

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	補足-100-1 改3
提出年月日	平成30年8月7日

工事計画に係る補足説明資料

発電用原子炉施設の蒸気タービン、ポンプ等の
損壊に伴う飛散物による損傷防護に関する説明書

補足-100-1

平成30年8月

日本原子力発電株式会社

補足説明資料目次

1. 配管破損防護対策について
2. ディーゼル駆動補機及びタービン駆動補機の評価対象及び過速度トリップ設定値について
3. 常設高圧代替注水ポンプの構造及び調速装置・非常調速装置の作動方式について

1. 配管破損防護対策について

目 次

1. 原子力発電所配管破損防護設計技術指針・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2. 配管ホイップレストレイントについて・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
3. 障壁について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
4. 原子炉冷却材圧力バウンダリの配管破損による損傷防護について・・・・・・4

1. 原子力発電所配管破損防護設計技術指針

「原子力発電所配管破損防護設計技術指針 J E A G 4613-1998」（日本電気協会）による配管破損防護に関する設計の方法を以下に示す。

第3章 防護設計の方法

3.5 防護設計の実施

配管の破損に対して防護対象の機能を確保し、また配管破損による派生事象が安全評価上の「事故」の規模を上回らないように、防護設計は次の基本的な考え方にに基づき行うものとする。

- i) 破損想定配管と防護対象は、相互に距離を離す。
- ii) 隔壁（建屋区画室等）を設ける。
- iii) 配管破損による動的影響を防護対象に与えないため及び想定事象を緩和するため、パイプホイップレストレイント等の設置及び主要機能の支持設計を行う。

〔解説〕

（解説3-4）強度評価

- (2) 告示の規定対象外の設備（パイプホイップレストレイント，建屋構築物）は，その機能維持を図る。

告示の規定対象外の設備の許容状態を以下に示す。

a. パイプホイップレストレイント

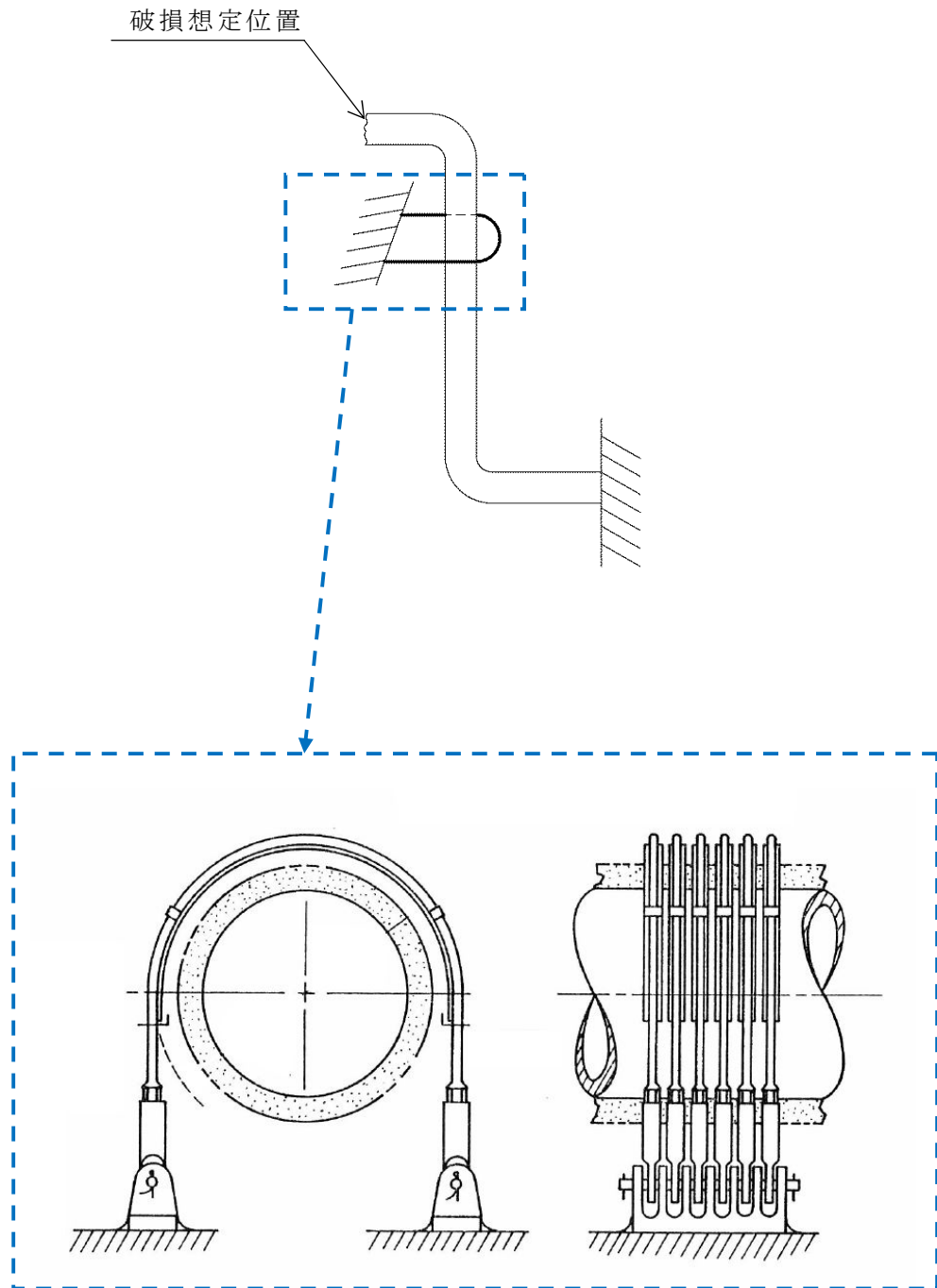
配管とパイプホイップレストレイントの衝突時に消散される運動エネルギーをレストレイントの塑性域まで考慮し吸収できる設計とする。

b. 隔壁

破断配管が隔壁に打撃を与えても隔壁外の防護対象に損傷を与えることのないように設計する。

2. 配管ホイップレストレイントについて

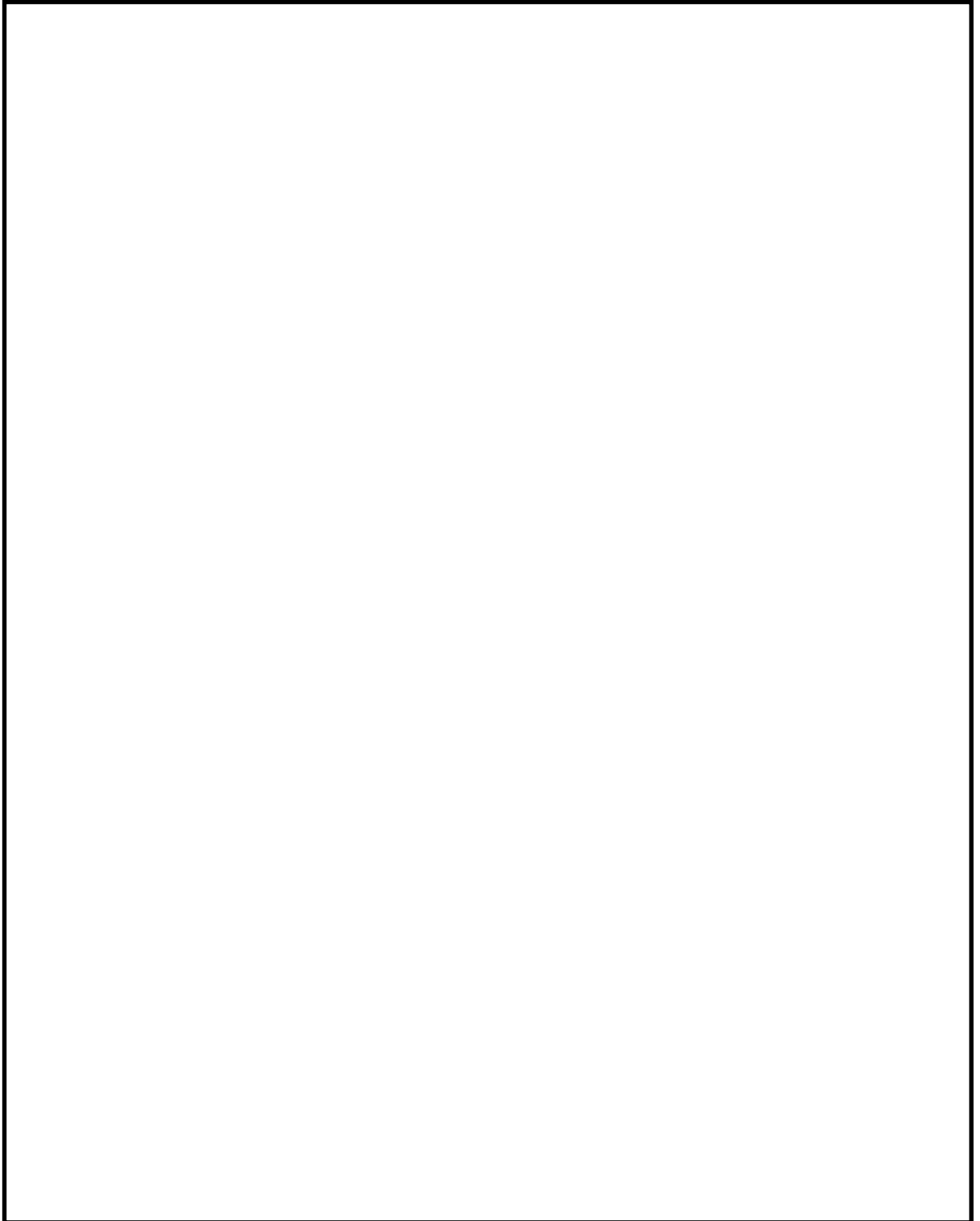
配管破損防護設計上の防護対象としての配管ホイップレストレイントについての構造例を第1図に示す。



第1図 配管パイプホイップレストレイント構造図（例）

3. 障壁について

原子炉冷却材圧力バウンダリの拡大範囲（RCPB拡大範囲）となる主配管の配置及び障壁による区画を第2図に示す。



第2図 障壁による区画図

4. 原子炉冷却材圧力バウンダリの配管破損による損傷防護について

4.1 概要

「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第15条第4項及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に基づき、配管の破損に伴う飛散物により発電用原子炉施設の安全性を損なわない設計とすることについて説明するものである。

配管破損に関しては、設計基準対象施設に属する設備のうち新規基準において拡大となった原子炉冷却材圧力バウンダリ（以下「RCPB」という。）の範囲を除く、既存のRCPB範囲について配管破損に伴う飛散物により、発電用原子炉施設の安全性を損なわない設計を行うことについて説明する。

4.2 基本方針

設計基準対象施設に属する設備は、内部発生エネルギーの高い流体を内蔵する配管の破損に伴う飛散物により安全性を損なわない設計とする。

内部発生エネルギーの高い流体を内蔵する配管については、材料選定、強度設計に十分な考慮を払うとともに、「原子力発電所配管破損防護設計技術指針 J E A G 4613-1998」（日本電気協会）（以下「J E A G 4613」という。）に基づき配管破損を想定し、その結果生じる可能性のある動的影響により、発電用原子炉施設の機能が損なわれることのないよう配置上の考慮を払うこととする。

