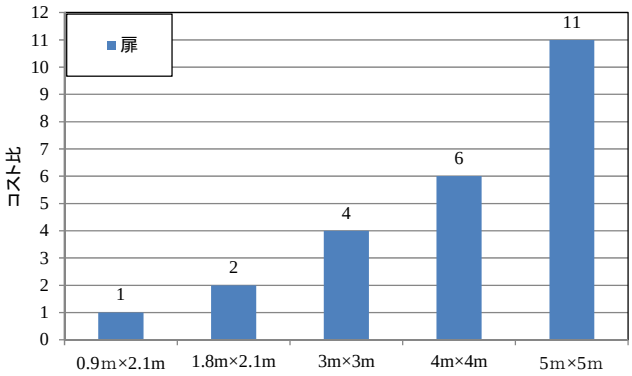
電磁シールドシャッターの開発

加藤 崇＊1

Keywords : electromagnetic wave, electromagnetic shield, shutter, low-cost, aged deterioration
電磁波，電磁シールド，シャッター，ローコスト，経年劣化

1. はじめに

電磁波シールドルームには用途別に遮蔽するレベル(電磁シールド性能)や対象とする周波数が異なる。電磁シールド性能は数値が高いほど遮蔽する能力が高く，数値が低いほど遮蔽する能力が低いことを表しており，電波の実験などを行う場合は，周囲の外来電波の影響を全く受けないようにシールド性能は 100dB(1/100000)以上減衰させる例が多い。100dB 以上を減衰させるためには，数㎜の隙間も許されないため，亜鉛メッキ鋼板(t2.3mm)を連続的に溶接して部屋を構築する。一方，情報漏えいの防止を目的とする場合は 40dB(1/100)以上が一般的であり，実験室と比較すると低レベルなシールド性能が要求される。40dB 程度を減衰させる場合は，亜鉛メッキ鋼板(t0.4mm)を断続的にビス等で固定して部屋を構築する。その中で，床や壁，天井のような一般部は，鉄板等の材料を用いて電磁シールド層を構成するが，扉や窓のような建具は，電磁シールド専用建具を設置している。電磁シールド扉には，扉枠と扉とを電気的に接続させるために接触部分に導電性のガスケットが設けられている。また，一般扉のドアハンドルでは構造的に電波が漏えいするため，ハンドル部分も電磁シールド仕様となっている。このように，電磁シールド建具は，一般建具と比べると非常に高価となり，開口サイズが大きくなると構造部材が複雑となるため大幅なコストアップとなる。40dB 用のシールド建具の開口サイズとコストとの関係を図-1 に示す。開口サイズが大きくなるほどコストアップとなり，W:3m を超えると構造的に強靭となるため増加率はさらに大きくなる。



(0.9m×2.1m を基準)

図-1 電磁シールド扉のコストとサイズとの関係
Fig.1 Relationship of the size and cost of the electromagnetic shielding door

近年，40dB 程度の電磁シールドルームでは，大型の搬入用開口が計画されるケースが増加しているが，大型の搬入用開口を電磁シールド扉で構築した場合，大幅なコストアップとなることから，ローコスト化が求められてきている。電磁シールド扉によるローコスト化には限界があるため，本開発ではシャッターの電磁シールド化について検討を行った。シャッターは，開口サイズの大型化に伴ってコストアップとはなるが，扉と比較してその増加率は低いことが期待される。

本報告では，シャッターの電磁シールド化について実験的に検証した結果について示す。図-2 にシャッター各部の名称について紹介する。「スラット」とはシャッターカーテンを構成する広い部材を，「ガイドレール」とはスラットを開閉する時にガイドする左右のレールを，「まぐさ」とは天井やケースの下にある開口部の見切り部材を，「座板」とはスラットの一番下に取付けられる部材である。

