

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「EMC 対策を効率化する遠方電磁界の推測機能を搭載した
事前検証システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成27年 3月

委託者 関東経済産業局
委託先 テクノアルファ株式会社

目次

第1章 研究の概要.....	1
1－1. 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1－2. 研究体制	5
1－3. 成果概要	9
1－4. 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	11
2－1. 同期技術の確立と電磁界同時計測システムの開発	11
2－2. 3次元走査可能な近傍スキャナ装置と位相差測定によるノイズ源探査システムの開発	19
2－3. EMCの見える化測定手法開発	29
最終章（全体総括）	41

第1章 研究の概要

1-1. 研究開発の背景・研究目的及び目標

①研究の背景

i) 該当技術分野の現状

いまやスマートフォンなどの情報通信機器は、我々の社会生活になくてはならないものとなりつつある。そして、それらの電子機器は非常に速いスピードで小型・高密度集積化、薄型化、軽量化、高機能化が進んでいる。それを支えているのは、電子機器の内部のマイクロコンピュータの高速化や無線技術の搭載などである。しかし、その反面、従来よりも機器から発生する電磁波ノイズが増加し、他の電子機器の誤動作などを起こす問題が生じている。このため、現在の電子機器開発では電磁ノイズを放射させないための様々な対策(EMC対策)を製品に織り込む必要がある。

また、この電磁波ノイズ放出(EMI)に対する規制も国内外共に強化されており、規制に適合した製品でないと販売できない。しかし、この規制に適合していることを証明するためには、非常に大掛かりな装置の利用を含む手間の掛かる測定が必要であり、製品開発上のボトルネックとなっている。

ii) 川下企業の具体的課題及びニーズ

川下企業の具体的課題及びニーズは以下のようなものがある。

各種電子機器のEMIの対策効果を確認するためには、大型の電波暗室で評価をする必要がある。しかし、これらの電波暗室は建設費用および維持費が高額であるため、全ての企業で所有できるわけではない。また、所有している企業においても非常に多くの検査対象が存在し設置場所及び検査時間の制約から使用が制限されている。地域の試験場の設備を借用する場合でも、使用料が非常に高額(1日の使用料は20万円から40万円程度)であり、かつ時間的な制限もあるため必要最低限の検査項目に収めざるをえない。

最終評価の時点でのEMI評価にてその対策が必要なケースが生じるために、実際は上流の設計の段階からEMC対策のためにノイズ対策用電子部品を冗長に含んだ設計マージン(余剰回路)を搭載せざるを得ない。このため、小型・高密度集積化の大きな妨げとなっていた。

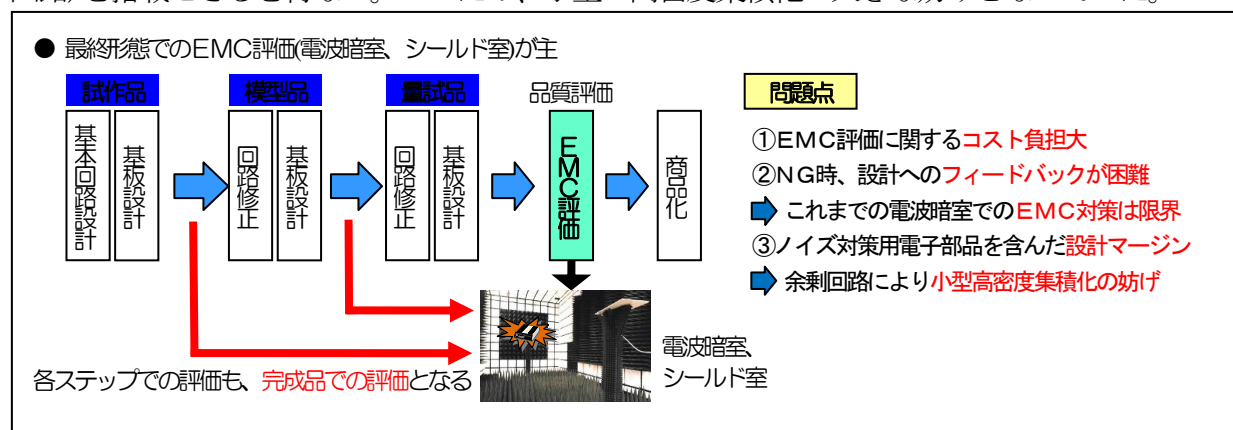


図1 現状のEMCの評価

そのため、電子機器、自動車、半導体、医療機器などの川下企業は、設計の上流段階からフェーズごとにEMC対策の効果を確認出来る安価で、かつ小型・簡便な装置を切望している。すなわち、川下企業の設計者が自在にEMIの評価が行える環境を確保し、EMIを考慮した最適設計が早い段階で可能となることで設計マージンを最小または不要にし、その結果、電子機器のさらなる小型・高密度化を達成出来る様な検査システムの開発が急務である。

この遠方電磁界を予測する方式では、近傍の電界と磁界の分布を位相情報も含めて測定出来る装置が必要である。

現状では、近傍電磁界の分布を測定する装置として、図4の中で示したような、小型で電波暗室の設備に比べると安価な近傍電磁界測定装置が製品化されている。この測定機は、電磁界プローブを電子機器の近傍で走査し、そのプローブ出力をスペクトラムアナライザで測定することで、近傍電磁界の分布を可視化するものである。

しかしながらこの測定では、測定機がスペクトラムアナライザであるため、雑音の周波数と大きさのみの測定となり、得られる近傍電磁界分布からは、位相情報が欠けてしまう。このために、この装置で測定された近傍の電磁界分布からは遠方の電磁界を求めることができない。このように、近傍の電界と磁界の分布を位相情報も含めて測定出来る装置がないという問題がある。

さらに、この近傍電磁界の分布情報を元に遠方電磁界を予測する機能、予測した遠方電磁界を電子機器の設計者が容易に理解可能な形で結果表示する機能をもつ実用的なシステムが実現されていないという問題がある。

② 研究目的及び目標



図4 ノイズの影響の実例

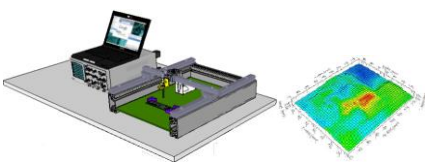
電子機器製品は小型化・高密度集積化、高機能化になるにつれ、ノイズの影響が製品の誤動作を引き起こすなど非常に敏感になりつつある。(図4 参照)

また、自動車部品、医療機器は環境対策、安全対策、先進技術の導入といったことがこれまで以上に求められる。そして、それらを実現するためには電子/電動システムが必要不可欠となっており、EMC対策、ノイズ対策の重要性はますます高くなってきている。一方で、海外との価格競争にさらされている今日、ものづくりの国際競争力の強化をするためには製品開発のスピードアップなど、従来の開発手法から新しい開発手法に変えていかなくてはならない。

本技術開発は、電子機器の電磁界のノイズ対策に対する測定方法(EMC対策)を従来技術の大掛かりな電波暗室から小型かつ安価で高精度なものとする遠方電磁界の推測機能を搭載した事前検証システムを開発し、製品開発の設計段階からEMC対策の効率化を図り、電子機器製品の品質の向上、開発時間の短縮、低コスト化に寄与する。

当該研究の成果である測定システムおよびその手法、技術は、高効率なEMI評価を可能にすることで電子機器メーカーの開発スピードの大幅向上と小型・高集積化・低コスト化を実現するものであり、ハイブリット自動車、電気自動車等の電子制御ユニット(ECU)、先端医療技術、情報通信技術を駆使した遠隔医療システム、ものづくり技術を活用した高齢者用パーソナルモビリティ、医療・介護ロボット等の研究開発・実用化を促進するうえで必要不

可欠となる精密電子機器の開発に大きく寄与する。

<従来技術(電波暗室)>	<新技術(遠方電磁界の推測機能を搭載した事前検証システム)>
<イメージ図> 	<イメージ図> EMC 見える化 
課題 • 電波暗室という巨大な設備 (3m 法: 8m×7m×6m 程度または 10m 法: 17m×15m×7m 程度のサイズ) • 設備のための土地が必要 (都市部では建設困難) • 建設費用が高額 (2億~10億円/棟) • 試験依頼した場合、使用料が高額 (1 製品に関して、1 日の使用料金が20万円~40万円程度 で通常1週間程度使用する。) • 試験依頼した場合、1か月程度の予約待ち状態 (10m 法の電波暗室は企業・公設場合わせて全国で105 棟) • 最終段階のみの検証となる。 • 多大な検査測定時間 (平均1 週間は必要) • 開発最終段階での評価なので基準に達しない場合は設計段階まで 戻る必要がある。 • 設計の変更がしにくい。	特長 • 1m×1m×1m 以内のサイズ • 卓上で測定可能 • 安価 (予定価格: 3000万円) • 試験依頼した場合、使用料が非常に安価に設定される 可能性が高い • 複数機の購入が可能 (公設場等) • 事前検証が可能となる。 • 簡易での測定が可能 (数十分程度の検査時間) • 設計試作段階での評価が可能なので事前検証が可能。 • 設計の変更がしやすい。開発スピードが向上

上記を踏まえた高度化目標

- 多種多様な電子機器共存環境でのEMC技術の高度化
- 本開発が目指すものは、電子機器の近傍の電磁界の計測を行うだけで遠方電磁ノイズを推測することでEMC試験の事前検証を可能にするシステムを確立することである。そのため、小型かつ安価で高精度な位相測定可能な近傍電磁界測定システムを開発し、川下企業に本製品を提供することで、川下企業の電子機器開発における電磁界ノイズ対策設計を効率化し、製品の電気特性やデジタルノイズ対策を高度化することを目標とする。
- 特定研究開発等の技術的目標値
1. 電子機器の電磁ノイズの位相を測定可能な測定機の開発。
 - 位相測定精度が±0.1 度以下(1 周期 360 度)で測定ができること。
 2. 3次元走査可能な近傍スキャナ装置と位相測定によるノイズ源探査システムの開発。
 - 5cm/sec の速度で3次元走査可能なスキャナ機能を有すること。
 3. EMCの見える化手法開発
 - 認証機関の電波暗室での測定結果と開発した近傍電磁界測定システムでの推測結果を比較し、単純なストリップ線路の場合は一般的な測定の不確かさを考慮して4dB 以内で推定できること、また、実装基板は製品単体の場合は、更に放射レベルの変動要因の増加を考慮して10dB 以内で推定できることを目指す。

1-2. 研究体制

①事業管理機関

テクノアルファ株式会社（最寄り駅：JR山の手線 五反田駅）
〒141-0031 東京都品川区西五反田2-27-4 明治安田生命五反田ビル

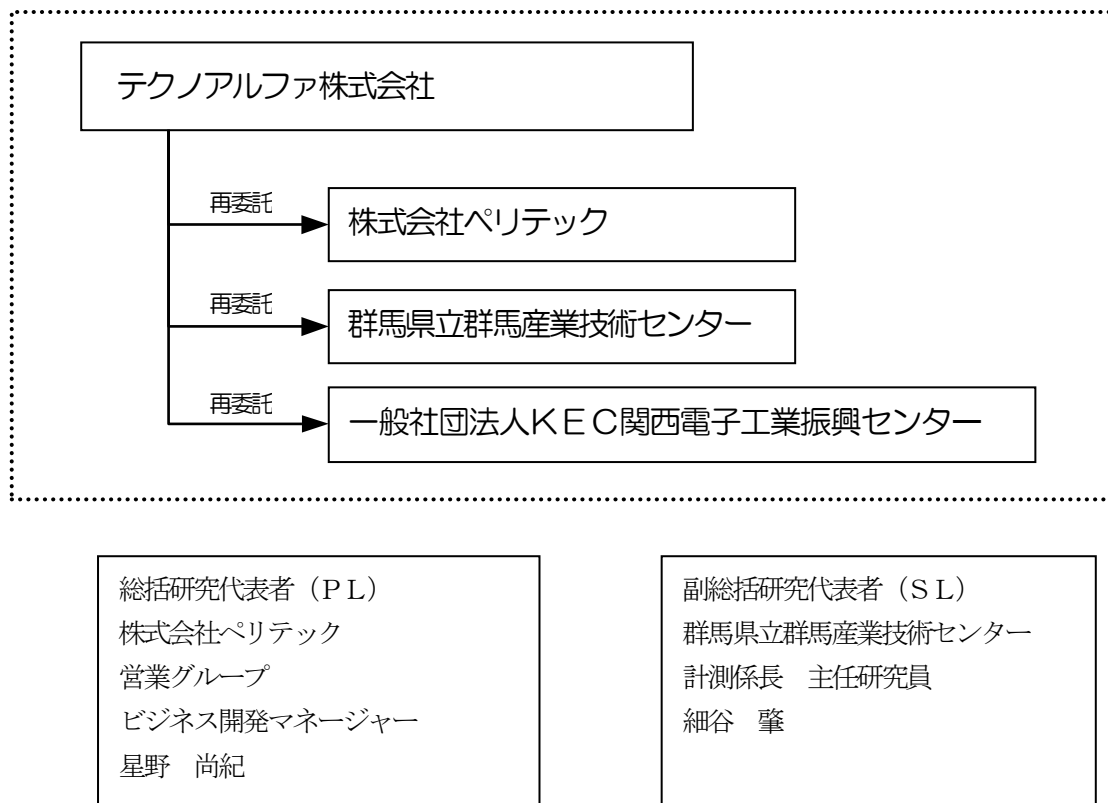
②研究実施場所

株式会社ペリテック（最寄りバス停：群馬バス 聖石橋バス停）
〒370-0862 群馬県高崎市片岡町1-17-2
群馬県立群馬産業技術センター（最寄りバス停：群馬バス 西通りバス停）
〒379-2147 群馬県前橋市亀里町884-1
一般社団法人KEC関西電子工業振興センター（最寄り駅：JR学研都市線 祝園駅又は奈良交通 けいはんなプラザバス停）
〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台3-2-2 けいはんな学研都市

1-2-2. 研究体制・管理体制

1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

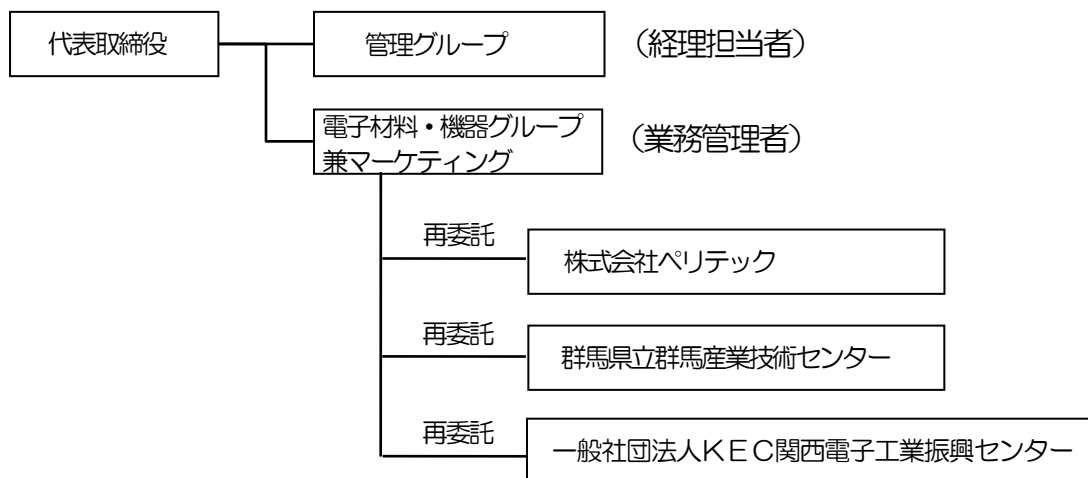


管理体制

2) 管理体制

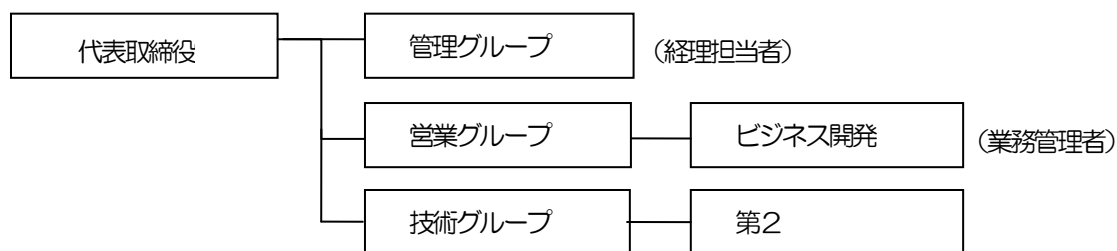
①事業管理機関

[テクノアルファ株式会社]

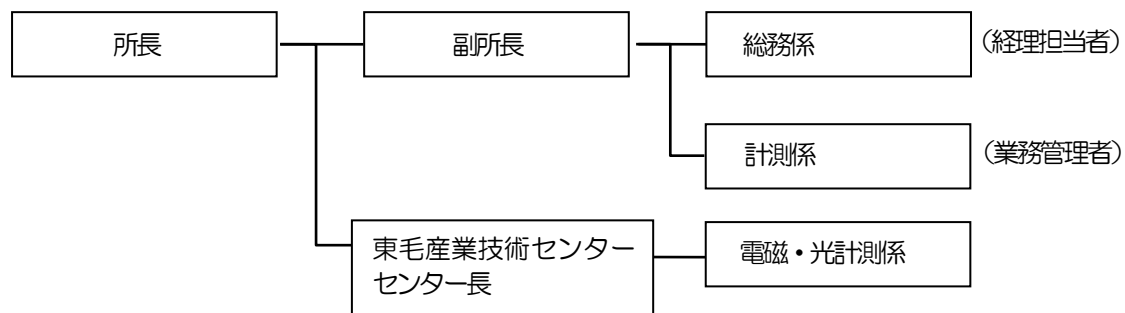


② 再委託先

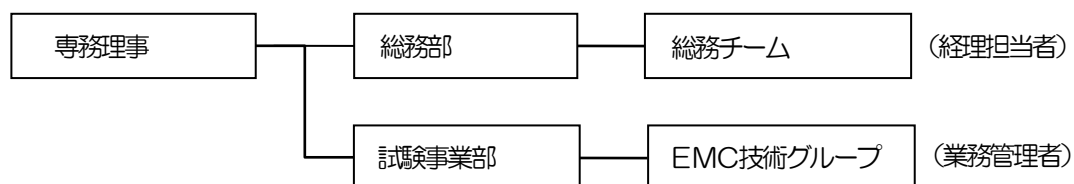
[株式会社ペリテック]



[群馬県立群馬産業技術センター]



[一般社団法人KEC関西電子工業振興センター]



