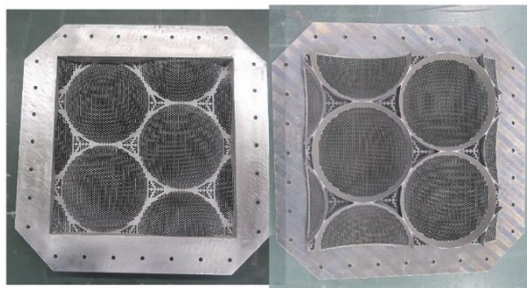


AM 造形を活用した通風口用 EMP シールドの開発

Development of EMP Shield for Vent Using Additive Manufacturing



池田 顕夫*¹
Akio Ikeda

池田 孝*²
Takashi Ikeda

荒川 宜彬*³
Yoshiaki Arakawa

清水 九史*¹
Hisashi Shimizu

谷川 秀次*⁴
Shuji Tanigawa

北村 仁*⁴
Masashi Kitamura

高高度での核爆発や意図的な電磁妨害として電磁パルス発生器等により発生する強力な電磁波は、EMP (Electro Magnetic Pulse: 電磁パルス) と呼ばれ、電子機器を損傷・破壊し、社会を大規模に麻痺させるため、その影響は大きい。近年の電子化が進んだ社会においては、その対策は喫緊の課題と考えられる。一般的には、空間を伝搬してくる電磁波を遮蔽(金属等で塞ぐ)する、EMP によりケーブルに誘起される過電圧・過電流を保護回路で吸収する等の対策を行う。しかし、通風口等は機能上、塞ぐことができない。通風口部に、本来持つべき冷却(圧損)性能の低下を最小限に抑え、EMP 対策性能を具備させることのできる構造について、詳細解析、AM 造形等の技術を活用して開発を行い、構造の創出、製造し、実性能として電磁シールド性能と圧損性能を両立することを確認した。

1. はじめに

EMP を照射された電子機器は、誤作動や損傷・破壊を引き起こす場合がある。EMP は重要インフラ等に長期に亘って影響し、経済と日常生活を大規模に混乱させる可能性がある。近年、EMP 対策の動きが米国を中心に活発化している。EMP 対策は情報化社会にとって喫緊の課題であり、後れをとることが許されない状況である。本報では EMP 対策の内、従来機能である冷却性能との両立化が必要な通風口への適用を想定した対策構造の検討・評価事例を示す。

2. 対象とする EMP

高高度での核爆発に伴い発生する HEMP (High Altitude Electro Magnetic Pulse: 高高度核爆発電磁パルス) は、発生状況により E1, E2, E3 の3つのパルスに細分化されている。E1 パルスは電界強度: 50kV/m, 周波数: 数 100kHz~300MHz と雷よりも高強度、かつ高周波である⁽¹⁾。また、高強度のパルス発生器やマイクロ波等により引き起こされる IEMI (Intentional Electro Magnetic Interference: 意図的電磁妨害) は HEMP より周波数が高く、上限周波数は 10GHz とされていることが多い⁽²⁾。HEMP の E1 パルスと IEMI は一般的な電磁波対策では不十分であることから、EMP 対策として、HEMP の E1 パルスと IEMI を対象とした。図1に IEC 等で定義されている HEMP 及び IEMI の電界強度と周波数の関係を示す。必要な対策性能(電磁シールド性能)として、1GHz で 80dB (1/10000 の減衰)が必要とされている⁽¹⁾。また、HEMP は単パルスであるのに対し、IEMI はパルスが繰り返し印加されるバースト波という違いがある。

