

局所吸収指針の拡張のための生物学的根拠に関する調査

予定実施期間：H28－30年度

東京農工大学

久留米大学

名古屋工業大学

研究代表者：平田 晃正（名古屋工業大学）

研究背景

2020年頃
第5世代移動通信システム(5G)のサービス導入



10GHz以上の周波数帯における
局所ばく露に対する国際防護ガイドライン^{†,††}・防護指針^{†††}

ICNIRP・ICES

電力密度の空間平均値で評価

・・・**10GHzあるいは3GHzまで**
平均する面積が異なる等の相違

電波防護指針

・・・**6GHzまで**
6GHz以上は取り扱いなし

[†] ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, Health Phys., vol.74, pp.494-522, 1998. ADI

^{††} IEEE C95.1, “IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz,” 2005.

^{†††} 電気通信技術審議会答申 諮問第89号「電波利用における人体防護の在り方」に関する答申(平成9年4月)
情報通信審議会答申 諮問第2030号「局所吸収指針の在り方」に関する答申(平成23年5月)

防護指針改訂に不可欠な要素

補強のための知見が必要
(次世代周波数への対応含)

防護指針値とは？

一般環境： 50
管理環境： 10

||

健康影響の閾値

X

低減係数

重要事項

健康影響を下回るレベルでの曝露により、生体影響を惹起する**閾値**

- ① 閾値の検出：
 - ・電波ばく露に起因する再現性のある生体影響を検出する
 - ・用量反応関係を調べ閾値を推定する
- ② 温度の考慮：
 - ・熱的影響か非熱的影響かを明確にする
- ③ 一般化：
 - ・モデルを構築しシミュレーションに基づき**ヒト**に外挿する

閾値推定における課題

閾値は動物およびヒト(人体)を対象として実施された電波ばく露評価(実験)から得られた知見に基づき推定された値である。

| 評価対象 | 主な利点 | 主な欠点/課題 |
|------|---|--|
| 動物 | <ul style="list-style-type: none">➤ 高出力ばく露実験を実施可能➤ 温度, 血流, 脳内変化を含む幅広い生理学的指標を評価可能 | <ul style="list-style-type: none">➤ 電波波長に比べ対象が小さい(ばく露およびドシメトリが困難)➤ 取得知見に種差が伴う(外挿の壁あり) |
| 人体 | <ul style="list-style-type: none">➤ 取得知見は人体における閾値に直結(外挿の必要なし)➤ 知覚等の感覚系影響を評価可能 | <ul style="list-style-type: none">➤ 高出力ばく露実験は実施不可(閾値検索に至らない可能性あり)➤ 実測できる生理学的指標に制限あり |

