

# 論 点

# 炉システムに関する質問への回答



- (1) ポンプ組込IHXについて
- (2) 直管二重管型蒸気発生器について
- (3) ループ型とタンク型の検査性について

独) 日本原子力研究開発機構



## (1)ポンプ組込IHXについて

- ポンプ軸受け部への熱影響
- 検査性
- バウンダリベローズの振動



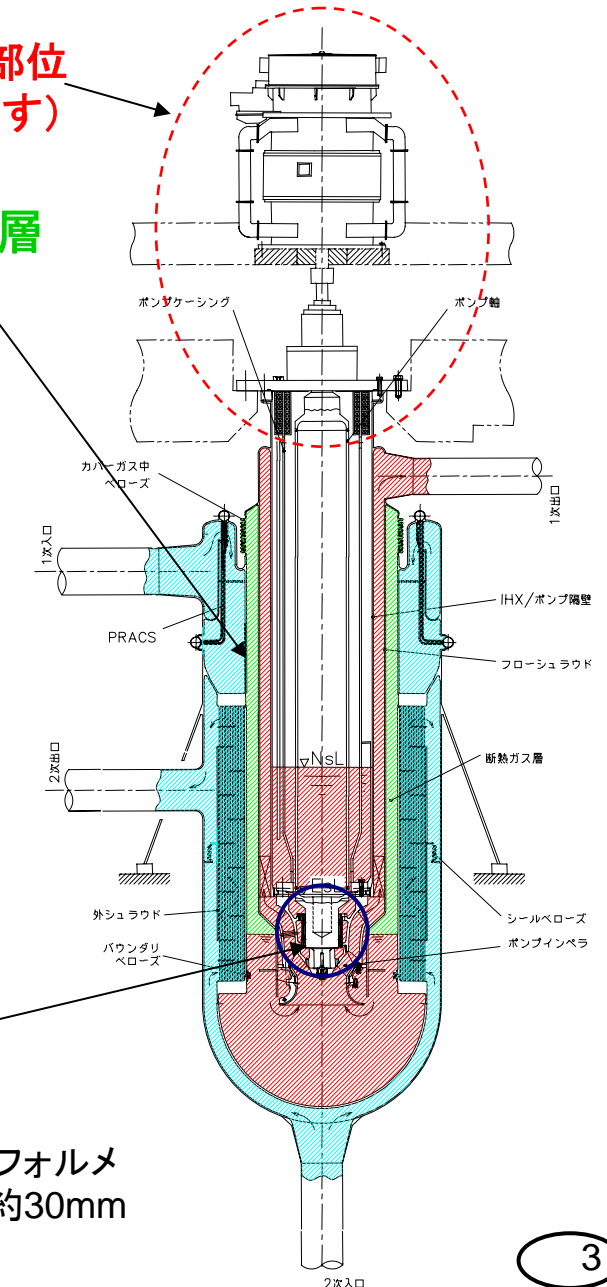
# ポンプ組込IHXのポンプ部への熱影響について

- ポンプとIHXの構造間にガス層を配置
  - IHXからポンプ構造への熱伝達を防止
  - ポンプからIHXへの流体を介した振動伝達を減少
- ポンプ部はほぼコールドレグ温度均一状態となり、静圧軸受けの健全性に影響は無いと推定している。

検査対象部位  
(次葉に示す)

