

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外火山 08 R0
提出年月日	令和 3 年 5 月 19 日

設工認に係る補足説明資料

火山防護設計の基本方針に関する
腐食に対する設計について

目 次

1. 概要 1
2. 降下火砕物による腐食に対する設計方針 1

1. 概要

本資料は、再処理施設及び MOX 燃料加工施設の設計基準対象施設に対する後次回申請を含めた施設の設計方針を補足説明するものである。

ここでは、再処理施設及び MOX 燃料加工施設の降下火砕物による腐食に対する設計について示す。

また、本資料は、第 1 回申請（令和 2 年 12 月 24 日申請）のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-3-3 設計対処施設及び降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「V-1-1-1-3-3 設計対処施設及び降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」

2. 降下火砕物による腐食に対する設計方針

設計対処施設のうち設備については塗装、腐食し難い金属の使用若しくは防食処理（アルミニウム溶射）を施した炭素鋼を用いること並びに建屋については外壁塗装及び屋上防水を実施することにより、想定する降下火砕物を起因として生じる腐食に対し、その安全機能を損なわない設計とする。施設毎の腐食に対する設計方針の具体は別紙にて示す。

・別紙

- 別紙-1 安全冷却水系の腐食に対する設計について
- 別紙-2 降下火砕物の金属腐食研究について
- 別紙-3 腐食を考慮する設備で使用する塗料について
- 別紙-4 燃料加工建屋の腐食に対する設計について
- 別紙-5 弾性アクリルゴム系の塗料による外壁塗装及びアスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）による屋上防水について

別紙

外火山08【腐食に対する設計について】

別紙				備考
資料 No.	名称	提出日	Rev	
別紙-1	安全冷却水系の腐食に対する設計について	5/19	0	
別紙-2	降下火砕物の金属腐食研究について	5/19	0	
別紙-3	腐食を考慮する設備で使用する塗料について	5/19	0	
別紙-4	燃料加工建屋の腐食に対する設計について	5/19	0	
別紙-5	弾性アクリルゴム系の塗料による外壁塗装及びアスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）による屋上防水について	5/19	0	
別紙-6				
別紙-7				
別紙-8				
別紙-9				
別紙-10				
別紙-11				
別紙-12				
別紙-13				
別紙-14				
別紙-15				

令和3年5月19日 R0

火山防護設計の基本方針に関する
腐食に対する設計について
別紙-1

安全冷却水系の腐食に対する設計について

降下火砕物の特性として、金属腐食研究の結果（別紙-2）より、降下火砕物により直ちに金属腐食を生じさせることはないと判断している。しかし、屋外に設置する降下火砕物防護対象施設のうち安全冷却水系は塗装又は腐食し難い金属（アルミニウム等）を用いることにより、安全機能を損なわない設計としている。

安全冷却水系の外表面に対する塗装には、耐食性等を考慮した塗料を使用しており（別紙-3）、降下火砕物と金属が直接接触することはなく、化学的腐食により短期的に影響を及ぼすことはない。

安全冷却水系で直接降下火砕物と接触する部位のうち、塗装を実施していない管束のフィンについてはアルミニウムを用いている。

また、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

令和3年5月19日 R0

火山防護設計の基本方針に関する
腐食に対する設計について
別紙-2

降下火砕物の金属腐食研究について

1. 適用の考え方

降下火砕物による金属腐食は、主として降下火砕物に付着した火山ガス（ SO_2 ）の影響によるものである。

そのため、実際に降下火砕物が金属に堆積した状態を模擬した試験を行っている「火山環境における金属材料の腐食」を参考に、その影響を検討する。

「火山環境における金属材料の腐食」では、実降下火砕物である桜島降下火砕物を用いて、実際の火山環境に近い状態を模擬するため、高濃度の亜硫酸ガス（ SO_2 ）雰囲気を保った状態で金属腐食試験を行なったものであり、降下火砕物の腐食成分濃度を高濃度で模擬した腐食試験結果であることから、再処理施設で考慮する火山についても十分適用可能と考える。

