

六ヶ所再処理施設における 新規制基準に対する適合性

第9条：外部からの衝撃による損傷の防止（落雷）



日本原燃株式会社

令和元年11月25日

1. 事業指定基準規則要求への対応について

事業指定基準規則および解釈	分類
<p>(規則) 第九条 安全機能を有する施設は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。次項において同じ。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>(解釈) 1 第9条は、設計基準において想定される自然現象(地震及び津波を除く。)に対して、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な重大事故等対処設備への措置を含む。 2 第1項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風(台風)、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等をいう。 3 第1項に規定する「想定される自然現象(地震及び津波を除く。次項において同じ。)が発生した場合においても安全機能を損なわないもの」とは、設計上の考慮を要する自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として当該施設で生じ得る環境条件において、その設備が有する安全機能が達成されることをいう。</p>	<p>追加要求事項</p>

1. 事業指定基準規則要求への対応について

事業指定基準規則および解釈	分類
<p>(規則) 第九条 2 安全上重要な施設は、当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> <p>(解釈) 1 第9条は、設計基準において想定される自然現象(地震及び津波を除く。)に対して、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な重大事故等対処設備への措置を含む。</p> <p>4 第2項に規定する「大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象」とは、対象となる自然現象に対応して、最新の科学的技術的知見を踏まえて適切に予想されるものをいう。なお、過去の記録、現地調査の結果、最新知見等を参考にして、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。</p> <p>5 第2項に規定する「適切に考慮したもの」とは、大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故が発生した場合に生じる応力を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。</p>	<p>追加要求事項</p>

2. これまでの審査における主な論点 (既許可からの変更点)

- 新規制基準は、再処理施設安全審査指針(昭和61年2月20日原子力安全委員会決定。)を踏まえたものであるが、事業指定基準規則第九条及び同解釈では、想定される自然現象が追加され、また、重大事故等対処設備への措置及び設計基準事故時の応力の考慮が追加された。
- 2015年8月に発生した、落雷に伴う安全上重要な機器の2系統同時機能喪失に伴う最大雷撃電流の見直し及び再発防止対策について追加した。
- 以上より、新規制基準に適合するように設計するための方針としては、追加された想定される自然現象、重大事故等対処設備への措置及び設計基準事故時の応力の考慮について、事業変更許可申請へ反映している。
- 外部からの衝撃による損傷の防止(落雷)に関して整理した結果を添付資料に示す。

3. これまでの審査会合からの変更点

➤ 特になし

六ヶ所再処理施設における
新規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 再処理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再処理施設の特徴
 - 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

1 章 基準適合性

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

外部からの衝撃による損傷の防止について、事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針の比較並びに当該指針を踏まえたこれまでの許認可実績により、事業指定基準規則第九条において追加された要求事項を整理する。(第1-1表)

第1-1表 事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針 比較表 (1/3)

事業指定基準規則 第九条 (外部からの衝撃による損傷の防止)	再処理施設安全審査指針	備考
<p>1 安全機能を有する施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</p> <p>(解釈)</p> <p>1 第9条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な重大事故等対処設備への措置を含む。</p> <p>2 第1項に規定する「想定される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山の影響、生物学的事象、森林火災等をいう。</p> <p>3 第1項に規定する「想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないもの」とは、設計上の考慮を要する自然現象又はその組合せに遭遇した場合において、自然事象そのものがもたらす環境条件及びその結果として当該施設で生じ得る環境条件において、その設備が有する安全機能が達成されることをいう。</p>	<p>指針1. 基本的立地条件</p> <p>事故の誘因を排除し、災害の拡大を防止する観点から、再処理施設の立地地点及びその周辺における以下の事象を検討し、安全確保上支障がないことを確認すること。</p> <p>1. 自然環境</p> <p>(1)地震、津波、地すべり、陥没、台風、高潮、洪水、異常寒波、豪雪等の自然現象</p> <p>(2)地盤、地耐力、断層等の地質及び地形等</p> <p>(3)風向、風速、降雨量等の気象</p> <p>(4)河川、地下水等の水象及び水理</p> <p>(解説)</p> <p>1 自然環境及び社会環境について、申請者が行った文献調査及び現地調査の結果を、建物・構築物の配置を含む設計の妥当性の判断及び各種の評価に用いることが適切であることを確認するほか、必要に応じ現地調査等を行い、申請者の行った各種の調査結果の確認を行うものとする。</p>	<p>追加要求事項</p>

第1-1表 事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針 比較表 (2/3)

事業指定基準規則 第九条 (外部からの衝撃による損傷の防止)	再処理施設安全審査指針	備考
	<p>指針14 地震以外の自然現象に対する考慮</p> <p>1 再処理施設における安全上重要な施設は、再処理施設の立地地点及びその周辺における自然環境をもとに津波、地すべり、陥没、台風、高潮、洪水、異常寒波、豪雪等のうち予想されるものを設計基礎とすること。</p> <p>2 これらの設計基礎となる事象は、過去の記録の信頼性を十分考慮のうえ、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、妥当とみなされるものを選定すること。</p> <p>3 過去の記録、現地調査の結果等を参考にして必要のある場合には、異種の自然現象を重畳して設計基礎とすること。</p>	<p>前記のとおり</p>

第1-1表 事業指定基準規則第九条と再処理施設安全審査指針 比較表 (3/3)

事業指定基準規則 第九条 (外部からの衝撃による損傷の防止)	再処理施設安全審査指針	備考
<p>2 安全上重要な施設は、当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。</p> <p>(解釈)</p> <p>1 第9条は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な重大事故等対処設備への措置を含む。</p> <p>4 第2項に規定する「大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象」とは、対象となる自然現象に対応して、最新の科学的技術的知見を踏まえて適切に予想されるものをいう。なお、過去の記録、現地調査の結果、最新知見等を参考にして、必要のある場合には、異種の自然現象を重畳させるものとする。</p> <p>5 第2項に規定する「適切に考慮したもの」とは、大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故が発生した場合に生じる応力を単純に加算することを必ずしも要求するものではなく、それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせた場合をいう。</p>	<p>指針14 地震以外の自然現象に対する考慮</p> <p>1 再処理施設における安全上重要な施設は、再処理施設の立地地点及びその周辺における自然環境をもとに津波、地すべり、陥没、台風、高潮、洪水、異常寒波、豪雪等のうち予想されるものを設計基礎とすること。</p> <p>2 これらの設計基礎となる事象は、過去の記録の信頼性を十分考慮のうえ、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、妥当とみなされるものを選定すること。</p> <p>3 過去の記録、現地調査の結果等を参考にして必要のある場合には、異種の自然現象を重畳して設計基礎とすること。</p>	<p>追加要求事項</p>

1.2 要求事項に対する適合性

A. 再処理施設の位置，構造及び設備

ロ. 再処理施設の一般構造

(a) 外部からの衝撃による損傷の防止

安全機能を有する施設は，再処理施設敷地の自然環境を基に想定される洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災等の自然現象（地震及び津波を除く。）又は地震及び津波を含む組合せに遭遇した場合において，自然現象そのものがもたらす環境条件及びその結果として当該施設で生じ得る環境条件においても安全機能を損なわない設計とする。

なお，再処理施設敷地で想定される自然現象のうち，洪水，地滑りについては，立地的要因により設計上考慮する必要はない。

上記に加え，安全上重要な施設に対しては，最新の科学的技術的知見を踏まえ当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を，それぞれの因果関係及び時間的变化を考慮して適切に組み合わせる。

また，安全機能を有する施設は，再処理施設敷地内又はその周辺の状態を基に想定される飛来物（航空機落下等），ダムの崩壊，爆発，近隣工場等の火災，有毒ガス，船舶の衝突，電磁的障害等のうち再処理施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。以下，「人為事象」という。）に対して安全機能を損なわない設計とする。

なお，再処理施設敷地又はその周辺において想定される人為事象

のうち、ダムの崩壊、船舶の衝突については、立地的要因により設計上考慮する必要はない。

自然現象及び人為事象（故意によるものを除く。）の組み合わせについては、地震、津波、風（台風）、竜巻、凍結、降水、積雪、火山の影響、生物学的事象、森林火災等を考慮する。事象が単独で発生した場合の影響と比較して、複数の事象が重畳することで影響が増長される組合せを特定し、その組合せの影響に対しても安全機能を損なわない設計とする。

ここで、想定される自然現象及び人為事象（故意によるものを除く。）に対して、安全機能を有する施設が安全機能を損なわないために必要な安全機能を有する施設以外の施設又は設備等（重大事故等対処設備を含む。）への措置を含める。

(b) 落雷

安全機能を有する施設は、想定される落雷に対して安全機能を損なわない方針とする。また、落雷によってもたらされる影響及び再処理施設の特徴を考慮し、直撃雷に対する防護対象施設及び間接雷に対する防護対象施設を選定して耐雷設計を行う。

その上で、落雷によってその安全機能が損なわれないことを確認する施設を、全ての安全機能を有する構築物、系統及び機器とする。落雷に対する防護対象施設としては、安全評価上その機能を期待する構築物、系統及び機器を漏れなく抽出する観点から、安全上重要な構築物、系統及び機器を抽出し、落雷により冷却、水素掃気、火災・爆発の防止、臨界防止等の安全機能を損なわない設計とする。

安全上重要な施設以外の防護対象施設は、落雷による損傷を考慮

して代替設備により必要な機能を確保すること、安全上支障のない期間での修復を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより、その安全機能を損なわない設計とする。

1) 防護対象施設

再処理施設の建物及び構築物は広範囲に分散して設置されており、かつ、建屋間には、配管、ケーブルを収納する洞道が設置され、各施設の監視及び制御を制御建屋で集中的に実施するという特徴を踏まえ、直撃雷による再処理施設への影響及び間接雷による雷サージの影響を考慮して、防護対象施設を選定する。

直撃雷は外気にさらされた建屋及び屋外施設に影響を及ぼすことから、建築基準法又は消防法の適用を受ける施設又は建屋及び安全上重要な施設を直撃雷に対する防護対象施設として選定する。

間接雷は、雷サージによって建屋間に電位差を生じさせ、建屋間で取り合う設備に過電圧による影響を及ぼすことから、建屋間で取り合う計測制御系統施設、電気設備、放射線監視設備及び火災防護設備を間接雷に対する防護対象施設として選定する。

