

令和6年 3月 31日

産学共同研究推進委員会
委員長 安達 励人 あて

代表者名 道明 伸幸

産学共同研究報告書

次のとおり、研究計画の実施状況について報告する。

記

研究テーマ	酷暑環境における快適な作業着の開発のための研究
研究期間	決定日 ~ 令和 6年 3月 31日
研究目的	製造業の工場現場の暑さ対策には、工場内の空調設備の改善のほか、作業着の改善や工夫も重要な要素であり、特に後者は低コストで実現できる。 そこで今回は、酷暑環境における快適な作業着の企画開発を行うべく、作業内容に最適化した機能、デザインを考察し、衣服内環境の測定等による客観的な着心地評価を行い、商品開発へつなげることを目的とする。
研究の成果・概要	<p>酷暑環境の工場勤務のための快適な作業着を開発するため、主に以下の2点について、検討および実験による検証を行った。まず、①作業着の下に着用するインナー素材の効果について検討を行った。吸汗速乾性や接触冷感、消臭機能などを有した機能性インナーと通常の綿100%のTシャツのインナーについて、松下鉄工所にて、被験者3名による着用試験を行い、衣服内温湿度の計測、主観申告による官能評価を行った。次に②背面に吸入ファンの付いた空調機能のある作業着（空調服）を採用し、一部改良を加え、機能性インナーとの組み合わせた着用評価を同様に行った。</p> <p>詳細については、別紙に示す。</p> <p>また、実際に行った研究のスケジュールを以下に示す。</p> <p>7月6日～8月10日 インナーの着用評価試験実施</p> <p>8月3日 空調服のデザインについて、大川被服㈱との検討。デザイン画の提案。 →試作品の作成。</p> <p>9月7日～12日 完成した空調服の着用評価試験を実施。</p> <p>9月～12月 実験データの整理、解析。インナー素材の物性評価実験を実施。</p> <p>12月15日 日本繊維機械学会中国支部の事例及び研究発表会にて発表</p> <p>1月19日 大川被服と松下鉄工所を交えた報告と意見交換会を実施。</p> <p>1月25日 中間報告書提出</p> <p>3月31日 最終報告書提出</p>

1. はじめに

製造業の工場内は、作業員が長時間勤務する場所であり、企業にとって工場内の環境の管理や改善は必要不可欠である。とくに近年の温暖化の影響もあり、工場現場の夏期の暑さ対策、熱中症対策は非常に重要である。しかし、工場の設備が古かったり、工場内の空間があまりにも広大であったりなどの理由で、エアコンなどを使用して空間全体の温度を制御することが困難な場合が多い。そこで作業員や工場の配置に合わせて、スポットクーラーや大型の送風機を複数設置する事例がよくみられる。ただし、そのような空調設備を充実させるには多大なコストがかかる。

一方、従業員が着用する作業着の快適性改善のために工夫を凝らすことも重要な要素であり、こちらのほうは低コストで暑さ対策を実現できる。そもそも作業着とは、作業員の安全性を確保するものでなければならず、さらにそれに加えて動きやすさや快適性などをバランスよく備えてこそ、作業効率や生産性につながる重要な要素であるといえる。

そこで、本研究では工場内の酷暑環境においても快適な作業着を実現するべく、ファン付きの作業着（空調服）を採用し、さらにそれに適したインナー素材の検討を行うこととした。それらの着用評価については、工場内での通常作業中の被験者に対して、衣服内環境の測定等の客観的な快適性評価実験を行った。

2. 研究内容

今回は、鋳物用砂型中子製造の有限会社松下鉄工所のご協力のもと、作業着の評価・検証を行った。なお中子とは、中に空洞がある鋳物を作る際に空洞にあたる部分として、鋳型（いがた）の中にはめこむ砂型のことである。自動車のエンジン部品など、精度の高い複雑な形状の鋳物を製造するために用いる。その製造は、細かい砂に樹脂をコーティングしたものを原材料とし、金型内に吹き込んで約 300℃ に加熱して焼結、硬化させる。そのため中子製造の作業工程では、高熱を発する機械装置類を使用する頻度が高い。

