

消防側の防火服などの必要性能のニーズに関する調査
報告書

2008年2月

総務省消防庁 消防大学校
消防研究センター

目 次

1. はじめに	1
2. 国内外の消防関連ビジョンの収集・整理	3
2. 1 欧米の消防関連ビジョン	3
2. 1. 1 米国	3
(1) NIST における消防関連研究	3
(2) NIST Snell による 21 世紀の消防ビジョン	5
(3) FPRF	6
2. 1. 2 欧州	6
(1) EU フレームワークプログラム/欧州技術プラットフォーム	6
(2) German Fire Protection Association	7
(3) ロンドン消防隊の 2006/2007 アクションプラン	12
(4) HSE (Homeland Security in Europe)	12
2. 2 国内の消防関連ビジョン	14
(1) 自治体消防 50 周年記念事業における消防ビジョン	14
(2) 「2025 年に目指すべき社会の姿」における消防関連ビジョン	18
2. 3 国内外の消防関連ビジョンから見た、将来消防服が備えるべき特徴	35
(1) 将来の消防を巡る環境	35
(2) 将来の消防服が備えるべき特徴	35
3. 消防服が今後備えるべき仕様の検討	36
3. 1 既存の報告書等に基づく仕様	36
(1) 次世代防火服の開発における消防隊員へのアンケート	36
(2) 「消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究」(消防研究所)	38
(3) 消防防災科学技術高度化戦略プランに対するニーズ調査	41
3. 2 消防服ニーズに関する有識者会合から得られた知見	43
(1) 有識者会合の開催	43
(2) 有識者会合から得られたニーズ	54
3. 3 今後消防服が備えるべき仕様の検討	56
4. ニーズを具体化する関連技術の調査	61
4. 1 第一優先ニーズに関連する技術	61
(1) 撥水性	61
(2) 軽量素材	63
(3) 熱反射素材	64
(4) スーパー繊維	70
(5) 断熱不燃素材	77

(6) 耐久性.....	85
(7) メンテナンス.....	85
(8) リサイクル.....	87
4. 2 第二優先ニーズに関連する技術.....	88
(1) アンダーウェア.....	88
(2) 熱応答アクチュエーター.....	94
(3) 冷却装置.....	96
(4) 体温調節材料.....	105
4. 3 第三優先ニーズに関連する技術.....	108
(1) 示温インク.....	108
(2) 示温シール.....	108
(3) 感温繊維.....	108
5. 技術マップの作成.....	110

1. はじめに

防火服は、火災現場において消防隊員の生命を保護する最重要ツールであるが、快適性と安全性など、様々な機能の間にトレードオフの関係があり、適切な防火服を開発することは容易ではない。たとえば、以下のような要求が挙げられる。

- －耐火性・熱遮蔽性を確保しつつ、軽量かつ高い運動性を確保
- －熱遮蔽性を維持しつつ、人体からの排熱除去が十分に行える
- －力学的な強度（耐靱性）と運動性の両立
- －耐久性（寿命）が十分ある
- －価格があまり高価であってはならない
- －フラッシュオーバーなど、急激な温度上昇への対応が必要
- －長時間、比較的熱流量の少ない環境でも人体への負荷が低い

このような要求を実現し得る技術は、欧米では軍事・宇宙分野を中心として活発な研究開発がなされている。国内では NEDO 研究開発プロジェクトのナノファイバーで一部研究開発が進められているほか、産業用として開発されている技術群が、防火服目的にスピノフされる可能性がある。

このような背景を踏まえ、5 年先、10 年先の防火服の技術ロードマップを策定することが本業務の目的である。

なお、技術ロードマップ作成の範囲は以下の通りとする。

- －防火服アウターならびにグローブ、シューズ
- －防火服インナーならびに人体発熱の冷却機構
- －ヘルメット

また、期間スケールは、2020 年頃までを想定する。

調査の流れは以下の通りである。

① 国内外の消防関連ビジョンの収集・整理

国内外の消防に関わるビジョン（将来ビジョン）を収集・整理し、2020 年頃までの消防を巡る動向を整理するとともに、全体ビジョンの中での防火服の位置づけを明確化する。

② ニーズ系有識者による、消防服が今後備えるべき仕様の検討

ニーズ系有識者数名によるブレインストーミングなどを通じ、今後防火服が備えるべき仕様を検討する。

③ ニーズを具体化する関連技術の調査並びに技術マップの作成

ニーズ系有識者の検討などを踏まえて明確化した仕様を具体化するための技術を文献調査などから抽出・整理し、技術マップ（技術俯瞰図）を作成する。併せて技術の概要などを要約する。

2. 国内外の消防関連ビジョンの収集・整理

2. 1 欧米の消防関連ビジョン

2. 1. 1 米国

(1) NISTにおける消防関連研究

米国における消防研究の中心的組織として、NIST（国立標準局）の **Building & Fire Research Laboratory (BFRL)** がある。

ここでは、防火服の性能評価などを行っているが、近年の研究の中心は、①建築物の性能向上、②火災による損失の減少、③高性能建築物資材並びにシステム、④ホームランドセキュリティ、の4つとなっている。

① 建築物の性能向上

建築物健全性と持続性を確保するため、様々な計測方法、試験方法、基礎的データシミュレーションモデル、ライフサイクル環境・経済性解析用ツールなどを開発している。

研究テーマ(2007年)

- ・ BEES(環境と経済的持続性のための建築物)ソフトウェア開発
- ・ 居住および商業用建物向け太陽電池研究
- ・ 保護ホットプレート装置の整備
- ・ ACSIM シミュレーションモデル開発 (熱交換器系)
- ・ 屋内空気クオリティチャンバーの整備
- ・ サイバネティックビルシステムの研究
- ・ HVAC (建物の加熱・ベンチレーション、エアコンディショニング) 障害検出・診断
- ・ アクセス制御強化を含む仮想サイバネティックビルディングテストベッド
- ・ 緊急時におけるビルディング情報提供システムの開発、運営、普及

この最後の研究項目は、消防活動と密接に関連しており、以下のような研究開発が進められている。

— 初動者が即座にビルディングシステムデータにアクセスできる標準的ビルディング情報サービスの開発

— 初動者や他の緊急時関連人員のアクセスを容易化するビルディング中の多様なセンサーネットワークをマネージするための標準的手法の開発

— 緊急時の応答者に対するビルディング情報を確実に伝達するための方法の開発

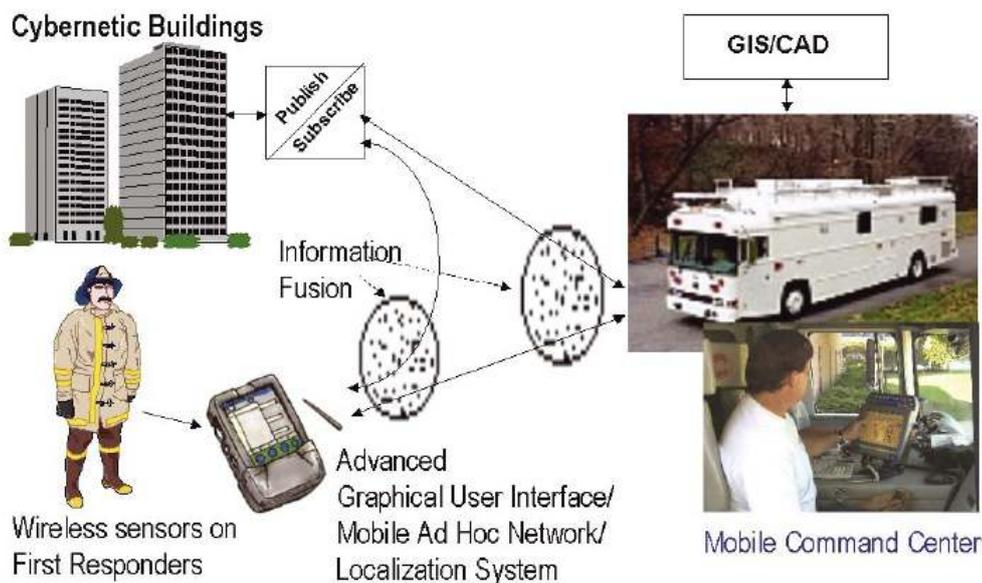


図 2-1 ビルディング情報を緊急時の応答者に確実に伝達する方法の開発イメージ

②火災による損失の減少

以下のようなプログラム研究が進められている。

- 先進消防技術プログラム：新技術、計測標準、訓練ツールによるより安全で効果的な情報豊富な環境へのシフト
- 火災の拡大のリスク低減：フラッシュオーバーや植物や隣接ビルからの外部延焼につながる条件のより深い理解のため、計測法や予測法の適用により居住者の焼死や財産の喪失を抑制する。このため、早期、確実な火災や環境のセンシング技術、コスト的に実効性のある火災抑制技術、火災に耐性があり、性能やコスト、環境にマイナスの影響の無い新材料の開発の推進
- 先進計測&予測手法プログラム：火災計測と予測手法で世界をリードし、これらの技術の実利用を促進することで、人、物、施設および最初の応答者に対する工学的な火災安全を提供する。
- 火災標準、コードおよび試験プログラム：BFRL が開発した技術をコードや標準化機関を介して普及するためのインフラを準備し、国際的な優れた火災関係研究図書や、火災コミュニティのための電子データの維持、大規模実験施設の整備など

これらの研究の中で、赤外カメラ、初期応答者のための呼吸系防御コンピュータモデル、防火服用カーボンナノチューブ繊維、バーチャル消防士トレーナー、火災伝達抑制剤などが開発されている。

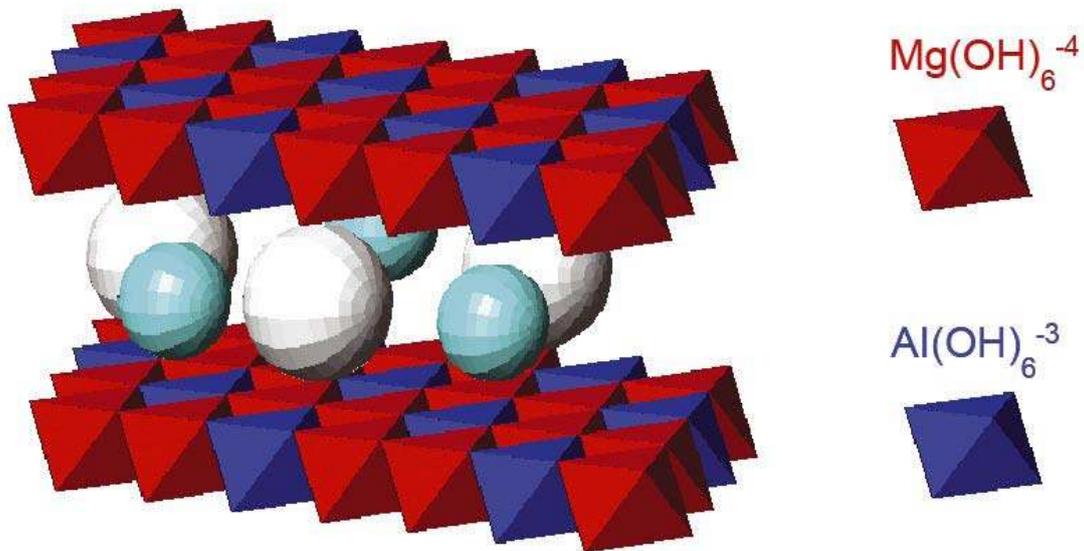


図 2-2 延焼抑制剤の例

③高性能建築物資材並びにシステム

建築物のサイクルタイムを大きく改善するための建設プロセスの自動化、性能を最大化し環境影響を最小にするコンクリート、長寿命ポリマー系構造材料、極端な負荷状態で安全性や性能を確保する材料や設計などを目標として、計測手法、予測モデル、参照試料の作成などを行っている。

④ ホームランドセキュリティ

ワールドトレードセンターの破壊の研究や、危険状態の建造物の安全性研究、構造的崩壊の進展抑制、火災安全設計&構造面での改善、構造用鉄鋼材料の耐火災性向上、構造用鉄鋼材の耐火災特性の試験方法標準化、緊急時のエレベータ利用、耐火災特性の決定手順、テロや CBR 防御のためのコスト効果のあるツールやモデルの研究開発を行っている。

(2) NIST Snell による 21 世紀の消防ビジョン

NIST の BFRL の Snell は、2000 年に、21 世紀の消防研究に関するグローバル戦略を発表した。消火活動に関連した今後の技術開発の方向性としては、以下が挙げられている。

- ・ 構造物内部での消防士の位置追跡
- ・ 防火服の限界に関する警告を発するためのセンサー
- ・ 消防士の生理的状態を非侵襲(計測時に人体などに影響を与えない)で計測する技術
- ・ 建築物からの無線による情報転送

- ・ 構造破壊に先立つ警告を与える高信頼性センシング

(3) FPRF

NFPA と強い協力関係にある FPRF(The Fire Protection Research Foundation)では、様々な火災関連の調査報告書を発表している。

カテゴリーは、①検出・信号、②危険物質、③電気的安全性、④輸送、⑤火災抑制、⑥消防服および装置、⑦火災リスクアセスメント、⑧日用品の保管、⑨建築物火災防御、⑩その他に分かれるが、最近は検出・信号に関するものが多い。

2. 1. 2 欧州

(1) EU フレームワークプログラム／欧州技術プラットフォーム

欧州全体としての研究開発はフレームワークプログラム (FP) により行われている。現時点では第7次計画(2006-2013)が進められており、以下の分野に関して研究開発が進められている。

FP7 概要 (単位:億ユーロ) 修正案額 (2006年)				
Cooperation (324)		Capacities (42)		
9 研究テーマ (国際共同研究含む)	健康	60	研究インフラストラクチャー	19
	食料・農業・バイオテクノロジー	19	中小企業支援研究	13
	情報・通信技術	91	地域振興 (Region of Knowledge)	1
	ナノサイエンス・ナノテクノロジー・材料・新製造技術	35	研究レベルの向上 (Research Potential)	4
	エネルギー	23	社会における科学	3
	環境 (気候変動含む)	19	研究政策の一貫性ある開発	0.7
	運輸 (航空含む)	42	国際協力	2
	社会・経済科学、人文科学	6	People (47)	
	宇宙	14	Marie Curie Actions	18
	安全	14	Other	
Ideas (75)		Joint Research Centres 18		
欧州研究会議 (European Research Council)		http://cordis.europa.eu/fp7/budget.htm		

図 2-3 FP7 の概要 (出典: JST プレゼンテーション資料)

このフレームワークプログラムに対し、欧州の産業界の積極的な参画を促し、欧州の競争力強化を進めるため、産業界の主導による産学官のボトムアップ的組織として「欧州技術プラットフォーム」が 31 の分野について設立された。これらのプラットフォームでは、

活動の一環として、該当分野の将来ビジョンの作成などを行い、将来に向けての研究開発の方向性を明らかにしている。

表 2-1 欧州の 31 の技術プラットフォーム名称

31 欧州技術プラットフォーム	
ナノエレクトロニクス	統合衛星通信
水素・燃料電池	移動・ワイヤレス通信
医療ナノ技術	航空工学
先端エンジニアリング・材料	組み込みコンピュータシステム
鉄道	統合スマートシステム技術
自動車交通	宇宙技術
生活のための食料	ネットワーク化・電子化メディア
森林関連技術	ネットワーク化・ソフトウェアサービス
世界的な動物の健康	フォトニクス
産業の安全技術	ロボティクス
太陽電池	建設技術
次世代植物	金属技術
環境対応化学（持続的発展のための化学）	次世代製造技術
給水・公衆衛生技術	次世代繊維・衣料品技術
水上輸送技術	無公害化石燃料発電
革新的医薬	

この表において消防が関与すると思われるプラットフォームは「産業の安全技術」であるが、この技術については、「2020 年までに、産業安全性は進歩し、業務中のアクシデントや怪我が 25%減少する。環境リスクが制御され、アクシデントによる生産物ロスがなくなる」といった程度の記載しか公表されていない。

(2) German Fire Protection Association

ドイツの防火協会は、2003 年 12 月に以下のステートメントを発表した。

【要約および活動の必要性】

毎年、火災により死者、多くのケガや莫大な被害が引き起こされる。現代の科学的アプローチは、これらの被害削減に大きく貢献できる。加えて、ドイツの企業はドイツ国内だけでなく海外へも極めて高品質なサービスや製品を提供している。更に、防火サービスは、最近の事例で明らかのように、市民の保護やテロの脅威に直面している。このため、以下

を提案する。

- ・ 防火に関する、独立した科学諮問委員会の設立：科学コミュニティーからのメンバーが実行者と同様、ドイツの防火研究に協力する必要がある。
- ・ 特定の防火研究機関の基礎的予算は、連邦予算によって確実にカバーされるべきである。
- ・ 国際的な科学技術の交流およびネットワークは、国際標準化活動（欧州と世界）と同様政府基金によって支援されることが必要である。
- ・ 高い専門性を備えた若い科学者のキャリアと開発プランが必要である。

以下の考察により、ドイツの火災予防研究の嘆かわしい事態を例証する：ドイツの防火サービスは、およそ 50 億ユーロの年商がある産業と見なすことができる。革新的な産業は取引高のおよそ 3%を研究開発費として費やしており、それは 1 億 5000 万ユーロに達するといえる。しかしながら、実際の研究費はわずかな部分であるにすぎない。

火災予防調査のために公的資金のレベルを増加させるのは、この文書の第一の目的ではない。重要な点は、ドイツにおける防火研究のシステムを分析するところであり、状況を改善するためのさまざまな範囲のオプションが考えられる。

【ドイツでは防火が何を意味するのか】

人的被害：

- ・ ドイツの 1 年あたりの火災による死者は 600 人であり、その約 75%は彼らの自宅における。煙の中毒が主な死亡原因である。[DFV2001]
- ・ ドイツでは 1 年あたりに火災により、約 6000 人が重傷をおい、60000 人以下が軽症をおっている。

【経済損害(GDV2002 による 2000 年のドイツの統計)】：

- ・ 全損害は、約 60 億ユーロ。
- ・ その内、15 億ユーロは火災保険会社により保障された(加えて、事業中断による補償の総額は 4 億ユーロ)
- ・ およそ 100000 件の火災保険のうち 200 件は、"百万規模の損失"(>50 万ユーロ)であり、平均は 430 万ユーロ
- ・ およそ 670000 件の火災が生じ、このうち個人的な家具の保険の総額は、5.2 億ユーロに達し、加えて、170000 件の建物火災保険のコストは 6.25 億ユーロに上る。

【消防隊(2000 年のデータ。DFV2001)】：

- ・ ドイツ国内のボランティア消防従事者(消防団員)は、1,070,000 人の男女。
- ・ プロの消防隊員(消防吏員)は 27,700 人。
- ・ 法人消防隊員(自衛消防隊員)32,700 人、このうち 7,000 人はフルタイム
- ・ 消防隊のための費用は年間およそ 40 億ユーロに達する。
- ・ 消防車と設備のドイツメーカーの取引高は、1 年でおおよそ 4 億ユーロ [www.vdma.de の統計値から推計]

【建物の防火のための費用】：

- ・ イギリスの研究プロジェクトは、総工事コストの 8%以上と 1%以下が、火災の安全対策に費やされると結論づけた。その比率は、建物のタイプに大きく依存しており、その比率は、簡素な 1 家族の居住で低く、学校、劇場、およびショッピングセンターのように高いリスクがあるビルでは明らかに増加する。

【市民保護のための費用】：

- ・ 技術支援サービス：69,000 人のパートタイムメンバーと 850 人のフルタイムのメンバー、2000 年の総予算は、1.08 億ユーロ
- ・ 非常時の壊滅的被害に対する連邦予算のうち市民保護に関する予算は 24 百万ユーロ

【公共の防火研究資金】：

- ・ 州政府支援による防火関連研究費 (IMK)：60 万ユーロ
- ・ ドイツ構造技術研究所支援による建物の防火：150 万ユーロ (総研究予算)
- ・ 非常時の壊滅的被害に関する、連邦政府の行政公社(BVA)：百万 Mio ユーロ

【なぜ火災安全に関する研究が必要なのか？】

ドイツの防火協会 (Fire Protection Association(vfdb)) は、火災による被害とコストの根本的な削減と、同時にドイツの火災安全産業促進への取り組みを強く推奨している。火災予防の研究は、技術開発と実際のツールにより貢献できる。これは以下を意味する。

- ・ 火災による負傷と死亡率の減少
- ・ 経済的被害の減少
- ・ ドイツ製防火製品の輸出機会と競争状況の改善 (製品の品質と技術標準がこのキー要因。)
- ・ 自動車のように、顧客がより高い安全性レベルの製品に喜んで対価を払う場合、製品のセールスポイントとしての防火性能。
- ・ 火災による総被害コストと同様、火災による死者や負傷者を 10 年で 20%減少させる

ことが可能。

- ・ 防火製品のヨーロッパにおけるマーケットは、経済的に非常に重要性があり、また、かなり高い成長の可能性がある。
- ・ ドイツにおける防火に関する連邦組織と専門家は、協調的で効果的な火災安全研究に関して深刻な障害に直面している。ドイツにおける中心的協調が、特に欧州の研究開発予算や規格の調和に対して有意義である。

【研究により解決策が見出されると思われる重要な火災安全話題は何か?】

いくつかのテーマを以下に示す。

① 30年以上にわたり、ドイツにおける詳細で均一の火災統計の開発について議論がなされているが、現時点では部分的な成功に留まっている。それらのツールのみによって、実際に問題地域や、防火のための計測の効果について、実質的な分析が可能である。

② 防火製品とサービスの性能の推計方法については、開発や継続的な改善が必要である。この分野では、ドイツの製品を世界中のマーケットで通用するようにするため、国際標準化への参加が一つの方法である。

③ トンネル火災、危険性物質、新しい消火エージェントや技術(例えば、水の霧)のように現在の技術的問題が解決されなければならない。

④ 防火工学コンセプトに基づく性能が、特に複雑な建築物について、益々受け入れられつつある。彼らは、個々の建築物のデザインを考慮し、伝統的なアプローチよりも優れた安全性を導くためのテーラーメイド防火コンセプトを整備するため、予測的な利用を行っている。しかしながら、当局によって適切に評価されるために、火災の安全工学のより基本的な知識とツールが開発されなければならない。

オーストラリアや米国のように、長年このアプローチを活用している国では、性能に基づく設計による節約分は、建設コストの1~3%と推計されている。[Benefeu 2002].

