小特集の発行にあたって

情報通信社会における電磁波セキュリティ問題

編集チームリーダ　馬杉正男

情報通信技術の進展に伴い，多種多様な情報メディアサービスの利便性が増す一方で，オープン化された通信ネットワークや情報通信機器のセキュリティをいかに確保するかが大きな課題となっています．通信ネットワークでは，不正侵入，情報改ざん，盗聴などのネットワーク犯罪が社会問題化しており，情報セキュリティへの関心はますます高まりつつあります．

こうした状況の下，情報セキュリティ・マネジメントシステム（ISMS：Information Security Management System）などの情報管理規格・認証制度が運用され，金融系システムだけでなく，データセンタなどの構築において注意を払わなければならない時代にきています．一方，ISMS では，物理的セキュリティ要因として,「電磁環境の管理に起因する脅威」についても言及しています．本テーマは，“情報通信機器からの放射電磁波を介した情報漏えい”と“外部からの電磁波による情報通信機器の誤動作・破壊”を含む「電磁波セキュリティ問題」に対応するもので，近年の信号計測・処理技術や電磁波・高出力化技術の向上に伴って新たな課題として顕在化しつつある状況です．

本小特集では，情報通信機器にかかわる電磁波セキュリティ問題を扱い，「論評・サーベイ論文」,「解説論文」と二つの「解説」から構成されます．

① 電磁現象に起因する情報通信機器のセキュリティ問題
② 情報通信機器からの放射電磁波による情報漏えい対策法
③ 建築シールド技術を用いた電磁波セキュリティ対策法
④ 高出力電磁波問題に関する国際標準化動向

まず，論評・サーベイ論文①では，電磁波セキュリティ問題全体を概観し，電磁波に起因する情報漏えい問題と電磁障害問題の現状課題及び国内外の規格・ガイドラインの動向などを解説します．次に解説論文②では, 情報通信機器からの放射電磁波に起因する情報漏えい問題にフォーカスして, ディスプレイ画像情報の漏えいを防止するための新たな技術を解説します．続いて, 解説③では, 建築シールド技術を用いた電磁波セキュリティの対策法について，実際の設計・施工フローや効果を紹介します．最後に，解説④では，強力な電磁波放射による情報通信機器の障害発生問題について，国際電気標準会議 IEC の規格化動向を解説します．

本小特集では，今後の情報通信社会において，情報セキュリティ上の重大な脅威となり得るテーマを取り上げ，安全・安心な社会を実現するために考え得るリスクと講じるべき対策技術・規格を紹介します．ここで紹介した内容が，情報セキュリティ対策及び関連する分野の研究開発の一助となれば幸いです．

最後に，大変お忙しい中，原稿の執筆を快諾して頂いた執筆者の皆様，編集に御尽力頂いた通信ソサイエティマガジン〈B-plus〉編集委員及び学会事務局の皆様に深く感謝の意を表します．

電磁現象に起因する情報通信機器のセキュリティ問題

Security Problems of Information and Communications Equipments Caused by Electromagnetic Phenomena

関口秀紀† Hidenori Sekiguchi†　瀬戸信二† Shinji Seto†

Summary

近年，情報セキュリティにおける取組みにおいて，情報通信機器（コンピュータやネットワーク機器）の電磁現象に起因するセキュリティ問題が注目され始めている．このセキュリティ問題としては，機器の非意図的な電磁放出に起因する機器内部の信号情報の漏えい問題と，機器に対して強力な意図的電磁妨害を与えることに起因する機器の誤動作・破壊問題がある．近年の情報通信機器に依存する現代社会においては，今後，情報セキュリティの観点から，機器の非意図的な電磁放出に起因する情報漏えいに対する試験・評価方法の確立及びその対策技術の開発，また，機器を故障・誤動作させる意図的な高電力電磁妨害に対するイミュニティ試験・評価方法の確立及びその対策技術の開発が必要となる．そこで，本論文では，これら電磁現象に起因する情報セキュリティ問題について概説する．

Key words

情報通信機器，エミッション，イミュニティ，情報漏えい，電磁妨害，情報セキュリティ

1. まえがき

情報・通信技術の発達に伴い，コンピュータは，情報を処理・蓄積・管理し，ネットワーク機器は，その情報を収集・提供・共有するための手段として普及してきた．これにより，情報通信は社会経済活動における最も重要な基盤の一つとなり，その依存度は急速に増加している．このため，情報通信技術を用いた多種多様なサービスが普及する現代社会においては，常時，その安全性・信頼性を確保することの重要性が高まり，情報セキュリティ対策への関心もますます高まってきている．これに伴い，企業や組織に対する情報セキュリティの国際的運用制度として，情報セキュリティマネジメントシステム（ISMS：Information Security Management System）が国際標準化機構（ISO：International Organization for Standardization）と国際電気標準会議（IEC：International Electrotechnical Commission），及び国際電気通信連合 電気通信標準化部門（ITU-T：International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector）によって規格化されている[1]～[3]．また，国内においても国際標準規格に沿ったガイドラインが制定され，ISMS 適合性評価制度の運用も始まっている[4]．

現在，企業や組織の情報セキュリティ対策において，コンピュータ内部の情報の管理（ファイル送信，持出し，コピーなど）に対してはファイル管理ソフトなどの導入によりその対策が行われている．また，ネットワーク機器の外部との通信の管理（不正侵入・アクセス，DoS 攻撃（Denial of Services Attack），ウイルス被害など）に対しては，ウイルスチェック・ファイヤウォールソフトなどの導入によりその対策が行われている．これらの管理により，「通信路，通信媒体に起因するセキュリティ脅威」に対する対策は，広く普及しつつある．

一方で，ISMS では，物理的セキュリティの一部として，「電磁環境の管理に起因する脅威」についても触れている．これは，情報通信機器がその動作時に電磁雑音と呼ばれる微弱な電磁信号をその内部から放射的

† 独立行政法人 情報通信研究機構，小金井市
National Institute of Information and Communications Technology, Koganei-shi, Tokyo, 184-8795 Japan

及び伝導的に放出することに起因する情報漏えいに対処することと，情報通信機器がその外部から侵入する電磁信号に起因して故障・誤動作を生じる障害に対処することを示しており，その脅威評価・管理・対策も要求している．しかし，これらの電磁環境に起因する情報セキュリティ脅威を評価・管理できる技術的指針はまだ制定されていないため，企業や組織における対策はまだまだ不十分な状況にある．

情報通信機器の電磁環境対策としては，古くから電磁環境両立性（EMC：ElectroMagnetic Compatibility）分野において，その研究が行われてきた．EMC 分野では，機器の通常の使用環境において，互いの機器が悪影響を与えないようにする目的で，機器から放出する電磁信号（エミッション：Emission）を抑制するとともに，外部からの電磁信号の侵入によって機器が故障・誤動作を引き起こさない電磁妨害耐性（イミュニティ：Immunity）を向上する研究が行われている．現在，各標準化機関では，機器のエミッション及びイミュニティに対する規制を行っており，市販・普及している製品は，それぞれの基準に従ってエミッションが抑制されているとともに，イミュニティ許容値を保持している[5]～[10]．

ところが，近年，パーソナルコンピュータ（PC：Personal Computer）のエミッションを解析することによってモニタ表示画像やキーボード入力キーが再現でき，プリンタのエミッションの観測・解析からその印字内容が再現できることが報告されている［11］～［17］．また，情報通信機器のイミュニティ許容値を上回る意図的な高電力電磁環境の生成による機器障害への懸念も高まり，その検討も進められている［18］～［20］．ISMS の制定に伴い，これらの電磁現象に起因する情報セキュリティに対する関心が高まりつつあり，セキュリティ及び EMC 分野においてその研究が始められている．

このような背景を基に，本論文では，情報通信機器のエミッションに起因する情報漏えいや，情報通信機器への意図的な電磁妨害について，情報セキュリティの観点から，その技術的背景，現在の規格化状況，今後の課題を概説する．

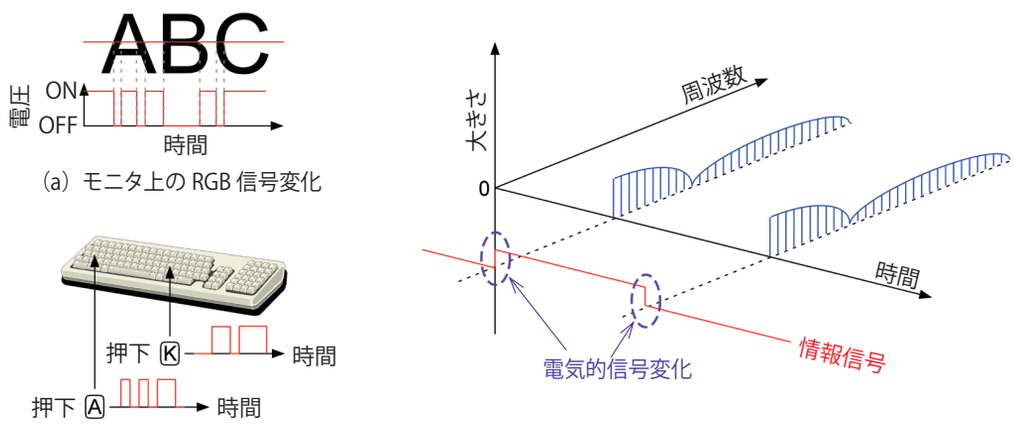
2. 情報通信機器の放出電磁信号に起因する情報漏えい

情報通信機器のエミッションは，一般に，EMC の観点から，そのレベルが規制されているが，そのエミッション信号には，機器内部で処理・伝送される信号情報の一部が含まれていることが古くから知られており，そのエミッション信号を受信し解析することにより，機器内部の情報信号を再現できる．米国では，情報通信機器の非意図的なエミッションから機器内部の情報信号が漏えいすることを防止する技術を TEMPEST と称し，主として軍事やちょう報に関連する活動として 1950 年代ごろから研究を行ってきた［21］～［23］．TEMPEST 技術は軍事技術の一部であったため，米国から公開された情報は非常に少なかったが，1980 年代から学術分野で徐々にその内容が明らかになってきた［11］～［17］，また，近年の計測機器の性能向上や信号処理技術の進歩，また情報セキュリティへの関心の高まりから，情報通信機器のエミッションに起因する情報漏えいの脅威とその対策が注目されるようになってきた．

本章では，これまで公知された論文・資料を基に，情報通信機器のエミッションに起因する情報漏えい問題について概説する．

2.1　エミッションによる情報信号漏えいの基本原理

情報通信機器のエミッションは，機器内部で生成・伝送される電気的なオンオフ信号（情報信号）から副次的に放出される．例えば，PC モニタに表示される画像の色彩・明暗は，PC モニタ内の RGB（Red-Green-Blue）信号電圧の高低の組合せにより生成される．このため，図 1 (a) に示すように，モニタに白背景に黒文字を表示する場合，走査する RGB 信号の電圧が時間とともに変化する．この信号変化は，プリンタの印刷時においても同様である．また，図 1 (b) に示すように，キーボードのキー入力においては，押下した入力キーによりその電気信号の時間的オンオフ信号パターンとして入力キー情報を PC 本体へ伝送する．これらの電気的なオンオフ信号は情報を伝送する信号（情報信号）であり，電気的信号が変化するときにエミッションとして電磁信号を放出する．こ



(a) モニタ上の RGB 信号変化

(b) キーボード入力キーの信号変化

(c) 情報信号の変化とその周波数成分の相対的関係

図 1　情報信号漏えい原理

の際，情報信号は，図 1 (c) に示すように，オンオフ信号変化割合に依存した周波数成分を持ち，その一部の周波数成分は信号生成素子または信号伝送線をアンテナとして放射的に空間へ放出される．また，回路内の電磁信号がほかの通信線や電源線などから伝導的に放出される．したがって，情報通信機器の外部においてエミッションを受信・解析することが可能となる．

2.2　情報漏えいの脅威の試算とその評価手法

情報通信機器のエミッションによる情報漏えい脅威を評価する場合，放射または伝導のエミッションレベル，エミッション受信システムの能力，及びその経路について検討することが重要となる．図 2 に，一例として，建物内の PC から空間へ放射するエミッションと受信システムの間の経路を示す概略図を示す．この情報漏えい経路において，そのエミッション信号は，アンテナまでの距離によって減衰した後，受信システムによって受信される．したがって，その情報漏えい脅威を評価する場合は，PC の放射エミッションレベル，PC ～アンテナ間の距離 R，受信システムの能力

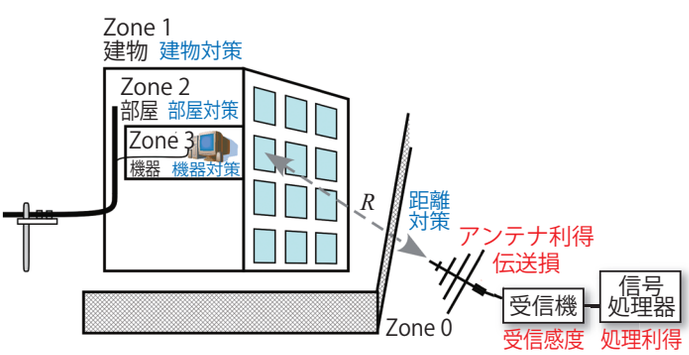


図 2　建物内の PC から空間へ放射する電磁信号と受信機の間の経路を示す概略図

を考慮する必要がある．受信システムの能力は，そのアンテナ利得，アンテナ・受信機間の伝送損，受信機の感度，及び信号処理器の処理利得などを仮定することにより試算することができる．

その脅威の例として，市販の PC の放射エミッションに対して，情報漏えいが生じる距離 R を試算する [24]．このとき，試算上の仮定として次の値を仮定し，また，信号処理器の処理利得は考慮しない．

(1) PC のエミッションレベル：CISPR 22 Class B の限度値 $E_{120\,\mathrm{kHz}}$（帯域幅：120 kHz 時）[5]

(2) 自由空間における伝搬路減衰特性：距離 R の二乗に反比例

(3) アンテナ相対利得 $G = 4$（≒ 6 dB）(例：例として対数周期アンテナを想定)

(4) 受信機の感度(雑音指数 F) = 10（= 10 dB）

(5) 受信機の帯域幅 $B = 5$ MHz（この種のエミッション信号は，主に回路内の信号のオンオフ信号変化割合に依存した広い帯域幅を持つため，例として受信帯域幅を 5 MHz と想定）

(6) 受信機の所要信号対雑音比（SN 比：Signal-to-Noise Ratio）= 10（=20 dB）(例として比較的良好な受信状況を想定)

(7) 受信機の入力インピーダンス $Z = 50\ \Omega$

このとき，受信機の雑音電力の入力換算値 N_f は

$$N_f = KTBF\ (\mathrm{W}) \approx 0.207 \times 10^{-12}\ \mathrm{W} \approx 3.2\ \mu\mathrm{V} \qquad (1)$$

となる [24]．ここで，ボルツマン定数 K（$= 1.38 \times 10^{-23}$ J/K），絶対温度 T（= 300 K）とした．したがって，受信機への所要入力電圧 V_i は，信号対雑音比を考慮して

$$V_i = N_f \times 10(\mu\mathrm{V}) = 32\ \mu\mathrm{V} \quad (2)$$

となる．受信アンテナにおける所要電界強度 E_0 は，受信周波数 f，アンテナの受信開放電圧 V_0 とすると

$$E_0 \approx \frac{V_0 \times f}{11.5\sqrt{Z \times G}} \quad (3)$$

となり，所要電界強度 E_0 は受信周波数 f により異なる[25]．この試算においては，アンテナにおける開放電圧 V_0 に対する受信機への入力電圧 V_i の比を整合状態として 2 倍（$V_0 = V_i \times 2$）と考える．このとき，例として，後述の機器のエミッション規定のレベルが異なる周波数を考慮し，受信周波数 f が 200 MHz と 400 MHz での受信機の所要電界強度を試算すると

$$\left.\begin{aligned} f = 200\,\mathrm{MHz} &\Rightarrow E_0 \approx 79.1\ \mu\mathrm{V/m} \\ &\approx 38\,\mathrm{dB{\cdot}\mu V/m} \\ f = 400\,\mathrm{MHz} &\Rightarrow E_0 \approx 158.2\ \mu\mathrm{V/m} \\ &\approx 44\,\mathrm{dB{\cdot}\mu V/m} \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

となる．

前述の受信機の帯域幅 B の想定でも説明したように，この種のエミッション信号は回路内の信号のオンオフ信号変化時間（数 ns）に依存した広い帯域幅を持つことから，エミッション信号が有する帯域幅を 5 MHz 程度以上と仮定し，CISPR 22 のエミッション限度値である帯域幅 120 kHz におけるレベル $E_{120\,\mathrm{kHz}}$ を，以下の式を用いて，受信機の帯域幅 5 MHz におけるレベル $E_{5\,\mathrm{MHz}}$ に換算する[26]．

$$E_{5\,\mathrm{MHz}}(\mathrm{dB{\cdot}\mu V/5\,MHz}) = E_{120\,\mathrm{kHz}}(\mathrm{dB{\cdot}\mu V/m}) + 20\log_{10}(5\,\mathrm{MHz}/120\,\mathrm{kHz}) \quad (5)$$

なお，機器のエミッション規定は，測定距離 10 m において，30～230 MHz は 30 dB・μV/m，230～1,000 MHz は 37 dB・μV/m である［5］．このとき，それぞれの受信周波数 f におけるエミッションレベル $E_{5\,\mathrm{MHz}}$ は

$$\left.\begin{aligned} f = 200\,\mathrm{MHz} &\Rightarrow E_{5\,\mathrm{MHz}} \approx 62.4\ \mu\mathrm{V/m} \\ f = 400\,\mathrm{MHz} &\Rightarrow E_{5\,\mathrm{MHz}} \approx 69.4\ \mu\mathrm{V/m} \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

