

光マイクロ波伝送装置とベクトルシグナルアナライザを用いた EMI ノイズの位相分布測定

飴谷 充隆 黒川 悟

産業技術総合研究所 計測標準研究部門 〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1

E-mail: { m.ameya, satoru-kurokawa }@aist.go.jp

あらまし 本報告では、台車ロボットとシグナルアナライザ、光マイクロ波伝送装置を用いた新しい EMI ノイズの解析方法を提案する。本手法により、EMI ノイズ波源から放射される電界の強度分布と位相分布の両方が測定可能となる。本システムによって、ある円周上の位相分布を測定した結果から 2 つの放射ノイズの識別が容易になることを示す。本測定システムの進展により、EMI ノイズの振幅・位相測定が可能となり、タイムドメインフィルタや空間周波数フィルタ、遠方界近傍界理論の EMI 計測への適用が期待できる。

キーワード 光マイクロ波伝送装置、ベクトルシグナルアナライザ、位相分布計測、放射 EMI 試験

Phase Distribution Measurement of EMI Noise Using Vector Signal Analyzer with Optical Microwave Transceiver

Michitaka AMEYA and Satoru KUROKAWA

† National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 1-1-1

Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8563 Japan

E-mail: † { m.ameya, satoru-kurokawa }@aist.go.jp

Abstract In this paper, we propose a new method for electromagnetic interference (EMI) noise analysis using an optical microwave transceiver, vector signal analyzer, and mobile robot. With this new method, both the phase and amplitude distribution of an electric field radiated by an EMI noise source can be measured. From the measured results, we show that we can differentiate between noise sources in different positions using the phase distribution measured on a measurement circle. By using the proposed system, time-domain filtering, space-frequency filtering, and near-field-far-field transformation theory which use phase information of the electric field can apply to radiation emission measurements.

Keyword Optical microwave transceiver, Vector signal analyzer, Phase distribution measurement, Radiation EMI test

1. はじめに

従来の放射 EMI (Electromagnetic Interference) 測定では、被測定器 (EUT) をターンテーブル上に設置し、ターンテーブルを回転させながら、EMI レシーバにより電界強度の最大値を記録することで、被測定器からの最大放射電界強度を測定する[1][2]。従来の EMI レシーバでは、周波数フィルタによる観測周波数の掃引が可能であるため、周波数ごとの正確な電界強度が観測できるものの、掃引に伴う時間差が発生するため、インパルス性を有するような広帯域信号の測定を一度では実施できず、何度も信号を何度も繰り返し観測することが必要となる。

一方で、現在様々な無線通信方式が開発されており、無

線信号は周波数軸だけでなく、空間・時間軸上に多重化されて伝送されている。そのような無線通信方式の進展にともなう近年、FFT タイプの EMI レシーバやリアルタイムスペクトラムアナライザが開発され、それらの測定器では時間波形を高速サンプリングによって計測した後に FFT によって周波数ドメイン表示を行っているため、スペクトログラム表示や残像表示のようにスペクトルの時間変化を観測することが可能になっている。

従来の放射 EMI 試験[1][2]では、周波数フィルタによる信号の周波数弁別は行っているものの、タイムドメインフィルタや空間周波数フィルタは利用されていない。これらのフィルタが利用できない 1 つの要因として、放射 EMI 信号の位相測定がむずかしいことが一因として考えられる。

そこで本稿では、放射 EMI ノイズの位相計測の実現手法について報告する。放射 EMI ノイズの位相計測が可能となれば、タイムドメインフィルタはもちろんのこと、空間周波数フィルタ、到来方向推定[3]の実装や、近傍界遠方界変換理論[4]による遠方界電界強度推定が実現できる可能性がある。筆者らはこれまでにクロスドメインアナライザを用いた位相分布の測定について発表を行っている[5]。今回は、2チャンネルを有するベクトルシグナルアナライザシステムにより、一方のチャンネルは EUT 近くの常に同じ位置の信号を受信し、もう一方のチャンネルは台車ロボットにより空間的に掃引することにより、両チャンネルの位相差を異なる場所で測定することで、放射 EMI ノイズの空間位相分布を測定する。空間位相分布の測定により、波源の位置が異なるノイズは波面が

