

【公開版】

資料9-1	令和元年 12 月 17 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

第28条：重大事故等の拡大防止等
有機溶媒等による火災又は爆発への対処

10. 有機溶媒等による火災又は爆発（T B P等の錯体の急激な分解反応）
への対処

目次

- 10. 有機溶媒等による火災又は爆発（T B P等の錯体の急激な分解反応）への対処
 - 10.1 火災又は爆発の拡大の防止のための措置
 - 10.1.1 火災又は爆発の拡大の防止のための措置の具体的内容
 - 10.1.2 火災又は爆発の拡大の防止のための措置の有効性評価

10. 有機溶媒等による火災又は爆発への対処

(1) T B P等の錯体の急激な分解反応の特徴

T B P又はその分解生成物であるりん酸二ブチル，りん酸一ブチル（以下，これらの物質を「T B P等」という。）がプルトニウム濃縮缶に多量に混入し，硝酸又は硝酸プルトニウム溶液をT B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度を超えて高温に加熱し過濃縮された場合に，T B P等の錯体の急激な分解反応が発生する。

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い，プルトニウム濃縮缶内に存在しているT B P等は全て分解反応により消費されるとともに，二酸化炭素，水，窒素やりん酸といった分解生成物及び熱が発生するため，プルトニウム濃縮缶内及びプルトニウム濃縮缶に接続している塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）内の圧力及び温度が急激に上昇する。塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の系統内には廃ガス ポットがあるため，一時的に一部の廃ガスが廃ガス ポットからセルへ導出される可能性がある。また，プルトニウム濃縮缶では，T B P等の錯体の急激な分解反応によって，プルトニウムを含む放射性エアロゾルが気相中へ移行する。

T B P等の錯体の急激な分解反応発生後，プルトニウム濃縮缶へTBP等の供給及びT B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度を超えた加熱を継続した場合には，この分解反応は継続的に発生することが考えられる。

有機溶媒等による爆発に関しては，上述の通り，T B P等の錯体の急激な分解反応を対象事象とし，T B P等の錯体の急激な分解反応として発生し得る濃縮缶として，一般公衆及び従事者への影響を考慮し，安全上重要な施設を対象として重大事故等の選定を行い，2建屋4機器（分配設備のウラン濃縮缶，プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶，高レベル廃液濃縮設備の高レベル廃液濃縮缶及び酸回収設備の第2酸回収蒸発缶）を

選定した。ここでウラン精製設備のウラン濃縮缶は安全上重要な施設ではないため選定の対象外となる。分配設備のウラン濃縮缶、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶、高レベル廃液濃縮設備の高レベル廃液濃縮缶及び第2酸回収系の蒸発缶を対象として、設計上定める条件よりも厳しい条件を与えた場合に事象の発生の有無を確認した。その結果、事象は発生しないという評価になったが、過去に同事象が他プラントで発生していること、事象が発生した場合の影響の大きさを考慮し、設計上定める条件よりも厳しい条件よりも更に厳しい条件を与え、事象の発生の有無を確認した。この結果、高レベル廃液濃縮設備の高レベル廃液濃縮缶、酸回収設備の第2酸回収蒸発缶では、減圧蒸発を採用することで運転温度を下げていることから、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度に至ることはない。高レベル廃液濃縮缶については、供給液の供給が停止し、冷却運転をしている際に冷却機能の喪失が発生し、缶内の高レベル廃液が崩壊熱により沸騰した場合にT B Pを含む供給液を供給することはなく、沸点はT B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度を超えず、また、蒸発乾固の対策として内部ループ通水等を実施することから、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度に達することはないため、選定対象から除外した。残る2建屋2機器として分配設備のウラン濃縮缶及びプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶において事象の発生が想定される結果となった。

分配設備のウラン濃縮缶は、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合に、除染機能の低下等の想定外事象が発生した場合であっても、一般公衆への影響は平常時を十分下回るため、評価対象から除外する。残ったプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶を重大事故の評価対象機器として選定する。

有機溶媒等による火災は、機器内及び機器外において、有機溶媒から気相やセルのコンクリートへの放熱を考慮すると、崩壊熱を考慮しても有機溶媒がn-ドデカンの引火点に到達しないことから発生しない。

以上のとおり、TBP等の錯体の急激な分解反応の防止は、速やかにプルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止すること又はプルトニウム濃縮缶への加熱を停止することが必要な措置であることから、TBP等の錯体の急激な分解反応が発生した際の重大事故等への対処として、再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の第二十八条及び第三十七条に規定される要求に対して整備した重大事故等の対策を講ずる。

【補足説明資料 10-1】

【補足説明資料 10-2】

【補足説明資料 10-3】

(2) T B P等の錯体の急激な分解反応への対処の基本方針

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した際の重大事故等への対処として、再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の第二十八条及び第三十七条に規定される要求を満足するT B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置を整備する。

T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置として、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合において、放射性物質の発生を抑制し、T B P等の錯体の急激な分解反応の再発を防止するための対策及びT B P等の錯体の急激な分解反応が発生した設備に接続する換気系統の配管の流路を遮断するために必要な対策並びに換気系統の配管が加圧状態になった場合にセル内に設置された配管の外部へ放射性物質を排出するために必要な対策を整備する。また、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合において放射性物質の放出による影響を緩和するために必要な対策を整備する。

T B P等の錯体の急激な分解反応を想定する機器はプルトニウム濃縮缶とし、各対策の概要図を第10-1図から第10-2図に示す。また、基本方針の詳細を以下に示す。

a. T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知し、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を自動的に停止することで、T B P等の錯体の急激な分解反応の再発を防止するとともに、プルトニウム濃縮缶を加熱するための蒸気発生器への蒸気供給を手動にて停止する。

【補足説明資料10－4】

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は、直ちに自動的に塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を停止するとともに、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生したプルトニウム濃縮缶から発生する放射性物質を貯留する貯槽（以下、「貯留タンク」という。）への経路を確立し、空気圧縮機を用いて貯留タンクに放射性物質を含む気体を貯留する。貯留タンクが規定圧力に到達した場合には、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を通常時の放出経路に復旧するとともに貯留設備の空気圧縮機を停止し、隔離弁を閉止する。

10.1 T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置

10.1.1 T B P等の錯体の急激な分解反応の防止の拡大のための措置の具体的内容

10.1.1.1 プルトニウム濃縮缶への供給液の供給の停止及び加熱設備の停止

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は、プルトニウム濃縮缶液相部温度高警報、プルトニウム濃縮缶の気相部圧力高高警報及びプルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報によりT B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知し、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を自動的に停止することで、連続的に供給液が供給されることによって発生するT B P等の分解反応を抑制させる。並行して、プルトニウム濃縮缶の加熱設備の手動弁を閉止することで加熱を停止させる。

対策の概要を以下に示す。対策の系統概要図を第10.1.1-1図に、アクセスルート図を第10.1.1-2図から第10.1.1-8図に、対策の手順の概要を第10.1.1-9図に、対策における手順と設備の関係を第10.1.1-1表に、必要な要員と作業項目を第10.1.1-10図に示す。

a. T B P等の錯体の急激な分解反応の発生検知及び重大事故等の判断

プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報、気相部圧力高高警報及び気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報により、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知する。

プルトニウム濃縮缶におけるT B P等の錯体の急激な分解反応の発生の検知により、供給液の供給が停止したことの確認及びプルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止の実施を判断し、以下のb.及びc.に移行する。

b. 供給液の供給停止

プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報，気相部圧力高高警報及び気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報により，プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンを自動で停止する。

重大事故等対処施設のプルトニウム濃縮缶供給槽の液位計により，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給が停止したことを確認する。

c. プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止

プルトニウム濃縮缶への加熱を停止するため，蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作を実施する。

加熱蒸気温度計の指示値が低下することにより，プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給が停止したことを確認する。

10.1.1.2 放射性エアロゾルの除去及び貯留タンクへの放射性物質の貯留に関する対処

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知した場合には，直ちに自動で塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機を停止するとともに，T B P等の錯体の急激な分解反応が発生したプルトニウム濃縮缶から貯留タンクへの経路を確立し，空気圧縮機を用いて貯留タンクに放射性物質を含む気体を貯留する。

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生によって，系統内の雰囲気が圧縮されることにより，廃ガスポットから廃ガスの一部がセルへ放出されることが考えられる。この際にセルへ放出される廃ガスには，T B P等の錯体の急激な分解反応によって発生する放射性物質は含まれないが、廃ガスポットの水封が一時的に切れる可能性があるため，速やかに水封を実施する。

対策の概要を以下に示す。対策の系統概要図を第10.1.1-11図及び第10.1.1-12図に、対策の手順の概要を第10.1.1-9図に、対策における手順と設備の関係を第10.1.1-2表に、必要な要員と作業項目を第10.1.1-13図に示す。

a. T B P等の錯体の急激な分解反応の発生検知及び重大事故等の判断

プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報，気相部圧力高高警報及び気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報により，T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知する。

プルトニウム濃縮缶におけるT B P等の錯体の急激な分解反応の発生の検知により，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の流路を自動的に遮断し，プルトニウム濃縮缶から貯留タンクへの流路を確立される。

T B P等の錯体の急激な分解反応の検知により，放射性物質の貯留タンクへの貯留の実施を判断し，以下のb. 及びc. に移行する。

b. 貯留タンクへの放射性物質の貯留対策

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生の検知後，プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報，気相部圧力高高警報及び気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報により，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の流路を自動で遮断するとともに，貯留タンクへの経路を確立し，T B P等の錯体の急激な分解反応で発生する放射性物質を貯留タンクへ導出する。

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生により塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）内の雰囲気の一部が廃ガス ポットに流入し，水封の一部が下流機器へ溢流し，一時的に廃ガス ポットの水封が切れる可能性があることから，自動的に廃ガス ポットへ水を供給する。

貯留タンクへの貯留開始後、貯留タンク内の圧力の上昇及び流量計の指示値の上昇により、放射性物質を含む気体の貯留が開始されたことを確認する。

c. 貯留タンクへの放射性物質の貯留対策完了判断

貯留タンク内の圧力が規定の圧力に達した場合に貯留の完了と判断する。

d. 貯留タンクへの導出後の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による換気再開

塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁の開操作を行い、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機を再起動することで通常時の放出経路に復旧し、管理された状態において放出するとともに、貯留設備の空気圧縮機を停止し、貯留設備の隔離弁を閉止する。

10.1.2 T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置の有効性評価

(1) 有効性評価の方法

重大事故等の拡大の防止のための措置に係る有効性評価は、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生後、速やかに供給液の供給及び加熱を停止することで、T B P等の錯体の急激な分解反応の再発を防止できることを評価する。

放射性物質の高性能粒子フィルタによる除去や貯留タンクへの貯留に係る有効性評価については、T B P等の錯体の急激な分解反応発生時の放射性物質の移行率、放出経路構造物への沈着による放射性エアロゾルの除染係数及び高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除染係数を考慮して、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止によりT B P等の分解反応が収束するまでの間の大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）を評価する。

セシウム-137への換算係数は、I A E A - T E C D O C - 1162に示される、地表沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく及び再浮遊した放射性物質の吸入摂取による内部被ばくに係る実効線量への換算係数について、セシウム-137と着目核種との比から算出する。ただし、プルトニウム等一部の核種は、化学形態による影響の違いを補正する係数を乗じて算出する。

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生後に生ずる放射性物質を貯留設備の貯留タンクに貯留することで、外部への放射性物質の放出を低減する。

これらは解析コードを用いずに評価する。

また、T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置の有

効性評価では、対策実施時に想定される環境条件下において、重大事故等対策に使用する設備の健全性が維持されることを確認する。

(2) 有効性評価の条件

T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置の有効性評価はプルトニウム濃縮缶を対象に実施する。

主要な評価条件を以下に示す。

a. 事故条件

i. 起因事象

有効性評価の前提となる設計上定める条件より厳しい条件において、T B P等の錯体の急激な分解反応は発生しないため、更に厳しい条件における内部事象として、T B P等の錯体の急激な分解反応の起因となる異常の発生防止に係る安全機能として、T B Pの洗浄機能が喪失することでT B P等を多量に含有する硝酸プルトニウム溶液がプルトニウム濃縮缶に供給され、プルトニウム濃縮缶の加熱設備のT B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超える状況に対する加熱停止機能の喪失により加熱が継続し、プルトニウム濃縮缶における過濃縮防止の機能が喪失することで硝酸プルトニウム溶液が過濃縮し、沸点が上昇し、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度に到達することを想定する。また、運転員による圧力、液位、温度、流量、分析結果の未確認、警報の監視不足及び誤操作の重ね合わせを想定する。

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生時におけるプルトニウム濃縮缶内のプルトニウム濃度は800 g / L、T B P量は208 gとして評価する。これは、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度を沸点とするプルトニウム溶液の濃度が800 g / Lであること、100% T B Pの水

への溶解度，濃縮倍率，T B P の気相への留出率，プルトニウム濃縮缶の液量より算出したT B P 量が208 g であることから設定した値である。

ii. 安全機能の喪失に対する仮定

プルトニウム濃縮缶におけるT B P 等の錯体の急激な分解反応の発生防止に係る安全機能について，新たな安全機能の喪失は想定しない。

【補足説明資料 10－5】

b. 重大事故等への対処に関連する機器条件

T B P 等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置に使用する機器を第 10.1.2－1 表に示す。また，主要な機器の機器条件を以下に示す。

i. プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン

内部を減圧することで，溶液を汲み上げ，一定量で送液する設備である。プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報，プルトニウム濃縮缶の気相部圧力高高警報及びプルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報によりT B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を検知し，自動的に減圧している駆動ラインを遮断することでプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンを停止する。

ii. 蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁

蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁を閉止することにより，蒸気発生器への蒸気の供給が遮断され，プルトニウム濃縮缶の加熱が停止する。

iii. 精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタ

精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタは2段で構成し，1段当たりの除染係数は10

³以上 ($0.3 \mu\text{mDOP}$ 粒子) とし, 除染係数は 10^5 とする。

【補足説明資料 10-6】

iv. 貯留設備

貯留設備は, プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報, プルトニウム濃縮缶の気相部圧力高高警報及びプルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報により T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を検知した場合に, 1分以内に自動的に塔槽類廃ガス処理系 (プルトニウム系) から貯留タンクへの経路が確立され且つ空気圧縮機が起動し, T B P 等の錯体の急激な分解反応により発生する放射性物質を含む気体が貯留タンクに導出され, 貯留完了後に貯留タンクへの経路から通常時の廃ガス処理設備に系統を切替えられるものとする。

貯留設備の貯留タンクは, T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を起点として1時間にわたって放射性物質を含む気体を貯留できる容量を有するものとする。

v. 電源設備

電源設備は, 1系列当たり精製建屋で最小約 120 kVA の余裕を有し, T B P 等の錯体の急激な分解反応への対処で1系列を用いる。

有効性評価においては, T B P 等の錯体の急激な分解反応への対処に用いる設備が必要な電力を供給できる設計としていることから, 以下に示す必要な電力を供給できるものとする。

精製建屋の T B P 等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備 : 約 50 kVA

c. 重大事故等への対処に関連する操作条件

プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作は, プルトニウム濃縮缶において T B P 等の錯体の急

激な分解反応が発生してから速やかに開始し、T B P等の錯体の急激な分解反応発生から25分後までに作業を完了できるものとする。

T B P等の錯体の急激な分解反応により発生する放射性物質を貯留タンクへ導出した後に、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排気経路を貯留設備から通常時に切り替える操作は、中央制御室から行う。

d. 評価シナリオ

プルトニウム濃縮缶のプルトニウム溶液が250 g / Lに至るまでは希釈剤によるT B P洗浄は実施されていたものとし、プルトニウム溶液が250 g / Lに到達後、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止機能としてT B Pの洗浄機能、プルトニウム濃縮缶の加熱設備のT B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超える状況に対する加熱停止機能、プルトニウム濃縮缶における過濃縮防止の機能が喪失することを想定する。これらの機能に加え、各種警報や圧力、温度、密度、分析結果の確認が見逃された状況の中で供給液の供給及び異常な加熱を継続することにより、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生する。

T B P等の錯体の急激な分解反応発生後、プルトニウム濃縮缶内に800 g / Lの硝酸プルトニウム溶液は残っていることが考えられる。プルトニウム濃縮缶の加熱は継続しているため、供給液の供給が継続しT B Pが流入すると、T B P等の分解反応は継続的に発生することが考えられる。

供給液の供給を速やかに停止するため、プルトニウム濃縮缶におけるT B P等の錯体の急激な分解反応の発生を自動的に検知し、インターロックによりプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンを停止させ、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止する。

また、プルトニウム濃縮缶の加熱を停止するため、蒸気発生器へ蒸気

を供給する系統の手動弁を閉止する。この操作によって、蒸気発生器への加熱が停止し、プルトニウム濃縮缶への加熱が停止する。

プルトニウム濃縮缶におけるT B P等の錯体の急激な分解反応によって発生した放射性エアロゾルは、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタを経て、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機に到達する。プルトニウム濃縮缶におけるT B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知し、インターロックにより自動的に貯留タンクへ放射性物質を貯留するための経路を確立し、且つ貯留設備の空気圧縮機が自動的に起動することで、貯留タンクへの放射性物質の貯留を図る。

貯留タンクが規定圧力に到達し次第、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁の開操作及び排風機の起動操作を実施後、貯留設備の空気圧縮機の停止操作を実施し、空気圧縮機の停止を確認後に隔離弁を閉止する。

e. 評価条件

有効性評価における大気中への放射性物質の放出量は、重大事故等が発生するプルトニウム濃縮缶が保有する放射性物質質量に対して、プルトニウム濃縮缶でT B P等の錯体の急激な分解反応が発生し、供給液の供給が停止するまでの期間に、T B P等の錯体の急激な分解反応又はT B P等の分解反応によって気相中に移行する放射性物質の割合、大気中への放出経路における低減割合を乗じて算出する。

また、評価した大気中への放射性物質の放出量にセシウム-137への換算係数を乗じて、大気中へ放出された放射性物質の放出量（セシウム-137換算）を算出する。

i. T B P等の錯体の急激な分解反応の発生及び供給液の供給停止までの

放射性物質の放出量評価

【補足説明資料 10－6】

- (i) プルトニウム濃縮缶を対象に大気中への放射性物質の放出量を評価する。
- (ii) プルトニウム濃縮缶が内包する放射性物質の濃度は、1日当たり処理する使用済燃料の平均燃焼度 $45,000\text{MW d} / \text{t} \cdot U_{PR}$ 、照射前燃料濃縮度 $4.5\text{wt} \%$ 、比出力 $38\text{MW} / \text{t} \cdot U_{PR}$ 、冷却期間15年を基に、TBP等の錯体の急激な分解反応が発生する温度が沸点となるまで過濃縮されたプルトニウム溶液から算出した値とする。
- (iii) プルトニウム濃縮缶が保有する放射性物質量は、(ii)において算出した放射性物質の濃度に機器が内包する溶液の体積を乗じて算出する。
- (iv) TBP等の錯体の急激な分解反応の発生後、供給液の供給はインターロックにより速やかに停止するが、供給液の供給が停止するまでの時間を1分間とし、1分間に供給され続けた供給液に含まれる放射性物質量を加味して評価する。
- (v) TBP等の錯体の急激な分解反応により発生する熱量は $1,400\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{TBP}$ とする。
- (vi) TBP等の錯体の急激な分解反応発生時における放射性物質の気相中への移行率は、爆発事象を想定した実験結果を整理した式のうち最も厳しい結果を与えるupper boundとされる計算式から算出した値とし、以下の通りとする。

