

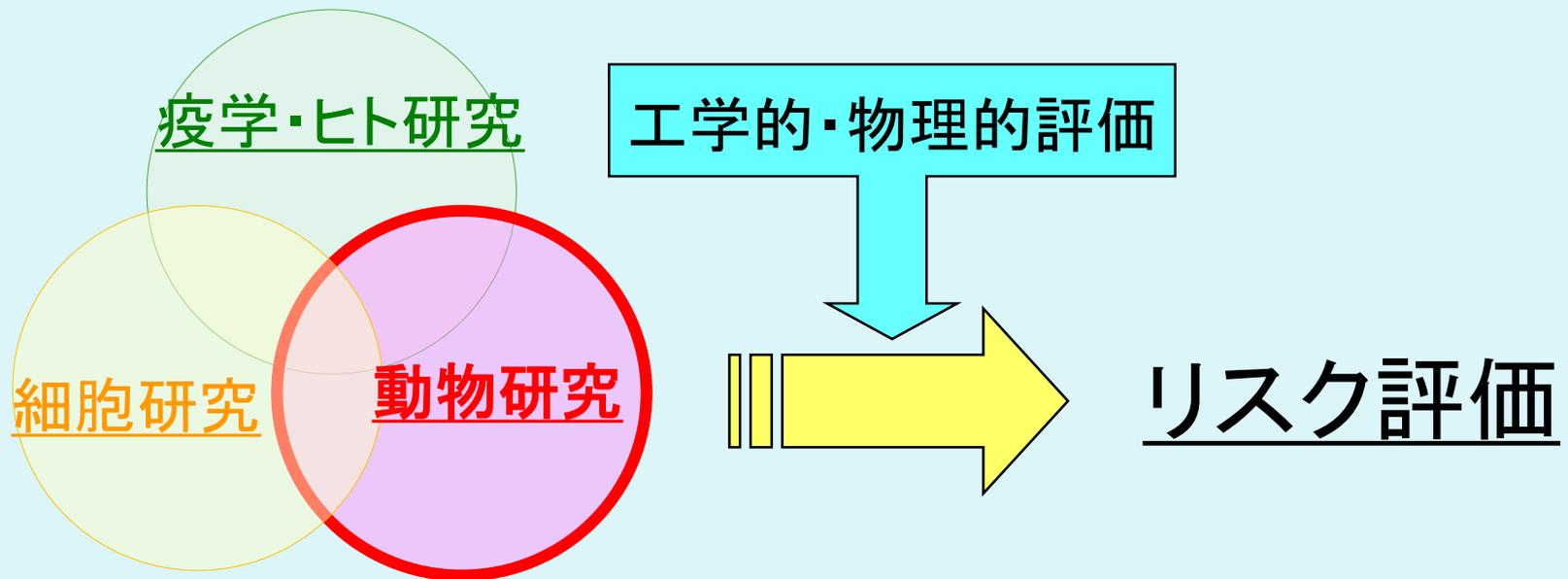
生体電磁環境に関する研究戦略検討会(第3回)

中間周波・動物

国立保健医療科学院
生活環境研究部
牛山 明

- ・ リスク評価 ← 調査・研究に基づく
- ・ リスク管理 ← 国際機関組織・各国行政
- ・ リスクコミュニケーション ← 様々なアプローチ

生体電磁環境リスク評価研究の枠組み



生体電磁環境における動物実験

- 人と異なり、マウス・ラットは**遺伝的背景や飼育環境が均一**である。 → 電波の影響を特定しやすい。
- 人の実験よりも**強い電波のばく露が可能**である。
- げっ歯類は寿命が短いため、**一世代～複数世代でのイベントを短期間で見る**ことができる。
- 遺伝子改変動物や種々の処理により、**疾病モデルを使った解析**ができる。
- **再現性実験**が可能。