断熱ガス層

静圧軸受部



※ガス層強調のためデフォルメ  
実際のガス層厚さは約30mm



# ポンプ組込IHXの検査性について(1/2)

定期的な検査が必要な部位は動的機器であるポンプ駆動部(前葉の図中に示す)であり、IHXへの組込みの影響を受けることなくポンプは定期検査可能

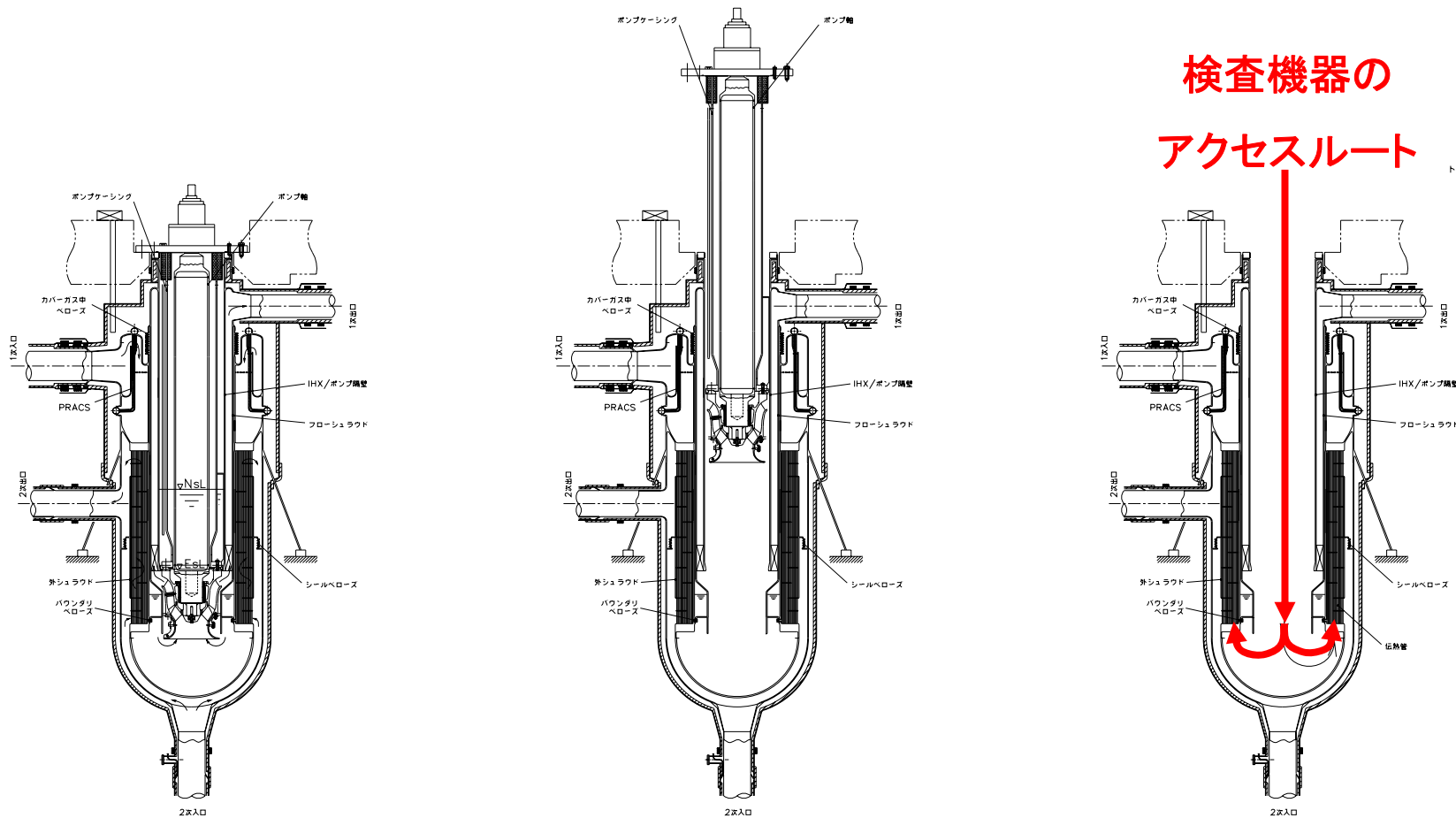
- 定期検査計画

部 位	点検項目	点検区分	点検周期
主循環ポンプ本体	機能検査	電気事業法法廷検査	毎定検
軸封装置	分解点検	自主点検	1回/2定検
駆動モータ	電気品点検 軸受分解点検 モータ分解点検	自主点検 自主点検 自主点検	毎定検 1回/2定検 1回/4定検
オイルプレッシャーユニット	外観点検	消防法、労働安全衛生法	毎点検



# ポンプ組込IHXの検査性について(2/2)

万一、容器内部の下部にある構造(バウンダリベローズ、下部管板、伝熱管)の検査の必要が生じた場合、ポンプを引抜くことによってアクセスルートを確認することが可能



通常時

主循環ポンプの引抜

IHXへのアクセスルート確保



# ポンプ組込IHXのバウンダリベローズの 振動に対する健全性

- 現状の設計
  - 振動伝達解析モデルによる評価では、周辺構造の振動応答は数  $\mu\text{m}$  のオーダー
  - 通常の構造部材と同様に設計疲労線図での評価を仮定すると、ベローズに発生する応力は疲労限度以下の小さなものと予測できる
- 今後の研究開発課題
  - ベローズの振動に対する構造健全性詳細評価は未実施
    - ✓ 詳細設計で実施予定
  - 高クロム鋼ベローズの評価方法についても検討が必要
    - ✓ 高クロム鋼材料開発の中で材料特性データ取得予定
    - ✓ SGの胴ベローズ開発の知見を反映予定



