

テレビゴースト障害対策技術の現状

電波吸収機能を有する外壁板について

ウィグナラージャ シバクマラン

Keywords: television broadcast waves, high rise building, exterior wall, reflection, ghost interference, wave absorber material

テレビ電波、高層ビル、外壁、反射、ゴースト障害、電波吸収材

1. はじめに

日本の高度経済成長期以来、都市部での土地の有効利用計画が進められ、各都市に高層ビルが数多く見られるようになってきた。このような高層ビルの急増に伴い、ビルの存在により良質なテレビ受信が阻害される問題、いわゆる「テレビ電波障害問題」が多く発生している。高層建物によるテレビ電波障害には、建築物により電波がさえぎられ、電波の強度が低下する『遮蔽障害』と、建築物の外壁に電波が反射することによりテレビ画像が二重三重になる『ゴースト障害』がある。遮蔽障害は障害を受ける範囲が通常比較的狭く、ケーブルテレビの導入などで対処しやすい問題である。一方、ゴースト障害は建物の立地条件、高さや大きさ次第で広範囲に渡って起ることがあり、場合によっては数千～数万世帯がその影響を受けることもある。本報では、テレビゴースト障害の発生機構、ゴースト障害対策などを紹介し、建物の外壁に電波吸収材料を設置することによるゴースト障害防止技術に焦点をあて、その現状について述べる。

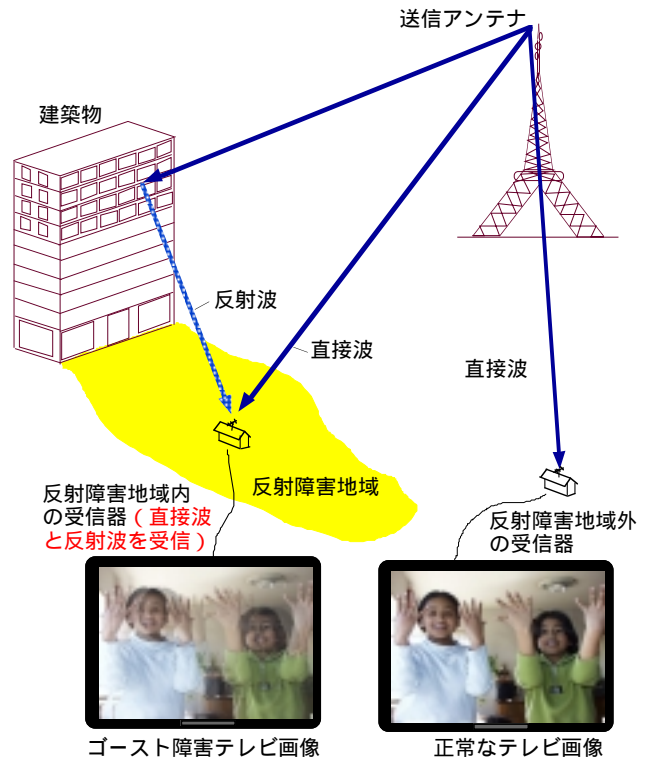


図-1 テレビゴースト現象の発生機構
Principle of the TV ghost phenomenon

2. テレビゴースト障害とその対策

2.1 テレビゴースト障害の発生

図-1 に示すように、テレビ塔から送信されたテレビ電波の直接波と、高層建造物に反射されて強度が弱まった反射波が家庭のテレビで受信される。反射波の伝搬距離が直接波の伝搬距離より長いため、反射波の受信に時間的な遅れが生じ、その結果、テレビ画像が二重三重になるとゴースト障害（反射障害ともいう）が発生する。例えば、反射波の伝搬距離が直接波の距離より 1km 長くなると、反射波が直接波より約 $3\mu\text{s}$ 遅れて受信器に到達する。テレビは画面左から右へ電子線が約 $60\mu\text{s}$ で走査しているため、 $3\mu\text{s}$ の遅れは画面長さの約 $1/20$ に

