

講演会「電磁界生体影響問題の最近の動向」開催記録

開催の概要：

電気学会では平成7年に「電磁界生体影響問題調査特別委員会（委員長：関根泰次 東京大学名誉教授）」を設立し、身の回りにある商用周波電磁界が人の健康に影響するかどうかについて、これまでの研究状況を調査し、総合的に評価を行ってきた。得られた成果は、平成10年および15年発行の2冊の報告書、ならびに小冊子「電気の暮らしと健康不安」を通じて紹介してきた。その後も引き続いて調査・評価活動を行ってきたが、最近、平成19年のWHO（世界保健機関）による電磁界の健康影響についての評価結果の公表、平成22年の人体防護のためのガイドラインの改訂、ならびに平成23年10月に施行の電力設備の磁界規制など、本分野において大きな動きが生じた。このような状況から、小冊子の内容を全面的に見直し、一般向け解説の決定版ともいふべき「新・電気の暮らしと健康不安」を平成23年2月に刊行した。

このように、本分野をめぐる動きが一段落し、本特別委員会の活動の区切りとなったことから、平成23年度をもって同委員会を解散することが委員会で承認された。この機会に、電磁界生体影響問題の最近の動向について、知見を深めた議論を行うとともに、これまでの特別委員会の活動を取りまとめることを目的として、本講演会が開催された。

開催日時： 平成23年11月18日(金) 13:00～16:40

場 所： 国立オリンピック記念青少年総合センター（東京・代々木） カルチャー棟小ホール

主 催： 電気学会 電磁界生体影響問題調査特別委員会（委員長 多氣昌生）

参加者数： 156名

プログラム

13:00-13:20 電磁界生体影響問題の経緯と最近の動向（総論） 座長・多氣昌生氏（首都大学東京）

13:20-13:45 生物影響研究の動向 重光 司氏（電磁界情報センター）

13:45-14:10 疫学研究の動向 山口直人氏（東京女子医科大学）

14:10-14:35 電磁界生体影響問題のリスク・コミュニケーション 世森啓之氏（電磁界情報センター）

14:35-14:50 休憩

14:50-15:15 ドシメトリ研究の動向 山崎健一氏（電力中央研究所）

15:15-15:40 人体ばく露に関連する電磁界の測定方法 水野幸男氏（名古屋工業大学）

15:40-16:40 総合討論

パネラー：関根泰次氏、宅間董氏、上野照剛氏、大久保千代次氏（以上、本特別委員会顧問）

ならびに上記講演者

16:40 閉会

総合討論の概要

上記プログラムにしたがい、講演が行われた後、本特別委員会顧問の関根泰次氏、宅間董氏、上野照剛氏、大久保千代次氏をゲストパネラーとして、総合討論が行われた。

はじめに関根泰次氏から特別調査委員会設立の経緯の紹介があった。同氏は、本特別委員会設立時から平成 21 年の組織改編までの長きにわたり、特別委員会委員長を務めている。電磁界の生体に対する影響をめぐる当時の状況（発端は 1970 年代のオイルショックの時代に遡る）、特別委員会設立前の活動と発足に至る経緯などについて紹介があった。発足の経緯については、電磁界影響に対する問い合わせ件数の変遷が示され、学会として、パブリックとの接点が必要との認識によるものであったとの説明がなされた。

次に、第 1 部会（電磁環境調査部会）長を務めた宅間董氏より、部会のメンバー、ならびに実施した活動の内容について紹介があった。同部会では、電磁界の基礎および実態と評価に関わる活動が行われ、このうち、「生体への誘導電流の測定と計算」については、後に電気学会の調査専門委員会が設立され、詳細な検討が行われ、現在も後継の委員会が活動中であることが述べられた。

次に、第 2 部会（生物影響評価部会）長を務めた上野照剛氏より、調査の対象とした磁場の周波数と磁束密度の範囲、WHO の動きとも連動した活動内容、ならびに部会のメンバーについて紹介がなされた。特別委員会では、医学者の立場から議論するために、加藤正道先生、志賀健先生、武部啓先生、中野昭一先生の 4 名の医学の専門家に発足時に加わっていただいたことが紹介された。今後の課題として、疫学的研究、細胞実験・動物実験、およびリスク評価等を総合的に勘案しながら、電磁界健康影響評価に引き続き取り組んでいく事、ならびに、最新の情報を電気学会会員や国民に、迅速に、正確に、かつわかりやすく伝えて、相互理解を深めていく事の重要性が述べられた。

次に、特別委員会顧問で、電磁界情報センター所長の久保千代次氏より、一般市民から見た、電磁界のリスクの感じ方や、喫煙等他のリスク要因との比較でみた、電磁界のリスクの大きさについて、資料を交えた報告とともに、電磁界情報センターでは、電磁界に関する各種の問い合わせに対応している、ことが述べられた。

いくつかの討論の後、関根泰次氏より、本特別委員会のアウトプット・成果として、一般の方を対象とした小冊子の 2 度にわたる刊行、ならびに全国各地において講演会を実施したことなど、本特別委員会が果たした役割について述べられ、本委員会は来年の 3 月で解散の予定であるが、今後も電磁界生体影響についての研究を続けることが重要であるとの総括がなされた。

以 上

講演会「電磁界生体影響問題の最近の動向」

電磁界生体影響問題の経緯と最近の動向

多氣昌生
首都大学東京

電磁界生体影響問題調査特別委員会

The Institute of Electrical Engineers of Japan Home Site map Member English

社団法人 電気学会 検索

委員会・特別委員会

研究調査委員会

調査専門委員会等委員の公募

研究調査委員会運営マニュアル

電気規格調査会

倫理委員会

特別委員会

ホームページ運用委員会 (関係者のみ)

受託事業

特別委員会

男女共同参画推進特別委員会 [Link](#)

技術者教育委員会 [Link](#)

電磁界生体影響問題調査特別委員会

2009～2011年

代表者	委員長 多氣昌生
設立の趣旨	いづゆる電磁界問題、すなわち電磁界の生体影響、健康影響は、電界磁界の工学面と人体、健康の医学面の両方に関係する問題です。工学分野の専門家でも医学の方は不案内、一方、医学に詳しい人も電界磁界は良く分からないという場合が多いです。まして両方に関係のない一般の人々は色々な現象や結果を理解できないとか、誤解することがしばしば起こると思います。しかもこの問題に関するいろいろな側面の正確な情報を得ることはこの問題に取り組んでいる人以外にとっては難しいことです。そこで、この問題に関する世界におけるこれまでの研究状況を調査し、総合的な評価をするとともに、これに関する正確な情報をひろく伝えることを目的として1995年12月に本「特別委員会」(委員長 東京理科大学 関根泰次教授)が設置されたものです。
設立	1995年12月

2012年3月で廃止(予定)

1995～2009年

電磁界生体影響問題の始まり:疫学調査

- Wertheimer N, Leeper E: Electrical wiring configurations and childhood cancer, 1979. (電線の配置と小児がん)
1976-77年にコロラド州でがんにかかった小児と罹っていない小児を比較した疫学研究(症例対照研究)
 - 自宅付近にある電線の配置を比較すると、小児白血病にかかった子供の自宅の方が、電線の種類や配置から、磁界が高いと推定される傾向が見いだされた
- それ以降、電力設備からの磁界が健康に悪影響を及ぼす可能性について、多くの疫学研究、生物学的研究が行われた

1992年～1998年 米国電磁界調査及び公衆への情報普及計画 (EMF-RAPID計画)
 1995年～ 電気学会 生体電磁環境問題調査特別委員会
 1996年～ WHO (世界保健機関) 国際電磁界プロジェクト
 1998年 ICNIRPガイドライン (300GHzまでの時間変化する電磁界)

3



電磁界生体影響問題調査特別委員会

1995年～

電磁界生体影響問題調査特別委員会（案）

委員長	関根 泰次	東京理科大学工学部
副委員長	上野 照剛	東京大学医学部
〃	宅間 董	京都大学工学部
委員	伊坂 勝生	徳島大学工学部
〃	加藤 正道	北海道大学医学部
〃	志賀 健	大阪大学名誉教授、金蘭短期大学
〃	鈴木 俊男	電力中央研究所
〃	武部 啓	京都大学医学部
〃	富山 勝己	三菱電機（株）パーソナル情報機器開発研究所
〃	中野 昭一	日本体育大学スポーツ医学研究室
〃	仁田 周一	東京農工大学工学部
〃	水間 毅	運輸省交通安全公害研究所
幹事	村上 陽一	日本電機工業会技術部

活動の経緯

- 1998年10月：第Ⅰ期報告書「電磁界の生体影響に関する現状評価と今後の課題」
- 1997年～2001年：「電磁界の健康影響に関するシンポジウム」（全国で計8回）
- 2001年2月：小冊子「電気の暮らしと健康不安」
- 2003年3月：第Ⅱ期報告書
- 以後、主要な活動は一段落したものの、状況の変化があった場合に対応できるように調査研究を継続





全ての小児癌の10~15%は
電磁波が原因と考えられます

Professor D. Savitz



電磁波と癌の関係は判りましたが
まだ判らないことがあります

Professor A. Ahlbom



たゞこの癌が危殆だと信じられている理由は
たゞこの癌がガンを起こすメカニズムが
分かっているからです

Professor R. Luben



磁界とガンの関連を示唆するリスク値もほぼ
同じですが、磁界がガンを起こすメカニズム
は分かっています

7

2009年にメンバーを一新

2011年11月現在

<p>委員長 多氣 昌生 首都大学東京</p> <p>委員 岩坂 正和 千葉大学</p> <p>委員 水野 幸男 名古屋工業大学</p> <p>委員 宮越 順二 弘前大学</p> <p>委員 山口 直人 東京女子医科大学</p> <p>委員 田中 照也 東芝ホームアプライアンス</p> <p>委員 水間 毅 (独)交通安全環境研究所</p> <p>委員 北野 淳一 東海旅客鉄道(株)</p> <p>委員 岩本 佐利 (一社)日本電機工業会</p> <p>幹事 大嶋 洋右 電気事業連合会</p> <p>幹事 山崎 健一 (財)電力中央研究所</p> <p>幹事 重光 司 (一財)電気安全環境研究所</p> <p>幹事 山口 寛 東京電力(株)</p> <p>幹事 井上 博史 (一社)日本電機工業会</p>	<p>特別顧問 関根 泰次 東京大学名誉教授</p> <p>特別顧問 上野 照剛 九州大学</p> <p>特別顧問 宅間 董 東京電機大学</p> <p>特別顧問 伊坂 勝生 徳島大学名誉教授</p> <p>特別顧問 加藤 正道 北海道大学名誉教授</p> <p>特別顧問 志賀 健 大阪大学名誉教授</p> <p>特別顧問 武部 啓 近畿大学</p> <p>特別顧問 仁田 周一 東京農工大学名誉教授</p> <p>特別顧問 大久保千代次 (一財)電気安全環境研究所</p> <p>特別参加 菊池 武彦 (一財)工業所有権協力センター</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

新・電気の暮らしと健康不安

電界・磁界の影響は
どこまで分かったか



2001年2月刊行

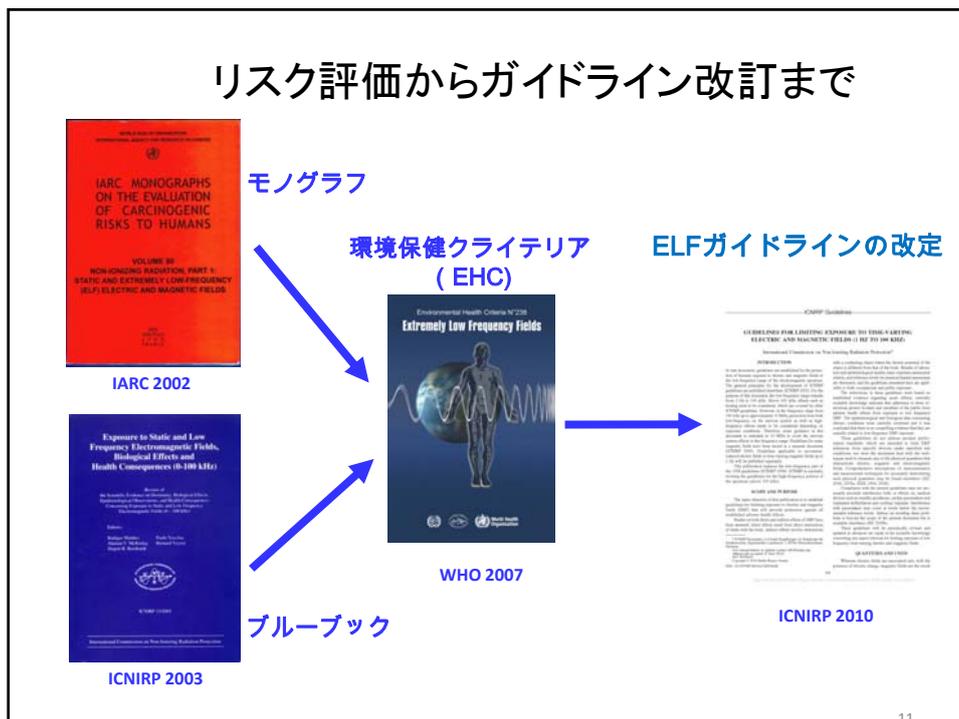
新・電気の暮らしと健康不安

電界・磁界の影響は
どこまで分かったか



- 2006年6月：IARCによる発がん性評価(モノグラフNo.80)
- 2007年6月：WHO「環境保健クライテリア」低周波電磁界
- 2010年12月：ICNIRP「1Hz-100kHzの人体防護ガイドライン」

2001年2月刊行



11

新・電気の暮らしと健康不安

電界・磁界の影響は
どこまで分かったか



2001年2月刊行

- 2006年6月： IARCによる発がん性評価 (モノグラフNo.80)
- 2007年6月： WHO「環境保健クライテリア」低周波電磁界
- 2008年7月：経済産業省電力安全小委員会「電力設備電磁界対策WG」報告書
- 2009年：IEC 62110「電力設備の電磁界測定方法」の発行
- 2010年12月： ICNIRP「1Hz-100kHzの人体防護ガイドライン」
- 2011年3月：「電気設備に関する技術基準を定める省令」を改正し、電力設備から発生する磁界規制

電力設備電磁界対策WGの結論・提言(1)

磁界の短期的影響について

(結論)

◇100 μ Tより遙かに高いレベルの磁界により筋肉が刺激されるメカニズムは解明されている

◇規制導入の議論では、国際的なガイドラインに基づく規制を前提

(提言)

- ・ ICNIRPガイドラインの採用
- ・ 磁界の測定・計算方法、評価条件の明確化
- ・ 磁界の測定方法等は、国際規格を採り入れが望ましい

電力設備電磁界対策WGの結論・提言(2)

磁界の長期的影響について

(提言)

○更なる研究プログラムの推進

○リスクコミュニケーション活動の充実

- ・ 中立的な常設の電磁界情報センター機能の構築
- ・ 電気事業者は幼稚園、学校等の近傍に電力設備を新たに設置する場合には、住民との合意形成に格別の努力を払うべき

○ばく露低減のための低費用の方策

- ・ 電気事業者は既に実施している磁界低減方策を今後も継続すべき
- ・ 原則、既設設備に磁界低減策を実施することまでは求めない

→ 一般財団法人電気安全環境研究所に「電磁界情報センター」

新・電気の暮らしと健康不安

電界・磁界の影響は
どこまで分かったか



2001年2月刊行



電界・磁界の影響を
どう考えるか



2011年1月刊行

- 2006年6月：IARCによる発がん性評価(モノグラフNo.80)
- 2007年6月：WHO「環境保健クライテリア」低周波電磁界
- 2008年7月：経済産業省電力安全小委員会「電力設備電磁界対策WG」報告書
- 2009年：IEC 62110「電力設備の電磁界測定方法」の発行
- 2010年12月：ICNIRP「1Hz-100kHzの人体防護ガイドライン」
- 2011年3月：「電気設備に関する技術基準を定める省令」を改正し、電力設備から発生する磁界規制

