

高電圧環境下における人間の脳波の変動検出

Detection of Fluctuation of Human Brain under High Voltage Environment

研究代表者 名古屋工業大学工学部システムマネジメント工学科 川田 昌武
Dep. of Systems Management and Engineering, Nagoya Institute of Technology, Masatake KAWADA

The purpose of this study was to investigate the effect of Extremely Low Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields (EMF) exposure on the Electroencephalograph (EEG) 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 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.

1. 研究目的

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システムが建設されている。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、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。このような高電圧・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。そして、電磁環境問題が重大な社会問題としてマスコミに多に取り上げられ、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、電磁界によるヒト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。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。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。

そこで本研究では、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であることを考慮すると、環境電磁界による影響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)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を参考にし、その値以下であることを確認した後本実験を行った。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。すなわち、本助成研究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、電磁界のヒトへの直接曝露による脳波への影響に関して、海外の学術論文誌にて報告があり、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もあるが、曝露条件が全ての研究において同一のもの無く、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。

なお、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) 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30 V/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10kV/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. 研究経過

2.1 脳波計測システム

本実験では ELF 電磁界 (60Hz 電磁界) 曝露前後に脳波を測定・解析し、その変化を比較検討することにより電磁界曝露の影響を評価した。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、そのデジタルデータに対してフィルタリング処理を行うプロセッサボックス、そして、データ記録と解析を行うためのパーソナルコンピュータから構成されている。

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) により、脳波を約30s 間測定した。

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、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重要であると報告されていることから、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、

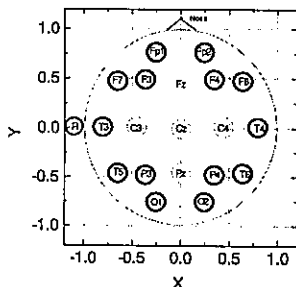


図1 国際10-20電極配置法

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。なお、上記の理由から被験者の年齢もほぼ同じにした。

2.2 電磁界曝露実験環境

本研究では前述した日本の電気設備技術基準を電界曝露の条件 (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様に電気設備技術基準に提示されていないことから、INIRC/IRPA 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があることから、本実験では被験者を非接地とした。なお、平等電界中ではあるが、非接地の場合には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。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、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) であった。また、磁界測定計を用いて低圧側電圧を50V とし、上記距離1.0 m、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。なお、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10 kV/m rms、磁界強度1mT rms にて 数時間/日となっている

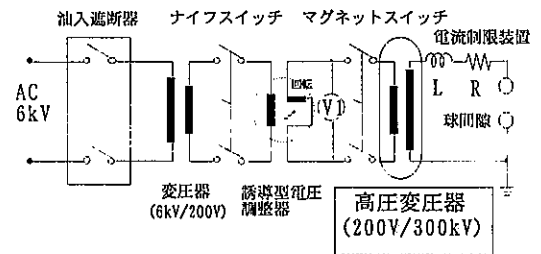


図2 高電圧印加回路

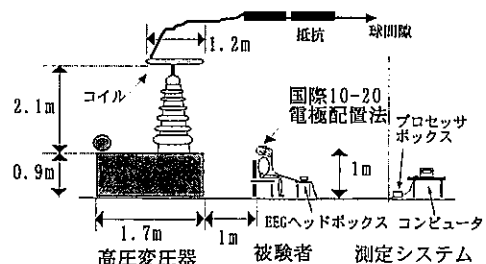


図3 電磁界曝露実験環境

表1 本実験の被験者

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

ることから、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）も参考にした。

3. 研究成果

3.1 電磁界曝露による脳波のフーリエ解析結果

被験者として、表1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様にした。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、時系列データとして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。そこで、高速フーリエ変換(FFT: Fast Fourier Transform)を用いて解析を行った。解析ポイント数は1024ポイントとした。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(=1024×5ms)となっている。なお、覚醒、閉眼、安静状態の脳波の定常性は、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。

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4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った。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。

上記では、被験者Aによる1名だけの結果を述べたが、

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。その結果、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、同様に、周波数スペクトラムの極端な変化はなかった。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ったことから、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た。

3.2 電磁界曝露による脳波のウェーブレット解析結果

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、より緻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)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。なおウェーブレット変換では、時間と周波数に関する不確定性が最小の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と報告されているGaborのマザー・ウェーブレットを用いた。

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5に示す。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。

