

環境省調査業務報告書

「平成16年度生活環境中電磁界に係る調査業務」

I. 調査概要	3
II. 調査結果	3

第一部 個人磁界暴露データの収集と整理

1 調査概要	7
1.1 調査の経緯と目的	7
1.2 調査範囲	7
2 磁界暴露の特徴と留意点	7
2.1 磁界暴露とは	7
2.1.1 磁界暴露の特徴	7
2.1.2 磁界暴露の状況と生体影響	9
2.1.3 電磁界暴露に関する指針	10
2.1.4 暴露情報の整理と考慮すべき点	14
2.1.5 磁界レベルの差に係わる要因	14
2.2 磁界暴露の把握	15
2.2.1 磁界の実測	15
2.2.2 計算やクラス分けによる磁界暴露量推計	16
2.2.3 平均暴露レベル推定法	16
2.3 測定における留意点	17
2.3.1 測定機器と測定方法の要因	17
2.3.2 暴露の特徴に係わる留意点	17
2.3.3 個人磁界暴露量の変動要因	18
2.3.4 電気製品の周辺磁界強度の特徴と変動要因	19
2.4 磁界暴露の生体影響に関する留意点	19
3 発生源と暴露の関連情報のまとめ	21
3.1 生活環境中の磁界の概要	22
3.2 家屋内の磁界	22
3.2.1 暴露源と磁界強度	22
3.2.2 家屋内の磁界強度	36
3.2.3 屋内磁界の特徴	36
3.3 家屋外の磁界	37
3.3.1 暴露源と磁界強度	37
3.3.2 職業暴露	40
3.3.3 屋外および職域の磁界の特徴	44

3.4	磁界暴露レベルの比較	45
3.5	磁界暴露資料表：電気製品の磁界暴露レベル	47
3.6	磁界暴露参照資料一覧	48
4	個人暴露磁界の分布	
4.1	国内の一般生活における個人磁界暴露測定データ（国立環境研究所による）	50
4.2	東京大都市圏居住の小児における暴露磁界測定調査の結果	50
4.3	高圧送電線由来の磁界暴露分布	55
4.3.1	関連情報	55
	（1）小児のがんの疫学調査データ（対照群のみの解析）	55
	（2）アンケート調査結果から	56
4.3.2	暴露分布推計結果	56
4.4	配電線由来の磁界暴露分布の推計	57
4.4.1	関連情報	57
4.4.2	分布推計結果	57
4.5	電気器具等からの磁界暴露分布	63
4.5.1	関連情報	63
4.5.2	分布推計結果	63
	（1）屋内における家電製品等による磁界暴露についての検討	65
	（2）個人暴露磁界レベルと子供の寝室の磁界レベルの差の平均の検討	66
	（3）ホットカーペットの利用別の検討	67
	（4）家電製品等の地域別の利用率	69
4.6	まとめ	71
5	まとめ	
5.1	暴露量とりまとめ結果について	72
5.2	今後の研究課題について	72

第二部 新たな研究、国際機関および諸外国の動向等に関する調査

1	調査概要	77
2	調査結果	78
2.1	文献レビュー	78
2.1.1	「電磁界の健康影響に関わる最近の文献調査(2004)」の結果について ..	78
2.1.2	「高周波電磁界の生体影響に関する研究動向」について	98
2.2	諸外国の動向	121

I. 調査概要

本調査は一般生活環境中の、とくに電力周波数を中心とする超低周波磁界への暴露に関して、これまで我が国で得られている電力周波数磁界への個人暴露データを収集整理し、磁界暴露分布のプロフィールをとりまとめることを目的として行われた。

本業務においては以下の2つの調査を行った。

個人磁界暴露データの収集と整理

国内でこれまで実施・公表されている一般生活環境中での個人磁界暴露データを収集し、我が国における磁界暴露分布を示す資料としてとりまとめた。なお、参考のため、職業暴露データ、各種家電製品等からの磁界データ等も収集・整理して比較を試みた。

新たな研究、国際機関および諸外国の動向等に関する調査

平成15年度の以後に公表されている科学的論文等を収集し、レビュー・整理を行うほか、WHOの国際電磁界プロジェクトをはじめ国際的な動向についてとりまとめた。

II. 調査結果

調査結果を本報告書にとりまとめて示す。本報告書は、第一部として 個人磁界暴露データの収集と整理、第二部として 新たな研究、国際機関および諸外国の動向等に関する調査の結果をとりまとめる構成としている。

