

3 EMC 計測技術と較正法の開発

3 Development of EMC Measurement and Calibration Methods

3-1 MF/HF 帯ループアンテナの較正不確かさ

3-1 Uncertainty Estimation of Loop Antenna Calibration System in MF/HF Band

鈴木 晃 坂齊 誠 小池国正 増沢博司

SUZUKI Akira, SAKASAI Makoto, KOIKE Kunimasa, and MASUZAWA Hiroshi

要旨

当機構の MF/HF 帯ループアンテナ較正は、標準磁界法で実施している。標準磁界の設定には、ループアンテナのループ電流を制御する方法とアンテナファクタを用いる方法がある。ループ電流を制御する方法の磁界設定精度は、ループ電流の測定精度でほぼ定まる。一方アンテナファクタを用いる方法の精度は、アンテナファクタの測定精度に大きく依存する。アンテナファクタを用いる方法はまだ実用化されていないが、多様な誤差要因を持つループ電流に直接関与しない利点があり、またアンテナファクタの測定精度も近年著しく向上している。

本稿では従来用いているループ電流を制御する方法とアンテナファクタを用いる方法について、較正精度の観点で比較検討するとともに、アンテナファクタ法を用いた標準磁界設定の実用化の可能性も示す。

The MF/HF band loop antenna calibration is performed by the standard magnetic field method in NICT. For the establishment of the standard magnetic field intensity, there are two method: LC(Loop Current) method and AF(Antenna Factor) method. In the LC method, the current on the loop antenna have to be controlled very accurately to generate the standard field. While the AF method hasn't been in officially used for actual calibration service in NICT, it has an advantage that the real loop current is not needed, which is very difficult to monitor in the actual calibration and is a major factor to increase the calibration uncertainty. AF method, however, the antenna factors have to be determined precisely, which can be done by the three antenna method.

The purpose of this paper is to investigate and compare the AF method and the LC method from the viewpoint of the loop antenna calibration accuracy, and to show the feasibility of the AF method for the actual use for the calibration service in NICT.

[キーワード]

MF/HF 帯, ループアンテナ, アンテナファクタ, アンテナ較正, 不確かさ

MF/HF band, Loop antenna, Antenna factor, Antenna calibration, Uncertainty

1 まえがき

近年の機器性能や測定技術の著しい向上に伴い、当機構ではアンテナ較正全般の精度見直しを進めている。ループアンテナ較正精度の検討は、この作業の一環である。MF/HF 帯でのループアンテナ較正は、以前から標準磁界発生用ループアンテナによる標準磁界法で実施している。標準磁界の設定には、ループアンテナのループ電流を制御する方法(以下「ループ電流法」と呼ぶ)と、あらかじめ求めたアンテナファクタを用いる方法(以下「アンテナファクタ法」と呼ぶ)がある。当機構ではループ電流法を採用しているが、その較正精度は 0.5~1.0 dB と見積もられている。ループ電流法で磁界設定精度を左右する主要素は、ループアンテナのループ電流測定精度である。

本稿では比較的使用が多い 1 MHz から 30 MHz について、従来用いているループ電流法による較正の不確かさの検討を行う。また、ループ電流法の有用性を検証するため、ループ電流法と全く異なる原理で磁界設定を行うアンテナファクタ法での検証を行う。

本文の構成は、**2** で検証に用いたアンテナファクタ法を含めたループアンテナ較正の概要を解説し、**3** でループ電流法を用いるループアンテナ較正で予測される不確かさの要因、また **4** では標準磁界強度を設定する場合の不確かさ(uncertainty)等について述べる。

2 ループアンテナ較正法

主として、30 MHz 以下で用いるループアンテナの較正には、(1)標準アンテナ法と、(2)標準磁界法の二つがある。標準アンテナ法は別名参照法ともいわれ、標準ループアンテナと置換して被較正ループを較正する方法である。標準ループアンテナは受信側で用いられ、磁界強度と誘起する電圧の関係を理論的に計算できることが条件である。これに対して、標準磁界法は標準とするループアンテナを送信側に設置して、送信ループアンテナのループ電流を制御して磁界強度を設定する。当機構では、従来からループ電流を制御する標準磁界法を採用している。