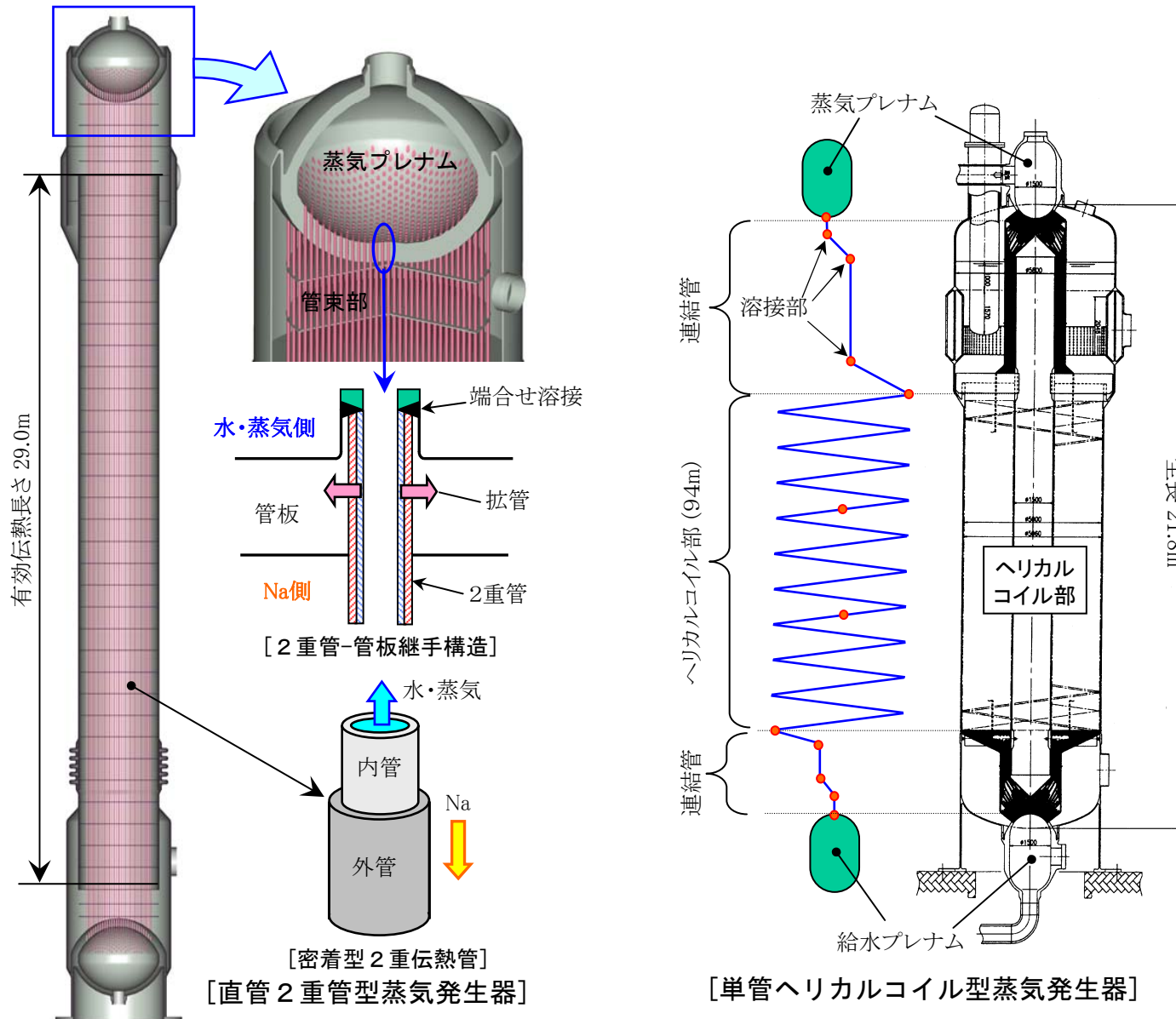
## (2) 直管二重管型蒸気発生器について

---

- ヘリカルコイル単管型との信頼性比較
- 製作性の見通し



# ヘリカルコイル単管型との信頼性比較





# ヘリカルコイル単管型との信頼性比較

直管2重伝熱管SGは、今後の研究開発が必要であるものの、伝熱管の検査精度を高めることによって、単管ヘリカル型SGよりも高い信頼性を確保可能。

		直管2重管SG	単管ヘリカルコイルSG
伝熱管	本数/伝熱長	7230本 / 29m	910本 / 94m
	外径 肉厚	19.0mm φ / 外管1.5、内管1.1mmt (暫定値)	31.8mm φ / 3.3mmt
溶接数	管-管板溶接	7230力所/管板 × 2 (上下管板) = 14460力所	910力所/管板 × 2 (上下管板) = 1820力所
	管-管溶接	0 力所	コイル部 : 2力所/本 × 910本 = 1820力所 連結管 : 8力所/本 × 910本 = 7280力所
破損原因		溶接箇所数は、ヘリカルコイル型が約2/3	
伝熱管検査精度		(1) 内管の検査精度 (UT, ECT)は、直管方式のため良好。 (2) 外管の検査精度は、界面の存在により、低下する。(ただし、基礎試験では、超音波UTによる外管き裂は検知できる可能性がある) (3) 管-管板継ぎ手の検査性は、アクセス性の観点から良好。	(1) コイル形状や連結管の曲部構造、及び長尺管(約120m)のため、検査プローブの挿入性が低下する。さらに、プローブのガス圧送による振動等により、検査精度は直管方式に比べ低下するが、単管故に問題は少ない。 (2) 管-管溶接部に生じた欠陥の検出性は、伝熱管母材部に比べ低下。
き裂進展阻止機能		内管と外管の構造分離により、界面でのき裂進展を阻止することが期待でき、片側が破損しても残された側でナトリウム-水反応の発生を防止できる。(今後、時効影響を考慮した試験を実施予定)	単管のため、発生したき裂の進展を、管壁肉厚途中で阻止することは困難。ただし、2重管よりも肉厚が厚いため、貫通き裂に至るまでの時間余裕が長く、またウェステージ型破損に対して耐性が高くなる可能性はある。

# 単管と二重管の検査性の比較

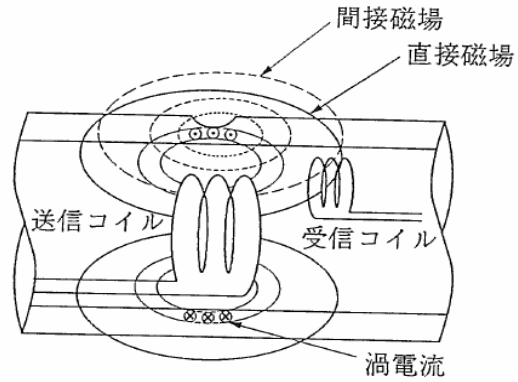
- 単管と二重管内管の検査性は原理的に同等
- 同じ大きさの欠陥でも、単管と単独の二重管内管では、二重管内管の方が薄肉のため構造強度への影響は大きい
- 二重管内管単独でも構造強度を維持できるような設計を行うとともに、必要な欠陥検出能力を有する検査技術の開発を進める

