

原子力発第10226号  
平成23年 2月23日

愛 媛 県  
県 民 環 境 部 長  
上 甲 俊 史 殿

四 国 電 力 株 式 会 社  
支 配 人 原 子 力 本 部 原 子 力 部 長  
玉 川 宏 一

## 伊方発電所第2号機 湿分分離加熱器の取替について

拝啓 時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。平素は、当社事業につきま  
して格別のご理解を賜り、有難くお礼申し上げます。

さて、伊方発電所第2号機の第22回定期検査において、湿分分離加熱器(全4台)  
を取り替えましたので、下記のとおりご報告いたします。

敬 具

記

別添：伊方発電所第2号機 湿分分離加熱器の取替について

以 上

## 伊方発電所第2号機 湿分離加熱器の取替について

### 概要

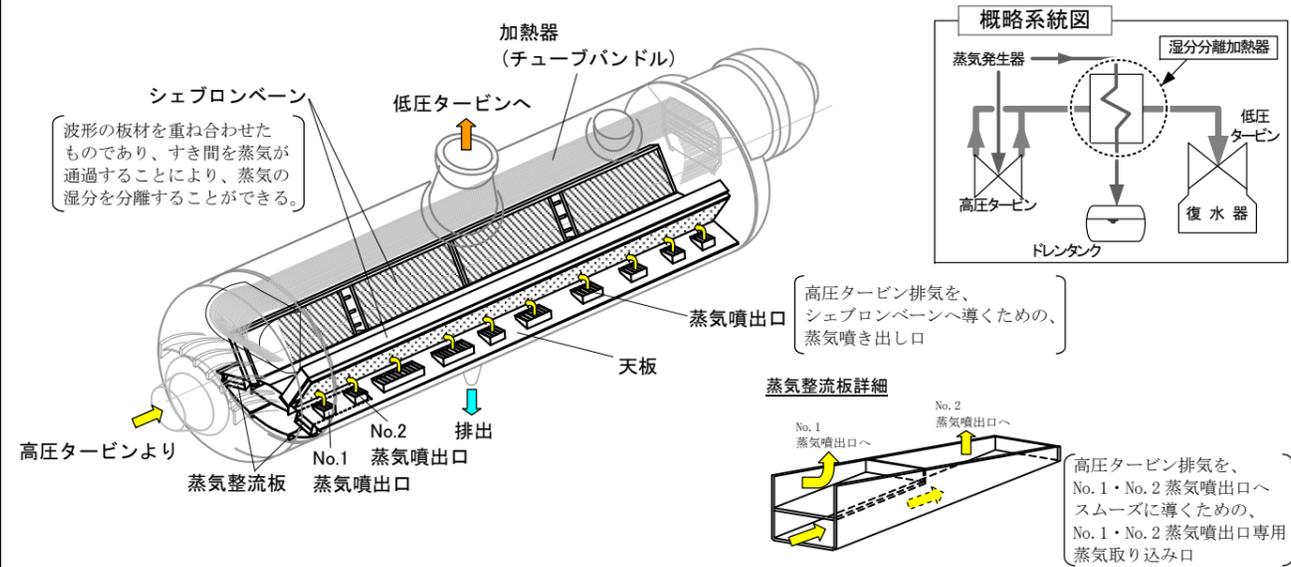
伊方発電所第1、2号機の湿分離加熱器については、平成17年度に取替を行ったが、平成18年度から20年度にかけて、内部品の溶接部の割れの不具合が4件発生した。

不具合に対する対策は都度実施しその後不具合は発生していないが、長期的な健全性に万全を図る観点から、2号機については、第22回定検で全4台の取替を行い、1号機については、平成23年の第28回定検で全4台取替予定である。

なお、3号機については、設計・製作会社および構造が1、2号機と異なっていること、不具合も発生せず順調に運転していることから取替予定はない。

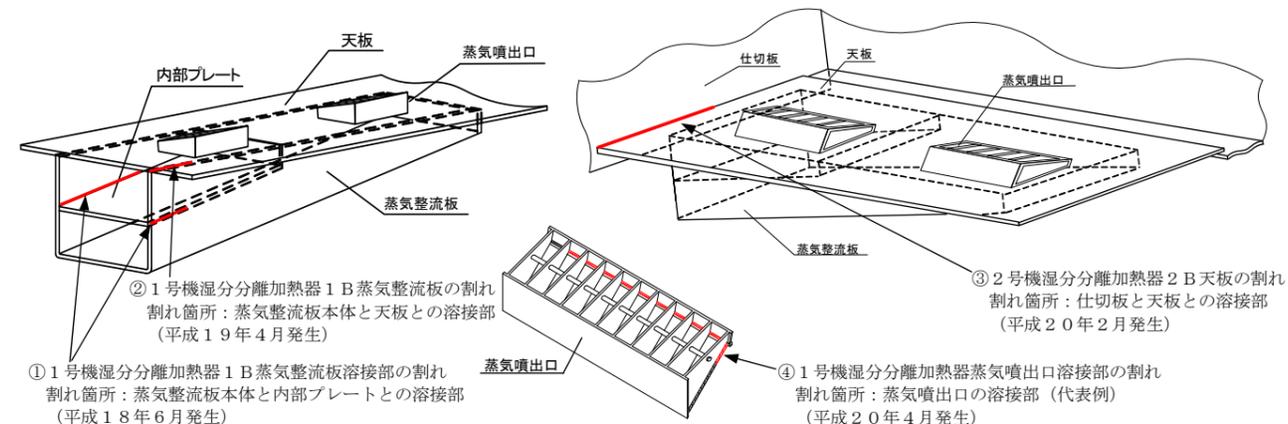
### 湿分離加熱器の構造

湿分離加熱器は、高圧タービンと低圧タービンの間に設置されており、高圧タービンで使用された蒸気の湿分を分離し加熱した後に、低圧タービンへ蒸気を供給する熱交換器である。



### 過去の不具合箇所

平成18年度から20年度にかけて発生した4件の不具合箇所を以下に示す。



### 過去の不具合の原因

- 1号機湿分離加熱器1B蒸気整流板溶接部の割れ（平成18年6月発生）  
当該蒸気整流板を製作する際に溶接部の開先角度が設計より狭く加工されていたため、整流板本体と内部プレートの溶接部に溶け込み不良が生じた。このため、当該溶接部の強度が不足することとなり、そこに蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が加わることにより、割れが発生・進展したものと推定された。  
また、開先角度が設計より狭く加工されたのは、製作会社の溶接部の検査手順書に開先検査の実施は規定されているが、開先検査の記録を残すことまでは規定されていなかったことから、検査漏れが生じ開先確認が不十分となったためと推定された。
- 1号機湿分離加熱器1B蒸気整流板の割れ（平成19年4月発生）  
上記平成18年6月発生の不具合時に取替を実施した蒸気整流板であるが、取替時の溶接ひずみにより蒸気整流板と天板との溶接部に大きな応力が発生していたこと、当該溶接部は狭隘部であり、溶接作業性が劣悪であったため、溶接部に溶け込み不良箇所が発生し、そこに蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が加わることにより、割れが発生・進展したものと推定された。
- 2号機湿分離加熱器2B天板の割れ（平成20年2月発生）  
当該溶接部については、設計会社の図面で設計上要求されていた溶接指示が製作会社で作成した製作図面に記載されず、結果的に当該溶接部が設計要求よりも強度の劣る溶接方法で施工されたため、溶接部に溶け込み不良箇所が発生し、そこに蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が加わることにより、割れが発生・進展したものと推定された。
- 1号機湿分離加熱器蒸気噴出口溶接部の割れ（平成20年4月発生）  
溶接作業性の悪い狭隘な部位で、十分な溶け込みが得られにくい溶接方法を採用したことから、溶接部に溶け込み不良箇所が発生し、そこに蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が加わることにより、割れが発生・進展したものと推定された。

