

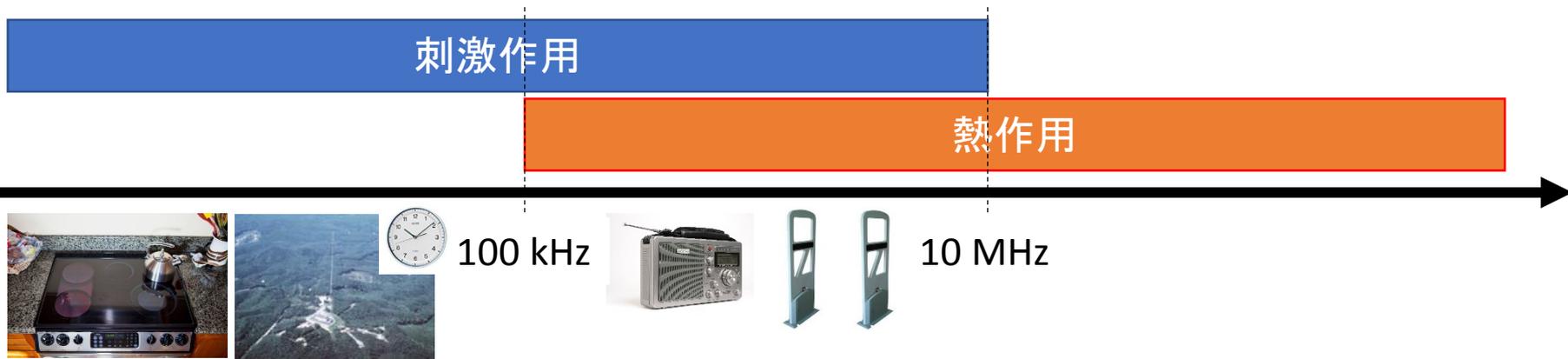
# 工学分野 (領域：中間周波)

国立研究開発法人情報通信研究機構

渡辺 聡一

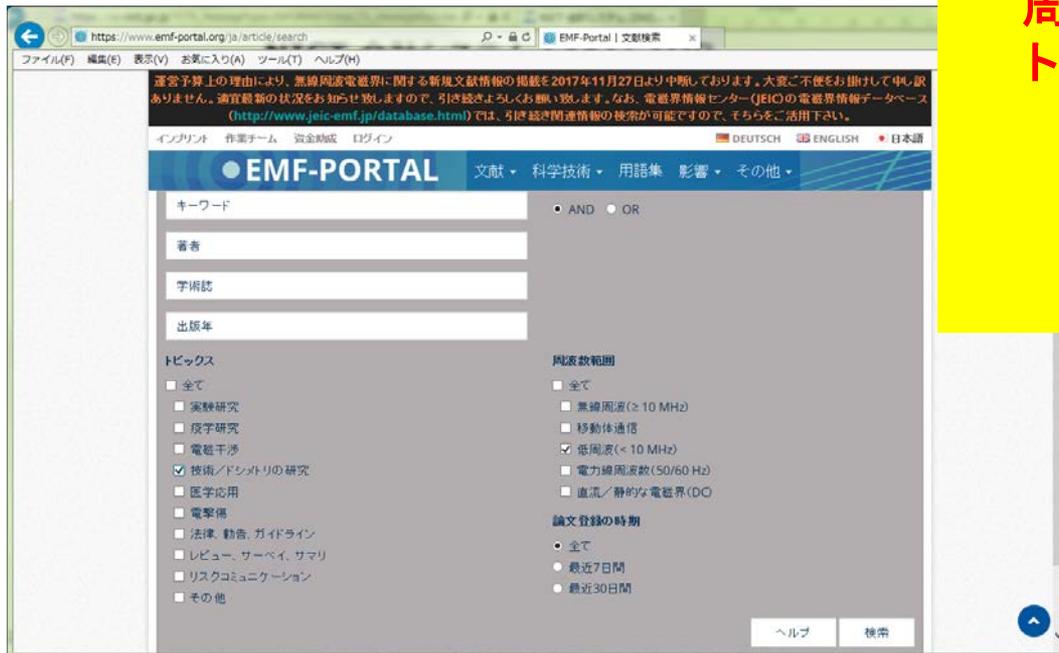
# 中間周波数帯

- WHO国際電磁界プロジェクトで導入された周波数領域(300 Hz ~ 10 MHz)
- 低周波領域の刺激作用から高周波領域の熱作用に遷移する周波数領域
  - 特に100 kHz- 10 MHzについては、刺激作用に対する安全許容値と熱作用に対する安全許容値の両方について評価する必要がある。
- ラジオ放送に加え、近年はIH調理器・電波時計・RFID/EAS等での利用が拡大している。