2. 研究文献「火山環境における金属材料の腐食」の概要

(1) 試験概要

「火山環境における金属材料の腐食（出雲茂人，末吉秀一他），防食技術 Vol. 39, pp. 247-253, 1990」によると、降下火砕物を水で洗浄し、可溶性の成分を除去した後、金属試験片に堆積させ、高濃度の SO_2 ガス雰囲気（150ppm～200ppm）で、加熱（温度 40℃，湿度 95%を 4 時間）、冷却（温度 20℃，湿度 80%を 2 時間）を最大 18 回繰り返すことにより、結露，蒸発を繰り返し金属試験片の腐食を観察している。

(2) 試験結果

第 1 図に示すとおり、降下火砕物の堆積量が多い場合は、降下火砕物の堆積なし又は堆積量が少ない場合と比較して、金属試験片の腐食が促進されるが、腐食量は表面厚さにして十数 μm 程度との結果が得られ、降下火砕物層では結露しやすいこと並びに保水効果が大きいことにより腐食が促進されると結論づけられている。

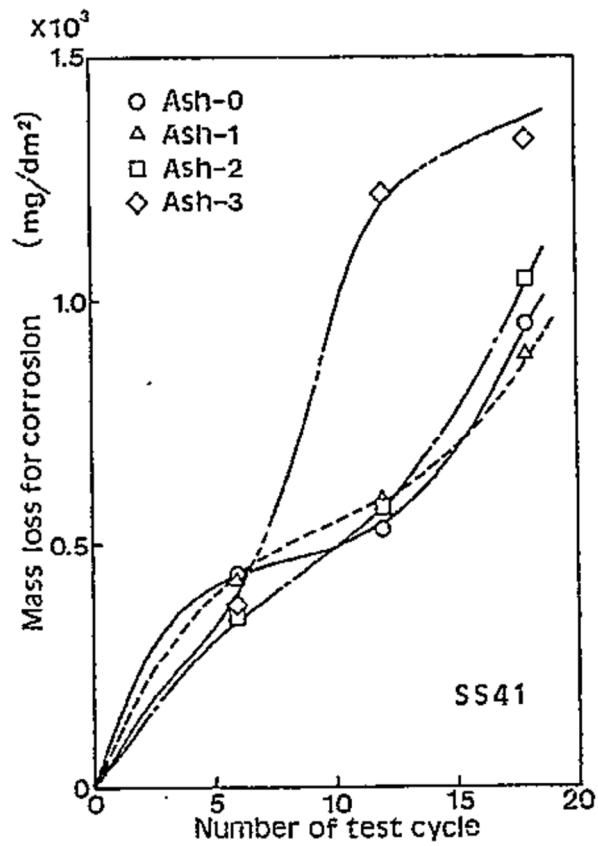
(3) 試験結果からの考察

降下火砕物による腐食は、主として降下火砕物に付着した火山ガスの影響によるものであり、本研究においては、金属試験片の表面に降下火砕物を堆積させ、実際の火山環境を模擬して高濃度の SO_2 雰囲気中で暴露し、腐食実験を行っている。

腐食の要因となる火山ガスを常に高濃度の雰囲気に保った状態で行っている試験であり、自然環境に存在する降下火砕物よりも高い腐食条件※で金属腐食量を求めており、再処理施設で考慮する降下火砕物についても十分適用可能である。