大きく異なるため、ノイズ源を容易に区別できることを示す。

第 2 章では、電界位相分布計測システムの装置構成について述べる。次に、第 3 章では放射ノイズ源としてコムジェネレータを測定した結果を報告する。最後にまとめとする。

2. 電界位相分布計測システムの装置構成

提案する電界位相分布計測システムの構成を図 1 に示す。本システムは、オシロスコープとスペクトルアナライザ 2 台を組み合わせたベクトルシグナルアナライザシステム、アンテナ移動用の移動台車ロボット、移動側アンテナの受信信号を伝送するための光マイクロ波トランシーバより構成されている。以下にそれぞれの仕様と特徴を述べる。

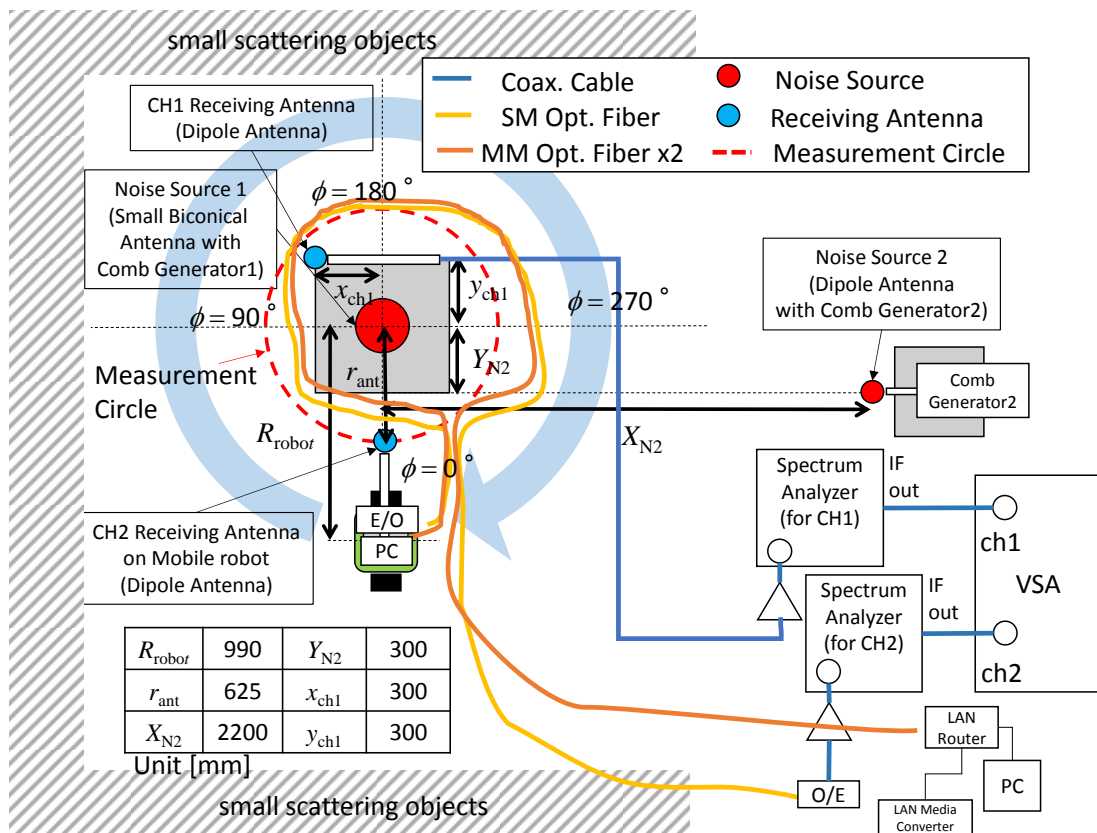


図 1 電界位相分布計測システムの構成

Fig. 1 Configuration of electric field phase distribution measurement system

2.1 ベクトルシグナルアナライザシステム

ベクトルアナライザシステムとして、2台のスペクトラムアナライザ (Keysight Technologies 社製, N9010A EXA シグナルアナライザ) とオシロスコープ (Keysight Technologies 社製, Infiniium S-series MSOS8044) を組み合わせて使用した。装置の外観を図 2 に示す。オシロスコープにベクトルシグナルアナライザ用ソフトウェア (Keysight Technologies 社製, VSA89601B) をインストールすることで、オシロスコープをベクトルシグナルアナライザとして利用することが可能となる。スペ