なお、配管破損想定位置の想定にあたって、応力算出には地震動 S_d を用いる。

4.3 評価

発電用原子炉施設の安全性を損なうことが想定される内部発生エネルギーの高い流体を内蔵する配管の破損に伴う飛散物により、発電用原子炉施設の安全性を損なわないことを評価する。

4.3.1 内部発生エネルギーの高い流体を内蔵する配管の破損による飛散物

4.3.1.1 評価方針

高温高圧の流体を内包する原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する主配管のうち既存のRCPB範囲について、J E A G 4613に基づき配管破損を想定し、以下の評価内容により評価し、設計上考慮する。なお、L B B 概念は適用しない。

ただし、J E A G 4613に記載されている基準地震動 S_1 については、弾性設計用地震動 S_d と読み替える。また、「発電用原子力設備に関する

構造等の技術基準」(昭和55年通商産業省告示第501号,最終改正平成15年7月29日経済産業省告示第277号)に関する内容については、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007)追補版含む。))<第I編 軽水炉規格> J S M E S N C 1 - 2005/2007」(日本機械学会)(以下「J S M E S N C 1」という。)に従うものとする。

4.3.1.2 評価内容

評価においては、配管破損想定位置を考慮したうえで、防護対象を防護する。

(1) 防護対象

防護対象は、原子炉施設の異常状態において、この拡大を防止し、又は緩和する機能を有するもののうち、次のとおりとする。

- a. 原子炉停止系
- b. 炉心冷却に必要な工学的安全施設及び関連施設
- c. 原子炉冷却材喪失時に圧力障壁となり、かつ、放射性物質の放散に対する障壁を形成するよう設計された範囲の施設

(2) 配管破損想定位置

既存のRCPB範囲について、J E A G 4613に基づき、ターミナル・エンド及び発生応力又は疲労累積係数が所定の値を超える点を配管破損想定位置とする。

- a. ターミナル・エンド
- b. 供用状態A, B及び(1/3) S_d 地震荷重*に対して次のいずれかの条件を満たす点
 - (a) $S_n > 2.4 S_m$, かつ, $S_e > 2.4 S_m$
 - (b) $S_n > 2.4 S_m$, かつ, $S_n' > 2.4 S_m$

ただし, S_n : J S M E S N C 1 PPB-3531の計算式に準じて計算した一次+二次応力。

S_e : J S M E S N C 1 PPB-3536(6)の計算式に準じて計算した熱膨張応力。

S_n' : J S M E S N C 1 PPB-3536(3)の S_n の計算式に準じて計算した一次+二次応力。

S_m : J S M E S N C 1 付録材料図表 Part5表1に規定される材料の設計応力強さ。

(c) 疲労累積係数 > 0.1

ただし、上述する疲労累積係数は供用状態 A、B における疲労累積係数に $(1/3) S_d$ ($S_d - D1$, $S_d - 11$, $S_d - 12$, $S_d - 13$, $S_d - 14$, $S_d - 21$, $S_d - 22$ 及び $S_d - 31$) 地震のみによる疲労累積係数を加算したものとする。

注記* : S_d ($S_d - D1$, $S_d - 11$, $S_d - 12$, $S_d - 13$, $S_d - 14$, $S_d - 21$, $S_d - 22$ 及び $S_d - 31$) 地震とは、添付資料「V-2 耐震性に関する説明書」のうち、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針の概要」に示す弾性設計用地震動 $S_d - D1$, $S_d - 11$, $S_d - 12$, $S_d - 13$, $S_d - 14$, $S_d - 21$, $S_d - 22$ 及び $S_d - 31$ による動的地震力をいう。なお、弾性設計用地震動 S_d の概要は、添付書類「V-2 耐震性に関する説明書」のうち、添付書類「V-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す。

(3) 防護対策の実施

配管破損による動的影響により、他の安全機能を有する構築物、系統及び機器が損傷しないように、必要に応じ以下の措置を講じる設計とする。

- a. 配管破損想定位置と防護対象機器は、十分な離隔距離をとる。
- b. 配管破損想定位置又は防護対象機器を障壁で囲む。
- c. 上記のいずれかの対策がとれない場合、配管破損による動的影響に十分耐える配管ホイッププレストレイント等を設ける。

4.3.1.3 評価結果

既存のRCPB範囲における配管破損に関し、J E A G 4613に基づき評価した結果、発生応力又は疲労累積係数が所定の値を超える箇所及び各配管におけるターミナル・エンドがあり、配管破損を想定する箇所があることを確認した。

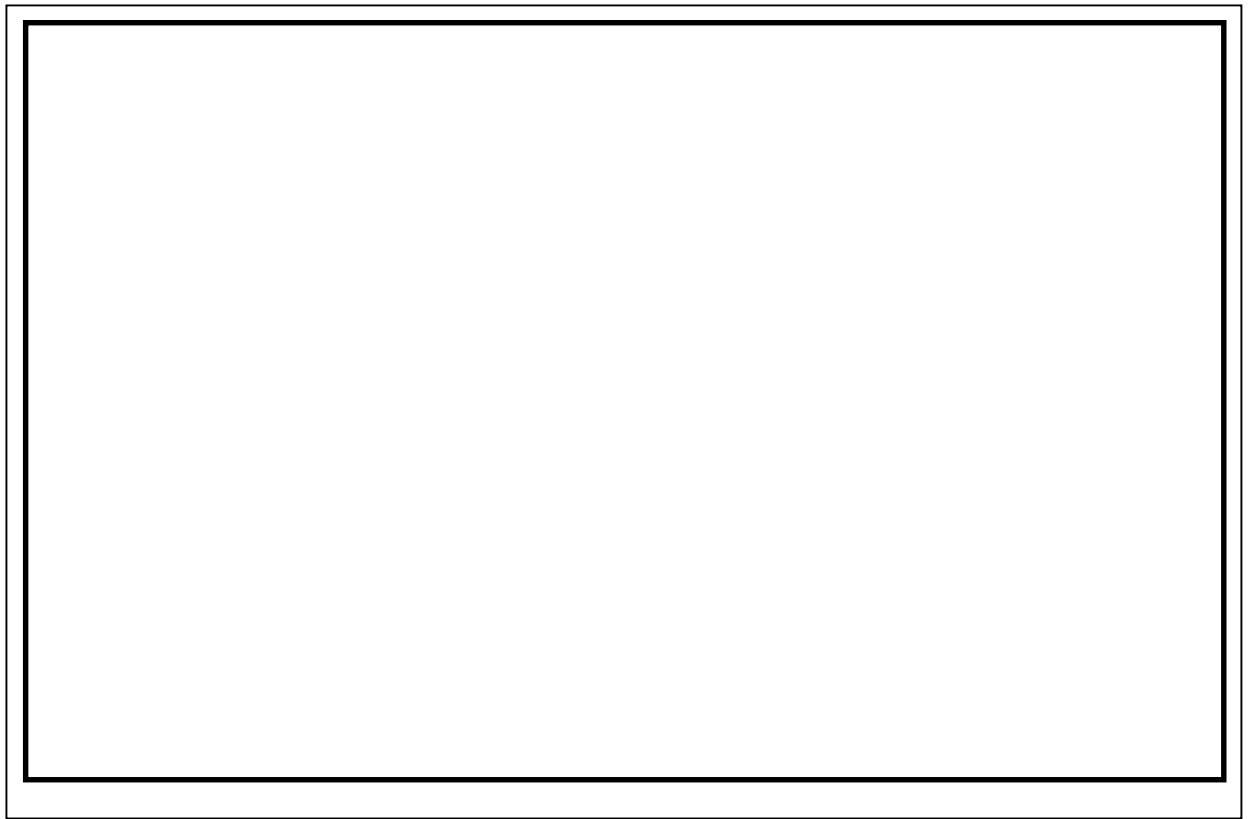
既存のRCPB範囲における配管破損想定位置を第1表に、各系統の配管鳥瞰図を第1図から第16図に示す。

これらの配管破損想定位置は必要な強度を有するパイプホイッププレストレイントが設置されている、又は設置されていない配管については、配管

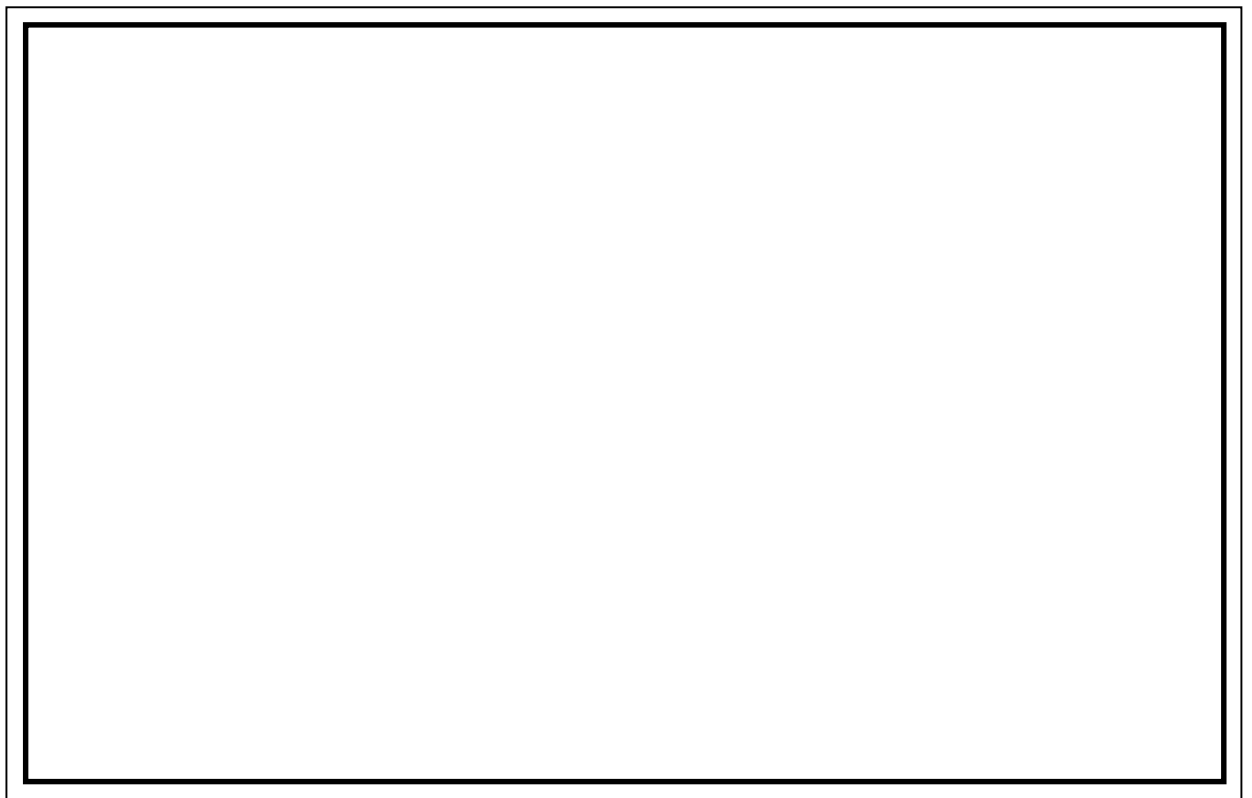
破損想定位置近傍に防護対象設備がないことを確認した。したがって、配管の破損に伴う飛散物により発電用原子炉施設の安全性は損なわれない。

