

汎用型低価格導電性塗リ床材の開発

竹本 喜昭

(技術研究所)

Development of a general-purpose, low-cost flooring material with a conductive

by Yoshiaki Takemoto

Abstract

A new general-purpose, low-cost flooring material with a conductive coating has been developed. A person wearing non-conductive shoes can safely walk on this flooring material, since the floor suppresses static electricity discharges to a level at which pain is not felt. Moreover, the resin in this flooring material was made electrically conductive by mixing it with a cheap ionic liquid instead of an expensive electric conduction filler, such as those used in other electrical discharge suppression flooring material. Furthermore, since the physical properties and construction method are equivalent to those of conventional flooring materials, which are not conductive, this new flooring material can be used in the general parts of a building.

概要

使用者のニーズを反映した、新しい汎用型低価格導電性塗リ床材を開発した。この塗リ床材は、導電性のない靴を履いた人が歩行しても、静電気による放電を痛みが感じられないレベルに抑えることができる。また、この塗リ床材の特徴は、既存の帯電防止塗リ床材が使用している高価な導電フィラーを用いず、安価なイオン性液体を混入することで樹脂の導電化を実現したことである。さらにこの塗リ床材は、導電性のない通常の塗リ床材と施工方法や基礎的物性は同等であることから、建物の一般部に使用することができる製品である。

§1.はじめに

静電気は、冬の低湿度環境において発生しやすくなることが一般に知られている。この静電気は、人体に溜まった状態で指先などが金属製品に触れると痛みを伴う放電現象となるため、多くの人が不快な思いをする。さらに、都市部の冬は乾燥傾向が進んでおり、静電気が発生しやすい環境となっている。図-1には、気象庁調べによる東京における乾燥注意報の発表日数を、過去30年について示した。年によって上下動はあるが、長期的には乾燥が進んでいる傾向が見られる。特に、乾燥注意報の連続日数は、2010年が38日間、2011年が35日間となり、これは、1967年の測定開始以来、2位と3位の記録である。

一方、静電気放電による障害には、可燃性ガスの着火や、繊細な電子デバイスの破壊があげられる¹⁾。こ

のような静電気障害が問題となる工場や研究施設の床には、電気抵抗値を低くした帯電防止塗リ床材が指定されるケースが多い。ところが、特に静電気対策を必要としない製品の組み立て作業スペースや廊下などは、指定がない限り、導電性を持たない一般的な塗リ床材が選定される。そのため、建物竣工後の冬には静電気放電が発生するケースがあり、ここ最近では、この静電

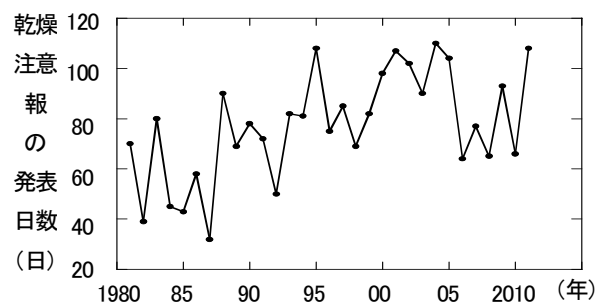


図-1 乾燥注意報の発表日数変化(気象庁調べ)

気放電に対して対応を求められる事例が増加している。これは、建物使用者が、静電気放電による不快感を不具合とするケースが表面化してきたことや、記録媒体のデータ消失などを心配するようになったためと考えられる。つまり、建物使用者にとっては、顕著な静電気放電は避けたい現象となってきたと言える。

そこで筆者は、製造工場や研究施設に多く使用される塗り床材について、使用者のニーズと技術的課題を抽出したうえで、新規導電性塗り床材を開発した。本報では、開発の内容について報告する。

§2.静電気の基礎

2.1 静電気の発生メカニズム

静電気は、主に固体や液体の異種物体が接触・分離する際に、マイナスの電気を持つ電子が一方の物質に移動することで発生する現象である。図-2に示すように、Aの物質から、摩擦などによってBの物質に電子が移動すると、電子が移動した先のBはマイナスの静電気を帯びた状態になり、Aはプラスの静電気を帯びた状態となる²⁾。したがって、冬に静電気が人体に帯電する現象は、主に抵抗値の高い床材と靴底との接触と分離によって発生したものである。

