

汎用ループアンテナを利用した
低周波磁界ばく露レベルの
アセスメント提案

Suggestions of conformity assessment of the low frequency magnetic field exposure level using general-purpose loop antenna

JBMIA-TR-29 : 2014

(2019 確認)

平成 26 年 9 月制定

(September, 2014)

一般社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会

Japan Business Machine and Information System Industries Association

技術委員会

TC106関連WG

TC106関連WG 委員構成表

(主 査)	渡辺 栄治	東芝テック株式会社
(副主査)	浜 範夫	セイコーエプソン株式会社
(委 員)	山田 兼司	コニカミノルタビジネステクノロジーズ株式会社
	保里 房生	東芝テック株式会社
	三浦 達幸	東芝テック株式会社
	井上 浩介	株式会社リコー
	長倉 隆志	富士ゼロックス株式会社
	山岸 昭夫	キヤノン株式会社
(技術アドバイザー)	田中嶋克行	インターテックジャパン株式会社
(事務局)	水野 重徳	一般社団法人ビジネス機械・情報システム産業協会

TR番号：JBMIA-TR-29

制 定：平成26年 9月 3日

改 正：－

原案作成：技術委員会 TC106関連WG

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 略語	2
5 低周波磁界放射機器の定義及びばく露規格	2
5.1 低周波磁界放射機器	2
5.2 適用するばく露規格	2
6 放射機器近傍領域の低周波磁界理論	3
6.1 微小ループアンテナによる磁界強度把握及びその課題	3
6.2 Greeneの理論式による3 m以内の近傍磁界の表現	4
7 TC106関連WGで検討したアセスメント	6
7.1 オープンサイト環境での離隔距離対磁界強度関係の評価	7
7.1.1 実験検証事項	7
7.1.2 測定日及び場所	7
7.1.3 ループアンテナ使用時の測定系の検証	7
7.1.4 放射源からの離隔距離変化の実測値と理論式から算出した理論値との差異	8
7.1.5 人体ばく露評価専用計測機器とループアンテナの測定結果との比較	8
7.2 オープンサイト以外の環境での周波数対磁界強度関係の評価	9
7.2.1 実験検証事項	9
7.2.2 測定日及び場所	9
7.2.3 各環境の差異及び考察	10
8 まとめ	10
9 注意事項	10
附属書A(参考) アクティブループアンテナを利用したばく露レベル測定実験	11
附属書B(参考) 低周波磁界を測定する場所の検討, 調査	24
附属書C(参考) 各実験に使用した実験機材リスト	37
参考文献	37

白 紙

汎用ループアンテナを利用した低周波磁界ばく露 レベルのアセスメント提案

Suggestions of conformity assessment of the low frequency magnetic field exposure level using general-purpose loop antenna

序文

電磁界による人体ばく露に関係する測定は、IEC規格に準拠した専用の計測器を使用して測定を実施している。

今回、その専用の計測器及び電波暗室が準備できない環境、及び専用の計測器では測定できない範囲（低い周波数及び磁界強度）での検証手法を検討した結果、開発初期段階又は適合性評価の事前確認などの参考データとして専用の計測器に近似した値が簡易に取得できる手法を得たので、JBMIA会員企業へアセスメント提案を展開する目的でこのJBMIA-TR（以下、TRという。）を作成した。

1 適用範囲

このTRは、意図的に電磁波を放射するIH（Induction Heating）技術利用機器及び機内近接通信を目的としたRFID（Radio Frequency Identification）利用機器、規制値を超える可能性のある電磁波を発生する機器の近傍界領域でのアセスメントに適用する。

2 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格のうちで、西暦年を付記してあるものは、記載の年の版を適用し、その後の改正版（追補を含む。）は適用しない。西暦年の付記がない引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

IEC 62311 電磁界（0 Hz～300 GHz）への人のばく露制限に関する電子電気機器の評価
ICNIRP（国際非電離放射線防護委員会）ガイドライン

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、次による。

3.1

RFID 利用機器

電波による個体識別（radio frequency identification, RFID）の技術を利用した機器。

注記 このTRではJBMIA掌握製品である複合機又はプリンタに搭載する機器内通信用のRFIDが内蔵されている機器を対象とする。ただし、外部機器又は媒体との通信を目的とする機器は対象外である。

3.2

IH 技術利用機器

誘導加熱（induction heating, IH）の技術を用いた機器。

注記 このTRではJBMIA掌握製品である複合機（Multifunctional Printer, MFP）又はプリンタにIH

技術利用のユニットが内蔵されている機器をいう。例えば、IHを熱源としトナーの熱定着を用紙に施すための技術利用（IHフューザ）などがある。

3.3

近傍界

$2\pi d/\lambda \leq 1$ （ d ：離隔距離， λ ：波長）を満たす領域。

4 略語

AIST	独立行政法人産業技術総合研究所（National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）
EUT	供試機（Equipment under test）

5 低周波磁界放射機器の定義及びばく露規格

JBMIA掌握製品において意図的に電磁界を発生する機能は、IH機能を代表とする比較的低い周波数帯域及びRFID機能を利用している帯域の電磁波放射をこのTRでのアセスメント対象とした。

5.1 低周波磁界放射機器

JBMIA掌握製品のうち、磁界放射源をもつ機器。

例 20 kHz～100 kHz 帯を用いるIH技術利用ユニット内蔵複合機、13.56 MHz帯を用いるRFID機器モジュール内蔵複合機など。

5.2 適用するばく露規格

IEC 62311に従う。

6 放射機器近傍領域の低周波磁界理論

6.1 微小ループアンテナによる磁界強度把握及びその課題

当WGは2012年にIH技術利用機器及びRFID使用機器から発生する磁界のアセスメント方法をJBMIA-TR-25^[4]にて報告した。JBMIA-TR-25によれば、微小ループアンテナ理論式にあるように、磁界強度 (H) は離隔距離 (d) が十分遠方にある場合は離隔距離の3乗に反比例する関係となる。実測定でも図1にあるように離隔距離の3乗に反比例する直線 (対数表現) に漸近する特性を示した。

ところが、離隔距離 (d) が3 mよりも小さい領域では、磁界 (等価電界) 測定値は同直線から次第にずれて理論値よりも小さくなった。この理由については、アンテナの形状による感度など測定系の影響によるものとしてきた。

しかし、IH技術利用機器及びRFID使用機器を使用する場合はその機器の前に立って操作することから、より近傍の磁界成分を正確に把握する必要があった。また、近傍の磁界ばく露レベルを測定できる機器として、400 kHzを境として複数の規格対応機器が発売されているが、汎用ループアンテナを使用した場合に、もし相当程度これらの機器と相関が取れるのであれば、専用の計測器の代替手段として測定できるとともに当該機器が測定できない程度の微弱な磁界レベルでの測定も可能ではないかと予想した。

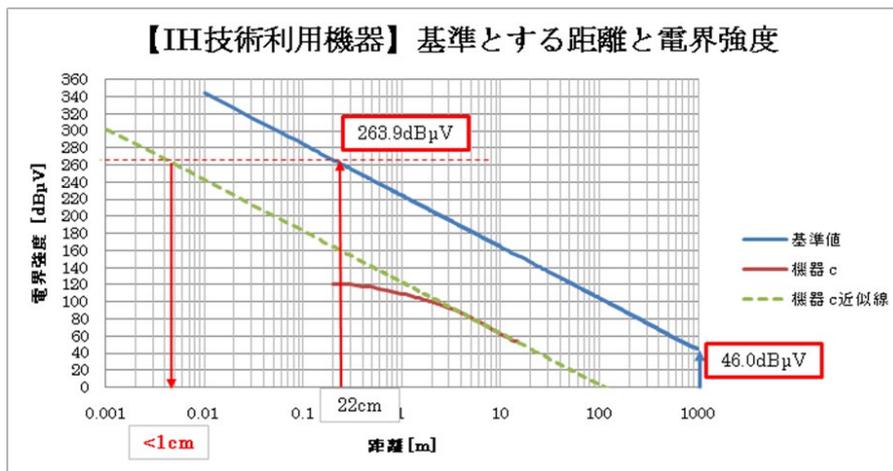


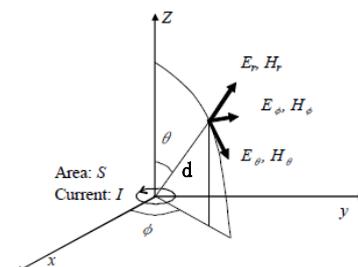
図1—IH利用機器より放射する放射特性 (JBMIA-TR-25 図2より)

微小ループアンテナの磁界理論式は式 (1) による。

$$H_{\theta} = \frac{\pi(SI)}{\lambda^2 d} \left(1 - j \frac{\lambda}{2\pi d} - \left(\frac{\lambda}{2\pi d} \right)^2 \right) \sin \theta e^{j(\omega t - 2\pi d / \lambda)} \dots \dots \dots (1)$$

$$E = 120\pi \times H_{\theta}$$

- I : ループ電流
- S : ループ面積
- λ : 波長
- d : 離隔距離



6.2 Greeneの理論式による3 m以内の近傍磁界の表現

6.1で課題であった離隔距離が3 mよりも小さい領域においては、機器に内蔵される放射源の大きさ及び測定に使用するループアンテナが相対的に無視できない大きさになることから、磁界成分を放射する電流が存在する位置を考慮する必要があると考えられた。

ここで、このような近傍離隔距離における相対する放射源と受信アンテナとの関係を表す方法として、Greeneの関係式を導入した。この関係式は、相対する送受信ループアンテナの大きさをパラメータに加え、近傍磁界における伝達係数 S_{21} として表した [式 (2)]。図2に示すループアンテナが対向する系において、その離隔距離 d 、それぞれのループアンテナ半径 r_1, r_2 を用い、式 (2) の係数 R_0 を定義して S_{21} を表現した。すなわちループアンテナが近傍で相対する系では、送信側アンテナの線素より発生する磁界成分が受信アンテナのある区間の線素に及ぼすレベルであるとして、ループアンテナ半径の影響を無視できないことを表す。

この式において、 $d \gg r_1, r_2$ と置くと、微小ループアンテナ理論式の離隔距離の2乗に反比例する項及び3乗に反比例する項が現れる。

この関係式は、ループアンテナが対向する場合に適用したが、これを実際の製品に応用してみる (図3)。すなわち、製品に内蔵される磁界放射源 (IHフューザ, RFID機器など) は、点波源ではなくある大きさ及び/又は幅を持ったものであり、又検出する受信アンテナも汎用ループアンテナであって、半径の影響を無視できない大きさを持っている。

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{\Gamma_{2L}=0} = -\frac{1}{F_{m1}F_{m2}} \frac{1}{j\omega\mu_0\pi Z_0 R_0^3} K(r_1, r_2, d), \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

$$K(r_1, r_2, d) = \left\{ \begin{aligned} & \left[1 + jkR_0 \right] + \frac{15}{8} \left(\frac{r_1 r_2}{R_0^2} \right)^2 \left[1 + jkR_0 - \frac{6}{15} k^2 R_0^2 - j \frac{1}{15} k^3 R_0^3 \right] \\ & + \frac{315}{64} \left(\frac{r_1 r_2}{R_0^2} \right)^4 \left[1 + jkR_0 - \frac{420}{945} k^2 R_0^2 - j \frac{105}{945} k^4 R_0^4 + j \frac{1}{945} k^5 R_0^5 \right] + \dots \end{aligned} \right\} e^{-jkR_0},$$

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

k : 伝ば (播) 定数

ω : 角周波数

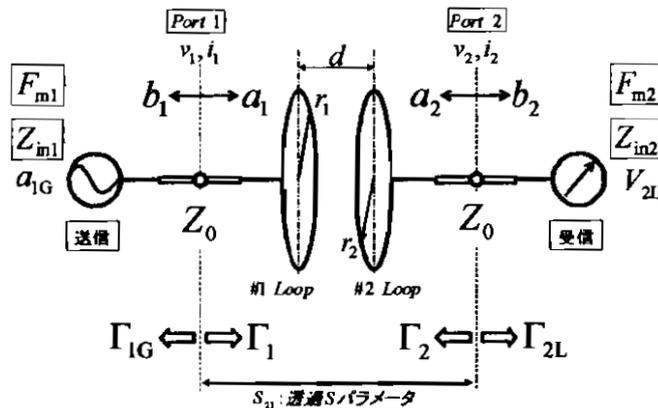


図2—Greeneの関係式を説明するパラメータ図

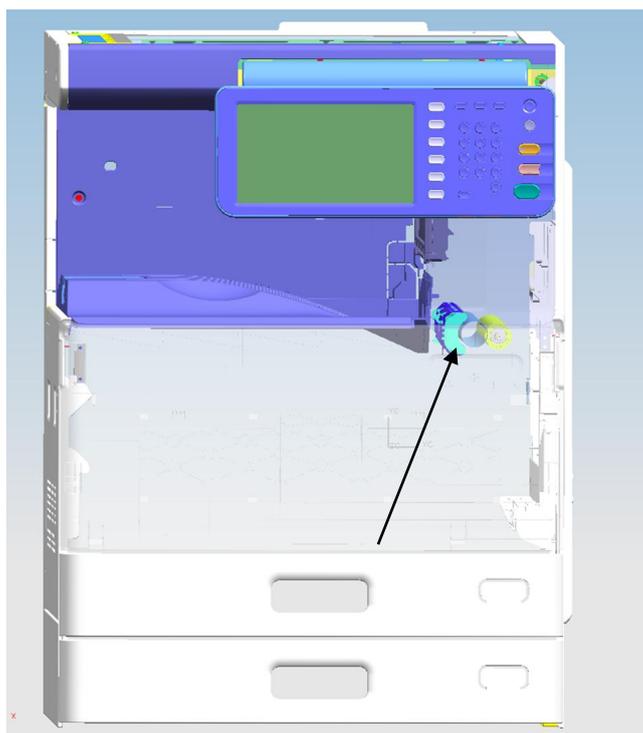


図3ーコピー機の放射源の例（中央部右寄りの円筒状部分）

実際の製品では、IH技術利用機器及びRFID使用機器に内蔵されるIHフューザなどの放射源となる回路ユニットは、直径10 cm程度のサイズと考えられ、その大きさをループアンテナとして当てはめると10 cm程度と見込んだ。次の箇条7の実験では、放射源として直径10 cm, 14 cm, 60 cmの汎用ループアンテナを使用した。

7 TC106関連WGで検討したアセスメント

箇条5で述べたようにこのTRで対象としている電磁波の磁界ばく露レベルの測定には、一般的に磁界ばく露レベル専用の計測器が利用されている。しかしながら、専用の計測器を用いてばく露レベルのアセスメントを実施する場合には、計測器をEUTに対して0 m～0.3 mの離隔距離に近接させ、EUTの全面を走査し放射磁界強度の強い箇所を探索する必要がある。この探索走査には非常に多くの工数が必要であることが知られている。また、代替測定方法が確立されれば、専用の計測器を所有していないJBMA会員会社においても、商用試験所での規格適合試験前に自社内で事前にEUTの磁界ばく露レベルの簡易アセスメントが可能になる。このため、当WGではこの探索走査工数の削減寄与及び商用試験所での規格適合試験前確認が実施できる代替測定方法の検討を実施することにした。

