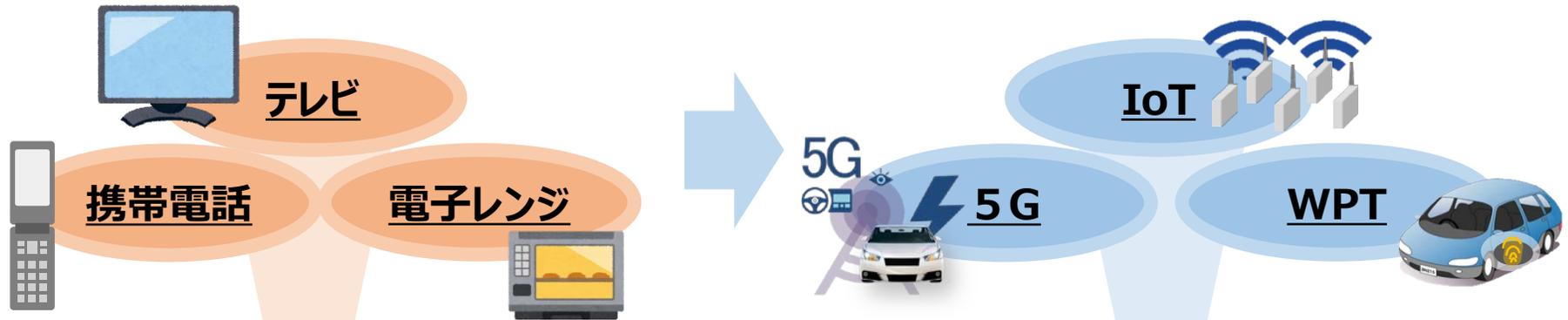


# 「生体電磁環境に関する研究戦略検討会」 第一次報告書 概要

---

# 1 無線システムの発展動向

## 多様な無線システムの普及



## 利用する周波数帯の拡大

主に高周波を利用  
(10MHz-6GHz)

中間周波・超高周波へ利用が拡大  
(10kHz-10MHz) (6GHz-3THz)

- ◆ 先進的なシステムの普及が始まり、利用する周波数帯がこれまでより低い、あるいは高い周波数帯へ拡大。
- ◆ 利用形態の多様化が一層進展することが見込まれており、人体の周辺において更に複雑な電波環境が形成。

