

## 調査・研究報告書の要約

書名	平成17年度消防・防災等の公共分野におけるナノテク先端機器等の効率的な研究とその技術の波及効果に関する調査研究報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・株式会社 三菱総合研究所				
発行年月	平成18年3月	頁数	86 頁	判型	A4

### 〔目次〕

#### 本編

1. 現行の消防装備の課題
  1. 1 わが国における消防活動の現状
  1. 2 消防活動時の熱環境
  1. 3 消防用個人装備品の概要
  1. 4 現行の防火服の概要
  
2. 今後必要となる高度な消防装備の検討
  2. 1 現行の防火服の性能
  2. 2 消防研究所の研究に見る消防士の肉体的・心理的負荷
  2. 3 「次世代防火服の開発」における消防隊員へのアンケート結果
  2. 4 ガスセンサの現状
  2. 5 先進消防装備のコンセプト
  
3. 消防装備の高度化に資する技術領域と技術開発課題の抽出
  3. 1 ナノファイバー技術
  3. 2 断熱素材としてのエアロゲル
  3. 3 インナー向け調湿・調温機能材料
  3. 4 携帯型 CO センサー
  
4. 技術開発課題のブレークスルーにより波及されうる民生用の出口イメージ
  
5. 産業技術（出口）として活用された場合の市場創出規模等経済効果の検討

## 〔要約〕

米国等諸外国においては、政府における軍事技術の開発成果の一部が民生用機器等に転用され、産業技術として活用されるなど、公共分野における技術開発は国内産業技術の高度化に大きく貢献している。軍を有しない我が国にとって消防・防災に必要な技術は現在まで民主導で進められてきた。しかしながら近年、必要な装備は高度化が求められており、産官学の知見を結集したナノテクノロジー等先端技術の活用が消防行政からも、産業技術の効率的な高度化の面からも期待されている。

このような状況に鑑み、我が国の消防・防災等における機器の高度化を先端技術で実現する際に必要な要素技術を調査・検討するとともに、当該技術分野が民生用の産業技術としてどのように活用されうるかを調査することにより、公共分野の技術の高度化が我が国産業技術の高度化に果たす役割について調査研究を実施した。

### 1. 現行の消防装備の課題

#### 1. 1 わが国における消防活動の現状

我が国の火災の過半数が建物火災であり、平成15年で、年間2万8,568件発生している。これによる死者は2,248人、負傷者数は8,605人にも上る。火災による損害額も1,331億円（平成15年）に上る。

これらの消火活動に携わる消防組織は常備消防機関と消防団である。平成16年4月1日現在、常備消防の消防職員は15万5,524人、消防団員数は91万9,105人である。消防職員数は常備消防化推進により若干の伸びを見せているが、その平均年齢はおよそ40歳前後である。消防団員については、長期的減少傾向があることに加え、高齢化が進行しており、平均年齢は37.4歳（うち40歳以上の団員が37.7%）となっている。

#### 1. 2 消防活動時の環境

火災現場の熱環境は、一般的には4つに区分されている。クラスⅠやⅡという消防士にとって比較的低いリスクの環境でも、危険な環境であることには変わり無く、活動時間が増えるに従い、防護衣類などの温度が上昇し、火傷や怪我などのリスクが高まる。特に、高湿度環境では問題である。クラスⅢは通常の消火活動の上限温度であり、温度は～260℃、熱流は～1.75 kW/m<sup>2</sup>となる。このような環境では5分が活動限界である。クラスⅣの熱環境は、フラッシュオーバー時に遭遇する熱環境であり、消防士は極めて短時間で退避しなければならない条件である。

消防活動は、防火服着用の下で行われるが、この防火服の耐熱性が十分に合ったとしても、内部の熱環境によっては、重篤な火傷を被る。例えば皮膚表面への熱流が  $0.2\text{cal}/\text{cm}^2\text{s}$  では 5 秒で痛みを感じ、13 秒程度で皮膚が水ぶくれを起こす。また、皮膚表面温度  $56^\circ\text{C}$  では 10 秒程度の暴露で水ぶくれが生じる。