### 今回製作時の対応

今回の湿分離加熱器の製作においては、より一層の信頼性向上を図るために、以下の対応を実施した。

- 当社における調達管理の充実・強化  
発注時に、製作メーカーに対して、流体加振力が作用する箇所の開先検査等を実施しその記録を維持すること、設計図面からの指示を製作図面に確実に反映するなどの取り合いに関する管理方法を明確にすること、および溶接作業性の悪い狭隘な箇所の溶接を施工する場合には、溶け込み不良箇所が発生しないような溶接方法を選定することを要求した。  
また、専任の人員を配置し、専任者を中心に、発注時の要求事項が確実に実施されていることを確認するとともに、製作メーカーにおける品質管理の充実・強化の実施状況を確認した。  
さらに、調達管理に万全を期すため、工場製作開始時から工場搬出時まで、専任者を中心に当社社員が工場に駐在し、製作現場に立ち会うことにより、製作状況、検査の実施状況、異物管理の実施状況等の確認を行った。
- 製作メーカーにおける品質管理の充実・強化  
設計要求事項どおり製作されるよう、専任の人員を配置して、管理体制の強化を図り、専任者を中心に、設計、製作および検査を実施した。
- 設計上の改善  
今回取り替えた湿分離加熱器については、流体加振力が作用する範囲の内部品について、強度を向上した溶接部の形状を採用するとともに、溶接部の脚長増加や板厚増加を実施し、信頼性の向上を図った。

別 添

伊方発電所第2号機  
湿分分離加熱器の取替について

平成23年2月

四国電力株式会社

## 【目 次】

1. 概 要 .....	1
2. 過去の不具合の概要 .....	1
3. 今回製作時の対応 .....	3
4. スケジュール .....	6
5. 許認可関連 .....	6

## 1. 概要

湿分分離加熱器は、高圧タービンと低圧タービンの間に設置されており、高圧タービンで使用された蒸気の湿分を分離し加熱した後に、低圧タービンへ蒸気を供給する熱交換器である。(添付資料－1、2)

伊方発電所第1、2号機の湿分分離加熱器については、平成17年度に取替を行ったが、平成18年度から20年度にかけて、内部品の溶接部に割れが発生した。

不具合に対する対策は都度実施しその後不具合は発生していないが、長期的な健全性に万全を図る観点から、2号機については、第22回定検で全4台の取替を行い、1号機については、平成23年の第28回定検で全4台取替予定である。

なお、3号機については、設計・製作会社および構造が1、2号機と異なっていること、不具合も発生せず順調に運転していることから取替予定はない。

## 2. 過去の不具合の概要

### (1) 伊方発電所第1号機湿分分離加熱器1B蒸気整流板溶接部の割れ (平成18年6月発生)

#### a. 事象

通常運転中の1号機において、湿分分離加熱器1Bより異音が発生したため調査したところ、2個ある蒸気整流板のうち、高圧タービン排気入口部から見て右側の蒸気整流板の溶接部に、2箇所割れが認められた。

(添付資料－3)

#### b. 原因

当該蒸気整流板を製作する際に溶接部の開先角度が設計より狭く加工されていたため、整流板本体と内部プレートの溶接部に溶け込み不良が生じた。このため、当該溶接部の強度が不足することとなり、そこに蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が加わることにより、疲労限を上回る高サイクルの振動が発生し、疲労が累積して割れが発生・進展したものと推定された。

また、開先角度が設計より狭く加工されたのは、製作会社の溶接部の検査手順書に開先検査の実施は規定されているが、開先検査の記録を残すことまでは規定されていなかったことから、検査漏れが生じ開先確認が不十分となったためと推定された。

#### c. 対策 (平成18年6月報告)

当該蒸気整流板の取替を実施した。

当該溶接部については、開先検査等の検査を確実に実施し、設計仕様どおり開先加工されていることを確認した。

その他の7個の蒸気整流板については、当該溶接部の補強(補強材使用)を実施した。

(2) 伊方発電所第1号機湿分分離加熱器1B蒸気整流板の割れ  
(平成19年4月発生)

a. 事象

1号機第24回定期検査中のところ、湿分分離加熱器1Bにおいて、2個ある蒸気整流板のうち、高圧タービン排気入口部から見て右側の蒸気整流板の溶接部(天板との溶接部)および蒸気整流板本体に割れが認められた。

(添付資料-4)

b. 原因

上記平成18年6月発生の不具合時に取替を実施した蒸気整流板であるが、取替時の溶接ひずみにより蒸気整流板と天板との溶接部に大きな応力が発生していたこと、当該溶接部は狭隘部であり、溶接作業性が劣悪であったため、溶接部に溶け込み不良箇所が発生し、そこに蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が加わることにより、疲労限を上回る高サイクルの振動が発生し、疲労が累積して割れが発生・進展したものと推定された。

c. 対策(平成19年5月報告)

当該蒸気整流板および天板の取替を実施した。

その他の7個の蒸気整流板については、蒸気整流板のみの取替を実施した。

当該溶接部の溶接に際しては、事前に、実物大の模型にて溶接施工の健全性を確認するとともに、溶接士の訓練を実施した。

なお、より一層の強度向上を図る観点から、両側溶接または当て金を使用し、完全溶け込み溶接となるよう実施した。

(3) 伊方発電所第2号機湿分分離加熱器2B天板の割れ  
(平成20年2月発生)

a. 事象

2号機第20回定期検査中のところ、湿分分離加熱器2Bにおいて、蒸気整流板(高圧タービン排気入口部から見て右側の蒸気整流板)を取り付けている天板と仕切板との溶接部および天板本体に割れが認められた。

(添付資料-5)

b. 原因

当該溶接部については、設計会社の図面で設計上要求されていた溶接指示が製作会社で作成した製作図面に記載されず、結果的に当該溶接部が設計要求よりも強度の劣る溶接方法で施工されたため、溶接部に溶け込み不良箇所が発生し、そこに蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が加わることにより、疲労限を上回る高サイクルの振動が発生し、疲労が累積して割れが発生・進展したものと推定された。

c. 対策（平成20年3月報告）

当該天板の取替を実施した。

設計図面からの指示を製作図面に確実に反映するなどの取り合いに関する管理方法を明確にするよう要求することとした。

なお、当該溶接部（仕切板との溶接部）については、設計要求よりも更に強度を向上した溶接形状（両側溶接）とし、その他の15箇所当該溶接部についても、調査のため切断したため、同様な溶接形状にて復旧した。

(4) 伊方発電所第1号機湿分分離加熱器蒸気噴出口溶接部の割れ  
（平成20年4月発生）

a. 事象

1号機第25回定期検査中のところ、湿分分離加熱器4台（1A～1D）のうち、1A～1C号機の3台において、蒸気噴出口（No.3およびNo.4）の溶接部他に割れが認められた。（添付資料-6）

b. 原因

溶接作業性の悪い狭隘な部位で、十分な溶け込みが得られにくい溶接方法（半自動アーク溶接）を採用したことから、溶接部に溶け込み不良箇所が発生し、そこに蒸気の流れによる高サイクルの流体加振力が加わることにより、疲労限を上回る高サイクルの振動が発生し、疲労が累積して割れが発生・進展したものと推定された。

c. 対策（平成20年6月報告）

割れが認められた蒸気噴出口他の取替を実施した。溶接方法については、ティグ溶接を採用した。

その他の蒸気噴出口については、取替（溶接方法はティグ溶接）または溶接部の補修（切削後ティグ溶接）を実施した。

なお、溶接作業については、経験のある溶接士または実物大の模型にて事前に訓練を実施した溶接士が実施した。

上記のとおり、平成18年度から20年度にかけて、蒸気整流板等の内部品の溶接部の割れが4件発生し、その都度対策を実施し、その後不具合は発生していないが、長期的な健全性に万全を図る観点から、2号機については、第22回定検で全4台の取替を行った。

3. 今回製作時の対応

過去の不具合の原因は、蒸気整流板等の内部品の溶接不良箇所（溶け込み不良等）に、流体加振力が作用することにより、割れが発生したと推定されたことから、今回の湿分分離加熱器の製作においては、より一層の信頼性向上を図るために、以下の対応を実施した。

なお、今回製作時における、過去の不具合箇所の各々の対策については、添付資料－7参照のこと。

#### (1) 当社における調達管理の充実・強化

当社においては、発注時に、製作メーカーに対して、流体加振力が作用する箇所の開先検査等を実施しその記録を維持すること、設計図面からの指示を製作図面に確実に反映するなどの取り合いに関する管理方法を明確にすること、および溶接作業性の悪い狭隘な箇所の溶接を施工する場合には、溶け込み不良箇所が発生しないような溶接方法を選定することを要求した。

また、専任の人員を配置し、専任者を中心に、発注時の要求事項が確実に実施されていることを確認するとともに、製作メーカーにおける品質管理の充実・強化の実施状況を確認した。

さらに、調達管理に万全を期すため、工場製作開始時から工場搬出時まで、専任者を中心に当社社員が工場に駐在し、製作現場に立ち会うことにより、製作状況、検査の実施状況、異物管理の実施状況等の確認を行った。

