

# 2030年代に向けたワイヤレス技術トレンドと イノベーション促進

---

(株)三菱総合研究所  
社会ICTイノベーション本部

2018年1月29日

---

# トレンドの例：①セルラー通信（6G）

～2030年

～2040年

## 実現イメージ

～5G～

- 短方向での超大容量×超大量接続×超低遅延のネットワーク。
- IoTの普及により、多様な機器にワイヤレス機能が搭載される。
- 低遅延が要求されるアプリケーションにワイヤレスが適用されるようになり、B2Bで多様なサービスが開発される。通信から制御へと機能が拡充することで、様々な分野・産業において生産性向上が図られる。
- 全国一律的な利用や一部都市のスマートシティ化に留まらず、様々な地域におけるきめ細かなニーズに対応するために5Gが使われる。

～6G～

- 双方向での超大容量×超大量接続×超低遅延のネットワーク。
- 通信に必要なモジュールがあらゆるものに溶け込むため、ユーザは端末を介さず(意識せず)に通信を利用する。
- クリティカルなアプリケーションにもワイヤレスが使われ、高速な移動体の遠隔操作や、完全自律型ロボット等が社会へ普及。これにより、ヒトとモノの動きに依存する生産性低下から社会が解放される。
- ネットワークが個々人のニーズや感性に対応し、完全なパーソナル化が実現する。

## (想定される)技術例

- マイクロ波～ミリ波通信
- 伝送容量：10Gbps～
- 遅延：1msec
- 接続密度： $10^6$ 台/km<sup>2</sup>～

- テラヘルツ～可視光通信
- 伝送容量：100Gbps～
- 遅延：1msec未満（ほぼゼロ遅延）
- 接続密度： $10^7$ 台/km<sup>2</sup>～

## 課題等

- 容量や遅延等のスペックの揺らぎの解消(ベストエフォートから品質保証型へ)
- 既存セルラー網や衛星通信網などの他ネットワークとの協調、相互互換性の確保
- クリティカルなアプリケーションや分野へワイヤレスが使われるための社会的なコンセンサス

# トレンドの例：②コネクテッドモビリティ

～2030年

～2040年

## 実現 イメージ

### ～コネクテッド・カー～

- コネクテッドを起点に、自動運転・シェアリング・電動化により次世代車両が普及する。
- 全自動車がクラウドベースの安全・管理システムと連携する等で、様々な情報が瞬時に集積・共有され、安全・効率的・快適な移動体験が実現する。
- 完全自動運転が実現し、移動中がハンズフリー・ストレスフリーとなることで、通信利用機会が増える。
- 自動車がパーソナルアシスタント化するとともに、ロボットタクシーや自動配送など新たなモビリティサービスも登場する。

### ～コネクテッド・モビリティ～

- 陸・海・空・宇宙へと、ワイヤレスと連携した新技術が実用化され、モビリティインフラ革命が起きる。
- ヒト・モノの輸送に係るあらゆるインフラやシステムの連携等により、大量輸送交通機関や個人のモビリティ、物流システム等が自動化される。
- 事故が無くなるとともに、移動手段が均等化することで車両等の使用が困難な多くの人々が様々なモビリティサービスを利用できるようになる（「モビリティ・アズ・ア・サービス」）。

## (想定される) 技術例

- 自動運転：レベル4(完全自動走行)
- 測位精度：誤差数cm以内
- 環境認識距離 (LIDAR等)：～数百m

- 自動運転：道路本線以外における自動走行、海・空・宇宙空間における自動運転
- 測位精度：誤差数mm以内
- 環境認識距離 (LIDAR等)：～数km

## 課題等

- 各種モビリティシステムにおける安全性・セキュリティ性の向上
- 周辺環境に関する大量のリアルタイムデータの流通を可能とする通信インフラ環境の整備
- 安全基準の策定、責任所在の明確化

# トレンドの例：③WPT（ワイヤレス電力伝送）

～2030年

～2040年

## 実現 イメージ

### ～フルワイヤレス～

- 機器間等、短距離・小電力の屋内外での給電。
- 家電や機器間では、通信とワイヤレス給電の融合によるバッテリーレスなネットワークを組むことができ、フルワイヤレスになる。
- 次世代自動車のうちWPT搭載車が普及し、自宅の駐車場に設置した給電設備から充電、屋外移動時は自動車やドローンにスタンドや駐機場に設置された自動給電施設からワイヤレスで充電できる。

