

【公開版】

資料 3-2	令和 2 年 2 月 7 日
日本原燃株式会社	

六ヶ所再処理施設における
新規制基準に対する適合性

放射線分解により発生する水素による爆発への対処
(溶液沸騰時を考慮した再整理)

1. はじめに

重大事故の同時発生及び連鎖の整理において、溶液が沸騰している状態を前提としたG値を、非沸騰時のG値の2倍としてきた。沸騰時のG値は、同時発生時の対処の有効性及び連鎖の発生の有無を検討するにあたって影響が大きいパラメータである。

このため、沸騰時のG値が、非沸騰時のG値の2倍を超える可能性を考慮した、放射線分解により発生する水素による爆発（以下、「水素爆発」という。）の対処の方針を再整理した。

2. 対処方針

(1) 重大事故の想定箇所の特定

- ✓ 水素爆発の想定箇所の特定は、水素爆発発生時の大気中への放出量
が大きい貯槽等を対象とする。
- ✓ 水素爆発発生時の大気中への放出量は、水素濃度の変動を考慮した
水素爆発時の放射性物質の移行率を設定し評価していることから、
G値変動の不確かさは織り込み済である。

⇒重大事故の想定箇所の特定の考え方及び特定結果は、G値変動の考
慮前後で変わらず、同じである。

(2) 水素爆発に対する対処の基本方針

- ✓ 水素爆発発生時に、貯槽、配管、その他の構造物に影響を与える可
能性のある水素濃度8 v o 1 %（ドライ換算）に至る前までに対策
を実施し、事態の収束のために可燃限界濃度（4 v o 1 %）未満に
維持できる対策を整備する。（3. 1. (2)参照）
- ✓ 重大事故等対策の実施は、8 v o 1 %（ドライ換算）に至るまでの
時間に対して、2時間の時間余裕を確保し、対策を実施できる手順
及び設備を整備する。

⇒水素爆発に対する対処の基本方針は、G値変動の考慮前後で変わら
ず、同じである。

(3) 対策整備の前提となる必要空気量の考え方（4. 1参照）

- ✓ 水素を可燃限界濃度又は未然防止濃度未満に希釈するための必要空

気量は、平常時の設計流量程度であれば十分である。理由は以下のとおり。

- ✓ 溶液の崩壊熱密度は、再処理する使用済燃料の冷却期間を 15 年とすることにより低下しているため、水素発生速度は低下すること（プルトニウムを含む溶液は低下しない）。
- ✓ 水素掃気用の圧縮空気は、平常時から水素を未然防止濃度未満にするために必要な流量の約 10 倍の圧縮空気を供給していること。
- ✓ 上記の 2 点を踏まえれば、水素発生 G 値は、溶液の種類、硝酸濃度、温度並びに未沸騰状態及び沸騰状態により、数倍に変動したとしても、水素発生速度の増加分を包含できる流量であること。

(4) 必要空気流量の変更に伴う設備の変更点

- ✓ 必要空気流量の変更に伴い、重大事故対策に用いる設備の変更が生じた点は以下のとおり。

①圧縮空気貯槽，圧縮空気ユニット，予備圧縮空気ユニット及び手動圧縮空気ユニットからの空気流量

- ✓ 必要空気流量の変更に伴い、水素濃度 8 v o 1 % に到達するまでの時間余裕が変更となった。本時間余裕に対して 2 時間の余裕を持ち、かつ、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給まで水素濃度 8 v o 1 % 未満を維持するために、精製建屋の圧縮空気貯槽の初期流量を 2 倍とする。また、水素発生量の増加が想定される前に可搬型空気圧縮機からの空気の供給が出来ない可能性のある貯槽等については、圧縮空気ユニット，予備圧縮空気ユニット及び手動圧縮空気ユニットからの空気流量を、水素濃度 8 v o 1 % を維持するために十分な流量とした。

- ✓ ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋において、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給まで水素濃度 8 v o 1 %未満を維持するための手動圧縮空気ユニットの空気量が不足することから、必要な設備対応を行うこととした。(5. 参照及び補足説明資料2 参照)

②可搬型空気圧縮機からの空気流量

- ✓ 可搬型空気圧縮機からの空気流量を、設計流量程度とした。

(5) 重大事故対策の手順への影響

- ✓ 圧縮空気ユニット及び予備圧縮空気ユニットの流量調整は、弁の開度に依存するため事故時に対応するものではなく、予め設定できる。
- ✓ 手動圧縮空気ユニットの流量調整は、手動圧縮空気ユニット接続時に対応可能である。
- ✓ 水素濃度が想定を超えて上昇する可能性を考慮し、可搬型空気圧縮機からの空気の供給前に水素濃度を測定する。本水素濃度計の設置及び測定は、計画内の実施組織要員にて対応可能である。

⇒水素濃度計の設置及び測定が増加したが、計画している実施組織要員数で対応可能であり、他の対策の実施時間に影響はない。

(6) 有効性評価への影響

- ✓ 必要空気流量の変更に伴い、圧縮空気の流量が変更となり、圧縮空気の経路外放出の量が増加するが、放出量全体に与える影響は僅かである。
- ✓ 水素発生G値の不確実さを考慮し、十分多い圧縮空気を供給するが、水素発生G値の変動が想定を超えるようなことがあっても、対策後

の水素濃度を監視することにより必要空気流量を調整することで柔軟に対応する。

3. 水素爆発の対処の再整理

3. 1. 水素爆発発生時の概要

(1) 水素爆発の発生場所

- 重大事故の想定箇所の特定に基づき，重大事故の水素爆発の発生が想定される水素掃気が必要な溶解液，抽出廃液，硝酸プルトニウム溶液，プルトニウム濃縮液及び高レベル廃液（以下，「高レベル廃液等」という。）を内包する貯槽，及び缶（以下，「貯槽等」という。）内での爆発を想定する。

(2) 水素爆発に関する事象進展の整理

- 水素濃度の上昇，可燃限界濃度（4 v o 1 %未満）では燃焼しない。
- 水素濃度4～8 v o 1 %（ドライ換算）で着火した場合，燃焼に伴う火炎が上方または水平方向に伝播する部分燃焼が支配的であり，この際に発生する圧力は小さい。（水素燃焼）
- 水素濃度8～12 v o 1 %（ドライ換算）で着火した場合，火炎が上方または水平方向のみならず，全方向に伝播し，爆燃するようになり，この際に発生する圧力は初期圧力の2倍以上となる可能性がある。
- 水素濃度12 v o 1 %以上（ドライ換算）で着火した場合，爆燃から爆轟に遷移する可能性があり，火炎の伝播速度が音速を超えて衝撃波が発生する。爆轟が生じた場合には，エアロゾル状の放射性物質が大量に気相部への移行することのみならず，衝撃波による貯槽，配管，その他機器等の損傷や波及的な影響を与える。
- 爆轟により，貯槽等や附属する配管等の破損が生じ，内包する放射性物質の漏えいに至るおそれがある。
- 上述の事象進展を踏まえると，爆轟に至る濃度12 v o 1 %以上（ドライ換算）に達する前に，水素濃度を低下させることが重要である。

- このため、爆燃の領域である水素濃度 8～12 v o 1 %（ドライ換算）の内、8 v o 1 %未満（以下、「未然防止濃度」という。）に水素濃度を維持しつつ対策を実施し、その後、安定的に水素濃度を可燃限界濃度未満に制御することを方針とする。これが、対策に求められるニーズとなる。

3. 2. 水素爆発への安全原則の適用

3. 2. 1. 放射線分解により発生する水素に対する検討

放射線分解により発生する水素（以下、「水素」という。）を除去、低減、隔離又は制御するために実施できることを検討する。

(1) 水素の除去

- 水素爆発を発生させないために、水素を除去することを考える。
- 放射線分解により発生する水素は、放射線源を除去しない限り水素の発生を停止できないため、水素を除去することは再処理工場を運営する上で不可能である。

(2) 水素の低減

- 水素爆発を発生させないために、水素の発生量を低減することを考える。放射線分解により発生する水素量を決めるパラメータは、エネルギー、水素発生G値である。
- エネルギーは、処理する使用済燃料の仕様により低減することができる。
- 使用済燃料の冷却年数を現実的な数値とすることにより、エネルギーは小さくなる。
- 水素発生G値は取り扱う溶液の酸濃度、種類に依存するため、再処理プロセスの定まっている六ヶ所再処理工場では変更できない。
- このため、水素の低減方法として、処理する使用済燃料の仕様を最適化することを採用する。（使用済燃料の冷却期間を 15 年とすることで対応

している。)

(3) 水素の隔離

- 水素を隔離して爆発が発生しないようにすることが考えられる。
- 水素は拡散係数が大きい、最も軽く小さい元素である。したがって、様々な工程がある再処理施設のプロセスから水素を分離し、隔離状態を維持することは現実的に困難である。
- 水素の発生源を移送することにより、一箇所に集中化し、管理しやすくすることも考えられる。
- この場合、様々な起因事象を想定した場合であっても起動可能な移送装置が必要であること、移送先が必ず確保されていること、隔離したとしても、水素の除去はできないことから他の対策を組み合わせる必要があり、現実的に困難である。

