

# スイス・ベツナウ原子力発電所における PSR（定期安全レビュー）

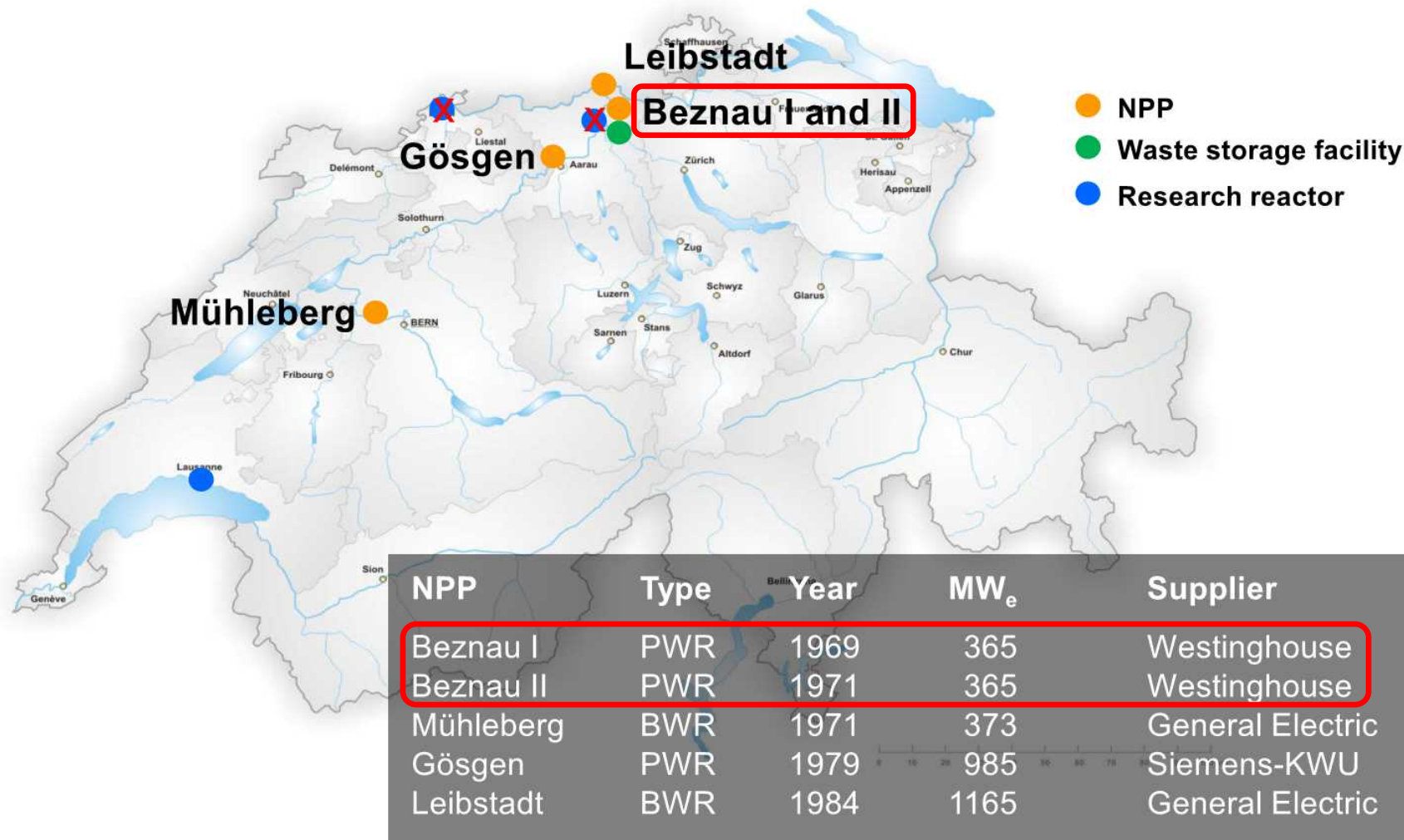
令和5年4月13日

高経年化した発電用原子炉の安全規制に関する検討チーム



# ベツナウ原子力発電所の特徴

- ・ベツナウ原子力発電所はドイツとの国境付近のアーレ川沿いに位置している。
- ・1号機が1969年、2号機が1971年に運転を開始した。
- ・それぞれ365MWeの出力をもつWestinghouse社製の2ループ加圧水型原子力発電所で構成されている。
- ・規制機関は連邦原子力安全検査局 (ENSI: Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat)



