

電波暗室間の測定値差違に関する研究

上 菌 剛*, 谷山清吾*, 尾前 宏**

Study on Measurement Value Difference between Anechoic Chambers

Tsuyoshi UEZONO, Seigo TANIYAMA and Hiroshi ONOMAE

多くの電気製品等は、製品出荷前に日本適合性認定協会（JAB）などの認定を受けた電波暗室で、EMC適合確認試験に合格する必要があるため、事前に公設試等の電波暗室を利用して対策や確認試験などを実施している。両者で同等の試験結果が得られることが望ましいが、様々な要因から実際には一致しないことが多い。また、企業は近隣の複数の公設試で測定することもあり、公設試間での測定値のバラツキも問題となっている。そこで、電波暗室間の測定値のバラツキを小さくし、相関性を向上させるための方法を検討した。その結果、当センターの電波暗室においては床面に金属板を敷設し、電源ラインにVHF帯疑似電源回路網（VHF-LISN）を利用する方法で良好な結果を得た。

Keyword : 6面電波暗室, 5面電波暗室, 金属板敷設, CMAD, VHF-LISN, 相関

1. 緒 言

携帯電話による医療機器の誤作動や、電磁ノイズによる電子機器の誤動作、相互干渉が社会問題となり、電子機器のEMC (Electro Magnetic Compatibility: 電磁環境両立性) 性能について、1980年代頃から世界共通で法規制化が進んでいる。電子機器を開発している県内企業においても、自社製品が法規制で定められたEMC性能（規定強度を超える電磁ノイズを生じない、規定強度の電磁ノイズを受けても誤作動しない）に適合させるための対策を行っている。

様々な試験項目の中で、電子機器から空間に漏洩する電磁ノイズの強度を測定する際は、電波暗室を使用する。電波暗室は、外来電磁波の進入を防ぐとともに、室内壁面からの電磁波の反射も防ぐ構造となっている。当センターでは平成9年にEMC対策用の小型電波暗室を整備し、対策の場を県内企業に提供している。当センターで整備した電波暗室は、妨害電磁波耐性試験（イミュニティー試験）用の6面暗室（全ての壁に電波吸収体を設置）であり、放射性妨害波測定（エミッション測定）用の5面暗室（床面のみ金属反射面）ではない。そのためエミッション測定では床面からの反射が少ない分、測定値が小さくなる場合がある。また、電波暗室の特性は規格により正規化サイトアッテネーション（NSA）値が基準値に対して±4 dB以内であるように定められているが、電波暗室に設置された供試体（EUT: Equipment Under Test）用電源のインピーダンス特性に関しては規定が無い。そのため電源インピーダンスが電波暗室によって異なり、周波数によって数十～数百Ω

と大きく変化し¹⁾、測定データがばらつく原因となっている。特に測定周波数範囲30～300MHzでの測定に与える影響が大きいと言われている²⁾。

このように、異なる電波暗室間では、様々な要因から測定結果にバラツキが生じるため、当センターで測定する際は、規制値に対して一定の安全マージンを持たせる必要があった。こうした状況を改善する手法として、電波暗室の5面化と電源インピーダンスの安定化について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試体

EUTには民生品の代表的なものとして、LED電球（60W相当、消費電力11.2W）と、コムジェネ（特定の周波数で特定の大きさの信号を発生する発振器）を用いた。LED電球は国際規格CISPR15に規定される30～300MHzを評価するために、またコムジェネは1GHzまでの評価を目的に使用した。コムジェネは山口県産業技術センターで作製したもので、出力周波数は30MHz～1GHzの間の32MHz毎に31ポイント出力する。

2.2 実験条件

測定は当センターの電波暗室（D7m, W4m, H3m）（以下、鹿児島暗室）と、認定を受けた大型電波暗室（D21m, W12m, H9.47m）（以下、認定暗室）の2カ所で実施した。鹿児島暗室は、5面暗室化のために大きさ4m×2m、厚さ1mmのステンレス金属板をEUTから受信アンテナまでの直線経路直下の床面に敷設した。5面暗室化の効果を確認するために、現状の6面暗室の測定も併せて行った。

* 生産技術部

** 食品・化学部

電源ラインの安定化には吸収クランプ (CMAD : Common Mode Absorbing Device) や, VHF帯疑似電源回路網 (VHF-LISN : VHF Line Impedance Stabilization Network) 等による対策がある。CMADはコモンモード吸収装置と呼ばれ, 電源ラインのコモンモード電流を吸収する装置である。VHF-LISNは, VHF帯 (30-300MHz) における交流電源のインピーダンスを安定化する装置である。本研究では上記2つの装置を利用して測定を行った。使用した装置の仕様をそれぞれ表1, 2に示す。

