

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外他 03 R 0
提出年月日	令和 3 年 12 月 17 日

## 設工認に係る補足説明資料

### 落雷に対する外部事象防護対象施設への影響

## 目 次

1. 概要 .....	1
2. 燃料加工建屋における直撃雷に対する考慮 .....	1
2.1 燃料加工建屋における避雷設備 .....	1
2.2 避雷設備の設置要件について .....	1
2.3 雷撃の捕捉の想定と避雷設備の健全性について .....	2
3. 燃料加工建屋内の外部事象防護対象施設について .....	2

別添 1 雷撃電流による温度上昇について

別添 2 再処理事業所における避雷設備の実績

## 1. 概要

本資料は、MOX燃料加工施設に対する第1回申請(令和2年12月24日申請)のうち、以下の添付書類に示す自然現象等による損傷の防止に関する基本方針について補足説明するものである。

- MOX 燃料加工施設 添付書類「V-1-1-1-1-1 加工施設の自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」

本申請において、MOX 燃料加工施設の燃料加工建屋は、「原子力発電所の耐雷指針」(JEAG4608-2007)、「建築基準法」及び「消防法」に基づき、日本産業規格に準拠した避雷設備を設置する設計とする。燃料加工建屋の避雷設備においては、接地抵抗の低減及び雷撃に伴う接地系の電位分布の平坦化を図り、270kA の雷撃電流値を想定した落雷に対し、外部事象防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。

本資料では、第1回設工認申請対象施設である燃料加工建屋に設置する避雷設備及び接地極の概要並びに直撃雷に対する避雷設備の健全性について補足を行う。また、燃料加工建屋内に収納する外部事象防護対象施設の雷サージに対する影響について示す。

本資料は、第1回設工認申請対象施設を対象とした記載であり、第2回設工認申請時以降に燃料加工建屋とその他の建屋間を計装・制御ケーブルで取合う設備に対する雷保護対策については、当該設備を申請する回次で示す。

## 2. 燃料加工建屋における直撃雷に対する考慮

### 2.1 燃料加工建屋における避雷設備

燃料加工建屋における直撃雷の防止設計として、外部事象防護対象施設を建屋に収納した上で、「原子力発電所の耐雷指針」(JEAG4608-2007)、「建築基準法」及び「消防法」に基づき、日本産業規格に準拠した、アルミ笠木、水平導体、引下げ導体及び避雷針で構成される避雷設備を燃料加工建屋に設置し、第1図に示すように網状接地極へと接地することにより、接地抵抗の低減を考慮した設計とする。

### 2.2 避雷設備の設置要件について

日本産業規格に準拠した避雷設備について、主な設置要件を以下に示す。

- (1) 接地極は、網状接地極で構成し、各水平導体から続く引下げ導体に接続する。
- (2) 水平導体のメッシュ幅は10m以内とする。
- (3) 引下げ導体は、大地に対して最短で最も直線的な経路を構成するように、真直ぐに、かつ鉛直に敷設し、平均間隔は15m以内とする。
- (4) 引下げ導体は、地表面近く及び垂直方向最大20m間隔ごとに、水平導体と相互接続する。
- (5) アルミ笠木は、厚さを1mm以上かつ断面積を70mm<sup>2</sup>以上確保する。
- (6) 材料として銅を使用している水平導体は、機械的ストレス及び腐食に対応する

ため、 $35\text{mm}^2$ 以上の断面積を確保する。

(7) 材料として銅を使用している引下げ導体は、機械的ストレス及び腐食に対処するため、 $16\text{mm}^2$ 以上の断面積を確保する。

(8) 材料として銅を使用している接地極は、機械的ストレス及び腐食に対処するため、 $50\text{mm}^2$ 以上の断面積を確保する。

上記設置要件に加え、水平導体、引下げ導体及び網状接地極については、避雷設備における雷撃の電流経路であることから、日本産業規格の要求よりも断面積の裕度を確保し、水平導体及び引下げ導体は $38\text{mm}^2$ 、網状接地極は $150\text{mm}^2$ とした設計とする。

