

行政要請研究

東京電力福島第一安定化センター（Jビレッジ）

における呼吸用保護具のフィットネス調査報告書

平成 23 年 10 月

独立行政法人

労働安全衛生総合研究所

## 調査の概要

東京電力福島第一原発の復旧作業に携わる作業者が作業現場で使用する呼吸用保護具の選定及びフィットネス等の状況を調査し、作業者の内部被ばくにつながる可能性について検討した。調査日時及び場所は、平成23年9月26日、ナショナル・トレーニングセンター・Jビレッジの講堂、独立行政法人労働安全衛生総合研究所と公益社団法人産業安全技術協会より各2名が今回の調査を実施した。

東京電力福島第一原発の復旧作業に携わる放射線管理分野の社員6名と本店勤務の社員の1名に協力していただき、常用している呼吸用保護具を装着した際の漏れ状況の計測と評価、漏れに影響を与えている要因（以下、漏れ要因）の確認、漏れ要因への対応策実施による改善状況の計測と評価などを実施した。なお、今回の調査に使用した機器はマスクフィットテスター（柴田科学製 MT-03）とリアルタイム測定器（TSI 製 PORTACOUNT Model8020）である。

放射線管理分野の社員6名のフィットネステストによる漏れ率は1.1～56%（平均17.4%）であり、4名が10%を超える漏れ率であった。個々人の全面マスクの着用状況を評価した結果、眼鏡着用、帽子着用、前髪などが全面マスクの接顔部で隙間を生じさせる原因となったり、顔の形状や大きさが常用していた全面マスクと不一致であるなど、漏れ率を増大させていることが判明した。そこで、各被験者に対して、漏れ要因への対応策を行い、再度フィットネステストを実施した。眼鏡着用の漏れ要因の対応策として、シールピースを使用することで全員に改善効果が認められ、漏れ率は5%未満になった。帽子や前髪がマスク接顔部に挟み込まないようにすると、若干の漏れ率の低下を確認した。適切なマスクの選定を行った場合には、大幅な漏れ率の低下が確認できた。保護服着用後の目張りは漏れ率の低下に寄与していたが、一例のみの計測でもあり、結論を得るには更なる検証が必要である。最後に、電動ファン付きマスクの漏れ状況を評価したが、いずれのタイプでも漏れ率が5%未満と、高い防護効果が期待できるが、その重量・視界確保の観点から実作業に用いるには検討しておくべき点が多いと考える。

これらの結果をもとに、原発事故の復旧作業での全面マスク使用時の漏れを防止するため、①眼鏡使用者への対応策、②適切なマスクの選択、③マスク着用時の漏れ防止対策の励行等、④電動ファン付きマスクの導入の検討、⑤新規入場者を対象とした呼吸保護具の教育内容の改善、の五つの対応策について検討することを東京電力に提案する。

最後に付け加えるならば、原発事故の復旧作業での全面マスク使用時の漏れは、作業者の内部被ばくにつながる可能性があるため、早急に具体的な防止対策を実施することを望む。

## I はじめに

東京電力福島第一原発の復旧作業に携わる作業者が作業現場で使用する呼吸用保護具（全面マスク等）の選定及びフィットネス等の状況を調査し、作業者の内部被ばくにつながる可能性について検討した。さらに、監督者が現場作業者に対し、呼吸用保護具の選定、装着フィットネス及び日常的管理について適切な指導が出来るよう、専門的な助言を行うことを目的とした。

## II 調査方法

今回の調査を実施するにあたり、当研究所（以下、安衛研）と公益社団法人産業安全技術協会（以下、安協）、厚生労働省、東京電力の四者で事前に復旧作業の状況、使用されている呼吸保護具や使用状況などについて検討を重ね、現地において復旧作業に携わる作業者を対象にフィットネステストを実施することとなった。実際のフィットネス調査に携わったのは安衛研と安協より各 2 名であるが、調査の実施に先立ち、調査の具体的な内容や方法、機器・資材の調達等について検討するため、両法人から更に数名が参加している。

調査日時は平成 23 年 9 月 26 日（月）、午前 10 時～午後 3 時 30 分（準備作業を含む）、調査場所はナショナル・トレーニングセンター J ビレッジ（福島県双葉郡檜葉町大字山田岡字美シ森 8 番：現在は東京電力福島第一安定化センターとして使用中）講堂である（写真 1）。

現地でのフィットネス調査の対象者は、東京電力福島第一原発の復旧作業に携わる放射線管理分野の社員 6 名とした。なお参考のため、臨席した東電本店社員の方 1 名にも参加して頂いた。

まず被験者の 6+1 名に、常用している呼吸用保護具を普段通りの仕方で装着させ、マスクフィットテスター（柴田科学製 MT-03）によって各人の漏れ率<sup>1)</sup>を測定する。

