

福島第一原子力発電所 増設雑固体廃棄物焼却設備の状況について

TEPCO

2022年8月25日

東京電力ホールディングス株式会社

1. 増設雑固体廃棄物焼却設備の状況

- 5月23日、灰の詰まりにより停止していた増設雑固体廃棄物焼却設備は焼却運転を再開した。
 - 6月10日、灰の取出し系統に水があることを確認し、点検のため焼却運転を停止した。なお、外部への放射性物質の漏えいはない。
 - 当該系統に水を供給する機器の調査を行い、各機器には異常が無いことを確認。
 - バーナの起動・停止が多いことから、温度変化に追従する排ガススプレー水の供給量が過剰になったためと推定。
 - 運転再開に当たっては、温度制御値を変更し灰の性状を確認する。 (2.参照)
-
- 6月18日、パトロールにおいて、ロータリーキルン取合円筒の溶接部、二次燃焼器とストーカ取合の塞ぎプレートに亀裂等があることを確認した。
 - 確認時、焼却運転は停止しており、また、亀裂のあった系統内はブロアにより負圧に維持されていることから、外部への放射性物質の漏えいはない。
 - 亀裂破面観察の結果、過大な応力により延性破壊したものであり、3月16日地震の影響と推定。また、溶接部の亀裂については、溶接部の強度不足も確認。
(3.1～3.3 参照)
-
- 上記不具合の発生を踏まえ、設備の水平展開調査を実施し、新たにボルト・座金の歪み等を確認した。
 - これら不具合が確認された箇所の修理等を実施し、9月中を目途に復旧を行う。
 - 廃棄物保管量低減のため、安全最優先に早期運転再開を目指す。
(3.4～3.5 参照)

2. 灰取り出し系統における水分の確認について

飛灰ホッパ内の様子

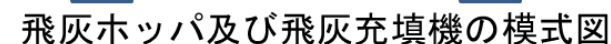
- ## 原因調査状況

- 現場調査結果から、排ガス冷却器スプレーの不具合によるものと推定。

- 排ガス冷却器底部および排ガス冷却器から発生した灰の供給コンベア内部に、湿潤した灰を確認。
- 一方、バグフィルタで発生した灰の供給コンベア内部の灰は乾燥していることを確認。

- スプレーノズルの外観や噴霧試験では異常は確認されなかった。

- 水分が確認された系統内部は清掃実施済



2.2 灰の取り出し系統での水分確認事象の調査結果および対策

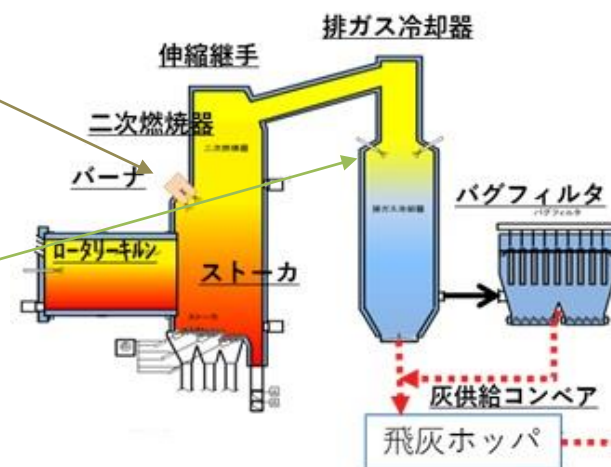
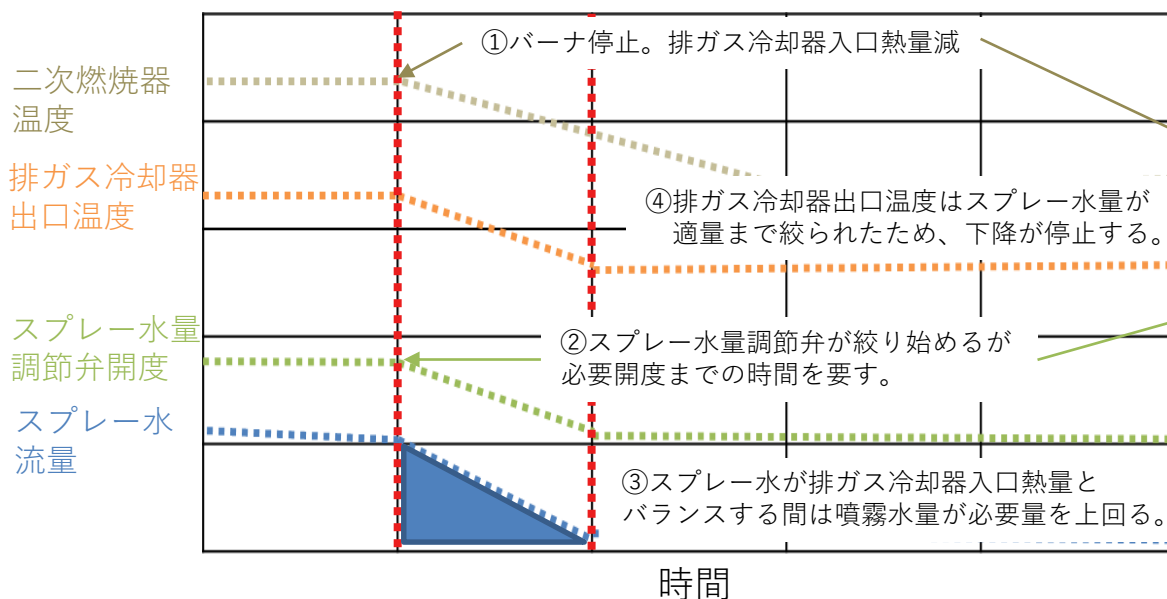
TEPCO

■ 調査結果

- 現場調査の結果、各機器の外観・動作に異常は確認されなかった。
- 炉内温度変化に対して追従する排ガススプレー水の供給量が過剰となったためと推定。

■ 推定メカニズム

- 伐採木の熱量不足により、設計と異なり、二次燃焼器バーナは起動・停止を繰り返している。（バーナ起動：855℃、停止：920℃、温度設定値：930℃）
- バーナ停止により排ガス流量が減少し、排ガス冷却器入口熱量が減少。
- スプレー水量調整弁が絞り始めるが、制御上、必要開度まで時間を要し、供給量が過剰となる。
- 上記繰り返しにより、蒸発しきれない水分が冷却器底部に蓄積し、灰が湿潤。



