

志賀原子力発電所2号機 気体廃棄物処理系における水素濃度上昇の原因と対策について

平成20年4月30日
北陸電力株式会社

志賀原子力発電所2号機 気体廃棄物処理系^{※1}における水素濃度上昇の原因と対策について取りまとめ、本日、原子力安全・保安院、石川県および志賀町等にお知らせいたしました。

今後、触媒の取替え等の対策を実施してまいります。

【原因】

- ・ 気体廃棄物処理系の水素濃度が上昇したのは、排ガス再結合器^{※2}内にある触媒^{※3}の性能が低下し、水素と酸素の再結合が十分なされなかったため。
- ・ 触媒の性能が低下したのは、原子炉長期停止期間中に、排ガス再結合器内部が結露し、徐々に硫酸塩^{※4}が生成され触媒の一部を覆ったため。

【対策】

上記の原因を踏まえ、以下の対策を実施してまいります。

- ・ 触媒を新品に取り替える。

<原子炉停止期間中の対策>

- ・ 気体廃棄物処理系が高い湿度とならないよう、水を抜いて保管する。
- ・ 排ガス再結合器内が結露しないよう、再結合器の電気ヒータで加温する。

<参考 これまでの経緯>

- ・ 3月26日 原子炉を起動（同日お知らせ済み）
- ・ 4月1日 試験的に発電を開始、22万6千kWで運転中、水素濃度が上昇・警報発生
発電機出力を17万5千kWまで降下（同日お知らせ済み）
- ・ 4月2日 原因調査のため原子炉を停止（同日お知らせ済み）

以上

添付資料：「志賀原子力発電所2号機 気体廃棄物処理系の水素濃度上昇の原因と対策」

※1 気体廃棄物処理系： 復水器に流入する気体状の放射性物質を減衰させる系統

※2 排ガス再結合器： 原子炉で発生した水素と酸素を結合させ水に戻す機器

※3 触媒： 水素と酸素の結合を促進するもの

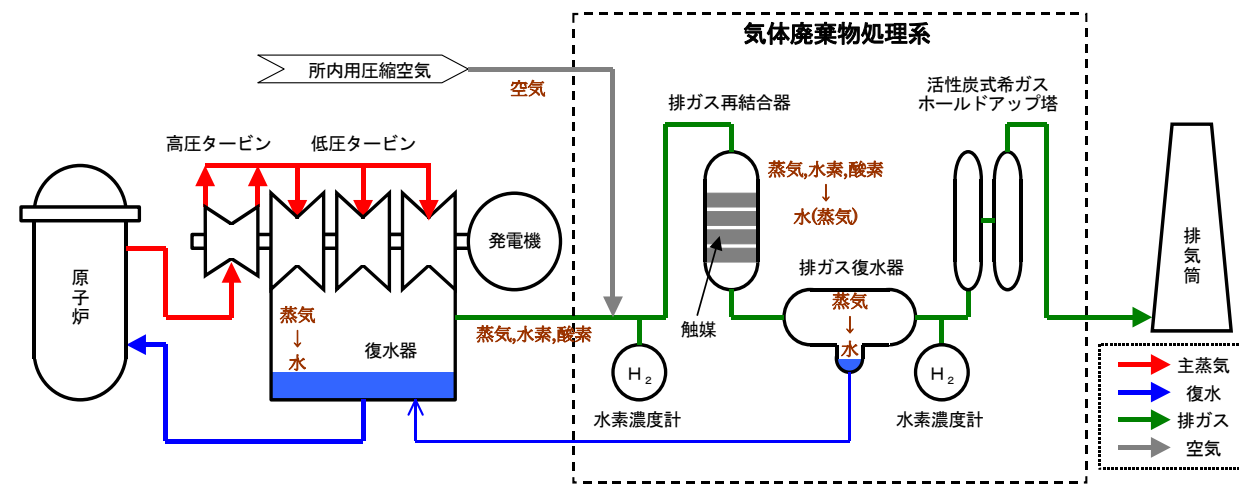
※4 硫酸塩： 今回生成したものは、硫酸と金属が化合したもの

志賀原子力発電所2号機 気体廃棄物処理系の水素濃度上昇の原因と対策

1. 水素濃度上昇の状況

志賀原子力発電所2号機は3月26日に原子炉を起動し、4月1日に試験的に発電を開始したところ、気体廃棄物処理系排ガス再結合器出口の水素濃度が上昇しました。4月2日に原子炉を手動停止し、原因を調査してまいりました。

原子力発電所は、原子炉で水を蒸気に変えタービンを回して発電しますが、その蒸気には放射線の作用により水が分解した水素と酸素が含まれています。タービンを回した蒸気は復水器で水に戻り、再度、原子炉へ供給されます。一方、水素と酸素などの気体は、復水器から気体廃棄物処理系へ導かれ、排ガス再結合器にて水に戻されます。



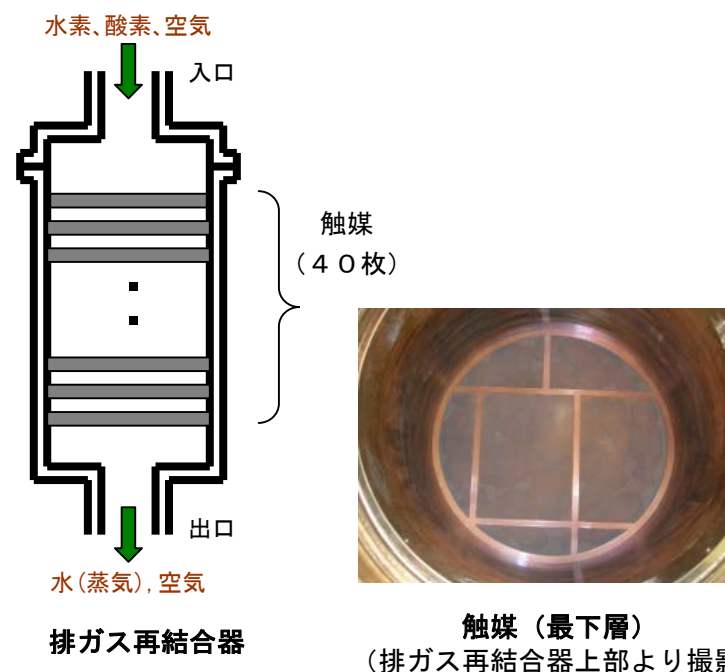
気体廃棄物処理系 概要図

2. 調査結果

水素濃度上昇に結びつくあらゆる可能性を検討し、点検、調査を行った結果、排ガス再結合器に使用している触媒に、**水分の痕跡と硫酸塩**を確認しました。

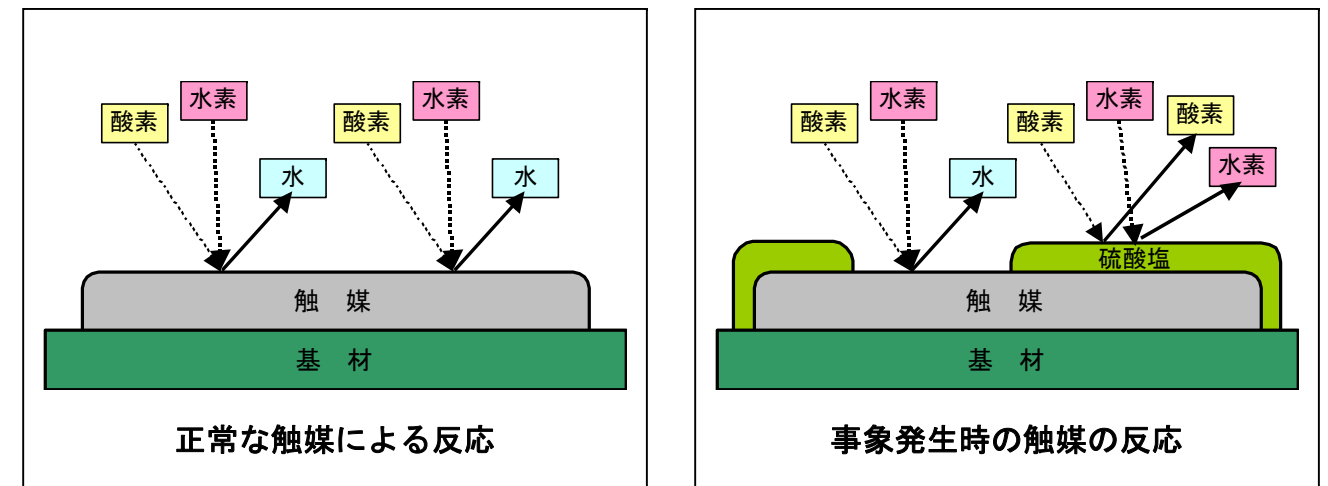
それらの影響を調べるための実験を行ったところ、水の存在により硫酸塩が生成され、触媒の性能を低下させることが判明しました。

触媒とは水素と酸素を効率よく水にするためのもので、排ガス再結合器の中には、触媒（円盤状の板）が40枚入っています。



3. 触媒の性能が低下した原因

- ① 原子炉運転中には、排ガス再結合器に空気が注入されており、その空気には、大気中に存在するごくわずかな硫酸化物が含まれています。その硫酸化物は触媒のまわりに付着します（硫酸化物だけでは、触媒に悪影響を与えることはありません）。
- ② 志賀2号機は、平成18年7月以降長期間停止しており、停止期間中に触媒表面で水の結露が長期間発生していました。この結露した水と硫酸化物および触媒の基材部分の金属が長期間に渡って徐々に化学反応を起こし、硫酸塩が生成されました。
- ③ この**硫酸塩が触媒の一部を覆ったため、触媒の性能が低下した**と考えられます。



〔 触媒：白金 、 基材：Ni・Cr合金 、 硫酸塩：Ni(SO₄)・nH₂O 等 〕

4. 再発防止対策

- (1) 触媒を新品に取り替えます。
- (2) 原子炉停止期間中は、排ガス再結合器が水分の影響を受けることを防止するため、次の対策を実施します。
 - ① 気体廃棄物処理系が高い湿度とならないよう、水を抜いて保管します。
 - ② 排ガス再結合器内が結露しないよう、排ガス再結合器に設置されている電気ヒータで加温します。

以上

志賀原子力発電所 2 号機

気体廃棄物処理系における水素濃度の上昇事象の
原因と対策について

平成 2 0 年 4 月

北陸電力株式会社

目 次

1. 件名	1
2. 事象発生日時	1
3. 事象発生電気工作物	1
4. 事象発生時の運転状況	1
5. 事象発生の状況	1
6. 要因調査結果	1
7. 事象発生のメカニズム	8
8. 推定原因	9
9. 再発防止対策	9

1. 件名

志賀原子力発電所 2 号機

気体廃棄物処理系における水素濃度の上昇事象の原因と対策について

2. 事象発生日時

平成 20 年 4 月 2 日 (水) 5 時 5 8 分

(原子炉の停止が必要と判断した日時)

3. 事象発生電気工作物

廃棄物処理設備 気体廃棄物処理系排ガス再結合器

4. 事象発生時の運転状況

原子炉起動操作中 (第 1 回定期検査中)

原子炉熱出力 約 7 3 4 MW, 原子炉圧力 約 6. 6 0 MP a

(原子炉の停止が必要と判断した時点の状況)

5. 事象発生の状況

志賀原子力発電所 2 号機 (改良型沸騰水型, 定格電気出力 1 2 0 6 MW) は, 第 1 回定期検査中の調整運転のため, 平成 20 年 3 月 2 6 日 2 0 時 3 8 分に原子炉を起動した。

4 月 1 日に試験的に発電を開始し, 発電機出力 2 2 6 MW (原子炉熱出力 約 9 7 5 MW) で運転中, 1 1 時 9 分に気体廃棄物処理系「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報 (設定値: 2 %) が発生した (以下, 「警報発生時」という。) ため, 気体廃棄物処理系の流量を調整するとともに, 1 1 時 4 6 分から発電機出力を 1 7 5 MW まで降下させたところ, 排ガス除湿冷却器出口水素濃度が低下し警報が解除された。

その後, 再び排ガス除湿冷却器出口水素濃度が上昇したため, 排ガス除湿冷却器出口水素濃度を低下させることを目的として, 気体廃棄物処理系への水素流入量の抑制操作および所内用圧縮空気による気体廃棄物処理系掃気量の調整等を実施したが安定しなかったことから, 原因調査のために 4 月 2 日 5 時 5 8 分, 原子炉停止を決定し, 1 3 時 3 分, 原子炉を手動停止した。

なお, 本事象による外部への放射性物質の放出はなく環境への影響はなかった。

(添付資料- 1, 2, 3)

6. 要因調査結果

(1) 排ガス除湿冷却器出口水素濃度上昇に関する調査

排ガス除湿冷却器出口水素濃度が上昇した原因について, 要因分析図に基づき点検調査を行った。

(添付資料- 4)

a. 排ガス再結合器金属触媒の性能低下の可能性について

(a) 不純物の付着

不純物の付着による排ガス再結合器の性能低下の可能性について調査するため、はじめに不純物確認を行い、次いで、確認された不純物が性能低下に及ぼす影響について調査した。

ア. 不純物確認

(ア) 外観目視点検

排ガス再結合器を開放し外観目視点検を実施したところ、支えリング部に鉄錆と思われる堆積物並びに金属触媒カートリッジ内面および一部の金属触媒に水が存在したような痕跡を確認した。また、金属触媒の全段にわたり鉄錆と思われる赤茶色の変色が認められた。

鉄錆については、固体状で存在することから金属触媒に付着せず、性能を低下させる要因とはならない。

水分については、「イ. 不純物影響調査」において性能低下に及ぼす影響について調査する。

(添付資料－5)

(イ) 排ガス再結合器内面付着物分析

排ガス再結合器内面の付着物をスミヤ分析により確認したところ、硫酸イオンおよびナトリウムイオン等を検出した。

(添付資料－6)

硫酸イオンについては、「イ. 不純物影響調査」において性能低下に及ぼす影響について調査する。

ナトリウムイオン等その他の検出物については、(エ) 金属触媒分析において、硫酸イオンに比べて検出された濃度が低いかまたは検出されていないことから、性能を低下させる要因とはならない。

(ウ) 金属触媒表面観察

当該の金属触媒(以下、「現触媒」という。)および未使用の金属触媒(以下、「未使用触媒」という。)の表面を走査型電子顕微鏡(以下、「SEM」という。)により観察したところ、鉄錆と推定される酸化物以外に不純物の付着は認められなかった。

(添付資料－7)

(エ) 金属触媒分析

現触媒について温水抽出試験により付着物を確認したところ、硫酸イオンおよびニッケルイオン等を検出した。また、油分は確認されなかった。

(添付資料－8)

硫酸イオンおよびニッケルイオンについては、「イ．不純物影響調査」において性能低下に及ぼす影響について調査する。

その他の検出物については、未使用触媒においても検出されており、また、検出された濃度も低いことから、性能を低下させる要因とはならない。

イ．不純物影響調査

「ア．不純物確認」において、性能低下に影響を及ぼす可能性のある不純物として確認された水分、硫酸イオンおよびニッケルイオンについて発生源調査、金属触媒性能試験を実施し、性能低下に及ぼす影響の有無について調査した。

(ア) 発生源調査

i．水分

水分の発生源を調査するため、排ガス再結合器上下流の系統状態および原子炉停止期間中の気体廃棄物処理系の系統保管履歴について調査した。

(i) 排ガス再結合器上下流の系統状態についての調査

排ガス再結合器上流の蒸気式空気抽出器から排ガス再結合器内へ水が流入する可能性があるため、警報発生時の運転状態を確認したところ、蒸気式空気抽出器復水器の水位上昇を示す警報発生がなかったことから、下流側の排ガス再結合器内へ水分が流入した可能性はない。

排ガス再結合器下流の排ガス復水器Uシール水位が上昇した場合、共通のドレンラインを有する排ガス予熱器を経由して排ガス再結合器内へ水が流入する可能性があるため、警報発生時の運転状態を確認したところ、排ガス復水器水位は通常水位付近で安定しており、異常は認められなかった。

(添付資料－9)

(ii) 気体廃棄物処理系の系統保管履歴についての調査

平成18年7月5日の原子炉停止以降、平成20年3月26日に原子炉起動するまでの間の系統状態を調査したところ、以下のことを確認した。

- ・原子炉停止中の約20ヶ月間、排ガス再結合器電気ヒータが停止しており、その間、排ガス再結合器は室温状態であった。
- ・排ガス再結合器の下流にある排ガス復水器を平成19年10月までの約16ヶ月間、ドレン水を保有した状態で保管していた。

(添付資料－10)

(i)、(ii)の調査結果より、水分の発生源として、排ガス再結合器下流に設置されている排ガス復水器に保有されていたドレン水からの水分が排ガス再結合器金属触媒に到達し、室温の変化により結露していたこと

が推定される。

ii. 硫酸イオン

硫酸イオンについては、運転時および停止中の通気試験時に気体廃棄物処理系を掃気する所内用圧縮空気の性状をイオンクロマトグラフにより測定したところ、硫黄酸化物が含まれていることを確認した。このことについては、大気中の硫黄酸化物が排ガス再結合器内部に流入したと推定される。

(添付資料－ 1 1)

iii. ニッケルイオン

ニッケルイオンについては、金属触媒の基材はニッケル、クロムで形成されており、金属触媒分析で確認されたニッケルイオンは基材から溶出したものと推定される。

(イ) 金属触媒性能試験

「(ア) 発生源調査」で発生が推定された水分、硫黄酸化物およびニッケルについて、金属触媒の性能低下に及ぼす影響を調査するため、警報発生時の運転条件を模擬して、再結合性能に関する性能試験を以下の通り実施した。

(添付資料－ 1 2)

i. 現触媒についての調査

現触媒を使用して性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度は経時的に上昇し、再結合性能の低下を確認した。

ii. 未使用触媒についての調査

未使用触媒を使用して性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度に上昇は見られず、再結合性能の低下は確認されなかった。

iii. 水分が性能低下に及ぼす影響についての調査

水分の影響を調査するため、水分に浸漬した未使用触媒を使用して性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度に上昇は見られず、再結合性能の低下は確認されなかった。

iv. 硫黄酸化物およびニッケルが性能低下に及ぼす影響についての調査

- ・硫黄酸化物の影響を調査するため、硫黄酸化物を注入した金属触媒の性能試験に関するプラントメーカーのデータを調査したところ、試験装置出口水素濃度の上昇は見られず、硫黄酸化物単独では再結合性能の低下に影響を及ぼさないことを確認した。

(添付資料－ 1 3)

- ・一方、硫黄酸化物は水分と化学反応し硫酸となることから、硫酸の影響について調査するため、硫酸に浸漬した未使用触媒を使用して性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度が経時的に上昇し、再結合性能の低下を確認した。

また、性能試験後、試験に使用した触媒について温水抽出による分析を行ったところ、ニッケルイオンおよび硫酸イオン等を検出したことから、硫酸に浸漬させた金属触媒においては、基材や担持材を構成する金属と硫酸の化学反応により生成した硫酸塩（硫酸ニッケル等）の影響により、再結合性能が低下していることが推定される。

(添付資料－ 8)

- ・硫酸塩は一般的に水和物となることから、現触媒における硫酸塩水和物の存在の有無を確認することを目的として、現触媒、未使用触媒および硫酸に浸漬させた未使用触媒（硫酸塩を含むと推定される）について示差熱分析（温度変化に対する重量変化の分析）を実施したところ、現触媒および硫酸に浸漬させた未使用触媒では、350℃付近に未使用触媒では見られなかった重量減少を確認した。

この重量減少は硫酸塩水和物からの結晶水の減少と考えられることから、現触媒には、硫酸に浸漬させた未使用触媒と同様の硫酸塩水和物が存在していると推定される。

(添付資料－ 8)

- i. ～ iv. の試験結果から、現触媒には硫酸塩水和物が存在しており、この硫酸塩水和物が金属触媒の性能低下に影響を及ぼした可能性があることが推定される。

(b) 白金付着量の減少

白金付着量の減少により再結合性能が低下する可能性があるため、金属触媒表面観察および白金密度測定を行い、減少の有無について調査した。

金属触媒表面観察として、現触媒および未使用触媒の白金付着分布をエネルギー分散型蛍光X線分析装置（EDX）により比較したところ、有意な差は認められなかった。

現触媒および未使用触媒の白金付着密度を原子吸光光度計により測定したところ、同等であり、現触媒について白金付着量の減少はなかった。

(添付資料－ 7, 1 4)

(c) 酸素流入不足

他プラントにおいて排ガス再結合器への酸素流入不足により排ガス除湿冷

却器出口水素濃度が上昇する事象が発生しており、当該事象に対する対策として、所内用圧縮空気掃気量を増加させ、排ガス中の酸素／水素濃度比を再結合反応が起こりにくい状態となるしきい値以上に管理している。

警報発生時の酸素流入量について運転状態を確認したところ、酸素／水素濃度比はしきい値より高く、酸素流入不足は発生していなかった。

(添付資料－ 1 5)

(d) 排ガス予熱器出口温度低下

排ガス再結合器へ流入する排ガスの予熱温度が低下した場合、排ガス再結合器での再結合性能が低下し、排ガス除湿冷却器出口水素濃度が上昇する可能性があるため、警報発生時の運転状態を確認したところ、排ガス予熱器出口温度は設定温度の約 1 5 5℃で安定しており、異常はなかった。

(添付資料－ 1 6)

(e) 製造・据付不良

金属触媒の製造段階において再結合性能が基準を満たしていない場合、または金属触媒の据付が正しくなかった場合、再結合性能が低下する可能性があるため、現触媒の製造・据付記録の確認および排ガス再結合器開放後の外観目視点検を実施した。

現触媒の製造時の記録を確認したところ、再結合性能は基準値を満足しており、製造不良は確認されなかった。また、現触媒の据付時の記録を確認したところ、据付不良は確認されなかった。

(添付資料－ 1 7)

排ガス再結合器を開放し外観目視点検を実施したところ、金属触媒の据付状況に異常はなかった。

(添付資料－ 5)

b. バイパスラインの形成の可能性について

(a) 排ガス再結合器本体のバイパス

ア. 警報発生時の系統状態を確認したところ、蒸気式空気抽出器上流から排ガス復水器出口へのラインについては、蒸気式空気抽出器上流側は負圧となっており、一方、排ガス復水器出口側は正圧となっていることから、水素が排ガス再結合器をバイパスし、下流に流出した可能性はない。

(添付資料－ 2－ 2, 9)

イ. 警報発生時の運転状態を確認したところ、排ガス復水器水位に異常はなかったことから、排ガス予熱器、排ガス復水器および排ガス除湿冷却器のドレン排出ラインの共通Uシールにシール水切れはなく、水素が排ガス再結合器をバイパスし、下流に流出した可能性はない。

(添付資料－２－２， ９)

(b) 金属触媒のバイパス

排ガス再結合器を開放後，金属触媒を排ガス再結合器本体から取り外し，外観目視点検を実施したところ，破損，浸食等の異常は認められなかった。リーク防止板に軽微な変形が認められたが，金属触媒の据付状態に異常がなかったことから，金属触媒のバイパスへの影響はないと考えられる。

また，金属触媒のバイパス流路となる溶接部について浸透探傷試験を実施したところ，異常はなかった。

(添付資料－５， １８)

c. 計器不良の可能性について

(a) 排ガス水素分析計の不良

排ガス水素分析計の不良の可能性について調査するため，排ガス再結合器入口および排ガス除湿冷却器出口の排ガス水素分析計について，校正ガスによる点検を行ったところ，排ガス水素分析計に異常はなかった。

また，排ガス水素分析計の系統状態を確認したところ，校正ガスの誤流入がなく，排ガス再結合器入口および排ガス除湿冷却器出口の流量指示も健全であることから，異常はなかった。

(添付資料－１９)

d. 水素流入量増加の可能性について

(a) 原子炉出力の急上昇

原子炉出力が急上昇した場合，水素流入量が急増加し，再結合しきれない水素が排ガス再結合器を通過し，排ガス除湿冷却器出口水素濃度が上昇する可能性があることから，事象発生時の運転状態を確認したところ，原子炉出力の急激な上昇はなく，かつ排ガス再結合器入口水素濃度は上昇していなかった。

(添付資料－２０)

(b) 蒸気式空気抽出器空気入口弁の急開操作

蒸気式空気抽出器空気入口弁の急開操作を実施した場合，水素流入量が増加し，再結合しきれない水素が排ガス再結合器を通過し，排ガス除湿冷却器出口水素濃度が上昇する可能性があることから，警報発生時の運転状態を確認したところ，警報が発生する前には排ガス流量は安定しており当該弁の急開操作はなく，かつ排ガス再結合器入口水素濃度は上昇していなかった。

(添付資料－２１)

(２) 調査結果のまとめ

(不純物確認)

a. 排ガス再結合器を開放し外観目視点検を実施したところ，金属触媒カートリッ

ジ内面および一部の金属触媒に水が存在したような痕跡を確認した。

- b. 排ガス再結合器内面の付着物をスミヤ分析により確認したところ、硫酸イオンを検出した。
- c. 現触媒について温水抽出試験により付着物を確認したところ、硫酸イオンおよびニッケルイオンが検出された。

(発生源調査)

- d. 気体廃棄物処理系の系統保管履歴について調査したところ、原子炉停止中の約20ヶ月間、排ガス再結合器電気ヒータが停止し室温状態であったこと、および約16ヶ月間、排ガス復水器にドレン水を保有した状態で保管していたことから、このドレン水からの水分が排ガス再結合器金属触媒に到達し、室温の変化により結露していたことが推定される。
- e. 運転時および停止中の通気試験時に気体廃棄物処理系を掃気する所内用圧縮空気の性状をイオンクロマトグラフにより測定したところ、硫黄酸化物が含まれていることを確認した。

