

漂流物に対する海外規制

令和2年2月26日

技術基盤課

1. はじめに

第39回技術情報検討会(令和元年11月20日)等で話題になったことから、原子力発電所の取水口に押し寄せる漂流物等からの影響による損傷の防止に関する海外の規制について調査した。なお、ここで損傷防止の対象とするのは、設計基準対象施設の機能・性能に影響を与える可能性のあるものであり、国内原子力発電所では海水系である(3. 参照)。

2. 海外規制

IAEA 安全指針、米国 NRC 規制ガイドとフィンランド放射線および核安全局規制ガイドについて調査した。いずれも、自然現象を含む外部事象から、取水口や最終ヒートシンク(UHS)を防護することが要求されている。

IAEA 安全指針(NS-G-1.5)実用発電用原子炉の設計に係る地震以外の外部事象

原文	仮訳
<p>SCOPE</p> <p>1.9. This Safety Guide is applicable to the design and safety assessment of items important to the safety of land based stationary nuclear power plants with water cooled reactors. It covers the safety of new nuclear power plants in relation to the following DBEEs:</p> <p>Human induced events</p> <p>—Aircraft crashes; (中略)</p> <p>Natural events</p> <p>—Extreme meteorological conditions (of temperature, snow, hail, frost, subsurface freezing and drought);</p> <p>—Floods (due to tides, tsunamis, seiches, storm surges, precipitation, waterspouts, dam forming and dam failures, snow melt, landslides into water bodies, channel changes and work in the channel);</p> <p>—Cyclones (hurricanes, tornadoes and tropical typhoons) and straight winds;</p> <p>—Abrasive dust and sand storms;</p> <p>—Lightning;</p> <p>—Volcanism;</p> <p>—Biological phenomena;</p> <p>—Collision of floating debris (ice, logs, etc.) with accessible safety related structures such as water intakes and UHS components.</p>	<p>スコープ</p> <p>1.9. この安全指針は、水を冷却材とした定置型実用発電用原子炉の安全上重要な機器等の安全評価や設計に適用するものである。以下の設計基準外部事象(DBEE)に関して、新規建設実用発電炉の安全性もカバーする。</p> <p>人為的事象</p> <p>—航空機落下 (中略)</p> <p>自然事象</p> <p>—荒天条件(温度、降雪、ひょう・あられ、霜、地表面凍結、干ばつ)</p> <p>—洪水(潮汐、津波、セイシュ、高潮、降雨、水上竜巻、天然ダム、ダム決壊、融雪、地滑りに伴う洪水、河道変化、運河作業)</p> <p>—サイクロン(ハリケーン、竜巻、熱帯台風)と突風</p> <p>—砂嵐</p> <p>—雷</p> <p>—火山活動</p> <p>—<u>生物学的現象</u></p> <p>—<u>取水口や最終ヒートシンク(UHS)のような構造物への漂流物(氷、丸太等)の衝突</u></p>

