

小特集

電場・磁場環境の問題と磁場核融合実験施設

5. 職場における電磁場環境問題

城 内 博, VILLANUEVA Maria Beatriz G.
(産業医学総合研究所)

Electromagnetic Fields in the Workplace

JONAI Hiroshi and VILLANUEVA Maria Beatriz G.
National Institute of Industrial Health, Kawasaki 214-8585, Japan
(Received 9 November 1998)

Abstract

The review addresses the concerns related to extremely low frequency electromagnetic fields (ELF/EMF) in workplaces. The exposure levels and epidemiological studies on cancer, the health effects of working with VDTs (visual display terminals), and the malfunction of cardiac pacemakers are described. The association of EMF exposure and cancer or disorders from VDT work cannot be considered conclusive. The information on the exposure level and effect of EMF on cardiac pacemakers should be disseminated in workplaces. Risk communication program on EMF is urgent for countermeasures against worker anxiety.

Keywords:

EMF, ELF, workplace, cancer, VDT, cardiac pacemaker

5.1 はじめに

労働安全衛生分野では、生体に悪影響を及ぼす因子(有害因子)を、化学的有害因子、物理的有害因子、生物的有害因子、社会的生理的有害因子に分類し、労働者の健康を守るためにそれぞれ安全衛生対策が取られてきた。これらの有害因子対策でもっとも重要な位置をしめてきたのは、発がんのように重篤な生体影響が懸念される有害因子である。電磁場は物理的有害因子に分類されるが、ここでもやはり電離放射線のように発がんにかかわる有害因子対策が最優先に行われ、法制度(放射線障害防止法など)も整備されてきた。また紫外線、レーザー、赤外線などの比較的エネルギーの大きな非電離放射線に関しても、その生体影響は早くから知られ、長年にわたり安全衛生対策が取られてきた。しかし周波数 300 GHz 以下の電磁場に関する生体影響に対しては、法制度も含

めその対策はあまりなされてきていない。これは、300 GHz 以下の電磁場では熱作用や誘導電流による刺激作用などの生体影響は知られていたものの、がんなどの疾病の原因とはなりえないと考えられてきたためと思われる。すなわち、これらの電磁場に関する生体影響はどちらかという安全の問題として捉えられてきたといえる。現在 ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection 国際非電離放射線防護委員会) [1], ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) [2], 郵政省の電気通信技術審議会[3], 日本産業衛生学会[4]などから出されている電磁場に関する曝露基準も熱作用や誘導電流などを考慮して定められたものである。しかし近年、超低周波電磁場(EMF/ELF)が小児白血病などの原因になりうるという研究結果が発表され、職場でも電磁場による生

corresponding author's e-mail: jonai@niih.go.jp

体影響を懸念する声が大きくなり、発がんに関する疫学調査や電磁場曝露の実態調査などがなされてきた。

この章では、職場における電磁場曝露強度例およびがんに関する疫学調査（特に超低周波電磁場）、依然問い合わせ等が多い VDT (Visual Display Terminal) 作業者の電磁場による健康影響、さらに今後増加が予想される心臓ペースメーカー使用労働者に対する対策、について最近の研究成果をまとめた。

5.2 職場での電磁場曝露強度例およびがんに関する疫学調査

職場には様々な周波数と強度の電磁場が存在する。Table 1 に周波数 300 GHz 以下の電磁場を発生する設備をあげた[5]。これらの設備で働く労働者は比較的強い電磁場に曝露する可能性がある。Fig. 1 および Fig. 2 に労働者が曝露する電磁場強度の例を ICNIRP の曝露基準と併せて示したが、いくつかの職種では ICNIRP の基準を上まわる曝露が報告されている[6]。例えば、携帯電話、プラスチックシーラー（誘電加熱により塩ビなどのプラスチックを溶着させる装置）、ジアテルミー（治療用温熱装置）、電気メス、誘導加熱装置、電解装置、溶接などの機器あるいは設備による曝露がその代表的なもので

あろう。特にプラスチックシーラー作業者の曝露レベルは非常に高く、基準を超えている場合が多く見られる。著者らの調査でも同様の結果が得られた[7]。特に電極に近い手や腰部では基準の10倍を超える曝露が見られることもあった。また誘導加熱炉に携わる労働者も高レベルの電磁場曝露を受けている。しかしこれらの基準を超えた電磁場曝露を受けている職種でも、十分な教育により労働者の曝露レベルは基準以下に押さえることが可能な場合が多い。使用機器あるいは設備の電磁場に関する情報（発生源、周波数、強度の空間分布など）、その生体影響、作業標準などが労働者の教育に最低限必要であろう。発生源について言えば、プラスチックシーラーのように電極の所在がはっきり見えている場合は、距離をとるなどの対策も取りやすいが、誘導加熱炉のように電流の通路が床下に隠れているような場合には労働者に与えられるべき情報も異なる。

さて、前述のように ICNIRP などの基準はどちらかというと安全対策を考慮して決められたものであり、発がんなどの疾病については考えていない。これは他の章でも述べられているように、電磁場曝露が疾病に結びつくという確たる証拠がないためである。しかし、電磁場に関する社会的な不安はこの疾病の原因としてであり、し

Table 1 Typical application of equipment generating electromagnetic fields. From [5] and additional information by the author.