表1 CMADの仕様

製品名 : Luthi社 FGZ40X15E

項目	仕様
周波数帯域	1 ~ 1000MHz
挿入損失	8 ~ 68dB
サイズ	58 × 53 × 615mm
重量	3.4kg

表2 VHF-LISNの仕様

製品名 : 協立電機 (株) KDEMC-1015L

項目	仕様
周波数帯域	1 ~ 300MHz
インピーダンス特性	50Ω ± 20%以下
位相特性	0 deg ± 20deg以下
アイソレーション特性	40dB以上
サイズ	52 × 100 × 130mm

本装置を, EUT電源ケーブルと床面コンセントの間に, 次の3条件で接続し測定した。接続の様子を図1, 2, 3に示す。

- 1 標準接続 : 床面コンセントに直接接続した。
- 2 CMAD接続 : 電源コードをCMADに挟み込み, 床面コンセントに接続した。
- 3 VHF-LISN接続 : 電源コードをVHF-LISNに接続し, VHF-LISNの電源コードを床面コンセントに接続した。

その他の測定条件は, CISPR15に準じる条件とした。EUTは高さ80cmの木製テーブル中央に設置し, 測定距離は3mとした。アンテナの高さは1mと2mとし, ターンテーブルを360度回転させ, 各周波数における最も高いレベルの電磁ノイズを水平偏波および垂直偏波について測定した。測定のイメージを図4に示す。

2. 3 評価方法

認定暗室での測定結果との一致度は, 測定した電磁ノイズレベルの測定周波数範囲での最大差分および相関係数で評価した。相関係数は, 式1に示すとおり, 比較する2つのデータ (A : 鹿児島暗室, B : 認定暗室) においてAと