当工場は、天井が高く、広い工場のために全体の空調は困難であるが、スポットクーラーや送風機などの設備は充実している。しかし、前述のとおり高温の機械装置の操作中においては、とくに夏場は非常に暑く、発汗も多い上に、腕の火傷やケガを防ぐために長袖作業着の着用が義務付けられており、過酷な環境となる。現状、図 1 に示すような 2 種類の作業着が採用されている。また、工場内での作業中のサーモグラフィ画像を図 2 に示す。実際に 300℃ 近い機械に囲まれながらの立ち作業であることが分かる。



図 1 現状の作業着

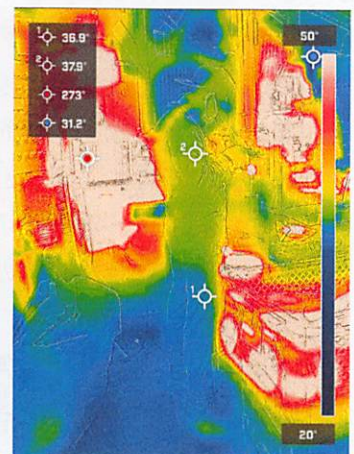


図 2 作業中のサーモグラフィ画像

したがって、作業着の機能性だけでなく、肌に直接触れるインナーの選定も重要な要素である。

そこで、松下鉄工所の従業員 3 名を被験者とし、まずインナー素材の影響について検討し、その次に空調服の着用評価を行った。着用評価は、人工気候室などを用いて、温度・湿度を一定に設定し、特定

の姿勢や動作を被験者に与えて評価を行う方法もあるが、今回は、工場での通常作業中における評価を行った。天候などのバラツキが生じるが、より実用的な条件での評価が可能であるといえる。なお、後述するインナーと試作品の空調服については、大川被服株式会社にご提供いただいた。

2.1 着用快適性評価の方法

今回インナーと空調服の着用評価実験を行った期間は、7月初旬～9月中旬、測定時間は13:40-15:00の1時間20分間とした。実験を行った日時全体での工場内の平均気温と平均湿度は、31.4℃、62.9%であった。また最低-最高気温は、28.9℃-34℃、最低-最高湿度は、51.8%-73.8%であった。

快適性評価には、通常業務中の3名の被験者の胸部における衣服内環境（作業着内空隙の温度・湿度）の測定、および着心地に関する主観申告による官能評価を行った。衣服内環境の測定については、超小型温湿度ロガーSHTDL-3およびフレキシブルSHT35温湿度センサー（共にYmatic(株)製）を用いた。この装置は小型で電池式であるため、工場内での通常通りの作業中においても、あまり違和感もなく、遠隔での測定が可能である。このセンサーを胸部のインナーの表面に設置し、その上に作業着を着用する（図3）。官能評価においては、作業終了後に被験者に対して、以下に示す着心地に関する8項目についての9段階評価を行う評定者尺度法と自由記述式のアンケート手法を用いた。

1. 暑い - 涼しい
2. 蒸れている - 蒸れていない
3. ベタベタする - サラサラする
4. 重い - 軽い
5. 動きにくい - 動きやすい
6. 不快 - 快適
7. 嫌い - 好き
8. 暑苦しい - 爽やか
9. 自由記述

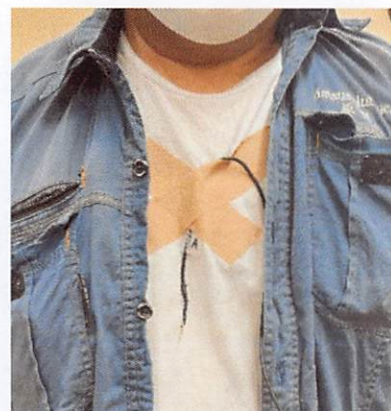


図3 衣服内温湿度センサー

2.2 インナーの素材の検討と着用評価

まず作業着の下に着用するインナー素材の影響について検討を行った。以下に示す普通の綿素材のものと、吸汗速乾性、接触冷感、ストレッチ性、着圧サポートなどを有した機能性インナーの2種類を使用した。