2.1 近傍界の磁界強度計算

磁界強度の設定値をはじめ、ループ間の伝搬損失レベルなど、多くの場面で理論値が用いられる。理論計算の根拠となる近傍界磁界強度 H_{av} の計算式は、文献[1]で導出された次式を用いている。

$$|H_{av}| \doteq I S_1 K(d) \quad [A/m] \quad (1)$$

ここで I ; 送信アンテナのループ電流
 S_1 ; 送信アンテナのループ面積

$K(d)$ はループアンテナ間の伝搬損失で文献[1]では無限級数で与えられているが、通常は次の近似式を用いる。

$$K(d) \doteq \frac{1}{2\pi R_0^3} \left[1 + \frac{15}{8} \left(\frac{r_1 r_2}{R_0^2} \right)^2 + \frac{315}{64} \left(\frac{r_1 r_2}{R_0^2} \right)^4 \right] \times (1 + \beta^2 R_0^2)^{1/2} \quad (2)$$

ここで

$$R_0 = (d^2 + r_1^2 + r_2^2)^{1/2}$$

d ; アンテナ間距離

r_1, r_2 ; 送受アンテナのループ半径

β ; $2\pi/\lambda$

2.2 標準磁界の設定

標準磁界法では、標準ループアンテナを用いて基準とする磁界を発生させる。基準とする磁界の設定には、ループ電流法とアンテナファクタ法により行う。

2.2.1 ループ電流法

この方法は式(1)で示すように、ループ電流とループ面積という比較的簡単なパラメータから磁界強度が計算でき、また、ループ電流源がトレーサビリティを有すれば設定した磁界強度もまたトレーサビリティを持つという利点がある。この観点から、当機構では標準磁界設定にループ電流法[2][3]を採用している。

ループアンテナの較正は、被較正ループアンテナが送信用の場合は仲介ループアンテナを介して、両ループアンテナの磁界強度を比較する方法で、また、受信ループアンテナの場合は、受信ループの出力(電圧又は電流モニタ)に、標準ループ

アンテナで設定した磁界強度を値付けする方法で行う。

図1は送信用ループアンテナを較正する場合の測定系統図である。較正手順の概略は、同図から、以下のとおりである。

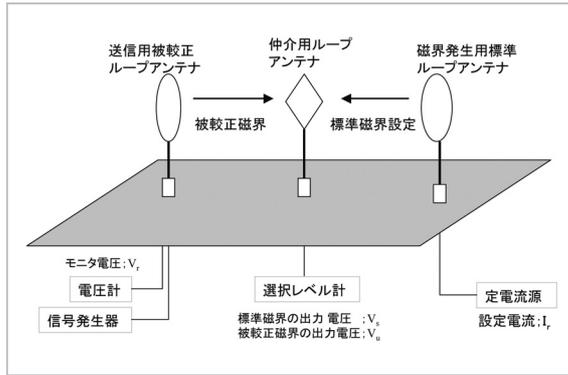


図1 標準磁界法(ループ電流法)によるループアンテナ較正 (送信ループアンテナを較正する場合)

- (1) 標準ループアンテナと被較正ループアンテナを仲介ループアンテナに対して面対称で設定する。
- (2) 標準ループアンテナに基準とする電流を流し、仲介ループアンテナの出力電圧 V_s を測定する。
- (3) 被較正ループアンテナに切り替えて、標準ループアンテナの基準電流と等価な電流を設定し、仲介ループアンテナの出力電圧 V_u を測定する。
- (4) 標準ループアンテナの基準電流を用いて式(1)から標準磁界強度 H_s を計算する。
- (5) 被較正ループアンテナの磁界強度較正係数 ΔV は次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} V_s &= H_s + M_a \quad (\text{dB}) \quad ((2)\text{項の測定}) \\ V_u &= H_u + M_a \quad (\text{dB}) \quad ((3)\text{項の測定}) \\ \Delta V &= V_s - V_u = H_s - H_u \quad (\text{dB}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで M_a は仲介ループアンテナの磁界強度と出力電圧の変換係数、また H_u は被較正ループアンテナに基準電流を流したときの磁界強度である。