## 2 重点研究課題の変遷

WHO（世界保健機関）



リスク評価の科学的根拠となる生物学的影響及び健康影響に関する知識の欠落を補うため、以下の年に重点研究課題を策定

1998年



2003年



2005年



2006年



2010年



研究課題の移行

携帯電話使用に関連した  
脳腫瘍リスク

評価対象：成人

対象周波数：高周波

中枢神経系機能等への影響

評価対象：子どもや若年層

対象周波数：  
中間周波や超高周波

国内

**医学・生物と工学の研究者が密接に連携し、高品質な研究によりリスク評価に貢献**

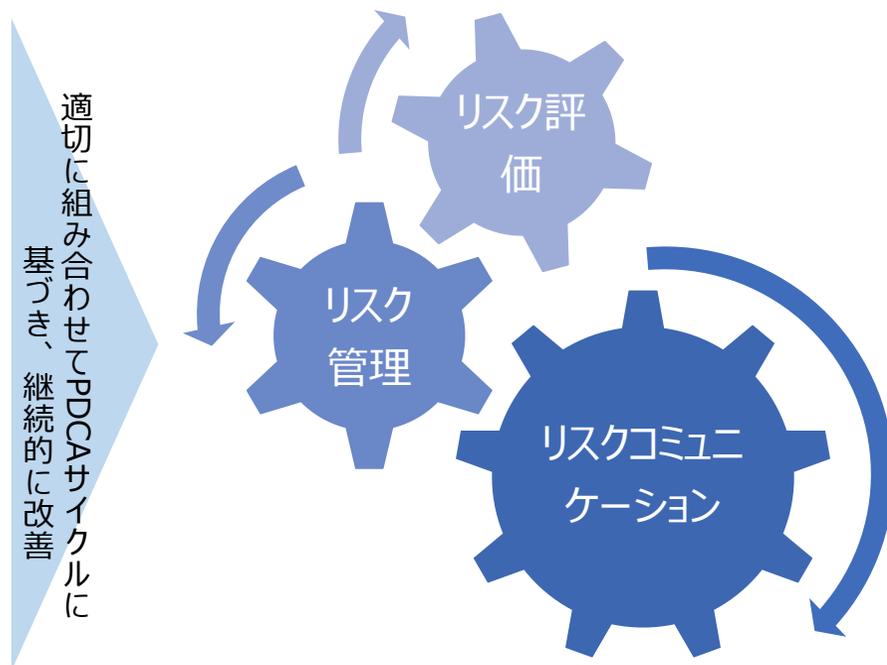
**国際的な安全基準の妥当性確認・適合性評価方法の確立に貢献**

**中間周波と超高周波において、我が国における研究は最先端のものであり、世界をリード**

### 3 基本的な考え方

- ◆ 全ての周波数領域において共通する最優先すべき今後の研究の方向性としては、**電波防護指針の科学的根拠の妥当性**（陽性研究の再現・検証実験を含む）と**適合性の確保、それらの信頼性の向上**。
- ◆ **確立されている作用**（刺激／熱作用）の量－反応特性等に基づく電波防護指針の妥当性確保および適合性の評価と**確立されていない作用**（刺激／熱作用以外）の健康リスク評価に**分類**。
- ◆ **リスク評価、リスク管理及びリスクコミュニケーションから構成されるリスク分析を行っていく**中で、我が国の強みを活かせる研究や国際的に貢献できる研究を行うという国際協力の観点といった切り口で、重点的に研究を実施すべき。

リスク分析	リスク評価	電波ばく露装置開発等の工学研究と連携した医学・生物研究（疫学研究、ヒト研究、動物研究、細胞研究）や工学研究での電波ばく露評価等を通じた、健康影響の有無、量－反応関係、電波ばく露実態等の明確化
	リスク管理	電波ばく露による健康影響から国民を防護するための、安全指針値の策定及びその値への適合性の確認（適合性評価）
	リスクコミュニケーション	リスク分析の全過程において、リスク評価者、リスク管理者、消費者、事業者、研究者等、関係する人々の間での情報共有やコミュニケーションを通じて、電波の人体に対する安全性に関する国民の理解の深化に寄与



(※) 本報告書における今後の研究の方向性やロードマップについては、無線システムの発展動向や国際機関の動向等に  
応じて、一定期間後に見直しを行うことが望ましい。

## 4 周波数帯ごとの方向性

### 中間周波

10kHz-10MHz

中間周波における研究は国外ではほとんど研究が進んでいない

EV用WPT等世界に先駆けて中間周波の新たなシステムの導入が想定

**健康リスク評価やリスク管理**に資する研究についても**先行して取り組み**

### 高周波

10MHz-6GHz

携帯電話を対象としたリスク評価のための研究は十分蓄積

今後、電波の利用形態の多様化

**新たな技術に対応した適合性評価**のための研究の推進

### 超高周波

6GHz-3THz

他の周波数帯と比べて最も研究が進んでいない状況

2020年に超高周波を用いた5Gサービスが開始予定

**電波ばく露量計測**等の研究にまずは**注力**

# 5 今後の研究の方向性 5.1 リスク評価に関する研究 (1)疫学研究

- ◆ ヒトを対象に生態学的（断面）研究、症例対照研究、コホート研究といった手法により、電磁環境と疾病発生との関連性の有無を明らかにすることが可能。
- ◆ 電波ばく露と疾病との関連性を追究する際は、**様々なバイアスや交絡因子の影響も配慮する必要**があるとともに、**電波ばく露量や実態をいかに把握して研究を進めていくかが非常に重要**。

