

携帯電話端末評価のための頭部等価液剤

Tissue-equivalent liquids for safety evaluation of mobile phone handsets.

独立行政法人 通信総合研究所 電磁環境グループ 福永 香
KAORI FUKUNAGA
渡辺 聡一
SOICHI WATANABE

EMC Group, Communications Research Laboratory

1. はじめに

携帯電話をはじめとする無線通信端末は、人々の日常生活になくはならないものとなっている。一方で、電波が身近に使用されることにより、電波が健康に及ぼす影響についての関心も増大している。

電波の生体影響は数十年以上にわたる膨大な研究成果が蓄積されており、これらの知見に基づいて電波の防護指針が各国で策定されている。我が国では1990年に郵政省電気通信技術審議会（現総務省情報通信審議会）から電波防護指針¹⁾が答申されている。この電波防護指針では、電波に曝された場合に、体内に吸収された電力による発熱の影響（熱ストレス）に基づいて指針値が設定されている。指針値は人体の電力吸収が最大となる条件（人体全身が電波にばく露する場合）でも、熱的な影響が現われないうように十分な安全率を加えた電波の強度レベル（電磁界強度指針）で記述されている。ただし、当時はさほど携帯電話は普及しておらず、携帯電話を使用している場合のように身体の一部が近傍から電波に曝される場合（局所ばく露）に対しては必ずしも適切な指針値が示されていなかった。その後、1997年に電波防護指針の一部改訂²⁾が行われ、携帯電話等の身体に近接して使用される携帯無線機に対して「局所吸収指針」が新たに追加された。局所吸収指針では、身体内に吸収された単位質量あたりの電力（比吸収率またはSAR; Specific Absorption Rate）が2W/kgを超えないことが勧告されている。そして、2001年に電波法無線設備規則の改正（施行は2002年6月1日）により、携帯電話端末等に対して局所吸収指針が強制規格として用

いられている。

防護指針値を強制規格として運用するためには、このSARを正確かつ再現性よく測定できる手法を確立する必要がある、国際電気標準会議（IEC）をはじめとする国内外の機関において、様々な周波数帯や電波利用機器のための試験法の標準化作業が進められている³⁾。

2. SAR評価技術

携帯電話端末が「局所防護指針」を満足し、安全であるかを評価するための標準試験法では、図1に示すような頭部形状を模擬した容器に頭部組織と同じ誘電特性の液体を満たした、ファントム（模擬人体）が用いられる。このファントムに携帯端末を配置、通話状態とし、内部を小型の等方性電界プローブで走査することにより電界強度分布を測定する。その測定結果からSAR値を算出し、その値が2W/kgを超えなければ安全とする。頭部形状や携帯端末の保持位置等は国際的に共通であり、標準文書に詳細に規定されている^{3) 4)}。



図1 SAR測定システム

3. 人体等価液剤(ファントム液剤)

前節で述べた「頭部組織と同じ誘電特性の液体」は、人体等価液剤の頭部のもので、他に筋肉等価液剤などもある。ここでは携帯電話端末を評価対象にしているので「頭部等価液剤」が用いられ、これらはファントム液剤、液体ファントムなどと呼ばれることもある。

この液剤に要求される誘電特性(比誘電率の実部 ϵ_r' 、および導電率 σ)は、生体組織の実測値データベース⁵⁾に基づき、さらに均一な液剤で代用できるよう数値解析等を用いた検討⁶⁾の結果、表1のように定められた。SAR測定時の液剤の特性は規定されている温度(18°C-25°C、ただし測定中の温度変化は±2°C以内)において ϵ_r' 、および導電率 σ の各値が目標値から偏差5%以内に入っていないなければならない。標準文書中³⁾では、誘電特性の測定方法および推奨配合例(表2)が参考資料として紹介されている。この表からわかるように、一般の携帯電話に用いられる900MHzでは、ショ糖、水、セルロース、塩化ナトリウムの混合物、PHS用1450MHz等、さらに高い周波数ではジエチレングリコールモノブチルエーテル(DGBE)などの多価アルコールが用いられ、最近ではDGBEと比較して有害性の低いジアセチンも提案されている。

しかしながら、この推奨配合では偏差5%以内に入らな

い場合もある。これらの液剤の温度特性、当然予想される蒸発による経時変化等について、標準文書は全く記載されていない。そのため当所ではこれらの推奨配合について温度特性、蒸発による誘電特性の変化、さらに変化の補正に有効と考えられる配合比マトリックス(配合比に対する複素比誘電率を示すチャート)を作成した。

