

(研究資料)

多積層木質系複合材料の製造とその電磁波シールド特性
及び二三の性質

加藤昭四郎⁽¹⁾, 黒須博司⁽²⁾, 村山敏博⁽³⁾

KATÔ, Shôshirô, KUROSU, Hiroshi and MURAYAMA, Toshihiro: Production
of Multi-Laminated Wood Composites and Its Electromagnetic Shielding

Effectiveness and Some Other Properties

(Research note)

要旨: 合板, 金属, ポリマーセメントモルタル (PCM) からなる多積層木質系複合材料を製造し, その電磁波シールド特性及び二三の性質について検討した。

合板に鉄箔 (50 μ), 銅箔 (10~50 μ) あるいはアルミ箔 (20 μ) を積層し, その上に PCM を塗布した 3 層系複合材料は, 30~500 MHz の領域における電界及び磁界の電磁波シールド効果が 30 dB 以上あり, 米国連邦通信委員会 (FCC) の規制基準を完全にクリアした。そして, 鉄箔系のシールド効果は 30~60 dB, 銅箔及びアルミ箔系では 50~80 dB とさらに向上し, 銅箔の厚さによる差はなかった。一方, 銅粉末を塗布あるいは接着剤に混入した複合材料には, 電磁波シールド効果がほとんどなかった。

合板/鉄箔/PCM の 3 層系複合材料の曲げ性能を合板と比較すると, 曲げ強さは鉄箔の影響により 30~40% 増加したが, 曲げヤング係数は PCM の影響により 5~30% 低下した。そして, 熱伝導率は合板より 20~30% 上昇し, 表面の吸水量は合板の約 1/3 に減少し, ガスバーナーによる燃焼試験では発炎の抑制効果があった。

1. 結 言

木質材料と異種材料とを複合することにより, 木質材料の性能向上や木質材料への新性能の付与が可能になる。著者の一人は, 昭和 40 年頃から木材とプラスチック, 木質と石膏とプラスチック, 木質とセメントとプラスチックなどからなる多元複合材料を開発してきた (村山, 1978 a, 1978 b, 1978 c, 1978 d, 1979)。

近年, マイクロコンピューターをはじめとする電子機器が多くの産業分野に普及してきた。それに伴い, 電子機器装置から発生する電磁波がほかの電子機器装置の誤動作や妨害雑音の原因となり, 社会問題化している。その対策として, 電磁波障害や無線周波障害を規制する動きが起こり, 米国連邦通信委員会 (FCC) では, 商業用コンピューターと家庭用パソコン・TV ゲームのクラス別に, 各周波数帯

1990 年 3 月 30 日受理

化工-4 Wood Chemistry-4

(1)(2) 木材化工部

(3) 元林産化学部

本報告の一部は, 第 34 回木材学会大会 (1984. 4) 及び第 35 回木材学会大会 (1985. 4) において発表した。

ごとの規制基準を設定している。一方、放射する電磁波を遮蔽するために、電子機器のプラスチック製のケースやハウジングに導電性を付与する技術が開発された。次いで、電子機器が使用される空間を遮蔽するために、電磁波シールド性の内装材料の開発が始められた。しかし、木質系の内装材料としては、炭素繊維をコアにもつ MDF (富村, 1987), Ni メッキパーティクルボード (長澤, 1989) が開発されているのみである。

本研究では、基材の合板と導電性のある金属及び耐水性ポリマーセメントモルタルを積層法によって複合化し、電磁波シールド性と耐水性を合わせ備えた多機能性木質材料の開発について報告する。

2. 実験方法

2.1 原材料

基材には 3 プライラワン合板 (300×300×5 mm) を使用した。

金属箔としては、鉄箔 (厚さ 50 μ), 銅箔 (厚さ 10, 18, 35, 50 μ), アルミ箔 (厚さ 20 μ) を、金属粉末としては銅粉末を、それぞれ使用した。

ポリマーセメントモルタル (PCM) には、日本鋼管(株)製の NKK ガンテックを使用した。その組成は、細骨材 (高炉水砕スラグ) 55%, セメント (高炉セメント系化合物) 25%, ポリマー (スチレン・ブタジエン系ゴムラテックス) 20% である。

表面仕上げ材は、日本鋼管(株)製の NKK トップコート (TC) (ABS 系ポリマー水性タイプ) と化粧単板 (カリン, 厚さ 0.25 mm) を使用した。

2.2 多積層複合材料の製造方法

多積層複合材料の種類を図 1 に示す。

3 層系複合材料は図 2 のフローチャートに従って製造した。まず、合板に金属箔を接着した。接着方

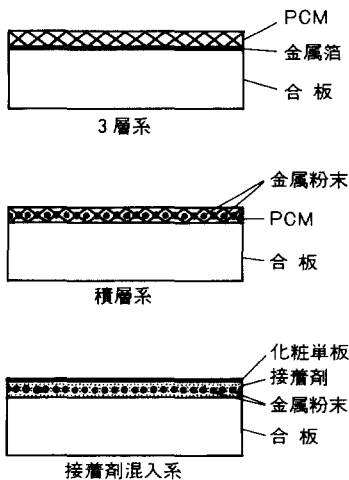


図 1. 多積層複合材料の種類

法は、水性ビニルウレタン系接着剤を 150~200 g/m² 塗布し、圧縮圧 2~3 kgf/cm² で 8 時間冷圧した。次に、PCM をスプレー法と粉末法により厚さを変えて塗布した。スプレー法は、PCM を基本配合に従って混練し、水で粘度調整をしてモルタルガンによって塗布した。粉末法は、ポリマーをあらかじめ金属箔の上に塗布した後、細骨材と高炉系セメント (写真 1) を混合した粉末を散布し、過剰な粉末を払い落とした。