2.2 灰の取り出し系統での水分確認事象の調査結果および対策 **TEPCO**

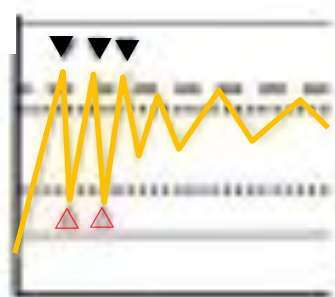
■ 対策

- 二次燃焼器バーナは二次燃焼器温度で制御しており、バーナ起動・停止回数が少なくなるように温度設定値を下表の通り変更する。
- これにより廃棄物の実態に合わせてバーナは連続運転となる。
- 設定変更に加え、噴霧水・空気の圧力・流量を監視しつつ、コンベアの点検口に覗き窓を設け、灰の状態を目視確認しながら運転を再開することで、温度設定値の妥当性を確認、変更できるようにする。

	温度設定値	設定根拠
現状	930℃	昇温後にバーナが自動停止し、廃棄物熱量のみで自燃運転できるようにバーナ停止温度よりも温度設定値を高く設定
変更後	880℃(仮)	バーナ停止温度（920℃）よりも温度設定値を低い温度に変更し、バーナ停止回数を減少させる

二次燃焼器温度（℃）

温度高ANN 1100
 温度設定値 930
 バーナ停止 920
 バーナ起動 855
 温度低ANN 800



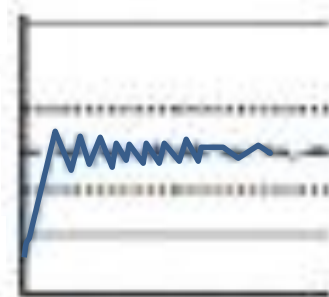
模擬廃棄物焼却時

温度高ANN 1100
 温度設定値 930
 バーナ停止 920
 バーナ起動 855
 温度低ANN 800



実廃棄物焼却時(現状)

温度高ANN 1100
 バーナ停止 920
 温度設定値 880
 バーナ起動 855
 温度低ANN 800



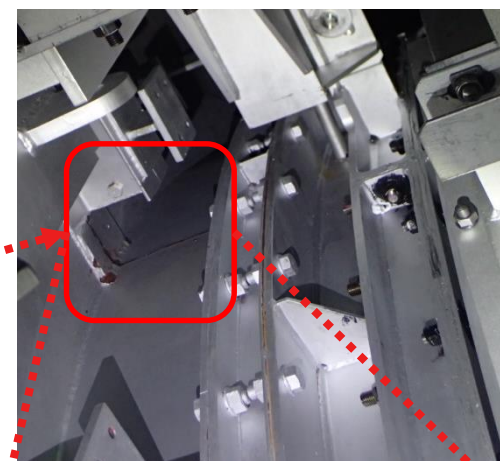
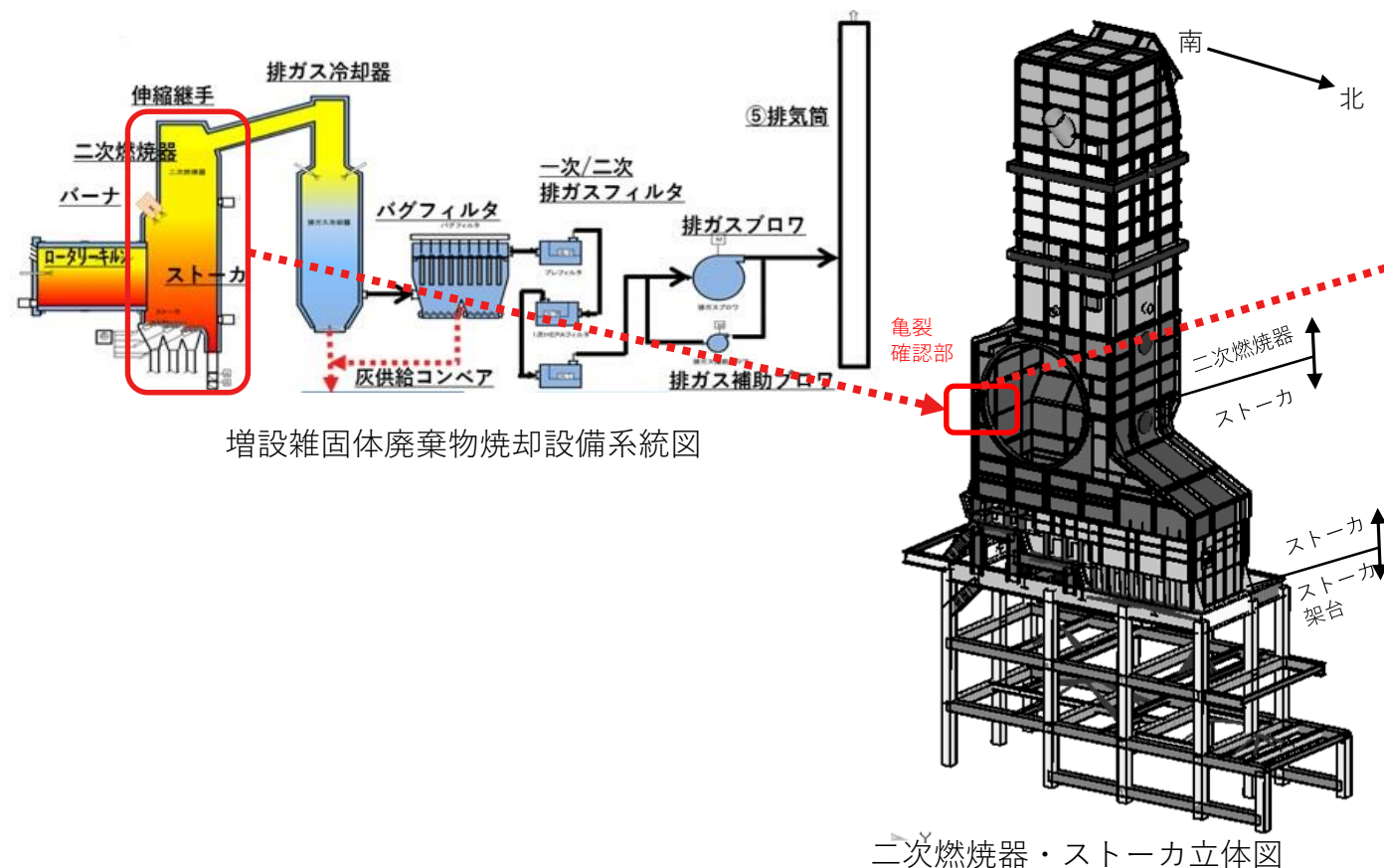
実廃棄物焼却時(変更後)