### 2.3 雷撃の捕捉の想定と避雷設備の健全性について

燃料加工建屋における落雷の想定箇所は高所に設置する避雷針又は建屋の角に配置するアルミ笠木である。落雷を避雷針又はアルミ笠木で捕捉した場合には、雷撃電流を水平導体及び引下げ導体で分散しながら網状接地極を介して大地に拡散する設計としている。なお、避雷設備における雷撃の電流経路の内、断面積が最も小さい水平導体及び引下げ導体に $270\text{kA}$ の雷撃電流が流れた際には、健全性を維持できることを確認している。燃料加工建屋に設置する避雷針等が $270\text{kA}$ の雷撃を捕捉し、分散せずに水平導体及び引下げ導体に雷撃電流が流れた場合を仮定し、健全性を確認した計算結果については別添1に示す。

再処理事業所においては過去に避雷針への雷撃を経験していることから、その際に確認した避雷針の状態について別添2に示す。雷撃を捕捉した避雷針には熔融痕が見受けられるものの、避雷設備の破損などは確認されていない。

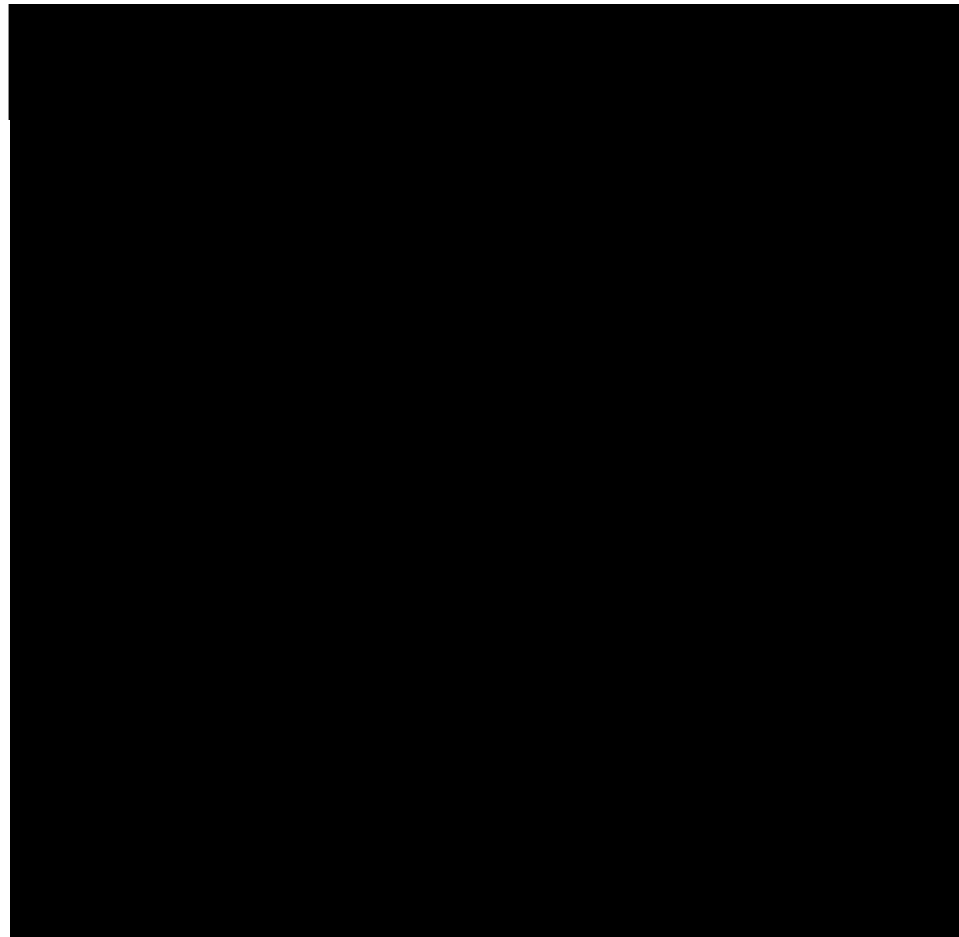
以上のことから、燃料加工建屋に設置する避雷針が、 $270\text{kA}$ の雷撃を捕捉したとしても避雷設備の健全性を維持できる。

### 3. 燃料加工建屋内の外部事象防護対象施設について

外部事象防護対象施設については、全て燃料加工建屋内に収納されており、上記2.1に示す避雷設備を設置することから直撃雷により機能を損なうことはない。

また、外部事象防護対象施設は、エネルギー管理建屋、再処理施設のウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋等のその他の施設と計装・制御ケーブル及び電力ケーブルを直接取合わないことから、建屋間取合いからの雷電流の侵入により計装・制御ケーブル等に掛かる雷サージ電圧によって絶縁破壊に至る可能性はない。

