

電磁シールド室の空間性能評価手法の提案

笠井 泰 彰

Suggestion on Technique for Evaluating Electromagnetic Shielding Effectiveness

Yasuaki Kasai

Abstract

The performance of an electromagnetic shielding room is generally evaluated by an insertion loss method based on MIL-STD-285 of the United States Armed Forces standard. However, the numerical value provided by an insertion loss method is actually partial performance, not spatial performance. Thus, a spatial evaluation method is required that is suitable for communication applications such as wireless LAN. Therefore, we tried a measurement method that takes the spatial average of an electromagnetic shielding room. Test results confirmed that the level was approximately the same regardless of the position of the source and the directivity of the shield room. We suggest a new evaluation technique that assumes a difference between space average levels measured outside and inside a room to determine its shield performance.

概 要

電磁シールド室の性能評価は一般に米軍規格のMIL-STD-285に準拠した挿入損失法で行われている。しかしながら、挿入損失法は、得られる数値が空間性能ではなく部位性能としての性格が強いものとなっており、特に簡易な電磁シールドを評価する場合には再現性が得られにくいという問題がある。このため、無線LANなどの通信用途に適した室としての空間評価方法が求められている。また、研究開発などの特殊用途ではなく、オフィス対応などの比較的簡易な電磁シールドの場合には、通信機器の使用状況に近い実質的な空間評価であることも必要である。そこで、電磁シールド室内部の空間平均を取る測定方法を試行した。その結果、シールド室内の発生源の位置や向きとは関係なくレベルがほぼ一様となることが確認できた。以上の結果から、室の内外で測定した空間平均レベル差を室のシールド性能とする新しい評価手法を提案した。

1. はじめに

これまで、電磁シールド室の性能は「僅かな漏れも許されない」という立場から、「最も遮蔽性能の弱い部位の性能」を「部屋全体の性能」とするのが常であった。具体的には、MIL-STD-285等を基本とする挿入損失法で壁面や開口部などの部位測定を行い、安全側の値で評価・性能保証しているのが一般的である。

挿入損失法では一對のアンテナで壁面の特定部位を挟んで測定を行うため、得られる結果は空間性能というよりも、むしろ挟んだ特定部位周辺の性能(部位性能)としての性格が強い。また、シールド性能が基準値(リファレンスレベル)の測定状況にも大きく左右されてしまうため、再現性や一般性が得られにくいという問題点もある。

これは、旧来電磁シールドルームが研究・実験用途などの高い電磁シールド性能が要求される特殊な空間への適用が主であったことが背景にあると考えられる。要求性能が高い実験施設などでは「弱い特定部分を探索する安全側の性能評価」が少なからず必要だからである。

ところが近年、無線情報通信機器の発達により、オフィスや学校などの一般的な用途の空間においても電磁シールドが求められるようになってきた。

オフィスや学校などでは高い電磁シールド性能は必要ないものの、人が出入りしやすい扉や採光のための大きな窓、空調設備といったアメニティ性が必要不可欠であり、電磁シールド性能の部分的なばらつきが生じやすい開口部や配管・配線貫通部が数多く存在している。

また、実験施設ほどの高いコストを電磁シールドのために割くことができないことから、材料間の接合部や目地の処理がどうしても簡易なものとなる。このため、部分的に大きく電磁シールド性能が低下してしまう箇所が少なくない。

それにもかかわらず、室としての電磁シールド性能の評価手法は旧来のままであるため、オフィスの様な簡易な電磁シールド空間に対しては性能保証が難しいだけでなく、大部分はオーバースペックとなりがちであり、低価格かつ適切なレベルの電磁シールド室を構築することが困難になってしまっている。

そこで、本報告ではオフィス向けなどの比較的簡易な電磁シールドルームを対象とし、空間としての性能評価を目標とした基礎的検討を行った。従来行われてきた挿入損失法とは異なるシールド室の評価方法を提案し、実際に簡易な電磁シールドルームの空間性能評価を行った。結果を挿入損失法で求めた部位性能と比較する。

2. 評価手法のイメージ

「結果の再現性が得られる」、「性能保証がしやすい」ことが前提であるが、新しい評価手法を提案するにあたり、特に考慮した点は次に挙げる3点である。

(1) 空間性能が得られる計測手法であること

「空間性能」とするためには測定のパターンを多くし、それらの平均的な値をもって評価をすべきである。このとき、平均を取るための対象としては「空間」「周波数」などが考えられ、これら全てを平均的に扱うことができるのが理想であるが、少なくとも「空間性能」である以上、空間的な平均については考慮する必要がある。

