

空幕整（輸補）第695号
令和4年6月9日

原子力規制委員会 殿

防衛省 航空幕僚長
空将 井筒 俊司
(公印省略)

小松基地所属F-15戦闘機の墜落事故に伴う放射性同位元素の所在不明
について（報告）

標記について、放射性同位元素等の規制に関する法律第31条の2及び同法施行規則
第28条の3の規定に基づき、令和4年4月22日付で報告した標記の件について、原
因と対策を取りまとめましたので、別紙のとおり報告します。

添付書類：別紙「エンジン点火装置に内蔵された密封線源（クリプトン）の所在不明に
ついて」

エンジン点火装置に内蔵された密封線源（クリプトン）の所在不明について

1 件名

エンジン点火装置（以下「エキサイタ」という。）の所在不明について

2 事象の内容

(1) 報告者

石川県小松市向本折町戊267番地

航空自衛隊小松基地 第6航空団司令 空将補 石引 大吾

(2) 所在不明となった場所

小松沖（小松基地から西北西方向の約5kmの洋上）

(3) 事象

令和4年1月31日（月）にエキサイタ（4個（236.8kBq（118.4kBq×2で構成）×2、323.2kBq×2））を搭載した航空自衛隊小松基地所属F-15戦闘機が小松沖に墜落した。

令和4年4月1日（金）まで墜落現場周辺海域及び海岸付近の捜索を行った結果、密封線源を内蔵したエキサイタ4個のうち1個は未回収となった。また、発見された3個のうち1個は損傷が激しく、内蔵された線源が所在不明となっている。

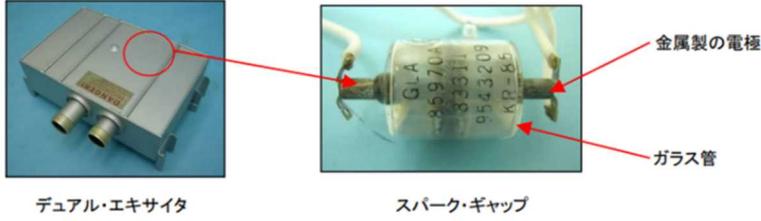
密封線源の発見・回収に至らなかったことから、令和4年4月15日（金）に、放射性同位元素等の規制に関する法律第31条の2に基づく法令報告事象（放射性同位元素の所在不明）に該当すると判断し、原子力規制委員会に報告を行った。

なお、小松基地は、事故発生直後から救難活動に専念しており、その後も墜落した航空機の部品等の捜索活動を継続していたことから、対象物品の所在不明の通報が上記日付となった。

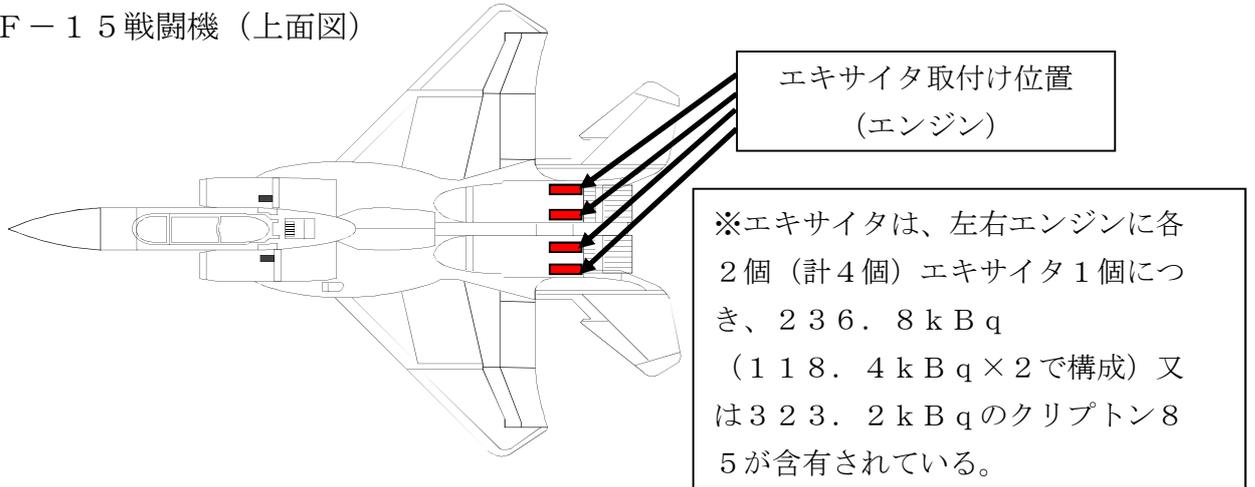
回収したエキサイタは内蔵する密封線源とともに、航空自衛隊小松基地内の貯蔵箱で保管している。

