

電気技術指針

原子力編

原子力発電所の耐雷指針  
(案)

JEAG 4608-20XX

# 原子力発電所の耐雷指針

## 目 次

1. 総則	
1.1 目的	1
1.2 適用範囲	1
1.3 関連法規，規格	1
1.4 用語の定義	2
2. 雷直撃の防止	3
2.1 電力設備の避雷設備	3
2.2 建築物等の避雷設備	3
2.2.1 避雷設備の設計	3
2.2.2 一般建築物の避雷設備	4
2.2.3 危険物施設の避雷設備	4
2.3 避雷設備の受雷部	4
2.4 避雷設備の避雷導線	4
2.5 避雷設備の接地極	4
2.6 配置計画	4
3. 雷サージの抑制策	5
3.1 電力設備に侵入する雷サージの抑制	5
3.1.1 送電設備から侵入する雷サージの抑制	5
3.1.2 主発電機，所内高圧電源設備へ侵入する雷サージの抑制	5
3.1.3 所内低圧電源設備へ侵入する雷サージの抑制	5
3.2 計測制御設備へ侵入する雷サージの抑制	5
3.2.1 接地設計	5
3.2.1.1 接地抵抗目標値	5
3.2.1.2 接地方式	5
3.2.1.3 接地系の接続	6
3.2.1.4 計測制御設備の接地	6
3.2.2 配線設計	6
3.2.2.1 配線方法	6
3.2.2.2 ケーブル種類	6
3.3 火花放電の防止	7
4. 雷サージの影響阻止	7
4.1 雷インパルス絶縁耐力	7
4.2 雷サージ侵入の阻止	7
解説	8

# 原子力発電所の耐雷指針

## 1. 総則

### 1.1 目的

本指針は、発電用原子力設備において当該設備が落雷の影響を受けることによって、発電用原子力設備の機能が損なわれることがないようにし、また、現在得られる耐雷設計に関する最新の技術的知見に基づいて、設計上考慮すべき事項及び推奨される方法について規定することを目的とする。(解説 1-1)

### 1.2 適用範囲

この指針は、発電用原子力設備に適用する。

なお、既設の発電用原子力設備については、実用上可能な限り本指針に準じた対策を施すものとする。また、他の原子力関連施設についても本指針に準じることを可能とする。

### 1.3 関連法規、規格

関連法規、規格として次のものがある。(解説 1-2)

- (1) 電気設備に関する技術基準を定める省令（平成 9 年通商産業省令第 52 号，平成 29 年 3 月改正）
- (2) 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和 53 年通商産業省令第 77 号，令和 1 年 7 月改正）
- (3) 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 5 号，令和 1 年 7 月改正）
- (4) 原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令（平成 24 年経済産業省令第 70 号，平成 28 年 9 月改正）
- (5) 建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号，令和 1 年 6 月改正）
- (6) 建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号，令和 1 年 6 月改正）
- (7) 危険物の規制に関する政令（昭和 34 年政令第 306 号，平成 29 年 9 月改正）
- (8) 危険物の規制に関する規則（昭和 34 年総理府令第 55 号，令和 1 年 8 月改正）
- (9) 電気学会 電気規格調査会標準規格 JEC-0103-2005「低圧制御回路試験電圧標準」
- (10) 発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定，一部改正平成 21 年 3 月 9 日）
- (11) 日本電気協会 電気技術指針 JEAG 4611-2009「安全機能を有する計測制御装置の設計指針」
- (12) 日本産業規格 JIS A 4201 : 2003「建築物等の雷保護」
- (13) 日本産業規格 JIS Z 9290-3 : 2019「雷保護-第 3 部：建築物等への物的損傷及び人命の危険」

## 1.4 用語の定義

この指針及び解説においての用語の定義は、次のとおりとする。

### (1) 「発電用原子炉設備」

「**实用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則**」の別表第二「発電用原子炉施設の種類」に記載された施設の設備をいい、「**实用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則**」第二条第二項第十四号に規定する重大事故等対処設備を含むものとする。

### (2) 「電力設備」

原子力発電所の通常運転, 原子炉の安全停止及び想定される事故時に必要な機器を作動させるための電力を供給する開閉所設備, 変圧器, 発電機及び所内電源設備, 並びに重大事故等の対処に必要な電源設備をいう。(付図-1 参照)

### (3) 「原子炉施設の安全に直接係る機器及び回路」

「**発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針**」に定められるクラス 1 の機器及び回路, 並びにクラス 2 のうち次の安全機能を有する機器及び回路をいう。

- ・ 燃料プール水の補給機能
- ・ 異常状態の緩和機能
- ・ 事故時のプラント状態の把握機能
- ・ 制御室外からの安全停止機能
- ・ MS-1 の系統・機器の主たる情報を監視する機能

なお, 上記のうち「MS-1 の系統・機器の主たる情報を監視する機能」とは, **JEAG 4611-2009** による。

### (4) 「避雷設備」

受雷部, 避雷導線及び接地極からなる避雷用設備で, 雷撃によって生ずる火災, 破損又は人体への危険を防止することを目的とした設備をいう。

「受雷部」とは, 雷撃を受けとめるために使用する金属体をいう。

「避雷導線」とは, 雷電流を流すため, 受雷部と接地極とを接続する導線をいう。

「接地極」とは, 避雷導線と大地を電氣的に接続するために, 地中に埋設した導体をいう。

### (5) 「構内接地系」

原子力発電所構内に流入することが予想される電力系統の故障電流又は雷撃電流を大地に放流し, これら電流の流入によって起きる電位上昇とその結果として起きる設備の絶縁損傷及び人身事故の防止のため, 発電所構内に導体を埋設した施設をいう。(付図-2, 付図-3 参照)

### (6) 「建屋内接地幹線」

建屋内に設置された電力設備, 計測制御設備等を大地(構内接地系)と電氣的に接続するため, 建屋内に布設される接地線をいう。

(7) 「雷サージ」

雷撃に起因して過渡的に短時間出現する電圧又は電流をいう。

(8) 「雷インパルス絶縁耐力」

雷サージを模擬して人工的に発生した電圧を雷インパルス電圧といい、これに対して電気設備の絶縁が耐え得る能力をいう。

(9) 「避雷器」

雷、回路の開閉等に起因する過電圧の波高値がある値を超えた場合、放電により過電圧を制限して、電気設備の絶縁を保護し、かつ続流を短時間のうちに遮断して、システムの正常な状態を乱すことなく、原状に自復する機能をもつ装置のうち、公称電圧 3.3kV 以上の高圧配線用のものをいう。

(10) 「SPD (Surge Protective Device)」

雷等の過渡的な過電圧による間接的及び直接的な影響を与えるサージ電圧を制限し、サージ電流を分流することを目的とするデバイスをいう。低圧配電システム、通信及び信号回路に用いる。

(11) 「等電位ボンディング」

雷電流によって離れた導電性部分間に発生する電位差を低減させるため、その部分間を直接導体によって又はサージ保護装置（避雷器、SPD 等）によって行う接続をいう。

(12) 「微弱信号回路」

原子力発電所の核計装回路等、通常の信号よりもさらに微弱な信号回路をいう。

(13) 「雷保護レベル」

建築物等の避雷設備について、設備を保護する効率に応じ設定するグレード分けのことであり、**JIS A 4201 : 2003** に記載されている。雷保護レベルは、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの 4 段階に設定され、雷保護レベルⅠは、**JIS A 4201 : 2003** で規定する最も大きい雷撃電流から設備を保護し、最も小さい雷撃電流をもつ雷まで捕捉できる。

## 2. 雷直撃の防止

### 2.1 電力設備の避雷設備

屋外に設置する電力設備には、適切な避雷設備を設け、直撃雷を遮蔽する。

(解説 2-1)

屋内に設置する電力設備については、2.2 項に示す避雷設備により直撃雷を遮蔽する。

### 2.2 建築物等の避雷設備

#### 2.2.1 避雷設備の設計

建築物等の避雷設備は、建築物等の雷保護レベルを設定し、その雷保護レベルに応じた設計とする。(解説 2-2)

### 2.2.2 一般建築物の避雷設備

建築基準法に定められる高さ 20m を超える建築物，鉄塔等の工作物には，直撃雷を防止するため，建築基準法施行令に基づいた避雷設備を設ける。（解説 2-3）（付図-2，付図-3 参照）

### 2.2.3 危険物施設の避雷設備

危険物の規制に関する政令に定められる危険物施設には，危険物の規制に関する規則に基づいた避雷設備を設ける。（解説 2-4）

## 2.3 避雷設備の受雷部

避雷設備の受雷部は，屋外の電力設備，建築物等を雷直撃から防護するために設置する避雷針等の導電体をいい，避雷導線を通して接地極へ接続する。

受雷部については，**JIS Z 9290-3 : 2019** に基づき，建築物の構造体利用を可能とする。

## 2.4 避雷設備の避雷導線

避雷設備の避雷導線は，建築物外周にほぼ均等に配置し，短い距離にて接地極へ接続する。避雷導線については，**JIS Z 9290-3 : 2019** に基づき，建築物の構造体利用を可能とするが，免震建屋は構造体が上部と下部で電氣的に絶縁されている場合があるため，その場合は，上部の構造体を避雷導線により接地系統と接続し，避雷導線が地震時の慣性力に加えて相対変位に対しても機能が保たれる設計とする。（解説 2-5）

## 2.5 避雷設備の接地極

避雷設備の接地極は，電気設備の絶縁損傷防止，人体への危険防止及び計測制御設備へ侵入する雷サージの抑制のため接地抵抗を極力低下させるとともに，構内接地系と接続する等により，雷撃に伴う構内接地系の接地電位分布を極力平坦化するように考慮する。（解説 2-6）

接地極については，**JIS Z 9290-3 : 2019** に基づき，建築物の構造体利用を可能とする。

なお，構内全体の遮蔽を目的として設けられる避雷鉄塔は独立接地とする。この場合，避雷鉄塔のケーブル及びトレンチも構内機器と接続しない。

## 2.6 配置計画

原子炉施設の安全に直接係る機器及び回路，並びに重大事故等対処設備を建屋内に設置又は保管する場合は，鉄骨造，鉄筋コンクリート造，プレストレストコンクリート造，鉄骨鉄筋コンクリート造又は鋼板コンクリート造の建屋内に収納し，雷直撃から防護する。また，非常用海水ポンプ等のように原子炉施設の安全に直接係る機器及び回路，並びに重大事故等対処設備を屋外に設置又は保管する必要がある場合は，建

建築物等の避雷設備の保護範囲内に設置するか、若しくは、落雷の直撃を希頻度とするために地上高が低くかつ占有面積が少なくなるように設置する。(解説 2-7)

### 3. 雷サージの抑制策

雷サージによる影響を軽減するため、想定される発電用原子力設備への雷サージ侵入、伝播経路を考慮して適切な雷サージ侵入を抑制する対策を施す。(解説 3-1)

#### 3.1 電力設備に侵入する雷サージの抑制

##### 3.1.1 送電設備から侵入する雷サージの抑制

当該設備の雷インパルス絶縁耐力以下に雷サージを抑制して電力設備を保護するため、「電気設備に関する技術基準を定める省令」及び「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令」に基づき、架空電線引込口及び引出口の適切な箇所に避雷器を設置する。(解説 3-2)

##### 3.1.2 主発電機，所内高圧電源設備へ侵入する雷サージの抑制

電力系統と直接接続される変圧器の低圧側に、主発電機又は所内高圧電源設備の雷インパルス絶縁耐力に見合う避雷器を設ける。また、必要により雷サージ吸収用電力コンデンサ等を設置する。(解説 3-3)