*1 総合研究所 電子・物理研究部

*2 総合研究所 燃焼研究部

*3 三菱重工エンジニアリング(株)脱炭素事業推進室

*4 総合研究所 製造研究部

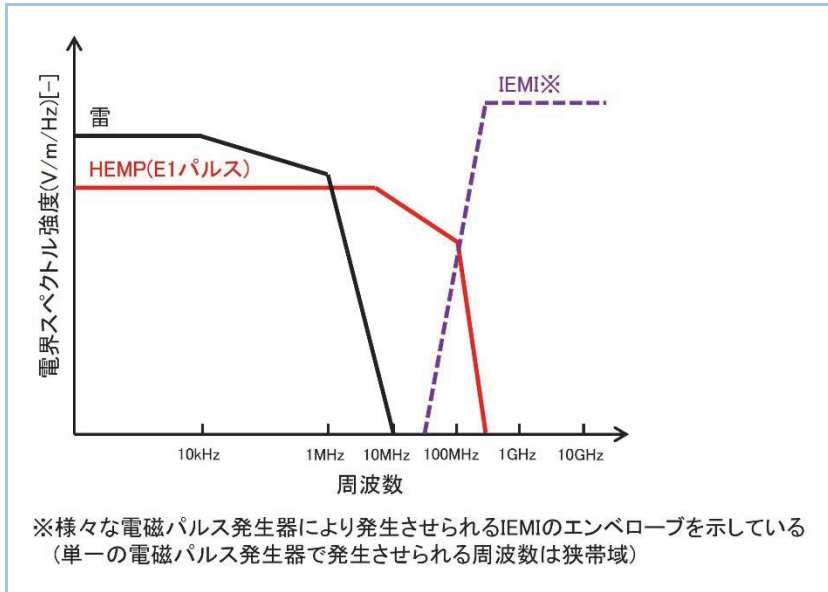


図1 EMPの周波数と電界スペクトル強度⁽²⁾

3. 通風口用 EMP シールドのコンセプト

通風口等での電磁波対策としては、ハニカムシールドが一般的に用いられる。ハニカムシールドは金属の薄板をハニカム状に敷き詰めたもので、ハニカム径が小さく、奥行き方向に長くなるほど電磁シールド性能が高くなる。また、電磁シールド性能を持たせるためにはハニカム径を波長の1/2以下とする必要がある。EMP対策をする場合、GHzを超える周波数に対して高シールド性能を持たせる必要があり、ハニカムシールド挿入により圧損が大きく増加し、冷却性能を満足できなくなるという課題がある。

ハニカムセルは平面状に最も開口面積が取れる形状ではあるが、上記課題を解決するためにはハニカムシールドよりも圧損を低減できる構造を創出する必要がある。図2に示すようにハニカムセルをテーパ状にすることで、投影面積上、より多くセルを敷き詰めることが可能になることからEMPシールド構造のコンセプトとしてテーパ状ハニカムセルを用いることとした。

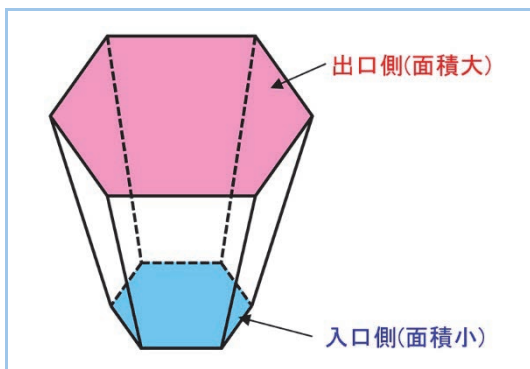


図2 テーパ状ハニカムセル

4. 通風口用 EMP シールドの形状検討

通風口用EMPシールドは、3章で説明したテーパ状ハニカムセルの集合体として構成し、圧損及び電磁シールド性能の最適化のため、圧損及び電磁シールド性能のシミュレーションを繰り返して、両者の性能を満足する形状を検討した。

電磁シールド性能にはテーパ状ハニカムセルのハニカム径、長さ、テーパ比(入口側・出口側セル径の比)が影響する。EMP対策として必要なシールド性能を満足するハニカムセル形状の設定のため、図3に示す入口と出口で径の異なるテーパ状ハニカムセルに関し、有限差分時間領