次にリアルタイム測定器（TSI 製 PORTACOUNT Model8020）を用いたデモンストレーション<sup>2)</sup>を被験者全員の前で実演し、漏れの原因や漏れの大きさについて理解を深め、漏れ防止の方法等を指導した（写真 2）。

このデモンストレーションを踏まえた上で、再度、被験者に各自の保護具を装着してもらい、マスクフィットテスターによる測定を実施した。その際には、被験者個人における漏れの原因を特定し、眼鏡着用者へのシールピースの活用、マスク装着手順と密着状況の確認、リークテストによる漏れ状況の確認、顔面の形・大きさに適合したマスクの選択、等の漏れ対策を個別指導した上で、漏れ率の変化を観測した。また、マスクの漏れ率に影響を及ぼすと考えられるファクター（眼鏡の着用や、帽子・前髪の挟み込み、顔面との適合、目張りの影響等）についても併せて調査した。

最後に、東京電力において導入が検討されている電動ファン付きマスクの漏れ状況を検討するため、三つのメーカーの電動ファン付きマスクを着用した際の漏れ率を計測し、評価した。

### 1) 漏れ率とは

室内の粉じん濃度に対するマスク内部の粉じん濃度の比率。光散乱式パーティクル・カウンターを検出器に利用し、一定体積の採取空気中に存在する粒径  $0.3\mu\text{m}$  以上の粒子 (=マスクのフィルターを通過しない大きさの粒子) の個数を計数する。もしこの様な粒子がマスク内部に存在すれば、隙間から入り込んだ為と考えられる。従って、 $0.3\mu\text{m}$  以上の粒子を測定対象にすることでマスク内への漏れ込みを評価することができる。具体的には、先ず室内空気中の粉じん粒子の個数 (C1) を測定し、次に装着時のマスク内部における粒子数 (C2) を測定し、両者の比 (漏れ率 ;  $C2/C1$ ) を算出することで密着性が定量化される。

### 2) リアルタイム機器によるデモンストレーションの効果には

全面マスクの密着性は、装着する作業者の動作や発声に連動して変化しやすい。漏れ率の低下が動作等に連動する様子をリアルタイム機器によるデモンストレーションを通じて、参加者が実際に目にすることで、漏れの原因に対する理解が得やすくなる。

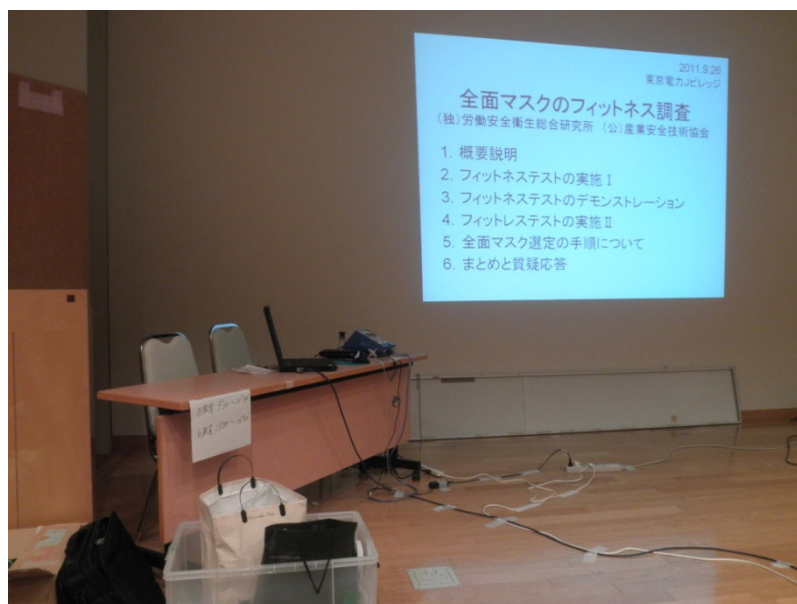


写真1. 今回の調査が実施されたJビレッジの講堂



写真2. 労働安全衛生総合研究所の職員によるデモンストレーションの様子。まず、調査の趣旨を説明し、実際にフィットネステストを実施し、動作などで変化する漏れ率の様子をリアルタイムで背後のスクリーンに映し出した。手前の丸印の機器がフィットテスター MT-03

### Ⅲ 調査結果

#### 1. 指導前の漏れ率の状況

被験者 7 名 (A~G) の指導前の漏れ率は図 1 に示す通りであった。被験者 7 名中、漏れ率が 50%を超えたものが 1 名、10%を超えた者が 4 名いた。なお被験者 F は、東電本店からの参加者である。なお、表 1 には 7 名の漏れ率と同時に使用マスク及び眼鏡使用の有無などを関連する情報として記載した。