(4) 水素の制御

- 水素が燃焼、爆発しないように、希釈剤を用いて濃度を制御することは可能である。
- 希釈剤としては、空気、窒素などの不活性ガスが考えられるが、恒久的に水素を希釈すること、漏えい時の作業者の窒息の原因となることを考えると、空気を用いた希釈が最適であると考えられる。
- 水素を積極的に燃焼させることにより、水素濃度を制御することは可能である。
- 水素発生箇所（貯槽等の内部）に着火源又は触媒を設置することにより実現可能であるが、放射性物質を取り扱った実績を有する貯槽等の内部に、着火源又は触媒を設置することは困難である。
- このため、水素の制御方法として、空気による希釈を採用する。

(5) 水素への安全原則適用結果

- 水素の低減方法として、処理する使用済燃料の仕様を最適化すること、水素の制御方法として、空気による希釈を採用することを組み合わせる。

3. 3. 対策の選定

3. 3. 1. 空気による希釈の実現方法の検討

「未然防止濃度に水素濃度を維持しつつ対策を実施し、その後、安定的に水素濃度を可燃限界濃度未満に制御すること」というニーズを実現するための対策を検討するにあたり、静的制御の実施可否、自動制御の実施可否及び手動制御の実施可否を検討する。水素濃度を制御する手段を具体化する際には、人的介入の少ない対策の方が信頼性は高いと考え、静的制御、自動制御及び手動制御の順に優先する。また、他プラントでの先行事例があれば、参考として導入できるか検討する。

(1) 静的制御

- ① 自然対流による水素の十分な拡散を期待できる形状
- ② 煙突効果を期待できる貯槽構造及び形状
- ③ 圧力差による圧縮空気の自動供給

上記の①は、建設終了後の六ヶ所再処理施設では追加は困難である。②も同様である。

上記の③は、安全圧縮空気系の空気貯槽（水素掃気用）として採用されている。同様のシステムの追設は可能である。

(2) 自動制御

- ① 自動弁を用いた空気供給源（空気貯槽、空気ポンプ）からの空気の供給
- ② 自動起動する空気圧縮機からの空気の供給

上記の①は、追設は可能である可能性が高い。

上記の②は、安全圧縮空気系の空気圧縮機において採用されており、運転中の空気圧縮機の停止信号を受けて自動起動する。また、追設は可能である可能性が高い。

(3) 手動制御

① 手動弁を用いた空気供給源（空気貯槽，空気ポンペ）からの空気の供給

② 手動起動する空気圧縮機からの空気の供給

上記の①は、追設は可能である。②は安全圧縮空気系の空気圧縮機において採用されており、運転中の空気圧縮機が停止し、予備機が自動起動しなかった場合に手動起動可能である。外部に空気圧縮機を設けて手動起動することも可能である。

(4) 先行事例

セラフィールドサイト（英国）においては、洪水，電源喪失，地震のような外部事象への対応として，独立式の空気圧縮機を準備している[1]。

4. 対策の検討

「対策実施時に未然防止濃度に維持する空気流量を供給できること及び安定的に可燃限界濃度未満に維持する空気流量を供給できること」という機能要求に基づき，対処の方針を以下のとおりとする。

- ✓ 可搬型空気圧縮機を，貯槽等内の水素濃度が未然防止濃度（8 v o 1 %）に到達する前に接続する。
- ✓ また，事態の収束のため，可搬型空気圧縮機からの空気の供給により，水素を可燃限界濃度（4 v o 1 %）未満に希釈する。

4. 1. 必要空気量の考え方

水素を可燃限界濃度又は未然防止濃度未満に希釈するための必要空気

量は、以下の理由から水素掃気の圧縮空気的设计流量程度であれば十分であると考える。

溶液の崩壊熱密度は、再処理する使用済燃料の冷却期間を 15 年とすることにより、高レベル濃縮廃液、抽出廃液及び溶解液では 3 分の 1 程度に、不溶解残渣廃液においては 2000 分の 1 程度に低下している。

プルトニウムを含む溶液は、主な核種の半減期が長いことから低下はない。

水素発生 G 値は、溶液の種類、硝酸濃度、温度並びに未沸騰状態及び沸騰状態により、数倍に変動する可能性を有する。

一方、水素掃気用の圧縮空気は、平常時から水素濃度を未然防止濃度未満にするために必要な流量の 10 以上の圧縮空気を供給しているため、崩壊熱密度の低下及び水素発生 G 値の不確かさを考慮しても、水素を十分希釈できると考えられる。

4. 2. 設備の設計条件としての必要空気流量の具体化

設備の機能要求は、「対策実施時に未然防止濃度に維持する空気流量を供給できること及び安定的に可燃限界濃度未満に維持する空気流量を供給できること」である。機能要求を満たすために、必要空気流量を評価する。

必要空気流量は、水素発生量から決定され、水素発生量は崩壊熱密度と水素発生 G 値から決定される。水素発生 G 値は、溶液の種類、硝酸濃度、温度並びにかくはん状態で異なるため、事象進展に応じて、溶液種類毎に設定する。溶液種類に応じた設計条件としての水素発生 G 値の考え方は以下のとおりである。

(1) 硝酸

硝酸を含む溶液における放射線分解による水素発生G値は、貯槽等が貯蔵する溶液の遊離硝酸濃度に応じた値を設計条件とする。

温度依存性は、硝酸プルトニウムを用いた試験において温度依存性がないことが複数報告されていることを踏まえ、考慮しない。

かくはん状態が想定される場合は、かくはんによる影響を考慮する。

(2) 水

水の放射線分解による水素発生G値は、Primary Product の値を設計条件とする。

温度依存性は、想定される水の沸点までの温度範囲で温度依存性がないことが報告されていることを踏まえ、考慮しない。

かくはん状態が想定される場合は、かくはんによる影響を考慮する。

(3) 有機溶媒

有機溶媒の放射線分解による水素発生G値は、n-ドデカン又は30% TBP/n-ドデカンに対して、文献から適切な値を引用し、設計条件とする。

温度依存性については、有機溶媒を扱う貯槽等では有機溶媒の温度上昇をもたらす量の発熱源が存在しないため、一定とする。

かくはん状態が想定される場合は、かくはんによる影響を考慮する。

溶液種類に応じたG値の設計条件を第2表に示す。第2表の具体的根拠は補足説明資料1に示す。

【補足説明資料1】

第2表 溶液種類に応じたG値の設計条件

溶液の種類	硝酸濃度	温度依存	沸騰考慮	備考
溶解液	遊離硝酸濃度に応じて文献[2,3]から設定	70℃まで無し。	70℃からG値を5倍	
不溶解残渣廃液				
抽出廃液				
有機溶媒	—	—	—	文献値を使用
硝酸プルトニウム溶液	遊離硝酸濃度に応じて文献[2,3]から設定	70℃まで無し。	70℃からG値を5倍	
プルトニウム濃縮液				
高レベル濃縮廃液		70℃まで無し。	70℃からG値を5倍	東海再処理工場の測定実績を用いている場合、沸騰時は考慮しない。
高レベル混合廃液				

第2表に示すとおり、沸騰時にはG値が急激に大きくなることが想定されることから、対策中に水素濃度8vol%（ドライ換算）に至る可能性のある機器については、予め未然防止濃度を維持できる十分な空気量を流しておき、沸騰時に急激にG値が大きくなったとしても未然防止濃度を超えないようにする。

一方、沸騰しない貯槽等については、安全余裕として未然防止濃度を維持できる空気流量の2倍を流すこととする。

上述の方針に基づき、必要な圧縮空気流量を評価した。結果を第3表に示す。必要な圧縮空気の合計流量は約164m³/hである。圧縮空気供給時の圧力損失を考慮し、本仕様を満たす空気供給源を設置することとする。

第3表 建屋毎の必要空気流量の評価

建屋	必要空気流量 (m ³ /h)	合計 (m ³ /h)
前処理建屋	約4	約164
分離建屋	約9	
精製建屋	約4.8	
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	約1.5	
高レベル廃液ガラス固化建屋	約144	

4. 3. 時間余裕の評価

水素掃気機能が喪失したのち、貯槽等内の水素濃度が未然防止濃度に到達するまでの時間を評価する。溶液の温度変化を考慮し、最も短くなる時間を貯槽等毎に評価する。

評価に用いる式は以下のとおりとする。

Δt 分後における機器内の水素量 $m_{H_2 t_0 + \Delta t}$ を

$$Q_{H_2 t_0} + Q_{H_2 in} - Q_{H_2 out}$$

により評価する。

ここで、

$$Q_{H_2 in} : \Delta t \text{ 分間に発生した水素量 (m}^3\text{)}$$

$$= R_{H_2} / 60 \times \Delta t \text{ (m}^3\text{)}$$

$$R_{H_2} : \text{水素発生量速度 (m}^3\text{/h)}$$

$$Q_{H_2 out} : \Delta t \text{ 分間で機器から出る水素量 (m}^3\text{)}$$

$$= C_0 \times (R_{H_2} + R_{AIR}) / 60 \times \Delta t$$

$$C_0 : \text{初期水素濃度 (-)}$$

$$R_{AIR} : \text{圧縮空気供給流量 (m}^3\text{/h)}$$

(Δt 分間において、発生した水素と供給した圧縮空気により、機器外に水素量が押し出されると想定)

同様に、さらに Δt 分後の機器内の水素量 $Q_{H_2 t_0 + \Delta t + \Delta t}$ を評価し、必要な回数を繰り返すことにより、機器内の水素量の変化を評価する。