(金属触媒性能試験)

- f. 硫黄酸化物は水分と化学反応し硫酸となることから、硫酸に浸漬した未使用触媒を使用して性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度が経時的に上昇し、再結合性能の低下を確認した。

また、性能試験後、試験に使用した触媒について温水抽出による分析を行ったところ、ニッケルイオンおよび硫酸イオンが検出されたことから、硫酸に浸漬させた金属触媒においては、基材や担持材を構成する金属と硫酸の化学反応により生成した硫酸塩（硫酸ニッケル等）の影響により、再結合性能が低下していることが推定される。

- g. 現触媒、未使用触媒および硫酸に浸漬させた未使用触媒（硫酸塩を含むと推定される）について示差熱分析を実施したところ、現触媒および硫酸に浸漬させた未使用触媒では、350℃付近に未使用触媒では見られなかった重量減少を確認した。

この重量減少は硫酸塩水和物からの結晶水の減少と考えられることから、現触媒には、硫酸に浸漬させた未使用触媒と同様の硫酸塩水和物が存在しており、この硫酸塩水和物が金属触媒の性能低下に影響を及ぼしたものと推定される。

7. 事象発生メカニズム

排ガス再結合器は、運転時および停止中の通気試験時に所内用圧縮空気により掃気を行っている。大気中にごくわずかに存在する硫黄酸化物（ SO_2 ）が所内用圧縮空気

により運ばれ白金に吸着され、酸化により SO_3 となって⁽¹⁾金属触媒表面に付着した。

2号機は平成18年7月以降、長期間にわたり停止しており、この間、排ガス再結合器内部の金属触媒は、排ガス復水器のドレン水からの水分にさらされ、その水分が金属触媒表面に結露した。

このため、金属触媒表面の SO_3 と結露水が化学反応し、金属触媒表面に硫酸が生成された⁽¹⁾。

さらに、長期停止期間中に、この硫酸と金属触媒の担持材や基材との化学反応により硫酸塩が生成される。硫酸塩は吸湿性が高く⁽²⁾、周囲の水分を吸着することにより水和物を生成し、再結合性能を低下させた。

原子炉起動後、この硫酸塩水和物に触媒反応による水素と酸素の結合により生成した水が結晶水等として取り込まれ⁽²⁾、白金表面に付着し徐々に触媒反応を阻害する⁽³⁾。

この結果、排ガス再結合器の再結合性能が徐々に低下し、排ガス除湿冷却器出口水素濃度が徐々に上昇したものと推定される。

(添付資料－22)

8. 推定原因

本事象は、運転時および停止中の通気試験により大気中の硫黄酸化物が金属触媒表面に付着していたことに加え、原子炉の長期停止期間中、排ガス再結合器電気ヒータを停止していたことから、排ガス再結合器内部が排ガス復水器内のドレン水により高い湿度の雰囲気中で保管され、金属触媒表面に硫酸塩水和物が生成した。

原子炉起動後、水素と酸素の結合により生成した水を結晶水等として取り込み、白金表面に付着することで徐々に触媒性能を阻害したことにより発生したと推定される。

9. 再発防止対策

(1) 再結合性能の低下が確認された排ガス再結合器の金属触媒について、新品と取替える。

(2) 金属触媒の性能低下の要因を除去することを目的に対策を検討した結果、原子炉停止期間中、排ガス再結合器が水分の影響を受けることを防止することが効果的であることから、以下の対策を実施する。

a. 原子炉停止期間中においては、排ガス復水器内のドレン水を抜いて保管する。

b. 水分の凝縮を防ぐことを目的として、停止期間中においても排ガス再結合器電気ヒータを通電状態に保つ。

念のため、気体廃棄物処理系停止時の掃気運転後、除湿空気により系統内を置換するとともに乾燥させる。

(添付資料－23)

以上

参考文献

- (1) 「化学大辞典 9」(化学大辞典編集委員会, 共立出版株式会社), p. 685
- (2) 「岩波理化学辞典 第4版」(久保他編, 岩波書店), p. 1366, p. 1369
- (3) 「工業貴金属触媒」(室井高城, 幸書房), p. 36

添付資料 目次

添付資料－ 1 － 1	主要時系列
添付資料－ 1 － 2	警報発生後の対応操作等
添付資料－ 1 － 3	事象関連トレンド
添付資料－ 2 － 1	志賀原子力発電所 2 号機 系統概要図
添付資料－ 2 － 2	気体廃棄物処理系 系統概要図
添付資料－ 2 － 3	排ガス再結合器構造図
添付資料－ 3 － 1	主要プラントパラメータ（排ガス再結合器入口水素濃度，排ガス除湿冷却器出口水素濃度）
添付資料－ 3 － 2	主要プラントパラメータ（平均出力領域モニタ，発電機出力）
添付資料－ 3 － 3	主要プラントパラメータ（排気筒放射線モニタ）
添付資料－ 4	排ガス除湿冷却器出口水素濃度上昇の要因分析図
添付資料－ 5	外観目視点検記録（排ガス再結合器内部）
添付資料－ 6	排ガス再結合器内面付着物分析記録
添付資料－ 7	金属触媒表面観察記録
添付資料－ 8	金属触媒分析記録
添付資料－ 9	排ガス再結合器本体前後の圧力および排ガス復水器水位の推移
添付資料－ 1 0	長期停止時における系統運転履歴および保管状況
添付資料－ 1 1	所内用圧縮空気性状調査記録
添付資料－ 1 2	金属触媒性能試験記録
添付資料－ 1 3	硫黄酸化物を付着させた金属触媒性能試験記録
添付資料－ 1 4	白金付着密度測定記録
添付資料－ 1 5	警報発生時の酸素／水素濃度比
添付資料－ 1 6	排ガス予熱器出口温度の推移
添付資料－ 1 7	金属触媒製造・据付時記録確認
添付資料－ 1 8	溶接部浸透探傷試験記録
添付資料－ 1 9	排ガス水素分析計点検記録
添付資料－ 2 0	原子炉熱出力の推移
添付資料－ 2 1	排ガス流量等の推移
添付資料－ 2 2	事象発生メカニズム
添付資料－ 2 3	再発防止対策
添付資料－ 2 4	用語の解説

主要時系列

日 時	主 要 経 緯
平成 20 年 3 月 26 日 (水) 20 時 38 分	原子炉起動
平成 20 年 4 月 1 日 (火) 03 時 30 分	発電機並列
04 時 55 分	発電機出力 20% (226 MW)
11 時 09 分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報発生 (最大値 4.2 vol%)
11 時 40 分	気体廃棄物処理系への水素流入量調整
11 時 46 分～11 時 57 分	発電機出力約 15% (175 MW) まで出力降下
11 時 57 分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報解除
14 時 23 分～翌 05 時 58 分	事象安定化のための操作*1 ・ 気体廃棄物処理系への水素流入量の抑制操作 ・ 所内用圧縮空気による気体廃棄物処理系掃気量の調整操作 ・ 排ガス予熱器昇温操作 ・ 排ガス再結合器昇温操作 ・ 発電機出力上昇操作 (約 12%*2→約 15%) *1 当該操作開始以降, 同警報が計 8 回発生 *2 キセノン影響等により約 12%まで低下
平成 20 年 4 月 2 日 (水)	
05 時 58 分	原子炉停止決定及び発電機出力降下開始
07 時 23 分	発電機解列
13 時 03 分	原子炉手動停止

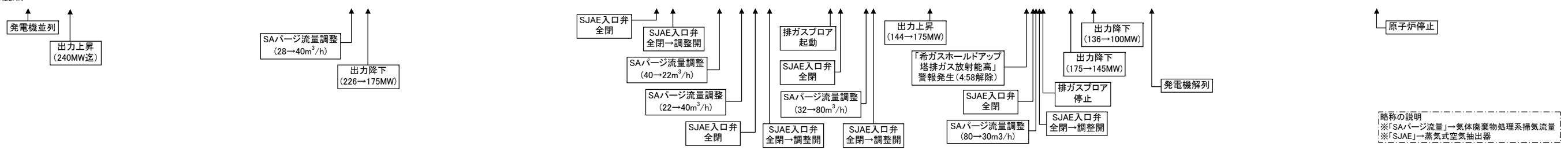
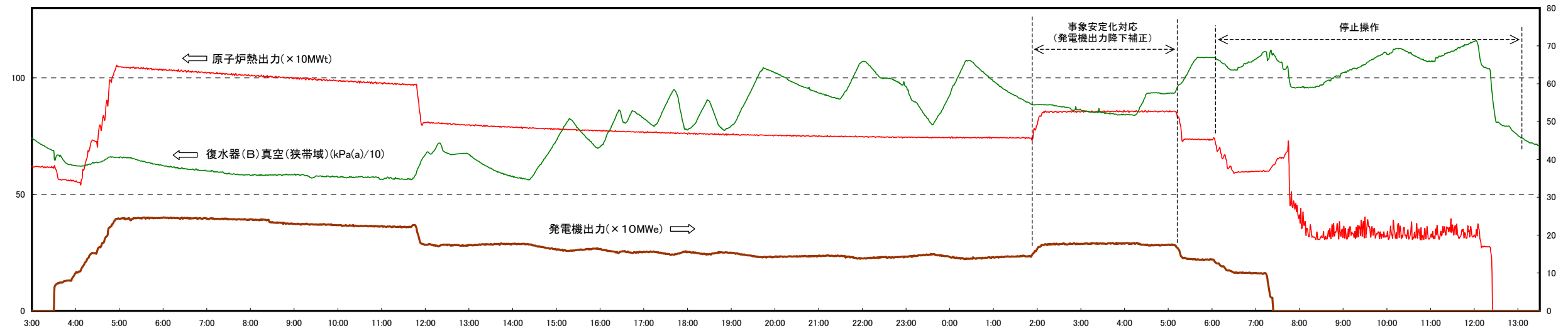
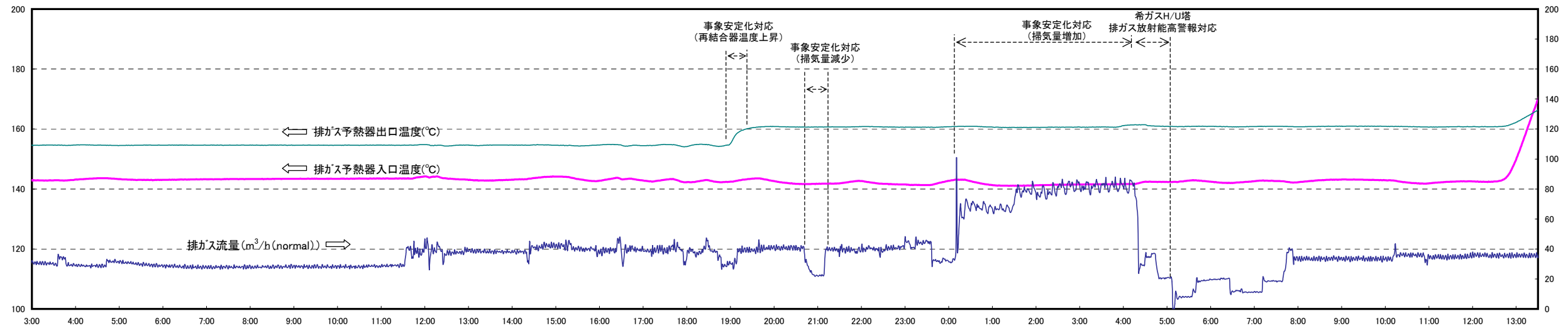
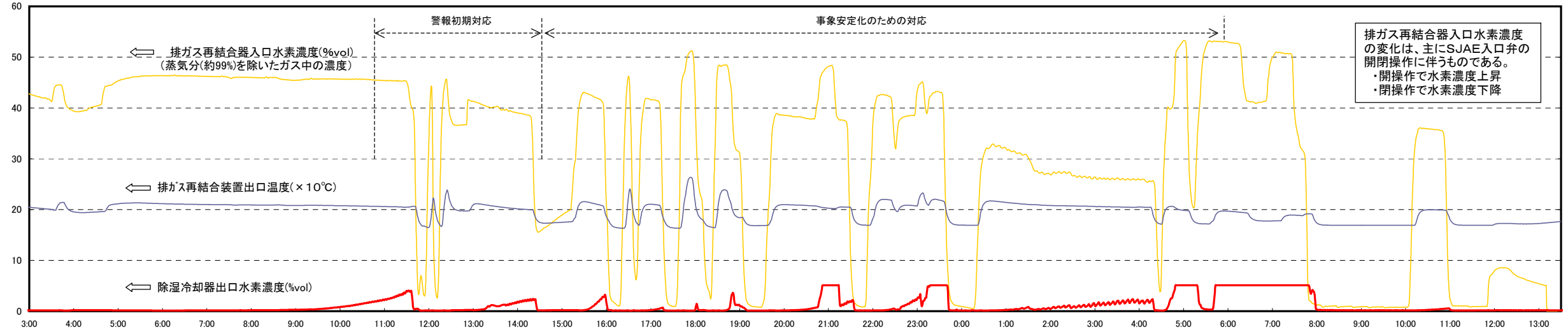
警報発生後の対応操作等

時系列		対応操作等	備考
4月1日 11時09分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報発生	関連パラメータ及び現場サンプルラックに異常のないことを確認	警報初期対応
11時31分～11時34分	気体廃棄物処理系掃気量増加操作	気体廃棄物処理系掃気量を28→40m ³ /h(normal)に増加操作実施	
11時40分	気体廃棄物処理系への水素流入量調整	さらに水素濃度の上昇が継続したため、蒸気式空気抽出器空気入口弁により気体廃棄物処理系への水素流入量調整をするとともに、発電機出力を226→175MWに降下	
11時46分～11時57分	発電機出力降下操作		
11時57分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報解除		
14時23分～19時12分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報の発生及び解除の継続	蒸気式空気抽出器空気入口弁による気体廃棄物処理系への水素流入量調整を継続的に実施	事象安定化のための対応（気体廃棄物処理系への水素流入量の調整）
18時56分	排ガス予熱器出口温度設定上昇操作	再結合器の効率改善を図るため、温度設定を155→165℃に増加。予熱器出口温度は155→161℃まで上昇	事象安定化のための対応（再結合器温度の上昇）
20時41分～20時57分	気体廃棄物処理系掃気量減少操作	安定運転実績のある気体廃棄物処理系掃気量とするため、40→22m ³ /h(normal)に減少操作実施	事象安定化のための対応（気体廃棄物処理系掃気量の減少）
21時07分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報発生		
21時07分～21時11分	気体廃棄物処理系掃気量増加操作	気体廃棄物処理系掃気量を22→40m ³ /h(normal)に増加操作実施	

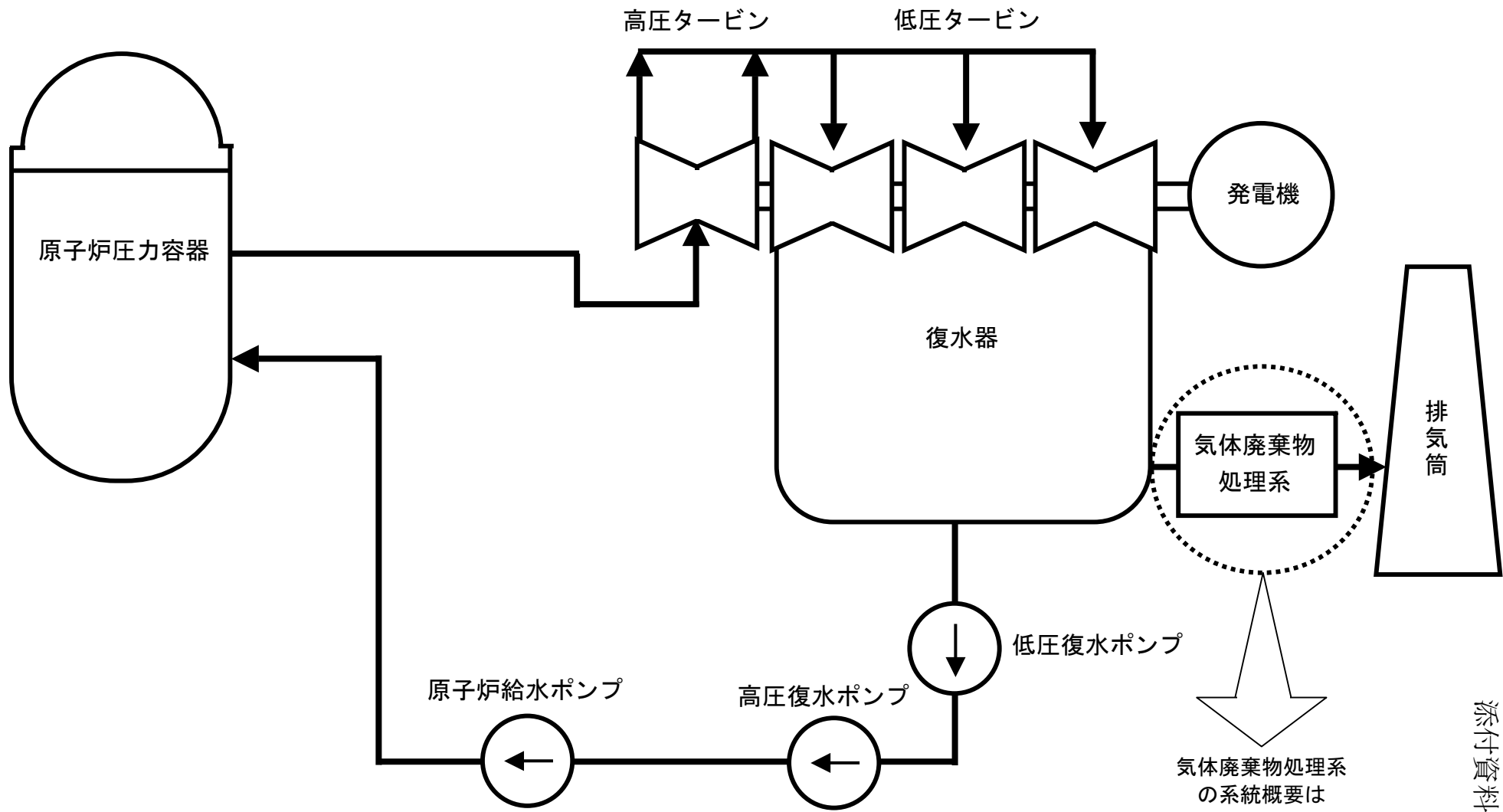
時系列		対応操作等	備考
21時30分頃	気体廃棄物処理系隔離操作	除湿冷却器出口水素濃度が4%を超えたため、気体廃棄物処理系を隔離（蒸気式空気抽出器空気入口弁全閉） 除湿冷却器出口水素濃度が低下したため、気体廃棄物処理系隔離復旧（蒸気式空気抽出器空気入口弁調整開）	
21時34分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報解除		
21時53分	気体廃棄物処理系隔離復旧		
23時28分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報発生	除湿冷却器出口水素濃度が4%を超えたため、気体廃棄物処理系を隔離（蒸気式空気抽出器空気入口弁全閉）	事象安定化のための対応（気体廃棄物処理系の隔離）
23時36分	気体廃棄物処理系隔離操作		
4月2日 00時01分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報解除		
00時10分 ～02時30分頃	気体廃棄物処理系掃気量増加操作	酸素量を増加させ再結合を促進させる目的で、気体廃棄物処理系掃気量増加操作実施（排ガス流量32→80m ³ /h(normal)）	事象安定化のための対応 （気体廃棄物処理系掃気量の増加及びキセノンによる発電機出力降下の補正）
00時20分	気体廃棄物処理系隔離復旧	除湿冷却器出口水素濃度が低下したため、気体廃棄物処理系隔離復旧（蒸気式空気抽出器空気入口弁調整開）	
01時45分～02時08分	発電機出力上昇操作	キセノン蓄積による出力補正及び水素量を増加させ再結合反応を促進させる目的で発電機出力を144→175MWに上昇	
03時59分	排ガス予熱器出口温度調節弁バイパスラインへの通気、排ガス再結合器電気ヒータ「入」	再結合器の効率改善を図るため、排ガス予熱器出口温度調節弁バイパス弁の開操作及び再結合器電気ヒータの入操作を実施。（予熱器出口温度161℃、再結合器出口温度204℃でいずれも変化なし）	事象安定化のための対応（再結合器温度の上昇）

時系列		対応操作等	備考
04時12分	「活性炭式希ガスホールドアップ塔排ガス放射能高」警報発生	活性炭式希ガスホールドアップ塔の流量増加により、Ar ⁴¹ 等の核種が活性炭式希ガスホールドアップ塔下流へ移行したため発生。排気筒モニタ等の指示に異常のないことを確認	活性炭式希ガスホールドアップ塔排ガス放射能高警報対応
04時16分	蒸気式空気抽出器空気入口弁開度調整	活性炭式希ガスホールドアップ塔排ガス放射能高警報発生のため、蒸気式空気抽出器空気入口弁閉操作を実施するとともに、気体廃棄物処理系掃気量減少操作（80→30m ³ /h(normal)）を実施	
04時18分	気体廃棄物処理系掃気量減少操作		
04時58分	「活性炭式希ガスホールドアップ塔排ガス放射能高」警報解除		
05時01分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報発生	気体廃棄物処理系使用不能と判断し、発電機出力を175→145MWに降下 蒸気式空気抽出器空気入口弁閉操作実施	事象安定化のための対応（気体廃棄物処理系の隔離）
05時09分～05時17分	発電機出力降下操作		
05時10分頃	気体廃棄物処理系への水素流入調整		
05時40分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報解除		
06時01分	「排ガス除湿冷却器出口水素濃度高」警報発生		
05時58分 05時58分～06時28分 07時23分 13時03分 21時33分	原子炉停止決定 発電機出力降下操作 発電機解列 原子炉停止 原子炉冷温停止	停止へ向けて136→100MWに発電機出力降下	停止に向けた操作

事象関連トレンド
 (排ガス再結合器入口水素濃度, 排ガス除湿冷却器出口水素濃度 サンプル遅れ 時間軸見直し後)

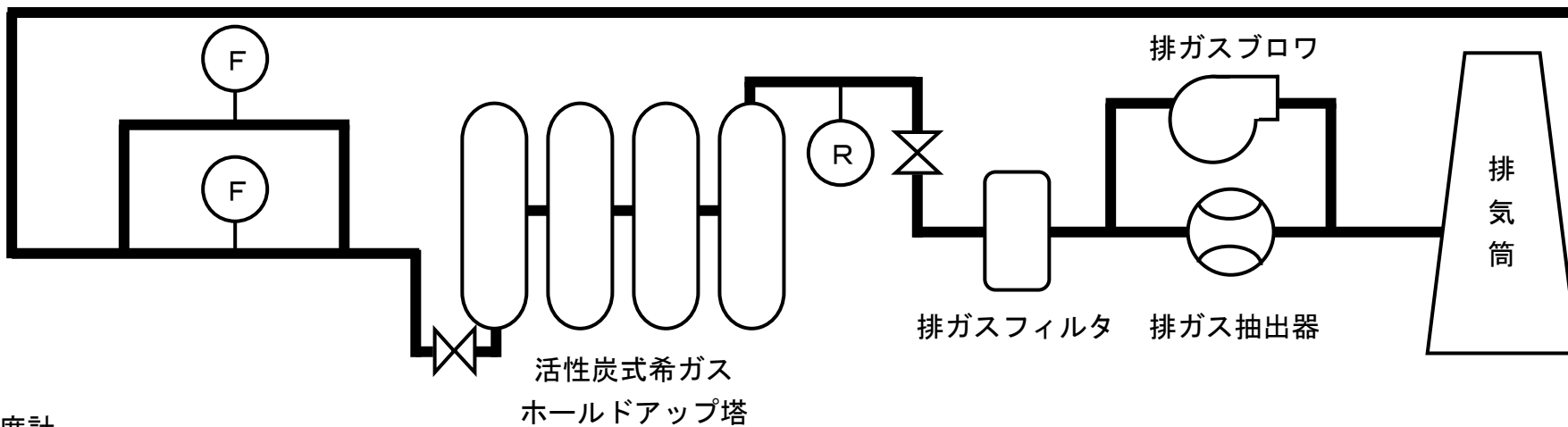
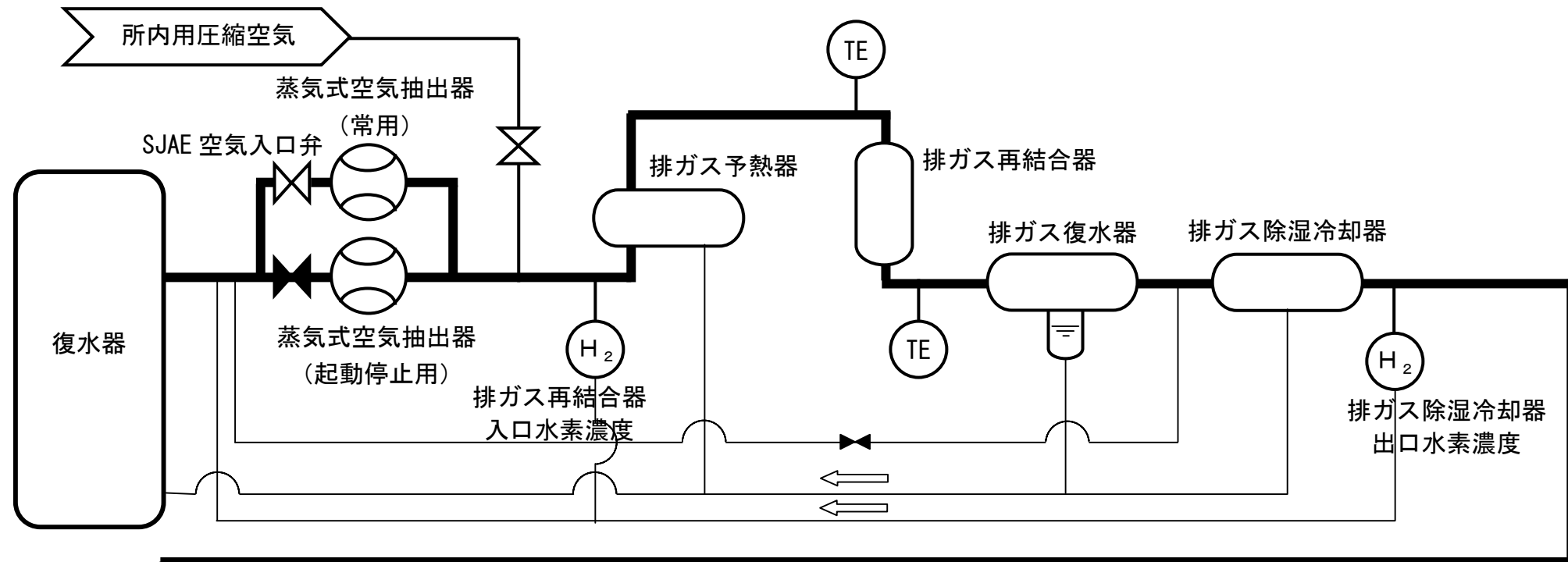