第一部 個人磁界暴露データの収集と整理

1 調査概要

1.1 調査の経緯と目的

生活環境中で身近に暴露される機会のある電磁界、特に電力設備・家電製品から発生する超低周波電磁界、あるいは携帯電話等で用いられるより高い周波数（ラジオ波、マイクロ波）電磁界の健康影響について社会的な関心が高まるなか、国際的には世界保健機関（WHO）の「国際電磁界プロジェクト（International EMF Project, 1996～）」において評価作業が進められてきた。WHO のプロジェクトにおいては小児白血病のリスクに関して規模の大きな疫学調査の必要性が指摘され、わが国においても小児白血病と脳腫瘍を対象とした疫学調査が行われた（「生活環境中電磁界による小児の健康リスク評価に関する研究」国立環境研究所、文部科学省科学技術振興調整費 生活・社会基盤研究のうち生活者ニーズ対応研究）。さらに、この疫学調査における対照群のうち、大都市圏居住の小児を対象として、個人磁界暴露量の追跡調査、および電気機器等の利用による磁界暴露推定についてのモデル研究が行われた（「生活環境中電磁界と健康リスク評価に係る調査」国立環境研究所、環境省請負事業）。また、平成 9～10 年度に実施された国立環境研究所特別研究「超低周波電磁界による健康リスクの評価に関する研究」のなかでは、超低周波暴露の急性影響、培養細胞への影響、および地域住民の暴露を調査している。

本調査においては、これらの調査結果をふくめ、国内の生活環境における超低周波（50Hz/60Hz）磁界暴露の状況について、報告書、論文等に公開されているデータを取りまとめ、超低周波磁界暴露のわが国における状況の検討に資する基礎資料とすることを試みた。

1.2 調査範囲

国内の生活環境における超低周波（50 Hz/60 Hz）磁界暴露に関して、公刊された報告書・論文等からデータを収集し、とりまとめる。参考のために国内の職業暴露データ、および諸外国の生活環境暴露データについても収集し、代表例を示す。海外の超低周波磁界暴露情報については、国際機関や公的機関などがとりまとめたものを対象に調査を行うこととした。結果は 3 章にとりまとめて示す。

2 磁界暴露の特徴と留意点

検討会ならびにワーキンググループ会議において、磁界暴露情報を考慮する上で留意しなければならない磁界暴露の特徴について、いくつかの指摘がなされた。以下に、それらの内容をまとめる。

2.1 磁界暴露とは

2.1.1 磁界暴露の特徴

電磁界（あるいは電磁波）は、周波数（波長）の違いによって区別される。直流の電流によって生じる地磁気のような磁場を静磁場と呼ぶ。一方で、交流の電流によって生じる商用電力周波数の電磁界（50 Hz/60 Hz。超低周波電磁界）電波（マイクロ波を含む）

光、エックス線やガンマ線などの電磁放射線（宇宙線を含む）がある。

電界とは帯電体の間にクーロン力の働いている空間の状態を表し、電荷に力を及ぼす。電界は電荷および時間的に変化する磁界によって生じる。一方、磁界は磁性体の間にクーロン力の働いている空間の状態を表し、運動する電荷に力を及ぼす。磁界は電流および時間的に変化する電界によって生じる。電界の強さ（電界強度）はベクトル量であり、大きさ（V/m）と向きをもつ。同様に磁界強度もベクトル量であり、大きさ（A/m）と向きを持つ。磁束密度（磁界強度×透磁率）は、T（テスラ）という単位で表され、慣例的にG（ガウス）も用いられる（1 T=10⁴ G）。電界あるいは磁界は、発生源の電位差あるいは電流が大きいほど強く、その強さは距離によって急激に減じる。

電界が、電流の流れていない状態（電気器具を使用していない状態）でも生じえる一方で、磁界は電流が流れているときにだけ生じる。また、電界が建物等で容易に遮られる一方、磁界は構造物の影響を受けにくい。

電界と磁界は、それぞれ周波数帯によって異なる健康影響をもたらすことが知られており、周波数帯によって分けられたいくつかのリスク評価の対象となっている。商用電力の波長は 5,000 km / 6,000 km であり、波長の大きさに比べ、発生源の大きさや発生源からの距離が無視できる程度に小さいため、波動の性質を持つ電磁場としてではなく、電界と磁界を独立して扱うことができる。

既存の国際機関による電磁界暴露のリスク評価結果としては、世界保健機関（WHO）によってとりまとめられた三冊の環境保健クライテリア（EHC: Environmental Health Criteria）がある（Environmental Health Criteria 137 (1993): Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz), WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-4-157137-3. Environmental Health Criteria 69 (1987): Magnetic Fields, WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-4-154269-1. Environmental Health Criteria 35 (1984): Extremely Low Frequency (ELF) Fields, WHO, Geneva, Switzerland, ISBN 92-4-154095-8）。これらについては、現在、最新の知見に基づいたアップデートの作業が進行中である。