⑤ 火災安全エリア内では、包括的なリスクマネジメントのため、データ収集や推計方法に関するニーズがある。被害コストと事前の安全計測のコストのシステムティックな最適化が目標である。

⑥ 国際的な協力が強化される必要がある。一方では、適切な構造とリソースが必要であり、他方では、国際的な役割分担により相乗作用と無駄の削減が可能となる。

火災サービス研究についてのさらなる例を見つけることができる [Oberhagemann 1996]。国際的に、この分野は同様の方法で判断されている。[リチャードソン 2000]

表 2-2 国際的な競争力（火災予防および消防サービスについての研究予算）
(source: Prof. Dr. Reinhard Grabski: inquiry 2003 amongst members of the „International FORUM of Fire Research Directors“)

Country	Institution	Staff ¹	Budget ²	Comments
Australia	CSIRO Fire Research	23	2,3	
China	State Key Lab of Fire Science	43	1,6	
Germany	FFB	12	0,81	
Germany	IdF LSA	22	1,1	Without construction funds
Germany	iBMB	14	0,75	Estimate, incl. teaching
Germany	MPA Braunschweig	54	2,0	Materials testing only
Finland	VTT	40	3,5	Fire Research and Testing
Italy	ITC	150	2,5	
Norway	NBL SINTEF	32	3,0	
UK	FRS	90	15,5	
USA	FMRC	170 (50 of these for research)	30 (10 of these for research)	Research and testing
USA	NIST	160 (63 of these for research)	30 (of these for research)	Building and Fire Research Laboratory
USA	Sandia	30 (+10 external)	9,0	Factor of 5 incl. similar subjects
USA	swri	41	3,6	
Sweden	SP Fire Technology	53	5,0	1/3 for R & D
Taiwan	ABRI fire research division	16	1,0	

表 2-2 はドイツおよび国際的な研究機関による調査を基にした火災安全と消防サービスについての概観を示している。残念ながら、ドイツの研究所はそれらの予算とスタッフ人数に関して低いランクで見出される。唯一の例外が 54 人の従業員がいるブラウンシュ

バイク材料研究所である。国家資源の合計としては、ドイツは平均的な値であり、470 万ユーロの予算と 102 人の従業員となる。

改善が必要な項目

- ・ 調査研究機関間の情報交換とネットワーク
- ・ 火災予防と火災予防技術に関する学術的な教育
- ・ 国内外のエンドユーザーやターゲットに対する調査結果の到達

(3) ロンドン消防隊の 2006/2007 アクションプラン

英国ロンドン消防隊では、同地域で発生したテロ等の大規模災害を受け、2005 年に、「A world class fire and rescue service for world class city」なる短期的なアクションプランを策定した。この中では、以下のような記載がなされている。

- ・ 共同体による火災安全の推進：⇒共同体への防火知識の普及
- ・ 家庭の火災安全の確認：⇒家屋の火災安全性診断
- ・ 集合住宅：⇒新火災安全規制・基準
- ・ 青少年との連携：⇒放火やいたずら電話の抑制
- ・ 火災安全基準：⇒新しい火災安全基準、リスクに基づく検査プログラム
- ・ 自動火災検知器の誤動作：⇒システムの信頼性向上
- ・ 回復力および新局面：⇒新レスキューユニットなどの新組織+衛星電話など
- ・ 消防施設並びに消火栓の数と位置：⇒長期的視点での整備戦略
- ・ 救急がカバーする効果の改善：⇒コミッショナーの自由度の拡大、早期応答
- ・ 特別な対応：⇒非火災での緊急時対応
- ・ エレベータに閉じ込められた人：⇒ビルの所有者との共同による救助回数提言
- ・ 除細動器：⇒設置箇所の拡大
- ・ 他の火災専門家との共同：⇒継続して共同研究などを進める
- ・ 環境的側面：⇒エネルギー消費、水消費の低減などによる環境負荷低減
- ・ 顧客満足：⇒市民の満足度のモニターシステム設置などによる満足度向上
- ・ 多様性：⇒共同体の構成を反映する消防スタッフ+様々なレベルでの組織化
- ・ スタッフ：⇒様々な職務を遂行できる消防署スタッフの育成

(4) HSE (Homeland Security in Europe)

ロンドンとマドリッドでの爆弾テロや、Buncefield での大規模火災以後、欧州全域の消防・レスキュー関連組織は、国家安全への対応能力向上をはかるための検討を進め、テロや大規模災害に対応できる特殊装備の整備を進めることとした。HSE は定期刊行雑誌であるが、FEU (Federation of the European Union Fire Officer Associations)、LFEP

(London Fire and Emergency Planning Authority)、CFPA-E (Confederation of Fire Protection Association Europe)、CFOA (Chief Fire Officer Association)、NFPA (National Fire Protection Association)、CTIF (The International Association of Fire Rescue Services) と提携し、火災やセキュリティ関連でどのような製品が開発されているかを調べ、その品質や効果を解析し、関係者(機器の承認者、供給者、購入者)に伝達する役割を果たしている。以下の項目について情報発信がなされている。

- ・ 建築物の防火
- ・ 消防用装備と汎用装備
- ・ 個人用防護機器
- ・ 車両並びに車両用機器
- ・ 初期救急および医療機器
- ・ 防火コンサルタント、試験、研究
- ・ 火災の予防、検出、消火
- ・ 消防隊員の健康と安全
- ・ Buncefield (石油タンク火災地域) の分析
- ・ テロリズムへの対応

2. 2 国内の消防関連ビジョン

(1) 自治体消防 50 周年記念事業における消防ビジョン

1998 年 3 月に自治体消防が 50 周年を迎えることを記念し、同記念事業実行委員会の企画により消防ビジョンが作成された。現在公開されているのは、重要度－実現予測時期のマトリックスなどに限定されているため、詳細は定かではないが、基本的にはデルファイ式調査で予測が行われたと思われる。

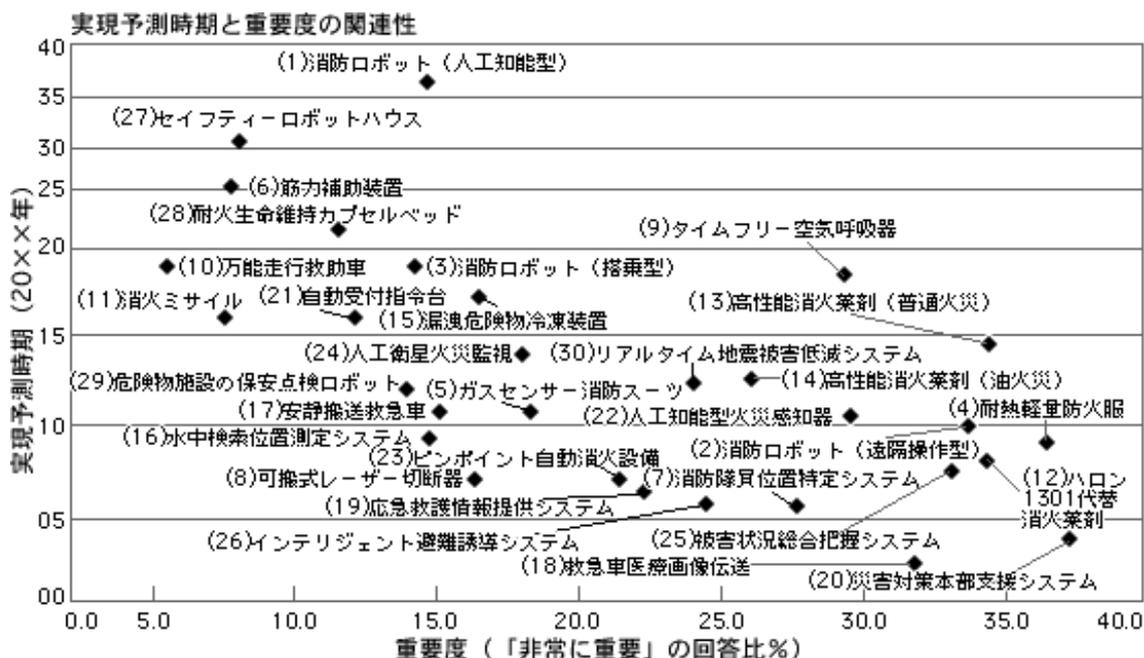


図 2-4 消防ビジョンマトリックス

表に具体的な記載を示す。これらの中で、防火服に関連している技術としては、耐熱軽量防火服 (2006～2010年)、ガスセンサー消防スーツ (2011～2015年)、タイムフリー空気呼吸器 (2016～2020年)、筋力補助装置 (2021～2025年) の 4 種類である。

表 2-3 消防将来ビジョン詳細

時期	項目	概要
2005年 までに実現 可能な技術	(18)救急車医療 画像伝送	救急患者の容態に関する情報を画像情報を含めて医療情報センターに伝送し、画像等により医師等の指示をリアルタイムで受け、高度な救急措置を行うことのできるシステムが実用化する。
	(20)災害対策本 部支援システム	大規模災害時に、災害関連の各種のデータベース及び被害状況収集システムとリンクし、被害状況を総合的に判断して、災害対策本部として実施すべき最適な対策内容を提示し、意思決定を支援する情報システムが実用化する。
2006～ 2010年 ごろに実現 可能な技術	(26)インテリジ ェント避難誘導 システム	デパート、地下街等不特定多数の人の出入りする建物において、火災が発生した場合に、火災発生地点及び避難者数に応じ、どの方向に避難させれば安全かを判断し、最適避難方向をそれぞれの場所ごとに示し、音声及び光等により誘導するシステムが実用化する。
	(7)消防隊員位置 特定システム	地下構造物などの積層した巨大空間で消防活動を行う場合に、情報端末をもった個々の消防隊員の位置を、3次元的に特定して地上の本部で把握することのできるシステムが実用化する。
	(19)応急救護情 報提供システム	災害時、事故時における負傷、さらに中毒、急病等に対する家庭内での応急措置方法等の情報を提供する知能ベースが構築され、個人の情報端末で情報を得ることができるシステムが実用化する。
	(23)ピンポイン ト自動消火設備	火災をごく初期に発見して識別し、火元めがけて少量の消火薬剤を吹き付けて消火するなど、消火効果や信頼性が高く、しかも水損が極力少ない自動消火装置が実用化する。
	(8)可搬式レーザ ー切断器	救助隊がドア、シャッター等を切断する器具として、可搬、軽量のレーザー切断器が実用化する。
	(25)被害状況総 合把握システム	大震災の際に、人工衛星、地域に張り巡らされたセンサーのネットワーク、上空からの情報、インターネット、無線など、使用しうるメディアを総合的に活用して、地域の被害状況をリアルタイムで把握するシステムが実用化する。
	(12)ハロン13 01代替消火薬 剤	ハロン1301消火薬剤に比べて消火性能が同等ないし高く、人体や環境に対しても安全な、新たなガス系消火薬剤が実用化する。

表 2-3 消防将来ビジョン詳細

時期	項目	概要
	(4)耐熱軽量防火服	不燃性を有するとともに、100℃の環境で1時間以上の消防活動が可能な断熱性、防水性、透湿性、熱放散性を有する軽量の防火服が実用化する。
	(2)消防ロボット (遠隔操作型)	火災や救助などの危険な現場はもちろん大深度地下などの特殊な空間でも、遠隔操作により人間と同じような作業ができるロボット(極限作業用ロボット型)が実用化する。
	(16)水中検索位置判定システム	水に沈んだ要救助者の正確な位置を水上から即座に検索して3次元的に表示する水中検索システムが実用化する。
2011～ 2015年 ごろに実現 可能な技術	(17)安静搬送救急車	外部の騒音を遮断するとともに、車両の走行振動を全て吸収または遮断し、患者を安静に搬送できる救急車が実用化する。
	(22)人工知能型 火災感知器	火災時に発生する臭いや音等を感知し識別する新しいセンサーをもち、画像情報等とあわせ、人間と同様の総合的な判断ができる火災感知器が実用化する。
	(5)ガスセンサー 消防スーツ	火災、有毒ガス漏れ事故、放射線事故等の際の消防活動の安全確保のため、スーツ表面全体に配置した各種の有毒ガスセンサー等が、危険時に変色や発光で警報を出し、本人以外にも警報が伝わる軽量で活動しやすいスーツが実用化する。
	(29)危険物施設の 保安点検ロボ ット	危険物が満たされたタンクの内部を自走し、腐食や亀裂等の有無を点検するロボットが実用化する。
	(30)リアルタイム地震被害低減システム	非直下型地震の場合に、地震発生から地震波が到達するまでの時間を利用し、地震検知システムと連動して、地震波到達直前に運転停止、電源遮断等の可能な安全対策を講ずることができるリアルタイム地震被害低減システムが、都市レベル、ライフラインレベル、建築物レベルで実用化する。
	(14)高性能消火薬剤(油火災)	油火災に対して、現行のフッ化タンパク泡消火薬剤や水性膜泡消火薬剤に比べ10倍以上の消火性能をもち、人体や環境に対しても安全な、新たな消火薬剤が実用化する。
	(24)人工衛星火災監視	人工衛星からの常時監視により、山林火災や放火等による屋外の火災により生じる煙や熱を初期段階で感知して最寄り消防本部に通報するシステムが実用化する

表 2-3 消防将来ビジョン詳細

時期	項目	概要
	(13)高性能消火薬剤（普通火災）	普通火災に対して、水に比べ10倍以上の消火性能をもち、人体や環境に対しても安全な、新たな消火薬剤が実用化する。
2016～2020年ごろに実現可能な技術	(21)自動受付指令台	一般の人からの火事、救急などの通報を受けて必要な処置を自動的に判断して指示まで行う受付指令台が実用化する。
	(11)消火ミサイル	山林火災消火を目的とした、消火ミサイル（消火爆弾）が実用化する。
	(15)漏洩危険物冷凍装置	危険物（石油）が漏洩した場合に、流出箇所で短時間に冷凍することにより、流出を防止するとともに可燃性蒸気の発生を抑止する装置が実用化する。
	(10)万能走行救助車	ヘリコプターの接近できない山岳部等での救助事象に対応するため、クローラ方式の車輪で、急坂路では爪を立て、雪路では接地面を広げ、水上走行もでき、山岳部を自在に走行できる救助車が実用化する。
	(9)タイムフリー空気呼吸器	酸欠空气中で消防活動を行う際に、呼気中の残存酸素と空気中の希薄な酸素を合わせ、人間の呼吸に必要な量を供給することにより、時間を気にすることなく使用できる呼吸器が実用化する。
	(3)消防ロボット（搭乗型）	火災や救助などの危険な現場はもちろん大深度地下などの特殊な空間でも、人間が搭乗して操縦し、人間と同じように活動できるパワースーツ型のロボット（ガンダム型）が実用化する。
2021～2025年ごろに実現可能な技術	(28)耐火生命維持カプセルベッド	病院や老人ホーム等で患者等が火災発生時に逃げ遅れた際に、少なくとも2～3時間火災から身を守るカプセルベッドが実用化する。
	(6)筋力補助装置	消防隊員の筋力を補うため、腕や足や腰に取り付けることにより人力の2～3倍以上の大きな力を出すことのできる装置が実用化する。
2026年以降に実現可能な技術	(27)セイフティロボットハウス	家そのものがロボット化し、各種の家事を自動的に行うとともに、火災発生時には消火を、急病となった場合には救急要請の通報を自動的に行うなど、ホームセキュリティ機能が格段に向上した家が実用化する。
	(1)消防ロボット（人工知能型）	火災や救助などの危険な現場はもちろん大深度地下などの特殊な空間でも、人工知能により人間と同じように自律的に活動できるロボット（鉄腕アトム型）が実用化する。

(2) 「2025年に目指すべき社会の姿」における消防関連ビジョン

科学技術政策研究所では、イノベーション25戦略会議の議論用資料の一つとして、平成18年度科学技術振興調整費調査研究として「2025年に目指すべき社会の姿」を作成した。

調査結果は、①生涯健康の時代、②生活インフラとしての情報環境—ユビキタス成熟社会—、③脳科学の進展による生活者の活動支援、④安全で持続可能な都市、⑤闊達たる人生—職業選択、子育て、シニアライフの多様化—、⑥地球規模の環境問題の克服と世界との共生、という6分野に分けて取りまとめられた。

この報告書の中から、将来の消防に関連する環境を6つのカテゴリーに分けて整理、検討する。

【エネルギー源の多様化・分散化】

二酸化炭素の排出削減を主目的として、エネルギー源の多様化・分散化が進むと予想されている。具体的には、太陽電池、コジェネレーション、風力発電、多様なバイオマス発電、水素—燃料電池などの技術が普及するとされており、また、地域、家庭単位での発電システムの分散化が進むと見込まれている。

これらの技術は、①再生可能エネルギーの利用、②エネルギー原料に蓄積されているエネルギーを無駄なく利用、③非在来型のエネルギー源の利用、という点で、普及が進めばCO2削減に大きく寄与する。一方で、消防という観点から見ると、①発電・蓄電関連の高エネルギー密度のエネルギーが分散して地域に存在する時代となること、②水素インフラが整備されてくると、水素という従来の可燃ガスとは大きく特性の異なるガスによる火災の可能性が増加すること、など、従来型の火災とは異なった対処が必要になることを意味する。

表2-4 エネルギーの多様化・分散化に係る記載

エネルギー源の多様化・分散化		
区分	内容	具体例、実現時期
省エネキッド住宅技術	エネルギー消費量を50%削減する低コスト省エネ技術(高断熱住宅、燃料電池、太陽電池、コジェネレーション等)をキット化した住宅技術が普及し、家庭の二酸化炭素排出量が大きく低減する。	<ul style="list-style-type: none">・小型燃料電池高効率運用や太陽電池出力安定化の低コスト二次電池(2013年/2020年)・定格COPが8を超える圧縮式冷凍機(現状は4.0~6.4)(2014年/2021年)・固体酸化物形定置式燃料電池(2013年/2022年)

地区／街区単位の電気・熱エネルギーの融通技術	地区／街区単位で、分散エネルギーシステムと需要家をネットワーク化し、エネルギー需給情報を共有するとともに、電気、熱エネルギーを融通しあうことで、エネルギー需給ギャップが解消され、エネルギーの効率的な利用が実現する。	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクログリッドのような新たなシステム技術（2013年/2020年） ・エネルギー、水、廃棄物の高効率活用システム（2013年/2020年）
ヒートポンプなどを使用した蓄熱空調システム	エアコンや給湯器などの空調システムにヒートポンプや水と物スラリが利用され、高効率な省エネルギー製品が普及する。CO ₂ 利用ヒートポンプの効率が向上、電化製品のエネルギー効率向上により多くの製品に使用され、資源使用量とCO ₂ 排出の削減に貢献でき、世界で普及する。	<ul style="list-style-type: none"> ・定格 COP が 5 を超えるヒートポンプ式給湯器（現在市販機は最高 4.2）（2012年/2019年） ・定格 COP が 8 を超える圧縮式冷凍機（現状は 4.0～6.4）（2014年/2021年） ・ヒートアイランド対策としての地中冷熱利用技術（2011年/2019年）
日本発の環境に配慮した省エネルギー型エネルギー供給システム	2003年に改正された分散型電源からの自営線敷設が各地で整備され、地域の特徴のあるエネルギー源や負荷を組み合わせたマイクログリッドの実証試験が行われ、その成果は国内のみならず世界で注目される。	<ul style="list-style-type: none"> ・家庭用小型コージェネレーションシステム（2009年/2015年） ・自然エネルギー、自然通風、自然採光などを利用した、エネルギー自立型建築システム（2008年/2014年）
太陽光発電	発電単価 1/4 を実現する低コスト化が実現し、戸建住宅の約半分、集合住宅の 15% に導入が進む。2025 年には屋根だけでなく、ビルの壁面にもカラフルでペイントブルな太陽電池が導入される。	<ul style="list-style-type: none"> ・小型燃料電池高効率運用や太陽電池出力安定化の低コスト二次電池（2013年/2020年） ・高効率大面積薄膜太陽電池（2015年/2023年）
太陽光などの再生可能エネルギーによって発電された電力	風力や太陽光などの自然エネルギーによって発電された電力が一日を通して安定して供給され、CO ₂ の削減に大きく貢献する。	<ul style="list-style-type: none"> ・変換効率が年 20%以上の大面積薄膜太陽電池（2015年/2023年） ・太陽エネルギー変換効率 3%以上の人工光合成技術（植物の光合成は 1%程度）（2030年/2039年）
風況に合い雷害も考慮された風力発電機	風況が正確に把握され、効率を向上させることが可能となっている。また、雷害に強い発電機が日本で開発され、国内の一次エネルギー供給の 15% が風力エネルギーでまかなわれ、日本発の雷害に強	<ul style="list-style-type: none"> ・全世界の一次エネルギー供給の 1% が風力エネルギーでまかなわれる（2012年/2022年）

	い発電技術が世界でも普及する。	
風力発電や太陽光発電を電池で蓄電し、マイクログリッドによってエネルギーを供給するシステム	NAS (ナトリウム - 硫黄) 電池技術の向上によって再生可能エネルギーで作られた電力は蓄電でき、マイクログリッドによってエネルギーが供給される。	<ul style="list-style-type: none"> ・コミュニティ単位で自然・未利用エネルギーを活用し、物質循環サイクルを形成する技術 (2012年/2020年) ・各家庭に分散している水・エネルギー供給設備や排水・生ごみ・し尿処理・再生設備を集中管理することにより住民の健康・安全を守るセンサリング・情報ネットワーク技術 (2012年/2020年) ・燃料電池、コジェネレーションなど地域分散型エネルギー供給システム (2010年/2016年) ・燃料電池 (Fuel Cell) を搭載した交通機関 (自動車、船舶など) (2012年/2021年) ・比較的狭い集落や高密度住宅などの単位空間領域におけるエネルギー・水・有機廃棄物の統合的高効率活用システム (燃料電池、バイオマス、自然エネルギー、雨水などを統合) (2013年/2020年) ・分散型電源による効率的エネルギー需給を図るマイクログリッド (2013年/2020年) ・分散型電源を需要側で効率よく使う電力貯蔵技術 (2012年/2020年)
水素製造に活用できる比較的小型の原子炉システム	原子力から水素が製造され、その技術がアジアを中心に世界で普及する。水素製造などの熱利用システムに供給するための比較的小型の原子炉システムが日本で開発される。	<ul style="list-style-type: none"> ・中・小型熱電併給原子炉 (2018年/2031年) ・原子力を利用した熱化学分解法によるエネルギー用水素製造プロセス (2021年/2032年)
バイオマス	セルロースからの低コストエタノール製造技術が確立し、輸送用バイオマス燃料が普及する。穀物だけでなく、草木類、稲藁、間伐材の利用が可能となり、国内バイオマス資源の活用が進み、地方の休	<ul style="list-style-type: none"> ・石炭やバイオマス、廃棄物のガス化による発電／合成燃料製造技術 (2010年/2018年) ・サンベルト地帯遊休地でのバイオマスプランテーション (2013年)

	<p>耕田や里山が再生する。バイオディーゼル燃料の製造技術が確立し、アジア諸国と協力したプランテーションが一般化する。</p>	<p>/2023年)</p>
<p>石炭やバイオマス、廃棄物の効率的なガス化による燃料化</p>	<p>石炭から大量かつ廉価に代替天然ガスを製造する技術が開発され、世界に普及する。石炭をガス化し、メタンを直接製造でき、付加価値の高い化成品を併産することができる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・石炭やバイオマス、廃棄物のガス化による発電及び合成燃料製造技術 (2010年/2018年) ・環境にCO₂を排出せずに石炭から水素を製造する技術 (2016年/2027年) ・非化石エネルギー等CO₂排出の少ないエネルギーを用いた製造工程 (2014年/2023年) ・電車等において回生エネルギーの蓄積や変電所のピーク時負荷軽減を図るための、フライホイールや燃料電池などの車載用エネルギー装置 (2012年/2019年)
<p>廃棄物から効率よく資源およびエネルギーを回収し、再利用できる日本発のリサイクル技術</p>	<p>CO₂やNO_xなどの環境負荷ガスを排出せず、また廃熱などを効率よく利用して、自動車や一般廃棄物から有価資源を効率よく回収リサイクルできる技術がわが国で開発され、世界に普及する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・都市における資源の利用効率を向上させるための静脈ロジスティクス支援システム (2012年/2018年) ・一般廃棄物からのポリ乳酸系プラスチックの製造 (2010年/2016年) ・レアメタルの国内供給源としての、溶融飛灰からの効率的な金属回収技術 (2011年/2018年) ・再利用を可能にした木質系複合素材の製造技術 (2011年/2019年)
<p>都市の食品系廃棄物や有機性廃棄物などをエネルギー源として有効利用</p>	<p>廃棄物を資源として利用する日本のバイオマス技術や環境災害予測技術の普及が世界の安定的な食料生産に貢献している。農業が盛んなアジア地区では、パームとココナッツ油から環境配慮型の日本の技術によってエタノールとバイオディーゼル燃料が生成され、主要な</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリー (2016年/2025年) ・バイオマスエネルギーの燃料電池化利用の一般化 (2015年/2024年) ・乾物で50t/ha/年を越えるバイオマス

	燃料として使われている。地域内で再資源化やエネルギー変換・利用する多段階利用（カスケード利用）が進み、各地域で個別技術の実証・体系化が進められる。	生産作物の作出（2016年/2026年）・都市ゴミからの有価物の合理的な回収利用法（2010年/2015年）
建築廃材や間伐材、林地残渣、食品系廃棄物⇒水質素材の製造やエネルギーへの変換	間伐材や林地残渣を粉末化・チップ化して、木質素材への成形やバイオマスエネルギーにする変換技術が実用化されている。	<ul style="list-style-type: none"> ・木材と非木質系材料との複合化技術の高度化により、再利用を可能にした木質系複合素材の製造技術（2011年/2019年） ・高効率リグニン分解法の開発による木質系バイオマスからのアルコール発酵またはメタン発酵技術（2013年/2022年）
水素供給ネットワーク	低コスト水素製造／貯蔵／輸送技術が確立し、水素供給ネットワークの構築が本格化する。海外の豊富な再生可能エネルギー資源を活用した水素生産の可能性も高まる。太陽光発電と水電解を組み合わせたゼロエミッション型水素製造の技術開発が実用化しているが、石炭などから水素製造する際に排出される二酸化炭素を地中貯留する技術は、2025年にはまだ進展の途中であり、更なる技術開発が必要である。	<ul style="list-style-type: none"> ・メタンから直接水素を製造する低温触媒プロセス（2013年/2021年） ・太陽光で水を分解する水素生産プロセス（2013年/2022年） ・環境にCO₂を排出せずに石炭から水素を製造する技術（2016年/2027年）
燃料電池	家庭用燃料電池の低コスト化と信頼性向上が実現し、広範な普及段階となっている。化石燃料から水素を製造する改質型燃料電池が主流であるが、より構造がシンプルで一層のコスト低減につながる直接水素駆動型燃料電池の普及を目指し、家庭までの水素供給ネットワークインフラの整備が進み始める。	<ul style="list-style-type: none"> ・固体高分子形定置式燃料電池（2011年/2017年） ・固体酸化物形定置式燃料電池（2013年/2022年） ・燃料電池へのバイオマスエネルギー利用の一般化（2015年/2024年）

【ロボットの普及】

2025年にかけて、家庭や現場環境にロボットが普及すると予想されている。家庭環境に

介護ロボットや生活支援ロボットが普及すること、極限環境や危険な現場でのロボットが普及することにより、我々の生活はより快適なものになり、人間がリスクを負うことなく危険作業などを遂行できるようになる。消防活動などでもある程度定型的な作業にロボットが導入される時代になると予想される。