Frequency	Wavelength	Classification	Typical application
30~300 GHz	10~1 mm	Extremely high frequency (EHF)	Radar, satellite communications, microwave relay, radio navigation, amateur radio
3~30 GHz	10~1 cm	Super high frequency (SHF)	Radar, satellite communications, amateur, fire, taxi, airborne weather radar, police, microwave relay, anti-intruder alarm, plasma heating, thermonuclear fusion experiments
0.3~3 GHz	100~10 cm	Ultra high frequency (UHF)	Microwave point to point, amateur, taxi, police, fire, radar citizen band, radio navigation, UHF-TV, microwave ovens, medical diathermy, food processing, material manufacture, insecticide, plasma heating, particle acceleration
30~300 MHz	10~1 m	Very high frequency (VHF)	Police, fire, amateur, FM, VHF-TV, diathermy, emergency medical radio, air traffic control, magnetic resonance imaging, dielectric heating, plastic welding, food processing, plasma heating, particle separation
3~30 MHz	100~10 m	High frequency (HF)	Citizen band, amateur radio broadcasting, international communications, medical diathermy, magnetic resonance imaging, dielectric heating, wood drying and gluing, plasma heating
0.3~3 MHz	$10^3\sim10^2$ m	Medium frequency (MF)	Communications, radio navigation, marine radiophone, amateur radio, industrial RF equipment, AM broadcasting, RF excited arc welders, sealing for packaging, production of semiconductor material, medical applications
30~300 kHz	10~1 km	Low frequency (LF)	Radio navigation, marine and aeronautical communications, long-range communications, radiolocation, VDTs, electro-erosion treatment, induction heating and melting of metals, power inverters
3~30 kHz	100~10 km	Very low frequency (VLF)	Very long range communications, radio navigation, broadcast modulation, medical applications, induction heating, hardening, soldering, melting, refining, VDTs
0.3~3 kHz	$10^3\sim10^2$ km	Voice frequency (VF)	Broadcast modulation, medical applications, electric furnaces, induction heating, hardening, soldering, melting, refining
30~300 Hz	$10^4\sim10^3$ km	Extremely low frequency (ELF)	Power lines, submarine communications, VDTs
0~30 Hz	$\infty \sim 10^4$ km	Sub-ELF	Magnetic resonance imaging, bubble chamber, DC power line

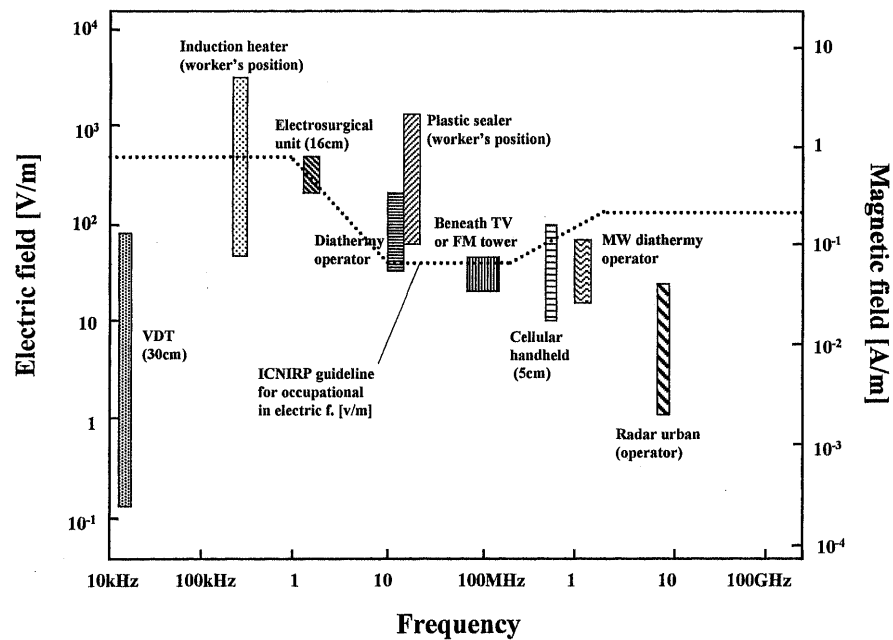


Fig. 1 Exposure level of RF/MW in working sites [1,6].