➤ 双方の評価を有機的に融合した上での閾値推定

課題解決に向けた方策

動物・ヒト実験 → 生体情報取得 → モデル構築 → 検証 → 外挿と閾値推定

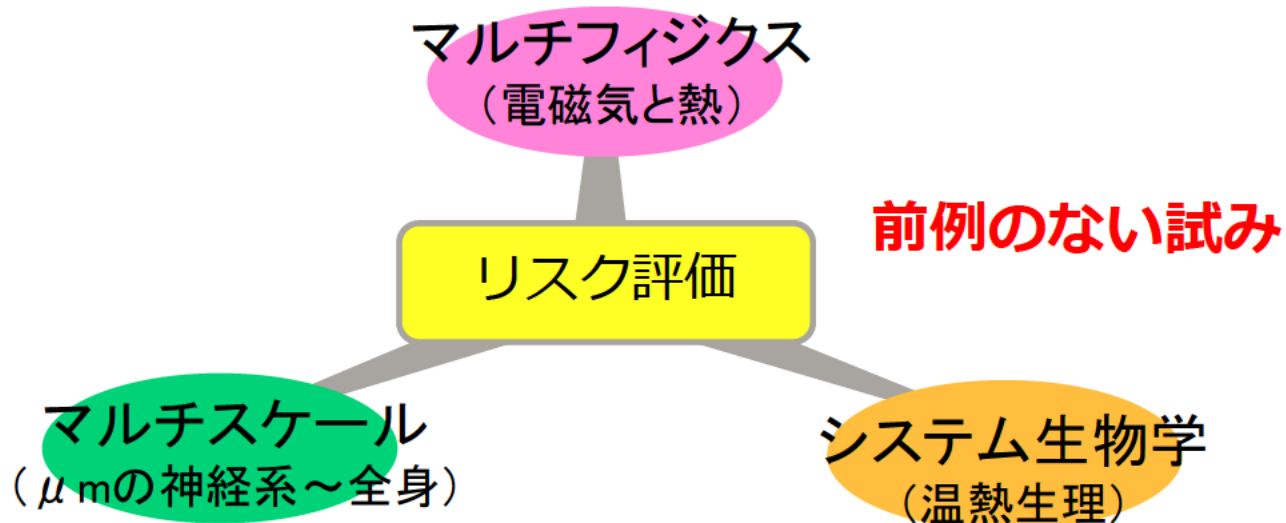
| 評価対象 | 種別 | 共通 |
|------|---|---|
| 動物 | <ul style="list-style-type: none">➤ 小動物用高性能アンテナの開発➤ 高精度ドシメトリの確立➤ 温度-血流関係をモデル化➤ ばく露-温度分布を推定 | <ul style="list-style-type: none">➤ 絶対温度/温度上昇と生体影響の関係を解明➤ 動物と人体間で知見を比較し温熱モデルを高精度化➤ 複数の電波ばく露条件に対する確からしさを検証➤ 生体影響を惹起する局所温度(上昇)に必要な電波ばく露条件を推定(閾値推定)➤ 動物実験による推定閾値の検証➤ 人体への外挿 |
| 人体 | <ul style="list-style-type: none">➤ ヒト局所ばく露用アンテナの開発➤ 低出力電波を用いたヒトの局所ばく露実験の実施➤ 温度-血流関係をモデル化 | |

メモ: ・必要でありながら(Health Physics 2016)、国外でこういった取り組みはなされていない
・ガイドラインレベルもしくはそれ以下のばく露量による評価実験を依然として繰り返しているだけである

研究の目的

目的

- ① マイクロ波～ミリ波の周波数帯における電波ばく露時の生体反応の探索ならびに閾値を推定（特に熱調整反応）
- ② 外部電磁界強度を推定することにより電波防護指針策定に必要な基礎データを収集
- ③ 安全な電波利用システムの開発・普及促進に寄与

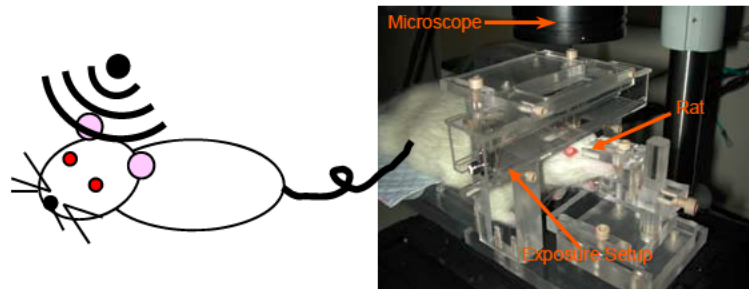


研究の特徴

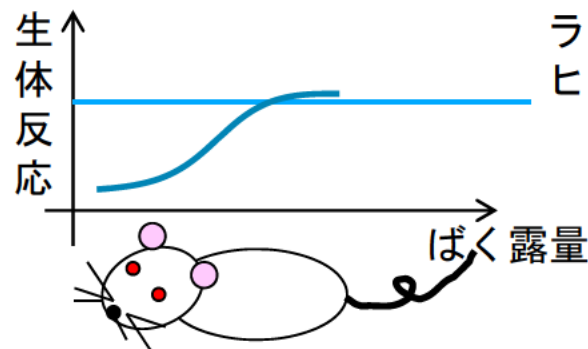
例のない取り組み
これまでの成果の一部は、WHO EHC
でも取り上げられている

