

日本語翻訳版

IAEA 安全基準

人と環境を防護するために

原子力発電所の 電力系統の設計

個別安全指針

No. SSG-34

国際原子力機関

2022年 3月

原子力規制庁 翻訳

本翻訳版発行に当たっての注記事項

- A：本翻訳版は非売品である。
- B：本翻訳版は、「Desgin of Electrical Power Systems for Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide No. SSG-34」©International Atomic Energy Agency, (2016)の日本語訳である。本翻訳版は、原子力規制庁により作成されたものである。本翻訳版に係る IAEA 出版物の正式版は、国際原子力機関（IAEA）又はその正規代理人により配布された英語版である。IAEA は、本翻訳版に係る正確性、品質、信頼性又は仕上がりに関して何らの保証もせず、責任を持つものではない。また、本翻訳版の利用により生じるいかなる損失又は損害に対して、これらが当該利用から直接的又は間接的・結果的に生じたものかを問わず、何らの責任を負うものではない。
- C：著作権に関する注意：本翻訳版に含まれる情報の複製又は翻訳の許可に関しては、オーストリア国ウィーン市 1400 ウィーン国際センター（私書箱 100）を所在地とする IAEA に書面により連絡を要する。
- D：本翻訳版は、業務上の必要性に基づき、原子力規制庁が IAEA との合意に基づき発行するものであり、唯一の翻訳版である。
- E：原子力規制庁は、本翻訳版の正確性を期するものではあるが、本翻訳版に誤記等があった場合には、正誤表と合わせて改訂版を公開する。また、文法的な厳密さを追求することで難解な訳文となるものは、分かりやすさを優先し、本来の意味を損なうことのない範囲での意識を行っている箇所もある。
- なお、本翻訳版の利用により生じるいかなる損失又は損害に対して、これらが当該利用から直接的又は間接的・結果的に生じたものかを問わず、原子力規制庁は何らの責任を負うものではない。

目次

1. はじめに
 - 背景 (1.1 - 1.7)
 - 目的 (1.8)
 - 範囲 (1.9 - 1.17)
 - 構成 (1.18 - 1.27)
2. 原子力発電所における電力系統
 - 原子力発電所における電力系統の説明 (2.1 - 2.10)
 - 規格及び標準の役割 (2.11 - 2.14)
 - 原子力安全に対する要件により課せられる設計考察事項 (2.15 - 2.27)
 - 電気設計の判断基準により課せられる設計考慮事項 (2.28 - 2.36)
3. 電力系統の分類 (3.1 - 3.14)
4. 電力系統の設計基準 (4.1 - 4.10)
5. 電力系統に関する全般的設計指針
 - 全般 (5.1 - 5.10)
 - 信頼性設計 (5.11 - 5.82)
 - 定格値 (5.83 - 5.98)
 - 電気設備、ケーブル及び配線管 (5.99 - 5.121)
 - 接地の実行 (5.122 - 5.137)
 - 雷防護及びサージ電圧防護 (5.138 - 5.153)
 - 設備の性能保証 (5.154 - 5.203)
 - 経年変化に対処するための設計 (5.204 - 5.217)
 - 立入りの管理 (5.218 - 5.222)
 - サーベイランス試験及び試験容易性 (5.223 - 5.236)
 - 保守性 (5.237 - 5.240)
 - 試験又は保守のための電気設備の供用からの取り外しに関する方策 (5.241 - 5.248)
 - 複数基設置発電所における構築物、系統及び機器の共有 (5.249 - 5.254)
 - 標示及び識別 (5.255 - 5.261)
 - 格納容器の電気貫通部 (5.262 - 5.270)
 - 配電系統 (5.271 - 5.277)
 - 制御及び監視 (5.278 - 5.291)
 - 安全に係る予備交流電源 (5.292 - 5.295)
6. 優先電源の設計指針
 - 全般 (6.1 - 6.6)
 - 保護装置及び高電圧設備の信頼性 (6.7 - 6.9)

所外電力供給源 (6.10 - 6.22)
利用可能性 (6.23 - 6.35)
所外回線の独立性 (6.36 - 6.37)
開閉所 (6.38 - 6.44)
電力網の安定性及び信頼性 (6.45 - 6.47)
送電系統運用者と原子力発電所運転組織との間の取り合い及び相互関係 (6.48 - 6.60)
電力網接続の信頼性の分析評価 (6.61 - 6.63)

7. 安全系電力系統の設計手引き

全般 (7.1 - 7.19)
信頼性設計 (7.20 - 7.34)
安全系予備交流電源 (7.35 - 7.82)
直流電力系統 (7.83 - 7.127)

8. 代替交流電力供給装置 (8.1 - 8.18)

9. 設計の確認及び文書化

マネジメントシステム (9.1)
検証 (9.2 - 9.14)
設計文書 (9.15)

参考文献

添付資料 I: 電力系統の深層防護

添付資料 II: 設計の検証のための電力系統の解析

定義

草案作成と査読の協力者

1. はじめに

背景

1.1. 本安全指針は、原子力発電所の設計要件を定めた特定安全要件刊行物、IAEA 安全基準シリーズ SSR-2/1 (Rev. 1)「原子力発電所の安全：設計」[1]を支援して発行されている。

1.2. 本安全指針は、SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の安全要件を満たすために、原子力発電所の電力系統及びこれらの系統を開発するプロセスについての必要な特性に関する推奨事項を提示する。これは、SSR-2/1¹、特に要件 68 になされた改訂を反映している。

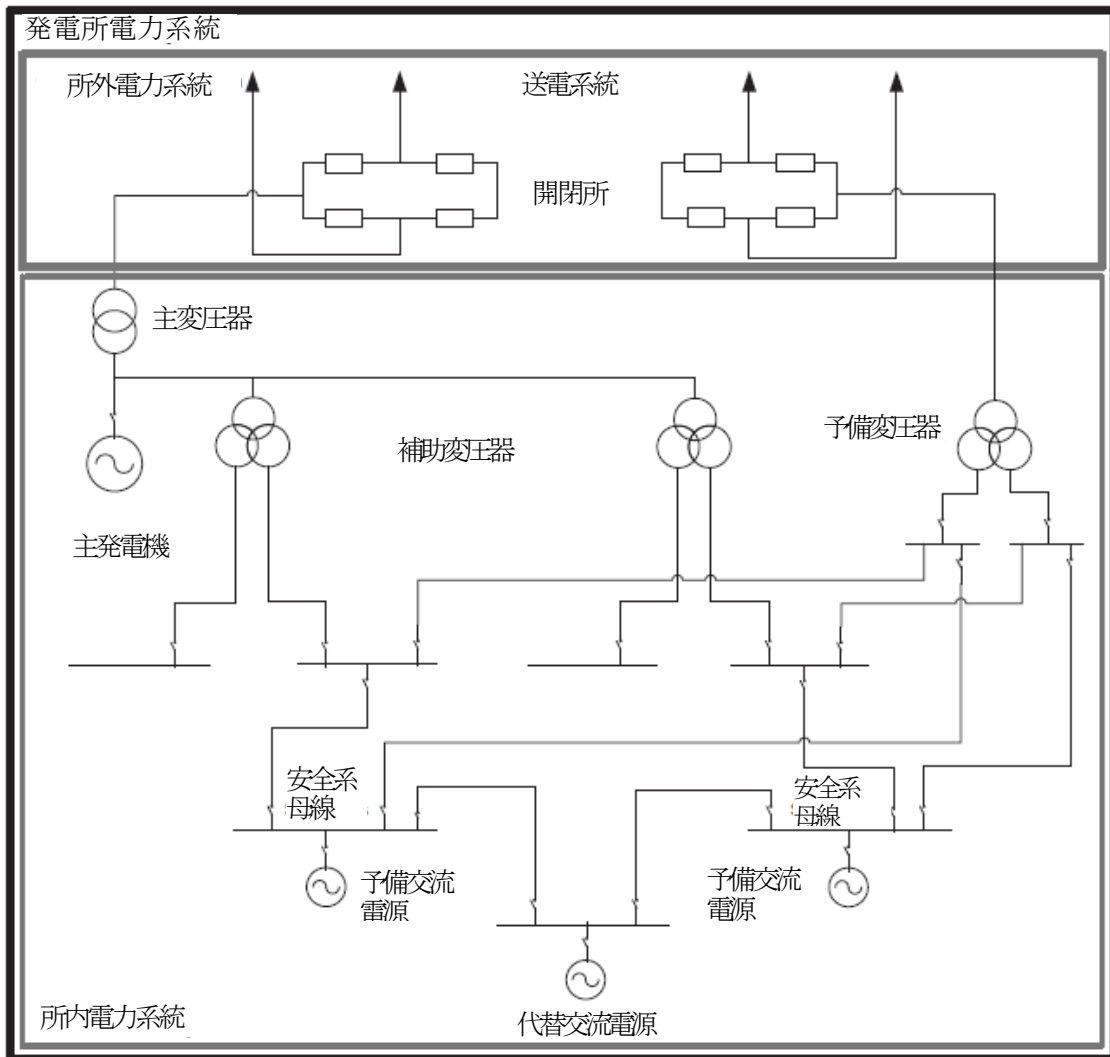
1.3. 本刊行物は、IAEA 安全基準シリーズ NS-G-1.8「原子力発電所の非常用電力系統の設計」²として 2004 年に発行された安全指針の改訂であり、それに置き換わる。本改訂は、原子力発電所の非常用電力系統の設計における進展を考慮に入れ、対象範囲を安全上重要な系統に電力を提供する全ての電力系統に広げている（図 1 及び図 2 参照）。

1.4. 置き換えられた NS-G-1.8 は、非常用動力を提供する電力以外の動力系統に関する手引きも含んでいた。そのような系統の手引きは、現在作成中の原子力発電所の補機及び支援系に関する新しい安全指針の中で提示されることになる。

1.5. 安全上重要な系統へ電力を供給する電力系統は、原子力発電所の安全に必須である。これらの電力系統には、所内及び所外の両方の電力系統を含む。所内電力系統及び所外電力系統は、発電所が安全な状態に維持できるように、全ての発電所状態で必要な電力を提供するために一緒になって動作する。所外の電力系統は発電所設備ではない。そうであっても、所外電力系統は、原子力発電所の安全には必須であり、また、深層防護の概念において重要である。

¹ 国際原子力機関、「原子力発電所の安全：設計」、IAEA 安全基準シリーズ SSR-2/1, IAEA, ウィーン (2012)

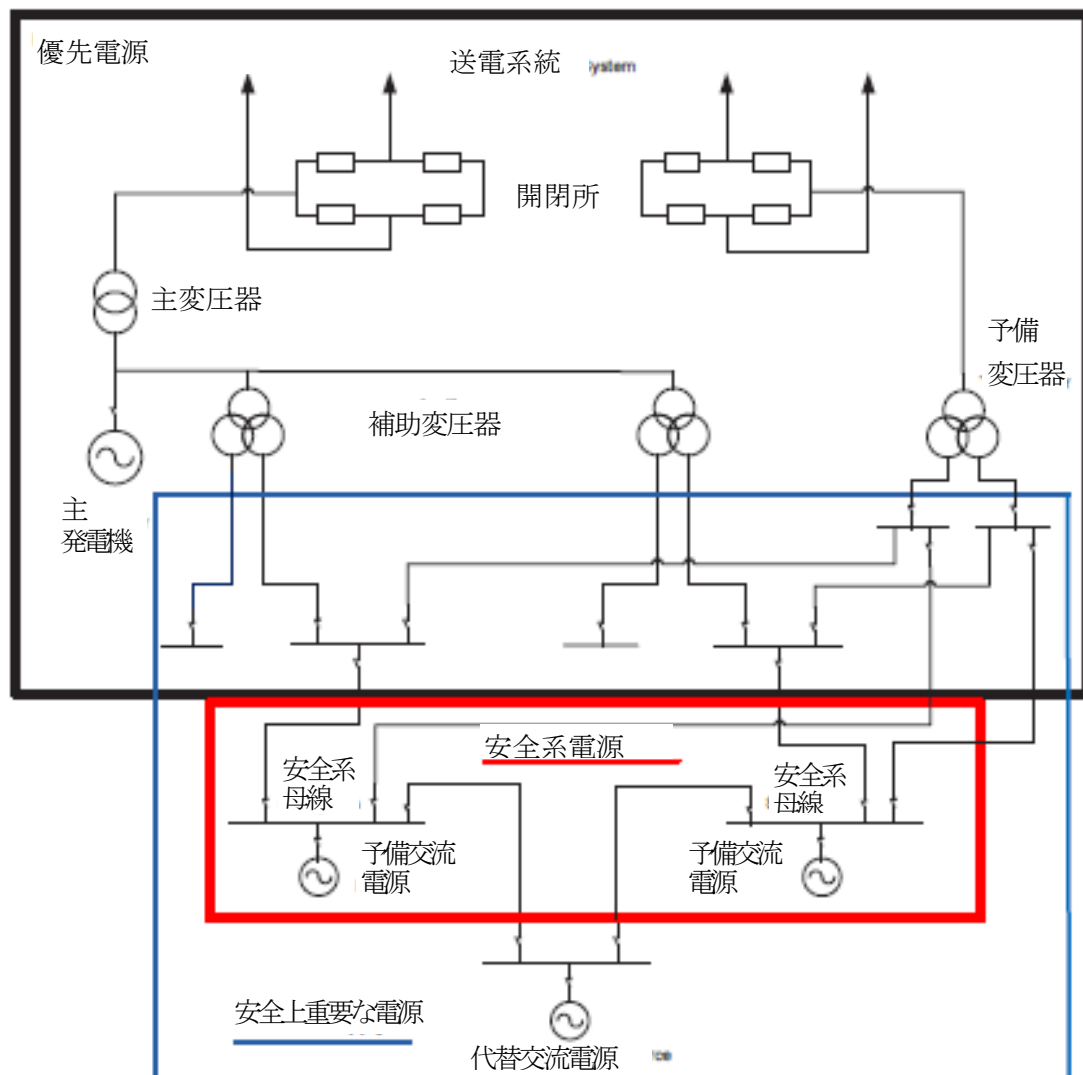
² 国際原子力機関、「原子力発電所用非常用電力系統の設計」、IAEA 安全基準シリーズ NS-G-1.8, IAEA, ウィーン (2004)



注：この図は一例の提示に過ぎない。母線、負荷、発電機及び相互接続の想定しうる様々な配列が SSR-2/1(Rev.1)[1]の要件を満たしうる。更に、安全上重要でない母線及び直流電力系統のような発電所の系統の多くの要素は示されていない。AC—交流。

図1. 原子力発電所の発電所電力系統、所外電力系統及び所内電力系統の関係

1.6. 本安全指針で特定されている優先電源は、送電系統からの電源又は主発電機から安全系に分類された電力系統までの電力供給源である。この電力供給源は、送電系統、開閉所、主発電機及び安全系に分類された電力系統までの配電系統で構成される。所外電力系統（例えば、送電系統）の一部である優先電源の一部は、発電所設備ではなく、したがって発電所の安全分類の一部でもない（図2参照）。所外電力供給装置と所内電力供給装置との間の境界の場所は発電所固有の決定であることになる。



注：この図は一例に過ぎない。母線、負荷、発電機及び相互接続の想定しうる様々な配列が SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件を満たしうる。更に、安全上重要でない母線及び直流電力系統のような発電所の系統の多くの要素は示されていない。この図は、安全分類の範囲内にある発電所の電力系統の要素と優先電源との間の関係性を表すことのみを意図されている。優先電源のうち安全上重要な電力供給源の境界内にはない要素は、発電所安全分類の対象外である。安全上重要な電力供給装置に含まれる系統要素は、発電所設計及び様々な加盟国で適用される分類方法によって異なることになる。発電所設計のなかには、予備安全系電源を要求しない場合がある。全ての原子力発電所は、安全系直流電力供給装置を持つことを期待される。AC-交流。

図2. 原子力発電所の安全上重要な電力供給装置、安全系電力供給装置及び優先電源の関係

1.7. 本安全指針の全ての推奨事項を、既に運転中又は建設中の原子力発電所に適用することは現実的ではないことがある。このような設計の安全解析に関しては、発電所の安全な運転が実行可能な安全性改善手段によってさらに向上される可能性があるかどうかを決定す

るために、例えば発電所の定期安全レビューの一部として、現在の基準との比較がなされることが期待される。

目的

1.8. 本安全指針の目的は、SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 41 及び 68、6.48～6.55 項並びに第 2～5 章の全般的要件に定められた電力系統の設計要件を満たすことに関する推奨事項及び手引きを提示することである。これは、原子力発電所の設計、運転、保守、改造、評価及び許認可に関わる、設計者、審議者、安全評価者、規制機関、運営組織及び運営者を含む、全ての者による使用を目的としている。本安全指針は、説明方式によるものを除いて、実装プロセス、使用される方法又は技術の詳細に関する手引きを提示していない。

範囲

1.9. 本安全指針は、新しい原子力発電所及び運転中の原子力発電所の両方に必要な電力系統のための設備に関する推奨事項を策定し、また、手引きを提示する。これは、原子力発電所の安全上重要な全ての電力系統及び優先電源に適用する。

1.10. 本安全指針は、全ての型式の原子力発電所に適用する。安全上重要な電力系統及び安全系電力系統の範囲は、電力系統の分類によって与えられており、設計に従って異なっている。深層防護及び多様性を維持することに関する様々な電圧レベルに必要な電力系統の推奨される最小の設計要件が本安全指針で概説される。全ての場合において、本安全指針は、様々な電力供給装置の安全上の意義と重要性を判断するために、発電所の安全解析書と共に使用されるべきである。例えば、受動的な工学的安全施設を備えた発電所では、電力系統の分類は図 2 に示されるものとは実質的に異なる場合がある。

1.11. 発電所の電力系統の制御及び防護に使用される電子装置に適用できる追加的な推奨事項は、IAEA 安全基準シリーズ SSG-39「原子力発電所の計測制御系の設計」[2]に提示される。

1.12. 図 1～3 は、本安全指針の範囲及び使用される用語を図示するため、原子力発電所の電力系統の例を示している。さらなる説明は定義一覧表に提示されている。

1.13. 本安全指針は、電力系統に焦点を合わせている。負荷の仕様に関する手引きはその範囲外であるが、そのような仕様は電力系統の設計手引きに従っていることが必要である。

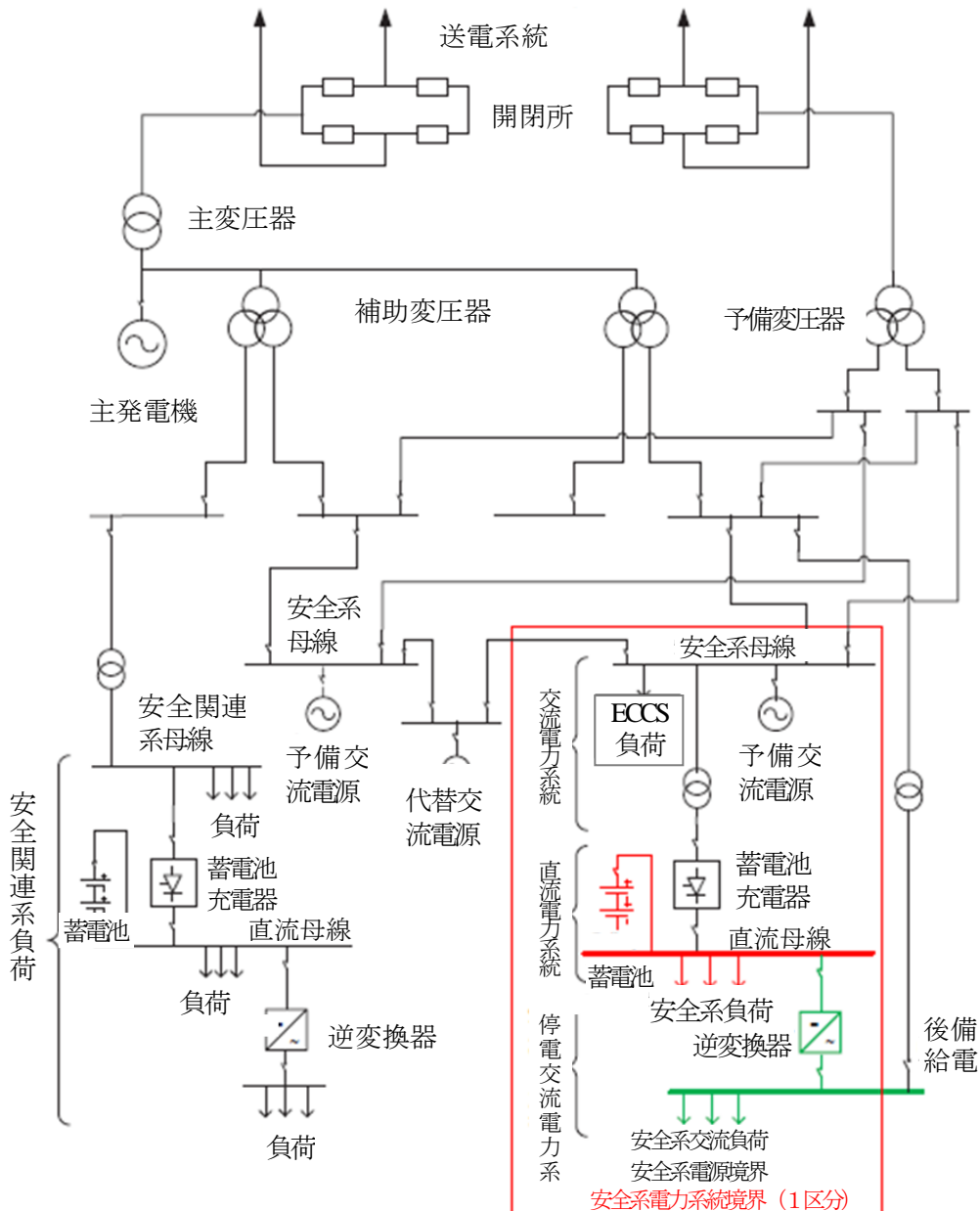
1.14. セキュリティ系統（柵、監視系、入構管理など）のための電力は、本安全指針の範囲外である。

1.15. 本安全指針は、IAEA 安全基準シリーズの他の関連する安全基準と組み合わせて使用されるべきである。

1.16. 電力系統及び電気設備の設計及び開発に関する追加の手引きは、加盟国及び標準を作成する組織から得られる。そのような刊行物は、IAEA の安全基準にとって適切なもの

より、はるかに詳細なものを提示する。本安全指針は、詳細な工業規格と併せて使用されることが望まれる。

1.17. 電力系統を設計する一方で、核セキュリティと安全との間の潜在的な取り合いは分析及び管理されるべきである。IAEA 核セキュリティシリーズ No. 13「核物質及び原子力施設の物理的保護に関する核セキュリティ勧告 (INFCIRC/225/Revision 5)」[3]は、原子力施設のセキュリティに関する指針を提示する。



注： AC：交流、DC：直流、ECCS：非常用炉心冷却系

図3. 本安全指針で検討されている、原子力発電所の電力供給装置の様々な部分の代表的概略図 (典型的な一区分)

構成

- 1.18. 第 2 章は、原子力発電所の典型的な電力系統の主要系を紹介し、個々の系統によって満たされるべき基本的な目標を推奨している。
- 1.19. 第 3 章は、電力系統への安全分類の適用を対象としている。
- 1.20. 第 4 章は、電力系統の設計基準に含まれる内容を概説している。
- 1.21. 第 5 章は、全ての交流 (AC) 及び直流 (DC) 電力系統に適用される全般的な推奨事項を提示する。これらの推奨事項は、第 6～9 章で対象とされていない系統に対する最小の推奨事項である。第 6 章から第 9 章で説明されている系統では、第 5 章の推奨事項が特定の推奨事項と組み合わせて使用されるべきである。
- 1.22. 第 6 章では、優先電源に対する推奨事項を示す。これらは安全上重要な全ての発電所系統のための通常の供給源であり、利用可能であれば、常に全ての発電所電力供給源の中での第一で最善の選択となる。
- 1.23. 第 7 章では、予備安全系電力供給装置を含む、安全系電力系統の設計に固有の推奨事項を提示する。
- 1.24. 第 8 章では、代替交流電力供給装置の設計に固有の推奨事項を提示する。これは、これらの系統に対する第 5 章の手引きを補足する。代替交流電力供給装置は、多くの場合、所外交流電力供給装置及び所内非常用交流電力供給装置の同時故障を防ぐために、提供される。
- 1.25. 第 9 章では、電力系統の設計の妥当性を確認するための活動に対する推奨事項を提示し、また、発電所の安全ケースを支援するため並びに運転、保守、試験の実施及び検証を支援するために提供されるべき系統レベルの文書を提示する。
- 1.26. 添付資料 I は、SSR-2/1(Rev.1)[1]に記載されている、電力系統の設計と深層防護概念との関係性について論じている。
- 1.27. 添付資料 II は、原子力発電所の設計の検証のための電力系統の分析の例を提示する。

2. 原子力発電所における電力系統

原子力発電所における電力系統の説明

- 2.1. 図 1～3 は、原子力発電所の電力系統の概要の例を示している。特定の発電所の電力系統の設計は、電力網、発電所の系統の設計及び本安全指針の範囲を超える工学的設計に関する決定、に依存することになる。図 1～3 は、したがって、あらゆる特定の原子力発電所に

対して推奨される設計ととられるべきでない。

2.2. 安全系電力系統は、優先電源又は予備電源のいずれかによって供給され得る。代替の交流電力供給装置は、設計拡張状態において安全系電力系統にも供給できる。

2.3. 本安全指針は、発電所の電力系統の3つの主要な下位系統について説明する。すなわち、所外電力系統、所内電力系統及び優先電力系統である。以下の各項では本安全指針で使用されている用語を説明している。他の箇所におけるこれらの用語の使用は、発電所設計の詳細に依存することになり、また、本安全指針での使用とは異なる場合がある。

