

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 1 日現在

機関番号： 13601  
 研究種目： 挑戦的萌芽研究  
 研究期間： 2009～2011  
 課題番号： 21650191  
 研究課題名（和文） 軽量・快適，安全・安心に向けた防刃被服の高機能化設計および評価法の開発  
 研究課題名（英文） Studies on blades proof clothing for comfort, lightweight, safe and secure and Development of its evaluation method  
 研究代表者  
 森川 英明（MORIKAWA HIDEAKI）  
 信州大学・繊維学部・教授  
 研究者番号： 10230103

研究成果の概要（和文）： 日本で多発する刃物による傷害（事件）に対応するため，軽量で快適な防刃被服について検討を行った．研究は，防刃性能の工学的評価法の確立，高性能ナノ材料および複合層構造による貫通遮断機構の開発，防刃被服の温熱環境評価と改善法の検討，被服構成学に基づく防刃被服の評価・構造設計，の 4 つの側面から行った．その結果，防刃材料の開発に必要な物理量による評価手法を構築すると共に，防刃用繊維材料，防刃衣服の冷却機構などの提案が可能となった．

研究成果の概要（英文）： We were studied about an lightweight and comfortable blade-proof (stab resistance) clothing. In this study, we proceeded to consider the four aspects as follow. (1) Establishment of an evaluation method for blade-proof performance of materials. (2) Development of a high-performance nano-materials and composite for layer structure. (3) Study on a thermal environment evaluation and development of a body cooling clothing. (4) Evaluation of mobility for blade-proof clothing by *Kansei engineering*. As a result, we were able to construct a physical evaluation method required for the development of blade-proof materials. And we also developed a cooling mechanism of the blade-proof clothing for human comfort.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,400,000	0	1,400,000
2010 年度	700,000	0	700,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	270,000	3,270,000

研究分野： 総合領域（生活科学）

科研費の分科・細目： 生活科学・生活科学一般

キーワード： 衣環境，衣生活，安心安全，繊維材料，防弾防刃

## 1. 研究開始当初の背景

「防弾防刃衣服」は，警察官，警備員，機動隊など危険を伴う特定の職業従事者が使用する被服として用いられているが，現在，警察官だけでも約 25 万人（警察庁および事

務職を除く）おり，交番勤務，捜査活動時には防刃服が日常的に着用されている．着用者からは，弾丸や刃物から「全身」を守れないという不安感や，重い・動作しにくい・暑いなどの快適性に関する問題が以前から指摘されているが，具体的な解決の方策はとられ

ていない。一方、2001年の附属池田小事件（23名殺傷）から、最近の茨城連続殺傷事件（2008年3月、8名殺傷）、八王子通り魔事件（2008年7月、3名殺傷）、秋葉原連続殺傷事件（2008年6月、12名殺傷）まで、刃物を使った無差別殺傷事件が、近年日本国内でも多発している。このような不特定多数を対象とした殺傷事件は社会不安を醸成しており、市民の安心・安全を確保できる社会の構築が重要課題となっている。

上記の様な事件から身体を保護する「防弾防刃衣服」は19世紀末にアメリカではじめて開発され、シルク製からナイロン、さらにKevlar等の高強度高弾性繊維を利用したものへと変遷し、現在ではアラミド系、PBO系の高強度繊維や金属板を埋め込んだものが主に使用されている。防弾防刃衣服の研究開発は、当初からアメリカを中心に進められてきたが、日本においては特段の研究開発は行われておらず、欧米の技術を取り入れた製品を関係機関（警察庁、防衛省等）が調達する形にとどまっている。評価法についても、米国司法省・国家司法研究所規格NIJ-0101.04（防弾服）、およびNIJ-0115.00（防刃服）があるが、日本では明確な評価法が設定されていない。またこのNIJについても貫通か否かといった比較的定性的な評価に止まっており、課題が指摘されている。

## 2. 研究の目的

本研究では、既存の防刃被服の基本機能（防刃性能、被服構成、衣服内気候）に関する工学的評価法を確立し、防刃衣服設計に必要な目標値を定量的に示すことを目的とした。さらにこの評価法に基づき、先端的な高強度高弾性繊維や高機能材料の利用、編織技術・コンポジット技術などによる構造設計、衣服内気候の評価・最適化により、高度な防刃性能を有し、軽量で動きやすく、温熱環境面においても快適性を有する（民生用も含めた）防刃被服の基本的な設計指標を策定することを目指した。特に評価法については、日本の犯罪で多用される短刀や出刃ノ刺身包丁など特徴的な刃物類の評価法に対象を絞った。評価原理については材料力学、構造力学、衝撃工学、破壊工学などの学術的知見を導入し、また防刃衣服の快適性、易動作性についても衣服工学、衣服気候学の見地からアプローチすることにより、工学的な基礎に基づく設計法、評価法、規準の設定を目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、研究対象や研究目的の特殊性から、以下の4つのサブテーマ（アイデア）

