

Educational Course

教養のページ

電磁波の生体影響試験を目的とした 小動物ばく露装置の現状と将来動向

王 建青 藤原 修

王 建青 正員 名古屋工業大学工学部電気情報
工学科
藤原 修 正員 名古屋工業大学工学部電気情報
工学科
E-mail fujiwara@odin.elcom.nitech.ac.jp

The Status Quo and Trend of Exposure Setups of Small Animals for Biological Effect Test of Electromagnetic Waves. By Jianqing WANG and Osamu FUJIWARA, Members (Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Nagoya-shi, 466-8555 Japan).

1. ま え が き

携帯電話の爆発的な普及に伴い、その発する電波の人体影響に対して公衆の間で漠然とした懸念が存在している。一般に高周波電磁波の人体影響は、内部組織の温度上昇に起因するものとされ、世界各国の人体防護指針もこれを共通のベースとしている。そのとき、発熱源となる単位体重当りの吸収電力 (SAR: Specific Absorption Rate) が人体影響の評価尺度に用いられ、影響発現のしきい値としては SAR の全身平均値が 4 ~ 8W/kg と見積もられ、同じしきい値の 10 倍の安全率を見越した「0.4W/kg」が防護指針の共通した基本指針値として確立されている⁽¹⁾。一方、携帯電話を対象とした防護指針は局所吸収指針と呼ばれ、欧州や日本では任意の 10g 組織に対する SAR の局所平均値が「2W/kg」を超えないように定めている⁽²⁾。ただし、全身平均 SAR の指針値は、動物実験に基づく安全性の条件を一般的に示したものであり、科学的に十分な根拠に基づいてはいるが、局所平均 SAR の指針値に関しては、携帯電話の普及が余りにも急速であったため、科学的根拠に対して明快にこたえるだけのデータはいまだ十分には蓄積されていない。このために、携帯電話で生ずる近接電波の局所ばく露に対する人体影響については、世界保健機関 (WHO) を筆頭とする関連国際機関はばく露量を高精度に制御した動物の in vivo 実験 (個体レベルの動物実験) を最優先課題として更なる研究を勧告している⁽³⁾。

2. ばく露装置の設計要件

この種の動物実験においては、携帯電話の人体頭部に対する局所ばく露の熱的生体影響と等価なばく露をラットやマウスなどの小動物に実現する必要がある。携帯電話の電波ばく露では人体頭部だけに比較的強い電磁吸収

が生ずるのに対し、全身に対する電磁吸収量は無視できるレベルにある⁽⁴⁾。それゆえに、携帯電話の電波ばく露を想定した小動物のばく露装置では熱ストレスを与えない条件で頭部などの対象組織だけに所要の電磁エネルギーが吸収できればよい。この場合、ほ乳動物の体重当りの基礎代謝率⁽⁵⁾は種によらず体重が重い動物ほど低くなることが知られているので、例えば、小動物の全身平均 SAR を体重の重い人体に対する防護指針値 (0.4W/kg) 以下に抑えれば、小動物には熱ストレスの影響発現はない。対象組織での局所平均 SAR については局所吸収指針値 (例えば、2W/kg) がばく露レベルの目安となるので、ばく露装置には、小動物の全身平均 SAR に対する局所平均 SAR の比 (以降は局所ばく露比と呼ぶ) を少なくとも 5 倍以上に達成できる性能が設計要件として要求される。

3. ばく露装置の現状

携帯電話の電波波長に比して寸法の短い動物をばく露対象とするときは、2. で述べたばく露装置の設計は容易でない。現用携帯電話機の搭載アンテナで小動物をばく露すると、全身がばく露され、5 倍以上の局所ばく露比を実現できないからである。一方、携帯電話による局所的なばく露をそのままの形で小動物に実現させようとすると、人体に対する小動物の寸法比で周波数を高くしなければならず、携帯電話の実使用周波数帯から大きく逸脱する。現時点でのばく露装置においては、携帯電話の実搬送周波数と変調波形の電波を線状アンテナまたは微小ループアンテナで小動物に照射する方法がとられている。

