

「静電気管理のためのデータブック」

序 文

ESD コーディネータとは、最低限 IEC 61340 シリーズの 5-1、5-2（静電気現象からの電子デバイスの一般要求事項（5-1）、ユーザガイド（5-2））に記述された ESD 管理作業に関する知識を有する ESD 管理の専門家、施設内の ESD に関連することに対して責任を持つ技術者です。

その ESDC の制度が、はじまり、今年で、10 年が経過しました。当初は、日本国内では、ESD に敏感なデバイスを保護するための標準類は、十分に整備されていると言える状態では無く、国際的にも、やっと、管理標準である IEC 61340 TR 5-1 が、使用され始めた時期でした。しかし、この 10 年の間、ESD に関する規格、標準類は、かなり整備され、IEC では、管理標準が、TR から IS に変更されました。国内では、主に、接地環境の問題から、IEC の翻訳化版 JIS とせずに、独自に、RCJS として発行しています。そして、ESD 管理用の資材を評価する為の標準類も、IEC で次々と標準化され、暫時、JIS 化が進んでいます。

このようにして、ESD に関する管理標準や測定標準は、かなり整備されましたが、特殊な測定が多い為に、実際に、標準類に従って測定すると戸惑う場合も多いようです。また、測定標準は、あくまで測定を目的としたものですし、RCJS 5-1 は、管理値を定めた標準である為に、測定して得られたデータが、実際、何を示しているか、あるいは、測定した資材が、どの程度の保護機能を有しているかは、評価技術者の経験と標準への理解力により判断されることとなります。つまり、同じ ESD 管理指標の資材を選択する場合でも、測定技術者の経験の差により、データが異なったり、同じデータであっても、評価技術者の理解力の差により、使用時に、問題が発生したり、現場監査や測定時に、問題となることもあります。

本書は、そのような測定上、評価上の混乱をできる限り避けられるように、いくつかの ESD 管理資材について、測定標準を使用して、測定したデータをまとめ、そのデータを評価したものです。使用した機器や電極、プローブは、できる限り、国内で製造されているものを使用しましたが、残念ながら、いくつかの装置は、国内で製造されておらず、輸入機器を使用して測定を行っています。また、測定の中には、大きな環境装置や、中規模の環境チャンバーを必要とするものもあります。

これらの装置を購入する場合、初期費用だけではなく、設置場所の問題や、ランニングコストの問題もあり、経営者としては、難しい判断を強いられることもあると思います。そこで、本書では、(一財)日本電子部品信頼性センター (RCJ) 及び、実際にそのような環境装置を備えた場所も紹介しています。

さらに、RCJ では、この他、ESDC が、ESD 対策資材を選択する場合の参考資料として、“資材登録制度” も行っています。この制度は、第三者測定機関で評価標準に従って測定したデータを登録し公表する制度で、毎年データを更改しています。現在は、衣服と靴ですが、対象資材を拡張してく予定です。

以上のように、本書は、測定標準に従った測定の実際と測定データの分析結果を示しており、ESD 管理用資材の評価や選定の参考になることが期待されます。

静電気管理のためのデータブック

目次

第1章 静電気管理の基本と ESD

- 1.1 歴史的経緯
- 1.2 ESD 敏感性デバイス製造・管理現場での静電気電荷の発生源
- 1.3 ESD 損傷
- 1.4 ESD によるデバイスの損傷機構
- 1.5 デバイスの故障モード
- 1.6 静電気管理の基本

第2章 ESD 保護アイテムの基本的な測定パラメータと測定方法

- 2.1 静電気測定の種類
- 2.2 抵抗
- 2.3 減衰時間
- 2.4 摩擦帯電特性
- 2.5 材料試験における問題
- 2.6 測定関連規格一覧表
- 2.7 試験環境

第3章 イオナイザの除電性能の測定と評価

- 3.1 イオナイザの除電性能
- 3.2 イオナイザの除電性能の評価方法
- 3.3 除電性能の簡便な評価方法
- 3.4 イオナイザの除電性能データ
- 3.5 測定結果の考察

