日本の電気設備技術基準を考慮した ELF 電磁界曝露によるヒト脳波スペクトラムへの影響

正 員 川 田 昌 武 (名古屋工業大学)

Effect of ELF Electric and Magnetic Fields Exposure in Consideration of the Japanese Technology Standard
of the Electric Installation on the EEG Spectra of Human

Masatake KAWADA, Member (Nagoya Institute of Technology)

The purpose of this study was to investigate the effect of ELF (Extremely Low Frequency) electric and magnetic fields (EMF) exposure on the EEG (Electroencephalograph) of human. In this study 4 healthy-male-volunteers were exposed for 30 min to 60-Hz EMF at 30 V/cm emitted from the high voltage transformer. The electric field strength emitted from the aerial power line was defined to be below 30V/cm at 1 meter above the ground and the magnetic field strength was not defined, according to the provision of the 27th article of "the Japanese technology-standard of the electric installation" established by the Ministry of International Trade and Industry. Prior to participation in the EMF exposure, each volunteer was given a complete description of the purpose and character of the investigation. The EEG of the volunteers were recorded based on the international 10-20 system before and after the EMF exposures and analyzed by the Fourier Transform and the Wavelet Transform. The result of this paper indicated that no direct effects on the frequency- spectra by the Fourier Transform and the dynamic-spectra by the Wavelet Transform of the EEG were seen before and after EMF exposures.

キーワード : ELF (Extremely Low Frequency) 電磁界曝露, 脳波 (EEG : Electroencephalograph), 国際10-20電極配置法, フーリエ変換 (Fourier Transform), ウェーブレット変換 (Wavelet Transform)

1. まえがき

近年、電力需要の増大に伴い275kV、500kVといった高電圧大容量の送配電システムが運用され、都市圏では超高圧地下変電所と、高電圧・大電力ケーブル送電系統が建設されている。さらに、1000kVのUHV(Ultra High Voltage)送電が近く実現する予定となっており、人類がこれまで体験したことのない、高電圧・大容量送電システムが都市を中心に現れることになる⁽¹⁾。

この様な高電圧・大容量送電システムの社会的役割は重要ではあるが、一方で、米国やスウェーデンを中心に送電線路下において小児白血病発生率が高いという疫学論文が報告され様々な議論が行われている^{(2)~(4)}。そして、電磁環境問題が重大な社会問題としてテレビ、新聞等のマスコミに多いに取り上げられ、その関心の高さは工学・医学分野の技術者、研究者のみならず、社会一般の人々にまで及んでいる。

この問題に対して、WHO (World Health Organization : 世界保健機関) をはじめとする国際機関や公的な機関等が、電磁界による人の健康への影響に関する調査・研究を行い、その結果やガイドラインを発表している^{(5)~(7)}。日本におい

ても、例えば、通産省資源エネルギー庁では大規模送電線電界等調査検討委員会や、電気学会では電磁界生体影響問題調査委員会を設置して、生体への影響についての調査研究活動を進めている^{(8)~(10)}。しかしながら、電磁界と生体影響との関連性について全てが明らかになったわけではなく、さらなる実験、計測データの蓄積が不可欠となっている。

そこで本論文では、ヒトの脳に対して電力機器から発生するELF (Extremely Low Frequency) 電磁界 (正確には商用周波数60Hz 電磁界) がどのような影響を及ぼすかを脳波 (EEG: Electroencephalograph) の周波数スペクトラム解析を行うことにより検討することを目的とする。すなわち、脳内活動がイオンチャンネルによる電磁現象^{(11)~(15)}であることを考慮すると、環境電磁界による影響⁽¹⁶⁾について検討する必要がある。

本実験では、高圧変圧器周辺の電磁界環境下に被験者を覚醒、閉眼でかつ、耳栓による雑音を極力下げた状態で安静にして椅子に座らせ、ELF 電磁界曝露を30分間行った。なお、電磁界強度は曝露実験の前に測定しており、電界強度は日本の電気設備技術基準 (電気設備に関する技術基準

を定める通商産業省令)⁽¹⁰⁾以下とし、磁界強度に関してはその基準が電気設備技術基準に提示されていないことから国際基準^{(5)~(10)}を参考にし、その値以下であることを確認したうえで本実験を行った。