・プルトニウム濃縮缶内の過濃縮溶液：約 4×10^{-3}

これは、より厳しい条件として、 3.5MPa を超える圧力をかけた場合におけるARFの算出式を用いて評価した結果であり、安全余裕を見込んだ移行率として採用した。

また、T B P等の錯体の急激な分解反応発生後、供給液の供給停止までの間における放射性物質の気相中への移行率は、爆発事象を想定した実験結果を整理した式の0.35MP a未満における値とし、以下の通りとする。

- ・ T B P等の錯体の急激な分解反応発生後、1分間連続供給時に発生する分： 5×10^{-5}

これは、プルトニウム濃縮缶内にT B P等が供給液の供給分しか無く、分解反応が発生した場合に、分解生成熱量は小さく、発生ガス量も少ないため、濃縮缶内の圧力の上昇が小さいことから、0.35MP a未満の圧力をかけた場合におけるA R Fの値を採用した。

【補足説明資料 10－7】

- (vii) 放出経路構造物への沈着による放射性エアロゾルの除染係数は10とする。
- (viii) プルトニウム濃縮缶に内包する溶液で、T B P等の錯体の急激な分解反応によって発生した放射性物質及び蒸気は、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタを経て塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機に到達するものとする。
- (ix) 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）から放出される放射性エアロゾルに対する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタは2段であり、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタの放射性エアロゾルの除染係数を1段目は 10^3 、2段目は 10^2 の合計 10^5 とし、(vii)と合わせて除染係数は 10^6 とする。

T B P等の錯体の急激な分解反応において気相中に移行した放射性物質は、機器に供給される水素掃気用の空気及びT B P等の錯体の急激な分解反応により発生する分解生成物、加熱が継続することによって発

生する蒸気により貯留タンクに導かれ、貯留タンクで貯留されるが、機器に供給される空気と機器内の放射性物質が完全混合状態になると仮定した場合、一定量の放射性物質が貯留タンクに貯留されずに機器内に残留する可能性がある。

このため、機器内に残留する放射性物質の割合は、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生時点においてプルトニウム溶液が沸騰状態にあり、T B P等の錯体の急激な分解反応発生後は水素掃気用の空気により機器外に放射性物質が移動するとして求めた割合である約3%とする。

(3) 有効性評価の判断基準

プルトニウム濃縮缶におけるプルトニウム濃度、T B P量の推移を第10.1.2-1図に示す。

T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置の有効性評価の判断基準は以下のとおりとする。

a. プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及び加熱設備の停止

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止することにより、T B P等の錯体の急激な分解反応の再発を速やかに防止することができること。また、並行してプルトニウム濃縮缶内の温度をT B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度未満とし、異常な運転状態を停止するために、プルトニウム濃縮缶への加熱を停止することができること。これらの操作が完了することにより、T B P等の錯体の急激な分解反応を収束することができること。

b. 貯留タンクへの放射性物質の貯留及び高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除去

また、T B P等の錯体の急激な分解反応によって主排気筒から大気中へ

放出される放射性物質の放出量がセシウム-137換算で100TBqを十分下回るものであって、かつ、実行可能な限り低いこと。

上記事項の確認にあたっては、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止が速やかに完了すること、加熱停止に必要な要員が確保されていること、事態の収束までに大気中へ放出される放射性物質の放出量を有効性評価の評価項目として設定し、貯留設備による放射性物質の貯留に必要な資源及び要員が確保されていることを確認する。

c. 重大事故等対策に使用する設備の健全性

TBP等の錯体の急激な分解反応が発生した環境下において、重大事故等対策に使用する設備の健全性が維持されること。

上記事項の確認にあたっては、TBP等の錯体の急激な分解反応が発生した時に想定される温度、圧力、放射線及びその他の環境条件と機器が有する耐力を比較し、健全性が損なわれないことを確認する。

(4) 有効性評価の結果

a. プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及び加熱設備の停止

TBP等の錯体の急激な分解反応を検知した場合は、インターロックによりプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンが停止することで、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給をTBP等の錯体の急激な分解反応発生後1分以内に停止することができる。また、プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作は、TBP等の錯体の急激な分解反応発生後2名にて25分以内で完了するため、加熱を停止することが可能である。

b. 貯留タンクへの放射性物質の貯留及び高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除去

放射性物質の放出量について、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタにより放射性エアロゾルを除去することで、 $5 \times 10^{-4} \text{ TBq}$ となり、事態の収束までに主排気筒から大気中へ放出される放射性物質の吸入による敷地境界外の被ばく線量は、約 $4 \times 10^{-4} \text{ mSv}$ である。貯留設備への放射性物質の貯留を自動的に実施することにより、主排気筒から大気中への放射性物質の放出量を実行可能な限り低減することができる。主排気筒から大気中への放射性物質の放出量及び大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）の詳細を第10.1.2-2表及び第10.1.2-3表に示す。また、放射性物質が大気中に放出されるまでの過程を第10.1.2-1図に示す。

以上より、TBP等の錯体の急激な分解反応の発生後、速やかに供給液の供給を停止することにより、プルトニウム濃縮缶内の濃縮液と供給液との混合液の加熱によるTBP等の分解反応によって発生する放射性物質を低減することができ、加熱を停止することでTBP等の錯体の急激な分解反応を収束する事ができる。

また、高性能粒子フィルタにより放射性エアロゾルを除去することにより、主排気筒から大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）が 100 TBq を下回ることから、TBP等の錯体の急激な分解反応による大気中への放射性物質の異常な水準の放出を防止することができる。

c. 重大事故等対策に使用する設備の健全性

TBP等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の環境条件は以下の通りである。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及び加熱設備の停止、貯留タンクへの放射性物質の貯留及び高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除去に使用するに使用する常設重大事故等対処設備の部材はステンレ

ス鋼又は炭素鋼であり，想定される温度，圧力，放射線等の環境において損傷することはない，また，機器のバウンダリを超えて影響が波及することはない。

(a) 温度

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及び加熱設備の停止に使用する設備は，プルトニウム濃縮缶とは縁切りされていることから，温度による影響は無い。

貯留タンクへの放射性物質の貯留及び高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除去で使用する設備の温度は，ステンレス鋼又は炭素鋼に対して損傷を与える温度ではなく，高性能粒子フィルタも耐熱性能が確認されている 200℃を下回ることから，温度による影響は無い。

(b) 圧力

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及び加熱設備の停止に使用する設備は，プルトニウム濃縮缶とは縁切りされていることから，温度による影響は無い。

貯留タンクへの放射性物質の貯留及び高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除去で使用する設備の圧力は，ステンレス鋼又は炭素鋼に対して損傷を与える圧力ではなく，高性能粒子フィルタも耐圧性能が確認されているフィルタ差圧 9.3 k P a を下回ることから，圧力による影響は無い。

(c) 湿度

プルトニウム濃縮缶の加熱設備の停止に使用する設備は，加熱用の蒸気を使用する設備であるため，多湿環境下であるが，通常運転時と変化はないため，湿度による影響は無い。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止，貯留タンクへの放射性物

質の貯留及び高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除去で使用する設備の湿度は、T B P等の錯体の急激な分解反応によって多湿状況下になることはないため、湿度による影響は無い。

(d) 放射線

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及び加熱設備の停止に使用する設備は、プルトニウム濃縮缶とは縁切りされていることから、放射線による影響は無い。

貯留タンクへの放射性物質の貯留及び高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除去で使用する設備は、溶液中の放射性物質がT B P等の錯体の急激な分解反応に伴い機器外へ移行するため、機器外の放射線量は上昇する。

(5) 評価条件の不確かさの影響評価

a. 実施組織要員の操作の時間余裕に与える影響

T B P等の錯体の急激な分解反応への対処における実施組織要員の操作の時間余裕に与える影響は、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知後直ちに自動及び手動によるT B P等の錯体の急激な分解反応への対策を開始することとしており、実施組織要員の操作の時間余裕には影響を与えない。

また、T B P等の錯体の急激な分解反応は内部事象を起因としており、有意な作業環境の悪化はないことから、実施組織要員の操作の時間余裕には影響を与えない。

b. 評価項目に与える影響

T B P等の錯体の急激な分解反応への対処に要する時間に与える影響は、「a. 実施組織要員の操作の時間余裕に与える影響」に記載した

とおりである。

大気中への放射性物質の放出量に与える影響については、以下の「(a) 放射性物質の放出量評価に用いるパラメータの不確かさ」に示すとおりである。

【補足説明資料10－8】

(a) 放射性物質の放出量評価に用いるパラメータの不確かさ

放射性物質の放出量評価に用いるパラメータは不確かさを有するため、大気中への放射性物質の放出量に影響を与える。不確かさを考慮した各パラメータの幅を以下に示す。

i. プルトニウム濃縮缶が保有する放射性物質質量

再処理する使用済燃料の冷却期間を15年、プルトニウム濃縮缶が取り扱うことができる最大液量を保有しているものとして算出する放射性物質質量の最大値をMARとして設定する。

再処理する使用済燃料の燃焼条件の変動幅を考慮すると、放射性物質質量の最大値は、1桁未満の下振れを有する。また、再処理する使用済燃料の冷却年数によっては、減衰による放射性物質質量のさらなる低減効果を見込める可能性がある。

ii. T B P等の錯体の急激な分解反応発生時における放射性物質の気相中への移行率

T B P等の錯体の急激な分解反応発生時における放射性物質の気相中への移行率を算出する際に使用した式は、N U R E G / C R - 6 4 1 0における爆発事象を想定した実験結果を整理した式のうち最も厳しい結果を与えるu p p e r b o u n dとされる計算式を使用しており、設定したA R Fが最大値であることから、実験結果に対するb e s t f i tの計算式との比較により、実際には1桁程度の下振れを有する。

一方、この式にはT B P等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギーを算出する必要があり、T B P等の錯体の急激な分解反応により発生する熱量は、引用する分解反応によって発生する単位T B P量あたりの熱量によっては1桁未満の上振れを有する。また、T B Pの水への溶解度の幅を考慮すると、条件によっては1桁未満の上振れを有する可能性がある。

T B P等の錯体の急激な分解反応発生後、供給液の供給停止までの間における放射性物質の気相中への移行率は、T B P量が少なく、分解生成熱量及び発生ガス量が小さいことから爆発事象を想定した実験結果を整理した式の0.35MP a未満における値を用いているため、不確かさは考慮しない。

iii. T B P等の錯体の急激な分解反応が発生後の供給液の供給時間

T B P等の錯体の急激な分解反応を検知後、インターロックにより自動的にプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンは停止するため、供給液の供給は速やかに停止することから、供給液の供給が停止するまでの時間には1桁未満の下振れがある。

iv. T B P等の錯体の急激な分解反応が発生後、連続供給時に発生する放射性物質質量

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生するプルトニウム濃度は800 g/Lであり、プルトニウム溶液の粘性は高いと考えられ、この濃度での実験結果はないことから、気液分離部から加熱部への流動については不確かさが存在する。また、800 g/Lのプルトニウム溶液と供給液の混合液が加熱されることによる分解反応の発生についても不確かさが存在する。それぞれ、分解反応が発生することを前提とした設定した値であることから、体系に起因した不確かさとして1桁未満の下振れを有

する。

v. 放出経路構造物による放射性物質の除染係数

プルトニウム濃縮缶から塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機までの経路上のプルトニウム精製設備及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の配管は、曲がり部が多く、数十m以上の長い配管及び複数の機器で構成されることから、放射性物質を大気中へ押し出すエネルギーの減衰や放射性エアロゾルの沈着による除去が期待できる。

エネルギーの減衰や放射性エアロゾルの沈着による除去について、プルトニウム精製設備及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の構造的な特徴による除去により設定値に対して1桁程度の上振れを有する。

一方、粒子径分布によっては、設定値に対して1桁程度の下振れを有する可能性がある。

vi. 貯留タンクへの放射性物質の貯留割合

TBP等の錯体の急激な分解反応の発生後において、プルトニウム濃縮缶内でのプルトニウム溶液の挙動に不確かさがあるとして、水素掃気用の空気のみによってプルトニウム濃縮缶外に放射性物質が移動するとして求めた割合を設定したが、プルトニウム濃縮缶内でプルトニウム溶液の蒸発が継続している場合には、水素掃気用の空気の他に水蒸気によってもプルトニウム濃縮缶外に放射性物質が移動することから、貯留設備への貯留量は1桁未満の上振れを有する可能性がある。

(b) 事故時環境の不確かさ

いずれのパラメータも、実験又は設備設計により担保された値であり、有意な変動が生じる可能性は十分低いと考えられ、また、仮に変動があったとしても、設備が有する耐力の余裕の範囲内に変動の幅が留まることから、事故時環境の不確かさが設備の健全性に与える影響は無視でき

る。

(c) 事象の不確かさ

i. T B P等の錯体の急激な分解反応による連鎖について

プルトニウム濃縮缶においてT B P等の錯体の急激な分解反応の発生した場合、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生による圧力及び温度の急激な上昇により、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を通じて他の設備の安全機能が喪失して他の事象が発生する可能性については、T B P等の錯体の急激な分解反応によるエネルギーを全て溶液に与えたとしても、溶液の性状が変化するような温度変化はないことから、溶液が濃縮されること、引火点に到達するようなことはなく、他の事象が連鎖して発生することはない。

c. 評価結果

評価条件の不確かさの影響評価の範囲として、実施組織要員の操作の時間余裕に与える影響及び評価項目に与える影響を確認した。

評価条件の不確かさが実施組織要員の操作の時間余裕に与える影響は無いことを確認した。

また、大気中への放射性物質の放出量評価では、放出量算出において考慮する各パラメータに上振れ又は下振れする可能性があるものの、その幅は各パラメータにおいて1桁程度であり、100 T B qに対する事態が収束するまでの主排気筒から大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）の寄与割合に与える影響が大きくないことを確認した。

(6) 必要な要員及び資源の評価

a. 必要な要員の評価

T B P等の錯体の急激な分解反応において、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止後の液位監視，加熱停止及び温度の監視，貯留設備への放射性物質の貯留時の監視，及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を通常時の放出経路へ復旧させる操作に必要な要員は7名であり，13名の実施組織要員で実施可能である。

b. 必要な資源の評価

起回事象及び安全機能の喪失に対する仮定に記載したとおり，プルトニウム濃縮缶におけるT B P等の錯体の急激な分解反応は，動的機器の機能喪失及び人為的な過失の重畳を起因として発生することから，電源等については平常時と同様に使用可能である。

(7) 判断基準への適合性の検討

T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置として，プルトニウム濃縮缶においてT B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合でのプルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止する手段，プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁を閉止する手段，貯留設備へ放射性物質を貯留する手段及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を通常時の放出経路へ復旧する手段を整備しており，これらの対策について有効性評価を行った。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給は，T B P等の錯体の急激な分解反応を検知後，インターロックにより速やかに停止することができる。

プルトニウム濃縮缶への加熱は，T B P等の錯体の急激な分解反応を検知後，プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁を閉止することにより停止することができる。

放射性物質を塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィ

ルタで除去することにより、大気中へ放出される放射性物質の放出量（セシウム-137換算）は、約 5×10^{-4} TBqである。貯留設備による放射性物質の貯留を高ずることにより、TBP等の錯体の急激な分解反応による大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）は、約 2×10^{-5} TBqであり、設定した貯留設備による放射性物質の貯留の評価に用いるパラメータの不確かさの幅を考慮しても、100TBqを下回る。このため、有効性評価で示す大気中への放射性物質の放出量は妥当であると考えられ、大気中への異常な水準の放出を防止することができる。

評価条件の不確かさについて確認した結果、運転員等操作時間に与える影響及び評価項目となるパラメータに与える影響はない。

以上より、「(3) 有効性評価の判断基準」を満足する。

第 10.1.1-1 表 プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及び加熱停止における手順と設備の関係

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
a.	T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生検知及び重大事故等の判断	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム濃縮缶圧力計における圧力高高警報の発報，プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報及びプルトニウム濃縮缶液相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報により，T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を判断し，重大事故等対策として以下の b. に移行する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム濃縮缶圧力計 ・プルトニウム濃縮缶気相部温度計 ・プルトニウム濃縮缶液相部温度計 	—	—
b.	供給液の供給停止	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンの停止によりプルトニウム濃縮缶への供給が停止したことをプルトニウム濃縮缶供給槽液位計により確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン ・プルトニウム濃縮缶供給槽液位計 	—	—

(つづき)

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
c.	プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止	<ul style="list-style-type: none"> 蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> 蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁 	—	—
		<ul style="list-style-type: none"> プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計により、プルトニウム濃縮缶への蒸気の供給が停止したことを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計 	—	—

第 10.1.1-2 表 貯留タンクへの放射性物質の貯留における手順と設備の関係

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
a.	T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生検知及び重大事故等の判断	<ul style="list-style-type: none"> プルトニウム濃縮缶圧力計における圧力高 高警報の発報，プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報及びプルトニウム濃縮缶液相部温度高警報の 3 つのうち 2 つ以上の警報により，T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を判断し，重大事故等対策として以下の b. に移行する。 	<ul style="list-style-type: none"> プルトニウム濃縮缶圧力計 プルトニウム濃縮缶気相部温度計 プルトニウム濃縮缶液相部温度計 	—	—
b.	貯留タンクへの放射性物質の貯留対策	<ul style="list-style-type: none"> 貯留タンク内に放射性物質を含む廃ガスが入っていることを確認するため，流量及び圧力を監視する。 	<ul style="list-style-type: none"> プルトニウム精製設備の配管 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の配管 貯留設備の空気圧縮機 貯留設備の圧力計 貯留設備の流量計 中央制御室の監視制御盤 	—	—
c.	貯留タンクへの放射性物質の貯留対策完了判断	<ul style="list-style-type: none"> 貯留タンク内の圧力が規定の圧力に達した場合に貯留の完了と判断する。 	<ul style="list-style-type: none"> 貯留設備の圧力計 中央制御室の監視制御盤 	—	—

(つづき)

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
d.	貯留タンクへの導出後の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による換気再開	<ul style="list-style-type: none"> 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁の開操作を行い、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機を再起動することで通常時の放出経路に復旧し、管理された状態において放出するとともに、貯留設備の空気圧縮機を停止し、貯留設備の隔離弁を閉止する。 	<ul style="list-style-type: none"> プルトニウム精製設備の配管 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の配管 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタ 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機 貯留設備の配管 貯留設備の隔離弁 貯留設備の圧力計 貯留設備の貯留タンク 貯留設備の空気圧縮機 中央制御室の計測制御装置の中央制御室の監視制御盤 	—	—