所外電力系統

2.4. 所外電力系統は、送電系統（電力網）及び発電所を電力網に接続する開閉所で構成される。所外電力系統は、通常、全ての運転モード及び全ての発電所状態で発電所に交流電力を供給することになる。それはまた、所外への電力を出す送電線を提供している（図1参照）。所内電力系統と所外の電力系統との間の境界は、送電系統運用者によって制御される機器等が原子力発電所事業者によって制御される設備と接続する地点である。この境界は一般に、送電電圧に接続する変圧器の電力網側の碍管又は発電所に最も近い高圧回路遮断器の電力網側である。

2.5. 所外電力系統は複数の電源、すなわち (i) 補助変圧器を介した主発電機、及び (ii) 予備変圧器を介した電力網からの電力供給、からの信頼できる電力を所内電力系統に供給する際に、安全の観点で必須の役割を実施する。所外電力系統は優先電源の一部である（図2参照）。

2.6. 本質的に頑健な電力網系統は、通常運転時における電力網の摂動の影響を迅速に減衰させ、原子力発電所の接続された電力系統における電圧及び周波数の変動を最小にする、信頼性の高い所外電力供給を備えている。同様に、高速タービン調速機及び発電機励磁系を備えた大型原子力発電所は、電力網系統にかなりの頑健性を与えることができる。この相互依存性のため、設計による良好な機能的統合及び電力網又は原子力発電所のいずれかの大きな運転変更中における電力網運用者と原子力発電所事業者との間の良好な運転調整は、電力網及び発電所の両方の安全かつ信頼性のある運転に対する重要な要件である。

所内電力系統

2.7. 所内電力系統（図1参照）は、発電所内の配電系統及び電力供給装置で構成されている。これは、予期される運転時の事象又は事故状態の後に発電所を制御された状態に持ち込み、また、所外の電力供給装置が復旧できるまで発電所を制御された状態又は安全な状態に維持するために必要な交流及び直流の電力供給装置を含む。セキュリティ系のための別個の電力供給装置など、単独設置の電力供給装置は含まれない。所内電力系統は自らの安全上の重要度に従って分けられる。すなわち、安全上重要な系統（安全系及び安全関連系）及び安全上重要ではない系統へ分けられる。

2.8. 所内電力系統の主な機器は、主発電機、発電機昇圧変圧器、補助変圧器、予備変圧器及び配電系統給電ユニット補助装置、サービス補助装置、開閉装置、蓄電池、整流器、逆変換

器及び／又は無停電電力供給装置、ケーブル並びに予備交流電源（図 1 を参照）を含む。所内電力系統の一部は、優先電源の一部である。

2.9. 所内電力系統は、一般に、負荷の様々な電力要求件に従って 3 種類の電力系統に分けられる。

- (a) 交流電力系。割り当てられた交流負荷の機能は、電力供給におけるある種の中断に耐えることになる。通常、交流電力系統は、予備交流電源及び代替交流電源を含む。保護リレーは、電力系統への優先交流電源の喪失を検出し、自動的に予備電力供給を開始する。ほとんどの場合、発電所の安全解析では、予備交流電源が設計基準事故後の発電所停止に対して及び代替交流電源が設計拡張状態に対して使用されることが仮定される。
- (b) 直流電力系統。これは、蓄電池から直流負荷へ中断なく給電する。直流電力系統は、電力系統の交流電力系統に接続された蓄電池充電器を含む。ときには、別個の直流電力系統が異なる安全分類の負荷を支援するために備えられる。
- (c) 無停電交流電力系統。これは、逆変換器からの電力又は直流電力系若しくは整流器付き専用蓄電池などの直流電源から折り返し供給される電動発電機からの電力を供給し、また、保守及び緊急時のために安全クラスの交流電力系統から直接に安全系負荷に供給することを許容するバイパス回路を含む。

優先電源

2.10. 優先電源は、安全上重要な全ての発電所の系統のための通常の供給源である。これは、使用可能であれば、常に安全系電力系統への電力供給の第一のかつ最良の選択である。優先電源は所内系統及び所外系統の両方の部分を含む（図 2 参照）。

規格及び標準の役割

2.11. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 9 は以下を述べている。

「原子力発電所における安全上重要な機器等は、関連する国内及び国際的な規格基準に従って設計されなければならない。」

2.12. 所外電力系統は、国内及び国際標準に定められている原子力安全判断基準、電力網連系規格並びに電気設計判断基準（各国の電気規格で規定されている）を満足させるべきである。

2.13. 発電所の電力系統は、全ての発電所運転モードにおいて高いレベルの信頼性及び稼働性を確保するため、国内及び国際的な原子力標準並びに国の安全規格に従って設計され、建設されるべきである。

2.14. 国の安全規格は、電力系統の安全で信頼性のある運転に対して容認される設計要件に関する手引きを提供する。これらの安全規格の遵守は、一般に原子力発電所の電力系統の能力に対して合理的な保証を提供する。

原子力安全に対する要件により課せられる設計考慮事項

2.15. 原子力発電所の電力系統及び機器は、所内及び所外の電力供給源から発電所の補助系に電力を供給する。

2.16. 原子力発電所の所外電力及び所外系統は、頑健であるべきであり、また、全ての発電所状態及び運転状態において高い信頼性があるべきである。所内電力系の設計は、所外電力系の能力の限界及びその原子力安全への影響を考慮に入れるべきである。

2.17. 安定かつ信頼性の高い電力網（信頼性の高い発電設備、送電系統及び配電系統を有する）は、原子力発電所の安全の基礎である。

2.18. 電力網の擾乱は、原子力発電所が以下として動作するときには、安全性の脅威となり得る。

- 発電設備
- 起動時及び停止時における電力消費者
- 特定の事象及び予期される運転時の事象中の優先度の高い非常用負荷

2.19. 頑健な系統は以下を有するべきである。

- (a) 意図された目標を満たすために要求される設備の定格値、能力及び容量が容易に脅かされないような十分な裕度及び内蔵された保守性
- (b) 所内及び所外の電力系統の運転において予想される変動に対応するため選択された設備保護の設定値
- (c) 持続的な過負荷状態又は過電圧状態及び安全系電力系統の機能性を保持するために必要ときに開始される保護動作を含む非常時の運転を支援する能力

2.20. 電力系統は、全ての電圧レベルで、発電所設備のほとんどの機器等のための支援系である。信頼性のある電力供給は、設計基準事故及び設計拡張状態において関連する発電所安全機能に電力を与え、制御し及び監視するためばかりでなく、予想される通常運転からの変動時の制御を維持するために重大である。

2.21. 停止中に、原子力発電所の電力系統の一部は、試験の実施又は保守のために供用から外れている場合がある。発電所が停止しているときの電力系統の頑健性、信頼性及び稼働性に対する脅威は、出力運転中に対処されなければならないものとは異なることになる。

2.22. SSR-2/1(Rev.1)[1]の要件 4 及び 4.1 項は以下を述べている。

「原子力発電所に対する次の基本的な安全機能の達成が、全ての発電所状態に対して確実なものとなさなければならない。すなわち、(i) 反応度の制御、(ii) 原子炉及び燃料貯蔵場所からの除熱、並びに(iii) 事故による放射性物質の放出の制限に加えて、放射性物質の閉じ込め、放射線遮へい及び計画的な放射性物質の放出の管理」

「4.1. 基本的な安全機能を達成するために必要な安全上重要な機器等を特定することに対して、また、全ての発電所状態において基本的な安全機能の達成に寄与し又は影響を与える固有の仕組みを特定することに対して、体系的な方法が取られなければならない。」

2.23. 基本的な安全機能を果たすために必須な機器等が適切な安全分類及び信頼性のあ

る電力供給減から電力を得られるように、必要な電力に対して構築物、系統及び機器を特定するために体系的な取り組み方がとられるべきである。

2.24. 「信頼性」は、設計、試験実施、運転及び保守の適切な具体化が、電力系統が最小限の擾乱でその機能を果たすことができるとの保証を提供していることを意味する。

2.25. 電力供給装置に要求される信頼性を達成するために、多数の対策が所内及び所外で取ることができる。そのような対策には、発電所の通常の電力供給（優先電源）の信頼性を高めることか又は通常の電力供給が利用できないときに電力系統に他の動力源を備えることを含める場合がある。これには、特に重要な安全系のための専用の電源の使用も含む場合がある。

2.26. 共通原因故障に対する防護の要素は、電力系統に脅威となる可能性のある事象を十分に理解していること及びこれらの脅威に対する頑健な防護、定期的に確認される明確に定義された設計基準並びに電力供給源の適切な多様性である。

2.27. 発電所の電力系統の擾乱の結果として安全系でない設備からの安全系設備への悪影響がないことを確実なものとするために、安全系とより低い安全系に分類される系統との間の取り合いは、注意深く設計されるべきである。

電気設計の判断基準により課せられる設計考慮事項

2.28. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 41 は以下を述べている。

「原子力発電所の安全上重要な機器等の機能性は、送電網電力の電圧及び周波数の予期される変動を含む、電気電力網の擾乱によって損なわれてはならない。」

2.29. 原子力発電所の電力系の系統及び機器に影響を与える可能性のある電圧及び周波数の過渡的及び準定常的な変動は、設計で考慮されるべきである。

2.30. 発電所の保護機構及び発電所機器の設計は、優先電源の擾乱が安全系電力系統及び接続された負荷の要求される運転を危険にさらさないようなものであるべきである。

2.31. 非常時の操作では、設備保護は、安全操作に優先権を与えるために必要不可欠な一群まで減らされる場合がある。

電力網に接続された発電施設としての原子力発電所

2.32. 国の法令、国の電力網連系規格又は各送電系統運用者と各発電施設との間の二者間合意に従って、発電施設は、電力網系統の信頼性の高い運転を支援するように設計されるべきである。

2.33. 電力網の高い信頼性は、原子力発電所への安全で信頼性の高い電力供給のために必須である。送電系統運用者は、配電系統運用者への電力を送電する責任と同様に、原子力発電所への信頼できる電力供給があることを確実なものとする責任を持つ。

2.34. 原子力発電所の特有の仕組み及び設計の要件は、電力網連系規格において認識されるべきである。

要員及び設備の安全

2.35. 電力系統は、要員へのリスクを最小限とするように、また、定格電流、過電流又は設備へのあらゆる内部機械的応力によって引き起こされる高温、アーク放電又は機械的応力による設備の損傷を最小限にするように設計されるべきである。

2.36. 電力系統は、いかなる発電所状態又は運転モードでも発生すると予想され得る電圧に耐えるような方法で設計及び構築されるべきである。

3. 電力系統の分類

3.1. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 18 は、以下を述べている。

「原子力発電所の安全上重要な機器等に対する工学的設計規則は原子力技術との関連を十分に考慮して指定されなければならない、また、関連する国内又は国際的な規格基準及び実証された工学的慣行に適合していなければならない」

3.2. SSR-2/1(Rev.1)[1]の要件 22 は、以下を述べている。

「全ての安全上重要な機器等は特定されなければならない、また、それらの機能及びそれらの安全上の重要度に基づいて分類されなければならない。」

3.3. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の 5.34 項は、以下を述べている。

「安全上重要な機器等の安全上の重要度分類の分類方法は、以下の因子に十分に配慮をして、主として決定論的手法に基づいて、必要な場合は確率論的手法で補完して行われなければならない。

- (a) 機器によって果たされるべき安全機能
- (b) 安全機能を果たせなかったときの影響
- (c) 安全機能を果たすために機器が起動される頻度
- (d) 想定起因事象が発生してから安全機能を果たすために機器が起動される時間又は安全機能を果たすために機器が起動される期間」

3.4. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の 5.36 項は、以下を述べている。

「複数の機能を果たす設備は、その設備によって果たされる最も重要な機能と整合する安全分類に分類されなければならない。」

3.5. IAEA 安全基準シリーズ SSG-30「原子力発電所における構築物、系統及び機器の安全分類」[4]は、安全上重要な構築物、系統及び機器の特定に対して、また、それらの機能及び安全上の重大性に基づく分類に対して SSR-2/1(Rev.1)[1]で定められた要件をどのようにして満たすかに関する推奨事項及び手引きを提示している。

3.6. SSG-30[4]で推奨されている安全分類プロセスは、SSR-2/1 (Rev. 1)[1]に設定されている深層防護の概念と整合している。深層防護の様々な階層で実施される機能が考慮される。

- 3.7. 原子力発電所に関して、分類プロセスは主に以下を対象とするべきである。
- 発電所の設計基準及びその固有の安全の仕組み
 - SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 16 で要求される全ての想定起因事象の一覧。発電所の設計基準で考慮される、想定起因事象の発生頻度が考慮に入れられるべきである。
- 3.8. 安全上重要な品目の故障又は偽の作動が直接、想定起因事象を引き起こすか又は想定起因事象の結果を悪化させる場合があるとの可能性が、想定起因事象の一覧が確立されるときに検討されるべきである。
- 3.9. 通常運転の全てのモードを含む様々な発電所状態について、SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 4 に定義されているような基本的な安全機能を達成するために必要な電力系統の全ての機能及び設計方策が特定されるべきである。
- 3.10. 電力系統の機能は、以下の3つの要因を考慮に入れて、系統の安全重要度に基づいて区分されるべきである。
- (a) 機能を実施することに失敗した場合の結果
 - (b) 機能が起動要求される想定起因事象の発生頻度
 - (c) 想定起因事象後の、機能が実施されることを要求されることになる時間又は継続期間
- 3.11. 安全区分に割り当てられた各機能を実施する電力系統及び機器は、特定され、分類されるべきである。これらは主に、これらが実施する機能に割り当てられた区分に従って分類されるべきである。
- 3.12. 所外電力系統及び主発電機系は、基本的な安全機能の実施を確実なものとする際に必須の役割も担うが、これらの系統は発電所の安全分類に従っては分類されない。
- 3.13. 安全分類を割り当てるときには、代替操作が取られ得る適時性及び信頼性並びに電力系統のあらゆる故障が検出され、補修され得る適時性及び信頼性が考慮されるべきである。
- 3.14. SSG-30 [4]では、加盟国の経験に基づいて、機能に関する3つの安全区分並びに構築物、系統及び機器に関する3つの安全分類が推奨されている。しかし、より多くの又はより少ない区分及びクラスが使用される場合がある。

4. 電力系統の設計基準

- 4.1. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 14 及び 5.3 項は、以下を述べている。

「安全上重要な機器等の設計基準は、原子力発電所の存続期間にわたって一定の容認基準を満たすために、関連する運転状態、事故状態並びに内的ハザード及び外的ハザードから生じる状態に対して必要な能力、信頼性及び機能性を定めなければならない。」

「5.3. 安全上重要な個々の機器の設計基準は、体系的に根拠付けられ、文書化されなければならない。この文書作成は、事業者が発電所を安全に運転するために必要な情報を提供しなければならない。」

4.2. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 15～19 は、系統設計基準の展開において考慮される特定の事項について詳述する。

4.3. 設計基準は、原子力発電所の各電力系統に対して指定されるべきである。

4.4. 設計基準は、要求される機能的業務、必要な特性、性能目標、運転条件及び環境条件並びに必要な信頼性を指定するべきである。

4.5. 発電所の各電力系統に関して、接続された負荷の継続的運転の電圧範囲及び周波数範囲が定義されるべきである。

4.6. 接続された負荷の継続的運転に対して許容される過渡状態及び準定常状態の電圧範囲及び周波数範囲は、発電所の電力系統ごとに定義されるべきである。

4.7. 考慮されるべき過渡事象は、4.10 項 (d) (ii) に記載されている内部事象及び電力網事象を含む外部事象を含む。

4.8. 設計基準は、全ての運転モードを対象とするべきであり、また、原子力発電所の電力系統に影響を及ぼす可能性のある全ての起こりうる事象を考慮に入れるべきであり、以下を含む。

- (a) 対称及び非対称な障害
- (b) 軸ねじれ共振現象
- (c) 大型電動機の始動
- (d) 開閉サージ又は落雷などの電力網系統における瞬間的な摂動
- (e) コンデンサバンクの開閉
- (f) 一相欠相状態を含む送電系統の要素の喪失
- (g) 電力網の孤立状態の形成並びにその結果としての周波数及び電圧の異常変動

4.9. 設計基準は、負荷の変動だけでなく電力系統の大規模な交換及び大きな改造（所内又は所外）がなされたとき、また、例えば定期安全レビューの一部として、累積評価が定期的実施されるときに確認されるべきである。

4.10. 設計基準は、発電所の電力系統の下位系統各々に対して以下を記述すべきである。

- (a) 系統が要求される発電所運転状態
 - (i) これらには、運転開始から最大補助負荷を伴う最大許可出力までの発電所運転、最大出力からの発電所停止並びに原子炉トリップ及び設計基準事故後の安全な停止を含む。
- (b) 継続的運転のための電圧の範囲及び周波数の範囲
 - (i) これらの範囲は、電動機、ポンプ、逆変換器、蓄電池充電器及び弁体駆動部などの設備の運転要件を定義する。
- (c) (容量要件
 - (i) 事故解析で作動保証された設備は通常、容量を定義する。容量は、電気設備に関し

- て、例えば機器の同時起動又は再加速を含む。
- (d) 定常状態、短期間運転及び過渡状態であって、系統が以下を実施することを要求されるときに、その系統がさらされることがある状態
- (i) 定常状態は、例えば以下を含む。
- 高負荷及び低負荷の状態、全ての発電所状態及び適用できる場合は所内負荷運転に対する電圧範囲及び周波数変動
 - 電力網電圧又は電力網周波数の逸脱
 - 直流電力系統のフロート電圧及び充電電圧
- (ii) 過渡状態には例えば下を含む
- 開閉サージ
 - 雷サージ
 - 所内外での電氣的障害に起因する停電
 - 所内電力系統又は所外電力網における負荷の喪失、電動機の始動及び障害の遮断に連動する電圧低下及び電圧増加
 - 電力網（及び主発電機）が障害によって影響を受けたときの電圧及び周波数の変動及び過渡現象
 - 開閉サージ又は回転設備による高調波
 - 第 1 段保護又は後備保護によって遮断された送電系統又は所内電力系統（すべての電圧レベルで）の障害
 - 発電所と電力網との間の同期の喪失を伴う事象
 - 単一相の障害又は開状態
 - 主発電機励磁系の不具合（高励磁及び低励磁）
 - 欠相
 - 太陽活動及び地磁気誘起電流
- (e) 主母線の系統電圧、系統電流及び周波数など監視されるべき変数
- (i) これには、事故時に及びその後監視するのに必要な変数を含む。
- (f) 予備電力供給装置を運転するための起動条件
- (i) これには、要求される操作を開始するために用いられる変数を含む。
- (g) 機器及びケーブルが受ける環境条件及び電磁条件
- (i) 環境条件には、以下を含む。
- 通常状態
 - 異常状態
 - 事故状態
 - 自然現象に由来する状態
- (h) 安全分類を示すすべての負荷の特定及び電氣的特性
- (i) これには、適用するものがあるときには最大可能運転時の電動機入力電力を含む。
- (i) 全ての機器の要求される性能特性
- (j) 保守及び試験実施に対する要件
- (i) これには、試験合格基準を含む
- (k) 保護機構及び保護調整
- (i) 保護機構は対称及び非対称の両方の障害を考慮することである。詳細は添付資料 II を参照。
- (l) 設計容認基準
- (i) 設計容認基準は例えば以下を含む。
- 使用又は考慮される基準
 - 設計特性に対する要件（例えば、独立特性、単一故障基準の順守及び多様性要件）
- (m) 系統及び主要機器の信頼性及び稼働性目標
- (i) 例えば、予備電力供給装置の信頼性

- 系統及び機器の信頼性及び稼働不能の限度は、確率論的判断基準、決定論的判断基準（例えば、単一故障基準の順守）又はその両方によって規定される場合がある。
- (n) 電圧、速度、始動及び負荷接続のための時間並びに予備電力供給装置及びそれらの主駆動装置に適用される他の制限
 - (o) 予備電力供給装置が起動し、指定された負荷投入順序で負荷投入を受け入れる最大時間
 - (i) 事故解析で起動保証された設備は、通常、許容できる始動時間を定義する。
 - (p) 予備電力供給装置への要求される性能特性。これには、無負荷、軽負荷、定格負荷及び始動負荷、また、特定の加盟国では要求された期間の過負荷運転に対する能力を含む。
 - (q) 負荷範囲全体にわたる予備電力供給装置の段階的負荷投入能力
 - (i) 段階的負荷能力は、最大負荷の投入又は除去によって引き起こされる異常変動中であっても、いかなる負荷の性能をもその最低要件以下に低下させないために、予備電力供給装置が維持しなければならない電圧及び周波数の条件を規定する。
 - (r) 安全系電源を停止又は接続解除するために許容される条件
 - (i) これには、例えば、壊滅的な故障から設備を保護する必要性を含む。
 - (s) 所内電源が所外電力とは独立して及び消耗品を所外から補充することなしに運転できなければならない最小時間
 - (i) これは、例えば、要求される蓄電池の容量、保管している非常用発電機燃料及び潤滑油並びに空気フィルタなどの他の消耗品の要求される保管量を設定する際に考慮されることになる。
 - (t) 監視される変数又は変数の組み合わせ
 - (u) 要求される制御機能及び制御装置のための場所とともに操作が自動的、手動、又はその両方で実施されるべきかどうかの特定

5. 電力系統に関する全般的設計指針

全般

5.1. 安全上重要な電力系統は、設計基準についての要件を完全に実装すべきである。

予期される電気事象

5.2. 原子力発電所の電力系統は、設計基準で定義された定常状態の条件、短期運転の条件及び過渡現象の条件の下で、全ての機能要件を満たすべきである。

5.3. 電氣的事象及び内部事象は、発電所内で対称及び非対称の摂動を引き起こしうる。これらの事象は以下で開始されうる。

- (a) 発電所の接続時、接続していない時若しくは停止時の送電系統において、又は予期される障害若しくは容認可能なレベルを超える電圧変動及び周波数変動に起因して発電所が電力網から切り離される結果として、生じる。
- (b) 所内電力系統が所外電力系統又は他の所内電力系統に接続されたままの主発電機のトリップにより生じる。

(c) 電動機運転開始、1線地絡障害又は開閉サージなどの電気事象の結果として所内電力系統内で生じる。

5.4. このような事象が全ての所内電力系統（交流及び直流）（図4参照）に及ぼす影響は評価されるべきであり、また、許容される電圧及び周波数に対する要件が満たされており並びに保護系が適切であることが固有の解析により確認されるべきである。

5.5. 電力網の過渡現象に対する系統安定性の解析は、発電機が送電系統電圧との同期を失うことにならない摂動に対して、発電所が運転継続可能であり、電力網に接続された状態を保ち得ることを証明するべきである（図5参照）。

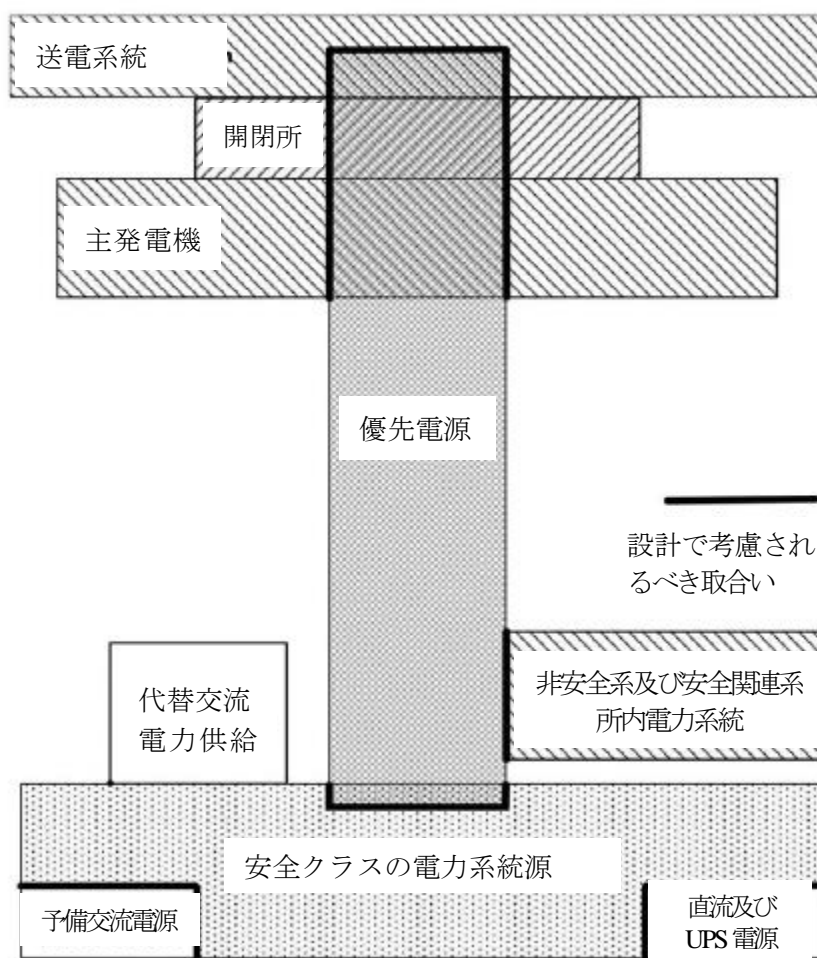
5.6. 電気障害遮断時間は、電力網運用者により定義されるべきである。

5.7. この望まれる深層防護能力は、優先電源の運転を支援する。

全交流電源喪失

5.8. 国際的な運転経験は、タービントリップと同時の優先電源の喪失及び全ての予備交流電力供給装置の使用不可が確実に起きる事象であることを示してきている。そのような事象は、単一の発電所及び更には1つの敷地にある全ての号機に影響を与える場合がある。このような事象は全交流電源喪失と呼ばれ、その発生頻度は設計拡張状態の事象として考慮及び解析されものより十分低くあるべきである。この用語には、無停電交流電力系統若しくは直流電源の同時故障又は設計に多様性があり所内及び所外の電源の喪失を引き起こす事象の影響を受けない代替交流電源の故障を含まない。