なお、電気設備技術基準に規定されている電界強度の根拠は健康への悪影響を考慮した基準ではなく、静電誘導による電界の感知を避けることに拠っており、日本政府関係機関による人体防護のための基準等は定められていない⁽⁸⁾。すなわち、本論文にて得られた結果は、脳波という側面のみからではあるが、日本の ELF 電磁界管理の妥当性、根拠ある安全基準であるかを検討する際の判断材料の一つになりうると考えられる。これまでに、様々な研究者が電磁界のヒトへの直接曝露による脳波への影響を報告^{(19)~(24)}しており、例えば、磁界曝露後に α 、 β 帯域の脳波が優位に増加したという報告^{(23) (24)}もあるが、曝露条件がすべての研究において同一のものは無く、また、日本の電気設備技術基準を考慮した実験を行った結果は報告されていないのが現状である。

脳波は電磁界曝露前後に国際10-20電極配置法^{(11)~(15)} (14チャンネル)により測定し、その変化を脳波スペクトル解析手法として一般的に用いられているフーリエ変換 (Fourier Transform) と、時間周波数解析を可能とするウェーブレット変換 (Wavelet Transform)⁽²⁵⁾を導入することにより検討した。ウェーブレット変換は、時間毎の周波数スペクトラム変動を捉えることができることから、現在では様々な分野にて適用されている^{(25) (26)}。しかしながら、電磁界による脳波への影響を調べる際に用いられたという例は、著者の知る限りでは、これまでに国内外において報告されていない。

本研究では被験者に実験内容とその目的を事前に説明し、その同意を得た上で実験を行っている。特に、本研究において曝露する電磁界強度に関しては、INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee) /IRPA (International Radiation Protection Association) の50/60Hz 電磁界曝露制限の指針^{(5)~(10)}以下であり、また、我が国の電気設備技術基準 (第27条) とその解釈 (第102条)⁽¹⁸⁾である「特別高圧架空電線路は、地表上1m における電界強度が30V/cm (=3kV/m) 以下となるように施設するほか、静電誘導作用により人に危険を及ぼすおそれがないように施設すること」の説明も行った。この値は WHO の基準値10 kV/m 及び、上記の IRPA のガイドライン5kV/m よりも低い値であることを付記する。

2. 実験環境

〈2.1〉脳波計測システム 本実験では ELF 電磁界 (60 Hz 電磁界) 曝露前後に脳波を測定し、その変化を解析することにより電磁界曝露の影響を評価した。なお、脳波は神経細胞の細胞体から皮質表面に向かって出ている樹状突起 (尖頂樹状突起) で生じたシナプス後電位により発生す

表1 EEG ヘッドボックスの仕様
Table1 The specifications of EEG head box.

EEGヘッドボックス (株式会社 エヌエフ回路設計ブロック社製 5102)	
脳波入力	14チャンネル平衡入力 (基準入力共通)
感度	409.6 μ Vp-p
低域時定数	0.3 s
入力抵抗	10M Ω -GND-10M Ω
アンチエイリアシング フィルタ	250Hz (-3dB) 24dB/oct
A/D変換分解能	12ビット
サンプリング周波数	1kHz
絶縁方式	フォトカプラ及びトランス
電源	プロセッサボックスから供給

表2 プロセッサボックスの仕様
Table 2 The specifications of the processor box.

プロセッサボックス (株式会社 エヌエフ回路設計ブロック社製 5101)	
フィルタ	IIRデジタルフィルタリングによる ハイパス、ローパス、ハム除去フ ィルタの遮断周波数、減衰特性可変
収録時サンプリング 周波数	1k, 500, 200, 100, 50, 25Hz (可変)
インターフェイス	SCSI
電源	DC 10~15V

図1 国際10-20電極配置法
Fig.1 International 10-20 system.

ると報告^{(11)~(15)}されており、脳の活動状況を非侵襲的かつ、客観的に捉える指標となっている。

本実験で用いた脳波計測システムは、脳波を頭皮上で受信する Ag/AgCl (銀-塩化銀) 皿電極、その脳波信号をアナログからデジタルデータに変換する EEG ヘッドボックス、そして、そのデジタルデータに対してフィルタリング処理 (IIR デジタルフィルタリングによるハイパス、ローパス、ハム除去) を行うプロセッサボックス、及び、データ記録、解析のためのパーソナルコンピュータから構成されている。