第 1 表 RCPB 範囲における配管破損想定位置

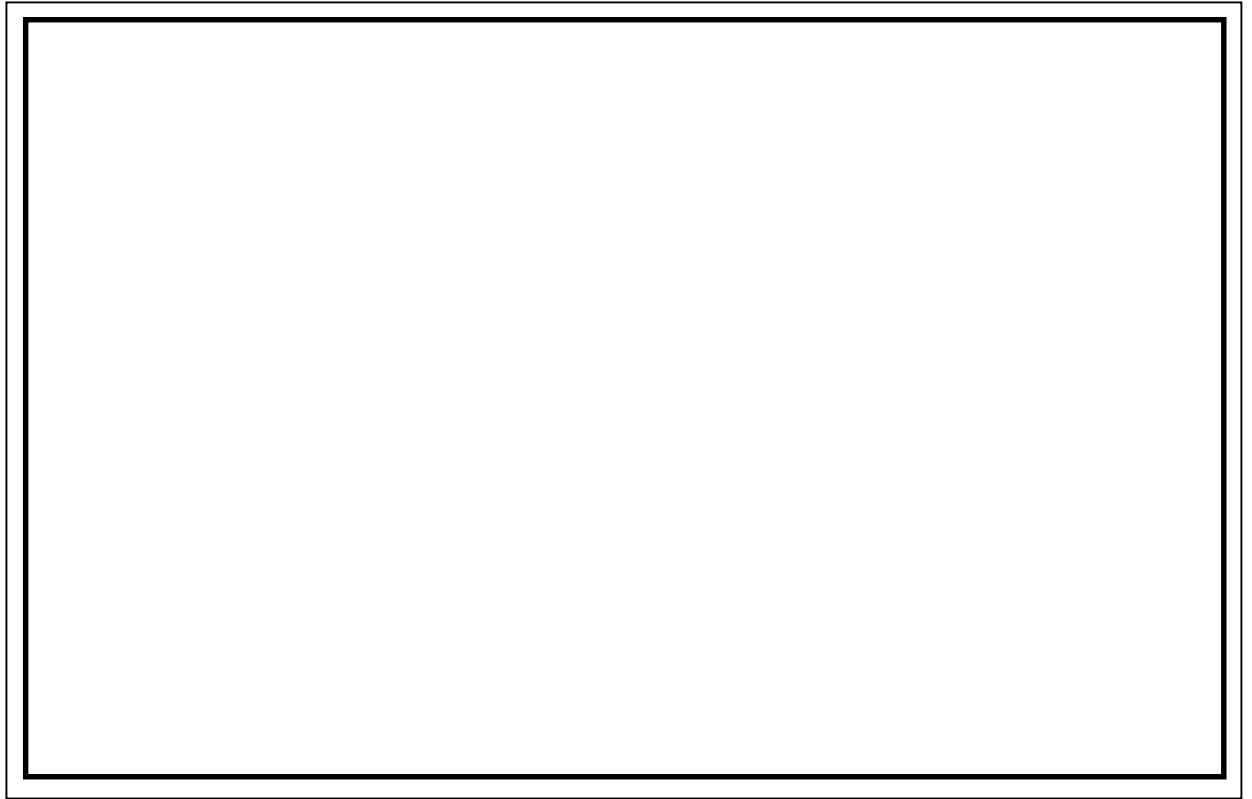
対象		配管破損想定位置の有無		パイプホイッププレストレイント設置の有無	破損想定位置近傍の防護対象設備の有無
系統名	モデル No.	ターミナル・エンド	発生応力又は疲労累積係数が所定の値を超える点		
給水系	FDW-1, 2, 3, 4, 9	有	有	有	—
	FDW-5, 6, 7, 8, 11	有	有	有	—
主蒸気系	MS-A	有	有	有	—
	MS-B	有	有	有	—
	MS-C	有	有	有	—
	MS-D	有	有	有	—
	MS-24	有	有	無	無
原子炉冷却材再循環系	PLR-PD-1	有	有	有	—
	PLR-PD-2	有	有	有	—
原子炉隔離時冷却系	RCIC-19, 20, 29	有	無	無	無
	RCIC-24-1	有	無	無	無
	RCIC-24-2	有	有	無	無
残留熱除去系	RHR-PD-29	有	無	有	—
	RHR-PD-35	有	無	有	—
	RHR-PD-36	有	無	有	—
原子炉冷却材浄化系	CU-PD-9	有	有	有	—



