

「先進的な無線システムに関するワーキンググループにおける検討事項等」に関する意見

中園 聡(電力中央研究所)

鈴木 敬久(首都大学東京)

和田 圭二(首都大学東京)

池畑 政輝(鉄道総合技術研究所)

提出した意見

1. WPTで用いる中間周波数帯を対象にした、刺激作用の周波数特性評価とモデル化および刺激作用に関連した健康リスク評価

- ① 刺激作用のメカニズム、周波数依存性を解明するための、細胞生物学的知見の収集。
- ② これら細胞生物学的知見に基づいた刺激作用の数値モデル化による評価。
- ③ 単なる感覚では無く、痛みのモデル化や、意図せぬ連続的な神経刺激による神経細胞死・神経変性などの健康リスクの可能性を検討。

2. WPTで用いる中間周波数帯を対象にした、安全性評価

- ① 医薬品や化学物質の安全性評価に用いられる、がん原性、生殖発生毒性、一般毒性に加え、免疫毒性、神経毒性など広範な毒性を検討する。
- ② 最新の生物学的知見を踏まえ、これまでの毒性評価では考慮されていなかったエピジェネティックな影響など、についても詳細に検討する。

その他：米国NTPにおける携帯電話電磁波の発がん性評価結果のフォローと、実験上の問題点の抽出、および再現性を確認する際の実験計画を検討する必要がある。

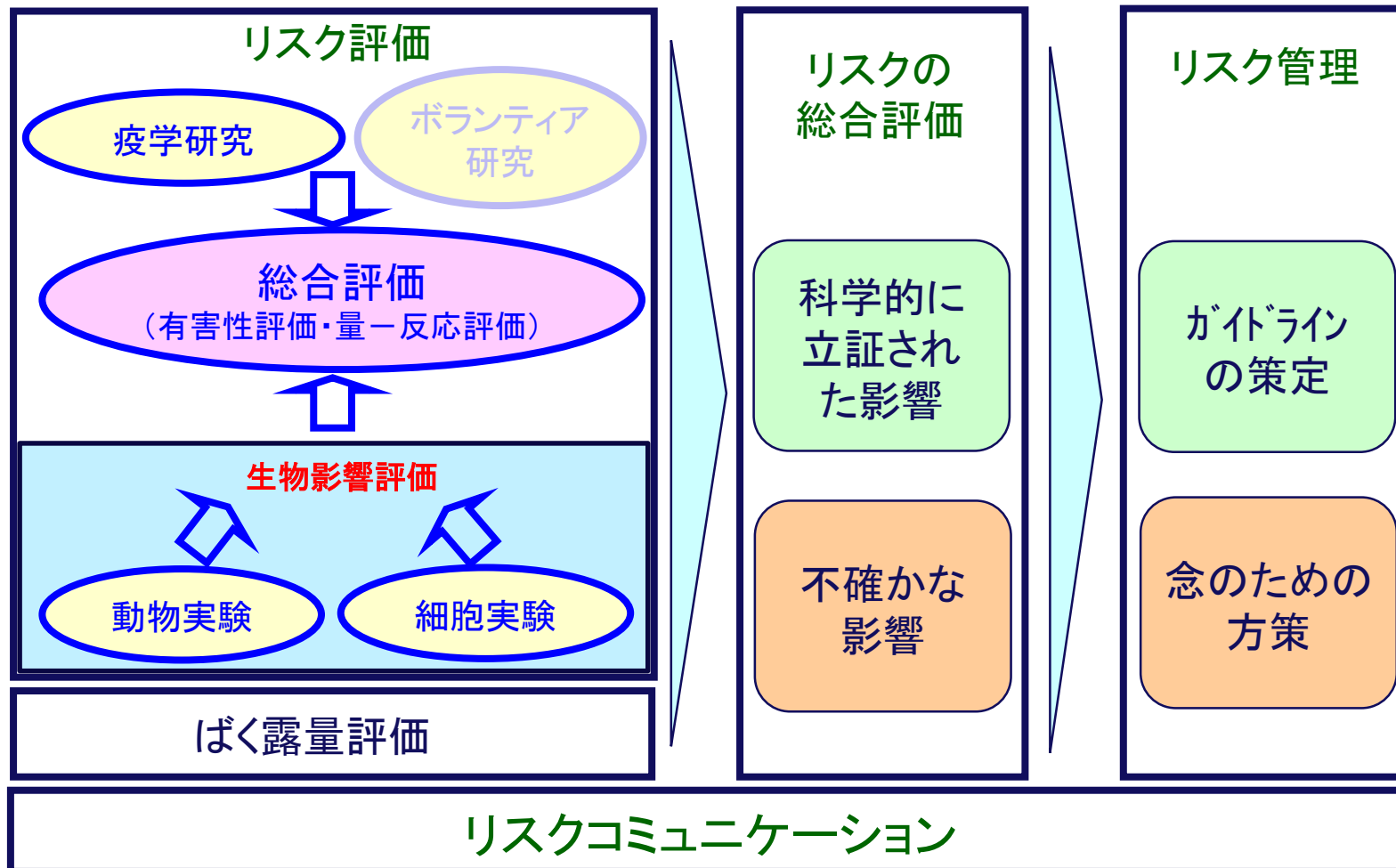
現状認識(中間周波に関して)