となる．受信機の所要電界強度 E_0 とエミッションレベル $E_{5\,\mathrm{MHz}}$ の関係から，受信距離 R は

$$\left.\begin{aligned} f = 200\,\mathrm{MHz} &\Rightarrow R \approx 167\,\mathrm{m} \\ f = 400\,\mathrm{MHz} &\Rightarrow R \approx 186\,\mathrm{m} \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

となる．この試算は，上記の仮定を用いた場合における PC のエミッションの自由空間中における受信距離 R を示し，情報漏えいの距離に対する脅威の計算例となる．しかし，実際には，周囲環境雑音及び地上波伝搬を含む伝送路の影響があるため，現実の受信距離 R は試算値より小さくなる．

また，この PC が鉄筋コンクリート壁に覆われた建物内に設置されていたと仮定し，壁を通過する超短波（VHF：Very High Frequency）帯（周波数 30 ～ 300 MHz）の電磁波の通過損を 10 dB と仮定した場合［27］，受信距離 R は約 1/3 程度となる．一方，受信システムの能力の計算では，アンテナ利得 G を 6 dB としているが，更に高利得のアンテナを仮定すれば，受信距離 R はより長くなる．また，受信機の検波器以降のデータに対して，例えば，画像処理や雑音処理などを行う信号処理器を用いることにより，SN 比を改善することも可能となる．

上記の情報漏えい脅威では，幾つかの仮定を用いて試算を行っているが，情報漏えいに対する定量的測定技術，評価方法は，まだ確立されていない．これらについては，現在，各研究機関などにおいて検討が進められているところである［28］～［36］．

2.3　情報漏えいの対策概念と対策技術

情報通信機器のエミッションによる情報漏えい対策を検討する場合，図 2 に示した Zone の考え方（Zoning）を用いることが有用である．同図における Zoning では，Zone 0 は情報通信機器が設置される機関・組織の管理可能な区域，Zone 1 はその建物，Zone 2 はその部屋，Zone 3 はその情報通信機器の近傍領域として区分けした．本例は，管理可能な Zone により脅威となる受信システムの接近距離を制限し，その Zone 内に対して必要な対策を検討する概念である．このように受信システムの侵入想定 Zone を規定することにより，受信システムの物理的大きさをある程度制限することができ，情報通信機器のエミッションによる情報漏えい脅威をより現実的に評価できるようになる．したがって，管理可能区域の区分けは，より具体的な対策の検討に有用となる．

しかしながら，一般的には，管理可能区域の確保は困難であることが多いため，その対策には，建物及び部屋による対策，または情報通信機器自体への対策が必要となる．建物や部屋に実施する対策としては，従来から EMC 対策で用いられてきたフィルタやシールド技術を用いた対策方法が有効である［37］，［38］．また，PC に対する対策として，幾つかの製品または技術

が提案されている．その一つは，PC のエミッションを抑えるため，PC 自身をシールド材料で覆い，各入出力ケーブル・コネクタにフィルタを取り付けた製品である［39］．また，フィルタやシールド技術を用いず，意図的な妨害信号によって受信者を妨害するという対策技術も提案されている［40］，［41］．更に，PC の表示画像内の情報漏えい防止を目的に，RGB 信号をソフトウェア的に制御する対策技術も提案され，一部は製品化も行われている［42］～［49］．今後は，これらの製品・技術の効果が定量的に評価され，その費用対効果を考慮しながらユーザが対策を実施できるようになることが期待される．

3. 高電力電磁環境に起因する情報通信機器の障害

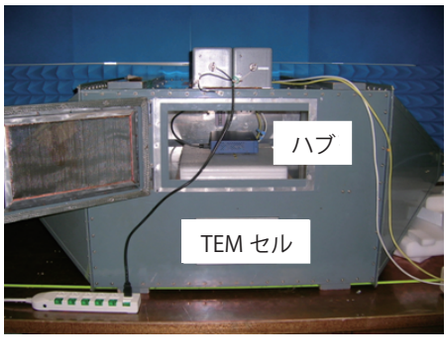
情報通信機器は，一般に，EMC の観点から，ある程度のイミュニティ許容値を保持しているが，その許容値を超える電磁妨害に対しては故障・誤動作を生じることが知られている．近年の科学技術の発達により，小形で高電力な電磁信号の出力システム（送信機器など）が開発できるようになり，情報通信機器に対する意図的な電磁妨害（I-EMI: Intentional ElectroMagnetic Interference）の危険性が情報セキュリティの観点から懸念され始めている．

I-EMI については，電気電子学会（IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers）の EMC Symposium において 2004 年からセッションとして取り上げられ，近年の EMC 関連の国際学会では，ほぼ毎回セッションが組まれ，様々な研究報告が行われている．その主な研究の方向性は，生成する電磁妨害信号の高電力化，インパルス放射アンテナシステムの開発，I-EMI の各種機器への影響調査などとなっており，防護性能を評価するための試験システムの開発も進められている．

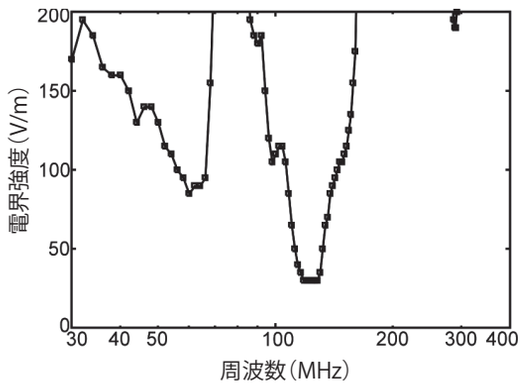
本章では，これまで公知された論文・資料を基に，I-EMI について概説する．

3.1 情報通信機器のイミュニティ限界

一般的な使用環境における情報通信機器の放射イミュニティ許容値（電界強度）は，国際標準化規格により 3 V/m または 10 V/m などの規定がある［6］～［8］．しかしながら，そのイミュニティ限界を調査した資料は少ない．I-EMI の情報通信機器への脅威を検討する場合，現存する情報通信機器のイミュニティ限界を調査することは有用となる．著者らは，情報通信機器の一つであるハブ（HUB）のイミュニティ限界の調査実験を行ったので，その内容について概説する［50］．本実験では，図 3（a）に示すように，電磁妨害を発生させる TEM（Transverse ElectroMagnetic）セルを用い［7］，市販の 8 ポートハブのイミュニティ限界を調査する実験を行った．TEM セル内の電磁妨害を無変調連続波とし，その電界強度を上げながらハブの送受信を監視し，スループットが低下したときの周波数と電界強度の関係を調査した．図 3（b）は，試験したハブのイミュニティ限界の実験結果を示す．図 3（b）において，ハブのイミュニティ限界が周波数に依存し，約 125 MHz の無変調連続波では約 35 V/m の電界強度で誤動作が生じた．この特性及び値は，機器固有のものであるが，I-EMI が情報通信機器に対して脅威となり得る場合がある．なお，図 3（b）の測定は，イミュニティ限界の大略を把握するために行ったものであり，通常のイミュニティ試験においては，周波数ステップとして 0.5% や 1.0% が用いられることが多い［6］～［10］．



（a）TEM セルを用いた実験



（b）イミュニティ限界

図 3　ハブのイミュニティ限界調査試験

3.2 I-EMI の分類と脅威例

各種機器などに悪影響を及ぼすと考えられる I-EMI は，大別すると，

- HEMP：High-altitude ElectroMagnetic Pulse（高高度電磁パルス）
- HPEM：High Power ElectroMagnetic（高電力電磁波）

に分類される．HEMP は，高高度核爆発による電磁パルスを示し，核電磁パルス（N-EMP: Nuclear Electro-Magnetic Pulse）とも呼ばれる．また，HPEM は，HEMP 以外の高電力電磁波を示し，高電力マイクロ波（HPM: High Power Microwave），高強度放射界（HIRF: High Intensity Radiated Field），大電力の超広帯域（UWB: Ultra Wide Band）波などを含み，これらが各種機器などに意図的妨害を与える目的で使用される場合 I-EMI と呼ぶ．図 4 に，周波数領域における各規格のイミュニティ要求値と IEC で定義される I-EMI の比較例を示す［7］，［51］．EMC 分野におけるイミュニティ許容値の放射電界強度は 3 V/m または 10 V/m などであることに対し，HPEM 環境のピーク電界強度は 100 V/m 以上と規定されている．また，雷（Lightning）による電磁パルスは，低周波から 1 MHz 程度までの周波数成分を持つが，HEMP は 100 MHz 程度までの周波数成分を持ち，HPEM 環境は更に高周波数領域に及ぶことが分かる．図 4 からも分かるように，HEMP 及び HPEM はともに EMC 分野におけるイミュニティ要求値を大幅に超えることから，これらが I-EMI として用いられた場合，情報通信機器に対しても脅威となることが分かる．

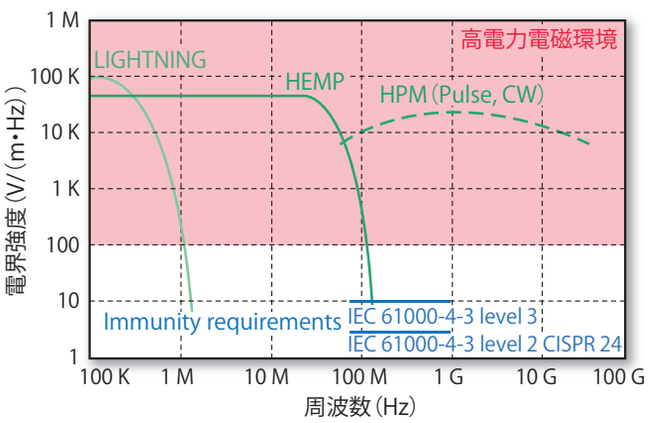


図 4　イミュニティ要求値と I-EMI の比較例

表 1　インパルス放射アンテナシステム例（IEC 61000-2-13）

名　称	パルサー	アンテナ直径 (m)	近　界 (kV/m)	遠方界 (kV/m)
Prototype IRA (米)	±60 kV 100 ps/20 ns, 200 Hz burst	3.66	23 (2 m)	4.2 (304 m)
Upgraded prototype IRA（米）	±75 kV 85 ps/20 ns ～ 400 Hz	1.83	41.6 (16.6 m)	27.6 (25m)
IRA (スイス)	2.8 kV 100 ps/4 ns 800 Hz	1.8	1.4 (5 m)	0.22 (41 m)
IRA (オランダ，ドイツ)	9 kV 100 ps/4 ns 800 Hz	0.9	7 (1 m)	使用不可

また，HPEM 環境規格である IEC 61000-2-13 では，幾つかの HPEM システムの脅威例が示されている［51］．その中で，現在各国で開発されているインパルス放射アンテナ（IRA：Impulse Radiating Antenna）システムは，表 1 のような性能を有している．これら IRA システムは，広周波数帯域の電磁妨害を放射できるため，被試験装置（EUT：Equipment Under Test）のイミュニティ試験システムとして用いることが有用であると考えられる．

3.3 電磁妨害対策

I-EMI による各種機器への悪影響を防護する場合においても，電磁波の侵入を阻止する対策を行うことが必要となる．その対策は，次に示す各種の考え方がある．

（1）管理区域の隔離：情報漏えいの対策としての Zoning については 2.3 節において述べたが，これと同様に I-EMI システムからの隔離は有効な対策手段となる．

（2）「建屋」（または「部屋」）における対策：上記（1）の隔離では防護が不十分な場合には，建屋などにおいて電磁波侵入阻止を行う必要がある．空間を介しての放射的侵入に対しては電磁シールド，電源ラインなどからの伝導的侵入に対しては電源ラインへのフィルタの挿入を行うことが有効となる．これらの対策に伴い，通常，建築に関連する工事が必要となる．

（3）情報通信機器における対策：情報通信機器自身に対策する方法も有効な手段である．この対策においても，機器に対する放射的侵入・伝導的侵入の両者の対策が必要となる．

I-EMI 対策としては，現在 EMC 分野において開発されている技術・製品が，ある程度効果的に作用すると考えられるが，この有効性については，I-EMI 脅威レベルの試算を行う必要がある．

4. 規格化の状況

2 章及び 3 章で概説した電磁環境に起因する情報セキュリティの脅威から，情報通信機器・システムを防護する目的で，ITU-T SG5（Study Group 5）では，課題 15 として「Security of telecommunication and information systems regarding the electromagnetic environment（電磁環境に関連する通信・情報システムのセキュリティ）」が検討されており，日本国の提案において勧告案策定を進めている［52］．勧告案では，「電磁環境に起因する情報セキュリティ全般に関するガイドライン」の策定を進めるとともに，「情報通信機器からのエミッションに起因する情報漏洩に関する規格」，「HEMP，HPEM に関する規格」，及び「対策方法についてのハンドブック」の策定を進めている．一方，IEC TC77（Technical Committee 77）SC77C（Sub-Committee 77C）では，「High power transient phenomena（高電力過渡現象）」として，電子機器に対する HEMP 及び HPEM に関する標準化規格の策定が行われており，既に「HEMP に関する規格」化は完了し，現在は HPEM に関する規格策定が進められている［53］．更に，IEEE TC-5（Technical Committee-5）においては，電子投票システムを対象とした I-EMI の試験方法・防護基準の策定が検討されている［54］．

国内においても，電磁環境に起因する情報セキュリティに関して注意を喚起する告示などが多く発せられている．表 2 はその一例を示す．これらに伴い，民間企業や研究機関においても電磁環境に起因する情報セキュリティへの取組みが始められている［55］～［58］．また，民間任意団体である新情報セキュリティ技術研究会では，これら電磁環境に起因する情報セキュリティの脅威に関して「電磁波セキュリティガイドライン」を作成・公開している［59］．

また，米国における TEMPEST 規格は，部分的に公開されているが，規制の数値は非公開となっている［60］．更に，日本においても防衛省が TEMPEST に関する独自規格 NDS C 0013 を有しているが，米国と同様にその数値的な部分は非公開となっている．

表 2　電磁環境に起因する情報セキュリティに関する国内告示例

政府機関	告示名
総務省	情報通信ネットワーク安全・信頼性基準（昭和 62 年郵政省告示第 73 号）
経済産業省	情報システム安全対策基準（平成 7 年通商産業省告示第 518 号）
内閣官房情報セキュリティセンター	政府機関の情報セキュリティ対策のための統一基準（第 2 版）（2007 年）

5. むすび―今後の動向・課題のまとめ

情報化社会の発展に伴い，情報セキュリティが重要視され，国際標準として ISMS が制定された．その中で電磁環境に起因する情報セキュリティに対しても注意喚起が行われ，国際社会における組織や企業は，そのリスク評価・管理・対策が求められている．しかしながら，現在は，技術的・実用的な評価方法や試験システム，また，対策効果を保証するための技術・体制が確立していない現状にある．

今後は，情報セキュリティの観点から，情報通信機器のエミッションに起因する情報漏えいに対する試験・評価方法の確立及びその対策技術の開発，また，情報通信機器を故障・誤動作させる I-EMI に対するイミュニティ試験・評価方法の確立及びその対策技術の開発が必要となる．また，これらの試験・評価機関などの体制の整備が進むことにより，電磁環境に起因する情報セキュリティに対して安心・安全な情報化社会を形成することが望まれる．

謝　辞

本研究の一部は，平成 19 年度総務省戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）（課題番号 073103006）及び平成 18 年度文部科学省科学研究費補助金若手研究（B）（課題番号 18760292）の助成を受けて行われた．

文　献

［1］ International Organization for Standardization（ISO）and International Electrotechnical Commission（IEC），“ISO/IEC 27001: Information technology-Security techniques-Information security management systems- Requirements,” 2005.

［2］ International Organization for Standardization（ISO）and International Electrotechnical Commission（IEC），“ISO/IEC 27002: Information technology-Security techniques-Code of practice for information security management,” 2005.

[3] International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector（ITU-T），“X.1051: Information Security Management System-Requirements for Telecommunications（ISMS-T），” 2004.

[4] “ISMS 情報セキュリティマネジメントシステム適合性評価制度―ISMS 認証基準（Ver.2.0）―，”（財）日本情報処理開発協会，2003.

[5] International Electrotechnical Commission（IEC），“CISPR 22: Information technology equipment-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement,” 2005.

[6] International Electrotechnical Commission（IEC），“CISPR 24: Information technology equipment-Immunity characteristics-Limits and methods of measurement,” 1997.

[7] International Electrotechnical Commission（IEC），“IEC 61000-4-3: Electromagnetic compatibility（EMC）-Part 4-3: Testing and measurement techniques-Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test,” 1995.

[8] International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector? Study Group 5（ITU-T SG5），“K.43: Immunity requirements for telecommunication equipment,” 2003.

[9] International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector? Study Group 5（ITU-T SG5），“K.48: EMC requirements for telecommunication equipment-Product family Recommendation,” 2006.

[10] Department of Defense Interface Standard（USA），“MIL-STD-461E: Interface Standard Requirements for the Control of Electromagnetic Inter-ference Characteristics of subsystems and Equipment,” 1999.

[11] Wim van Eck, “Electromagnetic radiation from video display units: an eavesdropping risk?,” Comput. Secur., vol.4, no.4, pp.269-286, 1985.

[12] M. G. Kuhn, “Compromising emanations: eavesdropping risks of computer displays,” University of Cambridge Computer Laboratory, Technical Report, UCAM-CL-TR-577, 2003.

[13] 山中幸雄，大野浩之，服部光男，“PC から漏洩する電磁妨害波による画面情報の再現，” 2005 信学総大，B-4-72，2005-03.