▲バーナ起動
 ▼バーナ停止

3. 二次燃焼器・ストーカ溶接部における亀裂の確認について

3.1 事象の概要

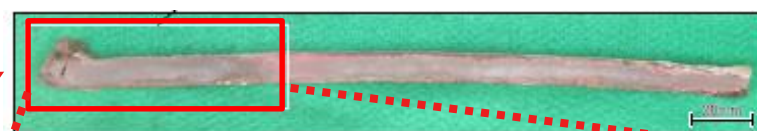
- 6月18日、停止中の増設雑固体廃棄物焼却設備のパトロールにて、亀裂を確認
 - ①ロータリーキルン取合円筒の溶接部（北、南両側）
 - ②二次燃焼器とストーカ取合の塞ぎプレート（南側）
- 系統内はブロアにより負圧を維持していること及び亀裂部は焼却物と直接接する箇所ではないことから、当該亀裂部からの放射性物質の漏えいはない。
- 亀裂発生箇所はいずれも構造材本体ではないことから、構造強度に影響はない。



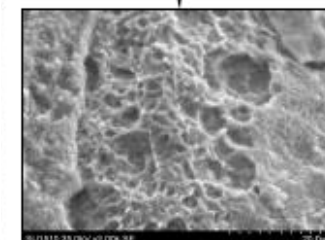
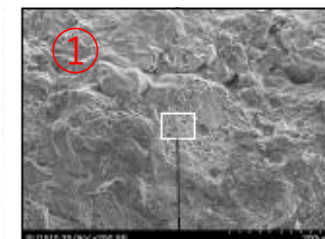
亀裂確認箇所(南側)現場写真

3.2 亀裂発生の原因調査結果および発生要因

- 破面観察の結果、過大な応力で延性破壊に至ったもので、3.16地震影響が直接原因と推定。
- 取合円筒の溶接部亀裂（南側）のSEM観察結果
 - 破面は円筒表面の溶接金属部であり、ディンプル模様が確認され、延性破壊と推定。
 - 当該部は突き合わせ溶接で、開先をとらない施工法であったことから、溶接金属の溶込厚さ(下模式図桃色部)が小さく、設計よりも強度が低かったと推定。



取合円筒破面（南側）

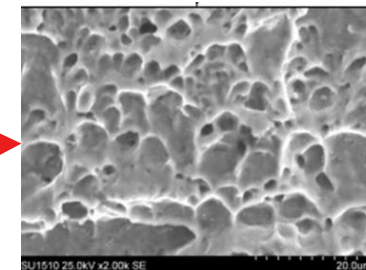


取合円筒破面模式図（桃色：溶接金属部）

- 塞ぎプレートの亀裂のSEM観察結果
 - 破面にディンプル模様が確認され、過大な応力が作用し、延性破壊に至った
 - 破面は接触による損傷部分が多く、破断後に破面同士の接触が繰り返されたと推定



塞ぎプレート破面（上側）



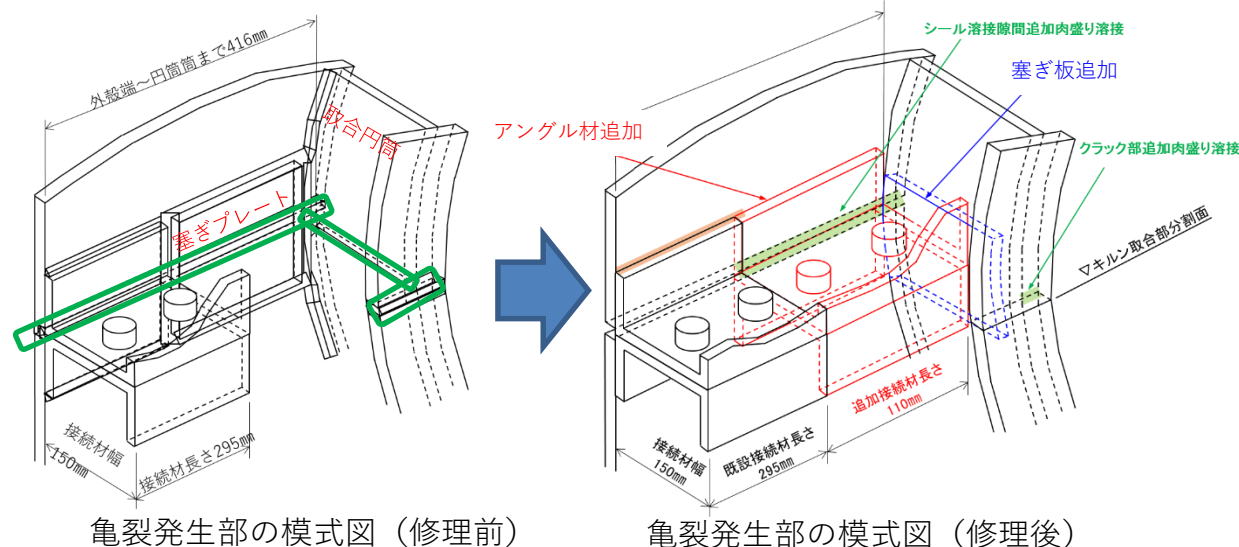
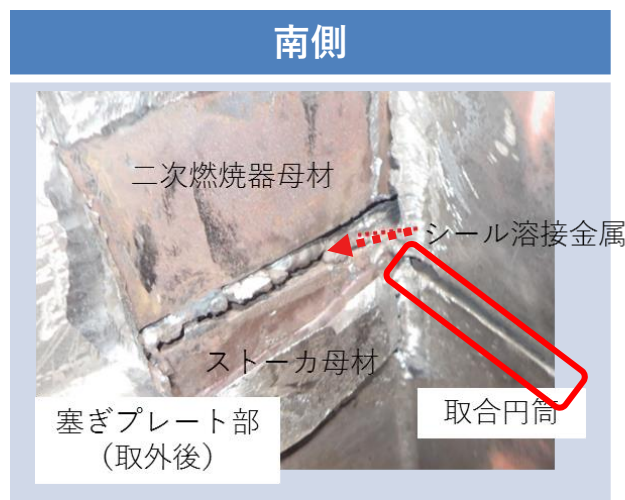
3.3 全体方針および亀裂発生部の対策

■全体方針

- 本設備に確認された各不具合について、当該設備の設計要求である、耐震Bクラスの強度および気密性を満足するように修理を行う。

■亀裂発生部の対策

- 円筒溶接部：亀裂部周辺を切り欠き、開口部に新たに塞ぎ板(下右図青色部)を溶接する。その際、必要な強度を確保できるよう、開先をとった突き合わせ溶接を行う。
- 塞ぎプレート部：他の要素接続部と同様、外部にアングル材を溶接接続し、ボルト締結にて強度を確保する(下右図赤色部)。



