

福島第一原子力発電所における下請け従業員における
警報付きポケット線量計（APD）不正使用の可能性に
係る放射線管理について

平成24年8月13日

東京電力株式会社

1. はじめに

福島第一原子力発電所の復旧作業において、警報付きポケット線量計（以下 APD と称す）に適正に使用していなかった可能性が平成 24 年 7 月 27 日までに明らかになった。

元請会社（株式会社東京エネシス 以下 エネシスと称す）を通じた調査の結果、下請け企業（ビルドアップ株式会社 以下 ビルドアップと称す）の現場責任者と従業員の計 5 名が平成 23 年 12 月 1 日に行った 3 時間程度の作業時に APD の検出器部分を、鉛板を加工して作成したカバーで覆って作業を行い、線量値を低くしていた可能性がある。

このことから、以下の 3 点について検討を行った。

- (1) 鉛カバーによる線量低減効果の評価と今般の事案による線量管理に与える影響の評価
- (2) ガラス線量計や APD 等の機器の管理の徹底、及び使用に関する保安教育の徹底等による再発防止策の策定
- (3) 積算線量データ管理の強化など、線量計測またはデータ処理の不正を未然に防止するための仕組みの検討・構築

2. 事象の概要

福島第一原子力発電所の復旧作業において、協力企業の現場責任者が共同作業者に APD を鉛板でカバーし、線量値を低くすることを提案し、賛同した作業員 4 名と提案した現場責任者が平成 23 年 12 月 1 日に行われた約 3 時間の作業で APD に 3mm 厚の鉛板を加工したカバーを取り付け、作業した可能性がある。

現場責任者によれば、鉛カバーは福島第一原子力発電所構内にあったものを使用し、エネシスの現場加工場で作成したとしている。

さらに、この現場責任者によれば平成 23 年 12 月 1 日の作業（淡水化装置凍結防止対策工事）において実際に使用したが、作業に伴い身体が動くことにより鉛カバーが直ぐにずれてしまい、効果がないと判断し、翌 12 月 2 日には投棄したとしている。

また、当日は現場責任者とビルドアップ作業員 8 名、計 9 名が作業を行っており、現場責任者を含む 6 名（1 名は遅れて作業に参加）と 3 名の班に分かれて作業を行っていたことから、実際に鉛カバーを取り付けたのは現場責任者と一緒に作業を行った 6 名のグループのうち、遅れて作業に参加した 1 名を除く 5 名だけであった。

遅れて作業に参加した 1 名と 3 名のグループの作業員は鉛カバーを付けていないと証言している。

鉛カバーを付けたとする 5 名の当該作業日における APD の線量は以下のとおり。

作業員	APD 値
A	1.18
B	1.34
C	1.33
D	1.23
E	1.38
平均	1.29

<参考：鉛カバーを使用していなかった作業員の APD 値>

作業員	APD 値
F	0.93
G	1.69
H	1.41
I	0.33 (遅れて入場)

3. 検討と結果

(1) 鉛カバーによる線量低減効果の評価と今般の事案による線量管理に与える影響の評価

a. 透過率の評価 (理論)

現在、福島第一原子力発電所で検出されている核種と濃度割合は表 1 のとおりとなっている。

表 1 検出核種と割合

核種	γ線エネルギー	放出率	降下物中の濃度*	134/137
Cs-134	0.605Mev	97%	3,700Bq/m ²	0.673
	0.796Mev	85%		
Cs-137	0.662Mev	85%	5,500Bq/m ²	1

*：降下物中の濃度は平成 24 年 6 月 1 日から平成 24 年 7 月 2 日のサンプリングによる

放射線の減衰は以下の式で表される。

$$I / I_0 = \exp(-\mu_m \rho x)$$

I：透過 γ 線

I₀：入射 γ 線

μ_m：質量減衰 (減弱) 係数 (cm²/g)

ρ：密度 (g/cm³)

鉛は 11.35g/cm³

x : 物質厚さ (cm)

I / I₀ を透過率とした場合、鉛中の γ 線の透過率は表 2 のようになる。

表 2 鉛中の γ 線の透過率

鉛厚さ (cm)	γ 線の透過率	
	0.6Mev	0.8Mev
0.1	0.87	0.91
0.2	0.77	0.83
0.3	0.67	0.75
0.4	0.59	0.68
0.5	0.51	0.62

