

【公開版】

提出年月日	令和元年 12 月 13 日	R1
日本原燃株式会社		

M O X 燃 料 加 工 施 設 に お け る
新 規 制 基 準 に 対 す る 適 合 性

安全審査 整理資料

第 9 条：外部からの衝撃による損傷の防止
(落雷)

目 次

1 章 基準適合性

1. 基本方針

- 1. 1 要求事項の整理
- 1. 2 要求事項に対する適合性
- 1. 3 規則への適合性

2. 概要

3. 環境等

3. 1 落雷

- 3. 1. 1 日本における雷日数の地理的分布
- 3. 1. 2 本施設周辺における落雷の観測データ
- 3. 1. 3 参考文献一覧

4. 安全設計

4. 1 落雷に関する設計

- 4. 1. 1 落雷に関する設計方針
- 4. 1. 2 防護対象施設
 - 4. 1. 2. 1 落雷の特徴
 - 4. 1. 2. 2 耐雷設計上考慮する本施設の特徴
 - 4. 1. 2. 3 直撃雷に対する防護対象施設
 - 4. 1. 2. 4 間接雷に対する防護対象施設
- 4. 1. 3 耐雷設計
 - 4. 1. 3. 1 想定する落雷の規模
 - 4. 1. 3. 2 異種の自然現象の重畳及び設計基準事故との組合せ

4. 1. 3. 3 直撃雷の防止設計

4. 1. 3. 4 間接雷による雷サージ抑制設計

2章 補足説明資料

2 章 補足説明資料

第9条:外部からの衝撃による損傷の防止(落雷)

MOX燃料加工施設 安全審査 整理資料 補足説明資料				備考
資料No.	名称	提出日	Rev	
補足説明資料3-1	落雷影響評価について	<u>12/13</u>	<u>0</u>	
補足説明資料3-2	再処理事業所 主排気筒への年超過率による雷撃電流評価	<u>12/13</u>	<u>0</u>	
補足説明資料4-1	雷撃電流を150kAとしていた設計経緯について	<u>12/13</u>	<u>0</u>	

令和元年 12 月 13 日 R0

補足説明資料 3 - 1 (9 条 落雷)

落雷影響評価について

(1) 基本方針

予想される最も過酷と考えられる条件を設計基準として設定の上、安全機能を有する施設のうち防護対象施設は、落雷による雷撃電流に対して安全機能を損なわない設計とする。

(2) 基準雷撃電流値の設定

基準雷撃電流値の設定は、以下の a. 規格・基準類を参照するとともに、参考として b. 観測記録による極値を評価・確認のうえ設定する。

a. 規格・基準類

原子力発電所における耐雷設計の規格・基準には電気技術指針 J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」⁽¹⁾があり、以下のように規定している。本施設もこれに基づいている。

a) 電力設備の避雷設備の設計について、電力中央研究所報告 T 40 (1996) 「発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド」⁽²⁾を参照している。同ガイドでは、500 k V 発電所における送電線及び電力設備に対し、150kA を想定雷撃電流として推奨している。

b) 建築物等の避雷設備に関して、日本産業規格 J I S A 4201 (2003) 「建築物等の雷保護」を参照している。J I S A 4201 (2003) では、保護レベル (I ~ IV) に応じて雷保護システムを規定している。J E A G 4608 (2007) で

は、原子力発電所の危険物施設に対する保護レベルを I E C / T S 61662 (1995) 「Assessment of the risk of damage due to lightning」⁽³⁾ に基づく選定手法により保護レベルⅣと評価している。一方、消防庁通知⁽⁴⁾ に基づき、原子力発電所の危険物施設では保護レベルⅡを採用すると規定している。日本産業規格 J I S Z 9290-4 (2009) 「建築物内の電気及び電子システム」⁽⁵⁾ においては、最大雷撃電流値が建築物の保護レベル (Ⅰ～Ⅳ) に応じて定められているが、保護レベルⅡの場合の最大雷撃電流値は、150kA と規定されている。

