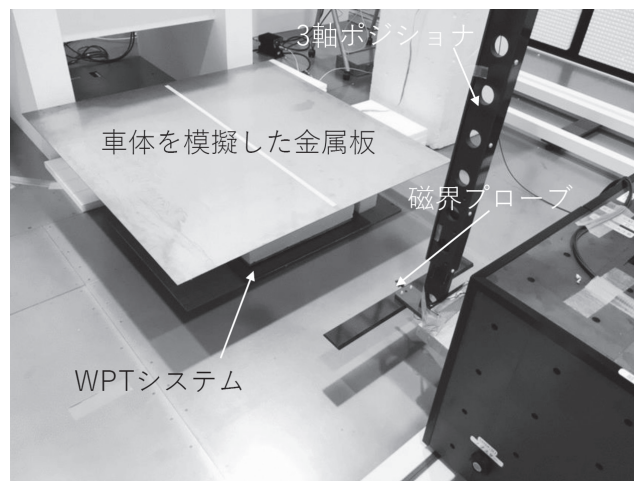


電波利用技術とEMC <5>

～ 電波ばく露に対する人体防護とばく露評価技術 ～

電波ばく露により人体に好ましくない影響を及ぼさないよう、電波防護指針が定められている。近年、開発および普及が進んでいる、電波を通信ではなく給電に利用するワイヤレス電力伝送においては、システム近傍に比較的強い電磁界が生じることが想定される。NICTでは、ワイヤレス電力伝送システムからのばく露等、人体が電波にさらされた時の安全性について研究をおこなっている。

国立研究開発法人情報通信研究機構
電磁波研究所 電磁環境研究室
主任研究員
和氣 加奈子



EV 用 WPT*1 システムを想定した近傍磁界分布測定の様子

電波の生体影響

電波の生体への影響を調べるための研究は、人・動物・細胞に対する実験、疫学調査、ばく露量評価などに様々な分野で数十年以上にわたり実施されている。それぞれに対して、WHO の環境保健クライテリア [1, 2] や WHO の協力機関でもある国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) によるレビュー [3, 4] などにもまとめられている。電波の生体影響は、周波数によりメカニズムが異なることが知られている。概ね 100kHz より低い周波数の領域では刺激作用が支配的である。刺激作用は、電波にさらされることにより生体内に電流が流れ、神経や筋などの興奮性細胞が刺激を受けるために生じる。一方、100kHz より高い周波数の領域では、電波のエネルギーが損失性媒質である生体に吸収されることによる熱作用が支配的である。

電波防護指針

人体が電波にさらされる場合に、その電波により健康に対して好ましくない影響を防止する目的で、電波ばく露の指針が定められている。国際的には、ICNIRP によるガイドライン [5, 6] や IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) スタンダー

ド [7] がしばしば用いられる。我が国では、電波防護指針が定められている [8-12]。これらの指針は、科学的に確立した生体影響に基づき、十分な安全率を考慮して定められている。また、健康な大人が危険を理解した上で作業時のみばく露をうける状況を想定した管理環境・職業ばく露に対し、一般環境・公衆を区別し、より厳しい指針が定められることが多い。以降では我が国の電波防護指針について述べる。

電波防護指針では、基礎指針・基本制限として電波の生体影響のメカニズムに関連する、主に生体内の電磁界諸量によって指針値が示されている。例えば、刺激作用に対しては体内電界強度、熱作用については比吸収率 (Specific Absorption Rate, SAR) が用いられる。これらの量は個々のばく露状況について直接評価することは困難な場合が多いことから、実際に評価を行うための参考値として、基礎指針・基本制限から導き出される、入射電界や磁界の値として電磁界強度指針が与えられる。

図 1、2 に一般環境における電磁界強度指針値を示す。刺激作用を考慮した指針値は瞬時値で定義されているのに対し、熱作用を考慮した指針値は 6 分間の時

*1 ワイヤレス電力伝送 (Wireless Power Transfer)