5.9. 安全機能を維持し及び使用済燃料からの崩壊熱を除去する発電所能力は、発電所が全交流電源喪失の状態にある期間に対して解析されるべきである。発電所が全交流電源喪失状態にある期間中に、いかなる重大な燃料損傷をも防ぐために十分な方策が設計に含めるべきである。



注：UPS - 無停電電力供給装置。

図4. 優先電源と電力系統の他の要素との間の関係

5.10. 全交流電源喪失に対処するための電力系統の能力を高める手段として、いくつかの設計対策がありうる。これらの対策には以下を含む。例えば、安全系計測制御設備及びその他の重要な設備に電力を供給するための蓄電池の容量を増加させること、号機間の接続装置の使用、又は設計において多様性があり、通常の電源及び予備電源を劣化させる可能性のある危険要因から防護された代替交流電源を設置すること、である。

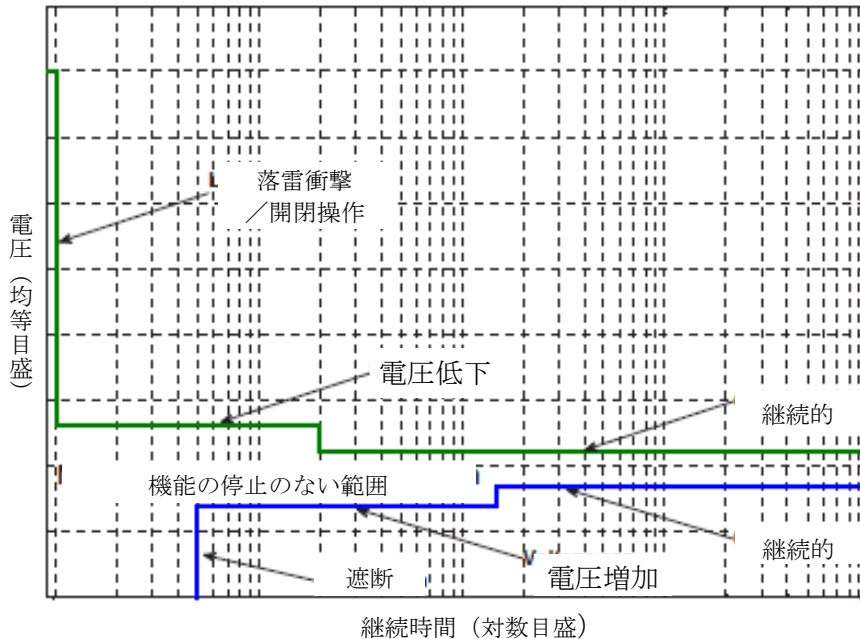


図5. 電圧増加及び電圧低下（初期状態は連続バンド内のどこにでもありうる）

信頼性に関する設計

全般

5.11. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 23 は、以下を述べている。

「安全上重要な機器等の信頼性は、それらの安全上の重要度に相応していなければならない。」

5.12. 安全上重要な電力系統の設計では、多重性、多様性、ランダム故障への耐性、設備及び系統の独立性、共通原因故障への耐性、試験可能性及び保守性、フェイルセーフ設計並びに高品質設備の選択などの設計上の仕組みが、安全機能の指定された信頼性を提供するために通常使用される。

多重性

5.13. 安全上重要な電力系統は、設計基準の信頼性要件を満たすために必要な程度まで多重的でなければならない。

5.14. 多重性は、系統の信頼性目標又は単一故障基準³への適合性を達成するために、安全上重要な電力系統で共通して使用される。多重性が完全に有効であるためには、独立性もまた必要である。多重性は、単独で取られたときは、安全操作の信頼性を向上させるが、偽の

³ 単一故障とは、意図した安全機能を実施するための系統又は機器の能力の喪失及びそれに起因するあらゆる結果的な故障に帰結する故障である。単一故障基準とは、いかなる単一故障の存在下でも系統が自らの業務を実施できなければならないように系統に適用される判断基準(又は要件)である(7.25 項を参照)。

作動の可能性も高くする。

5.15. 運転経験は、系列又は区分内の追加的な多重性が運転上の柔軟性及び増大した稼働性を提供することを示している。

独立性

5.16. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 24 は、以下を述べている。

「設備の設計は、多様性、多重性、物理的分離及び機能の独立性の概念が、必要とされる信頼性を達成するためにどのように適用されなければならないかを判断するため、安全上重要な機器等の共通原因故障の可能性について十分に考慮しなければならない。」

5.17. SSR-2/1(Rev.1)[1]の要件 21 は、以下を述べている。

「安全系間の干渉又は系統の多重性を有する要素間の干渉は、適宜、物理的分離、電氣的隔離、機能的独立性及び通信（データ転送）の独立性のような手段により、防止されなければならない。」

5.18. SSR-2/1(Rev.1)の 5.35 項 [1] は、以下を述べている。

「設計は、安全上重要な機器等士士のいかなる干渉も防止されること、及び、特に、低い安全分類の系統における安全上重要な機器等のいかなる故障も、より高い安全分類の系統に伝播しないことを確実なものとしなければならない。」

5.19. 独立性は、故障又は内的若しくは外的ハザードが安全系の多重性を有する要素に影響するのを防ぐために具備される。独立性はまた、故障又はハザードが深層防護の異なる階層を与えている系統に影響を与えることも防止する。考慮されるべき故障プロセスは以下を含む。

- 設計基準事象に起因する故障
- 同一の内的ハザード又は外的ハザードにさらされること
- 共通の支援系の故障
- 系統間又は区分間の電氣的接続
- 系統間又は区分間のデータ交換
- 設計、製造、運転又は保守における共通の過誤

5.20. 安全系の機器等は、それらが応答する必要がある事故によって影響されないようであるべきである。

5.21. 安全系は、その機能が実施されることを要求するいかなる事象中においても及びその後においても、安全系が自らの安全機能を実施できることを保証するために必要に応じて、より低位の安全分類の系統から独立しているべきである。

5.22. 安全グループの多重性を有する部分は、安全グループが、その機能が実施されることを要求する、いかなる事象中においても及びその後においても安全グループがその安全機能を実施できることを保証するために、互いに独立であるべきである。

5.23. 電力に係る構築物、系統及び機器のある部分の故障は、他の部分が機能することを要求されるときには当該部分を運転不能とすることがないようにすべきである。

5.24. 安全系の支援的な仕組みの機能的な故障は、安全系の多重性を有する部分間の独立性又は安全系とより低位の安全分類の系統との間の独立性を損なうべきではない。例えば、室内換気のような安全系支援の仕組みをそれが支援する安全系と同じ区分に割り当てることは、ある区分の機械的機能の喪失が、別の区分の電力系統の機能喪失を引き起こすことを防止する。

5.25. 隔離装置が異なる安全重要度を持つ系統間で使用されるときには、隔離装置はより高位の重要度の系統の一部であるべきである。

5.26. 独立性に対する要件を満たすために備えられた設計の仕組みの妥当性は、正当化されるべきである。

物理的分離

5.27. 物理的分離は以下である。

(a) 内的ハザードの影響による共通原因故障から防護する。該当する内的ハザードは以下を含む。

- 直接的及び間接的な水源からの、屋根、壁、配線管及び電線管を介しての噴霧及び漏出のような水のハザード
- 火災
- 飛来物
- 蒸気噴流
- 配管のむち打ち現象
- 化学爆発
- 溢水
- 隣接設備の故障

(b) 通常時、異常若しくは事故の状態による共通原因故障、設計基準事故の影響又は内的及び外的ハザードの影響から防護するために用いられる場合がある。環境、耐震及び電磁気に関する性能保証が、事故及び内的ハザード又は外的ハザードの影響から防護するために、それら自身によっても又は物理的隔離と組み合わせても用いられる場合がある。

(c) 局所的な影響を伴う事象（例えば、小型航空機の衝突）の結果としての共通原因故障の可能性を低減することもある。

(d) 多重性を有する設備の運転又は保守中に不注意による過誤が発生する可能性を低減する。

5.28. 物理的隔離は、障壁、距離又はこれら2つの組み合わせによって達成される。

5.29. IAEA 安全基準シリーズ NS-G-1.7「原子力発電所の設計における内部の火災と爆発に対する防護」[5]及び IAEA 安全基準シリーズ NS-G-1.11「原子力発電所の設計における火災と爆発以外の内的ハザードに対する防護」[6]は、火災及びその他の内的ハザードに対する

防護に関する手引きを提示している。

5.30. 設備又は配線の集中に起因する問題を供することがある場所は、以下である。

- 格納容器貫通部
- モーターコントロールセンター
- 開閉装置の区域
- ケーブル処理室
- 設備室
- 中央制御室及び他の制御室
- 発電所プロセス計算機

電氣的隔離

5.31. 電氣的隔離は、ある系統の電氣的故障が接続された系統に影響することを防ぐために用いられる。電氣的隔離は、電磁波干渉、静電ピックアップ、短絡、開回路、地絡又は想定最大電圧（交流又は直流）の印加などの要因によって引き起こされる設備と構成機器との間の負の相互作用を制御又は防止する。

5.32. 実行可能な限り、非安全系の負荷は安全系電力系統から給電されるべきではない。

5.33. 安全系電力系統から非安全系負荷に給電する必要があるのであれば、非安全系負荷は、安全分類された隔離装置によって隔離されるべきである。

5.34. 好ましい隔離装置の例は、隔離装置と同じ安全区分内で発生した事故発生信号又は電圧喪失信号により自動的に切られる安全系級の回路遮断器である。

5.35. 安全系に分類された電力系統の多重性を有する区分は相互に接続されるべきではない。

5.36. 安全評価が電力供給の信頼性が大幅に向上していること及び多重性を有する区分の十分な独立性が確保されていることを確認しているのであれば、運転中に多重性を有する区分間の一時的な接続がなされる場合がある。

5.37. 安全評価が以下のことを確認しているのであれば、停止中に多重性を有する区分間の一時的な接続がなされる場合がある。

- (a) 相互接続が、単純な開閉操作によって故障を受けないインターロックを有すること。
- (b) 当該の接続が発電所の安全機能の信頼性及び共通原因故障に対する脆弱性に及ぼす影響が容認可能であること。

5.38. これらの相互接続は、全交流電源喪失状態でも使用される可能性がある。

5.39. 電氣的隔離のための装備の例は、回路遮断器、リレー、電氣的隔離装置、光學的隔離装置（光ファイバを含む）、ケーブル若しくは機器の遮蔽物、隔離距離、内部機械構造又はこれらの組み合わせを含む。

5.40. 電磁両立性に関する性能保証は、電磁気干渉及び静電拾得から防護することによって電氣的隔離を補完する。

随伴回路

5.41. 安全系の回路とより低位の安全クラスの機能の回路との間の電氣的な障害に対して適切な分離及び隔離を提供することが現実的でないときは、当該のより低位クラスの回路（随伴回路）は以下であるべきである。

- (a) 随伴回路がついている安全クラスの回路をその随伴回路が容認できないほど劣化させないことを実証するため分析又は試験されること
- (b) 随伴回路が付いている安全区分の一部として特定されること
- (c) 随伴回路が付いている安全区分の回路と同じ方法で、他の機器から電氣的に分離されること。

多様性

5.42. 安全系電力系統は、多様な電力供給源から給電されるべきである。

5.43. 電源の多様性は、通常、電力系統の構造的設計に固有である。

5.44. 典型的には、安全系電力系統の負荷は以下から給電できる。

- (a) 優先電源を介した所外電力系統
- (b) 主発電機、これは通常の電源であるか又は所内負荷運転中に電力を供給することになる。
- (c) 予備電源、これは所外電力の喪失時に安全系電力系統に電力を供給することになる。
- (d) 全交流電源喪失状態における代替交流電源

5.45. 直流負荷は、蓄電池又は（整流器を介して）上記のいずれかの供給源から供給できる。

5.46. 無停電交流電力系統は、蓄電池若しくは蓄電池充電器（逆変換器経由）又はバイパススイッチを使用した安全系交流母線から供給できる。

5.47. 設計基準が電力系統のソフトウェアに基づく装置に対して多様性を要求する場合、SSG-39 [2]の手引きに従うべきである。

5.48. 特定の負荷、例えば計測制御系のための電力供給源の多様性は、多くの場合系統全体の稼働率を改善することがある。

5.49. 所定の安全機能を達成する多様な手段として電力以外の動力系統が提供されている場合には、それらの関連する動力源及び計測制御系は、それらが多様性を有するように意図された系統から独立であるべきである。

5.50. この推奨事項は、電力系統からの多様性のために備えられる電力以外の動力系統（蒸気又はエンジン駆動ポンプなど）と同様に、多様性を有する複数の電力以外の動力系統にも適用する。

5.51. 物理的分離及び電氣的隔離に加え、多様性は、多重性を有する系統間又は深層防護の異なる層を支援する系統間の独立性を増大させるために必要となることがある。これは、多様な電源の使用により又は無停電電力供給装置からの供給により達成される場合がある。

共通原因故障

5.52. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 24 は、以下を述べている。

「設備の設計は、多様性、多重性、物理的分離及び機能の独立性の概念が、必要とされる信頼性を達成するためにどのように適用されなければならないかを判断するため、安全上重要な機器等の共通原因故障の可能性について十分に考慮しなければならない。」

5.53. 共通原因故障は、安全系電力システムがその安全機能の起動要求があったときに当該機能を実施できなくなる可能性があるものであり、その可能性は、安全系電力システム及びその支援系の設計、保守、試験及び運転で考慮されるべきである。

5.54. 多様性及び独立性の原理（物理的分離及び機能的隔離）は、安全系自身の設備において、開閉サージにおいて又は接続されたシステム若しくは人の関与（例えば、運転及び保守中）から生じる電圧及び／又は周波数の異常変動において、発生する、想定しうる共通原因故障から防護するために適用されるべきである。

5.55. 独立性及び多様性の仕組みの使用は、共通原因故障がシステムの利用不能の主因とならないことを確保する助けとなるが、全面的に保証するものではない。

5.56. 原子力発電所は通常 1 つの送電システムのみ接続されるため、電力網での 1 つの事象が安全系電力システムの多重性を有する部分に影響を与える可能性がある。原子力発電所が 2 基のタービンと 2 基の発電機を備えるのであれば、共通原因故障の可能性は低減されることになる。多重性を有する安全系電力システムが独立した電力網接続により給電されるのであれば、共通原因故障の可能性もまた低減されることになる。

5.57. 所内及び所外の電力供給装置の両方での電圧過渡現象に関連する事象の運転経験は、共通原因故障のリスクを最小限にするために、電力システムの設計に対してより留意する必要性を実証してきている。過渡現象の影響を最小限に抑える一連の設計対策として実現される「停電なし」の概念が望ましい（図 5 参照）。

5.58. 発電施設で発生する電圧の異常変動、周波数の異常変動及び位相角の異常変動の故に、優先電源から発生する共通原因故障に対する脆弱性を選別するときに、産業界での適用からの運転経験の価値は限定的である。

5.59. 電力網で発生する共通原因故障に対する主な防護の仕組みは以下である。

- (a) 安全系電力システムを脅かす可能性のある全ての想定可能な事象を特定する包括的な設計基準及び設計手引き
- (b) 内蔵された仕組み又はリレー保護のいずれかにより、これらの事象に対処する安全系電力システムの検証された能力
- (c) 整流器及び逆変換器から供給される母線に電圧の異常変動及び周波数の異常変動を伝播することのないことの検証された能力

5.60. 所外電源喪失で終了する事象の後、安全系電力システムが主発電機から給電されないのであれば、予備電源が動き始めることになり、安全系電力システムに給電することになる。安全

系電力系統が異なる区分に分割されていたとしても、予備電源の開始順序は、全ての区分を開始するために同じ物理的特性が用いられるため、共通原因故障となる可能性を持つ。

5.61. 予備電源の共通原因故障に対する主な防護の仕組みは以下のとおりである。

- (a) 予備電源の制御、運転開始及び運転に脅威を与える可能性のある全ての想定可能な事象を特定する包括的な設計基準及び設計手引き
- (b) 内蔵された仕組み又はリレー保護のいずれかにより、これらの事象に対処する予備電源の検証された能力（これは予備電源の稼働時の過渡性能も含む。）、
- (c) 始動時の信頼性及び運転時の耐久性を確保し、また不要な停止を防止するための制御回路及び設備の適切な多重性

5.62. ソフトウェアに基づく装置に対する共通原因故障のリスクを最小限に抑えるために、SSG-39 [2]で推奨されている計測制御設備の適切な設計上の仕組みが使用されるべきである。

故障モード

5.63. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 26 は、以下を述べている。

「フェイルセーフ設計概念は、適宜、安全上重要な系統及び機器の設計に取り込まれなければならない。」

5.64. 安全上重要な電気機器の故障モードは周知されるべきであり、また、文書化されるべきである。

5.65. フェイルセーフの概念を適用するために機器の故障モードに関する知識が必要である。

5.66. 安全上重要な電気機器の故障は、定期的な試験の実施によって検知可能であるか又は警報若しくは異常の表示によって明らかにされるべきである。

5.67. 設計は、故障が自己表示できるようなものであるべきである。ただし、その設計が結果的に安全でない状態になること又は安全系の偽りの作動を引き起こすことがある場合を除く。

保護協調

5.68. 電氣的保護機構は、故障が安全機能を無効化することを、容認可能なレベルで防止するべきである。

5.69. 各負荷グループの保護操作は、多重性を有する負荷グループによって供される保護操作から独立であるべきである。

5.70. 保護リレーは、運転中の設備が劣化するか又は故障するなどの異常な状態が発生したときに、電力系統のいかなる要素も供用から直ちに除外するために使用されるべきである。

5.71. 損傷状態の影響を最小化するために、回路遮断器の選択的停止が用いられるべきで

ある。

5.72. 保護機構は、以下のことを可能とすべきである。

- (a) 容認できない状態の検出時に、電力系統の擾乱の厳しさ及び広がり、設備の損傷並びに要員及び財産への潜在的な危険要因を減らすために、要求される装置を運転すること、
- (b) 自動又手動で代替供給への移行を開始するための備えを有する、接続された優先電源を監視すること。この場合の代替供給源は、異なる所外供給源又は予備交流電力供給装置である場合がある。最良の技術を用いて及び保護機構を備えた適切なインターロックを用いての高速母線移行は、運転中の設備への負担を軽減できる。
- (c) 保護操作の表示及び識別を提示すること
- (d) 保護系の制御電力のための電力の利用可能性を監視すること
- (e) 障害を受けた設備のみが電力供給装置から切り離されることを確実なものとする。

5.73. 通常、障害を受けた機器のみを切り離す保護機構は、以下の特性を持つ。

- (a) 短絡及び過負荷の場合、保護装置は、電力系統の全ての計画された接続条件で選択的に動作するように設計されている。
- (b) 保護装置は、危険要因を回避するため及び外乱を最小化するために十分な速さで故障電流を遮断する回路遮断器を作動するように設計されている。
- (c) 発電所の開閉器は、潜在的なアーク障害に起因する開閉器への損傷を最小限に抑えるため、発電所の安全を確保するため並びに運転及び保守要員を防護するために、信頼性のあるアーク保護又はその他の適切な保護が具備される。
- (d) 試験の実施中に機器を保護するために設置された個々の保護装置は一覧にまとめられ、また、その運転が実際の事象で動作する系統の能力を危険にさらさないように設計される。

5.74. 保護機構は、電圧低下及び遮断後の再加速電流又は母線移行の考慮を含むべきである。

5.75. 保護装置の設計は、対称及び非対称の両方の障害の考慮を含むべきである。

5.76. 考慮される障害は、一相喪失及び地面に接続されていない系統の地絡障害などの事象を含めて、想定しうる全ての直列障害及び分流障害を含む。保護協調には測定原理の考慮も含む。

5.77. 事象における過渡現象を捉える手段の準備は、実施される分析の検証及び保護協調を支援するために望ましい。

5.78. デジタル保護装置は、それが実施するように意図されている安全機能に従って、使用について検証されるべきである。

5.79. 電力系統向けの及び原子力発電所機器向けの保護装置の設計は、電気設備及び電気設置物の安全に適用する国家標準にも適合すべきであるとともに、電気設備及び電気設置物に関するその他の関連規則にも適合するべきである。

信頼性の確認

5.80. 安全上重要な全ての系統について、系統の設計基準の信頼性要件が設計で達成されていることを確認するために体系的な分析評価が実行されるべきである。

5.81. ソフトウェア又は複雑な複数の要素からなる論理モジュールの使用は、信頼性及び共通原因故障への感度の確認について困難さを引き起こすことがあり得る。したがって、信頼性の確認は、設計及び実装プロセスでの過誤のないことの保証に依存する場合がある。SSG-39 [2]はこの主題に関する推奨事項及び手引きを提示している。

5.82. 安全系の一部である試験施設は、系統の利用可能性を決定する際に考慮されるべきである。

定格値

5.83. 発電所の電力系統で使用される設備の全ての機器等は、その公称定格値と比較して運転パラメータに十分な裕度を持つべきである。

5.84. 解析及びシミュレーションは、保守的な仮定及び認証された手法に基づいて設計裕度を確認するために実施されるべきである。

5.85. 設備の定格値における裕度の妥当性は、定期的並びに少なくとも主要な機器の交換、発電所の改造及び定期安全レビューと併せて確認されるべきである。

5.86. 電気設備は、将来の発電所の高性能化及び改造が設備の定格値を超えることなく実装されることを確実なものとするため適切な設計裕度を持って規定されるべきである。

電動機負荷

全般

5.87. 安全上重要な機器等の電動機は、電力系統の設計基準よって指定されているように、最小許容設計電圧で運転開始できるように十分高い脱出トルクを持って設計されるべきである。

5.88. 電力系統に接続されている安全上重要な機器等向けの電動機及びその他の装置は、設計基準において規定された、適用される定常状態、短期間運転及び過渡現象条件から生じる可能性のある過大周波数及び不足周波数と同様に過大電圧及び不足電圧に耐えるべきである。

5.89. 定格電動機に対して及び安全系電力系統の機器の設計に対して使われる負荷並びに過負荷保護装置の設定に対して使われる負荷は、実際の電動機負荷及び、適用可能な場合、最大運転可能トルクを反映するべきである。

5.90. 弁体駆動部は、低電圧及び低周波数で十分なトルクで閉じるように、高電圧及び高周波数での最大許容トルクを超えないように、また、低電圧で弁を開くことができるように、設計されるべきである。

5.91. 電動機駆動装置の保護装置は、運転中の不必要な停止を避けるためにトルクスイッ

チの設定値の設定で調整されるべきである。

過負荷運転に対する設計

5.92. 電気設備及びケーブルは、その定格値を超えることなく必要な過負荷運転を可能にするように設計されるべきである。

5.93. 過負荷で短時間設備を運転することは、場合によっては必要であることがある。典型的には、これは、大型のポンプが最大可能条件下での運転に至る最小の背圧で運転開始するときに起きることがある。例えば、回路保護装置の設定点は、連続的な過負荷による損傷から設備を保護するための必要なレベルより高く設定される場合がある。

5.94. ケーブルは、連続電流を通电するための能力に従って過負荷から保護されるべきである。

5.95. 過負荷の設備の運転が許可されている場合、そのような運転は他の回路又は付帯する設備に悪影響を与えるべきではない。

5.96. 結果として損傷のリスクを伴う過負荷状態での安全系設備の連続的な運転は、事故状態下での運転に対する安全上の正当性において認められるべきではない。

5.97. 連続して定格を超える持続的な負荷状況は、制御室に表示されるべきである。

5.98. 回路保護装置がより高いレベルに設定される場合、検出されない過負荷が通常の運転状態下で系統に残る可能性があり、これにより特定の状況で必要な設備の故障を加速する可能性がある。

電気設備、ケーブル及び配線管

全般

5.99. ここで議論される電気設備は、開閉器、モーターコントロールセンター、変圧器及びケーブル系からなる。

5.100. 電気設備は、その供用条件及び環境条件に対して選定され、定格設定され、また、性能保証されるべきである。

5.101. 電気設備は、火災の伝播を防ぐために十分に難燃性であるべきである。

5.102. 火災安全の側面は NS-G-1.7[5]で検討される。

定格値と容量設定

5.103. 電気設備は、公称系統電圧よりも高い電圧定格（通常 110%）及び設備が受けることがあるあらゆる過渡電圧よりも大きな衝撃電圧定格を持つべきである。

5.104. 電気設備は、下記のように容量設定されるべきである。

(a) 許容電圧変動下で要求される主回路及び分岐回路の電流を流すこと

- (b) 定格温度を超えることなく負荷の作動要求を満たすこと
- (c) 短絡に耐えること（例えば、障害に関して指定された遮断時間中の故障電流）
- (d) 機械的強度を超えることなく最高電流に耐えること

5.105. 導体の温度の計算で考慮されるべき要因には以下を含む。

- (a) 最高環境温度
- (b) 通常電流及び故障電流
- (c) 負荷率
- (d) 同一の又は近くの配線管の中の他のケーブルの配列
- (e) ケーブル支持構造体、壁貫通部、床貫通部、火災止め及び難燃性塗布剤のケーブル加熱への影響

設置

5.106. 母線、配線管（すなわち、トレイ又は電線管）及びそれらの支持構造体は、ケーブル及び関連する継手によって課される機械的負荷に適切な裕度をもって耐えるように設計されるべきである。

5.107. 安全系の母線、閉鎖型受電設備及びケーブルは、想定起因事象から生じる可能性のある危険要因に対して適切に保護されるべきである。

5.108. 母線、閉鎖型受電設備及びケーブルに影響を及ぼす可能性のある危険要因には、火災の影響並びに流体系及び機械的若しくは構造的な機器の故障又は不具合を含む。