表1に EEG ヘッドボックス、表2にプロセッサボックスの仕様を示す。なお、EEG ヘッドボックスには表1に示す

様にアンチエリasingフィルタが内蔵されており、このフィルタにより高周波成分をカットしたうえで、サンプリング周波数1kHzにてA/D変換を行った。そして、このデジタルデータに対し、表2に示すプロセッサボックス内でIIRデジタルフィルタリングによるハイパスフィルタ（2次バターワースフィルタ、遮断周波数：1.6Hz）、ローパスフィルタ（2次バターワースフィルタ、遮断周波数：30Hz）、電源周波数（60Hz）除去のためのハム除去フィルタ（2対フィルタ）処理を行った後に、サンプリング周波数200Hzで上記データを間引き、データを取得した。

なお、脳波測定前に皮膚前処理剤にて皮膚と電極間の接触インピーダンスを減少させ、電極を頭皮に接触固定するためにペースト（paste）剤を用いた。電極配置としては、図1に示す国際10-20電極配置法（International 10-20 system）のうちの14チャンネル分の測定を行った。測定点としては、Fp1、Fp2、F7、F3、F4、F8、T3、T4、T5、P3、P4、T6、O1、O2であり、これら電極を活性電極とし、耳朶（左耳）を基準電極とする単極導出法（Monopolar Derivation）^{(4)~(5)}により、脳波を約30s間測定した。

脳波は人種、民族、性別などによって著しい相違を示さないとの報告⁽⁴⁾がなされているが、年齢、意識状態、開眼・閉眼、精神状態、生理学的環境の変化等の諸条件を一定にすることが脳波の正常、異常を判定したり、異なった被験者の脳波を比較する上で重要であることから、本実験の電磁界曝露中と脳波測定中において、被験者は覚醒、閉眼、安静状態とし、耳栓（材質：弾性発泡ポリマー）により極力雑音をさけるようにした。また、上記の理由から被験者の年齢もほぼ同じにした。

なお、被験者の頭皮、及び、耳朶に接触固定した電極は、その取り付け、取り外しが容易ではないため、電磁界曝露前、曝露中、曝露後と取り外しを行っていない。よって、電極を頭皮、及び、耳朶に付けた状態で電磁界曝露を行っていることから、厳密には、曝露電磁界は電極とその電極に接続されたリード線による影響を受けることも考えられるが、本実験ではそれらも含めた上での電磁界曝露による脳波スペクトラムへの影響を検討した。

〈2.2〉電磁界曝露実験環境 本論文では前述した日本の電気設備技術基準⁽¹⁰⁾を電界曝露の条件（30V/cm以下）として実験を行った。この電界曝露実験を行うための高電圧印加回路を図2に示し、実際に被験者への電磁界曝露を行った実験環境について図3に示す。磁界に関しては前述したように電気設備技術基準に提示されていないことから、INIRC/TRPAの50/60Hz電磁界曝露制限の指針（1mT rms：数時間/日）以下とした。人体への電磁界の影響を考慮する場合、人体が接地か非接地かにより電界誘導電流が異なるとの報告^{(5) (8) (9)}があることから、本実験では被験者を非接地とした。なお上記によれば、平等電界中ではあるが非接地の場合、頭部の電界集中は緩和され、電界のゆがみの範囲はより小さくなると報告されている。

図2 高電圧印加回路
Fig. 2 The applied high-voltage circuit.

図3 電磁界曝露実験環境
Fig. 3 The electric and magnetic fields exposure facility.

表3 電界強度計の仕様
Table3 The specification of the electric field meter

電界強度計	
(古河電気 社製：EFM-309型)	
測定電界	50Hz/60Hzによる静電誘導電界（地上高 1m）
測定範囲	0～30V/cm, 0～90V/cm（実効値表示）
電源	9V 乾電池 1個内蔵

表4 3次元検出方式による磁界測定計
Table4 The specification of the magnetic field dosimeter.

MAGNETIC FIELD DOSIMETER	
(Seiko Instruments Inc. 社製 GM-511)	
測定磁界	直流磁界及び交流磁界（測定磁場選択可能）
周波数帯域	50Hz～数100Hz
測定センサー	ホール素子・3次元配置
測定範囲	0.01μT.h～999.99T.h
測定精度	±10%
測定周期	3s
測定モード	積算測定、瞬時測定
電源	単4アルカリ乾電池（1.5V）4個

図4 高圧変圧器からの距離による電界強度特性

Fig. 4 The electric field strength as a function of the distance from the high voltage transformer.