- ◆ IH電磁調理器やワイヤレス電力伝送(WPT)などの普及に伴い、日常生活において中間周波(300Hz~10MHz)への**ばく露機会が増加**している。
- ◆ 次世代半導体素子の導入による6.78 MHzのWPTシステムの研究が進められており、**さらにばく露の機会が増加**すると考えられる。
- ◆ ICNIRPやIEEE等の**国際的なガイドライン**では、**末梢神経への刺激作用**(知覚)に対するばく露許容値が定められている。
- ◆ 知覚作用は必ずしも**防護すべき健康リスク**とは言えず、**過剰なばく露管理**が強いられる可能性がある。
- ◆ ガイドラインは他の因子同様に**健康リスク**に基づくべきである。
- ◆ **科学的な知見**は十分でなく、その**蓄積の必要性**がWHOやSCENIHR等の国際的な組織からも**指摘**されている。

健康リスク評価の枠組み

WHO 環境保健クライテリア

ICNIRPガイドライン
電波防護指針



リスク評価手法の特徴

ヒト研究

疫学研究

(長所)ヒトへの影響(ばく露との相関性)を直接評価できる。
 (短所)バイアス、交絡因子によるエラーの可能性。
 因果関係の評価ができない。

ボランティア研究

(長所)ヒト個体での評価である。
 (短所)倫理上の制約が大きい(深刻でないリスクのみ可能)。
 データのばらつきが大きい。
 メカニズムに基づく評価、モデル化が困難。

一般的ではない

ヒト以外の研究

動物実験

(長所)生物個体にばく露できる。ばく露条件をコントロールできる。定量的なリスク評価ができる。
 (短所)ヒトへの外挿について議論がある。
 細胞試験に比べ、ばらつきが大きい。高価、長期。