2.2.2 アンテナファクタ法

アンテナファクタ法は磁界設定に電流を用いるのではなく、これと比例関係にあるループアンテナの入力電力を用いる[4][6]。このため、ループア

ンテナの入出力を関係付けるアンテナファクタ L_{af} を次式で定義する。

$$L_{af} = S_1 I / 2 \sqrt{P_i} \quad [m^2 / \Omega] \quad (4)$$

ここで、 S_1 はループ面積、 I はループ電流、 P_i はループ入力電力である。例えば三アンテナ法等により標準とするループアンテナのアンテナファクタ L_{af} が求めれば、磁界強度 H_{av} は次式で計算できる。

$$|H_{av}| = 2 L_{af} K(d) \sqrt{P_i} \quad [A/m] \quad (5)$$

2.2.3 ループ電流法の特徴

現在定電流源の上限周波数は 10 kHz である。したがって、直接ループ電流が設定できない高い周波数は、ループ組込みの熱電対によるモニタ電圧を仲介として用いる。すなわち、あらかじめ定電流源を用いて 10 kHz で入力電流とモニタ電圧の関係を求め、以後このモニタ電圧の指示値から高周波入力電流の電流換算を行い電流値を決定する。この操作は熱電対が原理的に周波数特性を持たないという原理に基づいて行っている。図2に熱電対組込み型汎用ループアンテナの構成の一例を示す。

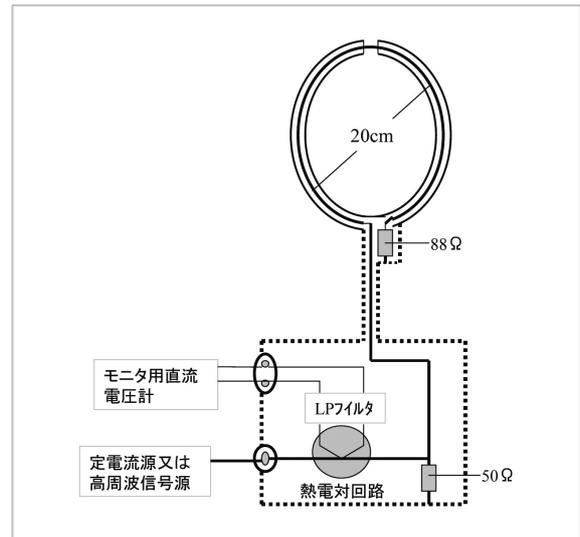


図2 汎用ループアンテナ構成の一例

図3は 10 kHz におけるループアンテナ入力設定電流と熱電対回路によるモニタ電圧の関係である。なお、同図の関係は DC 及び 60 Hz でも変化はなく、10 kHz 以下では周波数特性を持たないことを確認している。

しかし、ループ電流法では、(1) 10 kHz を超え

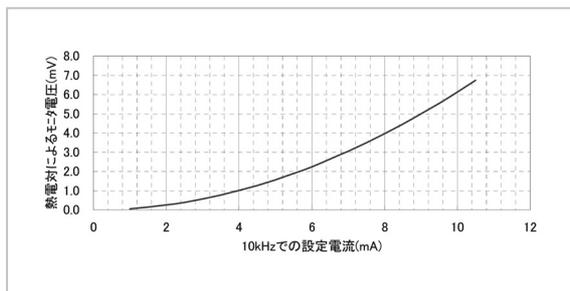


図3 ループアンテナ入力電流とモニタ電圧の関係

る周波数での電流検出回路周波数特性、(2)電流検出回路の温度特性、(3)ループアンテナ回路電流からのループ電流換算、(4)10 kHz を超える周波数でのトレーサビリティ等、まだ十分検討されていない課題がある。なお、(3)のループアンテナ回路電流からのループ電流換算は、ループに対して並列にインピーダンスが挿入される場合、生じる操作である。