略称の説明
 ※「SAバージ流量」→ 気体廃棄物処理系掃気流量
 ※「SJAE」→ 蒸気式空気抽出器



気体廃棄物処理系の系統概要は
添付資料-2-2参照

志賀原子力発電所2号機 系統概要図



- (F) : 流量計
- (TE) : 温度計
- (H₂) : 水素濃度計
- (R) : 放射線モニタ

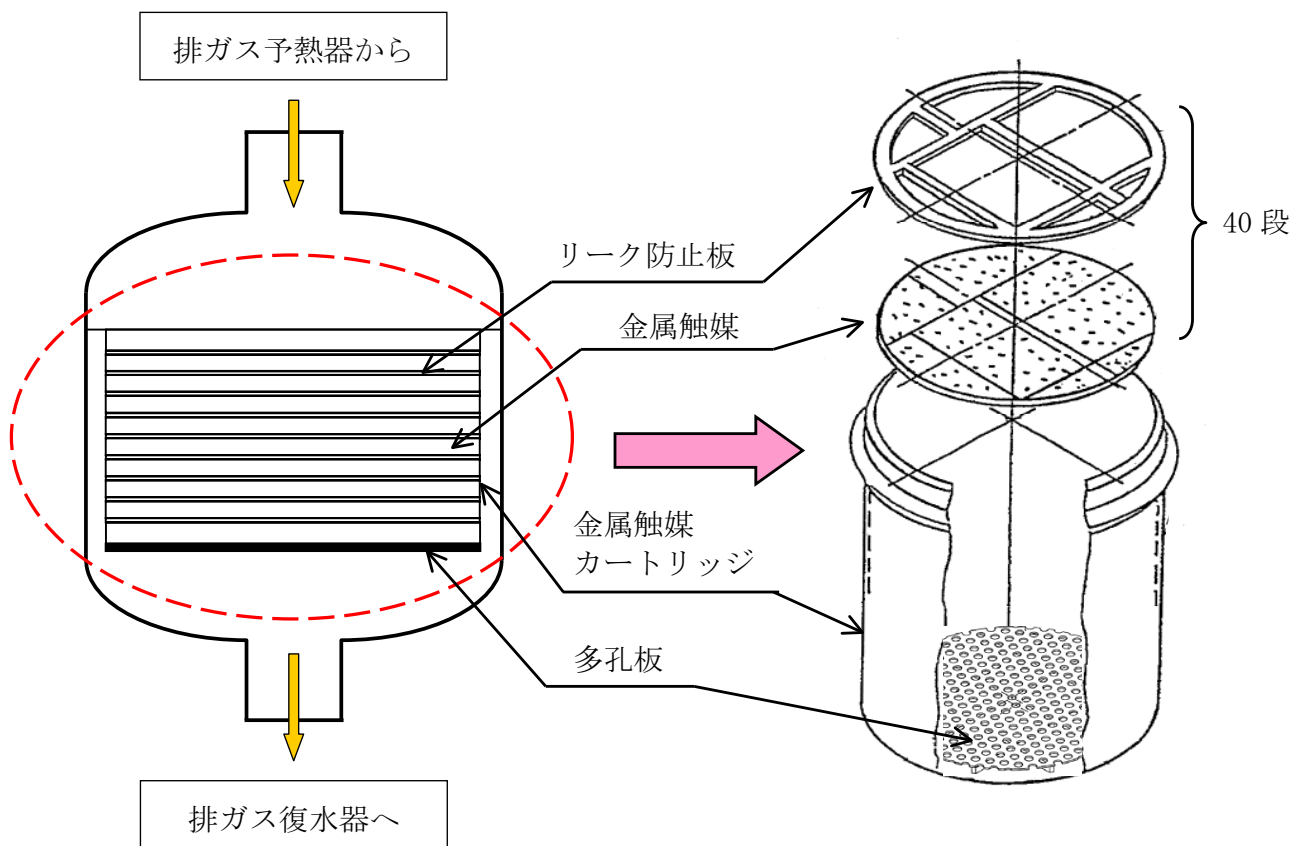
← : 通常運転時の流れ

気体廃棄物処理系 系統概要図

【排ガス再結合器】

復水器からの排ガスに含まれる酸素と水素を触媒反応により水蒸気とし、水素濃度を可燃限界未満に抑えるもの。

容 量	約 7, 3 0 0 m ³ / h (normal)
使用温度	4 2 5 °C (最高使用温度)
媒体仕様	形 式 : 白金担持金属触媒 充填量 : 約 2 1 0 k g



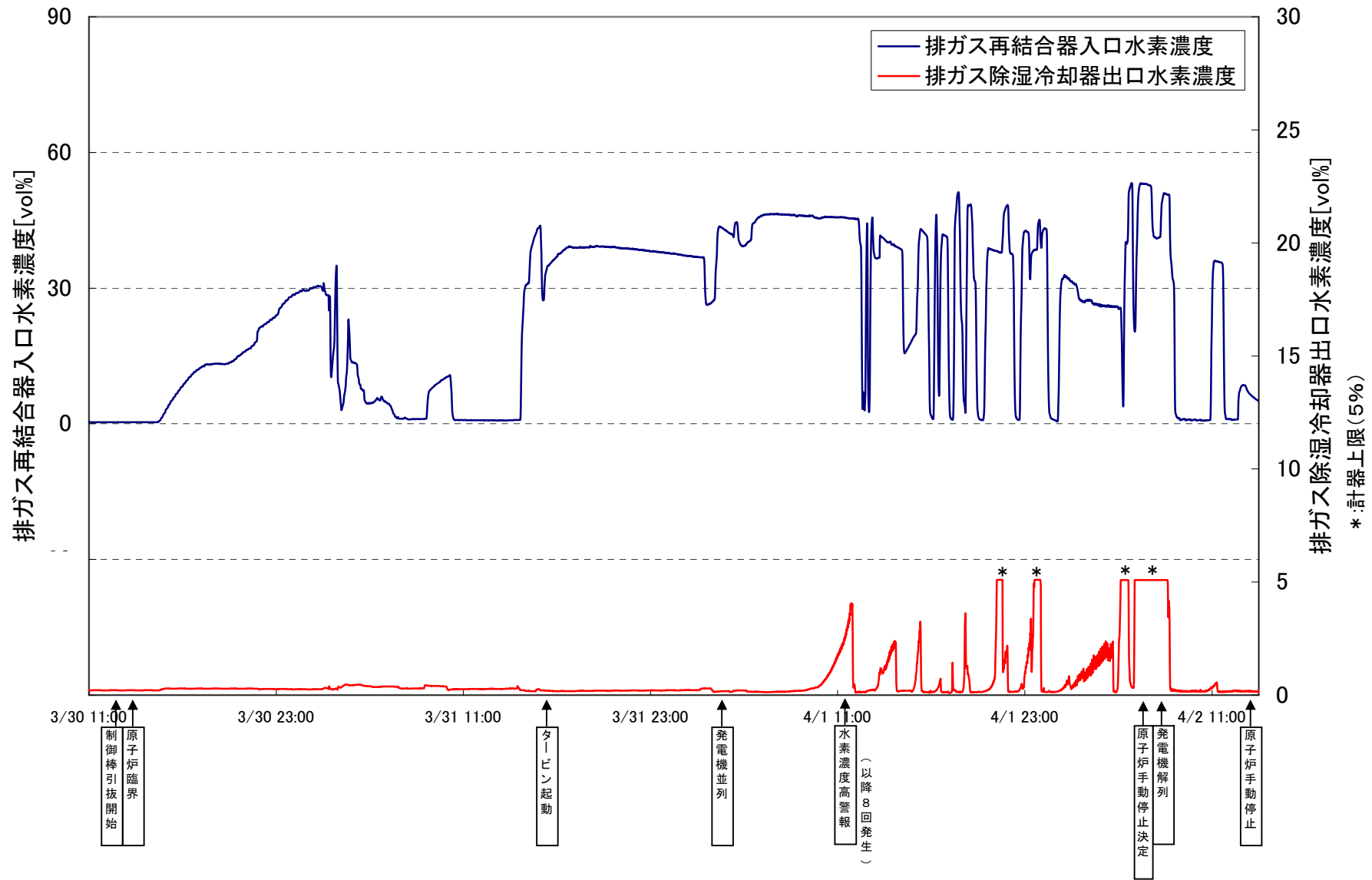
排ガス再結合器構造図



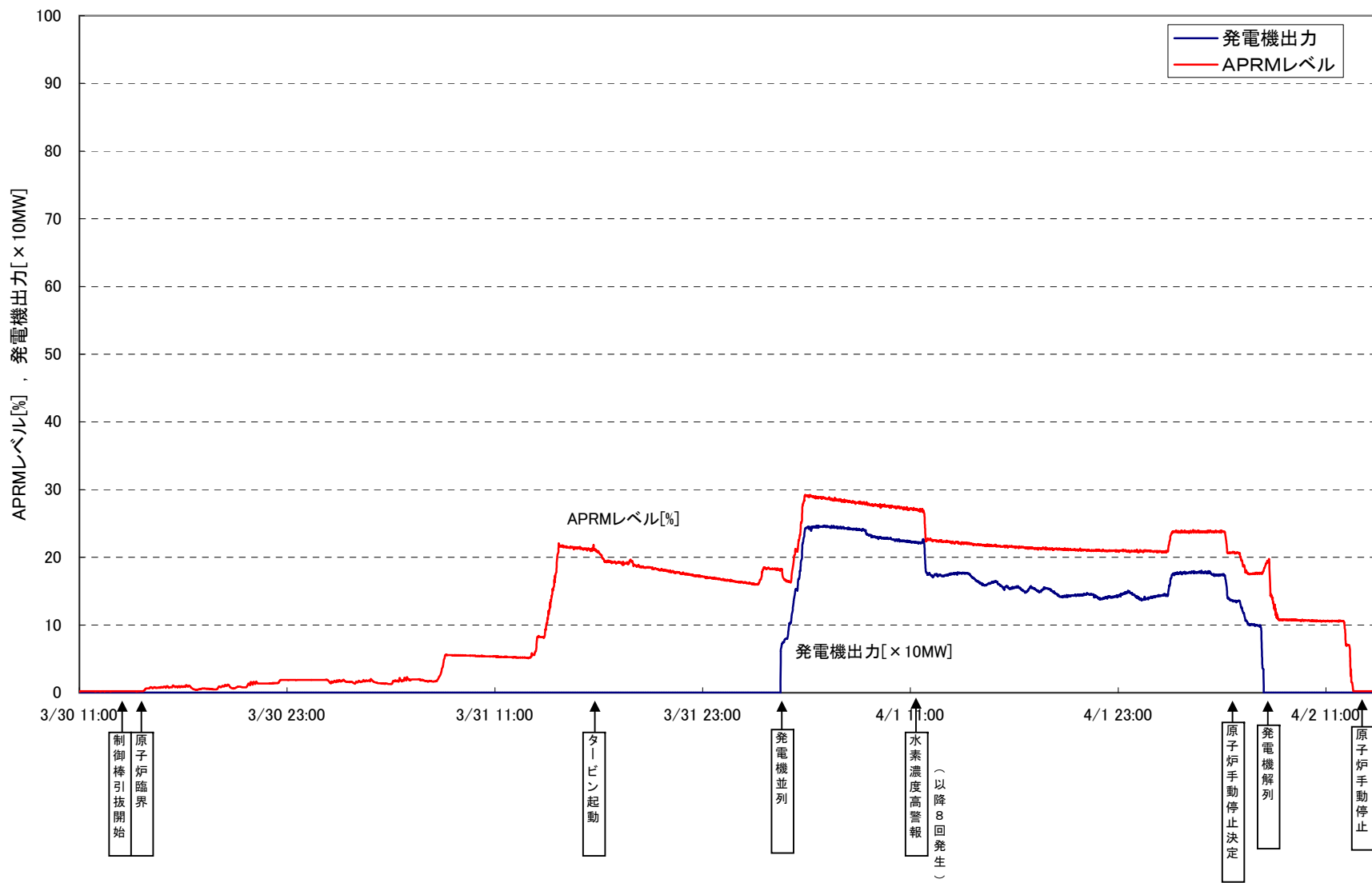
<排ガス再結合器内部>



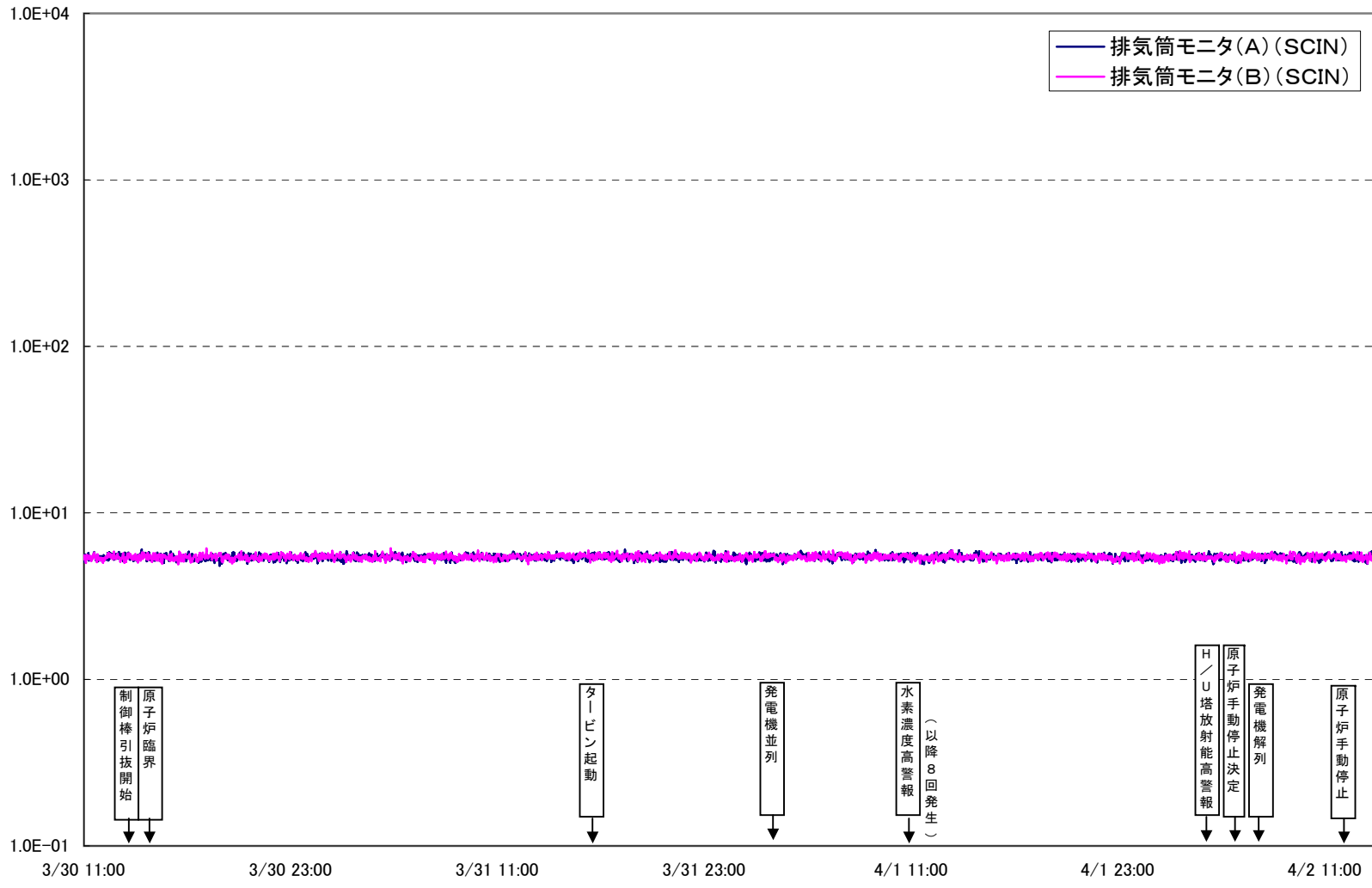
<排ガス再結合器外観>



主要プラントパラメータ(排ガス再結合器入口水素濃度, 排ガス除湿冷却器出口水素濃度)



主要プラントパラメータ(平均出力領域モニタ, 発電機出力)



主要プラントパラメータ(排気筒放射線モニタ)

排ガス除湿冷却器出口水素濃度上昇の要因分析図

【凡例】
○：要因の可能性あり
×：要因の可能性なし

事象	一次要因	二次要因	要因説明	調査内容	調査結果	判定	記録	
排ガス除湿冷却器 出口水素濃度高	排ガス再結合器 金属触媒の性能低下	不純物の付着	金属触媒に水、油、硫酸化合物、その他の不純物が付着した場合は再結合反応が阻害され性能が低下する。	1. 不純物確認 ・外観目視点検 ・排ガス再結合器内面付着物分析 ・金属触媒表面観察 ・金属触媒分析	【外観目視点検】 ・排ガス再結合器開放後の外観目視点検の結果、金属触媒カートリッジ内面および一部の金属触媒に水が存在したような痕跡を確認した。 【排ガス再結合器内面付着物分析】 ・排ガス再結合器内面のスミヤ分析の結果、硫酸イオンを検出した。 【金属触媒表面観察】 ・現触媒表面の走査型電子顕微鏡観察の結果、性能低下に影響を及ぼす不純物の付着は認められなかった。 【金属触媒分析】 ・現触媒の温水抽出試験の結果、硫酸イオンおよびニッケルイオンを検出した。また、油分は確認されなかった。 性能低下に影響を及ぼす可能性のあると考えられる水分、硫酸イオン、ニッケルイオンについて不純物影響調査を行う。	○	添付資料－5 添付資料－6 添付資料－7 添付資料－8	
				2. 不純物影響調査*1 ・発生源調査 ・金属触媒性能試験 ※1：1.にて確認された性能低下に影響を及ぼす可能性のある不純物について実施	【発生源調査】 ・水分については、平成18年7月の原子炉停止以降、排ガス復水器に約16ヶ月間ドレン水を保有し、かつ、排ガス再結合器電気ヒータが停止していたことより、排ガス再結合器は室温状態であったことから、排ガス復水器の水分が排ガス再結合器金属触媒に到達し、室温の変化により結露していたことが推定される。 また、排ガス再結合器上流の蒸気式空気抽出器からの水分流入および下流側の排ガス復水器のUシール水位上昇による水分流入について調査したところ、双方から水分が流入した可能性がないことを確認した。 ・硫酸イオンについては、気体廃棄物処理系を掃気する所内用圧縮空気の性状を確認したところ、硫酸化合物が含まれていることを確認したことから、大気中の硫酸化合物が流入したと推定される。 ・ニッケルイオンについては、金属触媒の基材であるニッケルクロムからのものであると推定される。 【金属触媒性能試験】 ・現触媒を使用して性能試験を実施したところ、再結合性能の低下を確認できなかった。 ・未使用触媒を使用して性能試験を実施したところ、再結合性能の低下は確認されなかった。 ・水分に浸漬した未使用触媒を使用して性能試験を実施したところ、再結合性能の低下は確認されなかった。 ・硫酸化合物を注入した金属触媒の性能試験データを調査したところ、硫酸化合物単独では再結合性能の低下に影響を及ぼさないことを確認した。 ・硫酸化合物は水分と化学反応し硫酸となることから、硫酸に浸漬した未使用触媒を使用して性能試験を実施したところ、再結合性能の低下を確認した。 また、性能試験後、試験に使用した触媒について温水抽出による分析を行ったところ、ニッケルイオンおよび硫酸イオン等を検出したことから、基材や担持材を構成する金属と硫酸の化学反応により生成した硫酸塩（硫酸ニッケル等）の影響により再結合性能が低下していると推定される。 ・硫酸塩は一般的に水和物となることから、現触媒における硫酸塩水和物の存在の有無を確認するために、現触媒および硫酸に浸漬した未使用触媒について示差熱分析を実施したところ、ともに350℃付近で重量減少を確認した。この重量減少は硫酸塩水和物からの結晶水の減少と考えられることから、現触媒には、硫酸に浸漬した未使用触媒と同様の硫酸塩水和物が存在していると推定される。 【調査結果のまとめ】 以上の結果から、現触媒には硫酸塩水和物が存在しており、この硫酸塩水和物が金属触媒の性能低下に影響を及ぼしたものと推定される。		添付資料－8 添付資料－9 添付資料－10 添付資料－11 添付資料－12 添付資料－13	
		白金付着量の減少	白金付着量が減少した場合、再結合性能が低下する。	・金属触媒表面観察 ・白金密度測定	・現触媒および未使用触媒の白金付着分布をエネルギー分散型蛍光X線分析装置（EDX）により比較したところ、有意な差は認められなかった。 ・現触媒および未使用触媒の白金付着密度は同等であり、現触媒の白金付着量の減少はなかった。	×	添付資料－7 添付資料－14	
		酸素流入不足	排ガス中の酸素/水素濃度比が再結合反応が起こりにくい状態となるしきい値より低いと、再結合性能が低下する。	・運転データ調査	・運転状態を確認したところ、酸素/水素濃度比はしきい値より高く、酸素流入量不足は発生していなかった。	×	添付資料－15	
		排ガス予熱器 出口温度低下	排ガス再結合器へ流入する排ガスの予熱温度が低下した場合、再結合性能が低下する。	・運転データ調査	・警報発生時の排ガス予熱器出口温度は設定温度の約155℃で安定しており、異常はなかった。	×	添付資料－16	
		製造・据付不良	金属触媒の製造段階において再結合性能が基準を満たしていない場合、または金属触媒の据付が正しくなかった場合、再結合性能が低下する。	・外観目視点検 ・金属触媒製造・据付時記録確認	・排ガス再結合器を開放し外観目視点検を実施したところ、金属触媒の据付状況に異常はなかった。 ・現触媒の製造時の記録を確認したところ、再結合性能は基準値を満足しており、製造不良は確認されなかった。また、現触媒の据付時の記録を確認したところ、据付不良は確認されなかった。	×	添付資料－5 添付資料－17	
		バイパスラインの 形成	排ガス再結合器本体のバイパス	排ガス再結合器をバイパスして排ガスが流れた場合、出口水素濃度が上昇する。	・運転データ調査 ・系統状態確認	・蒸気式空気抽出器上流から排ガス復水器出口へのラインについては、蒸気式空気抽出器上流側は負圧となっており、排ガス復水器出口側は正圧となっていることから、水素が排ガス再結合器をバイパスし、下流に流出した可能性はない。 ・排ガス復水器水位に異常はなかったことから、排ガス予熱器、排ガス復水器および排ガス除湿冷却器のドレン排出ラインの共通Uシールにシール水切れはなく、水素が排ガス再結合器をバイパスし、下流に流出した可能性はない。	×	添付資料－2－2 添付資料－9
			金属触媒のバイパス	金属触媒をバイパスして排ガスが流れた場合、出口水素濃度が上昇する。	・外観目視点検 ・溶接部浸透探傷試験	・金属触媒の外観目視点検を実施したところ、破損、浸食等の異常は認められなかった。リーク防止板に軽微な変形が認められたが、金属触媒の据付状態に異常がなかったことから、金属触媒のバイパスへの影響はないと考えられる。 ・金属触媒のバイパス流路となる溶接部について浸透探傷試験を実施したところ、異常はなかった。	×	添付資料－5 添付資料－18
		計器不良	排ガス水素分析計の不良により、出口水素濃度指示が上昇する。	・排ガス水素分析計点検	・排ガス再結合器入口および排ガス除湿冷却器出口の排ガス水素分析計について、校正ガスによる点検を行ったところ、排ガス水素分析計に異常はなかった。 ・また、排ガス水素分析計の系統状態を確認したところ、校正ガスの誤流入がなく、排ガス再結合器入口および排ガス除湿冷却器出口の流量指示も健全であった。	×	添付資料－19	
		水素流入量増加	原子炉出力の急上昇	原子炉出力が上昇した場合、水素流入量が増加し、再結合しきれない水素が排ガス再結合器を通過する。	・運転データ調査	・事象発生時、原子炉出力の急激な上昇はなく、かつ排ガス再結合器入口水素濃度は上昇していないことを確認した。	×	添付資料－20
			蒸気式空気抽出器 空気入口弁の急開操作	蒸気式空気抽出器空気入口弁の急開操作を実施した場合、水素流入量が増加し、再結合しきれない水素が排ガス再結合器を通過する。	・運転データ調査	・警報が発生する前には排ガス流量は安定しており当該弁の急開操作はなく、かつ排ガス再結合器入口水素濃度は上昇していないことを確認した。	×	添付資料－21