# これまでの中間周波数帯の工学研究

- これまでのリスク評価研究は主に商用周波数(50/60 Hz)と携帯電話の周波数(700 MHz ~ 6 GHz)であり、中間周波数帯における研究は少ない。



周波数範囲: 低周波(10MHz以下)  
トピックス: 技術/ドシメトリの研究



2011件ヒット  
(多数のELF研究も含む)  
※高周波では2399件ヒット

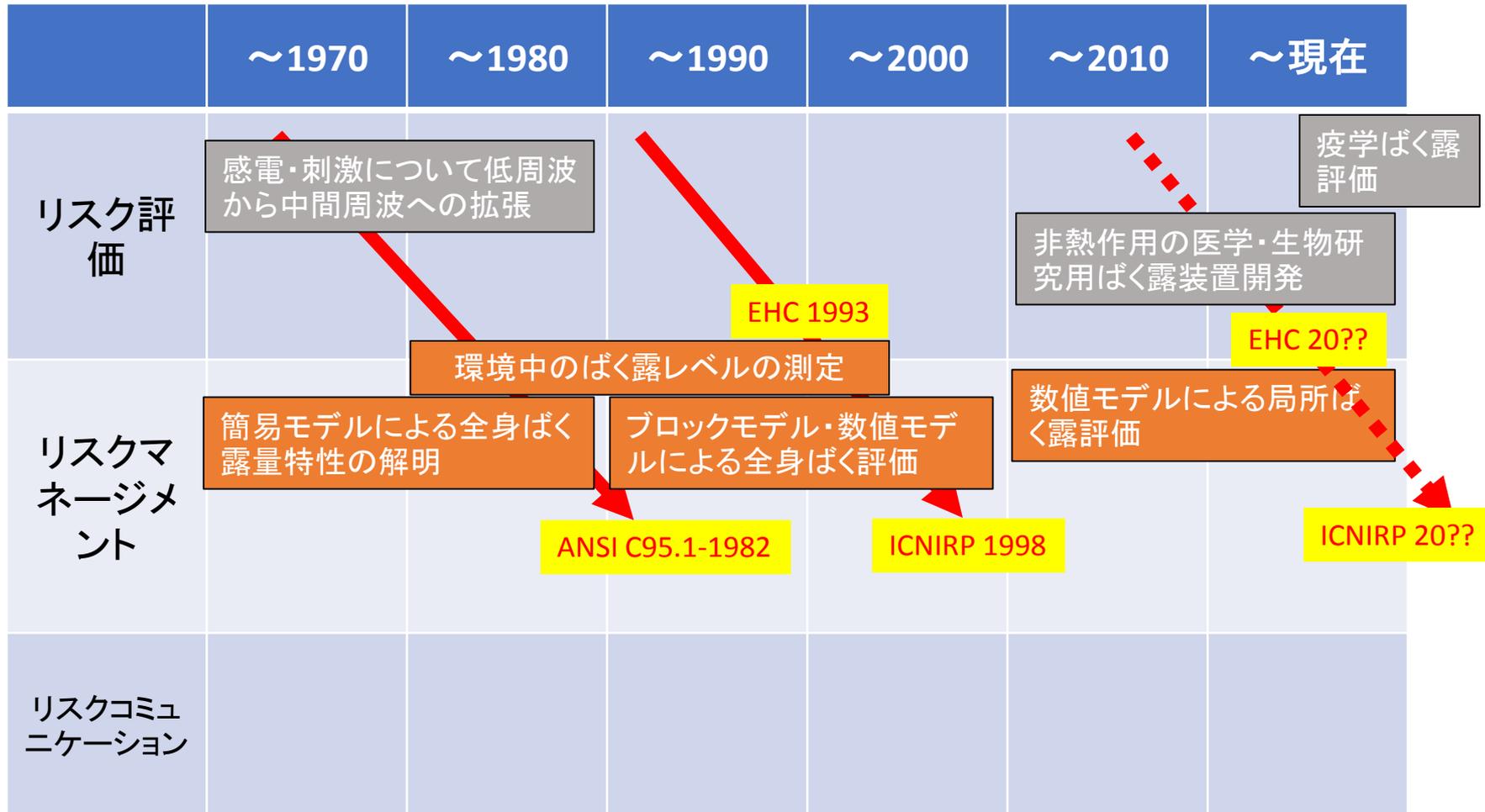
# これまでの中間周波数帯の工学研究(1)

- EMFポータルでヒットした最古の論文は1914年の「最近の農業実験に採用された架空放電の分布」
- 1953年に商用周波数から中間周波数帯における感電に関するレビュー論文が発行されている(日本の感電事故例も引用されている)。
- 1973年にワシントン大による人体ドシメトリ研究論文(球体モデル)が発行されている。
- 1970年代から鉄道システムやVDTモニターからの電磁界測定が報告されている。