# 定期安全レビュー(PSR)の要件に関する法令



- ・原子力発電所は**定期安全レビューを実施**すること。  
(原子力エネルギー法 第22条第2項e)
- ・運転経験や現状のバックフィット技術に従って必要な範囲で**バックフィットを実施**すること。  
(原子力エネルギー法 第22条第2項g)
- ・**定期安全レビューは10年ごと**に実施すること。  
(原子力エネルギー条例 第34条第1項)
- ・定期安全レビューのために**決定論的解析を実施**すること。  
(原子力エネルギー条例 第34条第2項b)
- ・定期安全レビューの文書は遅くとも運転期間10年が終了する**2年前までにENSIに提出**すること。  
(原子力エネルギー条例 第34条第3項)
- ・**運転期間40年を超える場合の定期安全レビュー**では原子力エネルギー条例の第34条aにより**長期運転(LTO)の安全証明書**を定期安全レビューの一部として提出すること。  
(原子力エネルギー条例 第34条第4項)
- ・長期運転の安全証明書では**プラント機器が計画された運転期間中に設計限界に到達しないことの証明**に関する情報を含むこと。  
(原子力エネルギー条例 第34条a第1項b)
- ・長期運転の安全証明書では**次の運転期間において計画されているバックフィッティング及び技術的又は組織的な改善**に関する情報を含むこと。  
(原子力エネルギー条例 第34条a第1項c)

出典) <https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2004/723/20210101/en/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-2004-723-20210101-en-pdf-a.pdf>  
<https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2005/68/20220101/en/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-2005-68-20220101-en-pdf-a.pdf>



1. 序論 (Einleitung)
2. プラントの概要 (Übersicht über die Anlage)
3. 組織及び要員 (Organisation und Personal)
4. 運転管理及び活動 (Betriebsführung und Betriebsverhalten)
  - 4.3 保全及び経年劣化の監視 (Instandhaltung und Alterungsüberwachung des KKB\*)
    - 4.3.1 機械系技術 (Maschinenteknik)
    - 4.3.2 土木系技術 (Bautechnik)
    - 4.3.3 電気・制御系技術 (Elektro- und Leittechnik)
5. 安全に関連する機器 (Sicherheitsrelevante Anlageteile)
  - 5.2 ベツナウ原子力発電所の建屋 (Bauwerke des KKB)
  - 5.3 クラス1機器 (Primärkreislauf des KKB)
    - 5.3.1 原子炉圧力容器及び炉内構造物 (Reaktordruckbehälter und Einbauten)
  - 5.4 プロセスの安全性と補助システム (Verfahrenstechnische Sicherheit- und Hilfssysteme)
  - 5.5 原子炉の監視 (Reaktorüberwachung)
  - 5.6 原子炉の制御と規制 (Reaktorsteuerung und -regelung)
  - 5.7 電源供給 (Stromversorgung des KKB)
  - 5.8 火災防護 (Brandschutz)
6. 設計基準事故に対するプラントの保護 (Schutz der Anlage gegen Auslegungsstörfälle)
7. 設計基準を超える事故に対するプラントの保護  
(Schutz der Anlage gegen auslegungsüberschreitende Störfälle)
8. 緊急対応 (Notfallschutz)
9. 安全性に関する総合評価 (Gesamtbewertung des Sicherheitsstatus)

\* : ベツナウ原子力発電所 (Kernkraftwerk Beznau)