第4章 衣服の測定と評価

- 4.1 袖－袖間の抵抗測定
- 4.2 パネル間の抵抗測定

第5章 履物の測定と評価

- 5.1 測定の実際
- 5.2 測定結果と考察

第6章 手袋/指サックの測定と評価

- 6.1 RCJS5-1 附属書 A.3.3 による抵抗測定
- 6.2 ANSI/ESD SP15.1 による抵抗測定
- 6.3 電荷減衰特性

第7章 椅子システムの測定と評価

- 7.1 静電気対策椅子 測定データ
- 7.2 人体帯電電位の測定

第8章 工具類（ボールペン、ペンチ、ピンセット等）の測定と評価

- 8.1 工具単体の抵抗測定
- 8.2 工具と人体とを組み合わせたシステム抵抗測定
- 8.3 工具の電荷減衰時間
- 8.4 結果の考察

第9章 人体接地システムの測定と評価

9.1 システム抵抗測定

9.2 人体帯電電圧測定

9.3 測定結果

第 10 章 包装資材（袋、トレイ、チューブ、段ボール等）の測定と評価

10.1 測定サンプルと測定条件

10.2 抵抗測定

10.3 電荷減衰特性システム

10.4 静電気シールド性能評価試験

参考文献一覧

付録 A. 電荷測定と電位測定

A.1 電荷測定

A.2 電位測定

付録 B 静電気対策樹脂材料

B.1 静電気対策樹脂材料に求められる特性

B.2 界面活性剤型帯電防止剤

B.3 高分子型帯電防止剤

付録 C. イオナイザの活用ガイド

C.1 イオナイザ概要

C.2 電子デバイスの静電気障害

C.3 イオナイザの方式および原理

C.4 コロナ放電式イオナイザの種類

C.5 コロナ放電式イオナイザの設置および保守

測定協力者および測定器提供一覧

第 3 章 イオナイザの除電性能の測定と評価（抜粋）

3.4 イオナイザの除電性能データ

3.4.1 測定項目と測定環境

イオナイザは、電子産業をはじめとした多くの産業の生産工程で、静電気対策機器として広く使用されています。特に、ブロワ型（卓上型）イオナイザは電子産業では多数使用されているものの、その除電性能については、各メーカーがプレート分離型（6 インチ角）か自社の帯電プレートモニタ（Charged Plate Monitor : CPM、以下 CPM とよぶ）で測定した結果をカタログや技術資料として公開しているだけです。本章では、8 種類のブロワ型イオナイザの除電性能（電圧減衰時間、イオンバランス電圧）について、プレート分離型（6 インチ角、1 インチ角）、プレート一体型（6 インチ角）および簡易型の 8 機種の CPM を用いた測定を行った結果を解説します。また、各イオナイザのブロワの風速も測定し、各イオナイザの除電性能と風速の関係など、下記に示す測定項目について評価したデータを報告します。また、その測定結果についての考察を試みました。この測定は、恒温恒湿室内で行い、環境条件は下記に示す範囲で変化させました。また、恒温恒湿室内の風速を 0.02m/s 以下にして、イオナイザのブロワの気流に影響を与えないように配慮しました。

注目した測定項目は、以下の 5 項目です。

- ① 各種イオナイザの各測定ポイントでの除電性能と風速の影響（プレート分離型（6 インチ角、1 インチ角）CPM を使用）
- ② 除電性能測定の測定器（CPM）依存性（プレート分離型 CPM、プレート一体型 CPM、簡易型 CPM）
- ③ 除電性能測定の再現性（プレート分離型（6 インチ角、1 インチ角）CPM を使用）
- ④ 除電性能の環境湿度依存性
- ⑤ 除電エリア内に障害物がある場合の除電性能への影響

測定環境は以下のとおりです。

- ・ 試験室：恒温恒湿室
- ・ 温度：23℃、相対湿度：12, 25, 50, 75%
- ・ 室内風速：0.02m/s 以下（室内の風量の影響を最小限にする）

図 3.9 に、イオナイザの除電性能測定に用いた測定ポイントを示します。測定ポイントは、JIS C 61340-4-7:2011「静電気—第 4-7 部：特定応用のための標準的試験方法—イオナイザ」に示された TP1～TP12 の 12 ポイントです。

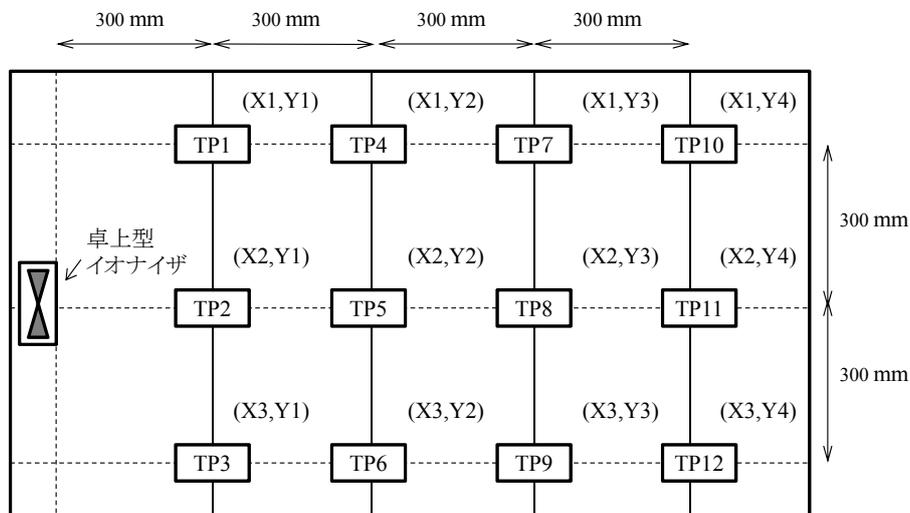


図 3.9 イオナイザの除電性能測定ポイントと位置記号

3.4.2 各測定ポイントでの除電性能と風速の測定方法

測定は、JIS C 61340-4-7:2011「特定応用のための標準的試験方法—イオナイザ」の除電性能の評価方法に準じた方法で行いました。具体的には、まず、イオナイザを既定の位置に設置して、最大風量で動作させて、TP1 から順に TP12 の各ポイントで風速を測定しました。次に、CPM を TP1 から TP12 の順に配置して、除電性能を測定しました。測定回数は、予備実験の測定結果から測定値に再現性があることが確認されたので、1 回としました。

