

中間周波帯域におけるヒト研究 の分野

杏林大学細胞生理学教室
寺尾 安生

電磁界の分類

- 高周波(10メガヘルツから300ギガヘルツ)
- 中間周波(300ヘルツから10メガヘルツ)
- 商用周波を含む超低周波(0ヘルツから300ヘルツ)
- 時間的に変動しない静的な電磁界

今回はヒトでの**中間周波数電磁界**(intermediate frequency electromagnetic field, IF-EMF)の研究について述べる。

表1 電磁界の種類と各周波数帯の発生源および使用例

電磁界の種類	非電離放射線						電離放射線	
	静磁界	超低周波電磁界	中間周波電磁界	高周波電磁界		光	放射線	
周波数	0Hz	0Hz ~ 300Hz	300Hz ~ 10MHz	10MHz ~ 300MHz	300MHz ~ 3GHz	3GHz ~ 3THz	3THz ~ 3000THz	3000THz ~
主な発生源や 利用例	地磁気 磁石 鉄道 MRI	電力設備 電源(家電製品) 鉄道	IH 調理器 テレビ パソコンモニター 鉄道	ラジオ放送 テレビ放送	電子レンジ 携帯電話	BS(衛星放送) Wi-Fi	太陽光	レントゲン

電磁界情報センターホームページ (<http://www.jeic-emf.jp/electromagnetism.html>) より一部抜粋

ほぼ人工的な電磁波だが、一部自然のものも

中間周波数電磁場の発生源

- 中間周波数帯域の電磁界を発生する機器の種類は少ないが、消費者市場や産業界への浸透が大きい。→人体への影響の検討は重要
 - テレビやパソコンなどのビデオモニター(3～30kHz)
 - IH調理器・炊飯器(20～60kHz)
 - 電磁誘導充電システム
 - AMラジオ(30kHz～3MHz)
 - 工業用誘導加熱装置(0.3～3MHz)
 - LEDランプ
- その他、非接触型のICカード、図書館や商店での電子商品監視(EAS)機器、電子タグ(RFID)機器、MRIシステム、神経刺激装置、電気メス、その他の医療用機器
- 無線電力伝送(Wireless Power Transfer; WPT)など(スマートホン充電、電気自動車充電)。

システム	対応状況
磁気方式のEAS機器 (万引き防止システム)	規格上の周波数の範囲は200Hz～14kHzまであり、10kHz以上のものは高周波利用設備として電波法体系により規制されているが、10kHz未満のものについては、電波法体系の枠外である。これについては、日本万引防止システム協会が、自主的取組により、人体の安全を担保している。
ワイヤレス電力伝送	10kHz以上周波数を使用するものは高周波利用設備に該当する。10kHz未満でもWPTの実証実験が行われているものがあるが、人体への影響を防止するために自主的取組が行われている。
電力設備	経済産業省が管轄しており、電気設備に関する技術基準を定める省令により規制されている ^(7,8) 。
家電製品	IH調理器は電波法令により規制されているが、それ以外の家電製品については、一般財団法人家電製品協会が技術指針を定めており、加盟メーカーがその指針を遵守している ⁽⁹⁾ 。
鉄道関連	国土交通省が管轄しており、鉄道に関する技術上の基準を定める省令等による規制がある ⁽¹⁰⁾ 。

中間周波数帯における物理的影響の特性 (刺激作用と熱作用)

- 100kHz以下の中低周波帯の電磁場の暴露があると、生体を通りぬける際にループ状の電流が生じ、水の分子やイオンを振動させることで生体内に電荷が蓄積する。
- 強力な電磁界は電気ショックとして主として神経や筋を刺激する電流や電荷を誘導、神経・筋肉を刺激する

→**刺激作用** (神経細胞や心筋や呼吸筋)

- 他方、100kHz以上の中高周波帯が暴露されると、生体の表面組織に吸収され、分子運動に伴う熱を生じる。

→**熱作用**

刺激作用と熱作用の境界領域になるのが中間周波数帯

- 暴露強度の影響 熱作用
 - 小さい温度上昇は人体の生理的な温度調節によって気づかないうちに**消去**
 - 全身で平均した比吸収率(SAR: Specific Absorption Rate 組織の単位質量あたりの吸収電力)が1~4 W/kgを超えると**深部体温の上昇**による影響のおそれがある。