### ～バッテリーレス～

- 長距離・大電力の屋外で給電がインフラ化。
- あらゆる場所に給電設備が整備され、バッテリーレス端末も実用化される。対応端末・設備とネットワークが融合し真のスマート社会が実現する。
- 家庭内電源もフルワイヤレス化し、EVの走行中給電が可能になる。家庭から通信と電力のための配線が消え、太陽光発電・風力発電の施設から送電線が消える。

## (想定される) 技術例

- 電力：数W～
- 伝送距離：数cm～
- 伝送方向：短方向/1対1給電

- 電力：数十kW～
- 伝送距離：数十m～
- 伝送方向：双方向/1対多給電

## 課題等

- 効率的な電力伝送技術や安全かつ利用環境に依存しないシステム開発・実現
- 人体防護、電磁干渉、大電力でのワイヤレス電力伝送時の妨害波低減技術の開発
- インフラとしてのWPT対応設備の整備、そのための規格標準化

# トレンドの例：④ワイヤレスIoT

～2030年

～2040年

## 実現イメージ

### ～スマート化～

- ナローバンド・ブロードバンドのワイヤレスIoT規格が多様な仕様(通信速度・頻度・カバレッジ等)を有するIoTニーズに対応することで、様々な分野・産業でIoTが普及する。
- とりわけIoT化が期待される工場や物流の現場では、生産や流通状況を「見える化」するために、センサーとワイヤレス活用が進み、サプライチェーンの効率化と生産性向上が図られる。
- ウェアラブル機器や生活の身の回りの様々な環境や空間にセンサー/通信モジュールが埋め込まれ、ワイヤレスIoTがスマートシティの実現を加速する。

### ～社会インフラ化～

- 6Gや衛星通信など様々な通信インフラ、動的な周波数割当を実装する共用技術、またネットワーク・クラウドとの連携により、ワイヤレスIoTが大規模なプラットフォームとして確立される。
- 膨大に収集された実世界情報の分析により、環境・エネルギーなど様々な社会課題の解決に利用されるようになる。
- MEMSやバイオ・医療技術と融合し、健康管理、予防医療の進展にも貢献。体内埋め込み型機器により、投薬システムの開発、難治疾患の治療が進展することが期待される。

## (想定される)技術例

- IoT接続台数：～1,000億台
  - IoTセンサ数：～1兆個
  - Liバッテリー(エネルギー密度)：～500Wh/kg
- IoT接続台数：1,000億台～
  - IoTセンサ数：1兆個～
  - Liバッテリー(エネルギー密度)：～700Wh/kg

## 課題等

- 大量接続、広カバレッジ、低消費電力を実現する無線環境の実現
- IoT共通プラットフォームの標準化
- サイバー攻撃・電磁的事故の対象の増加、影響範囲の拡大

# トレンドの例：⑤衛星通信

～2030年

～2040年

## 実現イメージ

### ～次世代衛星通信インフラ～

- 従来のFSSに対して、スループットを大幅に向上させたHTS(大容量衛星通信)を中心に高速化が図られるとともに、高周波数帯利用が進展する。
- 他方、大容量・低遅延を実現する低軌道コンステレーション等の非静止衛星が活発化する。非静止衛星と静止衛星との連携による、新たなサービスやビジネスが登場する。
- これらの次世代衛星インフラの実現により、消費者向け・企業向けの固定通信に限らず、船舶・航空機サービスなどの移動体利用にも拡大する。

### ～宇宙フロンティア～

- 宇宙空間に対して、6G・ワイヤレスIoTが利用できる環境が整い、地上通信網との協調・連携が進展する。
- 高解像度・高頻度なりモートセンシング技術によって宇宙データ利活用ビジネスが拡大し、「衛星通信IoT」によって地球上のあらゆる場所やインフラのモニタリングが行われる。
- 高周波数帯を利用した、宇宙空間、宇宙・地上間通信により、衛星軌道上におけるロボティクスのワイヤレス化(遠隔操縦等)や自動化が進展する。

## (想定される)技術例

- 周波数帯域：Q・V帯域
- 通信総容量：テラビットクラススループット

- 周波数帯域：W帯域
- 通信総容量：ペタビットクラススループット

## 課題等

- 衛星の多数配備による全球対応通信の実現、地上系通信との棲み分け
- 通信コンポーネントの小型化、軽量化、高効率化の推進によるサービス単価の低減
- サイバーセキュリティ対策