## 内管の検査性

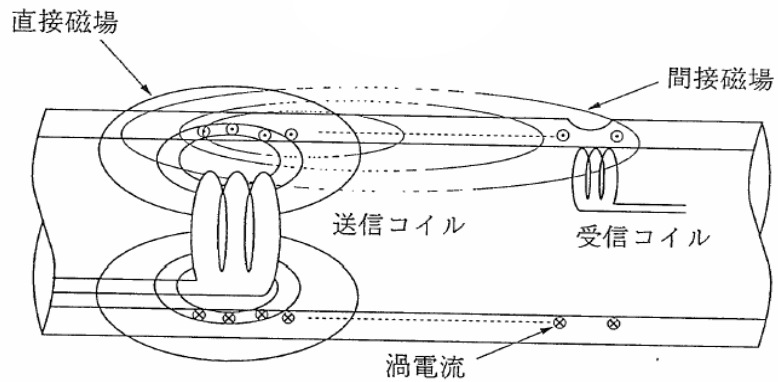
試験方法	検査性の比較	
渦流探傷試験	ECTは試験コイルに近い部位の磁束変化を検出するものであり、コイルから遠い部分の影響を受けない。このため外管が存在することによる内管欠陥の検出性への影響は無い。	同等
超音波探傷試験	伝熱管の内側に探触子を挿入する。二重管の内管内面の探傷と、単管内面の探傷は原理的に同一。	同等

## 外管の検査性

試験方法	検査性の比較	
渦流探傷試験	伝熱管が肉厚、強磁性体のため、リモートフィールドECTを適用する。磁束の変化は試験体の体積変化(減肉)に依存するため、原理的に2重化の影響は無い。	検査性は同等であるが、二重管では余裕が少ない
超音波探傷試験	伝熱管の内側に探触子を挿入する。二重管の場合、超音波が内管と外管のギャップを通過しなければならず信号が減衰する。UT適用性が見通しがあることを実験的に確認した。	単管が有利

