

津波による非常用交流電源喪失についての追加検討

1. はじめに

津波到達と電源喪失の関係性の調査については、添付資料地震津波-1としてまとめている。この中で、電源喪失の原因が津波であると推定した理由は次のとおりである。まず、本震後も各号機の非常用電源設備は正常に動作し続けていたこと、これら設備が短期間に集中して機能喪失していることから、各号機の設備は共通原因により機能喪失に至ったと考えられる。発電所内の広範なエリアにわたる共通原因としては、地震と津波が考えられる。地震については、各号機の設備が機能喪失する時刻に余震が発生していないことから、地震が機能喪失の原因であるとは考えにくい。一方、波高計および津波が発電所に到達する様子を捉えた連続写真の分析とプラントデータの分析により、津波が発電所敷地に到達したと考えられる時刻と各電源設備の機能喪失した時刻が整合していることが分かった。従って、津波によって各設備が機能喪失したものと推定している。

津波が原因で非常用電源喪失に至ったことは、事故の分析に係わる専門家の間では一般的な理解となっている。一方で、津波の浸入過程と非常用交流電源喪失の関係性が確認されていないとして、依然として地震が原因で非常用交流電源喪失に至った可能性を指摘する方もいる。新潟県技術委員会においても、「原因は浸水と考えられるが、浸水原因の検証は不十分であり、全電源喪失に至った詳細なプロセスは不明である」[1]として、継続検討が必要とされていた。このため、津波が原因であるとの推定をより確からしいものとするための追加検討として、津波の浸入過程と非常用交流電源喪失の関係性について確認を行った（共通-14）。

O.P.表記の取扱いについては、本報告書本文「10. 補足」参照。

2. 検討方法および非常用交流電源設備の設置位置と機能喪失時刻について

2.1. 検討方法

津波浸水によって非常用交流電源喪失に至る要因としては、①母線電気事故、②非常用ディーゼル発電機（以下、D/G）ロックアウトリレー動作、③D/G 制御系の不具合が想定される。

【要因①：母線電気事故】

電源系統は、電源から電源盤を経て各負荷（設備）に電気が供給される構成となっており、電源からの電気を下流の電源盤または負荷へ分配する電路のことを母線と呼ぶ。また、電源、電源盤、各負荷の間にはスイッチの一種である遮断器が設置してあり、これら遮断器は回路構成を変更したり、負荷を入り切りしたり、異常状態が生じたときに回路を切り離したりする役割を担っている。電源系統内で電気事故が発生した場合、波及的影響を防止するため、事故点に一番近い上流側の遮断器を開放し、事故点を隔離する設計となっている。そのため、非常用交流母線に電気事故が発生すると、D/G と非常用高圧電源盤（メタクラッドギア、以下 M/C）の間にある D/G 遮断器が開放し、母線への電源供給が途絶えることとなる。

【要因②：D/G ロックアウトリレー動作】

D/G ロックアウトリレーとは、D/G のディーゼル機関の運転に係る異常や発電機側の電氣的な異常が発生した場合に、D/G を停止させるためのトリップ回路のことである。D/G ロックアウトリレーが動作すると、D/G 遮断器が開放すると共に D/G が停止し、母線への電源供給が途絶える。なお、M/C 盤内あるいは D/G 制御盤内において、浸水により制御回路の接点が通電し、トリップ回路が形成され D/G 遮断器が開放又は D/G が停止するパターンもこのカテゴリとする。

【要因③：D/G 制御系の不具合】

D/G 制御系に不具合が生じ、D/G が正常に運転できず電気を供給できない状態になった場合、D/G 遮断器が開放しなくとも母線への電源供給ができなくなる。

従って電源設備が浸水すると、地絡や短絡、端子間の通電等の電氣的なトラブルにより、これら要因①～③の事象が発生しうる。

各電源設備の津波浸水時刻については詳細に特定することは難しいものの、津波が浸入する経路において手前側の設備は早く浸水し、奥側の設備は遅れて浸水するはずである。つまり、各電源設備の浸水時刻は設備までの津波浸入の経路長に相関があると考えられる。このことから、各電源設備の設置位置までの津波浸入の経路長と各電源設備の機能喪失時刻に相関があれば、津波が電源喪失の原因であるとの推定がより確からしくなる。

従って、要因①～③の機能喪失モードを考慮し、各電源設備の設置位置までの津波侵入の経路長と各電源設備の機能喪失時刻を整理し関係性を確認した。

2.2. 各電源設備の配置と津波侵入の経路長の算出

2.2.1. 各電源設備の配置

図1に各号機建屋、海水ポンプの配置と津波遡上の想定、図2に各号機の電源設備の配置と津波の主な推定浸入経路を示す。非常用交流電源設備であるD/G、M/Cは各号機のタービン建屋に配置されている。D/G（A系：D/G1A、2A、3A、5A、B系：D/G1B、3B、5B）はタービン建屋の地下1階に配置されている。M/Cについては、1号機M/C（A系：M/C1C、B系：M/C1D）はタービン建屋1階の大物搬入口付近に配置されており、その他M/C（A系：M/C2C、3C、5C、B系：M/C2D、3D、5D）はタービン建屋地下1階に配置されている。ただし、2号機のB系設備であるD/G2B、M/C2Eについては共用プール建屋の1階、地下1階に配置されている。敷地高さは1～4号機建屋および共用プール建屋がO.P.+10mで、5、6号機建屋がO.P.+13mである。

D/Gを冷却するための非常用ディーゼル発電機海水系（以下、DGSW）のポンプを含む海水系ポンプは、図1に示す海水系ポンプの位置に号機毎にまとめて配置されている。海水系ポンプが配置されている敷地の高さはO.P.+4mである。DGSWポンプの運転状況を示す記録はないものの、1号機格納容器冷却海水系（以下、CCSW）ポンプ、2号機残留熱除去海水系（以下、RHSW）ポンプ、5号機残留熱除去海水系（以下、RHRS）ポンプの遮断器の信号が記録されている。津波によってこれらポンプが浸水しトリップしたと考えると、その他海水系ポンプもほぼ同じタイミングで浸水しトリップするものと考えられる。

2.2.2. 津波侵入の経路長の算出

これまでの調査により、電源喪失の原因と考えられる津波の最大波は、発電所敷地海岸に対してほぼ正面から襲来したものと考えられる（添付資料地震津波-1 【参考3】参照）ことから、津波は敷地全体に大きな時間差なく到達したものと想定した。また図1に示すとおり、各号機の建屋は海岸から見て設置位置・高さが異なる。従って、各設備までの津波侵入の経路長の算出において、海岸に平行な1～4号機前の海側道路位置および敷地高さO.P.+10mを基準位置0mとした。

図2に示す三角マークは、過去の建屋調査により津波の浸水口と思わ

れる箇所を示し、矢印マークは主な想定浸水経路を示している。ここでは最短距離で浸入すると考えられる経路を図示している。基準位置から想定浸水口までの距離と、想定浸水口から矢印マークの経路で電源設備までを最短で結んだ距離（フロア高低差含む）を図面より計測し、合算したものを各電源設備までの津波侵入の経路長とした。この経路長は、基準位置から山側をプラスの値として、海側をマイナスの値として加算し、敷地高さや建屋内フロア高さの高低差も距離として加減算するものとした。

2.3. 非常用電源設備の機能喪失時間

非常用電源設備の機能喪失時刻は、アラームタイパ等の記録より抽出した。また、遮断器動作と非常用電源設備の電圧電流値は、過渡現象記録装置、プロセス計算機の記録より抽出した。ただし、4号機については、地震発生時は定期検査停止中であり、プロセス計算機、過渡現象記録装置の取り替え作業中であったことから、アラームタイパ等による記録上の確認はできない。従って、4号機については評価対象から除外した。なお、アラームタイパ等は全ての号機で時報による時刻補正が行われているわけではないが、いずれも地震加速度によるスクラム信号が記録されていることから、時刻補正されている2号機および5号機のうち最も早くスクラム信号を発した2号機B系原子炉スクラム信号を基準に、各号機でより早くスクラム信号を発した系統の時刻と比較し補正を行った[2]。