プレート分離型 CPM の帯電プレートは、図 3.10 に示すようにその中心が金属製床面から 150 mm の位置に設置しました。プレート一体型と簡易型 CPM の帯電プレートも図 3.11 (省略) に示すように、同様に設置しました。除電性能としては、電圧減衰時間とイオンバランス電圧を測定しました。ただし、イオンバランス電圧の測定については、測定開始から 30 秒でカットオフとしました。また、風速の測定では、図 3.12 (省略) に示すように風速計も床面から 150 mm 上の位置で、各測定ポイントについて行いました。

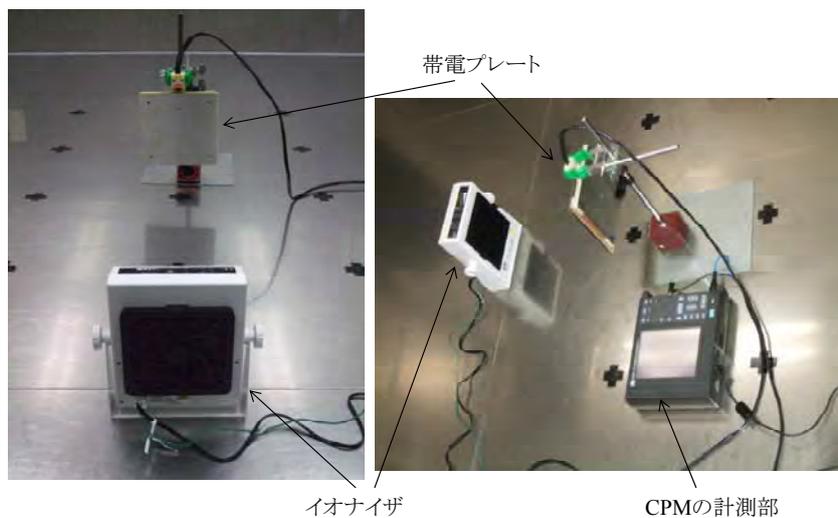


図 3.10 プレート分離型 CPM の帯電プレートの配置例

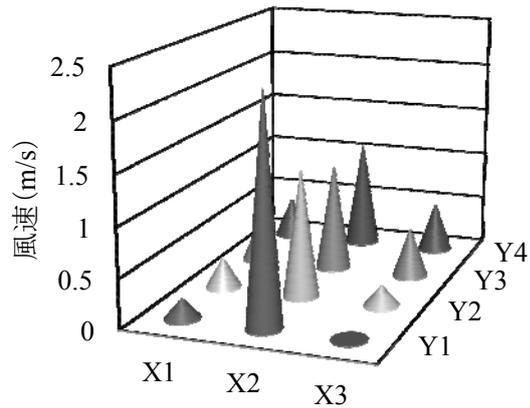
3.4.3 各種イオナイザの除電性能と風速の影響

6 インチ角プレートのプレート分離型 CPM を用いた各種イオナイザの除電性能の測定結果を以下に示します。なお、6 インチ角プレートのプレート分離型 CPM を標準型 CPM と見なしました。

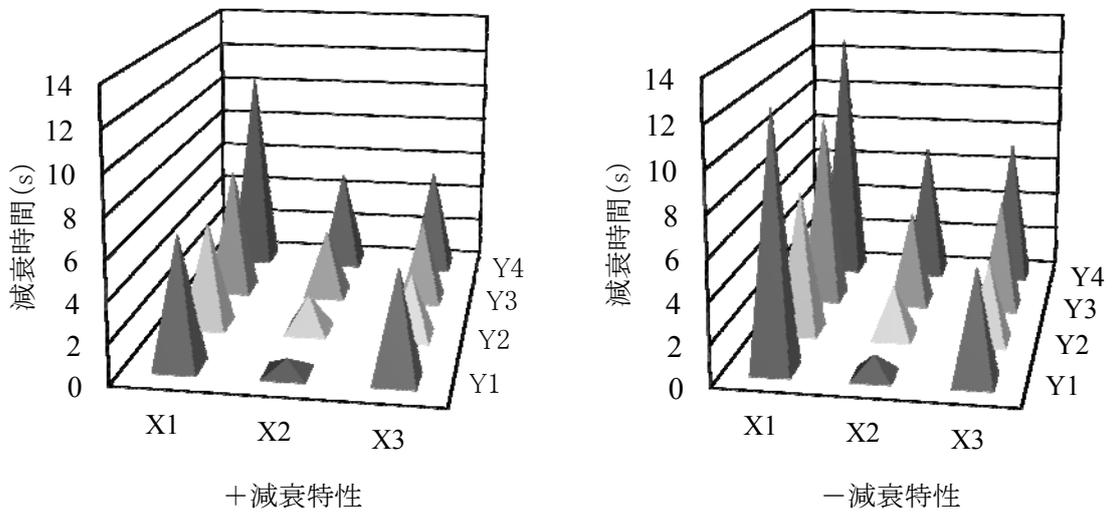
(1) イオナイザ A (2 ファンタイプの交流式イオナイザ)

