

# 博士学位論文内容の要旨

学位申請者氏名	熊田 亜矢子
論文題目	医療従事者用 X 線防護衣の開発とその性能評価に関する研究
論文審査担当者	主 査 諸 岡 晴 美 (印)
	審査委員 榎 本 雅 穂 (印)
	審査委員 成 実 弘 至 (印)

本論文は、序論、本論、結論から構成されており、序論では、本研究の目的と意義、関連する国内外の研究および本研究の概要を述べている。本論は 3 章で構成されている。

## 序 論

医療現場において X 線は診断や治療・手術など多くの場面で活用されている。X 線は透過力が強く、空気中を数 10 m から数 100m まで透過し、人体を容易に貫通して人体の重要な臓器や正常な細胞に害を及ぼす。そのため、医療従事者自身が散乱 X 線から被爆を受ける危険性をはらんでおり、X 線防護具の装着が必要不可欠となっている。X 線防護具には、体幹部を防護する防護衣、甲状腺防護具、防護眼鏡、防護手袋など様々なものがあるが、本研究では防護衣を研究対象とした。

防護衣は、X 線遮蔽材（以降、遮蔽材とする）とその表裏両面を表面材で挟んだ積層構造となっている。遮蔽材は、1950 年代の開発当初より、X 線の減弱割合（線減弱係数）の大きい鉛を混入したゴム製が主流であったが、現在では、鉛より原子番号が小さい多元素の金属を塩化ビニルなどの合成樹脂に混入した無鉛タイプが多くなっている。しかしながら、着心地の観点からは、未だ高質量であることや、透湿性がないために人体から放出される不感蒸散による水蒸気を外部に透過できず蒸れるなど、身体負担が大きいという指摘がある。医療従事者の健康を維持し、仕事効率を高めるためには X 線防護衣の抜本的な見直しと開発が必要である。

本研究では、既存防護衣の現状を分析し、医療従事者の健康維持と仕事効率を高めるために必要な課題を明らかにすること、抽出された課題のうち、本研究では主に温熱的快適性および力学的快適性を解決するための新規防護衣の開発・提案とその着用性能を明らかにすることを目的とした。

## 本 論

### 第 1 章 医療従事者用 X 線防護衣の現状と課題

本章では、市販防護衣の現状を質量、形状・構造、素材、寸法の観点から詳細に分析することを目的として、主要メーカーのカタログから調査を行った。また、市販防護衣（コート型、セパレ

ート型, エプロン型) を用いて, 肩周辺にかかる衣服圧を測定するとともに, 防護衣素材の透湿度測定を行い, 防護衣の着心地に関する課題を明らかにした.

その結果, コート型防護衣は重いもので約 6 kg にも及び, 軽いエプロン型でも約 2 kg であり, 非常に重いことがわかった. また, 前面にはミシン目による針穴があってはならないと JIS に規定されていること, 現状の素材にあっては一般的な衣服設計のようなダーツやいせ込みなどの立体化手法を用いることができないことから, 防護衣のパターンは平面構造であった. そのため, 三次元構造をもつ身体に沿わず, 撓みや座屈変形が生じることがわかった. また, 肩周辺にかかる衣服圧は測定箇所により大きくばらつき, 局所的に約 35 hPa の高い衣服圧が観察された.

防護衣素材については, 透湿度の非常に少ない遮蔽材や表面材が用いられており, 「蒸れ」が生じることが推察された. これを改善するためには, 高い透湿度をもつ素材に変更する必要があると考えられた. サイズについては, S から LL までのサイズ展開がなされていたが, 既存の防護衣素材にあっては, 一般的な衣服素材のように伸長変形やせん断変形等を伴わないため, 身体寸法に適した防護衣サイズについても再検討する必要があることが示唆された.

## 第 2 章 身体負荷軽減を目的とした医療従事者用 X 線防護衣材料の開発とその温熱的性質および力学的性質

本章では, 医療従事者用 X 線防護衣の温熱的快適性および可撓性・動作適合性の観点から, 着用性能を改善するために新規防護衣材料を開発・提案し, その温熱的性質および力学的性質を明らかにすることを目的とした.