一方で、便利な反面、ロボットが高エネルギーの塊であるバッテリーを搭載していることに留意すべきである。様々な安全措置がとられているとはいえ、ロボットを駆動するためのバッテリーはそれなりの大きさ・エネルギーを貯蔵するものであるから、火災時などに予期せぬ危険の発生源となりうる。

表 2-5 ロボットの普及に関する記載

ロボットの普及		
区分	内容	具体例、実現時期
介護ロボットの普及	介護ロボットが普及し介護作業の援助、または生活を共にするパートナーとしての役割を果たすようになる。	・被介護者に不快感・不安感を与えず、入浴等について介護者を支援する介護ロボット (2012年/2016年)
被介護者の自立を促し、家族や専門家が介護しやすい環境	家庭用ロボットや支援機器が普及し、高齢者や身障者ができる限り自立して生活することを助ける。その結果、社会で働く能力を維持できる。同時に、家族などの介護者の負担を軽減する社会システムが充実する。介護専門家の育成・訓練体制や労働条件が整備され、この一環として、重度心身障害者の介護用ロボット・機器などの普及が進む。	・被介護者に不快感・不安感を与えず、入浴などについて介護者を支援する介護ロボット (2012年/2016年) ・高齢者や身障者が、食事、入浴、排泄、娯楽などを介助者なしに自ら行うことを支援するロボットや機器を備えた住宅 (2013年/2020年) ・重度心身障害者の介護用ロボット (2015年/2024年)
知能ロボット技術を駆使した国際災害救助隊が結成・活躍	アジア諸国を始め世界の災害現場で、国際災害救助隊が救助ロボット・機器を活用して、多数の被災者を迅速に発見・救出するようになる。復旧作業ロボット・機器を活用して、被災者の生活が早期に復興するようになる。	・被災現場で人間識別および救助に利用可能な災害救助ロボット技術 (2012年/2020年)
安全・便利・快適な生活環境の整備	家そのもののロボット化が進み、個々の家族構成に合わせ、人の認知行動パターンに適合した使い勝手の良い生活環境が普及している。例えば、家事の負担や生活環境のメンテナンスを担うサービス・システムが普及している。	・本人が指示しなくても、その人と状況に合った情報サービスがいつでもどこでも提供されるシステム (2014年/2021年) ・家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が一般化する

		(2015年/2024年)
危険作業や 極限作業の 低減	製造・建設過程での危険作業や極限作業をできる限りロボットや機器を用いて、自動化あるいは遠隔操作で行うようになる。これらを用いた生産システムが普及し、作業の短縮化や安全性確保がなされることで、人の負担や傷害事故が激減している。	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者の安全を確保するための、製造プロセスの危険作業や極限作業におけるロボットの利用技術 (2011年/2017年) ・自律型深海重作業ロボット (2012年/2019年) ・デジタル化の進展と産業用ロボットの高度化が、製造業に従事する労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革をもたらす (2012年/2019年) ・建設工事の短縮化と安全確保のために工事現場で利用する知能ロボット技術 (2013年/2020年) ・単機能 (小規模機能) のたくさんの小さなロボットが集まって、互いに連携、機能分担することにより複雑な機能を実現する技術 (2015年/2024年) ・3次元実時間画像処理と力覚制御処理法により、環境変比に対応した作業が実行できるロボットを用いた製造技術 (2015年/2024年) ・鉱山採掘ロボット技術を組合せた経済性の高い無人採掘法 (2015年/2025年) ・自己修復能力のあるロボットを用いた生産システム技術 (2021年/2031年)
犯罪・災害の 予防発展⇒ 被害規模の 減少	センサを組み込んだロボットにより危険な物や状況を迅速に察知できるようになり、一次被害が減少する。危険物の除去がロボットにより遠隔操作で行われ、被害が減少している。また、人が立ち入る場合も、高感度な探知器や保護シ	<ul style="list-style-type: none"> ・爆発物や麻薬探知犬、毒性物質等に感受性の高いカナリヤ等の動物に匹敵した高感度で、爆発物、麻薬、毒性物質等を迅速に探知できるセンサを組み込んだロボット (2013年/2020年)

	<p>システムの活用により、救助者の二次被害が減少している。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防災、防犯、介護支援機能に加え多様なサービスをユーザに提供する生活支援型ロボット等を活用した家庭用セキュリティシステムが相互に接続された地域セキュリティシステム (2013年/2020年)
<p>地域セキュリティシステムと連携できる生活支援ロボットによる、子供の安全確保</p>	<p>生活支援ロボットを含む家庭内セキュリティシステムにより、家庭内での子供の安全確保が行われている。家庭内セキュリティシステムが地域セキュリティシステムと相互接続することにより、生活支援ロボットで対応できない場合には地域で子供の安全が保証される仕組みが実現されている。短時間であれば、安心して種々の用事のため、子供を家庭に置いた短時間の外出が可能となる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防災、防犯、介護支援機能に加え多様なサービスをユーザに提供する生活支援型ロボット等を活用した家庭用セキュリティシステムが相互に接続された地域セキュリティシステム (2013年/2020年)
<p>介護者の介護作業を支援するシステムによる介護者負担軽減</p>	<p>介護ロボット、家事ロボットにより、日常的業務となる介護負担が軽減されている。特に、深夜業務の負担が軽減される。要介護者を乗せる運転操作の容易な専用の自動車が運用されている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・被介護者に不快感・不安感を与えず、入浴等について介護者を支援する介護ロボット (2012年/2016年) ・加齢等により通常の自動車を運転しにくいあるいはできない人のための運転操作支援システム (2012年/2020年) ・庭の手入れ、病人介護、家事など様々な目的に応じたロボットをリースするサービス (2013年/2021年)
<p>高齢者の状態に応じて身体の機能をアシストする機器・システムによる高齢者の自立した社会生活</p>	<p>バリアフリー、ユニバーサルデザインが進み、居住空間での行動が容易になる。また、身の回りを支援するロボットが活用される。さらに、高齢者の身体の状態に応じて移動や歩行をアシストする機器・システムが数多く実現され、高齢者が自立した社会生活を長く続けることができる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・障害者、高齢者の社会生活が格段に拡大する、高性能移動・歩行支援機器・システム技術 (2011年/2017年) ・庭の手入れ、病人介護、家事など様々な目的に応じたロボットをリースするサービス (2013年/2021年)

<p>家事の省力化⇒子育て期における数時間以上の自分の時間の確保</p>	<p>自己診断によるフェールセーフ機能、セルフメンテナンス機能をもつインテリジェントな家電製品が普及する。これらの家電製品を制御するハウスキーピングロボットが一般化する。これらにより、例えば子育て期でも子育て者は、子育て以外に数時間以上の時間を持つことが可能となる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・庭の手入れ、病人介護、家事など様々な目的に応じたロボットをリースするサービス (2013年/2021年) ・家庭に一台、掃除、洗濯などを行う「お手伝いロボット」が一般化する (2015年/2023年)
<p>外に居る子供の安全を守る地域のシステムの構築</p>	<p>地域セキュリティシステムが家庭セキュリティシステムと接続され、ボランティアなどにより地域の各家庭内から、通学路や遊び場など地域全体で見守りが行われている。さらに、子供に問題が生じた場合には、地域を巡回パトロールするボランティア等が持つ情報端末にリアルタイムで地域セキュリティシステムから情報が送られ、必要な場合にはただちに現場へ急行できるようになっている。子供が安心して外で遊べ、地域コミュニティの中で様々な体験ができる環境ができている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防災、防犯、介護支援機能に加え多様なサービスをユーザに提供する生活支援型ロボット等を活用した家庭用セキュリティシステムが相互に接続された地域セキュリティシステム (2013/2020年)

【ユビキタス IT 環境の高度化】

ユビキタス IT 環境の整備は驚くべきスピードで進展しており、自己の位置の認識、自己の健康状態の認識、危険の判断などが可能になり、事故・火災の際の避難誘導や人の検索などに力を発揮すると期待される。

一方で、このようなユビキタス IT 環境は、基幹システムが正常であって初めて機能を発揮するものであり、システムレベルでのトラブル発生には対応できない。大規模火災などの状況でも、若干の支援環境（例えば臨時に“セル”を構築し、火災現場内などでも携帯通話が可能な可搬型基地局の開発など）でユビキタス環境が維持できるような仕組みの構築が必要となろう。

表 2-6 ユビキタス IT に関する記載

ユビキタス IT		
区分	内容	具体例、実現時期
自律的危険判断	火災、地震、水害、盗難等あらゆる緊急事態の状況をビルや家自身が判断し、避難誘導、通報などを自律的に行動するようになる	・もの同士が相互に存在、性質、状況を感じ自動的に危険回避や協調作業を行う技術（例えば、自動車と自転車、ストーブとソファが接近して危険な状態になったときに、物同士が通信して、自動的にアラームを出したり、止まったり、火が消えたりして危険を回避するようになること）（2013年/2020年）
家庭内セキュリティ	家庭や地域等で収集される人、物、環境に関わる状況の変化（電気・ガスの始末や戸締り忘れ、また鉄道の運行状況や道路の渋滞状況、大雨・洪水等の警報情報、等）が瞬時に察知され、防災や事故防止に利用される。	・防災、防犯、介護支援機能に加え多様なサービスをユーザに提供する生活支援型ロボット等を活用した家庭用セキュリティシステムが相互に接続された地域セキュリティシステム（2014年/2021年）
家屋内位置把握	照明の光に入った位置 ID を読み取るような技術（可視光通信）と無線 LAN を組み合わせて位置特定をする技術が発達し、建物内の子供の詳細な位置が把握できる。	・屋外から屋内まで、いつでもどこでも個人の位置を特定できる測位システムが一般化し、非常時の位置通報や危険区域からの避難勧告の伝達などに利用される（2009年/2014年）
ウェアラブルヘルスケアモニター	生体センサで取得した体温・血圧・脈拍等の情報をリアルタイムで病院に転送し、超高精細な映像伝送による遠隔病理診断をもとに、医師から健康アドバイスを受けられる。	・体温や血流などの生体エネルギーを利用して半永久的に動き続け、健康状態のモニターやペースメーカーのような生体機能補助を行うことができる医療チップ（2018年/2028年）
ウェアラブルヘルスケアモニター	健康管理上のデータが非侵襲で計測保管され、異常値発生時には医療機関に報告される。	・マイクロマシンに基づく超小型健康管理デバイス（2015年/2025年）
監視システム	監視システムの高度化により犯罪・事故の未然防止に役立っている。大都市のように知らない人同士が隣り合って暮らす場所でも、安心して暮らすことかできる。	・監視カメラがネットワーク化され、未然に挙動不審者を発見する自動的なサーベイランスシステム（2008年/2014年） ・顔と音声の認識により個人を

		<p>99.9%以上の精度で本人であることを識別するセキュリティシステム (2012年/2018年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・公共的空間に設置された監視カメラで認識し、人相・しぐさ・顔かたち・音声等を解析することにより、指名手配犯・重要参考人等の所在確認を支援する技術 (2012年/2019年)
ヒューマン・エラーの予測による危険回避	<p>高性能な脳活動のセンシング・モニタリングやバイオメトリックス (身体的特徴・指標の検出) により、意思決定支援、行動支援が可能になり、ヒューマン・エラーを予測・予防する自己管理システムが実用化される。このシステムを用いて、ユーザの意思によって危険回避を支援するシステムが普及している。</p>	
シニア対応の情報が得られる都市公共空間の実現	<p>高精度 GPS を備えたウェアラブル端末により、自分の位置が精度高く地下でも確認できるインフラが実現され、都市公共空間を容易に行動できる情報が得られる。地域セキュリティシステムが構築されており、安心して行動できる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・都市公共空間において高齢者や身障者 (目の不自由な人) が安心して自由に行動できる情報を提供する。ユビキタスコンピューティング環境 (インテリジェントなウェアラブル端末やセンサシステムとそれを支援する埋め込み型センサネットワークや通信環境) (2012年/2019年) ・防災、防犯、介護支援機能に加え多様なサービスをユーザに提供する生活支援型ロボット等を活用した家庭用セキュリティシステムが相互に接続された地域セキュリティシステム (2013年/2020年)

【災害予測の高度化】

観測装置の高度化や設置箇所の増大と、予測モデルの高度化に伴い、地震などの災害予測は、それなりのレベルにある。今後もこの方面への力が注がれ、予知・予測精度が向上し、被害軽減に寄与すると期待される。しかしながら、予知・予測は万能ではないことも明らかである。

表 2-7 災害予測に関する記載

災害予測		
区分	内容	具体例、実現時期
災害情報ネットワーク技術	高度なセンサ技術を生かした地震・地殻変動総合観測装置が広範囲に敷設されるとともに衛星を活用した観測システムと統合ネットワーク化され、大規模な地震発生の予知が精度良く可能となる。	<ul style="list-style-type: none"> ・地震検出システム連動型ビル統合管理、ホームセキュリティシステム (2012年/2020年) ・衛星画像、レーダ等による避難誘導可能な広域災害状況監視システム (2011年/2018年) ・地震発生数分前の予知を可能にする地殻変動センサ (2015年/2023年) ・中期的 (5~10年程度先) な大規模地震 (M8以上) の発生予測技術 (2013年/2021年)
リアルタイム地震情報の高度利用技術	地震検知情報を瞬時に全国ネットワークに伝達し、地震到達前の迅速な初期活動を可能とする技術が実現する。個人レベルの位置情報が統合され、被災者の避難誘導や迅速な支援復旧を可能とする技術が普及する。センサを内蔵し自己学習機能を備えた情報端末をネットワーク化することで、より詳細に災害情報が把握できる。災害危険地域に迅速な避難勧告が可能となり、病院や公共施設等でも災害対策に活用される。	<ul style="list-style-type: none"> ・地震検知全国ネットワークによる地震到達前情報伝達防災システム技術 (2008年/2013年) ・中期的 (5~10年程度先) な大規模地震 (M8以上) の発生予測技術 (2013年/2021年) ・個人携帯端末による避難誘導防災システム (2009年/2014年)
地震防災の危機管理及び復旧技術	地震発生後の被害に対処するための、危機管理や復旧を支援する技術が実現する。大規模災害時の被害状況を的確に把握し、効果的な応急対応活動戦略を迅速に策定可能となる。 長期的かつ包括的な地震防災戦略を策定および推進する災害リスクガバナンスの手法確立が、前提条件である	<ul style="list-style-type: none"> ・地震発生確率の長期評価手法確立に基づく地震リスクマネジメントの一般化 (2011年/2018年) ・被害把握・拡大予測システムに基づく応急対応活動戦略策定技術 (2010年/2015年) ・大規模停電等、広域かつ甚大な都市機能マヒ発生時の復旧支援技術 (2011年/2018年)
地球各地で起こる台風、	衛星によるリモートセンシング技術の発達や衛星通信技術の高度化によって、	<ul style="list-style-type: none"> ・建物を識別できる約 100~500m メッシュで、数時間先の大気汚染、都市型

<p>津波、地震、大規模森林火災などの早期発見や減災対応の技術の開発⇒自然災害の被害軽減や事後の早期対応へ貢献</p>	<p>各種の自然災害の状況把握ができ、予防や減災対策へ寄与し、環境災害の予測と被害軽減が可能な社会となっている。</p>	<p>洪水等を予測できる高精度地域環境モデル (2014年/2022年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・広域水循環長期予測と社会活動・水利用予測ならびに衛星観測と地上観測とを組み合わせて、世界の洪水・濁水を事前または準リアルタイムで探知するシステム (2013年/2021年) ・地球各地で起こる大規模森林火災の早期発見・対応技術 (2010年/2015年) ・海洋汚染の世界的規模のモニタリングシステム (2014年/2022年) ・静止衛星による、水蒸気分布の観測 (鉛直分解能 500m~1km、水平 1km~5km) (2013年/2021年) ・雲およびエアロゾルを地球全球で高精度、高分解能かつ高頻度で人工衛星により観測するシステム(2013年/2020年) ・外洋に定置され、高い信頼性をもちかつ長期間無保守で水温・塩分・化学トレーサ等をモニターする自動観測システム (2011年/2018年)
<p>都市型洪水や降雨による土砂災害等の被害軽減</p>	<p>水は生命を支える一方で、集中豪雨や洪水・濁水など社会の脅威となる側面があるが、気象調節・制御による気象被害の低減化や情報収集・予測など有効な対策により水災害が大幅に少なくなっている。局地的な旱魃時の濁水対策として、水供給システムは集中型から分散型へと進歩する。大濁水や震災等の災害や水質事故等の発生時においても、水融通システムにより必要な水を確保することができるようになる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・建物を識別できる約 100~500m メッシュで、数時間先の大気汚染、都市型洪水等を予測できる高精度地域環境モデル (2014年/2022年) ・突発的な災害を防ぐための、衛星観測による河川流量計測と洪水予報 (2012年/2020年) ・信頼性の高い水害、土砂災害予測情報が提供できるような精度の良い降雨予測技術 (2012年/2019年) ・降・積雪の経時変化特性をモニタリングする技術を用いて、表層なだれの規模や危険度を広域で予測する技術 (2011年/2017年)

【建築物・建築資材の変化】

持続可能な社会実現のため、建築物の長寿命化に向けた研究開発が進められている。これにより、50年、100年といったライフサイクルの建造物が増加する。また一方で、リサイクルシステムもより一層進展し、材料レベルでのリサイクル、部品レベルでのリサイクルなど、多様なリサイクル素材が一般化するようになると予想され、分解や破壊が必要な時には容易に破壊、分解できるような建造物が増加する。

このような建造物は十分に火災耐性があるため、通常の火災では安全サイドに働くが、場合によってはマイナス要因として作用する場合もある（例えば、建造物の一部を破壊して延焼を防止する、家屋内に侵入する、などが困難になる）。

表2-8 建築物・建築資材の変化に関する記載

建築・資材		
区分	内容	具体例、実現時期
長期耐用型の余裕のある社会基盤・建築物の設計技術	長寿命な建物構造材が実用化されるとともに、既存建物を長期にわたり活用するための評価・保全・補強技術の開発も進む。100年単位の時代の変化に柔軟に対応できる社会基盤の設計技術が確立し、耐用性に優れ、高効率、高性能、高信頼性かつデザイン性に優れた社会基盤・建築物が構築されるようになる。	<ul style="list-style-type: none"> ・建物構造性能・環境性能のモニタリング・評価・保全技術（2009年/2015年） ・非破壊検査により既存構造物の健全性を調査し、合理的な補強をする技術（2009年/2014年） ・世代交代対応/業態変化対応可能な住宅・建築システム（2011年/2018年） ・高強度高じん性等に優れ、構造材料の性能を劣化させない溶接技術（2011年/2016年） ・鉄骨工事を大幅に合理化する、鉄骨のための高耐久・高性能接着剤（2014年/2023年）
社会基盤インフラの更新技術	社会基盤インフラの更新に際し、周辺環境や交通に影響を与えず、街区単位で建物等を上手に壊す技術や、大量に発生する廃棄物を資源として無駄なく再利用する技術開発が独立し、普及するようになる。	

<p>建築構造物の耐震性向上・評価技術</p>	<p>免振・制震技術が進展し、建物安全性が飛躍的に向上する。高度センサ技術を応用し、様々な建築構造物、社会基盤施設の耐震性を的確に評価可能となる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・建物安全性と財産保全性の飛躍的向上をもたらす免振装置・制震装置 (2007年/2013年) ・高層建物やタンクなどにおける、長周期構造の海溝型地震に対する耐震性評価と補強技術 (2009年/2014年)
<p>環境負荷の相対的に低いエコマテリアル技術</p>	<p>リサイクル容易なプラスチック材料、希少金属に頼らない電子デバイス、さまざまな用途に用いられている光触媒材料や通常の鉄鋼材料を特殊な加工法で強度や寿命を2倍にした超鉄鋼材料など、日本発のエコマテリアル技術が世界に発展・普及する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・生産システムと資源循環システムが一体となった製造システム (2013年/2021年) ・使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システム (2013年/2021年)

【運輸・交通システムの変化】

自動車の知能化は、この10年～15年で大きく進展すると予想される。事故を起こさない自動車、衝突を自動回避する自動車などが現実のものとなり、交通渋滞や交通事故は相当減少すると予想される。

表 2-9 運輸・交通システムの変化に関する記載

運輸・交通環境		
区分	内容	具体例、実現時期
用途に応じた多様な低環境負荷自動車技術	燃料電池自動車や小型の電気自動車等の低環境負荷自動車が実用化し、都市内での日常的な短距離移動目的で、多く使われるようになる。運行ルートが決まっているバスやゴミ収集車などには、中・大型車であっても電気自動車や燃料電池車が使われるようになる。再生可能エネルギーを用いた水素製造技術や低コスト水素輸送技術が確立し、本格的な水素社会実現に向けて普及整備が開始される。都市間移動や幹線物流には、バイオマス燃料を活用した高効率エンジン車やハイブリッド自動車を中心とする。	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料電池を搭載した交通機関（自動車、船舶など）（2012年/2021年） ・燃料電池自動車への水素供給インフラネットワーク（2013年/2023年） ・煤塵、NO_x等が出ないクリーン燃料（水素を除く）（2014年/2021年）
二次電池などエネルギー貯蔵技術	携帯機器や自動車用に、現在の数倍のエネルギー密度をもちながら、数分の1のコストに低下する高性能二次電池が開発、商品化される。自然エネルギーの大規模導入向けシステムとして応用されるほか、より消費電力の大きな高機能ユビキタス機器向け電源として活用される。	<ul style="list-style-type: none"> ・小型燃料電池高効率運用や太陽電池出力安定化の低コスト二次電池（2013年/2020年）
公共交通と自動車との融合型新交通システム	公共交通と低環境負荷自動車および道路インフラが高度情報システムにより統合した新たな都市交通システムが実現する。公共交通の利便性が向上し、自動車への依存が抑制される。衝突防止技術や運転操作支援システム等、自動車自体の安全性能が向上することに加えて、道路インフラと自動運転技術が統合することで、交通事故につながるドライバーの判断ミスを大きく低減できるようになる。	<ul style="list-style-type: none"> ・センサにより自動車故障/事故予知判断ができるシステム（2011年/2016年） ・車車間通信システムを活用した出会い頭等の事故防止システム（2009年/2016年） ・高齢者運転操作支援システム（2012年/2020年） ・高速道路等における安全・円滑に自動走行する自動運転システム（2012年/2020年）

<p>道路交通需要をコントロールする技術</p>	<p>IT を用いて交通需要をリアルタイムにきめ細かく把握する技術や、高精度な渋滞発生予測技術が進展することで、道路交通需要の適正化が効果的に実現できるようになる。HOV (High Occupancy Vehicle:相乗り) やレンタカーシステムの利便性も改善され、マイカー需要が適正化されるようになる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・大都市部における交通量の最適・最小化 (TDM) の完全な実施 (2019 年) ・個別配送増加による都市内交通混雑を抑制する都市内共同配送システム (2010 年/2017 年)
<p>事故防止のために運転者を補佐する機能を持つ自動車⇒子供との外出の容易化</p>	<p>車車間通信、交差点などに設置されたセンサーと車の路車間通信等により、衝突の自動回避機能など、高度に事故防止対策が行われ、例えば同乗の乳児に気をとられた場合などでも安全に運転できる機能を持つ自動車を実現されている。高速道路などでは部分的に自動運転システムが整備されている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・画像認識や各種センサを利用して自動車周囲の状況を認識することによって、衝突を防止するシステムの一般化 (2010 年/2015 年) ・車車間通信システムを活用した出会い頭などの事故防止システム (2009 年/2016 年) ・目的地を人力すると自動運転で目的地に到達できるシステム (2016 年/2026 年)

2. 3 国内外の消防関連ビジョンから見た、将来消防服が備えるべき特徴

欧米並びにわが国の消防関連ビジョンから見ると、将来の消防を巡る環境は、以下のように変化すると予想される。

(1) 将来の消防を巡る環境

予知・予測の進歩や堅牢で破壊し難い建造物の普及、センサー群による早期火災発見、IT技術による要救助者や自らの位置情報の取得、自動車安全・環境監視の普及により、火災件数そのものは間違いなく低減する。

一方で、家庭内ロボットや分散電源が普及することで、身近に高エネルギー材料が多数存在する生活となり、また、リサイクル建材・エネルギー源など可燃性材料も地域に集積される傾向が強まる。これらは、火災時にはリスク要因となる。建造物が堅牢であるのも火災時にはマイナスに働く場合もある。