2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】テクノアルファ株式会社

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
若杉 治仁	電子材料・機器グループ兼マーケティング アシスタント・マネージャー	④

【再委託先】

(研究員)

株式会社ペリテック

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
星野 尚紀	営業グループ ビジネス開発マネージャー	① ② ③
大谷 勇一	営業グループ ビジネス開発 アシスタント マネージャー	① ② ③
宮崎 智	営業グループ ビジネス開発	① ② ③
大野 智紀	技術グループ 第2 アシスタントマネー ジャー	① ② ③
高波 泰裕	技術グループ 第2	① ② ③
蔦ヶ谷 洋	営業グループ ビジネス開発	① ② ③
石井 和也	営業グループ ビジネス開発	① ② ③

群馬県立群馬産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
細谷 肇	計測係長 主任研究員	① ② ③
川端 広一	東毛産業技術センター 電磁・光計測係長	① ② ③
田辺 佳彦	計測係 独立研究員	① ② ③
水沼 一英	東毛産業技術センター 電磁・光計測係 独立研究員	① ② ③

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
泉 誠一	試験事業部 事業部長	③-3
乗本 直樹	試験事業部 EMC 技術グループ 技師	③-3
長瀬 祐介	試験事業部 EMC 技術グループ 主任補	③-3

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

テクノアルファ株式会社

(経理担当者) 管理グループ グループマネージャー 塩崎 五月

(業務管理者) 電子材料・機器グループ兼マーケティング アシスタントマネージャー 若杉 治仁

(再委託先)

株式会社ペリテック

(経理担当者) 管理グループ マネージャー 平 裕子

(業務管理者) 営業グループ ビジネス開発マネージャー 星野 尚紀

群馬県立群馬産業技術センター

(経理担当者) 総務係 主幹 浅田 岳治

(業務管理者) 計測係長 主任研究員 細谷 肇

一般社団法人K E C 関西電子工業振興センター

(経理担当者) 総務部 総務チーム 主任 六反田 陽子

(業務管理者) 試験事業部 事業部長 泉 誠一

(4) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
星野 尚紀	株式会社ペリテック 営業グループ ビジネス開発マネージャー	PL
細谷 肇	群馬県立群馬産業技術センター 計測係長 主任研究員	SL
泉 誠一	一般社団法人K E C 関西電子工業振興センター 試験事業部 事業部長	
和田 修己	国立大学法人京都大学大学院工学研究科 教授	アドバイザー
新井 宏之	国立大学法人横浜国立大学大学院工学研究院 教授	アドバイザー

1-3. 成果概要

① 実施期間

平成26年4月1日から平成27年3月31日まで

② 研究成果の概要

(1) 同期技術の確立と電磁界同時計測システムの開発

(実施：株式会社ペリテック、群馬県立群馬産業技術センター)

6GHzまで位相差測定が可能で同期測定を行うことができる技術と電磁界同時計測システムの開発を行うために、以下の研究を行った。

- ・電磁界同時計測センサと昨年度までに開発した位相差測定器を使用した電界磁界を同時に測定できるシステムにおいて位相差精度の検証を行った。
- ・昨年度開発した測定器以外の汎用測定器（安価）を用いて電界磁界測定をした場合において、位相差精度の検証と測定結果の妥当性の検証を行った。

《技術的目標値》

○位相差測定精度が±0.1度以下（測定器単体）又は必要精度を確定する。

○電磁界同時計測が可能。

《達成値》

位相差計測精度は周波数100MHzから2GHzまでの間で振幅-20dBの正弦波にて、PXI測定器は±0.1度以内、汎用測定器では±0.5度以内まで達成。本事業の計測には十分となった。

(2) 3次元走査可能な近傍スキャナ装置と位相差測定によるノイズ源探索システムの開発

昨年度までに開発した3次元近傍スキャナ装置のカメラを増設し座標精度と走査範囲の改善を行った。また、位相差を用いたノイズの発生源を特定するシステムのアルゴリズムを検証しノイズ源探索ソフトウェアの精度を改善した。

②-1 3次元スキャナ装置と最適スキャン方法の開発

(実施：株式会社ペリテック、群馬県立群馬産業技術センター)

- ・3次元スキャナ装置のカメラを増設し、死角を減らすことで位置精度を向上。走査範囲を拡大した。
- ・測定モードとして任意位置でのノイズを収録する方法、測定原点から一定距離での収録方法を搭載したプログラム開発を行った。
- ・測定物に対して十分小型である3次元スキャナに使用できるプローブを開発した。

②-2 位相差測定によるノイズ源探索システムの開発

(実施：株式会社ペリテック、群馬県立群馬産業技術センター)

- ・コヒーレンス測定を行い、変動するノイズ源を特定するアルゴリズムの開発を行い、ノイズ源の一致度を確認した。
- ・一致度からノイズ源を判定するアルゴリズムを検証してノイズ源探索の精度を改善した。

《技術的目標値》

○全体3次元走査化 走査速度5cm/sec、30mmサイズプローブ完成

○ノイズ源探索システムの完成

《達成値》

○3次元空間の任意の点において座標データと電磁界測定値を得ることが可能なスキャナシステムとして、カメラ画像立体位置検出方式を採用し走査速度5cm/secを達成した。近傍の電磁界を検出する微小アンテナは30mm平衡型の電界プローブを開発した。

○2つの信号の時間変動のタイミングによる比較、または位相差のヒストグラムを元にノイズ源を探索するシステムを構築した。

(3) EMCの見える化測定手法開発

昨年度開発した、近傍から3m測定値を推定する手法をさらに展開し、3m暗室推定データから10m暗室測定データを推定する手法を開発した。

③-1 近傍から3m法を推定する手法の開発

(実施：株式会社ペリテック、群馬県立群馬産業技術センター)

- ・床面反射を考慮したシミュレーションソフトウェアを開発した。
- ・3m法電波暗室にて箱型供試器とダイポールアンテナ型供試器の測定を行なった。
- ・近傍磁界測定結果から遠方電界推定をして比較検討した。

③-2 3m暗室推定データから10m暗室測定データ推定する手法の開発

(実施：株式会社ペリテック、群馬県立群馬産業技術センター)

- ・1GHz以下で3m離れた場所での遠方推定の実験評価をした。
- ・3m離れた場所での推定と10m離れた場所での推定の比較及び補正方法の検討をした。
- ・10m離れた場所での反射を考慮した推定値を求めた。

③-3 電波暗室での試験前の事前検証システムとしての実現化

(実施：株式会社ペリテック、群馬県立群馬産業技術センター、一般社団法人KEC関西電子工業振興センター)

- ・各国の法規制の調査及び検証を行った。
- ・10m法電波暗室での箱型供試体およびダイポールアンテナ型供試体のEMI測定を実施した。
- ・EMCでの研究会及び規格委員会での発表や情報交換を行い、規格化や標準化に向けて活動を行った。

《技術的目標値》

○10dB以内で製品単体の近傍から遠方を推定する手法を開発

《達成値》

○理想状態での近傍の電磁界データから3m法の床面反射を考慮した遠方電磁界を予想する手法およびソフトウェア開発は完了。箱型の供試機器およびダイポールアンテナを使つての実測データによる検証比較を行い、推測精度を確認した。今回の測定事例では推定値は10dB以内となった。事前検証システムの仕様範囲を明確にした。

(4) プロジェクトの管理・運営

(実施：テクノアルファ株式会社)

- ・本プロジェクトの管理を行った。プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、成果報告書1部及び電子媒体(CD-ROM)一式を作成した。
- ・本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行った。
- ・再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導・確認を行った。
- ・研究開発推進委員会を委託契約期間内に3回開催した。

1-4. 当該研究開発の連絡窓口

株式会社ペリテック・営業グループ ビジネス開発マネージャー ・星野尚紀

・TEL:027-328-6970・Email:n-hoshino@mail.peritec.co.jp

第2章 本論

開発の全体像

EMC には、電子機器が自ら不要な電磁波を放射する EMI の評価と、電子機器が外部の機器が発生するノイズを受けて誤動作を起こす EMS の評価がある。本事前検証システムでは図 5 のように EMI の評価を近傍界測定を軸にしてスピーディに行えることを目標に開発を行なった。

位相差測定器の開発・検証、三次元スキャナの開発・検証、ノイズ源探査ソフトウェアの開発、遠方界予測ソフトウェアの開発・検証を平行して進めた。

EMC事前検証システムのフロー

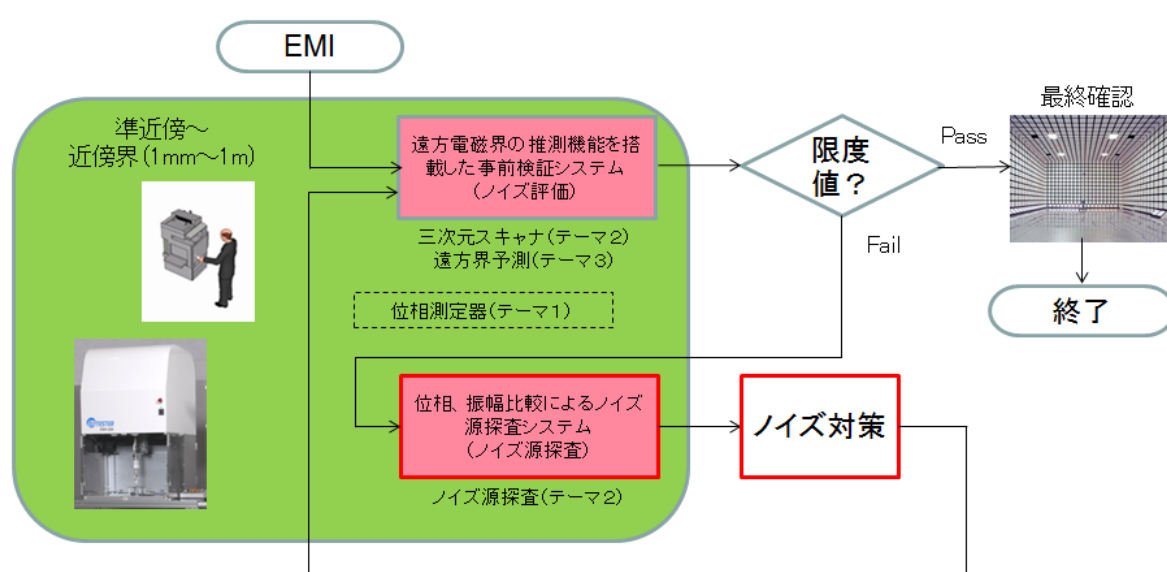


図 5 事前検証システム概観

2-1. 同期技術の確立と電磁界同時計測システムの開発

2-1-1. 昨年度開発した位相差測定器の位相差精度の検討

従来、EMI の評価は図 6 のように電波暗室環境においてスペクトラムアナライザを用いて電界強度を測定して行なっている。この測定手法ではノイズの振幅のみを測定している。

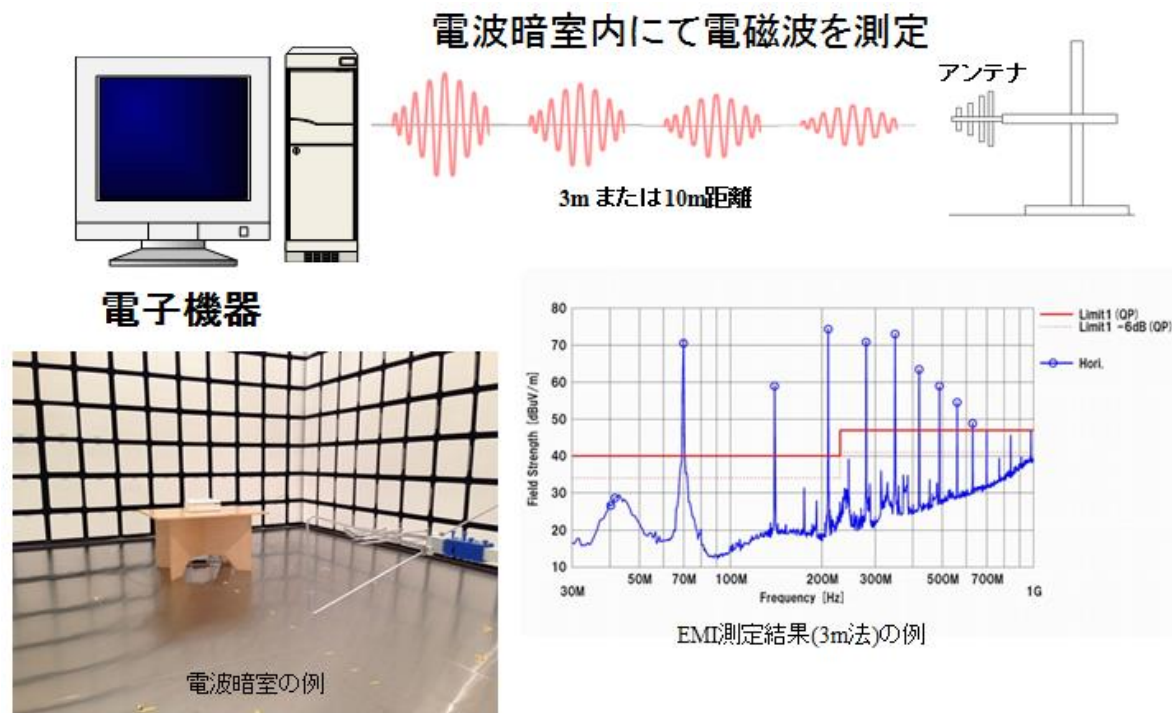


図6 従来の EMI 評価例

一方、今回開発した事前検証システムでは波である電磁波の合成を考慮するため、振幅だけではなく位相差の測定も必要と考えている。テーマ1として高性能測定器であるPXIによる位相差測定装置と汎用測定器であるクロスドメインアナライザを使い位相差精度の検証を行った。

図7にPXIによる位相差測定装置、図8に位相差精度を検証する検証システム概要を示す。PXIのセットアップを以下の条件において位相差精度を確認した。



図7 PXIによる位相差測定装置



図8 PXI による位相差測定装置の検証システム概要

測定条件

SG 出力をスプリッタで2 分配する。

測定器のウォームアップ後に、振幅位相差補正を行う。

100～2000MHz で出力-30dBm の正弦波を発生して位相差を測定する。

図9 に上記セットアップ条件における位相差誤差を示す。

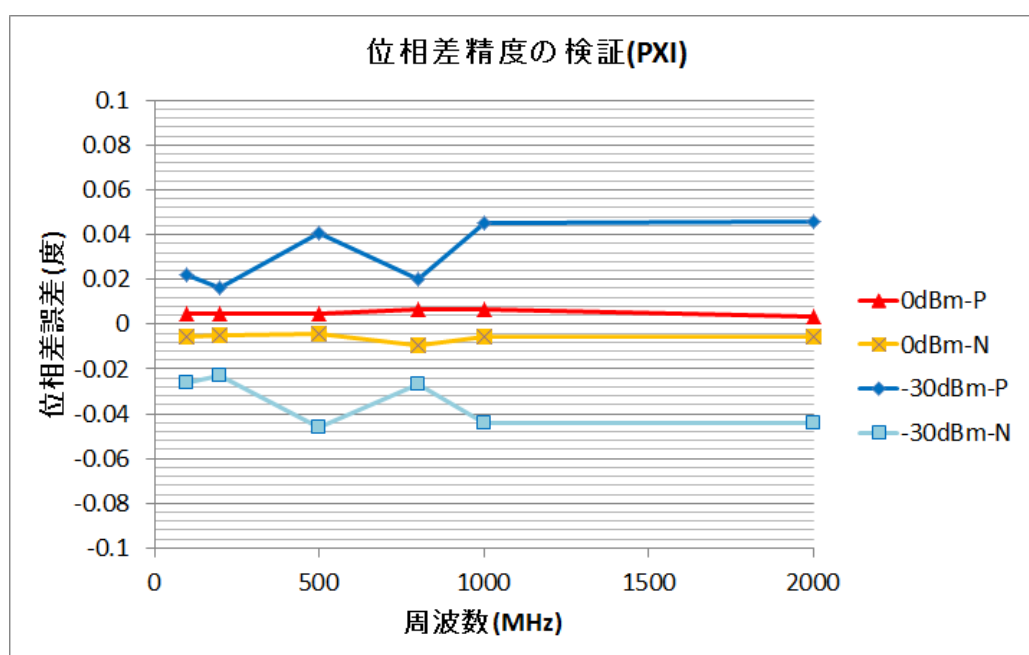


図9 PXI 位相差測定装置の位相誤差例

表 1

セットアップ条件	位相差精度
1	± 0.046 度

表 1 に上記条件における PXI 位相差測定装置の位相差精度結果を示す。この結果より、周波数 100MHz～2000MHz、信号強度-30dBm 以上において測定装置自体の位相差精度は ± 0.046 度であり、開発目標である ± 0.1 度以内であることが確認できた。

2-1-2. 汎用測定器の位相差精度の検証

昨年度までに開発した PXI 位相差測定装置以外の汎用測定器（安価）を用いて電界、磁界を同時に測定した場合において、位相差精度の検証と測定結果の妥当性の検証を行った。図 10 に示すクロスドメインアナライザは汎用測定器としてスペクトラムアナライザの機能も持ち合わせ、EMI 測定にも使用されてきている。さらに、位相差を測定できる機能を持っている。



図 10 クロスドメインアナライザ（汎用測定器）

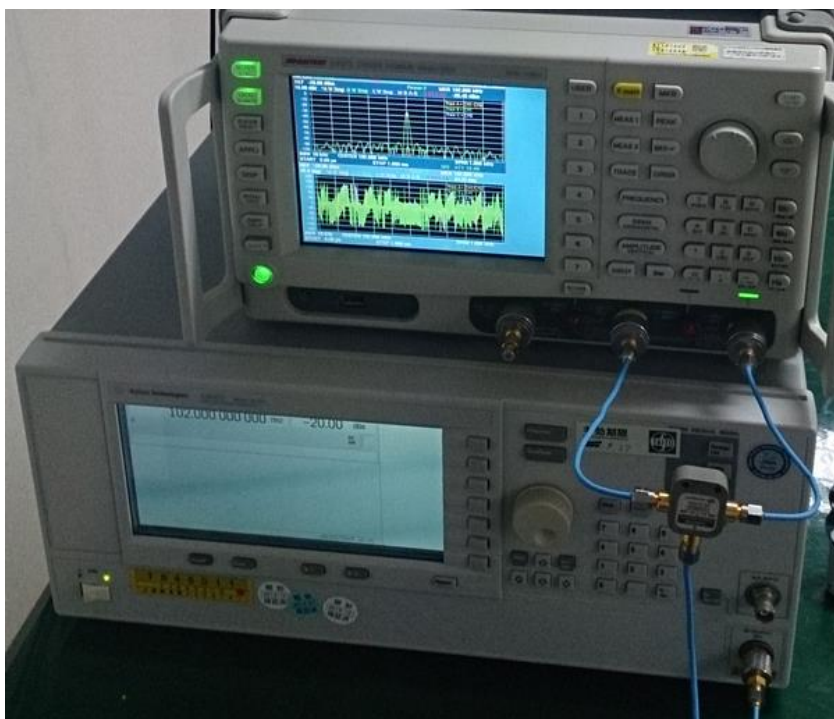


図 11 クロドメインアナライザの検証システム概観

図 11 に汎用測定器(クロドメインアナライザ U3872)の位相差精度を検証する検証システム概要を示す。汎用測定器セットアップを以下の条件にし、位相差精度を確認した。