[14] L. Zhuang, F. Zhou, and J. D. Tygar, “Keyboard acoustic emanations revisited,” Proc. 12th ACM Conf. Comput. and Commun. Secur., pp.373-382, Chicago, USA, Nov. 2005.

[15] T. Tosaka, K. Taira, Y. Yamanaka, A. Nishikata, and M. Hattori, “Reconstruction of printed images by receiving the electromagnetic disturbance from a laser printer at various noise environment,” Proc. EMC Europe 2006, pp.710-715, Barcelona, Spain, Sept. 2006.

[16] T. Tosaka, K. Taira, Y. Yamanaka, K. Fukunaga, A. Nishikata, and M. Hattori, “Reconstruction of printed image using electromagnetic disturbance from laser printer,” IEICE Trans. Commun., vol. E90-B, no.3, pp.711-715, 2007.

[17] 登坂俊英，山中幸雄，福永　香，服部光男，“プリンタから漏洩する電磁波に基づく印字情報再現性の評価，” 平 20 電学全大シンポジウム，no.1-S2-7，2008-03.

[18] W. A. Radasky, C. E. Baum, and M. W. Wik, “Introduction to the special issue on high-power electromagnetics（hpem）and intentional electromagnetic interference（iemi），” IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 46, pp. 314-321, 2004.

[19] 那須誠一，“電磁ノイズに関する社会および軍事環境，” 平 20 電学全大シンポジウム，no.1-S2-2，pp.21-24，2008-03.

[20] 関口秀紀，瀬戸信二，“電磁波・情報セキュリティの概要～ IT 機器からの放出電磁波に伴う情報漏洩と侵入電磁波妨害による IT 機器の誤作動 / 破壊～，” 信学会 電磁環境工学研究専門委員会 電気・電子機器の EMC ワークショップ（第 18 回資料），pp.63-70，2006-11.

[21] 瀬戸信二，“情報処理装置からの電磁波漏出にともなう情報漏洩の防止対策（TEMPEST 対策），” 防衛技術ジャーナル，vol.6，pp.6-18，1995.

[22] R. Lehtinen, D. Russell, and G.T. Gangemi Sr., “Computer security basics,” TEMPEST（2nd Edit）. O’Reilly, 2006.

[23] Internet Engineering Task Force（IETF），“RFC（Request For Comment）2828 - Internet Security Glossary,” 2000.

[24] 三輪　進，情報通信基礎，p.109，東京電機大学出版局，2003.

[25] 虫明康人，アンテナ・電波伝搬，p.33，コロナ社，1973.

[26] 防衛省，“防衛省規格 電磁干渉試験方法，” p.3，1994.

[27] 三宅伸幸，梅主洋一郎，佐川祐一郎，森田哲三，吉野涼二，“鉄筋コンクリート構造の電磁シールド性能に関する実験的検討その 1，構成材料の性能値への寄与状況及び経年変化による影響（環境工学），” 日本建築学会学術講演梗概集（東北），pp.7-8，1991.

[28] 内山一雄，“漏洩電磁波による情報漏洩とその評価について（前編），” 防衛技術ジャーナル，vol.2，pp.4-13，2005.

[29] 内山一雄，“漏洩電磁波による情報漏洩とその評価について（後編），” 防衛技術ジャーナル，vol.3，pp.10-14，2005.

[30] T. Tosaka, Y. Yamanaka, K. Fukunaga, R. Ishikawa, and M. Hattori, “Evaluation method of information leakage from PC display using suggested images,” Proc. EMC Europe Workshop 2007, no. abs-77, Paris, France, June 2007.

[31] T. Tosaka, Y. Yamanaka, K. Fukunaga, R. Ishikawa, and M. Hattori, “Evaluation method of information leakage from PC display by the frequency component of the vertical sync signal,” Proc. EMC Europe Workshop 2007, no.abs-31, Paris, France, June 2007.

[32] T. Tosaka, K. Fukunaga, Y. Yamanaka, R. Ishikawa, and M. Hattori, “Method of evaluating information leakage from PC display,” Proc. 2007 IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat., CD-ROM, Hawaii, USA, July 2007.

[33] T. Tosaka, Y. Yamanaka, K. Fukunaga, R. Ishikawa, and M. Hattori, “Evaluation of information leakage from PC display using spectrum analyzer,” IEICE Trans. Commun., vol. E90-B, no. 11, pp. 3315-3318, Nov. 2007.

[34] 内山一雄，大西康文，“漏洩電磁波計測方法の体系化とその考え方について～ NDS 規格を例とした規格制定の考え方～，” 平 20 電学全大シンポジウム，no.1-S2-4，2008-03.

[35] H. Sekiguchi and S. Seto, “Proposal of information signal measurement method in display image contained in

electromagnetic noise emanated from a personal computer," Proc. 2008 IEEE Int. Instrum. Meas. Technol. Conf., Victoria, Canada, May 2008.
[36] 関口秀紀,"PC から放出される電磁信号に含まれる表示画像信号の測定と表示画像の情報漏洩評価," 信学論(B), vol. J91-B, no.11, pp.1477-1483, Nov. 2008.
[37] http://www.shimz.co.jp/tw/tech_sheet/rn0187/rn0187.html
[38] http://www.ntt-at.co.jp/product/esd/index.html
[39] http://www.coteau-vert.co.jp/products/tempest-g.html
[40] 鈴木康直, 馬杉正男, 田島公博, 山根　宏,"PC から放射される電磁波による情報漏洩への対策技術," 平 20 電学全大シンポジウム, no.1-S2-8, 2008-03.
[41] Y. Suzuki, R. Kobayashi, M. Masugi, K. Tajima, and H. Yamane, "Development of countermeasure device to prevent leakage of information caused by unintentional PC display emanations," Proc. EUROEM 2008 European Electromagn., p.16, Lausanne, Switzerland, July 2008.
[42] M. G. Kuhn, and R. J. Anderson, "Soft tempest: Hidden data transmission using electromagnetic emanations," Proc. 2nd Int. Workshop on Inf. Hiding, pp.124-142, Portland, USA, April 1998.
[43] H. Tanaka, O. Takizawa, and A. Yamamura, "Evaluation and improvement of the tempest fonts," Proc. 5th Int. Workshop on Inf. Secur. Appl., pp.457-469, Jeju Island, Korea, Aug. 2004.
[44] 関口秀紀, 宮田泰彦,"放射電磁雑音によるモニタ表示画像内の文字情報漏洩対策ソフトウェア CrypType の開発," 情報学コンピュータセキュリティシンポジウム 2008 (CSS2008), no.8, pp.217-222, 2008-10.
[45] 関口秀紀, 宮田泰彦,"放射電磁雑音によるモニタ表示画像内のボタン入力操作情報漏洩対策ソフトウェア CrypButton の開発," 情報学コンピュータセキュリティシンポジウム 2008 (CSS2008), no.8, pp.223-228, 2008-10.
[46] 関口秀紀, 宮田泰彦,"Web アプリケーション TEMPEST ソフトウェア CrypWeb の開発," 2009 信学総大, p.535, 2009-03.
[47] http://www.beyondit.jp/index.php
[48] T. Watanabe, H. Nagayoshi, and H. Sako, "A display technique for preventing electromagnetic eavesdropping using color mixture characteristic of human eyes," Proc. 10th Int. Workshop on Inf. Hiding, pp.1-14, Santa Barbara, USA, May 2008.
[49] 渡邊高志, 永吉洋登, 酒匂　裕, 上村敏朗,"知覚上の継時混色特性を利用した TEMPEST 対策方式," 2009 暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2009), no. 1A1-5, 2009-01.
[50] H. Sekiguchi, S. Seto, and I. Minematsu, "The malfunction and immunity limit of information technology equipment under HPEM environments," Proc. 20th Int. Zurich Symp. on Electromagn. Compat., pp.69-72, Zurich, Switzerland, Jan. 2009.
[51] International Electrotechnical Commission (IEC), "IEC 61000-2-13: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 2-13: High-power electromagnetic (HPEM) environments- radiated and conducted," 2005.
[52] http://www.itu.int/ITU-T/studygrou=ps/com05/sg5-q15.html
[53] http://www.iec.ch/dyn/www/f?p102:7:0:::FSP_ORG_ID:1387
[54] http://www.ewh.ieee.org/soc/emcs/tc5/tc5mtgs.htm
[55] 富永哲欣, 小林隆一, 関口秀紀, 瀬戸信二,"電磁波セキュリティに関連する標準化の取組み," NTT 技術ジャーナル, vol.20, no.8, pp.16-21, 2008.
[56] 富永哲欣, 高谷和宏,"電磁波・情報セキュリティに関連する国内外の規格," 平 20 電学全大シンポジウム, no.1-S2-3, 2008-03.
[57] 田島公博, 馬杉正男, 鈴木康直, 山根　宏,"通信キャリアにおける電磁波情報セキュリティへの取組み," 平 20 電学全大シンポジウム, no.1-S2-5, 2008-03.
[58] 関口秀紀, 瀬戸信二,"電磁環境に起因する情報セキュリティ～ IT 機器の emission と TEMPEST セキュリティ～," 電学論 (A), vol.129, no.1, pp.1-6, 2009.
[59] "電磁波セキュリティガイドライン," 新情報セキュリティ技術研究会, 2004. http://www.j-netcom.co.jp/ist/
[60] http://cryptome.info/0001/nsa-tempest.htm

(平成 21 年 2 月 9 日受付, 4 月 3 日再受付)

関口秀紀 (正員)

平 15 中大大学院博士後期課程了. 博士(工学). 平 17 より独立行政法人情報通信研究機構セキュリティ基盤グループ専攻研究員. 現在, 電磁環境に起因する情報セキュリティに関する研究に従事. 専門は電磁信号の計測及び解析. ITU-T SG5 Q15 Associate rapporteur. IEEE, 電気学会各会員.

瀬戸信二

平 16 三菱電機株式会社退社. 平 17 より独立行政法人情報通信研究機構セキュリティ基盤グループ専攻研究員. 現在, 電磁環境に起因する情報セキュリティに関する研究に従事. 専門は無線通信技術及び EMC 対策技術など. 著書に「環境電磁ノイズハンドブック (EMC ハンドブック)」朝倉書店 (1999) など. IEC TC77 SC77C 国際エキスパート.

情報通信機器からの放射電磁波による情報漏えい対策法

Countermeasure Techniques against Electromagnetic Emanations from Information Equipment

馬杉正男[†1] Masao Masugi[†1]　鈴木康直[†1] Yasunao Suzuki[†1]
山根　宏[†1*] Hiroshi Yamane[†1]　田島公博[†2] Kimihiro Tajima[†2]

Summary

パーソナルコンピュータなどの情報通信機器は，動作時に微弱な電磁波を放出し，その信号成分には，ディスプレイ画像などの内部処理情報が含まれている場合がある．こうした漏えい情報を解析されるリスクは，近年の信号計測処理技術の向上とともに高まりつつあり，情報セキュリティの観点からも，その対策法を検討していくことが重要である．情報通信機器からの放射電磁波に起因する情報セキュリティ対策としては，これまで情報通信機器に対して電磁シールドを施す方法やノイズフィルタを設置する方法が提案されているが，対策効果や導入コストの点においていまだ課題が残されている．本論文では，情報通信機器からの放射電磁波に起因する情報セキュリティ問題及び従来の対策法を概観するとともに，漏えい情報を効率的にかく乱する防止信号を生成する手法をベースとした新たな対策技術を紹介する．

Key words

情報セキュリティ，放射電磁波，漏えい信号，TEMPEST

1. まえがき

パーソナルコンピュータ（PC）などの情報通信機器から意図せず放射される電磁波には，機器内部で処理される有益な情報が含まれている場合がある．近年における計測装置の性能向上や信号処理技術の進歩に伴い，放射電磁波に含まれたこうした情報を解析される危険性が高まりつつあり，情報セキュリティの観点から新たな脅威として認識され始めている．

さて，放射電磁波を介した情報セキュリティ問題は，1960年代から欧米の軍事応用目的で進められた研究を発端としている[1]．具体的な内容は，その間，ほとんど公表されることはなかったが，Win van Eck が1985年に発表した論文[2]を契機に，PCなどの情報通信機器のディスプレイ画像が，放射電磁波を介して再生できることが明らかになった．こうした情報漏えい問題は，米国の国家安全保障局（NSA：National Security Agency）のコードネームであるTEMPESTという略称で呼ばれ，現在では，一般にも広く知られるようになっている（ただ，TEMPESTの語源は諸説あり，Telecommunications Electronics Material Protocol from Emanating Spurious Transmissions や Transient Electromagnetic Pulse Surveillance Technology などの略称の可能性も指摘されている）[3]～[7]．

情報通信機器のディスプレイ画像には，個人の認証IDなどの貴重な情報が表示される場合があるが，第三者が検知した際にその痕跡が残らないため，情報を盗まれた側がその漏えいに気付かない可能性が高い．比較的簡易な受信装置を用いて，情報通信機器のディスプレイ画像を再生することも可能であるため，情報セキュリティ上の重大な脅威となり得る．一方，ディスプレイ画像情報だけではなく，オペレータのキーボード打鍵情報[6]，プリンタケーブルからの

†1　日本電信電話株式会社NTT環境エネルギー研究所，武蔵野市
NTT Energy and Environment Systems Laboratories, NTT Corporation, Musashino-shi, Tokyo, 180-8585 Japan
†2　日本電信電話株式会社研究企画部門，東京都
NTT Research and Development Planning Department, NTT Corporation, Tokyo, 100-8116 Japan
*　現在，NTTファシリティーズ株式会社研究開発部，東京都
R&D Headquarters, NTT Facilities. Inc., Tokyo, 108-0023 Japan

印字情報［8］などのディスプレイ画像以外の情報取得も可能であるとの検証結果も報告されている．しかしながら，これらの漏えい信号の放射レベルは相対的に弱く，かつ一過性の事象のため検知が容易ではないことから，ディスプレイ画像の盗聴問題が情報セキュリティ上の主要課題となる．こうした技術的な背景を踏まえて，日本国内外において，本課題に関連する情報セキュリティ規格・ガイドラインへの取組みや［9］～［11］，ディスプレイ・モニタ画面上での文字識別性を低下させるソフトウェア処理［12］などの新たな対策方式が提案されている状況である．

本論文では，放射電磁波による情報通信機器のディスプレイ画像情報・漏えい問題の概要と対策技術を述べる．まず2章では，情報通信機器からの放射電磁波が盗聴問題を引き起こす基本原理を概観するとともに，電磁シールドや電磁ノイズフィルタなどの従来の対策方法を解説する．続いて，3章では，情報が含まれる放射電磁波をマスキングする新たな対策手法［13］～［15］並びにその適用例を紹介する．最後に4章では，全体を総括し，今後の方向性を展望する．

2. 放射電磁波を介した情報通信機器のセキュリティ問題

2.1 電磁波を介した情報漏えい問題

情報通信機器から意図せずに放射される電磁波は，機器内部または機器間を結ぶインタフェース中の電気信号から生成され，その電磁波は機器の内部情報を含む場合がある．既知の情報インタフェースであれば，情報を含む放射電磁波を受信することで，元の情報そのものを再生することが可能となる．

とりわけ，情報通信機器のディスプレイ画像については，①ディスプレイ・モニタや周辺ケーブルなどの多様な箇所が，情報を含んだ電磁波の放射源となり得る（図1），②ビデオ解像度規格に沿った一定の周期パターンで，情報を含む電磁波が繰り返し放射される，などの理由により，情報の再生が比較的容易であると考えられる．

ビデオ解像度規格の代表的な画面モードには，VGA，SVGA，XGAなどがあり，これらはすべて走査線に沿ってピクセル（あるいは画素）と呼ばれる単位で画像表示される．画像インタフェースとしては，輝度信号（RGB信号）と走査線のタイミング情報となる水平・垂直同期信号を含み，画像解像度に応じたタイミング（ドットクロック周波数）を元に画像フレームの描画が繰り返される．したがって，情報通信機器から放射される電磁波より，輝度信号や水平・垂直同期信号の変動パターンを解読・判定する方法により，ディスプレイ画像情報を復元することが原理的に可能となる．なお，同一の画像解像度規格条件であっても，情報通信機器内部で処理されるドットクロック周波数は，機器ごとに微妙に異なる．このため，盗聴受信機側において，傍受信号の周期を調整することで，複数の機器が並べて設置されているケースでも，切り分けてディスプレイ画像情報を再生できることになる．

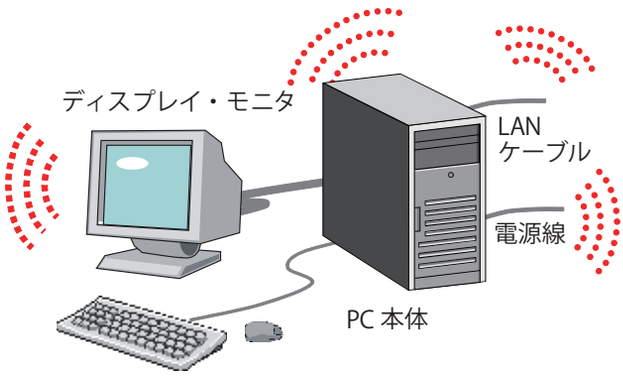


図1　PCからの漏えい信号の放射イメージ

ところで，PCなどの情報通信機器から放射される電磁波は，広い周波数成分を有し，ディスプレイ画像信号だけでなく，様々な不要信号成分を含んでいる．ここで，ある市販PCからの放射電磁波の周波数スペクトル測定例を図2に示す（画像解像度規格＝XGA，ドットクロック周波数＝65 MHz，アンテナとPCの距離＝3 m）．同図において，★は，ディスプレイ画像信号が重畳されていることが確認された周波数ポイント例に対応しており，390 MHz付近については，その周辺を拡大した例を図中に示した．本測定例より，対象とした周波数範囲において，ドットクロック周波数の高調波倍（元信号の整数倍）に対応している複数位置にピークポイントが観測されることが確認できる．また，本測定例では，ディスプレイ画像信号は5 MHz程度以上の帯域を占めており，良好な画像再生を実現するためには，一定の帯域をカバーするように受信機を設定する必要があることなども分かる．