- ・綿100% 「半袖Tシャツ」(株)コーコス信岡
- ・表地: ポリエステル90%, ポリウレタン10%, メッシュ部分: ポリエステル88%, ポリウレタン12%
「ドライパワーサポート5分袖」(株)コーコス信岡

この2種類のインナーそのものの着用快適性の比較、検証を行うため、各被験者にそれぞれのインナーとその上には空調ファンのついていない従来の作業着（図1）を着用させ、作業着内の温度・湿度の計測、および官能評価を行った。評価は、2種類それぞれのインナーで2~3回ずつ行った。

また、インナー素材の水分特性（吸水性、乾燥性、吸汗速乾性）の評価については、一度洗濯乾燥した後の試料を用いて、20℃、65%の標準状態の恒温恒湿室にて、以下に示すJISやポーケンの繊維試験法を用いて行った。

- ・吸水性（JIS L 1907 吸水速度法（滴下法，バイレック法））
- ・乾燥性（JIS L 1096 乾燥性）・・・これを一部変更し，試験布サイズを 100mm×100mm とし，水に浸漬後、重量変化を測定した。
- ・吸汗速乾性（蒸散性（Ⅱ）試験 ポーケン規格 BQE A 028）

2.3 空調服のデザイン提案と着用評価

次に空調服について検討を行った。従来の空調服とは異なり，今回の使用条件下に適したものにするため，デザイン画を基に検討を行った結果，長袖の既製品のの一部を改良し，試作品を作成することとした。改良点は，脇の下の部分にファスナーで開閉できるベンチレーション（開口部）を設置し，作業着内の蒸れた空気を排出できるようにしたことである。スキーウェアなどで用いられる手法である。図 4，5 にデザイン画と試作品を示す。

インナーについては，前述の機能性インナーを着用し，同様に作業着内の温度・湿度の計測，および官能評価を各被験者について 2～3 回ずつ行った。なお，1 時間 20 分の測定時間のうち，前半の 40 分間はベンチレーションを閉じ，後半の 40 分間は開放して，その前後での衣服内環境に変化があるのか検証を行った。

また，官能評価については，前述の自由記述式のアンケート項目に，『どこの部位が涼しかったのか』『脇のチャックの開閉時で変化があるか』の 2 項目を追加した。

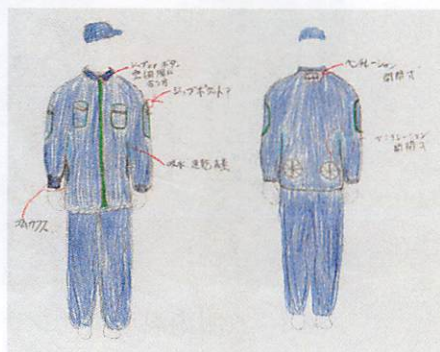


図 4 デザイン画



図 5 ベンチレーションを配した空調服の試作品

3. 結果および考察

3.1 インナーの比較結果

まず，インナー素材の水分特性の結果について示す。表 1，2 に吸水性試験（JIS L 1907 の吸水速度法）の滴下法，およびバイレック法の結果を示す。どちらの結果においても機能性インナーの素材は，綿 100% 素材のインナーに比べて吸水速度が大きく，とくに滴下法の結果より，布表面での吸水性が非常に高いことが分かる。

表 1 吸水性試験 JIS L 1907 滴下法結果

試料布	水滴吸収時間（秒）
綿 100% 「半袖 T シャツ」	271
機能性インナー 「ドライパワーサポート 5 分袖」	1 秒以下

表2 吸水性試験 JIS L 1907 バイレック結果

試料布	10分間での水の上昇高さ	
	たて方向 (mm)	よこ方向 (mm)
綿 100% 「半袖 T シャツ」	80	80
機能性インナー 「ドライパワーサポート 5 分袖」	125	120