5.109. 一般的に設計は、安全系の一部であるケーブルが火災、回転機械設備の故障又は支持構造体系の故障などの外部の事象が安全解析書で妥当性の証明がされた最小設定（通常はあらゆる安全グループの一つの区分）以上の損傷を与えないように配線され又は保護されることを保証するようなものであるべきである。機械設備の故障には、回転設備又は他の高エネルギー系の故障の結果としての配管のむち打ち現象、噴流衝撃及び飛来物の発生による影響を含む。機械設備の故障に対する防護に関する推奨事項及び手引きは NS-G-1.7 [5] で提供されている。

5.110. 配線管及びケーブルは、それぞれの対応する区分で恒久的に識別されるべきである。

5.111. 共通する実施例は、配線管及びケーブルをそれぞれの端部及び一定の間隔で（閉じられた配線管内のケーブルを除く）恒久的に識別することである。配線管の識別は、通常、ケーブルの電圧クラスも含む。

5.112. 各ケーブルには、設置時に、適切な配線管への敷設を確実にするために適切な識別を与えられるべきである。

5.113. 一般に、配線管中でのケーブル接続の使用は禁止されるべきである。

5.114. ケーブル接続は、ケーブル接続がその使用に対して認証されていることを前提に、現場ケーブルと設備との間の接続のために使用される場合がある。そのような端末処理技法は、事故状態に起因する環境条件へさらされることにより発生することがある高漏洩電

流に対して保護するために、格納構造物内の安全系のケーブル及び設備に必要となる場合がある。

ケーブルの分離

5.115. 適切な方法（例えば、距離又は物理的障壁）の使用による物理的分離は以下の間で提供されるべきである。

- (a) 安全系に分類されたケーブルと安全系分類を有しないケーブル
- (b) 異なる安全区分に属するケーブル
- (c) 異なる電圧クラスのケーブル

5.116. 安全分類による分離は、安全分類を有しない系統又はケーブルの故障の結果として、安全系に分類されたケーブルの損傷を回避することを意図している。異なる安全区分のケーブル間の分離は、単一の危険要因が安全系の2つ以上の多重性を有する機器に影響することを防ぐことを意図している。電圧クラスによる分離は、より高いエネルギー回路で予想される電磁障害が、より低いエネルギー回路に容認できない影響を与えることを防ぐことを意図している。

5.117. ケーブルの物理的な分離は以下の電圧クラスのケーブル間で提供されるべきである。

- (a) 計測制御ケーブル
- (b) 低電圧電力ケーブル（1 kV 以下）
- (c) 中電圧電力ケーブル（1 kV 以上～35 kV）
- (d) 高電圧電力ケーブル（35 kV 以上）

5.118. 高電圧電力ケーブルは、一般に原子力発電所の所内電力系統では使用されない。

5.119. 同じ電圧クラスのケーブルのみが同じ配線管（梯子、トレイ又は電線管）に配置されるべきである。

5.120. 異なる電圧クラスのケーブル及び配線管は、空間的分離によるか又はあるクラスが他のクラスに有害な影響を及ぼすことを防ぐ障壁によるかのどちらかにより、クラスに従って分離されるべきである。

5.121. 接地された金属電線管は、容認可能な分離障壁を表す。

接地の実行

全般

5.122. 接地は、電力系統及び計測制御系の電氣的な安全性と機能性の両方を確保するために役立つ。国内標準及び国際標準における接地に関する詳細な設計の手引きが利用できる。

5.123. あらゆる発電所で、一般的には、概念的に識別可能だが必ずしも物理的に明確でない4つの接地系がある。すなわち、要員の安全のためのもの、避雷のためのもの、電力系統のためのもの及び信号接地を含む計測制御系のためのものである。

5.124. 全ての接地系は、単一の接地用電線網に接続されるべきである。

5.125. 接地抵抗の値は、以下を反映すべきである。

(a) 設備の故障電流容量

(b) 電氣的安全性（すなわち、仮定された雷放電又は地面への故障電流を伴う許容可能な歩幅電圧及び接触電圧）

5.126. 国際技術標準は、計測制御系の接地に対して多くの解決策を記載している。典型的には、発電所は計測制御系の接地について2つの方法、すなわち、1点接地又は多点接地のうちの1つを使用する。推奨される解決策は、設計に固有である。

5.127. 用いられる接地手法は、電磁両立性についての全体的な設計方針に従って正当化され、調整されるべきである。

電氣的な安全性

5.128. 全体的な接地は、電力系統及び計測制御系を損傷から防護することと同様に、人を危害から並びに建物及び設備を損傷から効果的に防護するように、設計、設置、保守されるべきである。

5.129. 全ての設備及び装置の金属枠は、接続がその機能性を妨げることになる場合を除いて、地面に接続されるべきである。

5.130. 枠が地面に接続されていない場合、安全を確保する追加の手立てが講じられるべきである。

5.131. 接地系の設計では、系統の一部のみの不適切な接地でさえ系統全体に影響することがあるため、電力系統は一体のものに見なされるべきである。

機能性

5.132. 中電圧交流電力系統は、望ましくは高インピーダンス接地されるべきである。

5.133. 高インピーダンス接地は故障電流を制限し、また、影響を受ける設備の継続的な運転を可能にする。

5.134. 固体接地系又は絶縁系などの他の接地方式は、妥当性証明されたときには用いられる場合もある。

5.135. 高インピーダンス接地系では、電力系統は全ての電圧レベルで地絡事故について監視されるべきであり、また、故障の場所を容易に特定できるようにすべきである。

5.136. 低インピーダンスの地絡の検出は警報を発するのみであるべきであり、

また、設備がその機能を引き続き実施できるようにすべきである。

5.137. 保護機構は、複数の障害で設備を停止する場合がある。

雷防護及びサージ電圧防護

5.138. 落雷が電力系統及び計測制御系が要求されている安全機能を果たすことを妨げることにならないように方策がなされるべきである。

5.139. このような方策を達成する系統は、外部又は内部の防護に依存する場合がある。通常、両方の方法の組み合わせが必要となる。

5.140. 外部の方策は、通常、避雷針又は落雷の影響から建物及びその設備を遮蔽する建物の金属部分から構成するファラデーケージを含む。内部の方策は、電磁ハザードから防護された環境を作り出すために部屋に対する個別の電磁的遮蔽を含み得る。

5.141. 内部避雷は、通常、落雷電流によって生じる高い誘導電圧及び高い移行電圧の両方から防護するための遮蔽及び避雷装置を含むことになる。高い移行電圧は、地面と外部避雷系の部分及び関連する接地接続との間の電位差によって起こされる。

5.142. 安全系電力系統を誘導電圧から保護するために、安全系に分類された配線管及びケーブルは建屋の外壁の近くに配置されるべきではない。

5.143. 外部避雷は、建屋の外側の地面に落雷電流を誘導するように接地されるべきである。

5.144. 内部の防護接地は、要員及び設備を高い移行電位から防護するように、避雷接地の据付け部に接続されるべきである。

5.145. 避雷系の地面への接続は、雷放電の影響が安全系電力系統の安全機能又は雷防護接地のいずれかを危険にさらさないような経路とされるべきである。

5.146. 発電所の接地は、特定の地面接続によって補完される場合がある。

5.147. 倉庫、事務所並びに保守職員及び支援職員の作業場などの発電所特有の部分ではない構造物は、一般に発電所の配電系統から給電されるべきではない。

5.148. 発電所の母線が付属建屋への電力の供給に使用されるのであれば、これらの建屋内の設備によって発生する電気ノイズ及び電圧変動が発電所の電力系統に悪影響を及ぼさないことを確実なものとするために適切な対策が講じられるべきである。

5.149. 制御及び監視用の電力系統は、誘導又は他の影響による擾乱のリスクを最小化するように発電所の外側に配電されるべきではない。

5.150. 他の建屋への接続は、落雷により生じる誘導電圧及び接地電位上昇に対する接地された鉄製の壁などの適切な防護を伴う場合、ケーブル経路が同様の方法で防護されているならば正当化できる。

5.151. 電圧サージ抑制装置又は避雷装置は、そのサージが設備又はその絶縁のために設定

されている許容電圧制限値を超えることを防ぐために、具備されるべきである。

5.152. 過電圧サージは、落雷、電氣的障害又は開閉現象によって引き起こされ得る。様々な電圧レベルで抑制装置が必要なことがある。

5.153. 開閉操作、整流器、逆変換器及び回転設備は、公称周波数及び公称電圧で動作するように設計された設備に有害となる場合がある高調波及び電気ノイズを発生する。電力系統において電気ノイズに敏感な設備の信頼性の高い運転のために、電気ノイズをろ過又は抑制するための追加の設備が必要な場合がある。

設備の性能保証

全般

5.154. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 30 は、以下を述べている。

「原子力発電所の安全上重要な機器等が、設計寿命を通して、必要なときに及び代表的な環境条件下で、意図した機能を果たすことができることを検証するために、保守及び試験期間中の発電所状態を十分に考慮して、それらの機器等の性能保証プログラムが実行されなければならない。」

5.155. 安全上重要な電力系統及び機器は、その供用期間にわたって意図された機能に対して性能保証されるべきである。

5.156. 性能保証は、系統又は機器の安全分類に見合った信頼度を保証すべきである。

5.157. 性能保証プログラムは、系統又は機器の意図された安全上重要な機能への適性に影響する全ての事項に取り組むべきであり、以下を含む。

- (a) 機能及び性能の適性及び正確さ
- (b) 機器の環境性能保証
- (c) 機器の耐震性能保証
- (d) 電磁気性能保証

5.158. 性能保証は方法の適切な組み合わせに基づいているべきであり、例えば以下を含む。

- (a) 認められた標準を遵守した工学的手順及び製造手順の使用
- (b) 信頼性の実証
- (c) 類似の適用における過去の経験
- (d) 型式試験
- (e) 供給された設備の試験
- (f) 得られた試験結果又は関連する条件下で得られた運転経験を外挿するための分析

5.159. 一般に、上記の全ての方法を適用することは必要ではない。方法の特定の組み合わせは検討対象の系統又は機器に依存することになる。例えば、既存の機器等の性能保証は、工学面及び製造における検証及び妥当性確認の完全な文書化の欠如を補償するために過去の経験と分析をより重視することがある。

5.160. 設備の性能保証に使用される方法又は方法の組み合わせは、正当化され、また文書化されるべきである。

5.161. 運転経験が設備の性能保証を支援するために使用される場合、提案された用途及び対象とする用途の環境条件に関連付けられることが示されるべきである。

5.162. 設備の性能保証のための証拠の一部である分析は、使用された方法、理論及び仮定の正当化を含むべきである。

5.163. 例えば、設備の性能保証に使用される数学的モデルの妥当性は、実験データ、試験データ又は運転経験に基づいて正当化される場合がある。

5.164. 追跡可能性は、安全上重要な個々の設置された系統及び機器と性能保証の適用できる証拠との間で確保されるべきである。

5.165. この追跡可能性は、機器自体の追跡可能性のみならず、性能保証された構成と設置された構成との間の追跡可能性も含む。

適性及び正確さ

5.166. 設備の性能保証プログラムは、電力系統の構築物、系統及び機器並びにソフトウェアの設計が、適切な設計基準及び設備仕様書に含まれる安全上重要な性能、容量及び信頼性に関する全ての要件を満たしていることを実証するべきである。

5.167. 信頼性要件の例には、例えば、フェイルセーフ挙動、単一故障基準への適合性、独立性、故障検出、保守性及び供用期間に対する要件を含む。

5.168. 設備の性能保証プログラムは、建設された電力系統及び設置された機器が認証された設計を正しく実装していることを証明するべきである。

環境性能保証

5.169. 本安全指針では、「環境性能保証」は、機器の適切な機能性に影響を与える可能性がある条件として、温度、圧力、湿度、化学物質との接触、放射線被ばく、気象条件、水没及び経年変化メカニズムに対する性能保証を意味している。

5.170. 安全上重要な構築物、系統及び機器は、それらが機能することを要求される全ての発電所状態に付随する環境条件の影響に対応するために設計されるべきであり、また、これらの環境条件と両立しているべきである。

5.171. 安全上重要な機器は、設計基準で指定された環境条件の範囲内におかれたときには、設計基準の全ての要件を満たすことを示されるべきである。

5.172. 機器は、完全な操作性が要求されないときにおいても、例えば、機械的な健全性を維持するため又は特定のモードでは故障しないために、安全機能を有することがある。

穏やかな環境条件にさらされる機器

5.173. 安全上重要であり、その事故時の環境供用条件が通常運転時の条件よりも決して著しく厳しくない（すなわち、穏やかな環境条件）電力系統の機器の環境性能保証は、当該機器が指定された運転条件に適しているとの供給者の認証に基づいている場合がある。

過酷な環境条件にさらされる機器

5.174. 事故状態での環境供用条件が通常運転中の条件より常に著しく厳しい（すなわち過酷な環境条件）電力系統の安全系に分類された機器の環境性能保証は、その機器の性能保証寿命の終了時に、指定された供用条件の全範囲で安全機能を実施することができることを示すべきである。

5.175. 機器がその性能保証寿命の最後において要求どおり機能できることを示すことは、要求される機能性が性能保証寿命の終了時に維持されていることを示すため、経年変化の有意な影響（例えば、照射経年変化及び熱経年変化）に対処していることを含む。通常、このことは、必要などころでは、予期されない経年変化メカニズムを考慮に入れるためさらなる保守性を備えることを含む。

5.176. 設備の性能保証プログラムを規定する際に、供用条件間の相乗効果を含む、供用環境条件の信頼し得る最悪の組み合わせに対処されるべきである。

5.177. 異なる環境条件に対して別々に試験することが必要であれば（例えば、放射線影響及び温度効果に関する別々の試験）、これらの試験が行われる順序は、組み合わせられた環境条件によって引き起こされる劣化を適切に模擬するものとして正当化されるべきである。

5.178. 最も厳格な環境性能保証は、安全機器のみに適用される場合がある。

5.179. 過酷な環境条件で作動することを予想される安全機器の環境性能保証は、型式試験を含むべきである。

5.180. 防護障壁が想定しうる環境影響から設備を隔離するため設けられているときは、障壁自身がその妥当性を検証するために性能保証プログラムの対象であるべきである。

内的及び外的ハザード

5.181. 発電所の設計基準及び発電所の安全解析は、発電所が運転のために耐えることを要求されるか又は安全に耐えることが要求されるものであって、防護又は系統性能保証が必要であることの対象である、火災、溢水及び地震事象などの内的及び外的ハザードを特定することになる。

5.182. 電力系統及び機器は、NS-G-1.7 [5]の推奨事項に従って火災及び爆発の影響に対して防護されるべきである。

5.183. 電力系統及び機器は、NS-G-1.11 [6]の推奨事項に従って他の内的ハザードの影響から防護されるべきである。

5.184. 電力系統及び機器は、IAEA 安全基準シリーズ NS-G-1.6「原子力発電所の耐震設計及び認証」[7]の推奨事項に従って、地震ハザードに耐えるように設計され、性能保証されるべきである。

5.185. 電力系統及び機器は、IAEA 安全基準シリーズ NS-G-1.5「原子力発電所の地震以外の外部事象に対する設計」[8]の推奨事項に従って、他の外的ハザードに対して防護されるか又は耐えるように設計され、性能保証されるべきである。

電磁気性能保証

5.186. 電氣的及び電子的な系統及び機器の乱れのない運転は、運転環境における条件と機器の電磁両立性に依存する。すなわち、周囲の機器又は接続されている機器により引き起こされるより大きな擾乱に耐える機器の性能に依存する。

5.187. 付帯するケーブルを含む安全上重要な設備及び系統は、それらが設置されている環境の電磁条件に耐えるよう設計され、設置されるべきである。

5.188. 電磁干渉の主要な発生源は、例えば以下を含む。

- (a) 開閉器若しくは回路遮断器又はヒューズ操作による故障電流遮断
- (b) 無線送信機により発生される電場
- (c) 発電所の内部又は外部における他の人為的な電磁波干渉発生源
- (d) 落雷などの電磁干渉の自然発生源

5.189. 電力系統及び機器の電磁気性能保証は下記に依存する。

- (a) 電気機器への電磁ノイズの結合を最小にするための系統設計及び機器設計の組み合わせ
- (b) 予測されるレベルの電磁ノイズに機器が耐えることができることを実証するための試験
- (c) 電磁放射が許容レベル内であることを実証するための試験

5.190. 電磁ノイズの生成及び結合を最小にする技法は以下を含む。

- (a) 発生源での電磁ノイズの抑制
- (b) 計測制御系用信号ケーブルの電力用ケーブルからの分離及び隔離
- (c) 外部の磁場及び電磁場源からの設備及びケーブルの遮蔽
- (d) 電磁ノイズについて、それが敏感な電子回路に結合する前に除去すること
- (e) 電子設備の接地電位差の平滑化又は隔離
- (f) 電気設備、配線管、筐体、機器及びケーブル遮蔽材の適切な接地

5.191. 電磁両立性に対する詳細な要件は、全ての電力系統及び機器に関して決定されるべきであり、また、これらの系統及び機器の要件への遵守性が実証されるべきである。

5.192. 設置及び保守の適切な実行は、これらの方策の適切な実装と継続的な有効性を保証するべきである。

- 5.193. 産業上の環境条件に対する電磁両立性に関する国際標準は、要求がより厳しいことがある原子力発電所の機器の電磁両立性を対象とするために、必要なところで、当該国際標準が補足されていることを条件に、要件の基礎として役立つ場合がある。電磁両立性に対する要件を決定することには、起こり得る繰返しサージ（例えば、誘導負荷の切り離し及びリレーの呼出し）及び高エネルギーサージ（例えば、電力障害及び雷による）に機器がさらされることを検討することを含む。
- 5.194. 原子力発電所単機での電力系統及び機器の電磁両立性を確立することは、単機固有の分析を実行することを含む。電磁両立性に対する各電気機器の要件の妥当性は、これらの単機固有の分析に基づいて評価される。
- 5.195. 電力系統及び機器の設計において考慮されるべき電磁干渉の種類は以下を含む。
- (a) 放射性電磁外乱の放出及びそれへの耐性
 - (b) ケーブルを介した電磁外乱の放出及び伝導
 - (c) 静電気放電
 - (d) 開閉時の過渡現象及びサージ
 - (e) 発電所で使用される無線の系統及び装置並びに補修、保守及び測定装置の放射特性。無線の系統及び装置には、例えば、携帯電話、無線送受信機及び無線データ通信ネットワークを含む。
- 5.196. 特定の精密設備の周辺に、無線装置及び他の携帯型の電磁干渉発生源（例えば、溶接機）の操作が許可されない除外区域を設置する必要があるかどうかを検討されるべきである。
- 5.197. 放出及び伝導される電磁放射に関する制限値が、全ての発電所機器に対して設定されるべきである。
- 5.198. 発電所内のあらゆる電気又は電子設備は、電磁条件に寄与することになる。したがって、電磁放射への制限値は安全上重要な機器のみならず、全ての発電所設備に適用するべきである。
- 5.199. 個々の機器に課される放射制限値は、単一の機器が電磁干渉による危険要因に重大な寄与することがないことを保証するのに十分な量だけ、電磁干渉に対する動作範囲内にあるべきである。
- 5.200. 性能保証プログラムは、発電所設備の全ての機器の電磁放射が指定された制限値内であることを示すべきである。
- 5.201. 付帯するケーブルを含む設備及び系統は、発電所設備の機器間における電磁干渉の伝播（放射及び伝導の両方による）を適切に制限するように設計及び設置されるべきである。
- 5.202. 計装ケーブルは、電磁干渉及び静電干渉を最小にするために十分な撚りと遮蔽を備えるべきである。
- 5.203. SSG-39 [2]は、電力系統の電子要素の電磁両立性に関する追加の推奨事項及び手引きを提示している。

経年変化に対処するための設計

5.204. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 31 は、以下を述べている。

「原子力発電所において安全上重要な機器等の設計寿命が決定されなければならない。安全上重要な機器等が設計寿命を通して必要な安全機能を果たす能力を確実なものとするために、経年変化、中性子脆化及び摩耗のメカニズム並びに潜在的な経年変化による劣化の可能性を十分に考慮し、設計では適切な安全余裕が与えられなければならない。」

5.205. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の 5.51 項は、以下を述べている。

「原子力発電所の設計は、試験、保守、保守停止時、想定起因事象の発生時の発電所状態及び発生後の発電所状態を含めて、機器が保証されるべき全ての運転状態において経年変化及び摩耗の影響を十分に考慮しなければならない。」

5.206. SSR-2/1 (Rev. 1)の 5.52 項[1]は、以下を述べている。

「設計段階で予測される経年変化のメカニズムを評価するために、また、発電所の予期しない挙動又は供用中に生じることがある劣化の識別を支援するために、監視、試験、試料採取及び検査のための措置が講じられなければならない。」

5.207. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 31 並びに 5.51 項及び 5.52 項は、経年変化の影響が厳しい環境条件下で機能する安全機器の実力を損なわないことになることを確保することを目的としている。このような劣化は、通常の条件下での機能上の能力が顕著に影響される前に十分に起きる可能性がある。

5.208. 電気機器に著しく影響を及ぼす可能性のある経年変化メカニズム及びそのようなメカニズムの影響に続く手段は、設計プロセスで特定されるべきである。

5.209. 潜在的な経年変化の影響の特定には、最初には設計プロセスの一部を構成する、関連する経年変化の現象を理解することを含む。

5.210. 経年変化の影響は、最も一般的には熱及び放射線被ばくによるが、他の現象（例えば、機械的振動又は化学的劣化）は特定の機器では重要な経年変化メカニズムであり得る。

5.211. 保守計画、サーベイランス計画及び経年変化管理計画は、設備がその安全機能を実施できなくしてしまう可能性のある劣化（経年変化）に向かうあらゆる傾向を特定するための活動を含むべきである。

5.212. 監視技法の例には以下を含む。

- (a) 発電所の機器の試験の実施又は発電所の機器の経年変化の代表的なものである経年変化を受ける機器の試験の実施
- (b) 目視検査
- (c) 運転経験の分析

5.213. 経年変化の影響に対処する手段の例には以下を含む。

- (a) 性能保証寿命の終了前の機器の交換
- (b) 経年変化の影響を考慮に入れるための機能特性の調整
- (c) 経年変化プロセスを遅くする効果を有する保守手順又は環境条件への変更

5.214. 過酷な環境条件で安全機能を実施しなければならない安全機器の性能保証寿命が決定されるべきである。

5.215. 安全分類された機器はその性能保証寿命の終了前に交換されるべきである。

5.216. 実施中の性能保証は、機器の性能保証寿命が有効であること又は予想される寿命と異なっていると表示されていることを示す可能性がある。実施中の性能保証からの情報は、機器の性能保証寿命を延長又は短縮するために利用される場合がある。

5.217. IAEA 安全基準シリーズ NS-G-2.12 「原子力発電所の経年変化管理」 [9]は、設備性能保証と経年変化管理計画との間の取り合いを含む、経年変化管理に関する追加の推奨事項及び手引きを提示している。

立入りの管理

5.218. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 39 は、以下を述べている。

「計算機のハードウェア及びソフトウェアを含む安全上重要な機器等への無許可の立入り又は妨害は、防止されなければならない。」

5.219. 安全上重要な系統の設備への立入りは、無許可の立入りを防止するように及び過誤の可能性を減少させるように制限されるべきである。

5.220. 有効な方法は、たとえば、施錠された囲い、施錠された部屋、囲いの扉の警報及び管理上の対策など物理的セキュリティの適切な組み合わせを含む。

5.221. 特に懸念される区域は、運転上の過誤及び保守時の過誤による系統の性能の低下を防ぐ上で重要であることから、設定値調整及び較正調整の設定のための立入りである。

5.222. SSG-39 [2]は電力系統で使用される計算機応用業務の立入り管理及びセキュリティに関する追加の推奨事項を提示する。

サーベイランス試験及び試験容易性

試験規定

5.223. 安全上重要な全ての系統は、必要に応じて内蔵された試験能力を含めて、試験実施のための装備を含むべきである。

5.224. 試験規定の設計は、系統及び機器の利用可能性要件が果たされるように運転時の試験プログラムの設計と調整されるべきである。これには、試験頻度を確立する際に機器の故

障率を考慮に入れることを含む。特定の試験は、燃料交換のための停止時にのみ実施できることが想定される。

5.225. 試験実施のための取り決めには、手順書、試験機器の取り扱い、設置された試験機器及び内蔵された試験施設を含む。

5.226. 安全系設備の試験の実施及び較正は、安全系がその安全機能を果たす能力を維持しつつ、出力運転を含む全ての通常運転モードで可能であるべきである。

5.227. 発電所運転中での定期的な試験は、通常、安全系に要求される信頼性を達成するために必要である。しかし、発電所の安全な運転を危険にさらす可能性があるのであれば、運転中に試験を行うことを避けることが望ましい場合がある。

5.228. 出力運転中の試験実施及び較正の能力は、それが発電所の安全又は運転に悪影響を及ぼすものであれば必要ない。

5.229. 出力運転中に安全設備を試験する手段が提供されないのであれば、以下の事項が提供されるべきである。

- (a) 影響を受ける可能性のある機能の信頼性が容認できることの正当化
- (b) 停止時の試験実施能力

試験プログラム

5.230. 安全上重要な系統の設計は、下記で与えられる手引きの具体化を支援する試験実施プログラムの特定を含むべきである。

- (a) IAEA 安全基準シリーズ NS-G-2.2「原子力発電所の運転上の制限値及び条件並びに運転手順書」[10]
- (b) IAEA 安全基準シリーズ NS-G-2.4「原子力発電所の運転組織」[11]
- (c) IAEA 安全基準シリーズ NS-G-2.6「原子力発電所の保守、サーベイランス及び供用期間中検査」[12]
- (d) IAEA 安全基準シリーズ NS-G-2.14「原子力発電所の運転の実施」[13]

5.231. 試験プログラムは、通常以下の項目を含むことになる。

- (a) 計画の目的の説明
- (b) 試験される系統及び機器の特定
- (c) 基本試験スケジュール
- (d) 実行されるべき試験及び試験間隔の根拠及び正当化
- (e) 容認基準
- (f) 要求される文書及び報告書の説明
- (g) プログラムの実効性の定期的審査
- (h) 試験の実行を管理するために使用される個々の試験手順書

