

JASO

テクニカルペーパー

自動車の人体ばく露に関する電磁界測定方法

JASO TP-13002 :2013

2013 年 3 月 29 日 制定

公益社団法人自動車技術会

規格会議審議

目 次

	ページ
序文	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義	1
4 記号及び略語	4
5 測定装置及び測定環境	4
5.1 周波数範囲	4
5.2 測定装置	4
5.3 測定環境	4
6 測定時の車両動作条件及び測定プローブの設置箇所	4
6.1 車両動作条件	4
6.2 測定プローブの設置箇所	5
7 評価方法	8
7.1 時間領域評価	10
7.2 周波数領域評価	13
8 結果の評価	14
附属書 A（参考）ばく露限度値	15
附属書 B（規定）結合係数の決定	18
附属書 C（参考）附属書 A の限度値による計算例	23
解説	32

まえがき

このテクニカルペーパーは、公益社団法人自動車技術会定款に基づく規格会議組織規則に従って、規格委員会の審議を経て、規格会議が制定したものである。

このテクニカルペーパーは、著作権法で保護対象となっている著作物である。

(a) 制定の目的

WHO は 2007 年に電磁波の人体防護指針の設定を各国政府に勧告し、**ICNIRP** のガイドライン準拠を推奨している。国内では総務省が高周波利用機器に対して、**ICNIRP** ガイドライン人体防護指針に準拠した防護指針（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”平成 2 年 6 月）を策定している。このため自動車に対する **ICNIRP** ガイドライン適合を判断し得る標準的な試験法を検討し、JASO 前段階の規格を作成する。

(b) 特許権に関する事項

このテクニカルペーパーに従うことは、次の者のもつ特許権などの使用に該当するおそれがあるので、留意する。

- 氏名：ナルダ セイフティ テスト ソリューションズ ゲーエムベーハー
Narda Safety Test Solutions GmbH
- 住所：ドイツ，72793 プフリンゲン，ザントヴィーゼンシュトラッセ 7
72793 Pfullingen Germany Sandhausenstraße 7
- 特許番号：P3487824

上記の、特許権などの権利者は、非差別的かつ合理的な条件でいかなる者に対しても当該特許権等の実施の許諾等をする意思のあることを表明している。ただし、このテクニカルペーパーに関連する他の特許権等の権利者に対しては、同様の条件でその実施が許諾されることを条件としている。

このテクニカルペーパーに従うことが、必ずしも、特許権の無償公開を意味するものではないことに注意する必要がある。

このテクニカルペーパーの一部が、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。自動車技術会規格委員会は、このような特許権、出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について、責任はもたない。

(c) その他の補足

このテクニカルペーパーに記載した情報は、自動車のうち標準的な構成の **REESS** (Rechargeable Energy Storage System) を搭載した自動車に対して策定したもので、すべての **REESS** を搭載した自動車をカバーするものではない。したがって **REESS** を搭載した自動車の製造業者は、その構造及び想定する使い方に応じた適用が求められる。

TECHNICAL PAPER

自動車の人体ばく露に関する電磁界測定方法

Measurement methods for electromagnetic field of vehicles with regarding to the human exposure

序文

このテクニカルペーパーは、2010年に発行された **JIS/ TS C 0044**（対応国際規格 **IEC 62233**）を基に、技術的内容を変更せず自動車特有の測定方法を付加し作成したものである。

1 適用範囲

このテクニカルペーパーは、10 Hz～400 kHz の電磁界を取り扱い、REESS (Rechargeable Energy Storage System) を搭載した自動車を対象に、磁界強度及び磁束密度を評価するための方法について規定する。

このテクニカルペーパーには、人体ばく露の評価を行うために必要な次の規定要素を含む。

- a) 測定装置及び測定環境
- b) 車両動作条件
- c) 測定プローブの設置箇所
- d) 評価方法

2 引用規格

このテクニカルペーパーでは、次に掲げる規格を引用し、このテクニカルペーパーの一部を構成する。この引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS/ TS C 0044 家庭用電気機器及び類似機器からの人体ばく露に関する電磁界の測定方法

注記 対応国際規格：**IEC 62233** Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure (IDT)

IEC 60050-161 International Electro technical Vocabulary—Chapter 161: Electromagnetic Compatibility

IEC 62226-1 Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range
- Methods for calculating the current density and internal electric field induced in the human body - Part 1: General

ICNIRP Guidelines GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (up to 300 GHz)

3 用語及び定義

3.1

基本制限（基本限界）[basic restriction(basic limitations)]

確立された生物学的影響を根拠として、時間的に変化する電界、磁界及び電磁界への人体ばく露の一定の安全係数を含む制限。人体内の電流密度に対する基本制限は J_{BR} (J Basic Restriction), 人体に誘起される電界強度に対する基本制限は E_{BR} (E Basic Restriction)とする。

3.2

結合係数, $a_c(r_1)$ (coupling factor)

1 回の測定での重み付け結果を計算するに当たり、機器の周囲の電磁界の不均一性、センサの測定面積及び測定距離 r_1 (3.6 参照)における機器の使用者の胴体又は頭部の寸法を考慮した係数。

3.3**フーリエ変換 (Fourier transformation)**

時間関数から周波数関数を導き出す数学的处理手順。

3.4**高速フーリエ変換, FFT (Fast Fourier Transformation)**

高速に計算することに特化したフーリエ変換。

3.5**ホットスポット (hot spot)**

電磁界分布が不均一なために生じる、電磁界強度が局所的に最大となる場所。

3.6**測定距離, r_1 (measuring distance)**

機器の表面からセンサ表面の最も近い点までの最短距離。

3.7**参考レベル (reference level), 最大許容ばく露レベル (maximum permissible exposure level), B_{RL} (B Reference Level)**

最悪のばく露条件 (例 均一電磁界へのばく露) を仮定して、基本制限から導き出す磁界レベル。

注記 参考レベルを超える場合でも、基本制限を超えないときがある。

3.8**応答時間 (response time)**

測定器が測定する電磁界に置かれてから、測定値の最終値に対して規定の比率に達するまでの時間。

3.9**重み付け結果, W (weighted result)**

周波数に依存する参考レベルを織り込んだ測定の最終結果。

3.10**REESS (rechargeable energy storage system)**

車両の電気推進用に電気エネルギーを提供する充電式エネルギー貯蔵システム。

3.11**接触充電 (conductive charge)**

金属接点及びコネクタなどを用いて車両外部から車両内部に設置される 2 次電池に電気エネルギーを貯蔵する充電方式。

3.12**非接触充電 (inductive charge)**

金属接点及びコネクタなどを介さずに、車両外部から車両内部に設置される 2 次電池に電気エネルギーを貯蔵する充電方式。

3.13**最大負荷 (maximum load)**

車両が通常の使用条件下において、電気・電子システムで消費又は発電される電力が最大となる状態。

3.14**電池状態, SOC (state of charge)**

REESS を装備した車両に搭載される 2 次電池の状態。主に充電残量を表す。

3.15**電磁界 (electromagnetic field)**

環境中の電界及び磁界。

3.16**ばく露 (exposure)**

個人が、低周波の電界及び磁界又は接触電流にさらされる状態。

3.17**高調波 (harmonics)**

ある周波数成分に対する整数倍の高次周波数成分。

3.18**実効値 (root-mean-square)**

交流における電圧又は電流の大きさを、直流における電圧又は電流に換算したときに相当する値。この値は、先ず二乗し(square)、得られた二乗値を平均し(mean)、その平均値の平方根を求める(root)ことによって得られるために、root-mean-square 値と呼ぶ。

3.19**公衆 (general public)**

あらゆる年齢層、性別、多様な健康状態の人によって構成される不特定多数の集団。多くの場合、公衆は電磁界ばく露に気付いていない。また当然ながら公衆がばく露を回避したり、最小とするための予防措置をとることは期待できない。

3.20**公衆のばく露 (exposure of general public)**

公衆が受けるすべての低周波の電界及び磁界ばく露。この定義には職業的ばく露及び医療ばく露は含まれない。

3.21**職業的ばく露 (occupational exposure)**

通常は既知の条件下でばく露を受けており、また潜在的リスクに注意を払い、かつ適切な予防措置をとるための訓練を受けている就労者が受ける、すべての低周波の電界及び磁界ばく露。

3.22**誘導電流 (induced current)**

電磁界暴露によって引き起こされて体内に誘導される電流。

3.23**比エネルギー吸収量, SA (specific energy absorption)**

生体組織の単位質量当たりの吸収エネルギー。ジュール/キログラム (J/kg) で表され、比エネルギー吸収量は、比エネルギー吸収率の時間積分値である。

3.24**比エネルギー吸収率, SAR (specific energy absorption rate)**

エネルギーが生体組織に吸収される時間率。ワット/キログラム (W/kg) で表され、SAR は周波数が約

100 kHz 以上の場合に広く用いられるばく露測定尺度である。

4 記号及び略語

このテクニカルペーパーで用いる記号及び略語を、次に示す。

量	記号	単位	単位記号
導電率	σ	シーメンス/メートル	S/m
電流密度	J	アンペア/平方メートル	A/m ²
電界強度	E	ボルト/メートル	V/m
周波数	f	ヘルツ	Hz
磁界強度	H	アンペア/メートル	A/m
磁束密度	B	テスラ	T (Wb/m ² 又は V · s/m ²)

5 測定装置及び測定環境

5.1 周波数範囲

対象とする周波数範囲は、10 Hz～400 kHz とする（箇条 1 参照）。

1 回の測定でこの周波数範囲を網羅できない場合には、各測定周波数範囲での重み付け結果を加える。

5.2 測定装置

5.2.1 磁界センサ

磁界センサの構成は、等方向性感度を得るために、相互に直交する軸をもち、測定面積が $(100 \pm 5) \text{ cm}^2$ で、三つのコイルからなる。外径は、13 cm を超えてはならない。

なお、この標準センサと同等の性能をもつことができれば、サイズはこの限りではない。

結合係数を決定するときは、**附属書 B** に規定する、測定面積が $(3 \pm 0.3) \text{ cm}^2$ の等方向性センサを用いる。適切な加算法と組み合わせて、単一方向センサ（等方向性ではない。）を用いてもよい。

注記 標準センサとして方向ごとに、測定面積を 100 cm^2 とし、この面積全体で平均化した磁束密度を測定値とする。磁束密度の最終値は、方向ごとに測定した値のベクトル和である。これによって、測定値は、磁界ベクトルの方向に依存しなくなる。

5.2.2 測定器の内部雑音

測定器の内部雑音は、限度値の 5 % 以下とする。

5.3 測定環境

測定環境の背景雑音は、限度値の 5 % 以下とする。

6 測定時の車両動作条件及び測定プローブの設置箇所

6.1 車両動作条件

車両動作条件として、車両仕様に応じて次の三つから選択、追加及び修正可能とし、試験結果に記録する。

- a) **定常走行状態** 40 km/h 一定走行とする。走行時の路面負荷は、測定車両に合わせる。走行に関係のない電気負荷は、恒常的に作動する電気負荷はすべて ON で、調節ができるものは最大負荷とし、試験結果に記録する。

電気負荷の例：ヘッドライト（消費電力の大きいモード）、ブロー（最大風量）、リアデフォッグ、電気駆動のエアコンコンプレッサなど

- b) **加速及び減速状態** 加速は、停車からアクセル開度全開で 90 km/h 又は測定対象車両の最高速度までとする。減速は、減速度を 2.5 m/s^2 以上とし 90 km/h 走行又は測定対象車両の最高速度から行う。以上、いずれの状態とも走行に関係のない電気負荷は、a) と同一とする。
- c) **充電状態** 充電設備（着脱式も含む）のあるものは、充電状態での測定を行う。測定中の電池状態 (SOC)、充電電流量を試験結果に記録する。

6.2 測定プローブの設置箇所

6.2.1 測定箇所

車両及び車室内の測定箇所は、次による。

- a) **乗用車及びトラック系** 補助席を含む乗車可能なすべての席。
- b) **二輪自動車系** 乗車可能なすべての席。

注記 同乗者が運転者と近接して乗車する車両の場合（タンデム乗車）、測定は運転者位置にて代表できる。

なお、乗車姿勢角を合わせることができない車両の場合には、適切な角度に設定し、値を記録する。それ以外の場合については、計測時の測定点及び測定値を測定結果に記録する。