3.4 水平展開

(1) 亀裂発生部の水平展開

- 本設備について、亀裂発生部と同様に、強度要求がある部位で開先をとらない突き合わせ溶接箇所の調査を行い、他に2か所を確認。
- 当該部についても同様に、開先をとった溶接を再施工し、強度を確保する。

(2) 亀裂確認部以外の設備全体の水平展開調査

- 地震影響が推定されたため、亀裂確認部以外についても下記水平展開調査を実施。
 - ①二次燃焼器・ストーカボルト各要素接続部位の気密性確認
 - ②二次燃焼器・ストーカボルト接続部の目視・トルク確認
 - ③各機器取付・基礎ボルトのトルク確認
 - ④耐震評価上裕度が低い箇所の非破壊検査
 - ⑤炉内耐火材の目視点検
- 点検結果、下記の不具合を新たに確認した。次頁以降に復旧方法を示す。
 - ②-1 接続ボルトの緩み、ボルト・座金の歪み
 - ②-2 ストーカ・架台据付部のシムプレートのずれ
 - ④外殻補強材溶接部の割れ
 - ⑤耐火材のクラック

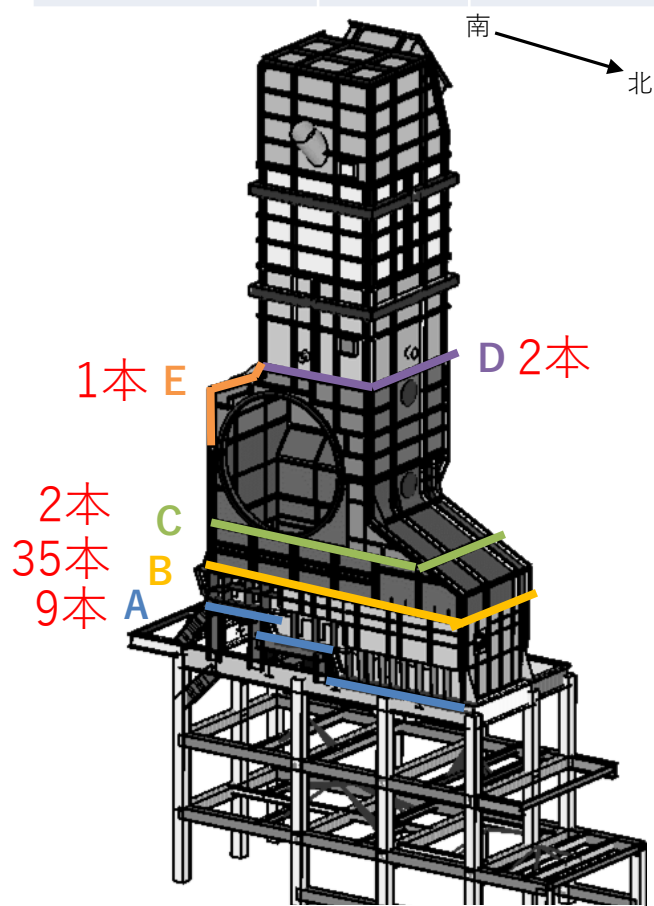
3.4 水平展開

11

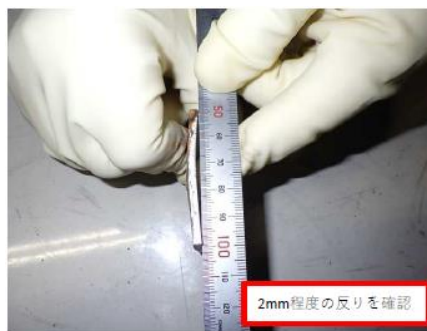
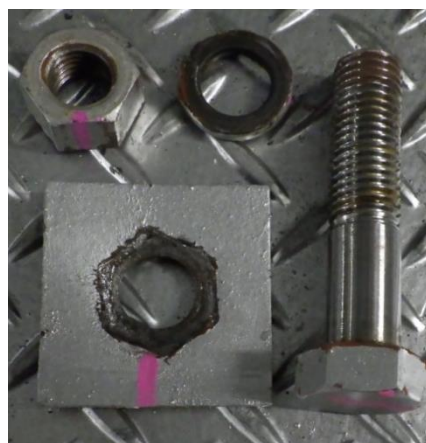
②- 1 : 接続ボルトの緩み、ボルト・座金の歪み

TEPCO

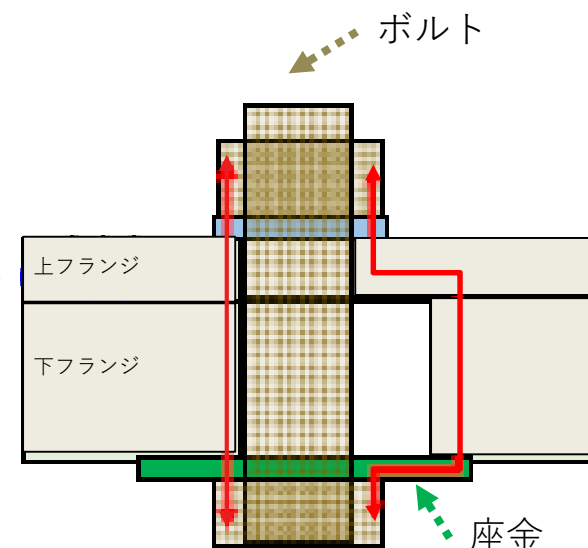
用途・要求機能			復旧方法
用途	気密性	強度	
ストーカ・二次燃焼器各要素を接続	要求有	要求有 耐震Bクラス地震力に対して許容応力未満とする設計	・現場調査の結果、ボルト径に対してボルト穴が相対して大きい箇所を確認(左下図A,B面)。締結部の仕様(ボルト・座金材質及び寸法)を見直す。



ボルトの緩み箇所(赤字：本数)



ボルト及び座金等
締結部材の状態



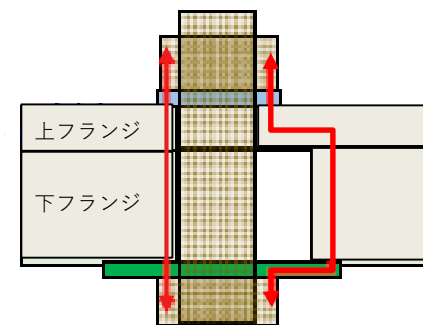
ボルト締結部の模式図

②- 1 : 接続ボルトの緩み、ボルト・座金の歪み

- 二次燃焼器・ストーカのボルト緩み及びボルト・座金の歪みは3月16日の地震による力が直接原因と推定されるが、現場調査の結果、多くの個所に確認された。

■ 座金について

- JISに準拠した寸法の座金を設置。
- 一方、大型機器の据え付け調整のため、上下フランジのうち、上フランジボルト穴が $\phi 18.5\text{mm}$ であるのに対し、下フランジボルト穴は $\phi 28.5\text{mm}$ として施工
- 下フランジ穴がボルト径と相対し大きいため、耐震Bクラス地震力により直接座金に作用する曲げ応力を考慮した材質・寸法に見直し、強度を向上する。



