

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

所内常設直流電源設備（3系統目）に用いる
基準地震動について

2022年8月22日

東京電力ホールディングス株式会社

目次

1. 所内常設直流電源設備（3系統目）に用いる基準地震動

2. 標準応答スペクトルに基づく評価

3. 標準応答スペクトルに基づく評価に用いる地下構造モデルの設定

4. 標準応答スペクトルに適合した模擬地震波の作成

5. 標準応答スペクトルに基づく震源を特定せず策定する地震動

6. 基準地震動の策定

【参考】既許可の施設等の固有周期の確認結果

7. 所内常設直流電源設備（3系統目）に用いる基準地震動

【参考】設置変更許可申請書(2022年8月17日許可)における整理との関係

【参考】設置変更許可申請書(2022年8月17日許可)の記載

【参考】設置変更許可申請に係る手続きについて

【参考文献】

※ 第1045回原子力発電所の新規規制基準適合性に係る審査会合

資料1-1-1 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉 特定重大事故等対処施設に用いる基準地震動について

<https://www2.nsr.go.jp/data/000390775.pdf>

今回ご説明

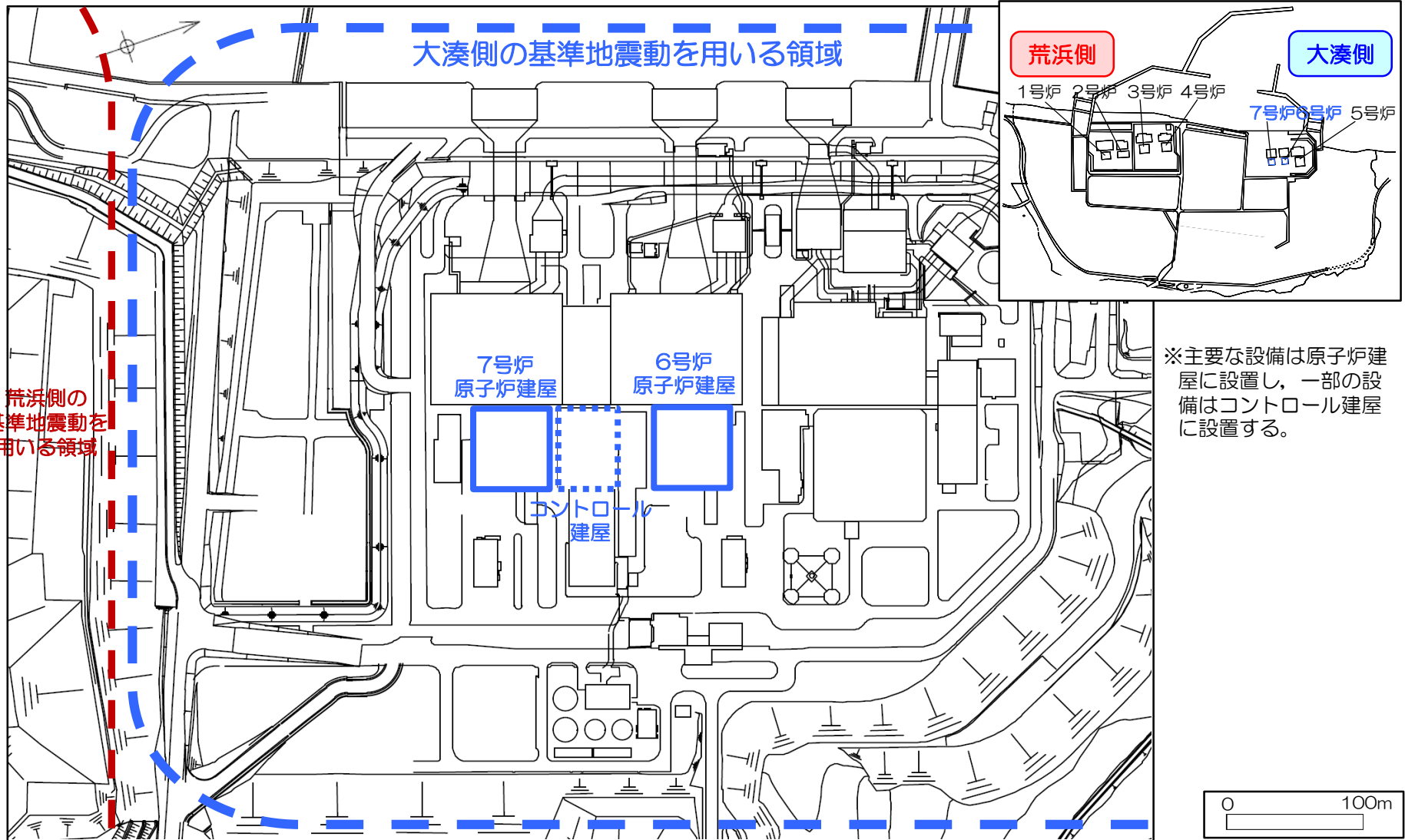
下記資料※
より抜粋

今回ご説明

下記資料※
より抜粋

1. 所内常設直流電源設備（3系統目）に用いる基準地震動

- 今回の申請の対象となる所内常設直流電源設備（3系統目）は、6号及び7号炉の建屋内に設置する※ことから、大湊側の基準地震動を用いる。



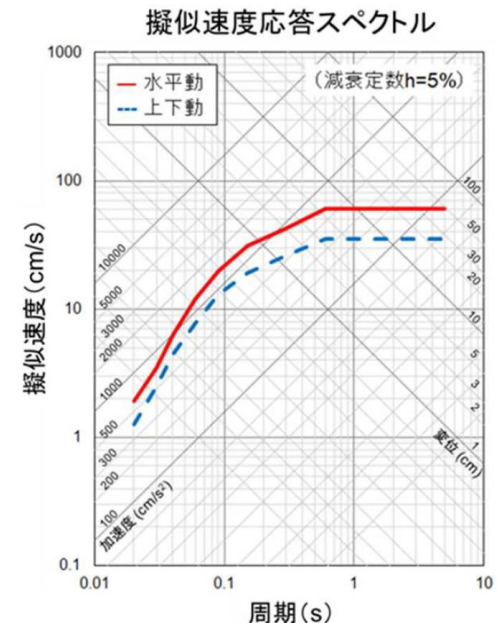
※主要な設備は原子炉建屋に設置し、一部の設備はコントロール建屋に設置する。

2. 標準応答スペクトルに基づく評価

■ 基準地震動に関しては、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」の改正に従い、標準応答スペクトルに基づく評価の反映を荒浜側及び大湊側ともに行い、許可を受けている。