細胞実験

(長所)作用メカニズムがわかる。試験コストが低い。
 倫理上の制約が少ない。
 (短所)定性的な評価が主となる。
 ヒト個体への影響を評価できない。

生体作用と健康リスク

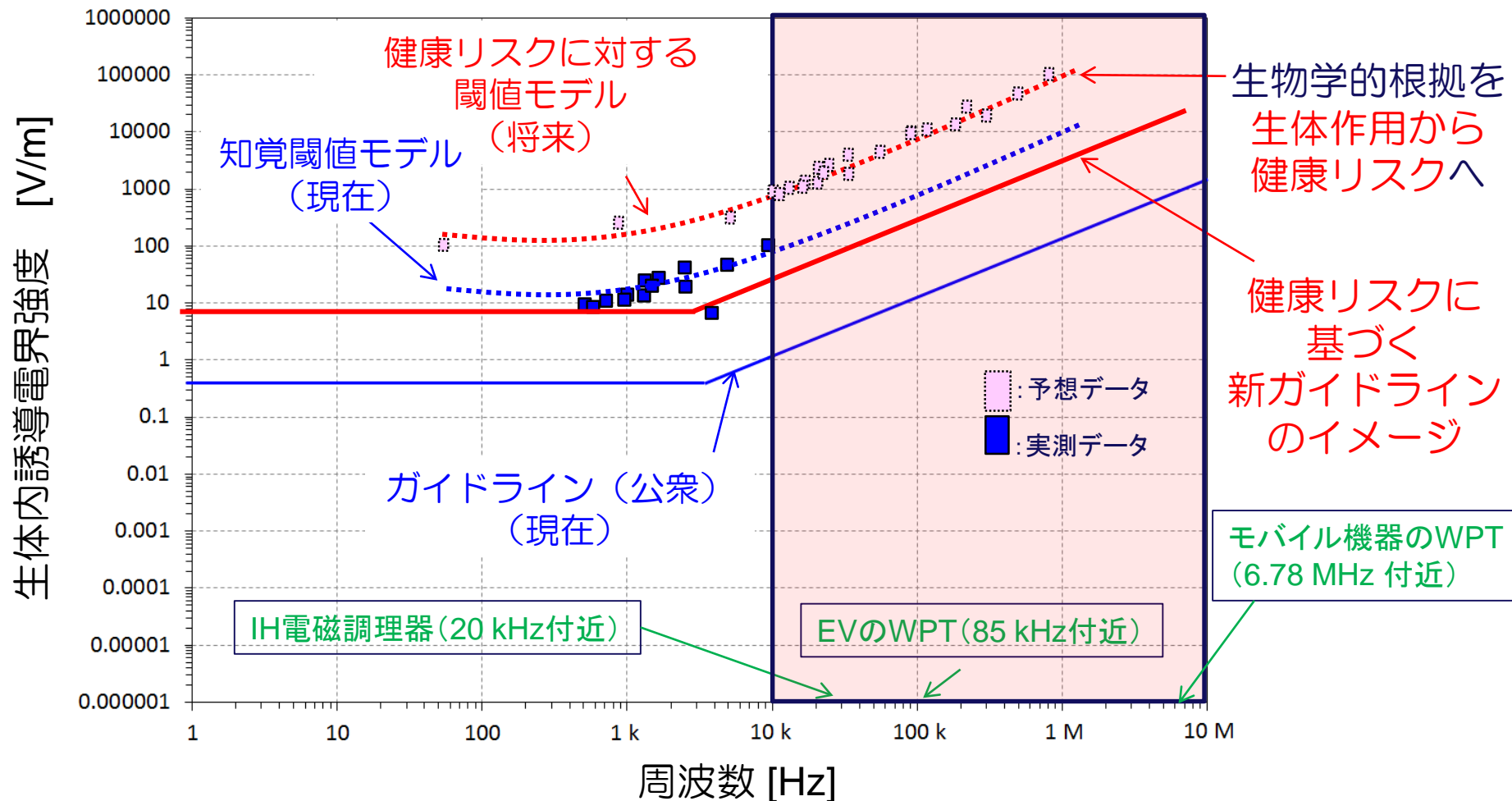
生体作用

例：心拍数変化、体温変化、体重変化、
刺激作用（触覚、視覚、聴覚、味覚、嗅覚など）

健康リスク

例：発がん、心疾患、免疫
不全、神経変性疾患など

健康リスクを根拠としたガイドラインへ



検討すべき健康リスク(中間周波)

刺激作用を
介した影響
の可能性

◆ 神経系への影響

- 末梢神経系への影響(痛覚、細胞死など)
- 中枢神経系への影響(細胞死、神経変性疾患など)

◆ 心臓・筋への影響

- 心筋への影響(急性・慢性)など

◆ 発がん性

- 疫学研究、動物実験による発がん性評価
- 細胞を用いた遺伝毒性評価
- エピジェネティクス、がん幹細胞等、新たな発がんメカニズムへの対応

◆ 一般毒性

- 疫学、動物実験による毒性の評価
- 細胞実験による細胞傷害性の評価など

◆ 生殖発生毒性


- 疫学、動物実験による生殖発生毒性の評価
- 細胞実験(動物実験代替法)による発生毒性試験など

◆ その他

公衆の関
心が高い
影響

メカニズム
不明

痛 覚

- ◆ 痛みの感知は主観的である。
 - ◆ 同一人物でも、状況が異なれば同じ感覚刺激がまったく異なる反応を示す事がある。
 - 例1: 負傷兵が戦場を離れるまで痛みを感じない
 - 例2: けがをした運動選手が、しばしば試合終了まで痛みが気につかない
 - ◆ 痛みには中枢性と末梢性がある。
 - ◆ 末梢性の痛みを指標とする場合は、客観的な評価がしやすい。
 - ◆ 考え得るメカニズムとして、痛みに関連した侵害受容器への作用と、A δ 繊維およびC繊維への直接的な作用がある。
-  痛覚を評価する場合に、主観的評価だけでなく、客観的な評価・モデル化が可能な知見も必要。