域法(FDTD 法:Finite-Difference Time-Domain method)による3次元電磁界解析を行い、電磁シールド性能に与えるテーパ影響を評価した。表1に結果を示す。テーパなしの基準条件に対し、テーパ比 1.5, 2.0 のものは電磁シールド性能が下がっているが、電磁シールド性能の低下比率は(d)のテーパなしの基準条件の中間セルサイズを基準とした中間セルサイズ比と概ね一致している。形状最適化には、入口・出口側セルの寸法・テーパ比を幾通りも変化させる必要があるが、この結果により、テーパなしの条件のみを解析することで、テーパ比を変えた際の電磁シールド性能の成立範囲を取得でき、効率的な形状最適化の検討が行えることが分かった。

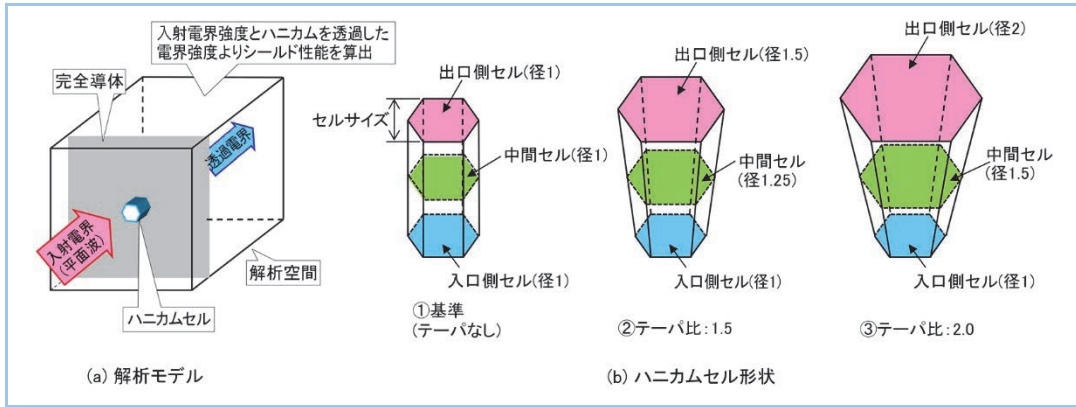


図3 テーパ状ハニカムセルの電磁シールド影響評価モデル

表1 テーパ状ハニカムセルの電磁シールド影響評価結果

解析条件	①基準 (テーパなし)	②テーパ比 1.50	③テーパ比 2.00
(a)入口側セルサイズ	1.00	1.00	1.00
(b)出口側セルサイズ	1.00	1.50	2.00
(c)中間セルサイズ (=入口・出口側セルサイズの平均値)	1.00	1.25	1.50
(d)中間セルサイズ比 (①を基準とした中間セルサイズの比)	1.00	0.80	0.67
電磁シールド性能[-]@10GHz	1.00	0.86	0.79

表の数値は全て①基準(テーパなし)を基準とした相対値

圧損にはテーパ状ハニカムセル単体の形状、集合度(セル数)、風を流せないデッドスペース、構造内部での風流れの歪曲等が影響する。

図4に形状案を示す。テーパ状ハニカムセルを単純に集合させると図4(a)のように半球状のドーム形状になるが、ドーム端部には大きなデッドスペースが生じ、端部に行くほど風流れの歪曲が大きくなる。デッドスペース及び風流れの歪曲を低減させ、流速分布を平準化させるため、図4(b)のようにハニカム径、長さ、及びテーパ比を場所毎に変えたセルを集合させた扁平ドーム形状とし、さらに圧損を低減できるよう、デッドスペースに整流構造を追加した構成とした。

テーパ状ハニカムセルの形状を変えて圧損のパラメータスタディを行い、圧損が最小となり、電磁シールド性能を満足する最終形状を決定した。最終形状を図5に示す。最終形状は扁平ドームハニカムを敷き詰めた構成であるが、ドーム隣接部にはドーム化できない領域が残る。この領域も風を通せるようにするため、ハニカム状の穴を開けた。

