技術解説

カーペットの制電要件と設計

内 藤 武七郎*

1. はじめに

カーペットと履物底との摩擦によって発生する静電気の人体帯電からの放電に伴う電撃ショック防止を目的としたカーペットの制電（人体帯電の抑制）対策は、主としてナイロンカーペットについてかなり以前より行われている。

近年、カーペットはナイロン BCF カーペットを中心にタイルカーペットの台頭と相まって、コントラクトカーペット分野であるところのオフィス、店舗、公共施設、医療機関などの床上装材として多数採用されるようになり、さらにフルカーペットビル、インテリジェントビルなどの出現に伴い、制電要件の高度化が要請されるようになってきた。

すなわち、ビルの密閉性の向上、冷暖房設備の普及などにより静電気の発生しやすい低湿度環境が増え、カーペットの制電は電撃ショック防止の面からもより高度なレベルが要請されるようになってきた。

さらに、各種の OA 機器が事務作業や情報伝達の効率化を目的としてオフィス内へ急ピッチで導入設置されるようになり、カーペットの制電の目的にこれら OA 機器への電氣的障害防止という要素が加わり、さらに制電の高度化が要求されるようになってきた。

かような状況にもかかわらず、カーペットの制電性に関する要求要件は必ずしも明確化されてなく、カーペットを設計する立場からみれば戸惑いを感じる面があることも否めないと思われる。

本稿ではこのような背景に鑑み、カーペットの制電性に関する測定法、基準などの集約と制電カーペットの設計に関する考え方を整理し、さらに電撃ショック防止レベルを上まわる OA 機器などに対する

電氣的障害防止を目的とした高度制電レベルのカーペット設計に関するいくつかの実験とその所見を述べる。

2. カーペットの静電気障害

種類の異なる 2 つの物体を摩擦すると、一方はプラスに、他方はマイナスに帯電し、それぞれ電荷の量は互いに等しい。

物体がプラスに帯電するかマイナスに帯電するかは、相手の物体によって決まる。例えば、絹布とガラス棒を摩擦するとガラス棒はプラスに、絹布はマイナスに帯電するが絹布と塩化ビニルを摩擦すると絹布はプラスに帯電する。摩擦による帯電の正負関係を序列したものを帯電列と称する。この一例を表 1¹⁾に示す。

2 つの物体を摩擦すると帯電列の上位のものがプラスに、下位のものがマイナスに帯電し、序列の差の大きいものほど帯電の程度も大きい。

物体が摩擦によって帯電するのは、一方の物体の電子が他方の物体へ移動するからで、例えばガラス棒と絹布とを摩擦するとガラス棒の電子の一部が絹布に移るからガラス棒はプラスに、絹布はマイナスに帯電する。

カーペット敷設の床上で歩行や作業をすると履物底でカーペットを摩擦することになるので両者の帯電は避けられない宿命と言えよう。カーペット敷設のホテルなどで金属の把つ手に指で触れ、電撃ショックを受けたことのある経験者は少なくないと思う。

これは靴底とカーペットとの間に発生した静電荷のうち、靴底の電荷が人体に流入し、蓄積されたものが指からアース体系に放電し、その電撃ショックを感じるものである。この場合、人体は導体である

* T. Naito, 旭化成工業(株)繊維資材販売部

表1 帯電列¹⁾

	(+) みがいたガラス	(+)	(+)	(+)
		猫 毛 皮	ガ ラ ス 人 ナイロン糸 ナイロンポリ マー	ガ ラ ス 頭 ナイロン 髪
Pb	羊 毛 ペン用の羽	羊 毛 ペン用の羽 フリントガラス 綿 麻	羊 毛 絹 ビスコースレー ヨン	羊 毛 レ ヨ ン 絹 布
	木	絹 皮 膚 人 の 木	綿	アセテート人絹 オーロン綿混紡
Cd Zn Al	紙		紙	パルプおよび ろ紙
Cr	封 ろ う 白 ろ う みがかないガラ ス		麻	
Fe Cu Ni Ag Au	鉛 イ オ ウ その他の金属	Fe, Cu, Ag, Pb イ オ ウ	鋼	
Pt			硬 質 ゴ ム 酢 酸 人 絹 合 成 ゴ ム オ ー ロ ン (アクリル繊維) サ ラ ン ポリエチレン	黒 ゴ ム テリレン(三菱) ビ ニ ロ ン サ ラ ン ダ ク ロ ン テリレン(1cc) カーバイド ポリエチレン カネカロン セルロイド セロファン 塩化ビニル およびラビロ テ フ ロ ン
	(-)	(-)	(-)	(-)
	(1)	(2)	(5)	(9)

(1) J.C.Wilche: "Ditputaio Phytica Experimentalis de Electricitatibus Contrariis", (Academy of Rostock)1957.
(2) P.E.Shaw: Proc. Roy. Soc., A94, 16 (1918)
(5) Lehmicke: Am. Dytt. Rep., 28, 853 (1949)
(9) 北川徹三: 火災, 7, 146 (1958)

ので靴が絶縁体であれば静電誘導で、靴が導体であれば伝導作用で何れの場合も人体の指は靴と同一の電荷（靴がマイナス帯電ならマイナス）となる。
静電気によって生じる各種の障害を大きく分けると、力学的障害（衣服のまつわりつき、ほこり付着、汚れなど）、放電障害（引火、電撃ショック、微

細構造の破壊など）、電氣的障害（放電電流、雑音など）²⁾となる。
カーペット敷設の施設で歩行したり、作業したりすることによって生起する人体帯電による第一の障害はこの分類の放電障害に当る前述の電撃ショックである。

第2の障害は電氣的障害に当る各種OA機器などに対する障害で、人体帯電の放電電流によりコンピュータなどのOA機器、計器類の誤動作、通信障害、計測不良、ICの破壊などの事例があるとされている。

このような状況から、歩行者や作業者がその履物底でカーペットを摩擦しても履物（つまり人体）への帯電量が抑制されるような仕組みをカーペット側にビルトインする制電カーペットがコントラクト（ビルなどの工事中）カーペットを中心として一般化している。