3 ループアンテナ較正で予測される不確かさの要因

3.1 磁界強度計算誤差

3.1.1 理論値計算誤差

理論式が成立する前提条件を無視して計算を行うと、前提条件から逸脱した適用に基づく、実測値と計算値に差異を生ずる。ここではこの誤差を理論値計算誤差と呼ぶ。

式(1)で示した近傍磁界強度の計算式は微小ループを前提とし、ループ径に比べてループワイヤ径が十分小さく、またループ電流も一様とみなす等の仮定がある。また、実際に用いる計算式は高次項を省略して用いている。式(1)を用いる場合、このような要因に基づく理論値計算誤差が考えられる。

本稿ではモーメント法を用いてこれらの誤差の検討を行う[5]。図4は周波数30 MHz、ループ半径0.1 m、ワイヤ半径2.5 mmの送信ループ電流分布特性の計算結果である。横軸はループを100個のセグメントで分割したときのセグメント番号、縦軸は各セグメントの電流で、セグメント中の最大電流で正規化してdBで示している。なお、シミュレーションでは、完全導体上1.5 mの高さ

に送受同形のループを間隔1 mで設定し、送信ループのセグメント1に1 Vを印加、受信ループのセグメント1に50 Ωを負荷している。

同図から電流分布特性は、最大で約0.2 dBの不均一性を生じる。なお、ループ間距離については完全導体上1.5 mの位置で0.2 mから1.0 mの範囲で変化して同様なシミュレーションを実施したが、距離による分布特性の大きな変化は認められなかった。また、周波数が低くなれば、分布特性は平坦化されることを確認している。

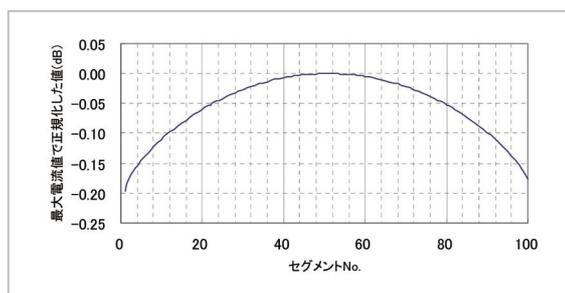


図4 モーメント法による送信ループ電流分布特性

以上の結果を参考として、式(1)の検証を次のように行った。

- (1) 式(1)の電流値には図4の送信ループ電流分布の平均値を用いる。
- (2) 式(1)では磁界強度 H_{av} が求まるが、モーメント法を用いて送信ループアンテナ及び受信ループアンテナを配置したときの受信電流を算出し、磁界強度 H_{av} を求める。
- (3) モーメント法で計算された磁界強度と、(1)で計算した磁界強度の差異を検討する。

以上の手順で求めた磁界強度を比較すると、モーメント法が若干低く、その差異は約0.27 dBであった。モーメント法が必ずしも正しいとは言えないが、シミュレーション設定は30 MHz、完全導体上1.5 m、ループ間距離1.0 mとより実際のことから、この結果を一つの目安として、本稿では式(1)の誤差を±0.27 dB内にあると予測する。

3.1.2 機器設定誤差

式(1)に基づく伝搬損失を計算する場合、ループアンテナ間の距離やループ半径を用いるが、計算で用いる値と実際の設定値が異なると、実測値と計算値に差を生じる。この誤差は前述の理論式