クトラムアナライザの IF 出力(322.5MHz 帯)をオシロスコープに接続して波形観測を行うため、オシロスコープに求められる帯域幅は 500 MHz 程度に抑えられる点でコストメリットがある。またスペクトラムアナライザは観測周波数可変のダウンコンバーターとして動作するため、スペクトラムアナライザの最大動作周波数の信号まで観測することができ、観測周波数範囲が拡張可能なシステム構成となっている。ベクトルシグナルアナライザシステムによる最大解析帯域幅は、スペクトラムアナライザの IF 出力帯域幅とオシロスコー

ープの最大観測帯域幅で制限される。

中心の EUT 近くに設置した固定側ダイポールアンテナを下段のスペクトルアナライザに接続し、台車ロボット上に設置した移動側のダイポールアンテナ出力を光マイクロ波トランシーバ経由で上段のスペクトルアナライザに接続し、それぞれのスペクトルアナライザの IF 出力端子をオシロスコープに接続し、オシロスコープ上のベクトルシグナルアナライザソフトウェアにより、両チャンネルそれぞれの振幅および両チャンネルの位相差を観測する。

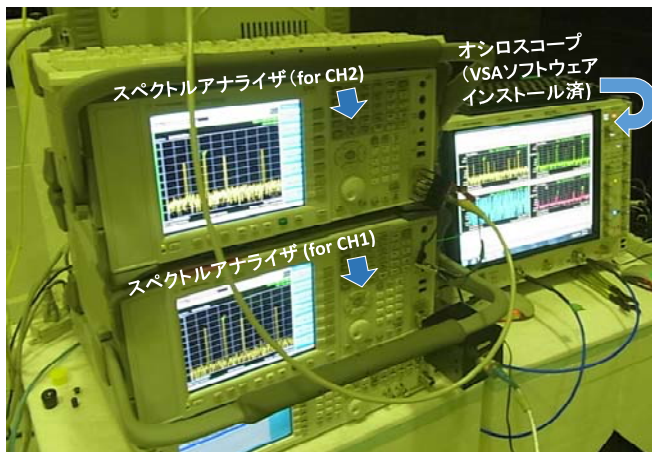


図 2 ベクトルシグナルアナライザシステムの外観
Fig. 2 Appearance of vector signal analyser system

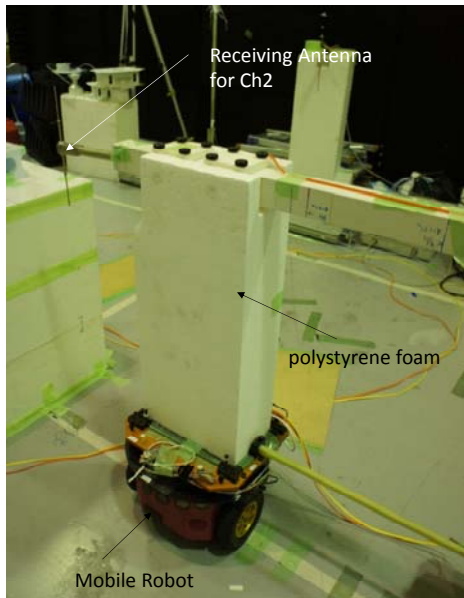


図 3 台車ロボットの外観
Fig. 3 Appearance of mobile robot

2.2 台車ロボット

使用した台車ロボットの外観および仕様[6]を図 3 および表 1 に示す。高さ 237mm の台車ロボットの上に、発泡スチロール製の治具を設置し、高さ 1 m の位置にダイポールアンテナを設置できる構造になっている。ロボットのコントロールはロボット上に置いたノート

