

# 志賀1・2号機変圧器からの大量の油流出の原因

## 冷却器・放熱器の地震動との共振による（北陸電力）

志賀2号機の冷却器上部の揺れ：規格では500ガル、実際は2,800～4,500ガル  
志賀原発・すべての原発で、設備・機器の地震動との共振を再検討せよ

2024.6.20 美浜の会

- 1-1. 志賀1号機起動変圧器からの冷却用油流出の原因：放熱器が地震動と共振……………p.2
- 1-2. 志賀2号機主変圧器からの冷却用油流出の原因：冷却器が地震動と共振……………p.2
- 2-1. 志賀1号機からの油流出：流出量は1号機の油保有量の6.9%。本当にこれだけか……………p.3
- 2-2. 志賀2号機の主変圧器からの油流出：流出量は変圧器本体の油保有量の12%  
冷却や絶縁性に問題はなかったのか？……………p.3
- 3. 共振の評価はなぜなされなかったのか。共振を全面的に再検討せよ……………p.4

今年1月1日の能登半島地震の際、志賀1・2号機の変圧器から大量の冷却・絶縁用油が流出した事実について、北陸電力は約5か月を経た5月31日ようやくその原因を公表した。

### (1) 油流出の原因（資料A：5月31日北陸電力 News Release [24053199.pdf \(rikuden.co.jp\)](#)）

その原因は、変圧器に付随している冷却器（2号機）・放熱器（1号機）が共鳴振動（共振）を起こしたことにある。たとえば2号機の冷却器の場合、床面の揺れが500ガルで、上部の揺れも規格どおり500ガルと想定していたのに対し、実際には共振によって、冷却器上部の揺れは2,800～4,500ガルにも達しており、振動によって冷却器の上部に入る配管が疲労を起こして破損したとしている。地震による加速度が想定5.7～9.0倍であり、許容値の2.2～3.6倍もの応力が働いたためであった。

### (2) 油の流出（資料B：1月5日北陸電力 News Release [000465080.pdf \(nra.go.jp\)](#)）

流出した油は、1号機では漏洩箇所より高い位置にあるコンサベータ（油の酸化防止装置）からの分だけで約3,600Lとしている。2号機では当初はコンサベータ部からの約3,500Lだけとされていたが、変圧器本体のうち破損箇所より高い位置にある分の約14,500Lと冷却器配管部の1,800Lを加えた19,800Lがさらに流出したとしている（破損箇所より低い位置にある変圧器本体部分からの流出はなかったという説には疑問がある）。冷却器本体からの流出量14,500Lは、本体の保有量122,500Lの約12%に相当する。その結果、油面が下がり放電が起こっている。さらに、冷却や絶縁性にどのような影響を与えたか、詳細な調査が必要である。

### (3) 共振の評価はなぜなされなかったのか

設置許可基準規則解釈や地震動審査ガイドでは、耐震Bクラスの場合には「共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行うこと」とされているが、当該冷却器等該当のCクラスにはこの規定がない。北陸電力によれば、変圧器の規格JEAG5003に従って静的水平加速度500ガルに耐えることを要求したとのことだが、実際には共振によりそれをはるかに超える振動に襲われた。その結果、

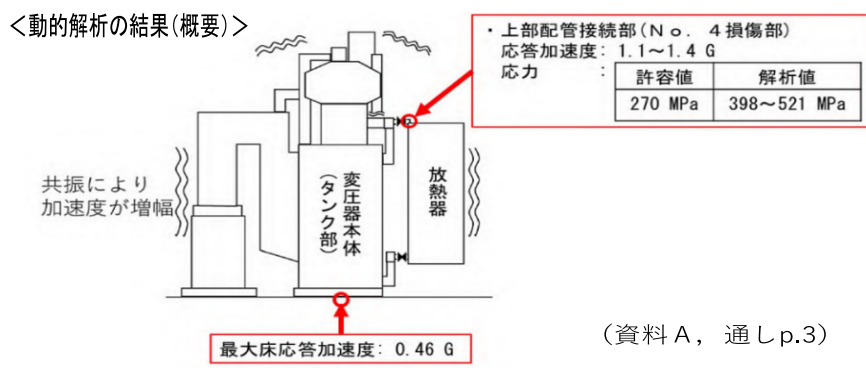
Cクラスにも存在する建物・構築物については「許容応力度を許容限界とし」との規定に反する結果を招いた。すなわち、共振の評価をしなかったためにこのような事態を招いたと言える。志賀1・2号のすべての設備・機器について全面的な再検討と情報の公開が必要である。さらに水平展開としてすべての原発について、共振問題の見直しが必要とされるべきである。