# トレンドの例：⑥端末・機器

～2030年

～2040年

## 実現 イメージ

- 8K等高精細映像・表示技術に対応したパーソナル機器や、テレビ等の宅内用機器が普及し、より高度な視聴や臨場感の体験が実現する。
- 他方、音声等のユーザ・インターフェースとAI技術の進化により、最低限の入出力機能を残した機器が流通し、処理はネットワーク側で実装される。
- 無線通信機器の超小型化と各種センサーとの連携により、多様なウェアラブル機器や、IoT向けセンサーデバイス/モジュールが組み込まれた多様な商品やサービスが普及する。

- インテグラル方式やホログラム技術等による360°立体映像表示が実用化し、空間を自由かつ最大限に活かした視聴体験が実現する。
  - WPTの普及により、バッテリーレス端末が実用化。
  - 高度な3Dプリンターが個人まで普及することでユーザ自らが端末をデザインして作ることが可能になる。
  - ウェアラブル機器は、ヒト・モノへのシール貼付型や体内への埋め込み型機器へと進化し、実用化する。BMI※との連携で、機器等を介さず、脳が直接ネットワーク・クラウドへ信号を送ることも可能に。
- ※Brain-Machine-Interface

## (想定される) 技術例

- 8K等高精細映像・表示技術
- 音声等の高度なユーザインターフェース
- プリントブルエレクトロニクス

- ホログラム技術
- ワイヤレスとBMIとの連携

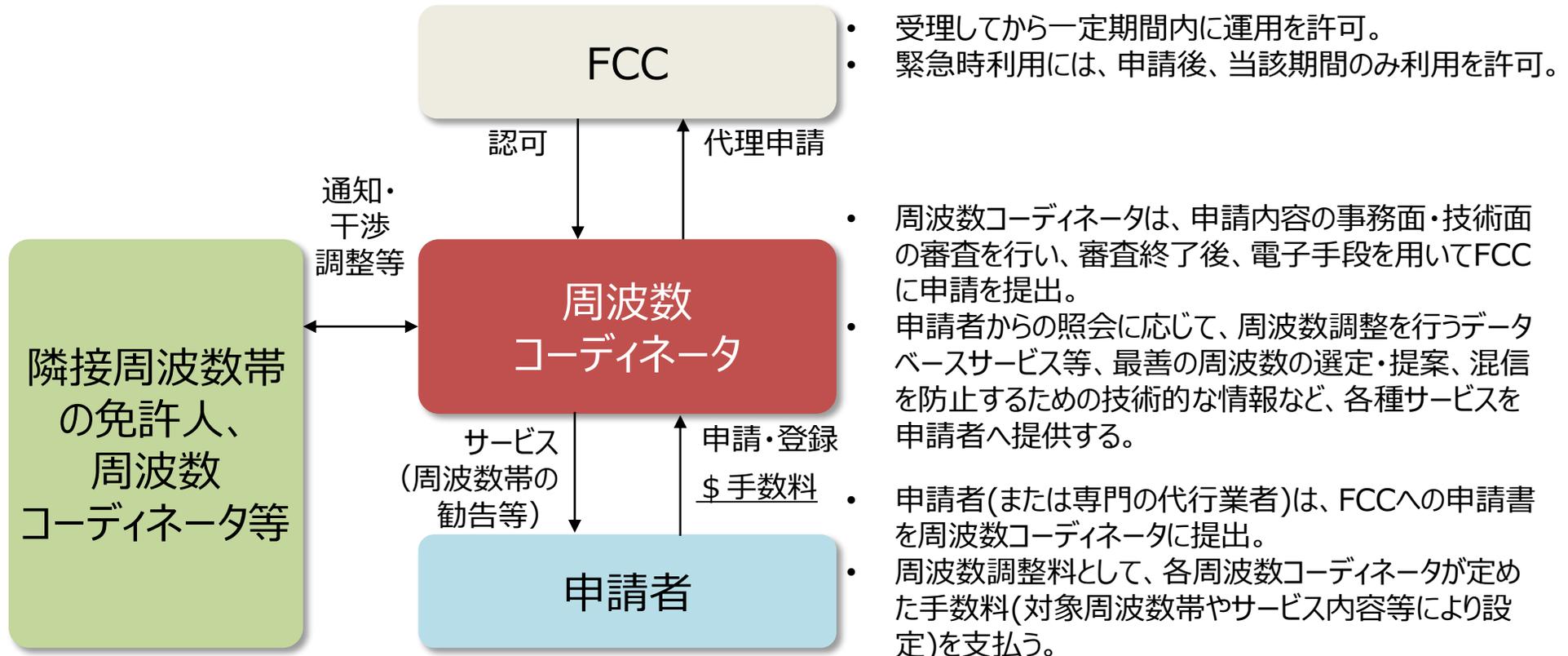
## 課題等

- イノベーションとの調和を図りつつ、ユーザが安心・安全に無線機器や無線機器が組み込まれた商品・サービスを利用できる環境作り（技術基準適合表示  など）
- 様々なワイヤレス機器が共存できるための技術や仕組み作り（干渉回避技術、周波数共用など）
- 人体への影響等、医療分野におけるワイヤレスの利活用に係る技術的・制度的課題