水素発生速度は第2表に示す温度に到達した時点で、G値を5倍として評価する。

評価結果を第4表に示す。第4表には、各建屋で最も時間余裕が短い貯槽等を示した。第4表に示す通り、分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の時間余裕が比較的短い。この時間の中に、他の空気の供給源の確保、空気の供給経路の構築等を実施する必要がある、重大事故が発生している環境を想定すると対応が難しい可能性が高い。

また、重大事故対策は、予備の可搬型設備の準備に必要な時間である2時間を考慮し、制限時間の2時間前に対応を完了させることを考えると、これらの建屋については時間余裕を延長する措置が必須となる。

第4表 各建屋における最も時間余裕が短い貯槽等

建屋	機器名	未然防止濃度に到達する時間(h)
前処理建屋	計量前中間貯槽	76
分離建屋	プルトニウム溶液受槽	10
精製建屋	プルトニウム濃縮液一時貯槽	1.4
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	硝酸プルトニウム貯槽	7
高レベル廃液ガラス固化建屋	高レベル濃縮廃液一時貯槽	23

このため、分離建屋、精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋に対して、事態の収束へ向けて他の圧縮空気の供給源を確保し、安定的に水素濃度を可燃限界濃度未満に維持する対策を実施するまでに必要な容量を設計条件とした、水素濃度の上昇を抑制する空気供給源を設置することとする。

4. 4. 具体的対策の検討

規則に応じた具体的対策を3. 3の方針に基づき選定する。規則との

対比表を第5表に示す。

また、第5表に示す対策概念を具体化し、比較した結果を第6表に示す。

第6表のうち、時間余裕を延長する対策、圧縮空気を供給し、水素爆発を未然に防止する対策（発生防止対策）及び水素爆発が続けて生じるおそれのない状態を維持する対策（拡大防止対策）を選定する。

この際、深層防護の考え方による前段否定を考慮する。

選定の結果を併せて第6表に示す。

第5表 規則適合性（抜粋）

規則	解釈	選定した対策概念
<p>セル内において放射線分解によって発生する水素が再処理設備の内部に滞留することを防止する機能を有する施設には、再処理規則第一条の三第三号に規定する重大事故の発生又は拡大を防止するために必要な次に掲げる重大事故等対処設備を設けなければならない。</p> <p>一 放射線分解により発生する水素による爆発（以下この条において「水素爆発」という。）の発生を未然に防止するために必要な設備</p>	<p>1 第1項第1号に規定する「放射線分解により発生する水素による爆発（以下この条において「水素爆発」という。）の発生を未然に防止するために必要な設備」とは設計基準の要求により措置した設備とは異なる圧縮空気の供給設備、溶液の回収・移送設備、ポンプ等による水素掃気配管への窒素の供給設備、爆発に至らせないための水素燃焼設備等をいう。</p> <p>また、設備の必要な個数は、当該重大事故等が発生するおそれがある安全上重要な施設の機器ごとに1セットとする。</p>	<p>2. 3の優先順位に従い、以下が選定される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計基準の要求により措置した設備とは異なる、圧力差による圧縮空気の自動供給 ・自動弁を用いた空気供給源（空気貯槽、空気ポンベ）からの空気の供給 ・自動起動する空気圧縮機からの空気の供給 ・手動弁を用いた空気供給源（空気貯槽、空気ポンベ）からの空気の供給 ・手動起動する空気圧縮機からの空気の供給
<p>二 水素爆発が発生した場合において水素爆発が続けて生じるおそれがない状態を維持するために必要な設備</p>	<p>2 第1項第2号に規定する「水素爆発が発生した場合において水素爆発が続けて生じるおそれがない状態を維持するために必要な設備」とは、容器への希釈材の注入設備等をいう。</p> <p>また、設備の必要な個数は、当該重大事故等が発生するおそれがある安全上重要な施設の機器ごとに1セットとする。</p>	<p>2. 3の優先順位に従い、同上の対策が選定される。</p>

第6表 具体的対策の選定（発生防止／拡大防止対策）

対策候補	対策内容	メリット	デメリット	採否及び理由
1. 設計基準の要求により措置した設備とは異なる，圧力差による圧縮空気の自動供給	水素掃気系統に圧縮空気を貯蔵する機器を追加し，圧力差による空気の自動供給	人的対応が不要。	空気流量の調整に柔軟性がない	水素濃度上昇速度の緩和のための発生防止対策 事象進展に応じた流量調整はできないため，既設の空気圧縮機の多重故障に対応した対策となる。なお，温度上昇前または温度一定の場合は信頼性の高い対策となる。
2. 自動弁を用いた空気供給源（空気貯槽，空気ポンペ）からの空気の供給	水素掃気系統の圧力低下に連動する，空気供給源からの空気の供給である。	人的対応が不要。 また，ポンペを選択すると設置場所に柔軟性が生じる。個別の流量調整が可能である。	空気供給時間が有限である。	水素濃度上昇速度の緩和のための発生防止対策 事象進展を想定して流量を柔軟に変えられる。供給時間に限りはあるが，未然防止濃度を維持するために十分な流量を供給可能。
3. 自動起動する空気圧縮機からの空気の供給	建屋内に異なる空気圧縮機を新規設置し，機器に接続する配管から自動で圧縮空気を供給する。	人的対応が不要。 電源/燃料があれば，継続して空気の供給が可能。	駆動源が必須。 駆動源の維持に対応が必要。	不採用 建屋内での継続運転のための駆動源確保が困難。
4. 手動弁を用いた空気供給源（空気貯槽，空気ポンペ）からの空気の供給	空気供給源を新規設置し，機器に接続する配管に手動で接続して圧縮空気を供給する。	ポンペを選択すると設置場所に柔軟性が生じる。個別の流量調整が可能である。	人的対応が必要。 空気供給時間が有限である。	水素濃度上昇速度の緩和のための拡大防止対策 事象進展を想定して流量を柔軟に変えられる。供給時間に限りはあるが，未然防止濃度を維持するために十分な流量を供給可能。 発生防止と別の配管を選定することで，前段否定しても機能する。
5. 手動起動する空気圧縮機からの空気の供給	異なる空気圧縮機を準備し，機器に接続する配管から手動により圧縮空気を供給する。	電源/燃料があれば，継続して空気の供給が可能。	人的対応が必要。 駆動源が必須。 駆動源の維持に対応が必要。	発生防止／拡大防止 （事態の収束のための対策） 可搬型の空気圧縮機を用いて屋外で運転継続可能。時間延長の対策により，準備時間も確保できる。

5. 従来の方策との比較

これまでの対策の整理と、今回の再整理結果を比較する。結果を第7表に示す。

圧縮空気貯槽は非沸騰を前提として、重大事故の水素爆発を想定する機器を24時間にわたり未然防止濃度に維持できる機能を有する対策であり、水素発生量の増加を見込んだ場合に圧縮空気の供給流量が不足する可能性があり、予備圧縮空気ユニットの作動時期に悪影響を及ぼす可能性がある。このため、圧縮空気貯槽の作動継続時間と、予備圧縮空気ユニットから圧縮空気を供給する貯槽等の水素濃度の関係を確認した。この結果、圧縮空気貯槽が予備圧縮空気ユニットの作動時期に悪影響を及ぼすことなく、貯槽等内の水素濃度を未然防止濃度未満に維持できることを確認した。

また、貯槽等毎に対策を整理すると、貯槽等は以下の4パターンに整理できる。これらの貯槽等について、可搬型空気圧縮機による圧縮空気供給開始時間と対策の制限時間の関係の例を第8表に示す。また、対策の実施時間並びに圧縮空気の流量及び圧力の関係を第1図及び第2図に示す。

パターン1：手動圧縮空気ユニット等の機能に期待せずとも未然防止濃度到達前に可搬型空気圧縮機からの空気の供給が可能な場合

例：前処理建屋 計量前中間貯槽

手動圧縮空気ユニット等の機能に期待せずとも未然防止濃度到達前に可搬型空気圧縮機からの空気の供給が可能であることから、従来と同様の対策で対応可能である。

パターン2：手動圧縮空気ユニット等の機能に期待することで未然防

止濃度到達前に可搬型空気圧縮機からの空気の供給が可能な場合

例：分離建屋 プルトニウム溶液受槽

予備圧縮空気ユニット及び手動圧縮空気ユニットの機能を期待し、未然防止濃度未満を維持し、水素発生量の増加が想定される前に可搬型空気圧縮機からの空気の供給を行う。水素濃度の推移の例を第3図に示す。

パターン3：水素爆発の有効性評価対象外であるが蒸発乾固の有効性評価の対象となっている貯槽等

例：前処理建屋 中間ポット

重大事故の想定箇所の特定に影響を与えるものではなく、従来と同様の対策で対応可能である。

上記の対策は、これまで整備した作業計画の範囲内で対応可能である。具体的には、予備圧縮空気ユニットの流量調整は、弁の開度に依存するため事故時に対応するものではなく、また、手動圧縮空気ユニットの流量調整は、手動圧縮空気ユニット接続時に対応可能である。

ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋においては、手動圧縮空気ユニットの容量が不足するため、ボンベを3本追加する。

(変更前) 空気量：15.6m³，供給可能時間：約10時間15分

(変更後) 空気量：31.2 m³，供給可能時間：約20時間30分

可搬型空気圧縮機からの圧縮空気は、遅くとも20時間後までに供給を開始できることから、手動圧縮空気ユニットによる水素掃気機能の維持を図りつつ、可搬型空気圧縮機による圧縮空気の供給を実施することにより、

