

「教育環境における電磁環境の分析・調査」に関する
報告書

平成16年3月

財団法人 コンピュータ教育開発センター

はじめに

2002年度の「パソコンからの輻射電磁波の分析・調査」に続き、2003年度は実際にパソコンの設置してある教室に於いてどの程度の電磁環境にあるか「教育環境における電磁環境の分析・調査」を行った。

最近は、持ち運びが出来るノートパソコンが教育現場では重宝されており、ノートパソコンから輻射される電磁波の強度を明らかにするとともに、パソコン教室などで多数のパソコンが利用される実際の環境での電磁波特性について調べた。

ノートパソコン自体は周波数によって指向性は異なるものの特定方向に集中するような顕著な傾向はみられなかった。超低周波磁界強度測定では冷却用ファンの位置で若干目立つところがあるものの特に強い強度の部分はなかった。また、供試ノートパソコンの下に電波吸収体を敷いたところ周波数帯域によっては放射電界強度の減少が観察された。

パソコン教室での使用を考えノートパソコンの台数を増加させて放射電界強度を計測したところ放射電界強度の相加性が観測された。さらに、実際にパソコン教室の中で人の居る場合と居ない場合の違いについても測定し、放射妨害電磁波が人による散乱・吸収等で減少することを確認した。

以上の測定結果は、人体への影響解明には直接結びつかないが、これまで不明であった教育現場の電磁環境を評価する上で役立つものと考えられる。

目 次

第1章 調査方法	1
1.1 調査の概要	1
1.2 測定項目	1
1.3 調査対象機器	1
1.3.1 構成	1
1.3.2 動作条件	2
1.4 測定使用機器	2
第2章 PCの基本的雑音特性	3
2.1 放射電界強度	3
2.1.1 周波数特性	4
2.1.2 指向特性	5
2.1.3 ACアダプタの設置位置	6
2.2 商用電源周波数磁界強度	8
2.2.1 空間分布特性	8
2.2.2 距離特性	10
2.3 相加性についての検討	11
2.3.1 周波数特性	13
2.3.2 台数依存性	15
2.4 雑音強度低減の検討例	19
第3章 教室内の電磁環境特性	22
3.1 背景雑音	22
3.2 放射電界強度	24
3.2.1 周波数特性	26
3.2.2 空間分布特性	27
3.3 商用電源周波数磁界特性	31

3.3.1	ノート PC 動作状態時	31
3.3.2	配電盤周辺	36
3.4	人の存在による電磁環境特性の変化	38
3.4.1	周波数特性	39
3.4.2	空間分布特性	41
第4章	まとめと今後の課題	46
4.1	まとめ	46
4.2	今後の課題	47

【参考文献】

第1章 調査方法

1.1 調査の概要

パソコンの普及に伴い、学校教育においても積極的に取り入れられるようになってきている。現在では、持ち運ぶことのできるノートパソコン（以下、ノート PC とする）の普及台数が増加傾向にあり、学校教育にも取り入れられはじめている。このような状況から、ノート PC から放射される電磁波（電界、磁界）強度を明らかにすることは重要である。

更に、多数のノート PC が同時に利用される教育現場（実環境）における電磁波（電界、磁界）強度を明らかにすることも重要である。

本報告書は、ノート PC から放射される電磁波（雑音）の強度特性及び多数のノート PC が利用される実環境における電磁波特性の調査結果について取りまとめたものである。

1.2 測定項目

測定項目は以下の2項目である。

【1】 PC の基本的雑音特性の測定

電波暗室内にて実施

【2】 教室内での電磁環境特性の測定

独立行政法人 教員研修センター内メディアサポート室をお借りして実施

茨城県つくば市立原3番地

これらの測定から、ノート PC から放射される雑音の強度や周波数特性及び実環境での雑音特性を示す。

1.3 調査対象機器

測定項目【1】の測定に用いたノート PC は、測定項目【2】の教員研修センターで使用されているものをコンピュータ教育開発センターが借用したものである。

調査対象機器の詳細を表1.1に示す。

表1.1 調査対象機器の詳細

装置名	主要スペック
ノートパソコン	Pentium4-M 2.20GHz FSB 400MHz USBマウス接続

1.3.1 構成

調査対象機器の構成は、AC アダプタ電源による電源供給及び USB マウスを接続した状態である。

1.3.2 動作条件

動作条件は下記のとおりとした。

測定項目【1】

ノートPC付属のメモ帳ソフトを使用して、半角の「H」のキャラクター文字を全画面に表示させた状態。

測定項目【2】

ディスプレイの表示画面は起動状態時としてLANケーブルを接続した状態。

1.4 測定使用機器

測定項目【1】に用いた機器の一覧を表1.2に示す。

表1.2 測定使用機器一覧

機器名	型名	特性等	メーカー
3軸ダイポールアンテナ	KBA-5530	frequency=30～300MHz	協立電子工業(株)
3軸ダイポールアンテナ	KBA-5630	frequency=300～1000MHz	協立電子工業(株)
バイコニカルアンテナ	BBA9106	frequency=30～300MHz	Schwarzbeck
ログペリオディックアンテナ	KBA623	frequency=300～1000MHz	協立電子工業(株)
ダブルリッジガイドアンテナ	3115	frequency=1～3GHz	EMCO
スペクトラムアナライザ	ESI-40	プリセクタ内臓スペクトラムアナライザ	ROHDE&SCHWARZ
ネットワークアナライザ	8753C	frequency=300KHz～6GHz	HEWLETT PACKARD
シグナルジェネレータ	83623A	frequency=10MHz～20GHz	HEWLETT PACKARD
ダイポールアンテナ	MA5612B2	frequency=1.7～1.95GHz	アンリツ
シンセサイズドスイーパ	83623A	frequency=10MHz～20GHz	HEWLETT PACKARD
磁界測定用アンテナ	HI-3604	50/60Hz専用	HOLADAY

測定項目【2】に用いた機器の一覧を表1.3に示す。

表1.3 測定使用機器一覧

機器名	型名	特性等	メーカー
3軸ダイポールアンテナ	KBA-5530	frequency=30～300MHz	協立電子工業(株)
3軸ダイポールアンテナ	KBA-5630	frequency=300～1000MHz	協立電子工業(株)
アンテナ切換器		frequency=30～1000MHz	協立電子工業(株)
アクティブループアンテナ	6507	frequency=1kHz～30MHz	EMCO
オムニアンテナ	EM-6865	frequency=1～20GHz	ELEDTRO-METRICS
スペクトラムアナライザ	ESI-26	プリセクタ内臓スペクトラムアナライザ	ROHDE&SCHWARZ
磁界測定用アンテナ	HI-3604	50/60Hz専用	HOLADAY

第2章 PCの基本的雑音特性

2.1 放射電界強度

測定は最初に VCCI 技術基準に基づいて実施した。測定は 10m 法での測定が可能である 5 面電波暗室において、ターンテーブル中央に高さ 80cm の木製の机を設置して表 1.1 で示した調査対象機器（以下、第 2 章では供試装置とする）を配置して実施した。なお、測定は 3m 法によって行った。放射電界強度測定時のスペクトラムアナライザの主な設定を表 2.1 (A)、準尖頭値測定用のテストレーバの設定を表 2.1 (B) にそれぞれ示す。また、図 2.1 に測定実施時の様子を示す。

表 2.1 (A) 放射電界強度測定時のスペクトラムアナライザの設定

設定周波数帯	30MHz ~ 300MHz	300MHz ~ 1GHz	1GHz ~ 3GHz
掃引時間	100msec	100msec	100msec
RBW、VBW	100kHz、100kHz	100kHz、100kHz	1MHz、1MHz
プリセクタ・プリアンプ	ON、ON	ON、ON	ON、ON
測定ポイント数	500		
アッテネータ	0dB		
掃引方法	Max Hold		

表 2.1 (B) 準尖頭値測定時のテストレーバの設定

設定項目	RBW	Measurement Time	アッテネータ	内部プリアンプ
設定値	120kHz	500msec	10dB	ON



図 2.1 測定実施時の様子

2.1.1 周波数特性

VCCI 技術基準に基づく測定の測定結果を図 2.1.1 (A)、図 2.1.1 (B) に示す。測定時の測定器の設定は、表 2.1 (A) 及び表 2.1 (B) である。図 2.1.1 (A) 及び図 2.1.1 (B) に示した青線は、ノイズフロアレベルであり、赤線は供試装置から輻射されている電界強度の尖頭値である。緑線は、VCCI の Class A (工業地域向け情報技術装置) で規定されている許容値 (準尖頭値) である。

次に同測定結果の準尖頭値による測定結果を表 2.1.1 (A)、表 2.1.1 (B) に示す。準尖頭値は、図 2.1.1 (A)、図 2.1.1 (B) の周波数特性から測定周波数を決定し、ターンテーブルを回転させ輻射電磁波の最大の位置に合わせ、受信アンテナを上下させ輻射電磁波の最大値を読み取った。測定時の測定器の設定は、表 2.1 (B) である。

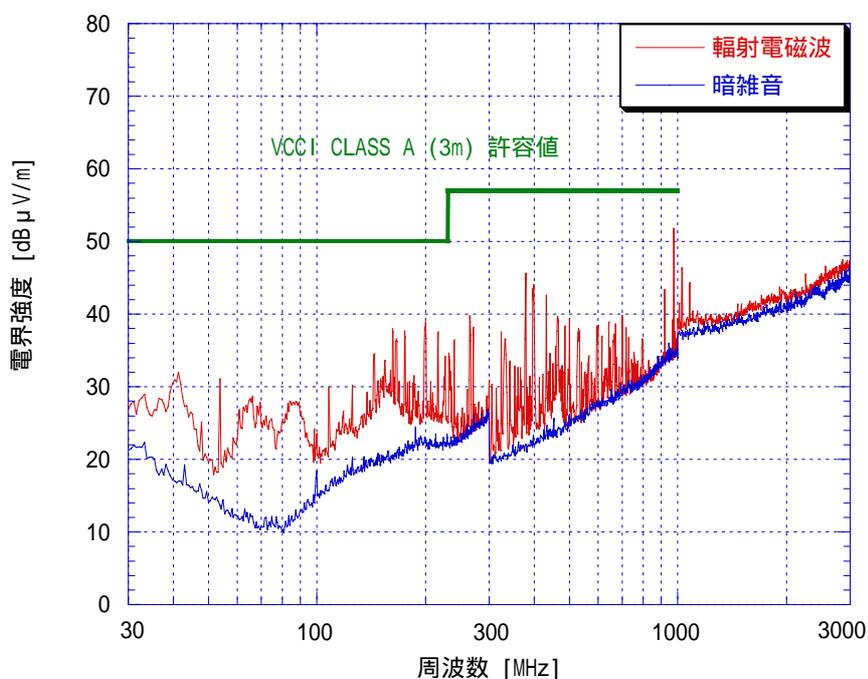


図 2.1.1 (A) 垂直偏波

表 2.1.1 (A) 準尖頭値測定結果 (垂直偏波)

測定周波数 [MHz]	電界強度 [dB μV/m]
40.1	20.70
143.9	32.58
265.9	34.26
378.6	39.60
973.6	49.59

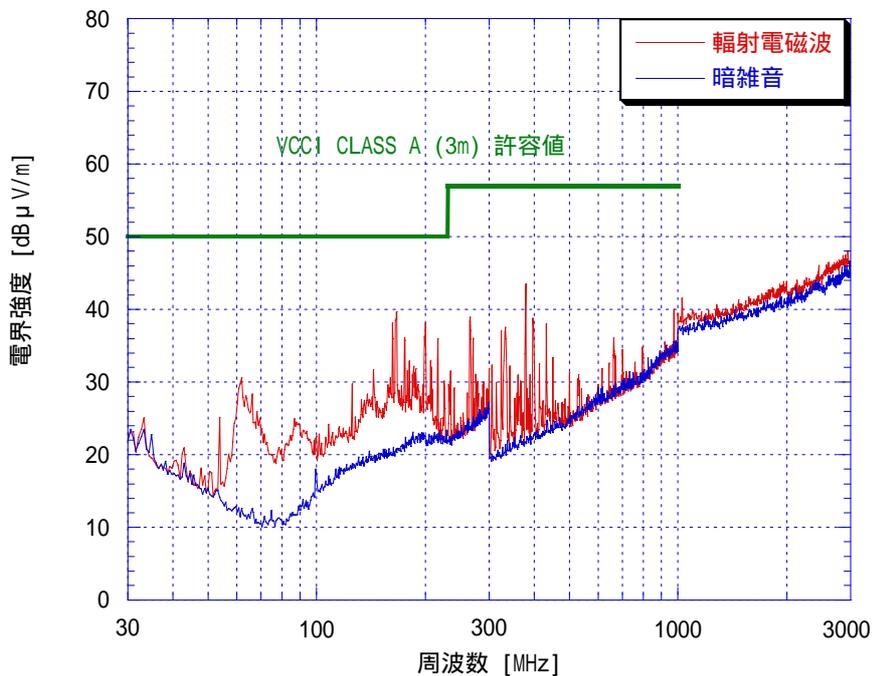


図 2 . 1 . 1 (B) 水平偏波

表 2 . 1 . 1 (B) 準尖頭値測定結果 (水平偏波)

測定周波数 [MHz]	電界強度 [dB μV/m]
40.1	12.44
143.9	33.41
265.9	38.69
378.6	45.47
973.6	46.61

2 . 1 . 2 指向特性

放射電界強度の準尖頭値測定結果から電界強度のピークの大きい周波数 VHF 帯域 (30MHz ~ 300MHz) で 1 点、UHF 帯域 (300MHz ~ 3000MHz) で 1 点の 2 つの周波数帯域において指向特性を測定した。供試装置と受信アンテナ間は、放射電界強度の周波数特性の測定と同様である 3m とし、ターンテーブルを 30° 毎に回転させて測定を行った。

ターンテーブルの方向は、供試装置の前面を 180° とした。ここでの受信アンテナには、3 軸ダイポールアンテナを用い、測定結果はその合成値とした。測定時の測定器の主な設定は、表 2 . 1 (B) である。図 2 . 1 . 2 (A) 図 2 . 1 . 2 (B) に準尖頭値の指向特性の測定結果をそれぞれ示す。

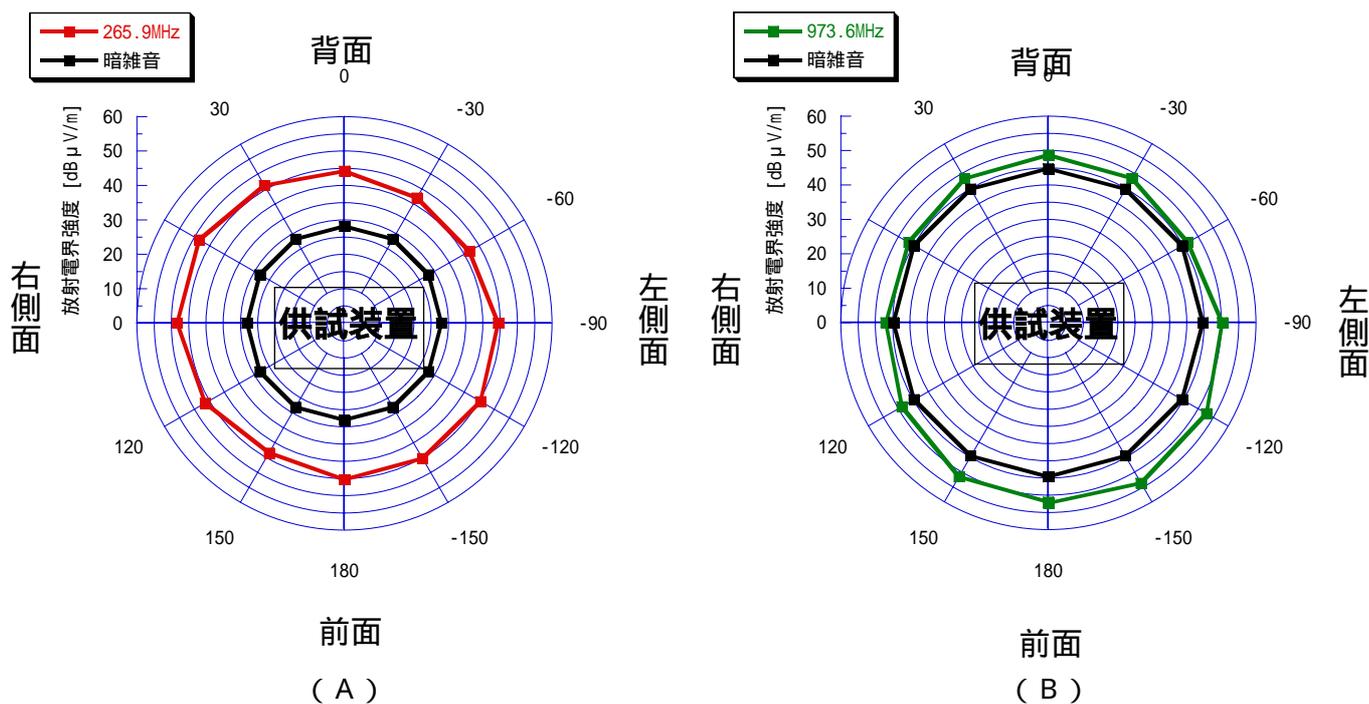


図 2 . 1 . 2 放射電界強度の指向特性

図 2 . 1 . 2 (A) 図 2 . 1 . 2 (B) の結果から、周波数によって指向特性は異なるが、特定方向に電界が集中するような顕著な指向特性はみられなかった。