例えば、ナイロンカーペットの場合は帯電列などの関係から静電気の発生量が高く、コントラクト、住居用を問わずそのほとんどが制電設計によるものである。

人体帯電電荷と電撃ショックとの関係は感受性の個人差、アース系物体に触れる人体部位、触れる対象などによってかなり異なるといわれている。

図1は人体帯電電荷（電位）と電撃ショックとの関係を明らかにするための実験装置の略図である。

図1 人体電撃電位測定法

このような方法で測定した人体帯電電荷と電撃との関係を表2³⁾に示す。

一般に孤立した導体の電荷Qとその電位（電圧）Vは比例し次のように表せる。

$$C = \frac{Q}{V}$$

このCをその導体の静電容量という。

静電容量Cを一定とすれば電荷Qは電位Vに比例するので、カーペットと履物底による人体帯電の場合はほぼこれに該当するとして、人体帯電電荷を電位で直接表すのが通例になっている。但し、人体帯電電位の大きさ自体が問題であるとする考え方も一方ではある。

環境条件として、比較的低湿度下（20℃，20％RH程度）での、電撃ショックを感じない人体帯電電位のレベルは、表2などから絶対値で2～3kV以下とされ、AATCCの記録⁴⁾にも3kVとの記載がみられる。

このレベルの要件を具備したカーペットが通常の制電カーペットと呼ばれている。これに対し、OA機器などを対象とする電氣的障害防止を指向した制電レベルはさらに高レベル（低帯電）とされていて、その境界は定かでないが、通常制電以上の制電レベルを持つと言う意味で高制電（又は超制電）カーペットと呼ばれているが障害発生 の具体例をあまりきかず、人体静電荷とOA機器などの障害との因果関係が必ずしも明確になっていないようである。

しかしながら、コンピュータメーカーなどの施設担当者の情報によると、通常の制電レベル程度の仕様のカーペット敷設オフィスで人体帯電からの放電による電氣的障害でコンピュータの故障、誤動作な

表2 人体帯電と電撃の関係³⁾

帯電電位	帯電電荷	電 撃 の 程 度	備 考
1 K V	0.09μc	感じない	
2	0.18	指の外側に多少感じる	かすかな放電音が発生
3	0.27	外側は痛く感じる 内側は軽く感じる	
4	0.36	外側は針で刺されたような痛み、指の内側は少し広い範囲で痛い	
5	0.45	手の平ないし前腕まで電撃を感じる	放電火花が見える
6	0.54	指の痛みが激しくなる	
7	0.63	痛みが指全体で感じられる	
8	0.72	手首ないし前腕まで電撃がさらに強くなる	

注) 1. 放電は指先から接地球に向かって行なった。
2. 人体容量を90pFとする。

どの事例は存在するとのことである。

従ってトラブルゼロを指向する立場からはカーベ
ットと履物による人体帯電に関するカーベ
ットの高度な要求要件が開示されるケースがかなりあ
る。

カーベ
ット側のみが一方的に制電性能の高度化を
要請されているようにも思われるが、この論議はさ
け、本稿では人体帯電は少ないに越したことはない
という観点でとらえることにしたい。

3. カーベ
ットの電氣的性能の評価方
法と基準

制電方法（人体帯電抑制方法）には大別して電荷
の漏洩促進をねらったものと、摩擦帯電そのものの
抑制をねらったものがある。前者の性能の評価方法
に電気抵抗の測定方法がある。

又、より直接的な評価方法として、カーベ
ット上を実際に履物をつけた人が疑似歩行などを行い、人
体帯電電位を直接測定する方法がある。

表3に床、床材、カーベ
ット関係で用いられてい

る評価方法とその基準を示す。

3.1 電気抵抗の測定法と基準

静電気用品構造基準⁵⁾の帯電防止用ニットとして
電気抵抗試験の方法が定められている。

図2に示すような方法で測定し、その測定法の概
略を表3に示している。

このほか NFPA 法⁶⁾、IBM 法なども用いられてい
る。

同じく、電気抵抗を測定する方法として、一般的

図2 接地端子と電極間の電気抵抗測定法

表3 床及び床材などの電気抵抗、カーベ
ットの人体帯電電位測定方法と基準

分類	測定法名称	測定内容	測定法の概略	基準
電 気 抵 抗	○静電気用品構造基準(1984)法	接地端、電極間	電極：60mmφ 金属円筒，10kg f 電極間：マットの幅，長さの1/2及び斜方向 〈図2〉	10 ⁷ Ω 以下
	○NFPA56A (1978)法	表面抵抗	電極：6.35cmφ 金属円筒，2.268kg f，接触部はゴムパッド入り金属箔装填 電極間：91cm，1 対間	平均 1×10 ⁶ ～2.5×10 ⁴ 各点 5×10 ⁶ ～1×10 ⁴
	○IBM法	グランドコネクション，表面間 表面抵抗	電極：同上 電極間：グランドコネクションと各電極間 電極：65mmφ (2.5インチφ)金属円筒，2.5kgf (5 ポンド)，接触部はゴムパッド入りアルミ箔装填 電極間：1 m (3 フィート) 1 対間	平均 2.5×10 ⁴ Ω 以上 各点 10 ⁴ Ω 以上 150 KΩ 以上
	○電極間法	床表面，建物間 表面抵抗 体積抵抗	電極：同上 電極間：床表面と建物(又は適切接地体)間 電極：60mmφ 金属円筒，2 kg f 電極間：150mm，1 対間，たて，よこ，斜方向 電極：同上及び金属板 電極間：下部電極板と表面電極間 〈図3〉	2×10 ¹⁰ Ω 以下 (10 ⁵ ～10 ⁸ Ω) (10 ⁵ ～10 ⁸ Ω)
人体帯電電位	○ストロール法 (JISL1021—1979)	人体帯電電位	試料上を並み足踏み(約100歩/分) 人体帯電電位を直接測定 (環境条件：20℃，40% RH)，合成ゴム底靴 〈図4〉	BCFナイロン基準：3KV以下 (人体電撃防止レベル) (20% RHで2～3 KV)
	○すり足後隔離法	人体帯電電位	試料上をすり足法 (約1 回/ 秒) で飽和電位に達した後，約10cm程度試料表面より隔離，最大値を測定，合成ゴム底靴，皮底靴，ビニル底履物 〈図5〉	(何れも1 KV以下)