4. 頭部等価液剤の実用誘電特性

頭部等価液剤の誘電特性は一般に図2に示すような市販の同軸プローブ(アジレントテクノロジー製85070シリーズ等)および付属のソフトウェアを用いて行われる。

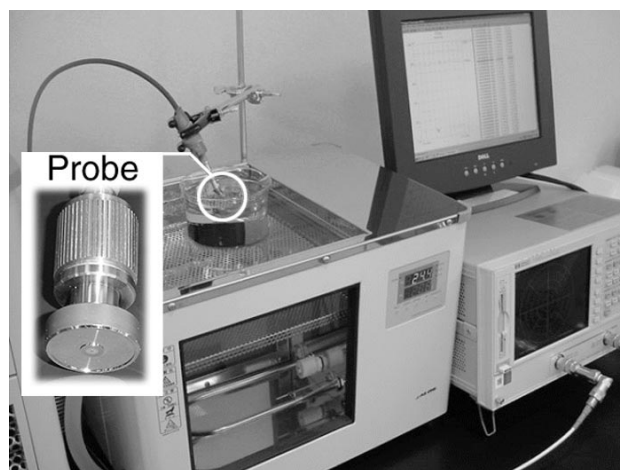


図2 液剤の誘電特性測定装置

表1 液剤の誘電特性

周波数 (MHz)	比誘電率の実部 ϵ_r'	導電率 σ (S/m)
300	45.3	0.87
450	43.5	0.87
835	41.5	0.90
900	41.5	0.97
1450	40.5	1.20
1800	40.0	1.40
1900	40.0	1.40
1950	40.0	1.40
2000	40.0	1.40
2450	39.2	1.80
3000	38.5	2.40

表2 推奨配合 (IEC CDV文書より抜粋)

周波数 (MHz)	原材料 (wt %)
300	水 37.56, 砂糖 55.32, 塩 5.95, セルロース 0.98, 防腐剤 0.19
450	水 38.56, 砂糖 56.32, 塩 3.95, セルロース 0.98, 防腐剤 0.19 水 48.9, ジアセチン 48.9, 塩 1.7, 防腐剤 0.5
835	水 40.45, 砂糖 57.00, 塩 1.45, セルロース 1.00, 防腐剤 0.10
900	水 40.92, 砂糖 56.50, 塩 1.48, セルロース 1.00, 防腐剤 0.10 水 34.40, プロピレングリコール 64.81, 塩 1.48 水 49.2, ジアセチン 49.2, 塩 1.1, 防腐剤 0.5
1450	水 53.82, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 45.51, 塩 0.67
1800	水 52.64, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 47.00, 塩 0.36 水 54.90, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 44.92, 塩 0.18 水 55.36, トリトン(X-100) 30.45, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 13.84, 塩 0.35 水 49.43, ジアセチン 49.43, 塩 0.64, 防腐剤 0.5
1900	水 54.90, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 44.92, 塩 0.18 水 55.36, トリトン(X-100) 30.45, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 13.84, 塩 0.35
1950	水 55.0, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 45.0
2000	水 50.0, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 50.0
2100	水 50.0, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 50.0 水 71.88, トリトン(X-100) 19.97, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 7.99, 塩 0.16
2450	水 71.88, トリトン(X-100) 19.97, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 7.99, 塩 0.16 水 49.75, ジアセチン 49.75, 塩 0.5
3000	水 71.88, トリトン(X-100) 19.97, ジエチレングリコールモノブチルエーテル 7.99, 塩 0.16

周波数範囲200MHzから20GHzでの複素比誘電率が簡易に測定できるため国内外で広く用いられている。導電率 σ は、得られた比誘電率の虚部 ϵ_r'' と周波数の積から算出する。当所でもこのプローブを用い、液剤の温度調整は恒温水槽で行っている。

4.1 温度特性

図3に各配合の液剤の誘電特性の温度依存性を示す。各周波数によって目標値が異なるため、相互比較しやすいように、この図では「目標値からの偏差」で表している。図3(a)は比誘電率の実部 ϵ_r' 、図3(b)は導電率 σ である。 ϵ_r' は温度依存性がほとんどなくほぼ一定である。図中、目標値の $\pm 5\%$ の基準を満たしていない例があるが、これは推奨配合そのものの問題である。一方、 σ の温度依存性は高く、 1°C 上昇すると約2%減少している。したがって、 25°C で目標値を示す液剤は 18°C では使用できないことになる。携帯電話端末のSAR測定中の温度変化は $\pm 2^\circ\text{C}$ 以内と標準文書に規定されているので、それに準拠すれば、SAR測定中の σ は、ほぼ $\pm 5\%$ の変化に収まると思われる。