- 2021年4月21日、原子力規制委員会において「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正」が決定され、震源を特定せず策定する地震動のうち全国共通に考慮すべき地震動の策定にあたっては、「震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面における標準的な応答スペクトル」（以下、「標準応答スペクトル」という）を用いることが新たに規定された。
- 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉については、2021年5月18日に基準地震動の変更が不要であることを説明する文書を提出し、2022年3月23日にその審議結果の通知を受領している。
- 2022年6月21日、6月28日の特定重大事故等対処施設の設置に係る補正申請にて、標準応答スペクトルに基づく評価の反映を行い、2022年8月17日に許可を受けている。

■ 所内常設直流電源設備（3系統目）には、上記の許可を受けた基準地震動を用いる。



コントロールポイント

| 周期 (s) | 水平動 | 上下動 |
|--------|-------------|-------------|
| | 擬似速度 (cm/s) | 擬似速度 (cm/s) |
| 0.02 | 1.910 | 1.273 |
| 0.03 | 3.500 | 2.500 |
| 0.04 | 6.300 | 4.400 |
| 0.06 | 12.000 | 7.800 |
| 0.09 | 20.000 | 13.000 |
| 0.15 | 31.000 | 19.000 |
| 0.30 | 43.000 | 26.000 |
| 0.60 | 60.000 | 35.000 |
| 5.00 | 60.000 | 35.000 |

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」より抜粋

3. 標準応答スペクトルに基づく評価に用いる地下構造モデルの設定

- 標準応答スペクトルは、 $V_s=2,200\text{m/s}$ 以上の地震基盤相当面において評価され、敷地の解放基盤表面とは地盤物性が異なることから、敷地において、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を適切に考慮する必要がある。
- 標準応答スペクトルに基づく評価にあたっては、大深度地震観測記録等の最新のデータに基づき、敷地の地震基盤相当面から解放基盤表面までの速度構造及び減衰構造を適切に反映した地下構造モデルを設定して用いる。
- 梅田・小林(2010)の手法に基づき、敷地の地震基盤から地表までの増幅特性の情報を含んだ地表の観測記録を用いて、P波部H/Vスペクトル比、レシーバー関数、コーダ部H/Vスペクトル比をターゲットとした同時逆解析により評価した1次元地下構造モデルを以下に示す。
- 敷地の解放基盤表面における標準応答スペクトルを評価するために、敷地の地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮するための地下構造モデルとして、これを設定する。

荒浜側

| 層No. | 標高 (m) | 層厚 (m) | 密度 (t/m ³) | S波速度 (m/s) | P波速度 (m/s) | Qs* | | Qp* | | 備考 |
|------|---------|--------|------------------------|------------|------------|-------|------|-------|------|---------|
| | | | | | | Qo | n | Qo | n | |
| | -284.0 | | | | | | | | | 解放基盤表面 |
| 1 | -764.5 | 480.5 | 1.70 | 997 | 2210 | 14.91 | 0.89 | 5.27 | 0.61 | |
| 2 | -1242.3 | 477.8 | 2.10 | 1500 | 2700 | 19.37 | 0.75 | 10.22 | 0.85 | |
| 3 | -1896.3 | 654.0 | 2.30 | 1870 | 2760 | 11.55 | 0.52 | 9.19 | 0.70 | |
| 4 | -2792.2 | 895.9 | 2.40 | 1920 | 4270 | 14.35 | 0.75 | 9.46 | 0.66 | 地震基盤相当面 |
| 5 | -4081.5 | 1289.3 | 2.50 | 2350 | 4780 | 20.71 | 0.57 | 17.80 | 0.85 | |
| 6 | -6469.8 | 2388.3 | 2.60 | 3060 | 5080 | 66.23 | 0.78 | 37.72 | 0.72 | |
| 7 | | | 2.70 | 3490 | 5440 | 66.23 | 0.78 | 37.72 | 0.72 | |

※ $Q(f)=Q_0 \times f^n$ を仮定。

大湊側

| 層No. | 標高 (m) | 層厚 (m) | 密度 (t/m ³) | S波速度 (m/s) | P波速度 (m/s) | Qs* | | Qp* | | 備考 |
|------|---------|--------|------------------------|------------|------------|-------|------|-------|------|---------|
| | | | | | | Qo | n | Qo | n | |
| | -134.0 | | | | | | | | | 解放基盤表面 |
| 1 | -149.0 | 15.0 | 2.03 | 730 | 1800 | 5.00 | 0.85 | 3.33 | 0.90 | |
| 2 | -231.0 | 82.0 | 2.03 | 890 | 1900 | 5.00 | 0.85 | 3.33 | 0.90 | |
| 3 | -266.0 | 35.0 | 2.03 | 960 | 1900 | 5.00 | 0.85 | 3.33 | 0.90 | |
| 4 | -300.0 | 34.0 | 2.03 | 1000 | 2100 | 5.00 | 0.85 | 3.33 | 0.90 | |
| 5 | -834.5 | 534.5 | 2.10 | 1200 | 2420 | 14.32 | 0.90 | 6.11 | 0.59 | |
| 6 | -1716.2 | 881.7 | 2.30 | 1300 | 2610 | 15.05 | 0.89 | 6.12 | 0.61 | |
| 7 | -2613.3 | 897.1 | 2.40 | 1920 | 4270 | 14.35 | 0.75 | 9.46 | 0.66 | 地震基盤相当面 |
| 8 | -3944.3 | 1331.0 | 2.50 | 2350 | 4780 | 20.71 | 0.57 | 17.80 | 0.85 | |
| 9 | -6092.4 | 2148.1 | 2.60 | 3060 | 5080 | 66.23 | 0.78 | 37.72 | 0.72 | |
| 10 | | | 2.70 | 3490 | 5440 | 66.23 | 0.78 | 37.72 | 0.72 | |

※ $Q(f)=Q_0 \times f^n$ を仮定。

3. 標準応答スペクトルに基づく評価に用いる地下構造モデルの設定

- 設定した地下構造モデルにより、敷地の地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を適切に考慮できることについては、大深度地震観測記録等を用いて検証を行い、妥当性を確認した。その概要を以下に示す。
- なお、地下構造モデルの設定及びその妥当性確認の詳細については、参考資料に示す。