スプレー法において、一部の実験では細骨材をふるい分けし、60 メッシュを通過したもの (平均粒子径 200 μ) とそれを微粉碎したもの (平均粒子径 10 μ) の大小二通りとした (写真 2)。

積層系複合材料は、銅粉末を PCM に 8~20%

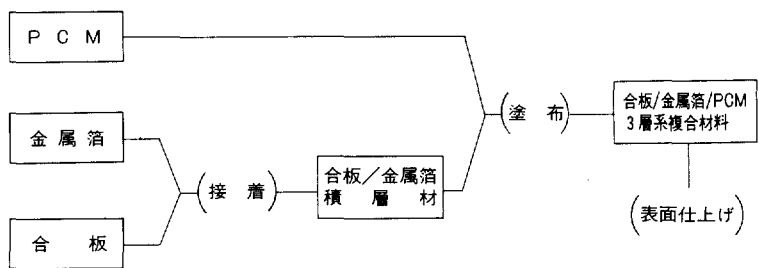


図 2. 3層系複合材料の製造フローチャート

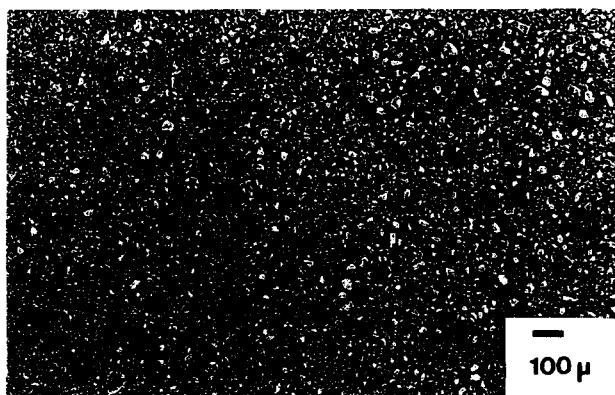
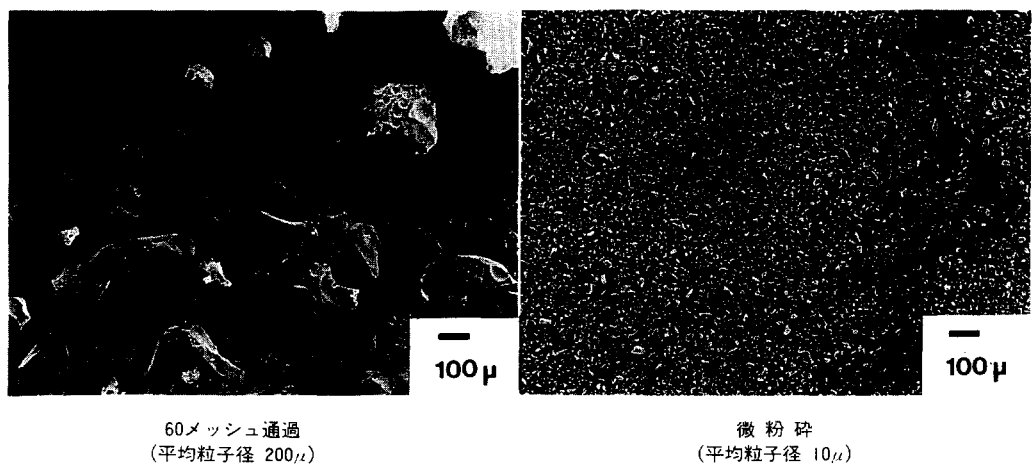


写真 1. 高炉系セメントの SEM 写真



60メッシュ通過
(平均粒子径 200 μ)

微粉砕
(平均粒子径 10 μ)

写真 2. 細骨材の SEM 写真

混練し、スプレー法によって合板に直接塗布して製造した。

接着剤混入系複合材料は、銅粉末を 5% あるいは 10% 混合した水性ビニルウレタン系接着剤を合板に塗布し、化粧単板を圧縮圧 5 kgf/cm^2 、温度 110°C 、圧縮時間 90 秒で接着して製造した。

2.3 複合材料の物性測定方法

電磁波シールド効果の測定は、タケダ理研工業(株)製のシールド効果評価器 (TR 17301) 及びスペクトルアナライザ (TR 4172) を用いて行った。この装置は、試料のシールド効果を電界と磁界とに分けて測定するもので、周波数レンジは $10\sim 1000 \text{ MHz}$ 、測定可能な試料の寸法は長さ $200\times$ 幅 $200 \text{ mm}\times$ 厚さ 5 mm 以下である。装置の全体配置の概要を写真 3 に、シールド効果評価器を写真 4 に示す。この評価器は、金属製の箱の中央に試料をセットし、その片側に発信用のアンテナを、反対側に受

