

電磁シールドシステム“ペルセウス・シールド”

窪田正博*
金本貴志*

Electromagnetic Shield System "Perseus Shield"

Masahiro Kubota, Takashi Kanamoto

要旨

現代オフィスを取り巻く目に見えない二つの電磁波脅威として“電磁波攻撃”と“電磁波盗聴”がある。電磁波攻撃は、電子機器に固有のイミュニティ限度値をはるかに超える電磁波を照射し、機器の破壊、異常をもたらす攻撃である。また、電磁波盗聴は、電子機器、特に情報通信機器から生ずる電磁ノイズ(漏洩(ろうえい)電磁波)に含まれる有益な情報を受信して再現することによる盗聴行為である。

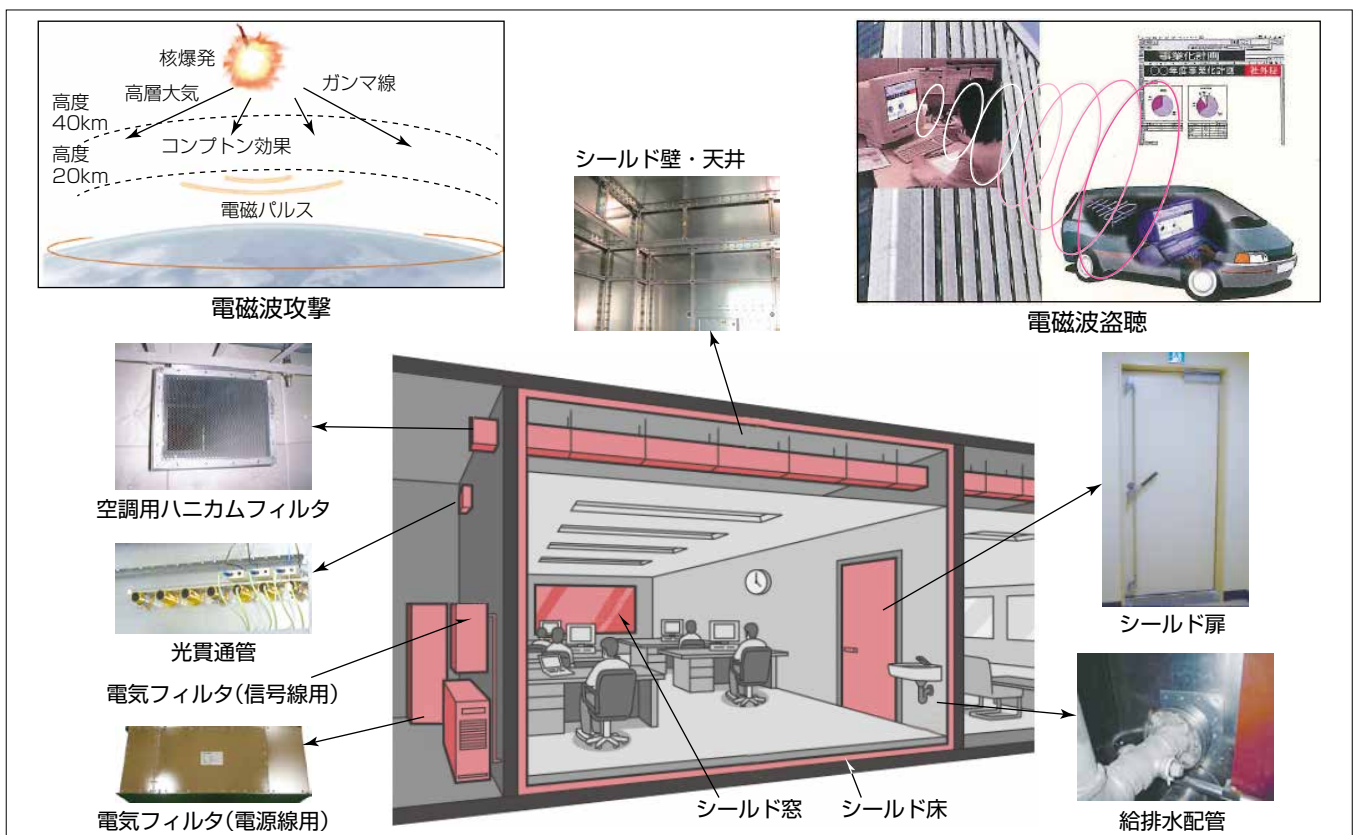
このような電磁波脅威に備える防護手段として電磁シールドシステムがあり、三菱電機の“ペルセウス・シールド^(注1)”は居室単位や建屋単位を対象とした比較的規模の大きいシールド室である。