原文	仮訳
1.10. This list is not exhaustive and other external events, not included in the list, may be identified and selected as DBEEs at the site. All such events should be evaluated in accordance with specific requirements, consistent with the safety requirements established in respect of them by the State concerned.	1.10. <u>このリストは完全ではなく、その他の外部事象もサイトの DBEE として特定、選定され得る。そのような事象は全て、その国によって作られた安全要求と整合する個別の要求にしたがって評価されなければならない。</u>
15. COLLISIONS OF FLOATING BODIES WITH WATER INTAKES AND UHS COMPONENTS GENERAL DESCRIPTION 15.1. According to Refs [2, 3], water intakes and UHS structures can be damaged by ship collision, ice or floating debris. Associated phenomena in the event of a ship collision should be considered, such as oil spills or releases of corrosive fluids, which could affect the availability or quality of cooling water.	15 章 取水口もしくは UHS 構成物への漂流物の衝突 総論 15.1 <u>取水口や UHS 構造物は、船舶衝突、氷や漂流物によって損傷し得る。船舶衝突の場合、関連事象、例えば、オイル漏れ、腐食物の放出が冷却水の質や可用性に影響を与えるかもしれない。</u>
15.2 The UHS and the water intake for service water are exposed to the same DBEEs identified for the safety related buildings at the site, but their design in relation to external events may present some peculiarities owing to the fact that some components may be beyond the site boundary and they can be spread over a wide area.	15.2. 補機冷却水用の UHS や取水口は、サイトの安全関連建屋に対する DBEE に晒される。しかし、それらの外部事象に対する設計は、独特なものとなるかもしれない。なぜなら、それらの構成物がサイト境界を超えている場所に存在したり、きわめて広い領域に広がっている場合もあるからである。
15.3. Recent experience from operation shows a significant number of occurrences of damage to water intakes and UHS components: ice blocks and floating debris have damaged water intakes, pump houses were flooded and there was some have damage to cooling towers, often associated with flood debris and low temperatures (see also the relevant sections).	15.3. <u>最近の運転経験によると、取水口や UHS 構造物の損傷件数が少なくない。塊氷や漂流物が取水口を壊したり、ポンプハウスが冠水したり、また、洪水漂流物や低温によって、冷却塔が損傷した例もある。</u>

米 NRC 規制ガイド (RG1.27 Rev. 3) 実用発電用原子炉の最終ヒートシンク[2]

原文	仮訳
GDC 2, "Design Bases for Protection Against Natural Phenomena," requires that SSCs important to safety shall be designed to withstand the effects of natural phenomena such as earthquakes, tornadoes, hurricanes, floods, tsunami, and seiches without loss of capability to perform their safety functions. The design bases for these SSCs shall reflect: (1) appropriate consideration of the most severe of the natural phenomena that have been historically reported for the site and surrounding area, with sufficient margin for the limited accuracy, quantity, and period of time in which the historical data have been accumulated, (2)	一般設計基準 (GDC 2) : 「自然現象に対する防護の設計基準」が要求しているのは、安全上重要な構築・系統・機器 (SSC) は、その安全機能の発揮能力を失わないように、地震、竜巻、ハリケーン、洪水、津波やセイシュのような自然現象に耐えるように設計されなければならない。そうした SSC に対する設計基準には、以下を反映させなければならない。(1) サイトや周辺域で史実に残る最も厳しい自然現象の適切な考慮。その際、歴史データが蓄積されている精度、数値、時間間隔に十分な余裕をみること。(2) 通常運転条件もしくは事

原文	仮訳
appropriate combinations of the effects of normal and accident conditions with the effects of the natural phenomena, and (3) the importance of the safety functions to be performed.	故条件の影響と自然現象の影響との適切な組み合わせ。(3)発揮される安全機能の重要度。
2. Natural Phenomena and Site Hazards Design for the Ultimate Heat Sink a. The UHS complex, whether supplied by single or multiple water sources, should be capable of withstanding, without loss of the UHS safety functions, all of the following events:	2. UHS に対する自然現象とサイトハザード設計 a. UHS 複合体(単一水源でも複数水源でも)は、UHS 安全機能を失うことなく、以下の全ての事象に耐える能力がなければならない。
(1) the most severe natural phenomena expected at the site in accordance with GDC 2;	(1) <u>GDC2 にしたがって、そのサイトで想定されるもっとも厳しい自然現象。</u>
(2) the site-related events (e.g., transportation accident, river diversion) that historically have occurred or that may occur during the plant lifetime;	(2) 歴史に残る、もしくはプラント寿命中に怒る可能性のあるサイト関連事象(例: 輸送事故、河川迂回)。
(3) appropriate combinations of less severe natural phenomena and/or site-related events;	(3) 比較的軽度の自然現象とサイト関連事象の適切な組み合わせ。
(4) failure of reservoirs, dams, and other manmade water retaining structures both upstream and downstream of the site including the potential for resultant debris to block water flow; and	(4) サイト上流/下流の貯水池、ダム、その他の人口貯水構造の決壊。決壊の結果としてのがれきによる水流のブロックも含む。
(5) potential changes in ocean, river, or lake levels as a result of severe natural events, or possible changes in climatological conditions in the site region resulting from human or natural causes, that may occur during the plant lifetime.	(5) 厳しい自然事象の結果としての海、河川、湖の潜在的な水位変化。もしくは、プラント寿命中に起こるかもしれない人為又は自然原因の気候条件の起こり得る変化。
(b. - d.略)	(b. - d.略)
e. Operating experience from other similarly designed and sited power plants should be used as appropriate. For example, if the UHS relies on cooling water from a reservoir, lake, or ocean, etc., the design should accommodate potential clogging of suction flow paths from silt, aquatic fauna such as fish, and biological growth such as seaweed. (一部省略)	e. その他類似設計もしくは類似サイトの発電所からの運転経験は適切に使わなければならない。例: もし、UHS が貯水池、湖や海からの冷却水に依存しているならば、 <u>その設計は、沈泥や水生動物(魚など)、海藻等の成長によるサクシオン流の閉塞可能性に順応できなければならない。</u>