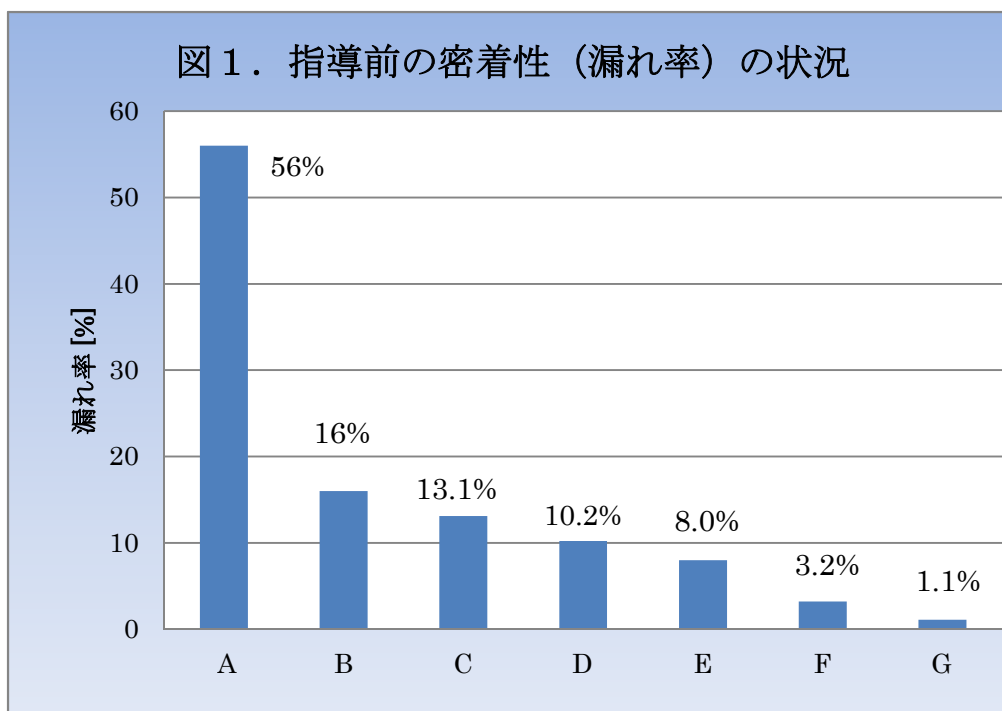


表 1. 7 名の指導前の漏れ率と使用マスク等について

作業員	漏れ率	使用マスク	備考
A	56 %	X 社 全面	ツルの太い眼鏡を使用。マスク装着時に横から漏れる感覚があった。
B	16 %	Y 社 全面	眼鏡着用。
C	13.1 %	Z 社 全面	眼鏡はかけていないが、マスクが顔の幅に対して大き過ぎる印象があり、口を動かした瞬間には漏れる感覚があった。
D	10.2 %	X 社 全面	眼鏡着用。
E	8.0 %	X 社 全面	顔大きさに対してマスクがやや小さめの印象。
F	3.2 %	X 社 全面	東電本店社員。
G	1.1 %	X 社 全面	眼鏡は使用せず、マスクと顔面との密着性も良いため、改善前でも漏れ率は少ない。

## 2. 眼鏡の影響とシールピースによる漏れ率の改善

眼鏡を着用している5名の被験者が、専用のシールピース（眼鏡のツルに取り付けるゴム製のパッキン材。眼鏡をかけてマスクを装着する際にマスク接眼面と顔面（こめかみ）との間に生じる隙間を埋める役割を果たす。；写真3）を使用した前後での漏れ率の変化を図2と表2に示す。5名全員にシールピースの効果（漏れ率の改善）が認められ、漏れ率は5%未満になった（写真4）。