の複合的構成として研究を進めた。

### (1) 防刃性能の工学的評価法の確立

米NIJ-0115.00は、防刃服の生産・流通面から「突き刺し」に対する単一の評価基準しかもたない。しかし防刃と一言でいっても刃物の種類は非常に多く、日本での殺傷事件に使用されているものには短刀（ドス）や出刃包丁、刺身包丁、アイスピックなど、欧米と同様なサバイバルナイフ類以外に特徴的な刃物がある。また刃物による身体/衣服の損傷も、刃物の種類や基材に浸入する形態（刺す、切る、突く）、挿入角度・速度等によって切創、裂創、刺創など異なり、一様ではない。このことから防刃被服の設計・開発には、まず性能を多面的に評価する手法が必要となる。以上の理由から本研究では新たな評価装置・評価法を構築した。この評価法は単なる破壊試験ではなく、衝突エネルギーなどの物理量や形態・構造の変化量を計測できるセンサー類（ロードセル、圧力センサー、レーザ変位計、画像処理等）を組み込み、得られたデータを材料力学、構造力学、衝撃工学、破壊工学などの基礎工学に基づいて解析、評価できる仕組みにするもので、現象の客観的データの採取・評価が可能と考える。

### (2) 高性能ナノ材料および複合層構造による貫通遮断機構の開発

素材面についてみると、ケブラーやザイロン、ダイニーマといった超高強度繊維（スーパー繊維）が開発され、防弾・防刃装備品に利用されているが、スーパー繊維のみで要求性能を満たすことは不可能であり、実際には金属板、セラミック、樹脂などを複合化して利用されている。近年の各種高性能ナノ材料が開発されている背景から、より高性能で軽量の素材を入手できる状況になってきた。これら高性能ナノ材料を複合材料として用いることによって、防刃被服の高性能化を図った。また防刃服を、貫通遮断層、エネルギー吸収層、衣服内気候調整層のように、層構造で設計することを検討した。具体的には、「貫通遮断層」はナノセラミックスやカーボンナノチューブと樹脂との複合により高靱性・高強度、高硬度を両立させた複合材料の開発、「エネルギー吸収層」については、ケブラー織布内に均一ナノ粒子を封入し、ナノ粒子のダイラタンシーを利用した防護布の開発を目指した。

### (3) 防刃被服内の温熱環境評価と改善法の検討

防刃服は、防刃性能を満足しつつ、着用者が不快にならないような衣服内気候を設計する必要がある。このためには、まず密閉された衣服の基本的な衣服内気候の解明が必

要である。その上で最内層「衣服内気候調整層」の設計を行うことになる。衣服内気候調整層については、ハニカム構造、ボンネット構造化による熱・湿気輸送や、潜熱蓄熱材 (Phase Change Material, PCM)、クーリングシステム搭載等による調整効果を評価することが求められる。これら衣服内環境の検討を、3次元人体熱モデルによるシミュレーション実験と実際の計測実験から明らかにすることを目的とした。

#### (4)被服構成学に基づく防刃被服の評価・構造設計

防刃被服着用者の体形・動作に対する適合性と配慮が必要な部分を被服構成学の視点から明らかにし、適切なサイズ展開、動作の容易性付与に関する検討を行い、またこれらの研究を通じて、防刃服の被服構成上の設計目標を定量的に示すことを目的とした。

### 4. 研究成果

#### (1)防刃性能の工学的評価法の確立

現在、日本には防刃性能の評価法はない。一方、米 NIJ Standard-0115.00 は世界を代表する評価法・規準であるが、主として防刃服の生産・品質・流通のための「製品標準」であり、多様な刃物種や現象、防刃メカニズムの解明などに対応しておらず、防刃服の開発には向かない。日本で防刃服を研究・開発して行くために、防刃性能を測定する装置の提案と試作を行った。測定装置は、エアシリンダーの先端に刃物(ワーク: ex. アイスピック)を取り付け、防刃材料(評価対象)へ直線的に入射する実験が可能なるものである。ワークに接続したセンサー等により、突き刺す際の抗力(ロードセル)、変形量(レーザ変位計)の測定を可能にした。これにより刃物(ワーク)が防刃材料(評価対象)にコンタクトしてから貫通するまでのプロセスにおける力や材料の吸収エネルギーを算出することができる。また複合構造の効果を解明するため、層ごとの防刃特性の測定(高速カメラ、現有設備)、および刃物(アイスピック、両刃ナイフなど)の交換ができるようにした。本装置により異なる繊維材料、積層方法によるサンプルを評価した。その結果、現在の素材の2倍の性能(吸収エネルギー)を持つ防刃材料を開発することができた。

