

布の通気性を測定する実験法の改良

Improvement of Experimental Method for Measuring Air Permeability of Fabric

安川あけみ*・小川 凜*
Akemi YASUKAWA*・Rin OGAWA*

要 旨

衣服の着心地に直接関係する性能のうち、布の通気性の測定法について、既存の息吹き法を改良した2種類の改良型小球飛散法を考案した。いずれも中学校家庭科の授業で、5名程度の班活動を想定した方法であり、改良案①では、既存の方法に比べて、風力を一定にし、測定値が速く正確に計測できるようにし、生徒全員が同等に関われる方法とした。改良案②では、授業へのICT導入の一環として、写真撮影、データの共有および図形の挿入と変形により生徒全員がデジタル機器を利用した実験結果の計測ができる方法とした。考案した2種の方法で、繊維の充填率の異なる3種の布を用いて通気性測定の実験を行ったところ、いずれも簡便に実践でき、実験を取り入れた家庭科の授業の構築に役立つと考えられた。

キーワード：布，通気性，測定法，発泡スチロール

1. 緒言

被服の着用目的は多々あるが、体温調節は筆頭に挙げられるであろう。被服最内層と人体の間に作られる環境を被服内気候と呼び¹⁾、この環境が好ましいと人は快適と感じる。この環境の快適性には、熱、水分および空気の移動が関係する。暑熱環境では、被服と人体の間に温熱性発汗に伴う水蒸気や新陳代謝産物が溜まり、被服内気候が高温多湿となりやすいので¹⁾、身体から発散される熱や水蒸気の外部への放散²⁾が必要である。一方、寒冷環境においては、身体で産生された熱が必要以上に体外に運び出されることを防ぐ機能が求められる¹⁾。この熱や空気の移動を制御する主な因子が被服地の通気性で、通気性は繊維の種類よりも、素材の組織や構造に左右される²⁾。また、通気性の程度によって、不通気性（プラスチックフィルム、ゴム引布など）、難通気性（組織の密な織物、紙、皮革など）および易通気性（メリヤス地、組織のあらい織物など）に分けることができる³⁾。

布の通気性を客観的に評価するために、種々の被服実験法が開発され、専門書や実験書で紹介されてい

る。通気性を表すには、一定面積を一定時間に通過する空気の量で表す方法と、一定量の空気が通過するのに必要な時間で表す方法とがある³⁾。前者であるフラジール法^{4,7)}および後者であるガーレ法^{4,6)}は高価で大型の測定装置を必要とするため、小・中学校、高校の授業では入手が簡単で安価な器具、および、操作が簡単な実験方法が望まれる。また、学校の授業では、通常、数人単位の班活動で実験を行うことが多いと考えられ、班活動にも適する実験方法が理想的である。予備実験として、専門書や実験書に掲載の通気性測定法を実施したところ、息吹き法^{5,6)}が簡便で使用器具の入手も簡単であるが、実験方法や結果の読み取り方法に種々の問題があることがわかった。

そこで本研究では、既存の息吹き法（吹き飛ばし法）を元に、これを改良し、中学校の家庭科授業において班活動に適する新規の通気性測定法を考案した。

2. 方法

2.1. 試料布とその構造

布の構造による通気性の違いを比較するため、試料

*弘前大学教育学部家政教育講座

Department of Home Economics, Faculty of Education, Hirosaki University

布として Table 1 に示す 3 種類の白布，すなわち，さらし，金巾（日本規格協会）および EMPA221（製造元：Swissatest，輸入元：日本資材㈱）を用いた。すべて綿 100% の平織である。表 1 に布の厚さおよび平面重を示しているが，これらから求めた布における繊維の充填率は，さらし 20.8%，金巾 27.0%，EMPA221 は 34.0% であった。見た目や手触りで言えば，さらしは目が粗く，金巾は中程度で，EMPA221 は緻密な布と言える。表 1 ではこの他に，各試料布の経糸，緯糸の糸密度ならびに太さを示している。