2.2 人体帯電電位と放電時の電撃

静電気が放電する際に痛みを感じるのは、人体の帯電電位が高いためである。人体の静電容量は極めて小さく、個人差があるが100(pF)~150(pF)とされている³⁾⁴⁾。そのため、少しの静電気が人体に帯電すると、帯電電位は極めて大きくなる。

表-1には、人体帯電電位の高さと静電気放電が発生した場合の電撃の強さの関係を示した⁵⁾。この

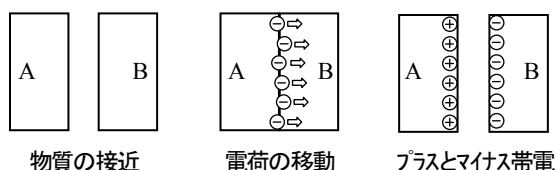


図-2 物質の接触と分離による帯電

表-1 人体の帯電電位と電撃の強さ

帯電電位 (V)	電撃の強さ
1,000	全く感じない
2,000	指の外側に感じるが痛まない
2,500	針に触れた感じを受け、ちくりと痛む
3,000	針に刺された感じを受け、ちくりと痛む
4,000	針で深く刺された感じを受け、指がかすかに痛む

表によると、人は2,000(V)では静電気を認識し、放電による痛みは感じないが、2,500(V)以上においては痛みを感じるようになる。

§3.床材の静電気測定

3.1 実験計画

3.1.1 床材の種類

本章では、静電気の発生状況を把握する目的で、既存の塗り床材を対象とした実験を行った。実験に使用した塗り床材の種類は表-2のとおりである。塗り床材は、国内市場で最も多く流通しているエポキシ樹脂系に限定した。

3.1.2 試験体の作製

実験に用いた試験体は、塗り床材を1m角で厚さ4mmのスレート板に塗布して作製した。試験体の作製は、材料製造メーカーの施工要領に従った。

3.2 床材の静電気に関する性能測定

3.2.1 測定方法

床材の静電気に関する特性を測定する方法としては、抵抗値と人体帯電電位がある。以下に実験方法と手順を示す。なお、静電気の発生は湿度環境に大きく影響されるが、ここでは、JISに規定されている温度23°C、相対湿度12%R.H.で測定した。

(1)抵抗値

床材の抵抗値測定は、JIS C 61340-4-1⁶⁾に準じて行った。図-4に実験の概要を示す。測定手順は以下のとおりである。

- ①電極を床材上に30cm間隔で置く。
- ②印加電圧を10(V)から1,000(V)まで段階的に上昇させ、印加から15秒後の抵抗値を測定する。
- ③測定は各印加電圧について6回以上行い、測定ごとに電極の位置を変える。

(2)人体帯電電位

床材上で動作する人の人体帯電電位の測定は、JIS C 61340-4-5⁷⁾に準じて行った。被験者の履く靴

表-2 実験に使用した塗り床材

No.	種類	特徴
①	通常の塗り床材	導電性のない一般的な塗り床材。塗り厚さが厚く、耐久性がある。
②	帯電防止塗り床材(厚塗りタイプ)	塗り厚さが厚く耐久性があり、表面の光沢がある。
③	帯電防止塗り床材(薄塗りタイプ)	塗り厚さが薄く耐久性に劣る。表面の光沢はない。

は、実際の使用条件に合わせるため、通常の塗り床材では通常の靴(抵抗値: $1.93 \times 10^{13}(\Omega)$)、帯電防止塗り床材では、静電靴(抵抗値: $1.06 \times 10^7(\Omega)$)を着用した。図-5に実験の概要を示す。測定手順は以下のとおりである

- ①被験者は床材上に立ち、静電電位計の電極を持つ。
- ②アースに触れ、電位計をゼロとする。
- ③被験者は、1秒間に2歩の速度で床材上を60秒間歩行する。
- ④測定は各床材について5回以上行い、測定で得られた電位の波形を記録する。