- ・第2章 プラントの概要では、過去の定期安全レビューでの要求事項、今回の定期安全レビューまでに要求したバックフィット等に関する対応結果が記載されている。
  - 例1) 耐腐食性に優れた原子炉容器ヘッドへの交換
  - 例2) 燃料貯蔵プール建屋の免震化(福島第一原発事故後のバックフィット)
- ・第5章 安全に関連する機器では、経年劣化を含む評価結果が記載されている。
  - 例) 原子炉容器ヘッドの交換による制御棒駆動ハウジングの損傷の可能性への対応を行った。溶接部への超音波探傷試験及び内外面の目視検査が実施され有意な欠陥は見られなかった。(5.3.1章)
- ・第6章 設計基準事故に対するプラントの保護では、決定論的解析の結果が記載されている。
  - 例) 一次冷却材の流量の減少を伴う事故。(6.2.3章)
- ・第9章 安全性に関する総合評価では、今回の定期安全レビューで抽出した次回までに実施すべき要求事項が記載されている。
  - 例) ベツナウ原子力発電所は2017年12月15日までに燃料集合体のハンドリング事故の発生頻度を減らすための追加の措置を特定し評価しなければならない。(要求事項6.2-3)

# 参考



# スイスの原子力発電所の特徴



	First generation NPPs			Second generation NPPs	
	Beznau I	Beznau II	Mühleberg	Gösgen	Leibstadt
Status	In operation	In operation	In permanent shut-down since December 2019	In operation	In operation
Licensed thermal power $P^{th}$ [MW <sup>th</sup> ]	1130	1130	1097	3002	3600
Nominal net electrical power $P^e$ [MW <sup>e</sup> ]	365	365	373	1010	1275
Reactor type	PWR	PWR	BWR	PWR	BWR
Containment type	Large dry, free standing steel inside concrete building	Large dry, free standing steel inside concrete building	Pressure suppression, Mk I inside concrete building	Large dry, free standing steel inside concrete building	Pressure suppression, Mk III inside concrete building
Normal heat sink	River Aare	River Aare	River Aare	Wet cooling tower (River Aare)	Wet cooling tower (River Rhine)
Number of reactor coolant pumps	2	2	2	3	2
Number of turbine sets	2	2	2	1	1
Number of fuel assemblies	121	121	240	177	648
Fuel	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>
Number of control assemblies	25	25	57	48	149
Reactor supplier	W	W	GE	KWU	GE
Turbine supplier	BBC	BBC	BBC	KWU	BBC
Site Licence	1964	1967	1965	1972	1969
Construction licence	1964	1967	1967	1973	1975
First operating licence	1969	1971	1971	1978	1984
Commercial operation	1969	1971	1972	1979	1984
Backfitted bunkered automatic ECCS and residual heat removal system since:	1993	1992	1989	Included in the original design	Included in the original design
Filtered containment venting system since:	1993	1992	1992	1993	1993



- PWR** Pressurised Water Reactor
- BWR** Boiling Water Reactor
- W** Westinghouse Electric Corporation
- KWU** Siemens Kraftwerk Union AG (now Areva NP)
- BBC** Brown Boveri & Cie, AG (now Alstom)
- UO<sub>2</sub>** Uranium oxide
- ECCS** Emergency core cooling system

出典) [https://www.iaea.org/sites/default/files/22/08/switzerland\\_nr\\_9th\\_cns.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/22/08/switzerland_nr_9th_cns.pdf)



## ・原子力エネルギー法 (Nuclear Energy Act)

Art. 12a Ban on granting general licences for nuclear power plants

The granting of general licences for the construction of nuclear power plants is prohibited.

第12条a 原子力発電所のための一般免許の付与の禁止

原子力発電所建設のための一般免許の付与は禁止されている。

Art. 22 General obligations on the part of the licence holder

1 The licence holder is responsible for the safety of the installation and its operation.

2 In this connection it shall:

e. in the case of nuclear power plants, carry out a comprehensive periodic safety review;

g. backfit the installation to the necessary extent that it is in keeping with operational experience and the current state of backfitting technology, and beyond insofar as further upgrading is appropriate and results in a further reduction of risk to humans and the environment;