ペルセウス・シールドの基本構成は、薄板鋼板から成る

シールド層を建築躯体(くたい)の内側に隙間なく施工して電磁遮蔽空間を構築し、シールド扉、シールド窓、電気フィルタ、光貫通管、空調用ハニカムフィルタなど、シールド特有の建具から成っており、性能維持のための定期保守が欠かせない設備である。

ペルセウス・シールドでは目に見えない電磁波を電磁界解析手法によって巧みに可視化して、電磁波を所望のレベルまで減衰させる設計・施工に活用するとともに、更なる付加構成要素として、常時連続稼働して性能監視を行うシールド性能監視システムやシールド室へ入室する際のわずらわしさを解消するラビリンス通路などがある。

(注1) ペルセウス・シールドは、ギリシャ神話に登場する勇士ペルセウスの盾に由来する名称である。



ペルセウス・シールドの基本構成

ペルセウス・シールドの基本構成は、薄板鋼板から成るシールド層を建築躯体の内側に隙間なく施工して電磁遮蔽空間を構築し、その表層に内装仕上げをしているため、一見したところ、通常のオフィスと変わらない。そして、シールド扉、シールド窓、電気フィルタ、光貫通管、空調用ハニカムフィルタなど、シールド特有の建具が備え付けられている。

1. ま え が き

21世紀とともに幕開いたユビキタスネットワーク社会は、その後急速に進展し、いまやIoT(Internet of Things)時代の到来でインターネットにつながるモノの数は爆発的に増加している。こうした背景には情報通信機器や回線の高速大容量化、小型化、省電力化など多岐にわたる革新的な技術進歩がある。一方で基本素子での微細化、微小電圧電流化は、ハードウェアとしての脆弱(ぜいじゃく)化を招き、また、“有線”より手軽で便利な“無線”通信は、電磁波的には、より脆弱な通信媒体であることは否めない。

現代オフィスを取り巻く目に見えない二つの電磁波脅威として“電磁波攻撃”と“電磁波盗聴”がある。それらの電磁波脅威に備える防護手段として、当社は電磁シールドシステム“ペルセウス・シールド”を提供している。

本稿では、電磁波攻撃と電磁波盗聴のメカニズムを述べた後、電磁シールドシステムの構成、さらに電磁界解析に基づいたシステムの付加構成要素について述べる。

2. 電磁波攻撃

エレクトロニクスを駆使した各種電子機器では、電磁環境適合性(ElectroMagnetic Compatibility : EMC)の観点から、装置内や外部環境による放射/伝導ノイズに対して誤動作・故障しないように設計・製造されている。この耐性をイミュニティ耐性と言い、そのレベルは、適用規格、クラスによって異なるものの、おおむね、電界強度が3~20V/m程度である。実際の機器の実力(イミュニティ限度値)は、オーダ的には電界強度数百V/m以上で誤動作が発生し、数十kV/m以上で破壊すると言われ、電磁波攻撃とは、電子機器のイミュニティ限度値を超える電磁波を放射して意図的に電磁障害を発生させることを目的とした攻撃である。

2.1 電磁波攻撃のメカニズム

2.1.1 大電力電磁パルスの発生手段

電磁波攻撃を可能にする大電力電磁パルスの発生手段は、EMP(ElectroMagnetic Pulse)とHPM(High Power Microwave)二つに大別される。

EMPは、広義には自然雷を含む瞬時の電磁パルスであるが、攻撃目的のパルス発生手段としては核爆発と電子機器による高電力放出がある。

2.1.2 大電力電磁パルスの発生メカニズム

大電力電磁パルスの発生手段のうち、核爆発によるものを高高度電磁パルス(High-altitude Electro-Magnetic Pulse : HEMP)と称し、核攻撃の選択肢の一つとして、話題となった脅威である。その発生原理は、大気圏外(高度40km超)の核爆発によって生じるガンマ線が大気圏の空気分子と衝突することによって、コンプトン効果と言われる電子拡散を生じ、このときの電子の流れが強力な電磁