3.2.2 測定結果

(1)抵抗値

実験で得られた塗り床材の抵抗値の結果を、図-6に示す。以下に内容を示す。

- 1)通常の塗り床材：印加電圧が10(V)では、抵抗値は測定範囲外($2.0 \times 10^{14}(\Omega)$ 以上)であった。印加電圧が100(V)以上では、抵抗値は $10^{11}(\Omega)$ 後半から $10^{12}(\Omega)$ 前半であった。これは、電気をほとんど通さない絶縁領域である。
- 2)帯電防止塗り床材(薄塗りタイプ)：抵抗値は、印加電圧に関わらず $10^6(\Omega)$ 前半であった。これは、電気を通す導電性領域である。
- 3)帯電防止塗り床材(厚塗りタイプ)：抵抗値は、印加電圧によって変化した。印加電圧が10(V)～250(V)では、抵抗値は $10^{11}(\Omega)$ 後半であるが、500(V)以上では抵抗値は $10^6(\Omega)$ 前半に大きく変化した。

(2)人体帯電電位

実験で得られた人体帯電電位の波形例を、図-7に示すが、人体帯電電位の波形は、歩行動作とともに上下に変動していることが分かる。これは、人の静電容量は姿勢によって変化するためであり、足を上げた状態での人の静電容量は、実測値で約50(pF)である²⁾。したがって、人体帯電電位の波形におけ

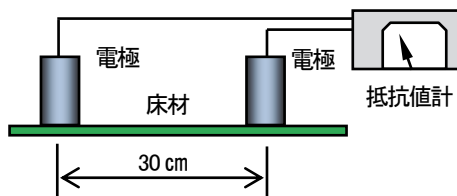


図-4 抵抗値測定概要

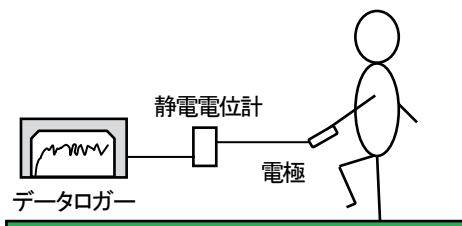


図-5 人体帯電電位測定概要

る各頂点は、足を上げた瞬間となっている。以下に、各試験体の実験結果を示す。

- 1)通常の塗り床材：歩行開始とともに人体帯電電位のピークは40秒間で4,000(V)以上となった。
- 2)帯電防止塗り床材(薄塗りタイプ)：人体帯電電位はほとんど上昇せず、100(V)程度で一定となった。
- 3)帯電防止塗り床材(厚塗りタイプ)：人体帯電電位のピークは、瞬間的には1,000(V)を超えたが、ほぼ800(V)で一定となった。

3.2.3 考察

既存の帯電防止塗り床材は、樹脂にカーボンや金属粉などの導電性フィラーを混入し、フィラー同士が接触することで電気が流れる仕組みとなっている。ところが厚塗りタイプは、耐久性を向上させるため樹脂分が多く、フィラーの間に樹脂が薄く入り込むため、部分的に絶縁状態となりやすい。そのため、低い印加電圧では電気が通りにくく、500(V)以上では薄い樹脂が突然電気を通すようになり、抵抗値が極端に低下したと考えられる。一方、薄塗りタイプは、樹脂分が少ないためフィラー同士が確実に接触し、安定して電気が通りやすい。ただし、どちらの帯電防止塗り床材も、人体帯電電位は1,000(V)以下に低く抑えられている。