電磁界生体影響問題への今後の対応

- リスク評価(調査・研究)
 - 電気学会基礎・材料・共通部門の電磁環境技術委員会
- リスク管理(ガイドライン・規制動向)
 - 電気学会規格調査会「人体ばく露に関する電界、磁界、電磁界の評価方法標準化委員会」(IEC TC106国内委員会)
- リスクコミュニケーション
 - 電磁界情報センター

最近のトピックス

東京新聞 TOKYO Web

【社会】

携帯電話の電磁波、がん危険性も WHO組織が初めて指摘

2011年6月1日 11時03分

【ジュネーブ共同】携帯電話の電磁波とがん発症の関連性について、世界保健機関（WHO）の専門組織、国際がん研究機関（本部フランス・リヨン）は31日、「聴神経腫瘍や（脳腫瘍の一種である）神経膠腫の危険性が限定的ながら認められる」との調査結果を発表した。WHOの組織が携帯電話に関して発がん性を指摘したのは初めて。



携帯電話を耳に当てて話す男性=6月31日、米ロサンゼルス(ロイター=共同)

国際がん研究機関は、危険性の数値化はしておらず、「（最終的な結果を得るためには）今後、携帯電話の長時間使用について調査を続ける必要がある」としている。

ただ、当面の対策として「（耳に触れずに）携帯電話のメールを使うなど直接電磁波に触れないような使用方法が重要だ」と指摘。なるべく携帯電話本体に触れる時間を短くするよう勧告した。

調査は、これまでの欧米での研究、動物実験などを14カ国、31人の研究グループが検証した結果をまとめた。

講演会「電磁界生体影響問題の最近の動向」

- 生物影響研究の動向 重光 司氏（電磁界情報センター）
- 疫学研究の動向 山口直人氏（東京女子医科大学）
- 電磁界生体影響問題のリスク・コミュニケーション
世森啓之氏（電磁界情報センター）
- ドシメトリ研究の動向 山崎健一氏（電力中央研究所）
- 人体ばく露に関連する電磁界の測定方法
水野幸男氏（名古屋工業大学）
- 総合討論

パネラー：

関根泰次氏、宅間董氏、上野照剛氏、大久保千代次氏
（以上、本特別委員会顧問）および上記講演者

電磁界生体影響問題調査
特別委員会

電磁界の生物影響研究の動向

平成23年11月18日(金)

重光 司

話の内容

- 低周波電磁界をめぐるこれまでの動向
電磁界生体影響問題調査特別委員会
WHO国際電磁界プロジェクト
経済産業省ワーキンググループ
- 低周波電磁界をめぐる最近の動向
電磁界とコミュニケーション
研究動向

電磁界生体影響問題調査特別委員会経緯

海外	年	国内
	1995	電気学会:特別委員会発足
WHO:国際電磁界プロジェクト発足	1996	
	1997	特別委員会:シンポジウム開催(~2001年)
	1998	特別委員会:第1期報告書
RAPID計画最終報告	1999	
	2000	
IARC:低周波電磁界の発がん性評価	2001	特別委員会:電気の暮らしと健康不安発刊
IARC:モノグラフ発刊(No.80)	2002	
ICNIRP:ブルーブック発刊(<100 kHz)	2003	特別委員会:第Ⅱ期報告書
	2004	
	2005	
WHO:直流電磁界EHC発刊(No.232)	2006	
WHO:低周波電磁界EHC発刊(No.238)	2007	電力設備電磁界対策WG発足
	2008	電磁界情報センター発足
	2009	
	2010	
IARC:高周波電磁界の発がん性評価	2011	特別委員会:新・電気の暮らしと健康不安発刊

低周波電磁界をめぐるこれまで動向(1)

電磁界生体影響問題調査特別委員会

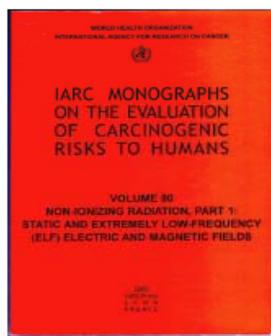
- 電磁界の生体影響に関する現状評価と今後の課題
(第1期報告書;1998、第2期報告書;2003)
- 電磁界の健康影響に関するシンポジウム
(1997~2001)
- 電気の暮らしと健康不安(2001)
- 新・電気の暮らしと健康不安(2011)



低周波電磁界をめぐるこれまでの動向(2) 国際電磁界プロジェクト

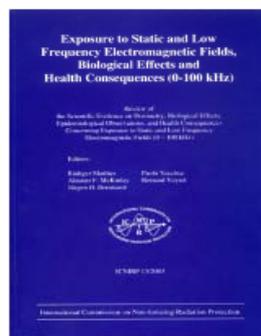
- 1996年発足WHO
電磁界(ELF+RF)の健康リスク評価の推進
- ELF電磁界:
短期ばく露: 電磁界防護に国際的なガイドライン(ICNIRP;2010)の採用
長期ばく露: 研究の推進、コミュニケーションの奨励など
- RF電磁界: IARCによるガンリスク評価

低周波電磁界(<100kHz)の健康リスク評価

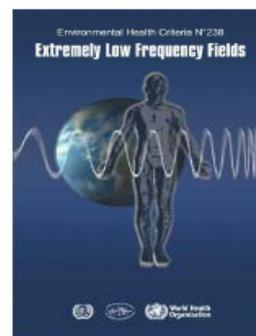


IARC 2002
www.iarc.fr

低周波電磁界の発がん性評価
(2002、2003)



ICNIRP 2003



WHO 2007
www.who.int/emf

低周波電磁界の健康リスク評価
(2007)

低周波電磁界をめぐるこれまでの動向(3) 電力設備電磁界対策WG

- 2007年4月発足
- 磁界規制のあり方について議論
- 電力設備(送配電線・変電設備)から発生する磁界について、ICNIRP等国际的なガイドラインによる制限値の採用
- 制限値導入(省令)
(2011年10月;200 μ T(50Hz/60Hz))

低周波電磁界をめぐるこれまでの動向(4) 電力設備電磁界対策WG

- 研究の推進
- リスクコミュニケーションの促進
- センター機能をもたせた常設組織の構築
電磁界情報センターの発足(2008年7月)

低周波電磁界をめぐる最近の動向(1)

- ・ WHO国際電磁界プロジェクト
RF電磁界の健康リスク評価: 2B
- ・ 電磁界とコミュニケーション
日本: 電磁界情報センター(<http://www.jeic-emf.jp>)
例、ドイツ: WIK (EMF&Environment; 2010/1 発足)
(<http://www.wik-emf.org/>)

WHOの今後の研究勧告: 優先順位「高」

—WHO EHC238(20頁)より抜粋—

発生源、測定、ばく露	MRIなどの職業ばく露のデータが不足
生物物理学的なメカニズム	電磁界で誘導される体内電界の神経ネットワークへの影響
神経変性疾患	ALSおよびアルツハイマー病と磁界曝露の関連
がん	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新たな知見による小児白血病のプール解析の更なる解析 ・ 小児脳腫瘍の既存のプール解析 ・ 小児の白血病遺伝子導入マウスの開発 ・ 動物・細胞における共発がん作用評価

低周波電磁界をめぐる最近の動向(2) 最近の研究動向(疫学研究)

- 疫学研究:
 - 両親の職業ばく露と小児白血病(オーストラリア)
 - 小児白血病と居住磁界ばく露(ブラジル、イラン)
 - 小児喘息と母親の妊娠中の磁界ばく露(アメリカ)
 - 送電線と早産・死産との関係(カナダ)
 - 電磁過敏症(台湾)
- 疫学研究(総説)
 - 商用電磁界とがん(カナダ)
 - 電磁過敏症(イギリス、スウェーデン、オランダ)
- その他
 - アメリカ EPRI(TransExpo研究、小児白血病、ばく露評価)
 - フランス EDF(脳腫瘍、小児白血病、ばく露評価)

低周波電磁界をめぐる最近の動向(3) 最近の研究動向(実験研究)

- 人体(ボランティア)実験
 - 間欠磁界ばく露と免疫系の変化(フランス、EDF)
 - 磁界ばく露と認知(カナダ)
 - 発電所従業員のメンタル状態(イラン)
 - 電気修理工でのメラトニン、睡眠状態(エジプト)
- 動物実験・細胞実験
 - マウスの感知閾値(カナダ)
 - ラットの生殖機能(ブラジル)
 - バクテリアの成長・形態(トルコ)
 - 血液、カルシウム、生殖への影響(トルコ)

低周波電磁界をめぐる最近の動向(3) 最近の研究動向(実験研究・続き)

- 動物実験・細胞実験
ALLモデル(ラット)、ALSモデル(マウス)の作成
mTレベルでの実験
磁界ばく露と他の因子との複合ばく露実験
医療応用を目的とした細胞を用いた基礎実験

低周波電磁界をめぐる最近の動向(4) 最近の研究動向(ばく露評価)

- EC:EFHRANレポート(<http://efhran.polimi.it>)
0.01~0.1 μ T(0.1~1 mG)、0.2 μ T以上は集団の0.2%程度
- ばく露評価論文
病院内の磁界ばく露評価とICNIRP基準比較(スペイン)
歯科医院内の磁界ばく露評価とICNIRP基準比較(台湾)
風力発電所の磁界ばく露とICNIRP基準比較(ブルガリア)
EASでの磁界ばく露とICNIRP基準比較(ベルギー)
高圧送電線従業員の電磁界(サウジアラビア)
TVからの電磁界(リトアニア)
変電所の磁界への職業ばく露(トルコ)
住居近傍の送電線からの磁界(セルビア)
居住磁界ばく露評価(チェコ共和国)

低周波電磁界をめぐる最近の動向(4) 最近の研究動向(ばく露評価・続き)

- 電力研究所(EPRI): TransExpo研究
高層アパート(室内変電所)での磁界ばく露評価
(アメリカ、ハンガリー、スイス、フィンランド、イスラエル等)
- 活線作業における電界ばく露評価(ポーランド)
- 中間周波磁界
商業用IHでの磁界ばく露評価と基準(スイス)
家庭用IHでの磁界ばく露評価とICNIRP基準(スロベニア)

低周波電磁界をめぐる最近の動向(5)

ARIMMORAプロジェクト

・目的

- 1)小児の磁界ばく露についての実験・解析による解明
- 2)生物モデルによる磁界との相互作用の解明(細胞・動物)

・参加国: スイス、ドイツ、スペイン、フランス、イタリア

・期間: 2011年10月1日～2014年9月30日(3カ年)

・内容

- 1)造血細胞における遺伝子変化の解明
- 2)細胞におけるシグナル伝達変化
- 3)CD8陽性T細胞に対する細胞毒性効果の誘発
- 4)遺伝子導入動物モデルを用いた小児白血病の解明

ARIMMORA: Advanced Research on Interaction Mechanisms of electro-
Magnetic exposures with Organisms for Risk Assessment
(<http://cordis.europa.eu/>)

低周波電磁界をめぐる最近の動向(6)

中国(National EMF Bioeffects Project)

- 2011年より開始(5年計画)
 - 1) 生物物理－生体でのエネルギー吸収。SAR
 - 2) 生体電磁気－細胞での実験
 - 3) 神経生理－認知機能、メカニズム
 - 4) 生殖－生殖とそのメカニズム
 - 5) 遺伝毒性－遺伝とそのメカニズム
 - 6) 疫学・職業－携帯電話(200症例;8-25歳)ならびに低周波電磁界ばく露(5000作業員)

まとめ

- ・ 小児白血病と磁界ばく露の関連性の可能性が指摘されて以来、30年以上にわたる電磁界研究の歴史
- ・ 特別委員会による電磁界評価活動
- ・ WHOによる低周波電磁界の健康リスク評価
 - 研究の推進の必要性(WHO)
- ・ 諸外国での研究・調査の継続
 - 正確な情報の収集
- ・ 科学に基づく電磁界コミュニケーションの重要性

電気学会 2011

電磁界生体影響問題の最近の動向
— 疫学研究的動向 —

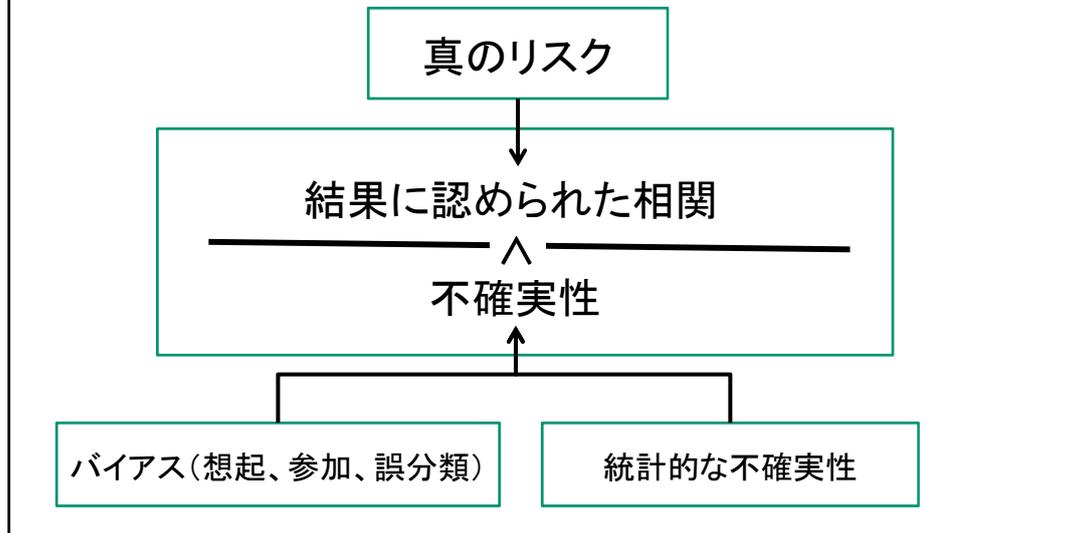
東京女子医科大学
山口 直人

動物実験の証拠

十分な証拠 限定的証拠 証拠不十分 なし十分

		十分な証拠	限定的証拠	証拠不十分	なし十分
疫学研究的証拠	十分な証拠	グループ 1			
	限定的証拠	グループ2A	ラジオ波	超低周波	
	証拠不十分	グループ2B	グループ3		
	なし十分				グループ4

疫学研究の信頼性を左右する諸因子



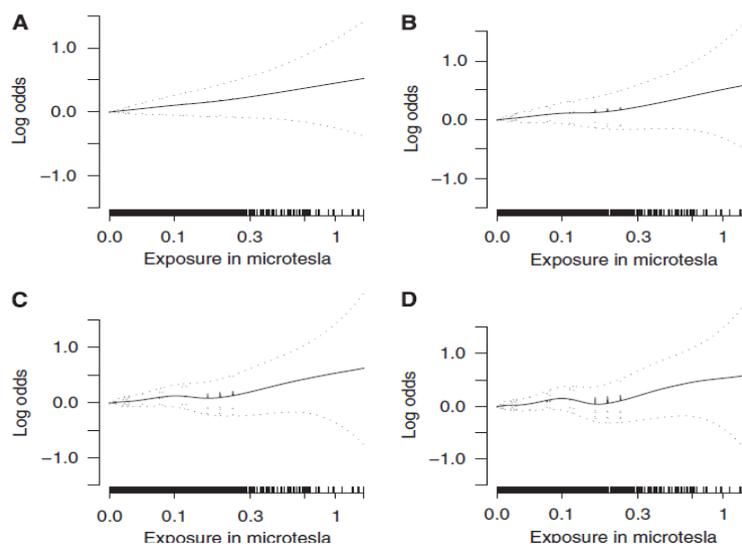
超低周波

After EHC (2007)

2000年以降の小児白血病の症例対照研究のプール分析 (Kheifets BJC 2010)

• 国	症例	対照	診断年
– Brazil	162	565	2001 – 2009
– Germany	514	1301	1988 – 1994
– Italy1	119	476	1978 – 1997
– Italy2	46	184	1986 – 2007
– Japan	312	603	1999 – 2001
– Tasmania	47	47	1972 – 1980
– UK	9695	9695	1962 – 1995
• OR	磁界密度		OR (95% CI)
	<0.1 μT		1.
	0.1–0.2 μT		1.07 (0.81–1.41)
	0.2–0.3 μT		1.16 (0.69–1.93)
	$\geq 0.3 \mu\text{T}$		1.44 (0.88–2.36)

Figure 2 Nonparametric estimates of trend in log odds of being a case with a range of levels of smoothing (A. 2 d.f.; B. 3 d.f.; C. 4 d.f.; D. 5 d.f.) from a generalised additive model, with adjustment for study, age of diagnosis and sex. Outer dotted lines represent 95% confidence limits.