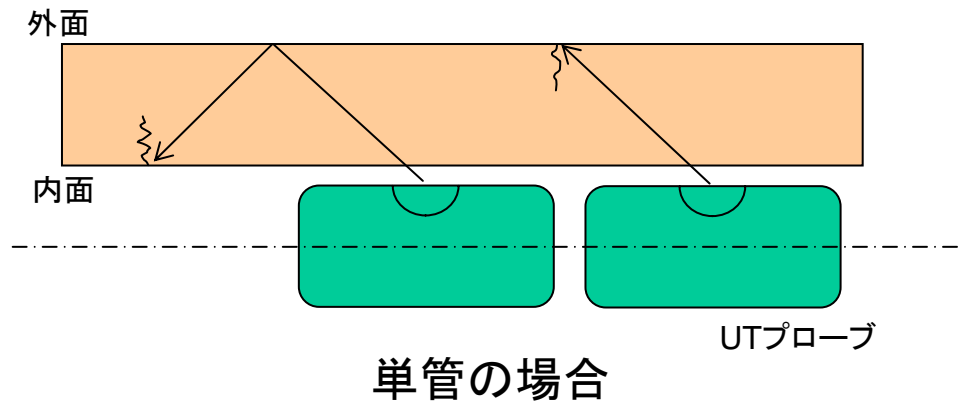


ECT

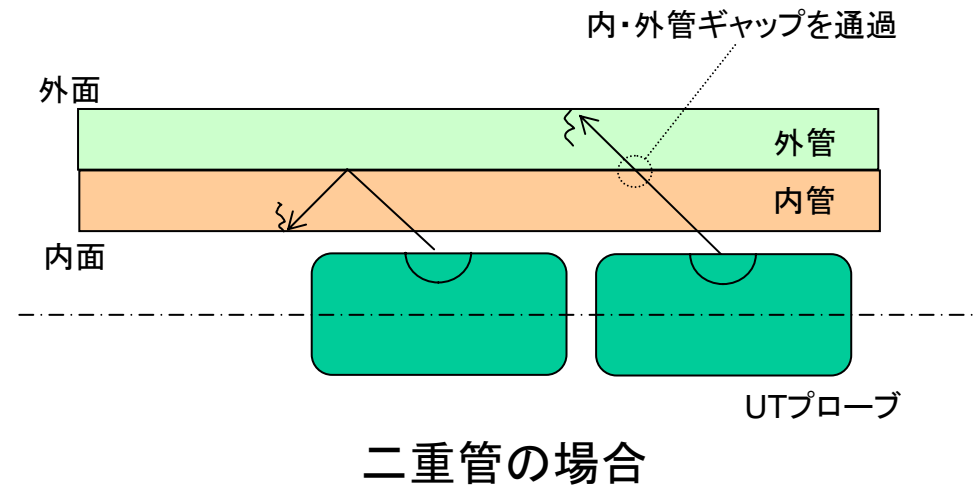


リモートフィールドECT

図1 渦流探傷の種類



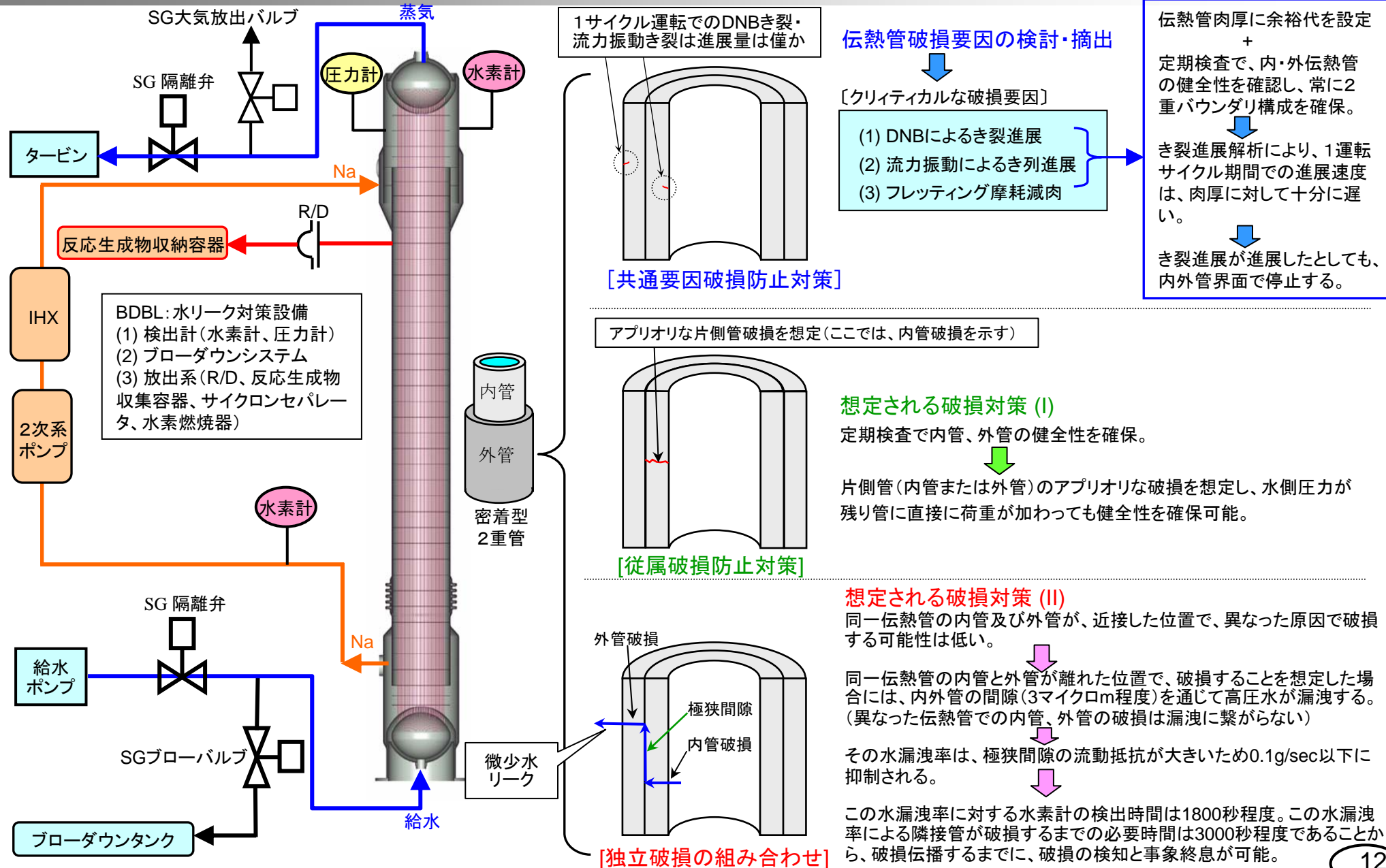
単管の場合



二重管の場合

図2 超音波探傷の方法

# 直管 2 重管蒸気発生器のNa・水反応防止の考え方と水リーク時の影響緩和





# 2重伝熱管蒸気発生器の製作性

## [実績]

- ・ 約2mの長さの12Cr鋼密着2重管を試作(添付-1)
- ・ 旧動燃における1MWt2重管SG小型試験体等の製作時に全長20m程度の9Cr鋼2重伝熱管を製作した実績がある。(添付-2)
- ・ 伝熱管本数7,100本/基については、APWRの5,830本/基という実績があり、AP-1000では10,000本/基としていることから実現可能と考える。(添付-3)

## [課題]

- ・ 製作性については、以下の課題が残されており、フェーズ3において、製作手順を含めた検討を開始した。
  - 2重伝熱管: 所定の面圧及びギャップ幅を有する35m級管の製作
  - 球形管板: 高クロム鋼厚肉構造材の熱処理、及び3次元リガメント加工性 (管台の削りだしと管板孔開け加工)
  - 胴ベローズ: 高クロム鋼による削り出し製作性
  - 管・管板溶接継手: 管台と2重管端部の溶接技術、及び高クロム鋼2重管の拡管技術