1-1. 志賀1号機起動変圧器からの冷却用油流出の原因：放熱器が地震動と共振

「損傷した原因は、放熱器が地震動と共振したため、放熱器上部配管接続部に対して設計時に考慮した静的水平加速度 0.5G を上回る加速度が発生し、部材に許容値を超える過大な応力が発生したことによるものと推定」と評価(資料A,通し p.2) (注1)。

(注1)原子炉以外も含めた変圧器の規格 JEAG5003 に従って静的水平加速度 500 ガル(約 0.5G)に耐えることを要求(G=980 ガルは重力の加速度)。

右図で、最大床応答加速度 0.46G(451 ガル)、No.4 放熱器の上部配管接続部の応答加速度 1.1~1.4G(1080~1370 ガル)、これに対応する応力の解析値が 398~521MPa となっている。応力が許容値 270MPa を超えたことで放熱器上部の配管が破損した。すなわち共振によって



「設計を上回る事象」が発生したのが原因だと北陸電力自体が認めている(注2)。

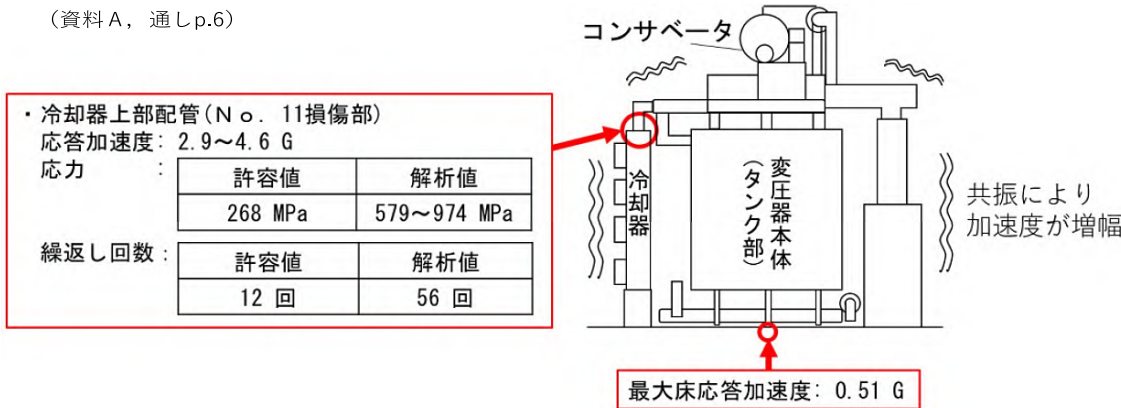
(注2)床応答加速度は、北側に 150m 近く離れた地点での観測値から解析で推定した値。上部の応答加速度の 1.1G と 1.4G は、解析で想定した減衰率がそれぞれ 5%と 2%の場合に相当。応力は結果として加速度の約 0.37(MPa/ガル)倍になっている。なお、放熱器の配管には、No.4 だけでなく、No1~3 と No.5~6 でも傷が入っている。

1-2. 志賀2号機主変圧器からの冷却用油流出の原因：冷却器が地震動と共振

「損傷した原因は、冷却器が地震動と共振したため、冷却器上部配管接続部に対して設計時に考慮した静的水平加速度 0.5G を上回る加速度が発生し、部材に許容値を超える繰返し応力が発生したことによるものと推定」と評価(資料A,通し p.5)。

<動的解析の結果(概要)>

(資料A, 通し p.6)