主要な確認内容を以下に示す。

- ・設計要求事項（溶接部の形状、溶接方法[ティグ溶接]等）が製作図面等へ確実に反映されていることを確認した。
- ・狭隘部となる部位については、事前に、実物大の模型を用いて溶接を行い、溶接部の形状や溶接姿勢等について溶接施工の健全性を確認したうえで、実機の溶接を行っていることを確認した。
- ・流体加振力が作用する箇所の開先検査等の実施状況を確認することにより、製作図面どおりに製作が行われていることを確認した。

#### (2) 製作メーカーにおける品質管理の充実・強化

当社において、製作メーカーにおける品質管理の充実・強化の実施状況を確認した。主要な実施内容を以下に示す。

- ・設計要求事項どおり製作されるよう、専任の人員を配置して、管理体制の強化を図り、専任者を中心に、設計、製作および検査を実施した。
- ・設計要求事項（溶接部の開先角度、脚長、板厚、溶接方法[ティグ溶接]等）を製作図面等へ確実に反映した。
- ・狭隘部となる部位については、事前に、実物大の模型を用いて溶接を行い、溶接部の形状や溶接姿勢等について溶接施工の健全性を確認するとともに、溶接士の訓練を行ったうえで、実機の溶接を行った。
- ・前回製作時には、耐圧部の溶接部と耐圧部に取付く非耐圧部の溶接部について、検査を実施し記録を作成保管していたが、今回製作時には、その他の溶接部も追加し、表－1に示す検査を実施し記録を作成保管し、溶接部のチェックをより確実にを行った。 (表－1)

表－1 今回製作時の溶接部検査項目

		材料検査	開先検査	溶接作業検査	熱処理検査	非破壊検査	機械検査	耐圧検査	初層外観検査	溶接後外観検査
耐圧部の溶接部		○	○	○	○	○	○	○	×	○
耐圧部に取付く非耐圧部の溶接部		○	○	○	○	○	－	－	×	○
その他の溶接部	流体加振力が作用する箇所	×→○	×→○	×→○	－	×→○	－	－	×→○	×→○
	流体加振力が作用しない箇所	×→○	×→○	×→○	－	×→○	－	－	×	×→○

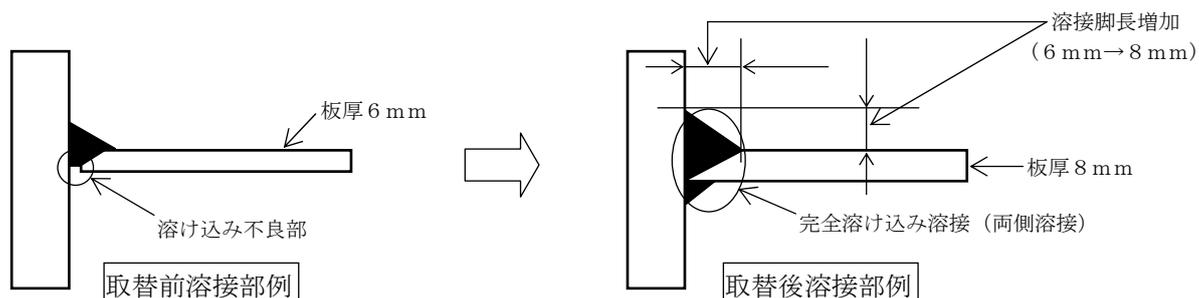
(○：実施する ×：実施しない －：実施不要 ×→○：今回実施することにしたもの)

### (3) 設計上の改善

今回取り替えた湿水分離加熱器については、流体加振力が作用する範囲（蒸気整流板、蒸気噴出口および天板廻り）の内部品について、より一層の強度向上を図る観点から以下の設計上の改善を実施した。

#### a. 溶接部の形状改善

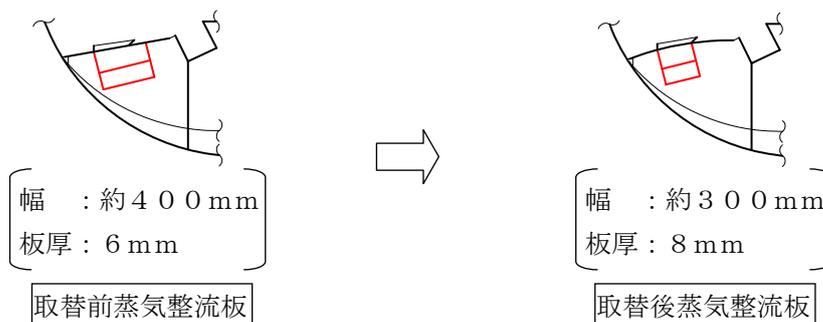
強度を向上した溶接部の形状（完全溶け込み溶接）を採用するとともに、溶接部の脚長増加や板厚増加を実施した。(図－1)



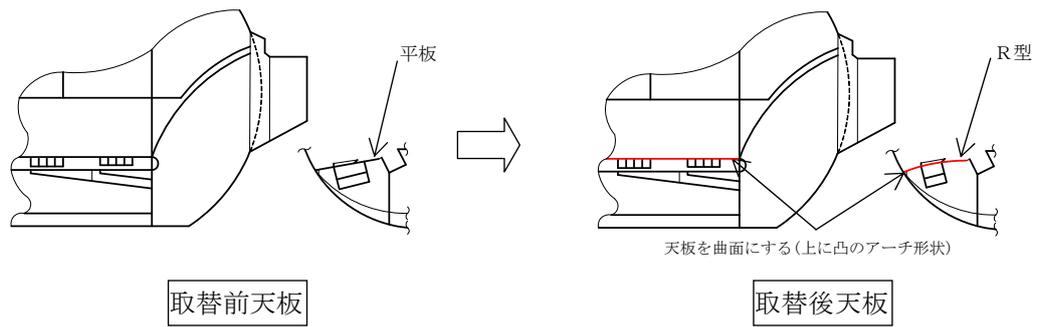
図－1 溶接部の形状改善図

#### b. 構造強度の向上

流体加振力の発生は防止できないことから、流体の受圧面積を小さくして流体加振力を低減するために蒸気整流板を小型化するとともに、天板のR型化、板厚の増加を実施し、流体加振力が作用する範囲の内部品の構造強度を向上させた。(図－2、3)



図－2 蒸気整流板の小型化図



図－3 天板のR型化図

4. スケジュール

平成21年4月から工場製作を開始し、平成22年9月に伊方発電所に搬入し、平成22年9月から11月にかけて据付工事を行った。(表－2)

表－2 伊方発電所第2号機湿分分離加熱器取替スケジュール

平成20年度	平成21年度	平成22年度	平成23年度
溶接部の形状改善 構造強度の向上 他検討			
	2号機工場製作		
		2号機現地据付工事 第22回定検	
		1号機工場製作	
			1号機現地据付工事 第28回定検