表5 本実験の被験者

Table5 Subjects.

被験者	性別	年齢	気温[度]	湿度[%]
A	男性	22	29	55
B	男性	22	29	52
C	男性	22	26	60
D	男性	24	27	58

本実験では被験者への電磁界曝露の前に、高圧変圧器周辺の電磁界を測定し、上記基準以下になるように印加電圧を誘導型電圧調整器により調整した。電磁界の測定には、表3の電界強度計と表4の3次元検出方式による磁界測定計を用いた。

電界強度計は、静電誘導の強さを地上高約1mの点における電界 (V/cm) の大きさとして測定でき、測定原理としては空間に約10cmの間隔で上下2枚の金属板を絶縁支持し、この金属板に生じる電位差を高入力インピーダンスのFETで増幅し電流計で指示する。2枚の金属板に生じる電位差は電界の強さに比例するので、電流計の指示により電界強度を計測できる。すなわち、大地に対して垂直方向の電界強度を計測できる。

磁界測定計はホール素子がX,Y,Zの直角方向に3次元配置されており、その各ホール素子面に垂直に入射する磁界成分の3方向ベクトルを合成することにより計測を行うものである。

電界強度計を用いて、高圧変圧器周辺の電界強度を測定した結果を図4に示す。なお、同図の電圧V1は図2中の低圧側測定電圧値(実効値)である。同図より、低圧側電圧を50V、高圧変圧器から距離1.0mの時に、電界強度が30V/cm rms(=3kV/m)であることが分かる。また、本強度計の本来の使用法とは異なるが、参考として大地に対して水平方向の電界成分も測定した結果、15V/cmであった。

磁界測定計を用いて、低圧側電圧を50Vとし、上記距離1.0m、地上高1.0mでの30分間(本実験における曝露時

間)の磁束積算値(線量計測)を測定した結果、約40 μ T(30分間)であった。そこで、これら上記測定結果を用いて実際に被験者に電磁界曝露を行った。被験者への曝露時間は30分間であり、INIRC/IRPA 1990年の50/60Hz電磁界曝露制限の一般人に対する指針では、電界強度10kV/m rms、磁界強度1mT rmsにて数時間/日となっている⁽⁹⁾~⁽¹⁰⁾ことから、本実験の電磁界曝露は強度と時間に関して、十分に安全とされている範囲で行った。また、実際の変電所内の磁界測定値(磁束積算値)⁽²⁷⁾も参考にした。

3. 電磁界曝露による脳波への影響

<3.1>フーリエ変換による周波数解析 被験者として、表5に示す4名に対して電磁界曝露を行った。実験を行った時間は午後の約2時~6時であり、同表には実験時の気温、湿度も示した。まず、電磁界曝露前に被験者の脳波を国際10-20電極配置法により測定し、次に30分間の電磁界曝露を行い、その停止直後にも測定を行った。この間、被験者は上述したように覚醒、閉眼、安静状態であり、電磁界曝露時間及び、脳波測定時間等の情報は与えていない。すなわち、被験者はいつ電磁界曝露を開始、停止されたか、また、脳波をいつ計測されたか等の情報を知り得ないようにした。これは、被験者の心理状態が脳波に反映されることを極力抑えるためである。

脳波の相違を検討する際、時系列データの状態を検討することは難しいことから、一般的には、フーリエ変換による周波数解析が用いられ、 δ 帯域(0~3Hz)、 θ 帯域(4~7Hz)、 α 帯域(8~13Hz)、 β 帯域(14Hz~以上)として評価されている^{(11)~(15)}。そこで本論文においても、上記周波数帯域で、どのような変化が電磁界曝露によりあったのかを検討することとした。フーリエ変換として、FFT(Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換)を用い、解析ポイント数を1024ポイントとした。すなわち、サンプリング時間が5ms(サンプリング周波数: 200Hz)であることから、解析時間窓は約5s(=1024 $\times$ 5ms)となっている。なお、覚醒、閉眼、安静状態の脳波の定常性は、せいぜい30s程度が限度とされていることから、脳波の周波数解析では一般的に5~10s程度を一つの解析区間として処理が行われている^{(12)~(14)}。