外観目視点検記録（排ガス再結合器内部）

1. 目的

排ガス再結合器内部及び金属触媒の外観目視点検により、水素濃度上昇事象に影響を及ぼすような付着物、浸食、据付不良等の異常の有無を確認する。

2. 調査日

平成20年4月6日，8日

3. 調査内容

(1) 排ガス再結合器内部の外観目視点検

内面付着物の状況確認，金属触媒カートリッジ据付状況確認，押え板の取付状況確認

(2) 金属触媒の外観目視点検

金属触媒の破損，浸食等の確認，金属触媒付着物の状況確認，金属触媒の据付状況確認

4. 調査結果

調査の結果は下表のとおりであり、排ガス再結合器内に鉄錆や水分の持ち込まれた形跡が認められた。また、36段*のリーク防止板に軽微な腐食跡が確認された。

金属触媒カートリッジ，金属触媒の据付状況については，異常はなく，排ガスが金属触媒をバイパスした形跡は認められなかった。なお，リーク防止板に軽微な変形が認められたが，金属触媒の据付状態に異常がなかったことから，金属触媒のバイパスへの影響はないと考えられる。

※ 段数は金属触媒カートリッジの下側（下流側）から数えた段数を示す。
（金属触媒はカートリッジ内に40段積み重ねて充填されている。）

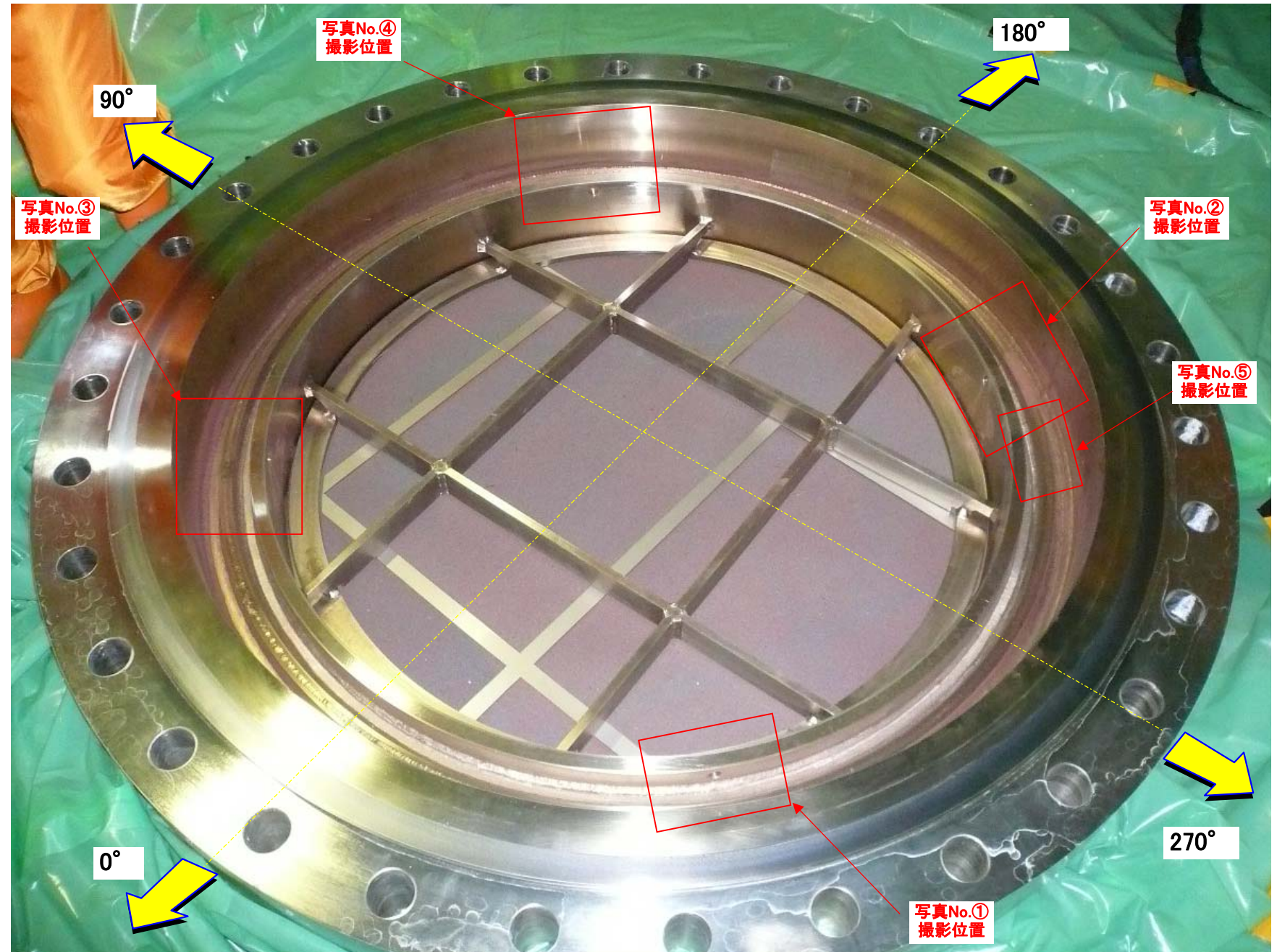
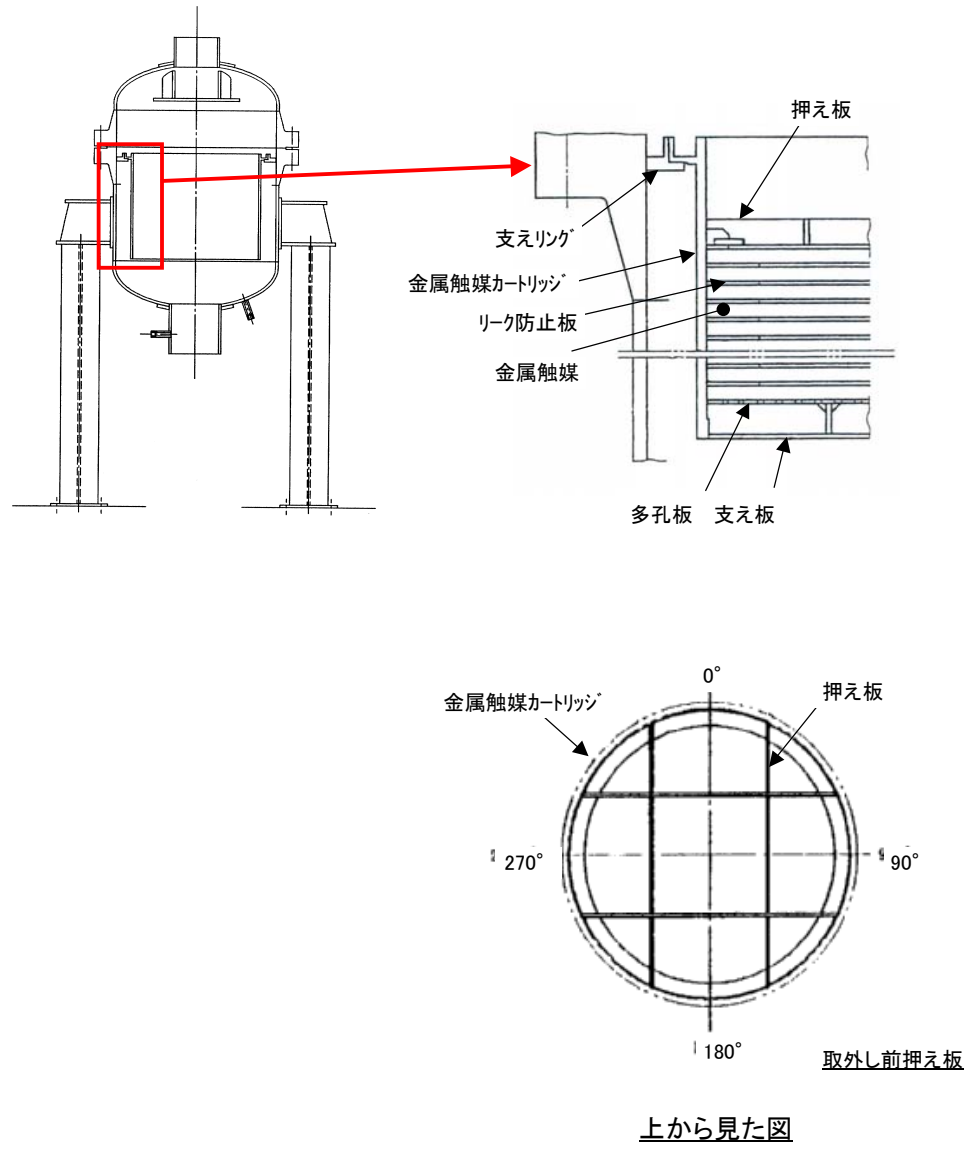
部位	項目	結果
排ガス再結合器内部	内面付着物の状況	<ul style="list-style-type: none"> 金属触媒カートリッジ内面に水が流れたような痕跡が確認された。 支えリング部に鉄錆と思われる堆積物が確認された。
	金属触媒カートリッジ据付状況	<ul style="list-style-type: none"> 異常は認められなかった。
	押え板の取付状況	<ul style="list-style-type: none"> 異常は認められなかった。
金属触媒	金属触媒の破損，浸食等	<ul style="list-style-type: none"> 外観目視点検により確認できるような破損，浸食は認められなかった。
	金属触媒付着物の状況	<ul style="list-style-type: none"> 全段に渡り赤茶色の変色が認められ，下部の金属触媒（1段～6段）には水が存在したような模様が認められた。 36段のリーク防止板に軽微な腐食跡が認められた。
	金属触媒の据付状況	<ul style="list-style-type: none"> 金属触媒の重なり，挿入角度異常，リーク防止板のズレ等の異常は認められなかった。 リーク防止板に軽微な変形が認められた。

添 付

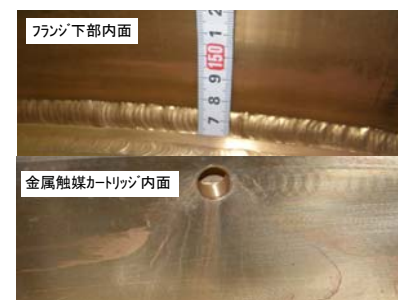
(1) 排ガス再結合器開放状況写真

(2) 金属触媒状況写真

排ガス再結合器開放状況写真



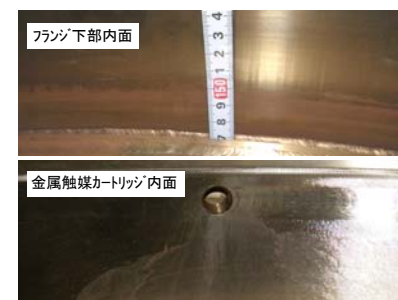
写真撮影位置 (No.④の例)



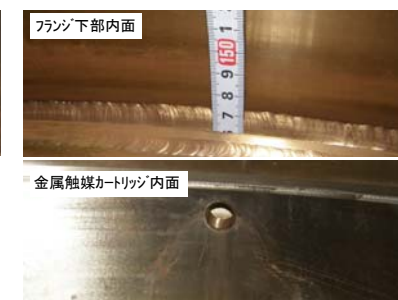
写真No. ①



写真No. ②



写真No. ③



写真No. ④



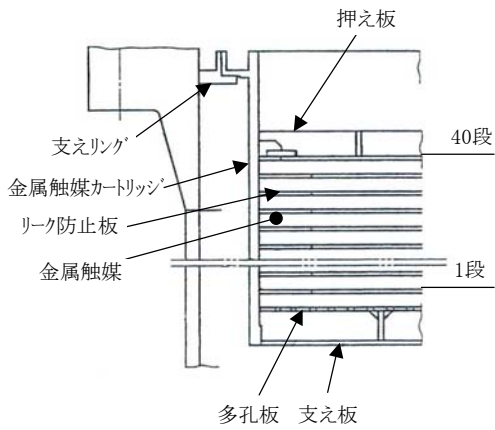
写真No. ⑤

【調査結果】

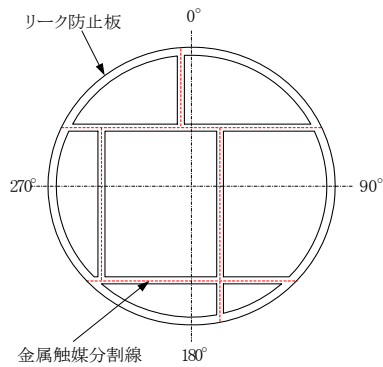
- 金属触媒カートリッジ内面に水が流れたような痕跡が確認された。(写真No.①～④)
- 支えリング部に鉄錆と思われる堆積物が確認された。(写真No.⑤)

金属触媒状況写真(1/5)

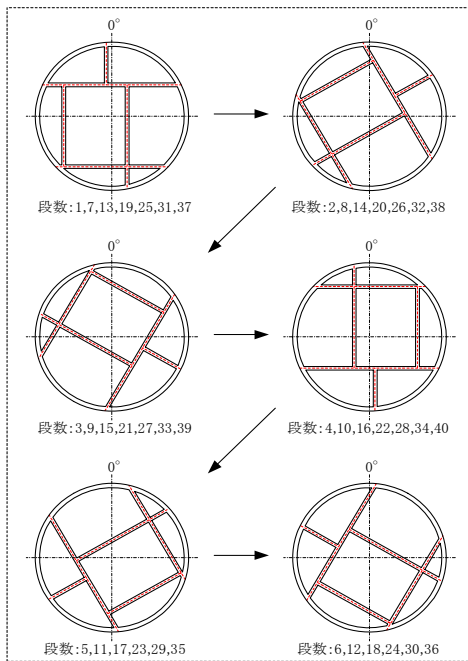
(写真上部:0°)



金属触媒カートリッジ詳細図



金属触媒分割線とリーク防止板の角度



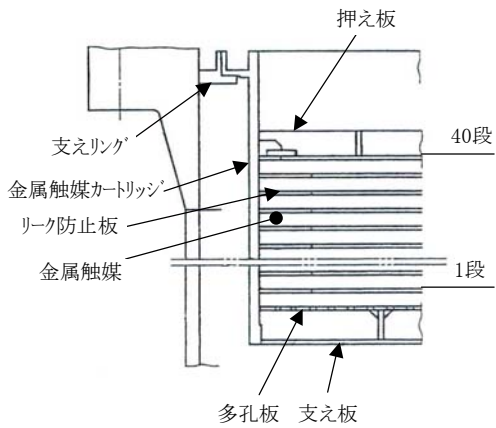
各段の角度

【調査結果】
全段に渡り赤茶色の変色が認められた。

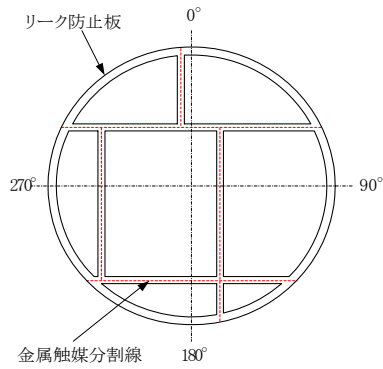
リーク防止板取外し前	
1段	2段
3段	4段
5段	6段
7段	8段
9段	10段

金属触媒状況写真(2/5)

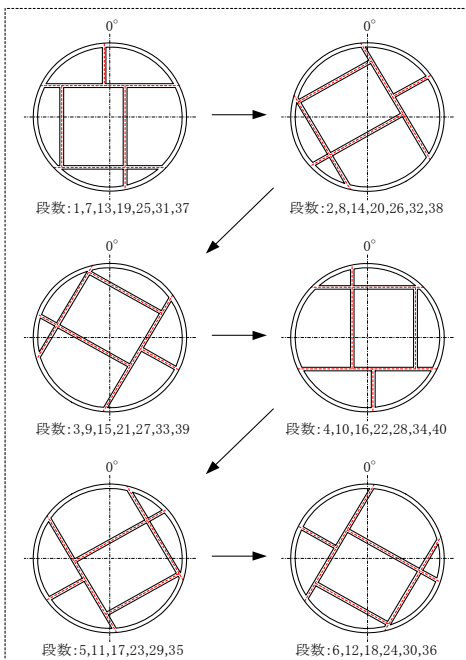
(写真上部:0°)



金属触媒カートリッジ詳細図



金属触媒分割線とリーク防止板の角度



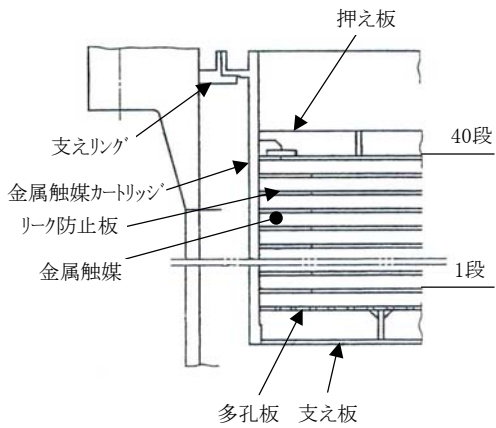
各段の角度

【調査結果】
全段に渡り赤茶色の変色が認められた。

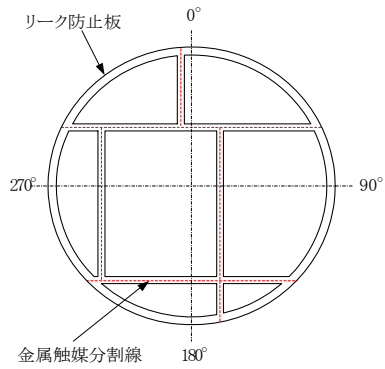
リーク防止板取外し前	
11段	12段
13段	14段
15段	16段
17段	18段
19段	20段

金属触媒状況写真(3/5)

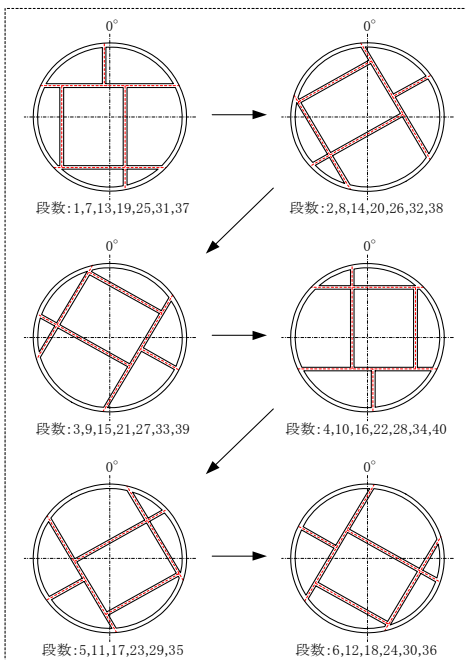
(写真上部:0°)



金属触媒カートリッジ詳細図



金属触媒分割線とリーク防止板の角度



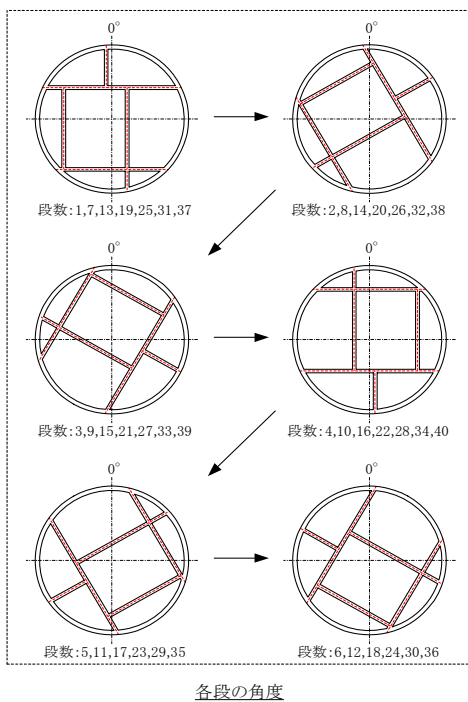
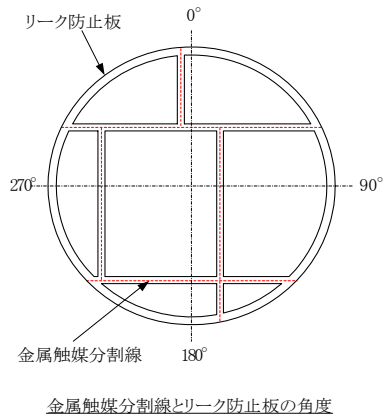
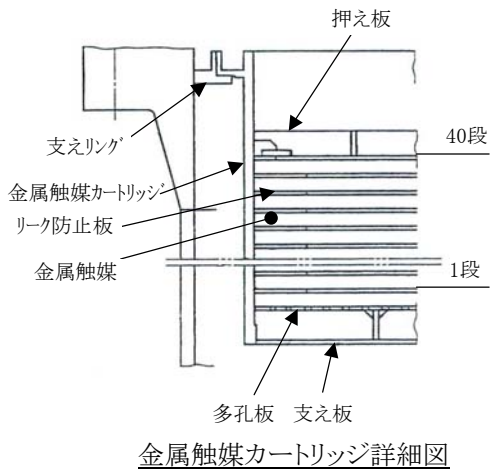
各段の角度

【調査結果】
全段に渡り赤茶色の変色が認められた。

リーク防止板取外し前	
21段	22段
23段	24段
25段	26段
27段	28段
29段	30段

金属触媒状況写真(4/5)

(写真上部:0°)

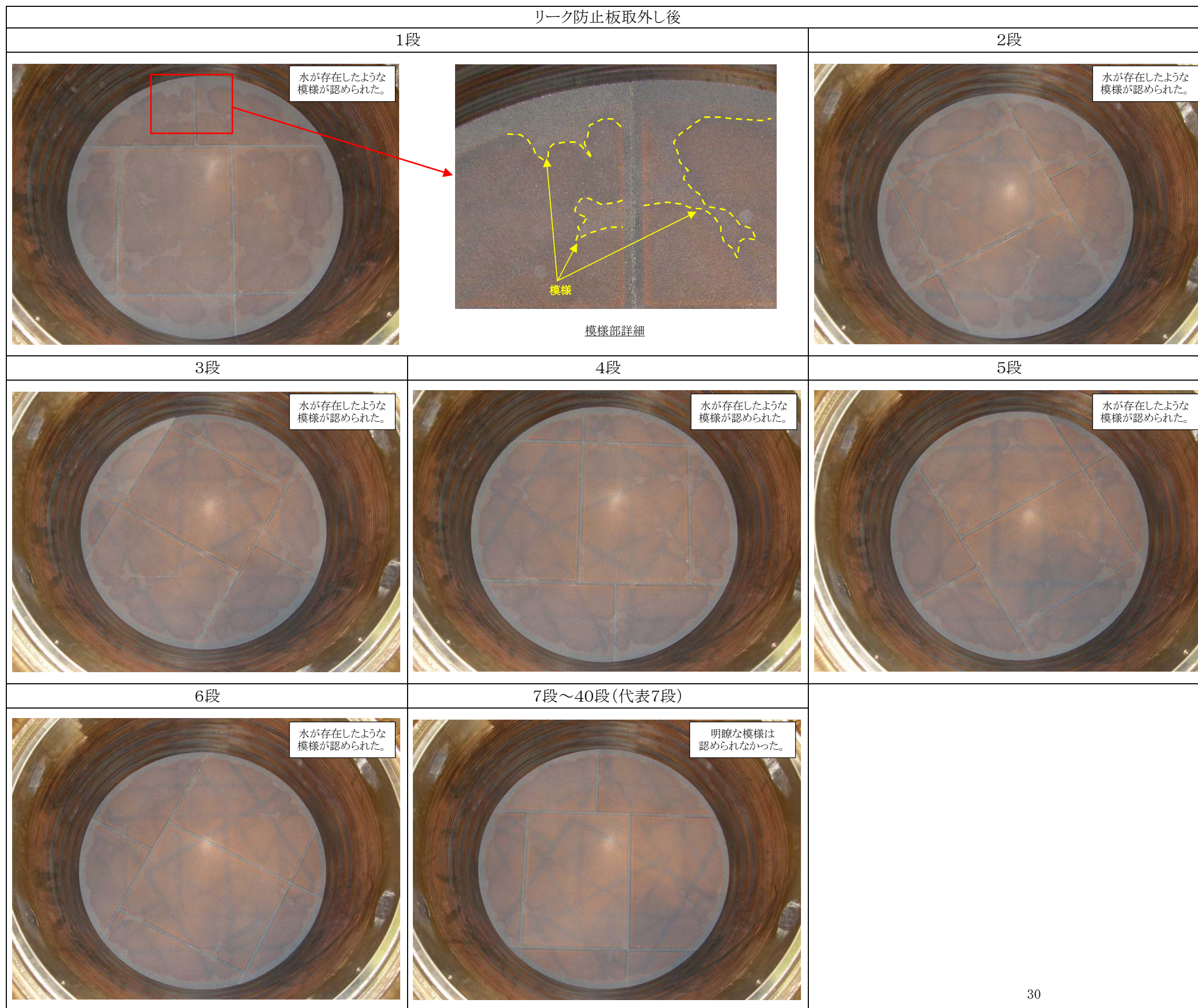
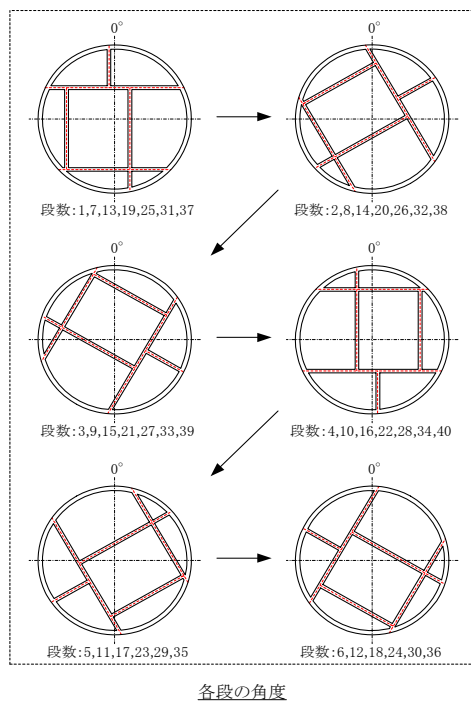
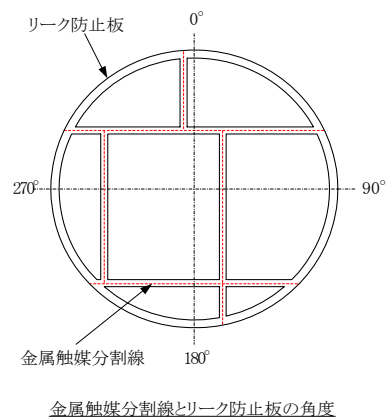
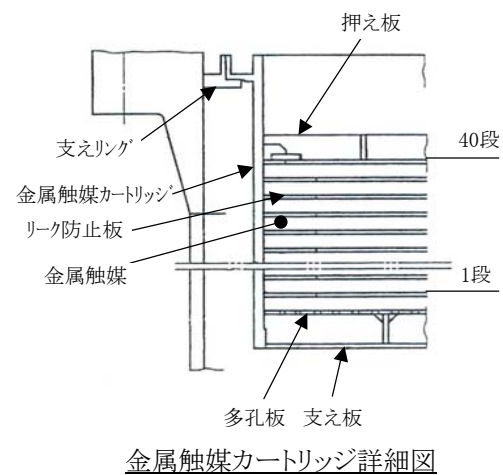