- 標準応答スペクトルに基づく評価における敷地の地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性について、1次元地下構造モデルにより反映することが可能であることを検証により確認した。
- 敷地の褶曲構造を踏まえた上で、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を1次元地下構造モデルにより考慮することの妥当性については、敷地の地下構造に関して継続して取得している新たなデータを活用し、大深度地震観測記録等を用いて検証を行った。

大深度地震観測記録を用いた検証

- 大深度地震観測点は、褶曲構造が見られる深度に達して設置しており、これまでに震源位置の異なる複数の観測記録が得られていることから、これらを用いて検証を実施。
- 設定した地下構造モデルの理論伝達関数は、解放基盤表面を含む浅部から大深度地震観測点まで、観測記録の伝達関数と整合していること、また、解放基盤表面を含む浅部から地震基盤まで、観測記録から推定した地震基盤波を用いた伝達関数と整合していることを確認。

ボーリング調査結果及び既往の知見等を用いた検証

- 設定した地下構造モデルの速度構造は、大深度PS検層結果及び反射法地震探査結果等に基づく2次元地下構造モデルの速度構造と整合していることを確認。
- 設定した地下構造モデルの速度構造及び減衰構造は、既往の知見と比較して妥当な設定となっていることを確認。

- 以上の検証を行い、設定した1次元地下構造モデルにより敷地の地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤増幅特性を適切に反映することが可能であることを確認した上で、解放基盤表面における標準応答スペクトルの評価にこれを用いた。

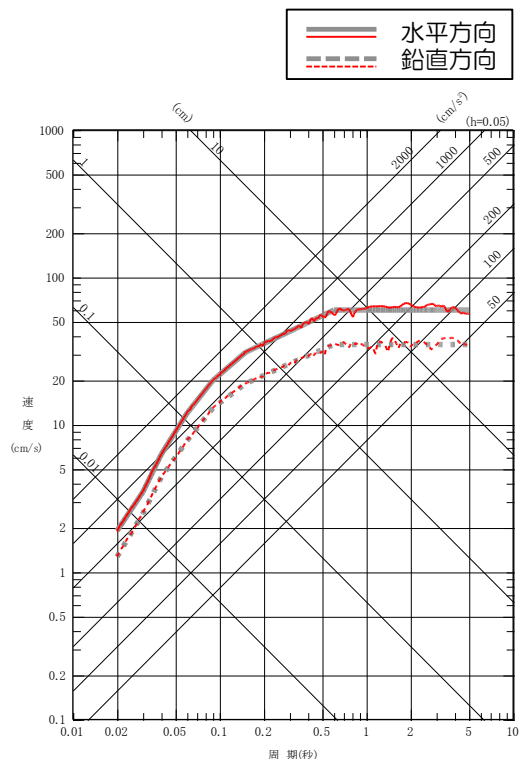
4. 標準応答スペクトルに適合した模擬地震波の作成

■ 標準応答スペクトルに適合した模擬地震波は、複数の方法により作成する。

(1) 振幅包絡線の経時的変化に基づく一様乱数の位相を有する正弦波の重ね合わせによる模擬地震波

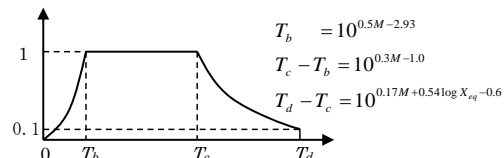
- 振幅包絡線の経時的変化：Noda et al.(2002)に基づく形状
- 応答スペクトル比：0.85以上
- 応答スペクトル強さの比 (SI比)：1.0以上

標準応答スペクトルとの適合



振幅包絡線の経時的変化

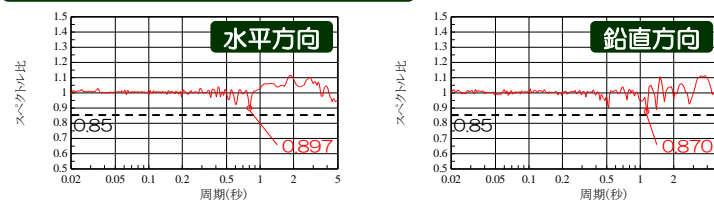
| 地震規模 M | 等価震源距離 Xeq(km) | 振幅包絡線の経時的変化 (秒) | | |
|-----------|-------------------|-----------------|-------|-------|
| | | T_b | T_c | T_d |
| 7.0* | 10 | 3.72 | 16.31 | 29.80 |



※ 敷地周辺で発生した2007年新潟県中越沖地震の地震規模* (M6.8, Mw6.6) 及び震源を特定せず策定する地震動のうち全国共通に考慮すべき地震動の地震規模 (Mw6.5程度未満) を踏まえた上で、保守的にM7.0を設定。

* 気象庁, F-netによる。

応答スペクトル比

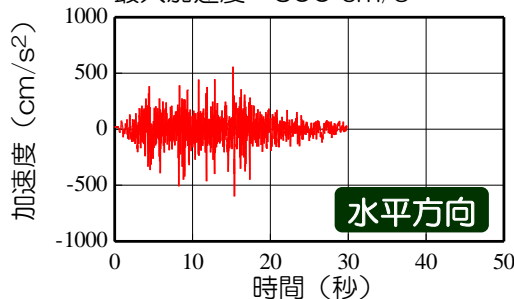


SI比

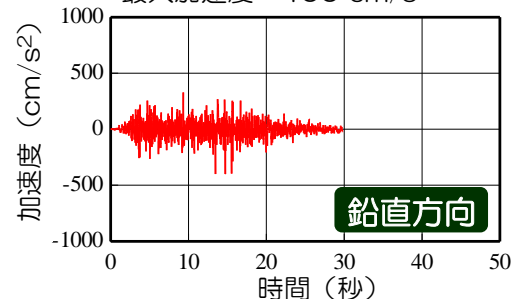
| | SI比 |
|------|------|
| 水平方向 | 1.04 |
| 鉛直方向 | 1.01 |