イオナイザ A は、直径 120 mm のファンを 2 台横に並べた構造の 2 ファンタイプの交流式イオナイザです。イオナイザ A の除電性能の測定結果を表 3.4 (省略) に示します。また、その結果を図 3.13 に示します。

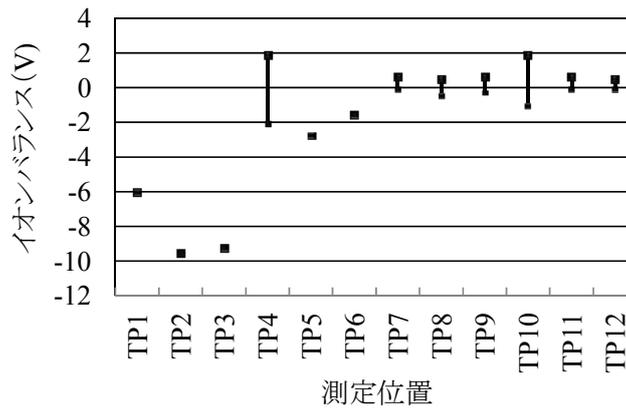
この結果から、すべての測定ポイントでイオンバランス電圧は 10 V 以下であり、イオナイザの近くのポイントではイオンバランス電圧が大きく、離れたポイントでは小さくなる傾向が見られました。また、TP1~TP12 のすべての測定ポイントで電圧減衰時間が 13 秒以内と良好な性能でした。この電圧減衰時間は、イオナイザの正面 (TP2、TP5、TP8、TP11) の測定ポイントが両サイドの測定ポイント (左側 : TP1、TP4、TP7、TP10)、(右側 : TP3、TP6、TP9、TP12) より速いことがわかりました。一方、両サイドの測定ポイントの電圧減衰時間を比較すると、右側の測定ポイントの方が減衰時間は速くなっています。これは、風速の測定結果からもわかるように、イオナイザのブロウ風の気流が若干右に曲がっていることによるものと考えられます。また、正極性電圧の減衰時間の方が負極性のそれに比べて速くなる傾向があることもわかりました (他のイオナイザも同様な傾向でした)。この理由は、付録 C.3.2 各イオン生成方式の原理の (1) コロナ放電式の中で述べたように、正の空気イオンと負の空気イオンが異なるためと考えられます。



(a) 風速特性



(b) 減衰特性



(c) イオンバランス特性

図 3.13 イオナイザ A の除電特性と風速測定

第4章 衣服の測定と評価（抜粋）

RCJS-5-1 では、衣服の抵抗測定方法として、A.1.4 項に袖一袖間の試験手順として、新しい測定方法が規定されています。本書ではその測定方法を試み、さらに従来の測定(IEC TR 61340-5-1:1998 附属書 A.3)に従った点間測定も行いました。

4.1 袖一袖間の抵抗測定

4.1.1 測定方法

(1) 試験セットアップ

袖一袖間の試験のためのセットアップを図 4.1 に示します。これは新しい測定方法です。電極は、図 4.1 に示す通り、それぞれ 5.08 cm×2.54 cm の寸法を持つ 2 枚の平らな電氣的に導電性のプレート（たとえば、ステンレススチール製）から構成する必要があります。クランプは衣服を吊るために十分な圧力を持ち電氣的に導電性を持つものでなければなりません。実際の電極用クランプは、図 4.1 の写真に示すようなものです。また、ポリプロピレン（PP）製のヒモを電極の吊り下げ用絶縁体として使用しました。恒温室の天井金網と電極用クランプとの間のポリプロピレン製ヒモの絶縁性は抵抗測定器で確認し、測定する衣服が弛まないように電極の間隔と高さを適切に調節しました。抵抗測定では、抵抗測定の精度が±10%未満の電源一体型抵抗計、または適切な構造を持つ電源供給器と電流計を使用しなければなりません。装置は 100V±10Vd.c. の開回路電圧の供給能力が必要です。両方の試験リード線はグラウンドから絶縁する必要があります。