事態の収束を図ることができる。

【補足説明資料2】

また、可搬型空気圧縮機からの空気の供給前に水素濃度を測定し、想定する濃度トレンドを超えた場合、流量調整を行う対応を追加した。

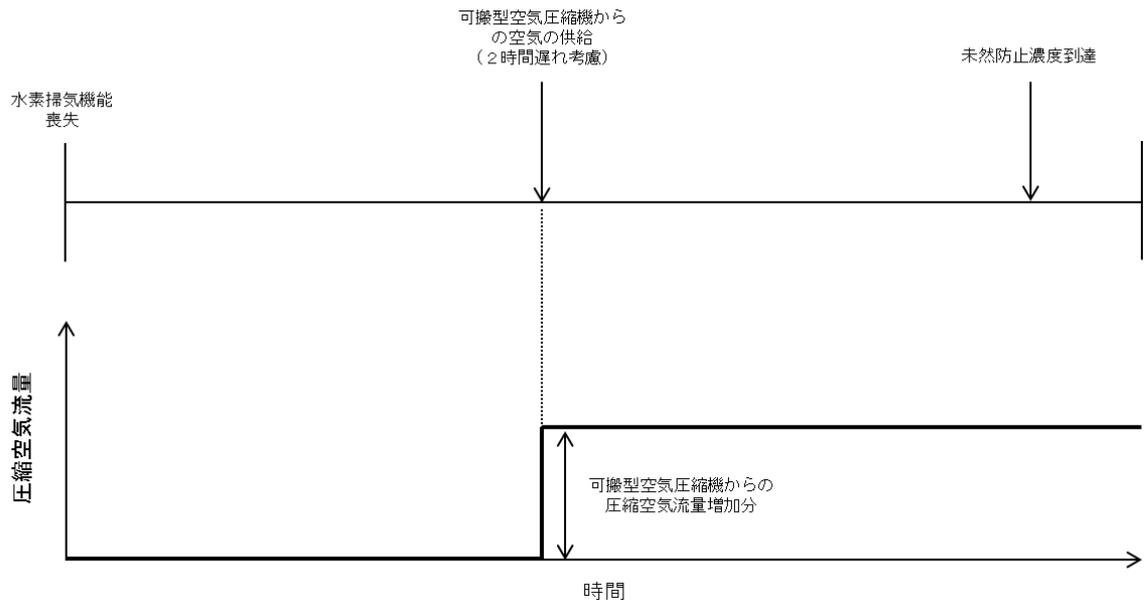
本対応により、想定を超えて水素発生量が増加した場合においても、未然防止濃度を維持するために柔軟に対応が可能となる。

第7表 再整理の概要

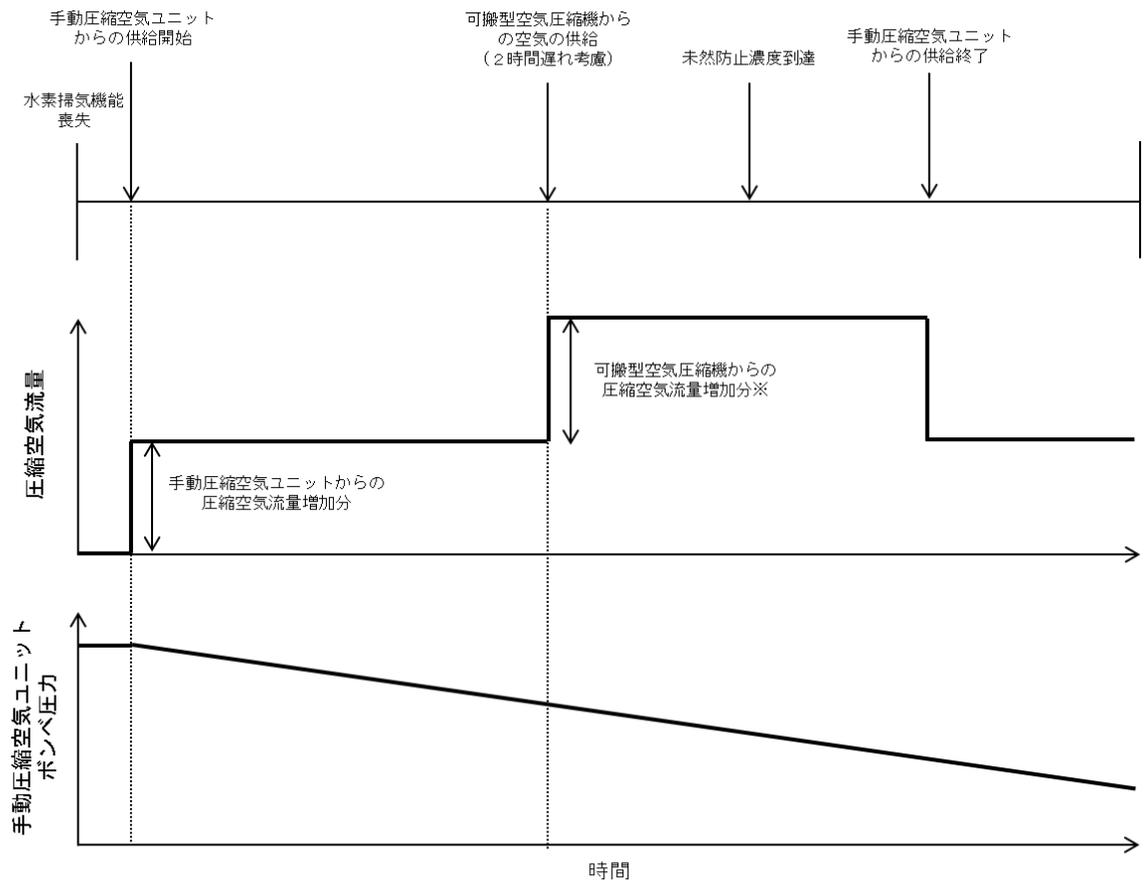
	機器	これまでの位置づけ	再整理の結果	変更による影響
発生防止対策	圧縮空気貯槽 予備圧縮空気ユニット (分離建屋, 精製建屋)	非沸騰を前提として, 重大事故の水素爆発を想定する機器を24時間にわたり未然防止濃度に維持できる機能を有する対策。 沸騰時は蒸気により掃気されることから, 24時間以内に沸騰に至る機器について, 沸騰時の機能は期待していなかった。	圧縮空気貯槽(精製建屋においては流量を変更する)及び予備圧縮空気ユニットを組み合わせることで, 水素濃度を未然防止濃度に維持できることから, 発生防止対策として整理する。 予備圧縮空気ユニットは, 水素発生量が増加する可能性がある貯槽等については, 予め未然防止濃度に維持するために十分な流量を供給。その他の貯槽等へは, 未然防止濃度に維持するための流量の2倍を供給。	技術的能力 設備 有効性評価
	圧縮空気ユニット 予備圧縮空気ユニット (ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋)	圧縮空気貯槽と同様。	発生防止対策として整理する。 水素発生量が増加する可能性がある貯槽等については, 予め未然防止濃度に維持するために十分な流量を供給。その他の貯槽等へは, 未然防止濃度に維持するための流量の2倍を供給。	
	可搬型空気圧縮機	沸騰前に, 可搬型空気圧縮機により圧縮空気を供給する。 沸騰によりG値が2倍になっても, 貯槽等内の水素濃度を可燃限界濃度未満にする流量を供給。	発生防止対策として整理する。 沸騰前に, 可搬型空気圧縮機により圧縮空気を供給する。重大事故の水素爆発を想定する貯槽等へ設計流量程度を供給。	
拡大防止対策	手動圧縮空気ユニット	圧縮空気貯槽, 圧縮空気ユニット及び予備圧縮空気ユニットと同様。	拡大防止対策として整理する。 水素発生量が増加する可能性がある貯槽等については, 予め未然防止濃度に維持するために十分な流量を供給。その他の貯槽等へは, 未然防止濃度に維持するための流量の2倍を供給。 ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋においては, 容量が不足するため, ポンペを3本追加する。	技術的能力 設備 有効性評価
	可搬型空気圧縮機	発生防止対策と同様。	拡大防止対策として整理する。内容は発生防止対策と同様。	
	可搬型水素濃度計	可搬型空気圧縮機からの空気の供給後, 水素濃度を監視することとしていた。	先に加え, 可搬型空気圧縮機からの空気の供給前に水素濃度を測定し, 想定する濃度トレンドを超えた場合, 流量調整を行う対処を追加した。	技術的能力 有効性評価

第8表 可搬型空気圧縮機による圧縮空気供給開始時間と対策の制限時間の関係

パターン	建屋	機器名	未然防止濃度に到達する時間(h) (括弧内は予備圧縮空気ユニット等を考慮した場合)	沸騰開始時間(h)	対策
1	前処理建屋	計量前中間貯槽	76	140	可搬型空気圧縮機
2	分離建屋	プルトニウム溶液受槽	10 (24 時間以上)	—	予備圧縮空気ユニット 手動圧縮空気ユニット 可搬型空気圧縮機
3	前処理建屋	中間ポット	—	160	—
4	精製建屋	プルトニウム濃縮液一時貯槽	1.4 (約 18)	11	予備圧縮空気ユニット 手動圧縮空気ユニット 可搬型空気圧縮機