所在不明となったエキサイタに内蔵されている密封線源は、2種類（236.8kBq（118.4kBq×2で構成）又は323.2kBq）あるが、回収したエキサイタの密封線源を識別するための銘板が剥がれ落ちていること及び外観上の形状の違いもないことから、その種別は特定できないものの、所在不明となった密封線源の総量は、①646.4kBq、②560kBq及び③473.6kBqのいずれかであると推察する。

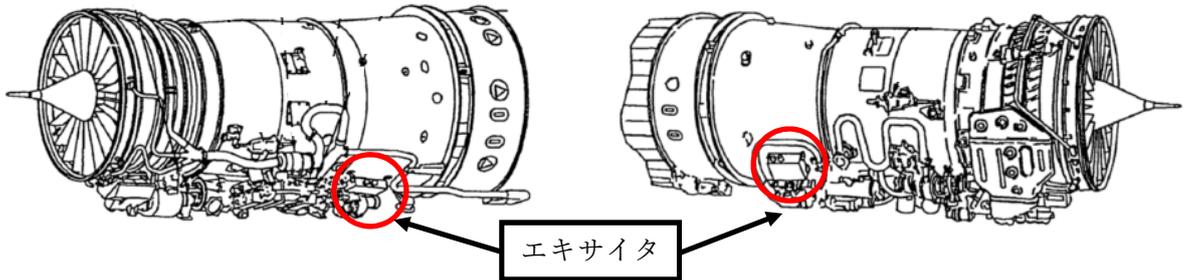
(4) 所在不明となった物品、装備場所



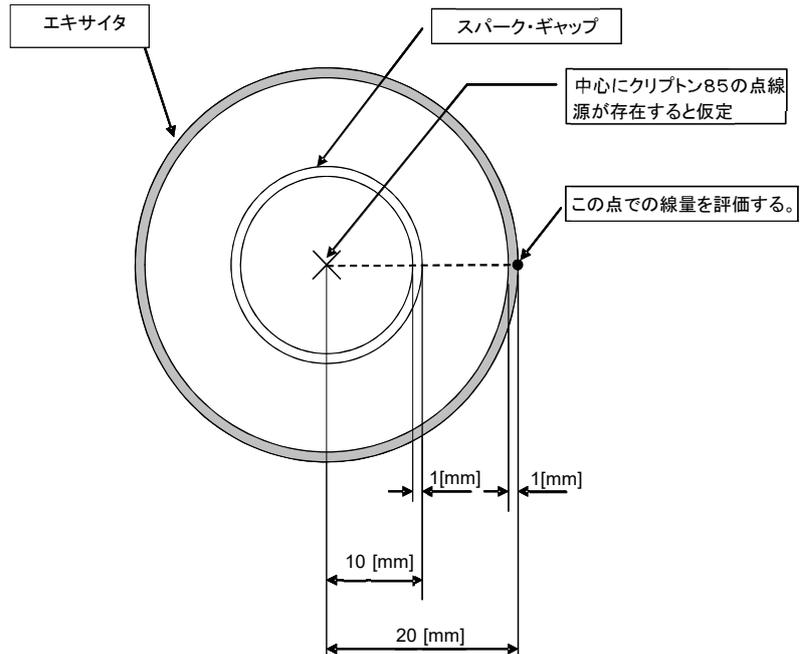
F-15戦闘機 (上面図)



F-15エンジン (エキサイタ取付け位置)



線量計算モデル図
(エキサイタ)



3 人体及び環境への影響

(1) 人体への影響

航空機の墜落場所が小松沖の海洋であるため、密封線源自体が海洋に沈んでいる可能性が高いこと及び密封容器が破損した場合でもガラス管内の気体状のクリプトンは直ちに拡散されることから、人体に対する影響はない。