相当する。従って、直接波が形成する真の映像の右側に、画面長さの約 $1/20$ の位置に反射波が作り出す薄いゴースト映像が発生する。建造物の反射面が高層化などにより大きくなると、障害を受ける地域の規模が増大し、反射波が複合化しゴーストが顕著になることもある。

2.2 ゴースト障害の改善方法

ゴースト障害を改善する方策は、(1)受信側の改善と、(2)建造物側の改善とに大別される。

■ 受信側の改善として、

1) 障害を起す建造物の屋上等に共同受信アンテナを設置し、共同アンテナと各家庭のテレビ受信器を同軸ケーブルで結ぶ方法、

- 2) 既存のケーブルテレビ網に加入する方法，
3) ゴースト除去付テレビ受信器の使用，
などがある．

受信側の改善方法のうち 1) と 2) は，障害を受ける世帯数が少なければ有効な対策である．しかし，障害を受ける世帯数多すぎる場合は，ケーブルテレビ用設備の設置費，メンテナンス費や使用料などが大きな経済的負担になる．

また，3) ゴースト除去付テレビ受信器の使用は，ゴースト除去機能が限定的，コストが高いなどの問題があり，充分普及していないようである．

■ 建造物側の改善としては，

- 1) 建造物の配置，向き，高さ，形状などを設計段階で充分検討しゴースト障害を改善する方法，
 - 2) 建造物の反射壁に傾斜した金属パネルを取り付けたり，壁面自体を傾斜させたりすることにより反射波を上空に逃がす方法，
 - 3) 建造物の壁の鉄筋の代りに FRP 等無反射材を使用することにより電波を透過させる方法，
 - 4) 建造物の反射壁にテレビ電波を吸収する材料を設置し，反射波の強度を小さくする方法，
- などがある．

建造物側の改善策のうち，方法 1) と 2) は建造物の設計の自由度，意匠性，住居性などを妨げるという欠点がある．方法 3) は，壁を透過した電波の再放射等の問題があり，普及に至っていない．現在は，反射壁に電波吸収材料を設置する方法 4) が最も効果的なゴースト障害対策とされている．以下，電波吸収材料の設置によるゴースト障害対策について述べる．

3. 電波吸収材料の設置によるゴースト対策

3.1 電波吸収体の作動原理

ゴースト障害対策のために建造物の外壁に設置される電波吸収体は，磁性損失型電波吸収体と抵抗損失型電波吸収体とに大別される．電波吸収体は少なくとも，1) 表面化粧材（タイル，石材，塗料など），2) 磁性または導電性を有する電波吸収材，3) 反射用金属体の 3 層構造からなる．磁性型電波吸収材としてはタイル状のフェライト（高温で焼成した鉄酸化物セラミック材）または，フェライトを骨材として混入したフェライトコンクリートが実用化されている．抵抗損失型電波吸収材としては，炭素繊維抵抗膜や抵抗棒の使用が提案されている．その他，カーボンビーズや金属繊維などを混入した導電性コ

