

主要国・機関の生体電磁環境に関する研究動向の概要

事 務 局

1. 世界保健機関 (WHO) 環境保健クライテリア (RF EHC)

- ◆ WHO電磁界(EMF)プロジェクトによる健康リスク評価、RF EHCの2013版ドラフトに示された文献(論文等)数を示す。
- ◆ 周波数100kHz～300GHz、対象期間1992/1～2012/12(一部2013含む)、品質条件をクリアした文献を対象に詳細レビュー。
- ◆ 全体で見ると、疾患等カテゴリの「脳生理学と機能」、および、「がん」の文献数が多く、研究タイプではほぼ分散している。
- ◆ 日本人著者と推定される論文数で見ると、「身体内の電界と磁界・SARと熱」(ドシメトリ含む)「脳生理学と機能」および「がん」が多く、また、研究タイプで見ると「動物研究」が際立って多い。

疾患等カテゴリ	研究タイプ					計	%
	疫学	ヒト	動物	細胞	他*		
発生源・計測・ばく露	—	—	—	—	—	110 (0)	6.0
身体内の電界と磁界・SARと熱	—	—	—	—	—	172 (18)	9.4
生物物理学的効果・組織加熱	—	—	—	—	—	73 (4)	4.0
脳生理学と機能	44 (0)	177 (6)	135 (13)	15 (0)	38 (0)	409 (19)	22.3
聴覚・前庭機能・視覚	9 (0)	10 (0)	18 (4)	4 (1)	62 (3)	103 (8)	5.6
神経内分泌系	9 (0)	6 (0)	39 (10)	—	22 (0)	76 (10)	4.2
神経変性疾患	2 (0)	—	4 (1)	4 (1)	24 (0)	34 (2)	1.9
心臓血管系と温熱調整	5 (0)	60 (2)	45 (10)	—	53 (3)	163 (15)	8.9
免疫系と血液学	2 (0)	2 (0)	23 (2)	10 (1)	18 (2)	55 (5)	3.0
生殖能・発育	38 (0)	5 (0)	23 (5)	1 (0)	62 (1)	129 (6)	7.0
がん	171 (2)	—	56 (5)	253 (16)	26 (3)	506 (26)	27.7
文献数 計	280 (2)	260 (8)	343 (50)	287 (19)	305 (12)	1830 (113)	100
%	15.3	14.2	18.7	15.7	16.7	100	100

注：表中()内数字は、日本人著者（第一著者）と推定される論文数（全体の内数）。

• 詳細レビューより除外された文献、および、研究タイプ（疫学～細胞）に該当しない文献。

1. 世界保健機関 (WHO) 研究アジェンダ 2010

- ◆ WHO電磁界(EMF)プロジェクトにより、EMFが人体に有害な影響を及ぼす可能性について世界中での研究の促進と調整のための研究推奨領域を示す。
- ◆ 1997年に初版が策定され、その後2006年に更新された。さらに2010年に学術専門家からなる特別委員会により見直し作成された。これは2006年版に置き換わるもの。
- ◆ 研究タイプ別に、今後の研究すべき領域およびその優先度を示している。

研究タイプ	優先順位	推奨研究内容
疫学	高い	行動および神経学的障害、がんを含めた小児および青年を対象とする経時的な追跡を行うコホート調査 確立された人口集団ベースのがん登録を利用した脳腫瘍発生率トレンドのモニタリング研究
	その他	神経学的疾患の症例対照研究、ただし、客観的なばく露データと交絡因子データが入手可能であり、妥当な参加率が達成される場合に限る
ヒト	高い	さまざまな年齢の小児を対象としたRF EMF誘発研究 睡眠時および安静時脳波を含む脳機能へのRFの影響可能性の基礎となる神経生物学的メカニズムの誘発研究
	動物	高い
細胞	その他	生殖器官に対するRFばく露の影響 新技術に利用されるRF電磁界へのばく露、および環境的因子とRF EMFの同時ばく露の後に生じる細胞の反応を検出するために最適な実験的検査法 遺伝的背景と細胞型の影響に関する研究の一層の推進：アーチファクトおよび/またはバイアスの影響を受けにくい、新たな高感度の手法を用いて、多様な細胞型に対する携帯電話のRFばく露の影響可能性を調べる
	ドシメトリ	高い
社会科学	その他	RF労働者の個人ばく露のモニタリング
	NA	RF EMF関連の健康懸念と健康リスク認知の決定要素と精神的原動力の研究
		RF EMFばく露の健康影響の科学的証拠およびリスク情報について公衆とのコミュニケーションの効果の研究
		RF EMFによる健康リスクの公衆の認知が幸福感にどのような影響を与えるかの研究 より大きな社会的背景におけるRF EMF技術の取り扱いに関する研究