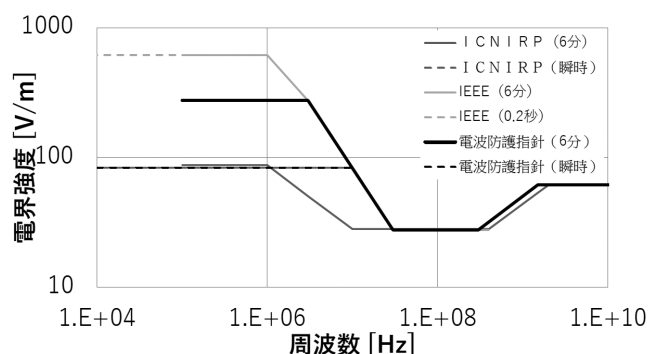


図1 一般環境における電界強度指針

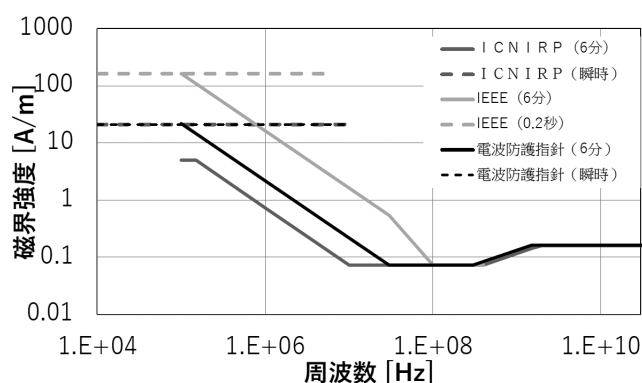


図2 一般環境における磁界強度指針

表1 局所吸収指針

	対象周波数帯	一般環境
体内電界強度 (瞬時)	100 kHz - 10 MHz	$1.35 \times 10^{-4} f[\text{Hz}] \text{ V/m}$
全身平均 SAR (6 分間平均)	100 kHz - 300 GHz	0.08 W/kg
局所 SAR (6 分間平均)	100 kHz - 6 GHz	任意の組織 10 g 当たり 2 W/kg 4 W/kg (四肢)
入射電力密度 (6 分間平均)	6 GHz - 30 GHz	任意の体表面 4 cm ² 当たり 2 mW/cm ²
	30 GHz - 300 GHz	任意の体表面 1 cm ² 当たり 2 mW/cm ²

間平均値で定義されていることに注意が必要である。これは、ばく露による温度上昇には時間遅れがあるためであり、そのためより短時間のばく露では、指針値を超えるばく露でも許容される場合がある。図1、2には、ICNIRP ガイドラインおよび IEEE スタンダー

ドの値を併せて示している。それぞれの指針において違いが見られるものの、30MHz 程度以上ではおおむね同等になっている。

電磁界強度指針は一律な電磁界にさらされて吸収量が最大となる場合を想定して算出しているため、電磁界が一律でない場合、この指針値を一部で超えたとしても基礎指針や基本制限を満足する場合もある。このような場合に対して、局所吸収指針が設けられている。表1 に局所吸収指針を示す。この指針は、電磁放射源（主にアンテナ）や放射に関わる金属（筐体等）と人体との距離が20cm 以内の場合に適用される。

ワイヤレス電力伝送システムに対する適合性評価

近年、電磁エネルギーを空間に伝送させて用いるワイヤレス電力伝送（Wireless Power Transfer, WPT）技術への関心が高まっている。ワイヤレス電力伝送は、例えば二つのコイルを対向させて配置し、一つに電流を流すことにより発生する磁界により、他方のコイルに誘導電流が流れる原理に基づいている。そのため、ケーブルやプラグの必要がなく、給電の手間が軽減されることから、電気自動車やスマートフォンなど様々な用途への給電法として期待されている。特に電気自動車（Electric Vehicle, EV）に対しては、85kHz 帯を用いて kW 級の電力を給電することを想定し、様々な規格化・制度化が進められている。

EV 用 WPT システムはシステム近傍に比較的強い電磁界を生じさせる可能性があることから、その実用化および普及のためには、システム周辺に位置する人体への電波ばく露を想定した安全性の確認が重要である。平成 27 年に総務省情報通信審議会において、電気自動車用ワイヤレス電力伝送システム等に関し、他の無線機器との周波数共用、システムから放射される漏洩電波の許容値や測定法、電波防護指針への適合性の確認方法に関する技術的条件が一部答申された[13]。また、国際的な取り組みとして、国際電気標準会議（IEC）TC106 において、WPT システムに対する適合性確認方法についての技術文書 TR62905 [14] が発行され、それを基に現在 30MHz 以下の周波数を用いる WPT システムの評価法国際規格の新規策定作業が進められている。その概要を下記に述べる。

TR62905 および策定中の規格においては、想定される基礎指針・基本制限、電磁界強度指針に対して、4つの異なる方法で適合性の評価が可能であり、その中のいずれかで実施すれば良いとされている。第一の