(2) 一度だけ現地測定をする計測手法であること

電磁シールドを施された空間の評価方法としては、施工前の計画地でリファレンス(参照値)測定を行い、竣工後に再度同様の測定を行って比較することができれば、ユーザーの理解の得られやすい「電磁シールド性能」になると思われる。しかしながら実務の現状を考えると極めて困難であるだけでなく、2度の測定がともに障害物などの一切ない理想的な状態であることは考えにくい。したがって、竣工後に一度だけ測定をするだけで性能が得られる手法であることが望ましい。

(3) 通信機器の使用環境に近い計測手法であること

シールド室のユーザーの立場から考えると、シールド性能の値は情報通信機器を実際に使用する場合の指標となる数値である必要がある。具体的にはカタログ値や性能保証値から「室内に無線LANのアクセスポイントを設置した場合に、室外では室内に比べ〇〇dB低下する」と読める値でなければならない。このため、測定系と情報通信機器の使用状況を極力近づける必要がある。

3. 測定対象について

今回、計測手法の検討を行うにあたり、4m×5mのオフィス向け電磁シールドルームでの評価を行った。Fig. 1に試験室の平面図を示す。壁面はアルミ箔、扉はスチールドア、窓はシールドフィルムで構成されており、目地処理は必要最低限としている。このため、特性としては局所的な性能にばらつきのある部屋である。

4. 挿入損失法とリファレンスについて

ここでは挿入損失法、なかでも特に測定再現性を低下させる要因になっているリファレンスレベル(参照値)に

関する検討をおこなった。従来の挿入損失法での測定対象とした室の性能評価を行いリファレンスの必要性、問題点について検討する。

4.1 従来の挿入損失法による性能評価

挿入損失法は2つのアンテナ間に何も挟まずに測定したリファレンス値と、測定したい壁面を挟んだ状態で測定した値のレベル差(dB)により電磁シールド性能を測定する方法である。

ここではリファレンスレベルとして以下の2つを用意した。

- ① シールド層施工前に現地で計測した値
- ② 屋外で測定した値

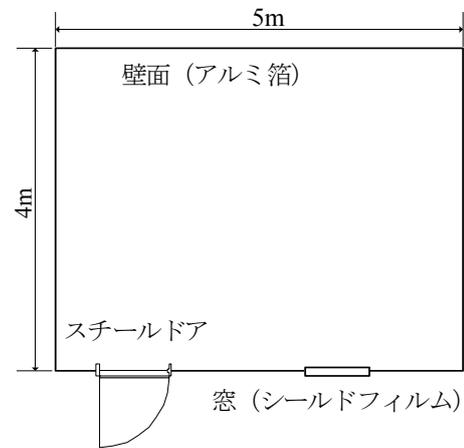


Fig. 1 測定対象とした簡易電磁シールド室
Electromagnetic Shielding Room which is Measured

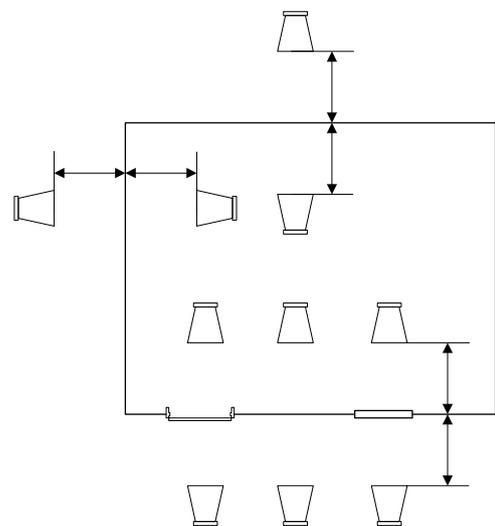


Fig. 2 挿入損失法測定ポイント
Measurement Points for Insertion Loss Method

①についてはFig. 1の試験室を構築する前後で測定を行い、構築後の測定値から施工前の値(リファレンス値①)を差し引くことで電磁シールド性能を求めている。シールド性能を測定したポイントはFig. 2に示すv~zの5点であったため、リファレンス値も5つ存在する。なお、x点は扉、z点は窓部である。測定アンテナ高さは1360mm(室内側床基準)とした。

②については、周囲の障害物が比較的少ない環境で測定したリファレンスレベルである。構築後の測定とアンテナ間隔が等しくなるようにして(アンテナ間隔は2m+壁厚)計測しているが、v~z点全てにおいて同じ値を使用した。

【測定の概要】

- 測定ポイント : 5点(Fig. 2中のv~z点)
- 測定周波数帯域 : 1GHz~8GHz
- 偏波方向 : 垂直偏波

Fig. 3に、測定したリファレンスレベルの周波数特性を示す。反射物の比較的少ない屋外で測定したリファレンスレベル②は、大地面反射の影響はあるものの周波数の僅かな違いによる変動が少なく安定している。これに対し、現地測定となるリファレンスレベル①は、周波数による変動が大きい楕型の波形になっている。さらに、v~zの各測定ポイント毎に周囲の環境が異なるため、全て異なる値となった。