また，汚れによる布の通気性の変化を調べるために，EMPA221 に血液，ミルク，インクを付けた人工汚染布 EMPA116（製造元および輸入元は EMPA221 と同様）を用いた。これについても構造を表 1 に示しているが，糸の太さは変化していたとしても汚れに起因するものであるため測定しなかった。

試料布の厚さは，厚さ計（㈱大栄科学精器製作所 CR-10A）を用いて 5ヶ所測定し，平均値を求めた。布の充填率は以下の式により求めた^{8,9)}。

$$\text{見掛け比重 (g/cm}^3\text{)} = \text{布質量 (g/cm}^2\text{)} / \text{厚さ (cm)} \quad (1)$$

$$\text{充填率 (\%)} = (\text{見掛け比重} / \text{繊維の密度}) \times 100 \quad (2)$$

織り糸の糸密度は，経糸，緯糸各々について試料布 1 cm あたりの糸の本数を 5ヶ所計測し，平均値を求めた。糸の太さは，試料布を経糸，緯糸別々にほぐし，計 1.6～3.5 m の長さ重量を計測して，次式¹⁰⁾によりテックス番手を求めた。

$$T[\text{tex}] = (L_0 / W_0) \times (w_0 / l_0) = k_0 (w_0 / l_0) \quad (3)$$

L_0 : 標準長さ, W_0 : 単位質量, w_0 : 試料の質量 (g),
 l_0 : 試料の長さ (m), k_0 : 定数 (1,000)

2.2. 既存の息吹き法

既存の息吹き法は被服実験書^{5,6)}に掲載の方法にしたがい，以下の手順により行った。Fig. 1 (A) に示すように，机に 10 cm 間隔の印をつけ，スタート地点に発泡スチロールの小球（約 0.5 cm Φ ）を 10 個置いた。刺しゅう枠（15 cm Φ ）に試料布（約 20 \times 20 cm²）をピンと張り，息を強く吹き付けて小球を飛ばした。10 cm 間隔の印により飛距離を読み取り，10 個の小球の平均飛距離を算出し，距離が長いほど通気性が高いとした。測定は 10 個の小球のうち 3 個以上が

Table 1 試料布の構造

| 試料布 | 白布 | | | 人工汚染布 |
|-------------------------|-------|-------|---------|---------|
| | さらし | 金巾 | EMPA221 | EMPA116 |
| 厚さ (mm) | 0.337 | 0.231 | 0.386 | 0.409 |
| 平面重 (g/m ²) | 108.8 | 96.5 | 203.3 | 220.7 |
| 充填率 (%) | 20.8 | 27.0 | 34.0 | 34.8 |
| 糸密度 (本/cm) | 経糸 | 18 | 30 | 16 |
| | 緯糸 | 17 | 28 | 21 |
| 糸の太さ (dtex) | 経糸 | 318.8 | 177.9 | 562.0 |
| | 緯糸 | 267.4 | 172.4 | 359.1 |