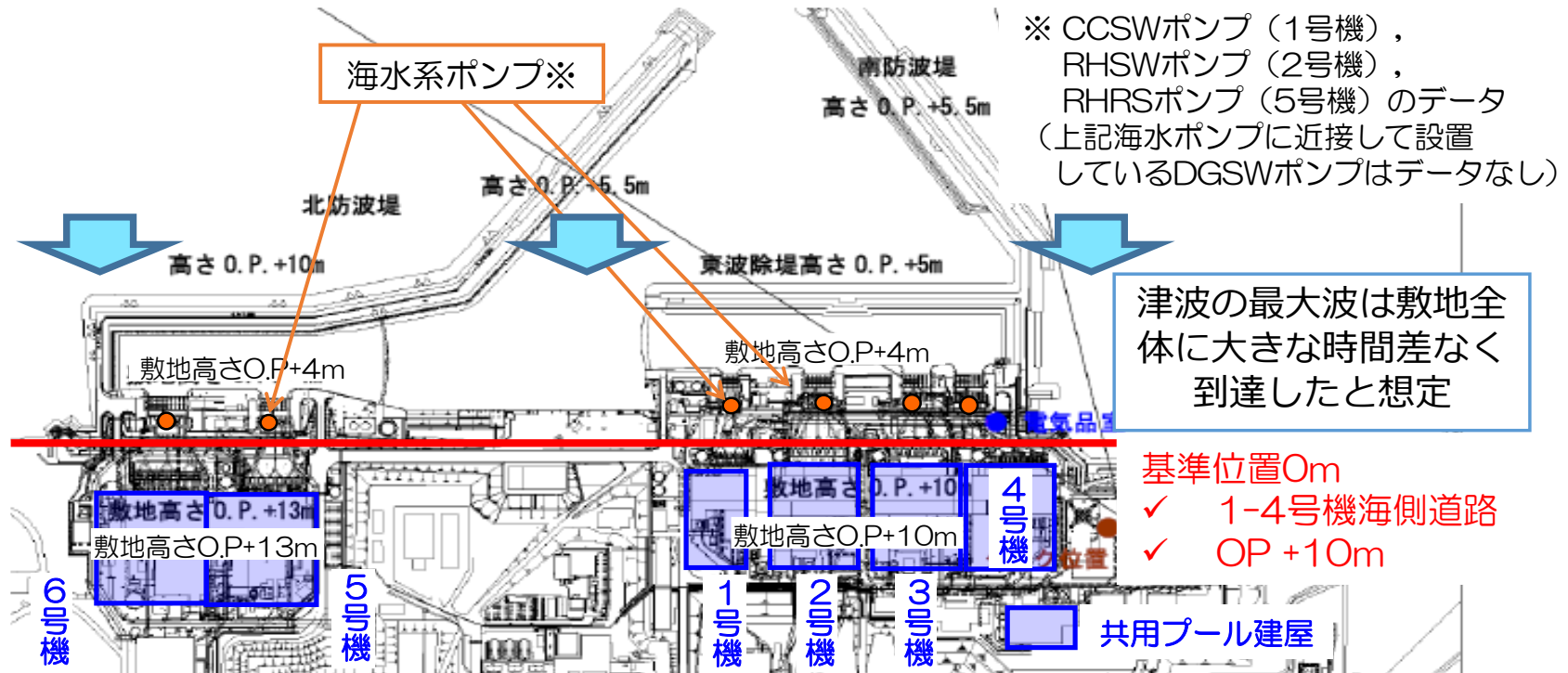


図1 各号機建屋、海水系ポンプの配置と津波遡上の想定

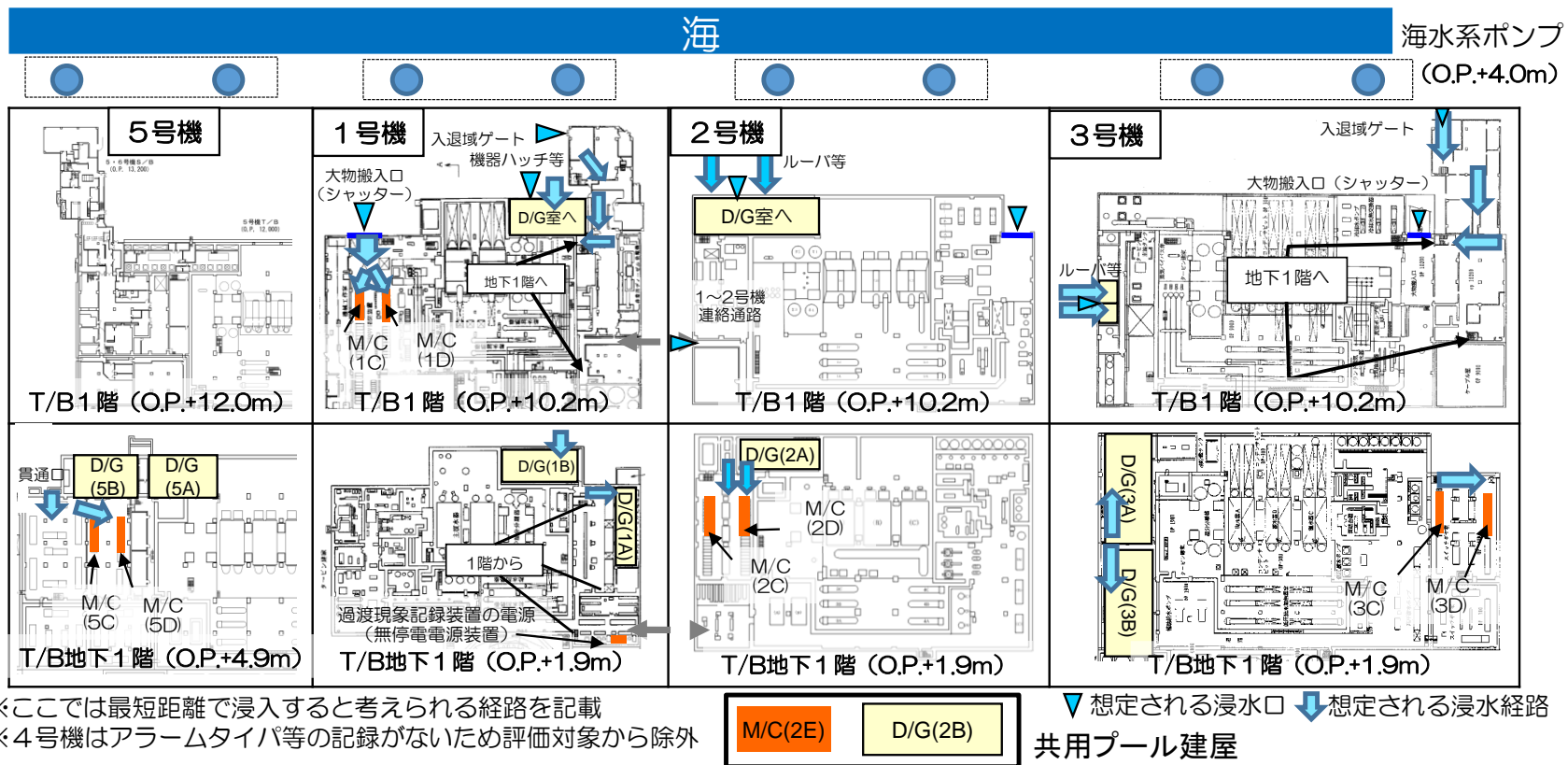


図2 各号機の電源設備の配置と津波の主な推定浸入経路

3. 検討結果と考察

3.1. 経路長と機能喪失時刻の関係

図3に各電源設備までの津波侵入の経路長と機能喪失時刻の関係を示す。1号機の機能喪失時刻は過渡現象記録装置より抽出しており、このときの記録は1分間周期のデータのみであることから、図中の時間幅の中で機能喪失したものと整理した。また、D/G1A、1B、M/C1Dは過渡現象記録装置が途絶える直前の15時36分59秒の値で電圧を維持しており、以降記録がないことから機能喪失時刻の特定はできない（図中に示していない）。ただし、過渡現象記録装置のデータから、A系の非常用交流電源が先に喪失しており、その原因はM/C側のトラブルにあったことが読み取れる。

（なお、1号機の非常用交流電源喪失については、原子力規制委員会「東京電力福島第一原子力発電所事故の分析 中間報告書（以下、事故の分析中間報告書）」[3]の中で詳細な分析結果がまとめられている。）共用プール建屋にある2号機M/C2Eについても、アラームタイパ等に記録がないため、機能喪失時刻の特定はできない。以上、一部の設備については機能喪失時刻が不明であるものの、その他多くの設備の機能喪失時刻が特定でき、全体的な傾向を把握できることから、これらの機能喪失時刻により津波浸水の経路長との関係性を評価した。