-
- ✓ 人への外挿
 - ✓ ばく露装置と高精度のドシメトリ(工学専門家との協力)
 - ✓ 統計的に十分な動物数と実験デザイン

中間周波を使用した応用技術



過去

15~35kHz



現在

20kHz 60~90kHz



数年後

85kHz



その他の技術応用

10年後

対象	電気自動車用 非接触電力伝送装置	一般用非接触電力伝送装置	
		6.7MHz帯磁界結合型 非接触電力伝送装置	400kHz帯電界結合型 非接触電力伝送装置
給電対象・ システム イメージ	電気自動車 	スマートフォン、タブ レットPC等 	ノートPC等 
電力伝送 方式	磁界結合方式		電界結合方式
伝送電力	~7.7kW	~100W	~100W
使用 周波数	79kHz~90kHz	6.765MHz~6.795MHz	425~524 kHz (アマチュア無線、海上無線、 中波ラジオ放送に割り当てら れた周波数帯は除く)
送受電 距離	0~30cm程度	0~30cm程度	0~1cm程度

【日本再興戦略2016】
2030年に新車販売占める次世代
自動の割合を5~7割とする目標

目標達成のインフラ整備(私見)

- コード充電よりもワイアレス充電
- WPTを通じて短時間に大電力の
伝送を行う技術
 - 強い磁界の発生
 - 高周波化(数MHz-20MHz程度)
- 走行中充電の技術

出所:先進的な無線システムに関するワーキンググループ 資料

国際動向(中間周波・動物実験)

WHO環境保健クライテリア238 (2007)

中間周波(IF)に関してはこの領域のデータが欠落している現状を考慮し、更なる研究が必要である。研究データは健康リスク評価に必要とされる量にはほど遠く、既存の研究の多くは結果が一貫していないので、更なる具体化が必要である。なお、健康リスク評価のために必要となる研究には、ばく露評価、疫学研究、ヒト実験室研究、動物研究、細胞研究が含まれる。

SCENIHRレポート(2009)

IFについては、健康リスクに関する疫学研究はほとんどなく、また動物実験や細胞実験も非常に少ない。急性影響に関しては、低周波の刺激作用ならびに高周波の熱作用のメカニズムを外挿することで説明することが可能と考えられるが、長期的な影響に関しては何もわかっていないし説明も出来る状況ではない。以上よりリスク評価を行うにはデータが不十分であり、研究が必要である。

SCENIHRレポート(2015)

IFの周波数帯は幅広いにもかかわらず、未だにIFに関する健康影響に関する研究は限られている。動物、細胞を用いた研究がいくつか報告されているのみである。リスク評価を行うには不十分である。

近年の中間周波の動物実験

Author	使用動物	エンドポイント	ばく露条件	ドシメトリ	結論	備考
Leeら (2005)	マウス	マウス催奇形性試験	20kHzの三角波, 30 μ T, 8時間/日	なし	影響なし	VDTユニットからのばく露を想定
Nishimuraら (2009)	鶏卵	鶏卵胚発生	20kHz, 1.1mT	なし	影響なし	IH調理器を想定
Nishimuraら (2011)	ラット SD	ラット催奇形性試験	20kHz or 60kHz 0.2mT、22 時間/日	なし	影響なし	IH調理器を想定
Nishimuraら (2012)	ラット SD	ラット生殖能	20kHz or 60kHz 0.2mT、22 時間/日	なし	影響なし	IH調理器を想定
Ushiyamaら (2014)	ラット SD	免疫学的パラメータに対する中間周波磁界の影響	21 kHz、3.8 mT、14 日間 (1時間/日)	あり	影響なし	IH調理器を想定
Win-Shwe ら(2012)	マウス C57BL/ 6J	海馬の神経学的および免疫学的マーカーへの影響	21 kHz、3.8 mT、1 時間/日 妊娠期間中と生後27~48日	なし	一過性かつ可逆的遺伝子発現が見られた。	IH調理器を想定
Nishimuraら (2015)	ラット SD	臓器重量、血液性状、組織病理学的変化	20kHzで、0.2mT 60kHzで、0.1mT 1日22時間のばく露を14日間または13週間	なし	繰り返し実験による再現性はなく、ばく露による影響はなかった。	IH調理器を想定

多くの実験において、ばく露条件が磁束密度のみ記載、**ドシメトリが実施されていない**状況

今後の中間周波・動物研究の必要な視点

リスク評価のために必要な研究は推進すべき

中間周波研究は

- ① 我が国はこれまでの実績が多く、またドシメトリも精密に実施しており、日本の強みを出せる分野
- ② 国際的なリスク評価、ガイドライン改定等にイニシアティブをとれる分野
- ③ ①②を踏まえ防護指針への改訂に反映させ、広く国民の安全・安心を担保することが可能な分野