## 今後の研究の主な方向性

### 中間周波

低レベル・長期間の電波ばく露による発がんや神経変性疾患への影響の検討が必要

**がんを含む疾病との関連**についての症例対照研究

### 高周波

第1世代、第2世代は最近の端末に比べ電波ばく露量が大きく、発がんのような晩発性のリスクについて検討が必要

**第1世代、第2世代携帯電話システム利用者の晩発性疾患**に関する研究

### 超高周波

ビッグデータを活用した研究が可能になれば、それらデータを利用した研究が必要

**ビッグデータ等を利用した**、がんに関する症例対照研究

### 他キーポイント

コホート研究は、幅広い周波数の電波ばく露について追究可能

**コホート研究は**、WPT、IoT、5G等に用いられる周波数を含め、**周波数横断的に実施**

国際共同研究として、枠組みに則った研究方法により実施されることも多い

今後も機会があれば、**国際共同研究へ積極的に参画**

## 5 今後の研究の方向性 5.1 リスク評価に関する研究 (2) ヒト研究

- ◆ 主として実験室等で行う研究であり、ヒトの局所又は全身を様々な電波にばく露し、その生体影響の有無に関するデータを客観的な指標又は主観的な指標に基づいて収集する例が多い。
- ◆ 疫学研究と異なり、電波ばく露の強さや実験室の**環境設定を一定にして実験をすることで条件を揃えることが可能**であり、得られたデータを基に、数値人体モデルを用いたシミュレーションを行い、少ない被験者数から有益なデータを得ることも可能。
- ◆ 電波防護指針を満たす強度の電波ばく露又は電波防護指針を超える強度の電波ばく露のいずれの場合も、**研究倫理審査委員会の承認を受け、被験者への事前の十分な説明と同意での実施が必要**。

### 今後の研究の主な方向性

#### 中間周波

国際ガイドラインの科学的根拠を与える、刺激作用の検討や、接触電流を原因とする人体の刺激作用に関する検討が必要

**刺激作用の閾値**の調査、**接触電流の調査**等について実測とシミュレーション技術を用いた研究

#### 高周波

体温等の生理指標は年齢及び環境に対して変動が大きいため、現在の低減係数の設定が不十分

全身及び局所の電波ばく露に関する**年齢及び環境に対する温熱閾値変動の研究**

#### 超高周波

ミリ波帯における熱痛は研究が僅かであるため、今後の電波の適正な利用の妨げになる可能性

超高周波の電波ばく露と**温熱感覚・痛覚の閾値**に関する研究

(※) ヒト研究で確立されていない作用を示唆する国外の結果が報告されているが、健康への直接的な関連が不明確なものであることなどを踏まえ、ヒト研究に関する今後の方向性には確立されていない作用に関する研究課題は含めていない

## 5 今後の研究の方向性 5.1 リスク評価に関する研究 (3) 動物研究

- ◆ 適切に管理された環境で、遺伝的背景が同一の（又はほとんど同じ）実験動物を用いて行うため、ヒトで見られるような**個人差等の様々な要因によるばらつきを抑えた実験が可能**。対象疾患にターゲットを絞った研究も可能。
- ◆ 条件を満たせば、ヒトを対象とした実験では倫理的に困難な強い電波ばく露を与えることも許容されるため、生体反応の閾値を求める実験も可能であり、**我が国では、これまで、マウス、ラット、ウサギを用いて電波ばく露の確立された作用による影響の閾値の検討及び確立されていない作用による影響について多くの研究を実施**。

### 今後の研究の主な方向性

#### 中間周波

現在の国際ガイドラインは刺激作用のシミュレーション結果に基づくものであり、実測データとの整合性が必要

中間周波の**痛覚閾値**の研究

#### 高周波

米国国家毒性プログラム（NTP）研究のような（一部）陽性研究に対して、結果を確認する研究が必要

**NTP研究の確認**研究

#### 超高周波

環境条件を考慮した熱作用による影響評価が必要

**実環境であり得る環境条件を考慮した電波による眼障害閾値**に関する研究

#### 他キーポイント

健康リスク評価に資する研究の結果の一部に不一致が存在。リスク評価を行うために標準的な、例えば化学物質の標準毒性試験法のような評価手法の仕組み作りが必要

確立されていない作用の評価に必要な**研究方法の標準化**、及び**標準化手法に基づく電波ばく露の影響に関する研究**

## 5 今後の研究の方向性 5.1 リスク評価に関する研究 (4)細胞研究

- ◆ **電波ばく露環境を制御することが比較的容易**であり、既に株化されている種々のヒト由来の細胞を用いて検討可能。細胞や分子レベルで起きる事象を定量的に示し、その機序を明らかにすることが可能なため、**疫学研究及び動物研究を相補できる実験系**。
- ◆ 近年では、動物実験の代替法として細胞を用いた毒性評価の手法も多く開発され、化学物質の評価では国際的試験法に採用されている実験法も存在。
- ◆ 細胞実験では単一の培養細胞を使うことが多く、この場合は、**ヒトの健康影響への外挿に関しては限界有**。