注) その他の方法：電気抵抗：JISL1021—1979参考1，JISK6723—1976，7.8，JISK6911—1979，5.13など
人体帯電電位：ISO/TR6356—1982 (E) など。
電極間法，すり足後隔離法は当稿検討のため設定した方法，電位表示は絶対値。
基準欄の () 内は当検討テストの暫定目標値。

図3 カーペットの電気抵抗測定法（電極間法）

になりつつある電極間法がある。

図3に示すような方法で表面抵抗と体積抵抗を測定するもので、本稿4章以降の実験は全て表3に示す電極間法とその暫定目標を指向して行ったものである。

電極は2 kgf、直径60 mmφの金属円筒を用い、表面抵抗は一定距離（150 mm）の一対間の抵抗値を測定し、電極間の方向はたて方向、斜め方向（45°、2方向）、よこ方向とする。体積抵抗（垂直方向の抵抗）はカーペット下面に金属板電極をおき、前述の電極をカーペット上面において金属板電極と電極間の抵抗値を測定する。その他にも表3に示すように、カーペットに援用できる各種材料の測定法が定められていて、電極として水銀を用いている方法もある。

これらの測定法の基準については導電性の程度の評価を目的としているので、抵抗値の上限を定めているが、電気施設、機器からの不慮の漏電による人体の感電防止の観点から多くは下限も定めている。

なお、電極間法の暫定目標はNFPA法、IBM法などの基準を参考に仮に定めたものである。

3.2 人体帯電性の測定法と基準

防塵作業服、防爆作業服、制電手袋、制電毛布など防電衣服、寝具などは製品そのものの制電を目的としているので、製品又は材料そのものの測定法が各種提案されている。

すなわち、材料に一定の静電荷を印加し、その減衰を半減期などでみる方法⁷⁾、布、フィルムなどに用いられるスタティックマシンと呼ばれる少量の試料を摩擦帯電させ、試料の電荷を誘導電極で検出して増幅測定⁷⁾するなどである。

これらの考え方に対し、カーペットの制電の目的

はカーペットの帯電ではなく、その上で歩行したり作業したりする人の帯電を対象にしているので、人体の帯電を測定する必要がある。

JIS L 1021-1979 6.16に定められている方法（通称ストロール法）又はこれに準拠する方法が一般的でよく用いられている。又、ほぼ同様な方法としてISO/TR 6356-1982(E)で提案されている方法がある。

一方、やや異なる考え方として、電氣的障害防止を目的とするものについては発生電位の最大値を測定する方が妥当とする考え方から作られた、すり足後隔離法がある。

ストロール法は図4に示すような方法で、並み足法による人体帯電電位を一定時間経過中に測定する。履物は甲が皮、底が合成ゴム（かかとから先端部までの表面抵抗が $10^9 \Omega$ 以下のもの）と定められている。

試験室の環境条件は20℃、40% RH（前述ISOでは23℃、25% RH）となっているが、冷暖房設備のビルなどでは冬期など、20% RH程度となることがあるところからコントラクトカーペットの場合には環境条件を20% RHとすることが一般的である。人体帯電電位は湿度の依存性が大きいので湿度の設定が重要なファクターとなる。

次に本稿4章以降で評価方法の一部に用いたすり足後隔離法について説明する。

これは図5に示すような方法で、概略を表3に示している。

電位計のリード線を持って指定履物をつけた人が椅子に座し、カーペットをすり足し、電位計の指針が飽和に達したところで足を約10 cm上げてカーペットと隔離し、前後左右に移動させながら電位計の最大値を測定する。履物は合成ゴム底靴、皮底靴、

図 4 人体帯電電位測定法；ストロール法 (JIS L 1021-1979 6.16)

図 5 人体帯電電位測定法；すり足後隔離法

ビニル底履物とし、試験室の環境条件は20℃、20% RHで、暫定基準を履物3種共絶対値で1 kV以下とした。なお、図6にストロール法、すり足後隔離法夫々の記録紙に表れる時間経過と人体帯電電位のモデルを例示する。すり足後隔離法は履物をカーベ

図 6 人体帯電電位の電位計指示の略例

ット表面から隔離すると飽和電位の2～3倍にはね上がるが、この理由はすり足による履物（人体）の帯電電荷 Q が一定で、足を隔離することにより、人体の静電容量 C が小となるので電位 V は

$$V = \frac{Q}{C}$$

により、はね上るものと考えられる。

4. カーペットの制電設計と評価

4.1 制電カーペット設計の考え方

前述したように、防塵作業服などの防電製品は材料又は完成品そのものが一定の帯電レベル以下しか帯電しないように設計するのに対し、制電カーペットの場合にはカーペット上に普通の履物をつけて歩行したり作業したりする人の人体帯電を一定のレベル以下にしようとする考え方である。

人体帯電を防止する方法としてはリストストラップ (Wrist strap) 法が古くから静電気をさくろ精密機器組立て作業などに適用されてきた。これは電気良導体のバンドを腕に固定し、他端をアースした装置に接続して、人体に静電荷が蓄積しないようにするものである。

電撃ショック防止を目的とした通常制電レベルのカーペットは、カーペット採用による静電気発生が増大化を防止するという目的であるのに対し、OA機器などの電氣的障害防止を目的とする高制電レベルは、リストストラップに似た機能をもカーペット

に持たせようとするもので、カーペット設計側から見ると誠に荷が重いといわねばならない。

制電法の基本的な考え方としては、大別して、(1)人体の電荷の漏洩促進をねらったもの、(2)摩擦帯電の抑制をねらったものがあることは3章でも触れているが、この具体的な方法として次のような方法がある。

- (a) 後加工法；パイル繊維あるいはカーペット表面に親水性の帯電防止剤を付与する方法。
- (b) 練り込み法；パイル繊維の繊維製造工程で、親水性ポリマーなどを練り込む方法。
- (c) 導電性繊維混用法；導電性繊維をカーペットパイル中に混用する方法（パイル糸に混紡、交捻、混織、カバリングなどを行って混用）。
- (d) 電荷中和法；帯電列において履物底材に対してプラス帯電性繊維と、マイナス帯電性繊維を混用する。

このうち(a)、(b)、(c)は主として考え方(1)に、(d)は主として考え方(2)になろう。

(a)については主要効果として帯電防止剤が繊維表面の $-COO^-$ 、 $-SO_3^-$ などの官能基と電氣的に結合して、表面に親水性を付与し、表面の湿度を上げ電気伝導度を高めて電荷の漏洩促進するのである。