5. 許認可関連

耐圧部の溶接部については、電気事業法に基づき、溶接事業者検査を実施した。

原子力安全基盤機構（JNES）による溶接安全管理審査を都度受審し、問題のないことを確認した。

以 上

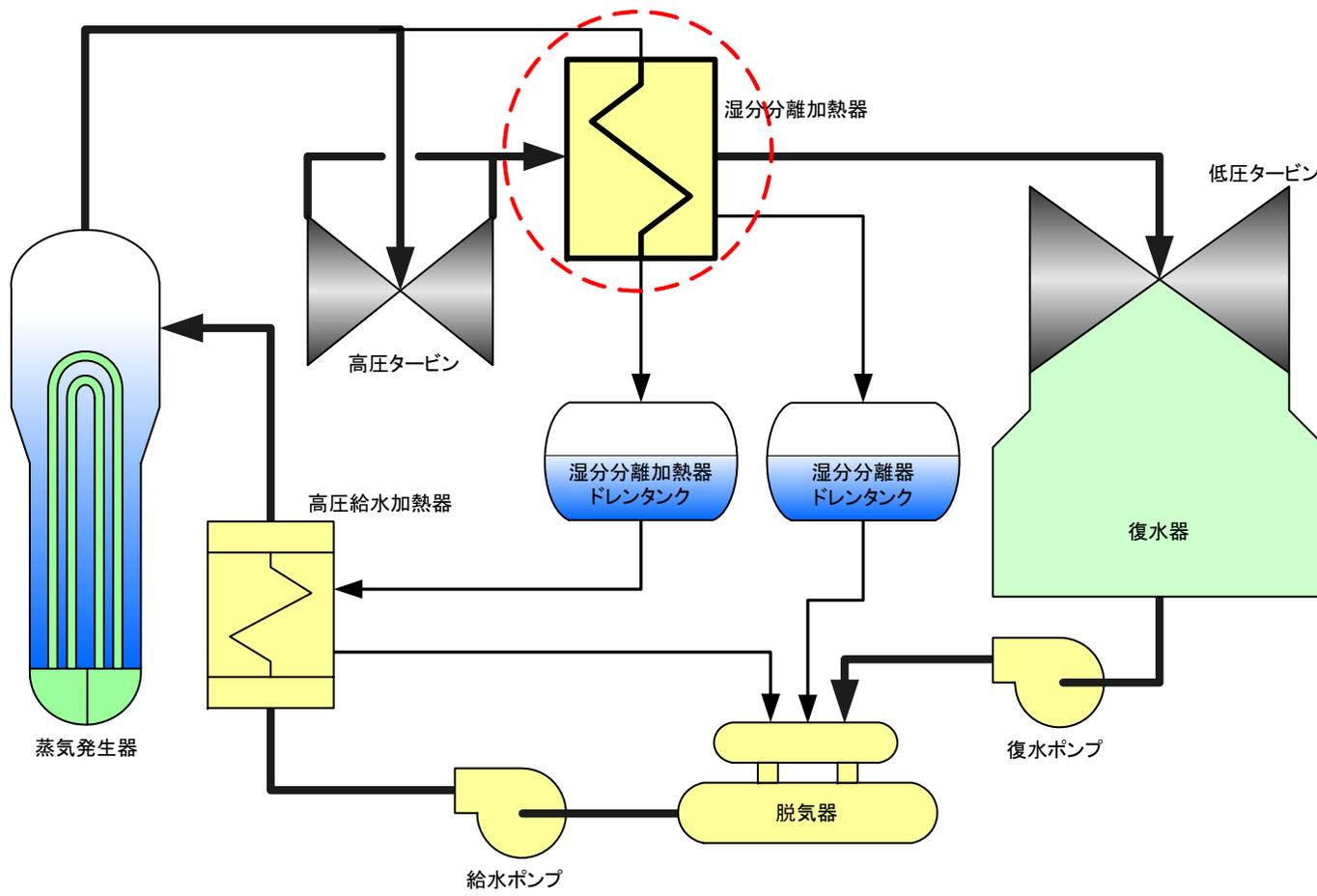
## 【 添 付 資 料 】

1. 湿分分離加熱器廻り概略系統図
2. 湿分分離加熱器構造図
3. 蒸気整流板溶接部の割れ箇所
4. 蒸気整流板の割れ箇所
5. 天板の割れ箇所
6. 蒸気噴出口溶接部の割れ箇所
7. 過去の不具合箇所の今回製作時対策

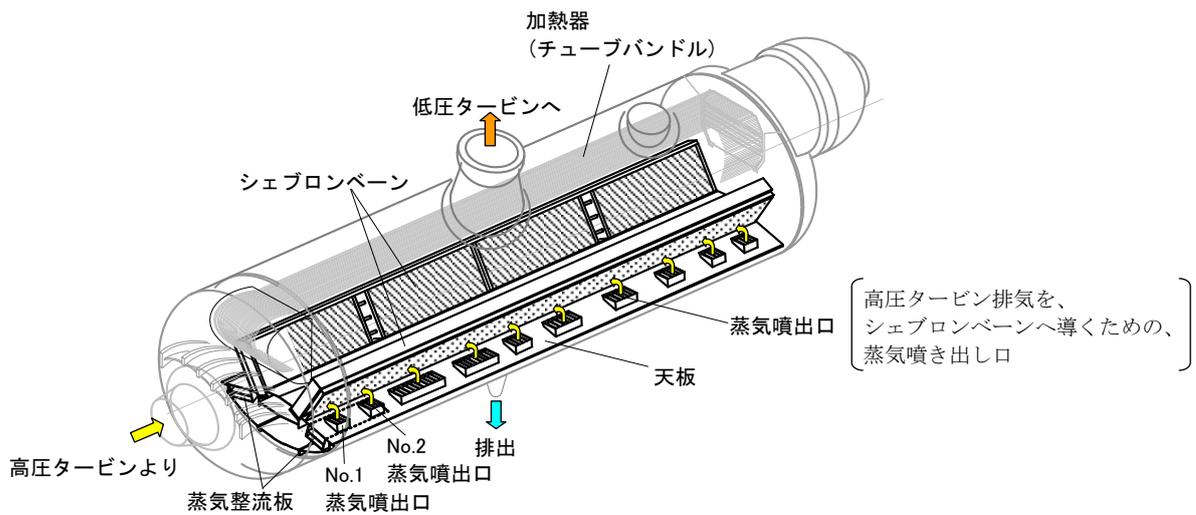
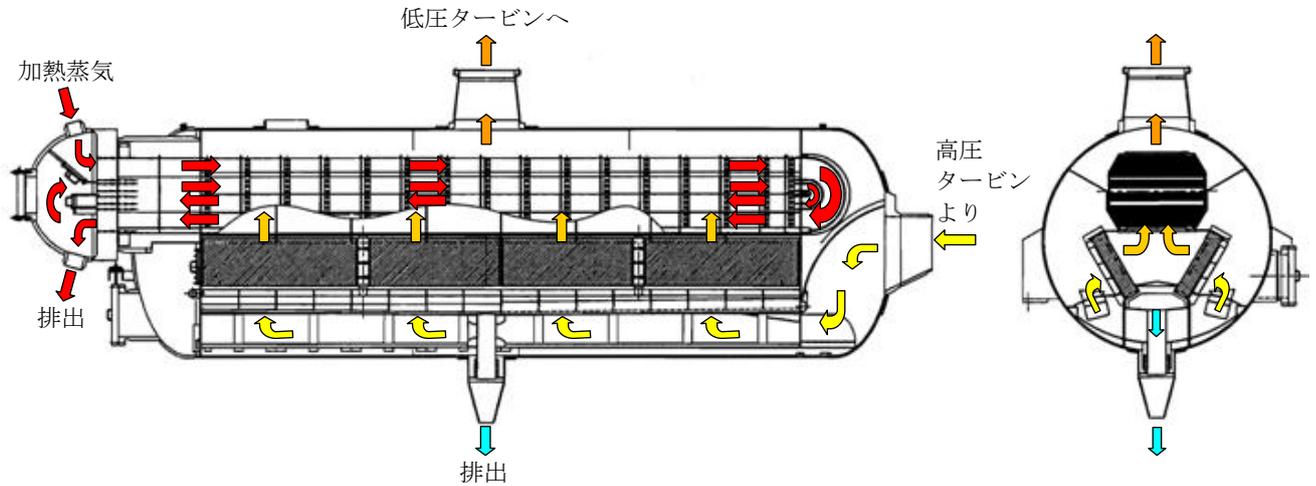
## 【 参 考 資 料 】