ボルト締結部の模式図

■ ボルトについて

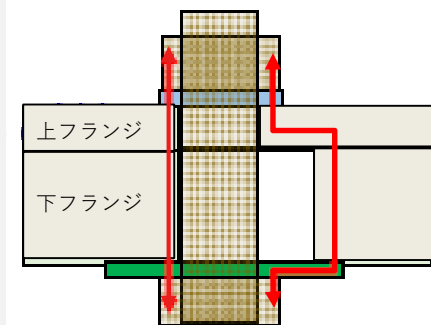
- 本設備の耐震評価では、ボルト締結部は構造材一体としてモデル化し、原子力設備の耐震評価手法に基づく構造解析を実施。
- ボルトの強度については、地震力を考慮した焼却炉メーカーの一般的な評価手法により確認。
- 本事象を踏まえ、より安全側となる評価手法を用いて、ボルトの材質・寸法を見直し、強度を向上する。

②- 1 : 接続ボルトの緩み、ボルト・座金の歪み

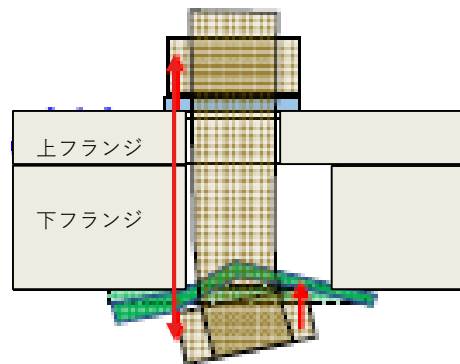
■ ボルト・座金の歪みの推定メカニズム

- 地震によりボルトに負荷された引張力により、強度が弱い座金に変形
- 座金の変形に伴い、ボルトも傾き、変形
- 併せて、ボルト頭部の圧縮により座金が陥没

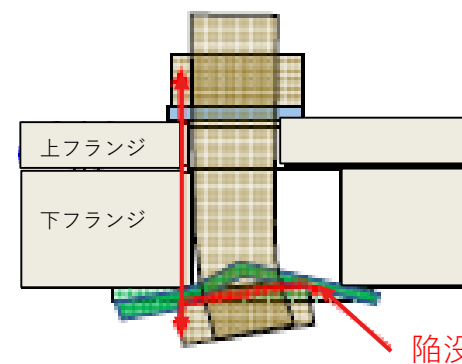
ボルトに引張力が作用



ボルト頭部が反って座金が
変形
ボルトも傾き、変形



座金のボルト頭部接触面が
陥没する

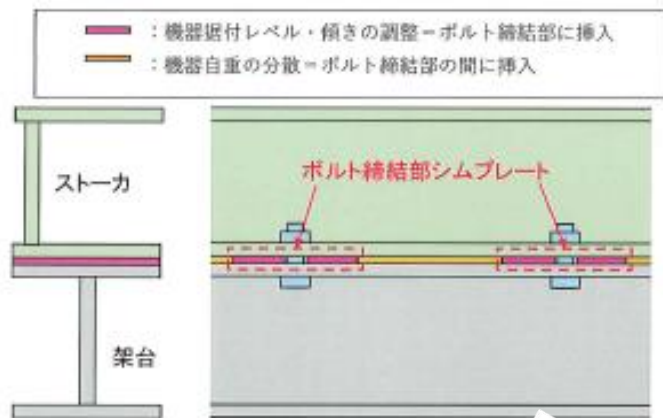


3.4 水平展開

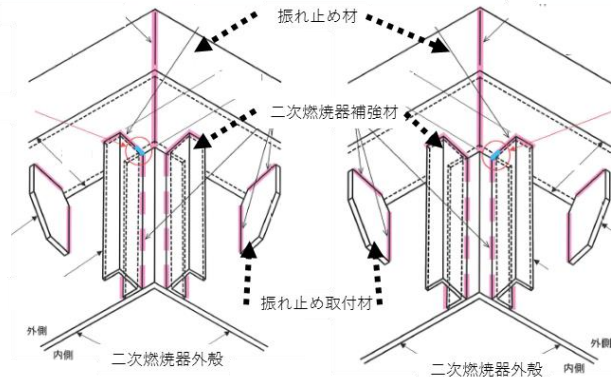
②-2：ストーカ・架台据付部のシムプレートのずれ

④：外殻補強材溶接部の割れ

	用途・要求機能			復旧方法
	用途	気密性	強度	
ストーカ・架台据付部シムプレート	機器の傾き調整及び荷重分散	—	—	プレート追加挿入及びコーキングによるずれ止め処置。なお、二次燃焼器の垂直度は許容値5/1000mmに対し、3/1000mmと許容値以内
二次燃焼器補強材と振止材の接続部	二次燃焼器の補強材と振止材を溶接接続	—	—	割れ部を肉盛り溶接補修



シムプレートのずれ

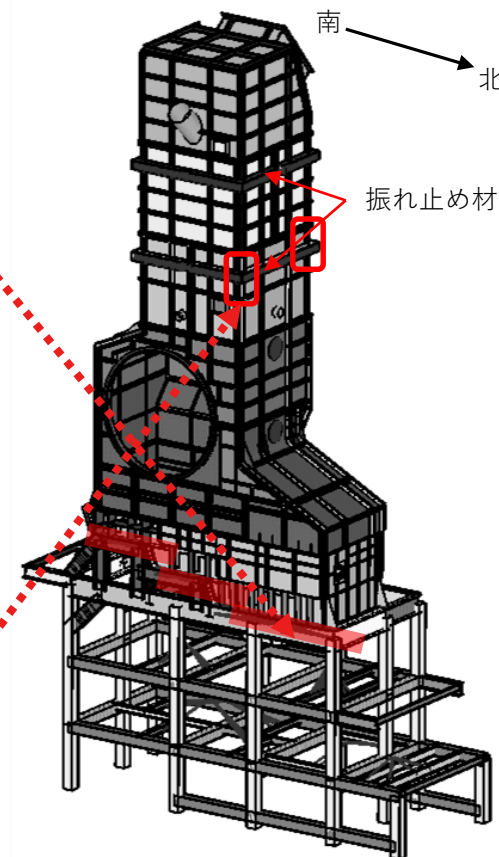


南西部角の構造
(桃色：溶接部)