PC より行い、そのコントロール用 PC は光ファイバ LAN によって、外部 PC からリモートログインにより操作する。

本台車ロボットはそれぞれのタイヤを独立に制御できるため、前後移動のほか、その場での回転移動が可能である。移動距離の検出は、ホイールの回転量から算出される。そのため、タイヤのスリップなどは考慮されないため、距離の誤差要因となる。位置の誤差を低減するために室内 GPS、ジャイロ・加速度センサ、やステレオカメラ等によって台車ロボットの現在位置をモニターすることが考えられるが、台車ロボットの位置推定については本稿の範囲外であるので省略するが、文献[7]ではステレオカメラを用いて位置計測を行った事例について報告している。

2.3 光マイクロ波トランシーバ

移動側アンテナの受信信号の伝送には、光マイクロ波トランシーバ[8] (精工技研製) を用いた。光マイクロ波トランシーバの外観・構成を図 4 に、主な仕様を表 2 に示す。送受の伝送ロス is ローノイズアンプ等の利用により約 -10 dB ~ 0 dB になるように設計されている。今回利用したモジュールの最高動作周波数は 3 GHz であった。

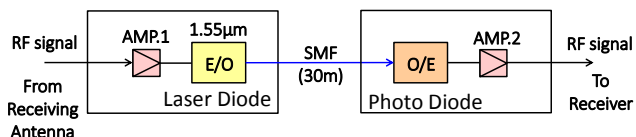
アンテナで受信した RF 信号を光ファイバにより伝送できるため、台車ロボットと測定器の距離を伸ばしても伝送損失にほぼ変化がない点と、同軸ケーブルに比べて軽量であるため、ロボットの動作に負担を与えない点で、光マイクロ波トランシーバ利用のメリットは極めて大きい。

表 1 台車ロボットの仕様
Table 1 Specification of mobile robot

Model Name	Adept Technology, Inc. Pioneer 3-DX
Size	455 mm x 381 mm x 237 mm (Height)
Robot Weight	9 kg
Payload	17 kg
Turn Radius	0 cm
Max. Forward/Backward Speed	1.2 m/s
Max. Rotation Speed	300°/s
Max. Traversable Step	2.5 cm
Max. Traversable Gap	5 cm
Max. Traversable Grade	25 %
Run Time	8 h. to 10 h.
Batteries (supports up to 3)	Lead acid, 12 V, 7.2 Ah for each



(a) Appearance of RoF Link



(b) Block Diagram of RoF Link

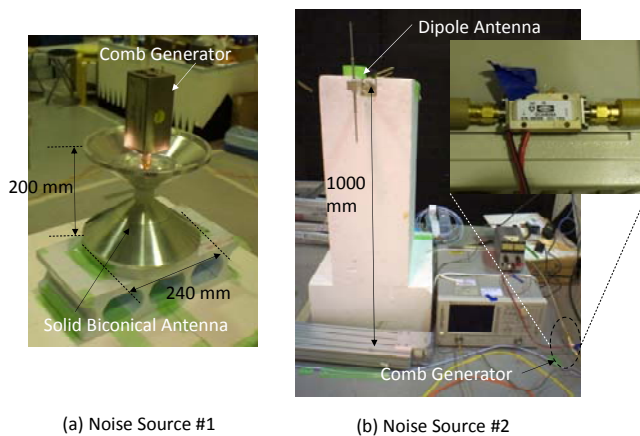
図4 光マイクロ波トランシーバの外観と構成図
Fig. 4 Appearance and block diagram of optical microwave transceiver