特に、扉前にあたるx点では、リファレンス測定時にスチールドア(閉状態)がとりつけられていたために著しく低いリファレンスレベルになっている。これは、周囲環境の違いや、アンテナの指向性などの要素がリファレンスレベルに大きな影響を与えることを示唆している。シールド層施工前の現地測定を基準とする場合でも、間仕切り壁の有無、LGSや下地ボードの有無、窓枠や扉の有無など、施工段階の違いによって得られる電磁シールド性能が変化してしまうことになる。

Table 1は、無線LANの周波数帯である2.45GHzのリファレンスレベルのみを比較したものである。特異な要素を含むx点を除いたとしても、v~z点のリファレンスレベル値は最大で6.1dBもの差があることがわかる。

当然であるが、このリファレンスレベルの違いを始めから含むことになる電磁シールド性能の値は、さらにばらつきの大きいものとなる(Table2)。

それでも、Fig. 3を見ると、Table 1のばらつきは比較的小さい方であると言わざるを得ない。IEEE802.11a規格の無線LANで使われる5.2GHzや、PDC携帯電話の1.5GHz付近のばらつきはさらに大きいものとなっている。

「ばらつき」を確認することはできたものの、この「ばらつき」の良否を判別することは難しい。「リファレンスレベルをどの段階のどこで測定するか」の定義に良否が依存してしまうためである。

参考までに、Fig. 4にこれらのリファレンス値を用いた

挿入損失法により測定した電磁シールド性能をまとめた。得られたシールド性能は部位毎にも、周波数毎にも異なる特性を示すが、「どちらが良いのか」については、測定法の定義に依存する。

4.2 再現性の確認

挿入損失法の再現性を確認するために、測定日をあらためて、再度屋外の同じ場所でリファレンスレベルを測定し、(1)節と同じx, y, zの3点において電磁シールド性能測定を行った。

測定日は異なるものの、測定者、測定機器は全く同じであり、シールド室内外でのアンテナ設置位置にもマーキングが施されている理想的な状況での再測定である。

結果をTable 3に示す。5~6dBの差があるだけでなく、「z点(窓部)が他に較べて良好」であったものが「z点が最も弱い部位である」と部位毎の評価を変えざるを得ない結果となった。

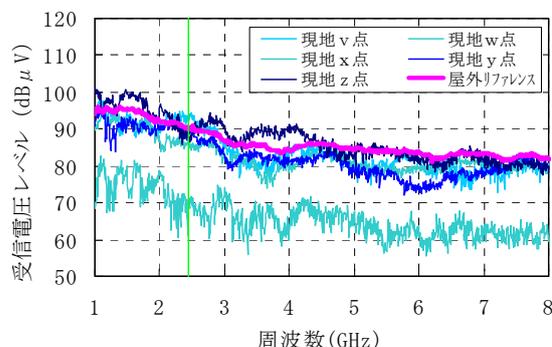


Fig. 3 リファレンスレベルの測定結果
Measurement Results of the Reference Level

Table 1 2.45GHzにおけるリファレンスレベル
Reference Levels at 2.45GHz

リファレンスの測定場所	受信電圧レベル(dBμV)
①施工前の現地 v点	92.1
①施工前の現地 w点	86.0
①施工前の現地 x点	68.7
①施工前の現地 y点	89.3
①施工前の現地 z点	88.8
②反射物の少ない屋外	90.3

Table 2 2.45GHzにおける電磁シールド性能
Electromagnetic Shielding Effectiveness at 2.45GHz

	v点	w点	x点	y点	z点
①現地リファレンス	27.9dB	33.2dB	4.4dB	23.5dB	25.4dB
②屋外リファレンス	26.2dB	37.5dB	26.0dB	24.5dB	27.0dB

Table 3 2.45GHzにおける電磁シールド性能
Electromagnetic Shielding Effectiveness at 2.45GHz

	x点	y点	z点
1 回目の測定 (屋外Ref)	26.0dB	24.5dB	27.0dB
2 回目の測定 (屋外Ref)	31.6dB	31.4dB	25.7dB