2) 想定する落雷の規模

防護対象施設のうち安全上重要な施設の耐雷設計においては、再処理施設が立地する地域の気候、敷地及び敷地周辺で過去に観測された落雷データを踏まえ、設計上考慮する最大の落雷規模を想定した。また、敷地及び敷地周辺で観測された過去最大の落雷規模は、全国雷観測ネットワーク（JLDN: Japanese Lightning Detection Network）の観測記録に

よると211 k Aである。J L D Nによって観測される雷撃電流値の精度については、夏季雷と冬季雷で違いがあること、ほぼ正確との見解がある一方で15から20%程度低く算出されるとの見解もあること及び観測データは過去15年間のものであることを考慮し、観測値に安全余裕を見込んで、想定する落雷の規模を270 k Aとする。

3) 異種の自然現象の重畳及び設計基準事故との組合せ

落雷と同時に発生することが想定される自然現象については、その衝撃の組合せを適切に考慮する。また、設計基準事故については、落雷の影響との因果関係及び時間的变化を考慮した上で、その応力を適切に組み合わせる。

4) 耐雷設計

直撃雷に対する耐雷設計として、防護対象施設には、原子力発電所の耐雷指針（J E A G 4608-2007）、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とともに、避雷設備を構内接地系と接続することで、接地抵抗の低減及び雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平坦化を図る。

また、間接雷による雷サージを抑制する設計については、安全上重要な施設と信号を取り合う設備に関しては、雷撃電流270 k Aの落雷に対して安全機能を損なわない設計とする。具体的には、以下の対策を講ずる。

- i) 安全上重要な施設とアナログ信号を取り合う計測制御系統施設に対しては、雷撃電流270 k Aの落雷による構内接地系の電位上昇3.0 k Vを踏まえ、安全機能を損なわないよう、3.0 k V以上の雷

インパルス絶縁耐力を有する又は絶縁耐力5.0 k V以上の保安器を信号出力側の建屋と信号入力側の建屋の両方に設置する設計とする。

- ii) これに加え，安全上重要な施設とアナログ信号を取り合う計測制御系統施設については出力信号側にアイソレータを設置し，安全上重要な警報及びインターロック機能への影響を防止するとともに，シールド ケーブルを用いる設計とする。
- iii) 安全上重要な施設とデジタル信号を取り合う計測制御系統施設及び放射線監視設備については，構内接地系の電位上昇3.0 k Vを踏まえ，安全機能を損なわないよう，シールド ケーブルを使用した上で両端接地とするか又は光伝送ケーブルを用いる設計とする。
- iv) 電気設備のうち安全上重要な施設については，雷撃電流270 k Aの落雷によって生じる構内接地系の電位上昇に対して安全機能を損なわないよう，3.0 k V以上の雷インパルス絶縁耐力を有する設計とする。

1.3 規則への適合性

(外部からの衝撃による損傷の防止)

第九条 安全機能を有する施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。次項において同じ。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。

2 安全上重要な施設は、当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがあると想定される自然現象により当該安全上重要な施設に作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮したものでなければならない。

3 安全機能を有する施設は、工場等内又はその周辺において想定される再処理施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して安全機能を損なわないものでなければならない。

<適合のための設計方針>

第1項及び第2項について

安全機能を有する施設は、設計基準において想定される自然現象（地震及び津波を除く。）に対して再処理施設の安全性を損なわない設計とする。また、安全上重要な施設は、想定される自然現象により作用する衝撃及び設計基準事故時に生ずる応力を適切に考慮する。

(1) 落雷

再処理施設の設計においては、落雷によってもたらされる影響及び再処理施設の特徴を考慮し、直撃雷に対する防護対象施設及び間接雷に対する防護対象施設を選定して耐雷設計を行う。

安全機能を有する施設について、想定される落雷が発生した場合においても、冷却、水素掃気、火災及び爆発の防止、臨界防止、遮蔽並びに閉じ込めの機能を維持するために必要な設備を、防護対象施設として抽出する方針とし、当該設備が有する安全機能の重要度に応じて、落雷に対する防護設計を講ずる。

直撃雷に対する防護対象施設は、「原子力発電所の耐雷指針」(J E A G 4608)、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とともに、安全上重要な施設を内包する建屋及び安全上重要な構築物にも避雷設備を設ける設計とする。各々の防護対象施設に設置する避雷設備は、構内接地系と接続することにより、接地抵抗の低減及び雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平坦化を図る。

間接雷による雷サージ抑制設計としては、防護対象施設に対する雷サージの侵入及び伝播経路を考慮し、防護対象施設のうち安全上重要な施設においては雷撃電流270 k Aの主排気筒への落雷の影響に対して安全機能を損なわない設計とする。そのため、想定雷撃電流によって生じる構内接地系の電位上昇に対して安全機能を損なわないように配慮した設計とする。

2. 概要

(イ) 落雷

原子力規制委員会の定める「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年12月6日原子力規制委員会規則第二十七号）」第九条において、外部からの衝撃による損傷防止として、安全機能を有する施設は、想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならないとしており、敷地の自然環境を基に想定される自然現象の一つとして、落雷を挙げている。

したがって、再処理施設の設計においては、落雷によってもたらされる影響及び再処理施設の特徴を考慮し、直撃雷に対する防護対象施設及び間接雷に対する防護対象施設を選定して耐雷設計を行う。

安全機能を有する施設について、想定される落雷が発生した場合においても、冷却、水素掃気、火災及び爆発の防止、臨界防止、遮蔽並びに閉じ込めの機能を維持するために必要な設備を、防護対象施設として抽出する方針とし、当該設備が有する安全機能の重要度に応じて、落雷に対する防護設計を講ずる。

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

日本における雷日数の地理的分布については、全国の気象官署における雷日（雷鳴と電光を観測したか、ある程度以上の強度の雷鳴を観測した日）を基に平均年間雷日数について報告されているものがある⁽¹⁾。これに示される全国96箇所の観測点における年平均雷日数及び全国約1300箇所の観測点のデータを基にした年平均雷日数の等値線を第3-1図に示す。

これによると、北関東、北陸、近畿及び九州北部・南部では落雷が多く、オホーツク沿岸、北海道東部・内陸部及び三陸沿岸では落雷が少ない。

一方、日本国内で全国規模の落雷の観測を行っているシステムとしては、全国雷観測ネットワーク（JLDN：Japanese Lightning Detection Network）がある。JLDNは文献でも精度が確かめられている落雷の観測システムであり⁽²⁾、本システムにて得られた雷統計データ⁽³⁾においても、日本における雷日数の地理的分布とよく一致していることが確認できる。

【補足説明資料2-2, 2-3】

3.1.2 再処理施設周辺における落雷の観測データ

JLDNによって観測された落雷データに基づいて青森県周辺の落雷密度を調査した結果を第3-2図に示す。

再処理施設の立地地点周辺は、青森県の他の地域と比較しても落雷が少ない地域であることから、敷地及び敷地周辺において過去に観測された落雷のデータの調査を行い、落雷に対する設計の基礎とすることとした。

JLDNの観測記録において、敷地及び敷地周辺で観測された雷撃の順位を第3-1表に、雷撃電流の分布を第3-3図に示す。敷地及び敷地周辺で過去に観測された落雷の雷撃電流の最大値は211 k Aである。

なお、再処理施設の設計の基礎としては、再処理施設の立地地点が属する吉野の気候区分Ⅲbにおける落雷データを用いることも考えられるが、敷地及び敷地周辺において観測された大きな落雷が夏季雷である一方気候区分Ⅲbで観測された大きな落雷は冬季雷であること、一般的に夏季雷よりも冬季雷の方が雷撃のエネルギーが大きいこと、気候区分Ⅲbで観測された大きな落雷は再処理施設から離れた西側の地域で発生しており冬季雷の多い日本海側の気候の影響を受けていると考えられることから、気候区分Ⅲbと敷地周辺では落雷現象の様相が大きく異なる。したがって、再処理施設の設計の基礎として敷地及び敷地周辺の観測データを用いることは妥当と考えられる。

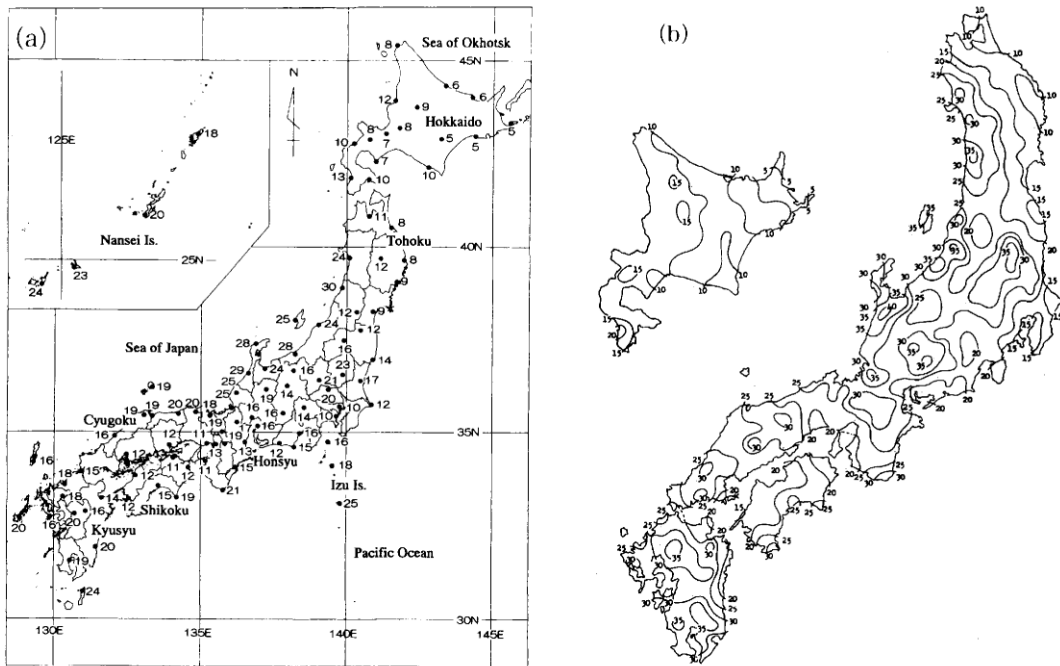
【補足説明資料2-2, 2-3】

3.1.3 参考文献一覧

- (1) 吉田弘. “日本列島における雷日数の地理的分布とその長期的傾向”. 日本気象学会, 2002-4.
- (2) 株式会社フランクリン・ジャパン. “データ活用実績”.
株式会社フランクリン・ジャパンホームページ,
<http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/data/>,
(参照 2017-04-07).
- (3) 株式会社フランクリン・ジャパン. “JLDNについて”.
株式会社フランクリン・ジャパンホームページ,
<http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/jldn/>,
(参照 2017-04-07).