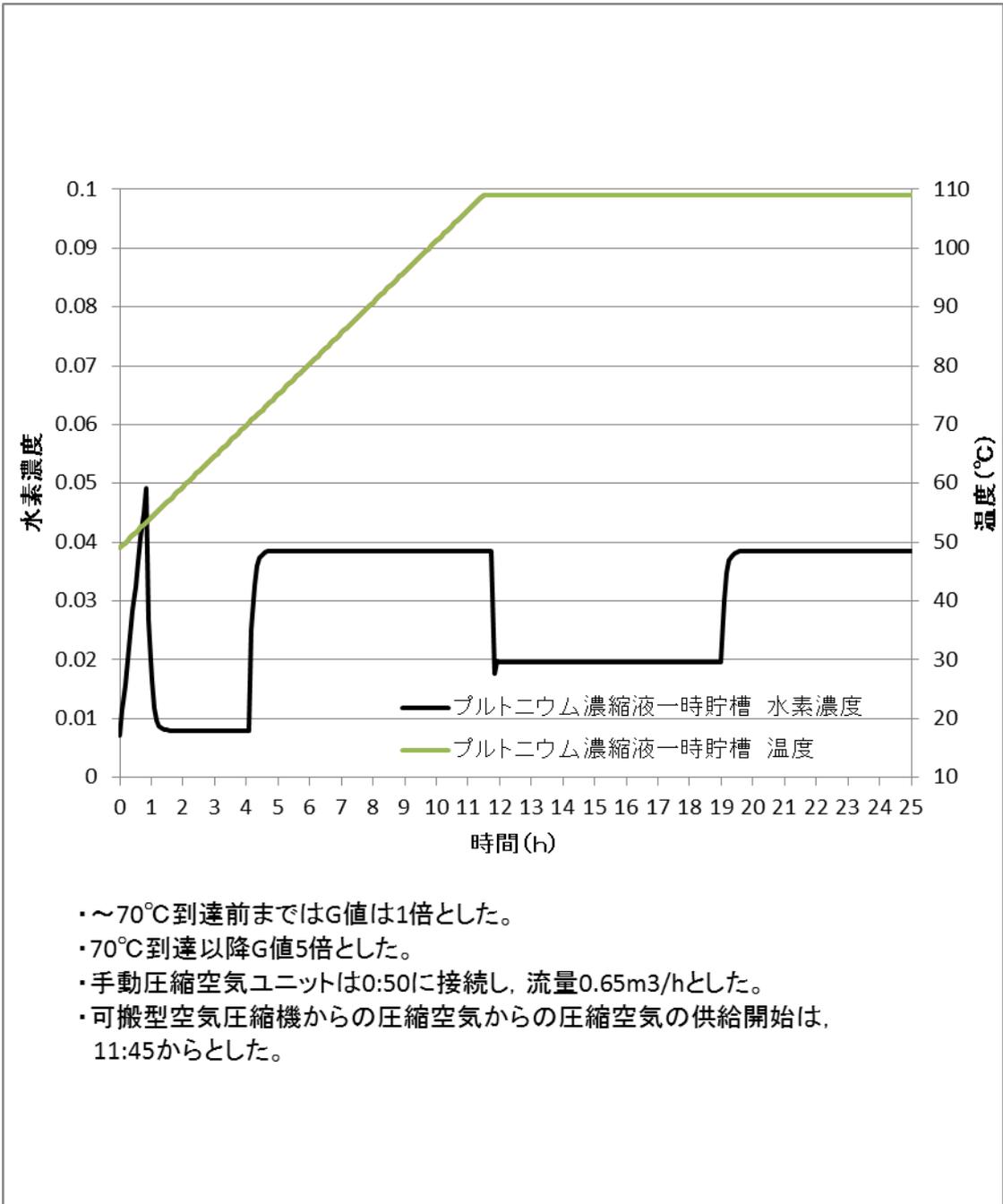


第1図 パターン1の流量及び対処の関係



※可搬型空気圧縮機からの空気と手動圧縮空気ユニットからの空気をそれぞれ異なる系統から供給した場合

第2図 パターン2の流量及び圧力並びに対処の関係



第3図 水素濃度の推移（プルトニウム濃縮液一時貯槽の例）

6. 同時発生又は連鎖への影響

6. 1 同時発生への影響

(1) 手順の観点

- ✓ 蒸発乾固及び水素爆発のいずれの対策も、沸騰開始時刻又は未然防止濃度到達時刻に対して2時間の時間余裕を確保し、必要な作業を完了させる方針であり、これは同時発生の場合も同様である。
- ✓ 蒸発乾固又は水素爆発が単独で発生した場合の作業計画は、蒸発乾固及び水素爆発が同時に発生することを前提に、各々の事故の相互影響を考慮し整備していることから、重大事故等が同時発生することを想定しても、新たに考慮しなければならない事項はない。
- ✓ 相互影響の概要は次のとおりである。

① 水素爆発⇒蒸発乾固

水素爆発が発生すると想定した場合、水素爆発に伴い生じるエネルギーは数十MJ程度であり、水素爆発により生じたエネルギーが全て高レベル廃液等に付加されることを仮定したとしても、高レベル廃液等の温度上昇は1℃未満であり、貯槽等からの実際の放熱による除熱効果を考慮すれば、その影響は無視できる程度であることから、水素爆発の影響によって蒸発乾固の対策に影響を与えることはない。

② 蒸発乾固⇒水素爆発

高レベル廃液等の沸騰に伴う溶液の対流は、溶液内の水素を気相部に追い出す効果となるため、沸騰により高レベル廃液等の見かけ上のG値が増加し、水素発生量が増加するという特徴を有する。

本観点は、今回の水素爆発への対処方針の再検証の内容そのものである。

(2) 設備の観点

- ✓ 各重大事故等へ講じられる対策は、以下の観点で実施され、各々違う観点であり、重大事故等が同時発生した場合であっても同じであり、各重大事故等対策が競合することはない。
 - 蒸発乾固の場合は、機器に内包する高レベル廃液等の温度を沸点未満に維持する又は機器の液位を維持する観点
 - 水素爆発の場合は、高レベル廃液等を内包する機器の気相部の水素濃度を未然防止濃度未満に維持する観点

- ✓ また、重大事故等対策に使用する設備も重大事故等ごとに専用の設備を整備することから、設備が競合することはなく、各設備の操作条件及び必要な容量も、重大事故等が同時発生した場合を前提として整備している。

- ✓ 水素爆発による蒸発乾固の対処に使用する設備容量に対する影響は、(1)①に記載したとおり、影響が無視できる程度であり、追加の措置は必要なく、これは従来と同じである。

- ✓ 蒸発乾固による水素爆発の対処に使用する設備容量に対する影響は、(1)②に記載したとおりであり、従来は高レベル廃液等が沸騰した際のG値として、2倍を設定し、必要な容量が確保されていることを確認していたが、今回の水素爆発への対処方針の再検証において、2時間の作業時間の余裕を確保するための圧縮空気ユニット等に対してさらに余裕を確保した容量を確保することとした。

(3) 結論

設備容量の増加が生じたものの、重大事故等の同時発生を前提として容

量の増加であり、また、手順も、水素発生量の増加を織り込んだ上で、重大事故が同時発生していることを前提に整備していることから、有効性評価の判断基準を満足することにはかわりはない。

6. 2 連鎖への影響

(1) 蒸発乾固から水素爆発への連鎖

- ✓ 蒸発乾固の発生が想定される貯槽等は、全て安全圧縮空気系による水素掃気を実施されている。
- ✓ 蒸発乾固から水素爆発への連鎖は、水素発生量の増加による安全圧縮空気系の容量不足が生じるか否かの観点となる。
- ✓ 安全圧縮空気系の圧縮空気供給量及び貯槽等の気相部の水素濃度を 8 v o 1 % に維持するために必要な空気量の比較を第 9 表に示す。
- ✓ 第 9 表に示すとおり、安全圧縮空気系からの圧縮空気供給量には十分な余裕があり、貯槽等の気相部の水素濃度をドライ換算 4 v o 1 % 未満に維持できることから、蒸発乾固の発生による水素発生量の増加を考慮しても、安全圧縮空気系の容量が不足することはなく、水素爆発が連鎖して発生することはない。

(2) 臨界から水素爆発への連鎖

- ✓ 臨界事故への対処において、臨界事故により発生した放射線分解水素を掃気するため、一般圧縮空気系から水素掃気のための空気を供給する。これにより、溶液中に空気の気泡が生じ、見かけ上の G 値が上昇する可能性は考えられるが、その場合でも臨界事故の収束時点における水素濃度はドライ換算 4 v o 1 % を下回ることは変わりはない。そのため、水素爆発が連鎖して発生することはない。

(3) T B P 等の錯体の急激な分解反応から水素爆発への連鎖

- ✓ プルトニウム濃縮缶は、安全圧縮空気系による水素掃気が実施されている。
- ✓ T B P 等の錯体の急激な分解反応から水素爆発への連鎖は、水素発生量の増加による安全圧縮空気系の容量不足が生じるか否かの観点となる。
- ✓ プルトニウム濃縮液が平常運転時よりも濃縮し温度が上昇することにより、水素発生量が多くなるものの、安全圧縮空気系からの圧縮空気供給量は、機器気相部の水素濃度をドライ換算 4 v o 1 % 未満に維持することができることから、安全圧縮空気系の容量が不足することはない。水素爆発が連鎖して発生することはない。

