

令和3年度消防防災科学技術研究推進制度

感染防止性・夏季における冷却性等に優れた能力を有する

感染防止衣の開発に関する研究報告書

目次

はじめに	1
暑熱環境対応感染防止衣プロトサンプルの開発	2
ディスポタイプ	2
リユースタイプ	4
フィールドテスト	6
プロトサンプルと既製品着用時の生理的・主観的評価	12
感染防止衣の交換と汚染状況に関する調査	19
感染防止衣汚染状況のシミュレーション実験	25
プロトサンプルの改良	29
おわりに	32
研究体制	34

はじめに

近年地球規模の温暖化の影響で、日本においても年々気温上昇が認められる。気象庁によると、2021年の日本の平均気温の基準値（1991～2020年の30年平均値）からの偏差は+0.61℃で1898年の統計開始以降3番目に高い値となり、特に1990年代以降は高温となる年が頻出している。また最高気温も35℃を超える日が多くなっており、時に40℃を超える日もある。さらに日本は湿度も高く、暑熱環境時では熱中症の救急搬送も多くなってきている。

このような気象状況のなか、救急隊員は感染防止対策として感染防止衣を着用し活動しなければならない。救急隊員を含む消防職員は暑熱環境での災害現場に対応するため暑熱順化訓練という、まだ気温が高くない時期から暑い環境を体験し、体を暑さに慣らす訓練を行い、また熱中症対策として感染防止衣の内側に冷却剤を施したクーリングベスト等を着用し暑熱環境に対応している。

しかし、暑熱環境対応にした感染防止衣の開発は進んでおらず、感染防止能力・夏季における冷却性等に優れた能力を有する感染防止衣の開発が必要であると考えた。

感染防止能力については、JIS規格が定めるクラス6、さらに米国基準であるAAMI/PB70で最も感染防止性能の高いレベル4のウィルスバリア性・血液バリア性を維持すること、また冷却等に優れた能力については、冷却効果の改善を素材の軽量化・透湿性向上・ストレッチ性付与によって体感温度の低減及び活動時の疲労軽減を図ることを目標に感染防止衣の開発を進める。さらに、これらの感染防止衣着用の救急活動時の評価を行うことと、感染防止衣の冷却のデザインが感染防止対策上妥当であることを検証する必要がある、以下項目について検討した。

- 1 暑熱環境対応感染防止衣プロトサンプルの開発
- 2 救急活動時の感染防止衣プロトサンプルと既製品着用時の生理的・主観的評価
- 3 感染防止衣の交換と汚染状況に関する調査
- 4 感染防止衣汚染状況のシミュレーション実験
- 5 プロトサンプルの改良

1 暑熱環境対応感染防止衣プロトサンプルの開発

目標

ディスポタイプ・リユースタイプの感染防止衣について、日本基準 J I S 規格クラス 6、さらに米国基準 AAMI/PB70 で最も感染防止性能の高いレベル 4 のウィルスバリア性・血液バリア性を維持し、かつ冷却効果の改善を素材の軽量化・透湿性向上・ストレッチ性付与によって体感温度の低減及び活動時の疲労軽減を図ること。

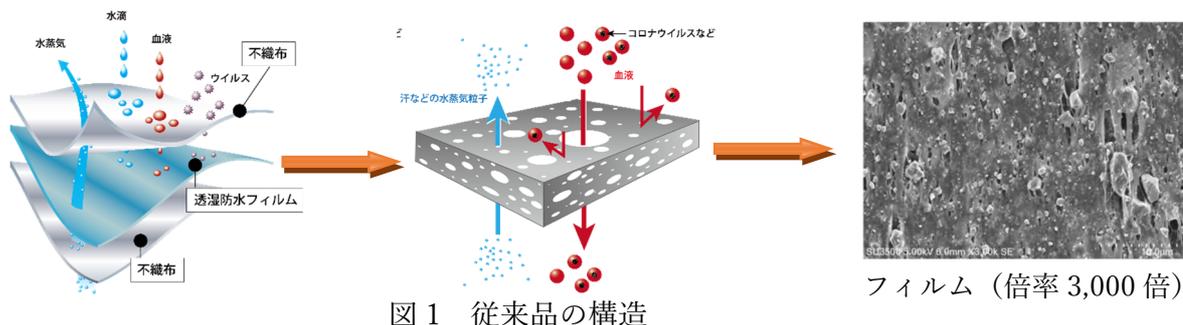
開発状況(素材について)

ディスポタイプ

安定したバリア性能を実現する為に、従来品に多く採用されている 3 層構造の素材を分析し問題点を抽出、更に改善策を検討した。

従来品の構造

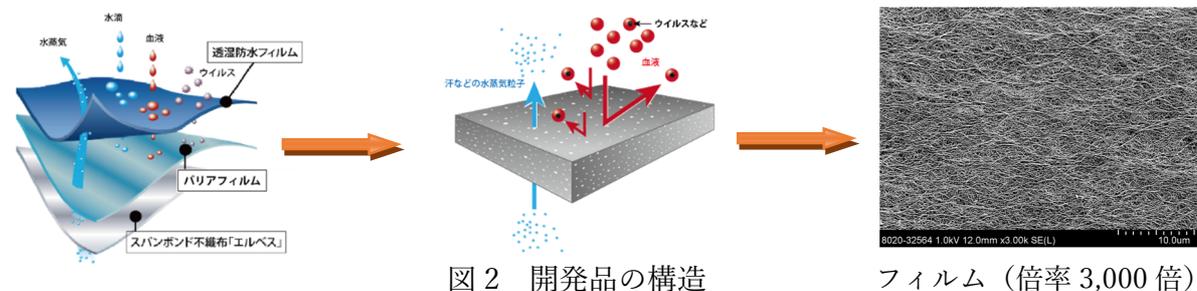
従来品の構造は、図 1 の通り 3 層で構成されているが、バリア性能は中間層の透湿防水フィルムの性能に大きく左右される。この透湿防水フィルムは水蒸気を通す為の孔の大きさにバラツキが多く存在し、更に 5 ミクロン程度の大きな孔も含まれる為、血液やウィルスを確実にバリアする事は困難である。



開発品の構造

開発品の構造は、図 2 の通り 3 層で構成されているが、バリア性能の向上の為に中間層にバリアフィルムを配置する事で、非常に高いレベルでの血液・ウィルスバリア性能を確保出来た。

このバリアフィルムの最大の特長は、水蒸気のみを通す微細な孔(0.5 ミクロン程度)で構成されており、かつ孔の大きさにバラツキが無く均一である。



試験成績証明書

血液バリア性試験・ウイルスバリア性試験の結果は、表1の通り最高ランクでの合格を達成。

JIST-8060(血液バリア性能)・JIST-8061(ウイルスバリア性能)

ASTM-F1670(血液バリア性能)・ASTM-F1671(ウイルスバリア性能)

表1 試験成績証明書

【様式110P30】

21TK301222-000111

試験成績証明書

依頼者名 ユニテカトレーディング 株式会社 様
 品名 無式シールドマスク(トイ) 1点
 試験項目 人工血液の透過試験(JIST-8060)
 2021年5月26日 提出の試験に対する試験結果は下記の通りです。

2021年5月31日

一般財団法人 日本経済研究センター
 株式会社 試験センター

試験項目	試験結果			試験方法	
	検体1	検体2	検体3		
△血液バリア性能	透過試験	合格	合格	合格	JIS T 8060-2003 2.12.1 シールドの保持に試験液がリークし、血液成分がシールドの裏面に検出され、試験液又は検体あり。
	98Fw-100	○	○	○	
	1.75Fw-100	○	○	○	
	3.5Fw-100	○	○	○	
	7.0Fw-100	○	○	○	
	14.0Fw-100	○	○	○	
△ウイルスバリア性能	透過試験	合格	合格	合格	ASTM F 1670(F 1670M) 10.4.1 シールドの保持に試験液がリークし、血液成分がシールドの裏面に検出され、試験液又は検体あり。
	98Fw-100	○	○	○	
	1.75Fw-100	○	○	○	
	3.5Fw-100	○	○	○	
	7.0Fw-100	○	○	○	
	14.0Fw-100	○	○	○	
△ウイルスバリア性能	透過試験	合格	合格	合格	JIS S 5014(2014) 2.12.1 シールドの保持に試験液がリークし、血液成分がシールドの裏面に検出され、試験液又は検体あり。
	98Fw-100	○	○	○	
	1.75Fw-100	○	○	○	
	3.5Fw-100	○	○	○	
	7.0Fw-100	○	○	○	
	14.0Fw-100	○	○	○	
△ウイルスバリア性能	透過試験	合格	合格	合格	ASTM F 1671(F 1671M) 10.4.1 シールドの保持に試験液がリークし、血液成分がシールドの裏面に検出され、試験液又は検体あり。
	98Fw-100	○	○	○	
	1.75Fw-100	○	○	○	
	3.5Fw-100	○	○	○	
	7.0Fw-100	○	○	○	
	14.0Fw-100	○	○	○	

(注) 検査項目/検体: 1.3.9 1.3.8.2.2

物 品 試 験

※ この証明書は、試験の結果に対する試験結果であり、この証明書の作成を目的としたものではありません。
 ※ 試験方法は、試験の項目に準じて実施されています。

透湿性能とバリア性能の仕組み

体内から発生した水蒸気を外部へ放出し、外部からの血液や体液等の湿性感染源をバリアする仕組みを図3に示す。

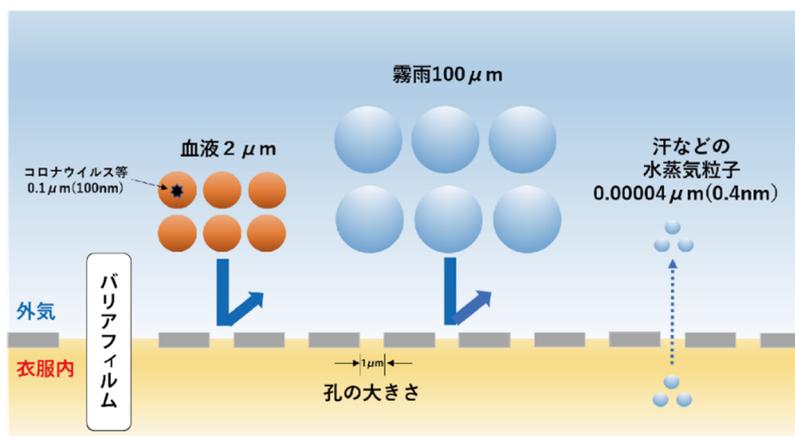


図3 透湿性能とバリア性能の仕組み

リユースタイプ

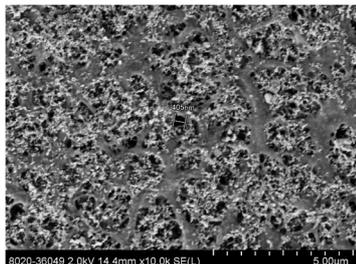
冷却性能を向上する為に、従来品に多く採用されている3層構造の素材を分析し問題点を抽出し改善策を検討した。