作成した模擬地震波

最大加速度：600 cm/s²



最大加速度：400 cm/s²



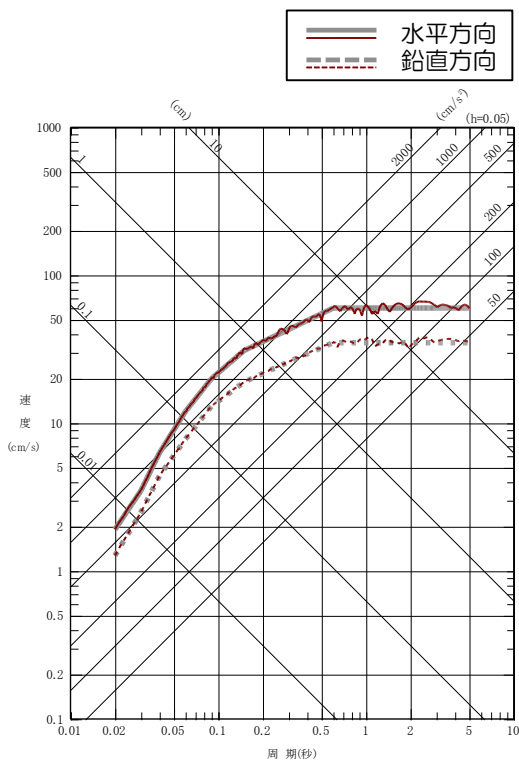
4. 標準応答スペクトルに適合した模擬地震波の作成

■ 標準応答スペクトルに適合した模擬地震波は、複数の方法により作成する。

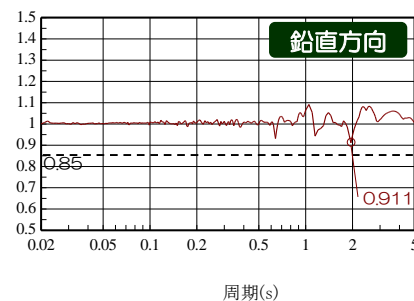
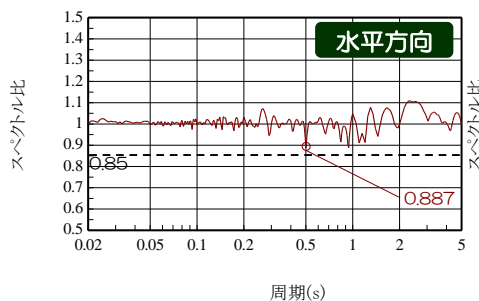
(2) 敷地で得られた観測記録の位相を用いた模擬地震波

- 敷地周辺で発生した2007年新潟県中越沖地震における5号炉の観測記録から推定した解放基盤波の位相を用いて作成
- 応答スペクトル比：0.85以上
- 応答スペクトル強さの比（SI比）：1.0以上

標準応答スペクトルとの適合



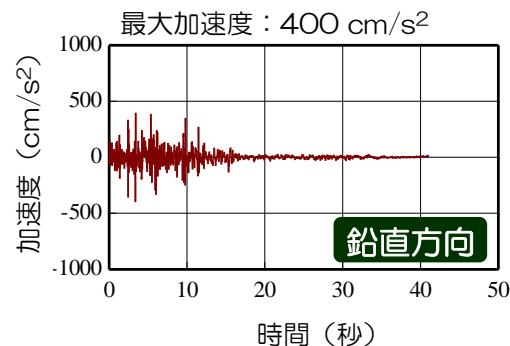
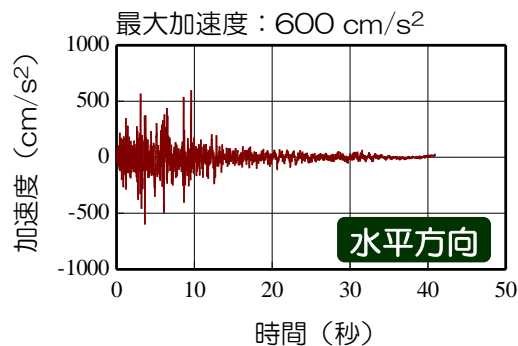
応答スペクトル比



SI比

| | SI比 |
|------|------|
| 水平方向 | 1.02 |
| 鉛直方向 | 1.01 |

作成した模擬地震波



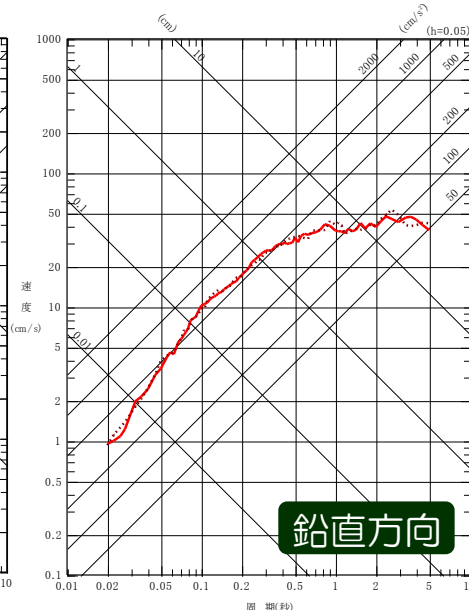
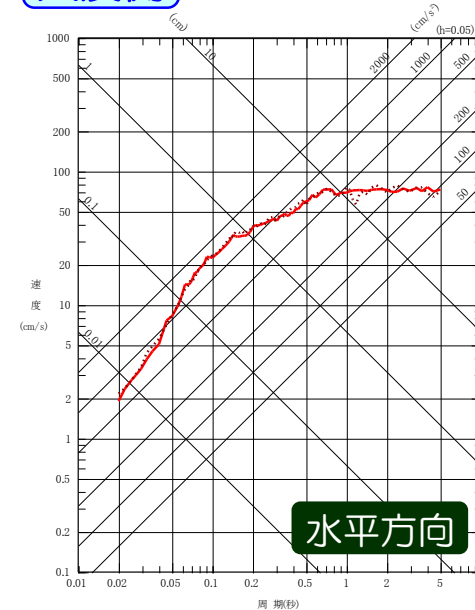
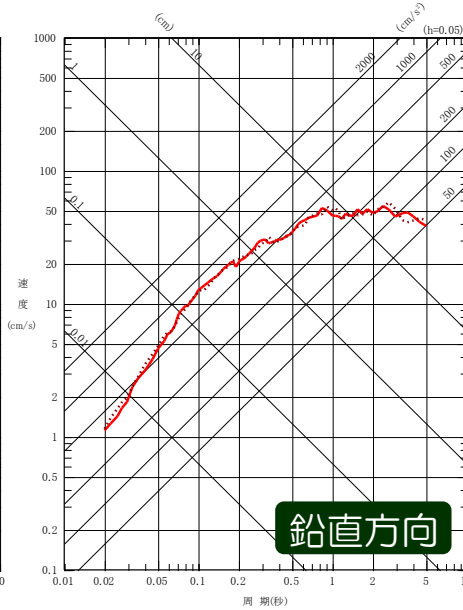
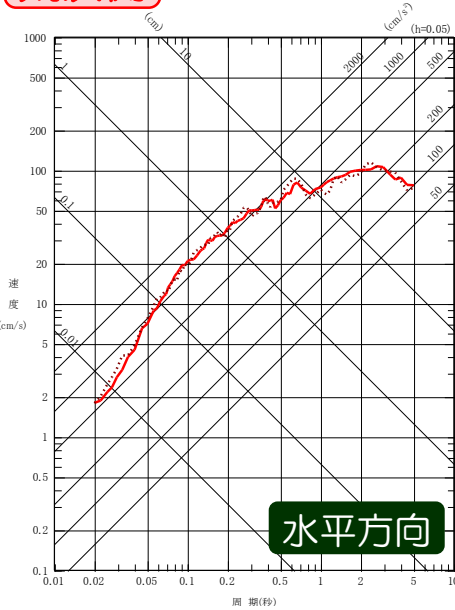
5. 標準応答スペクトルに基づく震源を特定せず策定する地震動