その上で、可能性は低いですが部外への影響が最も大きなスパーク・ギャップが無傷で海岸等に打ち上げられたことを想定した場合における影響評価を、次のとおり計算理論値及び実測値により算定する。

ア 前提条件及び計算方法

(ア) 前提条件

エキサイタは溶接されて、スパーク・ギャップは完全に密封されている。スパーク・ギャップの構造は、半径10mm、厚さ1mmのガラス管に最大323.2kBqのクリプトン85が封入されており、エキサイタ（鉄）の外壁の厚さは1mmとする。

(イ) 計算方法

クリプトン85 (^{85}Kr) は主にベータ (β) 崩壊する放射性核種であり、小さい比率でガンマ (γ) 崩壊する。したがって、ベータ崩壊及びガンマ崩壊による実効線量を計算する。また、ベータ線は遮蔽するとそれに伴って物質をよく透過する制動X線が生成されるので、この制動X線により発生する実効線量率も計算する必要がある。

なお、所在不明となったエキサイタに内蔵されているクリプトンの線量(236.8kBq(118.4kBq \times 2で構成)又は323.2kBq)が特定できないため、最大の線量(646.4kBq)で計算する。

イ 外部被ばくについて

クリプトンから放出される β 線はカプセルのガラスで完全に遮断されること及び γ 線及び制動X線の線量率はバックグラウンドと比較しても大きな違いはない上に、もし密封容器が破損した場合でも、ガラス管内の気体状のクリプトンは、直ちに大気中に拡散されることから、外部被ばくによる放射線障害のおそれはない。計算結果は次のとおり。

(ア) 実効線量率算定

a γ 線（スパーク・ギャップ）

^{85}Kr の γ 線については、その放出割合が0.4%と少ないためガラス管による遮蔽を考慮せず、線源から機器表面における実効線量率 E_0 を次の式で計算する。

$$E_0 = S \times \Gamma E \times (1/R^2)$$

(放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル：原子力安全技術センター編集・発行)

$$S = \gamma \text{線の線源強度 [MBq]} = 323.2 \text{ kBq} = 0.3232 \text{ MBq}$$

$\Gamma E = {}^{85}\text{Kr}$ の線源（線源強度 1 MBq）からの 1 [m] の距離における
実効線量率定数：0.00031 [$\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$]

（放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル：原子力安全技術センター編集・発行）

R = 線源中心からスパーク・ギャップまでの距離[m] 10mm = 0.01m

スパーク・ギャップ表面の実効線量率は、

$$E_0 = 0.3232 \times 0.00031 \times (1/0.01^2) = 1.002 [\mu\text{Sv/h}]$$

b β 線

クリプトン 85 から放出される最大放射線エネルギー E は 0.687 [MeV] である。

ベータ線の最大飛程 R [g/cm²] は Feather 法により次の式で近似される。

$$R = 0.542 E - 0.133 \quad 3 [\text{MeV}] > E > 0.8 [\text{MeV}]$$

$$R = 0.407 E^{1.38} \quad 0.8 [\text{MeV}] > E > 0.15 [\text{MeV}]$$

また、スパーク・ギャップのガラスの密度は、 $\sigma = 2.6$ [g/cm³] であることから、最大飛程距離 r [cm] は次の式で求められる。

$$r = R / \sigma [\text{cm}]$$

以上より、最大飛程距離は

$$r = 0.407 \times 0.687^{1.38} / 2.6 = 0.093 [\text{cm}] = 0.93 [\text{mm}]$$

ガラスの厚さは 1 [mm] であることから、0.687 [MeV] の β 線はガラスにより完全に遮蔽される。

c 制動 X 線

「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル」（以下「マニュアル」という。）の 1. 3 項（放射性同位元素からの β 線により発生した制動 X 線のしゃへい計算方法）から、次のように制動 X 線に対する実効線量率について計算した。

原子番号 Z（スパーク・ギャップの材質をガラスの主成分であるケイ素と含有するほかの元素との化合物と考えた場合、実効原子番号は 11.7~12.5 となることから、本計算では実効原子番号を 12 とする。）のターゲットから放出される制動 X 線の実効線量率定数 $\Gamma_{20}(12)$ は次式で求められる。また、 Γ_{20} 及び $K_{20}(12)$ についてはマニュアルの表 1.3.1 及び放射線施設の遮蔽計算実務（放射線）データ集（以下「データ集」という。）の表 8.1 から引用した。

$$\begin{aligned} \Gamma_{20}(12) &= \Gamma_{20} \times K_{20}(12) \\ &= 0.000279 \times 0.564 \\ &= 0.000158 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \end{aligned}$$