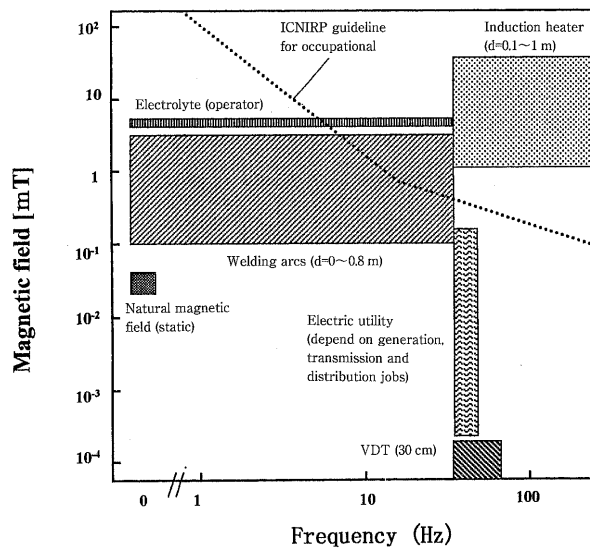


Fig. 2 Exposure level of ELF in working sites [1,6].

かも危惧されている電磁場のレベルは現在の基準の数百分の一から数千分の一である。この不安は、高圧送電線下住民における小児白血病の発生率が高く、電磁場が発がん因子になりうるかもしれないという1979年の調査結果にはじまる[8]。その後、50 Hzあるいは60 Hzの超低周波電磁場の生体影響に関する疫学的調査が、一般住民あるいは労働者を対象になされてきた。この電磁場曝露と発がんとの関係については、陰陽ほぼ同数ずつの調査結果があり、いまだ明らかになっていない。この大き

な原因の一つとして電磁場曝露の評価の曖昧さがあげられているが、特に1970年代後半から1980年代にかけて行われた疫学調査ではこの点が厳しく問われている（疫学調査では、疾病の発生率とその原因と考えられる要因への曝露レベルが非常に重要であるが、電磁場曝露に関しては個々人の曝露レベルを過去にまでさかのぼって評価するのは容易ではなく、したがって曝露強度は送電線からの距離や職種などから推定していた）。

ここでは1990年から1996年までの比較的新しい職場での電磁場とがんに関する疫学調査について、対象集団、調査方法、調査対象となった疾病、電磁場周波数、曝露レベルの推定方法、患者数、相対危険度など、得られた結果をまとめた (Table 2) [9-20]。これら12の調査研究のうち、3つは白血病、1つは男性の乳がん、1つは脳腫瘍、4つは白血病と脳腫瘍、3つはすべてのがんとの関連について調べている。すべての調査は50 Hz/60 Hzの超低周波電磁場曝露の可能性のある職種について行われているが、このうち2つの調査ではラジオ波およびマイクロ波も考慮されている。曝露レベルは職種をもとに分類しているが、8つの調査では磁場の測定を、1つの調査では電場の測定を実際に行い、職種ごとの曝露レベルを推定している。3つの調査は職種のみで分類している。電磁場曝露レベルは最大値で数百 μT 、時間加重平均強度だと高くても数 μT である。およそ3分の2の研究で電磁場とがんとの関係が疑われるような結果となっ

Table 2 Epidemiological studies on cancer by electromagnetic fields.