よって透過率は 3mm の鉛板の場合

各核種の寄与は次のとおりとなる。

$$x = 1 / (0.673 \times 0.97 + 0.673 \times 0.85 + 1 \times 0.85)$$

$$X : \text{分配係数} = 0.482$$

表 2 より (0.605Mev, 0.662Mev は 0.6Mev の数値を、0.796Mev は 0.8Mev の数値を使用する)

$$I = (0.673 \times 0.97 \times 0.67 + 0.673 \times 0.85 \times 0.75 + 1 \times 0.85 \times 0.67) \times x$$

$$I = 0.692$$

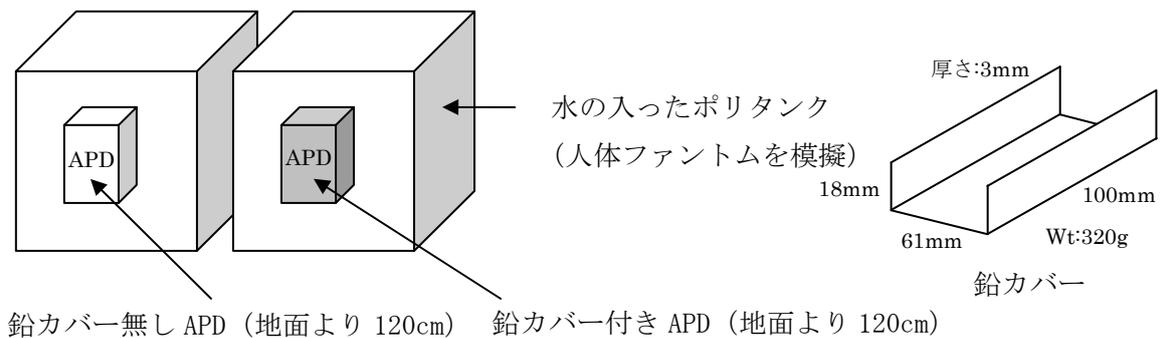
となり、元の線量率よりも 30.8% の低下となる。

b. 透過率の評価 (実験)

実際に使用されたとされる約 3mm 厚の鉛カバーのモックアップを製作し、実際に作業を行ったとされる 1 号機北側において鉛カバーを付けていない APD と鉛カバーを付けた APD を使用して測定値の差を測定した。

(実験は平成 24 年 8 月 1 日 9 時 05 分～から 10 時 05 分に実施)

実験装置の概要は以下のとおり。



なお、鉛カバーを取り付けたとされる状況を添付1に、鉛カバーのモックアップ製作状況を添付2に、1号機北側で行った実験状況を添付3にそれぞれ示す。

比較結果

測定ポイント*	鉛カバーの有無	測定値(mSv)	透過率(%)
A	有	0.48	0.762
	無	0.63	
B	有	0.45	0.738
	無	0.61	
C	有	0.46	0.622
	無	0.74	
平均	—	—	0.707

*測定ポイントはいずれも作業を行ったとされる1号機北側の法面

c. 透過率の評価（総合）

減衰率について、平成24年7月現在での環境では理論値30.8%に対し、実測では29.3%であった。

これは、APDの測定誤差が±30%（JIS Z 4312）なのに加え、鉛カバーが身体に密着した面を除く5面のうち3面しかカバーしておらず、残り2面からのγ線入射があるためと考えられる。

d. 線量値への影響

鉛カバーを付けたとされる作業は淡水化装置凍結防止対策工事で、被ばく線源となるのは雰囲気線量によるものだけであることから、鉛カバーを付けて作業を行ったとされる平成23年12月1日の線量補正では当時の環境状況を加味した雰囲気線量の理論値を算出し、これに実験値による補正値を剰じることにより求める。