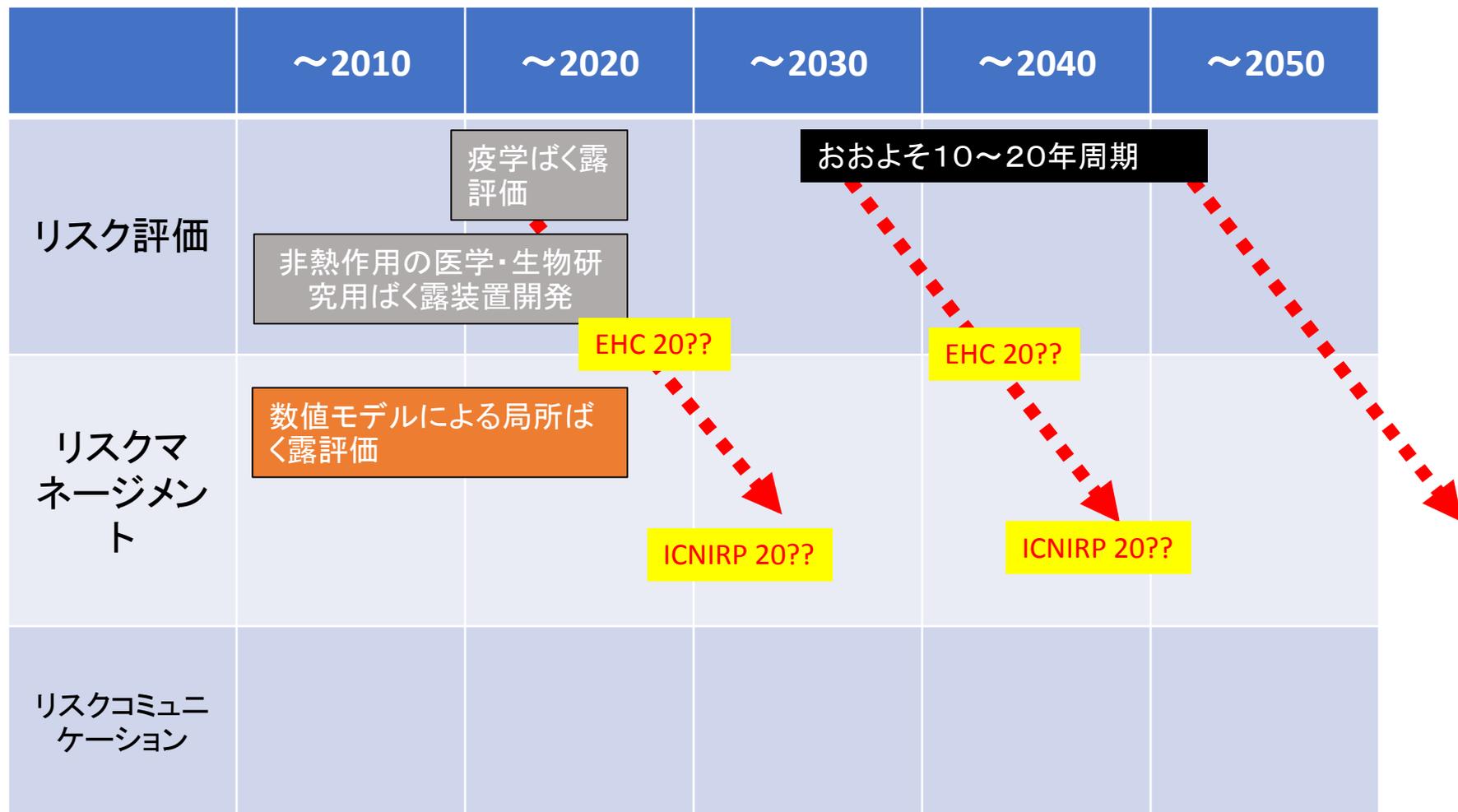
# これまでの中間周波数帯の工学研究(2)

- 1970年代以降、ばく露評価に関する研究が進展。
  - 球体モデル → ブロックモデル → 数値モデル
  - 詳細は第1回での藤原先生の資料参照ください
- 2000年以降、中間周波数帯に適した電磁界解析手法についての研究が進展。
  - 名工大、首都大の研究が国際的に注目
  - 電気学会によるラウンドロビン研究による計算手法の妥当性検証
- 近年はWPTシステムのばく露評価研究が主流
  - 日本が国際的に研究をリード

