

電磁界の健康リスク

大久保千代次

明治薬科大学大学院 環境生体学教室

Electromagnetic Fields and Possible Health Effects

Chiyoji OHKUBO

Department of Environmental Biology, Graduate School of Pharmacy Meiji Pharmaceutical University

抄録

日本人で電磁界の曝露を受けない人はいない。言い換えれば全国民が電気や電波の恩恵を受けている。しかし、恩恵を受けながらも、電磁界の健康影響を懸念する人々がいるのも事実である。電磁界と生体との相互作用は、低周波領域では誘導電流による神経系への刺激作用が、高周波領域では生体に含まれる水分が振動・回転して発生する熱作用が主となる。国際非電離放射線防護委員会は、これらの相互作用を根拠に、電磁界曝露制限値を設定している。しかし、同委員会が提言する国際的ガイドライン値を大幅に下回る曝露レベルでも健康影響をもたらすとの報告が報道されるため、国民に漠然とした不安を抱かせている。商用周波を含む超低周波電磁界の健康リスク評価での問題点は、疫学研究結果と細胞や動物を用いた生物学的研究結果の乖離である。リスクの存在が疫学研究で示唆される0.3-0.4 μ Tにあるのか、あるいはこれまでの生物学的知見から数千 μ T以上と考えるのかによって、電磁界防護政策が大きく変わるのは当然である。一方、無線周波電磁界の健康リスク評価作業では、13ヶ国による携帯電話使用と脳腫瘍の関連性を探る大規模な疫学研究結果が近く発表される予定である。WHOは14年前に国際電磁界プロジェクトを発足させ現在も継続中である。プロジェクトの健康リスク評価となる電磁界の周波数は0-300GHzで、広範囲に亘る。リスク評価の結果は、環境保健クライテリアとして順次出版している。本稿では、WHO国際電磁界プロジェクトの取り組みを中心に電磁界のリスク分析を紹介した。

キーワード： 電磁界、健康影響、WHO国際電磁界プロジェクト、リスク分析

Abstract

Recent years have seen an unprecedented increase in the number and diversity of sources of electromagnetic fields (EMF) used for individual, industrial and commercial purposes. All these technologies have made our life richer and easier. All populations are now exposed to varying degrees of EMF, and the levels will continue to increase as technology advances. Modern society is inconceivable without computers, mobile phones, television and radio. At the same time, these technologies have brought with them concerns about possible health risks associated with their use. The primary action of Extremely low frequency electromagnetic fields (ELF EMF) including power frequency EMF (50/60Hz) in biological systems by these fields is the induction of electrical charges and currents. This mechanism of action is unlikely to explain the health effects, such as cancer in children, reported to occur from exposure to "environmental" levels of ELF fields. Radio frequency electromagnetic fields (RF EMF) are known to produce heating and the induction of electrical currents. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) has published guidelines on exposure limits for all EMF. The guidelines provide adequate protection against known health effects. Such standards are developed following reviews of all the scientific literature by groups of scientists who look for evidence of consistently reproduced effects with adverse health consequences. However, the largest body of evidence involves a possible increase in risk of leukaemia in children associated with exposure to magnetic fields at power frequencies (50/60 Hz) in the home. Other scientific evidence, including a large number of animal studies, does not support this conclusion. A large epidemiology study is being coordinated in 13 countries including Japan by the International Agency for Research on Cancer (IARC), -a specialised cancer research agency of WHO,

-to identify if there are links between use of mobile phones and head and neck cancers. The study is anticipated to be completed soon. As part of its Charter to protect public health and in response to public concern, the World Health Organization (WHO) established the International EMF Project in 1996 to assess the scientific evidence of possible health effects of EMF. The International EMF Project brings together current knowledge and available resources of key international and national agencies and scientific institutions in order to arrive at scientifically-sound recommendations for health risk assessments of exposure to static and time varying electromagnetic fields in the frequency range 0-300 GHz. The author reviews the possible health effects of EMF including the results of WHO health risk assessments on EMF.

Keywords: electromagnetic fields, possible health effects, WHO International EMF Project, risk analysis

I はじめに

電気は現代生活には最も不可欠なインフラストラクチャーの一つであり、世界中で使われている。電気の利用が我々の生活向上に如何に貢献しているかは、事故や災害による停電時に実感するところである。また、携帯電話や無線通信の技術革新著しい情報通信分野への期待も大きく、電気・電波の利用はこれからも益々増大の一途を辿るに違いない。従って日本をはじめ、全世界で電磁界 (electromagnetic fields; EMF) の曝露を受けない人はいない。しかし、電気や電波の恩恵を受けながらも、電磁界の健康影響を懸念する人々がいるのも事実である。分けても 50/60Hz の商用周波電磁界を含む超低周波電磁界 (extremely low frequency electromagnetic fields; ELF EMF, 周波数 300Hz 以下) や 10 億 Hz (1 GHz) 前後の携帯電話で使用されている無線周波電磁界 (電波, radio frequency electromagnetic fields, RF EMF, 周波数 10MHz ~ 300GHz) への健康影響には関心が高い。ELF EMF の健康リスク評価の際、最も問題となるのは、疫学研究結果と細胞や動物を用いた生物学的研究結果の乖離である。リスクの存在が疫学研究で示唆される 0.3-0.4 μ T (テスラ) にあるのか、これまでの生物学的知見から数 mT 以上と考えるのかによって、今後の商用周波電磁界防護政策が大きく異なる。一方、RF EMF の健康リスク評価では、近くに発表予定の携帯電話使用と脳腫瘍の関連性を追究する疫学研究結果が最も注視されている。携帯電話や PHS の我が国の契約数は 2007 年には一億件を上回っているものの、携帯電話が国民生活に浸透し始めてまだ歴史が浅く、長期の携帯電話使用に伴う健康影響には未知な領域が残されているからである。本稿では、電磁界の健康影響について、1996 年に発足し、現在も活動している WHO (世界保健機関) による国際電磁界プロジェクト (The International EMF Project)¹⁾ の動向を絡めて解説したい。

II 電磁界と生体

電磁界の健康影響を述べる前に、電磁界とは何か、生体との関わりを概要する。自然界でも電界と磁界の振動で構成される電磁波とよばれる電磁エネルギーが存在している。そして、電界と磁界は個別に、植物、動物、ヒトなど