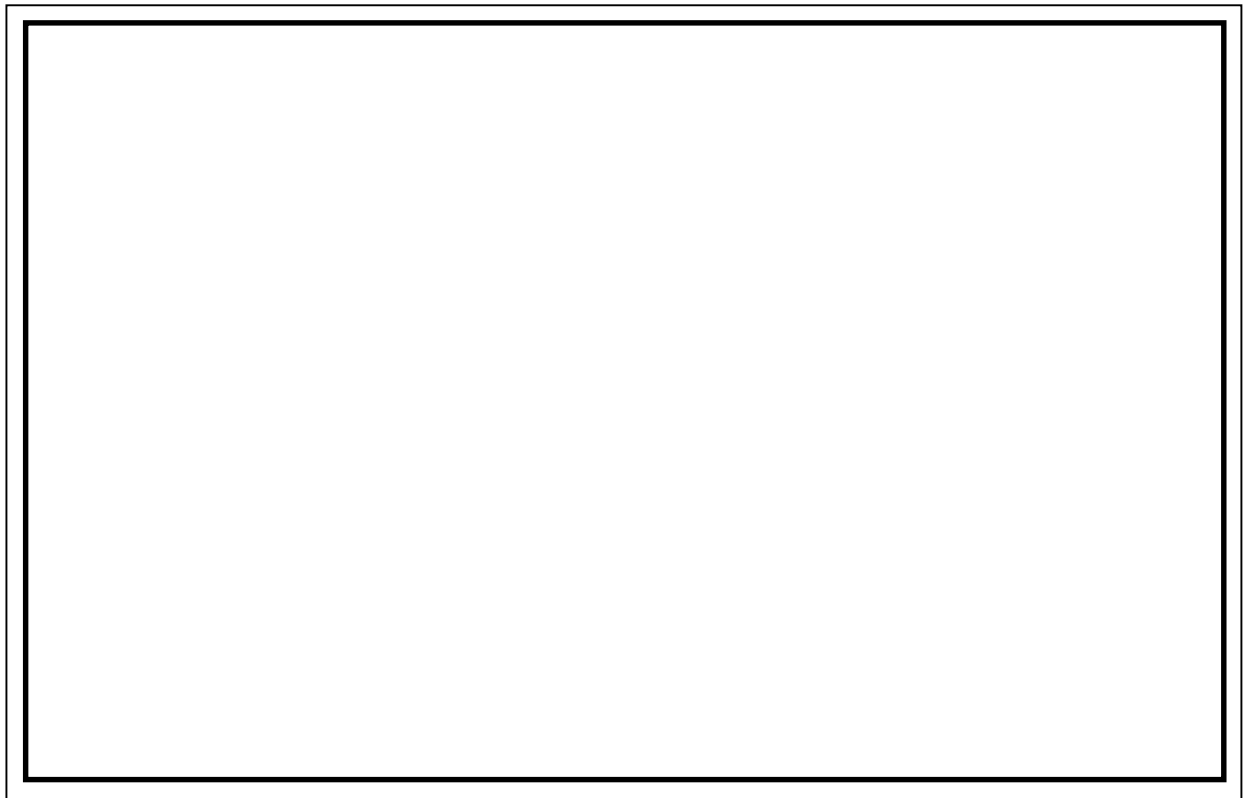
第 1 図 配管鳥瞰図（給水系 FDW-1, 2, 3, 4, 9）



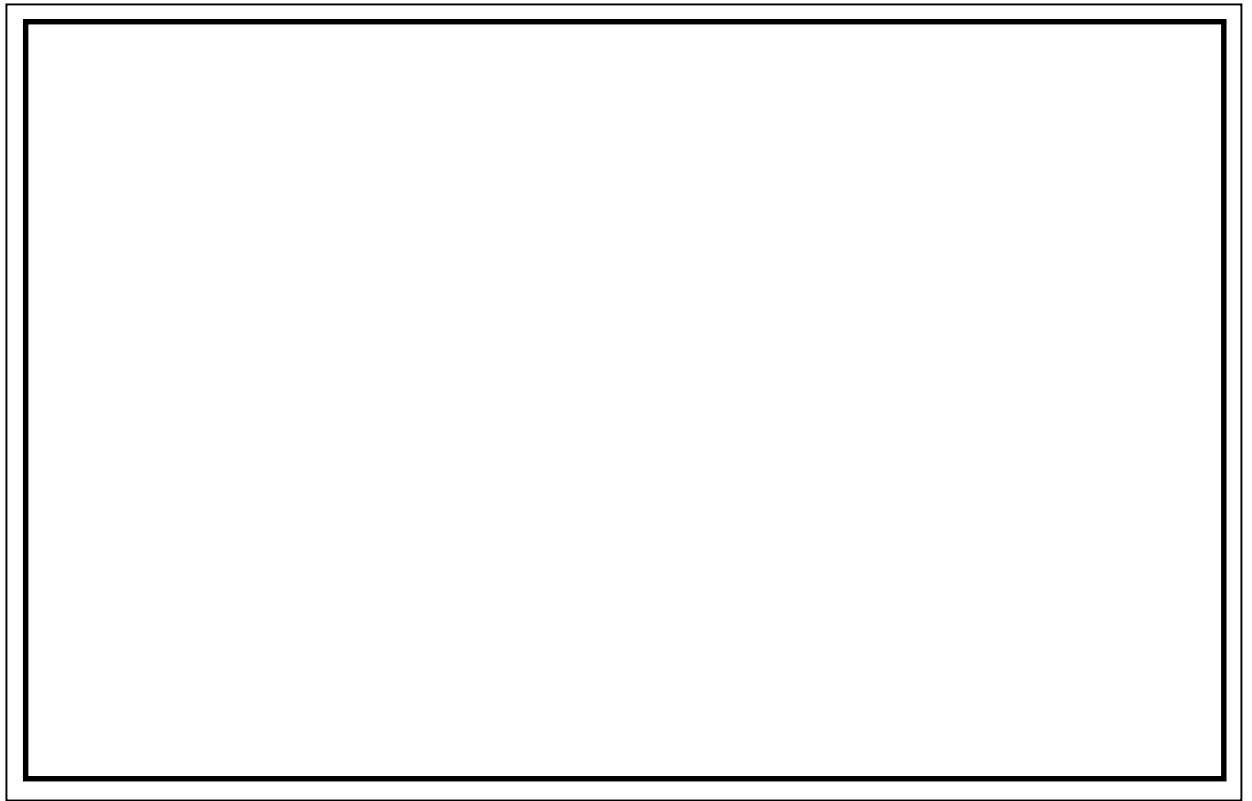
第 2 図 配管鳥瞰図（給水系 FDW-5, 6, 7, 8, 11）



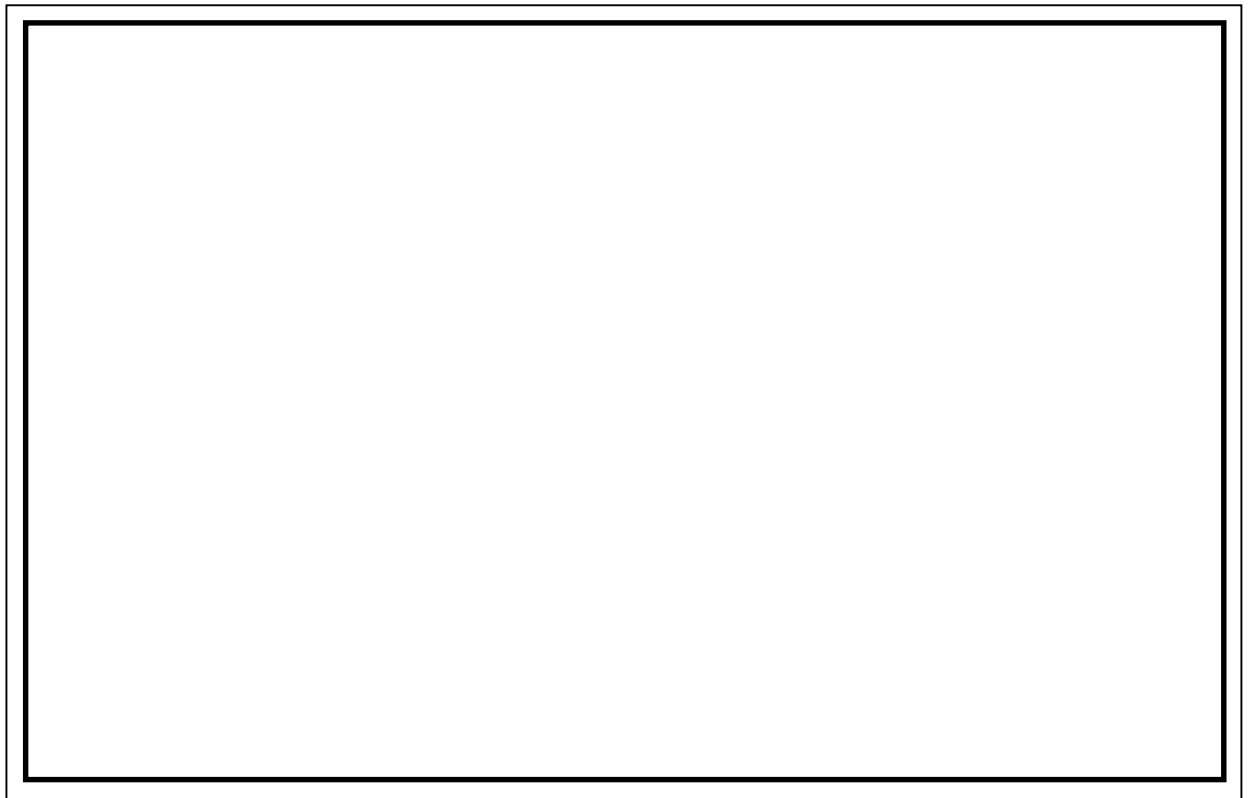
第 3 図 配管鳥瞰図（主蒸気系 MS-A）



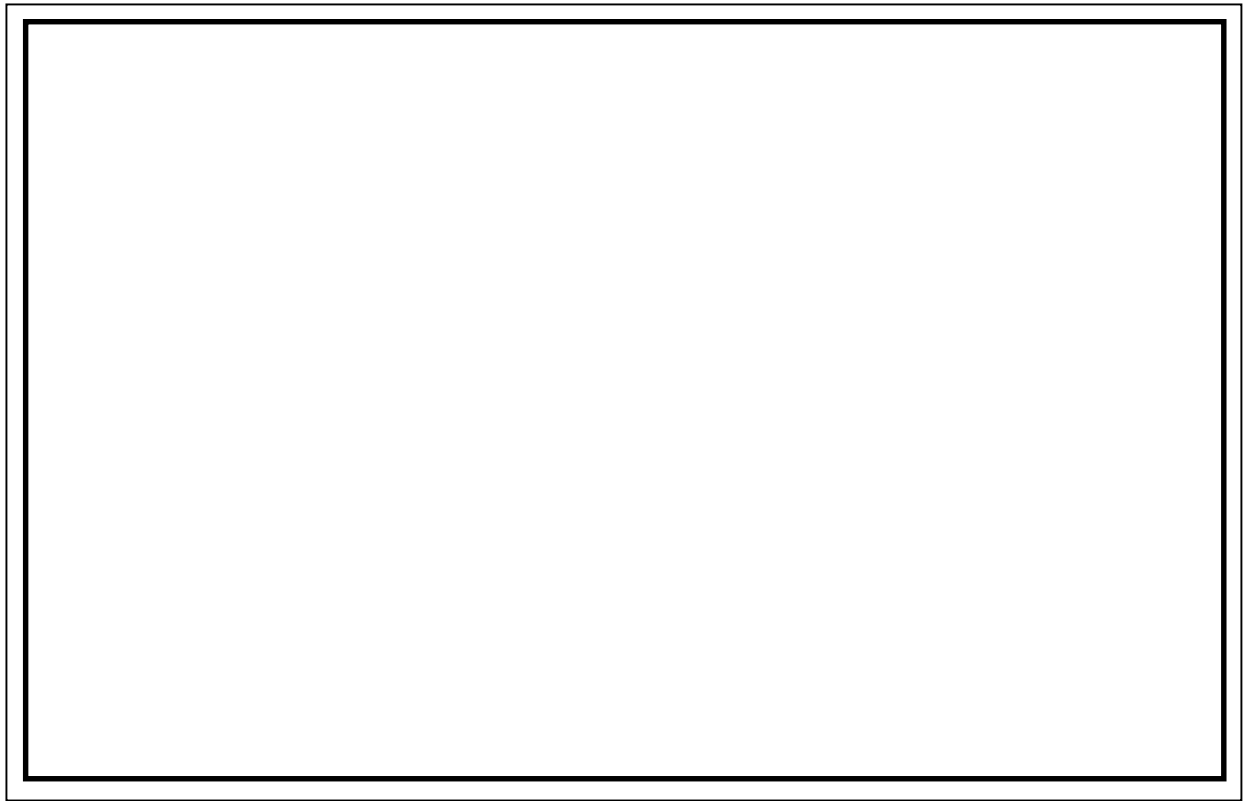
第 4 図 配管鳥瞰図（主蒸気系 MS-B）



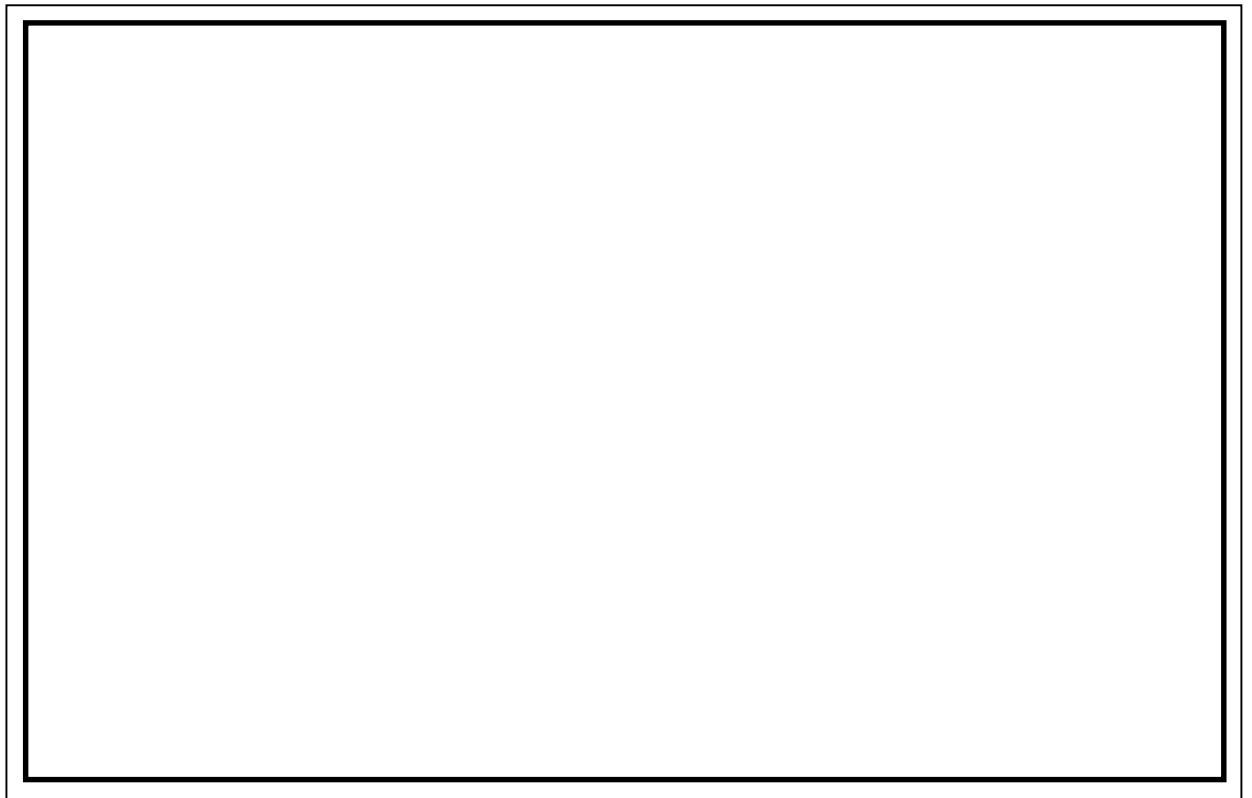
第 5 図 配管鳥瞰図（主蒸気系 MS-C）



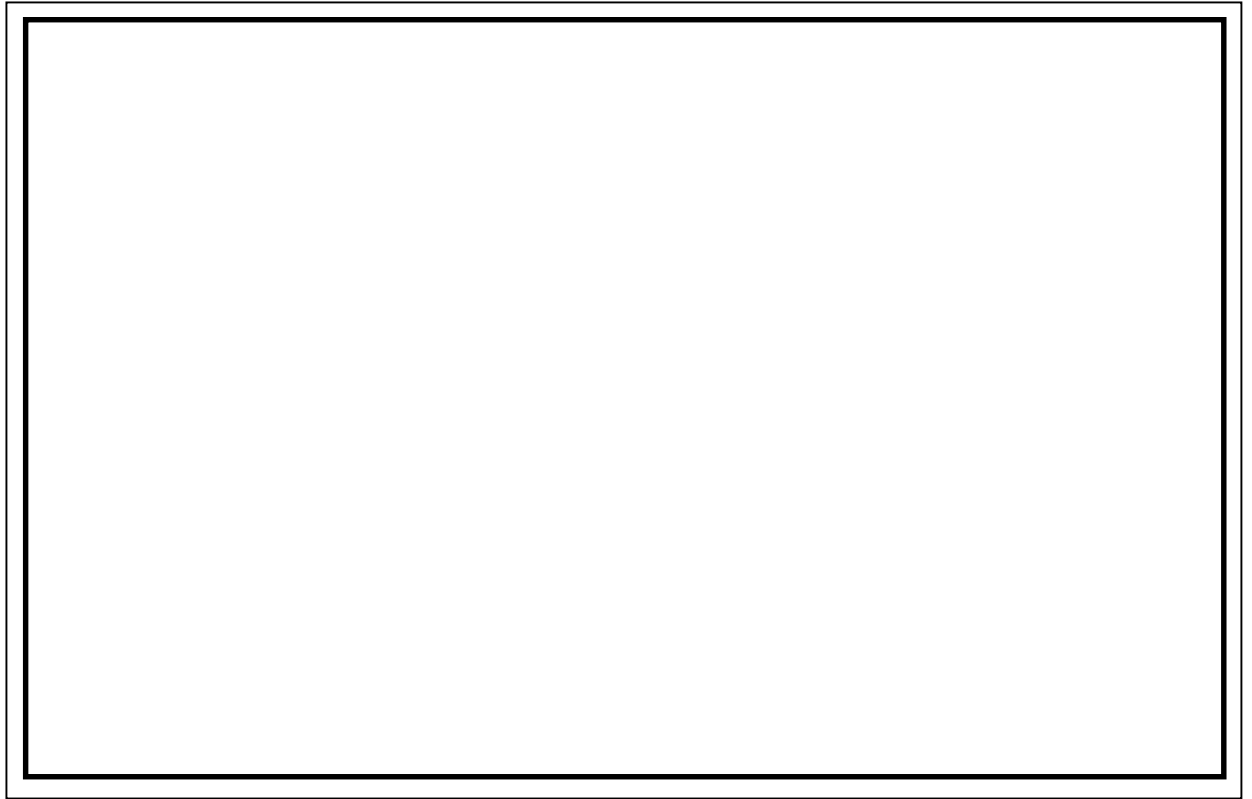
第 6 図 配管鳥瞰図（主蒸気系 MS-D）



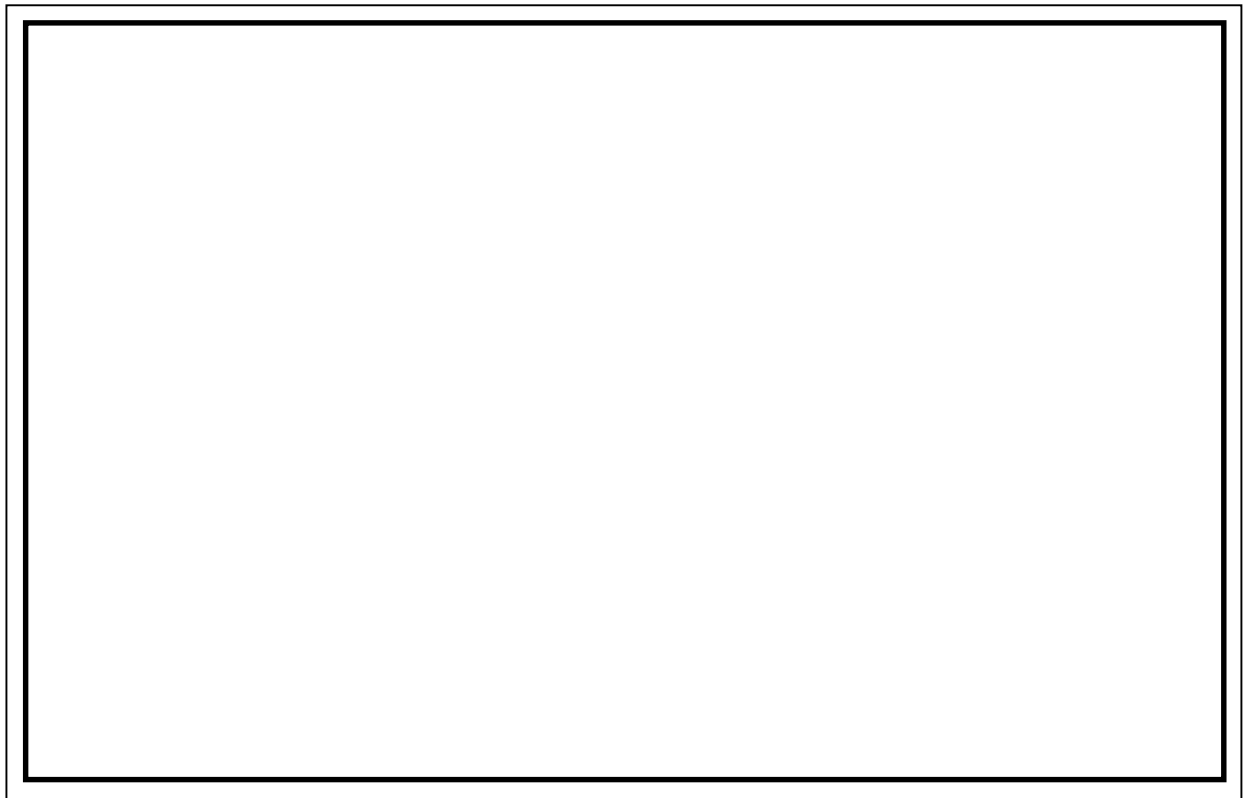
第 7 図 配管鳥瞰図（主蒸気系 MS-24）



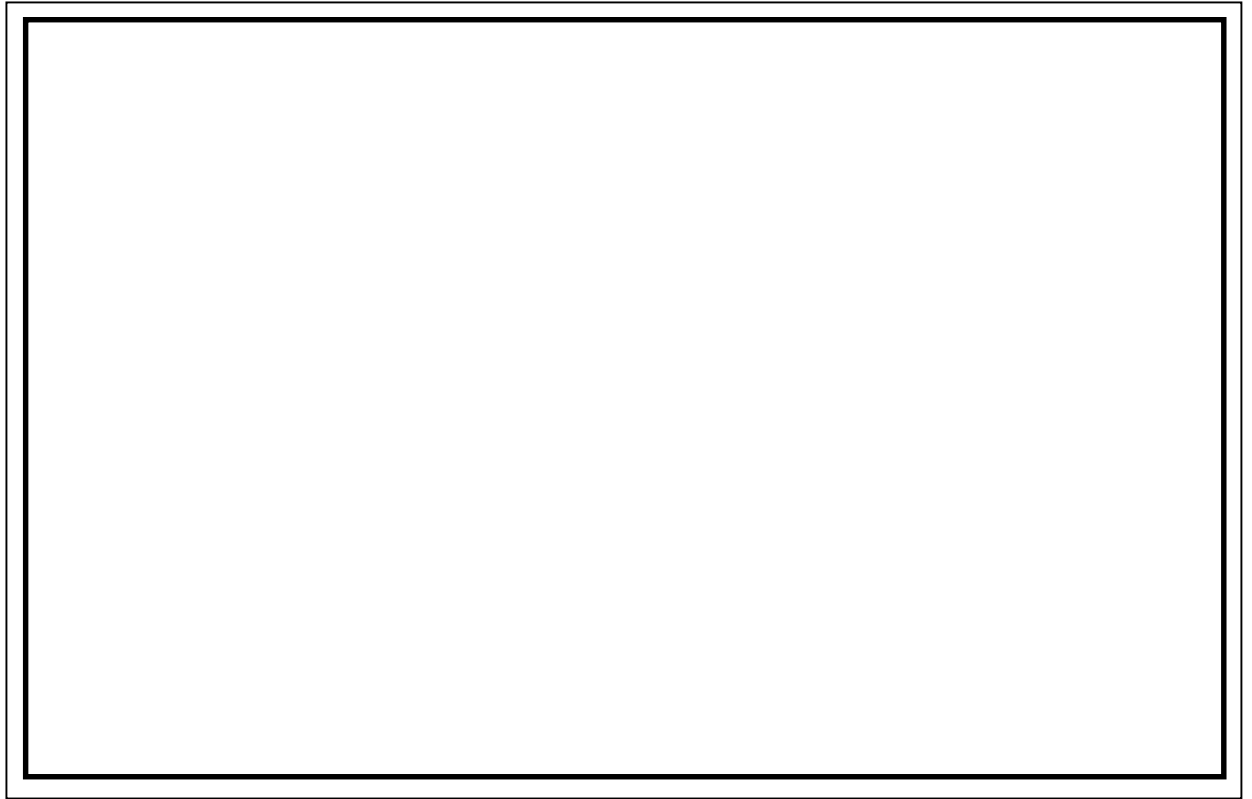
第 8 図 配管鳥瞰図（原子炉冷却材再循環系 PLR-PD-1）



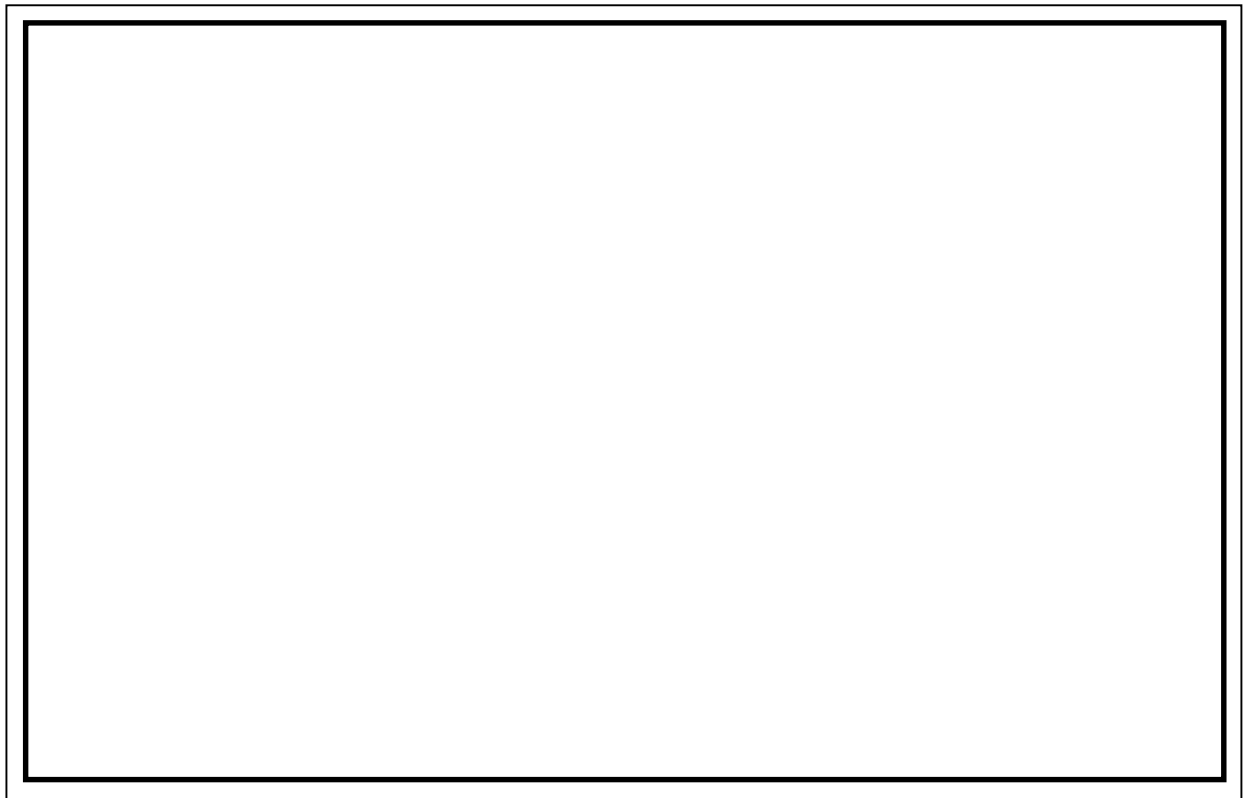
第 9 図 配管鳥瞰図（原子炉冷却材再循環系 PLR-PD-2）



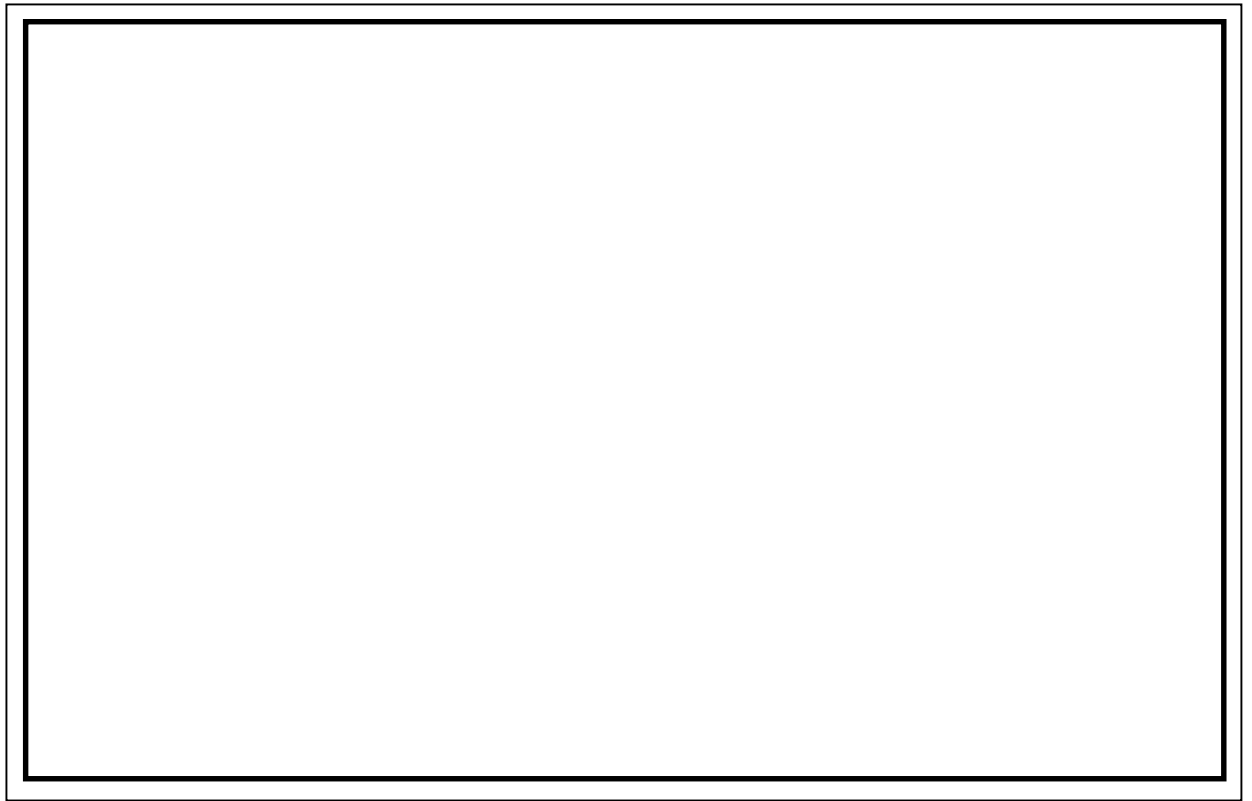
第 10 図 配管鳥瞰図（原子炉隔離時冷却系 RCIC-19, 20, 29）



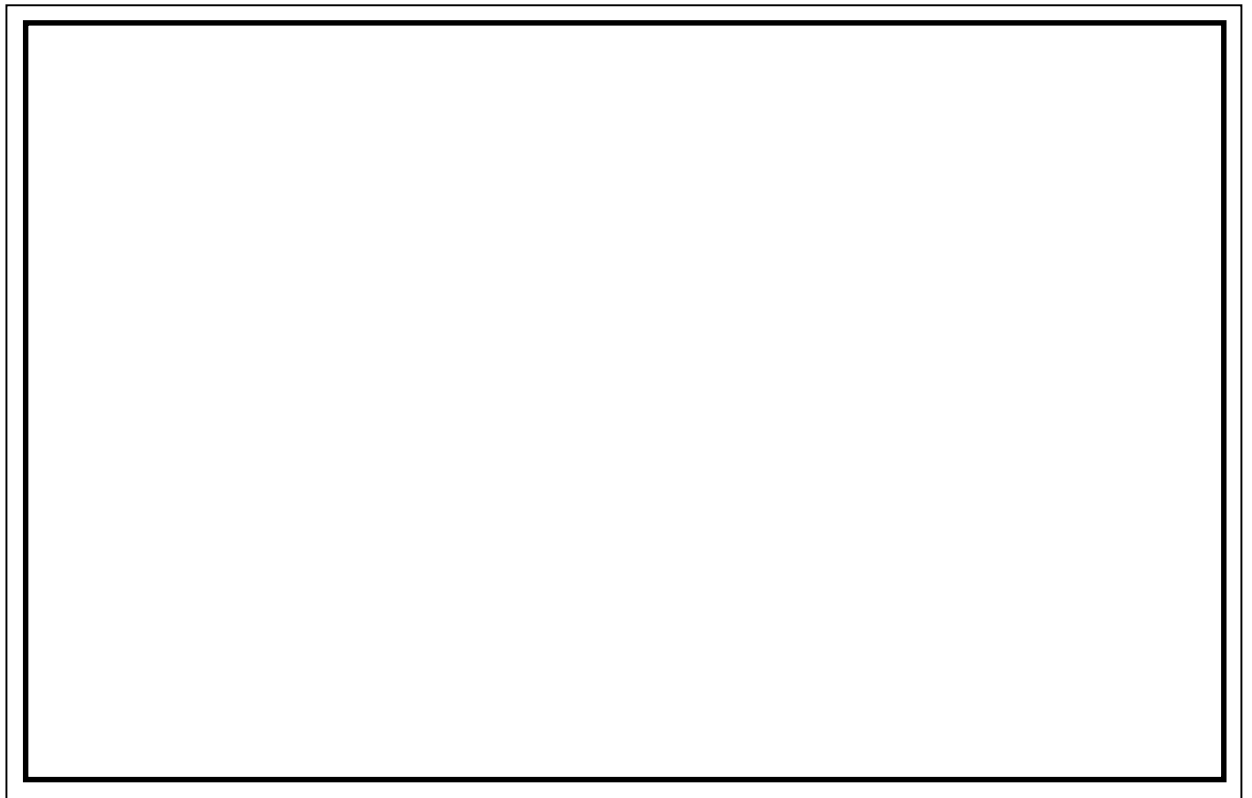