【調査結果】
全段に渡り赤茶色の変色が認められた。

リーク防止板取外し前	
31段	32段
33段	34段
35段	36段
37段	38段
39段	40段

金属触媒状況写真(5/5)

(写真上部:0°)



排ガス再結合器内面付着物分析記録

1. 目的

水素濃度上昇事象に影響を及ぼすような排ガス再結合器内面の付着物をスミヤ法により確認する。

2. 分析内容

スミヤ法により、排ガス再結合器内面の以下の部位について、付着物の分析を行う。

- (1) 金属触媒カートリッジの支えリング表面（2箇所）
- (2) 排ガス再結合器カバーのバッフル上面（2箇所）
- (3) 排ガス再結合器カバー内面（2箇所）
- (4) 金属触媒カートリッジ側面（1箇所）
- (5) 金属触媒押え板（1箇所）

3. 分析日

平成20年4月6日～7日

4. 分析結果

付着物から硫酸イオン、ナトリウムイオン等が検出された。

添 付

- (1) 排ガス再結合器内面付着物分析結果

排ガス再結合器内面付着物分析結果

(単位:mg/m²)

採取箇所	測定項目	イオン成分									
	Cl	PO ₄	NO ₂	SO ₄	NO ₃	CrO ₄	Na	NH ₄	K	Mg	Ca
金属触媒カートリッジの支えリング表面(225°)	0.58	—	—	120	—	—	59	3.2	3.3	3.4	1.5
金属触媒カートリッジの支えリング表面(180°)	0.47	—	—	42	—	—	22	5.4	1.0	—	—
排ガス再結合器カバーのバフル上面(0°)	0.062	—	—	—	—	—	0.51	0.058	—	—	—
排ガス再結合器カバーのバフル上面(180°)	0.41	—	—	0.47	—	—	0.26	0.14	0.19	—	—
排ガス再結合器カバー内面 1	0.071	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
排ガス再結合器カバー内面 2	0.044	—	0.040	—	—	—	0.40	0.75	0.022	—	—
金属触媒カートリッジ側面	0.13	—	—	24	0.14	—	9.4	0.48	0.60	0.60	—
金属触媒押え板	0.28	—	—	8.8	—	0.27	5.1	0.70	0.36	—	—

注)「—」は検出限界値未満を示す。

金属触媒表面観察記録

1. 目的

金属触媒表面に水素濃度上昇事象に影響を及ぼすような付着物の有無を電子顕微鏡にて観察する。また、表面観察にあわせて、金属触媒表面に付着しているPt（白金）の付着分布に異常がないか確認する。

2. 調査日

平成20年4月8日，9日

3. 調査内容

現触媒の1段，20段，40段からサンプルを切り出し，以下の調査を実施する。合わせて未使用触媒についても調査を実施し比較する。

(1) 表面観察

切り出したサンプルの外観目視観察及び走査型電子顕微鏡（SEM）による観察を行う。

(2) Pt（白金）付着分布確認

エネルギー分散型蛍光X線分析装置（EDX）により金属触媒表面のPt（白金）付着分布を確認する。


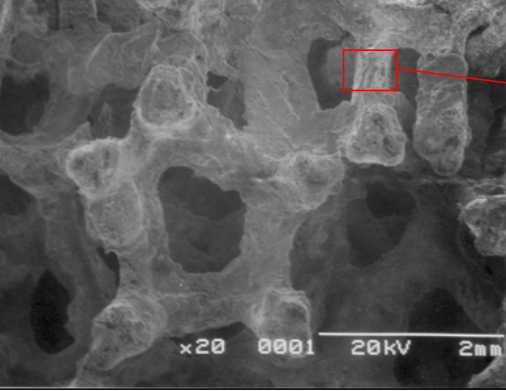
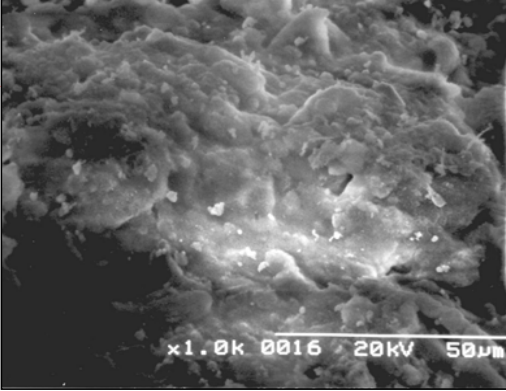
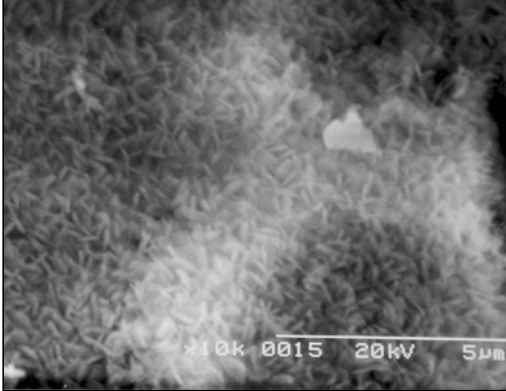
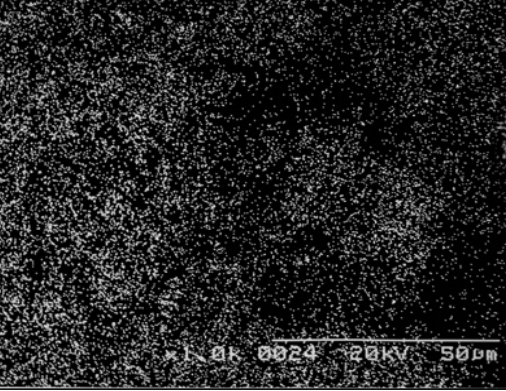
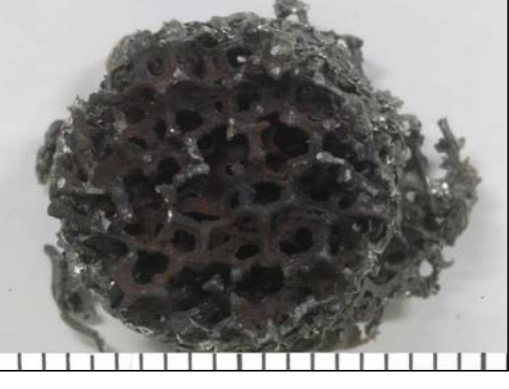
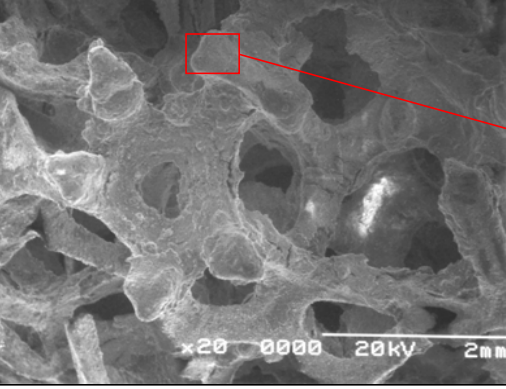
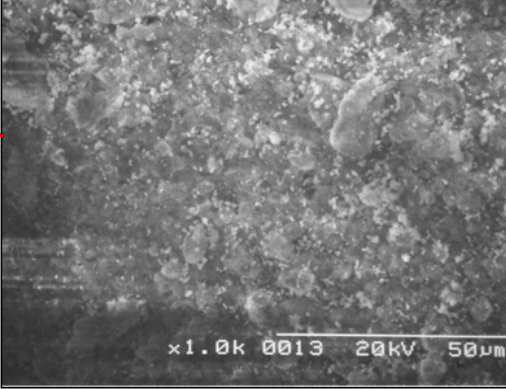
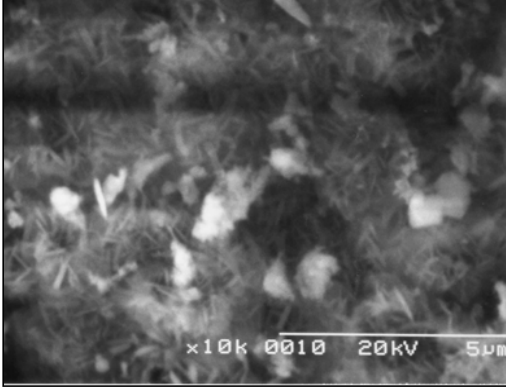
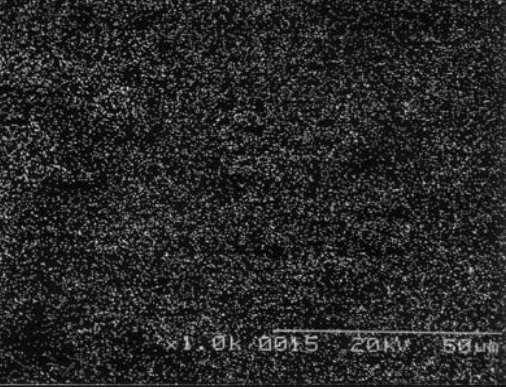
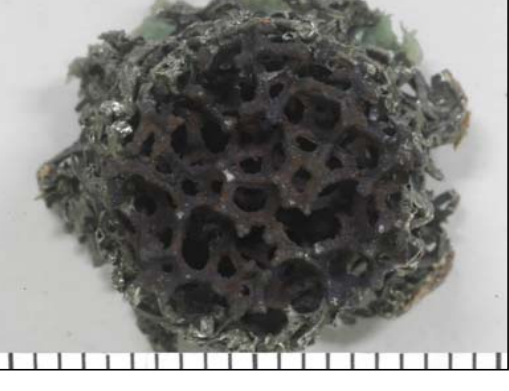
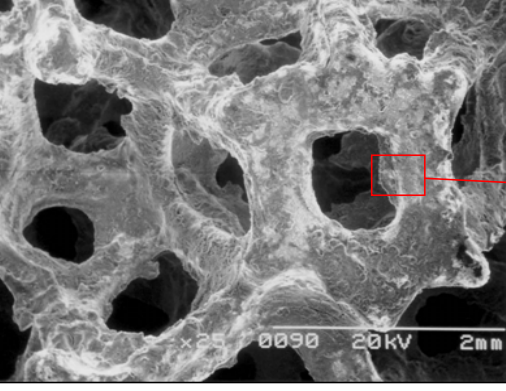
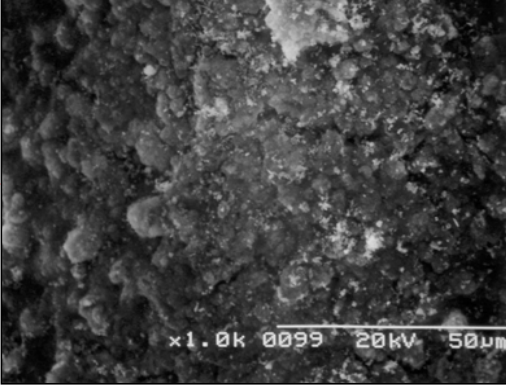
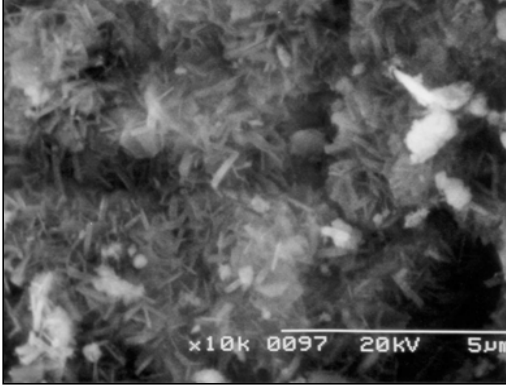


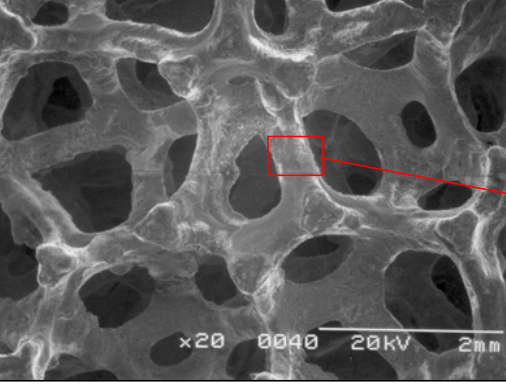
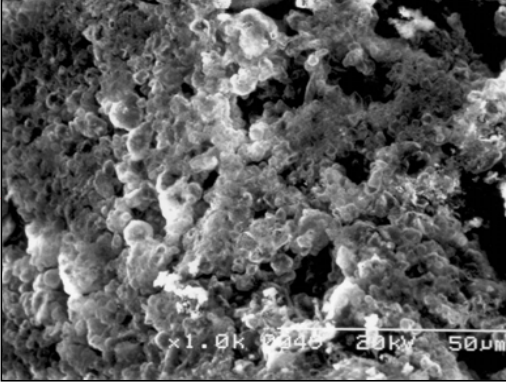
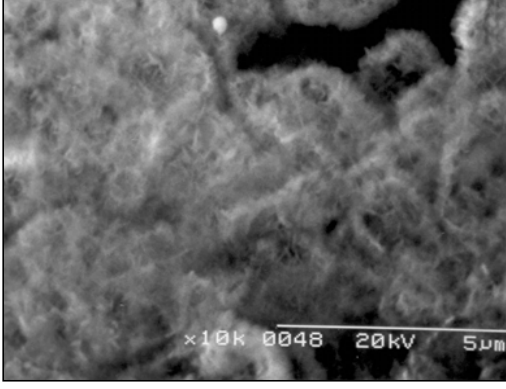

4. 調査結果

調査の結果は下表のとおりであり，異常は認められなかった。

項目	結果
表面観察	<p>外観目視観察の結果，鉄錆と推定される赤茶色の変色は認められたが，その他の付着物は認められなかった。SEM観察の結果，金属触媒の表面に鉄錆以外の付着物は認められなかった。</p> <p>また，現触媒と未使用触媒の比較の結果，ハニカム状の形状及び表面状態に有意な差は認められなかった。</p>
Pt（白金）付着分布確認	<p>Pt（白金）付着分布について確認した結果，現触媒と未使用触媒で有意な差は認められなかった。</p>

添 付

(1) 金属触媒表面観察結果

試料名	試料外観状況写真	金属触媒表面SEM観察写真			金属触媒表面EDX面分析 (Pt)
40段目	 <p>(1目盛=1mm)</p>	 <p>(20倍)</p>	 <p>(1000倍)</p>	 <p>(10000倍)</p>	 <p>(1000倍)</p>
20段目	 <p>(1目盛=1mm)</p>	 <p>(20倍)</p>	 <p>(1000倍)</p>	 <p>(10000倍)</p>	 <p>(1000倍)</p>
1段目	 <p>(1目盛=1mm)</p>	 <p>(25倍)</p>	 <p>(1000倍)</p>	 <p>(10000倍)</p>	 <p>(1000倍)</p>
未使用触媒	 <p>(1目盛=1mm)</p>	 <p>(20倍)</p>	 <p>(1000倍)</p>	 <p>(10000倍)</p>	 <p>(1000倍)</p>

【表面観察結果】

外観目視観察の結果、鉄錆と推定される赤茶色の変色は認められたが、その他の付着物は認められなかった。
SEM観察の結果、鉄錆以外の付着物は認められなかった。
また、現触媒と未使用触媒の比較の結果、ハニカム状の形状及び表面状態に有意な差は認められなかった。

【Pt(白金)付着分布確認結果】

Pt(白金)付着分布について確認した結果、現触媒と未使用触媒で有意な差は認められなかった。

金属触媒分析記録

1. 目的

- (1) 現触媒および未使用触媒の付着物を確認し、性能低下の要因となる物質を抽出する。
- (2) 現触媒、未使用触媒および性能試験で使用した硫酸浸漬触媒の付着物を確認し、性能低下の要因となる物質を抽出する。
- (3) 現触媒、未使用触媒および性能試験で使用した硫酸浸漬触媒の温度変化に対する重量変化を確認し、各触媒に類似な変化の有無を確認する。

2. 分析内容

現触媒および未使用触媒等について、以下の方法により付着物調査を行う。

- (1) 温水抽出（１００℃，２時間）により付着物を溶出させ、イオンクロマトグラフにて成分を分析する。
- (2) 温水抽出（１００℃，２時間）により付着物を溶出させ、イオンクロマトグラフおよび原子吸光光度計にて金属イオン，硫酸イオン濃度を分析する。
- (3) 温水抽出（１００℃，２時間）により有機成分（ＴＯＣ）を溶出させ、全有機炭素分析計にて有機成分（ＴＯＣ）量を分析する。
- (4) 示差熱分析により温度変化に対する重量変化を確認する。

3. 分析日

平成２０年４月８日～１６日

4. 分析結果

- (1) 現触媒は、温水抽出による成分分析の結果、硫酸イオンが未使用触媒に比べて多く検出された。その他の成分は、未使用触媒と同程度であった。
- (2) 現触媒および硫酸に浸漬させた未使用触媒は、温水抽出による金属イオン，硫酸イオン分析の結果、ニッケルイオンおよび硫酸イオン等が未使用触媒に比べて多く検出された。
- (3) 現触媒および未使用触媒の温水抽出による有機成分分析の結果、現触媒に付着した有機成分（ＴＯＣ）量は未使用触媒と同等であり、油分は確認されなかった。
- (4) 示差熱分析の結果、現触媒および硫酸に浸漬させた未使用触媒については、３５０℃付近に未使用触媒では見られなかった小さな重量減少が確認されたことから、現触媒には硫酸に浸漬させた未使用触媒と同様の硫酸塩水和物が存在していると推定される。

添 付

- (1) 金属触媒付着物温水抽出分析結果（成分分析）
- (2) 金属触媒付着物温水抽出分析結果（金属イオン，硫酸イオン分析）
- (3) 金属触媒付着物温水抽出分析結果（有機成分（ＴＯＣ）分析）
- (4) 金属触媒分析結果（示差熱分析）

金属触媒付着物温水抽出分析結果(成分分析)

($\mu\text{g/g}$ -触媒)

採取箇所 測定項目	重量 (g)	浸漬 時間 (h)	浸漬 液量 (ml)	イオン成分濃度										
				Cl	NO ₂	PO ₄	SO ₄	NO ₃	CrO ₄	Na	NH ₄	K	Mg	Ca
現触媒(40段)	3.1238	2	20	1.5	—	—	68	—	—	3.2	0.26	—	0.16	1.2
現触媒(20段) 試料No. 1	3.3851	2	20	0.67	—	—	120	—	—	0.81	0.41	—	0.095	1.3
現触媒(1段) 試料No. 1	3.0625	2	20	0.64	0.65	—	89	—	—	0.80	0.26	—	0.12	0.89
未使用触媒	2.5992	2	10	0.79	1.5	—	12	19	5.8	0.30	1.2	—	—	1.3

注) 「—」は検出限界値未満を示す。

金属触媒付着物温水抽出分析結果 (金属イオン, 硫酸イオン分析)

金属イオンについては原子吸光光度計, 硫酸イオンについてはイオンクロマトグラフにて分析した。

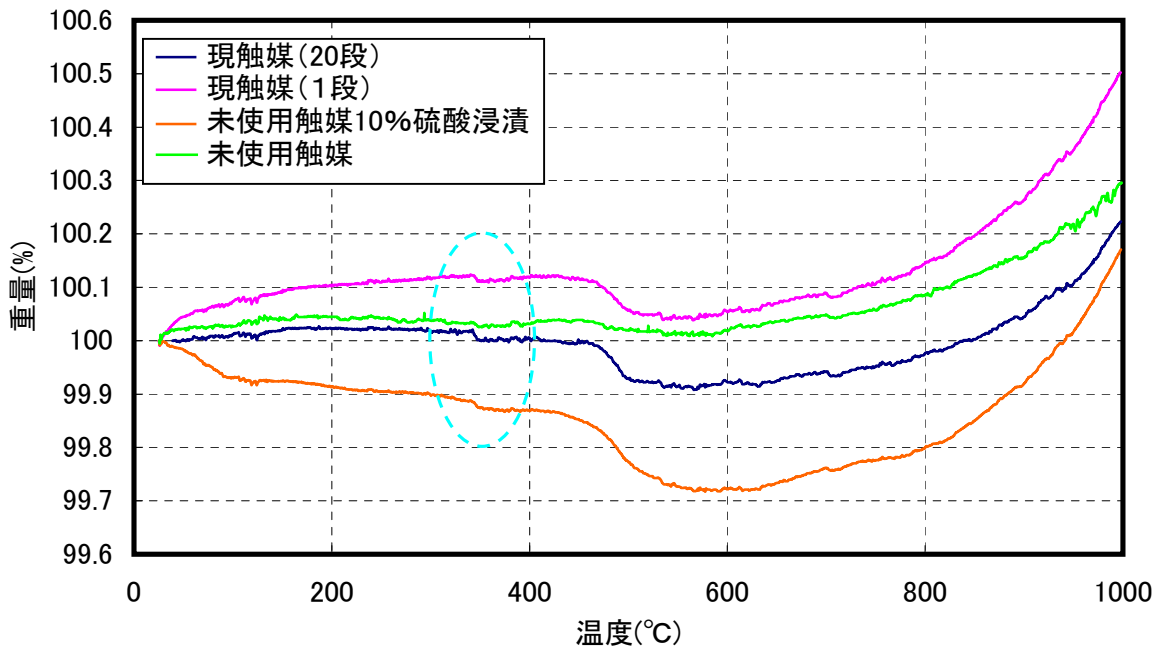
($\mu\text{g/g}$ -触媒)