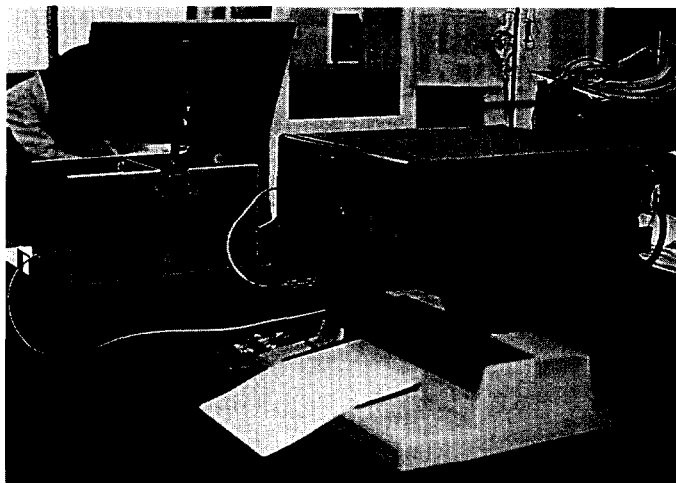


写真 3. 電磁波シールド測定装置 (タケダ理研法)

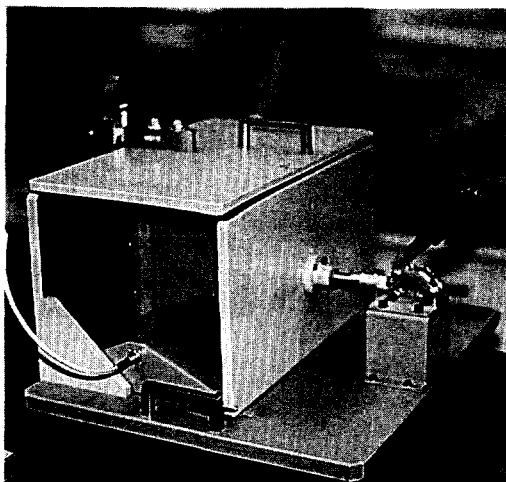


写真 4. シールド効果評価器

信用のアンテナを置いて、それぞれがスペクトルアナライザに接続されている。

曲げ試験は、東洋測器(株)製万能引張試験機 UTM-4 により、クロスヘッド速度 5 mm/min、中央集中荷重で行った。試験片は幅 20 mm、長さ 140 mm、スパン 100 mm である。

熱伝導率は、米国 Dynatech 社製 K-Matic 型（熱流計法）により、300×300 mm の試験片を 2 枚重ねて測定した。

吸水試験は、表面を除いてほかの 5 面をパラフィンでシールし、表面を吸水面として水に浮かべ室温で行った。

燃焼試験は、都市ガス用ブンゼンバーナーを用い、炎の高さ及び試料とバーナーとの距離を 11 cm と一定、試料の角度を 45 度として行った。

3. 結果と考察

3.1 3層系複合材料の断面観察

3層系複合材料の鋸断面を写真 5 に示す。

細骨材の粒子の大小（写真 6）及び、PCM の塗布法によって（写真 7）PCM 層の密度が異なり、細骨材の粒子の小さいもの及び、スプレー法によるもので PCM 層が緻密になった。以上の断面写真から原材料の厚さ分率を計算すると、表 1 のようになり、鉄箔の厚さ分率は 1% である。

3.2 3層系複合材料の電磁波シールド特性

鉄箔を積層した複合材料の電磁波シールド効果を図 3 に示す。合板、合板/PCM は電界・磁界ともにシールド効果はほとんどなかった。これに対して合板/鉄箔はかなりのシールド効果があり、30 dB

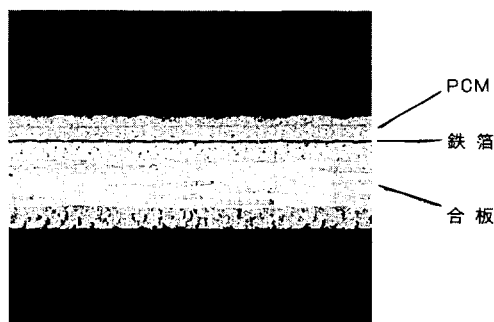


写真 5. 3層系複合材料（鉄箔）の鋸断面

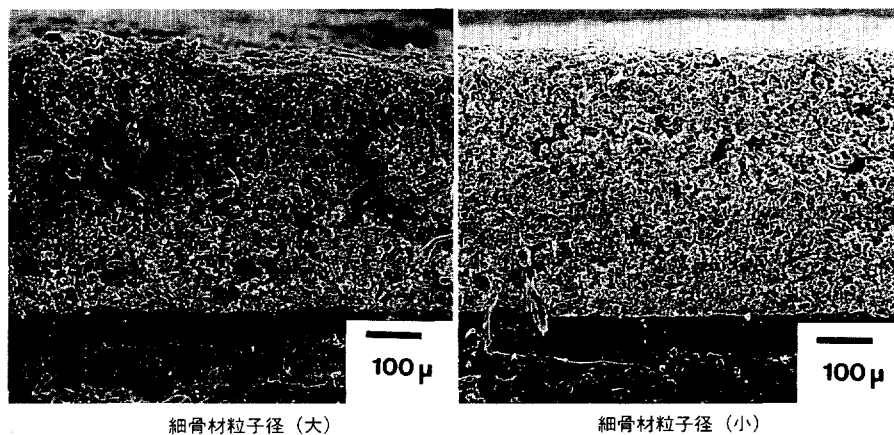
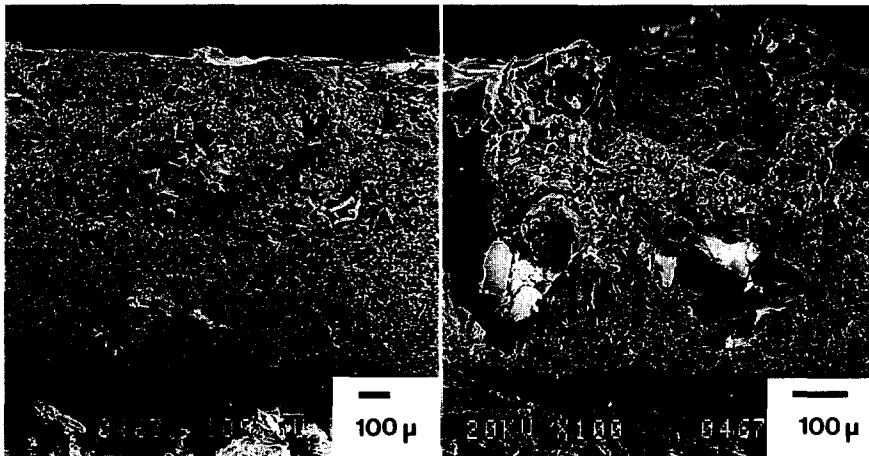