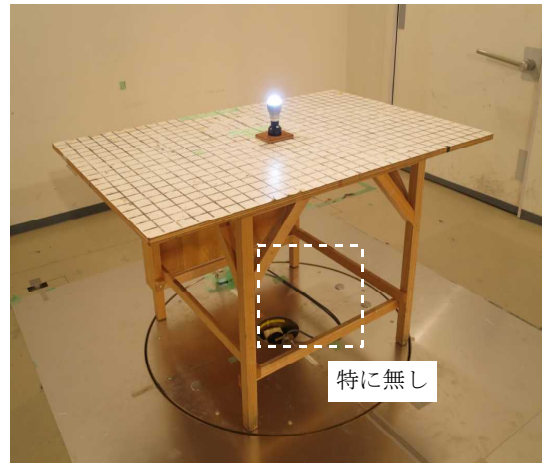


図1 標準接続

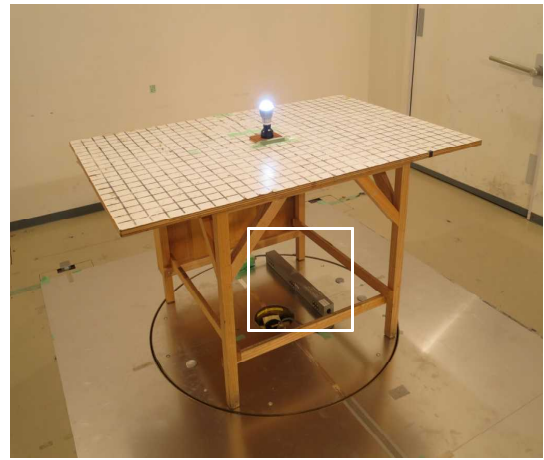


図2 CMAD接続

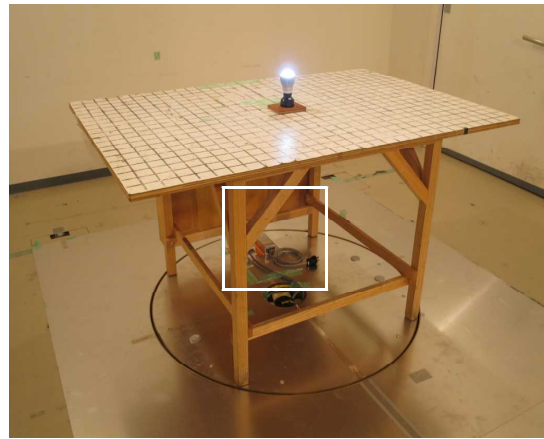


図3 VHF-LISN接続

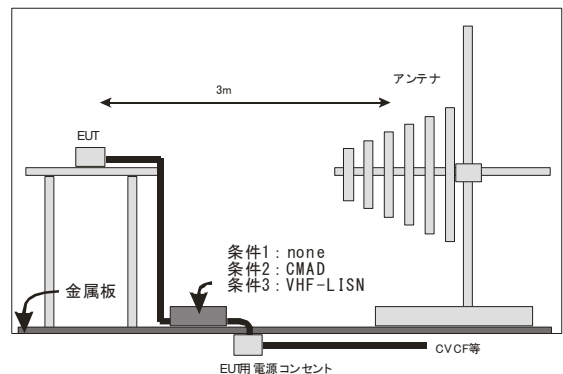


図4 測定のイメージ

Bの共分散を、Aの標準偏差とBの標準偏差の積で割った値であり、AとBの直線的な関係の強さを-1から1の数値で表現する。1に近いほど相関性が高く、測定結果がよく一致していることを示す。

$$\text{相関係数} = \frac{\text{AとBの共分散}}{(\text{Aの標準偏差}) \times (\text{Bの標準偏差})} \quad (\text{式1})$$

3. 実験結果

3.1 LED電球の測定結果

金属板を敷設した5面暗室のグラフを図5, 6, 7に、現状の6面暗室のグラフを図8, 9, 10に、評価結果を表3に示す。グラフは上部が横軸周波数(対数軸)、縦軸ノイズレベルで、鹿児島暗室と認定暗室の測定値をプロットしており、下部は両者の差分を示している。それぞれのグラフにおいて左は水平偏波、右は垂直偏波である。

水平偏波における30MHz~50MHzの差はノイズフロアの違いによる影響のため、これを除外して評価した。標準接続においては両偏波とも10dBを超える差を確認した。またピーク的一致しない細かいスペクトルの山が見えた。これは電源配線の引き回しによる影響である³⁾。CMADによる測定では、図5で確認した細かいスペクトルの山が滑らかになった。またリファレンスと比較してスペクトルのピークがよく一致していることが確認できた。そのため、最大差分は水平で6.7dB、垂直で5.9dBまで小さくなっており、相関係数も水平で0.93、垂直で0.95と大きく改善した。VHF-LISNによる測定では、CMAD同様両偏波でスペクトルのピークがよく一致しており、最大差分も5dB程度、相関係数も水平0.98、垂直0.95と3条件では最も効果が高かった。

現状の6面暗室の測定値は、5面暗室と同様の傾向が確認できたが、評価結果の数値は5面暗室よりも悪い結果となった。特にCMAD測定、VHF-LISN接続において、垂直偏波で全体的にノイズレベルが小さくなっている。これは、主なノイズ発生源である電源コードにおいて、床面に対して水平に這わせた電源コードからは水平偏波のノイズが、垂直に這わせた電源コードからは垂直偏波のノイズが発生するが、今回の電源コードの配線において垂直に這わせた電源コードの割合が高いことから垂直偏波の測定値でその差が顕著に表れた要因の一つとして考えられる。また、5面暗室の水平偏波はリファレンスと比較して若干高めに出ている分、6面での差が目立たなくなっているとも言える。

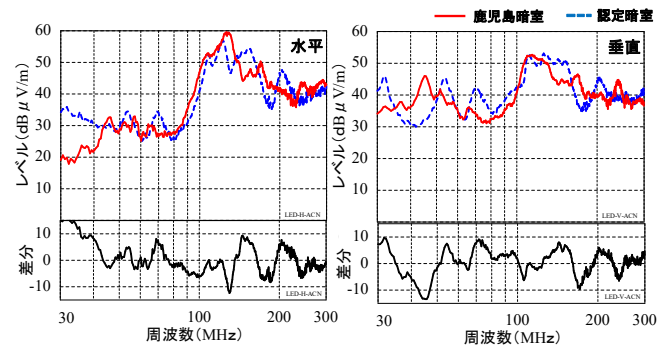


図5 LED電球の結果 (5面暗室+標準)