# これまでの工学研究の経緯



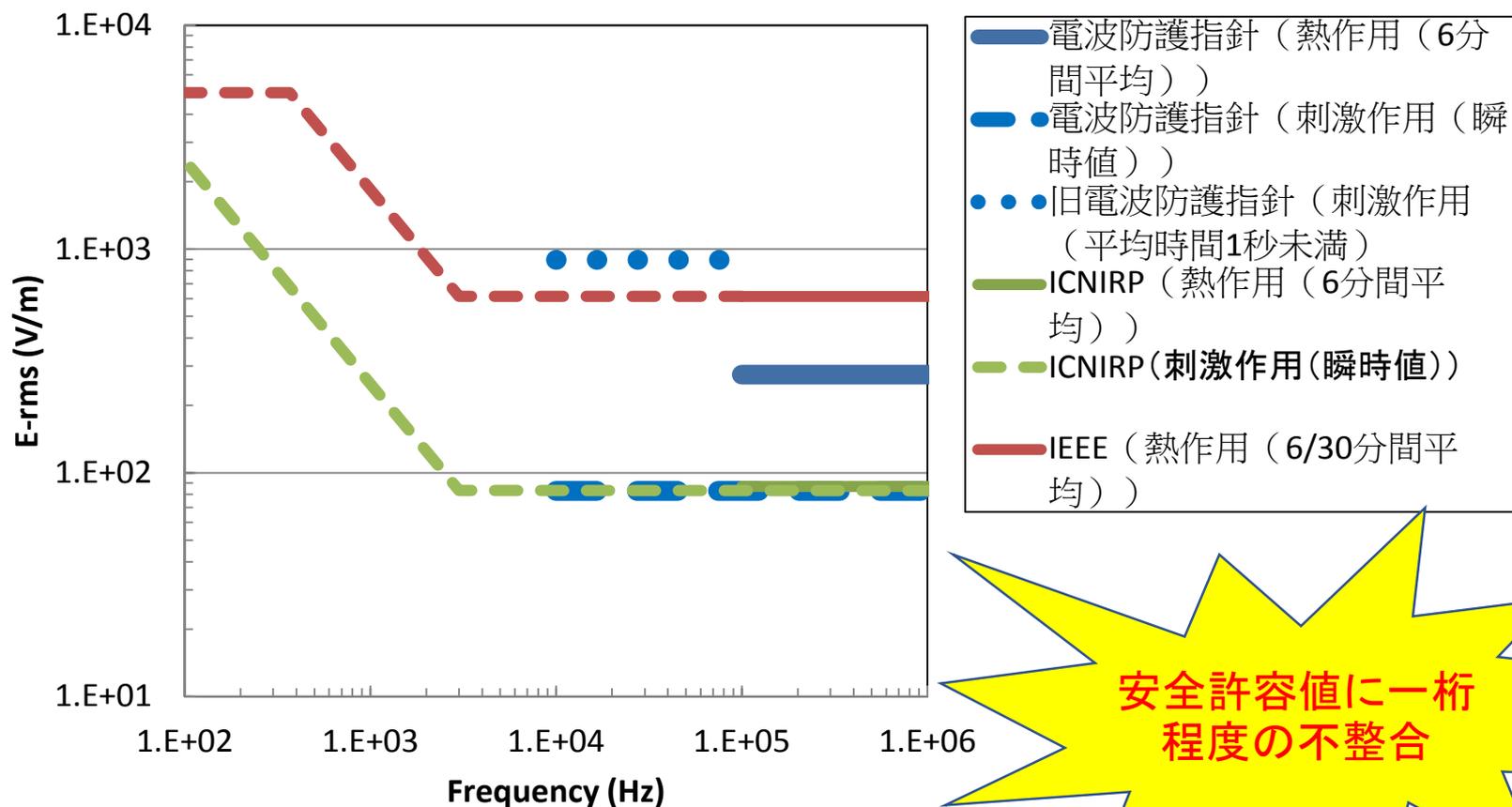
# 今後の工学研究は？



# 最近・今後の電波利用状況

- 今後、無線電力伝送システム(WPT)での利用が見込まれている。
  - 最も近いうちに普及が見込まれているのが電気自動車用WPTであり、80kHz付近の周波数を利用し、コンビニ駐車場等への導入が見込まれている急速充電システムでは7.7kWもの大電力伝送が想定されている。
- 2017年に中間周波数帯(10 kHz – 10 MHz)の安全許容値(電波法施行規則)がICNIRPガイドラインに整合するように改正され、従来よりも安全許容値が1/10以下になっている。
  - このため、当該周波数帯の無線設備(中波放送施設等)の適合性評価方法の改良(精密化)が課題となっている。

# 安全許容値の不整合



# 中間周波数帯に対する最近のレビュー(1)

- 生体電磁環境に関する検討会一次報告(2015.6)
  - 中間周波電磁界ばく露に関する研究は、現時点では**実験データが限定的**であり、また**疫学的な研究が皆無**であることから、リスク評価を行うには不十分である。
  - WPT機器が人体の近傍で使用される場合の**電波防護指針への適合性を適切かつ効率的に確認する手法**について検討することが必要と考えられる。
  - 改定された電波防護指針は、**中間周波数帯においても科学的根拠に基づいた指針値が設定されているものであるが、その検証に用いられた研究の質及び量は、他の周波数帯に比較すれば必ずしも十分ではないのが現状である。**今後の中間周波数帯の利用拡大に向けては、当該周波数帯における生体電磁環境研究の更なる推進が重要である。
- 生体電磁環境に関する検討会先進無線システムに関する報告書案(2018.1パブリックコメント版)

# 中間周波数帯に対する最近のレビュー(2)

- 生体電磁環境に関する検討会「先進的な無線システムに関する電波防護について」報告書案(2018.1パブリックコメント版)
  - この周波数範囲の電磁界の非熱作用による健康影響に関する実験的な研究は極めて少ないが、確固たる健康影響として考えられるものはない。
  - 医学生物研究に関しては～(中略)～中間周波数帯では神経刺激作用が優位な周波数も含むため、**神経への影響を明確にし、電波防護指針へ反映するための基礎データとなる研究**について検討が求められる。また、刺激作用以外の非熱的影響についても、十分に調査が必要である。
  - ヒト研究や疫学研究への波及を想定した工学分野での研究課題として、**ばく露評価技術**に関する課題が挙げられる。
  - 中間周波帯から高周波帯を利用する無線電力伝送システムや～(中略)～の**新しい電波利用技術への適合性評価**に関する課題が挙げられる。