の生体に相互作用を示す。この相互作用をより良く理解するためには、電磁界スペクトルを構成する波の物理的特性を知ることが必要である。電磁波は波長、周波数およびエネルギーによって特徴づけられている。この 3 つの要因は相互に関連をもっているため、それぞれの要因が生体系に影響を与えることになる。電磁波の波長が短ければ短い程、周波数は高くなる。例えばラジオの AM 放送帯の中心周波数は 1 MHz で、その波長は約 300m である。携帯電話では周波数は 1 GHz 前後で、波長は約 30cm、電子レンジは 2.45GHz で、その波長は 12cm である。家庭で使用する商用周波は 50 あるいは 60Hz で、その波長は 6,000km あるいは 5,000km である。電磁波は大変小さな光子と呼ばれるエネルギーの束から成り立っている。それぞれの光子のエネルギーは直接的に波の周波数に比例し、周波数が高ければ高い程、個々の光子のエネルギー総量は大きくなるが、電磁波が生体系にどの程度影響を与えるかは、電磁波の強さと光子のエネルギー量によって決まる。

電磁波はその周波数とエネルギーによって非電離放射線と電離放射線に分けられる。電離放射線は、X 線や γ 線などの極めて高い周波数の電磁波で、細胞を構成する分子の原子結合を破壊することによって電離作用 (プラスやマイナスに荷電された原子や分子を生成すること) を惹起させるのに十分な光子エネルギーを持っている。非電離放射線は、光子エネルギーが原子結合を破壊するには至らない程の電磁スペクトルの部分と一般的に表現できる。この中には紫外線の一部、可視光線、赤外線、ラジオ波やマイクロ波などの RF EMF, ELF EMF, そして時間的に振動しない静的 (定常) 電磁界 (Static EMF) が含まれる。非電離放射線に属する電磁界は曝露強度がどんなに強くても生体系で電離作用は起こすことはないが、昇温させたり、細胞内化学反応を変化させたり、組織内で電流を誘導するといった生物学的影響をもたらす。

電磁界は、曝露条件によっては健康影響に結びつくような、生物学的影響をもつ。ここで言う生物学的影響とは、生理学的に適応できる生体反応を生じさせることを指す。健康影響は、その生物学的影響が身体の正常な調節能力を越える、病態生理的反応を引き起こす場合を指す。例えば日光浴で体を温め、紫外線でビタミン D 生成するのは生物学的影響であり、有益と言える。しかし、海水浴での日焼

けは場合によっては生物学的影響を超えて水泡や疼痛を伴って健康影響をもたらす。長期に亘る紫外線曝露は皮膚がんの原因となる。

Static EMF による生体系への主作用は、電流や電荷を誘導することにある。この他にも非常に強力な Static EMF (例えば MRI などの診断機器) に曝露される場合には、健康障害に結びつく可能性のある影響が示唆されている。静的電界は、人体内部に電界が貫通することはないが、皮膚の体毛が動くことによってその存在を感知できる。しかし、非常に強力な静的電界による放電を除いて、健康影響はないと考えられる。静的磁界は、人体の内側と外側でその磁界強さを変えることはない。非常に強い静的磁界は血流または正常な神経刺激に変化を与えるが、この様な強い静的磁界に日常生活では遭遇することはない。しかし、労働環境で遭遇するレベルの静的磁界の長期間曝露影響については情報が不足している。

ELF EMF による生体系への主作用は、電流や電荷を誘導されることに起因して神経や筋への刺激作用である。しかし、この作用により、環境レベルの ELF EMF 曝露によって生じるとされる小児白血病などの健康影響(後述)を説明するには無理がある。超低周波電界は、どの程度電流が流れているかにかかわらず、電荷(電圧)があればそこにいつでも存在するが、人体内部に電界が貫通することはほとんどない。一方、超低周波磁界は、電流が流れることで発生するが、ほとんど減衰することなく人体を貫通する。電界の強度は電圧に依存し、磁界の強度は電流に依存する。言い換えれば、電力線近傍の電界強度はほぼ一定しているが、磁界は電力線内を流れる電流量に依存する。電流量は電力消費量により生活や産業活動に伴って日内変動し、季節変動もする。つまり、磁界強度は電界強度と違い、一定せず、疫学研究の際に磁界曝露量評価を複雑にする所以である。

RF EMF と生体系への作用は誘導電流による神経への刺激作用と熱作用の両方を考慮する必要がある。低周波領域では刺激作用が支配的であるが、周波数が高くなるとともに刺激作用は次第に弱まり、やがて熱作用が支配的となる。この境界線は、約10万ヘルツ(100kHz)前後である。RF EMF に生体が曝露されると高周波の電流が流れる。人体の体重の六割は体液と細胞内液で、水などの極性が高い分子が多くふくまれるので、大きな誘電率を持っている。これらの生体分子が振動・回転し、そのエネルギーが散逸して組織に熱を発生させている。たとえ低レベルの RF EMF 曝露でも理論的にはそれに見合った微量の熱を発生するが、当人も気がつかないうちに、生理的な温熱調節機構で運搬・消去される。RF EMF に関するいくつかの研究によれば、熱を引き起こすには至らない程の RF EMF 曝露が、がんを含む健康障害を引き起こす可能性を示唆しているが、その科学的根拠は弱い。体内での熱発生の指標として、比吸収率(Specific Absorption Rate; SAR [W/kg])が用いられている。SAR は、単位時間に単位質