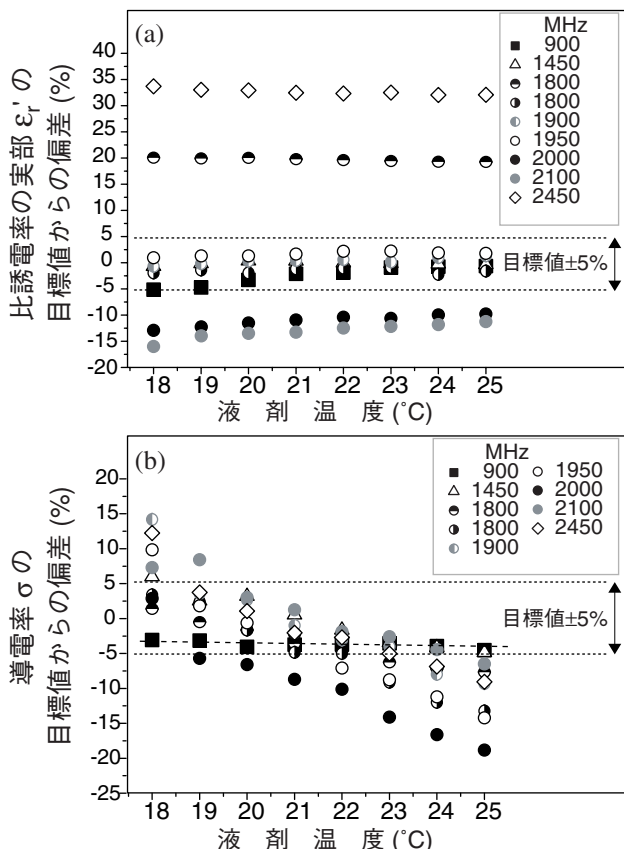


図3 液剤の誘電特性の温度依存性

4.2 経時変化

各配合の頭部等価液剤をポリタンクおよびファントムの殻を模擬した20cm四方の立方体容器(一面は全面開口)に保管し、蒸発量、および誘電特性の変化を測定した。図4に示すようにポリタンクに保管した場合には、注

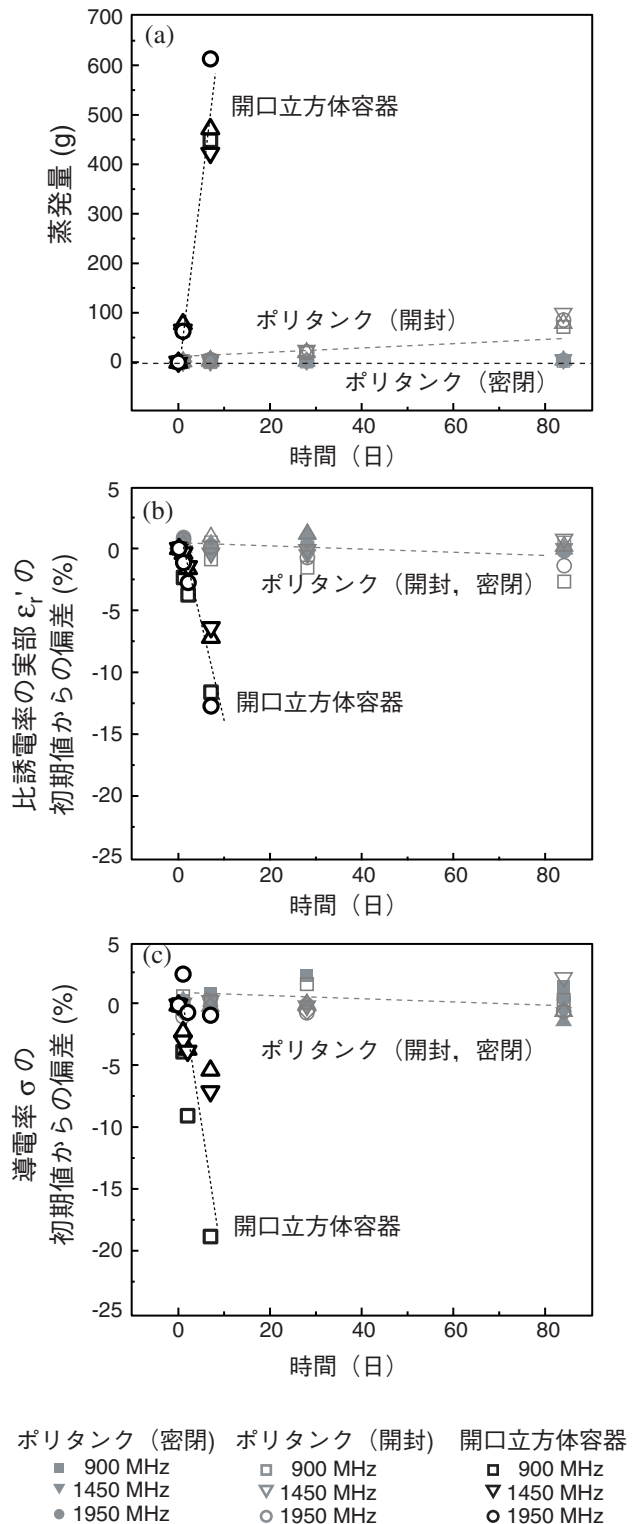


図4 液剤の誘電特性の経時変化(蒸発の影響)