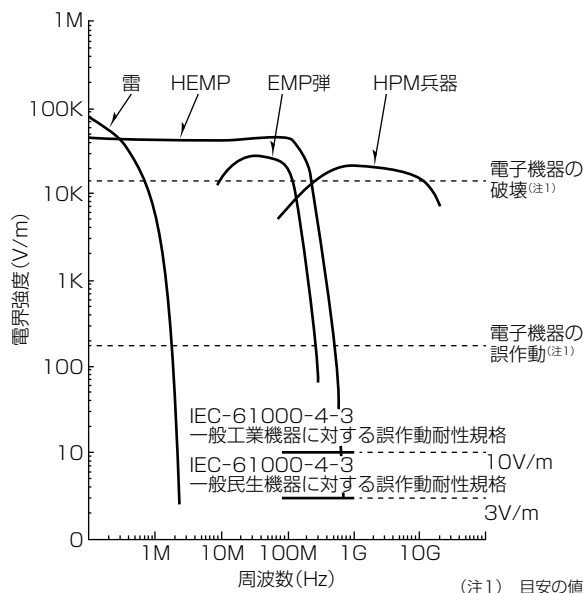


図1. 大電力電磁パルスのスペクトラム分布(2)

場を形成して、地表の広範囲に電磁パルスを放射するというものである(1)。

電子機器による高電力放射型は、例えば、マルクスジェネレータと言われる多段式高電圧インパルス発生器による高電圧パルスを、マイクロ波発生管に印加して瞬時高電界パルスを発生させるもので、一般に発生繰り返し頻度は低い。

一方、HPMは、マグネトロンやクライストロンといったマイクロ波発生管によって高頻度で繰り返される数~数十GHz帯の高レベル電磁パルスを発生させるものである。

大電力電磁パルスのスペクトラム分布を図1に示す。同図には、国際規格IEC-61000-4-3で制定されるイミュニティ規格(誤動作耐性規格値)も示したが、大電力電磁パルスはこれをはるかに超える値となっている。

2.1.3 大電力電磁パルスによる破壊・誤動作

HEMPによる電磁パルスは、その初期に数十n秒、約50kV/mピークの単発パルスが到来すると言われる。電磁波の周波数帯域は300MHzまで及ぶことから、波長的には数十センチ程度以上の電線や金属板、回路基板等と電磁結合しやすい性質がある。空間結合した電磁エネルギーは電圧源又は電流源として、電子機器内に侵入し、脆弱な回路部位を破壊したり、状態遷移を生じさせて誤動作を引き起こす。また、数~数十GHz帯域のHPMでは、数ミリメートルサイズでも結合しやすく、より小型の電子機器に対しても脅威となる。

3. 電磁波盗聴

情報通信機器から生じる電磁ノイズ(漏洩電磁波)には有意な情報が含まれ、これを受信して再現を試みることは、軍事諜報(ちょうほう)活動の一端として古く1950年代から行われてきた。その後、1985年にWin van Eckの論文によって、ディスプレイ画像の放射電磁ノイズで画像再現

できることが示され、このような情報漏洩は米国国家安全保障局(NSA)のコードネームであるTEMPESTとして周知となった⁽³⁾。

3.1 漏洩電磁波による情報再現メカニズム

モニタ表示画像を例にとれば、電磁波漏洩から情報再現までのおおまかな流れは次のとおりである。

- (1) 電磁ノイズ放射(モニタ本体や周辺ケーブルなど)
- (2) 傍受アンテナで受信
- (3) 受信信号処理(不要波成分除去, 受信信号の増幅)
- (4) 画像処理(水平/垂直同期, 画像ノイズ除去)表示

実際に画像を再現して解読できるかどうかは、モニタ等から放射される電磁ノイズのレベル、傍受アンテナまでの距離、その間に介在する建物(建材)等による減衰、傍受アンテナの利得、受信装置の感度、画像処理の処理方法などによるところとなるが、条件がそろえば、モニタの画像を数百メートル離隔した位置で傍受できる可能性がある。

4. 電磁波攻撃・電磁波盗聴の対策

電磁波攻撃・電磁波盗聴の対策について、ここでは、機器類やシステム全体を収容する部屋単位、建屋単位を対象としたペルセウス・シールドについて述べる。

4.1 ペルセウス・シールド

ペルセウス・シールドの“シールド性能”は周波数範囲と減衰性能とで規定され、さらには放射減衰性能と伝導減衰性能とに分けて規定される。所要性能については、対象とする脅威からどれだけ離隔できるかを加味しつつ当該エリアに対してどこまでのシールド性能を求めるかによって決定され、シールド性能評価方法については放射・伝導共に防衛省規格NDS-C0012Bに準拠している。

ペルセウス・シールドの基本構成は要旨の図に示すとおりで一見すると通常のオフィスと変わらない。図2は電磁シールドボックスと称する小部屋単位のシステムで、既設建屋内に後付け設置する場合などに便利である。鋼板の事前加工によって組立てが容易で、かつ自立型であることから、工事規模が小さく、短期間に導入することが可能なオールインワンのボックスタイプである。