(b)についてもほぼこれと同様な機構であろう。

(a)、(b)は単独では環境条件における湿度の依存性^{8,9)}が高く、低湿度では制電効果が急激に低下する欠点があり、(a)については耐久性の問題もある。

なお、(a)、(b)についての制電効果は電荷の漏洩促進効果のみとは言えない面があるものと考えられる。例えば界面活性剤、親水性ポリマーそのものが繊維の表面特性（例えば摩擦力の低減など）を変えることによる摩擦帯電の抑制の効果が一部あるものと考えられる。

(c)については考え方(1)そのものと考えられる。導電性繊維の電氣的定義は明確ではないが、金属、半導体、カーボン、金属化合物などの電気伝導性物質を繊維断面において集中的一部、分散の一部或は全部に用い、この部分の比抵抗が $10^2 \Omega \text{cm}$ 程度以下のものを言うとき一般的に考えられている。

(c)の電荷漏洩促進の原理は次の如く考えられよう。カーペットと履物底との摩擦によって発生した静電荷は、一方はプラスに、他方はマイナスに帯電しその電荷量は等しい。

カーペット側の電荷については、導電性繊維混用カーペットは、ある程度の電気容量を持っているの

で電荷が放散し帯電電位を低下させるとともに、カーペット帯電部からの電気力線（電界の状態を表す仮想力線）は静電誘導によって導電性繊維に集中し近傍に強い電界が生じて空気の絶縁破壊とコロナ放電が生じ、これにより空気がイオンに分離し、カーペット側の電荷と反対のイオンは電気力線上を移動し中和¹⁰⁾が進み電荷が減少する作用が生じるものと考えられる。

同時に履物底と導電性繊維との間にも強い電界が生じ、前述の様な絶縁破壊が生じて履物底の電荷が導電性繊維側へ移り履物側（人体側）の電荷が減少する。この過程が履物の移動に伴って瞬時的におこり人体帯電電位が低位に止まるものと考えられる。

このように(c)の制電は主としてカーペットパイルに含まれる導電性繊維のコロナ放電作用によると考えられるので必ずしも履物底と接触する必要はないが、導電性繊維がカーペット上に露出している方が放電効率がよく、このような主旨の文献¹¹⁾もある。

放電を効率よくするためには導電性繊維自体の電位を低く保つ必要があり、電気容量の増大のために導電性繊維の混用は多いほど、又可能なかぎり連続化することが好ましい。

このような理由から、タフトカーペットなどの裏材（基布、接着剤など）の導電化はループパイルの場合にも若干の効果はあるが、特にカットパイルの場合とかスパン糸における導電性繊維混紡糸を用いる場合には、パイル裏側の電氣的ジャンクション効果により分断している導電性繊維を連続化することになるので大きな効果がある。

(d)については、例えば靴底合成ゴムに対しナイロンはプラス帯電、ポリプロピレンはマイナス帯電であるので中和が起こり、靴底の帯電量を減じることになる。しかしながら履物底の材料は多様であることなどから汎用的に有効的な方法とは言えない面がある。

実際のカーペットにおける制電法は、制電効果が大きい、環境条件における湿度の依存性が他の方法より少ない、耐久性があるなどの理由から(c)が最も多く採用されている。

(d)については制電という目的からは単独で用いるケースは少ないが制電レベルの要求がそれほど高くない住居用カーペットなどに、ナイロン、ポリプロピレンの組合わせでよく用いられる。又、(c)、(d)の組合わせは高制電カーペットに用いられることがあり、ナイロン、ポリプロピレンの組合わせは履物底

が合成ゴム、皮の場合にはかなり効果的である。

4.2 導電性繊維混用法に関する検討

導電性繊維の混用量と人体帯電電位との関係の事例は、数多くあり目新しいものではないが、ナイロン 66 BCF のレベルループカーペットにおける実験例を図 7 に示す。

例えば、ナイロン BCF は長繊維であるので導電性繊維は糸状のものをを用い BCF 製造時や糸加工時(撚糸、カバリング、空気交絡など)に介添えし、介添えしたパイル糸と介添えなしのパイル糸との配列条数比で示するのが一般的であり、全条混、1/3条混などの表現をする。

スパン糸の場合で、導電性繊維をステープルファイバー状で混紡して用いる場合には混用率で表現する。

図 7 のよこ軸に、3 通りの混用率の表現を併記した。又、人体帯電電位はパイル糸の種類と履物底の材料との相互関係でプラス、マイナスの何れにもなるが、その絶対値が問題であるので、帯電電位の大小は絶対値でいうが図 7 で明らかなように条混数の増大に伴って小となり、湿度依存性もみられるが電撃ショック域を絶対値で 2 ～ 3 kV 以上とすればこの実験例の合成ゴム底靴の場合には何れの混用率でも効果がある。しかしながらナイロンカーペットの場合、皮底靴では合成ゴム底の数倍の電位になると

注) 糸使い: ①ナイロン 66 BCF 2900 D×導電性繊維 40 D/6

②ナイロン 66 BCF 2900 D

導電性繊維は導電性成分複合型(サイドバイサイド) 導電部比抵抗: $10^1 \sim 10^3 \Omega \text{cm}$

カーペット規格: 1/8インチゲージ、レベルループ、SBR コンパウンドジューツ張り

人体帯電電位: ストロール法 (JIS L 1021-1979 6.16)

図 7 導電性繊維の条混比と人体帯電電位

ころから、履物底種によってかなり様子が異なることがカーベットの制電法を複雑にしている。

又、カーベットパイルについて導電性繊維混用法のみで2〜3 kV 以下とするにはループパイルの場合の下限の数倍から10倍以上の混用量にする必要があり、導電性基布や導電性裏加工を併用すれば、ループパイルの例に近付くことは前節で述べた通りである。

何れにせよ、合成ゴム底履物の場合には導電性繊維混用法のみで、人体電撃ショック以下のレベルを完全化を期して1 kV 以下とした場合にこの多くはカバーできるが、ナイロンパイルの場合に皮底、ビニル底履物でこれを導電性繊維混用法単独で達成することはかなり難しい。