特徴①：動物実験により用量反応関係を実測・把握

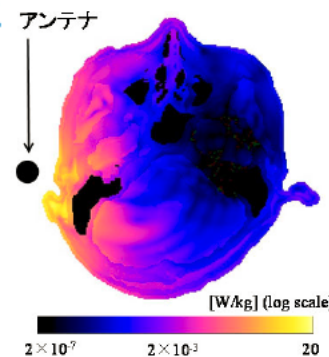
局所ばく露による生体反応計測



特徴②：解析により実測値を再現，ヒトモデルへの外挿



ラットでの検討をもとに
ヒトモデルへ外挿する

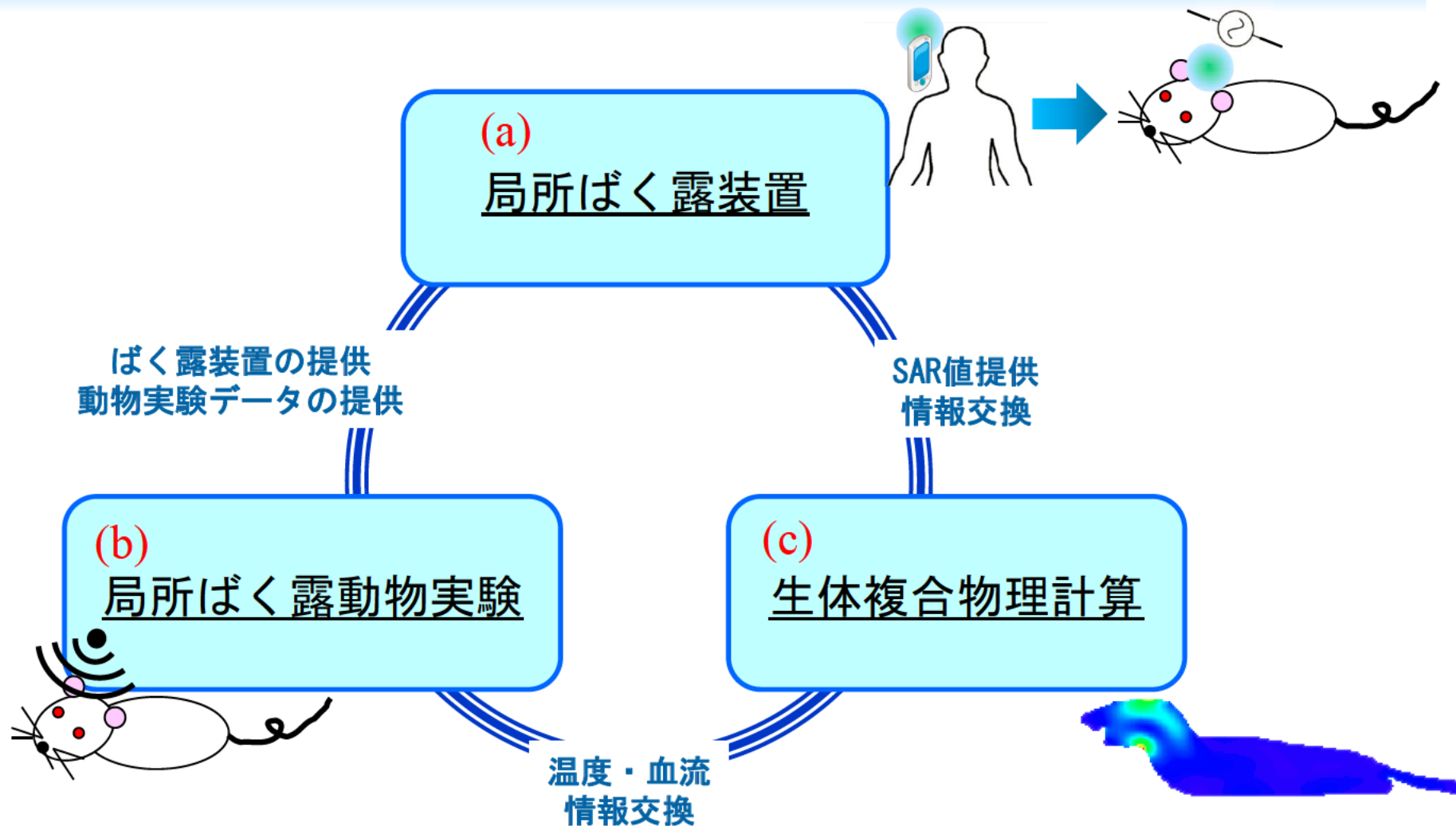


生体
情報

モデル
構築

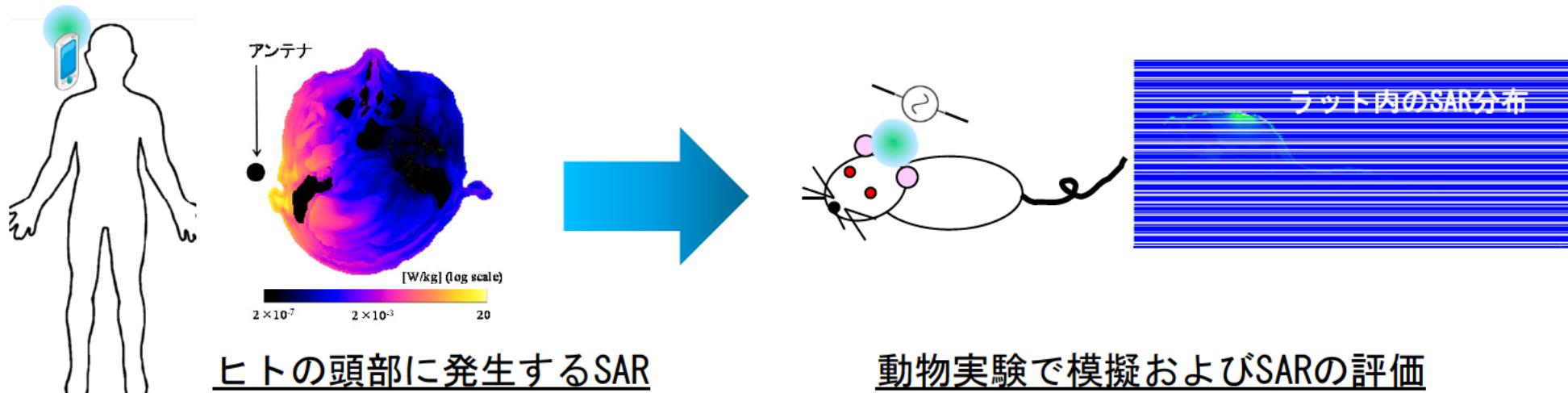
生体実測に裏付けられたモデル化をワンパッケージにて実現

研究の体系



生物学および工学的研究の融合による
生体影響閾値の解明を目指す

(a) 局所ばく露装置の開発・運用



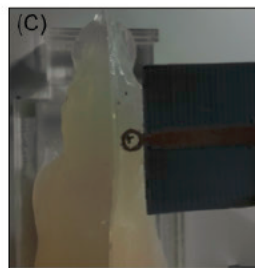