従来品の構造(問題点)

従来品の構造は、下図の通り3層で構成されており、中間層にPTFE（ポリテトラフルオロエチレン）フィルムを使用している（図4）。但しこのPTFEフィルムは強い力で引っ張られるとフィルム自体が不可逆的に変形して伸びたままになりバリア性を維持できない為、表地に伸びず厚みのある織物を用いてフィルムを保護している。このような構造的な理由もあって、救急隊員から「重く、硬くて動きにくく、蒸れて暑い」との意見が多く、暑さ対策としての課題を以下のように設定した。

【リユース素材の課題】

- 1) 素材の軽量化
- 2) 透湿性の向上
- 3) 伸縮性の付与



バリアフィルム（倍率10,000倍）

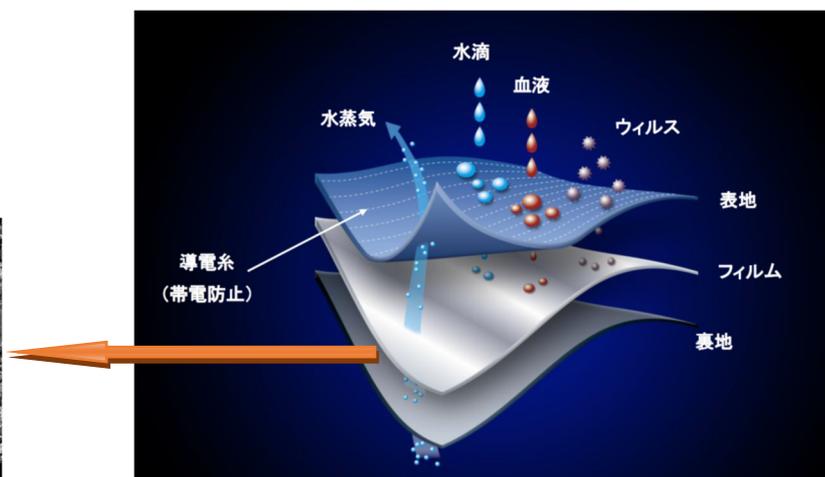


図4 従来品リユースタイプ感染防止衣素材の構造

開発品の構造(改良点)

開発品の構造は、従来品と同じ3層で構成されているが、中間層に伸縮性に優れたポリカーボネート系ポリウレタン樹脂を用いた微多孔のバリアフィルムを配置した。更にフィルムの伸縮性を活かす為に表地・裏地にも伸縮性のあるトリコット編地を使用した。その効果は以下の通りであり、各課題について大幅に改善した。

【改善による効果】

- 1) 軽量化：トリコット生地との組み合わせで、従来品比で約40%の軽量化を実現。
- 2) 透湿性：高い透湿性能を実現。JIS L 1099 A-1法 8,000cc/cm²・24h。
- 3) 伸縮性：伸縮性のトリコット編地+ポリウレタンフィルムの組合せにより、伸縮性（タテ10%・ヨコ20%の伸長率）を実現。

これらの改善により、高い透湿性で衣服内の蒸れを軽減すると共に発汗による冷却効果を高め、更に軽量化と伸縮性付与で、救急隊員の身体的負荷を軽減できる動きやすさと着心地を実現することが可能と考える。

透湿性能による冷却効果促進の仕組み

体内から発生した汗を肌面で蒸発させて気化熱を奪うことによる身体の冷却効果を促進する仕組みを図5に示す。高い透湿性によって蒸発した水分を衣服外に効率的に排出することによって、衣服内の汗の蒸発を促進し、気化熱冷却の効果を高めることが可能になる。

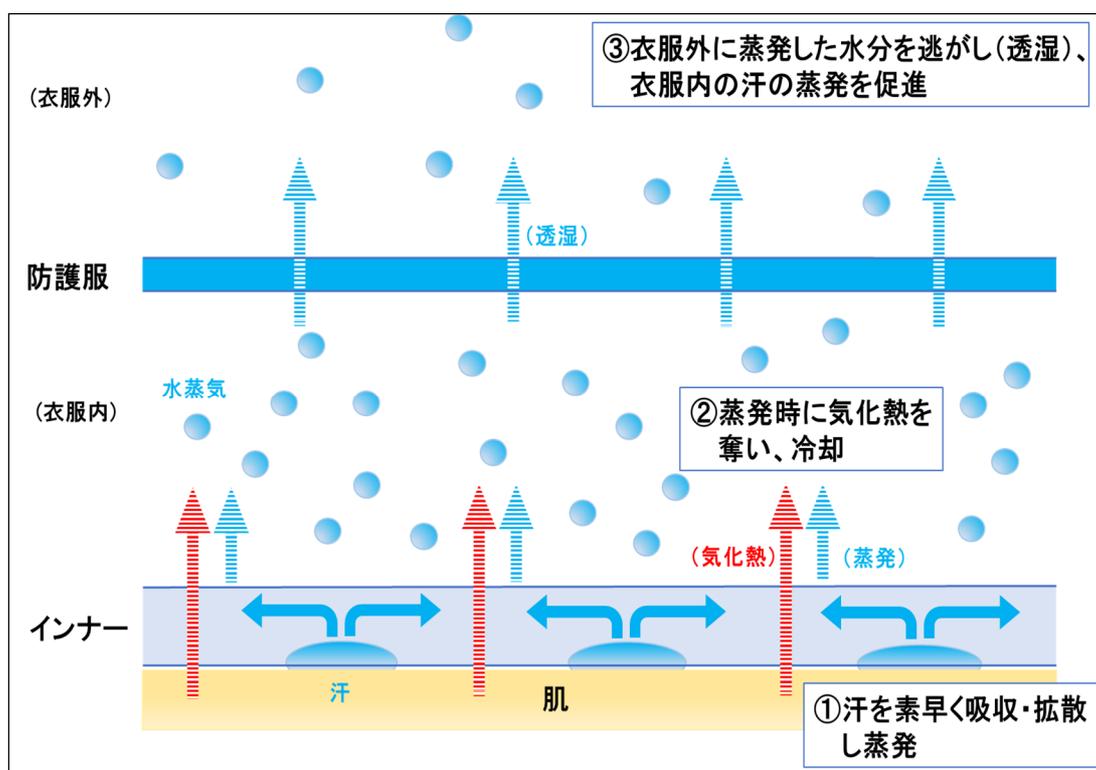


図5 透湿性能による冷却効果促進の仕組み

フィールドテスト

プロトサンプルの性能及び着用時の体感や着心地について、埼玉県深谷市消防本部の救急隊員（ディスポタイプ：6名、リユースタイプ：7名）を対象に、救急活動時のフィールドテストを着用時の主観的評価のアンケート（表2、3）を実施し、結果は平均値で表した。

期間

2021年8月～10月

ディスポタイプデザイン

従来タイプに多く採用されていたファスナー開口部を無くし、被り式の上衣スタイルとし、背面に大きなメッシュ開口部を採用する事で内部の蒸れた空気を排出する構造とした（図6、7）。



図6 ディスポプロトタイプのデザイン



ディスポタイプ正面



ディスポタイプ背面

図7 ディスポプロトタイプ着用状況

リユースタイプデザイン

感染防止衣の背面部にベンチレーションを設け、通気性を上げる為にメッシュを配し、背中心のベンチレーション部分にファスナーを設け、酷暑時以外は閉じて通年で使用出来るようにした。

また、感染防止の観点からフロントファスナーを中心線から右寄りに変更した他、パンツの裾口に調節用絞りアジャスターを追加した（図8、9）。

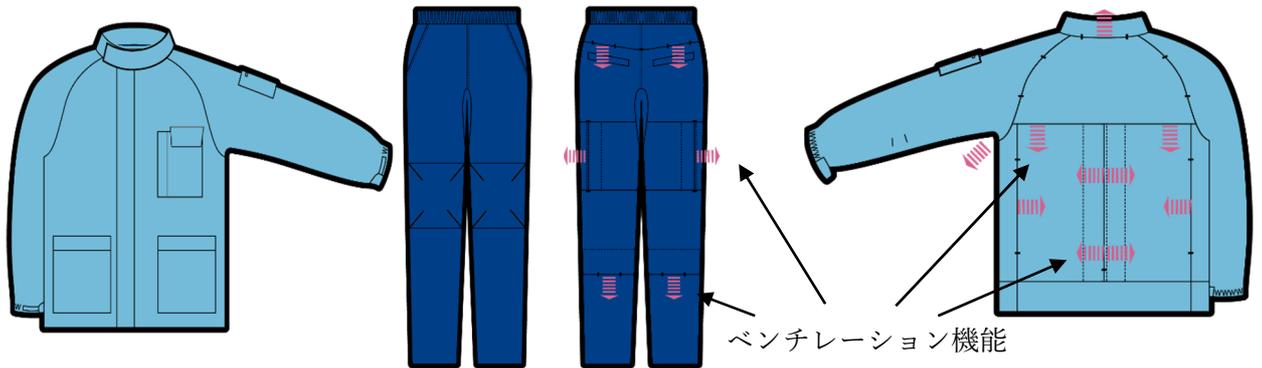


図8 リユースプロトタイプデザイン



リユースタイプ 正面



リユースタイプ 背面

図9 リユースプロトタイプ着用状況



表2 ディスポタイプアンケート調査表

アンケート用紙	
感染防止衣 ディスポタイプ（使い捨て） 上下セット	
着用日時	2021年 月 日 : 時間帯 : ~ :
1) 着易さ	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
感染防止の観点から、かぶり方式を採用しています	
2) 脱ぎ易さ	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
3) 作業性・動きやすさ	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
4) 通気性（涼しさ）・蒸れ感	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
ジャケット背中メッシュや、パンツのベンチレーション機能	
5) 耐久性	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
6) 商品をお使い頂いた感想	
アンケートにご協力頂き、ありがとうございました。	
	