第 3 - 1 表 敷地及び敷地周辺で観測された雷撃の順位

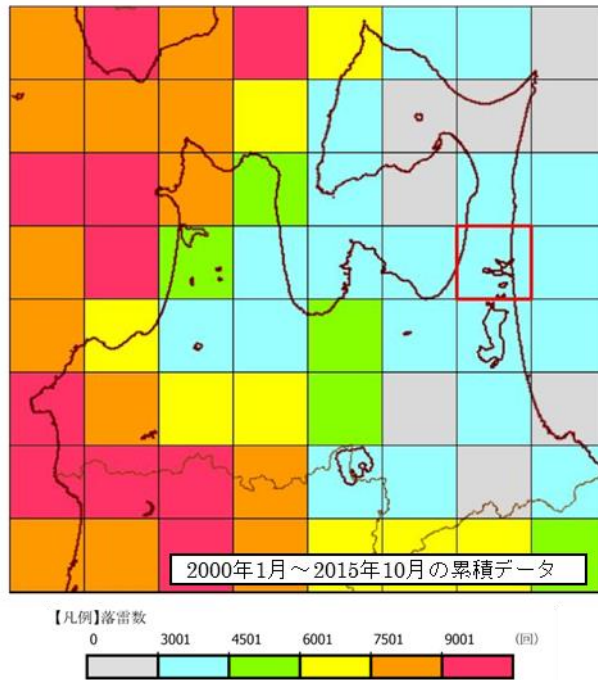
順位	雷撃電流 (kA)	観測年月日	観測時刻	観測場所 (緯度/経度)	
1	211	2000年7月25日	15時04分	40.962	141.307
2	-196	2015年8月2日	18時52分	40.959	141.333
3	-183	2015年8月2日	18時55分	40.973	141.339



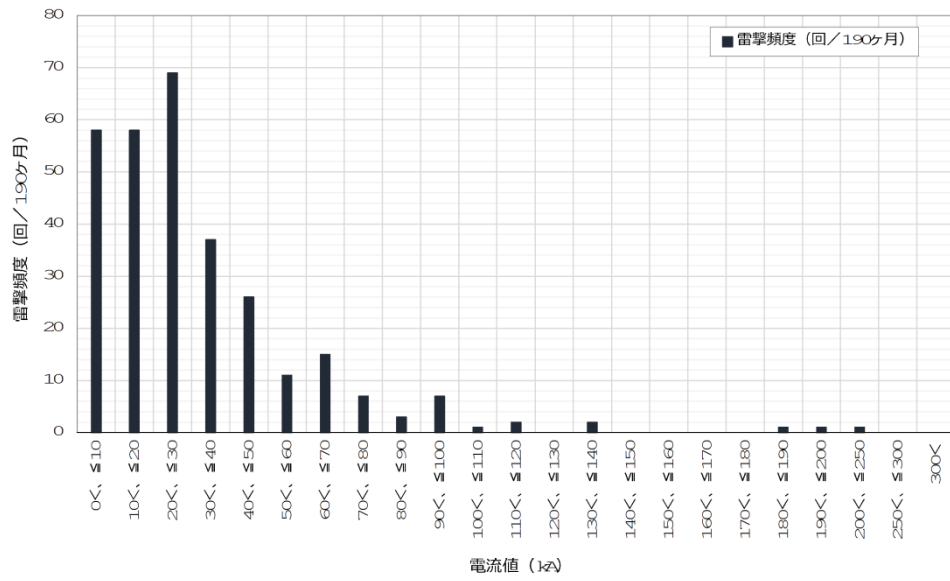
第3-1図 (a) 年平均雷日数及び (b) 年平均雷日数等値線

(吉田弘, “日本列島における雷日数の地理的分布とその長期的傾向” .

日本気象学会, 2002-4.)



第3-2図 青森県の落雷密度マップ



第3-3図 敷地及び敷地周辺で観測された落雷の雷撃電流の分布

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

安全機能を有する施設は，想定される落雷に対して安全機能を損なわない方針とする。また，落雷によってもたらされる影響及び再処理施設の特徴を考慮し，直撃雷に対する防護対象施設及び間接雷に対する防護対象施設を選定して耐雷設計を行う。

その上で，落雷によってその安全機能が損なわれないことを確認する施設を，全ての安全機能を有する構築物，系統及び機器とする。落雷に対する防護対象施設としては，安全評価上その機能を期待する構築物，系統及び機器を漏れなく抽出する観点から，安全上重要な構築物，系統及び機器を抽出し，落雷により冷却，水素掃気，火災・爆発の防止，臨界防止等の安全機能を損なわない設計とする。

安全上重要な施設以外の防護対象施設は，落雷による損傷を考慮して代替設備により必要な機能を確保すること，安全上支障のない期間での修復を行うこと又はそれらを適切に組み合わせることにより，その安全機能を損なわない設計とする。

4.1.2 防護対象施設

4.1.2.1 落雷の特徴

落雷による影響としては，直撃雷による影響及び間接雷による影響がある。

直撃雷は，外気にさらされた建屋及び屋外施設に対して影響を及ぼし，これらに設置する避雷設備及び送電線から侵入することが考えられる。一般的に落雷は高い建物及び構築物に対して発生しやすい。

間接雷は、建屋及び屋外施設への落雷により、避雷設備を介して雷撃電流が大地へ拡散及び分流する過程で、雷サージとなって接地系統から侵入し、屋内に設置される設備に対して影響を及ぼし得る。

4.1.2.2 耐雷設計上考慮する再処理施設の特徴

再処理施設の建物及び構築物は、広大な敷地内に分散して配置している。主排気筒は高さが約150mであり、再処理施設の他の建物及び構築物と比べて非常に高く、雷の直撃を受けやすい。雷撃電流の大きな落雷ほど雷撃距離が長くなるため、高い建物及び構築物に直撃する傾向が強いといえる。

また、再処理施設の建屋間には、配管、ダクト及びケーブルを収納する洞道が設置され、各施設の監視及び制御は制御建屋で集中的に行う設計としている。このため、間接雷による雷サージによって各建屋に接地電位上昇の差が生じることが考えられ、建屋間を取り合う計測制御系統施設等は過電圧の影響を受けるおそれがある。

4.1.2.3 直撃雷に対する防護対象施設

直撃雷は、外気にさらされた建屋及び屋外施設に対して影響を及ぼし得る。一方、建築基準法、消防法では、建物、構築物及び所定の数量の危険物を貯蔵する施設に適切な避雷設備を設けることが要求されている。したがって、外気にさらされた建屋及び屋外施設のうち建築基準法又は消防法の適用を受けるものを直撃雷に対する防護対象施設とするとともに、安全上重要な施設は、これらの適用を受けないものであっても、その機能の重要度の観点から、直撃雷に対する防護対象施設とする。

直撃雷に対する防護対象施設の選定フローを第4-1図に、直撃雷に対

する防護対象施設の一覧を第4-1表に示す。

4.1.2.4 間接雷に対する防護対象施設

「4.1.2.2 耐雷設計上考慮する再処理施設の特徴」に示すとおり、建屋間には配管、ダクト及びケーブルを収納する洞道を設置し、各施設の監視及び制御を制御建屋で集中的に行う設計としていることから、建屋間を取り合う計測制御系統施設、電気設備、放射線監視設備及び火災防護設備は、間接雷による雷サージの影響で各建屋に接地電位上昇の差が生じ、過電圧の影響を受けるおそれがある。したがって、建屋間を取り合う計測制御系統施設、電気設備、放射線監視設備及び火災防護設備を間接雷に対する防護対象施設とする。

間接雷に対する防護対象施設の一覧を第4-2表に示す。

4.1.3 耐雷設計

4.1.3.1 想定する落雷の規模

防護対象施設のうち建屋間を取り合う安全上重要な計測制御系統施設、電気設備及び放射線監視設備の耐雷設計においては、敷地及び敷地周辺で過去に観測された最大のを参考に落雷の規模を想定する。

敷地及び敷地周辺で過去に観測された最大の落雷の雷撃電流は、全国雷観測ネットワーク（JLDN：Japanese Lightning Detection Network）の観測記録によると211kAである。

JLDNによって観測される雷撃電流値の精度については、夏季雷と冬季雷で違いがあること及びほぼ正確との見解がある一方で15から20%程度低く算出されるとの見解もあること並びに観測データは過去15年間のも

のであることを考慮し、観測値に安全余裕を見込んで、想定する落雷の規模を270 k Aとする。

【補足説明資料2-2, 2-3】

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

落雷と同時に発生することが想定される自然現象については、その衝撃の組合せを適切に考慮する。また、設計基準事故については、落雷の影響との因果関係及び時間的变化を考慮した上で、その応力を適切に組み合わせる。

(1) 異種の自然現象の重畳

落雷と同時に発生する可能性がある自然現象としては、竜巻、積雪、降雹及び降水が考えられる。これらの自然現象の組合せの考え方は、以下のとおりとする。

a. 竜巻

落雷及び竜巻が同時に発生する場合においても、竜巻による影響は風荷重、飛来物の衝突荷重及び気圧差による荷重であり、落雷による雷撃とは影響が異なるため、落雷と竜巻の組合せは考慮しない。

b. 積雪

落雷と積雪の組合せを想定しても、積雪による影響は建屋及び屋外施設に対する堆積荷重であり、落雷による雷撃とは影響が異なるため、落雷と積雪の組合せは考慮しない。

c. 降雹

落雷と降雹の組合せを考慮しても、降雹の影響は建屋及び屋外施設に対する衝撃荷重であり、落雷による雷撃とは影響が異なるため、落雷と降雹の組合せは考慮しない。

d. 降水

落雷と降水が同時に発生する場合においても、降水による影響は浸水であり、落雷による雷撃とは影響が異なるため、落雷と降水の組合せは考慮しない。

(2) 設計基準事故時荷重の組合せ

安全上重要な施設は、想定される落雷に対して安全機能を損なわない設計とすることから、落雷の影響との因果関係及び時間的变化を考慮しても設計基準事故への進展は考えられない。したがって、落雷と設計基準事故時荷重の組合せは考慮しない。