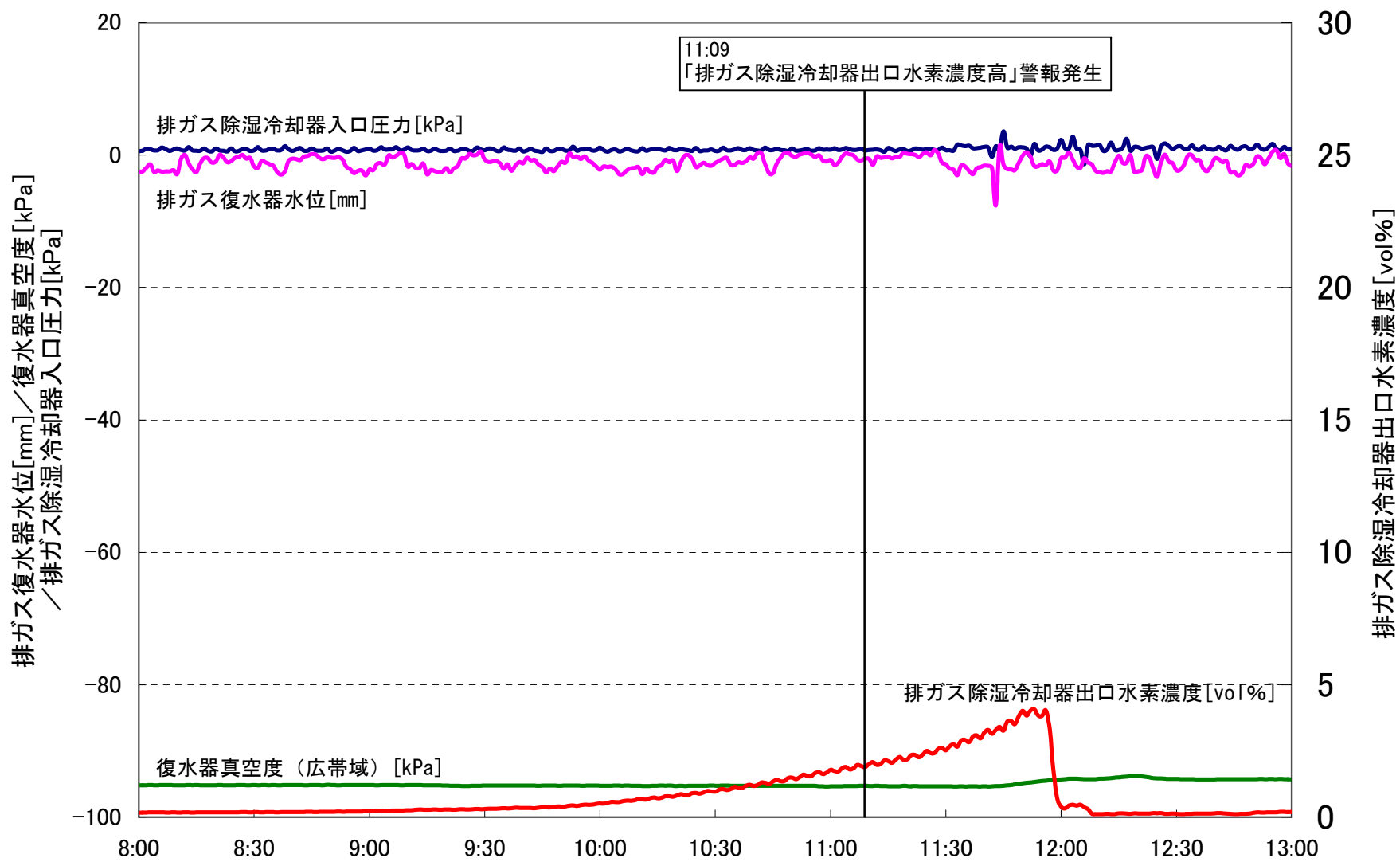
試料	金属イオン		SO ₄	備考
	Al	Ni		
現触媒 (20段) 試料No. 2	< 0.5	46	82	
現触媒 (1段) 試料No. 2	< 0.5	44	65	
未使用触媒 100%出力相当 性能試験	< 1	11	11	性能試験後測定
未使用触媒 10%硫酸浸漬	250	750	2900	性能試験後測定
未使用触媒 5%硫酸浸漬	15	460	780	性能試験後測定

金屬触媒付着物温水抽出分析結果（有機成分（T O C）分析）

採取箇所 / 測定項目	重量 (g)	浸漬時間 (h)	T O C (mg / g)
現触媒（40段）	3.1238	2	0.024
現触媒（20段）	3.3851	2	0.037
現触媒（1段）	3.0625	2	0.023
未使用触媒	2.5992	2	0.043

金属触媒分析結果 (示差熱分析)





排ガス再結合器本体前後の圧力および排ガス復水器水位の推移

長期停止時における系統運転履歴および保管状況

1. 目的

平成18年7月5日から平成20年3月26日までの期間、長期間にわたり原子炉が停止していたため、その間の系統状態を調査する。

2. 調査内容

気体廃棄物処理系及び所内蒸気系の運転状況、作業状況等についてその履歴を調査する。

3. 調査結果

- (1) 原子炉停止中の約20ヶ月間、排ガス再結合器電気ヒータが停止しており、その間、排ガス再結合器は室温状態であった。
- (2) 排ガス再結合器の下流にある排ガス復水器を平成19年10月までの約16ヶ月間、ドレン水を保有した状態で保管していた。
- (3) 原子炉停止期間中において、気体廃棄物処理系は通気試験、復水器インリーク試験のため計11日間運転しており、この間、所内用圧縮空気を排ガス再結合器に掃気していた。

添付

- (1) 志賀2号機 長期停止時における系統運転履歴および保管状況

志賀2号機 長期停止時における系統運転履歴および保管状況

項目	平成18年							平成19年												平成20年				備考	
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月		
主要工程	営業運転開始(3/15~) ▼原子炉停止(7/5) ▼真空破壊(7/5)							設備点検												復水器インリーク試験(9/25~9/28) 復水器インリーク試験(3/19)				真空上昇開始(3/25) ▼真空破壊(4/3) ▼原子炉起動(3/26) ▼原子炉停止(3/29) ▼原子炉起動(3/30) ▼原子炉停止(4/2)	
気体廃棄物処理系	系統主要工程	系統運転(~7/6)							通気試験(9/3) ※193Nm ³ /約6時間 インリーク試験時系統運転(9/23-29) ※4950Nm ³ /約129時間												通気試験(3/6) ※54Nm ³ /約3時間 インリーク試験時系統運転(3/19-20) ※1071Nm ³ /約26時間 系統運転(3/24-4/3) ※5069Nm ³ /約232時間				
	再結合器電気ヒータ運転	(~7/6)							9/23-29												3/18-20 3/24-4/3				
	系統保管状況	排ガス復水器廻り 希ガスホールドアップ塔廻り							排ガス復水器内ドレン水保有 (注) 排ガス復水器水位計点検(2/28-9/1) 希ガスホールドアップ塔隔離(9/6-9/1) 隔離(9/3-18,19-22)												排ガス復水器内ドレン水保有 排ガス復水器水抜き(10/23-3/2) 隔離(10/23-3/5)				

※試験又は運転時における「再結合器内通過空気量/通気時間」を示す。
 (注)排ガス復水器水位計点検中のため、ドレン水保有については不明。

所内用圧縮空気性状調査記録

1. 目的

排ガス再結合器内面付着物分析および金属触媒分析により確認された硫酸イオンの流入経路を確認するため、気体廃棄物処理系を掃気する所内用圧縮空気の性状を確認する。

2. 調査内容

所内用圧縮空気を過酸化水素水に通気し、イオンクロマトグラフにより硫酸イオンを測定する。

3. 調査日

平成20年4月16日

4. 調査結果

以下のイオンクロマトグラフの測定結果より、所内用圧縮空気に大気中から硫黄酸化物が持込まれていることを確認した。

(単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

採取箇所	SO ₄
所内用圧縮空気	2.3

(参考)

(単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

採取箇所	SO ₄
原子炉建屋 IA/SA室	2.7

金属触媒性能試験記録

1. 目的

水分、硫黄酸化物およびニッケルについて、金属触媒の性能低下に及ぼす影響を調査するため、警報発生時の運転条件等を模擬して、再結合性能に関する性能試験を実施する。

2. 試験内容

以下の触媒を試験管内に設置し、プラント運転状態を模擬した混合ガスを送気することにより、再結合性能に関する触媒性能試験を行う。使用する触媒総数は4層（1層あたりの大きさ：外径25mm×厚さ11mm）とする。

- (1) 現触媒（20段）（電気出力約20%）
- (2) 未使用触媒（電気出力約20%）
- (3) 未使用触媒を5%硫酸に浸漬（電気出力約20%）
- (4) 未使用触媒を10%硫酸に浸漬（電気出力約20%）
- (5) 未使用触媒を水分に浸漬（電気出力約20%）
- (6) 現触媒（20段）（100%定格出力，電気出力約20%）

3. 試験日

平成20年4月8日～16日

4. 試験結果

- (1) 現触媒（20段）を用いた性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度は経時的に上昇し、再結合性能の低下が確認された。
- (2) 未使用触媒を用いた性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度に上昇は見られず、再結合性能の低下は確認されなかった。
- (3) 5%硫酸に浸漬させた未使用触媒を用いた性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度は経時的に上昇し、再結合性能の低下が確認された。
- (4) 10%硫酸に浸漬させた未使用触媒を用いた性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度は経時的に上昇し、再結合性能の低下が確認された。
- (5) 水分に浸漬させた未使用触媒を用いた性能試験を実施したところ、試験装置出口水素濃度に上昇は見られず、再結合性能の低下は確認されなかった。
- (6) 原子炉出力上昇による硫酸塩水和物の影響について確認するため、現触媒（20段）を用いた100%定格出力運転時の状態を模擬した性能試験を実施したところ、再結合器性能の回復が確認された。その後、同触媒にて電気出力約20%運転時の状態を模擬した性能試験を実施した結果、試験装置出口水素濃度に上昇は見られず、再結合性能の低下は確認されなかった。

添 付

- (1) 金属触媒性能試験記録
- (2) 触媒試験装置の概要図

金属触媒性能試験記録

・ 供試体

- ケース① 現触媒 (20 段)
- ケース② 未使用触媒
- ケース③ 未使用触媒を 5%硫酸に瞬時浸漬、密封保管 (約 12 時間)
- ケース④ 未使用触媒を 10%硫酸に瞬時浸漬、密封保管 (約 12 時間)
- ケース⑤ 未使用触媒を水分に浸漬 (負圧水浸漬 約 1.5 時間)
- ケース⑥ 現触媒 (20 段)

・ 試験条件

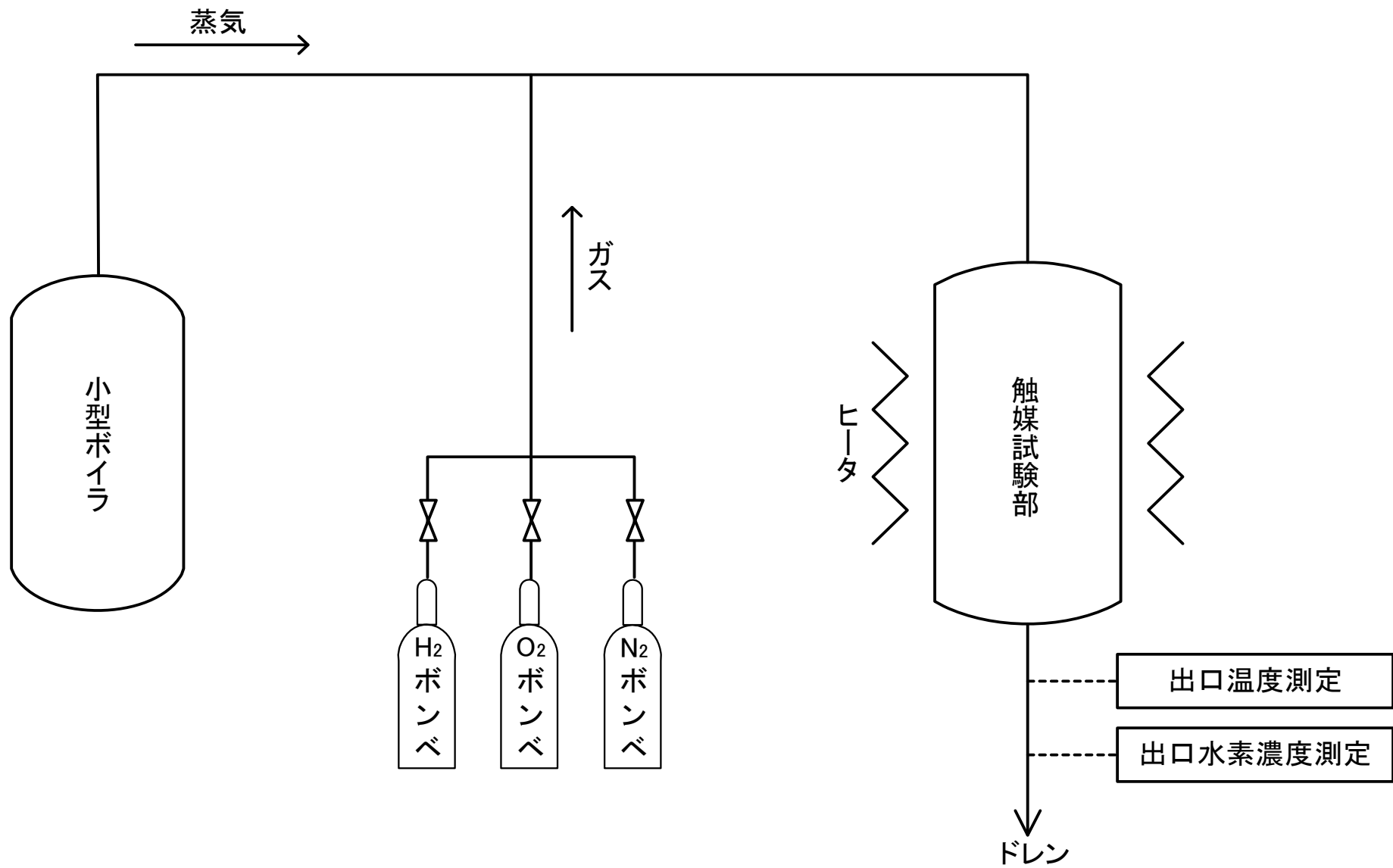
ケース①～⑤ 電気出力約 20%運転時の状態を模擬：排ガス流量 28 m³/h[normal]相当

ケース⑥ 100%定格出力運転時の状態を模擬：排ガス流量 28 m³/h[normal]相当

電気出力約 20%運転時の状態を模擬：排ガス流量 28 m³/h[normal]相当

使用する触媒総数：4 層

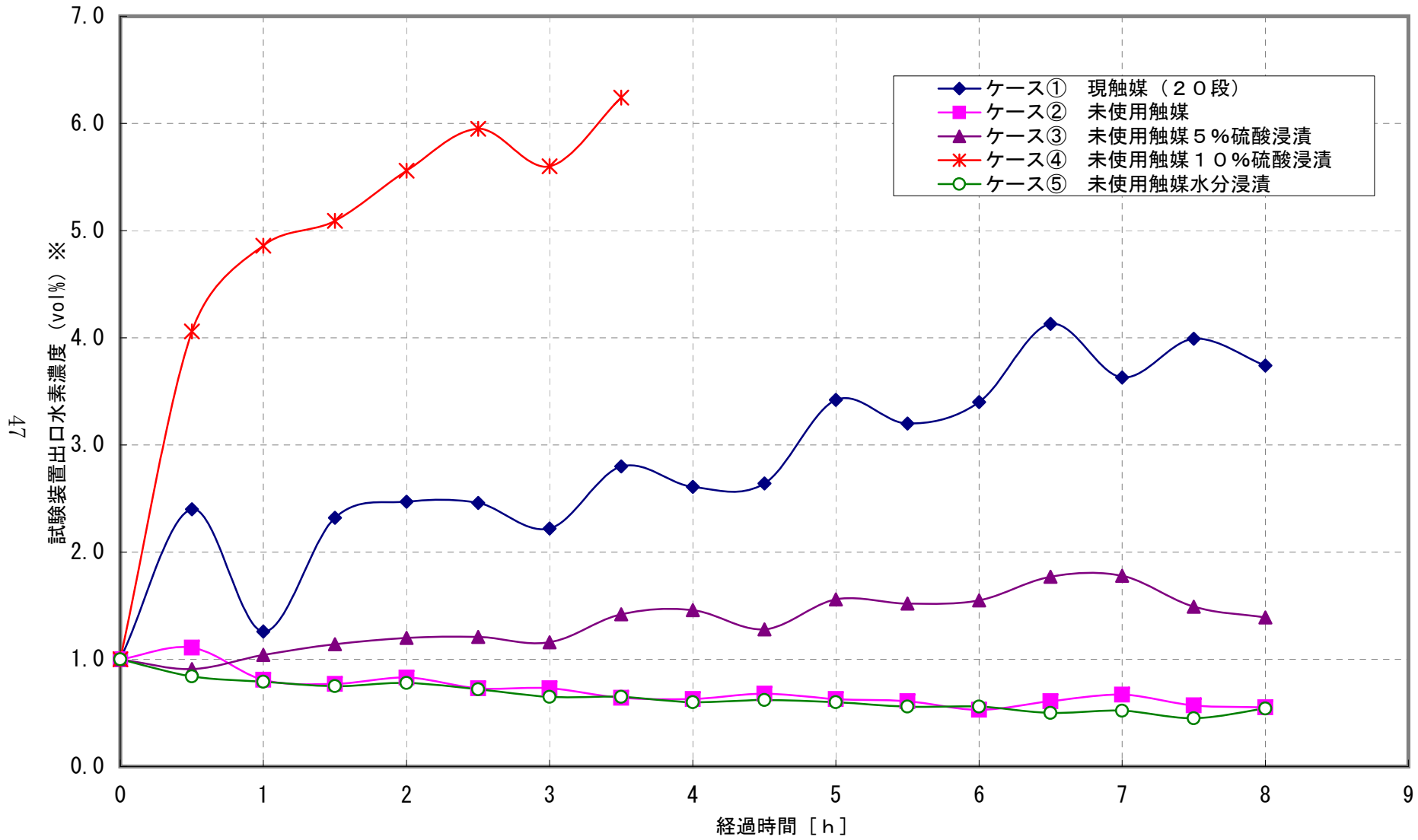
ケース	試験条件	測定日	O ₂ /H ₂ 濃度比	入口 温度	ガス組成 (vol%)				流速 (m/s) [normal]	触媒 層数
					H ₂	O ₂	N ₂	蒸気		
①	現触媒 (20 段)	4/11~4/12	0.652	158	0.563	0.367	0.324	98.746	2.8	4
②	未使用触媒	4/8								
③	未使用触媒 5%硫酸浸漬	4/14~4/15								
④	未使用触媒 10%硫酸浸漬	4/12~4/13								
⑤	未使用触媒 水分浸漬	4/9								
⑥	現触媒 (20 段) 100%定格出力	4/15	0.529	155	2.216	1.173	0.245	96.365	2.8	4
	現触媒 (20 段) 電気出力約 20%	4/15~4/16	0.652	158	0.563	0.367	0.324	98.746	2.8	4



触媒試験装置の概要図

金属触媒性能試験記録

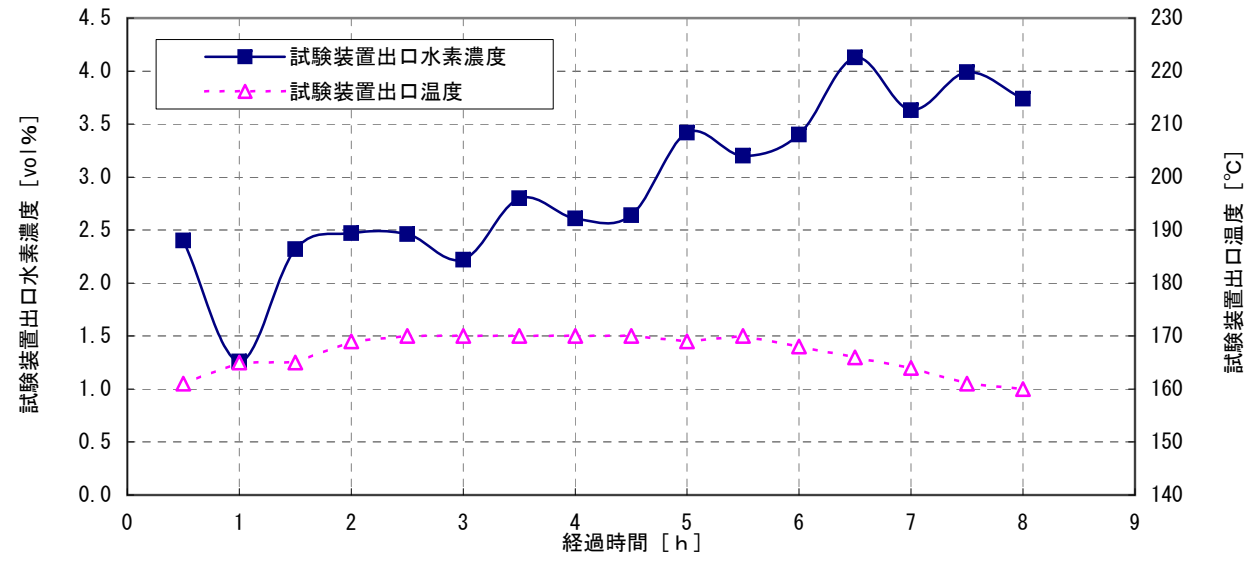
試験装置出口水素濃度比較 (ケース①～⑤)



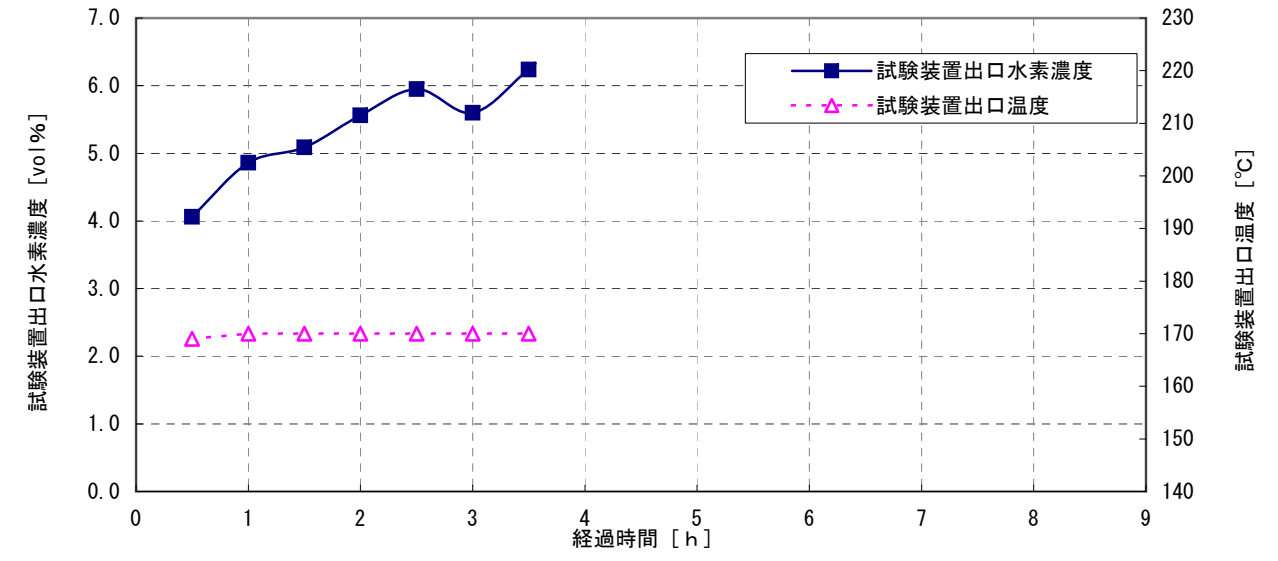
※ 経過時間が0の時の試験装置出口水素濃度 (Vol%) を1として比較した。

・ ケース別試験装置出口水素濃度、試験装置出口温度

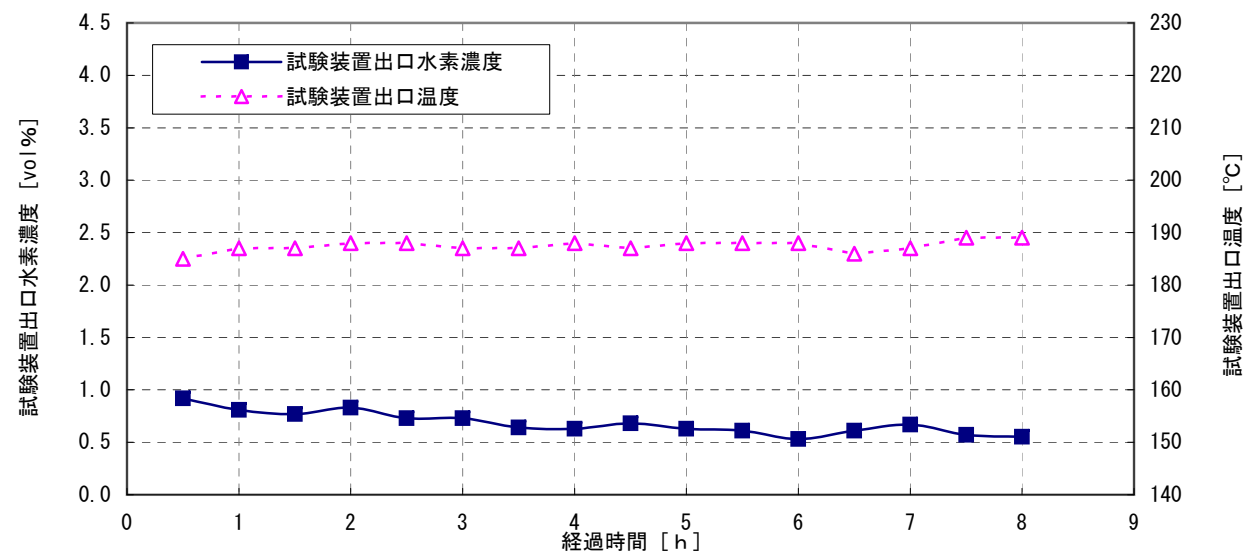
ケース① 現触媒 (20段)