(2) 将来の消防服が備えるべき特徴

火災や事故の絶対数の減少、並びに一端火災が発生した際の消火活動の難易度の上昇の両方に対応するため、消防装備の2極化が進むと予想される。

具体的には、①少数であるが、難易度の高い火災に対応する高機能化、と②圧倒的多数からなる現行消防服の延長装備となると想定される。

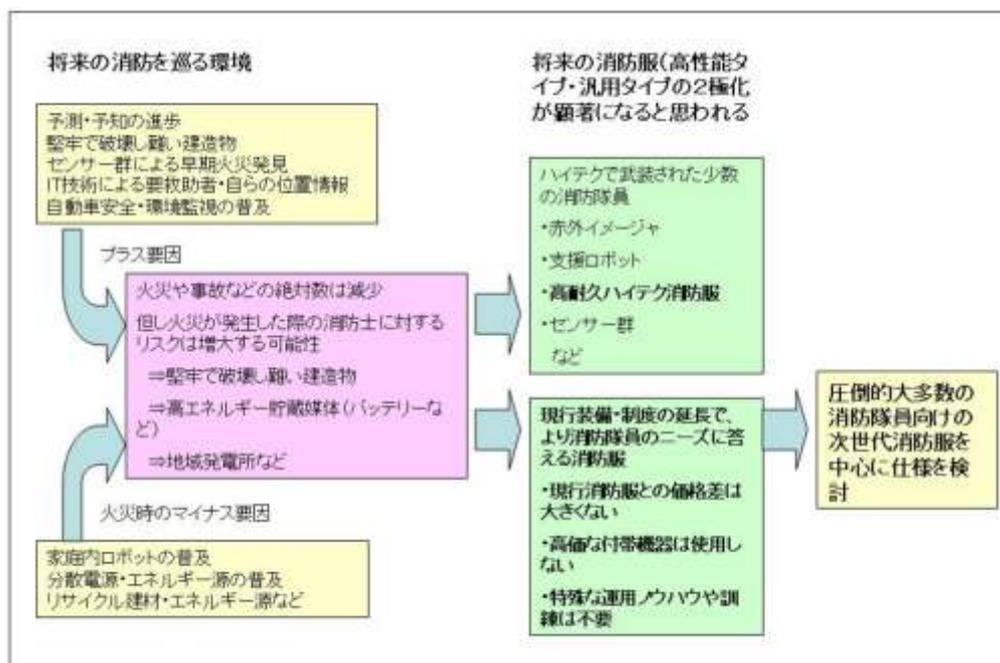


図 2-5 国内外の消防関連ビジョンから見た、将来消防服が備えるべき特徴

3. 消防服が今後備えるべき仕様の検討

3. 1 既存の報告書等に基づく仕様

(1) 次世代防火服の開発における消防隊員へのアンケート

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」を行なった。

このプロジェクトの一環として、全国消防長会を通じて、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。質問項目は全 65 項目からなり、現在使用中の防火服に必要と言われる三つの性能（①隊員を火災の熱から防護すること（熱防護性）、②防火服内の暑さによって心身の不調を起さないこと（快適性）、③消防活動に必要な手足等の動きを妨げないこと（運動性））について、何が重要なのか、使用者である消防隊員が、実際の火災現場で現在使用している防火服に対して、どのような評価をしているか、防火服の課題や改良すべき点は何かなどについて回答を得ることを目的とした。

回答者隊員の属性は、男性 792 名、女性 4 名（合計 796 名）、平均年齢 39.8 歳（max 60 歳、min 18 歳）であった。

図 3-1 に過去 1 年間のトラブル体験の結果を示す。半数近くの回答者が、暑さで気分が悪くなったことがある、また運動性に不便を感じたことがある、との結果であった。また、「防火服が裂けたり破れたりしたことがある」と回答した回答者が 16.3%（130 名）、寒くて活動に支障をきたしたことがあるとの回答が 13.3%（106 名）、防火服装着で火傷をしたことがあるとの回答も 2.6%（21 名）存在する。

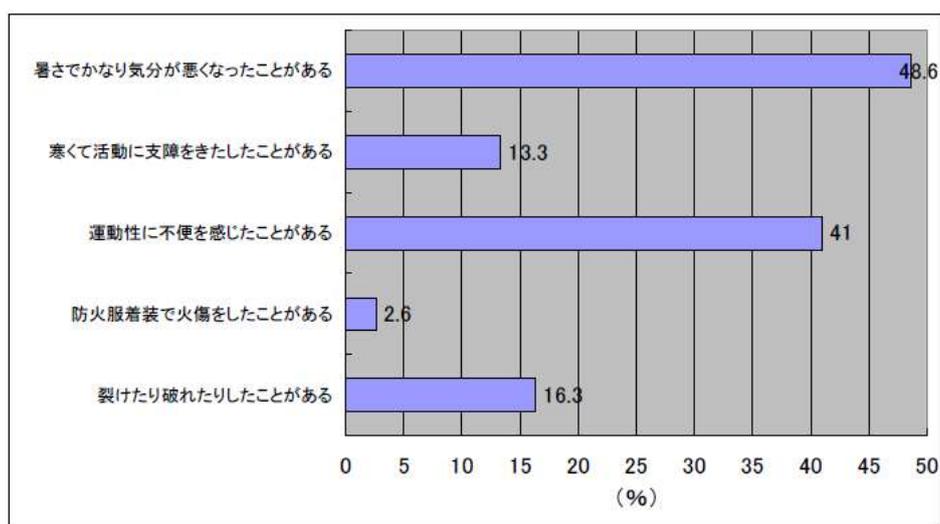


図 3-1 過去 1 年間のトラブル経験

次に、前の質問で、暑さでかなり気分が悪くなったことがある隊員 387 名を 100%として複数回答で対処を聞いたところ、図 3-2 のような結果となった。気分が悪くなったに

もかかわらず、我慢して作業を継続した消防隊員が8割近くにも上ることが分かる。

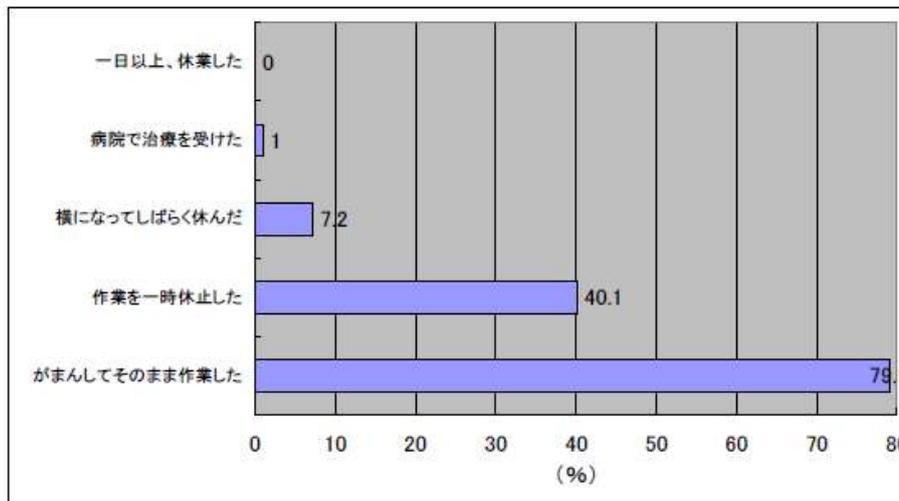


図3-2 暑さでかなり気分が悪くなったときの対処

現用の防火服について5段階で評価してもらった結果を図3-3に示す。

明らかに、「暑い」「蒸れる」(快適性)に対する満足度が低く、次いで「動きにくい」、「防火服が重い」(運動性)等の感想が続いている。

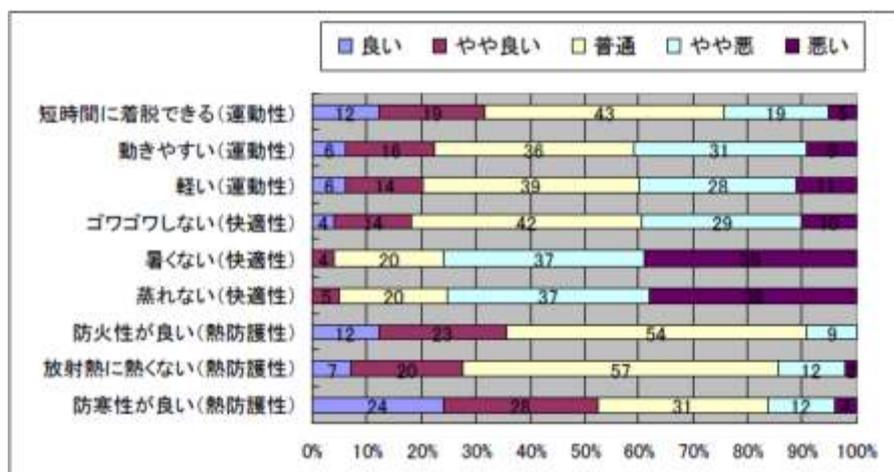


図3-3 消防隊員による防火服の5段階評価

防火服の評価(4)では、快適性に関する評価が低かったにもかかわらず、防護性と運動性がほぼ同様、防護性と快適性では防護性重視、運動性と快適性では運動性重視、という結果となった。

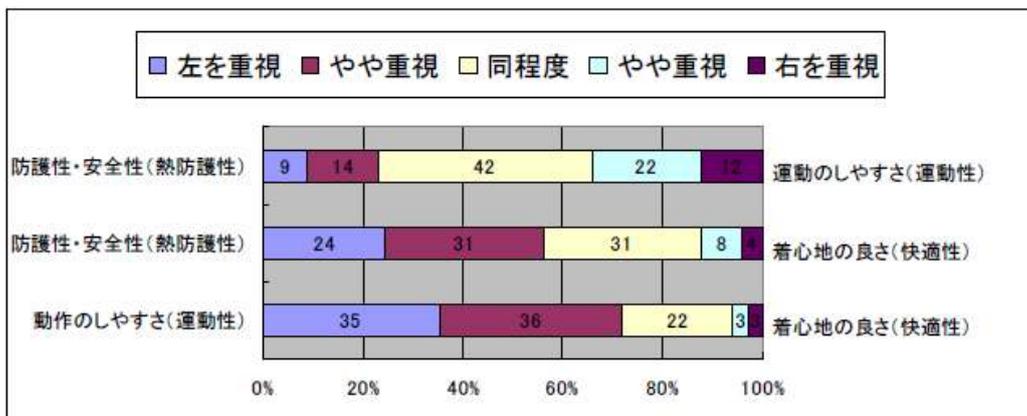


図 3-4 防火服で重要と考えるもの

「次世代防火服の開発」報告書では、これらの結果を踏まえ、「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。日本の消防官の高い使命感が、自分の暑苦しさよりも、消防活動に必要な運動性と熱防護性が重要であると回答したものと思われる。」としている。

「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。日本の消防官の高い使命感が、自分の暑苦しさよりも、消防活動に必要な運動性と熱防護性が重要であると回答したものと思われる。」

(2) 「消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究」(消防研究所)

独立行政法人消防研究所では、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」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行っている。表 3-1 に試験対象の防火服等の概要を示す。

表 3-1 試験対象の防火服等

試料名	種別	素材・構成			上段：仕様 下段：質量
		外衣	透湿防水層	断熱層	
試料A	防火衣	ノーメックス	透湿防水フィルム+ノーメックス+不織布		NFPA 4655g
試料B		アラミド繊維+PBO (アルミコーティング)	透湿防水フィルム	アラミド繊維ストライプ地	他都市消防本部 2190g
試料C		アラミド繊維			当庁現用 2890g
試料D		ノーメックス			ワイルドランド 1510g
試料E	執務服	メタ系 55%+パラ系 5%+難燃ポリエステル 15%+難燃レーヨン 15% (一層構成)			当庁現用第二種 765g

活動のしやすさアンケート結果を図3-5に示す。

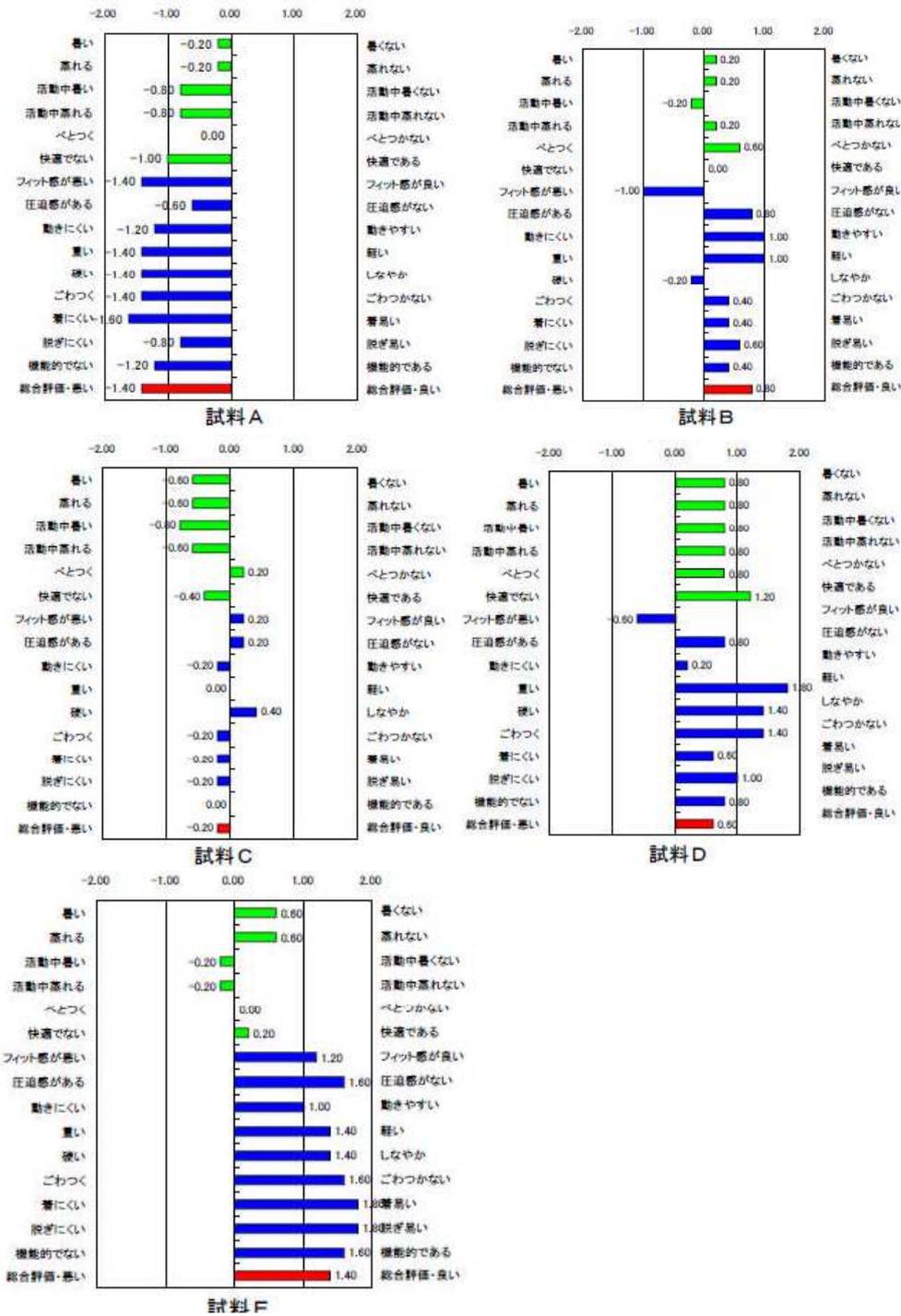


図3-5 活動のしやすさアンケート結果

明らかに、軽量のものほど活動がし易いという結果になっていることが分かる。

また、これらを用い、さまざまな種類の防火衣を実際に着用した消防隊員によるフィールド試験も行われた。被験者は5名であり、5種類の防火衣の試料着用の上で「消防活動モデル」運動時の身体状況の測定が行われた。

連続的に計測されたパラメータは、1) 防火衣内温度、2) 防火衣内湿度、3) 心拍数、4) 体表面温度であり、また、発汗量と血中乳酸濃度が活動の前後で計測された。心拍数の結果を図3-6に、体表面温度の結果を図3-7に示す。これらのデータも基本的には軽量のものほど体への負荷が少なめであることを示しているが、興味深いのは、ワイルドランド用消防服において、活動時の体表面温度が最も低くなっていることである。これは、デザイン面、特に通気性の寄与が相当あることを示唆している。

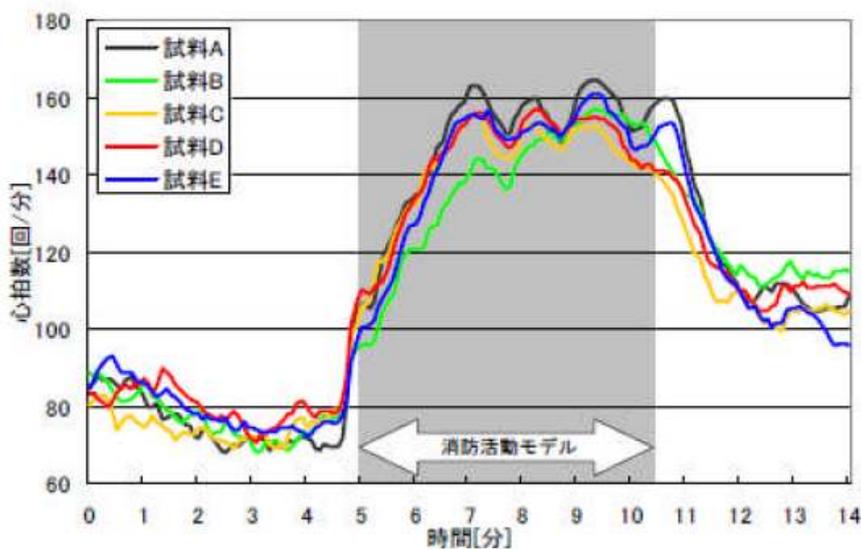


図 9.4.4 心拍数

図 3-6 心拍数の変化

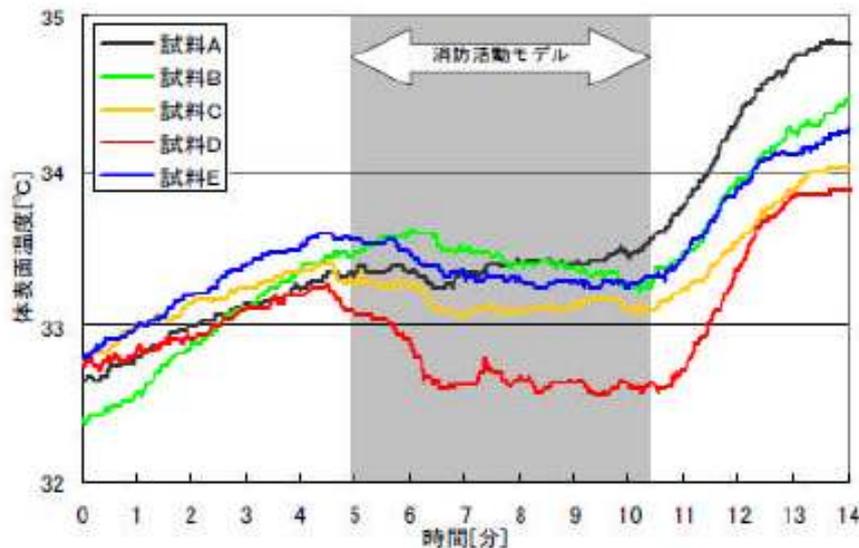


図3-7 体表面温度の変化

これらの結果を踏まえ、「消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究」では、以下の傾向を指摘している。

- ・ 質量の大きい防火衣は身体への負荷が大きくなり、快適性、機能性が劣る。
- ・ 質量の小さい防火衣ほど快適性、機能性に優れる。
- ・ 質量が小さくてもフィット感が悪いと、機能性が劣る。
- ・ 安全帯を着用することによって、快適性は劣るが、一定のフィット感が得られる。
- ・ 下半身の自由度が低い防火衣は、機能性が劣る。

なお、室内での類似実験なども行われ、密閉型、重量が重いもの、アルミ素材（通気性・透湿性が共に極めて悪く、断熱性が高いもの）などはかなりの負荷がかかることなどが明らかとなっている。

（3）消防防災科学技術高度化戦略プランに対するニーズ調査

消防庁では、消防防災に関する科学技術の今後の方向性・あり方について、火災等の災害現場における消防防災活動、防火対象物・危険物施設等の予防・査察等の観点からの消防機関の意見、ニーズ等をできるだけ把握し、消防防災に係る科学技術のあるべき方向性を見出して行きたいと考え、政令指定都市、県庁所在市及びこれに準ずる都市（全国100都市）の消防本部に対し、「消防防災科学技術高度化戦略プラン」において課題として整理された分野や国民保護などの新たな課題を考慮し、次の10項目（76の細目を設定）に関して、「技術の導入・実用化などの緊急性」の観点から5段階評価のアンケート調査を

行った。

- －情報化による防災システムの高度化促進
- －住宅防火対策等の推進
- －防災力の質的向上
- －消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化
- －特殊災害対策の強化
- －危険物施設等の保安対策の充実
- －救急・救助業務の高度化
- －環境への配慮
- －国際化への対応
- －国民保護のための仕組みの整備・充実

これらの中で、消火技術関連のアンケート結果を図3-8に示す。
軽量・高性能な資機材に対するニーズが高いことが見てとれる。

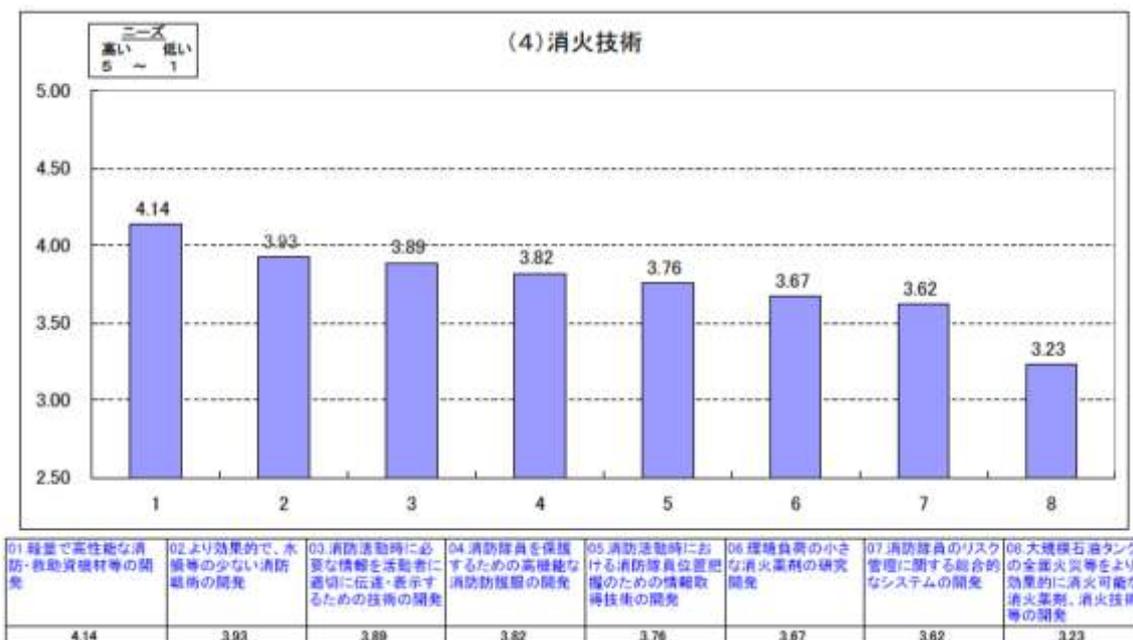


図3-8 消火技術関連のアンケート結果

3. 2 消防服ニーズに関する有識者会合から得られた知見

(1) 有識者会合の開催

消防局の装備担当者などをニーズ系有識者とする会議を開催し、今後防火服が備えるべき仕様について検討を行った。会議の概要は次の通りである。

【日時】

2008年1月21日(月) 13:30-16:30

【場所】

株式会社三菱総合研究所 2F CR-2A 会議室
(東京都千代田区大手町2-3-6)

【出席者(敬称略)】

有識者

小川 孝裕(財団法人 日本防災協会・理事技術部長)、越川 善裕(札幌市消防局 総務部施設管理課・装備係長)、仁平 文男(東京消防庁 装備部装備課・個人装備係長)、大塚通寛(大阪市消防局 警防部警防課・警防係長)、野涯 弘一(福岡市消防局 警防部警防課・警防係長)

総務省消防庁消防大学校消防研究センター

箭内 英治(技術研究部 大規模火災研究室 室長(併)火災災害調査部専門調査官)、若月薫(技術研究部 大規模火災研究室 研究官)

事務局

中村 裕彦(株式会社三菱総合研究所 科学・安全政策研究本部先端科学研究グループ・主任研究員)、辻 早希子(株式会社三菱総合研究所 科学・安全政策研究本部先端科学研究グループ・研究員)

【資料】

- (1) 防火服のニーズ調査のための会議出席者名簿
- (2) 本会議の開催趣旨について
- (3) 意見交換関連資料
- (4) 消防研究センター 大規模火災研究室における防火服の研究について