＊1 技術センター 建築技術開発部 建築生産技術開発室

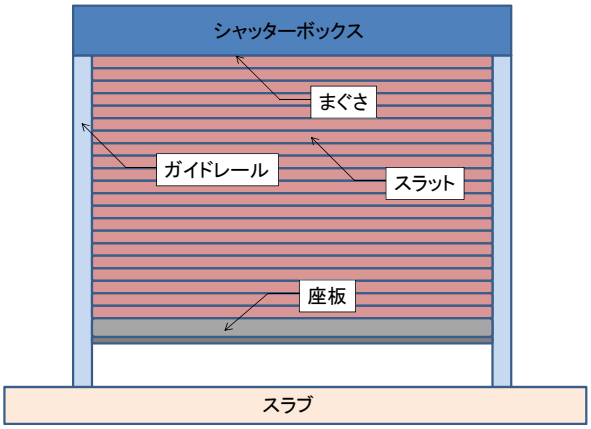
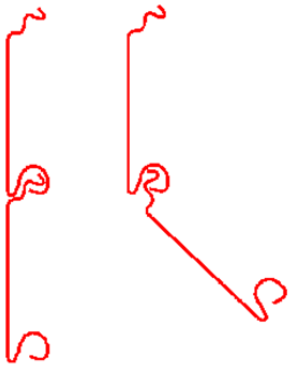


図-2　シャッター各部の名称
Fig.2　The name of the shutter parts shielding door

2.　スラットの性能検証

まず，シャッターで電磁シールド性能を確保するためには，シャッターの大部分を占めるスラットについて検証を行う。図-3 に示すように，スラットとスラットとの接合部には，収納時に回転できるような構造となっている。電波は隙間が存在すると容易に漏えいするため，スラットの接合部からの電波漏えいが懸念される。スラット単体の電磁シールド性能について実験的に検証を行った。実験は，技術センター電磁環境実験室で行った。試験体サイズは，W2m×H1.5m とし，周囲の銅箔面とは 10cm のラップを設け，さらに周囲からの電波漏えいを抑えるために導電性ガスケットを設けている。測定周波数は，30MHz～18GHz とし，偏波面は水平，垂直の 2 種類，目標性能は 40dB と設定する。電波は，スリットに直交する偏波面が積極的に再放射するため，スリットと直交する偏波面の電磁シールド性能が弱くなる傾向がある。



(a)直線状態　　(b)回転状態
図-3　スラットの接合部
Fig.3　The junction of the slat

2.1　一般スラットの電磁シールド性能

電磁シールド対策を施さない一般スラットの電磁シールド性能を検証する。実験状況を図-4 に，測定結果を図-5 にそれぞれ示す。測定結果は，横軸が測定周波数[MHz]，縦軸が電磁シールド性能[dB]を表している。この測定結果より，スラットの接合部に直交する垂直偏波の電磁シールド性能が低く，水平偏波が高い結果が得られた。本実験では，スラットの接合部からの漏えいが支配的であり，概ね 30dB 程度の電磁シールド性能であることを確認した。