# ワイヤレス利用の増大を支える仕組み：米国周波数コーディネータ制度の例

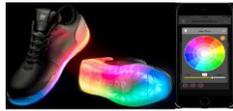
- 無線局システムの運用に係る全ての免許申請内容について、FCC規則・規制上の技術要件の遵守を調査するには、FCC内の人的資源に限界があったこと等を背景に、周波数コーディネータ制度が導入されている。
- 「周波数コーディネータ」とは、無線免許の申請者に最も適切な周波数を勧告するため、連邦規則に基づきFCCによって認定された民間組織である。帯域及び業務・用途に応じて、1または複数団体が認定されている。対象となる帯域を利用する場合、申請者はコーディネータを通じて申請することが義務づけられている。

図. 周波数コーディネータ制度における基本的な流れ



## 参考資料

## IoTセンサー内蔵通信機器等の例

| 区分   | 名称                             | 性能・用途  | 通信方式等             | 利用上の留意点例   |
|--|--------------------------------|--|-------------------|--|
| デバイス   | LPWA（LoRaWAN / Sigfox）用通信モジュール | Wi-FiやBluetooth等の従来の近距離無線通信規格に比べ、通信速度は落ちるものの、低消費電力で長距離通信が可能であり、IoT及びM2M等に特化した活用が期待される。 | LoRaWAN<br>Sigfox | <ul style="list-style-type: none"> <li>幅広い用途に性能を最大限発揮して用いられること</li> <li>超小型モジュール機器のため、組み込まれた最終製品のユーザが無線通信機能の適正性を確認できること</li> </ul> |
|  | ユビキタスウェアコアモジュール                | 各種センサとBluetooth通信機能を一つのモジュールに搭載しており、既存の機器へ内蔵することで様々なシステム・サービスに活用可能。                    | Bluetooth         |  |
| <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid blue; border-radius: 10px; padding: 5px; background-color: #e0f0ff;">           多彩な用途向けに<br/>組み込まれ製品化         </div> <div style="text-align: center;">  <p>アクセサリ<br/>×<br/>IoT</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>ヘルスケア<br/>×<br/>IoT</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>アート<br/>×<br/>IoT</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>スポーツ<br/>×<br/>IoT</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>QoL<br/>×<br/>IoT</p> </div> </div> |                                |  |                   |  |
| プロダクト  | スマートアクセサリ                      | 加速センサーにより、歩数、距離、消費カロリー、睡眠の質と時間の測定のほか、スマートフォンからメール等の着信通知等が可能。                           | Bluetooth         | <ul style="list-style-type: none"> <li>斬新かつ画期的な無線通信機能の活用がなされること</li> </ul>   |
|  | スマートコンタクトレンズ                   | 涙に含まれる糖の値を測定し、分析機器等に送信。<br>（糖尿病患者の血糖値監視などに向けた利用を想定）                                    | 未定                | <ul style="list-style-type: none"> <li>製品の開発・製造者が無線通信機器について、正しく理解していること</li> </ul>   |
|  | センサー内蔵硬式球                      | 野球の投手が投げたボールの回転数や回転軸、速度等を計測し、専用アプリ等で球質や軌道を数値化・グラフ化する。<br>（プロ野球球団が練習用に利用）               | Bluetooth         | <ul style="list-style-type: none"> <li>製品に使用される無線通信機能が適正に運用されること</li> </ul>  |
|  | スマートフットウェア                     | 内蔵したセンサー及びAIが、スニーカー（ステップ）の動きを分析し、ステップに合わせて最適な色・音をリズムに沿って光表示。                           | Bluetooth         | <ul style="list-style-type: none"> <li>製品に無線通信機能が組み込まれていることをユーザが適切に認識できること</li> </ul>  |
|  | スマート補聴器                        | 補聴器として専用アプリにより音量・音質の調整や所在確認機能等が可能のほか、スマートフォン経由で直接、調整のプ<br>ロから遠隔で微調整を受けられる。             | Bluetooth         | <ul style="list-style-type: none"> <li>様々な分野に無線IoTが活用され、社会や人々に大きな利便性をもたらす可能性が広く認知されること</li> </ul>                                  |

