

平成 30 年度 行政要請研究報告書
「電磁波の健康影響に関する調査研究」

令和元年 7 月

独立行政法人 労働者健康安全機構
労働安全衛生総合研究所

目次

1	はじめに（本調査の目的）	p. 1
2	電界・磁界・電磁界とは	p. 2-3
2.1	非電離放射線に関する用語の定義とその性質	p. 2-3
3	非電離放射線の短期的影響	p. 4-9
3.1	短期的影響の発生機序と生体影響	p. 4-5
3.2	短期的影響の防護指針と職業ばく露の取り扱い	p. 6-8
3.3	作業者の短期的影響の防護の考え方	p. 8
3.4	非電離放射線の短期的影響のまとめ	p. 9
4	高周波電磁界の発生源	p. 10-23
4.1	産業、医療、家電・通信分野における例	p. 10-17
4.2	国外におけるばく露状況の分類例	p. 18-20
4.3	高周波電磁界の発生源まとめ	p. 20
5	高周波電磁界の生体影響（発がん）	p. 24-30
5.1	WHO の見解	p. 25-26
5.2	SCENIHR の見解	p. 26
5.3	総務省、環境省からの文書	p. 27-28
5.4	電磁界の健康リスク分析調査専門委員会（電気学会）の報告	p. 28
5.5	その他の機関の見解	p. 28-29
5.6	高周波電磁界の生体影響（発がん）のまとめ	p. 29
6	高周波電磁界の生体影響（発がん以外）	p. 31-34
6.1	いわゆる電磁波過敏症	p. 31-33
6.2	「電磁過敏症」以外の生体影響（発がん以外）	p. 33-34
7	海外の研究動向	p. 35-44
8	NTP study について	p. 45-46
8.1	ばく露条件	p. 45
8.2	最終報告における結論	p. 45
8.3	他機関の対応	p. 46
9	高周波電磁界ばく露のガイドライン・規制動向	p. 47
9.1	ICNIRP	p. 47
9.2	電波防護指針	p. 47
10	まとめ	p. 48
付録	国外での規制状況	p. 49-50

1. はじめに(本調査の目的)

非電離放射線は電磁波のうち電離作用を有しない周波数で、電波や赤外線、可視光線、一部の紫外線などをさす普遍的な物理因子で（周波数では 300 GHz 以下）、積極的に産業、通信、医療分野で応用されている。国際がん研究機関（International Agency for Research on Cancer : IARC）は 2011 年に非電離放射線のうち無線周波電磁界（30 kHz–300 GHz）のヒトに対する発がん性評価を行い、2B 分類（ヒトに対して発がん性がある可能性がある）と分類した。本研究では IARC 分類以降に国内で高周波電磁界の健康影響調査に対する体系的とりまとめが行われていなかったことに対応する目的で、非電離放射線の生体影響、ばく露源及び IARC 分類以降の研究状況について情報整理を実施するものである。当該分野は世界保健機関や欧州委員会などからも情報文献が出されていることから、本研究ではこれら既存の情報文献をレビューし、必要に応じて追加調査を行うことで IARC 分類以降の高周波電磁界の健康影響調査に対する情報を提供する。

本研究における範囲は高周波電磁界（周波数：10 MHz–300 GHz：波長 1 mm–30 m）を対象とし、必要に応じて商用周波数など関心の高い周波数帯についても記載を行う。

2. 電界・磁界・電磁界とは

非電離放射線のばく露状況や生体影響を考慮する上での用語の定義を下記に記載する。これらは環境省「身の回りの電磁界」[1]と総務省「電波と安全な暮らし」[2]より引用した。

2.1 非電離放射線に関する用語の定義とその性質

表 2.1 に非電離放射線に関する用語の定義とその性質を、表 2.2 に非電離放射線の評価で用いられる物理量について記す。本著で主に扱う非電離放射線は高周波電磁界又は低周波電磁界の領域であり、記載は「高周波電磁界」、「極低周波電磁界」で統一したが、引用部分では原著の表記に合わせ「RF 電磁界（高周波電磁界と同義）」「ELF 電磁界（極低周波電磁界と同義）」も併用した。

表 2.1 非電離放射線に関する用語の定義とその性質。

用語	定義[1]、[2]	性質[1]、[2]
非電離放射線	300 GHz 以下の電離作用を有しない周波数で、電波や赤外線、可視光線、一部の紫外線を含む。	<ul style="list-style-type: none"> 物質に対する電離作用（人体では DNA 損傷により発がんの原因となりえる）を有さない。
電界	空間に電気の力が働いている（電位差がある）状態。	<ul style="list-style-type: none"> 電界の強さは「電界強度」で表され、単位は 1 メートル当たりのボルト (V/m) または 1 メートル当たりのキロボルト (kV/m) が用いられる (1 kV/m=1000V/m)。 電界強度は電圧が高いほど強く、発生源からの距離が大きくなるにつれて減弱する。
磁界	空間に磁気の力が働いている状態。	<ul style="list-style-type: none"> 磁界は磁石の周りや、電流が流れている導体の周りに発生する。 磁界の強さは電流が大きいほど強く、発生源から離れるにつれて減弱する。
電磁界	電流が流れている電線などのまわりに発生する「電界」と「磁界」の総称。	<ul style="list-style-type: none"> 電磁界は電磁場とも呼称される。
電磁波	電界と磁界の強さを変化させ交互に発生しながら空間を伝わっていく波のこと。	<ul style="list-style-type: none"> 導体が電磁波中に存在すると、電界と磁界の働きによってその導体には電流（誘導電流）が生じる。 電磁波には物体にぶつかって向きを変える性質（反射）や、物体の裏側に回り込む性質（回折）、電磁波同士が重ね合わさって高さが変化する性質（干渉）など、波の性質がある（図 2.1）。
超低周波電磁界	非電離放射線のうち周波数 0 Hz－300 Hz のもの。	<ul style="list-style-type: none"> 神経刺激作用が主となる。 電界強度 (V/m)、磁界強度 (A/m)、磁束密度 (T) が測定指標となる。
中間周波電磁界	非電離放射線のうち周波数 300 Hz－10 MHz のもの。	<ul style="list-style-type: none"> 神経刺激作用が主となる。 電界強度 (V/m)、磁界強度 (A/m)、磁束密度 (T) が測定指標となる。
高周波電磁界	非電離放射線のうち周波数 10 MHz－300 GHz のもの。	<ul style="list-style-type: none"> 10 MHz からは熱作用が主になる。（ただし、100 kHz を超過すると神経刺激に加え熱作用の考慮が必要となる） 高周波電磁界は、発生源からの距離が遠い領域（遠方界）、これよりも近い領域（近傍界）で性質が大きく異なるため、異なる尺度を用いて強度を表す。 遠方界では、高周波電磁界の強度は「電界強度」、「磁界強度」または「電力密度」で表され、下記式が成り立つ。 電力密度 (mW/cm²) = [電界強度 (V/m)]²÷3770 = 37.7×[磁界強度

		$(A/m)^2$ <ul style="list-style-type: none"> 遠方界における電力密度は、電界強度及び磁界強度の 2 乗に比例する。 近傍界では電界と磁界のパターンが複雑になるため上の関係式が成り立たなくなり、電力密度で評価することが不可能となる。また、電界強度と磁界強度の関係も一定でなくなるので、それぞれ別々に評価する必要があるため SAR という指標がある。
SAR	比吸収率 (Specific Absorption Rate : SAR) 身体に吸収される 1 キログラム当たり 1 秒当たりのエネルギーを指す。	<ul style="list-style-type: none"> 携帯電話のように近傍界で身体がばく露される通信機器などでは、安全性の評価では SAR が用いられる。 熱作用の評価には、SAR で表される体内への電力の吸収量が指標として用いられ、SAR を全身にわたって平均したものを「全身平均 SAR」、身体の任意の組織 10 g にわたって平均したものを「局所 SAR」という。
ELF 電磁界	Extremely Low Field 超低周波電磁界のこと	<ul style="list-style-type: none"> 超低周波電磁界と同様
RF 電磁界	Radio Frequency 高周波電磁界の呼称	<ul style="list-style-type: none"> 高周波電磁界と同様

表 2.2 非電離放射線の評価で用いられる物理量。

周波数	【参考】超低周波、中間周波電磁界 (< 10 MHz)	高周波電磁界 (近傍界)	高周波電磁界 (遠方界)
物理量	電界強度 (V/m) 磁界強度 (A/m) 磁束密度 (T)	SAR (W/kg) - 全身平均 SAR - 局所 SAR (身体の任意の組織 10 g の平均)	電界強度 (V/m) 磁界強度 (A/m) 電力密度 (mW/cm ²) - 10 W/m ² = 1 mW/cm ²
波源	生活家電、溶接 (低周波電磁界) IH クッキングヒーター (中間周波電磁界)	携帯電話 (対使用者) スキャン中の MRI 装置	携帯電話基地局 放送

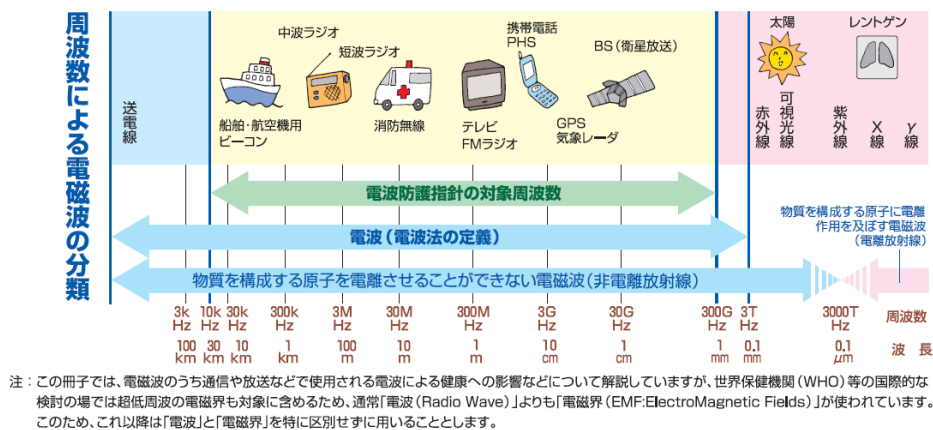


図 2.1 周波数による電磁波の分類。総務省「電波と安全な暮らし」[2]より引用。

参考文献

- [1] 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課、「身のまわりの電磁界」(2017年(平成29年))
- [2] 総務省、「電波と安全な暮らし」(2015年(平成27年))

3. 非電離放射線の短期的影響

非電離放射線は電磁波のうち電離放射線よりも周波数が低く、電離作用を引き起こさない電磁波を指す。非電離放射線の短期的作用は低周波－中間周波については、体内に誘導電流が生じることによる神経刺激作用（磁気閃光など）、中間周波－高周波については発熱が生じる[1]-[3]。例えば、末梢神経の神経興奮閾値は 3 kHz 以下では 4 V/m であるが[3]、体内誘導電界がこの値を超えた場合、痛みや不快感など感覚影響変化が生じる。高周波電磁界ばく露は発熱を引き起こし、時に熱傷など重篤な障害を誘発しうる[1]。

3.1 短期的影響の発生機序と生体影響

非電離放射線の短期的影響は科学的に確立している。静磁界中ではめまいや味覚変化、低－中間周波帯 (< 10 MHz) では神経刺激、高周波 (> 10 MHz) では発熱という形で人体に知覚されることがある[1]-[6]。ばく露源の周波数を、静磁界 (0 Hz) と時間変動する電磁界 (10 MHz 以下又は 10 MHz 以上) とした場合の物理的作用と生体作用を図 3.1 に示す。これらの作用は一時的でばく露源から離れることで消失する短期的な影響である。

静磁界については、既に確立されている作用として、分子レベルでは化学反応への作用（反応物と反応生成物との磁性が異なる場合や、ラジカル対反応を含む反応など）、分子・細胞レベルでは水の磁気分離作用や分子・細胞の特定方向への配列変化（磁場配向）があげられる[2]-[7]。ボランティア実験では、9.4 T にボランティアがばく露されてもバイタルサインについては変化がないことが報告されているが[8]、注意すべきは 1 テスラ程度の非常に強い磁界中や不均一磁界中の体動については、めまい、頭痛、味覚変化等の中樞・末梢神経系への一時的な変化が生じることである[9]-[12]。このため、MRI 装置近傍のような不均一な漏洩磁界中での作業はこれら一時的体調変化が生じうる。

10 MHz 以下の非常に強い電磁波に生体がばく露される場合、体内に電界が誘導され、頭部の中樞神経系や、胴体及び四肢の末梢神経系に刺激を及ぼす「刺激作用」が生じ得る。頭部の中樞神経系における刺激作用の代表的な例としては、網膜に生じる閃光現象（視野周辺部に微弱な点滅光を感じる現象）がある。この現象の体内電界に関する閾値は、10 から 25 Hz で 50mV/m と最も低い値となり（この電界を身体内部に生じる時の身体外部の磁界は）、20 Hz で約 5 mT に相当する）、これより高い周波数及び低い周波数では急上昇する。身体外部の電界が非常に強くても、体内にはほとんど電界は生じない。この現象は健康への悪影響ではないものの、網膜は頭部の中樞神経系の一部を構成するものであり、これを回避すれば、脳機能に生じ得る全ての影響から防護されるはずであるという安全側の観点から、この閾値が国際的なガイドラインの根拠になっている。末梢神経系で生じる刺激についての身体内部の電界に関する閾値は、3 kHz 以下では 4 V/m で、周波

数によらずほぼ一定である。なお、電波による誘導電流が生じている導体に触れ、その部分に電流が流れることを接触電流と呼称する。

一方、100 kHz を超える非常に強い電磁波に生体がばく露される場合、一部は体内に吸収されてそのエネルギー（電力×時間）が熱となる。熱作用は約 100 kHz 以上の周波数の領域で生じる。これまで行われてきた動物実験の結果から、熱作用は体温上昇によるストレスから動物の行動パターンを変化させるが、その変化は動物の種類や電波の当て方などの条件によらず、全身における電波の吸収量がある一定量を超えると生じることが分かっている。熱ストレスにより動物の行動パターンに変化が現れる閾値は、動物の種類によらず全身平均 SAR が約 4 W/kg であることが実験の結果から明らかになっており約 1°C の体温上昇に相当する。また、RF 電磁界に身体の一部が局所的にばく露される場合、局所 SAR が 100 W/kg を超えると、眼球や睾丸等の熱に敏感な組織に著しい熱的損傷が生じ得ることがわかっている。

概してこれら生体作用が生じるのはばく露強度が非常に高い場合であり、法的規制やガイドラインはこれら確立した生体作用をもとに安全域をもったばく露限度値を定めている。

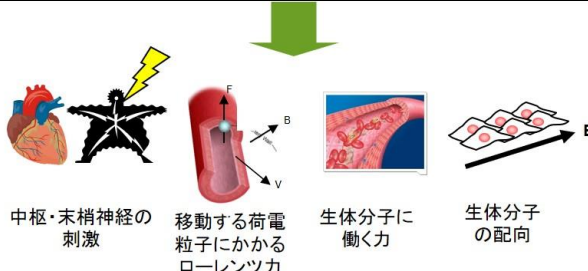


		静磁界	時間変化する電磁界	
物理作用	<ul style="list-style-type: none"> ①動く導体による起電力の発生 ②動く荷電体に対して働く力 ③永久磁気双極子や非球形の常磁性あるいは反磁性体に働くトルク ④磁性体に働く力 		< 10 MHz	> 10 MHz
			誘導電流	発熱
生体効果		 <p>中枢・末梢神経の刺激</p> <p>移動する荷電粒子にかかるローレンツ力</p> <p>生体分子に働く力</p> <p>生体分子の配向</p>	 <p>中枢・末梢神経の刺激</p>	 <p>発熱</p>

図 3.1 非電離放射線の生体作用：周波数ごとの物理的作用と生体作用。

3.2 短期的影響の防護指針と職業ばく露の取り扱い

非電離放射線の短期的影響について、国際機関からの防護指針では国際非電離放射線防護委員会（International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection： ICNIRP、イクニルプとも呼称される）や米国電気電子学会からばく露ガイドラインが発行されている。特に ICNIRP は現在まで最も広く受け入れられている人体防護ガイドラインであり、強制力はないものの米国を除く欧州各国を中心に影響力を持っている[13]。ICNIRP では短期的影響についてのみ取り扱い、周波数ごとにばく露レベルを定め現在までに 4 種類のガイドラインが発行されている。

ICNIRP ガイドラインでは、電磁界ばく露制限の指針値として体内の誘導量で規定される「基本制限」（確立された健康影響を直接的な根拠とする）と、電磁界の大きさを規定される「参考レベル」（基本制限から導出される参考値）の 2 段階の指標が扱われ（静磁界ガイドラインを除く）、基本制限の遵守に重点が置かれたものとなっている（図 3.2）。参考レベルを満たせば基本制限が満たされることとなり、参考レベルを超えた場合は、基本制限との適合性評価を別途行うことになる[13]。基本制限は数値計算により適合性評価を行うが、参考レベルでは測定器による実測による適合性評価が可能である。ばく露対象として、職業的なばく露と公衆へのばく露の 2 区分に分類され、公衆ばく露に対して、より厳しい指針値が示されている。なお、ICNIRP では医学的診断または治療を受けている患者は対象としていない[2]。ただし、2017 年に非電離放射線を使用する医療機器の各国の法整備状況や潜在的な健康影響について声明を出している[14]。