4.1.3.3 直撃雷の防止設計

直撃雷に対する防護対象施設は、「原子力発電所の耐雷指針」(J E A G 4608)、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。安全上重要な施設を内包する建屋及び安全上重要な構築物は、建築基準法及び消防法の適用を受けないものであっても避雷設備を設ける設計とする。各々の防護対象施設に設置する避雷設備は、構内接地系と接続することにより、接地抵抗の低減及び雷撃に伴う構内接地系の電位分布の平坦化を図る設計とする。

避雷設備の設置対象を第4-3表に示す。

なお、「4.1.2.2 耐雷設計上考慮する再処理施設の特徴」に示すとおり、落雷は最も高い構築物である主排気筒に発生しやすいため、特に雷撃電流150 k Aを超える落雷については、雷撃電流と雷撃距離の関係(A r m s t r o n g & W h i t e h e a dの式)から、第4-2図に示すとおり主排気筒にて捕捉できる。

【補足説明資料2-2, 2-4, 2-5, 2-6】

4.1.3.4 間接雷による雷サージ抑制設計

間接雷による雷サージ抑制設計としては、間接雷に対する防護対象施設への雷サージの侵入及び伝播経路を考慮し、防護対象施設のうち安全上重要な施設と信号を取り合うものにおいては、雷撃電流270 k Aの主排気筒への落雷の影響に対して、安全機能を損なわない設計とする。

(1) 接地設計

各接地系の接続による構内接地系の電位分布の平坦化を図り、接地抵抗値を、最大故障電流による最大接地電位上昇値、歩幅電圧及び歩幅電圧の制限によって定められる所定の目標値（J I S A 4201による標準設計値10 Ω）を十分下回る設計とし、3 Ω以下とする。

(2) 雷サージの影響阻止設計

a. 計測制御系統施設，放射線監視設備

防護対象施設のうち安全上重要な施設とアナログ信号を取り合う計測制御系統施設に対しては、雷撃電流270 k Aの落雷による構内接地系の電位上昇3.0 k Vを踏まえ、安全機能を損なわないよう、3.0 k V以上の雷インパルス絶縁耐力を有する又は絶縁耐力5.0 k V以上の保安器を設置する設計とする。保安器を設置する場合は、信号出力側の建屋と信号入力側の建屋の両方に設置する。また、出力信号側にアイソレータを設置し、安全上重要な警報及びインターロック機能への影響を防止するとともに、シールドケーブルを使用した上で接地する。防護対象施設のうち安全上重要な施設とデジタル信号を取り合う計測制御系統施設及び放射線監視設備については、雷撃電流270 k Aの落雷による構内接地系の電位上昇3.0 k Vを踏まえ、安全機能を損なわないよう、シールドケーブルを使用した上で両端接地とするか又は光伝送ケーブルを用いる設計とする。

b. 電気設備

防護対象施設の電気設備のうち安全上重要な施設については、雷撃電流270 k Aの落雷によって生じる構内接地系の電位上昇に対して安全機能を損なわないよう、3.0 k V以上の雷インパルス絶縁耐力を有する設計とする。

【補足説明資料2-2, 2-4, 2-5, 2-6】

第4-1表 直撃雷に対する防護対象施設一覧

建物及び構築物	対象		
	安	建	消
使用済燃料輸送容器管理建屋	—	○	—
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	○	○	—
使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	—	—	—
前処理建屋	○	○	—
分離建屋	○	○	○
精製建屋	○	○	○
ウラン脱硝建屋	○	○	—
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	○	—	—
ウラン酸化物貯蔵建屋	○	—	—
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	○	—	—
高レベル廃液ガラス固化建屋	○	○	—
第1ガラス固化体貯蔵建屋	○	○	—
低レベル廃液処理建屋	—	○	—
低レベル廃棄物処理建屋	—	○	○
チャンネル ボックス・バーナブル ポイズン処理建屋	○	○	—
ハル・エンド ピース貯蔵建屋	○	○	—
第1低レベル廃棄物貯蔵建屋	—	—	—
第2低レベル廃棄物貯蔵建屋	—	—	—
第4低レベル廃棄物貯蔵建屋	—	—	—
分析建屋	○	○	—
制御建屋	○	—	—
非常用電源建屋	○	—	○
主排気筒管理建屋	○	—	—
北換気筒管理建屋	—	—	—
緊急時対策所	—	—	—
第1保管庫・貯水所	—	—	—
第2保管庫・貯水所	—	—	—
出入管理建屋	—	○	—
主排気筒	○	○	—
北換気筒	—	○	—
低レベル廃棄物処理建屋換気筒	—	○	—
使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔	○	—	—
再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔	○	—	—
第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔	○	—	—

<凡例>

- 安： 安全上重要な施設を内包するため対象となるもの
- 建： 建築基準法の適用を受けるため対象となるもの
- 消： 消防法の適用を受けるため対象となるもの
- ： 防護対象施設に該当するもの
- ： 防護対象施設に該当しないもの

第4-2表 間接雷に対する防護対象施設一覧

建物及び構築物	対象	
	建屋間 取合い	安重の有無
使用済燃料輸送容器管理建屋	○	—
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	○	○
使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	○	—
前処理建屋	○	○
分離建屋	○	○
精製建屋	○	○
ウラン脱硝建屋	○	○
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	○	○
ウラン酸化物貯蔵建屋	○	—
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	○	○
高レベル廃液ガラス固化建屋	○	○
第1ガラス固化体貯蔵建屋	○	—
低レベル廃液処理建屋	○	—
低レベル廃棄物処理建屋	○	—
チャンネル ボックス・バーナブル ポイズン処理建屋	○	—
ハル・エンド ピース貯蔵建屋	○	—
第1低レベル廃棄物貯蔵建屋	×	—
第2低レベル廃棄物貯蔵建屋	○	—
第4低レベル廃棄物貯蔵建屋	×	—
分析建屋	×	—
制御建屋	○	○
非常用電源建屋	○	○
主排気筒管理建屋	○	○
北換気筒管理建屋	○	—
緊急時対策所	×	—
第1保管庫・貯水所	×	—
第2保管庫・貯水所	×	—
出入管理建屋	×	—
主排気筒	○	—
北換気筒	○	—
低レベル廃棄物処理建屋換気筒	○	—
使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔	○	○
再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔	○	—
第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔	○	—

<凡例>

建屋間取合い

- ： 建屋間を取り合う計測制御系統施設，電気設備，放射線監視設備又は火災防護設備があるもの
 - ×
 - ×
- 建屋間を取り合う計測制御系統施設，電気設備，放射線監視設備又は火災防護設備がないもの

安重の有無

- ： 防護対象に安全上重要な計測制御系統施設，電気設備又は放射線監視設備があるもの
- ： 防護対象に安全上重要な計測制御系統施設，電気設備又は放射線監視設備がないもの