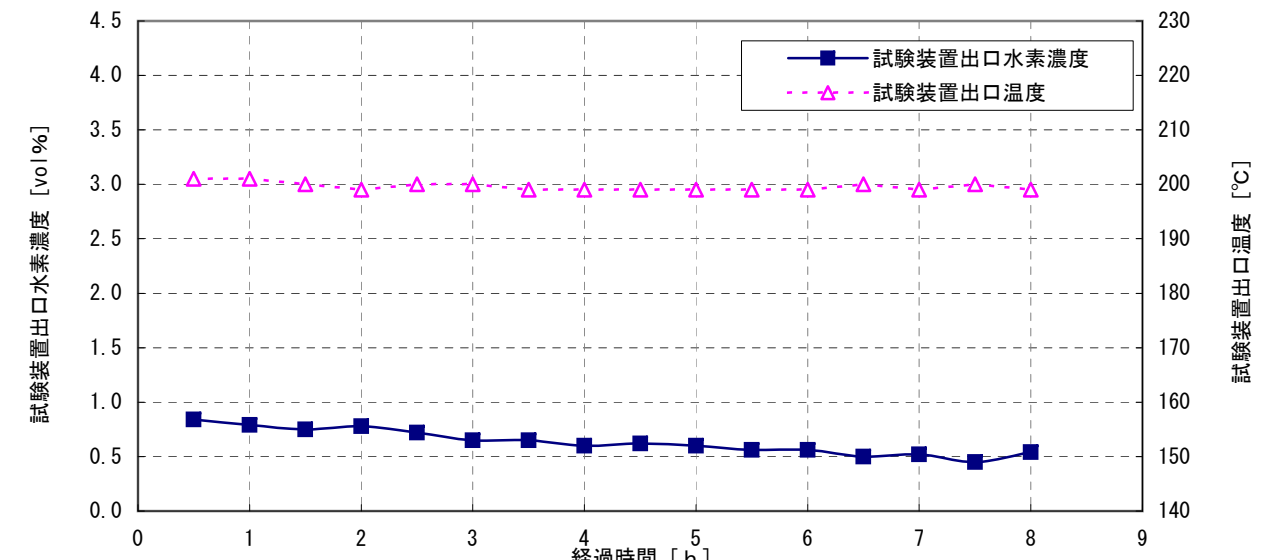
ケース④ 未使用触媒 10%硫酸浸漬



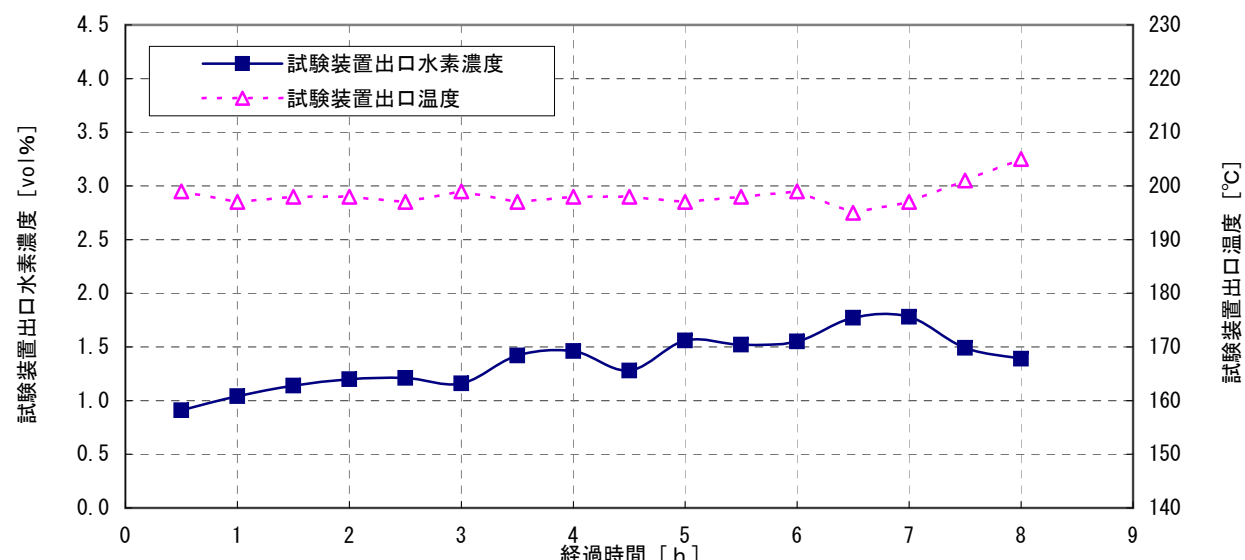
ケース② 未使用触媒



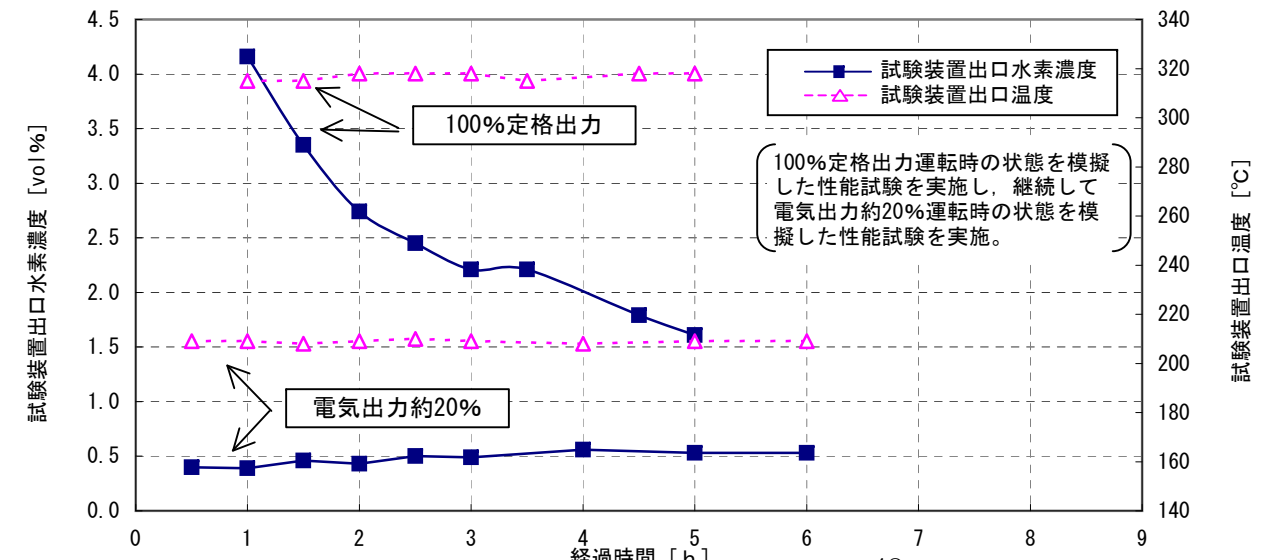
ケース⑤ 未使用触媒水分浸漬



ケース③ 未使用触媒 5%硫酸浸漬



ケース⑥ 現触媒 (20段)



硫黄酸化物を付着させた金属触媒性能試験記録

1. 目的

硫黄酸化物の金属触媒への付着により再結合性能が低下する可能性があるため、硫黄酸化物を付着させた金属触媒性能試験に関するデータを調査する。

2. 調査日

平成20年4月13日

3. 調査内容

硫黄酸化物を付着させた金属触媒性能試験に関するプラントメーカーのデータを調査した。

【試験条件】

(1) 金属触媒

- ①寸法： $\phi 25\text{ mm} \times$ 高さ 11 mm / 段
- ②数量：40段 (段高 440 mm)

(2) 入口温度：約 154°C

(3) 入口水素濃度：1.16%-wet

(4) 酸素 / 水素濃度比 (目安)：0.538

(5) SO_2 濃度：0.66 ppm ($1900\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ に相当)

【試験結果】

SO_2 注入後4時間を経過しても、反応率の低下 (出口水素濃度の上昇) は見られなかった。

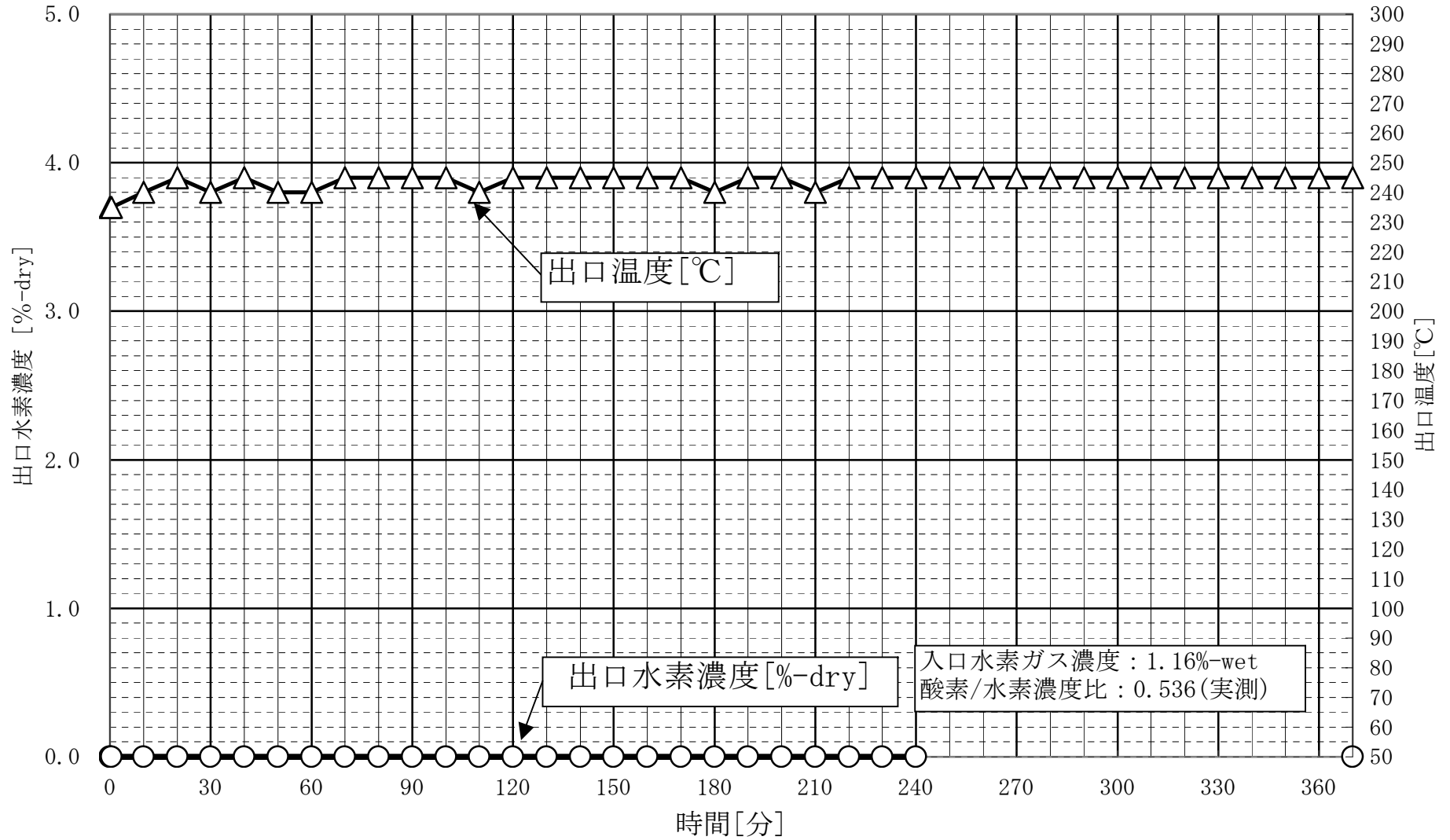
4. 調査結果

硫黄酸化物の影響がないことを確認した。

添 付

- (1) SO_2 ガス注入時 出口水素濃度推移

S₂ガス注入時 出口水素濃度推移



白金付着密度測定記録

1. 目的

白金付着量の減少により再結合性能が低下する可能性があるため、現触媒および未使用触媒の白金付着密度を確認する。

2. 分析内容

現触媒および未使用触媒を酸溶解し、原子吸光光度計により白金の付着密度測定を行う。

3. 分析日

平成20年4月8日～9日

4. 分析結果

現触媒の白金付着密度は、未使用触媒と同等であった。

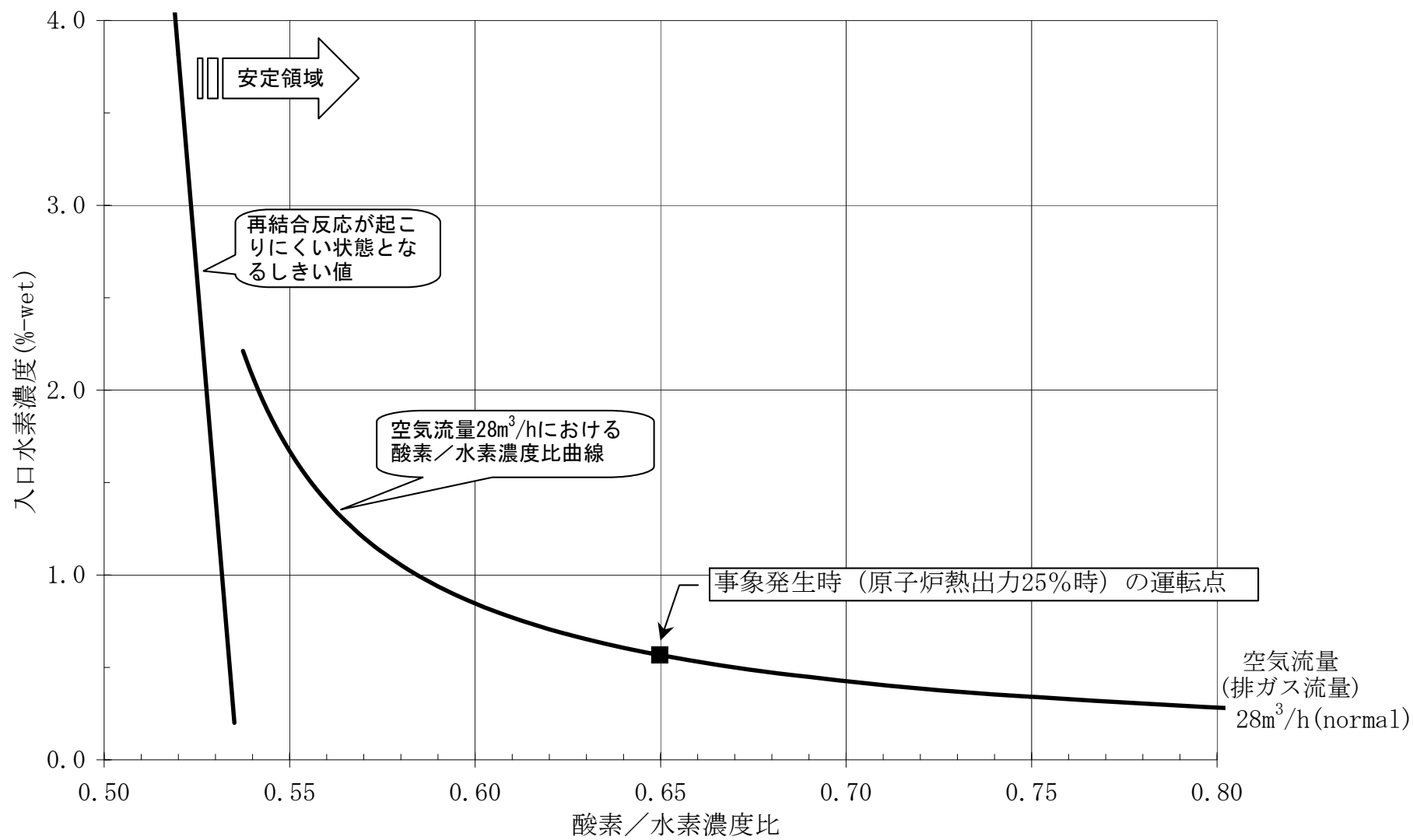
添 付

(1) 白金付着密度分析結果

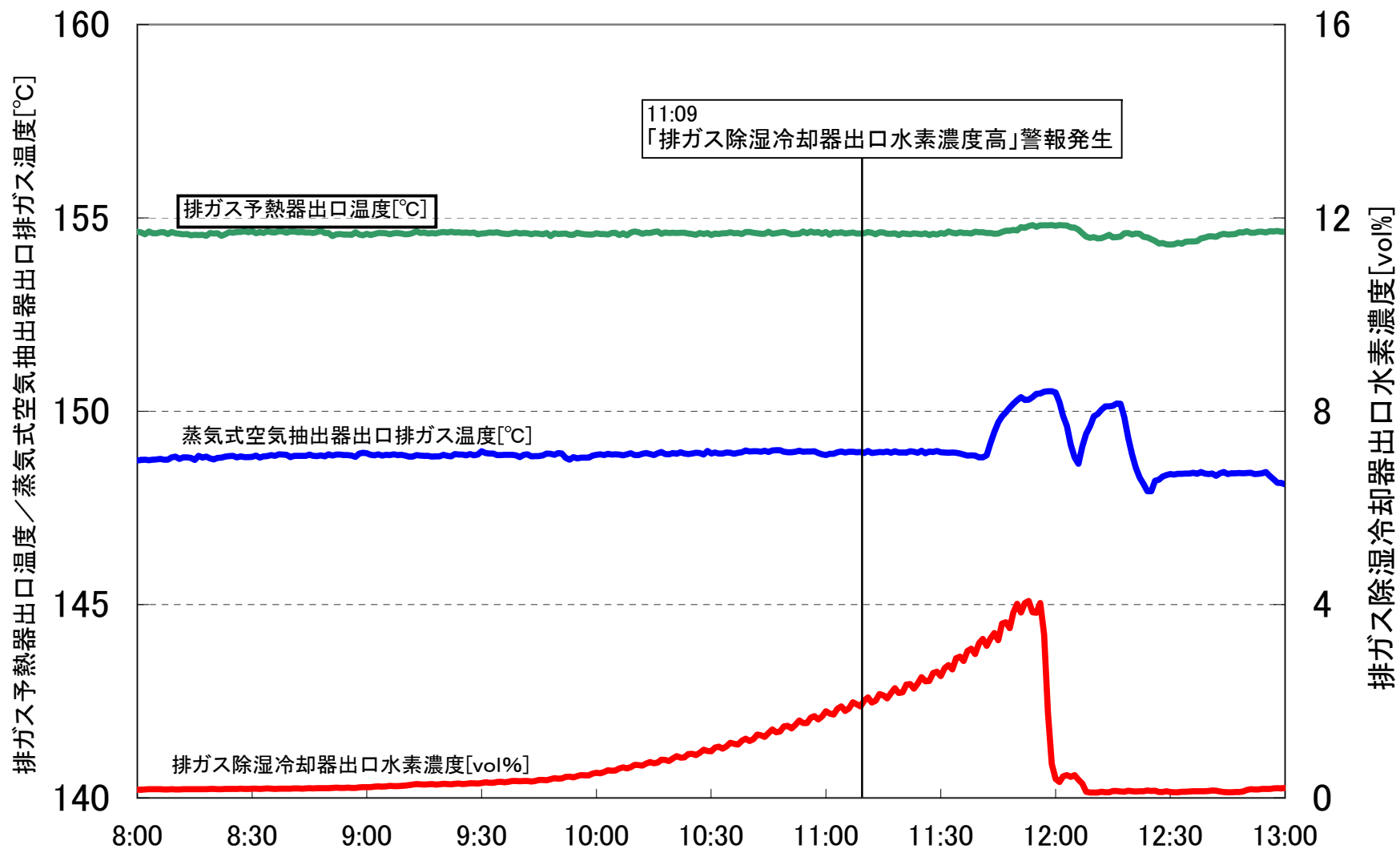
白金付着密度分析結果

(mg/g-触媒)

採取箇所	測定項目	重量 (g)	Pt	Ni	Fe	Cr
	現触媒(40段)	3.4102	2.2	930	6.6	230
	現触媒(20段)	3.4777	1.9	780	13	300
	現触媒(1段)	3.0026	1.9	770	8.9	310
	未使用触媒	0.4865	1.8	730	6.6	460



警報発生時の酸素/水素濃度比



排ガス予熱器出口温度の推移

金属触媒製造・据付時記録確認

1. 目的

金属触媒の製造・据付不良により、水素濃度上昇事象に影響を及ぼしていないかを製造時に実施した性能試験の記録および触媒据付時の記録により確認する。

2. 調査日

平成20年4月13日

3. 調査内容

- (1) 製造時に実施した金属触媒の性能試験の結果を記録により確認する。
- (2) 触媒据付時の「金属触媒充填チェックシート」により確認する。

4. 調査結果

(1) 製造時の性能試験記録確認

平成15年2月14日に金属触媒製造時の性能試験として起動時及び定格運転時の排ガス組成を模擬した性能試験を行っており、記録を確認した結果、下表のとおり判定基準を満足していた。

表. 試験結果

ガス組成	出口H ₂ 濃度		判定
	判定基準	結果	
起動時	Dry 1 % 以下	Dry 0.097%	良
定格時	Wet 1 ppm 以下	Wet 0.11ppm	良

注) %は体積百分率%, ppm は体積百万分率 ppm を示す。

(2) 触媒据付記録確認

平成16年3月17日の触媒据付作業はチェックシートを用いて実施しており、チェックシートを確認した結果、触媒据付には異常は認められなかった。

溶接部浸透探傷試験記録

1. 目的

排ガス再結合器内部の溶接部について、排ガスが金属触媒をバイパスするような貫通欠陥の有無を浸透探傷試験により確認する。

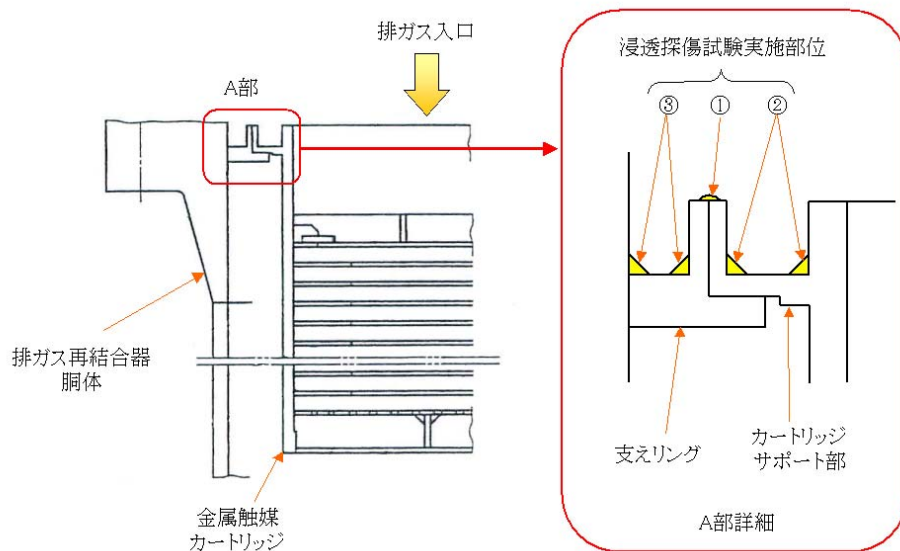
2. 調査日

平成20年4月6日

3. 調査内容

(1) 溶接部浸透探傷試験

- ① 金属触媒カートリッジと支えリングのリップシール溶接部 (全周)
- ② 金属触媒カートリッジのサポート部のすみ肉溶接部 (全周)
- ③ 支えリングのすみ肉溶接部 (全周)



4. 調査結果

浸透探傷試験の結果、浸透指示模様は認められず、排ガスが金属触媒をバイパスした形跡は認められなかった。

部位	結果
金属触媒カートリッジと支えリングのリップシール溶接部(全周)	浸透指示模様認めず
金属触媒カートリッジのサポート部のすみ肉溶接部 (全周)	浸透指示模様認めず
支えリングのすみ肉溶接部 (全周)	浸透指示模様認めず

排ガス水素分析計点検記録

1. 目的

排ガス水素分析計の不良の可能性について確認する。

2. 点検日

平成20年4月2日

3. 点検内容

排ガス再結合器入口および排ガス除湿冷却器出口の排ガス水素分析計について、点検を実施した。

4. 点検結果

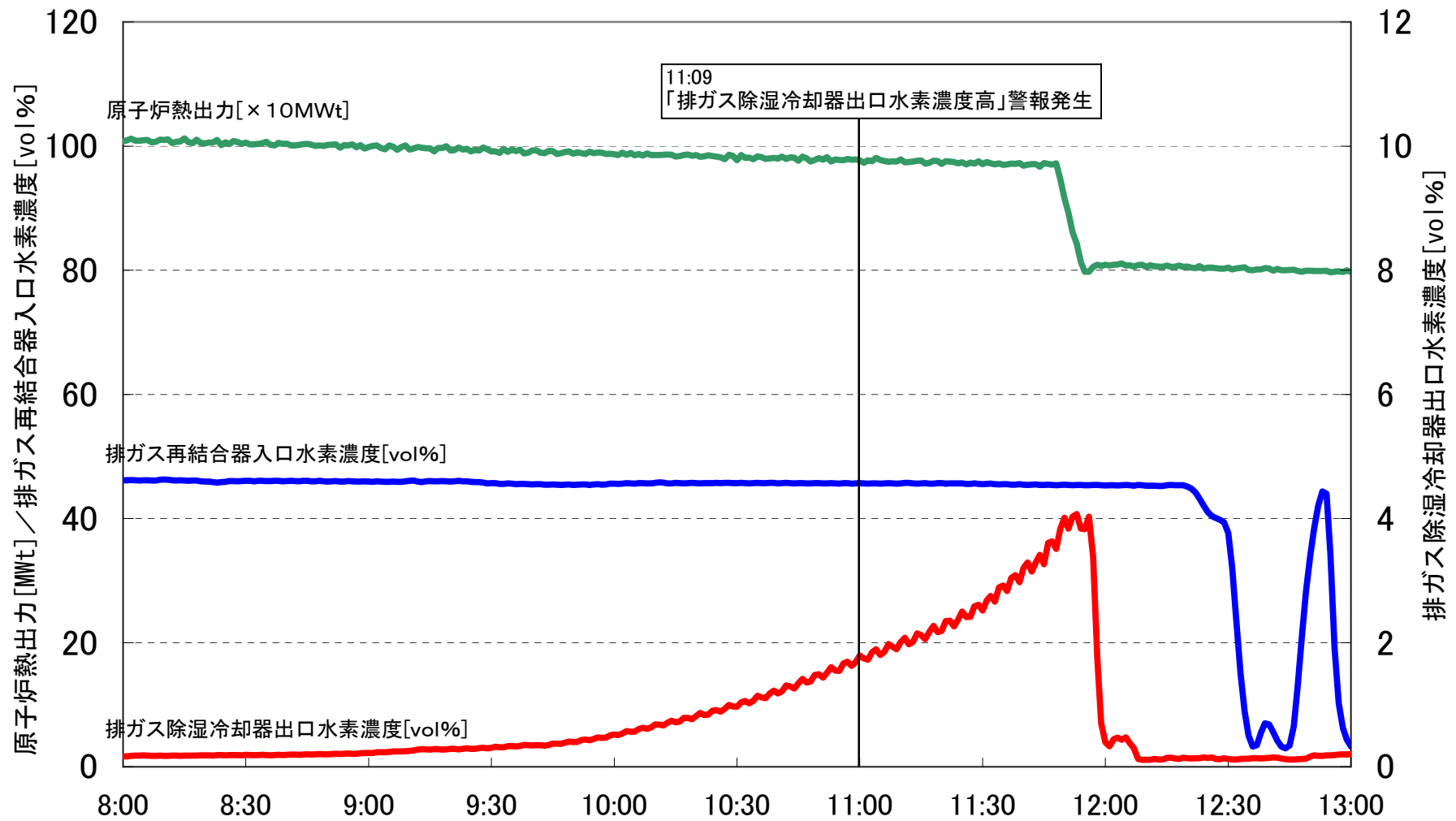
排ガス水素分析計点検

点検機器			ZERO(基準:0.00)		SPAN(基準:70.6)		結果
			指示値 (vol%)	誤差※	指示値 (vol%)	誤差※	
排ガス再結合器 入口水素分析計	H2E-TB20	調整前	0.00	0.00%	70.2	0.53%	良
	H2T-TB20						
	H2I-TB20	調整後	0.00	0.00%	70.6	0.00%	