# 12Cr鋼 二重管の製造実績

添付-1

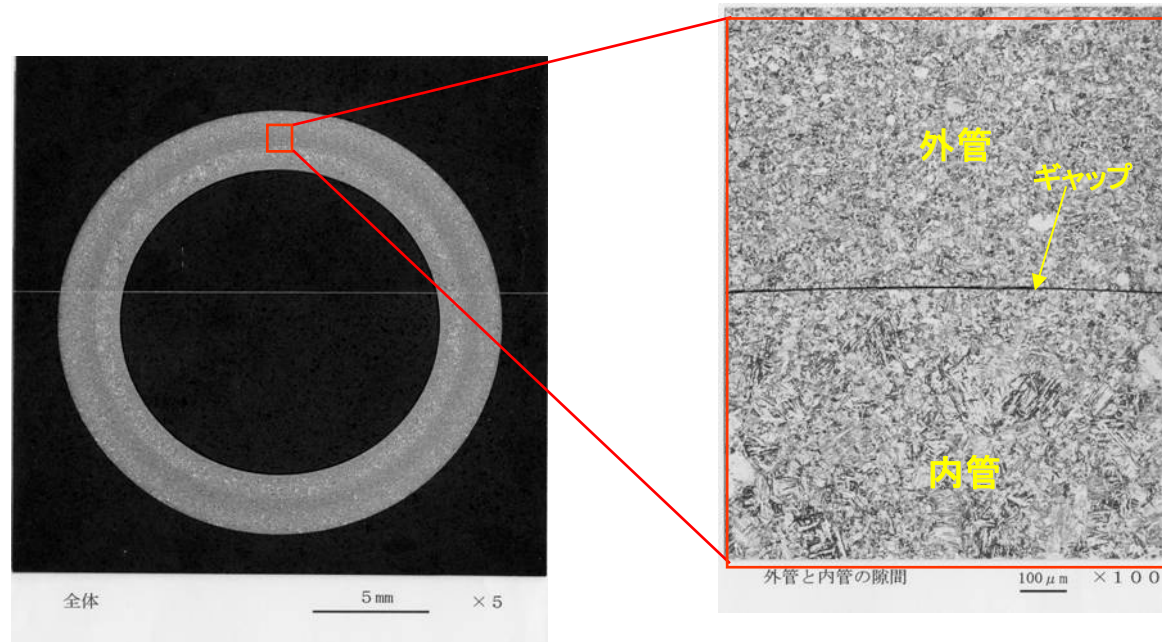
JAEA

- 12Cr鋼を材質とした二重伝熱管を実験的に製作した
- 素管を組合せた後、縮管引きを行い、仕様を満足する二重管を製造することができた



引き抜き方向

製造時の様子



二重管の断面写真



主要スペック

# JAEA(PNC) 1MWt 2重管SG小型試験体(1989~1994)

JAEA

添付-2

2重管SG小型モデル主要仕様		
SG型式	一体貫流直管型	
交換熱量	1.0MWt	
伝熱管	型式	密着2重管
	材料	Mod. 9Cr-1Mo鋼
	寸法	Φ19.0×t1.9×t1.5
	本数	13本 (通水管10本)
伝熱面積	12.0m <sup>2</sup>	