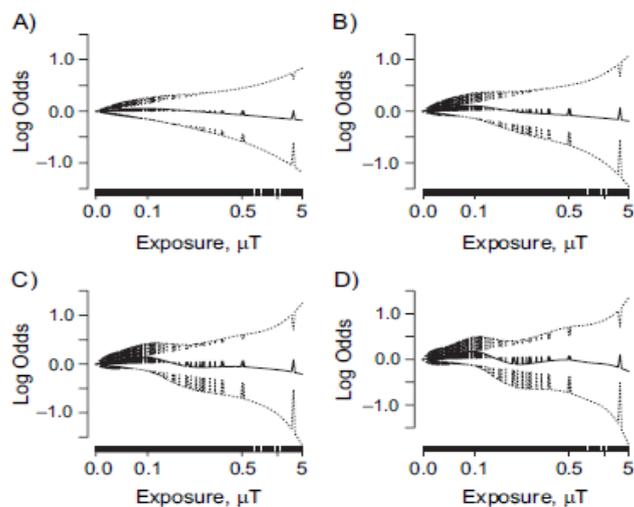
小児脳腫瘍の症例対照研究のプール分析 (Kheifets AJE 2010)

Author, year	Country	case/control	Yr Diagnosis
Feychting, 1993	Sweden	33/549	1960–1985
Kroll, 2010	UK	6,593/6,584	1962–1995
UKCCS, 1999	UK	602/611	1991–1994
Verkasalo, 1993	Finland	39/391	1974–1996
Preston-Martin, 1996	US	183/139	1984–1992
Savitz, 1988	US	24/198	1976–1983
Schuz, 2001	Germany	64/414	1988–1994
Saito, 2010	Japan	54/97	1999–2001
Olsen, 1993	Denmark	624/1,872	1968–1986
Tynes, 1997	Norway	156/639	1965–1989

OR	磁界密度	OR (95% CI)
	<0.1 μT	1.
	0.1–0.2 μT	0.95 (0.65, 1.41)
	0.2–0.4 μT	0.70 (0.40, 1.22)
	$\geq 0.4 \mu\text{T}$	1.14 (0.61, 2.13)

Figure 2. Nonparametric estimates of trend with a range of smoothing levels from a generalized additive model using a natural cubic smoothing spline. Results were adjusted for age at diagnosis, gender, and study.

Panel A, 2 df; panel B, 3 df; panel C, 4 df; panel D, 5 df. Dashed lines, 95% confidence interval.



ダウン症患者を対象とした症例対照研究 (Mejia-Arangure Epidemiology 2007)

- 背景：ダウン症患者は急性白血病への感受性が高い(相対リスクは約20倍)。そのダウン症患者で超低周波電磁界ばく露の影響を検討する。
- ダウン症患者で1995 – 2003年に小児急性白血病(年齢0 – 16歳)に罹患した症例42例と、罹患していない対照124例(メキシコシティの2施設から)。
- ばく露評価： スポット測定 (EMDEX II)

白血病リスク

Exposure	Case	Control	Adjusted* OR
≤1.00mG	14 (33%)	43 (35%)	1.0
1.01–3.99	16 (38%)	55 (44%)	0.94 (0.37–2.4)
4.00–5.99	2 (5%)	13 (11%)	0.88 (0.15–5.1)
≥6.00	10 (24%)	13 (11%)	3.7 (1.05–13)

*出生体重、性、年齢、母親の年齢、社会経済レベル、癌の家族歴、交通密度、居住地を調整

遺伝・環境相互作用に関するケースオンリー研究

(Yang Leukemia & Lymphoma 2008)

- 2006 – 2007年に上海の小児医療センター血液内科に入院した小児急性白血病123症例(年齢0 – 15歳)
- ばく露評価: 現(前)居住地を訪問して、変圧器、高圧線からの距離を測定、さらに、EMF detector (TriField Meter, AlphaLab, USA)でスポット測定を実施して、距離がばく露指標となることを確認。平均磁界強度は、100m以内で0.14 μ T、50m以内で0.18 μ T。
- SNP: MassARRAY (Sequenom, USA)を使用
 - hMLH1 Ex8-23A>G (rs1799977)
 - APEX1 Ex5+5T>G (rs1130409)
 - MGMTEx7+13A>G (rs2308321)
 - XRCC1 Ex9+16G>A (rs25489)
 - XPD Ex10-16G>A (rs1799793)
 - XPD Ex23+61 T>G (rs13181).

Table V. Gene-environment interactions for combination of *XRCC1* Ex9 + 16G > A and electric transformers and power lines in childhood AL.

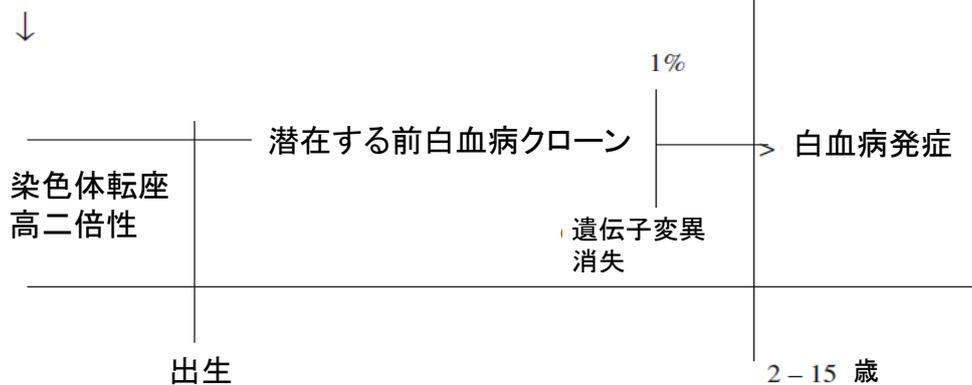
Electric transformers and power lines	<i>XRCC1</i> Ex9 + 16G > A		OR (95%CI)*
	G/G	A/G+A/A	
Within 500 m from houses			
No	66	16	1.00 (Ref)
Yes	25	16	2.37 (0.94-5.97)
Within 100 m from houses			
No	75	17	1.00 (Ref)
Yes	16	15	4.31 (1.54-12.08)#
Within 50 m from houses			
No	82	21	1.00 (Ref)
Yes	9	11	4.39 (1.42-13.54)#

今後の研究の方向性について

Eden: Cancer Treatment Reviews 2010から改変

第一ヒット
前白血病クローン形成
(A)

第二ヒット
ALL/AML発症
(B)



(A) 胎児期の前白血病クローン形成は希ではない。TEL-AML融合遺伝子は臍帯血の1%に見いだされる。

(B) 第二の変異は、1%のさらに1%で、希な現象。

小児白血病の発症に関する知見

- 第一ヒットと前白血病クローンの形成
 - B前駆細胞ALLと一部のAMLで重要な役割を果たす。
 - 変異は正常の胎児発生でも起こりえる。
 - 環境因子や内部因子の影響は不明。
- 第二ヒットと白血病の発症
 - 明確なリスク因子： 電離放射線、ベンゼンなどのみ。
 - 電磁界が影響するとしたら、B前駆細胞ALLではないか

これからの疫学研究

- 影響はない versus ある
- 発症プロセスのどこに影響するか
 - 第一ヒットと前白血病クローン形成への影響
 - 第二ヒットと白血病発症への影響
- 遺伝・環境相互作用
- 特定のサブタイプの発症にのみ関与している可能性(特に、B前駆細胞ALL)

ラジオ波

IARCの評価結果：疫学研究

- 限定的な証拠： 神経膠腫、聴神経鞘腫
- 証拠不十分： その他の腫瘍
- 根拠となった研究は、携帯電話端末使用との関係を調べた疫学研究
- 評価結果は、「携帯電話使用」ではなく、「ラジオ波電磁界は発がん性を有する可能性がある」

デンマークのコホート研究

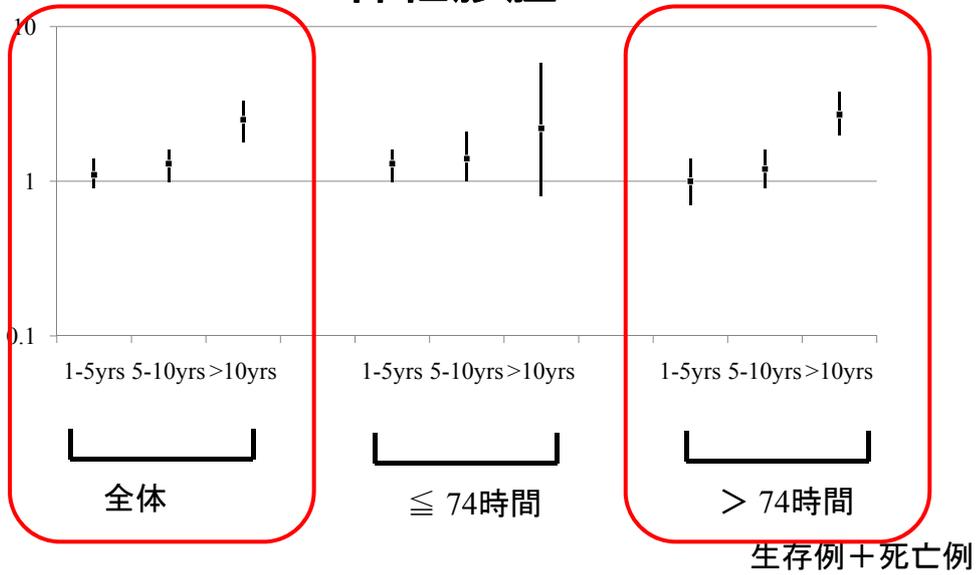
Schüz J, et al. JNCI 2006; 98:1707-13

- 1982-1995年に携帯電話に契約した中で住所等の不備などを除外した420,095名を全国がん登録と照合
- 脳腫瘍(O/E=0.97)、聴神経鞘腫(O/E=0.73)
- 耳下腺腫瘍(O/E=0.77)、眼腫瘍(O/E=0.96)
- 白血病(O/E=1.00)

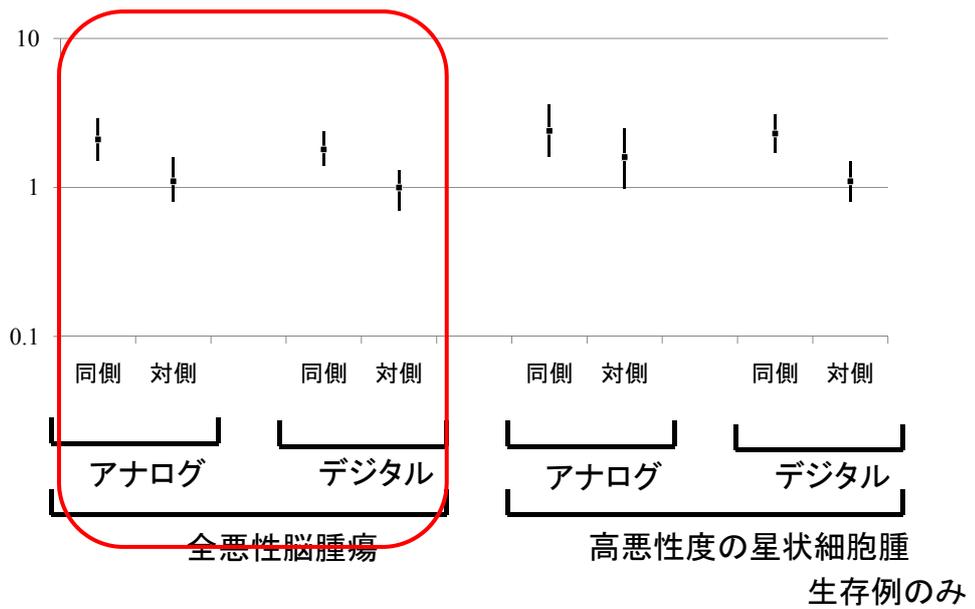
Hardell研究 がん登録で把握された症例

がん登録から報告された症例数	3,729
除外された症例	1,292
うち死亡症例	745
対象となった症例数	2,437
悪性	1,008
良性	1,429
参加依頼がなされた対照数	2,437