尚、火災現場では燃焼に伴い有毒ガスも発生する。消防隊員は面体装着で侵入しているが、環境中のガス濃度は予測困難であり、危険な状態に陥る可能性を秘めているといえる。

### 1. 3 消防用個人装備品の概要

過酷な環境で消防活動を行うために、消防隊員は  $20\text{kg}\sim 30\text{kg}$  もの個人装備品を身につけて消火活動を行っている。個人用装備品のうち、多くのものには、公的な標準が存在する。防火服については、日本では、ヨーロッパ型に準拠した（財）日本防災協会防火服性能基準がある。この基準に適合した防火服は一般に 3 層構造（外衣、透湿防水層、遮熱層の 3 層）となっている。これらの基準はクラス III 火災の上限の熱環境にぎりぎり対応するかしないかのレベルである。一方で、シビアな基準を満足するような防火服は活動性・快適性ともに劣悪となる。尚、火災現場において、消防隊員が携行し、かなりの熱負荷を受ける電子機器として PASS（携帯警報器）があり、 $260^\circ\text{C}$  での 5 分間加熱試験などが行われているが、他の携帯が望まれる検出機器（例えばガスセンサー等）については、高温仕様の標準はない。

### 1. 4 現行の防火服の概要

外衣は、耐炎性、耐熱性、耐久性、力学的強度などが要求され、主にアラミド繊維、PBO 繊維、ポリアミド・イミド繊維、PBI 繊維、ザプロ加工ウールなどが使われている。各繊維には長所・短所があるので、混紡して使われることが多い。

透湿防水層（モイスターバリア）には、耐炎性、耐熱性の他、防水性が要求される。これは、消化活動中に遮熱性を維持するためである。また、液体流下性、透湿性、耐久性も要求される。

防火衣の遮熱性は、主に遮熱層の空気層により維持される。よって、遮熱層を形成するには、いかに空気層を多く作るかが重要である。

消防服用素材は、耐熱性（長期安定性）に優れていること、LOI（限界酸素指数）が高いこと、耐薬品性や絶縁性に優れていること、比較的軽量であること、着心地の面からは、モジュラスが小さく、伸度があること、などが望ましい。更に、日本の場合、5 年から 10 年間の使用が前提となるため、特性が長期間維持できることも重要となる。

## 2. 今後必要となる高度な消防装備の検討

### 2. 1 現行の防火服の性能（消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究）

独立行政法人消防研究所では、平成 14 年 4 月から平成 17 年 3 月までの 3 年間、重点研究「消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究」を実施した。この研究は、耐熱性能のみでなく、快適性能、機能性能を含めた評価手法を確立し、日本の実情に合った消防用防火服の性能基準値を提案することを最終目的としたものである。この中で、幾つかの消防服（執務服や防火服）について、性能が計測されている。

力学的特性については、現用防火服は ISO などの基準を大きく凌駕しているものが多いこと、熱的安全性についても概ね基準をクリアしているが、NFPA 仕様のもの（北米用）以外はゆとりが少ないこと、熱的特性と生地重量の間に良好な相関があることなどが確認された。

### 2. 2 消防研究所の研究に見る消防士の肉体的・心理的負荷

独立行政法人消防研究所では、「消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究」の中で、肉体的な負荷の計測や、消防士へのアンケート調査などを実施した。これにより、快適な消防服についての指針が得られている。快適な消防服とは、極論すれば、第 1 に軽量であり、かつ、熱損失が大きい（汗の蒸発なども含む）ものであるといえる。これらの条件は、耐熱特性とは基本的には相容れない。

### 2. 3 「次世代防火服の開発」における消防隊員へのアンケート結果

財団法人日本防災協会では総務省消防庁の「消防防災科学技術研究推進制度」に産学官で応募し、平成 16 年度から平成 18 年度までの 3 年間に渡り、「次世代防火服の開発」を行なっている。この中で、全国 16 都市の消防本部と 796 人の消防隊員に対してアンケート調査が行われた。この結果、消防隊員は、次世代防火服としては、先ず消防活動に何より必要な①熱防護性と③運動性が確保されていて、その上で、②熱的な不快さと熱中症等の事故を低減すること（快適性の改良）を望んでいることが明らかになった。

### 2. 4 ガスセンサの現状

火災時に発生する燃焼ガスは多種多様である。特に火災現場で深刻であるのは、無臭であり、燃焼により大量に発生する可能性のある CO である。実際、火災による死者数の死因は、火傷によるもの（625 人（43.6%））と一酸化炭素中毒・窒息によるもの（602 人（42.0%））