5.232. 試験実施の対象範囲及び頻度は、機能要件及び稼働性要件と整合するように正当化

されるべきである。

5.233. 試験プログラムの実装には以下を提供すべきである。

- (a) 系統及び機器の状態に関する客観的情報
- (b) 機器の劣化の分析評価
- (c) 機器の劣化の検出を補助する際の傾向に関するデータ
- (d) 系統内の初期故障の兆候
- (e) 失敗した試験の再試験が操作性を確立するものとして保証できる前に行われるべき評価に関する要件

5.234. 失敗した試験の原因及び講じられた修復措置の評価及び文書化は、再度行われた試験の結果が関係する系統又は機器の操作性を実証するために使用することができる前に、必要である。是正措置には、例えば、較正、機器の保守若しくは修理又は試験手順書の変更を含む場合がある。

5.235. 電力系統の電子機器の試験プログラムは、電子機器を含む保護装置を含めて、SSG-39 [2]の手引きの適用部分も満たすべきである。

5.236. 試験プログラムは、以下の定期的な試験に対するプロセスを定義すべきである。

- (a) 実際の試験の実施期間中に発電所の安全を確保すること
- (b) 安全系の独立性を損なうものでも、共通原因故障の可能性をもたらすものでもないこと
- (c) いかなる発電所機器についても、設計上規定されている以上の劣化を生じさせるべきではないこと（例えば、ディーゼルエンジンの操作性又は信頼性は無負荷状態又は頻繁な急速始動下での運転によって低下させられることがある）
- (d) 試験を系統又は機器の全体的な状態が直ちに分析評価できるように順序付けること
- (e) 設計基準の機能要件及び性能要件が満たされていることを確認すること
- (f) 容認基準を含むこと
- (g) 警報装置、表示器、制御動作及び起動用の装置の運転など安全上重要な全ての入出力機能を試験すること
- (h) あらゆる安全操作の偽りの開始の可能性及び発電所の利用可能性に関する試験におけるその他のあらゆる悪影響の可能性を最小にすること
- (i) 設備が供用から除かれる時間間隔を最小にすること
- (j) 可能である限り、系統が起動要求された場合に支配的となる、実際の又は模擬された運転条件の下で達成されること
- (k) 定期的な試験実施のために乱されたいかなる機器等も元の運転状態に適切に戻されたことの試験後の検証を要求すること
- (l) 一時しのぎの試験の設定、一時的なジャンパー又は計算機コード若しくは発電所機器内のデータの一時的な改変の利用を禁止すること

試験される設備がこの試験設備の接続のために特別に設計された施設を有する場合、試験設備は安全上重要な設備に一時的に接続される場合がある。

保守性

- 5.237. 電力系統の設計は、全ての系統及び機器の保守計画を含むべきである。
- 5.238. 安全上重要な電力系統は、サーベイランス及び保守を簡素化するように、適切な時機の接近を可能にするように、故障又は過誤の場合に簡単な診断及び補修を可能にするように、また、保守要員へのリスクを最小にするように、設計及び配置されるべきである。
- 5.239. 保守、故障点検及び修理を容易にするための設計は以下を含む。
- (a) 極端な温度又は極度の湿度が通常である場所には設備を配置しないこと、
 - (b) 放射線レベルが高い可能性のある場所に設備を配置しないこと、
 - (c) 要求される保守活動を実施する際の人的要因（能力と限界）を考慮に入れること、
 - (d) 保守職員が通常の作業条件でその業務を実施できることを確実なものとするために設備の周囲に十分な空間を確保すること。
- 5.240. 安全上重要な電力系統の保守のために提供される手段は、発電所の安全へのいかなる影響も容認できるように設計されるべきである。

試験の実施又は保守のための電気設備の供用からの取り外しに関する方策

- 5.241. 電気設備を供用から取り外すことに関する方策は、要員を保護するため及び誤った操作を避けるために設備が適切に隔離されていることを保証するべきである。
- 5.242. 試験の実施又は保守のための施設の使用が機能を損ない得るのであれば、試験又は保守する系統との相互作用が意図的な手動の介入なしにはあり得ないことを確実なものにするために、取り合い箇所はハードウェアのインターロックの対象とするべきである。
- 5.243. 当該の電気系が運転に向けて準備できているという証拠を提示するための設計上の仕組みがあるべきである。
- 5.244. 安全系のいずれの単一機器の供用からの取り外しも、要求される最小限の多重性を失うことになるべきではない。ただし、系統の許容可能な信頼できる運転が適切に実証できればこの限りではない。
- 5.245. 5.244 項の推奨事項に従った安全系の設計は、供用状態を保持している部品が要求される安全業務を実施できる一方で、安全系の一部の定期的な試験実施を可能にするための方策を含むことになる。
- 5.246. 安全系の機器の操作不能又はバイパスは、制御室に表示されるべきである。

5.247. 頻繁にバイパスされる又は頻繁に運転除外になる機器等に対し、制御室内における運転除外又はバイパスの表示は自動的であるべきである。

5.248. NS-G-2.6 [12]は試験実施及び保守の後に系統及び設備を供用に復帰することに関する手引きを提示している。

複数基設置発電所における構築物、系統及び機器の共有

5.249. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 33 は、以下を述べている。

「複数号機を有する発電所の各々の号機は、それぞれ独自の安全系を持たなければならず、また、設計拡張状態に対してそれぞれ独自の安全上の仕組みを持たなければならない。」

5.250. 複数基設置発電所の各号機は、分離及び独立した安全上重要な電力系統を持つべきである。

5.251. 安全上重要な電力系統又は電気機器は、原子炉号機間で共有されるべきではない。ただし、全ての共有された号機での同時発生事故時に安全機能を実施する能力を含めて、系統又は機器が安全機能を実施する能力を著しく損なうことにならないことが示すことができればこの限りでない。

5.252. 号機間での系統又は機器の共有が事故の発生可能性又は影響を増加させないことなどのような実証でも、共用された系統の共通部分の保守が実施されている間に、潜在的な共通原因故障及び 1 基又はそれを超える数の号機が停止されることになる可能性が考慮されるべきである。

5.253. 共有系統を持つ号機に単一故障基準を適用する際には、解析は、系統又は機器を共有する号機に関して以下の条件が満たされていることを示すべきである。

- (a) 全ての号機の安全系は、共有された系統若しくは機器の単一の故障又は支援的な仕組み若しくは共有する系統が取り合い点を持つ他の系統における単一の故障があっても、要求される安全機能を実施できること
- (b) 各号機の安全系は、各号機の共有していない系統における同時発生の単一の故障があっても、要求される安全機能を実施できること

5.254. 5.253 項の (a) 及び (b) の条件が同時に満たすことができることを示す必要はない。

標示及び識別

5.255. SSR-2/1 (Rev. 1)の 5.33 項[1]は、以下を述べている。

「安全系の設備（ケーブル及び配線管を含む）は、発電所内で安全系の各々の多重性を有する要素について容易に識別できるものでなければならない。」

- 5.256. 発電所の設計段階、建設段階及び運転段階の全てにわたって、全ての電力機器の命名及び識別について整合的及び首尾一貫した方法が使用されるべきである。
- 5.257. このような識別は、図面、手引書又は他の資料の頻繁な参照を必要とすべきではない。
- 5.258. 異なる安全系区分の機器は互いに及びより低位の安全分類の機器から容易に区別できるべきである。
- 5.259. 識別は、例えばタグ付け又は色分けの方式を取る場合がある。
- 5.260. 系統及び機器の首尾一貫した容易に理解できる命名及び識別は、意図されたもの以外の機器の操作、保守、試験、改造、修理又は較正を行う可能性を減らす。
- 5.261. 明確に識別された設備又は組立物内に装荷された機器又はモジュールは、それ自身が識別を必要としない。一般に、そのような機器及びモジュール並びに組み込まれた計算機ソフトウェアの識別を維持するのには構成管理が十分である。

格納容器の電気貫通部

- 5.262. 電気貫通部は、格納構造物の安全機能を達成する要素であり、常に安全分類されるべきである。
- 5.263. 構造健全性機能は、要件で指定された水準を超える貫通部での漏洩率を生じることなく定格電流及び故障電流に耐える能力を含む。構造健全性に影響を与えない貫通部の電氣的な機能の安全分類は、貫通部に依存する格納構造物内の機器等の安全分類に従うことになる。
- 5.264. 電気貫通部集合体は、負荷と主遮断装置との間のケーブル系の一部と見なされるべきである。
- 5.265. 格納構造物の貫通部は以下に関して格付けされるべきである。
- (a) 導線がその一部となっている系統の電圧以上又は等しい電圧での連続的な供用に関して
 - (b) 保証できる過渡的電圧の最大値以上又はそれと等しい衝撃電圧に関して
 - (c) 許容可能な導体温度を超えることなく又は集合体の圧力境界を劣化させることなく、すべての発電所状態において予期される負荷からの要求を継続的に伝えることについて
 - (d) 保証できる電圧の変動を考慮に入れて、保護装置が故障電流を遮断するために要求される時間にわたって短絡回路を安全に処理することについて
 - (e) 機械的健全性を失うことなく、過負荷の回路に対して保護する装置の単一の偶発的故障に続いて起こる可能性のある想定し得る最大の過電流状態に耐えることについて
- 5.266. 保護装置の設定では、電気貫通部の連続的な電流定格値及び能力が考慮されるべきである。

5.267. 格納構造物の貫通部内の導体は、別々の遮断装置を作動する多重性を有する安全保護装置によって保護されるべきである。

5.268. 単一の受動的保護装置（例えば、ヒューズ）が使用される場合がある。ただし、これは、当該の受動的保護装置の故障が非常に起こりにくく、かつ、その機能が想定起因事象によって影響されずに保たれることを単一故障基準の順守の分析が高い確信度で示す場合である。

5.269. 格納容器内の障害により利用可能となる最大の電流に無期限に耐えることができる格納構造物の貫通部は、多重性を有する保護を必要としない。

5.270. 貫通部は、それが接続されているケーブルと同じ分離基準を満たすべきである。

配電系統

能力

5.271. 各配電系統は、以下のため十分な容量及び能力を持つべきである。

- (a) 要求される全ての運転条件で必要とされる負荷に給電するため
- (b) 電氣的障害状態の下で最大の起こり得る過電流に耐えるため
- (c) 配電系統の構成機器のいずれにも損傷を与えず又は悪影響を及ぼさずに過渡条件に耐えるため
- (d) 給電要求に応じて電力供給及び負荷に耐えるため

主回路及び分岐回路の保護装置並びにそれらの負荷

5.272. 全ての主回路及び分岐回路は、過負荷及び短絡に対して保護されるべきであり、また、地絡について監視されるべきであり、また該当する場合は保護されるべきである。

5.273. 保護装置は、主回路及び分岐回路の設備、母線及びケーブルを過負荷条件及び故障条件での損傷から保護するために適切に大きさが決められ、設定され及び調整されるべきである。

5.274. 安全系の保護装置は安全系の一部であるべきである。

5.275. 保護装置は、環境条件から保護し、電磁放射を制限し及び要員を防護するために設計された囲い及び構築物の中に置かれるべきである。

5.276. 保護装置の機能は、機械的若しくは電氣的な故障又はその他の許容できない条件の結果生じる設備への損傷及び電気供給のあらゆる不必要な遮断を最小にすることである。保護には、安全機能の実施における安全系電力系統を支援するために要求される設備並びに安全系設備の稼働性及び信頼性を高めるための機能を持つ機器を含む。

5.277. 保護装置の調整は、電力系統の障害のある部分のみが隔離され、また、残りの健全な回路は影響されないようであるべきである。

制御及び監視

5.278. 十分な計測制御設備が所内及び所外の電力系統を監視及び制御するために中央制御室に備えられるべきである。

5.279. 電力系統のヒューマンマシンインタフェースは、SSG-39[2]の関連する推奨事項に従う。

5.280. 適切な監視方法は、安全系電力系統の操作性を分析評価するために具備されるべきである。これは以下の表示を含む。

- (a) 遮断器の位置（安全系電力系統、電源及び大負荷）
- (b) 母線電圧及び電流
- (c) 予備電源の電圧、電流及び周波数

5.281. バイパス状態の表示及び供用から外された設備の表示が提供されるべきである。

5.282. 電気系統に関係する全ての発電所状態及び全ての事象における電力系統の運転に関する手順書が整備されるべきである。

5.283. 十分な計測制御設備が、補助制御室に割り当てられた安全機能の実施のために必要な安全系電力系統を監視及び制御するため、補助制御室に備えられるべきである。

5.284. 電力系統に関係する警報系及び報知系は、運転員による効率的で過誤のない検出、診断及び措置のために設計されるべきである。

5.285. 安全系電力供給装置の動作状態の喪失に関して警告する警報は、電源不要の論理回路によって作動されるべきである。

5.286. 全ての安全動作を自動的に開始し、制御する手段が提供されるべきである。

5.287. 手動動作のみが容認できるとの要求がなされたときには、以下の事項が示されるべきである。

- (a) 運転員は、要求された安全動作を開始する必要性について合理的な判断を下すために、安全系の検出器及び設備から十分かつ明確に表示された情報を持つこと
- (b) 運転員は安全業務のために書式による手順書及び訓練を提供されること
- (c) 運転員は発電所の状態を評価するため及び要求された行動を完了するために十分な時間が許容されること
- (d) 運転員は要求された行動を実施するために発電所の制御についての十分な手段が提供されていること
- (e) 行動を実行する運転員の間の情報伝達機能がこれらの行動の正確な実施を確保するのに適切であること

5.288. 系統レベル及び機器レベルで手動により安全動作を開始するための手段も提供されるべきである。

5.289. 安全動作の手動による開始は、異常運転に対する深層防護の一形態を提供しており、また、事故後の長期間の運転を支援している。

5.290. 所内電力系統の制御は以下の能力を含むべきである。

- (a) 通常の所外電力供給源が利用できないときの代替の所外電力供給源の自動選択
- (b) 上記の代替電源への手動又は自動移行
- (c) 優先電源が劣化し及び復旧されないときには、負荷（設計基準で規定されているもの）及び他の全ての電力供給源の、安全系電力系統の区分からの自動的な切り離し
- (d) 規定された順序での予備交流電源及び負荷の安全系電力系統への自動的な開始及び接続
- (e) 代替交流電力供給源の手動選択
- (f) 通常電力供給が再投入されるときに安全系電力系統の通常電力供給へ戻す際の同期
- (g) 通常運転中又は停止中の試験実施、保守及び修理を容易にするための手動による電源開閉動作

5.291. 自動負荷順序投入制御装置は、実際の要求順序に関係なく正しく動作すべきである。すなわち、所外電源喪失及び事故信号はどのような順序でも発生し得る。

安全に関係する予備交流電源

5.292. 一部の設計は安全系支援の仕組みとして指定されていない予備交流電源を持つ。安全系予備交流電源に対する全般的な手引きが適用されるが、設備の性能保証、設計の確認及び文書化の程度は安全に関係する機器の原則に従っているべきである。

5.293. 安全系支援の仕組みとして指定された予備交流電源を必要としない発電所は、安全系を補完し、また、それらへの脅威を軽減する深層防護のための信頼できる電力を供給するために安全関連系の予備交流電源を持つべきである。

5.294. 予備電源は、全ての補助装置を完備した発電設備並びに原動機の運転開始及び継続運転に対して分離、独立した専用の備蓄動力供給装置によって構成するべきである。

5.295. 予備電源は、設計基準で指定されている全ての負荷を立ち上げ、給電するために十分な容量及び能力を持つべきである。

6. 優先電源の設計の手引き

全般

6.1. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 41 は次のように述べている。

「原子力発電所の安全上重要な機器等の機能性は、送電網電力の電圧及び周波数の予期される変動を含む、電気電力網の擾乱によって損なわれてはならない。」

- 6.2. 送電系統は、起動中、停止中時及び緊急事態期間中に安定かつ連続的な方法で原子力発電所に電力を供給することができるべきである。
- 6.3. 安全系電力系統への優先電源は電力網からの供給である。出力運転中では、電力供給は通常は電力網に接続された主発電機からである。発電機は電力網上の電圧変動に対する安定器として動作することになり、また、所内負荷運転中の所内電力系統に電力を供給することができる。
- 6.4. 送電系統は、原子力発電所からのエネルギーを安定かつ連続的な方法で送ることができるべきである。
- 6.5. このことは、発電所が電力網に継続されたままのときには、予期される電力網事象の後も適用する。
- 6.6. 優先電源は、別個の電力網接続からも入ってくる。電力網、開閉所又は主発電機の事象によって引き起こされる共通原因故障のリスクを最小にするために、原子力発電所の電力系統の異なる区分が、不必要な停止及び他の擾乱のリスクを著しく増大させることなく、異なる優先電源に接続され得るかどうかが調査され得る。

保護装置及び高電圧設備の信頼性

- 6.7. 電力網、制御回路及びリレー保護への接続の設計は高品質であるべきであり、また、信頼性のある優先電源に寄与するべきである。
- 6.8. 電力網接続及びリレー保護の設計で考慮されるべき事象は以下を含む。
 - (a) 負荷の喪失及び逸脱シナリオを含む予期される電気事象
 - (b) 停止中の予期される電気事象
 - (c) 屋外設備の汚染
 - (d) 地磁気嵐
 - (e) 変圧器の巻線障害及び電力網接続の1相の喪失などの事象
- 6.9. 汚染のリスクが高い地域では、碍子の汚損が所外電源の共通原因故障のリスクをもたらさないことを確実なものとするために、碍子の長さの増加が必要な場合がある。

所外電力供給装置

- 6.10. 所外の電力供給源は、原子力発電所の運転の全てのモードにおいて発電所の負荷に給電する十分な容量及び能力を持つべきである。
- 6.11. 発電所が停止モードにあるときは、電力網の電圧レベルが異なる可能性があることが注視されるべきである。

- 6.12. 送電系統は、所内電力系統への電力源である。送電系統は、発電所の安全設計のための深層防護に対しても大きな寄与因子である。所外の電力が利用可能であれば、通常の停止だけでなく、過渡現象及び事故における原子力発電所の安全な停止の手段は、より柔軟であり、また、より信頼できる。このため、電力供給は十分な容量及び能力を持つべきである。
- 6.13. 所外電力は、同時故障の可能性を実行可能な限り最小にするように設計され、また配置された2つ又はそれより多い物理的に独立した所外電源によって供給されるべきである。
- 6.14. 電気電力網への送電線接続の総数は、電力網全体の能力及び原子力発電所の設計に依存することになる。
- 6.15. 安全解析報告書が、単一の送電線配備がSSR-2/1(Rev.1)[1]に定義されている技術的安全目的を達成していることを示していれば、各々の所外電力供給源に対して単一の送電線が容認される場合がある。例えば、受動的な工学的安全施設を採用した設計の原子炉に対して、単一の所外電力供給源が容認されることがある。
- 6.16. 単一の送電線を持つ原子力発電所は、送電線の停止に起因してより高い強制停止率を持つことがある。これは、特に送電線への落雷の頻度が高い地域では考慮に入れられるべきである。そのような場合、原子力発電所は、設計上の熱応力サイクルに早期に到達する場合がある。ただし、発電所が強制停止の影響に耐えるように設計されているか又は強制的な停止の回数を減らすため送電線の増設及びより高度の保護レベルなどの手段によって対策が講じられているのであれば、この限りでない。
- 6.17. 各所外電力供給源は、最低でも、全ての設計基準事故及び予期される運転事象の影響を緩和するために要求される全ての電気負荷に電力を供給する容量及び能力を持つべきである。
- 6.18. 通常の発電所の運転、起動及び停止のために要求される各所外電源は、全ての通常の電気負荷に電力を供給するための追加能力を持つべきである。
- 6.19. 複数基設置発電所では、SSR-2/1 (Rev. 1)[1]に定義された技術的な安全目的が全ての号機で同時に果たされるように、各号機は2つの所外電力供給装置に接続されるべきである。
- 6.20. 6.19項の推奨事項を満たすように備えられた所外電力供給装置は、2つ又はそれより多い発電所若しくは号機間で共有されるか又は別個の専用回路を持つ場合がある。
- 6.21. 複数基設置発電所については、安全解析書で1つの所外電源接続で十分であることが示されているのであれば、一部の原子炉設計に関しては単一の所外電力供給装置が容認される場合がある。
- 6.22. 複数基設置発電所の複数号機間で所外電力供給装置が共有される場合、1つの号機を切り離す能力は、他のどの号機の所外電源の利用可能性にも影響を及ぼすべきではない。

利用可能性

- 6.23. 少なくとも1つの所外回線が自動的に利用可能であるように設計されるべきであり、これは、設計基準事故時に事故解析の要件を満たすことができるために数秒以内に当該回線の関連安全区分に電力を供給するためである。
- 6.24. 第2の所外回線は、短時間のうちに利用可能であるように設計されるべきである。
- 6.25. 第2回線はまた、望ましくは設計基準事故時に数秒以内に利用できるべきである。
- 6.26. 補助的負荷への移行系は、設計に対する安全要件に照らして評価されるべきである。
- 6.27. 第2回線への移行は、手動及び自動の両方で達成するのに容易であるべきである。
- 6.28. 移行機能は、2つの通電中回線間の切り替えはリスクを生じさせる可能性があるため、必要なときに限り使用されるべきである。
- 6.29. 第1回線から電圧が失われた後に、第2回線から通電することが望まれる。遮断器間のインターロックは、共通母線上で不利な電圧又は電流状態をもたらす可能性のある並列の回線確立を防止するために使用される場合がある。
- 6.30. 移行順序の設計では、移行中の電圧及び突入電流の変動が考慮されるべきである。
- 6.31. より信頼性の高い電力供給源が発電所の通常運転における使用に選択されるべきである。
- 6.32. 発電所の通常運転のために最も信頼性の高い電力供給源を選択することは、開閉器への移行要求を最小にする。
- 6.33. いくつかの原子力発電所は、送電線からの分離時の負荷遮断に対して並びにそれに続く、蒸気供給を停止又はタービン発電機を停止することなく送電線から切り離された発電所の電力需要(所内負荷)を満たすのに十分なレベルへの原子炉出力及び発電機出力の低下に対して設計される。この所内負荷運転への移行は、安定した運転が達成される前に周波数の異常変動及び電圧の異常変動を生じることになる。
- 6.34. 所内負荷運転に対して設計された発電所では、所内電力系統は、通常の供給源から所内負荷運転に移行するときに発電機からの電圧及び周波数の変動並びに過渡現象に適応するように設計されるべきである。
- 6.35. 発電機回路遮断器は、主発電機の停止操作後に所外回線から直ちに所内交流電力系統に電力を供給する手段として使用される場合がある。発電機負荷開閉器は、この目的のために使用できるが、切り替えは即時であることはない。

所外回線の独立性

- 6.36. 2つの所外回線は、全ての発電所状態において及び設計基準環境条件の下で回線の同時故障の可能性を、実行可能な範囲で、最小にするように設計及び配置されるべきである。
- 6.37. 所外回線の両方の同時故障を引き起こす可能性のある事象の例には以下を含む。
- (a) 両方の所外回線に共通の取出し構造の使用

- (b) 両方の所外回線の故障を引き起こす可能性のある、単一の遮断器、開閉所母線ケーブル又は制御電源の故障

開閉所

- 6.38. 開閉所の物理的な設計は、単一の設備の故障が安全系負荷に供給することを保証されている所外回線の故障を引き起こすことになる可能性を最小にするようであるべきである。
- 6.39. 少なくとも2つの供給装置は、同じ制御電源を共有すべきではない。
- 6.40. 開閉所制御電力は、開閉所に固有のものであるべきであり、また、原子力発電所の電力供給装置から給電されるべきではない。
- 6.41. 屋外開閉所への制御回路は、それらが発電所に入る場所で過電圧保護を備えられるべきであり、また、発電所内の制御回路から隔離されるべきである。
- 6.42. 開閉所の設備は、最悪時の障害の圧力に耐えるように設計されるべきである。
- 6.43. 保護系は、安全系負荷に供給することを保証されている全ての所外回線の故障の確率を最小にするべきである。
- 6.44. 検討のために提案される設計の仕組みには以下を含む。
- (a) 主リレー系及び後備リレー系
 - (b) 遮断器故障リレー
 - (c) 二重の蓄電池系
 - (d) 二重の遮断器停止コイル

電力網の安定性及び信頼性

- 6.45. 電気電力網は、安定した所外電源を提供するべきである。すなわち、指定された電圧制限値及び周波数制限値を超えることなく負荷変動に耐えることができるべきである。
- 6.46. 電力網は、大規模発電所の喪失、原子力発電所の主発電機の停止又は電力網の母線障害が電力網の安定性を危険にさらさないことを確保するのに十分な運転慣性を持つべきである。
- 6.47. 電力網が十分な容量（すなわち、電圧及び周波数）で原子力発電所へ途切れることのない電力供給を維持できる程度が、電力網の信頼性の尺度である。

送電系統運用者と原子力発電所運転組織との間の取り合い及び相互関係

- 6.48. 原子力発電所運転組織及び送電系統運用者は、以下を含めて設備の取り合い及び情

報通信の取り合いについての要件を決め、確立するべきである。

- (a) 情報通信の経路
- (b) 運転手順
- (c) 停止又は事故状態での原子力発電所へのエネルギー供給のための優先回廊
- (d) 運転経験の反映
- (e) 保守及び運転停止の計画作成の調整
- (f) 保守に対する要件
- (g) 原子力発電所運転組織による所外電力供給源の手動切断を必要とする可能性のある、
発電所での電圧条件の持続的な劣化により生じる状況及び条件における調整

6.49. 多くの加盟国で、エネルギー市場は電力系統の分割並びに別々の発電会社、送電会社及び配電会社の設立を経験している。

6.50. 原子力発電所は、安全な発電所運転及び安全な停止を確保する目的で送電系統運用者と原子力発電所運転組織との間で特別な調整を要する。この協力は、原子力安全を確保すること及び電力系統の供給のセキュリティを確保することという共通の目標に基づいている。1つ又はそれを超える数の送電系統運用者が原子力発電所に電力を供給することができる。