固有の誤差と区別して検討する。

例えば理論式の計算では、対向するループ面は同一軸上に正対していることが前提である。また、外来の混信や雑音も考慮していない。ここではこれら機器設定等の誤差について実測によりその値を予測する。すなわち、距離設定誤差として1 m に対し ± 5 mm を考慮すると磁界強度誤差は ± 0.12 dB となる。この値は式 (1) の距離 R^3 の計算に基づいている。対面精度の誤差については実測の結果、± 10 mm の上下方向位置ズレ及び ± 5 度の正対面ズレで各々ほぼ 0.05 dB 程度が見込まれる。図 5 は対面精度に関する実測図で、ループ径 20 cm の同一仕様ループアンテナをループ間隔 1 m で設定し、精密に対面させた場合と一定の対面差を持つときの伝搬レベル差で示している。同図から両測定値には一定の差異がみられるが、これは基準としている精密対面時の値の変化とも考えられ、特に顕著な差はないと予測される。

また、設定された磁界の周辺に混信、雑音等がある場合、SN 比が 30 dB で約 0.27 dB の誤差が計算される。

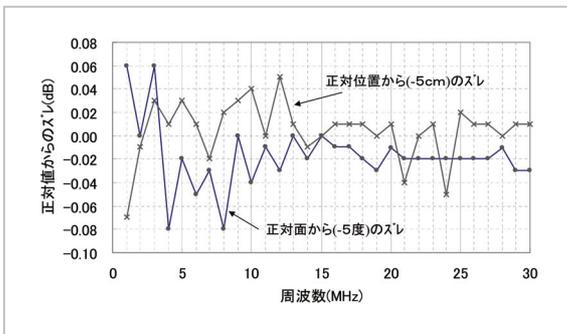


図5 ループアンテナ対面設定精度による伝搬特性への影響

3.2 ループ電流測定誤差

3.2.1 ループ電流法の場合

(1) 電流検出回路の温度特性

図 6 は汎用ループアンテナのモニタ電圧温度特性である。横軸にループアンテナの周囲温度、縦軸にモニタ電圧、いずれも 1 分間の平均値を示す。この測定は、より実際的な運用を考慮し、ループアンテナ入力に 10 MHz、+5 dBm の信号を 5 分間隔で約 1 分間印加し、そのときの周囲温度とモニタ電圧を測定する。なお、ループアンテナを除

く測定系はすべて温度管理された室内に設置している。図 6 の結果では温度 1 °C の変化に対してモニタ電圧は約 0.1 % 変化する。また、ループアンテナを恒温恒湿試験装置に入れ、温度を変化させたときも同様な結果が得られている。よって、入力電流とモニタ電圧の関係を測定した時の温度に対して、0.1 % / °C の誤差をもってモニタ電圧による電流換算が行われることから、実際のループ電流とでは約 0.01 dB / °C の誤差を生じる。

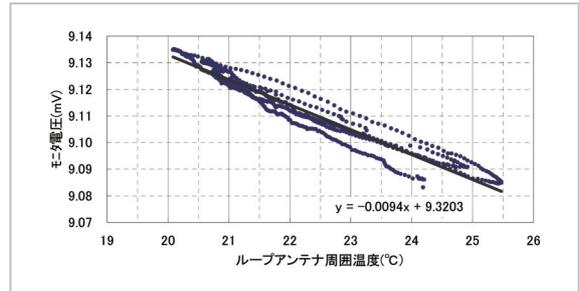


図6 モニタ電圧の温度特性(汎用ループアンテナ)

(2) 電流検出回路の周波数特性

図 7 は当機構が所有する標準ループアンテナの周波数特性である。ループ電流法では、モニタ電圧を基準に電流換算し、一方、アンテナファクタ法はアンテナファクタと入力電力を用いて式 (4) で計算した値を示す。同図では、ループ電流法がやや高い値を示し、1 MHz で約 0.28 dB の差異を生じる。この結果には温度特性や次に述べる並列インピーダンスの影響も含まれているが、周波数特性に限定すれば極めて類似の傾向を示す。このことから、標準ループアンテナに関してはモニタ電圧を仲介とする電流設定でも周波数特性はほぼ無視できるといえる。