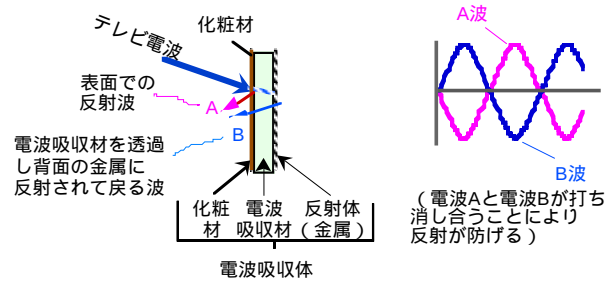


図-2 電波吸収体の作動原理
Principle of wave attenuator

ンクリートの電波吸収材として利用が検討されているが，まだ実用化には至っていない．

電波吸収体の簡易モデルを図-2 に示す．その作動原理は，単純化した形で以下のように説明できる¹⁾．

電波が電波吸収体に入射すると，その一部が表面で反射される（電波 A）．残りは電波吸収材の内部を通過しながら減衰するが，背面の反射金属体に反射され，再び電波吸収材を通過・減衰しながら二次的な反射波となって表面から放射される（電波 B）．図-2 の右側に示す波形ように電波 B の振幅が電波 A の振幅に等しく，位相が 180° 遅れるように電波吸収体が設計できれば，電波 A と電波 B が打ち消し合い，反射がゼロになる．しかし，テレビ電波の場合は放送周波数の範囲が 90 ~ 770MHz と広く，実際には全ての周波数を対象に反射をゼロにすることが困難である．従って，ある特定周波数域での反射波の強度をできるだけ減らすための電波吸収外壁 PCa 板の設計を行い，ゴースト発生の抑制に努める．設計は，化粧材，電波吸収材，電波吸収材と反射金属体間のコンクリート層の個々の厚みと電気的定数（誘電率，透磁率）及び電波の入射方向を考慮し，対象とする周波数での電波吸収性能の最適化を目指して行われる．（電波吸収体の電波吸収性能を構成材料の電気的定数及び厚みから計算する方法は参考文献 2 参照）．なお，設計の際には外壁板の構造鉄筋を反射金属体として併用することもある．

3.2 ゴースト障害対策用電波吸収外壁 PCa 板

建築物に適用できるテレビ電波吸収外壁は，現在，下記 3 種類が実用化されている．

- (a) フェライトタイルを利用した電波吸収 PCa 板³⁻⁶⁾
- (b) フェライト混入コンクリートを利用した電波吸収 PCa 板^{2, 7)}
- (c) 格子状の炭素繊維抵抗膜や抵抗棒を利用した電波吸収 PCa 板⁸⁾

ゴースト障害防止用外壁板は 1979 年に初めて実際の建造物に使用され，その後大宮のソニックシティビル，

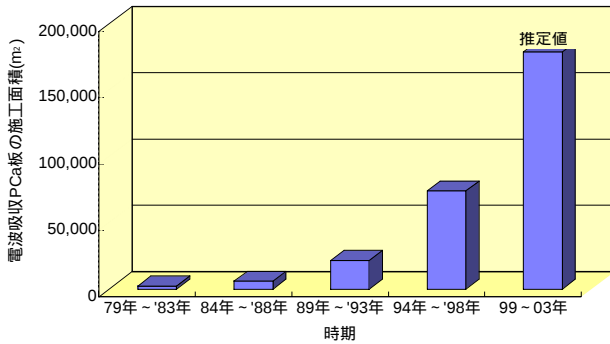


図-3 テレビ電波吸収 PCa 板の施工面積の推移
Area of TV wave attenuating precast wall panels

東京新都庁舎，東京オペラシティ，名古屋 JR セントラルタワースなどの大型物件を含む高層建築物に適用され，現時点では，60 件を超える事例がある．図-3 に示すように，特に 1990 年代に入ってからテレビ電波吸収 PCa 板の使用が増大しており，現在の需要は 3 万～5 万 m^2 /年と推定される．

3.2.1 フェライトタイル方式の電波吸収外壁板

フェライトタイルを利用した電波吸収外壁³⁻⁶⁾は，歴史が最も長いテレビ電波吸収用外壁であり，最も広く普及している．この電波吸収外壁は，外装化粧材（化粧タイル，石材等）とコンクリートの間にフェライトタイルを配置したサンドイッチ構造 PCa 板を使用する．反射金属体としては PCa 板の構造鉄筋を併用するが多い．図-4 にフェライトタイルを配置した PCa 板の基本構造を示す．フェライトタイルは磁性材料であるため，磁界方向に不連続になるように配置された場合は，磁界特性が大幅に劣化し，電波吸収性能が低下する．しかし，電界方向に関しては不連続性による吸収性能の変化が小さい．このため，通常は，図-4 に示すように磁界方向に連続性を保つようにフェライトタイルを配置する必要がある．フェライトタイルは酸化鉄に 2 価の金属（Mn, Zn, Mg, Ni 等）を混合して 1000 以上の高温で焼結したもので，磁器タイルと同様な優れた耐久性を有するが，コンクリートとの付着力が悪い．このため，化粧タイルなどの仕上材を利用してフェライトタイルを固定し脱落を防止する必要がある．その代表的な例を以下に示す．