- c) **バス（マイクロバス含む）** 車両前方席、車両中央席、車両後方席。

車両充電時は次の測定箇所とする。

- d) **接触充電** a), b) 又は c) で規定する測定箇所及び充電ガングリップの近傍とする。
- e) **非接触充電（床面給電）** a), b) 又は c) で規定する車室内及び下記 1) 及び 2) に示すコイル近傍で測定する。ただし、使用者マニュアルなどで立ち入りを禁じられている領域については、この限りではない。
- 1) コイルが通常状態のとき、図 1 に示すようにコイルの前後左右の 4 方向に対して、車両ボデーの端面から 0.2 m の距離で、かつ、図 2 に示すように垂直方向に 0.5 m、1.0 m 及び 1.5 m の高さで電磁界強度を測定する。高さ成分に対する測定結果は平均化する。
 - 2) 次に、コイルがオフセットするような条件に対して電磁界強度を測定し、適合判定する。このとき、測定位置は 1) と同じく、車両ボデーの端面から 0.2 m の距離で、かつ、垂直方向に 0.5 m、1.0 m 及び 1.5 m の高さで電磁界強度を測定し、高さ成分に対する測定結果は平均化する。
- f) **非接触充電（側面給電）** a), b) 又は c) で規定する車室内及び下記 1) 及び 2) に示すコイル近傍で測定する。ただし、使用者マニュアルなどで立ち入りを禁じられている領域については、この限りではない。
- 1) コイルが通常状態のとき、図 3 に示すように送電コイル中心の外側端面から 0.2 m の距離で、かつ、図 4 に示すように垂直方向に 0.5 m、1.0 m 及び 1.5 m の高さで電磁界強度を測定する。高さ成分に対する測定結果は平均化する。
 - 2) 次に、コイルがオフセットするような条件に対して電磁界強度を測定し、適合判定する。このとき、測定位置は 1) と同じく、図 3 に示すように送電コイル中心の外側端面から 0.2 m の距離で、かつ、図 4 に示すように垂直方向に 0.5 m、1.0 m 及び 1.5 m の高さで電磁界強度を測定し、高さ成分に対する測定結果は平均化する。

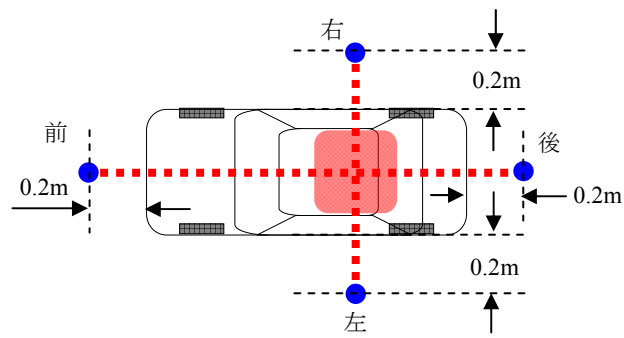


図 1—非接触充電（床面給電）のコイル近傍における測定位置（上面図）

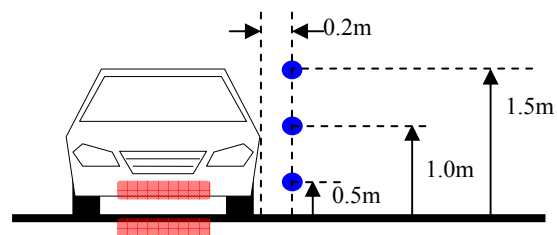


図 2—非接触充電（床面給電）のコイル近傍における測定位置（正面図）

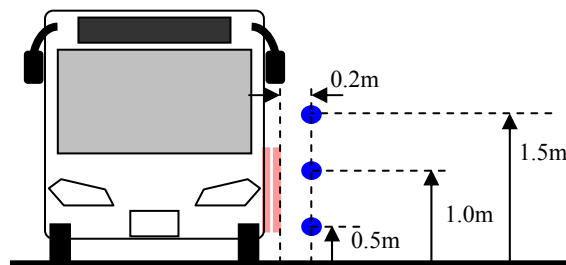


図 3—非接触充電（側面給電）のコイル近傍における測定位置（正面図）

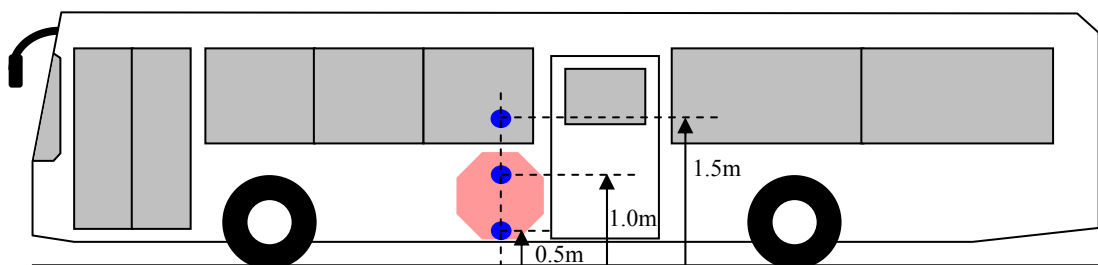


図 4—非接触充電（側面給電）のコイル近傍における測定位置（側面図）

6.2.2 座席位置

調整可能な座席は、基本的に次の状態において計測する。

- a) 前後調整できるものにおいては、前後の中央位置。
- b) 上下調整できるものにおいては、上下の中央位置。
- c) 背もたれ部分の角度を調整できるものにおいては、鉛直線に対し車両後方へ 15° 。
- d) その他の調整機構をもつものについては、動作範囲の中央。

図 5 に、a)～c)を示す。

ただし、座席位置調整機構のないもの又はその他の理由で上記条件に設定できない場合には、計測時の座席位置を試験結果に記載する。

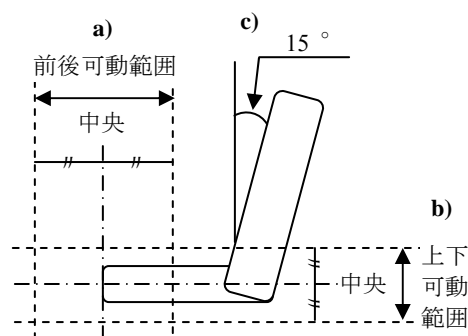


図 5—座席位置

6.2.3 座席の測定点

各乗車席における測定点は、人体の体幹（脳、心臓、生殖器）近傍とし、座席の中心線を通る次の 3 点とする。

- a) ヘッドレスト中央
- b) 座席の背もたれ部分の中央
- c) 座席の中央

図 6 に、a)～c)を示す。

また、二輪自動車及び側車付二輪自動車の場合の測定点は、タンデム乗車を含め標準的なライディングポジションとし、次の 3 点とする。

- d) 頭部
- e) 胴体中心
- f) 着座位置中心

図 7 に d)～f)を示す。計測時の測定点は、測定結果に記録する。また、駆動及び充電に関する電気装置が座席より下にある場合には、f)で代表とすることができる。

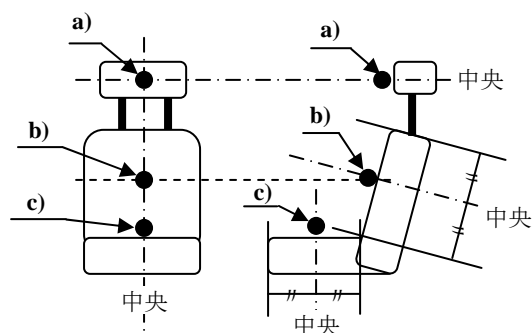


図 6—座席の測定点

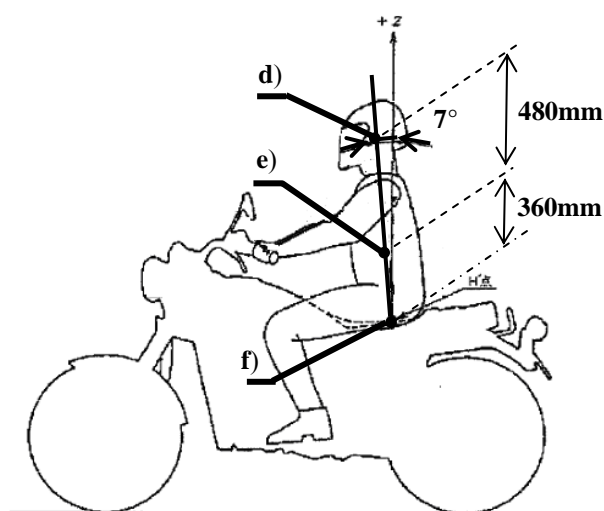


図 7—二輪車の測定点

6.2.4 測定プローブと測定点の距離

測定プローブの位相中心は、測定点に合わせる。ただし、測定点に合わせることができない場合には、可能な限り測定点に近い位置とする。

なお、測定プローブが絶縁体で覆われている場合には、座席及び車体などに接触して設置してもよい。その場合、シートクッションの沈み込みは考慮しない。測定プローブの位置は、記録する。

7 評価方法

測定信号は、周波数との関係で評価する。独立した複数の磁界源を考慮して、一番大きい測定値を採用する。

継続時間が 200 ミリ秒間未満の過渡磁界（例 スイッチの開閉のとき）は、評価の対象外とする。

内部雑音の最大レベルより低い測定値の場合には、評価の対象外とする。

測定器の応答時間（最終値の 90 %に達するまでの時間）は、1 秒間を超えてはならない。

磁束密度は、1 秒間の平均によって決定する。

磁界源からの 10 Hz～400 kHz の信号が、1 秒間を超えて一定であることが分かっている場合には、1 秒間未満のサンプリング時間を用いてもよい。

適合判定のために行う最終測定るときには、センサを固定しておくことが望ましい。
評価方法の選択を図 8 に示す。

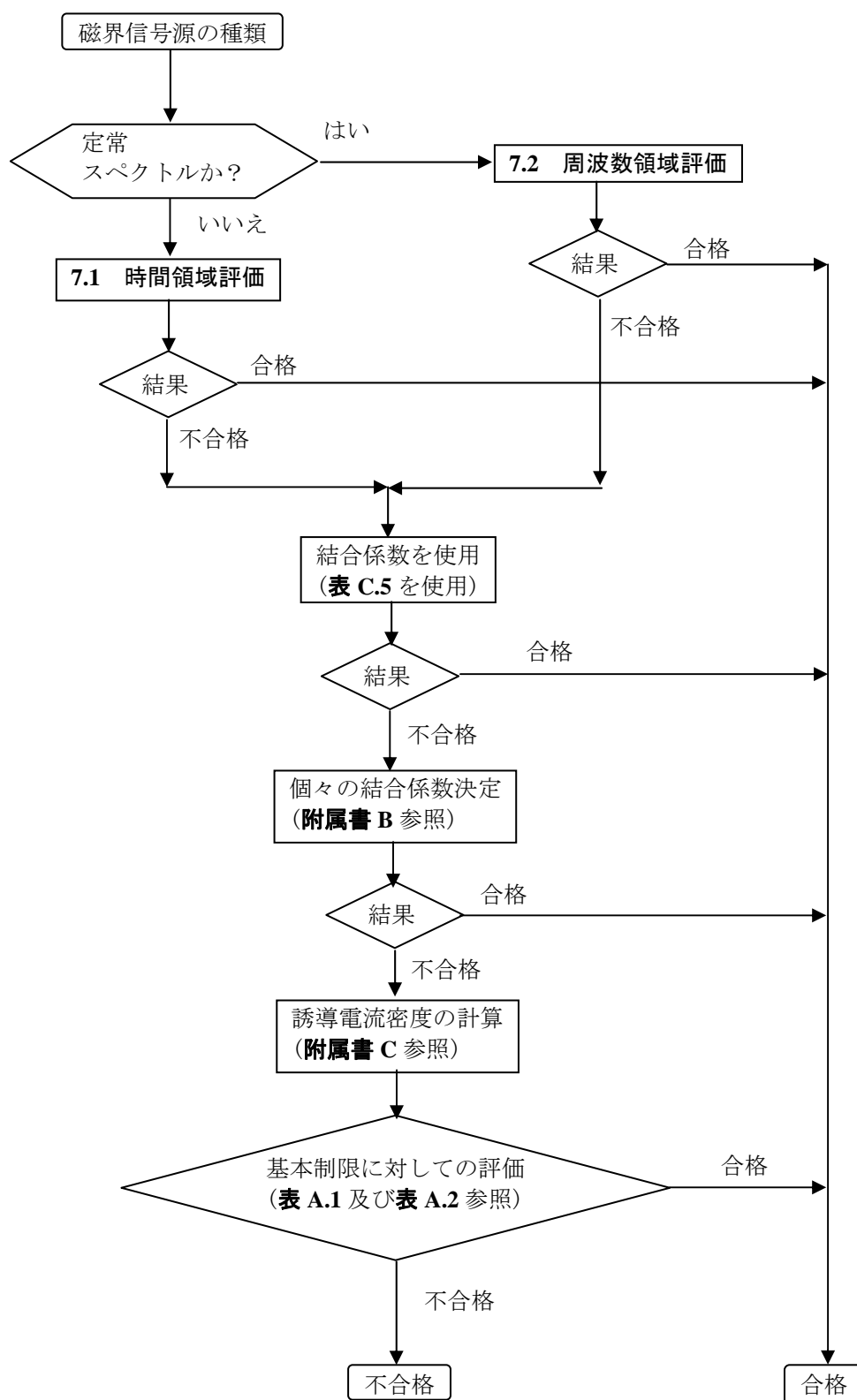


図 8—参考レベルに対しての評価試験方法選択のための推奨流れ図

7.1 時間領域評価

磁束密度の時間領域測定は、信号の種類に関係なく行うことができる。複数の周波数構成要素をもつ磁界の場合、周波数の関数である参考レベルの逆数となる伝達関数 A を実行することによって、参考レベルの周波数依存が織り込まれる。