これに関連して WHO は、1996 年から 54 カ国が参加する国際電磁界プロジェクト（International EMF Project）(<http://www.who.int/peh-emf/en/>) を実施しており、0 から 300 GHz の電磁界暴露のリスク評価を進めている。WHO プロジェクトにおいては、作業対象の周波数帯域を静磁場(Static field, 10 Hz)、超低周波(ELF: Extremely low frequency, >0 ~ 300 kHz)、中間波(IF: Intermediate frequency, 300 Hz ~ 10 MHz)、および無線周波数(RF: Radio frequency, 10 MHz-300 GHz) に分けている。

静電磁界	交流電力による電磁界	電波およびマイクロ波	赤外線	可視光	紫外線	電離放射線
地磁気	送電線	携帯電話	ひよこ電球	太陽光	紫外線ランプ	X線 / γ線
周波数 (0) --- 超低周波 ----- 300GHz -----> 高						

図 2-1 電磁界の周波数帯域（EMF Project (WHO) を参照）

2.1.2 磁界暴露の状況と生体影響

雷雲による電界、あるいは地磁気による磁場など、天然の電磁界が存在し、ヒトは有史前から電磁界に暴露されてきている。しかしながら、昨今、家庭内や職場において多種の電気器具が使用され、公共交通機関の動力に電力が使用され、多くの情報が放送や通信として電波やマイクロ波を介してやりとりされる状況があり、それに応じ、日常生活における電磁界暴露の様相も変化してきているものと予測される。

生物体内には、細胞膜を介した電位差、またそこに流れる微細な電流があり、生命維持に不可欠な機能を果たしている。人体は電流を流す導体であるため、電磁場に入ると場の影響を受ける。超低周波電磁界暴露においては、電界によってはヒトの体表の荷電状態が変化し、電流が地面へと流れる。一方で磁界によっては体内に電流が誘導される。このとき十分に強い電流が誘導されれば、神経や筋肉の制御が影響を受ける。一方、電波、マイクロ波への暴露では体内での熱の発生が主要な生体影響とみなされる。人体はさまざまな器官や組織で構成された複雑な構造物であるため、均質な導体とは電気的な特性が異なる。特に細胞膜などの微視的な構造に関してはシミュレーションにおいて考慮できない。

電磁界暴露に関連して、送電線、電子レンジ、コンピュータやテレビのモニター、ICカード式の改札ゲートや商品の持ち去り防止用のセキュリティゲート、レーダー、携帯電話およびその基地局などからの電磁界の健康影響について、マスコミに取り上げられたり、インターネットのホームページ等で生活における不安が言及されたりしている場合もある。電磁界暴露が一定レベルを超えれば生体への影響があることは否定できないが、生体影響があれば、すぐに健康への悪影響につながるとみなすことはできない。

電磁界暴露とヒトの健康影響について、WHO は現時点では以下のように結論付けている。

- 家庭内の低レベルの電磁界暴露と頭痛、不安感、自殺願望、うつ状態、吐き気、倦怠感、リビドーの喪失などの漠然とした症状は関連づける科学的証拠は得られていない。
- 妊娠中のウォーターベッドや電気毛布などの使用と、流産や出生時の低体重など、妊娠と出産にまつわる悪影響を関連づける科学的証拠は得られていない。
- 電波、マイクロ波への高レベルの職業暴露と白内障の関連は、動物実験において検証されていない。
- 数多く行なわれてきた疫学研究の一部では、小児白血病と電磁界曝露との関係を示唆している。疫学調査においては関連性を検証することはできるが、見いだされた現象の原因を特定することはできない。動物実験によって、電磁界暴露による発ガン影響を検証することはできていない。WHO は国際電磁界プロジェクトにおいて、大規模な疫学調査を実施しており、国立環境研究所による調査結果を含めて、得られた知見は近々アップデートされる。
- 電磁界への過敏症により、痛み、頭痛、うつ状態、嗜眠、睡眠障害、痙攣、てんかん発作を生じるかという疑問がある。しかし、コントロールされた実験下では、ヒトの反応は一貫していないという結果が得られている。電磁界暴露過敏症に関する生物学的なメカニズムの裏づけもない。過敏症についてはさらなる研究が進行中である。

