



JY-109-1

## **第8条（火災による損傷の防止）に係る説明書**

**「ナトリウムが漏えいした場合に生じるナトリウムの燃焼への対策」**

**2022年1月21日**

**日本原子力研究開発機構 大洗研究所  
高速実験炉部**

# 目次

本日ご提示

ナトリウム燃焼に対する基本的な考え方

ナトリウム燃焼に係る要求事項及び対応概要

ナトリウム燃焼の特徴

ナトリウム漏えいの防止 (①)

ナトリウム漏えいの検知 (②)

ナトリウム漏えい発生時の燃焼抑制 (③)

ナトリウム燃焼の感知 (②)

ナトリウム燃焼の消火 (②)

ナトリウム漏えい時の燃焼影響評価

ナトリウム燃焼の影響軽減 (③)

ナトリウムと構造材との反応の防止 (③)

※：三方策との対応 (①：発生防止/②：感知及び消火/③：影響軽減)

- **原子炉施設において、冷却材の漏えいが発生し、これを検知した場合には、運転員の手動スクラム操作により、原子炉を停止する。**
- **原子炉施設は、想定されるナトリウムが漏えいした場合に生じるナトリウムの燃焼によっても、原子炉を停止でき、放射性物質の閉じ込め機能を維持できるように、また、停止状態にある場合は、引き続きその状態を維持できるように設計する。**
- **一般火災における火災防護基準に基づく火災防護対策を講じる火災防護対象機器について、ナトリウム漏えいの防止、ナトリウム漏えいの検知（及びナトリウム燃焼の感知）及びナトリウム燃焼の消火並びにナトリウム燃焼の影響軽減の三方策の措置を講じる。**

要求事項 [1]	対応概要
<p><b>(1) ナトリウム漏えいの防止</b>                      ナトリウムを内包する配管及び機器については、耐震設計上の重要度分類Sクラス又は基準地震動による地震力によって破損を生じさせない設計であること。ここで「基準地震動による地震力によって破損を生じさせない設計」とは、耐震設計上の重要度分類B、Cクラスに分類される機器であっても、設計上の裕度を考慮することや設備の耐震補強等により、基準地震動による地震力に対して耐震性を有すると評価できるものをいう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ナトリウムを内包する配管及び機器の設計にあつては、配管及び機器の破損によるナトリウムの漏えいの発生を防止するため、以下の対策を講じる。                             <ul style="list-style-type: none"> <li>＞ ナトリウムを内包する配管及び機器の設計、製作等は、関連する規格、基準に準拠するとともに、品質管理や工程管理を十分に行う。</li> <li>＞ ナトリウムを内包する配管は、エルボを引き廻し、十分な撓性を備えたものとする。</li> <li>＞ ナトリウムを内包する配管及び機器は、冷却材温度変化による熱応力、設計地震力等に十分耐えるように設計する。また、ナトリウムを内包する配管及び機器は、内包するナトリウムを固化することによりナトリウム漏えいの発生防止措置を講じるもの等を除き、基準地震動による地震力に対して、ナトリウムが漏えいすることがないように設計する。このうち、2次冷却材ダンプタンクにあつては、2次冷却材の漏えいに伴う緊急ドレン後に長期間ナトリウムを保有するため、弾性設計用地震動による地震力に対して、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。</li> <li>＞ ナトリウムを内包する配管及び機器の腐食を防止するため、冷却材の純度を適切に管理するとともに、減肉に対する肉厚管理を適切に実施する。</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>(2) ナトリウム漏えいの検知</b>                      ナトリウムを内包する配管及び機器の一系統における単一の機器の破損（他の系統及び機器は健全なものと仮定）を想定し、ナトリウムの漏えいを早期に検知できる検出器（以下「漏えい検出器」）を設置すること。また、その設置に当たっては、以下を含めること。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 漏えい検出器の誤作動を防止するための方策を講じること。</li> <li>② 外部電源喪失時に機能を失わないように、電源を確保する設計であること。</li> <li>③ 中央制御室で必要な監視ができる設計であること。</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ナトリウム漏えいの検知には、ナトリウム漏えい検出器を用いる。原子炉冷却材バウンダリ及び冷却材バウンダリを構成する配管・機器（主冷却器及び補助冷却器を除く。）には、通電式の検出器を用いる。主冷却器及び補助冷却器には、その構造に鑑み、光学式の検出器を用いる。</li> <li>・ 通電式の検出器は、電極とシース保護管又はアースがナトリウムにより短絡されることを利用した回路と、光学式の検出器は、ナトリウムの燃焼によって生じる白煙により光の透過率が減少することを利用した回路とすることにより誤作動を防止する。</li> <li>・ ナトリウムの漏えい検知に用いる設備は、外部電源喪失時に、その機能を喪失することがないように、非常用電源設備より電源を供給する。</li> <li>・ ナトリウム漏えい検出器が作動した場合には、中央制御室に警報を発し、かつ、ナトリウムが漏えいした場所を特定できるものとする。なお、2次冷却材を内包する配管及び機器を設置する場所（格納容器（床下）を除く。）には、監視用ITVを設置し、中央制御室のモニタにより、その状況を確認できるものとする。</li> </ul>

[1] 令和3年5月26日 第10回原子力規制委員会 資料2 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設「常陽」の新規制基準適合性審査の状況及び今後の審査方針案について

要求事項 [1]	対応概要
<p>(3) ナトリウム漏えい発生時の燃焼抑制</p> <p>ナトリウム漏えい発生時に、空気雰囲気でのナトリウム燃焼を抑制できる設計とすること。ここで、「ナトリウム燃焼を抑制できる設計」とは、例えば、配管を二重構造にして漏えいしたナトリウムをその間隙に保持すること、ナトリウム漏えいが発生する区画を窒素雰囲気で維持する等の不活性化を行うこと、ナトリウム漏えいが発生した系統のナトリウムを緊急ドレンにより早期に排出してナトリウムの漏えい量を低減すること等の設計である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉冷却材バウンダリを構成し、1次冷却材を内包する配管・機器は、二重構造とするとともに、当該間隙を窒素雰囲気で維持し、万一、1次冷却材が漏えいした場合であっても、漏えいしたナトリウムを当該間隙で保持し、ナトリウムの燃焼を抑制する。</li> <li>上記以外で1次冷却材を内包する配管・機器、及び格納容器（床下）に設置する2次冷却材を内包する配管・機器については、原子炉運転中、格納容器（床下）を窒素雰囲気で維持し、万一、当該冷却材が格納容器（床下）に漏えいした場合であっても、漏えいしたナトリウムを格納容器（床下）で保持し、ナトリウムの燃焼を抑制する。</li> <li>2次冷却材を内包する配管・機器（格納容器（床下）に設置するものを除く。）において、2次冷却材が漏えいした場合、漏えいの発生した系統内のナトリウムを2次冷却材ダンプタンクへ緊急にドレンし、ナトリウムの漏えい量を低減する。</li> </ul>
<p>(4) ナトリウム燃焼の感知</p> <p>ナトリウムが漏えいした場合に生じるナトリウム燃焼を早期に感知できる設計とすること。ここで、「ナトリウム燃焼を早期に感知できる設計」とは、火災防護対象機器（火災防護対象ケーブルを含む。以下同じ。）を設置する火災区域又は火災区画において、「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」（平成25年6月19日原規技発第1306195号原子力規制委員会決定。以下「火災防護基準」という。）の「火災感知設備」に要求される事項に適合する感知設備を設置することをいう。その際、当該感知設備は、(2)の漏えい検出器と兼用しても差し支えない。</p> <p>また、火災防護対象機器を設置しない区画におけるナトリウム燃焼を早期に感知できるように、火災防護基準の「火災感知設備」を参考とした感知設備を設置すること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナトリウム燃焼の感知は、ナトリウム漏えいの検知を起点とするものとし、ナトリウム漏えい検出器で兼用する。</li> <li>ナトリウム漏えい検出器は、以下により「火災防護基準」に適合する。             <ul style="list-style-type: none"> <li>平常時の状況（通電式：短絡の有無／光学式：煙の濃度）を監視し、かつ、火災現象（短絡の発生又は煙の濃度）を把握することができること。</li> <li>ナトリウム漏えい検出器が作動した場合には、中央制御室に警報を発し、かつ、ナトリウムが漏えいした場所を特定することができること。</li> <li>外部電源喪失時に、その機能を喪失することがないように、非常用電源設備より電源を供給すること。</li> </ul> </li> <li>火災防護対象機器を設置する火災区域又は火災区画には、「火災防護基準」の「火災感知設備」に要求される事項に適合する感知設備として、一般火災に対応するための火災感知器を設置する（基本的に、光電アナログ式スポット型煙感知器及び熱アナログ式スポット型熱感知器を使用）。当該感知器の動作原理より、ナトリウム燃焼の感知にも適用できる。</li> </ul>

[1] 令和3年5月26日 第10回原子力規制委員会 資料2 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設「常陽」の新規制基準適合性審査の状況及び今後の審査方針案について