図3より、各号機ともに、海水系ポンプがまず機能喪失し、D/G、M/Cの電源設備がその後に機能喪失していることが確認できる。また、プロット全体を見ると右肩あがりの傾向、つまり、各設備までの津波侵入の経路長が長いほど、機能喪失時刻が遅くなる傾向が確認できる。従って、津波の遡上、浸水を原因として、各電源設備が機能喪失していったものと推定した。

ただし詳細に見ると、1号機の機能喪失時刻は全体的な傾向と比較して非常に早い。また、2号機の機能喪失時刻は、全体的な傾向から比較的乖離している。そこで、これらの原因についての考察を中心に各号機の挙動の分析を行った。

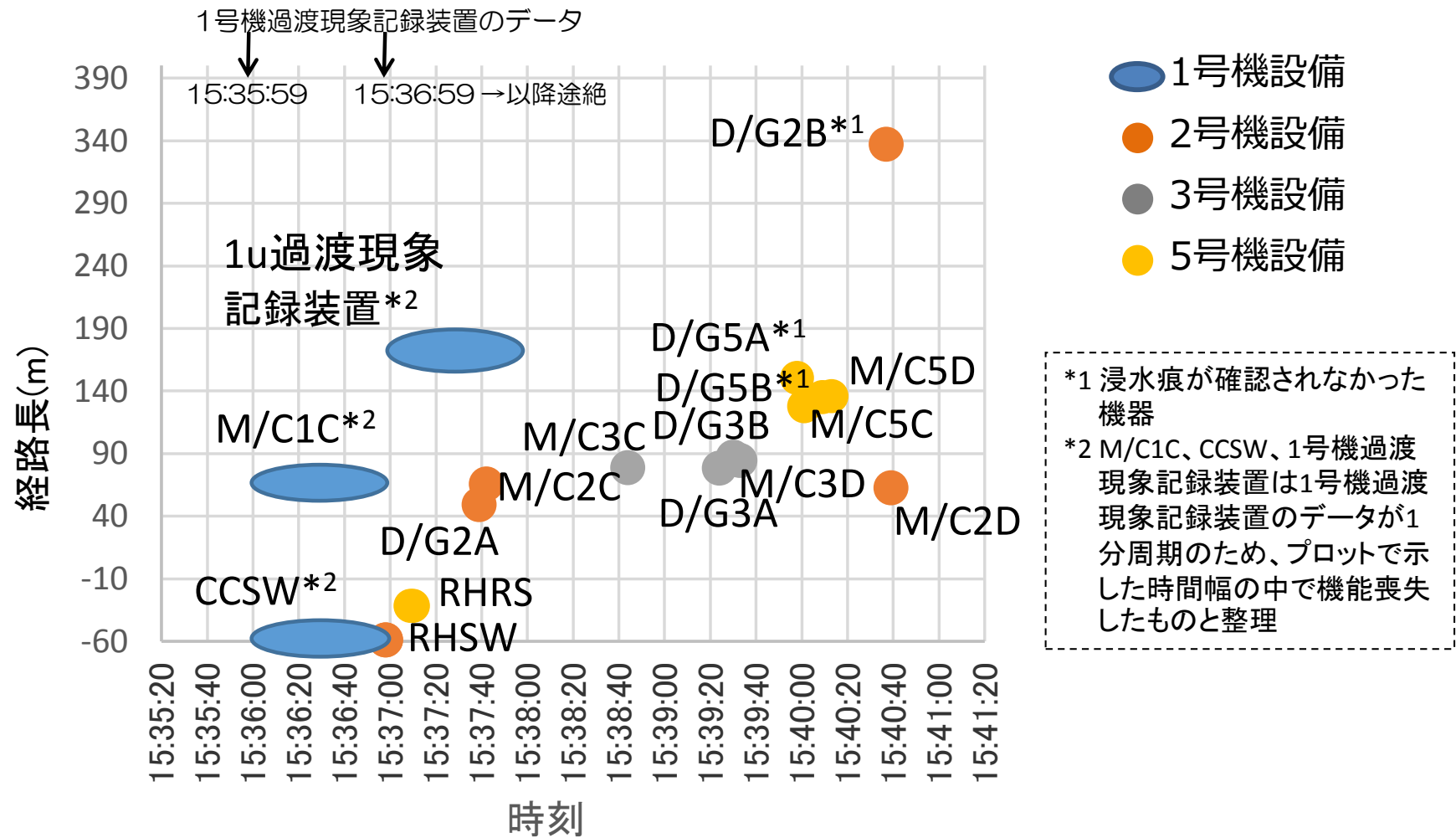


図3 各電源設備までの津波侵入の経路長と機能喪失時刻の関係

3.2. 1号機の機能喪失時刻についての考察

図4に1号機におけるタービン建屋内への津波浸水イメージを示す。この図は、基準位置から各電源設備までを津波の想定浸入経路に沿って展開した描画となっている。

図中上段に示すとおり、M/C配置位置のすぐ手前に大物搬入口が存在しており、この大物搬入口は、防護扉とシャッターの構成になっている。通常、防護扉およびシャッターは閉まっているが、津波襲来時は1号機のみ防護扉が開放された状態であった[2]。震災当日、1号機では作業のために防護扉を開放しており、巨大地震の発生後、作業員はすぐに避難することとなったため、防護扉が開放された状態で津波の襲来を迎えることとなった。防護扉が閉まっていれば津波の浸入をある程度は抑制できたと考えられるが、開放状態が維持されたために、津波および漂流物によりシャッターが大きく変形、破損し大量の海水が浸入したものと考えられる。その結果、大物搬入口の直ぐそばに配置してあるM/Cは、全体的な傾向と比べて早い段階に被水することとなったと考えられる。

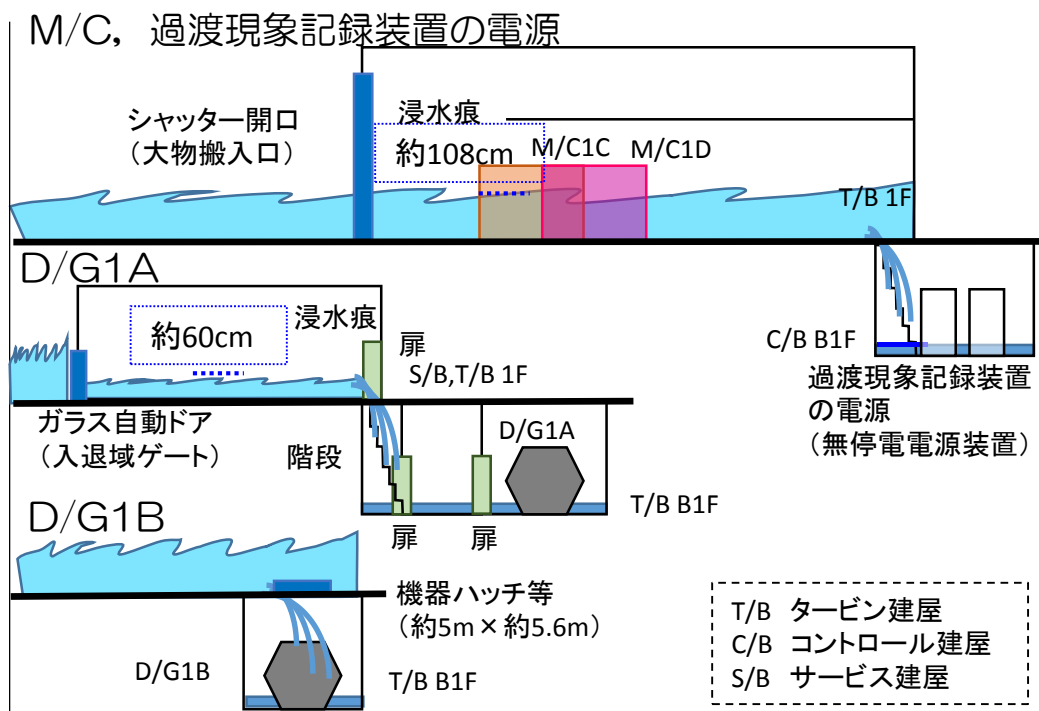


図4 1号機におけるタービン建屋内への津波浸水イメージ

図5に1号機各設備の過渡現象記録装置データを示す。D/G1A、1Bは過渡現象記録装置が途絶える直前の15時36分59秒の値で電圧を維持していることから、D/G制御系には不具合は生じていないと考えられる(要因③が不成立)。また、M/C1C、1Dともに母線は被水していないため、母線そのものに電気事故は発生していないと考えられる(要因①が不成立)。一方、原子力規制委員会事故の分析中間報告書[3]でも報告されているように、M/C1Cについては、津波の浸水痕より低い位置に存在する補助リレーが被水によって通電したため、D/Gの遮断器が開放したと推定している(要因②が成立)。従って、M/C1Cについては、早い段階で機能喪失に至ったものと推定される。