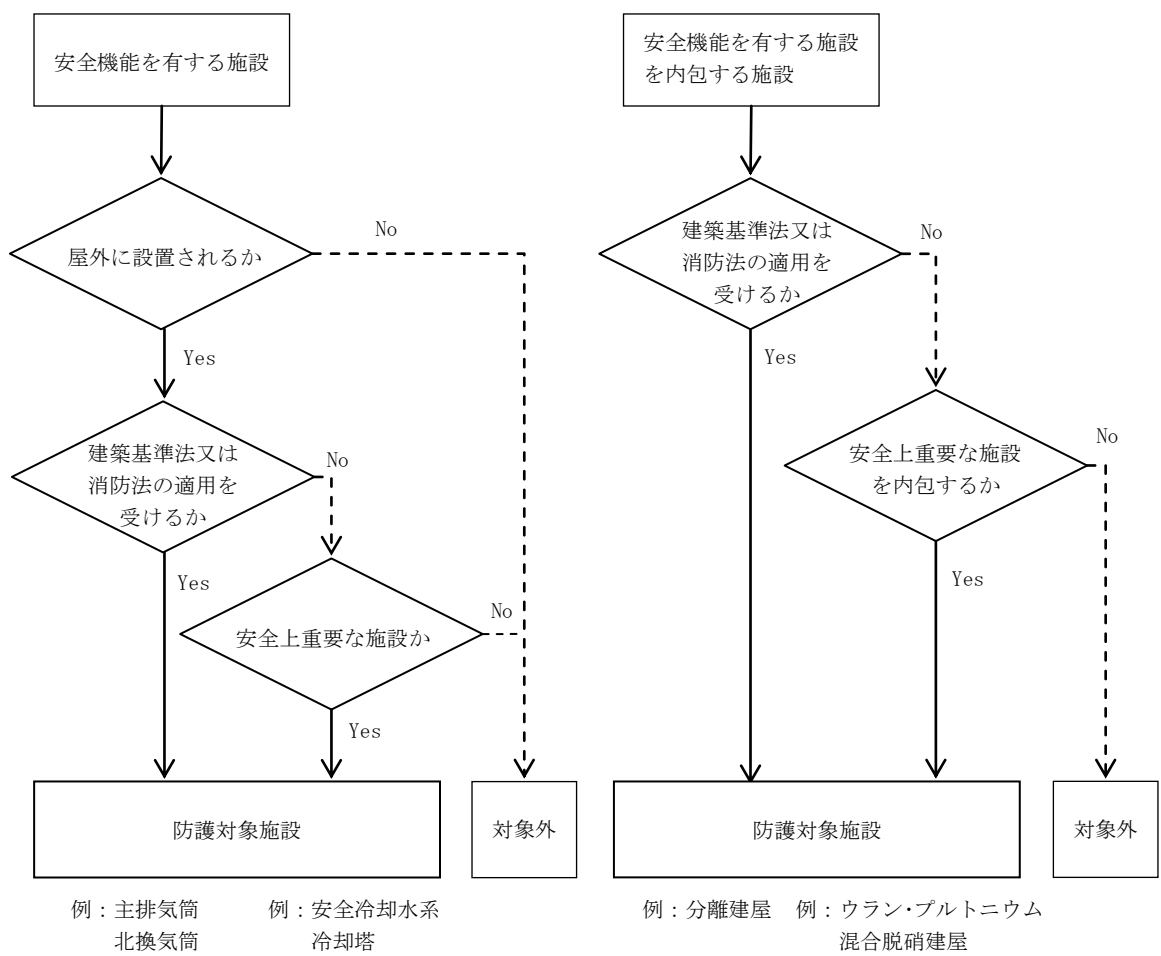
第4-3表 避雷設備の設置対象一覧

建物及び構築物	避雷設備	接地網
使用済燃料輸送容器管理建屋	○	○
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	○	○
使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	×	○
前処理建屋	△	○
分離建屋	△	○
精製建屋	○	○
ウラン脱硝建屋	○	○
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	○	○
ウラン酸化物貯蔵建屋	○	○
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	○	○
高レベル廃液ガラス固化建屋	△	○
第1ガラス固化体貯蔵建屋	○	○
低レベル廃液処理建屋	○	○
低レベル廃棄物処理建屋	○	○
チャンネル ボックス・バーナブル ポイズン処理建屋	○	○
ハル・エンド ピース貯蔵建屋	○	○
第1低レベル廃棄物貯蔵建屋	×	○
第2低レベル廃棄物貯蔵建屋	×	○
第4低レベル廃棄物貯蔵建屋	×	○
分析建屋	○	○
制御建屋	○	○
非常用電源建屋	○	○
主排気筒管理建屋	△	○
北換気筒管理建屋	×	○
緊急時対策所	×	○
第1保管庫・貯水所	×	○
第2保管庫・貯水所	×	○
出入管理建屋	○	○
主排気筒	○	○
北換気筒	○	○
低レベル廃棄物処理建屋換気筒	○	○
使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔A	○*	○
使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔B	△	○
再処理設備本体用 安全冷却水系冷却塔B	○*	○
第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔A	○*	○
第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔B	○*	○

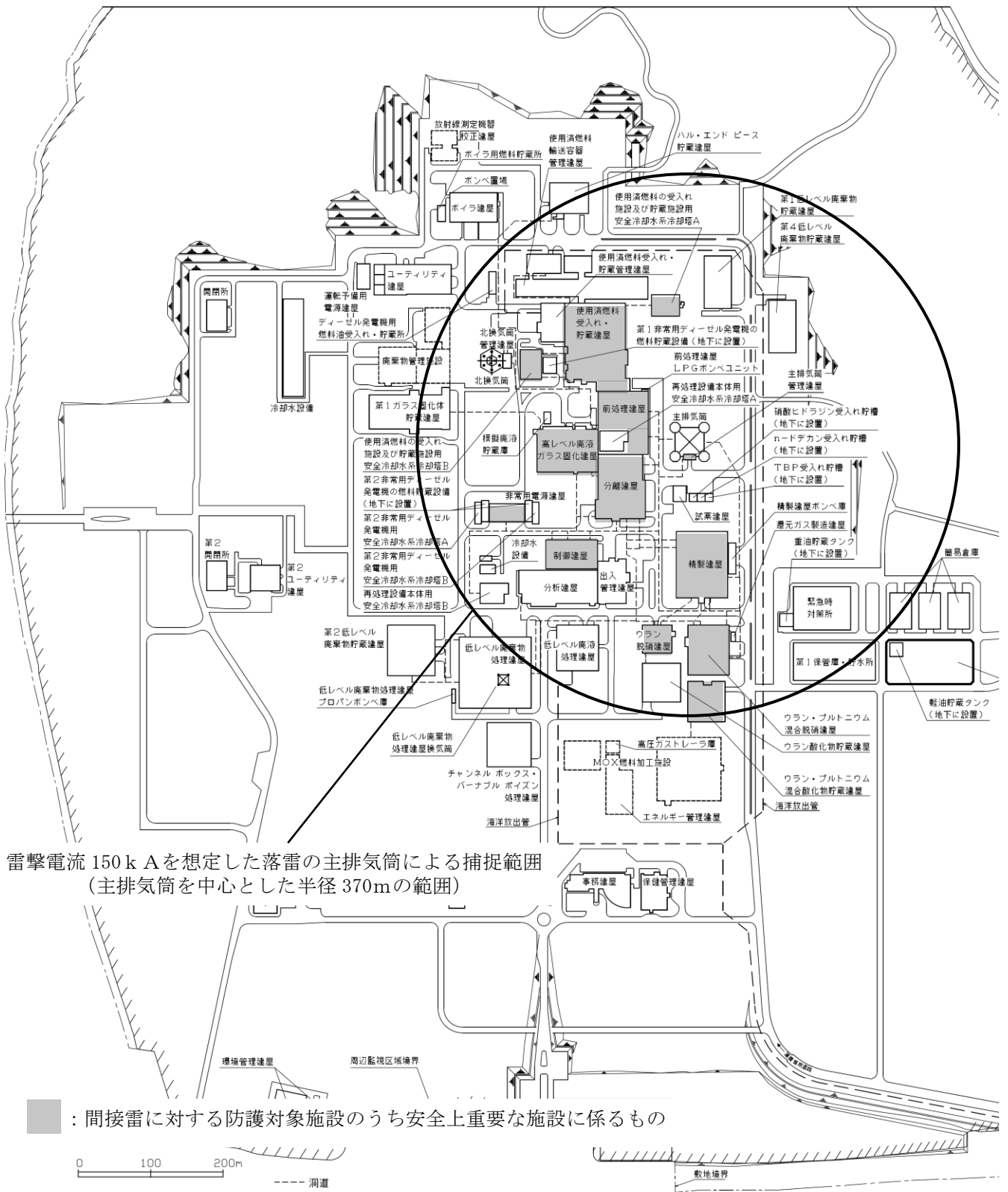
<凡例>

- ： 避雷設備（突針，棟上導体）又は接地網を設置
- △： 周辺の避雷設備の保護範囲に入るため，一部又は全部が設置対象外
- ×

※安全冷却水系冷却塔を覆う竜巻防護対策設備（飛来物防護ネット）に避雷設備を設置する。



第4-1図 直撃雷に対する防護対象施設の選定フロー



雷撃電流 150 k A を想定した落雷の主排気筒による捕捉範囲
 (主排気筒を中心とした半径 370m の範囲)

： 間接雷に対する防護対象施設のうち安全上重要な施設に係るもの



主要な再処理施設を収納する建物及び構築物は、標高約 5.5 m に設置。

※ Armstrong & Whitehead の式 ($r = 6.72 \times I^{0.8}$, r : 雷撃距離, I : 雷撃電流) より、雷撃電流 150 k A の落雷の雷撃距離は約 370 m となる。

第 4 - 2 図 主排気筒による 150 k A の落雷の捕捉範囲の想定

2 章 補足説明資料

再処理施設 安全審査 整理資料 補足説明資料リスト

第9条:外部からの衝撃による損傷の防止(落雷)

再処理施設 安全審査 整理資料 補足説明資料		備考(8月提出済みの資料については、資料番号を記載)
資料No.	名称	
補足説明資料2-2	落雷影響評価について	添付3 落雷影響評価について
補足説明資料2-3	再処理施設主排気筒への年超過率による雷撃電流評価	添付3.1 再処理施設主排気筒への年超過率による雷撃電流評価
補足説明資料2-4	建屋内重要設備の雷リスク評価	添付3.2 建屋内重要設備の雷リスク評価
補足説明資料2-5	雷撃電流と落雷箇所の関係について	添付3.3 雷撃電流と落雷箇所の関係について
補足説明資料2-6	雷撃電流を150kAとしていた設計経緯について	新規作成

補足説明資料 2 - 2 (9条 落雷)

2-2 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。再処理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、150 k A 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」や日本産業規格 J I S A 4201 (1992) 「建築物等の避雷設備 (避雷針)」

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、150 k A 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、再処理施設では、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 2 - 3 より、雷撃頻度解析として、再処理施設周辺を中心とした評価地域 400 k m^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施設を中心とした標的面積36 k m²の範囲の雷撃密度は0.53回／年・k m²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，再処理施設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210 k A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。再処理施設敷地面積を包絡する標的面積36 k m²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211 k Aである。

上記 a , b を踏まえると，再処理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211 k A 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，270 k A 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（主排気筒への270 k A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

再処理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構内接地網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. 再処理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、安全保護回路については、雷サージ電圧の侵入を抑制するために、絶縁回路の設置、鋼製筐体や金属シールド付信号ケーブルを採用していることから影響を受けにくい設計としている。

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。再処理施設で実施した雷インパルス試験の結果を参考に、落雷の可能性が高い主排気筒に設計基準電流270 kAが流れた場合の雷サージ電圧を評価した結果、安全上重要な施設の機能が損なわれないことを確認した。

c. 屋外設備

主排気筒については接地を構内接地網に接続し、接地抵抗を低減しており、影響を受けにくい設計としている。また、使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用、再処理設備本体用、第2非常用ディーゼル発電機用の安全冷却水系における冷却塔については、別途竜巻対策により設置する防護ネット等によって遮蔽され、防護ネット等が接地網へと接続されているため、落雷に対して十分保護が出来ているといえる。

(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

補足説明資料 2 - 3 (9条 落雷)