4.3 高制電カーベット設計に関する 2, 3 の実験

前節で述べた電撃ショック防止以上のレベル、つまり電氣的障害（OA 機器などへの障害）防止を指向した高制電カーベットの必要性は、人体帯電はそのほとんどの帯電因がカーベットなどの床材にあり、従って床材に対策すればかかる障害因のほとんどを取除くことができるという考え方からきている。

カーベットの敷設によって、リストストラップ着装のような積極的な制電効果が達成できれば、カーベットの新しい概念としての用途が開けることになり好ましい方向であろう。

つまり、カーベットに対策することで人体帯電をどこまで抑制できるかという新しい挑戦テーマであると理解できよう。

(a) 導電性繊維混用法と電荷中和法の併用の検討

カーベット種として、レベルループのタフトカーベット（ゲージ；1/10インチ、パイル長さ；4.0 mm, ステッチ；13/インチ、パイル糸の質量；630 g/m², ポリエステル不織布一次基布使用）を、ナイロン 66 BCF 1,050 D/68×2,片撚50回/m（N×N）並びにナイロン 66 BCF 1,050 D/68 とポリプロピレン BCF 1,000 D/60,片撚50回/m（N×PP）のそれぞれのパイル糸で試作した。導電性繊維を介添えするパイル糸についてはそれぞれ片撚時に交撚した。試料 No. パイル糸及び使用導電性繊維については表 4 に明細を示す。

このカーベットの生機をウインス染色し、タイルカーベットの上材とし、この上材に適常のアスファ

表 4 カーベットパイル糸の内容

試料No.	パイル糸	導電性繊維
11	N×P P	なし
12	N×P P	20D/3
13	N×P P	20D/3+20D/3
14	N×P P	20D/3+30μφ
15	N×P P	20D/3+1/50Nm
16	N×P P	30μφ+30μφ
21	N×N	なし
22	N×N	20D/3
23	N×N	20D/3+20D/3
24	N×N	20D/3+30μφ
25	N×N	20D/3+1/50Nm
26	N×N	30μφ+30μφ

注) N：1050D/68 ナイロン66BCF
PP：1000D/60 ポリプロピレン BCF
×：交撚（片撚 50回/m）の意
20D/3：ナイロン カーボン系導電性繊維糸20D/3
（導電性成分複合型：サイドバイサイド）
（導電部比抵抗 10¹〜10³Ω cm）
（電気抵抗 10⁷〜10⁹Ω/cm）
30μφ：ステンレススチールモノフィラメント 直径30μφ
（比抵抗 7.2×10⁻⁴Ω cm）
1/50Nm：ステンレス、ナイロン 6 混紡糸 1/50Nm
（ステンレススチール 8 μφ 12%）
（ナイロン 6 88%）

ルトコンパウンド（比抵抗 10¹²Ω cm 程度）を厚さ 2 mm になるように溶着し、最下面にポリプロピレン不織布（100 g/m²）を貼付し、500×500 mm 角のタイルカーベットとした。このタイルカーベットの全厚さは 8.0 mm であった。

ストロール法（JIS L 1021 6.16）での人体帯電電位の測定試料サイズは 90×90 cm 角であるので、予備実験として試料12, 22のタイルカーベットについてそれぞれ1枚（0.25 m²）、2枚（0.5 m²）、4枚（1.0 m²）の接合のサイズのものを作り、人体帯電電位を測定した結果、サイズ間で有意な差がなかったのので以降タイルカーベットの場合は2枚接合にて測定した。

この試作タイルカーベットの電気抵抗（電極間法）、人体帯電電位（ストロール法、すり足後隔離法）の測定結果を表 5 に示す。

これによると表面抵抗は導電性繊維混用の試料についてはたて方向においては比較的抵抗値となっているが、当然のことながら斜め方向、よこ方向、体積抵抗値は電氣的連続性がないので高抵抗値となっている。

人体帯電電位については、導電性繊維混用のない試料 No. 11, 21はかなり高電位値になっているが11（N×PP）は合成ゴム、皮については21（N×N）

表5 通常バックキングによる カーベットの電気的性能

試料 No.	電 気 抵 抗 (Ω)					人 体 帯 電 電 位 (KV)				
	表 面 抵 抗				体 積 抵 抗	ス ト ロ ー ル 法		す り 足 後 隔 離 法		
	た て	な な め	な な め	よ こ		合 成 ゴ ム	皮	合 成 ゴ ム	皮	ビ ニ ル
11	10 ¹² 以上	10 ¹² 以上	10 ¹² 以上	10 ¹² 以上	10 ¹² 以上	-2.7(0.6)	-4.8(1.0)	-5.5(0.5)	-8.3(1.0)	-17.8(0.6)
12	1.0×10 ⁹	6.5×10 ¹¹	8.0×10 ¹¹	8.5×10 ¹¹	—	-0.4(0.0)	-1.4(0.1)	-1.0(0.0)	-2.7(0.2)	-5.8(0.6)
13	6.5×10 ⁹	1.2×10 ¹¹	9.5×10 ¹¹	2.4×10 ¹²	—	-0.4(0.0)	-1.3(0.1)	-1.1(0.1)	-2.6(0.2)	-5.6(0.2)
14	10 ⁵ 以下	4.5×10 ¹¹	7.0×10 ¹¹	1.0×10 ¹²	—	-0.3(0.1)	-1.0(0.2)	-0.7(0.2)	-1.6(0.4)	-4.5(0.5)
15	8.5×10 ⁷	6.5×10 ¹¹	7.0×10 ¹¹	7.5×10 ¹¹	—	-0.2(0.0)	-0.8(0.3)	-0.6(0.1)	-1.8(0.5)	-2.5(0.2)
16	10 ⁵ 以下	2.8×10 ¹¹	1.6×10 ¹¹	4.0×10 ¹¹	2.8×10 ¹¹ ~1.8×10 ¹¹	-0.3(0.0)	-0.9(0.1)	-0.7(0.1)	-1.3(0.5)	-4.5(0.3)
21	10 ¹² 以上	10 ¹² 以上	10 ¹² 以上	10 ¹² 以上	10 ¹² 以上	-6.2(0.5)	-11.1(0.7)	-13.1(1.2)	-17.1(0.3)	-16.8(0.2)
22	7.5×10 ⁸	1.4×10 ¹²	1.2×10 ¹²	2.2×10 ¹²	—	-0.5(0.0)	-1.9(0.1)	-1.5(0.2)	-5.2(0.4)	-6.1(0.6)
23	7.0×10 ⁷	1.4×10 ¹²	8.5×10 ¹¹	1.4×10 ¹²	—	-0.6(0.1)	-1.8(0.2)	-1.5(0.1)	-5.0(0.3)	-6.0(0.7)
24	10 ⁵ 以下	4.0×10 ¹¹	2.6×10 ¹¹	5.5×10 ¹¹	—	-0.5(0.1)	-1.5(0.2)	-1.3(0.1)	-4.0(0.6)	-4.7(0.3)
25	5.5×10 ⁷	2.2×10 ¹¹	5.5×10 ¹¹	9.0×10 ¹¹	—	-0.4(0.0)	-1.4(0.2)	-1.2(0.2)	-2.6(0.4)	-3.0(0.4)
26	10 ⁵ 以下	3.0×10 ¹¹	3.5×10 ¹¹	3.5×10 ¹¹	7.5×10 ¹¹ ~2.2×10 ¹¹	-0.5(0.1)	-1.7(0.2)	-1.4(0.1)	-3.7(0.4)	-5.2(0.6)