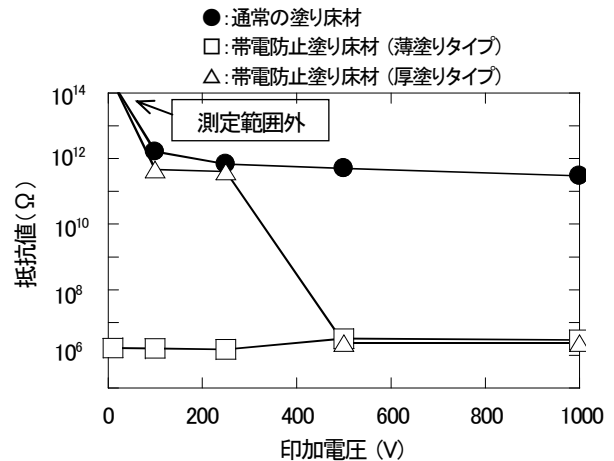


図-6 抵抗値の比較

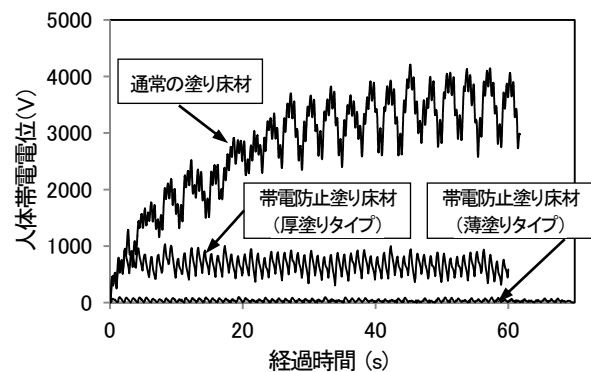


図-7 人体帯電電位の比較

1章で述べたように建物使用者からは、建物の一般部においても、痛みを伴う顕著な放電現象は避けたいとの要望がある。しかし、帯電防止塗り床材は、通常の塗り床材と比較してコストが2~3倍であり、一般部への採用は難しい。したがって、現状では、一般部でも使用できる、顕著な放電現象を発生させない塗り床材が選択肢にないといえる。この様な背景から、建物一般部に使用できる、新規導電性塗り床材を開発することとなった。

§4.新規導電性塗り床材の開発

4.1 開発目標

新しく開発する導電性塗り床材は、既存塗り床材の性能・特徴と比較して、表-3に示す内容を開発目標とした。以下に、内容の詳細を示す。

(1)人体帯電電位

人体帯電電位は、通常の靴を履いた条件で、放電しても痛みを感じない2,000(V)以下とする。なお、帯電防止塗床材は、実建物においてはクリーンルームの様な特別な部屋に使用するため、作業者の履く靴はJISで規定する静電靴¹⁰⁾(抵抗値： $1.0 \times 10^5 \leq R \leq 1.0 \times 10^9(\Omega)$)を使用することが前提である。

(2)基礎的な物性値

表面硬度などの基礎的な物性値は、通常の塗り床材と同等とする。

(3)コスト

コストは、通常の塗り床材と比較して若干の上昇を抑え、既存の帯電防止塗り床材より低価格とする。

表-3 既存塗り床材と新規塗り床材の開発目標

項目	既存塗り床材		新規塗り床材 開発目標
	通常	帯電防止 (厚塗り)	
耐久性	○	○	○
コスト	1	3	1.2~1.5
人体帯電電位(V)	4,000以上	800	2,000以下
実建物で 使用する靴	通常の靴	静電靴	通常の靴

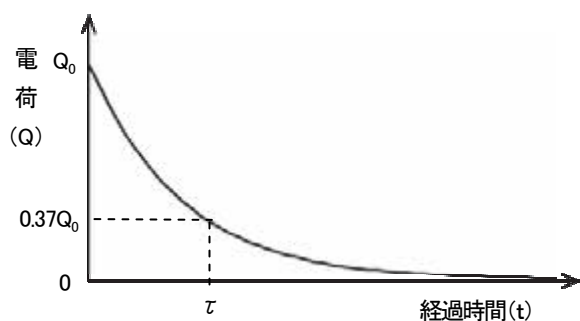


図-8 電荷緩和曲線

4.2 開発内容

4.2.1 抵抗値の考え方

物体表面などに発生した正電荷と負電荷の均衡が回復する現象を、静電気緩和という⁵⁾。物体の電荷は、静電気の発生がなければ、図-8の様に時間の経過とともに指数関数的に減少する。初期の電荷を Q_0 とすると、 t 秒後の物体の電荷 Q は、以下の式で表される。

$$Q = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

$$\tau = CR \quad (2)$$

Q : 電荷(C)

Q_0 : 静電気発生時の電荷

t : 経過時間(s)

τ : 電荷緩和時間(s)

C : 物体の静電容量(C)

R : 漏えい抵抗(Ω)