2-3 再処理施設主排気筒への年超過率による雷撃電流評価

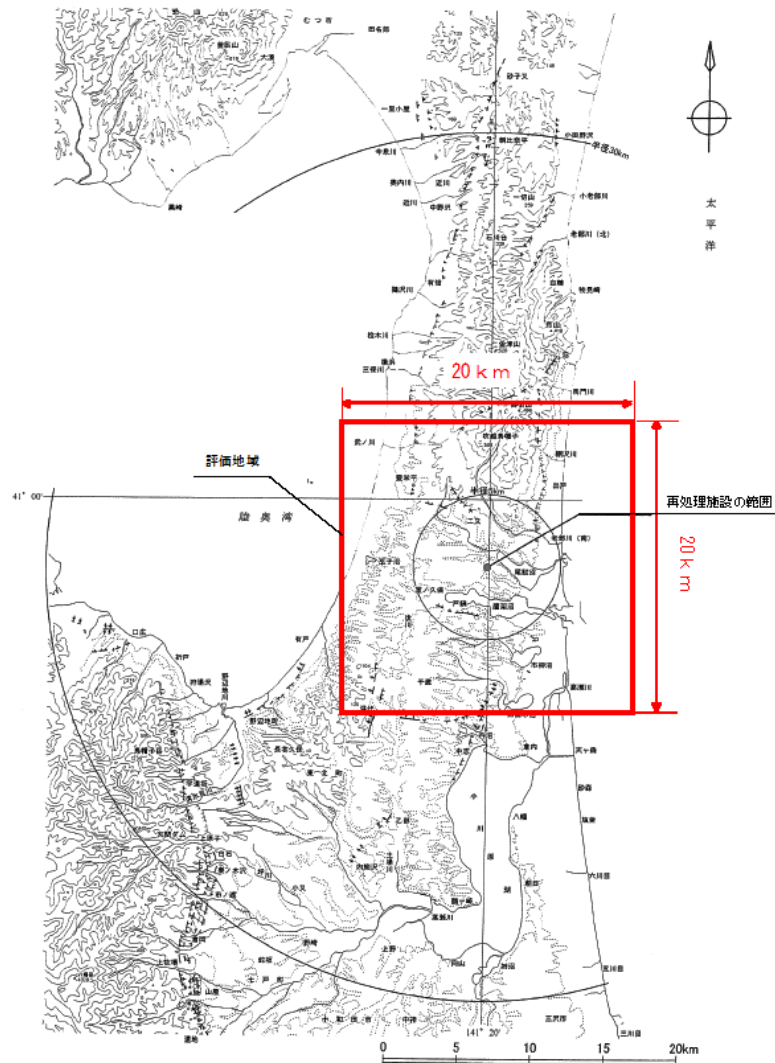
1. 再処理施設構内への年超過確率による雷撃電流計算

J E A G 4608 (2007) 「原子力発電所の耐雷指針」⁽¹⁾に基づき I E C / T S 61662 (1995) 「Assessment of the risk of damage due to lightning」⁽²⁾ の計算手法により主排気筒への想定落雷数を算出し、再処理施設構内への年超過確率による雷撃電流計算を実施した。

想定雷撃電流は、過去に再処理施設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2-3-1図に示す再処理施設を中心とした評価地域 400 km^2 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)を基に再処理施設の範囲における雷撃数から I E C / T S 61662 (1995) による主排気筒への想定落雷数 N_d 回/年を算出後、主排気筒への年超過頻度 10^{-4} /年値となる雷撃電流値を算出する。



第 2 - 3 - 1 図 評価地域及び標的面積

3. 雷撃対象と想定落雷数

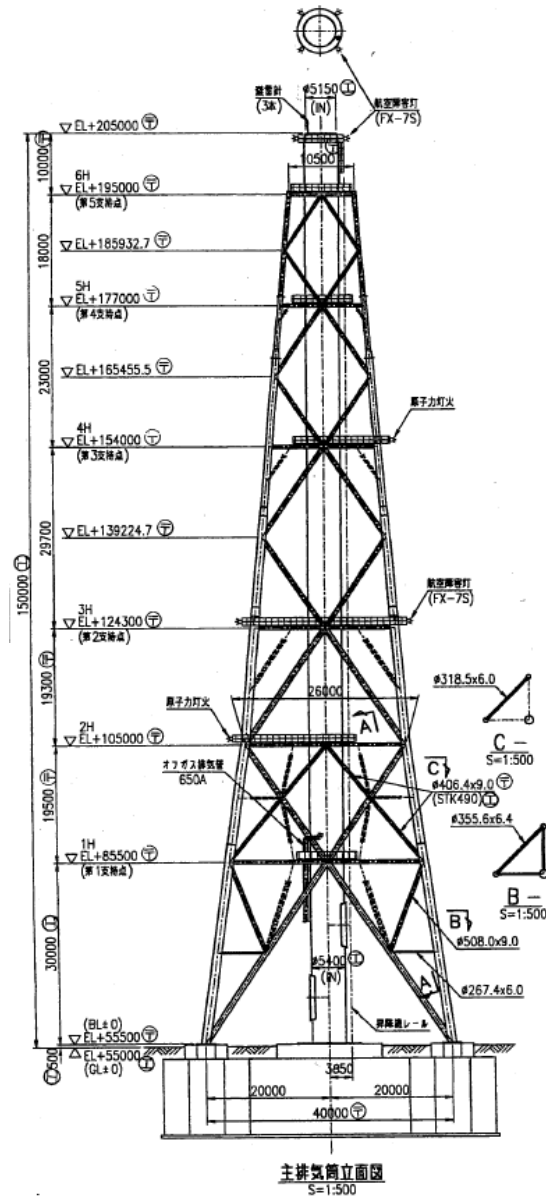
(1) 雷撃対象

等価受雷面積^{※1}が最大となり，安全上重要な設備を内包する建屋（再処理施設等）の等価受雷面積を包絡する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 2 - 3 - 2 図参照。

※1 等価受雷面積…落雷の収集面積。構造物の高さを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 2 - 3 - 3 図参照。

評価対象：主排気筒



第 2 - 3 - 2 図 再処理施設における等価受雷面積

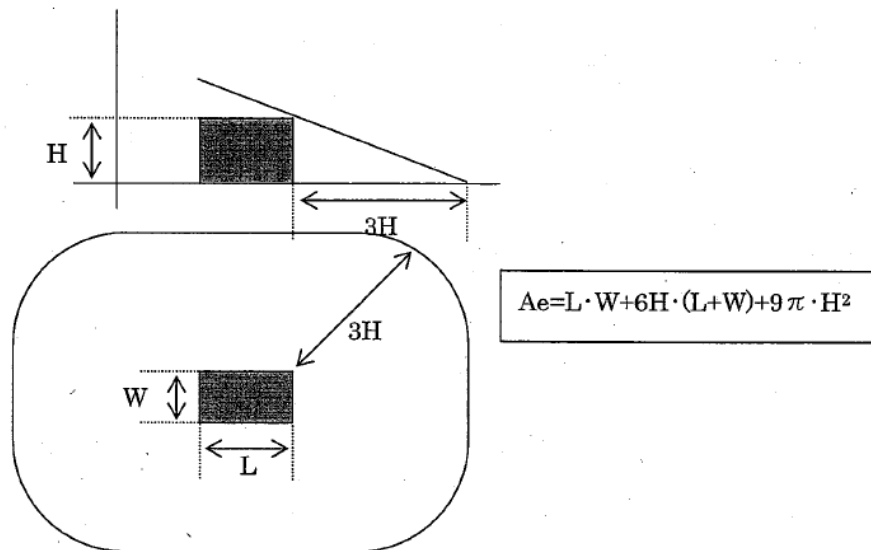


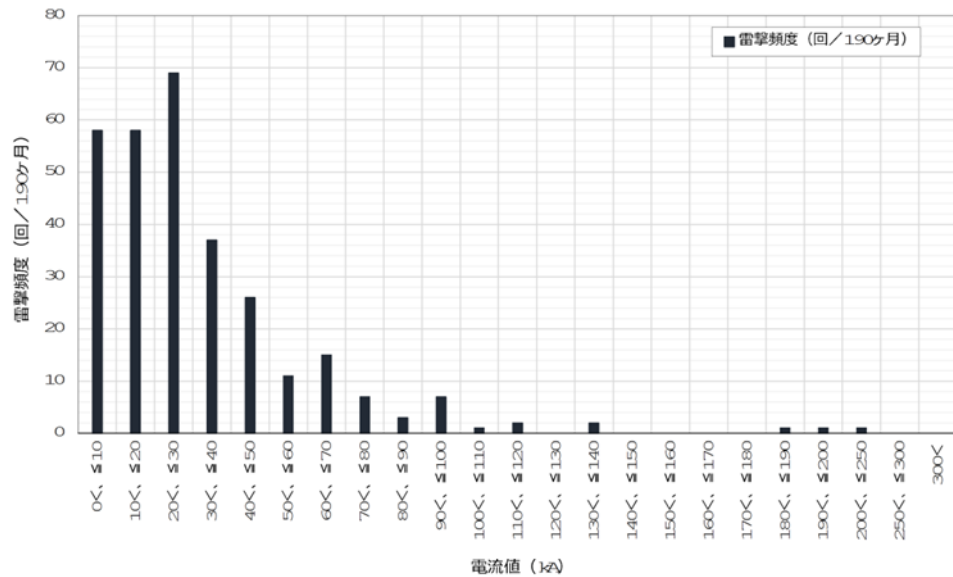
図 要素 A_e (構造物の等価受雷面積)

第 2 - 3 - 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

再処理施設構内を包絡した標的面積 36 km^2 への 2000 年 1 月から 2015 年 10 月の期間における雷撃数は，再処理施設落雷観測記録に基づき，299 件である。第 2 - 3 - 4 図に構内雷撃観測の雷撃回数結果を示す。



第 2 - 3 - 4 図 構内雷撃観測の雷撃回数結果
(2000年 1 月から 2015年 10月)

再処理施設構内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} 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、

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

$$N_g = \frac{N_{sg}}{2} = \frac{0.53}{2} = 0.27 \text{ (回/年} \cdot \text{k m}^2\text{)}$$

となる。

上記により算出した再処理施設構内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20 k m 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2-3-5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は、

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

となり、再処理施設構内の観測記録の方が、十分低い値となっている。

② 標的面積20 k m 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施設を中心とした20 k m 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。

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

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

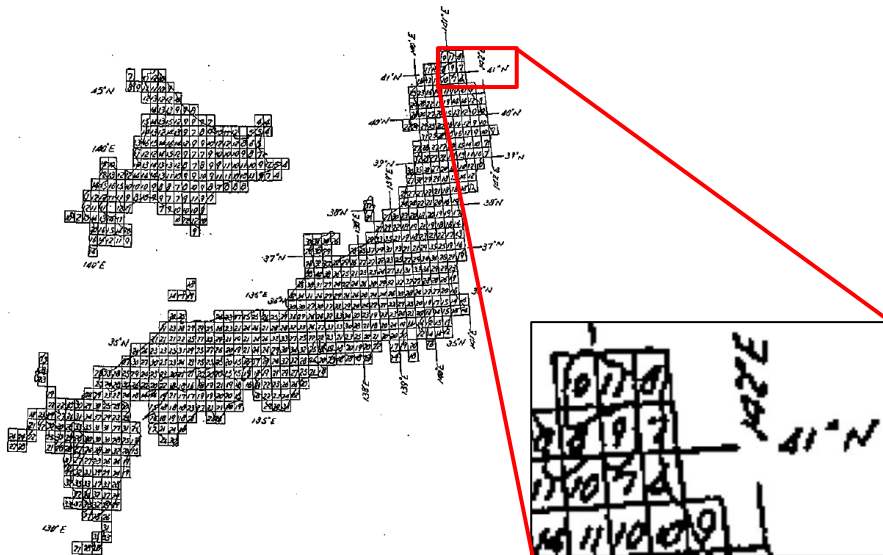
となり，再処理施設構内の観測記録を基に算出した落雷密度とほぼ同じ値となる。

したがって，①年間雷雨日数分布図及び②標的面積20 k m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，再処理施設構内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} ／年値の設定にあつては，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。