6.51. 原子力発電所と送電系統運用者との間での責任の特定を含めて計画作成の調整に関する正式な合意が有益であるということを経験が示している。

6.52. 原子力発電所は、停止状況、改造及び保守活動に関して、また、送電系統運用者が現行の要件を満たす能力に影響を及ぼすことになる発電所の設計、構成、運転、制限条件、電氣的保護系又は機能のいかなる変更に関しても送電系統運用者に通知すべきである。

6.53. 送電系統運用者は、原子力発電所の電力網接続の利用可能性及び信頼性に影響を及ぼす可能性のある、停止状況、改造及び保守作業に関して原子力発電所に通知すべきである。このような活動の例は、原子力発電所への送電線によって支えられる変電所における保守作業である。

6.54. 原子力発電所運転組織は、電力網故障の場合も発電所及び電力網電力供給の利用可能性を最大にするために送電系統運用者と電氣的保護機構を調整すべきである。

6.55. この調整は電力網と発電所との間の相互作用に影響する可能性のある発電所又は電力網の改造にも適用する。

6.56. 原子力発電所運転組織は送電系統運用者と調整を行い、オンライン電力網解析ツールによって予測された停止後の電圧の精度と保守性を検証すべきである。

6.57. 原子力発電所運転組織は、送電系統に影響する擾乱、過渡現象又は運転条件の結果として生じる原子力安全への脅威を防止するために、発電所の許認可要件及び設計要件が送電系統運用者に理解されていることを確実なものとするべきである。

6.58. 原子力発電所への確実な電力網接続の必要性のため、原子力発電所の開閉所内の電力網設備（制御設備及び電氣的保護設備を含む）及びそれに接続された送電回線が、他の電

力網設備に対するものよりも高い水準で維持されているか又はより頻繁に試験若しくは検査されるとの、送電系統運用者との合意に至ることが必要なことがある。

6.59. 原子力発電所運転組織及び原子力規制機関の直接の管理下でない優先電源の構築物、系統及び機器（例えば、開閉所又は電力網）は、そうであっても、発電所の安全を確保するために要求される敷地特性であることに留意すること。

6.60. 発電所の安全に必須な電力供給の好ましい特性は、発電所の安全解析の中で文書化されるべきであり、また、電力供給がこれらの特性を持つことが許認可取得者によって確実なものとなるべきである。

電力網接続の信頼性の評価

6.61. 原子力発電所が電力網からの十分な電力（適正な電圧及び周波数）を持つことを確実なものとするために、また、電力網接続の信頼性を評価するために、定期的に分析が実施されるべきである。

6.62. このような分析で考慮されるべき要因は、原子力発電所による発電の喪失、その他のあらゆる重要な電力源の喪失、送電系統要素からの電力の喪失並びに保護装置及び送電系統遮断器並びにその他の装置の故障率を含む。

6.63. IAEA 原子力エネルギーシリーズ NG-T-3.8「電力網の信頼性及び原子力発電所との取合い」[14]は原子力発電所と電力網の統合に関する追加の背景情報を提示している。

7. 安全系電力系統の設計指針

全般

7.1. 原子力発電所のいかなる運転モードにおいても、発電所の電力系統の電圧及び周波数の変動は、あらゆる安全系設備の性能を低下させるべきではない。

予期される電気事象

7.2. 優先電源での事象又は所内電力系統のどこかでの事象から生じる可能性がある、安全系に分類される母線の電圧及び周波数の変動及び過渡現象を特定するために、また、保護機構の妥当性を確認するために、体系的な取り組みが取られるべきである。

7.3. 考慮されるべき予期される電気事象の例は第5章で与えられる。

7.4. 所内電力系統に使用される予備電源は、負荷順序投入期間中に電圧及び周波数の変動を有することになる。

7.5. これらの電圧及び周波数の変動の大きさは、起動中、既に順序投入された又は運転中の設備に影響を及ぼすべきではない。

7.6. 全ての運転モード並びに対称的及び非対称的な事象の両方が分析で考慮されるべきである。事象は、立ち上がり時間、障害時間、振幅又は非対称性に依存して、電力系統の様々な機器に脅威となる可能性がある。

母線の監視及び切り替え

7.7. 各安全系電力系統母線の優先電源の劣化（すなわち、電圧超過、電圧不足、周波数超過及び周波数不足）は、安全系交流電力系統母線上で検出されるべきである。

7.8. 優先電源の劣化による影響を受ける母線は、劣化が設計要件で指定されたレベルを超える場合、自動的に電源から切り離されるべきである。

7.9. 母線が劣化した優先電源から切断された後、母線は次の順序で自動的に代替電源に直接接続される。

(a) 代替の所外電源

(b) 安全系電力系統の当該区分への予備電源

7.10. 時間遅れは、系統が軽微な擾乱を乗り越えることを許容するための切断と関係している場合がある。

7.11. 時間遅れは、事故解析においてなされた仮定によって裏付けられるべきである。

7.12. 安全系母線への各優先電源供給を切断するために 2 つの遮断器が設けられることが望ましい（例えば、第 1 章の図 3 参照）。

7.13. 代替優先電源への自動接続が使用されない場合、この対処方策は発電所の設計判断基準に従っていることが示されるべきである。

7.14. 運転状態及び設計基準事故状態における発電所の安全運転に関連する安全系電力系統のパラメータは、設計解析で要求されている稼働性を含めて、特定され、発電所の運転上の制限値及び条件の確立に使用されるべきである。

7.15. 各区分は、検出及び保護のための独立した機構を持つべきであり、これは、安全系母線を優先電源から切断するため、安全系母線から負荷を遮断するため、また、電圧低下、周波数低下又は電圧喪失の発生時に予備電源を起動するためである。

7.16. 以下の推奨事項は、電圧低下、周波数低下又は電圧の喪失に対する保護のための母線の電圧及び周波数の監視及び保護機構に適用される。

(a) 母線の電圧及び周波数は、予備電源が接続されることになる安全系の母線から直接検出されるべきである。

(b) 電圧又は周波数の低下は、中央制御室へ警告されるべきである。

(c) 容認限界を下回る電圧又は周波数の低下により、影響を受ける電源を安全系母線から

自動的に切り離すべきである。

- (i) 異なる時間遅れを有する 2 つのレベルの電圧保護が必要である。すなわち、安全系母線における所外電源損失を検出するための 1 番目のレベル及び電圧低下を検出するための 2 番目のレベルである。
- (d) 優先電源において容認できない高電圧を感知した場合に、影響を受けた優先電源は安全系母線から自動的に切り離されるべきである。
 - (i) 設定点及び遅延時間は、接続された機器の過電圧能力と調和されるべきである。
 - (ii) 監視装置のリセット値は、予備電源の予期される最低動作電圧範囲よりも低くあるべきである。
- (e) 各機構は、3 相すべてを監視すべきである。
- (f) 測定回路は高調波に影響されないものであるべきである。
- (g) 保護系設計は多重であるべきである。
- (h) 測定回路の故障は、不正確な動作を引き起こすべきではない又は監視及び保護機構の正しい動作を妨げるべきではない。
- (i) 設計は、優先電源の不要な切断を最小限に抑えるべきである。
 - (i) 過渡状態をしのぐための一致論理と時間遅延の使用は、不要な切断を最小限に抑える方法である。
- (j) 出力運転中の試験実施及び較正のための能力が備えられるべきである。
- (k) 設計に組み込まれたあらゆるバイパスに対して中央制御室で表示装置が備えられるべきである。

7.17. 警報告知のためにのみ使用される電圧監視は、7.16 項の推奨事項に従う必要はない。

7.18. 電圧低下保護のための低電圧設定値及び時間遅延設定値は、全ての所内配電系統レベルにおける安全系負荷の電圧要求の分析に基づいて決定されるべきである。

7.19. 不適切な電圧保護論理は、予備電源からの安全系負荷の偽の抜け落ち及び通常の電動機始動時の過渡現象の結果としての所外電源からの安全系の偽の分離など、安全系の系統及び機器に悪影響を引き起こす。

信頼性設計

単一故障基準

7.20. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 25 は、以下を述べている。

「単一故障基準は、発電所の設計に取り入れられた安全グループ毎に適用されなければならない。」

7.21. SSR-2/1 (Rev. 1)の 5.39 項は、以下を述べている。

「ある安全設備グループ又は安全系に単一故障基準[脚注 3 参照]を適用する場合、誤操作は、一つでの故障モードであると見なされなければならない。」

7.22. SSR-2/1 (Rev. 1) [1] の 5.40 項は、以下を述べている。

「当該機器の故障が極めて低頻度であること及びその機能が想定起因事象によって影響を受けないままにあることが、単一故障解析で高い信頼度レベルで正当化されない限り、設計は静的機器の故障を十分に考慮に入れなければならない。」

7.23. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]は、安全系にのみ単一故障基準を適用しているが、単一故障基準概念の適用は、あらゆる系統の高い機能的信頼性を保証する強力な技術である。

7.24. 通常、多重性、独立性、試験容易性、継続的監視、環境性能保証及び保守性などの概念が、単一故障基準の順守を達成するために用いられる。

7.25. 各安全グループは、以下のものが組み合わされて存在しているなかでの想定起因事象に対応するために要求される全ての行動を実施するべきである。

- (a) 安全系内の単一の検出可能なあらゆる故障
- (b) あらゆる検出不能な故障（すなわち、定期的な試験、警報又は異常の表示によっては検出できない故障）
- (c) 単一の故障により引き起こされる全ての故障
- (d) 安全機能を要求する設計基準事象を引き起こすか又はそれに起因する、系統の全ての故障及び偽の作動
- (e) 発電所の運転上の制限値及び条件によって許容される、試験実施又は保守のための安全系の運転の一部の供用除外又はバイパス

7.26. 単一故障基準の不履行を正当化する際には、低頻度の外的ハザードの可能性及び電力供給装置の運転に必要な補助系の長期的な稼働性に対して特別な注意を払うことが望ましい。

7.27. 単一故障基準の不履行は例外的であるべきであり、安全解析において明確に正当化されるべきである。

7.28. 単一故障基準の不履行は以下の場合に正当化される場合がある、

- (a) 非常にまれな想定起因事象
- (b) 想定起因事象の極めて起こりそうにない結果
- (c) 保守、修理又は定期的な試験のための、一定期間の特定機器の供用からの取り外し
- (d) 設計拡張状態にのみ備えられる仕組み
- (e) 発生可能性が無視できるほど十分に低いことを示すことができる想定故障

7.29. 信頼性解析、確率論的評価、運転経験、工学的判断又はそれらの組み合わせは、単一故障基準を適用する際に特定の故障を考慮から除外する根拠を確立するために使用される場合がある。

7.30. 試験実施中又は保守活動中に単一故障基準が満たされないのであれば、機器が供用除外である期間は、その重大性及び炉心損傷頻度への潜在的な影響について評価されるべきである。

7.31. 保守、修理又は試験実施の場合に単一故障基準が満たされない状態は、発電所の運転上の制限値及び条件と一致しているべきである。

7.32. 単一故障基準の順守が信頼性要件を満たすのに十分でない場合、系統が信頼性要件を満たしていることを保証するために、追加的な設計上の仕組みが提供されるべきか又は設計に変更がなされるべきである。

防護措置の完了

7.33. 安全系電力系統並びにその保護装置及び自動的な仕組みは、自動又は手動で開始された場合は、意図した一連の保護操作が完了するまで継続するように設計されるべきである。

7.34. 安全系電力系統を通常の待機状態に戻すには、運転員の慎重な操作が要求されるべきである。

安全系予備交流電源

全般

7.35. SSR-2/1 (Rev. 1)[1]の要件 68 は、以下を述べている。

「原子力発電所の設計には、所外電源喪失の発生時の予期される運転時の事象及び設計基準事故における必要な電力を供給する能力がある緊急時電源を含めなければならない。設計には、設計拡張状態において必要な電力を供給する代替電源を含めなければならない。」

7.36. 予備交流電源は、すべての補機を完備した発電ユニット及び原動機の運転開始と運転の両方のための専用の分離、独立した貯蔵動力供給設備で構成すべきである。

7.37. 好ましい手法は、発電機の並列運転の必要性を回避しながら、1つの区分につき只一つの予備電源を有することである。

7.38. 区分ごとに複数の電源が使用されるのであれば、それが信頼できる構成であることが証明されるべきである。

7.39. 予備電源は、以下のような状態に対する余裕を含む状態の全範囲の下で、その区分のすべての負荷を運転開始させ、継続的に供給するため十分な容量及び能力を持つべきである。

- (a) 最大可能状態で動作することがある負荷
- (b) 過負荷状態で動作することがある負荷
- (c) 許容できる電圧及び周波数範囲の下端又は上端における発電機の運転による負荷特性の変化
- (d) 内燃機関の定格低下。例えば、吸入空気の高温、環境条件又は燃料温度などによるもの
- (e) 将来の負荷の増大

7.40. ディーゼル発電機は、非常時の運転モードにおいて一定の電圧及び周波数で動作す

るように規定されている。一般に、定常状態の電圧及び周波数は、規定値に対して±2%の許容誤差内に維持される。電動機は、その公称定格を下回る電圧にさらされるときには、一部の特性が僅かに変化することになり、消費電力が増加することになる。

7.41. 予備電源の主原動機の連続定格は、望ましくは、大幅なオーバーホールなしに3000~4000時間の連続運転を可能にしている。24時間で最低2時間の10~15%の過負荷容量が通常備えられている。これは、工学的安全施設の系統が注入系又は冷却系の運転のために再編成され、ポンプが最大可能流量状態又は熱水力学的解析で想定されるより高い流量で動作している事象でも、電源が短時間の負荷荷重を処理できるという保証を提供する。熱水力学的解析は、電動機の予想される電力消費が過小評価されるよう、通常保守的である。

7.42. 要求される流量を供給する原動機駆動ポンプ能力は、周波数範囲の下限での発電機運転に対して評価されるべきである。

7.43. 周波数の変動は、原動機によって発生するトルクに影響する。

7.44. 予備電源は、保守活動のためのいかなる停止なしでも、設計基準で設定された要求時間中に連続的に作動し得ることが証明されるべきである。

7.45. 予備交流電源は、必須母線への優先電源の喪失時には自動的な運転開始機能を有するべきである。

7.46. 予備交流電源は、(安全系母線への電力供給を失うことなく)緊急信号の発動時にも自動的な運転開始機能を有する場合もある。

7.47. 予備交流電源を運転開始するための時間及び負荷をこの電源に接続するための時間は、安全解析でなされた起動時間の仮定と一致しているべきである。

7.48. 所外の電力供給が復旧できるまで、燃料及びその他の消耗品(潤滑油など)の所内の供給源は、予備電源を操作するのに十分であるべきである。

7.49. 燃料及びその他の消耗品の所外の供給源は、補充の供給源が特定されているかどうか、また、所内の供給源が供給品を補充するために要求される時間に対して十分であるかどうか、依存する場合がある。大部分の加盟国では、所内の供給源は、外部の供給源からの補充なしで1~2週間の運転に対して規模が決められている。

7.50. 予備電源は、自身の区分内にある電力源及び計測制御系用電源以外の、電力源及び計測制御系用電源から独立しているべきである。

7.51. 予備電源の作動開始、回路投入、運転及び保護に使用される計測制御系は、自身の区分内の蓄電池によって給電されるべきである。

7.52. 予備電源と同じ区分内の直流電源の喪失は、予備交流電源の使用ができなくなる可能性があるが、それはまたその区分内の他の機能の喪失を引き起こして、当該区分の予備交流電源を運転不能にするおそれがある。

7.53. 特に予備電源専用とされる蓄電池が使用されるときは、それらの蓄電池は、安全系のあらゆる蓄電池に対するものと同程度に、劣化及び故障を検出するために十分なサーベイ

ランスを受けるべきである。

7.54. 予備電源は、信頼性が高く安定した優先電源又は代替電源に再接続するために必要な期間だけに対して使用されるべきである。

7.55. 発電を最大にすることへの予備電源の使用は許されるべきではない。

7.56. 安全系電力系統は、本安全指針の独立性要件が満たされている場合には、より低い安全分類（安全上重要でない負荷を含む）の負荷に給電する場合もある。

7.57. 安全系に分類されていない設備は、事故信号があったときには自動的に切断されるべきである。

7.58. 安全系電力系統とより低い安全分類の設備との間の隔離装置は、安全系の一部であるべきである。

7.59. 負荷順序投入制御装置は、すべての非安全系負荷を自動的に切断すべきであり、また、非安全系負荷を自動的に開始すべきではない。

7.60. 負荷順序投入制御装置は、安全系負荷が作動開始され、非安全系負荷の運転開始及び運転に十分な容量があることが判断された後にのみ、非安全系負荷の作動開始を許可するべきである。

7.61. 安全系電力系統母線の予備交流電源から優先電源への移行は、手動の操作を要求するべきである。

7.62. 安全系電源の複数の区分が予備電源から優先電源に移行されるときには、一度に1つの区分のみが移行されるべきである。

7.63. 安全系の区分が優先電源に戻された後、関連する予備交流電源は、別の区分を優先電源に移す前に、通常の待機状態で運用可能とされるべきである。

試験の実施

7.64. 発電所の運転中に予備電源の定期的な試験実施のための手段が備えられるべきである。

7.65. 試験方策の設計は、予備電源が試験実施中にその安全機能を実施し続けることができることを確実なものとするべきである。

7.66. 試験実施の段取りは、安全系の独立性を損なうものでも、共通原因故障の可能性をもたらすものでもあべきではない。

7.67. 安全系の独立性を損なうか又は共通原因故障の可能性をもたらす試験の例としては、無負荷条件下で試験されるディーゼルの煤の生成、試験完了後の通常の待機状態への復旧時の不十分な準備、又は、多重性を有する設備を試験する際の人的過誤の導入、などである。

性能上の判断基準（過渡的及び動的）

7.68. 予備交流電源から供給される電力の電圧及び周波数の変動は、接続された負荷及び原動機的设计基準内にあることを示されるべきである。

7.69. 電圧及び周波数の変動は、連続運転に対する範囲内にとどまることが予想される。負荷順序投入中の当該範囲を外れた逸脱及び短時間の逸脱は、以下の場合であれば許容される。すなわち、次の負荷が接続される前に電圧及び周波数が十分に回復している場合及び電動機端子の電圧が各順序投入段階で負荷を開始させるのに十分である場合である。

7.70. 事故状態でのみ発生するおそれのある継続的な負荷を伴う、負荷順序投入中の予備電源の性能は、通常、試験及び分析の組み合わせによって判断される。

予備電源のリレー保護

7.71. 予備電源からの電力供給を急速で破局的な故障から保護する停止装置は、予備電源のすべての運転モードで作動状態にあるべきである。

7.72. そのような装置の例には以下のものを含む。

- (a) 過速度保護及び発電機の差動保護などの破局的な故障から予備電源を保護する装置
- (b) 後備の過電流保護及び地絡保護への低インピーダンスなどの、破局的な故障から安全系電力系統を保護する装置

7.73. 破局的でない故障から予備電源を保護する停止装置は、予備電源が非常時運転期間中に安全系負荷に給電しているときはバイパスされるべきであるが、通常運転時及び試験中は作動状態にあるべきである。

7.74. 設計は、各停止機能及びバイパス機能の個別の試験実施を備えているべきである。

7.75. 予備電源のすべての保護停止起動は、中央制御室内で知らされるべきである。

予備交流電源の支援系

7.76. 予備電源の多重性区分のための支援系設備（例えば、換気系、冷却水ポンプ及び潤滑油系）は、区分の多重性及び独立性を保持するためにそれが支える区分からの電力が供給されるべきである。

7.77. 予備交流電源の補助系及び支援系は、複数回の運転開始に対して規模設定されるべきである。

7.78. 起動系は通常、少なくとも5回の起動を支援する容量を有する。これを支援するために、通常、資源を保持するために指定された時間の経過後にあらゆる開始試行を打ち切ることが必要である。

予備交流電源用燃料

7.79. 予備交流電源用の燃料は長期間にわたり保管できることが示されるべきである。

7.80. 原子力発電所の燃料油は長期間にわたり保管される。いくつかの種類燃料は、長期間保管されたときには化学的に不安定である。燃料の経年変化及び酸化は、高い酸含有量、高い粘度並びにガム状物質及び沈殿物の形成に繋がり、これらはフィルタを詰まらせる。燃料品質の低下は、予備交流電源の共通原因故障を引き起こす可能性がある。

7.81. すべての燃料供給は、仕様を満たしていることを確認するために試験されるべきである。

7.82. 燃料の試験用試料は、通常は現場で採取されることになる。

直流電力系統

全般

7.83. 直流安全系電力系統の各区分は、少なくとも1台の蓄電池、1台の蓄電池充電器及び配電系統で構成されるべきである。

7.84. 保守の柔軟性を高めるために、各区分には2台の蓄電池充電器と2台の並列蓄電池が望まれる。

7.85. 接続された直流負荷は、浮動電圧及び均等電圧に対して見積もられるべきである。

7.86. 十分な蓄電池容量を持つために、浮動電圧は公称直流母線電圧より高く、また、放電した後の終端電圧は低い。

蓄電池

7.87. 各蓄電池群は、蓄電池充電器なしで、設計裕度、温度による影響、至近のあらゆる放電及び経年変化に伴う劣化などの要因を考慮に入れて、設計基準で指定された発電所状態で発生する、要求されたすべての負荷要求及び(荷重サイクル及び電氣的過渡現象を含む)負荷条件を満たすことができるべきである。

7.88. 蓄電池容量規模設定の限界的な事態は、通常は全交流電源喪失である。

7.89. 可燃性ガスの濃度を規定レベル以下に維持するために、換気設備が蓄電池室に具備されるべきである。

7.90. 強制換気が必要であれば、

(a) 蓄電池室の換気系は、影響を受ける室内の蓄電池と同じ区分から給電されるべきである。

(b) 予防対策としての水素監視が考慮されるべきである。

7.91. 蓄電池は、系統の運転可能性を実証するため、また、あらゆる劣化を検出するために

定期的に試験されるべきである。

7.92. 定期的な試験の実施は、通常は蓄電池の各型式毎の推奨事項に基づいており、一般的には蓄電池の状態に応じて1～5年の間隔での蓄電池容量試験であり、また、適宜、以下の項目の頻繁な検証である。

- (a) トリクル充電電流
- (b) 各セルの電解質レベル
- (c) 代表セルの電解質の比重
- (d) 代表セルの電圧
- (e) 代表セルの温度

7.93. 蓄電池室の温度は監視されるべきである。

7.94. 蓄電池容量と蓄電池寿命は温度依存性がある。

7.95. 蓄電池ヒューズは監視されるべきである。

蓄電池充電器

7.96. 各蓄電池は独自の蓄電池充電器を持つべきである。

7.97. 各蓄電池充電器は、以下を行うのに十分な容量を持つべきである。

- (a) 通常運転中に蓄電池を完全に充電した状態に維持すること
- (b) 完全に放電された状態から最小の充電状態に蓄電池を容認時間内に回復させると同時に、通常電力の喪失後の様々な定常状態負荷及び事故時負荷の最大の組み合わせ負荷要求に供給すること

7.98. 逆変換器への電力供給源として整流器が使用されるときは、整流器は自己保護されるべきである。

7.99. 備えられるべき電力供給源保護には、逆電流保護、電流制限機構又は過負荷保護並びに低出力電圧保護及び過電圧保護が含まれる。

7.100. 各蓄電池充電器は、交流電力系統の過渡現象からその直流給電を遮蔽し、直流電力系統の過渡現象からその交流供給を遮蔽するべきである。

7.101. 蓄電池充電器は、以下の状況下で出力電圧を直流電圧の動作範囲内に保つべきである。

- (a) 電源側の障害の解消中に交流入力電圧が低下し、高電圧に戻るとき
 - (i) 発電所に近い送電系統の障害の解消については、典型的な持続時間は100～250msであり、所内電力系統で障害が発生したときの典型的な持続時間は100msまでである。電力網の障害が取り除かれた後、供給電圧は供給源として動作する発電機によって決められるレベルまで上昇することになる(図6参照)。この立ち上がり時間が短い電圧の低下及び増加は、蓄電池充電器の直流側で過大な過電圧を引き起こすこ

とがある。

- (ii) 蓄電池充電器が出力電圧を直流電圧の動作範囲内に保つ効果的な方法は、交流電圧不足時に時間遅れなく自動的に蓄電池充電器を停止し、供給電圧が正常なときに再開することである。これにより、直流電力系統（及び無停電交流電力系統）を電力網事象によって誘発される電圧過渡現象から遮蔽し得る。