痛覚と神経線維

カンデル神経科学(第5版)より改変

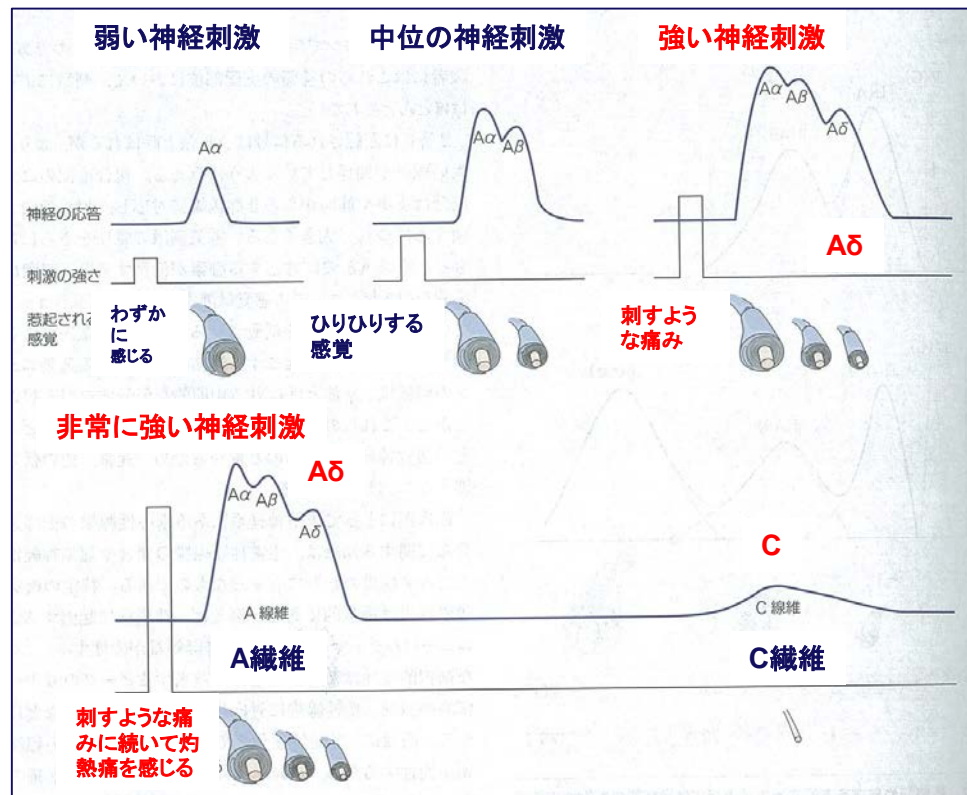
末梢感覚神経の分類

皮膚神経	繊維の直径 (μm)	伝達速度(m/s)
有髄		
太い	$A\alpha$	12~20
中位	$A\beta$	6~12
細い	$A\delta$	1~6
無髄	C	0.2~1.5

A δ 繊維、C繊維に対応する受容器と体性感覚

神経線維	受容器の種類	感覚の種類
	皮膚と皮下の機械受容器	
	うぶ毛	軽くなでる
	温度受容器	
	冷受容器	皮膚を冷やす (<25°C)
	高温侵害受容器	高温 (>45°C)
A δ (細い有髄神経)	侵害受容器	
	機械	鋭い、刺すような痛み
	温度-機械(高温)	焼けるような痛み
	筋骨格系の機械受容器	
	伸張感受性自由終末	過度の伸張や加重
	皮膚と皮下の機械受容器	
	C機械受容器	なでる、性的な接触刺激
	温度受容器	
	温受容器	皮膚を温める (>35°C)
	低温侵害受容器	低温 (<5°C)
C (細い無髄神経)	侵害受容器	
	温度-機械(低温)	凍るような痛み
	ポリモーダル	ゆっくりとした痛み、灼熱痛

刺激の強さと感覚



生物学的根拠を用いた数理モデル化

刺激応答メカニズムの解明

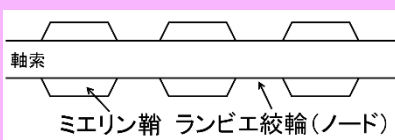
- ・細胞や動物を用いた刺激応答実験
- ・電磁界のばく露による内部誘導量を精密に定量化