【議事（抜粋：発言者名削除）】

「既存報告書などにおける消防服ニーズについて」

A:防火服はアラミド系を使っている。活動上の支障は特になく、現時点で満足している。高性能になるのは良いが、価格が上がるのはネックになる。今のところ耐用年数6年でやっているが、活動が頻繁な救助隊は5年とし、一般警防隊、消防隊はそのまま6年とする意見が出ている。また、アルミ表面については、耐熱性は良いが、劣化が激しいという課題がある。我々のところでは手袋にアルミを使っていなかった。他の本部を参考にし、グローブについては、中にアルミを織り込んで作製したところである。アルミを表面に出すと耐久性が劣ることがわかったので、そういうところも今後、考えなければならない。基本的には個人対応だが、所属に与えるということも考えている。バージョンアップによって技術が高くなるのは良いが、金銭的なことがネックになる。また、耐熱性能が上がると、夏は非常に暑くなる。アイスパックを入れるという対処もあるが、体調は隊員の管理として、交代要員で対応している。消防服を統一して作製すれば、価格が抑えられるのではないか。

A:防火服は、各本部など地域の単位でオーダーしている。

W:それを統一仕様にするのと、大量生産により安く抑えられないか、という意見であるか。

X:5年くらいで取り替えるという話だが、それで劣化してしまうのか。

A:異動によって、間にデスクワークの業務が入ると、その間はカウントされない。人事的には非常に複雑な制度である。所属対応の形にすれば、均等に予算割りができる。

W:活動による劣化の程度はどのように検査をするのか。

A:公的な検査はない。

W:初期性能は高くても、劣化が早い繊維もある。使い方や活動によるのだろう。一度でも火の中に入ってしまうと劣化が進みそうだ。

A:ひび割れなどで視覚的な判断をしている。ただ、炎の中に入ることはほとんどない。

B:上下セパレートの銀面の防火服をすっかり変えようという話が出ている。背面に生地を使うタイプのもものが候補になっている。アンケートでは、安全性、活動性、夏場の暑さが意見として挙げられている。暑さについては、動きやすさにより精神的に緩和できるのではないかと思う。うちのものは銀面で防水層のゴアテックスが入っている。重い装備を背負って活動しているので、避けようがないのかもしれない。指揮者が水分補給や交代要員でサポートするのが現実的な対応である。活動服を着た状態で外から水をかけても中には入らない。ただし、活動中は服の中は汗でびしょびしょになる。生地タイプにすると水を含んで重く感じたり、撥水が落ちてくるのではないか。暑さについては、腕の回しの良さ、ストレッチ、縫製の工夫などで涼しく感じられるという意見があった。

B:水を含むことで、重量感を感じる。体内の汗も倍になっているという。水の中へ援護救助で入っていくと水を含む可能性が高い。

W:生地タイプよりはアルミタイプの方が軽く感じられるということだろうか。

B：そうである。その代わりに、熱発散の効率は悪くなるだろう。我々のところで導入しようとしているのは軽量のアルミがベースの防火服で、腕から背面と足の部分が生地タイプ、というものである。

C：メタ、パラ混紡系でアルミ蒸着していないものを十数年、導入して使っている。アルミ蒸着に関しては地域特性がある。札幌には凍結の問題があるので、アルミ蒸着の方が良いかと思う。アルミ蒸着すると硬くなって運動性が制約されると感じている。ただ、アルミ蒸着のありなしで、発熱はあまり変化しない気がする。基本的には防水層があるので汗は出ない。ゴアテックスといっても、通常の運動の汗と救助活動で出る汗は量が違うので、ある程度発散できても飽和してしまう。発汗性はアルミ蒸着と生地で大差ないと思う。防火服である限り、アルミ、布のいずれでも熱は逃げないと考えている。防水性に関しては、防水用の液体を配って3-4ヶ月おきにメンテナンスを行っている。

W：防水溶液に漬けて防水性を確保するという作業にコストはかかるのか。

C：原液を希釈して使うので、コストは高くない。ただし、アラミド繊維なので乾かすときに光にあたると耐候性が低下してしまう。

W：アラミドだとパラ系の方が劣化は激しいという傾向はあるのか。

Y：強さはパラ系の方が強いが、耐候性が悪いため実際には使われないと聞いたことがある。

C：実験で、5、6年使用しても、さほど耐熱性は下がらないということがわかった。耐用年数5、6年は妥当だと思う。

D：相反する性能を追求しても、矛盾の話でしかない。そもそも防火服というのは、隊員のヒートストレスを考えるものではなく、耐熱性を最優先に考えるべきものである。一つの防火服に全てを求めるのは無理である。耐熱性能としての防火服を維持しながら、活動する隊員の安全、健康衛生上の問題としていかにクールダウンさせるか、である。スポーツの発汗と災害現場での発汗は違う。それを考えるならば、クールベストのようなものを導入するしかない。クールベストを含めて防火服を作ると、価格が問題となる。ISOの基準ができたことで、非常に財政的に逼迫している。次世代防火服としてISO基準のものよりも安く作製できるのであれば、発展的である。また、統一的な仕様にするという意見は民主主義を崩壊させてしまう、というのが私の意見である。

それから、地域性をどうしても考える必要がある。札幌でも30度を超えることがあるが、6ヶ月以上積雪寒冷という環境を考えると、防水性能が死活問題となる。そして、防水性能を保つためにはメンテナンスにコストをかける必要がある。メンテナンスに費用をかけられなければ、アルミ蒸着の防火服を選択せざるを得ない。北海道では防火服を着て活動すると、表面や髪の毛が凍るという状況になる。それがアルミ蒸着だと、ぎゅっと抑えることでポロポロ落ちる。そうでなければ、お湯をかけて解かすしかない。そういうメ

メンテナンスが大変である。それから、数百万円の洗濯機が欲しいという声が届いている。

W：凍結の恐れがある場合、生地の一部にでも水が入るとだめだろうか。

D：外から水が入ってくることもある。運動性能を維持するために、背中にはアルミ蒸着はいらぬ、という考え方はある。生地とアルミのどちらがいいか、ということは一概に言えない。

X：耐水性に重きを置いているのか。防護性能以外に、重要な性能は何であるか。

D：札幌の場合は、耐水性と防寒性である。

X：寒い地域では、ヒートストレスは短い間だけの問題ということか。

W：耐水性が大前提で、隊員の健康維持などは交代要員などで対応するのか。

D：ヒートストレスに関する論文を研究所で出している。30分に一度交代させるべきであると言われている。

「現行の消防服などに関する課題について」

D：米国の性能が高いのは、日常では日本のように活動服を着て勤務をしていないのが理由ではないかと思う。札幌では、防火衣だけでISOの基準を満たすように作製されているが、暖かい地域ではヒートストレスのことがあるので、活動服と合わせてISO基準を考えているらしい。米国では、日本のようなオールラウンドの業務を行っているのではなく、何かに特化した業務を行っているようだ。

C：うちでは上は防火服単体でもISOの規格をクリアする。先月事故があり、熱傷をあびた隊員がいた。検証の結果、一枚でも多く着ていると、空気層ができるために熱傷が防げるのではないかという。その職員は下に着ていなかった。今後は、隊員の安全のために原則として着せることになりそうだ。ただし、熱防御性が高くなることによって、熱を感じなくなり、限界まで無理してしまうという危険があるかもしれない。燃えている現場で水が来なくて、輻射熱が上がり手を火傷した者がいた。生地は焦げていたのだが、アラミド繊維なので生地が劣化したのではなく、表面の染料や顔料が焦げていた。繊維は無事だったのだが、中の人間は焼けどしていた。相反するが、熱を防ぎつつ、熱を感じるようにしたらよいという意見がある。熱センサーをつけたらどうかという意見もある。蓄積する熱があるので、熱を感じてからでは遅くなってしまふ。従って、熱防護性は重要だが、ある程度熱を感じることも大事だと思う。無理させなければ大きな事故は防げる。

手袋にはアラミドを使い、切創以外の事故を防いでいる。また、手は熱にさらされやすいため、数年前からアルミ蒸着したものを手の甲に入れている。ただし、ごわつきがあるため、他の素材がいいという話もある。

やっていただきたいこととして、ヘルメットが挙げられる。広島メーカーが熱を防ぐ塗料を開発した、という記事が半年ほど前に新聞に載っていた。その塗料を防火服に使い

ないか。あるいは、ヘルメットに導入すれば頭部を熱から保護し、夏のヒートストレス対処にいなるのではないか。記事は、タンクや工所用ヘルメットに展開しようという内容であった。

W：建築用の塗料に熱遮蔽効果のあるものがある。中に中空のバルーンが入っていて、塗布すると空気層ができる。ヘルメットに関して教えていただきたいのだが、あれは重さを感じるだろうか。

A：20キロのボンベを背負っているのであまり感じないと思う。

C：国内では法的規制がかかっているので、軽ければよいというわけにはいかない。

D：重さのことを言い出せば、軽いほうがいいに決まっている。

C：ただし、生地を軽くすることにより、コシがなくなって使いにくいと感じることもある。例えば活動服は襟を立てて着るように指導しているが、コシがなくなって動いている間に襟が下がってくる、という問題がある。

B：個人の肉体的な能力も考慮する必要がある。安全性を追求するときりがないので、体力の維持とコストでバランスをとらなければならない。30度を超える蒸し暑い中で、フル装備で活動すると体力により感じ方が変わる。靴については、運動性が大事である。今は密着感のある編み上げタイプの長靴を導入しつつある。編み上げの靴については、重量感があるので軽くするための方策が何かないものか。

W：今の靴の重さはどうなのか。工場の安全靴や登山用のシューズ程度であるのか。

A：つま先の保護もあるので、軽くはない。うちも編み上げを使っている。

D：ゴム長の安全靴のイメージである。

C：安全靴よりは軽い。

D：ゴム長の編み上げである。防水性と安全感が必要なためである。

W：引き裂き強度は材料で改善できると考えていたが、簡単ではなさそうだ。

C：靴の場合は、上からズボンを被せるので、丈夫でなくてよい。切創、落下物、床のくぎに対する防護が必要である。

W：くぎやガラスで怪我をすることは多いのか。

E：怪我をしないための靴である。

B：怪我に至らなかった、という事案はある。

W：熱硬化性樹脂のものをベースにしている場合がほとんどだろう。熱可塑性の繊維で性能の高いものがあるのだが、法的には使えないのか。

X：ある温度になると柔らかくなるスーパー繊維と言われるものはEさんのところでやっている。

E：試作したことはあるが、使いこなしたというレベルではない。

X：ゴム製の長くつで、底がよく燃えるものがあったと思う。靴が原因で足を火傷することはないのか。

D: 足の怪我は、想定されていない角度でガラスやくぎが出ていた場合に起こる。

X: 消防隊員が火の中に飛び込むことは想定していないかもしれないが、昔のものは燃えやすく大怪我をしたという話を聞いたことがある。

D: ゴムにしても服を上から被せている。昔に比べて露出が小さくなっている。一時的には今のものの方が耐えられるかもしれないが、昔のものの方が長時間もったのかもしれない。

C: 今の話はうちで平成11、12年頃あった事故である。救助隊が炎につつまれて火傷した。また、昭和60年頃に、はしご車の上で作業していた人間が下から吹き上げられて火傷したこともある。それ以来、今のタイプを導入した。救助隊員も一斉にセパレートタイプを着用するようになった。

X: 上にズボンをはくから長靴は隠れるということか。

W: 暑くて仕方がないときに、中に水を入れて対応することがあるという話があったが、例えばヘルメットを工夫して、頭だけ冷やせばいいということはないか。

D: 首を冷やすとヒートストレスを緩和するという。

W: 暑さを感じなくなるけどかえって体を壊すことがあるかもしれない。

X: 血液循環系を冷やすと効果的だが、危険を感じないために限界以上に作業してしまう、ということにもなりかねない。

C: うちでも冷却剤を背中とワキの下に入れるように指示している。実際には入れていない人間も多いだろうが、後から行く隊員は必ず入れているはずである。

W: 入れているのは保冷剤か。

C: そうである。車庫に保冷庫があって、そこに入っている。

D: それは、食品用の冷蔵庫とは別なのか。保冷剤は自分たちで用意するが、冷蔵庫は組織が用意しろと言われてしまう。

C: うちでは保冷剤も組織で用意している。

X: 保冷剤はどこでも使っているのか。

A: うちでは使ってない。

B: クールベストの営業が来たが、莫大な金額である。それを着用させるのは苦しい。

X: 冷却剤のもつ時間はどれくらいか。

C: 10-15分くらいである。

B: 最初はかなり快適だと思う。

W: クールベストは高いのか。

E: クールベストは防火服と同じくらいする。水や氷を用いた技術の方がよい。

W: ローテーションの時間はどれくらいか。30-40分くらいだろうか。それくらいの活動時間だったら、10分の保冷剤は効果があると思うが。

D: 札幌の場合は30分である。呼吸器をつけて建物内部に入る人間は、その時間よりも

早くボンベ交換をする。ボンベ交換の時間管理は指揮隊という部隊が行う。

W： 夏と冬で事情は違うのか。

A： 冬にヒートストレスはない。やはり夏の問題である。

E： 20分で前と後ろを交代させるルールがあるのか。

B： それはコミュニケーションでやっている。現場の状況、自分たちの年齢、体調で判断していくしかない。

X： 通常、ボンベの持ちはどれくらいか。安全を見込んで警報がなるようになっているのか。

C： 呼気量を40Lとして計算している。早い場合は15—20分である。

B： その日の体調や緊迫の度合いによって違う。常に圧力を確認する必要がある。

W： 完全再呼吸型のボンベは使わないのか。

C： 使わないことになっている。あれは酸素ボンベを使うので、大きなトラブルになりかねない。使った場合は、2時間半くらいもつ。

D： われわれのところでは、活動時間が30分の空気ボンベで足りないとき、鉋山や炭鉋では、酸素補給気を使った。ただし、本体も発熱してしまうので使いにくい。

C： あれは救助作業の隊員しか使っていないと思う。

W： 非常に特殊な装置のようだ。ところで、火災現場に入ったとき、顔のガードはどうしているのか。

D： 鋸(シコロ)を使う。

W： それで十分なのか。

D： 最近は防火衣の襟をたて、鋸を短めにしていい、といわれている。ただし、熱風が吹きこんできたときに耳などを火傷することがあるので、石綿の頭巾を装着するようになってきた。

W： 難燃性のマスクを被るのか。

C： うちはまだ全員に配っている。鋸を装着しても隙間から熱風が入ってくる。あるいは、呼吸器のボンベに鋸がぶつかってめくれてしまう。その隙間から首を火傷したりする。ただし、暑いのでとても評判が悪い。

D： 鋸しかなければ、熱風に対してある程度意識が働くが、頭巾をつけるとわからないので帰ってくるまで火傷していることに気がつかないということがある。耳がふさがれることもいかなものかと思う。

W： 目はどのようにガードするのか。

A： 面体をつける。さっきの頭巾は、試してみたがとても暑い。また、全部カバーすると熱を感じる場所がない。

D： 熱感知に関しては、本人もそうだが周囲に対してその隊員がどれくらい熱を感じているかがわからないと、連れて戻ることができない。強い人はどんどん入っていくが、弱い人がついていってダメージを受けてしまうことがある。周囲にもわかるようにセンサーを

つけることにはメリットがある。

W： 内部にセンサーがついていて、外からわかる形だとよいのか。

E： 消防にはがんばり屋が多い。

C： アンケートにも我々の仕事の性格が出ている。

Y： 呼吸器の件で調べたときに、海外のメーカーで、面体式の一部に心臓の心拍数を外のモニターで確認するようなセンサーがついているものがあった。高価になるが、個人的には複合的なセンサーができればよいと思う。コストのことを考えると、どこまで隊員の健康を考慮することができるだろうか。

D： どこまでも。

C： 難しいところである。

D： 隊員の個人差が大きいので、客観的なデータから基準を述べることは難しい。装備部門が一定のレベルを決めている。

Y： 装備を含めて、海外品の需要はどれくらいなのか。都道府県ごとに海外品の使用頻度は違うのか。たとえば呼吸器はどうか。

D： うちでは国産と海外の両方が入っている。ところが、北海道内で聞いたところ、その年の入札によって違うという本部もあるようだ。毎年違うこともあるらしい。政令指定都市の予算とそれ以外では格差がある。

X： 防火服の性能を決めるときの基準は何か。ISOではリスクアセスメントによって決めているようだが。

D： うちはそのままでできていない。平成15年のISOの規格は最低限クリアしようという話が始まっているところだ。予算の都合で、分割購入することになる。それ以上ハイレベルのものが出てきても、コストダウンできればよいが、コストアップするのではないかと危惧している。

X： 基準がISOであると考えればよいのか。

C： そうである。客観的に評価でき、説明責任になる。もしISOがなければ、JISに移行すると思う。

B： うちでもISOを基準にしている。

X： ISOの中にも基準がいくつかある。今言われているのはヨーロッパ仕様が基準になっていると思う。ヨーロッパ基準だと考えてよろしいか。

C： 横田基地がISOをクリアしているので借りたことがある。重量は1.4倍である。横田は航空機対応になっているので、アルミ蒸着である。横須賀海軍は少し違うらしい。横田のものは航空機火災の関係があるので、アプローチBらしい。サイズはわからないがズボンと上着だけで4.9kgくらいあった。

W： NFPAの防火服はそれくらいだった。

X： それは日本の隊員には重すぎるのか。

C： 何人かに着てもらったら、勘弁してくれ、という感じだった。とにかく暑い。着ただ

けでヒートストレスになる。

E: 色々トライしてみて、落ち着いたのがヨーロッパ式ということだろう。

C: 昔の厚いものが北米式のアプローチB法なのだと思う。

W: A様のところもISO基準か。

A: そうである。議会や上への説明責任のため、ISOが通常のルールになっている。

W: ISOが導入されたことによって、最低基準以下もそうであるが、それより飛びぬけて良いものも導入しにくくなったということはあるか。

A: 安ければいい。

D: 全国の消防本部ではISO基準にあった防火服をどこまで導入できているのだろうか。

E: アンケートの対象の消防本部が16あって、1箇所を除いて導入できている。

D: その残りは800箇所くらいあるはずだが。

E: 16番目は政令指定都市ではなかった。

C: ニュースで映像を見る限りは従来のタイプである。沖縄あたりでもぼちぼち切り替えていこうかという話があるそうだ。導入はまだまだだと思う。

D: 我々が次世代防火服の話を進めてしまうと、格差が広がってしまうのではないか。

X: むしろ、将来こういう防火服が考えられる、というものを提示したいと考えている。理想形を示して、現在ほどの段階なのかということを確認にわかる形で示したい。

B: 同じ服が全国の消防に配られるのが一番有難い。

D: 緊急援助隊に対しては防火服の指定をし、金銭面で一部を支援してくれるといい。例えば緊急援助隊を派遣するときに、うちの防火服を持っていくとヒートストレスになると思う。逆に、北海道サミットのときに全国の緊急援助隊は耐寒仕様を持ってくるのか。地元の仕様が優先されるのではないかと思う。

W: 重ね着で対応できないか。

D: 我々のところでは、フリースなどの防寒服も着ていると思う。それに活動服の下には、長袖のシャツを一枚、二枚重ねていると思う。

W: 低温火傷なども防げるのか。

D: 冷えてくると健康管理上も厄介になる。

「消防活動、消防服はどうあるべきか」

X: 冷却機として、小型クーラーを試したことはないか。冷剤よりも冷却効果は高いという。

C: 鉄鋼所で使っている循環式のベストを試したことがあるが、使えない。消防では上に着込んで密着しているので循環しない。実用的でない。

E: 地震の倒壊現場で救助用ロボットやカメラを仕込んだものを使うことがあるようだが、それを火災現場にも使えるだろうか。

W： 技術的には可能だろう。コストの問題になる。技術的には、酸素補給機などを持って人についてくるロボットはできる。

E： ヒトのかわりに行かせることはできるか。

W： 探索をさせることはできるだろう。

C： 消防車でガスセンサーなどが装備されているものがうちに一台ある。軍用に近い。あれで人を運べるかという議論もあったが、実際にはせいぜい消火器一本くらいだと思う。

W： 本当に危ない現場のために、各消防本部に一台、二台導入するという事は可能だろうか。

D： 自己完結型のロボットで、導入による職員削減効果が期待できるなら可能だろう。また、自己完結式ではなく、職員補助を行うタイプであっても普及すると思う。状況を判断する知的機能を持った消防車を危険な現場で使うことで人のリスクが減るならば、コストをかける価値はある。それに、今後、将来にわたって火災のリスクがなくなることはないだろうと思う。個人的には、火のリスクは将来も残ると考えている。

Y： 消防活動に関わる人々の年齢構成が5年後、10年後には変わるのではないかと考えている。そのとき、防火服は現状と同じままでよいだろうか。団塊世代が退職して若者が入ってきた場合、消防服に求められる機能は変わらないだろうか。ご意見あれば伺いたい。

C： 最近の学校の学生は、ヒートストレスに非常に弱い。少し前の世代、団塊世代は熱に強いが、最近の若者は小さいときから冷暖房完備の環境で育ってきたので、温度環境の変化が我慢できないように思う。学校の教官に聞いても、ヒートストレスを感じる若者の割合は増えてきているという。それでヒートストレスの問題がクローズアップされるのではないかと思う。昔の人間は気力で何とかしてしまう。ところが、今の人間には使命感があっても、意識は自由であると思う。

B： 恵まれてきているというのは言える。自分が新人だった頃と比較して、装備もすごく変わった。

X： 消防訓練で、若い人のほうがヒートストレスを感じる方が多いということか。

B： 訓練していても、一定の間隔で水分補給がある。限界がわかっている隊員とわかっていない隊員がいる。自分の限界を知るところまでいっていない人間がいる。

E： 最近の消防本部は体育会系をとりにくくなった、世の中に体育会系が少なくなってきたという話がある。そういう世の流れがあるかもしれない。

E： 世の中は高齢化だが、このテーマに関しては若年化ということか。

D： 若年化というのは、多様化ではないかと思う。団塊世代が退職したら、平均年齢も下がってくる。団塊世代は、お金がない場合には応用力、精神力でカバーしてきた。今の若い人たちには、消防のためにはあらゆる資材が必要であるという主張がある。非常に頻度の少ない、一年に一度あるかどうかの事故に備える装備を求める。事故があったらどうするのか、という論理は整然としているのだが、ほとんど起こらないような事故の話である。今あるものを有効に活用して何とかしてくれないか、と伝えると、しかし売られているも

のがあるではないか、というのが若者に共通の主張である。昔はロープ一本、ナイフ一本で全てこなしてきた。今の人間は、あらゆる装備が必要だという。昔の人には今のことがわからない、という理屈である。

E: 今の話を防火服に当てはめると、滅多に起こらないバックドラフトも考慮した、完璧な耐炎性の装備が札幌から福岡まで一律に必要なのだろうかという議論になると思う。

D: 防火衣のグレードに選択肢があるのがいいかもしれない。それで多様化した若者にも対応できるかもしれない。事務仕事の多い消防職員にはグレードの高いものを持たせるべきではない、というのも有効にお金を使うための意見としてあると思う。ただ、消防に携わっている以上、職員に対しては均等な装備が必要ではないかと考えている。それが若年層との意識の違いとして感じていることだ。今の若者は何か買ったとしても、御礼を言うどころか、次はこれが欲しいという話になる。

Y: 防災技術は多様化してきているのだから、リスクに応じて技術を選ぶということがあって当然だと思う。地域に応じた選択ができればよい。

D: スクラップができればいいが、スクラップアンドビルドではなく、ビルドアンドビルドになっている。

Y: 消防服のリサイクルについてはどう考えているか。

C: アラミドのリサイクルはできないと聞いている。

Y: つまりスクラップで終わっている。新品を買うよりは、リサイクルする方が価格を抑えられるのではないか。

C: それについて以前試みたが、コストばかりかかってしまった。車のシートなどにしかリサイクルできない。混ぜ物であるため分別するのが難しい。一年間に二度行ったが、やりきれなかった。検討はしたが、非常に難しい。

E: 消防サイドの話ではない。今、メーカーが古いものを回収するという約束で買うことが増えてきている

X: 5、10年で耐熱性が落ちることがないということがわかった場合、バックアップする側に着てもらおうということはないのか。

C: 消防団と消防は組織として違うので難しいのではないかと。考え方が違う。

D: 気持ちはわかるが、我々は職業としてやっているのに、ボランティアでやっていただいている消防団にお下がりをお渡しなんてできない。

X: しかし、消防団の装備の性能はあまり良くないのではないかと。

D: そのことは気になっていた。札幌では、ISOの基準に達していないようなものを買ったようだ。

X: 消防団用と消防隊員用と分けて考えるべきかもしれない。消防団はパッシブに活動するのだから、同じ性能を求めるのは酷である。

D: 日本としての全国水準があればよいと思う。

E: 防災協会で消防団の防火服の基準を作った。それはISOのレベル域を基準にした。

世界で見るとローグレードの防火服であるが。

D: それは公表されているのか。四月から新しい防火衣を作ろうとしているようなのだが。

E: ISO基準域が良いという話になっている。今までのようなものにはならないと思う。

X: 最後に伺いたいのだが、将来を見込んだときに今の防火服に欲しい機能は何か。

C: 警告のための弱い部分である。安全弁のような役目をする部分。そこから怪我することもあり得るので、影響のないところに作れないか。

E: 昔からその話がある。フランスでは、膝のところだけセンサーにしているという。そこは火傷しても死なないからということだ。

C: 他人ではなく、本人がわかるものが欲しい。

E: モニターの結果を本人にも知らせるということか。先頭の人には必要かもしれない。防護性能とは別に、センサーを電氣的に作るということか。

C: 資料にある、筋力補助装置が実現するのではないかという話もある。消防隊員が火災現場で使うというよりも、救急で使えるのではないかとされている。消防では水を使うので、電気は難しいだろうが救助ではもう少し早く使えるのではないか。