測定条件

SG 出力をスプリッタで2 分配する。

測定器のウォームアップ後に、振幅位相差補正を行う。

2～2000MHz で出力-20dBm の正弦波を発生して位相差を測定する。

図 12 および図 13 にセットアップ条件における振幅差と位相差を示す。

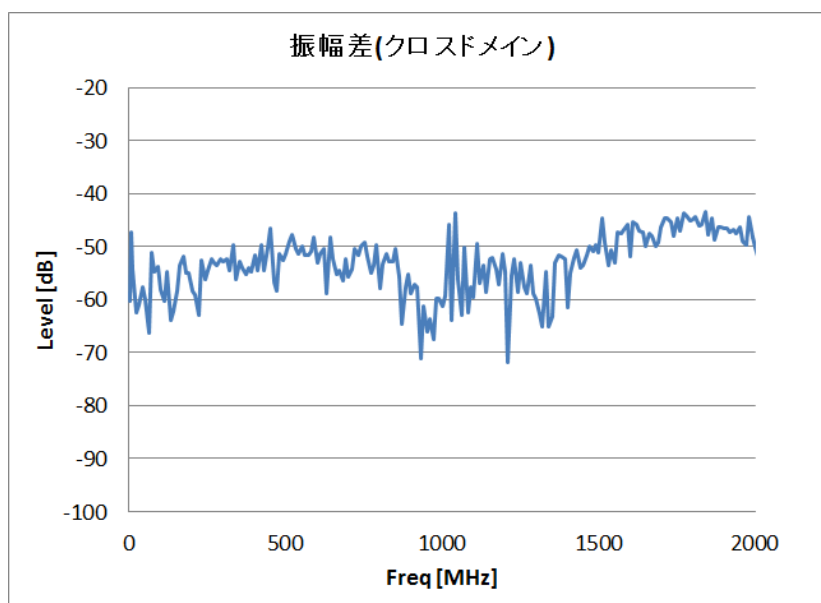


図 12 クロドメインアナライザの振幅誤差例

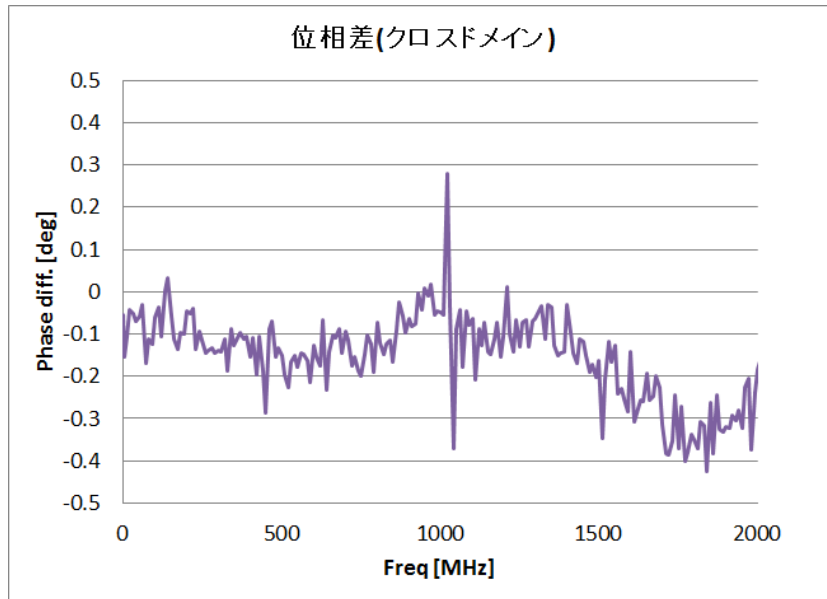


図 13 クロストメインアナライザの位相誤差例

表 2

セットアップ条件	位相差精度
1	±0.5 度

表 2 に上記条件におけるクロストメインアナライザの位相差精度結果を示す。この結果より、周波数 2MHz～2000MHz、信号強度-20dBm 以上において測定装置自体の位相差精度は±0.5 度であり、開発目標である±0.1 度以内よりは大きいことが確認できた。クロストメインアナライザの場合、汎用測定器であるので位相差の精度をこれ以上高めるのは難しいと考える。

また、実測値との位相差精度の比較を行うため、数値シミュレーションによる検証(図 14 参照)を行った。これは、振幅 0dBm の 2 つの信号を加算または減算した場合に、位相差がある場合にどのように変化するかを計算したものである。これによると 2 つの信号が全く同じものである場合、減算をした時にダイナミックレンジ 30dB を確保するのに必要な位相差を求め、1.8 度という数値を得た。

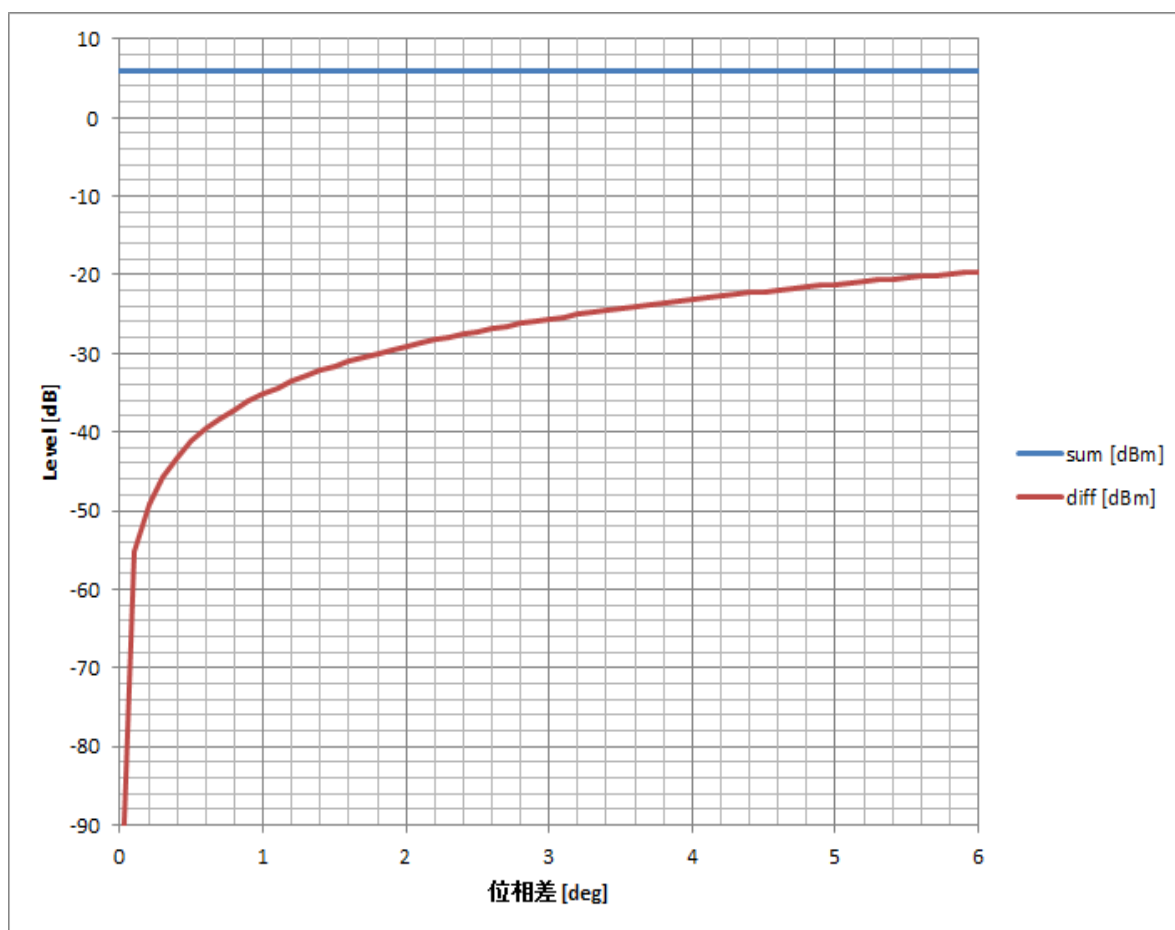


図 14 位相差精度のシミュレーション結果

本事業に必要な電磁界測定のアムプ誤差を 1dB と考えると、ダイナミックレンジは 30dB あれば充分と考えられ、30dB を確保する位相差精度は ± 1.8 度以内である。

したがって、安価な汎用測定器でも本事業の事前検証システムの目的を達するには位相差の精度としては充分と考える。

次に、同期技術の確立と電磁界同時計測システムの開発として、テーマ 1 で開発した位相差測定器を用いて電磁界同時測定の検証を行なった。実験のセットアップを図 15 に示す。高精度信号発生器より 10MHz～8GHz の正弦波をマイクロストリップラインに印加し、そのライン上の一点に電磁界プローブ EM12 を固定して測定を行なった。



図 15 位相差測定による電磁界同時計測システム

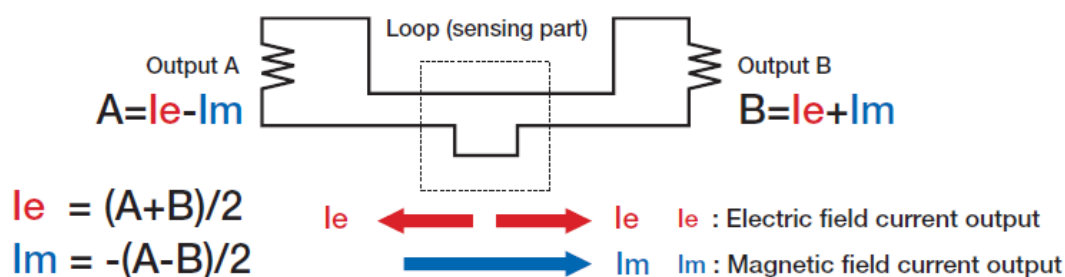


図 16 電磁界同時プローブ EM12 の動作原理

図 16 に示すように、電磁界同時プローブ EM12 は 2 つの出力端子を持ち、各々の信号の和成分が電界検出、差成分が磁界検出となるプローブである。このプローブをマイクロストリップライン上に配置して、プローブ出力は位相差測定器（ここではクロスドメインアナライザ）に入力して測定を行なった。

マイクロストリップラインの反対側に終端抵抗を接続した場合には、ライン上には進行波が存在する。また、終端抵抗を外してオープン端またはショート端とした場合には電力の反射が起きて定在波が存在する。終端が各々の場合における、電界（和成分）のグラフを図 17、磁界（差成分）のグラフを図 18 に示す。

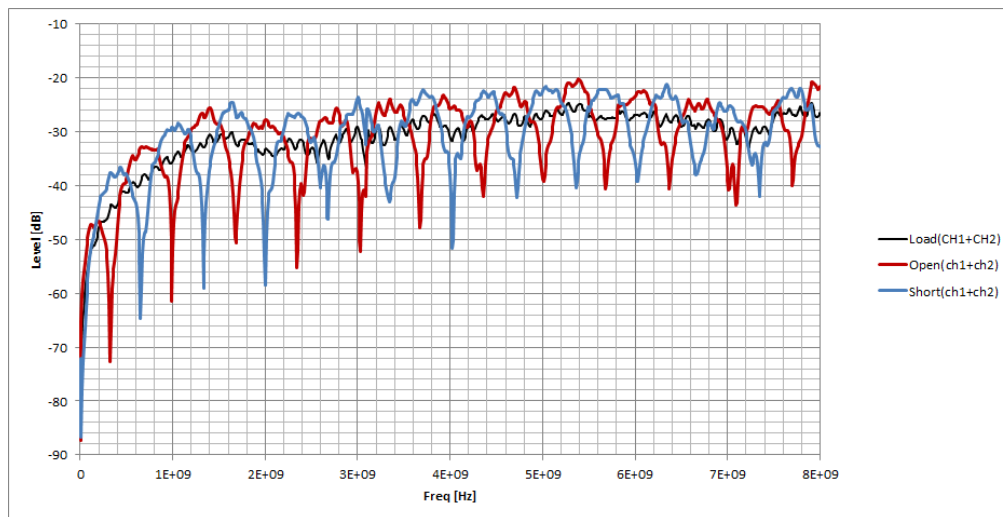


図 17 MSL 上の電界測定（和成分）

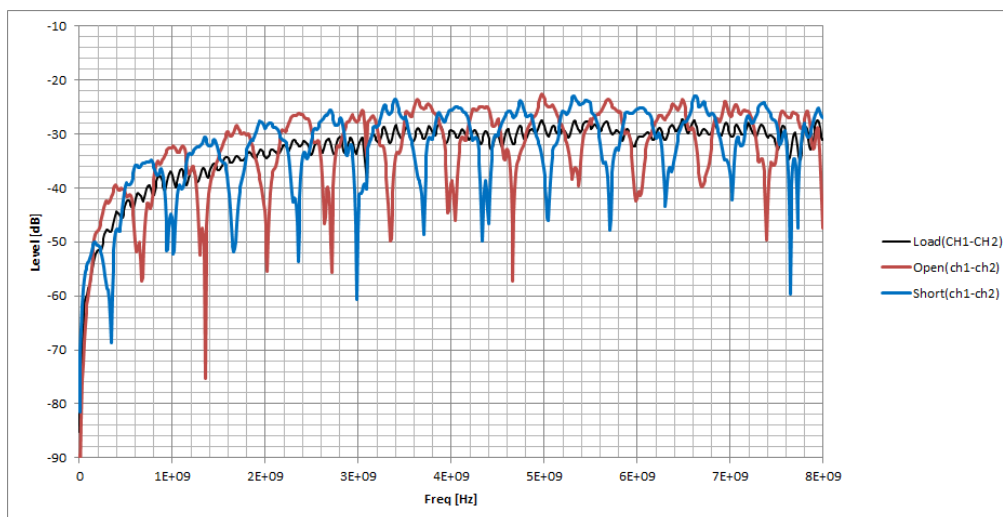


図 18 MSL 上の磁界測定（差成分）

上記グラフによると、終端抵抗を付けたときはややうねりが見られるが進行波として捉えることができ、オープン端またはショート端では定在波があることが測定できている。また、例として 2GHz ではオープン端では電界が強く磁界が弱くなっており和演算と差演算が有効であり、電磁界同時測定ができている。このように位相差測定装置を使用した電磁界同時測定の検証ができた。

2-2. 3次元走査可能な近傍スキャナ装置と位相差測定によるノイズ源探査システムの開発

電子機器がノイズを発生する主な原因は、回路基板に搭載される半導体部品等であることが多い。従来より EMI の発生源を探索目的でプリント基板表面の電磁界分布測定を行なっている。（図 19、図 20 参照）

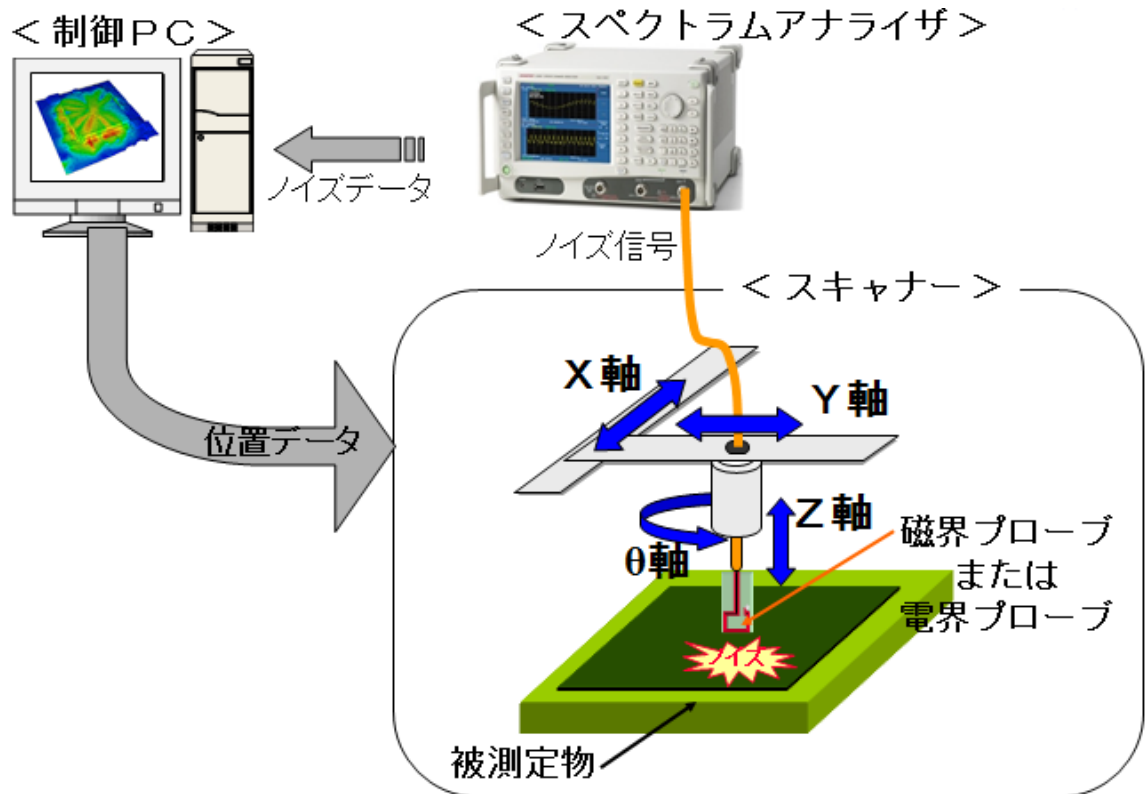


図 19 従来の近傍電磁界測定装置例

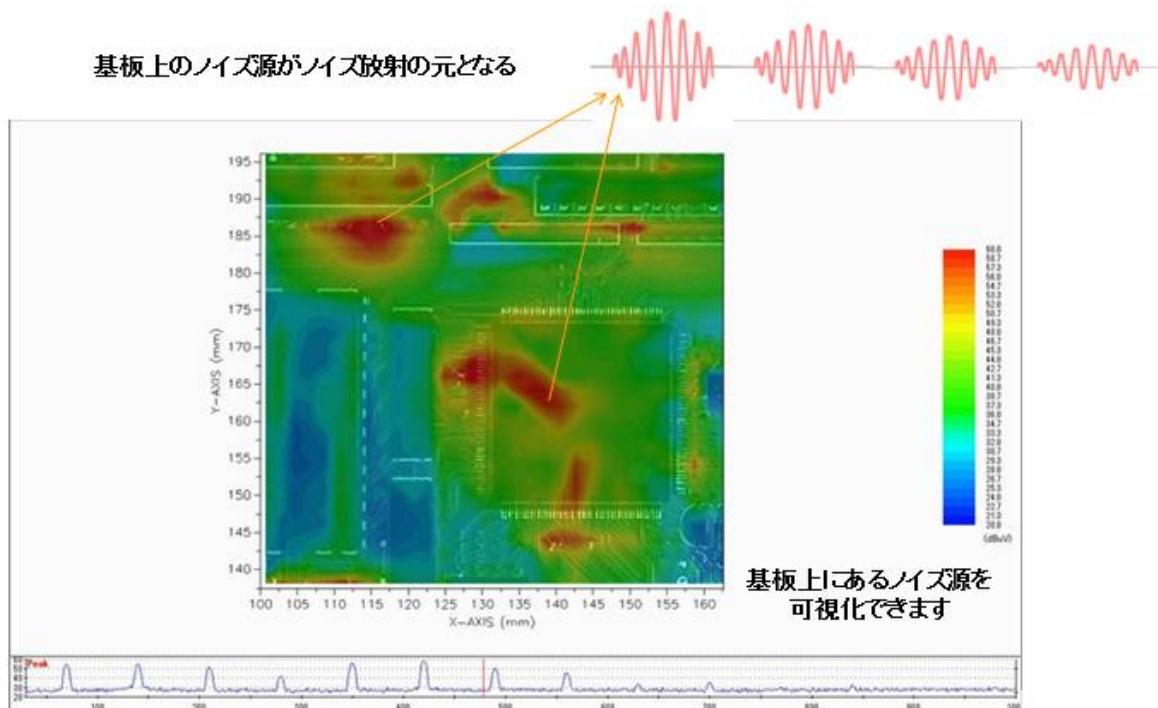


図 20 プリント基板の電磁界分布測定例

この測定は大変位置精度良く電界または磁界の発生源を特定することができ、半導体 IC のどのピンにノイズの元となる高周波が存在するか調べることができる。しかし、一般的に