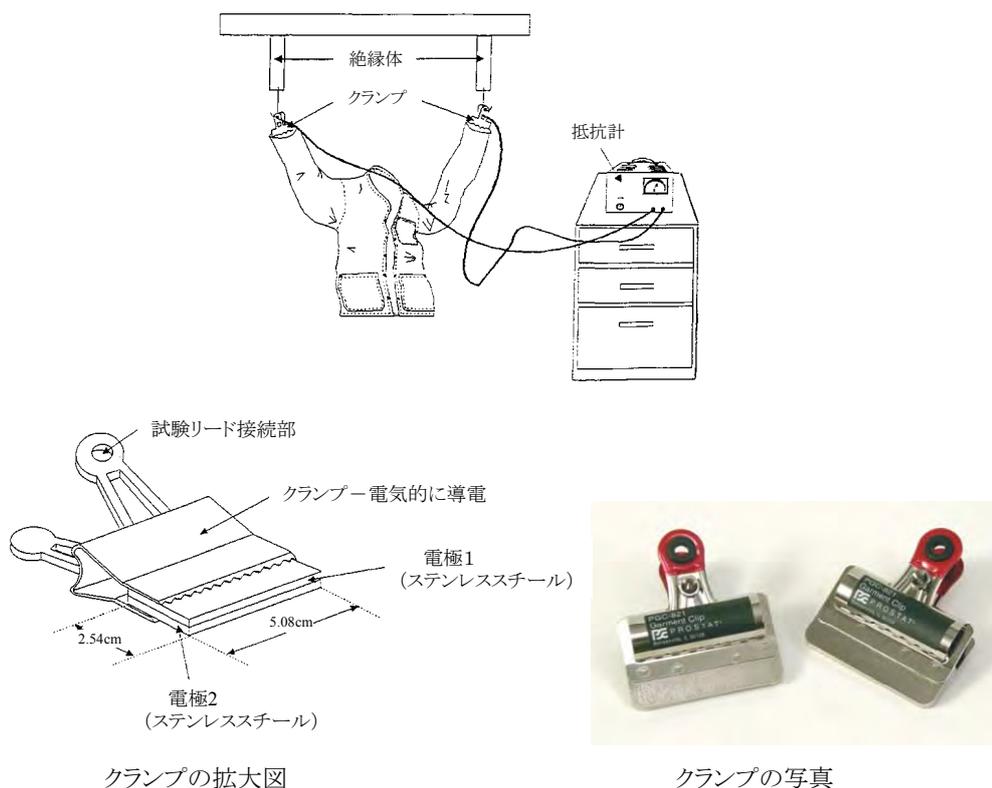


図 4.1 袖一袖間測定の試験セットアップ

実際の測定例を図 4.2、図 4.3 に示します。



図 4.2 クリーンウェア(ツナギ)左袖－右袖抵抗測定例



図 4.3 作業服(綿混)右袖－左袖抵抗測定例

第 5 章 履物の測定と評価（抜粋）

IEC 61340-4-3 : 2001（対応 JIS : JIS C 61340-4-3 : 2009）に、靴の抵抗測定方法が規定されています。その測定方法に従って測定を試みました。

5.1.2 測定装置

- ① 抵抗測定器 : Prostat PRS-801 型（4 章の衣服の測定で用いた測定器と同じ）
測定レンジ : $0.1\Omega \sim 2.0 \times 10^{14}\Omega$ 、
印加電圧 : 10 V 印加で、 $1.0 \times 10^4\Omega \sim 1.0 \times 10^6\Omega$ の測定可能、
100 V 印加で $1.0 \times 10^6\Omega$ 以上の測定可能
- ② アルミホイル電極（図 5.2 参照）、厚さ : $15 \sim 20\mu\text{m}$
- ③ 重り（荷重） : 直径 3 mm 以下の鋼球を布製袋に詰めたもの（図 5.3 参照）。
- ④ 重さ : $12.5 \pm 2.5\text{kg}$ （重り $\times 2$ 個）
- ⑤ 絶縁されたステンレス板の対抗電極



図 5.2 アルミホイル電極



図 5.3 鋼球入り重り袋



図 5.4 実際の測定の様子

第 6 章 手袋/指サックの測定と評価（抜粋）

手袋/指サックの試験方法で、単体の抵抗測定は、RCJS-5-1 附属書 A.3.3 に、装着状態のシステム抵抗測定は、ANSI/ESD SP15.1 に、減衰特性は、JIS C 61340-2-1 (IEC 61340-2-1) A.2 の手袋および指サックの電荷減衰試験に規定されています。それらの規格に沿った抵抗と減衰特性の測定を行いました。

6.1 RCJS5-1 附属書 A.3.3 による抵抗測定

6.1.1 測定方法

RCJS-5-1 附属書 A.3.3 に規定されている手袋または指サックの測定方法では、図 6.1 に示すように「手袋または指サック上に最大直径 20 mm の導電プレートを置く。着用していない場合には、試験されるアイテムを絶縁プレート上に置く。これらが使用できない場合には、クリップコネクタを使用してもよい。静電気拡散性の範囲内に抵抗値があると想定される場合には、試験は手袋を着用して行う。」とあります。実際の測定では、図 6.2 に示すように、1 円玉（直径 20 mm）に銅テープカバーを貼り付けたものを電極として用い、測定しました。