# 中間周波数帯に対する最近のレビュー(3)

## Low-frequency electrical dosimetry: research agenda of the IEEE International Committee on Electromagnetic Safety

J Patrick Reilly<sup>1</sup> and Akimasa Hirata<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Metatec Associates, 12516 Davan Drive, Silver Spring, MD 20904, USA

<sup>2</sup> Department of Computer Science and Engineering, Nagoya Institute of Technology, Showa-ku, Gokiso-cho, Nagoya 466-8555, Japan

E-mail: [jpreilly@ieee.org](mailto:jpreilly@ieee.org) and [ahirata@nitech.ac.jp](mailto:ahirata@nitech.ac.jp)

Received 11 November 2015, revised 26 January 2016

Accepted for publication 4 February 2016

Published 25 May 2016



### Abstract

This article treats unsettled issues in the use of numerical models of electrical dosimetry as applied to international limits on human exposure to low-frequency (typically < 100 kHz) electromagnetic fields and contact current. The perspective in this publication is that of Subcommittee 6 of IEEE-ICES (International Committee on Electromagnetic Safety) Technical Committee 95. The paper discusses 25 issues needing attention, fitting into three general categories: induction models; electrostimulation models; and human exposure limits. Of these, 9 were voted as 'high priority' by members of Subcommittee 6. The list is presented as a research agenda for refinements in numerical modeling with applications to human exposure limits. It is likely that such issues are also important in medical and electrical product safety design applications.

Keywords: low-frequency field, electrostimulation, international safety standards/guidelines, research agenda

- 中間周波数帯を含む低周波領域(100 kHz以下)について今後必要な25の研究課題を抽出。うち、以下の9課題について高い優先度を付与。
- 外務電磁界に誘導された内部電界評価モデルに関する課題
  1. 生体組織の導電率の測定
  2. 皮膚・筋肉・中枢神経のモデル化
  3. 誘導モデル( $E_i/(dB/dt)$ )の多様性
- 神経刺激モデル化に関する課題
  4. 末梢神経を代表する組織
  5. 神経興奮モデルの一貫性
  6. 刺激作用評価モデル・計算手法の検証
- ばく露許容値に関する検討
  7. 末梢神経を代表する組織
  8. 非正弦波形の適合性評価
  9. 応答閾値の統計モデル

# 今後の工学研究のポイント(高精度ばく露評価技術)

- 中期的課題

- 生体組織電気定数の不確かさ改善

- リスク評価・リスクマネジメント

- 新たな電波利用システム(WPT等)のばく露レベルモニタリング技術の開発

- リスク評価・リスクマネジメント・リスクコミュニケーション

- 長期的課題

- 数値人体モデルの高機能化(神経ネットワークモデルとのハイブリッドモデル等)

- リスク評価

- 超高速・高分解能体内誘導電界計測技術

- リスク評価・リスクマネジメント

# 今後の工学研究のポイント(適合性評価技術)

- 中期的課題
  - 中波・短波帯放送施設等の適合性評価方法の改良
    - リスクマネジメント
  - 新たな電波利用システム(WPT等)の適合性評価方法の改良
    - リスクマネジメント
- 長期的課題
  - 数値シミュレーションによる適合性評価技術
    - リスクマネジメント
  - 体内誘導電界計測技術に基づく適合性評価技術
    - リスクマネジメント

# 今後の工学研究のポイント(医学・生物学的研究)

- 中期的課題

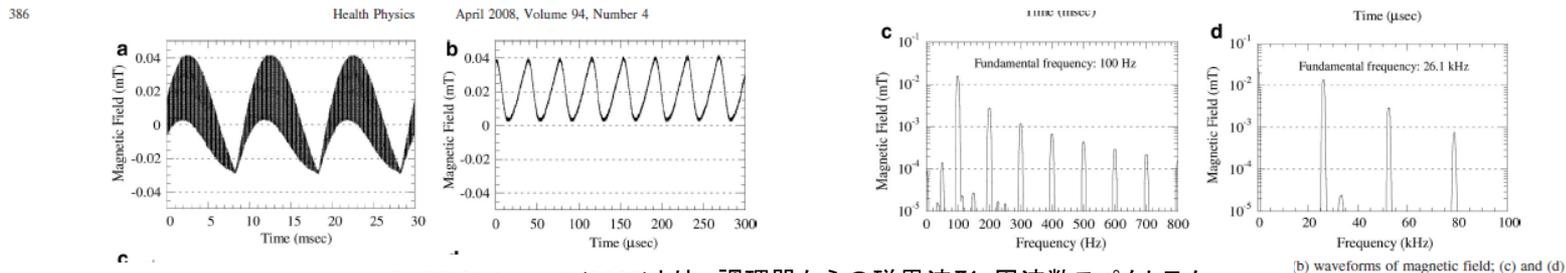
- 刺激作用のメカニズム解明のための被験者／動物／細胞実験用ばく露装置の開発
  - リスク評価
- 低レベル(刺激作用・熱作用以下)動物／細胞実験用ばく露装置の開発
  - リスク評価
- 疫学調査のためのばく露評価手法の開発
  - リスク評価