鉛カバーを付けて作業を行ったとされる時期の放射性物質の存在比は以下のとおり。

核種	土壌中の濃度*	134/137
Cs-134	350,000Bq/kg	0.875
Cs-137	400,000Bq/kg	1

*：土壌中の濃度は平成23年11月21日サンプリングの値

この場合の x、I は以下のとおりとなる。

$$x = 1 / (0.875 \times 0.97 + 0.875 \times 0.85 + 1 \times 0.85)$$

$$X = 0.409$$

表 2 より (0.605MeV, 0.662MeV は 0.6MeV の数値を、0.796MeV は 0.8MeV の数値を使用する)

$$I = (0.875 \times 0.97 \times 0.67 + 0.875 \times 0.85 \times 0.75 + 1 \times 0.85 \times 0.67) \times x$$

$$I = 0.694$$

平成 23 年 12 月での補正係数 (y) は以下のようになる。

$$y = (0.694 / 0.692) \times 0.707$$

$$= 0.709$$

作業員	12 月 1 日の APD 値 (実測値)	補正後 (/0.709)
A	1.18	1.66
B	1.34	1.89
C	1.33	1.87
D	1.23	1.73
E	1.38	1.95
平均	1.29	1.87

当該作業員の補正後の線量については、実測値に 29.1%の補正を行うこととなるが、これは APD の測定誤差±30% (JIS Z 4312) と同程度の差であった。

(2) ガラス線量計や APD 等の機器の管理の徹底、及び使用に関する保安教育の徹底等による再発防止策の策定

a. ガラス線量計や APD 等の機器の管理の徹底について

(a) 基本的な考え方

問題点としては、発電所における放射線業務においては、防護服 (タイベック) を着用していることが多く、ガラス線量計や APD 等の線量計の装着が適切であるかが外から視認できないこと、ならびに現場での確認がされていないことが問題であることが挙げられる。したがって、ガラス線量計や APD 等の機器の管理を徹底するために、APD を外部から視認する方法について、作業安全上・放射線管理上の課題を含めて検討することとした。また、課題の抽出にあたっては、現在福島第一原子力発電所において作業を行っている元請企業の放射線管理責任者にも意見を求めた。

(b) 検討結果

i-1 改良型防護服の採用

図2のとおり、胸の部分が透明になっている防護服を採用する。その上で、ポケット内部が確認しやすいチョッキにAPDを収納し、防護服外側からAPDを視認できる状態とする。同様に、アノラック型防護服についても透明なものを採用する。この場合の作業安全上・放射線管理上の課題は特にはない。本対策は、10月中運用開始を目処とする。



図2 対策案イメージ

i-2 改良型防護服の対象作業

今般の線量計の表面を鉛板で覆ったことが疑われる事案においては、APD 警報設定値が 3mSv であったこと、ならびに APD の不正使用のインセンティブは高線量であることに起因すると考えられること、さらには今後原子炉からの燃料の取り出しや格納容器バウンダリーの補修など高線量下での作業が増加することが見込まれることから、対象作業は、「緊急作業における APD の警報設定値が 3mSv 以上」とする。3mSv 以上の警報設定で平成 24 年 7 月に行われた作業件名と対象人数を例として添付 4 に示す。

なお、当該対象作業は、現場の作業環境線量率の低下に応じて、段階的に引き下げていくこととする。

なお、タングステンベスト等の遮へい効果を有する防護服（以下、タングステンベスト等という。）を着用する場合は、タングステンベスト等の内部に装着した APD を外部から視認する方法は無いこと、および、タングステンベスト等を着用する段階で更に APD を鉛板で覆うインセンティブは働かないと想定されることから、タングステンベスト等を着用する場合は対象外とする。



図1 タングステンベスト

ii 作業現場での確認

現場での確認がされていないことについては、当社監理員が現場で立ち会う際や各協力企業元請が工事監督等で現場に行く際に、抜き打ち的に APD 装着に関する確認を行うことにより、不正な装着を防止する活動を行う。