##### 3.1.3 所内低圧電源設備へ侵入する雷サージの抑制

「電気設備に関する技術基準を定める省令」及び「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令」に基づき、高圧電源から低圧電源に降圧する動力変圧器の高圧，低圧巻線間には混触防止板を設ける。(解説 3-4)

#### 3.2 計測制御設備へ侵入する雷サージの抑制

原子炉施設の安全に直接係る計測制御設備及び重大事故等の対処に必要な計測制御設備へ侵入する雷サージを抑制するため、接地設計及び配線設計について適切な対策を施す。

##### 3.2.1 接地設計

###### 3.2.1.1 接地抵抗目標値

雷サージが構内接地系に流入したときの接地電位上昇を極力抑制するため、接地抵抗値は所定の目標値以下とする。(解説 3-5)

###### 3.2.1.2 接地方式

接地電位分布の平坦化を図るため接地方式はメッシュ接地とし、必要により補助メッシュ又は埋設接地棒を併用する。(解説 3-6)

### 3.2.1.3 接地系の接続

原子炉建屋，開閉所まわり等各々に接地系を設ける場合には，接地電位分布を平坦化するために，構内の接地系は可能な限り接続する。（解説 3-7）

### 3.2.1.4 計測制御設備の接地

原子炉施設の安全に直接係る計測制御設備及び重大事故等の対処に必要な計測制御設備の接地は，これら回路と収納筐体との電位差が大きくなるよう建屋内接地幹線に接続する。ただし，電力設備による大地への漏洩電流又は地絡電流により，建屋内接地幹線の接地電位が変動すると，電子回路等微弱信号回路の電位が変動し，回路動作不安定，回路誤動作の原因となり得るため，耐ノイズ対策の観点から必要な場合は，その接地は建屋内接地幹線と接続せず，絶縁電線により建屋内又は建屋近傍の構内接地系と接続してもよい。（付図-4 参照）

## 3.2.2 配線設計

### 3.2.2.1 配線方法

原子炉施設の安全に直接係る計測制御設備及び重大事故等の対処に必要な計測制御設備に接続させる各配線は，次に示す方法により，雷電流による誘導の影響を低減する。（解説 3-8）

- (1) 屋内に布設される微弱信号回路の配線は，建屋への直撃雷又はダクト等を介する雷サージ侵入により建屋外壁に雷電流が流れると，誘導により配線にノイズが生じるため，適切な遮蔽，建屋外壁からの隔離等の対策を施す。（付図-5 参照）
- (2) 屋外に布設される計装ケーブル及び制御ケーブルは，鉄筋コンクリート製トレンチ，金属製トレイ又は金属製電線管内に収納する。また，埋設接地線に近接して並行布設することは避ける。

### 3.2.2.2 ケーブル種類（解説 3-9）

#### (1) 計装ケーブル

原子炉施設の安全に直接係る計測制御設備及び重大事故等の対処に必要な計測制御設備に接続される計装ケーブルは，光ファイバケーブル又はシールド付ケーブルを使用する。（解説 3-10）

また，制御盤側にてシールドの片端を接地し，屋外に布設される計装ケーブルから制御盤内へ侵入する雷サージの軽減を図る。

#### (2) 制御ケーブル

原子炉施設の安全に直接係る屋外に設置される機器及び屋外の重大事故等対処設備に接続され，大きな雷サージ誘導電圧が侵入する可能性のある制御ケーブルは，シールド付ケーブルを使用する。

また、シールドの両端を接地し、屋外に布設される制御ケーブルから制御盤内に侵入する雷サージの軽減を図る。ただし、循環電流による誘導の影響が懸念される場合は、片端接地を可能とする。

なお、制御回路の器具、部品の雷インパルス絶縁耐力は比較的高いので、経路が建屋内のみの制御ケーブルはシールド付ケーブルを使用しなくてもよく、シールド付ケーブルを使用する場合にも片端を接地すればよい。

### 3.3 火花放電の防止

雷サージにより生ずる電位差に起因する火花放電を防止するため、金属製工作物、系統外導電性部分には等電位ボンディングを行う。(解説 3-11)

## 4. 雷サージの影響阻止

### 4.1 雷インパルス絶縁耐力

原子炉施設の安全に直接係る計測制御設備及び重大事故等の対処に必要な計測制御設備において、屋外に設置された機器と電源設備を共用している場合、屋外ケーブルを有する計装回路がある場合等、雷サージの侵入するおそれのある設備については、**JEC-0103-2005** に規定された試験方法により、各回路の試験電圧に合格する雷インパルス絶縁耐力をもつよう設計する。(解説 4-1)

### 4.2 雷サージ侵入の阻止

雷サージの侵入する恐れのある原子炉施設の安全に直接係る計測制御設備及び重大事故等の対処に必要な計測制御設備において、4.1 項に示す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、次に例示する対策等を施し、当該設備への雷サージの侵入を阻止する。

#### (1) SPD の適用

計測制御ケーブルと計測制御設備間に適切な SPD を設ける。

#### (2) フィルタ、サージ吸収素子の適用

フィルタ、コンデンサ等のサージ吸収素子を計測制御設備の入力端子に取り付け、計測制御設備内への雷サージ侵入を阻止する。また、必要により計測制御設備内の器具の入口に設ける。(解説 4-2)

#### (3) 絶縁変圧器等の使用

絶縁変圧器、中和コイル、補助継電器、フォトプラ等により計測制御設備内への雷サージ侵入を阻止する。

#### (4) ラインフィルタ等の使用

ラインフィルタ等を計測制御設備の電源回路入力部に取り付け、計測制御設備内への雷サージ侵入を阻止する。

## 〔解 説〕

### 1. 総 則

#### 解説 1-1 「一般」

発電所の耐雷対策の基本は、雷の直撃を防止するとともに、発電所構内へ侵入する雷サージレベルを極力抑制する対策をとること、及び侵入する雷サージに対して電力設備、計測制御設備等がその機能に支障をきたさないように、適切な影響防止対策を組合せることにある。

#### 解説 1-2 「関連法規，規格」

本指針を作成するに当たり本文 1.3 項の他，次に示す法規，規格を参考とした。

- (1) 日本産業規格 JIS A 4201-1992「建築物等の避雷設備（避雷針）」
- (2) 日本産業規格 JIS Z 9290-4：2016「雷保護-第4部：建築物等内の電気及び電子システム」
- (3) 日本電気協会 電気技術規程 JEAC 4603-2019「原子力発電所保安電源設備及び重大事故等対処設備における電源設備の設計規程」
- (4) 日本電気協会 電気技術指針 JEAG 4614-2019「原子力発電所免震構造設計技術指針」
- (5) 電力中央研究所報告・総合報告：H06「発電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド」（2011年改訂版）（平成24年9月）
- (6) 電気設備の技術基準の解釈（平成25年3月制定，令和2年2月25日改正）
- (7) 原子力発電工作物に係る電気設備の技術基準の解釈（平成25年6月19日制定，令和元年9月2日改正）
- (8) IEC 62305-2：2010「Protection against lightning-Part 2: Risk management」

### 2. 雷直撃の防止

#### 解説 2-1 「屋外の電力設備の避雷設備」

屋外の電力設備が雷の直撃を受けた場合，一般に避雷器等により電力設備の絶縁を保護することが困難なときがあるので，直撃雷から電力設備を守るため適切な避雷設備（架空地線，避雷針等）を設けるとよい。

具体的な設計は，「電力中央研究所報告（H06）第IV編 第1章 雷遮へい」を参照する。ただし，建築物等の避雷設備の保護範囲内にある電力設備及び「電力中央研究所報告（H06）第IV編 第1章 雷遮へい」において省略できるとしている場合は避雷設備の設置を省略できる。また，電源車等の可搬型の重大事故等対処設備については，解説 2-7「配置計画」の措置により避雷設備の設置を省略してもよい。

## 解説 2-2 「建築物等の避雷設備の雷保護レベル」

建築物等の避雷設備は、雷保護レベルⅠ～Ⅳの電流に対する回転球体半径に応じた設置が必要である。特に雷保護レベルⅠの小電流を捕捉するためには最小電流に対する回転球体半径に応じた設置が必要である。

原子力発電所における建築物等の避雷設備の雷保護レベルについては、原子炉施設の安全に直接係る機器及び回路，並びに重大事故等対処設備を収納する建築物は雷保護レベルⅠとし，それ以外の雷保護レベルは，IEC 62305-2：2010 の計算結果によりⅣとする。

ただし，危険物施設については，IEC 62305-2:2010 の計算結果によらず危険物の貯蔵量に応じて適切な雷保護レベルを決定する。

IEC 62305-2：2010 に規定される雷保護に関するリスクマネジメントの方法は，対象となる建築物における落雷を原因とする損害，損失によって発生し得るリスクを特定し，落雷によるリスクと損害発生頻度を評価し許容値と比較して，許容値以下となるよう必要な対策（雷保護レベル）を検討するものである。

IEC 62305-2：2010 による雷保護レベル選定の計算結果を補足説明に示す。

## 解説 2-3 「一般建築物の避雷設備」

建築基準法施行令に基づいた避雷設備とは，JIS A 4201：2003 又は JIS A 4201-1992 に基づいた避雷設備をいう。平成 17 年 国土交通省告示第 650 号（平成 17 年 7 月 4 日改正 雷撃によって生ずる電流を建築物に被害を及ぼすことなく安全に地中に流すことができる避雷設備の構造方法を定める件）では，建築物の避雷設備の構造方法は JIS 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，及び JIS A 4201-1992 に適合する構造の避雷設備は JIS 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ことが記載されている。

ただし，国土交通省によれば，同一の建築物，工作物に対し，JIS A 4201：2003 と JIS A 4201-1992 を組合せて使用することはできない。

なお，JIS A 4201：2003 の適用における避雷設備の雷保護レベルはⅠ～Ⅳのいずれかを任意に決定できるとされている。

## 解説 2-4 「危険物施設の避雷設備」

危険物の規制に関する政令によって，施設に内包する引火性液体等の危険物の指定数量の倍数が十以上の屋内貯蔵所，屋外タンク貯蔵所及び一般取扱所には避雷設備を設けることが要求されている。

なお，消防庁通知（平成 17 年 1 月 14 日消防危第 14 号）「危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令等の施行について」によれば，一定容量以上の危険物施設には，JIS A 4201：2003 の雷保護レベルⅠに基づいた避雷設備とすることとされているが，雷の影響からの保護確率を考慮した合理的な方法により決定されている場合には，雷保護レベルⅡとできることが記載されている。また，「危険物の規制に

「**関する規則の一部を改正する省令等の施行について**」によれば、屋外貯蔵タンクを受雷部として利用しても差し支えないことが記載されている。

#### **解説 2-5 「避雷導線」**

避雷設備の避雷導線は、建築物等のサージインピーダンスの低減に寄与する。積層ゴム免震要素を用いた免震建屋での避雷導線と接地系統との接続に際して配慮すべき事項については、**JEAG 4614-2019**を参照する。

#### **解説 2-6 「避雷設備の接地極」**

避雷設備の接地極は、**JIS A 4201 : 2003**において、低い接地抵抗値とするとともに、接地電位分布を一様にする観点から建築物等の構造体を使用して電気設備の接地系統（構内接地系）と統合単一の接地システムとすることが推奨されている。また、やむを得ず接地システムを分離する場合でも、等電位ボンディングによって統合した1点に接続しなければならないと規定されている。

なお、避雷設備の接地設計は、「**電気設備に関する技術基準を定める省令**」及び「**原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令**」に基づく電気設備の接地設計が参考となる。

#### **解説 2-7 「配置計画」**

電源車等の可搬型の重大事故等対処設備については、複数台数を屋外に保管することとなるため、適切な離隔距離を有する複数の場所に分散して保管することで、落雷による同時機能喪失の可能性を低減できる。