国内の防護指針と職業ばく露の取り扱いについては、現時点で非電離放射線は労働安全衛生法の対象外であり、包括的な職業ばく露のばく露に関する管理値はない。個別環境では、高周波電磁界ばく露については総務省が無線開局者に電波の強さに対する安全施設を設けることを義務づけており、関連する電波防護指針の管理環境で就労者を対象とした指針値が存在する[15]。また、日本産業衛生学会からは 1998 年に許容濃度の勧告がなされている[16]。これら指針値又は許容濃度では適合性評価には数値計算や測定器による実測が必要である。

一方で国外では非電離放射線の職業ばく露について制限値を有する国もある。欧州においては、職業的な非電離放射線ばく露に対する法規制（欧州職業電磁界指令： Directive 2013/35/EU）が 2013 年に欧州連合より発行され、加盟国においては 2016 年 7 月までに国内法転換が義務付けられた[17]-[19]。欧州職業電磁界指令は、先の指令 89/391/EEC の第 16 条（1）項の第 20 個別指令として、就労中の電磁界ばく露に起因する健康と安全へのリスクから労働者を保護するための最低要求事項を定めるものである（表 3.1）。本指令の特徴は、指令中に ICNIRP ガイドラインに基づくばく露限度値が提示されたほか、雇用者にリスク評価とばく露の測定やばく露限度値を超過する場合はリスクの回避または低減や労働者への情

報提供と訓練を課すこと、また、最終的に欧州連合の加盟国に関連する法整備を義務付けたことがあげられる。

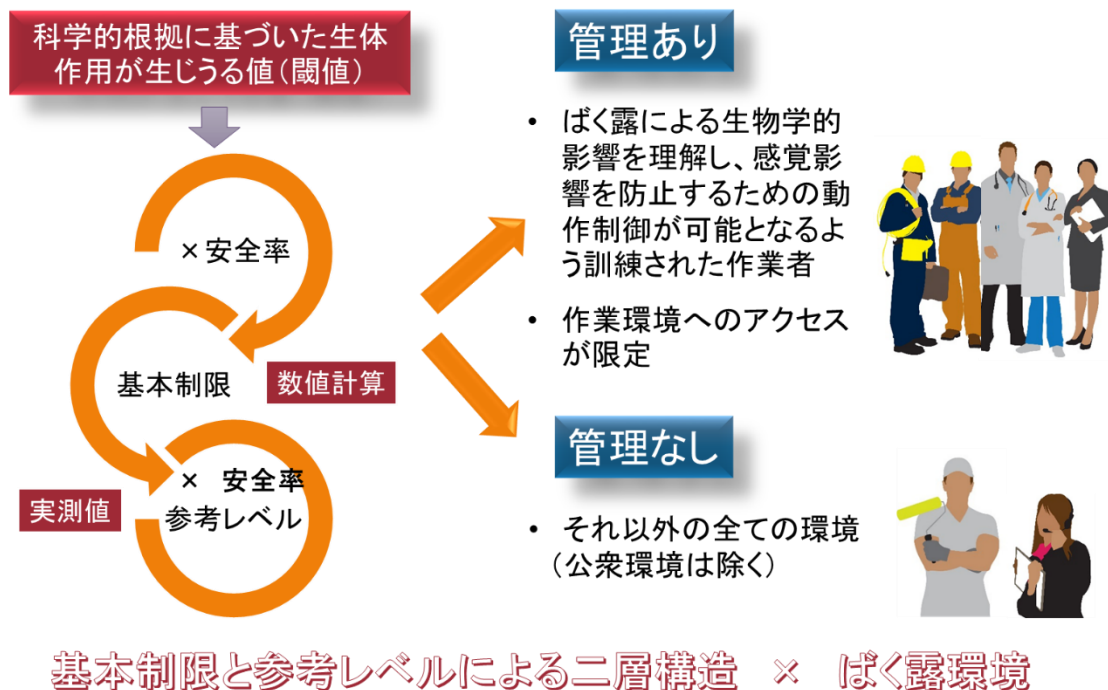


図 3.2 ICNIRP ガイドラインの基本的構造。

表 3.1 欧州職業電磁界指令の概要。

法整備	【加盟国】 2016年7月1日までに法律、規制及び管理規定の発行(第16条) 【欧州委員会】 2016年7月1日の遅くとも6カ月前までに拘束力をもたない実用指針を作成(第14条)	
適用範囲(第1条及び第2条)	【直接的影響】 <ul style="list-style-type: none"> 熱的影響 非熱的影響(神経刺激) 四肢電流 	【間接的影響】 <ul style="list-style-type: none"> インプラント等との電磁干渉 強磁性体の飛翔リスク 電気式起爆装置の起爆 火花放電 接触電流
ばく露限度値の根拠	ICNIRP ガイドライン(静磁界:2009年、~100 kHz:2010年、100 kHz~:1998年)	
ばく露限度値の構成(附属書 I-III:図 3-5)	【ばく露限度値(ELVs)】 <健康影響 ELV> <ul style="list-style-type: none"> 外部磁束密度(0 Hz - 1 Hz) 体内電界強度(1 Hz - 10 MHz) 6分間平均 SAR(100 kHz - 6 GHz) 電力密度(6 GHz - 300 GHz) <感覚影響 ELV> <ul style="list-style-type: none"> 内部電界強度(1 Hz - 400 Hz) 局所 SAR(0.3 GHz - 6 GHz) 	【アクションレベル(ALs)】 <ul style="list-style-type: none"> 電界強度(1 Hz - 10 MHz) 磁束密度(1 Hz - 10 MHz) 接触電流(~110 MHz) 外部磁束密度* 電界強度、磁束密度(100 kHz - 300 GHz) 電力密度(6 GHz - 300 GHz) 接触電流 四肢電流(10 MHz - 110 MHz)
適合性の確認方法	<ul style="list-style-type: none"> 数値計算ドシメトリ及び実測 手法は、適切な欧州または国際的基準(2016年の実用指針に盛り込まれる) 	

	<ul style="list-style-type: none"> ばく露状況ごとに雇用主に要求されるアクションが異なる
雇用主への要求事項	<ul style="list-style-type: none"> 職場の電磁界に起因する労働者のリスク評価（第4条） 職場の電磁界の測定又は計算（第4条） リスク回避又は低減（第5条） 労働者への情報提供と訓練（第6条） 労働者との協議および労働者の参加（第7条） 労働者から健康ハザードの報告があった場合は、医学的検査の受診機会の提供（第8条）
条件付き適用の除外（第10条）	<ul style="list-style-type: none"> MR worker（MRI装置の設置、試験、使用、開発、保守又は研究） 軍事行動 上記以外の特定の分野や活動

3.3 作業者の短期的影響の防護の考え方

国内では非電離放射線は労働安全衛生法の対象外であるため事業主が対策を講じる法的義務はないが、主に製造業においては多くの非電離放射線を使用する機器が存在する（4章参照）。このため、産業機器から発生する非電離放射線については、発生源近くで就労する作業員においては労働安全衛生の観点から適切な知識の取得と防護が必要である。

労働衛生においては、「作業環境管理」、「作業管理」、「健康管理」を3管理とよび労働衛生管理の基本をなす考え方である[20]。作業環境における非電離放射線においても3管理の考え方は基本的に適用可能である。ここでは「作業環境管理」及び「作業管理」の点から非電離放射線の短期的影響の防護の考え方を示す。

第一に「作業環境管理」については、産業機器から発生する非電離放射線については、通常は適切な機器の使用において使用者が知覚するような生体影響が生じることはまれと考えられる（ただし、製品規格で生体安全性に関する評価項目が必ずしもなされているわけではない）。しかしながら、実地測定や数値計算による幾つかの報告では、使用する機器や作業員がいる位置によっては非電離放射線のばく露レベルが既存ガイドラインを超過する可能性があることが示されている[21]。このため、出力の制御が使用者側で可能な装置を使用する場合においては何らかの生体影響を知覚する場合は、測定による作業環境の状況把握が必要である。作業環境の測定においては、ICNIRPガイドラインや日本産業衛生学会許容濃度などの適合性評価を行うことは作業環境の把握や対策の確認として重要であるが、適合性評価には数値計算や測定器による実測が必要である。測定したい波源により用いる計算法や測定器が異なる事や、（測定規格がある場合はそれに準拠するが）測定箇所は作業状況や工学的特性を考慮する必要があるため、適合性評価には工学系の専門家に依頼することが求められる。

また、作業環境の測定に加え、「作業管理」としてばく露源対策－出力設定を見直すこと、作業時に距離を置いたりアクセス制限を行うこと（この中にはインターロック等工学的対策も含まれる）－を実施することが対策としてあげられる[22]。

3.4 非電離放射線の短期的影響のまとめ

国内では非電離放射線は労働安全衛生法の対象外であるため事業主が対策を講じる法的義務はないが、産業機器から発生する非電離放射線については、発生源近くで就労する作業員においては労働安全衛生の観点から適切な知識の取得と防護が必要である。欧州においては職業電磁界ばく露の規制が導入されており、その導入状況や対応について国内波及効果について注視する必要がある。

参考文献

- [1] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics*. 1998, 74(4):494-522.
- [2] ICNIRP. Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields. *Health Physics*. 2009, 96(4):504-514.
- [3] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, and Magnetic Fields (1 Hz-100 kHz). *Health Physics*. 2010, 99(6):818-836.
- [4] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Electric Fields Induced by Movement of the Human Body in a Static Magnetic Field and by Time-Varying Magnetic Fields below 1 Hz. *Health Physics*. 2014, 106(3):418-425.
- [5] World Health Organization, Environmental Health Criteria 232 Static Fields. 2006
- [6] World Health Organization, Environmental Health Criteria 238 Extremely Low Fields. 2007.
- [7] Shoogo Ueno, Sachiko Yamaguchi-Sekino (2015) Magnetic Control of Biological Cell Growth. Ed by S Ueno and M Sekino, *Biomagnetics: Principles and Applications of Biomagnetic Stimulation and Imaging*, p185-218, Boca Raton, CRC press.
- [8] Atkinson IC, Renteria L, Burd H, Pliskin NH, Thulborn KR. Safety of human MRI at static fields above the FDA 8 T guideline: sodium imaging at 9.4 T does not affect vital signs or cognitive ability. *J Magn Reson Imaging*. 2007, 26(5):1222-7.
- [9] Schenck JF, Dumoulin CL, Redington RW, Kressel HY, Elliott RT, McDougall IL. Human exposure to 4.0-Tesla magnetic fields in a whole-body scanner. *Med Phys*. 1992, 19(4):1089-98.
- [10] Crozier S1, Liu F. Numerical evaluation of the fields induced by body motion in or near high-field MRI scanners. *Prog Biophys Mol Biol*. 2005, 87(2-3):267-78.
- [11] De Vocht F, van Drooge H, Engels H, Kromhout H. Exposure, health complaints and cognitive performance among employees of an MRI scanners manufacturing department. *J Magn Reson Imaging*. 2006, 23(2):197-204.
- [12] Glover PM, Cavin I, Qian W, Bowtell R, Gowland PA. Magnetic-field-induced vertigo: a theoretical and experimental investigation. *Bioelectromagnetics*. 2007, 28(5):349-61.
- [13] 一般社団法人電気学会 電磁界の人体防護に関わる評価技術動向調査専門委員会編. 電磁界の人体防護に関わる評価技術動向 (印刷中).
- [14] ICNIRP. ICNIRP Statement on Diagnostic Devices Using Non-Ionizing Radiation: Existing Regulations and Potential Health Risks. *Health Physics*. 2017, 112(3):305-321.
- [15] 電波防護指針. 諮問第 38 号「電波利用における人体の防護指針」. 平成 2 年 6 月
- [16] 日本産業衛生学会. 許容濃度等の勧告 (2018 年度). 産業衛生学会誌. 2018 年, 第 60 巻 5 号 p 116-148.
- [17] DIRECTIVE 2013/35/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). *Official Journal of the European Union, Luxembourg, Luxembourg*.
- [18] 財団法人電気安全環境研究所 電磁界情報センター. http://www.jeic-emf.jp/assets/files/pdf/whats_new/201335EU_japanese.pdf
- [19] 山口さち子. Directive 2013/35/EU (欧州職業電磁界指令) の概要. 一般社団法人日本労働安全衛生コンサルタント会 安全衛生コンサルタント. 2014 年, 34 巻 110 号 p38-45.
- [20] 厚生労働省職場の安全サイト http://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo28_1.html
- [21] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission. 2015
- [22] Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields Volume 1: Practical Guide. European Commission. Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion UnitB3. Manuscript completed Nov 2014.

4. 高周波電磁界の発生源

本節では高周波電磁界について、発生源及び出力状況について紹介する。非電離放射線は産業、通信、医療分野で応用されている。中でも高周波電磁界は異なる波長で様々な用途で用いられることが静磁界や超低周波電磁界と異なる。表 4.1 に非電離放射線の周波数ごとの発生源の分類を示す（環境省「身の回りの電磁界」[1]より引用）。

4.1 節で産業、医療、家電・通信分野における例とその詳細を述べ、4.2 節では欧州で行われている職業電磁界ばく露のリスクアセスメントにおいて、高周波電磁界発生源の分類状況（リスクアセスメントの必要あり、条件付きあり、なし）について記載した。なお、本報告書の目的は高周波電磁界の健康影響調査であるが、4.1 節では参考のため全ての周波数について記載を行う。

表 4.1 非電離放射線の周波数ごとの発生源の分類。

名称	周波数	波長	主な発生源（例）
静電磁界	0 Hz	(無限大)	地磁気、磁気共鳴画像撮影装置 (MRI)、鉄道
超低周波電磁界	0 Hz - 300 Hz	1000 km -	家電製品、電力設備 (50 Hz、60 Hz) 鉄道 電子商品監視装置 (200 Hz - 14 kHz)
中間周波電磁界	300 Hz - 10 MHz	30 m - 1000 km	IH 調理器 (20 - 90 kHz) 電子商品監視装置 (200 Hz - 14 kHz、22 - 37.5 kHz、58 kHz、1.8 - 8.2 MHz) 電子タグ (135 kHz 以下) 放送局・通信設備 (数百 kHz -) 鉄道
高周波電磁界	10 MHz - 300 GHz	1 mm - 30m	非接触 IC カード (13.56 MHz) 電子タグ (13.56 Hz、300 MHz、920 MHz、950 MHz、2.45 GHz) 医用テレメータ (400 MHz) 携帯電話、基地局 (700 MHz ~ 数 GHz) 無線機器 (- 数十 GHz) 通信設備 (- 数十 GHz) 放送局 (- 数百 MHz) 電子レンジ (2.45 GHz) 電子商品監視装置 (2.45 GHz)

4.1 産業、医療、家電・通信分野における例

産業、医療、家電・通信分野における高周波電磁界の使用例に関して、電気学会 電磁環境技術委員会「電磁界の健康リスク分析調査専門委員会（委員長：大久保千代次氏）」の報告書にて欧州委員会の「新興および新規に同定される健康リスクに関する科学委員会（Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: SCENIHR）」レポート（2015）[2]の 3.3 節において周波数や測定結果を含めた詳細の和訳と関連研究の紹介がなされている[3]。本報告書では「電磁界の健康リスク分析調査専門委員会」報告書を元に産業、医療、家電・通信分野における使用例をまとめる表 4.2 とした。なお、ここでは低周波電磁界、中間周波電磁界における測定例も参考として提示する。産業用機器では EU に

おける EMF-NET (Effects of the exposure to electromagnetic fields: from science to public health) も参考にされたい[4]。

表 4.2 産業、医療、家電・通信分野における例、まとめ。文献[1]を元に作成。

分類	発生源	周波数	懸念される生体影響	特記事項
無線通信技術				
高周波電磁界	放送	300 kHz-3 MHz (中波) 3 MHz-30 MHz (短波) 80-800 MHz (FM、TV)	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 中波 AM ラジオ放送局 (出力 1 kW-50 kW) から 100 m の位置において、電界強度 2.5-20 V/m、磁界強度 7.7-76 mA/m [5]。 100 kW の入力電力の短波帯 9.57 MHz のカーテンアンテナ正面の 100 m の位置では、電界強度 4.2-9.2 V/m、磁界強度 18-72 mA/m [5]。 FM ラジオと TV 放送 (通常 10 kW-50 kW) の電波塔のはしごに上昇する際の電磁界ばく露を測定した。最大電界は 600 V/m、最大磁界は 3.0 A/m [6]。 デジタル化前後での TV 放送電波の最大電力密度変化は、0.9 mW/m² から 6.5 mW/m² [7]。 さまざまな周波数帯の公衆ばく露の測定からは、最大の測定値は、FM 帯で測定され、0.096 mW/m² (0.2 V/m) [8]。
高周波電磁界	携帯電話	700 MHz 帯-2 GHz 帯など	発熱	<ul style="list-style-type: none"> さまざまな世代の 1233 種の携帯電話端末の標準測定法による 10 g 平均の SAR のデータベースが作られたが、それらの値は 0.01 W/kg-1.7 W/kg であり、多くの機種は、1 W/kg 以下[9]。 GSM^{註1}パルス波による ELF 磁界の主たる周波数成分の 217 Hz の磁束密度は、100 μT 以下[10]。 7 台の GSM 携帯電話のバッテリーの電流による頭部誘導電流を計算し、ICNIRP 基本制限の 28%以下[11]。
高周波電磁界	携帯電話基地局	700 MHz 帯-2 GHz 帯など	発熱	<ul style="list-style-type: none"> ダウンリンク周波数帯における値は、0.08 mW/m²-0.35 mW/m² [12]。 (参考) 30 年前の米国 486 箇所における VHF および UHF 放送電波の測定値 0.05 mW/m² [13]。
高周波電磁界	コードレス電話	1880-1900 MHz (DECT)	発熱	<ul style="list-style-type: none"> DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication) 方式のコードレス電話から 1 m の位置での最大電力密度を測定し、40 mW/m² と ICNIRP の公衆の参考レベルの値の 1%以下[14][15]。 ワーストケースの 10 g 平均ピーク SAR は 0.06 W/kg 以下であり、ICNIRP の基本制限値の 2 W/kg より十分小さい[14]。
高周波電磁界	地上基盤無線	380 MHz-470 MHz	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 端末周辺の電磁界ばく露によるドシメトリ研究がいくつか報告されており [15]-[17]、10 g 平均 SAR は、ICNIRP ガイドラインの職業ばく露の基本制限以下であるものの、3 W の端末では、公衆の基本制限を 50%程度超過していることが示されている[16]。
高周波電磁界	Bluetooth 機器	2.45 GHz	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 出力により、1 mW、2.5 mW、100 mW の 3 つのクラスがあり、それぞれ 1 m、10 m、100 m の距離の通信を意図している。 Bluetooth 機器の電波による 10 g 平均 SAR を計算した例では、ICNIRP の