- 1) 長い裏足を設けた特殊形状の化粧タイルを使用する方法（図-5 参照）．
- 2) 側面に溝が形成された化粧タイルに金属アンカーを係り止めする方法（図-6）．
- 3) 化粧タイルとフェライトタイルとの接合に特殊な樹

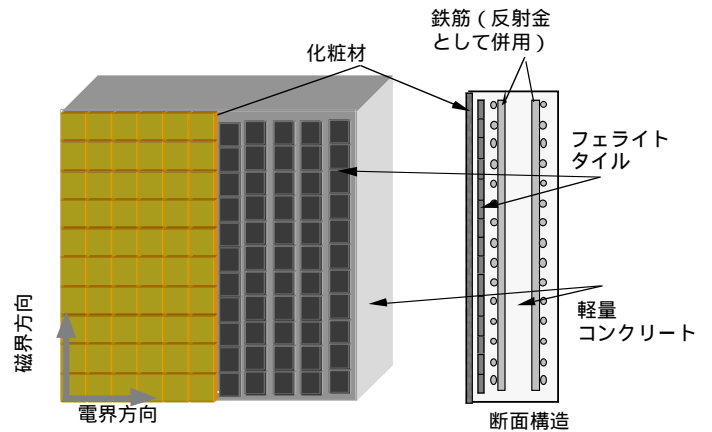


図-4 フェライトタイル方式電波吸収外壁の基本構造
Ferrite tile type wave attenuator panel

脂モルタルを使用するとともに，フェライトタイルにテーパーと貫通孔を設けることによりフェライトタイルを固定し脱落を防止する方法（図-7）．

フェライトタイル方式の電波吸収体は，VHF 周波数域（1～12 チャンネル，90～220MHz）で良好な吸収性能を有するが，UHF 周波数域（13～62 チャンネル，470～770MHz）での吸収性能は劣る．UHF 周波数域の吸収性能を向上させるため，フェライトタイルと他の誘電材料を組み合わせた複合型電波吸収体が提案され，開

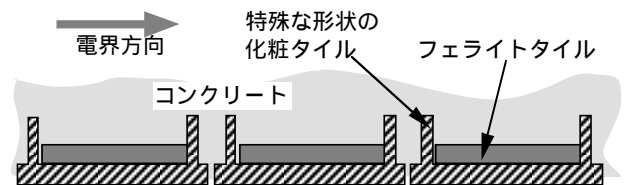


図-5 特殊形状の化粧タイルによるフェライトタイルの固定
Ferrite tiles held in place by specially shaped exterior tiles