要求事項 <sup>[1]</sup>	対応概要
<p><b>（5）ナトリウム燃焼の消火</b>                      ナトリウムが漏えいした場合に生じるナトリウム燃焼を早期に消火できる設計とすること。ここで、「ナトリウム燃焼を早期に消火できる設計」とは、火災防護基準の「消火設備」に要求される事項（ただし、「消火剤に水を使用する消火設備」は除く。）に適合する設備を設置することをいう。また、要員による消火活動に期待する場合は、ナトリウム燃焼の特殊性を踏まえ、要員の安全確保に必要な防護服、防護マスク、携帯用空気ボンベ等必要な資機材の配備を行うこと。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナトリウム燃焼の消火には、特殊化学消火剤を使用する。原子炉施設には、特殊化学消火剤を装填した可搬式消火器、防護服、防護マスクや携帯用空気ボンベ等を配備する。特殊化学消火剤を装填した可搬式消火器は、転倒防止措置を講じるものとする。</li> <li>定期的に、装着訓練や消火訓練を実施し、これらの資機材の使用に係る習熟度向上を図る。</li> <li>特殊化学消火剤を装填した可搬式消火器は、ナトリウムを保有する配管・機器を設置するエリアに配備し、十分な容量を備える。なお、原子炉の運転中、窒素雰囲気で維持する格納容器（床下）にあつては、当該雰囲気を空気雰囲気とした場合に、特殊化学消火剤を充填した可搬式消火器を配備する。</li> </ul>

[1] 令和3年5月26日 第10回原子力規制委員会 資料2 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設「常陽」の新規制基準適合性審査の状況及び今後の審査方針案について

## 要求事項 [1]

## 対応概要

### (6) ナトリウム漏えい時の燃焼影響評価

ナトリウムが漏えいした場合のナトリウムの漏えい量、及び漏えいしたナトリウム燃焼の影響を評価すること。評価に当たっては、以下によること。

- ① 破損を想定する機器は、配管（容器の一部であって、配管形状のものを含む。以下同じ。）とする。また、破損の想定に当たっては、一系統における単一の機器の破損（他の系統及び機器は健全なものと仮定）を想定する。
- ② 常陽の冷却材であるナトリウムは、低圧でサブクール度が大きいため、配管の破損想定は低エネルギー配管相当と考え、配管内径の1/2の長さと同程度の配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラックからの漏えいとする。
- ③ 漏えいを検出する機能が設置され、自動又は手動操作によって、漏えいを停止させることができる場合は、漏えい停止機能を考慮することができる。この漏えい停止機能を期待する場合は、停止までの漏えい継続時間を考慮してナトリウム漏えい量を求める。
- ④ 配管が二重構造である場合は、内管の損傷によるナトリウム漏えいを外管により保持する機能に期待することができる。
- ⑤ ナトリウムの漏えい区画が不活性ガス雰囲気である場合はナトリウムの燃焼を防止できるが、漏えいしたナトリウムの除去の際など、当該区画の不活性化環境を解除する場合も考慮し、ナトリウム燃焼の影響を評価する。

- ・ 以下によりナトリウムが漏えいした場合の漏えい量及び漏えいしたナトリウム燃焼の影響を評価する。
  - > 一系統の単一の配管の破損（他の系統及び機器は健全なものと仮定）を想定する。なお、二重構造を有する配管・機器にあっては、内管の破損により漏えいしたナトリウムは外管により保持されることを踏まえて評価する。また、原子炉運転中に窒素雰囲気で維持する格納容器（床下）に位置する冷却材を内包する配管・機器が破損した場合にあっては、ナトリウム燃焼を抑制できるため、格納容器（床下）を空気置換した場合の影響を評価する。
  - > 配管直径の1/2の長さと同程度の配管肉厚の1/2の幅を有する貫通クラックからの漏えいを想定する。
  - > ナトリウム漏えい量の評価に当たっては、漏えい停止機能（緊急ドレン）による漏えい停止までの漏えい継続時間を考慮する。

要求事項 <sup>[1]</sup>	対応概要
<p>(7) ナトリウム燃焼の影響軽減</p> <p>上記(6)で評価したナトリウム燃焼の影響を考慮し、火災防護対象機器を設置する火災区域又は火災区画内の火災及び隣接する火災区域又は火災区画におけるナトリウム燃焼の影響に対し、火災の影響を軽減するための措置を講じた設計であること。ここで、「火災の影響軽減のための措置を講じた設計」とは、火災防護基準の「火災の影響軽減」に要求される事項に適合する設計であることをいう。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子炉冷却材バウンダリを構成し、1次冷却材を内包する配管・機器は、二重構造とするとともに、当該間隙を窒素雰囲気で維持し、万一、1次冷却材が漏えいした場合であっても、漏えいしたナトリウムを当該間隙で保持し、ナトリウムの燃焼を抑制する。</li> <li>・ 上記以外で1次冷却材を内包する配管・機器、及び格納容器(床下)に設置する2次冷却材を内包する配管・機器については、原子炉運転中、格納容器(床下)を窒素雰囲気で維持し、万一、当該冷却材が格納容器(床下)に漏えいした場合であっても、漏えいしたナトリウムを格納容器(床下)で保持し、ナトリウムの燃焼を抑制する。</li> <li>・ 2次冷却材を内包する配管・機器(格納容器(床下)に設置するものを除く。)において、2次冷却材が漏えいした場合、漏えいの発生した系統内のナトリウムを2次冷却材ダンプタンクへ緊急にドレンし、ナトリウムの漏えい量を低減する。</li> <li>・ ナトリウムを保有する火災区域又は火災区画については、3時間以上の耐火能力を有する耐火壁(コンクリート壁厚さ:150mm以上)によって他の火災区域又は火災区画から分離する。火災の影響評価において設定した火災等価時間を1時間未満とする火災区域又は火災区画は、耐火壁、防火戸、防火ダンパ及び貫通部シール(不燃性パネル又は不燃性パテを使用)により、他の火災区域又は火災区画から分離する。耐火壁については建設省告示1399号に、防火戸及び防火ダンパについては建設省告示1369号に基づき、1時間以上の耐火時間を設定する。</li> <li>・ 床面に設置した鋼製のライナについて、堰を設け、漏えい拡散面積を制限することで、ナトリウムと空気の接触面積を低減し、ナトリウムの燃焼の影響を軽減する。</li> <li>・ 主冷却機建物において、常時空気雰囲気であって、かつ、ナトリウムと湿分等の反応により生成した水素が蓄積する可能性がある火災区域又は火災区画にあっては、当該火災区域又は火災区画に、窒素ガスを供給し、水素の濃度が燃焼限界濃度以下にできるものとする。</li> <li>・ 主冷却機建物においては、漏えいしたナトリウムを受樋又は床ライナ及び連通管を經由して、ナトリウム溜に導く設計とし、ナトリウム溜で漏えいしたナトリウムを保持する。また、防煙ダンパを設け、換気空調設備の停止及び防煙ダンパの閉止により、ナトリウムエアロゾルの拡散を防止する。</li> </ul>

[1] 令和3年5月26日 第10回原子力規制委員会 資料2 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所(南地区)高速実験炉原子炉施設「常陽」の新規制基準適合性審査の状況及び今後の審査方針案について

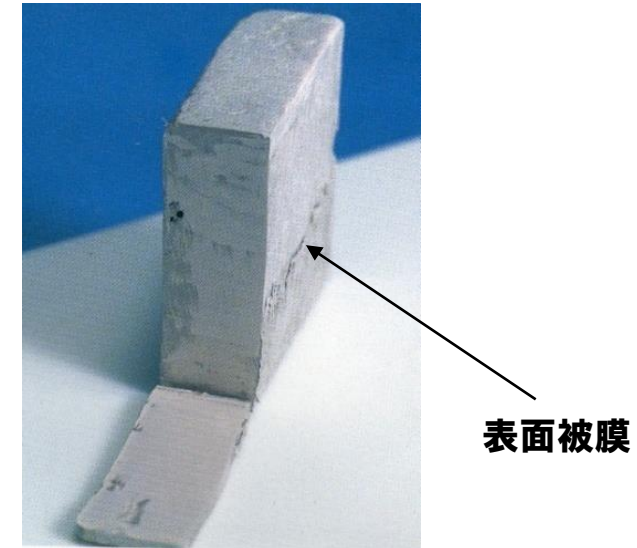


要求事項 <sup>[1]</sup>	対応概要
<p><b>（8）ナトリウムと構造材との反応防止</b>                      高温のナトリウムとコンクリートが接触すると、当該ナトリウムとコンクリート中の水分及び反応生成物とコンクリート成分の反応が生じるため、これを防止する設計とすること。ここで、「これを防止する設計」とは、例えば、コンクリート床面に鋼製のライナを敷設することや、配管周辺に受樋を設置することにより、ナトリウムとコンクリートの接触を防止すること等の設計であることをいう。その際、鋼製ライナや受樋の設計にあつては、ナトリウム燃焼に伴い鋼製材料の腐食が生じることを考慮した厚さとする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐火能力を有する鋼製のライナ又は受樋を設置し、ナトリウムとコンクリートが直接接触することを防止する。</li> <li>鋼製ライナや受樋の設計にあつては、ナトリウム燃焼に伴い鋼製材料の腐食が生じることを考慮した厚さとする。</li> </ul>