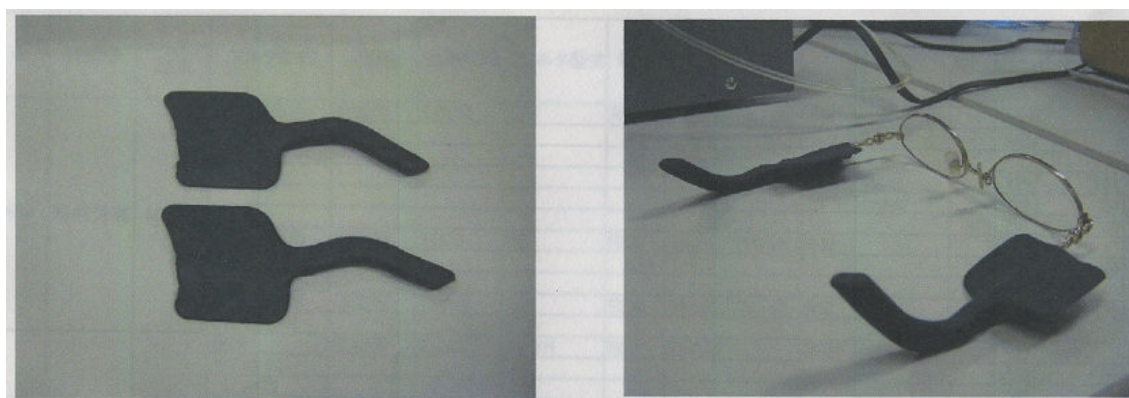


写真3 眼鏡用シールピース（写真提供：産業安全技術協会）

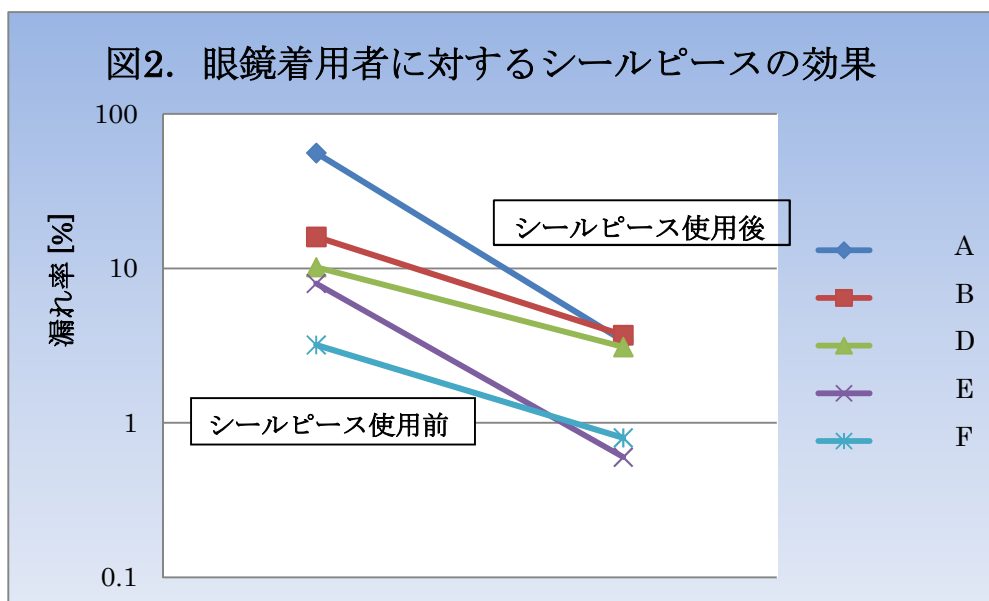


表2. 5名のシールピース使用前後で漏れ率の改善状況について

作業員	漏れ率（シールピース使用前）	漏れ率（シールピース使用後）
A	56.0 %	3.4 %
B	16.0 %	3.7 %
D	10.2 %	3.1 %

作業員	漏れ率（シールピース使用前）	漏れ率（シールピース使用后）
E	8.0 %	0.6 %
F	3.2 %	0.8 %



写真 4. 眼鏡着用者にシールピースを使用してもらい、漏れ率の改善状況を把握するため、再度フィットネステストを実施した。



### 3. 帽子着用の影響

被験者から2名を選び、作業用帽子の着用の有無によって漏れ率に変化が生じるかを調べた。また帽子着用の際には、顔面とマスク接顔面上部との間への前髪挟み込みの影響についても調べた。その結果を図3と表3に示す。

