

携帯無線機による人体影響の定量測定

藤原 修・梶川 博・伊藤 武史・阿座上 孝

電気情報工学科

(1990年9月1日受理)

Quantitative Measurements of Bio-Hazards due to Portable Radio

Osamu FUJIWARA, Hiroshi KAZIKAWA, Takeshi ITOH

and Takashi AZAKAMI

Department of Electrical and Computer Engineering

In accordance with the rapid increasing use of low power radiating devices such as portable radios, mobile telephones and so on, there has been growing public concern about potential health hazards caused by the near-fields of these devices. In judging the safety for the near-field exposures, it is necessary to immediately decide the safety threshold level of the localized SAR (specific absorption rate) based upon biological rationales. The first step in achieving this objective is to measure the biological responses quantitatively. In this paper, we paid attention to critical fusion frequencies (CFF) reflecting the activity of a cerebral cortex, which can be used to measure the fatigue due to working, and we conducted the Flicker consecutive tests for the subjects exposed to the near-fields of a 1.26 GHz portable radio with 10 W of antenna input power. As a result, we found that the CFF values measured in a fixed time-interval fluctuate approximately according to a Weibull distribution and also that the near-field exposures do not affect the average CFF values but the variances, which might result from nervous stimuli due to the near-fields.

1. ま え が き

近年、電波機器の利用拡大に伴い電波の人体影響がクローズアップされ、防護基準の策定・構築が世界各国において行われている^{1),2)}。わが国においても1990年6月に『電波利用における人体の電波防護指針』に関する答甲書が発表されたばかりである。一般に、電波の人体防護基準^{3),4)}は遠方電磁界被曝に対する全身平均 SAR (Specific Absorption Rate: 比吸収率) が安全指針値 (0.4 W/kg) より低い条件で構築され、近傍電磁界に対しては局所 SAR に制限値 (8 W/kg) を設けた例外条項で対処しているのが通例である。全身平均 SAR の指針値は動物実験に基づくものであるが、局所 SAR のそれには生物学的な根拠は全くない⁴⁾。一方、携帯無線機やコードレス電話は利便性の高さも手伝って爆発的に増加する傾向にある。これらの電波機器はアンテナを顔面へ近づけて使用するので、たとえ放射電力が微弱でも局所 SAR が制限値以下であっても神経系の集中する重要な頭部は局所的に強い電磁界に曝され、それ故に近傍電磁界の有害

な影響が懸念される。筆者らは、近傍電磁界に対する安全性判定には全身平均 SAR に加えて局所 SAR も重要との認識から人体レベルでの同閾値を早急に把握すべきであると考えている。この課題に応えることの第一歩として、フリッカー検査で脳機能の興奮性や緊張度が測定し得る^{5),6)}ことに注目し、同検査によるフリッカー値の時系列処理で携帯無線機の人体影響を定量化することを試みた⁷⁾⁻¹⁰⁾。この結果を本論文で述べる。

2. 実験方法

図1は携帯無線機による近傍電磁界への被験者頭部の曝露とフリッカー検査の状況を示す。曝露装置は信号発生器 (ICOM社製 IC-1271: UHF帯アマチュア無線機用)、方向性結合器、パワーメーター (ICOM社製 WR-2000)、半波長ダイポールアンテナからなる。フリッカー測定器 (竹井機器 PFS-III) は調整器本体と被験者接眼装置の視部とからなり、測定方法はセクターによる明暗比を1:1とした下降式である。実験はつぎのように行った。図1のようにプラスチック製のヘルメット上に取り

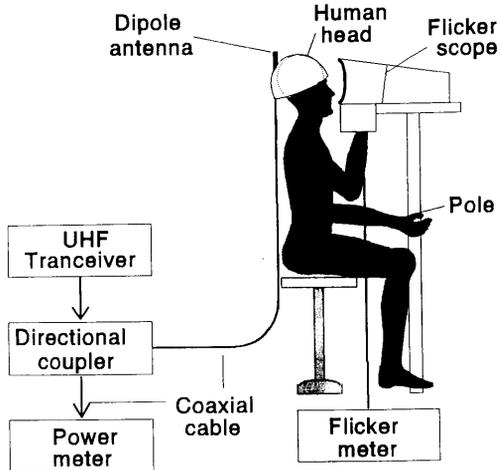


Fig. 1 Arrangements for exposure to near-fields due to portable radio and for Flicker test.