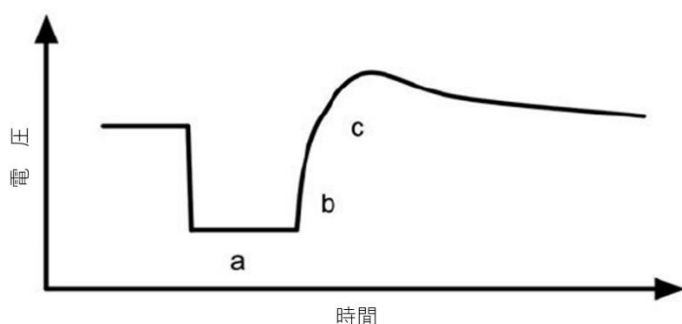
(b) 入力電圧が高くなったときの負荷シナリオの喪失

- 一 電圧上昇は、発電機の以前の有効負荷及び無効負荷によって決定されることになる。過電圧は一般的に 130～150%になる（図 7 参照）。

7.102. 蓄電池充電器は、いかなる蓄電池の接続なしでも負荷に電力を供給できるべきである。

7.103. 蓄電池充電器から直流負荷に直接給電する能力は、直流電力系統に対する電力供給の多様性の一部である。このモードでの運転は、通常は期待されない。

7.104. 各蓄電池充電器は、蓄電池充電器が隔離されることを可能とするために、交流及び直流回路内の遮断装置を有するべきである。



注：(a) 障害時の電圧、(b) 急速な電圧上昇、(c) 発電機の励磁による電圧上昇と通常電圧への復帰

図 6. 送電系統の障害解消中の典型的な所内電圧特性

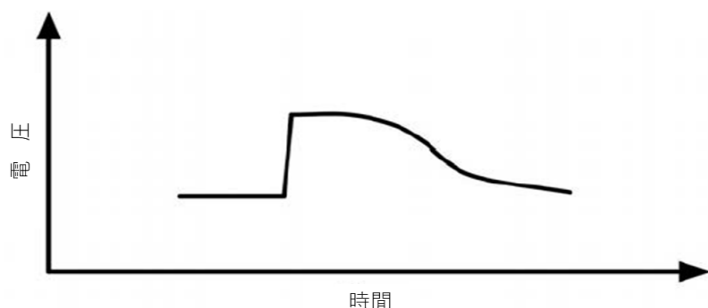


図 7. 負荷喪失後の典型的な所内電圧特性（所内負荷運転への移行）

無停電交流電力系統

7.105. 無停電交流電力系統は、継続的な交流電力を要求する安全上重要な設備の負荷に給電するために必要な場合に具備されるべきである。

7.106. 一部の発電所設計では、無停電交流電力系統を必要としなくなる。近代的な計測制御系では、直流電力系統で継続的な電力を要求するすべての負荷に電力を供給することが実現可能である。このような方式は、故障の原因を取り除く。

7.107. 無停電安全系交流電力系統の各区分は、直流安全系電力系統から逆変換器への電力供給、同じ区分の交流母線からの電力供給及び 2 つの供給源間を自動的に切り替える装置で構成するべきである。

7.108. この代わりに、無停電安全系交流電力系統は、専用の蓄電池充電器、蓄電池及び逆変換器を備えた無停電電力供給装置で構成する場合がある。

7.109. 無停電電力供給装置が使用されるのであれば、蓄電池充電器及び蓄電池に対してここで与えられる推奨事項及び手引きも適用される。

7.110. 無停電交流電源装置の電気的特性及び継続性は、系統により支えられる負荷の設計要件を満たすべきである。

7.111. 容量に対する制限的な状況は、通常は全交流電源喪失である。

7.112. 無停電電力供給装置は、以下を条件に電圧低下又はサイクル中断などの装置の出力の摂動に耐えることができる。すなわち、そのような摂動が、供給装置によって支えられる設備の要求される機能の喪失又は設備による望ましくないいかなる動作にも至らないことである。

7.113. 無停電電力供給装置の設計は、負荷の特性及び設計要件並びに無停電交流電力系統に接続される負荷間の相互作用と整合性があるべきである。

7.114. たとえば、静止形逆変換器の設計では、あらゆる非正弦波負荷ばかりでなく逆変換器自体によって生成される電圧高調波が、供給先の系統の機能を低下させないことを保証するべきである。

直流電力系統及び無停電交流電力系統の保護

7.115. 蓄電池充電器、逆変換器及び電動発電機群は、限定的な短絡電流の発生源である。これは、保護装置の感度要件に影響することになる。

7.116. 蓄電池充電器、逆変換器及び電動発電機群の保護は、付帯する代替供給源、逆変換器、静的開閉器、蓄電池充電器、配電盤、計装用の盤及びラック並びにそれらが給電する他の設備と調整されるべきである。

7.117. 直流電力系統及び無停電交流電力系統は、不足電圧保護及び過電圧保護で備えられるべきである。

- 7.118. 隔離された（接地されていない）直流電力系統は、地絡検出監視が備えられるべきである。
- 7.119. 対地インピーダンスがあらゆる誤作動が発生する可能性のある値以下に低下する前に、接地検出監視が警報を鳴らすべきである。
- 7.120. 直流電力配電系統には、保護調整機能が備えられるべきである。
- 7.121. 直流電力系統の回路の調整には、主母線用の保護装置並びに分岐回路、開閉路制御回路、リレー制御盤とプロセス制御盤及び蓄電池充電器に使用される保護装置が関係する。
- 7.122. 直流保護装置の調整解析を実施する際には、保護装置の適切な補正係数又は直流トリップ特性曲線が用いられるべきである。
- 7.123. 無停電安全系交流電力系統は、保護調整機能が備えられるべきである。
- 7.124. 逆変換器は直流側に過電圧保護機能を持たないことが望ましい。
- 7.125. 調整には、主母線の保護装置及び分岐回路で使用される保護装置を含む。
- 7.126. 蓄電池充電器、蓄電池及び逆変換器（又は電動発電機群）は、これらの要素が多くの無停電負荷に対して「電力供給網」を形成するため、また、それらの間に強力な相互作用があるため、独特の機能体系となる。したがって、適切に調整された保護設定は安全機能を保持することになる。例えば、蓄電池充電器への交流電源の過電圧の場合には、蓄電池充電器は、直流側への擾乱の伝播を、無停電電力供給装置自体を含む他の安全系の負荷の停止を引き起こすおそれのないレベルに制限することになる。
- 7.127. 無停電交流電力系統は、不足周波数保護及び超過周波数保護が備えられるべきである。

8. 代替交流電力供給装置

- 8.1. 発電所の設計が、所外電力及び安全系予備電源の喪失後に発電所を制御された状態に持ち込むために交流電力に依存しているのであれば、代替の交流電力供給装置が原子力発電所に又はその近傍に備えられるべきである。
- 8.2. 代替交流電力供給装置は、必要な接続点を含めて、所外交流電力供給装置及び非常用交流電力供給装置の同時故障から電力系統を防護するために備えられる。これには、設計において多様性があり、所内及び所外の電源の喪失を引き起こす事象の影響を受けにくい、交流電源を必要とする。
- 8.3. 補助装置を備えた代替交流電力供給装置は、意図した用途に対して性能保証されるべきである。
- 8.4. 代替交流電力供給装置は、発電所を制御された状態に持ち込み、制御された状態に維持するために要求される時間、全交流電源喪失に対処するのに必要な系統を運転するため

に十分な容量を持つべきである。

8.5. 代替交流電力供給装置が全交流電源喪失に対処できることを保証することには、他の電源の確実な復旧に十分な期間中に供給を受けるすべての号機について、代替供給装置が原子炉の崩壊熱の同時除去、一次系の健全性の確保及び原子炉の未臨界状態維持に十分であり、また、使用済燃料の崩壊熱の除去に十分であることを保証することを含む。

8.6. 要求される多重性より多い予備交流電源を有する号機は、以下の条件があれば、これらの電源の1つを代替交流電源に使用する場合がある。すなわち、この交流電源が、他の所内及び所外の電力供給装置の喪失を引き起こす事象の影響を受けず、また、本項の他の推奨事項に従っている場合である。

8.7. 代替交流電源が、安全系予備交流電源が号機間で共有される立地地点で2つ以上の号機に供給しているのであれば、その代替交流電源は、安全系交流電源を共有するすべての号機を制御された状態に持ち込むこと及び制御された状態に維持することに要求される期間、全交流電源喪失に対処するのに必要な系統を運転するために十分な容量を有するべきである。

8.8. 単基用の代替交流電源は、通常は当該号機の所内電力系統に接続されるべきではない。

8.9. 代替交流電源を待機状態に維持する支援系は、この系統が代替交流電源の運転可能性に影響を与えないことを条件に、1基又はそれ以上の号機から電力供給を受ける場合がある。

8.10. いかなる安全系予備交流電源及び代替交流電源においても共通原因故障の可能性は最小限であるべきである。

8.11. 気象関連事象、他の外部事象又は単一の故障が、号機の安全系予備交流電力供給装置のいずれかを使用不能とし、同時にすべての所外電力供給装置及び代替交流電力供給装置の故障を引き起こす可能性がある、脆弱性のある単一の場所は存在するべきではない。

8.12. 代替交流電力供給装置を1つ又はすべての安全系電力系統母線に接続する方策が講じられるべきである。

8.13. 安全系電力系統は、他の電力供給装置から切断された後にのみ、代替交流電力供給装置から給電されるべきである。

8.14. 代替交流電力供給装置は、発電所安全解析及び発電所全交流電源喪失対応解析で指定された時間内に必要とされる負荷に供給することができるべきである。

8.15. 代替交流電力供給装置が実行可能な限り早く負荷に給電することができることが望ましい。全交流電源喪失後できるだけ早く交流電力を復旧することは、電力系統への深層防護の程度を回復することであり、交流電力に依存する安全系を復旧することであり、また、運転員が事象に対応する能力を大幅に強化する支援系（例えば、照明系及び居住系）を復旧することである。

8.16. 代替交流電力供給装置は、設計拡張状態において必要な負荷に電力を供給する能力を有する場合もある。

8.17. 発電所設計には、必要な電力供給を回復するための非恒設電源の安全な使用を可能にするために必要な仕組みを含むべきである。

8.18. 炉心溶融事故の影響を緩和するために必要な設備は、いずれかの電源から供給可能であるべきである。

9. 設計の確認及び文書化

マネジメントシステム

9.1. 安全上重要な電力系統の設計は、IAEA 安全基準シリーズ GS-R-3「施設及び活動のマネジメントシステム」[15]の要件を満たし、また、IAEA 安全基準シリーズ GS-G-3.1「施設及び活動のマネジメントシステムの適用」[16]及びIAEA 安全基準シリーズ GS-G-3.5「原子炉等施設のマネジメントシステム」[17]の推奨事項に従う、マネジメントシステムの枠内で実行されるべきである。

検証

9.2. 電力系統に要求される容量及び能力は、分析によって決定されるべきであり、また、試験によって検証されるべきである（添付資料Ⅱ参照）。

9.3. 設計及び設計検証の一環として、以下の証明が実施されるべきであり、また、それぞれの実証は監査に適した形式で文書化されるべきである。

- (a) 電力系統がその設計基準に設定された安全機能を果たすことができることの証明
- (b) 電力系統に対する設計要件が満たされていることの証明
- (c) 安全系電力系統が単一故障基準を順守していることの証明
- (d) 電力系統が設計基準信頼性要件を満たすことの証明
- (e) 保護装置の動作が適切に調整されていることの証明
- (f) 全交流電源喪失に対する適切な対策が実装されていることの証明
- (g) 安全系負荷に給電することを保証された所外回路の信頼性が、送電系統及び発電施設への計画された変更の後に、稼働性要件を満たし、また、引き続き満たしていることの証明
- (h) 安全系負荷に給電することを保証している所外回路が、原子力発電所の喪失、最大発電号機の喪失、2つ若しくはそれを超える電力系統間の最大の送電回路若しくは連系線（電流の流通を可能にする相互接続）の喪失又は最大負荷の喪失、の発生した場合でも要求された容量及び能力を持ち続けることになることの証明
- (i) 各所外電力供給源が、予期されるすべての運転時の事象及び設計基準事故の影響を緩和するために要求されるすべての電気負荷に電力を供給する容量

及び能力を有することの証明

- 9.4. この証明は、原子力発電所のすべての運転モードを対象範囲とすべきである。
- 9.5. 所外回路の信頼性及び稼働性の証明は、送電系統運用者（第6章参照）と一緒に実施されるべきである。
- 9.6. 安全上重要なすべての系統については、系統の設計基準についての信頼性要件が設計で達成されていることを確認するために、体系的な評価が実行されるべきである。
- 9.7. すべての安全上重要な系統の体系的評価によるこの確認は、決定論的判断基準の適用と定量的信頼性分析の使用とのバランスに基づいている場合があり、そこでは、例えば、多重性試験容易性、故障モード及び性能保証の厳格さなどの設計上の仕組みが検討される。
- 9.8. ソフトウェア又は複雑な多素子論理モジュールの使用は、共通原因故障への信頼性及びそれへの感度の確認に困難さを生じる可能性がある。このために、信頼性の確認は、設計及び実装のプロセスにおいて過誤がないことの保証に依存する場合がある。SSG-39 [2]は、この件に関する推奨事項及び手引きを提示している。
- 9.9. 安全系の一部である試験設備は、系統の運転可能性を判断する際に考慮されるべきである。
- 9.10. 電力系統の設計及び解析に使用される分析ツールは性能保証されているべきであり、また、数学モデルの有効性は実験データ又は運転経験に基づいて正当化されるべきである。
- 9.11. 9.2～9.10 項で推奨されている解析は、発電所の安全評価の一部である。IAEA 安全基準シリーズ GSR Part 4 (Rev. 1) 「施設及び活動の安全評価」 [18]は、安全評価に関する要件を定めている。

試験

- 9.12. 試験実施中に発電所の安全性を損なうことなく、下記の試験プログラムが実行できることを確実なものとするため、設計において方策が講じられるべきである。
- (a) すべての系統モード（例えば、運転状態及び緊急状態）における運転を実行可能な範囲で証明するため、設計要件が満たされていることを実証するため、また、各区分が他の区分から独立していることを確立するための運転前試験プログラム
 - (b) 作動要求があったときに機能する系統の待機状態についての十分な保証を与える、運転中の試験プログラム
 - (c) 系統の継続的な運転可能性を実証するため及び系統のあらゆる劣化又は系統内の機器

のあらゆる劣化を検出して識別するための定期的な試験手順

9.13. 設計の妥当性を検証する方法に関する一般的な推奨事項は、GS-G-3.5 [17]の 5.114 項～5.134 項に提示されている。

9.14. 原子力発電所における電力系統の運転前試験プログラムの主な検討事項は、運転開始前に及び大きな改造後に、安全系電力系統の区分の独立性を確認することである。通常、これには、すべての所内電力系統とその負荷グループが正常に動作でき、他区分のあらゆる他の電源の部分的故障又は全面的故障により影響を受ける経路の中にあることを検証するため試験実施することを含む。

設計文書

9.15. 電力系統の文書には、次の文書を含めるべきである。

- (a) 設計基準
- (b) 電力系統全体的の記載事項には以下を含む。
 - (i) 原子力発電所が電力網にどのように接続されているかの詳細
 - (ii) 安全系電力系統の多重性の程度の説明
 - (iii) 補助系との取り合いの特定
- (c) 盤内の配線及び部品を含む設備、ケーブル及び配線管を設置することについての分離基準の説明
- (d) 単線図、機能制御図、模式図、接続図、盤内配線図及び系統説明書
- (e) 設備及び付帯支援系の配備と一体になった、所内電力系統の配置計画
- (f) 発電所全体の、トレイ、ダクト及び電線管含むケーブル経路の配置計画並びに多重性の区分及びケーブルとその経路計画の特定
- (g) 各配線管の単位部分に収納されるケーブルとその充填率を示す配線管一覧表
- (h) 各現場ケーブル、その接続点、ケーブル種別及び配線管系を通る配線を特定する回路一覧表
- (i) 電気負荷の保有量を示す電気負荷解析及び安全系電力系統については、電力系統の必要な機器の能力が計算される時間依存負荷投入を示す電気負荷解析
- (j) 電力系統及び設備の運転手順書及び保守マニュアル
- (k) 電力系統及び設備の定期的な試験及び保守の要件
- (l) 電力系統及び設備についての受け入れ試験及び試運転試験についての文書
- (m) 品質管理記録
- (n) 以下による電圧及び周波数の過渡現象の解析、短絡計算並びに電圧降下計算
 - (i) 出力運転中の電力網による
 - (ii) 所内配電系統による
 - (iii) 運転停止中の電力網による
 - (iv) 主発電機による
- (o) 定常状態の負荷の調査並びに通常運転時における及び電圧低下の条件下における、設計基準事象を含む様々な発電所運転モード（及び発電機の負荷対出力係数）に対する電

力系統全体の電圧を示す電圧分布の調査

- (p) 様々な発電所運転モードで優先電源及び予備電源に順次適用される負荷の分布を示す、過渡的な負荷及び電圧の調査
- (q) 電圧、位相角及び周波数の影響並びに自動母線移行の前、移行中及び移行直後の母線及び電動機に対する電動機再加速の影響を分析する母線移行調査
- (r) 電気設備の事故遮断能力を分析する際の使用のための、設計基準事象を含む、様々な発電所運転モードに対する電力系統にわたっての最大及び最小故障電流を決定するための短絡調査
- (s) 保護装置の協調の調査及びすべての保護機構の適正な設定値の選択を示す設備保護の調査
- (t) 予備電源の燃料貯蔵容量の分析
- (u) 電力供給装置の部分損失又は全損失の影響の分析
- (v) 設備性能保証の計画、分析及び試験報告書
- (w) 電源設備の仕様書

参考文献

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-39, IAEA, Vienna (2016).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5), IAEA Nuclear Security Series No. 13, IAEA, Vienna (2011).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-30, IAEA, Vienna (2014).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.7, IAEA, Vienna (2004).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Hazards other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.11, IAEA, Vienna (2004).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.6, IAEA, Vienna (2003).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.5, IAEA, Vienna (2003).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Ageing Management for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.12, IAEA, Vienna (2009).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Operational Limits and Conditions and Operating Procedures for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.2, IAEA, Vienna (2000).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Operating Organization for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.4, IAEA, Vienna (2001).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Maintenance, Surveillance and In-service Inspection in Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.6, IAEA, Vienna (2002).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Conduct of Operations at Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.14, IAEA, Vienna (2008).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.8, IAEA, Vienna

(2012).

- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006). (A revision of this publication is in preparation, to be issued as GSR Part 2.)
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.5, IAEA, Vienna (2009).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).

添付資料 I

電力系統の深層防護

- I-1. 原子力発電所は様々な安全機能に対して電力に依存しており、電力供給の信頼性は発電所の安全にとって重要である。電力系統の設計により、諸系統のすべての構成部品はその安全分類に関係なく、通常は接続されている。
- I-2. 電力系統は、深層防護の全ての階層に必要な支援系である。発電所が、通常運転からの予期される逸脱を制御するために、また、放射性物質放出に対する障壁を脅かす全ての形態の事象の期間中に及び設計拡張状態においても発電所に動力を与え、発電所を制御し、監視するために、信頼できる電力供給源を持つことが不可欠である。
- I-3. 電力系統で発生するあらゆる電氣的な事象又は擾乱は、原子力発電所の安全機能が果たされるように取り扱われなければならない。
- I-4. 運転経験は、送電系統の喪失又は所内電力系統の故障は、参考文献[I-1]に記載されているように、発電所の安全を損なう可能性があることを示している。
- I-5. 信頼性のある頑健な電力系統を得るために具備される多くの重複する系統特性は、深層防護の異なる階層を形成する。これらの系統特性は、安全性上重要なもの及び安全上重要でないものの両方の電力網系統及び所内系統を網羅している。より厳しい判断基準が安全系電力系統に適用され、また、より多くの検証が必要であるにしても、所内及び所外の電力系統全体が、安全系電力系統の信頼性及び頑健性に貢献する。
- I-6. 電力系統に対する支援の仕組みは、制御と監視、中央制御室と補助制御室群の一部並びに全ての発電所状態及び電気事象における電力系統の操作用の手順書である。
- I-7. 表 I-1 に IAEA 安全基準シリーズ SSR-2/1 (Rev.1) 「原子力発電所：設計」 [I-2] に述べられている、深層防護の階層を支援する電力系統の仕組みをまとめている。

表 I-1. 発電所の深層防護に対する電力供給の支援

深層防護の階層	目的 [I-2]	不可欠な手段[I-2]	発電所電力系統への適用	本安全指針の手引き (章)
1	異常な運転及び故障の防止	建設及び運転における保守的な設計及び高品質	包括的な設計基準、 頑健で信頼できる電力網、 頑健で信頼できる所内電源系	4. 設計基準 5. 全般的設計指針 6. 優先電源の設計手引き
2	異常運転の制御及び故障の検知	制御系、制限系及び保護系並びにその他のサーベイランスの仕組み	頑健で信頼できる障害遮断系と保護の協調、電力供給移行能力、所内負荷運転の可能性	5.1 信頼性設計 6. 優先電源の設計手引き
3	事故の設計基準内での制御	工学的安全設備及び事故時手順書	頑健で信頼できる安全系電力系統、頑健で信頼できる所内予備交流電力供給装置	7. 安全系電力系統の設計手引き
4	重大な発電所状態の制御 これには、事故の進展防止と設計拡張状態の影響の緩和を含む	補完的対策及びアクシデントマネジメント	頑健で信頼できる代替交流電力供給系統	7. 安全系電源系の設計手引き 8. 代替交流電力供給装置
5	重大な放射性物質放出の放射線影響の緩和	所外緊急時対応	(本安全指針の対象外)	

深層防護の第1層

設計基準

I-8. 所内電力系統に対する設計基準は、信頼性及び頑健性に対する基本的な基準である。設計基準は、電圧及び周波数の連続的な運転範囲、これらの過渡的、動的又は連続的な変動を引き起こす可能性のあるすべての想定しうる事象並びに発電所への電力供給の稼働性を損なう内的及び外的ハザードを考慮に入れている。原子力発電所は発電施設であるため、様々な事象から生じる電圧及び周波数の異常変動は、従来の産業事象により引き起こされるものとは異なることになる。

I-9. 不完全な設計基準は、結果として意図した機能に対して性能保証されない設備となり、多重性又は多様性により修正することはできない。

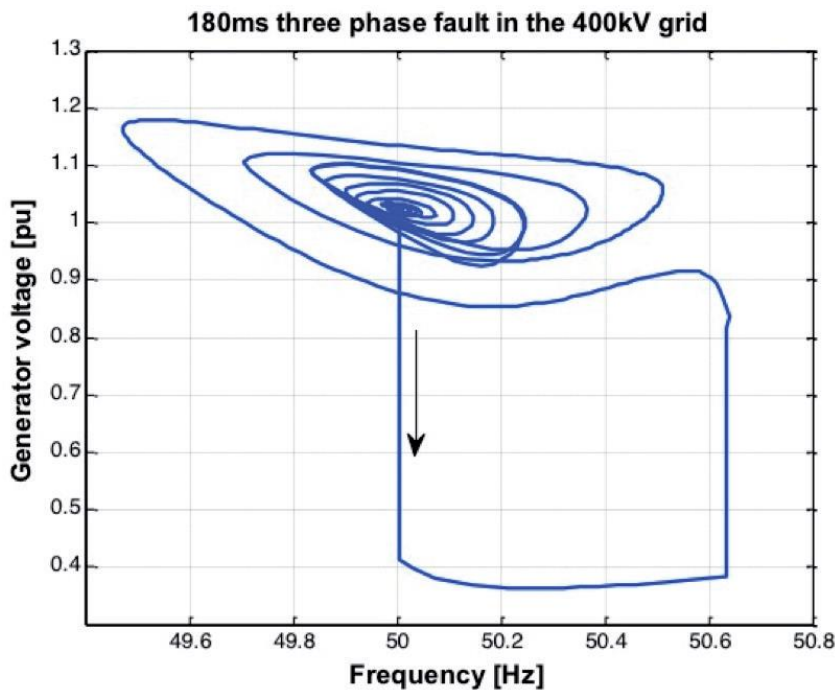
電力網

I-10. 電力網は原子力発電所及び安全系電力系統への優先電源の一部である。出力運転中には、発電所への電力供給は、通常は発電機から提供され、このことが電力網から生じる変動を抑制することになる。

I-11. 電力網は安定した所外電力を供給しなければならない。すなわち、指定された電圧制限値及び周波数制限値を超えることなく、送電系統上の負荷変動及び予期される運転時の事象に耐えることができることを必要とする。図 I-1 は予期される運転時の事象中に原子力発電所の所内電力系統に影響することになる電圧変動と周波数変動の例を示している。原子力発電所と電力網の統合に関するより多くの情報は、IAEA 原子力エネルギーシリーズ NG-T-3.8, 「電力網の信頼性と原子力発電所の取り合い」 [I-3]に提示されている。

所内電力系統

I-12. 所内の電力系統は互いに結合されており、非安全系母線上の電気事象は、ほとんどの場合、安全系電力系統にも影響することになる。信頼できる所内電力系統とは、負荷及びその他の設備の故障の可能性が低い設置物を意味する。この主体的な部分は、国の電気規格の対象とされているが、発電所の設計基準に基づく設備仕様と同様に設備（環境及び電気）の性能保証もまた貢献している。良好な状態整備は、障害のリスクを軽減することになり、また、負荷挙動を適切に理解することは、回転機器の過負荷のリスクを最小にすることになる。



図I-1. 送電系統の障害を遮断する際の所内発電機電圧 (y 軸) 及び周波数 (x 軸) の変動の例

I-13. 信頼性のある頑健な所内系統を設計し、検証するための決定論的解析は、原子力発電所の安全の正当化の一部である。

I-14. 所内電力系統の頑健性と信頼性は、燃料交換停止など電力系統の一部が供用除外される場合があることも含めて、発電所の全ての設備構成状態について分析される必要がある。

I-15. 共通原因故障の可能性は、通常の運転では安全系電力系統の多重性を有する区分が共通の優先電源に接続されているので、除外することはできない。電力供給における多様性などの予防的対策（通常は設計により組み込まれた仕組み）が不可欠である。

I-16. 保守プログラム及び保守手順書は、安全系のみでなく、所内電力系統の全ての部分に対して、最高水準を目指している。サーベイランス試験又は性能試験の実施は、設備のあらゆる劣化を見守る一つの方法である。

I-17. 発電所の改造は、通常、電力系統に影響を与える。負荷の変化及び負荷挙動が評価されなければならない。これには、制御系の変更が蓄電池の負荷配分に影響を与えることがあるので、制御系の変更を含む。

I-18. 照明及び遠隔通信用の電力供給装置は、一般的に安全上重要とは分類されていないが、運転上の擾乱及び運転時の事象に対処する際に重要な役割を果たす。

深層防護の第2層

障害遮断系と保護調整

I-19. 電力系統のあらゆる障害の影響を最小化するために、障害を受けた設備のみを接続から外す保護調整及び障害遮断系が具備される。後備的な仕組みも、一次の保護の仕組み又は障害遮断装置が故障する事象に対して具備される。