### 3. 雷サージの抑制策

#### 解説 3-1 「雷サージの侵入経路」

雷サージは、受雷部、電力設備等に雷撃放電する直撃雷と、大地又は空間内での放電により静電的に又は電磁的に誘起される誘導雷に起因するものに大別される。

原子力発電所への雷サージの影響を検討するに当たり、誘導雷による雷サージは無視することができるが、直撃雷による雷サージの影響は大きい。原子力発電所への直撃雷による雷サージの侵入経路は、表-1 のとおりとなる。

表-1 原子力発電所への直撃雷による雷サージの侵入経路

雷 撃 箇 所	侵 入 経 路
1. 送電線，架空地線， 鉄塔への直撃雷	(1) 開閉所母線を経て主変圧器，起動変圧器等の低圧側へ移行し，所内電源設備へ侵入 (2) 開閉所設置 VT，CT の 2 次，3 次側へ移行し，VT 回路，CT 回路へ侵入 (3) 連接架空地線又は中性点接地を経て，構内接地系に流入し，計測制御設備に侵入 (4) 開閉所設置避雷器が動作し，構内接地系に流入し，計測制御設備に侵入
2. 開閉所構内鉄塔，遮 蔽線への直撃雷	(1) 構内接地系に流入し，計測制御設備に侵入
3. 排気筒，建屋等受雷 部への直撃雷	(1) 受雷部接地を経て構内接地系に流入し，計測制御設備に侵入 (2) 受雷部，避雷導線等を経て建屋外壁に流れる雷電流の誘導により計測制御設備に侵入

なお、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、大別して次の 3 つの発生機構によって、屋外に布設されたケーブルに雷サージに起因する異常電圧が発生するため、前述の雷サージの侵入経路を考慮して、雷インパルス絶縁耐力の高い電力設備と雷インパルス絶縁耐力の低い計測制御設備に分けて、雷サージ抑制策を定めるとよい。

- (1) 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。
- (2) 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及び自己サージ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。
- (3) 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。

### 解説 3-2 「送電設備から侵入する雷サージの抑制」

送電設備へ落雷し、開閉所母線を経由して、所内電源設備に侵入する雷サージについては、雷サージ解析に基づいて設計する手法が確立しているため、開閉所設備、変圧器等電力設備の雷インパルス絶縁耐力に見合う避雷器を設置する等の対策が有効である。(付図-1 参照)

具体的な設計手法は、「電力中央研究所報告 (H06) 第IV編 第2章 主回路の耐雷設計、第3章 気中母線の耐雷設計及び第4章 中性点回路の耐雷設計」、避雷器の施設は、「電気設備に関する技術基準を定める省令第49条」及び「原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準を定める命令第33条」を参照する。

### 解説 3-3 「所内高圧電源設備へ侵入する雷サージの抑制」

「電力系統と直接接続される変圧器」とは、具体的には主変圧器、起動変圧器、予備変圧器をいう。(付図-1 参照)

具体的な設計手法は、「電力中央研究所報告 (H06) 第IV編 第4章 中性点回路の耐雷設計及び第6章 同期発電機の耐雷設計」を参照する。

### 解説 3-4 「所内低圧電源設備へ侵入する雷サージの抑制」

非接地式の低圧電路と高圧電路とが結合する場合、混触防止板を有する変圧器を用いることが「電気設備の技術基準の解釈」及び「原子力発電工作物に係る電気設備の技術基準の解釈」に記載されている。

動力変圧器の混触防止板を接地することにより、動力変圧器の高圧、低圧巻線間の静電結合が少なくなり、雷サージの移行を抑制できる。(付図-1 参照)

### 解説 3-5 「接地抵抗目標値」

発電所の接地抵抗目標値は、「電気設備の技術基準の解釈」及び「原子力発電工作物に係る電気設備の技術基準の解釈」で規定される接地抵抗値以下の範囲で、送電系統故障電流によって起きる構内電位上昇、その結果として起きる機器絶縁損傷の防止、並びに接触電圧及び歩幅電圧による人身事故の防止の面を考慮して設定する。

接地抵抗値を低減することは、雷サージについても同様な効果が得られるので、計測制御設備へ侵入する雷サージを抑制するため、接地線工事に当たっては、十分目標値より低くなるよう努める。

具体的な設計は、「電気設備の技術基準の解釈」、「原子力発電工作物に係る電気設備の技術基準の解釈」及び「電力中央研究所報告 (H06) 第V編 第3章 接地設計の手順」を参照する。

### 解説 3-6 「接地方式」

接地方式は、次の理由によりメッシュ接地とした。

(1) 低い接地抵抗値が得やすく、接触電圧及び歩幅電位が軽減できるばかりでなく、

接地電位分布が平坦化され、計測制御設備への影響が軽減できる。  
(2) 機器が構内の広い範囲に設置される場合にも、接地線の立上げが容易である。  
(付図-2, 付図-3 参照)

なお、メッシュ接地は、雷サージ制御の観点から地下 1~2m 程度の埋め込み深さとするとよい。また、メッシュ数については接地抵抗低減の観点では、分割数をむやみに増しても分割数に比例して接地抵抗は下がらないので特に規定しないものとした。

具体的な設計は、「電力中央研究報告 (H06) 第 V 編 第 3 章 3-4 接地網構成方法の選択と接地抵抗の計算」を参照する。

### 解説 3-7 「接地系の接続」

接地電位分布を平坦化するため、構内の接地系をすべて接続することが有効な手段であるが、構内接地計画、困難な場合があり得るので可能な限り接続とした。

具体的な設計例は、「電力中央研究報告 (H06) 第 V 編 第 8 章 接地設計例」を参照する。

### 解説 3-8 「雷電流による誘導影響の低減」

雷電流による計測制御設備への誘導影響を低減するため、ケーブルを鉄筋コンクリート製トレンチ、金属製トレイ又は金属製電線管内に収納することに加え、ケーブルのシールドを接地することが有効である。

シールドの接地方法には、片端接地及び両端接地があり、それぞれの特徴を次に示す。

#### (1) 片端接地

ケーブルのシールド又は空き芯線の片端のみを接地し、外部からの電界影響を軽減するための遮蔽方法であり、静電遮蔽に対して効果が得られる。

ただし、電磁誘導に対する遮蔽効果がなく、また、非接地側においては、サージ侵入時に電位が異常上昇する可能性がある。

両端接地とすることで信号回路等に発生するノイズが問題となる場合には、片端接地とする。

#### (2) 両端接地

ケーブルのシールド又は空き芯線の両端を接地し、外部からの電界及び磁界影響を軽減するための遮蔽方法であり、静電誘導及び電磁誘導の両方に対して遮蔽効果が得られる。

ただし、雷サージ侵入時あるいは地絡事故時において、両端を接地しているシールド又は空き芯線に雷サージ電流あるいは地絡電流の一部が分流し、これにより信号回路等に異常なノイズを発生させる可能性がある。

ケーブル種類、布設状況及びその使用回路に応じて、片端接地と両端接地を適

切に使い分けることによって雷サージの抑制効果が期待できる。

片端接地又は両端接地の具体的設計手法は、「**電力中央研究所報告（H06）第IV編 第5章 低圧制御回路の耐雷設計**」を参照する。

### 解説 3-9 「ケーブル種類」

「計装ケーブル」とは、ノイズに対して影響を受けやすい低レベルの信号回路に用いるケーブルをいう。具体的には、プロセス量を低レベルのアナログ信号又はパルス信号に変換し伝送する回路、計算機入出力回路、半導体回路等が該当する。

「制御ケーブル」とは、ノイズに対して影響を受けにくい信号回路に用いるケーブルをいう。具体的には、シーケンス制御回路、状態表示回路等接点状態を伝送する回路、VT回路、CT回路、計測制御設備に電源を供給する回路等が該当する。

### 解説 3-10 「光ファイバケーブル」

光ケーブルの中心部分に光心線を引張応力から保護するために導電性のテンションメンバ（鋼線等）が使用されている場合、テンションメンバが通路となって建屋内に雷サージ電流が侵入し、他の通信機器、電源設備等に障害をもたらす可能性がある。

したがって、屋外からの雷サージ侵入防止のために光ファイバケーブルを使用する場合には、テンションメンバが絶縁体のものを用いるか、テンションメンバを等電位ボンディングによって確実に接地する。

### 解説 3-11 「等電位ボンディング」

建築物内の雷保護を目的とする内部雷保護システムの方法の1つである。保護対象とする建築物内において火災及び爆発の危険並びに人命危険の恐れを減少させるために、等電位化は重要な方法である。

また、**JIS Z 9290-4 : 2016** で規定される雷電磁インパルスに対する保護の観点からも雷保護領域の設定、遮蔽及びボンディングを考慮する。

等電位ボンディングは、ボンディング用導体又はサージ保護装置を用いて行う。ただし、**JIS A 4201 : 2003** の解説 3.1.2 項「金属製工作物の等電位ボンディング」により、被保護建築物が鉄骨造、鉄筋コンクリート造、プレストレストコンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、又は鋼板コンクリート造である場合には、自然的等電位ボンディングが行われているとみなしてよい。

離れた建屋間をまたがる配線は、連続的にボンディング導体で接続された金属製のトレイ又は電線管内に布設され、かつ建屋の両入口部近傍にて接地されている場合（付図-6-1 参照）か、あるいは鉄筋コンクリート製トレンチ内に布設されている場合（付図-6-2 参照）は、等電位ボンディングがなされているものとできる。

#### 4. 雷サージの影響阻止

##### 解説 4-1 「雷インパルス絶縁耐力」

(1) 「雷サージの侵入するおそれのある計測制御設備」とは、次に示す計測制御設備の回路をいう。

a. 計測制御設備の電源回路

当該電源設備が屋外に設置された機器に電源を供給している場合には、屋外布設ケーブルから当該電源設備を経由して計測制御設備の電源回路へ雷サージが侵入することが考えられる。ただし、当該電源設備が屋外に電源を供給していない場合は、雷サージの侵入は考えられない。なお、雷サージ侵入を阻止する対策をした場合、又は万一雷サージにより器具、部品が損傷してもヒューズ等により電源を遮断し、原子炉施設の安全に直接的な支障を与えない場合は、本項は適用されない。

b. 屋外ケーブルを有する計装回路

計測制御設備を屋外に設置する場合、あるいは、屋内に設置する場合であってもケーブルが建屋間をまたがる等、屋外ケーブルを有する計装回路については、屋外から雷サージが侵入することが考えられる。

(2) **JEC-0103-2005** に規定される各回路の試験電圧は表-2 のとおりである。

表-2 電源回路及び計装回路の試験電圧

対象回路	対地	電気回路相互間	接点極間及びコイル端子間
			直流回路 交流回路
(1)a. 電源回路	4kV	3kV	3kV
(1)b. 計装回路	(注)		

(注) b. 項「屋外ケーブルを有する計装回路」は、**JEC-0103-2005** において回路区分番号 8 に相当し、その試験電圧は「個々の機器規格、または当事者間の協議による」と規定されている。ただし、ケーブルを鉄筋コンクリート製トレンチ又は金属製電線管に収納する場合でも侵入サージレベルが高いと考えられるときは、計測制御設備の重要性に応じて回路区分番号 5, 6 又は 7 を準用するとよい。

なお、上記の絶縁耐力試験の他に、誤動作耐力に着目して電源回路又は計装回路について耐サージ試験を実施する場合には、その試験電圧及び波形を、**JEC-0103-2005** で規定されるイミュニティ試験による方法もある。