以上

(2) 有識者会合から得られたニーズ

上記(1)の会合から、消防活動における装備として、防火服、冷却系、手袋、靴、防火帽などに対し次のようなニーズが得られた。

○防火服

耐熱性や力学的強度については、現在の性能でほぼ満足している。

アルミ蒸着の耐久性の向上が望まれる。

軽量であることが望ましいが、生地のコシは維持させたい。

防水性、および熱発散性、速乾性、透湿性は重要な課題である。

耐候性が向上することが望ましい。

活動性(ストレッチ性、縫製の工夫)を向上させたい。

洗濯や撥水コーティングなどのメンテナンスは容易である方がよい。

夏場のヒートストレスには、何らかの対処が必要である。

価格は現状と同程度である必要がある。

現状では劣化の程度を検査する方法がない。

地域性(積雪環境における防寒性、防水性、温暖な地域におけるヒートストレス)を考慮する必要がある。

リサイクルは、技術的、コスト的、文化的に困難である。

○冷却系

現在は保冷剤を使用している。クールベストの導入には価格面での問題がある。

○手袋

手は熱にさらされやすいことから、耐輻射熱性、熱防護性が重要になる。
耐切創性も重要である。
ごわつきの解消による活動性の向上が望まれる。

○靴

活動性、安全性(切創、落下物、床面のくぎなど)、防水性は現状の編み上げ長靴で確保できている。
また、上から防火服を被せることにより、熱防護性もカバーが可能である。
今後の課題としては軽量化が挙げられる。

○ヘルメット

熱遮蔽性塗料を用いたヘルメットを試してみたい。軽量であることが望ましい。

○頭部の保護

防火衣の襟としころを用いてガードした場合には、しころがめくれることがある。
頭巾を装着した場合には、ヒートストレス、耳が塞がれる、危険に対する感度が鈍る、などの問題がある。

○アンダーウェア

防火服の下の衣服により熱遮断性を確保する必要がある。

○危険感知のためのセンサー

本人や周囲の人間に警告を出すための熱センサーの導入が望ましい。
隊員の健康モニタリングができるとうい。

○ロボット

職員削減効果、職員補助効果、リスク軽減が期待できる。

○その他

火災にリスクは将来にも残っており、防火服を装備した消防隊員による消火活動がこれからも行われるであろう。若い世代の人間の方が比較的ヒートストレスには敏感であるため、今後、問題としてクローズアップされるだろうという意見があった。
消防活動は大量の水を用いての作業となるため、防水に対する機能が重要となる。また、

同じ理由から、電気系装置を消防活動に直接用いることは困難である。



図 3-9 ニーズから見た防火服が今後備えるべき仕様

3. 3 今後消防服が備えるべき仕様の検討

ニーズ系有識者会合により得られた知見、および国内外の消防関連ビジョンから、今後消防服が備えるべき機能と、それを実現するための材料開発の方向性を以下に述べる。

○防火服

耐熱性、熱防護性、引っ張り強さ、引裂き強度など、安全に関するスペックは現状の防火服ではある程度のレベルに達しているものの、輻射熱やフラッシュオーバーなどにも対応できる耐炎性、耐熱性が必要である。従って今後は、熱的、機械的防護性を維持、向上させると同時に、活動性と快適性を改善していく必要がある。

快適で活動性の高い防火服には、長時間着用しても疲労の程度を軽減する効果があるため、消防活動の効率化、隊員の安全確保を実現できる。快適性改善の課題の一つとしてヒートストレスが挙げられる。夏場や温暖な地域における消防活動では、防火服内の暑さが心身の不調をきたす例が多い。素材の選択と構造設計により、外部の熱を遮断しつつ、200W(活動時)を超える人体からの発熱を発散する機能を実現させる必要がある。同時に、外部の水分遮断性、人体からの汗の拡散性を併せ持つ機能が求められる。活動性を向上させるためには、動かしやすい縫製やデザイン、装備の軽量化が有効である。一般に、消防隊員は、20-30kg もの個人装備品を身につけて消火活動を行っており、高機能材料による装備の軽量化が望まれている。

この他、将来の防火服へのニーズとして、耐久性、価格、メンテナンスの容易さなどが指摘された。現状の防火服と同様に、5・6年程度の耐久性があること、同程度の価格(10・20万円)で作製可能であることが求められている。パラ系アラミド繊維の弱点である紫外線による劣化やアルミ蒸着の劣化に改善の余地がある。コストを低減し、現在、技術的に困難とされる消防素材のリサイクル技術の開発や、メンテナンスフリーな消防服の開発によってコスト低減効果が期待できる。洗濯や撥水コーティングなどの維持コストを削減するためには、撥水性が持続する耐久性の高い素材、セルフクリーニング効果のある素材の開発が必要である。

○冷却系

夏場のヒートストレスを訴える声は多く、有識者会合では、特に今後はクローズアップされる問題になるのではないかという意見が挙げられた。ヒートストレスへの対処として、現在は保冷剤を防火服の内ポケットに入れて使用している。この方法では15・30分の消火活動時間のうち、10・15分間は体温調節を行うことが可能だが、必ずしも十分とは言えないため、クールベスト等冷却装置の導入が望まれる。

○手袋

手は熱にさらされやすいことから、耐輻射熱性、熱防護性が重要となる。それと同時に耐切削性を持たせる必要がある。指の動かしやすさの改善が課題として指摘されたことから、現状レベルで使用している手袋の防護機能を維持しつつ、ごわつきの解消や耐滑性の付与が求められる。柔らかい繊維を使用したり、熱遮断性や耐熱性の高い材料を用いて軽量化したりすることで、指の動かしやすさを素手の状態に近づけることができる。

○靴

活動性(フィット感)、安全性(切削、落下物、床面のくぎなど)、防水性は現状の編み上げ長靴で確保できている。また、上から防火服を被せることにより、熱防護性もカバーが可能である。今後の課題としては軽量化が挙げられ、現在の耐踏抜性、防水性を維持しつつ、軽量の代替材料を利用することにより達成できると考えられる。

○頭部の保護

現在、日本の消防活動では、防火衣の襟を立て、上からしころを被せて首部をガードしている。しかし、この仕様では熱風が吹いたりボンベとぶつかったりするとしころがめくられて怪我をすることがある、という課題が指摘されている。一方、米国 NFPA 基準の防災フードを装着すれば安全性を高めることができるものの、ヒートストレスを起こしやすい、耳が塞がれて危険に対する感度が鈍る、などの問題が発生する。

頭部の防護に関しては、材料開発よりもデザイン面での工夫で改善することが可能と考

えられる。例えば、東京消防庁で平成 16 年度から導入された防火帽では、デザインを改良することによってボンベとの干渉がなくなり、従来タイプと比較して上方視野が確保できるようになった。防護機能の向上に関しては、デザインによる改良を行い、材料開発としては耐熱性、遮熱性、耐衝撃性などの性質を維持しながら軽量化する、という方向性が挙げられる。

○アンダーウェア

現状では、防火服の下に着る衣服に対してあまり大きな注意は払われていない。しかし、アンダーウェアによって断熱性を確保していれば火傷が防げたと考えられる事故例の報告があることから、安全で快適な消防活動のためには、アンダーウェアの機能性追及が欠かせないことがわかる。

アンダーウェアにはフィット感を持たせて防火服との間に空気の断熱層を形成させ、同時に吸湿速乾機能を重視することにより体温調節効果を期待できる。従って、異形繊維、ナノファイバー、芯鞘構造繊維などを用いたアンダーウェアを開発することで、消防活動中の快適性の確保と疲労軽減効果が期待できる。

積雪環境などの地域性、季節性に対しては、防火衣よりもアンダーウェアの重ね着などで防寒効果を得る方が経済的である。

○危険感知のためのセンサー

防護服による装備が完全すぎると、隊員の危険に対する感度が鈍くなり、却って大きな事故につながりやすいという指摘があった。従って、防火服を機能向上させると同時に、本人や周囲の人間に対して危険を警告するための熱センサーも装備することが望まれる。この際、感温性染料等を用いれば、色によって危険を知らせることができるため、消防活動に適した非電気系で利用できる上、低コストに抑えることも可能である。あるいは、周囲の気温が一定の温度以上になったり熱風が吹いたりした際に、防火服の形状が変化して隊員に危険を知らせるといった方法も考えられる。防火衣の袖口、裾、しころなどの部分に温度応答性のアクチュエーターを埋め込んでおくと、一定以上の温度に達した際には袖口が絞りこまれて危険を知らせると同時に熱風を防護し、温度が下がれば袖が開いて服内部をクールダウンできる、という機能が期待できる。

将来的には、消防服に複合化したウェアラブルセンサーを用いて、心拍数などの隊員の健康状態をモニタリングし、心身の健康の管理をしつつ作戦を遂行できるようになると考えられる。

○ロボット

消防に関する調査報告やニーズ系有識者会合では、消防活動への遠隔操作型の消防ロボット、搭乗型消防ロボット、人口知能型消防ロボットなどの導入の重要性が指摘されている。

る。消防におけるこれらのロボットの導入により、危険を伴う消防現場でのリスク軽減、職員削減効果、職員補助効果などが期待できる。火災現場では大量の水を使用するため、当面はロボットを直接的に利用した消防活動は困難であるが、将来的には、筋力補助装置や消火活動補助ロボットの導入が検討されていくと考えられる。

次世代防火服に求められる仕様

防火装備

- ・柔らかく伸縮性に優れ軽量の素材の使用、無縫製技術による活動性の飛躍的な向上
- ・耐熱性、耐炎性、遮熱性、力学的強度の向上により熱、炎、薬品、落下物などのあらゆる危険から隊員を防護
- ・完全防水
- ・メンテナンスフリー(セルフクリーニング効果)
- ・高温時に危険を感知して自動的に衣服が変形し、熱風等に対する防護機能を高める
- ・リサイクルが可能



危険感知センサー

- ・一定温度に達すると装備の色が変化し、警告する

インナー

- ・地域性や季節に応じて設計し、寒さやヒートストレスに対処する
- ・吸汗速乾、体温調節機能に優れ、消防活動における隊員の疲労を軽減する
- ・発汗時に自動的に布地が変形し、快適性を維持する

図 3 - 1 0 次世代防火服に求められる仕様

これを、ニーズの優先度と対応部位、技術区分という形で再整理して図 3 - 1 1 にまとめる。

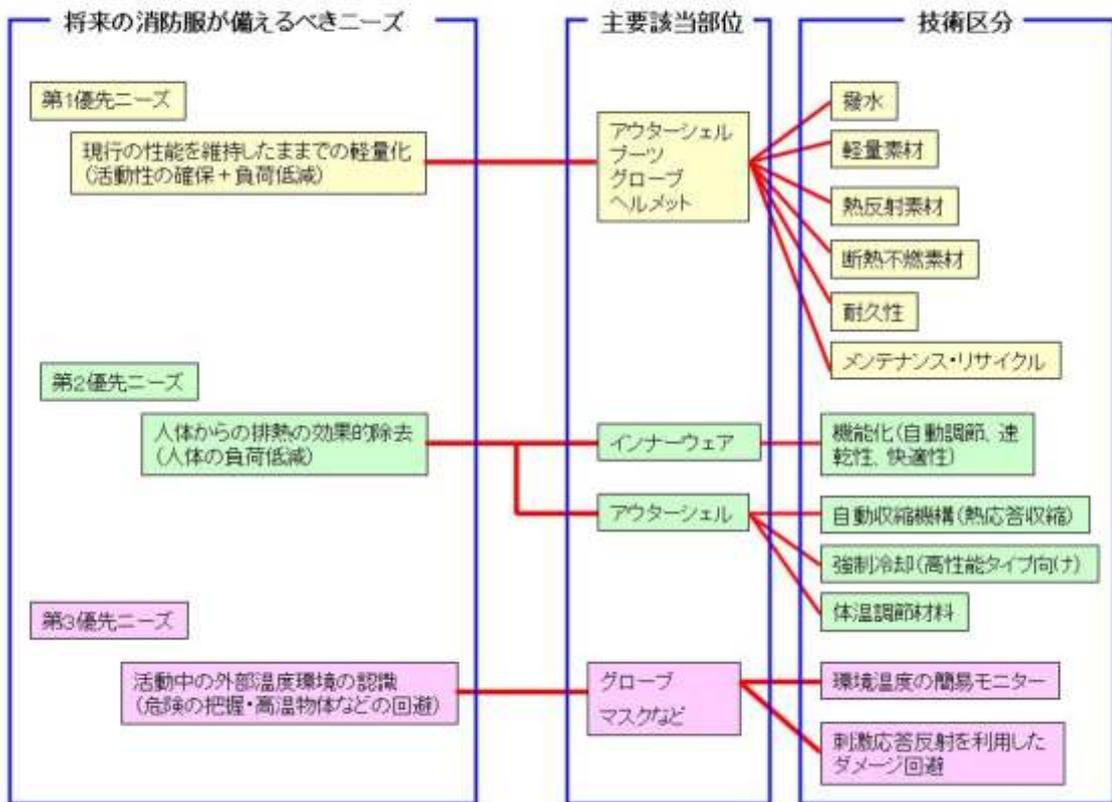


図3-11 ニーズの優先度と対応部位、技術区分

4. ニーズを具体化する関連技術の調査

4. 1 第一優先ニーズに関連する技術

ニーズ系有識者会合の結果より、耐熱性や力学的強度は現行の性能を維持しつつ、活動性を高める技術が求められていることがわかった。そのためには装備全体の軽量化、撥水性の向上、断熱性の向上が必要となる。この他には、耐久性の向上、メンテナンスが容易であること、リサイクル可能であることが指摘された。

(1) 撥水性

消防活動における断熱性は衣服の空気層により維持されているため、防火服における撥水性は快適性のみならず、隊員の安全確保という点においても重要である。従って、外衣は高撥水であること、その耐久性が高いことが必要とされる。また、火災現場においては有機溶媒への耐性が必要になる場合があるため、できれば撥水性と撥油性を併せ持つ材料であることが望ましい。撥水性、撥油性を実現する技術としては材料表面のコーティングによる方法が知られているが、耐久性を高めるためには構造による防水機能の付与が効果的である。

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のナノテクノロジープログラム精密高分子技術プロジェクト「表面ナノ凝集構造制御による撥水・撥油表面の構築」では、フッ素コーティングによる疎水化とコロイダルシリカ修飾による表面ラフネス制御を最適化することにより、撥水性と撥油性を併せ持つ材料が開発されている。従ってコーティングと構造撥水を併せて開発することにより、耐久性に優れた撥水・撥油性表面を設計できると考えられる。

この他、蓮の葉のマイクロ構造を模倣した構造撥水を利用した防水性織物が市販されており(図4-1)、構造撥水性材料はコーティングによる一般的な撥水材料と比較して耐久性に優れる(図4-2)。

図4-1 構造撥水織物の概要¹

¹ ユニフォームナビ HP より (<http://www.uniform.co.jp/navi/home/マイクロフト.html>)

図4-2 構造撥水織物レクタスと一般撥水加工織物の耐久性比較¹

エレクトロスピニング法は2-1000nmの直径を有するファイバーを作製可能であり、ほとんどのポリマーをナノファイバー化できることから活発に研究が進められている紡糸技術である。エレクトロスピニング法で作製されるナノファイバー不織布は、図4-3に示すように繊維径が小さくボイドが多いことから構造撥水性を有する。

図4-3 エレクトロスピニング紡糸装置(左)²と得られる不織布のナノ構造(右)³

² 大阪大学大学院宇山研究室 HP より

<http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~uyamaken/index.html>

³ 日本における繊維技術に係わる先進的な研究者および研究テーマのデータベース (No19-2 京都市産業技術研究所 繊維技術センター)

(2) 軽量素材

繊維の軽量化技術としては、繊維の中空化や多孔化が挙げられる。これらの加工は、布地の空気層の体積を増加させ比表面積を高めるため、断熱性、吸水性、速乾性を同時に向上させることができる。従って、機能を維持または向上させつつ軽量化する技術として非常に有望である。繊維の加工技術による軽量化についての詳細は、断熱素材の項目で述べる。

この他、活動性を高める技術としては縫製による運動性の向上が考えられる。独立行政法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、快適性、清潔性、活動性、軽量性などが考慮された宇宙船内用日常服を開発した。このうち T シャツ、ポロシャツ、ズボン、靴下には無縫製技術が採用されているため、フィット感、活動性、肌触りの良さ、耐久性が良いとされている。宇宙空間では洗濯が困難であることや閉鎖空間であることから、消臭、抗菌性能が必要であること、静電気発生の抑制が重要であることから、繊維一本ごとに光触媒粒子、抗菌剤、制電性樹脂が付着されている(図 4-4、図 4-5)。

図 4-4 宇宙オープンラボで提案された宇宙船内用活動服⁴

⁴ JAXA オープンラボ 近未来宇宙暮らしユニット 資料

図 4-5 宇宙船内用活動服に用いられている繊維ナノマトリックス加工⁴

(3) 熱反射素材

消防活動以外で、高い断熱性を有する材料が用いられているものとして宇宙機が挙げられる。宇宙機に用いられる断熱素材は、軽量・高断熱、かつ、太陽光などの輻射を反射する必要がある。そこで、ここでは宇宙機用の様々な熱制御材料について、輻射率などを計測し評価した大西の報告を参考に、宇宙機用断熱素材を中心に整理した。以下、宇宙科学研究所報告（第 113 号 2000 年 12 月）の大西の報告を抜粋して記載する。

1) 熱制御フィルム

ポリイミド系とフッ素系のフィルムを基本に、裏面に Al や Ag 等の金属薄膜を施したもので、必要に応じて表面に透明導電性膜が施される。一般に、多層膜断熱材 (MLI : Multilayer Insulation) の最外層や放熱面材料として使われる。太陽光吸収率、半球放射率の値は熱制御フィルムの膜厚に依存するが、ここでは宇宙用によく用いられる 12 ~ 250 μm の膜厚についてデータが計測された。

a. ポリイミド系

- ・ Al 蒸着ユーピレックス R (Upilex-R/Al、宇部興産社製) : ユーピレックス R のフィルム (ガラス転移温度 $T_g=303^\circ\text{C}$) 裏面に Al 蒸着。
- ・ 導電性 Al 蒸着ユーピレックス R (TCC/Upilex-R/Al、宇部興産社製、TCC : Transparent Conductive Coating) : ユーピレックス R のフィルム表面に透明導電膜 (スズ添加酸化インジウム) を、裏面に Al 蒸着。
- ・ Al 蒸着ユーピレックス S (Upilex-S/Al、宇部興産社製) : ユーピレックス S のフィルム ($T_g=359^\circ\text{C}$) 裏面に Al 蒸着。
- ・ Al 蒸着カプトン (Kapton/Al、シェルダール社製) : カプトンフィルム ($T_g=428^\circ\text{C}$) 裏面に Al 蒸着。
- ・ 導電性 Ag 蒸着ポリエーテルイミド (PEI/Ag、住友ベークライト社製) : ポリエーテル

イミドフィルム (Tg=310°C) の表面に紫外線劣化防止膜の酸化セリウムと導電膜を、裏面に Ag 蒸着。

b. フッ素系

・ Al 蒸着テフロン (Teflon/Al、シェルダール社製) : テフロンフィルム (FEP、Tg=260°C) の裏面に Al 蒸着。

・ Ag 蒸着テフロン (Teflon/Ag、シェルダール社製) : テフロンフィルム裏面に Ag 蒸着。

2) 塗料

白色塗料、黒色塗料および耐熱性塗料の 3 種類について測定が行われている。白色塗料は紫外線劣化を招くが、太陽光の入熱を抑え、かつ放熱能力に優れている。黒色塗料は拡散性の放熱能力に優れているので、搭載機器表面や人工衛星の内部表面に用いられ、人工衛星内の温度分布の均一化を図っている。導電性黒色塗料は熱制御フィルムより機械的強度が大きいため、人工衛星の外表面に用いられる。以下について計測がなされた。

a. 白色塗料

・ ケミグレイズ Z202 (白色 Z202、ロードケミカル社製) : ポリウレタン樹脂。

・ ニッペノバ 500 アストロホワイト (アストロホワイト、ニッサンペイント社製) : シリコーン樹脂

b. 黒色塗料

・ エアログレイズ Z306 (黒色 Z306、ロードケミカル社製) : ポリウレタン樹脂。

・ ニッペノバ 500 アストロブラック (アストロブラック、ニッサンペイント社製) : ウレタン樹脂。

c. 導電性黒色塗料

・ ケミグレイズ L300 (黒色 L300、ロードケミカル社製) : ポリウレタン樹脂。

・ 導電性ブラックカプトン (Black-Kapton、シェルダール社製) : カプトンフィルム表面に導電性黒色塗料。

d. 耐熱性塗料 (耐熱温度約 1000°C)

・ 灰色チラノコート (宇部興産社製チラノコート)

表 4 - 1 太陽光吸収率と全半球放射率 (293K) の計測結果⁵

⁵ 宇宙科学研究所報告より <http://www.isas.ac.jp/publications/hokoku/cont06.html>

図4-6に、計測された太陽光吸収率の入射角依存性を示す。太陽光の反射という観点では、テフロン／アルミや白色塗料が優秀であることが見てとれる。

図4-6 計測された太陽光吸収率の入射角依存性⁵

図4-7から図4-9は、素材毎の全半球放射率の温度依存性の計測結果である。これらを見る限りにおいて、塗料系の全半球放射率が高い（すなわち体温近傍の熱を逃がしやすい）ことが分かる。

図 4-7 ポリイミド系熱制御フィルムの全半球放射率の温度依存性の計測結果⁵

図 4-8 塗料系試料の全半球放射率の温度依存性の計測結果⁵

図 4-9 フッ素系熱制御フルムの全半球放射率の温度依存性の計測結果⁵

また、500nm 程度のサイズを有するセラミクス粒子を塗布することにより、太陽光を高効率で反射させて断熱性を高めたヘルメットが株式会社 杏環境開発株式会社から市販されている(図 4-10)。

図 4-10 熱遮蔽セラミクス塗料の概要⁶

⁶ 杏環境開発株式会社 HP より http://www.atuino-iyada.jp/020_/

(4) スーパー繊維

耐熱性、耐炎性、力学的強度が要求される防火衣のアウトershellには、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。以下では、これらの防火衣用繊維の概要と、次世代スーパー繊維として期待されている素材について述べる。

・メタ系アラミド繊維

耐熱性、難燃性に特徴がある。また、紫外線による強度劣化が比較的緩やかである、パラ系アラミドに比べて柔らかいという特徴を持つ。商品としては、「コーネックス(帝人)」、「ノーメックス(DuPont)」などがある。化学構造を図4-11に示す。

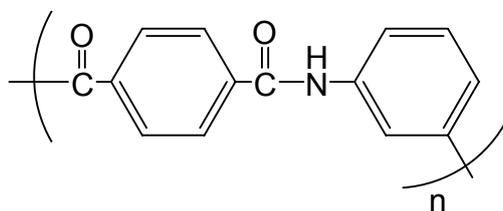


図4-11 メタ系アラミド繊維の構造

・パラ系アラミド繊維

高強度、高弾性率であり、耐切削性に優れる。紫外線により劣化しやすいという短所がある。商品としては「テクノーラ(帝人)」、「トワロン(帝人)」、「ケブラー(DuPont)」があり、タイヤコード、ベルト、防弾服、航空機部材、コンクリート補強、ブレーキパッド、アスベスト代替などにも利用されている。パラ系アラミド繊維の化学構造を図4-12に示す。

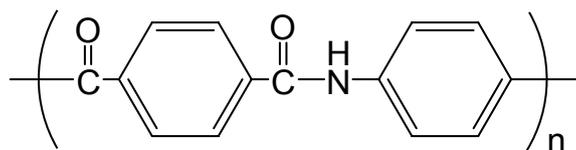


図4-12 パラ系アラミド繊維の構造

・PBO 繊維

PBO(poly(p-phenylene-2,6-benzobisoxazole))繊維は、東洋紡がダウ社から技術移転を受け、1998年よりザイロンという商標で世界で唯一商業化した(化学構造を図4-13に示す)。パラ系アラミド繊維の約2倍の強度と弾性率を持ち、単位面積当たりの強度・弾性率でスチールを大きくしのぐ。耐熱性、難燃性においても優れ、図4-14に示すようにパラ系アラミド繊維よりも約100℃高い分解温度を有する。ただし、光に対する劣化が激しく、紫外線や可視光線の照射により強度が著しく減少するという欠点を持つ(図4-15)。