注) 電気抵抗: 表面抵抗 (電極間法) — 電極: 金属円筒60mmφ, 2kg, 1 対間 150mm
体積抵抗 (電極間法) — 電極: 同上円筒 (上部), 金属板の順に積層し金属板, 円筒間 (図3)
人体帯電電位: ストロール法 — JISL1021-1979, 6.16 に準拠
すり足後隔離法 — すり足で飽和値に達したところで靴を隔離, 最大値 (図5)
表中の数字は3点測定値の絶対値としての最大値, () 内はレンジ。
合成ゴム, 皮, ビニルはそれぞれ靴底(履物)の材質を示す。
測定環境: 20℃, 20%RH, 測定法: 表3 参照

の約半分の電位値, ビニルについては大差ない結果となった。

導電性繊維混用の試料についてもそれぞれ同様な傾向となっていて, 電荷中和法が履物底の材質の依存性が高いことを示していて, 一般性に欠けることを物語っている。

試料 No. 12, 22 に対し, 導電性繊維の使用量を2倍にした13, 23の人体帯電電位はほとんど変わらない結果となり, 導電性繊維を集中的に増加させても効果的でないことを示唆している。

ステンレススチールのファイバー及びフィラメント, つまり低抵抗導電性繊維を併用した試料グループ (No. 14, 15, 16 及び 24, 25, 26) は試料グループ (No. 12, 13 及び 22, 23) に比較して帯電が低位になっていて, 低抵抗導電性繊維の混用が制電性にさらに寄与することを示している。

これは, 低抵抗の導電性繊維の混用によって, 近傍の空気の絶縁破壊を容易にするなど履物底からの放電を効率よく行わせるようになったからと考えられる。

(b) 導電性コンパウンドによる裏加工の検討

前項の試料のうち, 導電性繊維混用のないもの及びこれを混用したもののうち電気抵抗において 10⁵ Ω 以下の抵抗値を含むものを除いた試料 No. 12, 13,

15 (N×PP) 及び 22, 23, 25 (N×N) について導電性裏加工を行った場合の検討を行った。

導電性裏加工材としては, アスファルトコンパウンドにカーボンブラックを添加混合して導電性コンパウンドを試作しこれを用いた。

これを単独で約 2mm のシート状に成型して電極間法にて体積抵抗値を測定し, 次式によって比抵抗 P を求めた結果 10⁶~10⁷ Ωcm であった。

$$P = \frac{\pi d^2}{4t} R_v$$

t : 試料片の厚さ (cm), d , 電極の直径 (cm)
 R_v : 体積抵抗値 (Ω)

この導電性コンパウンドを前項で用いた通常のコンパウンドにかえ, 最下面にはナイロンカーボン系導電性繊維を 0.5 wt % 混紡して作ったポリプロピレン不織布を貼付してタイルカーベットを試作した。

このタイルカーベットの測定結果を表 6 に示し, これを表 5 との比較において検討してみる。

電気抵抗値は全試料とも, 表面抵抗値 4 方向, 体積抵抗値が低位化した。これはカーベット上材のバイル裏の導電性コンパウンドによるジャンクション効果であることは明らかであろう。

しかしながら, 人体帯電電位はストロール法, す

表6 導電性裏加工によるカーペットの電氣的性能

試料 No.	電 気 抵 抗 (Ω)					人 体 帯 電 電 位 (KV)				
	表 面 抵 抗				体 積 抵 抗	ス ト ロ ール 法		す り 足 後 隔 離 法		
	た て	な な め	な な め	よ こ		合 成 ゴ ム	皮	合 成 ゴ ム	皮	ビ ニ ル
12C	1.0×10 ⁷	1.0×10 ⁷	1.8×10 ⁷	1.0×10 ⁷	2.6×10 ⁷ ~3.5×10 ⁸	-0.5(0.1)	-1.4(0.1)	-1.0(0.0)	-2.6(0.1)	-5.5(0.4)
13C	2.4×10 ⁷	2.8×10 ⁷	3.5×10 ⁷	3.5×10 ⁷	1.6×10 ⁷ ~6.5×10 ⁸	-0.4(0.0)	-1.4(0.1)	-0.9(0.1)	-2.7(0.4)	-5.6(0.7)
15C	4.0×10 ⁵	6.0×10 ⁵	9.0×10 ⁵	9.0×10 ⁵	2.0×10 ⁶ ~1.6×10 ⁸	-0.3(0.0)	-1.0(0.1)	-0.7(0.0)	-2.1(0.1)	-2.6(0.2)
22C	3.0×10 ⁶	5.0×10 ⁶	3.5×10 ⁶	6.5×10 ⁶	5.5×10 ⁶ ~3.5×10 ⁸	-0.6(0.1)	-1.7(0.1)	-1.5(0.1)	-5.0(0.3)	-6.0(0.3)
23C	2.4×10 ⁶	4.0×10 ⁶	3.5×10 ⁶	3.5×10 ⁶	3.5×10 ⁶ ~2.4×10 ⁸	-0.6(0.1)	-1.7(0.1)	-1.4(0.1)	-4.9(0.3)	-6.0(0.3)
25C	3.0×10 ⁵	3.0×10 ⁵	3.0×10 ⁵	4.0×10 ⁵	1.4×10 ⁶ ~7.0×10 ⁸	-0.5(0.1)	-1.4(0.2)	-1.2(0.1)	-3.0(0.3)	-3.0(0.3)