表3 リユースタイプアンケート調査表

アンケート用紙	
感染防止衣 リユースタイプ（繰り返し使用） 上下セット	
着用日時	2021年 月 日 : 時間帯 : ~ :
1) 着易さ	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
2) 脱ぎ易さ	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
3) 作業性・動きやすさ	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
<small>伸縮性のニット生地を使用しています</small>	
4) 通気性（涼しさ）・蒸れ感	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
<small>（ジャケット、パンツ共に多くのベンチレーションを採用しています）</small>	
5) 軽さ・重量（感染防止衣）	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
<small>従来品に比べて、軽量化致しました</small>	
6) 耐久性	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
7) パンツのすそ部分	【悪い】・【やや悪い】・【ちょうどよい】・【やや良い】 : 【良い】
<small>すそ部分に、長さを調整できる仕様になっています</small>	
8) 商品をお使い頂いた感想	
<small>アンケートにご協力頂き、ありがとうございました。</small>	
 ユニテカトレーディング株式会社 <small>U.T.C.</small>	

アンケート結果について

深谷市消防本部にてディスポ・リユース共に生地・製品仕様を改善したプロトタイプサンプルのフィールドテスト評価の結果を図 10, 11 に示す。

多くの救急隊員より、暑さ対策の効果、動きやすさ、身体的負荷の軽減について高評価を得たが、評価が低かった項目(着脱方法や耐久性等)については今後改良を行う必要がある。

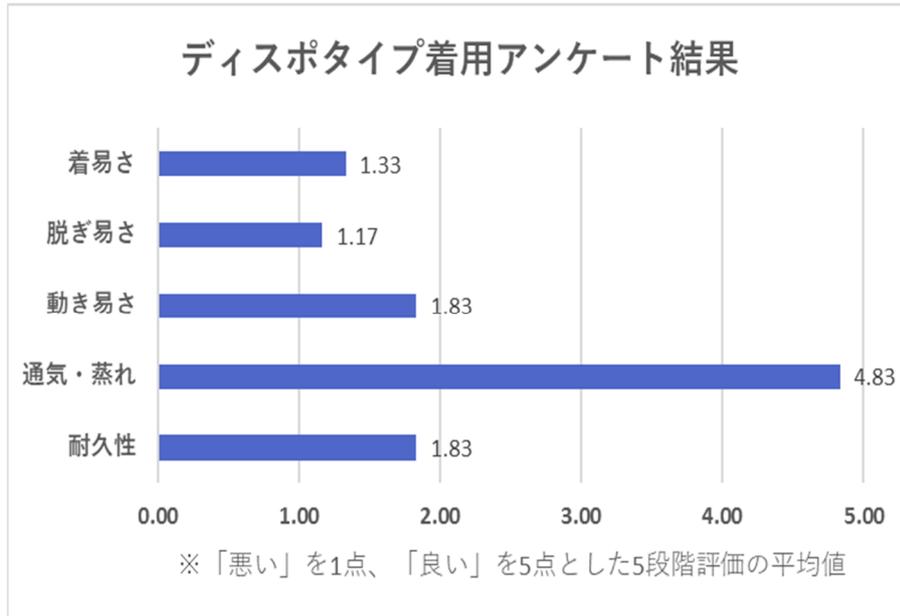


図 10 ディスポタイプ着用アンケート結果

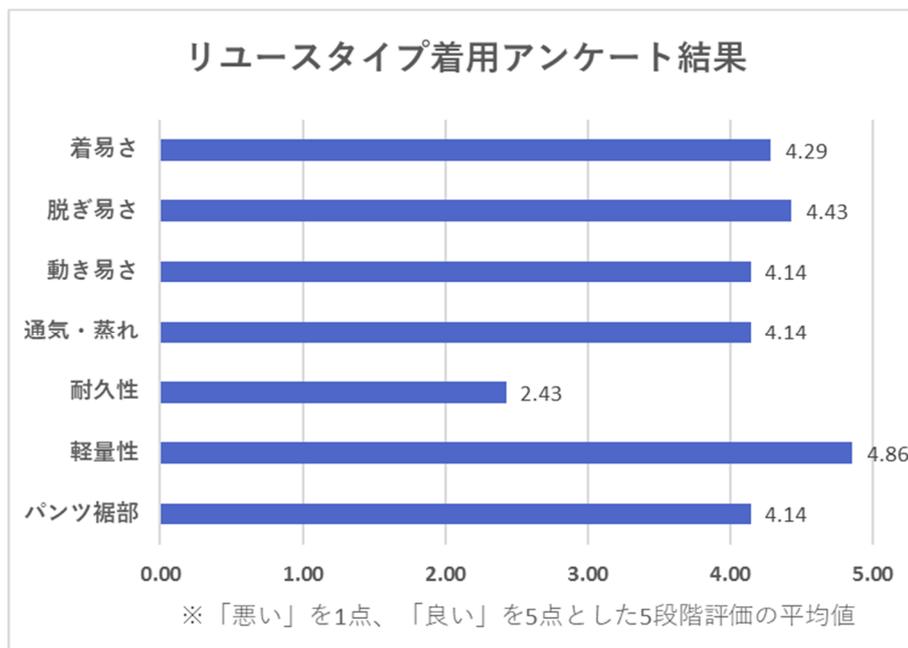


図 11 リユースタイプ着用アンケート結果

考察

ディスポタイプ

背面に配したメッシュ生地を通気性向上効果は、非常に大きく参加した救急隊員全員から高い評価を得た反面、着衣に時間がかかる、脱衣もしにくく低評価であった。感染防止効果の向上の為に、前面からファスナーを無くす被り式にしたデザインでは、実用的ではなく隊員の機動性を損なう結果となった。

リユースタイプ

耐久性以外のほぼ全ての項目で、非常に高い評価を得た。デザイン面では背面のベンチレーション機能や、ズボンに配した通気口でも冷却効果を実感出来る結果を得た。さらに、素材面では軽量化による冷却効果の実感と、ストレッチ性による作業性の向上や動きやすさなど高い評価を確認出来た。

まとめ

ディスポタイプ・リユースタイプの感染防止衣について、米国基準 AAMI/PB70 で最も感染防止性能の高いレベル 4 のウィルスバリア性・血液バリア性を維持し、素材の軽量化・透湿性向上・ストレッチ性付与によって体感温度の低減及び活動時の疲労軽減を図ることを目標にプロトタイプを開発した。

ディスポタイプでは、バリア性能の向上の為に中間層にバリアフィルムを配置する事で血液・ウィルスバリア性能を確保した。

リユースプロトタイプでは、従来品と同じ 3 層で構成、中間層に伸縮性に優れたポリカーボネート系ポリウレタン樹脂を用いた微多孔のバリアフィルムを配置し表地・裏地にも伸縮性のあるトリコット編地を使用した。なお、ディスポ・リユースとも背面にベンチレーション機能を付加した。

フィールドテスト結果では、背面からの感染リスクに不安を感じる意見もあったが、ディスポタイプ・リユースタイプ共に背面のベンチレーション機能による冷却効果が高い事を確認出来た。

今後の改良を進める上で、感染リスクの高い部位と低い部位を区別し、感染リスクの高い部位では徹底した感染防止仕様の検討を進め、感染リスクの低い部位へは更に冷却効果を高める仕様を検討し、感染防止能力の高いレベルの維持と軽量化や伸縮性、耐久性の向上を進め、初期の目標を達成出来る感染防止衣の開発を行う必要がある。

2 救急活動時の感染防止衣プロトサンプルと既製品着用時の生理的・主観的評価

プロトサンプルの性能及び着用時の体感や着心地について既製品と比較するため生理的・主観的評価にした。

対象

広島県東広島市消防局救急隊員 1 2 名。

方法

日本で暑い地域である埼玉県熊谷市の 7 月平均気温・湿度（気象庁データ：温度 29.6 度、湿度 72%）を恒温室でヒーター及び加湿器で再現した。救急活動は定点評価が可能でかつ救急活動中運動強度が高い胸骨圧迫を 5 分間実施した。運動強度は、レサシアン QCPR（レールダル社：ノルウェイ）のモニター画面を確認し、胸骨圧迫の回数 100 回/分、深度 5~6 cm、リコイル完全として統一した。胸骨圧迫実施後に別室で空調設備やスポットクーラーで救急車内の気温・湿度・風速（救急車停車時、リアクーラーHI）の状況（温度約 22.0 度、湿度約 40%、風速約 0.3~0.6m/sec）を設定し休息した状態で、それぞれ 5 分間生理的・主観的指標を測定した（図 1）。なお、感染防止衣の着用順はランダム化した。

生理的指標は救急活動中（処置中）と救急車内（処置後）に、心拍数・鼓膜温を 5 分間 30 秒ごとに測定した。主観的指標は運動強度（ボルグスケール）、暑さ・動きやすさ・涼しさ（5 段階のリッカー度尺度）で評価した（表 1）。

生理的指標については心拍数・鼓膜温は胸骨圧迫開始時の測定値を基準値とし、その後の温度変化の推移の平均値で、主観的指標についてはそれぞれ中央値で表した。

プロトサンプルの実験的評価

鼓膜温・心拍数測定（客観的評価）、運動強度・暑さ・動きやすさ（主観的評価）



図 1 実験概要

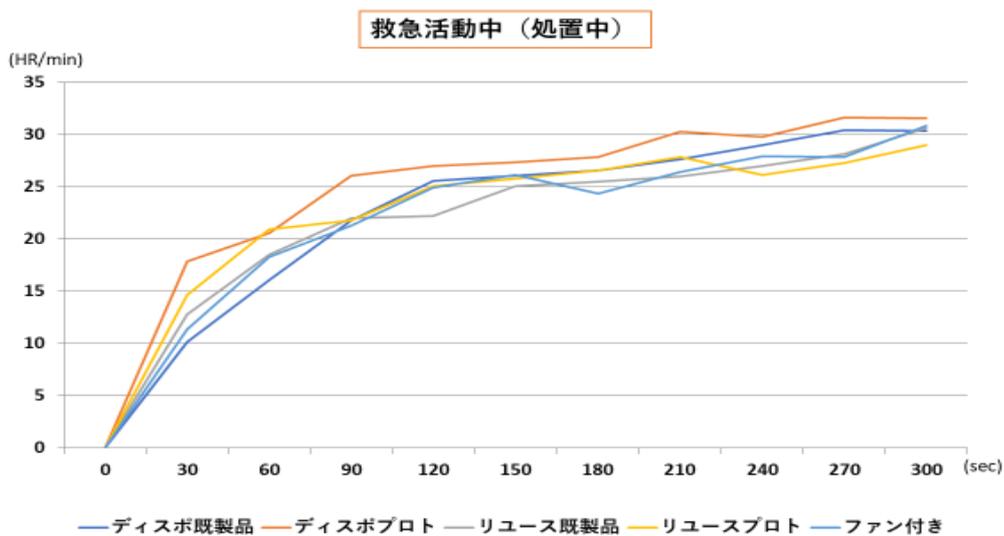
表1 主観的評価方法

処置中														
暑さについて														
全く暑くない			暑くない			普通			暑い			非常に暑い		
1			2			3			4			5		
動きやすさについて														
非常に動きにくい			動きにくい			普通			動きやすい			非常に動きやすい		
1			2			3			4			5		
運動強度について														
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	非常に楽		かなり楽		楽		ややきつい		きつい		かなりきつい		非常にきつい	我慢できない
処置後														
暑さについて														
全く暑くない			暑くない			普通			暑い			非常に暑い		
1			2			3			4			5		
涼しさについて														
全く涼しくない			涼しくない			普通			涼しい			非常に涼しい		
1			2			3			4			5		