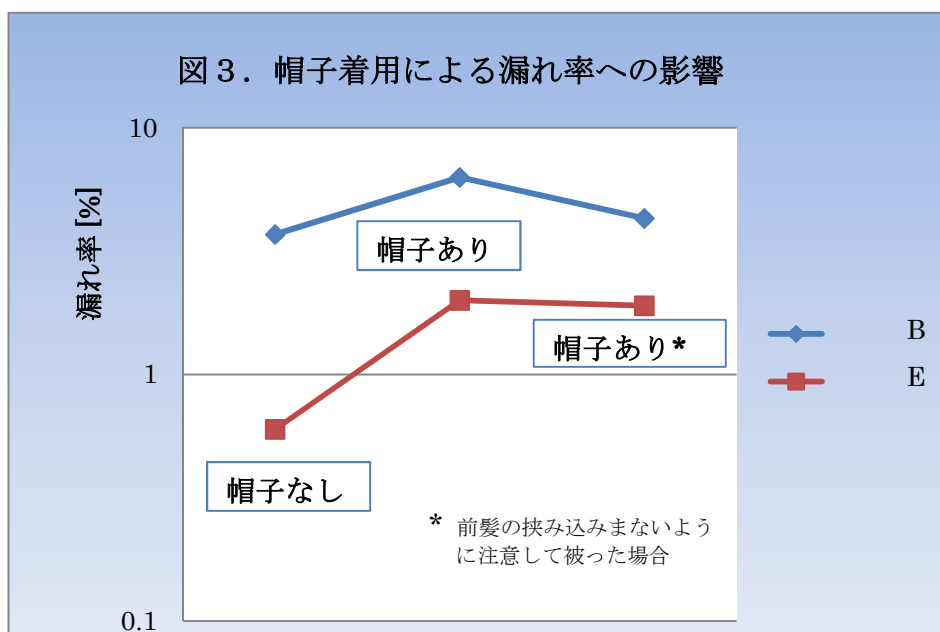


表3. 帽子着用と漏れ率について

作業員	帽子なし	帽子あり	帽子あり*	備考
B	3.7%	6.3%	4.3%	眼鏡あり
E	0.6%	2.0%	1.9%	眼鏡あり

\* マスクの接眼面上部に前髪が挟まれないよう注意して装着後、再度測定。

#### 4. 前髪の影響

被験者から1名を選び、眼鏡と帽子を外した状態で、前髪をマスクと顔面との間に挟み込んだ際に生じる漏れ率の変化を調べた。その結果を図4と表4に示す。

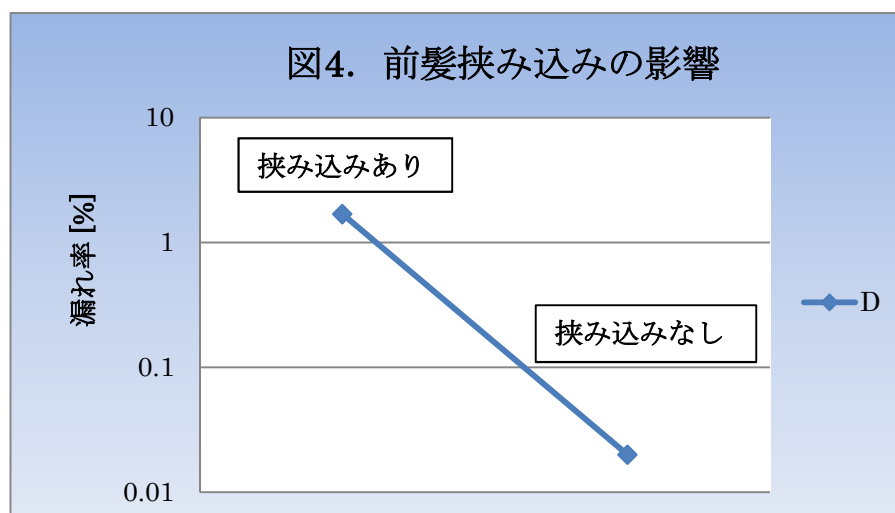


表 4. 前髪挟み込みと漏れ率について

作業員	漏れ率 (挟み込みあり)	漏れ率 (挟み込みなし)	備考
D	1.7 %	0.02 %	帽子なし。眼鏡を外して電動ファン付きマスクを使用している。

## 5. 適切なマスクの選定による漏れ率の改善

当初、全面マスクの密着性に不具合を感じていた被験者1名を選び、別メーカー品の全面マスクに交換して再度装着させた際の漏れ率の変化を図5と表5に示す。図5では、交換前に使用していたマスクのメーカーをZ社、交換後をX社とした。