註¹ この周波数は国内では使用されていない。

				基本制限の 2 W/kg の 1/1000[14] [18] [19]。
高周波電磁界	ベビーモニタ	40、446、864、1900 および 2450 MHz	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 出力は最大で 500 mW になることがある。 ベビーモニタから 1 m の位置の電界強度が 1.1 V/m[15]、3.2 V/m[14]の報告あり。 後者については、10 g 平均 SAR は 0.1 W/kg であり、ICNIRP の公衆の基本制限 2 W/kg より十分に小さかった[11]。
高周波電磁界	無線 LAN	2.4 GHz 帯と 5 GHz 帯	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 欧州では、2.4 GHz 帯の無線 LAN の出力は 100 mW に制限されている。 10 g 平均 SAR の最大値が 1 W/kg 以下、アクセスポイントから 1 m の位置では、電力密度の最大値は 3 mW/m²、0.2 m の位置では、40 mW/m²であることを報告[14]。ICNIRP 参考レベルの 10 W/m² より十分に小さい[15]、[20]。 数値ドシメトリからは 2.4 GHz、出力 100 mW、デューティ比 100%を仮定したとき、頭部における局所 SAR の最大値は、5.7 mW/kg [21]。ただし、実際のデューティ比はより小さく、SAR もより小さくなる。(参考：ICNIRP の SAR 基準では 2 W/kg) WiMax ^{註2}の電波測定が屋内および屋外環境において行われ、0.3 V/m (0.24 mW/m²) と報告[22]。
高周波電磁界	スマートメータ		発熱	<ul style="list-style-type: none"> 近年、米国において、スマートメータの使用に関連した健康影響の可能性に関する報告が公表されたが、スマートメータからの高周波電磁界の放射の大きさは、米国 FCC (連邦通信委員会) の定める公衆のばく露制限以下であったことが結論づけられている[23][24]。
産業用機器 (EU プロジェクト EMF-NET のファクトシートも参照のこと) [4]				
高周波電磁界	誘電加熱	数十 MHz	発熱	<ul style="list-style-type: none"> RF シーラ及び接着乾燥機は、プラスチックの封止及び木材接着産業で頻繁に使用され出力は、1-200 kW。 ほとんどのシーラは手動で操作し、操作者は RF 電極に接近する必要がある。プラスチック片を手で加熱する用途もあり、操作者の両手は強い RF 電磁界にばく露される。 操作者の区域の電界強度範囲は 1-300 Vm⁻¹、磁界強度範囲は 0.1-20 Am⁻¹ が代表的。 機器からの放射パターンが使用状態に応じて変化する。
高周波電磁界	誘導加熱	1-10 kHz	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 誘導加熱炉及び誘導加熱ヒータの操作者がばく露する電磁界は、1-10 kHz で動作する加熱装置から 1 m の距離で 0.03-0.5 mT の範囲となり、10 cm の距離では 4 mT に達することがある。 50 Hz で動作する機器は、20 cm の距離で 5 mT の磁界を発生し、数メートルの距離では 0.1 mT を超えることがある。 稼働中の加熱炉の近くでは、ガイドライン (1-10 kHz で 30.7 μT、50 Hz で 500 μT) を超過。
高周波電磁界	産業用マイクロオープン	2.5 GHz など	発熱	<ul style="list-style-type: none"> これらのオープンは閉鎖され、強電磁界マイクロオープンがある区域へ

註² Worldwide Interoperability for Microwave Access の略。無線通信技術の規格の一つ。

	及びマイクロ波乾燥装置			<p>は立ち入ることができない。しかし、筐体・接続部からマイクロ波が漏洩することがあるため、定期的な保守プログラムが推奨される。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 水害の乾燥にも使用されアプリケーションから電磁界を漏洩する可能性と、アプリケーションを接地した壁や床の反対側で人体がばく露する可能性もある。 • これらの機器の使用に許可が必要な国もある。
高周波電磁界	レーダ		発熱	<ul style="list-style-type: none"> • 一般的に、アンテナからのレーダ信号のばく露機会はほぼないが、製造・点検・修理中に、従業員が不用意にばく露する可能性がある。 • 軍隊で使用されるレーダは、非常に高出力であり、近接範囲での使用に限定される（SPY レーダ） • 出力は 6MW のオーダーであり、1 万倍のアンテナ利得をもつため、100 m の距離での電力密度は、数百 kW/m² に達しうる。このときの電界ピークは 10 kV/m を超え、電子機器に恒久的な損傷を与え得る。 • 熱への感覚を除き、短期間ばく露の人への影響は知られていない。
高周波電磁界	放送及び他の通信	900-2000 MHz など	発熱	<ul style="list-style-type: none"> • 放送中のアンテナ近傍での修理又は調整中は、職業ばく露が EU 指令に抵触する可能性があり、このような状況は、避けることが望ましい。 • 基地局アンテナ近傍の屋根の上の作業者は、約 900-2000 MHz の高周波電磁界をばく露することがある。このような作業者の例には、金属シート作業、煙突清掃業者及び塗装業者が挙げられる。このような場合指方向性が明らかでないため、簡潔な指示が測定よりも適切。
低周波電磁界	アーク溶接	概ね 50/60 Hz	神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> • アーク溶接では、1 kA 以下の電流が使用可能。 • 溶接ケーブル及び電源の表面の磁束密度は約 1-2 mT であり、溶接作業者に強電磁界をばく露する。
低周波電磁界	手持形電気工具 スポット溶接	50/60 Hz	神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> • 手持形工具は、キロワットのオーダーの出力であり、配線を通る電流は数 A になる。近距離で数百 μT の範囲の磁界が測定されることは珍しくないが、国際ガイドラインの参考レベル 1 mT を超えないが、ばく露の平均時間に関して議論が残る。 • 手持電動ドリルは、通常、最初の数回転の間、10 倍以上の電流を流し、そのときに対応する磁界は最も強くなるが[25]、欧州 CENELEC 規格 EN 62233[26]では特定の距離で測定しかつ起動してから 200 ms を除外して評価することが望ましいと規定している。神経興奮からの防護を目的とするならば除外時間を設けることに疑問が残る、と記載されている。 • スポット溶接の場合、時間平均については 2004/40/EC[27]^{註3}は低周波領域については規定せず、IEEE C.95.6 [28]では、0.2 s 又は 5 サイクル（10 s 以下）の平均時間を規定している。
医療機器（施術中の患者にはばく露ガイドラインは適用されないが、術者には適用される）				
高周波電磁界	ジアテルミー	13.56 又は 27.12 MHz（超短波ジアテルミー）	発熱	<ul style="list-style-type: none"> • 英国で実施された 20 の理学療法部門の 36 台のジアテルミー装置の計測では、距離 0.15-0.2 m において電界強度は通常 500 V/m を超過しており、

註³ 現在は廃案となり Directive 2013/35/EU に置換。

		2.45 GHz (マイクロ波ジアテルミー)		<p>一時的には 5000 V/m に達していた。同距離での磁界強度は、0.5-2.0 A/m で、著者らは連続波を使用した治療中に患者に話しかける際は、操作者は装置、ケーブル、電極から少なくとも 1 m の距離を保つことを提案 [30]。</p> <ul style="list-style-type: none"> 超短波ジアテルミー装置 10 台による研究では、連続波使用において容量型装置では 2 m、電磁誘導型装置では 1 m で ICNIRP (1998) の職業磁界ばく露の参考レベル以下まで減衰。公衆制限値以下になるためには更に 0.5 m が必要 [31]。 11 台のマイクロ波ジアテルミー装置の計測では、操作者が 1 m 離れるか、電波を反射しうる大きな金属体の近傍の中に立たないならば、職業ばく露の参考レベルを超過するばく露はない [29]。 数値計算結果からは、22.17 MHz の超短波ジアテルミーの施術中の患者では、頭部、肩、および臀部のような治療目的の場所外への意図しない放射によって、水晶体や中枢神経系や生殖腺といった組織で過剰ばく露が発生する可能性が示されている [32]。
高周波電磁界	電気外科手術	0.3-5 MHz	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 6 台の電気手術装置の計測からは、装置付近で計測された電磁界は高かったが、装置から 0.5 m の距離で電界強度は 32-57 V/m、磁界強度は 0.2-0.8 A/m まで減衰 [33]。著者らによれば、ワーストケース (最大測定値) では外科医の手は磁界強度 0.75 A/m、電界強度 400 V/m の高周波電磁界にばく露されていた。 漏洩放射は電気手術装置だけでなくケーブルからも発生していることに注意 [34]。
高周波電磁界	体内埋め込み/装着型の能動型医療機器	MICS 帯 (401-406 MHz) ISM 帯 (2.4 GHz ISM 帯の Bluetooth 通信の機器や 868 MHz の ZigBee やヨーロッパにおける 2.4 GHz ISM 帯など)	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 体内埋め込み/装着式の能動型医療機器の SAR、電流密度、体内電界の設計検討は常に報告されているわけではない [35]。 埋め込み機器の生体テレメトリに関する報告 [36]- [39] やワイヤレス電力伝送に関する報告 [40]- [42] では、患者組織に誘導される SAR や電流について言及がある。
高周波電磁界	美容医療	10 MHz まで	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 患者に関して、エネルギー・フルエンスは 1 cm² あたり 144 J/cm² まで到達するとの報告あり [43]。
その他	経頭蓋磁気刺激 (TMS)	数十-数百 msec のパルス 周波数では kHz 相当	神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> TMS 治療中の操作者のばく露状況を調査した研究では、8 の字コイル、パルス繰り返し頻度 5 pulses/sec で装置の最大出力の 60-80% の刺激強度の場合、作業者のばく露磁界の参考レベルはコイル表面から約 0.7 m の距離で超過 [44]。 数値計算結果では、TMS 治療中の作業者は ICNIRP (1998) の限度値 [45] を超過する磁界にばく露されうる [46]。8 の字コイルは円形コイルよりも漏洩磁界が小さく TMS 操作者における誘導電流密度も低い。操作者が TMS コイルから少なくとも 1.1 m 離れて立つこと、手持ち装置に代えてロボット制御の TMS システムを利用することを提案。
静磁界	MRI	0.5-3 T (臨床用装置)	一時的体調変化	<ul style="list-style-type: none"> 様々な周波数を複合的に利用 [47]-[50]。

中間周波電磁界 高周波電磁界		7 T- (研究用装置) 数 kHz 相当の傾斜磁場 数十-数百 MHz の高周波 電磁界	神経刺激 発熱	<ul style="list-style-type: none"> 患者に対する安全性は IEC60601-2-33 で規定。 術者に対するばく露は現行のガイドライン (欧州職業電磁界指令、ICNIRP など) を超過することが多い[51]-[54]。 ばく露防止策が難しい。
防犯装置				
高周波電磁界	EAS システム	電磁式 (10 Hz-20 kHz) 磁気音響式 (20 kHz-135 kHz) 無線周波式 (1 MHz-20 MHz)	発熱	<ul style="list-style-type: none"> EAS には、電磁式 (10 Hz-20 kHz)、磁気音響式 (20 kHz-135 kHz)、無線周波式 (1 MHz-20 MHz) の 3 通りがある[55] スウェーデンにおける 11 台の EAS 周囲での磁界測定結果の報告では、電磁式で、最大 673 μT、磁気音響式で最大 148 μT であり、ICNIRP ガイドラインの一般公衆の磁界参考レベルを超過するものあり[56]。 数値計算による検討では、磁界参考レベルを超えていても、SAR および誘導電流密度は ICNIRP (1998)の基本制限以下であったことが報告あり[57]。
その他	電気ショック武器	放出される全電荷量は、数十 μ C [58]	神経刺激 (感電)	<ul style="list-style-type: none"> Kunz ら[59]の報告では、医学研究の大部分は、急性の臨床的な影響は見られないとしているが、試験は医学的履歴がない被験者に限られている。 数値計算研究では、心臓電流の最大は、7.7 kA/m²と報告[60]。
発電と送電				
低周波電磁界	太陽電池アレイ	50/60 Hz	神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> 米国にある大規模な DC 太陽電池モジュールで行われた磁界測定では、60 Hz の変圧器や変換機へ近接させると 18.3 μT と報告[61]。 幅広い周波数帯 (40-800 Hz) においては値は増大し (27.4 μT)、その周波数帯よりも高い場合、AC 太陽電池モジュールの変換機から 2.5 cm 未満の距離での磁界測定値は、0.2 mT 以上であった[62]。 屋根に設置した太陽電池モジュールの部品からの磁界の文献は不足しており、ELF 磁界の個人ばく露への寄与に関しては結論づけられない。
低周波電磁界	変圧器と変電所	50/60 Hz	神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> 様々な測定が行われているが、ICNIRP の参考レベルの超過はなし[63]-[68]。
交通機関				
低周波電磁界	交通機関	十-数十 Hz	神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> 様々な測定が行われているが、ICNIRP の参考レベルの超過はなし[69]-[76]。
家電製品				
高周波電磁界	電子レンジ	主に 2.45 kHz 駆動のため 50/60 Hz マグネトロンで使用する 磁石による静磁界	発熱	<ul style="list-style-type: none"> 5 cm の距離での漏れ放射を決定するために、20 メーカーの 130 の電子レンジを測定した。電子レンジの最大動作電力 (300-1200 W) によって、測定値は 0.2-1 W/m² に分布した[77]。 家庭用及びレストランで出力が 4.4 kW 以下の 106 の電子レンジを対象とした測定では、最大の漏れ放射 60 W/m² は 10 年経過したそれほど出力が大きくない電子レンジで測定された[78]。 電子レンジは動作中の ELF 電磁界は、34 の電子レンジで 5 cm で数十 μT (27 \pm 17 μT) だが、50 cm では数 μT (1.7 \pm 0.6 μT) に下がった[79]。
中間周波電磁界	IH 調理器	20-100 kHz	神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> IH 調理器に関する規格 (EN 62233・IEC 62233) では、一つの調理区域で、容器が十分に大きく、かつ、調理区域の中央で動作させたとき、調

				<p>理区域から 30 cm の距離で ICNIRP (1998) で推奨される参考レベル 6.25 μT を満足することを推奨。</p> <ul style="list-style-type: none"> • より近い距離での測定から、IH 調理器のキャビネットの正面での磁界は、20 kHz での職業ばく露 30.7 μT (測定当時) さえも超え得ることが示され[80]、他の発生源の測定を行った従来の結果[81]と比較しても高値である。 • なお、ICNIRP (2010) では、IF 磁界 (3 kHz-10 MHz) の参考レベルは一般公衆で 27 μT、職業者で 100 μT に改定された。
低周波電磁界	電気加熱システム	50/60 Hz	神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> • スウェーデンの家屋における電気床暖房システムは、床面でのより高い磁界の発生原因となっている[82]。
その他	玩具		神経刺激	<ul style="list-style-type: none"> • IF 電界に関して生活環境で高電界を発生する玩具があり (イオン化雷放電を発生する高電圧を使用)、測定結果では、1.2 m 未満の距離で公衆環境の推奨参考レベルを超えていた[83]。

4.2 国外におけるばく露状況の分類例

国外におけるばく露状況の分類例として、EMF-NET の報告[1]及び 2013/35 / EU に準拠するための実務ガイド[84]-[87]を紹介する。

CIOP-PIB（ポーランド）、FIOH（フィンランド）、ISPESL（イタリア）、NIWL（スウェーデン）、VITO（ベルギー）らから職業電磁界環境に関する報告（EMF-NET）がなされている[1]。その中で特に注意を払うべき高周波電磁界源は、誘電加熱、誘導加熱、産業用マイクロ波オーブンとマイクロ波乾燥機、レーダ、医療機器（MRI、ジアテルミー、電気メスなど）、放送や通信があげられている。