第10.1.2-1表 TBP等の錯体の急激な分解反応の対処において使用する設備

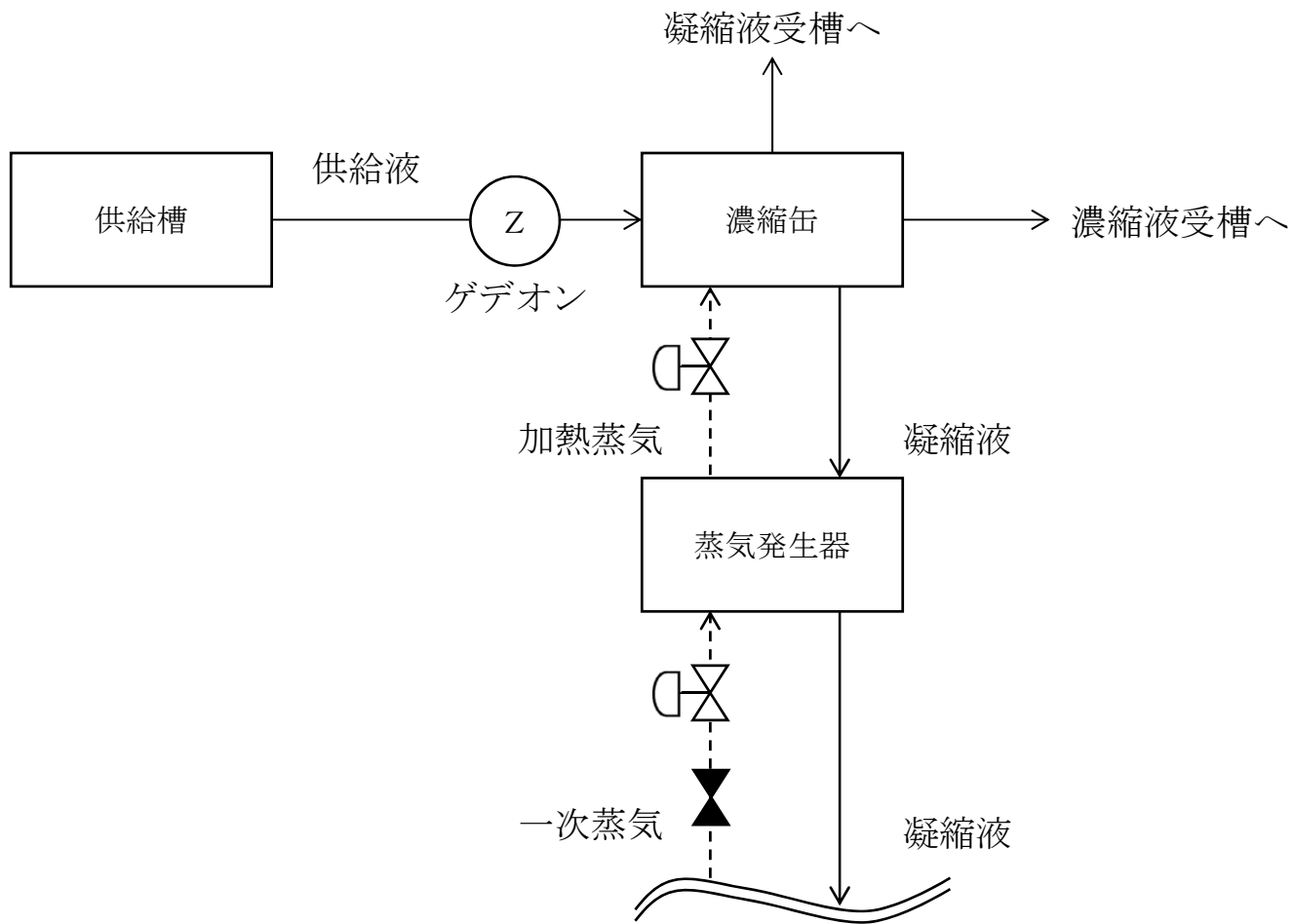
機器グループ	設備		TBP爆発に対処するための措置				
	設備名称	構成する機器	プルトニウム濃縮缶への供給停止		加熱蒸気の供給停止	貯留設備による放射性物質の貯留	放出低減対策
			重大事故等対処設備	自主対策設備	重大事故等対処設備	重大事故等対処設備	重大事故等対処設備
精製建屋 TBP爆発	計測制御系統施設	緊急停止操作スイッチ(電路含む)	×	○	×	×	×
		緊急停止系(工程制御盤、電路含む)	×	○	×	×	×
		監視制御盤	○	×	○	○	○
		プルトニウム濃縮缶供給槽液位計	○	×	×	×	×
		プルトニウム濃縮缶圧力計	○	×	○	○	○
		プルトニウム濃縮缶気相部温度計	○	×	○	○	○
		プルトニウム濃縮缶液相部温度計	○	×	○	○	○
		プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計	×	×	○	×	×
	プルトニウム精製設備	配管・弁[流路]	○	×	○	○	○
		プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン	○	×	×	×	×
		蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁	×	×	○	×	×
	塔槽類廃ガス処理設備	主配管・弁[流路]	×	×	×	○	○
		高性能粒子フィルタ	×	×	×	○	○
		隔離弁	×	×	×	○	○
		廃ガスポット	×	×	×	×	○
		排風機	×	×	×	○	○
	-	貯留設備の配管・弁[流路]	×	×	×	○	○
		貯留設備の隔離弁	×	×	×	○	○
		貯留設備の空気圧縮機	×	×	×	○	×
		貯留設備の貯留タンク	×	×	×	○	○
貯留設備の圧力計		×	×	×	○	○	
	貯留設備の流量計	×	×	×	○	×	

第10.1.2-2表 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮
缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」時の放射性物質の
放出量

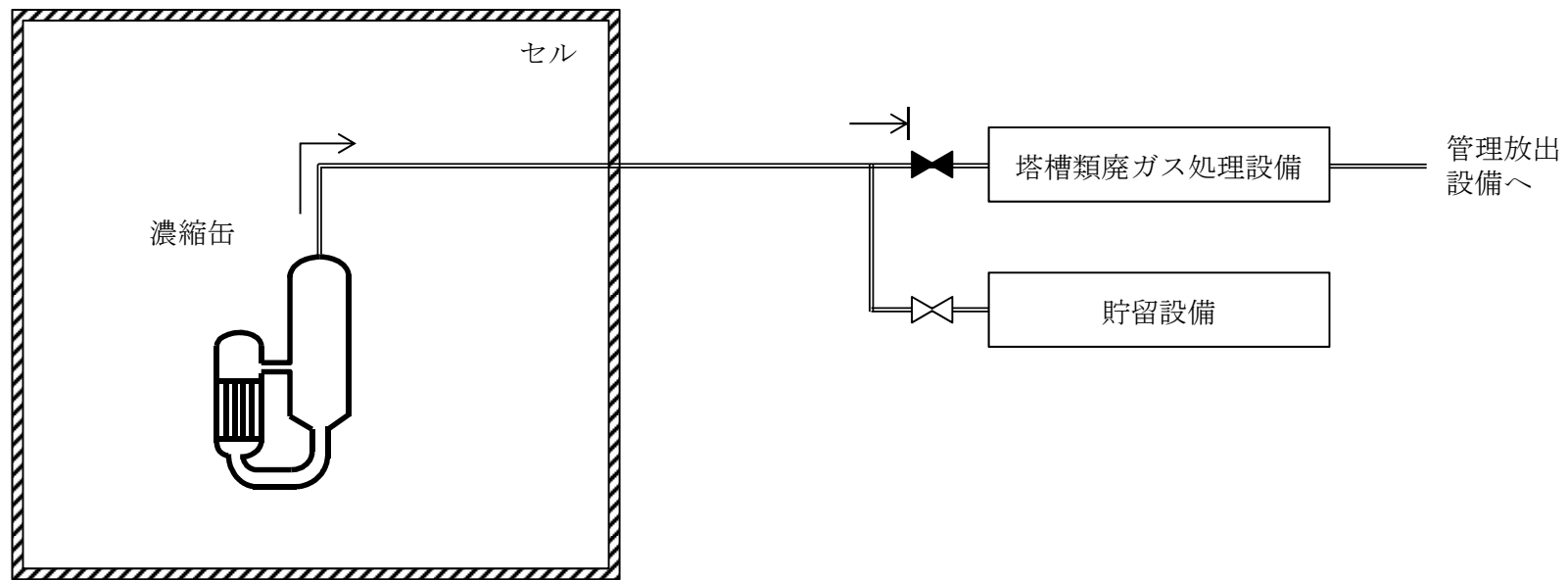
核 種	放出量(Bq)
Pu-238	3×10^5
Pu-239	3×10^4
Pu-240	5×10^4
Pu-241	6×10^6

第10.1.2-3表 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」時の放射性物質の放出量（Cs-137換算値）

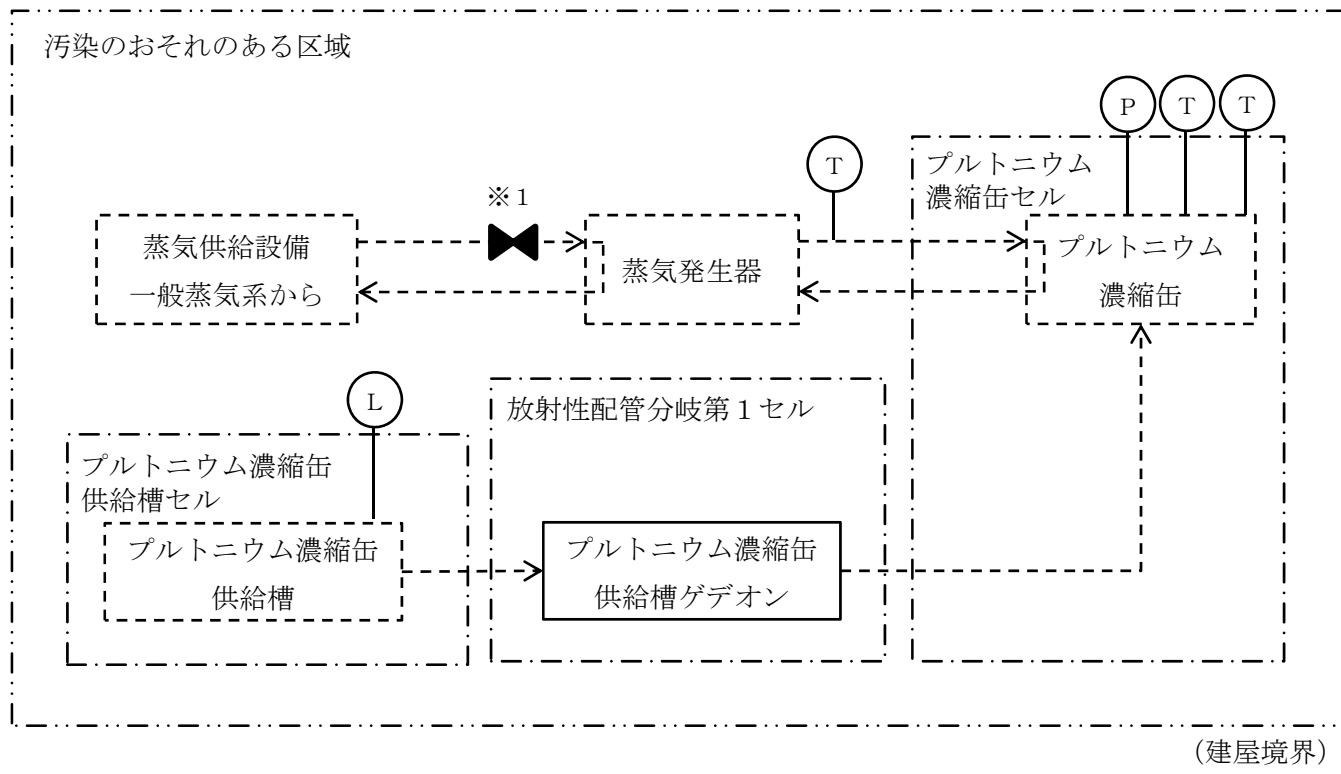
評価対象	放出量(TBq)
Cs-137換算値	2×10^{-5}



第10-1図 拡大防止対策の概要図

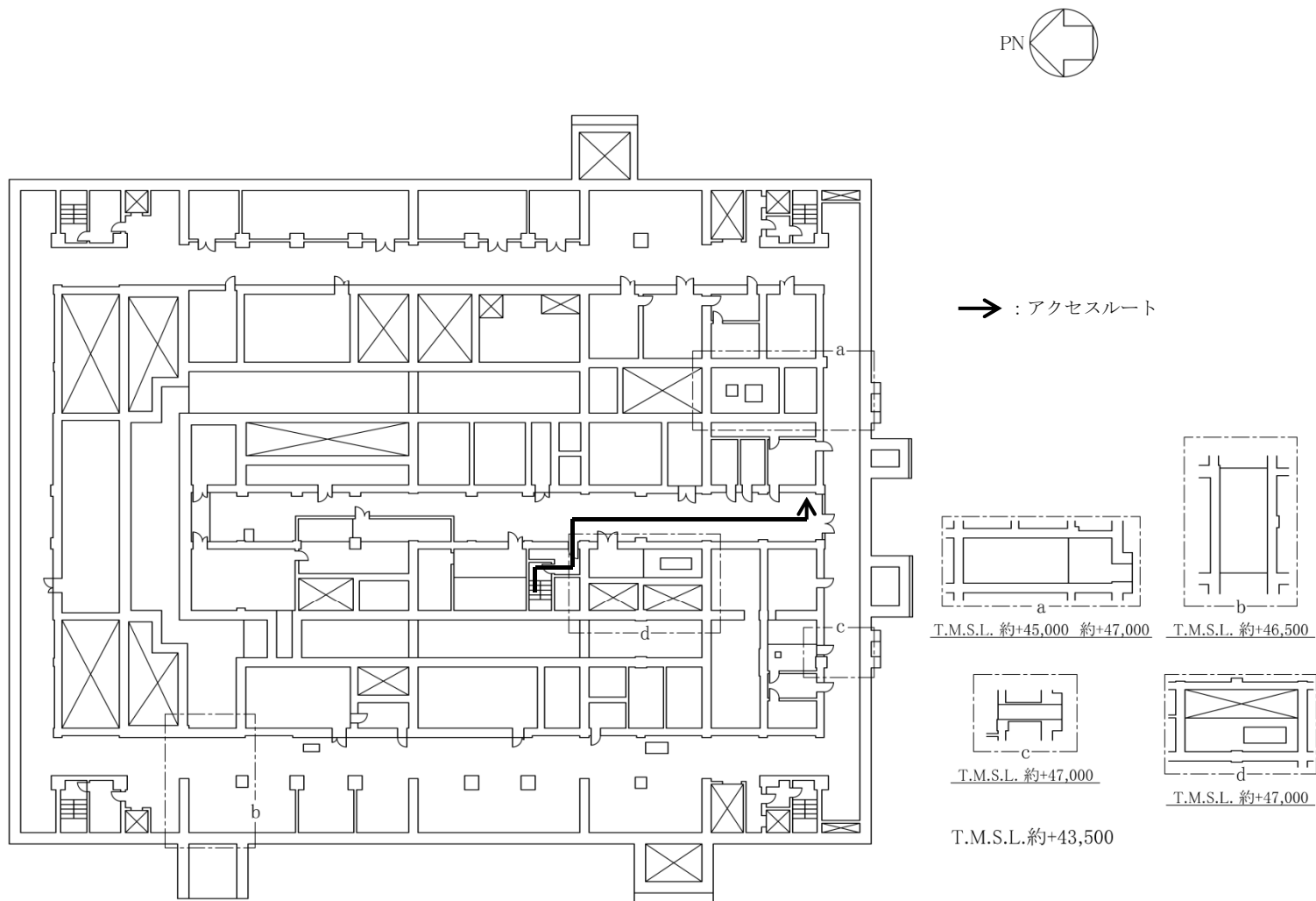


第10-2図 異常な水準の放出防止対策の概要図（貯留設備への導出）
 （精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶）