また、J E A G 4608 (2007) において参照している I E C / T S 61662 (1995) 「Assessment of the risk of damage due to lightning」においては、確率によりリスク評価を行っていることを踏まえ、本施設では、年超過頻度が 10^{-4} /年値となる雷撃電流値を観測値から算出した。雷撃電流の観測記録として、発生した雷放電の発生時刻・位置を標定し、雷撃電流の大きさを推定できる株式会社フランクリンジャパンの運用する全国雷観測ネットワーク (J L D N※) により観測された落雷データを用いた。補足説明資料 3-2 より、雷撃頻度解析として、本施設の敷地周辺を中心とした評価地域 400km^2 において2000年1月から2015年10月にかけて実施された観測記録により求めた再処理事業所を中心とした標的面積 36km^2 の範囲の雷撃密度は 0.53 回/年・ km^2 である。また、観測記録により求めた雷撃電流値に対する累積頻度を使用し算出した結果、再処理

事業所において落雷の可能性が最も高い主排気筒に対する年超過頻度が 10^{-4} ／年値となる雷撃電流値は約210kAとなる。

※ J L D N (Japan Lightning Detection Network)

落雷時に放出される電磁波を全国に設置された落雷位置標的システムを用いて落雷位置や雷撃電流の大きさを観測するネットワーク。全米雷観測ネットワーク (N L D N : National Lightning Detection Network) と同様のシステム及びネットワーク方式を採用している。

b. 観測記録による極値

雷撃電流の観測記録は全国雷観測ネットワーク (J L D N) により観測された落雷データを用いた。本施設敷地面積を包絡する標的面積 36km^2 の範囲において2000年1月から2015年10月(約15年間)で観測された、最大雷撃電流値は211kAである。

上記 a , b を踏まえると、本施設に対して想定される雷撃電流が最も大きくなるのは b の2000年1月から2015年10月(約15年間)で観測された、最大雷撃電流値は211kAであることから、安全上重要な施設の設計にあたってはこれを参考に、設計余裕を考慮し、270kAの雷撃電流を想定とする。

(3) 評価対象施設等の健全性評価

評価対象施設等が、設計基準の雷撃電流値(270kAの雷撃

電流)によって安全機能を損なうことがない設計であることの評価・確認を実施した。

a. 建屋

本施設等の建築基準法に定められる高さ20mを超える建築物等には避雷設備を設けている。また、避雷設備の接地極を接地系と接続し接地抵抗を下げる等の対策を実施しており、影響を受けにくい設計としている。

b. 本施設等に内包される設備

直撃雷に対しては、aで記載した雷害対策によって防護される。雷サージに対しては、建屋に内包される電気・計装設備が、大地電位上昇により接地系間に生じる電位差や、雷電流の拡散による誘導電流により計装・制御ケーブル等に生じる雷サージ電圧によって、機器が絶縁破壊に至る可能性が有るが、安全上重要な施設について、燃料加工建屋内に全て設置すること、また、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で、計測制御ケーブル及び電力ケーブルを取り合わない設計とすることから、想定雷撃電流270kAの落雷によって生じた接地系の電位上昇による建屋間の電位差の影響を受けることはない。さらに、安全上重要な施設はその他の施設からの電磁的障害を防止するため、電氣的又は物理的な独立性を持たせる設計であることから、間接雷による影響を受けることはない。

安全上重要な施設のうち、燃料加工建屋内に設置する焼結

炉等については、落雷により異常が発生した場合、焼結炉等のヒータ電源を遮断する設計とすることで、熱的制限値(1800℃)を超えることのない設計とする。

また、安全上重要な施設は、J E C 210 (1981) 「低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準」⁽⁶⁾に基づいた耐力を有している。計器、制御装置、計算機等で適切な雷インパルス絶縁耐力を持たせることが、技術的に困難である場合には、当該設備への雷サージの侵入を阻止するため、フィルタ、サージ吸収素子の適用、保安器の設置、光伝送化等の対策を施す。

(4) 参考文献

- (1) 日本電気協会 (2007) : 原子力発電所の耐雷指針, 電気技術指針, J E A G 4608 (2007)
- (2) 電力中央研究所 (1996) : 発電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, T 40
- (3) International Electrotechnical Commission (1995) : Assessment of the risk of damage due to lightning, I E C / T S 61662 (1995)
- (4) 消防庁 (2005) : 危険物の規則に関する規則の一部を改正する省令等の施行について, 消防危第14号, 平成17年1月14日
- (5) 日本規格協会 (2009) : 建築物内の電気及び電子システム, J I S Z 9290-4, 雷保護第4部, 日本産業規格
- (6) 電気学会 (1981) : 低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準, J E C 210, 電気規格調査会標準規格

令和元年 12 月 13 日 R0

補足説明資料 3 - 2 (9 条 落雷)