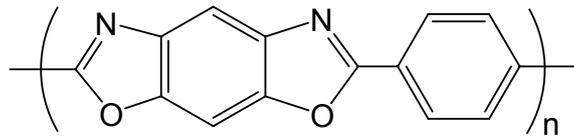


図 4-13 PBO 繊維の構造

図 4-14 空気中およびアルゴンガス中で評価した重量減少曲線 ⁷

図 4-15 キセノン耐候試験機での評価結果(左)と屋外暴露試験結果(右) ⁷

⁷ 東洋紡 技術資料「Zylon」

・ポリイミド繊維

ポリイミドは耐熱性、熱安定性、耐薬品性が高い。唯一、オーストラリアのインペックファイバース社が P84 という製品名で生産している。ポリイミド繊維の構造を図 4—1 6 に示す。

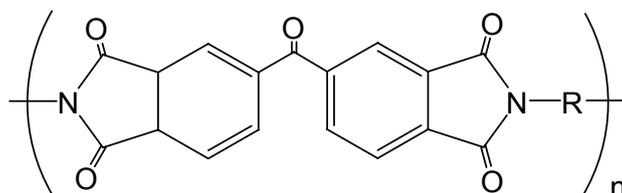


図 4—1 6 ポリイミド繊維の構造

・PBI 繊維

難燃性で融点がない、炎にさらされても寸法や強度、柔軟性が損なわれないなどの特徴を備えている。PBI(polybenzimidazole)の構造を図 4—1 7 示す。

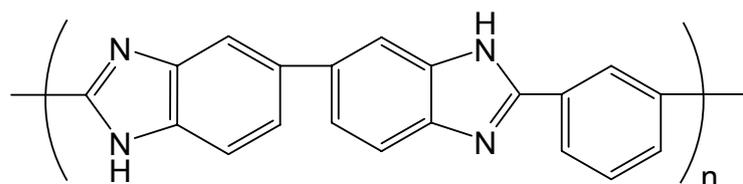


図 4—1 7 PBI 繊維の構造

その他のスーパー繊維

・超高分子量ポリエチレン

ポリエチレンからゲル紡糸法により製造される高強度・高弾性率を有する繊維である。軽量性、衝撃吸収性、耐摩耗性、耐候性、耐薬品性に優れる。米国の Spectra が著名であるが、日本では東洋紡績がダイニーマの商標で生産、販売している。

ダイニーマは熱的な特性はあまり良好ではなく、110°Cでも 5 時間で弾性率は 80%程度に低下する。また、135°C以上の温度では熱収縮率が 80%となり、高温環境での使用は不可能である。

・ポリアリレート繊維

液晶高分子を熔融紡糸法により繊維化される。伸度が低い、吸湿性が低い、力学的強度が高い、衝撃吸収性に優れるなどの特徴を有する。クラレが世界で唯一、ベクトランの商標で販売しており、飛行船被覆材などに利用されている(図 4—1 8)。ベクトランは、強度がパラ系アラミドと同等である上(表 4—2)、耐摩耗性、耐切創性、高温での耐久性、耐薬品性(図 4—1 9)においてはパラ系アラミドを超える特性を有する。

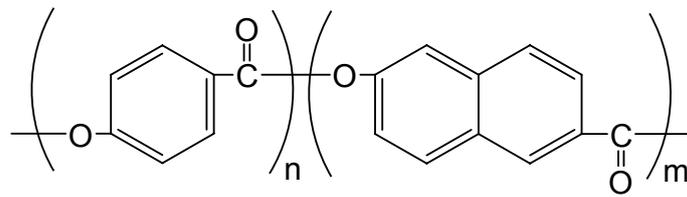


図4-18 ポリアリレート繊維(ベクトラン)の構造

表4-2 ベクトランの基本物性⁸

図4-19 ベクトランの耐薬品性評価⁸

⁸ クラレ HP より <http://www.kuraray.co.jp/vectran/top/>

・ PPS 繊維

ポリフェニレンサルファイド(PPS)は耐熱性、耐薬品性に優れ、170-190℃で連続使用可能である。国内では東洋紡績が「プロコン」、東レが「トルコン」の商標で生産、販売している。

・ M5

オランダの Akzo Nobel Central Research で開発され⁹、1998 年に論文発表された。現在は Magellan Systems International により製造されている新しい超高性能繊維で、装甲用、火災防護などに用途が検討されている¹⁰。Magellan Systems International は DuPont 社の出資により設立された会社で、現在はベンチスケールの M5 製造を行っているが、将来的にはパイロットプラントスケールでの M5 の生産を計画している。M5 ポリマー (polypyridobisimidazole, PIPD)の構造を図 4-20 に示す。化学構造は PBO に似ているが、ベンゼン環に導入されているヒドロキシル基が分子間水素結合形成に寄与し、力学的強度が向上すると考えられている(図 4-21)¹¹。張力が高く、耐衝撃性、軽量、耐熱性に優れるという特徴を有し、これらの総合的な性能において M5 を超える繊維は他にない。

M5 ポリマーを防弾チョッキとして利用した場合にはケブラーと比較して、衝撃の面密度を 40-60%程度軽減することができる(図 4-22)。¹² また、耐候性がザイロンよりも優れることが報告されている(図 4-23)。

現在作製されている M5 繊維の物性は、理論的に期待される値に達していないが、今後、紡糸技術の改善により向上させることができると考えられている。将来的には消防用装備に導入することにより、防火服や手袋の高機能化に加え、ヘルメット、靴の軽量化を実現することが期待される。

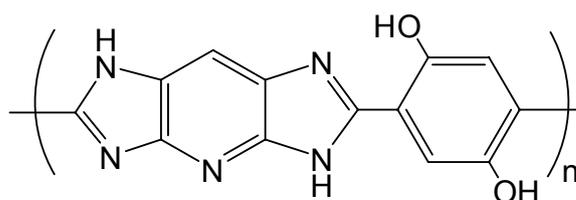


図 4-20 M5 ポリマーの構造単位 (poly{2,6-diimidazo[4,5-b:4',5'-e]pyridinylene-1,4(2,5-dihydroxy)phenylene} (PIPD))

⁹ Doetze J. Sikkema, Polymer, Vol 39, No 24, 1998, 5981-5986

¹⁰ AMPATIC quarterly, Vol9, No2, 2005

¹¹ M. Lammers et al. Polymer, Vol 39, No 24, 5999-6005 (1998)

¹² Phillip M. Cunniff et al. Proceeding of the 23rd army science conference, Orland, 2002

図 4-2-1 M5(PIPD)繊維の結晶構造における水素結合形成の様子¹¹

図 4-2-2 アラミド、PBO、M5 繊維の耐衝撃性の比較¹²

図 4-2-3 ザイロンと M5 の紫外線照射後の強度変化の比較¹²

以上のスーパー繊維の物性比較を表4-3に示す。

表4-3 スーパー繊維の物性比較表

	パラ系アラミ ド繊維	メタ系アラミ ド繊維	PPS繊維	ポリイミド 繊維	超高分子量 ポリエチレン 繊維	PBO繊維	PIPD繊維(括 弧内は米軍 の目標値)	ポリアリレー ト繊維
特徴	高強度、高 弾性率、耐 熱性、難燃 性、耐衝撃 性	耐熱性、難 燃性	耐熱性、耐 薬品性	耐熱性、難 燃性、ループ 強度、ろ過特 性	高強度、高 弾性率、低 比重、耐摩 耗性、耐衝 撃性耐薬品 性、耐候性	高強度、高 弾性率、耐 熱性、難燃 性、耐摩耗 性、耐衝撃 性、低クリ ープ性、低吸湿 性	耐候性、防 炎性、強度、 耐衝撃性	高強度、高 弾性率、寸 法安定性、 耐摩耗性、 耐切創性、 耐熱性
融点・また は熱分解温 度(°C)	480~570	400~430	285	—	140~155	650	529	400°C以上
耐熱性(長 時間安定 性)	強度保持率: 200°C× 1000Hr; 59~ 75%	強度保持率: 200°C× 1000Hr; 85~ 90%250°C× 1000Hr; 70~ 80%260°C× 1000Hr65%	170~190°C 高温連続使 用可能	500°C以上で 炭化260°C機 械的性質不 変	80°C強度保 持率78%	強度保持率: 200°C× 1000Hr; 75~ 85%400°C× 10Hr; 14~ 18%		強度保持率: 250°C× 400Hr; 45%
燃焼性	LOI値: 25~ 29	LOI値: 29~ 32	LOI値: 34	LOI値: 36~ 38		LOI値: 68	LOI値: >50	LOI値: 28
弾性率 (GPa)	70	70-121			73-124	180-270	271(450)	
伸度(%)	1.5~4.5	22~38	20~35	30	3.0~4.0	2.5~3.5	1.4(2.0-2.5)	2.7-3.8
密度(g/cm ³)	1.39~1.45	1.38	1.34~1.36	1.41	0.97~0.98	1.54~1.56	1.7	1.41
耐薬品性	「テクノ ーラ」:耐薬品 性良好 PPTA:濃硫酸、 濃硝酸、濃塩 酸を除き良好	濃硫酸、濃 硝酸、濃塩 酸、50% NaOHを除き 良好	酸、アルカ リ、有機溶剤 に不溶 (200°C以下 の溶剤なし)	耐酸性、溶 剤に不溶、ア ルカリ溶液中 長時間で問 題あり	耐薬品性良 好	濃硫酸を除 き耐酸性良 好、耐アルカ リ性、耐有機 溶剤性良好		耐酸性良 好、耐アルカ リ性に問題 あり
電氣的性質	絶縁性電気 抵抗: 5× 10 ¹⁴ Ω/cm	絶縁性	絶縁性	—	絶縁性	絶縁性	絶縁性	絶縁性
主な製品	テクノーラ(帝 人)、トワロン (帝人)、ケブ ラー(DuPont)	コーネックス (帝人)、ノー メックス (DuPont)	プロコン(東 洋紡)、トルコ ン(東レ)	P84(インペ ックファイバ ーズ)	スペクトラ (Honeywell)、 ダイニーマ (東洋紡)	ザイロン(東 洋紡)	M5(Magellan Systems International)	ベクトラン(ク ラレ)

(5) 断熱不燃素材

ナノファイバーはナノオーダーの直径、または構造を有するファイバーの総称である。ナノファイバーには従来の繊維材料にはない、超比表面積効果、ナノサイズ効果、超分子配列効果があると言われ、防火服として用いる場合には、速乾性、撥水性または吸汗性、断熱性、高強度化が期待できる。

これらを具体化するためには、シリカなどのナノ粒子と耐熱性高分子とのナノコンポジット化、繊維のナノボイド化技術の確立が必要である。

また、中空繊維は、すでに実用化され人工透析や浄水用のフィルター、布団などに用いられている材料であるが、防火服に用いた場合には断熱性と軽量性の両方を実現するものとして有望である。以下に、これらの技術の概要を述べる。

1) ナノコンポジット化

シリカ、マグネシウムなどの無機ナノ粒子やカーボンと繊維のコンポジット化は、力学的強度と耐熱性を向上させる有効な手段である。消防服に用いられている繊維の融点・分解点は 500-600°C であるが、無機ナノ粒子とのコンポジット化により、有機成分の分解を遅延させたり、発生する分解可燃ガスの拡散を遅延させたりする効果が得られる。従って、力学的強度を維持しながら耐熱性、難燃性を向上させることが可能となる。

また、無機ナノ粒子とのハイブリッドは、耐候性能の向上にも有効で、繊維表面近傍に酸化チタンなどのナノ粒子を集積させることで耐紫外線性、輻射熱遮断性が改善される。この他、ナノ粒子とのハイブリッドでは力学的強度を維持しながら繊維の改質を行うことができるため、耐薬品性や染色性の向上にも効果がある。

2) ナノボイド繊維

繊維にナノサイズの空隙を付与すると、比表面積が飛躍的に向上する。複数の高分子からナノファイバーを作製し、一方の高分子のみを選択的に溶媒で抽出することにより、繊維にナノボイドを形成させることができる(図 4-24)。比表面積の増大による吸水性、汗発散性の向上と空隙による断熱性の飛躍的な改善が期待できる。

図4-24 エレクトロスピニング法により作製された多孔性ナノファイバー¹³

3) 中空糸

中空繊維は比表面積が大きく、軽量で保温性に優れるという特徴を有しており、人工透析や浄水用のフィルター、布団などに用いられている。アラミド系高分子を中空繊維として加工することに成功すれば、高い難燃性、断熱性に加え、防火服の軽量化が実現するため、断熱材としての中間層への利用が考えられる。また、比表面積が大きいことから、吸水性高分子により中空糸を作製すれば吸汗性の高い快適インナーになると考えられる。

finetrack 社から、中空繊維と酸化チタンから構成される衣服がスキーウェアとして販売されている。この衣服は、繊維の中空化による保温、吸汗効果と酸化チタンによる紫外線遮蔽効果を併せ持っている。図4-25にその概要を示す。

図4-25 吸汗拡散性と断熱性を有するスポーツウェアの概要(finetrack 社)¹⁴

以上のように、中空糸は軽量性、断熱性、熱発散性や速乾性の面で防火衣素材として非

¹³ MECC 社 HP 技術情報より

http://www.mecc.co.jp/html/technology/nanofiber_1.html

¹⁴ Finetrack 社 HP より http://www.finetrack.com/product_top.html

常に魅力的な繊維構造であるが、これまでは主にポリエステル、ナイロン、ポリスルホンから作製されていた。これらの中空構造は、紡糸の際に異孔型ノズルを使用して合成されるか、または二成分から成る二層構造の繊維を作製の後中心層部分を溶解させることによって作製されている。中空繊維の防火衣への利用を考える際、素材としては耐熱性や耐炎性、力学的強度を実現するアラミド系などの繊維が求められる。

アラミド繊維は通常、硫酸を用いた湿式紡糸により製造される。一方、曙ブレーキ中央技術研究所から、アラミド中空繊維の製造方法が報告されているので紹介する。彼らによると、ケブラー樹脂を約 80°C の濃硫酸に 2% の濃度で溶解させ、フィルタリングの後シリレンジから炭酸水素ナトリウム溶液中にアラミド溶液を押し出すと、内径 0.5mm、膜厚 10 μ m の中空繊維が生成するという(図 4-26)。中空構造ができる理由として、炭酸水素ナトリウムを用いることで紡糸の際に発生するガスが影響していると著者らは考えている。¹⁵

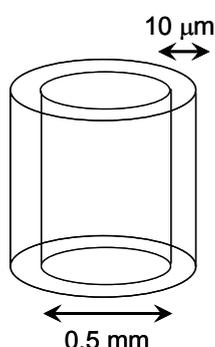


図 4-26 ケブラーから製造された中空アラミド繊維の構造

4) 異方性熱伝導素材

防火服用として固体熱伝達材料を考える場合には、面(布地)方向に熱伝導しやすく、垂直方向には熱伝導しにくい材料系の選定が重要となる。このような素材としては、以下のようなものがある。

a. CNT

最も有名な異方性熱伝導材料は CNT である。理論段階ではあるが、CNT の軸(長さ)方向熱伝導率は 37,000-2,500W/mK ととても高く高い。一方で、繊維と垂直方向は、非常に小さな熱伝導が予測されている。

米国 NIST は、この CNT の特徴に着目して、熱を急速に周囲に分散させることで、消防士の火傷を減少させる可能性について研究中である。図 4-27 に CNT の熱伝導のイメージを示す。

¹⁵ 特開 2002-20928

図4-27 CNTの熱伝導のイメージ

NIST におけるカーボンナノチューブ(CNT)の熱伝導異方性を利用した高分子難燃化の研究が NIST の技術レポートや学術雑誌に公開されている。^{16, 17} レポートによると、わずか 0.5%程度の濃度の CNT を高分子に添加するだけで、CNT の連続的なネットワーク構造が形成され、この構造が高分子を熱から保護する効果を有する。

図4-28に示すように、窒素雰囲気下、 50kW/m^2 で加熱した際のガス化が検討されている。PMMA のみをサンプルとして場合には、テスト終了後にポリマーがほとんど全てガス化したが、PMMA に添加物としてカーボンナノチューブ(SWNTs および MWNTs)、カーボンフィラー、カーボンブラックを加えると高分子の難燃性に改善が見られた。また、図4-29に示すように、カーボンフィラーやカーボンブラック粒子と比較して、SWNTs や MWNTs を添加物とすると、難燃性が飛躍的に向上することがわかる。

¹⁶ NIST GCR 07-912 “Flame Retardant Mechanism of the Nanotubes-based Nanocomposites. Final Report (2007)

図 4 - 2 8 CNT 添加高分子の燃焼試験の結果 (a: PMMA のみ、b: PMMA+SWANTs、c: PMMA+MWNTs、c: PMMA+CNFs、d: PMMA+CBPs) ¹⁷

図 4 - 2 9 添加ナノ粒子の種類による質量損失速度の違い ¹⁷

¹⁷ T. Kashiwagi et al. Nature Materials, Vol4, 2005, 928-933

図4-30 添加粒子の種類と濃度による PMMA の粘弾性挙動¹⁷

b. 異方性熱伝達カーボンシート

電子部品の放熱用として、グラファイトの熱伝導異方性を利用したシートが開発されている。

図4-31に株式会社タイカ¹⁸の製品例を示す。また、表4-4、表4-5に、同製品のスペックを示す。

図4-31 異方性グラファイトシートの概要¹⁸

¹⁸ <http://www.taica.co.jp/home.htm>

表 4-4 異方性グラファイトシートの仕様 (1) ¹⁸

表 4-5 異方性グラファイトシートの仕様 (2) ¹⁸

また、パナソニックでも同様の製品を上市している。同社のグラファイトシートは以下の特徴を持つ。

- ・ 非常に高い熱伝導率：600～800 W/(m・K)：(銅の 2 倍，アルミの 3 倍の高い熱伝導率)
- ・ 軽量：密度 1.0 g/cm³(銅の 1/9，アルミの 1/3 の軽さ)
- ・ 柔軟なシートで，加工が容易(繰り返しによる折り曲げが可能)
- ・ 小さい熱抵抗

表 4-6 に P G S グラファイトシートの特性を、また図 4-3 2 に同シートの概観を示す。¹⁹

表 4-6 P G S グラファイトシートの特性¹⁹

図 4-3 2 P G S グラファイトシートの概観¹⁹

異方性熱伝導材料の開発は、他でも行なわれており、つい最近、島根県産業技術センターが、面内の熱伝導率が Al の 3 倍近い $700\text{W/m}\cdot\text{K}$ と高い複合材料を開発、試作品を発表した。これは、Al 粉末に炭素繊維を混ぜ合わせ、焼結によって成形した複合材料であり、炭素繊維を 1 軸方向に並べることで、炭素繊維の長手方向で複合材料の熱伝導率が $700\text{W/m}\cdot\text{K}$ に達成した。炭素繊維に対して垂直方向の複合材料の熱伝導率は、 $20\sim 50\text{W/m}\cdot\text{K}$ である（信州大学 工学部遠藤守信教授の協力）。また、Cu と炭素繊維から成る複合材料も開発しており、これは $600\text{W/m}\cdot\text{K}$ 強の熱伝導率である（日立金属との共同開発）。

¹⁹ http://industrial.panasonic.com/www-ctlg/ctlgj/qAYA0000_JP.html

(6) 耐久性

アラミド繊維の紫外線による劣化はしばしば問題とされるが、無機ナノ粒子とのハイブリッド化により耐候性が向上することが期待できる。信州大学の宇佐美久尚助教授は、ナイロン繊維に粘土鉱物をコーティングすることで耐紫外線繊維を開発している(図4-33)。同様にして、防火服の外衣表面近傍に無機ナノ粒子を分布させることにより、従来型防火服の弱点であった耐候性を改善できると考えられる。

図4-33 粘土鉱物をコーティングした耐紫外線繊維の概要²⁰

(7) メンテナンス

セルフクリーニング効果のある繊維

光触媒を繊維に複合化させ、抗菌、消臭、防汚作用を有するアパレル製品が各社から販売されている。快適で清潔な衣服、ぬいぐるみ、空気清浄用や浄水用フィルター、航空機の座席シートなどに利用されている。また、セルフクリーニング効果のある衣服は、洗濯の回数を減らすことが可能であるため、宇宙用衣服などの特殊な環境での利用も検討されている。

²⁰ 日本における繊維技術に係わる先進的な研究者および研究テーマのデータベース (No162 信州大学繊維学部)

図 4-34 光触媒複合アクリル繊維 SELFCLEAR™の概要(日本エクスラン工業株式会社)²¹

図 4-35 光触媒複合アクリル繊維 SELFCLEAR™の消臭効果(日本エクスラン工業株式会社)²¹

²¹ 日本エクスラン工業株式会社 HP より
<http://www.exlan.co.jp/products/iry/selfclear.html>

(8) リサイクル

東洋紡では、マテリアルリサイクル可能なポリインジゴの研究を行っている。現在は学会などで溶媒への溶解性を制御可能なポリインジゴの合成について研究経過の報告が行われている段階である。²²

図4-36 マテリアルリサイクル可能な高機能繊維の設計の概要²²

²² 高分子学会年次大会 予稿 1Ph150 (2007年5月)

4. 2 第二優先ニーズに関連する技術

活動性や快適性の他、現状の防火服の課題としてヒートストレスが指摘された。また、求められる温度調節機能は、地域や季節によって防寒性、冷却機能など異なることが明らかとなった。

スポーツ用アパレル製品には吸汗性、速乾性、あるいは防寒性を備えた機能性布地が開発されている。そこで、これらスポーツウェアに用いられている技術から、防火衣のアンダーウェアとして利用可能なものを抽出した。

現在、消防隊員は冷却剤を用いて活動を行っているが、冷却機能や冷却時間が十分とは言えないことから、ここでは様々な人体冷却装置について調査を行い、整理した。また、熱に応答して衣服の形状が変化する機能を付与すると、通常の活動状態では衣服内の通気性が確保されるが、危険時には通気口を閉じて断熱性を高めるようなスマート防火服が実現すると考えられる。このように、防火服の熱発散性と防護機能のスイッチングを実現する技術として、熱応答性アクチュエーターについて調べた。

(1) アンダーウェア

大量の発汗を伴う消防活動では、アンダーウェアの吸汗性能、速乾性能が隊員の感じる快適性や疲労に大きく影響する。そこで、これらの機能に優れたスポーツ向けのアパレル製品から関連技術を調査した。

1) 自己調節機能繊維

帝人は、人が汗をかくとその水分に反応して生地が自発的に変形し、着心地を調節する機能性 MRT ファイバーを開発した。このファイバーは、発汗などによって吸水すると、乾燥状態と比較して長さ方向に 22%伸長する。MRT ファイバーを用いて生地の三次元構造を調節した場合、発汗時には乾燥時と比較して約 2 倍の厚みを持つ凹凸が形成され、発汗時のべとつき感が抑えられるという(図 4-37)。また、凹凸により肌表面と生地間に空間を形成させると、汗の速乾性が高めると考えられる。衣服が水分を吸収すると遮熱性が低下するが、MRT ファイバーを用いて吸水時に新たな空気層を形成させることで消防活動における安全性を確保できると言える。

MRT ファイバーはポリエステル系ポリマーに親水性部位を導入し、高い吸水性を実現している。さらに繊維の断面を異型化することで吸水性・速乾性を向上させ、収縮と膨潤の形態変化が大きくなるように製糸条件が工夫されている。

図4-37 自己調節機能繊維の概要 乾燥状態では生地が平坦であるが(左)、発汗があると凹凸が形成される(右)²³

2) アンダーアーマー

米国アンダーアーマーは運動によって生じる大量の汗を瞬時に吸収し、生地から発散させる技術により、トップアスリート向けのウェアを開発している。体外へ汗を発散させる際に、気化熱を奪うため、体温上昇を抑えることができる。またウェアに汗をためこまないため、運動後まで軽さと快適さを維持できるという特徴を有する(図4-38、図4-39)。

図4-38 アンダーアーマーの体温上昇抑制効果²⁴

²³ 帝人社 HP より http://www.teijin.co.jp/japanese/rd/rd13_06.html

²⁴ アンダーアーマー社 HP より <http://www.underarmour.co.jp/>

図4-39 モイスタチャートランスポートシステムの概要²⁴

3) 芯鞘繊維

芯鞘構造の複合繊維は、性質の異なる二層から構成されるため、芯鞘繊維を用いた布地は強度があり、肌への着心地がよいという特徴を有する。また、用いる繊維素材の選択や加工方法によって吸汗性、保温性、撥水性などを付与することも可能であるため、スキーや登山用の下着や清涼アパレル製品として実用化されている。

アウトドアスポーツブランドの **finetrack** が開発した保温アンダーウェアは、中芯にスーパーファインメリノウールと吸汗加工ポリエステルブレンド糸を採用して吸汗放湿を持たせ、外層に異形断面・吸汗加工ポリエステルをスパイラルに合撚している(図4-40)。繊維の加工による吸汗性、ウールの放湿性、保温性が実現され、スパイラル構造によって強度を確保し、ウールが直接肌に触れないようになっているため快適な着心地が得られる。登山、スキー、ゴルフなどのアンダーウェアとして用いられており、寒冷地における消防用アンダーウェアとして利用価値がある。