第22条 免許保有者の一般的な義務

1 ライセンス保有者は、設置及びその操作の安全性について責任を負う。

2 これに関連して、以下のことを行う:

e 原子力発電所は包括的な定期安全レビューを実施しなければならない。;

f 運転経験やバックフィット技術の現状に従って必要な範囲で設置物をバックフィットさせ、さらにアップグレードが適切で、人間や環境に対するリスクをさらに低減させる結果になる範囲では、それ以降もバックフィットさせること;





## 原子力エネルギー条例 (Nuclear Energy Ordinance)

### Art. 34 Comprehensive safety reviews for nuclear power plants

- 1 The holder of an operating licence for a nuclear power plant must carry out a comprehensive safety review every 10 years (Periodic Safety Review, PSR).
- 2 For this purpose it must:
  - a. explain and evaluate the safety concept;
  - b. conduct a deterministic analysis of the safety status and a PSR;
  - c. explain and evaluate the overall safety status;
  - d. explain and evaluate whether the organisation of the plant and its personnel satisfy safety requirements.
- 3 The PSR documents must be submitted to ENSI two years at the latest before the end of any operating decade.
- 4 For the period following the fourth operating decade, proof of safety for long-term operations in accordance with Article 34a must also be submitted as part of the PSR.
- 5 ENSI shall specify the detailed requirements on periodical safety reviews in guide-lines. It may provide relief for nuclear power plants for the period following their being definitively taken out of service or exempt them entirely from the obligation to submit a PSR.



## 原子力エネルギー条例 (Nuclear Energy Ordinance)

### 第34条 原子力発電所の包括的な安全レビュー

- 1 原子力発電所の運転免許保有者は10年ごとに包括的な定期安全レビューを実施しなければならない(定期安全レビュー、PSR)。
- 2 この目的のために以下を実施しなければならない:
  - a 安全のコンセプトを説明し、評価すること。
  - b 安全状態の決定論的解析及び定期安全レビューを実施すること。
  - c 全体的な安全状態を説明し、評価すること
  - d プラントの組織とその要員が安全要件を満たしているか説明し、評価すること。
- 3 定期安全レビューの文書は遅くとも運転期間10年が終了する2年前までにENSIに提出すること。
- 4 運転期間40年以降については、第34a条に従った長期運転(LTO)の安全証明書を定期安全レビューの一部として提出すること。
- 5 ENSIは、定期安全レビューに関する詳細な要件をガイドラインで規定するものとする。それは、原子力発電所の運転停止が確定的となった後の期間について、原子力発電所による定期安全レビューの提出義務の一部免除又は完全免除の措置を講ずることができる。



## 原子力エネルギー条例 (Nuclear Energy Ordinance)

### Art. 34a Proof of safety for long-term operations

- 1 Proof of safety for long-term operations shall comprise the following information in particular:
  - a. the relevant period of operation;
  - b. proof that the design limits for the parts of the plant with technical safety relevance will not be reached during the planned period of operation;
  - c. the backfitting and technical or organisational improvements planned for the following operating decade;
  - d. the measures intended to guarantee sufficient numbers of staff with the required expertise for the planned period of operation.
- 2 ENSI shall specify the detailed requirements on proof of safety for long-term operations in guidelines.



## 原子力エネルギー条例 (Nuclear Energy Ordinance)

### 第34条a 長期運転の安全証明書

- 1 長期運用の安全性の証明は、特に以下の情報で構成されるものとする:
  - a 関連する運転期間;
  - b 技術的安全性に関連するプラント機器は、計画された運転期間中に設計限界に到達しないことの証明;
  - c 次の運転期間において計画されているバックフィッティング及び技術的又は組織的な改善;
  - d 予定された運転期間中、必要な専門知識を有する十分な数の要員を保証するための措置。
- 2 ENSI は、長期運転における安全性の証明に関する詳細な要件を、ガイドラインに明記するものとする。



## ENSI A-03 原子力発電所の定期安全レビュー (Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants)

### 5. Content of the PSR

#### 5.1 Plant overview

##### 5.1.3 General design concept

- f. The backfitting of the nuclear power plant in accordance with the state of the art in backfitting technology must be demonstrated. It must also be demonstrated that the nuclear power plant was backfitted to the extent which is reasonable for further hazard reduction. Deviations from the current state of the art in science and technology must be demonstrated and their safety relevance be assessed.