第 11 図 配管鳥瞰図（原子炉隔離時冷却系 RCIC-24-1）



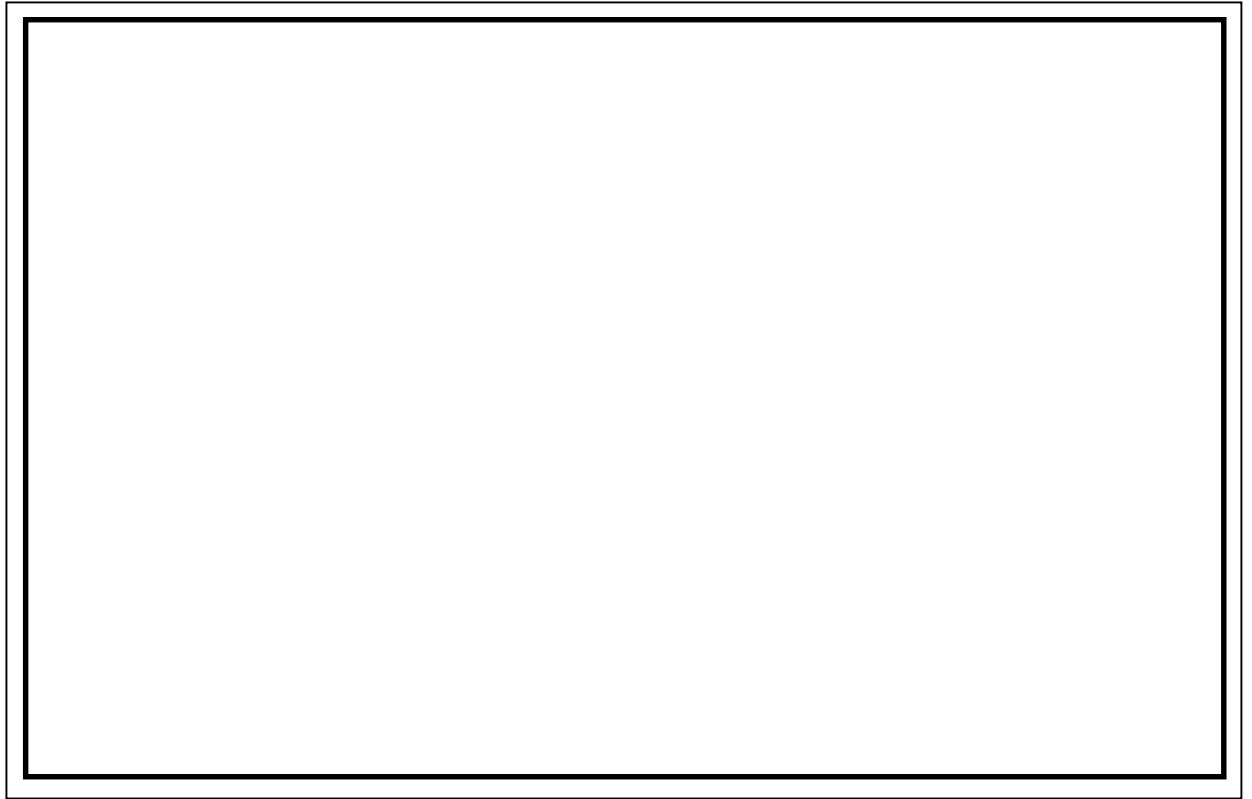
第 12 図 配管鳥瞰図（原子炉隔離時冷却系 RCIC-24-2）



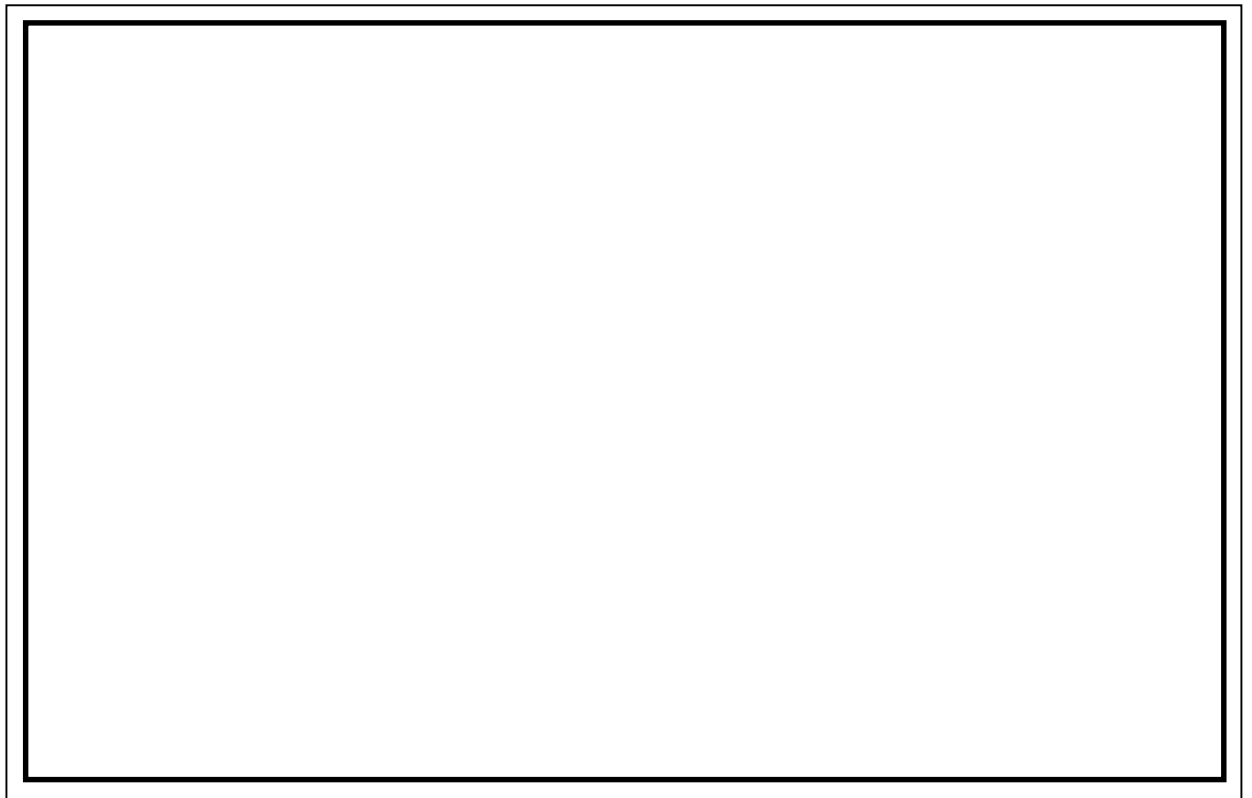
第 13 図 配管鳥瞰図（残留熱除去系 RHR-PD-29）



第 14 図 配管鳥瞰図（残留熱除去系 RHR-PD-35）



第 15 図 配管鳥瞰図（残留熱除去系 RHR-PD-36）



第 16 図 配管鳥瞰図（原子炉冷却材浄化系 CU-PD-9）

2. ディーゼル駆動補機及びタービン駆動補機の評価対象 及び過速度トリップ設定値について

目 次

1. ディーゼル駆動及びタービン駆動機器の評価対象について・・・1
2. ディーゼル駆動及びタービン駆動補機の過速度トリップ回転速度について・・・2

1. ディーゼル駆動及びタービン駆動機器の評価対象について

ディーゼル駆動及びタービン駆動の高速回転機器の損壊に関しては、高速回転機器がオーバースピードに起因する損壊に伴う飛散物とならないことを説明するものであるが、設計基準対象施設に関しては技術基準規則の要求事項に変更がない。

このことから、今回の評価対象機器としては、ディーゼル駆動及びタービン駆動の機器のうち、新たな設計基準対象施設及び重大事故等対処設備とする。第1表にディーゼル駆動及びタービン駆動機器の評価対象を示す。

第1表 ディーゼル駆動及びタービン駆動機器の評価対象

機器名称（回転機器）		ディーゼル 駆動	タービン 駆動	評価対象
設計 基準 対象 施設	ディーゼル駆動消火ポンプ	○		○
	ディーゼル駆動構内消火ポンプ	○		○
	原子炉隔離時冷却系ポンプ		○	
	蒸気タービン		○	