フィンランド放射線および核安全局規制ガイド(YVL B.7)原子力施設における内部・外部ハザード対策

原文	仮訳
5.6 Other external events endangering seawater and raw water supply 521. The design of sea water intake and outlet structures as well as sea water systems shall apply design solutions where the possibility of a blockage is minor. Furthermore, protection shall be provided, as	5.6. 海水や原水供給を危くするその他外部事象 521. 海水取水口や放水口構造、水路の設計には、流路閉塞の可能性が軽微となるようなソリューションを適用しなければならない。さらに、規制ガイド(YVL B.1)原子力発電所の安

原文	仮訳
prescribed in Guide YVL B.1, against loss of the final heat sink caused by a total loss of sea water flow.	全設計」)に示されるように、海水流の全喪失による最終ヒートシンク(UHS)の喪失に対する防護策も備えなければならない。
522. The following matters, among others, shall be examined as events causing the danger of a blockage: water-carried impurities entering the sea water systems, such as algae, other plant life and organisms and their remains, as well as oil and other fouling chemicals. In the design and operation of the sea water systems provisions shall also be taken to protect against growth of plant life and organisms, such as mussels, in the seawater systems.	522. 中でも、水路閉塞の危険性がある事象として次の項目を調べなければならない: 水流に含まれる不純物(海藻、植物、有機体などや油や付着化学物)。海水系の設計や運転においては、体系内での植物や有機体(カラス貝など)の成長を防止する方策を取り込まなければならない。
523. The sea water systems shall be equipped with suitable cleaning systems to handle impurities.	523. 海水系は、不純物を扱う適切な洗浄システムを具備しなければならない。
524. The cleanliness of the nuclear facility's sea water supply at intake shall be monitored. Monitoring shall be enhanced during conditions involving a higher than normal risk of impurities entering the sea water systems.	524. 原子力施設の海水取水口の清浄度を監視しなければならない。海水系に通常時を超える不純物流入リスクがあるような条件では、そうした監視を強化しなければならない。

3. (参考)国内対策例

国内では、取水口に押し寄せる漂流物として、「くらげの襲来」をよく想定している。取水口付近のくらげは、原子力発電所の循環水ポンプ等の吸込みによる海水の流れに乗って取水口に流入する。循環水ポンプや海水ポンプの上流側の取水ピットにはロータリースクリーンが具備され、流入くらげを捕獲し除去している。