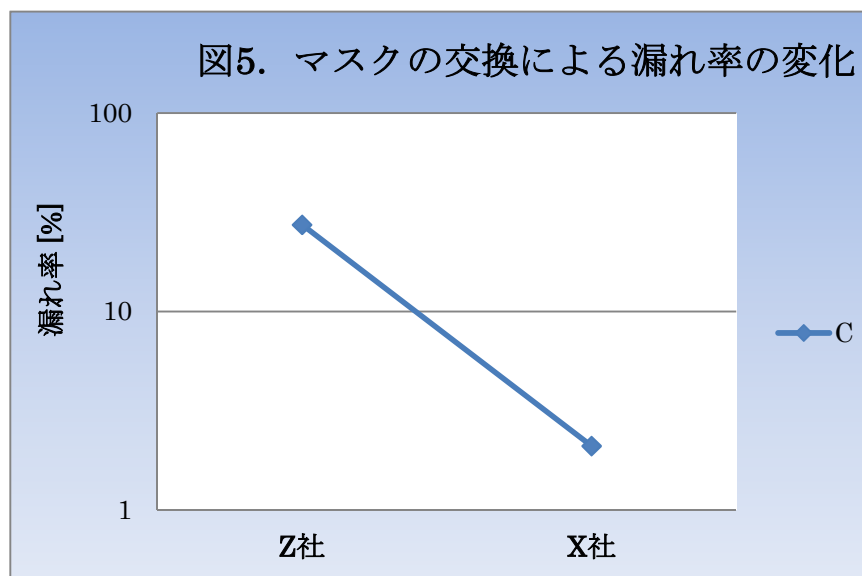


表5. マスクの交換と漏れ率について

作業員	漏れ率 (交換前)	漏れ率 (交換後)	備考
C	27.4 %	2.1 %	漏れ率の変化は作業員とマスクとの相性の問題であり、交換前に使用していた全面マスクの性能が劣ることを意味するものではない。