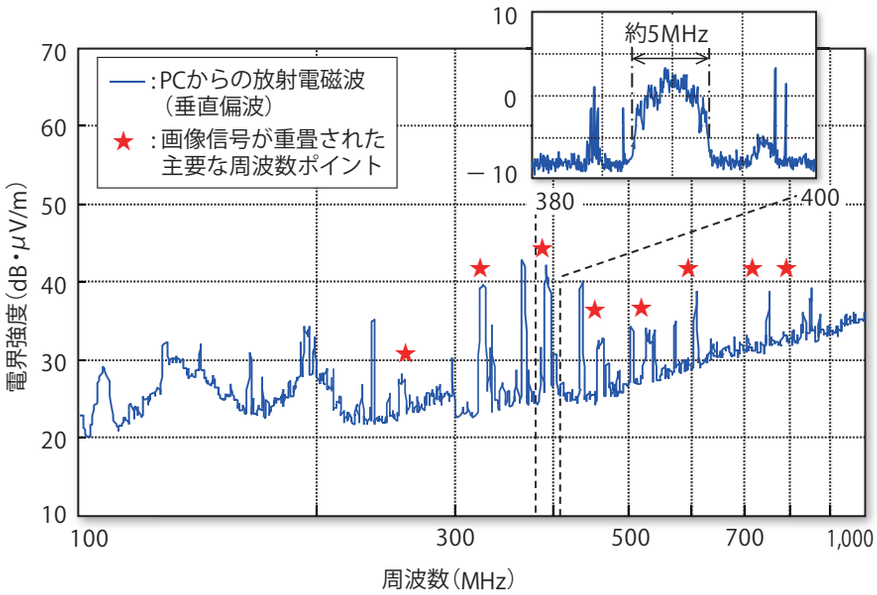


図 2　PC からの放射電磁波スペクトルの測定例

2.2　従来の対策技術

情報通信機器のディスプレイ画像には，一般の個人情報だけではなく，各種の認証 ID などの機密情報が表示される場合があることから，情報漏えい防止のための対策法の確立が望まれている．これまでに実現されている主な対策技術としては，以下のようなものが挙げられる．

(1) 電磁シールドによる放射電磁波の低減

まず，第 1 に考えられる対策法は，情報通信機器のきょう体そのものに電磁シールドを施すか，あるいは電磁シールドルームに情報通信機器を設置し，放射電磁波を低減させる方法である[16]．こうした遮へい技術によって，確実に放射電磁波を低減させることが可能であるが，対策コストがかかる点が最大の課題である．また，情報を伝達するためのインタフェースケーブルの出入りがある場合には，ケーブルに起因する外部への信号漏えいの有無をチェックする必要がある．

(2) ノイズフィルタの設置

情報通信機器に接続される各種のインタフェースケーブル（通信線，電源線など）に漏えい信号を減衰させるフィルタを挿入する方法により，放射電磁波のレベルを低減することが可能となる．しかしこの方法では，そもそもインタフェースケーブルで接続されるものしか対策できない．例えば，デスクトップ PC とディスプレイ間ではケーブルが存在するが，ノート PC など機器が一体化したものでは適用できない．また，情報が含まれる放射電磁波は，インタフェースケーブルからだけでなく，情報通信機器本体やディスプレイ・モニタからも放射されるという問題がある．

(3) 対策フォントの使用

ディスプレイ画像の情報漏えいを抑制する手法として，受信再生された文字情報が視覚的に識別しにくい対策フォントが提案されている[12]．ソフトウェア処理により比較的簡易に対策が実現できる反面，絵図などへの適用上の制約がある．

(4) 電磁波（虚偽信号）を用いた漏えい情報のマスキング法

漏えい情報が含まれる元の放射電磁波より強い電磁波（虚偽信号）でマスキングする手法が挙げられる．本手法は，情報を含まない虚偽信号を用いて情報を含む元信号の検出を困難にするものであり，比較的簡易な装置で実現できるが，単にランダムな信号パターンを挿入するなどの対策信号の生成法では十分な効果は得られない．すなわち，ランダムな虚偽信号の発生により，受信機の SN 比を悪くすることは可能であるが，受信信号（あるいは，再生画像情報）を一定間隔で時間平均化する処理法により，非周期的なノイズ成分を抑制し，画像信号が解読される可能性がある．したがって，漏えい防止効果を得るためには，漏えい情報を効率的にマスキングする虚偽信号の生成法が重要なポイントとなる．

以上の各手法については，対策効果，適用性，コストなどの違いがあり，情報漏えい防止の対策向けに導

入する際には，総合的な観点から選択する必要がある．次章では，上記（4）の技術をベースとする新たなディスプレイ画像情報の防止技術を紹介する．

3. 虚偽信号生成による情報漏えい防止技術

3.1　虚偽信号の生成原理

2.2 節で示したように，漏えい情報が含まれる元の放射電磁波のマスキング手法を用いる場合，その虚偽信号の生成法は重要なポイントとなる．単にランダムな変動パターンの信号を生成・重畳するだけでは，情報通信機器からの放射電磁波（あるいは，再生画像情報）を平均化処理する方法により，容易に解読される可能性がある．

そこで，情報漏えいを効果的に防止する手法として，ディスプレイ画像情報が含まれる放射電磁波のかく乱時に，対策対象となる情報通信機器のドットクロックと同期処理を施す方式が考えられる．ここで，情報通信機器内部で処理されるドットクロック信号（輝度信号列）は，設定した画像解像度規格だけでなく，機器ごとに微妙に異なることから，情報漏えい防止のための虚偽信号生成に際しては，防止対象とする機器より直接的に同期パターンを取得する必要がある．

さて，情報通信機器のドットクロック信号を外部装置へ抽出する際には，一般的な外部映像端子の利用が考えられる．ここで，ある市販 PC の映像端子からの出力映像信号の例を図 3 に示す．同図より，映像再生に必要な水平同期信号の周期区内にドットクロック信号が生成されていることが確認される．情報漏えい防止のための虚偽信号の生成時には，このドットクロック信号パターンを直接抽出する．

なお，情報通信機器のドットクロック信号に同期した虚偽信号の生成に際しては，漏えい情報を含む放射電磁波のマスキング効果改善の観点より，元のドットクロックの時間変動パターンに対して，N 倍周期化処理を施したり，あるいは，特定の信号パターンに同期させた変調処理を付加する方式も考えられる．

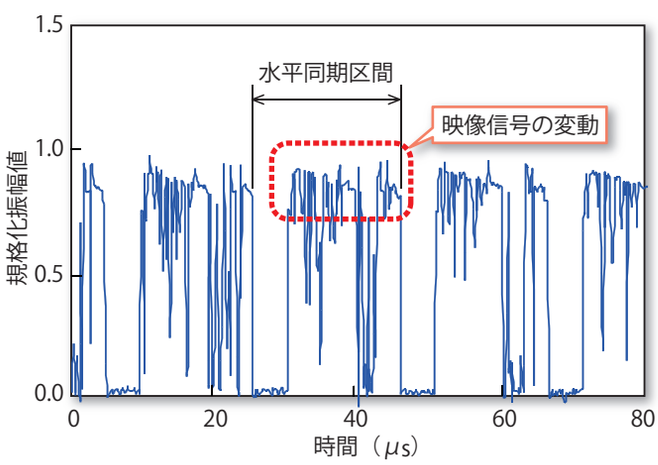


図 3　PC からの漏えい信号の放射イメージ

3.2　プロトタイプによる評価例

本節では，一般的に市販されている PC のディスプレイ画像情報の漏えい防止を目的とした対策装置の実装評価例を紹介する．ここで，本対策装置の処理フローを説明するための構成ブロック図を図 4 に示す．試作したプロトタイプでは，まず PC の外部映像端子よりドットクロック信号を抽出し，その同期信号（擬似クロック信号）を生成する．次に擬似クロック信号をベースに画像情報の漏えいを抑制するための効果を付加した虚偽信号（対策用マスキング信号）を生成する．試作したプロトタイプでは，対策用マスキング信号を外部映像端子経由で PC 内の内部回路に印加し，PC 内部回路より放射漏えいするしくみをとる．本方法により，抑制対象とする放射信号に同期した対策用マスキング信号が重畳されるため，効率的な漏えい防止効果を期待することができる．図 5 は，本手法による対策効果を説明するための図であり，PC から放射される放射電磁波に対して，対策用マスキング信号を重畳させる方法により，ディスプレイ画像情報の再生が困難になるイメージを示している．ここで本手法において，対策用マスキング信号は PC のドットクロック信号と同期しているが，ディスプレイ画像情報の変動パターンを有しておらず，放射電磁波を介した

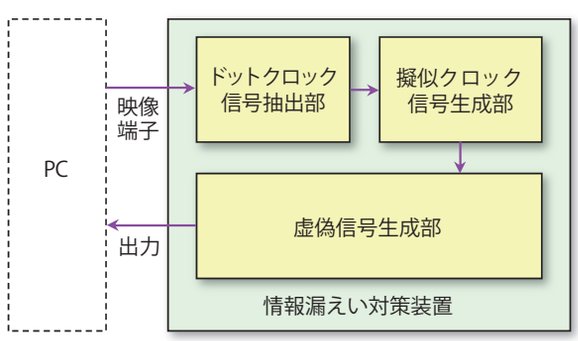


図 4　情報漏えい対策装置のブロック図

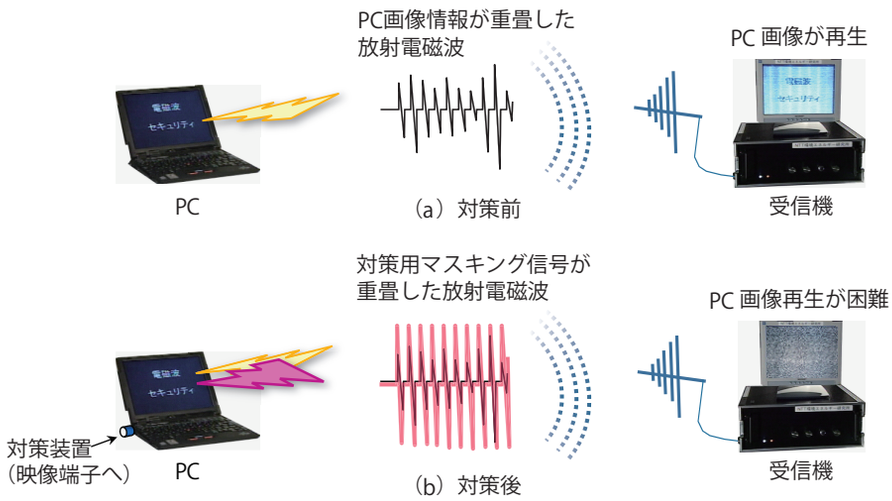


図 5　電磁波を用いた漏えい情報のマスキング対策イメージ

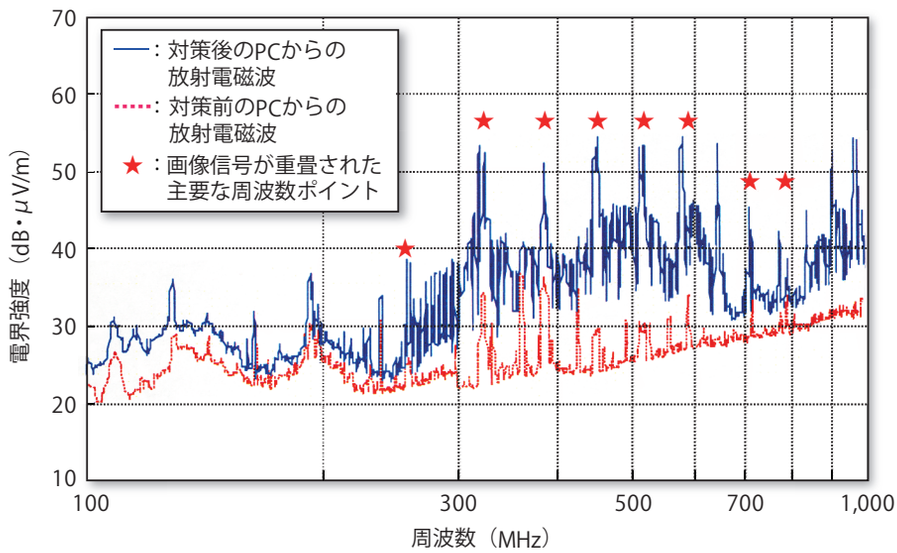


図 6　プロトタイプ適用時の放射電磁波の周波数スペクトル測定例

情報漏えいの危険が増すことはない．

ここで，図 2 の測定時に利用した PC に対して，本プロトタイプを適用した際の放射電磁波の周波数スペクトル測定例を図 6 に示す（PC とアンテナの測定距離 = 3 m）．同図において，★は，ディスプレイ画像信号が重畳されていることが確認された周波数ポイント例に対応しており，広い周波数範囲にわたって，15 dB 以上のレベル差でマスキング信号が重畳されていることが分かる．

次に，対象とする PC ディスプレイ上において複数文字サイズが表示されたサンプル画像（元画像）を図 7 に，映像再生・受信機（対象周波数 = 300 MHz 帯，分解能帯域幅 = 8 MHz）による再生画像（対策前）と本プロトタイプ適用時の再生画像（対策後）を図 8 (a)，(b) に示す．ここで，図 8 では，画像解像度規格 XGA に対して，各々，受信機側において再生画像の単純加算による平均化処理を実施（加算回数 = 32）した例に対応している．図 8 より，対策装置を施さない場合は，PC からの放射電磁波を元にディスプレイ画像が再生できているのに対して，対策装置の装着後は，画像情報が認識できないことが分かる．

すなわち，本例は，対策用マスキング信号が，情報が含まれる漏えい信号を効率的にかく乱していることを示すものであり，周波数スペクトルの観測結果（図 6）を裏付けるように，PC ディスプレイ情報が解読できない結果となった．なお，対策用マスキング信号の出力レベルについては，実際の対策効果を検証しながら調整し，周囲の電磁干渉源とならないように，情報通信機器の放射レベル規制（国内 VCCI 自主規制 [17] など）を遵守していく必要がある．

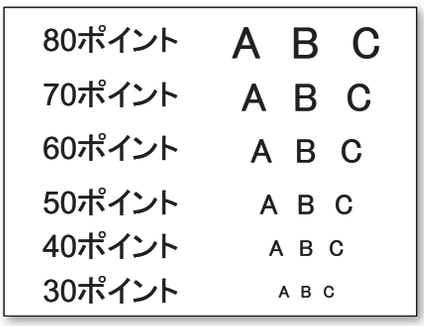


図 7　PC 画面上の表示元画像

（a）対策前

（b）対策後

図 8　TEMPEST 受信機による再生画像

3.3　対策効果の検証法

以上で示した情報漏えい対策法については，対象とする情報通信機器や設置場所の電磁環境に応じて，対策用マスキング信号の放射手法や出力レベルなどを選択・調整し，その実際の効果を検証することになる．ここで，対策効果の検証法は，情報通信機器からの漏えい信号そのものを評価対象とする方法と再生受信画像を評価対象とする方法に大別される．

(1) 漏えい信号による評価

情報通信機器のディスプレイ画像の再生レベルは，情報が重畳された周波数ポイント上の漏えい信号強度にかかわってくる．したがって，対策効果の検証に際しては，対策前後において，観測される周波数スペクトルの相対強度（SN 比）をチェックすることで，一定の評価指針を得ることができる．この際，再生される受信画像と SN 比との相関性を評価する必要があるが，その場合には，観測対象とする周波数ポイントにおいて一定の帯域幅を考慮することになる．また，単に周波数スペクトルの相対強度を比較するのではなく，対象周波数区間のチャネル容量などのパラメータを評価する方法［18］や評価用画像の RGB 信号の変動量に着目した評価法［19］なども提案されている．

(2) 再生画像による評価

情報通信機器のディスプレイ画像の漏えい対策効果の検証に際しては，再生された画像情報を対象とした評価が重要である．ここで，対策前後の再生画像の評価法としては，客観評価法と主観評価法に大別される（関連技術の文献例［20］）．前者では，画素単位での輝度情報の変動量などを比較検証する方法が考えられるが，多様な文字種別や文字サイズなどの複雑な条件を考慮するためには，実際の人間による主観評価法を実施し，両者の相関性を定量化しておくことが望ましい．

なお，一般環境では，様々な電磁波源による放射電磁波（周波数スペクトル）の揺らぎや周辺物体との反射等々が測定精度のかく乱要因となり得る．したがって，対策効果の検証に際しては，適用環境だけではなく，外部と電磁気的に遮断された環境下（電波暗室など）での実施が求められる．

4. む　す　び

本論文では，PC などの情報通信機器からの放射電磁波による情報漏えい問題の概要とその対策法について解説した．その中では，情報通信機器のディスプレイ画像情報の盗聴問題を重点的に扱うとともに，マスキング信号をベースとする対策装置（プロトタイプ）の概要と評価例を示した．

冒頭に述べたように，本問題は，第三者が不正取得した際にその痕跡が残らないため，情報を盗まれた側がその漏えいに気付かない可能性が高い．本テーマについては，効果的な対策技術の確立だけではなく，その対策法の定量化の検討が今後の重要な課題になると考えられる．

文　献

［1］ R. Lehtinen, H. Hecht, D. Russell, and G. T. Gangemi, Computer Security Basics, 2nd Ed., Oreilly & Associates Inc., June 2006.