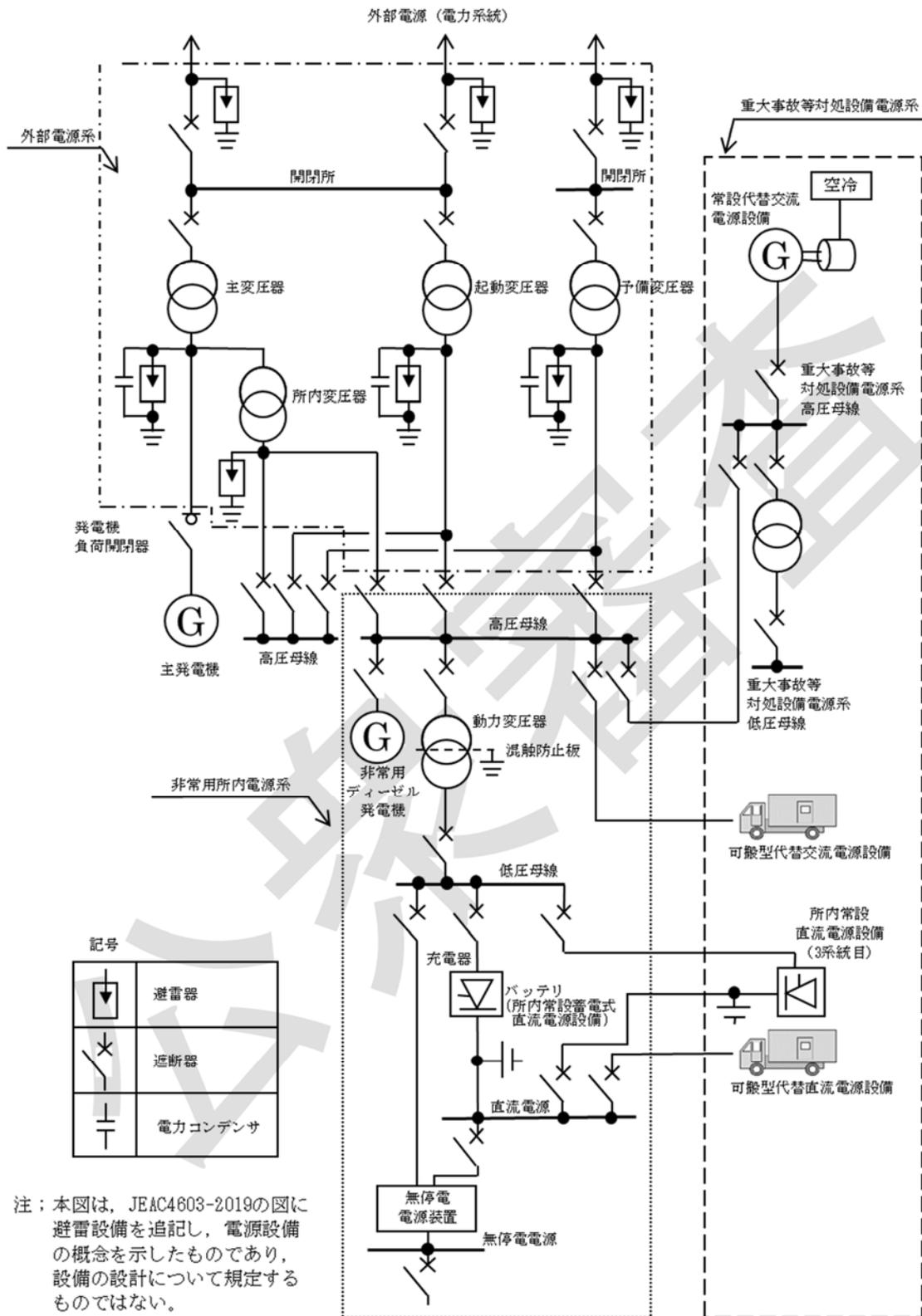
##### 解説 4-2 「計測制御装置内へのサージ侵入時の影響阻止」

本文の対策に加え、デジタル制御装置では、雷サージ侵入影響を低減し、信頼性を高める方策として、ソフトウェアによる対策を併用することも可能である。

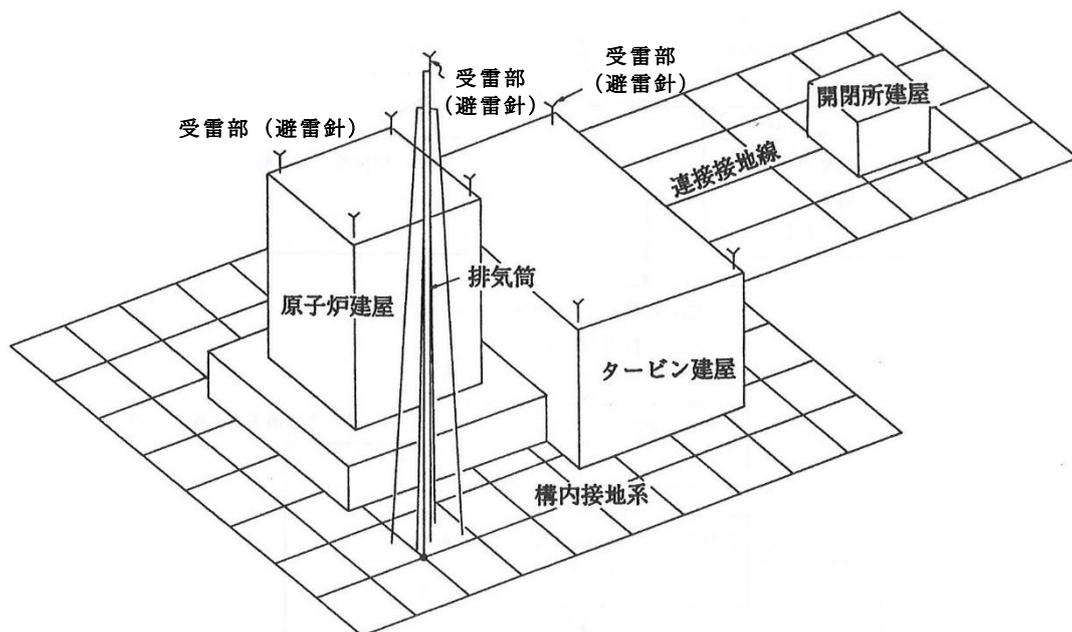
## 付 録

- 付図-1 原子力発電所電力設備概念図
- 付図-2 BWR 型原子力発電所構内接地系説明図
- 付図-3 PWR 型原子力発電所構内接地系説明図
- 付図-4 原子力発電所計測制御設備の接地例
- 付図-5 屋内の微弱信号回路での雷誘導電流ノイズ低減対策設計例
- 付図-6 離れた建屋間を布設させる配線の等電位ボンディング

補足説明 **IEC 62305-2 : 2010「Protection against lightning-Part 2 : Risk management」**による雷保護レベル選定の計算結果

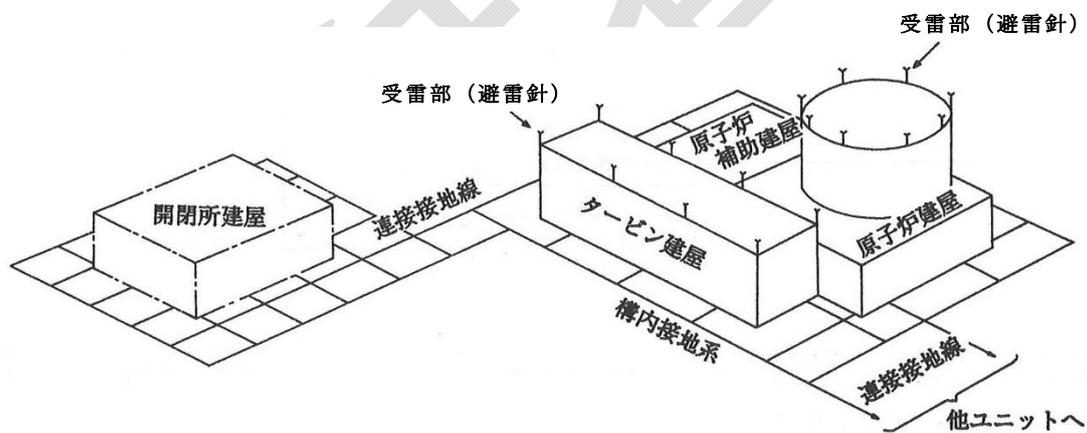


付図-1 原子力発電所電力設備概念図



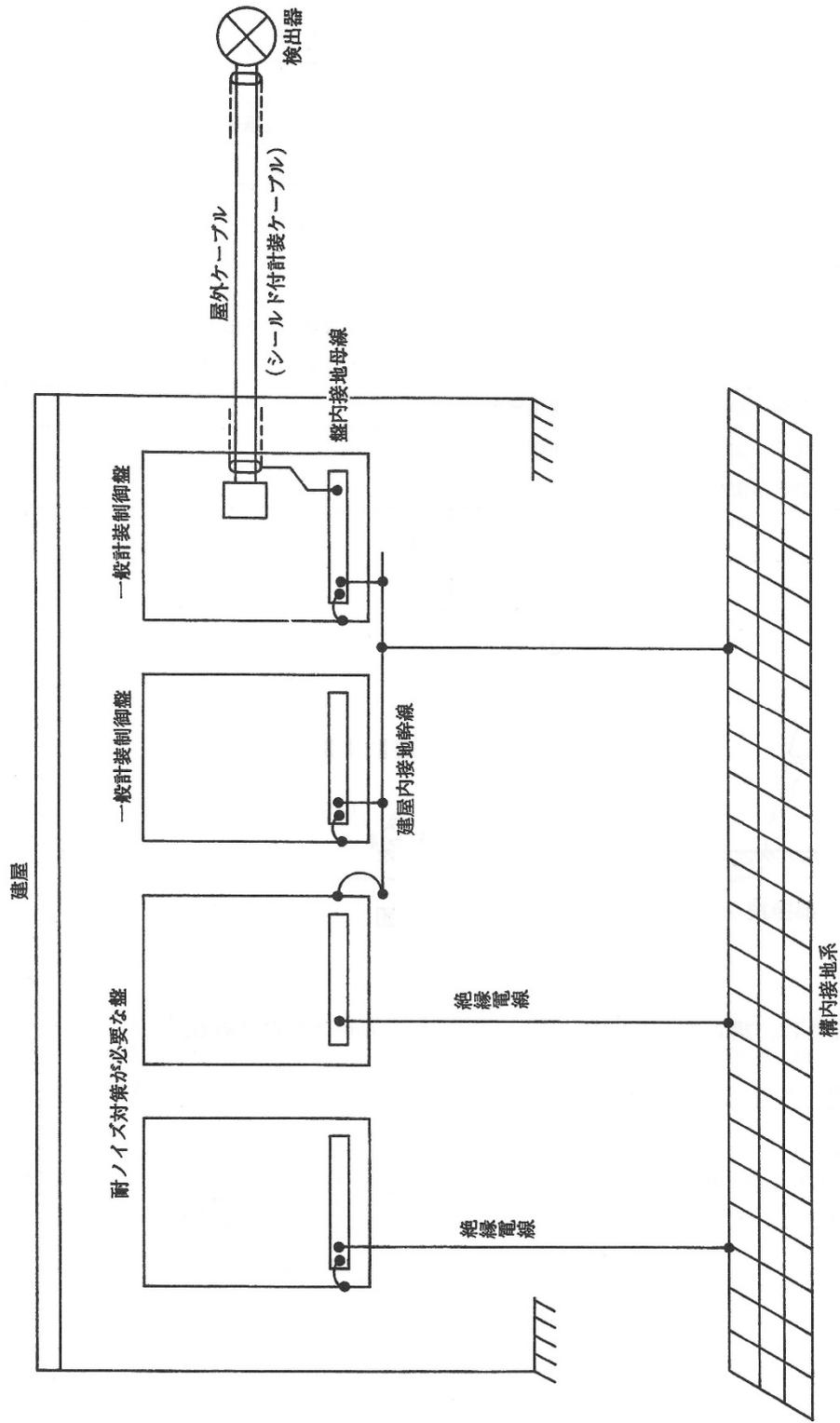
(注) 本図は、指針内容を説明するために設計例を示すものであって、  
設備の設計について規定するものではない。