- 設定した地下構造モデルにおいて $V_s=2,200\text{m/s}$ を上回る $V_s=2,350\text{m/s}$ の層の上面に、複数の方法により作成した標準応答スペクトルに適合した模擬地震波を入力して重複反射理論に基づく評価を実施し、標準応答スペクトルに基づく解放基盤表面における応答スペクトルを評価した。
- 一様乱数の位相を用いた模擬地震波による評価結果と観測記録の位相を用いた模擬地震波による評価結果は、ほぼ変わらないことが確認できるものの、解放基盤表面における応答スペクトルの地震動レベルの不確かさを考慮して、これら2つの評価結果を標準応答スペクトルに基づく震源を特定せず策定する地震動として設定する。

— 標準応答スペクトルに基づく評価結果
(一様乱数の位相を用いた評価結果)
 標準応答スペクトルに基づく評価結果
(観測記録の位相を用いた評価結果)

荒浜側

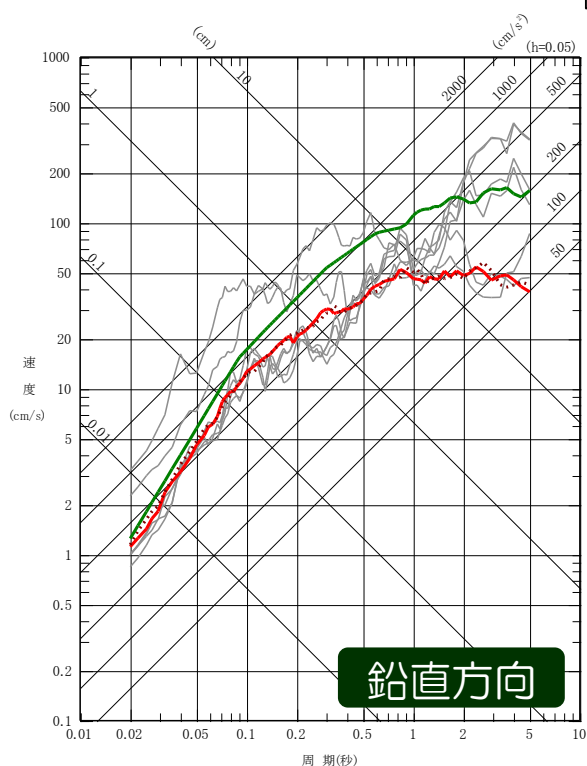
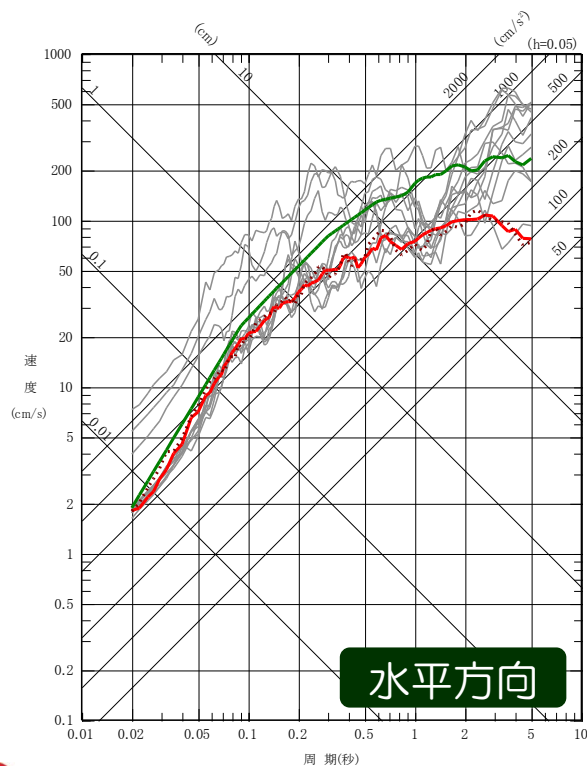
大湊側



6. 基準地震動の策定（荒浜側）

- 荒浜側の標準応答スペクトルに基づく震源を特定せず策定する地震動は、水平方向及び鉛直方向ともに、全ての周期帯で、基準地震動Ss-3を下回る。
- このため、標準応答スペクトルに基づく震源を特定せず策定する地震動は、基準地震動として設定しない。