さらに、以上のようなデバイス、プロダクト等を組み合わせたソリューション的なIoTサービスも実現

# 米国における周波数コーディネータの例

- 米国の周波数コーディネータ制度は、自営陸上移動無線向けに1982年より導入。同帯域は、公共用及び産業・ビジネス用に利用可能な帯域をプールしており、用途に応じてコーディネータが認可されている。(どちらのプールを利用するかは、申請者やその用途の性質による)
- その他、パーソナル無線においても、医療分野への割当帯域においてコーディネータが認可されている。

§ : 連邦規則番号

表. 米国の周波数コーディネータ制度が適用されている例

| 無線業務  | 対象用途・帯域  | 詳細用途 (コード)  | 認可済の主な周波数コーディネータ  |   |
|---|--|---|---|---|
| 自営陸上<br>移動無線<br>(PLMR <sup>1</sup> )<br>§90 | 公共用<br>周波数プール帯域<br>(Public Safety Pool)<br>§90.15 ~22            | <ul style="list-style-type: none"> <li>•25-50MHz</li> <li>•150-174MHz</li> <li>•450-470MHz</li> <li>•470-512MHz</li> <li>•700 / 800MHz</li> </ul> | 警察(PP)<br>消防(PF)/緊急医療(PM)<br>森林保護(PO)<br>高速道路(PH)<br>特別緊急(PS) | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 公共安全通信官協会 (APCO)</li> <li>■ 国際自治体信号協会 (IMSA)</li> <li>■ 森林保全通信協会 (FCCA)</li> <li>■ 米国高速運輸通信官協(AASHTO)</li> <li>■ 企業無線連合 (EWA)</li> </ul> |
|   | 産業・ビジネス用<br>周波数プール帯域<br>(Industrial/Business<br>Pool) §90.31 ~35 | ※上記は両プールで共通<br>の主な帯域  | 自動車緊急(LA)<br>鉄道(LR)<br>石油(IP)<br>電力(IW)                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 米国自動車協会 (AAA)</li> <li>■ 米国鉄道協会 (AAR)</li> <li>■ 企業無線連合 (EWA)</li> <li>■ インフラ電気通信委員会 (UTC)</li> </ul>                                    |
| パーソナル<br>無線<br>(PRS <sup>2</sup> )<br>§95   | 無線医療テレメタリ<br>サービス (WMTS <sup>3</sup> )<br>§95.2301~              | <ul style="list-style-type: none"> <li>•608-614MHz</li> <li>•1395-1400MHz</li> <li>•1427-1432MHz</li> </ul>                                       | -<br>※用途は左記のとおり   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 企業無線連合 (EWA)</li> </ul> ※1組織のみ指定されている  |
|   | 医療デバイス無線通<br>信サービス(MBAN <sup>4</sup> )<br>§95.2501~              | •2360-2390MHz   | -<br>※用途は左記のとおり   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 米国病院協会/保健衛生工学会 (ASHE/AHA)</li> </ul> ※1組織のみ指定されている   |

1: Private Land Mobile Radio / 2: Personal Radio Service / 3: Wireless Medical Telemetry Service / 4: Medical Body Area Network

# 英国における周波数コーディネータの例

- 英国では、米国のように制度として周波数コーディネータを導入していないが、特定の分野において業務用無線の周波数調整等を行う第三者機関として、以下のような組織が存在する。