すべて綿100%，平織。EMPA116の汚れ成分は血液，ミルク，インク。

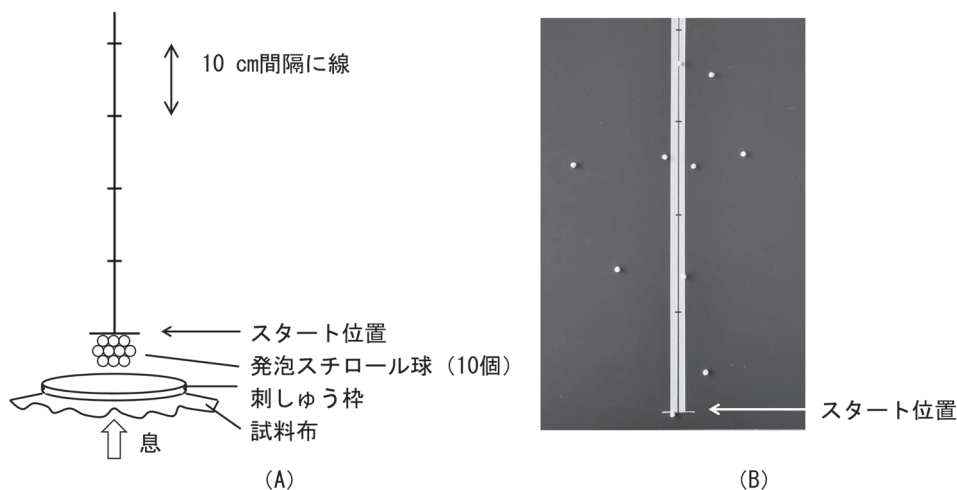


Fig. 1 既存の息吹き法による布の通気性測定 (A): 実験方法, (B): 実験結果の例

動かなかった場合は除外し、各々の試料布について4回以上行って平均値を求めた。

この既存の実験法に対し、本研究で改良案を考案したが、それらの方法については、本研究の結果であるため、「3. 結果と考察」で後述する。

3. 結果と考察

3.1. 既存の息吹き法の結果と問題点

既存の息吹き法により、表1に示した4種類の試料布の通気性を測定した。結果の一例をFig.1(B)に示している。いずれの試料布でも共通事項として、以下の問題点が挙げられた。1点目として、息を吹く段階で、風が10個の小球の中央部分に当たらない場合も多く、3個以上の小球がスタート位置から動かないことが何度もあった。息の当たる面積を広くするために、口をすぼめずに息を送ると風力が弱く、小球が動かなかった。2点目として、小球を飛散させた後、定規等で飛距離を測定しようとする、静電気やわずかな人の動きで小球が動いてしまうため、測定不能であった。これにより、文献で「10 cm 間隔の印を机に付けておき、この目盛りで飛距離を計測する」理由に気づいた。しかし、飛距離の測定において、10 cm ごとの目盛りではかなり大雑把で、細かい計測は不可能であった。3点目として、小球がまっすぐに飛ぶとは限らず、放射状に広がって飛散したので、真正面方向の10 cm 間隔の目盛りではなおさら正しい飛距離を読み取るのは困難であった。しかし、それ以上細かい目盛りを机に付

けるのは手間がかかると考えられた。4点目として、10 cm 間隔の目盛りを使って、各々の小球の飛距離を計10個読み取るのは時間のかかる作業であった。特に、その間わずかな風も起こさないようにすることが大変であった。

この測定法を元に、上述の4点の問題点を解決した改良型の通気性測定法を考案する。その際、中学校家庭科の授業を想定して、5名1班で実験を行うこととする。なお、実験方法が客観的にわかりやすいよう、今後は「小球飛散法」と命名し、その改良案を2つ提案する。

3.2. ブロアーを用いた送風による小球飛散法

既存の方法の問題点のうち、第1の問題「送風の安定」を実現するために、送風方法を改良した。Fig. 2 (A), (B)に写真を示す。人の息で風を送る代わりにブロアー（シリコンゴム製、長さ15 cm, 5.5 cm Φ）を用いた。この時、ブロアーの球部を押すことで吹き出し部分の方向が変わり、風が小球の中央部分に当たりにくくなる問題が起きた。そこで、吹き出し部分をクランプで挟んでスタンドに固定し、常に小球10個の中央に正面から風が当たるようにした。試料布を張った刺しゅう枠も実験台に固定し、毎回の測定で、試料布と小球の距離、試料布とブロアーの先端の距離が一定になるようにした。いずれの試料布においても、この状態でブロアーを1回強く押して風を送り、小球を飛ばした。