注：NAは、すべて必要で特別な優先順位はないことを示す。

2. 欧州委員会 SCENIHR意見書 2015

- ◆ 欧州委員会の保健・食品安全総局(DG/Sante)、科学委員会に属するScientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks(SCENIHR)によるEMFに関するリスク評価報告。
- ◆ 2007年、2009年、および2015年にそれぞれ最新の研究結果に基づくリスク評価の結果を意見書として公表し、今後の研究すべき分野およびその優先度などを示している。

周波数範囲	健康影響に関する見解、今後の研究課題等	優先度	推奨研究 研究内容
中間周波 (IF)	健康への影響に関する新しい研究は殆どなく、特に疫学研究は行われていない。いくつかの動物研究では、20~60kHzの周波数範囲で0.2mTまでのIF磁場は、生殖・発達に影響がないと報告されている。職業被ばくの増加が予想されることを考慮して、労働者のバイマーカーおよび健康成果に関する研究が推奨される。これは実験的研究で補完される可能性がある。	高 中	<ul style="list-style-type: none"> ・店舗での盗難防止デバイス等の妊娠への影響 ・バイマーカー調査
高周波 (RF)	携帯電話のRF EMFばく露に関する疫学研究は脳腫瘍のリスク上昇を示してはいない。さらに、頭頸部領域の他のがんのリスク上昇を示すものでもない。また、小児がんを含む他の悪性疾患のリスク増加を示すものはない。RFばく露が覚醒と睡眠の両方の間の脳波研究によって報告された脳活動に影響を与える可能性があるという以前の結果は最近の研究でも見られる。しかし、小さな生理学的変化の妥当性は依然として不明であり、機構的説明はまだ不十分である。前の報告書で非熱的なばく露レベルのRFフィールドは、生殖・発育に悪影響がないと結論付けた。最近の人間および動物のデータを含めた結果でもこの評価は変わらない。児童の発達と行動に関する研究は、相反する結果と方法論的限界を有する。したがって効果の証拠は弱い。妊娠中の母親の携帯電話使用による胎児へのばく露の影響は、胎児へのばく露が極端に低いため妥当性はない。男性の受精能に関する研究は質が低く証拠は殆どない。	高 中	<ul style="list-style-type: none"> ・長期的影響を調査する成人コホート研究 ・子どもの携帯使用による脳腫瘍リスク ・子供の認知・行動 ・高齢者や青少年を対象とした睡眠脳波、覚醒EEG
超高周波 (THz)	研究の数は少ないが、適切な発生源と検出器の利用可能性が近年増加している。動物研究は、急性および慢性的毒性または発癌には対応していない。哺乳動物細胞に関する細胞研究は、照射条件やエンドポイントが大きく異なっている。ばく露の健康影響を示唆する研究があるが、これらは検証されていない。いくつかの理論的モデルが提案されているが、実験的証拠はない。テラヘルツ波の使用が増加することを考慮して、より多くの研究が推奨される。	高 中	<ul style="list-style-type: none"> ・皮膚および角膜への影響 ・職業ばく露群の皮膚および眼のモニタリング
組合せばく露 (Combined exposure)	異なるEMFへの複合ばく露に関する研究では、リスク評価に必要な十分な証拠が得られていない。MRI検査後のDNA完全性への影響を報告した研究は追跡調査する必要がある。	中	<ul style="list-style-type: none"> ・遺伝毒性、癌、発達および神経行動に対する影響
同時ばく露 (Co-exposure)	2009年報告書において、ELFまたはRFを用いた環境要因への同時ばく露に一貫性がないことが示されて以降、新たな実験結果が報告されている。しかし、調査の数が少なく、使用されるプロトコルが多岐にわたっているため（化学的または物理的処理とEMF曝露条件の違い）決定的な結論を導くことはできない。	高 中	<ul style="list-style-type: none"> ・細胞組織の誘電分光測定 ・マイクロデバイス ・計測用ばく露メーター ・ばく露データ収集法

◆**HCNの概要**：オランダにおける中立の科学諮問機関。公衆衛生の問題と保健研究に関する現状の知識のレベルに基づき、同国政府・議会に助言する。

◆**生体電磁環境研究に対する総括的レビュー活動**：同機関の「電磁界委員会」が、必要に応じて、不定期ペースで、科学的見地から、電磁界による健康影響に関する世界の研究に対する総括的レビューを行っている。最新の総括的研究レビュー報告書（Electromagnetic Fields: Annual Update 2008）は2009年に公開。