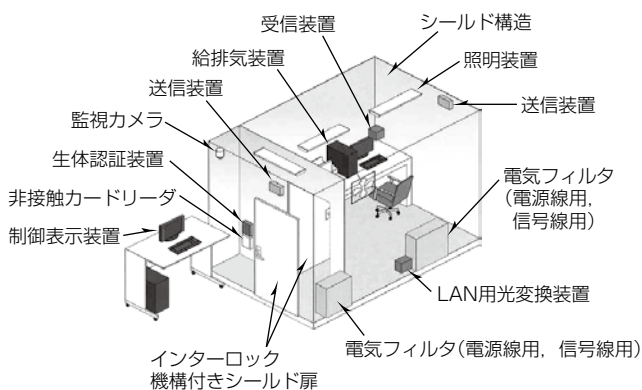


図2. 電磁シールドボックス例

4.2 ペルセウス・シールドの基本構成要素

ペルセウス・シールドの基本構成要素について述べる。

4.2.1 シールド壁・天井

良導性の鋼板(例:縦2m×横1m×厚さ1mm程度)を、シールド性能に応じた施工方法によって、四方隙間なくつなぎ合わせる。周波数範囲(GHz帯)や減衰性能が上がるほど、より緻密な施工を要する。

4.2.2 シールド床

良導性の鋼板(例:ロール鋼板)を敷き詰め、この上に床仕上げが施される。床はシールド材にとっては過酷な環境になるため、壁・天井とは異なる仕上げとすることが多い。

4.2.3 シールド扉

シールド扉はガスケット劣化等によってシールド性能に影響を及ぼす最も重要な要素である。常時シールドのシステムでは、シールド室前に前室を設け、2枚の扉をインターロック機構によって連動させることで同時開放が行われないように制御する。扉の外周に布設するシールドガスケットにはワイヤメッシュタイプのものやシールドフィンガタイプものなどがあり、グレモンハンドル等による押し付け力によって強く密着させる。

4.2.4 シールド窓

シールド窓にはガラス内に導電性塗膜を蒸着したもの、電磁シールドフィルムや導電性メッシュを挟み込んだものなどがあるが、透視性を考えた場合、約40dB程度が上限と考えてよい。

4.2.5 電気フィルタ

電気フィルタには電源線用と信号線用とがあり、それぞれ、商用電源周波数、数十kHz程度までの周波数を通過させるが、それ以上の高周波領域を減衰させるローパスフィルタである。特に信号線用では、デジタル信号は通過させることができず、専ら光ケーブルによることになる。また、HEMP対応の場合は、耐パルス仕様とする必要がある。

設計に当たっては、電気的な回路定数だけでなく、部品間の空間結合や筐体(きょうたい)からの漏洩対策が不可欠であり、電磁界解析によるシミュレーションで、共振点の空間結合に着目し、回路定数と物理配置の最適解を見いだして設計に役立てている。図3に電磁界解析シミュレーション例を示す。

電気フィルタの外観形状は、1線当たりの電流容量と芯数の構成によって様々である。

4.2.6 光貫通管

シールド壁面に光ケーブルを通線させるための金属配管であり、導波管での原理を転用し、金属管の内径と金属管長とによって、カットオフ周波数と減衰性能を制御・設計している。例えば、1GHzの場合、管の内径はφ100mm程度となる。当然、光ケーブルはメタル外装タイプのものは通線してはならない。

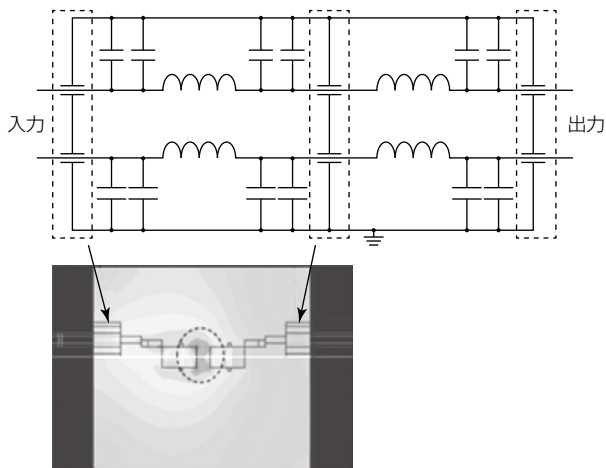


図3. 電磁界シミュレーションによる空間結合検討例

4.2.7 給排水配管

光貫通管と同様の原理によって、内径、長さに対応したシールド減衰性能が得られる。

4.2.8 空調用ハニカムフィルタ

空調エアの通風のための電磁シールドエアフィルタである。金属枠体にはめこんだ蜂の巣状の金属性ハニカムによって所要のシールド性能が得られる。

4.3 ペルセウス・シールドの付加構成要素

ペルセウス・シールドは4.2節で述べた基本構成要素に加え、セキュリティシステムとして求められる装備、また快適性、保守性などの観点から、幾つかの付加構成要素を組み合わせてシステム構築している。次にペルセウス・シールドの付加構成要素について述べる。

