

8. 床特研式帯電試験機による 評価の妥当性について

6.1に示した「床の帯電防止性能評価式」および表-6.1に示した「帯電防止性能評価の目安」を構成した経過および妥当性を以下に要約する。

試験機によって測定される最大帯電電位と半減時間を用いて帯電防止性能を評価するためには評価するための指標が必要不可欠となる。

帯電防止性能の評価指標に関しては、国内外で、いくつか提案されており、概要は文献^{1),2)}に要約されている。

これらの指標は基本的には床の電気抵抗もしくは人体帯電電位を用いたものとなっているが、いずれも静電気障害との定量的関係が明確にされたものではなく、帯電防止性能の評価に貢献しているとはいえ、電気抵抗や人体帯電電位の測定方法の困難さの問題をも含め、現時点では客観性に多くの問題を有しているといえる。

ここで、帯電防止性能に関する厳密な評価指標を提示するために、基本的には人体帯電を主原因として生ずる実際の静電気障害を具体的にかつ定量的に把握する必要があるが、現状では、以下の理由で、不可能に近い状況にあるといえる。

- ・電子デバイスの破損等の静電気障害は、電子機器・部品製造企業の技術レベルの高低に深く関わる問題となるため、クレーム等の発生から帯電防止性能と密接な関係があることまでの情報は得られるが、障害発生の頻度等の定量的資料として公開される可能性はない。

- ・コンピューターの誤動作、電撃等の静電気障害は、日常観察あるいは経験できるが、人体、環境、コンピューターなどが要因として大きく絡むので、帯電防止性能との直接的でかつ厳密な関係として把握することは極めて困難である。

- ・静電気障害を実験的、理論的あるいは解析的に究明することは、現状では非常に困難である。

一方、一般に静電気障害発生に関して豊富な経験を持つ床関係者(素材を用いて床を開発する立場の観点で以降ユーザーと呼ぶ)は、対象とする床のストローラ法による人体帯電電位と漏洩抵抗を資料として、帯電防止性能を直感的にかつ大きく誤らずに判断することが多い。

そこで、表-8.1に示す多様な21の試料床の、JIS L 1021-16³⁾に規定するストロール法による人体帯電電位、およびNFPA 99⁴⁾に規定する方法による漏洩抵抗を求め、表-8.2に示すように床仕様等の情報をマスキングした上で、有能な13名のユーザーに資料として提示し、帯電防止性能の評価を表-8.3の左欄に示す判断範ちゅうで求めた。

なお、ユーザーが帯電防止性能を評価するためには、床が使用される環境および履物に関するおおよその条件を設定する必要があるが、静電気障害が発生しやすい環境つまり湿度30%RH以下、履物は静電靴着用、とすることを条件として提示した。

また、試料床は各々大きさ85cm×85cm、厚さ2mmのアースされたアルミ板下地一面に敷設したもので、人体帯電電位および漏洩抵抗の測定は温度21℃～23℃、湿度20%～RH27%RHの環境条件下で行った。

ユーザーの判断の分散分析結果を表-8.4に示す。

主効果の分散比および寄与率が非常に高いことから、試料床には帯電防止性能の評価の観点から有意な差が有り、かつ、ユーザーの評価の一致性も高く、構成される尺度はユーザーの評価の観点から高度に有意な尺度といえる。

表-8.1 ユーザー評価のための試料床の種類

床仕上材料の種別	仕様 (呼称)	試料床の数
PVCタイル	帯電防止タイル	2
	一般タイル	1
PVCシート	導電シート	1
	帯電防止シート	2
	一般シート	1
タイルカーペット	制電タイプ(帯電電位が1.5kV以上)	2
	一般タイプ(帯電電位が2.0kV以上)	2
ロールカーペット	一般タイプ	2
塗 り 床	導電タイプ	2
	帯電防止タイプ	3
	一般(エポキシ、ウレタン、MMA)	3