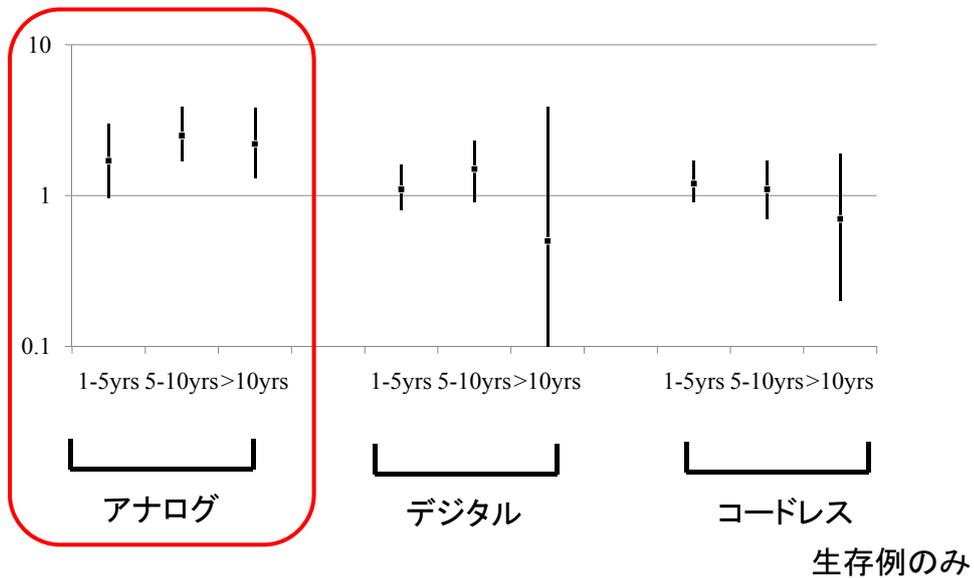
使用開始からの年数・累積使用時間 神経膠腫



より多く使用する耳側との関係



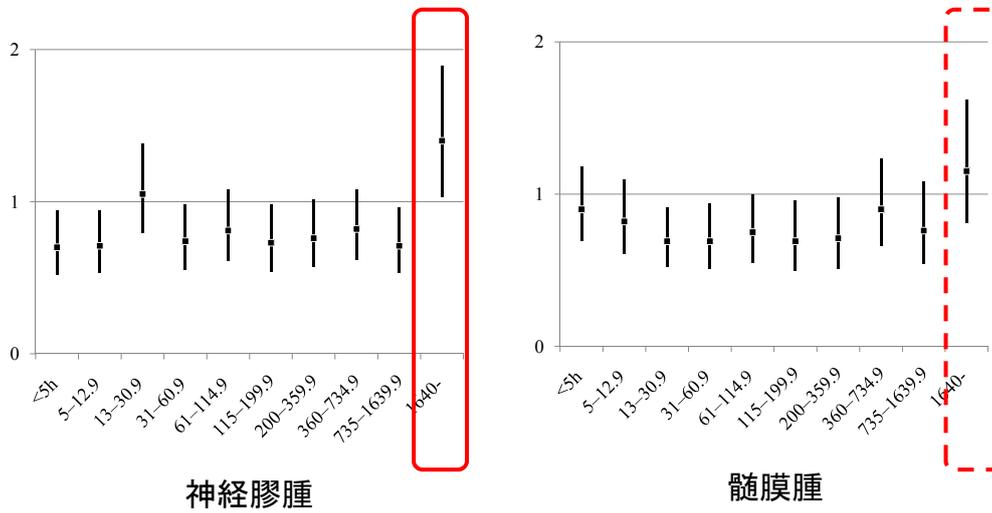
多変量解析：聴神経鞘腫



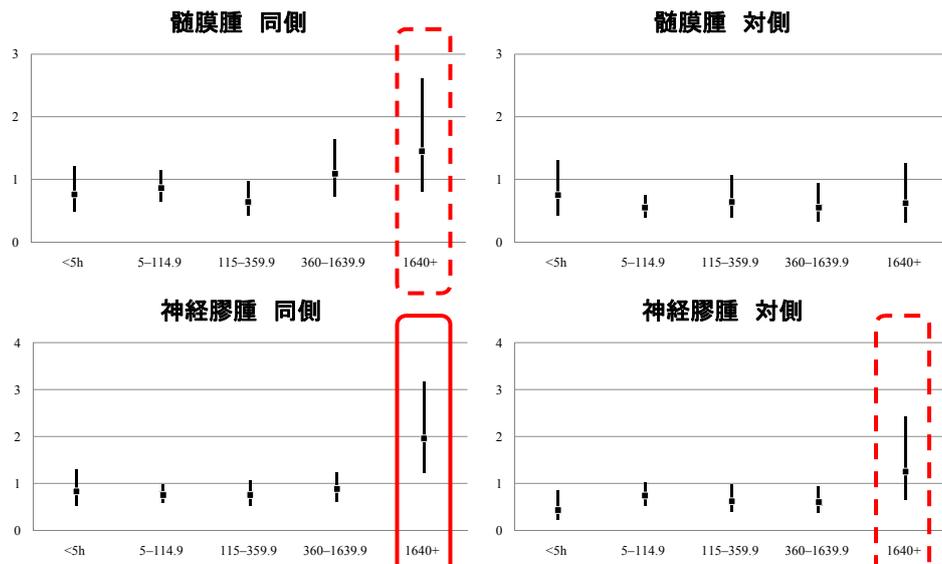
国際共同の症例対照研究 (Interphone研究)

- 日本も含めて13カ国が参加
- 共通の研究デザイン(プロトコール)に基づく
- インタビュー調査によって過去の携帯電話使用歴を調べて、症例群と対照群で比較
- 髄膜腫 2,425 (78%)、神経膠腫 2,765 (64%)、聴神経鞘腫 1,121 (82%)、対照 7,658 (53%)

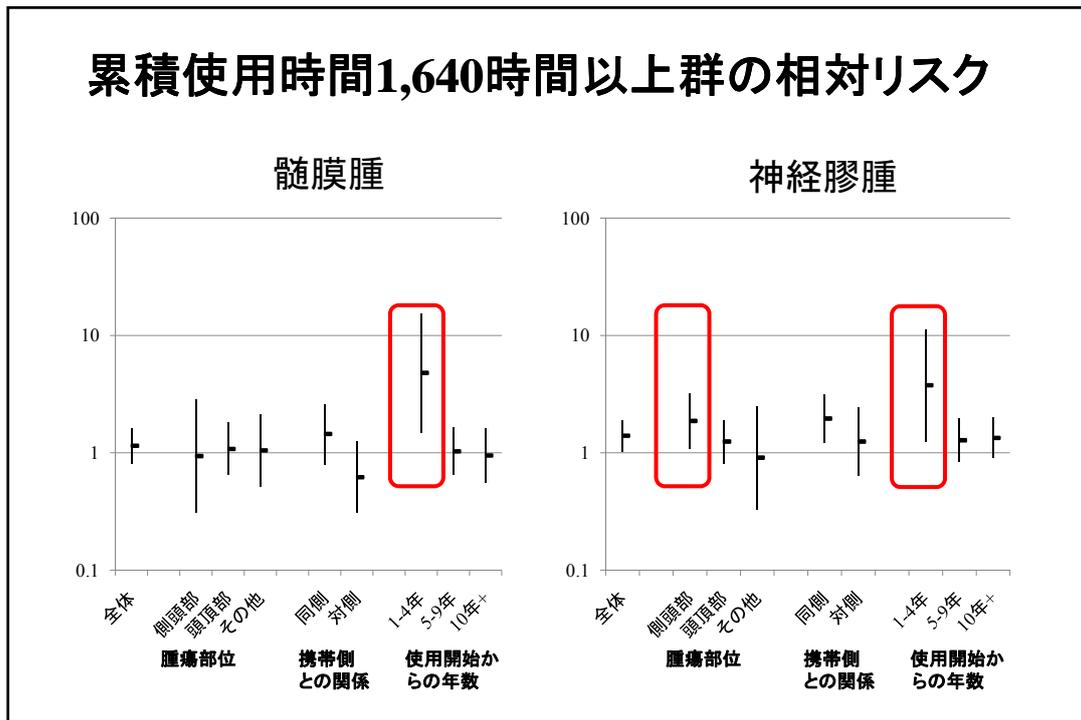
累積使用時間との関連性



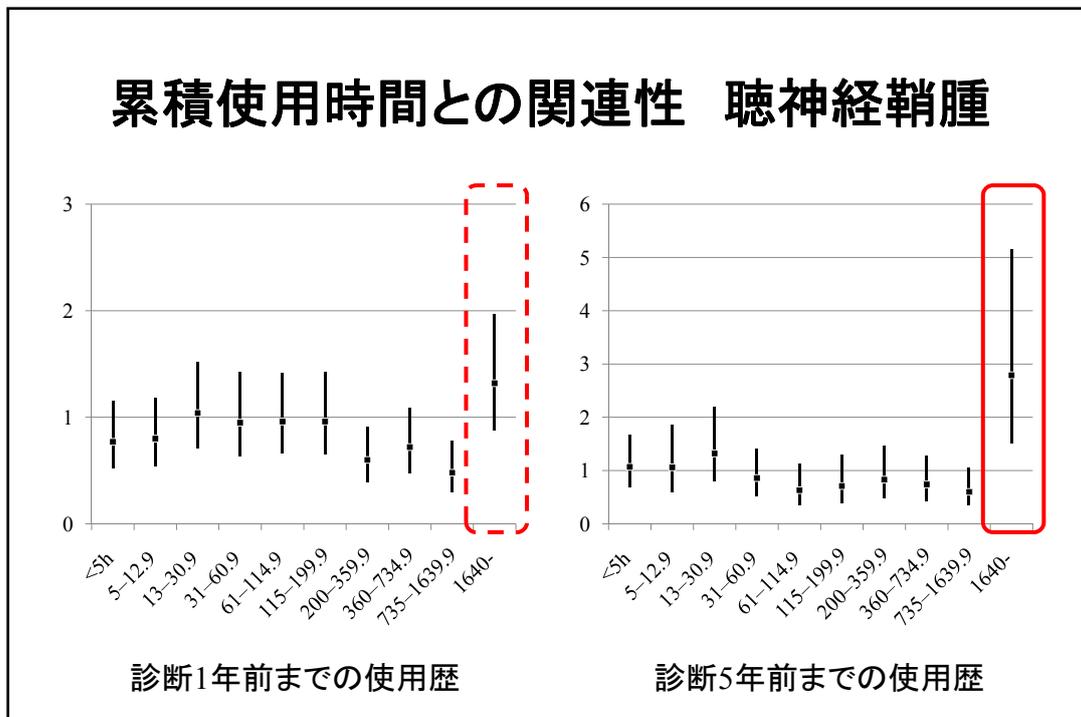
携帯電話使用と腫瘍の側性



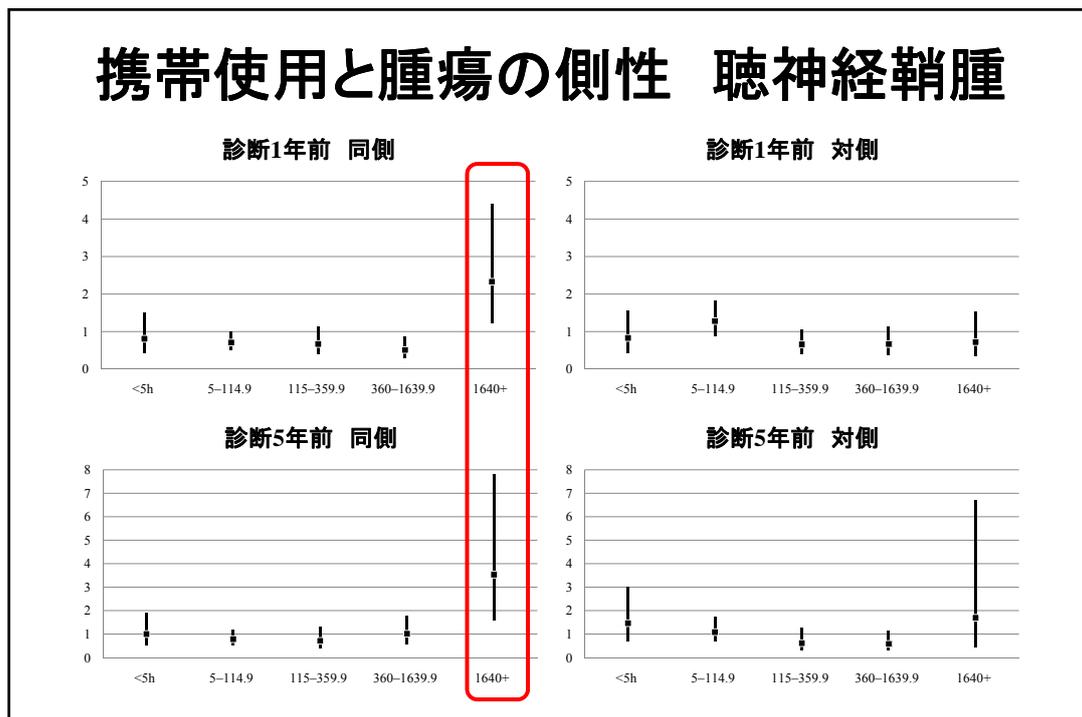
累積使用時間1,640時間以上群の相対リスク



累積使用時間との関連性 聴神経鞘腫



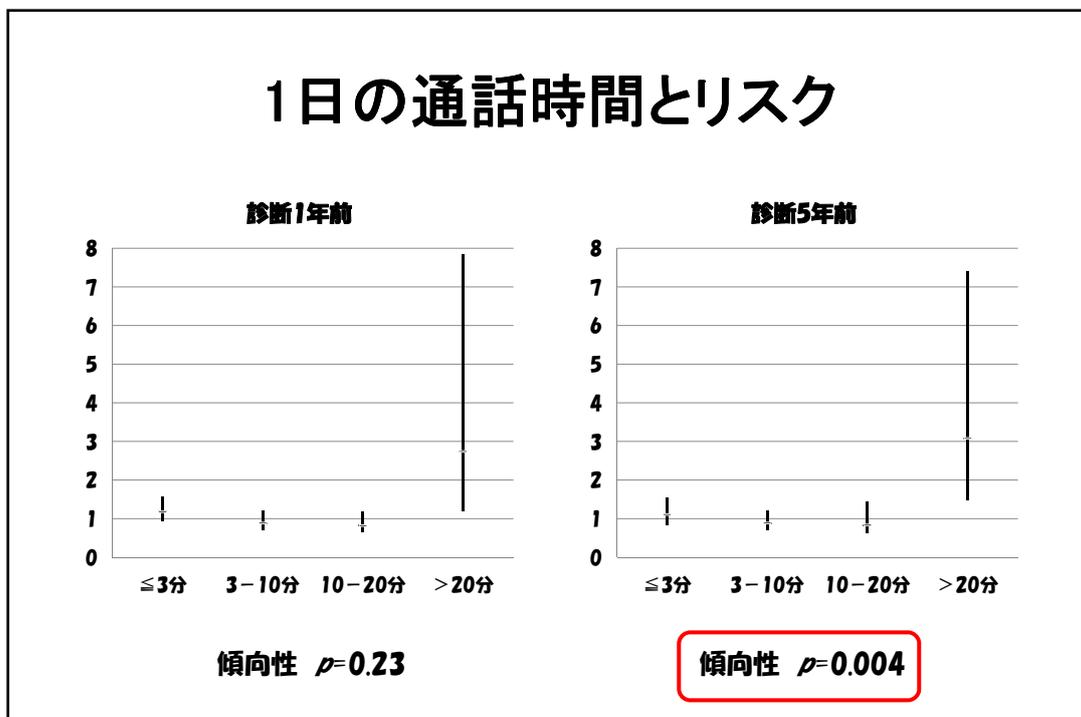
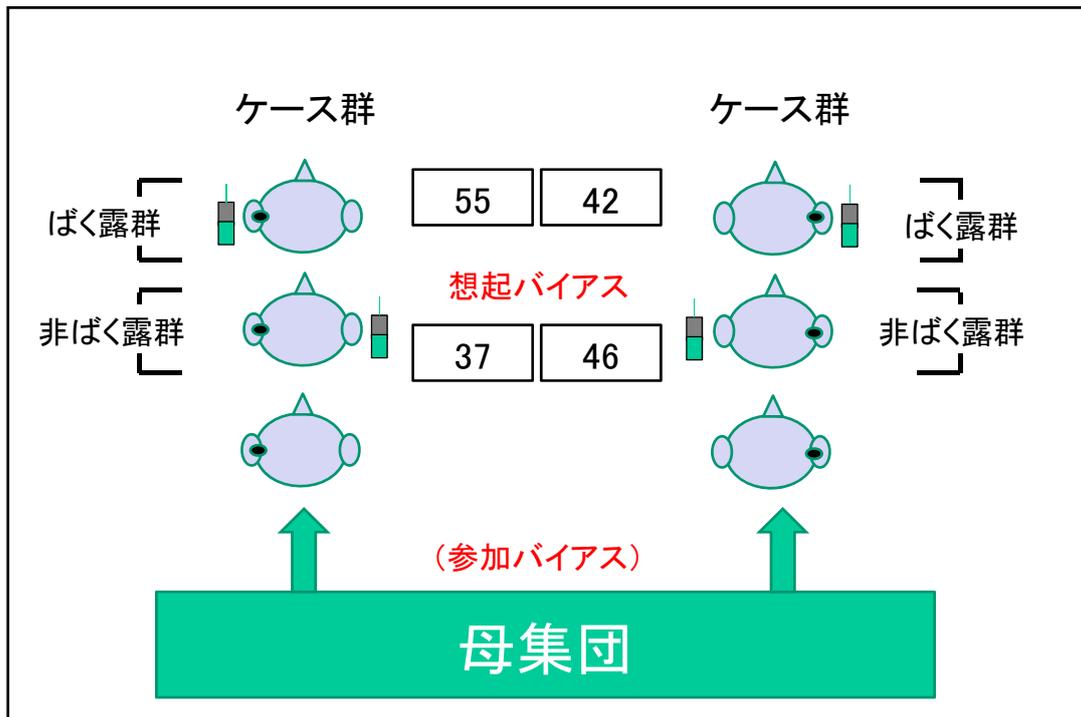
携帯使用と腫瘍の側性 聴神経鞘腫



ケース・ケース研究

Sato Y, et al. Bioelectromagnetics 32:85-93, 2011

- ・ 全国で2000～2006年に聴神経鞘腫と診断された787症例
- ・ 診断1年前に腫瘍に関連する症状がなかったのは362症例。そのうち携帯電話使用歴があつて解析対象となつたのは180症例。
- ・ 診断5年前に腫瘍に関連する症状がなかったのは593症例。そのうち携帯電話使用歴があつて解析対象となつたのは150症例。



考察

- 携帯電話端末使用と脳腫瘍との関連性は、不確実性が真実を覆っていて、真のリスク上昇か調査の「偏り」による見かけだけの上昇(偽陽性)か判断できない
- より確実なリスク評価には、さらなる研究が必要。だが、偏りのない疫学研究は実現不可能
- 複数の疫学研究の比較検討で、真のリスクと偏りの影響を分析することが重要

携帯電話と小児脳腫瘍: CEFALO

Rööslä M JNCI, 103: 1-13, 2011

- デンマーク、スウェーデン、ノルウェイ、スイス
- 2004~2008年に脳腫瘍と診断された352症例(7~19歳)と646対照の症例対照研究
- 使用者対非使用者: 1.36(95% CI: 0.92-2.02)
- 使用開始から5年以上: 1.26(95% CI: 0.70-2.28)
- 事業者データで使用開始から2.8年以上: 2.15 (95%CI: 1.07-4.29)
- “The absence of an exposure–response relationship either in terms of the amount of mobile phone use or by localization of the brain tumor argues against a causal association.”