用語説明

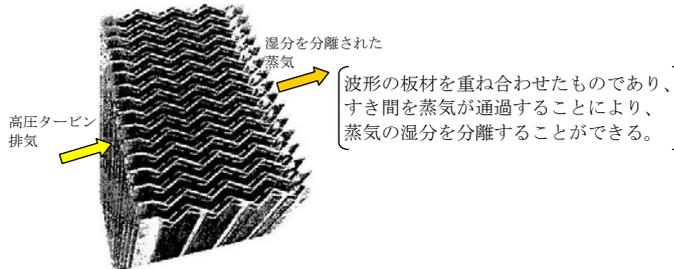
湿分分離加熱器廻り概略系統図



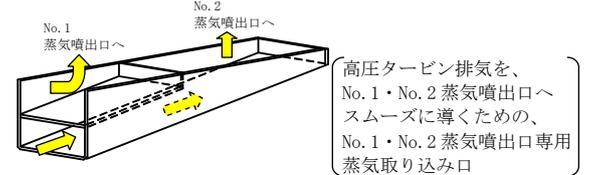
### 湿水分離加熱器構造図



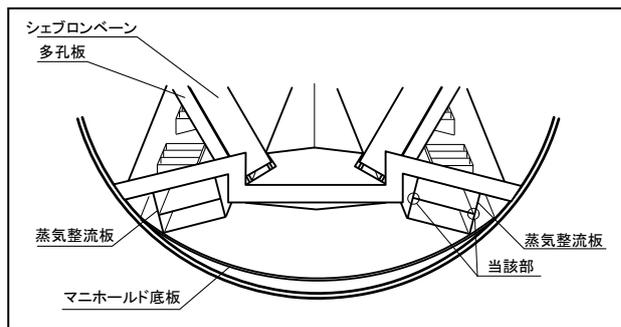
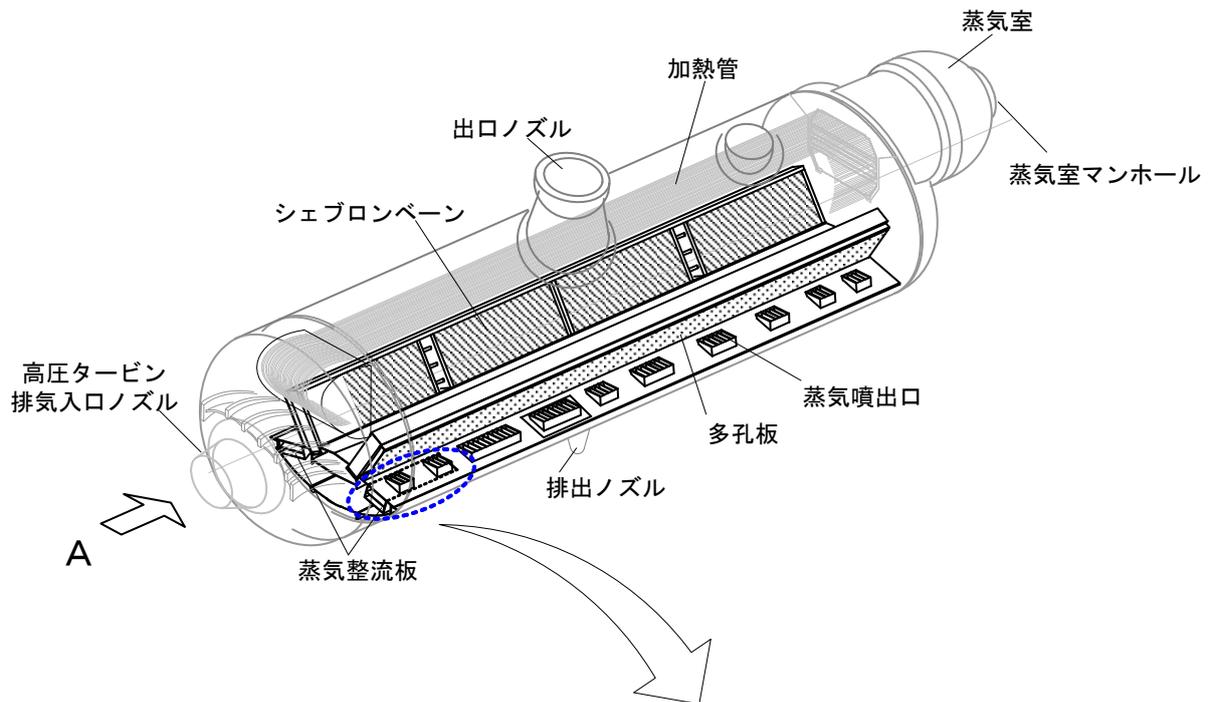
#### シェvronペーン詳細



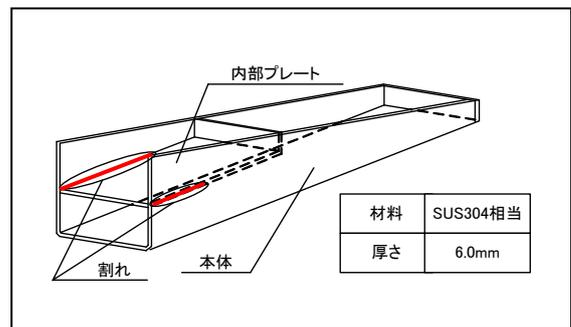
#### 蒸気整流板詳細



蒸気整流板溶接部の割れ箇所  
(平成18年6月発生)

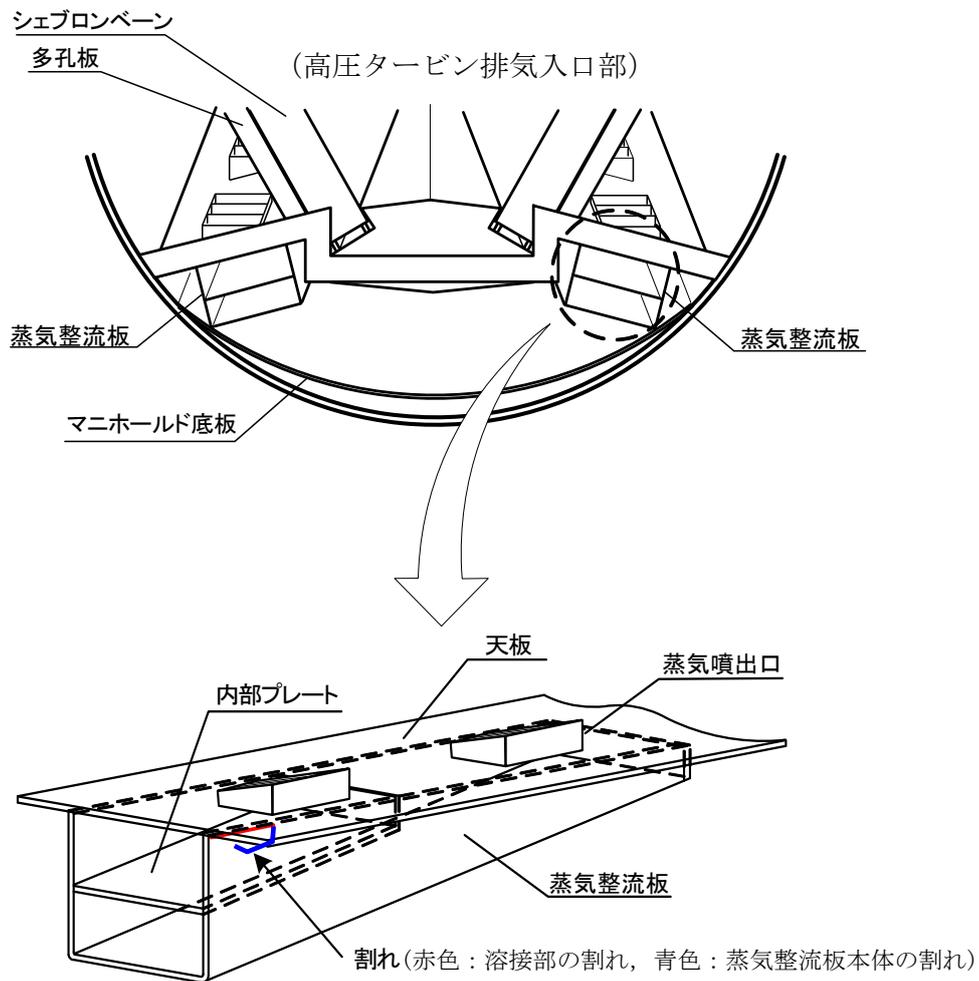


高圧タービン排気入口部 (Aより)