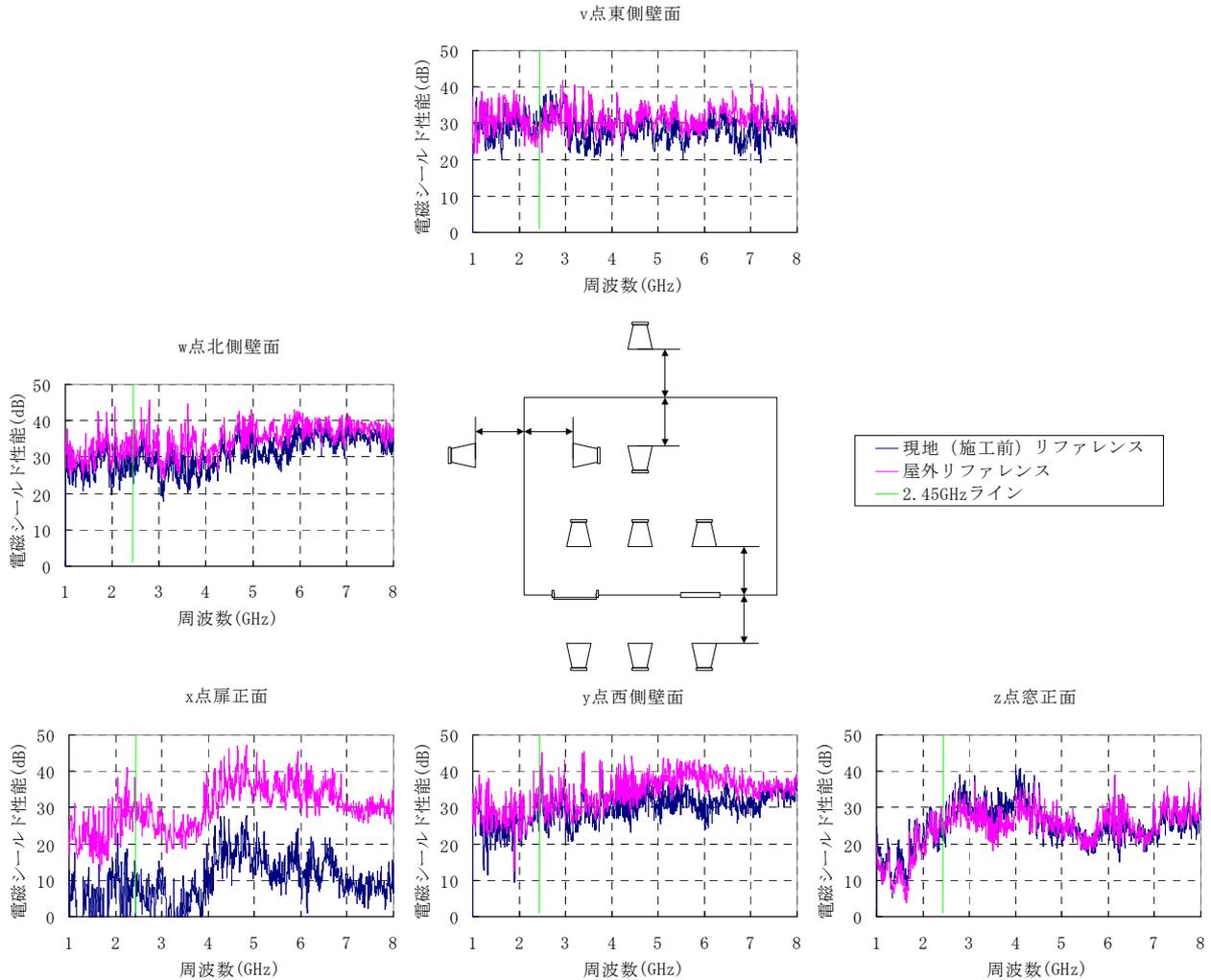


Fig. 4 挿入損失法による各部の電磁シールド性能
Electromagnetic Shielding Effectiveness at Measurement Points using Insertion Loss Method

原因としては、まずアンテナ設置位置の微妙な違いによる受信レベルの違いが挙げられる。2.45GHzもの周波数になると、アンテナ位置が数cm違うだけで半波長から1波長もの差になってしまう。また、リファレンスの測定結果とシールド壁面の測定結果のそれぞれに含まれる周囲環境の影響が異なることにも大きな問題があり、どちらかの測定において環境が大きく変化していることも考えられる。少なくとも、「再現性がある」とは言いにくい。

4.3 問題点の整理

リファレンスレベルについては、シールド層を追加した効果を直感的に理解しやすいと思われる「施工前の現地測定」が周波数特性の安定度を欠いていた。これは周囲の反射物の影響が大きいためであると考えられる。しかしながら、大地面反射の影響 (Fig. 5) については、反射物の少ない屋外でリファレンス測定を行った場合でも含まれている。

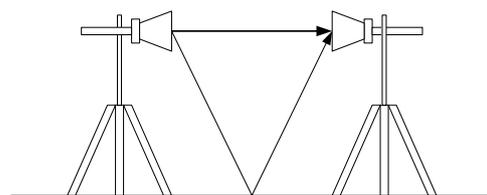


Fig. 5 シールド層施工前の反射経路の例
Example of the Reflection Course (no Shielding)