欧州では職業電磁界指令（Directive 2013/35/EU）発行にともない、加盟国では職場環境で電磁界ばく露のリスクアセスメントが義務付けられた。しかしながら、実際にすべての機器についてリスクアセスメントを実施するのは困難なため、特に中小企業の雇用主が指令 2013/35 / EU に準拠するために何をすることが必要であるのかを示す法的拘束力のない実務ガイド（Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU）が European Union Programme for Employment and Social Innovation より発行されている[85]-[87]。このガイドは、2冊の実務指針と中小企業のための特定のガイドで構成されており、実務指針第1巻は、リスクアセスメントの実施に関する助言と、雇用主が追加の防護措置または予防措置を実施する必要がある場合に利用可能な選択肢に関するさらなる助言を提示している[85]。実務指針第2巻は12のケーススタディ（MRI 環境、溶接、冶金製造、屋上アンテナなど）を提示し、雇用主にリスクアセスメントへの取り組み方や予防的および防護的対策のいくつかを説明している[86]。24 ページである中小企業のためのガイドは、雇用者が職場での電磁界のリスクアセスメントのための初期評価を実施するための内容が記載されており、この評価の結果に基づいて、さらに行動を起こす必要があるかどうかを判断材料の提供を目的としている[87]。

この3番目の中小企業のためのガイドの14-17 ページに典型的な電磁界発生機器ごとのリスクアセスメントの必要有無について Yes/No を提示しており、全て No は職業ばく露に対するリスクアセスメントの必要がないことを示す（図 4.1）。本節ではこの中より高周波電磁界発生機器を抜粋し、リスクアセスメントの必要分類を表 4.2 に示す（ここでは Yes のみ「✓」として表す）。

その結果、高周波電磁界を使用するもので、特定のリスクのない労働者に対してもリスクアセスメントの必要がある一すなわち発生強度が高いと考えられる一のは表 4.3 の 14 装置又は作業環境であった。能動的インプラントの所持者についてはほぼ全ての機器でリスクアセスメントが必要との分類であった。

Table 3.2 — Requirements for specific EMF assessments in respect of common work activities equipment and workplaces

Type of equipment or workplace	Assessment required for		
	Workers not at particular risk*	Workers at particular risk (excluding those with active implants)**	Workers with active implants***
	(1)	(2)	(3)
Wireless communications			
Phones, cordless (including base stations for DECT cordless phones) — use of	No	No	Yes
Phones, cordless (including base stations for DECT cordless phones) — workplaces containing	No	No	No
Phones, mobile — use of	No	No	Yes
Phones, mobile — workplaces containing	No	No	No
Wireless Communication Devices (e.g. Wi-Fi or Bluetooth) including access points for WLAN — use of	No	No	Yes
Wireless Communication Devices (e.g. Wi-Fi or Bluetooth) including access points for WLAN — workplaces containing	No	No	No
Office			
Audio-visual equipment (e.g. televisions, DVD players)	No	No	No

図 4.1 Non-binding guide の分類表 (例)。[87]

表 4.3 高周波電磁界発生機器のリスクアセスメントの必要分類。

Yes のみ「✓」として表す。

機器又は職場環境	特定のリスクのない労働者	特定のリスクのある労働者（能動的インプラント使用中の者を除く）	能動的インプラント使用中の労働者
コードレス電話機（DECT コードレス電話機の基地局を含む）—使用時			✓
コードレス電話機（DECT コードレス電話機の基地局を含む）—作業環境中			
携帯電話—使用時			✓
携帯電話—作業環境中			
WLAN のアクセスポイントを含む無線通信機器（例：Wi-Fi 又は Bluetooth）—使用時			✓
WLAN のアクセスポイントを含む無線通信機器（例：Wi-Fi 又は Bluetooth）—作業環境中			
ラジオ波発生機器を搭載するオーディオビジュアル機器			✓
基地局アンテナ（作業制限区域内）	✓	✓	✓
基地局アンテナ（作業制限区域外）			✓
家庭用又は業務家電（マイクロ波オープン含む）で WLAN、Bluetooth や携帯電話などの発信機器を含まないもの			
光源でラジオ波やマイクロ波を使用するもの	✓	✓	✓
物品監視システムと RFID（ラジオ波による同定）			✓
ラジオ波発生機器を有する制御システム			
コロナ表面処理システム			✓

誘電加熱	✓	✓	✓
誘電加熱溶接	✓	✓	✓
誘導加熱 ^(*)	✓	✓	✓
誘導加熱で自動化システムがあり、EMF 源近くで復旧等を行う場合 ^(*)		✓	✓
誘導加熱式シーラー ^(*)			✓
誘導加熱式はんだごて ^(*)	✓	✓	✓
ラジオ波発生機器を搭載する測定装置			
木工加工におけるマイクロ波乾燥機	✓	✓	✓
RF プラズマ装置（真空蒸着とスパッタリングを含む）	✓	✓	✓
電気炉（アーク炉） ^(*)	✓	✓	✓
電気炉（誘導炉） ^(*)	✓	✓	✓
建設業におけるマイクロ波乾燥機	✓	✓	✓
EMF を使用する医療機器（マイクロ波ジアテルミーや磁気刺激など）	✓	✓	✓
レーダー（航空管制、軍事、天気や長距離用）	✓	✓	✓
誘導式又はカップリング式の充電装置			✓
放送システム及び装置（ラジオやテレビ）	✓	✓	✓
1999/519/EC 勧告に適合する機器又は EMF 規格に基づく装置			
ラジオ（二用途、例ウォークトーカーや乗用車用ラジオ）			✓
バッテリー駆動の送信機			✓

(*) 3 MHz 以下の物も含む

表 4.4 高周波電磁界を使用するもので、特定のリスクのない労働者に対してもリスクアセスメントの必要がある装置又は環境。

<ul style="list-style-type: none"> • 基地局アンテナ（作業制限区域内） • 光源でラジオ波やマイクロ波を使用するもの • 誘電加熱 • 誘電加熱溶接 • 誘導加熱 • 誘導加熱式はんだごて • 木工加工におけるマイクロ波乾燥機 	<ul style="list-style-type: none"> • RF プラズマ装置（真空蒸着とスパッタリングを含む） • 電気炉（アーク炉） • 電気炉（誘導炉） • 建設業におけるマイクロ波乾燥機 • EMF を使用する医療機器（マイクロ波ジアテルミーや磁気刺激など） • レーダ（航空管制、軍事、天気や長距離用） • 放送システム及び装置（ラジオやテレビ）
--	--

4.3 高周波電磁界の発生源まとめ

4.1 及び 4.2 節の結果より、高周波電磁界では高出力で稼働する産業用機器（誘電加熱やマイクロ波乾燥機など）、放送従事者で高いばく露レベルが生じたり、欧州ではリスクアセスメントが求められている状況であった。また、医療機器は患者は ICNIRP 等のガイドラインの対象外であるが、術者の漏洩電磁界ばく露について注意を払う必要がある機器も散見された。

参考文献

- [1] 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課、「身のまわりの電磁界」（2017 年（平成 29 年））
- [2] SCENIHR. “Final opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)” (2015). PDF available at http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf (2017-11-16 accessed)

- [3] 一般社団法人電気学会 電磁界の健康リスク分析調査専門委員会編. 電磁界の健康リスク分析の動向. 電気学会技術報告 第1437号 (A部門). 2018年.
- [4] EMF-NET (2008). Effects Of The Exposure To Electromagnetic Fields: From Science To Public Health And Safer Workplace.
- [5] Mantiplly ED, Kenneth, R. Pohl, Samuel W. Poppell, Murphy JA (1997). Summary of Measured Radiofrequency Electric and Magnetic Fields (10 kHz to 30 GHz) in the General and Work Environment. *Bioelectromagnetics*, 18(8), 563–577.
- [6] Hasson Mild K (1981). Radiofrequency electromagnetic fields in Swedish radio stations and tall FM/TV towers. *Bioelectromagnetics*, 2(1), 61–69.
- [7] Schubert M, Bornkessel C, Wuschek M, Schimdt P (2007). Exposure of the general public to digital broadcast transmitters compared to analogue ones. *Radiat Prot Dosim*, 124(1), 53–7.
- [8] Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L (2010). Assessment of general public exposure to LTE and RF sources present in an urban environment. *Bioelectromagnetics*, 31(7), 576–579.
- [9] Cardis E, Varsier N, Bowman JD, Deltour I, Figuerola J, Mann S, Moissonnier M, Taki M, Vecchia P, Villegas R, Vrijheid M, Wake K, Wiart J (2011). Estimation of RF energy absorbed in the brain from mobile phones in the Interphone Study. *Occup Environ Med*, 68(9), 686–69.
- [10] Perentos N, Iskra S, McKenzie R, Cosic I (2007). Characterization of pulsed ELF magnetic fields generated by GSM mobile phone handsets. *IFMBE Proceedings*, 14(1), 2706–2709.
- [11] Jokela K, Puranen L, Sihvonen A-P (2004). Assessment of the Magnetic Field Exposure Due to the Battery Current of Digital Mobile Phones. *Health Physics*, 86(1), 56–66.
- [12] Rowley JT, Joyner KH (2012). Comparative international analysis of radiofrequency exposure surveys of mobile communication radio base stations. *J Expos Sci Environ Epidemiol*, 22(3), 304–315.
- [13] Tell RA, Mantiplly ED (1980). Population exposure to VHF and UHF broadcast radiation in the United States. *Proc IEEE*, 68(1), 6–12.
- [14] Kühn S, Lott U, Kramer A, Kuster N. “Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Radiation from Wireless Devices in Home and Office Environment”, in Repacholi M, van Deventer E, Ravazzani P. (eds), “Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences”, World Health Organization (2007)
- [15] Schmid G, Lager D, Preiner P, Überbacher R, Cecil S (2007). Exposure caused by wireless technologies used for short-range indoor communication in homes and offices. *Radiat Prot Dosimetry*, 124(1), 58–62.
- [16] Dimbylow P, Khalid M, Mann S (2003). Assessment of specific energy absorption rate (SAR) in the head from a TETRA handset. *Physics in Medicine and Biology*, 48(23), 3911–3926.
- [17] Wainwright PR (2007). Computational modelling of temperature rises in the eye in the near field of radiofrequency sources at 380, 900 and 1800 MHz. *Physics in Medicine and Biology*, 52(12), 3335–3350.
- [18] Martínez-Búrdalo M, Martin A, Sanchis A, Villar R (2009). FDTD assessment of human exposure to electromagnetic fields from Wi-Fi and bluetooth devices in some operating situations. *Bioelectromagnetics*, 30(2), 142–151.
- [19] Kühn S, Cabot E, Christ A, Capstick M, Kuster N (2009). Assessment of the radio-frequency electromagnetic fields induced in the human body from mobile phones used with hands-free kits. *Physics in Medicine and Biology*, 54(18), 5493–5508.
- [20] Foster KR (2007). Radiofrequency exposure from wireless LANs utilizing Wi-Fi technology. *Health physics*, 92(3), 280–289.
- [21] Findlay RP, Dimbylow PJ (2010). SAR in a child voxel phantom from exposure to wireless computer networks (Wi-Fi). *Physics in medicine and biology*, 55(15), N405–N411.
- [22] Joseph W, Verloock L, Goeminne F, Vermeeren G, Martens L (2012). Assessment of RF exposures from emerging wireless communication technologies in different environments. *Health Physics*, 102(2), 161–172.
- [23] EPRI (Electric Power Research Institute) Technical Report “An Investigation of Radiofrequency Fields Associated with the Itron Smart Meter” (2010)
- [24] Tell RA, Sias GG, Vazquez A, Sahl J, Turman JP, Kavet RI, Mezei G (2012). Radiofrequency fields associated with the Itron smart meter. *Radiation protection dosimetry*, 151(1), 17–29.
- [25] Hasson Mild K, Alanko T, Decat G, Falsaperla R, Gryz K, Hietanen M, Karpowicz J, Rossi P, Sandström M (2009). Exposure of workers to electromagnetic fields. A review of open questions on exposure assessment techniques. *JOSE*, 15(1), 3–33.
- [26] EN 62233:2008 “Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure”
- [27] DIRECTIVE 2004/40/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)
- [28] IEEE C.95.6 https://www.sandiegocounty.gov/content/dam/sdc/pds/ceqa/Soitec-Documents/Final-EIR-Files/references/rtcref/ch9.0/RTCrefappx/2014-12-19_IEEE2002.pdf
- [29] Maccà I, Scapellato ML, Carrieri M, di Bisceglie AP, Saia B, Bartolucci GB (2008). Occupational exposure to electromagnetic fields in physiotherapy departments. *Radiation protection dosimetry*, 128(2), 180–190.
- [30] Martin CJ, McCallum HM, Heaton B (1990). An evaluation of radiofrequency exposure from therapeutic diathermy equipment in the light of current recommendations. *Clin Phys Physiol Meas*, 11(1), 53–63.
- [31] Shields N, O'Hare N, Gormley J (2004). An evaluation of safety guidelines to restrict exposure to stray radiofrequency radiation from short-wave diathermy units. *Physics in Medicine and Biology*, 49(13), 2999–3015.

- [32] Leitgeb N, Omerspahic A, Niedermayr F (2010). Exposure of non-target tissues in medical diathermy. *Bioelectromagnetics*, 31(1), 12-19.
- [33] De Marco M, Maggi S (2006). Evaluation of stray radiofrequency radiation emitted by electrosurgical devices. *Physics in medicine and biology*, 51(14), 3347-3358.
- [34] Liljestränd B, Sandström M, Mild KH (2003). RF exposure during use of electrosurgical units. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22(2-3), 127-132.
- [35] Fang Q (2010). Body EMF Absorption: A Design Issue for Implantable Medical Electronics. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 12(1), 7-11.
- [36] Scanlon WG, Evans NE, Burns JB (1999). FDTD analysis of close-coupled 418 MHz radiating devices for human biotelemetry. *Physics in Medicine and Biology*, 44(2), 335-345.
- [37] Shiba K, Nagato T, Tsuji T, Koshiji K (2008). Energy Transmission Transformer for a Wireless Capsule Endoscope: Analysis of Specific Absorption Rate and Current Density in Biological Tissue. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(7), 1864-1871.
- [38] Singh V, Qusba A, Roy A, Castro RA, McClure K, Dai R, Lazzi G (2009). Specific absorption rate and current densities in the human eye and head induced by the telemetry link of an epiretinal prosthesis. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 57(10), 3110-3118.
- [39] Xu L, Meng MH, Ren H, Chan Y (2009). Radiation characteristics of ingestible wireless devices in human intestine following radio frequency exposure at 430, 800, 1200, and 2400 MHz. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 57(8), 2418-2428.
- [40] O'Handley RC, Huang JK, Bono DC, Simon J (2008). Improved Wireless, Transcutaneous Power Transmission for In Vivo Applications. *IEEE Sensors Journal*, 8(1), 57-62.
- [41] Shiba K, Koshiji K, Tatsumi E, Taenaka Y, Takano H (2002). Analysis of specific absorption rate in biological tissue surrounding transcutaneous transformer for an artificial heart. *Journal of Artificial Organs*, 5(2), 91-96.
- [42] Zan P, Yang BH, Shao Y, Yan GZ, Liu H (2010). Electromagnetic effects on the biological tissue surrounding a transcutaneous transformer for an artificial anal sphincter system. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 11(12), 931-936.
- [43] Lolis MS, Goldberg DJ (2012). Radiofrequency in Cosmetic Dermatology: A Review. *Dermatologic Surgery*, 38(11), 1765-1776.
- [44] Karlström EF, Lundström R, Stensson O, Mild KH (2006). Therapeutic staff exposure to magnetic field pulses during TMS/rTMS treatments. *Bioelectromagnetics*, 27(2), 156-158.
- [45] ICNIRP (1998). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics*, 74(4), 494-522.
- [46] Lu M, Ueno S (2010). Dosimetry of typical transcranial magnetic stimulation devices. *Journal of Applied Physics*, 107(9), p09B316-1.
- [47] Capstick M, McRobbie D, Hand J, Christ A, Kühn S, Mild KH, Cabot E, Li Y, Melzer A, Papadaki A, Prüssmann K, Quest R, Rea M, Ryf S, Oberle M, Kuster N (2008). An investigation into occupational exposure to electromagnetic fields for personnel working with and around medical magnetic resonance imaging equipmen. Report on Project VT/2007/017. (<http://www.myesr.org/html/img/pool/VT2007017FinalReportv04.pdf>)
- [48] McRobbie DW (2012). Occupational exposure in MRI. *Br J Radiol*, 85(1012), 293-312.
- [49] Wilén J, De Vocht F (2011). Health complaints among nurses working near MRI scanners- A descriptive pilot study. *Eur J Radiol*, 80(2), 510-513.
- [50] Hansson Mild K, Hand J, Hietanen M, Gowland P, Karpowicz J, Keevil S, Lagroye I, van Rongen E, Scarfi MR, Wilén J (2013). Exposure classification of MRI workers in epidemiological studies. *Bioelectromagnetics*, 34(1), 81-84.
- [51] De Vocht F, Muller F, Engels H, Kromhout H (2009). Personal exposure to static and time varying magnetic fields during MRI system test procedures. *J Magn Reson Imaging*, 30(5), 1223-1228.
- [52] Karpowicz J, Gryz K, Politański P, Zmysłony M (2011). Exposure to static magnetic field and health hazards during the operation of magnetic resonance scanners. *Med Pr*, 62(3), 309-321.
- [53] Chiampi M, Zilberti L (2011). Induction of electric field in human bodies moving near MRI: an efficient BEM computational procedure. *IEEE Trans Biomed Eng*, 58(10), 2787-2793.
- [54] Wang W, Bottauscio O, Chiampi M, Giordano D, Zilberti L (2013). A procedure to estimate the electric field induced in human body exposed to unknown magnetic sources. *Radiat Prot Dosimetry*, 154(2), 157-163.
- [55] Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Goeminne F (2012). In situ magnetic field exposure and ICNIRP-based safety distances for electronic article surveillance systems. *Radiation Protection Dosimetry*, 148(4), 420-427.
- [56] Trulsson J, Anger G, Estenberg U (2007). Assessment of magnetic fields surrounding electronic article surveillance systems in Sweden. *Bioelectromagnetics*, 28(8), 664-666.
- [57] Martínez-Búrdalo M, Sanchis A, Martín A, Villar R (2010). Comparison of SAR and induced current densities in adults and children exposed to electromagnetic fields from electronic article surveillance devices. *Physics in Medicine and Biology*, 55(4), 1041-1055.
- [58] Reilly JP, Diamant AM, Comeaux J (2009). Dosimetry considerations for electrical stun devices. *Physics in Medicine and Biology*, 54(5), 1319-1335.
- [59] Kunz SN, Grove N, Fischer F (2012). Acute pathophysiological influences of conducted electrical weapons in humans: A