図6, 7に乾燥性試験 (JIS L 1096 乾燥性を一部変更), および吸汗速乾性試験 (蒸散性 (II) 試験 ボーケン規格 BQE A 028) の結果を示す。乾燥性試験では, 試料を水に浸漬して十分に吸水させた後, 水中から引き上げ, 水滴が落ちなくなつてからの重量変化を測定したところ, 機能性インナーでは 180 分でほぼ重量が一定となって乾燥したが, 綿 100% 素材のインナーは重量減少の途中であり, まだ乾燥していなかった。また, 吸汗速乾性試験では, 測定開始 12 分までは 2 種の素材の蒸散率の差はあまりなかったが, それ以降は差が開き始め, 20 分後の蒸散率は, 機能性インナーが 54%, 綿 100% インナーが 44% となった。したがって, 吸水性, 乾燥性, 吸汗速乾性すべてにおいて, 機能性インナーの性能が優れていることが分かった。

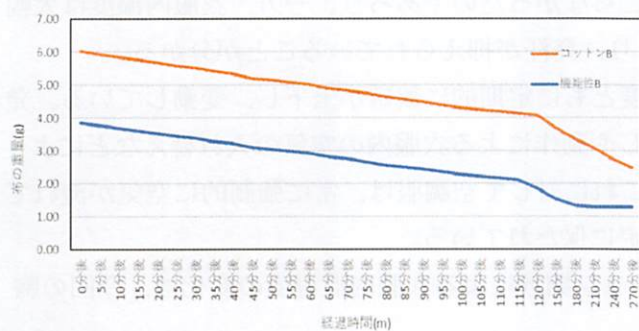


図6 乾燥性試験 (JIS L 1096 乾燥性)

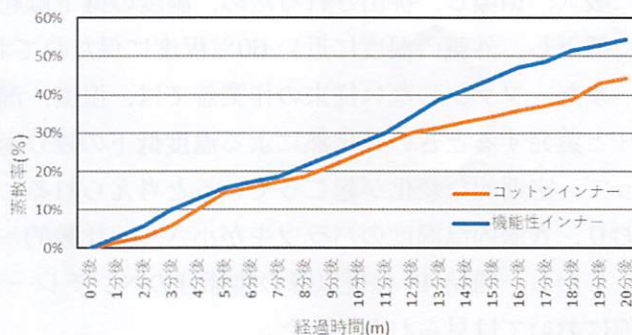


図7 吸汗速乾性試験

(蒸散性 (II) 試験 ボーケン規格 BQE A 028)

次に, インナー2種それぞれと従来の作業着の組合せでの衣服内温湿度の比較結果について, ここでは被験者 A の結果の平均値を図8に示す。横軸が測定時間, 縦軸がそれぞれ温度, 湿度の変化である。衣服内温度には大差がないものの, 衣服内湿度では機能性インナーのほうが若干低い結果となった。t 検定を行ったところ, p 値は 0.05 以下となり, 有意な差があるといえる。これについては, 被験者 3 名全員が同じような結果となった。機能性インナーの優れた吸水性, 速乾性の機能により, 綿 100% インナーに比べて発汗量が抑えられ, 湿度の低下につながったと考える。したがって, 従来の作業着のままでも, インナーを機能性の高いものにすれば, 衣服内湿度に低下が見られることから, ムレ感が軽減し, 快適性が向上することが分かる。

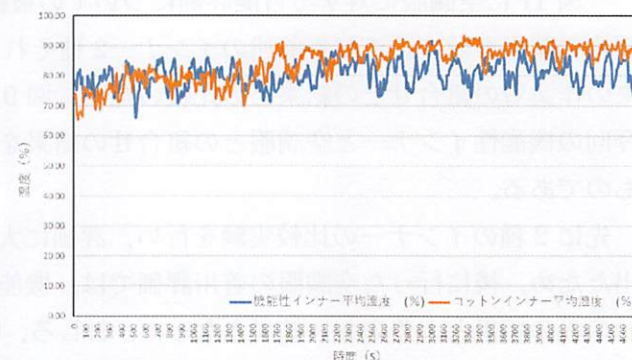
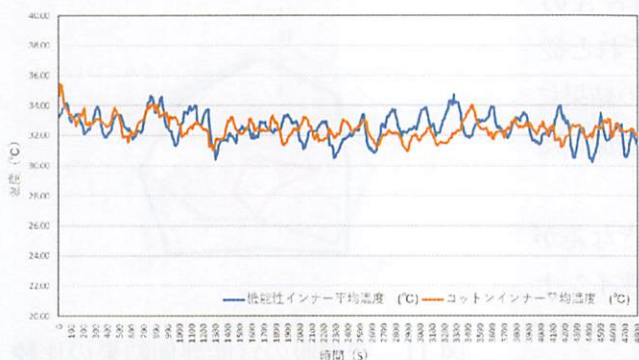