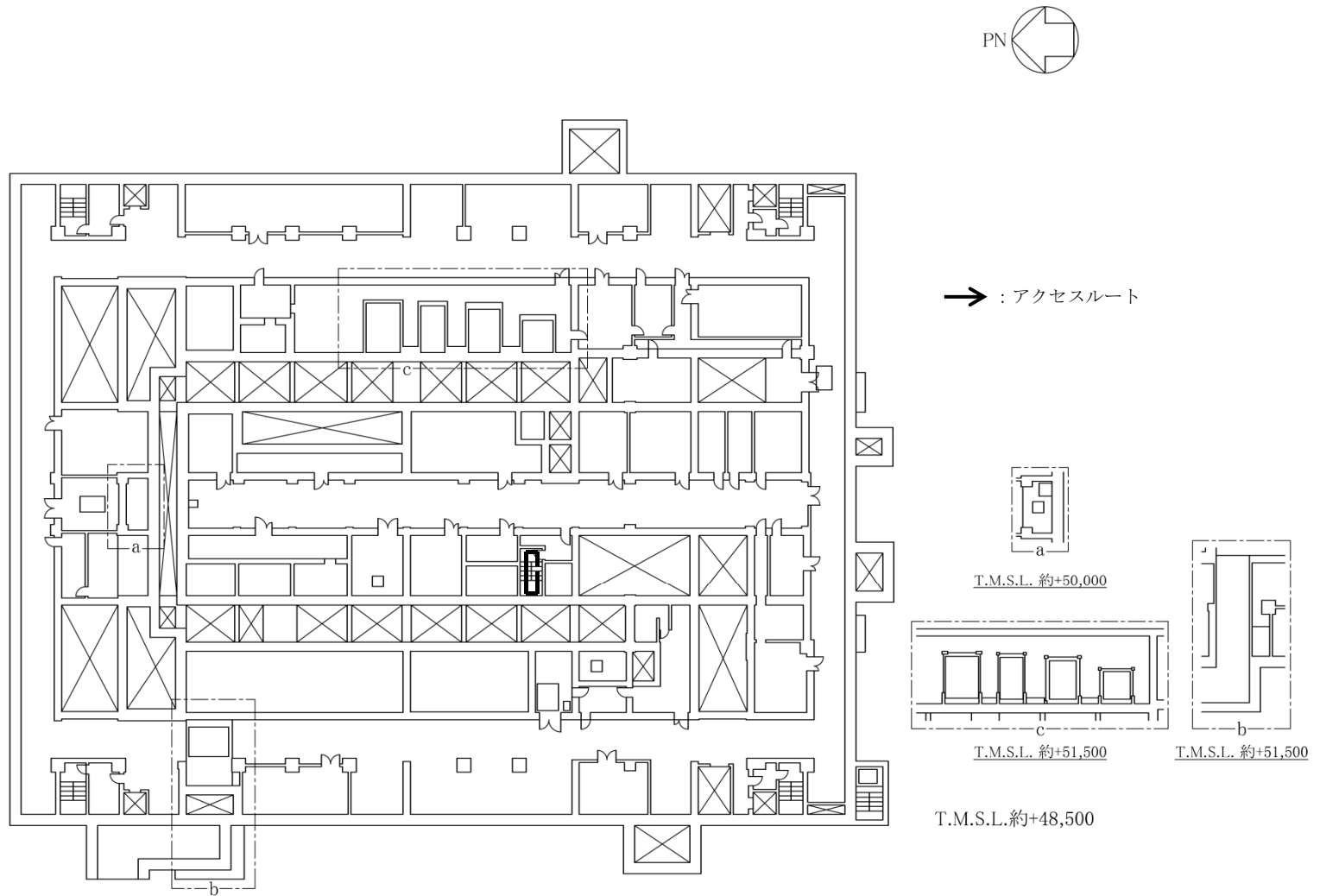


※1 精製施設のプルトニウム精製設備

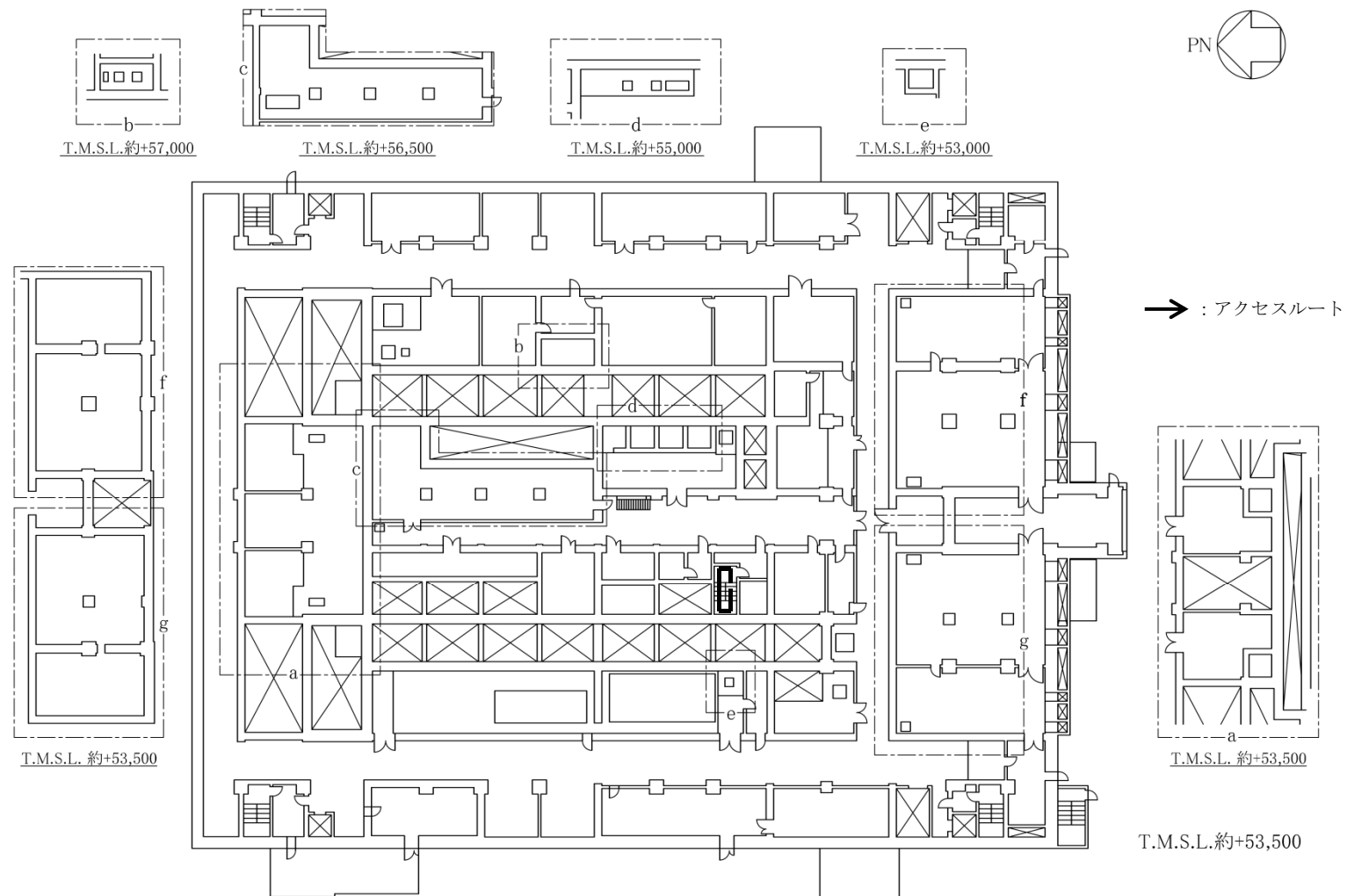
第10.1.1-1 図 T B P等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図 (T B P等の錯体の急激な分解反応収束設備)



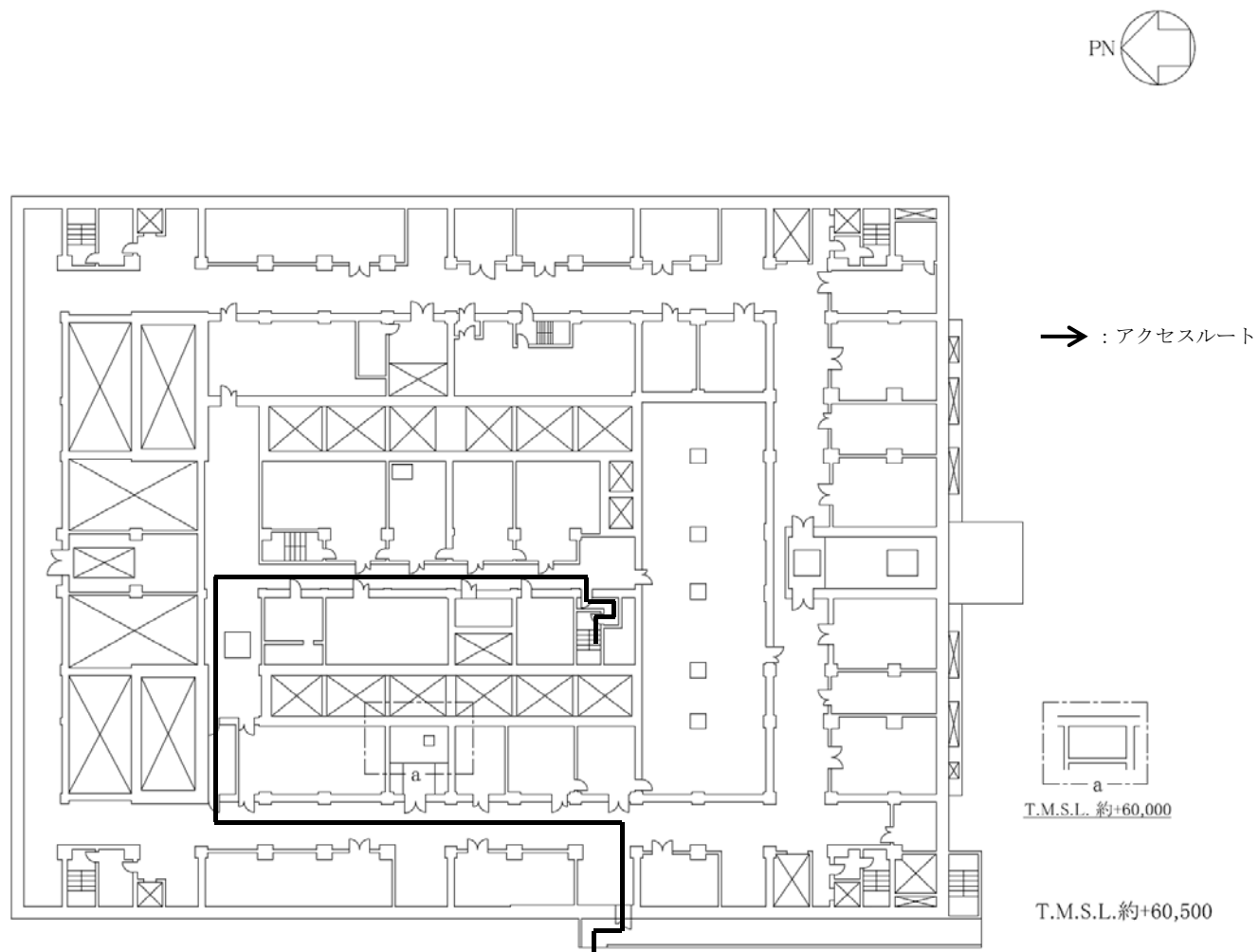
第10.1.1-2図 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」の拡大防止対策のアクセスルート 精製建屋（西ルート）（地下2階）



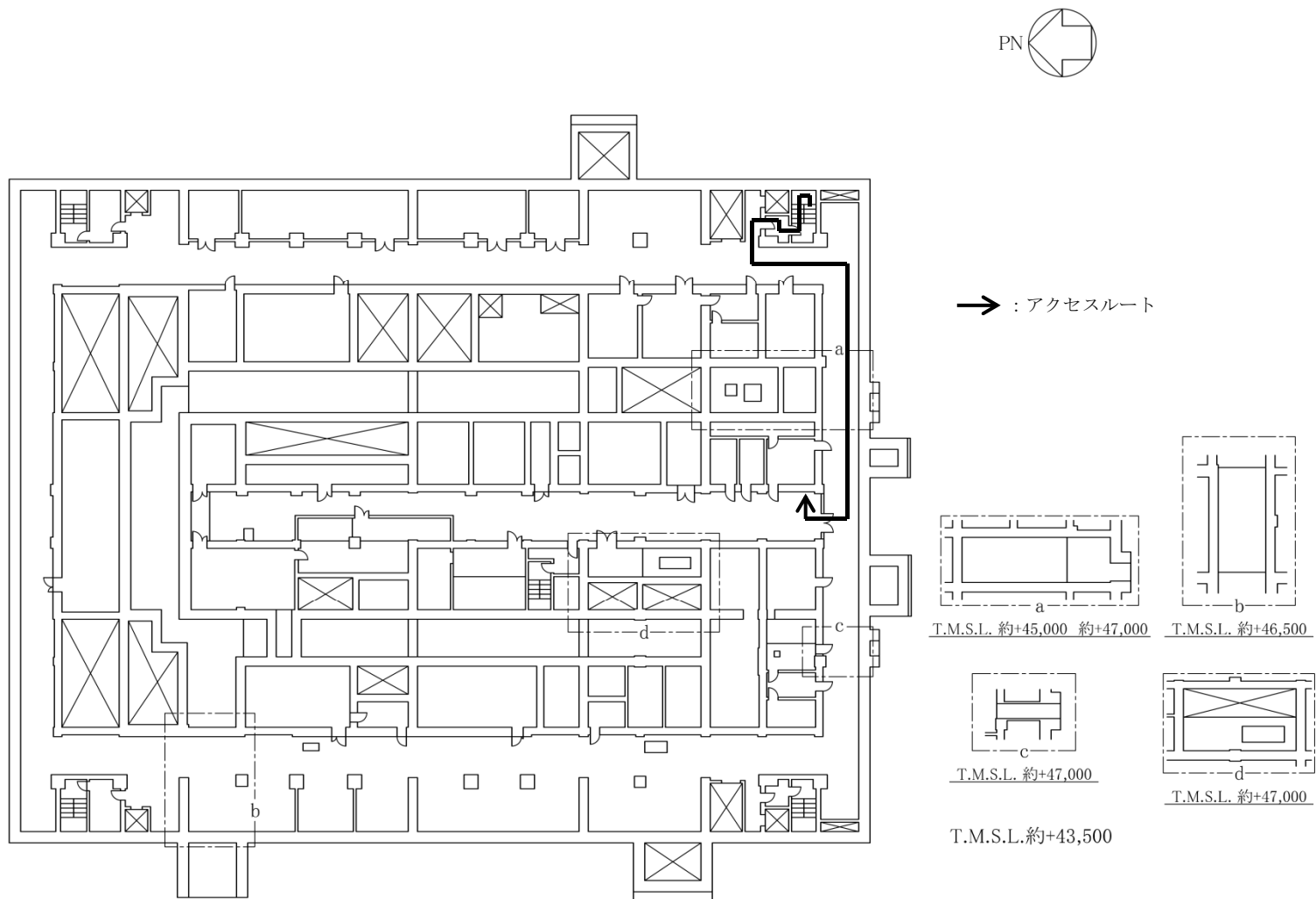
第10.1.1-3図 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」の拡大防止対策のアクセスルート 精製建屋（西ルート）（地下1階）



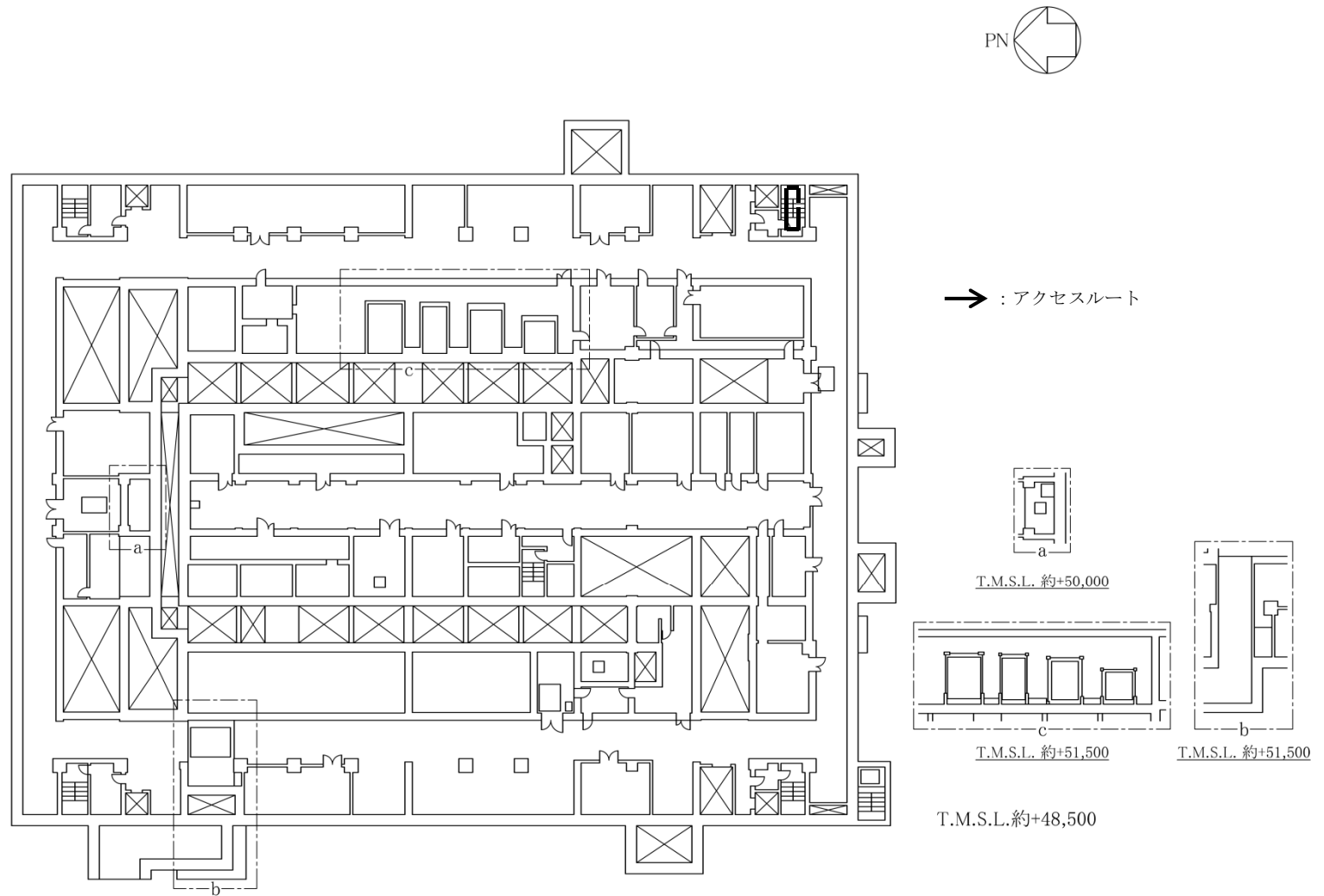
第10.1.1-4図 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のT B P等の錯体の急激な分解反応」の拡大防止対策のアクセスルート 精製建屋（西ルート）（地上1階）



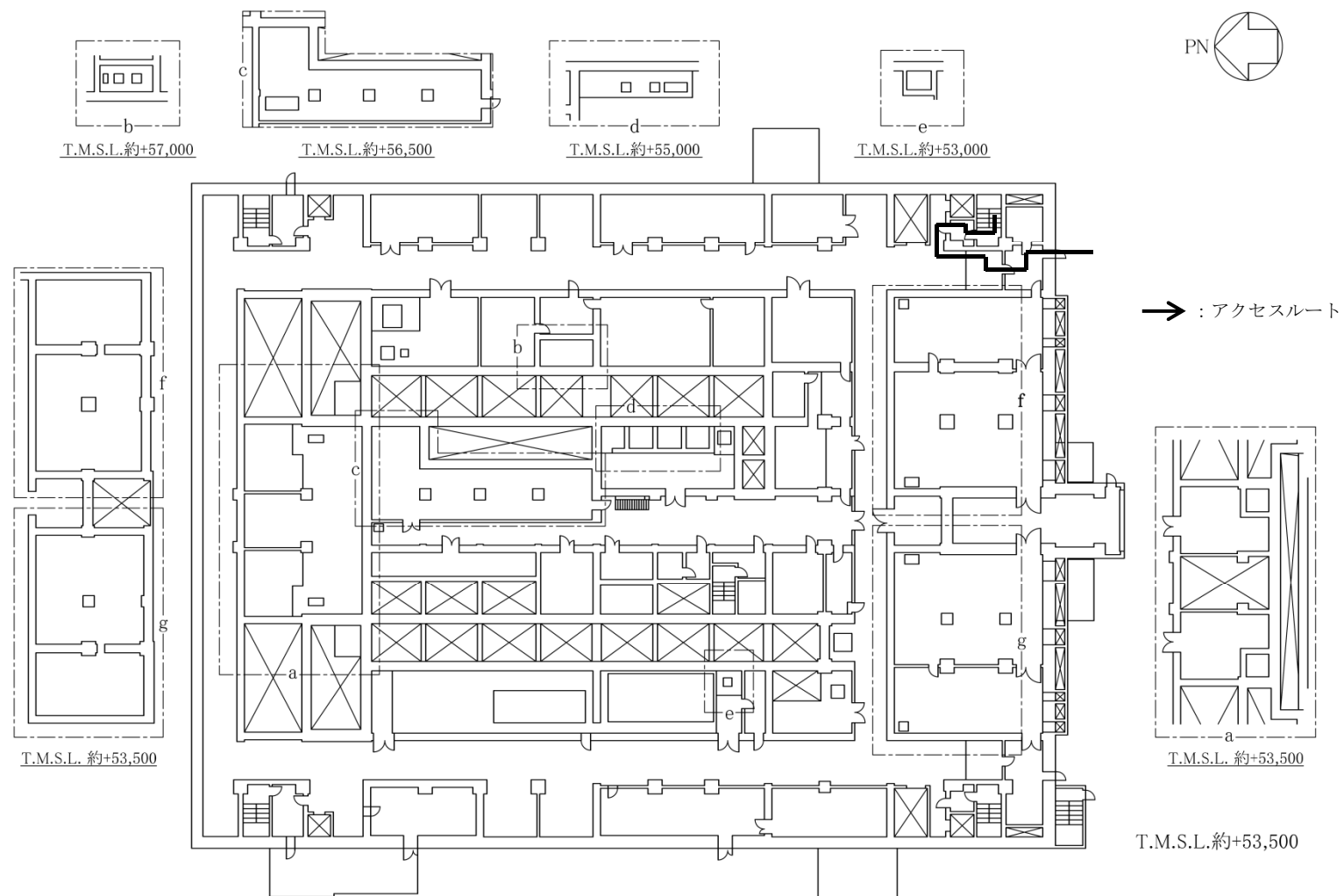
第10.1.1-5図 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」の拡大防止対策のアクセスルート 精製建屋（西ルート）（地上2階）