南東部角の構造
(桃色：溶接部)

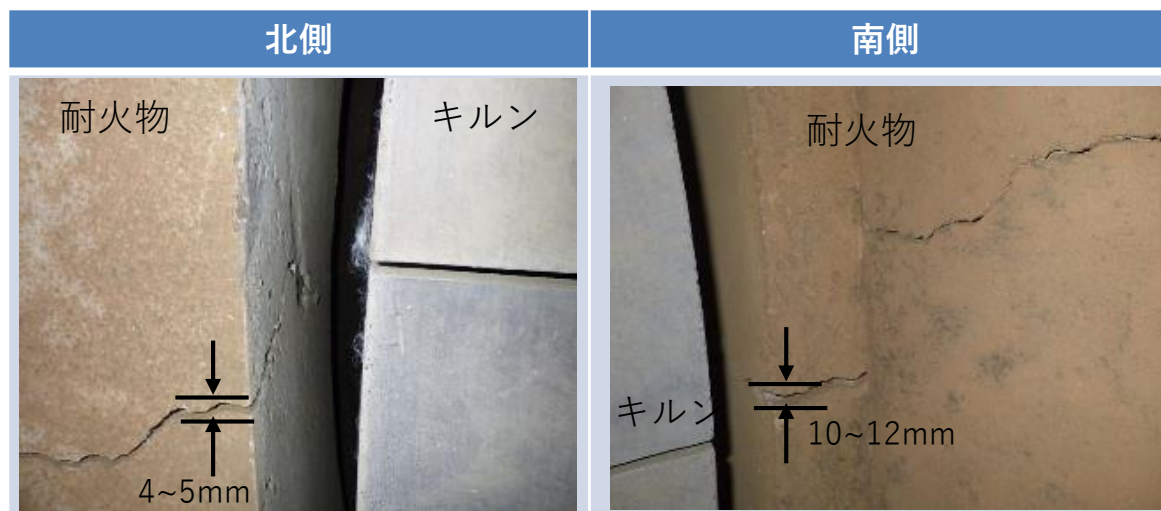
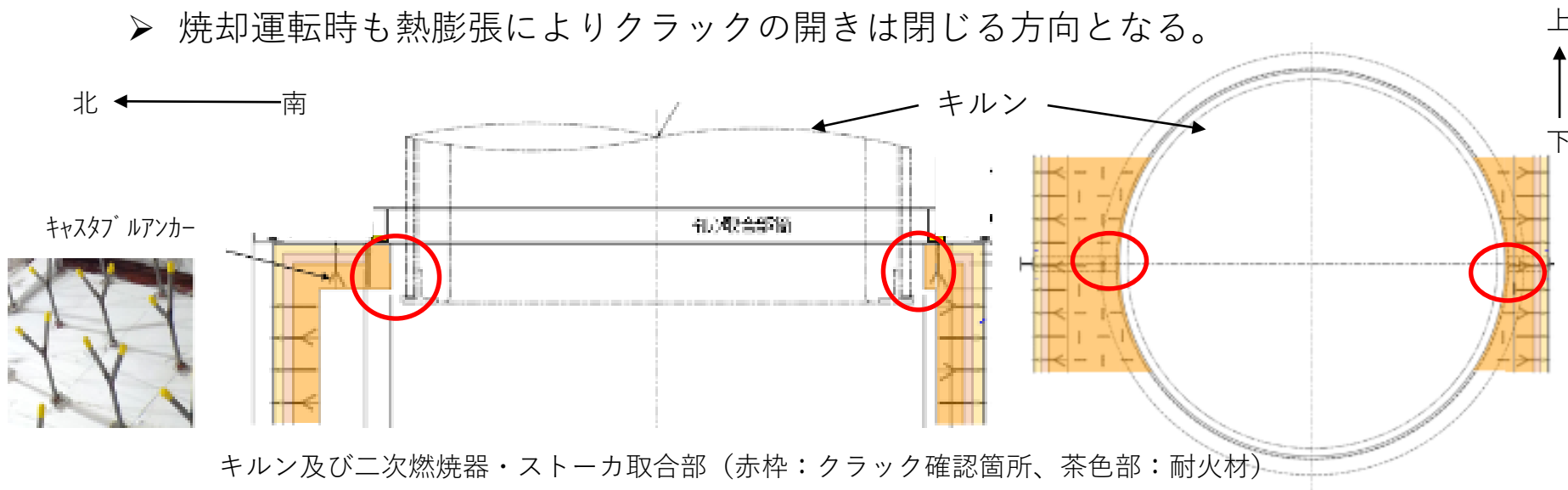


南西角部の溶接部割れ



3.4 水平展開 ⑤炉内耐火物

- 炉内耐火物について、外側の取合円筒亀裂と相対する位置近傍にクラックの発生を確認。
- 現状は脱落・剥離が発生する状況ではないため継続監視していく。
 - クラックが発生した部位はアンカーで支持されており、脱落・剥離は見られない。
 - 焼却運転時も熱膨張によりクラックの開きは閉じる方向となる。