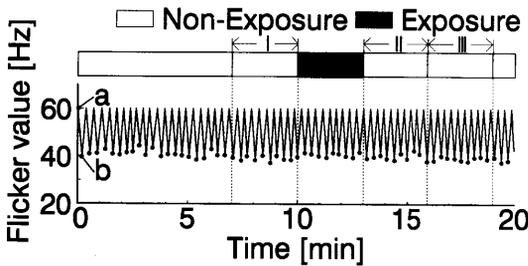


Fig. 2 Example of consecutively tested Flicker values.

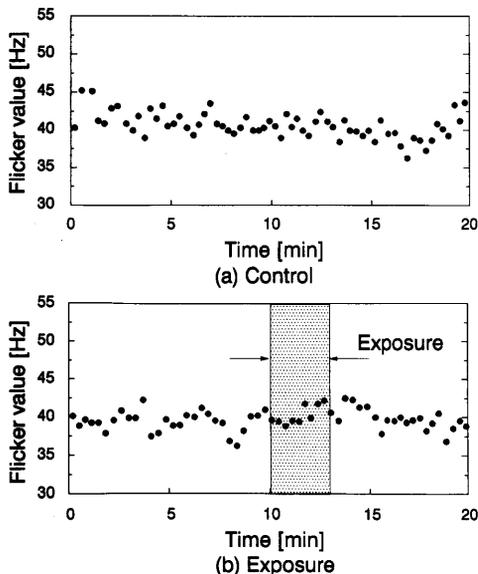


Fig. 3 Measurements of Flicker values (subject A).

Table. 1 Experimental groups and conditions.

| | Number of subject | Number of data |
|-------------|-------------------|-----------------------------|
| Control | 6 | 30 |
| Exposure | 6 | 30 |
| Frequency | 1.26 GHz | |
| Power | 10 W | |
| Average SAR | 0.398 W/kg | $\epsilon_r = 59.8$ |
| Peak SAR | 2.57 W/kg | $\sigma = 1.24 \text{ S/m}$ |

付けたアンテナを被験者の後頭部に近接させた状態で、フリッカー検査を被験者に対して連続的に実施する。実験群と条件は表1に示す。被験者は18才から25才までの6人の男性で、近傍電磁界に曝さない対照群と曝露群とに分けてフリッカー連続検査を20分間にわたって実施した。但し、曝露群では検査開始10分後から3分間連続して近傍電磁界に曝すが、このことは検査中の被験者には知らせない。曝露近傍電磁界の周波数は1.26GHzでアンテナ入力は10Wである。この場合の SAR 値を表1に示してあるが、同数値は人体頭部を半径10cmの均質球体（電気定数の ϵ_r 、 σ はそれぞれ頭部組織の比誘電率と導電率で、これらの数値は関連文献¹¹⁾から引用）に置き換え、これを半波長アンテナの近傍電磁界に曝したモデルで計算したものである¹²⁻¹⁴⁾。但し、計算に際してはアンテナと球との間隔を3cm、アンテナの入力抵抗を $R_a = 73.12\Omega$ 、アンテナの電流振幅を $\sqrt{2W_0/R_a}$ ($W_0 = 10 \text{ W}$: 放射電力)とした。表から、本実験で使用する近傍電磁界レベルでは球体内のピーク SAR が2.57W/kg、平均 SAR が0.398W/kg (体重60kgでは全身平均 SAR は $2.78 \times 10^{-2} \text{ W/kg}$)と計算され、同電磁界は ANSI (American National Standards Institute: 米国規格協会) 電波安全基準⁹⁾の除外条項 (局所 SAR: 8 W/kg、全身平均 SAR: 0.4W/kg) を十分満たしていることがわかる。図2はフリッカー連続検査によるフリッカー値の測定例を示す (図中の I II IIIの時間領域については3章で説明する)。図のa点はフリッカー計の指針が60Hzを示した時刻であり、この時点よりフリッカー検査を始める。図のb点は被験者が光のちらつきを感知した時刻であり、このときの指針の指示値がフリッカー値となる。