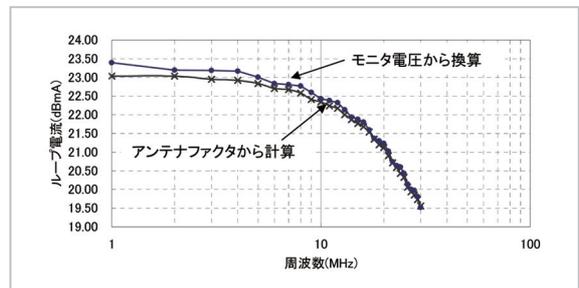


図7 ループ電流の周波数特性(標準ループアンテナ)

(3) 並列インピーダンスの影響

図2で示した汎用ループアンテナでは、入力端からみてループに並列に50Ωの抵抗が挿入されている。この抵抗は入力インピーダンスを50Ωとするためのものであるが、これにより熱電対通過電流とループ電流とで差異を生じる。標準ループアンテナにはこの並列インピーダンスが特に挿入されていないが、図7で示したようにアンテナファクタ法とでは一定の電流差を生じる。本稿ではこの電流差を目安に、前記周波数特性及び並列インピーダンスによる影響を考慮し電流換算誤差として、0.28 dBを見積もる。

なお、汎用ループアンテナの並列インピーダンスについて二、三考察する。図8は図2で示した汎用ループアンテナの周波数特性で、ループ電流法とアンテナファクタ法の比較である。ループ電流法での電流換算は、①取扱説明書に基づいて、熱電対通過電流を負荷抵抗と並列抵抗の分流比で行った場合と、②ループのインダクタンスを負荷抵抗に考慮した場合、の二通りで示している。インダクタンスはループ半径10 cm、ワイヤ半径0.25 cmとして文献[3]で計算した。同図のループ電流法では、アンテナファクタ法とで最大約2.0 dBの差異があり、いずれの方法でもループ電流が正しく換算されているとはいえない。ただ、インダクタンスを考慮する場合、周波数特性はアンテナファクタ法と類似することから、示されている並列抵抗値の再吟味で特性の改善が予想される。これらの結果からは、汎用ループアンテナのループ電流換算が容易でないことを示している。

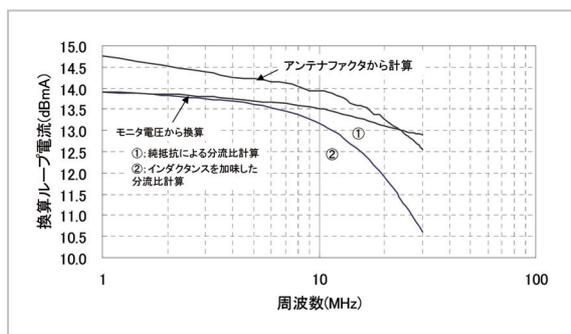


図8 ループ電流の周波数特性(汎用ループアンテナ)

4 磁界設定精度の検討

4.1 不確かさの計算

測定結果の正確さを表す方法として、不確かさ(uncertainty)が用いられる[7]。この不確かさには、ランダムな影響による不確かさを表すタイプAと、これ以外の例えば製造仕様などに基づくタイプBがある。これらタイプA及びタイプBの総合不確かさを求めるには、誤差項目個々に分布形に基づく標準不確かさ $u(x_i)$ を求め、感度係数を考慮してRSS (Root-Sum-Square) で合成する。合成標準不確かさ $u_c(y)$ の一般式は次式で示される。

$$u_c(y) = \left\{ \sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

ここで、 y は $y=f(x_1, x_2, x_3, \dots)$ で表される測定式、 x_1, x_2, x_3, \dots は測定項目1, 2, 3, ...の測定量の推定値である。なお、 c_i は感度係数で $c_i = \delta f / \delta x_i$ で表される。

4.2 ループ電流法の不確かさ

3において、ループ電流法で考えられる不確かさの項目及びその誤差予測値について述べた。これらの結果に基づき、ループ電流法及びアンテナファクタ法で磁界を設定する場合の不確かさ項目とその値を表1に示す。不確かさ項目は、関連性があると考えられる電力測定系、ループ電流測定系及び伝搬計算系に分類している。ループ電流法では、電流を熱電対起電力で検出する方式であるため、電力不整合に関する項目はない。