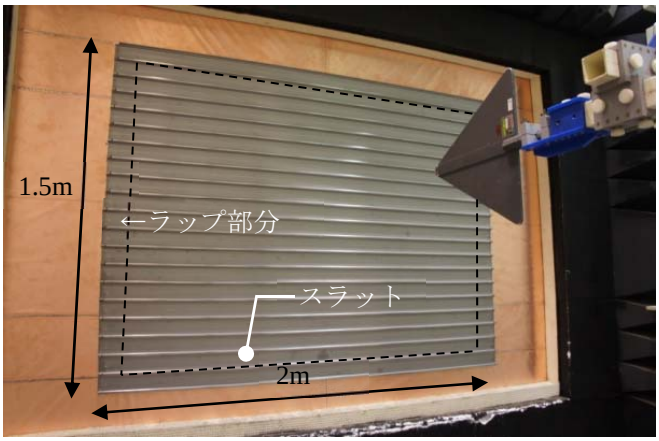


図-4　スラット単体の実験状況
Fig.4　Experimental situation of the slat

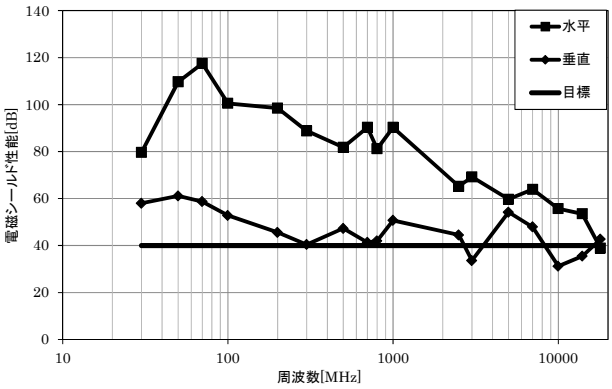


図-5　一般スラットの電磁シールド性能
Fig.5　Electromagnetic shielding performance of normal slat

2.2　シールドスラットの電磁シールド性能

2.1 による測定結果を受け，スラット接合部に図-6 に示すような電磁シールドガスケットを設けて電磁シールド性能を評価する。電磁シールドガスケットには，電磁シールド用に市販されているメッシュテープ(w25)をスラットとスラットの間に線状に挿入した。実験結果を図-7 に示す。スラットを固定する際に，スラット

とスラットとを引っ張りながらビスで固定した状態を「伸」，スラットを圧縮させて固定した状態を「縮」と称している。この結果より，電磁シールド性能は，スラットの縮んでいる状態より伸びている状態の方が高くなる結果が得られた。この要因には，電磁シールド材の設置位置が影響している。本実験においては，電磁シールド材を図-8 に示す位置に設置している。この位置では，伸びている状態では，上のスラットと下のスラットが電磁シールド材を挟むため隙間が発生しないが，縮んでいる状態では，電磁シールド材が上のスラットと接触していないため隙間が発生し，シールド性能が低下したものと考えられる。このため，閉鎖時にスラットが圧縮しないように制御する必要があることが示された。

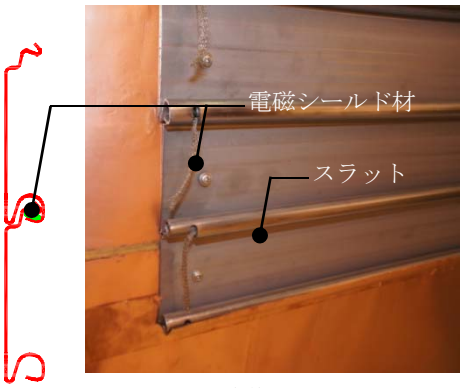


図-6　スラットの電磁シールド処理
Fig.6　Electromagnetic shielding of the slat

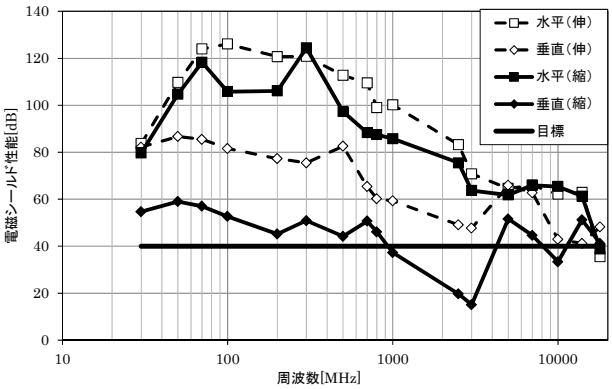
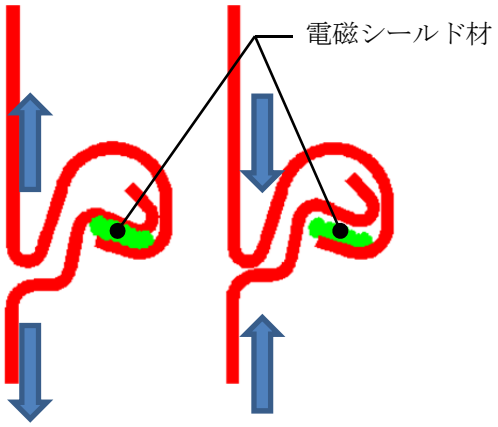