なお、現場作業員の意見については、労働条件等の相談窓口や無記名式のアン

ケートを活用して収集し、再発防止を図ることとする。

b. 使用に関する保安教育等の徹底について

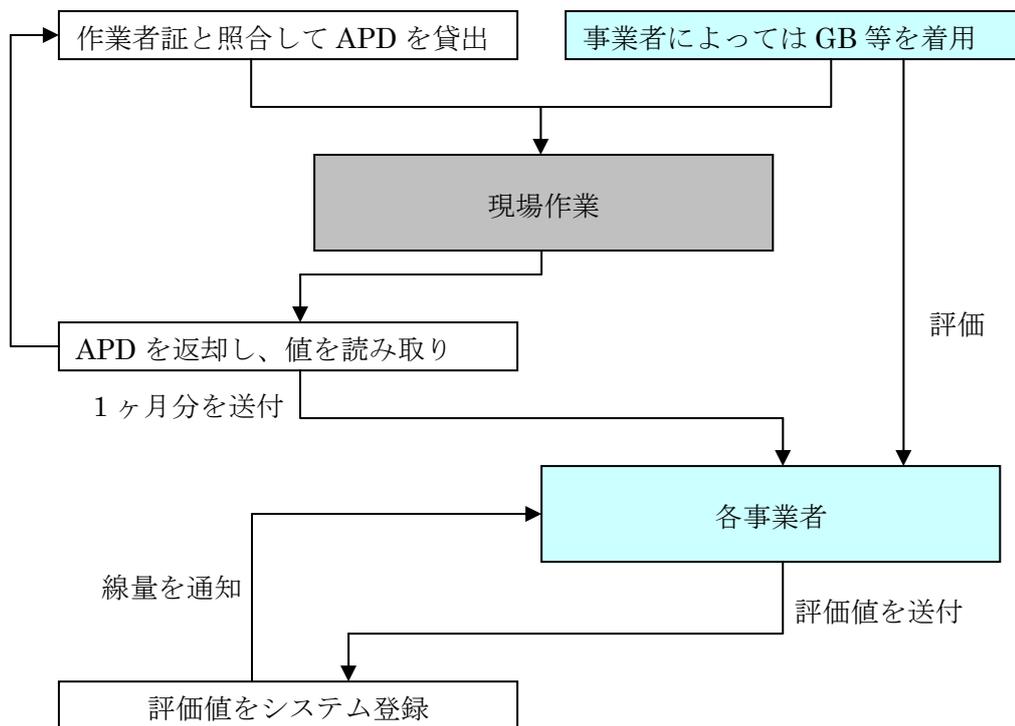
従来の放射線防護教育においても放射線の健康影響について教育を行っているが、これに加え8月6日より、放射線防護教育の中で、「現場に行く際にはAPDを正しく装着し、適正に使用すること」「現場で正しく測定するためAPDを外すなどの行為を行わないこと」「APDの最終警報が鳴動したら直ちに現場から退避すること」などの福島第一で従事するために特に重要な内容を強調して教育することとした。

また、請負契約時の仕様書の一つである「放射線管理仕様書」に記載されている放射線管理に関する遵守事項について厳守するよう周知するとともに、契約時に指導していくこととする。

(3) 積算線量データ管理の強化など、線量計測またはデータ処理の不正を未然に防止するための仕組みの検討・構築

a. 現在の状況

現在の線量管理の流れは以下のとおりとなっている。



* 白抜きは当社

- ① 作業員は当社から APD の貸与を受け、作業を行い、作業後は線量を当社のシステムに登録

- ② 1ヶ月単位でシステムに登録されたAPDの値を各事業者に送付
- ③ 各事業者は送付された内容を実施した作業の内容を比較評価し、被ばく線量を確定して当社に送付
- ④ この際、独自に個人線量計を採用（ガラスバッジなど 以下 ガラスバッジと称す）している場合は各社の判断により線量を評価し、被ばく線量を確定して当社に送付
- ⑤ 当社は送付された線量をシステムに登録して保存

b. 問題点

線量計に係る不正を未然に防止するにあたって、現在のシステムで問題となる事項をブレインストーミングした結果、以下の2つの問題点が抽出された。

<問題点1>

現在行われている線量管理では当社では各社が評価した線量値をシステムに登録して管理するのみとなっており、APDに不正が行われた場合、当社が能動的にそれを察知するシステムとはなっていない。

<問題点2>

各社がガラスバッジを採用している場合はAPDに不正が行われてもその比較により線量値に対する疑義を見いだすことができるが、以下のような場合は疑義を発見することが困難である。

- ① APDとガラスバッジの双方に不正が行われた場合
- ② ガラスバッジを採用していない場合

c. 改善

<問題点1に対する改善>

当社に送付されたデータについて、 $5\text{mSv}/\text{月}^{*1}$ を超える者の線量をシステムに登録してあるAPDの値との比較を行い、APDの値がガラスバッジより20%以上 *2 低い場合は個別に調査することとする。