基板の表面を2次元的に測定するものが多く、電子機器全体の電磁界を測定するのは難しい。さらに、周波数ごとにノイズの強度を把握することができるが、例えば自家中毒ノイズのように自分の回路基板内での干渉におけるノイズ源の特定には適さない面がある。そのため、現在の2次元スキャナをより発展させた3次元スキャナ装置によるノイズ評価が市場で望まれている。

テーマ2では電子機器の周囲を立体的に走査できる3次元スキャナ装置の開発と、位相差測定装置を使用したノイズ源探査システムの構築を行なった。

2-2-1. 3次元スキャナ装置と最適スキャン方法の開発

3次元スキャナ装置は前年度までに各種方式を検討したが、大型の電子機器への適用性、位置精度や測定速度等の柔軟性を考えてカメラによる位置座標測定方式を採用した。(図21参照)

このシステムに合うプローブやソフトウェア開発を行なった。

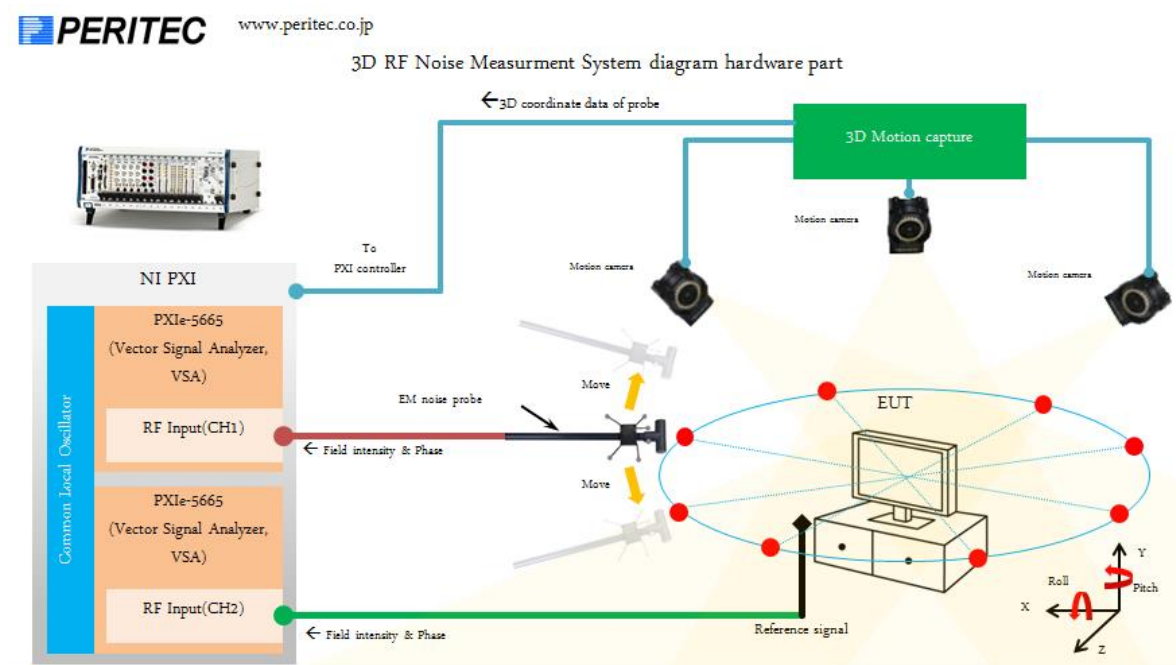


図21 3次元スキャナ装置のブロック図

2-2-1-1. 3D スキャナプローブ

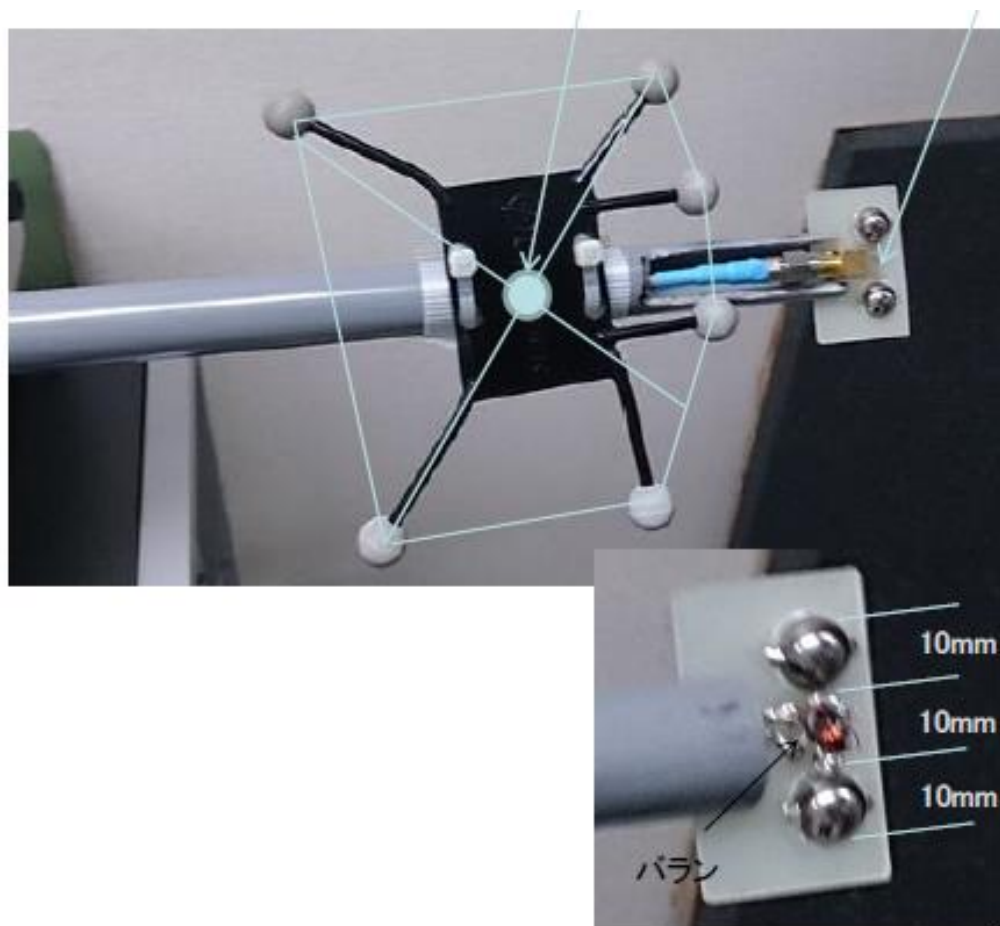


図 22 3D スキャナプローブの外観

図 22 に 3D スキャナプローブの外観を示す。開発した 3D スキャナプローブは測定対象の波長に対しては形状が小さく、広周波数帯域、空間の電磁波に与える影響が小さい低侵襲な設計とした。また、赤外線カメラによって座標を捕らえるため、赤外線マーカーをプローブ後方へ固定した。この 3D スキャナプローブにより被測定物から 50cm 離れた位置にてノイズを観測したスペクトラムアナライザの画面を図 23 に示す。

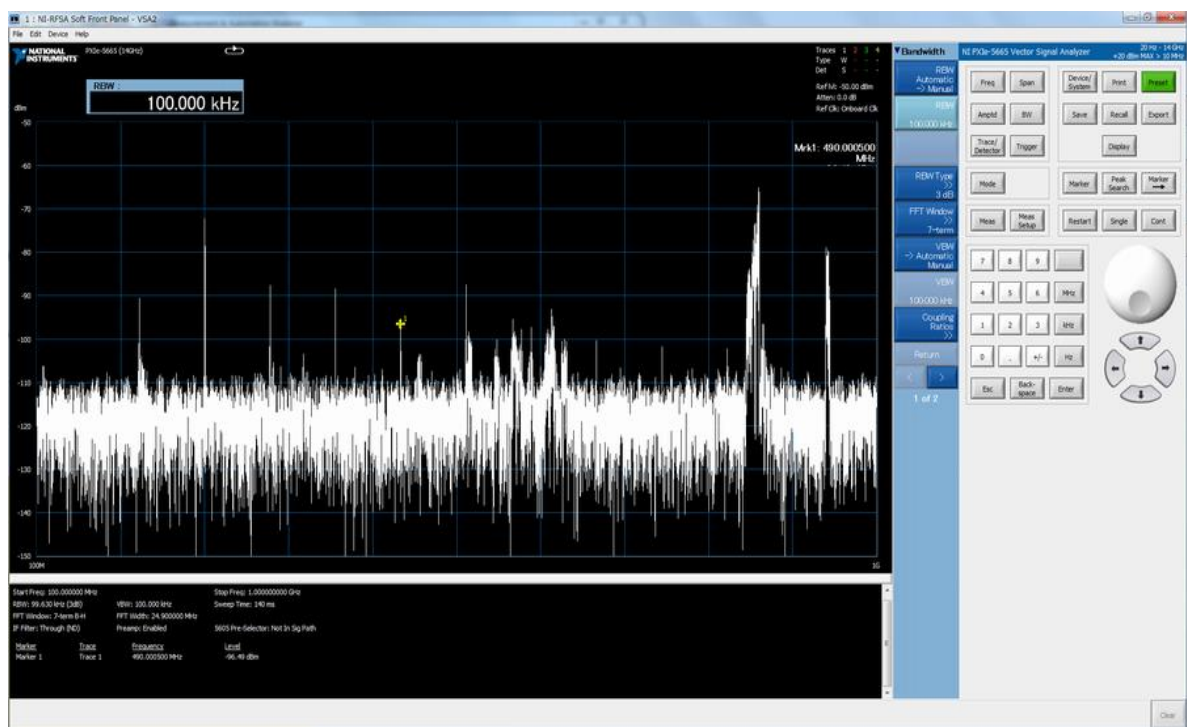


図 23 3D スキャナプローブによるスペクトラム測定例

現時点での 3D スキャナプローブは 30mm のアンテナサイズがあり、電界を検出するタイプである。電磁界同時測定できる 5mm 角サイズの検出部を持ったプローブも試作している。(図 24 参照) このタイプは元々数 mm の極近傍での電磁界検出を目的としているため 50cm ～1m 位被測定物から距離が離れると感度が低くノイズ検出ができないことがわかった。プローブサイズと必要な感度の両方を満たすプローブをさらに開発する必要があると考える。

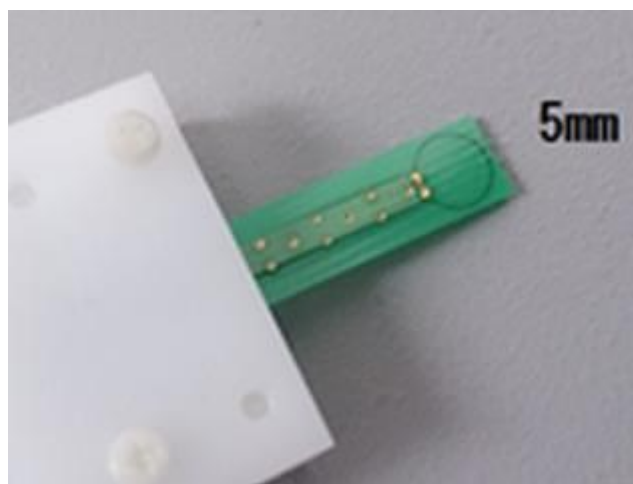


図 24 5mm 角サイズの検出部を持った電磁界同時プローブ

2-2-1-2. 3D 赤外線カメラの増設



図 25 5 台の赤外線カメラによる 3 次元スキャナ装置

本 3 次元スキャナ装置は赤外線を投射する機能を持ったカメラにてプローブ部に装着したマーカーの反射を捉えて、座標位置を計算するものである。昨年度までのシステムは 3 台の赤外線カメラによって座標を取得していた。しかし、人や物体が測定対象物とカメラの間に入り込むと座標に誤差・欠損が生じる問題があった。問題を解決するため赤外線カメラを 3 台から 5 台へと 2 台増設してカバーできる範囲を広げることによって座標の精度を向上させた。増設した 2 台は天井部に設置している。(図 25 参照)

2-2-1-3. ソフトウェアアルゴリズムの改善

3 次元スキャナ装置として立体的にノイズ測定を行なう場合、従来装置のように固定ピッチで細かく沢山のデータを測定するのは測定時間等の面からも合理的ではない。そのため 3 次元スキャナ装置のソフトウェアはプローブを手動で任意の位置に動かして必要なデータのみを収録できるように作成した。(図 26 参照) さらに、測定座標によらず希望する位置でのデータ収録を行なうモードと、測定原点から一定距離点にプローブがある時に自動的に電界強度および位相差データを取得する測定モードを切り替えるように改善した。

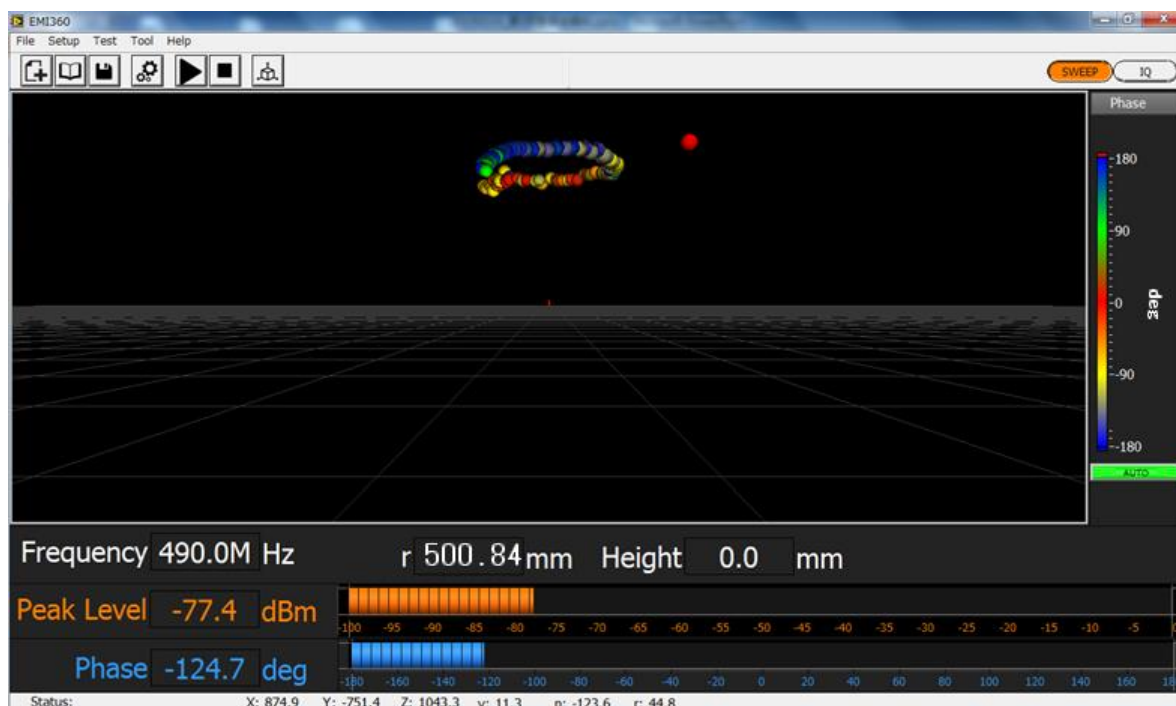


図 26 3次元スキャナ装置ソフトウェア画面

3次元スキャナ装置(EMI-360)を使用して箱型電子機器の放射を測定している様子を図 27 に示す。本スキャナ装置およびEMC 事前検証システムとしてはこの写真のように電波暗室環境ではない一般的な作業環境でのノイズ測定ができるよう目標としている。箱型電子機器の上部側と下部側の2周囲の評価例を図 28 に示す。

カメラシステムと3D スキャナプローブとソフトウェアによって3次元空間での電磁界強度および位相差の測定が可能になった。前述のようにプローブの改善およびソフトウェアのユーザーインターフェース面の改善は今後も必要である。