低周波磁界成分を正確に測定することは一般的に難しいとされているが、その理由として、周辺環境には商用電源を始めとする様々な低周波放射源があること、ループアンテナ、それに接続されるケーブル、計測器及び周辺の金属面が、巨大な電流の還流ルートとなる可能性があることによる。

実験の実施に当たり、この状態がもし測定系に存在する場合、低周波磁界は正確に測定できないため、まず、低周波磁界測定環境がどのような状況であれば、その後の伝ば（播）特性の測定が実施できるかについて検討した。

次に、電磁波の伝ば（播）特性を確認するリファレンス環境としてオープンサイトを使用し、磁界強度の離隔距離に対する減衰、周波数に対する減衰を求め、計算値と比較した。さらに、放射源からの離隔距離が3 m以内での磁界強度の新たな理論式による値と実測値との比較を試みた。

一方、磁界を簡易的に測定する代替環境として、電磁波の伝ば（播）特性を専門的に測定するオープンサイトの他、小形のシールドルーム、オフィスの会議室及びロビーでの測定を実施し、それぞれの特性の差異を検証した。

7.1 オープンサイト環境での評価

7.1.1 実験検証事項

汎用ループアンテナでの測定結果を専用の計測器の測定結果と同等に扱えるようにするために必要な事項を検討した。その結果、実験は次のポイントで実施することにした。

- ① ループアンテナ使用時の測定系の検証
- ② 放射源からの離隔距離変化の実測値と理論式から算出した理論値との差異
- ③ 専用の計測器とループアンテナ測定値からの換算結果との比較

7.1.2 測定日及び場所

- ① 2013年6月20日～21日

インターテックジャパン株式会社 鹿島試験所（**図4**参照）
茨城県神栖市砂山3-2

- ② 2013年10月3日～4日

インターテックジャパン株式会社 鹿島試験所
茨城県神栖市砂山3-2

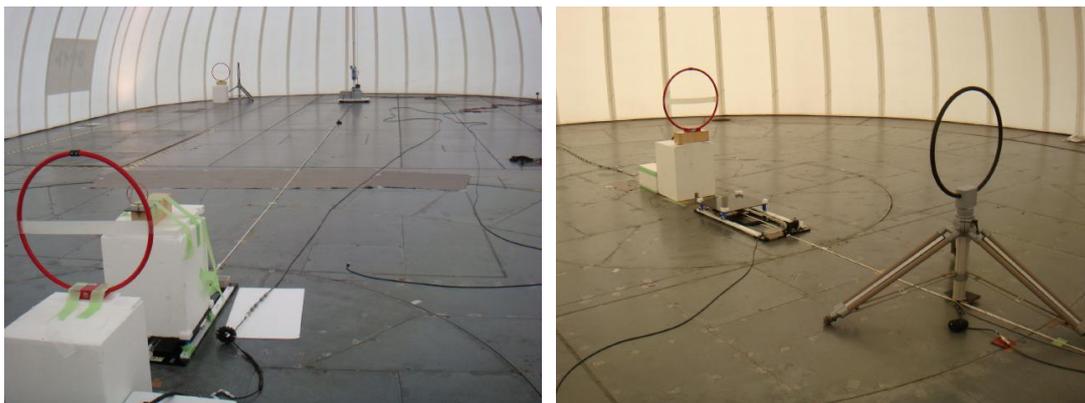


図4—インターテックジャパン株式会社 鹿島試験所 No.3オープンサイト

7.1.3 ループアンテナ使用時の測定系の検証

低周波磁界測定系の確認を行った。その結果、次を得た。

- ① 100 kHz以下の周波数帯域において、計測器及び計測室とオープンサイトを隔てるコネクタパネル間のグラウンドループによって、フロアノイズが高くなる現象が確認された。
- ② 送信及び受信が両方パッシブループアンテナで試験環境の確認を実施する場合は、測定システムのフロアノイズが高くなることに注意する。

上記を踏まえ、測定の際には信号雑音比S/N（以下、S/Nという。）の確認を実施する必要があることが確認された。

本実験の手順、条件、機材などの詳細は、（附属書）**A.1**を参照されたい。

7.1.4 放射源からの離隔距離変化の実測値と理論式から算出した理論値との差異

磁界放射源としてループアンテナを用いて、離隔距離を変化させたときの磁界強度を実測した。磁界強度は近傍界では、理論値として離隔距離の3乗に反比例する特性を示す。しかし、離隔距離が3 mよりも近い場合は、この特性から外れることが、先の本WGでの検討（JBMIA-TR-25）によってわかっている。この特性を、送信ループアンテナを変えて再現させ、理論値との差異を確認した。さらに、送信及び受信ループアンテナの半径と相互離隔距離とをパラメータとした新たな理論式を導入し、上記の差異がどのように変わるかを検証した。

その結果、次を得た。

① 離隔距離変化実測値と理論値とのかい（乖）離

3 m距離を原点として代表的な周波数において、実測値と理論値との比較を実施すると実験のアンテナ間距離0.3 mのときに最大13.7 dBの差異が発生した。

② 新たな理論式による離隔距離3 m以下での一致

理論値と実測値とのかい（乖）離は、条件によって2 dB程度に小さくなった。また、送信アンテナ径が大きい場合は、受信アンテナ径が小さいループアンテナと組み合わせると結果はよく一致する。一方、送信アンテナ径が小さい場合は、受信アンテナ径は、結果に影響せず、いずれの場合でもよく一致する。

本実験の手順、条件、機材などの詳細は、（附属書）A.2及びA.3を参照されたい。

7.1.5 専用の計測器とループアンテナの測定結果との比較

専用の計測器が示す数値に対して、ループアンテナを使用し、放射源から0.3mの地点に受信ループアンテナを置いたとした場合の換算磁界強度値が、どの程度相関があるかについて検討した。

その結果、放射源から3 m以下の離隔距離において、専用の計測器との差は±2 dB程度と良好な相関を得ることを確認した。

本実験の手順、条件、機材などの詳細は、（附属書）A.4を参照されたい。

7.2 オープンサイト以外の環境での評価

7.2.1 実験検証事項

汎用ループアンテナのオープンサイトでの結果に対し、それ以外の環境での評価結果も同等に扱えるようにするために必要な事項を検討した。その結果、次の環境において実施することにした（図5を参照）。

- ① ロビー（鉄筋コンクリート壁）
- ② シールドルーム
- ③ 10m 法電波暗室
- ④ 会議室（鉄筋コンクリート壁）

7.2.2 測定日及び場所

2014年1月25日～26日

セイコーエプソン株式会社 広丘事業所 5号館A棟（図5参照）

長野県塩尻市広丘原新田 80 番地



10m法電波暗室



シールドルーム



ロビー



会議室

図5ーセイコーエプソン株式会社の施設

7.2.3 各環境の差異及び考察

オープンサイトでの結果（**図B.23～B.25**）に対して、それ以外での環境の結果は、計算値からの差では、離隔距離0.3 mと1.0 mにおいて、いずれの環境でも±2.5 dB程度に入り、電磁波伝ば（播）環境の減衰特性（以下、NSAという。）の限度値±4 dB以内を満足する。よって磁界強度測定は**7.2.1**の①～④のいずれの環境において可能である。また、放射源からの離隔距離が1 m以内であれば、測定系の近傍壁から近い位置であってもNSAの値は限度値以内に入ることを確認した。

本実験の手順、条件、機材などの詳細は、**附属書B**を参照されたい。

8 まとめ

このTRでは、IH技術利用機器及びRFID使用機器より発する低周波磁界を簡便に測定する方法として、汎用ループアンテナによる測定結果から、放射源から0.3 m地点における磁界強度を計算によって求めるアセスメント方法を提案した。

この方法によれば、製品の開発設計段階での機器近傍の磁界強度値が簡単に推定できる。その数値は、専用の計測器と比べてもその差はほとんどなく、設計検討段階での目途をつける評価として好適である。

その他まとめると、次のような効果を得ることができる。

- ① EMCの専用試験設備でない一般的な居室環境であっても、測定が可能である。
- ② 規格適合する専用の計測器に比較して、±2 dB程度の差で推定することが可能である。
- ③ 規格適合する専用の計測器の利用では400 kHzを境として複数必要であるが、本方法では10 kHz～13 MHzの間で共通に実施できる。
- ④ 規格適合する専用の計測器では測定限界以下となるような微弱磁界を、今回提案の方法で測定できる。

9 注意事項

規格適合申請用途などにはこの方法及びデータは使用できない。規格に適合する専用の計測器を使用することが必要である。

附属書 A (参考)

アクティブループアンテナを利用したばく露レベル測定実験

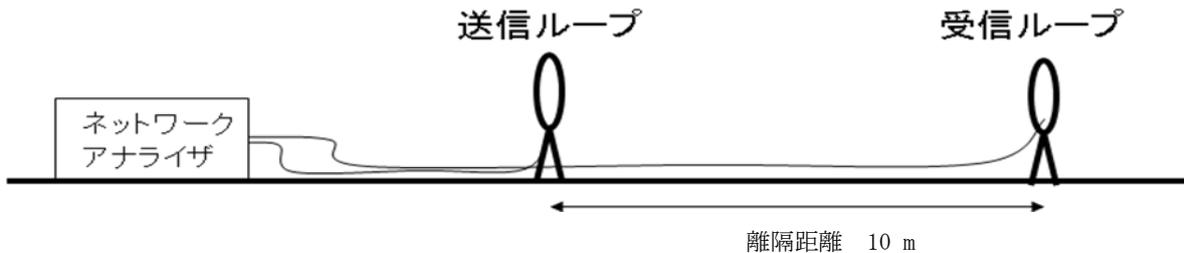
A.1 ループアンテナ使用時の測定場所の検証方法

今回実験では20 kHz～100 kHzの周波数における磁界強度の測定が必要となる。一般的にこれら周波数帯域においてループアンテナを使用した測定を実施する場合には、そのアンテナ特性からグラウンドループが形成されてしまうことが分かっている。このため、当該周波数帯域の測定においてグラウンドループによるフロアレベルの上昇に関する検証を実施する。

A.1.1 実験方法

送信/受信アンテナにパッシブループアンテナを利用し、送信/受信アンテナを10 mの離隔距離に対向させ次の条件において、グラウンドループの影響確認を行う（図A.1参照）。

- ・送信及び受信アンテナのケーブル接地点を近接。
- ・ネットワークアナライザ近傍にフェライトコアを挿入。



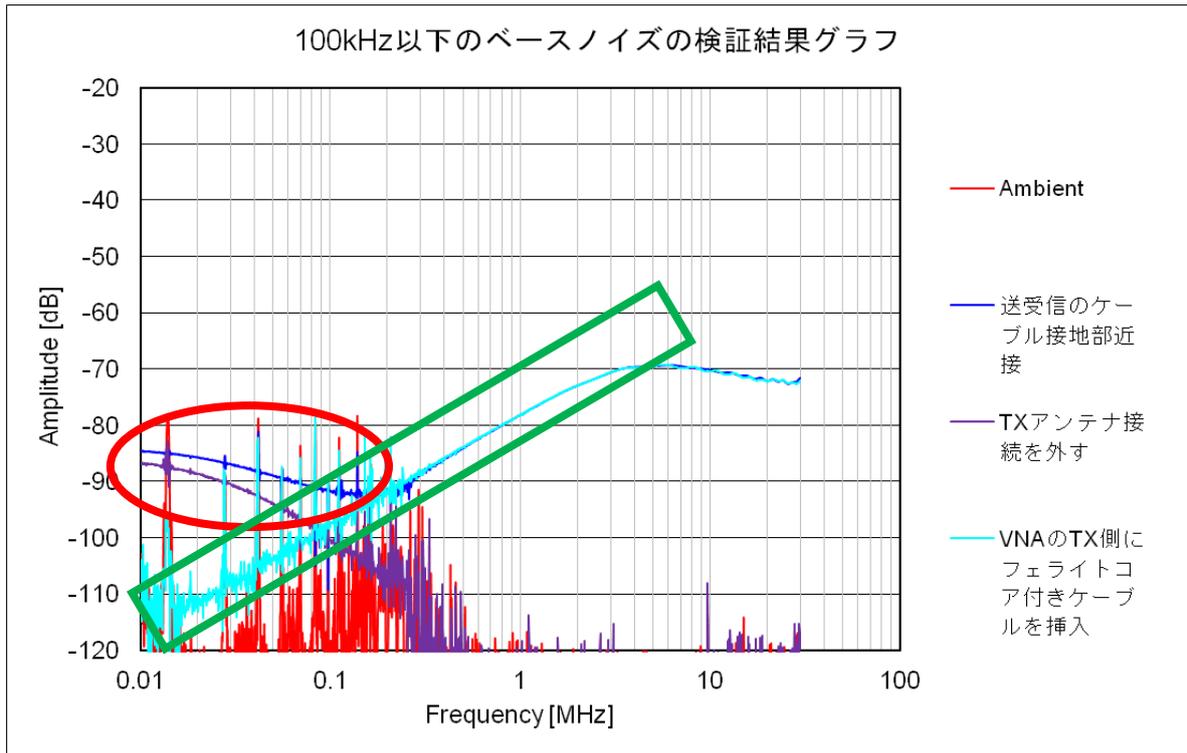
図A.1ーグラウンドループ確認実験構成図

A.1.2 実験結果

検証実験によって次の事象が判明した（図A.2及び図A.3参照）。

- ・100 kHz以下の周波数帯域において、計測器及びコネクタパネル間のグラウンドループによってフロアノイズが高くなる現象が確認された。
- ・送信及び受信が両方パッシブループアンテナで試験環境の確認を実施する場合は、測定システムのフロアノイズが高くなることに注意する。