がほぼ同数である（1章参照）。また、消防隊員の殉職の理由の一つでもある。

燃焼ガスを計測する技術のうち、消防現場でリアルタイム計測可能なものとしては、検知管と計測器（センサ）がある。検知管方式は、多種類のガスの存在下では計測に時間を要するという欠点がある。計測器は連続的にガス濃度の検出が可能であるが、これも現時点の製品の場合、多種のガス存在下では選択性が充分でない場合がある。消防現場での実用化を考えると、高温対応はもちろんのこと、アラームについても工夫する必要がある。

## 2. 5 先進消防装備のコンセプト

前節までの結果等を参考にしつつ、ニーズ WG 委員各位により消防服を製造・評価する立場から、先進防火服に対するニーズが検討された。この検討を踏まえ、今後消防装備がどうあるべきかについて、特に防火服と携帯ガスセンサーについてニーズを明確化し、具体的スペックを設定した。

これらの目標スペックのうち、最も重要であるのは、生地重量と熱損失である。

## 3. 消防装備の高度化に資する技術領域と技術開発課題の抽出

### 3. 1 ナノファイバー技術

ナノファイバーとは、ナノオーダーのディメンジョンを持つ繊維の総称である。例えば、アラミド系高分子とシリカ系ナノ粒子やモンモリナイトナノ粒子等を利用して耐熱性ナノファイブリックを創製することで、耐熱性の向上と力学的特性の維持を両立させることが可能となる。また、ナノコーティングを用いることで、吸湿性、撥水性など、様々な機能をナノファイバーに付加することも可能となる。

これらナノファイバーテクノロジーを組み合わせることで、様々な機能を複合化させたスマートナノファブリックを創生することが可能となると期待される。

具体化のためには、1) 無機ナノ繊維／アラミド繊維ナノコンポジットファイバーの製造技術、2) 超微粒子表面安定化技術確立、3) 表面撥水性コーティング技術の確立、などの開発が必要となる。

### 3. 2 断熱素材としてのエアロゲル

エアロゲルは、ナノ粒子が疎に凝集したものであり、超軽量、低熱伝導など、興味深い性質を持つ。

防火服用遮熱層を代替した場合、理想的には、この部分の厚みが半分となり、重量は  $200\text{g/m}^2$  分軽量化できる。

### 3. 3 インナー向け調湿・調温機能材料

通常の繊維に加工を行うことで、新たな機能を付与する動きが繊維各社で進められている。これらの機能のうち、消防士向けインナーウェアとして特に有用であるのは、水分特性、熱特性である。

PCM と透湿防水膜、ナノ構造により表面積を拡大させた冷感素材などを組み合わせ、また、防火服とインナーをシステムとして取り扱うことで、一種の熱ポンプを構成し、体内から発生する熱をある程度除去することが可能となる。

このポンプは外から内へは働かないので、熱防御面ではマイナスにならない。

### 3. 4 携帯型 CO センサー

個人用携帯警報器は、消防士の死亡・火傷などのリスクを低減するための重要機器であるが、現時点では極めて限定された機能のものしか存在しない。次世代個人用携帯警報器として、携帯型 CO センサーのニーズが考えられる。

## 4. 技術開発課題のブレークスルーにより波及されうる民生用の出口イメージ

耐熱、高強度のナノファイバーの民生用出口としては、防災インテリアファブリック、自動車や産業機器用排ガスフィルター、耐火・耐熱コンクリート補強繊維、アスベスト代替製品群が考えられる。

快適衣料用素材としては、スポーツ用衣料への応用が、ガスセンサーの出口としては家庭向け火災報知器用センサーへの応用が期待される。

## 5. 産業技術（出口）として活用された場合の市場創出規模等経済効果の検討

前章で出口として想定した領域の市場規模を推定した。

- ・ 防災インテリアファブリック：およそ 200 億円規模
- ・ 自動車や産業機器用排ガスフィルター：400 億円程度
- ・ 耐火・耐熱コンクリート補強繊維：3 万トン規模（1000 円/kg として 300 億円程度）
- ・ アスベスト代替製品群：潜在的には 40 万トン規模（100 円/kg として 400 億円程度）
- ・ スポーツ用衣料：関連市場として 4000 億円規模
- ・ 家庭向け火災警報器用センサー：（新築住宅の半数が採用したとして 50 万戸分。センサー 1 個 1000 円で 1 家庭あたり 3 個使用する場合、150 億円規模）



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。