- review of current literature. *Forensic Science International*, 221(1), 1-4.
- [60] Leitgeb N, Niedermayr F, Neubauer R, Loos G (2010). Numerically simulated cardiac exposure to electric current densities induced by TASER X-26 pulses in adult men. *Physics in Medicine and Biology*, 55(20), 6187-6195.
- [61] Jennings C, Chang G, Bell K (1993). PV EMF (Photovoltaic Specialists Conference 1993). Conference Record of the Twenty Third IEEE, 1308-1313.
- [62] Jennings C, Chang GJ, Reyes AB, Whitaker CM (1997). AC photovoltaic module magnetic fields (Photovoltaic Specialists Conference 1997). Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE, 1097-1100.
- [63] Keikko T, Seesvuori R, Valkealahti S (2006). Exposure to magnetic field harmonics in the vicinity of indoor distribution substations. *Health Physics*, 91(6), 574-581.
- [64] Szabo J, Gabor Janossy G, Thuroczy G (2007). Survey of Residential 50 Hz EMF Exposure from Transformer Stations. *Bioelectromagnetics*, 28(1), 48-52.
- [65] Ilonen K, Markkanen A, Mezei G, Juutilainen J (2008). Indoor Transformer Stations as Predictors of Residential ELF Magnetic Field Exposure. *Bioelectromagnetics*, 29(3), 213-218.
- [66] Hareuveny R, Kandel S, Yitzhak NM, Kheifets L, Mezei G (2011). Exposure to 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations in Israel. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 21(4), 365-371.
- [67] Rössli M, Jenni D, Kheifets L, Mezei G (2011). Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. *Science of the Total Environment*, 409(18), 3364-3369.
- [68] Joseph W, Verloock L, Martens L (2009). General Public Exposure by ELF Fields of 150–36/11-kV Substations in Urban Environment. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24(2), 642-649.
- [69] Nordenson I, Hansson Mild K, Järventaus H, Hirvonen A, Sandström M, Wilén J, Blix N, Norppa H (2001). Chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes of train engine drivers. *Bioelectromagnetics*, 22(5), 306-315.
- [70] Rössli M, Lörtscher M, Egger M, Pfluger D, Schreier N, Lörtscher E, Locher P, Spoerri A, Minder C (2007). Leukaemia, brain tumours and exposure to extremely low frequency magnetic fields: cohort study of Swiss railway employees. *Occup Environ Med*, 64(8), 553-559.
- [71] Contessa GM, Falsaperla R, Brugaletta V, Rossi P (2010). Exposure to magnetic fields of railway engine drivers: a case study in Italy. *Radiat Prot Dosimetry*, 142(2-4), 160-167.
- [72] Halgamuge MN, Abeyrathne CD, Mendis P (2010). Measurement and analysis of electromagnetic fields from trams, trains and hybrid cars. *Radiation Protection Dosimetry*, 141(3), 255–268.
- [73] Anger G (2010). Low frequency magnetic fields in different modes of transport: a study based on measurements from the years 1993 to 2010. Swedish Radiation Safety Agency Rapportnummer, 20.
- [74] Vedholm K, Hamnerius Y (1997). Personal exposure from low frequency electromagnetic fields in automobiles. Abstract Book, Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, 8-13, 116-117.
- [75] Milham S, Hatfield JB, Tell R (1999). Magnetic fields from steel-belted radial tires: implications for epidemiologic studies. *Bioelectromagnetics*, 20(7), 440-445.
- [76] Tell RA, Sias G, Smith J, Sahl J, Kavet R (2013). ELF magnetic fields in electric and gasoline-powered vehicles. *Bioelectromagnetics*, 34(2), 156-161.
- [77] Matthes R (1992). Radiation emission from microwave ovens. *Journal of Radiological Protection*, 12(3), 167-172.
- [78] Alhekkail ZOI (2001). Electromagnetic radiation from microwave ovens. *Journal of Radiological Protection*, 21(3), 251-258.
- [79] Preece AW, Kaune W, Grainger P, Preece S, Golding J (1997). Magnetic fields from domestic appliances in the UK. *Physics in Medicine and Biology*, 42(1), 67-76.
- [80] Christ A, Guldimann R, Bühlmann B, Zefferer M, Bakker JF, van Rhoon GC, Kuster N (2012). Exposure of the Human Body to Professional and Domestic Induction Cooktops Compared to the Basic Restrictions. *Bioelectromagnetics*, 33(8), 695-705.
- [81] Leitgeb N, Cech R, Schrötner J, Lehofer P, Schmidpeter U, Rampetsreiter M (2008). Magnetic emission ranking of electrical appliances. A comprehensive market survey. *Radiation Protection Dosimetry*, 129(4), 439-445.
- [82] Hamnerius Y, Atefi S, Eslami A, Hopeson M, Khan A, Silva G, Estenberg J (2011). Distribution of ELF magnetic fields in Swedish dwellings. Proc. 2011 XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium, 1-4.
- [83] Alanko T, Puranen L, Hietanen M (2011). Assessment of exposure to intermediate frequency electric fields and contact currents from a plasma ball. *Bioelectromagnetics*, 32(8), 644-651.
- [84] EU OSHA: <https://osha.europa.eu/en/legislation/guidelines/non-binding-guide-good-practice-implementing-directive-201335eu>
- [85] European Commission (2014). Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields Volume 1 Practical Guide.
- [86] European Commission (2014). Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields Volume 2 Case Studies.
- [87] European Commission (2014). Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2013/35/EU Electromagnetic Fields Guide for SMEs.

5. 高周波電磁界の生体影響(発がん)

2011年5月にIARCは日本を含む世界14カ国から参加した専門家による検討会を開催し、携帯電話などの無線通信やTV・ラジオ放送などに用いられる電波を含む、無線周波(30kHz~300GHz)電磁界のヒトに対する発がん性評価を実施し、「ヒトに対して発がん性があるかも知れない(ある可能性がある)」(グループ2B)と分類したと発表した[1]。その詳細は、

- ①レーダーおよびマイクロ波への職業的ばく露、②TV・ラジオおよび基地局など無線通信用の電波の環境ばく露、③携帯電話の使用に関連した個人のばく露に関する研究文献評価を実施。
- 放送局や携帯電話基地局からの電波の環境ばく露については、がんを発症する証拠は「不適當」。
- 携帯電話使用に関連した個人ばく露については、検討された文献の1つに、10年以上の携帯電話の使用にともなう神経膠腫などのリスク上昇は全体的には見られないが、一部、携帯電話の累積使用時間が上位10%の人たちだけにおいて、神経膠腫のリスク上昇(*)が示唆されると報告したものがあった。(但し、文献の著者らも、バイアス及び誤差の可能性を認めており、「全体としてリスク上昇は観察されなかった」と結論付けている)
- 聴神経腫についてもリスク上昇を示した研究文献を考慮し、神経膠腫や聴神経腫を発症する証拠は「限定的」、その他のがんを発症する証拠は「不適當」と評価し、総合的に「ヒトにおける限定的な証拠がある」と結論づけ。
- 実験動物における証拠については、一部がん発症率の増加を示す文献があったことから、がんを発症する証拠は「限定的」と評価。
- これら検討結果からIARCは、無線周波電磁界が「ヒトに対して発がん性があるかも知れない(ある可能性がある)」(グループ2B)と分類。

(*)「携帯電話と発がんについての国立がん研究センターの見解(2011.6.28)」によれば、原発性脳腫瘍の発生頻度は欧米や日本のデータから人口10万人当たり14~20人と報告され、そのうち約20~30%が神経膠腫であるとしている。よって、神経膠腫の発症率は10万人中6人と考えられる。リスク上昇の報告によると、上昇は40%とされており、神経膠腫の発症率を10万人中約6人とすれば、発症率は10万人で8.4人という試算になる。

である。なお、上記は一般社団法人電波産業会 電磁環境委員会「くらしの中の電波」(<https://www.arib-emf.org/01denpa/denpa04-03.html>)より記載を引用した[2]。

IARC の発表に対する各国の反応は下記のとおりである（表 5.1）。

この IARC 分類以降に国内で高周波電磁界の健康影響調査に対する体系的とりまとめが行われていなかったことから、本章では高周波電磁波の生体影響（発がん）について主に国際機関や国内行政機関の発行文書を参考に、情報整理を行う。

表 5.1 IARC の発表に対する各国の反応。

発表主体	コメント	付言
英国保健防護庁 (HPA)	今回の IARC の分類は HPA の助言と一貫している。つまり、無線周波電磁界ばく露によるがんのリスクについて科学的証拠は一つもないが、可能性は残る。	HPA の独立諮問委員会は無線周波電磁界の健康影響に関する全証拠をレビュー、2012 年公表予定。
ドイツ連邦放射線防護局 (BfS)	今回の IARC の分類について紹介した後ドイツの移動体通信の研究プログラムの結果に言及。（長期的影響と子供への影響に可能性を排除仕切れていない。）	WHO の 5 つの国際科学協力センターの一つとして移動体通信による健康影響に関する研究を推進。
米国国立がん研究所 (NCI)	今回の IARC の分類の基になる携帯電話の電波ばく露によるがんのリスク上昇データについて、研究所はこの知見は決定性に欠けると判断した。	国立環境保健科学研究所 (NIEHS) の国家毒性プログラム (NTP) が携帯電話の電波ばく露に関する大規模な研究を推進。

総務省 中国総合通信局「携帯電話の安全性に関する FAQ」

http://www.soumu.go.jp/soutsu/chugoku/fieldinfo/denpa_kijun04.html より引用[3]。

5.1 WHO の見解

WHO は 2014 年 10 月に WHO ファクトシート 193 「携帯電話」を改訂し、「携帯電話が潜在的な健康リスクをもたらすかどうかを評価するために、これまで 20 年以上にわたって多数の研究が行われてきました。今日まで、携帯電話使用を原因とするいかなる健康影響も確立されていません。」という見解を示している [4]。WHO ファクトシート 193 の要点は下記のようにまとめられる（表 5.2）。

表 5.2 WHO ファクトシート 193 「携帯電話」の要点。

<p>【ばく露レベル】</p> <ul style="list-style-type: none"> 携帯電話の高周波電磁界の出力は身体から 30-40cm 離して携帯電話を使用している状態の人では、頭部に向けて端末機を保持している人より、RF ばく露は非常に低くなる。 通話中に携帯電話を頭部や身体から離しておける“ハンズフリー”機器を利用することに加えて、通話の回数と長さを制限することによってもばく露は低減可能。 受信状態の良好な地域内で電話を使用した場合も、より低い電力での送信が可能になるためにばく露が小さくなる。 RF 電磁界ばく露低減用に売られている機器の使用に効果があることは示されていない
<p>【短期的影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 携帯電話に利用されている周波数においては、エネルギーの大部分は皮膚やその他の表面的組織に吸収され、その結果、脳またはその他の器官での温度上昇は無視しうる程度になる。

<ul style="list-style-type: none"> 多くの研究が、ボランティアの脳の電氣的活動、認知機能、睡眠、心拍数や血圧に RF 電磁界が及ぼす影響を調べてきたが、組織に熱が発生するよりも低いレベルの RF 電磁界ばく露による健康への悪影響について、研究による一貫性のある証拠は示唆されていない。 電磁界ばく露と自己申告の身体症状または“電磁過敏症”との因果関係について、研究による裏付けは得られていない。
<p>【長期的影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 動物研究の結果は、RF 電磁界の長期的ばく露でのがんリスク上昇がないことを一貫して示している。 後ろ向き症例対照研究である INTERPHONE の国際的プール分析によれば、10 年以上の携帯電話使用に伴う神経膠腫および髄膜腫のリスク上昇は見られなかった。使用期間の増大に伴うリスク上昇の一貫した傾向はないが、自己申告された携帯電話の累積使用時間が上位 10%に入った人々において、神経膠腫のリスク上昇を示唆するものがあつたが、研究者らは、バイアスと誤差があるために、これらの結論の強固さは限定的であり、因果的な解釈はできないと結論している。 主としてこれらのデータに基づき、国際がん研究機関(IARC)は、無線周波電磁界は「ヒトに対して発がん性があるかも知れない（ある可能性がある）」(グループ 2B) に分類したが、このカテゴリーは、因果関係は信頼できると考えられるが、偶然、バイアス、または交絡因子を根拠ある確信を持って排除できない場合に用いられる。 脳腫瘍のリスク上昇は確立されなかったものの、携帯電話使用の増加と 15 年より長い期間の携帯電話使用についてのデータがないことは、携帯電話使用と脳腫瘍リスクのさらなる研究が必要であることを正当化している。小児および思春期層における潜在的な健康影響を調査するいくつかの研究が進行中である。

電磁界情報センター「世界保健 (WHO) ファクトシート 他」http://www.jeic-emf.jp/assets/files/pdf/faq/Factsheet_No193.pdf より [4]。

5.2 SCENIHR の見解

欧州委員会の「新興および新規に同定される健康リスクに関する科学委員会 (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks: SCENIHR)」は、2009 年および 2015 年に意見書にて各周波数帯の電磁界ばく露に関するリスク評価結果に基づく見解を公表した [5]。意見書は主にばく露源、作用メカニズム、健康影響評価、研究勧告、意見より構成されるが、このうち 2015 年意見書についてはばく露源については第 3 章にて紹介、作用メカニズムは 2 章と同等であるため、ここでは健康影響評価について記述する (表 5.3)。

表 5.3 SCENIHR 意見書 (2015) の要点。

<p>【健康影響評価：高周波電磁界について (発がん部分のみ)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 全体として、携帯電話の高周波電磁界ばく露に関する疫学研究は、脳腫瘍のリスク増加を示していない。さらに、それらは頭頸部領域の他の癌のリスク増加を示すものでない。 コホートおよび発がん発生時間の傾向研究 (incidence time trend studies) の結果は神経膠腫のリスク増加を支持していないが、聴覚神経膠腫との関連の可能性は結論づいていない (the possibility of an association with acoustic neuroma remains open)。 疫学的研究は、小児がんを含む他の悪性疾患のリスク増加を示していない。

5.3 総務省、環境省からの文書

高周波電磁界の発がん性の見解について、国内では総務省及び環境省の報告書[7][8]や一般向け文書にて見解が表明されている（表 5.4）。

表 5.4 総務省及び環境省の見解の要点。

<p>【総務省の見解】</p> <p>総務省では携帯電話等の高周波電磁界ばく露の長期的影響の存在を示す確かな科学的証拠は発見されていないと表明している。</p> <p>詳細は下記のとおりである。</p> <p>=====</p> <p>【総務省「電波利用ホームページ」 https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/ele/pr/index.htm?print</p> <p>「電波と安全な暮らし」8 ページより】 [2]</p> <p>「わが国をはじめとして世界中で行われてきた研究では、電波防護指針に示される基準値に満たない電波が健康に悪影響を及ぼすという証拠は見つかっていません。このため、WHO をはじめ世界各国は、このような基準値を満足すれば安全上の問題はないとの認識を表明しています。しかし、の一方で研究結果が十分に得られていない部分もあり、健康リスクに対してより正しい判断を下すため、WHO を中心として世界中で研究が進められています。</p> <p>総務省では、電波による健康への影響について評価を行い、電波防護指針の根拠となる科学的データの信頼性の向上を図るため、平成 9 年度より 10 年間、生体電磁環境研究推進委員会を開催しました。</p> <p>これまで、携帯電話端末などの電波について、</p> <ul style="list-style-type: none">• 血液一脳関門に及ぼす影響• 記憶機能に及ぼす影響脳腫瘍の発生に及ぼす影響（特に長期間のばく露による影響）• 脳微小循環動態に及ぼす影響• 睡眠に及ぼす影響• 疫学調査 <p>を調べ、いずれも影響は認められないという結果を得ています。</p> <p>その結果、</p> <ul style="list-style-type: none">• 携帯電話基地局及び携帯電話からの電波が人体に影響を及ぼさないことを示している他、過去に影響があると報告された結果について生物・医学／工学的な手法を改善した実験においては、いずれも影響がないという結果を得ている。• 現時点では、電波防護指針を超えない強さの電波により、比熱効果を含めて健康に悪影響を及ぼすという確固たる証拠は認められないと考える。 <p>などを内容とする報告書がとりまとめられ、平成 19 年 4 月に公表されました。</p> <p>また、平成 20 年 6 月に生体電磁環境に関する検討会を設置し、電波の安全性に関する研究を推進するための低減や、電波防護指針の評価、検証等を行っております。平成 27 年 6 月には、電波の安全性に関する現時点での知検討をとりまとめ、第一次報告書として公表しました。同報告書では、電波の人体への影響について、長期的影響の存在を示す確かな科学的証拠は発見されていない等とされています。」</p>
<p>【環境省の見解】</p> <p>環境省では WHO のファクトシートを引用し、高周波電磁界ばく露の発がん性について科学的根拠は得られていないと表明している。</p>