再処理事業所 主排気筒への年超過率による雷撃電流評価

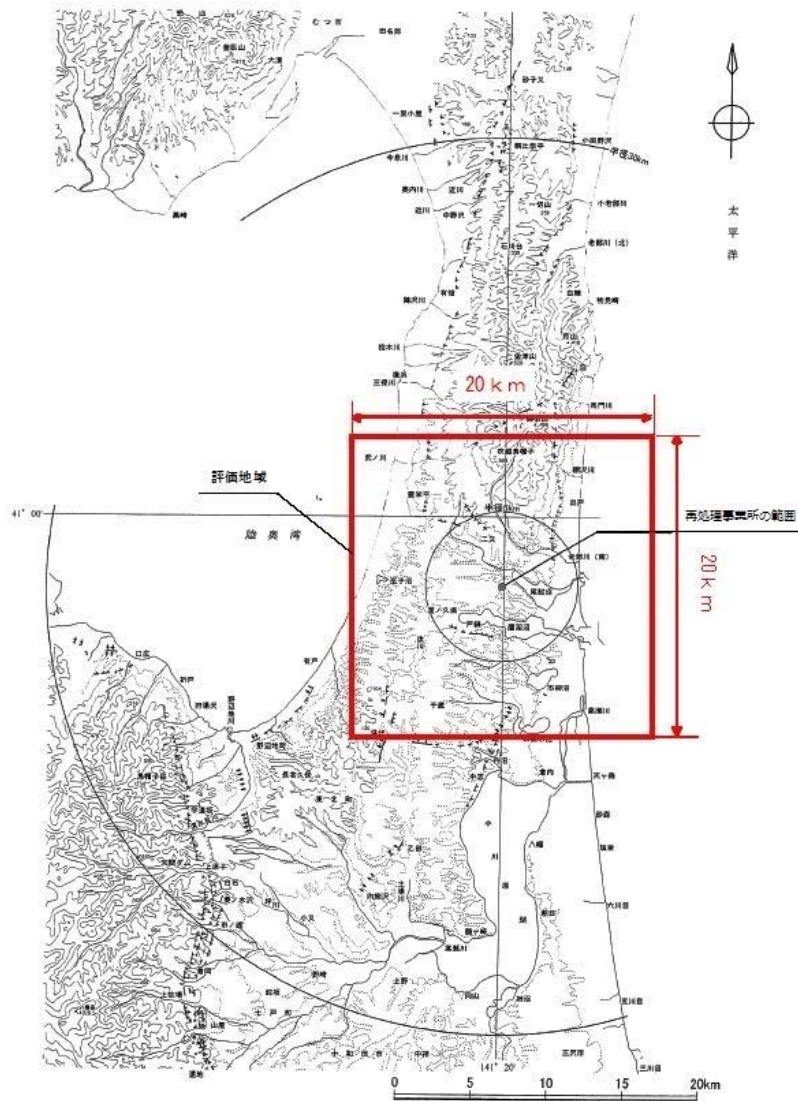
1. 再処理事業所への年超過確率による雷撃電流計算

J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」⁽¹⁾に基づく I E C / T S 61662 (1995) 「Assessment of the risk of damage due to lightning」⁽²⁾の計算手法により想定落雷数を算出し、本施設の敷地周辺の年超過確率による雷撃電流計算を実施した。雷撃電流の算出にあたっては、厳しい結果が得られるように、等価受雷面積が最も大きい構築物を選定する必要があることから、本施設敷地内で最も高い構築物を代表として選定する。

想定雷撃電流は、過去に再処理事業所の敷地で観測された落雷の最大雷撃電流を参考に、安全余裕を考慮し設定しているが、年超過確率による評価を用いて、他の外部衝撃と同様の評価を追加で実施する。

2. 計算手法

第3-2-1図に示す再処理事業所を中心とした評価地域400km²の範囲で観測された落雷観測データ(2000年1月から2015年10月の期間)を基に再処理事業所の範囲における雷撃数から I E C / T S 61662 (1995) による再処理事業所の主排気筒への想定落雷数 N_d 回/年を算出後、最も高い構築物への年超過頻度 10^{-4} /年値となる雷撃電流値を算出する。