中間周波数帯の健康影響に関するリスク評価

- 2005年のWHOの情報シートではICNIRPのガイドラインのレベルを下回るばく露で、**短期的な影響**については、中間周波電磁界が健康に対して**リスクがあることを示唆する科学的根拠はない**。
- 暴露評価の複雑さ、交絡因子の存在、実験設備の難しさにより疫学調査は少ない。

中間周波の長期的ばく露影響については、テレビのブラウン管を対象にした研究があるが、影響は確認されていない。

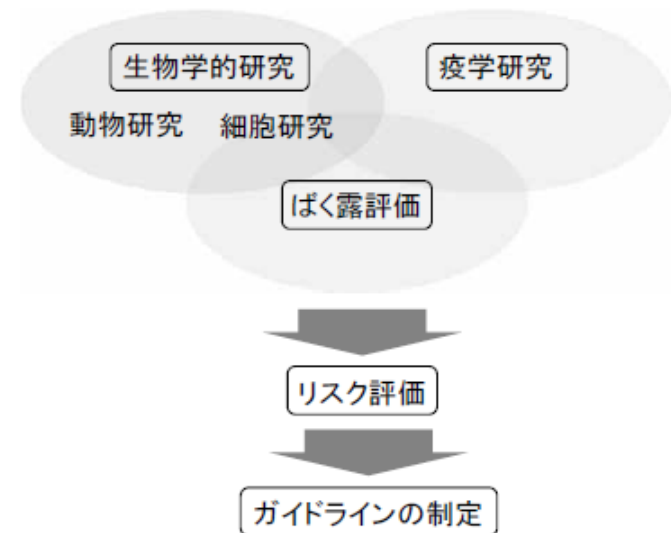


図1 電磁界の健康影響に関するリスク評価

表2-1 一般環境において時間変化する電磁界に対する指針値

周波数レンジ	電界強度 E [kV m ⁻¹]	磁界強度 H [A m ⁻¹]	磁束密度 B [T]
1Hz - 8Hz	5	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^{-2}/f^2$
8Hz - 25Hz	5	$4 \times 10^3/f$	$5 \times 10^{-3}/f$
25Hz - 50Hz	5	1.6×10^2	2×10^{-4}
50Hz - 400Hz	$2.5 \times 10^2/f$	1.6×10^2	2×10^{-4}
400Hz - 3kHz	$2.5 \times 10^2/f$	$6.4 \times 10^4/f$	$8 \times 10^{-2}/f$
3kHz - 10MHz	8.3×10^{-2}	21	2.7×10^{-5}

fは周波数。100kHz以上では熱作用の指針値も考慮することが必要

(ICNIRP ガイドライン 2010 から引用)

表2-2 職業環境において時間変化する電磁界に対する指針値

周波数レンジ	電界強度 E [kV m ⁻¹]	磁界強度 H [A m ⁻¹]	磁束密度 B [T]
1Hz - 8Hz	20	$1.63 \times 10^5/f^2$	$0.2/f^2$
8Hz - 25Hz	20	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^{-2}/f$
25Hz - 300Hz	$5 \times 10^2/f$	8×10^2	1×10^{-3}
300Hz - 3kHz	$5 \times 10^2/f$	$2.4 \times 10^5/f$	$0.3/f$
3kHz - 10MHz	1.7×10^{-1}	80	1×10^{-4}

fは周波数。100kHz以上では熱作用の指針値も考慮することが必要

(ICNIRP ガイドライン 2010 から引用)

中間周波数のこれまでの研究(ヒト)

①職業的暴露に関わる研究が多い。

Electrosurgical device, air traffic control, train protection system

Aerts et al., 2014; Floderus et al., 2002; Joseph et al., 2012a, 2012b; Liljestrand, 2003; Nelson and Ji, 1999; Van den Bossche et al., 2015; VMBG, 2003; Wilén, 2010

②Electronic article surveillance (EAS) systems (電子商品監視システム、万引き防止装置)に関連したもの スーパー、ショップ、図書館など

その他、スマートボード、タッチスクリーンに関するもの (Van den Bossche et al., 2015)