写真 6. 3層系複合材料（鉄箔）の鋸断面の SEM 写真



スプレー法
粉末法
写真 7. 3層系複合材料（鉄箔）の鋸断面の SEM 写真

表 1. 3層系複合材料（鉄箔）の原材料の厚さ分率

複 合 材 料	PCMの積層法	PCMの厚さ	原材料の厚さ分率 (%)			
			合板	鉄箔	PCM	TC
合板			100			
合板/鉄箔			99	1		
合板/鉄箔/PCM	スプレー法	薄	84	1	15	
		厚	77	1	22	
	粉末法	薄	87	1	12	
		厚	83	1	16	
合板/鉄箔/PCM/TC	スプレー法	薄	83	1	15	1
		厚	77	1	22	0
	粉末法	薄	87	1	12	0
		厚	83	1	16	0

PCM：ポリマーセメントモルタル TC：トップコート

以上の効果を示す領域は電界で 30~270 MHz、磁界で 30~350 MHz であった。合板/鉄箔/PCM/TC ではさらにシールド効果が増し、30~500 MHz において電界・磁界ともに 30~50 dBのシールド効果があった。この性能は FCC の規制基準を越えることから、3層系複合材料は実用性のある電磁波シールド材料といえる。

図 3 から、PCM はシールド効果がなかったが、合板/鉄箔に PCM/TC を積層するとシールド効果が増加することから、両者の相乗効果が推測される。

PCM 層の厚さ及び PCM 中の細骨材の粒子径を変えて電磁波シールド効果を測定し、図 4 と図 5

に示した。いずれの試料も電界・磁界ともに、30~500 MHz の領域で 30~60 dB の良好なシールド効果を示したが、PCM 層の厚さ及び PCM 中の細骨材の粒子径の影響は明らかではなかった。

次に、銅箔あるいはアルミ箔を使用した3層系複合材料の電磁波シールド効果を測定し、図6に示した。銅箔系は、電界・磁界ともに、30~500 MHz の領域で 50~80 dB の高度なシールド効果を示した。アルミ箔系もほとんど同程度のシールド効果を示したが、磁界の 300 MHz 以上のシールド効果が