## 試験項目

### ①熱流動試験

- ・ 定常伝熱特性試験 (静特性)
- ・ 水側流動安定性試験

### ②構造健全性試験

- ・ 伝熱管DNB試験

### ③経時変化特性試験

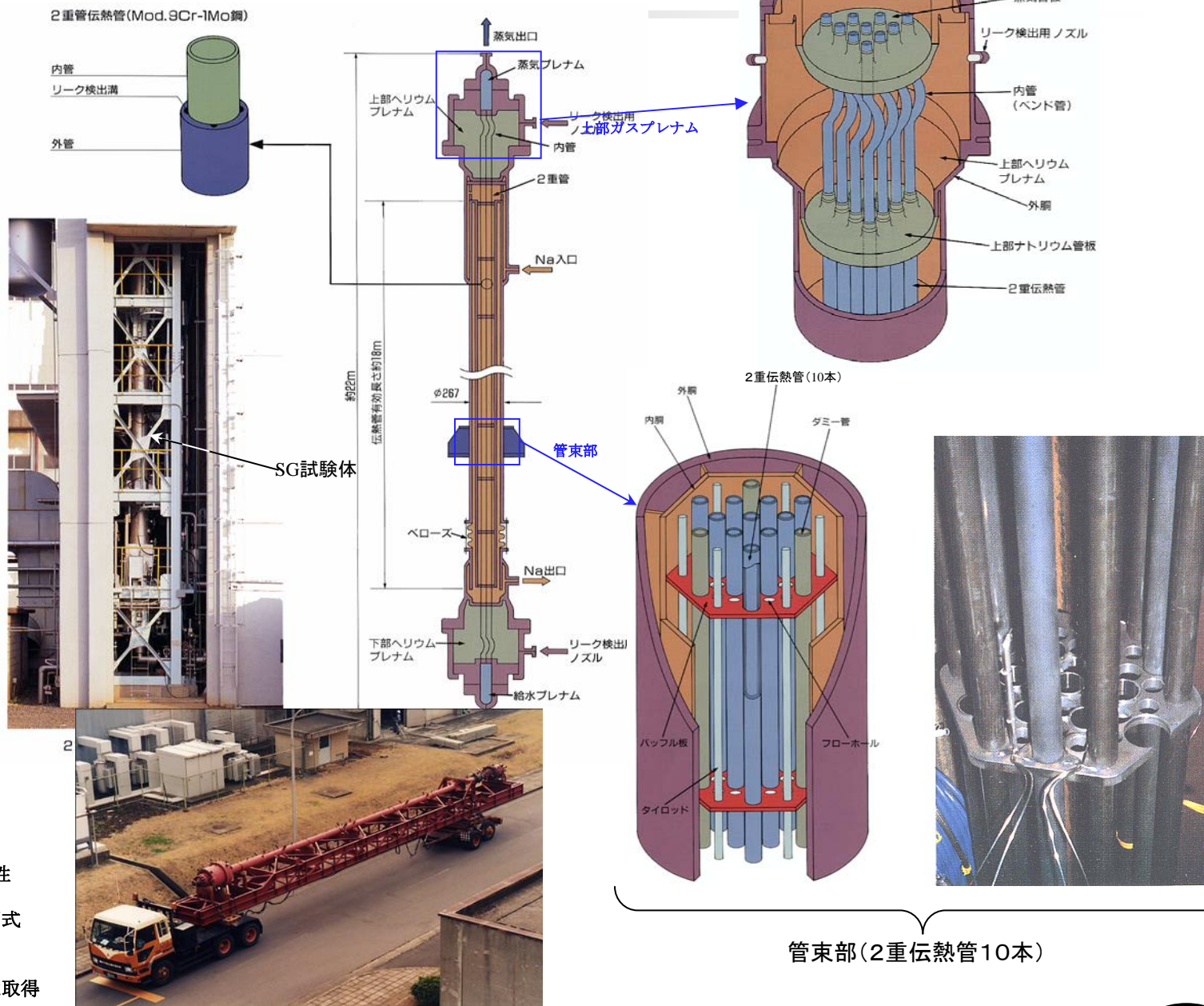
### ④内管 (蒸気) リーク検出試験



## 現状での評価

- ・ 2重管SGの伝熱性能の充足性を確認 (内外管界面部での熱抵抗評価)
- ・ 通算8500時間にける運転経験 (2重管界面部の伝熱性能変化 → 有意な変化なし)
- ・ DNB温度振動に対する2重伝熱管構造健全性
- ・ 直管SGとしての水側流動安定性の確認
- ・ 直管SGとしてのNa側、水・蒸気側伝熱相関式の確認

※) 解体検査は未実施のため全てのデータは取得されていない。



1MWt2重管SG試験体

管束部(2重伝熱管10本)





# 蒸気発生器の比較

添付-3

JAEA

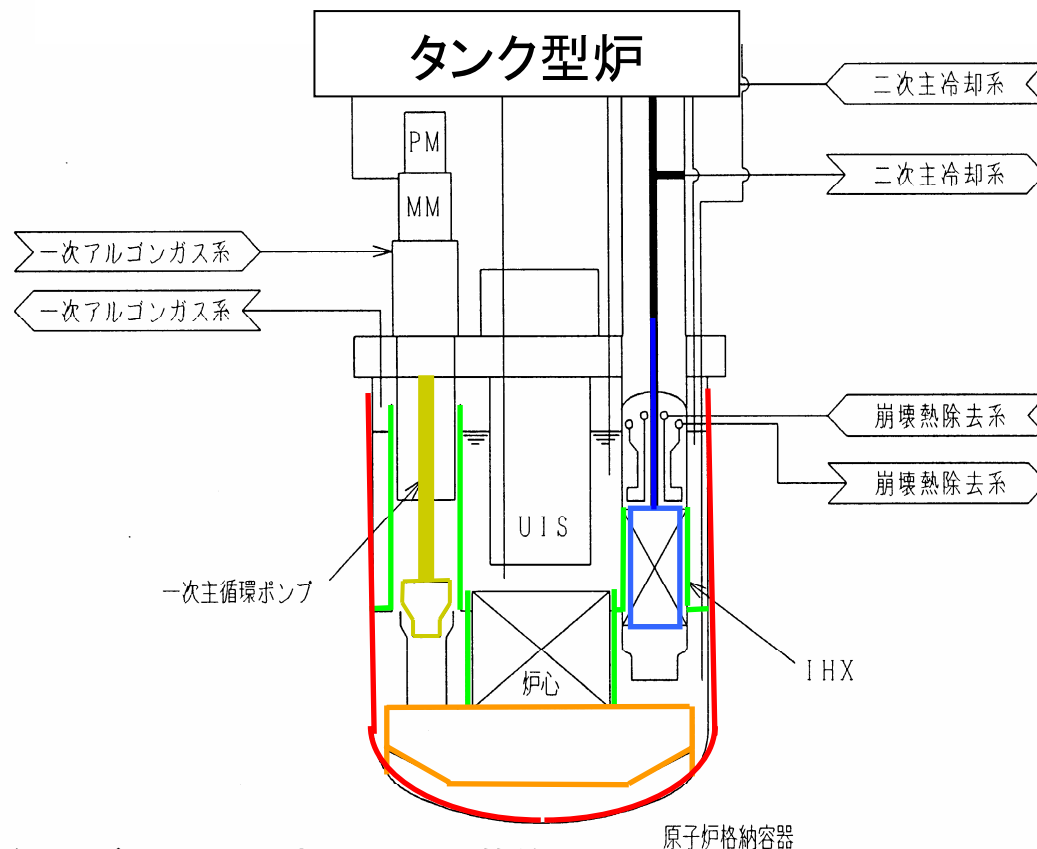
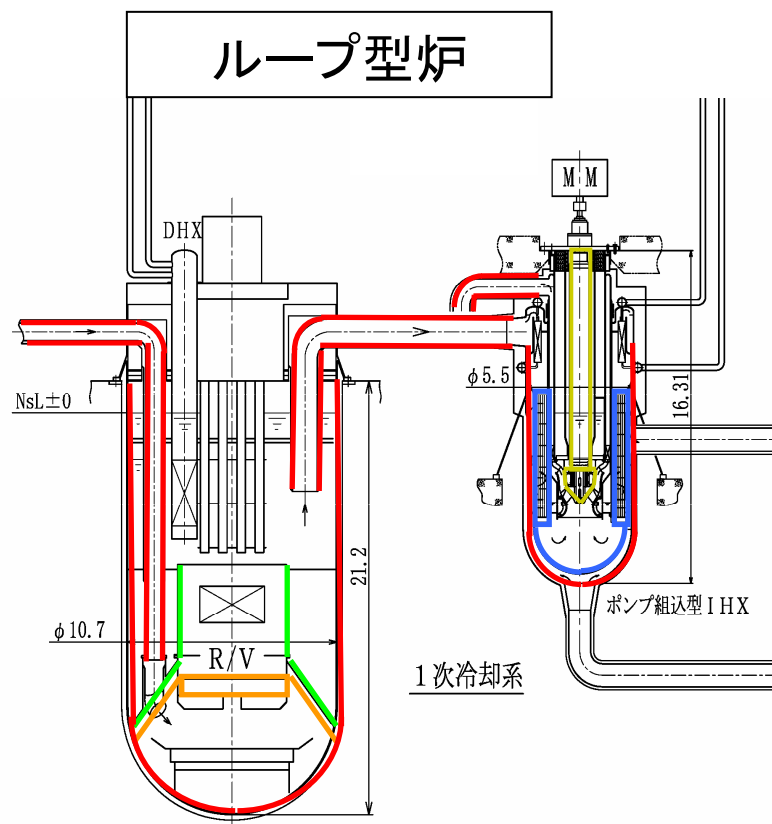
			PWR		FBR					
			APWR	AP-1000	EBR-II (蒸発器)	BN-600 (蒸発器)	SNR-300 (蒸発器)	EFR	JSFR	
出力	電気出力	MW	1,538	1,090	20	600	327	1,470	1,500	
	熱出力	MW	4,451	3,400	62.5	1,470	762	3,600	3,530	
2次系ループ数			4	2	1	3	3	6	2	
蒸気発生器	伝熱管型式		U/単	U/単	直/二重	直/単	直/単	直/単	直/二重	ヘリカル/単
	交換熱量	MW/ 基	1,113	1,700	6	40.6	55.4	600	1,765	1,785
	容器内径	m	約3.9	4.3(外径)			6.5		3.2	5.1
	容器高さ	m	約21	22.5			22		37.6	21.8
	伝熱管長さ				8.2	約13 (伝熱有効長)	20.1		29.0 (伝熱有効長)	93.8 (伝熱有効長)
	伝熱管本数	本/基	5,830	10,025	73	349	211	1,386	7,100	910
	伝熱面積	m <sup>2</sup>	約6,500	約12,000	51.1	251	220	611	10,610	8,529
原子炉容器	内径	m	5.2	4.0	7.9	12.9	6.7	17.2	10.7	
	高さ	m	13.6	10.3	4.0	12.6	15.0	15.9	21.2	
原子炉格納容器	高さ	m	69	66	42.3				37.8	
原子炉建屋	高さ	m							70.3	