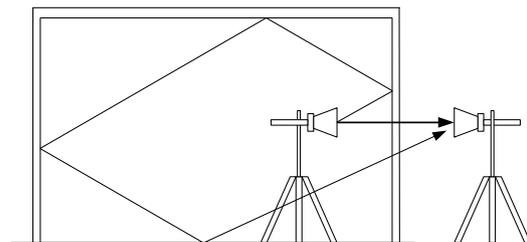


Fig. 6 シールド層施工後の反射経路の例
Example of the Reflection Course (Shielding)

その一方で、シールド層を施工した後の測定では、逆に大地面反射の影響はシールド層により低減され、シールド室の大きさや形状、壁面反射率や使用するアンテナの指向性に依存した新たな多重反射経路の影響が発生する (Fig. 6)。

このように、挿入損失法による電磁シールド性能評価は、壁の有無以外にも違いのある2つの状況を比較していることになる。また、周囲の反射物はどうしても排除することができないため、違った二つの環境で比較を行うことが再現性を低下させている。アンテナ位置の僅かな違いや、周囲の反射物の僅かな違いでリファレンス測定も、シールド層を挟んだ測定も結果が異なってしまうからである。挿入損失法は2つのアンテナを設置する環境が自由空間であり、かつシールド壁面が無限に大きい平面である理想的な場合のみ再現性が得られる測定法であると考えられる。

一方、MIL-STD285に記載されているもうひとつの測定法に「透過損失法」がある。リファレンス値とシールド壁面を挟んだ測定値を同じ環境で測定するためには、少なくとも透過損失法的な測定である必要がある。同じ環境で統一するのであれば、当然ながらシールド層を構築した後の環境 (実際に室を使用する環境) になる。

透過損失法のもう一つの利点は、シールドルームを使用するユーザーにとって理解のしやすい結果が得られる可能性が高いことである。

Fig. 7に示すように、室の電磁シールド性能が、例えば無線LAN端末を室の内外で使用した場合の受信電圧レベル差になるはずである。

しかし、透過損失法にも問題点がある。無線LAN端末のユーザーは、透過損失法の受信アンテナを設置した1点のみでPCを使用する訳ではない。無線端末の使用は移動を伴うため、電磁シールド性能にも空間的な配慮が必要となる。

5. 新しい測定システムについて

2章、4章でも前述したように、特定部位の性能ではなく空間性能の評価を目標としている。このため、空間的な代表値を測定できるようにする必要がある。

5.1 距離測定台車の作製

特定の場所でアンテナを固定して受信を行うと、空間のフェージング (位相干渉に起因する空間的なレベル変動) により測定値の安定性を欠くと考え、距離を計測しながら受信電圧レベルを記録することができる測定台車を製作した (Photo 1)。

細かい受信電圧レベルの変動を記録することができれば、空間の平均値 (または代表値) を算出することが可能になる。周波数バンド毎の代表値を考慮することも考えたが、電磁波 (特に無線情報通信) の場合には特定の

周波数のみが対象となるため、広範な幅を持ったバンドの定義をすることは避けている。

台車にはエンコーダ付距離計測輪があり、ノートパソコンは位置情報 (USB) と受信電圧レベル (GP-IB) を同時に記録することができるようになっている。測定間隔は50mm毎である。測定対象周波数は無線LANを想定し、2.45GHzの垂直偏波とした。

5.2 受信アンテナについて

局所的な測定を避けるため、さらには実際の無線LANの使用環境に近づけるために、受信アンテナは水平方向に指向性をもたないダイポールアンテナを使用した。送信点と異なり、受信点は移動するため、水平無指向であることは必須である。

受信アンテナがダイポールとなることで、ダイナミックレンジの低下は否めない。しかし、本測定はオフィスなどに用いられる簡易な電磁シールドルームを対象としており、この範囲では測定器の測定限界を超えることはなかった。

6. アンテナ位置による測定データのばらつき

距離測定台車を用いて透過損失法的な測定をする場合、以下2点の依存性についての確認が必要である。

- ① 室内側送信アンテナの位置と向きの依存性
- ② 室内外における台車走行範囲の依存性

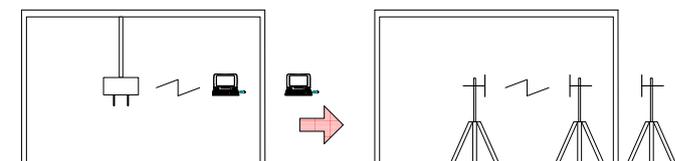


Fig. 7 通信機器の実使用環境に近い透過損失法
Transmission Loss Method is good for Communications Equipments



Photo 1 距離計測輪つき測定台車とダイポール
Chassis with the Distance Measurement Tire and Dipole

ここではまず、①の送信アンテナの設置位置と向きの依存性についての検討を行った。①が測定結果に及ぼす影響が大きければ、計測手法の再現性が乏しいだけでなく、厳密な位置計測が必要であり測定そのものが簡便でなくなるためである。