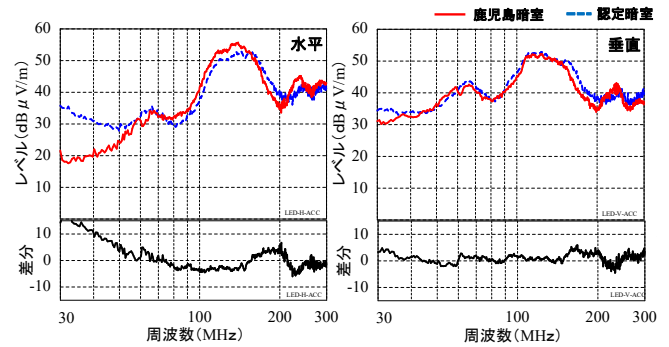


図6 LED電球の結果 (5面暗室+CMAD)

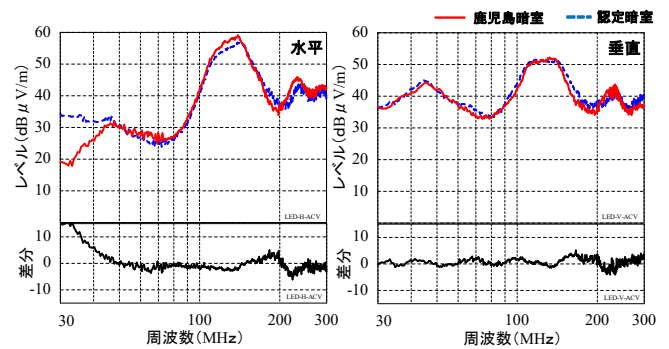


図7 LED電球の結果 (5面暗室+VHF-LISN)

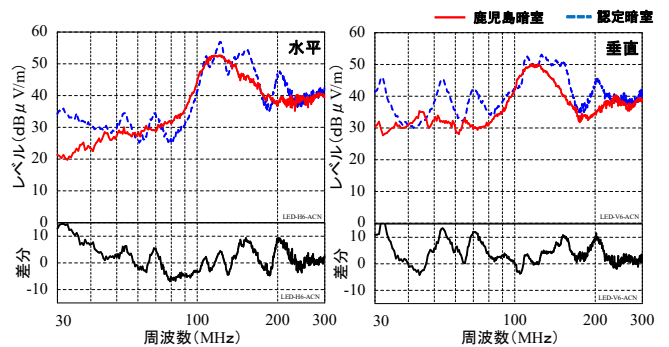


図8 LED電球の結果 (6面暗室+標準)

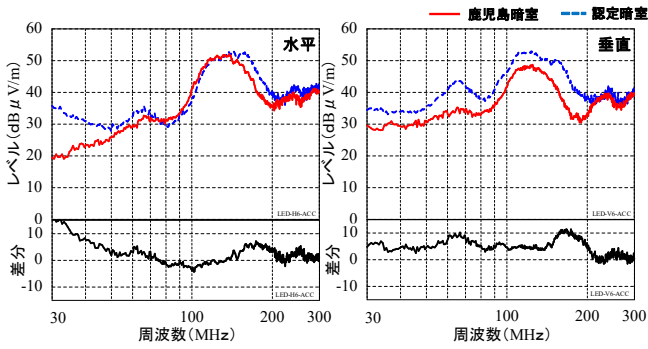


図9 LED電球の結果 (6面暗室+CMAD)

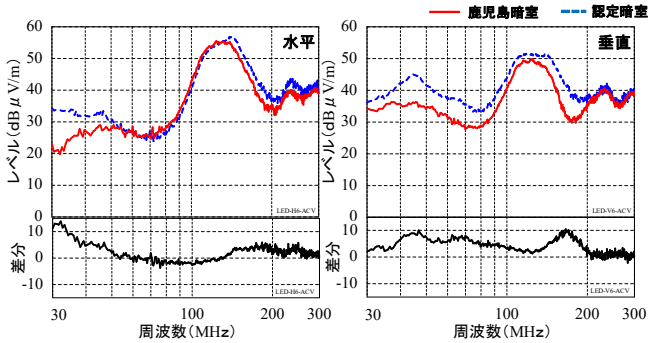


図10 LED電球の結果 (6面暗室+VHF-LISN)

表3 LED評価結果

測定条件		相関係数	最大差分 (dB)
5面暗室	標準 (対策無し)	水平	0.84
		垂直	0.67
	CMAD	水平	0.93
		垂直	0.95
6面暗室	標準 (対策無し)	水平	0.87
		垂直	0.77
	CMAD	水平	0.93
		垂直	0.83
VHF-LISN	水平	0.97	
	垂直	0.86	

(サンプル数500)