なお、燃料加工建屋においては、第2図に示すように、接地極を網状接地極で構成しエネルギー管理建屋の網状接地極と接続する設計とすることで、接地抵抗の低減及び接地系の電位分布の平坦化を図ることから、落雷に起因する大地電位上昇が発生しても、燃料加工建屋内の接地系間に生じる電位差によって外部事象防護対象施設が絶縁破壊に至る可能性はない。



T. M. S. L. 77.5m (屋上階)

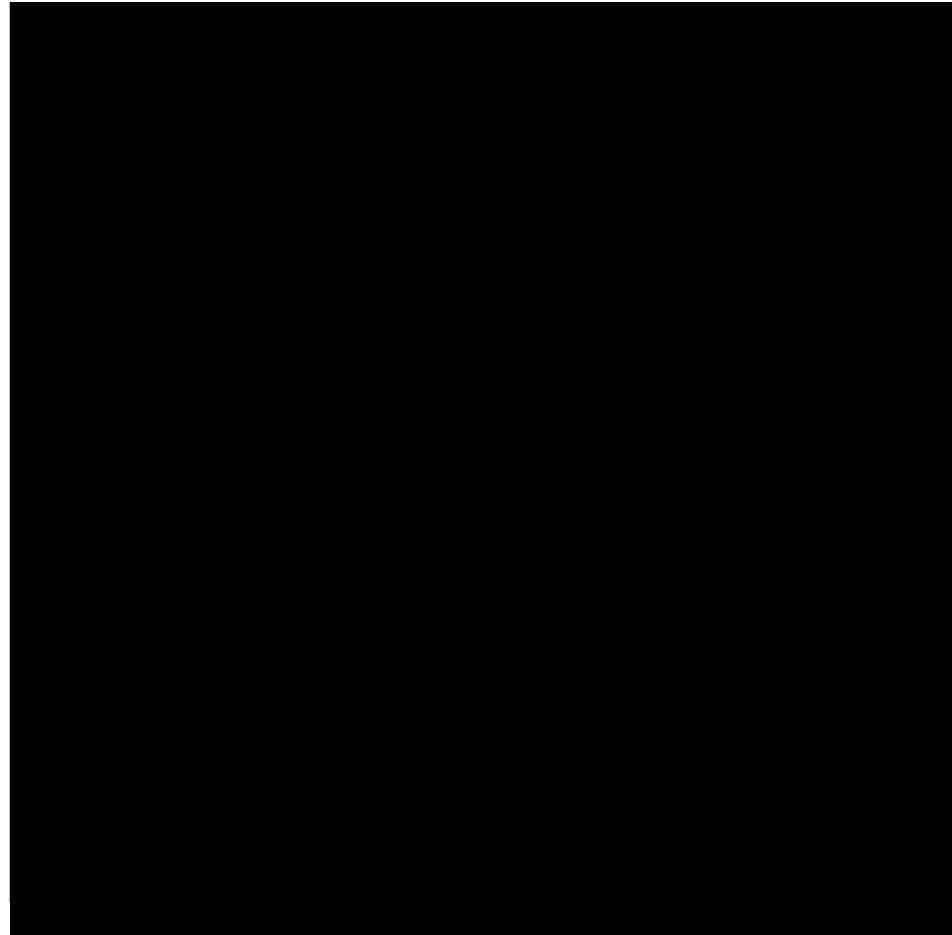
凡例

- ≡ : アルミ笠木
- : 水平導体
- |- : 引下げ導体
- ⊗ : 避雷針

第1図 (1 / 2) 避雷設備 配置概略図

■ については核不拡散の観点から公開できません。

外他 03-3



凡例

— : 水平導体

-|- : 引下げ導体

T. M. S. L. 70.1m (塔屋階)

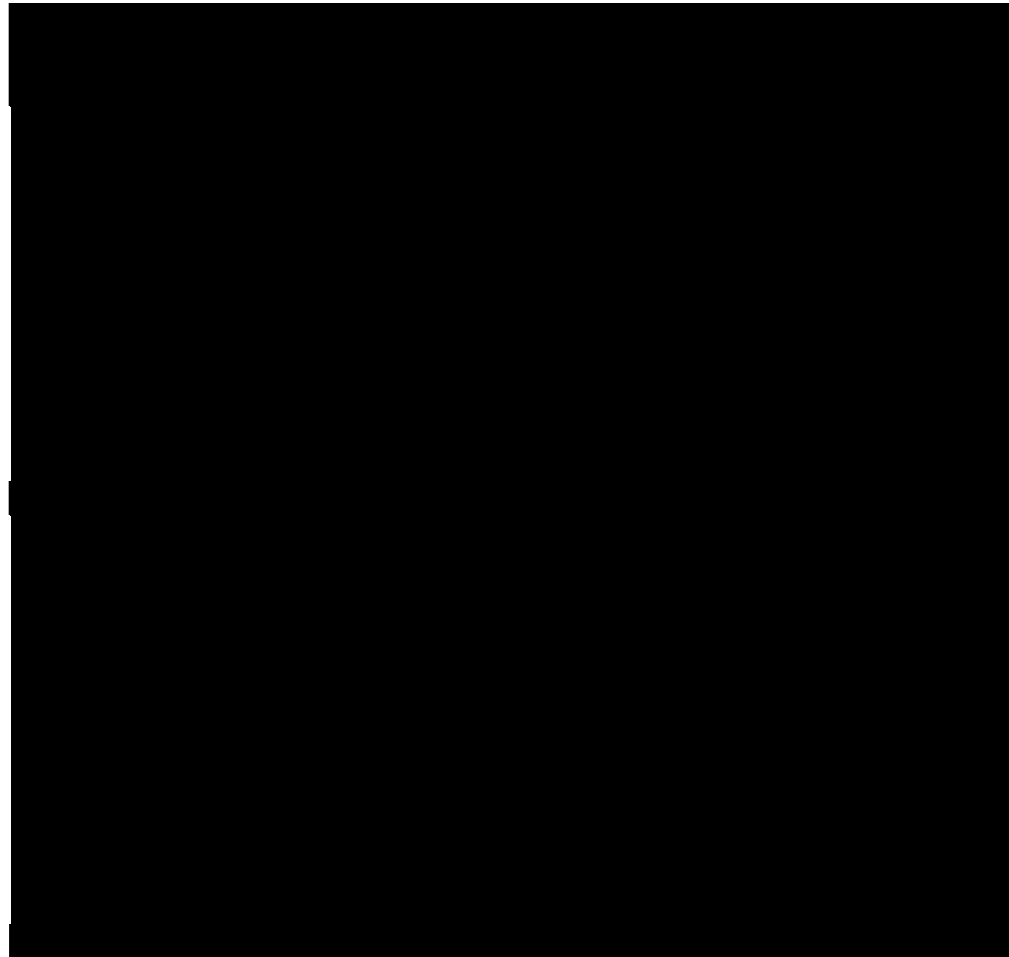
第1図 (2 / 2) 避雷設備 配置概略図

■については核不拡散の観点から公開できません。

外他 03-4



エネルギー管理建屋へ




T. M. S. L. 31.33m

凡例

--- : 網状接地極

第2図 燃料加工建屋 網状接地極 配置概略図

 については核不拡散の観点から公開できません。