Mobi-Kids Study

- 国際共同症例対照研究:EU9カ国、その他6カ国
- 調査地域:東京
- 10～30歳の脳腫瘍症例と対照(虫垂炎症例)を比較
- 目標:脳腫瘍750症例(日本は100症例)
- 東京女子医科大学と首都大学東京、13医療機関
- 結果公表は2014年の予定

電磁界生体影響問題の リスク・コミュニケーション

平成23年11月18日（金）
電気学会シンポジウム
「電磁界生体影響問題の最近の動向」

一般財団法人電気安全環境研究所
電磁界情報センター
世森 啓之

お話の内容

1.電磁界問題とは

2.電界、磁界、電磁界とその作用メカニズム

- 電界、磁界、電磁界、電磁波とは？
- 磁界の健康影響メカニズム

3.電磁界情報センターの生い立ち

- 電磁界に関するリスク・コミュニケーションの必要性
- 経済産業省の対応

4.電磁界とリスク・コミュニケーション

- 電磁界のリスク認知
- リスク・コミュニケーション現場の苦悩
- さまざまな疑問に答える
- 電磁界情報センターの役割

3.電磁界情報センターの生い立ち

- 電磁界に関するリスク・コミュニケーションの必要性
- 経済産業省の対応

2

経済産業省の対応

電力設備電磁界対策ワーキンググループ

2007年4月、経済産業省は、原子力安全・保安部会 電力安全小委員会の下に、「電力設備電磁界対策ワーキンググループ」(WG)を設置。2007年6月(第1回WG)から12月(第6回WG)にかけて、WHOの健康リスク評価および政策提言事項に基づき電力設備から生じる磁界の規制のあり方について検討を実施。

検討課題

WHOが電磁界に関する検討を進めており、国際的な規制の状況、国内外の研究等の状況も踏まえ、電力設備から発生する磁界の規制のあり方について検討する。

メンバー構成

学識経験者、電気事業者、消費者関係団体、マスコミ等

架空送電線下の電界については、電気事業法で既に規制されている。

対象設備

電気事業法に基づく規制を行っている送電線、配電線、変電設備などから発生する磁界を対象

3

経済産業省の対応

電力設備電磁界対策ワーキンググループ

超低周波磁界

短期的影響

原子力安全・保安院は、100 μ Tよりはるかに高いレベルの磁界による影響から一般の人々を防護するため、ICNIRPが1998年に定めた一般の人々へのばく露ガイドラインの制限値（参考レベル）（100 μ T（50Hz）、83 μ T（60Hz））を基準値として採り入れる等必要な諸規定の整備、改正を行うべきである。

潜在的な長期的影響

【更なる研究プログラムの推進】

磁界ばく露と健康影響との関係に不確かさが残っていることから、引き続き、その不確かさを低減させるため、産学官が協力して研究を推進すべきである。

4

電磁界情報センター



経済産業省の対応

電力設備電磁界対策ワーキンググループ

超低周波磁界

潜在的な長期的影響

【リスク・コミュニケーション活動の充実】

➤電磁界の健康リスクを中心とするさまざまな情報を収集し、たとえば、最新の知見や日常生活におけるばく露状況等の情報について双方向のやりとりをきめ細かく行い、不安や疑問を持つ人々との信頼感の構築を目指すリスクコミュニケーションの増進を目的とした、**中立的な常設の電磁界情報センター機能の構築が必要**である。

➤幼稚園、保育所、小学校等多数の子供が定常的に集まる場所、あるいは、その他にも電磁界の健康影響について強い不安を抱いている住民が住む地域の近傍に電力設備を新たに設置する場合には、磁界低減に科学的な根拠は見出せないものの、近隣住民等の心情に配慮して、住民との合意形成に格別の努力を払うべきである。

5

電磁界情報センター



経済産業省の対応

電力設備電磁界対策ワーキンググループ

超低周波磁界

潜在的な長期的影響

【ばく露低減】

▶ 低レベルの磁界による長期的影響については、因果関係についての証拠が弱く、電力設備からの磁界を低減することが健康リスクを低減するという考えに科学的根拠があるとは言えない。

▶ 日本の電力設備から発生する磁界レベルは既にかかなり低くなっており、これ以上の磁界低減を図ることは、合理的な対応とは言えない面がある。したがって、ばく露低減のための低費用の方策としては、電気事業者が新たに設置する設備について既の実施してきている高鉄塔化、鉄塔コンパクト化、逆相配列化などの磁界低減に向けた努力を可能な範囲で引き続き継続することが望ましい。

▶ 既設設備に磁界低減対策を施すことまでは求められない。ただし、大規模な既設設備更新などの際には、新設設備と同様の配慮が行われるべきである。

▶ ICNIRP等の科学的な根拠に基づく合理的なガイドライン値を無視して、恣意的にばく露制限値の設定を行うことは認められない。

6

電磁界情報センター



経済産業省と電磁界リスク・コミュニケーション

電力設備電磁界対策ワーキンググループの認識

現状認識

電磁界の健康リスクに関する正確な情報が国民に届いていない。

：1： マスメディアは、安心な情報よりも、危ないという情報（リスク）を強調して流す傾向があるとの意見がある。

：2： 国や電力会社による情報提供の方法が、一般の人々のニーズに合致しているかどうか疑問がある。

打開策

このような状況を是正するため、電磁界の健康リスクを中心とするさまざまな情報を収集し、たとえば、最新の知見や日常生活におけるばく露状況等の情報について双方向のやりとりをきめ細かく行い、不安や疑問を持つ人々との信頼感の構築を目指すリスク・コミュニケーションの増進を目的とした、中立的な常設の電磁界情報センター機能の構築が必要である。

7

電磁界情報センター



電磁界情報センターの誕生

2008年7月1日

財団法人電気安全環境研究所の組織として「電磁界情報センター」が発足

11月4日

電磁界情報センター開所式を開催し、対外的活動開始

8

電磁界情報センター



電磁界情報センターとは？

2008年7月1日、経済産業省 原子力安全・保安院の審議会の政策提言により設立

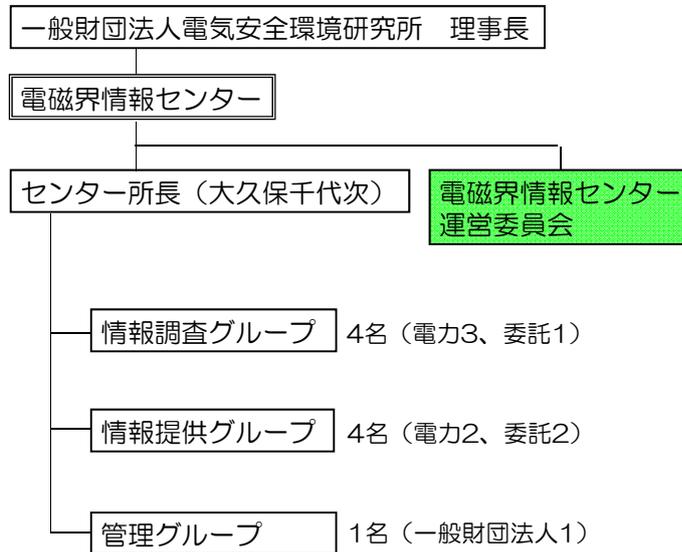
電磁界の健康影響に関するリスク・コミュニケーションを担う。

9

電磁界情報センター



電磁界情報センターの組織



10

4.電磁界とリスク・コミュニケーション

- 電磁界のリスク認知
- リスク・コミュニケーション現場の苦悩
- さまざまな疑問に答える

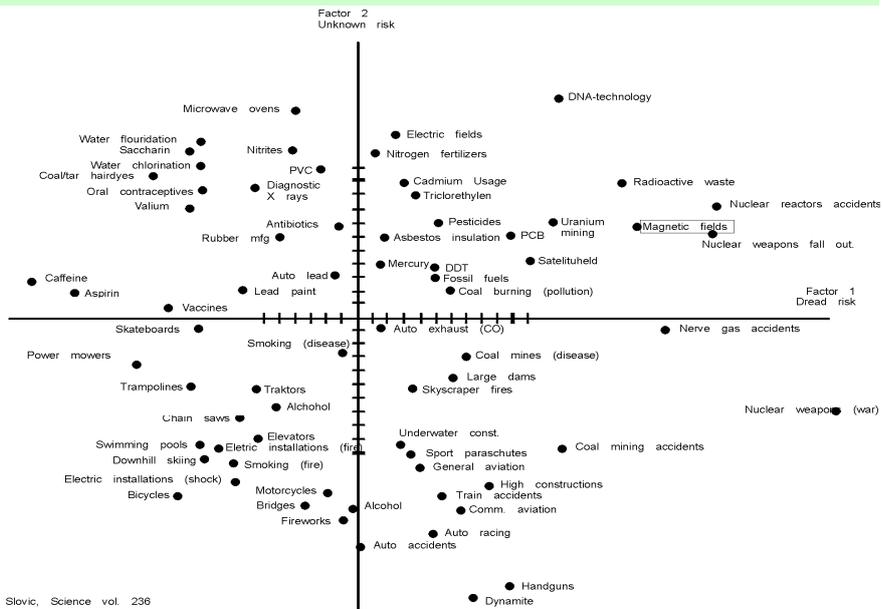
11

リスクコミュニケーションとは

木下富雄先生による定義

対象の持つリスクに関する情報を、当該リスクに関係する人々（ステークホルダー）に対して可能な限り開示し、互いに共考することによって、解決に導く道筋を探す社会的技術のこと。

リスク認知



Kilde: Slovic, Science vol. 236

リスク認知のバイアス要因

リスクの性質	電磁界の場合		登山の場合	
よく知られているか	×	電界や磁界は、目に見えず、感じるができない。物理現象であり、理解しにくい。	○	ごく一般的なスポーツ・余暇活動である。
コントロール可能か	×	送電線や変電所の場合、発生源の立地や電磁界のレベルを個人がコントロールすることは困難である。	○	入念な準備および現地での判断によって、リスクの回避が可能である。
自発的なものか	×	送電線や変電所の場合、強制的にばく露を受ける。	○	行きたくなければ行かなければいい。
恐ろしさの程度	×	「小児白血病」という、子供に関する病気との関連が疑われる。	△	墜落、疲労凍死
利益	×	送電線や変電所の場合、個人に直接的な利益はない。	△	満足感、達成感
公平か	×	送電線や変電所の近くに住む人のみがばく露を受ける。	○	行きたい人は自らの意思で行く。

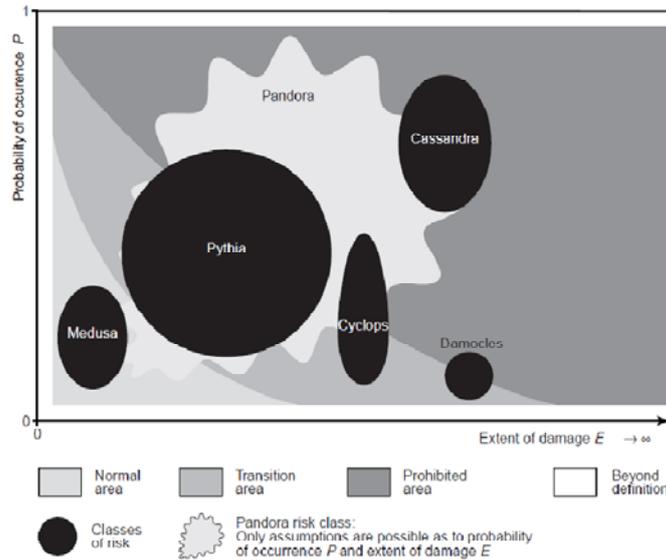
14

電磁界発生源とばく露の特徴

		ばく露時間	
		短時間	長時間
自分で制御	できる	家庭電化製品 携帯電話端末 磁気治療器	電気毛布・カーペット 電車（乗車） 磁気治療器 太陽電池
	できない	盗難防止装置 自動改札機	送電線、変電所 電車線 携帯電話基地局 放送局 アマチュア無線局

15

リスクの発生確率と被害の大きさ



German Advisory Council of Global Change, Annual Report 1998 16

電磁界情報センター



新たなリスク

リスクの分類	特徴				例
	発生		被害		
	確率	確率評価の確からしさ	大きさ	大きさ評価の確からしさ	
Damocles	極めて低	高	極めて大	高	原子力、化学工場、ダム
Cyclops	不明	低	大	高	洪水、地震、火山の噴火、エイズ感染
Pythia	不明	低	不明(恐らく大)	不明	BSE、遺伝子組み換え植物
Pandora	不明	不明	不明	不明	内分泌かく乱物質
Cassandra	高	低	大	高	人間の活動による気候変動
Medusa	低	低	低	高	電磁界

German Advisory Council of Global Change, Annual Report 1998

電磁界情報センター



「Medusa型リスク」への対応方法

戦略	方策
信頼の獲得	<ul style="list-style-type: none"> • 情報提供および教育のための第三者機関を設置する。 • 個人が、個人の生活に影響を与えるような局面において、対立する選択肢から選択しなければならないような意志決定に参加する機会を提供する。 • 反対運動の潜在性に関わる社会科学的研究を推進する。 • モデル機能： 影響を受ける団体が関与できる承認手続き • 国際的な管理（IAEA） • 国際的に責任のあるコミットメント
知見の向上	<ul style="list-style-type: none"> • リスク評価の確実性を向上させるための研究を実施する。 • 国による（基礎）研究を実施する。
リスクコミュニケーション	<ul style="list-style-type: none"> • 「きっかけ」と「結果」との間の因果関係について明確に説明する。 • 学校や成人教育において、環境教育を強化する。 • 測定データを一般に公開する。