2 . 1 . 3 AC アダプタの設置位置

AC アダプタを床上に設置した場合と卓上に設置した場合の放射電界強度の周波数特性の比較測定結果を図 2 . 1 . 3 (A) 図 2 . 1 . 3 (B) にそれぞれ示す。測定時の測定器の設定は、表 2 . 1 (A) である。

放射電界強度の周波数特性に大きな変化が現れるところには、緑線の円で囲んでいる。

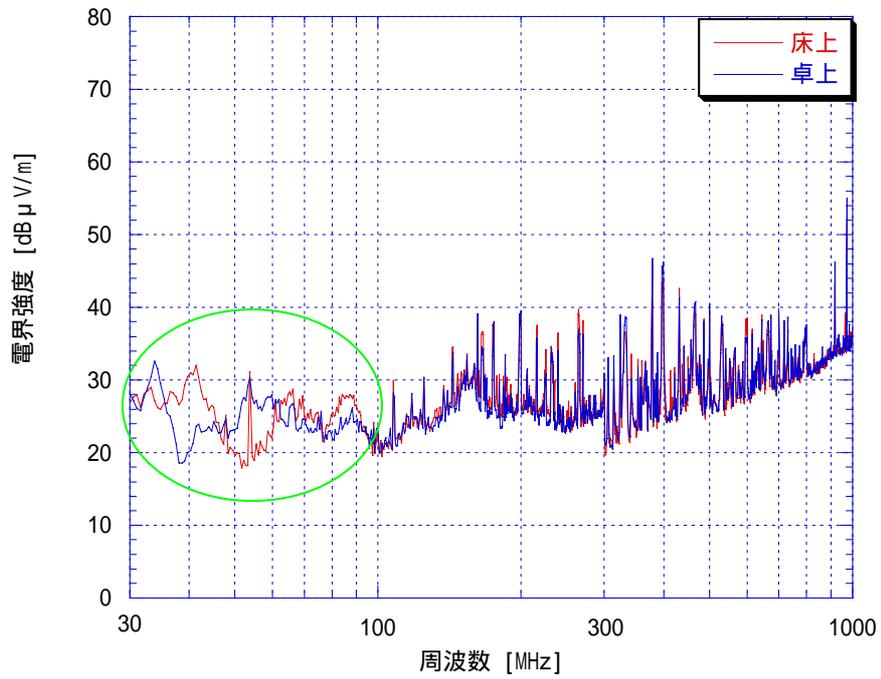


図 2 . 1 . 3 (A) AC アダプタ設置位置による周波数特性の違い (垂直偏波)

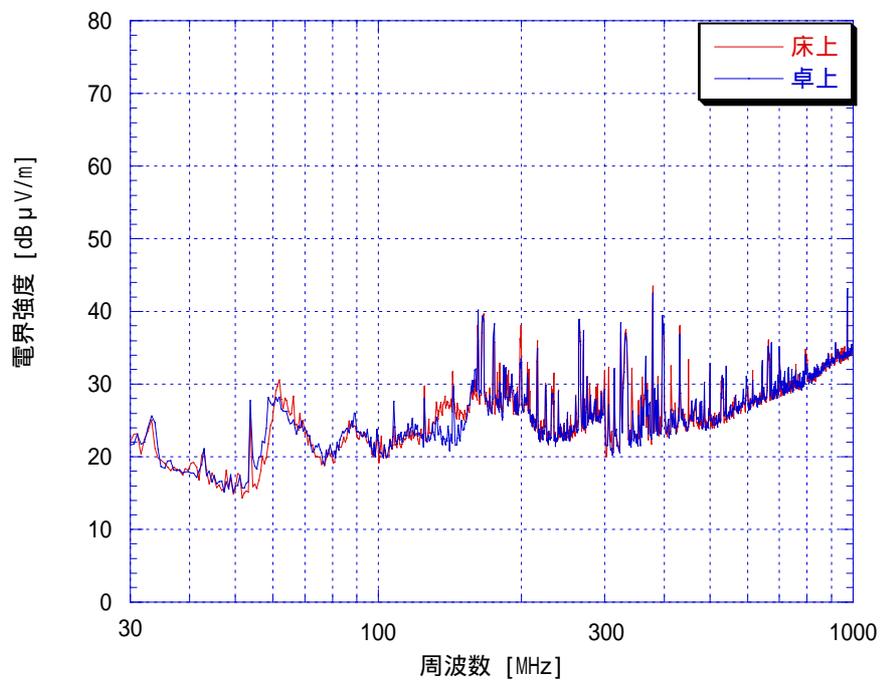


図 2 . 1 . 3 (B) AC アダプタ設置位置による周波数特性の違い (水平偏波)

図 2.1.3 (A) の垂直偏波では、30MHz ~ 100MHz で周波数特性に変化が現れているが、図 2.1.3 (B) の水平偏波では、周波数特性に変化はあまり現れていない。

2.2 商用電源周波数磁界強度

供試装置の磁界強度の分布特性及び距離特性の測定を行った。分布特性測定時及び距離特性測定時における磁界測定用アンテナの設定は、mA/m レンジで実施し、mA/m の測定レンジを超える点が数点生じた場合に A/m の測定レンジに変更して測定を実施した。

磁界測定用アンテナの測定値は、mA/m 及び A/m で表示される為、mG に変換して結果を示した。表示された測定値は、 $1.0 \mu T = 10mG = 0.8A/m$ で mG に変換した。

また、測定を実施した暗室内の背景特性となる磁界強度は、0.012mG であった。

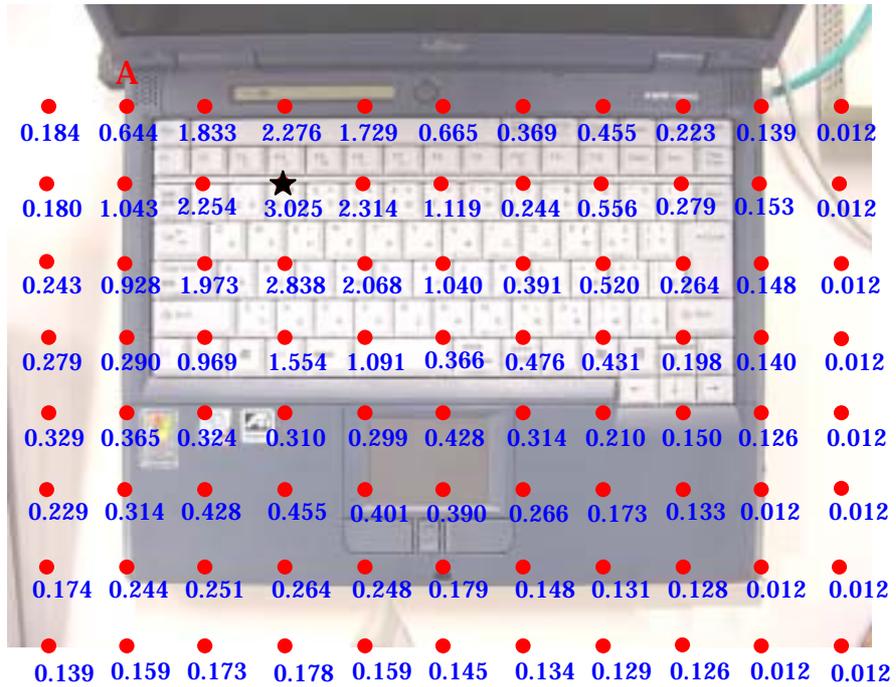
2.2.1 空間分布特性

キーボード上部の磁界強度について空間分布特性の測定を実施した。キーボード上部の左上端を仮起点 A とし、外側 4cm を起点に 4cm × 4cm のメッシュで磁界強度の測定を実施した。

測定は、磁界測定用アンテナの中心を各測定ポイントに合わせて行った。測定ポイントは、図 2.2.1 (A) の赤点である。

測定結果を図 2.2.1 (A) 図 2.2.1 (B) にそれぞれ示す。

図 2.2.1 (A) 図 2.2.1 (B) の強度の強い部分は、供試装置の電源部分に冷却ファンがあり、これはモーターで回転させているため、そのモーターからの磁界によるものと考えられる。



(単位：mG)

図 2 . 2 . 1 (B) キーボード上部の商用電源周波数磁界強度測定結果

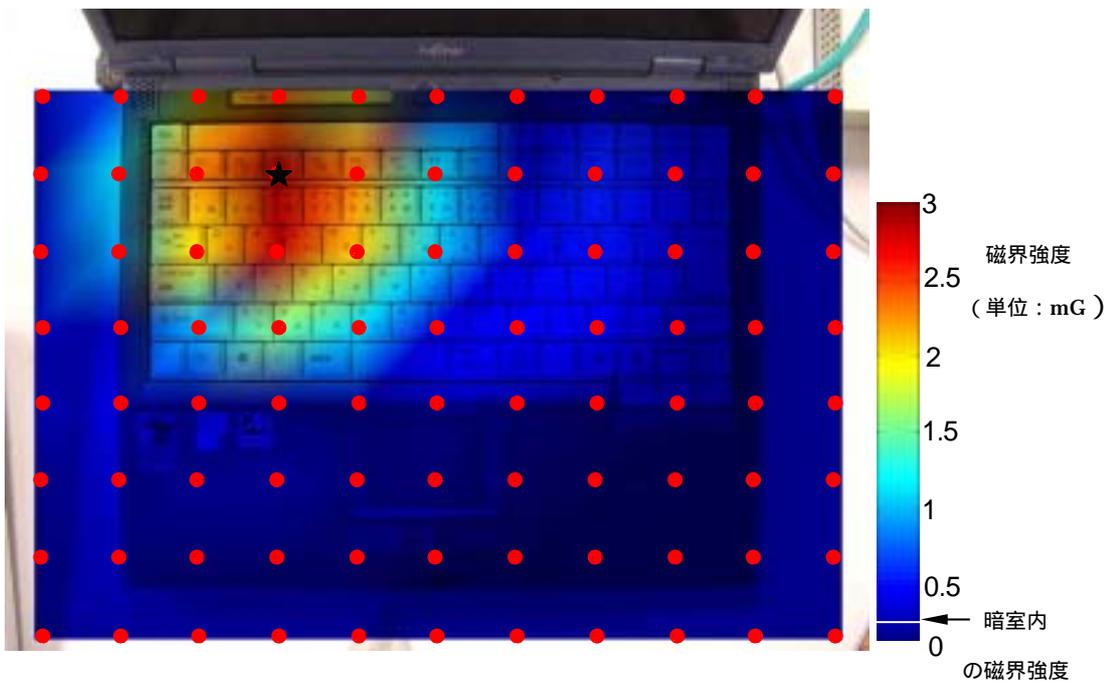


図 2 . 2 . 1 (C) キーボード上部の商用電源周波数磁界強度分布特性

2.2.2 距離特性

磁界は、離隔距離を大きくすることにより減衰する。磁石のように点状の磁界発生源では、発生源からある程度離れると、磁界強度は距離の2~3乗に逆比例して減衰する。一方、直流電流のような線状の磁界発生源では、磁界強度は距離に逆比例して減衰する傾向となる。

項目2.2.1項の空間分布特性から商用電源周波数磁界強度の強かった場所（印の点）で、強度の距離特性の測定を実施した。

測定結果を図2.2.2に示す。

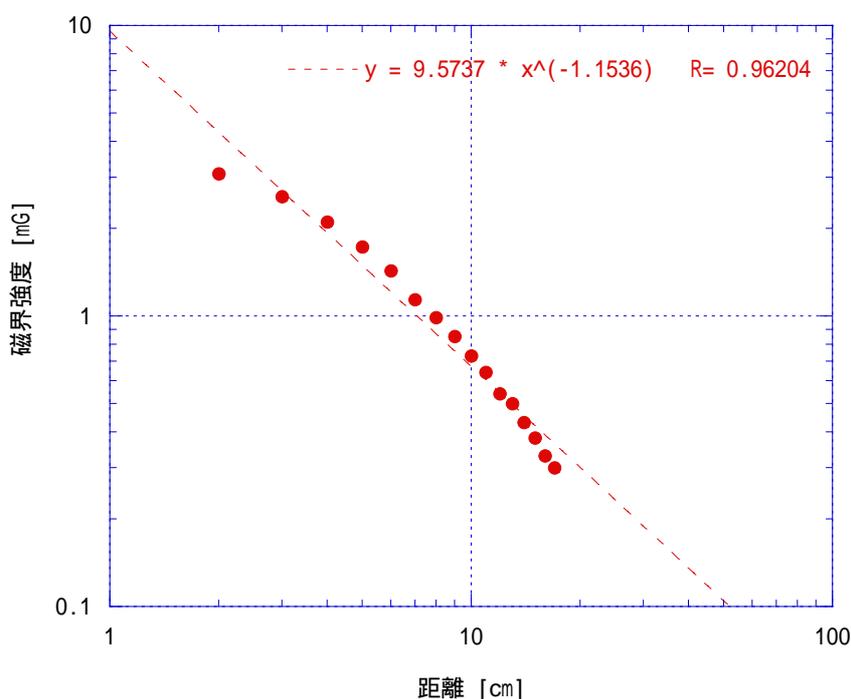


図2.2.2 距離特性

供試装置のキーボード上部の磁界強度の強い点から2cm離れた場所の磁界強度は3.1mGであり、上部に17cm離れた場所（人がモニタを覗き込むようにみたときの眼球付近）の磁界強度は0.3mGであることが明らかになった。

また、磁界強度は距離にほぼ逆比例して減少する傾向となった。

2.3 相加性についての検討

教育現場では、通常同じ種類のパソコンが同時に使用される。そこで供試装置の台数と放射妨害波の特性（相加性）についての検討を行った。測定は、周波数特性、台数依存性について行った。通常教室内（実環境）で椅子に座りパソコンを使用する時の、人の頭部の位置が床から約1mの位置になることから、測定供試装置の高さは5面電波暗室のシールド面から1mとし、同様に受信アンテナの高さも1mとした。

供試装置の機種は1機種であり、台数を1台から4台まで増加させた。供試装置から発生する放射妨害波のベクトルは、様々な大きさと方向からなっているためX、Y、Zの3軸方向の合成が必要である。このことから受信アンテナには、3軸ダイポールアンテナを用いた。

3軸の各受信電圧成分から全受信電圧は、以下の式より得ることができる。

$$V_S = \sqrt{(V_X)^2 + (V_Y)^2 + (V_Z)^2} \cdot \dots \cdot \text{(式 1)}$$

なお、ここでは全受信電圧を V_S 、各受信電圧成分を V_X 、 V_Y 、 V_Z とする。

測定に用いた3軸ダイポールアンテナを図2.3に示す。周波数特性測定時のスペクトラムアナライザの主な設定を表2.3(A)に、台数依存性測定時のテストレーバの主な設定を表2.3(B)にそれぞれ示す。



図2.3 3軸ダイポールアンテナ

3 軸ダイポールアンテナは、様々な大きさと方向からなる放射妨害波を X、Y、Z で受信することができる。しかし、X、Y、Z で受信した放射妨害波を同時に測定することはできない。3 軸ダイポールアンテナは、2 種のアンテナエレメントの構成により 30MHz ~ 1000MHz まで測定することが可能である。

表 2 . 3 (A) 周波数特性測定時のスペクトラムアナライザの設定

設定周波数帯	30MHz ~ 300MHz	300MHz ~ 1GHz
掃引時間	10sec	10sec
RBW, VBW	1MHz, 1MHz	1MHz, 1MHz
プリセクタ・プリアンプ	ON, ON	ON, ON
測定ポイント数	500	
アッテネータ	0dB	
掃引方法	Max Hold	

表 2 . 3 (B) 台数依存性測定時のテストレシーバの設定

設定項目	RBW	Measurement Time	アッテネータ	内部プリアンプ
設定値	120kHz	500msec	10dB	ON

2.3.1 周波数特性

測定を行う際すべての供試装置は、受信アンテナからみたとき前面方向となるようにし、受信アンテナから全て等しい距離になるよう設置した。

供試装置と受信アンテナ間は、2.5m である。測定は、スペクトラムアナライザによる尖頭値での測定であり、測定時の測定器の主な設定は、表 2.3 (A) である。測定の構成図は図 2.3.1 (A) に、測定実施時の様子は図 2.3.1 (B) にそれぞれ示す。測定結果を図 2.3.1 (C)、図 2.3.1 (D) にそれぞれ示す。

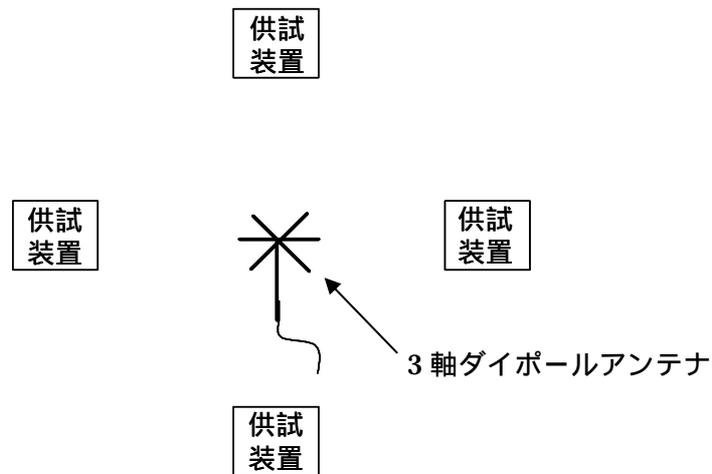


図 2.3.1 (A) 測定構成図 (上からみた図)