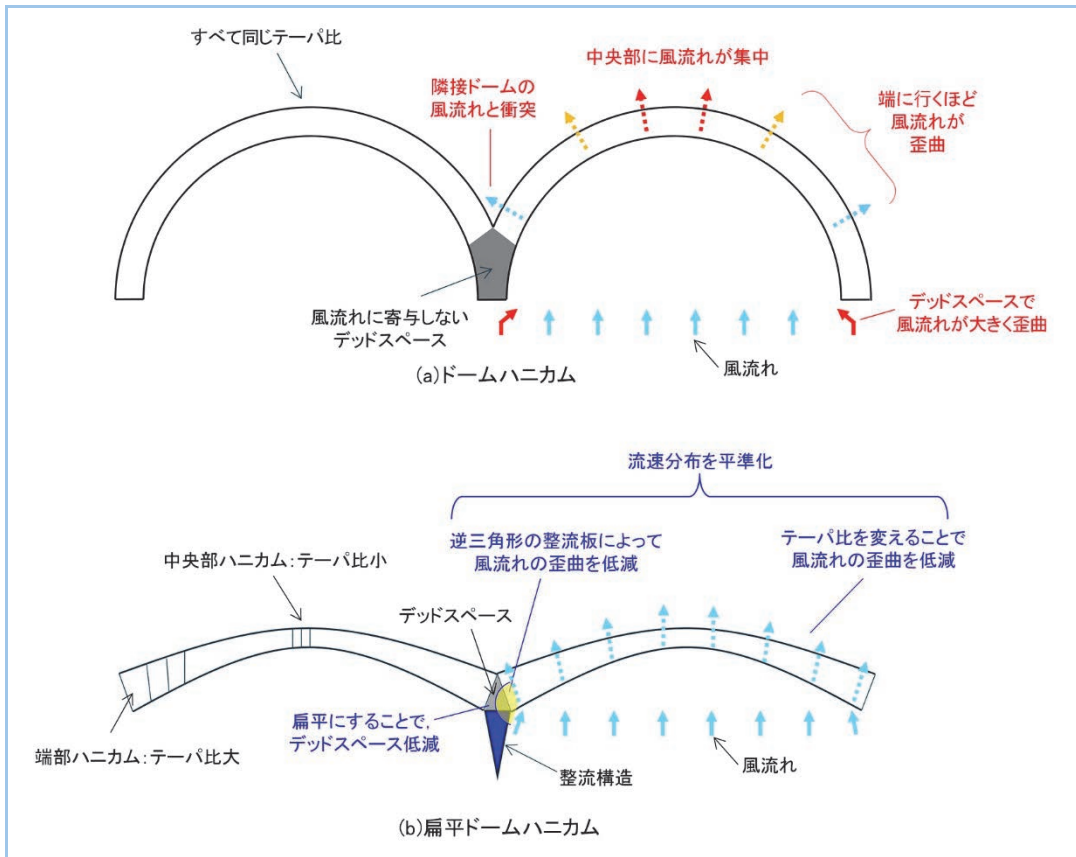


図4 通風口用 EMP シールドの形状案

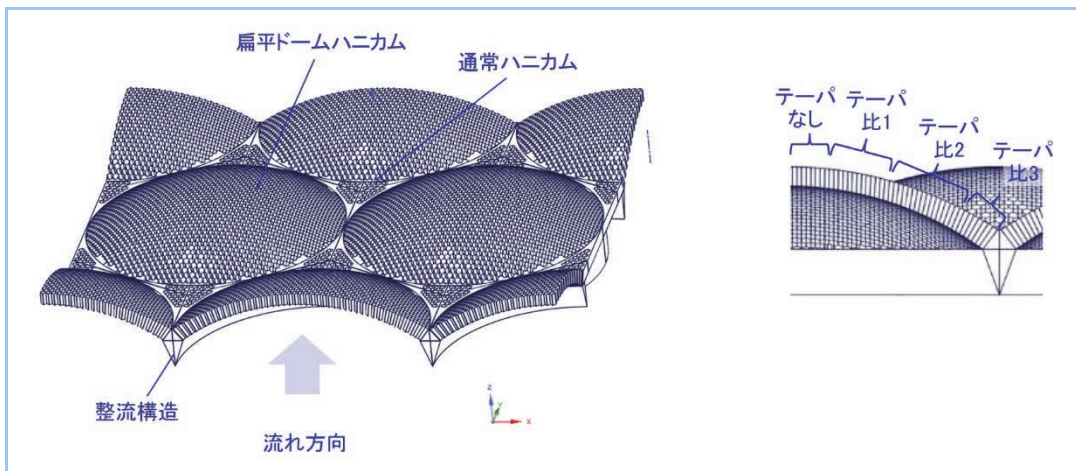


図5 通風口用 EMP シールドの最終形状

5. 通風口用 EMP シールドの製作・性能評価

5.1 供試体製作

4章で決定した形状は非常に複雑であり、一般的な機械加工では実現できないため、AM 造形にて製作することとした。本構造はハニカムセル部が薄肉で、全体の造形サイズは大型、且つオーバーハングの大きなドーム形状のため、造形時にサポート材が必要であるが、薄肉が故にサポート材の除去時にハニカム構造を傷つけてしまうため、製作難易度が高い。そのため、ハニカム形状を傷つけずにサポート材を除去する方法を複数評価した。結果を表2に示す。スキルタッチ(柔らかい研磨パッド)を用いてサポート材を粗く取り、ショットブラスト処置を行うことで、ハニカム構造を傷つけずバリも含めて除去できることを確認した。

表2 ドームハニカム構造のサポート材除去方法評価結果

※作業時は保護手袋を着用し実施。写真撮影時のみ素手

	タガネ	ニッパー	エンドミル	スキルタッチ	スキルタッチ +ショットブラスト
イメージ図					