Reference	Study population	Study type	Outcome	EMF frequency	Exposure estimates	Number of cases	Results (RR and 95% CI)
Garland, et al., 1990 (USA) [9]	US Navy personnel: 4,072,587 person-years at risk, 1974-1988	Standardized incidence Rate (SIR)	Leukemia	60 Hz, RF EMF	Job titles	Leukemia: 102	•SIR for electrician: 2.4, 1.0 – 5.0 •Overall age-adjusted IR: 6.0 vs. 6.5 per 100,000 person-yr in gen. pop.
Robinson et al., 1991 (USA) [10]	426,705 white men from 14 US states with potential exposure to EMF, 1979-1985	Proportion -ate mortality ratio	Leukemia	60 Hz EMF	Job titles	Leukemia: 183	Total leukemia: PMR=119, 102-137
Tornqvist, et al., 1991 (Sweden) [11]	All Swedish men working in electrical occupations, 133,687 workers, 1961-1979	Cohort	Leukemia, brain tumors	50 Hz, 16.6 Hz (railway) EMF	•Job titles •Median magnetic flux densities from dosimetry: (<0.04–16.54 μT) •Highest exposure: Power station operators and linemen: >5 μT •Railroad workers: 0.73–3.29 μT •Others: <0.35 μT	Leukemia: 334 Brain tumors: 250	•Leukemia: ✓ Elect'l/ electronic engs and tech.: SMR=1.3, 1.0-1.7 ✓ Telephone/ telegraph: SMR=2.1, 1.1-3.6 ✓ Machine industry SMR=2.6, 1.0-5.8 •Brain tumors: ✓ Assemblers, repairmen (radio/TV industry) SMR=2.9, 1.2-5.9 ✓ Welders: SMR=1.3, 1.0-1.7
Matanoski, et al., 1991 (USA) [12]	All active male telephone workers in one state, 50,582 workers, 1976-1980	SIR	Male breast cancer	Mainly 60 Hz EMF	•Job titles •Mean daily exposure to MF monitored by EMDEX-C: ✓ Cable splicers: 0.43 μT ✓ Central office technicians: 0.25 μT ✓ Other jobs: 0.15-0.17 μT	Male breast cancers: 2 under 65 years old	SIR=6.5, 0.79-23.5
London, et al., 1994 (USA) [13]	Male workers in electrical occupations in Los Angeles County, 2,355 cases and 67,212 controls, 1972-1990	Case-control	Leukemia	60 Hz MF	•Job titles •Historical measures based on present day exposure: •Current average MF exposure of electrical workers: 0.27-2.36 μT ✓ Power station (highest): 1.71 μT ✓ Electric power wire and cable:	Leukemia (electrical workers): 121	•OR=1.3, 1.1-1.6 •TWA (μT): (<0.17; 0.18-0.8; 0.81) - OR per 10 unit increase: 1.2, 1.0-1.5 •Categories of % of time spent at >2.5 μT: for >7.9%, OR=1.4, 1.0-2.1

Reference	Study population	Study type	Outcome	EMF frequency	Exposure estimates	Number of cases	Results (RR and 95% CI)
					2.31 μ T ✓ Non-electrical: 0.17 μ T		
Tynes, et al., 1994 (Norway) [14]	5,088 males who worked for any of 8 hydro - electric companies in Norway, 1920-1991	Cohort	All types of cancer	ELF EMF	• Job titles and measurements • Historical measures based on job titles • MF exposure: ✓ Min. levels: 0.1-1 μT ✓ Max. levels: 0.5-200 μT ✓ TWA levels: 0.2-10 μT • Cumulative exposure to EMF computed	All cancers: 486 Leukemia: 11 Brain tumors: 13 Malignant melanoma: 19	• Overall SIR ✓ Brain tumor SIR: 0.88 (0.47-1.50) ✓ Leukemia SIR: 0.9 (0.45-1.60) • For duration of employment >30 years: ✓ Kidney SIR: 1.60 ✓ Nonmelanoma SIR: 2.03 • For cumulative MF exposure >35μT-years: ✓ Malignant melanoma SIR: 2.24
Savitz and Loomis, 1995 (USA) [15]	138,085 male workers in 5 electric power companies in the USA, 1950-1986	Historical cohort	Leukemia and brain cancer	Power frequency MF	• Job titles and measurements • Historical measures based on present exposure • Mean MF exposure: 0.12-1.27 μT • Cumulative exposure computed as μT-years	Total cancers: 4,833 Leukemia: 164 Malignant brain tumors: 151	• Brain cancer: RR = 1.94 per μT-yr of MF exposure in the previous 2-10 years • For cumulative exposure ≥ 0.7 μT-years in the past 2-10 yrs (highest category) • Mortality rate ratio(MRR) = 2.6, 1.35-4.86
Miller, et al., 1996 (Canada) [16]	31,543 male workers of Ontario Hydro, 1970-1988	Nested case-control	Leukemia and brain cancer	60 Hz EMF	• Job titles and measurement • Measures based on archived data and present day exposures • Cumulative exposure to EMF computed	Total cancers: 1,484 Leukemia: 50 Brain tumors: 35	• For the highest cumulative EF exposure group (≥ 345 V/m-yrs): ✓ Leukemia OR=4.45, 1.01-19.7 ✓ Brain cancer OR = 0.99, 0.16-6.24 • For the highest cumulative MF exposure group (≥ 7.1 μT-yrs): ✓ Leukemia OR=1.56, 0.47-5.14 ✓ Brain cancer OR = 2.36, 0.52-10.8
Geunel, et al., 1996 (France) [17]	170,000 workers at Electricite de France-Gaz de France, 1978-1989	Nested case-control	Leukemia, brain tumors and other cancers	50 Hz EF	• Job titles and measurements • Cumulative EF exposure computed	Total cancers: 1,915 Leukemia: 72 Brain tumors: 69	• For the highest cumulative EF exposure group (≥ 387 V/m-years): ✓ Leukemia OR=0.37, 0.11-1.28 ✓ Brain tumor OR=3.08, 1.08-8.74