### 今後の研究の主な方向性

#### 中間周波

神経系への影響を細胞研究で実施することで、リスク評価を補うことが必要

**神経細胞の応答閾値**に関する研究

#### 高周波

電波によりエピジェネティック（遺伝子の後天的な修飾等）な変化が起きている可能性を念のために検討することが必要

**エピジェネティックな変化の検索**と発がんプロセスへの非熱作用に関する研究

#### 超高周波

現在想定されていない電波利用技術への対応（～3THz）が必要

今後利用される可能性のある**電波利用技術（～3THz）の非熱作用**に関する研究

#### 他キーポイント

健康リスク評価に資する研究の結果の一部に不一致が存在。リスク評価を行うために標準的な、例えば化学物質の標準毒性試験法のような評価手法の仕組み作りが必要

確立されていない作用の評価に必要な**研究方法の標準化**、及び**標準化手法に基づく**電波ばく露の影響に関する**研究**

## 5 今後の研究の方向性 5.1 リスク評価に関する研究 (5)工学研究

- ◆ 医学・生物研究で用いるヒト、動物及び細胞を対象とした**電波ばく露装置の開発、改良、保守**等や疫学研究のための**電波ばく露評価手法の開発**とデータ取得作業等の取組を行うもの。
- ◆ 高品質なリスク評価のためには、電波ばく露量の正確な評価及び制御が必要不可欠であり、工学研究の役割は大きい。
- ◆ 我が国では、これまでに医学・生物研究に工学研究者が積極的に関与し、**世界的にも最高品質の電波ばく露装置及び電波ばく露評価技術**により、我が国の医学・生物研究や国際的疫学調査に貢献。

### 今後の研究の主な方向性

#### 中間周波

接触電流の安全指針値の信頼性・有効性向上

**接触電流刺激作用**評価実験用の**電波ばく露装置の開発**と電波ばく露評価

他キーポイント

#### 高周波

マイクロ波聴覚効果（熱弾性波）の定量的理解の不足

**マイクロ波聴覚効果シミュレーション手法**及び電波ばく露装置の開発・改良

影響評価試験の標準化

#### 超高周波

5G等の導入

**5Gによる**超高周波の電波ばく露条件を想定した**医学・生物実験用電波ばく露装置の開発・改良**

研究手法の**標準化のための電波ばく露条件の確立**、及び**標準化手法に基づく**試験の電波**ばく露装置の開発・改良**

## 5 今後の研究の方向性 5.2 リスク管理に関する研究

- ◆ 電波ばく露による健康影響から国民を防護するために、**安全指針値を策定**すること及びその値への**適合性の確認**（適合性評価）が目的。
- ◆ 安全指針値のうち電波防護指針の基礎指針値又は基本制限値は体内物理量で示され、健康影響の閾値に低減係数を乗ずることで導かれる。管理指針値は、基礎指針値又は基本制限値を超えることがない体外の物理量で示した値。人体の電波ばく露等が最大となる条件に基づき決定。
- ◆ 適合性評価は、実際の電波利用システムが電波防護指針を満足していること（適合性）を確認することであり、高い信頼性と再現性が求められる。

### 今後の研究の主な方向性

#### 安全指針値

安全指針値の信頼性・有効性の向上

安全指針値**定義**（平均化領域・平均時間等）の**高精度化**

安全指針値**根拠**（閾値（人体への電波ばく露量））の**不確かさ評価**

#### 適合性評価方法

中間周波

EV用WPTシステムの普及

高周波

マイクロ波WPTの普及

超高周波

5G等の導入

**適合性評価方法の開発**と標準化

## 5 今後の研究の方向性 5.3 リスクコミュニケーションに関する研究

- ◆ リスク分析の全過程において、リスク評価者、リスク管理者、消費者、事業者、研究者等、**関係する人々**の間での**情報共有やコミュニケーションを通じて**、電波の人体に対する安全性に関する**国民の理解の深化**に寄与。
- ◆ それにより、結果的には、国民が安全に安心して電波を利用することができる環境が醸成。