#### (2)高性能ナノ材料および複合層構造による貫通遮断機構の開発

防刃効果を設計するために、貫通遮断層について検討を進めた。カーボンナノチューブやセルロースウイスキー(繊維状ナノ結晶)等の異方性超高強度ナノファイバーを繊維中に高分散・高配向させることで、例えば高強

度ポリビニルアルコール繊維の引張強度・弾性率のみならず、耐刃性向上に必要な曲げ強度や耐フィブリル性を大幅に向上させることができた。特に繊維マトリックスからナノファイバーへの応力伝達をX線回折法によりミクロレベルで評価し、マトリックス-ファイバー間の高い接着性が補強効果発現に重要であることを明らかにした。通常、フィブリル構造発達に伴う引張強度・弾性率増加とトレードオフの関係を示す傾向にある繊維軸と直角方向の強度もあわせて向上させることが可能であることを見いだした。さらにケブラーやザイロン等のスーパー繊維の欠点である低耐光性を、無機ナノ粒子を用いた無電解法による高密着性めっき形成により大幅に改善できた。

#### (3)防刃被服内の温熱環境評価と改善法の検討

衣服内気候については、まず換気が制限された条件下での最適な衣服内気候の解明をすすめるために、通気性の無い衣服(クロ値: 2通り、被服面積: 2通り)の作製、および温熱生理状態および衣服内気候の推定モデルを構築するために発熱円筒の作製を行い、さらに実験を行った。また実際に暑暖環境下で冷感を得るため、下着の外表面上を一樣に水で湿らせ、その蒸発潜熱で衣服内微気候と身体を冷やすシステムを試作した。具体的にはホローファイバー数本を衣服表面に配置し、小型ポンプによって衣服表面に水分を微供給するシステムを構築し、この衣料の効果について人工気候室(チャンバー)内で着衣実験を行った。その結果、29-60%の人工気候室内で十分な冷却が得られることを確認した。

#### (4)被服構成学に基づく防刃被服の評価・構造設計

既存の防刃被服を購入・分解し、構成を明らかにするとともに、着用経験者に聞き取り調査を行い、安全でかつ快適性を持たせるための構成上の問題点を明らかにした。現時点で想定される問題点は、総重量、着用時の荷重負担部位とその大きさ、サイズの数と適合性、安全上の被服部位の適合性、着脱容易性、動作負担の箇所とその原因などである。その結果、以下のことが知られた。まず防刃服の内部には硬質耐刃材が入っており、このため着用者の動作を拘束する問題がある。本研究では、着用実験により拘束感が生じる動作及び部位を明らかにし、また締め付け度による衣服圧分布の変化から適切な着用状態を検討した。防刃服を着用した被験者に動作試技および走行させ、拘束部位と着用感を調査した。また、圧力センサーシートを設置した人台上に防刃服を装着し締め付け度と背部、肩部、

胸部の被服圧を測定した。その結果、適度な締め付けで身体に密着させると着用感が比較的良いことが明らかになった。また、特に前屈時に拘束感が生じるため、前部耐刃材が前屈に追従できることが重要である。

次に着用方法による防刃服の重量感と動作拘束感へ影響の評価を行った。ベスト型防刃服の締め付け量を段階的に変化させ、被験者に着用させ、立位、座位での伸び等計 15 種類の動作における身体の拘束部位を調査した。その結果、空隙の多い着用法では肩および上腕部に強い拘束感が見られた。密着させた場合は、さらに背上部と脇腹に動作拘束感が生じた。また、トルソーに装着時の圧力分布の測定を行った結果、肩部には面で当らず縁部が当たっていること、締め付けにより背上部の圧力が上昇することが明らかになった。アームホール部、前肩部の形状の改良、防刃材のフレキシブル性の向上、バックルの張力調整機能の付与などにより、動作性が向上するものと考察された。

日本の防護服研究は、欧米に比べて遅れていると言われるが、国内化学繊維メーカーは数多くの優れた高強度高弾性繊維材料類（スーパー繊維など）を有しており、またナノマテリアル技術や感性工学等の快適性を追求する科学・技術も進んでいることから、本課題分野における研究のポテンシャルは高いものと考えられる。今後はさらに関連する分野の研究者による融合的な研究が期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