遮音測定で行われている手法を参考に、室内側の発生源として利得の高い指向性アンテナを用い、室内をその部屋固有の拡散環境として計測をすることとした。このため、故意に主ビーム方向を壁面に向けている。この状態で、室内側送信アンテナの位置や向きを変化させた場合の、室内外での計測値のばらつきを調査した。

Fig. 8に測定概念図を示す。シールドルーム内部のA点～C点のいずれか1点に指向性のある送信アンテナを設置し、受信電圧レベルを距離測定台車で測定した。アンテナ高さは透過損失法と同じ1360mmである。

送信アンテナは受信アンテナ側とは反対の壁面方向(これを0度とする)に向けた。さらに、C点においては送信アンテナの角度を水平方向に45度、90度と変化させた場合についても測定を行った。受信アンテナは水平無指向のダイポールである。信号発生器の出力は0dBm(107dB μ V)とした。

なお、②の台車走行範囲の依存性については今後の検討課題としたい。

6.1 電磁シールド室内部における計測値のばらつき

電磁シールド室内部の走行ライン1上で計測した受信電圧レベルをFig. 9に示す。また、Table 4には測定パターン毎の空間平均値(受信電圧レベルの相加平均)とその標準偏差を示す。

Table 4の空間平均値は送信アンテナの位置や角度が変化しても、殆ど変化していないことがわかる。最大値と最小値の差が1.8dB、標準偏差でも僅かに0.605dBであり、送信アンテナの依存度は低いといえる。

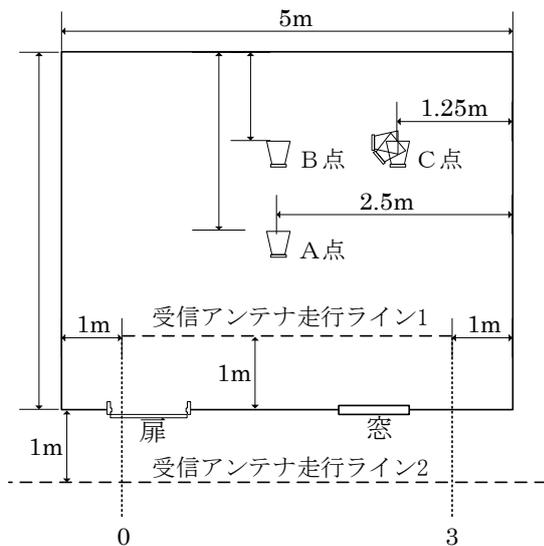


Fig. 8 測定概念図
Measurement Conception Diagram

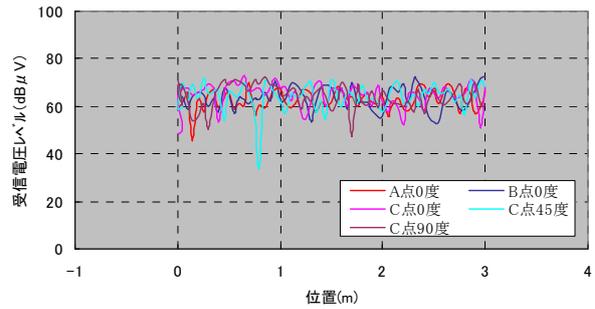
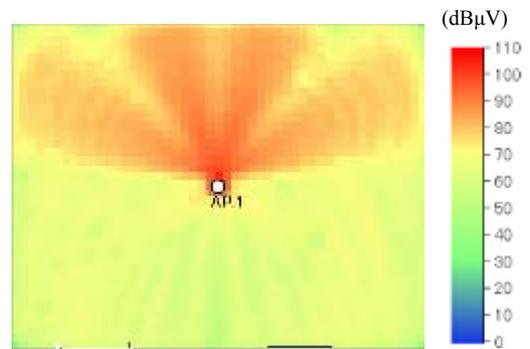


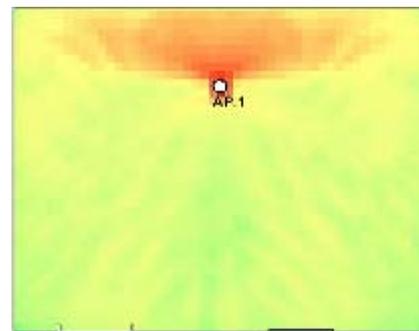
Fig. 9 走行ライン1上(室内)のレベル分布
Level Distributions on Line 1 (in Room)

Table 4 走行ライン1上の平均レベル(dB μ V)
Average Levels on Line 1 (dB μ V)