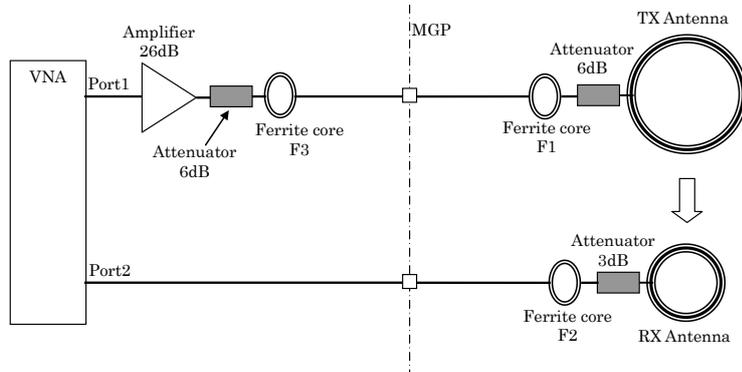
上記を踏まえ、測定の際にはS/Nの確認を実施する必要があることが確認された。



注記1 赤（丸）枠はグラウンドループによるベースノイズの上昇。

注記2 緑（長方形）枠は測定系にフェライトコアを挿入しグラウンドループ影響を取り除いた状態。

図A.2—グラウンドループ影響測定結果グラフ



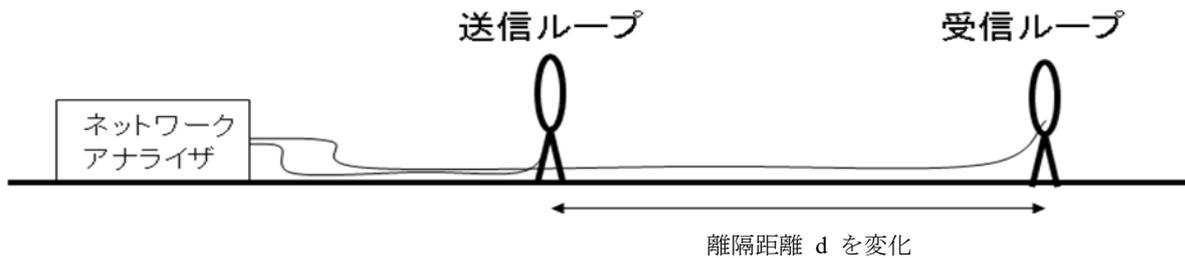
図A.3—グラウンドループ影響を防止する測定系

A.2 放射源からの離隔距離減衰確認実験

JBMIA-TR-25において、ループアンテナを用いた距離減衰の実測値と理論値〔微小ループアンテナの自由空間理論式(1)から算出〕とのかい(乖)離現象が確認されている。この現象は特に、放射源距離が近接した場合に顕著に発生する。このため、距離減衰の実測値と理論値とのかい(乖)離の原因を明確にする必要があったため、減衰確認実験を実施する。

A.2.1 実験方法

送信アンテナにパッシブループアンテナ、受信アンテナにアクティブループアンテナを利用し、送信及び受信アンテナを対向して配置し、受信アンテナ、送信アンテナ間の離隔距離を変化させて空間の減衰特性を確認する(図A.4参照)。



図A.4—放射源からの離隔距離減衰確認実験構成

次の条件で影響を確認する(図A.5参照)。

- ・送信アンテナ：パッシブループアンテナ
(ループ直径 60 cm)
- ・受信アンテナ：アクティブループアンテナ
(ループ直径 60 cm)
- ・離隔距離：0.3 m～3 m; 0.1 m Step
3 m～10 m; 1 m Step
- ・確認周波数：9 kHz～30 MHz; 1601ポイント
(ネットワークアナライザ設定)



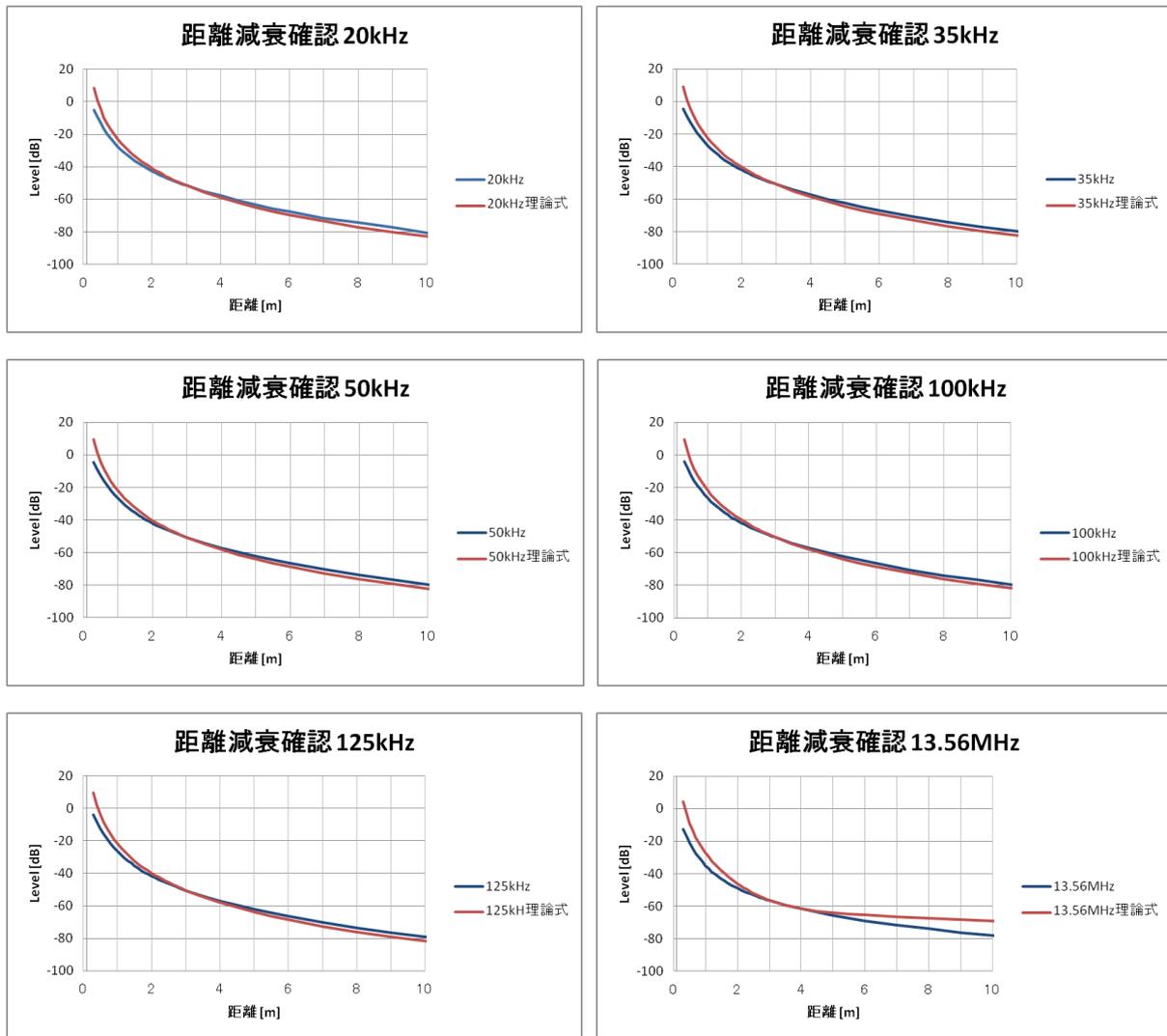
図A.5—離隔距離減衰確認実験写真

A.2.2 実験結果

実験検証によって次の事象が判明した。

- ・離隔距離変化の実測値と式(1)による理論値のかい(乖)離があった。
3 m離隔距離を原点として代表的な周波数において、実測値と理論値との比較を実施すると、実験のアンテナ間離隔距離0.3 mのときに最大13.7 dBの差異が発生している。

A.2.3 実験データ詳細



図A.6—実測値と式(1)による理論値との離隔距離減衰比較

表A.1—実測値と式(1)による理論値との離隔距離減衰比較

	放射源からの離隔距離 (m)									
	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0
20 kHz 理論式-実測差異 [dB]	13.55	7.11	4.95	3.78	2.90	2.17	1.51	0.92	0.31	0.00
35 kHz 理論式-実測差異 [dB]	13.61	7.17	5.04	3.86	2.95	2.21	1.52	0.93	0.39	0.00
50 kHz 理論式-実測差異 [dB]	13.65	7.20	5.08	3.90	2.98	2.23	1.56	0.92	0.42	0.00
100 kHz 理論式-実測差異 [dB]	13.70	7.26	5.14	3.96	3.03	2.29	1.58	0.97	0.46	0.00
125 kHz 理論式-実測差異 [dB]	13.69	7.25	5.13	3.95	3.01	2.27	1.56	0.94	0.43	0.00

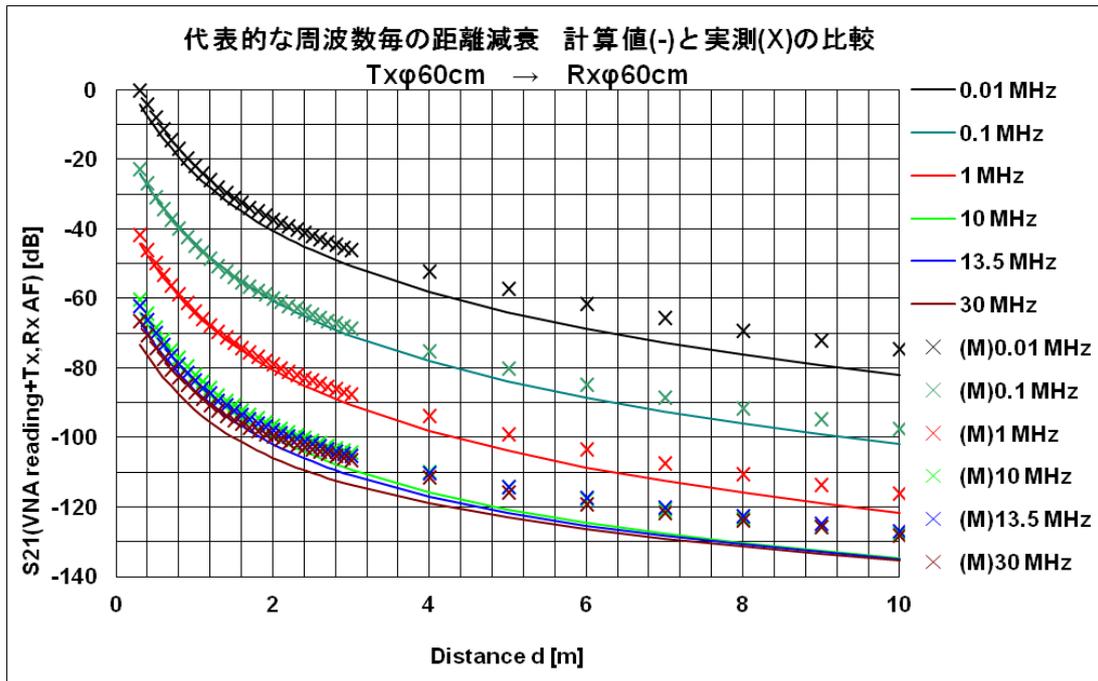
図A.6及び表A.1によって、3 mを起点とした場合、実測値と理論式による換算値との差が最大で13.7 dB発生した。

この結果から、実測値と理論値とのかい(乖)離があることがより明確となった。また、かい(乖)離の原因を明確にするため、次の観点から追加実験を実施することにした。

- ・送信及び受信アンテナのループ直径による影響
- ・ループアンテナ特性を考慮した理論式の調査及び理論値と実測値との比較

A.3.3 実験データ詳細 (代表的な周波数)

・条件1 Tx:60 cm, Rx:60 cm

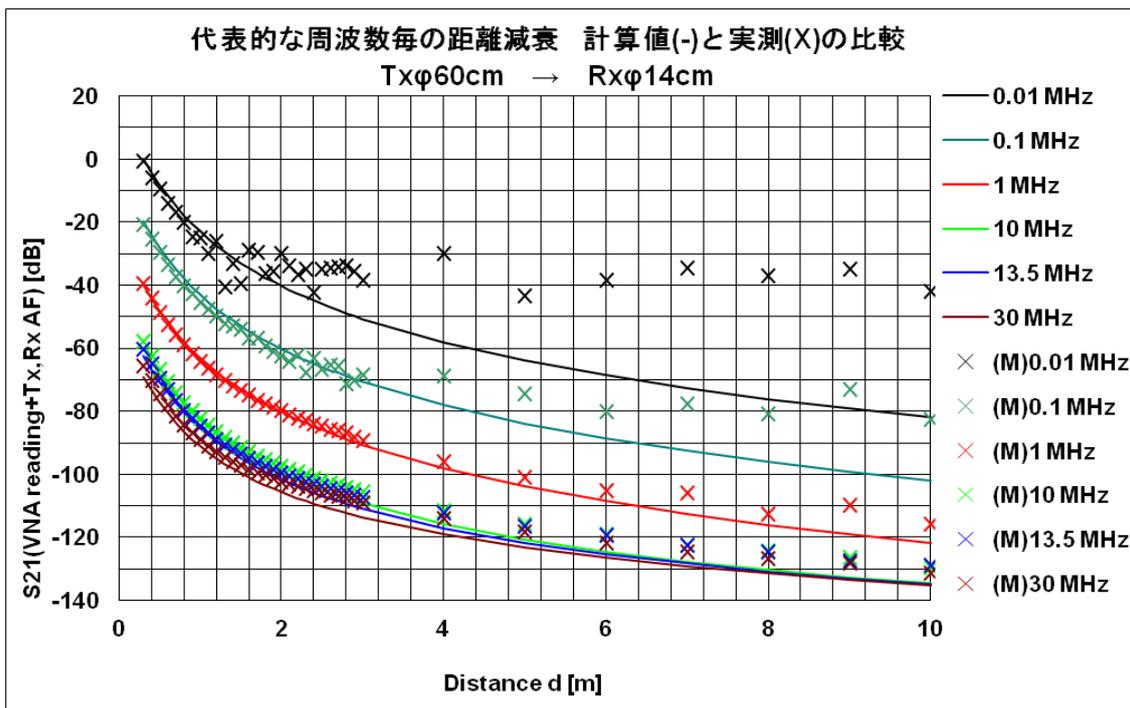


表A.2—離隔距離減衰実測値と理論式との差異 (送信アンテナ60 cm, 受信アンテナ60 cm)

実測値と理論値との差異 (実測値－理論値)						
離隔距離 (m)	0.01 MHz	0.1 MHz	1 MHz	10 MHz	13.5 MHz	30 MHz
0.3	3.965 577 2	1.229 033 5	2.203 470 4	3.661 302 2	4.421 477 9	6.668 145 8
0.4	3.236 142 1	0.474 239 9	1.452 059 5	2.908 861 8	3.681 399 1	5.967 604 1
0.5	2.664 281 4	-0.107 515 8	0.871 083 1	2.336 955 3	3.118 575 9	5.421 566 6
0.6	2.243 731 4	-0.529 297 6	0.449 413 6	1.924 915 8	2.714 577 4	5.020 069 4
0.7	1.959 348 1	-0.812 352 6	0.167 160 2	1.650 856 2	2.446 374 9	4.741 552 6
0.8	2.159 840 1	-0.606 093 3	0.375 083	1.860 834 4	2.656 731 6	4.915 392 2
0.9	2.065 940 5	-0.694 506	0.288 144	1.780 548 8	2.582 448 7	4.818 900 7
1	2.018 365 5	-0.737 673 5	0.246 313 7	1.747 418 4	2.554 314 2	4.767 700 1
1.2	2.164 598 7	-0.580 713 6	0.401 338 8	1.916 689 2	2.737 367 9	4.899 468 5
1.4	2.129 343 9	-0.609 329 3	0.376 047 8	1.917 164 5	2.758 652 2	4.903 634
1.6	2.369 058 2	-0.363 696 7	0.625 573 8	2.195 702 5	3.056 722 3	5.165 397 3
1.8	2.760 451 7	0.055 824 1	1.049 155 6	2.657 105 7	3.530 254 3	5.531 351 8
2	3.081 782 4	0.409 539 8	1.419 694 7	3.075 994 1	3.964 847 7	5.876 941 6
2.2	3.404 242 7	0.737 371	1.756 915 7	3.453 821 4	4.357 989 3	6.188 597 9
2.4	3.777 154 8	1.111 617 7	2.145 753 7	3.856 342 1	4.763 329	6.509 407 4
2.6	3.979 611 1	1.406 914 5	2.435 387 4	4.164 877 8	5.083 580 1	6.698 185 9
2.8	4.297 414	1.675 269 8	2.693 693 1	4.425 443 3	5.347 963 7	6.840 925 6
3	4.681 910 2	1.922 981 4	2.972 526 7	4.705 480 6	5.638 277 5	6.987 538 1
4	5.672 277 3	2.985 398 2	4.064 119 9	5.784 534 4	6.760 516 6	7.444 801 6
5	6.596 218 3	3.703 372 4	4.703 663 8	6.391 270 2	7.429 966 9	7.210 279 6
6	6.862 226 6	3.846 718 2	4.920 801	6.577 480 7	7.738 816	6.947 925 1