図 1 は世界各国で報告された代表的な小動物局所ばく露装置の性能⁽⁶⁾⁻⁽¹¹⁾を示す。図のばく露装置はラットまたはマウスの脳組織を局所ばく露の対象組織とするもの

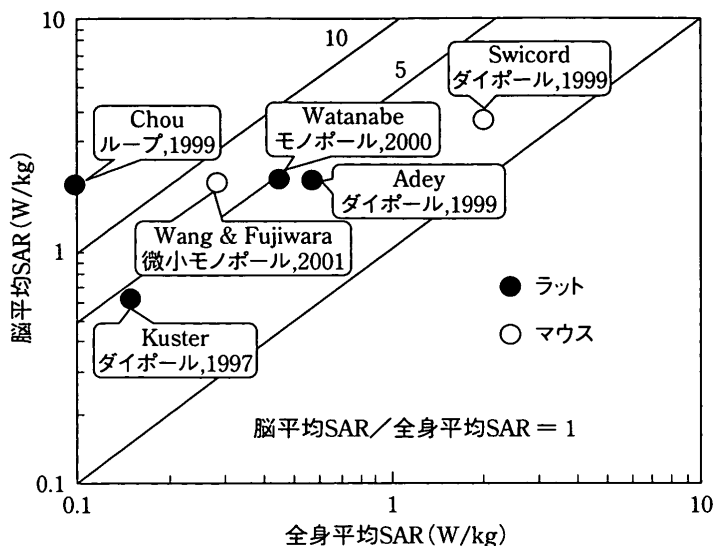
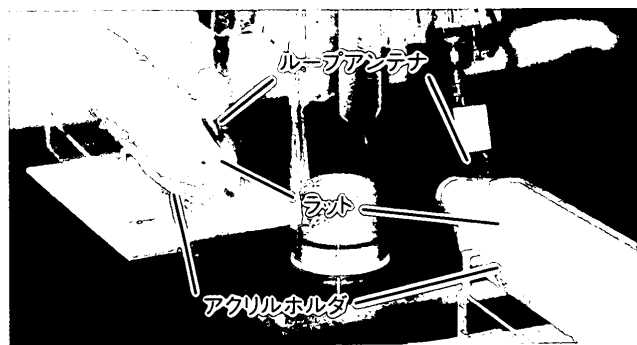
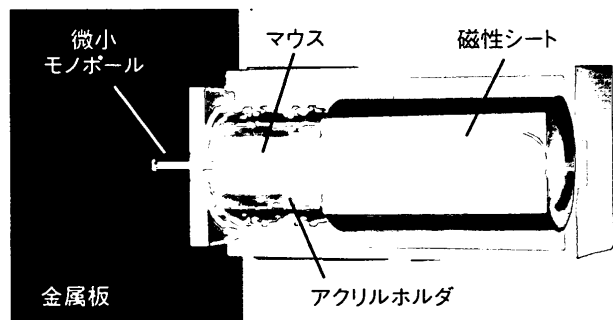


図1 代表的な小動物ばく露装置の性能

であるが、共振型のダイポールあるいはモノポールアンテナを使用したばく露装置では、小動物の脳内局所SARは、アンテナ長が長い為、ラットに対しては全身平均SARの5倍以下、マウスでは全身平均SARのわずか2~3倍しか達成できず、このことが局所ばく露でありながら影響発現には全身加温に基づく熱ストレスの可能性が指摘されていた。この問題を回避するために、Chouらは、微小ループでラット頭部内に局所的に強い



(a)



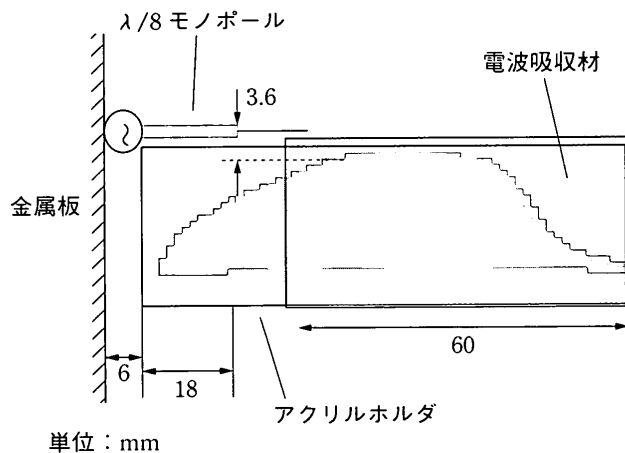
(b)