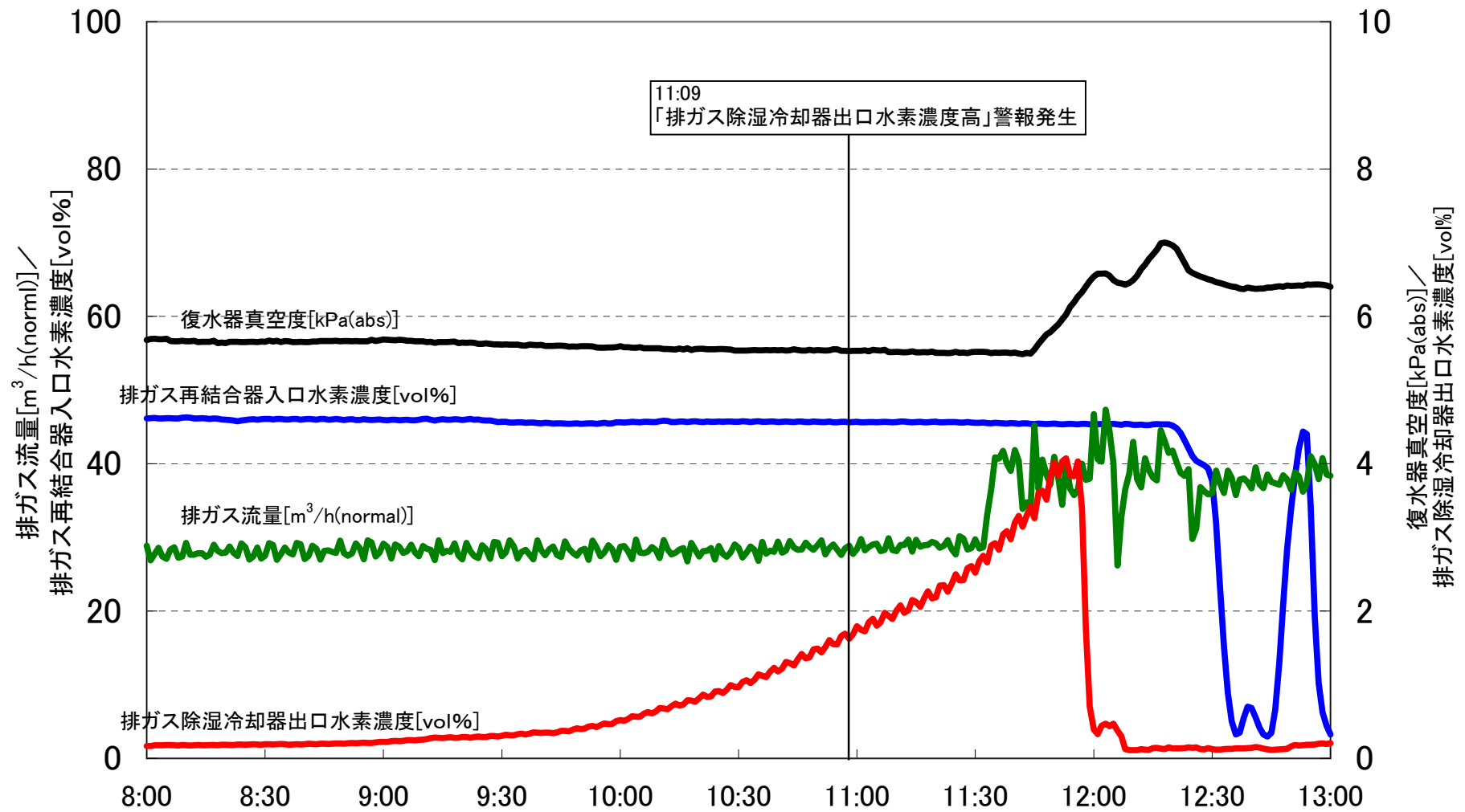
点検機器			ZERO(基準:0.00)		SPAN(基準:4.10)		結果
			指示値 (vol%)	誤差※	指示値 (vol%)	誤差※	
排ガス除湿冷却 器出口水素分析 計	H2E-TB21	調整前	0.01	0.20%	4.10	0.00%	良
	H2T-TB21						
	H2I-TB21	調整後	0.00	0.00%	4.10	0.00%	

※判定基準±2.50%

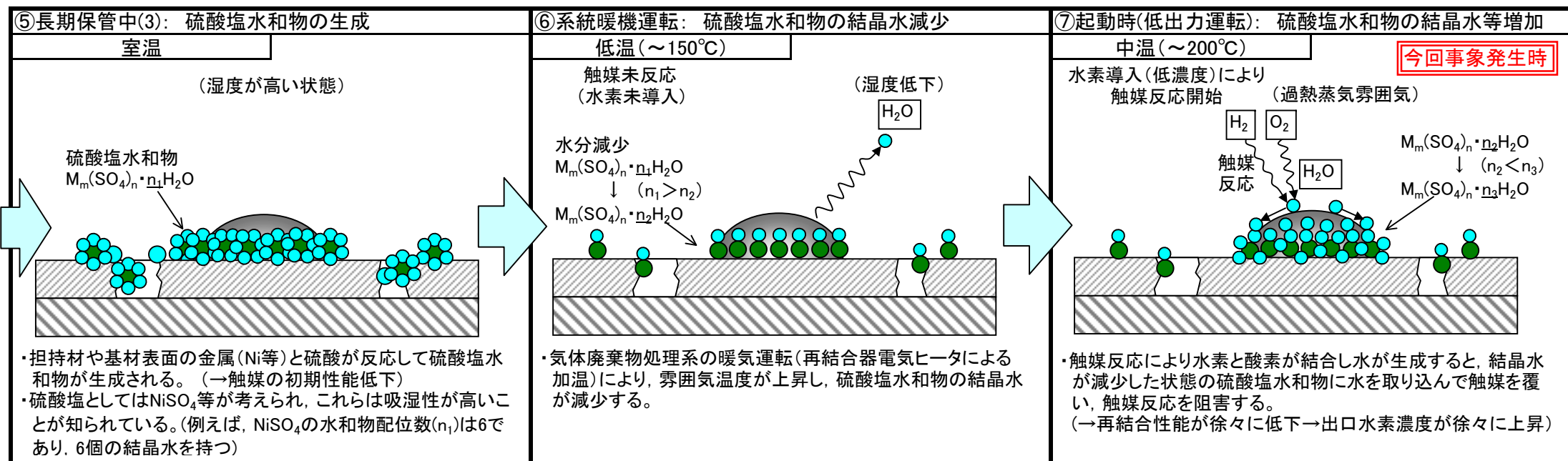
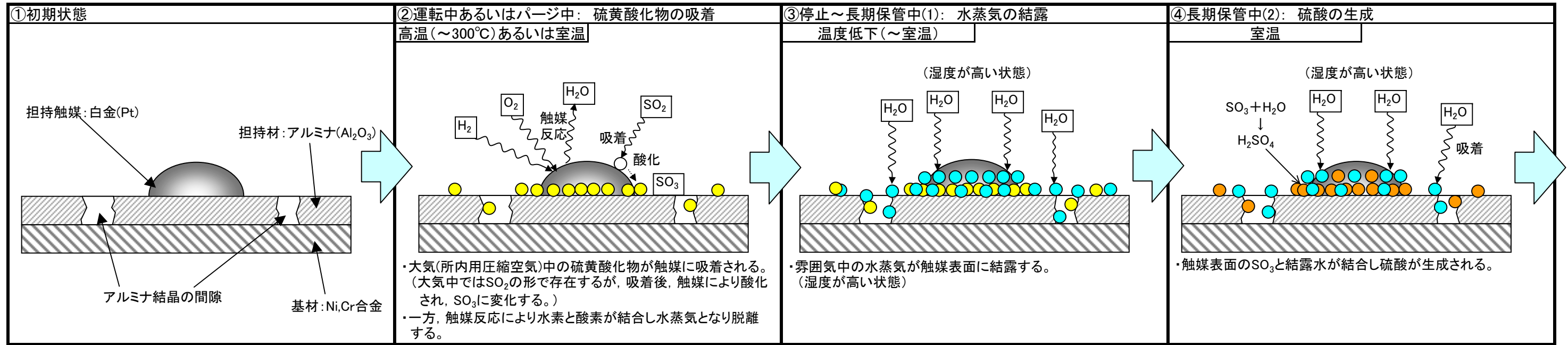
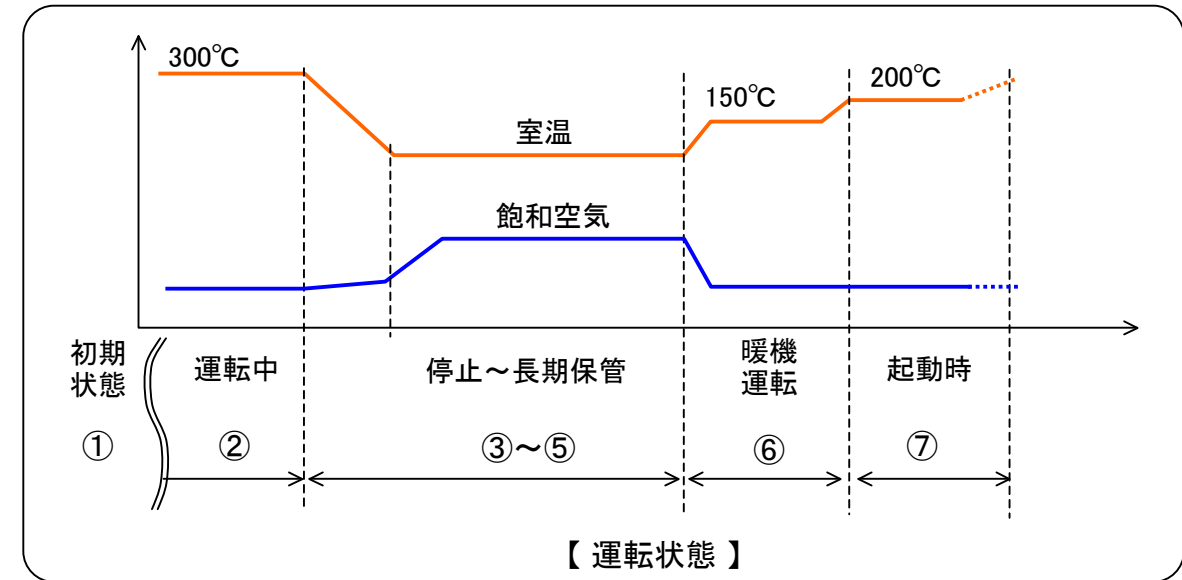
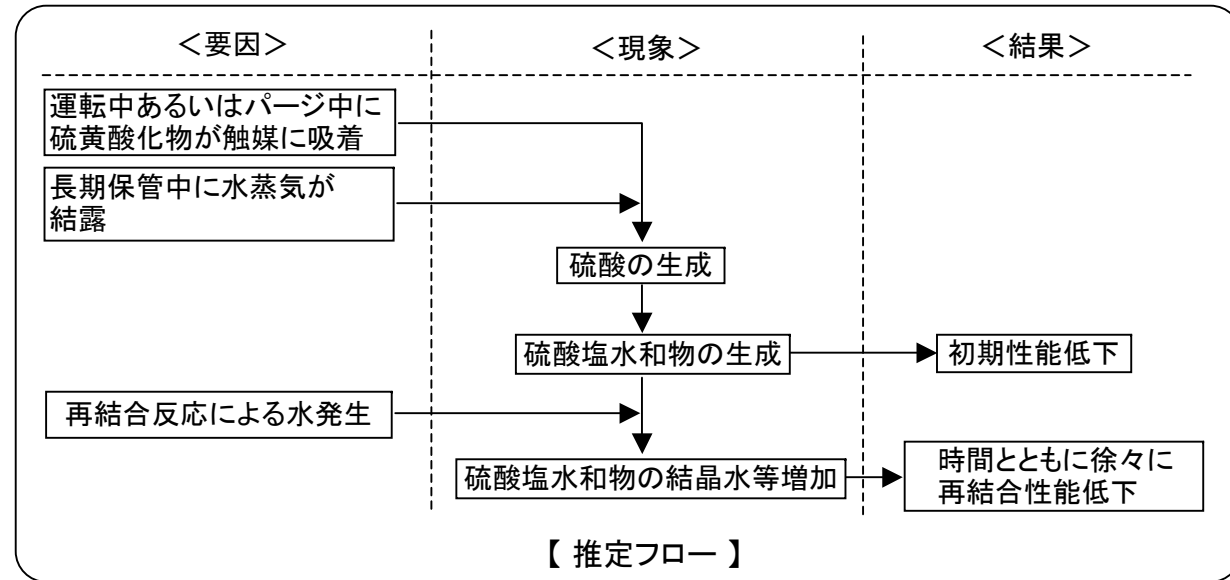
点検の結果、異常は認められなかった。



原子炉熱出力の推移



排ガス流量等の推移



- 【凡例】
- SO₂ (硫黄酸化物)
 - SO₃ (硫黄酸化物)
 - H₂O (水)
 - H₂SO₄ (硫酸)
 - M_m(SO₄)_n (硫酸塩)
 - M_m(SO₄)_n · n₁H₂O (硫酸塩水和物)

再発防止対策

1. 目的

推定原因に対する再発防止対策について、金属触媒の性能低下の要因をもとに検討する。

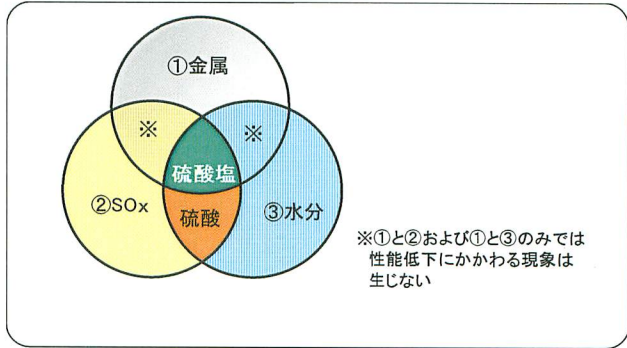
2. 性能低下の要因

性能低下の要因としては、次の3つが挙げられる。

- ①金属
- ②SO_x
- ③水分

②SO_xと③水分により生成された硫酸が①金属と反応して硫酸塩水和物が生成され、性能低下の原因となる。

なお、硫酸塩水和物が生成されるのは、右図に示すように要因①②③全てが複合的に作用した場合である。よって、どれか一つでも除去できれば、硫酸塩水和物の生成および性能低下を防止することが可能となる。



3. 対策

下表に硫酸塩水和物生成の各要因を除去するための対策案を示す。

対策案の効果及び実現性を考慮すると対策C, E (停止中の水抜き保管および電気ヒータ通電保管)の2つが考えられる。これらにより、性能低下の要因のうち③水分の影響を除去することが効果的であることから、これら対策を実施することにより金属触媒の性能低下を防止できる。

○：採用 △：不採用 ×：不可

要因	分類	対策内容	効果	判定
①	金属	除去	A 金属触媒の構成材であり除去不可。	×
②	SO _x	流入抑制	B SO _x フィルタ設置 大気中に含まれるSO _x を完全に無くすることは不可能。	△
③	水分の発生源の除去・隔離	C 停止中の水抜き保管	ドレン水の蒸発・拡散を防止。	○
		D 排ガス再結合器隔離弁設置	水抜き保管と同様の効果であり、水抜き保管の場合、必要性低い。	△
	金属触媒乾燥保管	E 停止中の電気ヒータ通電保管	相対湿度低下により凝縮水生成を防止。排ガス再結合器の耐熱上も問題ない。	○
		F 除湿空気による系統内置換	相対湿度低下の効果は電気ヒータ通電保管と同等である。	○
		G 所内用圧縮空気の除湿装置の設置	相対湿度低下の効果は電気ヒータ通電保管と同等である。	△

4. まとめ

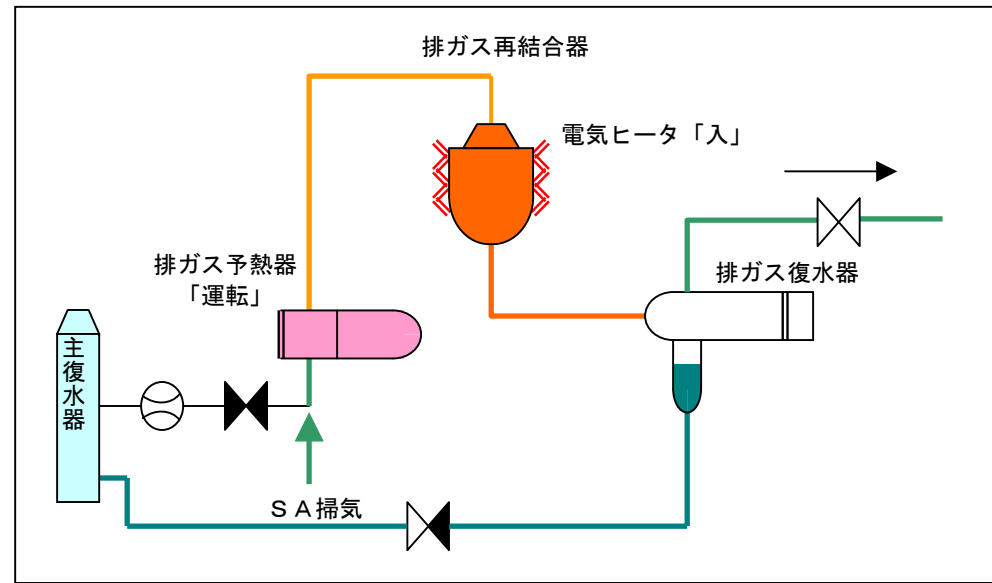
効果的な対策として、原子炉停止期間中においては、排ガス復水器内のドレン水を抜くとともに、排ガス再結合器電気ヒータを通電状態で保管する。また、念のため、気体廃棄物処理系停止時の掃気運転後、除湿空気により系統内を置換するとともに乾燥させる。

添付

(1) 再発防止対策 (排ガス再結合器保管方法の変更)

再発防止対策（排ガス再結合器保管方法の変更）

① 保管準備



<説明>
原子炉停止後、SAにより
10時間掃気運転を行う。

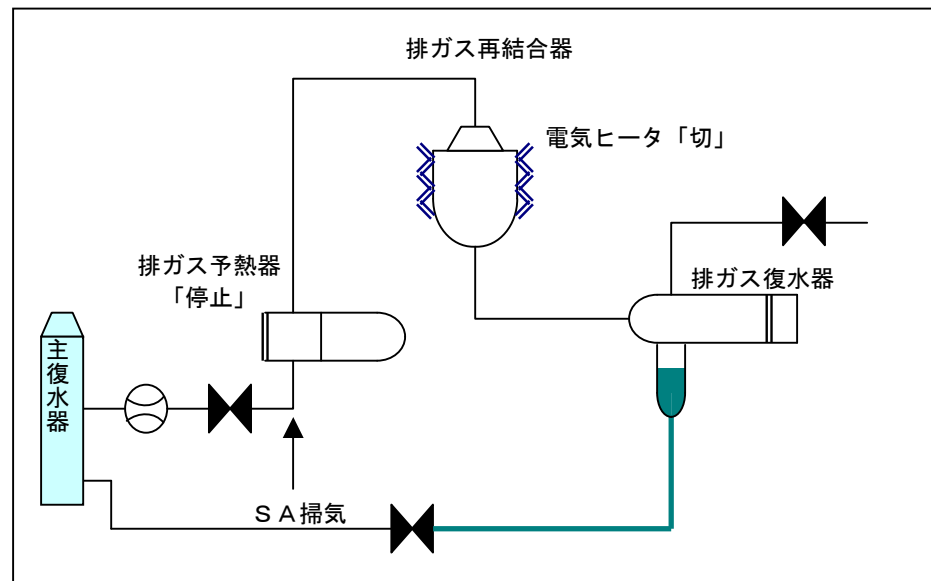
- ①排ガス再結合器
電気ヒータ「入」
- ②排ガス予熱器「運転」
- ③SAにより10時間掃気
運転実施

注) SA : 所内用圧縮空気
IA : 計装用圧縮空気

現状

改善案

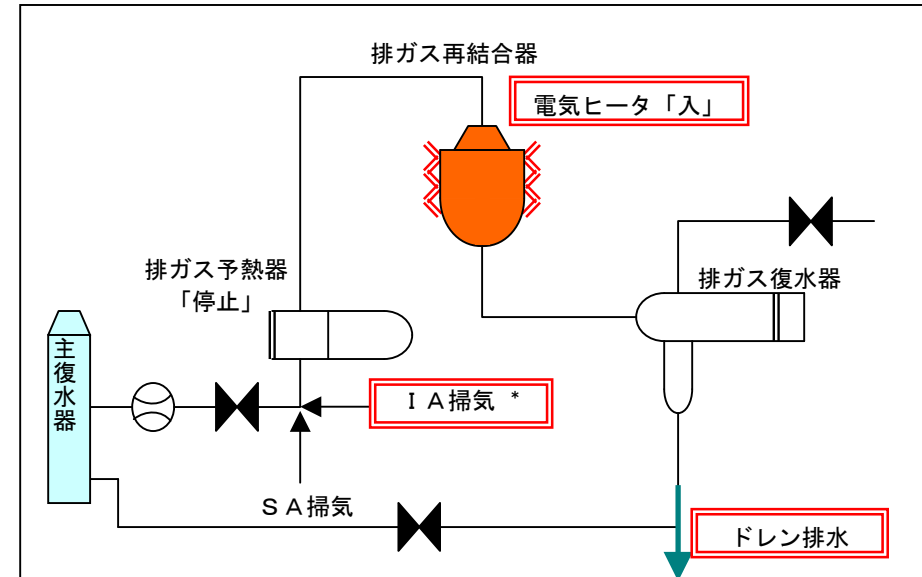
② 保管状態



<説明>
現状の系統保管状態

- ①排ガス再結合器
電気ヒータ「切」
- ②排ガス復水器のドレン水有り
- ③SA掃気「停止」
- ④排ガス予熱器「停止」

② 保管状態



<説明>
改善案の系統保管状態

- ①排ガス再結合器
電気ヒータを「入」
 - ②排ガス復水器のドレン水なし
 - ③SA掃気「停止」
 - ④排ガス予熱器「停止」
 - ⑤IA空気による
SA空気の系統置換
- * : IA掃気
SA掃気終了後に系統を
IA空気で置換
その後、IA掃気「停止」

用語の解説

用 語	解 説
気体廃棄物処理系	復水器からの排ガス中に含まれる水素を可燃限界未満の濃度にするとともに、放射能を十分減衰させ、排ガスを排気筒から放出するための系統
所内用圧縮空気系	各建屋内外の圧縮空気使用設備に、圧縮空気を供給するための系統
蒸気式空気抽出器	復水器に漏入する空気およびタービン排気に含まれる酸素と水素等の排ガスを連続的に抽出し、気体廃棄物処理系へ導く機器
排ガス予熱器	排ガス再結合器の触媒反応に影響を与えないよう、排ガスを加熱する機器
排ガス再結合器	復水器からの排ガス中に含まれる酸素と水素を触媒反応により水蒸気とし、水素濃度を可燃限界未満にする機器
排ガス復水器	排ガスを冷却して排ガス中の大部分の水蒸気を凝縮除去する機器
排ガス除湿冷却器	活性炭式希ガスホールドアップ塔の活性炭への吸着性能を高くするため、排ガスを冷却し湿分を凝縮除去する機器
触媒	活性が高く、特定の化学反応の反応速度を速める物質で、触媒自身は反応の前後では変化しない
金属触媒	ニッケル、クロム、鉄を主成分とする発泡金属にアルミナを介して触媒（白金）を担持させたもの 触媒の土台となるアルミナを担持体といい、担持体上に触媒をつけることを担持という
キセノン	原子炉での核分裂により生成される放射性物質の一種で、中性子を吸収するため原子炉の出力に影響を与える物質
Ar ⁴¹	空気中に含まれるアルゴンの放射化により生成される放射性物質
全有機炭素（TOC）	水中に存在する有機化合物中の全炭素量 有機化合物とは炭素を含む化合物のこと