ここで、 τ は電荷緩和時間といい、帯電電荷消失時間の目安とされ、初期電荷の $1/e$ (約37%)となる時間である。したがって、人体帯電電位の試験では人の歩行は0.5秒間に1歩であるため、静電緩和時間 τ が0.5秒以内であれば、床の帯電電荷は消失することになる。人体帯電電位がピークとなるのは、3章で述べたように足を上げた瞬間であり、その際の静電容量は約50(pF)である。したがって、人体帯電電位がピークの瞬間からの除電を対象とした場合、電荷緩和時間 τ を0.5秒、人の静電容量 C を50(pF)、床の漏えい抵抗 $R(\Omega)$ とすると、式(2)により以下の計算が成り立つ。

$$0.5 = 50 \times 10^{-12} \times R \quad (3)$$

$$R = 1.0 \times 10^{10}(\Omega)$$

すなわち、床の抵抗値が $1.0 \times 10^{10}(\Omega)$ 未満で、人が静電靴を履いている場合は、0.5秒未満で電荷緩和する。ところが、今回開発する塗床材は、通常の靴を使用する場合を条件としている。通常の靴は靴底の抵抗値が高いため、1歩ごとに床材と靴底表面は静電緩和されるが、人体に蓄積した電荷は静電緩和に時間がかかるため、ある程度の電荷が蓄積されることになる。この静電気の蓄積による人体帯電電位のピークが2,000(V)以下となればよい。

図-9には、抵抗値が $10^6(\Omega)$ オーダー帯電防止塗床材(薄塗りタイプ)と、通常靴を組み合わせた場合の人体帯電電位の結果を示した。人体帯電電位のピークは2,000(V)以下となっており、放電しても問題のないレベルである。抵抗値が $10^6(\Omega)$ オーダーの場合、静電緩和時間は式(2)に当てはめると0.00005

秒となる。したがって、静電気は瞬間的に緩和するが、人体帯電電位を 2,000(V)以下とするならば、静電緩和時間が 0.5 秒以内でも結果は同じと考えられる。以上より、開発する塗り床材の目標は、抵抗値が $1.0 \times 10^{10}(\Omega)$ 未満、つまり $10^9(\Omega)$ オーダーとした。

4.2.2 樹脂の導電化

既存の塗り床材は、導電性フィラーを用いて樹脂を導電化しているが、電気を通りやすくするには樹脂分を減らす必要があり、耐久性が悪くなることが明らかである。また、コスト抑制の観点からは、高価なフィラーを使用しないことが望ましい。そこで、新規塗り床材では、樹脂にイオン性液体を混入することで、樹脂自体を導電化することとした。このイオン性液体は、脂環式アミン系であり、ベースとなるエポキシ樹脂系塗り床材の塗膜性状をほとんど低下することがない。既存の帯電防止塗り床材と、新規導電性塗り床材の導電メカニズムの違いを示すと図-10 になる。既存の帯電防止塗り床材は、フィラーの接触によって電気を流すが、新規導電塗り床材は、樹脂自体が導電化することで、安定して電気を通すことができる。また、既存の帯電防止性塗り床材は、導電樹脂層とカーボン層の複層構造と