ぎ口(面積7cm²)を開けていてもほとんど蒸発はなく、84日後でも誘電特性の偏差は±5%以内である。しかし立方体容器の場合には1週間で500g蒸発し、誘電特性も15%以上変化している。したがってSAR測定中にファントム殻内に液剤を入れ、蓋なしで実験を続けた場合には液剤の誘電特性の変化に充分注意する必要がある。

4.3 誘電特性の調整

各頭部等価液剤の誘電特性が、規定された目標値の±5%を越えた場合には、原材料(水、DGBE等)を加えることにより調整する必要がある。この際、混合熱により温度が上昇するので「混合、冷却、測定、確認」を繰り返すことになる。この作業の負担をできるだけ軽減できるよう、原材料の配合比を変化させて誘電特性を測定し、配合比と複素比誘電率(ϵ_r' 、 ϵ_r'')の関係を示す配合マトリックスを作成した。このマトリックスの縦軸の比誘電率の虚部 ϵ_r'' を、標準文書内に用いられている導電率 σ に書き表すことができるが、実際の測定値は比誘電率の虚部 ϵ_r'' であり、調整作業中には、直読できる ϵ_r'' の方が便利である。一例として1450MHz用、水、DGBE、塩化ナトリウムの例を図5に示す。目標値は図中の二重丸にあり、調整しなければいけない液剤の誘電特性をプロットした点と比較することにより、どの成分をどれだけ加えれば良いか容易に求めることができる。

当所では現在IECより推奨されているすべての配合例について、900MHz、1450MHz、1950MHz、2450MHzに対する最適な配合比を求めるとともに、それぞれについて図5のようなマトリックスを作成したので、近日常に参考資料として公開する予定である。

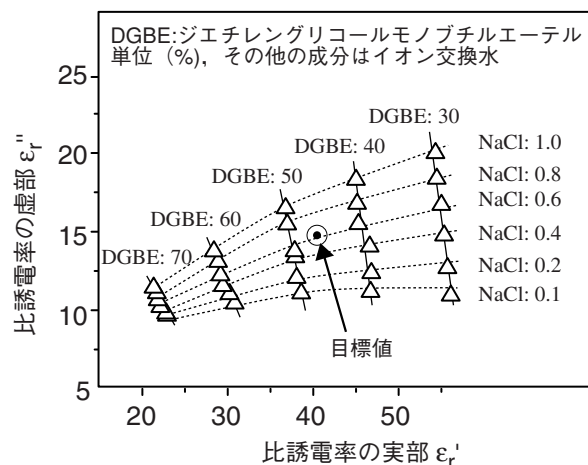


図5 配合マトリックス例(1450MHz用)

5. まとめ

携帯電話端末の安全性評価試験に用いられる模擬人体、および頭部等価液剤を紹介させていただいた。物質の誘電特性は温度に影響される。液体は蒸発するという材料開発にたずさわる技術者には当然のことでも、異分野のユーザーは重要視していないことがある。今回紹介した配合の中には一般的なファントム殻の表面を徐々に劣化させるものも含まれており、さらにどのような経緯でこれらの配合が提案されてきたのか不明な点が多い。今後は温度依存性が低く、広い周波数帯域に適用でき、さらに環境への影響に配慮した頭部等価液剤の開発が望まれる。これには化学者の助力が不可欠であり、この紹介記事で少しでも興味を持っていただければ幸いである。

最後に詳細な実験データの取得はNTTアドバンステクノロジー、EMCセンタの麻生博之氏、石井義人氏、佐藤賢一氏の多大な貢献によるものであり、ここに深謝の意を表す。

通信総合研究所 電磁環境グループ: <http://www.crl.go.jp/mt/b186/>

参考文献

- 1) 電気通信技術審議会答申 諮問第38号 「電波利用における人体の防護指針」, 1990.
- 2) 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) IEC, 106/61/CDV, "Procedure to measure the Specific Absorption Rate (SAR) in the frequency range of 300 MHz to 3 GHz - Part 1: hand-held mobile wireless communication devices", August, 2003.
- 4) 電波産業会 ARIB STD-T56 2.0版 「携帯型無線端末の比吸収率測定法」, 2002
- 5) C. Gabriel: "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies", Brooks Air Force Technical Report AL/OE-TR-1996-0037, 1996.
- 6) A. Drossos, V. Santomaa, and N. Kuster: "The dependence of electromagnetic energy absorption upon human head tissue composition in the frequency range of 300-3,000 MHz", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 48, No. 11 (2000) 1988 - 1995.