注) C：導電性裏加工試料の意
測定法：表5と同じ

表7 導電性裏加工，フッ素樹脂処理カーペットの電氣的性能

試 料 No.	電 気 抵 抗 (Ω)					人 体 帯 電 電 位 (KV)				
	表 面 抵 抗				体 積 抵 抗	ス ト ロ ール 法		す り 足 後 隔 離 法		
	た て	な な め	な な め	よ こ		合 成 ゴ ム	皮	合 成 ゴ ム	皮	ビ ニ ル
15FC	1.2×10 ⁶	1.8×10 ⁶	7.0×10 ⁵	7.5×10 ⁶	2.2×10 ⁶ ~9.0×10 ⁸	-0.2(0.1)	-0.8(0.2)	-0.5(0.0)	-1.2(0.4)	-1.7(0.1)
25FC	1.5×10 ⁶	2.0×10 ⁶	1.8×10 ⁶	6.7×10 ⁶	3.2×10 ⁶ ~1.3×10 ⁸	-0.3(0.1)	-1.1(0.4)	-0.8(0.1)	-2.4(0.3)	-2.5(0.3)

注) FC：導電性裏加工及びパイルにフッ素樹脂処理試料の意
測定法：表5と同じ

り足後隔離法ともそれ程低位化していないことを示している。これは試料がループパイルであるので、パイルに介添え交差されている導電性繊維が連続性を保っているので導電性コウパウンドによるジャンクション効果で、さらにカーペットのよこ方向の連続化がなされてもそれほど人体帯電電位の低位化には寄与しなかったためと考えられよう。

一方、工事物ナイロンカーペットは防汚加工（撥水、撥油）を行う例が多いことから、防汚加工を試料No.15C（N×PP）、25C（N×N）に試みた。

フッ素樹脂は、パーフルオロアルキル基含有アクリル酸エステル系のものを用い、固形分にして1.75wt%になるように均等にカーペット表面に散布し、98℃、20分の熱処理を行い、測定試料とし電氣的性能を測定した。

この結果を表7に示す。これによると人体帯電電位は試料No.15FC（N×PP）、25FC（N×N）共に、ストロール法、すり足後隔離法とも低位化することがわかった。

これは摩擦対象の靴底の材質の合成ゴム、皮、ビニルに対しナイロンはプラス帯電で、フッ素樹脂はマイナス帯電であるので中和効果が現れたものと考えられるとともにパイル繊維の表面特性が変わったための帯電抑制効果との相乗効果と考えられる。

(c) 電荷の漏洩促進法による制電の限界

制電法を大別すると、電荷の漏洩促進と摩擦帯電の抑制の2つの考え方があることは前節でも述べた。

ここで、試みに電気抵抗がカーペットのレベルからみて著しく低いアルミ板と銅板について、これをカーペットに見立て、ストロール法及びすり足後隔離法で人体帯電電位を測定してみた。これを表8に示す。

これによると、ストロール法、すり足後隔離法共に履物底種によってはかなりの電位となることが判り、特にビニルにおいてはこの2種の金属板の場合に発生電位がかなり高位であることがわかった。なお、帯電のプラス、マイナスは表1の帯電列で説明がつかないところがあるが、ここでは絶対値について検討する。

すり足後隔離法においては、暫定基準の1kV以下はアルミ、銅板ともビニル靴底では達成できず、アルミ板においては皮でもかなり高位の電位であった。

良導体であるアルミ板、銅板においても、履物底種によっては人体がかなり帯電することが判り、例えばアルミ板を敷き詰めた室内でもビニルスリッパをはいて椅子に座し、足を床から隔離すれば人体帯

表8 金属板をカーペットに見立てた場合の人体帯電電位

試料	人 体 帯 電 電 位 (K V)				
	ストロール法		すり足後隔離法		
	合成ゴム	皮	合成ゴム	皮	ビニル
アルミ板	+0.02	-0.45	-0.14 (0.03)	-0.99 (0.24)	-3.50 (0.20)
銅板	+0.06	-0.10	-0.12 (0.03)	+0.65 (0.41)	-3.30 (0.40)

注) アルミ板: 60cm×60cm, 厚さ2mmのもの2枚接合
銅板: 60cm×36.5cm, 厚さ1mmのもの2枚接合
測定法: 表5と同じ
比抵抗: アルミ $2.7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$
銅 $1.7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$

電電位がかなり上ることを示している。

アルミ、銅などの金属も摩擦によって帯電し、その帯電列の序列関係は表1に示す通りである。履物は通常は非導電性であり、履物底の表面の電荷は金属板に放電されるが、内部に流入し蓄電された電荷は瞬時には放電せず、ある平衡状態に達して人体帯電電位として測定されたものと考えられる。

このことは履物、靴下などの導電性が不十分な場合、カーペットを極限的に良導体化しても良導体自体と履物底との帯電列の位置関係において電荷の漏洩促進という考え方のみでは効果的な高制電対策にはならないことを示唆している。金属板の場合はカーペット中の導電性繊維による電界発生とは状態が異なるのではないかと考えられる。

(d) 帯電防止剤の検討

帯電防止剤は4.1節でも言及したように、繊維表面に親水性を付与し、繊維表面の湿度を高めて導電性を高め電荷を逃がす効果及び摩擦帯電そのものの抑制効果があるものと考えられる。文献¹²⁾によると静電気の発生そのものは水分の量とともに減少しないと考える方が正しいとしているが、繊維表面の帯電防止剤自体が、例えば摩擦の強さを減じて静電気発生を減少させるなどして抑制効果が出るものと考えられ、特に導電性繊維混用法と併用したときに環境条件において低湿度でも漏洩性向上と相まって帯電の抑制効果がかなり加味されるものと考えた。試みに帯電防止剤を十分に付着させた場合について検討してみた。

テストとして前記b項で試作した試料 No. 15 C (N×PP), 25 C (N×N) にアミン系 (カチオン) 帯電防止剤をフッ素樹脂加工剤に混合し、それぞれ固形分で1.7 wt % 付着するようにカーペット表面に散布して熱処理したタイルカーペットについて人体帯電電位を測定した結果、ストロール法では No. 15 C