表2 光マイクロ波トランシーバの仕様
Table 2 Specification of optical microwave transceiver

Parameter		Min.	Typ.	Max.	Unit
Optical	Operating Wavelength	1530	1550	1570	nm
	Output Power	1	2	4	dBm
	Optical Return Loss	40	-	-	dB
RF Channel	Modulation Bandwidth	40	-	3000	MHz
	Flatness	-	6	-	dB
	RF Return Loss	-	9	-	dB
	1 dB Comp. Level	-	2	-	dBm
	Output IP3	-	11	-	dBm
	Input Damage Level	20	-	-	dBm
	Noise Figure	-	26	-	dB

2.4 コムジェネレータ（被測定対象）と測定の様子

本報告では、2つのコムジェネレータをノイズ源として利用した。1つはコム間隔が10 MHzのコムジェネレータ（TESEQ製、RSG1000）を自作のソリッドタイプバイコンカルアンテナに接続したものを利用し、もうひとつは、コム間隔が入力するCW信号の周波数に依存するコムジェネレータ（Herotek製、GCA0626A）を版波長ダイポールアンテナ（Schwarzbeck製、UHLP）に接続したものを疑似的なノイズ源として利用した。本報告では、前者をノイズ源#1、後者をノイズ源#2と呼ぶ。ノイズ源#2の入力周波数は247.5 MHzとした。図5に使用したコムジェネレータとアンテナの外観を示す。図6に測定の様子を示す。



(a) Noise Source #1

(b) Noise Source #2

図5 ノイズソースとして利用したコムジェネレータの外観
Fig. 5 Appearance of comb generator used as noise sources.

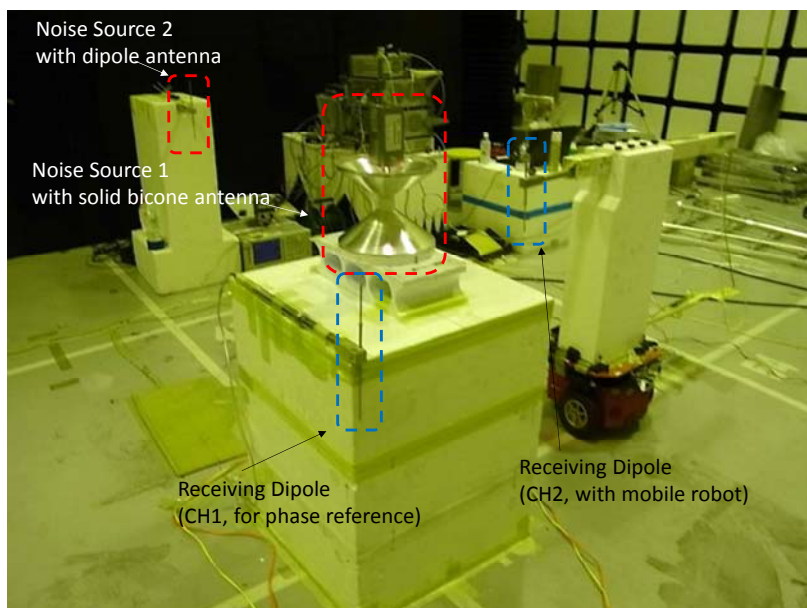


図6 測定の様子
Fig. 6 Measurement situation

3. 測定結果

シグナルアナライザシステムによる測定結果を図7に示す。図7(a)はそれぞれのチャンネルにおける受信信号の電界強度値周波数特性、図7(b)は2つの異なる時刻 ($t = 0 \text{ s}$ and $67.6 \mu\text{s}$) における両チャンネルの位相差の周波数特性を表している。図7(a)の電界振幅からもわかるように、観測周波数範囲の485 MHz~515 MHzにおいて、4つの周波数信号が観測されていることが確認できる。実際には、490 MHz, 500 MHz, 510 MHzの信号は中央に設置されたノイズソース#1からの放射であり、495 MHzの信号は右側に設置したノイズソース#2からの放射であることを事前に確認している。また、図7(b)の位相特性を確認すると、振幅において強い振幅値が得られている周波数帯では、位相の表示は一定の値を示しており、位相が測定できていることが確認できる。表3に台車ロボットを固定した状態で7秒間観測した場合の振幅の標準偏差および位相差の標準偏差を示す。振幅の標準偏差は0.05 dB以下、位相差の標準偏差は0.5 度以下であり、極めて安定的に計測できていることが確認できる。ただしこれらの値はレンジバの読値であり、電界強度の値ではない。