第 3 - 2 - 1 図 評価地域及び標的面積

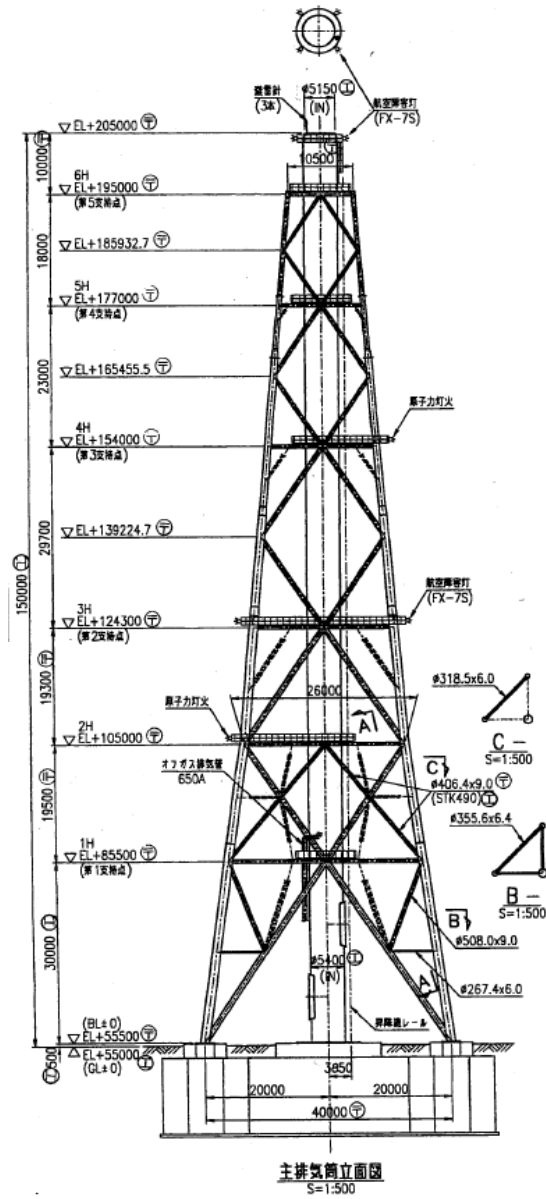
3. 雷撃対象と想定落雷数

(1) 雷撃対象

等価受雷面積^{※1}が最大となる再処理施設の主排気筒を代表建物として想定し，雷撃頻度を評価する。第 3 - 2 - 2 図参照。

※1 等価受雷面積…落雷の収集面積。建造物の高さを3倍とした水平離隔距離の領域を等価な受雷面積としている。第 3 - 2 - 3 図参照。

評価対象：再処理施設 主排気筒



第 3 - 2 - 2 図 再処理事業所における等価受雷面積

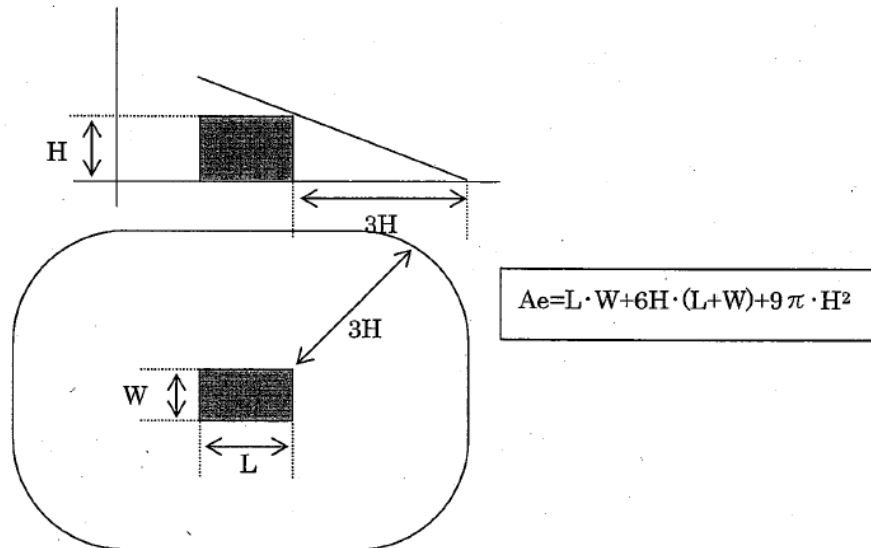


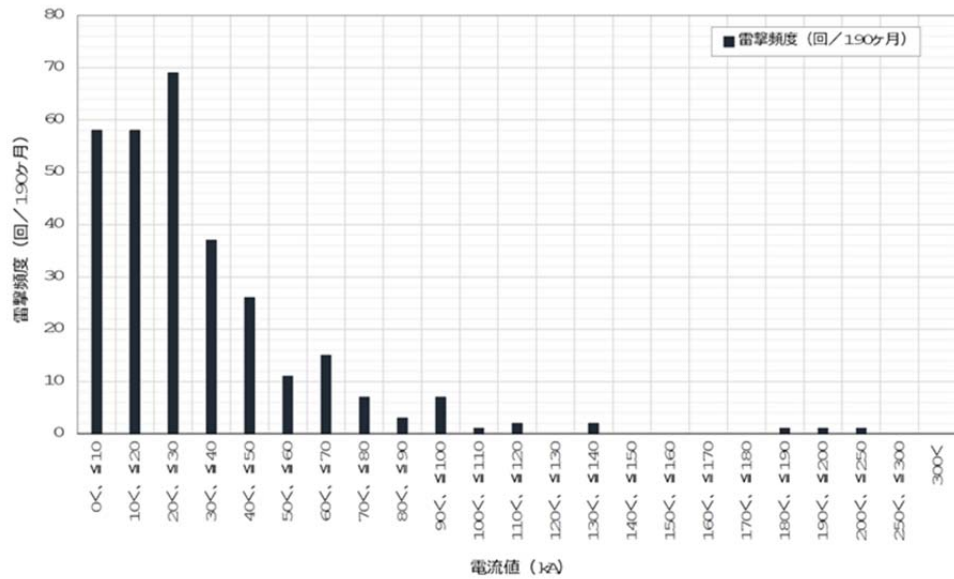
図 要素 A_e (構造物の等価受雷面積)

第 3 - 2 - 3 図 構造物の等価受雷面積

(J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」)

(2) 想定落雷数

再処理事業所を包絡した標的面積 36km^2 への 2000 年 1 月から 2015 年 10 月の期間における雷撃数は、再処理事業所への落雷観測記録に基づき、299 件である。第 3 - 2 - 4 図に雷撃観測の雷撃回数結果を示す。



第 3 - 2 - 4 図 再処理事業所の雷撃観測の雷撃回数結果
(2000年1月から2015年10月)

再処理事業所の観測記録を基に落雷密度 N_g 回/年・ km^2 を算出する。IEC 62858 (2015) 「Lightning density based on lightning location systems (LLS) - General principles」⁽³⁾においては、落雷密度 N_g と雷撃密度 N_{sg} 回/年・ km^2 の関係については、下式とされている。

$$N_{sg} = 2 N_g$$

N_{sg} : 単位時間及び単位面積当たりの対地雷撃数

N_g : 単位時間及び単位面積当たりの対地落雷数。落雷は通常、複数の雷撃からなり、これらの一連の現象をまとめて落雷として取り扱われている。

したがって、落雷密度 N_g は、