以上の検討後、尺度構成理論⁵⁾を用いて、尺度(以降、帯電防止性能評価尺度あるいは単にU値と呼ぶ)を構成した。

表-8.5に試料床の帯電防止性能評価値を示す。

ここで、構成された尺度の本質的な性格について述べると以下のようなになる。

表-8.2 ユーザーに提示した資料

試料床 No.	ストロール 法による人 体帯電電位 (V)	漏洩抵抗 R (Ω)	
		50V 印加時： R ₅₀	500V 印加時： R ₅₀₀
1	62	5.0×10^{10}	3.0×10^{10}
2	1311	1.5×10^{13}	5.0×10^7
3	28	1.8×10^6	1.0×10^6
4	2170	2.0×10^{12}	1.5×10^{12}
5	176	1.2×10^{11}	7.0×10^{10}
6	888	1.0×10^{11}	1.8×10^{12}
7	70	3.0×10^{10}	6.0×10^9
8	420	4.0×10^{11}	1.1×10^{11}
9	74	5.0×10^8	1.7×10^7
10	16	3.0×10^7	2.5×10^7
11	34	2.5×10^6	2.5×10^6
12	2	7.0×10^9	3.5×10^8
13	1	1.0×10^7	3.5×10^6
14	35	2.0×10^{10}	1.1×10^{10}
15	8	1.5×10^8	1.0×10^6
16	502	1.5×10^{13}	3.0×10^7
17	12	1.0×10^8	5.0×10^7
18	6	1.0×10^5	8.0×10^6
19	781	1.5×10^{12}	6.0×10^{11}
20	1470	2.5×10^{11}	1.5×10^{11}
21	5	3.0×10^{10}	4.5×10^9

まず、人体帯電電位、漏洩抵抗を判断資料としたユーザーによる判断から構成された尺度の客観性については、他に尺度構成の方法がないこと、経験豊富な13名のユーザーの判断に極めて高い一致性があること、から現状において十分な客観性をもっているといえる。

つぎに、帯電防止性能は前述したように床のみならず、特に湿度を中心とする環境条件に大きく左右される。それ故、構成された尺度は人体帯電が起きやすい環境条件下での帯電防止性能を表示する尺度であり、厳密には帯電防止性

表-8.3 帯電防止性能評価のための範ちゅう

範ちゅう	範ちゅうの意味
7	水素・アセチレンなどの可燃物の物質を取り扱っても問題のない水準 (IC等の製造工程でも使用できる水準)
6	範ちゅう5と7の間
5	炭化水素系液体、粉体などを取り扱っても問題のない水準 (半導体使用製品などの組立ラインで使用しても問題のない水準)
4	範ちゅう3と5の間
3	抵抗値は大きいものの、静電気の発生が少なく電撃防止ができる水準 (OAフロア等で電撃防止ができる水準)
2	範ちゅう1と3の間
1	帯電防止効果があるとはいえない水準

表-8.4 分散分析結果

	平方和	自由度	不偏分散	分散比	寄与率
主効果(試料)	1117.44	20	55.8722	79.0171**	0.8209
個人	56.85	12	4.7373	6.6998**	0.0360
誤差	169.70	240	0.7071		
総計	1343.99				

**：危険率1%で有意

表-8.5 人体帯電防止性能評価尺度値と床特研式帯電試験機による
最大帯電電位(V_m), 半減時間(Dt)

試料 床No.	人体帯電防 止性能評価 尺度値 <small>注1)</small>	最大帯電 電位 :V _m (V)	半減時間 :Dt(msec)	LogV _m	LogDt	人体帯電 防止性能 <small>注2)</small>
1	2.33	1187	2367	3.07	3.37	1.31
2	0.90	556	9999	2.75	4.00	1.28
3	5.61	20	17	1.30	1.23	5.42
4	0.27	1371	9999	3.14	4.00	0.74
5	2.08	139	9999	2.14	4.00	2.11
6	0.65	1503	9999	3.18	4.00	0.68
7	2.77	361	3590	2.56	3.56	1.88
8	1.12	421	9999	2.62	4.00	1.45
9	4.09	47	282	1.67	2.45	3.96
10	5.18	6	15	0.78	1.18	6.18
11	5.23	13	11	1.11	1.04	5.82
12	5.29	34	166	1.53	2.22	4.33
13	6.00	5	88	0.70	1.94	5.70
14	2.72	100	959	2.00	2.98	3.10
15	5.18	19	267	1.28	2.43	4.52
16	1.69	329	9999	2.52	4.00	1.59
17	4.93	14	121	1.15	2.08	4.97
18	6.16	14	3	1.15	0.48	6.21
19	0.56	881	9999	2.94	4.00	1.00
20	0.55	668	9999	2.82	4.00	1.17
21	2.66	159	827	2.20	2.92	2.87