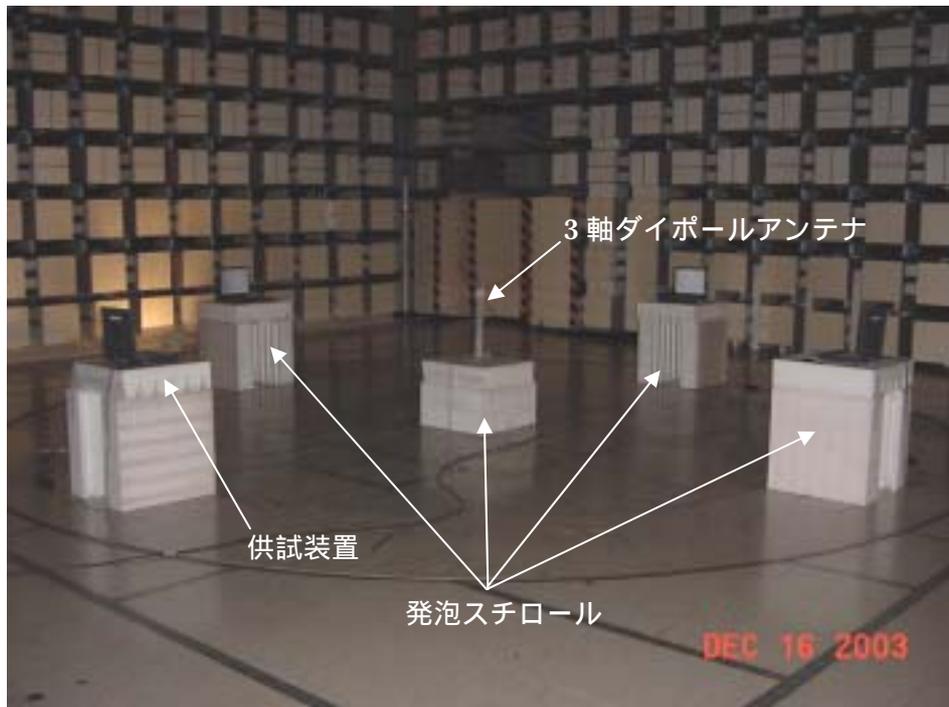


図 2.3.1 (B) 測定実施時の様子

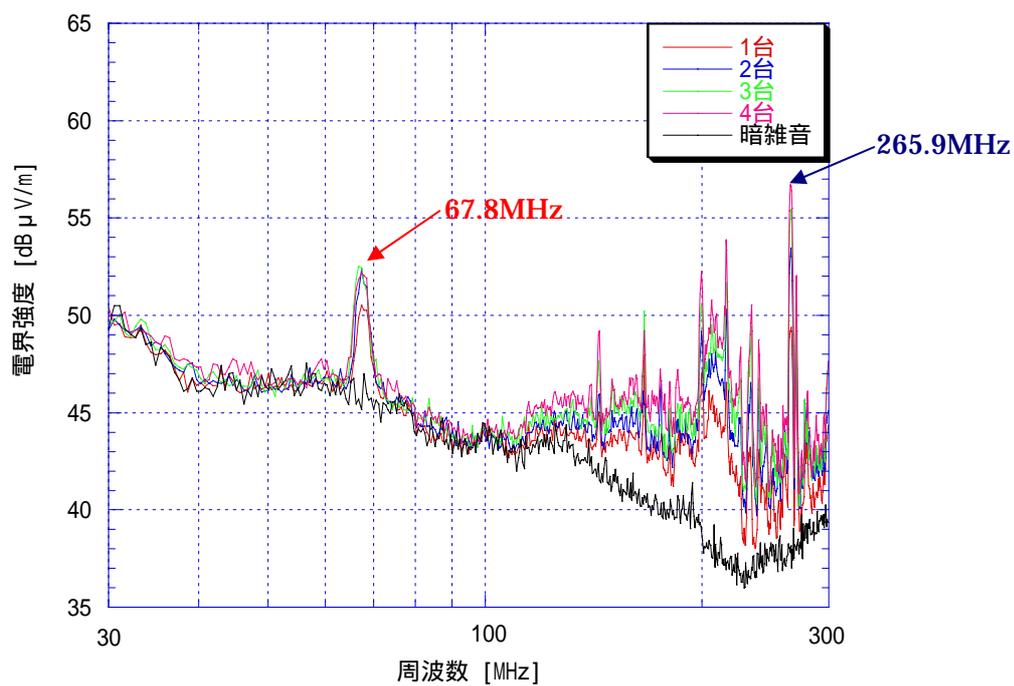


図 2 . 3 . 1 (C) 放射妨害波の周波数特性 (30MHz ~ 300MHz)

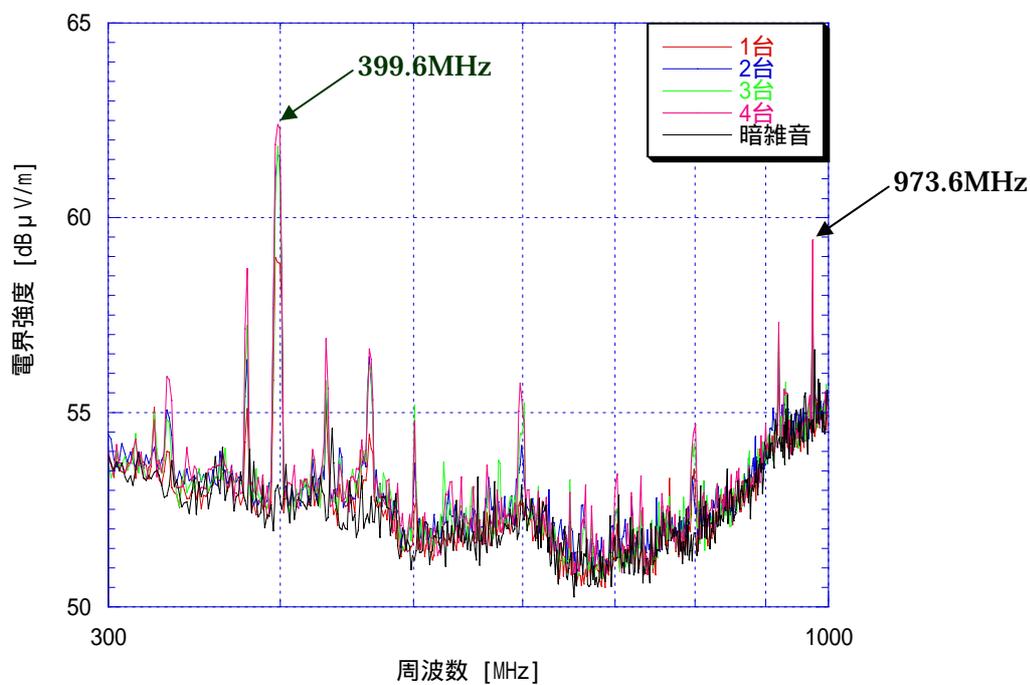


図 2 . 3 . 1 (D) 放射妨害波の周波数特性 (300MHz ~ 1000MHz)

供試装置の台数を 1 台から 4 台まで増加させていくと、周波数帯域によって強度の増加特性に違いがあるようである。そこで、これらの周波数帯の中から放射電界強度の強い周波数（4 点）を選び出し、次項の 2.3.2 項においてその特性について検討を行った。

2.3.2 台数依存性

2.3.1 項の周波数特性の測定結果から、放射電界強度の強い周波数（4 点）で、台数に対する相加性の測定を実施した。周波数は、67.8MHz、265.9MHz、399.6MHz、973.6MHz である。

測定構成図及び測定実施時の様子は、2.3.1 項の図 2.3.1 (A)、図 2.3.1 (B) と同様である。測定は、テストレーバによる準尖頭値の測定である。測定時の測定器の主な設定は、表 2.3 (B) である。

測定結果を図 2.3.2 (A) に示す。

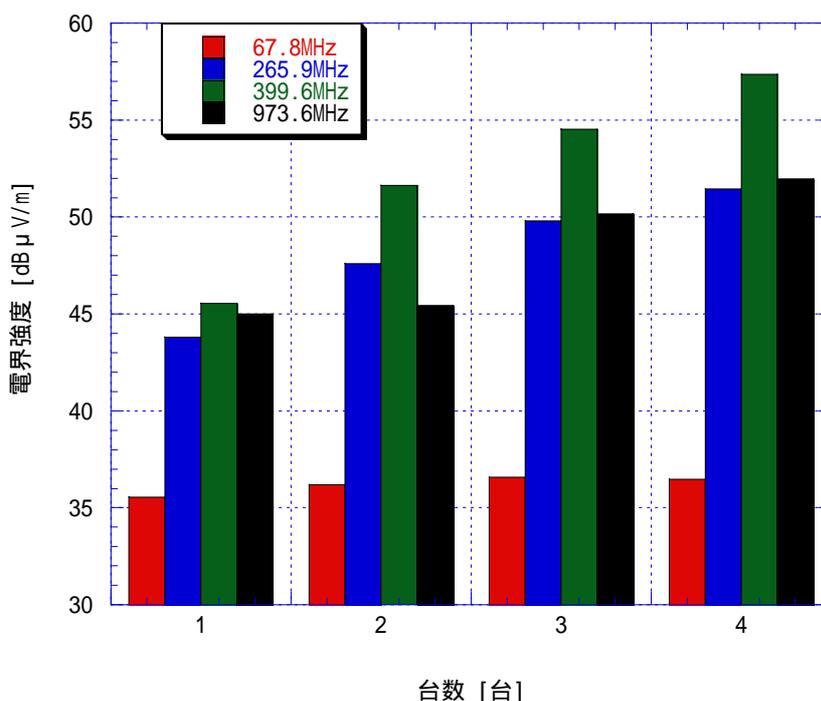


図 2.3.2 (A) 台数増加による放射電界強度の変化

供試装置の台数を 1 台から 4 台まで増加させた時の放射電界強度の変化を図 2.3.2 (A) に示す。

供試装置の台数が増加していくと、放射電界強度が増加していくことがわかる。

ここで、供試装置の台数を 1 台～4 台に増加させた時の強度について、供試装置が 1 台の時の放射電界強度を基準として規格化したものを図 2.3.2 (B) に示す。

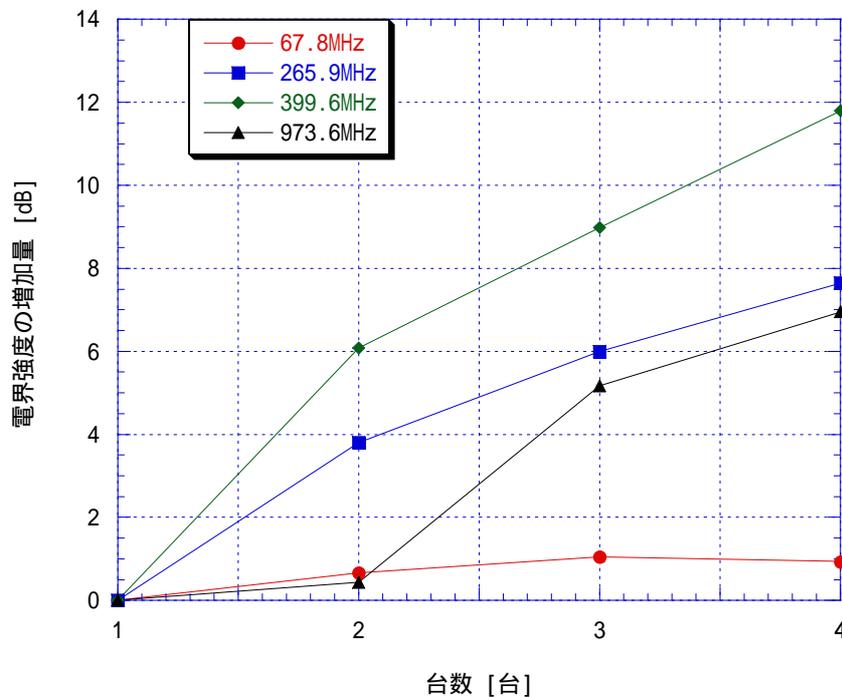


図 2 . 3 . 2 (B) 放射妨害波の相加性

供試装置の台数を 1 台～ 4 台まで増加させることによって、放射電界強度は 67.8MHz で 1.0dB、265.9MHz で 7.6dB、399.6MHz で 11.8dB、973.6MHz で 7.0dB 増加している。

但し、本調査では、台数を 3 台～ 4 台にしたときに 67.8MHz の放射電界強度は減少する傾向となっている。

なお、399.6MHz については、表 1 . 1 中に示したとおり今回使用した供試装置の FSB の周波数である。

上記結果から、放射電界強度は台数増加に応じておおむね増加する傾向がみられる。これらのことから、供試装置の台数と放射妨害波には相加性があると言える。

次に、電磁波の発生源にダイポールアンテナを用いて同様の測定を実施した。測定構成図は、図 2 . 3 . 2 (C) に示し、ダイポールアンテナの本数は、供試装置の台数と同等とするため 4 本とした。ダイポールアンテナの偏波面は、水平偏波とし、周波数は 1.9GHz とした。出力は、信号発生器（シンセサイズドスイーパー）ですべてのダイポールアンテナに 0dBm を印加させ、受信アンテナには 3 軸ダイポールアンテナを用いた。

測定結果を図 2 . 3 . 2 (D) にそれぞれ示す。

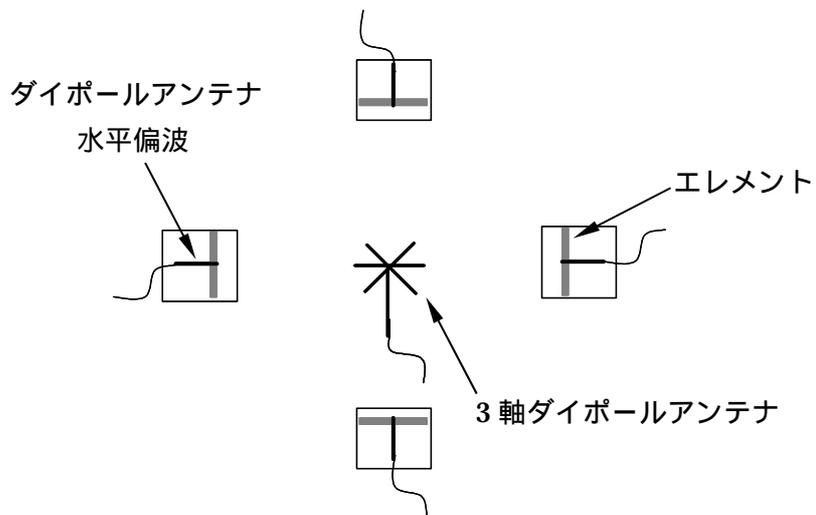


図 2 . 3 . 2 (C) 測定構成図 (上からみた図)

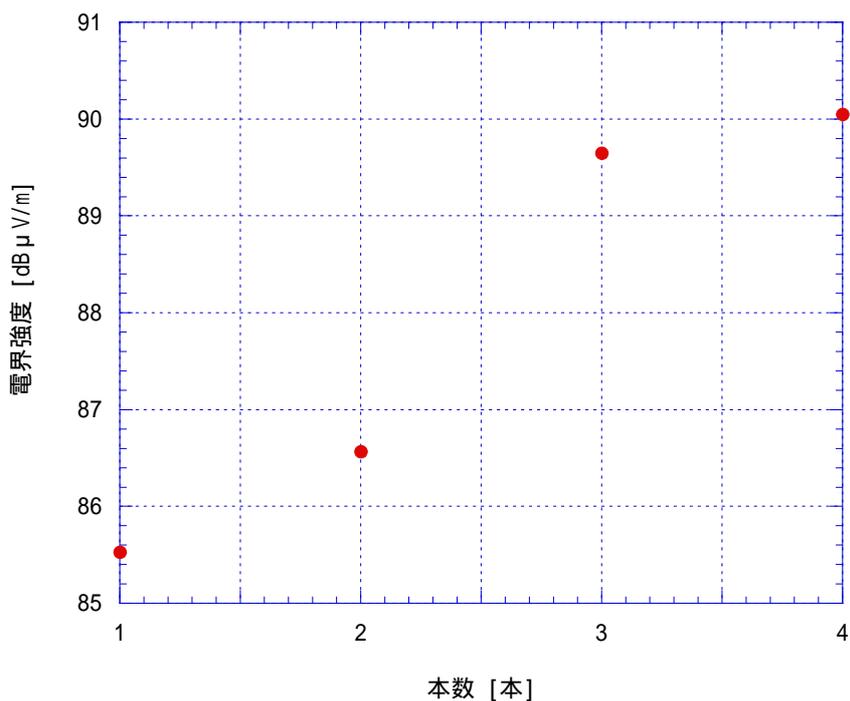


図 2 . 3 . 2 (D) 本数増加による放射電界強度の変化

電磁波の発生源であるダイポールアンテナの本数を 1 本から 4 本まで増加させた時の放射電界強度の変化を図 2 . 3 . 2 (D) に示す。

ダイポールアンテナの本数が増加していくと、放射電界強度が増加していくことが明らかである。

次にダイポールアンテナ 1 本の時の電界強度を基準として規格化したものを図 2 . 3 . 2 (E) に示す。

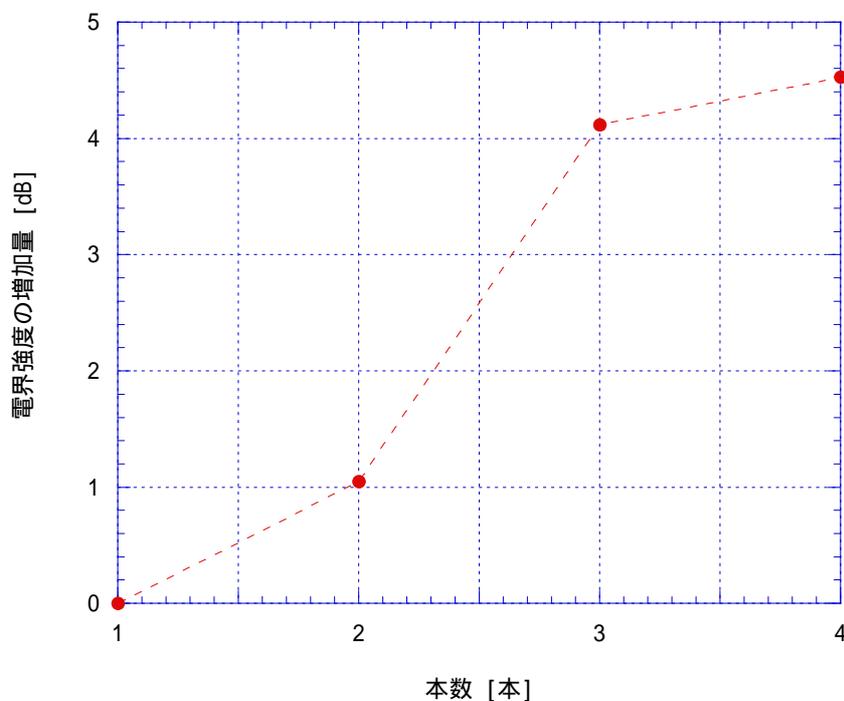


図 2 . 3 . 2 (E) 電磁波の相加性

図 2 . 3 . 2 (E) から、電磁波の発生源であるダイポールアンテナの本数を増加させた場合、電界強度の増加量の変化は本結果の中では直線的でないことが明らかとなった。本数増加に伴う電界強度の増加量に違いがあるものの、ダイポールアンテナの本数が増加すると電磁波に相加性のあることが明らかとなった。