3. 結果と考察

図3は被験者Aに対するフリッカー値の時間変化を示す。図から、フリッカー値は時間経過と共に揺らいていることがわかるが、一定の傾向や電磁界曝露による影響は認めにくい。他の被験者についても同様の傾向であった。図4は図3の結果を3分間ごとのヒストグラムで鳥かんの的に示したものである。対照群におけるフリッカー

値の分布は時々刻々と変化しており、揺らぎの特徴は判然としなない。曝露群でもほぼ同様の傾向であるが、電磁界の曝露以降の分布形状が変化しているようである。このことを定量的に把握するためにつぎのようなフリッカー値の時系列処理を行った。まず、図2に示したように電磁曝露前から3分間の時間領域をI、曝露後のそれらを連続してII、IIIと名付ける。これら三つの時間領域におけるフリッカー値の統計量を求め、それらの時間推移から電磁界曝露の影響を調べる。図5は被験者Aに対するフリッカー値の各時間領域における累積相対度数分布を示す。図から、対照群のフリッカー値の分布はIからII IIIの時間領域に対応して左へ移動していること、即ち、フリッカー値は時間経過と共に低下していることがわかる。このことは連続検査による慣れよりも負荷疲労の影響のほうが大きいことを意味する。一方、曝露群ではフリッカー値の分布は時間経過に対応して左へは必ずしも移動しておらず、電磁界曝露の影響がフリッカー値の分布形状に現れていることがわかる。以上の結果はすべての被験者に共通して得られたわけではないので、フリッカー値の分布を特徴づけるために以下に述べるワイブル解析を行った。ワイブル分布は材料の疲労や破壊現象に関連して頻繁に現れる確率分布で、いま、フリッカー値を f とすればワイブル分布 $W(f)$ は、

$$W(f) = 1 - \exp \left[-\frac{(f - f_y)^m}{f_0} \right] \quad (1)$$

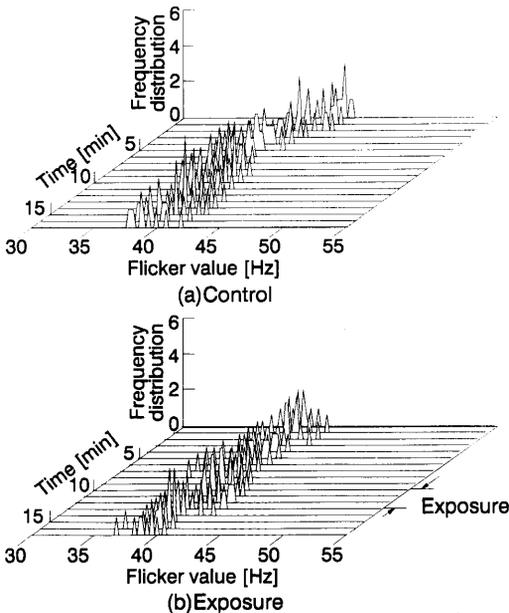


Fig. 4 Time transitions of measured histograms of Flicker values at 3 minutes intervals (subject A).

で与えられる¹⁵⁾。ここに、 f_0 は尺度母数、 m は形状母数、 f_y は位置母数である。これらの母数はワイブル分布の平均値を $E(f)$ 、分散値を $V(f)$ とするときは

$$E(f) = f_0^{\frac{1}{m}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{m} \right)$$

$$V(f) = f_0^{\frac{2}{m}} \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{m} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{m} \right) \right] \quad (2)$$