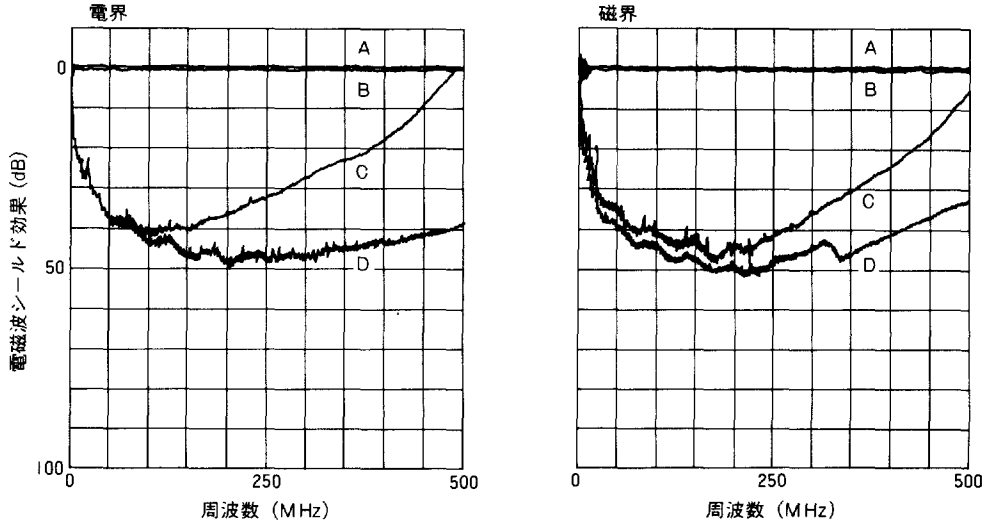


図 3. 3層系複合材料(鉄箔)の原材料の電磁波シールド効果

- A. 合板 B. 合板/PCM
- C. 合板/鉄箔 D. 合板/鉄箔/PCM/TC

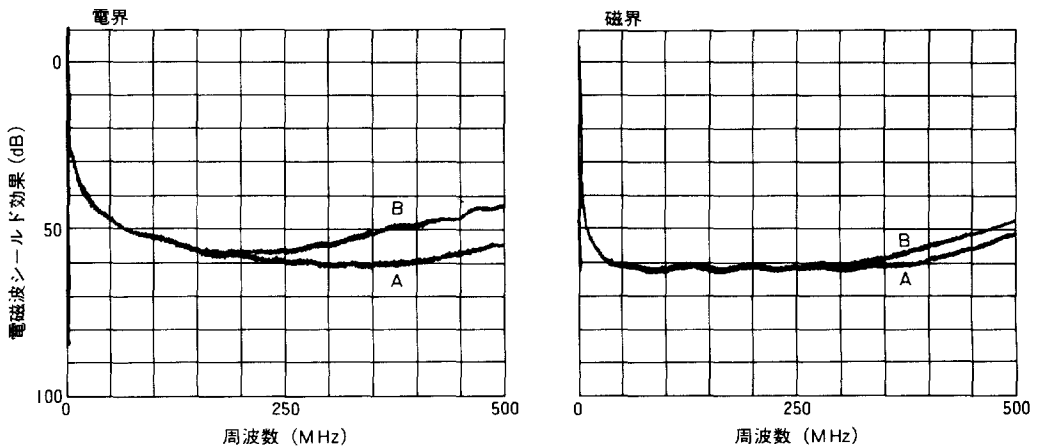


図 4. 3層系複合材料(鉄箔)の電磁波シールド効果(細骨材粒子径 大)

- A. PCM 層(薄) B. PCM 層(厚)

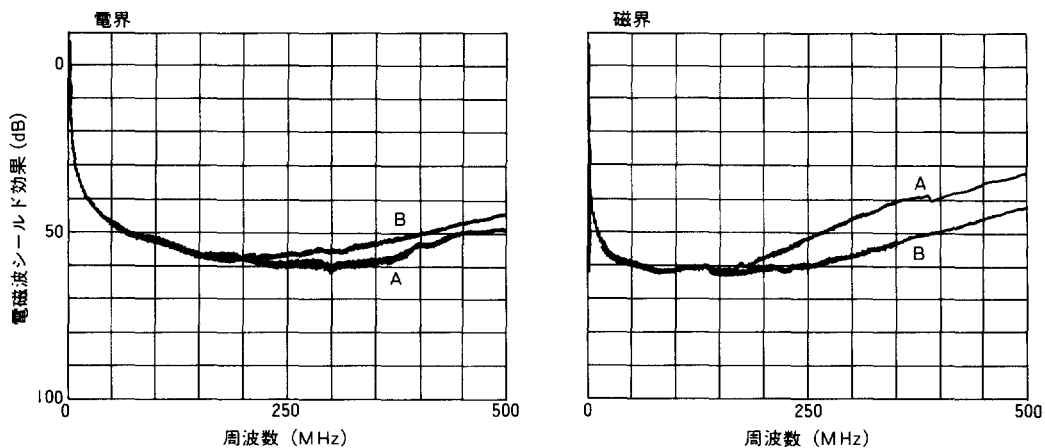


図 5. 3層系複合材料（鉄箔）の電磁波シールド効果（細骨材粒子径 小）
A. PCM層（薄） B. PCM層（厚）

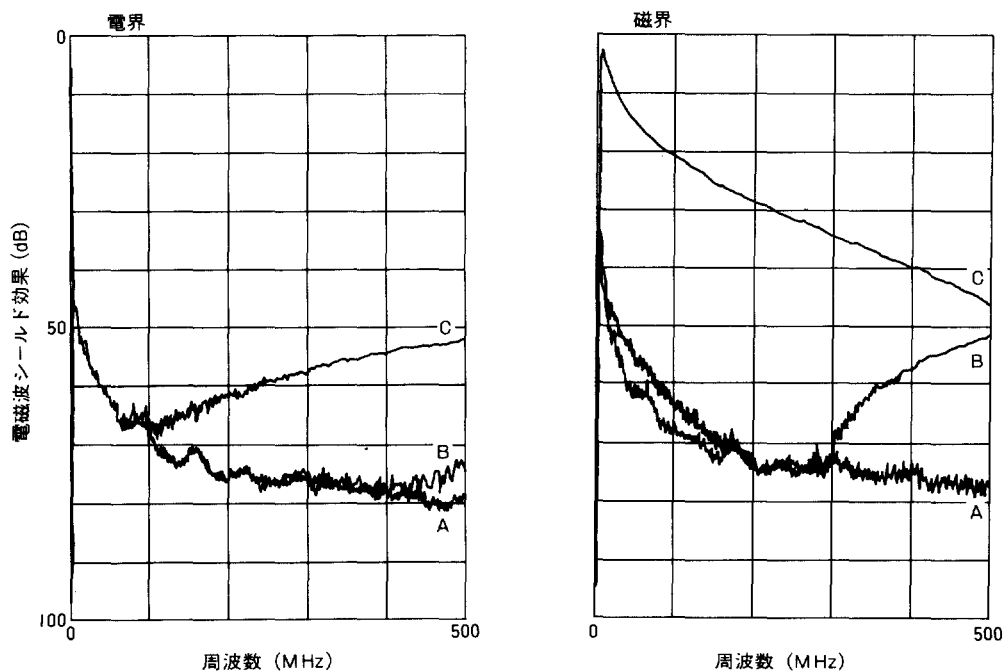


図 6. 3層系複合材料の電磁波シールド効果
A. 合板/銅箔 (18 μ)/PCM
B. 合板/アルミ箔/PCM
C. プラスチック用ニッケル系電磁波シールド塗料塗装合板