以上から、供試装置の台数増加に伴う放射妨害波の相加性及びダイポールアンテナを用いた本数増加に伴う電界強度の相加性についての検討を行った結果、放射妨害波および電磁波の発生源を増加させていった場合には、強度に相加性があることが明らかとなった。

2.4 雑音強度低減の検討例

教育現場（教室内等）でパソコンを使用する場合、それらから発生する妨害波の電界強度は抑えられた方が良いという観点から、放射妨害波の電界強度低減について検討を行った。電波を吸収する材質で作られたものの一例として、供試装置としたパソコンの下に電波吸収体を敷き、放射妨害波の低減の効果について測定を実施した。使用した電波吸収体の外寸法は、60L×60W×30H（cm）である。測定周波数範囲は30MHz～1GHzとし、受信アンテナには3軸ダイポールアンテナを用いた。供試装置の高さ及び受信アンテナの高さは、2.3項の相加性についての検討と同じ理由から両方共高さを1mにして測定を実施した。

供試装置のアンテナとの対向面は、2.1.2項の指向特性から放射電界強度の強い面が供試装置のほぼ前面であったので供試装置の前面とした。

測定結果を図2.4（A）、図2.4（B）にそれぞれ示す。電波吸収体を敷いた場合による効果がみられる周波数帯域について緑線の円で囲んでいる。

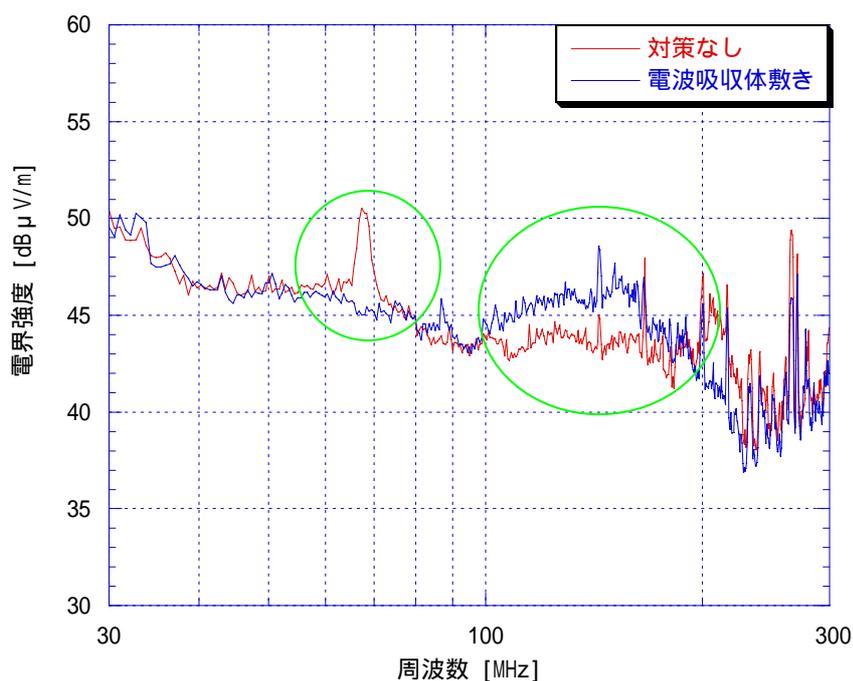


図2.4（A） 対策前後での周波数特性の変化（30MHz～300MHz）

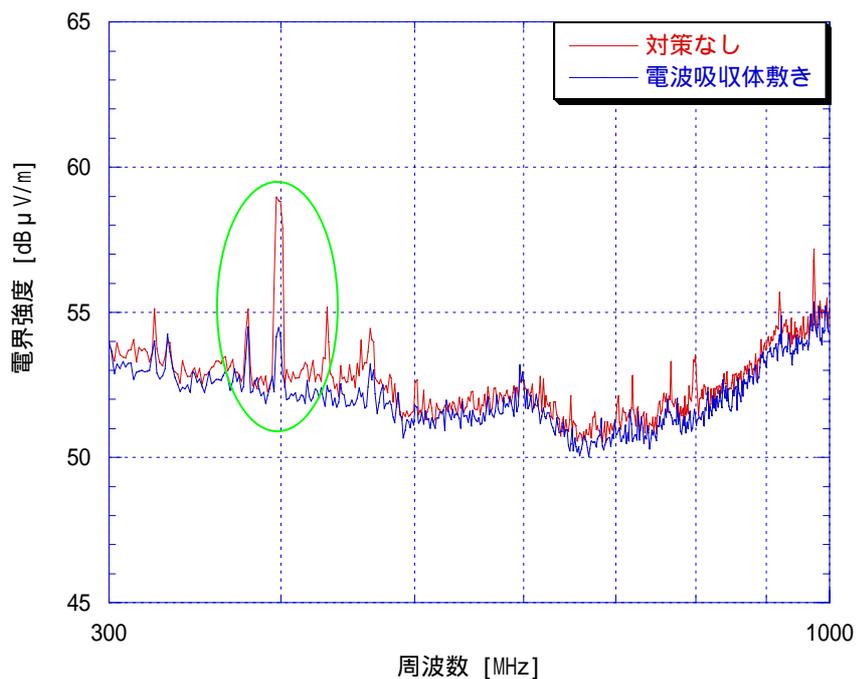


図 2 . 4 (B) 対策前後での周波数特性の変化 (300MHz ~ 1000MHz)

対策前後で、放射電界強度の周波数特性に違いが生じていることが図 2 . 4 (A)、図 2 . 4 (B) から分かる。

次に、対策前後での放射電界強度の偏差を図 2 . 4 (C) に示す。

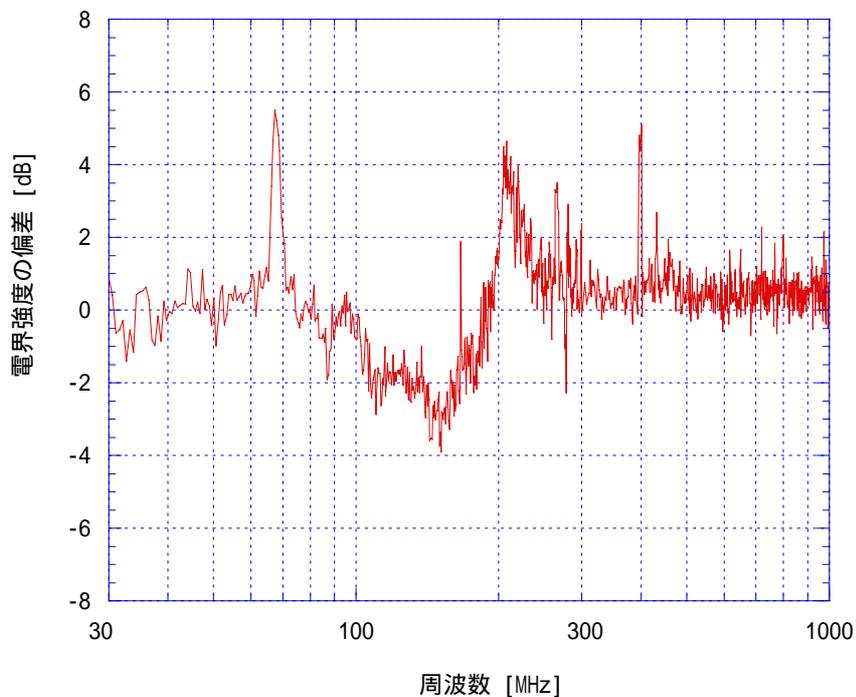


図 2 . 4 (C) 放射電界強度の偏差

偏差は、対策前の強度から対策後の強度を引いて算出した。プラス方向が放射電界強度の低減を示している。

図 2 . 4 (C) から分かるように、供試装置の下に電波吸収体を敷いた場合には 30MHz ~ 1000MHz の帯域で放射電界強度の平均値を比較すると、0.3dB 程度減少しているとともに、放射電界強度の特に強かった周波数において最大で 5.5dB 程度減少している。但し、100MHz ~ 200MHz の帯域では、電波吸収体を敷いた場合には放射電界強度の平均値を比較すると 1.6dB 程度増加している。

以上から、供試装置の下に電波吸収体を敷くことにより放射電界強度の減少する周波数帯域と増加する周波数帯域がみられた。このことから、供試装置の下に電波を吸収するものを敷く場合には、形状及び材質と周波数帯域を考慮して敷くことが望まれる。

他に電波を吸収する材質で作られたものには、電波吸収フェライトシート、電波吸収シート等がある。

以上から、あらかじめノート PC からの放射妨害波の大きな周波数を知り、その周波数に対応した電波を吸収する材質のもの及び形状のものを選ぶことにより放射妨害波を低減できるのではないかと考える。

今回使用した電波吸収体の写真を図 2 . 4 (E) に示す。



図 2 . 4 (E) 電波吸収体

第3章 教室内の電磁環境特性

教育現場（実環境）において、多数のノート PC が利用された状態での電磁環境特性について明らかにすることを目的として、調査を実施した。

3.1 背景雑音

ここでは、教育現場（実環境）の背景雑音について測定を実施した。測定実施場所は、独立行政法人 教員研修センター内メディアサポート室（以下、教室内とする）である。

測定実施日時は、平成 15 年 12 月 4 日、5 日、8 日、9 日の 4 日である。

ノート PC からの放射妨害波を測定する前に、実環境の背景雑音を知る必要がある。そこで、100kHz～3GHz までの周波数帯域で、本環境の背景にどのような雑音があるのか測定を実施した。

周波数帯域 100kHz～3GHz で使用したアンテナは、測定周波数に応じて以下のとおりとした。

- ・ 100kHz～30MHz：アクティブループアンテナ
- ・ 30MHz～1GHz：3 軸ダイポールアンテナ
- ・ 1GHz～3GHz：オムニアンテナ

なお、アクティブループアンテナの感度特性により 0.1MHz～20MHz では測定感度が低い特性となる。

測定実施場所の様子を図 3.1 (A)、測定結果を図 3.1 (B)、図 3.1 (C) にそれぞれ示す。

表 3.1 (A) に測定時のスペクトラムアナライザの主な設定を示す。

表 3.1 (A) 背景雑音測定時のスペクトラムアナライザの設定

設定周波数帯	100kHz～30MHz	30MHz～300MHz	300MHz～1GHz	1GHz～3GHz
掃引時間	10sec	10sec	10sec	10sec
RBW、VBW	10kHz、10kHz	1MHz、1MHz	1MHz、1MHz	1MHz、1MHz
プリセクタ・プリアンプ	ON、ON	ON、ON	ON、ON	ON、ON
測定ポイント数	500			
アッテネータ	10dB			
検波方式	POSITIVE PEAK			



図 3 . 1 (A) 測定実施場所の様子

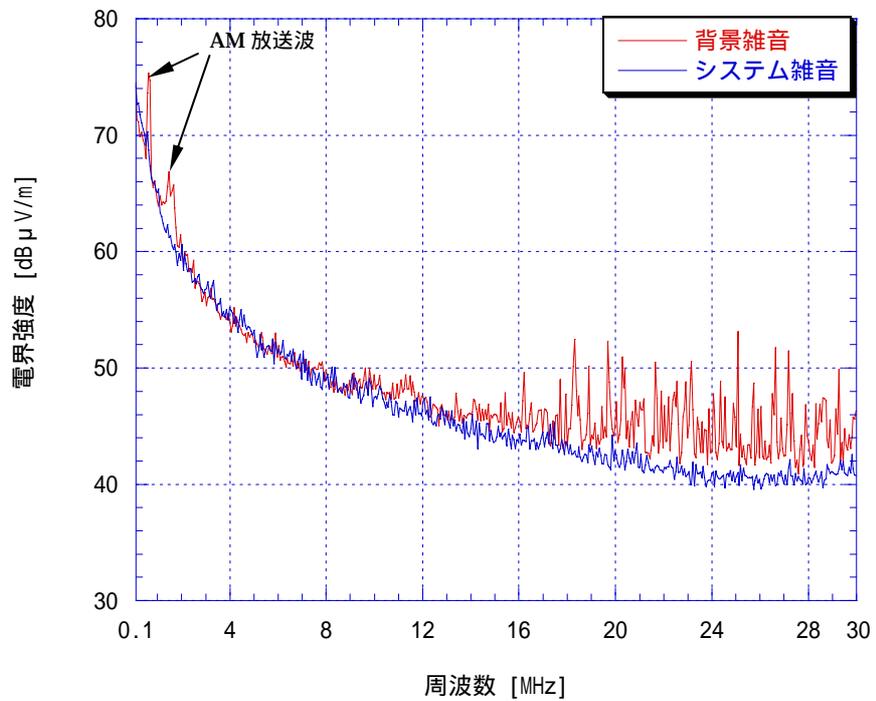


図 3 . 1 (B) 教室内の背景雑音 (100kHz ~ 30MHz)

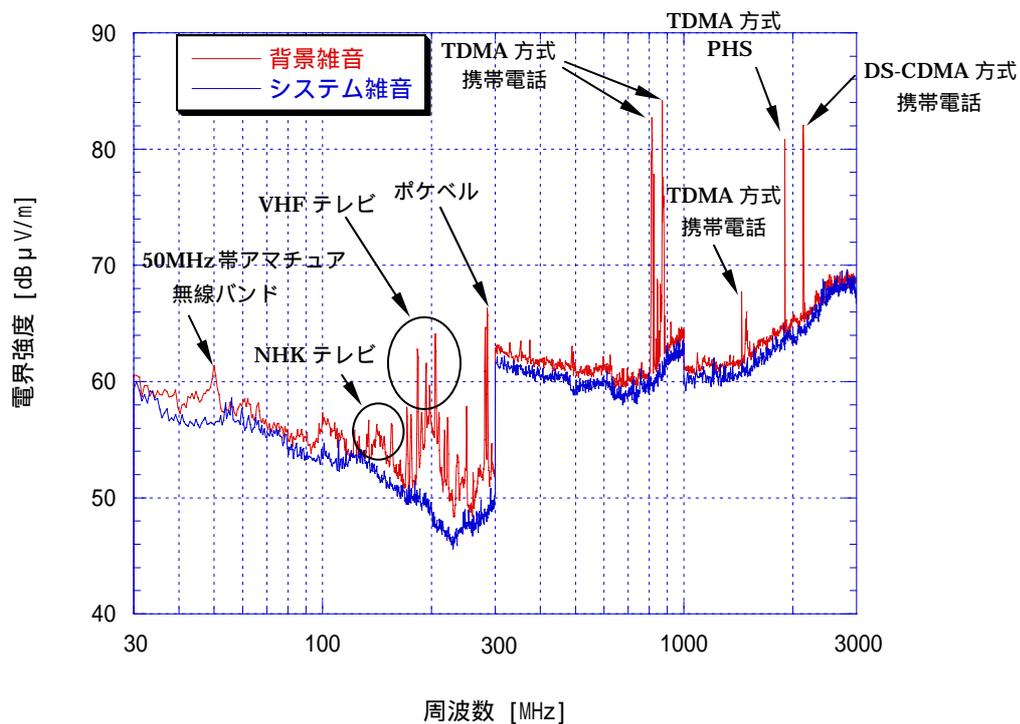


図 3 . 1 (C) 背景雑音 (30MHz ~ 3000MHz)