図2 小動物局所ばく露装置 (a)ループアンテナを用いた頭部局所ばく露⁽⁸⁾, (b)短縮モノポールアンテナと電波吸収材装着ホルダとを用いた頭部局所ばく露⁽⁹⁾.

ばく露を実現し、800MHzと1.9GHzで20倍の局所ばく露比を達成している。一方、筆者らは、局所ばく露の実現が困難とされるマウスに対して、非共振型の1.5GHz短縮モノポールで電波吸収材装着ホルダ内のマウス頭部をばく露し、7倍もの局所ばく露比を実現した。これらの小動物局所ばく露装置^{(8),(9)}を図2に示す。図2(a)はChouらの開発になるばく露法であり、同図2(b)は筆者らのそれである。なお、筆者らは、1.5GHz容量ローディング短縮モノポールでマウスの背面皮膚組織をばく露し、局所平均SARが全身平均値に対して20倍以上の局所ばく露比を実現できる装置⁽¹²⁾も開発した。

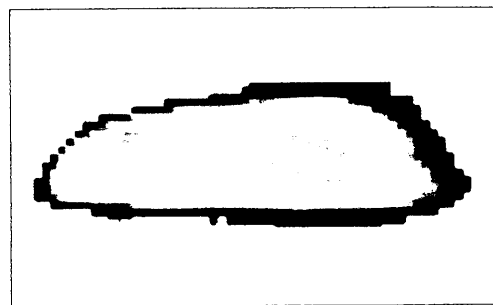
4. ドシメトリ評価

一般に、ばく露小動物のSARを定量することをドシメトリ(Dosimetry)という。ばく露装置に対する高精度なドシメトリ評価はばく露試験の基本であり、試験データの信頼性を直接左右する。しかしながら、試験動物の体内SARは直接測定が不可能であるため、ドシメトリ評価には数値モデルによる計算機シミュレーションかファントムと呼ばれる擬似小動物モデルでの測定に頼ら



単位: mm

(a)



(b)

図3 電波吸収材装着ホルダを用いたマウスの頭部局所ばく露装置のドシメトリ評価 (a)ばく露装置の概要, (b)赤外線カメラによるマウスファントム体内の温度分布(SAR分布に比例)。

ざるを得ない。計算機シミュレーションにおいては、数ミリ以下の高空間分解能を有し、解剖学的に詳細な動物数値モデルに対して、FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法でドシメトリの数値評価が行われる。一方、ファントム実験では均質のファントムモデルが一般に使用される。前者は動物を含むばく露装置の詳細模擬が計算機の記憶容量に制限され、後者はばく露装置そのものを評価できるものの、ファントム内の SAR 分布は実際の動物におけるそれとは必ずしも一致しない。したがって、両者は相補的な関係にあり、現状では計算機シミュレーションでばく露装置の初期設計を行い、それに基づく装置の性能をファントム測定で検証している。図3は、図2(b)に示すマウス頭部ばく露装置のファントムに対する赤外線カメラでの SAR 分布の測定結果を示す。全身の電磁吸収が抑えられ、頭部だけ強くばく露されている様子がわかる。