図5に被験者Aの電磁界曝露前のF3,F4,P3,P4における脳波スペクトラムを示す。なお、脳波は前述した様に14チャンネル分測定しているが、その情報量が膨大となることから、上記4チャンネルの解析結果を示す。上記箇所は頭頂Czに対して前後対称に位置している。同図よりP3,P4において10Hz前後の α 帯域が強く出現しており、これは覚醒、閉眼、安静状態における正常成人の一般的な波形である^{(12)~(14)}と判断できる。なお、 α 帯域は頭頂、後頭においてその振幅が大きく律動性もよいので、ほかの部位に比べ優位性があるとされている^{(12)~(14)}。同図からも後頭のP3,P4が優位であることが分かる。

(a) F3

(a) F3

(b) F4

(b) F4

(c) P3

(c) P3

(d) P4

(d) P4

図5 電磁界曝露前の被験者 A の
周波数スペクトラム

Fig. 5 EEG spectra of subject "A" before the EMF exposure.

図6 電磁界曝露停止直後の被験者 A の
脳波の周波数スペクトラム

Fig. 6 EEG spectra of subject "A" after the EMF exposure.

(a) F3

(b) F4

(c) P3

(d) P4

図7 電磁界曝露前の被験者4名の脳波の
周波数スペクトラムの平均

Fig. 7 Averaged EEG spectra of four subjects before the EMF exposure.

(a) F3

(b) F4

(c) P3

(d) P4

図8 電磁界曝露停止直後の被験者4名の脳波の
周波数スペクトラムの平均

Fig. 8 Averaged EEG spectra of four subjects after the EMF exposure.

図9 電磁界曝露前の被験者 A の脳波の
ダイナミックスペクトラム

Fig. 9 EEG dynamic-spectra of subject "A" before the EMF exposure.

図10 電磁界曝露停止直後の被験者 A の脳波の
ダイナミックスペクトラム

Fig. 10 EEG dynamic-spectra of subject "A" after the EMF exposure.

次に、電磁界曝露停止直後の被験者 A の F3, F4, P3, P4 における脳波スペクトラムを図6に示す。同図より全体的に α 帯成分が増加しているが、ほぼ電磁界曝露前と同様なスペクトラム分布であることが分かる。すなわち、極端に他の周波数帯域の増加は見受けられない。印加電圧の周波数が60Hz であり、その周波数帯域の電磁界が曝露されていることを考慮すると、より高い周波数成分が増加するものと予測されるが、そのような結果は得られなかった。磁界曝露により α 帯域のパワーが増加したという報告^{(21)~(23)}もあるが、覚醒、閉眼、安静状態での α 波は漸増、漸減があり、また、時間の経過により検査環境に慣れてくると α 波は漸増するとの報告^{(12)~(14)}から検討すると、同図の電磁界曝露停止直後のスペクトラムは覚醒、閉眼、安静状態の周波数スペクトラムと判断できる。

被験者 A による1名の結果を述べたが、ヒトによる実験では個人差が含まれることから、被験者4名の平均値による検討を行った。まず、電磁界曝露前の被験者4名による F3, F4, P3, P4 の周波数スペクトラムの平均値を図7に示す。同図より、P3, P4 において10Hz 前後の α 帯域が出現しており、上記と同様に覚醒、閉眼、安静状態における正常成人の一般的な波形であると判断できる。

次に、電磁界曝露停止直後の被験者4名の F3, F4, P3, P4 の周波数スペクトラムを図8に示す。同図においても10Hz 前後の α 帯域が出現しており、覚醒、閉眼、安静状態の脳波スペクトラムであると判断できる。なお、 δ 帯域 (0~3 Hz) が若干ではあるが増加しているが、覚醒から睡眠へ移行する場合、この δ 帯域が出現する^{(12)~(14)}ことから、被験者がよりリラックスしている状態を示しているものと考えられる。

上記の被験者4名の開始前と曝露停止直後の周波数スペクトル平均値の相違からも、周波数スペクトラムの極端な変化はないことが分かる。すなわち、ほぼ正常成人の覚醒、閉眼、安静状態の一般的な脳波スペクトラムであり、本実験の電磁界曝露による直接的な変化はないものと判断できる。

〈3.2〉ウェーブレット変換による時間周波数解析 フーリエ変換による周波数解析では、解析区間において脳波の性質が統計的に一定である、すなわち、定常的であるという仮定のもとに解析を行っている。しかしながら、脳波は時々刻々変化するため、より厳密な解析を行うためには、各周波数成分の時間的変化、つまり、時間周波数解析の必要性がある。そこで、時間周波数解析を可能とするウェーブレット変換 (Wavelet Transform)^{(25) (26)}により、電磁界曝露前と曝露停止直後の脳波の解析を行った。