上記を達成させるために必要な動物実験の実施

中間周波・動物実験で考慮すべき研究課題

刺激作用・熱作用

1. 神経刺激いき値(特に痛覚いき値) の評価
2. パルス磁界の評価

1~4の毒性試験については
化学物質の標準的毒性試験
法を参照し電磁環境における
手法を確立させるべき。

非刺激・非熱作用

1. 一般毒性
2. 遺伝毒性 その後必要であれば長期発がん試験
3. 神経毒性 (行動異常・神経変性疾患を含む)
4. 発生・生殖毒性 催奇形性
5. その他健康影響に直接的に関連する研究
 例えば、オーミクス (omics) 手法を用いた網羅的解析:
 genomics, proteomics, metabolomics
6. 新研究手法による研究

上記のいずれの研究においてもドシメトリ評価は重要

研究課題名:「中間周波(特に100kHz 帯)における非熱作用の健康リスクに関する調査」

【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験 ③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】80～100kHz

【研究目的・全体概要】

・EV用のWPTシステムを想定し、100kHz帯において基本制限相当の非常に強い中間周波電磁界の非熱作用の健康リスクに関する調査をする。化学物質の国際ガイドラインなど、一般的な遺伝毒性関連試験法を用いて、中間周波の生体影響の有無を検証し閾値についても精度よく推定する。

【現状・課題】

- ・バス等への100 kW以上の大電力EV用のWPT開発を踏まえ、安全性の確保が急務。(繰り返し比較的強い磁界にさらされる機会が増加)
- ・電波防護指針は、刺激作用の回避が目的であり、非刺激作用は想定外。
- ・人がコイルに接近した際に安全装置が動作するまでタイムラグが発生し、防護指針を超える強いばく露を受ける可能性が指摘。
- ・人では強力な磁界ばく露実験は倫理的問題が多く、実質不可能。一方で、中間周波の強い電磁界を発生させる電源等の技術開発が必要な状況。

【具体的内容】

強力な磁界を発生可能なばく露装置の製作・数値ドシメトリの実施。動物実験・細胞実験による遺伝毒性試験の実施。ドシメトリと毒性試験の結果を突合し、人に外挿したときの安全性の評価。

【想定される研究成果】

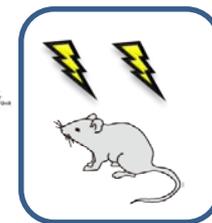
・電波防護指針で想定をしていないような非刺激作用の有無について、発がん性の初期評価である遺伝毒性試験により、そのリスクの有無について研究結果を得ることができる。

【期待される効果】

- ・WHOでは中間周波数帯の非熱的生体影響のデータが不足していると述べられており、本研究はそれを補完する物である。
- ・将来における本周波数領域のリスク評価に貢献できる。



バスへの電力伝送では100kW以上となるため大きな磁界に晒される可能性。



IF-MFによる遺伝毒性を感度の高い手法で評価



フローサイトメトリー



顕微鏡



←現在総務省研究で進めている中間周波研究の動物用ばく露装置

研究課題名:「中間周波の痛覚閾値評価」

【研究分野】

1. 中間周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響 (①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10kHz～10MHz

【研究目的・全体概要】

・細胞や動物を用いた実験研究により、痛覚閾値の周波数特性を明らかにし、精密な痛覚閾値推定用の数値モデルを構築する。これにより、明確な健康リスクである痛覚を指標にしたガイドラインの構築に貢献する。

【現状・課題】

- ・中間周波帯のガイドラインは神経刺激作用に基づいて決められている。
- ・音、光、臭い等の感覚刺激と比較すると、刺激作用が防護すべき健康リスクであるか明確ではなく、過剰なガイドラインであることが懸念される。
- ・痛覚など、防護すべき明確な悪影響を指標にしたガイドラインであれば、過剰な防護対策(低減係数)が不要になる。
- ・ヒトを対象にした研究も必要であるが、数値モデルの精緻化には介入実験が可能な動物や高度モデル化が容易な細胞を用いた研究が必要である。