③家庭用の機器については研究が少ない。

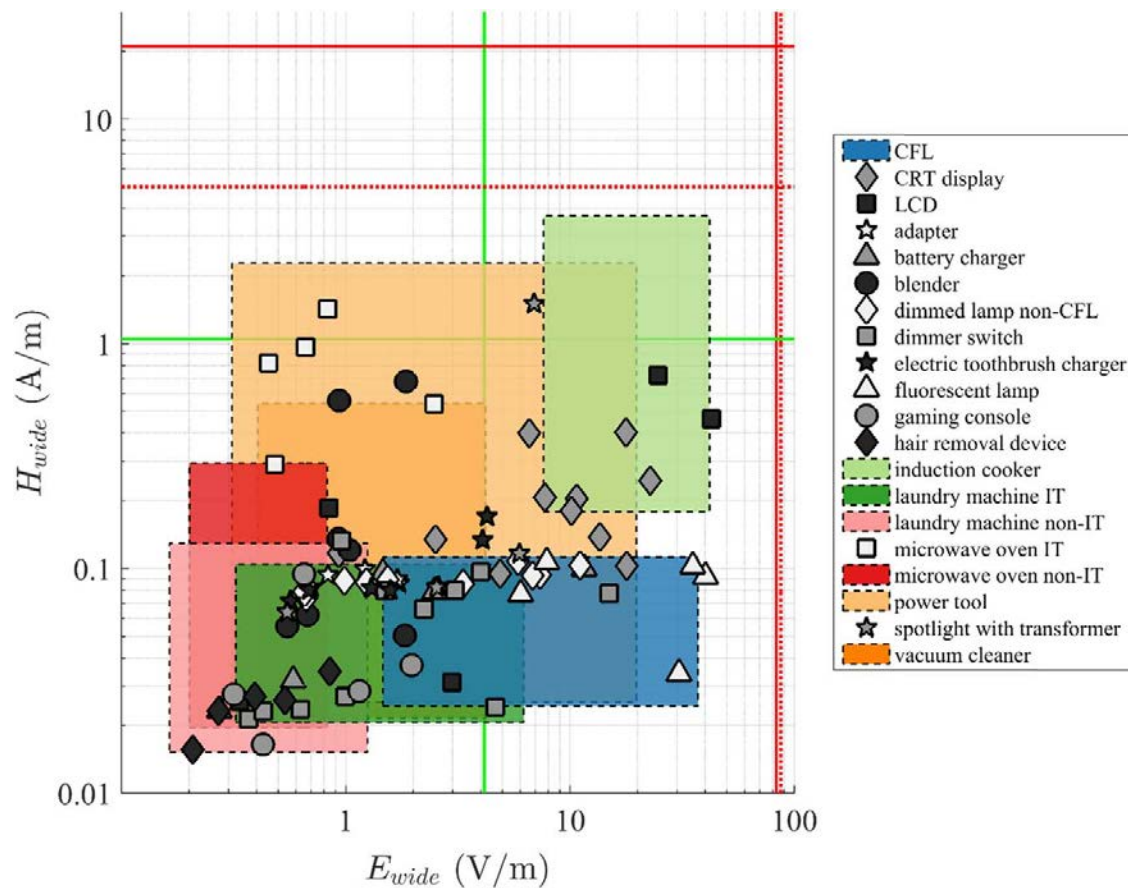
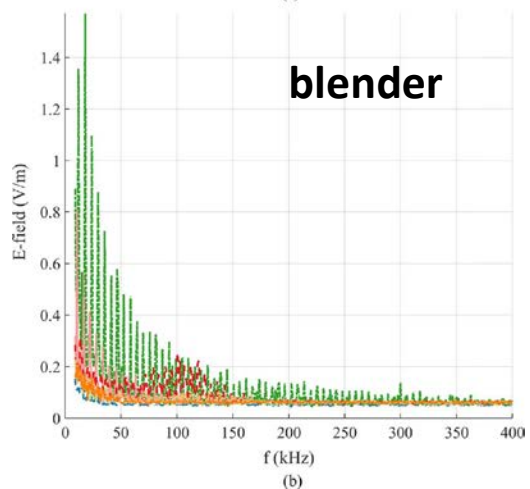
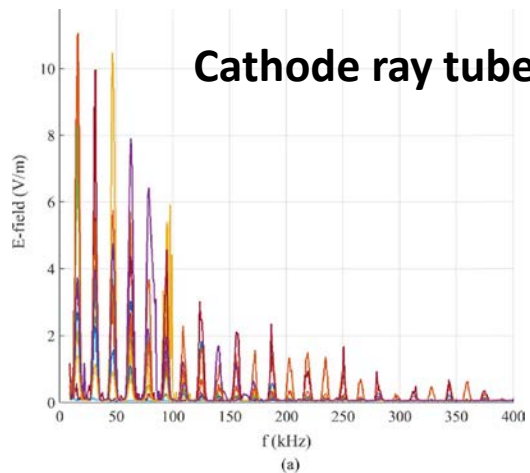
これまでの疫学的研究の大部分は、コンピュータモニタの使用による生殖および眼への影響