付図-2 BWR型原子力発電所構内接地系説明図



(注) 本図は、指針内容を説明するために設計例を示すものであって、  
設備の設計について規定するものではない。

付図-3 PWR型原子力発電所構内接地系説明図

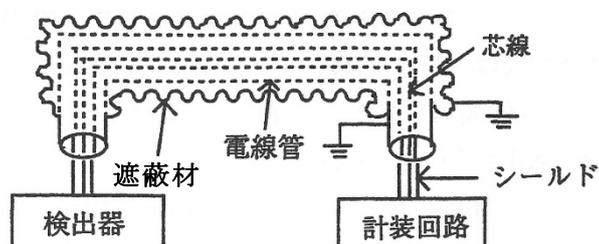


(注) 本図は、指針内容を説明するために設計例を示すものであって、設備の設計について規定するものではない。

付図-4 原子力発電所計装制御設備の接地例

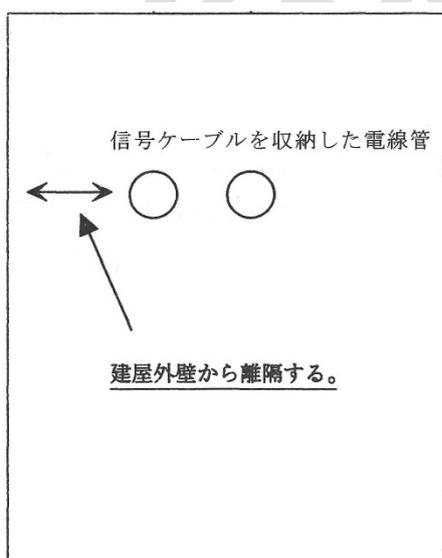
例 1：ケーブル遮蔽を行う例

ケーブルを収納する電線管を片端接地し，さらにその周囲を遮蔽材で覆い，その遮蔽材を片端接地する。

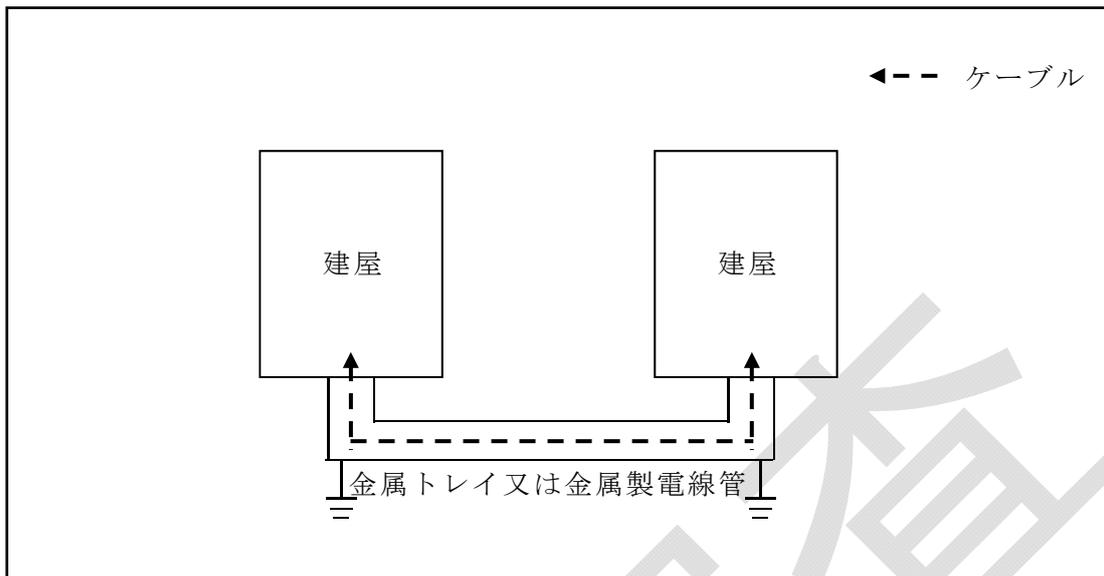


例 2：建屋外壁からケーブルを離隔する例

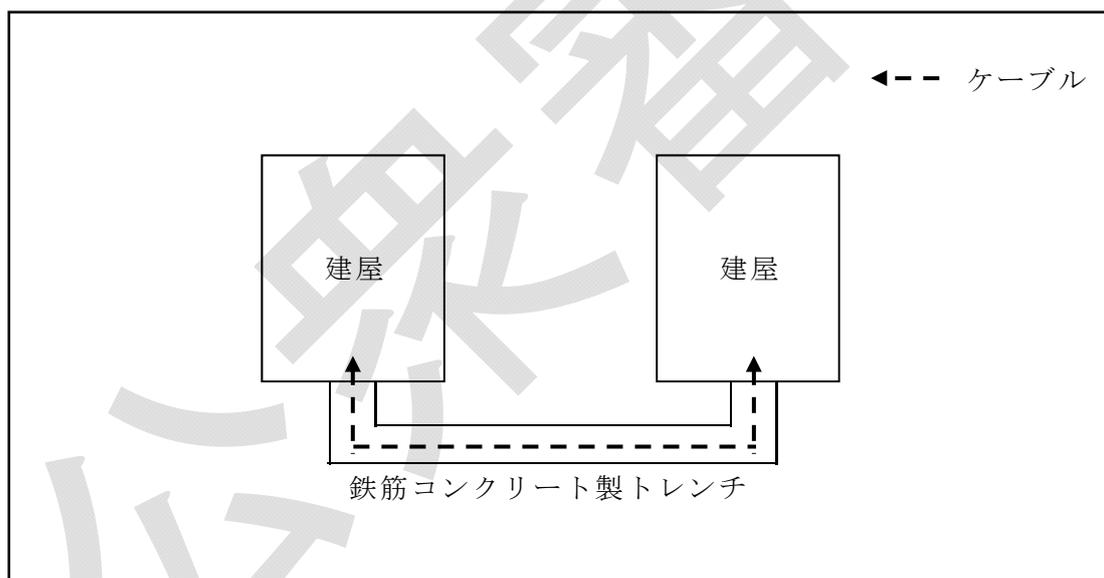
建屋外壁近傍の屋内に微弱信号回路ケーブルを配置する場合は，建屋外壁からできるだけ離隔する。



付図-5 屋内の微弱信号回路での雷誘導電流ノイズ低減対策設計例



付図-6-1 離れた建屋間を布設させる配線の等電位ボンディング (1)



付図-6-2 離れた建屋間を布設させる配線の等電位ボンディング (2)

**補足説明 IEC 62305-2:2010「Protection against lightning-Part 2:Risk management」  
による雷保護レベル選定の計算結果**

a) 雷保護レベルの評価方法

a-1) リスクの評価方法

リスク評価のフローチャートを図 a.1 に示す。

原子力発電所では、落雷による公共サービスの損失リスクについて評価する。リスクの評価式を式 (a.1) に示すが、この式で評価したリスクを許容値である  $R_T=10^{-3}$  以下とすることが必要である。

(注) 原子力発電所では、通常運転時、人は基本的に雷対策が有効になされた各建築物内に居住しており、屋外作業においては、雷注意報発令時に作業中断する等の適切な対応をとることから生命損失リスクは評価しないものとする。

$$R = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z \cdots \cdots \cdots \text{式 (a.1)}$$

$R_B$ : 建築物への直撃雷を原因とする火災・爆発による物理的損傷リスク

$R_C$ : 建築物への直撃雷を原因とする電磁インパルスによる内部システム故障リスク

$R_M$ : 建築物近傍への雷撃を原因とする電磁インパルスによる内部システム故障リスク

$R_V$ : 建築物に接続される電路への雷撃を原因とする火災・爆発による物理的損傷リスク

$R_W$ : 建築物に接続される電路への雷撃を原因とする過電圧による内部システム故障リスク

$R_Z$ : 建築物に接続される電路近傍への雷撃を原因とする過電圧による内部システム故障リスク

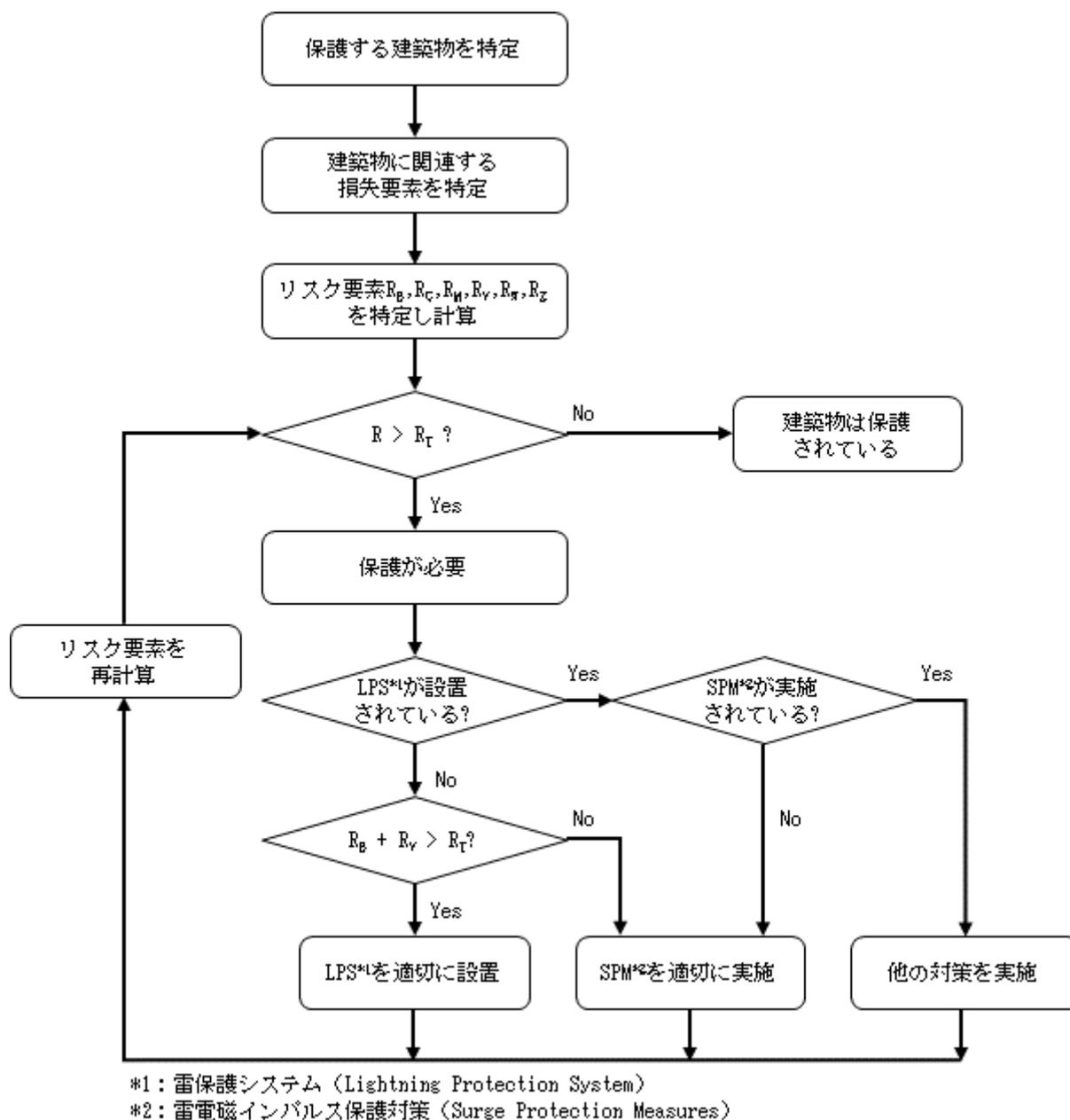


図 a.1 リスク評価のフローチャート

a-2) 評価の基本式と構成要素

リスク評価の基本式を式 (a. 2) に示す。リスクは、落雷による危険事象発生頻度 ( $N_x$ )、落雷による損傷確率 ( $P_x$ )、及び落雷によって発生した損傷による損失量 ( $L_x$ ) の積によって評価できる。