### 今後の研究の主な方向性

#### 中間周波

EV用WPTが普及することが想定され、大電力による人体の電波ばく露の機会が増え、リスク認知が増大

#### 高周波

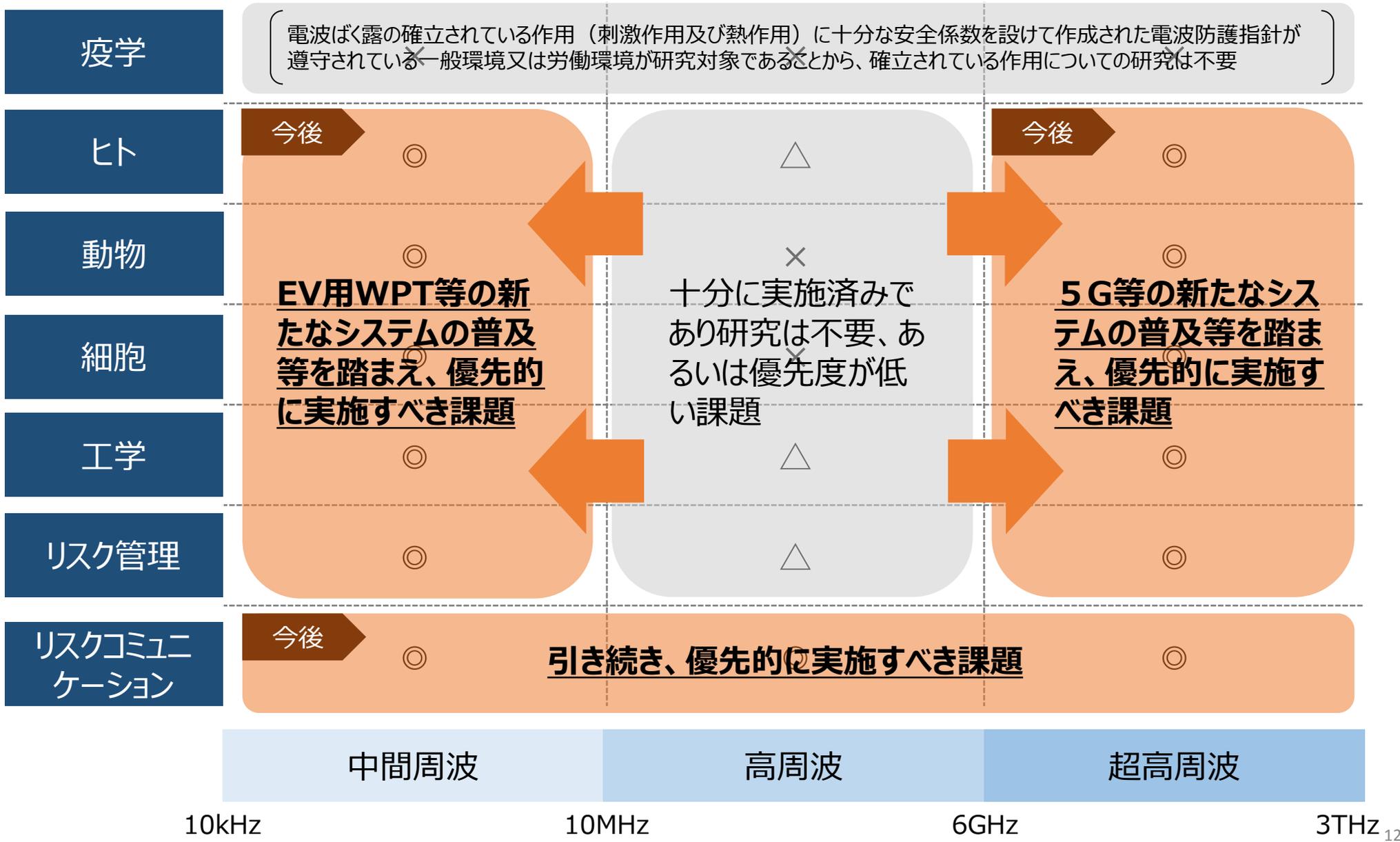
多数のIoTデバイスが存在している場合の人体の電波ばく露が実態以上に増大するのではないかという不安等のリスク認知が増大