方法として、WPT システムへの入力電力やコイルに流れる電流の大きさにより、電波防護指針に明らかに適合しているとみなせる場合がある。ただし、kW 級の給電を行う EV 用 WPT システムの場合は現実的には困難である。

第二の方法として、WPT システム周辺の電磁界強度を求め、電磁界強度指針と比較することで適合性を確認することができる。EV 用 WPT システムは路面に設置されたコイルと車体底面に設置されたコイル間で給電が行われることから、近傍に人体が立っている場合を想定すると、その電磁界ばく露は、人体の足下などへの局所ばく露となることが想定される。このような局所ばく露の場合、システム周辺の電磁界強度の最大値が指針値を超えたとしても、人体が占める空間の平均値などを用いることが可能である。また、EV 用 WPT システムの場合は、電界による体内ばく露量が磁界によるものと比べて無視でき、電界の評価を省略することができる。

電磁界強度指針は最悪条件を想定（人体が一様電磁界にさらされる場合等）して算出されているため、EV 用 WPT システム近傍におけるばく露のように人体局所がさらされる場合には、電磁界強度指針に対する評価で指針値を超えたとしても、体内誘導電界などの基礎指針や基本制限を超えない場合があり得る。そのため第三の方法として、システム周辺の電磁界強度の最大値に結合係数という 1 以下の値を掛け、電磁界強度指針と比較する方法で適合性を確認することができる。結合係数とは、磁界へのばく露に対してその不均一性による補正を目的として導入されており、刺激作用を考慮した場合には、入射磁界と体内電界強度との関係から求めることが可能である（式 1）。

$$a_{c_Ein} = \frac{\left(\frac{E_{in}}{H_{max}} \right)}{\left(\frac{E_{in}^{limit}}{H_{max}^{limit}} \right)} \quad (1)$$

E_{in} および H_{max} はそれぞれ、体内電界強度および入射磁界強度を示し、上添え字に limit と記載のものは防護指針値を示す。EV 用 WPT システム近傍に人体が立っている場合の電波防護指針や ICNIRP ガイドラインを対象とした結合係数は 0.15 を用いることが可能であると示されている [13、14]。

第四の方法として、体内の誘導量（体内電界強度や SAR）を求め、基礎指針・基本制限と直接比較する

ことで適合性を確認することができる。

下記に EV 用 WPT システムを想定したばく露評価例を示す。図 3 は評価対象とした WPT システムである。内径外径がそれぞれ 24cm および 45cm、巻き数 44 回のスパイラルコイルを 20cm 離して配置し、給電を行った。このシステムの上に、車体を模擬した金属板を配置した。その際の共振周波数は約 90kHz である。