メリット	・除去能率が高い	・薄板ハニカムを傷つけるリスクが低い	・除去能率が高い。 ・5軸マシニングを使えば、歪曲面に沿った加工が可能(形状精度良好)	・除去能率が高い	・スキルタッチで残ったバリの除去可能
デメリット	・歪曲面の除去が困難 ・薄板ハニカムが変形するリスクが高い	・除去能率が低い ・サポートが根元から取れないので、仕上げ加工が必須。	・薄板の加工が困難(熱の影響を受けて薄板部がつぶれる。写真参照)	・若干バリが残る(下写真参照) ・人為的な作業のため精度保証が不可。	・表面粗度が機械加工品よりも劣る。(但し、造形品の面粗度よりは良好)
実施状況	ハニカム変形リスク大のため未実施	作業時間大のため未実施			

上記手法を用いて、性能評価用の供試体を製作した。製作した供試体を図6に示す。

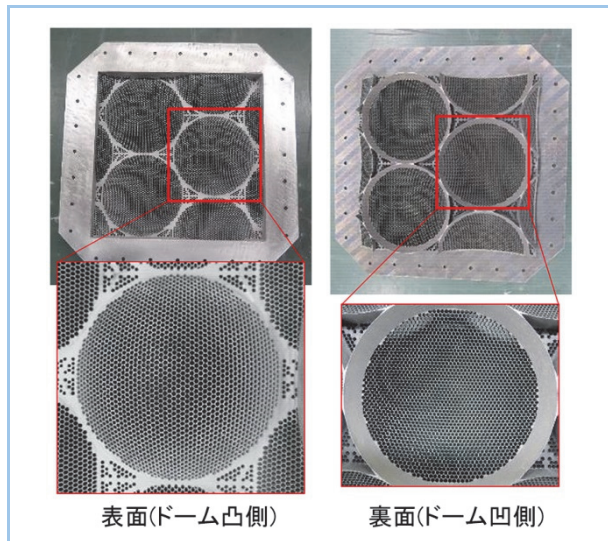


図6 AM造形にて製作した供試体(金属製)

5.2 圧損評価

最終形状に対し CFD(Computational Fluid Dynamics)解析を行い、ドームハニカムの流速分布を評価した。図7に結果を示す。ドーム形状の扁平化・整流構造により、流速分布が平準化し、圧損を低減できている結果を得た。