図-7　シールドスラットの電磁シールド性能
Fig.7　Electromagnetic shielding performance of shield slat



(a)引っ張り状態　　(b)圧縮状態
図-8　シールドスラットの設定条件
Fig.8　Setting conditions for shield slat

3.　シャッターの性能検証

スラット単体の検証では，接合部に導電性のガスケットを挿入することにより電磁シールド性能を確保できる結果が得られた。そこで，次のステップとしてシャッター全体としてシールド性能を確保できるか検討を行った。

3.1　一般シャッターの電磁シールド性能

比較対象として，一般に市販されているシャッターの電磁シールド性能を測定する。測定状況を図-9 に示す。本測定では，スラットの他，まぐさやガイドレール，座板を設けている。一般シャッターの電磁シールド性能を図-10 に示す。この結果より，電磁シールド性能は，スラット単体と比較して大幅に低下していることがわかる。この要因として，ガイドレールやまぐさ，座板部分のそれぞれの隙間から電波が漏えいしているためと考えられる。垂直偏波がさらに低下していることから，偏波と直交するガイドレールからの電波漏えいが顕著であり，電磁シールド性能は 15dB 程度となる結果が得られた。

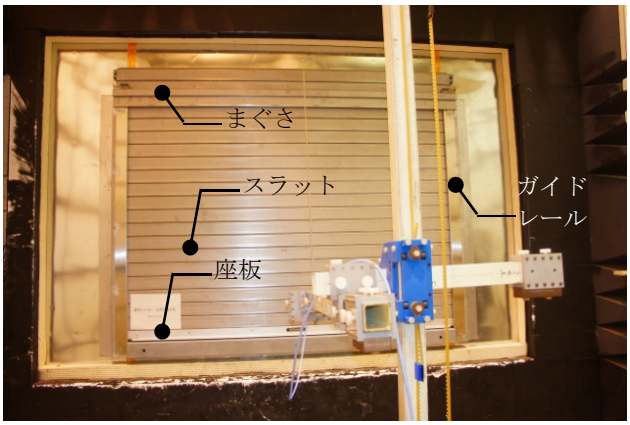


図-9　一般シャッターの測定状況
Fig.9　Measurement situation normal shutter

3.2　電磁シールドシャッターの電磁シールド性能

スラットの接合部には，導電性のガスケットを挿入し，図-11 に示すように，ガイドレールやまぐさ，座板等でゴムが使用されている部分については導電性ゴムに変更して電磁シールド対策を施した。また，ガイドレールには一般シャッターで電磁シールド性能が低い結果が得られていたため，ガイドレールとスラットとを電気的に接続させるため導電性ガスケットを設けている。これらの対策を施した状態における電磁シールド性能を図-12 に示す。この結果より，要求性能である 40dB を全周波数帯域において確保している結果が得られた。一般シャッターでは，垂直偏波の方が性能が低下していたが，ガイドレール内の電磁シールド処理を施したことにより，水平偏波より垂直偏波の方が電磁シールド性能が高い結果が得られ，導電性ガスケットの効果が確認された。