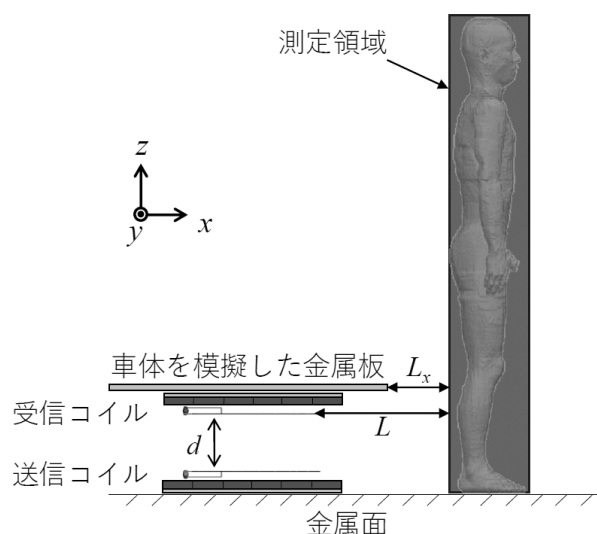


図3 EV用WPTシステムの評価モデル

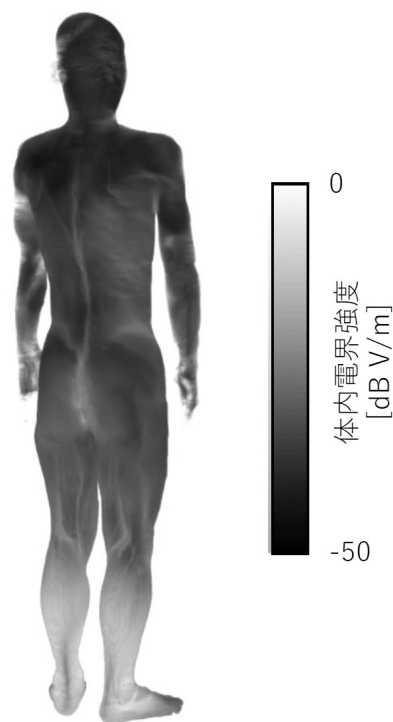


図4 体内電界強度分布解析例

図3のWPTシステム近傍（車体から20cm）において、人体が入る大きさの3次元空間（0.4m × 0.7m × 1.75m）の磁界を位相を含めて測定した。さらにその測定磁界を入射磁界として、人体が存在する場合の体内電界強度を数値人体モデル TARO [15] を用いて数値解析により求めた。図4に体内電界の分布を示す。この条件で先に述べた第二から第四の方法で適合性評価を行い、指針値を超えない最大の電力を算出した。その結果、近傍の磁界測定による評価に対して、結合係数を用いた評価では44倍程度、体内誘導電界による評価では130倍程度の電力が許容できる結果となった。

おわりに

本稿では、電波の生体影響と電波防護指針についてまとめるとともに、筆者がエキスパートとして活動している IEC/TC106 における WPT システムの人体防護を目的とした評価法の標準化の動向を紹介した。筆者は国際標準化会議の場に参加するのは WPT システムが初めてであるが、技術文書や新規規格文書案の取りまとめを実施している。標準化においては、研究で実施しているような厳密で詳細なばく露評価ではなく、誰がどこで実施しても同じ判断となる過小評価をしない簡便な評価法が求められる。また、研究者だけでなく様々な関係者が議論に参加する。このような中で規格を策定するには、自らの考えの正しさを主張するだけでなく、他者の意見にも耳を傾け、仲間を増やしながら進めることが重要と実感している。今後も様々な議論を行い我が国として有用な規格策定を行いたい。そのためには、規格を実際に使用する関係業界の方々に是非積極的に議論に参加していただきたい。

<参考文献>

- [1] WHO, "Extremely Low Frequency Fields," Environmental Health Criteria Monograph No.238, http://www.who.int/peh-emf/publications/Complet_DEC_2007.pdf, 2007.
- [2] WHO, "Electromagnetic Fields (300 Hz - 300 GHz), Environmental Health Criteria Monograph No 137, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc137.htm>, 1993.
- [3] ICNIRP, "Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-100 kHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection," 2003.
- [4] ICNIRP, "Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and

health consequences (100 kHz-300 GHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection", <http://www.icnirp.de/documents/RFReview.pdf>, 2009.

- [5] ICNIRP: "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics, Vol. 74, pp. 494-522, 1998.
- [6] ICNIRP: "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz to 100 kHz)", Health Physics, Vol. 99, pp. 818-836, 2010.
- [7] IEEE: "IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz", IEEE Std C95.1, 2005.
- [8] 電気通信技術審議会, 諮問第 38 号答申: 人体に対する電波防護指針, 1990.
- [9] 電気通信技術審議会, 諮問第 89 号答申: 電波利用における人体防護の在り方, 1997.
- [10] 電気通信技術審議会, 諮問第 2030 号答申: 局所吸収指針の在り方, 2011.
- [11] 電気通信技術審議会, 諮問第 2035 号答申: 「電波防護指針の在り方」のうち「低周波領域(10kHz以上10MHz以下)における電波防護指針の在り方」, 2015.
- [12] 電気通信技術審議会, 諮問第 2035 号答申: 「電波防護指針の在り方」のうち「高周波領域における電波防護指針の在り方」, 2018.
- [13] 情報通信審議会答申, 諮問第3号: 「国際無線障害特別委員会(CISPR)の諸規格について」のうち「ワイヤレス電力伝送システムに関する技術的条件」のうち「電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに関する技術的条件」, 2015.
- [14] IEC TR 62905, "Exposure assessment methods for wireless power transfer systems," 2018.
- [15] T. Nagaoka et. al., "Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic field dosimetry," Phys. Med. Biol., vol. 49, pp. 1-15, 2004.

❖❖ 筆者紹介 ❖❖

●略歴：2000年郵政省通信総合研究所（現、独立行政法人情報通信研究機構）入所。以来、生体電磁環境に関する研究に従事。現在、電磁波研究所電磁環境研究室主任研究員。博士（工学）

●EMCの研究を始めたきっかけ：大学の時に、目に見えない電波で様々な生体影響があることに驚き、見える（わかる）ようにしたいと思いました。

●趣味：仕事の息抜き：小中高と3人の子育て奮闘中ですが、これはうさぎすぎてあまり息抜きにはなっていません。子供に影響されて始めたママさんバレーボールの練習で汗を流してリフレッシュしています。