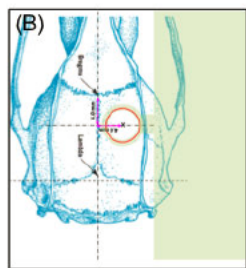
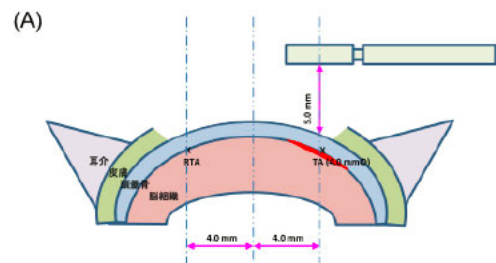
研究内容

- ・ラットに局所ばく露可能なアンテナの開発
 - 1GHz(従来の研究)~10Hz超の周波数帯における局所ばく露可能なアンテナの開発
 - ラットに発生するSARの詳細な解明
- ・ばく露装置の開発
 - 生体影響を評価できるばく露装置の開発
 - 安定してばく露可能なように保守・改修

(b)動物実験による生体反応・閾値の探索

研究内容

- ・ばく露装置の局所ばく露評価および動物実験の実施
- ・効率的なばく露方法の検討
- ・生体反応の探索と熱作用閾値の解明
- ・様々な生体指標の調査と生物学的知見からの局所SAR閾値の推定