低くなった。比較のために測定した電磁波シールド塗装合板も、電界のシールド効果は 30~500 MHz の領域で 50~70 dB と良好であったが、磁界のシールド効果は 200 MHz 以下の領域で 30 dB に低下した。

金属箔のシールド効果は銅箔 > アルミ箔 > 鉄箔の順となったが、この順序は表 2 に示す比抵抗の小さい順序と一致した。

金属箔と積層した複合材料の電磁波シールド効果が高いので、金属箔の厚さの影響を調べた。表 3 に、銅箔の厚さを変えて測定した電磁波シールド効果を示す。その結果、銅箔の厚さが、 $10\ \mu$ から $50\ \mu$ と 5 倍になっても電界・磁界ともにほとんど同程度のシールド効果があり、銅箔の厚さは $10\ \mu$ でも十分な性能を発現することが分かった。

3.3 積層系及び接着剤混入系複合材料の電磁波シールド特性

銅粉を PCM に 8~20% 混練した積層系複合材料、及び接着剤に 5~10% 混合した接着剤混入系複合材料は、0~数 dB の電磁波シールド効果しか示さなかった。このことは、銅粉末が電磁波シールドするだけの十分な連続層を形成しなかったためと思われる。金属粉末を用いて電磁波シールド効果を発現するためには、製造条件の精細な検討が必要と思われる。

3.4 3層系複合材料(鉄箔)の二三の性質

図 7 に、スプレー法による 3 層系複合材料の曲げ試験における応力-たわみ曲線の一例を示す。鉄箔の積層により、見かけの全断面に対する曲げ応力・曲げヤング係数ともに上昇する傾向を示した。

表 4 に曲げ試験の結果をまとめた。合板と比較すると、鉄は曲げ性能が高く ($\sigma_b = 4350\ \text{kgf/cm}^2$, $E_b = 200 \times 10^3\ \text{kgf/cm}^2$) (村山, 1978 a), PCM は曲げ性能が低い ($\sigma_b = 109\ \text{kgf/cm}^2$, $E_b = 5.2 \times 10^3\ \text{kgf/cm}^2$) (椿, 1983)。それゆえ、 E_b は PCM がある場合は PCM の影響が強く現れて合板より低い値となった。一方、荷重方向の影響は σ_b の場合表面荷重の方が高い値となる。これは、合板及び各層の曲げ性能、各層間の接着力などが関与した結果と思われる。スプレー法と粉末法との相違は明らかではないが、両者とも PCM 層の厚い方が曲げ性能が低下した。

次に熱伝導率の測定結果を表 5 に示す。熱伝導率の高い鉄箔 ($36\sim 54\ \text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$) (化学大辞典

表 2. 金属の電気抵抗

金属	比抵抗 ρ ($10^6\ \Omega\ \text{cm}$)
Cu	1.72
Al	2.75
Fe	9.8

(日本化学会編, 1975)

表 3. 3層系複合材料の銅箔の厚さと電磁波シールド効果の関係

銅箔の厚さ (μ)	(MHz)	電界におけるシールド効果 (dB)						磁界におけるシールド効果 (dB)					
		30	100	200	300	400	500	30	100	200	300	400	500
10		58	68	75	77	78	79	53	66	73	75	78	76
18		58	68	75	77	78	79	57	68	74	74	75	77
35		57	68	75	77	79	80	59	68	73	67	72	77
50		58	69	76	76	79	78	59	68	73	72	74	78

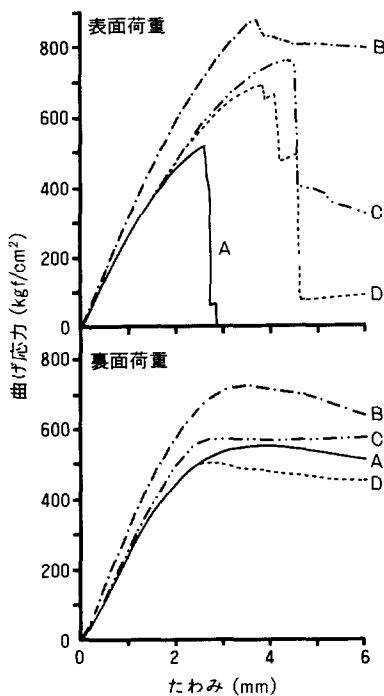


図 7. 3層系複合材料（鉄箔）の応力-たわみ曲線

- A. 合板
- B. 合板/鉄箔
- C. 合板/鉄箔/PCM
- D. 合板/鉄箔/PCM/TC

表 4. 3層系複合材料（鉄箔）の曲げ性能

複合材料	PCMの積層法	PCMの厚さ	表面荷重		裏面荷重	
			σ_b (kgf/cm ²)	E_b (10 ³ kgf/cm ²)	σ_b (kgf/cm ²)	E_b (10 ³ kgf/cm ²)
合板			492	76	531	72
合板/鉄箔			857	104	718	105
合板/鉄箔/PCM	スプレー法	薄	721	72	519	70
		厚	650	55	492	58
	粉末法	薄	687	65	608	73
		厚	696	65	448	60
合板/鉄箔/PCM/TC	スプレー法	薄	643	69	497	69
		厚	563	52	462	58
	粉末法	薄	682	62	653	76
		厚	669	65	469	57