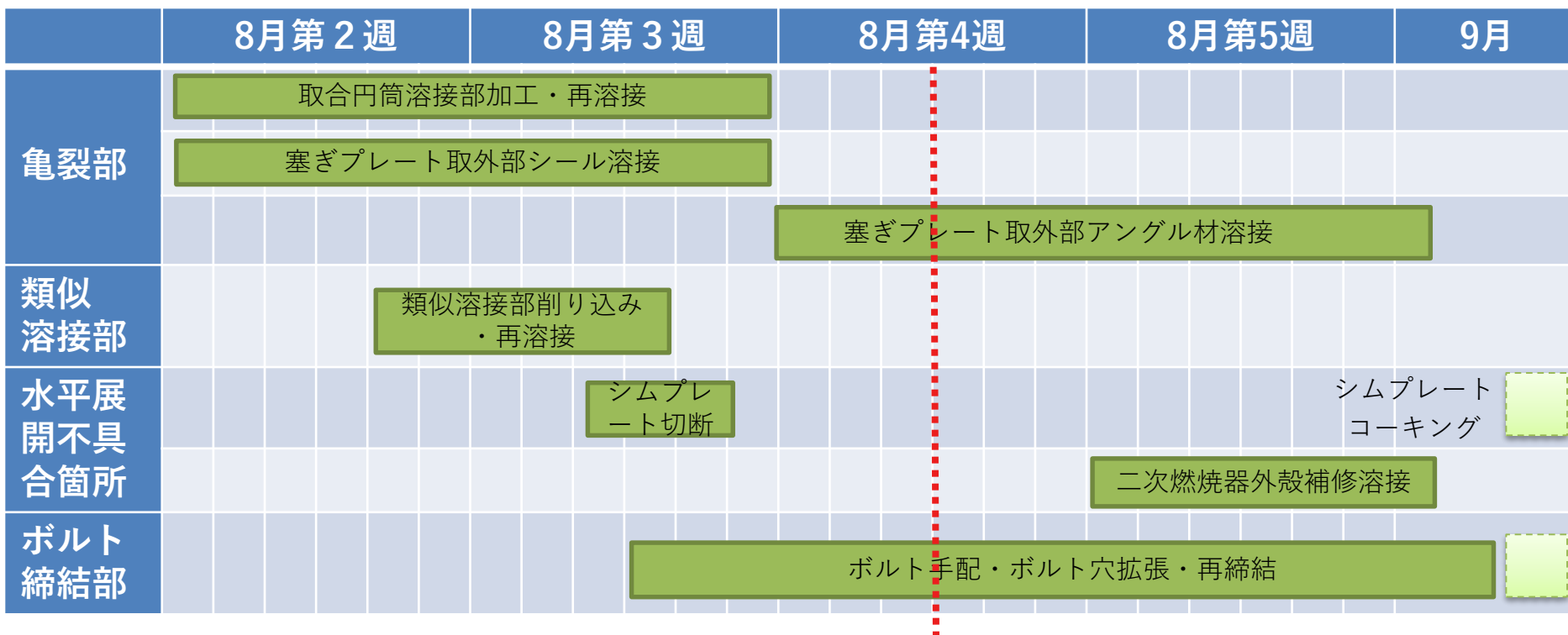


■ 設備の再稼働について

- 各不具合箇所の要求機能（気密性、強度）を満足するように、9月中を目途に復旧工事を行い、その後再起動する。

■ 今後の地震対応について

- 今後の地震発生時の設備健全性確認において、得られた知見を反映する。
- 並行して、3月16日地震の耐震評価を行い、必要な追加対策の検討を行う。



以下、参考資料

【2.参考】 灰排出系統での水分確認事象の調査結果および対策

要因分析

項目	点検結果	要因有無
排ガス冷却器スプレー	スプレーノズル外観には灰堆積等、異常は無し	無
	噴霧試験で水・空気の圧力・流量に異常は無し	無
スプレー水の過剰供給	・ 運転データにおける温度制御弁の開度変化は異常無 ・ バーナ停止後の温度制御弁の応答性から一時的に噴霧水量が過剰供給となり、この繰り返しで冷却器底部の灰が湿潤状態となった可能性	有
コンベヤ冷却水	冷却水の漏えいは無し	無
空調給気	焼却運転時は室温は高く、結露は発生しにくい	無