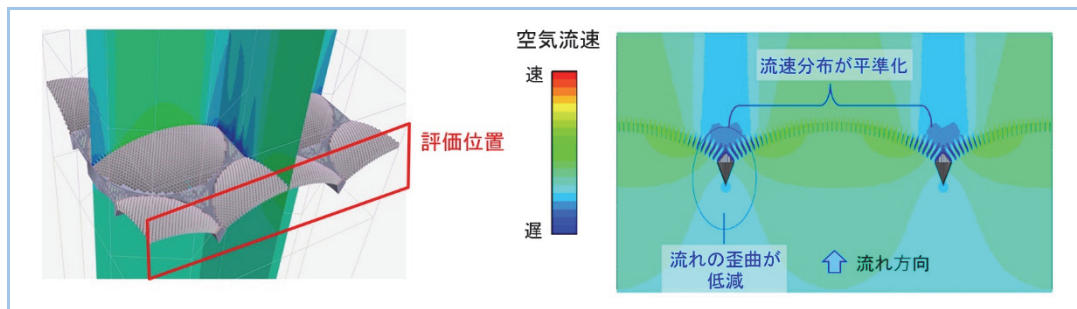


図7 最終形状のCFD解析結果

製作した供試体に対し、風量・設置角度・温度を変化させ、供試体の圧損を評価した。試験セットアップは図8であり、出口に静圧回復させる空間を設置し、壁圧を測定することにより試験時に

供試体の設置角度に応じた計測器の調整を不要とする構成とした。解析及び試験で得られた圧損性能の評価結果を図9に示す。通常ハニカムシールド(供試体と同じ電磁シールド性能を持たせる寸法とした)に対し、扁平ドームハニカムの圧損は大きく低減できており、解析と試験結果もよい一致を示すことを確認した。