注記1 離隔距離が遠くなるにつれ理論値と実測値とのかい (乖) 離が大きくなるが, これはS/N不足の影響である。
注記2 30 MHzにおける測定結果は, 近傍領域から外れるが参考までに載せた。

・条件2 Tx:60 cm, Rx:14 cm

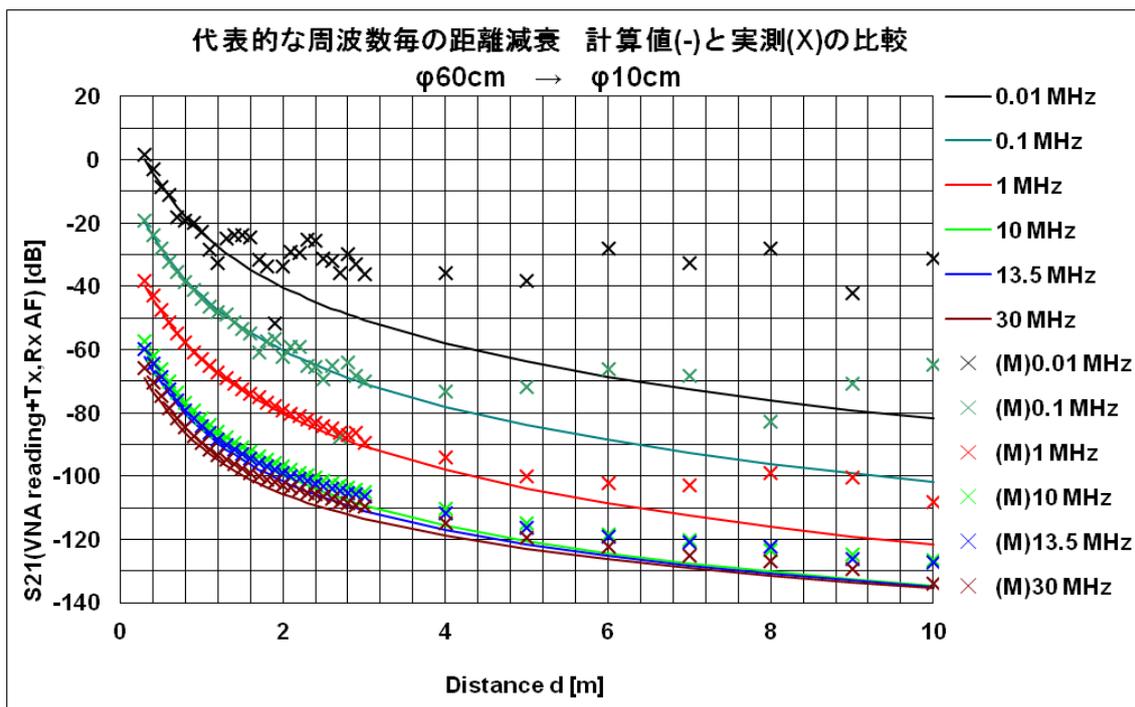


表A.3—離隔距離減衰実測値と理論式との差異 (送信アンテナ60 cm, 受信アンテナ14 cm)

実測値と理論値との差異 (実測値－理論値)						
離隔距離 (m)	0.01 MHz	0.1 MHz	1 MHz	10 MHz	13.5 MHz	30 MHz
0.3	-1.076 251 8	-1.023 761 1	0.230 749	1.856 747 5	1.872 972 3	3.468 601 8
0.4	-1.961 538 9	-1.491 566 1	-0.260 936 2	1.363 193 3	1.378 771 2	2.954 815 8
0.5	-1.768 727 6	-1.872 880 9	-0.640 940 4	0.982 288	0.996 386 6	2.556 071 2
0.6	-2.584 730 3	-2.081 455 5	-0.940 761 5	0.697 828 9	0.711 096 2	2.249 852 6
0.7	-2.324 219 1	-2.472 875 5	-1.155 64	0.485 625 2	0.495 520 9	2.017 568 4
0.8	-2.254 379 7	-2.420 684 9	-1.217 102 4	0.426 23	0.440 377 6	1.944 237 6
0.9	-4.196 290 7	-2.340 339 7	-1.278 804	0.371 450 4	0.389 195 6	1.884 825 7
1	-1.987 035 7	-2.531 311 3	-1.266 907	0.381 211	0.392 782 5	1.876 131 9
1.2	1.209 826 5	-2.288 583 6	-1.141 811 4	0.597 050 2	0.620 071 5	2.056 081 8
1.4	-1.865 099 1	-1.850 280 9	-0.787 680 8	0.858 244 1	0.905 843 8	2.227 695 1
1.6	5.533 831 7	-2.189 973 7	-0.516 366 9	1.129 558 2	1.188 564 6	2.476 591 9
1.8	1.220 934 6	-1.789 868 9	-0.318 229 9	1.503 619 6	1.542 552 4	2.928 521
2	10.118 813	-2.257 777 4	0.187 869 8	1.948 804 7	1.978 228 8	3.281 872 9
2.2	5.704 637 7	0.439 632 1	0.166 101 9	2.355 269 9	2.350 605 7	3.678 162 3
2.4	2.304 577 9	1.448 942 1	0.879 869 1	2.554 458 5	2.696 463 6	3.837 164 1
2.6	12.292 346	1.715 515 4	1.048 883 2	2.897 438 3	3.008 436 1	4.127 188 3
2.8	14.784 934	-2.476 804 4	1.894 158	3.171 235 6	3.342 892 1	4.329 217 1
3	12.166 704	1.953 333 3	1.327 508 8	3.485 564	3.572 804 1	4.525 207 5
4	27.879 499	9.144 990 9	1.896 580 7	4.155 055 9	4.718 362 2	4.913 356 4
5	20.471 483	9.261 901 5	2.725 634 7	4.814 732 2	5.233 725 3	4.475 604 9
6	30.045 757	8.255 339 3	3.356 862	5.500 967 6	5.792 467 6	4.541 419 5

注記1 離隔距離が遠くなるにつれ理論値と実測値との乖離が大きくなるが、これはS/N不足の影響である。
注記2 30 MHzにおける測定結果は、近傍領域から外れるが参考までに載せた。

・条件3 Tx:60 cm, Rx:10 cm



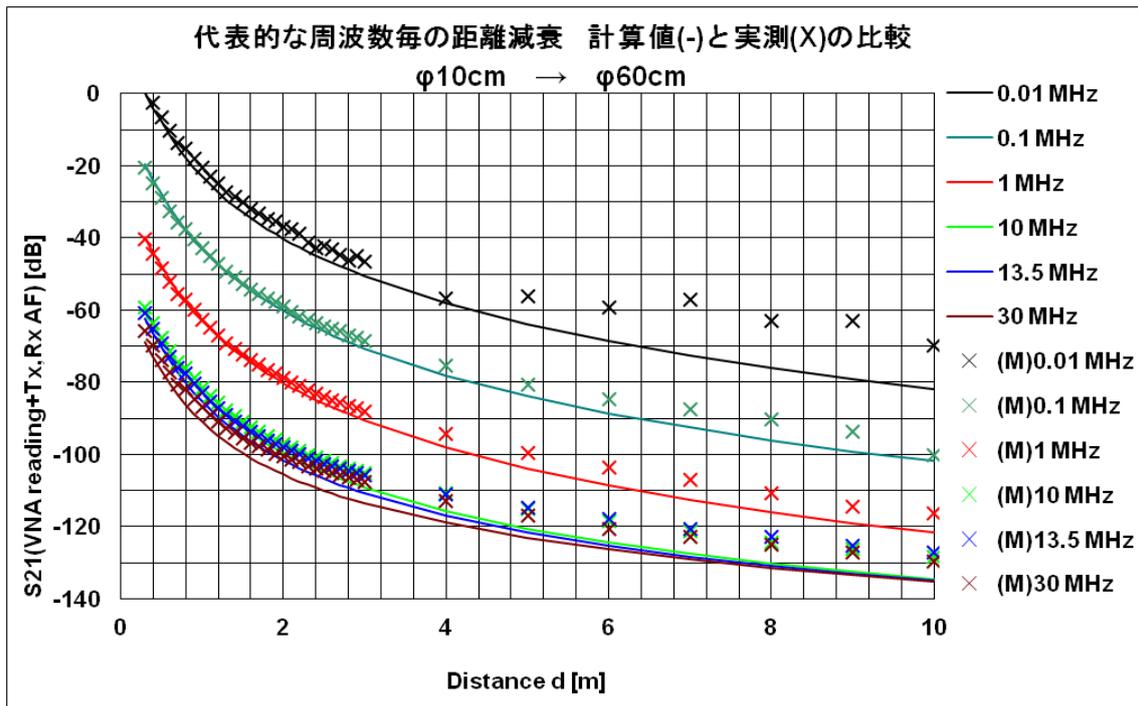
表A.4—離隔距離減衰実測値と理論式との差異(送信アンテナ60 cm, 受信アンテナ10 cm)

実測値と理論値との差異 (実測値－理論値)						
離隔距離 (m)	0.01 MHz	0.1 MHz	1 MHz	10 MHz	13.5 MHz	30 MHz
0.3	1.358 776 6	0.670 308 6	1.452 960 6	2.544 967 1	2.516 824	3.088 735 7
0.4	0.900 828 3	0.127 27	0.993 924 8	2.084 873 6	2.057 718 2	2.612 155
0.5	-0.570 501 5	-0.156 726 6	0.628 354 2	1.710 044 9	1.686 723 7	2.225 158 8
0.6	0.395 712	-0.614 057	0.319 9	1.430 767	1.406 519 9	1.934 366 5
0.7	-3.231 502 1	-0.718 163 6	0.109 148	1.216 726 1	1.197 968 4	1.700 807
0.8	-1.485 839 1	-0.638 525 2	0.027 784 3	1.142 918 3	1.127 662 3	1.607 944 8
0.9	0.647 271 1	-0.640 068 7	-0.142 991 9	1.071 093 2	1.085 894 8	1.552 789 2
1	0.269 070 4	-0.838 793	-0.017 284 2	1.104 452 6	1.100 290 1	1.553 458 2
1.2	-5.275 610 7	-0.680 429 2	0.266 518 4	1.302 059 8	1.321 483 2	1.713 508
1.4	7.398 012	-0.040 833	0.391 281 6	1.515 735 3	1.548 715 1	1.954 753 6
1.6	9.986 538 6	-0.226 025 7	0.672 618 4	1.810 543 6	1.865 694 6	2.189 289 5
1.8	4.091 149 7	0.347 386 3	0.805 300 1	2.107 677 3	2.230 721 5	2.433 084 8
2	6.647 204 6	-1.956 053 5	1.182 857 2	2.667 653 4	2.711 424	2.905 930 5
2.2	13.437 474	3.639 446 4	1.814 879 8	2.887 596 7	3.053 909 7	3.136 721
2.4	19.392 307	-0.494 191 5	1.812 456 8	3.399 861 5	3.284 659 7	3.448 831
2.6	15.234 382	1.858 399 4	2.155 809 2	3.667 107 2	3.725 167 6	3.634 748 4
2.8	19.171 881	4.820 759 4	1.858 592 7	4.177 633 4	4.092 881 7	3.697 537 7
3	14.597 919	0.740 699 4	1.228 443 3	4.251 241 2	4.507 840 7	3.871 064
4	22.435 869	4.957 589 8	3.887 679 8	5.344 115 5	5.417 869 7	4.203 366 2
5	25.517 592	12.141 937	3.630 094 2	5.786 502 6	5.334 885 9	3.717 752 1
6	40.521 984	22.469 108	6.320 532	6.088 167 9	6.266 491 5	4.125 991 5

注記1 離隔距離が遠くなるにつれ理論値と実測値との乖離が大きくなるが、これはS/N不足の影響である。

注記2 30 MHzにおける測定結果は、近傍領域から外れるが参考までに載せた。

・条件4 Tx:10 cm, Rx:60 cm

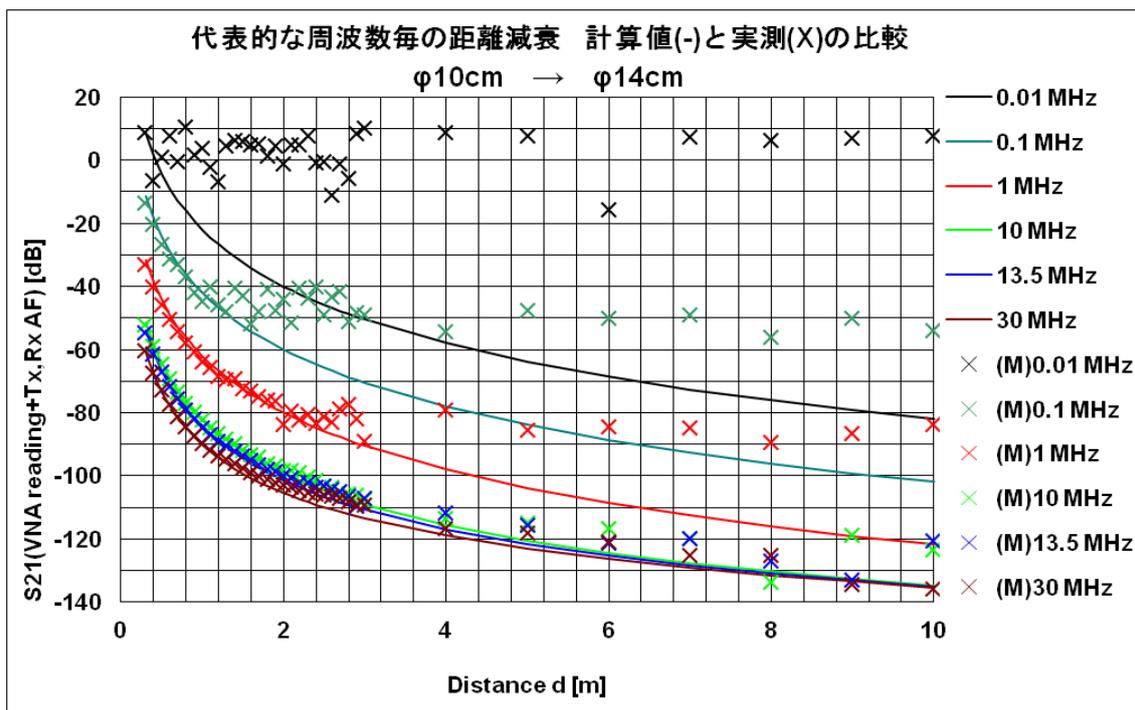


表A.5—離隔距離減衰実測値と理論式との差異(送信アンテナ10 cm, 受信アンテナ60 cm)