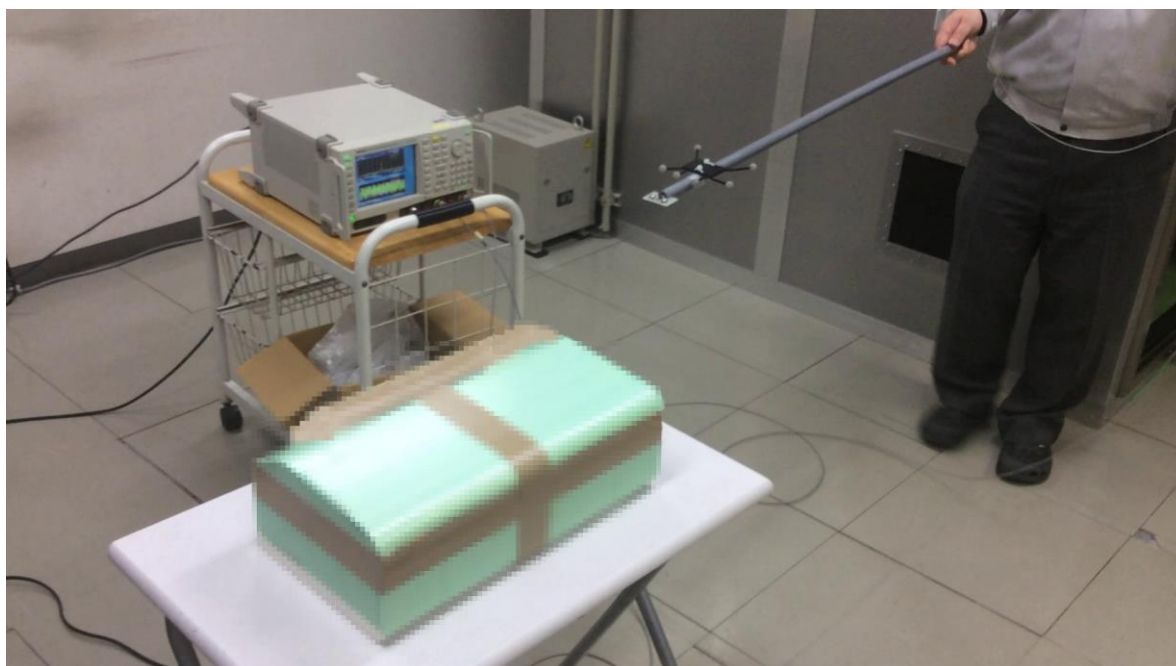


図 27 3次元スキャナ装置での測定作業例

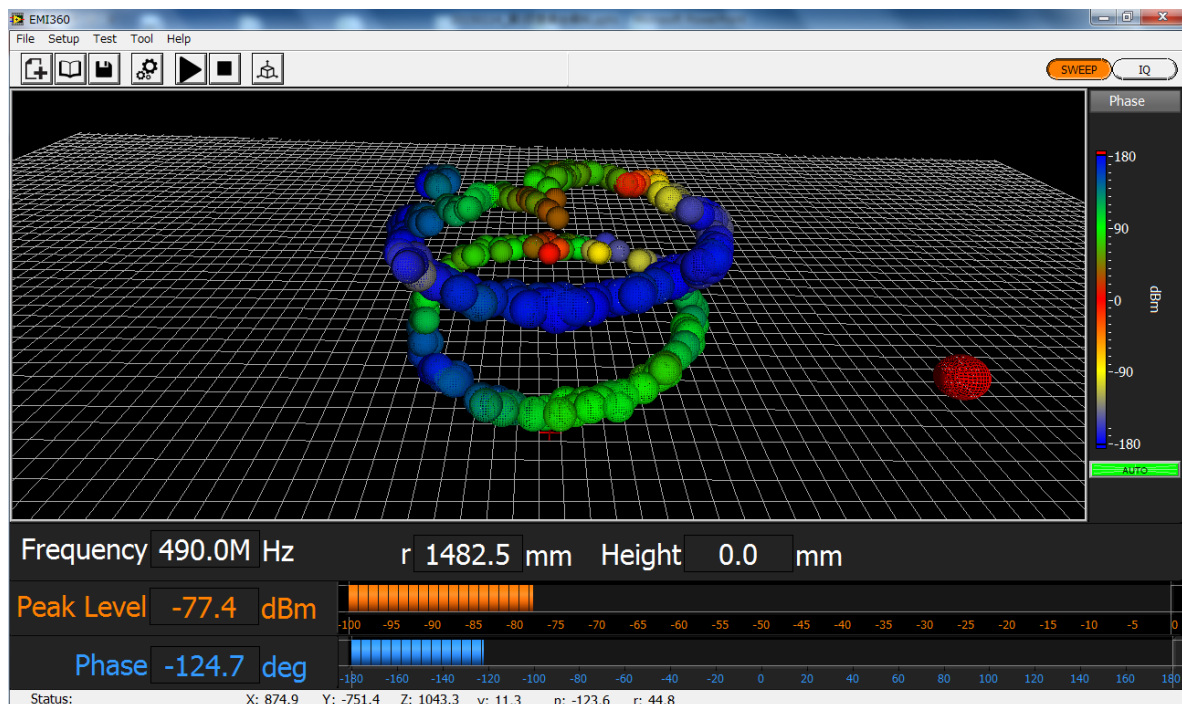
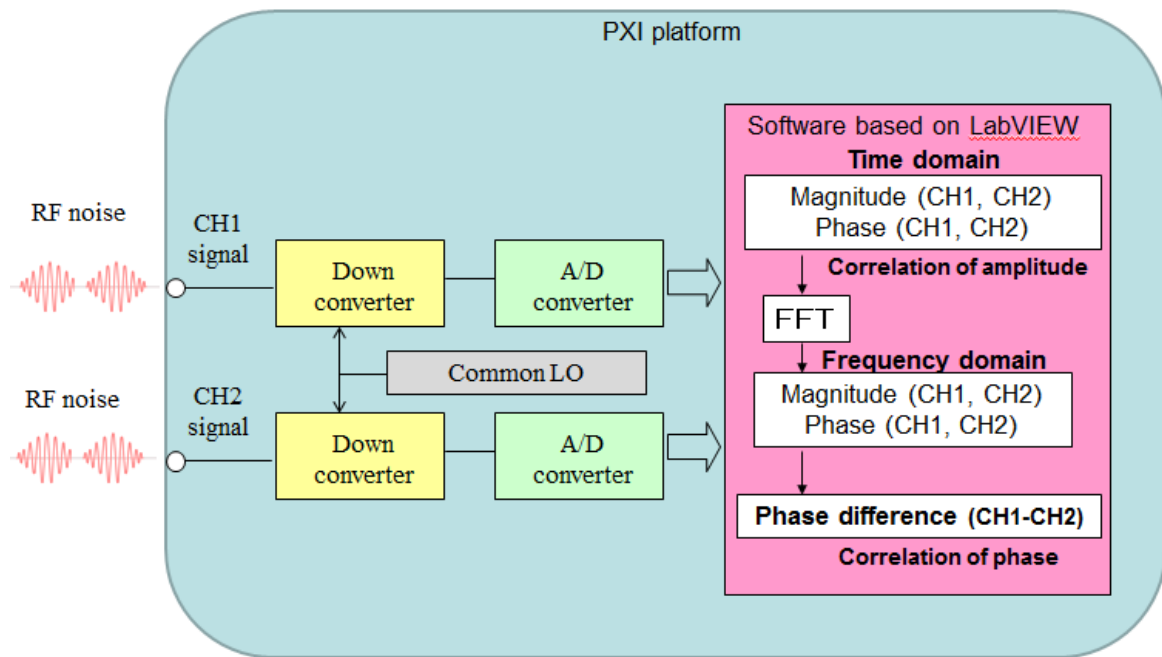


図 28 箱型電子機器からの放射測定例

2-2-2. 位相差測定を用いたノイズ源探索

近傍電磁界を測定する目的として、ノイズの強度を知る以外にも、ノイズ源がどの場所にあるのかを把握することが挙げられる。この場合はノイズの強度よりも、どの場所にノイズがあるかまたは障害原因となるノイズ源を特定できることが重要になる。前述の 3 次元スキャナ装置を用いて電子機器やシステム全体での評価も期待されている。このため、本事業ではノイズの強弱を表示するだけでなく、位相差測定装置の優位性を活かしたコヒーレンス測定によるノイズ源探索システムの構築も視野に入れて開発を行なった。位相差測定装置のシステム構成を図 29、ノイズ源探索ソフトウェアの画面を図 30 に示す。



The two inputs share the same local oscillator in order to synchronize

図 29 位相差測定装置のブロック図

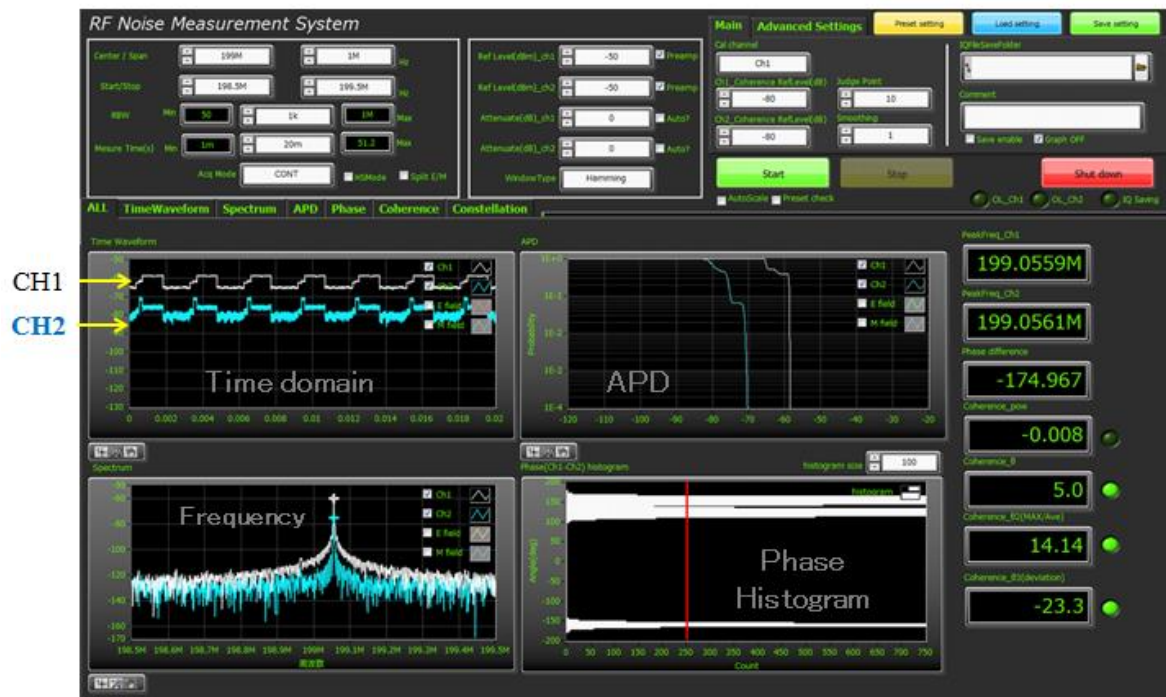


図 30 位相差測定装置のブロック図

2-2-2-1. タイミング波形によるノイズ源探索

ノイズ源探索に使用するソフトウェア(RF Noise Measurement System)はRFの振幅だけではなく、タイミング、位相差、APDなどの様々な測定と解析が可能である。この中からデータ収録のタイミング波形に着目してノイズの特定を目指した。

通常、デジタル回路や動力機器から発生する EMI ノイズはその動作に伴い、ノイズ振幅が変動することがある。ノイズ振幅の変化のタイミングを比較することで相関値を求めて、ノイズの一致を判定する方法をソフトウェアで実現した。(図 31 参照)

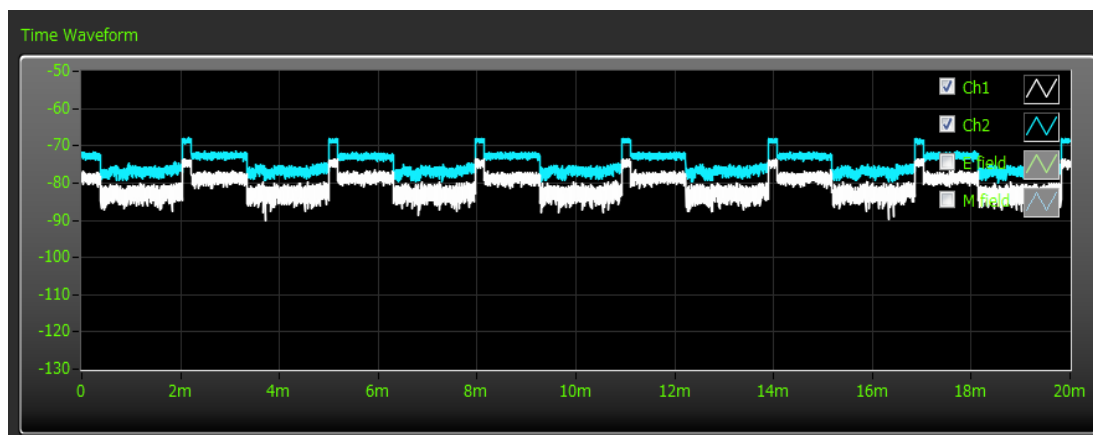


図 31 タイミング比較の例

2-2-2-2. 位相差コヒーレンスによるノイズ源探索

また、デジタル回路のクロック系やアナログのローカル信号などは振幅はあまり変化せず一定であることも多い。そのようなノイズ源を区別するためには信号の位相差の安定度（ヒストグラム）を使い一致度を判定する手法をソフトウェアで実現した。(図 32、参照)