なお、2001年に、WHOの国際がん研究機関（IARC）の専門家科学作業グループは、超低周波磁界暴露を小児白血病の疫学調査に基づき「人にとって発がん性があるかもしれない（発ガンランク2B）」と分類している。（「Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields」. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 80 (2000)）

2.1.3 電磁界暴露に関する指針

国によっては電磁界暴露（主に職業暴露）に関する基準が定められている場合があるが、これらの基準の多くは International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)の定めた基準に依拠している。ICNIRPはWHOによって認証された非政府組織であり、諸国の科学データの評価結果を基盤に電磁界暴露の基準を定めている。基準値は定期的に検証され、必要に応じてアップデートされている。下表にICNIRPによる基準のうち、生活環境に関連深い三つの分野の基準値を示す（ICNIRP, 1998）。現在、主に通商と通信の世界化の観点から、諸国の電磁界暴露基準共通化のため、WHOによるイニシアティブが発動されており、WHOの国際電磁界プロジェクトにおけるリスク評価結果がその科学的基盤になるものと予測される。

表 2-1 ICNIRP による電磁界暴露基準（ガイドライン）例

帯域	商用電力			
	50 Hz	50 Hz	60 Hz	60 Hz
周波数	50 Hz	50 Hz	60 Hz	60 Hz
単位	電界 (V/m)	磁界 (μT)	電界 (V/m)	磁界 (μT)
生活環境暴露	5 000	100	4 167	83
職業暴露	10 000	500	8 333	417

ICNIRP, EMF guidelines, Health Physics 74, 494-522 (1998)

WHOはガイドライン値について、以下の留意点を述べている。

- ガイドライン値は安全と危険の間の厳密な線引きを示すものではない。
- ガイドライン値は、それ以下の暴露量であれば、現在得られている科学的知見からは安全とみなせるということを意味している。
- ガイドライン値は、それ以上の暴露量であれば機械的に健康に害が生じることになる」と述べているものではない。
- ガイドライン値を定めるにあたっては、健康影響が見出されるもっとも低い値を特定

する必要があり、動物実験結果からこの値を得る。ICNIRP では、電磁界暴露によって動物に明らかな健康への害が見出される以前にみられるわずかな行動の変化を指標（最小毒性量：LOAEL）とし、このときの暴露量に低減係数（reduction factor）（職業暴露：×0.1。生活環境暴露：×0.02。）を乗じてガイドライン値を求めている。

- 低レベルでの長期間暴露（慢性暴露）の影響の可能性については、疫学研究にてガイドラインを下回るレベルの曝露と発がん作用の可能性との関連性は示唆するものの、説得力に乏しく、曝露制限設定の根拠とするには不十分とされている。
- 低周波電磁界暴露基準は体内に誘導される電流による悪影響を対象に設定され、無線周波電磁界暴露基準は熱による悪影響を対象に設定されている。
- 通常の日常生活における最大暴露レベルは、一般にガイドラインの制限値を下回っている。
- ガイドラインは健康状態、特別に敏感である場合、さまざまな病気への影響、高齢者などが環境条件やストレスに対する順応を考慮されている。

WHO は一般環境中の電磁場の発生源と暴露レベル（最大レベル）を以下のように示している。

表 2-2 WHO による典型的な電磁界暴露レベル

暴露源	典型的な生活環境暴露値（最大レベル）	
	電界 (V/m)	磁界(μT)
天然	200	70 (地磁気)
送電線（家庭内）	100	0.2
送電線（高圧送電線下）	10 000	20
電車	300	50
TV PC ディスプレイ（作業時）	10	0.7
	電力密度 (W/m ²)	
TV /ラジオ送信機	0.1	
携帯電話基地局	0.1	
レーダー	0.2	
電子レンジ	0.5	

出典：WHO Regional Office for Europe

わが国においては、超低周波磁界暴露に関する政府のガイドライン等は定められていない。関連する基準としては、経済産業省令に電気設備技術基準があり、送電線からの電界強度に関わる基準がある。

10 kHz から 3000 GHz の電磁界については、無線局の運用および無線設備の製造等の指針として「電波防護指針」があり、この中で一般環境について規定がある。また、「電気用品安全性法」により、「電気用品の技術上の基準を定める省令」の中に、電子レンジに漏洩電波に関する基準が規定されている。いずれも本報告書の対照とする 50/60 Hz の超低周波磁界に関する規定ではないが、参考までに列記する。