5.4 電磁界の健康リスク分析調査専門委員会(電気学会)の報告

一般社団法人 電気学会の「電磁界の健康リスク分析調査専門委員会(委員長:大久保千代次氏)」では SCENIHR 意見書を元に下記のような見解を記している[7]。

「RF 電磁界の健康影響に関しては、日本を含む 13 カ国が参加した国際症例対照研究 (INTERPHONE Study) 以降の最近のコホート研究と経時的発生傾向に関する研究に基づけば、神経膠腫に関する証拠の確からしさはより限定的なものとなってきた。なお、聴神経鞘腫との関連の可能性については、注目すべき研究の進展は見られていない。

RF 電磁界を用いた動物実験ではこれまでに発がん試験が行われてきている。論文において、ばく露装置について明確に論文で説明されていること、またドシメトリについて明確に記載されていることが適切な研究論文として判断される。発がん試験のうちのいくつかの研究では、これらが明確でなく、必ずしも適切な RF 電磁界ばく露が行われていないことが指摘されている。近年の実験条件が適切に計画された動物実験に限れば、ほとんどの研究において RF 電磁界ばく露と脳腫瘍との関連性が認められていない。

また、細胞研究においては、遺伝毒性又は非遺伝毒性指標に関連した多くの研究が報告されている。そのうち、一部の細胞研究においては、指針値以上の強い電波を照射した実験条件下における DNA 鎖の不安定化や紡錘体の変化が報告されており、今後の検証・分析が望まれる。しかしながら、ほとんどの研究結果において、国際ガイドラインの指針値以下の RF 電磁界ばく露においては、影響は観察されないと結論が導出されている。」

5.5 その他の機関の見解

ここでは、近年(2019年3月現在より2年程度前)に上記機関以外から提出された高周波電磁界の発がんに関する見解を示す。

スウェーデン放射線安全庁(SSM)が、「電磁界と健康リスクについての最近の研究 電磁界に関する科学評議会からの第12次報告書」を公表し、「新たな健康リスクは同定されていません。携帯電話使用が脳腫瘍を生じるかどうかは、過去2年間において、主に時間的なトレンド研究を用いて対処されています。その結果は完全には一致していませんが、関連性はないというのが主なポイントです。幾つかの細胞研究及び動物研究は、電磁界は低いばく露レベルでも酸化ストレスを生じるかも知れない、ということを示しています。このことが、ヒトの健康への直接的な影響にどんな関連があるかは不明です。印象的な結果としては、

(携帯電話使用についての) 他の変数よりも、電波ばく露が記憶機能とより強く関連していることを示した研究が一部にありました。」と結論付けている[8][9]。

オーストラリア放射線防護・原子力安全庁 (ARPANSA) が主導した研究では、オーストラリアにおける携帯電話の使用と脳のがんの発生率とのつながりは認められていない。ここでは、1982-2013 年に診断された、神経膠腫、神経膠芽腫及び髄膜腫を含む、成人の異なるタイプの脳腫瘍の発生率について、症例 16825 人の脳のがんの診断をオーストラリアの携帯電話加入の増加と比較した結果、

- 全体的な脳腫瘍の発生率は、この期間を通じて安定を維持しており、オーストラリアでの携帯電話使用の増加と比較したところ、増加は認められない。
- 1993-2002 年に神経膠芽腫の増加があったが、これは磁気共鳴画像撮影 (MRI) 技術における進展を含む、良い診断技法によるものとされた。
- 携帯電話使用は 2003 年以降に急速に増加したが、それ以降にどのタイプの脳腫瘍の増加もない。
- 2003 年以降、携帯電話を使用する際に最もばく露される部位である側頭葉の脳腫瘍の増加もない。

との結論を出している[10]-[12]。

5.6 高周波電磁界の生体影響(発がん)のまとめ

WHO、SCENIHR、国内外の公的機関、学術団体等からの見解において、高周波電磁界の発がん性 (主に携帯電話の使用による脳腫瘍) を認める記載はない。

参考文献

- [1] International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC CLASSIFIES RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AS POSSIBLY CARCINOGENIC TO HUMANS. 2011. Press release No.208.
- [2] 総務省、「電波と安全な暮らし」(2015年(平成27年))
- [3] 総務省 中国総合通信局「携帯電話の安全性に関するFAQ」
http://www.soumu.go.jp/soutsu/chugoku/fieldinfo/denpa_kijun04.html
- [4] World Health Organization, Fact Sheet 193 「携帯電話」. 2014
- [5] SCENIHR. “Final opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)” (2015). PDF available at http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf (2017-11-16 accessed)
- [6] 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課、「身のまわりの電磁界」(2017年(平成29年))
- [7] 一般社団法人電気学会 電磁界の健康リスク分析調査専門委員会編. 電磁界の健康リスク分析の動向. 電気学会技術報告 第1437号 (A部門). 2018年.
- [8] Strål säkerhets myndigheten. 2018:09 Recent Research on EMF and Health Risk, Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields, 2017 <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/radiation-protection/2018/201809/>
- [9] スウェーデン放射線安全庁 (SSM) 「電磁界と健康リスクについての最近の研究 電磁界に関する科学評議会から

- の第 12 次報告書」公表。 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6223.html
- [10] Karipidis K, Elwood M, Benke G, Sanagou M, Tjong L, Croft RJ. Mobile phone use and incidence of brain tumour histological types, grading or anatomical location: a population-based ecological study. *BMJ Open*. 2018 Dec 9;8(12):e024489.
- [11] Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. New Australian study finds no link between mobile phone use and brain cancers. <https://www.arpsa.gov.au/news/new-australian-study-finds-no-link-between-mobile-phone-use-and-brain-cancers>
- [12] オーストラリア放射線防護・原子力安全庁（ARPANSA）が行った携帯電話と脳腫瘍罹患率に関する研究論文を発表。 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6557.html

6 高周波電磁界の生体影響(発がん以外)

高周波電磁界ばく露による発がん以外の生体影響についても社会的関心が高い。本章では、発がん以外の高周波電磁界の生体影響について、いわゆる電磁波過敏症及びその他生体影響の見解について、国際機関や国内行政機関の発行文書等を参考に情報整理を行う。

6.1 いわゆる電磁過敏症

電磁過敏症は非特異的症状が特徴であり、悩まされている人々はそれを電磁界へのばく露が原因と考えている[1][2]。最も一般的な症状は、皮膚症状（発赤、チクチク感、灼熱感）、神経衰弱性および自律神経性の症状（疲労、疲労感、集中困難、めまい、吐き気、動悸、消化不良）などである。このような症状は、一般的に「電磁過敏症（EHS：Electromagnetic Hypersensitivity）」または「電磁波過敏症」とも呼ばれているが、「電磁過敏症」は、正式な診断名称ではなく、あくまで呼称にすぎない。

6.1.1 WHO の見解

WHO は 2005 年 12 月に WHO ファクトシート 296 「電磁過敏症」を発行し、「EHS には明確な診断基準がなく、EHS の症状を電磁界ばく露と結び付ける科学的根拠はありません。その上、EHS は医学的診断でもなければ、単一の医学的問題を表しているかどうか不明です。」という見解を示している [1]。WHO ファクトシート 296 の要点は下記のようにまとめられる（表 6.1）。

表 6.1 WHO ファクトシート 296 「電磁過敏症」の要点。

<p>【EHS について】</p> <ul style="list-style-type: none">• EHS の症状については、様々な非特異的症状が特徴で最も一般的な症状は、皮膚症状（発赤、チクチク感、灼熱感）、神経衰弱性および自律神経性の症状（疲労、疲労感、集中困難、めまい、吐き気、動悸、消化不良）など。症状全体は、承認されているどの症候群の一部ではない。• EHS は、多重化学物質過敏状態（化学物質過敏症、MCS）、即ち化学物質への低レベル環境ばく露に関する障害、と類似する。EHS も MCS も、明らかな毒性学的または生理学的根拠、または独立した検証がない一連の非特異的症状が特徴である。
<p>【有症率について】</p> <ul style="list-style-type: none">• 一般の人々における EHS の有症率の推定値は非常に幅広くばらついている。• また、EHS の有症率や報告される症状には地理的なばらつきもある。報告された EHS の有症率は、英国、オーストリア、フランスよりもスウェーデン、ドイツ、デンマークで高くなっており、欧州の他の国に比べ、スカンジナビア諸国では VDU 関連症状の有症率が高く、皮膚症状に比較的多く関連している。EHS の人々が報告する症状に似た症状は一般の人々においてよく見られる。
<p>【EHS に関する研究】</p>

- EHS の人々を、その人が自分の症状の原因と考えるものと同様の電磁界にばく露させる研究では、EHS でない人々に比べ、EHS の人々はより正確に電磁界ばく露を検知することはなかった。また、十分に制御され、ダブルブラインド法により実施された研究からは症状が電磁界ばく露と関連しないことが示された。
- 一部の EHS の人々が体験する症状は、電磁界とは無関係の環境因子により起きている可能性が指摘されている。例えば、蛍光灯の「ちらつき」、VDUs の眩しきや他の視覚的問題、人間工学的な配慮を欠いたコンピュータ作業場所の設計などが考えられる。その他に関与するかも知れない要因として、屋内空気質の悪さおよび職場や生活環境でのストレスがある。
- これらの症状は、電磁界ばく露そのものではなく、以前から存在する精神医学的状态、および電磁界の健康影響を恐れる結果としてのストレス反応によるものかも知れないという示唆もある。

【結論及び方針】

- EHS には明確な診断基準がなく、EHS の症状を電磁界ばく露と結び付ける科学的根拠はない。その上、EHS は医学的診断でもなければ、単一の医学的問題を表しているかどうか不明。
- 臨床医に対し、影響を受けている人の治療は、職場や家庭の電磁界の低減や除去を求める認知上の要求ではなく、健康症状と臨床像に主眼を置くべきと提言。
- 長く続く症状および重い障害がある EHS の人々に対しての治療は、第一に症状および機能的障害の軽減に向けられるべきです。医療専門家（症状の医学・心理学的側面に対処する）と衛生学専門家（患者に関連する健康影響を起こすことが既知の環境要因を同定し、必要であればそれを制御する）は密接に協力しながら行うのがよい。
- 治療の目標を、実効のある医師－患者関係の確立、状況克服の方策を立てる手助け、職場復帰と通常の社会生活を送れるよう患者を励ますことにおくべき。
- EHS の人々に対し、専門家による治療とは別に、自助グループは EHS の人々にとって有益な手段になると提言。
- 政府に対し、電磁界の健康影響の可能性に関する情報を、EHS の人々、医療専門家、雇用主に向けて、バランスよく、適切に提供すべきであると提言。このような情報の中には、EHS と電磁界ばく露との結びつきに関する科学的根拠は現在、存在しないという明確な声明を含めるべきである。
- 研究者に対し、いくつかの研究は、EHS の人々における一定の生理学的反応が正常範囲を逸脱する傾向があることから、特に、中枢神経系の過剰反応および自律神経系の失調は臨床検査によって追跡し、その結果を治療のための情報として用いる必要があると提言。

電磁界情報センター「世界保健機関（WHO）ファクトシート 他」http://www.jeic-emf.jp/assets/files/pdf/faq/Factsheet_No296.pdf より [1]。

6.1.2 WHO 以外の公的機関の見解

WHO 以外の公的機関からは、

- 欧州科学技術研究協力機構（COST） [3]
- 英国保健防護庁に対する諮問機関「非電離放射線に関する諮問グループ」 [4]
- スイス連邦環境局 [5]
- スウェーデン労働生活・社会研究評議会 [6]
- ノルウェー公衆衛生研究所 [7]

- 欧州委員会 保健・食品安全総局 [8]

より電磁過敏症に対する見解が出されているが、いずれも EHS の症状を電磁界ばく露と結び付ける科学的根拠がない旨が述べられている。詳細については環境省の身のまわりの電磁界を参照にされたい[9]

6.2 「電磁過敏症」以外の生体影響(発がん以外)

SCENIHR 意見書において発がん以外の高周波電磁波の影響について見解がまとめられている [10]。

神経生理学的な研究に関しては、主に携帯電話端末からの高周波電磁界による覚醒及び睡眠時の脳波への影響について多くの研究が実施されており、最近の研究においても、同様の結論を述べている報告が多く見られる。しかしながら、この脳波の変化は、いずれも通常の生理的変動の範囲内であり、これによる健康影響は確認されていない。また、人間の認知機能への高周波電磁界ばく露の影響に関しては、現時点では確かな科学的証拠として認められる段階にない。

動物実験研究の近年の論文においては、いくつかの陽性結果も報告されているが、それらの結果については、既存の結果との不一致が見られること、また多くの研究においては国際ガイドラインよりも高いレベルのばく露による結果であることを考慮すると、現時点では確かな科学的証拠として認められる段階がなく、今後の更なる検証が必要である。

細胞実験研究では、神経系機能への影響、あるいは神経系疾患の進行に関する影響評価に対して有用となるデータを示す研究は報告されていない。

以上より、神経系への影響に関して、高周波電磁界ばく露に関連する神経学的な疾患について、現時点で確かな科学的証拠は見つかっていないと考えられる。

携帯電話等からの高周波電磁界ばく露が男性の生殖機能に対する影響に関して多くの研究が行われてきた。生体外で精子又は精液に対して RF 電磁界ばく露を行った研究においては、検討した多くの検査項目のうちの一部項目の陽性の結果を報告しているものもある。しかし、これらの研究は、ばく露の方法論、また統計処理の方法について問題があると考えられ、再現性等に関して検証が必要である。また、高周波電磁界ばく露による精子の形態異常・運動性の異常も報告されているが、高周波電磁界以外の要因による影響の可能性を排除できていない可能性もあり、結果の検証が必要である。したがって、近年の研究を総合すると注目すべき進展は見られていない。

その他、小児の発達、不妊、胎児への影響に関する研究についても、いくつかの陽性の結

果が報告されている。しかし、これらの結果については、疫学研究における交絡因子や想起バイアスによる影響を排除できているかなど、研究手法に関する検証が必要であり、現時点で確かな科学的証拠としては認められない。

これらを総合的に考慮して、長期的影響の可能性に関する現時点のリスク評価について、これまでの国内外の研究機関等による長期間の研究によっても、高周波電磁界の影響についての因果関係を示す確かな科学的証拠は発見されていないと認識することが妥当であると判断する。なお、影響の存在可能性を示す結果が一部の研究論文で報告されているが、これらは十分な再現性を確認できていない等の問題点が存在するため、引き続き、適切な手法による検証が必要である。

参考文献

- [1] World Health Organization, Fact Sheet 296 「電磁過敏症」. 2005
- [2] 宮城浩明、「電磁過敏症」とは何か？（2015）保健医療科学. 64(6) : p.563-573.
- [3] 欧州科学技術研究協力機構（COST）アクション BM0704 「新興の電磁界技術と健康リスク管理」、ファクトシート「電磁界を原因と考える本態性環境不耐症（IEI-EMF）または“電磁過敏症”」（Factsheet. Idiopathic Environmental Intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EMF) or 'electromagnetic hypersensitivity'）（平成 23（2011）年）
http://www.emf.ethz.ch/fileadmin/redaktion/public/downloads/3_angebot/forschung/COST/IEI-factsheet301111.pdf
- [4] 非電離放射線に関する諮問グループ、「無線周波電磁界からの健康影響」（Advisory Group on Non-Ionising Radiation. Health Effects from Radiofrequency Electromagnetic Fields）（2012 年（平成 24 年））
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/333080/RCE-20_Health_Effects_RF_Electromagnetic_fields.pdf より。
- [5] スイス連邦環境局、「電磁過敏症：科学的研究の評価」（Bundesamt für Umwelt. Elektromagnetische Hypersensibilität. Bewertung von wissenschaftlichen Studien）（2012 年（平成 24 年））
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01669/index.html?lang=de> より。
- [6] スウェーデン労働生活・社会研究評議会、「無線周波電磁界と病気及び不健康のリスク：過去 10 年間の研究」（Swedish Council for Working Life and Social Research. Radiofrequency electromagnetic fields and risk of disease and ill health - Research during the last ten years）（2012 年（平成 24 年））<http://forte.se/en/wp-content/uploads/sites/2/2015/11/10-y-rf-report.pdf> より。
- [7] ノルウェー公衆衛生研究所、「弱い高周波電磁界：健康リスクの評価及び管理の実践」（Folkehelseinstituttet. Svake høyfrekvente elektromagnetiske felt - en vurdering av helserisiko og forvaltningspraksis）（2012 年（平成 24 年））
http://www.fhi.no/eway/default.aspx?pid=239&trg=Content_6503&Main_6157=6246:0:25,5498&MainContent_6246=6503:0:25,5508&Content_6503=6259:100903:25,5508:0:6250:110::0:0 より。
- [8] 欧州委員会 保健・食品安全総局、「電磁界ばく露は健康を危険にさらすのでしょうか？」（European Commission. Directorate General for Health and Food Safety (DG SANTE). Does electromagnetic field exposure endanger health?）（2015 年（平成 27 年））http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/docs/citizens_emf_en.pdf より。
- [9] 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課、「身のまわりの電磁界」（2017 年（平成 29 年））
- [10] SCENIHR. “Final opinion on Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)” (2015). PDF available at http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_041.pdf (2017-11-16 accessed)