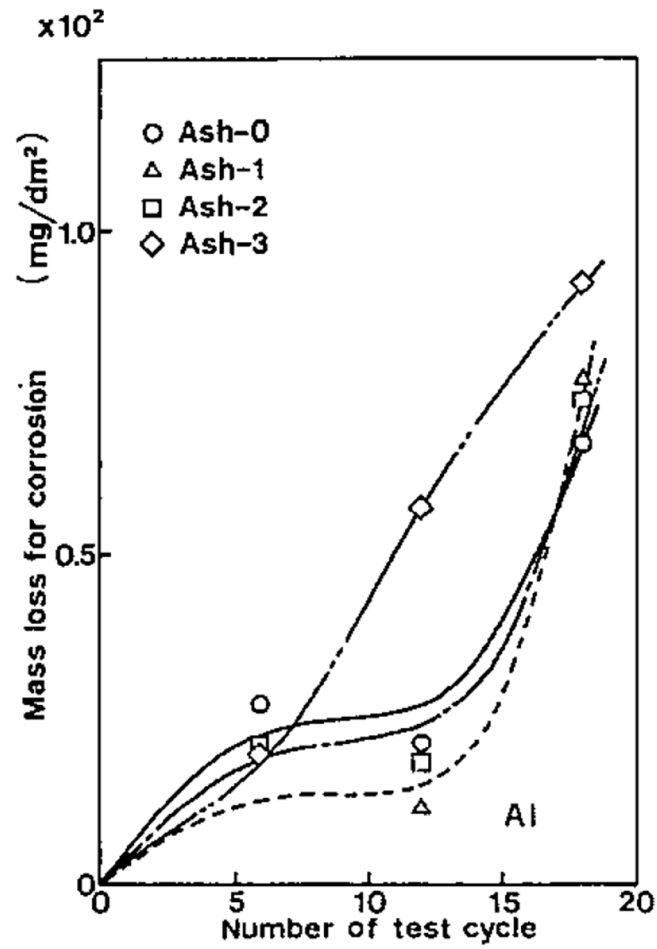
※・三宅島火山の噴火口付近の観測記：20～30ppm（「三宅島火山ガスに関する検討会報告書」より）

・桜島火山上空の噴煙中火山ガスの観測記録：17～68ppm（「京大防災研究年報」より）



- Ash-0 : 降下火砕物のない状態
- Ash-1 : 表面が見える程度に積もった状態
- Ash-2 : 表面が見えなくなる程度に積もった状態
- Ash-3 : 約 0.8mm の厚さに積もった状態

第 1 図 SS41 の腐食による質量変化



- Ash-0 : 降下火砕物のない状態
- Ash-1 : 表面が見える程度に積もった状態
- Ash-2 : 表面が見えなくなる程度に積もった状態
- Ash-3 : 約 0.8mm の厚さに積もった状態

第2図 アルミニウムの腐食による質量変化

令和3年5月19日 R0

火山防護設計の基本方針に関する
腐食に対する設計について
別紙-3

腐食を考慮する設備で使用する塗料について

屋内外の機器・機械類，配管及びダクト（亜鉛めっき部を除く），屋外に設置するステンレス鋼の機器・機械類及び配管のうち塩害による腐食のおそれがある範囲並びに排気筒等の屋外設備の外表面に対する塗装には，耐食性等を考慮した塗料を使用している。

屋外設備については，海塩粒子等の腐食性有害物質が付着しやすく，厳しい腐食環境にさらされるため，エポキシ樹脂系等の塗料が複数層で塗布されている。エポキシ樹脂系は，耐薬品性※が強く，酸性物質を帯びた降下火砕物が付着，堆積したとしても，直ちに金属表面等の腐食が進むことはない。

※ 塗装ハンドブック（石塚末豊，中道敏彦 編集）によると，「酸，アルカリなどに水分の加わった強度腐食環境での塗装には，フェノール樹脂塗料，塩化ゴム系塗料，エポキシ樹脂塗料，タールエポキシ樹脂塗料，ウレタン樹脂塗料，シリコンアルキド樹脂塗料，フッ素樹脂塗料などの耐薬品性のある塗料が使用される。」と記載あり。

令和3年5月19日 R0

火山防護設計の基本方針に関する
腐食に対する設計について
別紙-4

燃料加工建屋の腐食に対する設計について

降下火砕物防護対象施設を収納する建屋は、想定する降下火砕物による腐食に対し、外壁塗装及び屋上防水を実施することにより、安全機能を損なわない設計としている。燃料加工建屋においては、弾性アクリルゴム系の塗料による外壁塗装及びアスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）による屋上防水（別紙-5）を採用する。

また、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

令和3年5月19日 R0

火山防護設計の基本方針に関する
腐食に対する設計について
別紙-5

弾性アクリルゴム系の塗料による外壁塗装及び
アスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）による屋上防水について