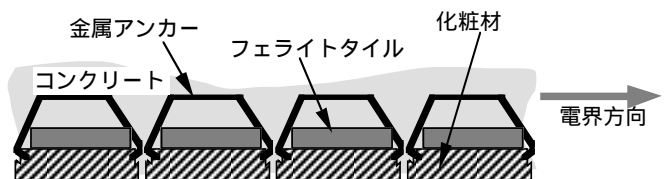


図-6 金属アンカーによるフェライトタイルの固定
Ferrite tiles held in place by metal anchors

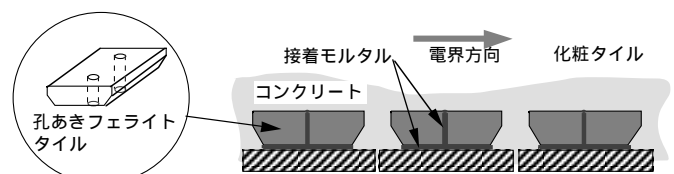


図-7 樹脂モルタルによるフェライトタイルの固定
Ferrite tiles held in place by resin mortar

発が最近活発化している。

3.2.2 フェライトコンクリート方式の電波吸収外壁板

フェライトをコンクリートの骨材として使用したセメント系テレビ電波吸収体^{2,7)}は 1996 年にはじめて実用化された。フェライトコンクリートは、電化製品のコイル、トランス、偏向ヨークなどの磁芯として使用されている Mg-Zn 系及び Mn-Zn 系フェライトを粉砕し粒度調整したものを骨材として使用した磁性コンクリートである。フェライトコンクリート外壁の基本構造は図-8 に示すように、化粧材、フェライトコンクリート層及び軽量コンクリートからなる。フェライトコンクリート層は、テレビ電波の入射方向、化粧材の種類、厚さなどにより、15～25mm 厚の単層または電気特性の異なる 2 層が使用される。フェライトコンクリートと軽量コンクリートの間の付着を確保するために、フェライトコンクリート層を通して軽量コンクリート層まで達する金属アンカーが用いられる。なお、反射金属体としては構造用鉄筋を併用する場合と、フェライトコンクリート層の裏面に金属メッシュを設置する場合がある。

フェライトコンクリート電波吸収体は、VHF 及び UHF 周波数域に安定した吸収特性を有し、複雑な形状に対応可能、電化製品のリサイクル活動の一環としてのフェライト資源の有効利用が可能、などの長所があるが、フェライトタイル方式や下記に述べる抵抗膜方式の吸収体に比べて重いと言うのが短所である。

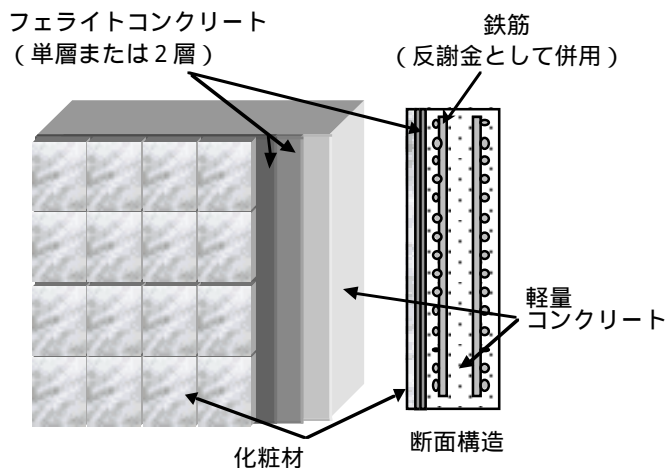


図-8 フェライトコンクリート方式電波吸収板
Ferrite concrete electromagnetic wave attenuator

3.2.3 抵抗膜を利用した電波吸収外壁板

本電波吸収外壁は、格子状の炭素繊維製の抵抗膜を埋め込んだ外壁 PCa 板で、最近になって実用化に至ったものである⁸⁾。このタイプの電波吸収体は $\lambda/4$ 型と呼