Reference	Study population	Study type	Outcome	EMF frequency	Exposure estimates	Number of cases	Results (RR and 95% CI)
Johansen and Olsen, 1998 (Denmark) [18]	32,006 workers in 99 Danish utility companies, 1968-1993	Cohort	Total cancer	50 Hz EMF	•Job titles and measurements •Historical exposure estimated by current exposure •MF exposure grouped into 5 categories: Background ($\leq 0.09 \mu\text{T}$); low (0.1-0.29 μT); medium (0.3-0.99 μT); high ($\geq 1.0 \mu\text{T}$); unknown	Total cancers; 3,008 Leukemia: 60 Brain tumors: 57	Total cancer: SIR=1.06, 1.03-1.10
Grayson, 1996 (USA) [19]	880,000 US Air Force employees, 1970-1989	Nested case-control	Brain tumor	ELF, RF, MW EMF	Job titles and qualitative exposure classification	Total cancers: 230	•Adjusted OR for ELF EMF exposure: 1.28, 0.95-1.74 •Adjusted OR for RF/MW EMF: 1.39, 1.01-1.90
Milham, 1996 (USA) [20]	410 office workers, 1980-1994	Cohort	All cancers	Power frequency MF		Total cancers: 8	SIR=389, 156-801

ているが、それらの相対危険度は1.0から2.0の間ぐらいのことが多い。この数字は、例えば電磁場曝露を考えない対象集団の脳腫瘍の発生率が年間10万人あたり3人とすると、電磁場曝露によりそれが4から5人になる可能性があるということである。また、Kheifetsらはこれまでに発表された職場における電磁場と脳腫瘍に関する29の調査結果を再度比較検討した結果、電気関係業種では10から20%ぐらい相対危険度が増加すると述べている[21]。これらは電磁場曝露に発がんのリスクがあったとしても、それは小さいものであろうことを示唆している。一般に、疫学調査で疾病と原因の因果関係がある程度明確になるのは相対危険度が5以上といわれている。因みに喫煙と肺がんに関する疫学調査では相対危険度は20から30ぐらいである。さらに職場における電磁場とがんに関する疫学調査では、化学物質などの交絡因子の影響を取り除くことができないこと、また前述のように正確な電磁場曝露評価が困難であることなどから、職場における電磁場曝露が発がんの発生率を押し上げているということを証明するのは現状では非常に困難であるように思われる。

5.3 VDT 作業と電磁場過敏症

VDT とくに CRT (Cathode Ray Tube) から漏洩する電磁場として、紫外線、赤外線、マイクロ波、低周波、

超低周波、静電場などが考えられるが、生体影響を考える場合にはそのレベルから VLF, ELF, 静電場を問題にすることが多い。VLF 磁場は水平方向偏向コイルから、VLF 電場はフライバックトランスから、ELF 磁場は垂直方向偏向コイルから、ELF 電場は走査更新時の電圧変化、静電場は電子ビーム加速電圧によって生じる。Abdollahdazeh らは VDT 作業における曝露強度について検討し、時間加重平均磁場曝露強度は、VDT 作業時間や VDT 機器からの距離ではなくて、むしろ職場環境の磁場強度とよく相関すると述べている[22]。そして67名の VDT 作業者の時間加重平均磁場曝露強度を測定したところ $0.09 \mu\text{T} - 0.61 \mu\text{T}$ であった。CRT からの各種漏洩電磁場は現在の IRPA (International Radiation Protection Association) および ICNIRP の基準と比べると非常に低いレベルであることがわかる (Table 3) [23]。Table 3 で示した各電磁場の基準は、CRT つまり VDT 機器に対して特に定められたものではないが、これを見る限り電磁場の生体影響について懸念を抱く必要ないように思われる。VDT 機器からの電磁場という点では、商品規格としての基準はあるものの、使用者の健康影響を考慮した基準あるいは規制はほとんどない。これは多くの研究にもかかわらず、VDT 機器から発生する比較的微弱な電磁場による生体影響がいまだ判然としないか

Table 3 IRPA/ICNIRP occupational non-ionizing radiation (NIR) limits versus levels of TIRs measured from VDTs.