実測値と理論値との差異 (実測値－理論値)						
離隔距離 (m)	0.01 MHz	0.1 MHz	1 MHz	10 MHz	13.5 MHz	30 MHz
0.3	1.582 275 7	-0.731 555 6	-0.430 200 9	0.475 924 7	1.385 132 3	3.303 289 2
0.4	1.518 890 5	-0.808 276 9	-0.504 546 1	0.402 373 7	1.312 367 7	3.215 737 4
0.5	1.483 754 5	-0.847 726 9	-0.547 043 1	0.362 769 9	1.274 287 7	3.159 844 6
0.6	1.448 453 3	-0.890 238 1	-0.592 928 5	0.319 951 8	1.233 811 8	3.101 836 2
0.7	1.353 274 8	-0.940 386 5	-0.635 534 6	0.282 52	1.200 920 3	3.048 116 3
0.8	2.815 754 7	0.493 503 6	0.791 515 5	1.697 019 4	2.609 561 3	4.373 689 3
0.9	2.715 373 6	0.375 240 7	0.656 308 7	1.565 767 9	2.482 523 4	4.227 592 1
1	2.600 665 4	0.271 492 8	0.541 821 3	1.463 734 3	2.390 833 4	4.117 865 5
1.2	2.531 244 3	0.332 023 3	0.632 515 4	1.565 818 6	2.511 526 7	4.192 803 6
1.4	2.732 660 5	0.312 903 8	0.592 983 2	1.563 460 2	2.532 724 9	4.167 666 6
1.6	2.618 525 1	0.457 697 5	0.868 392 7	1.854 069 4	2.860 830 6	4.466 098 3
1.8	2.913 973 7	0.769 720 1	1.133 425 7	2.192 477 3	3.209 233	4.757 720 3
2	3.490 653 5	1.238 121 2	1.458 081 5	2.554 570 1	3.586 074 5	5.088 422 6
2.2	3.882 005 3	0.982 669	1.780 261 3	2.935 421 7	4.006 913	5.433 603 8
2.4	2.204 970 1	1.508 547	1.804 992 6	3.030 610 9	4.150 940 5	5.415 914
2.6	3.857 551	1.777 725 8	2.124 419 2	3.398 805	4.508 350 2	5.657 382 1
2.8	2.783 130 4	1.980 227 5	2.495 448 6	3.728 949 3	4.839 379 1	6.010 229 8
3	4.312 741 8	2.117 955 8	2.742 290 3	4.009 594 8	5.179 566 3	6.115 881 1
4	1.290 573 5	2.781 698 2	3.716 489	4.958 599 1	6.245 895	6.239 396 1
5	7.813 358 3	3.296 081 7	4.481 255 5	5.619 862 9	7.130 739 5	6.282 193 6
6	9.531 074 4	3.967 850 6	4.902 204 2	6.038 598	7.538 245	5.781 899 8

注記1 離隔距離が遠くなるにつれ理論値と実測値との乖離が大きくなるが、これはS/N不足の影響である。
 注記2 30 MHzにおける測定結果は、近傍領域から外れるが参考までに載せた。

・条件5 Tx:10 cm, Rx:14 cm



表A.6—離隔距離減衰実測値と理論式との差異 (送信アンテナ10 cm, 受信アンテナ14 cm)

実測値と理論値との差異 (実測値－理論値)						
離隔距離 (m)	0.01 MHz	0.1 MHz	1 MHz	10 MHz	13.5 MHz	30 MHz
0.3	0.350 360 4	-1.923 666 2	-1.609 988 6	-0.579 634 7	-0.472 970 2	0.368 300 2
0.4	-7.786 316 4	-1.871 098 8	-1.441 952 1	-0.428 998 3	-0.327 536	0.508 263 5
0.5	5.209 537 2	-2.386 219 1	-1.654 108 3	-0.495 327 6	-0.394 149 4	0.433 616 9
0.6	16.501 043	-2.632 135 2	-1.482 766 9	-0.583 795 9	-0.473 539 4	0.342 228 5
0.7	12.425 259	-0.413 248 9	-1.565 078 5	-0.685 689	-0.534 225 9	0.264 600 3
0.8	26.527 795	-0.622 636	-1.693 831 2	-0.85 135 5	-0.695 316 2	0.189 071 4
0.9	20.724 756	-2.867 515 8	-1.383 209 2	-0.749 427	-0.584 037 8	0.189 576 1
1	25.551 452	-2.792 072 3	-1.953 981 4	-0.588 108 9	-0.575 120 9	0.352 373 4
1.2	19.958 833	0.945 165 6	-1.756 473 4	-0.265 335	-0.256 967 9	0.735 935 2
1.4	36.965 322	10.065 886	1.387 922 7	0.517 030 7	0.457 460 3	1.471 049 2
1.6	38.975 607	2.408 313 3	1.124 281 2	0.448 130 4	0.773 857 1	1.649 727 4
1.8	38.634 031	16.312 502	1.266 230 3	0.515 623 6	1.037 030 7	1.933 825 4
2	38.913 907	16.009 135	-3.723 823 7	1.113 976	1.394 930 2	2.521 914 6
2.2	47.217 533	21.995 745	0.057 537 2	2.421 508 4	1.449 235 3	2.754 803 8
2.4	43.859 869	24.651 163	1.309 833 6	2.199 003 3	2.165 414 1	3.209 132 4
2.6	35.524 606	23.381 007	3.680 303 7	2.069 166 4	3.250 691 6	4.103 919 9
2.8	43.002 026	17.464 17	11.445 622	1.726 642 8	2.696 129 7	3.954 792 1
3	60.710 411	21.543 893	1.492 824 8	1.689 704 3	3.646 354 7	4.135 807 7
4	66.850 324	23.746 724	18.641 384	2.155 719 9	5.225 777 9	2.122 439 6
5	71.576 101	36.292 754	18.370 327	5.593 903 7	5.865 415 5	4.970 008 3
6	52.652 342	38.457 974	24.149 747	7.742 963 9	3.885 165 4	5.396 733 7

注記 1 離隔距離が遠くなるにつれ理論値と実測値との乖離が大きくなるが、これは S/N 不足の影響である。

注記 2 30 MHz における測定結果は、近傍領域から外れるが参考までに載せた。

A.4 人体ばく露専用計測器とアクティブループアンテナ測定結果の比較

専用の計測器とループアンテナの測定結果との比較検証を実施する。

専用の計測器は、被測定機器から通常0.3 m以下の離隔距離で測定するため、アクティブループアンテナの遠距離配置測定結果を0.3 m離隔距離測定結果へと換算した値との比較を実施する。

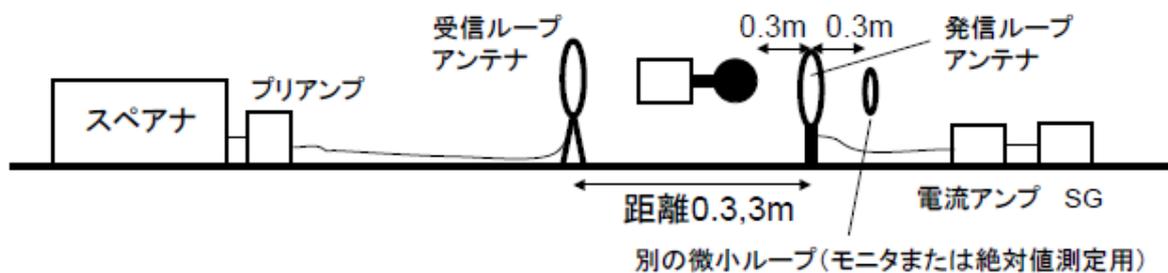
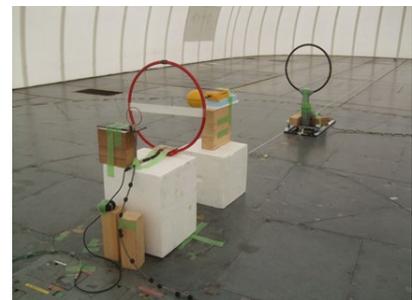
A.4.1 実験方法

直径60 cmパッシブループアンテナを利用し放射源を作り、放射源からの0.3 m離隔距離に専用の計測器及びループアンテナを配置し各測定結果を絶対値として記録する（図A.8参照）。

アクティブループアンテナを離隔距離0.3 m, 3.0 m位置に配置し測定値を記録する。また、0.3 m以外の離隔距離では、理論式 [式 (2)] を利用し距離換算を適用し比較を実施する。

専用の計測器は測定感度が低いため、0.3 mを超える離隔距離はループアンテナ測定だけとし、離隔距離の違いは理論式 [式 (2)] による換算結果を比較する。

- ・ 専用の計測器 送信アンテナからの離隔距離0.3 m
- ・ AIST校正小径アンテナ 送信アンテナからの離隔距離0.3 m
- ・ ループアンテナ 離隔距離0.3 m, 3 m;アクティブループアンテナ
- ・ 確認周波数：20 kHz, 35 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 125 kHz
- ・ 透過Sパラメータ理論式： 式 (2)



A.4.2 実験結果

検証実験によって次の事象が判明した（A.4.3の表A.7～表A.10参照）。

- ・理論式〔式（2）〕を用いた距離及びアンテナ径の換算を加えることによって、2 dB程度の差異に収まる。

アクティブループアンテナの測定結果を0.3 m離隔距離に次の条件で換算する。

- ①式（2）による離隔距離の換算。
- ②式（2）によるアクティブループアンテナのループ径の換算。

[専用の計測器のアンテナ（プローブ）径に換算する。]

- ・周波数が高いと差異は小さくなる傾向にあるが、差異は波長（近傍界）の影響が考えられる。

A.4.3 実験データ詳細（代表的な周波数）

表A.7—アクティブループアンテナ0.3 m離隔距離の測定結果比較

Freq kHz	専用の 計測器 dB μ A/m	ループ dB μ A/m	アンテナ径換算 ^{a)} 60 cm径 \Rightarrow 10 cm径 (dB)	ループ (換算後) dB μ A/m	差異 (専用機)–[Loop(換算後)] (dB)
20	105.56	99.32	8.34	107.67	-2.11
35	105.33	97.97	8.34	106.31	-0.99
50	105.33	97.67	8.34	106.01	-0.69
100	105.39	97.57	8.34	105.92	-0.53
125	105.44	97.56	8.34	105.90	-0.46

注記 離隔距離0.3 mとし、実験条件はA.3.1と同等。
注^{a)} 専用の計測器とループアンテナのアンテナ径とを同一径とみなす為の換算。

表A.8—（参考）専用の計測器と10 cm径パッシブループアンテナ（AIST校正）の測定結果との比較

Freq kHz	小径ループ dB μ A/m	専用の 計測器 dB μ A/m	差異 (dB)
20	105.79	105.56	-0.23
35	105.47	105.33	-0.14
50	105.49	105.33	-0.16
100	105.48	105.39	-0.09
125	105.35	105.44	0.09

表A.9—アクティブループアンテナ 3.0 m離隔距離の測定結果比較

Freq kHz	専用の 計測器 dB μ A/m	ループ dB μ A/m	距離換算 ^{a)} 3.0 m \Rightarrow 0.3 m換算 (dB)	アンテナ径換算 ^{b)} 60 cm径 \Rightarrow 10 cm径 (dB)	ループ (換算後) dB μ A/m	差異 (専用機)–[Loop(換算後)] [dB]
20	122.57	73.06	46.62	4.43	124.11	-1.54
35	122.66	72.51	46.62	4.43	123.56	-0.90
50	122.58	72.32	46.62	4.43	123.37	-0.78
100	122.66	72.33	46.62	4.43	123.38	-0.72
125	122.81	72.52	46.62	4.43	123.57	-0.76

注^{a)} 理論式〔式（2）〕を用いループアンテナ離隔距離3.0 m測定結果を0.3 m距離にする換算。
注^{b)} 理論式〔式（2）〕を用いループアンテナ径60 cmを専用の計測器10 cm径と同等にする換算。

表A.10－（参考）専用の計測器と10 cm径パッシブループアンテナ（AIST校正）の測定結果との比較

Freq kHz	小径 Loop dB μ A/m	専用の 計測器 dB μ A/m	差異
			(dB)
20	121.98	122.57	0.59
35	121.98	122.66	0.68
50	121.98	122.58	0.60
100	121.98	122.66	0.68
125	121.98	122.81	0.83
注記 離隔距離0.3 mとし、実験条件はA.3.1と同等。			

附属書 B

(参考)

低周波磁界を測定する場所の検討・調査

B.1 測定方法及びシステム構成

測定は、低周波磁界の空間の伝ば（播）特性測定、いわゆる磁界サイトアッテネーション測定を、ループアンテナによる送信、受信とネットワークアナライザを使用して行った。サイトアッテネーション値の導出は、同軸ケーブル、アンプ、アッテネータなどの測定経路の特性と、使用したアンテナの係数を除したノーマライズドサイトアッテネーション（NSA）と同様の方法で結果を求めた。

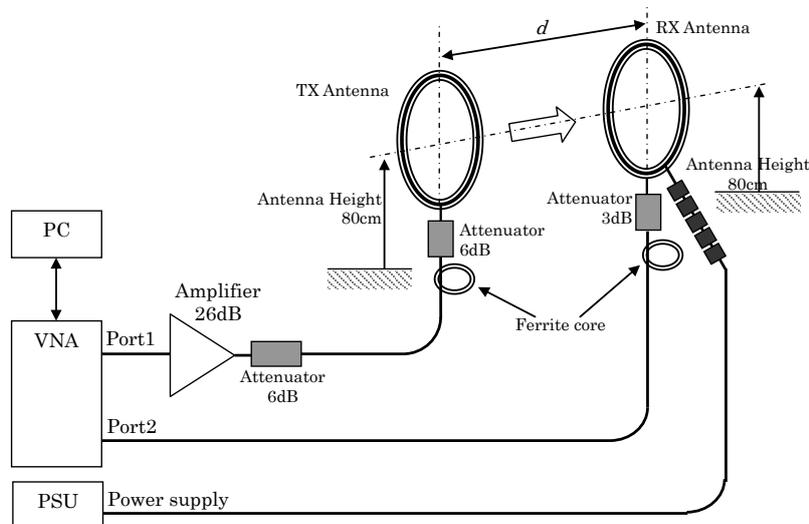
測定結果の評価は、ループアンテナを使用したときの空間の伝ば（播）特性の理論式 [式 (2)]^[1] を使用し実測値との比較を行った。