過渡現象記録装置は、コントロール建屋地下1階にある無停電電源装置から電源供給されている。この無停電電源装置が浸水し機能喪失したために、過渡現象記録装置は機能喪失したものと推定している。大物搬入口から無停電電源装置が配置されている部屋まで、大量に浸入する津波を妨げるものが存在しないことから、機能喪失が全体的な傾向と比較して早い時間帯に発生したものと考える。

以上の通り、1号機の各電源設備が全体的な傾向と比較して早い段階で機能喪失に至った原因は、大物搬入口の防護扉が開放された状態で、津波および漂流物によりシャッターが大きく変形、破損し大量の海水が浸入したことにあると考えられる。

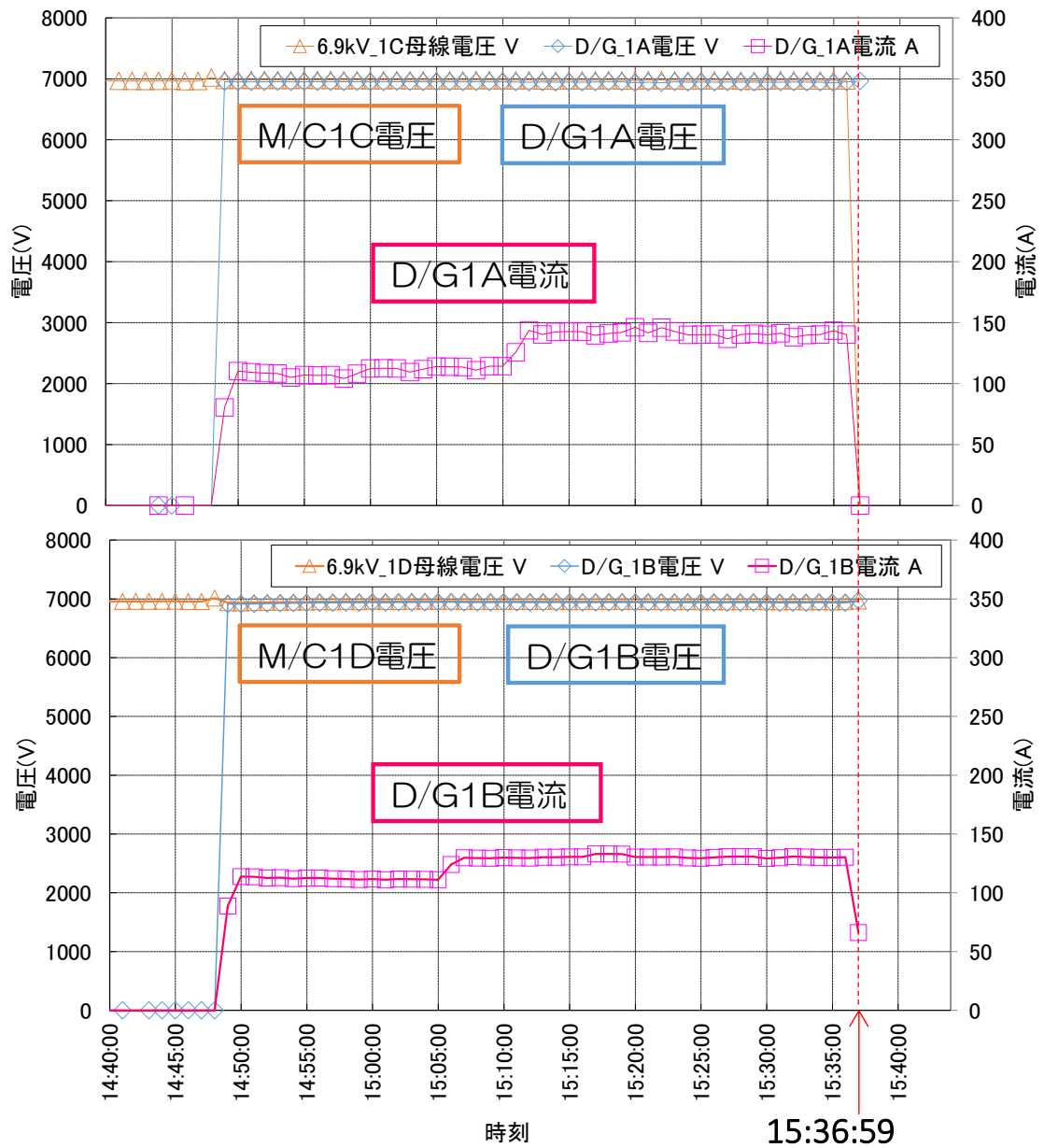


図5 1号機各設備の過渡現象記録装置データ（上：A系、下：B系）

3.3. 2号機の機能喪失時刻についての考察

図3に示したとおり、2号機A系の設備（D/G2A、M/C2C）については機能喪失時間が比較的早く、B系の設備（D/G2B、M/C2D）については経路長と機能喪失時刻の全体的な傾向から比較的乖離した結果となっている。この原因を考察するため、プロセス計算機の詳細に分析した。ここで、図6に2号機のA系およびB系の非常用交流電源の系統概略図を示す。A系は、D/G2A、M/C2Cともにタービン建屋内に配置されており、D/G2A遮断器を介して接続している（他号機D/G1A、1B、3A、3B、5A、5Bも同じ構成）。またM/Cは、直接負荷や、降圧して電圧の低い電源盤（図中P/Cで示し、パワーセンタと呼ぶ）へ接続している。一方B系は、D/G2B、M/C2Eが共用プール建屋に配置されており、D/G2B遮断器を介して接続している。加えてM/C2Eは、タービン建屋に配置されているM/C2Dに遮断器を介して接続している。