- 長期的課題

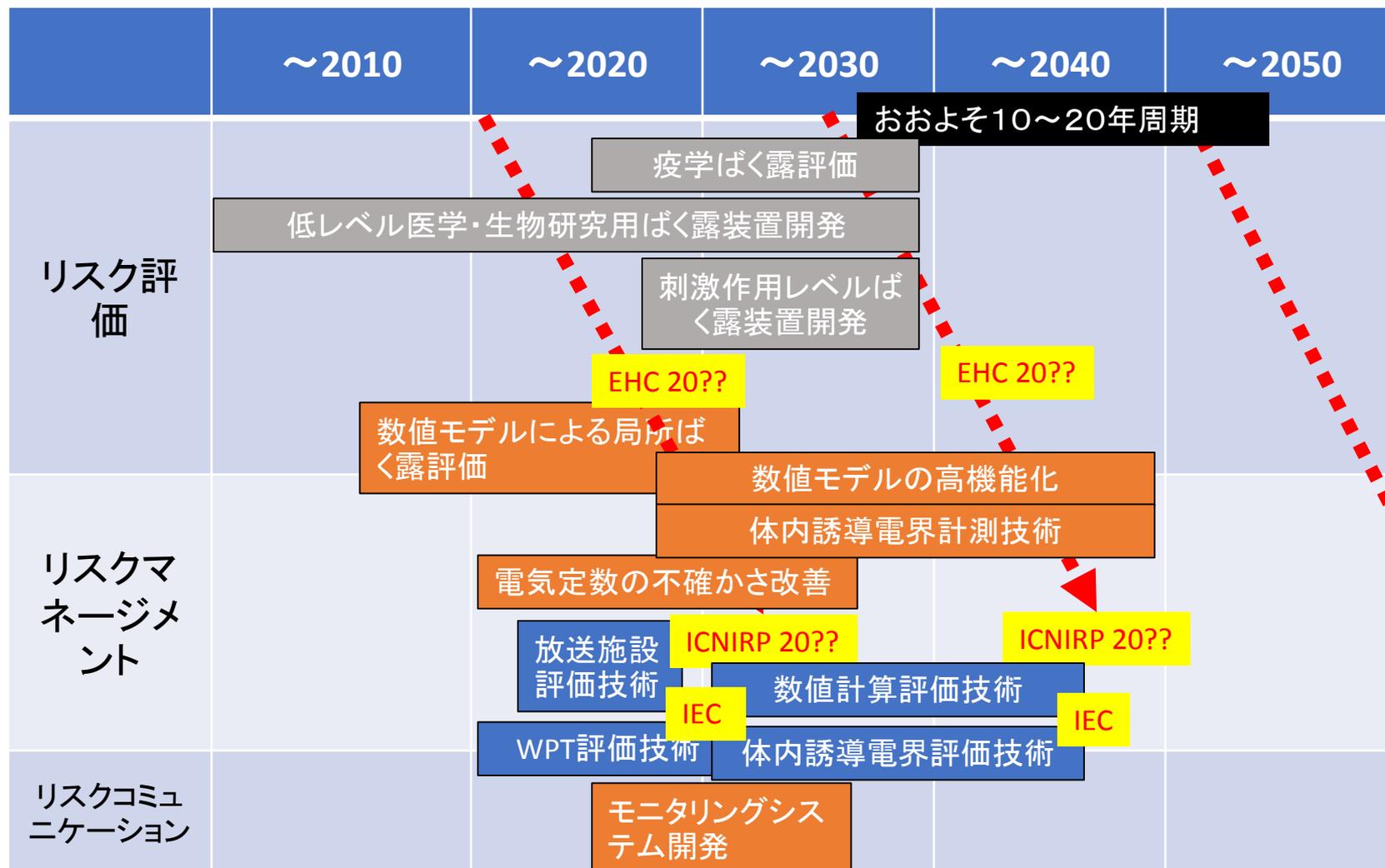
- 中間周波数帯における知覚閾値特性評価モデルの開発(神経応答モデルの拡張・改良等)
  - リスク評価・リスクマネジメント

# 今後の工学研究のポイント(非正弦波、瞬時ばく露)

- AMラジオ、IH調理器やEAS/RFIDでは正弦波とは異なる時間変動波形の電磁界が発生する。
- 中間周波数帯は生体の応答時間と同程度であるため、正弦波と非正弦波では生体影響(刺激作用閾値等)が異なる可能性があるかもしれない。
- ばく露状況によっては瞬時のばく露(瞬時の刺激)であり、このような定常的な刺激でない場合についても防護する必要があるのか？
- 非正弦波を発生する電波利用システムに対する適合性評価方法の確立も必要。