[1] 令和3年5月26日 第10回原子力規制委員会 資料2 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所（南地区）高速実験炉原子炉施設「常陽」の新規制基準適合性審査の状況及び今後の審査方針案について

ナトリウム冷却型高速炉において、冷却材として使用するナトリウムは、化学的に活性であり、空気中の酸素や湿分、水、ハロゲン等と反応する。ナトリウムは、配管・機器に内包された状態で使用されるが、万一、当該配管・機器が破損し、ナトリウムが漏えいした場合に生じるナトリウムの燃焼の特徴を示す。

- (1) 固体状のナトリウム（融点：約98℃）にあつては、通常、空気中の酸素や湿分と反応し、酸化ナトリウムや水酸化ナトリウム等からなる暗灰色の表面被膜を形成する。当該被膜により、内部のナトリウムは、空気と隔離されるため、常温において、急激な反応が生じ、ナトリウムの発火・燃焼に至ることはない。ただし、当該被膜が除去される等の状況が発生した場合には、ナトリウムが反応、ナトリウムの温度が上昇し、発火する可能性がある。なお、ナトリウムの燃焼は、ナトリウムは沸点が高く、蒸発熱が大きく、燃焼熱が小さい等により油やアルコールの火災と異なり、火炎の高さが低い。

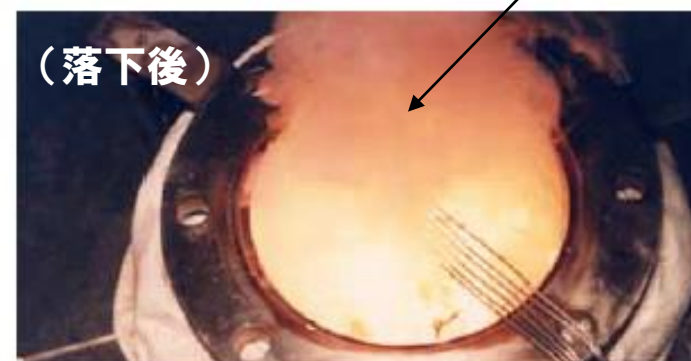


空気雰囲気中の固体状ナトリウム

- (2) ナトリウムは、基本的に高温の液体状態で使用されている。万一、配管等から当該ナトリウムが漏えいした場合、落下する過程で空気中の酸素や湿分と反応し、また、落下したナトリウムは、床面にプール状に拡がり、その表面で空気中の酸素や湿分と反応し、反応熱及び反応生成物の白煙（ナトリウムエアロゾル）が発生する。なお、ナトリウムは、窒素と反応しないため、窒素雰囲気にあつては、反応熱及びナトリウムエアロゾルの発生を防止できる。

ナトリウムエアロゾル

- (3) 高温のナトリウムとコンクリートが接触すると、当該ナトリウムとコンクリート中の水分及び反応生成物とコンクリート成分の反応が生じるため、鋼製のライナ又は受樋によりナトリウムとコンクリートの接触を防止する必要がある。なお、当該ライナ等の設計にあつては、ナトリウム燃焼環境下において、鋼製材料の腐食が生じることを考慮する必要がある。



ナトリウム燃焼の様子



- (4) ナトリウムは、空気、水やハロゲン等と反応（一般的な火災の消火に用いられるABC消火剤（主成分：リン酸アンモニウム等）とも反応）するため、ナトリウムの燃焼の消火には、特殊な化学消火剤を用いる必要がある。
- (5) ナトリウムが直接皮膚に接触すると組織内の水分と反応、水酸化ナトリウムを生成して、これによるアルカリ火傷を生じる。また、ナトリウムエアロゾルは、刺激臭を有し人体に有害である。このため、特殊化学消火剤を充填した可搬式消火器による消火活動等において、燃焼するナトリウムに接近する際には、防護具（防護服や携帯用空気ボンベ等）の着用が必要である。



防護服・携帯用空気ボンベ



特殊化学消火剤を装填した可搬式消火器



特殊化学消火剤を使用した消火の様子

- (6) ナトリウムが燃焼した後に残る燃焼残渣は、表面に燃焼生成物を有し、内部に金属ナトリウムと燃焼生成物が混在した状態で存在する。表面の燃焼生成物を除去等した場合には、再着火・再燃焼に至る可能性がある。このため、燃焼残渣を処理する際には、当該温度が十分に低下していることを確認した上で、順次、特殊化学消火剤を散布する等により、再着火・再燃焼を防止・抑制する必要がある。

ナトリウムを内包する配管及び機器の設計にあつては、配管及び機器の破損によるナトリウムの漏えいの発生を防止するため、以下の対策を講じる。なお、1次冷却材を内包する配管・機器にあつては、高温強度とナトリウム環境効果に対する適合性が良好なステンレス鋼を、2次冷却材を内包する配管・機器にあつては、低合金鋼を使用する。

- (1) ナトリウムを内包する配管及び機器の設計、製作等は、関連する規格、基準に準拠するとともに、品質管理や工程管理を十分に行う。
- (2) ナトリウムを内包する配管は、エルボを引き廻し、十分な撓性を備えたものとする。
- (3) ナトリウムを内包する配管及び機器は、冷却材温度変化による熱応力、設計地震力等に十分耐えるように設計する。また、ナトリウムを内包する配管及び機器は、内包するナトリウムを固化することによりナトリウム漏えいの発生防止措置を講じるもの等を除き、基準地震動による地震力に対して、ナトリウムが漏えいすることがないように設計する。このうち、2次冷却材ダンプタンクにあつては、2次冷却材の漏えいに伴う緊急ドレン後に長期間ナトリウムを保有するため、弾性設計用地震動による地震力に対して、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計する。
- (4) ナトリウムを内包する配管及び機器の腐食を防止するため、冷却材の純度を適切に管理するとともに、減肉に対する肉厚管理を適切に実施する。

# ナトリウム漏えいの防止（2/7）

## -ナトリウムを内包する配管及び機器の耐震設計（1/3）-

系統	機器	耐震クラス
1次主冷却系	1次主冷却系に属する容器・配管・ポンプ・弁	S*1
1次補助冷却系	1次補助冷却系に属する容器・配管・ポンプ・弁	S*1
1次ナトリウム純化系	1次ナトリウム純化系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁	B*2
1次オーバフロー系	1次オーバフロー系のうち、1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁	B*2
1次ナトリウム 充填・ドレン系	1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、原子炉冷却材バウンダリを構成する配管・弁	S*1
	1次ナトリウム充填・ドレン系のうち、上記を除き1次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・弁	B*2
2次主冷却系	2次主冷却系に属する容器・配管・ポンプ・弁	S*3
2次補助冷却系	2次補助冷却系のうち、冷却材バウンダリを構成する配管・弁	S*3
	2次補助冷却系のうち、格納容器貫通部に属する配管・弁	S*4
	2次補助冷却系のうち、上記を除き2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・弁	B*2
2次ナトリウム純化系	2次ナトリウム純化系のうち、冷却材バウンダリを構成する配管・弁	S*3
	2次ナトリウム純化系のうち、上記を除き2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・ポンプ・弁	B*2
2次ナトリウム 充填・ドレン系	2次ナトリウム充填・ドレン系のうち、冷却材バウンダリを構成する配管・弁	S*3
	2次ナトリウム充填・ドレン系のうち、格納容器貫通部に属する配管・弁	S*4
	2次ナトリウム充填・ドレン系のうち、上記を除き2次冷却材を内蔵しているか、又は内蔵し得る容器・配管・弁	B*2、*5

\*1：原子炉冷却材バウンダリに該当するもの

\*2：ナトリウム漏えい防止の観点で基準地震動による地震力に対してナトリウムが漏えいすることがないように設計（ただし、ナトリウムの漏えいを防止するため、内蔵するナトリウムを固化する措置を講じるもの等を除く。）