第9表 安全圧縮空気系の圧縮空気供給量及び貯槽等の気相部の水素濃度を
8 v o 1 %に維持するために必要な空気量の比較

建屋	機器	通常流量と 8%維持流量の比
前処理建屋	中継槽	18
	計量前中間貯槽	11
	計量・調整槽	12
	計量後中間貯槽	12
	計量補助槽	25
	中間ポット	25
	リサイクル槽	25
分離建屋	プルトニウム溶液受槽	35
	プルトニウム溶液中間貯槽	35
	第2一時貯留処理槽	35
	第3一時貯留処理槽	10
	第4一時貯留処理槽	12
	高レベル廃液濃縮缶	10
	溶解液中間貯槽	11
	溶解液供給槽	25
	抽出廃液受槽	20
	抽出廃液中間貯槽	15
	抽出廃液供給槽	10
	高レベル廃液供給槽	25
	第1一時貯留処理槽	34
	第6一時貯留処理槽	34
	第7一時貯留処理槽	35
第8一時貯留処理槽	35	
精製建屋	プルトニウム溶液供給槽	25
	プルトニウム溶液受槽	25
	油水分離槽	25
	プルトニウム濃縮缶供給槽	12
	プルトニウム溶液一時貯槽	12
	プルトニウム濃縮缶	25
	プルトニウム濃縮液受槽	15
	プルトニウム濃縮液一時貯槽	15
	プルトニウム濃縮液計量槽	16
	リサイクル槽	16
	希釈槽	33
	プルトニウム濃縮液中間貯槽	16
	第2一時貯留処理槽	25
	第3一時貯留処理槽	17
	第7一時貯留処理槽	10
	第1一時貯留処理槽	14
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	硝酸プルトニウム貯槽	23
	混合槽	30
	一時貯槽	23

建屋	機器	通常流量と 8%維持流量の比
高レベル廃液ガラス 固化建屋	高レベル濃縮廃液貯槽	210
	高レベル濃縮廃液一時貯槽	200
	高レベル廃液混合槽	210
	供給液槽	150
	供給槽	50
	高レベル廃液共用貯槽	210

7. 参考文献

- [1] The United Kingdom's Sixth National Report on Compliance with the Obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel and Radioactive Waste Management, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2017
- [2] J.C. Sheppard, ALPHA RADIOLYSIS OF PLUTONIUM (IV) - NITRIC ACID SOLUTIONS, BNWL-751, 1968.
- [3] H.A. Mahlman, "The OH Yield in the ^{60}Co γ Radiolysis of HNO_3 ", *J. Chem. Phys.*, 35, No. 3, (1961)

硝酸のG値の振れ幅について

1. はじめに

非沸騰状態では、溶液中で放射線分解により発生した水素は、界面に至る前にOHラジカル等により消費されることから、見かけ上の水素発生G値は小さくなる。一方、沸騰状態では、溶液と蒸気の界面が増えることで、水素の気相への移行が加速されることから、見かけ上の水素発生G値は大きくなると想定される。また、温度の変化により水素発生G値が変動することも想定される。

さらに、硝酸イオン濃度の変化に伴い、水素発生G値が変動する。

上述の内容を考慮し、硝酸溶液の水素発生G値について、既存の知見から振れ幅を設定する。

2. 温度依存性および沸騰時の影響

2. 1. 温度依存性

水素発生G値の温度依存性については、報告されている70℃までは考慮しない。以下に根拠を示す。

水素発生G値の温度依存性について、硝酸の水素放出G値は温度の上昇に伴い上昇するという報告がある(図1参照)[1]。ただし、この水素放出G値は、液を静置下で照射し自然放出される水素に関して整理したG値である。照射後に静置し、その後強制かくはんすることにより水素量が増加することについて確認されていることから(図2参照)[1]、硝酸溶液中に溶存している水素を含んでいない可能性がある。

一方、Sheppardにより硝酸プルトニウム溶液の温度依存性について、3点の温度にて水素発生G値を測定した結果が報告されているが、温度依

存性は認められないとされている（図3参照）[2]。さらに、硝酸プルトリウム溶液について、KUNOらは25°Cと70°Cの水素発生G値に温度依存性がないとしている（図4参照）[3]。測定にあたっては、容器の外部に50Hzのバイブレータを取り付けて容器を振動させて水素を追い出している。また、硝酸のγ線照射試験により室温と80°Cにおける水素発生量を比較した結果もあるが、温度依存性は小さいと報告されている[4]。

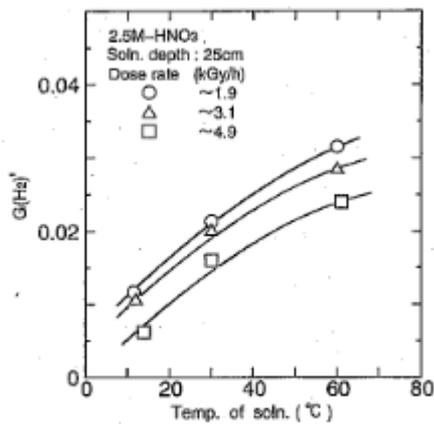


Fig. 7 Plots of $G(H_2)'$ against temperature of solution

図1 硝酸の水素発生G値依存性

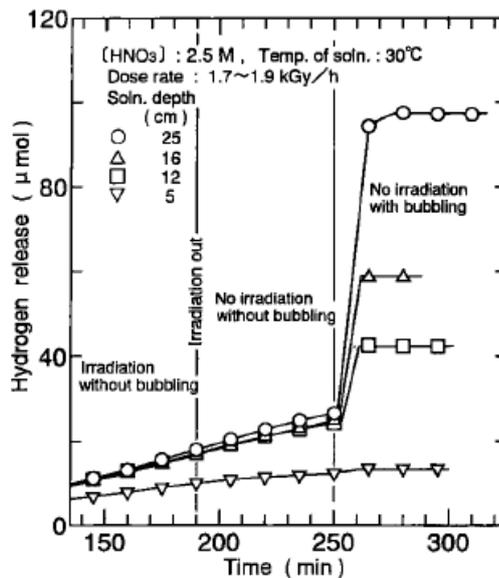


Fig. 3 Change in hydrogen release with time

図2 かくはんによる水素放出

TABLE II. *Temperature Effect on the Rate of Radiolytic Gas Generation*

Temperature, °C	4.0 M HNO ₃	
	G(O ₂)	G(H ₂)
10.5	0.033	0.054
25.0	0.030	0.059
34.0	0.027	0.058

EFFECT OF ARGON AND OXYGEN ON THE RATE OF GAS GENERATION

図3. 硝酸Pu溶液の水素発生G値の温度依存性

Table 3 Effect of heating solution on hydrogen generation*1

G(H ₂) at 25°	G(H ₂) at 70°*2	G(H ₂) at 70°*3
0.36±0.01	0.36±0.01	0.35±0.01

*1 Concentrations of Pu and HNO₃ were 10.0 g/l and 0.6 M, respectively. Pu (VI) was confirmed to be 45% of total Pu at 70°. The value shown is mean ±av. dev. for 4 repeated determinations.

*2 Temperature of solution was kept at 70°.

*3 Solution was cooled from 70° to 25°.