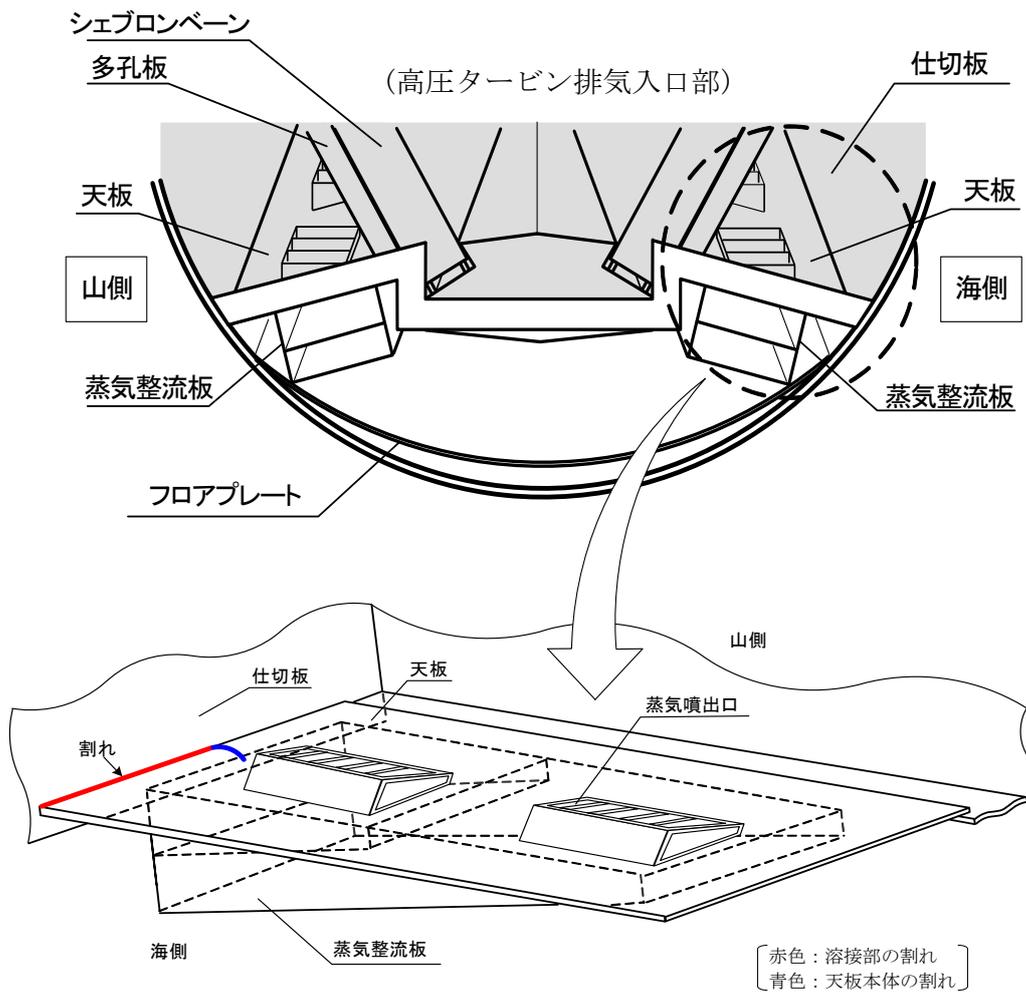
蒸気整流板構造図

蒸気整流板の割れ箇所  
(平成19年4月発生)



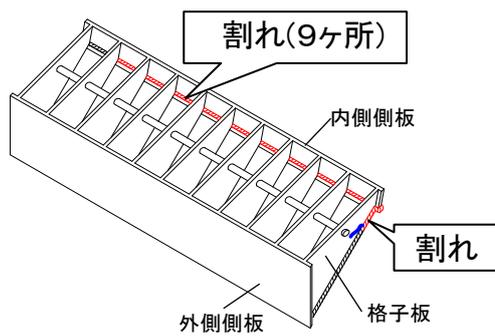
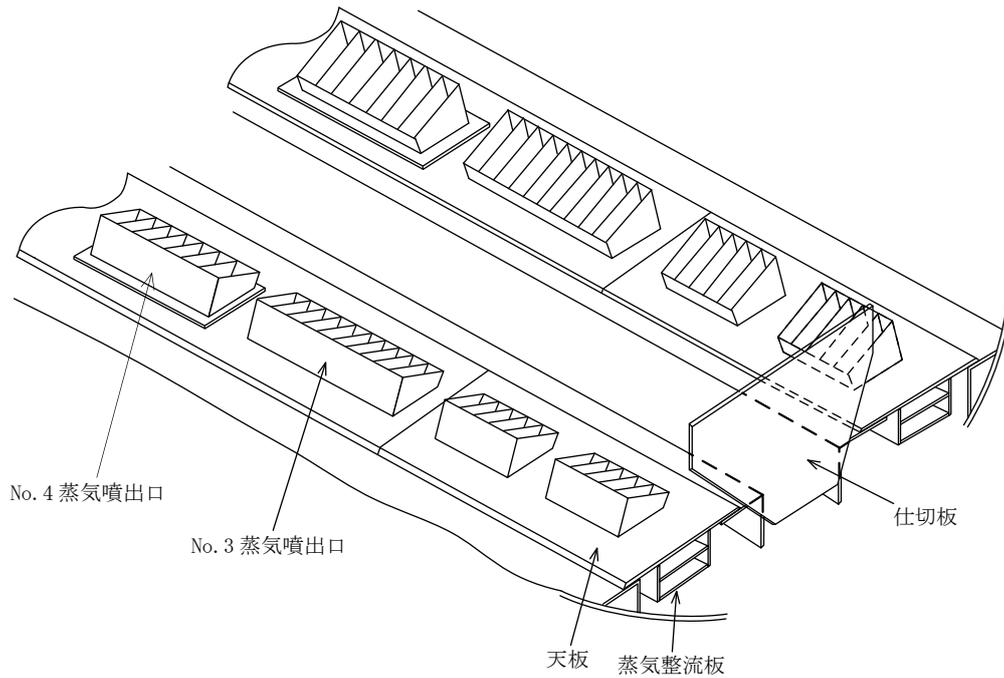
蒸気整流板外形図

天板の割れ箇所  
(平成20年2月発生)



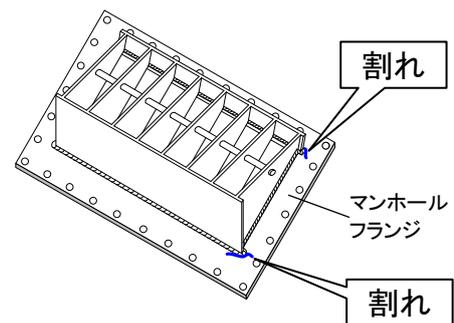
天板廻り外形図  
〔天板上面側より仕切板に向いて見る〕

蒸気噴出口溶接部の割れ箇所  
(平成20年4月発生)



〔赤色:溶接部の割れ  
青色:格子板本体の割れ〕

1A号機 No.3蒸気噴出口

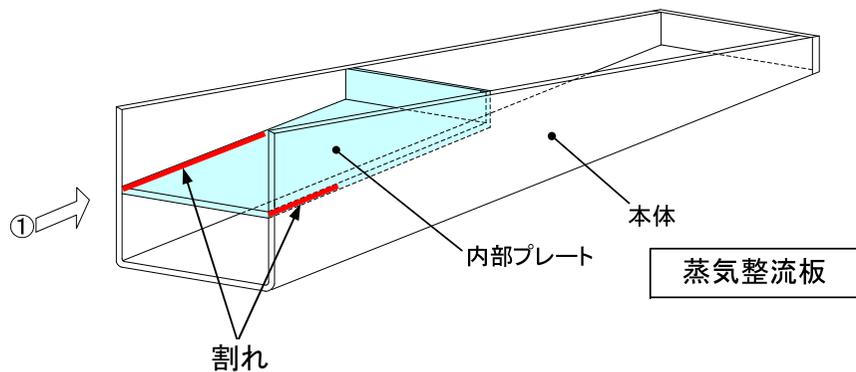


(青色:マンホールフランジ本体の割れ)

1A号機 No.4蒸気噴出口

(代表的な例を示す。)