\*3：冷却材バウンダリに該当するもの

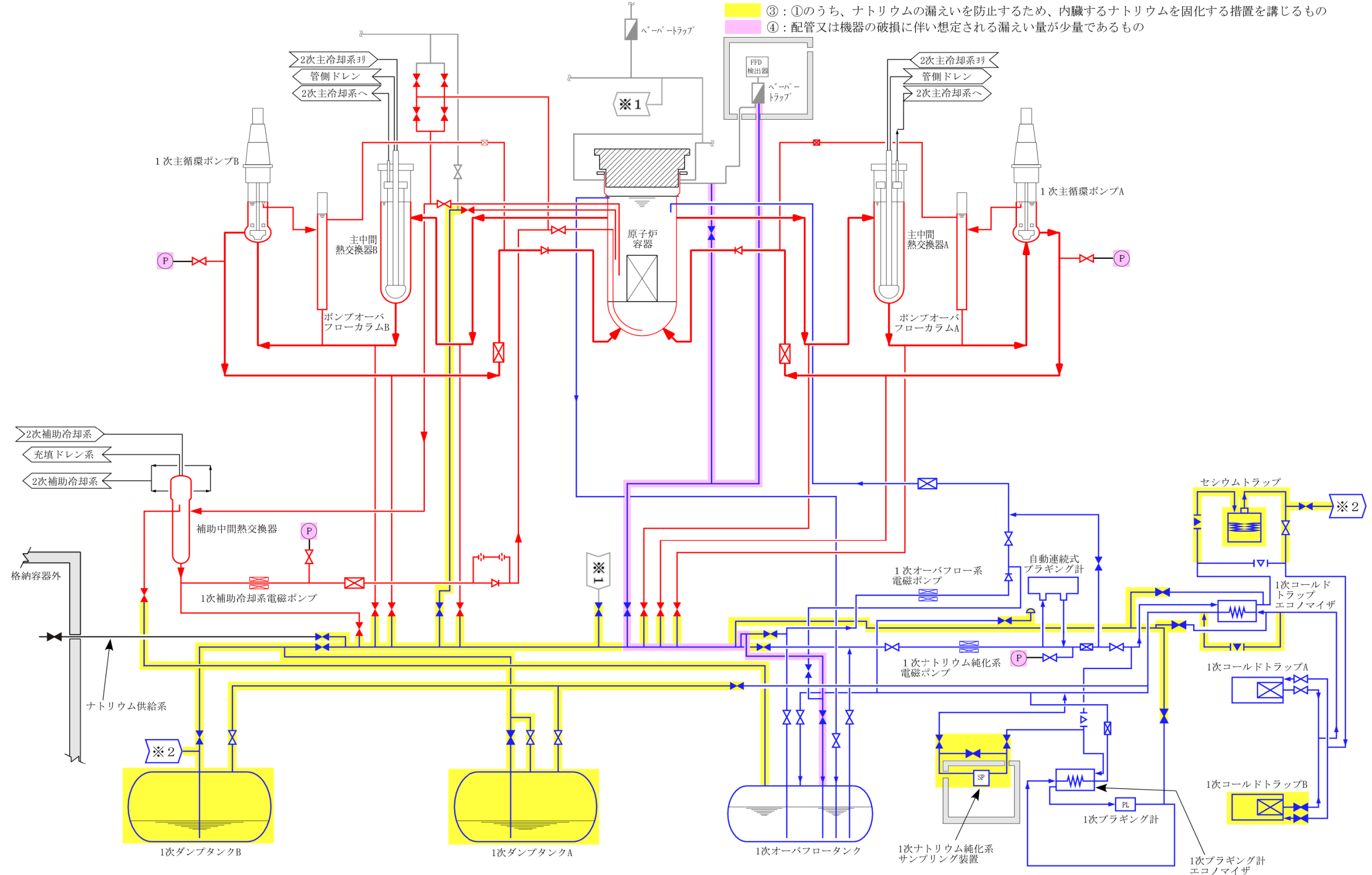
\*4：格納容器バウンダリに該当するもの

\*5：2次冷却材ダンプタンクにあっては、2次冷却材の漏えいに伴う緊急ドレン後に長期間ナトリウムを保有するため、弾性設計用地震動による地震力に対して、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計

# ナトリウム漏えいの防止 (3/7)

## -ナトリウムを内包する配管及び機器の耐震設計 (2/3) -

- ①: 原子炉冷却材バウンダリに該当する配管及び機器 (Sクラス)
- ②: 原子炉冷却材バウンダリ以外で1次冷却材を内蔵するか、又は内蔵し得る配管及び機器 (Bクラス (③及び④を除くものはSs機能維持))
- ③: ①のうち、ナトリウムの漏えいを防止するため、内蔵するナトリウムを固化する措置を講じるもの
- ④: 配管又は機器の破損に伴い想定される漏えい量が少量であるもの

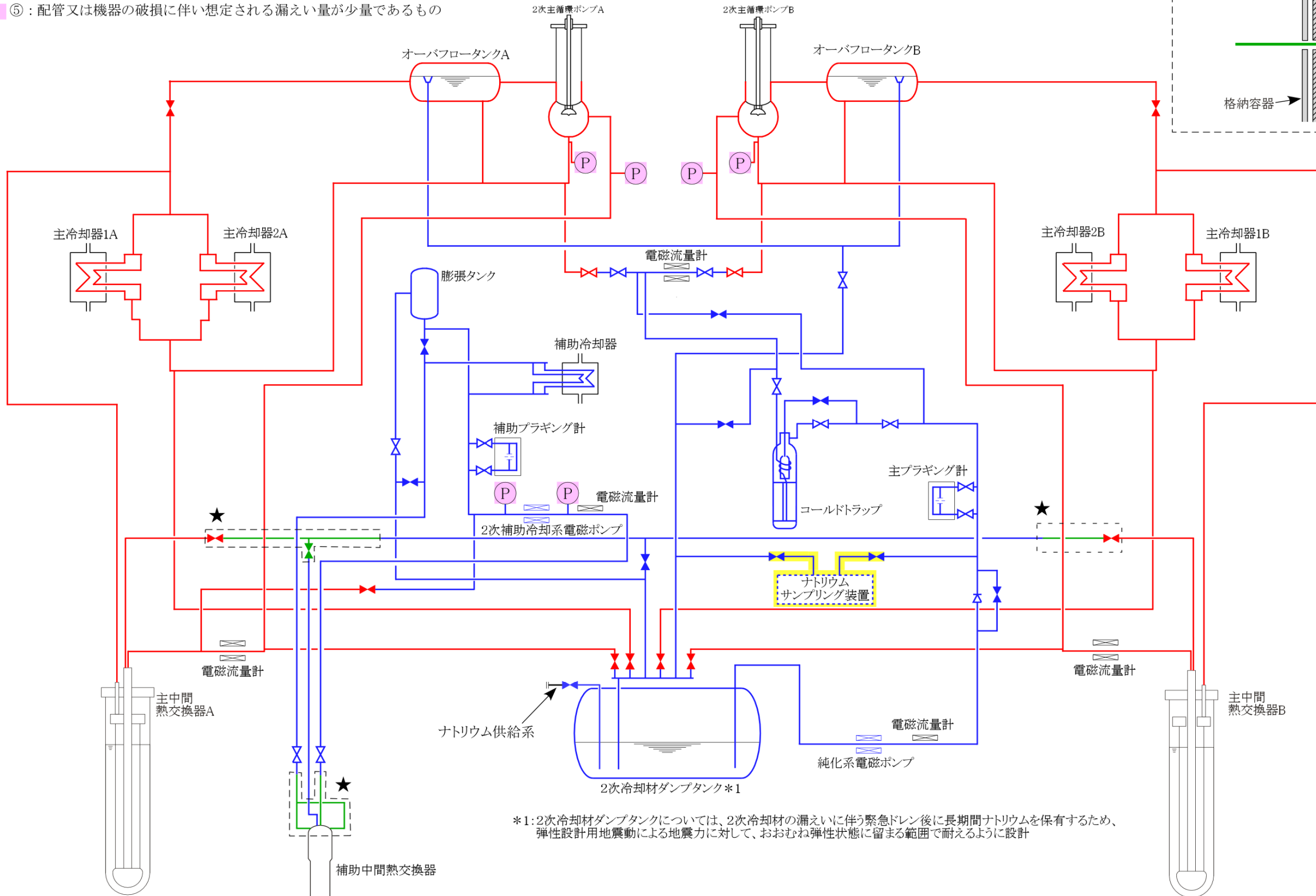
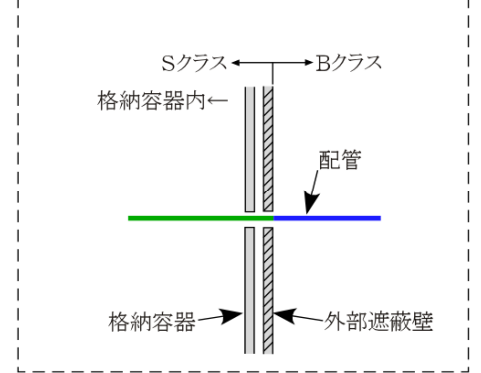




# ナトリウム漏えいの防止 (4/7) -ナトリウムを内包する配管及び機器の耐震設計 (3/3) -

- ① (赤線) : 冷却材バウンダリに該当する配管及び機器 (Sクラス)
- ② (緑線) : 格納容器バウンダリに該当する配管 (Sクラス)
- ③ (青線) : 冷却材バウンダリ及び格納容器バウンダリ以外で2次冷却材を内蔵するか、又は内蔵し得る配管及び機器 (Bクラス (④及び⑤を除くものはSs機能維持))
- ④ (黄線) : ③のうち、ナトリウムの漏えいを防止するため、内蔵するナトリウムを固化する措置を講じるもの
- ⑤ (紫線) : 配管又は機器の破損に伴い想定される漏えい量が少量であるもの

★: 格納容器バウンダリの境界の概念



\*1: 2次冷却材ダンプタンクについては、2次冷却材の漏えいに伴う緊急ドレン後に長期間ナトリウムを保有するため、弾性設計用地震動による地震力に対して、おおむね弾性状態に留まる範囲で耐えるように設計