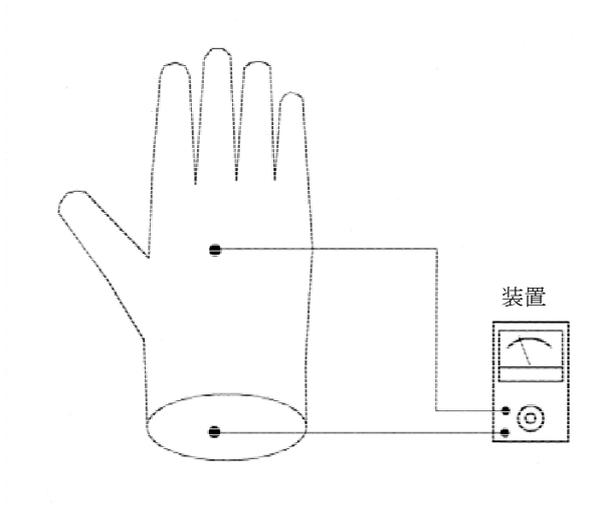


図 6.1 RCJS-5-1 附属書 A.3.3 に規定の手袋の抵抗測定



図 6.2 RCJS-5-1 附属書 A.3.3 に規定されている手袋の抵抗測定の実例

6.2 ANSI/ESD SP15.1 による抵抗測定

6.2.1 測定方法

ANSI/ESD SP15.1 による測定方法では、図 6.5 に示すような治具を用いて、測定時に一定の接触面積 (6.95 mm φ) と一定加重 (460 g) になるようにしています。実際の測定の様子を図 6.6 と図 6.7 に示します。



図 6.6 手袋の抵抗測定例(シームレス手袋)

第7章 椅子システムの測定と評価（抜粋）

静電気放電保護区域（EPA）で作業者を接地する保護アイテムの一つに ESD 対策用椅子があります。この椅子の抵抗測定と作業者の動作による人体帯電電圧の測定を試みました。測定は、ANSI/ESD STM12.1：2006 に従って行いました。

7.1 静電気対策椅子 測定データ

7.1.1 測定方法および測定ポイント

抵抗測定には、抵抗測定器：PRS-801、測定電極：PRS-801-W（Prostat Corporation、USA）を用いました。

キャスターの下に金属プレートを敷き、この金属プレートと椅子の指定された各所間の抵抗を測定します。図 7.1 に示すように、電極 B を金属プレート上に置き、電極 A を指定されたポイントに固定させます。

- ・台座：5 ポイント
- ・背もたれ：5 ポイント
- ・背もたれの裏側：3 ポイント
- ・肘掛け：2 ポイント
- ・足乗せ台：1 ポイント
- ・支持台：足ごとに 1 ポイント（5 本足の場合は合計 5 ポイント）