［2］ W. van Eck, "Electromagnetic radiation from video display units : An eavesdropping risk ? ," Comput. & Secur., vol. 4, pp. 269-286, 1985.

［3］ National Security Agency, "TEMPEST fundamentals," NACSIM 5000, Feb.1982. http : //cryptome.org/nacsim-5000.htm

［4］ National Security Agency, "Specification for shielded enclosures," Specification NSA, No. 94-106, Oct. 1994. http : //cryptome.org/nsa-94-106.htm

［5］ United States Department of Defense, "Red/Black engineering-installation guidelines," MIL-HDBK-232A, 1987.

［6］ M. G. Kuhn and R. J. Anderson, "Soft Tempest : Hidden data transmission using electromagnetic emanations," Information Hiding 1998, Lect. Note on Comput. Sci., vol. 1525, pp. 124-142, 1998.

［7］ M. G. Kuhn, "Compromising emanations : Eavesdropping risks of computer displays," Univ. of Cambridge (Computer Laboratory) Technical Report, UCAM-CL-TR-577, ISSN 1476-2986, Dec. 2003.

［8］ T. Tosaka, K. Taira, Y. Yamanaka, K. Fukunaga, A. Nishikawa, and M. Hattori, "Reconstruction of printed image using electromagnetic disturbance from laser printer," IEICE Trans. Commun., vol. E90-B, no.3, pp.711-715, March 2007.

［9］ 新情報セキュリティ技術研究会（Information Security Technology Study Group）,"電磁波セキュリティガイドライン ," Oct. 2004. http : //www.j-netcom.co.jp/ist/index.html

［10］ JIS 規格 JIS Q 27001,"情報技術―セキュリティ技術―情報セキュリティマネジメントシステム―要求事項," 2006.

［11］ ITU-T SG5, "Draft text of K.leakage : Test method and requirements against information leak through unintentional EM emission," TD 687, Feb. 2008.

［12］ H. Tanaka, O. Takizawa, and A. Yamamura, "Evaluation and improvement of the tempest fonts," Proc. 5th Int. Workshop (WISA 2004), Korea, pp.457-469, Aug. 2004.

［13］ 馬杉正男，中村尚倫，田島公博，山根　宏，富永哲欣，佐尾政春，"情報通信端末からの不要電磁波による情報漏洩防止技術の検討，" 2006 信学ソ大，B-4-1，Sept. 2006.

［14］ 鈴木康直，馬杉正男，山根　宏，田島公博，"PC から放射される電磁波による情報漏洩による対策技術，" 平 20 電学全大，S2-8, March 2008.

［15］ Y. Suzuki, R. Kobayashi, M. Masugi, K. Tajima, and H. Yamane, "Development of countermeasure device to prevent leakage of information caused by unintentional PC display emanations," Proc. EUROEM 2008, Lausanne, Switzerland, p16, July 2008.

［16］ 佐尾政春，馬杉正男，富永哲欣，山根　宏，"電磁波セキュリティ対策用電磁波シールドバウルトの構築，" 2005 信学ソ大，B-4-6，Sept. 2005.

［17］ http : //www.vcci.or.jp/

［18］ H. Tanaka, "Evaluation of information leakage via electromagnetic emanation and effectiveness of Tempest," IEICE Trans. Inf. & Syst., vol. E91-D, no.5, pp.1439-1446, May 2008.

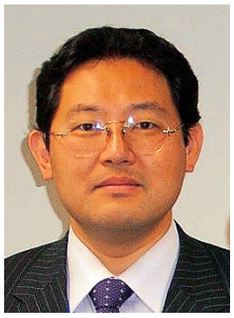
［19］ 関口秀紀，"PC から放射される電磁波に含まれる表示画像信号の測定と表示画像の情報漏えい評価，" 信学論（B），vol.J91-B，no.11，pp.1477-1483，Nov. 2008.

［20］ 杉本　修，川田亮一，"VQEG（Video Quality Experts Group）の動向と関連技術，" Fundam. Rev., vol. 1, no. 3, pp.27-36, Jan. 2008.

（平成 21 年 2 月 4 日受付，3 月 18 日再受付）

馬杉正男（正員）

昭 62 慶大・理工・電気卒．平元同大学大学院・修士課程了．同年日本電信電話株式会社電気通信研究所入所．以降，EMC 領域の信号計測処理法，通信システムの性能品質評価法，IP トラヒックの非線形解析などの研究開発に従事．平 3 電気学会論文発表賞受賞．工博．



鈴木康直（正員）

昭 63 東北大・理・物理卒．平 2 同大学大学院・修士課程了．同年日本電信電話株式会社電気通信研究所入所．以降，WDM 光アクセス系ネットワーク技術，EMC ノイズ対策技術，電磁波セキュリティ問題，電磁波を用いた人体センシング技術などの研究開発に従事．

山根　宏（正員）

昭 55 茨城大・工・電気卒．同年日本電信電話公社電気通信研究所入所．以降，通信システムの雷サージ対策技術，EMC 過電圧問題に対する接地及びシールド対策技術，電子機器からの放射妨害波規制対策問題などの研究開発に従事．平 15 渋沢賞受賞．工博．平 21-07 より，NTT ファシリティーズ株式会社担当部長．

田島公博（正員）

昭 61 熊本大・工・電子卒．平元同大学大学院・修士課程了．同年日本電信電話株式会社電気通信研究所入所．光変調器を用いた電磁界計測法，EMC ノイズ対策技術，赤外線を用いた移動通信システムなどの研究開発に従事．平 20-07 より，NTT 研究企画部門担当部長．

解説

建築におけるシールド技術を用いた電磁波セキュリティ対策法

澁谷紳一 Shinichi Shibuya 清水建設株式会社技術研究所

1. まえがき

我が国では，情報通信技術（ICT）による産業・社会構造の変革の推進に向けて，2001年1月より，「高度情報通信ネットワーク社会形成基本法（e-Japan計画）」に基づいて「高度情報通信ネットワーク社会」を目指した取組みが進められてきた．

その結果，「いつでも，どこでも，だれとでも，どんなものとでも」通信可能にするユビキタスネットワーク社会に向けて高度情報通信機器が有線から無線へと変革している．なかでも，電話機の発展は著しく各家庭に設置されている固定電話（有線）がコードレスホンへ，更に，個人個人が所有する携帯電話，PHSに取って代わってきた．2000年度に携帯電話などの加入契約数が固定電話の加入契約数を上回り，2007年度末には，携帯電話などの加入契約数が固定電話の加入契約数の約2倍の規模に達した．2008年8月末時点で携帯電話・PHS合わせて約1億900万台を超える加入数となっている［1］．

また，この高度情報化社会への進展とともに，コンピュータとネットワークが急速に進化してきた．コンピュータは，高速化・高機能化するとともにダウンサイジングでワークステーションが急速に普及し，高機能パーソナルコンピュータの値下げ競争と相まって企業・学校・個人向けに大量に流通している．その結果，オフィスや研究施設などでは一人1台のワークステーションやパーソナルコンピュータを所有し，施設内のネットワークに接続してデータなどの共有化が進んでいる．

このような状況のもとで，LAN（Local Area Network）の構築が，諸官庁をはじめオフィス，研究所，学校，病院，工場，倉庫などで急速な広がりを見せている．最近では，家庭内においても家族一人一人がパーソナルコンピュータを所有し，家庭内LANも広まってきた．更に，今までの有線LANが，企業内の組織変更などに伴うレイアウトの変更に柔軟に対応するため，あるいはパーソナルコンピュータなどの端末機器の使用を自分の席だけでなく会議室や打合せ室などでも行えるような移動性を考慮した無線LANの普及も広まってきた．我々のあらゆる生活空間，建築空間の中にコンピュータや通信機器をはじめとするエレクトロニクス機器を利用することにより，ますます快適で便利になっている．

一方，こうした状況の下，電磁波を介した新たな情報セキュリティ問題が注目されている．本テーマは，電磁波を介した情報漏えい問題や情報通信機器の障害発生問題に関するものであり，従来のEMC（ElectroMagnetic Compatibility）規格を遵守するだけでは必ずしも対処できない点が課題となっている．本稿では，近年，顕在化しつつある電磁波セキュリティ問題に対して，建築シールド技術を用いた対策技術の概要と実際の設計・施工フローなどについて述べる．

2. 情報化社会がもたらす新たな問題

有線から無線へと利便性を享受した情報化社会，パーソナルコンピュータ，携帯電話などの各種情報機器を利用したディジタル・情報化社会に移行していく中で，コンピュータなどの通信機器をはじめとするエレクトロニクスやネットワークを取り巻く環境はますます複雑化し，いろいろな問題が起こっていることを認識しなければならない．

ここで，本稿が対象とする電磁波セキュリティ問題のイメージ図を図 1 に示す．本課題は，(1) 電磁波を介した情報漏えい問題と (2) 外部からの電磁波による情報通信機器の障害発生問題，に大別される．以下では，各課題について概説する．

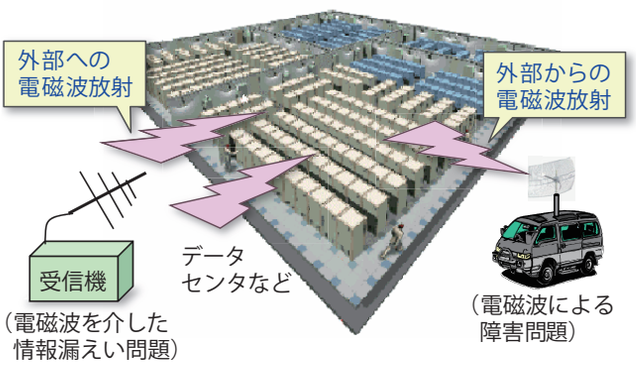


図 1　電磁波セキュリティ問題のイメージ図

2.1　電磁波を介した情報漏えい問題

電磁波セキュリティ問題として，まず情報漏えいの問題が挙げられる．2003 年春，個人情報保護法が成立し，情報漏えい問題への関心が高まっている．多くの企業や団体において，顧客名簿や人事情報といった個人情報だけでなく，新製品の企画や中長期の事業計画，製品原価や経理関係といった様々な「重要情報」が存在している．また，これらの情報を効率良く利用するため，コンピュータシステムにデータを格納し，適切なアクセス権を付与した上で，システム上で共有するケースが多く見られる．

2004 年以降，ファイル交換ソフト Winny の利用者のパーソナルコンピュータ内に保存されていた情報が，Winny を介してネットワーク上に流出する事件が頻発し，社会問題化した．モバイル形パーソナルコンピュータの盗難やメディアの紛失，無線 POS（Point of Sale）レジからの情報漏えいなど，ここ数年にマスコミに報じられた個人情報漏えいにかかわる事件は後を絶たない．

また，無線システムから発射される電波（電磁波）をとらえ，広帯域受信機で音声に復調させることで容易に情報が取得できる．例えば，家庭内や企業内で使用している無線電話機（アナログ形式）で，親機のアンテナを通して子機での通話，あるいは，親機と子機との通話などは広帯域受信機などで聞くことが可能である．また，劇場，舞台や会社の大会議室などで使用されているワイヤレスマイクロホンは比較的簡単に外部でも受信できる．

800 MHz 帯 B 形ハンド形ワイヤレスマイクロホンから放射される電波強度（電界強度）の 10 m ごとの測定例を図 2 に示す．同図より，ワイヤレスマイクロホン近傍での電界強度は 90 dB・μV/m 程度であるが，100 m 離れた場所でも，60 dB・μV/m 程度の強度であり，第三者により，傍受される可能性があることが分かる．

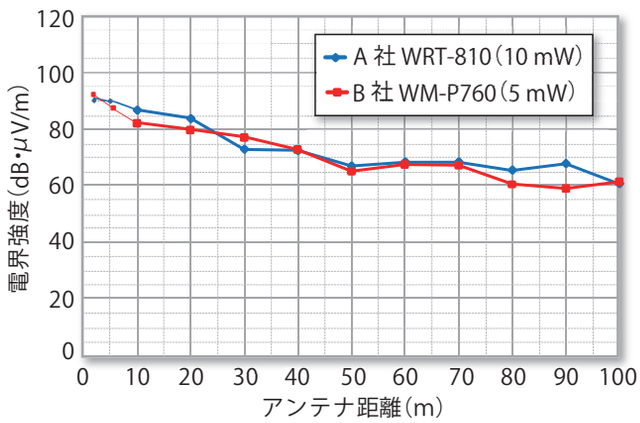


図 2　ワイヤレスマイクロホンから放射される電界強度の測定例

更に，モバイルコンピュータの発展とともに，建物内で無線 LAN を使用する企業も増えてきた．これらの建物内に設置された無線 LAN のアクセスポイント（AP）から放射されている電波は街中にあふれている．ここで，無線 LAN の解析ソフトを導入したモバイル形パーソナルコンピュータにより，東京・大手町付近での無線 LAN の各チャネルごとの電波の解析例を図 3 に示す．2.45 GHz 帯の無線 LAN である「IEEE802.11 b/g」の電波がチャ

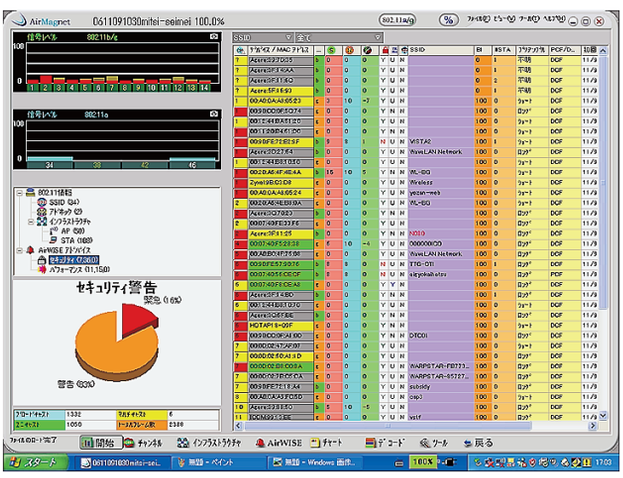


図 3　無線 LAN の電波解析結果

ネル 1 ～ 14 まで検索され，5.2 GHz 帯の無線 LAN である「IEEE802.11a」もときどき検索された．ここで注目すべき点としては，本解析ソフトが MAC（Media Access Control）アドレス，セキュリティ方式，TKIP/MIC（Temporal Key Integrity Protocol/Message Integrity Code）のセキュリティ設定の有無や SSID（Service Set Identifier）を表示する機能を有し，セキュリティ設定がされていない AP にアクセスすることが簡単にできてしまう可能性があるということである．また，パーソナルコンピュータや CRT 画面からの意図せずに放出されている電磁波を意図的に盗聴（受信）し，解析して情報を再現する TEMPEST 問題［2］なども知られており，信号計測処理技術の進歩とともに，電磁波を介した情報漏えい問題は，深刻化する方向にある．

2.2　外部からの電磁波による情報通信機器の障害発生問題

一方，空間に放射された強力な電磁波は，情報通信機器の障害源になる可能性がある．まず，故意に送信される強力な電磁波で情報機器を誤作動あるいは破壊などを引き起こす目的として行われることがある．また故意にではないが，電波法に違反する強力な CB（Citizen's Band）無線送信機を搭載した車からの電磁波によって情報機器が誤作動したり，破壊されることがある［3］．ここで，東京都心において，30 ～ 300 MHz 帯の電磁環境の実測例を図 4 に示す．同図より，複数の周波数ポイントに無線放送電波に起因する周波数ピーク値が観測されるが，とりわけ，CB 無線に関しては，120 dB・μV/m 以上の強度となっており，情報通信機器の障害要因となり得ることが分かる．

以上のような電磁波セキュリティ問題に対して，情報通信機器や建物での対策が必要となる．まず，電磁波対策用のフィルタの利用などを含めた機器側の対策も考えられるが，その効果は必ずしも十分といえない．したがって，建物側での対策の重要性がより高まっている．そこで，次章では，情報通信機器から放射される電磁波の外部への漏えいの防止，更には，外部環境からの強力な電磁波への対策という観点より，建築シールド技術を用いた対策技術を紹介する．

3. 建築空間における電磁波シールド技術

電磁波シールド技術とは，導電性の高い材料，例えば，金属製の材料を用いる方法により，外部への電磁波漏えいの抑制，あるいは，外部からの電磁波の内部への侵入抑制を実現するものである．シールド設計・施工に際しては，影響を受ける情報通信機器，建築物の内外の電磁環境，更には，用途目的を考慮して，実際の作業を進めていく必要がある．本章では，建物に関する電磁波シールド技術の基本から設計・施工フローについて概説する．

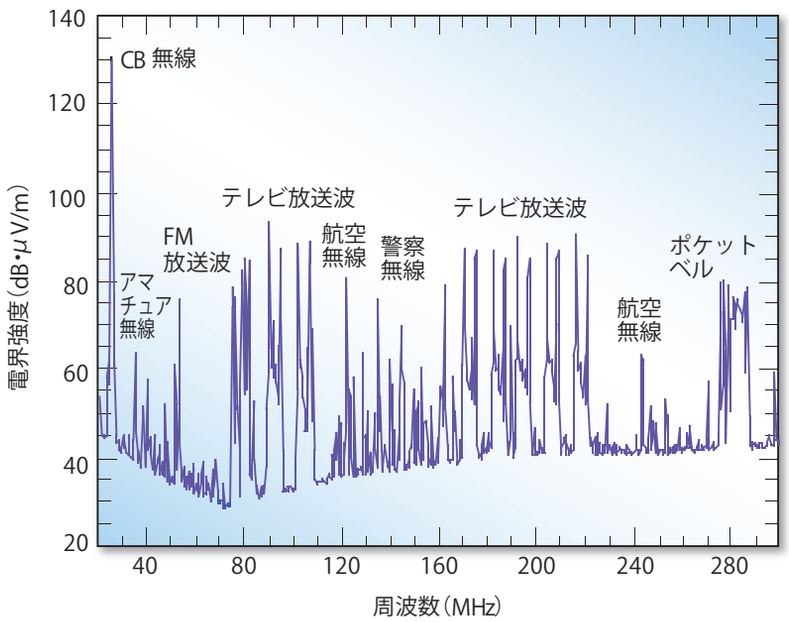


図 4　都心の街中における電波強度測定結果例（30 ～ 300 MHz）

3.1　建物空間における電磁波シールド技術の考え方

建物の電磁波シールドを考える際には，電磁波の遮へいや透過などの課題を考慮する必要がある．まず電磁波の遮へいについては，建物内外壁に電磁波シールド材を用いる方法により，外部への電磁波漏えい，あるいは侵入を抑制する．電磁波の透過に関しては，窓などの外部との開口部に電磁波シールドガラスを用いるなどして，光を通しながらかつ，電磁波の透過を減衰させる設計を行う．以上に関して，情報セキュリティ対策を考慮したインテリジェントビルの概念図を図 5 に示す．本例では，業務オフィスの快適さに配慮しながら，電磁波セキュリティ対策を施す際のポイントを整理している．