新規防護衣の遮蔽材は, 合成繊維からなる織布を基材として鉛メッキ処理を行うことにより実現したものである. X 線遮蔽性能を JIS に準じて測定した結果, 鉛当量が 0.25 mmPb 以上であることを確認した. なお, 鉛メッキを保護することを目的に接着布で覆ったものを最終的な遮蔽材として用い, これを新規遮蔽材とした. また, 遮蔽材の表裏を覆う表面材については, 血液や薬品の洗浄および消毒が容易にできるように耐水性材料で被覆しなければならないと JIS に定められていることから, 適切な性能をもつ透湿防水布を選定した.

新規遮蔽材および表面材の透湿度測定を行い, 熱物性測定装置サーモラボを用いて熱流束最大値および熱伝導率等の熱物性を測定した. また, 防護衣素材の透湿性が放熱に及ぼす影響を明らかにするために, 前述した熱物性測定装置を用いて不感蒸散シミュレーション実験を行った.

また, 着用時の防護衣内の温湿度を推測するために, 模擬皮膚面(熱板)と防護衣との間の温度および湿度(以降, 衣内温湿度とする)の変化挙動を測定した. 可撓性や動作適合性に関わる力学的特性については, 圧縮特性, ドレープ係数, 応力緩和特性の測定を行った.

その結果, 新規遮蔽材の質量については, 既存の無鉛タイプとほぼ同程度であったが, 含鉛タイプに比べてやや軽量であった. 新規遮蔽材および表面材の透湿度は非常に高く, 不感蒸散シミュレーション実験においては衣内温湿度が既存のものよりも有意に低くなることがわかった. また, 圧縮特性, ドレープ性の測定結果から, 新規遮蔽材および表面材の柔らかさと可撓性の向上が認められた. さらに, 応力緩和特性の測定から, 新規遮蔽材と表面材の粘性が高く, 類似した粘弾性的性質をもつことがわかり, 着用時や保管時の破れや永久ひずみが少ないである

うことが示唆された。

以上のことより、新規防護衣は温熱的快適性、動作適合性の観点から優れるであろうことがわかった。そこで次章においては、新規遮蔽材および表面材からなる新規防護衣を作製して着用実験を行い、身体負荷軽減効果について検証した。

### 第3章 透湿機能をもつ医療従事者用新規 X 線防護衣の温熱的着用性能

本章では、透湿機能をもつ新規防護衣が人体生理および着用感に及ぼす影響について明らかにすることを目的として、健康的な 20 歳代女性 13 人を被験者とし、歩行を含む着用実験を行った。測定項目は、衣内温湿度のほか、人体生理量として皮膚温、発汗量、耳内温、心電図等の測定および着用感評価を行い、既存防護衣と比較検討した。

その結果、新規防護衣着用時の衣内温度および皮膚温は、既存防護衣よりも有意に上昇が抑制されることがわかった。その要因として、前章において両防護衣素材の熱物性値（熱伝導率等）がほぼ同程度であったことが確認されていることから、新規防護衣の高い透湿性に伴う潜熱放散量の増大が挙げられた。また、新規防護衣着用時における発汗量や心拍数においても、既存防護衣より上昇が抑制され、耳内温はほぼ一定であり、恒体温を維持できることが示唆された。

主観評価においても、新規防護衣は既存防護衣よりも涼しく蒸れないと評価されるなど、生理的・心理的負荷を有意に低減できることがわかった。なお、これらの関係性については、測定項目間の相関分析からも確認された。

#### 結 論

結論では、各章で得られた結果を総括した。

新規遮蔽材の基材が織布から成ることから、高い透湿性を示すため、これを阻害しないように適切な透湿防水布を選定して新規防護衣を作製した。これを用いて着用実験を行った結果、潜熱移動量の増大により、人体への温熱的負荷が少ないことが明らかとなった。また、力学的特性の測定から、新規防護衣は、柔軟性や可撓性に優れ、動作適合性に優れることが示唆された。しかしながら、質量の観点からは無鉛タイプの防護衣と同程度であり、軽量化を実現できなかった。そのため、高質量による肩への負荷を軽減するためには、防護衣の質量を腰部にも分散するよう、腰ベルトの利用方法について検討し、それと同時に、肩パットの素材と形状についても検討する必要があることを今後の課題として指摘した。

また、防護衣の形態（パターン）や適切な寸法などの残された課題があり、これらについても今後の検討が必要であると指摘した。