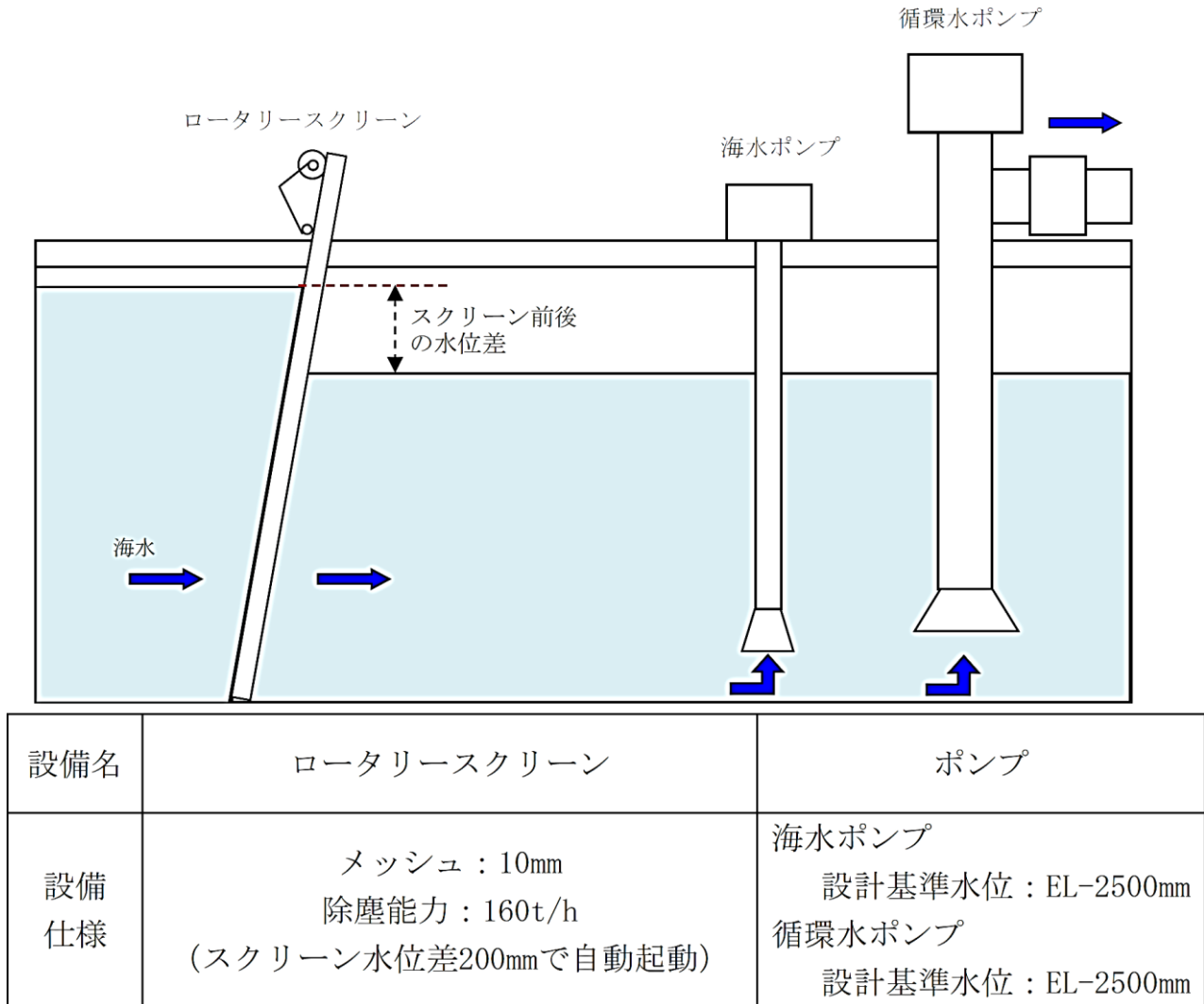


図1 除塵設備の断面図と設備仕様例[1]

くらげの襲来により、スクリーン前後の差圧(水位差)が一定以上大きくなると、スクリーンの除塵機能が自動起動して、捕獲されたくらげを除去する。水位差がさらに大きくなれば、循環水ポンプの流量を調整し、取水口への海水の流入を低減させる。必要ならば、循環水ポンプ流量を抑え、原子炉出力も抑制する。それでも足りない場合は、循環水ポンプを停止させ、原子炉を停止させる。なお、図1に例示した除塵設備を持つ原子力発電所では、くらげの襲来により循環水ポンプの流量を下げ、原子炉出力を抑制した事例が過去に数件発生しているが、原子炉停止に至った事例、海水ポンプの取水性能に影響を及ぼした経験はない。[1]