続いて，実際に建物の電磁波シールドを施す範囲を示すイメージ図を図 6 に示す．同図は，オフィスビルやインターネットデータセンター（IDC）のようにビル全体を電磁波シールドする場合，あるいはテナントビル内の中間階に，コンピュータセンターが設置された金融機関が入居したようなケースで，その 1 フロアやある一部屋に電磁波シールドを施す場合を示したものである．

この際には，例えば，①オフィスビルで上層階にあ

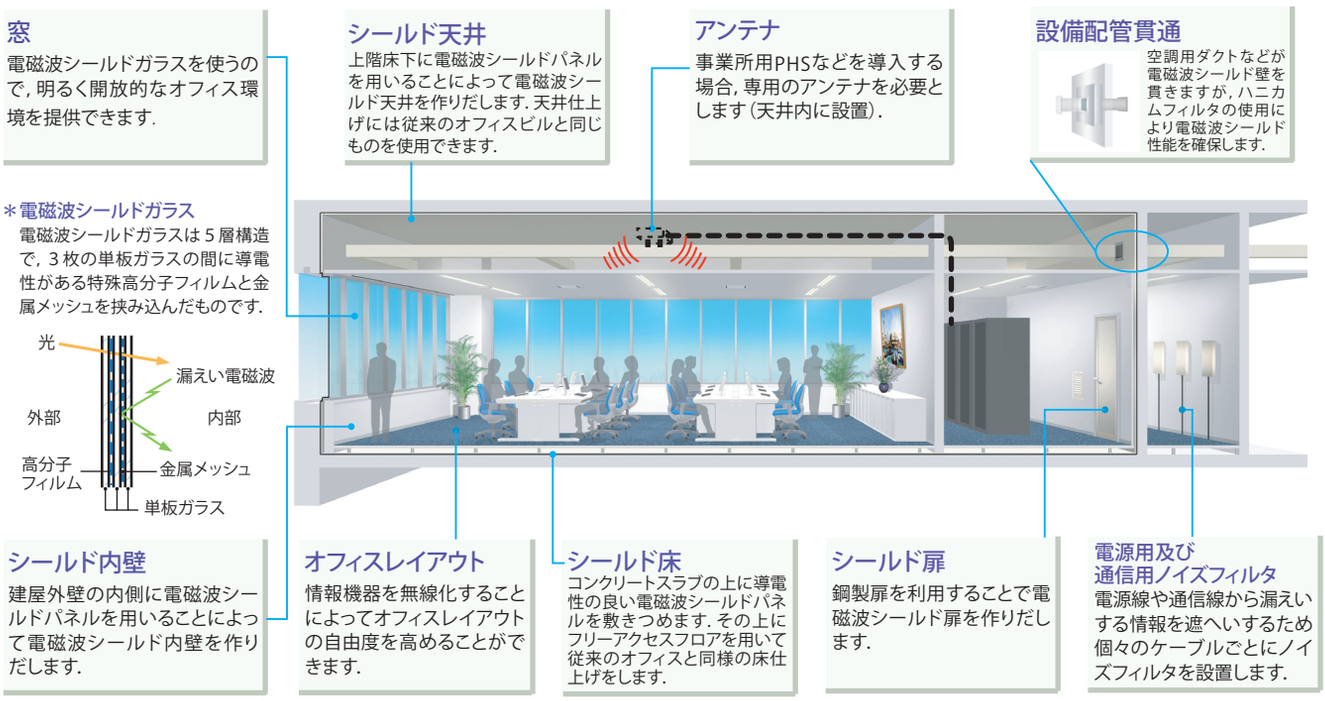


図 5　情報セキュリティ対策を考慮したサイバービルの概念図

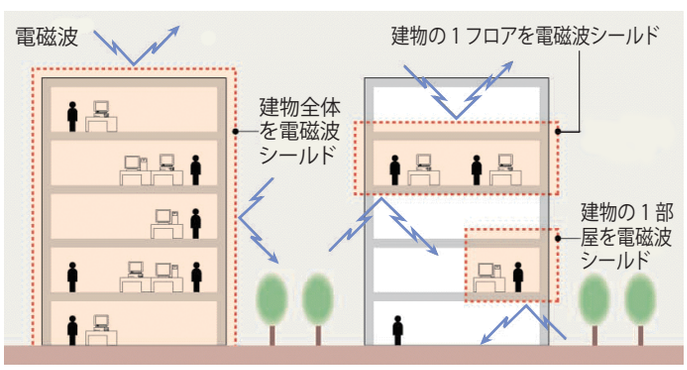


図 6　建物の電磁波シールドを施す範囲

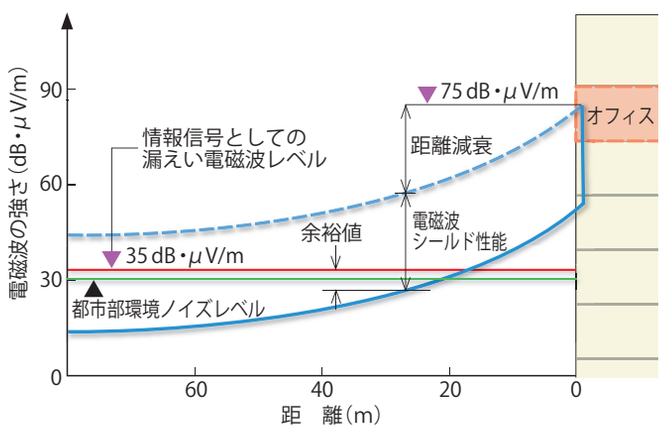


図 7　無線 LAN 盗聴防止リスク低減のためのシールドによるセキュリティ対策法の考え方

る役員会議室で使用するワイヤレスマイクロホンからの漏えい電磁波を外部（道路を隔てた歩道上）で傍受できないようにする，②オフィスビルの一般階で使用する無線 LAN の電波を 20 m 離れた隣のビルで傍受できないようにする，など目的を明確にしておくことが重要である．ある程度の設定条件（仮定でも可）が明確にならないと，電磁波シールドのレベルを設定できないことになってしまう．

更に，無線 LAN 盗聴防止リスク低減のためのシールド設計時の評価例を図 7 に示す．ここで，図中の点線の放物線はオフィス内に電磁波シールドを施さない条件下で，電磁波が自由空間を伝搬する際の減衰曲線を示す．また，実線の放物線は電磁波シールドを施した場合の電磁波の減衰曲線を示す．図 7 は，オフィスビルから 50 m 離れた位置において都市部環境ノイズレベル（＝30dB・μV/m）より多少，裕度（＝10～15 dB・μV/m）を持たせ，電磁波シールド性能を 30 dB・μV/m と設定した例に対応している（参考資料例［4］，［5］）．

ここで，各種目的別の電磁波シールドの要求レベル例を表 1 に示す．同表が示すように，対象とする目的に応じて，電磁波シールドの性能レベルには差があり，情報通信機器の混信防止では，15 ～ 20 dB 程度のシールド性能を目標とするのに対して，情報漏えいの防止や検査機器の誤作動防止（計測室など）の対策に際しては，60 dB 以上の電磁波シールド性能が必要となることなどが分かる．

表 1　目的別の電磁波シールドの要求レベル例

電磁波シールド性能（dB）	主たる目的
15 ～ 20	・情報通信機器の混信防止 ・無線システムの有効利用 ・ワイヤレスマイクロホンの混信防止
30	・情報機器の誤作動防止 ・情報漏えいの防止 ・ワイヤレスマイクロホンの混信防止
40	・情報漏えいの防止（重要施設）
60 ～ 100	・情報漏えいの防止（最重要施設） ・検査機器の誤作動防止（計測室など）

3.2　電磁波シールドの計画・設計・施工・性能測定までの基本フロー

シールド技術による電磁波セキュリティ対策法の計画・設計・施工・性能測定までの一連のフローを図 8 に示す．まず，電磁波シールド施工に際しては，建物周辺の電磁環境の計測，漏えい電磁波の出力レベルの確認を行う．本例では，漏えい電磁波レベル ELL（ElectroMagnetic Leakage Level）が環境ノイズレベル ENL（Environment Noise Level）を上回る場合について述べる．当該建物の敷地外での漏えい電磁波による

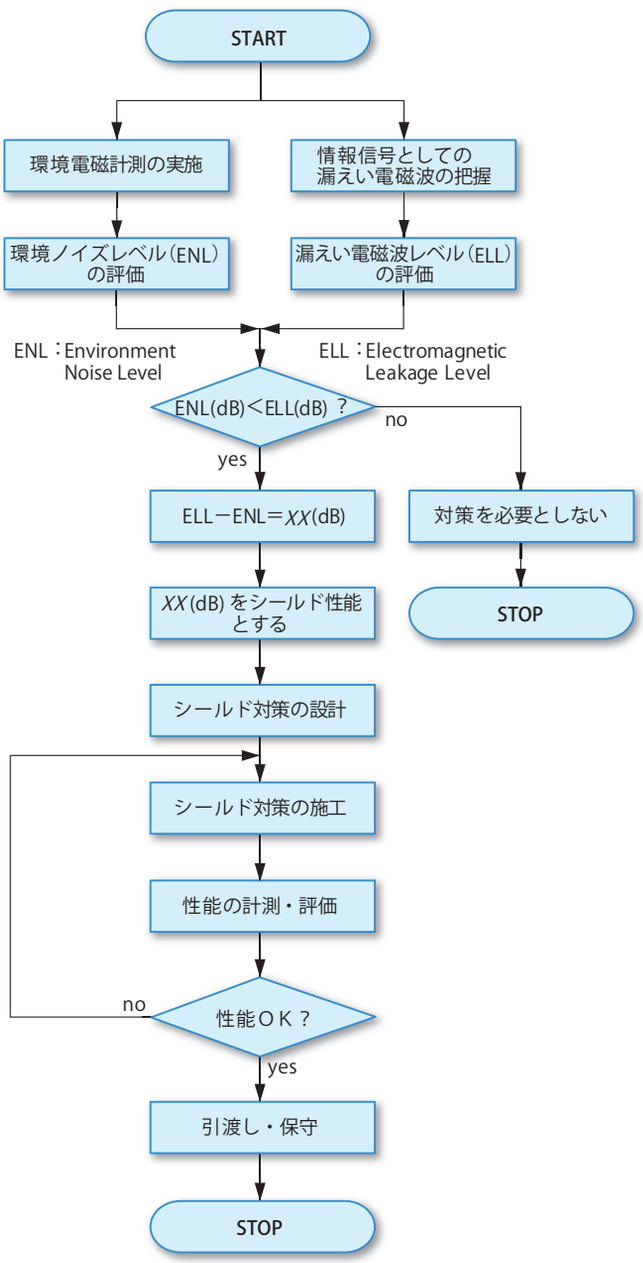


図 8　電磁波シールドの計画・設計・施工・性能測定までのフロー

情報を取得できないように想定すると，その場合のELLがENLより大きいとき（ENL < ELL），その差分値 XX（= ELL − ENL）が必要な電磁波シールド性能レベルになる．ただし，ある程度の裕度（α）を見込んで，$XX+\alpha$を設計上の電磁波シールド性能とする．

現場環境での実測評価を通して，要求される実際のシールドレベルが明らかになり，それを踏まえて，シールド設計へ進むことになる．また，シールド施工後は，性能評価を踏まえて，要求条件を満足しているかを確認する必要がある．

3.3 シールド設計・施工・性能評価・保守手順の概要について

以下，要求されるシールド性能決定後の各手順について概説する．

(1) シールド材料の選定と加工

電磁波シールドの概念図を図9に示す．図9に示すように，電磁波シールドの設計に際しては，建築空間内で発射する電磁波を反射させて外部に漏らさないようにすることと，外部から到来する不要な電磁波を反射させて内部に入れないことを目的に導電性のある電磁波シールド建材を用いて建築空間の六面体（床・壁・天井）を覆うなどの工夫が必要となる．また表1に示したように，用途によって，要求されるシールド性能は異なるが，対象部位ごとに最良なシールド材（導電性材料）を選定・加工することになる．またその選定に際しては，その電磁波シールド建材が所定どおりの電磁波シールド性能があるかどうかを電波暗室内隔壁で確認する作業が求められる．

次に，図10（a）は外壁及び屋根の材料として使用される金属製折板を隔壁開口部に供試体として設置した例である．また，その際，電磁波シールド性能測定した結果例（垂直，水平偏波）を図10（b）に示す．本例では，10 ～ 1,000 MHzの帯域において，30 dB以上のシールド効果を有することを示しており，金属製折板自体は非常に高い電磁波シールド性能を有することが確認された．

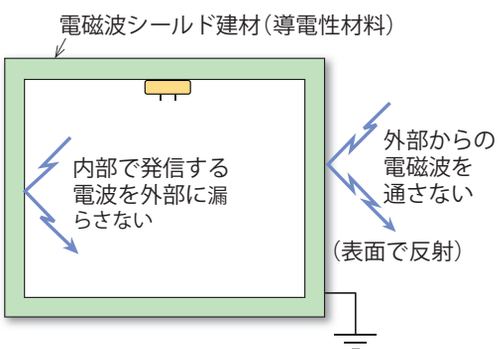
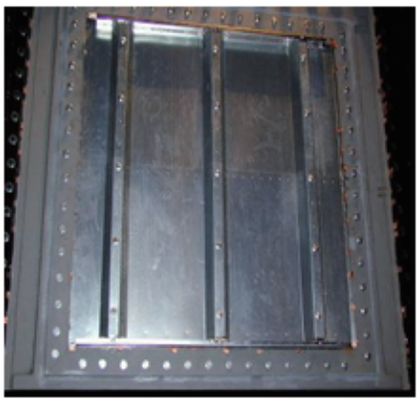
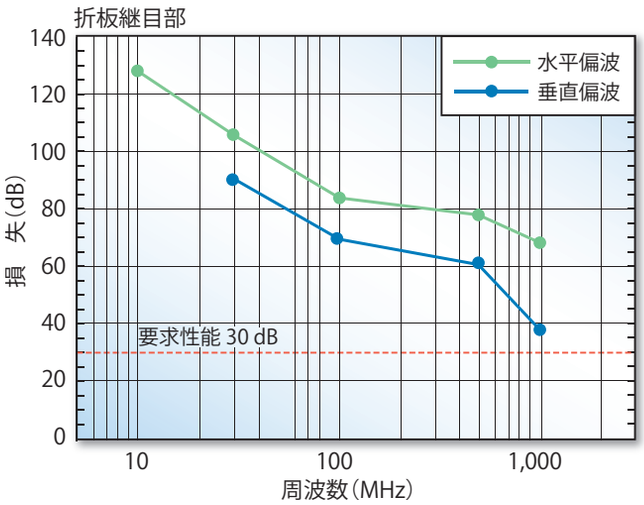


図9　電磁波シールドの概念図



（a）隔壁開口部への設置例



（b）シールド性能評価例

図10　金属製折板供試体の外観とシールド性能例

(2) シールド施工

電磁波シールドの施工は，空間を構成する床・壁・天井・開口部（窓，扉）を電磁波シールド建材ですき間なく覆うとともに，空調ダクトや電気配管などの貫通部を処理し，対象空間を接地することである．ここで重要なのは，前項で示した電磁波シールド建材自体の性能が高くても，電磁波シールド建材同士の接合部や電磁波シールド建材の組合せによって所定のシールド性能が得られないことがあるので注意を要する．

各建築部位における施工法のポイントを表2に示す．

表 2　各建築部位における施工法のポイント例

建築部位	施工法のポイント
外　壁	オフィスビルの外壁はカーテンウォール構造のものが多く採用されている．外壁の垂れ壁や腰壁の室内側に金属板や金属メッシュなどの電磁波シールド材を壁面に取り付ける．
内　壁	鉄筋コンクリート造の間仕切り壁は，外壁同様金属板あるいは金属メッシュなどを取り付けてからその上に内装材で仕上げる．軽量鉄骨の軸組の上に石こうボードを貼る簡易間仕切り壁には下地の石こうボードにアルミなどの金属箔を貼り，その上に内装材で仕上げる．
窓	建築の窓ガラスは一般的には単板のフロートガラスを使用する．このフロートガラスは電波（電磁波）をほとんど透過させてしまうため，窓ガラスを電磁波シールド性能を有するものに交換する必要がある．複層ガラスを使用する場合にはガラスとガラスの中間の空気層側に導電性の薄膜を真空蒸着したものを用いる．合わせガラスの場合には，ガラスとガラスとの間に電磁波シールドフィルム，導電性メッシュを挟み込んだものを用いる．
扉	電磁波シールド性能のレベルによって扉回りの仕様が異なる．高いシールド性能を要求される場合，扉本体は鋼製のものを使用し，扉本体を電磁波シールド材とし電磁波の漏れを防ぐものとする．また，扉本体と扉枠とのすき間から電磁波が漏れるのを防ぐために，導電性ガスケット，導電性フィンガなどを扉の四方枠に設置し，扉の四周面と接触させ導通を取るようにする．
床，天井	鉄骨造などで床にデッキプレートを使用しているときには，これを電磁波シールド材として兼用する場合もある．鉄骨ばり上に乗るデッキプレートとはりとのすき間を金属メッシュなどで導通処理をしないと電磁波が漏れる原因となる可能性があるので注意が必要である．デッキプレートを使用していない場合，鉄筋コンクリート床の上に電磁波シールド材を貼ることになる．
接　地	電磁波シールド性能を十分に発揮させることと，感電防止のために電磁波シールド空間には良好な接地を行うことが必要である．無線 LAN や PHS などの無線システムなどは，内部で発生した電磁波がシールド層に入射し，シールド空間全体を振動させて，外部に電磁波を再放射するので，これを接地して大地に電磁波エネルギーを逃がす必要がある．