表3 提案システムによる振幅標準偏差および位相標準偏差

Table 3 Standard deviation of measured amplitude and phase by proposed measurement system

周波数 [MHz]	CH1 振幅		CH2 振幅		位相差	
	平均値 [dBm]	標準偏差 [dB]	平均値 [dBm]	標準偏差 [dB]	平均値 [deg]	標準偏差 [deg]
490	-37.03	0.022	-40.87	0.047	-128.93	0.45
495	-29.70	0.026	-33.55	0.035	-99.24	0.32
500	-36.40	0.023	-40.50	0.046	159.22	0.45
510	-36.58	0.022	-39.93	0.041	78.39	0.43

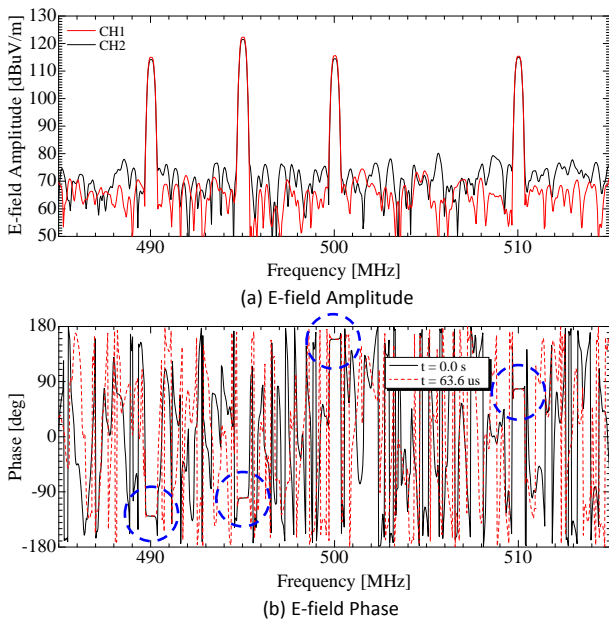


図7 電界強度の振幅および位相の測定結果

Fig. 7 Measured results of amplitude and phase of electric field

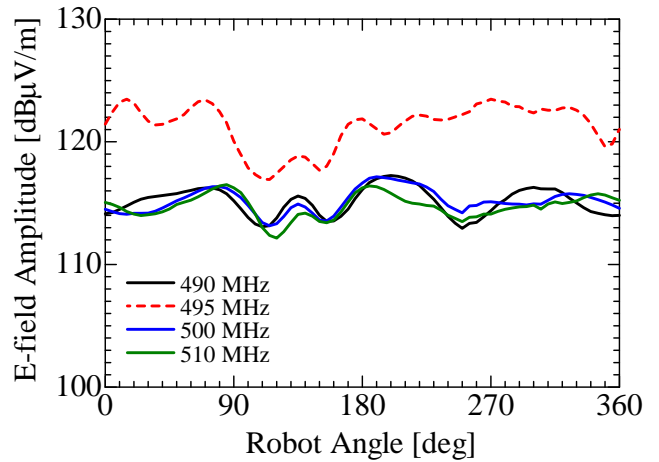


図8 移動側アンテナによる電界強度分布の測定結果
Fig. 8 Measured results of electric field strength distribution by antenna on mobile robot.