σ_b : 曲げ強さ E_b : 曲げヤング係数

編集委員会編, 1963) の積層により, 3層系複合材料は合板より 20~30% 熱伝導率が上昇した。

吸水量の測定結果は図8に示すとおりである。PCMの吸水量は24時間で 0.013 g/cm^2 (椿, 1983) であるのに対し, いずれの試料もそれ以下の吸水量となっている。3プライ, 2.7 mm 合板の吸水量は24時間で 0.033 g/cm^2 (林業試験場監修, 1982) であるので, 3層系複合材料は合板の約1/3の吸水量となっている。スプレー法では, TCの吸水抑制効果が明らかである。一方, 粉末法ではPCM(厚)の場合にTCの効果が見れていないが, それはPCM表層の凹凸(写真7)により均質なTC層が形成されなかったためと推測される。

写真8~10に, 定性的な燃焼試験の結果を示す。合板は60秒後には炎を出して燃焼しており(写真

表 5. 3層系複合材料(鉄箔)の熱伝導率

複 合 材 料	PCMの積層法	PCMの厚さ	熱伝導率 ($10^{-2} \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)
合 板			7.26
合板/鉄箔			9.69
合板/鉄箔/PCM	スプレー法	薄	9.72
		厚	8.90
	粉末法	薄	8.79
		厚	9.37
合板/鉄箔/PCM/TC	スプレー法	薄	9.81
		厚	8.86
	粉末法	薄	9.04
		厚	9.86