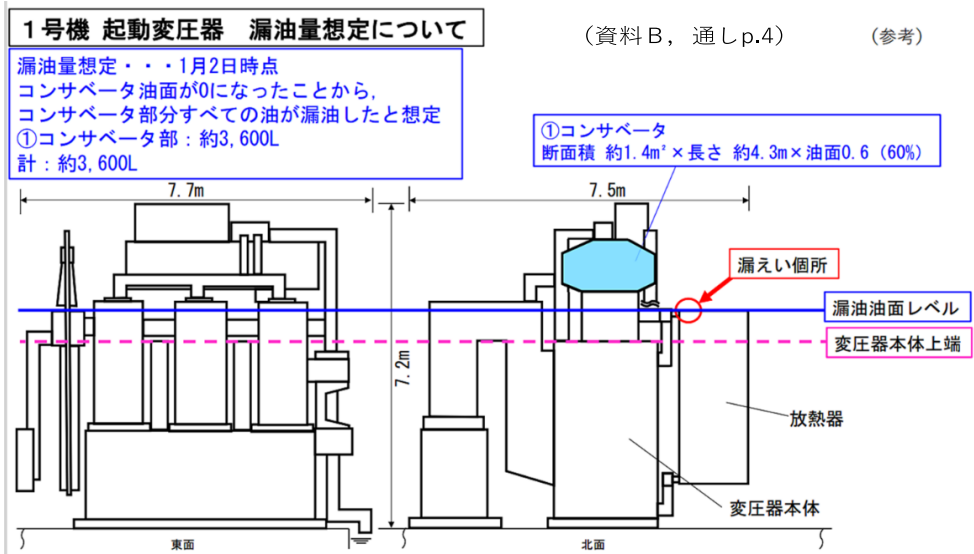


前図で、最大床応答加速度 0.51G(500 ガル)、No.11 冷却器の上部配管の応答加速度 2.9~4.6G(2840~4510 ガル)、対応する応力の解析値が 579~974MPa となっている。冷却器に入る部分の配管に働く繰返し応力が、許容値 12 回を超えて 56 回に達したことにより疲労を起こして破損したと評価。やはり設計上の 0.5G の 5.8~9.2 倍もの加速度が作用したことが破損の原因である(注 3)。

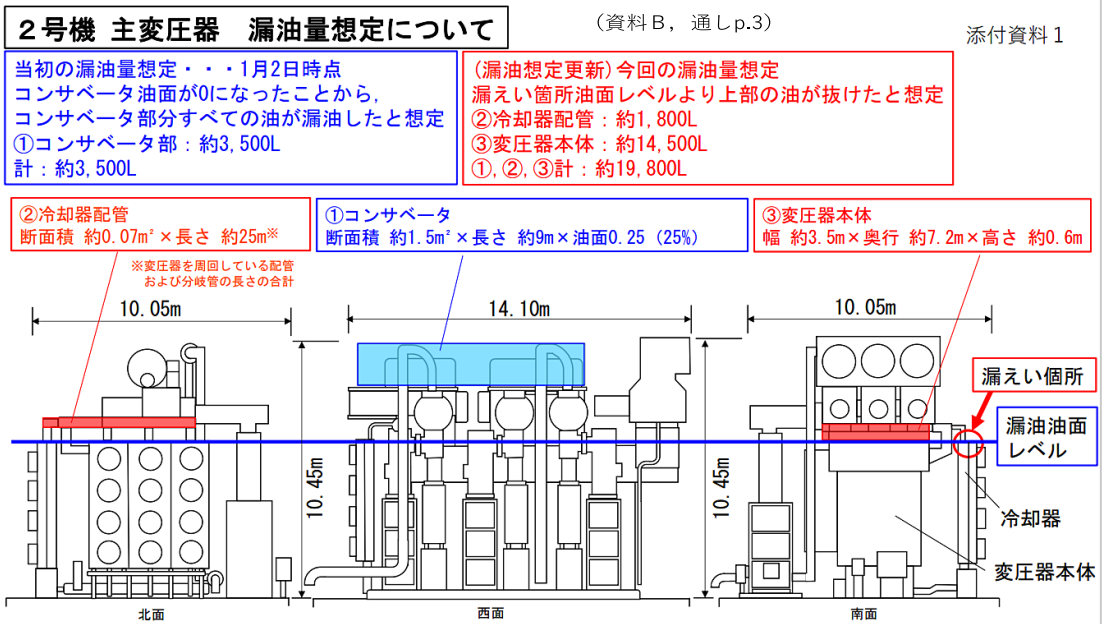
(注 3)床加速度及び上部加速度については注 2 と同じ。事実上、応力は加速度の約 0.21(MPa/ガル)倍になっている。なお、冷却器上部配管には、No.11 だけでなく、No.1~10 にも傷のあることが確認。