建屋の外壁部及び屋根部に対する降下火砕物による腐食の影響評価について、以下に示す。

1. 外壁部の設計及び評価

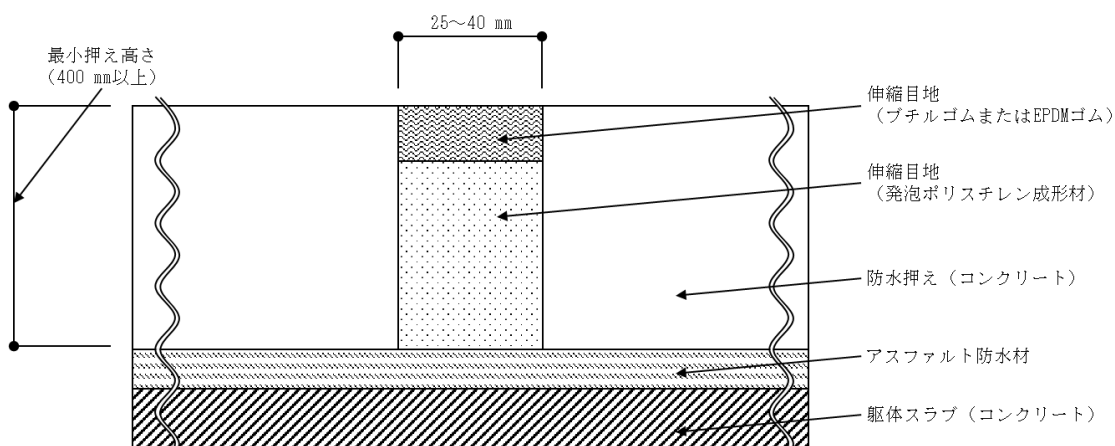
外壁には降下火砕物は堆積しないため、降下火砕物による腐食の影響は軽微であることが想定されるが、建屋の外壁はコンクリートの躯体に弾性アクリルゴム系の塗料を塗装することとし、降下火砕物がコンクリート躯体に直接接触することを防止する。なお、鉄筋に対するコンクリートの最小かぶり厚さについても 40mm 以上としているため、降下火砕物がコンクリート躯体に直接接触したとしても降下火砕物による短期的な化学的影響によって鉄筋が露出するような激しい腐食は想定されない。

2. 屋根部の設計及び評価

建屋の屋根部からの浸水防止対策として、屋根部にはアスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）による屋上防水を実施する。

アスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）は、アスファルト防水の上に防水層の保護のため押えコンクリートを施工する。防水押えのコンクリートの間には伸縮目地としてブチルゴムまたは EPDM ゴムと発泡ポリスチレン成形材を用いる。アスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）の概要図を第 1 図に示す。

降下火砕物による屋上防水の腐食の影響を確認するにあたり、アスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）において、直接降下火砕物が堆積する部分は防水押えのコンクリート、伸縮目地表面のブチルゴムまたは EPDM ゴムであるため、コンクリート、ブチルゴム及び EPDM ゴムの耐食性を評価する。



第 1 図 アスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）の概要図

2.1 コンクリートの耐食性

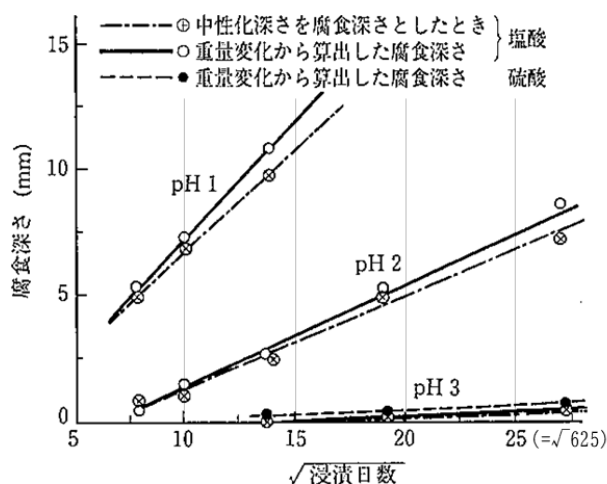
降下火砕物によるコンクリートの腐食については、堆積した降下火砕物に降雨などが浸透した際に降下火砕物に付着した SO_2 等が溶出することによって生じる酸性の液体（以下、「溶出液」という。）による影響が主として想定される。なお、降下火砕物によらない気体の火山ガスは施設に到達する前に希釈され影響はない程度であると考えられる。