## 6. 目張りの影響

被験者から1名を選び、保護服（タイベック・ソフトウェア）を着用する際に行う粘着テープによる目張りが漏れ率に及ぼす影響を調べた。その結果を図6と表6に示す。

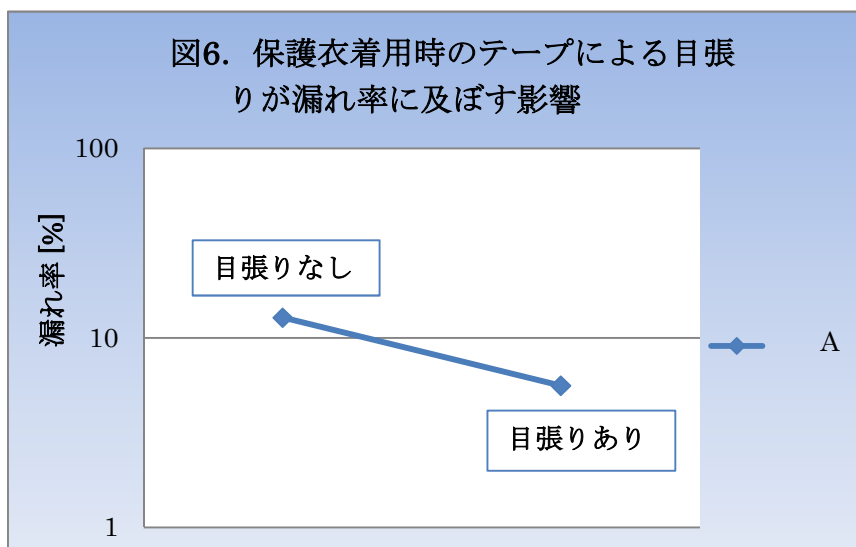


表6. 保護服着用時の目張りとうれ率について

作業員	目張りなし	目張りあり	備考
A	12.8 %	5.6 %	保護服（タイベック・ソフトウェア）着用。眼鏡着用、シールピースなし、X社の全面マスク使用。

## 7. 電動ファン付きマスクの効果の検証

被験者から3名を選び、使用する呼吸用保護具を全面マスクから電動ファン付きマスクに換えた際の漏れ率の変化を調べた。その結果を図7と表7に示す。

また、その際、マスクの重量及び装着時の視界について被験者の意見を求めたところ、特定の型式のマスクについては、重量や視界の点で改善の必要があるとのことであった。

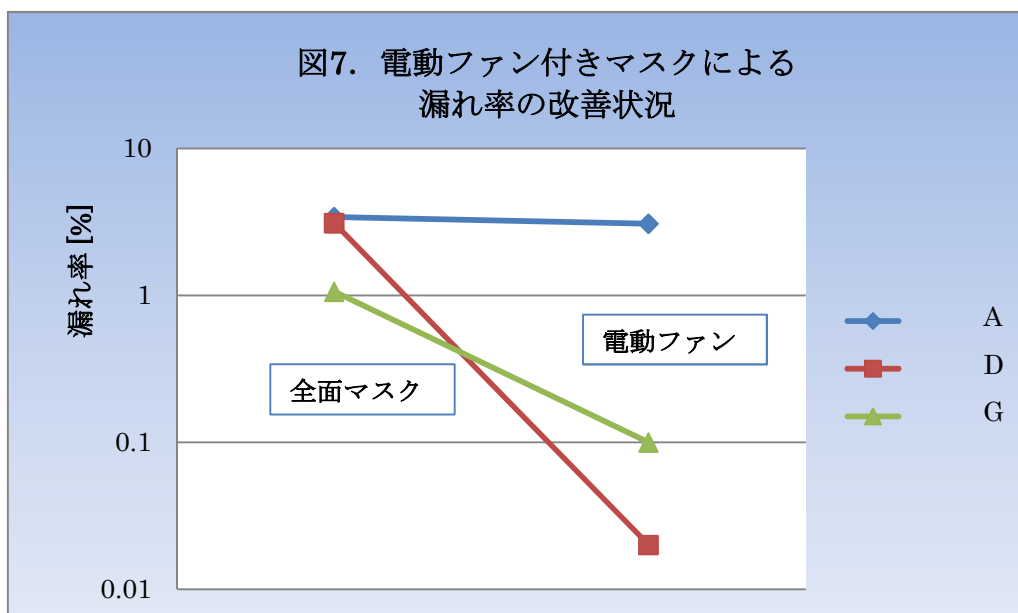


表7. 電動ファン付きマスクと漏れ率について

作業員	全面マスク	電動ファン付	備考
A	3.4 %	3.1 %	眼鏡を着用して電動ファン付きマスクを装着。
D	3.1 %	0.02 %	眼鏡を外して電動ファン付きマスクを装着。
G	1.1 %	0.1 %	もともと眼鏡は使用せず。

- ・測定データ総覧：被験者7名に対して行った漏れ率測定全てのデータをまとめて表8（別添1）に示す。

#### IV まとめ

種々の条件で漏れ率の測定を行った結果、以下の結論を得た。

- i) **改善前の状況**：全面マスクと顔面との密着性が悪い場合（＝顔に適合しない場合）、漏れ率は50%を超える可能性がある。東電本店社員を除く被験者6名の漏れ率は、改善指導前の測定値で平均17.4%であった。
- ii) **眼鏡の影響とシールピースによる漏れ率の改善**：眼鏡の着用は全面マスクの漏れ率を増大させる傾向があり、その傾向は眼鏡の形状・大きさにも依存する。しかし、眼鏡着用時に専用のシールピースを付けると、漏れ率を低下させる効果が期待できる。なお、マスクと顔面との密着性が良好であれば、シールピース無しで眼鏡を着用しても5%以下の漏れ率が実現可能である。
- v) **帽子的着用と前髪の影響**：作業用の帽子を被ると、漏れ率は増大する傾向がある。また、マスク装着時に、前髪や帽子の縁などをマスク接顔面と顔面との間に挟み込むと、漏れ率を増大させる原因となる。
- vii) **適切なマスクの選定による漏れ率の改善**：形状・大きさが顔面に対して不適合なマスクは顕著な漏れの原因となるが、適したマスクに交換するだけで大幅に漏れ率が改善される可能性がある。
- ix) **保護衣着用時の目張りの影響**：粘着テープによる保護服の目張りは漏れ率の低下に寄与すると思われるが、一例のみの測定結果なので、結論とするには更なる検証が必要である。
- viii) **電動ファン付きマスクについて**：同マスクは、正常に作動していれば、眼鏡や帽子の着用に係らず、高い防護効果（＝低い漏れ率）を期待できる。しかし、一部の型式のマスクやフードタイプの電動ファン付きマスク（頭巾状の電動ファン付きマスク）では重量・視界確保の点で改善の必要なものがあり、作業及び用途に応じて使用の可否を判断すべきである。

## V 東京電力への提言

上記の結果を踏まえて、原発事故の復旧作業での全面マスク（以下、マスクとする）使用時の漏れを防止するため、次の五つの具体的対応策を東京電力に提言する。

- (1) 眼鏡使用者への対応策
- (2) 適切なマスクの選択
- (3) マスク着用時の漏れ防止対策の励行等
- (4) 電動ファン付きマスクの導入の検討
- (5) 新規入場者を対象とした呼吸保護具の教育内容の改善

(1) については、今回のフィットネステストの結果からもわかるように、眼鏡着用者のフィットネステストの成績が悪く、平均で10%を超える漏れ率であったことは深刻な事実である。原発事故の復旧作業での内部被ばくにつながる可能性を有しており、早急に効果的な対応策を講じる必要がある。当方で用意したシールピースの着用により漏れ率がいずれも5%未満まで減少しており、改善効果を確認している。眼鏡使用者に適切にシールピースを使用させることは効果的な対応策であると考えている。

(2) の適切なマスクの選択とは、顔の形状や大きさとマスクとの不一致から生じる漏れの防止を図るものである。今回のフィットネステストでも、全面マスクを交換することで漏れ率の減少を確認している。作業者が自分の顔の形状や大きさに適合したマスクを選択できるよう、サイズの異なるマスクを複数用意し、作業者がその中から最適なマスクを選択できるようにすることを提案する。現状のJビレッジでは大量にマスクは用意されているが、その置き場にマスクのサイズが表示されていない。サイズごとに仕分けすることで、作業者が自分に合ったマスクを選択できるようになると期待される。