# ナトリウム漏えいの防止（5/7）

## -冷却材のバウンダリの肉厚管理の考え方（1/3）-

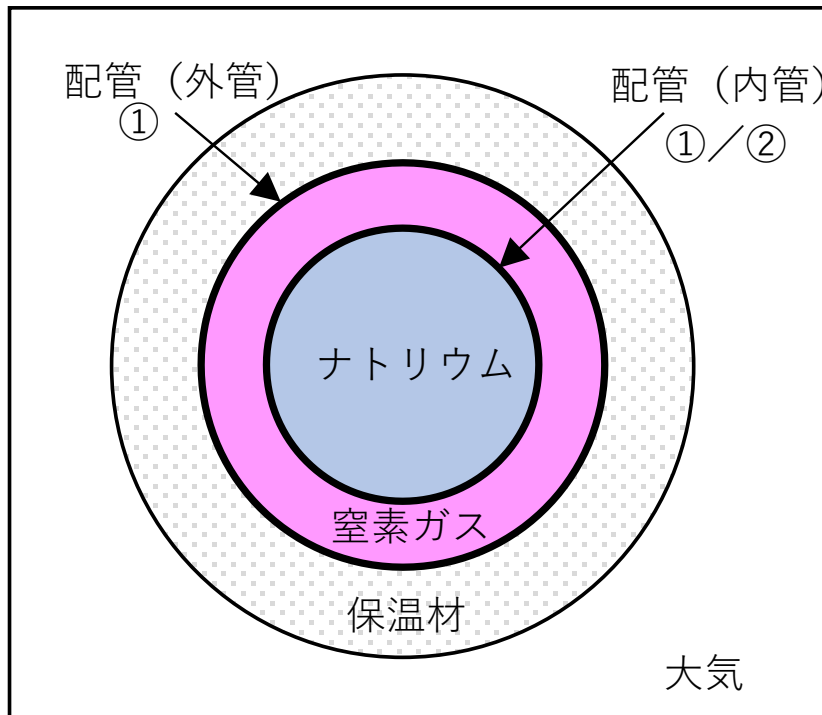
冷却材のバウンダリの減肉の要因には、「ナトリウム環境における腐食」、「流動による浸食（エロージョン）」及び「大気環境における腐食」がある。

これらのうち、冷却材のバウンダリの減肉の主要因は、「ナトリウム環境における腐食」であり、冷却材のバウンダリの肉厚は、以下により管理する。

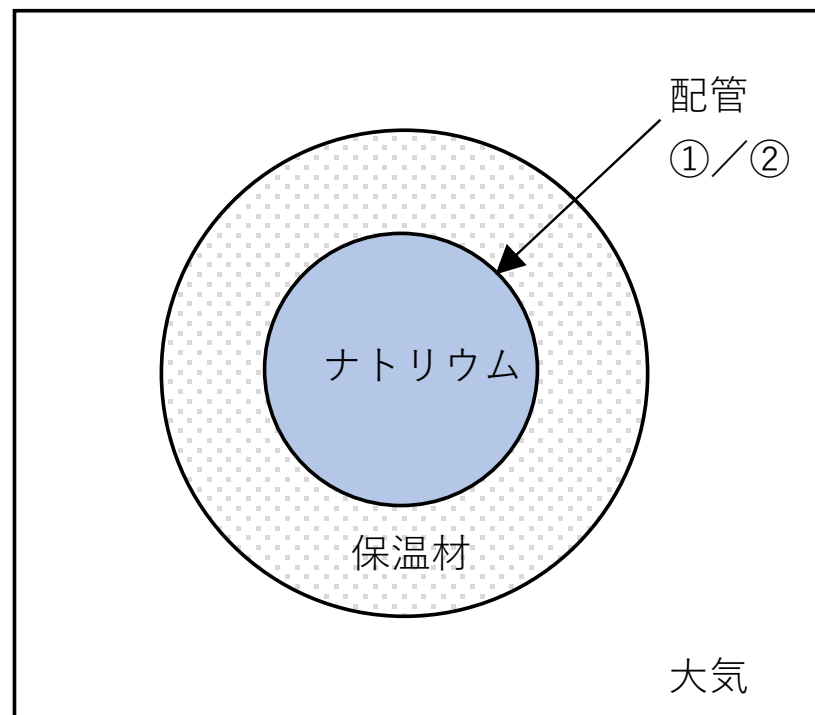
- ・ 腐食代の確保
- ・ ナトリウム中の溶存酸素濃度を十分に低く維持（腐食環境排除）

なお、1次冷却系にあっては、配管エルボの側面を代表点とし、2次冷却系にあっては、主冷却器の伝熱管を代表点とし、外観を目視確認できる（主冷却器の伝熱管にあっては、「大気環境における腐食」も考慮し、定期的に肉厚を測定）。

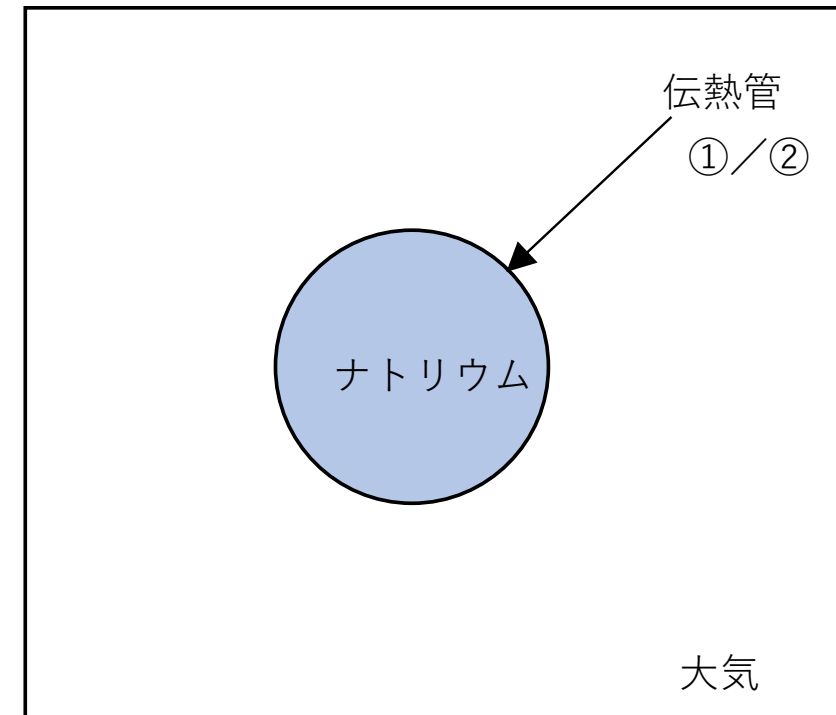
- ① 腐食代の確保（管理対象：ナトリウムと配管の接触面、配管と大気の接触面（保温材の有無は考慮しない）及び伝熱管と大気の接触面）
- ② 腐食環境排除（管理対象：ナトリウムと配管の接触面）



(a) 1次冷却系（二重管構造部）



(b) 1次冷却系の一部  
及び2次冷却系



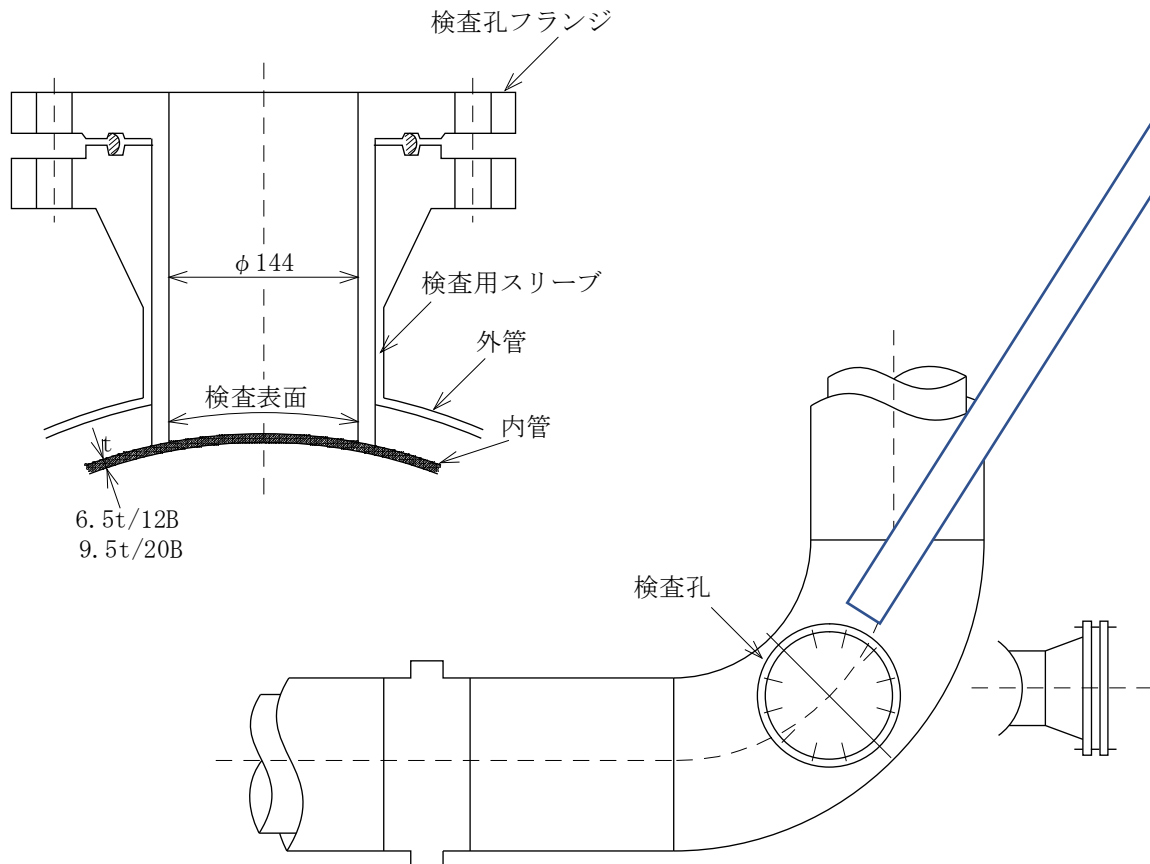
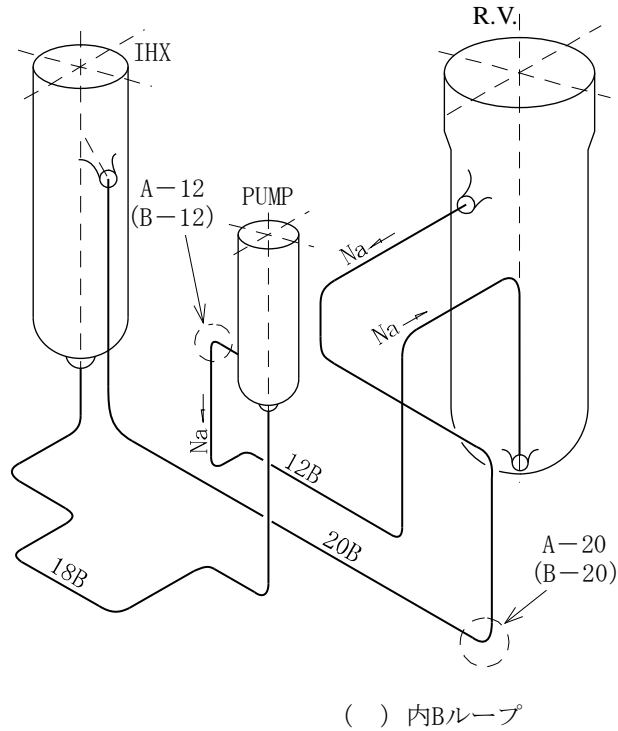
(c) 2次冷却系の主冷却器  
及び補助冷却器の伝熱管