図 9 に、参考レベルの周波数依存の例を示す。

伝達関数 A は、参考レベル B_{RL} を B_0 で正規化した関数の逆数であり、 B_0 は、基準周波数 f_{C0} での B_{RL} である。

注記 1 正規化の基準周波数としては電源周波数（例 $f_{C0}=50$ Hz 又は 60 Hz）を用いても良い。

一次フィルタを用いることによって、伝達関数 A とすることができる。**図 10** に、伝達関数の特性例を示す。

伝達関数を表す一般式を、式(1)に示す。

$$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0})}{B_{RL}(f)} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $A(f)$: 周波数 f を変数とした伝達関数
 $B_{RL}(f_{C0})$: 基準周波数 f_{C0} での磁束密度の参考レベル (T)
 $B_{RL}(f)$: 周波数 f での磁束密度の参考レベル (T)

伝達関数の始点は、 $f_l=10$ Hz とする。伝達関数の終点は、 $f_h=400$ kHz とする。

注記 2 伝達関数の数値例については、**表 C.1** 及び **表 C.2** を参照。

測定及び結果の処理は、次によって行う。

- 各コイル信号を個別に測定する。
- 伝達関数を用いて各信号に重み付けを行う。
- 重み付け信号を二乗する。
- 二乗した信号を加算する。
- 和を信号の個数で割って平均を求める。
- 平均の平方根を得る。

この結果は、磁束密度の重み付け実効値となる。

この手順の概念を、**図 11** に示す。

注記 3 伝達関数 A (**図 10** の破線部分) は、磁束密度 $B(t)$ に対して時間微分を行うセンサコイル及び“遅れ又は進み素子”を用いたローパスフィルタである。また、高い周波数帯域では、信号に対して時間積分する特性によって、 $B(t)$ を得る。結果は、**図 10** に示す伝達関数 A を用いた評価となる。コーナ周波数(遮断周波数)は、**図 10** の伝達関数に示す f_{C1} である。

注記 4 時間領域信号に用いる伝達関数のこれ以外の計算方法として、電子回路によるアナログフィルタ、あらかじめプログラムされたデジタルシグナルプロセッサ、信号アナライザ、表計算ソフトウェア、専用のプログラムを用いたコンピュータによる計算などがある。

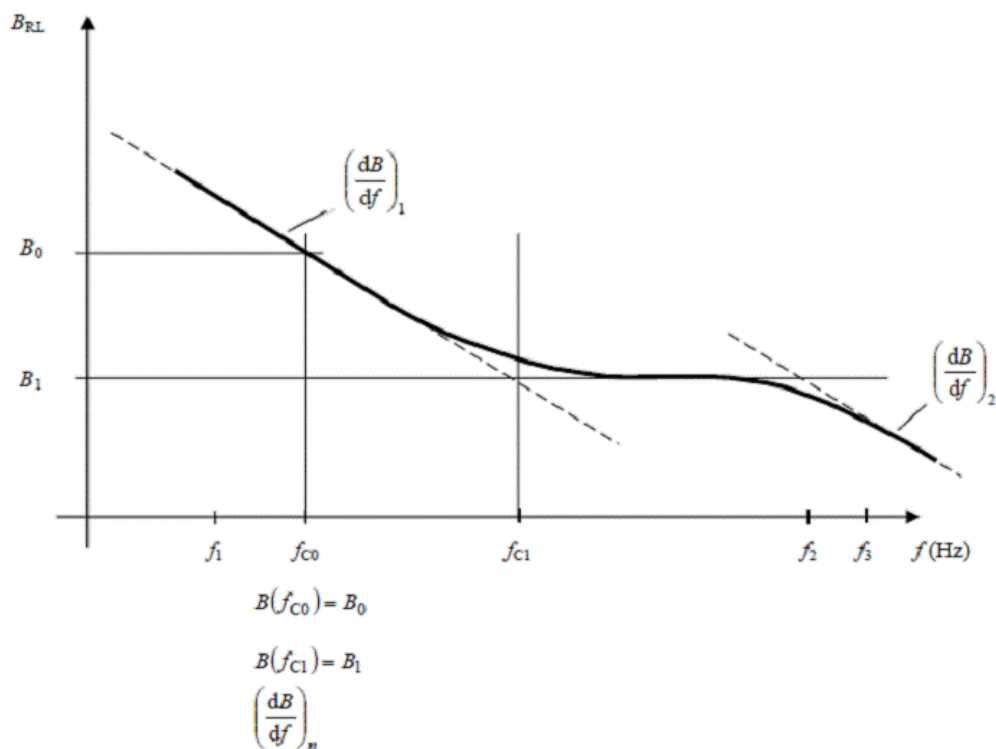
この測定結果は、基準周波数 f_{C0} での参考レベル B_{RL} に対して、直接、比較することになる。局所的な磁界を発生する機器では、**附属書 B** で規定する結合係数 $a_c(r_1)$ を織り込んで比較する。最終の重み付け結果 W_n 及び結合係数を織り込んだ重み付け結果 W_{nc} は、式(2)及び式(3)によって求めることができる。

$$W_n = \frac{B_{rms}}{B_{RL}} \dots\dots\dots (2)$$

$$W_{nc} = a_c(r_i) \times W_n \dots\dots\dots (3)$$

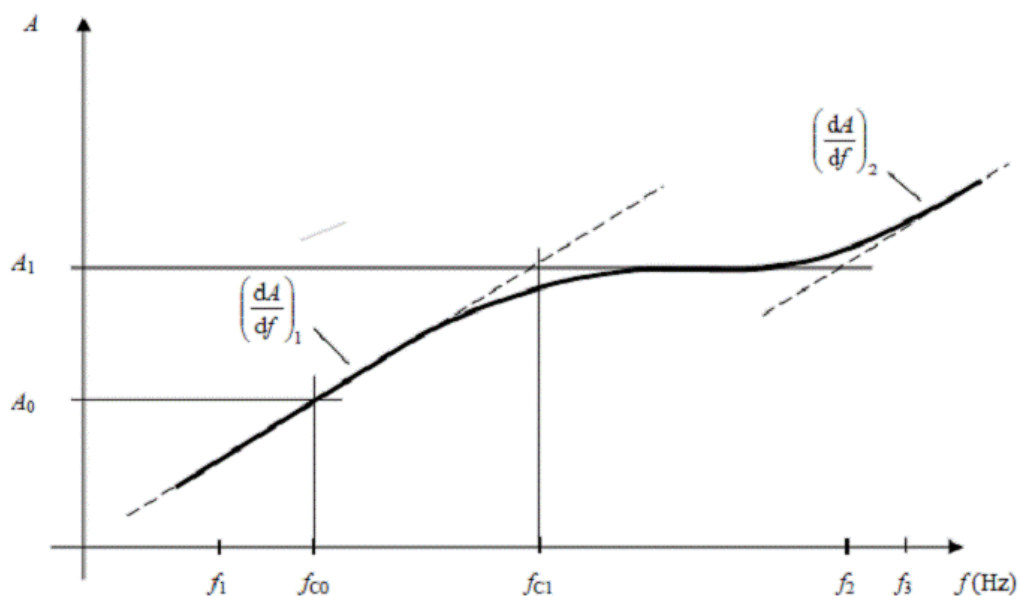
- ここに、
- W_n : 1 回の測定での重み付け結果(T)
 - B_{rms} : 磁束密度の重み付け実効値(T)
 - B_{RL} : f_{C0} での磁束密度の参考レベル(T)
 - W_{nc} : 不均一な磁界の結合を考慮して $a_c(r_i)$ を織り込んだ 1 回の測定での重み付け結果(T)
 - $a_c(r_i)$: 附属書 B による結合係数 (表 C.5 も参照)

重み付け計算結果 W_n 及び W_{nc} は、1.0 を超えてはならない。



注記 縦軸及び横軸は対数スケールであり、 $\left(\frac{dB}{df}\right)_n$ は、両対数スケールでの B のこう配を表す。

図 9—切替わり点を平滑化した参考レベルの周波数依存例



$$A(f_{C0}) = A_0 = \frac{B_{RL}(f_{C0})}{B_0} = 1$$

$$A(f_{C1}) = A_1 = \frac{B_{RL}(f_{C0})}{B_1}$$

注記 縦軸及び横軸は対数スケールであり、 $\left(\frac{dA}{df}\right)_n$ は、両対数スケールでの A のこう配を表す。

図10—図9の参考レベルに対応する伝達関数 A の例

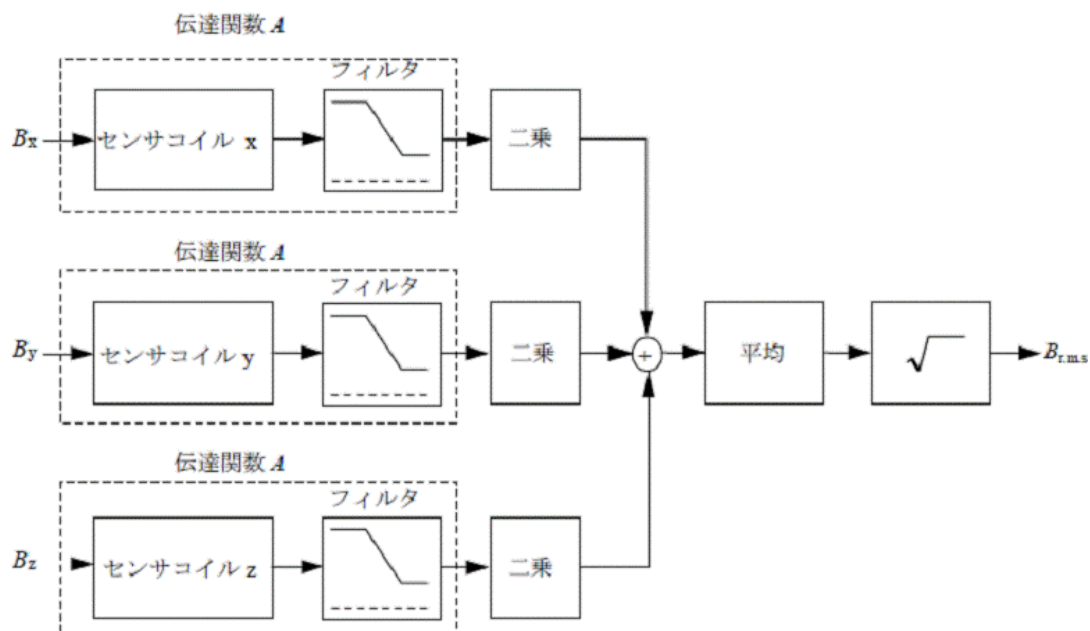


図 11—時間領域評価方法の概念図

7.2 周波数領域評価

この方法は、定常スペクトルだけの場合（例：基本周波数と幾つかの高調波とで構成されている。）に適用できる。

注記 1 基本周波数の磁界が定常的に発生する装置（例：交流充電装置、非接触充電装置など）に適応できる。

該当する各周波数で磁束密度を測定する。この測定は、磁束密度の時間信号を記録し、スペクトル構成要素にフーリエ変換を行うことによってできる。

測定は、次の手順による。

- 各コイル信号(x, y, z)を別々に測定する。
- $B(i)$ の値を得るために信号を積分する。
- 各コイル信号(x, y, z)に離散フーリエ変換を行い、 $i(i=1, 2, 3, \dots)$ 番目の離散周波数 $f(i)=i/T_0$ における実効値を表す離散振幅スペクトルの推定値 $B(i)$ を得る（ T_0 ：観測時間）。
- 離散スペクトル $B(i)$ から、 $j(j=1, 2, 3, \dots)$ 番目に磁束密度が極大となる $B(j)$ 、対応する周波数 $f(j)$ を特定する。
- すべての離散スペクトル線 $B(j)$ で全三方向のベクトル加算を行う。

$$B(j)=\sqrt{B_x^2(j)+B_y^2(j)+B_z^2(j)} \dots\dots\dots (4)$$

最後の二つの処理アルゴリズムは、式(4)で $B(j)$ の代わりに $B(i)$ を用いる場合、入れ換えることができる。結果は、検出された各周波数での磁束密度の値となる。