（※）上記報告書は、高周波の研究のみに対してレビューされている。

◆**生体電磁環境研究のレビュー・分析評価の動向**：オランダでは、携帯電話の普及に伴い、継続的なRFばく露が人の健康に悪影響を与えるのではないかという疑念を持つ人が増えてきたことから、RFばく露による健康影響評価に焦点を置いた研究のレビューを実施。携帯電話利用と発がんとの因果関係を分析評価する活動が中心。以下は最近の動向。

（※）2013年に、携帯電話の使用と頭部がん（脳腫瘍）との関連性に関する疫学研究をレビューした報告書（Mobile phones and cancer: Part 1: Epidemiology of tumours in the head）を公表。2014年には、携帯電話の使用と発がんとの関連性に関する動物実験研究をレビューした報告書（Mobile phones and cancer: Part 2. Animal studies on carcinogenesis）を公表。それらの成果等を踏まえて、2016年に、RFばく露と発がんとの関連性について疫学研究と動物実験の観点から結論を出した報告書「Mobile phones and cancer: Part 3. Update and overall conclusions from epidemiological and animal studies」を公表。

報告書等	周波数範囲	健康影響に関する見解、今後の研究課題等
最新の総括的研究レビュー報告書（2009年）	無線周波（高周波）	<p>脳の電氣的活動に関する研究及びシンプトン（症候）に関する研究のレビューを実施。例えば、脳の電氣的活動に関する研究に関しては、以下のような結論を下している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・携帯電話による無線周波電磁界のばく露は脳の活動にわずかな変化をもたらす可能性があるが、観測された影響はわかっている範囲では一時的かつ小さなものであることから、健康には影響しない。 ・認知機能に関しては研究によって影響の差が大きく、影響があるか否かは明確ではない。
RFばく露と発がんとの関連性について疫学研究と動物実験の観点から結論を出した報告書（2016年）	無線周波（高周波）	<ul style="list-style-type: none"> ・携帯電話の長期的および頻繁な使用と脳または頭頸部の腫瘍に関するリスク増加の間での確立された関連性は見られていないが、そのような関連を完全に排除することもできない。無線周波電磁界ばく露により、がんを生じる可能性はほとんどありそうにない。 ・これまで、多くの研究は、RF EMFによるばく露時間が短い場合の健康影響のみを評価することができているに過ぎず、RF EMFによる長期低なばく露と腫瘍との関連性については、有益ではあるが、良くても限定的な情報を提供するものでしかない。いくつかの疫病研究は13年間以上継続的に実施されているが、最もばく露が高いカテゴリでの研究は少数に過ぎない。 ・携帯電話利用によるヒトへの影響に関して決定的な証拠を得るためにも、携帯電話による健康影響を評価するためのコホート研究を継続させることが重要である。現在利用可能な全ての研究を見ると、RFばく露の特性化が非常に貧弱である。したがって、今後の研究においては、RFばく露に関するより正確かつ客観的な評価を組み込むことが重要である。

◆**PHEの概要**：英国の保健社会福祉省（DHSC）の執行機関であり、自律的に運営する権限を持った組織。政府、地方自治体、国民保健サービス、議会、産業界、公衆等に対して、証拠に基づく専門的、科学的専門知識と支援を提供する。電離／非電離放射線の防護に関する提言も行う。

◆**生体電磁環境研究のレビュー・分析活動**：同機関内の、独立の「非電離放射線に関する専門諮問グループ（AGNI）」が、2000年頃から、科学的見地から、電磁界ばく露による健康影響の評価に関連する実験及び疫学的研究等のレビューを行っている（この他、紫外線ばく露、超音波・可聴下音波ばく露も対象）。同組織は、2003年に、RF電磁界ばく露による健康影響についてレビューした報告書（Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields: Report of an independent Advisory Group on Non-ionising Radiation）を公表し、利用可能な証拠から、RFばく露がガイドライン以下のレベルであれば、健康に悪影響を及ぼすことがないことを示唆した。その後、英国内での携帯電話が広範囲に普及し、公共や職場におけるWifi等によるインターネットへの接続が増加していること、また、RF電磁界ばく露に伴う潜在的な健康影響に関する研究の量や質が、2003年のレビュー以来大幅に増加していること等を踏まえて、2012年に、同組織から、生物学的影響に関する科学的証拠に関する論文のレビューに基づく、RF電磁界による健康影響に関する最新のレビュー報告書（Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields: Report of the independent Advisory Group on Non-ionising）が公表された。

（※）これらの報告書では、無線周波に関する研究のみを対象としてレビューが行われている。

◆**その他関連する活動**：PHEは、英国での学校でのwifiの普及・利用拡大にともない、学校における無線ネットワークの利用等に関する調査（ばく露測定調査を含む）を2011年に実施した。その成果は、RF電磁界による健康影響に関する最新のレビュー報告書（2012年）に盛り込まれた。