3.2 コムジェネの測定結果

金属板を敷設した5面暗室のグラフを図11, 12, 13に, 現状の6面暗室のグラフを図14, 15, 16に, 評価結果を表4に示す。グラフはLED電球と同じ見方である。着目すべき31ポイントの周波数のみの数値を取り出し, 折れ線グラフにしたものである。また, 32MHz毎のデータであることから横軸は対数軸ではなく線形軸とした。標準測定では両偏波で7~10dBを超える差を確認した。CMADによる測定では, 最大差分は水平で7.2, 垂直で4.8dBまで小さくなった。相関係数はサンプル数が少ないこともあり標準測定でも高い

値となっているが, その値も改善が見られ, 水平で0.97, 垂直で0.99となった。VHF-LISNによる測定では, 最大差分, 相関係数ともにCMAD以上の改善が見られた。VHF-LISNの仕様外である300MHz以上の周波数においても改善が見られたが, 特性は劣化するが, その状態で安定するためと考えられる。

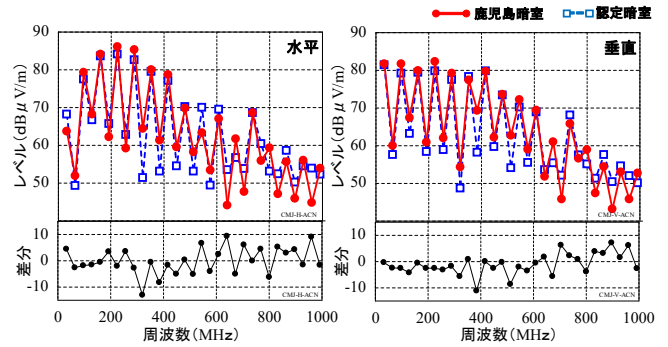


図11 コムジェネの結果 (5面暗室+標準)

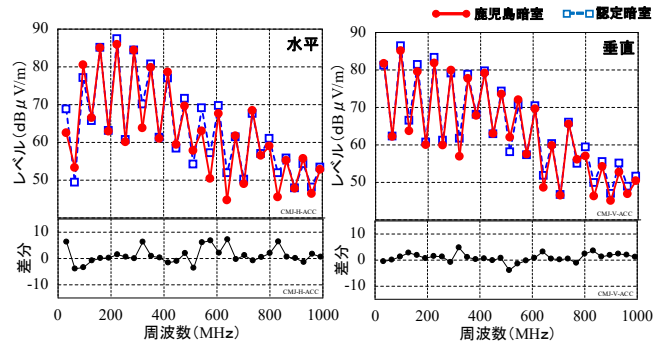


図12 コムジェネの結果 (5面暗室+CMAD)

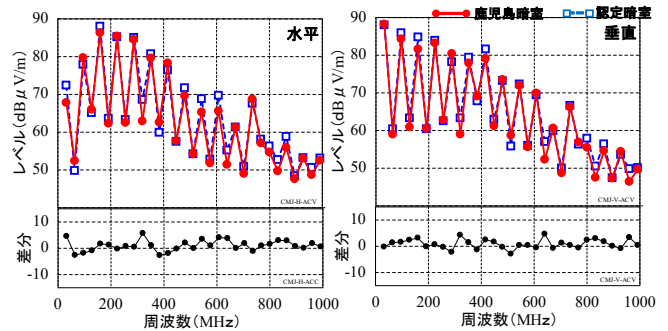


図13 コムジェネの結果 (5面暗室+VHF-LISN)

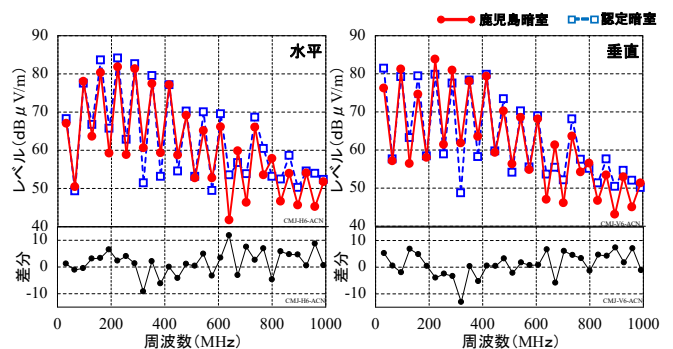


図14 コムジェネの結果 (6面暗室+標準)