4種類の試料布の通気性を測定した結果、風力と風

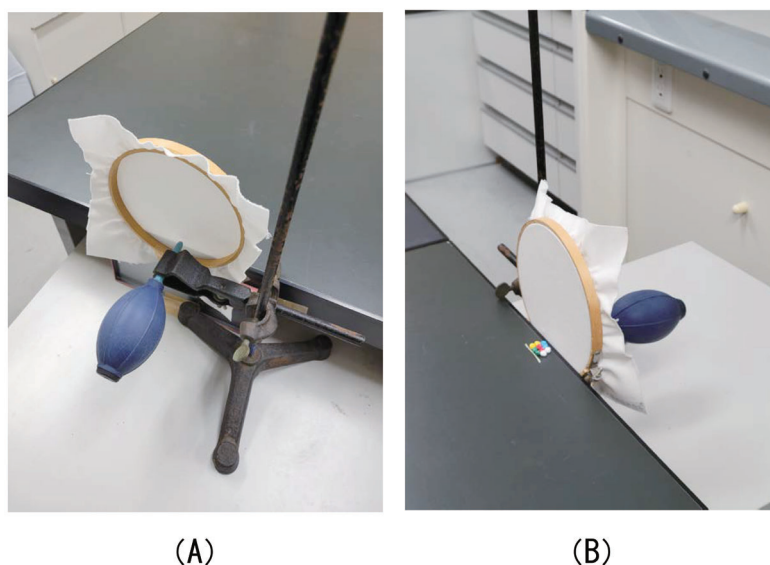


Fig. 2 ブロアーおよび刺しゅう枠を固定した送風の様子
(A)：試料布裏面、(B)：試料布表面

向が安定し、3個以上の小球が飛ばない状況は生じなかった。今後はこの送風方法で、第2以下の問題点を改良した方法を、既存の方法と比較検討していく。

3.3. 改良案① 同心円板による小球飛散法

上述の既存の方法の問題点のうち、第2の問題「10 cm 間隔では正確な飛距離の計測が難しい」、および、第3の問題「斜め方向へ飛散した小球の計測が難しい」の問題に対し、改良案①の小球飛散法は、Fig. 3 (A) に示すように、2 cm 間隔で同心円の半円を描いたシートを作製して机に置いた。10 cm ごとの線は少し太くし、「10」、「20」などの数字を記入した。Fig. 3 (A) では簡略のために 40 cm までの半円しか描いていないが、実際は試料布の最高飛距離に合わせて製作すればよく、本研究では 70 cm までの半円板を作製した。

また、第4の問題「10個の小球の飛距離の計測に時間がかかる」という問題を解決するため、10個の小球を2個ずつ5色に色分けし、5名の班員が各自ある色を担当して、2個ずつ小球の飛距離の計測を行うことにした。スタート地点に10個の小球を置く点は既存の方法と同様であり、試料布を張った刺しゅう枠を固定する点や、固定したブロアーを1回強く押して送風する点は「3.2. ブロアーを用いた送風による小球飛散法」で決定したとおりである。飛距離は2 cm 間隔の印により読み取り、それ以降は既存法と同様に10個の平均値を求め、6回測定を行い、各回の平均値を使って、その試料布の平均値を求めた。結果の一例を Fig. 3 (B) に示す。

この方法で実験した結果、以下のような効果があった。飛距離測定において、目盛りの間隔が既存の方法の10 cm から2 cm になり、加えて放射状に目盛りが

あるので、左右に広がって飛散した小球も、より正確に、自信をもって飛距離の計測ができるようになった。小球の色を5色に色分けしたことで、5名の班員が小球2個を担当して飛距離の計測をでき、全員が同等に測定に参加できるようになった。

最初に同心円の半円を描いたシートを作製する必要があるが、一度作製すれば繰り返し使えるし、1枚作製すれば必要数だけコピーすればよい。作図もパソコンで比較的簡単にできる。本研究では PowerPoint を用い、「挿入／図形／部分円の挿入／半円に角度調整／複製／サイズ変更／上下、左右に整列／線の太さの調整」の手順で作製した。他に種々のペイントソフトでも簡単に作製できるものとする。本研究で使ったのは A4 までしか印刷できないプリンターであったので、A4 で出力したプリントをコピー機で拡大し、貼り合わせた。そのため、予め、拡大倍率を計算して2 cm よりも狭い間隔の同心半円を作成しておき、拡大後に2 cm 間隔になるようにした。