7. 海外の研究動向

本章では、2009年以降に報告された電磁波の生体影響に関する国際プロジェクトについてその内容を整理した。調査対象は2009年以降に報告された高周波のヒト健康影響に関する国際的な（複数国で実施する）プロジェクトを対象とし、目的、研究の規模、対象、研究の方法、資金提供元、エンドポイントの設定、結果等について、情報を整理した。

表7.1に2009年以降に報告された高周波のヒト健康影響に関する国際的プロジェクトを、図7.1に各研究プロジェクトの関係性を示す。

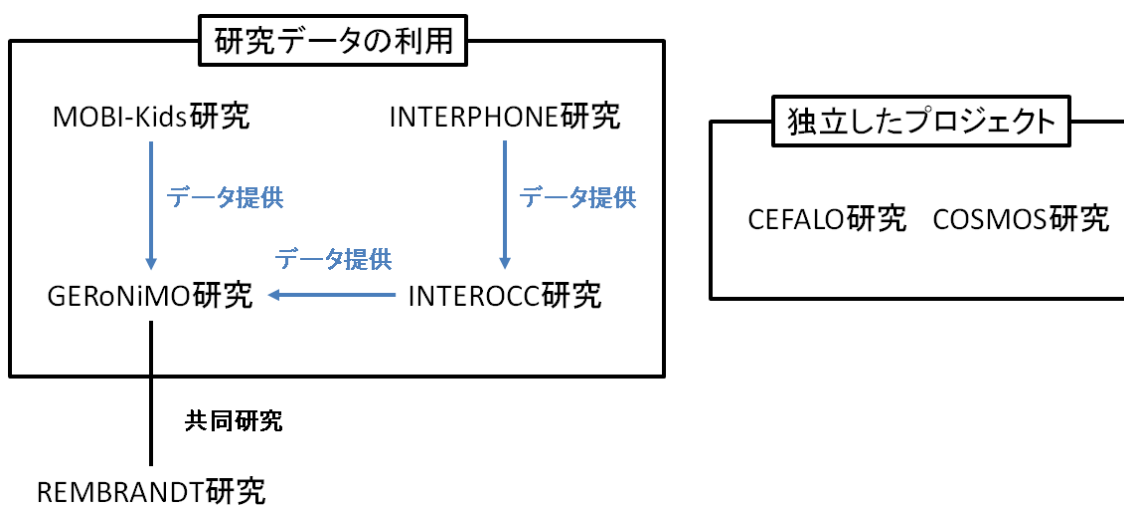


図 7.1 各研究プロジェクトの関係性

表 7.1 2009 年以降に報告された高周波のヒト健康影響に関する国際的プロジェクト。

No.	プロジェクト名	実施年	対象国	研究タイプ	研究助成	キーワード	最終報告公表の有無
[1]	INTERPHONE	2000-2010	英国 (2 地域)、スウェーデン、フィンランド、デンマーク、ノルウェー、ドイツ、フランス、イタリア、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、イスラエル、日本	症例対照	EU FP5、国際対がん連合 (UICC) ^(a)	携帯電話 脳腫瘍	有
[2]	CEFALO	2004-2008	スウェーデン、デンマーク、ノルウェー、スイス	症例対照	スイス連邦公衆衛生総局、ほか各国の公的機関	小児・青年期 携帯電話 脳腫瘍	有
[3]	INTEROCC ^(b)	2007-2010	オーストラリア、カナダ、フランス、ドイツ、イスラエル、ニュージーランド、英国	症例対照	米国国立衛生研究所	職業ばく露 脳腫瘍	一部有
[4]	COSMOS	2007-	デンマーク、フィンランド、スウェーデン、オランダ、英国、フランス	コホート	IARC、各国の公的機関・研究資金、産業界	携帯電話 腫瘍、心血管疾患、神経性疾患、頭痛、不眠等	無
[5]	MOBI-Kids	2009-2016	オーストラリア、オーストリア、カナダ、フランス、ドイツ、ギリシャ、インド、イスラエル、イタリア、ニュージーランド、スペイン、オランダ、韓国、日本	症例対照	EU FP7、総務省、ほか各国の公的機関	携帯電話 小児・若年層 脳腫瘍	無
[6]	REMBRANDT	2014-2017	スペイン、オランダ、スイス	コホート	欧州地方開発基金 (FEDER)、ほか研究機関	携帯電話 小児・青年期 脳発達	無
[7]	GERoNiMO	2014-2018	スペイン、フランス、デンマーク、イタリア、フィンランド、イスラエル、スロベニア、スイス、ドイツ、ノルウェー、英国、オランダ、ベルギー	コホート 症例対照	EU FP5、ほか各国の公的機関	携帯電話 職業ばく露 小児・青年期・若年層 がん、神経変性疾患、行動、生殖、老化	無

7.1 INTERPHONE

INTERPHONE 研究は、世界保健機関 (WHO) の専門機関である国際がん研究機関 (IARC) が調整して実施した疫学研究である[1]。1990 年代後半に、いくつかの専門家グループが、携帯電話使用が及ぼす健康への悪影響の可能性について指摘し、研究の必要性を勧告したことを受け、IARC は携帯電話の使用が腫瘍のリスクを上昇させるかどうかを検討するために、INTERPHONE 研究を発足させた。

INTERPHONE 研究には、日本、英国 (2 地域)、スウェーデン、フィンランド、デンマーク、ノルウェー、ドイツ、フランス、イタリア、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、イスラエルの 13 カ国が調査に参加し、2000 年～2010 年にわたって実施された。研究に割り当てられた資金総額は約 1,920 万ユーロ (約 24 億円) であり、大部分は公的機関によって賄われたが、資金総額のうち 550 万ユーロ (約 7 億円) は産業界から寄付されたものである。

参加国は共通のプロトコルを定義し、各国に固有の事情を考慮して症例対象研究を実施した。調査では、携帯電話を使用する際に電磁波にばく露される頭頸部が注目され、4 種類の腫瘍 (脳腫瘍：神経膠腫および髄膜腫、聴神経鞘腫、耳下腺腫瘍) について、腫瘍の発生状況と、携帯電話の使用年数・頻度の関連性が検討された。本症例対象研究では 30～59 歳を対象とし、症例群は、神経膠腫患者 2,765 人、髄膜腫患者 2,425 人、聴神経鞘腫患者 1,121 人、耳下腺腫瘍患者 109 人であり、対照群は 7,658 人である。携帯電話の使用歴は、対面によるインタビューによって調査が実施された。

研究の結果として、携帯電話を定常的に使用したことがある者に関しては、オッズ比 (OR) の低下が認められ、神経膠腫 [OR=0.81 ; 95%信頼区間 (CI) =0.70-0.94] および、髄膜腫 [OR=0.79 ; 95%CI=0.68-0.91]、聴神経鞘腫 [OR=0.85 ; 95%CI=0.69-1.04] であった。聴神経腫については、累積使用時間 1,640 時間以上の群で、リスクの増加が報告されたが、バイアス及び誤差があるため、これを因果関係と解釈できないと結論付けられた。

INTERPHONE 研究の全般的な結論としては、携帯電話の使用と、神経膠腫、髄膜腫、および聴神経鞘腫の発症リスクの関連性は明らかではないとしている⁽¹⁾。

⁽¹⁾ 耳下腺腫瘍については、稀な疾患であるため、INTERPHONE 研究の途中で対象から除外された。

7.2 CEFALO

CEFALO 研究は、携帯電話ばく露により生じる可能性のある健康影響に対し、小児・青年は成人よりも脆弱かも知れないとの仮説が提唱されていることを受け、小児期・青年期の脳腫瘍と携帯電話使用の関連性を調査するために実施された症例対照研究である[2]。

CEFALO 研究には、デンマーク、スウェーデン、ノルウェーおよびスイスの4か国が参加し、研究資金はスイス連邦公衆衛生総局 (Swiss Federal Office of Public Health) ほか、各国の公的機関によって賄われた。研究規模は、2004～2008年に脳腫瘍と診断された7-19歳の脳腫瘍患者352名(参加率83%)および、住民登録から年齢・性別・地域でマッチングした対照群646名(参加率71%)である。携帯電話の使用頻度に関する情報は、個別インタビューおよび通信事業者から収集された。

解析の結果として、携帯電話の定常的使用者は、非使用者と比較して、脳腫瘍と診断された可能性が統計的に有意に高くはなかった [OR=1.36 ; 95%CI=0.92-2.02]。また携帯電話を少なくとも5年前に使用し始めたと答えた小児・青年には、携帯電話を定常的に使用したことがない小児・青年と比較して、リスク上昇は認められなかった[OR=1.26 ; 95%CI=0.70-2.28]。事業者が記録したデータが入手可能であった一部の参加者については、脳腫瘍のリスクは携帯電話の契約開始からの経過期間と関連していたが、使用量とは関連していなかった。最も高いばく露を受ける脳の部位での脳腫瘍のリスク上昇は認められなかった。

CEFALO 研究の結論として、定常的な携帯電話の使用による小児・青年の脳腫瘍リスクの有意な上昇は認められなかったと報告している。

7.3 INTEROCC

INTEROCC 研究は、INTERPHONE 研究の収集データを活用した、職業ばく露と腫瘍の関連性を調査する症例対照研究である[3]。研究の目的は 3 つあり、(1) 電磁界の職業ばく露と脳および中枢神経系の腫瘍（具体的には神経膠腫および髄膜腫）との関連性を評価すること、(2) 化学物質の職業ばく露と脳および中枢神経系の腫瘍との関連性を評価すること、(3) 脳腫瘍のリスクに対する化学物質ばく露と電磁界ばく露の相乗効果（または交絡）の可能性を調査すること、である。

INTEROCC 研究には、英国、オーストラリア、カナダ、フランス、ドイツ、イスラエル、ニュージーランドの 7 カ国が参加し、米国国立衛生研究所（US National Institute for Health）が研究を助成した。職業歴に関する情報は、INTERPHONE 研究において収集された情報が利用された。INTEROCC 研究におけるデータ解析は、主に化学物質と超低周波電磁界に集中していたため、中間周波・高周波電磁界の職業ばく露については、他分野融合型の研究プロジェクトである「GERoNiMO」の助成を受け、データ解析が加速した。

INTEROCC 研究グループは、2018 年に高周波電磁界に関する研究成果を報告した。症例対象研究の規模は、症例群は 2000～2004 年に神経膠腫と診断された 1,943 名および、髄膜腫と診断された 1,862 名であり、対照群は 5,387 名であった。ばく露レベルは、高周波および中間周波の電磁界への累積ばく露の各個人の指標を、発生源-ばく露マトリクス（source-exposure matrix: SEM）を使用して評価した[8]。

結果として、高周波電磁界の職業ばく露と神経膠腫および髄膜腫リスクとの正の関連について明確な証拠はなく、ほとんどの結果は関連性なし、またはオッズ比が 1.0 以下を示していた。

最大の調整済みオッズ比は、直近のばく露時間枠（診断日または参照日の 1～4 年前）について、高周波電磁界への累積ばく露（A/m-年）が最も高いばく露カテゴリ（ ≥ 90 パーセントイル値）で得られ、神経膠腫では[OR=1.62 ; 95%CI=0.86-3.01]、髄膜腫では[OR=1.52 ; 95%CI=0.65-3.55]であった。

7.4 COSMOS

COSMOS 研究は、携帯電話の長期使用が及ぼす健康影響の可能性について調査するコホート研究である[4]。

携帯電話やワイヤレスインターネットなどの通信技術の使用が急速に増えたことに伴い、高周波電磁界へのばく露も増加しているが、高周波電磁界が疾患のリスクを増大させる可能性についてまだ不明である。そこで携帯電話の使用と、腫瘍、心血管疾患、神経性疾患、頭痛、不眠等の健康への影響を研究するために COSMOS 研究プロジェクトが設立された。

COSMOS 研究には、デンマーク、フィンランド、スウェーデン、オランダ、英国、フランスの6カ国が参加しており、研究資金は IARC、各国の公的機関・研究資金、産業界から賄われている。

COSMOS 研究は 2007 年から開始された。コホートの対象は 18 歳以上とし、6 カ国で計 20 万人以上の携帯電話の使用状況および健康状態が、20～30 年間にわたって追跡される予定である。データは、参加者による調査票（携帯電話の使用状況、健康状況、生活様式）の記入や、通信事業者から提供されるデータ、がん登録などの医療記録から収集される。

2019 年 1 月までに公表されている COSMOS 関連の報告書は、研究デザインに関するもののみであり、コホートの調査結果は公表されていない。

7.5 MOBI-Kids

MOBI-Kids 研究は、小児・若年層において携帯電話から発せられる高周波および超低周波と脳腫瘍の関連性を評価した症例対象研究である[5][9]。

25歳未満の人口において、脳腫瘍は白血病に次いで2番目に一般的な悪性腫瘍であるが、現在までに、脳腫瘍の危険因子はほとんど分かっていない。脳腫瘍のいくつかの要因（例：電離放射線への被ばくや、家族歴など）は、脳腫瘍を発症するリスクを高めることが知られているが、他の環境因子（例：化学物質へのばく露、妊娠中の栄養、または携帯電話使用を含む電磁界へのばく露）についても脳腫瘍に関連している可能性がある。そこで、小児・若年層における携帯電話をはじめとする通信機器などの環境因子と、脳腫瘍の関連性を評価することを目的として、MOBI-Kids 研究プロジェクトが設立された。

MOBI-Kids 研究には、オーストラリア、オーストリア、カナダ、フランス、ドイツ、ギリシャ、インド、イスラエル、イタリア、ニュージーランド、スペイン、オランダ、韓国、日本の14カ国が参加し、研究資金は第7次欧州研究開発フレームワーク計画（EU FP7）、総務省、ほか各国の公的機関から賄われている。

MOBI-Kids 研究における症例群は、2010年～2015年の脳腫瘍と診断された10～24歳の脳腫瘍患者898名であり、対照群としては、年齢や地域などをマッチングさせた1,912名が選ばれた。各参加者は、対面インタビューにより、携帯電話の使用状況や、コードレス電話やWi-Fiを含む他の無線通信機器の使用状況、居住歴、農場および家畜からのばく露、電磁界の他の環境的および職業的発生源からのばく露、胎児期における両親の職歴、電離放射線および化学物質への職業ばく露、医療放射線被ばくなどの情報が収集された。現在、携帯電話の使用と脳腫瘍リスクの関連性および、ばく露レベルが分析されている。

2019年1月現在、MOBI-Kids 研究の最終報告書はまだ公表されていない。

7.6 REMBRANDT

REMBRANDT 研究は、携帯電話などから発せられる高周波電磁界と、小児期・青年期における脳の発達との関連性を評価した疫学研究プロジェクトである[6]。

携帯電話および、コードレス電話、基地局、Wi-Fi アクセスポイントからの高周波電磁界は、ほぼ至る所に存在する環境ばく露となっている。しかし、現在までに高周波電磁界の潜在的な健康影響に関する決定的な証拠はない。また小児における高周波ばく露と脳発達との関連性を調査する研究を WHO は重要であると認識しているが、実際に調査された疫学研究はほとんどない。よって、小児期および青年期における高周波ばく露と脳の発達に影響の関連性を調査することを目的として、REMBRANDT 研究のプロジェクトが設立された。

REMBRANDT 研究は、2014 年～2017 年にかけて実施され、欧州地方開発ファンド (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) などから研究資金が賄われた。

REMBRANDT 研究には、3つの出生コホート研究[オランダ (ABCD 研究)、スペイン (INMA 研究)]、1 つの小児／青年期コホート研究[スイス (HERMES 研究)]のデータが使用された。また、欧州における 2つの電磁界プロジェクト、MOBI-EXPO (小児および青年における携帯電話使用の特徴付け) と、GERoNiMO (他分野融合型の健康影響調査) との共同研究が実施された。

2019 年 1 月現在、REMBRANDT 研究の最終報告書はまだ公表されていない。

7.7 GERoNiMO

GERoNiMO 研究は、中間周波・高周波の電磁界ばく露が及ぼす潜在的な健康影響（がん、神経変性疾患、行動、生殖および加齢）を調査した他分野融合型の研究プロジェクトである [7]。

近年、電磁界の応用は増え続け、新規の用途が積極的に開発・商業化されている。しかし、一部の一般公衆および公衆衛生専門家において、電磁界が及ぼす健康影響の可能性を懸念する声があるが、これまでの電磁界の健康影響に関する研究結果には一貫性はない。そこで本研究プロジェクトは、統合的な手法を用いて、電磁界の健康影響に関する知識の欠落を埋め、ばく露低減の提案を目的とした研究プロジェクトである。具体的には、次の電磁界に関連する疑問の対処が目的とされた。

- (1) 電磁界によって生じ得る健康影響の根底にあるメカニズムのより良い理解
- (2) 欧州の現在及び将来の電磁界ばく露レベルのより良い特徴付け
- (3) 電磁界と健康についての知識の発展
- (4) 電磁界の健康リスク評価の改善
- (5) 政策立案の強化と電磁界ばく露の低減のための技術以外の手段の提案