$$N_{sg} = \frac{299\text{回}}{36\text{km}^2} \times \frac{1}{15.75\text{年}} = 0.53 \text{ (回/年・km}^2\text{)}$$

$$N_g = \frac{N_{sg}}{2} = \frac{0.53}{2} = 0.27 \text{ (回/年・km}^2\text{)}$$

となる。

上記により算出した再処理事業所の観測記録による落雷密度の妥当性を確認するため、①年間雷雨日数分布図^{※2}及び②標的面積20km四方での観測記録から算出した落雷密度との比較を行った。

① 年間雷雨日数分布図

従来より電力設備の耐雷設計において標準的に用いられている第3-2-5図に示す昭和29年度から昭和38年度の10年間の雷雨日数統計結果である年間雷雨日数分布図^{※2}より落雷密度を算出し、観測時期の違いにより落雷密度が有意に変わらないことを確認する。

年間雷雨日数分布図と落雷密度 N_g の関係については、下式とされている。したがって、年間雷雨日数分布図から算出される落雷密度 N_g は、

$$N_g = 0.1 \times I K L = 0.1 \times 6 = (0.6 \text{回/年} \cdot \text{km}^2)$$

となり、再処理事業所の観測記録の方が、十分低い値となっている。

② 標的面積20km四方での観測記録

年間雷雨日数分布図と同等の標的面積となる再処理事業所を中心とした20km四方における2000年1月から2015年10月の期間における観測記録から落雷密度を算出し、標的面積の違いにより落雷密度が有意に変わらないことを確認する。落雷密度 N_g は、

$$N_{s g} = \frac{3121 \text{回}}{400 \text{km}^2} \times \frac{1}{15.75 \text{年}} = 0.5 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

$$N_g = \frac{N_{s g}}{2} = \frac{0.5}{2} = 0.25 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