飛距離の結果および10個の計測にかかった平均測定時間は「3.5. 既存の方法と2種類の改良案の比較」で後述する。

3.4. 改良案② ICT を利用した小球飛散法

授業における ICT の活用を見据え、生徒全員がタブレット端末を1台ずつ利用できる状態を前提とした改良案②の小球飛散法を提案する。実験の準備段階を Fig. 4 (A) に示す。スタート位置の線は小球を並べるための印であり、中央の点は飛距離測定の起点の印である。また、飛散の邪魔にならない所に定規を置いた。試料布を刺しゅう枠に固定する点、ブロアーで送風する点、10個の小球を2個ずつ5色に色分けする点は、改良案①と同様である。小球を飛散させた

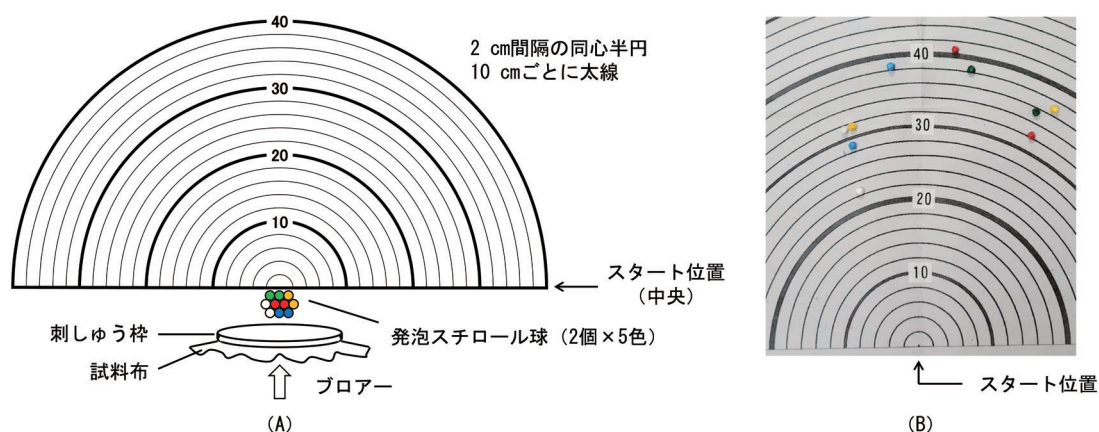


Fig. 3 改良案①の小球飛散法による布の通気性測定 (A): 実験方法, (B): 測定結果の一例

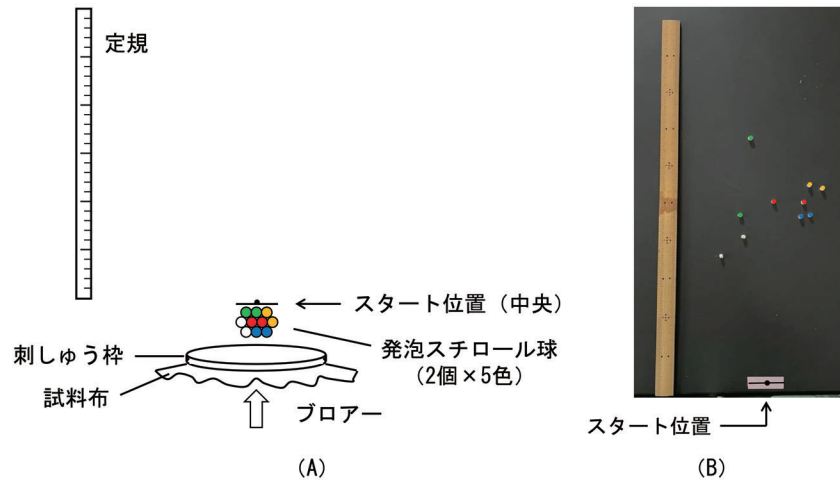


Fig. 4 改良案②の小球飛散法による布の通気性測定 (A): 実験方法, (B): 撮影した写真の例

Table 2 既存法と改良案の比較

| | 平均飛距離 (cm) | | | | 計測時間 (秒) |
|-------|------------|-------|---------|---------|----------|
| | さらし | 金巾 | EMPA221 | EMPA116 | |
| 既存の方法 | 42 | 31 | 19 | 17 | 61" 95 |
| 改良案① | 43.4 | 32.0 | 19.1 | 17.5 | 7" 74 |
| 改良案② | 43.58 | 32.42 | 19.07 | 17.52 | — |