<問題点2に対する改善>

組織的に不正が行われない限り、個人の不正による線量値は作業集団の中の線量分布で特異な傾向を示すと考えられる。

このことから、各事業者にて線量を評価する際に行われる、各作業員の従事内容と線量の比較において特異なデータが無いか確認のうえ、当社への送付を行うて貰うこととする。

また、当社でも 5mSv/月^{*1}を超えるような線量集団に対しては作業件名による集団に分割を行い、-50%以上^{*3}の線量のバラツキがある場合は個別に調査することとする。

添付5に平成24年7月に行われた5mSv/月を超える線量集団とバラツキを例として示す。

なお、問題1、問題2の改善については当面は毎月実施し、それらの調査内容を分析した結果、不正防止の活動が定着していると判断した場合は実施頻度を不定期にするなど実効性を維持しつつ変更する。

- * 1 不正が行われるようなインセンティブが働くのは高線量であることから50mSv/年の線量限度を考慮し、5mSv/月を超える線量に従事した人を対象とする。
- * 2 電子式個人線量計の誤差は±30%（JIS Z 4312）となっており、蛍光ガラス線量計では±10%（JIS Z 4314）となっていることから、相乗誤差としては±約40%（-37～+43%）となる。
- * 3 個々の担務する作業内容によって線量はバラツキが生じるが、50%以上のバラツキがあった場合は合理的な説明がなされなければならないと考えられる。

以 上

添付-1 APD 鉛カバー装着方法

添付-2 実証試験用鉛カバー作製

添付-3 試験状況写真

添付-4 3mSv以上の警報設定で行われている作業件名（平成24年7月実績）

添付-5 5mSv/月を超える作業件名及び調査対象リスト（平成24年7月実績）

APD鉛カバー装着方法

【装着場所】

現場へ移動する車を止めて(人目につかないところ)車の中に保管してあった鉛カバーを現場責任者の指示で装着した。作業終了後同じ場所に車を止めカバーを取り外し、車の中に保管していた。

【装着方法】

タイベックをはさみ又はカッターで切り、APDを取り出し、鉛カバーを被せ、テープ(透明レガテープ:通常マスクのテーピング等に使用されているもの)を巻き、下着のポケットへ戻した。
切ったタイベックの個所はテープを貼り処置した。

〔装着イメージ〕



タイベックをはさみ又はカッターで切りAPDを取り出す



(試作品)鉛カバー



APDに鉛カバーを装着し
ずれないようにテープを巻く



下着の胸ポケットへ入れる
(右側:クイクセルバッジ)



タイベックの切ったところをテープでとめる



アノラック(下)着用状況
外部からは何も見えない

装着結果

- ・かなり下着のポケットがたるむ。
- ・タイベックの上にアノラックをつけているため、外部からはまったくわからない。

実証試験用鉛カバー作製

聞き取り調査結果に基づき、ほぼ同様の方法で鉛カバーを作製した。

【作製日】平成24年7月24日

【作製場所】福島第二原子力発電所構内

【作製手順】

- ① 鉛板 1,000mm×300mm×3mm(作製のため今回用意)から、模擬鉛カバー寸法をケガキする。
- ② 電動バンドソーで切断する。
- ③ 万力に曲げ代を合わせセットして片手ハンマーで曲げ加工を行う。
- ④ 模擬APD(木製100×60×15mm)を合わせ確認し、組やすりで仕上げバリを取る。

【作製時間】

12分/個

【模擬鉛カバー重量】

320g

〔作製の状況〕



ケガキ線を入れバンドソーで切断



万力を使用しケガキ線に沿って叩いて折り曲げる



反対側も同様に折り曲げる



模擬APDを使用し微調整する



完成

〔作製結果〕

- ・グラインダーでの切断も実施してみたが問題なく切断できる。
- ・複数人で作製すれば12個全部を1時間程度で作製可能と思われる。

試験装置



試験装置



鉛なし(A-1)



鉛あり(A-2)



3mSv以上の警報設定で行われている作業件名(平成24年7月実績)