結果

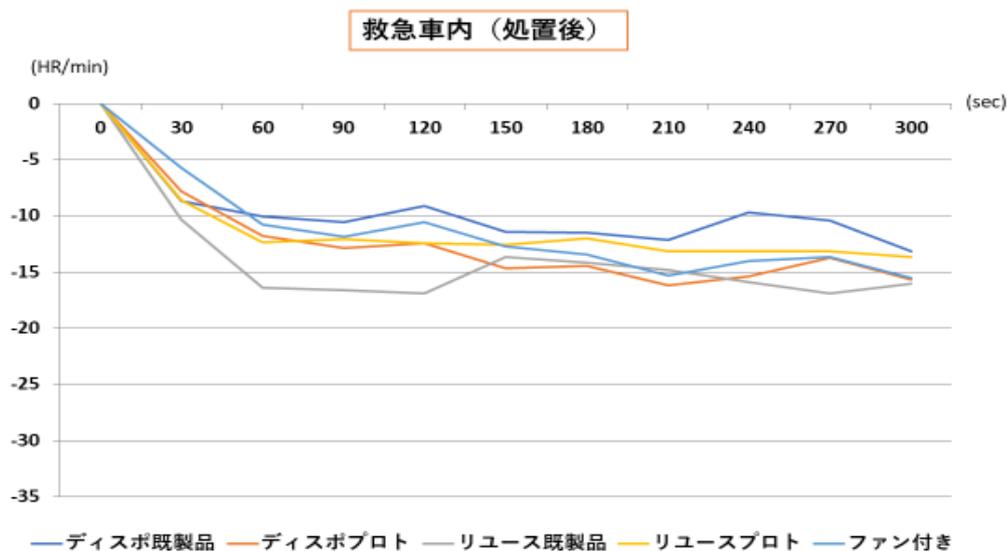
心拍数について

既製品とプロトサンプル、ファン付き全てにおいて胸骨圧迫開始から徐々に高くなり、処置後は徐々に低下しが、大きな差は認められなかった（図2、3）。



心拍数平均値を基準に上昇・低下の平均値の推移を示す

図2 救急活動中（処置中）の心拍数の比較



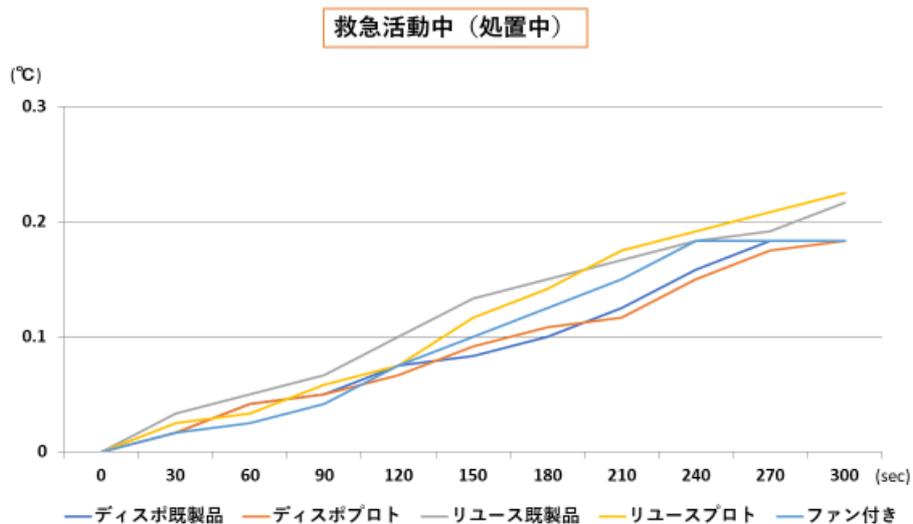
心拍数平均値を基準に上昇・低下の平均値の推移を示す

図3 救急車内（処置後）の心拍数の比較

鼓膜温について

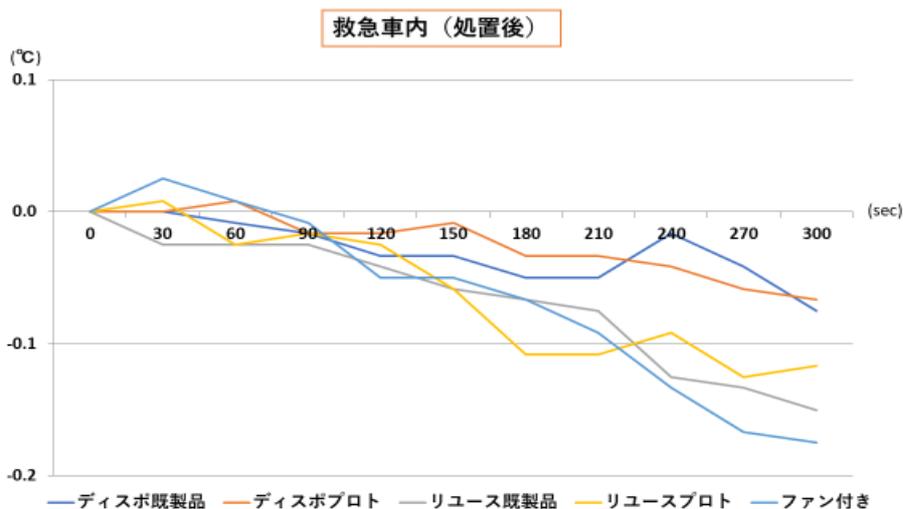
既製品とプロトサンプル、ファン付き全てにおいて胸骨圧迫開始から徐々に高くなり、処置後は徐々に低下しが、大きな差は認められなかった。

ファン付きが他よりの鼓膜温の低下が早いことが認められたが、その差は 0.05°C 程度であった (図 4、5)。



鼓膜温の平均値を基準に上昇・低下の平均値の推移を示す

図 4 救急活動中 (処置中) の鼓膜温の比較



鼓膜温の平均値を基準に上昇・低下の平均値の推移を示す

図 5 救急車内 (処置後) の鼓膜温の比較

暑さ・動きやすさ・涼しさについて

暑さについては、リユース既製品が最も暑く感じファン付きが最も暑さを感じていなかった。動きやすさはディスポプロトタイプ、リユースプロトタイプの評価が高く、涼しさはファン付きが最も涼しさを感じ、リユース既製品が最も涼しさを感じていなかった。既製品とプロトタイプの比較では、暑さ・動きやすさ・涼しさともプロトタイプの評価が高かった（図6）。

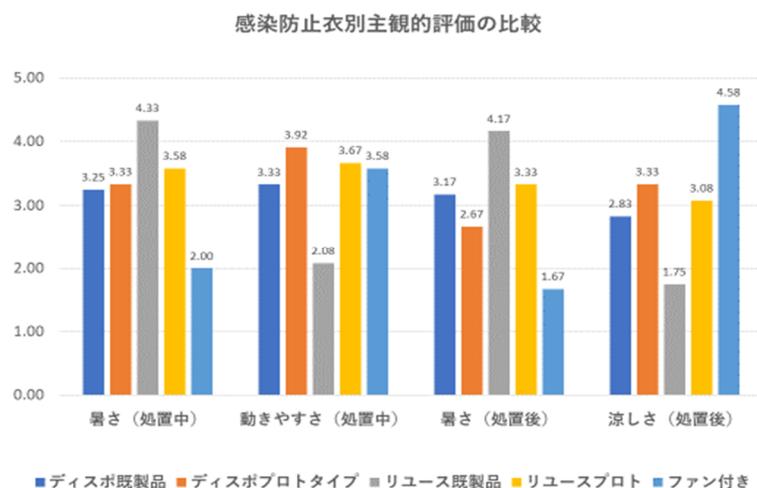


図6 主観的評価の比較

運動強度について

運動強度はファン付きが最も低く、既製品とプロトタイプの比較ではディスポ・リユースとも既製品に比べプロトタイプの方が低かった（図7）。

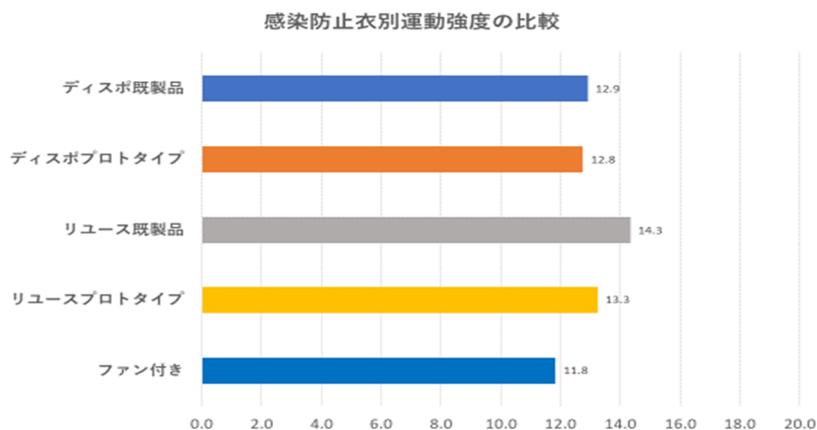


図7 運動強度の比較

救急活動で着用したい順について

救急活動で着用したい順ではファン付き、ディスポプロトサンプル、リユースプロトサンプルの順であった。着用したい順1, 2の合計では、ディスポプロトサンプルが最も多かったが、ファン付きはファンの脱落や活動時に支障をきたす恐れがあるなど、市販されている製品では直ぐに着用し活動することに不安があるとのコメントがあった(図8)。