測定システムは、ベクトルネットワークアナライザ（VNA）を使用して、アンテナ及び空間の伝送測定を測定し、測定後にアンテナ係数を除して結果を算出した。測定器の接続図及び状況を、**図 B.1** 及び**図 B.2** に、測定時の VNA の設定を**表 B.2** に示す。

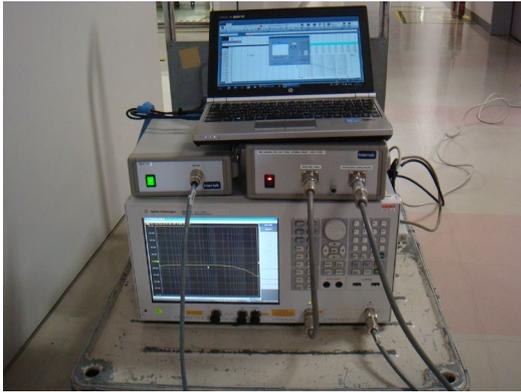
アンテナ直下には、インピーダンスのミスマッチによる測定不確かさを軽減するためにアッテネータを挿入した。また同軸ケーブルに流れる可能性があるコモンモード電流による測定の不安定さを解消するために、フェライトコアを使用したコモンモード電流の抑制の対策を実施した。使用したアンテナは、周囲の影響を受けやすいと推測できる市販品の中で可能な限り直径が大きいアンテナを使用して評価を行った。測定に使用した機器を**表 B.1** に、アンテナ測定条件を**表 B.3** に示す。

表 B.1—使用機器

No.	品名	型式	注記
1	ベクトルネットワークアナライザ	Agilent 5061B	10 Hz - 3 GHz
2	送信アンテナ	ETS 6512	9 kHz - 30 MHz φ 60 cm
3	受信アンテナ	R&S HFH2-Z2	9 kHz - 30 MHz φ 60 cm, DC電源
4	増幅器	Intertek ZHL-6A	2.5 kHz - 500 MHz / Gain= 26 dB
5	アッテネータ	TME CFA-01	—



図B.1—測定器の接続図



図B.2ー測定の状態

表B.2ーベクトルネットワークアナライザの設定

設定項目	設定値	注記
測定パラメータ, Format	S ₂₁ /Log Mag	
周波数範囲	9 kHz - 30 MHz/401点	対数軸で掃引
Output Power	-5 dBm	
IF Bandwidth, Averaging	300 Hz, 10 回	

表B.3ー測定条件（アンテナ）

測定条件	条件値	注記
アンテナ軸	X軸	対向
アンテナ高さ	80 cm	ループエレメントの中心で規定
アンテナ間離隔距離 <i>d</i>	① 0.3m ② 1 m ③ 3 m	ループエレメントの中心で規定

B.2 測定条件, 測定した場所（施設）

測定する場所は、設計者が実際に磁界強度の測定作業を行いたいと思われる環境を想定し、表の通り電波測定専用である電波暗室内及びシールドルームの他、実験室などの通常の場所を想定したロビー及び会議室での伝ば（播）特性の測定を行った（表 B.4 参照）。

表 B.4ー測定を行った場所（施設）

No.	場所	位置（測定軸）
1	ロビー	部屋の中央付近を基準にして、中央及び壁寄り
2	シールドルーム	部屋の中央付近を基準にして、中央及び壁寄り
3	10 m法電波暗室	①ターンテーブル中心を送信位置に固定 ②部屋の中央
4	会議室	部屋の中央付近を基準にして、中央及び壁寄り
5	オープンサイト	部屋の中央

それぞれの測定時の測定状況及び測定結果を図B.3～図B.26に示す。

B.3 測定結果

(1) ロビー

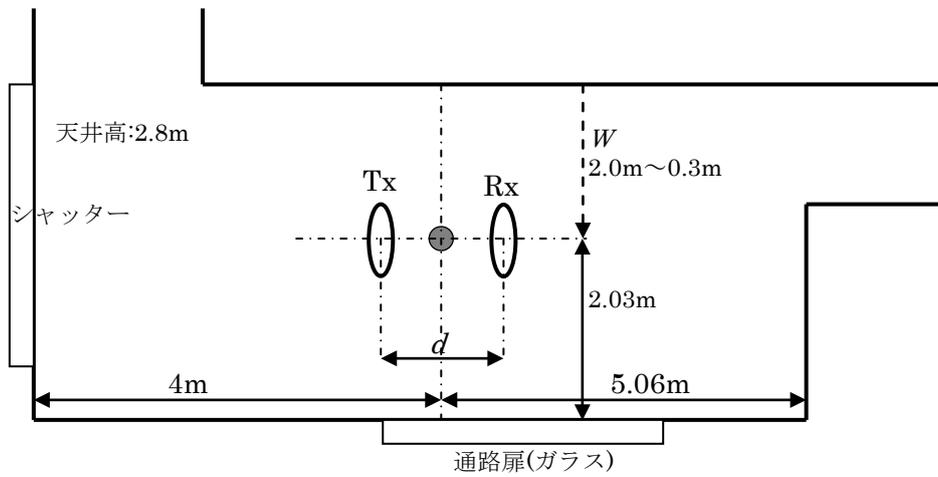


図 B.3-ロビーのアンテナ配置位置



ロビー 中央位置, 離隔距離 $d=0.3$ m



ロビー 壁密着, 離隔距離 $d=1.0$ m

図 B.4-ロビーでの測定状況

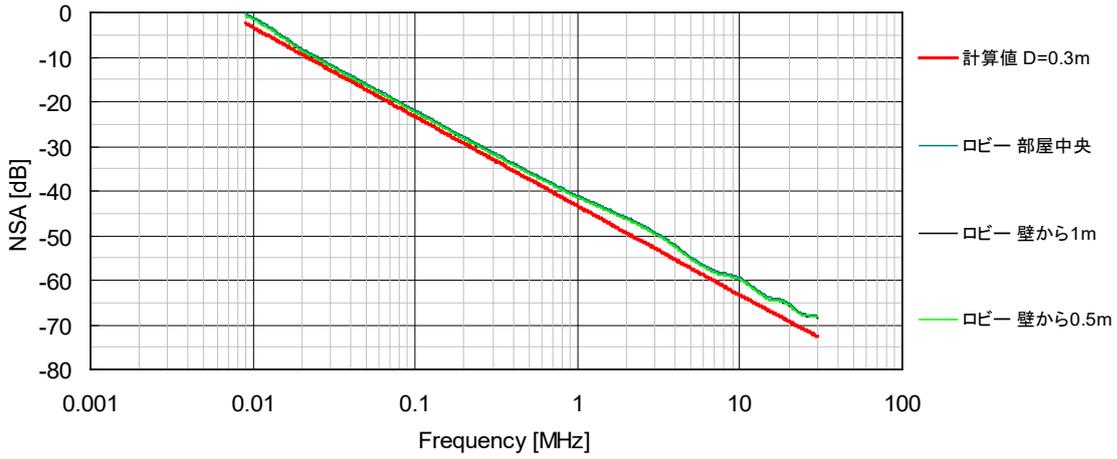


図 B.5—測定場所 ロビー， 離隔距離 $d=0.3$ m

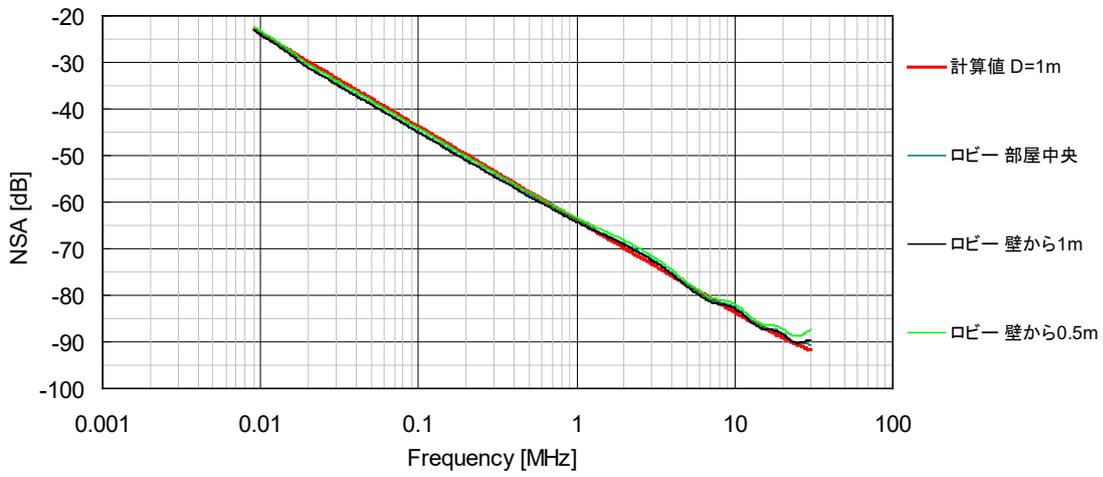


図 B.6—測定場所 ロビー， 離隔距離 $d=1.0$ m

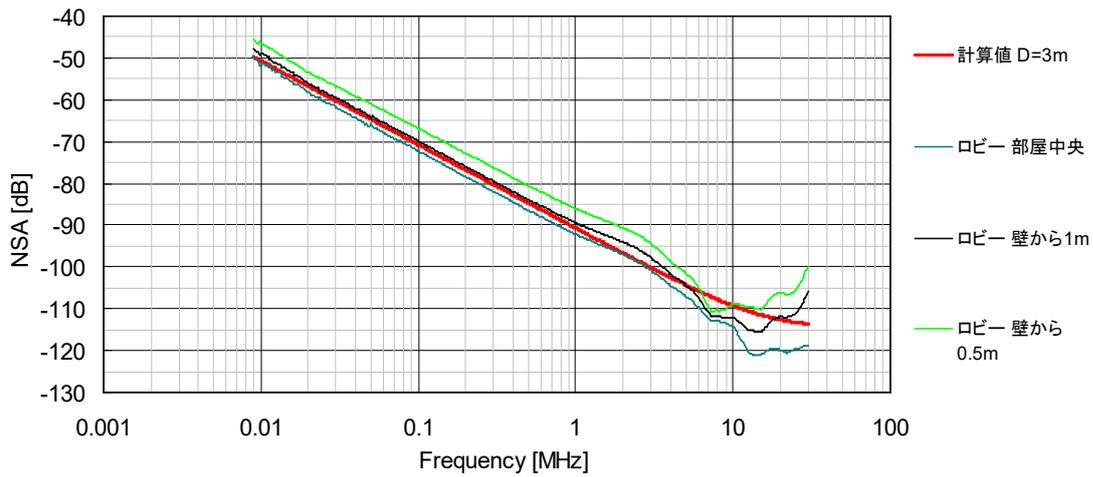


図 B.7—測定場所 ロビー， 離隔距離 $d=3.0$ m

(2) シールドルーム

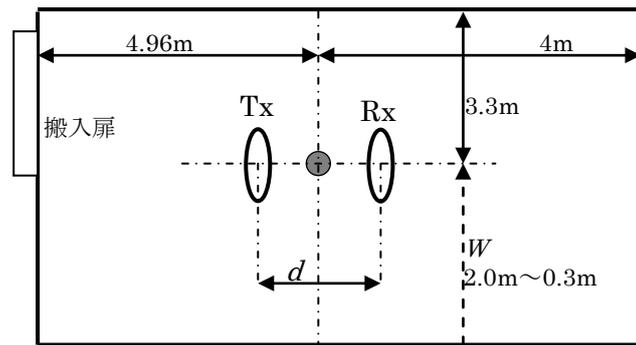
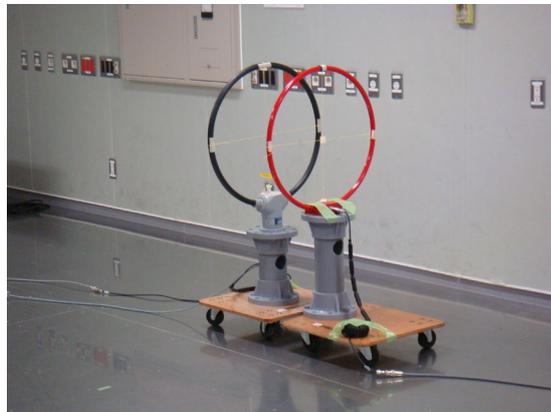