リスク評価の基本式

$$R_x = N_x \times P_x \times L_x \dots\dots\dots \text{式 (a. 2)}$$

$N_x$ : 落雷による危険事象発生頻度 [回/年]

1 年あたりに落雷によって発生する危険事象の頻度。落雷発生頻度、受雷面

積及び建築物の立地条件によって決まる係数によって評価される。

$P_x$ : 落雷による損傷確率

落雷によって機器が損傷する確率。建築物の構造，適用する SPD，雷保護レベル，電路のシールド，接地の条件，火災報知器，雷雨警報システムの設置状況等から決まる係数によって評価される。

$L_x$ : 落雷によって発生した損害による損失量

落雷によって発生した損害の損失を数値化したもの。防護する設備の重要度に応じた係数によって評価される。

b) 落雷による危険事象発生頻度

b-1) 落雷による危険事象発生頻度の共通係数

b-1-i . 落雷頻度： $N_G=3.8$  [回/( $\text{km}^2 \times \text{年}$ )]

$N_G=0.1 \cdot T_D$ にて求める。 $T_D$ (年間の雷雨日数)は，IKL マップより，国内での保守的な値として， $T_D=38$  [日]と仮定すると， $N_G=0.1 \times 38=3.8$  [回/( $\text{km}^2 \times \text{年}$ )]と求められる。なお，IKL マップ (Isokeraunic Level Map) とは，昭和 29 年から 10 年間の年間雷雨日数分布図のことである。現在も気象庁の気象官署でデータは取り続けられているが，雷の発生は年変動が大きいため長期間に亘ったデータが必要であり，これまでの IKL マップを変えるには至っていない。

b-2) 建築物への直撃雷による危険事象発生頻度： $N_D$  [回/年]

建築物への直撃雷による危険事象発生頻度は，式 (b.1) で評価される。b-1-i. 及び本項に示す係数より， $N_D$ は下記となる。

$$\begin{aligned} N_D &= N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \cdots \cdots \cdots \text{式 (b.1)} \\ &= 3.8 \times \{60 \times 60 + 6 \times 75 \times (60+60) + 9\pi \times 75^2\} \times 0.5 \times 10^{-6} \\ &= 0.42 \text{ [回/年]} \end{aligned}$$

b-2-i . 建築物の等価受雷面積： $A_D=60 \times 60 + 6 \times 75 \times (60+60) + 9\pi \times 75^2$  [ $\text{m}^2$ ]

建築物の上端に触れてそこから 1:3 の勾配をもって引かれた直線平面と地表面との交線とその周りを回転して得られる境界線で囲まれた面積 (図 b.1)。

建築物の大きさとしては，PWR の原子炉建屋は BWR の原子炉建屋よりも高さが高いため，国内 PWR の原子炉建屋： $60\text{m}$  ( $L$ )  $\times$   $60\text{m}$  ( $W$ )  $\times$   $75\text{m}$  ( $H$ ) と同等の大きさの建築物を想定する。

以上から， $A_D=60 \times 60 + 6 \times 75 \times (60+60) + 9\pi \times 75^2$  [ $\text{m}^2$ ]と求められる。

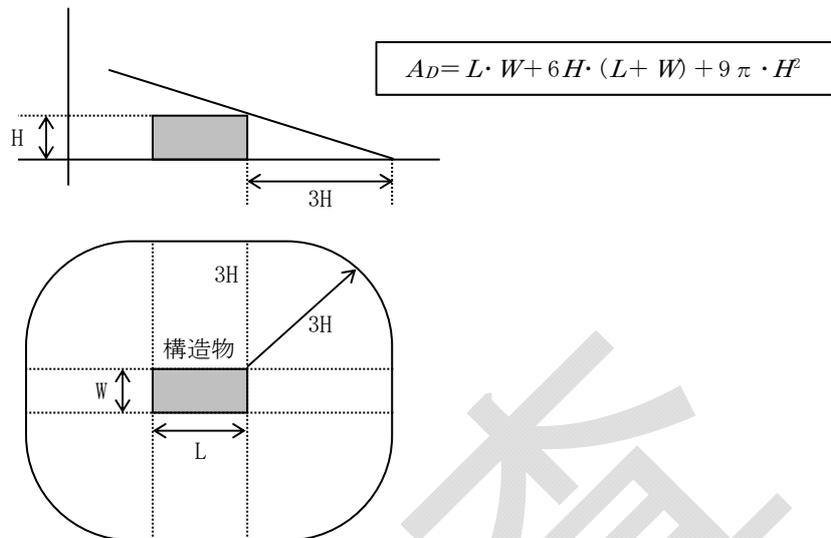


図 b.1 要素  $A_D$  (建築物の等価受雷面積)

b-2-ii. 建築物の立地に関する環境係数： $C_D=0.5$

原子炉建屋，タービン建屋等の周辺の建屋を想定し，下表から 0.5 とする。

表 b.1  $C_D$  の値について

関連する立地	$C_D$
より高い物体に囲まれた建築物	0.25
同じ高さ，より低い物体に囲まれた建築物	0.5
独立した建築物：近隣に他の建築物がない	1
丘の頂上，屋根にある独立建築物	2

b-3) 建築物近傍への雷撃による危険事象発生頻度： $N_M$  [回/年]

建築物近傍への雷撃による危険事象発生頻度は，式 (b.2) で評価される。b-1-i. 及び本項に示す係数より， $N_M$ は下記となる。

$$\begin{aligned}
 N_M &= N_G \times A_M \times 10^{-6} \dots \dots \dots \text{式 (b.2)} \\
 &= 3.8 \times \{500 \times 2 \times (60 + 60) + \pi \times 500^2\} \times 10^{-6} \\
 &= 3.5 \text{ [回/年]}
 \end{aligned}$$

b-3- i . 建築物近傍の等価受雷面積： $A_M=500 \times 2 \times (60 + 60) + \pi \times 500^2$  [ $\text{m}^2$ ]

建築物から 500[m]離れた直線平面とその周りを回転して得られる境界線で囲まれた面積 (図 b.2)。60m ( $L$ )  $\times$  60m ( $W$ ) の建築物を想定して，

$$\begin{aligned}
 A_M &= 500 \times 2 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \\
 &= 500 \times 2 \times (60 + 60) + \pi \times 500^2 \text{ [m}^2\text{]} \text{と求められる。}
 \end{aligned}$$

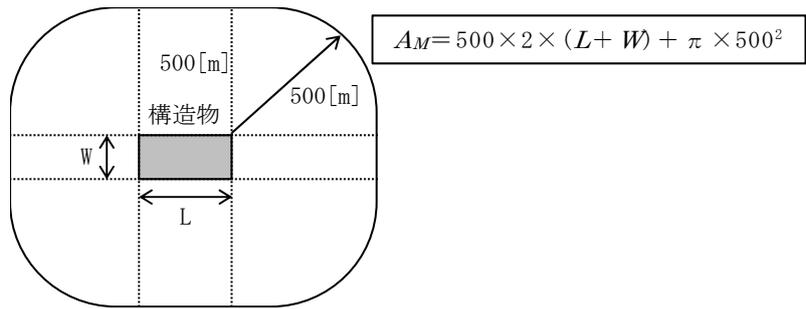


図 b.2 要素  $A_M$  (建築物近傍の等価受雷面積)

b-4) 建築物に接続される電路への雷撃による危険事象発生頻度:  $N_L$  [回/年]

建築物に接続されている電路への雷撃による危険事象発生頻度は、式 (b.3) で評価される。b-1-i. 及び本項に示す係数より、 $N_L$  は下記となる。

$$\begin{aligned}
 N_L &= N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \dots\dots\dots \text{式 (b.3)} \\
 &= 3.8 \times 40 \times 1,000 \times 0.01 \times 0.01 \times 1 \times 10^{-6} \\
 &= 1.52 \times 10^{-5} \text{ [回/年]}
 \end{aligned}$$

b-4-i. 電路の等価受雷面積:  $A_L = 40 \times 1,000 \text{ [m}^2\text{]}$

屋外の電路周辺 40 [m] の範囲を電路の等価受雷面積 [m<sup>2</sup>] とする (図 b.3)。低圧回路の最大値を  $L_L = 1 \text{ [km]}$  と想定して、 $A_L = 40 \times 1,000 \text{ [m}^2\text{]}$  と求められる。

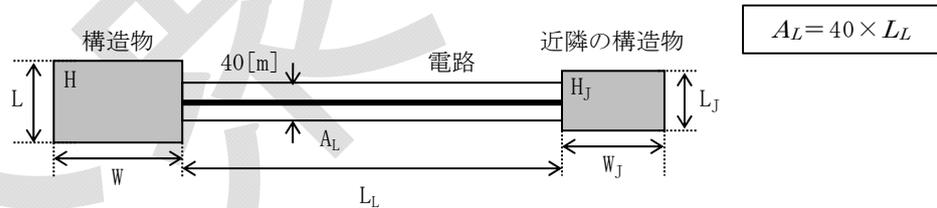


図 b.3 要素  $A_L$  (電路の等価受雷面積)

b-4-ii. 電路の布設形態 (施工方法) に関連する環境係数:  $C_I = 0.01$

電路はメッシュ接地内に埋設するものとし、表 b.2 から 0.01 とする。

表 b.2  $C_I$  の値について

布設形態	$C_I$
架空線	1
埋設	0.5
全長がメッシュ接地内に埋設されているケーブル	0.01

b-4-iii. 電路の環境に関連する環境係数： $C_E=0.01$

都心ではないが、周辺に高さ 20 [m]以上の建築物（原子炉建屋，タービン建屋等）があるため、表 b.3 から 0.01 とする。

表 b.3  $C_E$ の値について

環境要因	$C_E$
	電路への雷撃
地方	1
郊外	0.5
都心	0.1
高さ 20m 以上の建築物のある都心	0.01

b-4-iv. 電路の種類に関連する環境係数： $C_T=1$

低圧電路として表 b.4 から 1 とする。

表 b.4  $C_T$ の値について

設置	$C_T$
低電圧線，通信回線又はデータ回線	1
高電圧線（高/低圧変圧器あり）	0.2

b-5) 建築物への電路に接続される近隣建築物への雷撃による危険事象発生頻度：

$N_{DJ}$  [回/年]

建築物への電路に接続される近隣建築物への雷撃による危険事象発生頻度は式 (b.4) で評価されるが、通常近隣建築物からの影響は無視できるほど小さいことから、 $N_{DJ}=0$  [回/年]とする。

$$N_{DJ} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6} \dots \dots \dots \text{式 (b.4)}$$

$$= 0 \text{ [回/年]}$$

b-6) 建築物に接続される電路近傍への雷撃による危険事象発生頻度： $N_I$  [回/年]