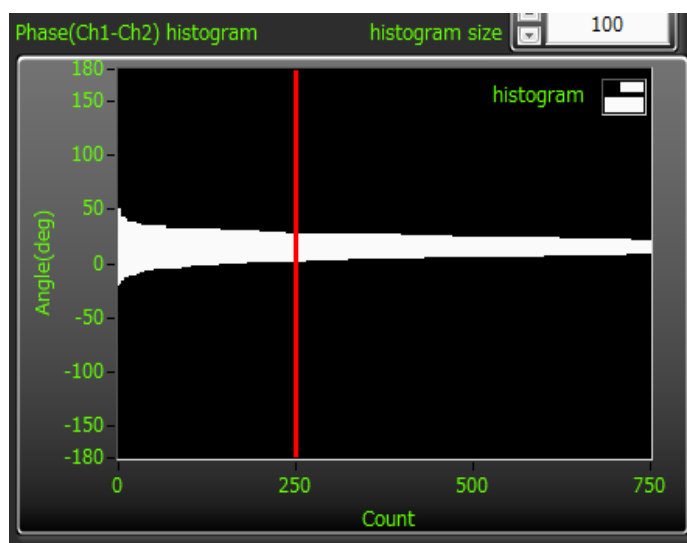


図 32 位相差安定度（ヒストグラム）の例

このようなノイズ源探索は、図 34 のように近接妨害を起こしやすい、高電圧・大電流パワー系のノイズ評価で有用と考えられる。

さらに、今後は3次元スキャナ装置の測定データでもこれらのノイズ源探索ができるようにソフトウェアの改良を行いたい。

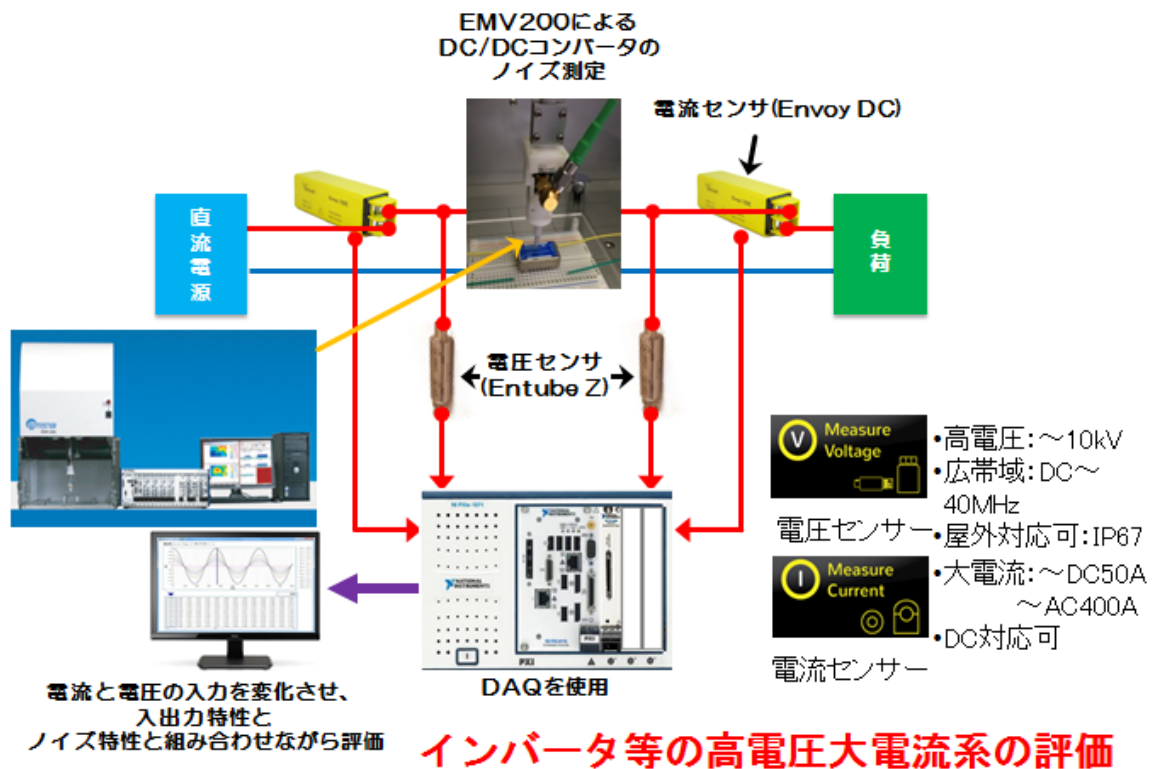


図 34 高電圧・大電流系のノイズ評価例

2-3. EMC の見える化測定手法開発

2-3-1 近傍から 3m 法を推定する手法の開発

2-3-1-1. 箱型供試器の EMI 測定

図 35、図 36 のように東毛産業技術センター内 3m 法電波暗室を用いて、箱型電子機器を用いて放射の推定実験を行なった。

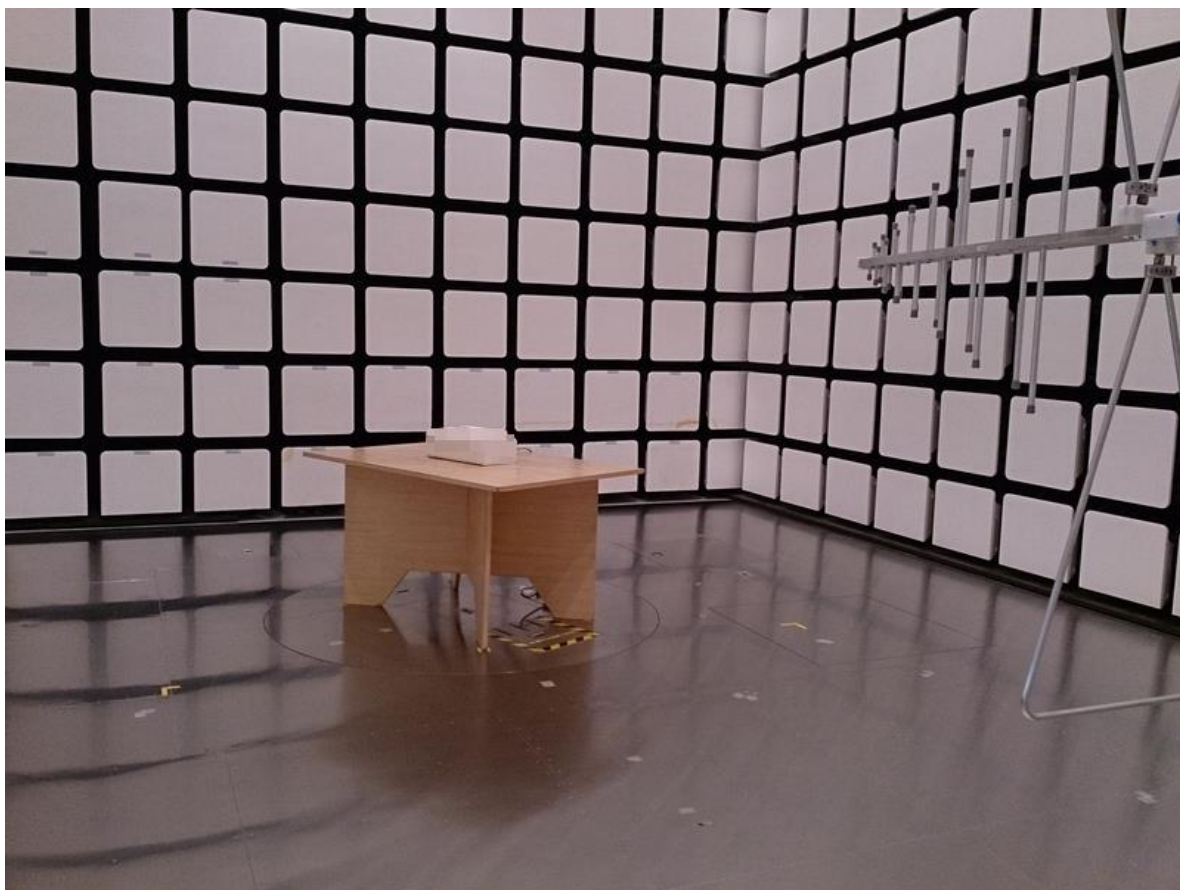


図 35 東毛産業技術センターの 3m 法電波暗室

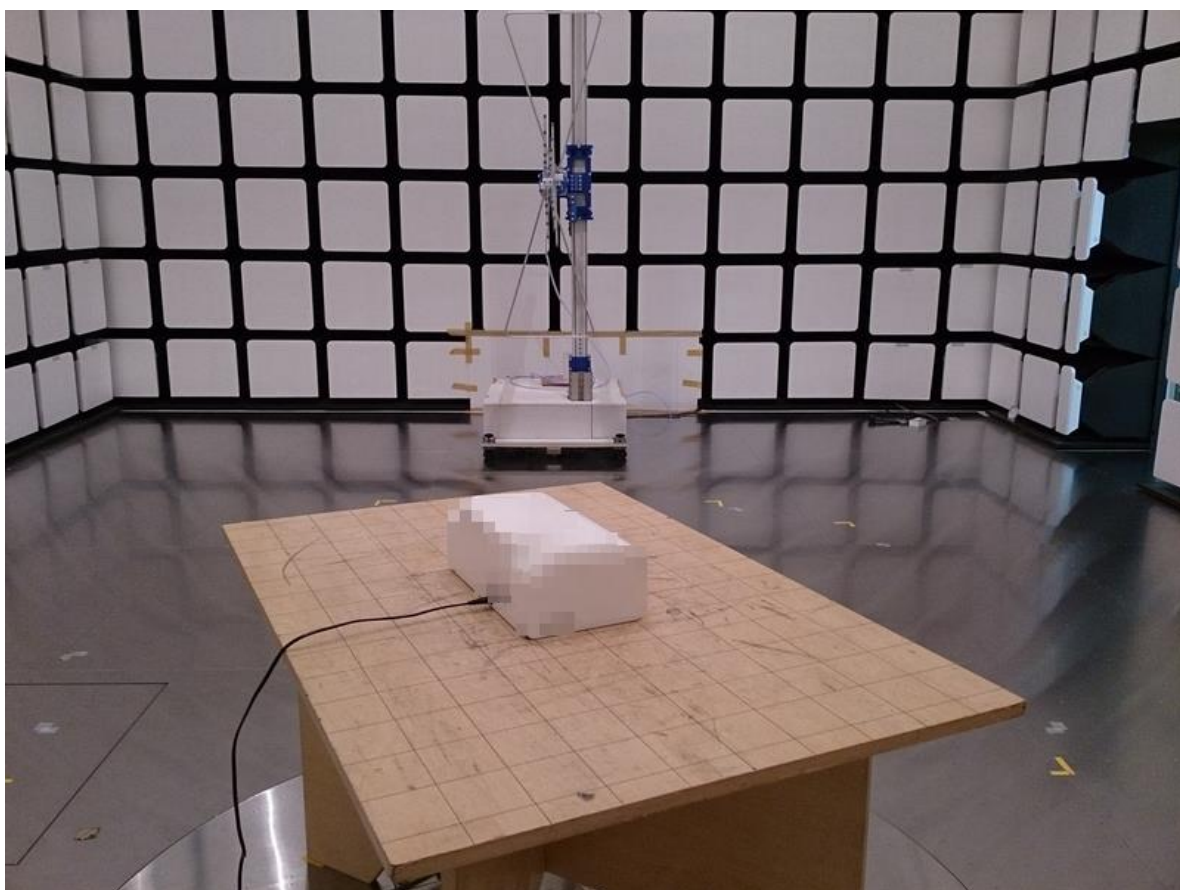


図 36 東毛産業技術センターの 3m 法電波暗室

ペリテック社内において図 37 のように 3 次元スキャナ装置および小型プローブを用いて測定して近傍データを得た。(図 38 参照)

その近傍データを元に 3m 法電波暗室の EMI を推定した。(図 39 参照)



図 37 3 次元スキャナ装置および小型プローブによる測定

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	X	Y	Z	r	p	y	PeakFreq	Peak[dBm]	Phase[Angle]	TT-angle
2	-453.785	-26.3846	906.2389	-109.911	-21.5812	90.86041	4.9E+08	-109.9106	-155.657	273.3276
3	-464.813	-36.3409	894.2651	-109.911	-22.2919	90.57534	4.9E+08	-109.9106	-155.657	274.4705
4	-463.024	-45.0656	901.4434	-108.022	-21.7734	91.21778	4.9E+08	-108.0221	-142.1265	275.559
5	-464.674	-51.5963	900.04	-108.022	-21.9725	91.54166	4.9E+08	-108.0221	-142.1265	276.336
6	-469.017	-55.235	897.5214	-108.72	-22.4223	91.61305	4.9E+08	-108.7204	-127.7669	276.7166
7	-468.352	-55.0568	896.9614	-108.72	-22.5817	91.14085	4.9E+08	-108.7204	-127.7669	276.7046
8	-466.82	-55.3536	897.5519	-110.192	-22.5759	91.24694	4.9E+08	-110.1921	-147.8918	276.7623
9	-466.891	-56.3453	896.7827	-110.192	-22.6925	91.53038	4.9E+08	-110.1921	-147.8918	276.8813
10	-467.319	-59.1163	894.89	-110.192	-22.9034	91.55721	4.9E+08	-110.1921	-147.8918	277.2097
11	-466.44	-58.5414	893.7969	-108.033	-23.0271	91.6606	4.9E+08	-108.0331	-147.4442	277.1536
12	-464.814	-58.34	894.2967	-108.033	-22.852	91.8225	4.9E+08	-108.0331	-147.4442	277.1539
13	-463.53	-60.3659	895.6444	-108.472	-22.6459	92.03671	4.9E+08	-108.4719	-135.1519	277.4199
14	-463.717	-61.0136	895.5599	-108.472	-22.6624	92.1982	4.9E+08	-108.4719	-135.1519	277.4956
15	-463.053	-62.0879	895.9134	-108.472	-22.6489	92.5288	4.9E+08	-108.4719	-135.1519	277.6369
16	-463.194	-61.7785	894.8231	-106.455	-22.6912	92.98154	4.9E+08	-106.4554	-152.879	277.597
17	-461.52	-61.6843	896.6368	-106.455	-22.498	92.74333	4.9E+08	-106.4554	-152.879	277.6127
18	-459.454	-59.9005	897.9737	-107.31	-22.3149	92.712	4.9E+08	-107.3097	-152.3629	277.428
19	-457.702	-57.9195	898.287	-107.31	-22.1553	92.77032	4.9E+08	-107.3097	-152.3629	277.2121
20	-456.713	-56.5336	897.7337	-107.31	-22.2821	92.76463	4.9E+08	-107.3097	-152.3629	277.0564
21	-456.984	-57.8483	898.2471	-107.97	-22.2257	92.60824	4.9E+08	-107.9701	-142.9825	277.2145
22	-455.539	-58.17	898.6663	-107.97	-22.2962	92.71992	4.9E+08	-107.9701	-142.9825	277.277
23	-454.538	-90.8835	889.5456	-112.138	-22.9346	90.41452	4.9E+08	-112.1378	-112.9647	281.307
24	-453.698	-96.2059	895.9739	-112.138	-22.6063	91.14274	4.9E+08	-112.1378	-112.9647	281.9721
25	-457.184	-109.421	890.5715	-112.138	-23.6197	92.32237	4.9E+08	-112.1378	-112.9647	283.4598
26	-461.385	-114.594	895.9828	-112.138	-23.5261	94.57549	4.9E+08	-112.1378	-112.9647	283.9483
27	-461.859	-112.479	897.8885	-115.098	-23.6226	96.29646	4.9E+08	-115.0979	-116.6781	283.6871
28	-462.923	-110.262	896.4665	-115.098	-24.5154	97.68456	4.9E+08	-115.0979	-116.6781	283.3975

図 38 近傍電界データ振幅・位相差 (490MHz)

TT-angle	EMV360測定データ				EMI推定値	
	upper		lower		L=3.5m:H=1.95m	L=10.5m:H=1.95m
	Peak [dBuV]	Phase [deg]	Peak [dBuV]	Phase [deg]	dBuV/m	dBuV/m
0	69.6	-97.6	71.7	-162.0	56.6	49.4
15	73.2	-90.3	72.8	93.3	44.6	34
30	75.4	-46.9	64.6	-4.2	59.5	49.8
45	73.5	-91.1	69.1	-99.5	59.9	50.9
60	74.7	-29.0	68.3	156.6	53.7	44.2
75	72.7	14.7	61.8	48.7	57	47.4
90	73.8	-26.5	61.9	-137.2	56.4	47.8
105	73.6	3.7	70.6	-144.0	51.8	43.8
120	72.3	70.2	71.3	-85.8	47.4	39.6
135	70.6	49.1	69.9	139.2	52.6	39.5
150	68.3	36.1	70.9	143.1	46.1	19.6
165	73.5	-155.0	69.2	84.6	54.7	47
180	69.8	43.2	60.9	139.6	52.1	41.6
195	68.6	-71.2	72.2	-134.1	56.3	49.2
210	65.8	-107.4	64.2	137.1	46.9	39.9
225	69.4	-78.9	58.7	0.5	52.5	42.3
240	72.8	-63.3	75.6	-179.9	52.1	47.3
255	64.0	125.6	73.2	125.6	57.2	48.3
270	67.7	49.4	78.0	66.7	61.1	51.3
285	64.8	-132.1	72.9	175.3	55.7	48.7
300	76.4	-51.4	74.9	106.2	50.5	36.1
315	77.9	-107.1	78.2	99.3	51.2	44.6
330	79.5	-117.4	74.3	132.1	61.6	53.8
345	68.4	143.2	73.4	-147.6	53.7	39.8

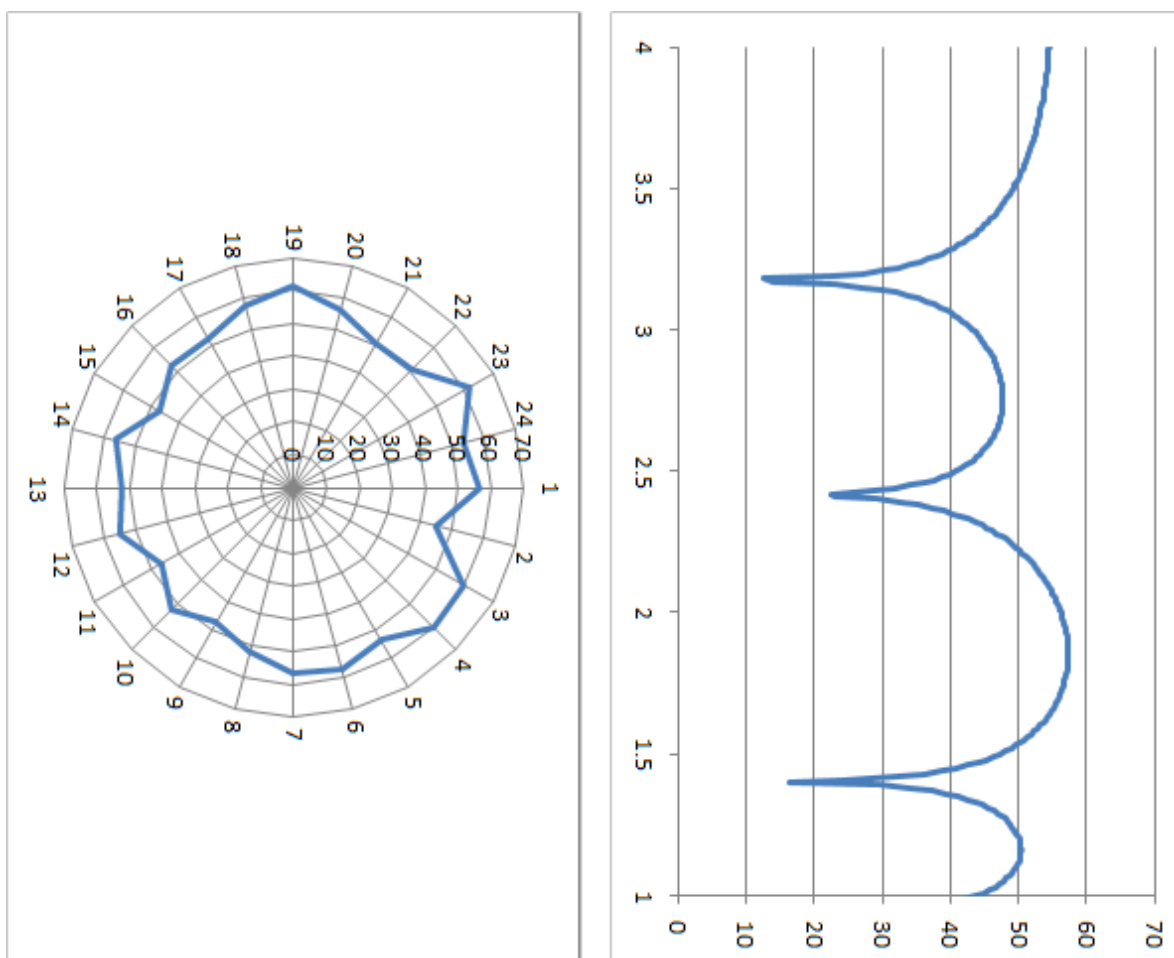


図 39 3m 法電波暗室の推定値とターンテーブルパターンとハイトパターン

図 40 の 3m 法電波暗室での EMI 測定結果と比べると、実測ではターンテーブル角度が 253 度、アンテナ高 195cm のときに EMI が最大となり 57.8dBuV/m である。推定値のほうは、ターンテーブル角度が 330 度、アンテナ高 195cm にて 61.1dBuV/m という結果が得られた。

No.	Freq.	Reading	Ant.Fac	Loss	Gain	S.Fac	Result	Limit	Margin	Pola.	Height	Angle	Ant. Type	Comment
	[MHz]	[dBuV]	[dB/m]	[dB]	[dB]	[dB]	[dBuV/m]	[dBuV/m]	[dB]	[H/V]	[cm]	[deg]		
	490.009	61.4	23.3	-26.9	0.0	0.0	57.8	47.0	-10.8	Hori.	195	253	BLG	

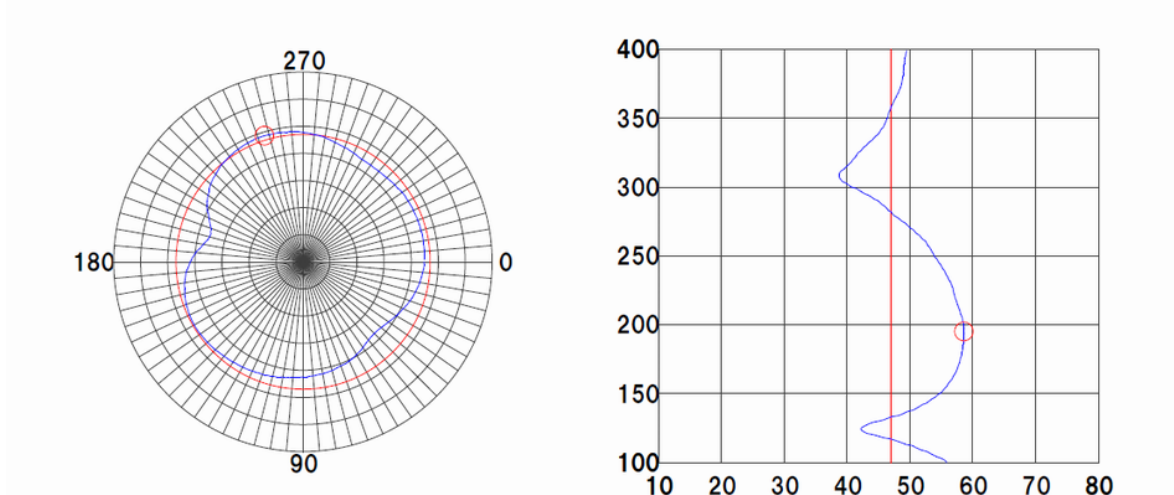


図 40 3m 法電波暗室の EMI 測定データ

2-3-1-2. ダイポールアンテナ型供試器の EMI 測定

上記の実験では、箱型供試器の放射パターンが未知のため、ターンテーブルパターンやハイトパターンの不一致について考察が難しい状況であった。そこで放射パターンが既知であるダイポールアンテナを供試器にして追試を行なった。(図 41～43 参照)