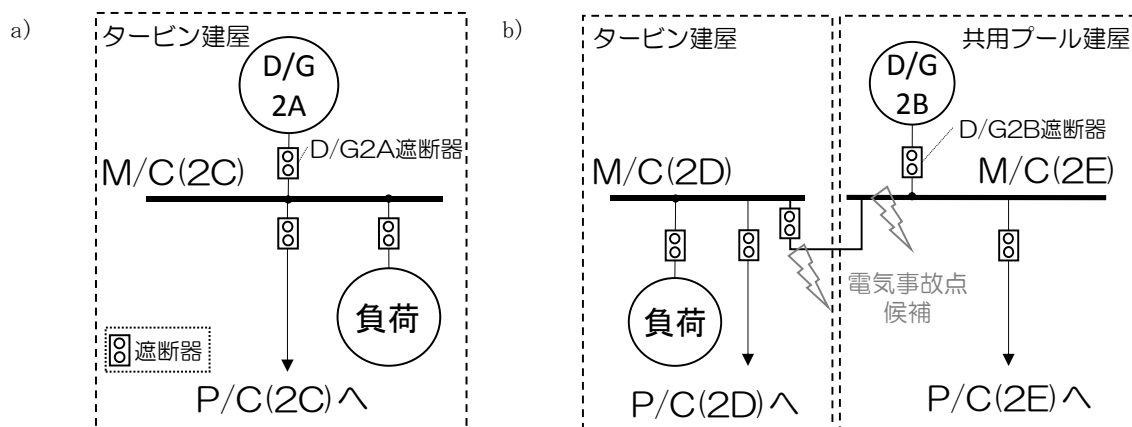


図6 2号機の非常用交流電源の系統概略図（a：A系、b：B系）

(1) 2号機A系の機能喪失シナリオ

図7に2号機各設備のプロセス計算機データを示す。A系では、15時37分00秒頃にRHSW遮断器が開放し、D/G2Aの電流値が急減している。続いて、15時37分40秒頃にD/G2A遮断器が開放し、D/G2A電流値とD/G2AおよびM/C2C電圧値が急減して0になっている(要因③が不成立)。D/Gが事故電流を給電した場合、スパイク状の大きな電流が流れるが、D/G2Aの電流値にはスパイク状の電流値の変動は見られない。従って、D/GおよびM/Cに電気事故は発生していない(要因①が不成立)。他方、15時36分20秒から15時37分00秒頃にD/G2Aの電流値に上昇が見られ、15時37分00秒頃にRHSW遮断器が開放している。これはRHSWポンプが津波浸水によって過負荷状態になりトリップしたことを示唆したものと考えられる。従って、同じ海水ポンプエリアに配置されているDGSWポンプも同じ頃にトリップしていた可能性は高い。DGSWポンプがトリップすると、ポンプ吐出圧低信号により60秒後にD/Gロックアウトリレーが動作し、D/Gの遮断器が開放する(なお、このトリップロジックは空冷式D/GであるD/G2Bには存在しない)。D/G2A遮断器が15時37分40秒頃に開放されていることから、D/G2Aの電流値に上昇が見られる15時36分20秒から15時37分00秒頃のどこかでDGSWポンプがトリップしたと考えると、おおむねトリップロジックに整合している。従って、DGSWポンプトリップによりD/Gがトリップし、A系の電源が失われた可能性が高い(要因②が成立)。この場合、経路長による想定よりも機能喪失時刻が早くなる。一方、要因②の別のシナリオとして、浸水によりD/G制御盤内の端子が通電し、D/Gロックアウトリレーが動作する可能性も存在する(要因②が成立)。この場合、経路長による想定に合った機能喪失時刻になったと考えられる。D/Gのトリップ原因を直接的に示す記録がないため、どちらのシナリオが成立したか特定はできないが、RHSWポンプがトリップしていること、機能喪失時刻が早いことを踏まえると、DGSWポンプトリップによってD/Gがトリップし、A系電源を喪失した可能性が高いと考えられる。

(2) 2号機B系の機能喪失シナリオ

B系では、15時40分40秒頃にD/G2B遮断器が開放し、D/G2B電流値とM/C2D電圧値が急減して0になっている。またD/G2B電圧値は、D/G2B遮断器の開放時に一時的に低下するもののすぐに復帰し、しばらく電圧値が維持されている。従って、D/G2B遮断器が開放した後も、D/G2B自体はしばらく機能維持していた(要因②、③が不成立)。15時40分40秒頃にD/G2Bの電流値はスパイク状の変動が記録されていることから、D/Gが事故電流を給電していることが分かる。従って、B系電源の機能喪失はM/C側のトラブルによるものであり、図5に示したM/C2E側もしくはM/C2D側の事故点候補で電気事故が発生し、D/G遮断器が開放したものと推定した(要因①が成立)。なお、今回評価した設備までの津波侵入の経路長の観点からは、タービン建屋にあるM/C2D側が浸水した可能性が高いと考えられる。図8、2号機におけるタービン建屋内への津波浸水イメージに示すとおり、D/Gのルーバ等から浸入した津波が、M/C2Dが配置されている部屋に到達するためには、区画間扉を通過する必要がある。従って、経路長による想定よりも機能喪失時刻が遅くなるものと考えられる。

以上のとおり、津波侵入の経路長と機能喪失時刻の全体的な傾向から、2号機設備が比較的乖離していることについても、そのような結果に至るシナリオが存在することが分かった。

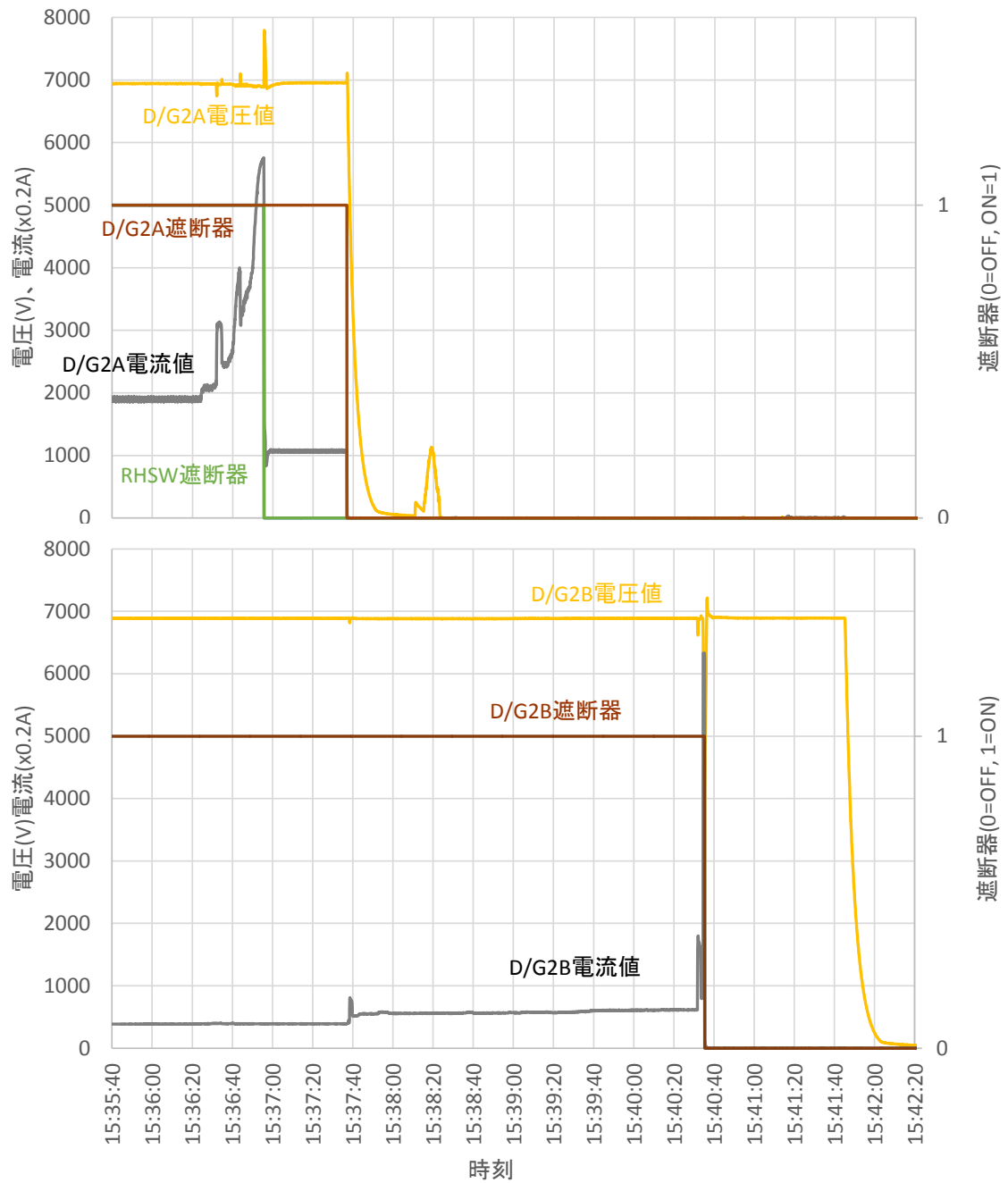


図7 2号機各設備のプロセス計算機データ (上:A系、下:B系)

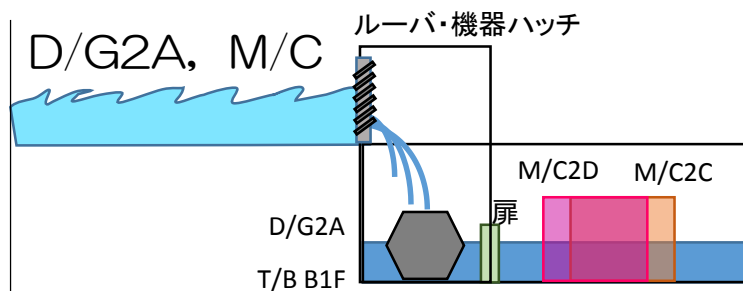


図8 2号機におけるタービン建屋内への津波浸水イメージ

3.4. 3号機の機能喪失時刻についての考察

図2、3に示したとおり、D/G3A、3B、M/C3C、3Dは設置場所および津波の想定浸入経路は異なるものの、経路長としては大きな差はない。一方で、A系の電源喪失時刻は、B系の電源喪失時刻より数十秒ほど早い。そこで、各々の電源喪失に至るシナリオを考察した。図9に3号機各設備の過渡現象記録装置のデータを示す。なお、ここで示す時刻は、2号機プロセス計算機により時刻補正した3号機アラームタイパの記録の「ディーゼル発電機オフ」の時刻に、過渡現象記録装置の「D/G遮断器OFF」の時刻を合わせている。

まず、3号機B系の挙動に着目すると、15時39分30秒頃にD/G3B遮断器が開放し、D/G3B電流値および電圧値が急減して0になっている（要因③が不成立）。スパイク状の電流が流れていないため、D/GおよびM/Cに電気事故は発生していない（要因①が不成立）。従って、2号機A系と同じく、DGSWポンプトリップもしくは浸水によりD/G制御盤内の端子が通電し、D/Gロックアウトリレーが動作したものと考えられる（要因②が成立）。