となり、再処理事業所の観測記録を基に算出した落雷密

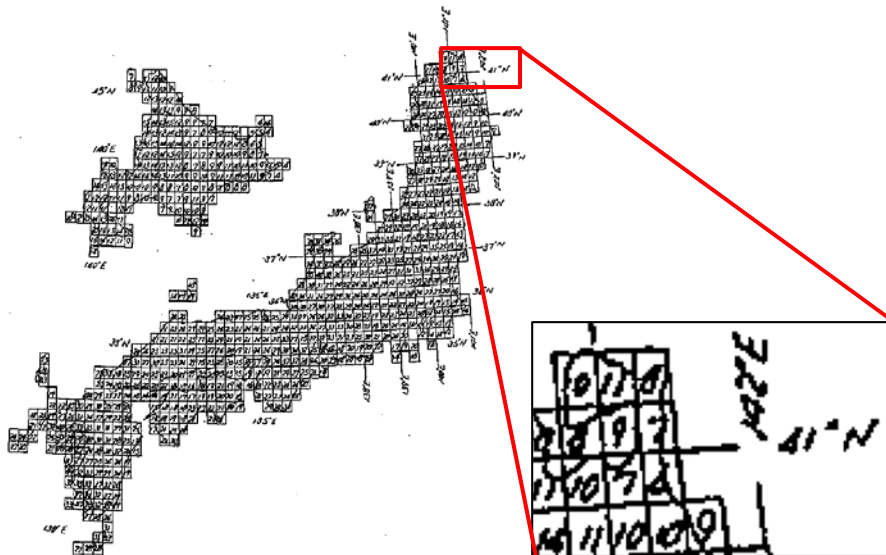
度とほぼ同じ値となる。

したがって、①年間雷雨日数分布図及び②標的面積20km四方での観測記録から算出する落雷密度については同等であり、雷活動に対し有意な経年変化はなく、再処理事業所での観測記録を耐雷設計として適用することは妥当である。

以上から、雷活動に対し有意な経年変化や標的面積による違いはないことを確認した。年超過頻度 10^{-4} /年値の設定にあっては、雷撃密度から落雷密度の換算において、想定雷撃数は多いほど安全側評価となることから、1/2とはせずに保守性を確保する。

$$N_g = \frac{299\text{回}}{36\text{km}^2} \times \frac{1}{15.75\text{年}} = 0.53 \text{ (回/年} \cdot \text{km}^2)$$

※2 I K L マップ (Isokeraunic Level Map)。気象庁と電力中央研究所と共同して観測結果をもとに作成されたもの。従来より耐雷設計では雷撃密度 N_g は当該年間雷雨日数分布図を用いられてきた。



再処理事業所周辺は 6

第 3 - 2 - 5 図 年間雷雨日数分布図

(昭和29年度から昭和38年度の10年間平均)

再処理事業所の主排気筒の等価受雷面積 A_e km^2 を算出する。等価受電面積 A_e は、

$$\begin{aligned}
 & \text{主排気筒} : 5.15\text{m} (L) \times 5.15\text{m} (W) \times 150\text{m} (H) \\
 A_e &= L \times W + 6 H \times (L + W) + 9 \pi \times H^2 \\
 &= 5.15 \times 5.15 + 6 \times 150 \times (5.15 + 5.15) + 9 \times \pi \times 150^2 \\
 &= 650000 (\text{m}^2) = 0.65 (\text{km}^2)
 \end{aligned}$$

となる。

構造物の設置された環境条件により定まる環境係数 C_e は、第 3 - 2 - 1 表より 1.0 とする。

第 3 - 2 - 1 表 環境係数 C_e

環境条件	C_e の値
同じ様な高さ，又は塔や森林の様に高い建設群や樹木のある広い範囲に位置する建物	0.2
小さな建物群に囲まれた建物	0.5
建物の高さの3倍の範囲に建物がない独立した建物	1.0
丘の上や塚の上に位置する建物	2.0

(J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」)

以上より，想定落雷数 N_d 回/年を算出する。

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e = 0.53 \times 0.65 \times 1.0 = 0.35 \text{ (回/年)}$$