外他 03-5

令和3年12月17日 R0

## 別添 1

# 雷撃電流による 温度上昇について



## 目 次

1. 概要 ..... 別添1-1
2. 雷撃電流による温度上昇..... 別添1-1
3. 参考文献 ..... 別添1-4

1. 概要

MOX燃料加工施設において、安全上重要な施設を収納する燃料加工建屋に設置する避雷設備は、「原子力発電所の耐雷指針」(JEAG4608-2007)、「建築基準法」及び「消防法」に基づき、日本産業規格に準拠した設計とし、落雷に対して建屋内の安全上重要な施設の安全機能を損なわない設計としている。以下では、雷撃電流による温度上昇について補足する。

2. 雷撃電流による温度上昇

MOX燃料加工施設では、落雷の想定電撃電流値を270kAとしているが、この雷撃電流が避雷設備を流れた場合の導線部分の温度変化を評価する。

温度変化の評価に当たっては、雷撃電流が導線を流れた際の単位時間当たりのジュール熱からその総量を求め算定する。

評価に使用する記号は別添 1-第 1 表のとおりであり、雷撃電流値の波形(時間変化)を別添 1-第 1 図のとおり仮定する。また、この電撃電流が流れた場合に発生するジュール熱のすべてが導線の温度上昇に使われ、導線はジュール熱以外の熱のやり取りはないものとしている。