図 B.8—シールドルームの測定位置



シールドルーム 中央,
離隔距離 $d=3.0$ m



シールドルーム 壁から1.0 m,
離隔距離 $d=0.3$ m

図 B.9—シールドルームでの測定状況

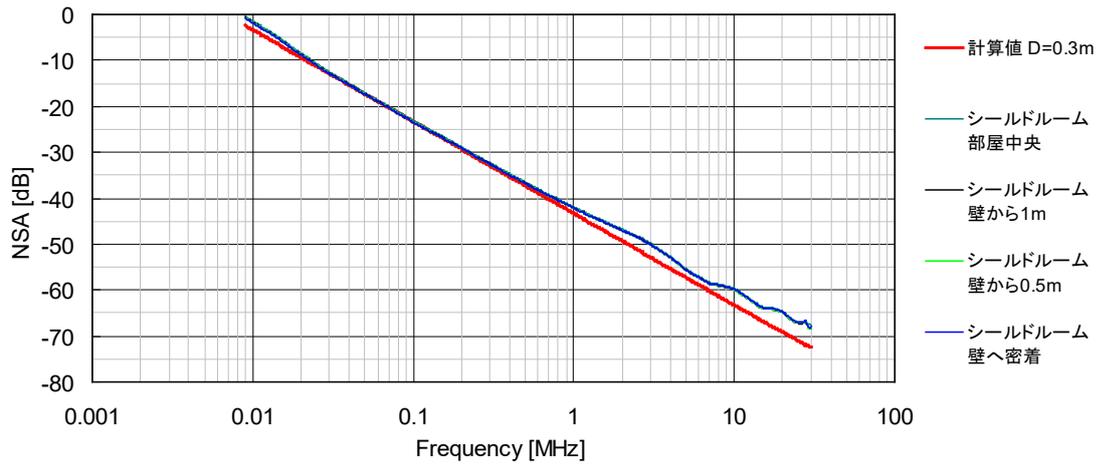


図 B.10—場所 シールドルーム, 離隔距離 $d=0.3$ m

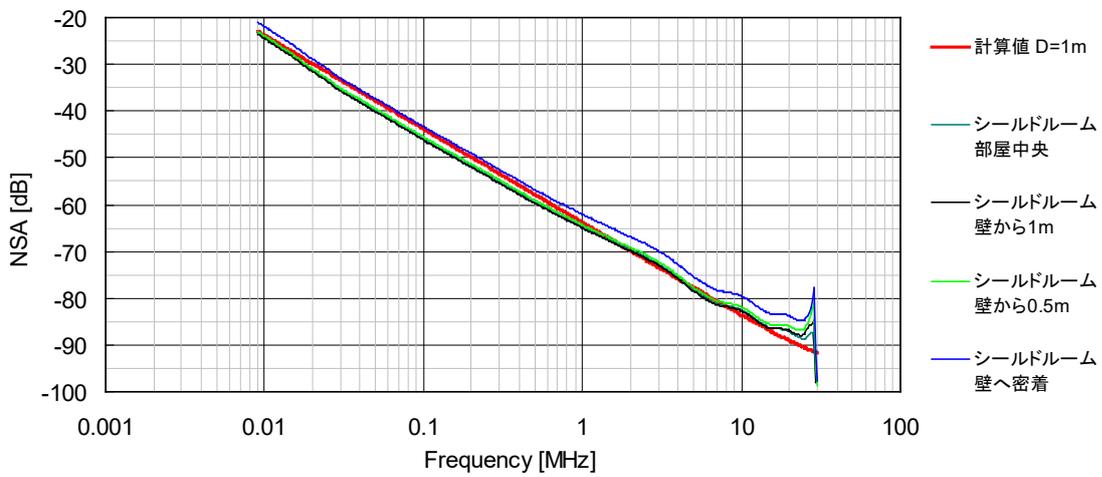


図 B.11—場所 シールドルーム, 離隔距離 $d=1.0$ m

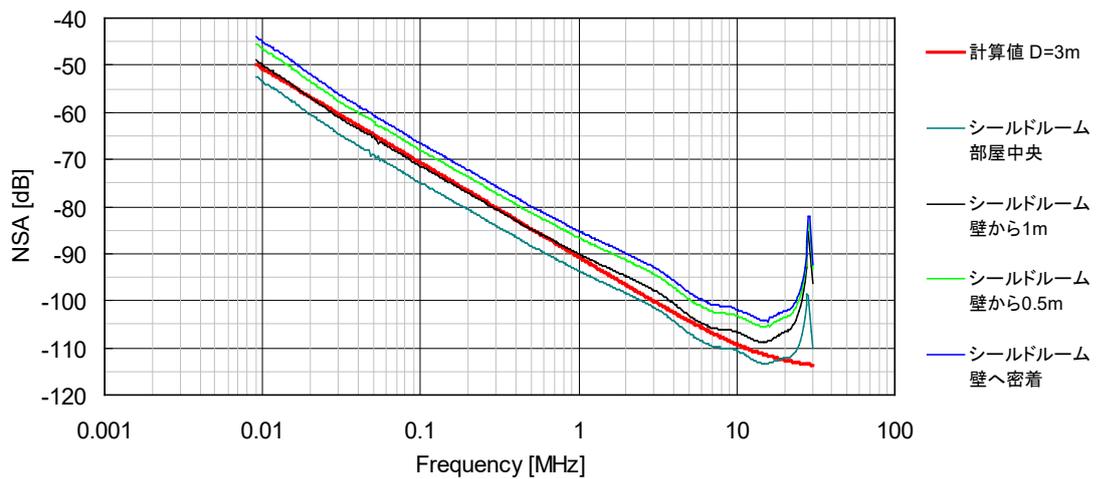
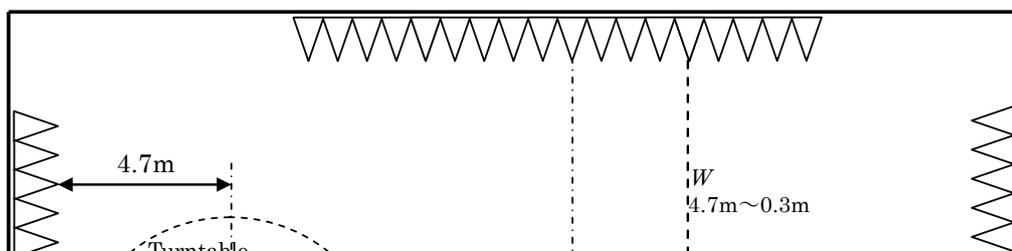
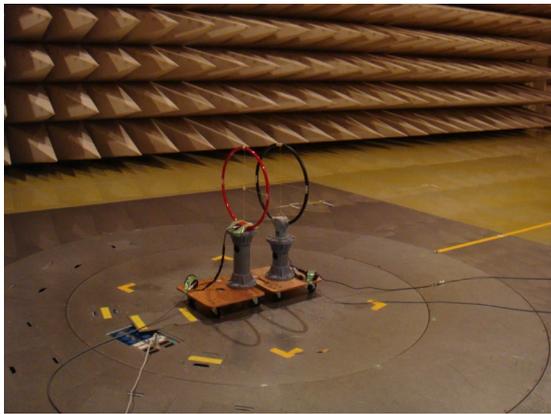


図 B.12 場所 シールドルーム, 離隔距離 $d=3.0$ m

(3) 10 m法電波暗室



図B.13—電波暗室測定位置



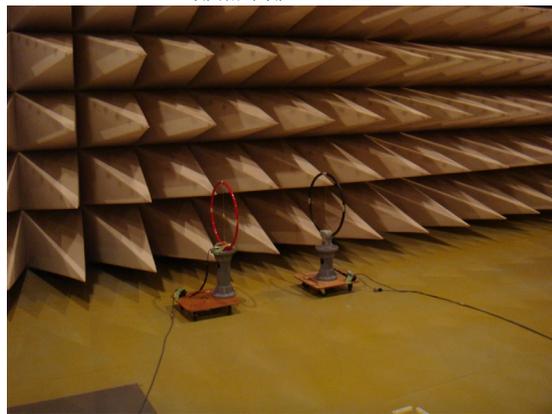
電波暗室 ターンテーブル中心,
離隔距離 $d=0.3$ m



電波暗室 ターンテーブル中心,
離隔距離 $d=3.0$ m



電波暗室 中央位置,
離隔距離 $d=1.0$ m



電波暗室 壁密着,
離隔距離 $d=1.0$ m

図 B.14—電波暗室での測定状況

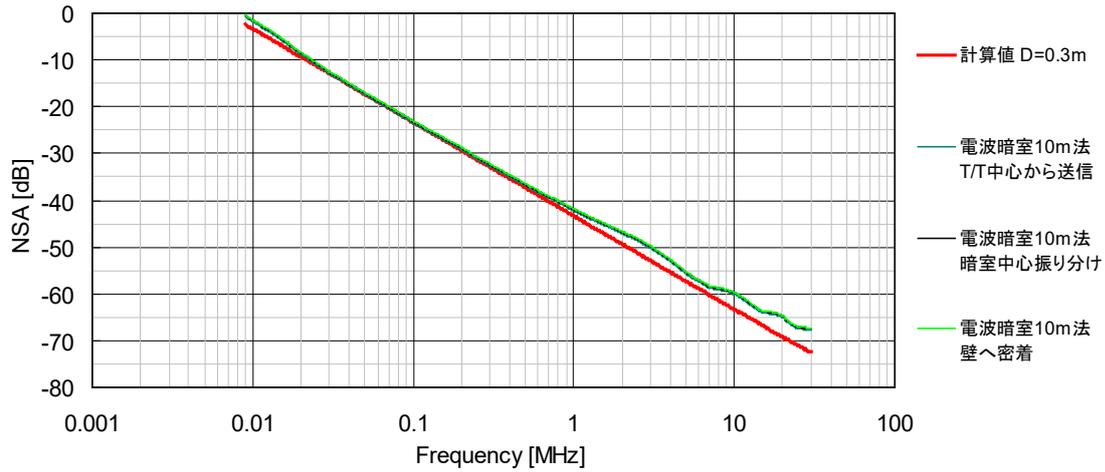


図 B.15一場所 電波暗室, 離隔距離 $d=0.3$ m

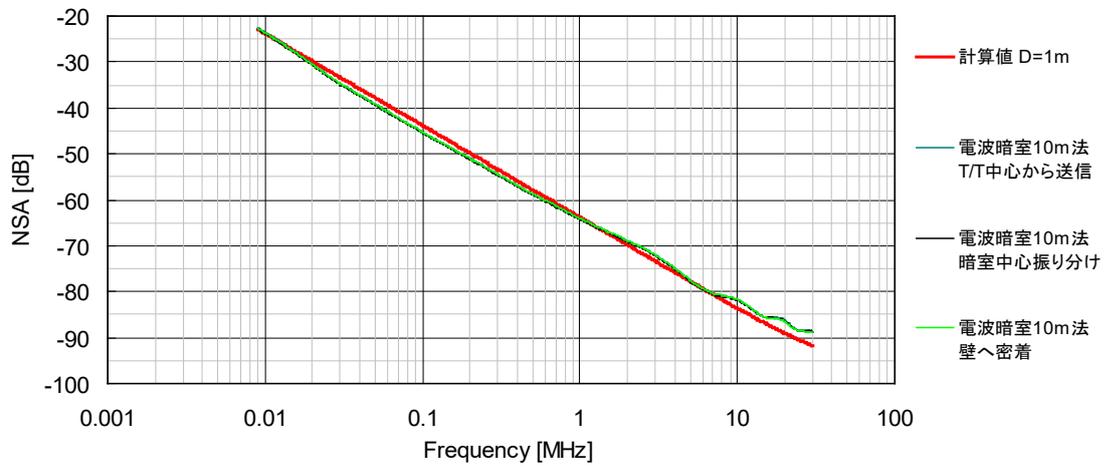


図 B.16一場所 電波暗室, 離隔距離 $d=1.0$ m

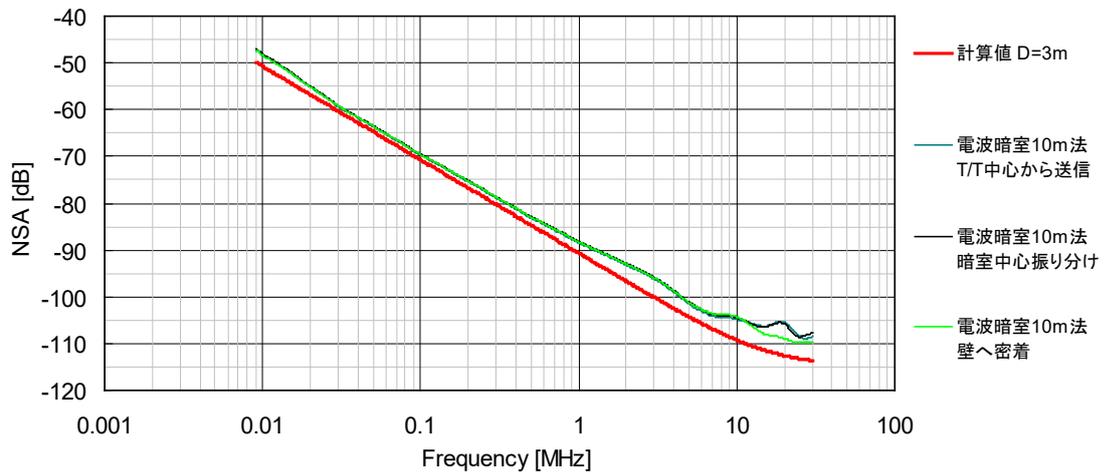
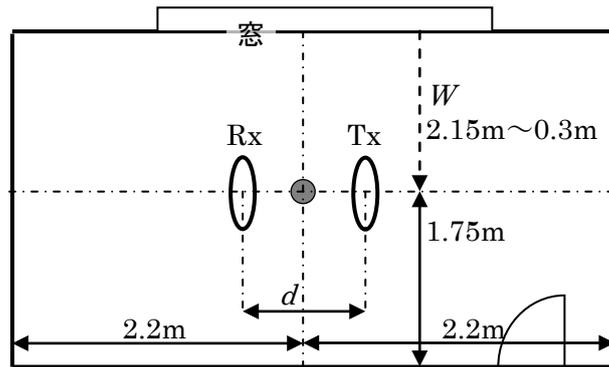