(3) はマスク着用時に漏れ防止対策として指摘される一般的な事項であるが、改めて作業者に注意喚起されるべきである。今回のフィットネステストでは、綿帽子や頭髮の接顔部への挟み込みの防止で数%の漏れ率の改善効果が得られている。従って、綿帽子・頭髮・あごひげ・もみあげの接顔部への挟み込み防止、しめひもの調整の仕方、リークテストの活用など、マスク漏れ防止対策を励行・徹底することは重要である。

(4) については、今回のフィットネステストで三社の電動ファン付きマスクの漏れ率の測定を実施した結果、いずれも5%未満であった。電動ファン付きマスクはメーカーによって形状や重量などが異なり、「マスクないしはバッテリーが重すぎて作業に支障が出る」「吸収缶の位置が作業に邪魔である」などの意見をふまえ、どのような作業及び用途に使用すべきか検討が必要である。この他にも、どのような作業環境で用いるのか、破過時間

が短くならないか、などの点も検討すべきである。

(5)に関連して、現状の教育内容の説明を受けたが、教育用資料に不適切な写真が掲載されているなど、改善の余地がかなりある。そこで、東京電力として、新規入場者への呼吸用保護具の教育内容を大幅に見直す必要があると考える。今回のフィットネステストの結果からもわかるように、マスクの漏れ要因を理解した上でのフィットネステストは漏れ率の減少に効果的であったことから、マスクフィットテスターを使用した実技を含む教育内容に改善すべきである。さらに、その教育内容には、マスクの構造や特性だけでなく、マスクの漏れに影響を与える要因（眼鏡着用、適切なマスクの選択方法、綿帽子や頭髮の接顔部への挟み込みの防止、しめひもの調整の仕方、リークテストの仕方と活用など）への理解とその対応策を含めるべきである。



(別添1)

表8. 漏れ率の測定結果

被験者	顔面	使用マスク	眼鏡	眼鏡用シールピース	帽子	保護衣	漏れ率 [%]	内部被ばく量(注)	備考
A	太目	X社 全面	○	—	○	—	55.98	117.33 mSv	比較的ツルの太い眼鏡を着用。マスク装着時に横から漏れる感覚あり
			○	○	—	—	6.55		
			○	○	—	—	3.41		
			○	—	—	—	3.08		
			○	—	○	○	12.77		
		Y社 電動ファン付き	○	—	—	—		マスクを締め直して再測定	
		X社 全面	○	—	○	○	5.6		額を出してマスク装着。テープによる目張り無し
			○	—	○	○			額を出してマスク装着。テープによる目張り有り
B	普通	Y社 全面	○	—	○	—	15.95	4.55 mSv	全身を大きめに動かせながら測定
			○	○	—	—	3.68		
			○	○	○	—	6.32		
			○	○	○	—	4.26		
								前髪をマスクに挟み込んだ状態で測定	
								額を出して(前髪を持ちあげて)マスク装着	
C	細目	Z社 全面	—	—	○	—	13.06	40.16 mSv	マスクが顔の幅に対して大き過ぎる印象 口を動かした瞬間に漏れを感じる。 マスクの交換後は、漏れる感覚が無くなった
			—	—	—	—	27.35		
			—	—	—	—	2.08		
D	普通	X社 全面	○	—	○	—	10.16	0.03 mSv	マスクを緩めに装着して測定 マスクを強めに装着して測定 マスク接顔面の上部に前髪の挟み込みあり 額を出して(前髪を持ちあげて)マスク装着 電動ファンを停止させて測定 重たいため、通常作業時には装着困難
			○	○	—	—	3.11		
			—	—	—	—	1.4		
			—	—	—	—	0.49		
			—	—	—	—	1.69		
			—	—	—	—	0.02		
		Y社 電動ファン付き	—	—	—	—		額を出して(前髪を持ちあげて)マスク装着	
		Y社 フードマスク	○	—	—	—		電動ファンを停止させて測定	
								重たいため、通常作業時には装着困難	
E	普通	X社 全面	○	—	○	—	7.95	13.40 mSv	顔に対してマスクがやや小さ目の印象
			○	○	—	—	0.6		
			○	○	○	—	1.95		
			○	○	○	—	1.87		
								帽子をかぶり直して再度測定(額出し)	
F (東電本社)	普通	X社 全面	○	—	—	—	3.19		
			○	○	—	—	0.84		
G	普通	X社 全面	—	—	○	—	1.06	0.00 mSv	
			—	—	—	—	0.09		
		Y社 電動ファン付き	—	—	—	—			

(注)内部被ばく線量については、今回の調査の条件が発電所内での作業環境と異なるため、本調査結果と内部被ばく線量に直接の相関関係があるわけではないことに注意が必要である。