German Advisory Council of Global Change, Annual Report 1998

18

「Medusa型リスク」への対応方法

戦略	方策
信頼の獲得	<ul style="list-style-type: none"> • 情報提供および教育のための第三者機関を設置する。 • 個人が、個人の生活に影響を与えるような局面において、対立する選択肢から選択しなければならないような意志決定に参加する機会を提供する。 • 反対運動の潜在性に関わる社会科学的研究を推進する。 • モデル機能： 影響を受ける団体が関与できる承認手続き • 国際的な管理（IAEA） • 国際的に責任のあるコミットメント
知見の向上	<ul style="list-style-type: none"> • リスク評価の確実性を向上させるための研究を実施する。 • 国による（基礎）研究を実施する。
リスクコミュニケーション	<ul style="list-style-type: none"> • 「きっかけ」と「結果」との間の因果関係について明確に説明する。 • 学校や成人教育において、環境教育を強化する。 • 測定データを一般に公開する。

German Advisory Council of Global Change, Annual Report 1998

19

リスクコミュニケーション戦略

電磁界情報センターの果たせる役割

われわれが恐れているのは…



- ・電磁界のリスクの大きさについて、利害関係者間でできるだけ共通の認識を持ってもらうようにすることが「専門解説機関」としての電磁界情報センターの役割
- ・電磁界のリスクをどのように管理するかを決めるのは、国、事業者、市民の役割

20

電磁界情報センター



電磁界情報センターの役割

「第三者機関」と言っても…

専門解説機関

監視機関

諮問機関

政策立案機関

仲裁機関

21

電磁界情報センター



リスクコミュニケーション戦略

木下富雄先生の提言

「最初からベクトル（リスク認知）が高い方に向いている人であれば、同じ情報を与えてもやはりセクションが行われて、これまで自分の持っている高い方向を伸ばすことになるのです。」

さらなる進歩を目指すためには・・・

- 専門性の高い問題について理解を進めるためには、技術の専門家が考えるだけでなく、認知心理学やコミュニケーション学の援助が必須
- なによりも大切なのは、不安を持つ市民とのコラボレーションで、用語の平易化や論理構成をともに考えることではないか
- リスクコミュニケーションの基本精神の1つが、関係者間の双方向的なコミュニケーションによる情報の共有と、問題解決に向けての共考にあることを改めて想起する必要
- 結局は「信頼性」の問題に行き着く。信頼して貰えれば専門家に任せてくれるから

柴田義貞編、リスクコミュニケーションの思想と技術、長崎大学グローバルCOEプログラム放射線健康リスク制御国際戦略拠点、2010

22

電磁界情報センター



第三者機関として信頼を獲得するために

専門性

- 文献データベースの構築
- スタッフの専門性偏在を外部専門家ネットワークで補完
- 専門的活動

誠実さ・熱意

- 日常的な対話機会の発掘と真摯な対応
- 「聴く」姿勢
- 「普通の」言葉で対話する努力

運営委員会

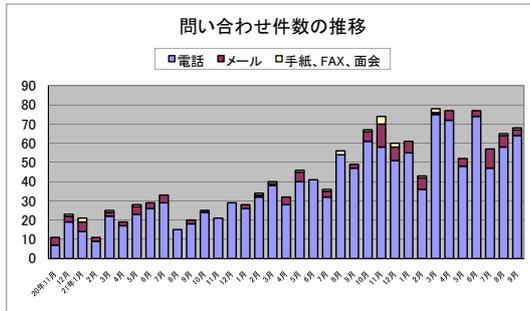
信頼の獲得

23

電磁界情報センター



リスクコミュニケーションの実践

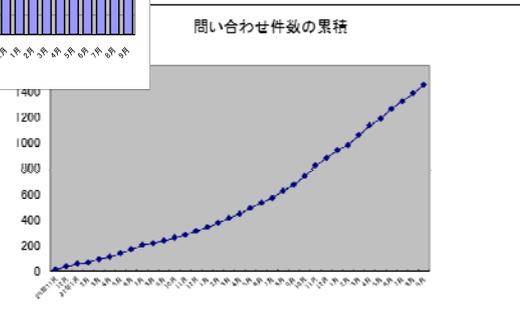


電磁波フォーラム

年2回程度の開催。討論の場の提供。

電磁波セミナー

全国のべ30箇所以上で開催、のべ1,400人以上が参加（2011年9月末現在）



24

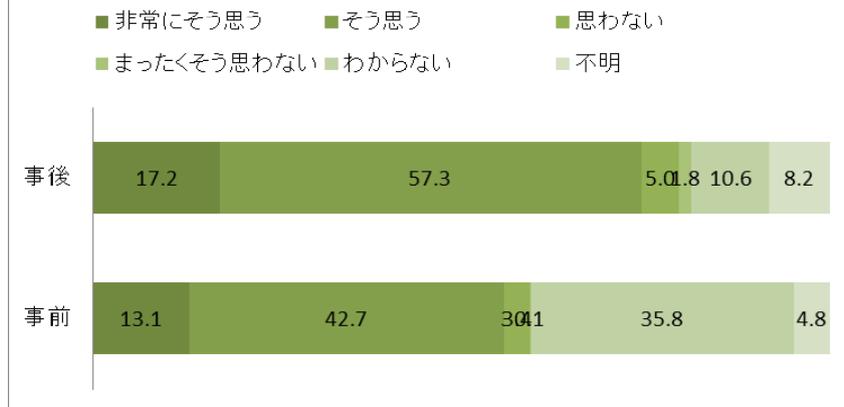
電磁界情報センター



リスクコミュニケーションの実践

電磁波セミナーの効果

JEICは信頼のある組織か？



25

電磁界情報センター



さまざまな疑問に答える

こんな言葉知ってます？

思考盗聴

思考介入

テンペスト

電磁波攻撃

人間発電機

磁気異常

電磁過敏症

26

電磁界情報センター



さまざまな疑問に答える

こんなものの影響は？

テレビのリモコン（赤外線）

陶芸用電気釜

ハイブリッド車

太陽光パネル

保安監視装置（テラヘルツ波）

ネズミ撃退器

27

電磁界情報センター



さまざまな疑問に答える

私が心がけていること

- わからないことは正直にわからないと言う。
- わからなかったことは必ず調べ、2回目は決して「わからない」と言わない。
- 相手の話は途中で遮らない。相手の聞きたいことを探る努力をする（時には逆質問など）。
- 証拠で話をする。
- できるだけ身近なたとえ話に置き換える。

28

電磁界情報センター



お問い合わせは

電磁界情報センター

<http://jeic-emf.jp/>

TEL:03-5444-2631

29

電磁界情報センター



電気学会講演会「電磁界生体影響問題の最近の動向」
平成23年11月18日(金)
国立オリンピック記念青少年総合センター(代々木)

ドシメトリ研究の動向

山崎 健一
(財)電力中央研究所
電力技術研究所 雷・電磁環境領域



1

講演内容

- はじめに
- 体内誘導量評価方法
(解析的手法, 数値計算手法, 人体モデル)
- 体内誘導量評価指標とICNIRPガイドライン
- ドシメトリの課題と今後の展望



2

はじめに — ドシメトリの重要性と経緯

- ドシメトリ = 低周波領域では、「体内誘導量」の評価:
「電磁界の安全性評価の指標」
- 経緯:
平成7年～ 電気学会「電磁界生体影響問題調査特別委員会」
第1作業部会(宅間董部会長)においてドシメトリ研究のレビュー
→ 平成10年および平成15年に報告書

平成15年～ 電気学会電磁環境技術委員会傘下の調査専門委員会
①電磁界による体内誘導電界・電流調査専門委(宅間董委員長)
②不均一および過渡的な電磁界による体内誘導量評価技術調査
専門委(藤原修委員長)
③生体を含む電磁界解析技術調査専門委(上村佳嗣委員長)
④電磁界の生体防護ガイドラインおよび適合性評価技術動向調査
専門委(平田晃正委員長)
→ 委員間比較計算を含む, ドシメトリ研究の詳細な検討・レビューの
継続実施中



低周波磁界による体内誘導電界/電流



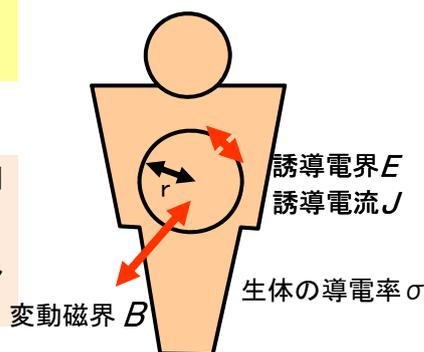
変動磁界中の人体内に
誘導電界/電流が生じる



誘導電界/電流の, 神経や筋に対する刺激作用が, 電磁界影響の科学的根拠のある現象とみなされている。
(誘導電界/電流が人体防護ガイドラインにおける安全性評価の指標)



体内誘導電界/電流を評価する必要性
→ 体内の電気量の実測は困難
→ 等価な外部磁界の評価, または
体内誘導量の計算評価が必要



$$\text{rot}E = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$J = \sigma E$$

磁界による誘導電界の解析的手法

- 適用・用途例

- ①透明性の確保が要求されるガイドラインや標準化の分野
- ②数値計算コード開発における検証の用途

- ファラデーの法則

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \iint \left(-\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{B} \right)_n dS \quad (\mathbf{B}: \text{変動磁界}, \mathbf{E}: \text{誘導電界})$$

- 解析解は数例のみ存在

1. 円断面(均質円柱, 均質球)と一様磁界
上式の左辺Eの分布が既知(同心円状に分布)

$$E = -j\pi f B r \quad (r: \text{円モデルの半径}, f: \text{周波数})$$

2. 楕円断面と一様磁界
3. 方形断面と一様磁界(級数近似)
4. 均質球と磁気ダイポール(特殊関数を含む)



磁界による誘導電界の数値計算手法

- 前述の解析解があるケース以外は, 数値計算が必要となる(例, 非一様磁界, 非均質人体モデル)
- マクスウェル方程式に境界条件を与えて解く
- 人体のモデル化: 3次元メッシュ(ボクセル), 各メッシュに組織の電気的特性を割り当てる
- 準静的近似が適用可能(変位電流に対して伝導電流が支配的, ならびに人体の寸法に対して波長が十分に長い)
- 一様磁界以外のばく露条件では, 発生源のモデル化が必要



基本方程式

- マクスウェルの方程式

準静的近似(～数100kHz程度), カップリングが弱く磁界Bと電界Eが伝播しない($\sigma \gg \omega\epsilon$, $\epsilon \sim 10^{-6}$)

$$\nabla \times \mathbf{E} = -j\omega\mathbf{B} \quad (1) \text{ (ファラデーの法則)}$$

$$\nabla \times \mathbf{B}/\mu = \sigma\mathbf{E} + j\omega\epsilon\mathbf{E} \quad (2) \text{ (準静的近似ではアンペールの法則)}$$

無視できる項(変位電流)

- 誘導電界Eと誘導電流密度J

$$\mathbf{J} = \sigma\mathbf{E} \quad (3) \text{ (オームの法則)}$$

- 必要に応じて使用する補助方程式

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (4) \text{ (電流連続の式)}$$



7

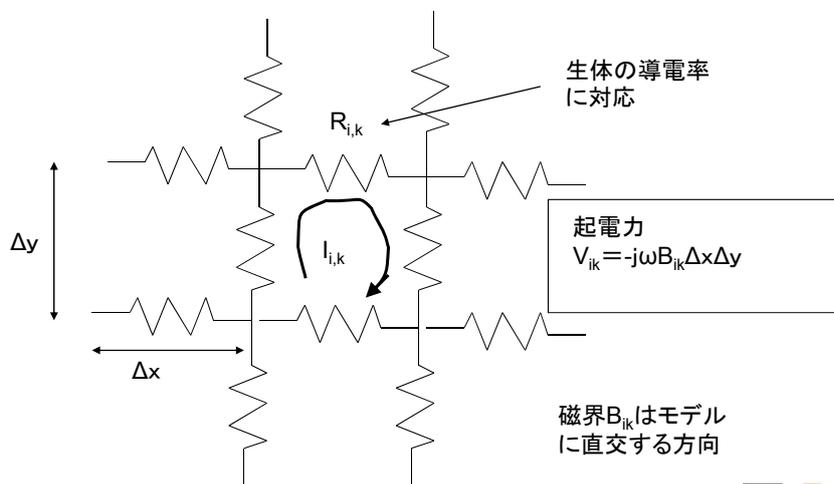
磁界による誘導電流計算に用いられる数値計算法

- インピーダンス法:** 回路網により人体を表現。回路網方程式を解く手法。外部磁界として、扱いが容易な磁束密度を用いるため、磁界分布測定値に基づく評価が容易。一方、SPFD法に比べ計算量が多くなる。
- SPFD法(差分法):** スカラーポテンシャルを未知数とする有限差分法。外部磁界はベクトルポテンシャルで与える。インピーダンス法に比べ計算量は少ない。
- QS-FDTD法(準静的時間領域差分法):** マクスウェルの方程式を差分化し、時間領域で解く手法。入力波源を工夫することにより、低周波への適用が可能。
- 境界分割型的手法(境界要素法および表面電荷法):** モデル内の電界分布を、境界における量のみで表す。入力データ数を少なくでき、媒質数が少ない場合には計算精度の面で有利。最近、高速多重極法を用いる手法が開発され、大規模複雑形状系の解析が可能となった。



インピーダンス法

回路網により人体モデルを表現. 回路網方程式を解く手法.