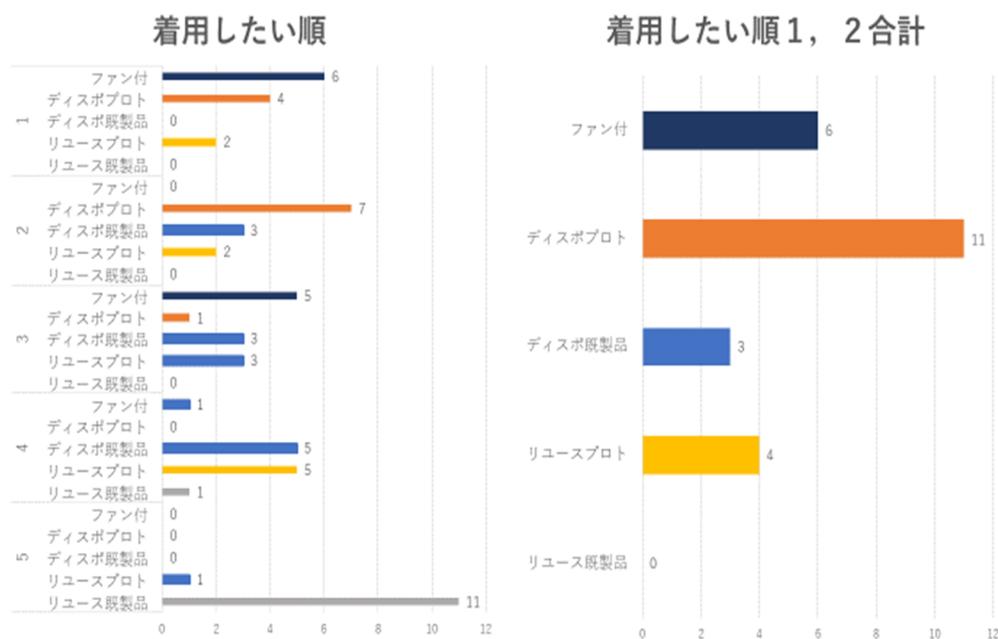


図8 感染防止衣の着用したい順

以上のことから、生理的評価についてプロトサンプルは既製品に比べ差はなかったが、主観的評価ではディスポ・リユースとも既製品に比べ運動強度・動きやすさ・涼しさが優れている結果となった。

考察

生理的指標について大きな差が認められなかったのは、生体反応である恒常性(ホメオスタシス)の働きによるものと考えられる。健常者では体温上昇に伴い自律神経系の働きによる発汗と血管拡張により熱を放散し体温低下するという機能が働く。このため心拍数は上昇するが、発汗した後に効果的に熱放散を行うことで体温低下させることが重要となる。

今回の結果では、ファン付きが最も涼しさを感じていることから、感染防止衣の中で蓄熱した空気を強制的に循環させることで汗を気化させ熱放散が行えたと考える。しかし、着用したい順の1, 2でファン付きの評価が低かった。コメントとして活動時の動きへの干渉や

ファンの脱落等の懸念があり、ファン付きの感染防止衣を開発するにはこれらの防止策を講じる必要がある。

プロトタイプはクリティカルゾーン以外の背面にベンチレーション機能を付加させている。これらのベンチレーション機能から外気が流入することで既製品に比べ効果的に熱放散ができたと考えられる。

まとめ

感染防止衣の既製品とプロトタイプについて暑熱環境を再現し、生理的・主観的に評価した。生理的評価については生体の恒常性機能の働きにより差は生じなかったが、主観的評価については既製品に比べプロトタイプの評価が高かった。この理由として、クリティカルゾーン以外の背面にベンチレーション機能を付加させたことで、外気の流入が可能となり既製品に比べ効果的に熱放散ができたと考えられた。

3 感染防止衣の交換と汚染状況に関する調査

医療従事者は感染防止対策として個人防護具(Personal Protect Equipment:以下、PPE)を着用する。血液や体液など湿性感染源から体幹部を保護するためのガウンについて、米国では食品医薬品局 (Food and Drug Administration :FDA) により、米国医療機器振興協会 (Association for the Advancement of Medical Instrumentation :AAMI) のバリア性能試験、分類及び性能を示す基準として正式に承認され、クリティカルゾーンとして箇所ごとの汚染リスクに合わせて必要なバリア性が示されており、医療機関では手術や処置など用途に合わせたガウンが選定されている (図1)。

一方、救急隊は PPE として感染防止衣を着用するが、救急現場活動では感染防止衣が汚染する箇所や感染源等については明らかにされていないことから、感染症のリスク軽減と夏季における冷却効果の改善を検討するために、救急隊の感染防止衣の汚染箇所を把握した。

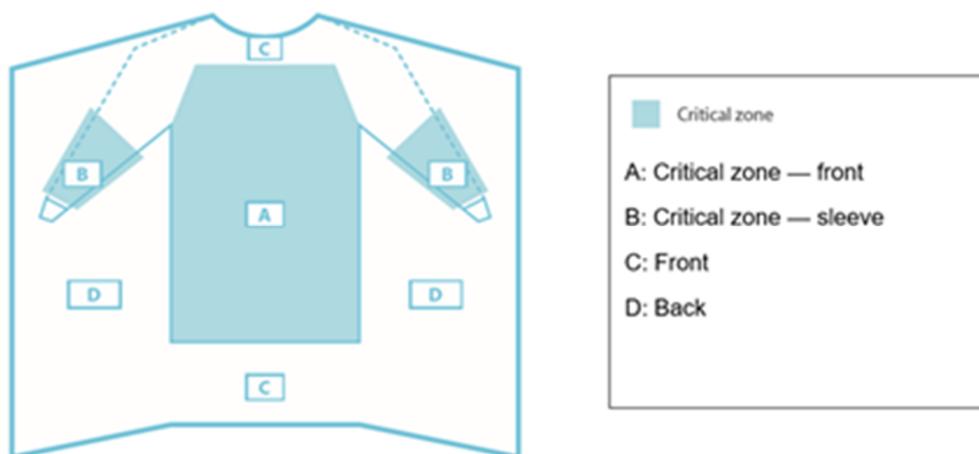


図1 ガウンのクリティカルゾーン (引用：AMMI PB70)

目的

救急活動時の感染防止衣の汚染状況の現状を把握すること。

対象

調査協力が得られた札幌市消防局、千葉市消防局、神戸市消防局の救急隊員 922 名。

方法

救急隊の1ヵ月間の汚染箇所と感染防止衣の交換状況について自記式のアンケート調査を実施した (表1)。入力及び集計は Excel 様式を使用し、感染防止衣交換時の汚染源及び汚染部位をプロットした。

表1 アンケート調査票

感染防止衣の交換と汚染状況に関する調査

※本アンケートにおいて、個人が特定される事はございません。
 ※研究成果を発表する場合などにおいて、消防本部名も特定いたしません。
 ※なんらかの事由により回答を撤回したい場合において、ご連絡があれば即座に撤回できます。
 ※お手数ですが、「1交換ごと」に回答をお願いします。
 ※回答は別シート<調査票>にてお願いします。

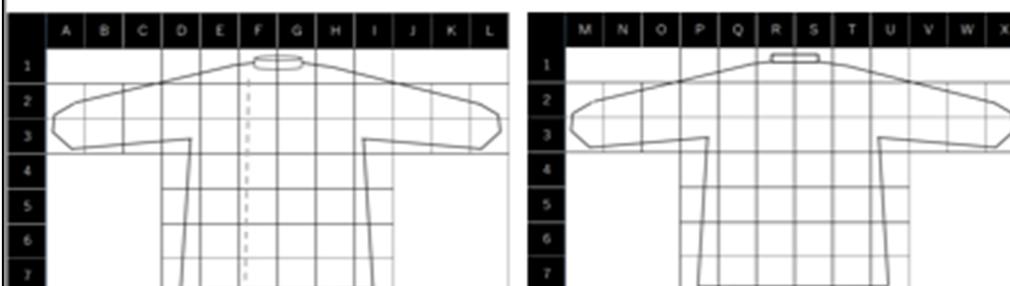
Q1：感染防止衣を交換した理由について教えてください。
 (その他の場合は、具体欄に記載ください)

- | | | |
|---|----------------------|------|
| ① | 汚染のため | Q2へ |
| ② | 破損(破れなど)のため | 終了です |
| ③ | 汚染・破損はないが感染危険と判断したため | 終了です |
| ④ | 定期交換 | 終了です |
| ⑤ | その他(具体欄へ) | |

Q2：救急出動等において、感染防止衣が汚染した箇所を教えてください。
 (下図<別シートあり>を参考に、リストから選んでください)

前面

後面



Q3:汚染と判断した原因を教えてください。

- | | | |
|---|-----------|------|
| ① | 血液 | 終了です |
| ② | 嘔吐 | 終了です |
| ③ | 飛沫 | 終了です |
| ④ | その他(具体欄へ) | |

結果

各本部の調査期間等の概要を表2に示す。総救急隊数は93隊、出動件数は合計22,171件であった。この間の感染防止衣の交換は1,574回で、感染防止衣の汚染による交換は124回であった(表3)。

表2 隊数、出動件数、調査期間

	隊数 (隊)	正隊員数 (人)	出動件数 (件)	調査期間
札幌市消防局	34	283	9,508	2021.8.1から 2021.8.31まで
千葉市消防局	26	312	5,137	2021.8.10から 2021.9.9まで
神戸市消防局	33	327	7,526	2021.8.1から 2021.8.31まで
合計	93	922	22,171	

表3 感染防止衣の交換回数

交換理由	交換回数
汚染・破損はないが感染危険と判断したため	1,128
汚染のため	(内訳) 血液：70 吐物：13 飛沫：23 その他：20
	※汚染理由に重複あり
定期交換のため	203
破損のため	30
その他の交換	(内訳) 汗：46 腐敗臭：6 イベント対応：5 CPA事案：1 毛玉発生：1
	59
合計	1,574