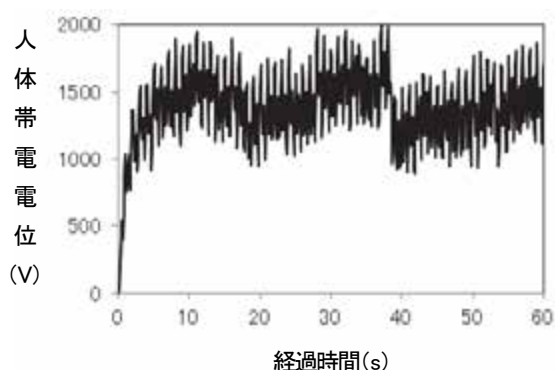


図-9 帯電防止塗り床材(薄塗りタイプ $10^6(\Omega)$ オーダー)と通常の靴との組合せによる人体帯電電位

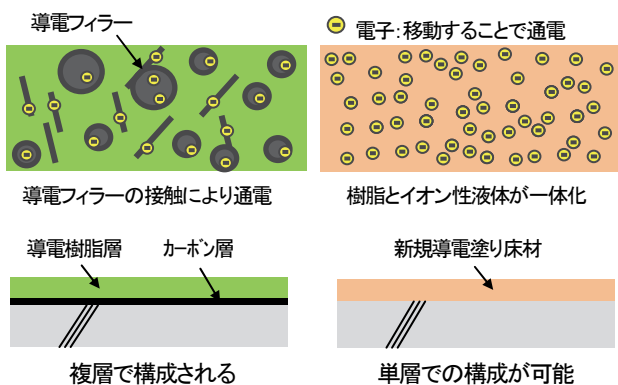


図-10 帯電防止塗り床材と新規導電塗り床材の比較

なっているが、新規導電性塗り床材は、単層で構成することができる。

4.3 新規導電性塗り床材の性能評価

4.3.1 基本的物性に関する測定

新規導電性塗り床材の基本的な物性を確認する目的で、以下の項目について試験を行った。

(1)床材表面ショア D 硬度

床材の表面硬度は、非破壊で硬化程度を判断できる物性値である。塗り床材の施工後に人が上に載って作業できるのは、ショア D 硬度 70 以上を目安としている。試験は、JIS K 7214⁸⁾ に準じて行った。

(2)引張り強度

塗り床材硬化後の物性値を確認する目的で、引張り強度試験を JIS K 6911⁹⁾ に準じて行った。

4.3.2 静電気に関する測定

新規導電性塗り床材の静電気に関する性能を評価する目的で、抵抗値と人体帯電電位の測定を行った。測定方法は 3.2 と同様である。

4.3.3 測定結果

(1)基礎的な物性値

新規導電性塗り床材の、試験体作製直後から 14 日までのショア D 硬度の変化を、通常の塗り床材と比較して図-11 に示す。

新規導電性塗り床材は、初期の強度発現が若干遅く、上に人が乗ることのできる目安としているショア D 硬度 70 を超えるのは 2 日後であった。4 日目以降では、通常の塗り床材とほとんど同等である。

引張り強度の変化を図-12 に示すが、7 日後においてほとんど通常の塗り床材と同等であった。以上より、新規導電性塗り床材は、初期の強度発現が若干遅いが、時間の経過とともに通常の塗り床材と同等となる傾向が把握できた。

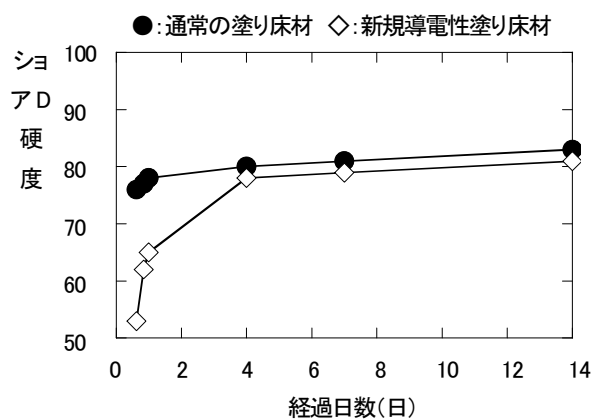


図-11 ショアD硬度の比較

(2)静電気に関する測定結果

新規導電性塗り床材の抵抗値を図-13に、通常の靴を履いた被験者による人体帯電電位を図-14に示す。新規導電性塗り床材の抵抗値は、印加電圧10(V)で $5.07 \times 10^9(\Omega)$ であり、目標をクリアできた。一方、人体帯電電位のピークは、2,000(V)以下が達成できた。

§5.おわりに

本報では、通常の靴を履いた場所で使用できる、新規導電性塗り床材の開発について紹介した。この塗り床材の特徴は、以下のとおりである。

- (1)樹脂にイオン性液体を混入することで、導電化を実現した。
- (2)高価な導電性フィラーを使用しないため、通常の塗り床材と比較して、現段階では3割~5割程度のコストアップを見越している。この価格は、既存の帯電防止塗り床材と比較して半額程度となる。
- (3)抵抗値は、 $10^9(\Omega)$ オーダーを実現できた。人体帯電電位のピークは、通常の靴を着用しても2,000(V)以下であるため、痛みを伴う放電は避けられる。
- (4)新規導電性塗り床材は、初期の強度発現が若干遅いが、時間の経過とともに通常の塗り床材と同等となった。初期強度の発現が遅いため、現段階における施工時の養生期間は、通常の塗床よりも1日多く養生期間を取る必要がある。

この新規導電性塗り床材は、例えば、以下の様な建物が適用対象となる。

- ・精密製品製造工場：組み立てスペース、廊下
- ・製薬工場：調合室、打錠室、廊下
- ・研究施設：実験スペース、廊下
- ・電算センター：2重床以下外の通路
- ・自動搬送倉庫：倉庫全面