表. 英国で周波数調整等を行う第三者機関の例

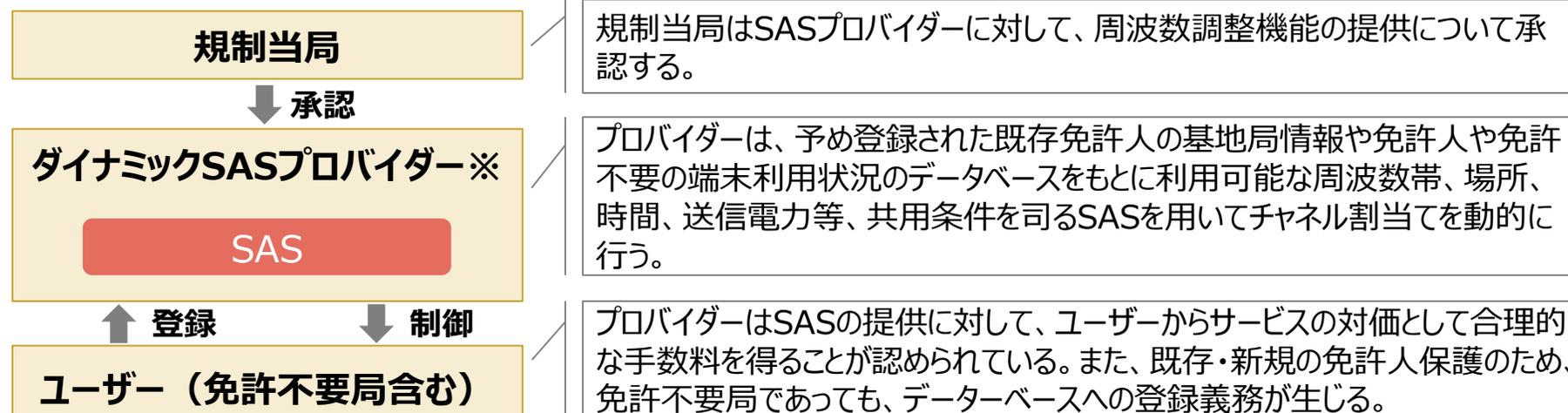
| 組織名                             | 概要  |
|---------------------------------|---|
| 共同無線会社<br>(JRC <sup>1</sup> )   | <ul style="list-style-type: none"> <li>電力・ガスの送配電事業者National Grid plcとEnergy Networks Association Ltdの合併会社。</li> <li>英国のエネルギー産業が使用する周波数(電力・ガス用テレメタリ業務)の第一義的な責任を持つ周波数管理機関として、1955年に国営燃料 &amp; 電力産業の共同無線委員会 (Joint Radio Committee) が公益事業者によって設置され、周波数管理に係る責任をJRCが引き継いだ。</li> <li>当初は規制当局Ofcomとの契約に基づき、同周波数帯の利用に係る免許管理を担っていたが、JRCが全国免許を買い取ることで全ての管理責任を担うこととなった。</li> </ul> |
| 通信サービス連盟<br>(FCS <sup>2</sup> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>ビジネス及び公共分野の顧客に対して、音声及びデータ通信ソリューションを提供する非営利業界団体。</li> <li>FCSの業務用無線グループ(Business Radio Group)が、業務用無線の製造やサービスに係る企業や組織、業務用無線システムを利用する組織、周波数免許人、周波数管理者、アプリケーションプロバイダーを含む業界の利益を代表し、1982年から業務用無線コミュニティを支援する活動を行っている。</li> </ul>  |
| JMFC Ltd<br>Arqiva              | <ul style="list-style-type: none"> <li>JMFCは、ワイヤレスマイク・カメラで利用する、番組制作・イベント(PMSE<sup>3</sup>)用帯域に係る管理・免許発行・免許料回収を担っていた組織で、1997年よりOfcomとの契約に基づき業務を担当していた。</li> <li>同業務を放送系伝送事業者Arqivaが引き継いだ。現在は専門チームごとOfcomへ移籍し、Ofcom内部にて担当している。</li> </ul>   |

1: Joint Radio Company 2:Federation of Communications Service 3: Programme Making and Special Events

# 欧米におけるLSA・SASの動向

- 米・英では、TVホワイトスペースを無線ブロードバンドとして他のユーザ(2次利用者)が利用するため、データベース管理事業者が未使用チャンネルの情報を提供する仕組みを導入している。
- さらに、自律的な周波数共用技術の進展を背景に、欧米では「LSA(Licensed Shared Access)」・「SAS(Spectrum Access System)」と称す免許・周波数管理システムの導入に向け、開発が進められている。特に、米国で検討が進められているSASでは、検知技術やクラウド技術に基づき、2次利用者に対して動的に周波数を割り当てる仕組みを目指していることから、次世代型の周波数コーディネータと捉える事ができる。
- こうした新たな仕組みにより、より多くのユーザが電波を利用する環境が整備され、市場の競争促進、イノベーション創出などが期待されている。

図. 米国におけるSASの仕組み



※米国では、SASプロバイダーとして、Google、Federated Wireless、Amdocs、Comsearch、CTIA、Keybridge、Sony、Rivada Networks、Nokia、Fairspectrum、RED Technologiesが認定されている。