実際の測定の様子を図 7.2 に示します。

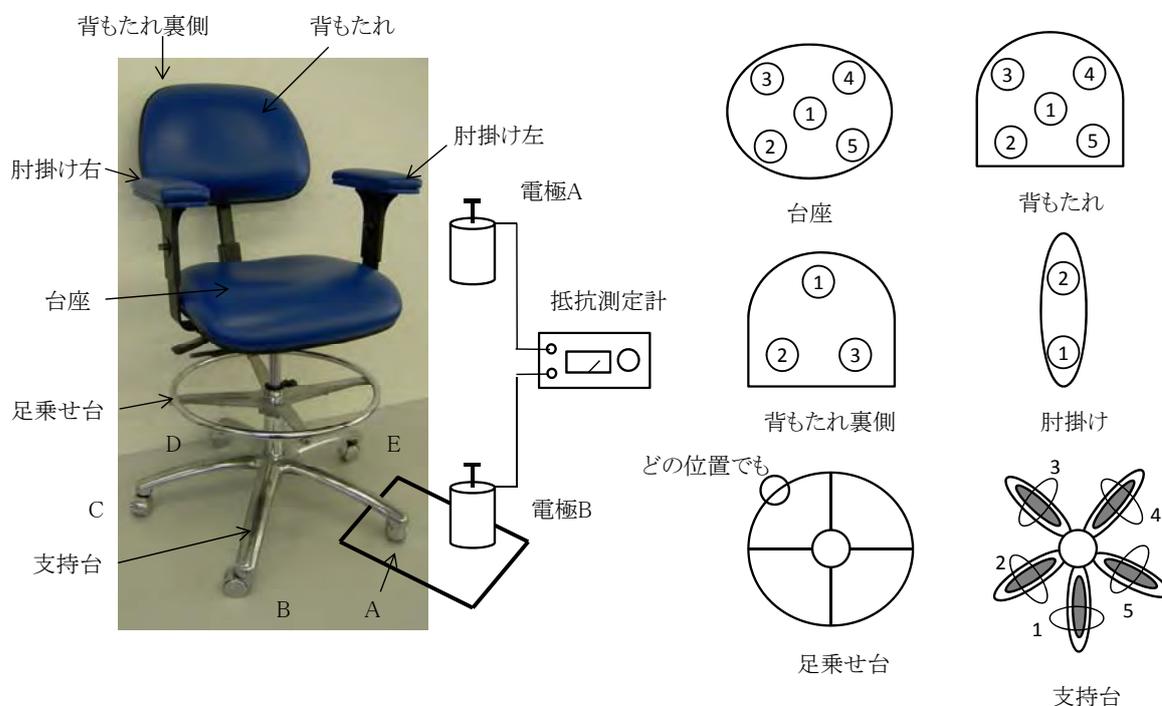


図 7.1 代表的な静電気対策椅子の測定部およびその方法

第 8 章 工具類（ボールペン、ペンチ、ピンセット等）の測定と評価（抜粋）

8.1 工具単体の抵抗測定

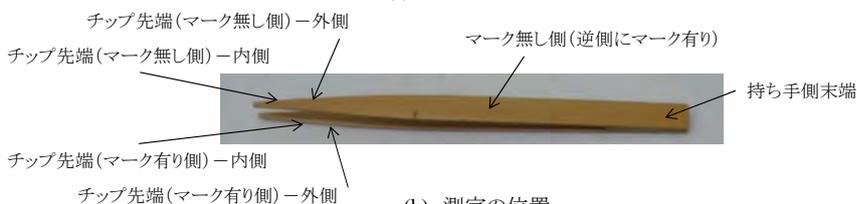
8.1.1 抵抗の測定手順

測定手順は、以下に示す通りです。

- ① 測定を行う作業表面上に高抵抗の絶縁板（テフロン製）を敷きます。
- ② 表面抵抗の測定を行う工具には、先端と根元に導電性テープを巻き、それぞれをワニロクリップで挟みます。工具の先端側のワニロクリップには、電圧印加用のリード線を接続し、工具の根元側のワニロクリップには、センサー側のリード線を接続し、それぞれのリード線を抵抗測定器の各端子に接続します。各種サンプルの測定の様子を  ～  に示します。
- ③ 各サンプルの表面抵抗の測定を行い記録します。



(a) 測定の様子



(b) 測定の位置



図 8.3 金属ハンドルピンセットの表面抵抗の測定例
(測定の位置は図 8.2 と同じ)

第9章 人体接地システム（抜粋）

RCJS-5-1 では、人体の帯電を 100 V 未満とするため、リストストラップシステム、靴(履物)と床によるシステムの二つの人体接地システムを規定しています。

本章では、人体接地システムアイテムである靴(履物)と床材によるシステムにおける人体帯電に対する測定結果を述べます。

規格で規定されている人体/靴/床システムの測定方法と規定値を表 9.1 に示します。

表 9.1 規定値(RCJS-5-1)

要求事項	アイテム	測定方法	規定値
システム	人体/靴/床システム	61340-4-5*	$7.5 \times 10^5 \Omega \leq R_g < 3.5 \times 10^7 \Omega$

*61340-4-5 特定応用のための標準的試験方法—人体と組み合わせた履物および床システムの静電気防止性能の評価方法

人体/靴(履物)/床システムの帯電性は、歩行試験により測定します。その測定方法は、JIS C 61340-4-5(IEC 61340-4-5 と同等)の「6.4 帯電性の測定」の項に規定されています。このシステムの電氣的抵抗測定と帯電性試験のセットアップを図 9.1 に示します。

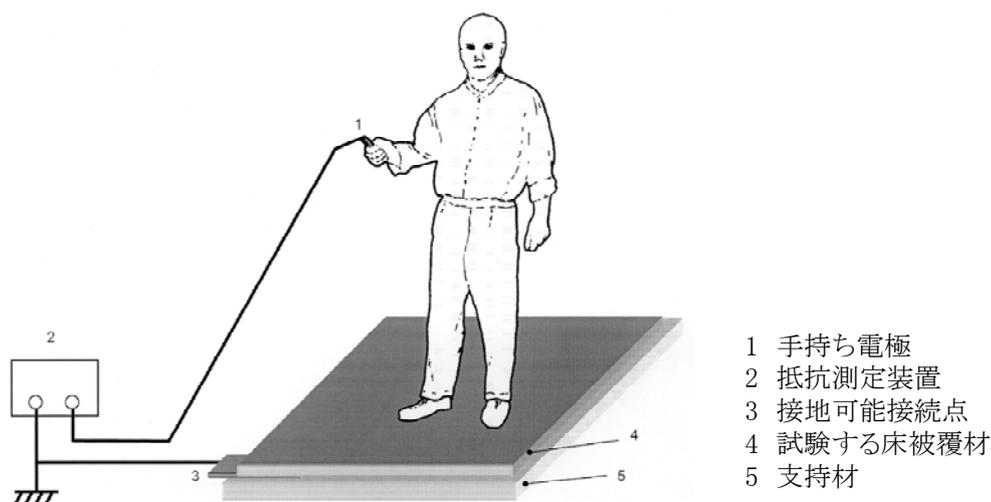


図 9.1 人体と組み合わせた履物および床システムの電気抵抗を測定するセットアップ

実際の人体帯電電位測定の様子を図 9.4 に示します。



図 9.4 歩行帯電測定例(クリーンツナギ/ブーツ着用)