量の組織に吸収されるエネルギーである。

上記の生体と電磁界との相互作用に基づき、電磁界の人体曝露が健康障害をもたらさないように、更には電磁界を発生する機器が安全であり、その使用が他の機器の電氣的誤作動をもたらさないように、国際的ガイドラインや安全基準が設定されている。世界中で最も多く採用されているのは国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)が1998年に定めたガイドライン²⁾である。その詳細は、ICNIRP の web site (<http://www.icnirp.org/>) から入手出来る。保健物理学会の多氣・相本氏らによって翻訳された日本語版もここから入手できるので参考にされたい。例えば、商用周波電磁界へのガイドラインは、電磁界によって引き起こされる神経や組織への刺激を根拠に安全係数をとって設定している。この値以下の曝露であれば、長期に亘っても安全であるように設定されている。ガイドライン値は、周波数を分母にとっているので、周波数で異なり、東日本(50Hz)では、電界が5.0 kV/m、磁界が100 μ T、西日本(60Hz)では、電界が4.2 kV/m、磁界が83 μ Tである。このガイドライン値にはその科学的根拠の脆弱性から小児白血病に代表される長期的な影響は反映されていない。2001年6月に国際がん研究機関(IARC)が行った商用周波電磁界への発がん性評価(後述)³⁾に対して、ICNIRP(2001/11)は、生物学的研究からの支持がない状況では疫学研究の結果(商用周波電磁界が0.3-0.4 μ T以上の居住環境では小児白血病の発生率が統計的な有意差をもって約2倍に増加することを示唆している)は電磁界曝露のガイドラインに採用するには不十分であり、現在(1998年)のガイドラインを変えることは正当化できない、との声明を出している。RF EMF へのガイドラインは、100kHz までは、神経系機能への影響を防護するために電流密度を制限し、100kHz から10GHz までは、全身的熱ストレスと局所的な加熱を防護するために SAR を指標に曝露制限を設定し、それ以上の周波数(300GHz まで)は、体表面とその近傍組織の過剰加熱を防護するために電力密度を制限している。なお、ICNIRP は国際電磁界プロジェクトが行うリスク評価結果(環境保健クライテリア, Environmental Health Criteria; EHC の発刊)を受けて、現行のガイドラインを順次見直すことになっている。直流電磁界の環境保健クライテリア(Static Fields Environmental Health Criteria [Static Fields EHC] 232⁴⁾)が2006年に発刊された(後述)のを受けて、現在直流電磁界のガイドライン値の見直し作業は最終段階にある。2007年6月には超低周波電磁界の環境保健クライテリア(Extremely Low Frequency Environmental Health Criteria [ELF-EHC] 239)⁵⁾が発刊された(後述)ので、現在見直しに着手している。

III WHO 国際電磁界電磁界プロジェクト

電磁界の健康リスク評価で国際的に注目されるのは、1992年より6年掛かりで実施された米国の電磁界ラピッド(EMF-RAPID)計画⁶⁾、1996年から現在進行中の

WHOによる国際電磁界プロジェクト (WHO International EMF Project)¹⁾がある。著者は、当初から国際諮問委員会の政府代表としてプロジェクトに参加すると共に、国立保健医療科学院を定年退職した後の2005年4月から2年間プロジェクト事務局に従事していた。その間、2006年春には、WHOは静的電磁界の健康リスク評価を終え、Static Fields EHC 232⁴⁾を発刊した。また、2007年6月にはELF-EHC 239⁵⁾を発刊している。

プロジェクトは14年目を迎えている。リスク評価の対象とする電磁界は、静(定常)電磁界(Static EMF, 0 Hz)、商用周波を含むELF EMF (>0-300 Hz)、中間周波電磁界(IF EMF; >300 Hz-10M Hz)およびRF EMF (>10M Hz-300 GHz)と、広範囲に及んでいる。プロジェクトの組織は、各国政府代表、共同研究センターおよび国際機関からなる国際諮問委員会(International Advisory Committee: IAC)により運営され、その事務局をWHOに置いている。プロジェクト参加国(関心国も含む)は、1996年発足当初は、僅か17ヶ国であったが、2007年現在60ヶ国以上に及んでいる。

共同研究センターとしては、英国の健康保護庁放射線防護局(HPA-RPD, 旧NRPB)、ドイツの放射線防護局(BfS)、米国の産業衛生研究所(NIOSH)、空軍電波研究所、スウェーデンのカロリンスカ研究所、オーストラリア放射線防護・核安全庁(ARPANSA)、カナダのオタワ大学、日本から国立環境研究所が参加協力していたが、国立環境研究所の代表であった兜真徳氏が2006年に不幸にも逝去されたのを受けての2007年からはセンターを辞退している。

事務局はWHOのジュネーブ本部にあり、その責任者は永らくDr. Michael Repacholiであったが、2006年6月に定年退職し、現在はDr. Emilie Perkins van Deventerとなっている。常勤職員として著者が2007年3月までその任に当たっていたが、その他非常勤のセコンドメントとして英国HPAのDr. Richard Saunders、オランダ健康評議会(HCN)のDr. Eric van Rongenが参加している。プロジェクトの情報は、そのホームページ<http://www.who.int/peh-emf/en/>から得られる。

1999年4月、フランスのリヨンで国際がん研究機関(IARC)による電磁界の発がんリスク評価に関する臨時諮問委員会が開催された。委員会では、評価を2段階とし、IARCが、まずStatic EMFおよび商用周波を含むELF EMFとRF EMFに対する発がん性評価を実施し、次にWHOが発がん以外の健康影響を総合的に評価し、最終的には環境保健クライテリアを発刊予定することが提案され、正式にIACで承認された。

Static EMFの健康影響については、2004年12月にWHOジュネーブ本部でリスク評価を目的とするタスク会議が開催され、2006年4月にStatic Fields EHC 232⁴⁾を発刊したが、その全文は<http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/ehcstatic/en/index.html>からダウン

ロードできる。さらには主要と思われる章は日本語に翻訳したので、興味ある読者は、<http://www.who.int/peh-emf/publications/STATIC%20EHC%20Chapter%201%20Japanese.pdf>を参照されたい。また、Static EMFの健康影響の詳細については、別途章を分けて鉄道総合研究所の池畑政輝氏が解説するので、ここでは割愛する。

ELF EMFの健康影響については、2005年10月にWHOのジュネーブ本部でリスク評価を目的とするタスク会議が開催され、2007年6月にELF-EHC 239⁵⁾を発刊した。その全文はhttp://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.htmlからダウンロードできる。主要と思われる第1章は日本語に翻訳したので、興味ある読者は、http://www.who.int/peh-emf/publications/Chapter1_jp.pdfを参照されたい。また、第1章の大事な部分である健康リスク評価と各国政府への勧告文書の日本語訳を付録1として末尾に掲載した。更には、ELF-EHC発刊と同時にWHOの公式見解としてFact Sheet No.322を発表したので、この日本語訳も付録2として掲載した。日本語訳はhttp://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs322_ELF_fields_jp_final.pdfから入手出来る。その経緯は巻頭言を参照されたい。なお、ELF-EHCが対象とする周波数は、300 Hz以下ではなく中間周波の一部を含む100 kHzであることを留意されたい。また、超低周波電磁界の疫学と健康影響の詳細については、別途章を分けて国立保健医療科学院の益島茂氏と牛山明氏が解説するので、ここでは割愛する。