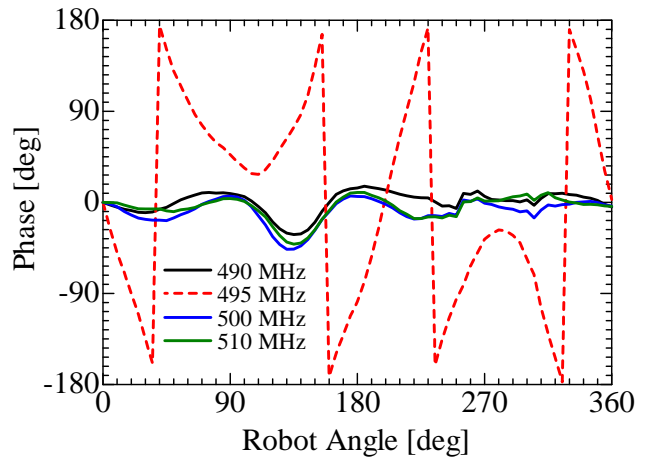


図9 移動側アンテナと固定側アンテナの位相差分布の測定結果
Fig. 9 Measured results of phase-difference distribution between antenna on mobile robot and fixed dipole antenna.

次に台車ロボットをノイズソース#1の周り半径1mの範囲を移動させ、そのときの電界振幅分布および両チャンネル間の位相差分布を測定した。ソースから受信アンテナの距離はおおよそ50 cmである。図8および図9にそれぞれの測定結果を示す。台車ロボットは角度にして5度ずつ移動して測定を実施した。図8の振幅分布の測定結果よりわかるように、495 MHzの電界強度はほかに比べて6~8dB程度高いものの、その分布は他の周波数の分布に比べて必ずしも大きな差はない。一方で、図9の位相分布を確認すると、495 MHzの電界位相は他の周波数の位相分布と比べて大きく異なっている。これは、490MHz, 500 MHz, 510 MHzの信号は測定円の中心のソース源から出力されているため、波面が同心円状に分布しているのに対して、495 MHzの信号は測定円の外側から放射されており、波面の形状がほかの周波数に比べてまったく異なるためである。

以上の結果から、放射電界の位相空間分布を測定することによって、波源の種類を識別できることがわかる。また、この情報をより詳細に解析することにより、波源位置推定ができる可能性がある。

4. まとめ

本報告では、台車ロボット、光マイクロ波トランシーバ、ベクトルシグナルアナライザを用いた電界位相分布の測定装置について報告した。本システムにより電界位相が計測可能であること、さらに電界位相分布から波源の識別が容易になることを示した。今後は、詳細な解析による波源位置推定を行うとともに、近傍会遠方界変換理論による遠方電界強度の推定を実施する予定である。また台車ロボットの位置精度向上および位置推定についても、EMC研究分野の範囲外ではあるが、重要な問題であるため、継続して研究を実施する予定である。

文 献

- [1] Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements, CISPR 16-2-3 Edition 2.0, July 2006.
- [2] 一般財団法人 VCCI 協会, VCCI 規定集付属 1 技術基準, V-3/2013.04, April 2013.
- [3] R.O.Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," IEEE Trans., vol.AP-34, no.3, pp.276-280, Mar.1986.
- [4] Dan Slater, Near-Field Antenna Measurements, Artech House Antenna Library, Mar. 1991.
- [5] Michitaka Ameya and Satoru Kurokawa, "EMI Noise Source Discrimination Using Cross Domain Analyzer and Analog RoF Link with Mobile Robot", Proceedings of MWP/APMP2014, TuED-1, pp.367-370, Oct. 2014.
- [6] Adept mobilerobots, "Pioneer P3-DX", (May 29, 2014),[Online]. Available:<http://www.mobilerobots.com/ResearchRobots/PioneerP3DX.aspx>.
- [7] 飴谷充隆, 黒川悟, 廣瀬雅信, "光マイクロ波伝送装置と台車ロボットを用いた Site-VSWR 自動計測システムの開発", 信学論(B), vol.J97-B, no.3, pp.301-310, Mar. 2014.
- [8] J. Ichijoh, "Product Trends of Optical E-field Sensor", EMC '14 Tokyo Workshop, 16P2-H3W.