図 4-40 finetrack の吸汗放湿、保温性アンダーウェア²⁵

福井県工業技術センターが開発した芯鞘繊維(図 4-41)は、芯部がポリエステル、鞘がレーヨンから構成されている。この繊維は、伸縮性がある、風合いがやわらか、速乾性がある、ドライ感が得られる、形態安定性があるなどの特徴を有し快適性清涼アパレル製品として開発が進められている。発汗時に鞘部のレーヨンが吸収し、それを芯部のポリエステルに移動させることによって、高い吸水性、速乾性を得ることができる。

図 4-41 清涼アパレル製品に用いられる鞘芯繊維²⁶

4) Fabric XTM

アディダスジャパンは 2008 年 1 月に吸水速乾性を実現した FabricX を発表した(図 4-42)。FabricX は生地肌面にマイクロ吸水ポンプとして導水構造を形成させており、毛細管現象により肌から汗を素早く吸い上げ、生地表面に拡散させて速乾させる。このため、多量の発汗時にもべとつかず、衣服内の空気循環を促す効果がある。

²⁵ Finetrack 社 HP より http://finetrack.noasobiya.com/2007/01/post_10.html

²⁶ 福井県工業技術センター <http://www.fklab.fukui.fukui.jp/kougi/new/sinsaya.html>

図4-42 FabricX™のマイクロ吸水ポンプ構造²⁷

5) ナノファイバー

繊維を超極細化したり断面を異形化したりすると比表面積が大きくなる(図4-43、図4-46)。このような繊維は、肌触りが柔らかい、毛管現象による吸水性が高い(図4-44)、速乾性に優れる(図4-45)などの特徴がある。

図4-43 日本エクスラン工業株式会社の極細繊維の概要²⁸

²⁷ アディダスジャパン プレスリリース 2008年1月16日

²⁸ 日本エクスラン工業株式会社 HP より

<http://www.exlan.co.jp/products/iryo/preleal.html>

図 4-4-4 極細繊維プレリール®の吸水性評価²⁸

図 4-4-5 従来布地とプレリール®の乾燥速度比較²⁸

図 4-4-6 断面異形化繊維の例²⁸

(2) 熱応答アクチュエーター

周囲の温度に応答して膨張・収縮などの変形が起こる感温アクチュエーターを防火服の袖口や裾、腰部、しころ等に使用すると、自律的に危険を感知して防護機能を高めるスマート防火服となる。低温で膨張し、高温で収縮するアクチュエーターを用いると、通常的环境下では袖口等の部位を拡げ内部の熱拡散、蒸気発散を促してヒートストレスを緩和し、高温時にはこれらの隙間を塞いで熱防護機能を強化する効果が得られる。熱制御型のアクチュエーターの試作品としては、国内では次のものが挙げられる。

1) バイオメタル・ファイバー

トキ・コーポレーションから金属系人工筋肉として販売されているバイオメタル・ファイバーは、繊維状の Ti-Ni 系形状記憶合金を用い、70°Cより低温では伸張、高温では収縮する。全長の 4%程度伸張する。フレキシブルなファイバー状の材料であるため、衣服との複合化にも適している。図4-47、図4-48にバイオメタルファイバーの概要を示す。

図4-47 バイオメタルファイバーの温度応答性²⁹

図4-48 バイオメタルファイバーの概要²⁹

²⁹ トキ・コーポレーション HP より <http://www.toki.co.jp/BioMetal/BMF/index.html>

2) 形状記憶合金ダイヤフラム型アクチュエーター

筑波大学 宮崎修一教授は、Ti-Ni 形状記憶合金スパッタ薄膜を用いてダイヤフラム型マイクロアクチュエータを作製している。バルク材形状記憶合金を熱駆動型アクチュエーターとして用いると、アクチュエーター材の熱容量が大きく、0.2Hz 程度の応答性しか得られていなかったが、宮崎教授のグループでは、薄膜化することで熱伝達効率を高め、1~2 μm の薄膜で 102Hz 程度と応答性を飛躍的に改善することに成功している。

低温の時は、形状記憶合金はマルテンサイト相であるため、シリコン酸化膜のバイアス力によって膨らむ。しかし、加熱すると形状記憶合金が母相に相変態し、記憶していた平面の形状に戻る。この変化は可逆的である。

図 4-49 ダイヤフラム型アクチュエーターの動作原理³⁰

図 4-50 ダイヤフラム型アクチュエーターの作動サイクル³⁰

³⁰ 筑波大学 宮崎修一研究室 HP より
<http://sma.ims.tsukuba.ac.jp/html-j/research/actuator.html>

(3) 冷却装置

人間の発生する熱は、平常時で 100W 程度、ちょっとした運動時には 200W、更に激しい運動では、一時的に 500W にも及ぶ。表 4-7 に幾つかの運動時の発熱量を示す。この発熱量は、体格、性別、年齢、体調などにより大きく変化するため、あくまでも目安であるが、人体は強力な熱源であるとみなすことができる。

表 4-7 様々なタイプの運動での発熱量 (参考)

運動タイプ (成年男子)	発熱 (W)
安静時	~120~
歩行時 (3km/h)	~230~
歩行時 (5km/h)	~300~
洋服仕立て	~140~
大工	~250~
木びき	~520~

メドウニクス社 HP³¹の情報に基づき作成

重作業の現場や医療現場、防護服分野を中心に、冷却機能を持つ衣服に対するニーズは高い。国内には、以下のような製品例がある。

1) クールジャケット

化学防護服の内部に着用するジャケットタイプの冷却器が市販されている (興研)³²。これは、外部のエアーコンプレッサーからホースで外気を導入するタイプである。最大 90m までのホースが用いられる。

図 4-5 1 エアージャケットの使用例 (興研)³²

³¹ http://www.meadownics.co.jp/www/air_cloth/yukou/yukou_han-i.html

³² <http://www.anzen.ne.jp/index.html>

2) 化学防護服用エアークーラー

ジャケットタイプではなく、化学防護服専用として開発されたものもある。これも、外部のコンプレッサーからのエアを用いるものである(エア・ウォーター防災)³³。

図 4-5 2 化学防護服用エアークーラー (エア・ウォーター防災)³³

3) 空調服

乾電池で動作するファンを取り付けた空調服が市販されている(メドウニクス)³⁴。この服は、特に冷却機構を有しているわけではなく、ファンにより人体と平行に流れるエアーを形成し、これにより、体表からの水分蒸発を促進して蒸発潜熱により冷却するというものである。同社では、消費電力は 1.2W であり、最大 230W の冷却能力があるとしている。

³³ エア・ウォーター防災 HP より <http://www.awb.co.jp/>

³⁴ メドウニクス HP より

http://www.meadownics.co.jp/Kuchofuku/Kuchofuku-option-batt_list.html

図4-53 空調服（メドウニクス）³⁴

4) クールベスト

PCM（相変化物質）を用い、融解の潜熱を用いてジャケットの温度を一定にするという冷却ベストが市販されている。全てが融解すると温度維持効果が消失するため、動作時間に制限がある。図4-54の場合、4つのPCMパックを用いるもので、ベスト重量は700gと軽量であるが、有効時間は20分程度しかない。

図4-54 クールベスト

PCMの量を増加し、より長時間の冷却機能を持たせたものもある。このタイプ（図4-55）では重量が2kgとなり（21個の28°CPCM）、冷却効果は45分～2時間継続する（図4-56）。

図4-55 クールベスト（大容量タイプ）³⁵

³⁵ TST Sweden AB社HPより http://www.tst-sweden.se/english/2_3_kylvastar.asp

図4-56 PCM ベスト着用／非着用の差³⁵（消防隊が耐火服、マスクを着用し煙の中で活動。25分経過後あたりからベスト着用者と未着用者で体温の差が開き始めている）

5) Microclimate Cooling Suit

NASA の宇宙服用冷却下着からのスピノフとして、L S S I 社の **Microclimate Cooling Suit** がある。水の循環による冷却方式であり様々なタイプのものが存在する。図4-57に、車椅子の背もたれに設置するタイプの冷却シートを示す。³⁶

³⁶ NASA HP より http://www.sti.nasa.gov/tto/spinoff2001/ames_mill.html

図4-57 車椅子の背もたれに設置するタイプの冷却シート³⁶

また、図4-58はパイロットや医療現場での活用例である。同システムは、この他 F1 レーサーなどにも活用されている。

図 4 - 5 8 Microclimate Cooling Suit の活用例 ³⁶

6) CoreCool™ Personal Ice Cooling System

このシステムは、断熱性のある 2L のタンクに充填した氷水をバッテリー駆動のポンプでジャケットに循環させ、体温を冷やすものである。通常 1 時間程度の活動が可能で、最大 4 時間作業可能なタイプに変更可能とのことである。全重量は標準タイプで 5.9kg である (図 4 - 5 9)。

図 4 - 5 9 CoreCool™ Personal Ice Cooling System³⁷

7) ESA (宇宙服技術のスピンオフ)

Grado Zero Espace 社は、ESA の技術移転プログラムの成果として冷却スーツを開発中である (Safe&Cool システム)³⁸。このシステムは 1) 熱・湿度マネージメントのための特殊な 3D 布地、2) 宇宙服技術に基づく水冷循環方式の採用、3) 吸湿ポリマーの採用 (急激な熱に対する防御)、という 3 つの先進技術を用いているとのことである。

図 4 - 6 0 Safe&Cool システムの断面図³⁸

³⁷ CoreCool 社 HP より <http://www.corecool.com/products.html>

³⁸ Grado Zero Espace 社 HP より
http://www.gzespace.com/new/eng/Pro_HydrojacketB.html

図 4-6 1 冷却水循環用チューブを繊維にセットした状態³⁸

8) HAILSS システム

米国空軍は化学防護服を着用したヘリコプター搭乗員用統合型生命維持システム (HAILSS)を開発中である³⁹。このシステムはバッテリー駆動式で、完全密閉された多層構造の化学防護服の内側に冷気を噴出する。HAILSS には、約 570cc の水を充填する特殊な熱交換器が使われている。この熱交換器は真空状態に保たれており、沸点が室温レベルに下げられている。これに化学防護服内の熱い空気を導入すると、水が沸騰し、蒸発の潜熱により空気は冷却される。この冷却した空気を防護服内に循環する、というものである。

この機構が継続的に維持されるためには、沸騰により生じた水蒸気を直ちに除去しなければならない。この目的にゼオライト (凡そ 25 センチ四方の体積) が用いられる。ゼオライトは自重の 25% の水を吸収できることから、このシステムは約 2 時間作動する。現時点で、合計の重量は約 4.5kg、製造コストは約 1000 ドルと見積もられている。

図 4-6 2 ゼオライトによる水分吸着型熱交換器の概念³⁹

³⁹ Naval Air Warfare Center Aircraft Division
<http://are.berkeley.edu/heat/slides/kaufman.heatslides.pdf>

図4-63 試作ゼオライト吸着型熱交換器³⁹

(4) 体温調節材料

a. 蓄熱剤型調温マイクロカプセル (衣料用)

大和化学工業株式会社のプレサーモーはメラミン樹脂被膜のマイクロカプセル剤である⁴⁰。

カプセル中の高級脂肪族炭化水素は 25℃付近で吸熱と放熱を繰り返すというもので、衣服などへの実装も可能である。

⁴⁰ 大和化学工業株式会社 HP より <http://textileinfo.com/ja/chemicals/daiwa/index.html>

図4-64 プレサーモの温度変化⁴⁰

b. アウトラスト

アウトラストは、米国の NASA の宇宙服のグローブ用素材として開発された技術であり、過酷な宇宙空間での船外活動能力を向上させるため、アポロ計画の時に実用化された（と、同社は PR している）。アウトラストは、大量の熱を吸収・保持・放出する直径 2 ミクロン～30 ミクロンのマイクロサーマルカプセルで構成されていて、このカプセルが繊維や糸の中に組み込まれたり（アウトラスト・ファイバー）、ファブリックやフォームに何百万個もコーティングされている。このマイクロ単位のカプセルの中には、温度変化に応じて液体⇒固体⇒液体...と様相を変える特殊相変換物質（PCM= Phase Change Material）であるパラフィンワックスが入っており、身体の表面温度を快適な温度帯にコントロールすることを可能にしている⁴¹。

図4-65 アウトラストの原理⁴¹

⁴¹ Outlast 社 HP より <http://www.outlast-japan.com/>

図4-66 PCM利用温度制御インナーウェア (OUTLAST) のサーモグラフィ (上: 周辺温度 35℃、下: 周辺温度 10℃。いずれも PCM 素材の方が優れた特性 (暑いときには涼しく、寒いときには暖かい) を示している) ⁴¹

c. ジェネサーモ NEO

3M では、アウトラストと自社の不織布技術をあわせ、ジェネサーモ NEO なる布地を開発した。繊維組成はポリエステル 60%、アクリル 40%である⁴²。

図4-67にその特徴を示す。

図4-67 ジェネサーモ NEO の特徴 ⁴²

⁴² 3M 社 HP より <http://www.mmm.co.jp/thinsulate/product/neo.html>

4. 3 第三優先ニーズに関連する技術

急激な温度上昇などの危険から隊員を守るためには、温度センサーと警報器の利用が考えられる。色の変化で温度を知らせる染料、顔料などを利用すれば、比較的低コストで装備することが可能である。温度管理のためのツールとしては、食品の加熱殺菌プロセスの確認用、飲料・食品の冷却状態管理用など様々のものが存在するが、高温環境の検出に適した示温性色材としては以下の製品や試作品が挙げられる。

(1) 示温インク

一定温度に達すると顔料が熱分解等により非可逆的に色を変化させる感温塗料が英国 Thermographic Measurements Ltd.から販売されている。140-1100℃の範囲で色変化が起こる。ただし、温度変化に対する色変化が緩やかに起こるため、瞬間的な温度検知、危険察知には適していない。

(2) 示温シール

アセイ工業株式会社では、様々な温度を感知できるシールを開発している。40-280℃の任意の温度域で色が様々に変化する製品が出されているため、複数のインジケーターをシールに搭載して危険の度合いを段階的に判断し、隊員の安全性を十分に考慮することが可能である。高温を感知可能なシールは不可逆的に色が変わるため、使い捨てとして用いることになる。

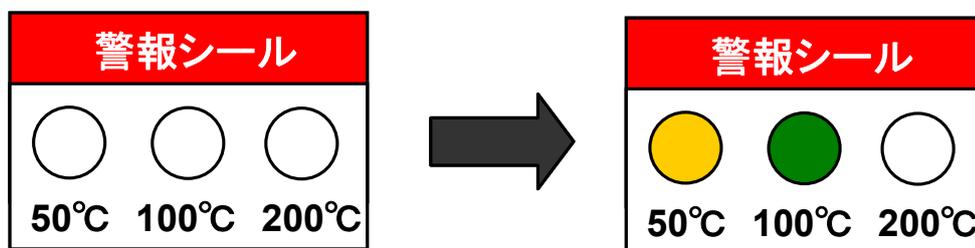


図4-68 危険性を段階的に警告する使い捨ての簡易温度センサー(シールタイプ)の例

(3) 感温繊維

感温性の色材で防火服を染色すれば、急激な温度変化が生じた際には、防火服自体が色を変化させて隊員に危険を知らせることができる。ウェアラブルセンサーとして感温材料を用いる場合には、繰り返し使用が可能な色素を用いる必要がある。国内では、次の二つの感温繊維が開発されている。繊維がセンシングする温度域を高く設計することで、センサーを搭載した防火服として応用が期待できる。

ウーブンナック(株)と石川県工業試験場は、一定の温度で着色と消色を可逆的に繰り返す感温色素を用いて繊維を染色し、感温繊維を開発した(図4-69)。現在のところ、40℃程度の温度を境に色の変化が起こる繊維が試作されている。

図4-69 試作された感温繊維(掌の温度により色が白色化している)⁴³

旭化成ライフ&リビング株式会社では、サーモクロミックカプセルを繊維に練りこむ方法により、感温糸を開発している。0-50℃の範囲の任意の温度域で可逆的な色相変化が起こり、黄色、緑、赤、青、紫などの色を設計可能である。

温度感知シールは低コストで現存の防火服に取り付けるだけですぐに利用可能である。ただし、炎、落下物など周囲のあらゆる危険に注意が払われる消防活動の中では、視覚に強く訴えるような警告が必要であり、防火服のできるだけ広い面積の色が変化したり、面体が(透明性を確保しつつ)着色したりすることが望ましい。

⁴³ 石川県工業試験場 HP より http://www.irii.go.jp/infor/2004_0701/topics2_2.htm

5. 技術マップの作成

国内外の消防関連ビジョンの調査、およびニーズ系有識者会合を通して今後防火服が備えるべき仕様を検討した。この結果、現行の防火服が備える熱的、機械的防護性を維持または向上させると同時に、活動性と快適性を改善することが重要課題であることが浮き彫りになった。具体的には、材料の機能化、軽量化、耐久性などの性能向上(第一優先ニーズ)、人体からの熱を効果的に除去しヒートストレスを軽減する機能(第二優先ニーズ)、活動中に外部環境を認識し、危険を警告する機能(第三優先ニーズ)、が挙げられる。

第一優先ニーズを実現するためには、外衣、內衣の材料開発が鍵となる。次世代高機能繊維として期待されている PIPD 繊維、アラミドなど耐熱性高分子の中空繊維化、NIST で検討されている CNT を採用した異方性熱伝導コンポジットなどの防火衣への導入により、装備が軽量化され、活動性を飛躍的に向上させることができる。第二優先ニーズである熱の除去は、防火衣の下に着用するインナーの速乾性、快適性を向上させるか、または相変換物質や熱交換装置を用いた冷却機器を導入することで実現できる。スポーツウェアとして開発された速乾性、熱発散性の高い繊維をインナーとして採用し、宇宙活動用や軍事用に開発されたものを参考に消防活動に適した冷却装置を開発すれば、活動中の排熱を速やかに実施し、人体への負荷を低減することが可能となる。第三優先ニーズとしては、外部の温度を認識し、隊員や周囲の人間に危険を警告する機能が挙げられている。これを実現するためには、感温性の染料や顔料などを利用した簡易温度センサーの導入が考えられる。また、防火服の一部に熱応答性のアクチュエーターを用い、急激な温度上昇を認識して衣服の形状が変化するなどの防護機能を付与することも効果がある。

以上の検討をふまえて作成した、今後、防火服が備えるべき仕様を実現するための技術群を表 5-1 に示す。また、これらの技術群を俯瞰した技術マップを図 5-1 に示す。

表5-1 防火服へのニーズを実現するための技術群

装備		機能	現行の素材、技術	課題	将来の素材、技術		
全体	快適性	活動性(フィット感)		現状維持	無縫製技術		
		軽量性	20-30kg	全体で20kg以下	中空繊維		
	その他	リサイクル性	なし	技術的、文化的、コスト的に困難	マテリアルリサイクル		
防火衣	外衣	防護性	耐熱性、難燃性、耐炎性	アラミド、アミド、PBO、イミド、PBI、ザプロ加工ウール、アルミ蒸着	難燃性 ISO 15025残炎・残じん $\leq 2s$ 全焼穴あき着火炎溶解不可 180°Cのオープン中で5分試験 溶解、滴下、分離、発火は不可、収縮率 $\leq 5\%$	コーティング ナノ粒子添加 耐熱塗料	
			力学的強度	アラミド	引張強さ ISO 13934Part1 $\geq 1200N$ 、引裂き強さ ISO 4676 A2法 $\geq 40N$	ナノ粒子添加 ナノファイバー 次世代スーパー繊維	
		安全性	防水性	アルミ蒸着	ISO4920 撥水度 ≥ 4	構造撥水	
			撥水性	コーティング		構造撥水 コーティング	
			耐薬品性、撥油性	コーティング	ISO 6530 40% NaOH, 36% HCl, 30% H2SO4, 100% p-キシレン 流失 $>80\%$ 裏面への浸透なし	ナノ粒子添加 コーティング 構造撥水	
		耐久性	絶縁性	制電性繊維	JIS L 1094 帯電電荷量 $\leq 7 \mu C$	コンポジット	
	耐候性		バラ系アラミドは混紡して使用	紫外線に弱い	ナノ粒子添加		
	メンテナンス容易性		洗濯 定期的な撥水コーティング	メンテナンスフリー 5-10年の耐用年数	構造撥水 セルフクリーニング繊維		
	中間層	防護性	遮熱性	ゴアテックス、アラミド+加工、不織布、コード、ワッフル、エアロック	現状維持	ナノボイド エアロゲル 中空糸 異方性熱伝導素材	
		安全性	透湿防水性	コーティング、ラミネート	向上させる	構造撥水 コーティング ナノファブリック	
	內衣	安全性	遮熱性	アラミド、難燃レーヨン、不織布、コード、ワッフル、エアロック	現状維持	コーティング 中空糸 異方性熱伝導素材	
	下着	インナー	快適性	防寒性(寒冷地) 活動性、疲労軽減	重ね着		中空糸などの断熱素材 ストレッチ性
				速乾性	通常の活動服(難燃性など)	向上させる	スポーツウェア 繊維の異形化、極細化 中空糸 芯鞘構造
				熱発散、調温性			気化熱を利用した冷却効果
	頭部	ヘルメット	防護性	耐衝撃性	FRP(ガラス繊維とポリエステル樹脂)	ボンベとの干渉	FRP
熱遮蔽性						FRP、次世代スーパー繊維	
しころ 頭巾		軽量性	1.0kg	現状の性能を維持しつつ、軽量化させる			
		熱遮蔽性	ザイロン+アルミ蒸着 P84 40%、PFR 55%、ケブラー 5%	めくれやすい構造			
グローブ	防護性	熱防護性 耐切削性	アラミド、アルミ蒸着 アラミド	向上させる	防火服と同様		
	安全性	活動性、耐滑性	掌面に革、立体的裁断	機能を維持したまま向上させる	無縫製技術		
シューズ	防護性	熱防護性	防火服により被覆 耐火ゴム	現状の性能を維持しつつ、軽量化させる	コンポジット化		
		耐切削性	つま先と足裏に保護材、ケブラー		FRP		
	安全性	防水性、活動性、耐滑性 軽量性	編み上げ、ゴム ~2kg			ゴム、構造撥水 踏抜板軽量化、次世代スーパー繊維	
センサー	安全性	危険感知	なし		示温インク・シール 感温繊維 熱応答性アクチュエーター 宇宙用、空軍用冷却装置 クールジャケット エアクーラー 空調服 クールベスト CoreCool 熱交換器 相変換ポリマー		
冷却系	快適性	クールベスト	冷却剤	コスト			

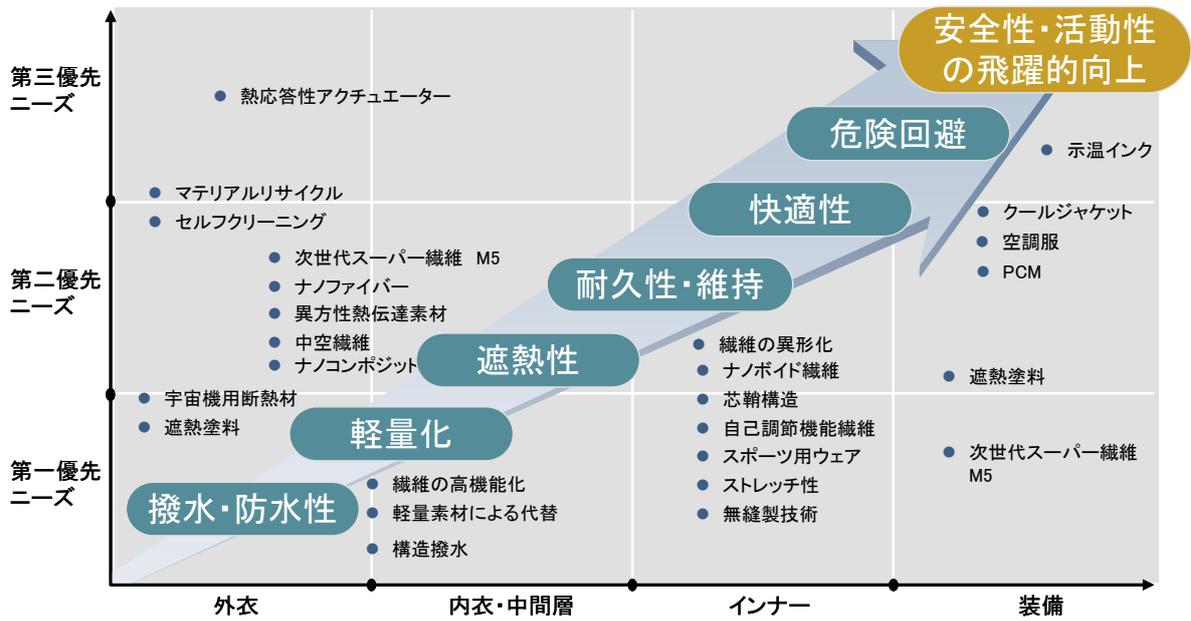


図 5 - 1 今後防火服が備えるべき仕様を実現するための技術マップ