#### 超高周波

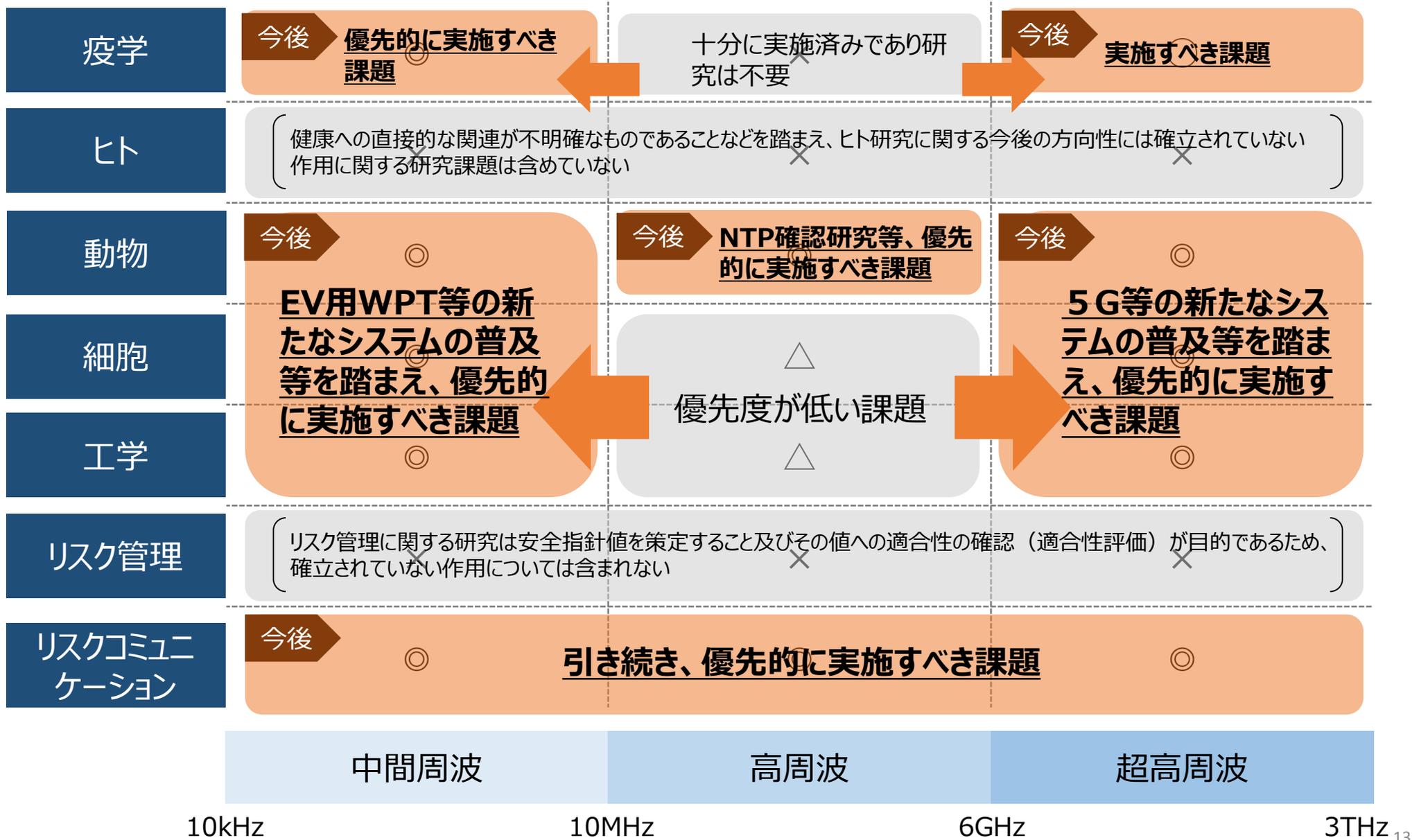
5Gやテラヘルツ波を含む新たな周波数帯における電波利用システムの導入が見込まれ、リスク認知が増大