第10.1.1-6図 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」の拡大防止対策のアクセスルート 精製建屋（南ルート）（地下2階）



第10.1.1-7図 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」の拡大防止対策のアクセスルート 精製建屋（南ルート）（地下1階）

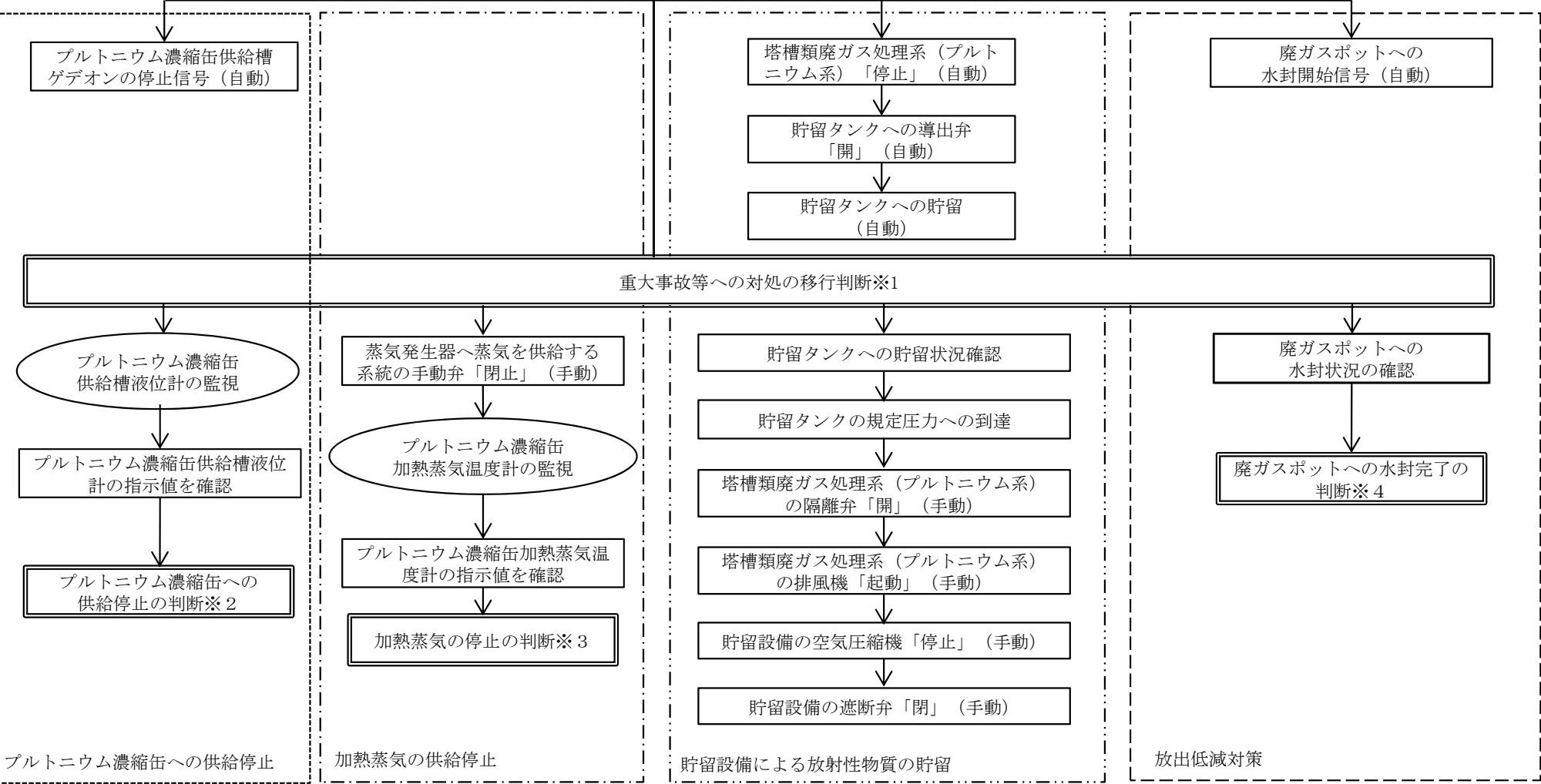


第10.1.1-8図 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」の拡大防止対策のアクセスルート 精製建屋（南ルート）（地上1階）

- 凡例
- : 操作・確認
 - ▭ : 判断
 - : 監視
 - ⋯ : プルトニウム濃縮缶への供給停止
 - ⋯ : 加熱蒸気の供給停止
 - ⋯ : 貯留設備による放射性物質の貯留
 - ⋯ : 放出低減対策

- ※1 重大事故等への対処の移行判断
(下記3つの警報のうち2つ以上が同時に発報したことで判断する)
- ・プルトニウム濃縮缶の圧力高高警報の発報
 - ・プルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報の発報
 - ・プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報の発報
- ※2 供給液の供給停止の状況確認
・プルトニウム濃縮缶供給槽の液位が約20分一定であること
- ※3 加熱蒸気の停止の状況確認
・加熱蒸気温度がTBP等の錯体の急激な分解反応が発生する温度未満となっていること
- ※4 供給配管の自動弁が開となったことを確認

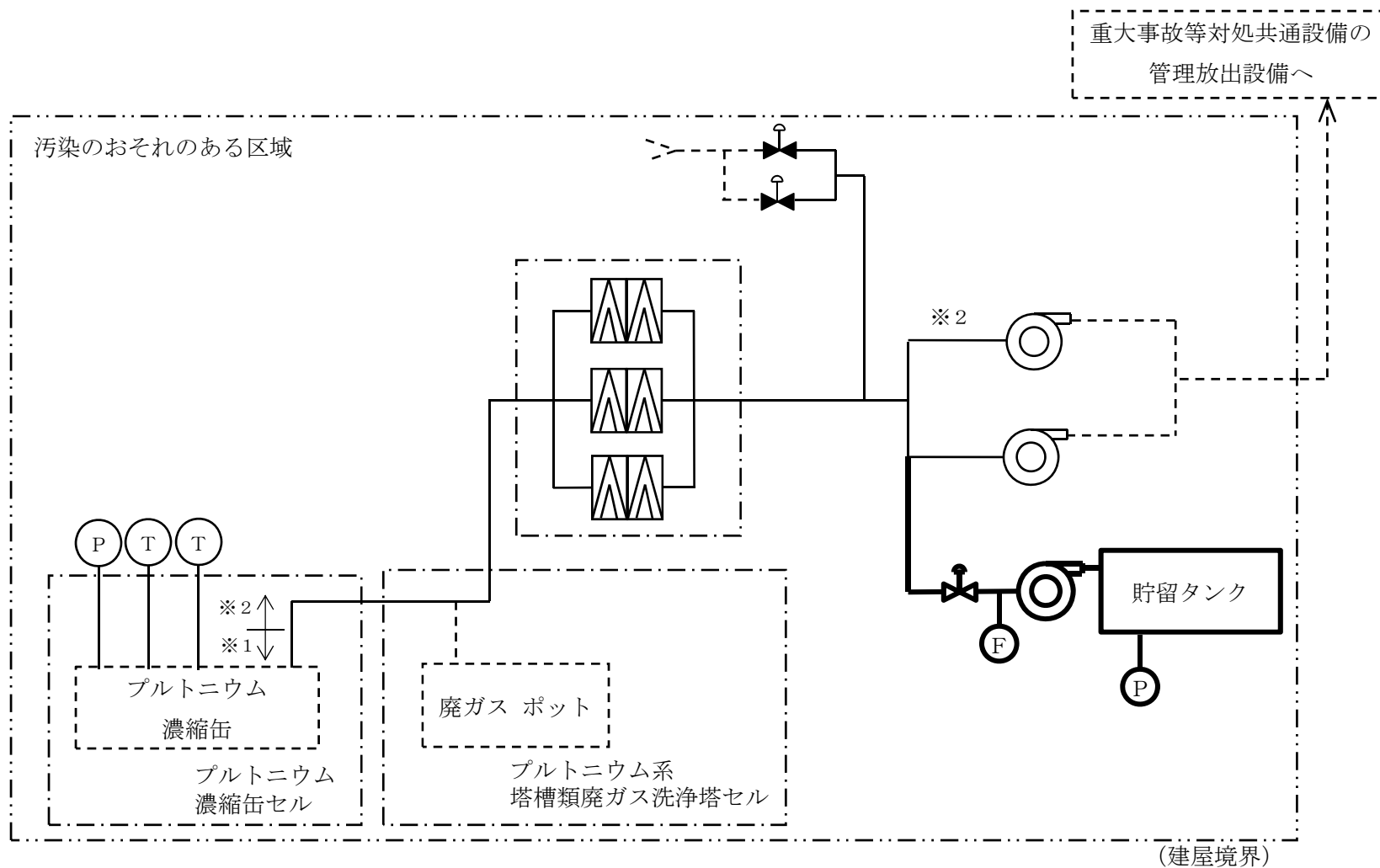
TBP等の錯体の急激な分解反応



第10.1.1-9 図 「精製建屋におけるプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」の手順の概要

対策	作業		要員数		経過時間 (分)												備考	
					0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00								
					▽事象発生													
拡大防止	発生検知	・プルトニウム濃縮缶の圧力高高警報, プルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報及びプルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報の3つのうち2つ以上が同時に発報した場合にT B P等の錯体の急激な反応分解の発生を判断	実施責任者	1	0:01													
	液位監視	・プルトニウム濃縮缶供給槽液位の監視	A, B	2														
	加熱蒸気の供給停止	・蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止	C, D	2														
	温度監視	・加熱蒸気温度の監視	A, B	2														

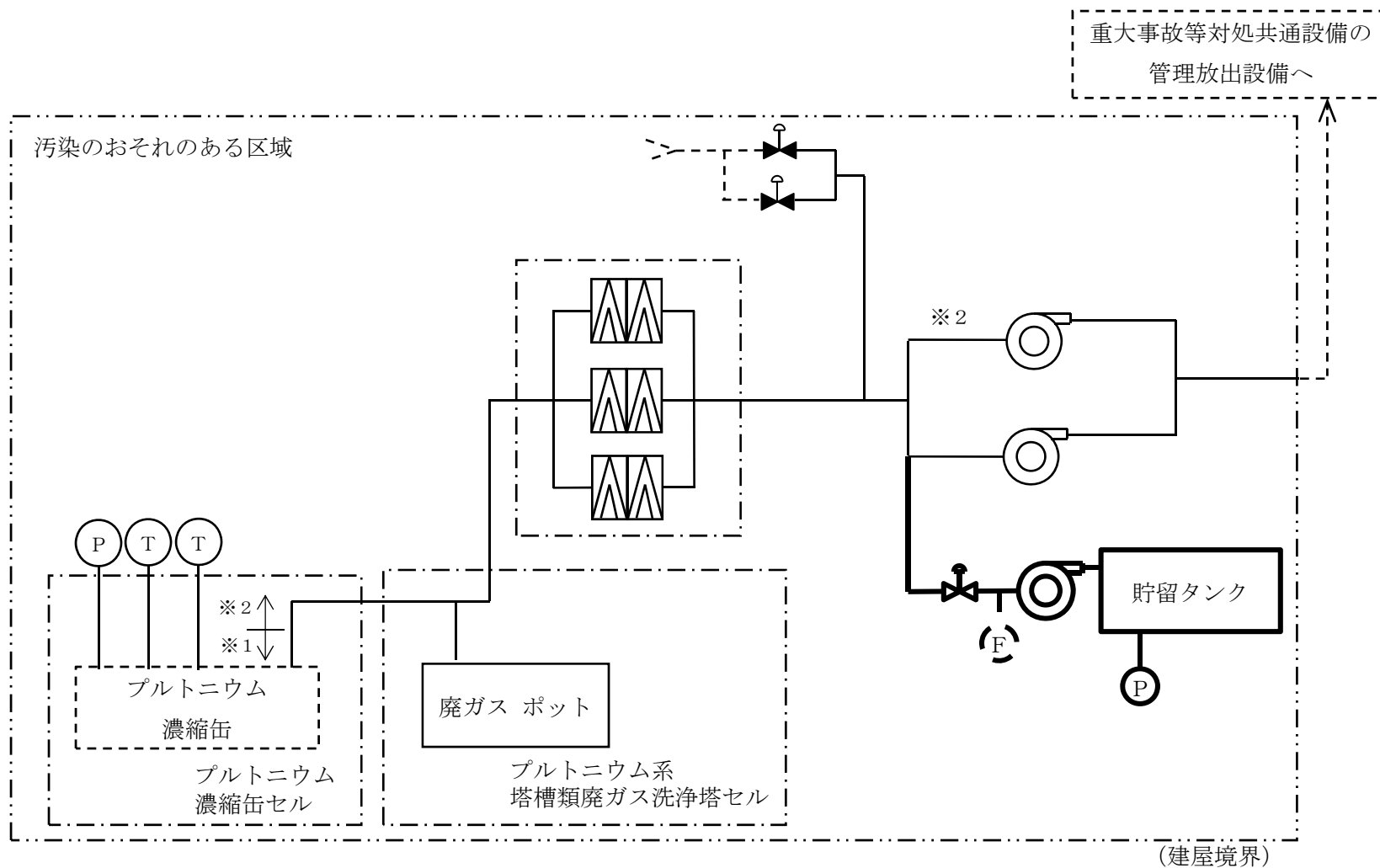
第10.1.1-10図 「精製建屋のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のT B P等の錯体の分解反応」のプルトニウム濃縮缶への供給を停止するための設備と加熱蒸気の供給を停止するための設備の作業と所要時間



※1 精製施設のプルトニウム精製設備

※2 気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）

第10.1.1-11図 TBP等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
(貯留設備による放射性物質の貯留)



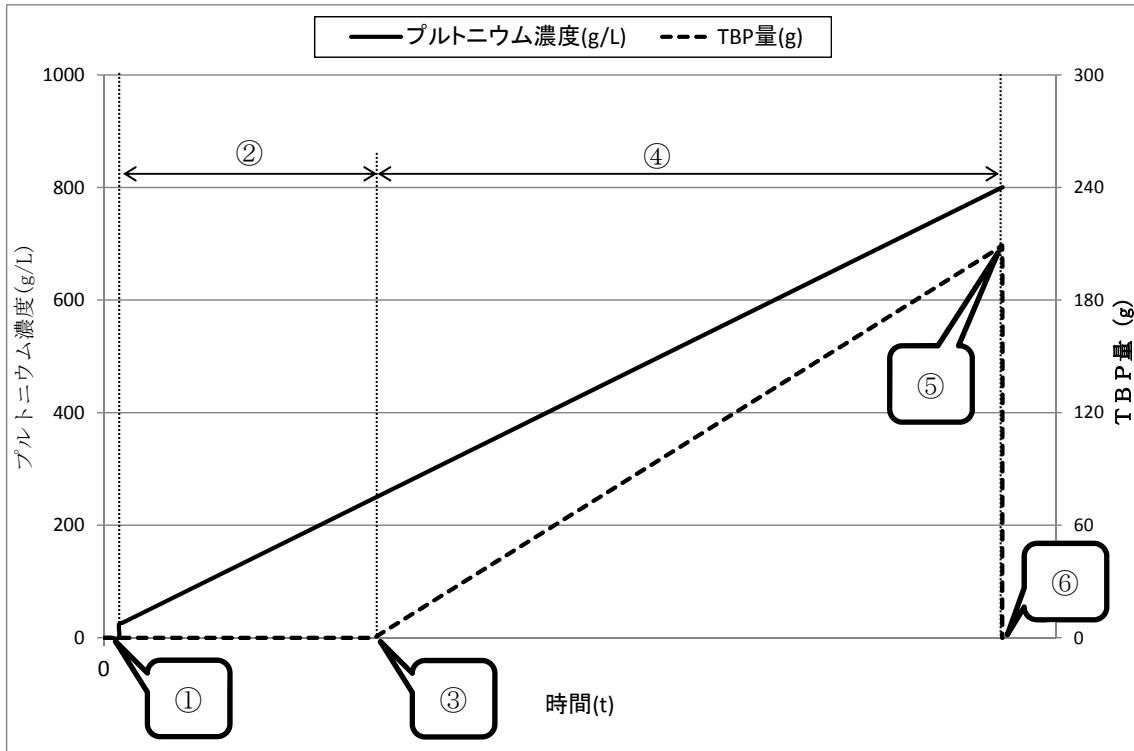
※1 精製施設のプルトニウム精製設備

※2 気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）

第10.1.1-12図 TBP等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
(放出低減対策)

対策	作業	要員数	経過時間 (分)												備考			
			0:10	0:20	0:30	0:40												
異常な水準の放出防止対策	貯留設備による放射性物質の貯留	・ プルトニウム濃縮缶の圧力高高警報、プルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報及びプルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報の3つのうち2つ以上が同時に発報した場合にT B P等の錯体の急激な反応分解の発生を判断	実施責任者	1	0:01													
	貯留状況確認	・ 貯留タンク内圧力及び流量の監視	E, F	2														
	放出経路構築	・ 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁の操作	A, B	2									0:02					
		・ 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機の起動	A, B	2									0:05					
		・ 貯留設備の空気圧縮機の停止	A, B	2									0:05					
	・ 貯留設備の隔離弁の閉止	A, B	2									0:05						

第10.1.1-13図 「精製建屋のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のT B P等の錯体の分解反応」
貯留設備による放射性物質の貯留に使用する設備と放出低減対策に使用する設備の作業と所要時間



【運転状態及び発生を想定する異常】

- ①：プルトニウム濃縮缶への液張り及びプルトニウム濃縮工程の立ち上げ
- ②：液位制御運転による所定濃度までの濃縮
- ③：液位制御から密度制御への切り替え不能（液位制御の継続）及びTBP等を含む供給液の供給開始
- ④：過濃縮の進展及びTBP等の蓄積
- ⑤：TBP等の錯体の急激な分解反応の発生
- ⑥：供給液の供給停止（TBP等の錯体の急激な分解反応の検知から1分以内）

第 10.1.2-1 図 プルトニウム濃縮缶の運転概要及び濃度推移

精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶 に内包する溶液中の放射性物質質量	
P u - 238	: 4×10^{15} B q
P u - 239	: 4×10^{14} B q
P u - 240	: 6×10^{14} B q
P u - 241	: 8×10^{16} B q



放射性物質の気相中への移行	
移行割合 :	
T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時	: 0.4%
T B P 等の錯体の急激な分解反応発生～供給停止	: 0.005%