建築物に接続されている電路近傍への雷撃による危険事象発生頻度は、式 (b.5) で評価される。b-1-i. 及び本項に示す係数より、 $N_I$ は下記となる。

$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \dots \dots \dots \text{式 (b.5)}$$

$$= 3.8 \times 4,000 \times 1,000 \times 0.01 \times 0.01 \times 1 \times 10^{-6}$$

$$= 1.52 \times 10^{-3} \text{ [回/年]}$$

b-6- i . 電路近傍の等価受雷面積： $A_I=4,000 \times 1,000$  [m<sup>2</sup>]

屋外の電路周辺 4,000 [m]の範囲を電路近傍の等価受雷面積 [m<sup>2</sup>]とする(図 b.4)。低圧回路の最大値を  $L_L=1$  [km]と想定して、 $A_I=4,000 \times 1,000$  [m<sup>2</sup>]と求められる。

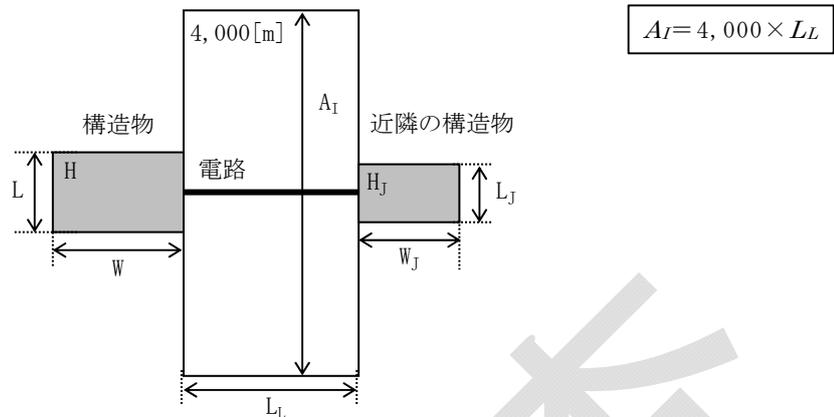


図 b.4 要素  $A_I$  (電路近傍の等価受雷面積)

b-6-ii. 電路の布設形態 (施工方法) に関連する環境係数:  $C_I=0.01$

b-4-ii. による。

b-6-iii. 電路周辺の環境に関連する環境係数:  $C_E=0.01$

b-4-iii. による。

b-6-iv. 電路の種類に関連する環境係数:  $C_T=1$

b-4-iv. による。

c) 落雷による損傷確率

c-1) 建築物への直撃雷を原因とする火災・爆発による物理的損傷確率:  $P_B$

建築物への直撃雷によって発生する火災・爆発による物理的損傷の確率は、雷保護レベルIVにて評価するものとして、表 c.1 から 0.2 とする。

表 c.1  $P_B$  の値について

建築物の特徴	LPS のクラス	$P_B$
LPS で保護されていない建築物	—	1
LPS で保護されている建築物	IV	0.2
	III	0.1
	II	0.05
	I	0.02
LPS I に適合した受雷部システムを有し、かつ引下げ導線システムの機能を果たす連続した金属体又は鉄筋コンクリート構造を有する建築物		0.01
直雷撃に対して屋根絶縁材により保護を完備した金属の屋根又は受雷部システムを有し、かつ引下げ導線システムの機能を果たす連続した金属体又は鉄筋コンクリート構造を有する建築物		0.001

c-2) 建築物への直撃雷を原因とする電磁インパルスによる内部システム故障確率：

$P_C$

建築物への直撃雷を原因とする電磁インパルスによって内部システムが故障する確率は、式 (c.1) で評価される。本項に示す係数より  $P_C$  は下記となる。

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \dots\dots\dots \text{式 (c.1)}$$

$$= 0.05 \times 1$$

$$= 5.0 \times 10^{-2}$$

c-2-i . SPD による対策を施したシステム上での機器故障確率： $P_{SPD}=0.05$

SPD を設置した内部雷システムにおいて、機器が損傷する確率。ここでは、雷保護レベルIVに基づいて設計するものとして、表 c.2 から 0.05 とする。

**表 c.2**  $P_{SPD}$  の値について

雷保護レベル (LPL : Lightning Protection Level)	$P_{SPD}$
SPD による対策を施したシステムなし	1
III-IV	0.05
II	0.02
I	0.01

c-2-ii . 回路のシールド，接地，絶縁条件によって決まる係数： $C_{LD}=1$

低圧の動力回路については、必ずしも耐雷対策していないと想定し、シールドなし、又は建築物側が非接地であるものとして、表 c.3 から 1 とする。

**表 c.3**  $C_{LD}$  の値について

外部回路のタイプ	入線の接続交流	$C_{LD}$
シールドしていない架空線	定義されていない	1
シールドしていない埋設線	定義されていない	1
多重接地された電力線の中性線	—	1
シールドされた埋設線 (電力又は電気通信線)	設備と同じボンディングバーに結合していないシールド	1
シールドされた架空線 (電力又は電気通信線)	設備と同じボンディングバーに結合していないシールド	1
シールドされた埋設線 (電力又は電気通信線)	設備と同じボンディングバーに結合したシールド	1
シールドされた架空線 (電力又は電気通信線)	設備と同じボンディングバーに結合したシールド	1
雷保護ケーブルダクトにある雷保護ケーブル，配線，電線管，金属チューブ	設備と同じボンディングバーに結合したシールド	0
(外部への接続線なし)	外部回路の接続なし(独立システム)	0
すべてのタイプ	IEC 62305-4 に準じたインターフェイスの分離	0

c-3) 建築物近傍への雷撃を原因とする電磁インパルスによる内部システム故障： $P_M$   
 建築物近傍への雷撃を原因とする電磁インパルスによって内部システムが故障する確率は、式 (c.2) で評価される。本項に示す係数より、 $P_M$ は下記となる。

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS} \dots \dots \dots \text{式 (c.2)}$$

$$= 0.05 \times 0.25$$

$$= 1.25 \times 10^{-2}$$

c-3-i. SPDによる対策を施したシステム上での機器故障確率： $P_{SPD} = 0.05$   
 c-2-i. による。

c-3-ii. 回路のシールド、配線、機器の耐電圧に応じて  $P_M$ を低減する確率：  
 $P_{MS} = 0.25$

$P_{MS}$ は式 (c.3) で評価されるが、ア)～エ)より下記となる。

$$P_{MS} = (K_{s1} \times K_{s2} \times K_{s3} \times K_{s4})^2 \dots \dots \dots \text{式 (c.3)}$$

$$= (1 \times 1 \times 1 \times 0.5)^2$$

$$= 0.25$$

ア)  $K_{s1} = 0.12 \times W_{m1} = 0.12 \times 40 = 4.8$

イ)  $K_{s2} = 0.12 \times W_{m2} = 0.12 \times 25 = 3.0$

$W_{m1}/W_{m2}$ : メッシュの間隔と引下げ導線の間隔 [m]。メッシュ間隔は 40 [m]とし、引下げ導線の間隔は、雷保護レベルIVを適用するものとして **JIS A4201:2003** の平均間隔 25 [m]で評価。ただし、いずれも最大値は 1 であることから、 $K_{s1} = K_{s2} = 1$ となる。

ウ)  $K_{s3} = 1$

内部配線のタイプで決まる係数。シールドなしで、かつループ形状を避ける為の経路の対策なし（大きな建築物内で異なる経路を持つループ状（約 50 [m<sup>2</sup>]のループ面積）のケーブル）として、表 c.4 から  $K_{s3} = 1$ とする。

**表 c.4**  $K_{s3}$  の値について

内部配線のタイプ	$K_{s3}$
シールドなしのケーブル：ループ形状を避ける為の経路の対策無し	1
シールドなしのケーブル：大きいループ形状を避ける為の経路の対策あり	0.2
シールドなしのケーブル：ループ形状を避ける為の経路の対策あり	0.01
シールドされたケーブルと電線管内に敷設されたケーブル	0.0001

エ)  $K_{s4} = 1/U_w = 0.5$

$U_w$ : システムの雷インパルス耐電圧 [kV]であるため、**JEC-0103-2005** 交流 100V、直流 100V 回路の商用周波耐電圧（≒電気回路相互間雷インパルス

ス耐電圧) より 2 [kV]とすると,  $K_{s4}=1/2=0.5$  となる。

c-4) 建築物に接続される電路への雷撃を原因とする火災・爆発による物理的損傷確率:  $P_V$

建築物に接続される電路への雷撃を原因とする火災・爆発による物理的損傷確率は, 式 (c. 4) で評価される。本項に示す係数より,  $P_V$ は下記となる。

$$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD} \dots \dots \dots \text{式 (c. 4)}$$

$$= 0.05 \times 0.4 \times 1$$

$$= 2.0 \times 10^{-2}$$

c-4-i . 絶縁された導体間で火花が発生する確率:  $P_{EB}=0.05$

絶縁された導体間で火花が発生する確率であり, 雷保護レベルの機能として設計されたサージ保護装置によって決定される。ここでは, 雷保護レベルIVとして, 表 c.5 から 0.05 とする。

**表 c.5  $P_{EB}$ の値について**

雷保護レベル	$P_{EB}$
SPD による対策を施したシステムなし	1
III - IV	0.05
II	0.02
I	0.01

c-4-ii . 電路特性及び機器の耐電圧に応じて決まる内部システムの故障確率:  $P_{LD}$   
 $= 0.4$

電路の特性 (電路の接続, シールド及びボンディング) によって決まるシールドの遮蔽抵抗  $R_s$  と, 機器の耐電圧に応じた内部システムの故障確率。

屋外電路はシールド付ケーブルを適用して接地し, 遮蔽抵抗は  $R_s \leq 1$  [ $\Omega/\text{km}$ ] と想定する。また, 機器のインパルス耐電圧は 2 [kV]の値がないことから 1.5 [kV]とすると, 表 c.6 から  $P_{LD}=0.4$  と求められる。

表 c.6  $P_{LD}$ の値について

電路のタイプ	電路の接続, シールド, ボンディング条件	インパルス耐電圧 [kV]				
		1	1.5	2.5	4	6
電力線 又は 通信回線	下記(1)又は(2)の架空線及び埋設電路 (1)シールド無し (2)シールド付であるがシールドが機器と同じボンディングバーに接続されていない場合	1	1	1	1	1
	シールドが機器と同じボンディングバーに接続されているシールド付の架空線及び埋設電路 $5\Omega/\text{km} < R_S \leq 20\Omega/\text{km}$	1	1	0.95	0.9	0.8
	$1\Omega/\text{km} < R_S \leq 5\Omega/\text{km}$	0.9	0.8	0.6	0.3	0.1
	$R_S \leq 1\Omega/\text{km}$	0.6	0.4	0.2	0.04	0.02

c-4-iii. 電路のシールド, 接地, 絶縁条件によって決まる係数:  $C_{LD}=1$   
c-2-ii. による。

c-5) 建築物に接続されている電路への雷撃を原因とする過電圧による内部システム故障確率:  $P_W$

建築物に接続される電路への雷撃を原因とする過電圧による内部システム故障確率は, 式 (c.5) で評価される。本項に示す係数より,  $P_W$ は次に示す値となる。

$$\begin{aligned}
 P_W &= P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD} \dots\dots\dots \text{式 (c.5)} \\
 &= 0.05 \times 0.4 \times 1 \\
 &= 2.0 \times 10^{-2}
 \end{aligned}$$

c-5-i. SPDによる対策を施したシステム上での機器故障確率:  $P_{SPD}=0.05$   
c-2-i. による。

c-5-ii. 電路特性及び機器の耐電圧に応じて決まる内部システムの故障確率:  $P_{LD}$   
 $=0.4$   
c-4-ii. による。

c-5-iii. 電路のシールド, 接地, 絶縁条件によって決まる係数:  $C_{LD}=1$   
c-2-ii. による。

c-6) 建築物に接続される電路近傍への雷撃を原因とする過電圧による内部システム故障確率:  $P_Z$

建築物に接続される電路近傍への雷撃を原因とする過電圧による内部システム故障確率は, 式 (c.6) で評価される。本項に示す係数より,  $P_Z$ は下記となる。

$$P_Z = P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI} \dots \dots \dots \text{式 (c.6)}$$

$$= 0.05 \times 0.6 \times 1$$

$$= 3.0 \times 10^{-2}$$

c-6-i. SPDによる対策を施したシステム上での機器故障確率： $P_{SPD}=0.05$

c-2-i. による。

c-6-ii. 接続された電路近傍への雷撃による内部システムの故障確率： $P_{LI}=0.6$

接続された電路近傍への雷撃によって内部システムが故障する確率であり，電路の種類及び機器のインパルス耐電圧に依存する。電力線で，かつ機器のインパルス耐電圧を1.5 [kV] (2 [kV]の値がないため) とすると，表 c.7 から  $P_{LI}=0.6$  と求められる。