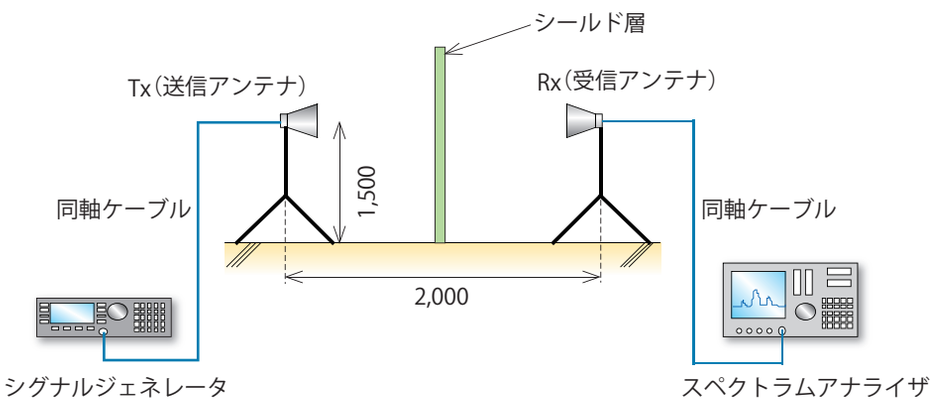


図 11　電磁波シールド性能測定システム（挿入損失法）

(3) シールド性能評価

電磁波シールドの施工が完了した後には，要求仕様どおりの性能が得られているかどうかを確認するために電磁波シールド性能の測定評価が必要となる．通常，電磁波シールドの施工完了時に実施する中間計測と竣工引渡しの際に実施する竣工検査の 2 段階において検査が実施される．

測定法の規格は，従来，米国国防総省規格 MIL-STD-285（1956 年 6 月）[6] に準拠して使用してきたが，現在はこの規格がキャンセルされているため，米国電気電子学会規格 IEEE-STD-299-2006［7］や我が国の防衛省規格 NDS C 0012 及び NDS C 0013（平成 10 年 8 月）[8]，[9] に準拠して行っている．

測定法には，透過損失法，挿入損失法，到来波法の三つの方法がある．測定値が不安定になりやすい透過損失法に代わって，自由空間で一定距離に送受信アンテナを設置し，発信器からの電波を読み取り，同じ距離でシールド空間の内部と外部に送受信アンテナを設置してその差を測定する挿入損失法が最近良く使用されている（図 11 は，挿入損失法による電磁波シール

ド性能評価法の例).

一般に官公庁では防衛省規格（NDS）を採用する場合が多いが，その電磁波シールド工事の目的に応じて，計測ポイントなどについては施主に確認する必要がある．内部の情報漏えいの防止を目的とした電磁波シールド工事においては，内部から発信した電磁波が人が立ち入ることのできる外部空間で傍受できるかどうか，その受信レベルが所定の電磁波シールド性能によって低減されているのかどうかを確認することが重要である．

(4) 保守メンテナンス

電磁波シールドで用いられる材料は，そのほとんどが経年劣化によって著しく性能が落ちるようなことは考えにくい．しかしながら，例えば，開閉を行う扉に，四方枠との電気的な接合のために導電性のあるガスケットを用いた場合，これが摩耗によって劣化する可能性がある．また，施工中に十分な配慮があっても，竣工後に電磁波シールド層を貫通するようなアンカー工事やねじ打ちなどがテナント側などで行われる場合がある．このため，確実に所定の電磁波シールド性能が維持されているかどうか，1年に1回程度の計測を行うことを利用者に勧めている．

4. む　す　び

本稿では，電磁波セキュリティ対策法について建築材料を用いたシールド技術で行う方法について述べた．電磁波シールド性能のレベルによってコストが著しく違ってくる．先にも述べたが，目的が明確でないまま電磁波シールド工事を実施すると，所望の電磁波シールド性能が得られない可能性がある．そのためにも，情報セキュリティマネジメントをしっかりと行い，守るべきものは何か？ を明確にしたい．

文　献

[1] 総務省編，情報通信白書　平成20年版.
[2] National Security Agency, "TEMPEST fundamentals," NACSIM 5000, Feb.1982.
[3] 荒木庸夫，電磁妨害と防止対策，pp.116-161，東京電機大学出版局，1991.
[4] 澁谷紳一，"無線LANにおける電磁波シールド技術，" BE建築設備，pp.35-42, Aug. 2004.
[5] 清水康敬，杉浦　行 編著，電磁妨害波の基本と対策，pp.212-233，電子情報通信学会，1995.
[6] MIL-STD-285, "Military Standard Attenuation Measurements for Enclosures, Electromagnetic Shielding, for Electronic Test Purposes, Method of," June 1956.
[7] IEEE-STD-299-2006, "IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures," 2006.
[8] 日本防衛装備工業会 編，"電磁シールド室試験方法，" 防衛省規格 NDS C 0012, 1998.
[9] 日本防衛装備工業会 編，"漏洩電磁波に関する試験方法，" 防衛省規格 NDS C 0013, 2003.

澁谷紳一

昭50日大大学院建築工学研究科修士課程了．同年清水建設株式会社入社．設計部，原子力部を経て技術開発本部にて磁気シールド・電磁波シールドの技術開発に従事．平19より同社技術研究所高度空間技術センター．

解説

高出力電磁波問題に関する国際標準化動向

古関隆章 Takafumi Koseki 東京大学大学院工学系研究科
木本　徹 Akira Konomoto IEC/TC77/SC77C 幹事（前委員長）

1. まえがき

本稿では，国際電気標準会議 IEC の電磁両立性（EMC：ElectroMagnetic Compatibility）に関する技術文書の審議を行う TC77 の下で，核爆発に伴う電磁妨害の影響に対する技術的対策の必要性を意識し発足した HEMP（High-altitude ElectroMagnetic Pulse；高高度電磁パルス）及び HPEM（High Power ElectroMagnetic；高強度電磁界，あるいは高電力電磁界と称する場合もある）の影響に関する技術文書の審議を担当する SC77C［1］の発足以来の経緯を述べる．そして，これまでに発行された文書と現在審議中の文書を簡単に紹介し，それらの記述中で高出力な電磁波の試験法，技術がどのような形で扱われているかを概観する．

さて，この IEC は，正式名称を国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission）といい，各国代表の標準化機関からなる国際標準化機関として，電気・電子技術分野の国際規格作成を行う．日本工業標準調査会によれば，2008 年 5 月時点で正会員・準会員を合わせて 70 か国が参加し，2007 年末で 5,794 の規格文書発行の実績がある．傘下に 92 の規格作成専門委員会（TC），79 の分科委員会（SC）が各々の分野で規格審議活動を展開している．このうち，図 1 に示すとおり，工業製品に関する電磁波の発生と耐性に関する電磁両立性（EMC）について，水平規格を定める専門委員会としての TC77 が設立されている．関連の 3 分科委員会，SC77A, SC77B 及び本稿で詳説する SC77C が設けられている．2 章でも述べるように，この 4 委員会に対応する国内委員会が，電気学会に設けられている．

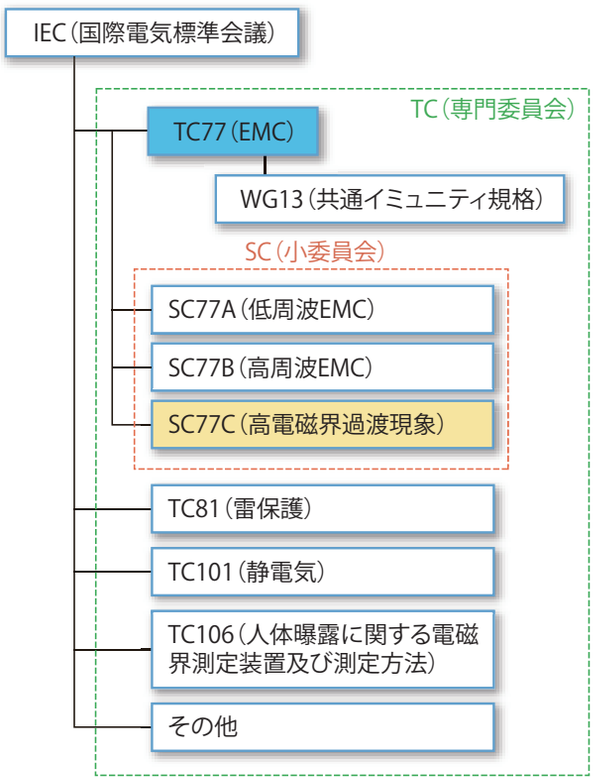


図 1　国際電気標準会議における電磁両立性（EMC）に関する審議体制

2. IEC/TC77/SC77C の活動と関係文書概観

電磁両立性の水平規格を審議することを主たる任務とする国際電気標準会議 TC77（国際委員長：東京都市大学（前武蔵工業大学）徳田正満教授，日本委員会委員長：東京大学大崎博之教授）の下に設けられている三つの小委員会のうち，SC77C は核爆発に伴う電磁妨害の影響に対する技術的対策の必要性を意識して発足した HEMP 及び HPEM の影響に関する技術文

書の審議を担当している．このSC77CはIEC-61000-1-3に関する新提案を1997年9月に行ったことから実質的審議活動を開始した．比較的限定された数の文書審議であるため，現在，W. Radasky主査（米），R. Hoad幹事（英）の主導の下，1年に2回程度の割合でproject meetingを開催し，文書の審議を行っている．国内の審議体制としては古関隆章主査，木本　徹幹事，市川孝博幹事を幹事グループとする国内委員会が電気学会に設けられ，国際委員会からのドラフト送付に応じ，日本意見をとりまとめる形で地道な審議活動を行っている．JIS化などの積極的文書発行活動はこの2～3年は行っていない．

これまでにSC77Cが策定し発行した文書は次のとおりである．

2.1　一般文書（表1）

表1　HEMP及びHPEMに関するIECの一般文書

タイトル	主　旨
IEC/TR-61000-3 Electromagnetic Compatibility(EMC) Part1-3 General-The Effects of high-altitude EMP(HEMP) on civil equipment and systems	高高度電磁パルス（HEMP）の民生設備・システムへの影響（技術報告書）
IEC/TR-61000-5 Electromagnetic Compatibility(EMC) Part1-5 General-High power electro-magnetic (HPEM) effects on civil systems	高強度電磁界（HPEM）の民生設備・システムへの影響（技術報告書）

そもそも本委員会における審議活動の開始の動機は，核実験に伴う意図せぬ強い電磁波放射が原因と見られる民生用の電気電子機器の機能障害，損傷が見られた経験から，それに対する適切な技術的取決めが必要であるということにあった．この核爆発の高さにより，図2に示す20～50 kmの高さでの核爆発で発生する電磁パルス（HEMP），低い位置における電磁パルス発生への対策を議論するという，二つに分類し検討を始めた．その後の検討経緯の中で，より影響の範囲が大きく実際上重要性の高い，高高度でのHEMPの発生のみが，詳細な検討対象として残され，High-altitude Electromagnetic Pulse（HEMP）という英単語がキーワードとして残った．それを日本語に訳す際にも，様々な議論があった．憲法上戦争を永久に放棄している中で，核爆発に伴う電磁パルス発生への対策という審議活動では，我が国の検討としてはそぐわない．日本語としての不自然さは否めなくても，できるだけ国際用語に忠実な用語を当てるのが良い．これらの観点から，SC77C国内委員会発足前のTC77国内委員会の中での議論を経て，HEMPの訳語として，なじみの薄い用語だが，この高高度電磁パルスという熟語を当てることにした．以下，高高度電磁パルスをHEMPと略す．

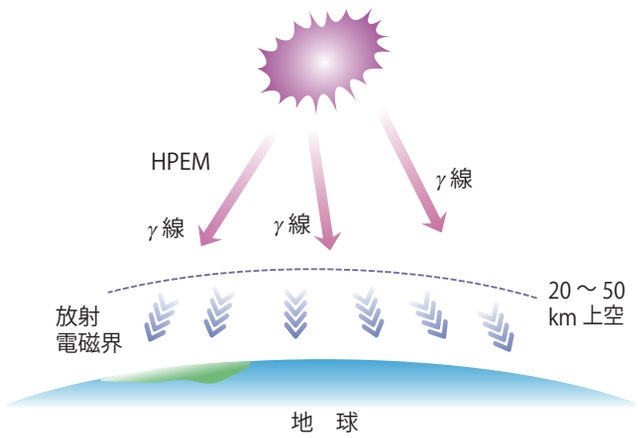


図2　高高度における核爆発とそれに伴う過渡電磁界HEMPの広がり

後述のIEC-61000-5-8の記述の一例によれば，オハイオ州上空で，図2のような核爆発があった場合，モントリオール，ニューヨーク，ワシントン，シカゴ，オマハ，ダラス，アトランタなどの主要都市を含む半径170 kmの範囲が，1～50 kV/mの電界強度を持つ放射性電磁界にさらされる．それが，市民生活の基盤である電力供給，通信，金融，交通，緊急市民サービス，水道，食糧供給などの機能に重要な電気・電子機器の損傷，機能不全をもたらす可能性がある．特に電力系統への応用による広い範囲の停電が最も大きな脅威になるとされている．

その後，冷戦の終結が世界的に意識され，地上における核実験も行われなくなっている中，核爆発に伴う電磁パルスの脅威そのものは相対的にその重要性が下がってきた．一方，雷に代表される自然に発生する電磁パルスよりも時間的に速い，動作周波数領域の高い大電力の人工的パルスの技術的検討，試験法，基本的な対策を国際規格で定めておくことは依然重要性が高い．このような観点から，当初のHEMPに加え，高出力電磁波に当たる技術用語としてHigh Power

ElectroMagnetic（HPEM）Field/ Wave という用語が，文書のタイトルに登場するようになった．これについては，高電力電磁界という語が最も原語に近い日本語訳になると思われるが，電力という表現は，電力系統など民生部門の重要インフラで広く使われているので，それとの混用・誤解を防ぐため，国内委員会で議論の末，高強度電磁界という日本語を当てることに決めた．また，湾岸戦争の後，人体あるいは機器に対する攻撃として，意図的に強い電磁波を浴びせる技術が実際に見られるようになり，その対策や取決めが必要であるという議論が米国を中心に起こった．これについては，特に，2001 年に全世界的衝撃を与えた 9.11 テロ以降，様々なテロ行為，人為的な社会への妨害行為から国や市民生活を守る必要があるという問題意識とともに，2003 年ごろから意図的電磁妨害（I-EMI：Intentional ElectroMagnetic Interference）というキーワードが，米国の政府関係の文書，IEEE における電磁環境関係の会議などで見られるようになった．近年の SC77C の文書審議でもこの意図的電磁妨害という用語が重要なキーワードになっている．これら SC77C の扱う電磁界を高電磁界過渡現象と総称し，国内技術文書でもこの用語が用いられている．

2.2　電磁環境について

電磁環境に関しては，表 2 に示す文書が発行されている．

既に述べたとおり，核爆発に伴う電磁パルスは高高度と低高度に分類される．地上レベルで電磁パルス以外の爆風，衝撃，熱，イオン化などの影響が見られない高高度電磁パルスが，民生機器への影響を考える際に重要となる．IEC-61000-2-9, 10 の文書は，各々，放射性，伝導性の HEMP 環境の共通的参照値を規定し，被害を受けるであろう機器の性能を評価するための現実的ストレスの選択を可能とする情報を与えている．そして，IEC-61000-2-11 はこれら HEMP 環境の分類を，更に IEC-61000-2-13 は，より一般的な放射性，伝導性の数種に分類される高強度電磁界 HPEM について，周波数，最大電界強度，減衰定数，帯域幅など，典型的波形を例示しながら説明している．

表 2　IEC の HEMP 及び HPEM 電磁環境に関する文書

タイトル	主　旨
IEC-61000-2-9 Electromagnetic compatibility(EMC): Part2: Environment-Section9: Description of HEMP environment-Radiated disturbance, Basic EMC publication	EMC 基本文書：HEMP 環境の記述：放射性電磁妨害
IEC-61000-2-10 Electromagnetic compatibility(EMC): Part2-10: Environment-Description of HEMP environment-Conducted disturbance	EMC における HEMP 環境の記述：伝導性電磁妨害
IEC-61000-2-11 Electromagnetic compatibility(EMC): Part2-11: Environment-Classification of HEMP environments	EMC における HEMP 環境の分類
IEC-61000-2-13 Electromagnetic compatibility(EMC): Part2-13: Environment-High-power electromagnetic (HPEM) environments/Radiated and conducted	EMC における高強度電磁界環境：放射性及び伝導性