Γ_{20} : ${}^{85}\text{Kr}$ からの制動 X 線の実効線量透過率 $\rightarrow 0.000279$

$K_{20}(12)$: 原子番号 20 を基準とした場合の制動放射効率比 $\rightarrow 0.564$

(a) スパーク・ギャップの実効線量率

$$\begin{aligned} E_x &= \Gamma_{20}(12) \times S_1 \times (1/d^2) \\ &= 0.000158 \times 0.3232 \times (1/0.01^2) = 0.511 [\mu\text{Sv} / \text{h}] \end{aligned}$$

S_1 : 線源強度 [MBq] $\rightarrow 0.3232$ [MBq]

d : 線源からの距離[m] $\rightarrow 0.01$ [m]

(b) エキサイタの実効線量率

厚さ1 [mm]の鉄の透過率Fは、データ集の表 8.3(9)により、次のようになる。

$$E_x = \Gamma_{20}(12) \times S_x \times (1/d^2) \times F \\ = 0.000158 \times 0.3232 \times (1/0.01^2) \times 0.550 = 0.281 [\mu\text{Sv/h}]$$

S_x : 線源強度 [MBq] \rightarrow 0.3232 [MBq]

d : 線源からの距離 [m] \rightarrow 0.01 [m]

F : 鉄の透過率 \rightarrow 0.550

2個が所在不明であり、最大線量は、
 $0.511 [\mu\text{Sv/h}] \times 2 = 1.021 [\mu\text{Sv/h}]$

(イ) 線量測定

a 使用検出器 (GMサーベイメーター)

アロカ社製 型式TGS-131



b 検出結果 (線量率)

貯蔵施設内 : $0.1 \sim 0.2 [\mu\text{Sv/h}]$

バックグラウンド (貯蔵施設外) : $0.1 \sim 0.2 [\mu\text{Sv/h}]$

正常なエキサイタ本体表面の測定結果 : $0.1 \sim 0.2 [\mu\text{Sv/h}]$

ウ 内部被ばくについて

クリプトン85はサブマージョン核種 (不活性ガス) であることから内部被ばくによる影響はないと考えられる。

(2) 環境への影響について

所在不明の密封線源の状況及び線量は前号のとおりであり、もし仮に密封容器が破損した場合でも、ガラス管内の気体状のクリプトンは、直ちに大気中に拡散されることから、環境への影響はないと考える。

4 原因

墜落の衝撃により、機体全体が大きく損傷したため、エンジンに取り付いていたエキサイタも脱落、散乱してしまったものと考えられる。

5 再発防止策

航空機の墜落に対しては、航空自衛隊HPにおいて公表されている「小松基地所属F-15戦闘機の墜落に係る事故調査結果について」¹に記述があるように、各種教育・訓練の強化、基本計器飛行の確実な履行等の再発防止策が必要である。

一方、本件におけるこれまでの対応は、放射性同位元素等の規制に関する法律に則ったものであり、改善を要するものではなかった。密封線源の所在不明に対しては、従前どおり、放射性同位元素等の規制に関する法律に基づく管理を徹底するために、改めてエキサイタの取付け手順の遵守及び定期的な航空機の点検整備時における取付け状況の確認を確実に実施するとともに、保管中の密封線源の数量確認を厳正に実施する。今後とも、紛失防止に努めるとともに、所在不明等があった場合には、可能な限り速やかな搜索の実施、原子力規制委員会への報告等を実施する。

6 今後の搜索

機体の一部が見つかった海域周辺の約30km²を民間サルベージ船等により搜索し、部品等を揚収したものの、機体の破片は広く散在しており、全てを発見し引き揚げることは困難であるため、搜索活動の再開は予定していない。しかし、本事案に関しては海上保安庁へ通報しており、今後、同庁から連絡を受け発見・回収できた際は、改めて報告を行うものとする。

¹ <https://www.mod.go.jp/asdf/news/houdou/R4/20220602.pdf>