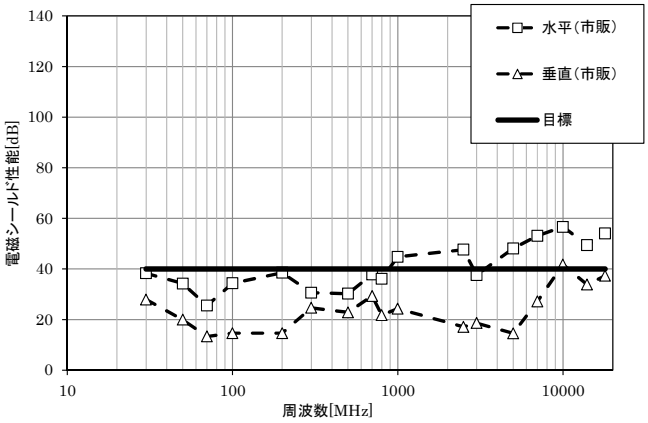
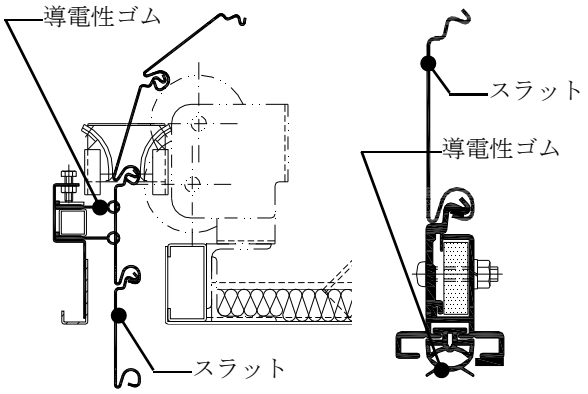
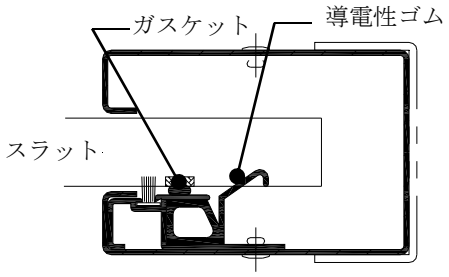


図-10　一般シャッターの電磁シールド性能
Fig.10　Electromagnetic shielding performance



(a)まぐさ　　(b)座板部分



(c)ガイドレール部分

図-11　シャッターの電磁シールド対策
Fig.11　Electromagnetic shield specification of the shutter

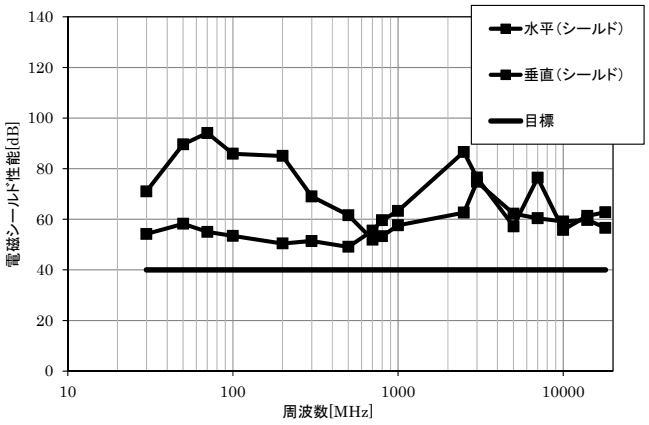


図-12　電磁シールドシャッターの性能
Fig.12　Performance of electromagnetic shielding shutterof normal shutter

4.　経年劣化検証

電磁シールド扉と同様にシャッターにおいても開閉動作に伴う電磁シールド性能が低下することが懸念される。そこで，実験的に構築したシャッターを用いて開閉に伴う経年劣化試験を行う。開閉回数は，シャッターの定期点検である 1,500 回を上限として行う。シャッターの経年劣化測定状況を図-13 に示す。本検討に

おいては，上部にシャッターボックスを設け，電動で開閉動作を行った。数回，開閉動作を繰り返した後，電磁シールド性能を評価した結果が図-14 である。3.2 項で検討した電磁シールド性能より垂直偏波が大幅に低下する結果が得られた。これまでの検討では，シャッターの開閉作業を行っていなかったため，シールドメッシュが確実に設置した位置に固定されていたが，シャッターの開閉時に巻き取られるため，シールドメッシュの位置が移動し機能していないことが確認された。そこで，ガイドレール等で使用していた接着材付きの導電性ガスケットをスラットの接合部にも設けた。ガスケットの設置状況を図-15 に示す。接着剤で固定されていることにより，シャッター開閉時の巻き取りにもガスケットが移動しないことを確認した。また，導電性ガスケットに変更しても電磁シールド性能が 40dB 以上確保されていることが確認された。また，規定の開閉回数ごとに電磁シールド性能を測定した。その結果を図-16 に示す。この結果より，1 回目の結果から 1,500 回目の結果まで，シールド性能がほとんど変化していないため，開閉回数に伴うシールド性能の顕著な劣化は確認されなかった。なお，本検討においては摩耗に比較的強いカーボン製の電磁シールド材料を採用している。以上の結果から，電磁シールドシャッターは 1,500 回程度の開閉後においても目標の電磁シールド性能を確保できることが確認された。