これに対し、3号機A系は15時38分40秒頃にD/G3A電流値および電圧値が急減して0になった後、15時39分24秒にD/G遮断器が開放している。つまり、D/G遮断器が開放されるより前に、D/Gが停止したことになる。従って、D/Gロックアウトリレーにより機能喪失に至ったとは考えにくい（要因②が不成立）。また、スパイク状の電流が流れていないため、D/GおよびM/Cに電気事故は発生していない（要因①が不成立）。このことから、D/G制御系に何らかのトラブルが発生し、母線への電源供給ができなくなったものと考えられる（要因③が成立）。

D/G3Aが停止したシナリオとして、D/Gの吸気サイレンサーからシリン

ダーに海水が流入したことが考えられる。図10に D/G3A 吸気サイレンサー設置位置を、図11に4サイクル式ディーゼル機関の作動行程を示す。図10に示すとおり、D/G3Aの吸気サイレンサーは海側かつ低位置に設置してあるため、海水がこの吸気サイレンサーから D/G 機関内へ浸入した可能性がある。吸気サイレンサーから浸入した海水が、図11に示すように吸気管を通じてシリンダーに浸入すると、燃焼不良が生じる。さらに海水が他のシリンダーにも浸入すると、徐々にディーゼル機関の回転数が減少する。そのため、D/G 電圧値は低下し、最終的に D/G が停止に至ったものと考えられる。なお、1号機 D/G1A、1B、2号機 D/G2A についても、3号機 D/G3A と同じく吸気サイレンサーは海側の低位置に設置してあり、経路長としても大きな差はないことから、最終的に津波が吸気サイレンサーからシリンダーへ浸入した可能性はある。しかし、電源喪失時刻が3号機 A系に比べて早いこと、D/G の電圧値・電流値の低下挙動が特徴的な3号機 A系の挙動と異なることから、吸気サイレンサーからの浸水によって D/G が停止したとは考えにくい。また、3号機 D/G3B の吸気サイレンサーは高位置に設置してあり、5号機 D/G5A、5B の吸気サイレンサーは周りを壁で覆われているため、浸水はなかったものと考えられる。

以上のとおり、A系も B系も津波によって電源喪失に至ったと考えられるが、電源喪失に至る要因の違いにより、数十秒ほどの時間差を生じたものと考えられる。

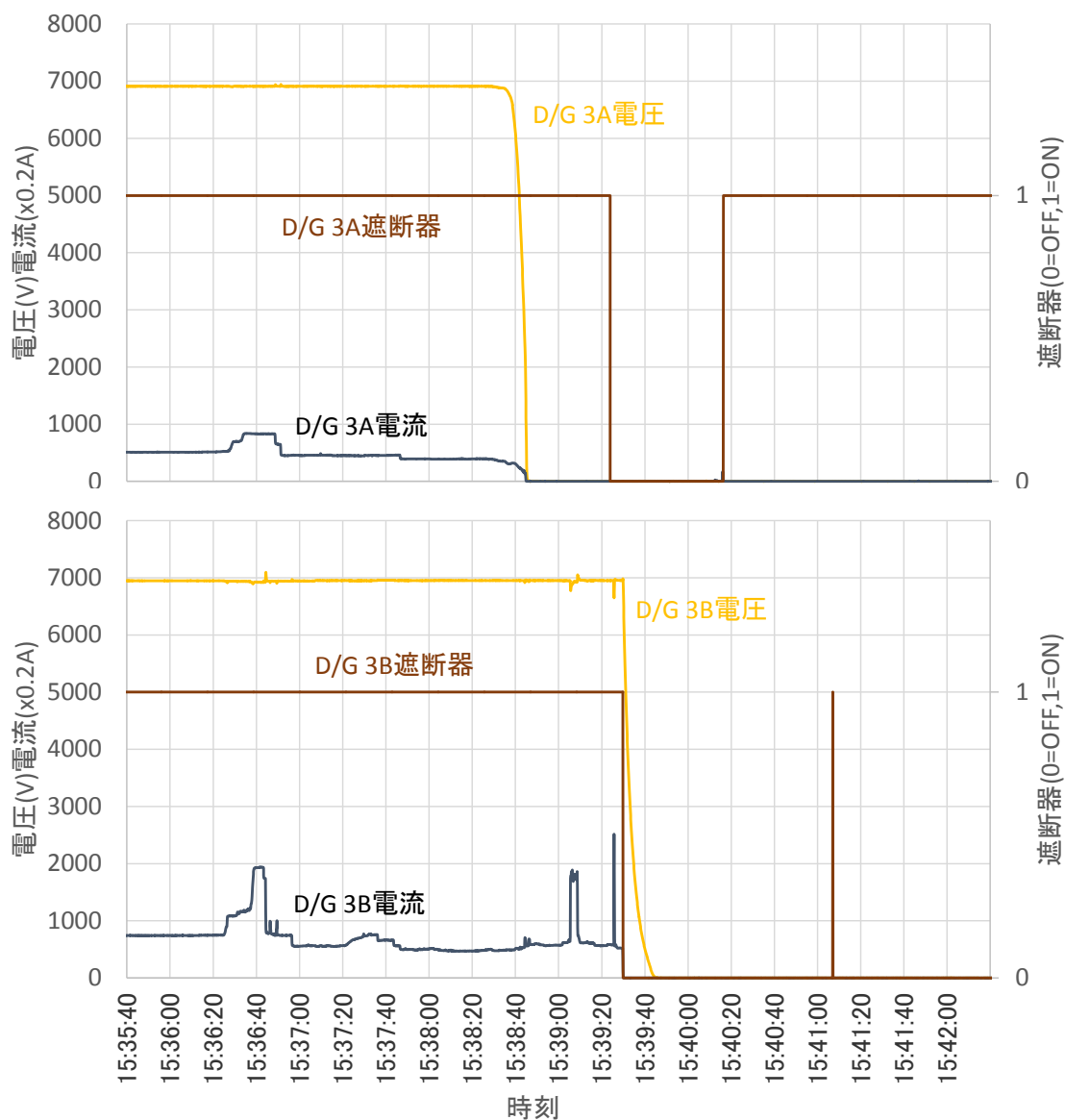


図9 3号機各設備の過渡現象記録装置のデータ（上：A系、下：B系）^(補足)

^(補足) 15時40分以降にD/G遮断器の信号に変動が見られるが、同じ時間帯に起動していないRHSW遮断器の信号も変動していることから、これらの信号は設備の実際の動作をとらえたわけではないと考えている。

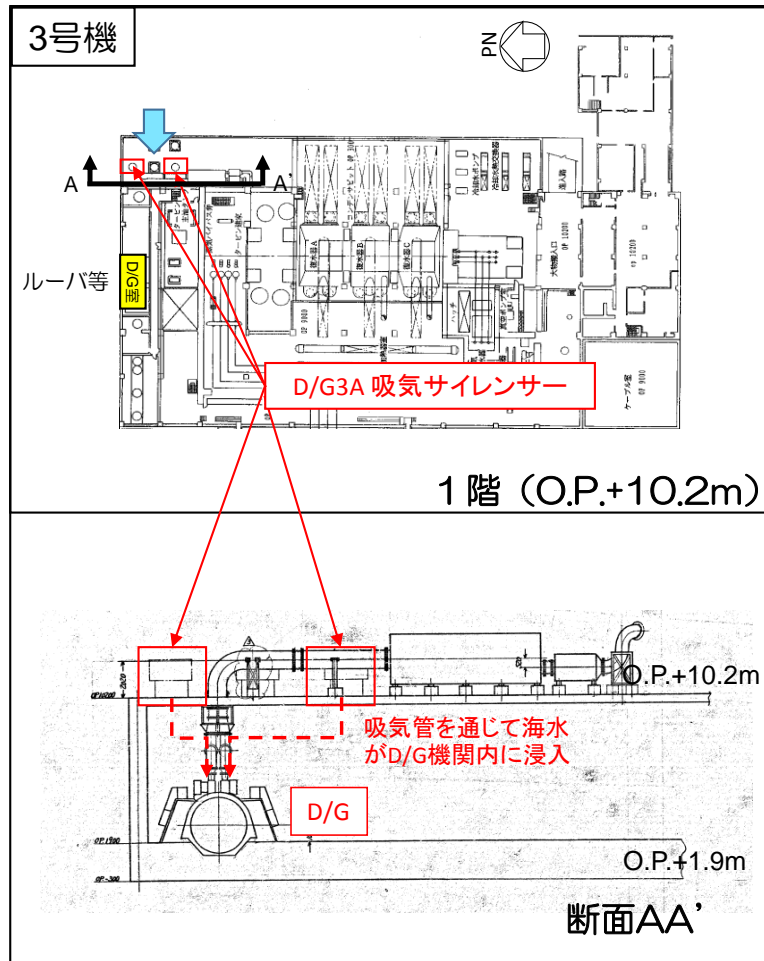


図10 D/G3A 吸気サイレンサー設置位置
(上：タービン建屋平面図、下：AA'矢視断面)