放出経路上の放射性エアロゾルの沈着	
除去効率 :	90%
塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)の高性能フィルタによる放射性エアロゾルの除去	
除去効率 :	99.999%
貯留設備による放射性物質の貯留実施時の放出割合 : 3%	



放射性物質放出量	
P u - 238	: 3×10^5 B q
P u - 239	: 3×10^4 B q
P u - 240	: 5×10^4 B q
P u - 241	: 6×10^6 B q



主排気筒放出

第 10.1.2-2 図 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶の T B P 等の錯体の急激な分解反応」時の放射性物質の大気放出過程

2 章 補足説明資料

再処理施設 補足説明資料リスト

第28条:重大事故等の拡大防止(10.有機溶媒等による火災又は爆発(TBP等の錯体の急激な分解反応)への対処)

再処理施設 補足説明資料		備考
資料No.	名称	
補足説明資料10-1	有機溶媒等による火災又は爆発に関する事象選定及びTBP等の錯体の急激な分解反応に関する事象発生シナリオ等について	
補足説明資料10-2	プルトニウム精製設備プルトニウム濃縮缶におけるTBP等の錯体の急激な分解反応発生時の温度・圧力等の経時変化	
補足説明資料10-3	TBP等の錯体の急激な分解反応に関する知見	
補足説明資料10-4	プルトニウム濃縮缶でのTBP等の錯体の急激な分解反応における拡大の防止のための措置の概要	
補足説明資料10-5	プルトニウム濃縮缶でのTBP等の錯体の急激な分解反応における関連機器の機能及び機能喪失の想定	
補足説明資料10-6	事態の収束までの放出量及び被ばく線量評価	
補足説明資料10-7	TBP等の錯体の急激な分解反応発生時における放射性物質の気相中への移行率	
補足説明資料10-8	不確かさの設定	

補足説明資料 10－1

有機溶媒等による火災又は爆発に関する
事象選定及びT B P等の錯体の急激な分解
反応に関する事象発生シナリオ等について

目次

1. 有機溶媒等による火災又は爆発の事象選定
 1. 1 概要

2. T B P 等の錯体の急激な分解反応の事象発生シナリオ及び対策
 2. 1 概要
 2. 2 事象発生シナリオの再検討
 2. 2. 1 プルトニウム濃縮缶の運転方法
 2. 2. 2 起因の整理
 2. 2. 3 事象発生シナリオ
 2. 4 事象発生シナリオ変更による影響
 2. 4. 1 T B P 等の錯体の急激な分解反応を起こす T B P 等の量の増加による影響
 2. 4. 2 事故対策

1. 有機溶媒等による火災又は爆発の事象選定

有機溶媒等による火災について、設計上定める条件より厳しい条件では、漏えいした有機溶媒の温度は引火点には到達しないため、更に厳しい条件を与えた評価として、放熱評価（気相部への放熱を考慮）を用いるとともに換気停止を考慮した。

有機溶媒から気相部及びセルコンクリートへ熱伝達することで、漏えいした有機溶媒が引火点に到達しないことを確認した。

したがって、漏えいした有機溶媒の温度は引火点に到達しないため、有機溶媒等による火災は重大事故として発生しないとの選定結果とした。

また、有機溶媒等による爆発の対象事象であるTBP等の錯体の急激な分解反応については、一般公衆及び従事者への影響を考慮し、安全上重要な施設を対象として重大事故等の選定を行った結果、ウラン精製設備のウラン濃縮缶は安全上重要な施設ではないため選定の対象外とした。分配設備のウラン濃縮缶、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶、高レベル廃液濃縮設備の高レベル廃液濃縮缶及び第2酸回収蒸発缶を対象として、設計上定める条件よりも厳しい条件を与えた場合に事象の発生の有無を確認した結果、事象は発生しないという評価になったが、過去に同事象が他プラントで発生していること、事象が発生した場合の影響の大きさを考慮し、設計上定める条件よりも厳しい条件よりも更に厳しい条件を与え、事象の発生の有無を確認した。この結果、物理的に事象が発生しない機器として減圧蒸発を採用することで運転温度を下げて運転していることで缶内の溶液が 135℃

には至らない高レベル廃液濃縮缶及び酸回収設備の第2酸回収蒸発缶を除いた分配設備のウラン濃縮缶及びプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶において事象の発生が想定される機器とした。T B P等の錯体の急激な分解反応事象が発生した場合の両機器の一般公衆への影響は、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶では $0.4\mu\text{Sv}$ となる。分配設備のウラン濃縮缶では、除染機能の低下等の想定外事象が発生した場合であっても、一般公衆への影響は $6.8\times 10^{-5}\mu\text{Sv}$ であり、平常時を十分下回るため、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶を対象機器として選定した。

なお、高レベル廃液濃縮缶については、供給液の供給が停止し、冷却運転をしている際に冷却機能の喪失が発生し、缶内の高レベル廃液が崩壊熱により沸騰した場合にT B Pを含む供給液を供給することはなく、沸点はT B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度を超えず、また、蒸発乾固の対策として内部ループ通水等を実施することから、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度に達することはないため、選定対象から除外した。

なお、分配設備のウラン濃縮缶では、事象発生シナリオの見直しによりT B P等の錯体の急激な分解反応に寄与するT B P量が、従来の事象発生シナリオでは約1.8kgであったものが、約4.3kgに増加する。この状態でT B P等の錯体の急激な分解反応の発生による圧力及び温度の上昇については、T B P量が約6.4kgの場合のFluentによる解析結果において、ウラン濃縮缶の出口における圧力が約480kPaであり、許容圧力を超えない。分離建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系の

高性能粒子フィルタについては、フィルタ差圧が約 0.29 k P a 、
温度が約 170℃であり、フィルタの健全性が確認されている 9.3
k P a 及び 200℃を下回る。このため、ウラン濃縮缶及び分離建
屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系の高性能粒子フ
ィルタの健全性は担保できる。

表－１（１／２）：分配設備のウラン濃縮缶とプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶における事象発生時の放出放射能量

核種グループ	C s 換算放出放射能量 (T B q)	
	ウラン濃縮缶	プルトニウム濃縮缶
Z r / N b	0.0E+00	0.0E+00
R u / R h	3.9E-14	1.2E-15
C s / B a	0.0E+00	0.0E+00
C e / P r	0.0E+00	0.0E+00
S r / Y	0.0E+00	0.0E+00
その他 F P	2.0E-11	6.1E-13
P u (α)	1.6E-10	5.1E-04
A m / C m (α)	7.7E-08	0.0E+00
U (α)	1.8E-08	1.2E-12
N p (α)	3.5E-09	0.0E+00
合計	9.8E-08	5.1E-04

表－１（２／２）：分配設備のウラン濃縮缶とプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶における事象発生時の線量

核種グループ	被ばく線量（ μSv ）	
	ウラン濃縮缶	プルトニウム濃縮缶
Zr / Nb	0.0E+00	0.0E+00
Ru / Rh	2.8E-11	8.9E-13
Cs / Ba	0.0E+00	0.0E+00
Ce / Pr	0.0E+00	0.0E+00
Sr / Y	0.0E+00	0.0E+00
その他FP	4.6E-10	1.4E-11
Pu (α)	1.3E-07	4.0E-01
Am / Cm (α)	6.2E-05	0.0E+00
U (α)	5.0E-06	3.3E-10
Np (α)	1.7E-06	0.0E+00
合計	6.8E-05	4.0E-01

2. TBP等の錯体の急激な分解反応の事象発生シナリオ及び対策

2. 1 概要

TBP等の錯体の急激な分解反応については、事象発生に至るシナリオを網羅的に確認した結果、プルトニウム溶液を連続供給しながら過濃縮が発生するシナリオとした。

2. 2 事象発生シナリオ

事象発生シナリオについて、プルトニウム濃縮缶の運転方法を踏まえ、考え得るシナリオを検討した。

2. 2. 1 プルトニウム濃縮缶の運転方法

プルトニウム濃縮缶の運転は、立ち上げ、液位制御による硝酸プルトニウム溶液の濃縮、密度制御による濃縮運転、待機運転、停止に大別される。

立ち上げでは、プルトニウム濃縮缶に硝酸又は硝酸プルトニウム溶液を張り込み、加熱を開始する。

液位制御による硝酸プルトニウム溶液の濃縮では、プルトニウム濃縮缶内の溶液密度を所定の値まで上昇させるため、濃縮缶内の液位が一定となるよう硝酸プルトニウム溶液の供給量を制御しながら濃縮を行う。

密度制御による濃縮運転では、濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液の濃度が 250 g/L に相当する密度となるよう、プルトニウム溶液の供給流量を制御するとともに濃縮した硝酸プルトニウム溶液（以下、「プルトニウム濃縮液」と言う。）の抜き出しを実施する。液位制御による濃縮から密度制御による濃縮は、液位制御

と密度制御がともに自動制御モードであり、硝酸プルトニウム溶液の供給流量制御がカスケードモード(液位制御と密度制御の両方からの信号を受け付け、制御を行うモード)となっている状態で自動的に切り替わる。

待機運転は、上流工程からのプルトニウム溶液の移送が遅れる等の理由により短期的に濃縮運転の継続が困難となった場合に実施し、プルトニウム濃縮缶の加熱を継続しながら硝酸プルトニウム溶液の供給は停止し、プルトニウム濃縮缶から発生する凝縮液の全量をプルトニウム濃縮缶に戻すことで、プルトニウム濃縮缶内の液位を保ちながら待機する。

工程停止は、加熱を停止するとともにプルトニウム濃縮液をプルトニウム濃縮缶から抜き出し、硝酸を張り込んで終了となる。

上記運転の概要を図-1に示す。

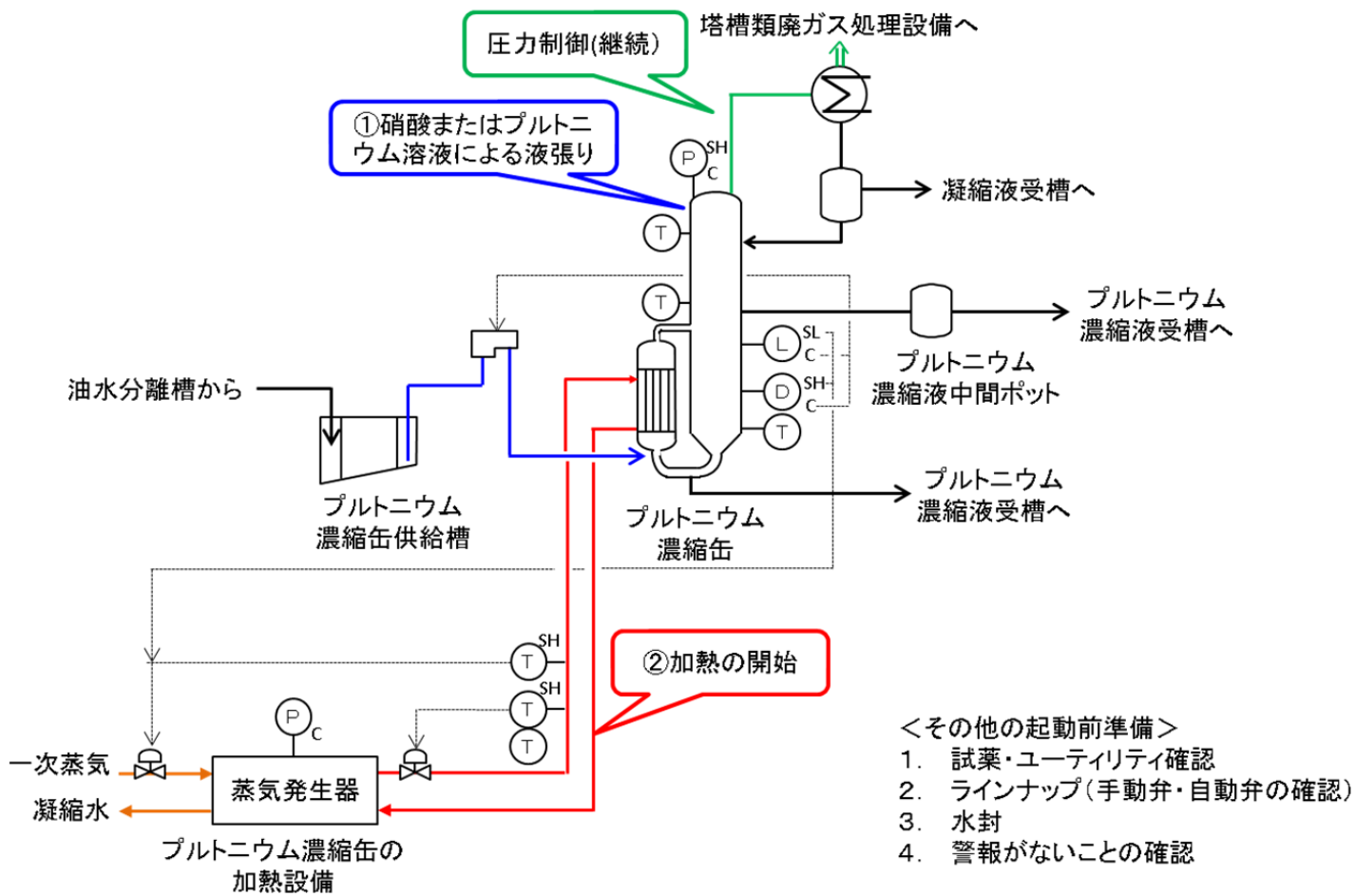


図 - 1 (1 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (立ち上げ)

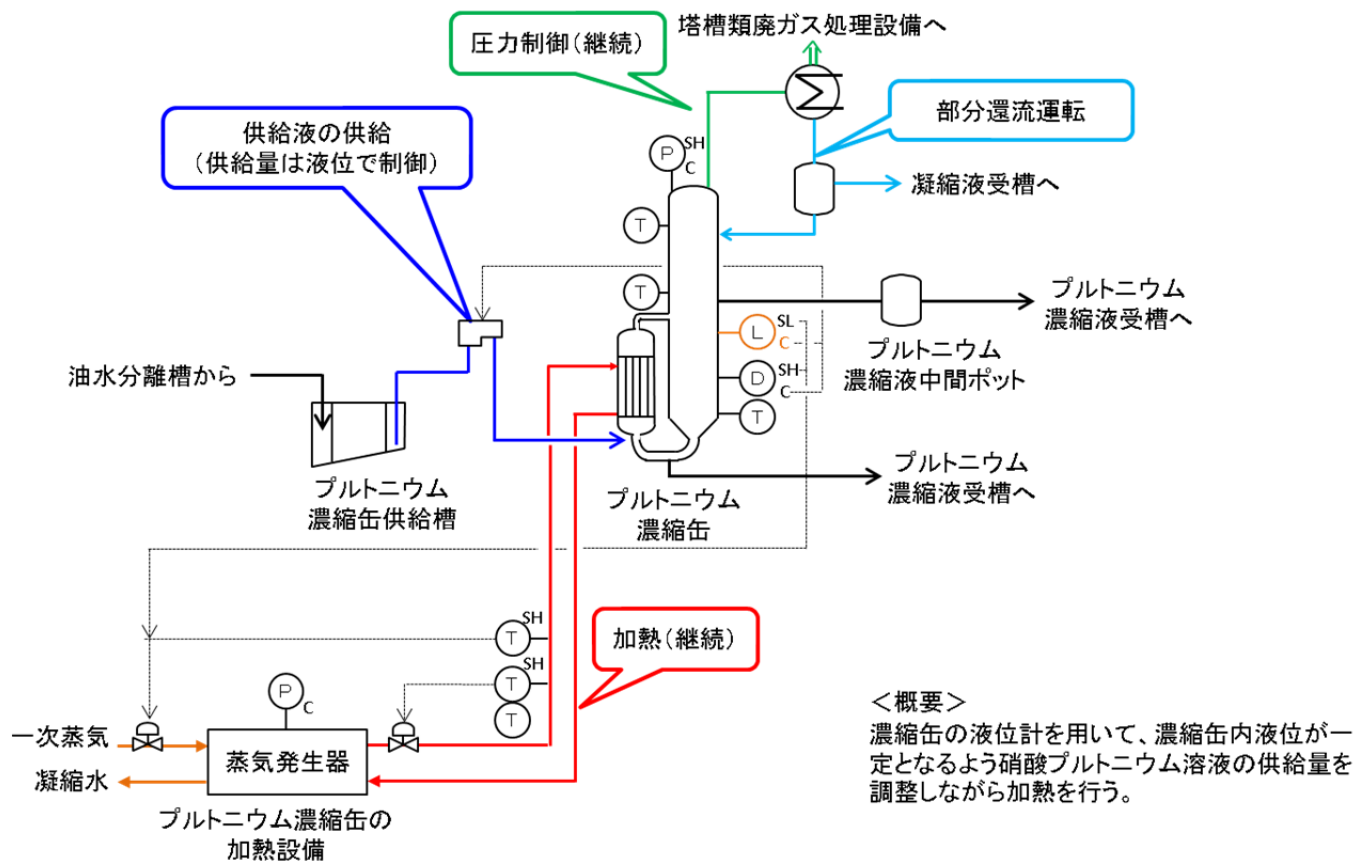


図-1 (2 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (液位制御運転)

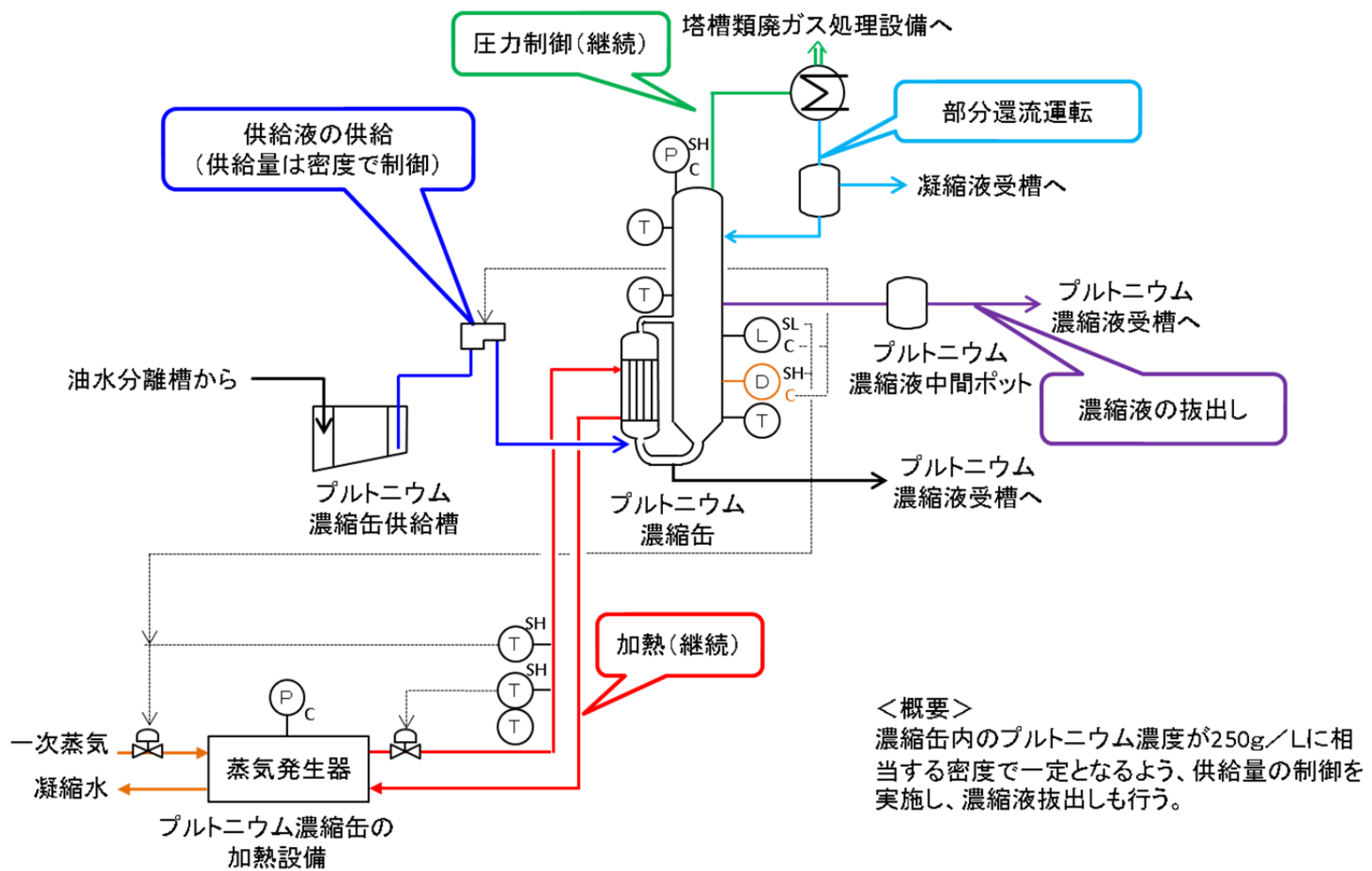


図 - 1 (3 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (密度制御運転)