過去の不具合箇所の今回製作時対策（蒸気整流板溶接部の割れ箇所（平成18年6月発生））



**【溶け込み不良箇所発生原因】**

当該溶接部の開先角度が設計仕様（45°）より狭く加工されたことから、開先先端部に未溶着部分が生じ、内部に空洞が残ったものと推定された。（開先検査記録作成未実施）

①より見る  
（溶接部断面）

**【不具合時対策】**

**[当該溶接部]**

①より見る  
（溶接部断面）

※1: 端部から約100mm程度溶接

注) 現場での作業であったため、作業性を考慮して、広めに50°とした。

溶接部の施工において、開先検査を実施し、確実に開先加工が行われていることを確認した。

**[その他の蒸気整流板の当該溶接部]**

①より見る  
（溶接部断面）

補強部材を用いて、溶接部の補強を実施した。

**【今回製作時対策】**

①より見る  
（溶接部断面）

※1: 端部から約100mmまでは脚長8mm  
それ以降は脚長5mm

注) 今回製作時は、工場での作業であり溶接設備・環境等が整備されているため、従来の設計仕様どおり、45°とした。

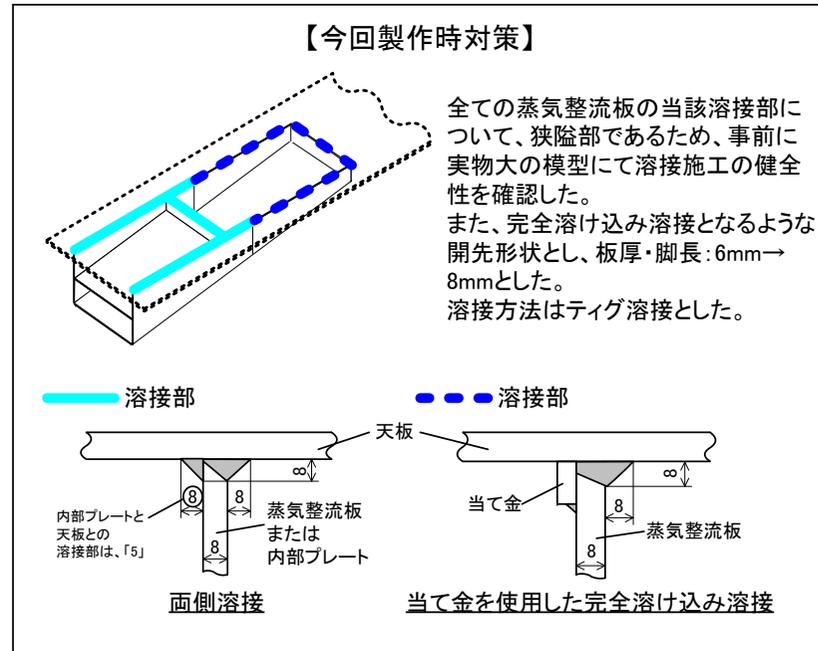
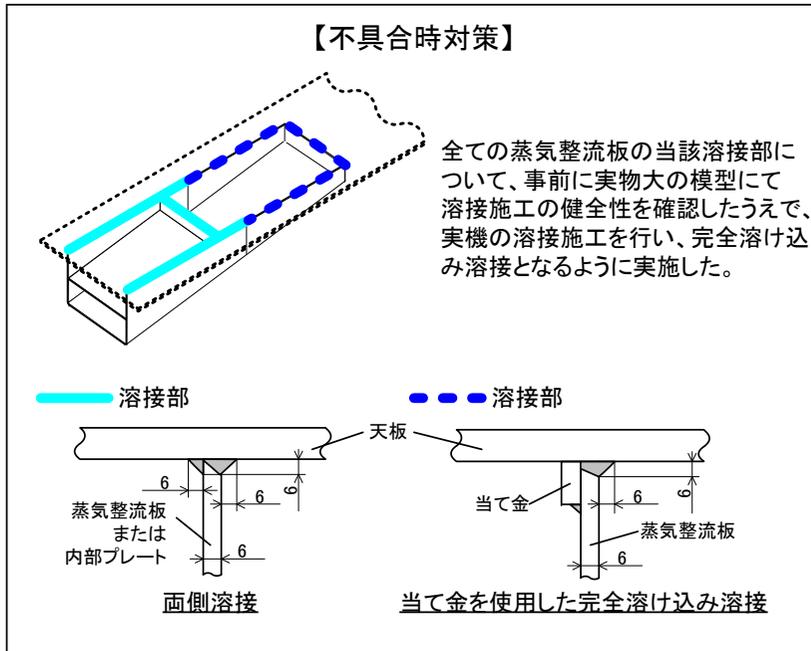
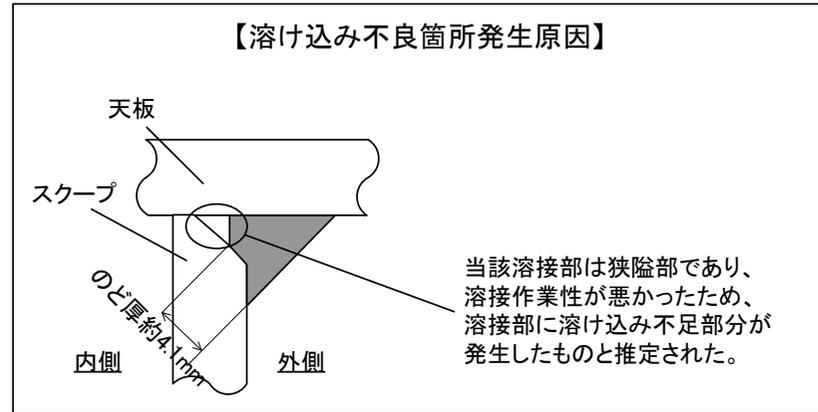
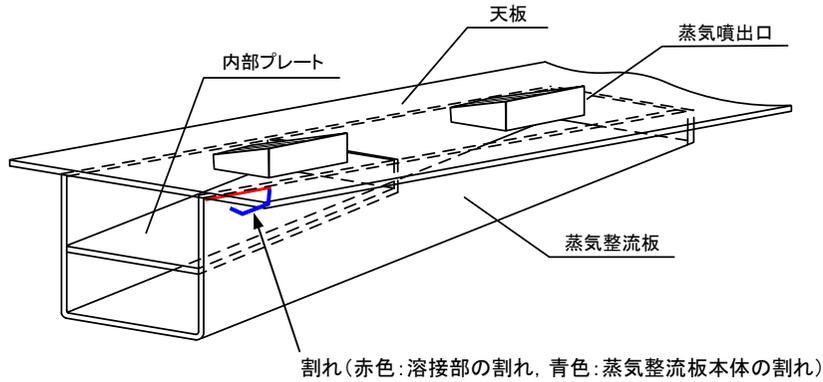
全ての蒸気整流板の当該溶接部について、完全溶け込み溶接となるような開先形状とし、板厚: 6mm→8mm、脚長: 6mm→8mmとした。

また、開先検査を始めとする溶接部に係る各検査を確実に実施し、記録を作成保管した。

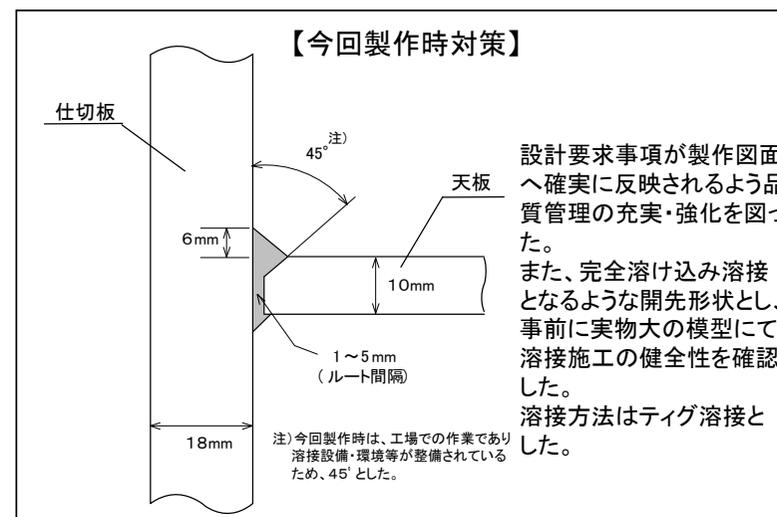
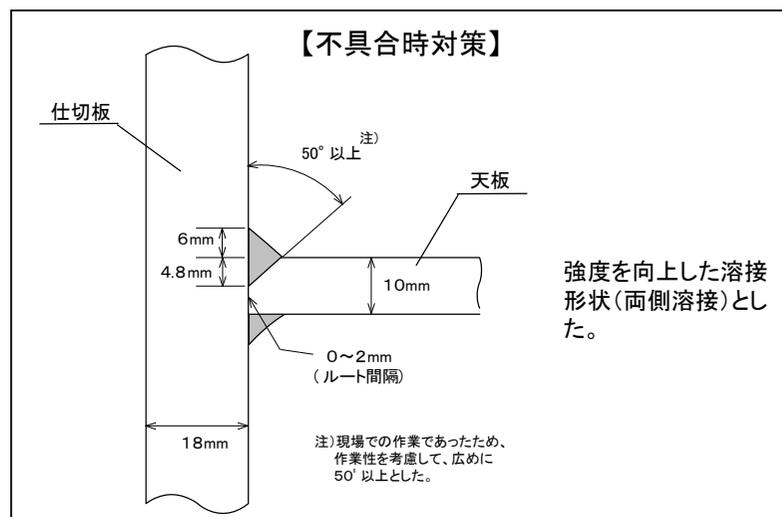
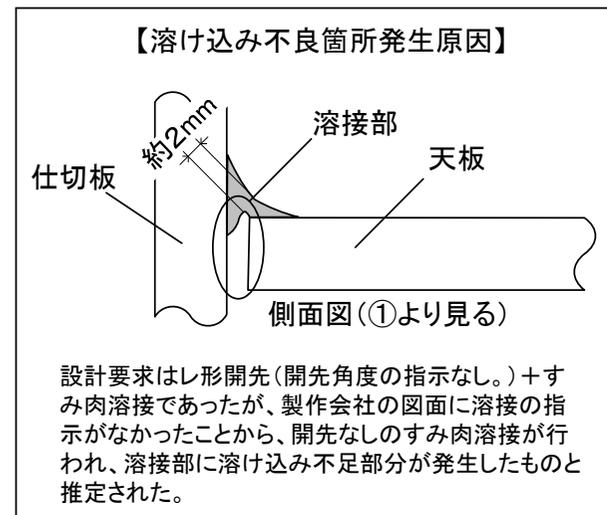
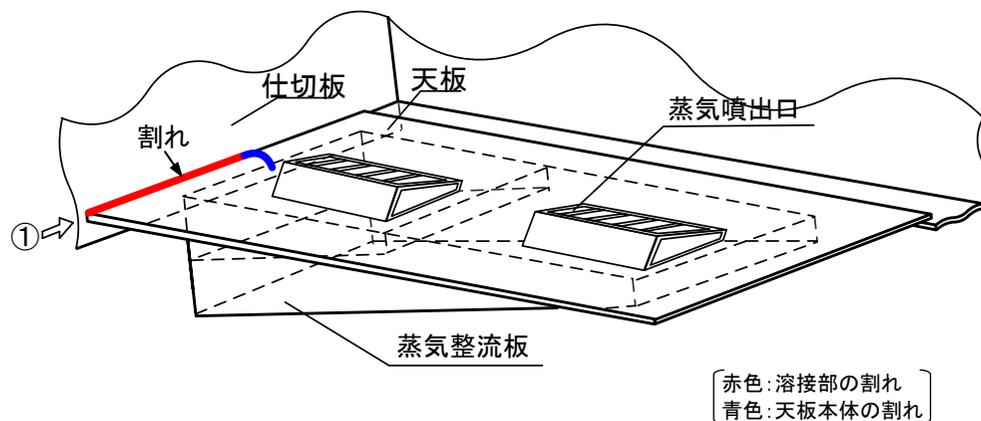
なお、狭隘部でもあるため、事前に実物大の模型にて溶接施工の健全性を確認した。