なお、この新規導電性塗り床材は、技術研究所に新設される実験棟2か所に、合計約900m²施工することになっている。今後は、導電性能の変化について、長期的に測定してゆく予定である。また、耐摩耗性、キャスター据え切り試験など、塗り床材としての耐久性試験を行う予定である。

謝辞

新規導電性塗り床材の開発にあたっては、株式会社ABC建材研究所の多大な協力を得ました。ここに、感謝の意を表します。

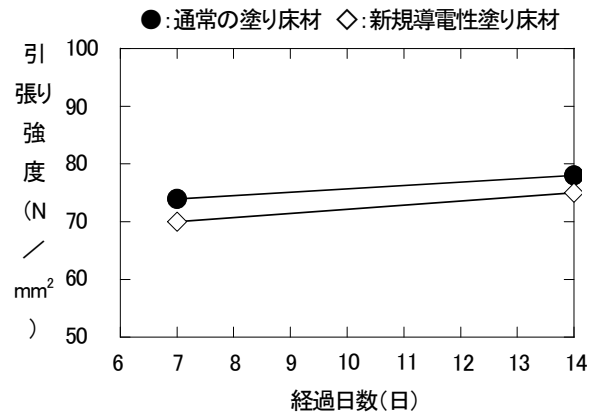


図-12 引張り強度の比較

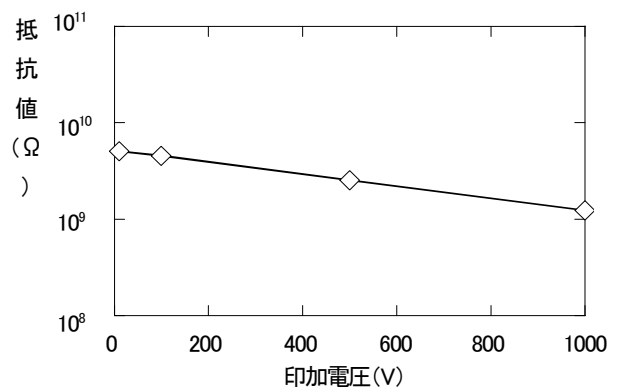


図-13 新規導電性塗り床材の抵抗値

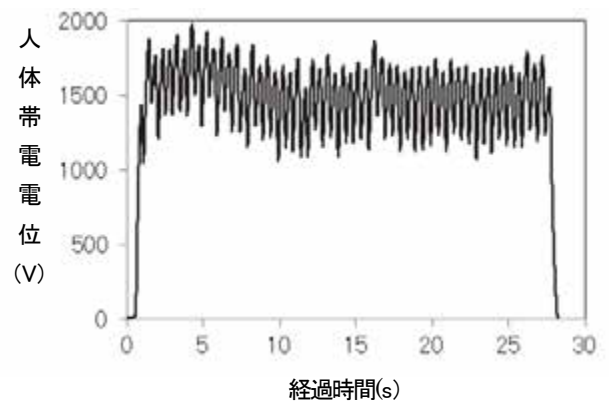


図-14 新規導電性塗り床材の人体帯電電位

<参考文献>

- 1) 小野雅司：“人体の帯電危険とその防止”，静電気学会誌，15巻，pp.125~133，1991.
- 2) 高橋雄造：“静電気が分かる本”，工業調査会，2007.
- 3) 木村裕和：“人体の静電気帯電とその対策”，皮革科学，Vol.50，No.2，pp.67~76，2004.
- 4) 堤井信力：“静電気のABC”，BLUE BACKS，1998.
- 5) 独立行政法人労働安全衛生総合研究所，産業安全研究所技術指針“静電気安全指針2007”
- 6) JIS C 61340-4-1，静電気—第4-1部：特定応用のための標準的な試験方法—床仕上げ材及び施工床の電気抵抗
- 7) JIS C 61340-4-5，静電気—第4-5部：特定応用のための標準的な試験方法—人体と組み合わせた履物及び床システムの静電気防止性能の評価方法
- 8) JIS K 7215，プラスチックのデュロメータ硬さ試験方法
- 9) JIS K 6911，熱可塑性プラスチック一般試験方法
- 10) JIS T 8103，静電気帯電防止靴