上記より，主排気筒への年間雷撃数は0.35回/年と算出される。

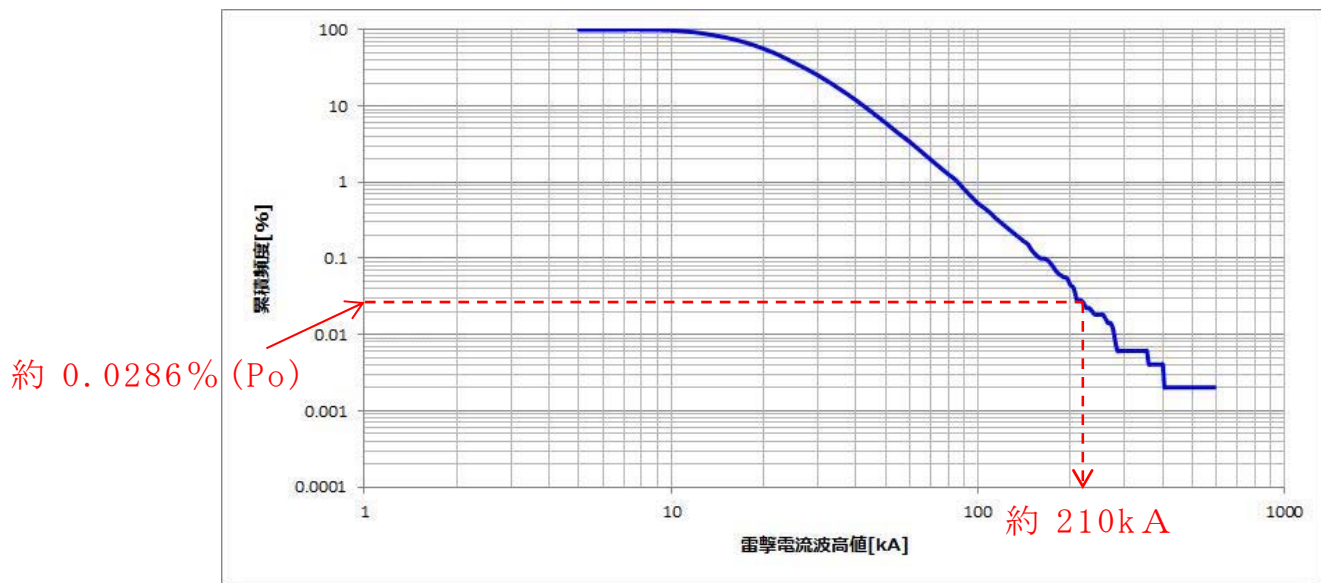
以上を考慮すると，再現期間を y として主排気筒への雷撃数 N_t 回は以下のようなになる。

$$N_t = N_d \times y$$

これらの雷撃について，発生する電流最大値を雷撃電流分布での確率 $P = 1 / (N_t)$ の点で評価する。雷撃電流分布に関しては，株式会社フランクリンジャパンの運用する全国雷観測ネットワーク (J L D N) により観測された落雷データに基づき評価する (第 3 - 2 - 6 図) 。なお，再現期間は 10^4 年とする。

$$N_t = 0.35 \times 10^4 = 3500 \text{ 回}$$

確率 $P_o = 1 / (3500)$ に対する電流値は約 210kA となる。



第 3 - 2 - 6 図

全国雷観測ネットワーク（JLDN）観測の電流分布

4. まとめ

本評価によって得られた、年超過頻度 10^{-4} /年値となる想定最大雷撃電流210kAは、過去に再処理事業所の敷地で観測された落雷の最大雷撃電流211kAと同等である。

5. 参考文献

- (1) 日本電気協会（2007）：原子力発電所の耐雷指針，電気技術指針，J E A G 4608（2007）
- (2) International Electrotechnical Commission（1995）：Assessment of the risk of damage due to lightning，I E C / T S 61662（1995）
- (3) International Electrotechnical Commission（2015）：Lightning density based on lightning location systems(LLS)-General principles，I E C 62858(2015)

令和元年 12 月 13 日 R0

補足説明資料 4 - 1 (9 条 落雷)

雷撃電流を 150 k A としていた設計経緯について

1. これまでの耐雷設計の基本方針

本施設の耐雷設計は、設計管理基準として、「耐雷設計基準」および「接地基準」を定め、「原子力発電所の耐雷指針（1998年）」（以下「J E A G 4608(1998)」という）及び「建築物等の雷保護」（以下「J I S A 4201(2003)」という）に準拠した避雷設備の設置と雷サージ対策を行っている。