感染防止衣の総汚染状況を図2に示す。感染防止衣の汚染箇所は、前面に顕著であり後面の汚染は少なかった。前面の汚染は、前腕部が最も多く、次いで腹部、胸部であった。後面の汚染については、前腕部や側腹部、腰部付近には少数確認できたが、背部の汚染は認められなかった。

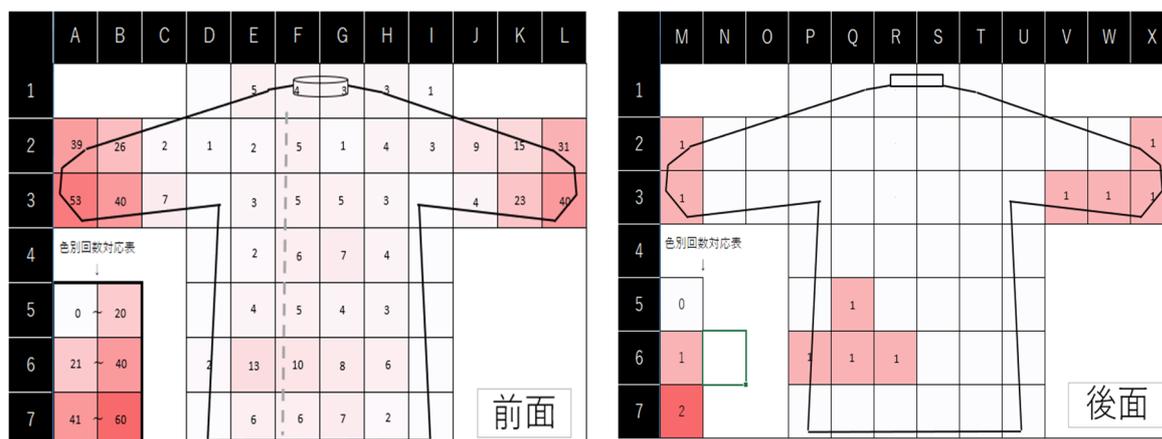


図2 感染防止衣の汚染状況（左：前面、右：後面）

汚染源別（血液汚染：図3、吐物：図4、飛沫：図5、その他：図6）の感染防止衣汚染部位を以下に示す。

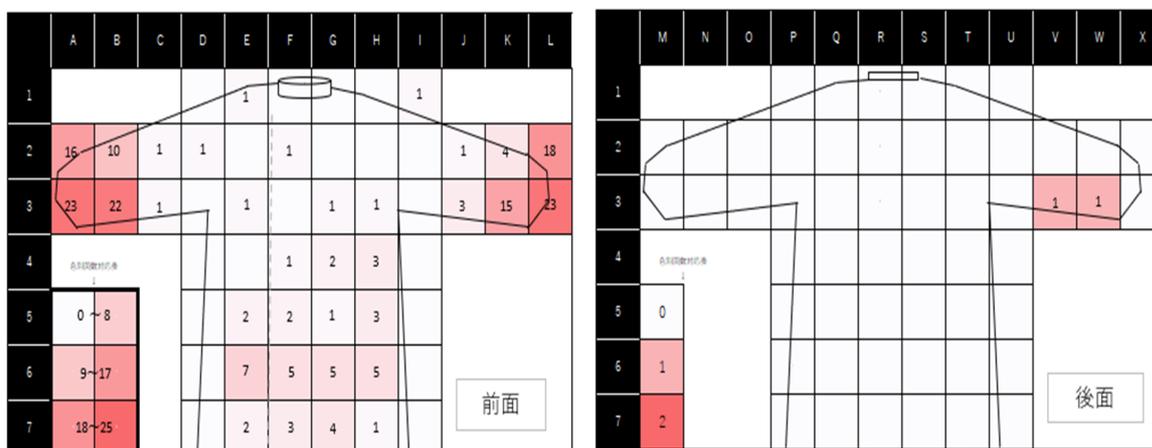


図3 血液汚染の感染防止衣の汚染状況（左：前面、右：後面）

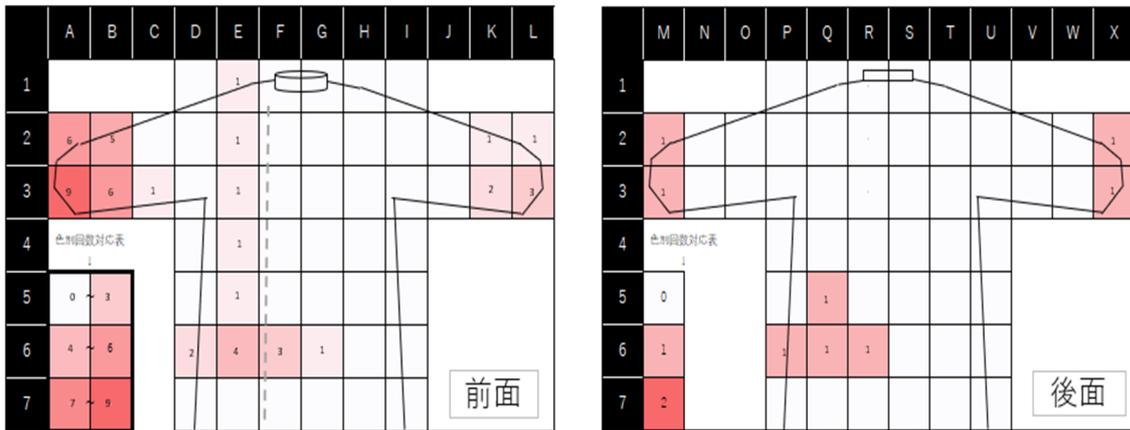


図4 吐物汚染の感染防止衣の汚染状況（左：前面、右：後面）

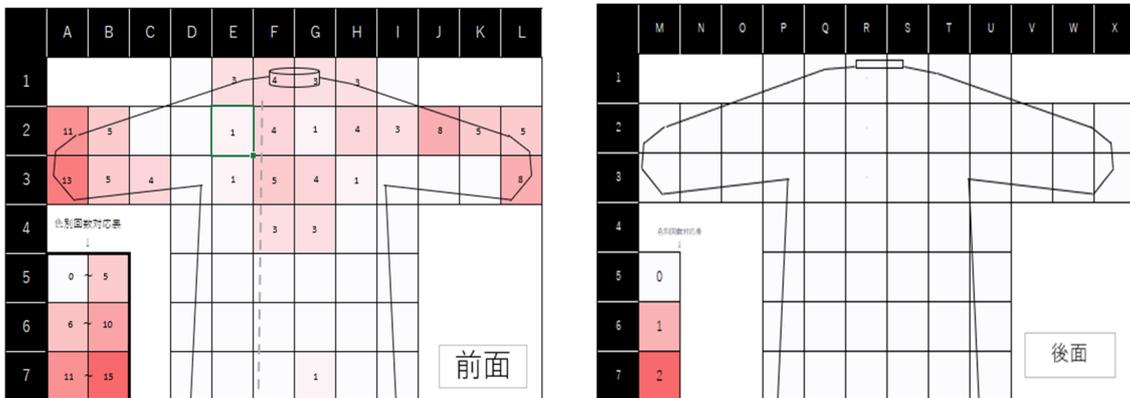


図5 飛沫汚染の感染防止衣の汚染状況（左：前面、右：後面）

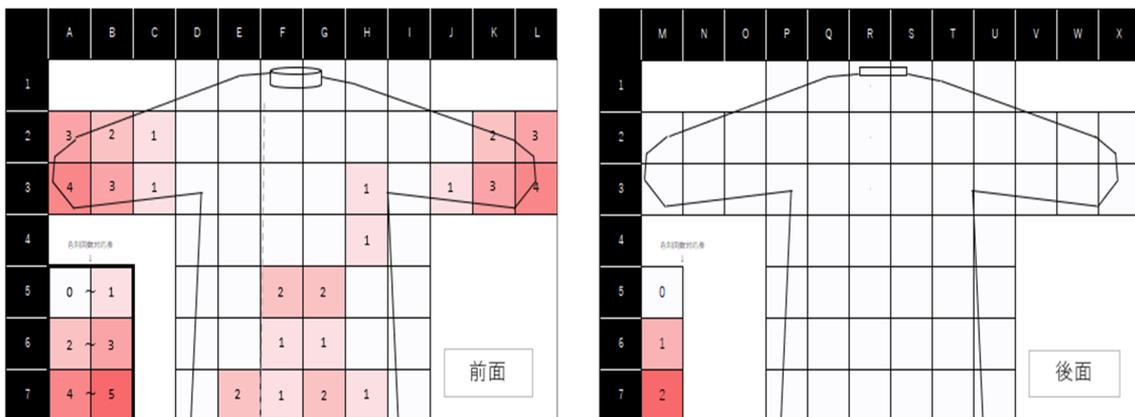


図6 その他の汚染の感染防止衣の汚染状況（左：前面、右：後面）
その他の理由は、傷病者に付着していた油など、失禁、泥、浸出液等

考察

救急活動では、観察・処置・ストレッチャーへの移乗時などに両前腕部が直接傷病者に密着することが多く、傷病者を背面に位置し活動する状況は考えにくい。そのため背面については血液、嘔吐及び飛沫などに曝露する可能性は極めて低いと考えられる。

これらのことから、背面汚染リスクは皆無とは言えないが、延べ救急隊員数は最低66,513人（22,171件×最低3名）の活動結果であることを考慮すると、背面汚染リスクは限りなく低いことが示唆された。

背面が汚染される活動としては、支持搬送（傷病者の上肢を救急隊員の肩部に回す）や背負い搬送が考えられる。しかし、吐血や外出血、嘔吐の緊急性の高い傷病者では、傷病者の負担軽減のためにもターポリン担架等の搬送資器材を用いた移動を選択することが多く、仮に傷病者の希望で背負い搬送などを選択した場合であっても、その場合の緊急性は高くないと考えられるため、通常の感染防止衣への交換や背負い部分や肩部へ養生シートを入れることで汚染リスクを軽減させる対応が可能であると考えられる。

よって、感染防止衣の感染リスク軽減と救急隊員の暑熱環境対策のために、背面にチャックを設けることやメッシュ状態とするベンチレーター機能を設けることの妥当性はあると言える。

まとめ

救急現場活動時の感染防止衣の汚染状況をアンケート調査により確認した。汚染による感染防止衣の交換の頻度は低かった。また、背部の汚染は確認されなかった。よって、暑熱環境対策のために、背面にベンチレーション機能を付加することは妥当であると考えられる。