図4. 硝酸Pu溶液の水素発生G値の温度依存性

2. 2 攪拌及び沸騰のG値への影響

純水、硝酸溶液及び模擬高レベル廃液を用いて、γ線照射試験を行った。

(1) 攪拌状態における水素発生G値測定試験

図5に示す試験装置を用いて、高レベル模擬廃液、純水をエアスターラーで攪拌しつつ、照射を行い、気相部に発生した水素量から水素発生G値を測定した。

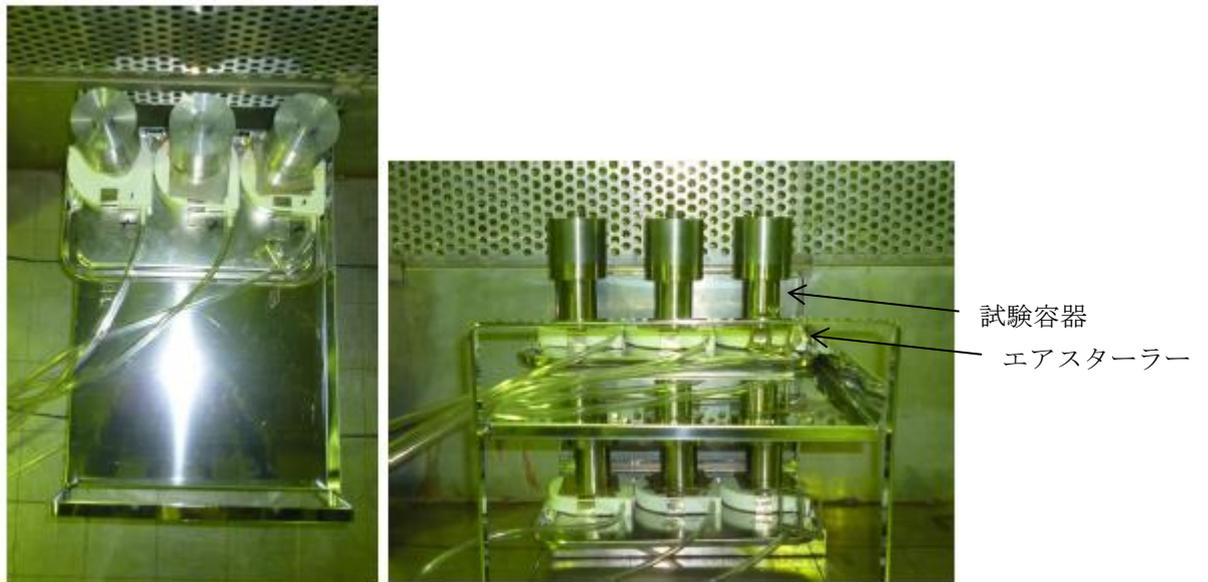


図5. 攪拌状態における水素発生G値測定試験装置

(2) 沸騰状態における水素発生G値測定試験

図6に示す試験装置を用いて、純水、高レベル模擬廃液、2 mol/L 硝酸、7 mol/L 硝酸を加熱し、沸騰状態の溶液に対して γ 線照射を実施した。

同様の溶液について、静置状態で照射試験を行い、非沸騰時と沸騰時でG値を比較した。

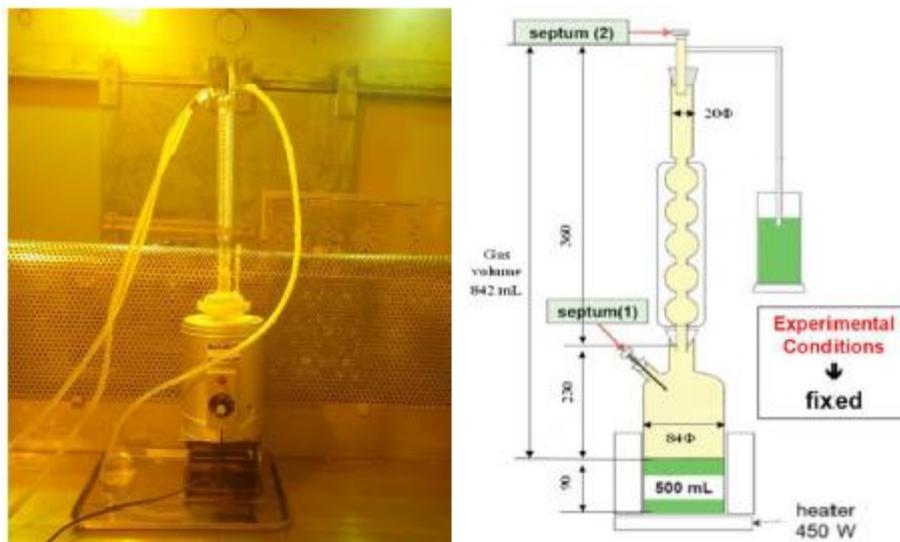


図6. 沸騰状態における水素発生G値測定試験装置

補足 1-4

(3) 試験結果

試験結果の一覧を表 1 に示す。

水の場合で静置状態と沸騰状態の比は 2 倍以下となる。一方、模擬高レベル廃液の場合、静置状態と沸騰状態の比は 4.2 倍となる。また、硝酸溶液の場合、3.5 倍となっている。

表 1： γ 線照射試験における水素生成 G 値

試験溶液		①純水			②模擬高レベル廃液			③硝酸		
濃度	NO_3^- [mol/L]	—			3.4			2.1		7.4
状態		静置	攪拌	沸騰	静置	攪拌	沸騰	静置	沸騰	沸騰
G 値		0.078	0.14	0.1	0.0015	0.0029	0.0063	0.024	0.082	0.026

評価に用いている水素発生 G 値は、非沸騰の値として、純水で 0.45、高レベル廃液で 0.006、2 mol/L の硝酸の場合で 0.053、7 mol/L の硝酸の場合で 0.019 を用いている。評価に用いている水素発生 G 値を 2 倍することで、沸騰時の G 値を包含できる。しかし、上述の静置状態と沸騰状態の比を勘案して、沸騰時の G 値は静置状態の 5 倍として設定する。

3. 硝酸濃度依存性

硝酸濃度（硝酸イオン濃度）と水素発生G値の関係については，図7より，硝酸濃度（硝酸イオン濃度）が高くなるほどG値が指数関数的に低下する傾向を示す[2, 5]。本文献に基づき硝酸濃度に応じたG値を設定する。

根拠となる時間余裕の評価に用いた水相の水素発生G値は，平常運転時の遊離硝酸イオン濃度を想定して設定しており，塩に含まれる硝酸イオンは考慮していない。G値は硝酸イオン濃度が低いほど大きくなるため，水素発生量が大きくなり時間余裕を短くする想定である。

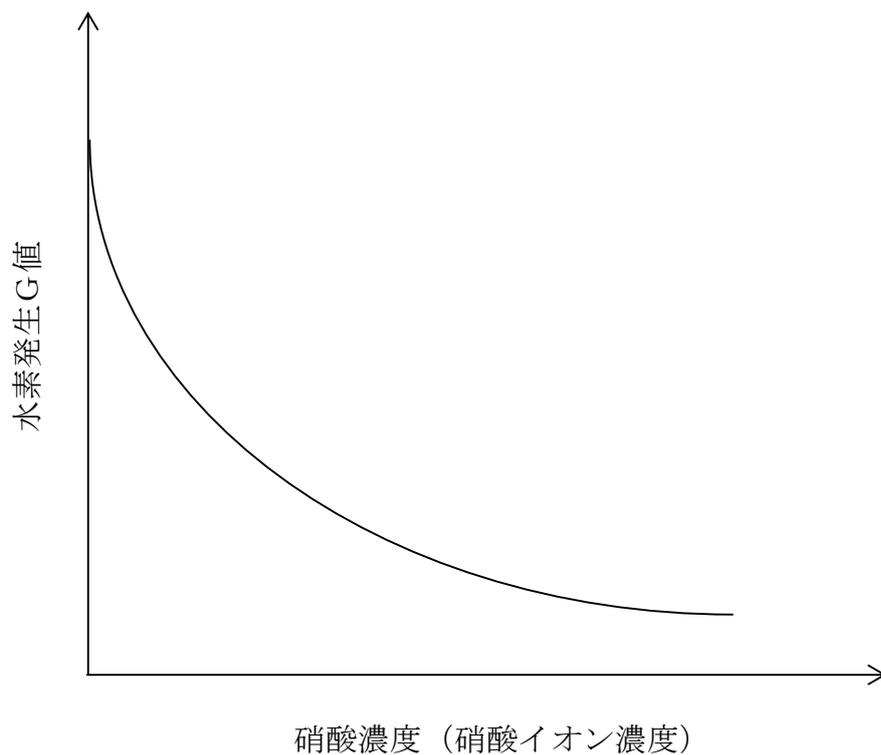


図7 硝酸濃度と水素発生G値の関係の概要図

4. 参考文献

- [1] 中吉ら, 高レベル廃液からの放射線分解発生水素量の評価, (II) 静置状態の硝酸水溶液から放出される水素量の液深依存性, 日本原子力学会誌, Vol. 37, No. 12, (1995)
- [2] J. C. Sheppard, ALPHA RADIOLYSIS OF PLUTONIUM (IV) - NITRIC ACID SOLUTIONS, BNWL-751, 1968.
- [3] Y. Kuno, T. Hina, J. Masui, "Radiolitically generated hydrogen and oxygen from plutonium nitrate solution," J. Nucl. Sci. Technol., 30, 919 (1993).
- [4] F. J. Miner, RADIATION CHEMISTRY OF NITRIC ACID SOLUTIONS, RFP-1299, 1969.
- [5] H. A. Mahlman, "The OH Yield in the ^{60}Co γ Radiolysis of HNO_3 ", *J. Chem. Phys.*, 35, No. 3, (1961)

水素発生量の増加を考慮した手動圧縮空気ユニットからの 圧縮空気流量について

貯槽等に内包する溶液のかくはん状態に応じて、水素発生量が増加する可能性がある。可搬型空気圧縮機からの圧縮空気供給時は、水素発生量の増加を想定した圧縮空気流量にて供給するが、拡大防止対策において、可搬型空気圧縮機からの圧縮空気の供給開始前までに未然防止濃度に至る可能性がある貯槽等については、水素発生量の増加を見込んだ量の圧縮空気を予め手動圧縮空気ユニットから供給することにより、未然防止濃度に至ることを防止する。

これらの対応が必要な貯槽等は、精製建屋のプルトニウム濃縮液受槽、リサイクル槽、プルトニウム濃縮液一時貯槽、プルトニウム濃縮液計量槽及びプルトニウム濃縮液中間貯槽、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の硝酸プルトニウム貯槽、混合槽 A、混合槽 B 及び一時貯槽である。

精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の拡大防止対策に係る対処の推移の概要を図 1 及び図 2 に示す。