	タービン駆動原子炉給水ポンプ		○	
	非常用ディーゼル発電機	○		
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○		
重大 事故 等 対 処 設 備	常設高圧代替注水系ポンプ		○	○
	可搬型代替注水大型ポンプ	○		○
	可搬型代替注水中型ポンプ	○		○
	常設代替高圧電源装置	○		○
	緊急時対策所用発電機	○		○
	可搬型代替低圧電源車	○		○
	窒素供給装置用電源車	○		○

2. ディーゼル駆動及びタービン駆動補機の過速度トリップ回転速度について

高速回転機器のうち、新たな設計基準対象施設及び重大事故等対処設備であるディーゼル駆動補機及びタービン駆動補機の過速度トリップ回転速度を第2表及び第3表に示す。

第2表 ディーゼル駆動補機の過速度トリップ回転速度

補機 (回転機器)	回転速度		
	定格 回転速度 (min^{-1})	過速度トリップ 回転速度 (min^{-1})	<参考> 火技基準* ¹ (非常調速装置)
ディーゼル駆動消火ポンプ	1,500	1,725(約115%)	1.16倍を 超える以前
ディーゼル駆動構内消火ポンプ	1,500	1,725(約115%)	
可搬型代替注水大型ポンプ	2,300	2,645(約115%)	
可搬型代替注水中型ポンプ	2,300	2,600(約113%)	
常設代替高圧電源装置	1,500	1,725(約115%)	
緊急時対策所用発電機	1,500	1,725(約115%)	
可搬型代替低圧電源車	1,500	1,690(約113%)	
窒素供給装置用電源車	1,500	1,690(約113%)	

*1：発電用火力設備に関する技術基準を定める省令及び発電用火力設備の技術基準の解釈に基づく過速防止装置の作動範囲