4 感染防止衣汚染状況のシミュレーション実験

救急現場活動時の感染防止衣汚染状況アンケート調査結果から、感染防止衣は背面の汚染リスクが低いことが判明した。傷病程度や飛沫による汚染状況については不明であるため、救急活動における汚染状況の詳細を確認した。

目的

救急活動時の感染防止衣の汚染機序と面積を可視化し汚染状況を確認すること。

対象

救急救命士を含む救急隊員有資格者 9 名。

方法

感染防止衣が汚染した症例の想定（感染症症例：飛沫、交通外傷症例：血液、吐物症例：嘔吐）のシミュレーションを以下の条件で行った。訓練人形を感染傷病者に見立て、血液・嘔吐を染色グリセリン（グリセリン 450cc に対して顔料 50cc）を全身に 150ml 塗布し、咳や会話中の飛沫曝露は、染色グリセリン（水 1L に対し塩化ナトリウム 12g グリセリン 76g）を模擬飛沫発生装置（図 1）により吐しゃした。感染防止衣は、視認性を高めるため感染防止衣同等大の白色トレーナー（ユニチカ製）を着用し、所属消防本部のプロトコルに準拠した活動で、1 隊 3 名が 3 想定、計 9 回のシミュレーションを行った（図 2）。

汚染状況は、汚染付着した感染防止衣（白色トレーナー）を写真撮影後（図 3）、汚染面積をデジタル解析（Micro Visual Basic：輝度分布測定プログラム）し定量評価した。数値は面積 cm^2 で平均±標準偏差で表した。



図 1 飛沫発射装置

参考：尾方壮行，他：模擬咳発生装置による飛沫沈着量分布の測定.日本建築学会環境系論文集，83.743 (2018): 57-64.



図2 実験概要（交通外傷症例）



図3 感染防止衣（白色トレーナー）の汚染状況の例（上：前面・下：後面）

結果

各想定役割別（隊長・隊員・機関員）の汚染面積を表1に示す。

いずれの想定も、前面の汚染面積が多く、後面の汚染面積は少なかった。役割別では、全ての想定で隊長が最も多く汚染していた。

また、アンケート調査（研究2）で使用した感染防止衣図を用い、シミュレーション実施後の感染防止衣の汚染箇所をプロットしたものを図4に示す。

表1 想定別各役割の汚染面積

(cm²±標準偏差)

	感染症症例		交通外傷症例		嘔吐症例	
	前面	後面	前面	後面	前面	後面
隊長	96.4 ± 34.3	6.1 ± 2.7	187.6 ± 75.4	26.1 ± 7.7	215.4 ± 104.8	26.6 ± 11.6
隊員	38.2 ± 22.1	7.5 ± 5.2	16.9 ± 20.6	12.1 ± 10.4	53.1 ± 34.9	5.6 ± 2.4
機関員	32.0 ± 23.4	12.3 ± 14.0	120.4 ± 26.1	8.0 ± 5.7	47.1 ± 45.7	8.0 ± 4.0

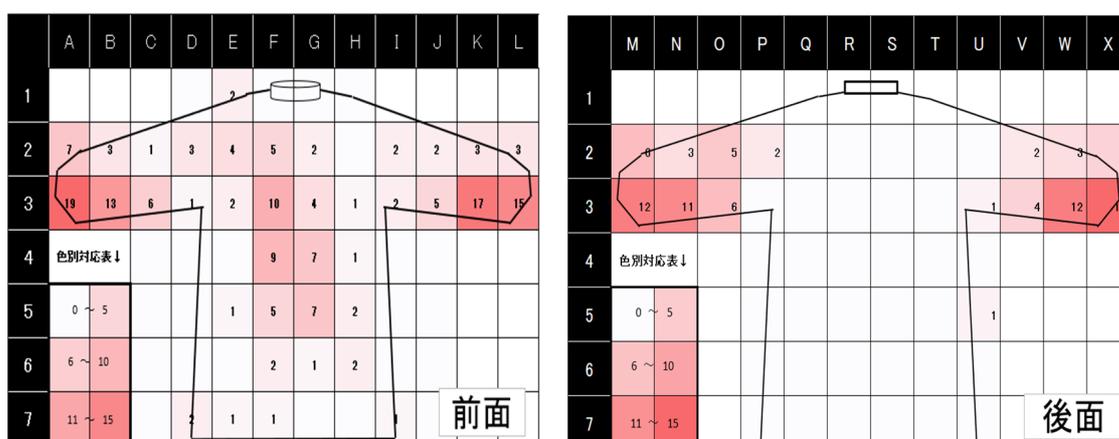


図4 感染防止衣汚染箇所

考察

救急隊の役割により汚染面積に差が生じた要因について、感染症症例では隊長の活動として初期評価や問診のため傷病者との距離がもっとも近くなるためであり、飛沫による汚染が多かった。飛沫は咳やくしゃみ以外に会話でも生じる。今回、会話可能な傷病者の想定では隊長の問診に対して飛沫発射装置から飛沫を吐しゃしており、問診時に傷病者からの飛沫を曝露している結果となった。

交通外傷症例では、隊員の汚染面積が最も少なかった。これはバックボードへの移乗の際に頭部固定を行っているため頭部保持の手が主に汚染される。一方で隊長や機関員は傷病者をバックボード中心に移動させるため両前腕を密着させるため、前腕部を中心に汚染面積が大きくなったと考えられる。

嘔吐症例では、胸部の汚染が大きかった。これはトイレ個室を想定し狭隘な場所としていたため、活動スペース移動の際に傷病者の背部に回り込み前腕保持した活動を行ったためである。

感染防止衣の汚染箇所では、アンケート調査結果と同様に背部の汚染は認められず、両上肢に汚染がみられ、特に両前腕部に顕著な汚染が、また胸腹部の汚染も認められた。両上肢や胸腹部は傷病者を搬送資器材へ移乗する際に傷病者と密着する箇所であり汚染しやすい箇所である。

シミュレーションは、実際の救急活動に準拠して実施した。全身に汚染源を付着しているなど、汚染リスクを高めたものであったが、背面への汚染は認められていなかったため、救急活動において背面の汚染リスクは低いと言える。

今回の結果からも感染防止衣の汚染箇所は前面に多く認められ、特に前腕部の汚染が顕著であった。一方で、後面の汚染でも前腕部が多く、背面では認められなかった。これらのことから、背面にベンチレーター機能を設けることは妥当であると考えられる。また、前腕部や前胸部の汚染が多いことを考慮すると、既存感染防止衣では往々にして袖口や前面チャックのカバーやポケット部にマジックテープを採用しているケースが見受けられるが、マジックテープは血液や吐物を吸着してしまうため、袖口ではゴム絞式を採用すべきであると考えられる。

まとめ

感染リスクが高い症例のシミュレーションを実施し、汚染機序と汚染面積を可視化し汚染状況を確認した。

感染防止衣の汚染箇所は前面に多く認められ、特に前腕部の汚染が顕著で、後面の汚染でも前腕部が多く、背面では認められなかった。

よって、背面にベンチレーター機能を設けることは、感染リスクと暑熱環境対策の双方の観点から妥当であると考えられた。

5 プロトサンプルの改良

「感染防止衣の交換と汚染状況に関する調査」、「感染防止衣汚染状況のシミュレーション実験」の結果から以下の改良を行う。

ディスポタイプ

感染防止衣の汚染箇所が前面及び前腕部に多く認められたクリティカルゾーンの感染防止能力を向上させるためファスナー部に被いを付け、縫製を変更した。

縫製のポイント

- 1 前面に配置されたポケットのミシンの穴からの血液や体液等の湿性感染源の侵入を防ぐため、ポケットの取り付けを超音波縫製とする。



従来品ポケット ミシン縫製
(ミシン穴有り)



開発品ポケット 超音波縫製
(ミシン穴無し)