測定値と限度値とを比較するときは、参考レベル $B_{RL}(j)$ を用いる。局所的な磁界を発生する機器では、**附属書 B**で規定する結合係数 $a_C(r_1)$ を織り込む。複数の周波数成分をもつ磁界では、周波数重み付け合計の計算が必要となる。

重み付け結果は、式(5)から得る。

$$W_n = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left[\frac{B(j)}{B_{RL}(j)} \right]^2} \dots\dots\dots (5)$$

又は結合係数を織り込んだ式(6)から得る（非接触充電など、磁界発生源が特定できる場合に限る）。

$$W_{nc} = a_C(r_1) \times W_n \dots\dots\dots (6)$$

注記 2 結合係数は、周波数に依存しない。詳細については、**附属書 B**を参照。

- ここに、
- W_n : 1回の測定での重み付け結果(T)
 - $B(j)$: 測定スペクトルの j 番目の周波数線における磁束密度(T)
 - $B_{RL}(j)$: j 番目の周波数における磁束密度の参考レベル(T)
 - W_{nc} : 不均一な磁界の結合を考慮して $a_C(r_1)$ を織り込んだ1回の測定での重み付け結果(T)
 - $a_C(r_1)$: **附属書 B**又は**表 C.5**による結合係数

決定した重み付け結果 W は、1.0 を超えてはならない。

注記 3 単純な総和をとると、ばく露量が過大評価となる。したがって、高調波成分又は雑音成分が含まれる広帯域磁界では、総和式による結果を限度値と比較することは、振幅が同位相になるために、安全側(不適合を適合とする間違いをしない。)の判定となる。大半の測定器では相対位相を測定しない(スペクトルアナライザを用いる場合など)が、周波数成分の実効値総和をとる。通常、位相を完全に無視するよりは、現実的な結果が得られる。

8 結果の評価

次のいずれかの場合、このテクニカルペーパーの要件を満たす。

- 測定値が、公衆のばく露基準の参考レベルを超えていない場合。
 - 適切な予防措置をとるための訓練を受けている成人が、非接触充電の充電時など既知の条件下でばく露を受けており、潜在的リスクに注意が払われている状態で立ち入る場合を除いて、誰も立ち入ることのない場所において、測定値が職業的ばく露の参考レベルを超えない場合。
 - 非接触充電など磁界発生源が特定できる場合で、測定値が参考レベルを超える場合も、結合係数 $a_c(r_1)$ を用いることによって、基本制限への適合を示せる場合。
- 特定の機器には、結合係数 $a_c(r_1)$ を**附属書 B**の規定によって決定できる。
- 非接触充電など磁界発生源が特定できる場合で、結合係数 $a_c(r_1)$ を織り込んだ値が参考レベルを超える場合も、基本制限への適合実証(例 計算手法を用いる。)ができる場合。

注記 計算手法については、**IEC 62226-1** を使用できる。

附属書 A

(参考)

ばく露限度値

A.1 全般事項

このテクニカルペーパーの使用者は、法令で限度値の設定がある場合、法令による限度値を用いる。

A.2 ICNIRP (1998) の指針

表 A.1～表 A.4 に示す数値は、ICNIRP (1998) の指針[1]から引用したものである。

表 A.1—時間的に変化する周波数 10GHz 以下の電磁界への公衆のばく露における基本制限—抜粋

周波数範囲	頭部及び胴体の電流密度 (実効値) mA/m ²	全身平均 SAR W/kg	局所 SAR (頭部及び胴体) W/kg	局所 SAR (手足) W/kg
1Hz 以下	8	—	—	—
1Hz を超え 4Hz 以下	$8/f$	—	—	—
4Hz を超え 1000Hz 以下	2	—	—	—
1kHz を超え 100kHz 以下	$f/500$	—	—	—
100kHz を超え 10MHz 以下	$f/500$	0.08	2	4
10MHz を超え 10GHz 以下	—	0.08	2	4

注記 1 f は、ヘルツ(Hz)を単位とした周波数。
注記 2 SAR は、比エネルギー吸収率を示す。

表 A.2—時間的に変化する周波数 10GHz 以下の電磁界への職業的ばく露における基本制限—抜粋

周波数範囲	頭部及び胴体の電流密度 (実効値) mA/m ²	全身平均 SAR W/kg	局所 SAR (頭部及び胴体) W/kg	局所 SAR (手足) W/kg
1Hz 以下	40	—	—	—
1Hz を超え 4Hz 以下	$40/f$	—	—	—
4Hz を超え 1000Hz 以下	10	—	—	—
1kHz を超え 100kHz 以下	$f/100$	—	—	—
100kHz を超え 10MHz 以下	$f/100$	0.4	10	20
10MHz を超え 10GHz 以下	—	0.4	10	20

注記 1 f は、ヘルツ(Hz)を単位とした周波数。
注記 2 SAR は、比エネルギー吸収率を示す。

表 A.3—時間的に変化する電磁界への公衆のばく露における参考レベル（ひずみのない実効値）—抜粋

周波数範囲	電界強度 V/m	磁界強度 A/m	磁束密度 μT	等価平面波電力密度 S_{eq} W/m ²
1Hz 以下	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1Hz を超え 8Hz 以下	10 000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	—
8Hz を超え 25Hz 以下	10 000	$4\,000 / f$	$5\,000 / f$	—
0.025kHz を超え 0.8kHz 以下	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	—
0.8kHz を超え 3kHz 以下	$250 / f$	5	6.25	—
3kHz を超え 150kHz 以下	87	5	6.25	—
0.15MHz を超え 1MHz 以下	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	—
1MHz を超え 10MHz 以下	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	—
10MHz を超え 400MHz 以下	27.5	0.073	0.092	2
400MHz を超え 2000MHz 以下	$1.375 f^{1/2}$	$0.003\,7 f^{1/2}$	$0.004\,6 f^{1/2}$	$f / 200$
2GHz を超え 300GHz 以下	61	0.16	0.20	10
注記 f は、周波数範囲の欄に示す単位で表す。				

表 A.4—時間的に変化する電磁界への職業的ばく露における参考レベル（ひずみのない実効値）—抜粋

周波数範囲	電界強度 V/m	磁界強度 A/m	磁束密度 μT	等価平面波電力密度 S_{eq} W/m ²
1Hz 以下	—	1.63×10^5	2×10^5	—
1Hz を超え 8Hz 以下	20 000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	—
8Hz を超え 25Hz 以下	20 000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	—
0.025kHz を超え 0.82kHz 以下	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	—
0.82kHz を超え 65kHz 以下	610	24.4	30.7	—
0.065MHz を超え 1MHz 以下	610	$1.6 / f$	$2.0 / f$	—
1MHz を超え 10MHz 以下	$610 / f$	$1.6 / f$	$2.0 / f$	—
10MHz を超え 400MHz 以下	61	0.16	0.2	10
400MHz を超え 2000MHz 以下	$3 f^{1/2}$	$0.008 f^{1/2}$	$0.01 f^{1/2}$	$f / 40$
2GHz を超え 300GHz 以下	137	0.36	0.45	50
注記 f は、周波数範囲の欄に示す単位で表す。				

A.3 ICNIRP (2010) の指針

表 A.5 及び表 A.6 に示す数値は、ICNIRP (2010) の指針[2]から引用したものである。

表 A.5—時間的に変化する電磁界への公衆のばく露における参考レベル（ひずみのない実効値）—抜粋

周波数範囲	電界強度 V/m	磁界強度 A/m	磁束密度 μT
1Hz 以下	—	—	—
1Hz を超え 8Hz 以下	5 000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8Hz を超え 25Hz 以下	5 000	$4 000 / f$	$5 000 / f$
25Hz を超え 50Hz 以下	5 000	160	200
50Hz を超え 400Hz 以下	$250 000 / f$	160	200
400Hz を超え 3000Hz 以下	$250 000 / f$	$6.4 \times 10^4 / f$	$80 000 / f$
3kHz を超え 10MHz 以下	83	21	27
注記 f は、周波数範囲の欄に示す単位で表す。			

表 A.6—時間的に変化する電磁界への職業的ばく露における参考レベル（ひずみのない実効値）—抜粋

周波数範囲	電界強度 V/m	磁界強度 A/m	磁束密度 μT
1Hz 以下	—	—	—
1Hz を超え 8Hz 以下	20 000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$
8Hz を超え 25Hz 以下	20 000	$20 000 / f$	$25 000 / f$
25Hz を超え 300Hz 以下	$500 000 / f$	800	1000
300Hz を超え 3000Hz 以下	$500 000 / f$	$2.4 \times 10^5 / f$	$300 000 / f$
3kHz を超え 10MHz 以下	170	80	100
注記 f は、周波数範囲の欄に示す単位で表す。			

附属書 B (規定) 結合係数の決定

B.1 計算による結合係数の決定

附属書 A に示す参考レベル(B_{RL})は、均一な磁界で定義する。これに対して、このテクニカルペーパーが対象とする機器の周囲は、強い不均一性をもっている磁界である。結合係数 $a_c(r_1)$ は、この不均一性を考慮する係数である。同様に、結合係数 $a_c(r_1)$ は、磁界中の人体の構成部分の寸法も考慮している。

この結合係数 $a_c(r_1)$ は、磁界発生源が局所的な場合に限り適用できる。ホットスポットでの磁束密度 $B_{\max} \sim 0.1 B_{\max}$ の磁界分布は、連続でなければならない。

参考レベル B_{RL} と比較することになる補正した測定値 $B_{mc}(r_1)$ とは、式(B.1)によって測定値 B_m を用いて計算する。

$$B_{mc}(r_1) = a_c(r_1) \times B_m \quad \text{及び} \quad W_{nc} = a_c(r_1) \times W_n \dots\dots\dots (B.1)$$

結合係数 $a_c(r_1)$ は、動作の基本周波数を対象として、次の四つのステップによって決定する。

- ・ **ステップ 1 ホットスポットの広がり評価** 磁束密度 $B(r_0)$ は、ホットスポット $r_0=0$ を始点とする最も緩いこう配の線に沿った面の接線方向で測定する。図 B.1 及び図 B.2 に示すように、磁束密度がホットスポットでの最大値の 10 % に減少する $r_0=X$ の地点まで測定を行う。[式(B.2)]測定間隔は、0.5 cm～1 cm とする。