2-1. 志賀 1 号機からの油流出：流出量は 1 号機の油保有量の 6.9%。本当にこれだけか？

下図で、放熱器上部の漏洩箇所より上側にあるコンサベータ(油の酸化を防ぐ装置)だけから約 3,600L が漏洩したと評価している。しかし、変圧器本体から放熱器に循環していた油がなぜ漏洩しないのだろうか。漏洩した 3,600L は 1 号機の油保有量 52,200L の 6.9%に相当する。



2-2. 志賀 2 号機の主変圧器からの油流出：流出量は変圧器本体の油保有量の 12% 冷却や絶縁性に問題はなかったのか？



志賀2号機からの油流出については、当初は前図の①コンサベータ部（油の酸化を防ぐ装置）が漏えい箇所より高い位置にあるので、その分約3,500Lだけとしていた。ところが②冷却器配管約1,800Lと③変圧器本体約14,500Lも漏洩箇所より高い位置にあることに気づいたのか、これらの合計で約19,800Lが別に漏洩したと後で再評価している。

変圧器本体の保有量は122,500Lなので、本体からの漏えい量14,500Lはその約12%に相当する(注4)。この油は変圧器内の鉄芯やコイルから発する熱を冷却器に運んで空気で冷やす役割と同時に変圧器内の絶縁性を保持する役割を担っている。約12%もの油が流出したのだから、冷却性や絶縁性に重大な支障をきたしたに違いない。実際、北陸電力は「絶縁油面が低下したことにより、絶縁油で絶縁性能を確保していた充電部の一部が気中に露出し、T相のブッシングで放電現象が発生した」と述べている(注5)。放電により油が分解してできるカーボンの付着が見られる。外部の専門家を交えた詳細な調査と調査結果の全面的な公開が不可欠である。

(注4)北陸電力が2号機で油の流れを止める仕切弁を閉じたのは地震翌日の1月2日だったので、実際の流出量はもっと多いに違いない。

(注5)5月31日面談資料1(通しp.21)「点検・対応状況 志賀2号機主変圧器」

<https://www.da.nra.go.jp/data/NRA100002745-002-002.pdf>

### 3. 共振の評価はなぜなされなかったのか。共振を全面的に再検討せよ

油の漏えいは地震動に放熱器や冷却器が共振したことによるというのが北陸電力自身の評価である。すなわち、冷却器等の固有振動数(周期)に見合う振動数(周期)の地震動が比較的大きな役割を果たしたということであろう。このような共振の評価は事前になされてそれに備える設計が必要であった。

設置許可基準規則解釈では、耐震Bクラスの場合には「共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行うこと」(第4条)とされている(地震動審査ガイドにも同様な規定がある)。ところが、当該冷却器等が該当するCクラスの場合にはこの規定がなく、実際には、原子炉以外も含めた変圧器の規格JEAG5003に従って静的水平加速度500ガル(約0.5G)に耐えることを要求するにとどまった。他方、Cクラスでも建物・構築物について「許容応力度を許容限界とし」との規定があり、今回の評価結果で応力は許容値を大きく超えている。それゆえ、共振の評価をしなかったためにこのような規定要求に反する事態を招いたと言える。

今回の事態を教訓とすれば、志賀1・2号のすべての設備・機器について共振に関する全面的再検討が必要である。さらに水平展開としてすべての原発について、共振問題の見直しがなされるべきである。

2024.6.20

美浜・大飯・高浜原発に反対する大阪の会(美浜の会)

大阪市北区西天満4-3-3 星光ビル3階

TEL:06-6367-6580 FAX:06-6367-6581

ホームページ <https://www.jca.apc.org/mihama/> メール [mihama@jca.apc.org](mailto:mihama@jca.apc.org)