第 10 章 包装資材（袋、トレイ、チューブ、段ボール等）の測定と評価（抜粋）

10.2 抵抗測定

10.2.1 測定方法

実際に使用した装置を図 10.3 に、実測の様子を図 10.4 に示します。図 10.3 の電極の上に、2.5 kg の重りを乗せて測定します。用いた測定装置は、Prostat Corporation（米国）の PRS-801（本体）と同心円リング型プローブ（PRF-911）です。



図 10.3 同心円リング型プローブ



図 10.4 実際の測定の様子
(同心円リング上に 2.5 kg の重りを乗せる)

上記電極は、直系 63 mm 程度の大きな電極ですので、大きな試料の測定は可能ですが、小さな試料や、測定間隔が短い測定はできません。その測定方法として、IEC 規格にはなっていませんが、ANSI/ESD STM11.13-2004（Test Method for Two Point Resistance Measurement）があります。図 10.5 に示すように、電極の直径は 3.2 mm、電極間隔（固定）も 3.2 mm です。電極ピンのスプリング強度は 0.465 kg です。実際に用いた測定装置は、Prostat Corporation（米国）の PRS-801（本体）と 2 点間測定用マイクロプローブ（PRF-922B）です。そのプローブを図 10.6

に示します。

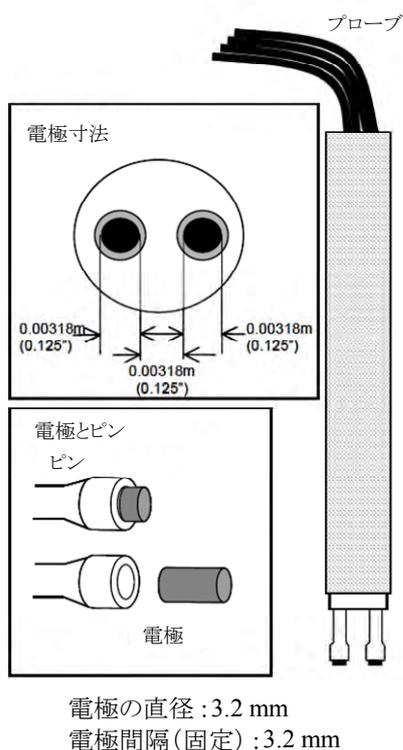


図 10.5 2点抵抗測定プローブ



図 10.6 2点間プローブ

さらに、IEC 規格になっていませんが、同心円リング型プローブの小型化したプローブを用いて測定しました。実際に用いた測定装置は、本体：Prostat Corporation（米国）の PRS-801（本体）と同心円リング型マイクロプローブ（PRF-914B）です。そのプローブを図 10.7 に示します。中央プローブは、高抵抗テフロンによって外部の電極から電気的に分離されています。中央プローブは、抵抗測定中には電流センサとして働きます。センシングケーブル外側のシールドは、測定器のアダプターを経由して接地します。外側の 10 本のプローブからなるリング状電極は、共通ポイントに電気的に接続され試験電圧を被測定材料に印加します。この測定器の接触面の直径は、およそ 7.8 mm です。表面抵抗の測定可能な領域は約 8 mm 以上です。

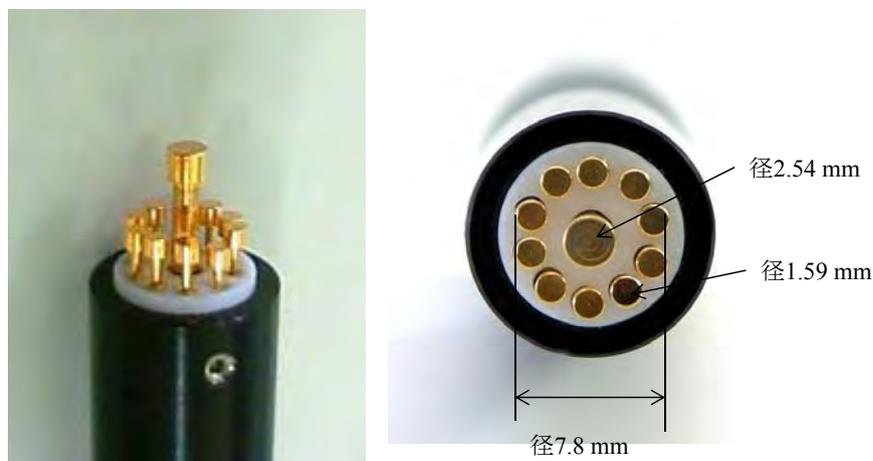


図 10.7 同心円リング型マイクロプローブ（PRF-914B）