#### 5.4 Ageing monitoring

##### 5.4.1 Ageing monitoring of structures and mechanical and electrical equipment which are safety-classified

- a. The ageing monitoring programme must be reviewed for completeness, upto-dateness, and correctness according to Guideline ENSI-B01.

##### 5.4.2 Technological ageing monitoring

- a. Classified mechanical and electrical components and systems must be reviewed and assessed for technological ageing. The results must be documented.



## ENSI A-03 原子力発電所の定期安全レビュー

(Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants)

### 5. 定期安全レビュー(PSR)の内容

#### 5.1 プラントの概要

##### 5.1.3 一般的な設計コンセプト

- f. 最先端のバックフィット技術による原子力発電所のバックフィットが実証される必要がある。また、さらなる危機の低減のために合理的な範囲で原子力発電所がバックフィットされたことも証明されなければならない。最先端の科学技術の現状からの逸脱は、実証され、その安全性の関連性が評価されなければならない。

#### 5.4 経年劣化の監視

##### 5.4.1 安全の分類に該当する構造物、機械・電気機器の経年変化の監視

- a. 経年劣化の監視プログラムは、ガイドライン ENSI-B01 に従い、完全性、最新性、正確性をレビューする必要がある。

##### 5.4.2 技術的な経年劣化の監視

- a. 分類された機械系・電気系の部品及びシステムは、技術的な経年劣化について検討・評価されなければならない。その結果は文書化されなければならない。





## ENSI B-01 経年劣化の監視(Alterungsüberwachung)

### 5. Alterungsüberwachung in der Bautechnik

Im Leitfaden für die Bautechnik sind folgende allgemeine Grundlagen zu regeln:

- a. die Dokumentation des Bauwerks
- b. die Beschreibung der bauteilspezifischen Alterungsmechanismen
- c. die Untersuchungsmethoden
- d. die Beschreibung der werkstoffspezifischen Zustandsstufen und der Zuordnungskriterien
- e. die Dokumentation der Ergebnisse der Zustandsuntersuchungen

### 6. Alterungsüberwachung in der Elektro- und Leittechnik

Die Steckbriefe werden in Teilgruppen aufgeteilt (siehe Anhang 3) und beinhalten:

- a. Teil 1: Alterungsmechanismen
- b. Teil 2: Mögliche Diagnosemethoden
- c. Teil 3: Werkspezifische Überprüfung

### 7. Alterungsüberwachung in der Maschinenteknik

Der Inhalt der Steckbriefe ist im Anhang 4 dokumentiert. Anhang 5 definiert die Anforderungen an den Nachweis der Sprödbruchsicherheit des Reaktordruckbehälters (RDB). Im Anhang 6 sind die Anforderungen an die Ermüdungsüberwachung geregelt. Die Steckbriefe sind der Aufsichtsbehörde als Dokument einzureichen. Die Datenbasis der in den Steckbriefen aufgeführten Tabellen ist auch in elektronischer Form mitzuliefern.



## ENSI B-01 経年劣化の監視 (Alterungsüberwachung)

### 5. 構造物における経年劣化の監視

構造物において、以下の一般原則を規定する:

- a. 構造に関する文書化
- b. 部品固有の経年劣化メカニズムの説明
- c. 試験方法
- d. 材料固有の条件と分類基準の説明
- e. 検討結果の文書化

### 6. 電気・計装・制御系システムにおける経年劣化の監視

ファクトシートは以下のサブグループに分かれている(付属書3):

- a. 第1部: 経年劣化メカニズム
- b. 第2部: 考えられる診断方法
- c. 第3部: プラント独自の検査

### 7. 機械系システムにおける経年劣化の監視

ファクトシートの内容は、付属書4に記されている。付属書5は、原子炉圧力容器(RPV)の脆性破壊の安全性の検証のための要件を定義している。付属書6は、疲労監視のための要求事項を定義している。本仕様書は、文書として監督官庁に提出することとしている。ファクトシートに記載されている表のデータ根拠も電子データで提供すること。