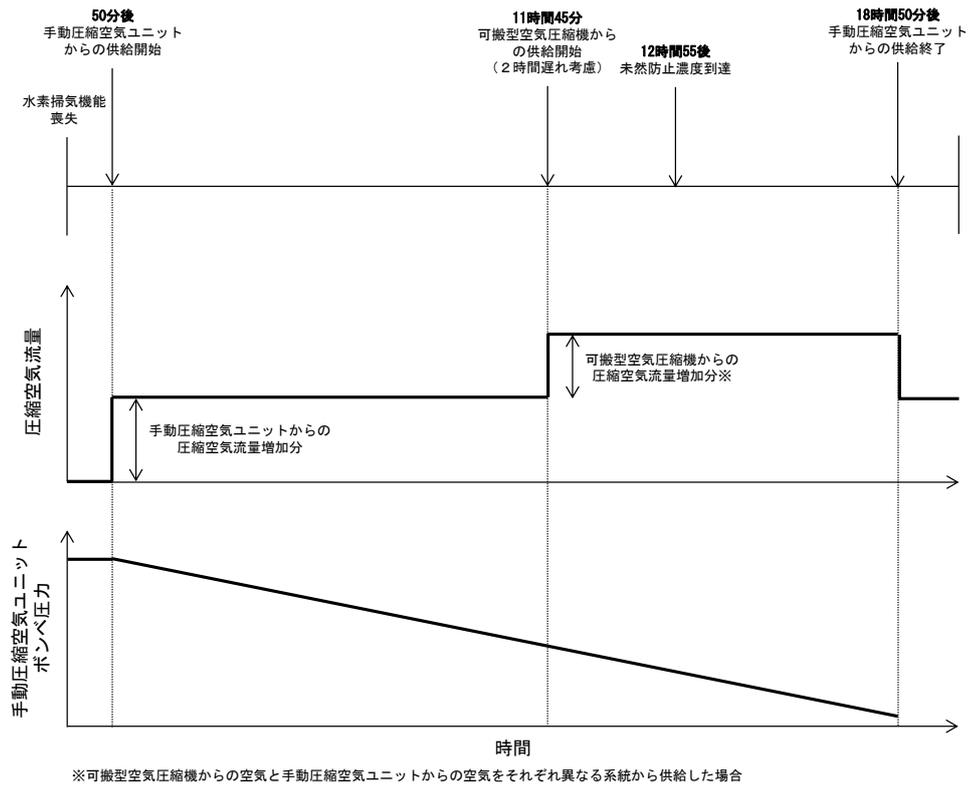


図 1. 精製建屋の拡大防止対策に係る対処の推移の概要

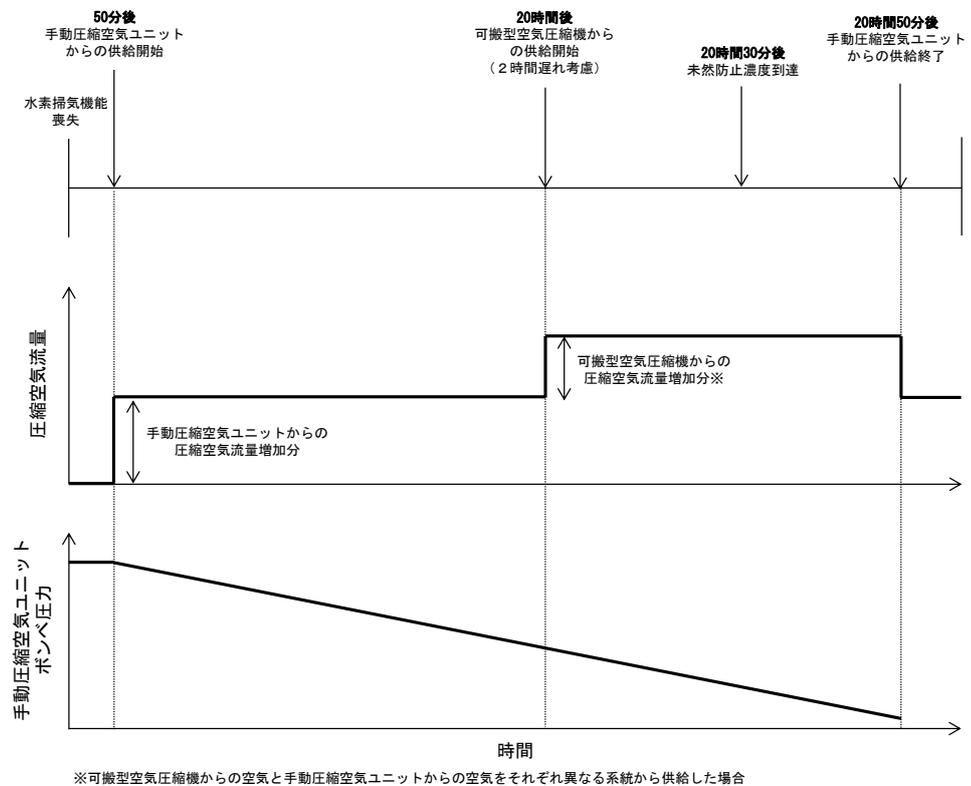


図 2. ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋の拡大防止対策に係る対処の推移の概要

図1及び図2に示すように、水素発生量の増加を見込んだ圧縮空気流量を予め手動圧縮空気ユニットから供給することにより、貯槽等の水素濃度が未然防止濃度に至る前に可搬型空気圧縮機からの空気の供給を実施することができ、事態の収束を図ることが可能である。

精製建屋及びウラン・プルトニウム混合脱硝建屋における手動圧縮空気ユニットからの圧縮空気の供給可能時間の考え方は以下のとおりである。

<精製建屋>

手動圧縮空気ユニットの設計値は以下のとおりである。

設計流量 $0.14\text{m}^3/\text{h} \times 13 \text{ 基} = 1.82\text{m}^3/\text{h}$ (未然防止濃度を維持するための必要最低流量の約3.6倍)

供給可能時間：28.68時間

水素発生量の増加を考慮した貯槽等への圧縮空気流量は以下のとおりである。

- ・プルトニウム溶液供給槽： $0.02\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 2 = 0.04\text{m}^3/\text{h}$
- ・プルトニウム溶液受槽： $0.02\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 2 = 0.04\text{m}^3/\text{h}$
- ・油水分離槽： $0.02\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 2 = 0.04\text{m}^3/\text{h}$
- ・プルトニウム濃縮缶供給槽： $0.058\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 2 = 0.116\text{m}^3/\text{h}$
- ・プルトニウム溶液一時貯槽： $0.058\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 2 = 0.116\text{m}^3/\text{h}$

- ・ プルトニウム濃縮液受槽： $0.042\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 10 = 0.42\text{m}^3/\text{h}$
- ・ プルトニウム濃縮液一時貯槽： $0.065\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 10 = 0.65\text{m}^3/\text{h}$
- ・ プルトニウム濃縮液計量槽： $0.042\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 10 = 0.42\text{m}^3/\text{h}$
- ・ リサイクル槽： $0.042\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 10 = 0.42\text{m}^3/\text{h}$
- ・ プルトニウム濃縮液中間貯槽： $0.042\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 10 = 0.42\text{m}^3/\text{h}$
- ・ 希釈槽： $0.048\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 2 = 0.096\text{m}^3/\text{h}$
- ・ 第2一時貯留処理槽： $0.02\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 2 = 0.04\text{m}^3/\text{h}$
- ・ 第3一時貯留処理槽： $0.029\text{m}^3/\text{h}$ (非沸騰時 8vol%維持流量) $\times 2 = 0.058\text{m}^3/\text{h}$

合計：約 $2.88\text{m}^3/\text{h}$

水素発生量の増加を考慮した圧縮空気流量にて供給可能な時間を，設計流量との比で以下のように設定する。

$$28.68 \text{ 時間} / (2.88\text{m}^3/\text{h} / 1.82\text{m}^3/\text{h}) \doteq 18 \text{ 時間}$$

<ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋>

手動圧縮空気ユニットの設計値は以下のとおりである。

設計流量 $0.1\text{m}^3/\text{h} \times 4 \text{ 基} = 0.4\text{m}^3/\text{h}$ (未然防止濃度を維持するための必要最低流量の約 2.6 倍)

供給可能時間：39 時間 (ポンベ 3 本分)

水素発生量の増加を考慮した貯槽等への圧縮空気流量は以下のとおりである。

・硝酸プルトリウム貯槽：

$$0.043\text{m}^3/\text{h}(\text{非沸騰時 } 8\text{vol}\% \text{維持流量}) \times 10 = 0.43\text{m}^3/\text{h}$$

・混合槽 A：

$$0.033\text{m}^3/\text{h}(\text{非沸騰時 } 8\text{vol}\% \text{維持流量}) \times 10 = 0.33\text{m}^3/\text{h}$$

・混合槽 B：

$$0.033\text{m}^3/\text{h}(\text{非沸騰時 } 8\text{vol}\% \text{維持流量}) \times 10 = 0.33\text{m}^3/\text{h}$$

・一時貯槽：

$$0.043\text{m}^3/\text{h}(\text{非沸騰時 } 8\text{vol}\% \text{維持流量}) \times 10 = 0.43\text{m}^3/\text{h}$$

合計：1.52m³/h

水素発生量の増加を考慮した圧縮空気流量にて供給可能な時間を，設計流量との比で以下のように求める。

$$39 \text{ 時間} / (1.52\text{m}^3/\text{h} / 0.4\text{m}^3/\text{h}) \times \doteq 10 \text{ 時間}$$

供給可能な時間が 10 時間では，可搬型空気圧縮機からの空気の供給開始時間まで 8vol%を維持できない。このため，ポンベの本数を 2 倍にする（3 本増やす）ことにより，供給可能時間を以下のように設定する。

$$78 \text{ 時間} / (1.52\text{m}^3/\text{h} / 0.4\text{m}^3/\text{h}) \times \doteq 20 \text{ 時間}$$

供給可能時間が 20 時間であれば，貯槽等の水素濃度が未然防止濃度に至る前に可搬型空気圧縮機からの空気の供給を開始することができる。