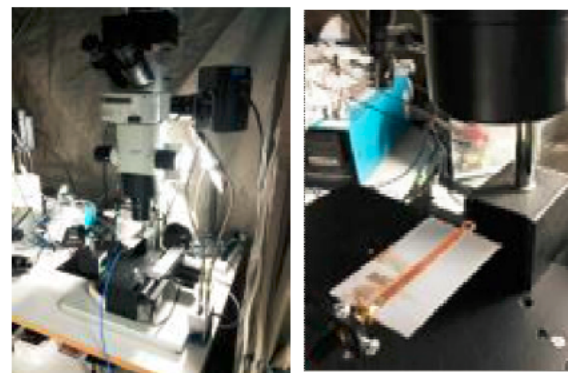


ばく露部位の特定・温度分布測定

フィードバック



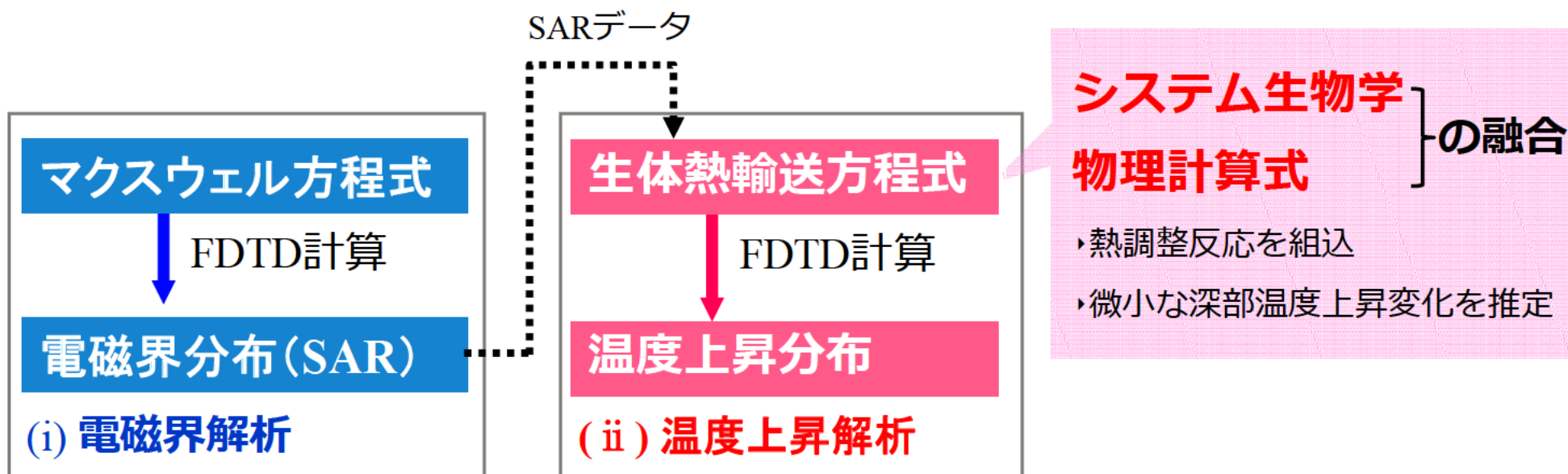
ばく露装置



ばく露装置の設計

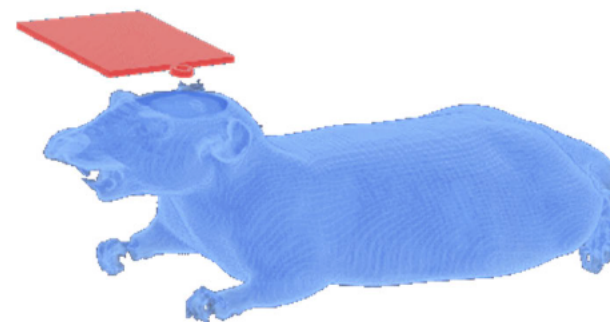
高精度ばく露の実現

(c) 生体複合計算法による検討



研究内容

- ・ システムバイオロジーを考慮した生体複合計算法による解析
- ・ 外部電磁界や熱による生体閾値の推定
- ・ シミュレーションによる動物実験の再現
- ・ 人体モデルへの外挿