RF EMFの健康影響については、IARCによる発がん性評価が2008-9年、WHOによる健康リスク評価とRF-EHCの発刊は2010年以降になると予想される。RF EMFの発がん性評価を行うには、IARCが中心になって取り纏めている、携帯電話使用と頭部・頸部がん発生に関する国際的疫学研究(INTERPHONE研究、日本を含む13ヶ国が参加)の結果を待つ必要がある。その作業は予定より遅れている。何事も計画通りには進まない。いずれにせよ、これらの2段階のリスク評価が今後の最も注目すべき作業であり、その結果は世界各国のRF EMF対策に必ず大きな影響を与えることは間違いない。なお、今後出されるRF-EHCでは100kHzから300GHzの周波数をもつ電磁界が評価対象となる。RF EMFの疫学と健康影響の詳細については、別途章を分けて東京女子医科大学の山口直人氏とポルドー大学(元国立保健医療科学院)の増田宏氏が解説する。

IV リスク分析

電磁界の「リスク分析」とは、電磁界曝露による健康悪影響が発生することを予防・抑制することを目的として、「リスク評価」、「リスク管理」及び「リスクコミュニケーション」を行うことと言える。ここでは商用周波電磁界のリスクを中心に例示する。

①リスク評価

リスク評価には、定性的リスク評価と定量的リスク評価

があり、その概念と手順は、

①有害性の同定 (hazard identification) : 最も基本的な作業であり、ある環境因子がヒトへの発がん性等の有害性の有無を判定する。これまで科学的な知見として、疫学研究と動物実験研究の成績がレビューされる。一般に、ヒトを対象とする疫学研究で影響ある場合には、それを重視しつつ、動物実験によって影響を説明できるメカニズムがあるか検討している。有害性の同定は定性的リスク評価である。1998年米国のEMF-RAPID計画のNIEHS作業部会は商用周波磁界をIARC方式により「2B: ヒトに発がん性があるかもしれない」と判定した⁷⁾。2001年WHO国際電磁界プロジェクトの一環として実施された、IARCの評価でも超低周波磁界を「2B」と判定³⁾。商用周波磁界曝露と小児白血病発症との統計的な関連性を示唆する疫学研究のプール分析結果による疫学の限定的な証拠がある一方、この証拠を裏付ける生物学的研究が無いことに起因している。2007年に出されたWHOのELF-EHCでもIARCの評価である「2B」を踏襲し、因果関係までは認められないとした⁵⁾。

②量・反応関係 (dose-response relationship) : 電磁界曝露と生体反応との定量的な関係を明らかにする。商用周波磁界に関する一部の疫学研究では磁界曝露量と小児白血病発症に関係を示唆する傾向があるものの、多くの疫学結果では関係は見当たらない。よって量・反応関係は現状では認められない。

③曝露評価 (exposure assessment) : 人々がどの程度電磁界に曝露されているか評価する。米国ではEMF-RAPID計画の工学研究プログラムでほとんどの国民は時間平均0.1~0.2 μ Tで、0.4 μ T以上は1%程度である。英国でも同様で0.4%である。日本で大規模な疫学研究の兜らの報告では、欧米に比べて高曝露である思われていたものの、それ程高くなく1%以下である⁸⁾。0.4 μ T以上の曝露を受けると小児白血病の発症率が統計的に上昇するが、高曝露の住民の中から小児白血病の症例を確保するのが困難なので、量・反応関係を求める際の大きな障害となっている。

④リスクの推定 (risk characterization) : ①~③の結果からヒトに対する健康影響の種類やその程度を明らかにすると共に、健康影響(発がん)の発生確率を推定する。

②以降は定量的リスク評価である。今般発表されたWHOのELF-EHCでは、過剰リスクを定量している⁵⁾。関連性が因果関係であると仮定すると、磁界曝露に帰することができるかもしれない小児白血病の症例数は世界全体で毎年100~2400人と推定している。これは2000年に49000人と推定されている小児白血病の年間発症数の0.2~4.9%に当たる。ゆえに、地球規模では、公衆衛生上のインパクトは、仮にあったとしても限定的で不確かであろう、と判断している。

2001年6月にIARCが超低周波磁界を「2B」と判定し

た根拠となる、Ahlbomのプール分析結果⁹⁾を基に、我が国におけるリスクを推定してみると、小児10万人あたり年間3~4ケース程度で、15歳未満人口は全国では1750万人で、0.4 μ T以上の人口を1%⁸⁾とした場合の人口は、175,000人となる。Ahlbomのプール分析による0.4 μ T以上の小児白血病発症リスクが2.00なので、年間の推定過剰リスクは、6~7人と試算される。この試算はあくまでも商用周波磁界の居住環境曝露と小児白血病発生の関連性に因果関係があるした場合である。

②リスク管理

リスク管理は、発がん性が無く、量・反応関係から閾値を求められる場合と、発がん性物質や因子やその可能性が疑われる物質や因子など閾値という概念は存在しない場合で、対応が分かれる。

電磁界の短期的影響については発がん性ではなく、神経系への刺激作用や身体への熱的影響を考慮して国際的ガイドラインや電波防護指針でリスク管理しており、この短期的影響を基に生涯に亘り電磁界を管理すれば安全であると考えている。長期的影響は商用周波磁界では小児白血病、RF-EMFでは携帯電話の使用によって脳腫瘍への影響が主として検討されているが、現状では商用周波磁界については長期的影響の科学的根拠に問題があるので、これを基にICNIRPは国際的なガイドライン値を見直す動きはないことは先に述べた通りである。しかし、長期的影響への国民の懸念に対処して、プレコーシヨンの政策を一部採用している国はある。

大気汚染物質を含め、食品添加物や残留農薬などの発がん性のない化学物質のリスク管理ではこれ以下であればまず安全であるという閾値の存在があることを前提にしているので、これを基に一日摂取許容量(Acceptable Daily Intake; ADI)や一日耐容摂取量(Tolerable Daily Intake; TDI)が使用されている。この値は、疫学研究や動物実験で有害性を示さない最大無毒性量(No Observed Adverse Effect Level; NOAEL)から、これに安全係数として種差で10分の1と個体差で10分の1を掛け合わせた100分の1を適用している。

リスク管理では、ハザード(障害性)の同定、曝露量と反応関係、曝露量評価が不可欠である。例えば商用周波磁界の短期的な曝露のハザードは誘導電流による神経系への影響(刺激作用)であり、多くの研究を基に確立された影響と認定できる。RF-EMFでは熱的影響がこれに相当する。次に、曝露量と生体反応関係から有害となる閾値を求め、これに労働環境では10倍、一般環境では50倍の安全率を計算して国際的なガイドライン値や電波防護指針値を設定してリスク管理している。リスクの管理については、首都大学東京の多氣昌生氏と情報通信研究機構の渡辺総一氏が本誌に別途その詳細を述べている。