第3表 タービン駆動補機の過速度トリップ回転速度

補機 (回転機器)	回転速度	
	定格回転速度 (min^{-1})	過速度トリップ回転速度 (min^{-1})
常設高圧代替注水系ポンプ	5,860(締切運転時)	6,739(約115%)

3. 常設高圧代替注水ポンプの構造及び調速装置・非常調速装置
の作動方式について

目 次

1. 常設高圧代替注水ポンプの構造について・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2. 動翼及び非常調速装置の構造について・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
3. 調速装置及び非常調速装置の作動方式について・・・・・・・・・・・・3

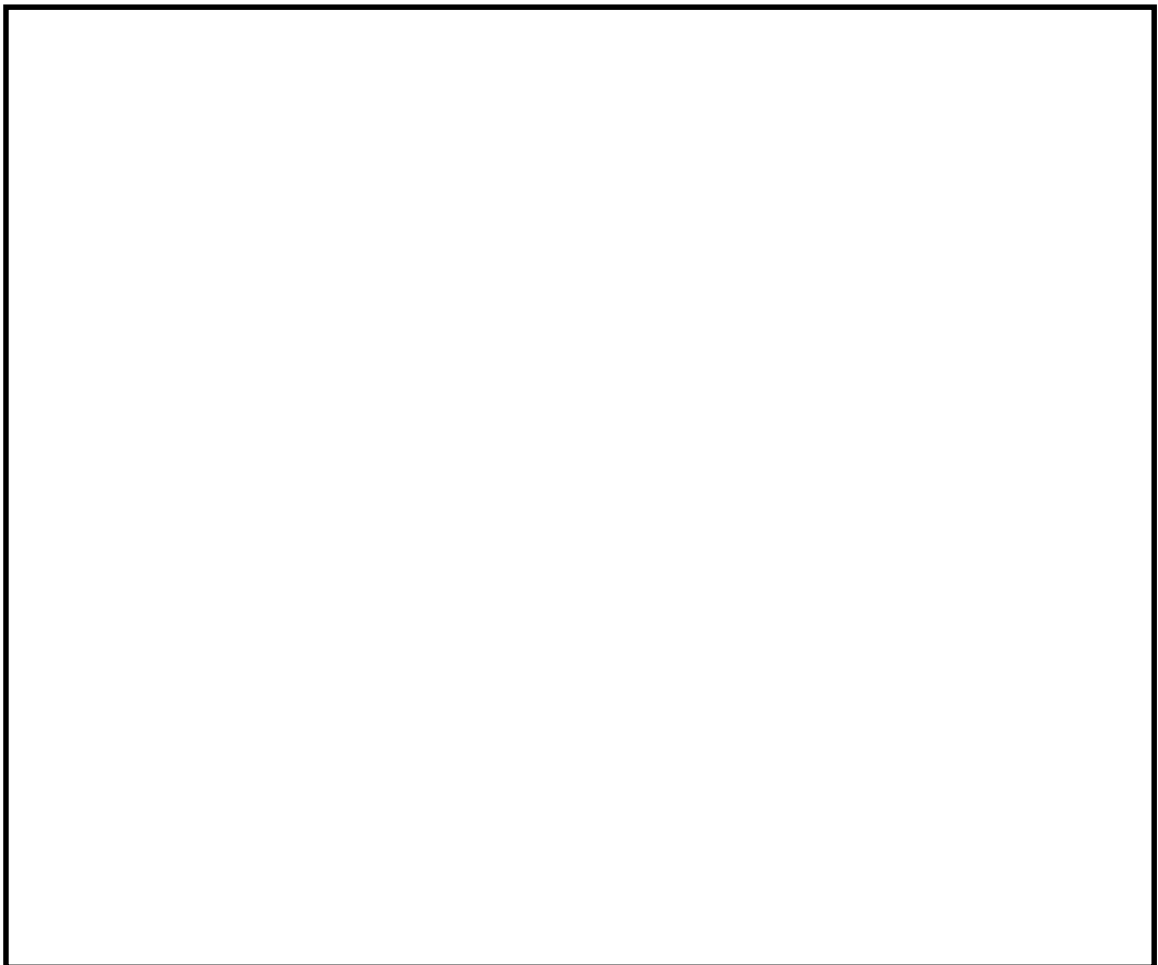
1. 常設高圧代替注水ポンプの構造について

常設高圧代替注水系ポンプはタービン及びポンプが1つのケーシングに収まる一体型ケーシング構造であり、軸封部の無い設計である。

また、常設高圧代替注水系ポンプは機械式ガバナであり、ポンプ吐出のベンチュリの圧力差により圧力ガバナピストンが作動し、リンク機構を通じて蒸気加減弁を調整し、ポンプから吐出する流量を一定に制御する設計となっており、電源を必要としないガバナである。

さらに、軸受は自給水により潤滑する方式であるため、潤滑油装置も不要な設計となっている。

以上のことから、常設高圧代替注水系ポンプは系統の弁操作のみで起動停止が可能であり、起動時に高圧代替注水系注入弁を開操作した後は、高圧代替注水系蒸気供給弁の開閉操作でポンプの起動停止操作が可能な設計とする。常設高圧代替注水系ポンプの概略構造を第1図に示す。