結合係数決定のための測定評価は、狭帯域での動作周波数で行う。

センサは、例えば 5.2 で規定する測定面積が 3 cm^2 の小形のものをを用いる。

$$\frac{B(r_0 = X)}{B_{\max}(r_0 = 0)} = 0.1 \dots\dots\dots (B.2)$$

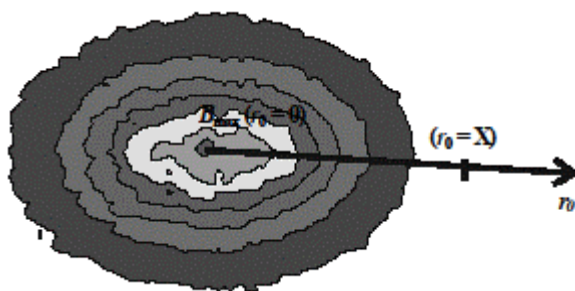


図 B.1—ホットスポット

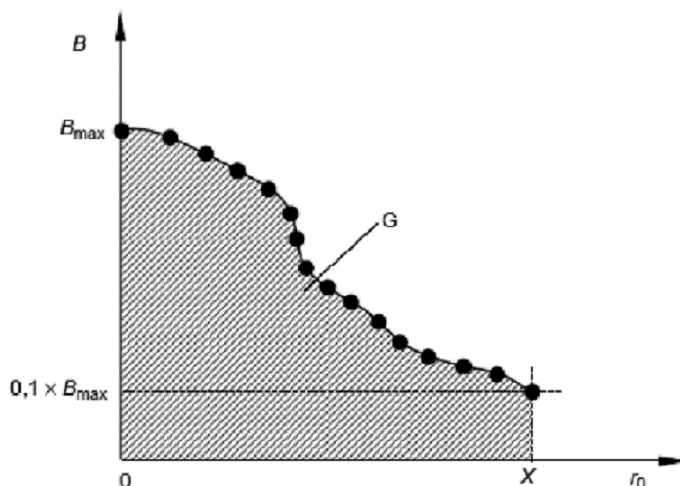


図 B.2—磁束密度のこう配及び積分値 G

- ・ **ステップ 2 等価コイルの決定** ステップ 1 の測定結果を用いて、機器内の磁界発生源と同じ程度の積分値 G が得られる等価なコイルの半径を決定する。このコイルの位置は、ホットスポット $r_0=0$ から l_{coil} の距離にあると仮定して計算を行う。

距離 l_{coil} は、機器内の磁界発生源の位置に相当している (図 B.3 参照)。

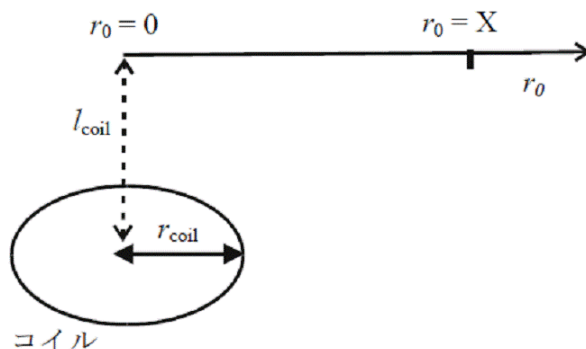


図 B.3—等価コイルの位置

正規化された磁束密度の測定値の積分によって単一の値の G が得られ、これを用いて等価コイルの半径 r_{coil} を決定できる (表 B.1 参照)。線形補間によって表にない r_{coil} の値も得られる。この値は、 l_{coil} を超えてはならない。

小形の機器の場合には、磁界発生源が機器の中央にあるものとする。大形の機器の場合には、機器の構造を調査して磁界発生源の位置を決定する。

この手順が適用できるのは、磁界発生源が局所的な場合に限られる。ホットスポットでの磁束密度 B_{max} ～ $0.1 B_{\text{max}}$ の磁界分布は、連続でなければならない。

積分値 G は、式(B.3)から計算する。

$$G(r_{\text{coil}}, l_{\text{coil}}) = \int_{r_0=0}^{r_0=X} \frac{B(r_0)}{B_{\text{max}}(r_0=0)} dr_0 \dots\dots\dots (B.3)$$

表 B.1—様々なコイルの半径 r_{coil} に対する積分値 G

距離 l_{coil} mm	積分値 G M					
	$r_{\text{coil}}=10$ mm	$r_{\text{coil}}=20$ mm	$r_{\text{coil}}=30$ mm	$r_{\text{coil}}=50$ mm	$r_{\text{coil}}=70$ mm	$r_{\text{coil}}=100$ mm
10	0.013 54	—	—	—	—	—
15	0.015 62	—	—	—	—	—
20	0.018 48	0.027 03	—	—	—	—
25	0.021 68	0.028 80	—	—	—	—
30	0.025 11	0.031 17	0.040 51	—	—	—
35	0.028 61	0.033 90	0.042 17	—	—	—
40	0.032 22	0.036 89	0.044 29	—	—	—
50	0.039 55	0.043 34	0.049 41	0.067 50	—	—
70	0.054 48	0.057 18	0.061 64	0.075 35	0.094 44	—
100	0.077 11	0.079 05	0.082 19	0.092 13	0.106 44	0.134 93
200	0.153 17	0.154 15	0.155 73	0.160 85	0.168 45	0.184 20
300	0.229 53	0.230 12	0.231 19	0.234 61	0.239 71	0.250 54
注記 最悪の条件に対応するコイルを得るために、指定の積分値 G で最小のコイル半径を選択することが望ましい。						

- ・ **ステップ 3 係数 k の決定** コイル半径 r_{coil} を用いて、等価磁界発生源(コイル)と人体との間の距離 r の係数 $k(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma)$ を決定する。

$$r = r_1 + l_{\text{coil}} \dots\dots\dots (B.4)$$

ここに、
 r_1 : 測定距離 (cm) (3.6 参照)
 l_{coil} : 機器内の等価コイルから表面までの距離 (cm)

加算は、同一単位で行う。

$$k(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma) = \frac{J_{\text{max}}(r, r_{\text{coil}}, f, \sigma)}{B_{\text{max, sensor}}(r, r_{\text{coil}}, A_{\text{sensor}})} \dots\dots\dots (B.5)$$

ここに、
 J_{max} : 最大電流密度 (A/m²)
 A_{sensor} : センサの測定面積 (mm²)
 $B_{\text{max, sensor}}$: 測定した磁束密度の最大値 (T)

周波数に依存する係数 k は、コイルから人体までの距離 r 、人体の均一モデルの導電率 σ 及びセンサの面積に依存する。この周波数依存については、基本制限ではなく参考レベルを対象とした係数に変換することによって、周波数の依存性を補うことができる(**ステップ 4** 参照)。

不均一な磁界の場合、人体表面に最も高い磁界の値が発生するので、 σ の値は、0.1 S/m である (**C.4.2** 参照)。次の計算は、**5.2** に規定する標準センサを用いたときのこの σ の値に基づいている。**表 B.2** は、全身に関する k の値を示す。

表 B.2—人体全身に関する 50 Hz での係数 k の値

距離 r cm	係数 k $\frac{\text{A/m}^2}{\text{T}}$					
	$r_{\text{coil}}=10 \text{ mm}$	$r_{\text{coil}}=20 \text{ mm}$	$r_{\text{coil}}=30 \text{ mm}$	$r_{\text{coil}}=50 \text{ mm}$	$r_{\text{coil}}=70 \text{ mm}$	$r_{\text{coil}}=100 \text{ mm}$
1	21.354	15.326	8.929	5.060	3.760	3.523
5	4.172	3.937	3.696	3.180	2.858	2.546
10	2.791	2.735	2.696	2.660	2.534	2.411
20	2.456	2.374	2.369	2.404	2.398	2.488
30	2.801	2.735	2.714	2.778	2.687	2.744
40	3.070	2.969	2.933	3.042	2.865	2.916
50	3.271	3.137	3.086	3.251	2.989	3.040
60	3.437	3.271	3.206	3.429	3.079	3.134
70	3.588	3.388	3.311	3.595	3.156	3.216
100	3.940	3.659	3.601	4.022	3.570	3.604

注記 1 係数 k は、C.4 に記載する人体に該当する数値モデルに、コイルを磁界発生源として適用して決定する。
これが当てはまるのは磁界発生源に近い領域に限られ、均一な磁界には当てはまらない。

注記 2 距離 r よりも寸法の大きな半径 r_{coil} は、附属書 B の手順では決定できない。

その他の周波数 f 及びその他の導電率 σ の係数は k^* とし、式(B.6)によって表 B.2 の値から計算できる。

$$k^*(r, r_{\text{coil}}) = \frac{f}{50(\text{Hz})} \times \frac{\sigma}{0.1\left(\frac{\text{S}}{\text{m}}\right)} \times k \quad \text{..... (B.6)}$$

・ **ステップ 4 結合係数の計算** 7.1 及び 7.2 に従って測定する場合、正規化周波数と同じ f_{C0} を用いる。そのため結合係数 $a_{\text{C}}(r)$ は、式(B.7)になる。

$$a_{\text{C}}(r, r_{\text{coil}}, f_{\text{C0}}, \sigma) = k(r, r_{\text{coil}}, f_{\text{C0}}, \sigma) \times \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}})}{J_{\text{BR}}(f_{\text{C0}})} = \frac{k(r, r_{\text{coil}}, f_{\text{C0}}, \sigma)}{\sigma} \times \frac{B_{\text{RL}}(f_{\text{C0}})}{E_{\text{BR}}(f_{\text{C0}})} \quad \text{..... (B.7)}$$

注記 3 結合係数 $a_{\text{C}}(r_1)$ は、式(B.4)を用いて図 B.5 から決定できる。

全身に関して $f=50 \text{ Hz}$ 及び $\sigma=0.1 \text{ S/m}$ 、並びにコイルに関して距離 $r=50 \text{ cm}$ 及び $r_{\text{coil}}=10 \text{ mm}$ として、ICNIRP の基本制限 J_{BR} 及び参考レベル B_{RL} を適用して計算した場合の結合係数の例は、次による。

$$\begin{aligned} a_{\text{C}}(r=50 \text{ cm}, r_{\text{coil}}=10 \text{ mm}, f=50 \text{ Hz}, \sigma=0.1 \text{ S/m}) &= \\ k(r=50 \text{ cm}, r_{\text{coil}}=10 \text{ mm}, f=50 \text{ Hz}, \sigma=0.1 \text{ S/m}) \times \frac{B_{\text{RL}}(f=50 \text{ Hz})}{J_{\text{BR}}(f=50 \text{ Hz})} &= \\ 3.271 \frac{\text{A/m}^2}{\text{T}} \times \frac{100 \mu\text{T}}{2 \text{ mA/m}^2} &= 0.16355 \end{aligned}$$

B.2 結合係数のグラフを用いた評価

結合係数は、図 B.4 から決定できる。この方法では、等価コイルの半径(r_{coil})に依存する結合係数の値が得られる。

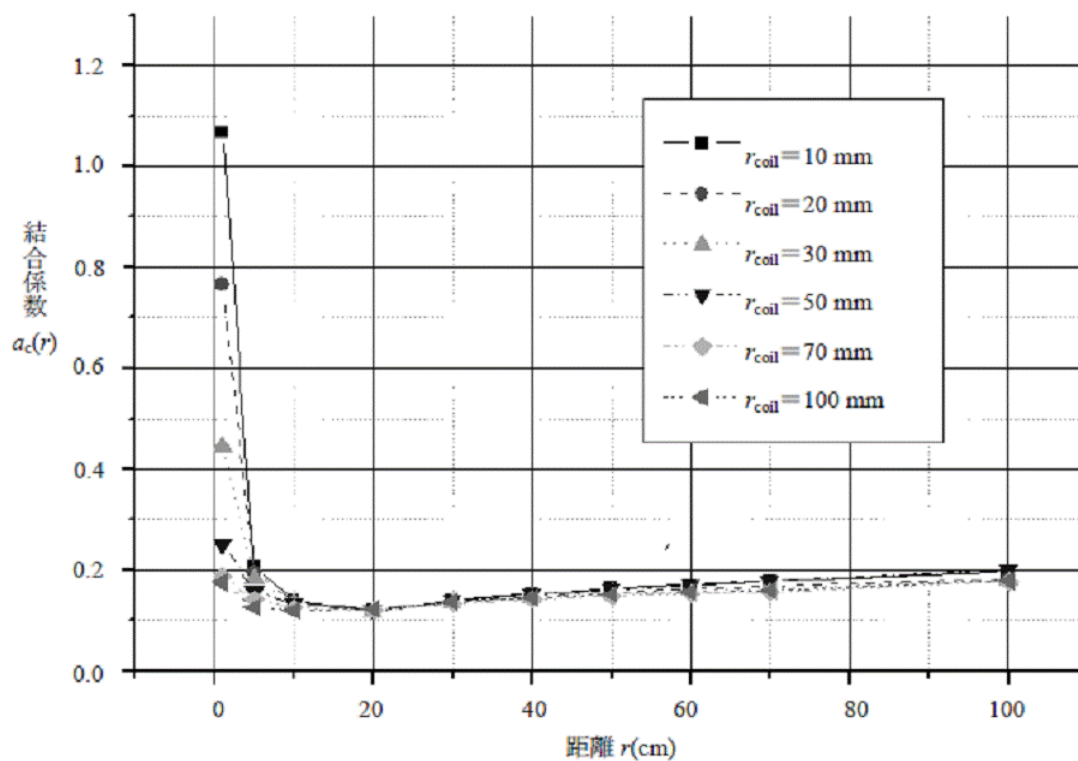


図 B.4—人体全身に関する 0.1 S/m, $A_{\text{sensor}}=100 \text{ cm}^2$ の結合係数 $a_c(r)$
(ICNIRP (1998 年版) の限度値を対象に計算した結合係数)