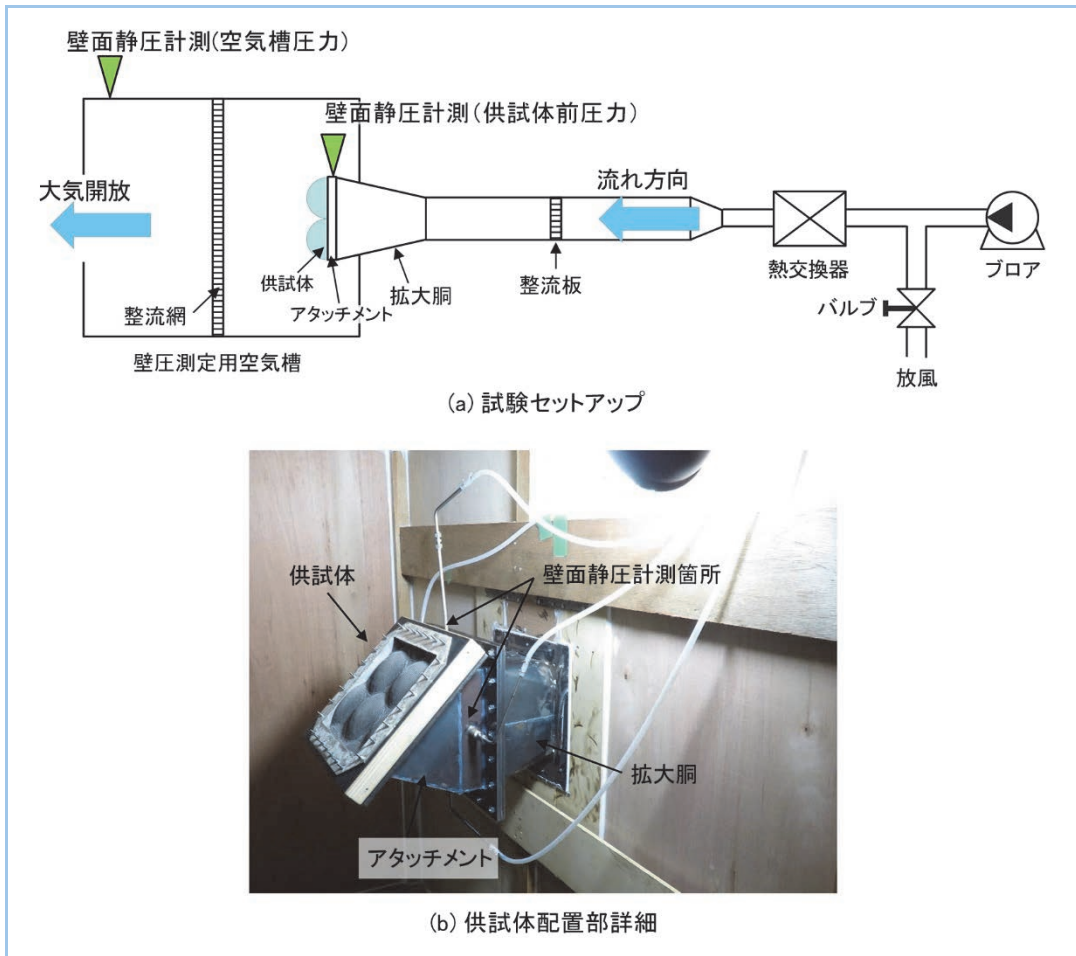


図8 圧損評価試験セットアップ

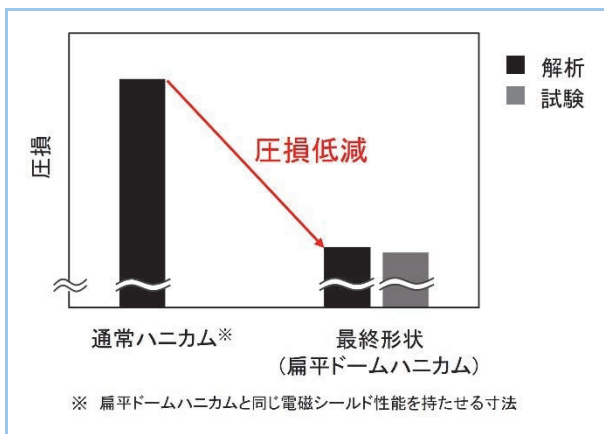


図9 最終形状の圧損性能評価結果

5.3 電磁シールド性能評価

電磁シールド性能評価は、図10に示す電磁シールド性能評価手法の代表手法であるIEEE-STD-299に準拠した構成にて行った。供試体あり、なしの状態を送信室に配置した送信アンテナから電波を照射し、受信室に配置した受信アンテナで受信電力を測定し、供試体なしの際の受信電力と供試体ありの際の受信電力の比より電磁シールド性能を算出した。また、図11に示すように試験と同じ構成をモデル化し、テーパ状ハニカムセルの評価と同様にFDTD法による3

次元電磁界解析を実施し、電磁シールド性能を評価した。解析での評価も試験と同様に、供試体あり、なしでのドームハニカムを通過した電界の比より電磁シールド性能を算出した。試験・解析の結果を図 12 に示す。試験・解析ともによい一致を示しており、目標性能である 80dB@10GHz を達成することを確認した。