NIR	IRPA/ICNIRP limits	Levels at VDTs (CRT)	References
ELF 50/60Hz	E: 10/8.3kV/m, B: 0.5/0.4mT	E: 2kV/m, B: 0.4 μ T	Schnorr et al.(1991)
VLF 3-30kHz	E:610kV/m, B: 30.7 μ T	E: 4kV/m, B: 0.1 μ T	Schnorr et al.(1991)
Microwaves	10-50W/m ²	Undetected	Cox (1984)
IR	100W/m ²	< 10W/m ²	Cox (1984)
UVA	10 ⁴ J/m ² , 8h	300J/m ² , 8h	Paulsson,et al.(1984)
UVB and C	1mW/m ²	Undetected	sCox (1984)
Electrostatic fields	—	up to 15kV/m	Knave et al. (1985)

Table 4 TCO requirements for displays, system units and keyboards [24,25].

Parameter	Relevant for	Requirement	Comment
Electrostatic potential	CRT displays	M: <±500 V	
Electrostatic discharge possibility	Keyboards	R:10-500 M Ω	
Electric fields in band I (5 Hz-2 kHz)	Displays (CRT and flat), system units and keyboards	10 V/m	At 30 cm in front of unit (keyboards: 10 cm distance)
Electric fields inband II (2-400 kHz)	Displays (CRT and flat), system units and keyboards	1.0 V/m	At 30 cm in front, and at 50 cm around unit (keyboards: 10 cm distance)
Magnetic fields in band I (5 Hz-2 kHz)	Displays (CRT and flat), system units and keyboards	0.20 μ T	At 30 cm in front, and at 50 cm around unit (keyboards: 10 cm distance)
Magnetic fields inband II (2-400 kHz)	Displays (CRT and flat), system units and keyboards	0.025 μ T	At 50 cm around unit (keyboards: 10 cm distance)

らにほかならない。このような状況でスウェーデンの TCO (The Swedish Confederation of Professional Employees) が VDT 機器 (CRT を用いたパソコンのみならず液晶などフラットパネルのパソコンも含む) からの漏洩電磁場に対する勧告値を出している (Table 4) [24-25]。この勧告値は、商品規格の表示制度と対をなすものであり、この値を守らなければ健康障害が生ずるといったものではないが、職場の電磁場環境をより良くするための一つの手段であると位置づけている。

さて、VDT 機器からの電磁場とその生体影響についてはすでに多くの調査研究があるが、その主なものは、妊娠に対する影響および皮膚障害に対する影響である。ここでは比較的最近の電磁場曝露強度を測定あるいは推定している調査研究についてまとめた (Table 5) [26-32]。自然流産は 0.9 μ T の曝露群では相対危険度が増加するという結果が得られているものの、この曝露レベルは実験室での値であり、追試の必要性が記されている。また未熟児出産や低体重児出産では有意な差は認められていない。VDT 作業に関連した皮膚障害などはいわゆる「電磁場過敏感症」としてとらえられ、その事例は主にスウェーデンから報告されている。電磁場と皮膚症

状の関係を二重盲検法などにより調査しても、因果関係は認められなかったという報告が多い。VDT 作業についても電磁場と健康影響について明確な因果関係を得ることは容易ではないように思われる。

5.4 心臓ペースメーカーに関する問題

電磁場によるペースメーカー誤動作の問題は因果関係がはっきりしており、早急に対処すべき問題である。ペースメーカーの装着者に対する曝露基準は ACGIH の勧告値によると、静磁場で 0.5 mT, 30 kHz 以下の磁場で 0.1 mT, 30 kHz 以下の電場で 1 kV/m となっている。また現在、特に携帯電話 (800 MHz, 1.5 GHz), や PHS 端末 (1.9 GHz) からの電磁場がペースメーカーに及ぼす影響について懸念されている。しかし、これらの帯域で安全な電磁場曝露レベルを一般化して基準を設定することは難しく、携帯電話端末などと個々のペースメーカーとの相互作用で考えるしかない。不要電波問題対策協議会の報告書によると、埋め込み型心臓ペースメーカー228機種について実験した結果、ほとんどの機種が携帯電話端末から 15 cm の距離で干渉を受けなかった。この実験結果を受け安全マージンを考慮して、22 cm を使用上の安全

Table 5 Summary of studies on the effects of electromagnetic fields from visual display terminals.