距離 $r=r_1+l_{\text{coil}}$ の r_1 は、測定距離である。

附属書 C

(参考)

附属書 A の限度値による計算例

C.1 伝達関数

ICNIRP (1998 年版) の公衆ばく露の参考レベル $B_{RL}(f)$ を用いる場合、表 C.1 のように伝達関数を計算できる (50 Hz で正規化した例を示す。)

表 C.1—ICNIRP (1998 年版) 公衆ばく露を用いた伝達関数

$(f_1=10 \text{ Hz}) \leq f < (f_{C1}=800 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{\frac{5000(\mu\text{T})}{50(\text{Hz})}}{\frac{5000(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = \frac{f(\text{Hz})}{50}$
$(f_{C1}=800 \text{ Hz}) \leq f < (f_2=150 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{\frac{5000(\mu\text{T})}{50(\text{Hz})}}{\frac{6.25(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = 16$
$(f_2=150 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_3=400 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{\frac{5000(\mu\text{T})}{50(\text{Hz})}}{\frac{920\,000(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = \frac{f(\text{kHz})}{9.2}$

ICNIRP (1998 年版) の職業的ばく露の参考レベル $B_{RL}(f)$ を用いる場合、表 C.2 のように伝達関数を計算できる (50 Hz で正規化した例を示す。)

表 C.2—ICNIRP (1998 年版) 職業的ばく露を用いた伝達関数

$(f_1=10 \text{ Hz}) \leq f < (f_{C1}=820 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{\frac{25000(\mu\text{T})}{50(\text{Hz})}}{\frac{25000(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = \frac{f(\text{Hz})}{50}$
$(f_{C1}=820 \text{ Hz}) \leq f < (f_2=65 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{\frac{25\,000(\mu\text{T})}{50(\text{Hz})}}{\frac{30.7(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = 16.3$
$(f_2=65 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_3=400 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{\frac{25\,000(\mu\text{T})}{50(\text{Hz})}}{\frac{2\,000\,000(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = \frac{f(\text{kHz})}{4}$

ICNIRP (2010 年版) の公衆ばく露の参考レベル $B_{RL}(f)$ を用いる場合、表 C.3 のように伝達関数を計算できる (50 Hz で正規化した例を示す。)

表 C.3—ICNIRP (2010 年版) 公衆ばく露を用いた伝達関数

$(f_i=10 \text{ Hz}) \leq f < (f_{C1}=25 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{200(\mu\text{T})}{\frac{5000(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = \frac{f(\text{Hz})}{25}$
$(f_i=25 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_{C1}=400 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{200(\mu\text{T})}{200(\mu\text{T})} = 1.0$
$(f_i=400 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_{C1}=3 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{200(\mu\text{T})}{\frac{80\,000(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = \frac{f(\text{Hz})}{400}$
$(f_i=3 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_{C1}=400 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{200(\mu\text{T})}{27(\mu\text{T})} = \frac{200}{27}$

ICNIRP (2010 年版) の職業的ばく露の参考レベル $B_{RL}(f)$ を用いる場合、表 C.4 のように伝達関数を計算できる (50 Hz で正規化した例を示す。)

表 C.4—ICNIRP (2010 年版) 職業的ばく露を用いた伝達関数

$(f_i=10 \text{ Hz}) \leq f < (f_{C1}=25 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{1000(\mu\text{T})}{\frac{25\,000(\mu\text{T})}{f(\text{Hz})}} = \frac{f(\text{Hz})}{25}$
$(f_i=25 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_{C1}=300 \text{ Hz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{1000(\mu\text{T})}{1000(\mu\text{T})} = 1.0$
$(f_i=300 \text{ Hz}) \leq f \leq (f_{C1}=3 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{1\,000(\mu\text{T})}{\frac{300\,000(\mu\text{T})}{f(\text{kHz})}} = \frac{f(\text{Hz})}{300}$
$(f_i=3 \text{ kHz}) \leq f \leq (f_{C1}=400 \text{ kHz})$	$A(f) = \frac{B_{RL}(f_{C0}=50 \text{ Hz})}{B_{RL}(f)} = \frac{1\,000(\mu\text{T})}{100(\mu\text{T})} = 10$

C.2 結合係数

結合係数を、表 C.5 に示す。

表 C.5—結合係数 $a_c(r_1)$

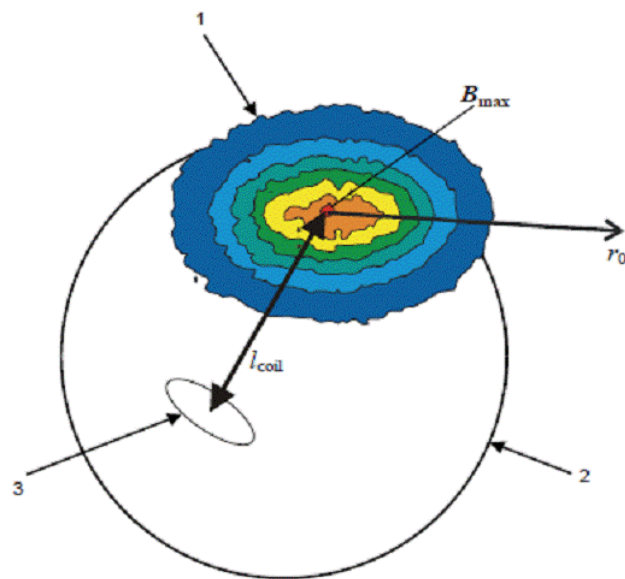
機器のタイプ ^{a)}	測定距離 r_1 cm	結合係数 $a_c(r_1)$ ICNIRP (1998 年及び 2010 年版)
小	0	1.00
大	0	0.15
小	10	0.14
大	10	0.16
小	30	0.14
大	30	0.18

注記 1 式(B.7)を全身に適用して計算した最悪状態を仮定している。
注記 2 $r_1 = 0$ の意味は、測定プローブを測定対象に接触させている状態である。
注 ^{a)} 小：磁界発生源は、機器きょう体面内側のすぐ近くにある。
大：磁界発生源は、機器きょう体面から内側に 10 cm～40 cm 離れている。

C.3 結合係数の決定例

附属書 B で規定するように、結合係数 $a_c(r_1)$ は次の 4 ステップで決定する。

- ・ **ステップ 1** ホットスポットの広がり評価 測定手順を図 C.1 に、測定結果を図 C.2 に示す。



- 1 ホットスポットに接する平面状で測定。
- 2 球形をモデルとした磁界発生機器。
- 3 磁界発生源としての等価コイル。

図 C.1—磁束密度の測定

- ・ **ステップ2 等価コイルの決定** 軸に沿って測定した磁束密度を正規化した曲線（図 C.2 の正方形付きの曲線）を積分する場合、 $G=0.071\ 66\ \text{m}$ の値が得られる。

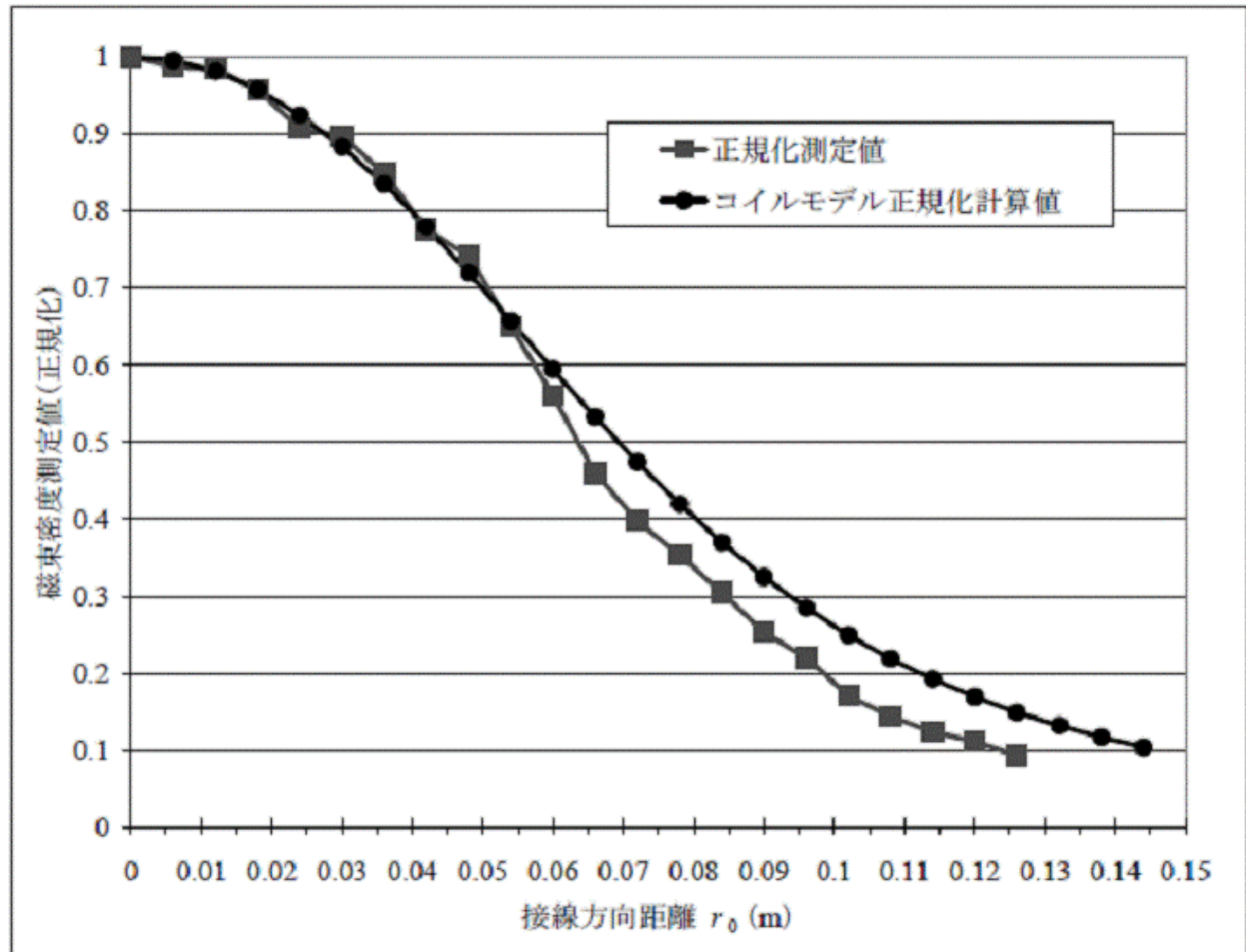


図 C.2—接線方向距離 r_0 に沿った正規化磁界分布

- ・ **ステップ3 係数 k の決定** 積分値 G の値を用いて、等価コイルの半径 r_{coil} を決定できる（表 B.1 参照）。このステップでは、測定した家電機器の寸法に依存する距離 l_{coil} を知ることが重要である。この例では、 $l_{\text{coil}}=70\ \text{mm}$ とする。表 B.1 の $l_{\text{coil}}=70\ \text{mm}$ の行で、実際の積分値 $G=0.071\ 66\ (\text{m})$ に最も近い値の $G=0.075\ 35\ (\text{m})$ を選択して、 $r_{\text{coil}}=50\ \text{mm}$ を決定する。図 C.2 の黒丸付きの曲線は、決定したコイルの径による理論計算による曲線である。この図からも分かるように、このコイルがよい近似となっている。
ここで、例えば、表 B.2 で $r=7\ \text{cm}$ 、 $r_{\text{coil}}=50\ \text{mm}$ として、対象とする機器に依存する $r_1=0$ のときの係数 k を決定できる。最も近い値は、 $r=5\ \text{cm}$ であり、全身に対して $k=3.180$ ($\sigma=0.1\ \text{S/m}$, $A_{\text{sensor}}=100\ \text{cm}^2$) となる。
- ・ **ステップ4 結合係数の計算** 7.1 及び 7.2 に従って測定する場合、重み付けによって 50 Hz と等価になっているので、適切な評価は既に終わっている。したがって、 $\sigma=0.1\ \text{S/m}$ のときの結合係数 $a_c(r)$ は、式(C.1)のようになる。

$$a_c(r, \sigma) = k(r, f = 50 \text{ Hz}, \sigma) \times 50 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{T}}{\text{A/m}^2} \right) \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