4.3.1 シールド扉

付加構成要素として、遮音性を兼ね備えた遮音シールド扉があり、扉ガasketにシールド用途、遮音用途のガasketを設けることで実現する。

快適性については、押さえ圧を軽減したガasketを開発・採用することによって、一般扉と同様のレバーハンドルによる開閉が可能な、軽く、操作性の良いシールド扉を実現している。自動扉を採用している例もあるが、設置、メンテナンス、維持費用とも高額になりがちである。

4.3.2 ラビリンス通路

シールド室への入退室にシールド扉を必要としない通路である。電磁解析による設計手法を駆使し、屈曲した通路と電波吸収材を組み合わせることによって、開口した形状でありながら、シールド性能を得ることができる(図4)。

4.3.3 シールド性能監視システム

シールド扉をはじめとした各構成要素は使用頻度、経年劣化、地震などの外的要因によって徐々に性能低下を来し、シールド性能の維持に当たっては定期的メンテナンスが必須である。また、悪意の破壊工作リスクに備えることも求められることから、シールド性能は常時連続的、かつ経年的に監視しておくことが求められる。図5に示すよう

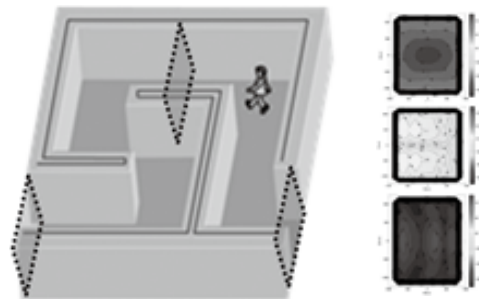


図4. ラビリンス通路と解析例

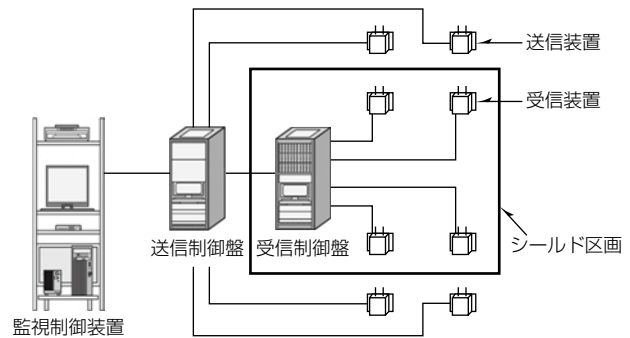


図5. シールド性能監視システム

にシールド性能監視システムはシールド区画内外に設置した送・受信装置によって常時シールド性能を監視するもので、シールド性能の低下を瞬時に検出して警報するとともに、監視ログをグラフ表示することで経年性の変化についても観測できる。

5. む す び

電磁波攻撃と電磁波盗聴のメカニズムを述べ、その対策として当社の電磁シールドシステム“ペルセウス・シールド”の基本構成要素と付加構成要素について述べた。シールド室はもともと、EMI(ElectroMagnetic Interference)測定用途や電波測定用途などの電波暗室向け特殊用途に供されていたが、現代の電磁波脅威の増加に伴い、サーバ室、オフィスルームなど、より身近な一般居室への適用が広く展開されつつある。これに伴い、特殊なシールド構成要素をいかに、使い勝手が良く、長寿命で手のかからないものにしていくか、“ペルセウス・シールド”では日々、その付加要素の拡充と拡大に努めている。

参 考 文 献

- (1) IEC1000-2-9 : Electromagnetic compatibility (EMC) Part2 : Environment-Section9 : Description of HEMP environment-Radiated disturbance
- (2) 電気学会 電磁環境・情報セキュリティ技術調査専門委員会編：電磁波と情報セキュリティ対策技術 (2012)
- (3) 鈴木康直, ほか：PCから放射される電磁波による情報漏洩への対策技術, NTT技術ジャーナル, 20, No.8, 11~15 (2008)