電波ばく露レベル**モニタリングデータの取得・蓄積・活用**

# 6.1 今後の研究の方向性について(確立されている作用)



## 6.2 今後の研究の方向性について(確立されていない作用)



# 7 総括ロードマップ

2019年

2025年

EHC・ICNIRP(中間周波)  
への成果入力※

2030年

EHC・ICNIRP(高周波・  
超高周波)への成果入力※

2040年

※2040年以降も随時成果を入力

がんを含む疾病との関連についての症例対照研究

刺激作用の閾値の調査、接触電流の調査等について  
実測とシミュレーション技術を用いた研究

確立されていない作用の評価に必要な  
研究方法の標準化

第1世代、第2世代携帯電話システム  
利用者の晩発性疾病に関する研究

NTP研究の確認研究

疫学

超高周波の電波ばく露と温熱感覚・痛覚の  
閾値に関する研究

実環境であり得る環境条件を考慮した電波に  
よる眼障害閾値に関する研究

確立されていない作用の評価に必要な  
研究方法の標準化

標準化手法に基づく中間周波の電波ばく露の影響に関する動物研究

標準化手法に基づく中間周波の電波ばく露の影響に関する細胞研究

高周波と超高周波の複合的な電波ばく露の  
生理応答に関する研究

標準化手法に基づく超高周波の電波ばく露の影響に関する動物研究

標準化手法に基づく超高周波の電波ばく露の影響に関する細胞研究

ビッグデータ等を活用した、  
がんに関する症例対照研究

テラヘルツ波電波ばく露の熱作用に関する研究

今後利用される可能性のある電波利用技術（～  
3THz）の熱作用の反応閾値に関する研究

安全指針値定義（平均化領域・平均時間等）の  
高精度化

WPTの適合性評価方法の改良・標準化

安全指針値定義（平均化領域・平均時間等）の  
高精度化

マイクロ波WPTの適合性評価方法の開発と標準化

安全指針値定義（平均化領域・平均時間等）の  
高精度化

5G等の適合性評価方法の開発と標準化

安全指針値根拠（閾値（人体への  
電波ばく露量））の不確かさ評価

安全指針値根拠（閾値（人体への  
電波ばく露量））の不確かさ評価

IoT・ウェアラブルヘルスケアデバイスの適合性評価方法の開発と標準化

安全指針値根拠（閾値（人体への電波ばく露量））の不確かさ評価

安全指針値の拡張（上限周波数をテラヘルツ波に拡張）

テラヘルツ波利用システムの  
適合性評価方法の開発と標準化

電波ばく露レベルモニタリングデータの取得・蓄積・活用

全期間を通じて、EHC  
国際規格等に随時反映

リスク評価

リスク管理

リスクコミュニケーション

中間周波

高周波

超高周波

工学

中間周波

高周波

超高周波

疫学

ヒト

動物

細胞

疫学

動物

疫学

ヒト

動物

細胞

指針値

適合性

指針値

適合性

指針値

適合性

# 8 生体電磁環境に関する研究の更なる発展に向けて

## 研究の品質・手法、人材育成等

- ◆ 健康リスクを適切に評価するためには、質の高い研究に基づく科学的根拠が必要であるため、研究担当者は、WHOの研究アジェンダ1998に示された「高品質の電磁界研究に関するガイドライン」等の**研究の品質確保に関するガイドラインに沿って研究を進めるべき**。
- ◆ 研究品質の維持・向上のために、医学・生物学と工学が連携して研究を進めるための方策を検討することが重要。一方、本分野は医学・生物学系の研究者による認知度が低いため、**医学・生物学系学会での周知等により、医学・生物学系研究者を呼び込むことが重要**。本分野に習熟した工学研究者は限られており、その育成も喫緊の課題。
- ◆ 研究における指標や電波ばく露条件の整合を図る等、研究の系統化が非常に重要であり、**国際的に合意形成された標準的な実験体系の構築が必要**。

## 研究の国際連携

- ◆ GLORE（電磁界の健康影響に関する国際コーディネート会合）の機能を強化し、WHOの国際電磁界プロジェクトと連携しつつ、WHOに加えて、**GLOREに研究調整機能を持たせること**等を通じて、国際的枠組みによる連携強化を図っていくことが重要。

## 長期的な見地からの研究課題や周波数横断的な研究課題等

- ◆ 将来的には、熱作用及び刺激作用が同時に発生する場合の健康影響評価についても検討することが重要。加えて、**複数の周波数帯の電波による複合的な電波ばく露**や、他の物理的・化学的な因子との複合的な電波ばく露についても検討することが望ましい。
- ◆ 新たな無線システムの開発に合わせて健康リスク評価を開始すると、技術の完成と健康リスク評価完了までの間にタイムラグが生じる可能性が高いため、将来的には、いくつかの**標準的な電波ばく露モデルを構築**し、前もってこれらの標準的な電波ばく露モデルに対する検討を行うことで、**健康リスク評価の迅速化・効率化が期待**できる。
- ◆ 将来的には、国際的なガイドラインの動向を踏まえつつ、**電波防護指針の適用範囲の拡充に資する研究**についても取り組んでいくことが期待される。