これによって、全身の場合の結合係数 $a_c(r) = 0.159$ となる。

$\sigma \neq 0.1 \text{ S/m}$ のときの結合係数 $a_c(r)$ を求める場合には、係数に $\frac{\sigma}{0.1 \left(\frac{\text{S}}{\text{m}} \right)}$ を乗じる。

$\sigma = 0.3 \text{ S/m}$ (全身) の場合の結合係数の決定例を、次に示す。

$$a_c(r)_{\sigma=0.3\text{S/m}} = 0.159 \times \frac{0.3 \left(\frac{\text{S}}{\text{m}} \right)}{0.1 \left(\frac{\text{S}}{\text{m}} \right)} = 0.477$$

C.4 結合係数の決定に関する追加説明

C.4.1 均一な人体の数値モデル

結合係数の計算に用いる均一な人体の数値モデルの寸法を図 C.3 に示す。最下部は、回転だ（楕）円体の半分であり、けい（頸）骨の所に下部の頂点があって、短軸及び長軸は、それぞれ 350 mm 及び 1 200 mm である。中央部は、直径 350 mm の円筒とする。頭部及び肩についての詳細は、図 C.4 に示す。

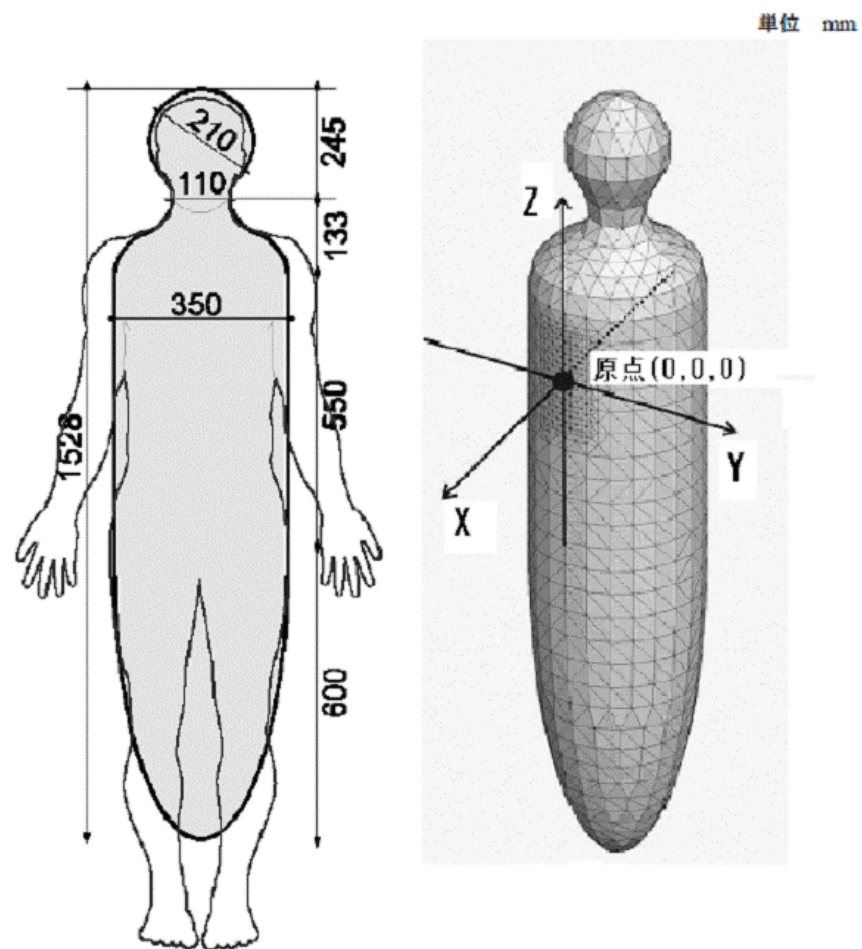


図 C.3—均一な人体の数値モデル

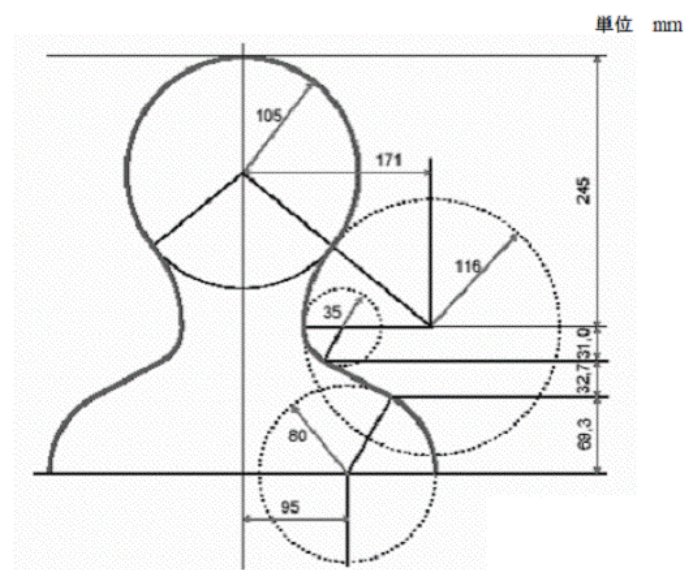


図 C.4—頭部及び肩の形状の詳細

C.4.2 不均一な磁界の様々な磁界発生源及び係数 k の計算

次に示す不均一な磁界発生源のリストは、すべてを示しているものではないが、概要を示している。

- 円形電流ループ
- 方形電流ループ
- 単線電流
- 円形電流コイル
- ダイポール

ただし、結合係数の計算には、磁界発生源として円形電流ループ（ほかの箇条では等価コイルと表現している。）のみを用いている。したがって、径の異なる電流ループは、数値モデルに対して最悪状態（磁界と人体との結合が最大。）となるように配置している。この最悪状態での磁界発生源 Q とモデル K との位置関係を、図 C.5 に示す。

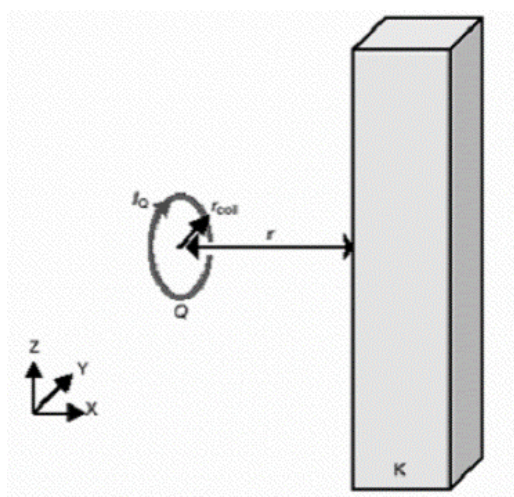


図 C.5—磁界発生源 Q のモデル K に対する位置関係

数値計算の場合は、周波数 f に関して、人体組織の導電率 $\sigma(f)$ を考慮する。最後にオームの法則を当てはめると、人体モデル内部の電流密度 J を式(C.2)によって計算できる。

$$J(r, f, \sigma) = \sigma(f) E_1(r, f) \quad \text{..... (C.2)}$$

係数 k は、数値モデル内部の最大誘導電流密度 $J_{\max}(r)$ と、モデルの同位置で測定した最大磁束密度 $B_{\max, \text{sensor}}(r)$ との関係を示す。磁界発生源としての電流 I_Q は任意のものを選択してよいが、 J_{\max} 及び $B_{\max, \text{sensor}}$ の計算のときと同じものであることが望ましい。したがって、係数 k の決定は、用いるセンサに依存する。任意のセンサ面積 A_{sensor} については、その面積全体の平均磁束密度を計算し、最大磁束密度 $B_{\max, \text{sensor}}$ とする。周波数 f 及び導電率 σ は、係数 k に線形の関係があるので、式(C.3)によって係数 k の計算ができる。

$$k(r, f, \sigma) = \frac{J_{\max}(r, f, \sigma)}{B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})} = \frac{\sigma E_{i, \max}(r, f)}{B_{\max, \text{sensor}}(r, A_{\text{sensor}})} \quad \text{..... (C.3)}$$

均一な磁界では、胴体モデルの導電率を均一として $\sigma=0.2 \text{ S/m}$ とすればよい。ただし、機器近くの磁界分布に強い不均一性がある場合、胴体への浸透はごくわずかであるので、 $\sigma=0.1 \text{ S/m}$ を用いることも可能となる。

注記 胴体表面近くの 0.1 S/m の導電率の計算は、胴体導電率の混合体を用いている。

導電率 σ の詳細な値は、参考文献[3]から入手できる。

附属書 B の係数 k を決定するときは、数値解析手法としてモーメント法 (MoM) 参考文献[4]を用いている。

例 1 距離 $r=10 \text{ cm}$ のときの半径 $r_{\text{coil}}=20 \text{ mm}$ 、電流 $I_Q=100 \text{ A}$ の円形コイルの場合、結果は、胴体モデル ($\sigma=0.1 \text{ S/m}$, $f=50 \text{ Hz}$) で誘導電流密度 $J_{\text{max}}=14.956 \mu\text{A/m}^2$ となる。 100 cm^2 センサの平均磁束密度を計算した場合、 $B_{\text{max, sensor}=100\text{cm}^2}=5.468 \text{ 35 } \mu\text{T}$ となる。したがって、係数 k を計算した場合、式(C.4)のようになる。(表 B.2 の $r=10 \text{ cm}$ のときの $r_{\text{coil}}=20 \text{ mm}$ の係数 k 参照)。

$$k\left(r=10 \text{ cm}, f=50 \text{ Hz}, \sigma=0.1 \frac{\text{S}}{\text{m}}\right)=\frac{14.956\left(\frac{\mu\text{A}}{\text{m}^2}\right)}{5.4683(\mu\text{T})}=2.735\left(\frac{\text{A/m}^2}{\text{T}}\right) \cdots \cdots \cdots (\text{C.4})$$

例 2 距離 $r=10 \text{ cm}$ のときの半径 $r_{\text{coil}}=20 \text{ mm}$ 、電流 $I_Q=100 \text{ A}$ の円形コイルの場合、結果は、人体頭部モデル (球半径 $r_{\text{sphere}}=10.5 \text{ cm}$, $\sigma=0.15 \text{ S/m}$, $f=60 \text{ Hz}$) で、誘導電流密度 $J_{\text{max}}=19.17 \mu\text{A/m}^2$ である。

100 cm^2 センサの平均磁束密度を計算した場合、 $B_{\text{max, sensor}=100\text{cm}^2}=5.468 \text{ 35 } \mu\text{T}$ となる。

したがって、係数 k を計算した場合、式(C.5)のようになる。

$$k\left(r=10 \text{ cm}, f=60 \text{ Hz}, \sigma=0.15 \frac{\text{S}}{\text{m}}\right)=\frac{19.17\left(\frac{\mu\text{A}}{\text{m}^2}\right)}{5.46835(\mu\text{T})}=3.505627\left(\frac{\text{A/m}^2}{\text{T}}\right)$$