AM 放送波、アマチュア無線、テレビ放送波、携帯電話等の電磁波が教室内に存在する事が図 3 . 1 (B)、図 3 . 1 (C) から明らかである。

以上の背景雑音の測定結果より、ノート PC の輻射する放射妨害波の測定実施時には、上記背景雑音に注意して測定を実施した。

3 . 2 放射電界強度

教室内においてノート PC が複数台動作しているときの、電磁環境特性を明らかにするために、電界強度周波数特性及び教室内の電界強度分布特性の測定を実施した。

ノート PC の台数は、人の有無による電磁環境特性測定時の動作台数と揃えるために 26 台とした。

電界強度分布特性は、電界強度周波数特性においてノート PC から輻射している妨害波のピークの大きかった周波数について測定を実施した。

周波数特性測定時のスペクトラムアナライザの主な設定を表 3 . 2 (A) に、空間分布特性測定時のテストシーバの主な設定を表 3 . 2 (B) に、測定実施時の様子を図 3 . 2 (A) にそれぞれ示す。

周波数特性測定時に使用したアンテナは、測定周波数に応じて以下のとおりとした。

- ・ 100kHz～30MHz：アクティブループアンテナ
- ・ 30MHz～1GHz：3軸ダイポールアンテナ
- ・ 1GHz～3GHz：オムニアンテナ

表3.2(A) 周波数特性測定時のスペクトラムアナライザの設定

設定周波数帯	100kHz～30MHz	30MHz～300MHz	300MHz～1GHz	1GHz～3GHz
掃引時間	10sec	10sec	10sec	10sec
RBW、VBW	10kHz、10kHz	1MHz、1MHz	1MHz、1MHz	1MHz、1MHz
プリセクタ・プリアンプ	ON、ON	ON、ON	ON、ON	ON、ON
測定ポイント数	500			
アッテネータ	10dB			
検波方式	POSITIVE PEAK			

空間分布特性測定時に使用したアンテナは、3軸ダイポールアンテナとした。

表3.2(B) 空間分布特性測定時のテストレーバの設定

設定項目	RBW	Measurement Time	アッテネータ	内部プリアンプ
設定値	120kHz	1sec	10dB	ON



図3.2(A) 測定実施時の様子（ノート PC26 台動作状態）

3.2.1 周波数特性

教室において、ノート PC が 26 台動作しているときの電界強度周波数特性の測定を実施した。測定実施時の測定器の主な設定は、表 3.2 (A) である。

測定結果を図 3.2.1 (A)、図 3.2.1 (B) にそれぞれ示す。

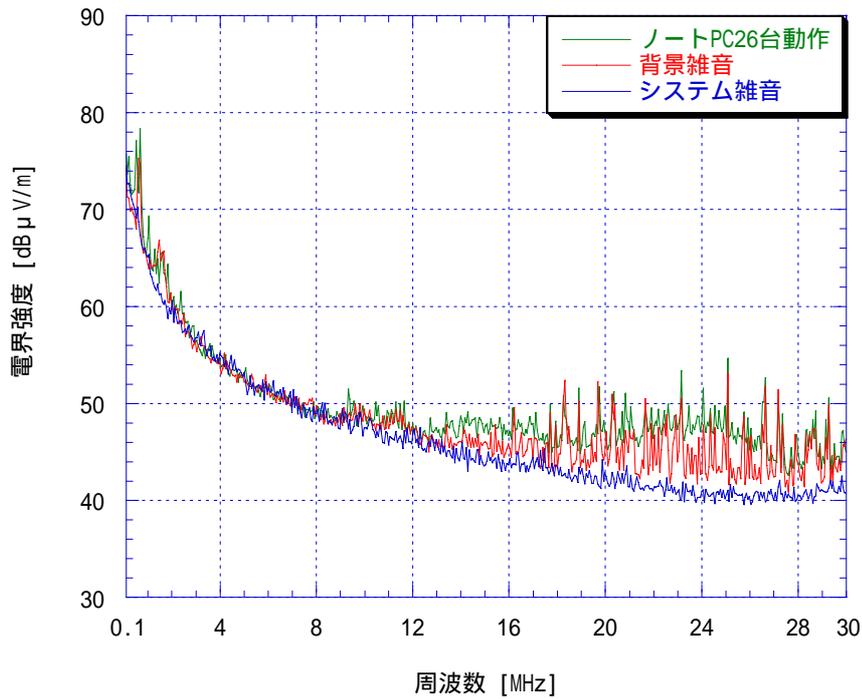


図 3.2.1 (A) ノート PC 動作時の電界強度周波数特性測定結果 (100kHz ~ 30MHz)

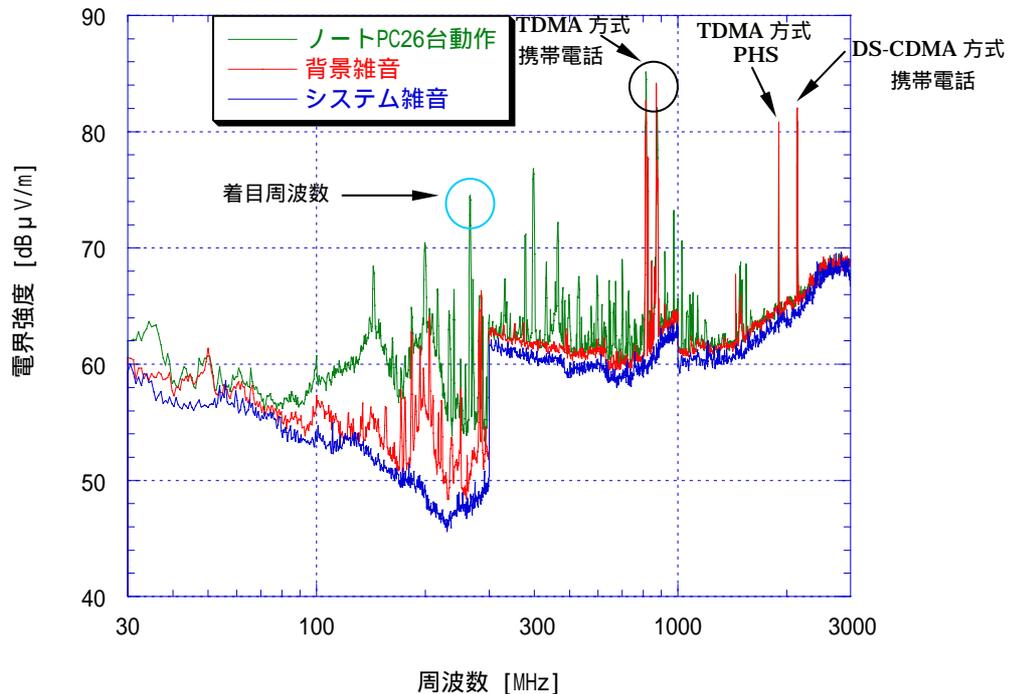


図3.2.1(B) ノートPC動作時の電界強度周波数特性測定結果(30MHz～3000MHz)

本結果より、ノートPCから輻射された妨害波のピークが大きく現れた周波数を特定した。周波数は、265.9MHz、399.6MHzである。265.9MHzは、第2章のPCの基本的雑音特性において電界強度の大きかった周波数の一つであり、教室内の測定においても同様の結果となった。

電界強度の大きかった周波数は2点あったが、使用する受信アンテナの感度及び上記の理由より電界強度分布特性で測定する周波数は、265.9MHzとした。水色の円で囲んであるのが265.9MHzである。

3.2.2 空間分布特性

3.1.1項の電界強度周波数特性の測定結果から、電界強度分布特性で測定する周波数は265.9MHzとした。測定実施時の測定器の主な設定は、表3.2(B)である。教室内のレイアウトを図3.2.2(A)に示す。

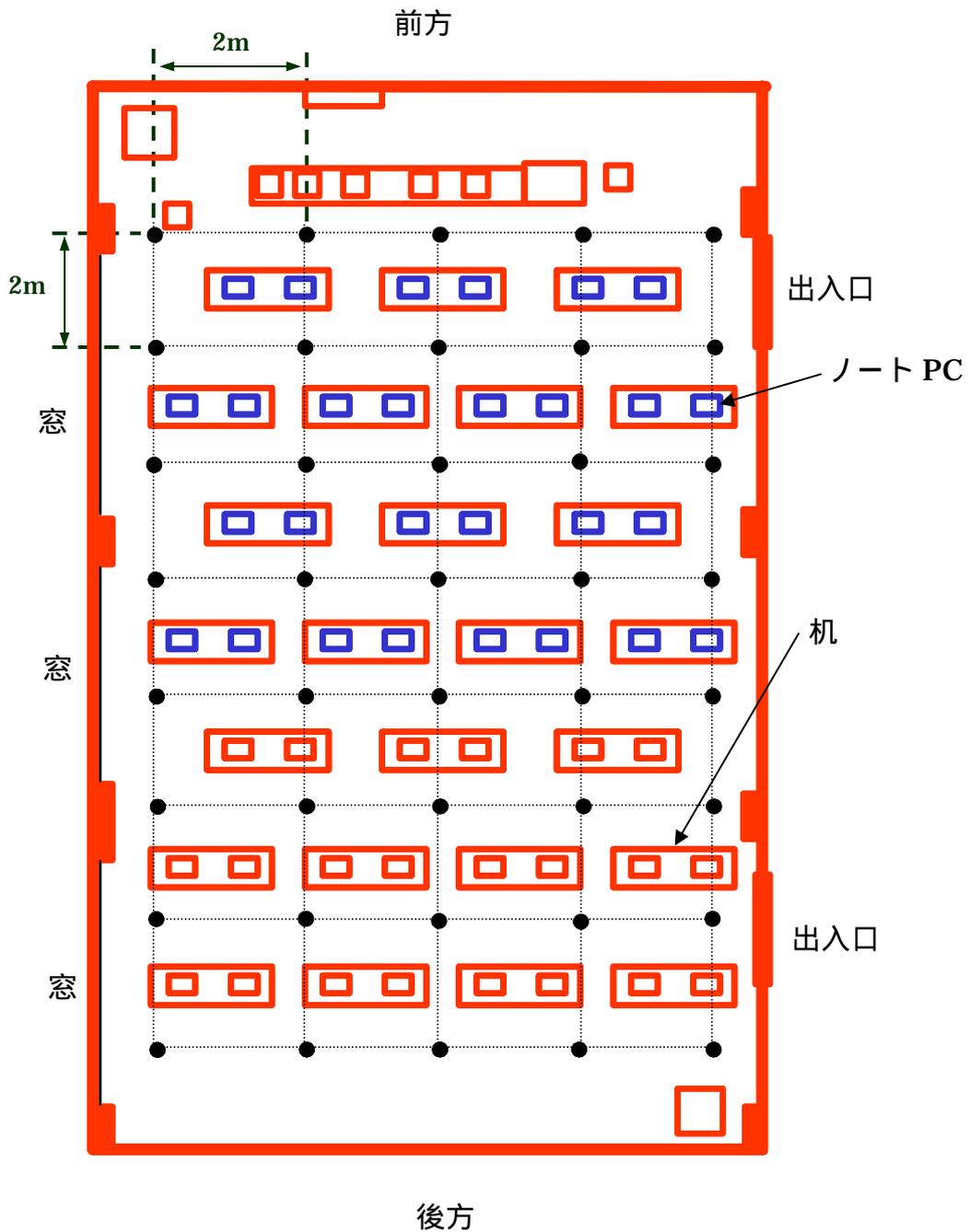


図3.2.2(A) 教室内のレイアウト

図3.2.2(A)の「」で示している箇所が動作状態のノート PC であり、「」で示している箇所が測定ポイントである。測定は 2m 間隔で実施し、測定ポイントは 40 ポイントとした。

測定結果を図3.2.2(B)、図3.2.2(C)にそれぞれ示す。

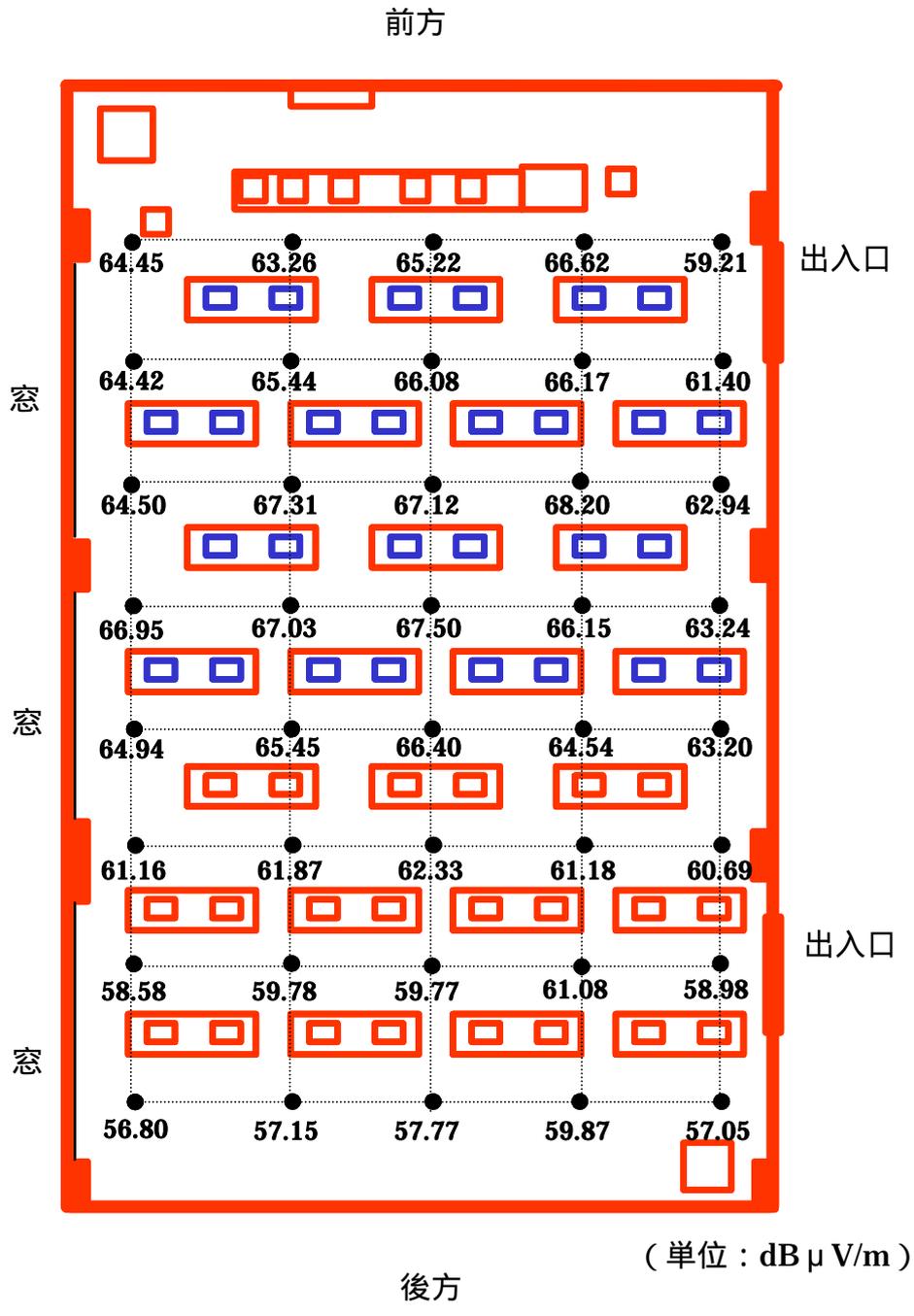


図 3 . 2 . 2 (B) 教室内の電界強度測定結果

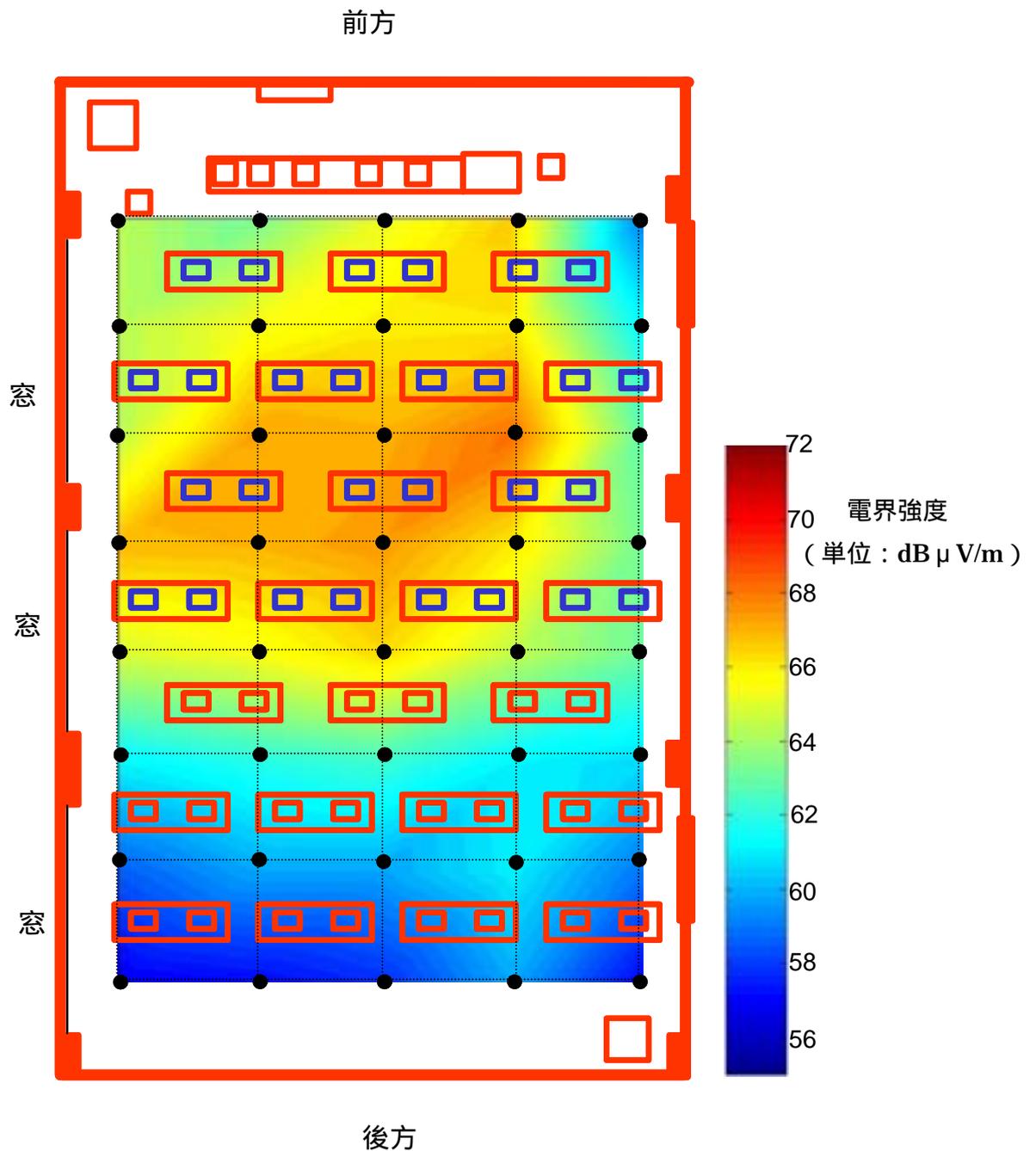


図 3 . 2 . 2 (C) 教室内の電界強度分布特性

3 . 2 . 1 項の周波数特性の測定を実施したときと 3 . 2 . 2 項の空間分布特性の測定を実施したときとは、測定器の RBW (分解能帯域幅) が異なるため、結果中の測定値の最大値は異なっている。