# 今後の工学研究の提案

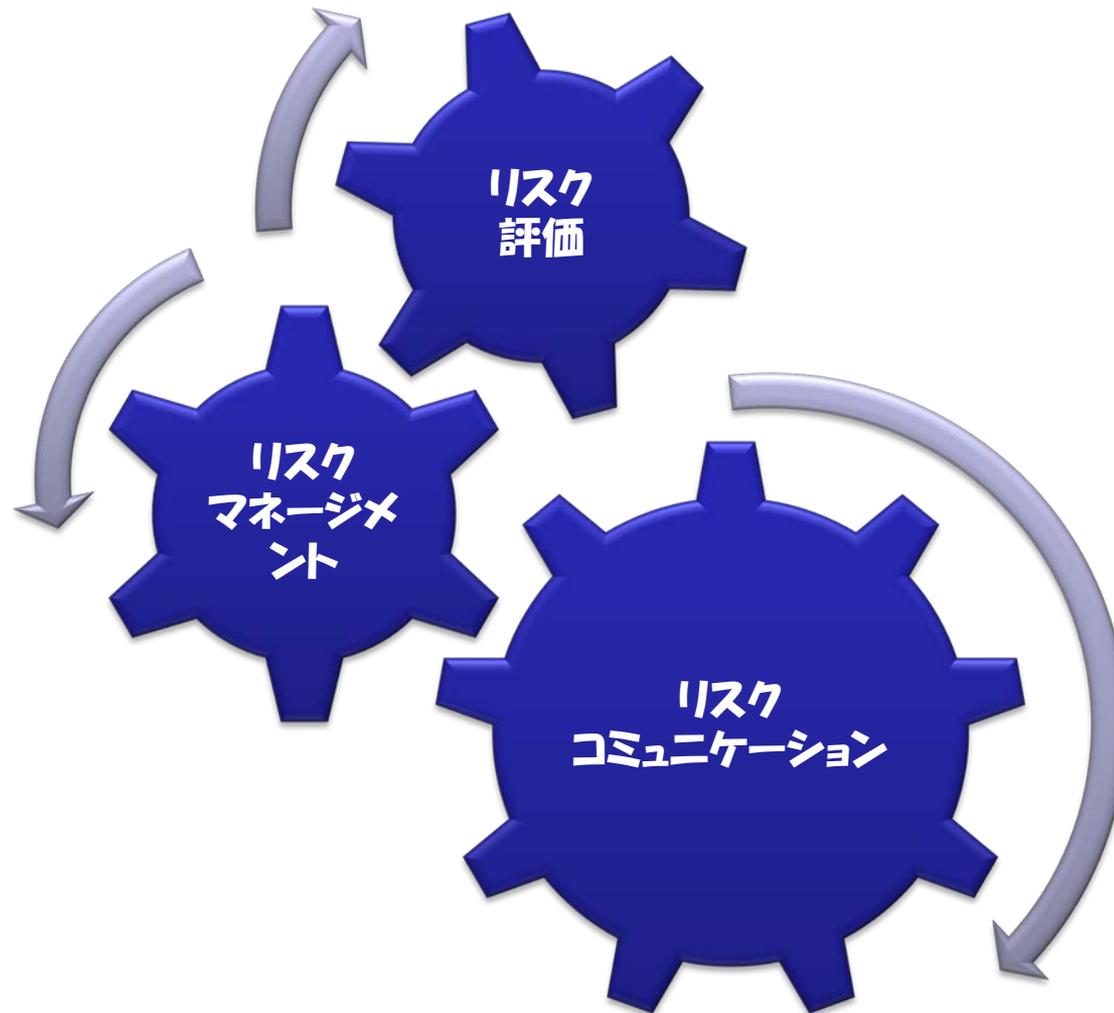


# まとめ

- これまでの工学研究では、低周波領域からの拡張による検討が行われていたが、近年は高精度な数値解析技術が開発されてきている。
- 今後の工学研究では、中期的には高品質なリスク評価のための医学・生物学的研究と新たな電波利用システム(WPT等)の適合性評価技術に関する研究が必要。
- ばく露評価技術の高精度化のための取り組み(電気定数の不確かさ改善や次世代シミュレーション・計測技術の開発)も必要。
- 次の次の国際的なリスク評価(2030～40年代?のEHC策定)への反映を見込んだ研究計画の策定が重要。