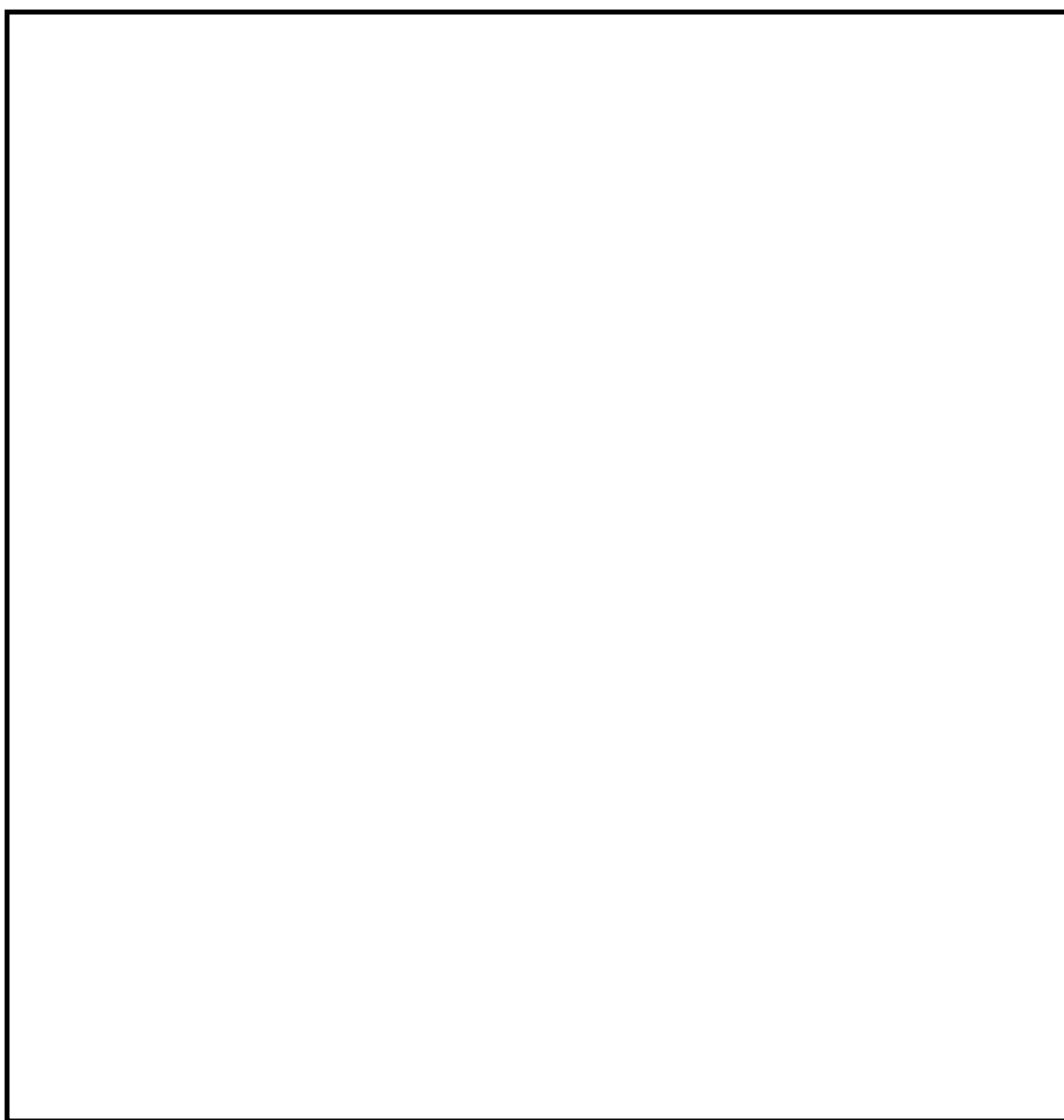
第1図 常設高圧代替注水系ポンプ 構造概要図

2. 動翼及び非常調速装置の構造について

常設高圧代替注水系ポンプ駆動用タービンは、単段式のタービンであり、タービン翼は一体鍛造品の円盤から放電加工により翼型を削り出す方法で製造されているものを適用することで、タービンが破損により飛散することがない設計とする。

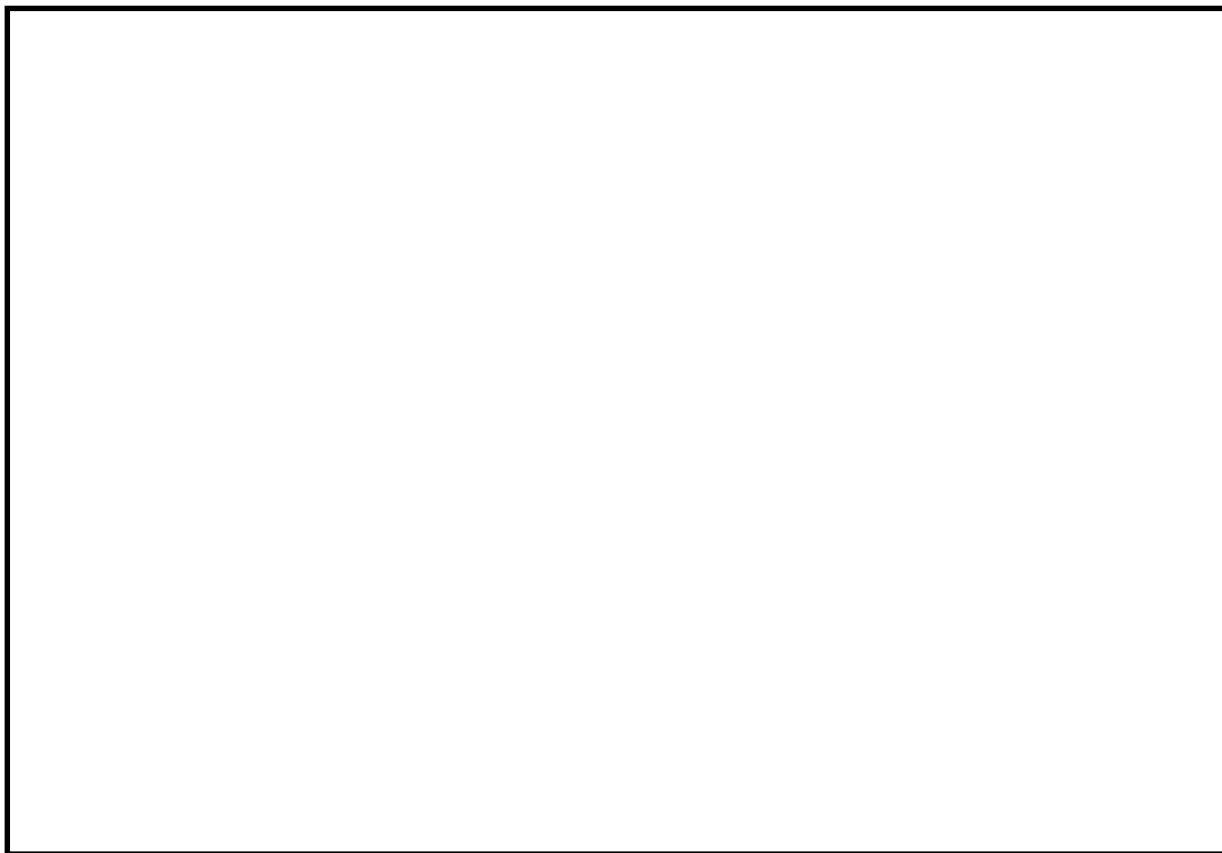
常設高圧代替注水系ポンプ駆動用タービンは、何らかの原因でタービン回転数が異常に上昇すると、トリップボルトが遠心力によりばね力に打ち勝ちボルトの重心が移動し、トリップ機構を作動させることにより、駆動蒸気を遮断しポンプを自動停止させ、オーバースピードにならない設計とする。

常設高圧代替注水系ポンプ駆動用タービンの構造を第2図に示す。



第2図 常設高圧代替注水系ポンプ駆動用タービンの構造図

3. 調速装置及び非常調速装置の作動方式について



第3図 常設代替高圧注水系ポンプ概要図

<通常待機時（ポンプ停止状態）>

- ・圧力ガバナのピストン（①）は、ピストンロッドに取り付けられたスプリングにより上昇した状態であり、②のリンク機構を介して接続されるトリップ/スロットル弁（③）は最下方に下降した状態となっている。この状態においては、駆動用高圧蒸気入口ポート（④）が全開状態にある。ここに高圧蒸気が供給されればタービンは起動するが、通常待機状態では高圧代替注水系蒸気供給弁（⑤）が「全閉」であることから蒸気は供給されずポンプは待機停止状態にある。

<ポンプ起動～定格流量>

- ・通常待機時の状態で、高圧代替注水系蒸気供給弁（⑤）を「開」（中央制御室スイッチ操作または現場人力操作）とすると、トリップ装置（⑭）のピストン内を通り高圧蒸気がピストン左側に通気され、蒸気力によりピストンが右方向へ移動し、全開状態の駆動用高圧蒸気入口ポート（④）を通り蒸気がタービンに供給され、タービン駆動のポンプが起動する。
- ・起動後、タービンは速やかに定格回転数に到達し、ポンプが水を吐き出し始め、ポンプ吐出部のベンチュリノズルから低圧側ライン（⑥）及び高圧側ライン（⑦）を通じて高/低圧水が圧力ガバナに供給される。

- ・ポンプ定格流量状態では、低圧側ライン（⑥）圧力、高圧側ライン（⑦）圧力及び圧力ガバナのスプリング力がバランスし、トリップ/スロットル弁のピストン（③）は駆動用高圧蒸気入口ポート（④）の中間位置で定格流量一定制御状態となる。

<流量変動時の制御動作>

- ・定格流量状態での運転中に流量が上昇すると、ベンチュリ効果により低圧側ライン（⑥）の圧力と高圧側ライン（⑦）の圧力のバランスが崩れ、圧力ガバナのピストン（①）は下降し、②のリンクを介してトリップ/スロットル弁のピストン（③）を上方に押し上げる。
- ・これにより駆動用高圧蒸気入口ポート（④）のポートが閉じ始め、タービンへの駆動蒸気量が減少することでタービン回転数が低下しポンプ吐出量を減少させる。
- ・定格流量状態での運転中に流量が低下した場合は、上記と逆の動きにより流量を増加させる。

<過速度トリップ>

- ・何らかの原因でタービン回転数が異常に上昇すると、定格状態ではシャフト内にスプリングで保持されているトリップボルト（⑧）が遠心力により飛び出し、レバー（⑨）を押し上げ、リンクを介してトリップ排気弁のピストンロッド（⑩）を上昇させる。
- ・トリップ排気弁のピストンロッド（⑩）に接続しているピストンは、通常、高圧蒸気検出ライン（⑪）と低圧（背圧側）蒸気検出ライン（⑫）を分断しているが、ピストンが上昇することにより高圧蒸気検出ライン（⑪）と低圧（背圧側）蒸気検出ライン（⑫）が通じ、高圧蒸気検出ライン（⑪）の圧力が低圧（背圧側）蒸気検出ライン（⑫）を通し、タービン排気室に抜ける。
- ・高圧蒸気検出ラインはトリップ装置の空間（⑬）につながっており、通常時は高圧蒸気によりトリップ装置のピストン（⑭）を右側に押し付け、トリップ/スロットル弁が「開」状態となり蒸気をタービンに供給しているが、上記の動作により高圧蒸気検出ライン（⑪）の圧力が低下すると、トリップ装置のピストン（⑭）は蒸気力により左側に移動し蒸気が遮断されポンプが停止する。

以上のとおり、常設高圧代替注水系ポンプは、直流電源の電動弁を中央制御室から「開」とすることで起動可能であり、その後の定格運転の流量制御はポンプ吐出水によるベンチュリ効果で自己制御される。