一方、発がん性物質や因子やその可能性が疑われる物質や因子には閾値という概念は存在しない。極微量でのその曝露量に見合った影響があると考えられている。従って理

論的にはその曝露をゼロにすべきであるが、多くの場合現代生活には不可欠に近い環境因子であることが多い。もし電磁界曝露が発がんの可能性があったとしたら、正にその範疇に入る。我々は電気の利用を中止することは出来ないのである。そこで電磁界曝露による健康リスクを定量的評価する必要が生じる。この場合、リスクがある一定の確立以下であれば、実質的に安全であると見なし得る曝露量（実質的安全量、Virtual Safe Dose; VSD）という概念を導入されている。

どの程度の確立であれば実質的安全であるかという判断は、科学の領域ではなく、各国の行政の判断領域である。もちろん国民性も反映するであろう。我が国を始め、欧米では生涯の発がんリスクが $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 以下をVSDと見なす場合が多い。例えば電磁界曝露の生涯の発がんリスクが 10^{-6} である仮定した場合、ある人間が生涯電磁界曝露を受けた時に発がんする確立が1,000,000分の1、つまり100万人1人であることを意味している。これを日本の人口1億2千770万人と平均寿命80歳を適用すると、 $1.277 \times 10^8 \times 10^{-6} / 80 = 1.596$ となり、電磁界曝露による1年間の過剰発がん患者数は1.6人となる。電磁界曝露の生涯の発がんリスクが 10^{-5} である仮定した場合は16人となる。これを「高い」あるいは「低い」と判断するか行政的判断が求められることになる。例えば、もし商用周波磁界と小児白血病の関連性に因果関係があると仮定した場合を想定すると、年間の推定過剰リスクは、先述したように6～7人と試算されるので、 10^{-5} と 10^{-6} の間にあると言える。

③リスクコミュニケーション

電磁界のリスクを考えると、もっとも重要な位置を占めるのがリスクコミュニケーションではないかと思われる。リスクコミュニケーションの目的は、全ての関係者（Stake Holders; 一般市民、労働者、行政、企業、研究者等）が、推定されるリスクの大きさを同一に共有することにある。いかなるリスク評価とリスク管理を行っても、リスクコミュニケーションが十分行われなければ、あるいは不成功に終われば、それまでの努力は無駄になると言っても良い。国民に安心して貰う、安心して貰うまで行かなくても理解・納得してもらうことが不可欠である。

科学者はその教育過程で、ある物質（環境）に対し定性・定量的判断を行う能力を学んで行くが、国民の大多数はその様な教育を受けていない。新聞等のマスメディアである物質（環境）に定性的な毒性情報を流すと、国民は定量的な考察抜きに「危険」と判断する。これまで経験したことのないある物質（環境）に対しては、安全が確認出来なければ、「危険」と判断する。ヒトが進化の長い過程で獲得した知恵かもしれない。

商用周波電磁界の例を示そう。長期的な曝露影響では、ハザードの同定は、IARCによる発がん性評価では「2B: ヒトに発がん性があるかもしれない」とした³⁾。しかし、量・反応関係は認められず、曝露量も何を指標にして評価するか議論が多く、健康リスク評価への理論形成は極めて

困難である。よって、2007年に出されたWHOのELF-EHCではIARCの評価である「2B」を踏襲するものの、因果関係は認められない。リスク管理の選択肢として磁界低減策を実施しても、低減により小児白血病発症が減少するという健康上の便益は不明としている⁵⁾。この論理展開は、国民に十分納得して貰うには複雑である。「要は、危ないのか危なくないのか？」という質問に明快答えは見当たらない。「不確実性のあるリスクであり、もし、小児白血病と磁界曝露と仮に因果関係があったとした場合の過剰リスクが6-7名/年と推定される。」と答えるしかないのが現状である（科学として望ましい選択肢は、不確実性を無くす為に磁界曝露による小児白血病の病因を究明し、これを管理できる環境を提言することであろう。しかし、小児白血病の病因学は極めて難解であり、前途は厳しい。）。科学的な不確実性と過剰リスクの推定で国民が理解・納得し、安心して貰うのである。

WHOでは、電磁界の健康リスクの科学的な不確実性を考慮し、”Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields”（電磁界のリスクに関する対話の確立）も発行している。WHOのウェブサイト <http://www.who.int/peh-emf/publications/riskjapanese/en/> から日本語訳が入手できる。なお、この本を読めばリスクコミュニケーションが上手く出来るという内容ではない。リスクコミュニケーションの目的を理解し、行政や事業者が、リスクコミュニケーションを行う際にどの様な点を考慮すべきか示している。一読を勧める。

リスクコミュニケーションの問題点を別の角度で示す。マスメディアの役割である。ICNIRPのガイドラインや我が国の電波防護指針では、曝露量と生体反応関係から「危険」となる閾値を求め、これに念のため、労働環境では10倍、一般環境では50倍の「安全率」を計算して「曝露限界値」を設定していることは述べた。科学者はこれ以下の値（曝露量）であれば「安全」と考えている。行政はこれを立法化して、「曝露限界値」を超えなければ「適合」、超えれば「違反」と判断する。食品添加物などの化学物質への規制値の設定も同様の理論である。電波防護指針を違反する様な携帯電話端末を作成した企業は幸い経験しないので、例えば食品添加物を例にあげる。ある食品に食品添加物の「基準値」を超えたとする。この事実をマスメディアが国民に情報提供する場合は、「違反」の事実が全面に出て、「どの程度違反」したか、その結果「どの様な健康被害が予想されるか」は問われることは少ない。リスクコミュニケーションに於けるマスメディアの役割は大きく、情報提供された国民は、メディアが伝える「違反」という文字から、「違反」＝「危険」という短絡を形成することが多い。食品添加物では100倍の安全率を加味していることを国民へ情報提供するのをマスメディアは忘れるのか、あるいは知らないのか。法律で定められた基準を遵守するのは当然であり、違反するのは勿論、良くない。その様な企業の製品は信用されなくなる。これまでの事例でも良く

分かる。「違反」を肯定する気は更々ない。ただ、その「違反」が科学的にどの程度の違反か、その程度で健康影響を招くのかといった定量的な判断が、リスクコミュニケーションでは大変重要であると言いたい。不信・不安を増幅させるだけの報道は避けるべきであろう。風評被害も無視できない。電磁界のリスク情報でも同様である。リスクコミュニケーションについては、野村総合研究所の長田徹氏が別途章を設けてその詳細を述べる。