Electromagnetic Hypersensitivity

Authors	Design	Outcome	Results	EMF levels			Exposure metrics	
Andersson et al., 1996 (Sweden) [30]	Double blind provocation study 17 patients	Changes in subjective symptoms and hormonal levels (prolactin, cortisol, cholesterol, dehydroepiandrosterone)	No differences in parameters between VDT "off" and VDT "on"	5 Hz – 2 kHz	VDT "off"	VDT "on"	Distance from source: 50 cm	
				Electric field (V/m)	Not detectable	7		
				Magnetic field (nT)	<2	245		
				2 kHz – 400 kHz				
Arnetz, et al., 1997 (Sweden) [31]	Cross-sectional Total : 133 Case: 13	Differences in skin symptoms perceived to from "electricity hypersensitivity"	No correlation between symptoms and VDT use	5 Hz – 2 kHz	VDT "off"	VDT "on"	• MPR2 method • Distance from source: 65 cm	
				Electric field (V/m)	11.8	14.1		
				Magnetic field (nT)	100	123		
				2 kHz – 400 kHz				
Ofstedal, et al., 1995 (Sweden) [32]	Electric field reduction intervention study 20 cases	Changes in skin symptoms	• Significant decrease with use of active filters ✓ tingling, pricking or itching (p = 0.008) ✓ sensation of dryness (p = 0.05) ✓ pain(p = 0.03) • Significant decrease with use of inactive filter ✓ tingling, pricking or itching (p = 0.04)		Static EF (kV/m)	ELF EF (V/m)	VLF EF (V/m)	• MPR2 method • Distance from source: 30 cm
				No filter	≈ 2	≈ 5	≈ 2.5	
				Inactive filter	< 1	≈ 4.5	≈ 2	
				Active filter	0	≈ 3	< 1	
				Magnetic field (nT) Background (VDT off): < 5 nT ELF: 40 – 400 nT, VLF: 5 – 18 nT				

Reproductive Toxicity

Authors	Design	Outcome	Results	EMF levels			Exposure metrics
Lindbohm et al., 1992, 1995 (Finland) [26], [27]	Retrospective cohort Case: 191 Control: 394	Spontaneous abortion	• For exposure >0.9 μT: OR: 3.4 (CI 95% 1.4-8.6) • No increase in OR for levels of magnetic field time derivative (dB/dT)	Background: 0.04 μ For VDT workstations (n=43) ELF: 0.09-0.6 μT VLF: 0.04-0.08 μT dB/dT: 5 – 30 mT/sec			• MPR2 method • Peak-to-peak magnetic flux • Magnetic flux time derivative in mT per second • Distance to source: 50 cm
Shnorr et al., 1991 (USA) [28]	Retrospective cohort 882 pregnancies	• Spontaneous abortion	• No excess risk for VDT Workers	ELF EMF	Non-VDT (n=48)	VDT (n=48)	• Geometric mean • dB/dT • Distance to source: 30 cm and at the level of operator's abdomen
				Electric field (V/m) Magnetic field (mA/m)	0.4 32.4-62.4	0.4-0.8 57.7-62.3	
Grajewski et al., 1997 (USA) [29]	Retrospective cohort 713 births	• Preterm birth • Reduced birthweight	• No excess risk for VDT Workers	VLF EMF			
				Electric field Magnetic field	0.1-0.2 1.6-2.0	0.1-0.5 4.0-17.4	

距離と定めている[33]. 米国 WTR (Wireless Technology Research) では安全な距離を 6 インチ以上としている. この勧告を達成するためには, 装着者は携帯電話を胸のポケットには入れない, 携帯電話はペースメーカーと反対側の耳で使用する, ことが必要であるとしている[34].

今後, さらに多くの職場でペースメーカー装着者が働くことが予想されるが, 様々なペースメーカーが使用されており, 電磁場に対する感受性もそれぞれに異なるので, 装着者はペースメーカーに関する正確な情報を医師から得ておくことが第一である.

5.5 まとめ

電磁場の生体影響でもっとも関心が寄せられているのは、超低周波帯の発がんに関するものであろう。現在までの知見から電磁場に発がん性があることを証明するのは困難のように思われる。理由として、実験的にがん原性や変異原性などを示す証拠が乏しいこと、仮にリスクがあったとしても小さいと思われることからこれを疫学的に証明するのが困難であることなどがあげられる。しかし電磁場に発がん性はないということもできないのである。また、作業者が抱えている不安の大きさにもかかわらず、VDT作業にかかわる生殖毒性あるいは皮膚障害にしても明らかに電磁場の影響であるという明確な証拠はない。さらに電磁場がペースメーカーに及ぼす影響についての情報は日本ではあまり行き渡っておらず、その対策は遅れている。これらの状況とますます過密になるであろう電磁場環境を考えたとき、電磁場と生体影響に関するリスク・コミュニケーション・システムを構築し、リスク評価と利便性に基づいた電磁場利用に関する合意を早急に形成する必要があるように思う。