結果についてはデータ処理を行なっている途中である。

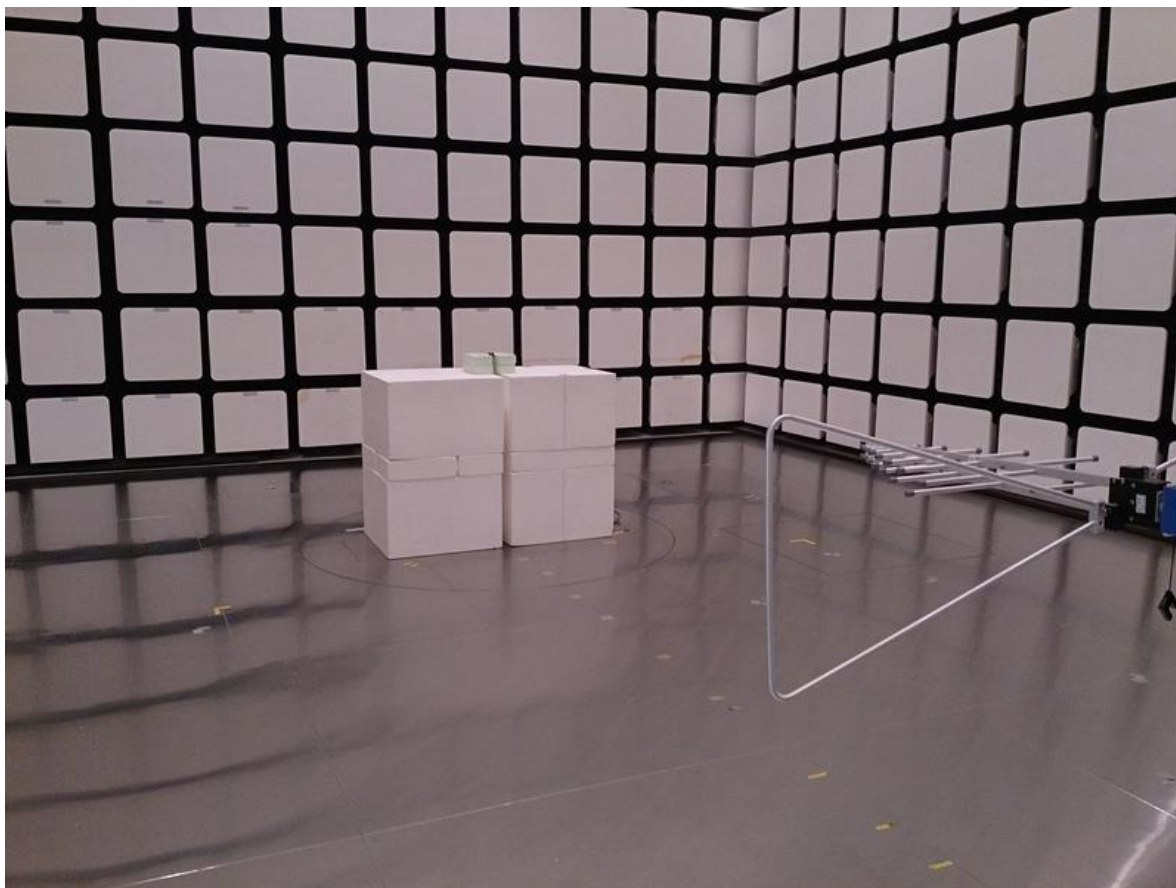


図 41 3m 法電波暗室ダイポールアンテナ型供試器の測定

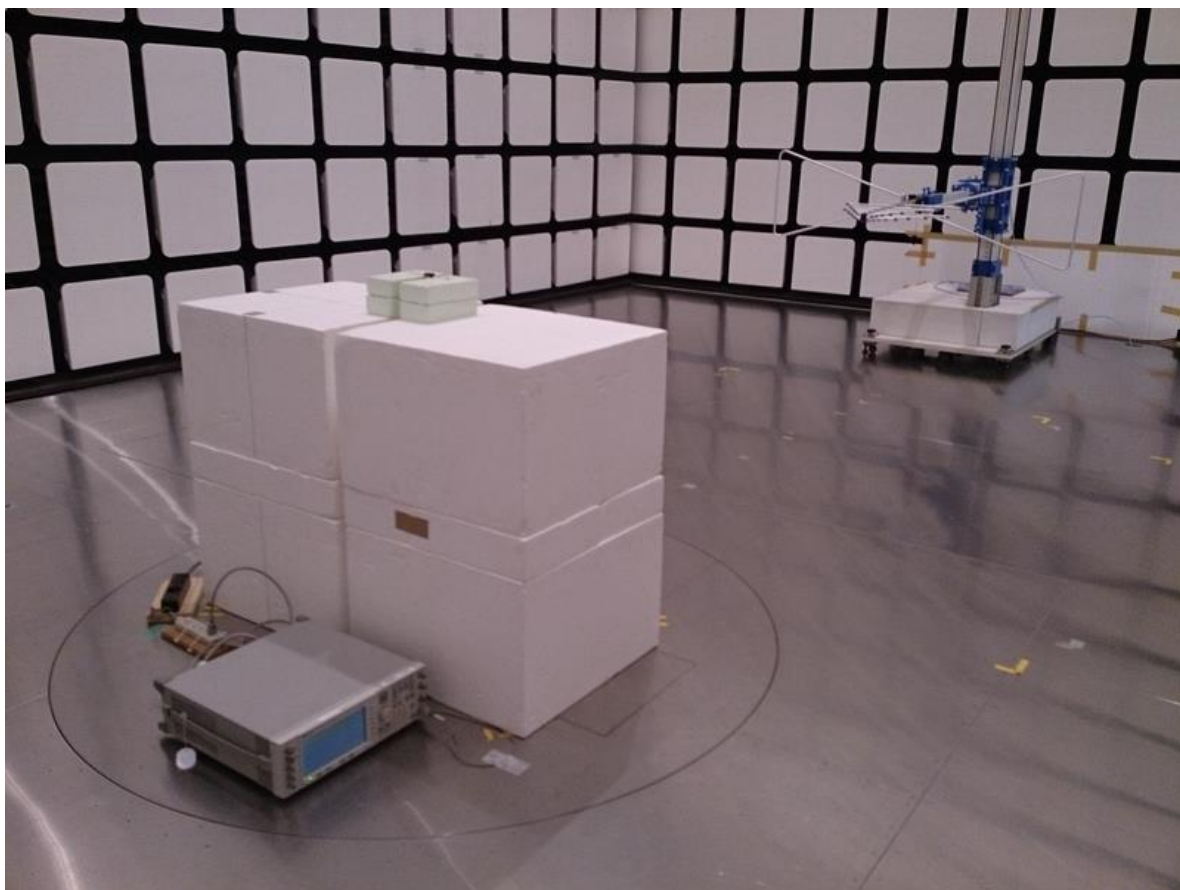


図 42 3m 法電波暗室ダイポールアンテナ型供試器の測定

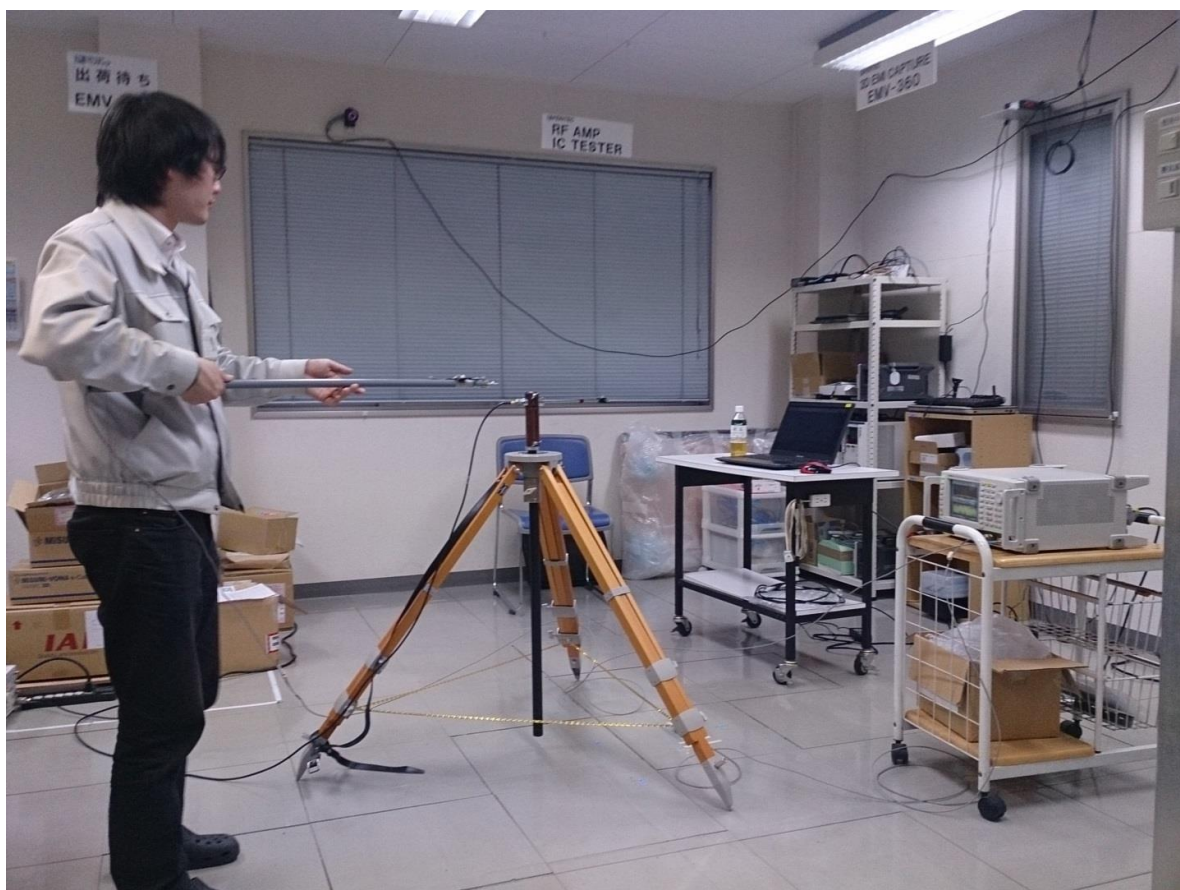


図 43 3次元スキャナ装置ダイポールアンテナ型供試器の測定

2-3-2-2. 3m 法暗室データから 10m 法暗室測定データを推定する手法の開発

2-3-2-1. 1GHz 以下で 3m 離れた場所での遠方推定の実験評価

テーマ 3-1 に合わせて、3 次元スキャナ装置による近傍電界測定データから 3m 法電波暗室での EMI を推定した。推定結果は 2-3-1-1 を参照のこと。

2-3-2-2. 3m 離れた場所での推定と 10m 離れた場所での推定の比較及び補正方法の検討

3m 法電波暗室の推定結果からさらに 10m 法電波暗室の EMI を推定するには、直接波と床面反射波の合成波を一旦分解して直接波と床面反射波に分けて、あらためて 10m 距離での合成を行なう方法がある。しかし、既に合成の済んでいる推定値からそれぞれの成分を分解するのは合理的ではないので、近傍データから直接 10m 法電波暗室の EMI の推定を試みた。図 44 に開発したシミュレーションソフトウェア画面、図 45 に推定結果を示す。ノイズ放射源と測定アンテナ間の距離を 10.5m にした推定では、ターンテーブル角度 330 度、アンテナ高 195cm にて電界強度 53.8dBuV/m となった。

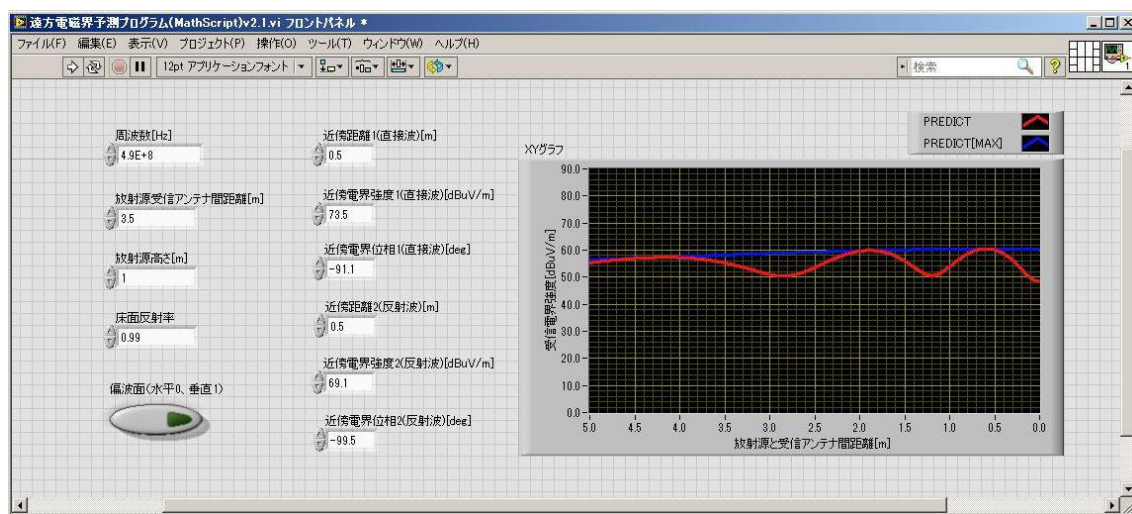


図 44 シミュレーションソフトウェア画面

TT-angle	EMV360測定データ				EMI推定値	
	upper		lower		L=3.5m:H=1.95m	L=10.5m:H=1.95m
	Peak [dBuV]	Phase [deg]	Peak [dBuV]	Phase [deg]	dBuV/m	dBuV/m
0	69.6	-97.6	71.7	-162.0	56.6	49.4
15	73.2	-90.3	72.8	93.3	44.6	34
30	75.4	-46.9	64.6	-4.2	59.5	49.8
45	73.5	-91.1	69.1	-99.5	59.9	50.9
60	74.7	-29.0	68.3	156.6	53.7	44.2
75	72.7	14.7	61.8	48.7	57	47.4
90	73.8	-26.5	61.9	-137.2	56.4	47.8
105	73.6	3.7	70.6	-144.0	51.8	43.8
120	72.3	70.2	71.3	-85.8	47.4	39.6
135	70.6	49.1	69.9	139.2	52.6	39.5
150	68.3	36.1	70.9	143.1	46.1	19.6
165	73.5	-155.0	69.2	84.6	54.7	47
180	69.8	43.2	60.9	139.6	52.1	41.6
195	68.6	-71.2	72.2	-134.1	56.3	49.2
210	65.8	-107.4	64.2	137.1	46.9	39.9
225	69.4	-78.9	58.7	0.5	52.5	42.3
240	72.8	-63.3	75.6	-179.9	52.1	47.3
255	64.0	125.6	73.2	125.6	57.2	48.3
270	67.7	49.4	78.0	66.7	61.1	51.3
285	64.8	-132.1	72.9	175.3	55.7	48.7
300	76.4	-51.4	74.9	106.2	50.5	36.1
315	77.9	-107.1	78.2	99.3	51.2	44.6
330	79.5	-117.4	74.3	132.1	61.6	53.8
345	68.4	143.2	73.4	-147.6	53.7	39.8

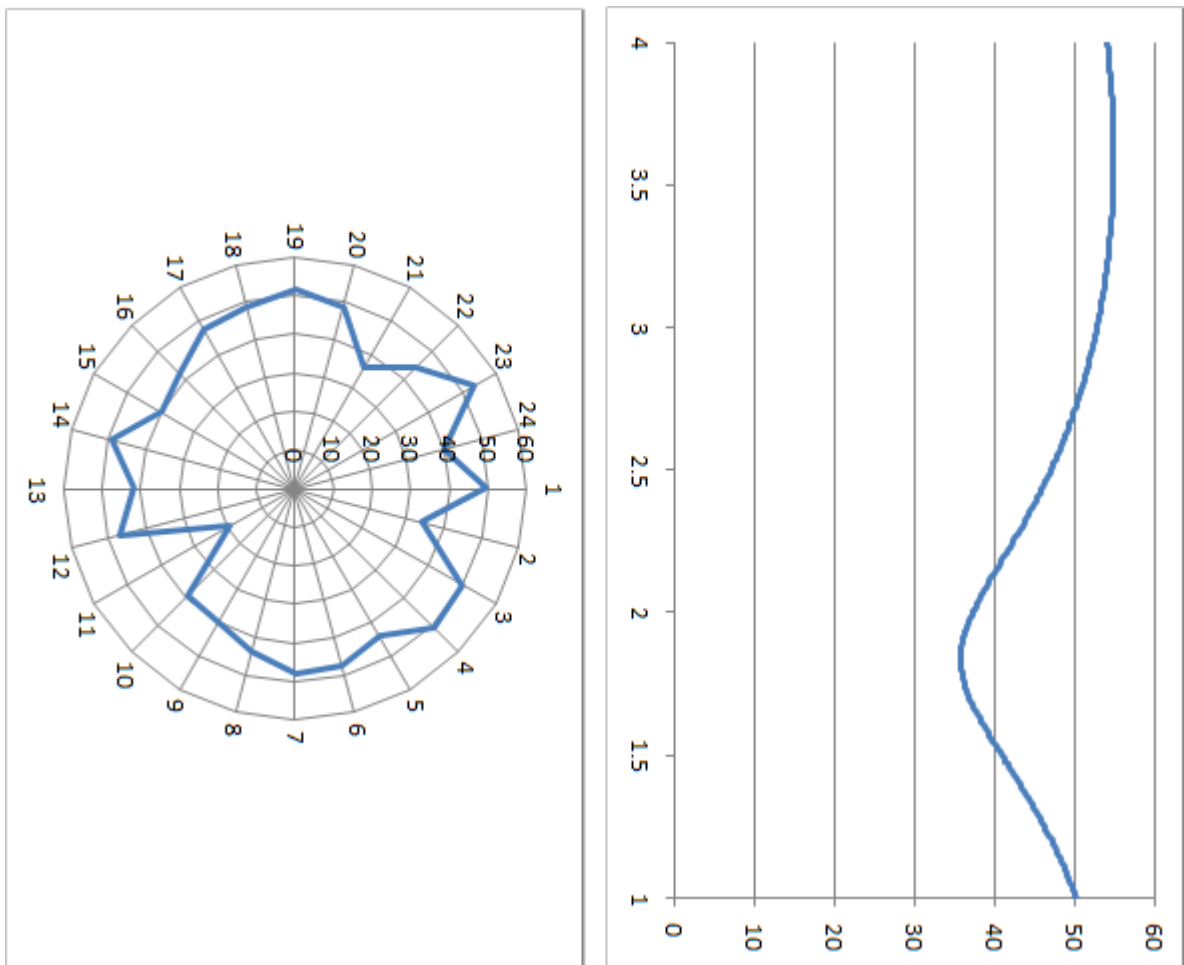


図 45 10m 法電波暗室の推定値とターンテーブルパターンとハイトパターン

2-3-3. 電波暗室での試験前の事前検証システムとしての実用化

2-3-3-1. 各国の法規制の調査及び検証

本事業の成果物の利用分野として情報技術装置、家庭用電気機器、ISM 機器、無線通信機、医療用電子機器等が考えられるが、EMI 規制に大きな変化は無いと思われる。規格動向については引き続いて調査を進めていく。