時間領域における信号 $f(t)$ のマザー・ウェーブレット $\psi(t)$ によるウェーブレット変換は、次式のように定義される。

$$(W_{\psi} f)(b, a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt$$

a : スケール・パラメータ

b : トランスレート・パラメータ

(1)

なお、式(1)を満たす一般的な条件式は、

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$$

(2)

である。

ウェーブレット変換には、様々なマザー・ウェーブレットが報告⁽²⁵⁾されているが、本論文では時間と周波数に関する不確定性が最小の関数 (時間周波数空間において最も局在性が良い関数) であることから、信号の周波数を探り出すのに適している式(3)に示す Gabor のマザー・ウェーブレットを用いた。

$$\psi(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} e^{-it}$$

(3)

なお、 $\sigma = 8$ とし、式(1)において

$$a = \frac{1}{2\pi f}$$

f : 周波数 [Hz]

(4)

から、この周波数 f [Hz] を可変した。

まず、図9に被験者 A の電磁界曝露前のウェーブレット変換によるダイナミックスペクトラムを示す。なお、同図の解析時間は10s とし、エネルギーレベルが高い部分を黒色、低い部分を白色と階調表現した。同図より、脳波スペクトラムの時々刻々変化している様子を視覚的に捉えることができる。F3, F4がほぼ同様なスペクトラムの時間変化をしており、 α 帯が他の周波数帯域より強く、かつ間欠的に出現していることが分かる。一方、P3, P4も、両者はほぼ同様なスペクトラムとなっており、 α 帯域が明らかに他の周波数帯域と比較して強く出現している。同図から、覚醒、閉眼、安静状態における α 帯の頭頂、後頭部の優位性が時系列的に分かる。

次に、電磁界曝露停止直後の被験者 A のダイナミックスペクトラムを図10に示す。同図より曝露前とほぼ同様なスペクトラムを示しており、ダイナミックスペクトラムからも他の周波数帯域の極端な増加や、時系列的に極端な変化は見受けられない。なお、他の被験者においてもほぼ同様な傾向を示しており、本実験の電磁界曝露による直接的な影響はないものと判断できる。

4. むすび

本論文では、電力機器から発生する ELF 電磁界 (60Hz 電磁界) がヒトの脳にどのような影響を及ぼすのかを、電磁界曝露前後の脳波に対して、一般的に用いられているフーリエ変換による周波数解析と、ウェーブレット変換による時間周波数解析を行うことにより検討した。

実験としては、被験者を覚醒、閉眼、安静状態で30分間

の電磁界曝露を行い、その曝露前後の脳波を国際10-20電極配置法により測定した。なお、本実験を遂行するにあたり、曝露した電磁界強度は日本の電気設備技術基準とINIRC/IRPAの国際基準以下であることを確認した。

以下に、本論文の結果を述べる。

(1) フーリエ変換による周波数解析を行った結果、周波数スペクトラムには極端な変化はないことが分かった。曝露前後の脳波は正常成人の覚醒、閉眼、安静状態の一般的な周波数スペクトラムであった。

(2) ウェーブレット変換による時間周波数解析を行った結果、脳波のダイナミックスpektrumからも他の周波数帯域の極端な増加や、時系列的に極端な変化は見受けられなかった。

以上より、本実験における30分間の電磁界曝露による脳波への影響はないものと判断できる。本論文の結果は、脳波という側面のみからではあるが、日本のELF電磁界管理の妥当性、根拠のある安全基準であるかを議論、検討する際の判断材料の一つになりうるものと考えられる。

本研究は(財)日産科学振興財団から助成を受けたことを付記するとともに、ここに謝意を表する。

(平成11年12月6日受付、平成12年4月12日再受付)