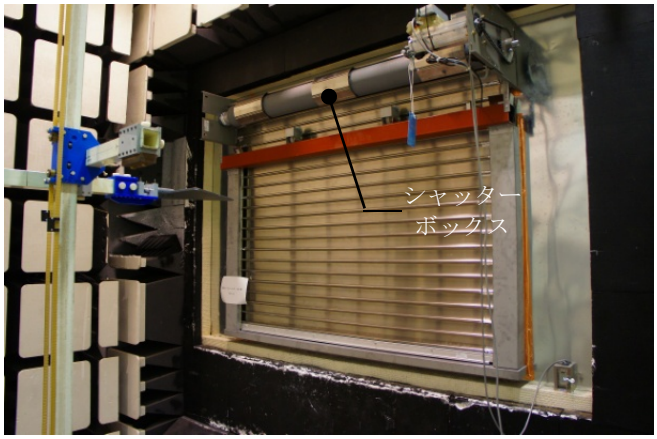


図-13　経年劣化の測定状況
Fig.13　Measurement situation of aged deterioration

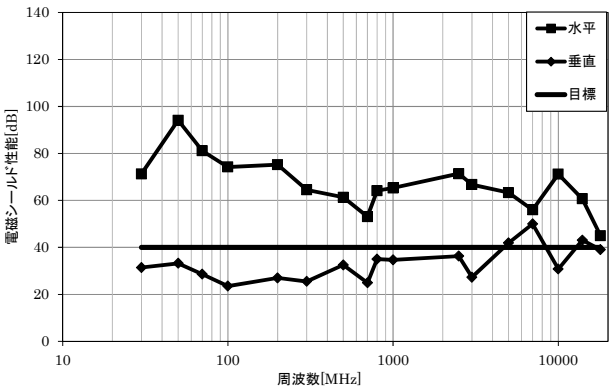


図-14　メッシュガスケットの電磁シールド性能
Fig.14　Electromagnetic shielding performance of mesh gasket

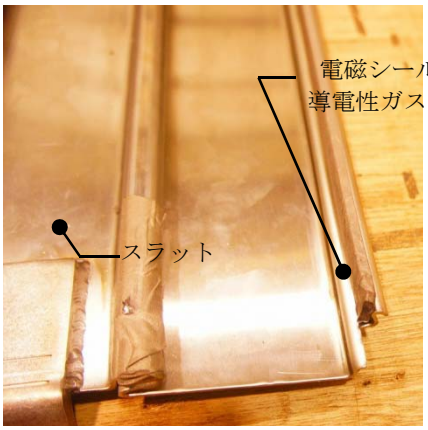


図-15　スラットのシールド処理
Fig.15　Electromagnetic shield specification of the slatgasket

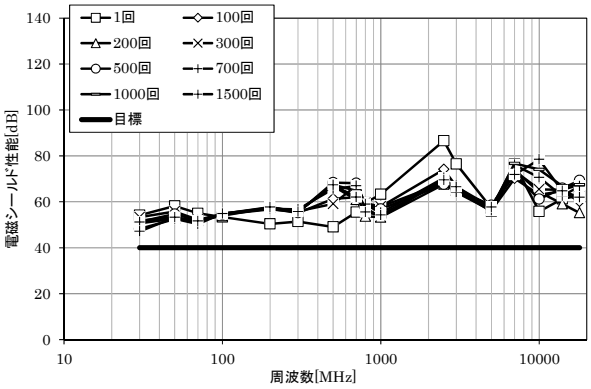


図-16　開閉回数と電磁シールド性能の関係
Fig.16　Relationship of electromagnetic shielding performance and opening and closing times