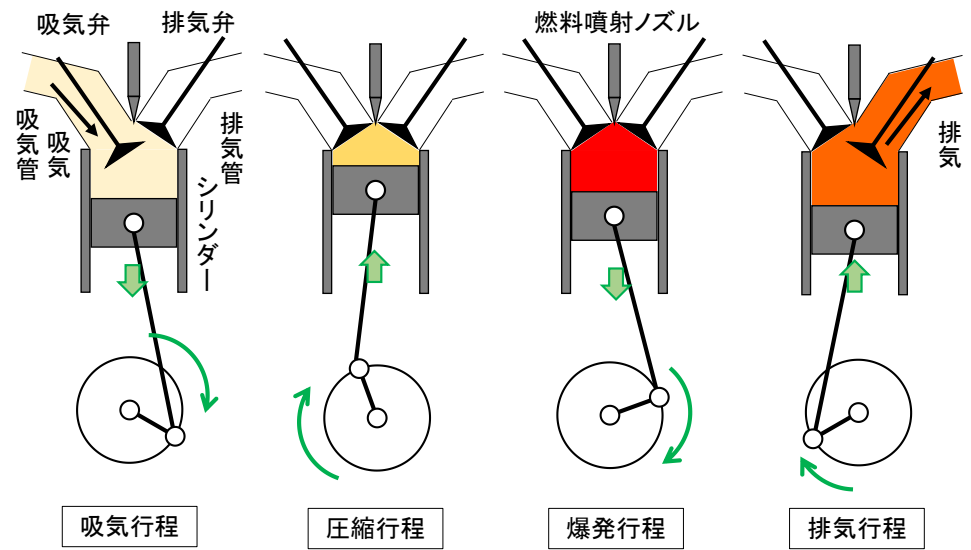


図11 4サイクル式ディーゼル機関の作動行程

3.5. 5号機の機能喪失時刻についての考察

図12に5号機におけるタービン建屋内への津波浸水イメージを示す。M/C5C、5Dは地下1階の電気品室に、D/G5A、5Bは電気品室から少し高い床面のD/G室に設置してある。また、D/G制御盤の一部は電気品室に設置してある。図3に示したとおり、各々の設備までの津波浸入の経路長に大きな差はない。D/G室には津波の浸水痕が見られないことから、D/G自体の浸水による機能喪失は考えにくい。一方、電気品室へは、電気品室のケーブル貫通孔から浸水した形跡が見られていることから、地中に埋設されたケーブルダクトを通じて、ケーブル貫通孔から津波が浸入したものと推定している。従って、M/C主回路が浸水して母線電圧を喪失しなくても、D/G制御盤内の端子が浸水により通電することでD/Gが機能喪失する可能性がある。

図13に5号機各設備のプロセス計算機データを示す。A系もB系も15時40分00秒頃にD/G遮断器が開放し、D/G電流値とD/GおよびM/C電圧値が急減して0になっている（要因③が不成立）。スパイク状の電流が流れていないため、D/GおよびM/Cに電気事故は発生していない（要因①が不成立）。従って、2号機A系、3号機B系と同じく、DGSWポンプトリップもしくは浸水によりD/G制御盤内の端子が通電し、D/Gロックアウトリレーが動作したものと考えられる（要因②が成立）。

以上のとおり、A系もB系も津波によって電源喪失に至ったと考えられる。

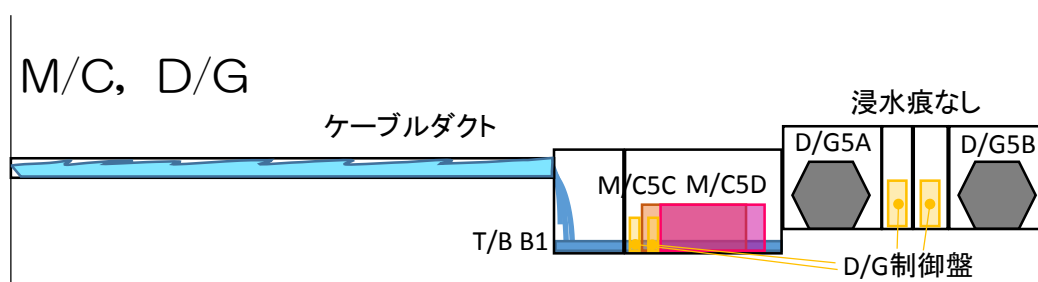


図12 5号機におけるタービン建屋内への津波浸水イメージ

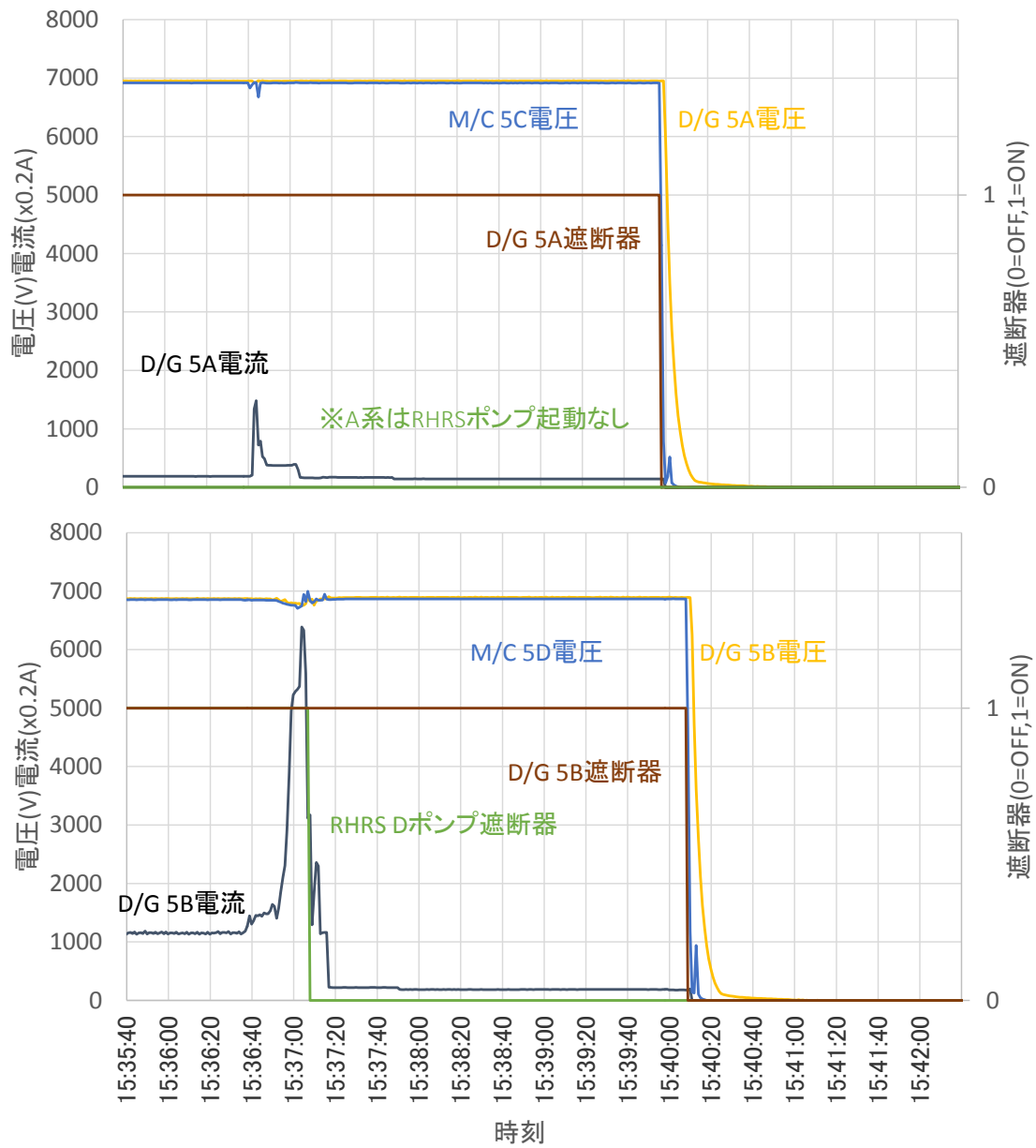


図 1 3 5号機各設備のプロセス計算機データ (上: A系、下: B系)