溶接方法はティグ溶接とした。

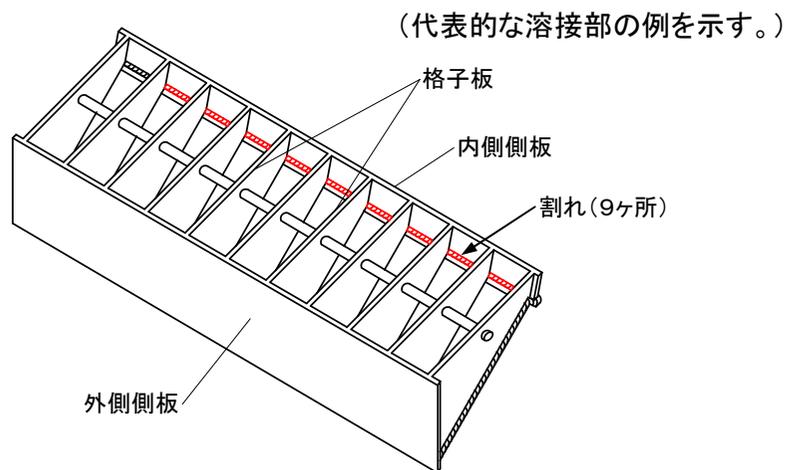
過去の不具合箇所の今回製作時対策（蒸気整流の割れ箇所（平成19年4月発生））



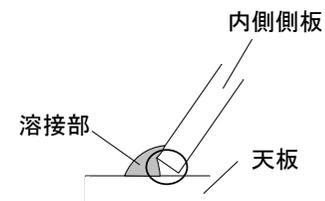
過去の不具合箇所の今回製作時対策（天板の割れ箇所（平成20年2月発生））



過去の不具合箇所の今回製作時対策（蒸気噴出口溶接部の割れ箇所（平成20年4月発生））



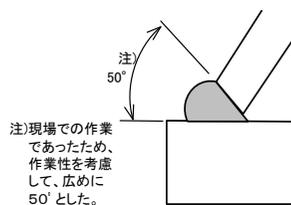
【溶け込み不良箇所発生原因】



溶接作業性の悪い狭隘部であるうえに、十分な溶け込みが得られにくい溶接方法（半自動アーク溶接）を採用していたため、溶接部に溶け込み不足部分が発生したものと推定された。  
（開先角度の設計指示なし。）

【不具合時対策】

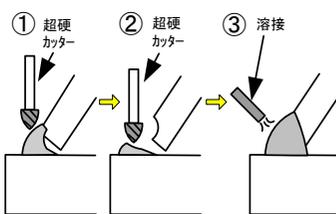
【No.1～4・10蒸気噴出口当該溶接部】



開先を50°とし、溶接金属の溶け込み量を増加させるとともに、ティグ溶接にて溶接した。

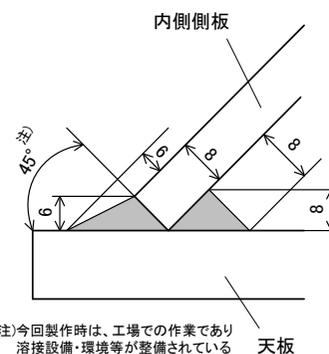
事前に実物大の模型にて溶接施工の健全性を確認したうえで、実機の溶接施工を実施した。

【No.5～9蒸気噴出口当該溶接部】



超硬カッターで既設溶接部切削後、ティグ溶接にて再溶接した。

【今回製作時対策】



注)今回製作時は、工場での作業であり溶接設備・環境等が整備されているため、45°とした。

事前に実物大の模型にて溶接施工の健全性を確認した。  
なお、板厚は6mm→8mm、脚長は可能な限り6mm→8mmとした。  
溶接方法はティグ溶接とした。

## 用語説明

## 1. 流体加振力

空気や水などの流体によって加わる振動

流体加振力が作用する範囲としては、流れを変化させる部位を対象としており、具体的には、湿分分離加熱器入口から、蒸気整流板、天板、蒸気噴出口までの範囲を対象とした。参考図－1 参照

## 2. 半自動アーク溶接

自動的に送られてくる溶接棒と母材との間にアークを発生させ、その熱で溶接材となる溶接棒と母材を熔融させる溶接方法。溶接棒の被覆剤の分解物により、空気が溶接部に侵入することを防止している。

(利点)

- ・大電流での溶接が可能であり、溶接効率が良い。

(欠点)

- ・溶接の溶け込みが浅い。
- ・ビードの形状が滑らかさを欠く。
- ・T i g 溶接と比べ、狭い箇所においては、器具の操作性が劣り、溶接角度の調整が困難

## 3. ティグ溶接

溶接棒を溶接箇所に接触させた状態で、電極と母材間に発生するアーク熱により溶接棒と母材を熔融させる溶接方法。Tungsten (タングステン：希少金属の一種) を電極とし、アルゴンやヘリウムなどの不活性ガス (Inert Gas：イナートガス) 雰囲気中で溶接を行うことにより、空気が溶接部に侵入することを防止している。

(利点)

- ・溶接金属の清浄度が高く、深い溶け込みが得られる。
- ・半自動アーク溶接に比べ、狭い箇所での溶接に対して、操作性に優れる。

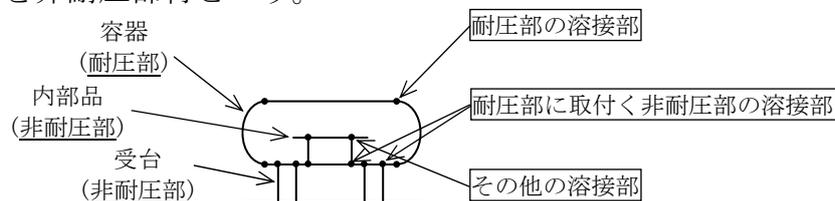
(欠点)

- ・溶接効率は劣る。

## 4. 耐圧部 (材)、非耐圧部 (材)

内面または外面に 0 Pa を超える圧力が加えられる機器の部分を耐圧部といい、当該部分を構成する部材を耐圧部材という。

機器の一部を構成しているが、自重を支えるための受台、位置決め用の座等そのもの自体の強度が、圧力に関係のない部分を非耐圧部といい、当該部分を構成する部材を非耐圧部材という。



# 流体加振力が作用する範囲