2-3-3-2. 事前検証システムを使用した測定を行い、電波暗室での測定結果とシミュレーション推定結果比較

KEC の 10m 法電波暗室を使い箱型供試器の EMI 放射を測定した。(図 47、図 48 参照)そして、図 49 の EMI 測定結果を得た。

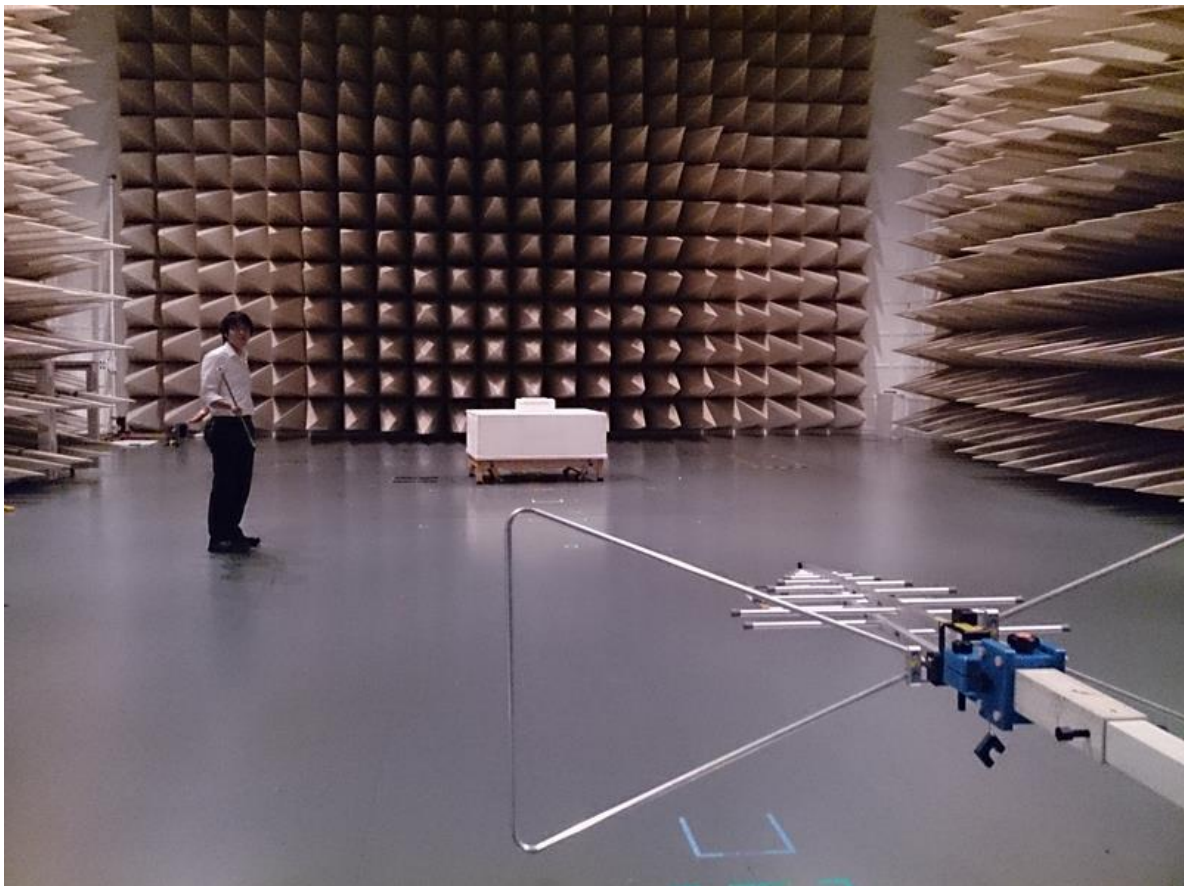


図 47 KEC 10m 法電波暗室での EMI 測定

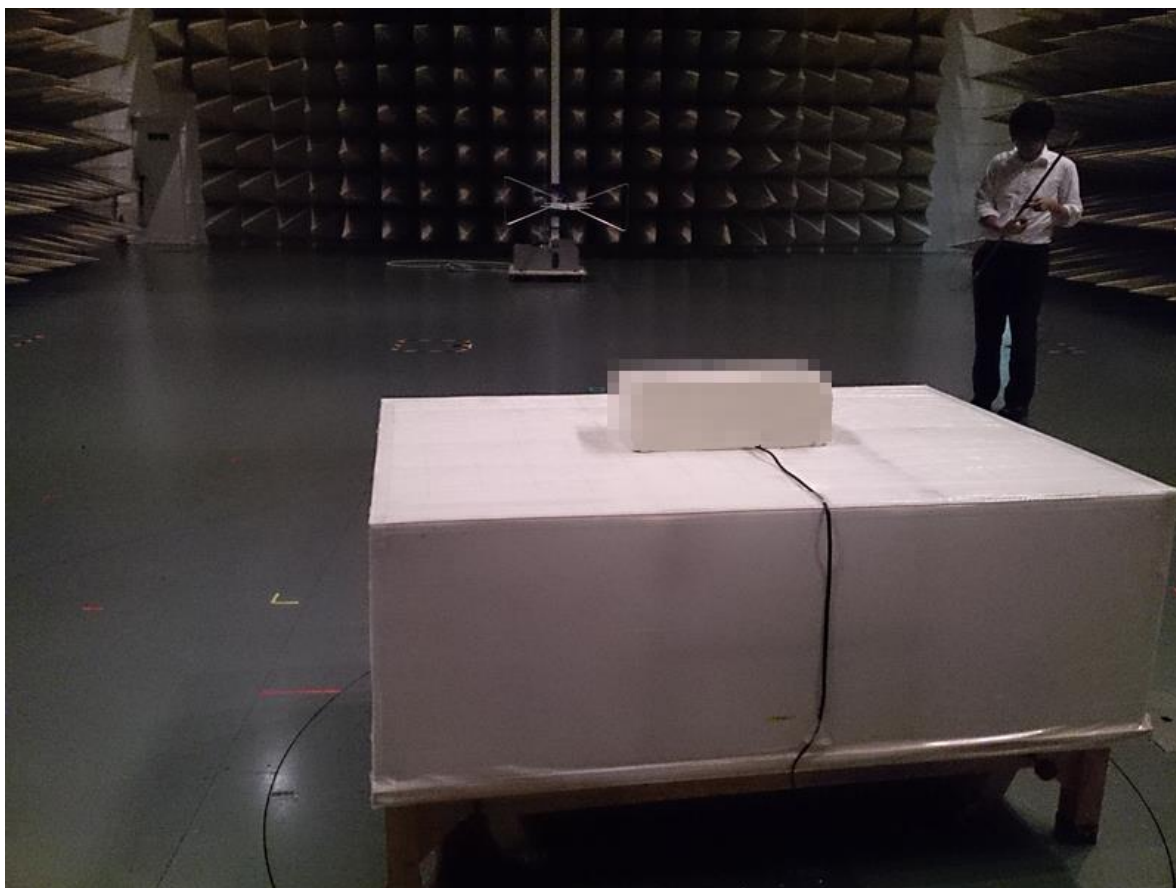


図 48 KEC 10m 法電波暗室での EMI 測定

No.	Freq.	Reading <QP>	Ant.Fac	Loss	Gain	S.Fac	Result <QP>	Limit <QP>	Margin <QP>	Pola.	Height	Angle	Ant. Type	Comment
	[MHz]	[dBuV]	[dB/m]	[dB]	[dB]	[dB]	[dBuV/m]	[dBuV/m]	[dB]	[H/V]	[cm]	[deg]		
	489.998	61.7	17.1	9.8	33.8	0.0	54.8	37.0	-17.8	Hori.	195	300	BiLOG	

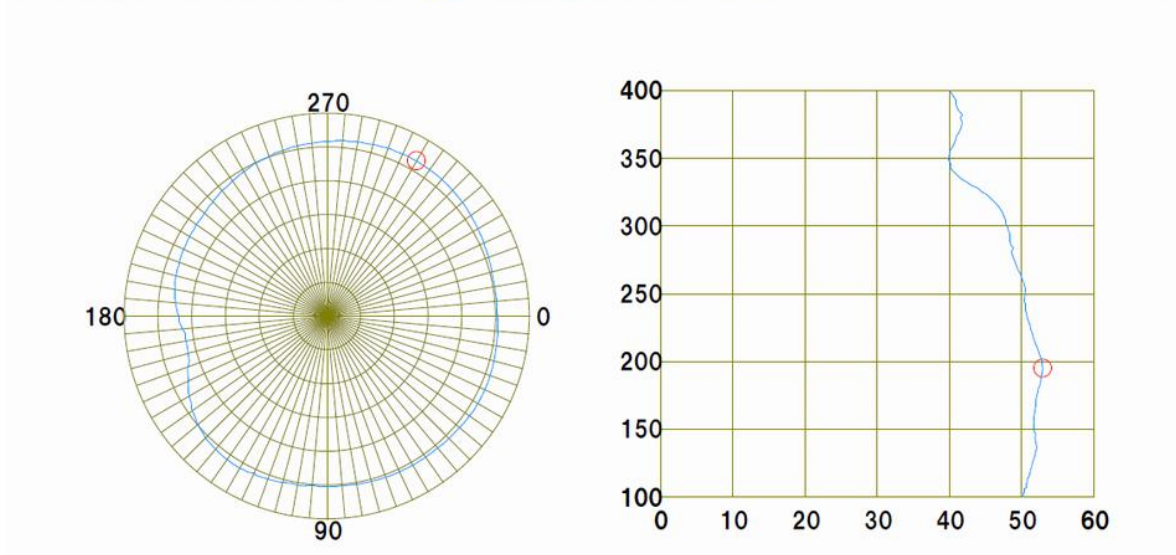


図 49 10m 法電波暗室での EMI 測定結果

図 49 の EMI 測定結果によると、ターンテーブル角度 300 度、アンテナ高 195cm にて電界強度 54.8dBuV/m となった。前述の推定値と比べると、かなり近い値となったが、ターンテーブルパターンやハイトパターンは推定と実測が合わない状況である。引き続いて検証作

業が必要と考える。

また、3m 法電波暗室と同様にダイポールアンテナ型供試器での放射の測定を行なった。
(図 50 参照) 結果についてはデータ処理を行なっている途中である。

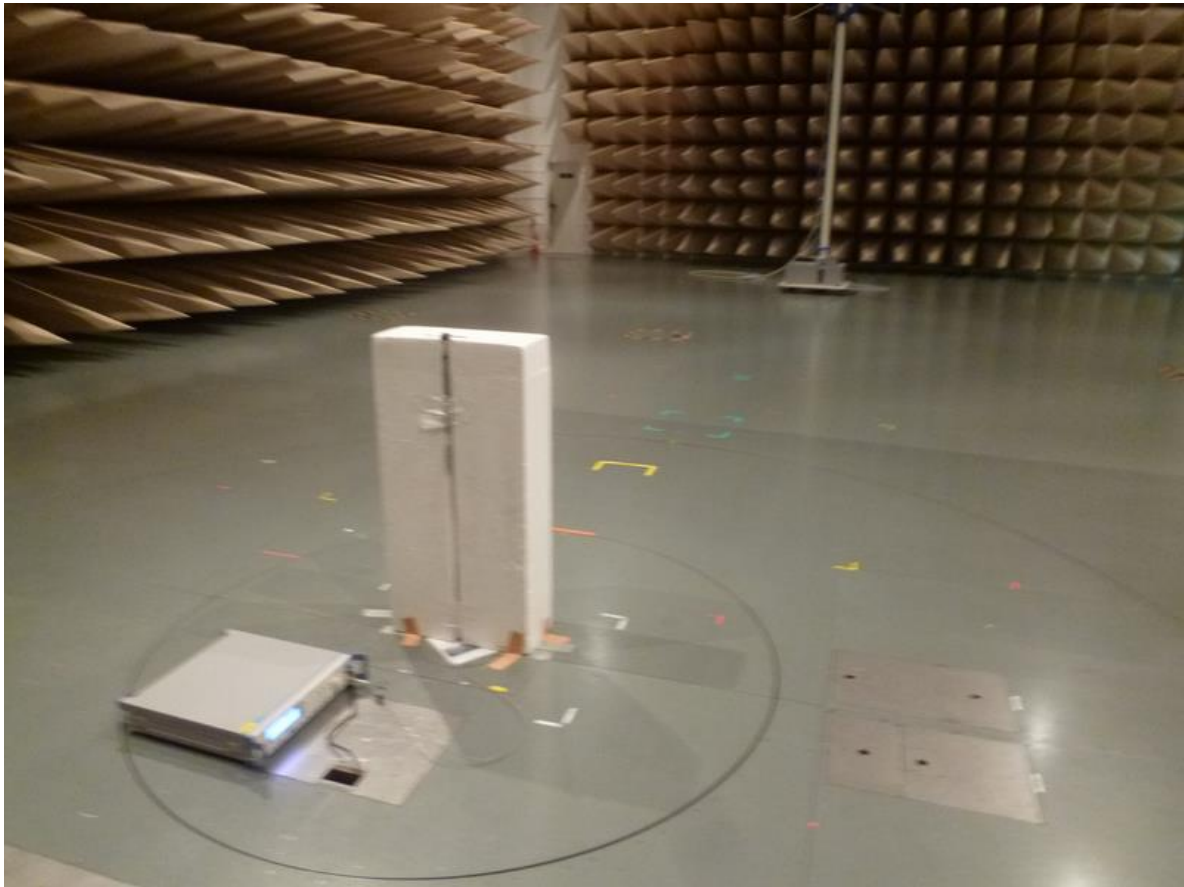


図 50 10m 法電波暗室ダイポールアンテナ型供試器の測定

2-3-3-3. EMC での研究会及び規格委員会での発表や情報交換活動

EMC' 14/Tokyo への参加、各種展示会等にて技術発表や展示を行い、事前評価システム開発のためのリサーチを実施した。

メーカーの測定技術者へのリサーチ状況として大型の産業用ロボットやパワー系の大型装置のノイズ評価要求が高まっていることがわかった。これらは既存の近傍電磁界測定装置では測定出来ないことがあり、本事前検証システムのようなシステムが望まれている。

このようなことから、自動車関連業界およびエネルギー業界への展開を目指していきたい。

最終章（全体総括）

（1）同期技術の確立と電磁界同時計測システムの開発

- ・電磁界同時計測センサと昨年度までに開発した位相差測定器を使用した電界磁界を同時に測定できるシステムにおいて位相差精度の検証を行った。
- ・昨年度開発した測定器以外の汎用測定器（安価）を用いて電界磁界測定をした場合において、位相差精度の検証と測定結果の妥当性の検証を行った。

位相差計測精度は PXI 測定器では周波数 100 MHz から 2 GHz までの間で振幅-30dB の正弦波にて±0.1 度以内、汎用測定器では周波数 2 MHz から 2 GHz までの間で振幅-20dB の正弦波にて±0.5 度以内まで達成。本事業の計測には十分となった。

（2）3次元走査可能な近傍スキャナ装置と位相差測定によるノイズ源探査システムの開発 3次元スキャナ装置と最適スキャン方法の開発

- ・3次元スキャナ装置のカメラを増設し、死角を減らすことで位置精度を向上。走査範囲を拡大した。
- ・測定モードとして任意位置でのノイズを収録する方法、測定原点から一定距離での収録方法を搭載したプログラム開発を行った。
- ・測定物に対して十分小型である3次元スキャナに使用できるプローブを開発した。

3次元空間の任意の点において座標データと電磁界測定値を得ることが可能なスキャナシステムとして、カメラ画像立体位置検出方式を採用し走査速度 5 cm/sec を達成した。傍の電磁界を検出する微小アンテナは 30 mm 平衡型の電界プローブを開発した。

位相差測定によるノイズ源探査システムの開発

- ・コヒーレンス測定を行い、変動するノイズ源を特定するアルゴリズムの開発を行い、ノイズ源の一致度を確認した。
- ・一致度からノイズ源を判定するアルゴリズムを検証してノイズ源探査の精度を改善した。2つの信号の時間変動のタイミングによる比較、または位相差のヒストグラムを元にノイズ源を探査するシステムを構築した。

（3）EMCの見える化測定手法開発

近傍から3m法を推定する手法の開発

- ・床面反射を考慮したシミュレーションソフトウェアを開発した。
- ・3m 法電波暗室にて箱型供試器とダイポールアンテナ型供試器の測定を行なった。
- ・近傍磁界測定結果から遠方電界推定をして比較検討した。

3m暗室推定データから10m暗室測定データ推定する手法の開発

- ・1 GHz 以下で3m離れた場所での遠方推定の実験評価をした。
- ・3m離れた場所での推定と10m離れた場所での推定の比較及び補正方法の検討をした。
- ・10m離れた場所での反射を考慮した推定値を求めた。

電波暗室での試験前の事前検証システムとしての実現化

- ・各国の法規制の調査及び検証を行った。
- ・10m 法電波暗室での箱型供試体およびダイポールアンテナ型供試体の EMI 測定を実施した。EMI 推定結果を比較した。
- ・EMCでの研究会及び規格委員会での発表や情報交換を行い、規格化や標準化に向けて

活動を行った。

理想状態での近傍の電磁界データから 3 m法の床面反射を考慮した遠方電磁界を予想する手法およびソフトウェア開発は完了した。箱型の供試機器およびダイポールアンテナを使っての実測データによる検証比較を行い推定精度を確認した。今回の測定事例では推定値は 10dB 以内となり、事前検証システムの仕様範囲を明確にできた。

しかし、供試体数を用意することができず、また検証のための電波暗室での測定も不足して検証事例が少ない状況である。今後、様々な供試体において検証を進めてシステムとしての完成度を高めていきたい。