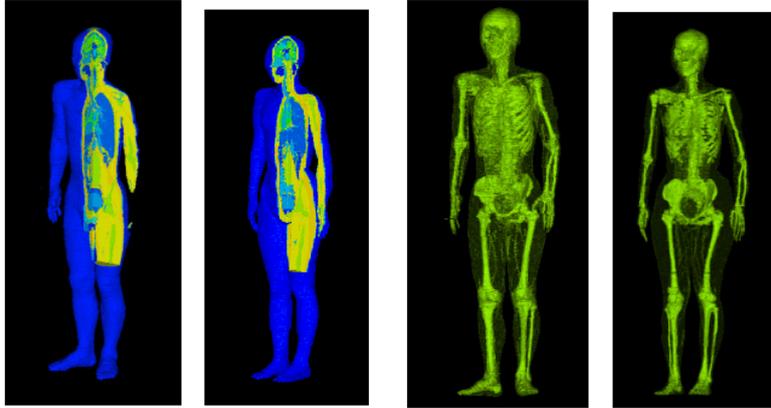
数値人体モデル



- 人体形状および内部組織の電気的特性をより詳細に模擬するもの。
- 標本やMRI画像に基づき、人体を構成する組織の同定が行われ、数mmオーダーのボクセルで構成される。
- さまざまな人体モデルが開発されている
 - 米国Visible Human Projectによるモデル(右図)
 - 日本人男女の数値人体モデル(TARO, HANAKO)
(NICT: 情報通信研究機構を中心に開発)
 - イギリスHPAによる男女モデル(NORMAN, Naomi)
 - スイス IT-IS Foundationによる“Virtual Family”
ELLA(26) female, DUKE(34) male,
BILLIE(11) female, THELONIOUS(6) male

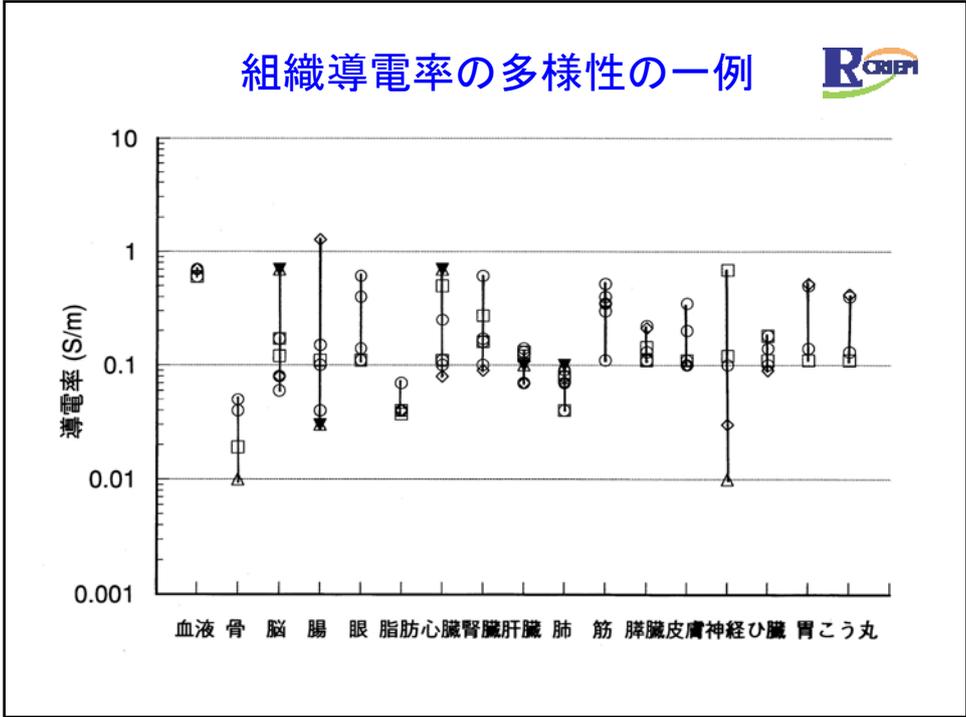


日本人数値人体モデル RCRIEPI

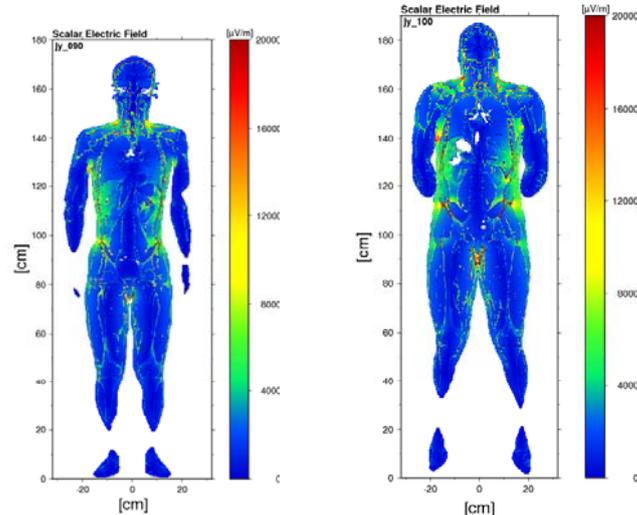


- ・51種類の組織
- ・ボクセルサイズ2 mm
- ・各組織に割り当てる導電率は, Gabrielらによるデータがよく用いられる

11



体内誘導電界の計算例



日本人男性モデル

米国Brooksモデル

一様磁界(50 Hz, 0.1 mT)ばく露時の誘導電界分布の例

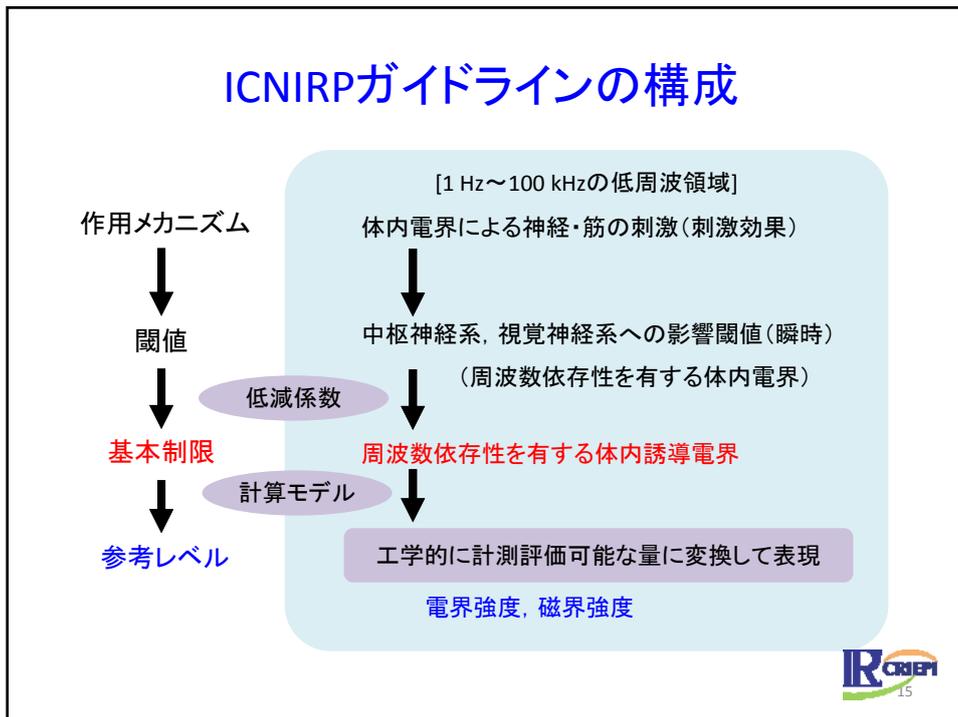
13

体内誘導量評価指標とICNIRPガイドライン

- ICNIRP:
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(国際非電離放射線防護委員会), 1992年設立
- ICNIRPガイドライン:
「時間変化する電界、磁界及び電磁界によるばく露を制限するためのガイドライン」

1998年制定(300 GHzまで)
2010年低周波部分(1 Hz~100 kHz)を改訂
任意の規格であるが、もっとも影響力がある人体防護指針





新ICNIRP低周波ガイドラインの限度値(商用周波)

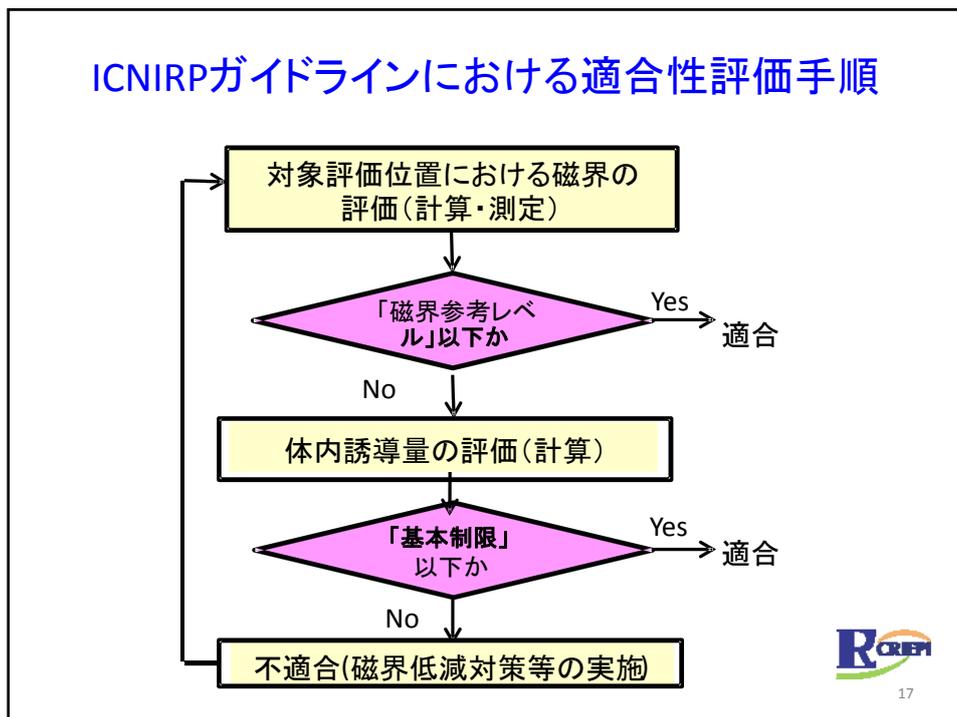
		公衆ばく露		職業ばく露	
		50Hz	60Hz	50Hz	60Hz
旧ガイドライン	基本制限 (誘導電流密度)	2 mA/m ²	2 mA/m ²	10 mA/m ²	10 mA/m ²
	磁界 参考レベル	100 μT	83.3 μT	500 μT	417 μT
新ガイドライン	基本制限 (誘導電界)	2.0 mV/m	2.4 mV/m	100 mV/m	120 mV/m
	磁界 参考レベル	200 μT	200 μT	1000 μT	1000 μT

[誘導電界] = [係数] × [周波数] × [磁界の大きさ]

[誘導電流密度] = [導電率] × [誘導電界]

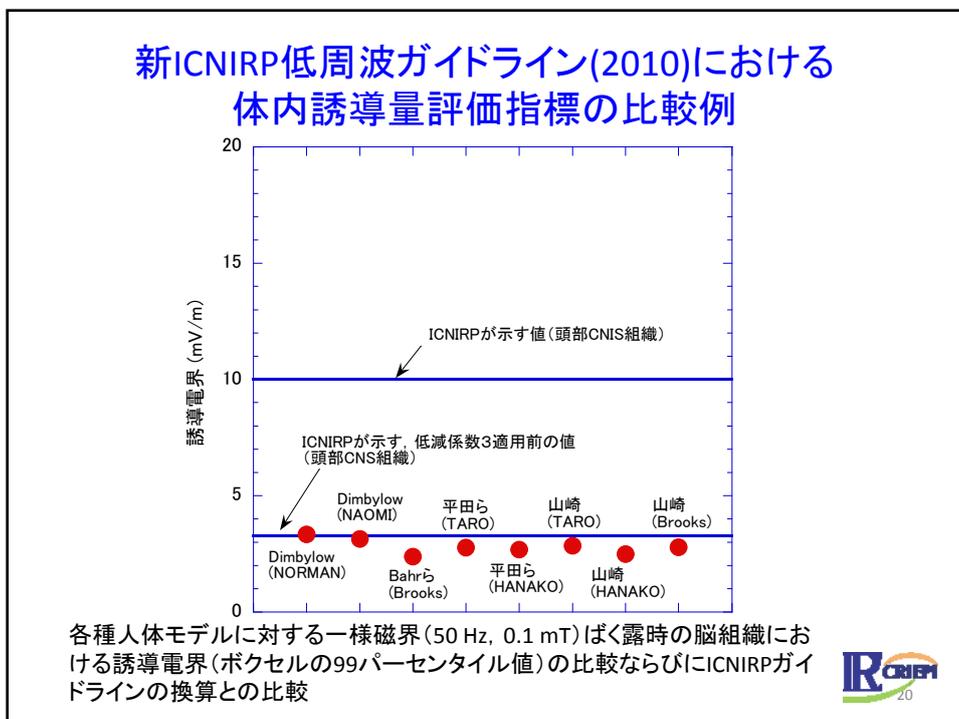
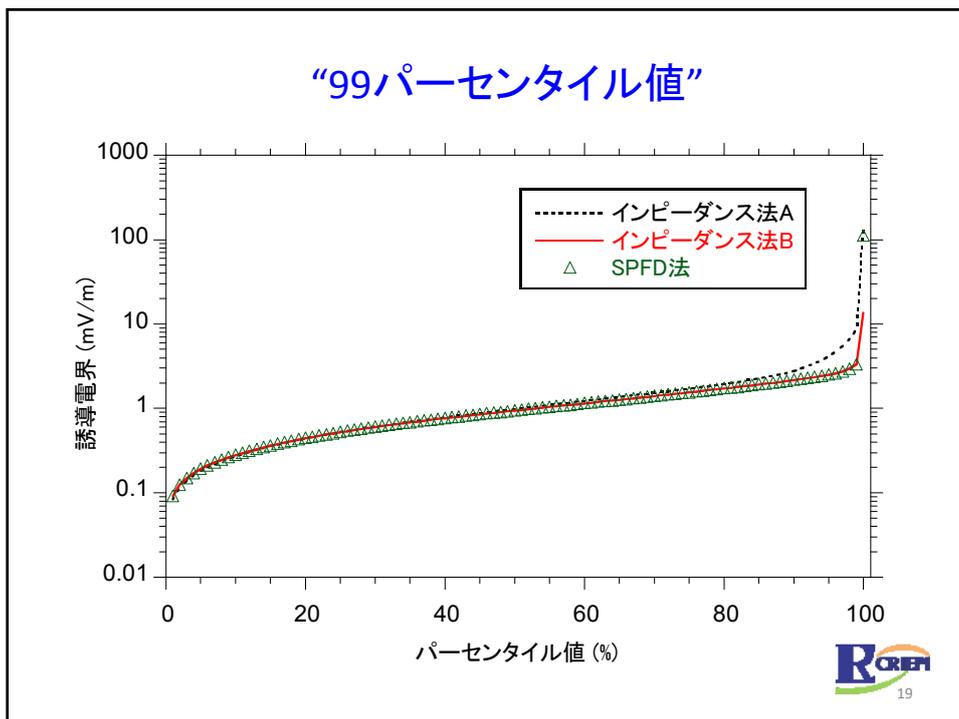


ICNIRPガイドラインにおける適合性評価手順



新ICNIRP低周波ガイドライン(2010)における体内誘導量評価指標

- (a) **体内誘導量**: 従来の誘導電流密度に代わり, 誘導電界を用いる。
- (b) **体内誘導量の評価部位**: 頭部の中樞神経系組織, および 全身の組織の2通りを評価する。
- (c) **領域での平均化**: 辺長2 mmの立方体空間での体積平均を扱う。平均化領域に他の組織を含む場合はこれを除くが, 薄い組織である網膜と皮膚については, 周辺組織まで含める。
- (d) **数値計算における不確かさの考慮**: 上記の辺長2 mmの立方体空間での体積平均値を得たのち, 組織ごとの99パーセンタイル値により, ガイドライン値と比較する(曲面をボクセルで模擬することに伴う不可避な影響を除去)。



おわりに — ドシメトリの課題と今後の展望

- 数値計算能力の進歩に伴い、人体を構成する組織を精密に模擬するモデルを用いて体内誘導量の数値計算が行えるようになった(ここ数年最も進展が見られた分野)。
- ガイドラインの適合性評価において、詳細人体モデルを用いることが想定されるようになった。
- しかしながら、下記の理由の信頼性の問題から、防護指針との適合性評価へ数値計算を適用する際には慎重な判断を要する。
 - 組織導電率についての限られた情報
 - 測定が困難であり、計算結果の妥当性の検証ができない
 - 使用するモデルにより、体内誘導量の計算結果は異なる値を取り得る
- 今後の展望
 - 接触電流評価(感電の人体安全の考え方との融合)
 - 新たな電磁界利用技術と人体安全性(IH, EV, 非接触電力伝送, PVなど)
 - 数値計算ハード・ソフトの進歩



人体ばく露に関連する 電磁界の測定方法

水野幸男
(名古屋工業大学)

人体ばく露に関連する 電磁界の測定方法のIEC規格

- IEC 61786 (1998)
人体ばく露に関する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
- IEC 62233 (2005)
家庭用電気機器及び類似機器からの人体ばく露
に関する電磁界の測定方法
- IEC 62110 (2009)
交流電力システムから発生する磁界及び電界の
強さ－公衆の人体ばく露を考慮した測定手順