**表 c.7**  $P_{LI}$ の値について

電路の種類	インパルス耐電圧 [kV]				
	1	1.5	2.5	4	6
電力線	1	0.6	0.3	0.16	0.1
電気通信回線	1	0.5	0.2	0.08	0.04

c-6-iii. 電路のシールド，接地，絶縁条件によって決まる係数： $C_{LI}=1$

低圧の動力回路については，必ずしも耐雷対策していないと想定し，シールドなし，又は建築物側が非接地であるものとして，表 c.8 から1とする。

**表 c.8**  $C_{LI}$ の値について

外部電路のタイプ	入線の接続交流	$C_{LI}$
シールドしていない架空線	定義されていない	1
シールドしていない埋設線	定義されていない	1
多重接地された電力線の中性線	—	0.2
シールドされた埋設線 (電力又は電気通信線)	設備と同じボンディングバーに結合していないシールド	0.3
シールドされた架空線 (電力又は電気通信線)	設備と同じボンディングバーに結合していないシールド	0.1
シールドされた埋設線 (電力又は電気通信線)	設備と同じボンディングバーに結合したシールド	0
シールドされた架空線 (電力又は電気通信線)	設備と同じボンディングバーに結合したシールド	0
雷保護ケーブルダクトにある雷保護ケーブル，配線，電線管，金属チューブ	設備と同じボンディングバーに結合したシールド	0
(外部への接続線なし)	外部電路の接続なし (独立システム)	0
すべてのタイプ	IEC62305-4に準じたインターフェイスの分離	0

d) 落雷によって発生した損害による損失量

落雷によって発生した損害による損失量は、式 (d.1) 及び式 (d.2) で評価される。本項に示す係数より各損失量は下記となる。

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times n_z / n_t \cdots \cdots \text{式 (d.1)}$$

$$= 0.2 \times 10^{-3} \times 10^{-1} \times 1$$

$$= 2.0 \times 10^{-5}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times n_z / n_t \cdots \cdots \text{式 (d.2)}$$

$$= 10^{-2} \times 1$$

$$= 1.0 \times 10^{-2}$$

$L_B$ : 建築物への直撃雷を原因とする火災・爆発によって発生した物理的損傷による損失量

$L_C$ : 建築物への直撃雷を原因とする電磁インパルスによって発生した内部システム故障による損失量

$L_M$ : 建築物近傍への雷撃を原因とする電磁インパルスによって発生した内部システム故障による損失量

$L_V$ : 建築物に接続される電路への雷撃を原因とする火災・爆発によって発生した物理的損傷による損失量

$L_W$ : 建築物に接続されている電路への雷撃を原因とする過電圧によって発生した内部システム故障による損失量

$L_Z$ : 建築物に接続される電路近傍への雷撃を原因とする過電圧によって発生した内部システム故障による損失量

d-1) 火災対策による低減係数:  $r_p = 0.2$

火災被害の拡大防止対策によって決まる低減係数。原子力発電所では、火災防護対策として自動消火装置を設置するものと想定し表 d.1 から 0.2 とする。

**表 d.1**  $r_p$  の値について

設備	$r_p$
設備なし	1
次の設備のうちのいずれか 1 つ: 固定された手動操作の消火設備, 手動警報設備, 消火栓, 耐火区画, 避難経路	0.5
次の設備のうちのいずれか 1 つ: 固定された自動操作の消火設備, 自動の警報設備 (a)	0.2
(a) 過電圧及び他の危険に対して保護対策がされており, かつ消防隊員が 10 分以内に到着できる場合に限る。	

d-2) 火災の危険性に応じた低減係数： $r_f=10^{-3}$

火災の危険性によって決まる低減係数。危険物を有さない建築物は、火災リスク低（火災荷重 400 [MJ/m<sup>2</sup>]以下か、可燃材料がわずかしかない建築物）とし、表 d.2 から  $10^{-3}$  とする。

**表 d.2**  $r_f$ の値について

リスク	リスクの量	$r_f$
爆発	ゾーン 0, 20 及び固形爆発物	1
	ゾーン 1 及び 21	$10^{-1}$
	ゾーン 2 及び 22	$10^{-3}$
火災	高い	$10^{-1}$
	通常	$10^{-2}$
	低い	$10^{-3}$
爆発及び火災	なし	0

d-3) 物理的損傷によるサービス停止係数： $L_F$

提供するサービスにより決まる係数。原子力発電所は電力供給に分類されることから、表 d.3 から  $10^{-1}$  とする。

**表 d.3**  $L_F$ の値について

リスクの量	$L_F$
ガス, 水道及び電力供給	$10^{-1}$
テレビ及び通信事業	$10^{-2}$

d-4) 内部システムの故障によるサービス停止係数： $L_o$

提供するサービスにより決まる係数。原子力発電所は電力供給に分類されることから、表 d.4 から  $10^{-2}$  とする。

**表 d.4**  $L_o$ の値について

リスクの量	$L_o$
ガス, 水道及び電力供給	$10^{-2}$
テレビ及び通信事業	$10^{-3}$

d-5) 建築物における当該ゾーンに占めるユーザの割合： $n_z/n_t$

原子力発電所の建築物内は一様の雷保護レベルで耐雷対策が実施され、1つのゾーンであることから、 $n_z=n_t$ すなわち  $n_z/n_t=1$  となる。

e) リスク、損害発生頻度の評価

e-1) リスク評価

e-1-i. 建築物への直撃雷を原因とする火災・爆発による物理的損傷リスク： $R_B$

本リスクは式 (e. 1) で評価される。

$$R_B = N_D \times P_B \times L_B \cdots \cdots \text{式 (e. 1)}$$

ここで、

$$N_D = 0.42 \cdots \cdots \text{式 (b. 1) による}$$

$$P_B = 0.2 \cdots \cdots \text{c-1)項による}$$

$$L_B = 2.0 \times 10^{-5} \cdots \cdots \text{式 (d. 1) による}$$

$$\begin{aligned} R_B &= 0.42 \times 0.2 \times 2.0 \times 10^{-5} \\ &= 1.7 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

e-1-ii. 建築物への直撃雷を原因とする電磁インパルスによる内部システム故障  
リスク： $R_C$

本リスクは式 (e. 2) で評価される。

$$R_C = N_D \times P_C \times L_C \cdots \cdots \text{式 (e. 2)}$$

ここで、

$$N_D = 0.42 \cdots \cdots \text{式 (b. 1) による}$$

$$P_C = 5.0 \times 10^{-2} \cdots \cdots \text{式 (c. 1) による}$$

$$L_C = 1.0 \times 10^{-2} \cdots \cdots \text{式 (d. 2) による}$$

$$\begin{aligned} R_C &= 0.42 \times 5.0 \times 10^{-2} \times 1.0 \times 10^{-2} \\ &= 2.1 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

e-1-iii. 建築物近傍への雷撃を原因とする電磁インパルスによる内部システム故  
障リスク： $R_M$

本リスクは式 (e. 3) で評価される。

$$R_M = N_M \times P_M \times L_M \cdots \cdots \text{式 (e. 3)}$$

ここで、

$$N_M = 3.5 \cdots \cdots \text{式 (b. 2) による}$$

$$P_M = 1.25 \times 10^{-2} \cdots \cdots \text{式 (c. 2) による}$$

$$L_M = 1.0 \times 10^{-2} \cdots \cdots \text{式 (d. 2) による}$$

$$\begin{aligned} R_M &= 3.5 \times 1.25 \times 10^{-2} \times 1.0 \times 10^{-2} \\ &= 4.4 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

e-1-iv. 建築物に接続される電路への雷撃を原因とする火災・爆発による物理的  
損傷リスク： $R_V$

本リスクは式 (e. 4) で評価される。

$$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \cdots \cdots \text{式 (e. 4)}$$

ここで、

$$N_L = 1.52 \times 10^{-5} \cdots \cdots \text{式 (b. 3) による}$$

$$N_{DJ} = 0 \cdots \cdots \text{式 (b. 4) による}$$

$$P_V = 2.0 \times 10^{-2} \dots\dots\dots \text{式 (c.4) による}$$

$$L_V = 2.0 \times 10^{-5} \dots\dots\dots \text{式 (d.1) による}$$

$$R_V = (1.52 \times 10^{-5} + 0) \times 2.0 \times 10^{-2} \times 2.0 \times 10^{-5}$$

$$= 6.1 \times 10^{-12}$$

e-1-v. 建築物に接続される電路への雷撃を原因とする過電圧による内部システム故障リスク： $R_W$

本リスクは式 (e.5) で評価される。

$$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \dots\dots\dots \text{式 (e.5)}$$

ここで、

$$N_L = 1.52 \times 10^{-5} \dots\dots\dots \text{式 (b.3) による}$$

$$N_{DJ} = 0 \dots\dots\dots \text{式 (b.4) による}$$

$$P_W = 2.0 \times 10^{-2} \dots\dots\dots \text{式 (c.5) による}$$

$$L_W = 1.0 \times 10^{-2} \dots\dots\dots \text{式 (d.2) による}$$

$$R_W = (1.52 \times 10^{-5} + 0) \times 2.0 \times 10^{-2} \times 1.0 \times 10^{-2}$$

$$= 3.1 \times 10^{-9}$$

e-1-vi. 建築物に接続される電路近傍への雷撃を原因とする過電圧による内部システム故障リスク： $R_Z$

本リスクは式 (e.6) で評価される。

$$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z \dots\dots\dots \text{式 (e.6)}$$

ここで、

$$N_I = 1.52 \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{式 (b.5) による}$$

$$P_Z = 3.0 \times 10^{-2} \dots\dots\dots \text{式 (c.6) による}$$

$$L_Z = 1.0 \times 10^{-2} \dots\dots\dots \text{式 (d.2) による}$$

$$R_Z = 1.52 \times 10^{-3} \times 3.0 \times 10^{-2} \times 1.0 \times 10^{-2}$$

$$= 4.6 \times 10^{-7}$$

e-1-vii. 原子力発電所のリスク： $R_T$

以上を踏まえて、安全に直接係る機器及び回路を収納しない建築物のうち危険物を設置しない建築物のリスクは、式 (a.1)、及び e-1-i. ～ iv. の評価より下記となる。

$$R = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$$

$$= 1.7 \times 10^{-6} + 2.1 \times 10^{-4} + 4.4 \times 10^{-4} + 6.1 \times 10^{-12} + 3.1 \times 10^{-9} + 4.6 \times 10^{-7}$$

$$= 6.6 \times 10^{-4} < R_T (= 10^{-3})$$

e-2) 評価結果

e-1)の評価より，リスク評価値が許容値よりも小さいことから，安全に直接係る機器及び回路，並びに重大事故等対処設備を収納せず，かつ危険物を設置しない建築物は，雷保護レベルⅣで十分であることが分かる。

安全審査