報告書等	周波数範囲	健康影響に関する見解、今後の研究課題等
RF電磁界による健康影響に関する最新のレビュー報告書（2012年）	無線周波（高周波）	「この分野ではこれまで数多くの研究が実施されてきたが、成人または子どもが、ICNIRPガイドライン以下のレベルのRFばく露により健康影響を引き起こすということに関して説得力のある証拠は無い」と結論付けた。①曝露、相互作用メカニズム、ドシメトリ、発生源等、②細胞学研究、③動物研究、④ヒトの認知神経学的影響、⑤ヒトにおける症候、⑥その他（非がん）のヒトへの影響、⑦ヒトのガン、といったカテゴリ別に、今後の研究課題や必要な研究の方向性を示唆している。
学校における無線ネットワークの利用等に関する調査（2011年）	無線周波（高周波）	現在の科学的知見に基づく、Wifiによるばく露量は、ICNIRPガイドラインの基準及び携帯電話からのばく露量よりも小さいようであり、国際基準を満たしている。したがって、学校等でwifi機器を使用すべきではないという理由は見当たらないと結論付けている。

◆**SSMの概要**：スウェーデン環境省が所管する中央行政執行機関。放射線（電磁界を含む）防護の責任と法的権限を有する。

◆**生体電磁環境研究に対する総括的レビュー活動**：SSMの「電磁界科学評議会」は、これまで13年間にわたり、SSMに対して、電磁界曝露による潜在的な健康リスクに関する現状の研究論文をモニタリングし、可能性のある健康リスクの評価に関して科学的な観点から、電磁界曝露による健康影響に関する研究を総括的にレビューした報告書を、定期的に公表してきた。同評議会は、この一環として、2016年に、過去13年間モニタリングしてきた研究論文（2014～2015年に発行された電磁界曝露・健康影響に関する研究論文を軸とする）をレビューした、最新の報告書（Recent Research on EMF and Health Risk Eleventh report from SSM’s Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2016 Including Thirteen years of electromagnetic field research monitored by SSM’s Scientific Council on EMF and health: How has the evidence changed over time?）を公表した。

（※）上記報告書では、静電磁界、超低周波、中間周波及び高周波（無線周波）の論文がレビューされている。

周波数範囲	研究成果に関する見解、今後の研究課題等
中間周波	<ul style="list-style-type: none"> ・中間周波における健康リスクに関する科学的評価は殆ど行われていない。中間周波の磁界放出源（電磁調理器、盗難防止装置等）の中で、特に誘導内部電界によるばく露評価が課題として残されている。 ・中間周波電磁界による健康影響に関して利用可能な実験研究は非常に少なく、現在これに関する結論は引き出されていない。例えば、異なる種類の監視システムからの電磁界によるヒトのばく露が増加していることから、追加の研究が重要である。低レベルの慢性ばく露による潜在的な影響に関する研究は、特に、現在の曝露限界の妥当性を確認することに関係する。
高周波 (無線周波)	<p>公衆は、ラジオ・TV送信機、携帯電話、基地局、無線LANなどの異なる曝露源からのRF電磁界（10MHz～300GHz）にさらされており、RFばく露に伴う健康への影響が懸念されている、としたうえで、①細胞研究、②動物研究、③ヒト研究、及び④疫学研究の観点から、研究成果に関する見解や研究課題等を示している（以下は例の一部）。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●細胞研究：最新のインビトロ試験では、いくつかのエンドポイントの調査が行われており、ほとんどの場合、ばく露の影響は検出されなかった。しかし、いくつかの調査では、過渡的ではあるが、アポトーシスに関連するパラメータへの影響が報告されている。 ●動物研究：RF電磁界ばく露の影響に関する最新の動物試験では、25mW / kgという低いSARによるばく露であっても、酸化ストレスの増加に関していくつか傾向を示すが、それらの結果は一致しているわけではない。酸化ストレスの増加は、例えば、DNA損傷を増加させるため、健康への影響をもたらす、がんのリスクが高まる可能性がある。 ●ヒト研究：覚醒脳波研究は、目を閉じて、遅い皮質電位および関連する性能パラメータに影響を与えずに記録された休止状態の脳波活動において、アルファ活動の減少を示した。認知能力は影響を受けず、作業記憶タスクにおいて相反する結果が観察された。 ●疫学研究：胎児のRF-EMFばく露が有害な妊娠結果と関係しているか否かという疑問に答えるためには、より洗練されたばく露評価方法が必要である。