活用のための制度的措置、屋内での携帯電話の利用促進等、研究開発と連携したテストベッドによる実用化支援等）。
- 2－3 他分野・他産業にでもワイヤレス技術が不可欠となっている状況を踏まえ、設計・構想段階から連携を図るワイヤレス・バイ・デザインを進めるための取組を検討していくべきではないか。

3 ワイヤレス分野の人材の確保・育成に関する推進方策

- 3－1 理系人材全体が減少する中、大学とも連携し必要なワイヤレス人材の確保や育成に取り組むべきではないか。また、標準化人材の確保・育成の取組を進めるべきではないか。（大学と企業の連携強化施策（コンソーシアム形成、寄付講座等）、若手研究者支援などの方策が考えられるか。）
- 3－2 特に、若年層に対しワイヤレス分野の認知向上・魅力発信を产学研官で連携して取り組んでいくべきではないか（単に（ハードの）無線分野の人材育成を目指すだけではなく、他分野・他産業と連携したワイヤレス人材育成を図っていくのはどうか）。
- 3－3 ワイヤレス人材のスキルや業務経験の見える化（certification）、無線従事者資格制度の見直しなど、資格の在り方についてどう考えるか。