- IH調理器 (Christ et al., 2012; Kos et al., 2011; Mantiply, 1997; Stuchley and Lecuyer, 1987)
- 省エネ電球 (Bakos et al., 2010; Nadakuduti et al., 2012; Van den Bossche et al., 2015)
- portable hearing units (Van den Bossche et al., 2015)
- plasma balls (Alanko et al., 2011)
- 様々な家電に関する研究 (Aerts et al., 2017)

キッチン、ベッドルーム、リビングルームなど一般環境における測定 (Aerts et al., 2017)

Dosimetryの研究は中間周波数については少ない。

家電等の中間周波数の電磁波の特性



(Aerts et al., 2017)

Review of Studies Concerning Electromagnetic Field (EMF) Exposure Assessment in Europe: Low Frequency Fields (50 Hz–100 kHz) (Gajšek et al. 2016)

- 中間周波数帯の電磁波の暴露に関する一般人への暴露の影響について行われた研究は少ない。職業的暴露については、おおむね暴露は基準値内。しかし、機器のすぐ近くなど場所によっては基準値を超える場合がある。

職業的暴露			
著者	種類	帯域	内容
Joseph et al., 2012a	electronic article surveillance (EAS) system	255 kHz to 24 GHz	ICNIRPの基準に従った場合の、ATCの周囲の安全域についての距離データ
Van Den Bossche, 2015	electrosurgical unit	38-52kHz	機器より15.3cmから25cm離れれば、基準値以内の暴露になる。
Wilén et al, 2010	electrosurgical unit (electrode tip)	0.3-5 MHz	E-fieldはケーブルの付近では20kV/mに達することがある。
Joseph et al., 2012 b	air traffic control (ATC) systems	255 kHz to 24 GHz	安全な距離についてのデータ
Liljestrand et al, 2003	electrosurgical device	0.3 to 1 MHz	手術をする手の周囲では、15 kV/m、16μTの電磁界、ICNIRPの基準を超えることがある。
Nelson et al., 1999	electrosurgical unit, AM and FM broadcast transmitting antennas		手術のdeviceの近傍1mのところの電磁界は、153dB/spl muV/m and 76 dB/spl muA/mにも達する。
Aerts et al., 2014	train protection system	~27MHz	アンテナより0.6m–1.0m離れれば、基準値以内の暴露になる。
Floderus et al., 2002	induction furnaces, induction heaters, surface treatment equipment, electronic article surveillance (EAS), medical devices	>300 Hz–10 MHz	電磁波の長期暴露の基礎となるデータ

electronic article surveillance (EAS) 万引き防止システム			
著者	種類	帯域	内容
Roivainen et al., 2014	electronic article surveillance (EAS) system	5 to 7.5 kHz(EM system), 58 kHz(AM system)	ICNIRPの基準に概ね適合しており、ICNIRPのmultiple frequency ruleはconservative
Joseph et al., 2012c	electronic article surveillance (EAS) system		Safety distances were maximally 111 cm for EM, 77 cm for AM and 35 cm for RF systems.
Martínez-Búrdalo et al., 2010	electronic article surveillance (EAS) system	10 MHz	電磁界暴露強度は基本的には基準値内
Roivainen et al., 2014	electronic article surveillance (EAS) system	58kHz	ICNIRPの基準は必要以上のconservativeである可能性あり。
Trulsson et al., 2007	electronic article surveillance (EAS) system		systemによってICNIRPの基準を超えることがある。
Kang et al., 2003	electronic article surveillance (EAS) system		各種の安全性ガイドラインを比較、どの方法がICNIRPの基準に合致しているかを調べた。

smart board, touch screen			
著者	種類	帯域	内容
Van Den Bossche, 2015	Touch screens, esmart board	38-52kHz	機器より15.3cmから25cm離れれば、基準値以内の暴露になる。