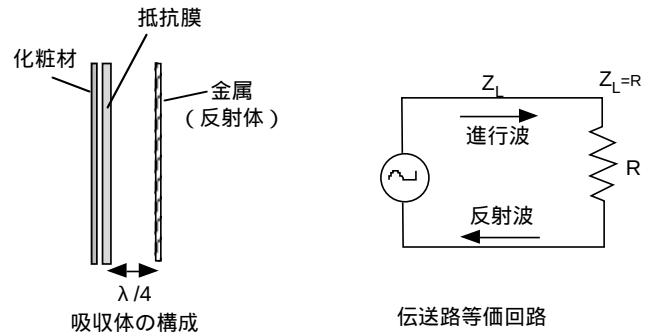


図-9 抵抗損失型電波吸収体とその伝送路等価回路
Resistance loss type wave attenuator and circuit

ばれる原理に基づく吸収体であり、背面の反射金属体から $\lambda/4$ の所の抵抗体を配置したものである（ λ は電波の波長）。その構成例と等価回路を図-9 に示す。純抵抗値 R の値はラインインピーダンス Z_L に等しい時に整合し定在波が立たない（反射が生じない）。抵抗膜方式の電波吸収体はフェライトタイル方式やフェライトコンクリート方式のものに比べると極めて軽量という大きな特徴がある。一方、抵抗膜と反射金属体の距離が波長の $1/4$ である必要性からは、対応可能な周波数は波長の短い UHF 帯中の特定の周波数のみで、波長の長い VHF 周波数帯には実用上不向きである。

3.3 テレビ電波吸収外壁の性能

ゴースト障害対策として建物の外壁部材に要求される電波吸収性能は、建築物の位置、向き、高さ、形状、電波の到来方向など様々な要因を考慮したアセスメントによって決定されるが、反射減衰量として 13 デシベル (dB) 以上が要求される場合が多い。13dB の反射減衰量は電波エネルギーの 95% の吸収に相当する（図-10）。

フェライトタイル方式、フェライトコンクリート方式及び抵抗膜方式の電波吸収体の代表的な吸収性能曲線

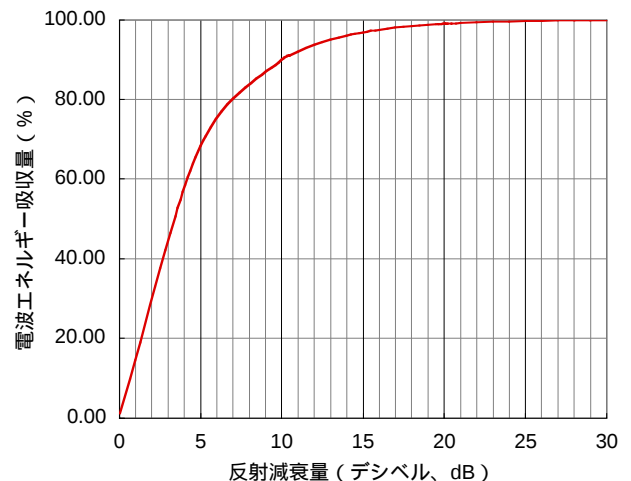


図-10 反射減衰量(dB)と電波吸収エネルギーの関係
Reflection loss and absorbed energy

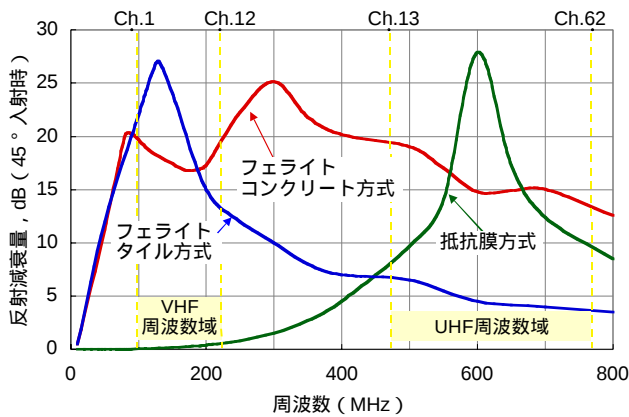


図-11 各種テレビ電波吸収外壁の代表的な吸収特性の比較
Typical wave attenuation characteristics of exterior panels