表 2-3 わが国における電磁界暴露に関連した法令等

<p>電気設備に関する技術基準を定める省令 (平成九年三月二十七日通商産業省令第五十二号) 最終改正年月日:平成一六年七月二二日経済産業省令第七九号</p>	<p>人が容易に立ち入る場所の地表 1m において 3 kV/m 以下とすることがさだめられている。</p> <p>(架空電線路からの静電誘導又は電磁誘導による感電の防止) 第二十七条 特別高圧の架空電線路は、常時静電誘導作用により人による感知のおそれがないよう、地表上一メートルにおける電界強度が三キロボルト毎メートル以下になるように施設しなければならない。ただし、田畑、山林その他の人の往来が少ない場所において、人体に危害を及ぼすおそれがないように施設する場合は、この限りでない。 2 特別高圧の架空電線路は、電磁誘導作用により弱電流電線路(電力保安通信設備を除く。)を通じて人体に危害を及ぼすおそれがないように施設しなければならない。 3 電力保安通信設備は、架空電線路からの静電誘導作用又は電磁誘導作用により人体に危害を及ぼすおそれがないように施設しなければならない。</p>
<p>電波防護指針</p>	<p>平成 2 年(1990 年)、郵政省電気通信技術審議会が過去 40 年にわたる国内外の研究結果に基づいて、10 kHz から 300 GHz までの電波を対象とした「電波防護指針」を答申した(平成 9 年改訂)(電気通信技術審議会答申 諮問第 3 8 号「電波利用における人体の防護指針」(平成 2 年 6 月)、電気通信技術審議会答申 諮問第 8 9 号「電波利用における人体防護の在り方」(平成 9 年 4 月))。</p> <p>電波防護指針は、その根拠となる基礎指針と、実際の評価に用いる管理指針からなる。基礎指針においては、全身平均 SAR の任意の 6 分間平均値が 0.4W/kg 以下であること等が定められている。管理指針においては、基礎指針を満たすための実測できる物理量(電界強度、磁界強度、電力密度、電流及び比吸収率)が職業環境と一般環境に分け、周波数帯域別に示されている。</p>
<p>電波法施行規則 (電波の強度に対する安全施設) 第二十一条の三</p>	<p>上記答申に基づき、平成 11 年に電波法が改正された。無線局について 10 kHz から 300 GHz までの電界、磁界、電力密度等の規定がさだめられている。</p>
<p>電気用品の技術上の基準を定める省令 最終改正年月日:平成一六年一〇月二七日経済産業省令第一〇三号</p>	<p>電気用品安全法別表八に電子レンジに関する技術基準があり、漏洩電波については「電気用品の技術上の基準を定める省令」によって以下のように規定されている。</p> <p>ト 漏えい電波の電力密度(イ) 275 cm³ ± 15 cm³の水を入れた円筒状のピーカーをその器体内のほぼ中央に置いた状態において、定格周波数に等しい周波数の定格電圧に等しい電圧を試験品に加えてとびらを閉めたときおよび発振管の発振停止装置が動作する直前の最大の位置までとびらを開いて固定したとき、器体の表面から 5 cm 離れたあらゆる箇所において測定した漏えい電波の電力密度の値は、次に適合すること。a とびらを閉めたときにあつては、1 mW / cm² 以下であること。b 発振管の発振停止装置が動作する直前の最大の位置までとびらを開いて固定したときにあつては、5 mW / cm² 以下であること。(ロ) イ(二)に規定する試験の後、(イ)に規定する試験を行ったとき、器体の表面から 5 cm 離れたあらゆる箇所において測定した漏えい電波の電力密度の値は、5 mW / cm² 以下であること。(ハ) 主たる発振停止装置以外の発振停止装置を拘束した状態において、(イ)に規定する試験を行ったとき、器体の表面から 5 cm 離れたところで測定した漏えい電波の電力密度の値は、5 mW / cm² 以下であること。</p>

2.1.4 暴露情報の整理と考慮すべき点

本章ではこのような状況を踏まえ、超低周波磁界（300 Hz 以下）の範囲の中でも、特にわが国の一般生活環境において主要な暴露源であると予想される電力周波数（50 Hz/60 Hz）の磁界暴露を対象に暴露情報を取りまとめ、今後のリスク評価において利用されるべき基礎資料とすることを試みた。

とりまとめ作業の過程で、対象周波数帯域を限定して調査を行ったことに関連して、ワーキンググループにおいて今後の調査において考慮すべき点として以下のような指摘がなされたので記録しておく。