【3.参考】 二次燃焼器・ストーカの不具合確認箇所の全体像

TEPCO

 キルン取
合円筒

- ①,⑥ 溶接割れ・開き
② フランジ 内面溶接割れ

 ストーカ・二
次燃焼器
接続部

- ③,⑦ シール溶接割れ・開き
④ 塞ぎプレート破断
⑤ 外殻接続材開き

 ストーカ・二次燃焼器
接続ボルト

- ⑧ ボルト緩み
ボルト・座金歪み

内部耐火物

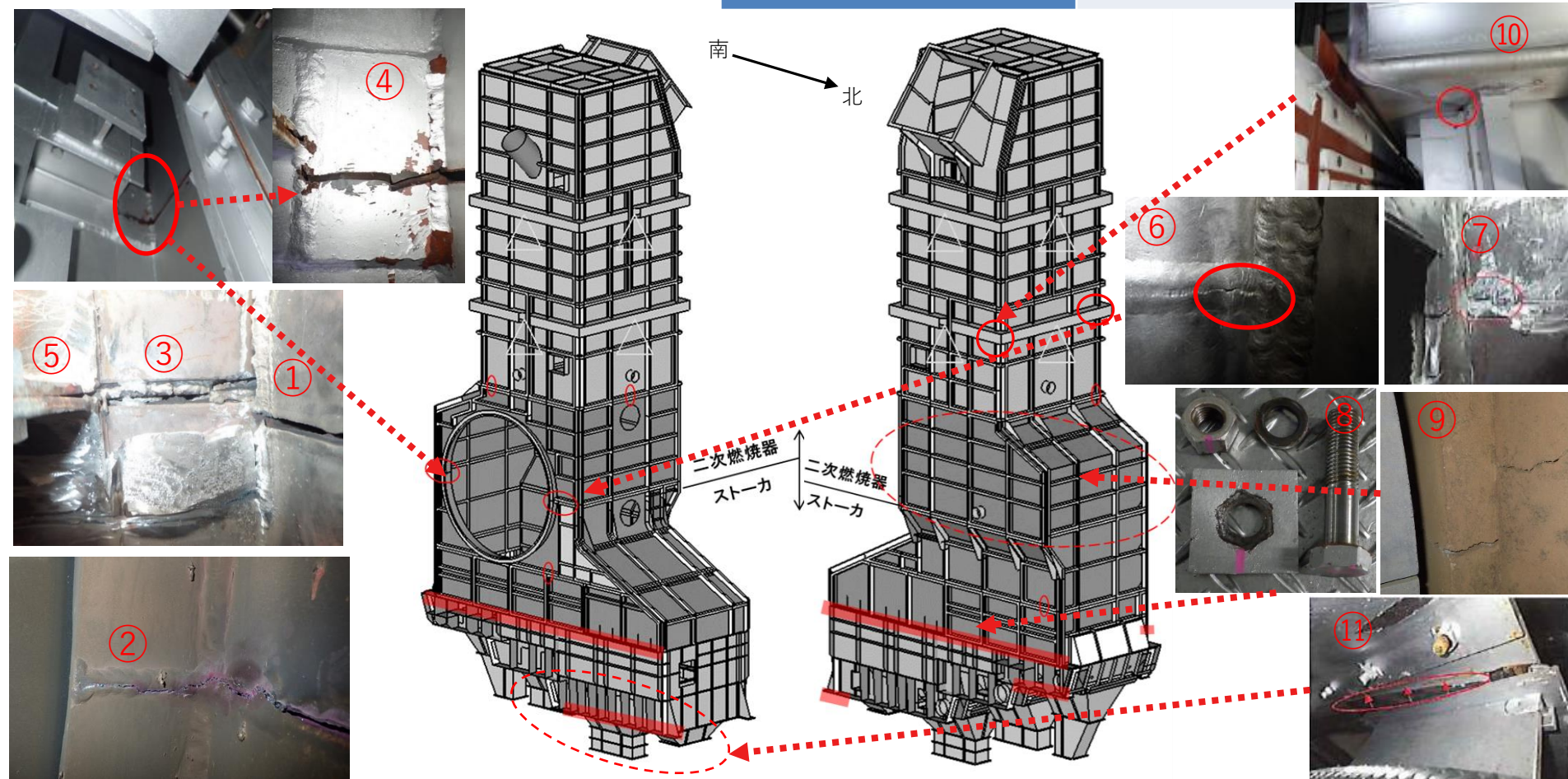
- ⑨ 南北にクラック

 二次燃焼器外殻補強材・
振れ止め材接続部

- ⑩ 溶接部割れ

ストーカ・架台据付部

- ⑪ シムプレートずれ



【3.参考】 各不具合箇所の要求機能と復旧方法まとめ

各不具合部位の要求機能と復旧方法（1/2）

	用途・要求機能			復旧方法
	用途	気密性	強度	
ロータリーキルン取合円筒の溶接部	キルン及び二次燃焼器・ストーカ間をシールする摺動部を接続する円筒の溶接部	要求有	要求有 ・ 強度部材ではないが、耐震Bクラス地震力に対し許容応力未満とする設計 ・ 開先無の突合せ溶接では強度が不足する評価	必要な溶込厚さが確保できる、開先をとった溶接とする 同様の溶接施工箇所についても同様に再溶接
二次燃焼器・ストーカ接続部のシール溶接部	接続部の気密性向上(一般は外面ボルト締結のみ)	要求有	—	外面からのシール溶接により気密性確保
シール溶接部塞ぎプレート	シール溶接の補助部材(裏当て金)	要求有	—	外殻部材相当の気密性、強度を確保するため、アングル材＋ボルト締結の構造材を延長追加

【3.参考】 各不具合箇所の要求機能と復旧方法まとめ

各不具合部位の要求機能と復旧方法（2/2）

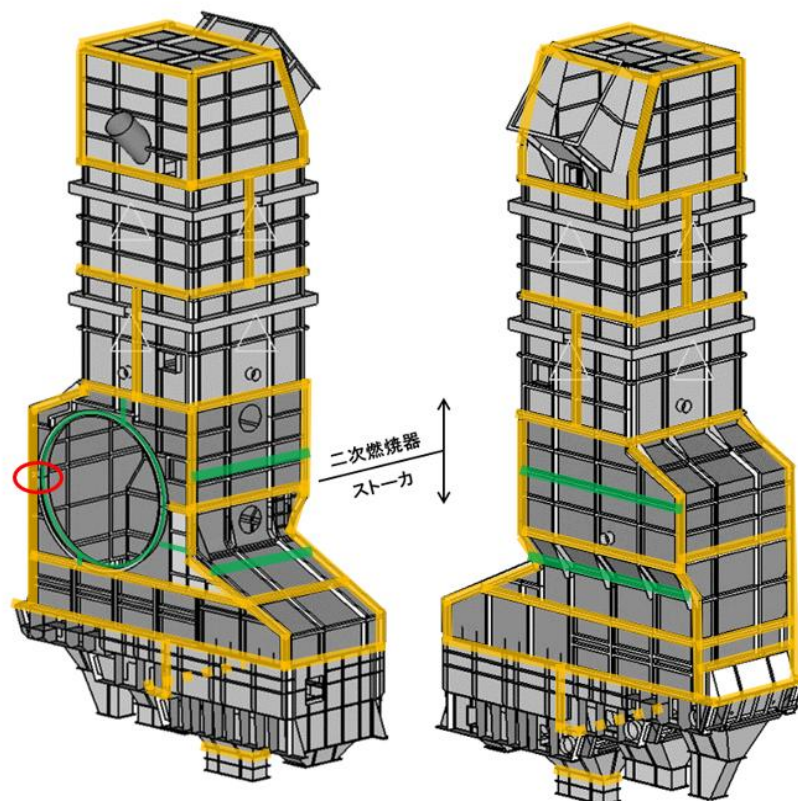
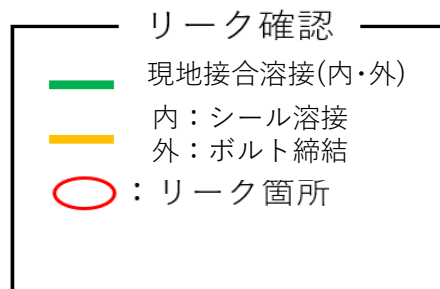
	用途・要求機能			復旧方法
	用途	気密性	強度	
ストーカ・二次燃焼器の各ボルト接続部	ストーカ・二次燃焼器各要素を接続	要求有	要求有 耐震Bクラス地震力に対して許容応力未満とする設計	ボルト・座金の変形が確認されており、ボルト・座金の材質・寸法等の見直しを行う
ストーカ・架台据付部のシムプレート	機器の傾き調整及び荷重分散	—	—	シムプレートの追加施工・ずれ止めコーキング
二次燃焼器外殻補強材と振れ止め材の接続部	二次燃焼器の補強材と振れ止め材を溶接接続	—	—	割れ部の補修溶接
炉内耐火材	焼却時における炉内高温環境から外殻材を保護	—	—	現状は脱落等の恐れが無いため、経過観察

①二次燃焼器・ストーカボルト各要素接続部位の気密性確認 **TEPCO**

■ 亀裂箇所以外の水平展開調査

- ・二次燃焼器・ストーカの各要素接続部の気密性確認のため、スモークテストでインリーク箇所所有無を点検

調査事項	点検内容	点検結果
①ストーカおよび二次燃焼器各要素の接続部の気密性確認	接続部外面からスモークテストにて亀裂の有無を確認	亀裂発生箇所近傍以外に インリーク箇所は確認されず



③各機器取付・基礎ボルトのトルク確認

■ 亀裂箇所以外の水平展開調査

- ・各機器の取付・基礎ボルトの締結状態に異常が無いか、締め付けトルクを確認

調査事項	点検内容
ボルト締結部の健全性確認	二次燃焼器・ストーカのボルト緩み・ボルト及び座金の歪みを確認したことから、その他機器の基礎ボルト・取付ボルトに範囲拡大して調査

ボルト締結状態確認部位

機器名	部位	結果
ロータリーキルン	基礎ボルト	<u>異常無</u>
ストーカ架台	取付ボルト	<u>異常無</u>
排ガス冷却器	取付ボルト	<u>異常無</u>
バグフィルタ	取付ボルト	<u>異常無</u>
焼却炉室共通架台	基礎ボルト	<u>異常無</u>
排ガス処理室共通架台	基礎ボルト	<u>異常無</u>