2.3　産業用・民生用機器への規制について（該当文書なし）

これまでの経緯説明からわかるとおり，SC77C の審議対象となる電磁妨害の議論は，産業用・民生用機器相互の影響ではなく，軍事あるいは別の目的で発生した人工的強電磁界をどのように試験・評価し，産業用・民生用機器の機能障害を防ぐかという観点からなされている．したがって，国際標準の文書だが具体的規制よりは，試験や保護方法の指針，想定外の妨害をどのように理解し，いかなる技術的対策をなすべきか，参考にすべき数値及び関係する技術標準文書は何か，を示す指針，あるいは技術的参考文書という性格が強い．このため，具体的技術内容を含む文書は，国際規格としてではなく，情報提供を主たる目的とする，TR：Technical Report；技術文書，TS：Technical Specification；技術仕様書の形で発行されるものが多い．そこで，強制的に製品に制限を設けるという趣旨の本小分類に入る文書はない．

2.4　測定法・試験法について

測定法・試験法は，国際標準関係の文書としては実務的技術情報を含む最も重要な部分となる．このため，表 3 に示すとおり，比較的数の多い文書が発行されている．

表 3　IEC の HEMP 及び HPEM 関係の測定法，試験法に関する文書

タイトル	主　旨
IEC-61000-4-23 Electromagnetic compatibility(EMC) Part4-23: Testing and measurement techniques- test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbance	HEMP その他の放射性妨害の保護素子の試験・測定法
IEC-61000-4-24 Electromagnetic compatibility(EMC) Part4: Testing and measurement techniques- Section 24: Test methods for protective devices for HEMP conducted disturbance-Basic EMC publication	基本 EMC 文書：HEMP に誘導された伝導性妨害の保護素子の試験・測定法
IEC-61000-4-25 Electromagnetic compatibility(EMC) Part4-25: Testing and measurement techniques- HEMP immunity test methods for equipment and systems	設備及びシステムのための HEMP イミュニティ試験法
IEC-61000-4-32 Electromagnetic compatibility(EMC) Part4-32: Testing and measurement techniques- High-altitude electromagnetic pulse (HEMP) simulator compendium	試験及び測定の方法：HEMP シミュレータ概論
IEC-61000-4-33 Electromagnetic compatibility(EMC) Part4-33: Testing and measurement techniques- Measurement methods for high-power transient phenomena	試験及び測定の方法：高強度電磁過渡現象の測定法

前述のとおり，SC77C における主要な目的は，軍事など別の目的で放射された電磁界に対する産業用・民生用電気電子機器の保護と機能の維持のための適切な技術情報を与えることにあるので，産業用・民生用機器のイミュニティが特に重要である．そこで，以下に，上記の中でこのイミュニティについて扱っている IEC-61000-4-25 の概要を見てみよう．

IEC-61000-4-25 の概要

この文書は，高度電磁パルス HEMP にさらされる電気電子設備や装置の試験レベル及び関係する試験方法を述べている．これは対象機器が HEMP 及びそれにより誘導される電磁妨害にさらされたときのイミュニティを示すためのものである．本規格で定める放射性妨害に対するイミュニティ試験は，小さな試験設備で行うものと大形 HEMP シミュレータを用いて行うものの双方がある．IEC-61000 シリーズとして主として定めるのは試験室におけるイミュニティ試験だが，最終的使用場所に設置して行う現場試験も本文書では同様に定める．この確認試験は基本的に試験室の試験の仕様と同じものだが，気象環境条件が現場の試験では異なる点になる．

この文書では，HEMP にさらされた電気電子機器の電源線，アンテナ，入出力信号線，制御用の線における過渡現象について，共通性，再現性がある基礎的評価方法を確立することを目的としている．放射性妨害に対するイミュニティ試験は，電気電子機器が核爆発に伴う放射性高度電磁パルスにさらされてもその機能を維持できることを示すために行うものである．

伝導性妨害に対するイミュニティ試験も基本的考え方は同じである．伝導性 HEMP 過渡現象は，機器に接続しているケーブルやワイヤに生じる電圧・電流のパルス波であり，電源線や通信線における誘導は HEMP 過渡現象において最も深刻な妨害となる．更に，試験にかかわる作業者の健康と安全のために，有害な影響を持つ高い電圧に対する注意が必要であると書かれている（実はこの点は実務上最も重要と考えられるが，文書の中ではごく簡単に触れられているのみである）．

本文書の本文に当たる 5 章には，妨害強度とイミュニティ試験のレベルについての詳しい記述がある．この検討対象の電子機器は，小形の電話，計算機などから，工場の操作盤などより大形のシステムまでが考えられる．電子機器の多くは 1 m で囲まれる立方体の中に収まるものが多いため，多くの場合は試験室での HEMP シミュレータや TEM（Transverse ElectroMagnetic）セルなどの設備を用いた室内試験が可能である．一方，HEMP あるいは一般的に EMC にかかわる問題では，対象の物理的な大きさが重要な要素になる．HEMP に関しては大形の試験対象もあるため，世界に数個の大形の HEMP シミュレータが存在する（前述の IEC-61000-4-32, IEC-61000-4-35 などに，各国のこれら大形試験設備に関する情報がまとめられている）．本文書 5.3 節には試験強度レベルについての説明がなされているが，その具体的根拠は付属文書 A で解説されている．5.4 節で放射性妨害の試験方法を詳述している．電磁妨害の強度のレベルと保護素子による脅威の低減の量的関係は付属文書に詳述されているが，本節の表に R1 から R7, RX（この X は特記する試験レベルを示す例外を表す記号のようである）の試験レベルと電圧最大値との関係が具体的に記述さ

れている．5.2 節の放射性イミュニティ試験の仕様としては，パルス波形の立上り，パルス幅の時間，周波数特性が図を用いて与えられている．そして，小形の放射試験設備を用いる場合と，大形の HEMP シミュレータを用いる場合の試験方法とその相違を節ごとに分けて述べている．大形の HEMP シミュレータは，Type Ⅰ と，パルスの立上り時間が長い Type Ⅱ に分類されており，Type Ⅱ のシミュレータを用いる場合には時間的な要素を補正するため事前の予備検討が必要とされている．これに続く 5.5 節では，伝導性イミュニティ試験が解説されている．

HEMP イミュニティ試験のために新たに必要となる波形発生器などの試験機材数を最少限とする配慮から，5 章 5.2 節では，上述の各 HEMP 試験と，既発行文書で規定されている試験波形や方法との関係を表で明示している．更に，6 章で，各試験レベルに対応する試験に必要となる設備仕様を，6.1 節「放射性妨害の試験」，6.2 節「伝導性妨害試験」に分けてまとめている．7 章では，試験設備の設定，組合せの方法を解説している．8 章では，試験の条件整備から試験実施に至る作業手順を説明している．

そして，9 章では，試験結果のとりまとめ方法，記録として，何の情報を記すべきかの指針を具体的に示している．一方，受渡試験においては，製品規格制定者が本文書で記述されている個別の内容を製品の実情に即して適宜修正して用いてよいと記されている．

2.5　実装及び緩和法の指針について

遮へいや保護素子など，高高度電磁パルスや高強度電磁界の悪影響から，いかにして民生・産業機器を守るかという技術情報は表 4 に示す一連の文書の中で記述されている．

上記の中で，民生品のイミュニティを取り上げているのは IEC 61000-5-4 である．前節と同様その内容を見てみる．

IEC 61000-5-4 の概要

この文書は，現在及び将来における製造者と使用者間の協調を図るため，高度電磁パルス HEMP に対する保護デバイス仕様の規定方法を述べている（性能要求については別文書で将来定めるとしている）．

本論に当たる放射性妨害に対する保護デバイスの仕様について述べた 4 章では，一般的要求として，電気的要求条件，機械的要求条件，環境要求条件の三つがあるとしているが，この文書の記述の大部分は主として電気的な要求条件を詳細に述べたものである．遮へい材料の減衰レベルは E と H で定められ，10 kHz ～ 1 GHz の間の周波数を持つ平面波で規定する．ガスケット材料（柔軟な材質の表面に張られるアルミ箔などの薄い導電性金属）についてもほぼ同じ情報で規定するが，これに加えて直流抵抗値も規定する．また遮へいケーブルについては，10 kHz ～ 100 MHz の間の伝達インピーダンスと必要ならば伝達アドミタンスの値が要求される．

その章の後半部分では，4.3 節の仕様の記述において，遮へい材，ガスケットの減衰の周波数特性の例，モニタ用の窓の大きさと遮へい効果劣化の関係の周波数特性例，遮へいケーブルの伝搬インピーダンス周波数特性の測定例，計算例が七つの図で具体的に示され

表 4　IEC の HEMP 及び HPEM 関係の実装及び緩和法の指針

タイトル	主　旨
IEC/TR61000-5-3 Electromagnetic Compatibility(EMC)-Part 5-3: Installation and mitigation guidelines-HEMP protection concepts	実装と緩和のための指針：HEMP 保護の考え方，一般技術報告書
IEC/TS61000-5-4 Electromagnetic compatibility(EMC)-Part 5-4: Installation and mitigation guidelines-Section 4: Immunity to HEMP-Specification for protective devices against HEMP radiated disturbance, Basic EMC Publication	実装と緩和のための指針：HEMP に対するイミュニティ- HEMP 放射性妨害の保護素子のための仕様
IEC61000-5-5 Electromagnetic compatibility(EMC) Part 5-5: Installation and mitigation guidelines-Part 5: Installation and mitigation guidelines- Section 5: Specification of protective devices for HEMP conducted disturbance- Basic EMC Publication	実装と緩和のための指針：HEMP 伝導性妨害の保護素子のための仕様
IEC61000-5-6: Installation and mitigation guideline-Mitigation of external EM influence	実装と緩和のための指針：外部からの電磁的影響の低減
IEC/TR-61000-5-7: Installation and mitigation guideline- Degree of protection provided by enclosures against electromagnetic disturbances (EM code)	実装と緩和のための指針：電磁妨害に対する遮へいきょう体により与えられる保護の程度

ている．更に付属文書において，遮へい効果の周波数特性の記述や伝達特性の記述に関する一般的理論を数式を用いて解説している．

2.6　そのほかの一般規格について

上述の各種文書に加え，表 5 の屋内設備のイミュニティに関する一般規格が発行されている．

表 5　IEC の HEMP 及び HPEM 関係のそのほかの一般規格

タイトル	主　旨
IEC61000-6-6 Electromagnetic compatibility(EMC)- Part 6-6: Generic Standards-HEMP immunity for indoor equipment	屋内設備ための HEMP イミュニティに関する指針

IEC 61000-6-6 の概要

本文書は核爆発による高度電磁パルス HEMP 環境にさらされる屋内電気電子設備に関する指針としての一般国際規格で，放射性妨害，伝導性妨害の二つに分けて記述されている．HEMP によるサージは，雷サージに比べて時間的に速い現象であるため，雷保護により HEMP イミュニティが保証されるわけではない．一方，雷保護は HEMP の過電圧の軽減には有用なので，雷保護を行うことは推奨される．1.2/50 μs の雷保護に加えて速いサージに対するイミュニティがこの規格で要求される．一方，IEC-61000-2 にある産業用機器の速いサージに対するイミュニティレベルが満たされていれば，本規格の要求は十分満たされる．本文最初の 5 章では，性能条件として，一般的な機能上の規準を定めている．一般的機能レベルとして

(1) 機能レベル A：通常動作レベル：故障・機能低下が全く見られないレベル．

(2) 機能レベル B：自己復旧可能な一時的機能低下が生じるレベル：試験時の一時的な性能の低下は許されるが，動作状態の変化，蓄積しているデータの変化は生じてはならない．

(3) 機能レベル C：回復可能な機能低下が生じるレベル：試験後の操作，確認において機能回復が可能なレベル．蓄積データに変化があってはならない．6 章では試験の間の条件を規定している．動作領域の温度，湿度 , 気圧，印加電圧など，製品に対して定められた条件範囲で試験を行う．9 章でイミュニティ試験の要求条件を定めている．この章に記載されている，各ポートに対応する試験波形の条件を具体的に示した八つの表が，本文書で最も重要な技術的内容を示している．

2.7　審議中の文書

更に，3 章で紹介する三つの現在審議中の文書がある．既に，Committee Draft の回付と，関係各国の国内委員会による投票が終了し, 本年中の発行を目指し, 最終的な文書審議・編集作業が行われている．

3. HEMP 及び HPEM に関する文書審議状況最新情報

現在，近日中の発行を目標に編纂が進められているのは以下の三つの文書である．SC77C の既発行文書は，これまでの記述からも分かるとおり，その発足経緯から見て自然な形として HEMP に関するものがほとんどであった．一方のキーワードである HPEM は，2.1 節でも述べたように，最近の 3 ～ 4 年，意図的電磁妨害という新たな脅威がキーワードとして重要視されるに至り，具体的記述が下記の新しい文書に散見されるようになっている．

(1) **IEC-61000-4-35 High Power Electromagnetic Simulator Compendium：Technical Report；高強度電磁界シミュレータ概論（試験法に関する技術文書）：**この文書は，前述のとおり 2003 年くらいからの意図的電磁妨害に対する関心の高まりを受け，プロジェクト名を Intentional ElectroMagnetic Interference（I-EMI）Simulator Compendium 意図的電磁妨害シミュレータ概論として発足した．米国，英国，スウェーデン，ドイツ，フランスの持つイミュニティ試験用の大形電磁パルス発生装置の情報を集め，ドイツの主査が中心になり審議を進めた．その過程で意図的電磁妨害シミュレータという表題の問題点指摘がなされたのか，2008 年末の投票文書では High Power ElectroMagnetic Simulator Compendium；高強度電磁界シミュレータ概論と文書名が変更された．

(2) **IEC 61000-5-8 HEMP protection methods for the distributed civil infrastructure：Technical**

Specification；実装及び緩和の指針の技術仕様書：民生用分布インフラストラクチャのための高度電磁パルスからの保護方法：これは，米国における意図的電磁妨害の脅威への対策の提案文書を基盤に，米国の W. Radasky 主査自身が編纂の中心となった文書である．民生用電気電子設備の相互依存性や，HEMP 環境の下で，影響の及ぶ範囲の具体的一例として，2 章でも紹介したオハイオ州上空での核爆発想定例が示されている．そして，前期，中期，後期の伝導性妨害として HEMP が機器の外部導体に及ぼす作用の一般論，雷や磁気あらしなどの自然の電磁現象と HEMP 環境との比較，その議論に基づく民生用インフラ保護の考え方を解説している．

(3) **IEC 61000-5-9 System-level susceptibility assessments for HEMP and HPEM：Technical Specification；実装及び緩和の指針の技術仕様書：高度電磁パルス及び高強度電磁界のためのシステムレベル感受性の評価：**英国の主査がまとめた参考技術情報としてのグラフや数式を数多く含む 60 ページ以上にわたる文書．記述が教科書的で IEC 文書としてふさわしくないとの日本国内での批判もあったが，susceptibility の定義，システムからコンポーネントまでの階層的な概念の定義，全体的なアセスメントの方法のフローチャート，各試験局面の詳細な記述，波形の周波数特性分析の例や伝達特性の計算法の解説など，具体的技術情報が豊富な文書となっている．

これら三文書の最終形は 2009 年 9 月 21 日の週にフランスのリヨン市で開催される IEC/TC77 関係の公式会合に併催される SC77C プロジェクト会合で各国のエキスパートに開示される予定である．

4. む　す　び

本稿では，HEMP 及び高強度電磁界に関する EMC を扱っている SC77C の発足以来の文書全般を概観し，その中で，イミュニティの問題を中心に扱っている 61000-1-5, 61000-4-25 及び 61000-6-6 の三文書と，最近の文書審議動向を概説した．本稿の記述は，許可なく IEC 標準文書の数値や図を転載できないという著作権の制約と著者らの非力から表面的な記述にとどまった．具体的技術内容は，直接関係文書の記述に当たり活用して頂きたい．

本解説の執筆に当たり，本稿に目を通して専門的な観点からの貴重な御意見と，図表を御提供くださり，丁寧な御支援を頂きました御校閲者及び NTT 環境エネルギー研究所の馬杉正男氏に厚く御礼申し上げます．

文　献

[1] IEC ホームページ SC77C の概要説明, http://www.iec.ch/dyn/www/f?p 102:7:0::::FSP_ORG_ID:1387
[2] IEC 文書, 61000-4-25 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-25: Testing and measurement techniques- HEMP immunity test methods for equipment and systems.
[3] IEC 文書, TS 61000-5-4 Electromagnetic compatibility (EMC) Part 5-4: Installation and mitigation guidelines- Section 4: Immunity to HEMP-Specification for protective devices against HEMP radiated disturbance, Basic EMC Publication.
[4] IEC 文書, 61000-6-6 Electromagnetic compatibility (EMC)- Part 6-6: Generic Standards- HEMP immunity for indoor equipment.

古関隆章

平 4 東大大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程了, 博士(工学)．現在，東大大学院工学系研究科電気系工学専攻准教授．リニアモータ，電気鉄道，磁気浮上など，電気工学・制御工学の産業応用の研究に従事．平 15 ～ IEC/TC77/SC77C 国内委員長，現在に至る．電気学会，日本機械学会，日本 AEM 学会，精密工学会，日本鉄道電気技術協会，IEEE, VDI の会員．

木本　徹

昭 24 久留米工専機械科精密機械分科卒．(株) 日立製作所家電開発部長を経て昭 58 ～ 62 まで電波技術審議会専門委員，CISPR 国内委員会委員，昭 62 から電磁ノイズ対策のコンサルタントとして TUV ジュードジャパン (東京) などで電磁ノイズ対策, 平 9 ～ IEC/TC77/SC77C 国内委員会委員長として，その設立，文書審議及び関連国際規格の JIS 化に尽力，平 15 ～ TC77/SC77C 幹事，現在に至る．