I-20. 蓄電池充電器、逆変換器及び電動発電機は一般的に短絡電流の限られた発生源であるため、保護装置の調整と使用可能な故障電流には特別の注意を受ける。

I-21. 保護調整は、出力運転中及び停止状態中の両方で適切に作動するように設計されている。

電源移行能力

I-22. 所外電力は、通常、同時故障の可能性を可能な範囲で最小にするために設計され、配備された、少なくとも二つの物理的に独立した所外回路により供給される。いくつかの原子炉設計（通常は受動的な安全の仕組みを備えた設計）では、一つの所外の電源接続で十分であることが安全解析書に示されていることがある。

I-23. これらの接続の一つは、炉心冷却、格納容器の健全性及びその他の重要な安全機能が維持されることを保証するために、冷却材喪失事故後の数サイクル以内に使用できるように設計されている。

I-24. 他の所外回線への移行は、通常は自動的であるが、移行を手動か又は自動のいずれかで開始するように方策が施されている。母線が移行される前、移行中及び直後に、母線と電動機に対する電圧、位相角及び周波数の影響を分析するために調査が実施される。この調査では、電動機の再加速も検討されるべきである。

I-25. 無停電交流電力系統の供給は、電力供給をある電源から別の電源に移行するための方策も含むことになる。

所内負荷運転の可能性

I-26. いくつかの発電所は、原子炉トリップ又はタービン発電機トリップを経ることなく、所内負荷に給電継続するように、負荷遮断に耐える能力を有するように設計されている。

I-27. 所内負荷への移行は、反応度フィードバック及び出力低下の制御のため複雑である。経験からは、初期の過渡状態が順応できれば、運転は数時間継続することができる。このことは発電所の電力供給装置に多様性を加えている。

I-28. 所内負荷運転を遂行するには、発電所発電機を電力網から分離するために回路遮断器が必要である。この対処方策は、遮断器間に障害が発生しているか又は発電所発電機と電力網に同時障害がある場合を除く全ての状態で、発電所のタービン発電機か又は電力網のいずれかから継続して電力を供給する。

深層防護の第3層

所内予備交流電力供給装置

I-29. 原子力発電所の安全系は、通常は優先電源(すなわち、電力網又は主発電機)からか又は所内の予備交流電力供給源から作動する。

I-30. 予備交流供給源の操作性は定期的に検証されなければならない。予備交流電源の開始能力の試験は、通常、試験が電源の長期間の利用可能性に悪影響を及ぼさないように設計されている。

I-31. 予備交流電源の開始能力及び負荷投入能力の検証は、通常、設計基準事象を取り込むため試験及び解析の組み合わせでなければならない。

I-32. 安全系負荷以外の負荷が、安全系電力系統から電力を引き出す場合がある。これらの負荷は、安全系負荷の利用可用性に影響を与える可能性があるため、所外電源喪失後に自動的に運転開始されない。非安全系負荷は、それらの運転開始及び運転に対する十分な容量と能力があることが判断された後にのみ開始される。

I-33. 外的ハザードが電力系統(例えば電力網接続及び所内負荷)の第1層及び第2層の深層防護を脅かす可能性があれば、所内の予備交流電力供給装置はそのようなハザードから保護されなければならない。適切な予防措置は、IAEA 安全基準シリーズ NS-G-1.5「原子力発電所における地震以外の外部事象」[I-4]、及び IAEA 安全基準シリーズ NS-G-1.6「原子力発電所の耐震設計と性能保証」[I-5]で検討されている判断基準に基づくことになる。

安全系電力系統

I-34. 様々な負荷に給電する安全系電力系統は、発電所からの放射性物質の放出に対する障壁に脅威となる可能性のある幅広い起因事象に耐える原子力発電所の能力にとって最重要のものである。

I-35. 優先電源を源とする電力系統に関する事象は、全ての区分においての共通原因故障を引き起こすことができる。したがって、設計、建設及び運転中において、適切な対策が不可欠である。優先電源の喪失後、予備交流電源がそれぞれの区分に給電しているとき、共通の機器がないため、電気事象による共通原因故障のリスクは無視できる(予備電源の開始順序は、共通原因故障に敏感であるが)。経験では、不完全な設計基準が共通原因故障の支配的な寄与因子であり、その場合には機器の多様性はリスクを軽減しないことを示している。

I-36. 同型の機器の共通原因故障は、次の場合に除外できる。

- (a) 当該機器が異なる機能を実施する(一つの系統の1台の遮断器は閉止しなければならないが、他の系統の1台の遮断機は開とならなければならない)
- (b) 当該機器が異なる運転モードを有する(2台の並列整流器のうちの1台は動作中であり、他は電源断である)。

電気事象による共通原因故障は、母線、ケーブル及び変圧器などの受動的な設備に対しては想定されない。

I-37. 直流電力系統は、安全系電力系統の信頼性にとって不可欠であり、同様にその他のあらゆる所内及び所外の電力系統の信頼性にとっても不可欠である。規則では、所外を発生源とする又は所外の擾乱の結果として発電機からの、優先電源上のいかなる外乱も、直

流電力系統及び引き続いての無停電交流電力系統に伝送することはない。これは、設計基準の一部であると期待されており、また、設計又は保護装置により達成することができる。

I-38. 電子保護装置の共通原因故障のリスクに耐えるために、計測制御設備に対するものと同じ設計判断基準が用いられる[I-6]。

I-39. 電気負荷に対する設備仕様の一部は電力系統に向けての電圧及び周波数の動作範囲になるが、電氣的過渡現象及びそれによる負荷への影響についての知識も不可欠である。様々な運転モードに対する負荷の範囲及び消費電力を判断するために、機械的負荷の理解が必要である。これは予備電源の適切な大きさ決め及び保護装置の適切な設定値決めが判断できるようにすることになる。

深層防護の第4層

代替交流電力供給

I-40. 原子力発電所の安全機能に対する電力への依存は、全交流電源喪失シナリオも考慮されなければならないことを意味している。全交流電源喪失の考慮には、発電所が全交流電源喪失に耐えることができる時間を決定すること、また、その時間の終了前に発電所に代替交流電力供給装置を接続するための準備を行うことを含んでいる。

I-41. この代替交流電力供給装置が外的ハザードに耐えるために利用可能で接近ができること、また、例えば地震若しくは津波の後又は洪水若しくは暴風雨の発生中に、一定の時間内に発電所に接続できることを確実なものとするための予防措置が必要である。

I-42. 代替交流電源は、安全系電力系統が供給を受けることができる他の電源と可能な限り独立していなければならない。

添付資料 I の参照図書

- [I-1] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Defence in Depth of Electrical Systems and Grid Interaction, Final DIDEISYS Task Group Report, NEA/CSNI/R(2009)10, OECD, Paris (2009).
- [I-2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).
- [I-3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.8, IAEA, Vienna (2012).
- [I-4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.5, IAEA, Vienna (2003).
- [I-5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.6, IAEA, Vienna (2003).
- [I-6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-39, IAEA, Vienna (2016).

添付資料 II

設計の検証のための電力系統の解析

II-1. 原子力発電所の電力系統の設計裕度及び頑健性を証明するために解析調査が行われる。解析及び設計上の能力は試験又は運転経験により検証され、妥当性確認されなければならない。添付資料 II は、電力系統解析の一環として通常実施される、電力系統設計の主要な要素のいくつかを記載している。解析の必要性は、交流電力系統及び直流電力系統の両者に適用されるが、取り上げられた特定事項の多くは、交流電力系統のみに適用される。

負荷潮流の調査

II-2. 負荷潮流解析は、通常運転状態及び緊急時の運転状態の系統連係網を評価し、限界となる制限値を設定することから、電力系統調査の重要な部分である。負荷潮流の調査は、母線電圧振幅及び負荷角、有効電力潮流及び無効電力潮流並びに損失の評価を可能とする、電力系統の実際の定常状態の運転状態を模擬する計算機ソフトウェアを使用して実施される。複数のシナリオを使用して負荷潮流の調査を実行することが、電力系統が性能基準を満足するように適切に設計されていることを確実なものとするのを支援することになる。具体的には、負荷潮流調査は、以下を調査するために共通的に使用される。

- (a) 機器又は回路の負荷
- (b) 母線の電圧振幅及び負荷角
- (c) 有効電力及び無効電力潮流
- (d) 電力系統の損失
- (e) 適切な変圧器タップの設定
- (f) 系統運転の限界となる制限値
- (g) 母線移行機構
- (h) 回路使用法の最適化
- (i) 想定条件に対する実際の電圧プロファイル
- (j) 設備仕様指針

II-3. 設計に対する以下の一般的な判断基準は、電力潮流の調査で使用されるときには、一般的に容認可能と考えられている。

- (a) すべての母線における定常状態の電圧降下は、検討対象のすべての運転状態で公称定格の±5%以内であること、
- (b) 負荷順序投入があるときは、過渡現象の電圧変動 5%以下が容認可能になる。
- (c) 電気回路は、想定されるいかなる運転状態に対しても過負荷にならない。
- (d) 無効電力潮流 (発電、受電、給電)は、すべての運転状態に対して規定の制限値内にある。
 - (i) 特定の偶発的な条件では、電源の品質は低下させない、
 - (ii) 高調波成分が設定制限値内にある。

II-4. 電力潮流の調査では、以下の調査事例が具体的に検討されている。

- (a) 通常運転及び発電所停止モードにおいて、所内及び所外の電源の妥当性を点検するための最大及び最小負荷条件の極端な運転状態
- (b) 異常事象の放射線影響を緩和するために要求される設備を含めて、発電所補助系の最小及び最大荷重と連動する所外の電力供給に対する、送電線、変圧器及び発電機の停止などの不測の状態
- (c) 変圧器タップ、発電機励磁制限値、無効電力補償及びケーブル容量などの発電所運転パラメータの最適化
- (d) 大型電動機の運転開始。ほとんどの交流電動機の始動電流は、全定格電圧での結線状態で直接的に運転開始する時には、通常的全負荷電流の数倍である。過度の始動電流は、端子電圧の低下に至り、低始動トルク、低電圧リレーの不必要な動作又は電気系統網に接続された他の運転中の電動機の失速により、運転開始時に電動機の故障に帰結する場合がある。電動機の運転開始の調査は、電動機の運転開始の影響を最小限にすることに関する最良の始動方法の選定、適切な電動機設計及び適切な系統設計を支援することができる。この調査は、電動機の特성에応じて、電動機の取り替え後に再評価されなければならない場合がある。

短絡の調査

II-5. 短絡計算は、損傷状態における電力系統の電流及び電圧を提示する。この情報は、適切な保護リレー系を設計するため、最大故障電流レベル下において各電圧レベルで回路遮断器の遮断要件を決定するため、また、保護装置による保護リレーを動作するために十分に有効な故障電流で適時の事故遮断を検証するために要求される。適時の障害隔離と保護調整との組み合わせは、原子力発電所の電力系統の安定運転を規定する。任意の時点における全ての動作中の電源からの故障のもたらすものは検討されなければならない。原子力発電所は、発電所の電力系統内で有効な故障電流に大きく寄与することができる大型電動機を備えている。短絡計算は、(所内又は所外) 電力系統の大規模な取替え及び大規模な改造が行われる時には確認されなければならない。また、累積評価が定期的実施されなければならない。

II-6. 損傷状態は、平衡又は不平衡の並列回路障害又は直列障害(導体開放)になる。障害は、地絡若しくは導体間の短絡によるか又は1つ若しくはより多くの相の破損導体によるかのいずれかにより引き起こされる場合がある。

II-7. 電力系統(所内又は所外)の大規模の取替え及び大規模な改造が行われたときには、損傷調査は更新されなければならない。また、累積評価が定期的に(例えば、定期安全レビューの一環として)実施されなければならない。

電氣的保護の調整についての調査

II-8. 短絡調査及び/又は調整の調査は、障害が発生した後の様々な時間間隔で電力系全体に流れる電流の大きさを定め、また、リレー、ヒューズ及び回路遮断器のような系統の保護装置の並びにこれらが保護している回路の、大きさ及び設定値を評価する。目標は、電力変圧器、開閉器、モーターコントロールセンター、分電盤及びその他の要求された保護付きの電気設備を提供することである。この調査は、必須設備の隔離を最小限にするよ

うに、過負荷状態及び短絡状態下の回路の選択的及び迅速な遮断を保証するために、適切な型式、電流定格値設定及び装置設定を選択する際にも有用である。

II-9. 保護リレーは、設備への損傷を防止し、また、システムの最小の遮断で、電力系統において影響を受けていない部分への電力供給の継続を確保するように、システムの障害を受けた部分を隔離するために使用される設備を迅速に起動するために設計されている。格納容器の貫通部のような特定の設備を保護するために設計されたリレーが故障すると想定されているときには又は主要防護区画の障害を遮断するために主要区画が動作しないときには、後備リレーが主要区画の保護リレーの動作に十分な時間を与えた後、障害を隔離しなければならない。保護リレーはまた、障害状態、通常運転の状態及び異常運転の状態を区別しなければならない。また、それらのリレーが設計された特定の保護のために機能しなければならない。リレー調整の計算は、リレーの作動特性、通常作動及び発電所設備の「耐用」特性を考慮し、また、電力系統の高い信頼性を達成するための最適なりレーの設定を決定する。

II-10. 保護系は、様々な発電所機器及び運転状況に適用可能なように、「耐熱」制限値、電動機の失速、逆相及び直流「耐用」制限値、異常周波数に対する保護及び「不平衡」な運転状態に対する保護を提供しなければならない。保護調整には、測定原理の考察も含む。

II-11. 保護リレーの一般的な調査には以下を含む。

- (a) 過負荷位相リレー
- (b) 過電流位相故障リレー
- (c) 地絡リレー
- (d) 最大負荷電流との調整
- (e) ヒューズ特性との調整
- (f) 最大電動機始動電流及び時間との調整
- (g) 変圧器の突入電流との調整
- (h) 再加速電流との調整
- (i) 主要な後備系組み合わせとの調整
- (j) 「耐熱」能力との調整
- (k) 電動機の安全な失速制限値との調整

II-12. 故障電流の大きさは、システムを接地する方法に依存するため、地絡保護には独自の考察を要する。すなわち、確実に接地された系統又は低インピーダンスで接地された系統は、高レベルの地絡電流を持つ場合がある。この高いレベルは通常、系統から障害を除去するために高速トリップを要する。地絡過電流リレー及び方向性過電流リレーは、そのような系統の地絡に対する保護のための代表的な解決策である。高インピーダンス地絡の検知は、回線の位相及び構成並びに負荷の「不平衡」により発生する「不平衡」電流と組み合わされた地絡電流を測定するために特別なリレーが必要なため、困難である。

電圧喪失及び電圧低下の調査

II-13. 上記で検討された保護機構に加えて、原子力発電所の安全系設備は、安全系母線へ

の優先電源の完全喪失（電圧リレーの喪失）から保護され、また、誤動作に至る可能性があるか又は安全上重要な設備の損傷を引き起こす可能性のある優先電源の持続的な電圧低下状態からも保護される。

II-14. 安全上重要とみなされる設備は、2種類の低電圧事象から保護されなければならない。

- (1) 安全上重要な設備は、電力網系統の突然の急激な電圧降下を示す電圧喪失事象から保護されなければならない。一般的には、電圧が通常の動作帯域に回復しなければ、所内母線を電力網から分離するためのリレー作動に微少な遅延が許容される。また、電圧喪失は、所内予備電源への自動開始信号をもたらすことになる。
- (2) 安全上重要な設備は、数秒間の持続的な低電圧状態とそれに続く通常の動作帯域への回復を含む電圧低下からも保護されなければならない。所外電力系統が定格運転状態に回復しないのであれば、電源から切り離すことが望ましい。

電圧低下状態は、発電機系の喪失、想定外の系統負荷、送電構成要素の喪失又は系統障害により引き起こされる発電不足のために過負荷になる送電系統で発生する。この保護機構には、追加の発電所固有の考察を要する。一般的な取組みが以下に概説されている。

- (a) 所外電力系統と所内電力系統の取り合いを評価するために行われる電圧降下及び／又は負荷潮流の調査では、通常運転時、予期される運転時の事象及び事故状態において、発電所機器の運転開始及び連続運転に対して適切な電圧であることを実証しつつ、発電所と電力網との取り合い地点において想定される最小の電圧を使用する。
- (b) 電圧及び時間遅延設定点の選択は、すべての所内系の配電レベルでの安全上重要な負荷の動作電圧要件の分析から決定される。
- (c) 時間遅れは、以下の条件に基づいて選択される。
 - (i) 事故解析で想定される最大遅延時間を超えない裕度を含む許容遅延時間
 - (ii) 時間遅延は、所外電力供給装置の利用可能性を保持しつつ、想定される短い継続期間の電力網外乱の影響を打ち消さなければならない
 - (iii) 安全系又は機器の故障につながることがない、配電系統のすべてのレベルにおける電圧の低下状態の継続時間

II-15. 低下電圧リレーの典型的な機構は、以下の状態に対処するために2つの別々の時間遅延リレーを含む。

- (a) 一つ目の時間遅延の継続時間は、持続的な電圧低下状態（すなわち、電動機の運転開始による過渡状現象よりも長いもの）の存在を確証するのに十分なものである。この遅れに続いて、制御室の警報が制御室の運転員に低下状態を警告する。その後の事故信号の発生が安全系配電系統を所外電力系統から直ちに分離する、
- (b) 2番目の時間遅延の継続時間は、恒久的に接続された安全系負荷に損傷を与えるおそれのある持続的な電圧低下状態の継続時間よりも短いように選択される。この遅れに続いて、適切な電圧が回復されていなければ、安全系配電系統は、所外電力系統から自動又は手動（運転員操作により）で分離される。

過渡現象に対する安定性の調査

II-16. 電力系統は、その性質により継続的に外乱を経験している。これらの外乱には、発電喪失、雷若しくはその他の障害条件により引き起こされる短絡、急激な大きな負荷変動又はこうした事象の組み合わせを含む場合がある。このような外乱は、電力系統の構成の変更につながる場合がある。このような大きな外乱の後に系統が安定しているままか否かを判断するためには、過渡現象に対する電力系統の安定性の調査が必要である。所外の電力系統の所与の構成での想定される重大故障遮断時間¹は、様々な障害条件に対して異なることになる。この重大故障遮断時間は、原子力発電所の安全解析書に規定され記載されている場合がある。過酷な大規模外乱を受けた電力系統の回復は、発電所の信頼できる安全な運転にとって重要なものである。通常、系統は、指定された数の想定しうる偶発事象が、負荷への電力供給の品質及び継続性を損なわないような方法で設計され、運転されなければならない。これには、回転機器、発電機制御装置、無効電力補償装置、負荷、保護系及び他の制御装置の電気機械的動特性を含む、系統の動的挙動の正確な計算を要する。系統の安定度の程度は、原子力発電所周辺の電力網系統の運転特性を確立する際に重要な因子である。電力系統の同期の喪失に至る電力網の摂動は、設備の損傷又は系統の安定性の喪失を避けるために、迅速な方法で外乱の分離を要する。

II-17. 過渡現象に対する安定性に影響を与えるパラメータには、以下を含む。

- (a) 同期機器パラメータ
- (b) 発電機昇圧変圧器のインピーダンス
- (c) ターボ発電機の慣性
- (d) 送電線パラメータ
- (e) 回路遮断器及びリレーの特性
- (f) 系統配置
- (g) 励磁系、電力系統安定器及び発電機调速機特性
- (h) 系統の接地
- (i) 回路遮断器の自動再閉、単極開閉、負荷遮断及び系統慣性などの系統制御

II-18. 通常、過渡現象に対する安定性の解析は以下を含む。

- (a) 定常状態、過渡パラメータ及び準過渡パラメータに従って発電機をモデル化すること
- (b) 3相故障又は地絡故障に対する過渡時の挙動を模擬すること
- (c) 電動機及び電動機の負荷トルク、滑り、電流及び加速度曲線をモデル化すること
- (d) 発電機の起動及び電動機の起動を模擬すること
- (e) 設定値に基づいて、回路遮断器のトリップ及び閉止、開閉器の開閉並びにリレーの動作をモデル化すること
- (f) 想定された外乱後の発電機及び電動機の世界、電流、電圧及び出力曲線のプロット

II-19. 回路遮断器の動作特性、同期機の挙動及び系統の相互接続は、計算機による過渡時

¹ 「重大故障除去時間」は、系統が安定し続けるための最大故障継続期間である。

安定性解析を使用して最適化することができる。

避雷系及び系統接地に関する検討調査

II-20. 避雷系は、雷を捉え、極端に高い電圧による電流を地面に安全に通過させることによって、落雷による損傷から構造物を保護するために設計された系統である。落雷による電圧は、通常百万分の1秒程度で最高に達しており、非常に急峻に上昇する。落雷によるエネルギーは、設備の損傷及び要員の傷害を防ぐために、インピーダンスの低い経路で非常に迅速に地面に戻されなければならない。

II-21. 避雷に対するほとんどの所外系統は、雷撃に対して地面に低抵抗の経路を提供するために、避雷針の配置網、金属導体及び発電所の接地マットに接続された接地電極を含む、避雷針、引き下げ線及び接地極から構成される。避雷に対する内部系統には、落雷等電位ボンディング、所外系統の電気絶縁及びサージ保護装置を含むことになる。

II-22. いかなる発電所においても、一般的に4つの概念的に特定できる、異なっているが必ずしも物理的に区別できる必要のない接地系がある。すなわち、要員の安全に対するもの、雷の接地に対するもの、電力系統に対するもの及び計測制御系に対するものであり、各々に信号接地を含む。すべての接地系は、1つの接地線網に結び付けられている。

II-23. 通常、国際的な技術標準は、大型の変電所の接地電極の抵抗値が 1Ω かそれ以下であるべきことを推奨している。

II-24. 避雷に影響を与える要因には、以下を含む。

- (a) 発電所の接地マットの設計
- (b) 土壌抵抗率
- (c) 避雷針の設計（例えば、銅の被覆か、塗装されているか、他の貴金属か、並びに大きさ及び深さ）

II-25. 十分に設計された発電所接地系は、地絡及び雷撃による発電所設備の防護に不可欠である。

電磁両立性の調査

II-26. 産業上の環境条件における電磁両立性に関する国際的な技術標準がある。このような国際的な技術標準は、原子力発電所における電磁両立性に対する要件の基礎として役立つ場合がある。このような標準は、より要求が多い場合がある原子力発電所の機器の環境条件における電磁両立性の要件を対象とするために、必要に応じて追補されなければならない。このような調査の結果は、周波数スペクトルを持つ放出レベルの包絡線及び周波数スペクトルを持つ感受性レベルの包絡線を含む。

定義

以下の定義は本安全指針の目的に適用される。

さらなる定義は、IAEA 安全用語集「原子力安全及び放射線防護に使用される用語（2007年版）」（IAEA、ウィーン（2007年））に提示されている。

<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/7648/IAEA-Safety-Glossary>

記号「①」は情報注記を示す。

代替交流電源。 安全系電力系において蓄電池以外のすべての電力の全面的な喪失（全交流電源喪失）及びその他の設計拡張状態の期間中に、発電所への電力供給に使用するために用意された電源

制御された状態。 予期される運転時の事象又は事故状態後の発電所状態であって、基本的な安全機能が確保でき、また、安全な状態に達するための方策を発効させるのに十分な時間の間、維持することができる発電所状態¹

優先電源。 送電系統から安全系に分類された電力系統への電力供給源

「①」優先電源の一部には、安全分類の一部ではないものがある。（図2参照）

安全な状態。 予期される運転時の事象又は事故状態の後の発電所状態であって、原子炉が未臨界であり、また、基本的な安全機能が長期にわたって安定して確保され、維持される発電所状態⁵

全交流電源喪失。 所外の電源、主発電機及び安全上重要な予備交流電源から、必須開閉器母線の及び必須以外の開閉器母線への、全ての交流電力の完全喪失を伴う発電所状態。直流電力供給装置及び無停電交流電力供給装置は、蓄電池が負荷に給電できる限り、利用可能である場合がある。代替交流電力供給装置は利用可能である。

¹ IAEA 安全基準シリーズ SSR-2/1 (Rev. 1) 「原子力発電所の安全：設計」

基準案の作成と査読の協力者

Auvinen, K.	Forsmark Nuclear Power Plant, Sweden
Diaz, E.	National Atomic Energy Commission, Argentina
Dubois, A.	Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety, France
Duchac, A.	International Atomic Energy Agency
Fredlund, L.	Ringhals AB, Sweden
Frey, W.	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Germany
Giannelli, I.-A.	ENEL Engineering and Research Division – ATN, Italy
Givaudan, B.	Électricité de France, France
Goodney, D.	Constellation Energy, United States of America
Johnson, G.	International Atomic Energy Agency
Jordan, R.	Westinghouse Electric Company, United States of America
Kiger, C.	Analysis and Measurement Services Corporation, United States of America
Kim, B.-Y.	Korea Institute of Nuclear Safety, Republic of Korea
Knutsson, M.	Ringhals AB, Sweden
Krastev, E.	Kozloduy Nuclear Power Plant, Bulgaria
Lamell, P.	Forsmark Nuclear Power Plant, Sweden
Lindner, L.	ISTec, Germany
Lochthofen, A.	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Germany
Matharu, G.	Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Mathew, R.	Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Mauhin, B.	Tractebel Engineering GDF Suez, Belgium
Meiss, S.	Federal Office for Radiation Protection, Germany
Padin, C.	National Atomic Energy Commission, Argentina
Rogers, A.	Consultant, Canada
Sarwar, T.	Pakistan Atomic Energy Commission, Pakistan
Schnuerer, G.	ISTec, Germany
Sobott, O.	AREVA, Germany
Yonezawa, T.	Energis, Japan
Zhu, O.-P.	Korea Institute of Nuclear Safety, Republic of Korea

※この協力者一覧は、正本に記載のあるものを転記したものであり、これらの協力者は日本語翻訳版の作成には一切関係はありません。