中間周波磁界のヒト個体への刺激作用の研究で、特定の周波数で感度が上昇する知見あることから、生物学的実験での確認が必要

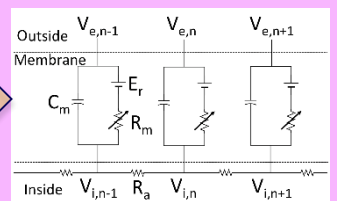
閾値推定の数理モデルの構築

痛覚に関連する末梢神経 → 有髄神経の場合

数理モデルの構築

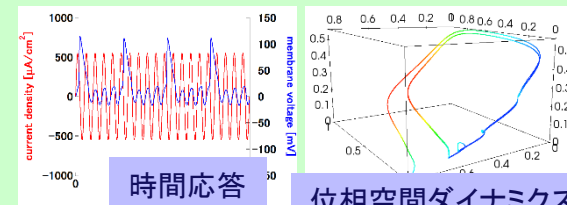


有髄神経の概略図



有髄神経の等価回路

数理モデルによる神経応答解析の例 @1kHz



McNeal modelやSENNモデルなどを基準にし実際に細胞・動物実験結果をモデルに繰り込み精密な閾値予測が可能な数理モデルが必要

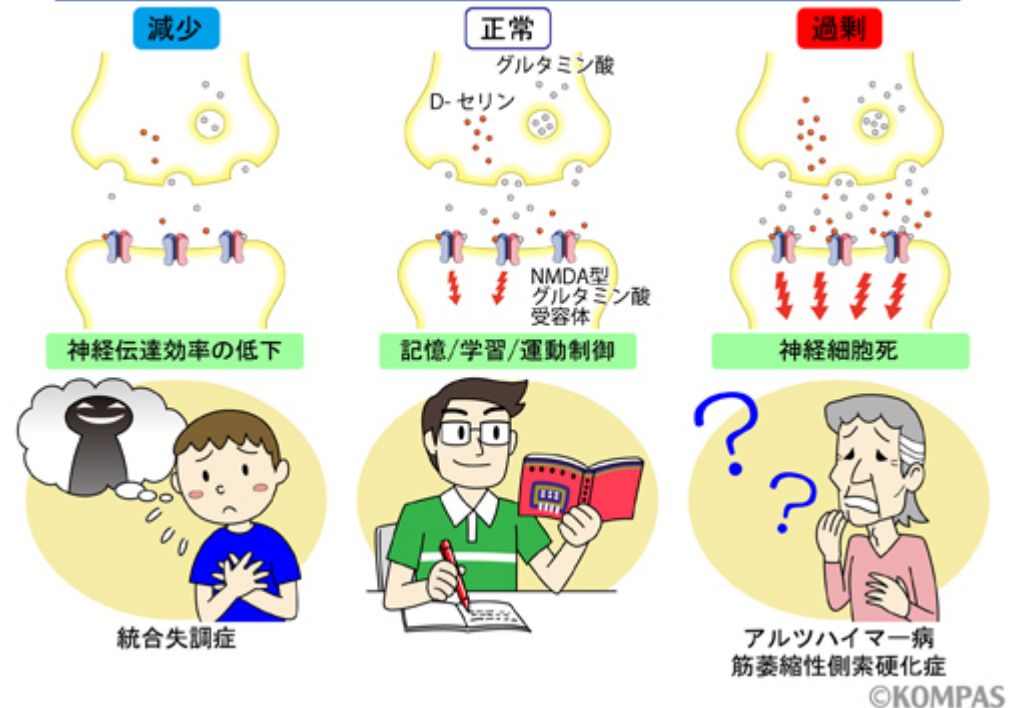
マクロなドシメトリ手法とマイクロな数理モデルを連成し、ヒトへの外挿を検討し、人体の閾値が推測可能なシミュレーションシステムが必要