解析の結果、曝露前とほぼ同様なスペクトラムを示し、ダイナミックスペクトラムから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。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た。

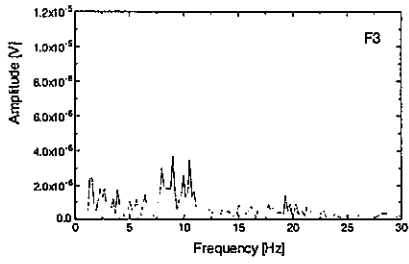
4. 今後の課題と発展

本研究における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た。本研究の結果は、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。

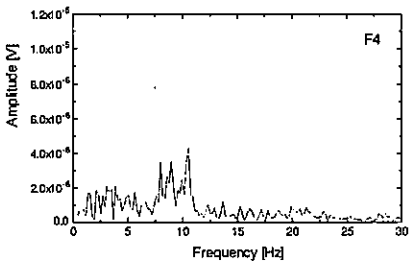
今後は、様々な電磁環境に対する脳波への影響を検討する予定である。

5. 発表論文リスト

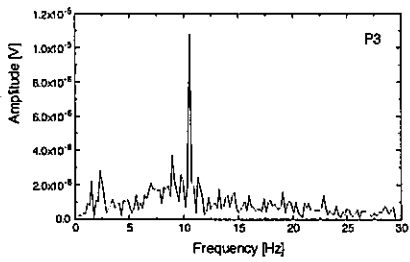
1. 川田昌武:「日本の電気設備技術基準を考慮したELF電磁界曝露後のヒト脳波スペクトラム解析」,平成12年度電気学会全国大会,7-133
2. 川田昌武:「日本の電気設備技術基準を考慮したELF電磁界曝露によるヒト脳波スペクトラムへの影響」,電気学会論文誌B 平成12年8月号掲載決定(印刷中)



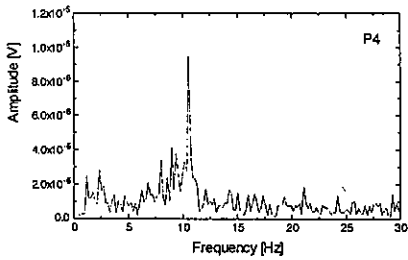
(a) F3



(b) F4

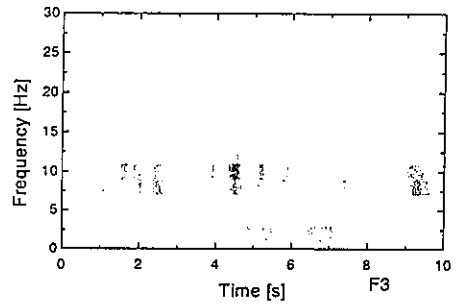


(c) P3

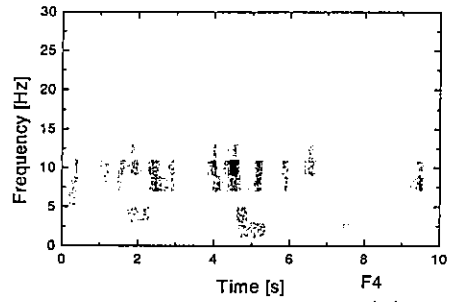


(d) P4

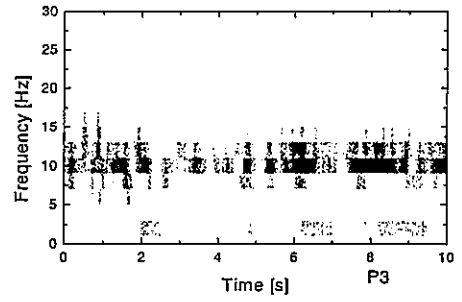
図4 電磁界曝露停止直後の被験者 A の脳波の周波数スペクトラム



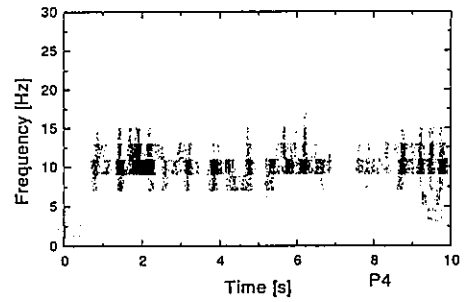
(a) F3



(b) F4



(c) P3



(d) P4

図5 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