GERoNiMO 研究には、スペイン、フランス、デンマーク、イタリア、フィンランド、イスラエル、スロベニア、スイス、ドイツ、ノルウェー、英国、オランダ、ベルギーの 13 カ国から、異なる専門分野（生物学、工学、物理学、疫学、公衆衛生、放射線防護、リスク評価およびコミュニケーション）の研究者がプロジェクトに参加した。本研究は 2014 年から開始された 5 カ年計画のプロジェクトであり、第 5 次欧州研究開発フレームワーク計画 (EU FP5) および、各国の公的機関が研究資金を助成された。

GERoNiMO 研究では、10 のワークパッケージ (WP) が設けられ、各 WP は次のように分類される。WP1~3 (疫学)、WP4~5 (生物学)、WP6 (ばく露評価)、WP7~8 (研究成果の統合およびコミュニケーション)、WP9~10 (プロジェクト管理および提言)。

WP1 では、「小児および青年の電磁界と健康および発達（大規模）前向きコホートの活用」として、欧州の大規模なコホート研究から既存データを活用し、小児および青年における発達、行動、生殖転帰に対する高周波ばく露の潜在的な影響が評価された。コホート研究には、4 つの出生コホート[デンマーク (DNBC 研究)、オランダ (ABCD 研究)、ノルウェー (MoBa 研究)、スペイン (INMA 研究)]、1 つの小児／青年期コホート研究[スイス (HERMES 研究)]が採用された。

WP2 では、「若年層の脳腫瘍リスクに関する中間周波・高周波電磁界の役割」とし、MOBI-

Kids 研究のデータを活用して、携帯電話からの高周波ばく露が中枢神経系に及ぼす潜在的な発がん性影響が評価された。

WP3 では、「電磁界の職業ばく露と健康へのリスク」として、INTEROCC 研究のデータを活用した職業ばく露による高周波の脳腫瘍リスクの評価（※セクション3「INTEROCC」を参照）と、フィンランドのレジ係の女性における中間周波ばく露と生殖影響（流産、先天性異常など）のコホートが実施された。

2019年1月現在、GERoNiMO 研究の最終報告書はまだ公表されていない。

参考文献

- [1] INTERPHONE 最終報告書 (IARC) : http://interphone.iarc.fr/UICC_Report_Final_03102011.pdf
- [2] Aydin D. et al. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. J Natl Cancer Inst. 2011 Aug 17;103(16):1264-76.
- [3] <https://academic.oup.com/jnci/article/103/16/1264/898567>
- [4] INTEROCC (ISGlobal) : <http://radiation.isglobal.org/index.php/es/proyectos-programa-radiaciones/2018-06-19-08-32-04/interocc>
- [5] COSMOS: <http://www.thecosmosproject.org/>
- [6] MOBI-Kids (EU CORDIS) : <https://cordis.europa.eu/project/rcn/89894/reporting/en>
- [7] REMBRANDT (ISGlobal) : <http://radiation.isglobal.org/index.php/radiation-programme-projects/2018-06-19-08-32-04/rembrandt>
- [8] GERoNiMO: <http://radiation.isglobal.org/index.php/en/geronimo-home>
- [9] Vila J. et al. Occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields and brain tumor risk in the INTEROCC study: An individualized assessment approach. Environ Int. 2018 Oct. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29996112>
- [10] MOBI-Kids (ISGlobal) : <http://radiation.isglobal.org/index.php/en/mobi-kids-home>

8. NTP study について

5-7 章においてヒト対象の研究状況や海外研究動向を紹介したが、アメリカにおいては国家毒性プログラム (NTP) としてアメリカ通信業界で使用されている周波数および変調方式の高周波電磁界に対する動物実験研究が実施された。ここでは、げっ歯類に対し、高周波電磁界の全身ばく露による潜在的、長期的な健康影響を評価する目的で研究デザインが設計されている。対象はラットおよびマウス、ばく露システムは残響チャンバで、2通りの信号変調方式 (CDMA および GSM) と 2通りの周波数 (ラットには 900 MHz、マウスには 1900 MHz) を用い、ばく露群の全身 SAR 計算値を 1.5 W/kg、3 W/kg、6 W/kg^(*) として、ばく露は胎仔時から開始し、最長 106 週間継続している[1][2]。

(*) 携帯電話の周波数の全身平均 SAR は公衆環境で 0.08 W/kg。

8.1 ばく露条件

ラットの高周波電磁界ばく露は、妊娠母ラットのばく露により子宮内から開始された。出生後、乳離れまでの間、母ラットと仔ラットは同じケージ内でばく露を受け、それから母ラットと引き離されて、雌雄別に構成された各群 90 匹の仔ラット群へのばく露を最長で 106 週間継続した。対照群およびばく露群とも雌雄別での同腹仔 3 匹以上で構成された。全ての高周波電磁界ばく露は、1 日約 18 時間、7 日/週にわたって行われた。18 時間は、10 分間のオン (ばく露) および 10 分間のオフ (無ばく露) の連続サイクルから成り、1 日の合計ばく露時間はおよそ 9 時間であった。雌雄別に 1 群ずつの無ばく露仔ラット群を設け、CDMA および GSM 変調波ばく露群の両方に対する対照群として用いた。対照群は、高周波電磁界信号発生のない同型の残響チャンバ内に置かれた。

8.2 最終報告における結論

米国の国立環境衛生科学研究所 (NIEHS) は 2018 年 11 月 1 日、携帯電話電波の発がん性に関する国家毒性プログラム (NTP) 研究の最終報告書を公表し[1]、「NTP は、GSM 及び CDMA 携帯電話で用いられているものと同様の電波の高いレベルにばく露した雄ラットは、がん性の心臓腫瘍を発症したという明確な証拠がある、と結論付けました。ばく露した雄ラットの脳及び副腎での腫瘍の何らかの証拠もありました。雌ラット、ならびに雌雄のマウスについては、観察されたがんが電波ばく露と関連しているかどうかの証拠は曖昧でした。この最終報告書は、NTP、ならびに、2 月に公表された報告書草案の後の 3 月に同研究をレビューした外部の科学専門家のパネルの総意を代表するものです。」と結論付けた。

8.3 他機関の対応

NTP study の最終報告に関連して、ICNIRP[3][4]、米国食品医薬品局（FDA）[5][6]、スイス連邦環境庁（FOEN）に対する諮問グループ「電磁界及び非電離放射線に関する専門家グループ（BERNIS）」[7][8]、オーストラリア放射線防護・原子力安全庁（ARPANSA）[9][10]、ドイツ連邦放射線防護局（BfS）[11][12]から声明が出されている。FOEN 以外は手法に対する疑義、これらの知見をヒトの携帯電話使用に直接外挿すべきではないこと、あるいは現行の人体ばく露ガイドラインの改定のための根拠として利用できる一貫性があり信頼し得る、一般化し得る証拠を提示するものではないことを述べており積極的に結果を支持するものではない。ただし、研究継続の必要性については ICNIRP 及び Bfs で言及されている。FOEN においては、NTP study とイタリアの類似研究[13]について両研究の結果を概ね支持しており、電波防護に関する規制については現行の「念のためのアプローチ (precautionary approach)」を支持している。

参考文献

- [11] National Institute of Environmental Health Sciences. High Exposure to Radio Frequency Radiation Associated With Cancer in Male Rats. <https://www.niehs.nih.gov/news/newsroom/releases/2018/november1/index.cfm>
- [12] 米国立環境衛生科学研究所（NIEHS）が携帯電話電波の発がん性に関する国家毒性プログラム（NTP）研究の最終報告書を公表。 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6543.html
- [13] ICNIRP NOTE ON RECENT ANIMAL CARCINOGENESIS STUDIES. <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf>
- [14] ICNIRP が最近の動物発がん性研究についての注釈を発表。 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6271.html
- [15] Federal Office for the Environment. Newsletter of the Swiss expert group on electromagnetic fields and non-ionising radiation (BERENIS). <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/electrosmog/newsletter-of-the-swiss-expert-group-on-electromagnetic-fields-a.html>
- [16] スイス政府の諮問グループが NTP 研究結果の評価結果を発表。 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6550.html
- [17] FDA Statement. Statement from Jeffrey Shuren, M.D., J.D., Director of the FDA's Center for Devices and Radiological Health on the National Toxicology Program's report on radiofrequency energy exposure. <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm624809.htm>
- [18] 米国食品医薬品局（FDA）が携帯電話電波の発がん性に関する NTP 研究の最終報告書についての声明を发出。 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6545.html
- [19] ARPANSA reviews animal study on radiofrequency exposure and health. <https://www.arpansa.gov.au/news/arpansa-reviews-animal-study-radiofrequency-exposure-and-health>
- [20] オーストラリア放射線防護・原子力安全庁（ARPANSA）が携帯電話電波の発がん性に関する米国 NTP 研究についてのレビュー結果を発表。 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6575.html
- [21] BfS: Ergebnis von US-Mobilfunk-Studie nicht auf Menschen übertragbar. <http://www.bfs.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BfS/DE/2019/004.html>（ドイツ語）
- [22] ドイツ連邦放射線防護局（BfS）が携帯電話電波の発がん性についての米国 NTP 研究の結果に関する専門家意見書を発表。 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6595.html
- [23] Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, Mandrioli D, Manservigi M, Manservigi F, Manzoli I, Menghetti I, Montella R, Panzacchi S, Sgargi D, Strollo V, Vornoli A, Belpoggi F (2018): Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environ Res.* 2018 Aug;165:496-503.

9. 高周波電磁界ばく露のガイドライン・規制動向

高周波電磁界ばく露のガイドライン・規制状況については特に 1998 年に制定された ICNIRP の高周波ばく露ガイドライン[1]の見直しが行われていることに注意が必要である。

9.1 ICNIRP

1998 年に制定された ICNIRP の高周波ばく露ガイドラインの見直しを行い、草稿について 2018 年 10 月 9 日を期限としたパブリックコメント募集を行った[2][3]。草稿では平均化時間が 6 分間未満の短時間ばく露に対する防護の概念が新たに導入されている。また、妊娠就業者に対する扱いはこれまで各国に任されていたものが草稿時点では公衆ばく露として取り扱う旨が記載されている。最終版について現時点でまだ発行されていないが、今後も注目する必要がある。

9.2 電波防護指針

高周波電磁界ばく露に関しては、国内では電波防護指針が適用されている。電波防護指針では「電波利用において人体が電磁界にさらされると、その電磁界が人体に不要な生体作用を及ぼさない安全な状況であるために推奨される指針である」と記載されており、人体の深部体温上昇、電流刺激、高周波熱傷などの異常発生がない指針値が示されている[4][5]。電波防護指針は 1997 年に携帯電話端末などの安全性の基準となる局所吸収指針の追加と、2011 年には 100 kHz までの周波数の拡張が行われている。電波防護指針の値は ICNIRP ガイドラインと同等である（なお、9.1 で述べたように ICNIRP の高周波電磁界ガイドラインは改定中である）。

電波防護指針の近年の動向としては、5 G 通信など現在電波防護指針がカバーする帯域（－6 GHz）を超える通信における評価手法について検討がなされている[6]。

参考文献

- [24] ICNIRP. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics. 1998, 74(4):494-522.
- [25] ICNIRP. Draft Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). <https://www.icnirp.org/en/activities/public-consultation/consultation-1.html>
- [26] ICNIRP が RF ガイドライン改定版の草案を発表 http://www.jeic-emf.jp/whats_new/6246.html
- [27] 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.
- [28] 和氣加奈子, 渡辺聡一. 電波防護指針と電磁環境. 保健医療科学. 2015, 64(6): 578-581.
- [29] 総務省. 無線設備規則等の一部を改正する省令案等に係る意見募集 http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban16_02000203.html

10. まとめ

本著では非電離放射線の概観として、物理量の定義（2章）と短期的影響の機序（3章）を記載した。続いて非電離放射線のうち高周波電磁界ばく露についてはばく露源（4章）、生体影響（発がん：5章、発がん以外：6章）、海外の研究動向（7章）と NTP study（8章）、ばく露ガイドライン・規制の動向（9章）について、関連資料より情報を集約し現状について整理を行った。

4-9章の結果から、ばく露源としては産業用機器（誘電加熱、マイクロ波乾燥機、放送システムなど）使用者や一部の医療機器の術者が短期的影響を発生させる高周波電磁界にばく露されることが示された。また、これら機器は欧州においては欧州職業電磁界ばく露指令（Directive 2013/35/EU）を実施するための一次スクリーニングにて、事業者がリスクアセスメントや対策を講じる必要がある機器や環境とみなされていた。生体影響に関しては、現在 WHO を含め高周波電磁界の発がん性について明確に支持する国・学術団体はないこと（5章）、いわゆる電磁過敏症についても同様の取り扱いであること（6章）、それ以外の生体影響についても再現性がある明確な影響は報告がないこと（6章）が示された。海外の動向からは携帯電話使用者のコホート研究が進められていること（7章）、近年米国で実施された携帯電話ばく露に対する動物実験結果は有害性を示唆するものであったが、米国内外の関連機関の見解は人への外挿に疑問を呈しているが更なる調査の必要性について言及もされていることが示された（8章）。高周波電磁界のばく露ガイドライン・規制の動向については最も国内外で影響力を持つ国際ガイドラインである ICNIRP で改定の動きがあり注視が必要であることが示された。

付録

生活環境における携帯電話及び基地局を対象とした高周波電磁界に関する主な国々の規制・ガイドライン等の例（環境省「みのまわりの電磁界」を元に作成）

	制定年	区分	比吸収率[W/kg]	電界強度[V/m]	電力密度[W/m ²]
ICNIRP	1998	ガイドライン	0.08（全身平均） 2（頭部と胴体、組織 10 g 平均） 4（四肢、組織 10 g 平均）	38.9（800 MHz） 41.3（900 MHz） 53.3（1500 MHz） 58.3（1800 MHz） 61（2000 MHz～300 GHz）	4（800 MHz） 4.5（900 MHz） 7.5（1500 MHz） 9（1800 MHz） 10（2000 MHz～300 GHz）
日本	1990 1997	規制	2（頭部と胴体、組織 10 g 平均） 4（四肢、組織 10 g 平均）	44.8（800 MHz） 47.6（900 MHz） 61.4（1500 MHz～300 GHz）	4（800 MHz） 6（900 MHz） 10（1500 MHz～300 GHz）
韓国	2002 2007	規制	0.08（全身平均） 1.6（頭部と胴体、組織 1 g 平均）	ICNIRP ガイドラインと同じ	
中国	1988	規制	0.02（全身平均）	12（30～3000 MHz）	0.38（30～3000 MHz）
インド	2012	規制	1.6（頭部と胴体、組織 1 g 平均）		0.45（900 MHz） 0.9（1800 MHz）
オーストラリア	2003	規制／勧告	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
ニュージーランド	1999	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
EU	1999	勧告	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
オーストリア	2006	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
ベルギー		規制	ICNIRP ガイドラインと同じ		
ブリュッセル 首都圏地域	2014	規制		6（900 MHz） 8.4（1800 MHz）	0.096（900 MHz） 0.192（1800 MHz）
フランデレン地域	2010	規制	0.001（全身平均）	3（900 MHz、単一アンテナ） 20.6（900 MHz、複数アンテナ） 4.2（1800 MHz、単一アンテナ） 29（1800 MHz、複数アンテナ）	0.024（900 MHz、単一アンテナ） 1.13（900 MHz、複数アンテナ） 0.047（1800 MHz、単一アンテナ） 2.25（1800 MHz、複数アンテナ）
ワロン地域	2009	規制		3（900 MHz、単一アンテナ） 4.2（1800 MHz、単一アンテナ）	0.024（900 MHz、単一アンテナ） 0.047（1800 MHz、単一アンテナ）
デンマーク	2001	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
フィンランド	2002	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
フランス	2003	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
ドイツ	2013	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
イタリア※1	2003	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	20（ばく露限度）	1（ばく露限度）

				6 (注意値) 6 (品質目標)	0.095 (注意値) 0.095 (品質目標)
オランダ	2010	規制/勧告	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
ポルトガル	2004	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
スペイン	2002	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
スウェーデン	2008	勧告	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
英国		規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
スイス	2000	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	4 (900 MHz) 6 (1800 MHz) 5 (両者の混在)	
米国	1996	規制	0.08 (全身平均) 1.6 (頭部と胴体、組織 1 g 平均)		6 (900 MHz) 10 (1500 MHz~100 GHz)
カナダ	2015	規制	0.08 (全身平均) 1.6 (頭部と胴体、組織 1 g 平均)	32.1 (900 MHz) 40.7 (1800 MHz)	2.7 (900 MHz) 4.4 (1800 MHz)
メキシコ	2012	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
アルゼンチン	2004	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	
ブラジル	2002	規制	ICNIRP ガイドラインと同じ	ICNIRP ガイドラインと同じ	

出典：総務省「平成 25 年度 電波防護に関する国外の基準・規制動向調査 報告書」(平成 26 年 3 月)

http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/ele/seitai/sonota/h25_trend_report.pdf

WHO ウェブサイト「電磁界プロジェクト参加国・地域」(Participating countries & entities in EMF Project)

<http://www.who.int/peh-emf/project/mapnatreps/en/>に記載された資料を基に作成 (平成 29 年 3 月時点)。

規制：法規に基づいた義務的な基準、ガイドライン・勧告・基準：法的な拘束力を持たない自発的な基準・方針