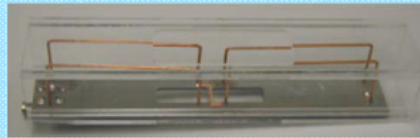


数値ラットモデル

これまでの研究内容の一部

~100MHz

1GHz



1.5GHz
(8の字ループアンテナ)

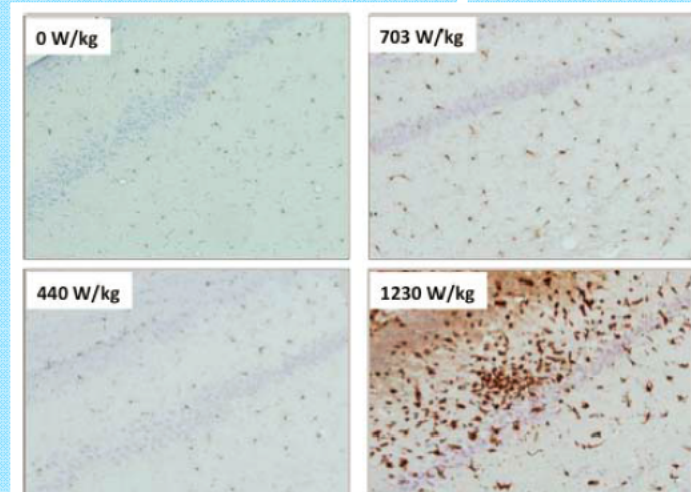


2GHz, 3.5GHz, 5GHz
(マルチバンド)



6GHz~10GHz
(広帯域アンテナ)

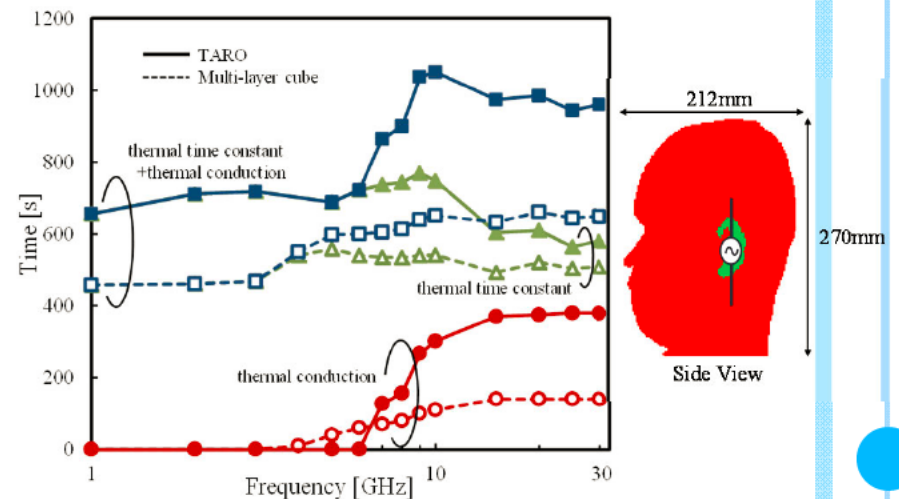
~6GHz



電波ばく露下での生体反応調査(6GHz)



ばく露装置

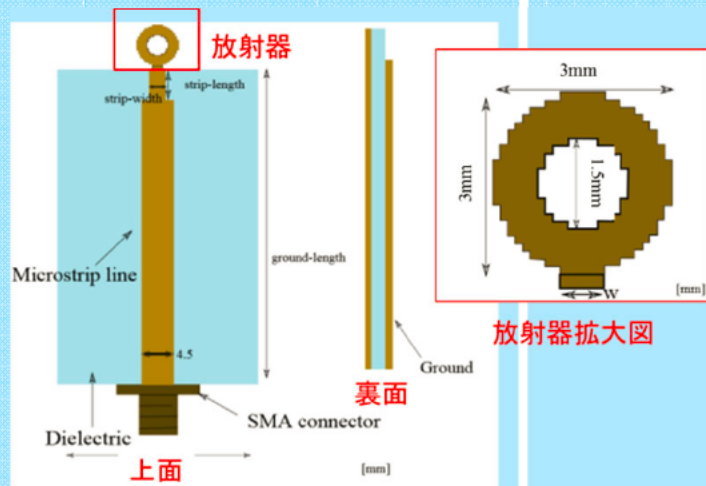


脳組織における熱伝導・熱時定数の周波数特性
(1~30GHz)