5. む す び

携帯電話の生体影響試験を目的とした小動物局所ばく露装置の設計要件と現状、並びにドシメトリ評価について述べた。これまでのばく露装置は、電波ばく露で生ずる小動物の体内 SAR を生体影響の評価尺度として設計されてきたが、これを唯一の設計指標とする是非については種々の議論がある。また、ドシメトリ評価は試験前と試験後に行われ、試験中のリアルタイムでのばく露評価はなされていない。更に、小動物のばく露量を一定とするために現状ではホルダで対象動物を拘束しているが、このストレスで発現する影響が電波ばく露のそれと同程度になるとの指摘があり、最近では小動物を拘束せずに通信塔などを想定した均一ばく露を反射箱 (Reverberation Chamber) で実現する新たなばく露法⁽¹³⁾も検討され始めている。これらの設計は、今後の研究課題であり、電気工学者のこの分野における役割は大きい。

文 献

- (1) 雨宮好文, “高周波電磁界の生体影響と防護基準,” 信学誌, vol.78, no.5, pp.466-475, May 1995.
- (2) 郵政省電気通信技術審議会答申, 諮問第 89 号, 「電波利用における人体防護の在り方」, 1997.
- (3) The International EMF Project, “Electromagnetic fields and public health,” WHO Fact Sheets 181, World Health Organization (WHO), Geneva, 1998.
- (4) 王 建青, 藤原 修, “携帯電話に対する頭部のドシメ

トリ評価,” 信学論(B), vol.J84-B, no.1, pp.1-10, Jan. 2001.

- (5) 藤原 修, “高周波電磁場の生体影響,” プラズマ・核融合学会誌, vol.75, no.1, pp.29-35, Jan. 1999.
- (6) M. Burkhardt, Y. Spinelli, and N. Kuster, “Exposure setup to test effects of wireless communications systems on the CNS,” Health Phys., vol.73, no.5, pp.770-778, 1997.
- (7) M. Swicord, J. Morrissey, D. Zakharia, M. Ballen, and Q. Balzano, “Dosimetry in mice exposed to 1.6 GHz microwaves in a carousel irradiator,” Bioelectromagnetics, vol.20, pp.42-47, 1999.
- (8) C.K. Chou, K.W. Chan, J.A. McDougall, and A.W. Guy, “Development of a rat head exposure system for simulating human exposure to RF fields from handheld wireless telephones,” Bioelectromagnetics, vol.20, pp.75-92, 1999.
- (9) J. Wang, O. Fujiwara, K. Imaida, T. Shirai, and T. Nojima, “Realization of a localized exposure for brain of small animal to test biological effects of cellular telephones,” presented at 23th Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society, St. Paul, P-98, June 2001.
- (10) 渡辺聡一, 多氣昌生, “携帯電話の in vivo ばく露装置と動物実験,” 信学論(B), vol.J84-B, no.1, pp.19-28, Jan. 2001.
- (11) K. Wake, T. Fujimoto, S. Watanabe, Y. Yamanaka, T. Uno, and M. Taki, “Small loop antennas for localized head exposure setups of rats,” presented at 2001 Asia-Pacific Radio Science Conference, Tokyo, K8-04, Aug. 2001.
- (12) J. Wang and O. Fujiwara, “A novel setup for small animal exposure to near fields to test biological effects of cellular telephones,” IEICE Trans. Commun., vol.E84-B, no.11, pp.3050-3059, Nov. 2001.
- (13) J. Ladbury, “RF exposure systems for bioelectromagnetic experiments in rodents at telephone frequencies,” presented at 23th Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society, St. Paul, June 2001.



王 建青 (正員)

昭 59 北京理工大・電子卒。平 3 東北大学院博士課程了。東北大・工・助手, (株)ソフィアシステムズを経て, 平 9 名工大・工・助手。現在, 同電気情報助教授。環境電磁工学, 無線通信工学に関する研究に従事。工博。平 12 年度論文賞受賞。



藤原 修 (正員)

昭 46 名工大・工・電子卒。昭 48 名大学院修士課程了。同年(株)日立製作所中央研究所入所。昭 51 同所退職。昭 55 名大学院博士後期課程了。名大・工・助手, 講師を経て, 昭 60 名工大・工・助教授。現在, 同電気情報助教授。平 3~4 スイス連邦工科大客員教授。放電雑音, 生体電磁環境, 環境電磁工学に関する研究に従事。工博。昭 55 電気学会論文賞受賞, 平 12 年度論文賞受賞。