### (3) ループ型とタンク型の検査性について

# タンクとループの比較 検査性

## 検査対象部位



- 原子炉冷却材バウンダリ(原子炉容器、1次配管等)
- 1次/2次冷却材バウンダリ(中間熱交換器)
- 炉心支持構造
- 隔壁
- 1次ポンプ



# タンクとループの比較 検査性

ナトリウム中機器の検査性について、ループ型が有利と判断している。

機 器	検査部位 *	検査方法 *	ループ型炉とタンク型炉の比較	ループ型炉の優位性
<u>1次系配管</u>	溶接線 高応力部位	目視検査、体積検査 (外部からの検査可能)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ループ型炉は配管がナトリウムバウンダリであり、検査が必要。</li> <li>タンク型炉は配管が無い。</li> </ul>	×
<u>原子炉容器</u>	溶接線 高応力部位	目視検査、体積検査 (外部からの検査可能)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ループ型炉の原子炉容器直径は10m程度</li> <li>タンク型の原子炉容器直径は14~17m程度</li> <li>原子炉容器径の相違により溶接線長はループ型炉の方が短い。</li> </ul>	○
<u>炉心支持構造</u>	溶接線 構造不連続部	目視検査 〔 ナトリウム中可視化 〕 技術が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>両炉型ともISI用のマンホールを配置し、アクセスルートを確認すれば検査性は確保可能。</li> </ul>	—
<u>原子炉容器内 隔壁構造</u>	溶接線 構造不連続部	目視検査 〔 ナトリウム中可視化 〕 技術が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>ループ型では、対象機器が炉心槽、炉心支持スカートに限定され、かつ炉心支持構造と兼用した構造のため検査が比較的容易。</li> <li>タンク型炉ではポンプや中間熱交換器周囲のスタンドパイプも隔壁構造であり、形状が複雑でありかつ対象部位が大きい。</li> </ul>	○
<u>中間熱交換器</u>	バウンダリベ ローズなど	目視検査	<ul style="list-style-type: none"> <li>ループ型ではポンプを引抜きアクセスルートを確認した上、ナトリウムをドレンしてインプレースで検査・補修が可能。</li> <li>タンク型炉ではナトリウムドレンできないため中間熱交換器の引抜きが必要となり、伝熱管検査のための工数が多い。</li> </ul>	○
<u>1次ポンプ</u>	インペラなど	目視検査 (引抜き洗浄が必要)	<ul style="list-style-type: none"> <li>検査や補修が必要な場合、両者とも引抜き洗浄が必要であり、両者で差はない</li> </ul>	—

\* : 定期的 to 実施するものだけでなく、要求に応じて実施する検査を含む