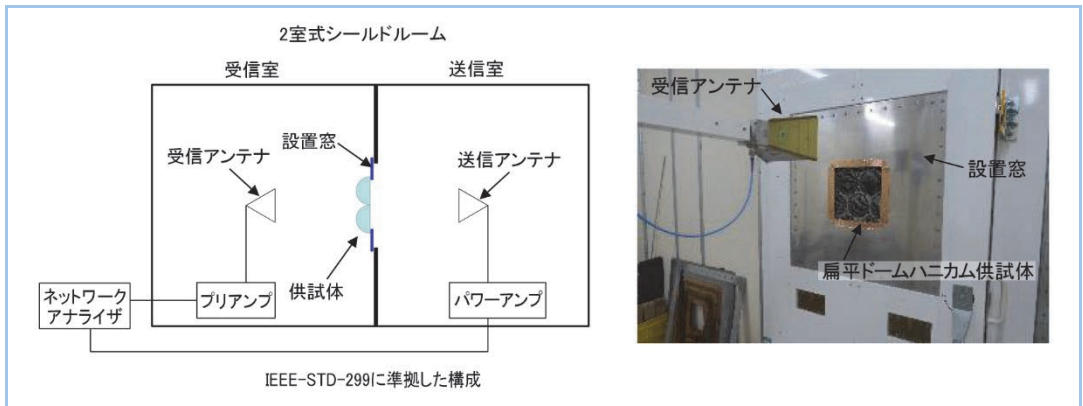


図 10 電磁シールド性能評価 試験セットアップ

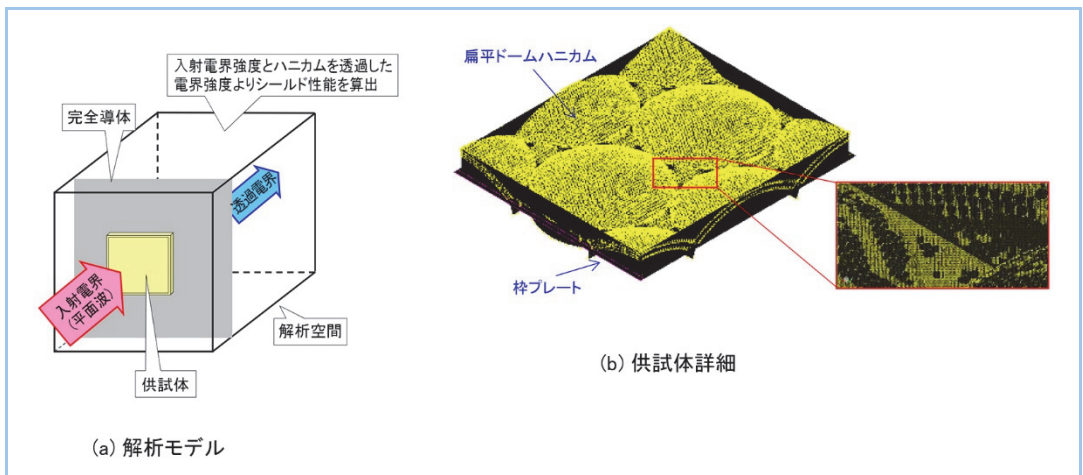


図 11 電磁界解析 評価構成

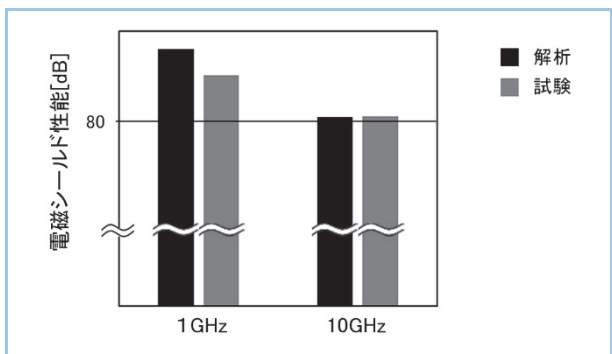


図 12 電磁シールド性能評価結果

6. まとめ

機器の電子化・情報化が進んだ近年の課題と考えられる EMP 対策で、機能上、開口部としなければならない、また制約上、冷却性能の設計余裕の小さな通風口に適用する EMP 対策用のシールド構造について、既存のハニカムシールドを凌駕する新規形状を模索した。テーパ状ハニカムセルをベースとして CFD による圧損特性と FDTD 法による電磁シールド特性のトレードオフを繰り返して両方の性能を満足する最適形状を創出した。創出したドームハニカム形状は複雑な形状であり、またハニカムセル部は薄肉で鋳物はもちろんのこと、通常の機械加工でも製造が困難

であるため、AM 造形を採用した。大型でオーバーハングの大きなドーム形状のため、AM 造形時にサポート材が必要となり、サポート材の除去方法等を工夫した。製造した供試体を用いて実評価を行い、解析・試験結果が一致すること、及び目標としていた電磁シールド性能と圧損性能を満足することを確認した。

参考文献

- (1) IEC 61000-2-11 Electromagnetic compatibility (EMC) -Part2-11: Environment-Classification of HEMP environments
- (2) IEC 61000-2-13 : Environment-High-power electromagnetic (HPEM) environments-Radiated and conducted