後, 1 台のタブレット端末, デジタルカメラ, スマートフォンなどで, スタート位置, 10 個の小球, 定規が入るように真上から写真を撮影した。Fig. 4(B) に写真の一例を示している。その後, 班員全員でファイルを共有し, 各自が自身のタブレット端末の画面上で, 各自担当の色を決め, 「スタート地点から小球まで線を挿入/写真中の定規を利用して, 線の長さを実際の長さに換算」の手順で飛距離を求めた。本研究では PowerPoint を用い, 「スタート地点から小球まで線を挿入/その線を定規の位置まで移動/定規に平行に回転/定規で長さの読み取り」の手順で計測した。平均値の算出や評価は, 前述の既存の方法や改良案①と同様である。この方法では, 各生徒が画面上で落ち着いて計測作業ができ, 生徒がパソコンのソフトの利用に慣れていくことや授業で ICT を活用することの一役を担える。また, 万一, 後で実験結果を見直したい場合も写真が残っていることで確認ができる利点もある。

既存の方法のように机に目盛りを付けておく手間もなく, 改良案①のように同心半円を作成する手間もない。タブレット等の画面上で引いた線の長さを実寸に計算する過程が必要であるが, 例えば教員が写真データを集めた時点ですべての写真の縮尺を統一しておけば, 換算の計算はより簡単になると考える。また, 生

徒各自が実測値を EXCEL 等の表計算ソフトに入力し, 教員が換算式を作成しておけば, 瞬時に実寸に換算できる。

飛距離と計測時間については, 「3.5. 既存の方法と 2 種類の改良案の比較」で後述する。

3.5. 既存の方法と 2 種類の改良案の比較

表 1 に示した繊維の充填率の異なる 3 種の白布, すなわち, さらし, 金巾ならびに EMPA221 と, 人工汚染布 EMPA116 の計 4 種を試料布として, 既存の方法, 改良案①および改良案②で通気性を測定した。実験は 1 つの試料布について 6 回行い, 平均値を算出した。結果を表 2 に示している。本来, 別の測定法については, 個々に風を送って飛距離を計測する方法である。しかし, 送風方法をブローアの使用と, 刺しゅう枠とブローアの固定に決定しているので, ここでは飛距離の詳細な比較をするために, 一度の飛散について, 異なる方法で計測して比較することにする。平均値は各々の方法で計測した桁に丸めている。

既存の方法で測定した平均飛距離は, さらしが 42 cm, 金巾が 31 cm, EMPA221 が 19 cm, EMPA116 が 17 cm であった。改良案①で測定した平均飛距離は, さらしが 43.4 cm, 金巾が 32.0 cm, EMPA221 が 19.1 cm, EMPA116 が 17.5 cm であった。改良案②で測定

した平均飛距離は、さらしが 43.58 cm, 金巾が 32.42 cm, EMPA221 が 19.07 cm, EMPA116 が 17.52 cm であった。いずれの方法でも、「充填率の低い布ほど通気性が高いこと」と、「布は汚れにより通気性が低下すること」を示すことができた。今回用いた3種の白布は、かなり通気性の異なるものを選んだので、いずれの方法でも明確な差が出たと考えられる。絶対値を求めるのではなく、布による順位を付けられれば良いのならば、整数位の測定でも問題ないと考えられる。次に、10個の小球の飛距離の計測にかかる時間を比較した。既存の方法では、4種類の試料布で6回ずつ、計24回の計測の平均値を求めた。改良案①では、同様に24回の計測時間を、5人で色分けして行くと仮定して、5で割った値を示した。表2に示したように、既存の方法 61" 95 に対して、改良案①では 7" 74 と大幅に短縮した。既存の方法の 10 cm 間隔の目盛りから、改良案①では 2 cm 間隔の目盛りになり、加えて、小球の所に必ず目盛りがあることから、値を読み取るのが簡単であったと言える。生徒全員が同等に参加できることも改良案の利点と言えるが、読み取りが苦手な生徒がいた場合に、班内で助け合うなど対応を考えておくとなお良いと考える。