ループ電流測定系の標準不確かさ u_l は次式で示すように0.18 dB、同様に伝搬計算の標準不確かさ u_k は0.24 dBとなる。

$$u_l = [(0.28^2 + 2 \times 0.10^2 + 0.05^2 + 0.02^2) / 3]^{1/2} \approx 0.18 \text{ [dB]} \quad (7)$$

したがって、ループ電流法を用いた磁界強度の合成標準不確かさ u_{tl} は、式(1)のdB表示でループ面積 S_1 の誤差を無視すると次式が得られ0.30 dBとなる。

$$u_{tl}(H_{av}) = \left\{ \left(\frac{\delta H_{av}}{\delta I} \times 0.18 \right)^2 + \left(\frac{\delta H_{av}}{\delta K(d)} \times 0.24 \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$= \left\{ (0.18^2 + 0.24^2) \right\}^{\frac{1}{2}} = 0.30 \text{ [dB]}$$

信頼度95%に相当する包含係数(coverage

表1 ループ電流法を用いた磁界設定の不確かさ

不確かさの要因	不確かさ(±dB)		
	ループ電流法	アンテナファクタ法	分布形
電力測定の不確かさ			
(1) 信号発生器出力レベル安定度	-	0.05(実測)	矩形
(2) レベル計指示値安定度	-	0.02(実測)	矩形
(3) レベル較正精度	-	0.10(spec)	矩形
(4) インピーダンス不整合	-	0.10(計算)	U形
ループ電流等の不確かさ			
(1) ループ電流換算誤差	0.28(実測)	-	矩形
(2) 電流検出回路温度特性20°C±5°	0.10(実測)	-	矩形
(3) 信号発生器出力レベル安定度	0.05(実測)	-	矩形
(4) モニタ電圧測定器指示誤差	0.10(spec)	-	矩形
(5) 定電流源較正精度	0.02(spec)	-	矩形
(6) アンテナファクタ測定誤差	-	0.19(実測)	標準不確かさ
伝搬計算の不確かさ			
(1) 近傍界理論計算近似誤差	0.27(MM法)	0.27(MM法)	矩形
(2) 距離設定誤差(±5mm/1m)	0.12(計算)	0.12(計算)	矩形
(3) 対面設定誤差(±5deg.)	0.05(実測)	0.05(実測)	矩形
(4) 高さ設定誤差(±1cm/1.5m)	0.05(実測)	0.05(実測)	矩形
(5) 雑音・混信(SN30dB)	0.27(計算)	0.27(計算)	矩形

factor) $k=2$ として、ループ電流法の拡張不確かさは ± 0.60 dB となる。

図9は較正手順を利用して、ループ電流法とアンテナファクタ法で同一設定磁界強度を比較した結果である。すなわち、ループ電流法には標準ループアンテナ、アンテナファクタ法では汎用ループアンテナを用い、それぞれの方法で所要の磁界強度を設定する。伸介ループアンテナでは各方法での磁界強度を測定し、その差を求める。同図ではループ電流法の磁界強度を基準としてアンテナファクタ法との差を示す。両方法の差は最大約 0.2 dB である。前述の計算では両方法とも約 ± 0.6 dB の不確かさを持つことから、この実測値の差は十分許容できる範囲内である。