溶出液の酸性度については、文献にて $\text{pH}=3$ 以上^{*}であることから、 $\text{pH}=3$ を想定する。

「コンクリート技術診断'20【基礎編】（日本コンクリート工学会）」によると、第4図に示すとおり、コンクリートを $\text{pH}=3$ の酸で625日以上浸漬したとしても腐食深さ（中性化深さ）は2mm以下であることから、降下火砕物による短期的な化学的影響によって防水押えのコンクリートが腐食し、屋根スラブに直接影響を及ぼすことは想定されない。

※ 文献における降下火砕物の溶出液の酸性度

- 阿蘇山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=3.6$ ⁽¹⁾
- 御嶽山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4.12$ ⁽²⁾
- 新燃岳における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4.5$ ⁽³⁾
- 雄山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4.5$ ⁽⁴⁾
- 浅間山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4.8$ ⁽⁵⁾
- 桜島火山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=4$ 以上⁽⁶⁾
- 有珠山における溶出液の酸性度： $\text{pH}=6.7$ ⁽⁷⁾
- 八甲田山における溶出液の酸性度（降下火砕物ではなく、粉碎した地中の火山岩）： $\text{pH}=3.1$ 以上⁽⁸⁾



第4図 酸によるコンクリートの腐食深さ，日本コンクリート工学会（2020）『コンクリート技術診断'20【基礎編】』p.51を引用し一部加筆

2.2 ブチルゴム及び EPDM ゴムの耐食性

降下火砕物によるゴムの腐食については、酸性度が同様であっても酸の種類によって腐食の程度が異なる。

火山ガスの成分から推測すると、溶出液は無機酸の水溶液である。「非金属材料データブック（日本規格協会）」によると、ブチルゴム及び EPDM ゴムの無機酸に対する耐酸性はいずれも「良」以上とされていることから、降下火砕物による短期的な化学的影響によって激しい腐食は想定されない。

3. 評価結果

建屋は、想定する降下火砕物による腐食に対し、弾性アクリルゴム系の塗料による外壁塗装及びアスファルト防水工法・絶縁保護仕様（現場打ちコンクリート）による屋上防水を実施することにより、降下火砕物による化学的腐食により短期的な影響を受けることはない。

また、降下火砕物堆積後の長期的な腐食の影響については、堆積した降下火砕物の除去後に点検し、必要に応じて修理を行うこと並びに日常的な保守及び修理を行うことにより、安全機能を損なわない設計とする。

参考文献

- (1) 清田壽(1942)「阿蘇山噴出物の化学的研究（第二報） 火山灰の化学組成の變化(其一)」『日本化学會誌第六十三帙第七號』p. 786-792
- (2) 小坂丈予, 平林順一, 小沢竹二郎, 君島克憲(1980)「木曾御岳火山 1979 年活動における地球科学的調査・研究(火山ガス・湧泉)」『火山噴火予知連絡会会報 18 号』p. 12-17
- (3) 清水正高, 山本建次, 濱山真吾, 久木崎雅人, 竹田智和(2018)「新燃岳噴火直後に採取した火山灰の性状」『宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告 61 号』p. 1-6
- (4) 若杉幸子, 田中美穂, 前田勝(2003)「三宅島火山灰から水に溶出する硫黄化合物の同定と定量及び環境に及ぼす影響」『分析化学 52 卷 11 号』p. 997-1003
- (5) 三宅泰雄 (1938)「火山灰に関する一二の觀察 (火山化学第 2 報)」『氣象集誌第二輯第十六卷第三號』p. 89-91
- (6) 木下篤彦, 大野亮一, 佐藤重貴夫 (2011)「桜島における火山灰の移動・堆積過程と pH 変動について」『平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集』p. 76-77
- (7) 佐藤弘和, 山田健四 (2001)「有珠山 2000 年噴火当初における火山灰の水溶性イオン濃度 (資料)」『北海道立林業試験場研究報告第 38 号』p. 63-65
- (8) 服部修一, 太田岳洋, 木谷日出夫 (2003)「酸性水発生に関わる掘削残土の応用地質学的検討—鉾山に近接して施工される八甲田トンネルにおける岩石特性評価法—」『応用地質 43 卷 6 号』p. 359-371
- (9) 日本コンクリート工学会 (2020)『コンクリート技術診断' 20【基礎編】』p. 51
- (10) 日本規格協会 (1985)『非金属材料データブック』p. 419