参考文献

- [1] ICNIRP, Health Phys. **74**, 494 (1998).
- [2] ACGIH, 1980 TLV's and BEI's (1998).
- [3] 電気通信技術審議会, 電波利用における人体の防護指針 (1990).
- [4] 日本産業衛生学会, 産業衛生学雑誌 **40**, 187 (1998).
- [5] WHO, Environmental Health Criteria 137 Electromagnetic field (300 Hz to 300 GHz), (1993) p.42.
- [6] E.D. Mantipliy, K.R. Pohl, S.W. Poppell and J.A. Murphy, Bioelectromagnetics **30**, 563 (1997).
- [7] 奥野 勉, 城内 博, 川上 剛: 産業医学 **33**, 491 (1991).
- [8] N. Wertheimer and E. Leeper, Am. J. Epidemiol. **109**, 273 (1979).
- [9] F.C. Garland, E. Shaw, E.D. Gorham, C.F. Garland, M.R. White and P.J. Sinsheimer, Am. J. Epidemiol. **132**, 293 (1990).
- [10] C.F. Robinson, N.R. Lalich, C.A. Burnett, J.P. Sestito, T.M. Frazier and L.J. Fine, JOM. **33**, 160 (1991).
- [11] S. Tornqvist, B. Knave, A. Ahlbom and T. Persson, Br. J. Ind. Med. **48**, 597 (1991).
- [12] G.M. Matanoski, P.N. Breyse and E.A. Elliot, Lancet. **337**, 737 (1991).
- [13] S.J. London, J.D. Bowman, E. Sobel, D.C. Thomas, D.H. Garabrant, N. Pearce, L. Vernstein and J.M. Peters, Am. J. Ind. Med. **26**, 47 (1994).
- [14] T. Tynes, J.B. Reitan and A. Andersen, Scand. J. Work. Environ. Health. **20**, 339 (1994).
- [15] D.A. Savitz and D.P. Loomis, Am. J. Epidemiol. **141**, 123 (1995).
- [16] A.B. Miller, T. To, D.A. Agnew, C. Wall and L.M. Green, Am. J. Epidemiol. **144**, 150 (1996).
- [17] P. Guenel, J. Nicolau, E. Imbernon, A. Chevalier and M. Goldberg, Am. J. Epidemiol. **144**, 1107 (1996).
- [18] C. Johansen and J.H. Olsen, Am. J. Epidemiol. **147**, 548 (1998).
- [19] J.K. Grayson, Am. J. Epidemiol. **143**, 480 (1996).
- [20] S. Milham, Am. J. Ind. Med. **30**, 702 (1996).
- [21] L.I. Kheifets, A.A. Afifi, P.A. Buffler and Z. Zhang, JOEM. **37**, 1327 (1995).
- [22] S. Abdollahzadeh, S.K. Hammond and M.B. Schenker, Bioelectromagnetics **17**, 406 (1996).
- [23] ILO, Occupational Safety and Health Series 70 Visual Display Units: Radiation Protection Guidance, (1994) p.22.
- [24] TCO, Requirements for Environmental Labelling of Personal Computers-Displays (CRT), Stockholm, Sweden, The Swedish Confederation of Professional Employees (1998).
- [25] TCO, Requirements for Environmental Labelling of Personal Computers-Displays (Flat), Stockholm, Sweden, The Swedish Confederation of Professional Employees (1998).
- [26] M.A. Lindbohm, M. Hietanen, P. Kyyronen, M. Sallmen, P. von Nandelstadh, H. Taskinen, M. Ylikoski and K. Hemminki, Am. J. Epidemiol. **136**, 1041 (1992).
- [27] M.A. Lindbohm and M. Hietanen, JOEM. **37**, 952 (1995).
- [28] T.M. Schnorr, B.A. Grajewski, R.W. Hornung, M.J. Thun, G.M. Egeland, W.E. Murray, D.L. Conover and W.E. Halperin, New Engl. J. Med. **324**, 727 (1991).
- [29] B. Grajewski, T.M. Schnorr, J. Reefhuis, N. Roevelde, A. Salvan, C.A. Mueller, D.L. Conover and W.E. Murray, Am. J. Ind. Med. **32**, 681 (1997).
- [30] B. Andersson, M. Berg, B.B. Arnetz, L. Melin, I. Langlet and S. Liden, JOEM. **38**, 752 (1996).
- [31] B.B. Arnetz, M. Berg and J. Arnetz, Arch. Environ. Health. **52**, 63 (1997).
- [32] G. Oftedal, A.I. Vistnes and K. Rygge, Scand. J. Work. Environ. Health. **21**, 335 (1995).
- [33] 不要電波問題対策協議会, 携帯電話端末等の使用に関する調査報告書-医用電気機器への電波の影響を防止するため (1997) p.46.
- [34] WTR, Evaluation of Interference Between Hand-Held Wireless Phones and Implanted Cardiac Pacemakers: Final Recommendations for Corrective Intervention (1996).