図 B.17一場所 電波暗室, 離隔距離 $d=3.0$ m

(4) 会議室



図B.18—会議室



会議室 中央, 離隔距離 $d=1.0$ m



会議室 中央, 離隔距離 $d=1.0$ m

図 B.19—会議室での測定状況

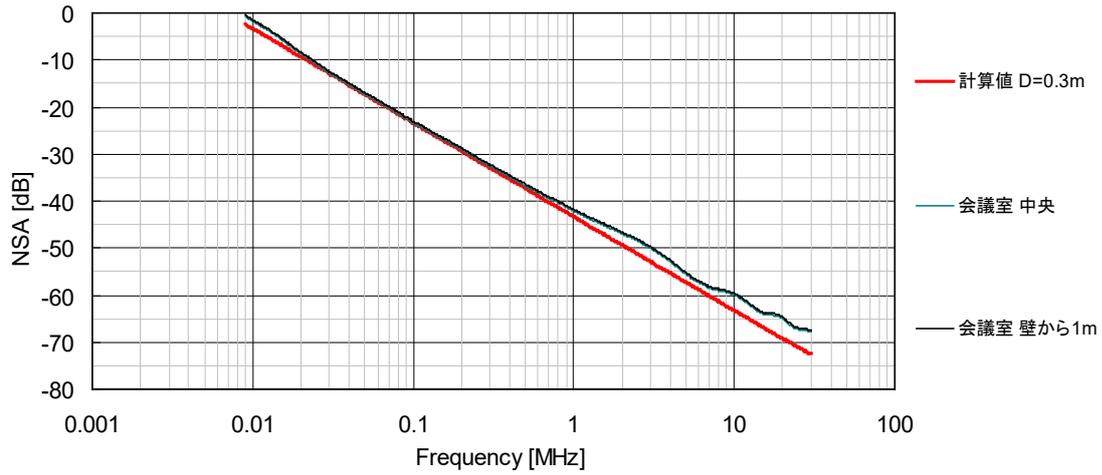


図 B.20—場所 会議室, 離隔距離 $d=0.3$ m

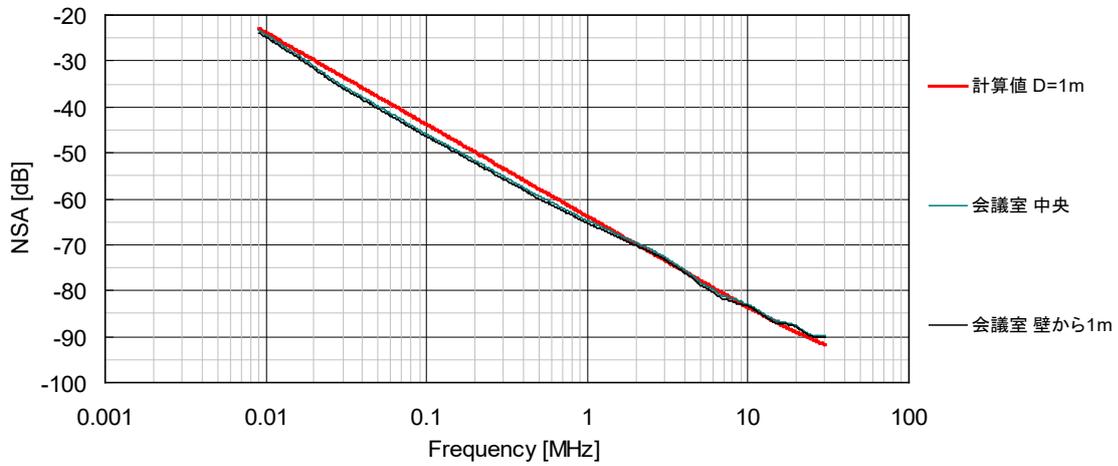


図 B.21—場所 会議室, 離隔距離 $d=1.0$ m

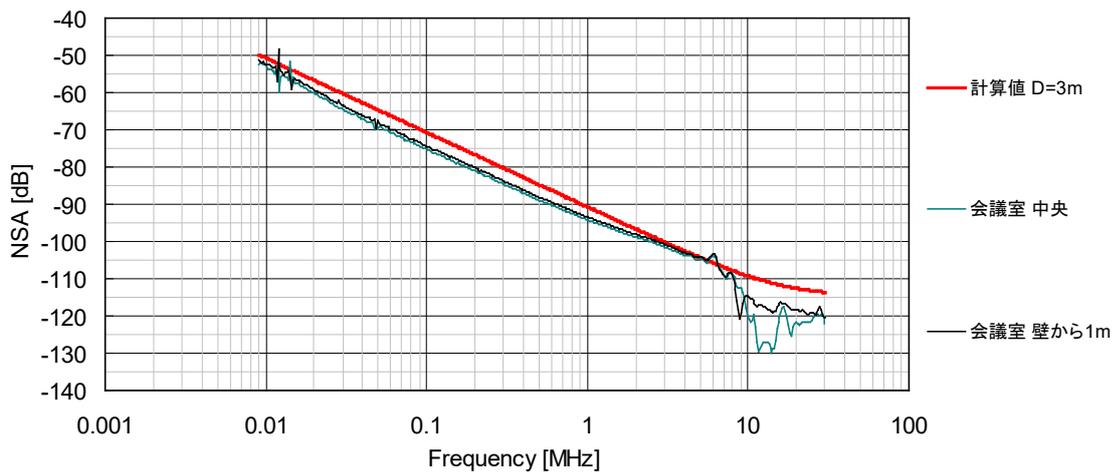
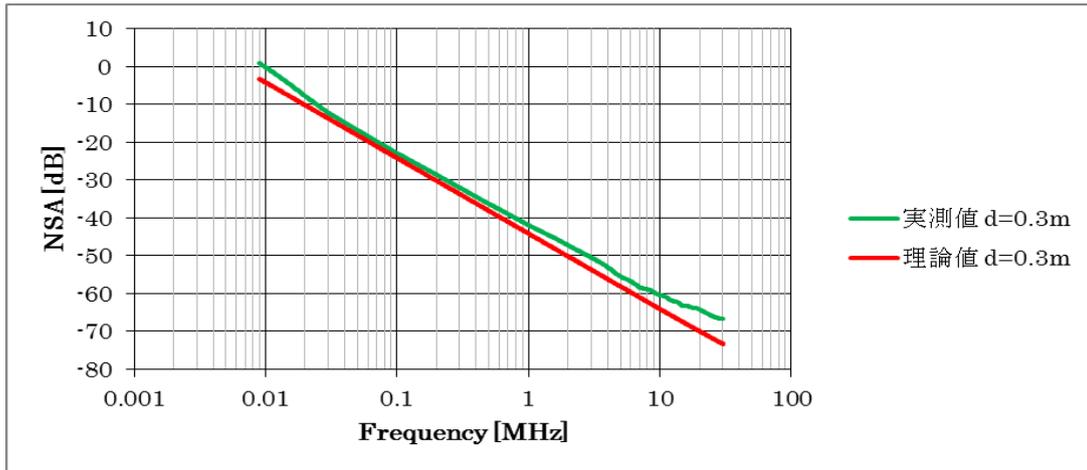
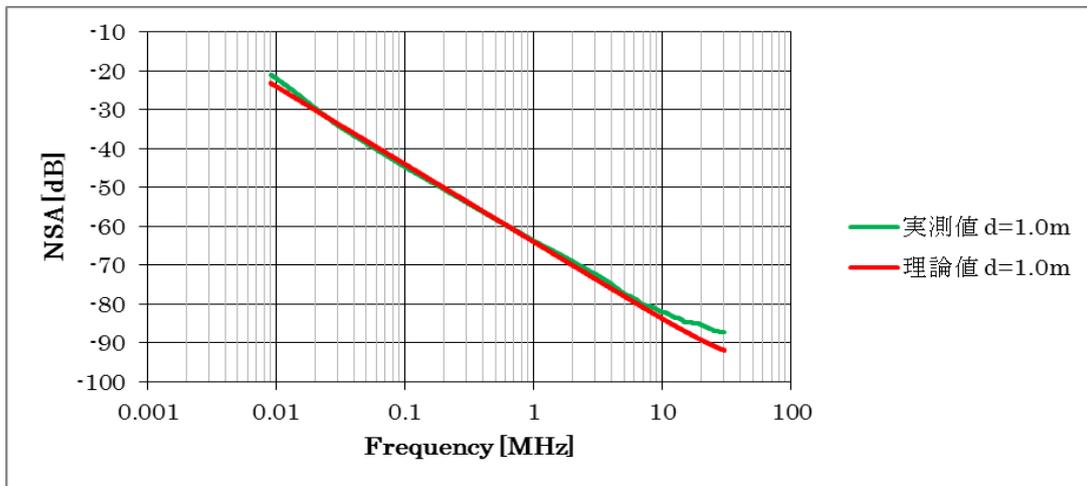


図 B.22—場所 会議室, 離隔距離 $d=3.0$ m

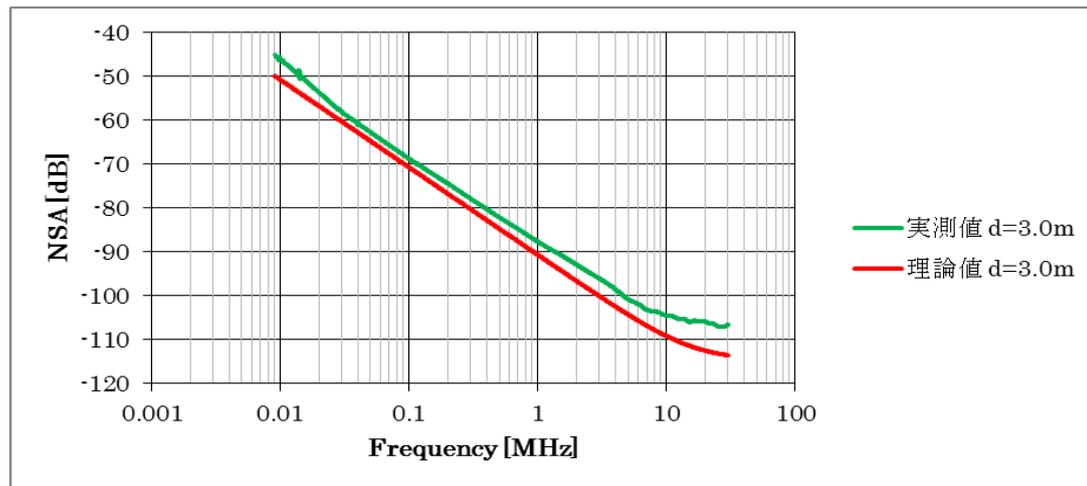
(5) オープンサイト



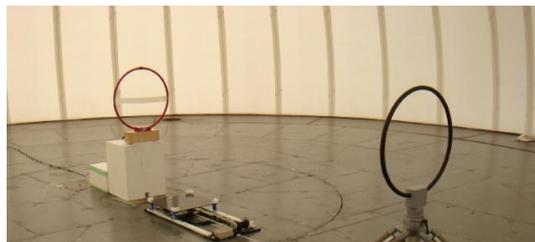
図B.23ー場所 オープンサイト, 離隔距離 $d=0.3$ m



図B.24ー場所 オープンサイト, 離隔距離 $d=1.0$ m



図B.25ー場所 オープンサイト, 離隔距離 $d=3.0$ m



オープンサイト 中央, 離隔距離d=3.0 m

図B.26ーオープンサイトでの測定状況

B.4 考察

低周波磁界を測定するに当たり, 測定に適する施設及び位置, 又は測定条件を考察する。

測定の適不適の判断基準として, NSAの限度値である ± 4 dB以内を基準に評価を行った。各施設における理論式 [式 (2)] からの差異を**表B.5**に示す。

(1) 測定が実施可能な施設の検討

離隔距離が1 m以内であれば, おおよそどのような施設内でも, 磁界サイトアッテネーションは理論値に対して ± 4 dB以内の差であり, 磁界強度測定が可能と言える。さらに精度良く磁界強度測定を行う必要が有る場合は, 金属及び/又は建物の構造物の電波的影響を受けにくい電波暗室, 広い空間が確保できる一般の居室などで測定することで可能と言える。

表B.5ー各施設における計算値からの差 (部屋の中央などの基準位置)

場所 (測定位置)	距離 $d=0.3$ m	距離 $d=1.0$ m	距離 $d=3.0$ m
	10 kHz-100 kHz	10 kHz-100 kHz	10 kHz-100 kHz
ロビー (中央)	2.35 dB	1.14 dB	2.17 dB
シールドルーム (中央)	1.85 dB	2.18 dB	5.03 dB
電波暗室 (ターンテーブル)	1.51 dB	1.45 dB	2.50 dB
会議室 (中央)	1.60 dB	2.18 dB	4.58 dB
オープンサイト (中央)	3.98 dB	2.04 dB	5.14 dB

表B.6にオープンサイトの結果を基準とした, 各環境での実測値の差異を示す。3 mまでの離隔距離では, 3 dB以内の差異となりオープンサイト環境に代えて, 各環境での測定が可能であることが分かる。

表B.6ーオープンサイト基準での各環境における測定値の差異

場所 (測定位置)	距離 $d=0.3$ m	距離 $d=1.0$ m	距離 $d=3.0$ m
	10 kHz-100 kHz	10 kHz-100 kHz	10 kHz-100 kHz
ロビー (中央)	-1.63 dB	-0.9 dB	-2.97 dB
シールドルーム (中央)	-2.13 dB	0.14 dB	-0.11 dB
電波暗室 (ターンテーブル)	-2.47 dB	-0.59 dB	-2.64 dB
会議室 (中央)	-2.38 dB	0.14 dB	-0.56 dB

次に、各施設での測定位置の違いによる特性について表B.7～表B.10に示す。離隔距離が1 m以内であれば壁から近くても、磁界サイトアッテネーションは理論値に対して±4 dB以内の差異(10 k～100 kHz)になり、測定位置は問われないことが分かる。ただし磁界の向きによっては、壁から影響を受けやすくなる可能性があり、極端に近づけない配慮は必要と考えられる。

表 B.7ーロビー 理論値からの差

測定位置 W	離隔距離 $d=0.3$ m		離隔距離 $d=1.0$ m		離隔距離 $d=3.0$ m	
	10 k-100 kHz	13.56 MHz	10 k-100 kHz	13.56 MHz	10 k-100 kHz	13.56 MHz
中央	2.35 dB	3.09 dB	1.14 dB	0.00 dB	2.17 dB	10.02 dB
壁から1 m	1.93 dB	2.68 dB	1.38 dB	0.29 dB	2.18 dB	4.34 dB
壁から0.5 m	1.94 dB	2.68 dB	0.59 dB	0.68 dB	4.42 dB	1.22 dB

表B.8ーシールドルーム 理論値からの差

測定位置 W	離隔距離 $d=0.3$ m		離隔距離 $d=1.0$ m		離隔距離 $d=3.0$ m	
	10 k-100 kHz	13.56 MHz	10 k-100 kHz	13.56 MHz	10 k-100 kHz	13.56 MHz
中央	1.85 dB	3.02 dB	2.18 dB	0.54 dB	5.03 dB	2.01 dB
壁から1 m	1.51 dB	2.70 dB	2.47 dB	0.41 dB	1.13 dB	2.36 dB
壁から0.5 m	1.45 dB	2.66 dB	1.76 dB	1.28 dB	4.12 dB	5.75 dB
壁へ密着	1.29 dB	2.73 dB	1.79 dB	3.57 dB	5.65 dB	7.16 dB

表B.9ー電波暗室 理論値からの差

測定位置 W	離隔距離 $d=0.3$ m		離隔距離 $d=1.0$ m		離隔距離 $d=3.0$ m	
	10 k-100 kHz	13.56 MHz	10 k-100 kHz	13.56 MHz	10 k-100 kHz	13.56 MHz
ターンテーブル 中央	1.51 dB	2.71 dB	1.45 dB	1.30 dB	2.50 dB	4.93 dB
暗室中央	1.81 dB	3.01 dB	1.65 dB	1.24 dB	2.64 dB	4.66 dB
壁(吸収体)へ密着	1.91 dB	3.13 dB	1.46 dB	1.31 dB	2.48 dB	3.85 dB

表B.10ー会議室 理論値からの差

測定位置 W	離隔距離 $d=0.3$ m		離隔距離 $d=1.0$ m		離隔距離 $d=3.0$ m	
	10 k-100 kHz	13.56 MHz	10 k-100 kHz	13.56 MHz	10 k-100 kHz	13.56 MHz
中央	1.60 dB	2.81 dB	2.18 dB	2.65 dB	4.58 dB ^{a)}	16.67 dB
壁から1 m	1.90 dB	3.15 dB	0.31 dB	0.26 dB	3.85 dB ^{a)}	7.52 dB

注^{a)} 外部からの雑音の混入あり。

附属書 C

(参考)

各実験に利用した実験機材リスト

各実験に使用した実験機材を、表C.1に示す。

表C.1—実験に利用した実験機材

名称	型式	シリアル	メーカー名	注記
ネットワークアナライザ	E6061B	MY49102123	Agilent	
人体ばく露測定器	Non-disclosure	Non-disclosure	Non-disclosure	市販品
小径ループアンテナ	AIST100	Non-disclosure	Non-disclosure	AIST校正品
小径ループアンテナ	HN-1	Non-disclosure	Non-disclosure	自作品
パッシブループアンテナ	ETS 6512	-	ETS Lindgren	送信用
アクティブループアンテナ	Non-disclosure	Non-disclosure	Non-disclosure	市販品
アッテネータ	CFA-01		TME	Tx 6 dB
アッテネータ	CFA-01		TME	Rx 3 dB
アッテネータ	8491B		Agilent	Netana Out 6 dB

-
- 参考文献** [1] 石居，島田：低周波帯域用ループアンテナ校正における2つの相対測定法の提案と比較
一般社団法人電子情報通信学会，信学技報，2008.11
- [2] Ishii et al : Reference Calibration Methods for Small Circular Loop Antenna In Low-Frequency Band: IEEE Trans, Vol.58, No.4, April,2009.
- [3] Greene et al: The Near-Zone Magnetic Field of a Small Circular-Loop Antenna: J. of R. NBS-C, EI, Vol. 71C, No.4, Oct.-Dec.1967
- [4] **JBMIA-TR-25:2012** 総務省指針“各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響を防止するための指針”に関するJBMIA掌握電波利用機器の実験報告及び電波利用機器の適合性アセスメントの提案