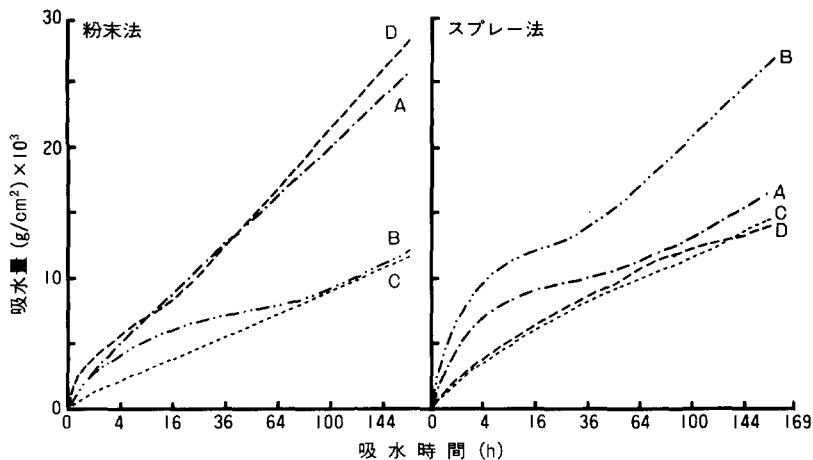


図 8. 3層系複合材料(鉄箔)の吸水量

- A. 合板/鉄箔/PCM(薄) B. 合板/鉄箔/PCM(厚)
 C. 合板/鉄箔/PCM(薄)/TC D. 合板/鉄箔/PCM(厚)/TC

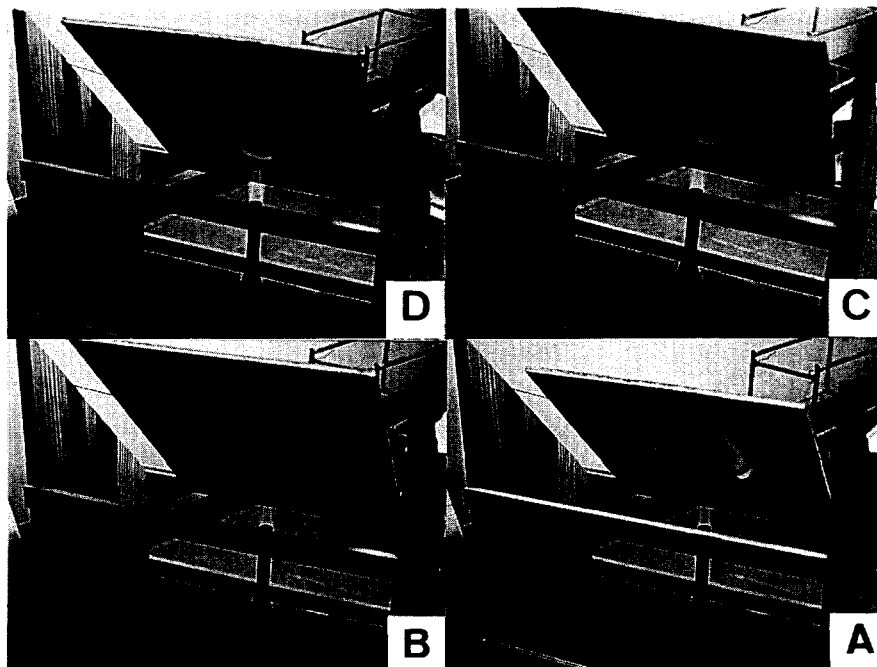


写真 8. 3層系複合材料（鉄箔）の燃焼試験（60秒後）

- A. 合板
B. 合板/鉄箔
C. 合板/鉄箔/PCM（スプレー法）/TC
D. 合板/鉄箔/PCM（粉末法）/TC

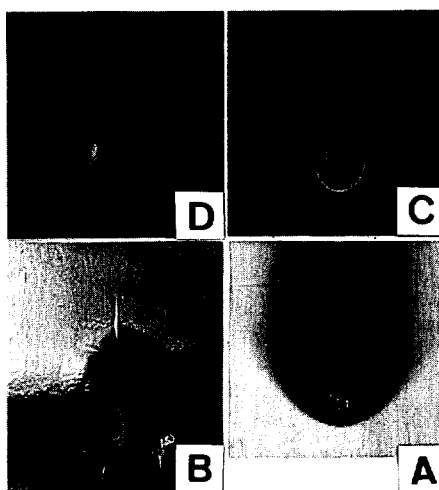


写真 9. 60秒燃焼後の3層系複合材料（鉄箔）の燃焼面

- A. 合板
B. 合板/鉄箔
C. 合板/鉄箔/PCM（スプレー法）/TC
D. 合板/鉄箔/PCM（粉末法）/TC

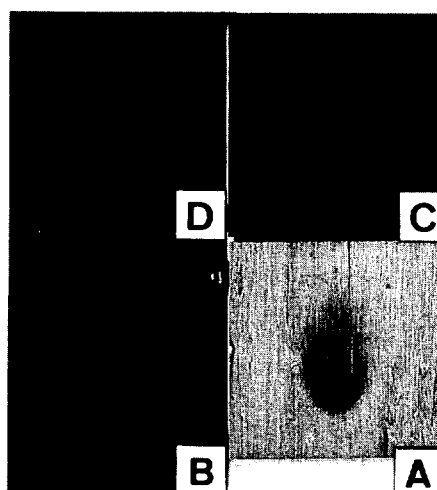


写真 10. 60秒燃焼後の3層系複合材料（鉄箔）の裏面

- A. 合板
B. 合板/鉄箔
C. 合板/鉄箔/PCM（スプレー法）/TC
D. 合板/鉄箔/PCM（粉末法）/TC

8 A), 燃焼範囲も広がり (写真 9 A), 裏面も少し焦げている (写真 10 A)。合板/鉄箔は, 発炎はしないが, 鉄箔は膨張して接着剤が剥離し (写真 8 B, 9 B), 裏面も少し焦げている (写真 10 B)。一方, 合板/鉄箔/PCM は, 赤熱はするが発炎せず (写真 8 C, 8 D), 燃焼範囲もわずかで (写真 9 C, 9 D), 裏面はわずかに焦げる程度である (写真 10 C, 10 D)。特に, スプレー法の場合は PCM 層の剥落がなく (写真 9 C), 粉末法よりも耐火性能が高いと思われる。

4. 結 論

合板, 金属, ポリマーセメントモルタル (PCM) からなる多積層木質系複合材料を製造し, その電磁波シールド特性及び二三の性質について検討し, 次の結果を得た。

(1) 合板/金属箔/PCM 3 層系複合材料は良好な電磁波シールド効果を示し, 30~500 MHz の領域における電界及び磁界のシールド効果は 30 dB 以上であった。この性能は, 米国連邦通信委員会 (FCC) の規制基準を完全に越えるものである。

(2) 3 層系複合材料は金属箔の種類によって若干電磁波シールド効果が異なり, 銅箔及びアルミ箔では 50~80 dB, 鉄箔では 30~60 dB であった。シールド効果の順序は, 銅箔>アルミ箔>鉄箔となったが, これは比抵抗の小さい順序と一致している。一方, シールド効果に及ぼす PCM 層の厚さ及び PCM 中の細骨材の粒子径の大きさの影響は明らかではなかった。

(3) 銅粉末を PCM に 8~20% 混練した積層系複合材料, 及び銅粉末を接着剤に 5~10% 混合した接着剤混入系複合材料は, 0~数 dB の電磁波シールド効果しか示さなかった。それゆえ, 金属粉末を用いて電磁波シールド性を発現するためには, 製造方法及び製造条件を十分検討する必要がある。

(4) 鉄箔系複合材料の曲げ性能を合板と比較すると, 曲げ強さは鉄箔の影響で 30~40% 増加し, 曲げヤング係数は PCM の影響で 5~30% 低下した。また, 熱伝導率は合板より 20~30% 増加し, 表面の吸水量は合板の約 1/3 に低下して防水性が向上した。さらに, 発炎燃焼が抑制されることが定性的に認められた。

(5) 合板/金属箔/PCM の 3 層系複合材料は, 高度な電磁波シールド性と防水性を合わせ備えた多機能性木質材料であると評価できる。

引 用 文 献

化学大辞典編集委員会編: 化学大辞典, 6, 共立出版, p. 77 (1963)

村山敏博: 多元複合材料 (1), *Plastics Age*, **24** (9), 81~88 (1978 a)

———: 多元複合材料 (2), 同上, **24** (10), 95~101 (1978 b)

———: 多元複合材料 (3), 同上, **24** (11), 115~120 (1978 c)

———: 多元複合材料 (4), 同上, **24** (12), 103~108 (1978 d)

———: 多元複合材料 (5), 同上, **25** (1), 95~100 (1979)

長澤長八郎ほか: Ni めっき木片を用いた木質系電磁波シールド材, *木材誌*, **35** (12), 1092~1099 (1989)

日本化学会編: 改訂 2 版化学便覧 基礎編 II, 丸善, p. 1155 (1975)

林業試験場監修: 改訂 3 版木材工業ハンドブック, 丸善, p. 535 (1982)

富村洋一ほか：炭素繊維をコアにもつ MDF の製造，木材誌，**33** (8)，645～649 (1987)

椿 孟ほか：高炉水砕スラグを主体とした新防食材料の開発～NKK ガンテック～，クリーンジャパン，**41** (7)，1～29 (1983)