冷却材のバウンダリの環境の概念図と肉厚管理の対象部位



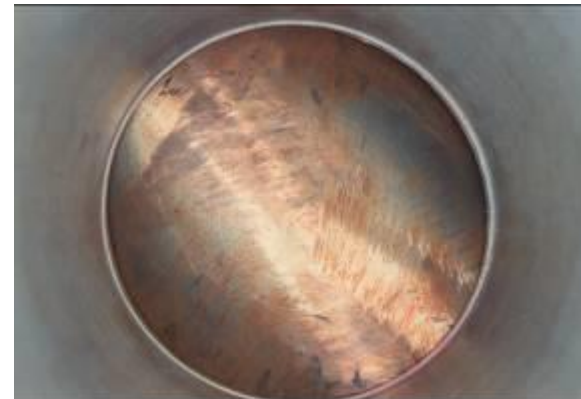
# ナトリウム漏えいの防止 (6/7) -冷却材のバウンダリの肉厚管理の考え方 (2/3) -

## 【1次冷却系の外観確認】



昭和55年12月1日  
(第2回施設定期検査)

平成17年7月21日  
(第14回施設定期検査)



ホットレグ (例：Aループ)

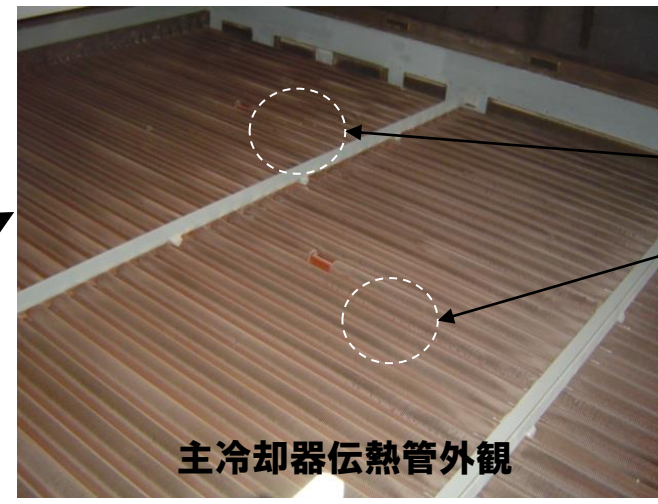
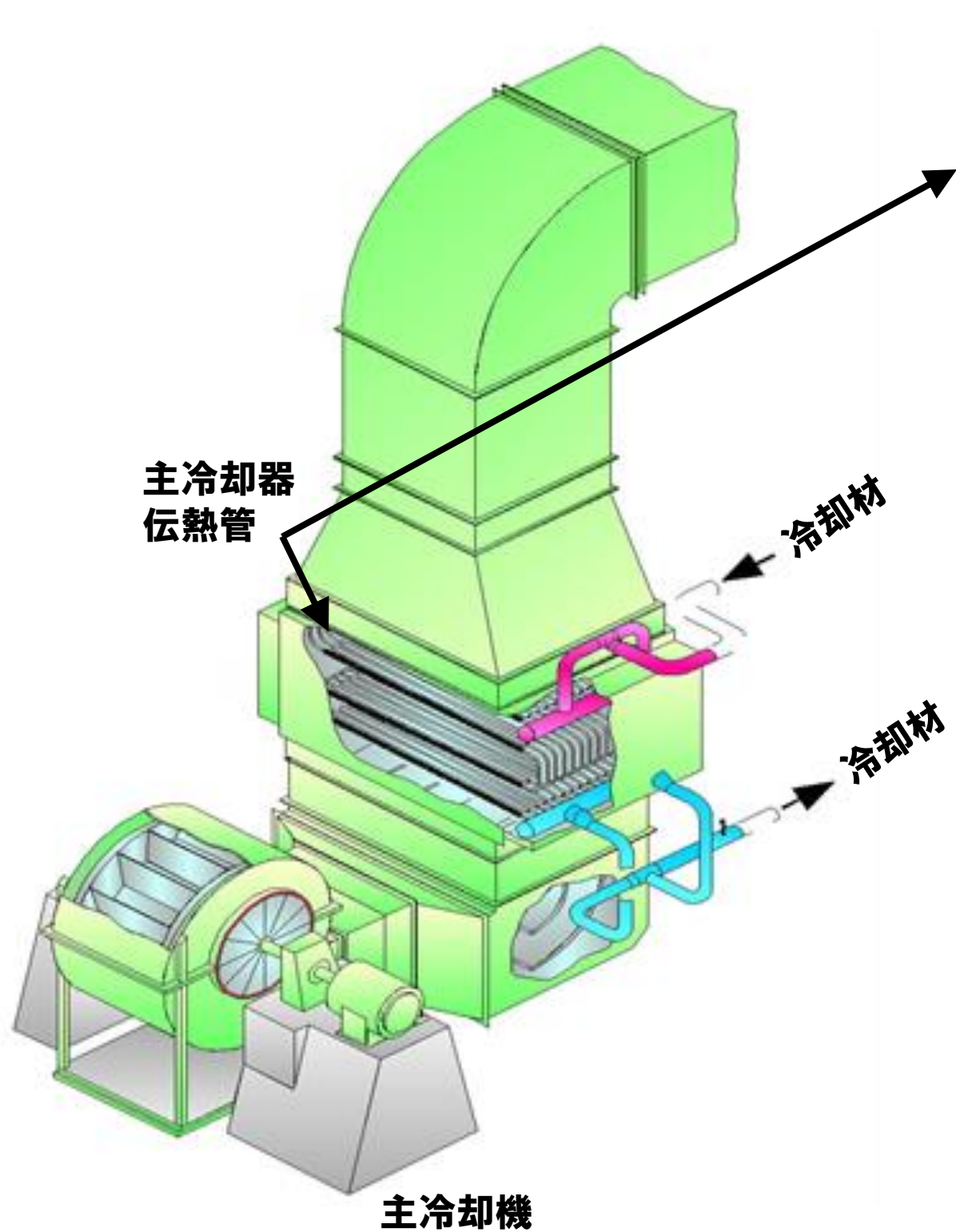


コールドレグ (例：Aループ)



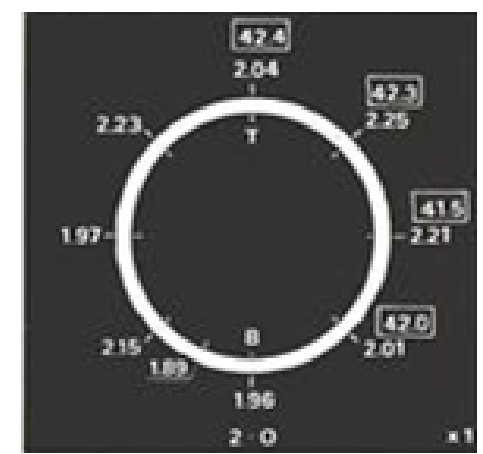
# ナトリウム漏えいの防止 (7/7) -冷却材のバウンダリの肉厚管理の考え方 (3/3) -