- 一般的に生活環境中の磁界暴露源としては、家庭内では周辺の電力線からの 50 Hz ないしは 60 Hz のバックグラウンド磁界レベルがあり、それに付加的に電気製品からの暴露がある。この電気製品に使用に由来する磁界の周波数は、製品の種類によっては多岐にわたることに留意しておく必要がある。特に、昨今、IH ヒーターなど、インバータを用いたいわゆるパワーエレクトロニクス製品が家庭内で用いられる場合が増えたが、これらの製品からの暴露は高周波数帯域の電磁界暴露となる。また、テレビやパソコンのモニターなど、VDT からは幅広い周波数帯域の電磁界が生じている。
- 携帯電話が発する電波については、本調査の対象外である。しかし、携帯電話機からの発信は、間歇的に行われており、そのために電話機に密着する場所には超低周波域の磁界を発生している。この暴露の扱いを考慮しておく必要がある。
- 医療機器からの暴露は職業暴露の観点からは調査されているが、患者の暴露については十分に検討されていない。特に保育器に収容された新生児の場合、感受性の高い時期に機器の近傍にあって長期間の暴露を受けている可能性があることを考慮する必要がある。

2.1.5 磁界レベルの差に係わる要因

生活環境における磁界暴露のレベルは以下のような条件により大幅に変わり得る。

- 送電線からの距離
生活環境においては送電線は大きな暴露源であり、十分に離れている場合と近傍とでは暴露レベルに 100 倍程度の差が生じることが知られている（表 2-2）。
- 配電および家庭内の配線
生活環境中に生じる磁界レベルは必ずしも消費電力量に比例しない。大きさが同じで方向の異なる電力線が平行に密接して設置されれば、磁界は完全に打ち消される。2 線間の距離、あるいは電流量の差が大きくなるほど、発生する磁界レベルも高くなる。したがって、送電線から家庭への配電の状況、また家庭内の配線の引き回し、接地のしかたによって磁界レベルに大きな差が生じるのであり、一般的な類型化による暴露量推計が困難になっている。

わが国で家庭内に引き込まれている電力線は一般に 100 V である。磁界レベルは電流量に依存するが、電力量は電圧と電流の積である。そのため、電圧の高い欧州（～240 V）の生活環境中からの磁界暴露量は、わが国（100 V）や米国（110 V）のそれに比

べ、一般にかなり低い値になると考えられるが、上述のとおり、配線や設置方式によって影響を受ける可能性もある。

また、電力設備で一般的に用いられる三相三線の配線では、单相の場合と同じ電流量であっても、位相が異なる三線の間の打消し効果により、磁界、電界ともに大きく低減される。

- 電気器具の使用状況および器具内の配線

一般に多数の電気器具類を、より頻繁に使用すれば、それだけ磁界暴露レベルも高くなると予測される。しかしながら家庭内で使用する電気器具類は、たとえ同一の製品であっても、機種、年式、等は家庭によってさまざまであり、使用頻度、使い方などは家族のメンバーごとに大きく異なることが予測され、暴露状況の類型化は難しい。

一般に電気器具によって生じる磁界レベルは、新しい機器類ほど同機種の旧型のものに比べ減少している傾向がみられる。このことは、回路や部品の改善により、機器の消費電力自体が小さくなっていくことに由来すると考えられる。しかしながら例えばテレビは液晶テレビのほうが同じ画面の大きさであればブラウン管テレビよりも格段に消費電力が低いのだが、新しいテレビへの買い替えの際には、より大型の画面の機種が選ばれる傾向があるので、比較の際に注意を要する。

また、電気器具類の周辺磁界レベルは、機器内の配線を考慮することで容易に小さくすることが可能である。

2.2 磁界暴露の把握

2.2.1 磁界の実測

磁界は時間変化する空間内の三次元ベクトルであるため、磁界の状態を精密に把握する目的においてはベクトル量である磁界の各成分を測定しなければならないが、暴露評価の目的においては、一般的には合成磁界の測定が行われる。

生活環境における磁界の実測方法は、スポット測定と個人暴露量測定に大別される。

スポット測定

ある場所（スポット）ある時間での磁界レベルを測定する方法である。送電線近傍、家庭内の特定の場所、電気製品の近傍などの磁界レベル測定に用いられる。

個人暴露量測定

対象とされる個人の暴露量を知る方法である。携帯型の暴露量測定器を体の特定の部位に装着し、携行して一定期間内の記録をとることにより、日常生活や職場におけるさまざまな局面（特定の場所での滞在、特定の電気器具や交通機関の利用、特定の作業への従事等）での暴露量を把握することができ、一定期間の総暴露量、その間の最大暴露レベルなどを求めることができる。

2.2.2 計算やクラス分けによる磁界暴露量推計

実測による個人暴露量の測定には対象者の協力を必要とするのに加え、特殊な測定機器を要するうえ、測定に要する費用や時間も大きくなる。そのため、疫学調査のすべての場合に実施が可能であるわけではない。過去の疫学研究等においては、実測による暴露量把握の代替（サロゲート）として、計算やクラス分けによる暴露量の推計が行われてきている。