ノート PC の動作していない状態 (背景雑音) で、各測定ポイント (40 ポイント) の測

定を行った結果、各ポイントにおける背景雑音の電界強度は、40dB μ V/m 程度であった。

ノート PC を 26 台動作させたときの電界強度と背景雑音の電界強度を比較すると最大で約 30dB μ V/m 増加する結果となった。

図 3.2.2 (C) からノート PC が動作すると、動作しているノート PC 類 (26 台) の中心付近で電界強度が高くなっていることがわかる。

これは、前方 1、2 列目のノート PC 前面から放射される放射妨害波と、3、4 列目のノート PC 背面から放射される放射妨害波が重畳 (相加性) するため、このようになったのではないかと推論する。

3.3 商用電源周波数磁界特性

ノート PC を複数台動作させた教室において商用電源周波数磁界強度分布特性について測定を実施した。測定ポイントは、3.2.2 項の空間分布特性と同様のポイントとし、測定には磁界測定用アンテナを用いた。磁界測定用アンテナの設定は、mA/m レンジで測定を実施した。

磁界測定用アンテナの測定値は、mA/m 及び A/m で表示される為、mG に変換して結果を示した。表示された測定値は、 $1.0 \mu\text{T}=10\text{mG}=0.8\text{A/m}$ で mG に変換した。

また、測定を実施した教室内の背景特性となる磁界強度は、0.13mG であった。

3.3.1 ノート PC 動作状態時

背景特性となる磁界強度の測定結果を図 3.3 (A)、図 3.3 (B) に、ノート PC 動作時の測定結果を 3.3 (C)、図 3.3 (D) にそれぞれ示す。

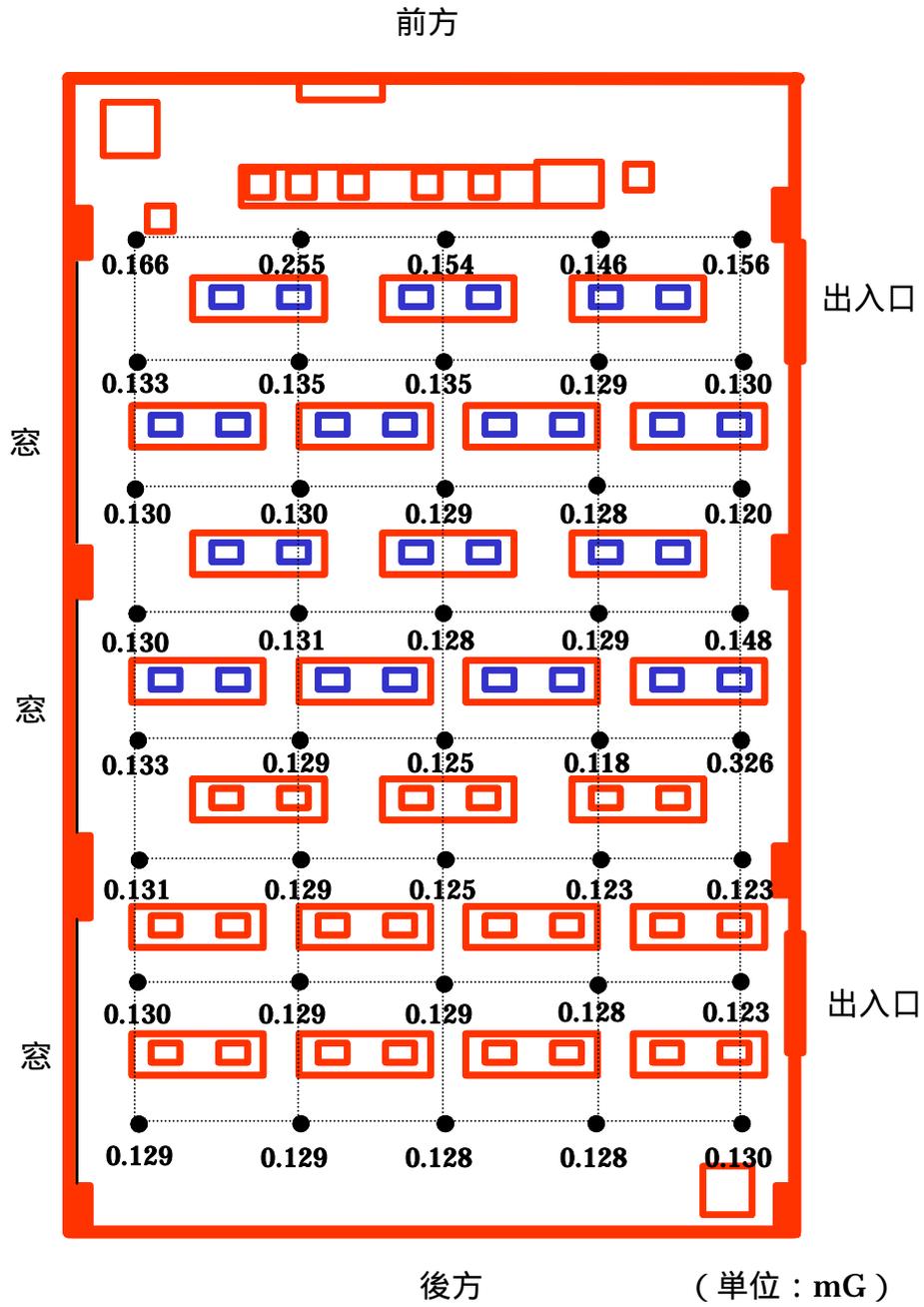


図3.3(A) 背景特性となる磁界強度測定結果

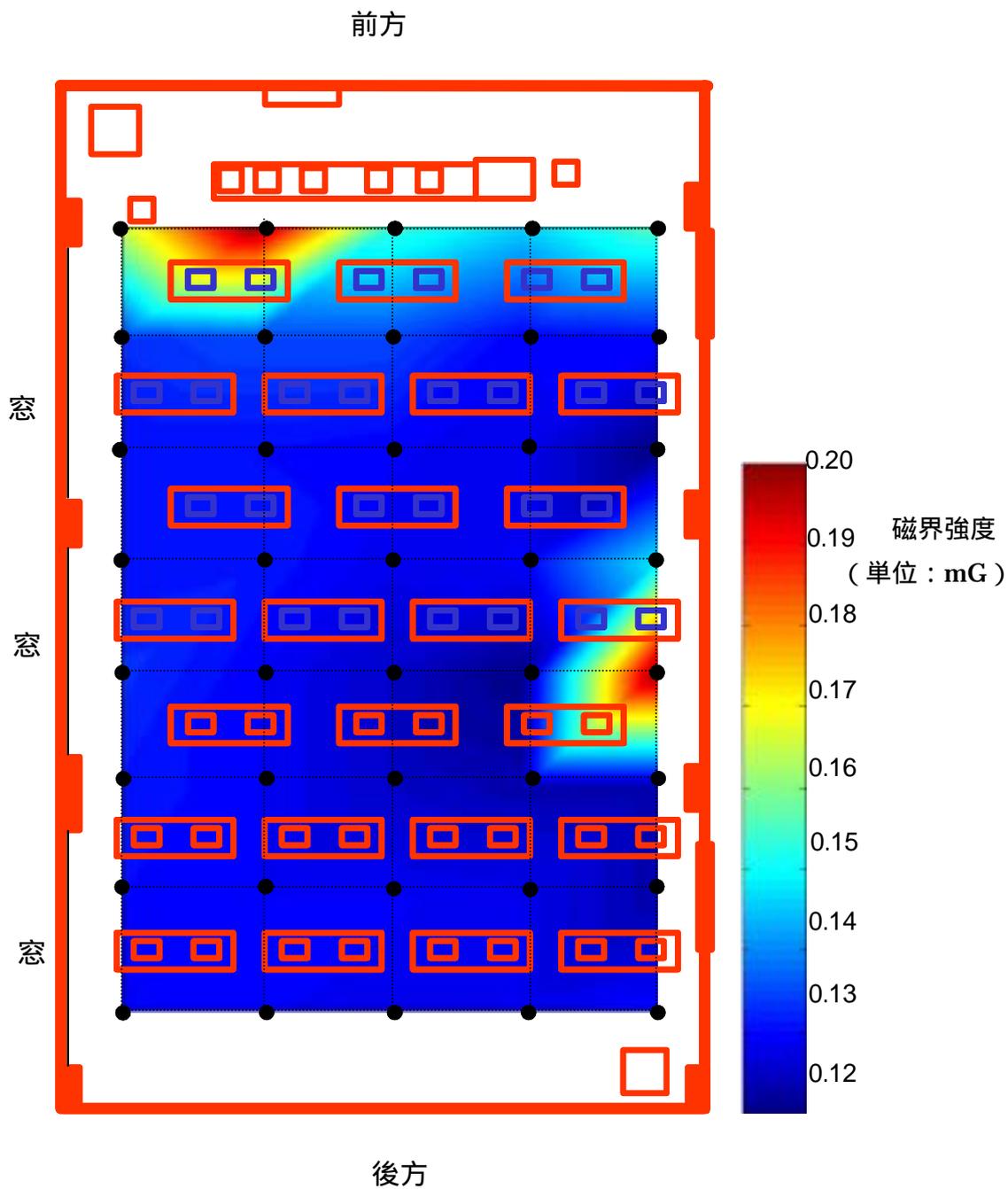


図 3 . 3 (B) 背景特性となる磁界強度分布特性

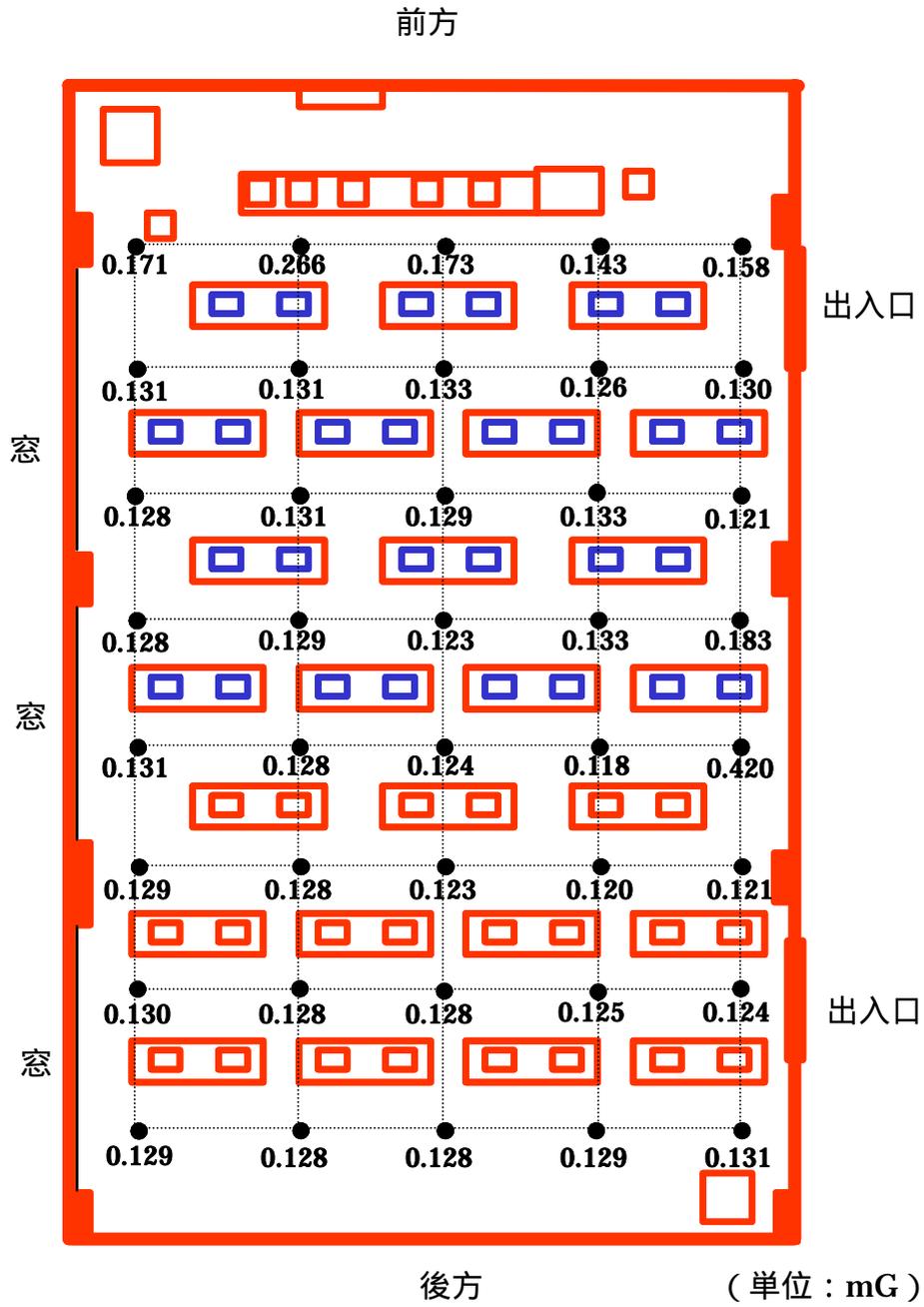


図 3 . 3 (C) ノート PC 動作時の磁界強度測定結果

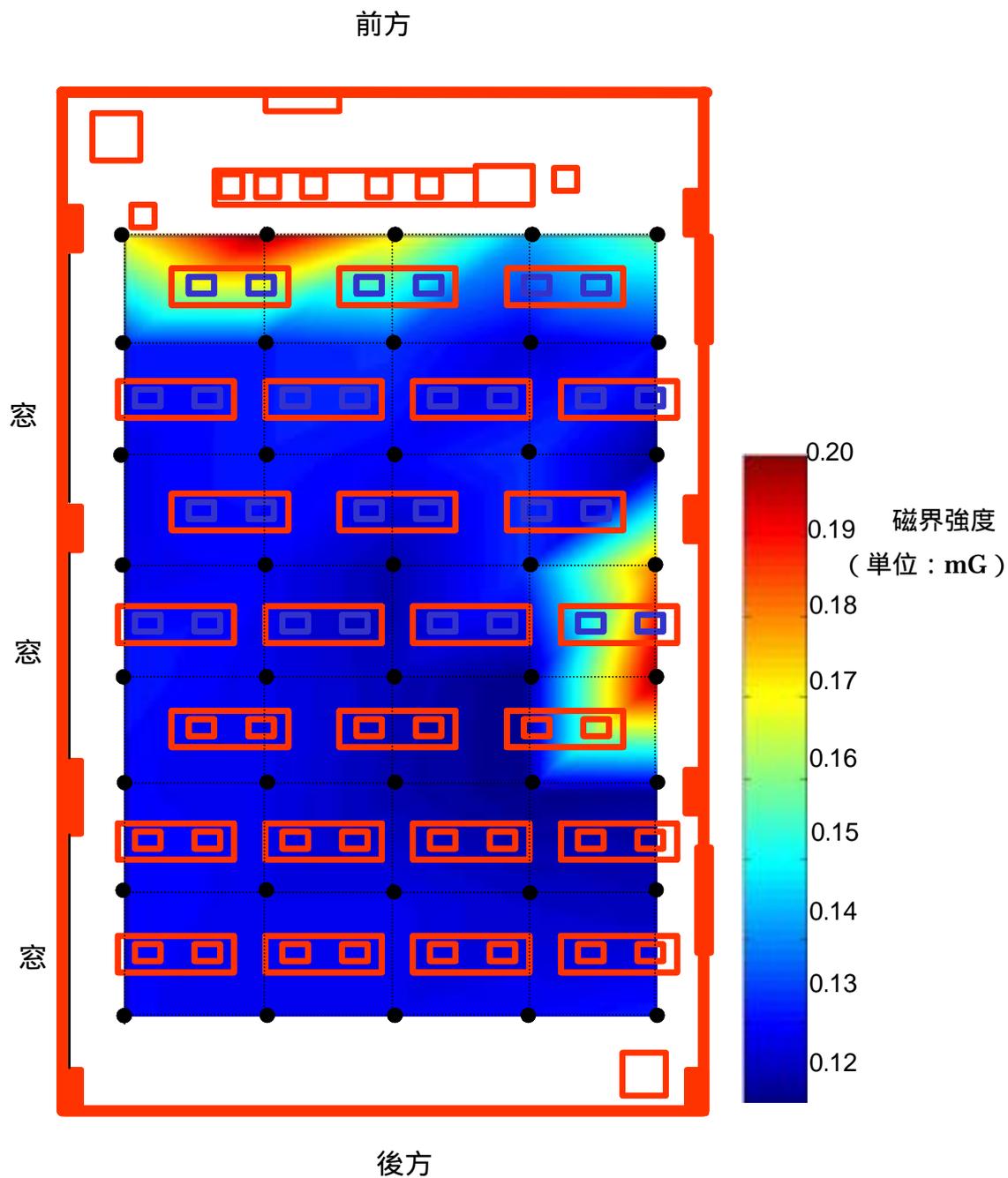


図 3 . 3 (D) ノート PC 動作時の磁界強度分布特性

図 3 . 3 (B) と図 3 . 3 (D) を比較すると前方 1 列目のノート PC 左付近の磁界強度が共に強くなっていることがわかる。これは、前方 1 列目のノート PC 左端にサーバが置かれており、これにより磁界強度が強くなっていると考えられる。