という関係にある。但し、 $\Gamma(\cdot)$ はガンマ関数であり、 $\Gamma(z) = \int_0^\infty t^{z-1} \exp(-t) dt$ である。それ故に、フリッカー値の累積相対度数分布に式(1)を当てはめて母数を推定すれば、式(2)からフリッカー値の統計量を求めることができる。但し、ワイブル分布の母数推定に際しては式(1)の位置母数を $f_y = 30 \text{ Hz}$ とした。この結果を図5の実線、波線、点数で示している。図から、フリッカー値の累積相対度数分布はワイブル分布によく当てはまっていることがわかる。他の実験群でもほぼ同じ結果であり、ワイブル分布への当てはめの相関係数はいずれも0.99以上であった。つぎに、すべての被験者に対するフリッカー値の時間領域 I II IIIでの平均値と分散値を求め、これらのIに対するIIとIIIの統計量の比を座標としてプロットすることを試みた。結果を図6に示す。統計量比の存在領域は同図(a)で示すように①~⑤に分類され、それらの意味する内容はつぎのようである。

① $x > 1, y > 1$: 統計量は時間経過と共に増加する。

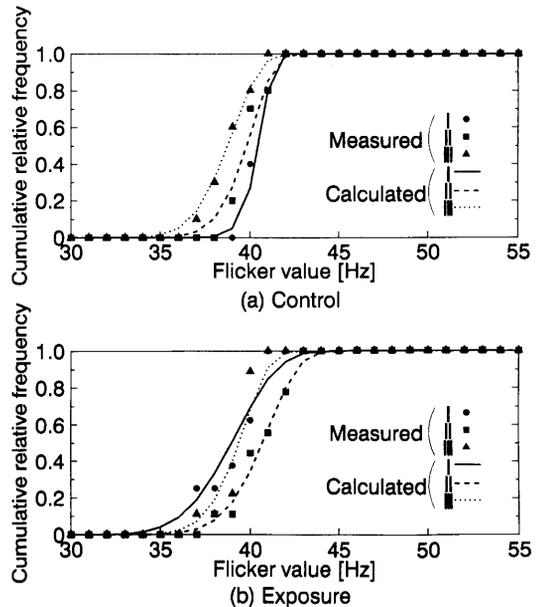


Fig.5 Measured distributions of cumulative relative frequencies of Flicker values (subject A).

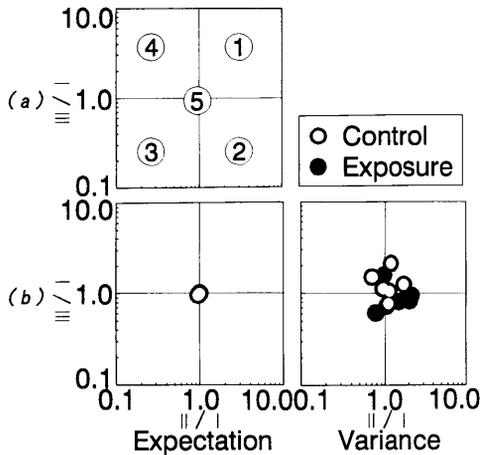


Fig. 6 Variations of mean and variances of Flicker values.

- ② $x > 1, y < 1$: 統計量は一旦増加して減少する。
- ③ $x < 1, y < 1$: 統計量は時間経過と共に減少する。
- ④ $x < 1, y > 1$: 統計量は一旦減少して増加する。
- ⑤ $x = 1, y = 1$: 統計量は時間経過に対して一定である。

図(b)は6人の被験者に対する統計量比の結果を重ねてプロットしたものであるが、これから平均値の存在領域はすべて⑤にあり、電磁界を影響は平均値には現れていないことがわかる。一方、分散値については対照群の存在領域が①⑤、曝露群のそれは②にあり、電磁界の影響が分散値において明確に現れていることがわかる。対照群の分散値が時間経過と共に増加の傾向にあることはフリッカー値のばらつきが増えていることを意味しており、これは図5の結果と同じで連続検査による疲労の影響と考える。曝露群では対照群の場合とは異なり、フリッカー値のばらつきは一旦増加して減少していることになる。フリッカー値は大脳皮質の活動水準を反映する指標とされている¹⁹⁾ことから、上述の結果は近傍電磁界による神経刺激効果の存在を思わせる。