【具体的内容】

実験的に、ヒト/動物由来の痛覚関連末梢神経細胞や動物個体の痛覚閾値の周波数特性や刺激応答機構を明らかにし、痛覚閾値推定のための新たな数値モデルを構築する。

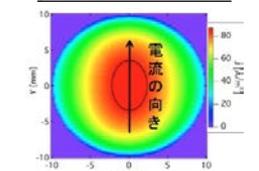
【想定される研究成果】

- ・中間周波ばく露装置の開発とドシメトリ
- ・ヒト細胞/動物における痛覚閾値の周波数特性の解明
- ・痛覚閾値推定のための新たな数値モデルの構築

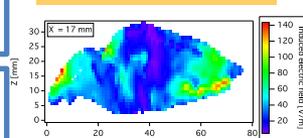
【期待される効果】

・末梢神経への刺激作用に基づいたガイドラインでは過剰なばく露対策を強いられる可能性がある。本研究により、明確な健康リスクである痛覚を指標にした新たな数値モデルを構築できれば、科学的妥当性の高いWHOのリスク評価およびICNIRPガイドラインの改定に貢献できる。

中間周波ばく露装置の開発とドシメトリ



内部誘導電界解析

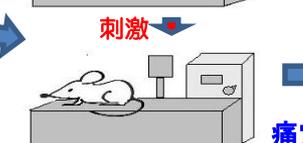
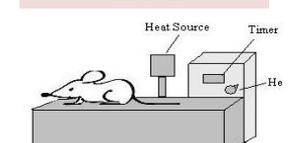


内部誘導電界解析
(超大規模計算)

ヒト神経細胞/動物における痛覚閾値の周波数特性の解



パターン化された神経線維束

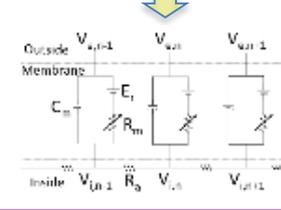


刺激
痛覚応答
掉尾反射

痛覚閾値推定のための数値モデルの構築



有髄神経の概略



神経線維束での高度モデル化

痛覚応答の数値モデル

研究課題名:「パルス電磁界ばく露に対する生体影響調査研究」

【研究分野】

1. 中間周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
2. 高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)
3. 超高周波の影響(①細胞実験、②動物実験、③ヒト実験研究、④疫学研究)

【対象周波数】10 kHz～300 GHz

【研究目的・全体概要】

- ・パルス電磁界ばく露によってマイクロ波聴覚効果、神経系刺激、瞬時過熱による驚愕反射(startle reflex)等様々な生体影響があることが知られている。しかし、正確なドシメトリ評価が困難であったため、作用機序が未解明であったり、閾値のレベルが確立されていない等の問題があった。
- ・本研究の目的は、パルス電磁界によるばく露装置を開発し、パルス電磁界に対する生体影響を調査する。

【現状・課題】

- ・現在のパルス波の指針値はほとんどが1970年代の研究成果に基づいており、最新の評価技術に基づく調査を実施し、根拠を検証する必要がある。
- ・正確なばく露評価に基づく、人体や実験動物へのパルス波ばく露装置の開発と、同装置を用いた信頼性の高い医学・生物学的観点からの調査研究が必要である。

【具体的内容】

マイクロ波聴覚、神経系刺激、驚愕反射等を調査するためのパルス電磁界を用いたばく露装置を開発する。同装置を用いて、既知のパルス波影響の閾値特性や未知のパルス波の生体影響等について調査を行う。

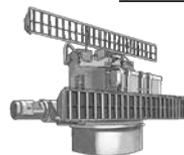
【想定される研究成果】

- ・パルス波の生体影響を評価するための高精度ばく露装置。
- ・パルス波の生体影響の閾値特性。

【期待される効果】

- ・国民に対してパルス電磁界ばく露に対する科学的に正しい知識を提供すると共に、正確なドシメトリによって国内の電波防護指針、国際ガイドラインの策定に貢献する。
- ・電磁パルスを用いた新たな電波の有効利用技術を開発するための基礎データを提供することが期待される。