更に、教室内右方向に磁界強度の強い場所が存在する。この場所には、建物の配電盤があり、ノート PC を動作させると配電盤付近の磁界強度が背景特性の磁界強度測定時に比べ強くなっていることが明らかである。

ノート PC を動作させた場合の磁界強度分布特性から、ノート PC からの商用電源周波数磁界の強度は、配電盤からの磁界強度に比べ小さいことが明らかである。

3.3.2 配電盤周辺

配電盤からの磁界強度の方がノート PC の磁界強度よりも高いという結果を得たため、配電盤の磁界強度特性について測定を実施することとした。

電盤の磁界強度の減衰特性を明らかにするため、距離特性の測定を実施した。

測定実施時の様子を図 3.3 (E) に、測定結果を図 3.3 (F) にそれぞれ示す。



図 3.3 (E) 測定実施時の様子

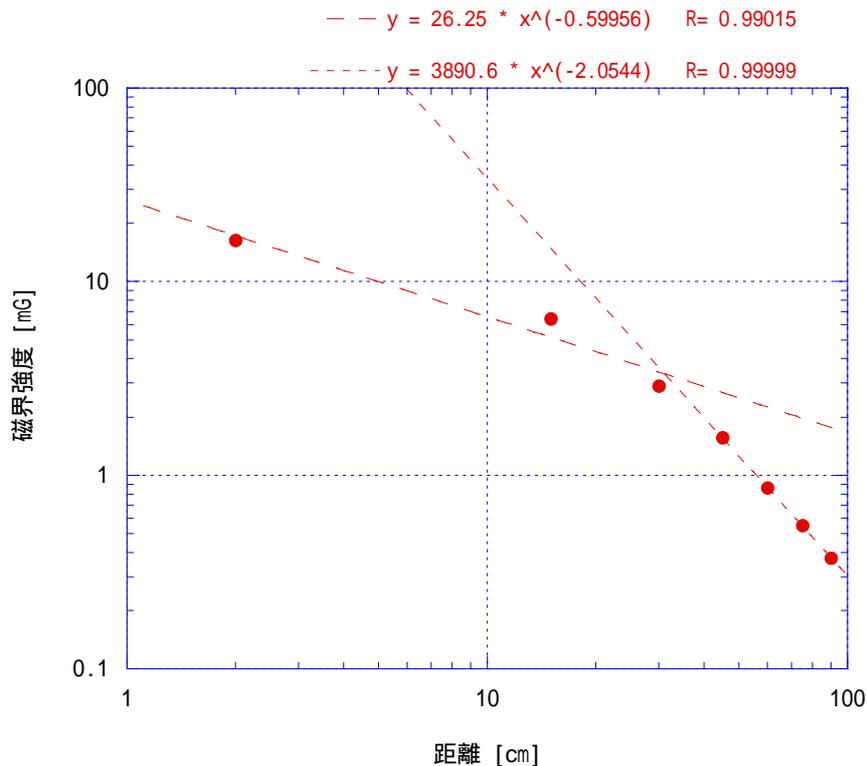


図 3 . 3 (F) 配電盤からの磁界強度距離特性

配電盤からの磁界強度距離特性の結果を図 3 . 3 (F) に示す。磁界強度は配電盤から 2cm で約 16.5mG であった。配電盤から 30cm 離れたとき磁界強度は、約 3mG になった。これは、ノート PC のキーボード上部から 2cm 離れたときの磁界強度とほぼ等しい値である。

配電盤からの距離が 30cm 以降での磁界強度の減衰特性は、ほぼ距離の 2 乗に逆比例して減衰する傾向であることが明らかである。

これらの結果から、ノート PC から発生する磁界強度よりも配電盤周辺から発生する磁界強度の方が強いことから、教室内などにおいての机の配置については配電盤周辺に留意することが望まれる。

3.4 人の存在による電磁環境特性の変化

実環境において人が存在しているときの、放射電界強度の周波数特性及び空間分布特性の様子を明らかにするための測定を実施した。本測定は、教室内で研修を受講される方々に御協力していただき測定を実施した。ノート PC の動作台数は 26 台である。

測定方法及び測定器の主な設定は、3.2.1 項の周波数特性及び 3.2.2 項の空間分布特性と同様である。

測定実施時の様子を図 3.4 に示す。



図 3.4 測定実施時の様子

3.4.1 周波数特性

測定結果を図3.4.1(A)、図3.4.1(B)にそれぞれ示す。

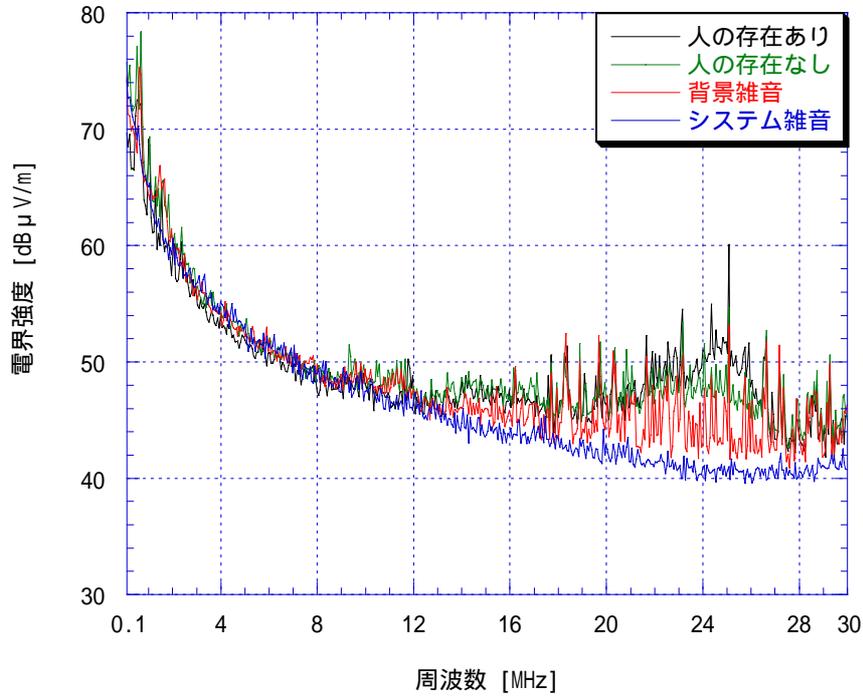


図3.4.1(A) 周波数特性測定結果 (100kHz ~ 30MHz)

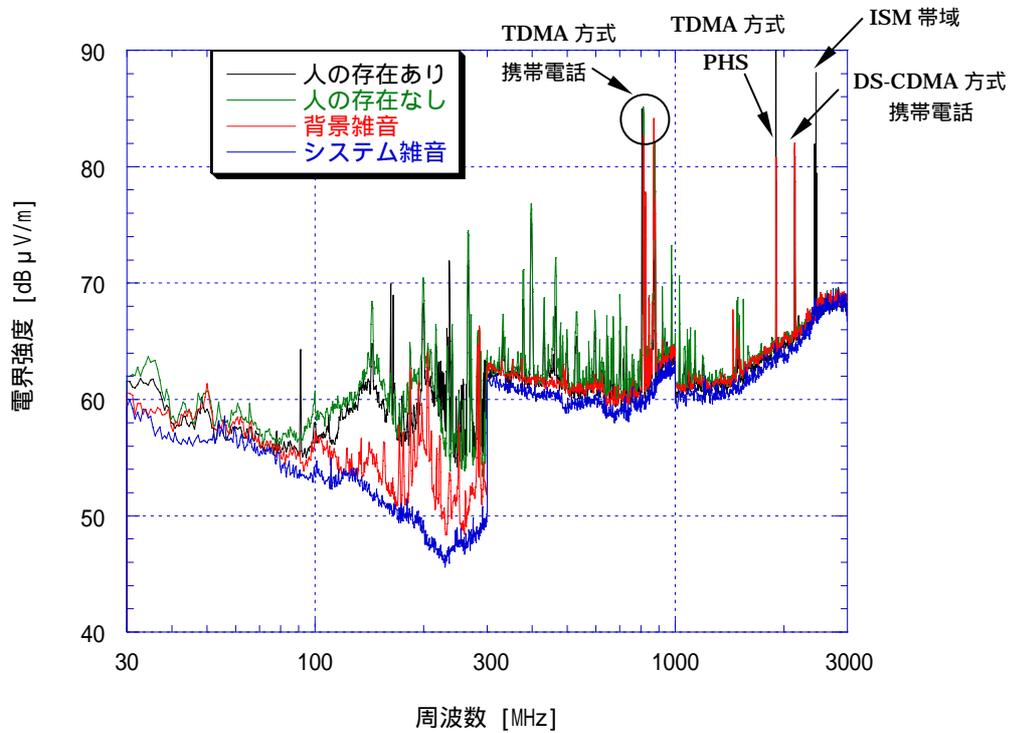


図3.4.1(B) 周波数特性測定結果 (30MHz ~ 3000MHz)

図3.4.1(A)、図3.4.1(B)から人の存在により、電界強度の減少している周波数帯域のあることがわかった。

これは、放射妨害波が人の存在により散乱、吸収等するために電界強度が減少したのではないかと推論する。

次に、図3.4.1(A)と図3.4.1(B)から人の存在の有無での放射電界強度の偏差を図3.4.1(C)に示す。

あ 0.1MHz～30MHz では周波数帯域を 4MHz 毎に分割し、30MHz～3000MHz においては 20MHz 毎に分割した。分割した周波数帯域中での最大値において、人の存在なしから人の存在ありの強度を引いて算出した。プラス方向は人が存在しないときの強度の方が高いことを現している。