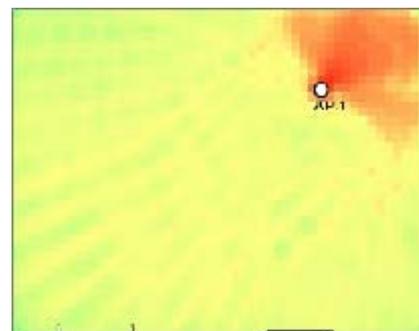
A点0度	B点0度	C点0度	C点45度	C点90度	平均	標準偏差
62.8	63.6	64.6	64.0	64.1	63.8	0.605



a) A点0度 (Point A 0 degrees)



b) B点0度 (Point B 0 degrees)



c) C点45度 (Point C 45 degrees)

Fig. 10 室内の電界分布状況(数値解析)
Electric Field Strength Distribution in Room (Calculated)

室内においては、送信アンテナの位置や角度を大きく変化させても、受信アンテナ位置の微細な違いによるグラフの凹凸の現れ方に違いがあるものの、測定ライン1上の空間平均値には殆ど影響がないことがわかる。標準偏差も極めて小さく、安定した計測ができています。

次に同様の状況を数値シミュレーションにより再現した。結果をFig. 10に示す。計算手法はレイトレーシング法（二次元計算。指向性は実際のホーンに較べ広い）である。指向性を持つアンテナであっても、壁面に向けたアンテナの主ビーム方向を除けば、室内レベルが均一に近い状況になっていることが解る。

以上からシールド室内部の計測値については、送信アンテナの厳密な設置位置の定義をせずとも、再現性のある結果が得られる可能性がある。少なくとも、今回計測したシールド室に対しては再現性があったと言える。

なお、Fig. 10からは平均的なレベルは均一でも、定在波のたちかたは送信アンテナの設置の仕方により異なっていることもわかる。局所的な受信だけでは全体の状況を捉えにくいことも確認できる。

6.2 電磁シールド室外部における計測値のばらつき

同様にして、電磁シールド室外部の走行ライン2上で受信電圧レベル分布を計測した結果をFig. 11に示す。空間平均と標準偏差をTable 5に示す。

シールドルーム外側においても、送信アンテナの位置や向きとは無関係に、ほぼ同じ平均レベルが得られていることがわかる。目地部や、性能が部分的に低い箇所からのばらつきが顕著にでると予想していたが、送信アンテナが性能の弱い特定部位から遠く、かつ弱い部位に対しランダムな方向から入射しているためか、挿入損失法で見られたドア部や窓部でのレベルの盛り上がりは殆どなかった。送信アンテナ位置による標準偏差も1dBを下回っており、シールド層を介しても計測値の安定性が得られていることがわかる。

外部の走行ライン2の長さは、内部の走行ライン1の長さ3mに対し、5mと長くしている。これは部屋の角部の取合いの影響を含ませたいと考えたためである。

そこで、走行ライン2の測定結果を走行ライン1と対向する3m部分（Fig. 11における0mから3m部分）だけであつたと仮定して空間平均値を算出すると、Table 6のようになる。標準偏差が1.518となり、ばらつきが増加した結果となった。

しかしこれは同時に、開口部などの漏れ箇所から隔離することによる低めで安定したデータの影響が排除される形になったとも言える。これは平均値が増加していることから推測できる。内部および外部の測定範囲の定義については今後の課題である。

7. 空間の電磁シールド性能

7.1 空間の電磁シールド性能の定義と評価

ここで、Table 4に得られた室内側の空間平均受信電圧レベルと、Table 5に得られた室外側の空間平均受信電圧レベルとの差を、シールドルームの空間的なシールド性能と定義する。

また、従来の一一般的なシールド性能と区別するために単位は dB_{wall} と表記した。厳密には測定対象壁面の性能であるためWallとしている。

$$S(dB_{wall}) = \bar{E}_{in}(dB\mu V) - \bar{E}_{out}(dB\mu V) \quad (1)$$

Table 7に結果を示す。Table 7から、電磁シールドルーム内の発信源の位置や向きを変えてもシールド性能がよい一致を示した。標準偏差も1dB程度であり、ばらつきも少ない。

7.2 同条件下における測定のばらつき

7.1節では、送信アンテナの位置や向きを変化させた場合のばらつきについて述べた。

ここでは、室内の同じ位置に送信アンテナを置いて、8回同じ測定を行った場合のばらつきについて調査した。

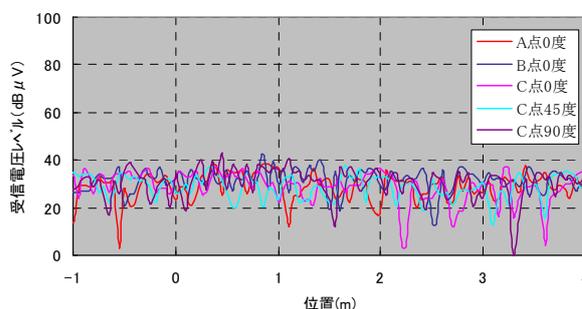


Fig. 11 走行ライン2上(室外)のレベル分布
Level Distributions on Line 2 (Outside)