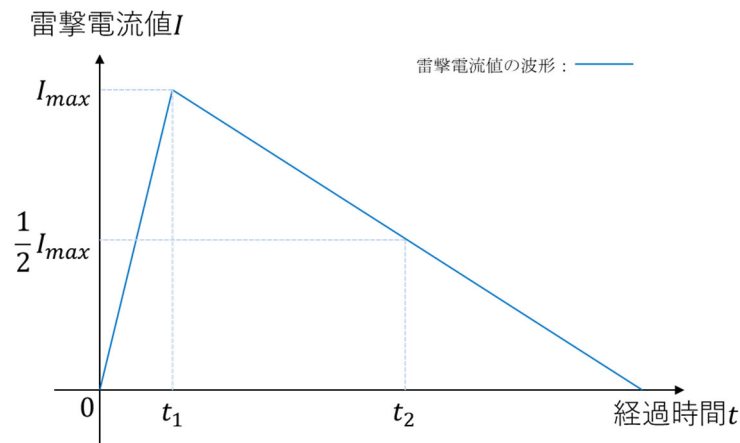
別添 1-第 1 表 温度上昇の評価に用いる記号

	物理量	記号	具体値	備考
導線 (銅線) 条件	導線長さ	$L$	—	計算結果に寄与しないため、 具体値を省略。
	断面積	$S$	$38 \times 10^{-6} \text{ m}^2$	$38\text{mm}^2$
	電気抵抗率	$\sigma$	$1.55 \times 10^{-8} \text{ } \Omega \cdot \text{m}^{*1}$	—
	比熱	$c$	$386 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})^{*1}$	—
	密度	$\rho$	$8880 \text{ kg}/\text{m}^3^{*1}$	—
落雷 条件	雷撃電流	$I$	(別添 1-第 2 図)	時間変化を考慮。
	波高値	$I_{max}$	270kA	雷撃電流の最大値。
	波頭値	$t_1$	$2 \mu \text{ s}^{*2}$	雷撃発生から電流値が波高値に 達するまでの時間 <sup>*3</sup> 。
	波尾値	$t_2$	$70 \mu \text{ s}^{*2}$	雷撃発生から電流値が波高値の 半値に減衰するまでの時間 <sup>*3</sup> 。

\*1:「伝熱工学資料 改定第5版<sup>(1)</sup>」に記載されている、温度300Kでの数値を参照している。

\*2:発熱量の算定にあたって厳しい値となるように、波頭値及び波尾値をそれぞれ $2 \mu \text{ s}$ 、 $70 \mu \text{ s}$ とした。

\*3:「原子力発電所の耐雷指針」(JEAG4608-2007)に引用されている電力中央研究所総合報告(T40)「発変電所および地中送電線の耐雷設計ガイド<sup>(2)</sup>」に基づき、別添 1-第 2 図のような線形的に上昇・下降する波高形を想定している。



別添 1-第 1 図 想定する雷撃電流値の波形

雷撃電流  $I$  [A] が流れた際の単位時間当たりのジュール熱  $W$  [J/s] から、ジュール熱の総量  $Q$  [J] を計算すると、以下のとおりとなる。ただし、積分要素  $t$  は時間である。

$$\begin{aligned} Q &= \int W dt \\ &= \int \left( I^2 \times \sigma \frac{L}{S} \right) dt \\ &= \frac{\sigma L}{S} \int I^2 dt \end{aligned}$$

また、ジュール熱の総量  $Q$  [J] による導線の上昇温度  $\Delta T$  [°C] は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{Q}{c \times \rho S L} \\ &= \frac{1}{c \rho S L} \frac{\sigma L}{S} \int I^2 dt \\ &= \frac{\sigma}{c \rho} \int \left( \frac{I}{S} \right)^2 dt \end{aligned}$$

ここで、雷撃電流値の時間依存式は、雷撃電流値の波形(時間変化)を別添 1-第 2 図のとおり仮定することから、以下のとおりの式である。

$$I = \begin{cases} I_{max} \frac{t}{t_1} & (0 \leq t \leq t_1) \\ \frac{I_{max}}{2} \frac{(2t_2 - t_1) - t}{t_2 - t_1} & (t_1 \leq t \leq 2t_2 - t_1) \end{cases}$$