Ummul Khair Fatema, Yasuo Gotoh, A new electroless Ni plating procedure of iodine treated Aramid fiber, Journal of Coatings Technology and Research, (In press), In press, 2012, 査読有。

Ummul Khair Fatema, Yasuo Gotoh, Iodine-aided palladium-free catalyzation process for durable electroless nickel plating on Kevlar® fiber, Surface & Coatings Technology, 206,3472-3478, 2012, 査読有。

Limin BAO, Yuji Umena, and Kiyoshi Kemmochi, Friction Characteristics of Fabrics with Air, Journal of Textile Institute, 102 (No.7), 598-603, 2011, 有。

鮑力民, 赤羽 賢一, 施 建, 劔持潔, 光ファイバセンサによる FRP エロージョンの予知, 日本複合材料学会誌, 37 (6), 2011, 209-215, 査読有。

Ummul Khair Fatema, Yasuo Gotoh, Highly

adhesive metal plating on Zylon® fiber via iodine pretreatment, Applied Surface Science, 258, 883-889, 2011, 査読有。

Ahmed Jalal Uddin, Jun Araki, Yasuo Gotoh, Masayuki Takatera, A novel approach to reduce fibrillation of PVA fibres using cellulose whiskers, Textile Research Journal, 81, 447-458, 2011, 査読有。

T. Sakoi, A. Melikov, Z. Bolashikov, H. Morikawa, K. Iwaki, Use of Clothing for Body Cooling by Evaporation, Proceedings of Indoor Air 2011, a428, 2011, 査読有。

〔学会発表〕(計 6 件)

Ken TAKEI, KyoungOk KIM, Masayuki TAKATERA, The Effect of Tightness for Stab-resistant Vest and Space between Vest and Body on Wearing Comfort, The 6th International Conference on Advanced Fiber/Textile Materials, 2011(ICAFTM2011), 2011.12.7. Ueda, Japan, 査読無。

Shinya Soma, Tomohiro Bingo, Hideaki Morikawa, Limin Bao, Development of the evaluation equipment of stab resistance for textile materials, 2nd Asian Protective Clothing Conference, 2011.12.7 Ueda, Japan.

武居健, 高寺政行, 防刃服の胴体への締め付けによる着用感への影響, 繊維学会秋季研究発表会, 繊維学会予稿集, 66 巻 2 号, 57, 2011.9.9. かがわ市(日本), 査読無。

T. Sakoi, A. Melikov, Z. Bolashikov, H. Morikawa, K. Iwaki, Use of Clothing for Body Cooling by Evaporation, Indoor Air 2011, 2011.6.5., Austin, Texas, U.S.A., 査読有。

備後 朋大, 鮑 力民, 森川 英明, 衣服の防刃性能を評価する装置の開発, 日本機械学会北陸信越支部講演論文集, 2011.3. 上田市(日本)。

後藤康夫, 異方性ナノフィラーで強化されたファイバー, 高分子学会, 高分子講演会(東海), 2010.12.17, 信州大学繊維学部。

〔その他〕

以下のアウトリーチ活動を行った。

警察庁との情報交換・意見交換  
警察庁(長官官房総務課, および調達課)と数回にわたって情報交換・意見交換の場をもちた。この場では、研究の経過や成果について説明すると共に、現場や調達面での課題に

ついて可能な範囲でヒアリングを行った。

#### APCC2011 の開催

2<sup>nd</sup> Asian Protective Clothing Conference (第2回アジア防護服会議)を研究代表者、研究分担者が実行委員長、実行委員として企画・運営して、日本で開催した(2011.12.7-8, 於信州大学繊維学部)。米国、韓国、中国、台湾などから数多くの参加があった。

防刃評価技術に関するディスカッションカクンテストセンターでは切創に関する評価法を刃物メーカーと共同で行っており、本研究課題の考え方、研究経過および成果について説明し、意見交換を行った。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

森川 英明 (MORIKAWA HIDEAKI)  
信州大学・繊維学部・教授  
研究者番号：10230103

##### (2) 研究分担者

高寺 政行 (TAKATERA MASAYUKI)  
信州大学・繊維学部・教授  
研究者番号：10163221

鮑 力民 (BAO LIMIN)  
信州大学・繊維学部・准教授  
研究者番号：10262700

後藤 康夫 (GOTOH YASUO)  
信州大学・繊維学部・准教授  
研究者番号：60262698

佐古井 智紀 (SAKOI TOMONORI)  
信州大学・ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点・助教  
研究者番号：70371044