但し、外来からの電磁波及び人の存在により突発的に発生した静電気などについては測定データから除外して示している。

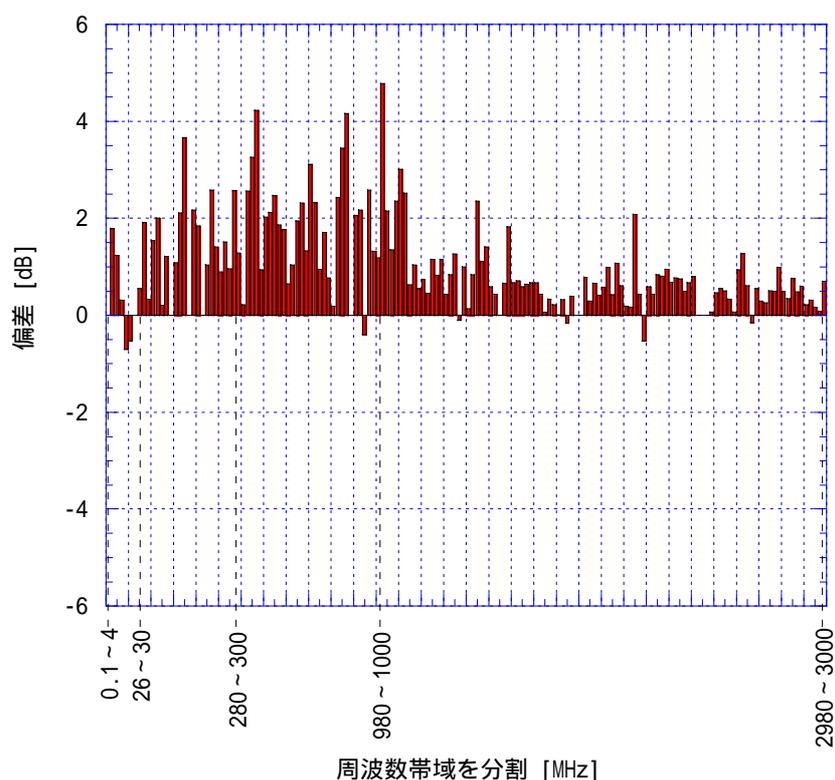


図3.4.1(C) 人の存在の有無による電界強度の偏差

教室において、人の有無による電界強度の偏差は、最大で 4.8dB 程度であることが図3.4.1(C)から明らかである。

3.4.2 空間分布特性

3.4.1項での推論を踏まえて、人の存在時の教室内の電界強度分布特性の測定を実施した。測定は、3.2.2項の空間分布特性と同様の265.9MHzで実施した。

測定結果を図3.4.2(A)、図3.4.2(B)にそれぞれ示す。

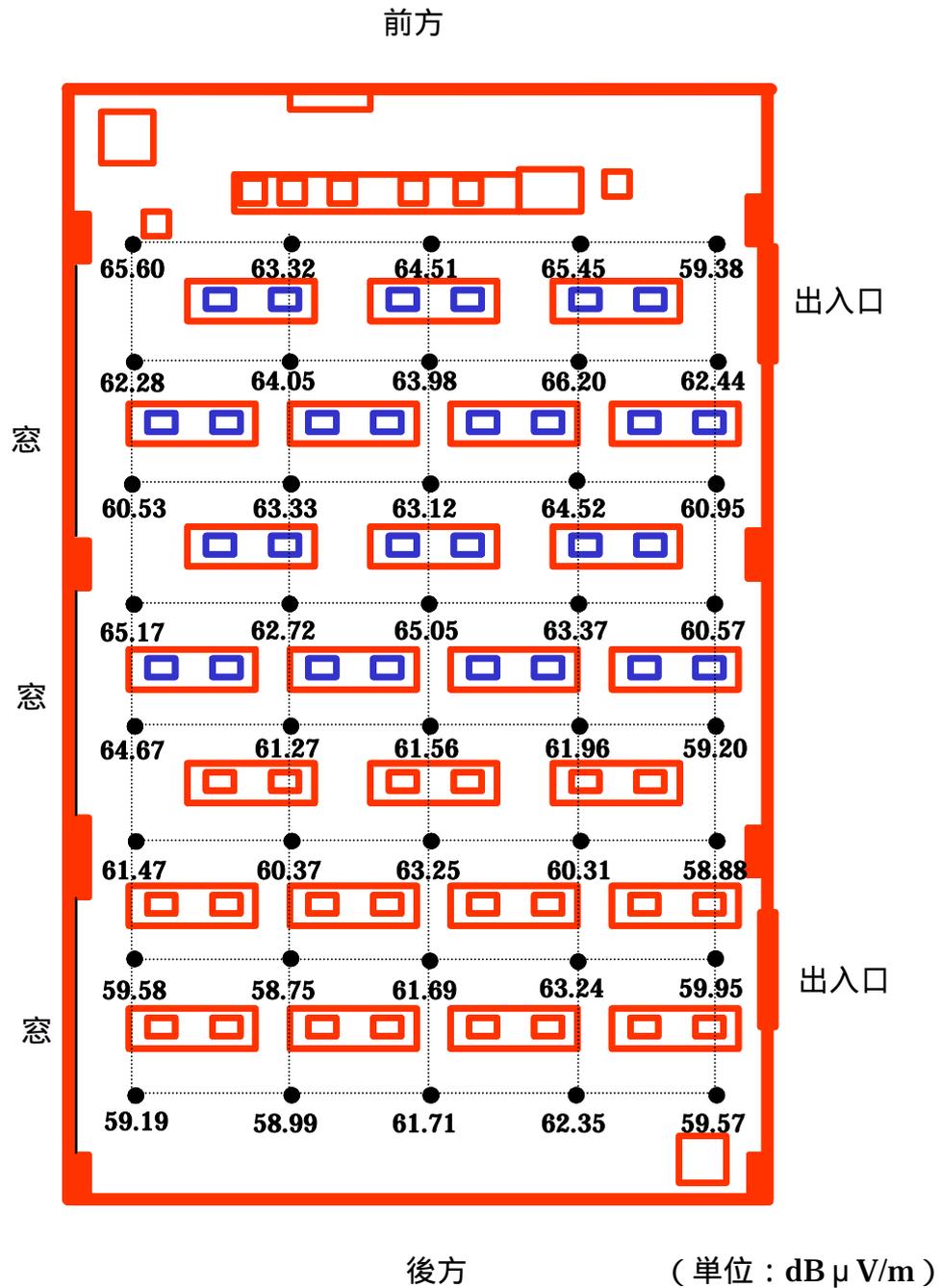


図3.4.2(A) 教室内の電界強度測定結果

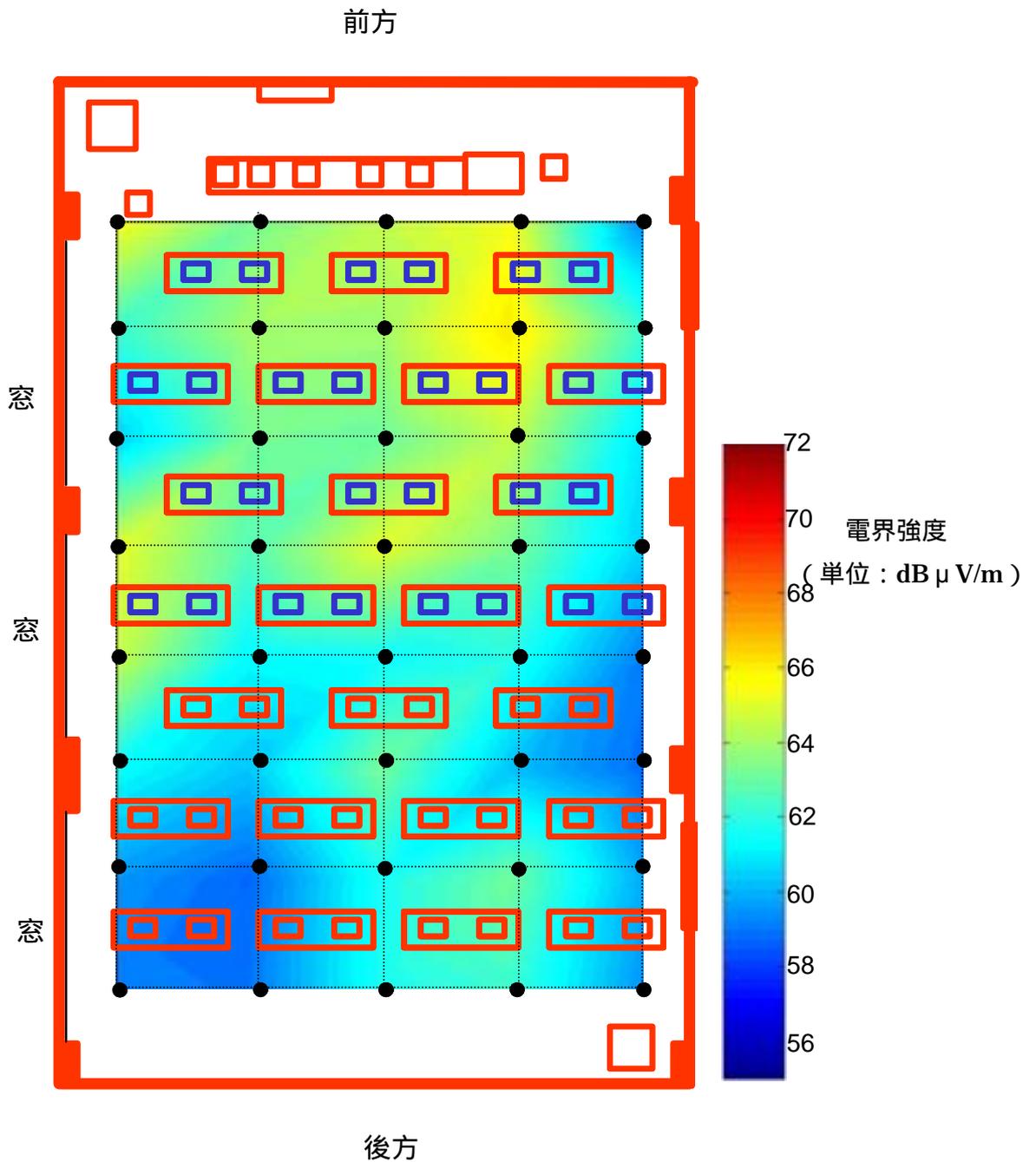


図 3 . 4 . 2 (B) 教室内の電界強度分布特性

人の存在する教室内の電界強度分布特性図 3 . 4 . 2 (B) と人の存在しない教室内の電界強度分布特性図 3 . 2 . 2 (C) を比較した結果、電界強度分布特性に違いが生じた。次に、空間分布特性の測定点 (40 ポイント) において人の存在しない教室内の電界強度

図3.2.2(B)と人の存在する教室内の電界強度図3.4.2(A)の偏差の結果を図3.4.2(C) 図3.4.2(D)にそれぞれ示す。図3.4.2(C)の偏差は、人が存在しない時の強度から人が存在する時の強度を引いて算出した。

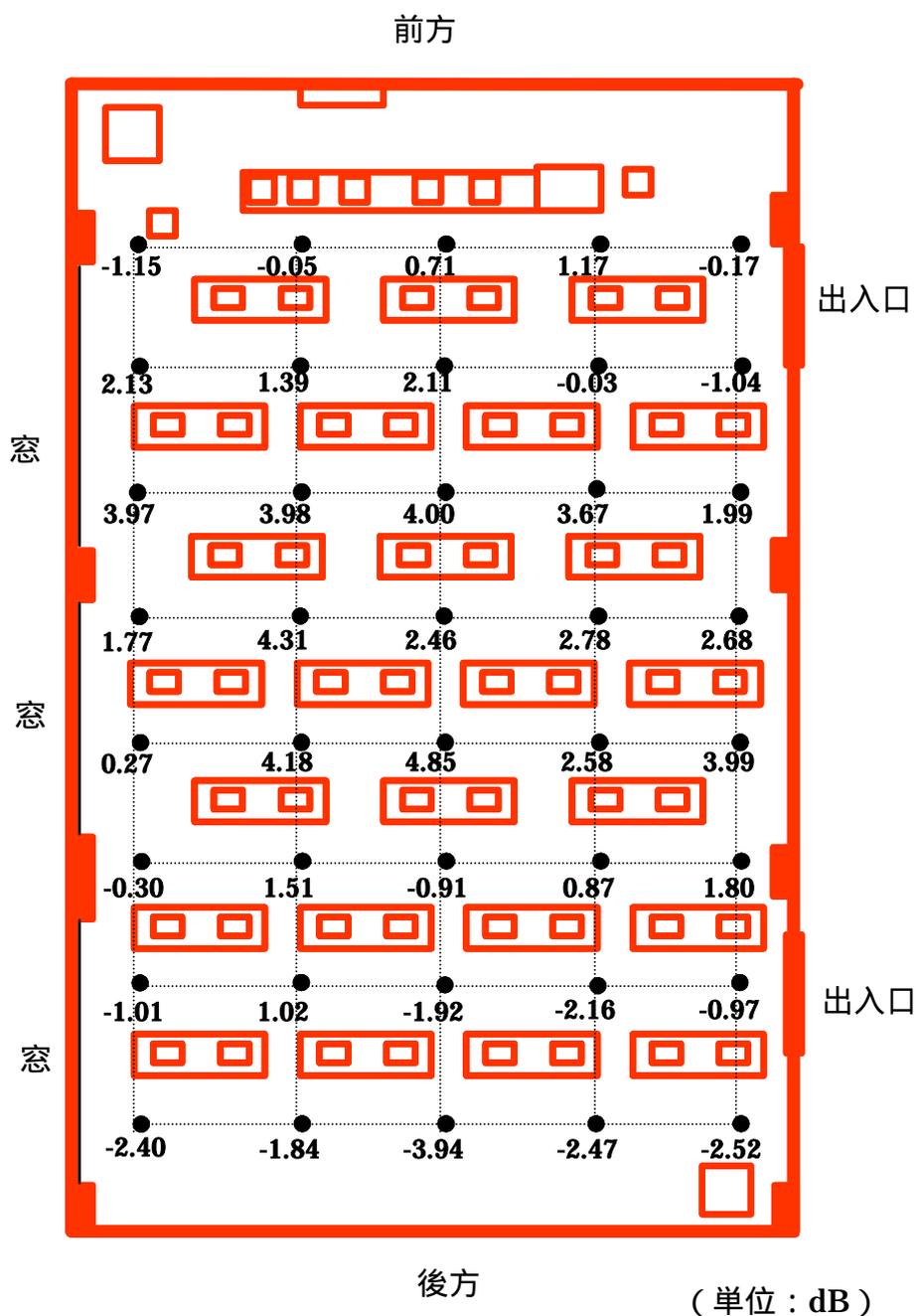


図3.4.2(C) 人の有無による電界強度の偏差

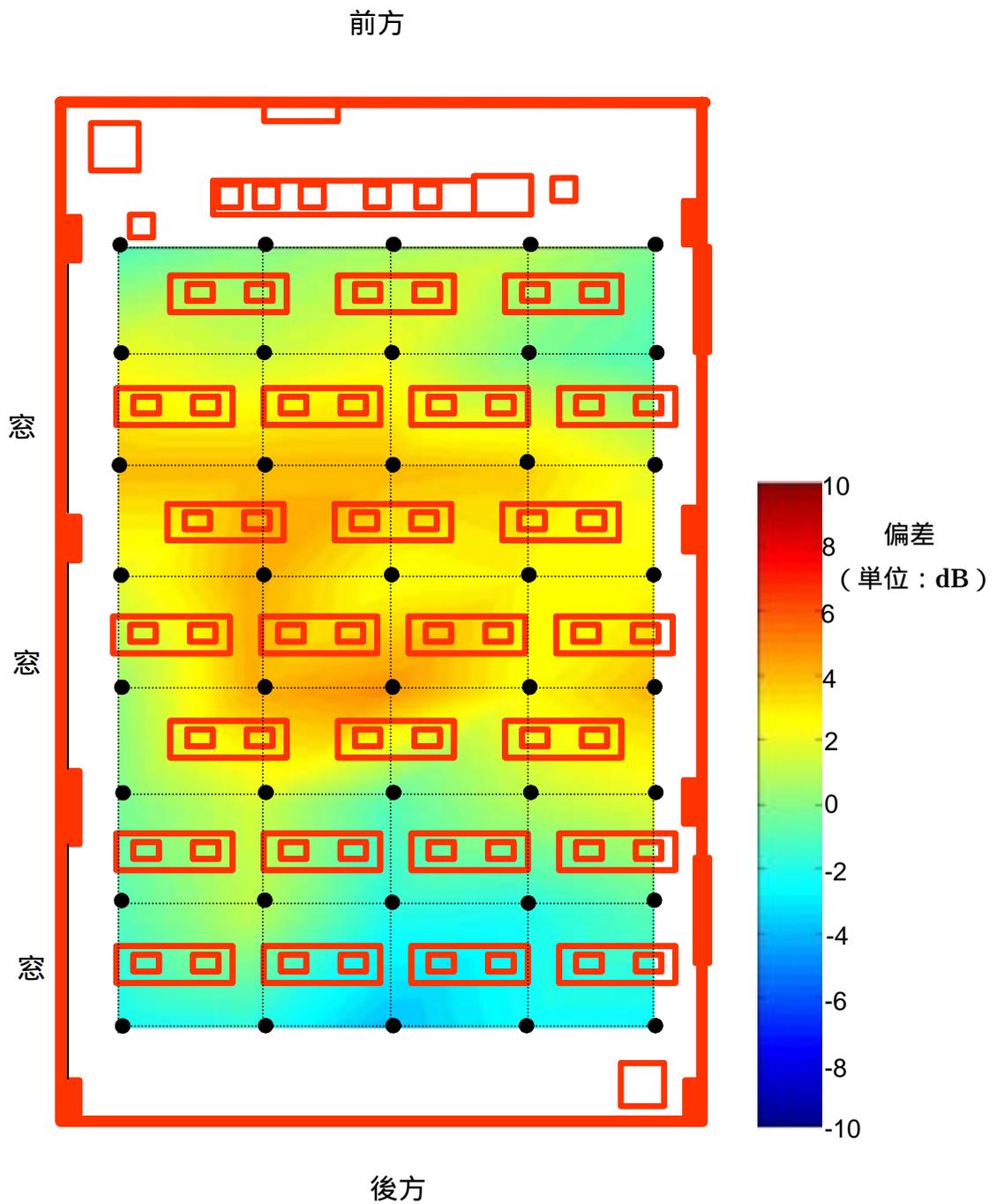


図3.4.2(D) 電界強度の偏差による電界強度分布特性

図3.4.2(D)の暖色傾向の部分が、人の存在しないときの電界強度の高いことを表している。電界強度の偏差は、教室内の中心付近において最も差の生じていることが図3.4.2(D)から示される。電界強度の偏差は、最大で4.85dB程度である。

人の有無により電界強度に偏差が生じた原因としては、3.4.1項で推論したとおり人の存在によって放射妨害波が散乱、吸収等するためであると考えられる。

第4章 まとめと今後の課題

4.1 まとめ

PCの基本的雑音特性

- ・ VCCIの基本的雑音特性の測定結果から、調査対象機器はVCCI Class Aの準尖頭値許容値を満足する情報処理装置であった。
- ・ ACアダプタの設置位置として床上及び卓上に設置して周波数特性の測定を実施したが、30MHz～100MHzの垂直偏波で0.6dB程度の差が現れた。
- ・ 供試装置のキーボード上部の商用電源周波数磁界強度の強い点から2cm離れた場所の強度は3.1mGであり、上部に17cm離れた場所（人がモニタを覗き込むようにみたときの眼球付近）の強度は0.3mGであることが明らかになった。
- ・ ノートPCの台数増加に伴う放射妨害波の相加性及びダイポールアンテナを用いた本数増加に伴う放射電磁波の相加性についての検討を行った結果、発生源の特性により周波数帯域によって増加特性は異なるものの、強度に相加性のあることが明らかになった。
- ・ 供試装置の下に電波を吸収する材質で作られた電波吸収体を敷き放射妨害波の電界強度が最大で5.5dB程度減少する結果を得た。但し、放射電界強度の減少する周波数帯域と増加する周波数帯域がみられた。このことから、あらかじめノートPCからの放射妨害波の大きな周波数を知り、その周波数に対応した電波を吸収する材質のもの及び形状のものを選ぶことにより放射妨害波を低減できるのではないかと考える。

教室内の電磁環境特性

- ・ ノートPC26台が動作すると、教室内の前方1、2列目のノートPC前面から放射される放射妨害波と、3、4列目のノートPC背面から放射される放射妨害波が重畳（相加性）し、動作しているノートPC類（26台）の中心付近で電界強度が高くなることが示された。
- ・ 教室内右方向に、商用電源周波数磁界強度が比較的強い場所が存在する。今回の調査では、この場所には建物の配電盤があり、ノートPCを動作させると配電盤周辺の磁界強度が背景雑音測定時に比べ強くなっていることが明らかになった。また、ノート

PC を動作させた場合の磁界強度分布特性から、ノート PC からの商用電源周波数磁界の強度は、配電盤からの磁界強度に比べ小さいことが明らかになった。

- ・ 今回の調査では、配電盤から 2cm での商用電源周波数磁界強度は約 16.5mG であり、30cm では約 3mG であることが明らかになった。30cm での商用電源周波数磁界強度は、ノート PC のキーボード上部から 2cm 離れたときの磁界強度とほぼ等しいことが明らかになった。ノート PC から発生する磁界強度よりも配電盤周辺から発生する磁界強度の方が強いことから、教室内などにおいての机の配置については配電盤周辺に留意することが望まれる。
- ・ 人の存在する教室内の電界強度分布特性と人の存在しない教室内の電界強度分布特性を比較した結果、電界強度分布特性に違いが生じた。これは、人の存在により放射妨害波が散乱等するためであると考ええる。

4.2 今後の課題

本調査では、ノート PC の基本的雑音特性及び教室内での電磁環境特性についての測定を実施した。ノート PC の基本的雑音特性においては、ノート PC の台数を増加させることで放射妨害波の相加性について検討を行った。その結果、発生源の特性により周波数帯域によって増加特性は異なるものの、強度に相加性のあることが明らかになった。

今回の調査で、電波暗室内での測定に用いたノート PC の台数は 4 台であり、種類は 1 種類であった。相加性の特性については、今後ノート PC の台数を更に増やした条件で電界強度の相加性を調査することも重要である。また、種類の異なる PC を用いて今回と同様の調査を実施することも重要であると考ええる。

雑音強度低減の検討例としては、今回は電波吸収体を使用した。電波吸収体と形状及び材質の異なる電波吸収フェライトシートや電波吸収シート等を用いて低減効果についての調査を行うことも必要であると考ええる。

教室内での電磁環境特性を評価するための方法として、一日間での最大値や時間率また、平均値等雑音の表現方法についての検討を行うことも今後必要と考える。

【参考文献】

- [1] 高橋,大橋,村川,徳田,“大規模通信装置における放射妨害波相加性の実験的理論的検討” 電子情報通信学会論文誌,vol.J79-B- ,No.10,pp.694-701,Oct.1996
- [2] 大橋,高橋,村川,徳田,“放射妨害波電界強度の異なる装置の相加性表現方法” 電子情報通信学会論文誌,vol.J82-B,No.4,pp.661-666,Apr.1999

「教育環境における電磁環境の分析・調査」に関する研究委員会

委員長 上 芳夫 電気通信大学電気通信学部情報通信工学科
石上 忍 独立行政法人 通信総合研究所横須賀無線通信研究センター
徳田 正満 武蔵工業大学工学部電子工学科
藤原 修 名古屋工業大学工学部電気情報工学科

測定・分析

NTT - ATアドバンステクノロジー株式会社 アクセスネットワーク事業本部
ワイヤレスシステム事業部 EMCセンター

協力

独立行政法人教員研修センター



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。