## 【2次冷却系の外観確認】



### 過去の主冷却器伝熱管の肉厚確認結果 (一例)

※ 想定した腐食代を下回り、必要な肉厚を有する。



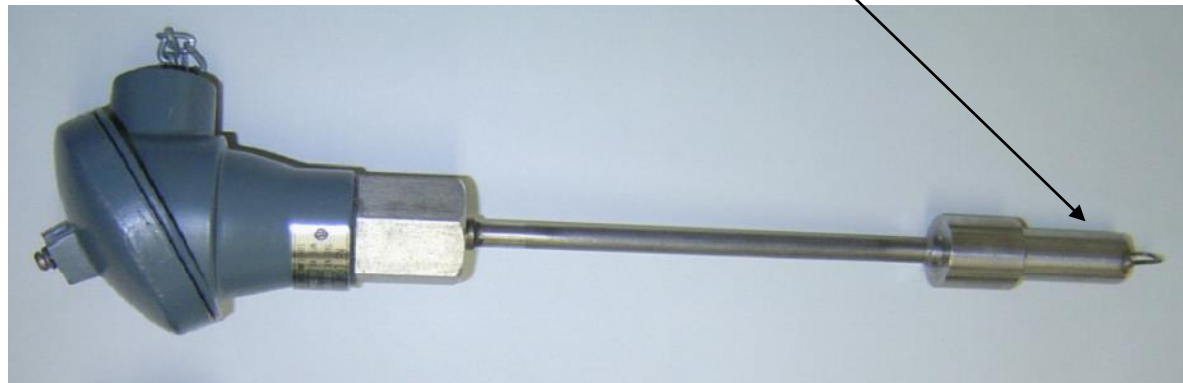
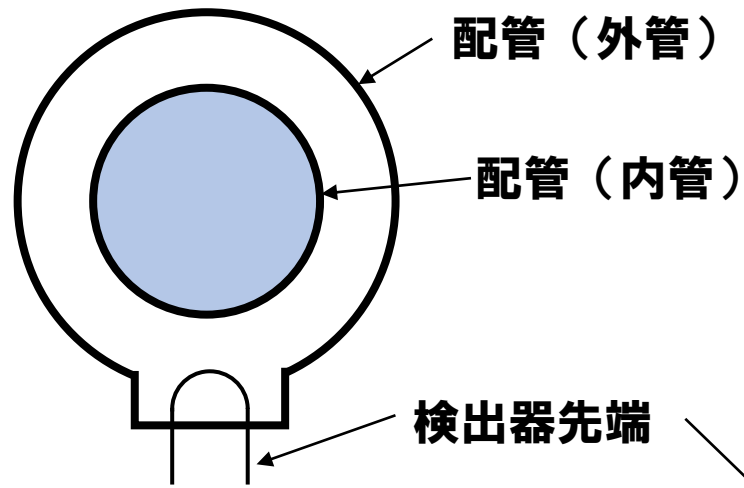
- ナトリウム漏えいの検知には、ナトリウム漏えい検出器を用いる。原子炉冷却材バウンダリ及び冷却材バウンダリを構成する配管・機器（主冷却器及び補助冷却器を除く。）には、通電式の検出器を用いる。主冷却器及び補助冷却器には、その構造に鑑み、光学式の検出器を用いる。
- 通電式の検出器は、電極とシース保護管又はアースがナトリウムにより短絡されることを利用した回路と、光学式の検出器は、ナトリウムの燃焼によって生じる白煙により光の透過率が減少することを利用した回路とすることにより誤作動を防止する（平常時の状況（通電式：短絡の有無／光学式：煙の濃度）を監視し、かつ、火災現象（短絡の発生又は煙の濃度）を把握することが可能）。なお、ナトリウム漏えい検出器の作動に伴い作動する自動消火設備は有しない。
- ナトリウムの漏えい検知に用いる設備は、外部電源喪失時に、その機能を喪失することがないように、非常用電源設備より電源を供給する。
- ナトリウム漏えい検出器が作動した場合には、中央制御室に警報を発し、かつ、ナトリウムが漏えいした場所を特定できるものとする。なお、2次冷却材を内包する配管及び機器を設置する場所（格納容器（床下）を除く。）には、監視用ITVを設置し、中央制御室のモニタにより、その状況を確認できるものとする。



# ナトリウム漏えいの検知 (2/7)

## -ナトリウム漏えい検出器の構造 (1/2) -

【通電式ナトリウム漏えい検出器（プラグ型）】



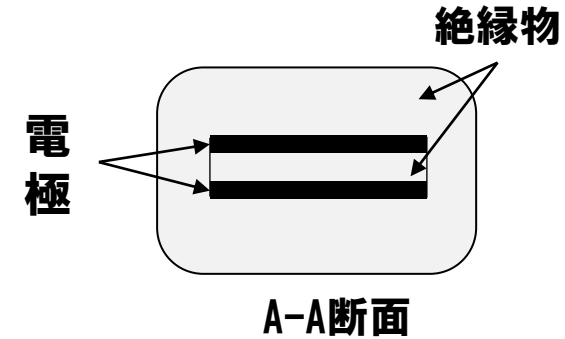
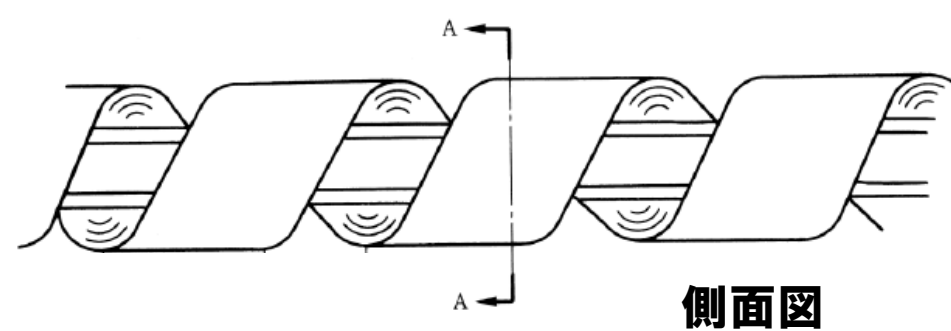
### ○ 動作原理

検出器先端と電極シース保護管との間に直流電圧が印加されており、ナトリウム漏えいが生じて検出器に到達すると、電極とシース保護管がナトリウムによって短絡されることを利用。

### ○ 適用箇所

- ・ 1次冷却系
- ・ 2次冷却系の一部（弁ベローズ等）

【通電式ナトリウム漏えい検出器（リボン型）】



### ○ 動作原理

2つの電極が、絶縁物を間にして平行に配置されており、各電極とアースとの間に直流電圧が印加されており、ナトリウム漏えいが生じて検出器に到達すると、電極とアースがナトリウムによって短絡されることを利用。