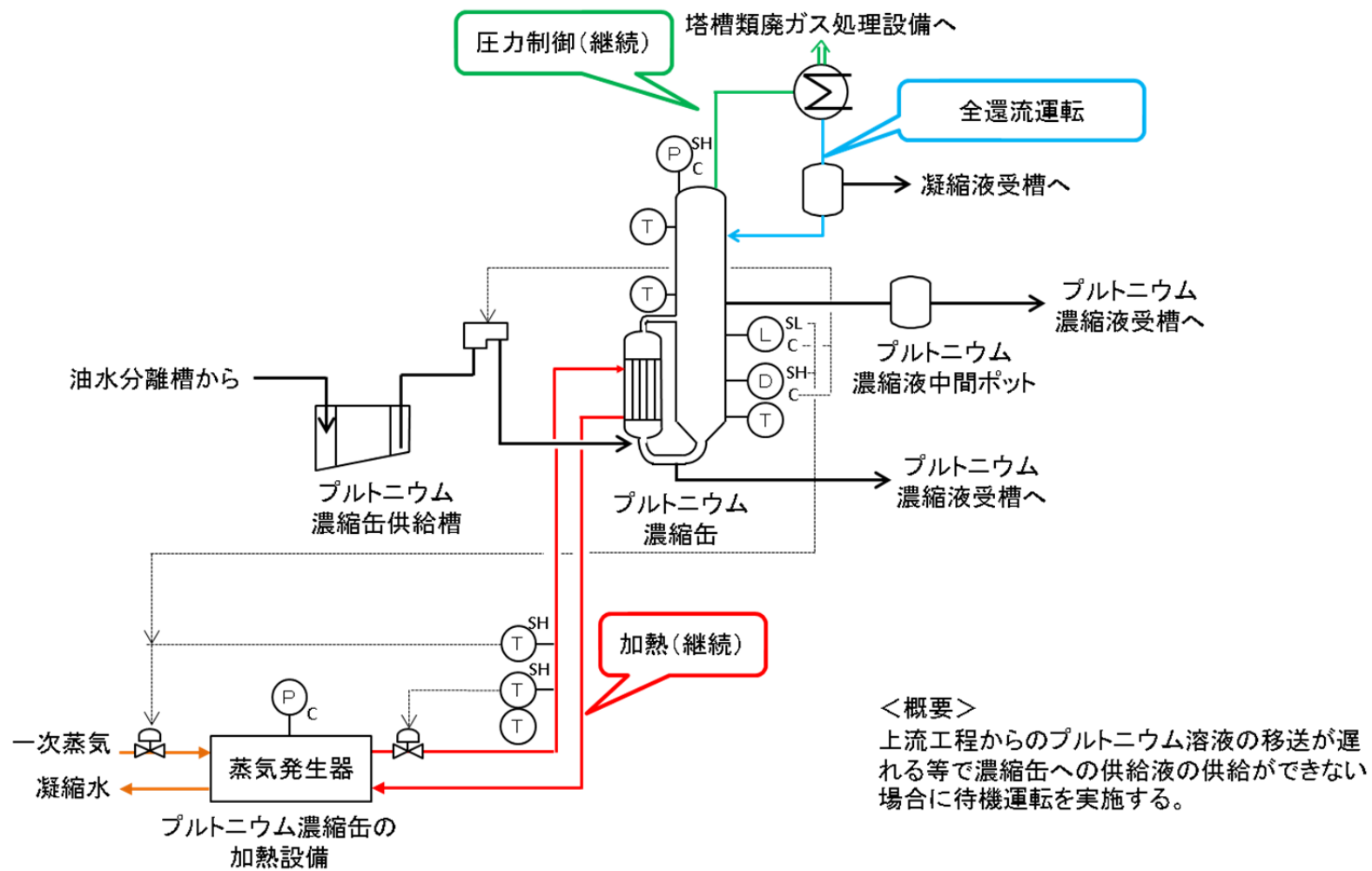


図-1 (4 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (待機運転)

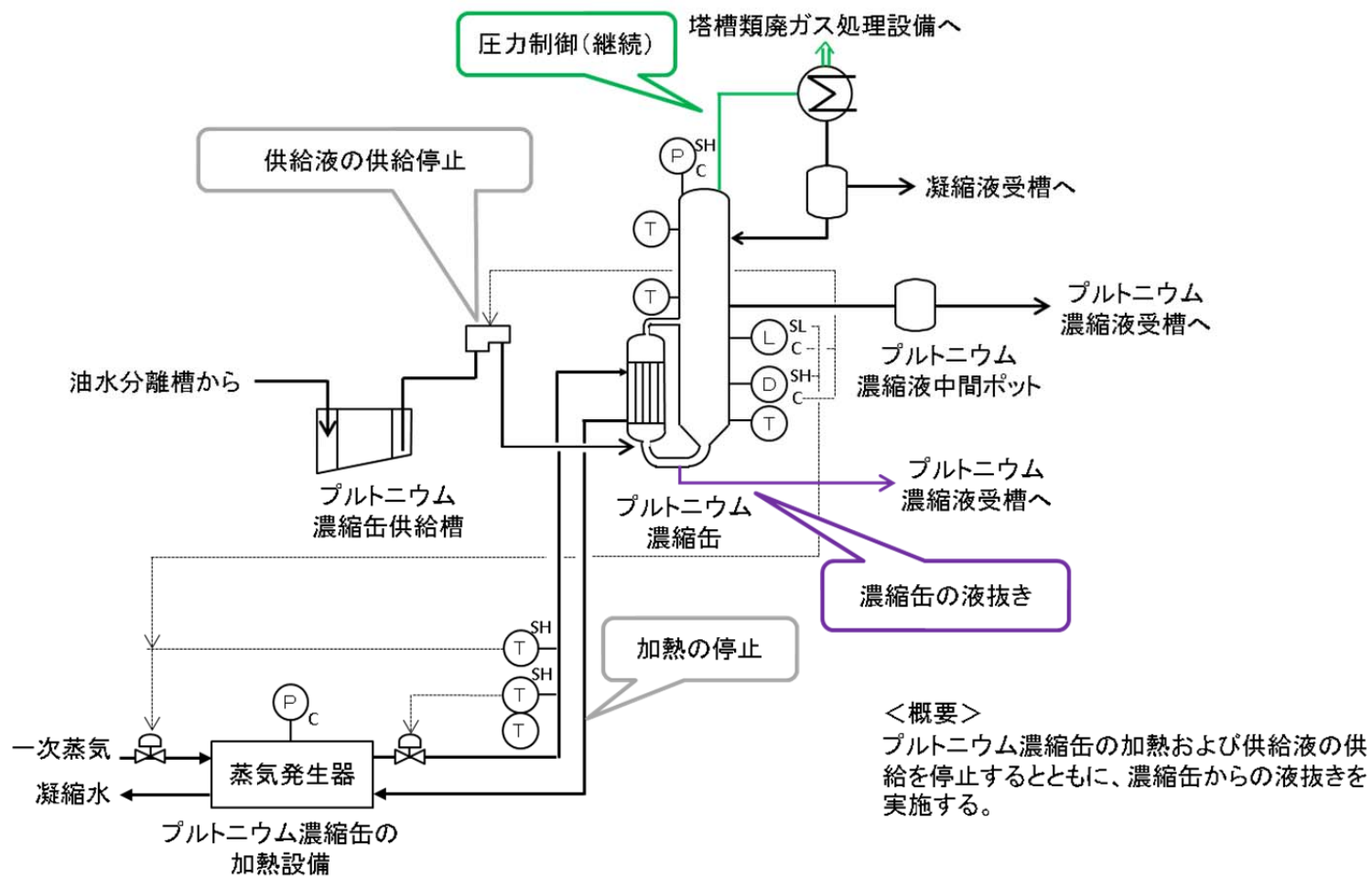


図-1 (5 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (停止)

2. 2. 2 起因の整理

プルトニウム濃縮缶での T B P 等の錯体の急激な分解反応に対して、発生防止を期待できる機能としては、以下のものがある。

図－2 に発生防止機能を図示する。

① T B P 等の濃縮缶への持ち込み防止

- ・ T B P 洗浄器における希釈剤洗浄
- ・ 貯槽の下部からの溶液の抜き出し
- ・ 下流工程への移送前における溶液の T B P 濃度の確認
- ・ 油水分離槽からプルトニウム濃縮缶供給槽への移送機器の液位低信号による移送停止

② 加熱蒸気温度の T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する温度への到達防止

- ・ 蒸気発生器における加熱蒸気の圧力（温度）制御
- ・ 加熱蒸気圧力高警報に基づく運転員による対処
- ・ 加熱蒸気温度高警報に基づく運転員による対処
- ・ 加熱蒸気の温度が更に上昇した場合に、インターロックによる蒸気発生器への一次蒸気の供給停止
- ・ 加熱蒸気の温度が更に上昇した場合に、インターロックによる濃縮缶等への加熱蒸気の供給停止
- ・ 運転員による加熱蒸気温度、加熱蒸気圧力の確認

③ 過濃縮（溶液温度の T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する温度への到達）防止

- ・ 濃縮缶の密度制御
- ・ 濃縮缶の密度が異常に上昇した場合に、警報を発するとともにインターロックにより蒸気発生器への一次蒸気の供給停止

止

- ・濃縮缶の液位が異常に低下した場合に、警報を発するとともにインターロックにより蒸気発生器への一次蒸気の供給停止
- ・運転員による定期的なログシートの採取による、濃縮缶の密度、液位、温度の確認

T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する場合の、上記の発生防止機能の喪失については、以下の考え方に基づき選定した。

- ・上記①、②及び③の機能を担う主要な機能は喪失する。また、この機能喪失による事象の進展を防止する機能は 2 つまで機能喪失を想定する。
- ・運転員による異常の検知及び対処については、期待しない。

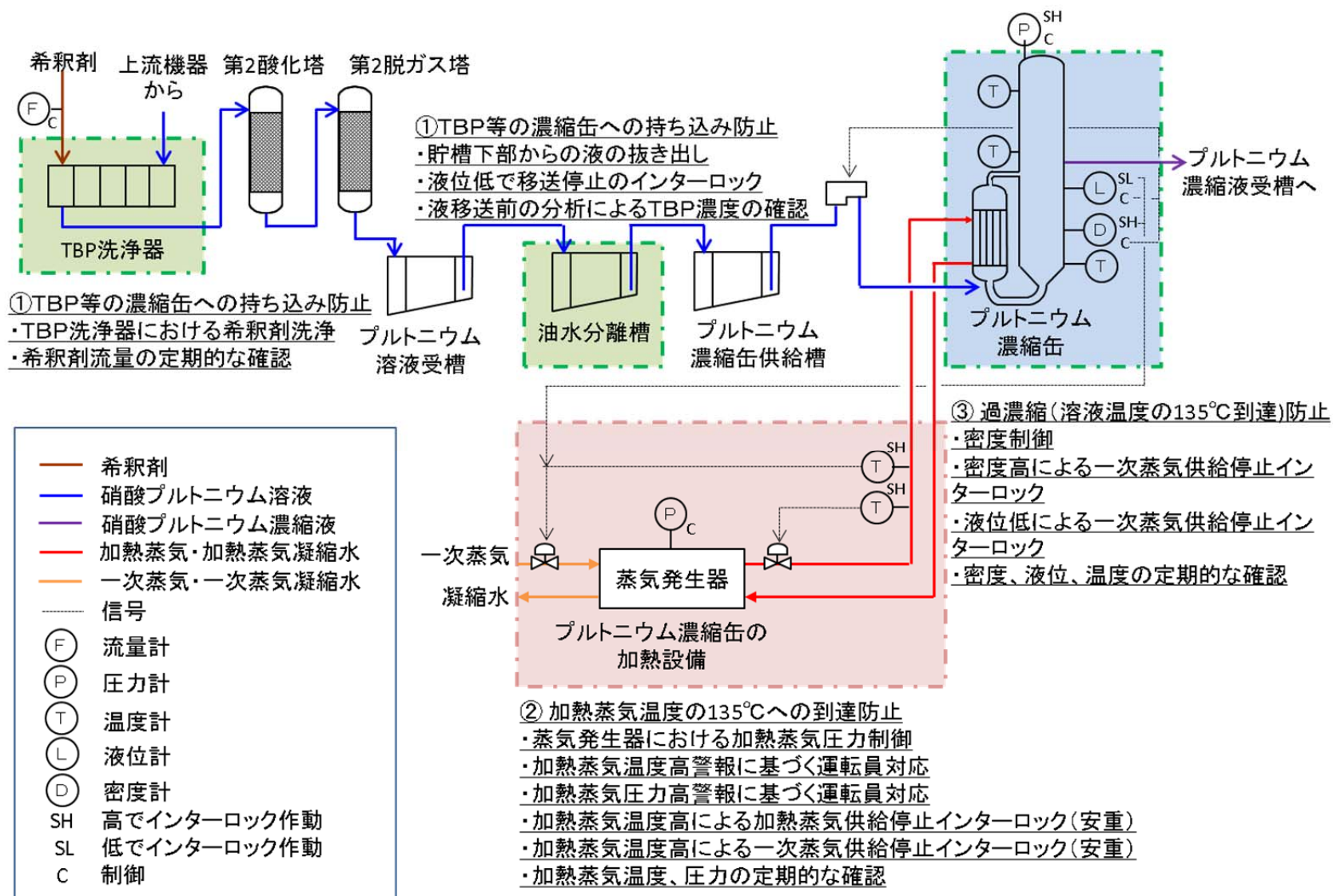


図-2 発生防止機能一覧

2. 2. 3 事象発生シナリオ

事故の起因の中で、その状態に至るまでの過程の違いにより事故の規模や対処が変わるものとして、過濃縮により T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する温度に至るまでのシナリオが挙げられる。

過濃縮はプルトニウム濃縮缶内に硝酸プルトニウム溶液があり、加熱を行っている状態でプルトニウム濃縮液の抜き出しが行われない状態でなければ発生しない。2. 2. 1 に記載したプルトニウム濃縮缶の運転方法を踏まえると、過濃縮に至るシナリオは、待機運転の実施中に凝縮液が下流工程へ流出する場合と、硝酸プルトニウム溶液の濃縮運転中に硝酸プルトニウム溶液の供給は継続するがプルトニウム濃縮液の抜き出しが行われない場合の 2 ケースのみが想定される。各ケースの詳細を以下に示す。

(1) ケース 1 : 待機運転時の過濃縮

待機運転時、プルトニウム濃縮缶の加熱により発生した蒸発蒸気は、凝縮器において凝縮させ、全量を凝縮液としてプルトニウム濃縮缶に戻すが、何らかの誤操作により一部の凝縮液が下流工程に移送される状態で待機運転が継続されることを想定する。時間の経過とともに濃縮缶内の液位が低下し、プルトニウム濃縮液の濃度が高まることで沸点が上昇し、最終的に T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超える状態に至る。

なお、プルトニウム濃縮液は、希釈剤洗浄が行われず T B P 濃度が高い状態の硝酸プルトニウム溶液を処理することでプルトニウム濃度は $250 \text{ g} / \text{L}$ 、濃縮缶内の T B P 量は 94 g となっており、加熱蒸気温度は、待機運転が開始され凝縮液の一部が下流

工程に移送される状態が始まった時点でT B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超えていると想定する。

このケースでは、異常の発生（待機運転状態で凝縮液の一部が下流工程に移送される）から事象の発生（800 g / Lへの到達）までの時間は約 29 時間となる。

ケース 1 の運転状態を図 - 3、事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態を図 - 4 に示す。

ケース 1 の場合、事象発生時にはプルトニウム溶液の供給は停止している状態であり、事象発生後の再供給は実施しない。また、T B P等の錯体の急激な分解反応により、T B P等の錯体は全てが分解されてしまうことから、事象発生後はプルトニウム濃縮缶内にはT B P等が存在しないこととなるため、T B P等の錯体の急激な分解反応は再発しない。