5.　建設 ICT 実験棟

これまでの検討結果を踏まえた上で，技術センター建設 ICT 実験棟に電磁シールドシャッターを導入した。建設 ICT 実験棟の施設概要を表-1 に示す。建設 ICT 実験棟は，無人化・情報化施工技術をより高度化させる

ことを目的に建設された実験施設であり，建設重機を施設内に搬入することから大型の搬入用開口が計画された。施設の内観を図-17 に示す。施工後の電磁シールド性能を測定している状況を図-18 に，測定結果を図-19 にそれぞれ示す。この結果より，シャッター部分の電磁シールド性能は 60dB 以上であり，40dB 以上の遮蔽効果を有する電磁シールドシャッターの実用化に成功した。

表-1　建設 ICT 実験棟の施設概要
Table 1　Building summary of ICT Construction Lab.

施設用途	実験施設
建築面積	360m^2
最高高さ	13m
シャッターの有効開口	W5m×H7m
電磁シールド性能	40dB 以上
周波数範囲	30MHz～1000MHz

図-17　建設 ICT 実験棟内観
Fig.17　Inside of ICT Construction Lab.

図-18　電磁シールドシャッターの測定状況
Fig.18　Measurement situation of electromagnetic shielding shutter

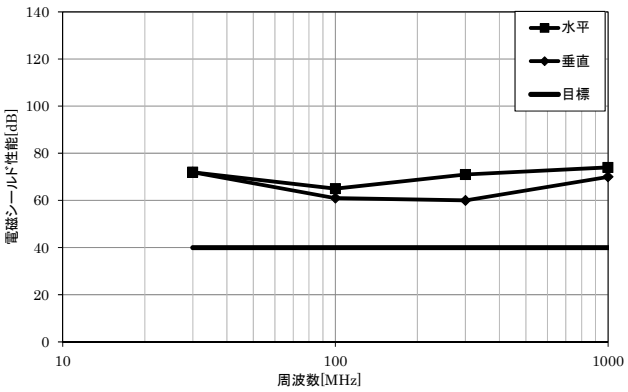


図-19　電磁シールドシャッターの性能
Fig.19　Performance of electromagnetic shielding shutter

6.　コスト

図-20 にシールド扉とシールドシャッターのコスト比較を示す。これより，両開きサイズ(W1.8m×H2.1m)程度までの開口サイズではシャッターより扉の方がローコストであるもののそれ以上の開口サイズにおいてはシャッターの方がローコストであることがわかる。さらに，開口サイズが大きくなるほどシャッターのローコスト化が効果的となり，5m クラスの開口サイズでは，60%程度のコストダウンを図ることができる。

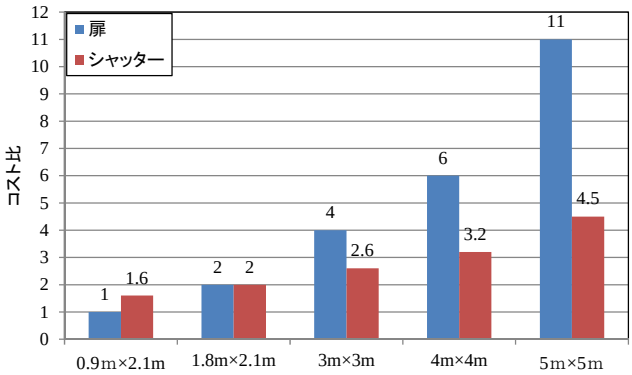


図-20　コスト比較
Fig.20　Cost verification

7.　まとめ

近年の電磁シールドルームでは，大型の搬入用開口が計画されるケースが多くなっているが，大型開口を電磁シールド扉で構築すると大幅なコストアップとなるためローコスト化が求められていた。本開発では，ローコスト化を目的にシャッターを電磁シールド化する検討を行った。その結果，40dB 以上の遮蔽効果を有する電磁シールドシャッターの実用化に成功した。