- 2 袖の部分も同様に超音波縫製を実施し、ミシン穴からの湿性感染源の侵入を防ぐ。

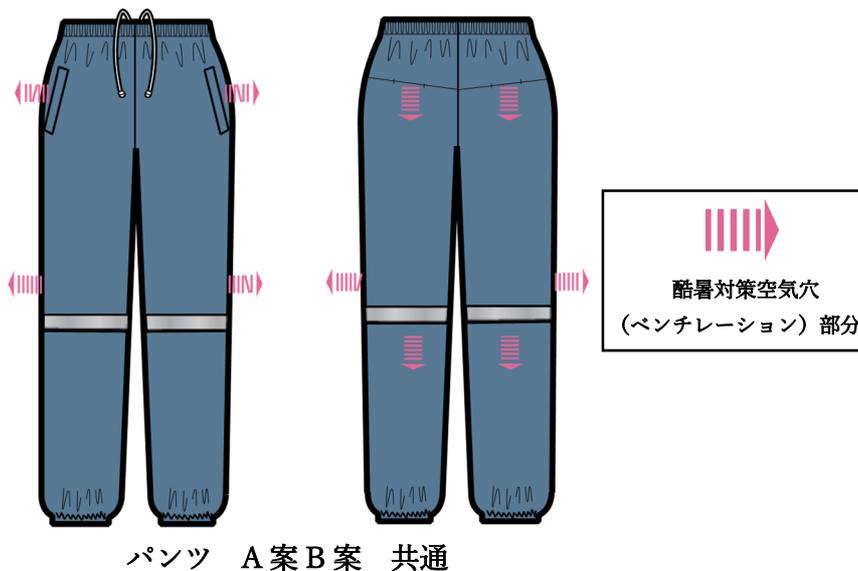
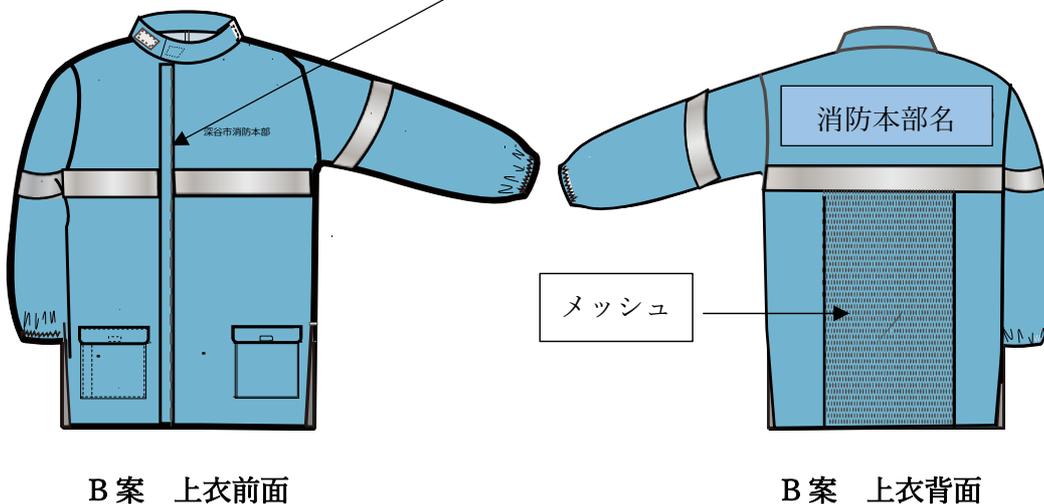
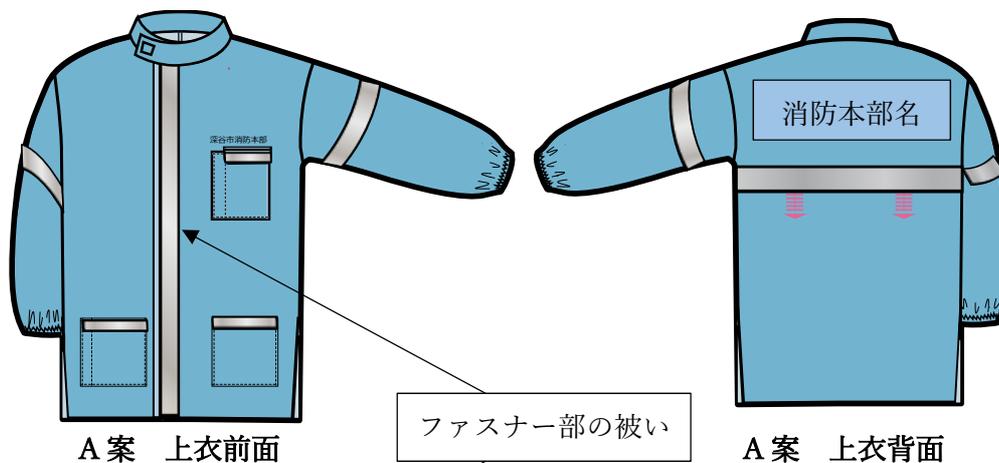


従来品袖 ミシン縫製
(ミシン穴有り)



開発品袖 超音波縫製
(ミシン穴無し)

デザイン



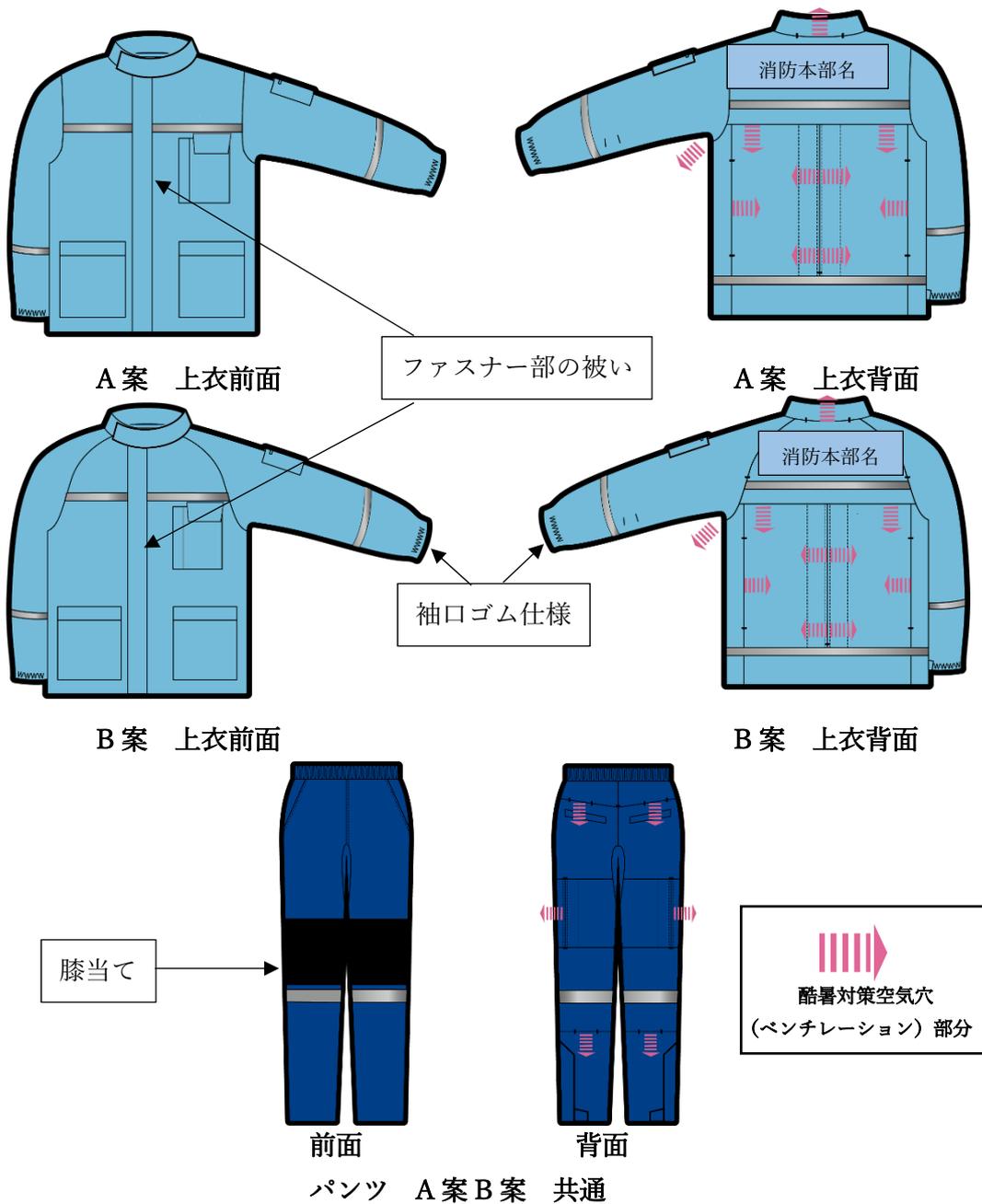
リユースタイプ

夏季はファスナーを開放し背面のベンチレーション機能を高め、その他の時期はファスナーを閉じ通年で使用できる仕様にした。

改良のポイント

- 1 汚れが付着し易く感染の要因になる箇所について、上衣ファスナー部の汚染防止にファスナーの被いを付け、袖口のマジックテープをゴム仕様にする。
- 2 立て膝での作業に対して、パンツ膝部分に強度のある当て布を使用する。

デザイン



おわりに

感染防止能力・夏季における冷却性等に優れた能力を有する感染防止衣の開発を行った項目別の結果を以下に示す。

1. 暑熱環境対応感染防止衣プロトサンプルの開発

ディスポタイプ・リユースタイプの感染防止衣について、感染防止性能を維持し、冷却性等の向上を目標にプロトタイプを開発した。ディスポタイプでは、バリア性能の向上の為に中間層にバリアフィルムを配置する事で血液・ウイルスバリア性能を確保した。リユースプロトタイプでは、従来品と同じ3層で構成、中間層に伸縮性に優れたポリカーボネート系ポリウレタン樹脂を用いた微多孔のバリアフィルムを配置し表地・裏地にも伸縮性のあるトリコット編地を使用した。なお、ディスポ・リユースとも背面にベンチレーション機能を付加した。

2. 感染防止衣プロトサンプルと既製品着用時の救急活動時の生理的・主観的評価

感染防止衣の既製品とプロトタイプについて暑熱環境を再現し救急活動時の評価を行った。生理的評価については生体の恒常性機能の働きにより差は生じなかったが、主観的評価については既製品に比べプロトタイプの評価が高かった。この理由として、クリティカルゾーン以外の背面にベンチレーション機能を付加させたことで、外気の流入が可能となり既製品に比べ効果的に熱放散ができたと考えられた。

3. 感染防止衣の交換と汚染状況に関する調査

救急現場活動時の感染防止衣の汚染状況をアンケート調査により確認した。汚染による感染防止衣の交換の頻度は低かった。また、背部の汚染は確認されなかった。よって、暑熱環境対策のために、背面にベンチレーション機能を付加することは妥当であると考えられた。

4. 感染防止衣汚染状況のシミュレーション実験

感染リスクが高い症例のシミュレーションを実施し、汚染機序と汚染面積を可視化し汚染状況を確認した。感染防止衣の汚染箇所は前面に多く認められ、特に前腕部の汚染が顕著で、後面の汚染でも前腕部が多く、背面では認められなかったことから、背面にベンチレーター機能を設けることは、感染リスクと暑熱環境対策の双方の観点から妥当であると考えられた。

5. プロトサンプルの改良

感染防止衣の汚染箇所が前面及び前腕部に多く認められたクリティカルゾーンの感

染防止能力を向上させるため以下の改良を行う。

ディスポタイプは、上衣ファスナー部の汚染防止にファスナーの被いを付け前面に配置されたポケットや袖部分のミシンの穴からの血液や体液等の湿性感染源の侵入を防ぐためポケットの取り付けを超音波縫製とする。

リユースタイプは、汚れが付着し易く感染の要因になる箇所について、上衣ファスナー一部の汚染防止にファスナーの被いを付け、袖口のマジックテープをゴム仕様にする。

また、立て膝での作業による劣化防止のためパンツ膝部分に強度のある当て布を使用する。

謝辞

本研究に協力して頂きました、深谷市消防本部、東広島市消防局、出雲市消防本部、札幌市消防局、千葉市消防局、神戸市消防局の皆様に深くお礼申し上げます。

研究体制

研究代表者 ユニチカトレーディング株式会社 技術開発部
部長 山田 博夫

研究分担者 広島国際大学 保健医療学部 救急救命学科
教授 安田 康晴

研究支援者 深谷市消防本部 消防課
課長補佐 伊藤 義浩

広島国際大学 保健医療学部 医療技術学科
教授 二宮 伸治

広島国際大学 保健医療学部 救急救命学科
准教授 佐々木 広一

広島国際大学 保健医療学部 救急救命学科
講師 坂口 英児