文献

- (1) 岸敬二：高電圧技術，コロナ社，1999年
- (2) 雨宮好文：「電力線磁場とがんに関するカロリンスカ論文および北欧三国ブル論文の論理について」，電学論C，119巻2号，pp. 164-168，1999年2月
- (3) 伏見謙：「送電線電磁場と健康に関する論争」，パリティ，Vol. 11，No. 09 pp. 58-61，1996年9月
- (4) William R. Bennett Jr. : "CANCER AND POWER LINES", PHYSICS TODAY APRIL 1994, pp. 23-29, American Institute of Physics
- (5) 社団法人電気学会・高周波電磁界の生体影響に関する計測技術調査専門委員会（A部門）編：電磁界の生体効果と計測，コロナ社，1995年
- (6) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: "GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (up to 300GHZ)"
- (7) NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences) EMF-RAPID Program Staff "NIEHS REPORT on Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields", NIH Publication No. 99-4493, 1992
- (8) 社団法人電気学会・電磁界生体影響問題調査特別委員会：電磁界の生体影響に関する現状評価と今後の課題，社団法人電気学会，1998年10月
- (9) 社団法人電気学会・電磁界生体影響問題調査委員会：身の回りの電磁界と人の健康への影響，社団法人電気学会，1999年3月
- (10) 環境庁，日本学術会議電波科学研究連絡委員会，電気学会電磁界生体影響調査特別委員会，日本保健物理学会主催国際シンポジウム参考論文集：電磁界による人体曝露と健康リスク，1998年4月7日
- (11) 柴崎浩，米倉義晴：脳イメージング，pp. 9-47，共立出版，1994年
- (12) 江部充，本間伊佐子：図解脳波テキスト 第2版，文光堂，1997年
- (13) 大熊輝雄：脳波判読 step by step 入門編 第3版，医学書院，1999年
- (14) 石山陽事：脳波と夢，pp. 29，pp. 106-109，コロナ社，1994年
- (15) Paul L. Nunez: Electric Field of the Brain, Oxford University Press, 1981
- (16) 松木英敏：生体電磁工学概論，コロナ社，1999年
- (17) 仁田周一 他：環境電磁ノイズハンドブック，pp. 547-559，朝倉書店，1999年6月
- (18) 電気書院編：電気設備技術基準とその解釈，pp. 10（電気設備技術基準 第27条：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），pp. 148（電気設備技術基準の解釈 第102条：誘導障害の防止），1997年7月
- (19) Glenn B. Bell et al. : "Human sensitivity to weak magnetic fields", THE LANCET Vol. 338, pp. 1521-1522, Dec. 14, 1991
- (20) Glenn Bell et al. : "Alterations in brain electrical activity caused by magnetic fields: detecting the detection process", Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 83, pp. 389-397, 1992
- (21) Mary R. Cook et al. : "A Replication Study of Human Exposure to 60-Hz Fields: Effects on Neurobehavioral Measures", Bioelectromagnetics 13, pp. 261-285, 1992, Wiley-Liss, Inc.
- (22) Evgeny B. Lyskov et al. : "Influence of short-term exposure of magnetic field on the bioelectrical processes of the brain and performance", International Journal of Psychophysiology 14, pp. 227-231, 1993
- (23) Evgeny B. Lyskov et al. : "Effects of 45-Hz Magnetic Fields on the Functional State of the Human Brain", Bioelectromagnetics 14, pp. 87-95, 1993, Wiley-Liss, Inc.
- (24) Charles Gramham et al. : "Dose Response Study of Human Exposure to 60Hz Electric and Magnetic Fields", Bioelectromagnetics 15, pp. 447-463, 1994, Wiley-Liss, Inc.
- (25) 例えば，榊原進：ウェーブレット・ビギナーズガイド，東京電機大学出版，1995年
- (26) 例えば，川田昌武 他：「S F。ガス中における部分放電現象のウェーブレット変換を用いた時間周波数解析」，電学論B，117巻3号，pp. 338~345，1997年3月
- (27) Kastuo ISAKA et al. : "Measurements of Power Frequency Electromagnetic Environments and Consideration into Exposure Evaluation", IEICE TRANS. COMMUN. VOL. E77-B, NO. 6, pp. 699-707, JUNE 1994

川田 昌武

(正員) 1971年1月25日生。1998年3月大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。同年6月名古屋工業大学工学部システムマネジメント工学科助手，現在に至る。博士（工学）。電力機器・設備の診断技術，センシング技術の開発，信号・画像処理技術の応用，環境・生体電磁工学に関する研究に従事。1995年電気学会論文発表賞受賞。応用物理学会，日本 ME 学会，応用ウェーブレット研究会，高速信号処理応用技術学会，認知神経科学会，IEEE の各会員。kawada@elcom.nitech.ac.jp