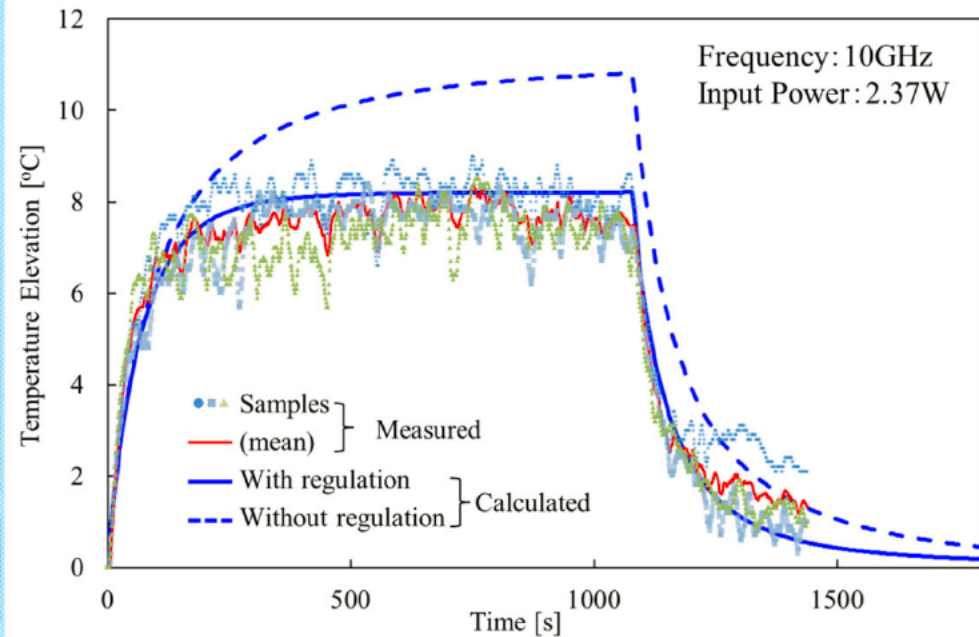
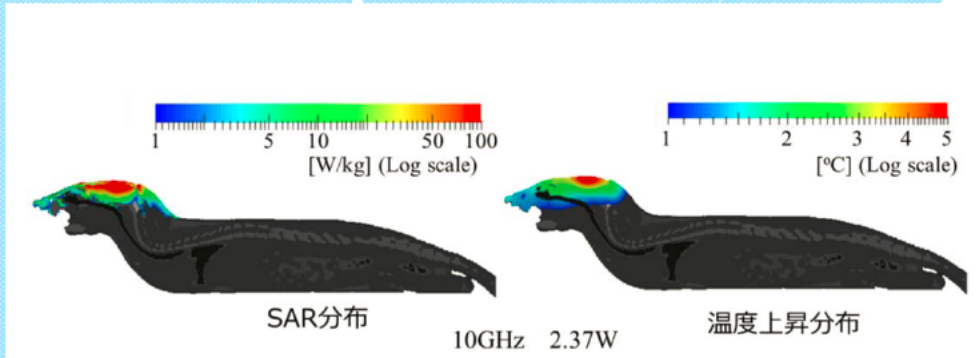
これまでの研究内容の一部

～10GHz

【アンテナ概観図】



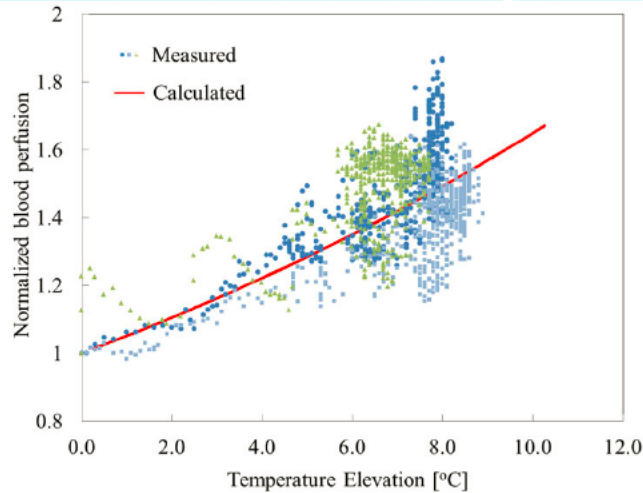
【実験状況】



ラット脳表温度—実測値と計算値の比較 (10GHz)