及び

$$\frac{k\left(r=10 \text{ cm}, f=60 \text{ Hz}, \sigma=0.15 \frac{\text{S}}{\text{m}}\right)}{\sigma=0.15\left(\frac{\text{S}}{\text{m}}\right)}=\frac{3.505627\left(\frac{\text{A/m}^2}{\text{T}}\right)}{0.15\left(\frac{\text{S}}{\text{m}}\right)}=23.370847\left(\frac{\text{V/m}}{\text{T}}\right) \cdots \cdots \cdots (\text{C.5})$$

通常、数値計算の結果は、胴体モデルの電界強度 E_i となる (C.4.3 参照)。誘導電界の大きさ E_i の計算は、係数 k を k の計算に用いる導電率 σ で除すことで行うことができる。

したがって、誘導電界の大きさ $E_{i, \text{max}}$ を計算した場合、式(C.6)になる。

$$E_{i, \text{max}}=\frac{k\left(r=10 \text{ cm}, f=60 \text{ Hz}, \sigma=0.15 \frac{\text{S}}{\text{m}}\right)}{\sigma=0.15\left(\frac{\text{S}}{\text{m}}\right)} \times B_{\text{max, sensor}}\left(r=10 \text{ cm}, A_{\text{sensor}}=100 \text{ cm}^2\right)$$

$$=23.370847\left(\frac{\text{V/m}}{\text{T}}\right) \times 5.46835 \mu\text{T}=127.8 \mu\text{V/m} \cdots \cdots \cdots (\text{C.6})$$

注記 限度値に関しての数値は、**附属書 A** に記載している。

C.4.3 誘導電流密度の計算

C.4.1 及び **C.4.2** に記載するモデル及び手順に適したものである場合、どのような数値解析法及び計算ソフトウェアパッケージを用いてもよい。この方法として一般に用いている方法には、次のものが挙げられる。

- BEM (境界要素法)
- FDFD (周波数領域有限差分法)
- FDTD (時間領域有限差分法)
- FEM (有限要素法)
- FIT (有限積分法)
- MoM (モーメント法)
- SPFD (スカラーポテンシャル有限差分法)
- IM (インピーダンス法)

RF (無線周波) 向けソフトウェアコードを用いる場合には、周波数換算 (スケーリング) 法参考文献[5]の利用が可能である。どのような磁界発生源でも、より高い周波数 f' (0.5 MHz 以下に対して磁界の準定常的性質を保証する。) で計算できる。この計算の場合、周波数 f (f' ではない。) における組織の導電率を考慮する。この計算で、周波数 f' における電界強度 E' が得られる。ここで、周波数 f に電界強度 E を式(C.7)に従って換算 (スケーリング) する。

$$E = \frac{f}{f'} \times E' \dots\dots\dots (C.7)$$

これによって、対象の周波数 f での値が決まる。最後に、式(C.8)のように、オームの法則を当てはめれば、電流密度 J を計算できる。

$$J = \sigma(f) \times E \dots\dots\dots (C.8)$$

参考文献

- [1] GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (up to 300 GHz)
- [2] GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 Hz TO 100 kHz)
- [3] Italian National Research Council; Institute for Applied Physics: Calculation of the Dielectric Properties of Body issues in the frequency range 10 Hz – 100 GHz. Florence (Italy), 1997-2002;
<http://sparc10.iroec.fir.cnr.it/tissprop/htmlclie/htmlclie.htm#atsftag>
- [4] JAKOBUS, U. Erweiterte Momentenmethode zur Behandlung kompliziert aufgebauter und elektrisch grosser elektromagnetischer Streuprobleme. Fortschrittsberichte VDI, Reihe 21, Nr.171, 1995, VDI Verlag, Duesseldorf.
- [5] FURSE, CM and GANDHI, OP. Calculation of electric fields and currents induced in a millimeter-resolution human model at 60Hz using the FDTD method. Bioelectromagnetics, 1998, vol. 19, pp. 293-299

T P -13002

自動車の人体ばく露に関する電磁界測定方法 解 説

この解説は、本体及び附属書に規定した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するもので、テクニカルペーパーの一部ではない。

1. テクニカルペーパー作成の趣旨及び経緯

1.1 テクニカルペーパーの作成の趣旨

規格化の前段階として自動車の人体ばく露に関する電磁界の測定方法及び測定結果の判断基準を示す目的でテクニカルペーパーを作成した。また、次にも示すようにこのテクニカルペーパーでのガイドラインは **ICNIRP** である。よって **ICNIRP** の序文にもあるとおり、ガイドラインとして有効なのは人体に対してだけであり、**ICNIRP** を満足しているからといってペースメーカを含む金属性人工器官などの機器への影響が必ずしも排除されるわけではない。

1.2 テクニカルペーパー作成の経緯

WHO は、2007 年に電磁波の人体防護指針の設定を各国政府に勧告し、ガイドラインとして **ICNIRP** への準拠を推奨している。国内では総務省が電波利用機器に対して、ガイドラインとして **ICNIRP** に準拠した防護指針を策定している。電動車両の使用者から自動車製造業者に対し低周波電磁界に対する問い合わせがあり、標準的な試験法の運用及びそのデータに基づく説明を求められている。そこで、自動車について **ICNIRP** のガイドラインに対し合理的に適合性判断を行い、結果の公開及び説明のために検討した。

2. 審議中に特に問題となった事項など

今回の **TP-13002** の審議で問題となった主な事項は、次のとおりである。

2.1 着脱式バッテリー用充電器に対するこの測定法での取扱い

使用者の利便性を高めるため、車両に搭載されているバッテリーを取り外し、家庭内で充電可能なシステムをもつ車両がある。充電状態の測定にこれを含めるかが議論となった。システム構成としては、**JIS/TS C 0044** で規定されている充電器と同じであり、家電製品として測定すべきとの意見があった。しかし、使用者からするとこれも車両を構成する部品の一部であることから、車両としての測定が妥当との結論に至った。

2.2 目標値の選定

2.2.1 **ICNIRP** を選定した理由

先行している **JIS/TS C 0044** では、**ICNIRP** 及び **IEEE** 規格での適合判定を推奨している。しかし、このテクニカルペーパー作成の経緯にもあるとおり、WHO が各国へ **ICNIRP** のガイドラインを準拠するよう推奨している。よって、このテクニカルペーパーでは、**ICNIRP** を選定した。

2.2.2 **ICNIRP** の両年度を併記とした理由

目標値として **ICNIRP** とすることで委員の間で異論はなかったが、1998 年版及び 2010 年版のどちらを採用するか議論となった。2010 年版では、データの蓄積と、精度が向上した人体モデルの解析結果が反映され

ており、測定器製造業者からもこれに対応した測定器が出始めていることから、こちらを採用すべきとの意見があった。しかし、1998年版対応の測定器の結果は2010年版の結果を包含できると及び引用しているJIS/TS C 0044では2010年版が採用されていないことから、目標値はこれらの併記とし選択可能とした。

2.3 測定時の走行条件の設定

各社のシステム仕様が異なるため、単一の走行条件が決められず三つの状態とした。定常走行の車速は、他の国際規格で使われているものとした。また、車両としての測定法であるため、電気負荷についても、歩調を合わせることにした。加速及び減速については、REESS車の場合各々力行と回生となるため、測定条件に採用した。しかし、先にも述べたように各社で制御仕様が異なるため、一律の走行条件が決められない。そこで、三つの走行条件を示しながらもそこから選択、追加及び修正を可能とした。

2.4 非接触充電方式の測定方法

充電方式として今後、共鳴法を用いた充電方式が主流になると予測されるため、これに対する対応を記載した。ただし、これから発展し展開される方式であること、及び対応する国際規格がまだ審議中であることから、今後それらの動向によっては修正を随時進める。

2.5 結合係数の取扱い

引用元のJIS/TS C 0044では測定結果が目標を満足しない場合、結合係数を使った補正によって目標値に対する合否判断をするよう記載されている。この係数は、電源周波数(50 Hz又は60 Hz)で計算することが推奨されている。しかし、自動車の場合、多種の部品が搭載されているため、さまざまな周波数が存在する。また、磁界発生源との距離が一律に決められないことから、結合係数に関して削除すべきではないかとの意見が出た。しかし、非接触充電の場合、周波数及び発生源との距離の特定が可能となる。そこで、今回のテクニカルペーパーでは記載をすることにした。

2.6 定常スペクトル及び周波数領域評価

引用元のJIS/TS C 0044では、“基本周波数と幾つかの高周波とで構成されるもの”を“線状スペクトル”としているが、日本語的に分かりにくいとの指摘が委員からあった。“基本周波数と幾つかの高周波とで構成されるもの”は、車両においてはコンピュータ機器を動作させるときのクロック周波数及びその高調波が当てはまる。そこで、自動車においてこのような信号は、定常的な発生頻度を示す狭帯域性の信号に分類されることから、“定常スペクトル”とすることとした。

あわせて“線状スペクトル評価”は、他方の評価法が“時間領域評価”であることから、“周波数領域評価”とした。

2.7 測定時間

引用元のJIS/TS C 0044では磁界測定器の応答時間が“1 秒間以内”と記載されている。この意味と何の処理に時間を要しているのか、及び決定の背景について調査を進めた。エキスパートを通じて確認を進めたが、国内規格作成においても、国際規格をそのままもって来ているため不明とのことであった。そこで、このテクニカルペーパーにおいても引用元規格の数値をそのまま記載することとした。

2.8 伝達関数の正規化周波数の扱い

引用元のJIS/TS C 0044では家電を測定対象としているため、伝達関数の正規化周波数には商用電源周波数を用いることが推奨されている。しかし、自動車においては充電時を除き商用電源を使用しない。そこで、伝達関数で用いる正規化周波数としては商用電源周波数を推奨とするのではなく、参考扱いとした。

3. 原案作成委員会の構成表

2012 年度に原案作成を行った電子・電装部会 CISPR 分科会構成表を、次に示す。

電子・電装部会CISPR分科会構成表

	氏名	所属
(分科会長)	○ 塚 原 仁	日産自動車株式会社 電子技術開発本部電子信頼性技術開発部
(幹事)	◎ 野 島 昭 彦	トヨタ自動車株式会社 電子技術統括部
(幹事)	泉 地 正 人	株式会社デンソー 技術管理部
(委員)	石 垣 久 和	住友電装株式会社 生技開発本部
	○ 石 田 武 志	株式会社ノイズ研究所 技術部
	○ 一ノ宮 正 行	スズキ株式会社 四輪技術本部四輪電装設計部
	○ 伊 藤 紳一郎	独立行政法人交通安全環境研究所 自動車安全研究領域
	大 竹 正 道	富士通テン株式会社 品質保証本部評価統括部
	太 田 雅 文	ヤマハ発動機株式会社 MC事業本部技術統括部
	片 桐 博 也	一般社団法人日本自動車部品工業会 技術部
	○ 金 田 拓 也	富士重工業株式会社 スバル技術本部電子技術部
	亀 田 裕 之	日本特殊陶業株式会社 自動車関連事業本部 プラグ事業部
	○ 杉 本 久 憲	一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 試験事業部
	近 田 隆 愛	公益社団法人自動車技術会 電子・電装部会
	波 津 久 哲 士	マツダ株式会社 車両開発本部電子開発部
	服 部 英 治	株式会社東海理化 実験部
	本 多 康 治	日立オートモティブシステムズ株式会社 パワートレイン&電子事業部PT&電子品質保証本部PT&電子品質保証部
	○ 前 田 幸 司	アイシン精機株式会社 信頼性技術部
	水 谷 貴 幸	曙ブレーキ工業株式会社
	○ 水 谷 博 之	日野自動車株式会社 車両実験部
	○ 水 谷 康 幸	三菱自動車工業株式会社 開発本部電子技術部
	○ 安 田 浩 之	矢崎総業株式会社 技術研究所解析技術センターEMC技術部
	○ 吉 田 秀 樹	株式会社本田技術研究所 四輪R&Dセンター
	渡 部 覚 文	ダイハツ工業株式会社 開発部
(関係者)	○ 林 達 生	株式会社本田技術研究所 二輪R&Dセンター
	○ 松 村 直 英	トヨタ自動車株式会社 電子技術統括部
	○ 見 目 智 史	三菱ふそうバス・トラック株式会社 電子実験部
(事務局)	植 木 信 幸	公益社団法人自動車技術会規格(自動車)課

注記 ◎印は人体防護小委員会委員長、及び○印は人体防護小委員会委員を示す。

(執筆者 松村直英)