<付録 その1>

ELF EHC No. 239

第1章 要約およびさらなる研究のための奨励

この環境保健クライテリア (EHC) モノグラフは、超低周波 (ELF) の電界および磁界への曝露により生ずる可能性のある健康影響を扱う。本書は、曝露の発生源および測定、ならびに ELF 界の物理的特性をレビューしている。但し、本書の主な目的は、ELF 界への曝露による何らかの健康リスクを評価し、健康防護プログラムに関する各国当局向けの奨励を作成するためにこの健康リスク評価を利用するため、ELF 界への曝露の生物学的影響に関する科学的文献をレビューすることである。

検討する周波数範囲は、0Hz から100kHz までである。これまでに実施されている研究の大半は商用周波数 (50 または60Hz) 磁界に関するもので、商用周波数電界を用いた研究は少数である。さらに、超低周波 (VLF, 3 ~ 3kHz) について、磁気共鳴撮影法に用いられる切替え勾配磁界、および画像表示端末や TV 受像機から放射される弱い VLF に関する研究がいくつかある。

本章では、各章からの主な結論および奨励、ならびに健康リスク評価プロセスの全体的な結論をまとめる。本モノグラフにおいて、ある健康影響についての証拠の強さを表現するのに用いる用語は以下の通りである。証拠が単一の研究に限られる場合、または、幾つかの研究についてのデザイン、実施、解釈に関する未解決の疑問が残っている場合、その証拠は「限定的 (limited)」とされる。重大な量的または質的な制約のため、研究がある影響の存在の有無を示していると解釈できない場合、あるいは利用可能なデータがない場合、証拠は「不十分 (inadequate)」とされる。

知識における重要なギャップも同定し、これらのギャップを埋めるための研究ニーズを、「研究のための奨励」と題する節にまとめている。

1.1 要約

(省略)

1.1.11 健康リスク評価

WHO 憲章によれば、健康とは完全な肉体的、精神的および社会的福祉の状態であり、単に疾病又は病弱の存在しないことではない。リスク評価は、健康または環境上の結果の評価に関連する情報の構造的なレビューのための概念的な枠組みである。健康リスク評価は、ある曝露が特定の

行動を必要とするかどうか、また、そうした行動の実施に関する決定を下すのに必要なすべての活動を包含する、リスク管理に対するインプットとして利用可能である。

ヒトの健康リスクの評価において、ヒトに関する具体的なデータは一般に、利用可能な場合にはいつでも、動物データよりも有益である。動物および *in vitro* 研究は、ヒト研究からの証拠を支持したり、ヒト研究からの証拠に残されたデータのギャップを埋めたり、ヒト研究が不十分または存在しない場合においてリスクについての決定を下すのに用いることができる。

すべての研究は、肯定的または否定的な影響のいずれについても、それ自身の特徴に基づき、そしてその後の証拠の重みアプローチにおいて全体として、評価・判断する必要がある。どれくらいの証拠のセットがあれば、曝露がある結果を生じる確率を変化させるかを決定することが重要である。一般に、ある影響についての証拠は、異なる種類の研究 (疫学または実験室) で同様の結論が示された場合、および/または複数の同種の研究で同じ結果が示された場合、さらに強められる。

急性影響

100kHz までの周波数範囲の ELF 電界および磁界への曝露については、健康に対して悪影響を生じうる急性の生物学的影響が認められている。ゆえに、曝露限度が必要である。この問題に対処する国際的ガイドラインが存在する。これらのガイドラインを遵守することにより、急性影響に対する適切な防護が得られる。

慢性影響

日常的な、慢性的な低強度 (0.3 ~ 0.4 μ T 以上) の商用周波数磁界への曝露が健康リスクを生じるということを示唆する科学的証拠は、小児白血病のリスク上昇についての一貫したパターンを示す疫学研究に基づいている。このハザードの評価における不確かさには、選択バイアスおよび曝露の誤分類のコントロールが、観察されている磁界と小児白血病との関連性において果たすかもしれない役割が含まれる。加えて、事実上すべての実験室での証拠およびメカニズムに関する証拠は、低レベルの ELF 磁界と生物学的機能または疾患状態の変化との関連を支持することができていない。ゆえに、全体として、因果関係があると考えられるほどには証拠は強くないが、関心を残すには十分に強い。

磁界曝露と小児白血病との間の因果関係は認められていないものの、政策に対して潜在的に有益な情報を提示するため、その因果関係を仮定した上で、公衆衛生上のインパクトの可能性が計算されている。但し、この計算は曝露分布およびその他の仮定とは全く無関係であり、ゆえに極めて不正確である。(磁界曝露と小児白血病との間の) 関連性が因果関係であると仮定すると、磁界曝露に帰することができるかもしれない小児白血病の症例数は世界全体で毎年100 ~ 2400人と推定される。但し、これは2000年に49000人と推定されている小児白血病の年間発症数の0.2

～4.9%である。ゆえに、地球規模では、公衆衛生上のインパクトは、仮にあったとしても限定的で不確かであろう。

その他のいくつかの疾患が、ELF 磁界曝露との関連の可能性について調べられている。これらには、小児および成人のその他のがん、抑うつ、自殺、生殖機能不全、発育異常、免疫学的修飾、神経学的疾患が含まれる。ELF 磁界とこれらの疾患とのつながりを支持する科学的証拠は、小児白血病についてよりもさらに弱く、いくつかの場合（例えば、心血管疾患や乳がん）においては、磁界が疾患を誘発しないと確信するのに十分な証拠がある。

1.1.12 防護措置

ELF 電界および磁界への曝露による認められた有害影響に対する防護のため、曝露限度を履行することが必須である。これらの曝露限度は、関連するすべての科学的根拠の徹底的な調査に基づくことが望ましい。

認められている影響は急性影響のみであり、この影響からの防護のためにデザインされた国際的な曝露限度は二つある（ICNIRP, 1998a ; IEEE, 2002）。

これらの認められた急性影響に加えて、慢性影響の存在についての不確かさがある。これは、ELF 磁界への曝露と小児白血病との相関の限定的な証拠があるためである。ゆえに、プレコーシオンのアプローチの使用が正当化される。しかしながら、曝露ガイドラインの限度値を、プレコーシオンの名の下に恣意的なレベルに引き下げることが推奨されない。そのような行為は、限度値が依拠する科学的基礎を損ない、また高価で必ずしも有効でない防護策となるであろう。