荒浜側

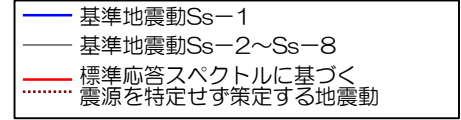
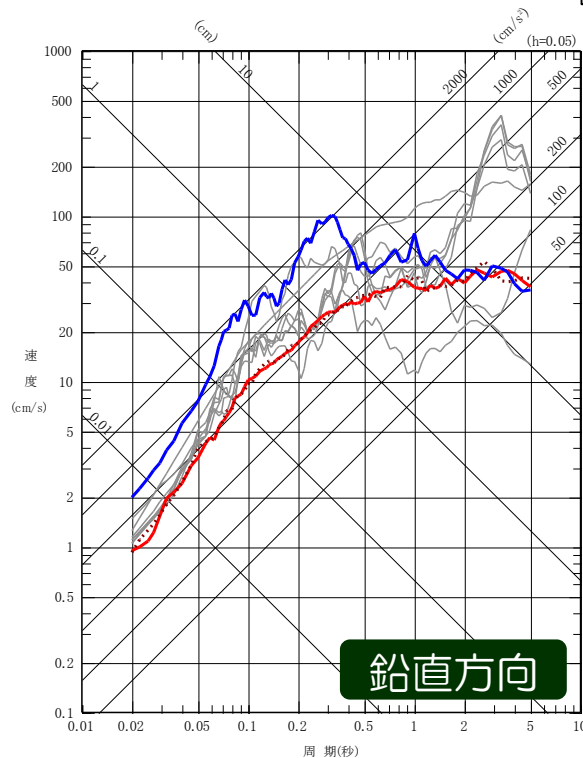
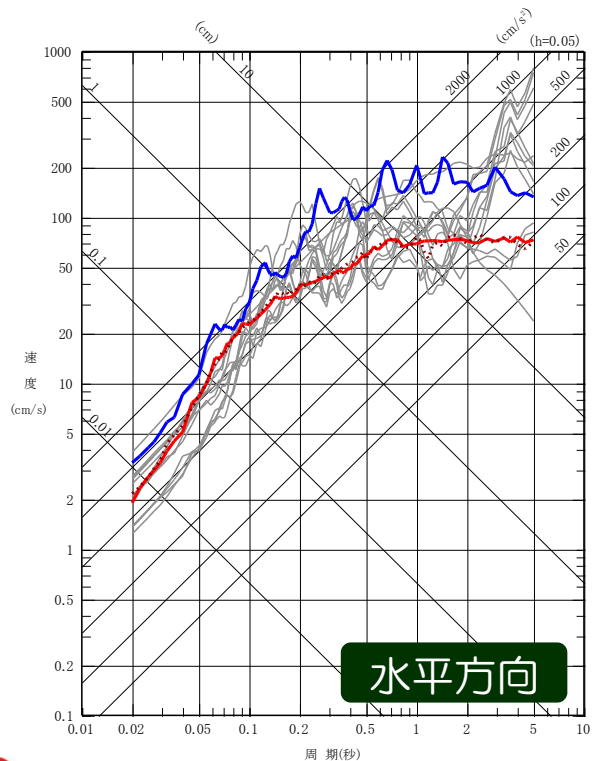


- 基準地震動Ss-3
- 基準地震動Ss-1, Ss-2, Ss-4~Ss-7
- 標準応答スペクトルに基づく震源を特定せず策定する地震動

6. 基準地震動の策定（大湊側）

- 大湊側の標準応答スペクトルに基づく震源を特定せず策定する地震動は、水平方向では全ての周期帯で、鉛直方向では周期1.7秒以上の周期帯を除く短周期側で、基準地震動Ss-1を下回る。
- 既許可の施設等については、周期1.7秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有する施設等が存在しないことを確認している。このため、既許可の施設等に対して、標準応答スペクトルに基づく震源を特定せず策定する地震動は、基準地震動として設定しない。

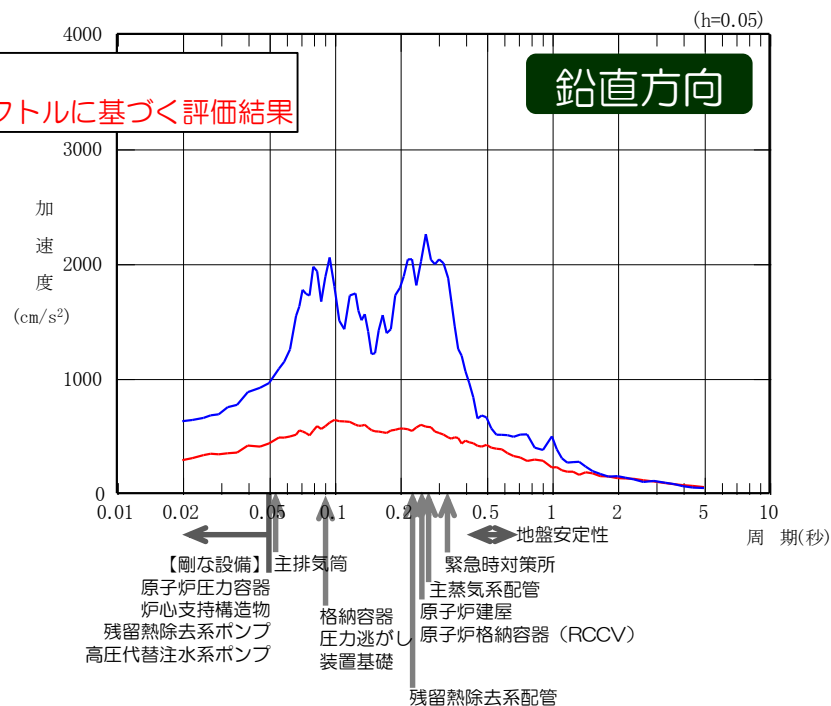
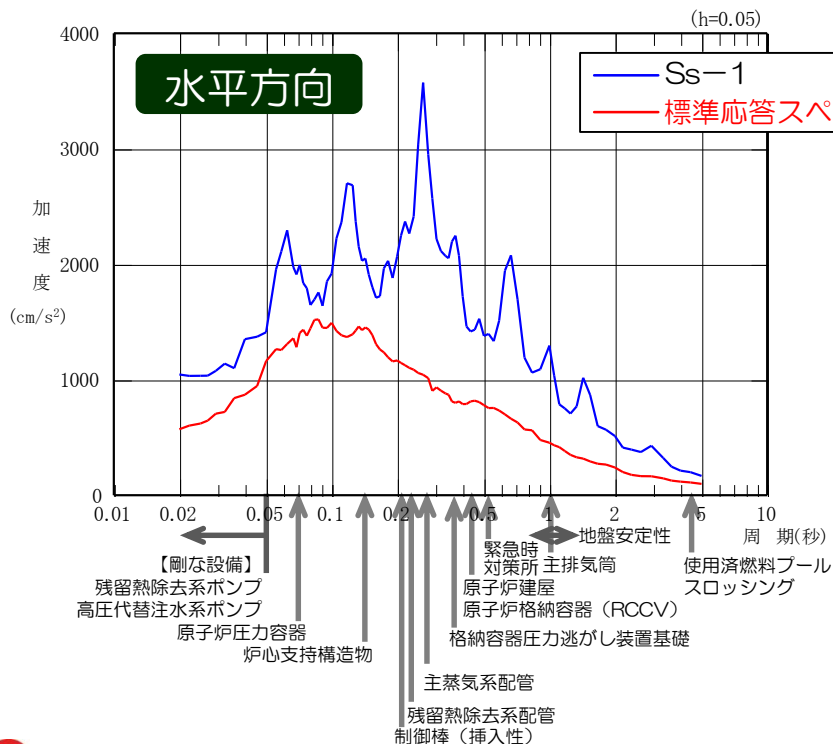
大湊側