神経刺激から神経細胞死、疾病へ

◆ 興奮毒性

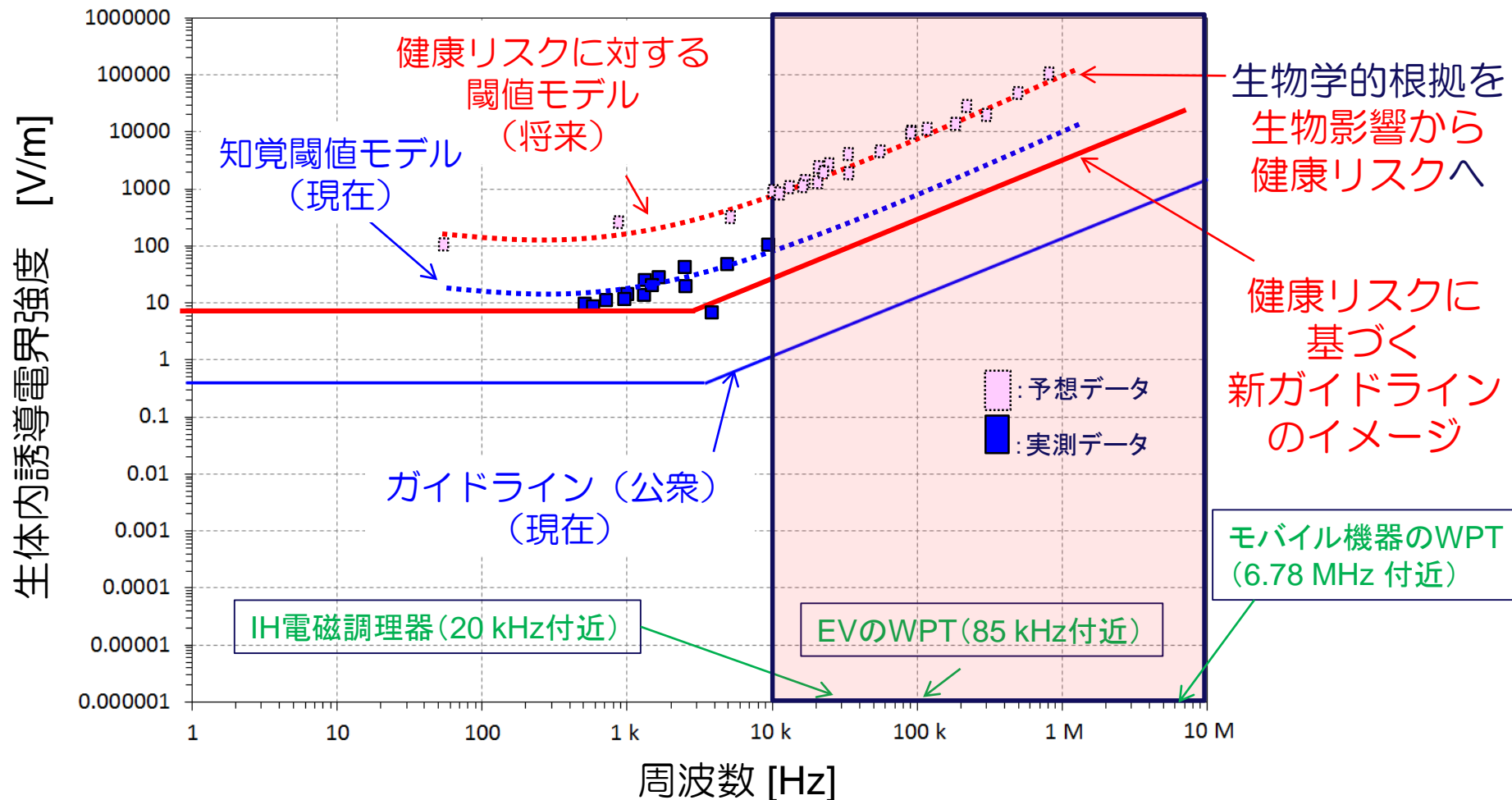
- 神経刺激によりシナプス前細胞より放出される**グルタミン酸**は、興奮性シナプスでの神経伝達物質として作用する
- 一方、**過剰なグルタミン酸の蓄積**は神経細胞死を引き起こす
- また、**神経変性疾患**を引き起こす可能性がある

グルタミン酸神経伝達の機能と疾患



http://kompas.hosp.keio.ac.jp/sp/contents/medical_info/science/201508.htmlより転載

健康リスクを根拠としたガイドラインへ



科学的に適切なガイドライン策定が可能！

関連する業界での人体防護に関する規定

◆ 経産省・磁界規制の導入

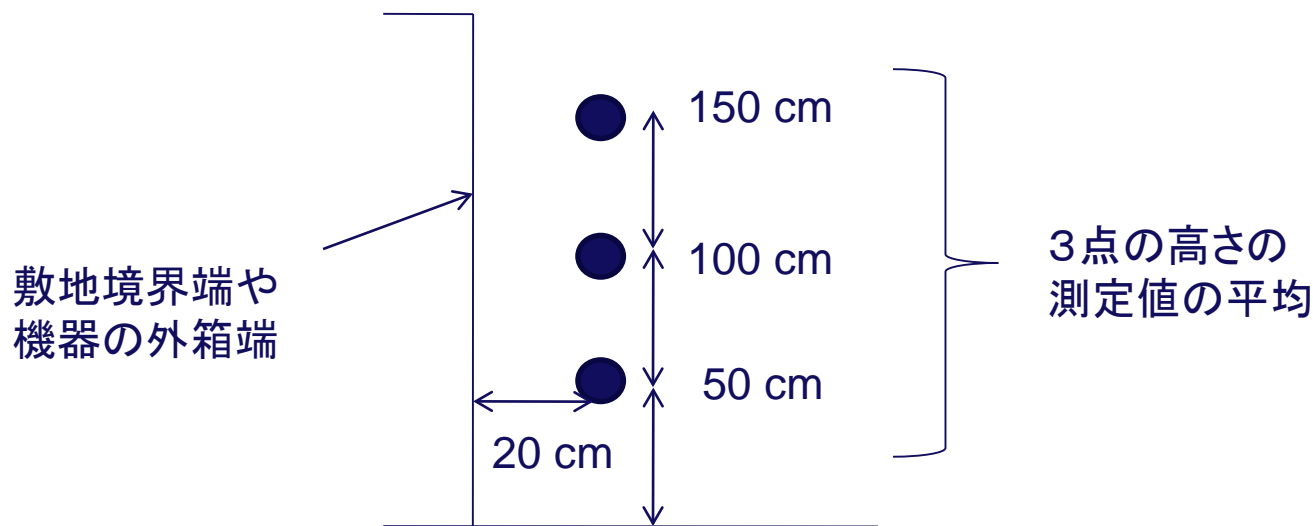
- 「電気設備に関する技術基準を定める省令」の一部を改正（公布 平成23年3月31日、施行 平成23年10月1日）
 - ・50および60Hzが対象
 - ・200 μ Tで規制(2010 ICNIRPガイドラインの磁界参考レベル)
 - ・評価方法は、IEC62110(2009)(JIS C 1911:2013)に準拠。
 - ・対象設備は、変電所、開閉所や変圧器、開閉器、電線路
 - ・測定方法等について方法を例示(電技解釈)