曝露を低減するための、その他の適切なプレコーシオンの方策の実施は合理的であり、正当化される。但し、電力は明白な健康上・社会的・経済的便益をもたらしており、プレコーシオンのアプローチはこれらの便益を損なうべきではない。さらに、ELF 磁界への曝露と小児白血病との相関についての証拠の弱さ、および、仮に相関があったとしても、それが公衆衛生に及ぼす影響は限定的であることから、曝露低減が健康にもたらす便益は不明である。ゆえに、プレコーシオンの措置の費用は非常に低いものであることが望ましい。曝露低減の実施費用は国によって異なるので、費用とELF 界からの潜在的リスクとのバランスを取るための一般的な奨励を提示することは困難である。

上記の観点から、以下の奨励を提示する。

- 政策立案者は、ELF 電界および磁界への急性曝露に対する一般公衆および職業者の防護のためのガイドラインを制定すべきである。曝露レベルおよび科学的レビューのための原則に関する、このガイダンスのための最良の情報源は、国際的ガイドラインである。
- 政策立案者は、ELF 電磁界についての防護計画を制定すべきである。これには、ガイドラインの限度を超えないことを確認するため、全ての発生源からの

電磁界の測定が含まれる。

- 電力の健康上・社会的・経済的便益を損なわない限り、曝露を低減するための非常に低費用のプレコーシオンの方策を実施することは合理的であり、是認される。
- 政策立案者、地域社会の計画担当者、製造業者は、新たな施設の建設や、新たな機器（電気製品を含む）の設計の際に、非常に低費用の方策を実施すべきである。
- 安全性の向上といったその他の追加的便益がある、または費用がかからないか非常に低い場合に限り、装置や機器からのELF 曝露を低減するため、工学的慣行の変更を検討すべきである。
- 既存のELF 発生源の変更を検討する際、安全性、信頼性、経済性の見地とともに、ELF 界の低減を考慮すべきである。
- 地方当局は、意図しない大地電流を低減するため、新たな設備の建設または既存の施設の再配線の際の配線に関する規制を施行すべきである。配線の違反または既存の問題を確認する積極的な方策は費用がかかると思われるので、正当化されそうにない。
- 各国当局は、すべての利害関係者による、情報に基づいた意思決定を可能とする、効果的で開かれたコミュニケーション戦略を実行すべきである。これには、個人が自分の曝露を低減できる方法に関する情報提供を盛り込むべきである。
- 地方当局は、主要なELF 電磁界発生源の立地を決定する際に、産業界、地方自治体、市民の間で良好な協議を含むなど、ELF 電磁界発生施設の計画を改善すべきである。
- 政府および産業界は、ELF 電界および磁界への曝露の健康影響に関する科学的証拠における不確かさを低減するための研究プログラムを推進すべきである。

<付録 その2>

ファクトシート № 322

2007年 6月

電磁界と公衆衛生

超低周波の電界及び磁界への曝露

電気の利用は日常生活に欠かせないものとなっており、電気が流れる場合はいつでも、電気を通す線や電気製品の近くに、電界と磁界の両方が存在します。1970年代後半以来、超低周波（ELF）の電界及び磁界（EMF）への曝露が健康に悪い結果を生じるのではないかという疑問が提起されています。以来、多くの研究が実施されてきており、重要な論点を解決し、今後の研究対象を絞り込むことに成功しています。

1996年、世界保健機関（WHO）は、電磁界を発する技術に関連する潜在的健康リスクを調査するため、国際電磁界プロジェクトを立ち上げました。WHO のタスクグループは最近、ELF 電磁界の健康上の意味合いについてのレ

ビューをまとめました (WHO, 2007)。

本ファクトシートは、このタスクグループの知見に基づくものであり、また、WHOの援助の下に設置された国際がん研究機関 (IARC) が2002年に、また、国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP) が2003年にそれぞれ発表した、ELF電磁界の健康影響に関する最近のレビューを更新するものです。

ELF電磁界の発生源と居住環境における曝露

電界及び磁界は、送電線やケーブル、住宅の配線や電気製品の内部など、電流が流れるところにはどこにでも存在します。電界は、電荷から生じ、ボルト毎メートル (V/m) で測定され、木材や金属といった一般的な素材で遮蔽されます。磁界は、電荷の運動 (すなわち電流) により生じ、テスラ (T)、より一般的にはミリテスラ (mT) またはマイクロテスラ (μT) で表されます。一部の国々では、ガウス (G) と呼ばれる別の単位が一般に用いられています ($10,000\text{G} = 1\text{T}$)。磁界はほとんどの一般的な素材では遮蔽されず、これらを容易に透過します。電界及び磁界は共に、発生源の近くで最も強くなり、距離と共に減少します。

ほとんどの電力は、50または60サイクル毎秒 (またはヘルツ, Hz) の周波数で運用されています。ある種の電気製品の近くでは、磁界は数百マイクロテスラに達します。送電線の真下では、磁界は約20 μT 、電界は数千ボルト毎メートルに達します。但し、住宅内の商用周波磁界の平均はもっと低く、欧州では約0.07 μT 、北米では約0.11 μT です。住宅内の電界の平均値は最大で数十ボルト毎メートルです。

タスクグループの評価

2005年10月、WHOは、周波数範囲が0 ~ 100,000 Hz (100 kHz) のELF電界及び磁界への曝露により生じるかもしれない健康へのリスクを評価するため、科学専門家のタスクグループを召集しました。IARCは2002年に、がんに関する証拠を調べましたが、このタスクグループは幾つかの健康影響についての証拠をレビューし、がんに関する証拠を更新しました。このタスクグループの結論及び勧告は、WHOの環境保健クライテリア (EHC) モノグラフ (WHO, 2007) に示されています。

タスクグループは標準的な健康リスク評価プロセスに従い、一般の人々が普通に遭遇するレベルのELF電界に関する本質的な健康上の論点はないと結論付けました。このため、以下では主に、ELF磁界への曝露による影響を扱います。

短期的影響

高レベル (100 μT よりも遥かに高い) での急性曝露による生物学的影響は確立されており、これは認知されている生物物理学的なメカニズムによって説明されています。外部のELF磁界は身体内に電界及び電流を生じ、非常に高い強度では、神経及び筋肉が刺激されたり、中枢神経系の神経細胞の興奮性が変化したりします。

潜在的な長期的影響

ELF磁界曝露による長期的なリスクを調べた科学的研究の多くは、小児白血病に焦点を当ててきました。2002年、IARCはELF磁界を「ヒトに対して発がん性があるかもしれない」と分類したモノグラフを公表しました。この分類は、ヒトにおける発がん性の証拠が限定的であり、実験動物における発がん性の証拠が十分ではない因子を表わすのに用いられます (ELF磁界以外の例としては、コーヒーや溶接蒸気が含まれます)。この分類は、疫学研究のプール分析に基づいています。プール分析では、居住環境での0.3 ~ 0.4 μT を越える商用周波磁界への平均曝露に関連して小児白血病が倍増するという、一貫したパターンが示されています。タスクグループは、その後追加された研究は、この分類を変更するものではないと結論付けました。