現在進行中の研究内容

~10GHz

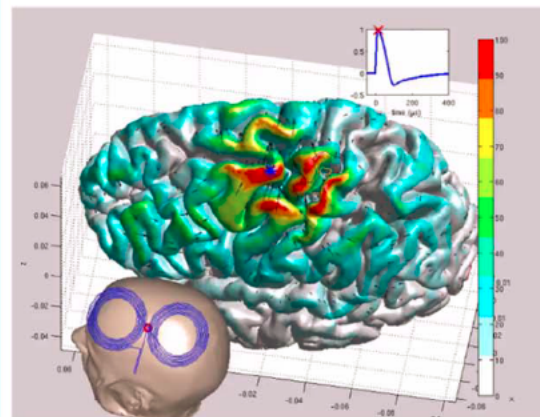


ラット脳表温度-脳血流モデル化

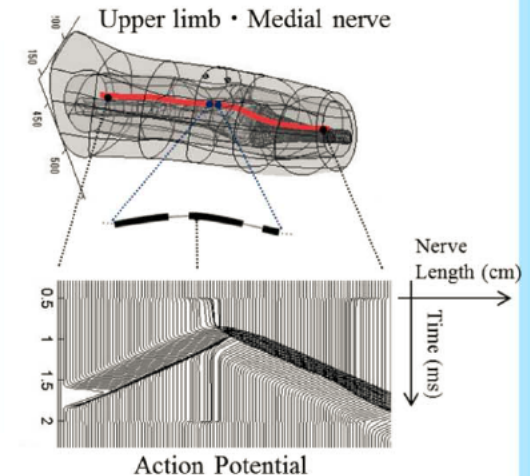
電波（および超音波）ばく露では、熱源が体内に生じる。そのほかの熱負荷は、表面のみ。温熱生理モデルの再評価および改良。

一般にGHz帯は、熱刺激の領域である。一方、レーザーによる末梢神経の選択刺激など、高周波化に伴う刺激作用の再評価の必要あり。

i. Macro Model: Electric Field



ii. Micro Model: Nerve Excitation



マルチスケールでの神経活性化モデルの提案（予定）
皮膚表層神経の応答など

今後の課題

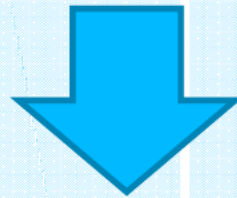
Health Physics (2016)

ICNIRP WS(2015)のまとめより

30GHz～

電波の浸透深さは数mmまで

局所的な皮膚の加熱



Overall, the information presented at the workshop will provide valuable input into the revision of the guidelines being formulated by ICNIRP for limiting human exposure to RF fields. However, it was clear that some uncertainties remain regarding thermal thresholds, and further information would be beneficial in some areas, particularly regarding variations in temperature sensitivity in individuals who may be at particular risk (in both health and illness) and between different tissue types within the body.

- ・熱伝導による脳の加熱
- ・ヒトの温熱反応

に伴う全身の応答



安心・安全な局所吸収指針の策定に貢献

期待される効果・成果目標、課題

- ▶ 第5世代移動通信システムの導入に向けた生体安全基準の策定
- ▶ IEEEやICNIRPなどの国際安全基準への貢献
 - IEEE ICES規格
10GHz以上の研究アジェンダの策定
(2015年6月 標準化会議にて決定) ドラフトの複数項目と合致
H25-27の成果を報告
 - ICNIRP
高周波ガイドラインの改定 生理学的根拠の提供
ドシメトリ結果のインプット
(e.g, Thermal Damage Workshop)
 - WHO
2020年～ Standardを策定 (?) 標準化への貢献
- ▶ 5G製品規格への反映, 安全な電波環境づくりに寄与
- ➡ 動物、ヒトなど多角的ばく露実験とモデル化によるガイドライン策定への寄与