図8 衣服内温湿度測定によるインナーの比較 (被験者 A)

図9に着心地に関する官能評価についての被験者Aの平均の結果を示す。官能評価では、2種のインナーの差がより鮮明になっており、すべての質問項目において、機能性インナーのほうが優れていることが分かる。他の被験者についても同様の傾向であった。したがって、衣服内環境の温度・湿度の差以上に、被験者は敏感に着心地の違いを認識しており、衣服の快適性においてはインナーの影響が非常に大きいことが分かった。

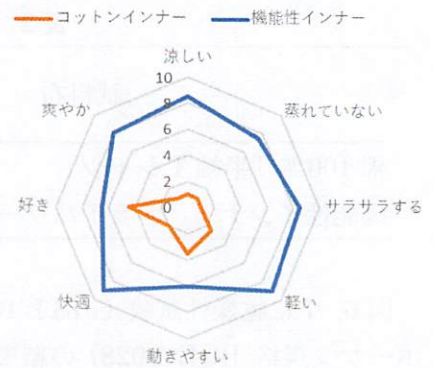


図9 官能評価によるインナーの比較 (被験者A)

3.2 空調服の着用評価結果

機能性インナーと試作した新しい空調服との組合せでの衣服内温湿度測定の結果について、被験者Aの結果の平均値を図10に示す。これは、前述のインナー2種それぞれと従来の作業着の組合せの結果との比較のため、図8の結果に今回の機能性インナーと空調服との組合せの結果を追加したものである。

衣服内温度については、他の条件とあまり変化がなかった。ファンによって30℃以上の熱い外気が常に吸入、循環し、排出されるため、温度の低下は起こらなかったであろう。一方、衣服内湿度は大幅に低下し、外気の湿度に近い60%程度に保たれており、発汗が抑えられていることが分かる。

また、ファンのない従来の作業着では、温度、湿度ともに定期的に数値が上下し、変動している。発汗と蒸発するときの気化熱による温度低下の繰り返しや動作による衣服内の空気の入替えなどによって、定期的な変化が起きていると考えられる。これに対して空調服は、常に強制的に空気が流れており、衣服内温湿度のバラツキが小さく、比較的一定に保たれている。

しかし、開始40分後以降の脇部分のベンチレーション開放による衣服内温湿度の変化は、今回の胸部においては見られなかった。

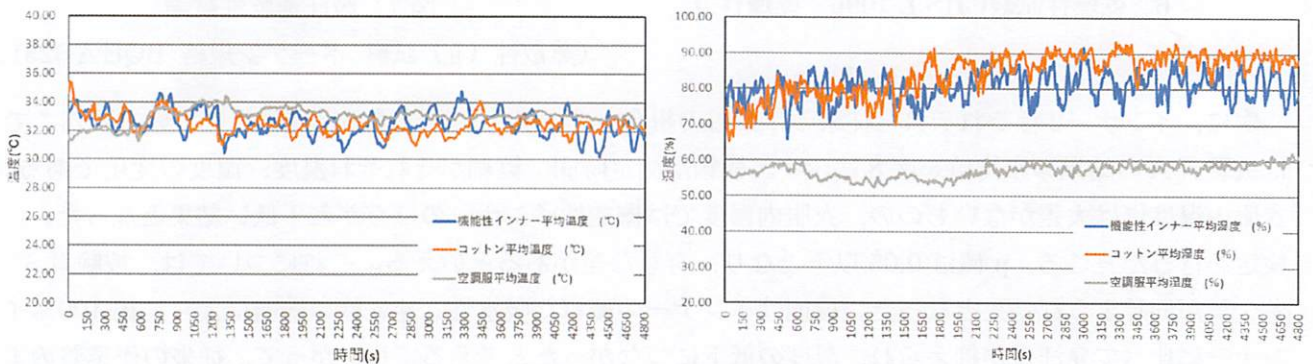


図10 空調服の衣服内温湿度 (被験者A)