注1) 人体帯電防止性能評価尺度値は、表-8.2のデータより、表-8.3の
評価の範ちゅうに従って、ユーザーが判定した性能の平均値

注2) $U = -1.382 \text{ Log } V_m - 0.774 \text{ Log } Dt + 8.168$

能を相対的に評価する尺度と見做すべきである。しかしながら、静電気障害を発生させるような人体帯電は、環境が帯電防止上不利な条件下でしか生じないことを前提とできることから、構成した尺度は湿度などに多少の幅があっても絶対的な意味を有していると理解して大きな不都合がないともいえる。

つぎに、試験機から得られる最大帯電電位 (V_m) と半減時間 (D_t) を用いて、帯電防止性能評価尺度 (U) との対応を理論的に究明する上で、まず、既往の評価方法において最も適用頻度が高いとされる表-8.2 に示すストロール法による人体帯電電位 (V_h) さらには漏洩抵抗 (R) との対応を検討することとした。

図-8.1 に U と $\log_{10}|V_h|$ の関係を示す。

両者の間には有意な相関が有り、帯電防止性能をストロール法によって評価する既往の事実には大きな誤りがあるとはいえないことがわかる。

しかしながら、両者の関係には、乱れがあることも認められ、他に何らかの電気的物理量が関与していることも想定できる。

ここで、ストロール法による1分間の歩行動作中の人体帯電電位 (V_h) の他に、その後床を經由して人体帯電電位が減衰する効果を取り入れればよりよい対応が得られることが考えられる。

さらに、人体帯電電位の減衰効果は漏洩抵抗 (R) に依存することから下記の関係が成立することが想定される。

$$U = a \cdot \log_{10}|V_h| + b \cdot \log_{10}R + c \quad \dots\dots\dots (1)$$

(a, b, c : 定数)

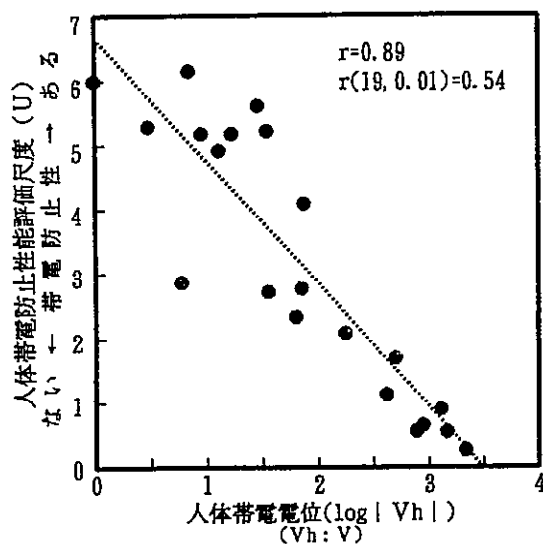


図-8.1 人体帯電防止性能評価尺度と人体帯電電位の関係

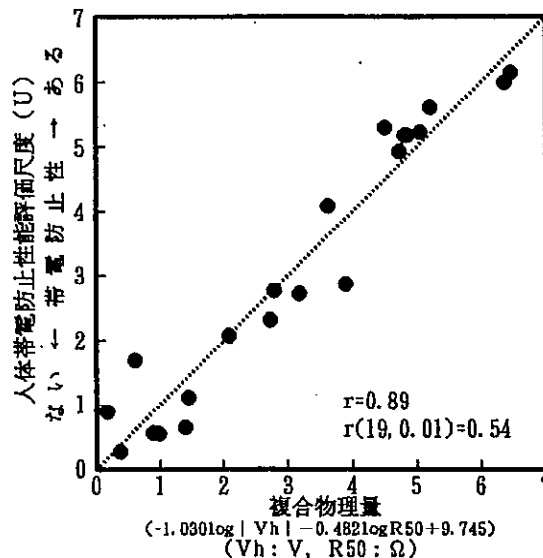


図-8.2 人体帯電防止性能評価尺度と既往の複合物理量の関係

表-8.2に示す試料床の V_h , R および表-8.5に示す帯電防止性能評価値を用いて重回帰分析手法により(1)式を構成した結果、図-8.2(R_{500} を用いた場合)、図-8.3(R_{500} を用いた場合)のような良好な対応が得られた。

以上、既往の評価において用いられる物理量と U との良好な対応から、帯電防止性能は、動作時の人体帯電電位のみならず、動作停止後の帯電電位の減衰をも加味した性能として説明できるという、国内外においてこれまで説明されていない関係を究明した。