作業件名	延人数 (人)
アレバ装置アクチフロー修理工事	80
セシウム吸着塔装置弁他修理工事	300
吸着塔洗浄・乾燥作業用遮蔽取替工事及び同関連除却工事	76
4号機使用済み燃料プール未照射燃料調査	167
リモートコントロール関連機器の工事、調整、操作、準備片付け業務	13
滞留水移送配管PE管化工事	21
2号機原子炉建屋内ホウ酸水注入系計装管健全性確認業務	8
2号機トーラス室温度計設置作業	5
放射性滞留水の移送・処理設備の設置工事監理	21
4号機使用済み燃料プール冷却材浄化系二次循環ポンプトリップ調査委託	22
合 計	713

5mSv/月を越える作業件名及び調査対象リスト（平成24年7月実績）

ハッチング部分は、-50%以上の線量差があることを示す。

作業件名	個人線量 (mSv)	最大線量 (mSv)	平均線量 (mSv)	線量差割合 (%)
アレバ装置アクチフロー修理工事	1.35	10.02	2.34	-42.3
	0.02			-99.1
	2.13			-9.0
	2.82			20.5
	0.17			-92.7
	0.21			-91.0
	0.32			-86.3
	3.45			47.4
	6.59			181.6
	5.55			137.1
	2.17			-7.3
	3.05			30.3
	1.16			-50.4
	0.72			-69.2
	2.4			2.5
	2.83			20.9
	4.38			87.1
	1.8			-23.1
	2.96			26.5
	3.45			47.4
	2.52			7.7
	2.8			19.6
	0.03			-98.7
	0.44			-81.2
	3.48			48.7
	0.21			-91.0
	2.45			4.7
	6.76			188.8
	3.64			55.5
	0.23			-90.2
	2.23			-4.7
	3.3			41.0
	1.05			-55.1
	10.02			328.1
	2.23			-4.7
	1.42			-39.3
	1.81			-22.7
	0.78			-66.7
	1.32			-43.6
	1.6			-31.6
	1.88			-19.7
1.43	-38.9			
1.87	-20.1			
1.51	-35.5			
4.87	108.1			
2.1	-10.3			
1.53	-34.6			
1.78	-23.9			
2.6	11.1			
2.41	3.0			
3.56	52.1			
2.73	16.6			
1.43	-38.9			
0.84	-64.1			
セシウム吸着塔装置弁他修理工事	0.02	8.84	2.39	-99.2
	3.3			37.9
	8.84			269.5
	3.32			38.8
	2.49			4.1
2.51	4.9			

作業件名	個人線量 (mSv)	最大線量 (mSv)	平均線量 (mSv)	線量差割合 (%)
セシウム吸着塔装置弁他修理工事	0.58	8.84	2.39	-75.8
	4.36			82.2
	1.63			-31.9
	0.2			-91.6
	7.09			196.3
	8.27			245.7
	0.15			-93.7
	0.01			-99.6
	0.03			-98.7
	0.06			-97.5
	4.08			70.5
	3.13			30.8
	2.53			5.7
	2.14			-10.6
	0.05			-97.9
	0.17			-92.9
	0.03			-98.7
	0.43			-82.0
	0.19			-92.1
	0.19			-92.1
	0.24			-90.0
	0.3			-87.5
	0.2			-91.6
	0.12			-95.0
	6.81			184.6
4.77	99.4			
4.32	80.6			
6	150.8			
5.18	116.5			
吸着塔洗浄・乾操作業用遮蔽取替工事及び同 関連除却工事	0.43	5.59	3.26	-86.8
	4.92			51.0
	4.26			30.7
	3.83			17.5
	1.58			-51.5
	1.43			-56.1
	0.22			-93.2
	3.34			2.5
	3.63			11.4
	4.48			37.5
	4.95			51.9
	3.78			16.0
	0.42			-87.1
	0.6			-81.6
	5.59			71.5
	5.43			66.6
	3.86			18.4
5.36	64.5			
3.84	17.8			
3.96	21.5			
2.53	-22.4			
リモートコントロール関連機器の工事、調 整、操作、準備片付け業務	0.17	6.08	1.73	-90.2
	0.3			-82.6
	1.85			7.2
	0.31			-82.0
	3.26			88.8
	6.08			252.2
	2.14			24.0
	0.27			-84.4
	0.32			-81.5
	2.69			55.8
1.6	-7.3			
2号機原子炉建屋内ホウ酸水注入系計装 配管健全性確認業務	5.23	5.23	4.94	5.9
	5.19			5.1
	4.39			-11.1