図11に空調服に対する官能評価についての被験者Aの平均の結果を示す。これも前述のインナー2種それぞれと従来の作業着の組合せとの結果との比較のため、図9の結果に今回の機能性インナーと空調服との組合せの結果を追加したものである。

先に2種のインナーの比較実験を行い、評価に大きな差が出たため、後に行った空調服の着用評価では、機能性インナーのみの結果と大差のない結果となった。むしろ、「動きやすさ」や「軽さ」、「快適性」といった質問項目では、評価が低



図11 空調服の官能評価結果の比較 (被験者A)

下した。普段着慣れている作業着に比べると、吸入ファンによって作業着が膨らむことや、バッテリーやファンの重さなどによる違和感や動きづらさがあることは、ある程度仕方がないことである。とはいえ、「涼しさ」や「ムレ感」、「サラサラ感」については、どの被験者においても高い評価であった。自由記述の項目では、とくに背中部分の涼しさを評価する回答があった。しかし、ベンチレーションの影響については、やはり官能評価においても、あまり感じられなかったという回答であった。脇部分から空気が抜けてしまい、袖部分まで空気が流れてこないため、むしろ腕での発汗が増えてしまった被験者もいた。脇部分のベンチレーションについては、作業中での開放では効果はなく、休憩時や作業終了後に涼しい場所で開放し、すばやく衣服内環境を換気することに使用するのが適当であろう。

以上の結果から、綿100%素材のインナーと従来の作業着の組み合わせから、機能性インナーへの変更やさらに空調服を組み合わせることで、大幅に快適性を改善できることが分かった。図12に示す原田らによる衣服内気候と快適感の関連モード図によると、「不快」の領域から「やや快適」や「快適」の領域に改善することができるといえる。発汗による衣服内湿度の上昇を抑えられ、快適性の向上によって、ストレスや疲労の軽減が期待される。また、熱中症対策にも有効であると考えられる。

4. まとめ

酷暑環境においても快適な作業着を実現すべく、ファン付きの作業着（空調服）を採用し、さらにそれに適したインナー素材の検討を行った。被験者による工場での通常作業中の衣服内温湿度測定と主観申告による官能評価により、それぞれの客観的な着用評価を行った。インナーについては、綿100%素材のものと比較して、吸汗速乾性、接触冷感などを有した機能性の高い素材を採用するだけでも、かなりムレ感が軽減し、快適性の改善が期待できる。さらに空調服と組み合わせることで、より発汗と衣服内湿度の上昇が抑えられることから、さらなる快適性の改善を実現することができた。熱中症対策にも有効であるといえる。

しかし、脇部分のベンチレーションについては、作業中での開放では効果はなく、衣服内の空気の流れを阻害し、逆効果になる場合があった。また、空調服における空気による膨らみや、ファンやバッテリーの重さによる動きにくさについては、慣れが必要であろう。また、バッテリー交換や洗濯におけるファンの着脱など、使用におけるわずらわしさもあるため、単純に従来の作業着の代替として使用するには、まだ越えるべきハードルが多く残っている。空調服のデザインの改良やファン、バッテリーの軽量化はもちろんのこと、作業着一人一人が、今回の結果のような客観的なデータに基づき、インナーや作業着の機能性の影響の大きさを十分理解し、作業着に対する意識を変えることも必要である。また同時に組織全体で、スムーズにバッテリー交換を行うシステムを構築するなどのルール作りを行うことも重要であると考えられる。

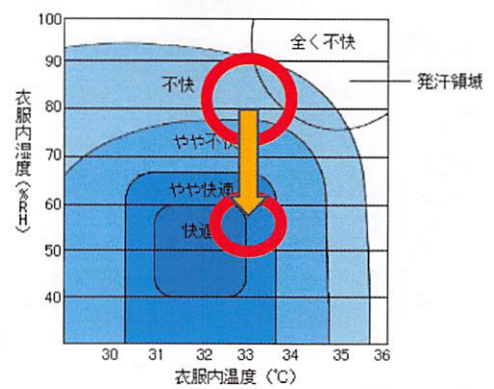


図12 衣服内気候と快適感の関連
(原田ら)