【参考】既許可の施設等の固有周期の確認結果

- 原子炉を「止める」, 「冷やす」, 放射性物質を「閉じ込める」ための主要な施設の固有周期は, 水平方向では0.5秒程度よりも短周期側, 鉛直方向では0.3秒程度よりも短周期側であることを確認した。
- 長周期側の影響が考えられる施設として, 主排気筒の固有周期は, 水平方向では長周期側となるのに対し, 鉛直方向では長周期側にはないことを確認した。同様に, 使用済燃料プールのスロッシングの固有周期は, 水平方向に対して定義されており, 鉛直方向の影響を受けない。
- また, 敷地地盤及び周辺斜面の安定性評価における地盤の固有周期は, 水平方向では1.0秒前後, 鉛直方向では0.5秒～0.6秒前後であることを確認した。水平及び鉛直方向の同時入力を行うものについては, その解析条件において水平及び鉛直方向の固有周期をそれぞれ確認している。
- 以上を含めて網羅的に確認を行った結果, 周期約1.7秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有する既許可の施設等は存在しないことを確認した。

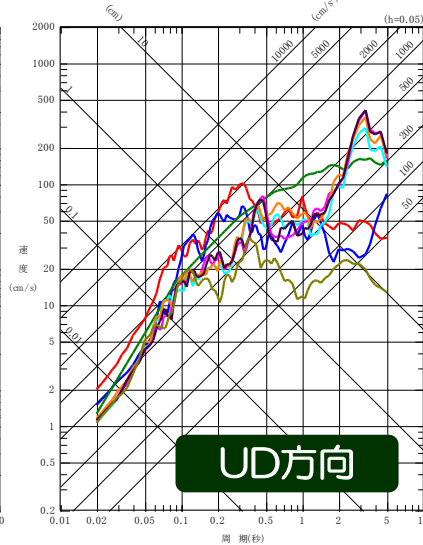
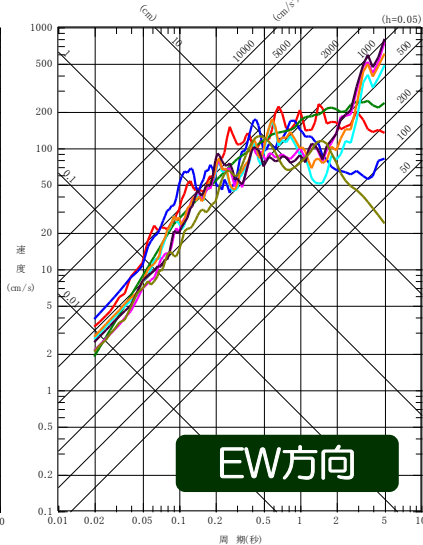
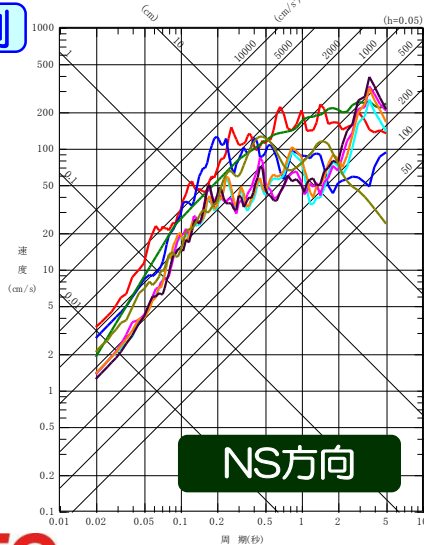
大湊側



7. 所内常設直流電源設備（3系統目）に用いる基準地震動

- 大湊側の基準地震動の策定においては、耐震設計等に基準地震動を用いる施設等について周期1.7秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有しない設計とすることを前提条件として、標準応答スペクトルに基づく地震動を基準地震動として設定していない。
- 今回の申請の対象となる所内常設直流電源設備（3系統目）においても同様に、周期1.7秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有しない設計とすることから、標準応答スペクトルに基づく地震動は、基準地震動として設定しない。
- 所内常設直流電源設備（3系統目）において、耐震設計に基準地震動を用いる機器・配管系（直流125V蓄電池（3系統目）、電路、計測制御装置等）は、既許可の施設等と同様あるいは類似の設計方針とする予定であることから、上記の設計の成立の見通しはあるものと考える。
- また、所内常設直流電源設備（3系統目）の設置に伴う、原子炉建屋及び地盤安定性評価における地盤の鉛直方向の固有周期への影響については、原子炉建屋の重量（約200万kN）に対し増加重量は約400kN^{※1}と非常に小さい^{※2}ことから、極めて軽微であり、鉛直方向の固有周期が1.7秒を超えることはない^{※3}。
- なお、設計及び工事計画認可では原子炉建屋重量を、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量の増加を考慮したモデルとして198万2400kNと設定している。これに所内常設直流電源設備（3系統目）の設置による増加重量約400kNを考慮しても、既許可の地盤安定性評価で設定している原子炉建屋重量200万2100kNを下回ることから、既許可の地盤安定性評価に影響はない^{※4}。
- 以上により、所内常設直流電源設備（3系統目）には、大湊側の基準地震動Ss-1～Ss-8を用いる。