改良案②では、計測と平均値の算出にかかる時間は、写真データを共有や、各自の PC 上の操作の熟練度により大きく異なるため、本研究では計測時間を算出していない。この方法は、実験の時間短縮というよりも、授業に ICT を取り入れることを優先しているためである。この方法についても、生徒全員が同等に関われる利点と、苦手な生徒がいた場合の対応については、改良案①と同様に配慮や対応策が必要と言える。

4. 結論

被服実験書に掲載の布の通気性測定法のうち、発泡スチロールの小球を用いた息吹き法（吹き飛ばし法）を検証して問題点を洗い出し、固定したブローアによる送風法を考案した。そのうえで、2つの改良案、①同心円板による小球飛散法および② ICT を利用した小球飛散法を考案した。本研究で得られた結論は以下のとおりである。

（1）既存の息吹き法は、発泡スチロール製の小球を人の息で飛散させるため、複数回の測定で同じ強さ

で試料布に息を当てるのが難しい。

（2）既存の息吹き法は、小球の飛散後の飛距離測定において、静電気の発生やわずかな空氣の動きで小球が動くのを避けるために 10 cm ごとの目盛りで飛距離を読み取るが、目盛りが粗くて精度が低い。

（3）既存の息吹き法は、飛距離測定のための目盛りが正面方向にのみあるが、左右に広がって飛散することも多く、飛距離測定の精度が低い。

（4）本研究で考案したブローアによる送風およびブローアの固定により、安定な風力が実現できた。

（5）改良案①同心円板による小球飛散法は、2 cm 間隔の同心円の半円板を作成することにより、放射状に小球が飛散した場合でも、精度の高い飛距離測定を可能にした。

（6）② ICT を利用した小球飛散法は、写真撮影をして各生徒がファイル共有することで、全員が画面上で落ち着いて飛距離の計測ができ、パソコンソフトの使用練習や授業への ICT 導入に役立つ。

（7）本研究で考案した、10 個の小球を色分けして班員で分担して飛距離の計測を行う方法は、班員全員が同等に作業に参加できるだけでなく、計測時間の圧倒的な短縮につながる。

引用文献

- 1) 牛腸ヒロミ, 佐々井啓, 平田耕造, 藤田雅夫, 布施谷節子, 増子富美, 石原久代, 長山芳子, 「被服学事典」, 朝倉書店, 368-369(2016).
- 2) 山口庸子, 生野晴美, 「新版 衣生活論 一持続可能な消費に向けて」, アイ・ケイコーポレーション, 38(2012).
- 3) 林雅子, 「新版衣料学概説 第6刷」, 光生館, 115(1989).
- 4) 田中道一, 辻和一郎, 「被服材料学」, 化学同人, 189-191(1982).
- 5) 日下部信幸, 「小・中学校でできる被服材料実験」, 家政教育社, 87-95(1985).
- 6) 日下部信幸, 「確かな目を育てる 図説 被服の材料」, 開隆堂出版, 43-46(2006).
- 7) 酒井豊子, 柳許子, 岡村幸子, 渡辺紀子, 「被服科学実験」, 三共出版, 43(1995).
- 8) 島崎恒蔵, 團野哲也, 林正之, 森俊夫, 「衣の科学シリーズ 衣服材料の科学 [第3版]」, 建帛社, 88-89(2015).
- 9) 中島利誠, 「新版概説被服材料学 第3刷」, 光生館, 97-98(2004).
- 10) 前掲書 9), 44-45.

(2025. 1. 8 受理)