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

※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。



再処理施設周辺は 6

第 2 - 3 - 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)

主排気筒の等価受雷面積 A_e を算出する。

主排気筒 : 5.15m (L) × 5.15m (W) × 150m (H)

$$A_e = L \times W + 6 H \times (L + W) + 9 \pi \times H^2$$

$$= 5.15 \times 5.15 + 6 \times 150 \times (5.15 + 5.15) + 9 \times \pi \times 150^2$$

$$= 650000 \text{ (m}^2\text{)} = 0.65 \text{ (km}^2\text{)}$$

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 2 - 3 - 1 表より 1.0 とする。

第 2 - 3 - 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 は以下のようなになる。

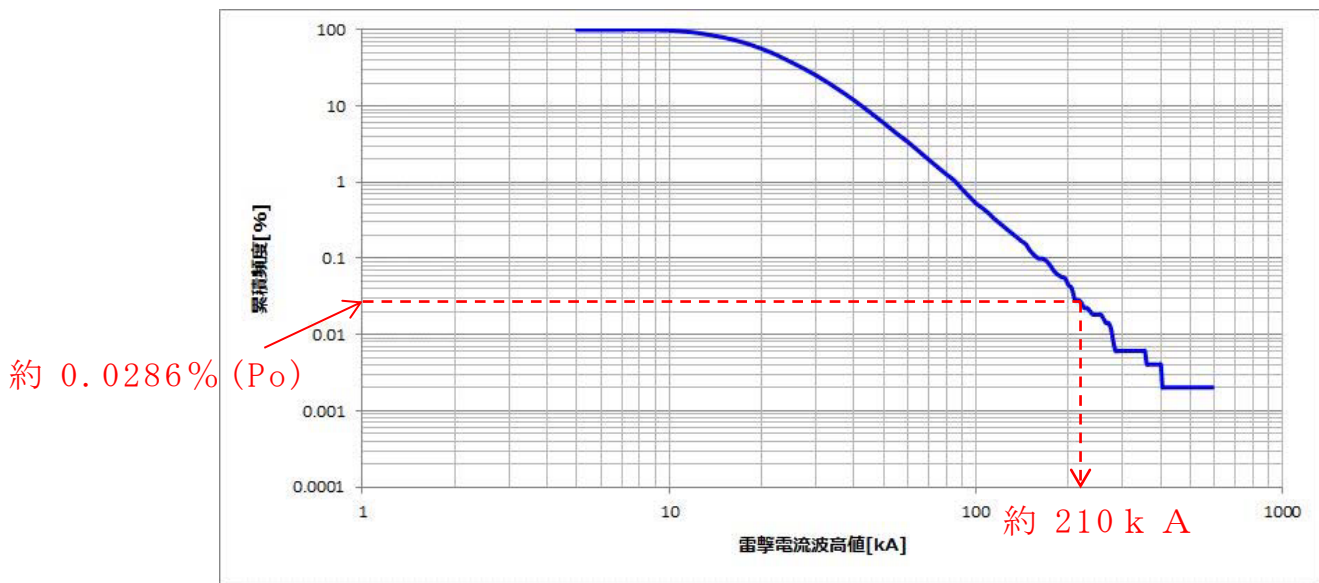
$$N_t = N_d \times y$$

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 2 - 3 - 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 210 k A とな

る。



第 2 - 3 - 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210 k Aは、過去に再処理施設の敷地で観測された落雷の最大雷撃電流211 k A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)

補足説明資料 2 - 4 (9条 落雷)

2-4 建屋内重要設備の雷リスク評価

1. 評価概要

設備の落雷に対する耐力の定量的な評価方法については、既往の文献等や最新の知見を踏まえ、可能な限り現実的かつ網羅的な評価を実施する。

2. 雷サージ評価対象設備

主排気筒に落雷し、大地に安全に雷電流が逃された場合でも、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^{※1}によって、機器が絶縁破壊に至る可能性が有る。

※1 J E A G 4608-2007 において、原子力発電所の構内接地系に雷サージ（電流）が流入すると、屋外に布設された計測制御ケーブルに雷サージに起因する雷サージ電圧が発生するが、その発生機構については大別して次の3つが考えられるとされている。

i) 雷サージが構内接地系に流入すると流入点付近の接地電位が上昇し、構内接地系の電位分布が動揺する。このため、ケーブルの一端の電位が接地電位の動揺に応じて変動し他端にこれが進行する。

ii) 雷サージが埋設接地線に流れると、埋設接地線とケーブルとの間の相互サージインピーダンスと自己インピーダンスにより決定される誘導電圧が発生し伝播する。

iii) 大地面とケーブルとの静電結合により大地面電位

変動がケーブルの両端へ伝播される。

そこで、安全上重要な施設に発生する雷サージ電圧により、安全上重要な施設が損傷するリスクを評価する。

なお、安全上重要な施設以外の施設については、落雷による損傷があったとしても安全上重要な施設に波及することは無く、安全上重要な施設の機能は維持されることから本評価対象から除外した。

3. 建屋内の安全上重要な施設の雷リスク評価

3.1 評価方針

3.1.1 想定する落雷

想定する落雷は、設計基準として設定した、主排気筒への270 k Aの雷撃電流とする。

3.1.2 評価方法

落雷時に安全上重要な施設に加わる雷サージ電圧を推定する際に、過去に再処理施設において実施した雷インパルス試験の結果⁽¹⁾を使用する。

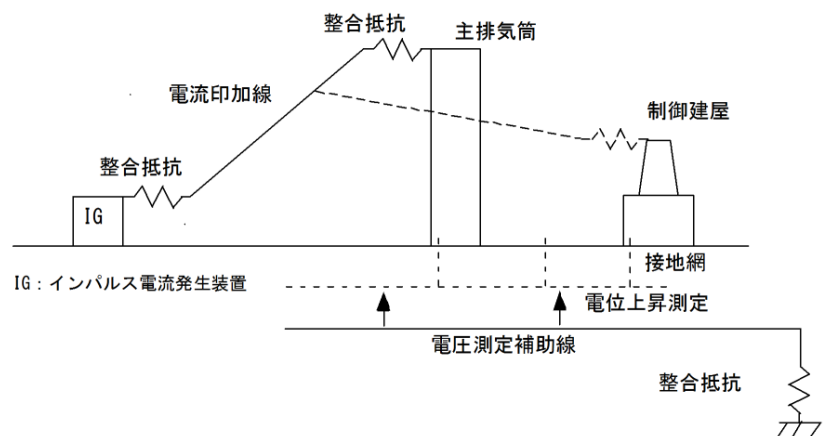
雷インパルス試験では、雷電流波形を模擬した電流（約600 A）を主排気筒に雷インパルス発生装置（以下「IG」という。）を用いて印加し、計装制御回路の過電圧の測定を行った。第2-4-1図に構内配置、IG設置位置のイメージ及び試験に用いた雷インパルスの発生回路図を示す。

第2-4-1表に雷インパルス試験及び270 k A落雷時の換

算値を示す。雷サージ電圧の換算値は雷インパルス試験の結果を保守的に比例関係※²にあるとして外挿し算出した。実際には雷撃電流値が大きくなるほど、土中放電効果（雷サージ電圧が低下する）の影響が大きくなるため、これは保守的な評価となる。この結果と、機器の雷サージ耐電圧値を比較し落雷による影響がないことを確認する。

※2 ケーブルの雷サージ電圧は、布設される近傍接地系に流入した雷サージ進行波による電磁界、電位動揺により発生し伝播する。この電磁界、電位動揺を支配するものは、接地系へ流入する雷サージの時間的变化（ di/dt ）であり、雷サージ波形の波頭峻度がその最も大きな要因となる。波頭峻度は、波高値によって決まり、波高値が高いほど高くなる。したがって、ケーブルの雷サージ電圧は、雷撃電流波頭峻度を支配している波高値に概略比例して大きくなるものと考えられる。

また、落雷による施設への影響として、雷サージ以外にもノイズの影響が考えられるが、ノイズにより設備自体が損傷することは無く、安全上重要な施設の機能は維持されることから本評価対象から除外した。



第 2 - 4 - 1 図 雷インパルス試験

第 2 - 4 - 1 表 雷インパルス測定試験結果

測定点	ケーブル種類	正規化誘導電圧値 (V/A)		270 k A 換算値 (kV)	
		発点側	着点側	発点側	着点側
制御建屋 の制御盤	電源	—	1.83	—	2.48

3.1.3 雷サージ耐電圧値

(1) 電源回路・制御回路

J E C 210 (1981) 「低圧制御回路絶縁試験法・試験電圧標準」⁽²⁾ において安全上重要な施設に要求される電源回路・制御回路の雷インパルス試験電圧の 3 k V を用いる。

(2) 安全上重要な計装回路

個別機器に対して耐電圧値を明確に定めた基準は無いが、先のトラブルを踏まえ設置した、保安器の絶縁耐力 5 k V を用いる。

3.2 評価結果

3.2.1 影響評価

(1) 電源回路・制御回路（第2-4-2表参照）

270 k A 落雷時サージ電圧として、第2-4-1表の最大値である2.48 k Vを用いる。3.1.3 より電源回路・制御回路の耐電圧は3 k Vであるため、安全上重要な施設の機能が損なわれることはない。

(2) 安全上重要な計装回路

270 k A 落雷時を考慮しても安全上重要な施設の機能が損なわれることはない。

第2-4-2表 評価結果

評価対象設備		雷サージ電圧 (k V)	雷サージ耐電圧 (k V)	評価
電源回路・ 制御回路	再処理 建屋内	2.48	3.0	影響なし
安全上重要な計装回路	再処理 建屋内	2.48	5.0	影響なし