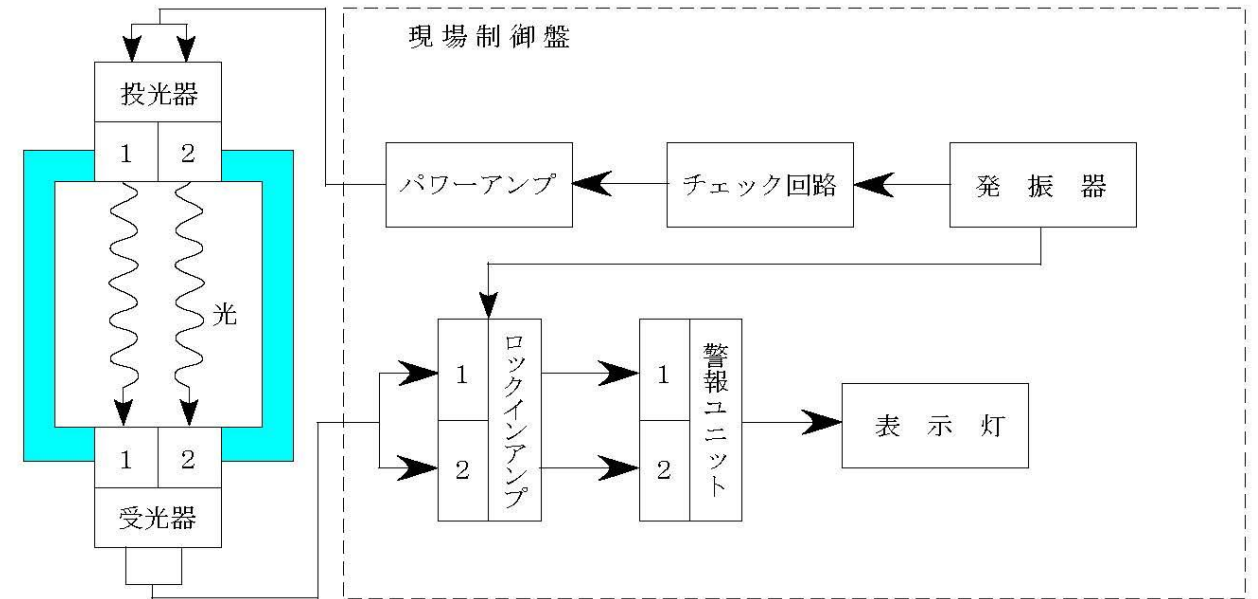
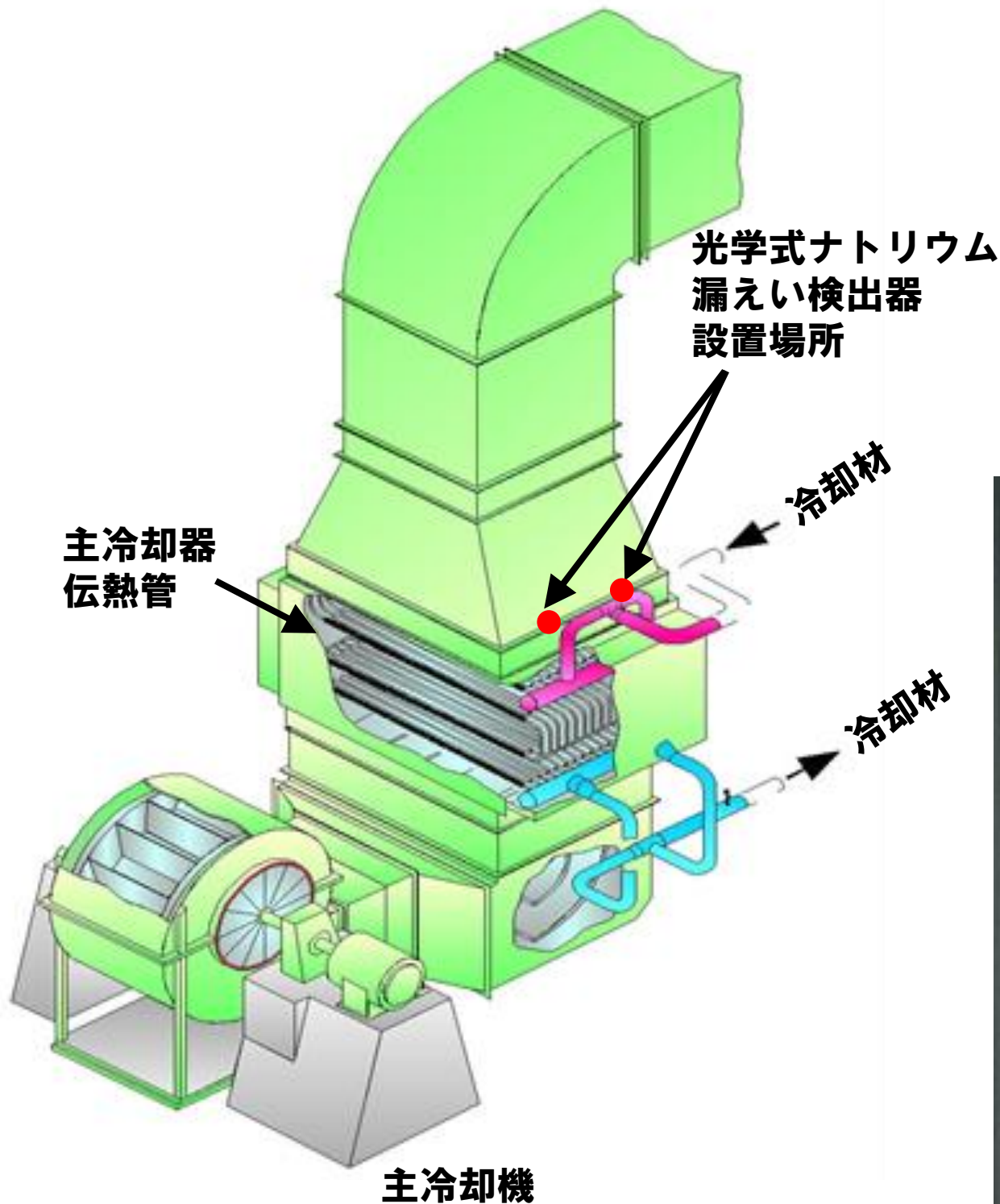
### ○ 適用箇所

- ・ 2次冷却系（配管）

# ナトリウム漏えいの検知 (3/7)

## -ナトリウム漏えい検出器の構造 (2/2) -

### 【光学式ナトリウム漏えい検出器】



現場制御盤

### ○ 動作原理

空気冷却器内で、ナトリウム漏えいが発生した場合に、ナトリウムの燃焼によって生じる白煙（ナトリウムエアロゾル等）により、光の透過率が減少することを利用。

### ○ 適用箇所

- ・主冷却器
- ・補助冷却器

ナトリウム漏えいの検知（4/7）  
-ナトリウム漏えい検出器の配置（1/2）-

【基本方針】

ナトリウム漏えい検出器は、ナトリウムを内包する配管及び機器の破損に伴うナトリウムの漏えいを検知できるようにナトリウムを内包する配管及び機器の構造等を考慮して適切に配置する。

【1次系（原子炉冷却材バウンダリ）】

原子炉冷却材バウンダリに該当する配管及び機器は、配管（内管）と配管（外管）で構成される二重構造を有する。当該構造を踏まえるとともに漏えいの可能性が相対的に高い配管のエルボ部の配置も考慮した上で、二重構造の間隙の水平部に通電式（プラグ型）のナトリウム漏えい検出器を配置する。また、構造上、漏えいの可能性が相対的に高いベローズ構造を有する弁のベローズ部にも通電式（プラグ型）のナトリウム漏えい検出器を配置する。

【1次系（原子炉冷却材バウンダリを除く。）】

原子炉冷却材バウンダリを除き1次冷却材を内包する配管及び機器（容器、ポンプ及び弁）にあっては、配管部からの漏えいも検知できるように配管等の外側に金属製のシートを敷設し、金属製のシートの内側に通電式（プラグ型）のナトリウム漏えい検出器を設置する。

ナトリウム漏えいの検知 (5/7)  
-ナトリウム漏えい検出器の配置 (2/2) -

**【 2次系（主冷却器及び補助冷却器を除く。） 】**

2次冷却材を内包する配管及び機器（主冷却器及び補助冷却器を除く。）においては、漏えいの可能性が相対的に高い配管のエルボ部の配置も考慮した上で、適切な間隔で配管と金属製のシートの間に通電式（リボン型）のナトリウム漏えい検出器を配置する。また、構造上、漏えいの可能性が相対的に高いベローズ構造を有する弁のベローズ部にも通電式（プラグ型）のナトリウム漏えい検出器を配置する。

**【 2次系（主冷却器及び補助冷却器） 】**

主冷却器及び補助冷却器の伝熱管は、その機能上、外気と直接接触する。当該構造に鑑み、主冷却器及び補助冷却器の出口ダクトに光学式のナトリウム漏えい検出器を配置する。

# ナトリウム漏えいの検知（6/7）

## -中央制御室における監視（1/2）-

ナトリウム漏えい検出器の作動により、中央制御室に警報が発せられる。当該警報により、運転員は、中央制御室において、ナトリウム漏えいを検知できる。

### 【1次冷却系】

中央制御室の「1次制御盤」において、警報の発生を確認した後、同盤によりナトリウム漏えい検出器の作動した場所（系統）を確認。

<原子炉附属建物2階>

核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。

核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。

核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。

<中央制御室（A-712）>

核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。

<1次制御盤>

※：系統ごとのナトリウム漏えい検出器の作動状況を確認可能。なお、ナトリウム漏えい検出器ごとの作動状況は、原子炉附属建物1階の1次冷却系現場制御室（中央制御室からの移動時間：約2分）で確認可能



# ナトリウム漏えいの検知 (7/7) -中央制御室における監視 (2/2) -

## 【2次冷却系】

中央制御室の「2次制御盤」において、警報の発生を確認した後、同室の「2次ナトリウム漏えい警報盤」に移動し、ナトリウム漏えい検出器の作動した場所（ブロック）を確認。

<原子炉附属建物2階>

核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。

<2次ナトリウム漏えい警報盤>



<2次制御盤>

核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。

核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。



※：ブロック（基本的には部屋）ごとのナトリウム漏えい検出器の作動状況を確認可能

核物質防護情報（管理情報）が含まれているため公開できません。

- ナトリウム燃焼の感知は、ナトリウムの漏えいの検知を起点とするものとし、ナトリウム漏えい検出器で兼用する。
- ナトリウム漏えい検出器は、以下により「火災防護基準」に適合する。
  - 平常時の状況（通電式：短絡の有無／光学式：煙の濃度）を監視し、かつ、火災現象（短絡の発生又は煙の濃度）を把握することができること。
  - ナトリウム漏えい検出器が作動した場合には、中央制御室に警報を発し、かつ、ナトリウムが漏えいした場所を特定することができること。
  - 外部電源喪失時に、その機能を喪失することがないように、非常用電源設備より電源を供給すること。
- 火災防護対象機器を設置する火災区域又は火災区画には、「火災防護基準」の「火災感知設備」に要求される事項に適合する感知設備として、一般火災に対応するための火災感知器を設置する（基本的に、光電アナログ式スポット型煙感知器及び熱アナログ式スポット型熱感知器を使用）。当該感知器の動作原理より、ナトリウム燃焼の感知にも適用できる。【火災感知器の詳細については、一般火災における説明において提示】