# 以下、補足資料

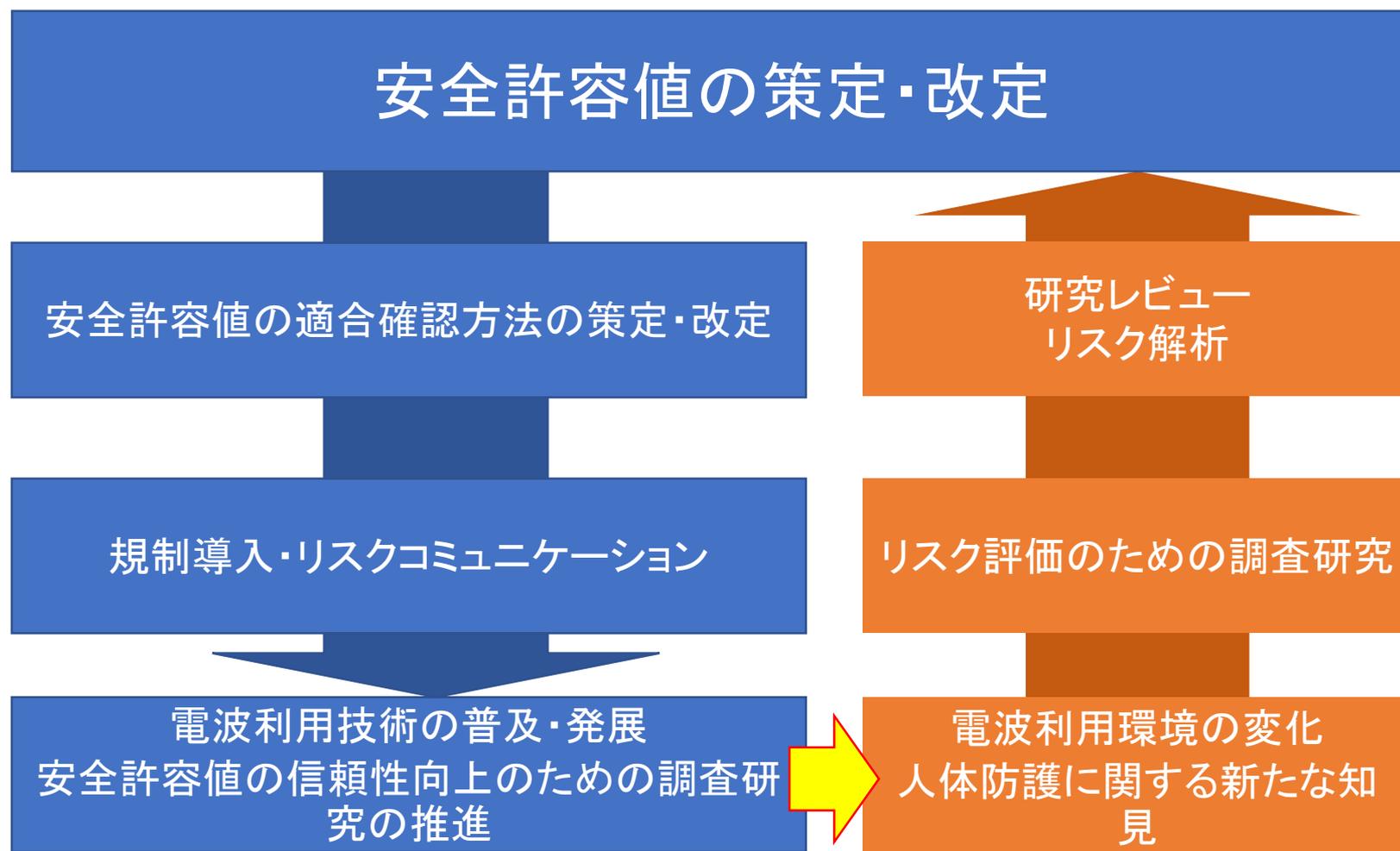
# リスク管理の3ステップ



# 電波のリスク管理

- リスク評価
  - 医学・生物研究を通じて、電波の健康影響の閾値や量－反応特性を明らかにする。
- リスクマネジメント
  - 健康影響の閾値に適切な低減係数を考慮した安全許容値(基本制限値)を策定する。
  - 実際の人体防護管理に適した安全許容値(参考レベル)を策定する。
  - 安全許容値への適合性を確認するための方法を策定する。
- リスクコミュニケーション
  - 過度な不安を抱かずに、安全かつ安心して、便利に電波を利用する環境の構築。
  - 電波の安全性を過信せず、電波利用システムの安全許容値を適切に順守することで、適正に電波を利用する環境の構築。

# 電波のリスク管理のサイクル



# 工学分野の主要3研究課題



高精度

人体の電波ばく露量計測  
技術



高精度

再現性

医学・生物実験の  
ためのばく露装置  
及びばく露量評価

電波防護指針適  
合性評価技術

信頼性

再現性

簡便性

# 電波のリスク管理と工学研究の例

- リスク評価

医学・生物研究のためのばく露装置開発とばく露評価

⇒健康影響の閾値と量－反応特性の把握

電波利用環境における人体のばく露量特性を解明

- リスクマネジメント

医学・生物研究におけるばく露量の不確かさ評価

人体のばく露量の変動量(合理的な最悪値)の評価

⇒低減係数の決定(閾値×低減係数＝安全許容値)

体内電磁界強度で示された基本制限値に対応する対外入射電磁界強度(参考レベル)の導出

適合性評価方法の開発・改良

- リスクコミュニケーション

- 人体のばく露量モニタリングデータの取得・提供
- 簡便かつ効果的な人体のばく露低減手法の開発