◆ 国交省・磁界規制の導入

- 「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」の一部を改正（公布 平成24年7月2日、施行 平成24年8月1日）
 - ・鉄軌道では、50および60Hzが対象
 - ・数値規制ではなく基準値は「解釈基準」に記載
 - ・評価方法は、IEC TS62597(2011)および(JIS C 1911:2013)に準拠。
 - ・対象設備は、変電所、開閉所や変圧器、開閉器、電線路
 - ・測定方法等について方法を例示(鉄技解釈基準)

電力設備の電磁界測定手法に関する国際規格 (JIS C 1911:2013)での測定位置

- ◆ 送電線下など一様な電界・磁界に対しては、地上1mの高さで測定する
- ◆ 変電所敷地境界や配電路上機器近傍など、一様ではない場合
- ◆ 国内磁界規制における評価方法として採用



「電気設備に関する技術基準を定める省令」

第二章 電気の供給のための電気設備の施設

第一節 感電、火災等の防止

(電気機械器具等からの電磁誘導作用による人の健康影響の防止)

- ◆ **第二十七条の二** 変圧器、開閉器その他これらに類するもの又は電線路を発電所、変電所、開閉所及び需要場所以外の場所に施設するに当たっては、通常の使用状態において、当該電気機械器具等からの電磁誘導作用により人の健康に影響を及ぼすおそれがないよう、当該電気機械器具等のそれぞれの付近において、人によって占められる空間に相当する空間の**磁束密度の平均値が、商用周波数において二百マイクロテスラ以下**になるように施設しなければならない。ただし、田畑、山林その他の人の往来が少ない場所において、人体に危害を及ぼすおそれがないように施設する場合は、この限りでない。
- ◆ **2** 変電所又は開閉所は、通常の使用状態において、当該施設からの電磁誘導作用により人の健康に影響を及ぼすおそれがないよう、当該施設の付近において、人によって占められる空間に相当する空間の**磁束密度の平均値が、商用周波数において二百マイクロテスラ以下**になるように施設しなければならない。ただし、田畑、山林その他の人の往来が少ない場所において、人体に危害を及ぼすおそれがないように施設する場合は、この限りでない。