4. む す び

微弱電波放射機器の使用拡大に伴い電波ハザードの問題がかねてから懸念されてはいたものの、電波に対する人体影響の定量化が困難であった。本論文では、ANSI電波防護指針を十分に満たす電波レベルの携帯無線機で近傍電磁界に曝した被験者にフリッカー連続検査を実施し、近傍電磁界曝露による人体影響の定量化を試みた。その結果、連続測定でフリッカー値は毎回ばらつき、一定の時間間隔ではワイブル分布に大略したがって揺らいでいること、近傍電磁界曝露の影響はフリッカー値の分

散値に強く反映して現れていること、などが判明した。しかしながら、本実験では近傍電磁界の曝露条件とフリッカー値との定量関係を把握するには至らなかった。このことの遂行が今後の研究課題となる。

文 献

- 1) M.Stuchly, "Environment and Occupational Exposure to Electromagnetic Fields", IEEE Engineering in Medicine and Biology, 6, 1, pp.15-17 (Mar. 1987).
- 2) K.R.Foster and A.W.Guy (中山正祥訳), "低レベル・マイクロ波の規制問題", サイエンス (Scientific American), 16, 11, pp.10-19 (Nov. 1986).
- 3) American National Standards Institute : "American national standard of safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 300 KHz to 100 GHz", ANSI C-95. 1-1982 (July 1982).
- 4) Om.p.Gandhi : "The ANSI radio frequency safety standards -Its rational and some problems", Engineering in Medicine and Biology, 6, 1, pp.22-25 (March 1987).
- 5) 瀬尾 : "フリッカー連続測定装置の開発", 日本ME学会, 医用電子と生体工学, 25, 4, pp.239-246 (昭62-12).
- 6) 労働科学研究所編 : "労働衛生ハンドブック", 労働科学研究所, pp.540-542 (昭45).
- 7) 藤原, 東浜, 加藤, 阿座上 : "GHz帯近傍電磁界による生体影響の一実験", 電子情報通信学会, 電磁界のバイオエフェクトと安全性研究会資料, No.88-5, pp.96-100 (昭63-09).
- 8) 内藤, 東浜, 藤原, 加藤, 阿座上, 雨宮 : "GHz帯近傍電磁界の人体影響について", 昭63東海連大, No.363.
- 9) 藤原, 内藤, 阿座上 : "携帯無線機使用者のフリッカー検査を用いた疲労特性", 電子情報通信学会, 電磁界のバイオエフェクトと安全性研究会資料, No.89-4, pp.216-219 (平01-06).
- 10) 内藤, 梶川, 東浜, 藤原, 阿座上 : "GHz帯携帯無線機使用者のフリッカー検査を用いた疲労検査", 平01東海連大, No.387.
- 11) H.N.Kritikos and H.P.Schwan : "Hot spots generated in conducting spheres by electromagnetic waves and biological implications", IEEE Trans. Biomed. Eng., BME-19, 1, pp.53-58 (Jan. 1972).
- 12) 東浜, 藤原, 阿座上, 雨宮 : "携帯無線機による顔面

- SAR の計算”, 信学技報, EMCJ89-1, pp.1-5 (平01-04)。
- 13) O.Fujiwara, H.Higashihama, T.Azakami and Y. Amemiya : “Calculation of SAR in Human Head due to Microwave Near-Field Exposure”, Trans. IEICE, Vol. E72, 9, pp.957-959 (Sept. 1989).
- 14) O.Fujiwara, H.Higashihama and T.Azakami : “Calculation of Face-SAR due to Portable Transmitter”, Proc. 10th International Wroclaw Symposium on EMC, Poland, pp.169-172 (June 1990).
- 15) 塩見弘著 : “信頼性概論” 東京電機大学出版局, pp. 37-41 (昭47-03)。
- 16) 小林, 川村 : “視覚系各部のちらつき融合頻度の変動と脳賦活系との関連”, 労働科学, 36, 9, pp. 459-473 (1960)。