帯電防止剤処理試料で合成ゴム底、皮底ともに0.02 kV 以下、No. 25 C 帯電防止剤処理試料で0.04 kV 以下であり、すり足後隔離法については前者が合成ゴム、皮、ビニル底共に0.1 kV 以下、後者が合成ゴム底で0.1 kV、皮底で0.2 kV、ビニル底で0.4 kV 程度であった。ここに、導電性繊維混用法をベースとして、これに帯電防止剤を併用することは高制電カーペットとする有効な手段であり、さらに電荷中和法を併用することは制電効果を一層高め得ることが分かった。

帯電防止剤は一般に効果の持続性に欠ける欠点があることから、耐久性のある防電剤を検討してみようとした。a 項での実験に使用した生機の試料 No. 12, 15 (N×PP) 及び 22, 25 (N×N) を染色後に、フッ素樹脂加工剤とある種の帯電防止性のある化合物との混合剤を前者を1.25 wt %, 後者を0.66 wt % になるように希釈液で均一に散布し、110℃で5分間ベーキング後、b 項で用いたものと同じ導電性アスファルトコンパウンドを裏面に溶着したタイルカーペットを試作した。

このタイルカーペットの測定結果を表9に示す。

これによると、かなり高度な制電性が得られた。これを中性洗剤 (主成分: α -オレフィンスルホン酸ソーダ, LAS) を使用し、十分にブラッシングを行い、かなり入念に水洗いして自然乾燥した。このクリーニング後の試料の測定結果も表9に示すが、制電性能は大きく変わらず、かなり達成困難と考えられている環境条件20℃, 20% RH におけるすり足後隔離法で皮、ビニル底で1 kV 以下を試料 No. 15 SC (N×PP) で達成できた。なお、今回は低抵抗糸としてステンレススチール繊維を用いたが、摩擦によって微粉化しやすい金属などの導電糸は飛流微粉付着による障害の可能性から IC などを取扱うクリーンルームなどではきらいを付記する。

表9 耐久型加工剤で処理したカーペットの電氣的性質

試料 No.	電 気 抵 抗 (Ω)					人 体 帯 電 電 位 (KV)				
	表 面 抵 抗				体積抵抗	ストロール法		すり足後隔離法		
	た て	な な め	な な め	よ こ		合成ゴム	皮	合成ゴム	皮	ビニル
12SC	1.8×10 ⁷	9.0×10 ⁶	2.6×10 ⁷	2.8×10 ⁷	1.4×10 ⁷ ~1.0×10 ⁸	+0.05	-0.36	+0.15	+1.11	+1.05
15SC	1.4×10 ⁶	1.2×10 ⁶	2.2×10 ⁶	1.6×10 ⁶	8.5×10 ⁶ ~3.0×10 ⁸	-0.17	-0.42	+0.05	+0.57	+0.48
クリーニング	—	—	—	—	—	-0.14	-0.79	-0.20	-0.93	+0.37
22SC	3.0×10 ⁶	3.5×10 ⁶	2.8×10 ⁶	3.5×10 ⁶	6.0×10 ⁶ ~1.4×10 ⁷	+0.04	+0.74	+0.32	+2.50	+3.70
25SC	8.0×10 ⁵	1.2×10 ⁶	1.0×10 ⁶	1.2×10 ⁶	1.0×10 ⁶ ~1.6×10 ⁶	+0.03	+0.51	+0.15	+1.47	+1.86
クリーニング	—	—	—	—	—	-0.07	+0.82	+0.12	+1.98	+2.40

注) SC：導電性裏加工及びパイルに耐久型加工剤処理試料の意
クリーニング：上段試料のクリーニング試料
クリーニング方法は中性洗剤でブラシこすり洗い後水洗
測定法：表5と同じ

耐久性についてはさらに検討を要するが、人体帯電における制電機能はこのあたりが限界ではなかろうかと考えられ、より耐久性のある防電剤の開発、さらに耐久性のある摩擦帯電の効果的抑制法の開発が望まれるところである。

6. おわりに

誠に不十分ながら、カーペットの制電に関する測定法、基準などの展望、制電カーペットの設計に関する考え方、高度制電カーペットの設計要件に関するいくつかの実験結果と所見などについて述べた。

論理的な面、実際の面などにおいてまだまだ探求が至らない点は多々あるが、これを契機として御意見、御指導を仰げれば幸と思う。

なお、本稿をまとめるに当たり、評価の面で数物検査協会の豊田正博氏、試作などの面でワールド数物加工(株)の由良俊幸氏の御協力に感謝の意を表する。

参考文献

1) 静電気ハンドブック (再版第10刷) p. 72, 高分子学会 (1985)
2) 徳田：化繊月報, p. 52 (1982~5)
3) 田島：静電気の災害防止対策 (静電気安全専門講習会資料) p. 23 (1970)

4) AATCC committee RA 32, AATCC Technical Manual (1974)
5) 静電気用品構造基準, 労働省産業安全研究所 (1984改訂版)
6) NFPA (National Fire Protection Association), 56 A, (1978)
7) JIS L 1094-1980, 8
8) 内藤：繊維工学, 26, No. 2, p. 119 (1971)
9) 平川：帝人タイムス, 46, No. 2, p. 109 (1971)
10) 山本：繊維工学, 38, No. 8, p. 333 (1985)
11) 実公昭45-11572号
12) 1)と同, p. 363

内藤武七郎 (ないとうたけしちろう)
山形大学工学部卒, 昭和36年旭化成工業(株)入社, 現在同社繊維資材販売部所属, 技術士, 素材開発プロモーション, 技術サービス担当, 経験分野は織布研究, 繊維の物理加工研究, インテリア寝装, カーペット開発など。(大阪市北区堂島浜1-2-6, 新大ビル, TEL.06-347-3756)

繊維産業に携わる研究者・技術者は日本繊維機械学会の会員に！

日本繊維機械学会は、繊維産業（繊維製造～アパレル～流通）に携わる研究者・技術者の結集体として昭和23年創立以来、40数年にわたって産学協同を基調に絶ゆまざる活動を続けております。

学会活動の活発化や会員の相互啓発は会員が多数であればあるほど、より高まり深くなります。会員各位におかれましてもお知り合いの方でまだ未入会の方がおられましたら、ぜひご入会をおすすめいたしますようお願い致します。