J E A G 4608(1998)では、解説において、具体的な設計は、電力中央研究所報告（T 40）「発電所および地中送電線の耐雷設計ガイド」（平成7年12月）（以下「T 40」とする。）によるとしており、T 40では、過酷な雷過電圧が発生するのは、発電所近傍で発生する逆フラッシュオーバー時であり、雷撃を想定する区間は第一鉄塔1基を含む経間で十分とされている。また、雷撃電流については、送電線の公称電圧に応じた想定雷撃電流が設定されている。

2. 従来 of 想定雷撃電流

T40において、公称電圧に対し想定している雷撃電流は、下表第4-1-1表のとおり。

第4-1-1表 想定雷撃電流

公称電圧	想定雷撃電流	想定区間	
500kV	150kA	150m	原子力施設
275kV	100kA	150m	
220kV	80kA	150m	
187kV	80kA	150m	
154kV	60kA	150m	本施設
110kV	60kA	150m	
77kV	40kA 又は 30kA	150m	
66kV	40kA 又は 30kA	150m	

本施設が連携している電力系統は、公称電圧が154kVである鷹架線（1号，2号）であり、T40によると、想定雷撃電流は60kAとなる。しかし、施設の重要性から、500kV送受電を行っている原子力施設と同等とみなし、想定雷撃電流を150kAと設定し耐雷設計を行っている。また、開閉所については、T40を踏襲し、60kAにより耐雷設計を行っている。

3. J E A G 4608(2007)に対する考え方

J E A G 4608(2007)における避雷設備は，雷直撃の防止の中で，電力設備の避雷設備と建築物等の避雷設備に大別され，そのうち，建築物等の避雷設備については，一般建築物の避雷設備と危険物施設の避雷設備に分けられており，それぞれに対し，解説が記されている。

電力設備の避雷設備は，これまでの J E A G 4608(1998)と同様に，具体的な設計は T 40によるとされている。

一方，建築物等の避雷設備については，J I S A 4201(2003)に基づく避雷設備とされ，保護レベル I ～ IV の 4 段階のいずれかを任意に決定できるとしている。

第 4 - 1 - 2 表 保護レベルと保護効率

保護レベル	保護効率	最大雷撃電流	最小雷撃電流	雷撃距離
I	98%	200kA	2.9kA	20m
II	95%	150kA	5.4kA	30m
III	90%	100kA	10.1kA	45m
IV	80%	100kA	15.7kA	60m

J E A G 4608(2007)では，危険物施設の避雷設備について，一定容量以上の危険物施設には保護レベル I に基づいた避雷設備（ただし，保護効率を考慮した場合，保護レベルは II とできる）とし，さらに危険物施設を考慮した際の原子力発電所の危険物施設における避雷設備の保護レベルについては保護レベル IV と評価している。

4. J E A G 4608(1998)の想定雷撃電流に対する保護レベル

これまでの J E A G 4608(1998)に基づく想定雷撃電流150 k Aは， J I S A 4201(2003)において，保護レベルⅡの最大雷撃電流150 k Aに相当し，保護効率95%の避雷設備を設けることとなるが， J E A G 4608(2007)では， I E C / T S 61662:1995「Assessment of damage due to lightning」による保護レベルの選定について計算例が補足説明として掲載されており，この手法を用いて保護レベルを評価する。

評価にあたっては，以下の条件を基とし，等価受雷面積は本施設への落雷を想定する。

第4-1-3表 前提条件の比較

	本施設	J E A G 4608(2007)
雷雨日数	10日	38日
保護効率	保護レベルⅣ (80%)	保護レベルⅣ (80%)
大地固有抵抗値	133.3 Ω -m	100 Ω -m
最大許容落雷頻度	$Ra = 10^{-5}$	$Ra = 10^{-5}$

第 4 - 1 - 4 表 建屋規模の比較

建屋名称	本施設	J E A G 4608(2007)
燃料加工建屋	88.3m × 87.3m × 22.5m	60m × 60m × 75m

本施設における建屋の評価は、第 4 - 1 - 5 表に示すとおりとなり、保護レベルⅣの保護効率80%で十分な構築物であることを確認した。

第 4 - 1 - 5 表

保護レベルⅣとした場合の年間の雷撃による損害の発生確率と許容落雷損害発生確率の比較

建屋名称	本施設	J E A G 4608(2007)
	年間の雷撃による 損害の発生確率	許容落雷損害 発生確率
燃料加工建屋	F = 0.00036	Fa = 0.00100