Table 5 走行ライン2上(外 5m)の平均レベル(dBμV)
Average Levels on Line 2 (Outside 5m)

A点0度	B点0度	C点0度	C点45度	C点90度	平均	標準偏差
28.2	30.8	28.5	28.5	29.7	29.1	0.963

Table 6 走行ライン2上(外 3m)の平均レベル(dBμV)
Average Levels on Line 2 (Outside 3m)

A点0度	B点0度	C点0度	C点45度	C点90度	平均	標準偏差
30.6	32.2	28.7	28.3	31.4	30.2	1.518

(※台車走行距離を室内と同じ3mとした)

Table 7 空間性能(dB_{wall})
Space Performances (dB_{wall})

A点0度	B点0度	C点0度	C点45度	C点90度	平均	標準偏差
34.5	32.9	36.0	35.6	34.4	34.7	1.1

全ての測定において、Fig. 8のC点に送信アンテナを置き、方向は45度とすることにしたが、送信アンテナはその都度設置直して測定を行った。従って、送信アンテナの設置位置や向きには数mm～数cm程度の違いがある。結果をTable 8に示す。

標準偏差は僅かに0.3dBであり、極めて再現性の高い結果が得られたといえる。

再測定における再現性が非常に高いため、簡易な電磁シールド空間に対しても安全率を数dB見込んだ性能保証をすることが可能であると考えられる。

7.3 挿入損失法との比較

4章で計測した、v～zの5点のうち、同じ壁面に相当するx点、y点、z点のシールド性能(dB)と、6章で計測した空間(壁面)の電磁シールド性能(dB_{wall})をTable 9にまとめた。

測定方法や基準値の考え方が異なるため単純比較はできないが、挿入損失法ではアンテナの設置位置(測定位置)が異なると性能が異なるだけでなく、同じ点においても、リファレンスレベルの違いや測定回の違いによって異なる値となった。

これに対し、今回定義した空間評価法では、送信アンテナの設置位置や向きを変化させても壁面の平均的な性能が安定的に得られていることがわかる。

また、空間性能(dB_{wall})は挿入損失法で測定したシールド性能(dB)に較べ数dB大きな値となっている。これは、空間性能(dB_{wall})がリファレンスレベルを反射環境となる室内で測定していること、および壁面から室外の測定ラインまでの距離減衰分を含まないこと等に起因すると考えられる。

8. まとめ

シールドルーム内部に送信アンテナを設置すると内部の電界レベルが平均化され拡散場的な特性を示すことに着目し、シールドルームの性能評価を従来の挿入損失法とは異なる方法で測定する基礎的手法について提案および検討をおこなった。

その結果、内部アンテナの位置や向きとは無関係に、安定してシールド性能を評価することができた。

Table 8 複数回測定における空間性能のばらつき
Unevenness of Space Performance in Multiple Measurements

	空間性能 (dB _{wall})
前回の測定	35.6
1回目	35.1
2回目	35.8
3回目	35.9
4回目	35.5
5回目	35.9
6回目	35.7
7回目	35.9
8回目	35.1
平均	35.6
標準偏差	0.297

(送信アンテナの設置位置・向きはC点・45度)

Table 9 挿入損失法と提案手法の比較
Comparison with Insertion Loss Method and Our Technique

	x点	y点	z点
現地Ref	4.4dB	23.5dB	25.4dB
屋外Ref (1回目)	26.0dB	24.5dB	27.0dB
屋外Ref (2回目)	31.6dB	31.4dB	25.7dB
空間性能 (A点0°)	34.5dB _{wall}		
空間性能 (B点0°)	32.9dB _{wall}		
空間性能 (C点0°)	36.0dB _{wall}		
空間性能 (C点45°)	35.6dB _{wall}		
空間性能 (C点90°)	34.4dB _{wall}		

アンテナ位置を厳密に設定したり、基準値を屋外や暗室などで別途測定する必要もないため、実物件の測定にも適しているといえる。以下に、提案した空間性能評価法のメリットを挙げる。

- ① シールド室竣工後の測定のみでよい
- ② 室のモードや壁面反射率を含む評価ができる
- ③ 周囲環境の影響を受けにくい
- ④ 再現性が良い
- ⑤ 通信機器の使用状況に近い実質的な評価である

参考文献

- 1) 笠井泰彰：電磁シールド性能評価手法に関する一考察，日本建築学会，電磁環境研究発表会資料(2007)