ワイアコード法

Wertheimer & Leeper (1979)により、初期の疫学調査において、暴露量のサロゲートとして電線規格が用いられており（W/L ワイヤコード法）その後も小児白血病の疫学調査においては、W/L ワイヤコード法、あるいはその改良法が用いられる傾向があった。しかし、これらのサロゲートは、いずれも実測による暴露量推定値との相関が良くない、あるいは疾病そのものとの関連性が見出し難いという結果となっており、疫学調査におけるよい暴露指標とはみなされない。

距離法

高圧送電線等の発生源からの距離で、機械的に暴露レベルをクラス分けする方法。送電線以外の発生源による暴露量を考慮できず、また、送電線の利用状況による変動も考慮できない。

アンケート法

家庭内での電気器具等の使用状況を質問表等で調査し、特定の発生源（電気器具の使用）の影響を調べる方法。情報バイアスの可能性が残る。

2.2.3 平均暴露レベル推定法

実測値を利用し、計算により個人暴露量を推定する方法。

TWA (Time-weighted-average) 法

屋内各部屋でスポット測定した磁界レベルと、各部屋で過ごす平均時間を加重平均し、暴露量を推定する計算方法のひとつである。

TWA 法の使用は疫学調査におけるデフォルト用量メトリックとして暴露量推計に用いられているが、実測値と矛盾する結果が得られる場合もある。疫学調査の暴露指標としての有用性は高いが、長期間の個人暴露量による実測の場合と比較すれば、あくまでも“確度の高いサロゲート”にすぎないことに留意する必要がある。

2.3 測定における留意点

2.3.1 測定機器と測定方法の要因

磁界暴露量の測定に関しては、磁界の特性から以下のような点に留意を要する。

- 使用する測定機器の種類

センサーの種類、特に大きさや三次元磁界成分の合成方法などの違いにより、測定機器の種類により、異なる測定結果が得られる場合がある。そのため、測定結果を比較する場合には、使用された機器の種類にも留意する必要がある。
- 測定距離

磁界のレベルは発生源からの距離が大きくなると極端に減衰する。センサーの形状から、測定器ごとに測定できる発生源からの最短距離に制限があることに留意する必要がある。また、電気器具等を発生源とする磁界レベルを測定するにあたっては、測定方法が使用方法に照らして適当であるかどうかの考慮を要する。同じ電気器具であっても人によって異なる使用方法、使用状況をとる可能性があることも考慮する必要がある。
- 測定周波数

磁界レベルの測定にあたっては、使用する測定機器の種類により、測定できる周波数帯が異なる。防護指針値が周波数によって異なることからわかるように、測定した周波数帯が同じでなければ、測定結果の磁界レベルをそのまま比較することはできない。

また、環境中の磁界は幅広い周波数帯にまたがって存在しているはずであり、測定して得られた結果は、その一部を切り出して見ているにすぎないことに留意する必要がある。

2.3.2 暴露の特徴に係わる留意点

- 局所・広範囲・全身暴露

磁界暴露により、健康影響が生じる際の標的となる体の部位については、現時点では明確な知見が得られているわけではない。個人暴露量測定装置は、通常腰の位置に装着するが、この位置で測定することについて、健康影響に関連した根拠が存在する訳ではない。健康に影響を及ぼす磁界暴露が、特定の部位、組織、器官等への局所的な暴露であるのか、より広範囲への暴露であるのか、あるいは全身への暴露を考慮する必要があるのかに関する科学的な裏づけは、現時点では得られていない。
- 誘導電流・接触電流による暴露

体内における電流の誘導は、交流電界によっては静電誘導電流、交流磁界によっては電磁誘導電流であり、前者が体表面に垂直な成分を有し体の中心部にも流れる一方、後者には垂直な成分はなく、中心部にはほとんど流れない。磁界の生体影響はこの誘導電流によるものと考えられている(Brain, JD et al., Childhood Leukemia: Electric and Magnetic Fields as Possible Risk Factors. Environmental Health Perspectives. 111(7), 962-970. 2003)。体内誘導電流密度については現在米国等において解析が進

行中である。

体内に流れる誘導電流には、電磁界の誘導によるもののほかに、電気器具類の直接的な接触によるものがある。米国では最大許容値が定められている（電気製品の漏れ電流最大許容量：固定式電気製品 750 μ A、可動式電気器具 500 μ A）。わが国の電気製品から手を通じて体内に流入する電流の 60 Hz 成分を測定した例では、電流の大きさは概ね 1 μ A 以下である（加藤、勝浦、井坂。「交流電流下における体内誘導電流と電気製品からの人体漏れ電流の測定」No. 3-6。平成 12 年電気学会四国支部連合大会）。