3.3 まとめ

以上の結果から、設計基準雷撃電流値270 k Aの落雷に対して、再処理施設における安全上重要な施設の機能が損なわれないことを確認した。

4. 参考文献

- (1) 構内接地検討の接地抵抗値をモデルとした再処理施設
雷サージ解析による
- (2) 先行発電プラントにおける雷インパルス試験から評価

補足説明資料 2 - 5 (9条 落雷)

2-5 雷撃電流と落雷箇所の関係について

1. 概要

再処理施設の敷地内で最も高い構築物は、主排気筒（高さ150m）であり、大規模な雷の大部分は、主排気筒により捕捉できるものと考えられる。

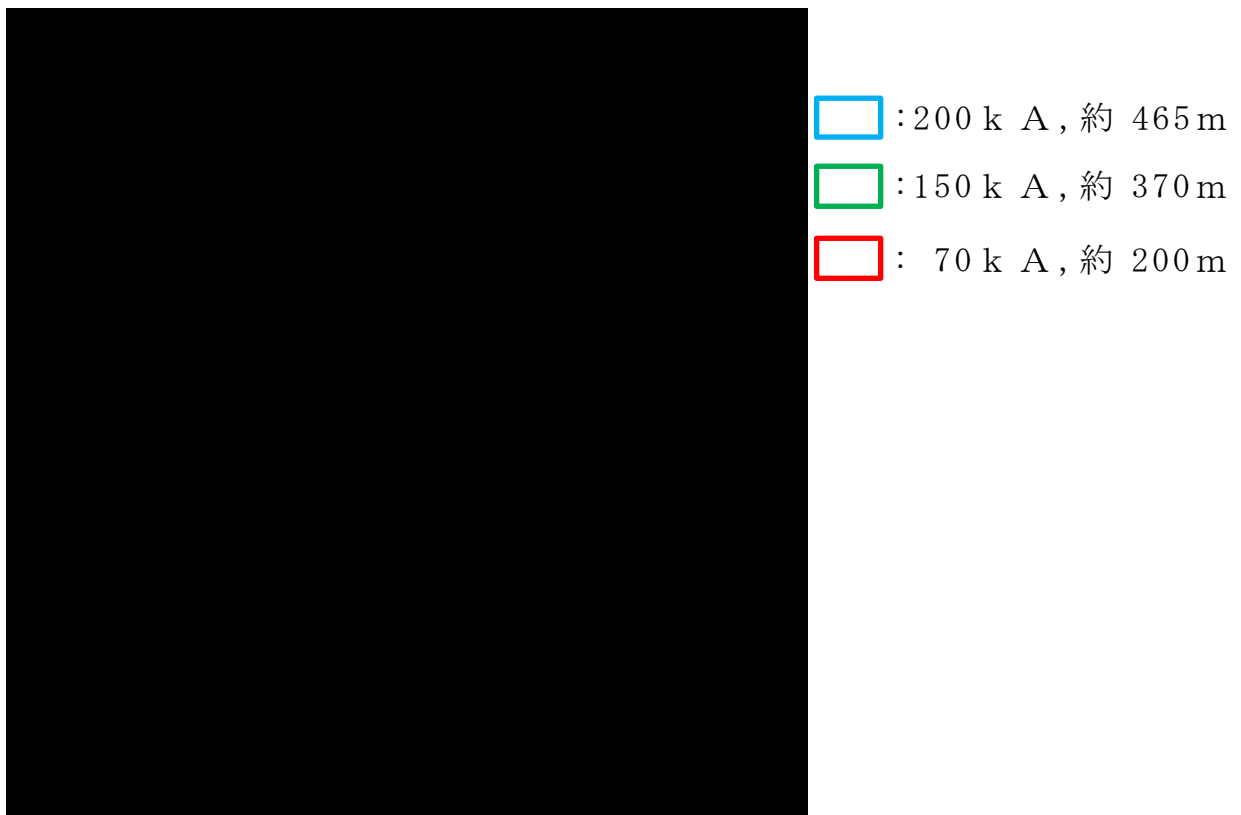
これは、雷撃電流と雷撃距離の関係から、雷撃電流が大きくなる程、雷撃距離が長くなるためであり、上空で発生した大規模な雷が高層建築物へ落雷しやすいことからわかるとおり、Armstrong & Whiteheadの式（ $r=6.72 \times I^{0.8}$ ）を例に算出すると以下のとおりとなる。（出典：「日本電設工業協会 外部雷保護システムの設計・施工実務」）

第2-5-1表 想定雷撃電流と雷撃距離の関係

想定雷撃電流	雷撃距離
200 k A	約465 m
150 k A	約370 m
100 k A	約267 m
70 k A	約200 m
50 k A	約153 m
30 k A	約102 m
20 k A	約73 m
10 k A	約42 m

2. 評価

この結果を用いて、最も高い主排気筒を中心に考えた場合、中心から約465m～370m程度離れた範囲の200kA～150kA相当の雷撃については、主排気筒への落雷が支配的となるが、70kA相当の雷撃になると、主排気筒周辺の建築物に落雷する可能性も十分考慮する必要がある。



第2-5-1図 想定雷撃範囲イメージ

■については核不拡散の観点から公開できません。

- 雷撃電流70kAの落雷による電位上昇 ε の評価結果は

$$\varepsilon = V_e \times I_i \times \mu \times \eta \quad \text{から}$$

$$\varepsilon_{70 \text{ k A}} = 1.83 \text{ V/A} \times 70 \text{ k A} \times 0.01 \times 0.5 = 0.65 \text{ (k V)}$$

V_e : 正規化誘導電圧値 (主排気筒 : 1.83V/A) ※1

μ : 接地網からケーブルへのサージ電圧移行率 (0.01) ※1

補2-5-2

η : シールド効果 (0.5) ※ 2

- ※ 1 構内接地システムの接地抵抗値をモデルとした再処理施設雷サージ解析による
- ※ 2 先行発電プラントにおける雷インパルス試験から評価

再処理施設では、安全上重要な計測制御設備に対し、270 k A の雷撃電流を想定した電位上昇（約 3 k V）に耐える設計としており、A 2，A 3 に落雷があった場合でも 270 k A に包含される。

補足説明資料 2－6（9条 落雷）

2-6 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

再処理施設の耐雷設計は、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「建築物等の避雷設備（避雷針）」（以下「J I S A 4201(1992)」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。

なお、J I S A 4201(1992)は、2003年に「建築物等の雷保護」（以下「J I S A 4201(2003)」という）として改正され、J E A G 4608(1998)は、J I S A 4201(2003)を引用する形で、2007年に「原子力発電所の耐雷指針（2007年）」（以下「J E A G 4608(2007)」という）として改正されているが、建設省告示（H12.5.31 第1425号 H17.7.4改正）により、建築物の避雷設備の構造方法は、J I S A 4201(2003)に規定する外部雷保護システムに適合する構造とすること、およびJ I S A 4201(1992)に適合する構造の避雷設備はJ I S A

4201(2003)に規定する外部雷保護システムに適合するものとみなせるとされ、旧 J I S の避雷設備は新 J I S の外部雷保護システムに適合するとされている。

ただし、国土交通省補足により、同一の建築物、工作物に対して J I S A 4201(2003)と J I S A 4201(1992)を組み合わせ使用することはできないとされていることから、既に完成している建物については、J I S A 4201(1992)に準拠するものとし、J E A G 4608についても J E A G 4608(1998)に基づいた設計として評価している。

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2-6-1表のとおり。

第2-6-1表 想定雷撃電流

公称電圧	想定雷撃電流	想定区間	
500 k V	150 k A	150 m	原子力施設
275 k V	100 k A	150 m	
220 k V	80 k A	150 m	
187 k V	80 k A	150 m	
154 k V	60 k A	150 m	再処理施設
110 k V	60 k A	150 m	
77 k V	40 k A 又は 30 k A	150 m	
66 k V	40 k A 又は 30 k A	150 m	

再処理施設が連携している電力系統は、公称電圧が154 k V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60 k Aとなる。しかし，施設の重要性から，500 k V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150 k A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，60 k A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)又は J I S A 4201(1992)に基づく避雷設備とされ，そのうち， J I S A 4201(2003)の場合，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 2 - 6 - 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%	200 k A	2.9 k A	20 m
II	95%	150 k A	5.4 k A	30 m
III	90%	100 k A	10.1 k A	45 m
IV	80%	100 k A	15.7 k A	60 m

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，等価受雷面積は安全上重要な施設への落雷を想定し，建屋単独で面積の大きい精製建屋のほか，隣接する建屋を考慮して等価受雷面積を選定する。

第 2 - 6 - 3 表 前提条件の比較

	再処理施設	J E A G 4608(2007)
落雷日数	6日	38日
保護効率	保護レベルⅣ (80%)	保護レベルⅣ (80%)
接地抵抗	3 Ω (設計値)	100 Ω - m (大地固有抵抗値)
最大許容落雷頻度	$R_a = 10^{-3}$	$R_a = 10^{-3}$

第 2 - 6 - 4 表 建屋規模の比較

建屋名称	再処理施設	J E A G 4608(2007)
精製建屋	71.9 m × 92.9 m × 29.5 m	60 m × 60 m × 75 m
使用済燃料受入れ・貯蔵 建屋，使用済燃料受入 れ・貯蔵管理建屋	121.5 m × 112.75 m × 22.9 m	
制御建屋，出入管理建屋， 分析建屋，見学者ホール	148 m × 87.7 m × 28.2 m	
前処理建屋	86.8 m × 69.2 m × 40.1 m	
分離建屋	88.6 m × 65.2 m × 31.8 m	
高レベル廃液ガラス固化 建屋	89.5 m × 62.8 m × 32.9 m	



再処理施設における各建屋の評価は、第2-6-5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2-6-5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

建屋名称	年間の雷撃による損害の発生確率 【最大許容落雷頻度：0.00100】
精製建屋	0.00049
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋，使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	0.00050
制御建屋，出入管理建屋，分析建屋，見学者ホール	0.00062
前処理建屋，分離建屋，高レベル廃液ガラス固化建屋	0.00098