3.6. DGSW ポンプトリップによる D/G ロックアウトリレー動作について

2号機 A 系、3号機 B 系、5号機 A 系、B 系が電源喪失に至った要因として、DGSW ポンプトリップによる D/G ロックアウトリレー動作の可能性を挙げた。これらいずれも、15時36分20秒頃から D/G の電流値が上昇し、運転中かつ記録が残っている2号機 RHSW 遮断器および5号機 RHRS 遮断器は15時37分00秒頃に開放している。従って、15時36分台に津波が着岸し、DGSW ポンプも浸水して過負荷状態になっていたと考えられる。DGSW ポンプが過負荷トリップし、ポンプ吐出圧低信号を発信すると、3号機は10秒後、2号機、5号機は60秒後に D/G ロックアウトリレーが動作する設定となっている。しかし、仮に15時37分00秒頃にポンプ吐出圧低信号を発信したとすると、3号機、5号機についてはリレー動作設定時間に対して実際の D/G トリップ時刻がかなり遅れている。この原因として、DGSW ポンプトリップがもっと遅い時刻であった可能性、DGSW ポンプがトリップした後も津波の水頭等により系統内圧力がある程度維持された可能性などが考えられるが、現状特定には至っていない。そのため、本検討において電源喪失に至った要因としてあげた D/G ロックアウトリレー動作について、DGSW ポンプトリップによるポンプ吐出圧力低信号がトリガーとなったのか、浸水による D/G 制御盤内の端子の通電がトリガーとなったのかを完全に絞り込むまでには至っていない。

4. まとめ

津波によって非常用交流電源が喪失したとの推定をより確からしいものとするための追加検討として、各電源設備までの津波侵入の経路長と機能喪失時刻の関係性について確認を行った。検討の結果、各電源設備までの津波侵入の経路長が長いほど、機能喪失時刻が遅くなる傾向が確認されたことから、津波の遡上、浸水によって、各電源設備が機能喪失していったという従来の推定がより確からしいものになった。また、各電源設備までの津波侵入の経路長と機能喪失時刻の全体的な傾向から、比較的乖離している設備については、合理的に説明できるシナリオが存在することが分かった。

5. 安全対策との関係について

福島第一原子力発電所が津波により電源喪失に至ったことを踏まえ、原子力発電所の安全対策として、津波を含む外的ハザード等への備えを強化すること、万が一その防護策が破られ重要設備が喪失した場合でも代替手段により炉心損傷を防止できることが重要となる。

当社柏崎刈羽原子力発電所では、この教訓も踏まえて安全対策に取り組んでいる。津波に関係する対策を一例として挙げると、まず津波による事故の発生防止策（図14）として、敷地・建屋内への津波の流入防止、重要機器設置エリアの止水、引き波時の海水確保、可搬型設備の高台保管、津波監視カメラの設置等を実施している。また、万一の電源喪失に備え電源確保策（図15）として、空冷式ガスタービン発電機車、配電盤等の電源設備、電源車を高台に配備し、予備バッテリーの配備や直流電源設備を原子炉建屋の高所に増設する等の対策を実施している。

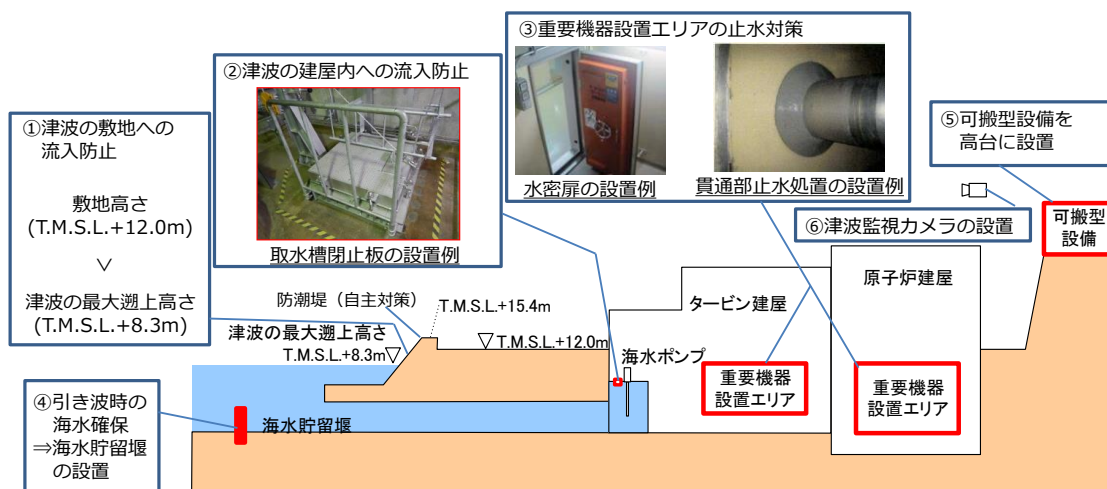


図14 柏崎刈羽原子力発電所6、7号機の津波対策イメージ

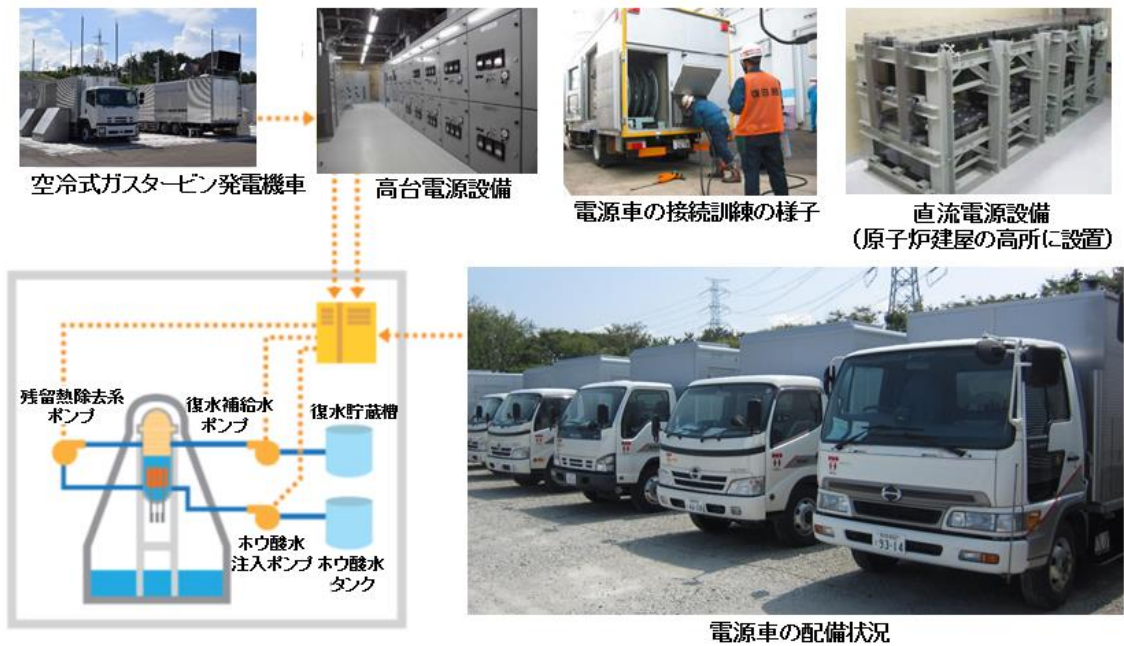


図 1 5 柏崎刈羽原子力発電所の電源確保策の概要

参考資料

- [1] 新潟県, 「平成28年度第2回新潟県技術委員会原子力発電所の安全管理に関する技術委員会 資料No.3福島事故検証課題別ディスカッション『地震動による重要機器の影響』中間まとめ」, 平成28年8月10日.
- [2] 東京電力株式会社, 「福島原子力事故調査報告書」, 平成24年6月20日.
- [3] 原子力規制委員会, 「東京電力福島第一原子力発電所事故の分析 中間報告書」, NREP-0001, 平成26年10月8日.

なお、本件の主旨は2017年11月号の原子力学会誌アトモスに掲載されている。