なお、人体や動作の強弱から発生する個体差、さらには測定の高難さ、等の弱点を大きな問題として考えないこととすれば、図-8.2、図-8.3に示した対応は、既往の物理量を用いた帯電防止性能の評価のための新たな指標として十分有効であるともいえる。

また、以上の知見は、人体帯電電位、漏洩抵抗を資料とした場合の経験豊富なユーザーの判断から構成される帯電防止性能評価尺度を人体帯電電位、漏洩抵抗からなる複合物理量で説明できるというもので、一見当然の帰結と見做せる可能性もあるが、直観的な判断の基準となっているいくつかの物理量を定量的に評価できる複合物理量として構成した点で、これまで曖昧であった点を定量的に明確にした全く新しい知見として位置づけることができるものである。

以上の知見をもとに、試験機から得られる最大帯電電位(V_m)および半減時間(Dt)を用いた帯電防止性能の評価指標を以下のように究明した。

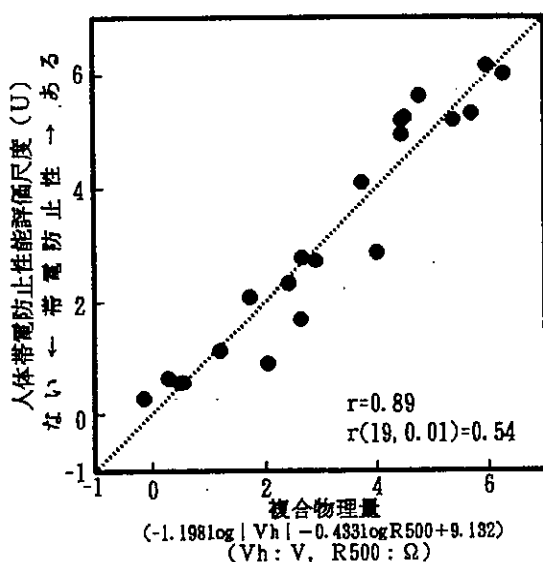


図-8.3 人体帯電防止性能評価尺度と既往の複合物理量の関係

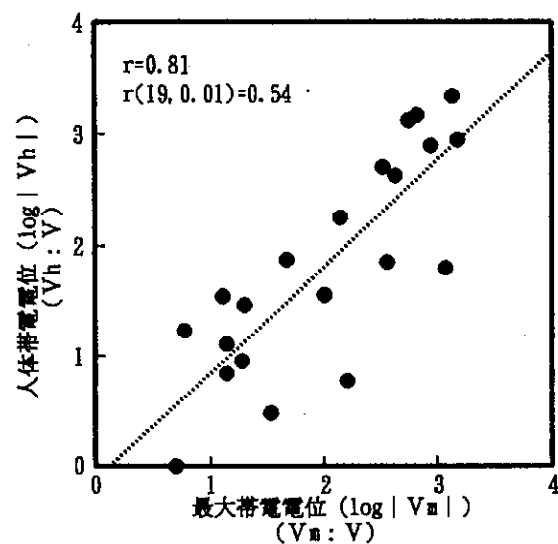


図-8.4 人体帯電電位と最大帯電電位の関係

まず、互いに相関が高いと想定される人体帯電電位(Vh)と最大帯電電位(Vm)の関係、漏洩抵抗(Rso)と半減時間(Dt)の関係を確認した。

なお、表-8.5に示した試験機による試料床のVm, Dtの測定はVhとRの場合と同様の環境条件下で行った。

図-8.4、図-8.5に各々の関係を示すが、いずれにおいても有意な相関があることから、(1)式における、VhをVm、RsoをDtで置換した下式を設定した。

$$U = \alpha \cdot \log_{10} |V_m| + \beta \cdot \log_{10} Dt + \gamma \quad \dots\dots\dots (2)$$

(α, β, γ : 定数)

重回帰分析により(2)式を構成した所、下式により図-8.6に示すような十分な対応が得られた。

$$U = -1.3821 \log_{10} |V_m| - 0.774 \log_{10} Dt + 8.168 \quad \dots\dots\dots (3)$$

以上から、(3)式あるいは図-8.6を帯電防止性能について、試験機より得られる最大帯電電位(Vm)および半減時間(Dt)を用いて定量的かつ客観的に評価できる指標として提示できる。