表-1 電波吸収外壁の主な長所・短所
Merits and demerits of wave attenuators

種類	主な長所	主な短所
フェライト タイル方式	・歴史が長く、実績が多い ・VHF 周波数帯で良好な電波吸収性能	UHF 周波数帯では吸収性能が劣る
フェライト コンクリート 方式	・セメント系で、軽量コンクリートとのなじみが良い ・優れた広域吸収特性（VHF～UHF 周波数帯に対応）	フェライトコンクリート層が重い（フェライトタイルの重量に比べ、1.5～2.5 倍の重量）
抵抗膜方式	・極めて軽い ・特定の UHF 周波数帯で高い電波吸収性能	・VHF 周波数帯に対応できるものはない

の比較を図-11 に、3 種類の主な特徴を表-1 に示す。

ゴースト対策用電波吸収 PCa 板は、建物への取り付けの前に原則として全数検査により所定の電波吸収性能を保有していることの確認を要する。数トンの重さの PCa パネルを一枚一枚検査装置に取り付けて測定を行うため、検査装置を PCa 板製造工場の敷地内に設置する必要がある。検査方法の詳細は省略するが、垂直入射の電波の場合のみに使用可能な「自由空間定在波法」と、斜入電波の場合も使用可能な「タイムドメイン法」の二つの方法の何れかが用いられる³⁾。

4. おわりに

最近までは、テレビゴースト対策が都市部を中心であったため、VHF 周波数域（1～12 チャンネル）を対象

にしたものが殆どであった。しかし、高層ビルの地方分散が進むにつれ、VHF 域に加え、UHF 域（13～62 チャンネル）のテレビゴースト対策を要するケースも出始めている。このため、UHF 域に対応した電波吸収体や VHF と UHF 両域に対応した広帯域電波吸収体の開発が現在活発化している。その一方で、次世代のテレビ放送システムとして、地上波デジタルテレビ放送が 2003 年までに東京、大阪、名古屋の 3 大都市で開始される予定で、2006 年までに全国で開始できるように準備が進められている。また、2010 ごろには現在のアナログ放送が打切られる予定である。地上波デジタルテレビ放送の場合、どのような電波障害が起こるのかがまだ十分明確ではないが、デジタル信号にはエラーに対する補償機能が働くため、ゴースト障害に強いと考えられている。しかし、反射波の度合いや都市部での複合ゴースト障害などにより補償機能の限界を超えることも考えられ、まったく視聴できない事態が発生する可能性が指摘されている。このような場合は電波吸収体の設置等による障害防止対策は今まで以上に重要となると予想される。なお、地上波デジタルテレビ放送周波数域は UHF 帯のローチャンネル域（13～32 チャンネル、470～590MHz）が使用される可能性が高いため、UHF 周波数を対象にした各種電波吸収材料及び電波吸収外壁のニーズが高まると思われる。

参考文献

- 1) 石野 健, 橋本康雄: 建築と環境障害, 建造物における対策, 電気設備学会誌, 平成 4 年 2 月
- 2) ウィグナラージャ シバクマラン, 田中秀男, 田中一哉, 山田哲夫, 宮崎宏志: 電波吸収モルタルの実用化に関する研究, 大成建設技術研究所報, Vol.30, pp.65-68, 1997.
- 3) 脇中義孝: 建築における電波吸収体について, 建築学会電波吸収体 SWG 資料, 1998.
- 4) 伊藤博延, 三好泰宏: 建造物によるテレビ電波障害改善のための電波吸収パネル, VIEW 7(1988), No.6, p.13
- 5) 多田 稔ら: テレビゴースト防止用電波吸収パネルの設計施工 その 2, 日本建築学会大会学術講演概要集 1995 年 8 月, pp.1067-1068
- 6) 実用新案平 4-8512 号
- 7) Wignarajah Sivakumaran ら: 電波吸収コンクリートカーテンウォール, コンクリート工学, Vol.36, No.1, pp.19-23, 1998.
- 8) 大谷 陽, 小林美亀雄, 笠島善憲, 中川裕章: 炭素繊維抵抗膜を用いたテレビ電波吸収壁の開発, その 1 CF 抵抗膜の電気的特性と電波吸収性能, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.677-678, 1996