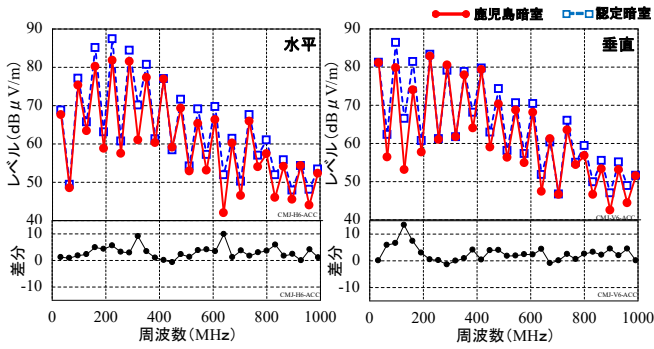


図15 コムジェネの結果（6面暗室+CMAD）

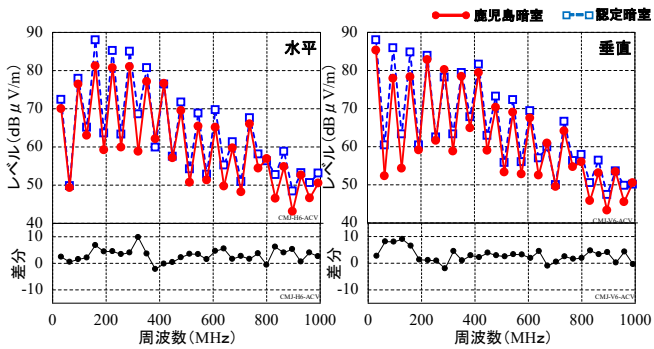


図16 コムジェネの結果（6面暗室+VHF-LISN）

表4 コムジェネの評価結果

測定条件		相関係数	最大差分 (dB)
5面暗室	標準 (対策無し)	水平	0.91 13.0
		垂直	0.94 11.1
	CMAD	水平	0.97 7.2
		垂直	0.99 4.8
	VHF-LISN	水平	0.98 5.7
		垂直	0.99 4.7
6面暗室	標準 (対策無し)	水平	0.92 11.8
		垂直	0.92 13.1
	CMAD	水平	0.98 9.9
		垂直	0.97 13.4
	VHF-LISN	水平	0.98 9.8
		垂直	0.98 9.0

(サンプル数31)

4. 結 言

今回の実験により、最も効果の高い対策は、5面暗室化とVHF-LISNの利用であった。まとめた結果を表5に示す。

電波暗室において、EUT用電源ラインのインピーダンスはケーブルの長さや引き回し方、ノイズフィルタ特性等により、ケーブル間や対地間の結合状態が変化し、ケーブルの共振状態が変化するため電波暗室間の測定データのバラツキの原因となる。今回の研究でCMADやVHF-LISNなどの電源安定化装置を使用することにより、測定データのバラツ

キが小さくなり、相関性が向上することが確認できた。今回CMADの結果が若干悪かった原因として考えられるのは、CMADの筐体が大きいこと、配線の引き回しに差違が生じたことが挙げられる。またVHF-LISNが電源インピーダンスを一定にすることに対して、CMADはコモンモード電流を抑制してしまうため放射電界強度を変化させてしまう可能性があることも関係している²⁾。さらに筐体の大きさなども考慮すると、既存電波暗室での対策としてはVHF-LISNでの対策が良いと考える。また5面暗室と6面暗室の結果を比較すると、電源安定化装置と併用した場合、ほぼ全ての条件について5面暗室が良い結果を示していることから、規格に定められた5面暗室化の対応は必要と考える。

表5 最も効果の高かった対策と評価結果

EUT	測定条件	相関係数	最大差分 (dB)
LED電球	対策前 (現状) ・ 6面暗室 ・ 電源安定化無し	0.82	13.65
	対策後 ・ 5面暗室 ・ VHF-LISN	0.97	5.6
コムジェネ	対策前 (現状) ・ 6面暗室 ・ 電源安定化無し	0.92	12.45
	対策後 ・ 5面暗室 ・ VHF-LISN	0.99	5.2

今回の結果を受けて、鹿児島暗室の改善手法が確立できたが、電源安定化装置については、現在規格化の検討が進められている状況であり、認定暗室においても使用できる状況になっていない。規格化を待って実施に移したい。

謝 辞

本研究の一部は、山口県産業技術センター、福岡県工業技術センター、熊本県産業技術センター、宮崎県工業技術センター、鹿児島県工業技術センターをメンバーとする九州地方知事会EMC研究会の共同実験による成果である。関係各位に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 広瀬純ら：茨城県工業技術センター研究報告, 35 (2000)
- 2) 田中嶋克行：EMCCレポート, 26 (2010), P26
- 3) 大橋弘幸ら：東京都立産業技術センター研究報告, 6 (2011), P142