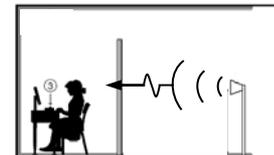
様々なパルス電磁界



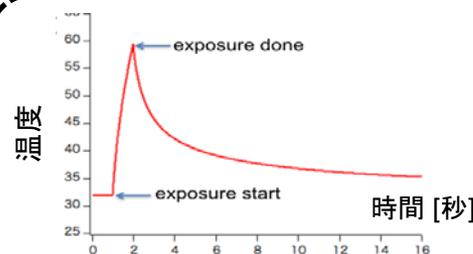
船舶レーダー



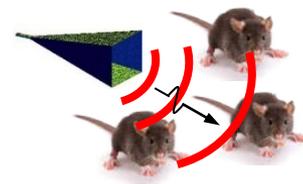
ミリ波レーダー



マイクロ波聴覚のばく露実験

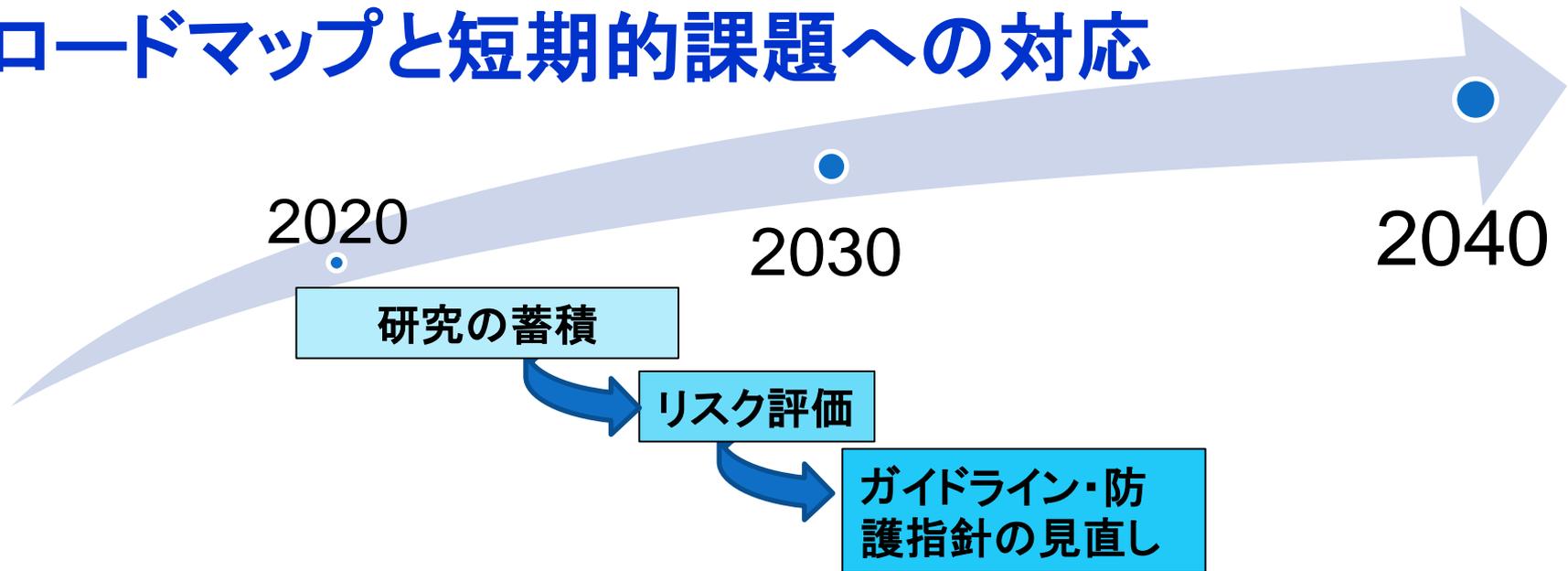


瞬時過熱の例



動物を用いた生体影響調査

ロードマップと短期的課題への対応



長期的には現時点で想定できない点も多い。

- ◆ 新しい電波の利用形態やばく露形態
- ◆ リスク評価技術の進展
- ◆ 動物実験手法の発展
- ◆ 公衆の懸念

PDCAサイクルを意識して柔軟に課題への対応することを希望したい。