したがって、雷撃電流による導線の温度上昇 $\Delta T$  [°C]は、以下のとおり算出できる。

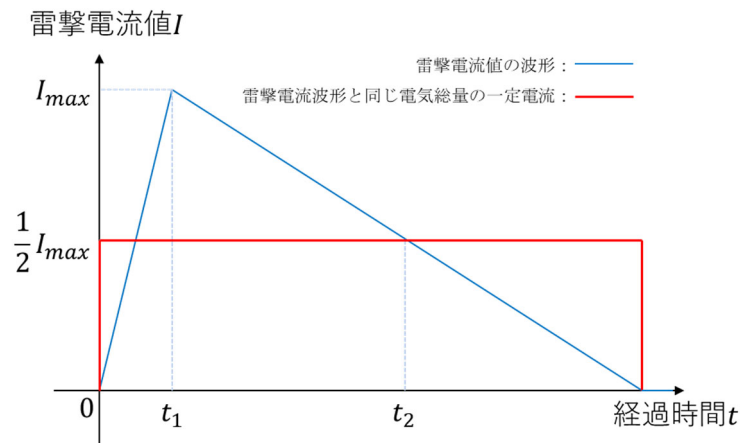
$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{\sigma}{c\rho S^2} \left[ \left( \frac{I_{max}}{t_1} \right)^2 \int_0^{t_1} t^2 dt + \left( \frac{I_{max}}{2(t_2 - t_1)} \right)^2 \int_{t_1}^{2t_2 - t_1} \{(2t_2 - t_1) - t\}^2 dt \right] \\ &= \frac{\sigma}{c\rho S^2} \left[ \left( \frac{I_{max}}{t_1} \right)^2 \frac{t_1^3}{3} + \left( \frac{I_{max}}{2(t_2 - t_1)} \right)^2 \frac{\{2(t_2 - t_1)\}^3}{3} \right] \\ &= \frac{\sigma}{c\rho} \left( \frac{I_{max}}{S} \right)^2 \frac{(2t_2 - t_1)}{3} \\ &= \left( \frac{1.55 \times 10^{-8}}{8880 \times 386} \right) \times \left( \frac{2.70 \times 10^5}{3.8 \times 10^{-5}} \right)^2 \times \frac{2 \times 7.0 \times 10^{-5} - 2.0 \times 10^{-6}}{3} \\ &\cong 10.5 \text{ [°C]} \end{aligned}$$

以上より、温度上昇は10.5°C程度と推定され、導線を使用する温度領域を考慮したとしても、導線(銅)の融点に達することは考えられない。

なお、参考として、「内線規程」(JEAC8001)<sup>(3)</sup>において、断面積 $S$ の接地導線(銅線)に短時間電流が流れた場合の温度上昇式は、以下のとおり与えられている。

$$\Delta T' = 8.0 \times 10^{-15} \left( \frac{I}{S} \right)^2 t \quad (\text{ただし, } S \text{ の単位は } m^2.)$$

この式において、電流は一定の値を想定していることから、上記の雷撃電流値と同じ電気総量となるような矩形波の電流変化を考える(別添1-第2図)。



別添 1-第 2 図 雷撃電流波形と同じ電気総量となる電流値の波形

この場合における導線の温度上昇は $\Delta T' \cong 13.9$  [°C]であり、先述の値と大きな差異がなく、この場合においても導線が融点に達しないと考えられる。

3. 参考文献

- (1) 日本機械学会. 伝熱工学資料 改定第5版, 丸善出版, 2009
- (2) 電力中央研究所. 発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド, 電力中央研究所  
報告書, 1995
- (3) 日本電気協会. 内線規程(JEAC8001), 2006

令和3年12月17日 R0

## 別添 2

# 再処理事業所における 避雷設備の実績

## 目 次

1. 概要 ..... 別添2-1
2. 再処理事業所における避雷設備の実績 ..... 別添2-1

## 1. 概要

MOX燃料加工施設において、安全上重要な施設を収納する燃料加工建屋に設置する避雷設備は、「原子力発電所の耐雷指針」(JEAG4608-2007)、「建築基準法」及び「消防法」に基づき、日本産業規格に準拠した設計とし、落雷に対して建屋内の安全上重要な施設の安全機能を損なわない設計としている。この避雷設備の設計は、過去に避雷実績のある再処理事業所の避雷設備と同等の設計であることから、以下では、再処理事業所の避雷設備の実績について補足する。

## 2. 再処理事業所における避雷設備の実績

再処理事業所敷地内では2015年8月2日に、雷撃電流の最大値が196kA(波高値)とされる落雷が発生した。この落雷箇所の想定範囲の中で、最大高さの主排気筒には3つの避雷設備が設置されている。このうち、落雷後の設備の確認において、北側の避雷設備には別添2-第1図で示す通りの溶融痕が見受けられたものの、避雷設備の破損などは確認されなかった。



別添2-第1図 落雷による溶融痕