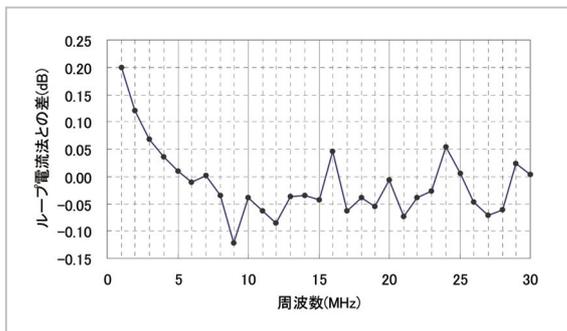


図9 アンテナファクタ法とループ電流法で設定した磁界強度の差の一例

4.2 汎用ループアンテナの利用

標準磁界発生器として汎用ループアンテナを用いる場合、ループ電流法では熱電対等による電流モニタ回路の組み込みを必要とする。磁界設定では、既に述べたように回路電流とループ電流の差異に注意が必要で、これまでの検討ではループ入力端からみた回路電流とループ電流の分流比計算に解決すべき課題がある。

一方、汎用ループアンテナを被較正ループアンテナとする場合は、送受とも何ら支障を生じない。すなわち、下位の標準磁界発生器として利用するループアンテナでは、電流モニタ用の熱電対回路等を要するが、較正值はモニタ電圧から換算した回路電流に値付けされることから、この回路電流による下位ループアンテナの較正が可能である。一方、標準アンテナとしての利用など、受信側で用いる場合は、ループアンテナの出力電圧等に較正值が値付けされるので、いわゆる参照法による下位標準としての運用が可能である。

5 むすび

当機構では近年の測定機器の高精度化、測定技術の高度化等から、アンテナ全般の較正精度の見直しを実施している。この一環として 1 MHz から 30 MHz でのループアンテナ較正精度の見直しを行い、現在実用化に至っていないアンテナファ

クタ法での検証を行った。この結果、95 %の信頼度での総合不確かさは、ループ電流法で ± 0.60 dB であった。

これらの結果から、従来のループ電流法については約 ± 0.5 から 1.0 dB と予測されていた不確かさの確認ができた。

また、検証に用いたアンテナファクタ法は、従来のループ電流法とは全く異なる手法で磁界強度設定が可能であり、ループ電流法の補完、検証にも極めて有用である。

今後の課題としては、1 MHz 以下についても同様検討を行うとともに、現在ループ電流法では

特定のループアンテナしか標準となりえない分流比問題を解決し、汎用ループアンテナによる標準ループアンテナの代替を可能とする検討が必要である。

謝辞

日ごろご指導いただく鈴木無線通信部門長、無線通信部門篠塚研究主管及び本稿執筆に当たり有意義なご意見を頂いた塚田藤夫氏(現：横浜市コミュニティビジネス推進協議会)に深謝いたします。

参考文献

- 1 Frank M. Greene, "The Near-Zone Magnetic Field of a Small Circular-Loop Antenna", Journal of Research of the NBS-C, EI Vol.71C, No.4, pp.319-326, 1967-12.
- 2 中村, 七井, 須藤, "誘導磁界法による VHF ループアンテナ付電界強度測定器の較正", 電波研季報, Vol.5, No.18, pp.52-58, 1959-1.
- 3 郵政省電波研究所編, "信号発生器を用いた標準磁界の発生について", 較正季報, 2号, pp.29-33, 1954-3.
- 4 Ichiro Yokoshima, "Absolute Measurements for Small Loop Antenna for RF Magnetic Field Standards", IEEE Trans. IM, Vol.IM-23, No.3, pp.217-221, 1974-9.
- 5 G.J.Burke and A.J. Poggio, "Numerical Electro-magnetics Code(NEC)", Part 1-3 (邦訳版), 1981-1.
- 6 増沢, 手島, 張間, 森川, "オープンサイトを用いた三アンテナ法によるアンテナ係数の決定", 通信総研季報, Vol.38, No.3, pp.173-180, 1992-9.
- 7 飯塚幸三監修, "計測における不確かさの表現のガイド校正と統計学的手法", 日本規格協会, 1996.



鈴木 晃

無線通信部門 EMC 計測グループ主任
研究員
較正



坂齋 誠

無線通信部門 EMC 計測グループ研究員
環境電磁工学



小池国正

財団法人テレコムエンジニアリングセンター
較正



増沢博司

財団法人電波技術協会
較正