家電等			
著者	種類	帯域	内容
Christ et al., 2012	domestic induction cooktops		職業レベルでの暴露があれば、胎児の中枢神経系に影響を及ぼす可能性がある。
Kos et al., 2011	domestic induction cooktops	35kHz	出生前後の子供に対する家庭のIH調理器による暴露
Mantiply et al., 1997	VDT, induction stove, radio	10kHz-30 GHz	各種機器からの電磁波の暴露について検討
Stuchly & Lecuyer, 1987	stove		ストーブからの電磁波の暴露について検討
Nadakuduti et al., 2012	compact fluorescent lamps, LED	10 kHz–1 MHz	bulbsからの電磁波の暴露について検討
Van Den Bossche, 2015	tenergy-saving bulbs	38-52kHz	機器より15.3cmから25cm離れれば、基準値以内の暴露になる。
Van Den Bossche, 2015	fluorescent lamps, electrosurgical unit	38-52kHz	機器より15.3cmから25cm離れれば、基準値以内の暴露になる。

接触電流による影響

▲接触電流:

電磁界中に存在する導電体(A)が非接地である場合、
接地している人体が非接地導電体に触れることで、

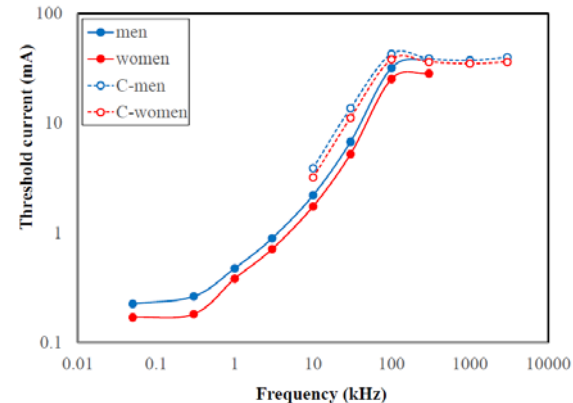
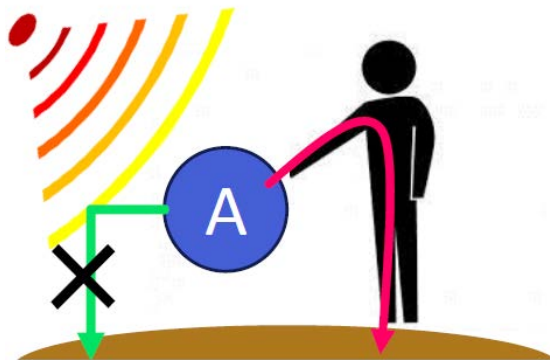
接触点を介して人体に流れる電流 ←無線電力伝送(Wireless Power Transfer; WPT)の普及

▲中—高周波電磁界に曝された人体の反応は概ね100kHz付近を境に、より低い周波数帯では刺激知覚、より高い周波数帯では温度上昇に伴う熱的な作用が支配的になる(Kavet et al., 2014)

▲Chatterjeeら(1986)の古典的閾値測定結果(10Hzから3MHz)

温感・熱感・熱痛についての閾値特性

▲宇川らは極低周波～長波帯域(50Hz - 300kHz)の神経作用について、様々な年齢の日本人男女を対象に年齢と性の2要素を勘案した接触電流閾値を計測、刺激に対する感覚閾値を計測



今後の検討課題

- 中間周波電磁界の影響に関する研究は低周波数、高周波数電磁界の研究に比較して、少ない。
- 非熱的生体影響のデータが不足している。ヒトのボランティア研究の必要性
- 無線電力伝送 (Wireless Power Transfer; WPT) など新しい電波の利用が世界的にも開発・普及が進むなか、とりわけ中間周波数で生じる刺激作用帯の影響の検討が望まれる (接触電流の影響も含めて)。
- 疫学研究は少ない
- IH調理器の使用は増加している。IH調理器の置かれる場所は妊婦の腹部近傍になることが想定される→胎児への影響、遺伝毒性が心配される。