但し、疫学的証拠は、潜在的な選択バイアス等の手法上の問題があるために弱められています。加えて、低レベルの曝露ががんの進展に関係しているということを示唆する、受け入れられている生物物理学的メカニズムはありません。このため、仮にこのような低レベルの磁界への曝露によって何らかの影響があるとすれば、まだ知られていない生物学的メカニズムを通じたものであるはずですが、加えて、大多数の動物研究では影響は示されていません。よって、全体として、小児白血病に関連する証拠は因果関係と見なせるほど強いものではありません。

小児白血病はかなり稀な疾病で、2000年には、新たに発生する症例数は全世界で年間49,000人と推定されています。住宅内での平均磁界曝露が0.3 μT を超えることは稀で、そのような環境に住む子供は僅か1% ~ 4%と推定されています。磁界と小児白血病との間に因果関係があると仮定した場合、磁界曝露のせいで発生するかもしれない症例数は、2000年の数値に基づいて、全世界で年間100 ~ 2400人の範囲と推定されています。これは、同年の発症率全体の0.2 ~ 4.95%に相当します。よって、仮にELF磁界が実際に小児白血病のリスクを高めるとしても、世界規模で考慮すれば、ELF電磁界曝露の公衆衛生上の影響は限定的となります。

ELF磁界曝露に関連するかもしれない、その他の健康への悪影響が数多く研究されています。これらには、白血病以外の小児がん、成人のがん、うつ病、自殺、心臓血管系疾患、生殖機能障害、発育異常、免疫学的変異、神経行動への影響、神経変性疾患があります。WHOのタスクグループは、ELF磁界曝露とこれら全ての健康影響との関連性を支持する科学的証拠は、小児白血病についての証拠よりも更に弱いと結論付けています。幾つかの実例 (すなわち心臓血管系疾患や乳がん) については、ELF磁界はこれらの疾病を誘発しないということが、証拠によって示唆されています。

国際的な曝露ガイドライン

短期的な高レベルの曝露に関連する健康影響は確立され

ており、これが2つの国際的な曝露限度のガイドラインの基礎をなしています (ICNIRP, 1998 ; IEEE, 2002). 現時点では、これらの機関は、ELF 電磁界への長期的な低レベルの曝露による健康影響の可能性に関連する科学的証拠は、これらの定量的な曝露限度を引き下げること正当化するには不十分である、と見なしています。

WHO のガイダンス

高レベルの電磁界への短期的曝露については、健康への悪影響が科学的に確立されています (ICNIRP, 2003). 政策決定者は、労働者及び一般人をこれらの影響から防護するために規定された国際的な曝露ガイドラインを採用すべきです。電磁界防護プログラムには、曝露が限度値を越えるかもしれないと予想される発生源からの曝露の測定を盛り込むべきです。

長期的影響に関しては、ELF 磁界への曝露と小児白血病との関連についての証拠が弱いことから、曝露低減によって健康上の便益があるかどうか不明です。こうした状況から、以下を推奨します。

- 政府及び産業界は、ELF 電磁界曝露の健康影響に関する科学的証拠の不確かさを更に低減するため、科学を注視し、研究プログラムを推進すべきです。ELF リスク評価プロセスを通じて、知識のギャップが同定されており、これが新たな研究課題の基礎をなしています。
- 加盟各国には、情報を提示した上での意思決定を可能とするため、全ての利害関係者との効果的で開かれたコミュニケーション・プログラムを構築することが奨励されます。これについては、ELF 電磁界を発する設備の計画プロセスに、産業界、地方自治体、市民との間の調整と協議を増進することを盛り込んで良いでしょう。
- 新たな設備を建設する、または新たな装置（電気製品を含む）を設計する際には、曝露低減のための低費用の方法を探索しても良いでしょう。適切な曝露低減方策は、国ごとに異なるでしょう。但し、恣意的に低い曝露限度の採用に基づく政策は是認されません。

更なる読み物

世界保健機関 (WHO). 「環境保健クライテリア No.238 : 超低周波電磁界」. 世界保健機関, ジュネーブ, 2007年.

ヒトに対する発がんリスクの評価のための IARC ワーキンググループ. 「非電離放射線その1: 静的及び超低周波 (ELF) 電界及び磁界」. IARC, リヨン, 2002年 (ヒトに対する発がんリスクの評価に関するモノグラフ No.80).

国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP). 「静的及び低周波電磁界への曝露, 生物学的影響, 健康上の結果 (0 ~ 100kHz)」. J.H. ベルンハルト他 (編), 国際非電離放射線防護委員会, オーバーシュライスハイム, 2003年 (ICNIRP

13/2003).

国際非電離放射線防護委員会 (ICNIRP, 1998). 「時間変化する電界, 磁界及び電磁界による曝露を制限するためのガイドライン (300GHz まで)」. Health Physics 74 (4), 494-522.

電気電子学会 (IEEE) 第28規格調整委員会. 「電磁界 (0 ~ 3kHz) へのヒトの曝露に関する安全レベルについての IEEE 規格」. IEEE, ニューヨーク, 2002年 (IEEE 規格 C95.6-2002).

文献

- 1) The International EMF Project, <<http://www.who.int/peh-emf/en/>> (URL) [accessed September, 2007].
- 2) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Phys 1998;74 (4):494-522.
- 3) International Agency for Research on Cancer, Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC monograph on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 80. Lyon International Agency for Research on Cancer, 2002.
- 4) Static Fields: Environmental Health Criteria 232, World Health Organization, Geneva, Switzerland, ISBN92-4-157323-9, 2006.
- 5) Extremely Low Frequency Fields: Environmental Health Criteria 239, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2007.
- 6) The Electric and Magnetic Fields (EMF) Research and Public Information Dissemination (RAPID) Program, <<http://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/emf/>> (URL) [accessed September, 2007].
- 7) Poitier CJ, Wolfe MS. Assessment of health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields- NIHESH Working Group Report. NIH Publication No.98-3981. Research Triangle Park: National Institute of Environmental Health Sciences, 1998.
- 8) Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, et al. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: a case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. Intern J Cancer 2006;119 (3):643-50.
- 9) Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, et al. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br J Cancer 2000;83 (5):692-8.