以上が床研式帯電試験機による帯電防止性能の評価の妥当性の証明となるが、提示した評価方法を適用して、実際に使用に供されている様々な実施工床の帯電防止性能を評価した結果、文献^{6)~9)}に示すように、実情と良く対応することから、提示した評価方法のより一層の妥当性を確認できていることを付記する。

なお、以上の詳細に関しては文献¹⁰⁾を参照願いたい。

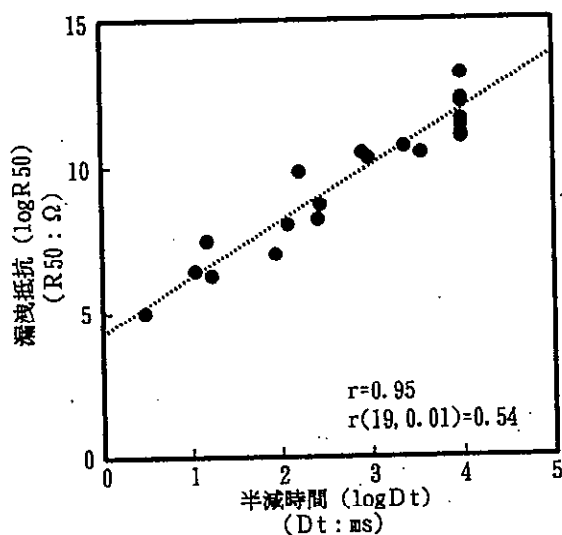


図-8.5 漏洩時間と半減時間の関係

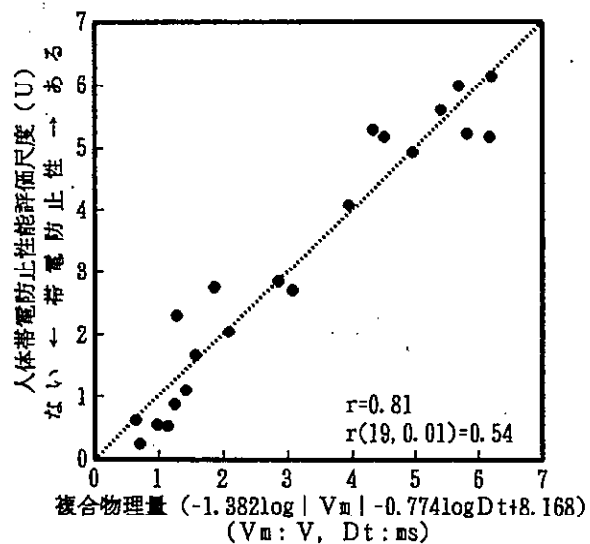


図-8.6 人体帯電防止性能尺度と床研式帯電試験機から得られる複合物理量の関係

<参考文献>

- 1) 「静電気対策用資材評価技術に関するガイドライン」
(財)日本電子部品信頼性センター発行
- 2) 「静電気安全指針」 労働省産業安全研究所発行
- 3) **JIS L 1021-16** 2007：繊維製床敷物試験方法－第16部：
帯電性一歩行試験方法
- 4) NFPA 99：National Fire Protection Association 99
- 5) J.P.ギルホード，秋重義治監訳：精神測定法，培風館，1964.
- 6) 永橋 進、小野英哲、田嶋泰幸他6名：床の帯電防止性能評価方法の研究
開発その5．床研式帯電試験機による帯電防止性能評価、
日本建築学会大会学術講演梗概集A-1、pp.651～652、1995.8
- 7) 平山 勲、小野英哲、小池芳男他4名：床の帯電防止性能評価方法の研究
開発その6．床研式帯電試験機の実施工床での検討：シート、タイル床、
日本建築学会大会学術講演梗概集A-1、pp.653～654、1995.8
- 8) 近藤禎久、小野英哲、阪井 誠他5名：床の帯電防止性能評価方法の研究
開発その7．床研式帯電試験機の実施工床での検討：塗り床、
日本建築学会大会学術講演梗概集A-1、pp.655～656、1995.8
- 9) 永田秀由記、小野英哲、山中高士他3名：床の帯電防止性能評価方法の研究
開発その8．床研式帯電試験機の実施工床での検討：タイルカーペット
床、日本建築学会大会学術講演梗概集A-1、pp.657～658、1995.8
- 10) 小野英哲、田嶋泰幸：人体帯電防止用床の性能評価方法に関する研究、
日本建築学会構造系論文集第501号、25～31、1997.11