IEC 62110 Edition 1.0 2009-08

INTERNATIONAL STANDARD
NORME INTERNATIONALE

**Electric and magnetic field
levels generated by AC power
systems –**

**Measurement procedures
with regard to public
exposure**

**Champs électriques et
magnétiques générés par les
systèmes d'alimentation à
courant alternatif –**

**Procédures de mesure des
niveaux d'exposition du
public**

日本発のIEC規格

(1) 制定に至る過程

- ・IEC TC106の概要
- ・電力線WGの活動
- ・PT62110の活動
- ・後方支援

(2) 規格概要

- ・1, 3, 5点測定

(3) 制定後の動き

- ・ICNIRPガイドライン改訂
- ・磁界規制値導入
- ・JIS化

IEC TC106

- ・**名称**: 人体ばく露に関する電界、磁界、電磁界の測定方法
- ・**発足**: 1999年10月(設立承認)
- ・**参加国**(2011年11月1日現在):
Participating countries: 26カ国
Observer countries: 8カ国
- ・**国内委員会**:
電気学会が審議団体。電気規格調査会電磁環境部会に設置されている「人体ばく露に関する電界、磁界及び電磁界の評価方法標準化委員会(委員長:多氣昌生・首都大学東京教授)」が国内委員会を兼ねる。
国内委員会: 多氣昌生 委員長(首都大学東京)
低周波委員会: 山崎健一 委員長(電中研)
高周波委員会: 渡辺聡一 委員長(NIST)
事務局: 電気学会標準化推進室

IEC TC106のタスク

- ・人体ばく露に関連する電磁環境の特徴付け
- ・測定法、測定器および測定手順
- ・計算法
- ・特定発生源からの電磁界へのばく露の評価方法
(製品関連のTCが規定しない場合)
- ・他の発生源に対する基本規格
- ・不確かさの評価
- ・対象外
 - ばく露制限値の設定
 - 電磁界低減方策

当時の背景

- (1) IEC
電力設備から発生する商用周波電界・磁界の
測定規格作成
 - ・TC106において優先順位1の作業課題
 - ・規格成文化の動きなし
- (2) 国際規格・基準
人体ばく露という観点から測定・評価手順を
明確にする規格・基準類は、殆ど存在しない
- (3) 現場
都市部の送配電線の地中化に伴い、公衆が
比較的容易にアクセスできる場所に機器設置

(4) 不平等電界・磁界

空間分布や人体ばく露を考慮した測定・評価方法の国際規格作成への強い要望

(5) ICNIRP (国際非電離放射線防護学会) のガイドライン: 1998年版

基本制限値として外部電界・磁界によって体内に発生する誘導電流密度を与えつつ、測定可能な物理量として外部電界・磁界を参考レベルとして規定

→ 人体の占める空間平均値で評価

評価の難しい不平等電界・磁界を含めた再現性があり合理的で簡易な測定手順の必要性

関与することになった経緯は・・・

電力中央研究所 故 富田誠悦氏からの電話

・電気学会特別委員会関連事項

ついでに・・・

・日本発IEC規格原案作成への協力要請
(中立的な立場の人間が必要とのこと)

本人の理解: 原案作成で任務終了

実際には・・・油断している内に外堀が埋まり
最後まで関与することに

電力線WG

- ・使命
一般公衆がアクセスできる場所に設置された電力設備から発生する商用周波不平等電界・磁界の測定・評価法に主眼を置いた、全文日本発のIEC規格制定
- ・設置(2002年12月)
国内委員会低周波委員会 傘下
- ・構成(2011年11月現在) 10名
大学、電力会社、電中研、電事連、鉄道総研、交通研、電磁界情報センター、事務局

電力線WGの活動

- ・IEC規格案作成
 - (1) 公衆が近接し得る場所にある配電設備などからの不平等磁界の測定・評価方法に重点を置く。
 - (2) 水平方向に磁界の不平等分布がある場合には、人体の幅を考慮して人体全体のばく露を代表できる測定点(発生源からの水平距離)を決める。
 - (3) 鉛直方向に磁界の不平等分布がある場合には、身長を考慮して人体全体のばく露を代表できる測定(鉛直方向の測定位置)を決める。
 - (4) 架空送配電線については、従来の測定手順(IEEE Std. 644-1994)を踏襲する。

- ・新業務提案(NP)提出:2004年5月
約1年半にわたる議論・検討結果を取り纏めたもの
電界を含めるよう、国際幹事から指示
- ・修正版新業務提案提出:2004年7月
106/75/NPとして回覧
- ・PT62110設置後:2004年12月
PT62110に臨む日本の方針の審議・決定
 - CD (委員会原案)案作成
 - CDV (投票用委員会原案)案作成
 - FDIS (最終国際規格案)案作成
 - これらの案に対する各国からのコメントへの対応

IEC TC106 PT62110

(2004年12月10日設立)

Measurement procedures for electric and magnetic fields
generated by AC power systems with regard to human exposure

Project leader	Yukio Mizuno	Japan
Secretary	Hiroyuki Yomori	Japan
Experts	Thanh Dovan	Australia
	François Fortin	France
	Ulf Grape	Sweden
	Hannah Heinrich	Germany
	P.G.F.J. Ligtvoet	Netherland
	Sung-Ho Myung	Korea
	Duc-Hai Ngyuen	Canada
	David Renew	United Kingdom
	Jun Yoshinaga	Japan
WG1 Convenor	François Deschamps	France

2009年規格制定時のもの(9カ国12人)

立ちはだかる壁への対処

- (1) **PT設置に必要なエキスパート不足**
NPは79%の賛成を得たが、エキスパートが1名不足
→国内委員長 多氣先生から国際幹事へ猶予申請
大急ぎで1名追加
- (2) **CIGRE TF参加国の規格化反対**
TF C4.203 Measurement of low frequency electric and magnetic fields near overhead power lines
TF C4.205 Characterization of ELF magnetic fields
→TF会議に参加、規格案説明と意見交換
相手文書引用、TF内容のIEC規格化の余地を残す、相互にメンバ参加することで合意
PT62110にイギリス、フランスからエキスパート登録
以降、極めて良好な関係構築

- (3) **文書(CD、CDV)への各国からのコメント**
→日本の考えを保持しつつ柔軟に対応
- (4) **ドイツの態度変化**
友好的態度から批判的態度に(担当者変更が理由)
→PT会議に参加要請し、詳細説明と説得
委員としてPTへの参加を要請、承諾を得る
- (5) **IEC内の他のSC, TCとのリエゾン**
 - **IEC SC17C WG23**
Method to quantify the steady state, power frequency electromagnetic fields generated by HV switchgear assemblies and HV/LV prefabricated substations
 - **IEC TC9**
Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure
→IEC62110とは異なる測定手順が提案されている
プロジェクトリーダーと意見交換、ほぼ棲み分け

PT62110活動への後方支援

経済産業省

国際規格共同開発調査研究事業(平成15～20年度)

- 韓国・オーストラリアの専門家との交渉
PT62110へのエキスパート派遣
韓国関係者との密接な連携、全面的支援
- 渡航経費(PT62110会議、IEC TC106総会、
他機関との折衝など)、会議費 など

電気学会標準化推進室

上記事業、電力線WGの事務 など

PT62110 関連文書

2004.07.16	106/75/NP	新業務事項提案
2004.12.10	106/85/RVN	79%の賛成
2006.01.20	106/108/CD	第一次委員会原案
2006.11.17	106/117/CC	CDに対するコメント集
2007.02.23	106/123/CD	第二次委員会原案
2007.05.11	106/138/CC	CDに対するコメント集
2008.01.04	106/138A/CC	同上最終版
2008.05.30	106/154/CDV	投票用委員会原案
2008.10.31		92%の賛成
2009.03.06	106/170/RVC	CDVに対するコメント集
2009.05.29	106/177/FDIS	最終国際規格案
2009.07.31		100%の賛成
2009.08.31	IEC 62110	国際規格発行

規格制定に至った要因(個人的見解)

- IEC TC106国内委員会ははじめ国内関係組織の**全面的支援**
- 電力線WGの**強固な結束**
- 反対・対立組織との**折衝および取込み**
電子メールではなく、直接訪問による
真意確認と意見交換
- **時期、運**

IEC 62110 の概要

Electric and magnetic field levels generated
by AC power systems

– Measurement procedures with regard to public exposure

- **交流電力システム**が発生する電界・磁界への
人体ばく露を考慮した「**平均ばく露レベル**」および
「**最大ばく露レベル**」を求める手順を規定
- 国際・国内基準への**適合性判断**に使用可
ICNRPの参考レベル
IEEEのMPE(最大許容ばく露量) など
→**超える場合は実証手続き必要**

適用範囲

交流電力システム(商用周波数)、公衆ばく露
架空送配電線路、地中ケーブル、変電所、
その他の送配電機器からなるシステム

適用しないもの

直流電力システム、鉄道システム、職業的ばく露

平均ばく露レベル

人がばく露される磁界の全身にわたる平均値に
相当する値(1点, 3点, 5点測定により求める)
ICNRPの参考レベルへの適合性判断に使用可

最大ばく露レベル

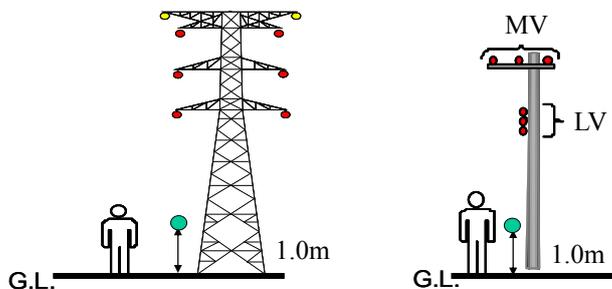
電力システム周辺にある区域内における平均
ばく露レベルの最大値

平均ばく露レベルを求める手順(1点測定)

電界・磁界がほぼ平等と見なせる場合に適用

- 地上あるいは床上 1mの高さで測定
- 必要があれば、他の高さで測定も許容

平均ばく露レベル = 測定値

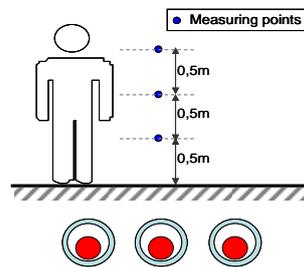


平均ばく露レベルを求める手順(3点測定)

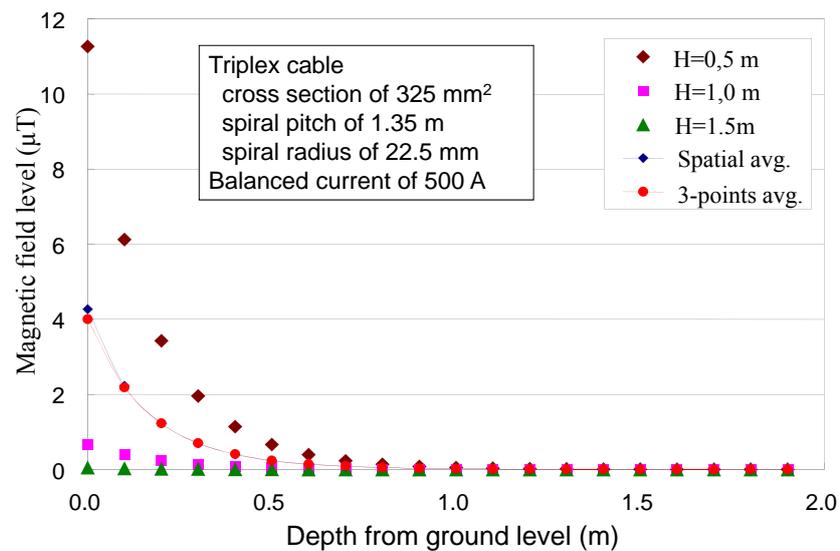
電界・磁界が**不平等**な場合に適用

- 地表あるいは床上 **0.5m, 1.0m, 1.5m**で測定
- 必要があれば他の高さでの測定も許容

平均ばく露レベル=3点の測定値の平均値



平均ばく露レベル(3点測定平均値)と空間平均値との比較[地中送電線]

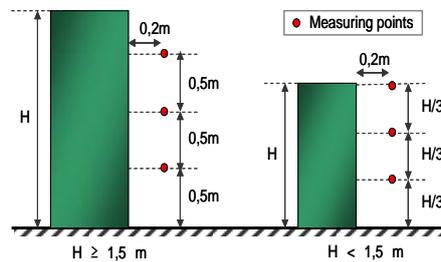


平均ばく露レベルを求める手順(3点測定)

設備近傍や建物の壁付近など

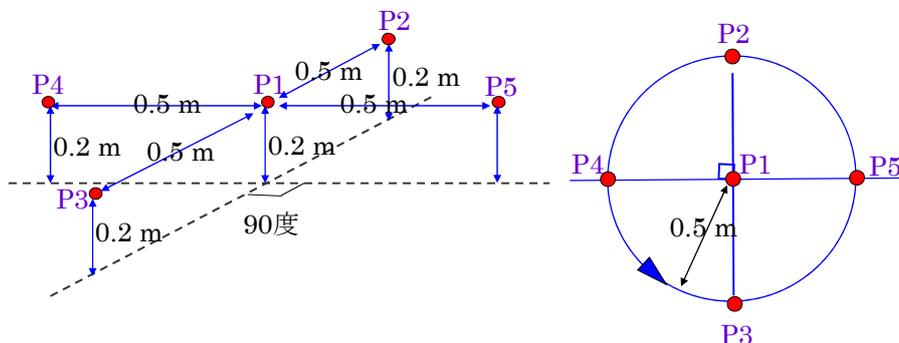
- 設備表面、壁から水平方向に0.2m離れる
- 地表あるいは床上 0.5m, 1.0m, 1.5mで測定
- 設備の高さが1.5m未満の場合
設備の高さを3等分した高さで測定
- 必要があれば他の高さでの測定も許容

平均ばく露レベル
= 3点の測定値の平均値



平均ばく露レベルを求める手順(5点測定)

発生源が地表下あるいは床下にあり、人が地表あるいは床に横たわる可能性がある場合に適用
(横たわる可能性が無い場合には、3点測定実施)



平均ばく露レベル = 5点の測定値のうち、大きい方から
3点の測定値の平均値

最大ばく露レベルを求める手順

- **最大電界・磁界となる場所がわかっている時**
その場所で1点測定あるいは3点測定を行う
- **最大値を示す場所がわからない時**
 - 架空送電線**
地上高1mで最大となる場所を探し、1点測定
 - 地中ケーブル**
地上高1mで最大となる場所を探し、3点測定
 - 変電所・機器**
水平方向に0.2m離れた地上高1mの点で境界や機器に沿って最大となる場所を探し、3点測定
(機器高さが1.5m未満の場合は、1mの代わりに機器高さで実施)

規格制定後の動き

- **ICNIRPガイドラインの改訂** (2010年11月)
発生源から0.2m以上離れた地点で電界・磁界が不平等な場合には身体に沿って、あるいは身体の一部についての空間平均を取ることができる。
IEC 62110に準拠して得られる平均ばく露レベルによりICNIRP参考レベルとの適合性評価を行うことができる。
- **磁界規制値の導入** (2011年10月)
電気設備の技術基準の解釈の一部改正として公開された、規制値との適合性評価をするための磁界の測定方法はIEC 62110規定の手順と同じである。
- **IEC62110のJIS化** (2011年6月～)
原案作成終了。12月に委員会で審議予定。

おわりに(謝辞)

強力かつ温かいご支援・ご協力をいただいた

- ・IEC TC106 PT62110
- ・IEC TC106国内委員会
- ・IEC TC106低周波国内委員会
- ・同 電力線WG
- ・経済産業省
- ・電気学会標準化推進室 の皆様

PT62110および電力線WGで一蓮托生の

- ・世森啓之 氏(財電気安全環境研究所)
- ・吉永淳 氏(東京電力株)

得難い経験のきっかけを与えていただいた

- ・故 富田誠悦 氏

ご清聴ありがとうございました