大湊側



- ※1：基本設計段階での概算値
- ※2：約0.02%の増加
- ※3：コントロール建屋も同様に、建屋の重量（約66万kN）に対し増加重量は約20kNと非常に小さいことから鉛直方向の固有周期への影響については極めて軽微であり、鉛直方向の固有周期が1.7秒を超えることはない
- ※4：コントロール建屋も同様に、設計及び工事計画認可では建屋の重量を66万1390kNとしている。これに増加重量約20kNを考慮しても、既許可の地盤安定性評価で設定している66万9340kNを下回ることから、既許可の地盤安定性評価に影響はない

| | |
|--------|--------|
| — Ss-1 | — Ss-5 |
| — Ss-2 | — Ss-6 |
| — Ss-3 | — Ss-7 |
| — Ss-4 | — Ss-8 |

【参考】設置変更許可申請書(2022年8月17日許可)における整理との関係

- 設置変更許可申請書(2022年8月17日許可)においては、標準応答スペクトルの評価結果を、基準地震動として策定しないこと的前提条件として、「1.7秒以上に鉛直方向の固有周期を有しない設計とする」こととしている。
- この前提条件を与える対象は、施設そのものの耐震設計以外にも基準地震動を使用することがあるため、それらを網羅する表現として「**耐震設計等に基準地震動を用いる施設等**」として、以下の通り整理している。

耐震設計等

- ▶ 耐震設計に加え、基礎地盤の安定性評価、スロッシングによる溢水量の算出を含めている。

施設等

- ▶ 建物・構築物（土木構造物を含む）、機器・配管系、津波防護施設・浸水防止設備・津波監視設備に加え、地盤やプール水を含めている。
- 以上の整理を踏まえ、「**耐震設計等に基準地震動を用いる施設等は、1.7秒以上に鉛直方向の固有周期を有しない設計とする。**」という記載を、添付書類六及び添付書類八にそれぞれに追加し、前提条件を与える対象を網羅している。
- また、令和4年3月23日付け原規規発第2203234号により通知を受けるまでに既に設計した設計基準対象施設及び重大事故等対処施設（それぞれにおいて当該施設が機能を維持するために必要な施設等を含む。）のうち、耐震設計等に基準地震動を用いる施設等は、周期1.7秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有しないことを確認していることから、この記載を添付書類六に追加している。なお、令和4年3月23日以降に設計した耐震設計等に基準地震動を用いる施設等は存在しないことを確認している。

- 所内常設直流電源設備（3系統目）に対して「1.7秒以上に鉛直方向の固有周期を有しない設計とする」という前提条件を与える対象は、基本設計段階では「耐震設計に基準地震動を用いる機器・配管系（直流125V蓄電池（3系統目）、電路、計測制御装置等）」を想定している。

【参考】設置変更許可申請書(2022年8月17日許可)の記載

添付書類六

5. 地震

5.5 基準地震動

5.5.3 基準地震動の策定

(1) 設計用応答スペクトル

b. 震源を特定せず策定する地震動

(前略)

大湊側の標準応答スペクトルに基づく地震動は、基準地震動 S_s-1 に対して、水平方向では全周期帯において、鉛直方向では短周期側において下回るものの、鉛直方向の周期1.7秒以上の周期帯でわずかに上回る。これに対し、耐震設計等に基準地震動を用いる施設等は、周期1.7秒以上に鉛直方向の固有周期を有しない設計とする。なお、令和4年3月23日付け原規規発第2203234号により通知を受けるまでに既に設計した設計基準対象施設及び重大事故等対処施設（それぞれにおいて当該施設が機能を維持するために必要な施設等を含む。）のうち、耐震設計等に基準地震動を用いる施設等は、周期1.7秒以上の長周期側に鉛直方向の固有周期を有しないことを確認している。以上を前提条件として、大湊側の標準応答スペクトルに基づく地震動は基準地震動として設定しない。

添付書類八

1. 安全設計

1.4 耐震設計

1.4.1 設計基準対象施設の耐震設計

1.4.1.1 設計基準対象施設の耐震設計の基本方針

(13) 設計基準対象施設（当該施設が機能を維持するために必要な施設等を含む）のうち、耐震設計等に基準地震動を用いる施設等は、周期1.7秒以上に鉛直方向の固有周期を有しない設計とする。

1.4.2 重大事故等対処施設の耐震設計

1.4.2.1 重大事故等対処施設の耐震設計の基本方針

(14) 重大事故等対処施設（当該施設が機能を維持するために必要な施設等を含む）のうち、耐震設計等に基準地震動を用いる施設等は、周期1.7秒以上に鉛直方向の固有周期を有しない設計とする。

1.4.3 特定重大事故等対処施設の耐震設計

1.4.3.1 特定重大事故等対処施設の耐震設計の基本方針

(8) 特定重大事故等対処施設（当該施設が機能を維持するために必要な施設等を含む）のうち、耐震設計等に基準地震動を用いる施設等は、周期1.7秒以上に鉛直方向の固有周期を有しない設計とする。

【参考】設置変更許可申請に係る手続きについて

- 当社は、令和3年11月12日の所内常設直流電源設備（3系統目）の設置に係る設置変更許可申請（以下「本申請」という。）に先立ち、平成26年12月15日に特定重大事故等対処施設の設置に係る設置変更許可申請（以下「既申請」という。）を実施している。
- 既申請の設置変更許可申請書については、令和4年6月21日、6月28日の補正にて、標準応答スペクトルに基づく評価の反映として、添付書類六及び添付書類八に前頁に示した記載を追加している。
- 既申請については2022年8月17日に許可を受けたことから、本申請の補正においては添付書類の当該記載について許可された既申請の添付書類の記載内容と同じ旨を記載する。
- 今後の設置変更許可申請の審査に際しては、審査会合において下記を説明し、説明内容をまとめ資料に反映する。
 - 周期1.7秒以上に鉛直方向の固有周期を有しない設計方針の変更の有無
 - 申請の対象となる施設等に対する上記の設計の、確認対象の整理及び成立の見通し
 - 申請の対象となる施設等の設置に伴う、既許可の評価への影響
- なお、設置変更許可申請書については、許可された申請の添付書類の記載内容と同じであればその旨を記載し、変更があればその旨を記載する。

【参考文献】

- Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe(2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological DATA and Seismic Engineering, Oct.16-18, Istanbul
- 梅田尚子, 小林喜久二(2010) : 地震記録の逆解析による地下構造推定手法の適用性検討, 第13回地震工学シンポジウム論文集
- 気象庁 : 地震月報 (カタログ編) ほか
- 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 : 広帯域地震観測網(F-net), <http://www.fnet.bosai.go.jp/>