- 高レベル短時間暴露・低レベル長時間暴露

超低周波磁界暴露の評価を行うにあたって、高レベルだが短時間のみ存在した暴露におけるピークの高さに注目すべきか、あるいは低レベルの暴露が長時間持続したことを重視すべきか、磁界暴露の生体影響の機序が明確に分かっていない現在においては判断をくだすことができない。

- トランジェント・ハーモニクス・スタティックな磁場による暴露

電気器具類のスイッチをオン・オフする際等に過渡的変動磁界が瞬時に発生する。トランジェント・カウンターという測定器で、一定の周波数成分が閾値を超える回数を計数することができる。

電磁界は基本波のうえに、倍数の周波数の波が重複して存在する。暴露評価において基本波以外の成分を考慮する必要がないかどうかについては十分な知見が得られていない。

地磁気などの静磁界中で人体が運動（並進および回転）をすると、体内に誘導電流を生じる。また、落雷によって、近傍には過渡的に大きな磁界を生じることが知られている。これらの磁界が人体に及ぼす影響については十分な知見が得られていない。

2.3.3 個人磁界暴露量の変動要因

- 季節・曜日・時間帯による変動

送電線の稼働状況は、電力需要に応じて変動している。そのため、同じ規格であっても、周辺の超低周波磁界暴露の状況は大きく異なる可能性がある。同じ送電線の近傍の同一地点であっても、送電線によって発生する超低周波磁界の様相は、刻一刻と変動していると考えなければならない。このことはワイアコード法による暴露評価と実測値との相関が低い大きな原因となっていると考えられる。

一般的に生活環境中の超低周波磁界レベルは、消費される電力量が多ければ高く、少なれば低くなる。したがってバックグラウンドの超低周波磁界レベルは、電力消費量の多い夏季に高くなる傾向が見られる。この傾向は冬季の暖房に主に電力を使用することがない場合には共通して見られる。

同様に、電力消費量との関連で、企業の稼働している平日、日中に、バックグラウンドレベルの高い傾向が見られる。

2.3.4 電気製品の周辺磁界強度の特徴と変動要因

- 製品・種別

電気製品は、実現すべき機能ごとに一定の電気回路を有し、それぞれの製品の種類ごとに周辺磁界の状況にも一定の共通性が見られる。一般に高速で回転するモーターを内蔵する機器類の磁界レベルは高い。

電気製品からの暴露を考慮するにあたっては、製品の使用状況（使用時の体からの距離、製品と体の相対的な位置の変動状況、使用時間等）を考慮する必要がある。一般的に、体に密接させて使う機器類からの暴露量は大きくなる。睡眠時に使用する機器、あるいは恒常的にスイッチを入れた状態で使用する機器もあり、周辺磁界レベルが低い場合であっても、時間積算した場合には暴露量が大きくなる。

- 型式・年式

同じ種類の電気製品においては、一般に新製品ほど周辺磁界レベルが低くなる傾向がある。このことは省エネルギー化により、消費電力量がより小さくなる方向に製品が変化している傾向と関連している。

また、一部の製品は特に低磁界レベルにこだわって開発されており、発生する磁界を打ち消すような回路特性が持たされている。

2.4 磁界暴露の生体影響に関する留意点

磁界暴露を評価するにあたって、留意すべき点としてワーキンググループにおいては以下の二点が指摘された。

- 作用機序が不明であること

作用機序が不明であることから、磁界のどの成分をどのように測定すべきか（体のどの部分で測定するか。/ピークを測定するか、平均を求めるか。/合成磁界レベルを測定するか、特定の成分を測定するか。等）を限定するためには、現時点においては科学的な裏づけが十分ではない。疫学調査、動物実験を通じて、影響に関連するもっとも適切な用量メトリクスが模索されており、疫学調査においては前述した TWA 法が一般的になっている。

胎児や乳幼児期に感受性が高い時期のある可能性、また電磁場過敏症の存在する可能性は示唆されるが、作用機序の不明なことと合わせ、これらについても十分な科学的な裏づけは得られていない。

- 用量 - 反応関係が不明であること

磁界暴露とそれによる健康影響の用量 - 反応関係の様相について、直線性、あるいは閾値のある反応関係のいずれが成立するのか現時点では不明であり、さらなる知見の集積を待つ必要がある。