電気設備に関する技術基準を定める省令

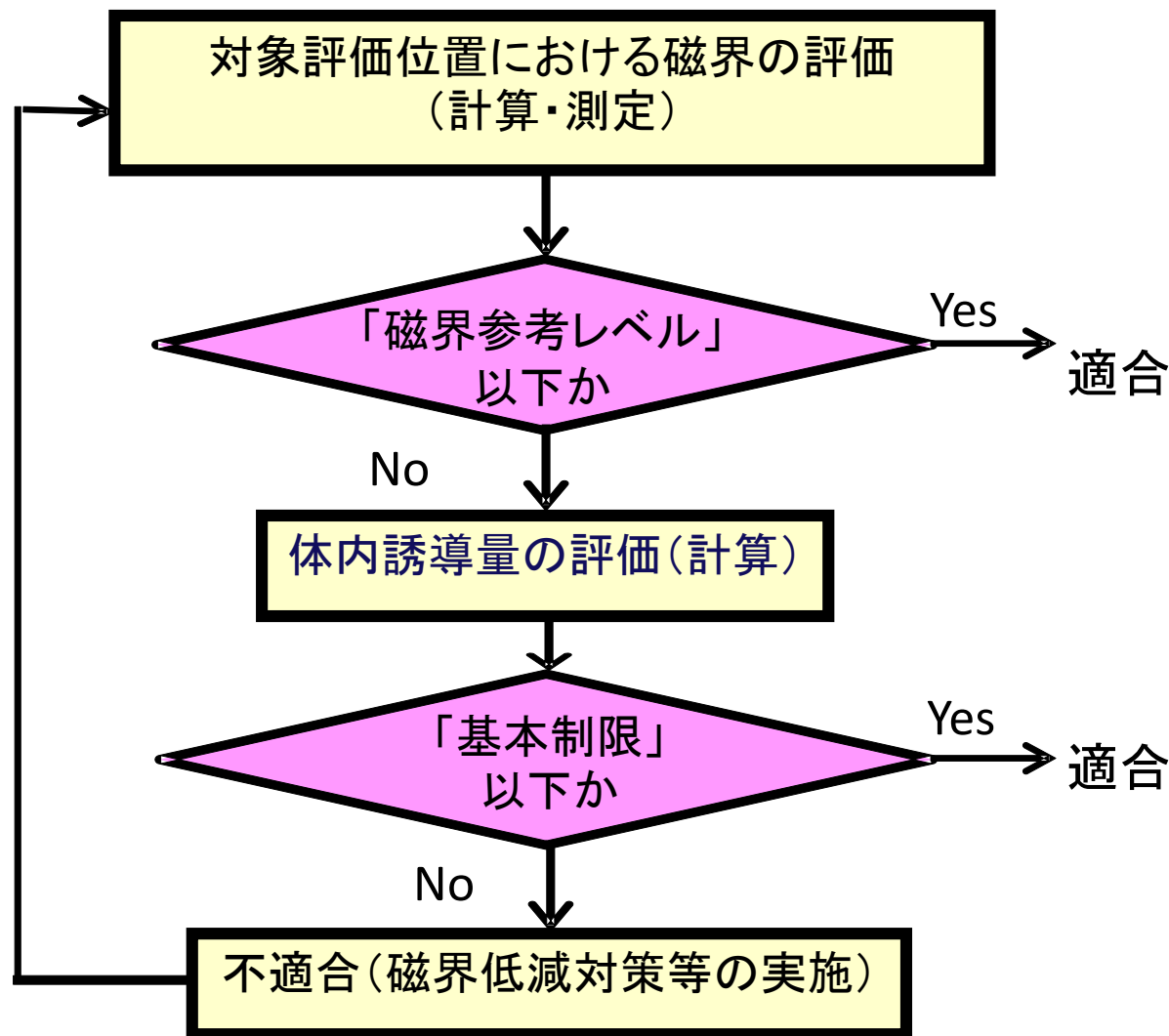
最終改正：平成二八年九月二三日経済産業省令第九一号、より抜粋

「電気設備の技術基準の解釈」

【電線路からの電磁誘導作用による人の健康影響の防止】(省令第27条の2)

- ◆ 第50条 発電所、変電所、開閉所及び需要場所以外の場所に施設する電線路から発生する磁界は、第3項に掲げる測定方法により求めた磁束密度の測定値(実効値)が、商用周波数において $200\mu\text{T}$ 以下であること。ただし、造営物内、田畑、山林その他の人の往来が少ない場所において、人体に危害を及ぼすおそれがないように施設する場合は、この限りでない。
- ◆ 2 測定装置は、日本工業規格 JIS C 1910(2004)「人体ばく露を考慮した低周波磁界及び電界の測定－測定器の特別要求事項及び測定の手引き」に適合する3軸のものであること。
- ◆ 3 測定に当たっては、次の各号のいずれかにより測定すること。なお、測定場所の例ごとの測定方法の適用例については50-1表に示す。
- ◆ 一 **磁界が均一であると考えられる場合**は、測定地点の地表、路面又は床(以下この条において「地表等」という。)から1mの高さで測定した値を測定値とすること。
- ◆ 二 **磁界が不均一であると考えられる場合**は、測定地点の地表等から0.5m、1m及び1.5mの高さで測定し、3点の平均値を測定値とすること。

ICNIRPガイドラインに基づく適合性評価手順



防護指針見直しに期待する点

- ◆ 中間周波に関して、指針の根拠として、一般的な**健康リスク評価の結果を反映させた、指針を策定（改訂）**することが望ましい。
- ◆ **指針の改訂により、適切なリスク管理が可能となり、安全性の確保に加え、実用化や管理コストの削減、利便性の向上**が期待される。

まとめ

- ◆ 中間周波電磁界の健康リスク評価に関する知見は、依然として不足している。
- ◆ 国際ガイドライン、電波防護指針等で防護すべきとしている「末梢神経の刺激作用」は、必ずしも健康リスクとは言えない。
- ◆ 科学的に適切な中間周波電磁界管理をするには健康リスクに関する知見の蓄積が必要である。
- ◆ 健康リスク評価の枠組に基づいたさらなる研究の推進を望む。

ここまで