また、海水ポンプで取水された海水に含まれる海生生物等は、ポンプ吐出側のストレーナにより捕獲される。各海水系統には、ダブルストレーナ(ストレーナの片側で 100%容量)が具備され、交互運転を行なっている。すなわち、片側のストレーナの差圧が許容値以上になればストレーナ切替えを行い、隔離されたストレーナを清掃し捕獲した海生生物等を除去する。従って、ダブルストレーナの両ストレーナが同時に運転不能(詰まる)となる可能性は低い。さらに、海水電解装置により海生生物の付着、繁殖を防止している場合がある。

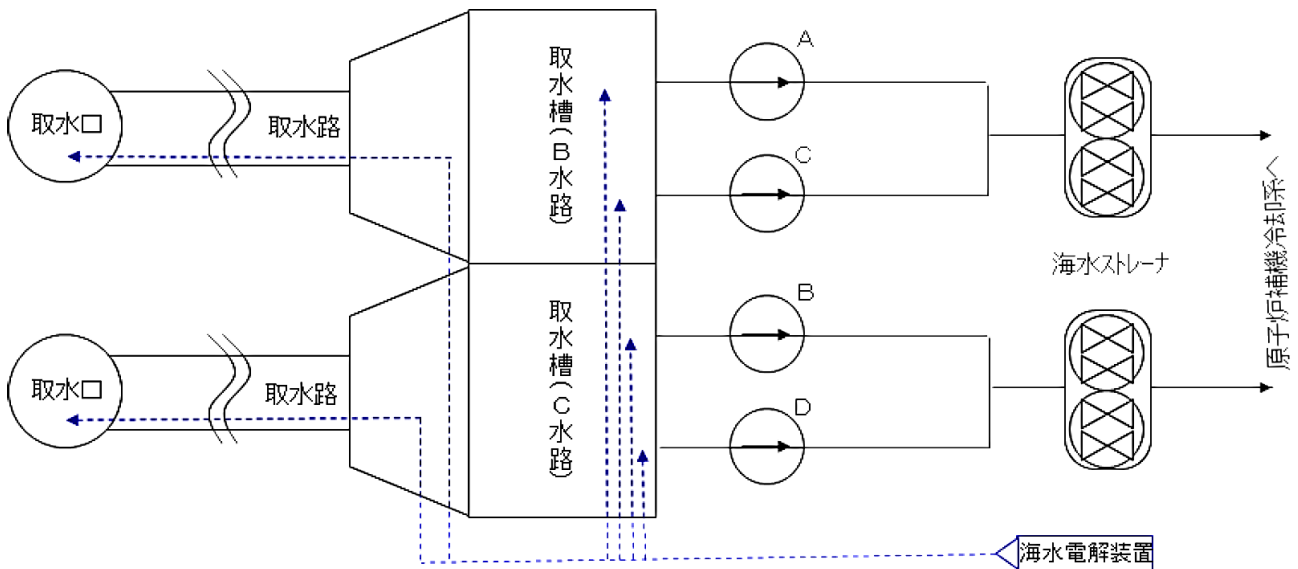


図 2 海水系概略系統図例[1]

4. 参考文献

- [1] 第 770 回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(令和元年 09 月 12 日)、資料 1-2-3 島根原子力発電所 2 号炉 外部からの衝撃による損傷の防止(外部事象の考慮について)、<http://www2.nsr.go.jp/data/s000283596.pdf>
- [2] US NRC REGULATORY GUIDE 1.27 Revision 3, ULTIMATE HEAT SINK FOR NUCLEAR POWER PLANTS, <https://www.nrc.gov/docs/ML1410/ML14107A411.pdf>
- [3] IAEA SAFETY GUIDE, NS-G-1.5, External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1159_web.pdf
- [4] STUK's Regulatory Guides on nuclear safety and security, YVL B.7, Provisions for internal and external hazards at a nuclear facility, 15.11.2013, <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLB-7>