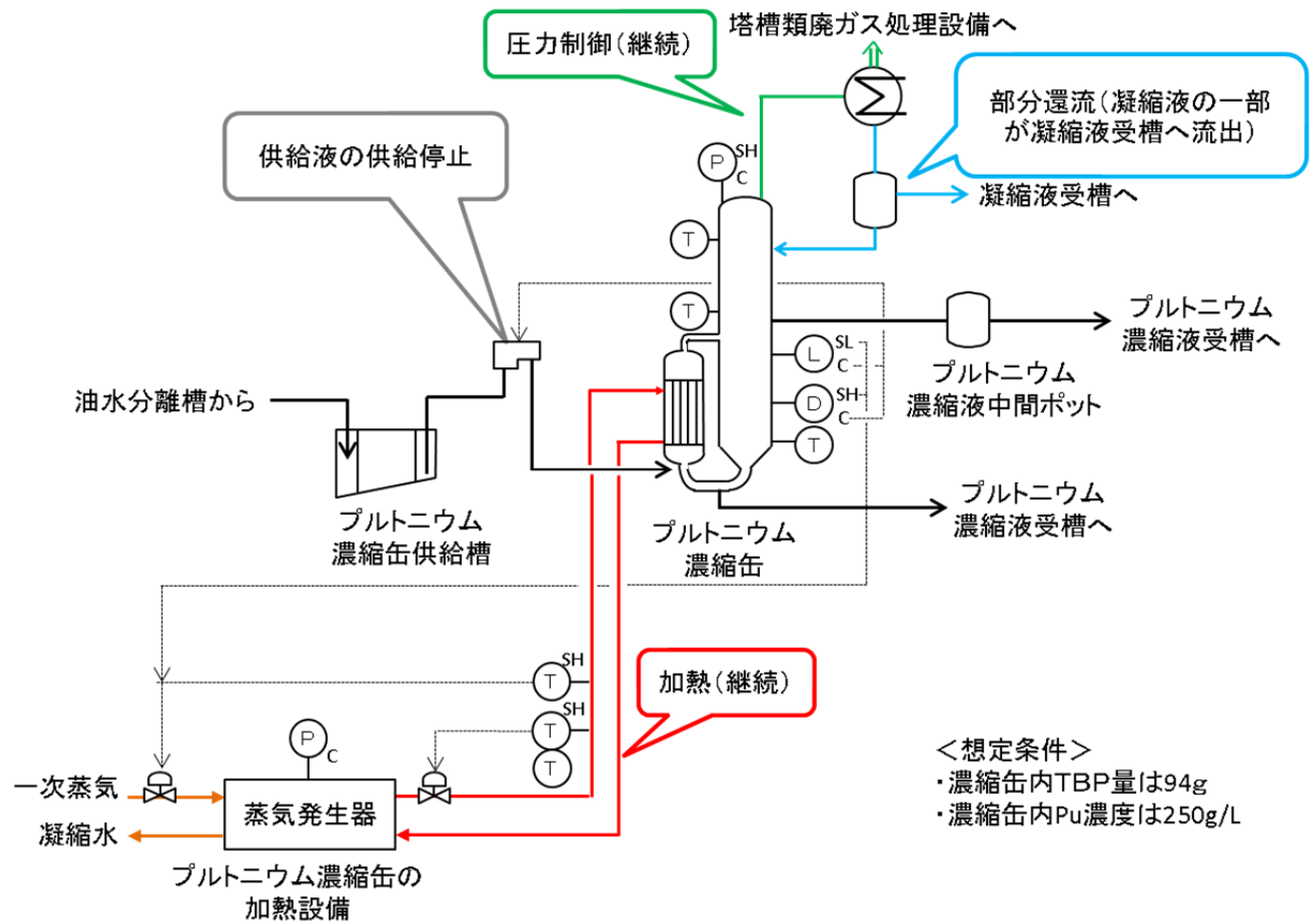


図-3 想定シナリオケース1の運転状態

TBP等の混入防止に係る機能の喪失

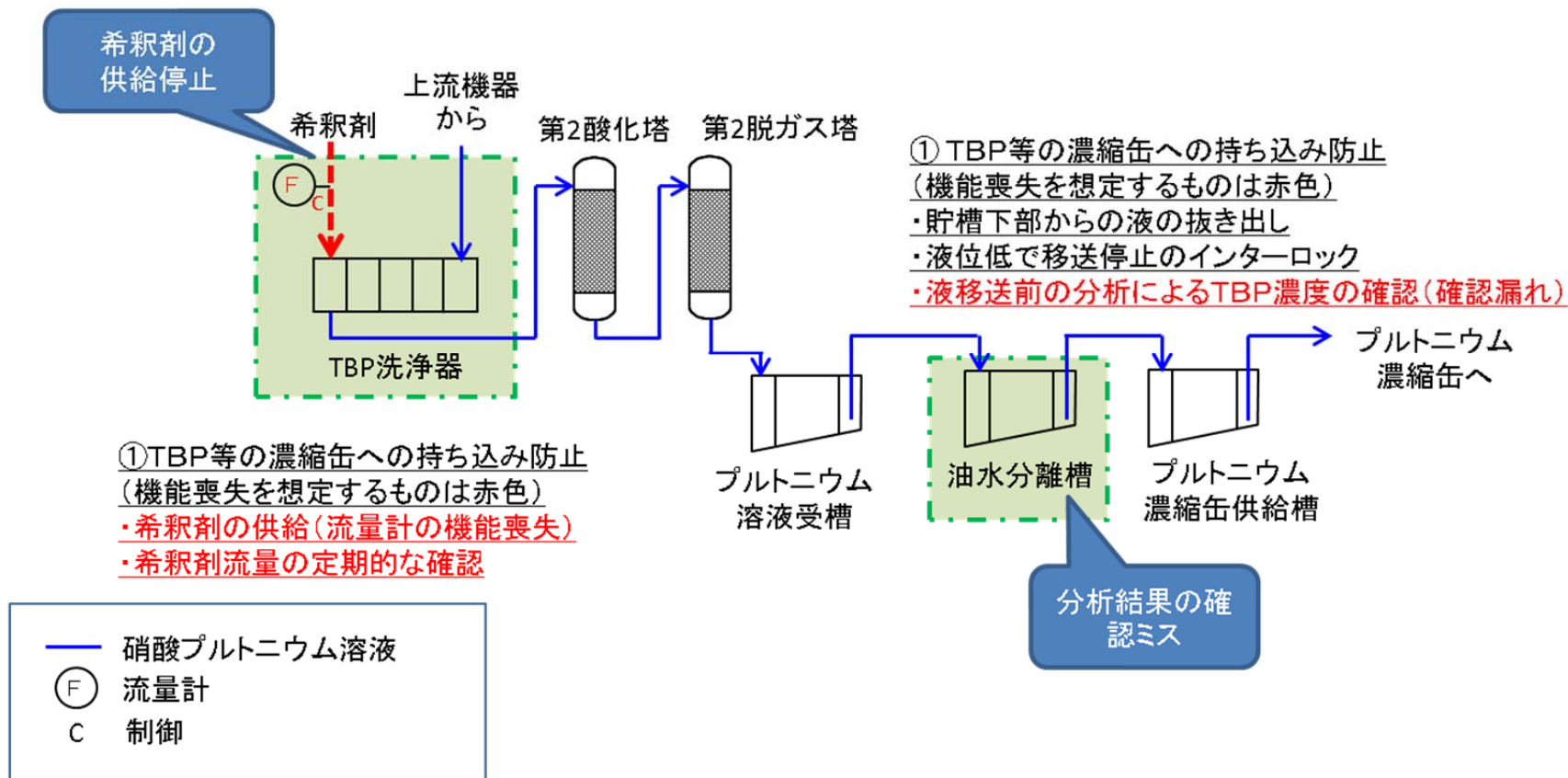
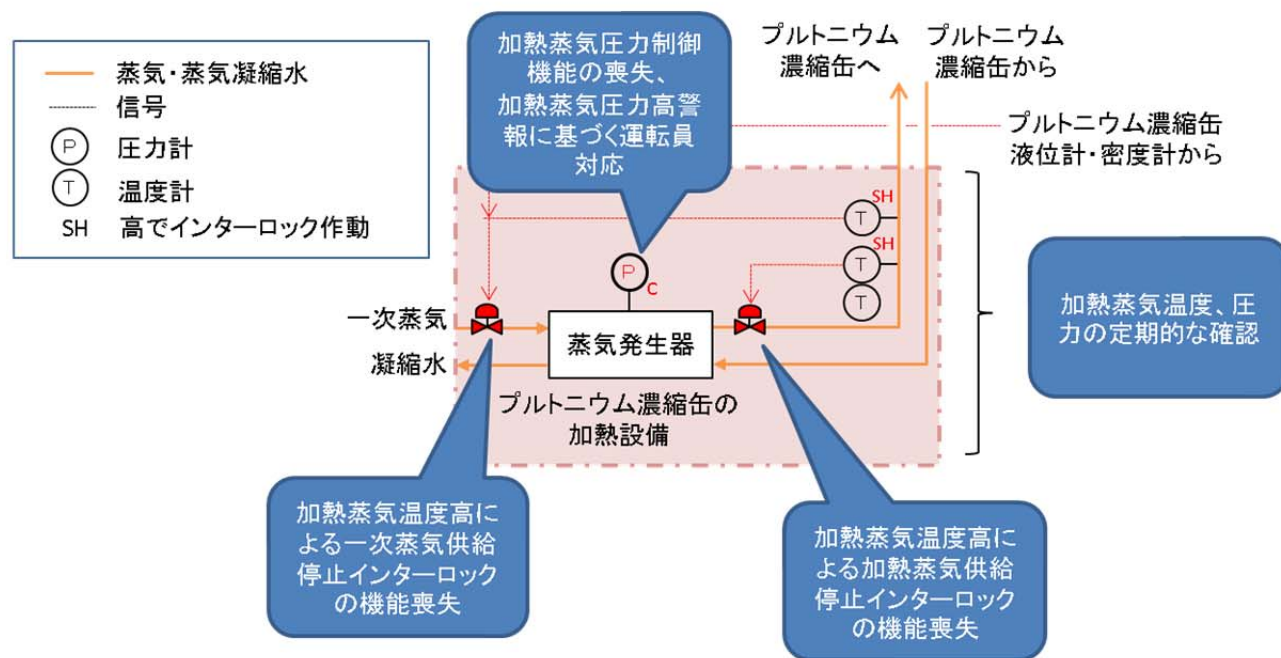


図-4 想定シナリオケース1の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態(1/3)

加熱蒸気温度の135°C到達防止に係る機能の喪失



② 加熱蒸気温度の135°C到達防止(機能喪失を想定するものは赤色)

- ・蒸気発生器における加熱蒸気圧力計による加熱蒸気圧力制御(圧力計の機能喪失)
- ・加熱蒸気温度高警報に基づく運転員の対応(運転員の認知漏れ)
- ・加熱蒸気圧力高警報に基づく運転員の対応(圧力計の機能喪失)
- ・加熱蒸気温度高による加熱蒸気供給停止インターロック(安重)(遮断弁の機能喪失)
- ・加熱蒸気温度高による一次蒸気供給停止インターロック(安重)(遮断弁の機能喪失)
- ・加熱蒸気温度、圧力の定期的な確認(運転員の認知漏れ)

図-4 想定シナリオケース1の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態(2/3)

過濃縮防止に係る機能の喪失

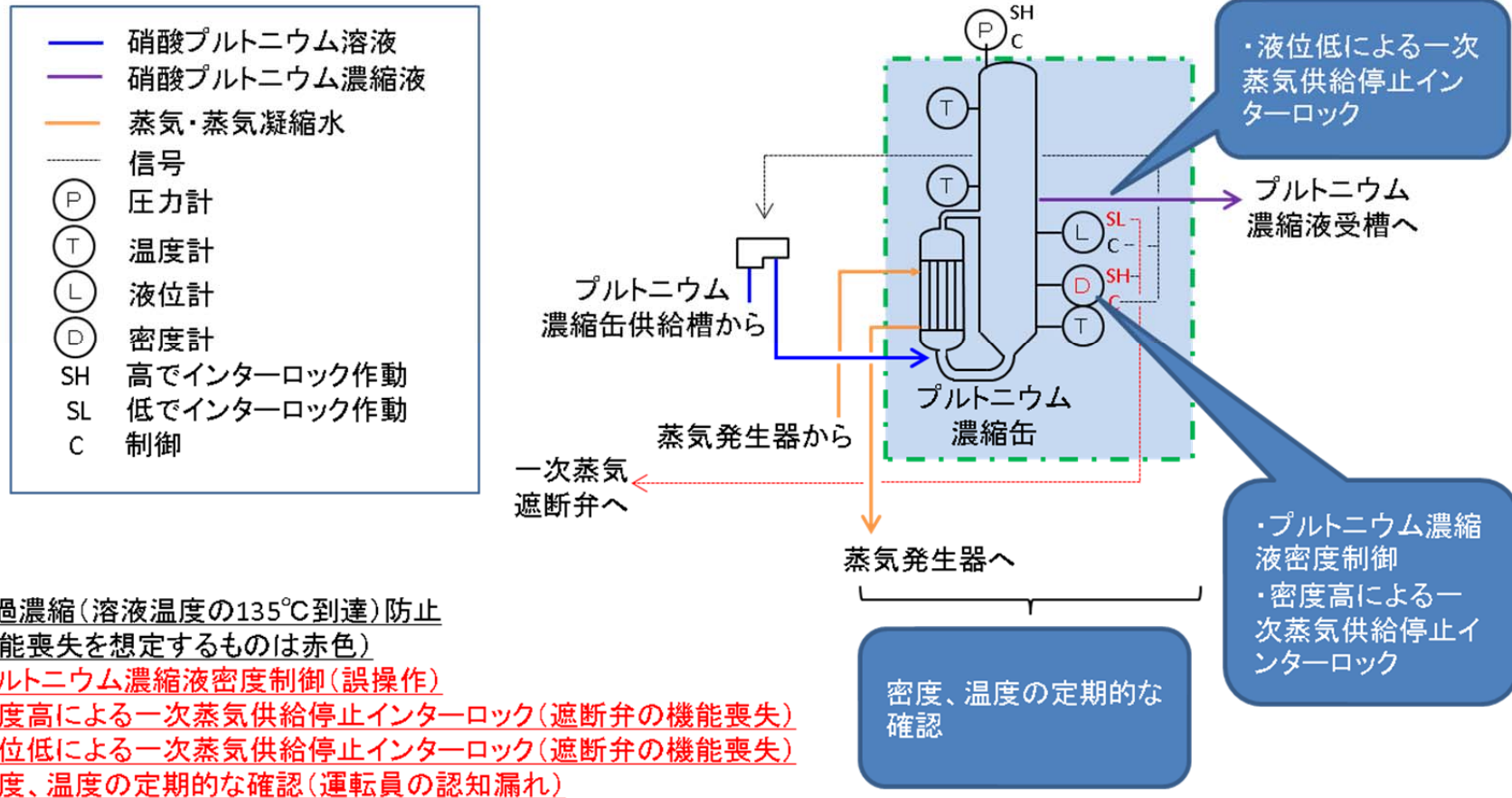


図-4 想定シナリオケース1の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態 (3 / 3)

(2) ケース2：濃縮運転中の過濃縮

液位制御による硝酸プルトニウム溶液の濃縮運転を実施しており、所定の密度に到達したことから、通常であれば自動で密度制御に切り替わるところが、液位制御の制御モードが手動制御モードとなっており、密度制御への自動切り替えが行われず、液位制御による運転が継続することを想定する。さらに、加熱蒸気についても、この異常の発生と同時に圧力制御機能が喪失し、温度が上昇すると想定する。この状態では、硝酸プルトニウム溶液の供給は継続されるがプルトニウム濃縮液の抜き出しは行われないため、過濃縮が進むと想定する。プルトニウム濃縮液の密度の上昇が継続し、沸点がTBP等の錯体の急激な分解反応が発生する温度に相当する 800 g / L に到達した時点で事象が発生する。

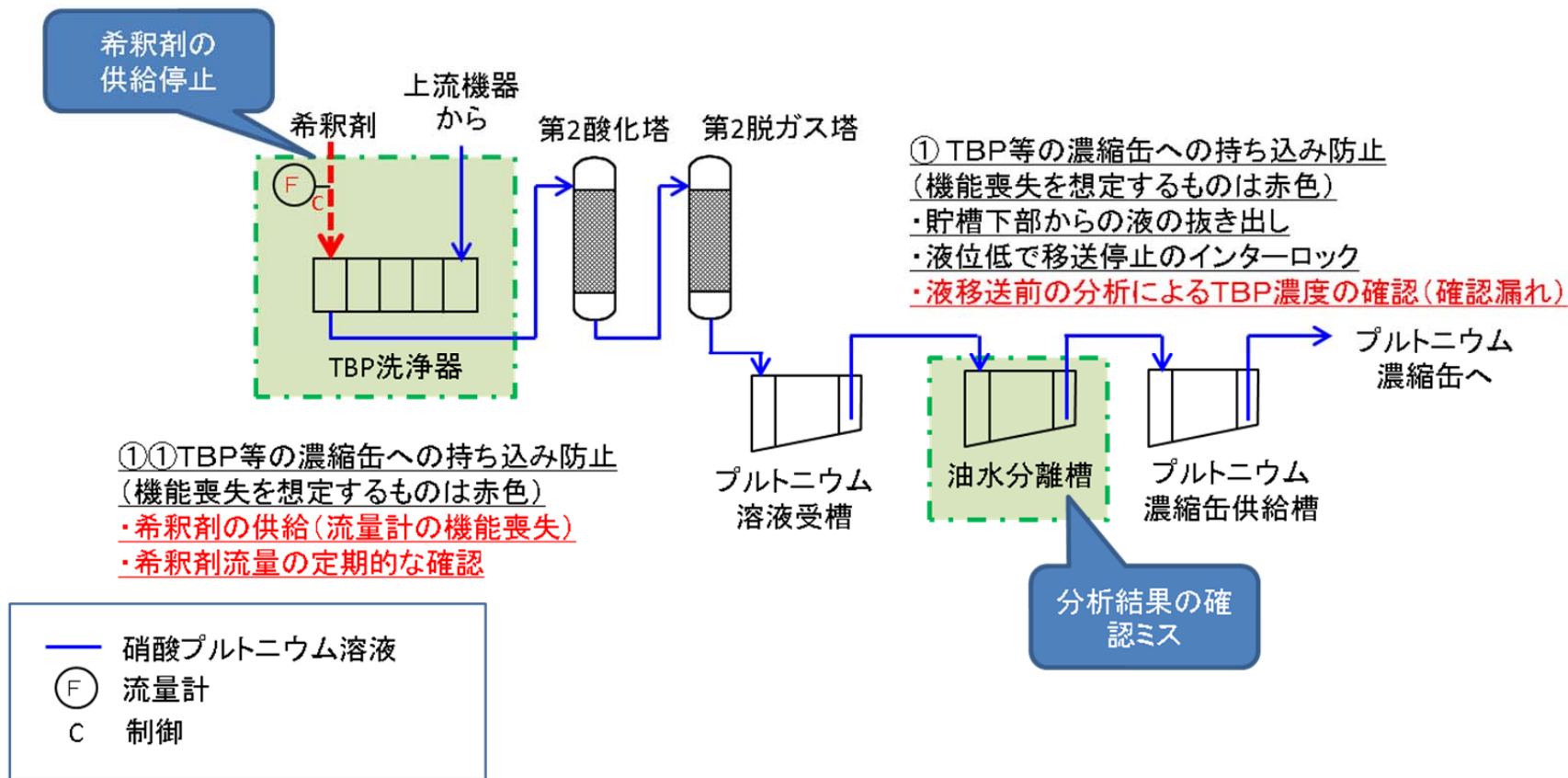
このケースでは、異常の発生（密度制御機能の自動切り替えの未実施及び加熱蒸気温度の上昇）から事象の発生（ 800 g / L への到達）までの時間は、硝酸プルトニウム溶液の供給流量（ $\blacksquare \text{ L / h}$ ）と供給する硝酸プルトニウム溶液のプルトニウム濃度（ 24 g / L ）から、約 \blacksquare 時間となる。

ケース2の運転状態を図-5、事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態を図-6に示す。

ケース2の場合、事象発生時にはプルトニウム溶液の供給が継続しており、事象の継続（再発）が想定される。

\blacksquare について商業機密の観点から公開できません。

TBP等の混入防止に係る機能の喪失



図－6 想定シナリオケース2の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態（1 / 3）

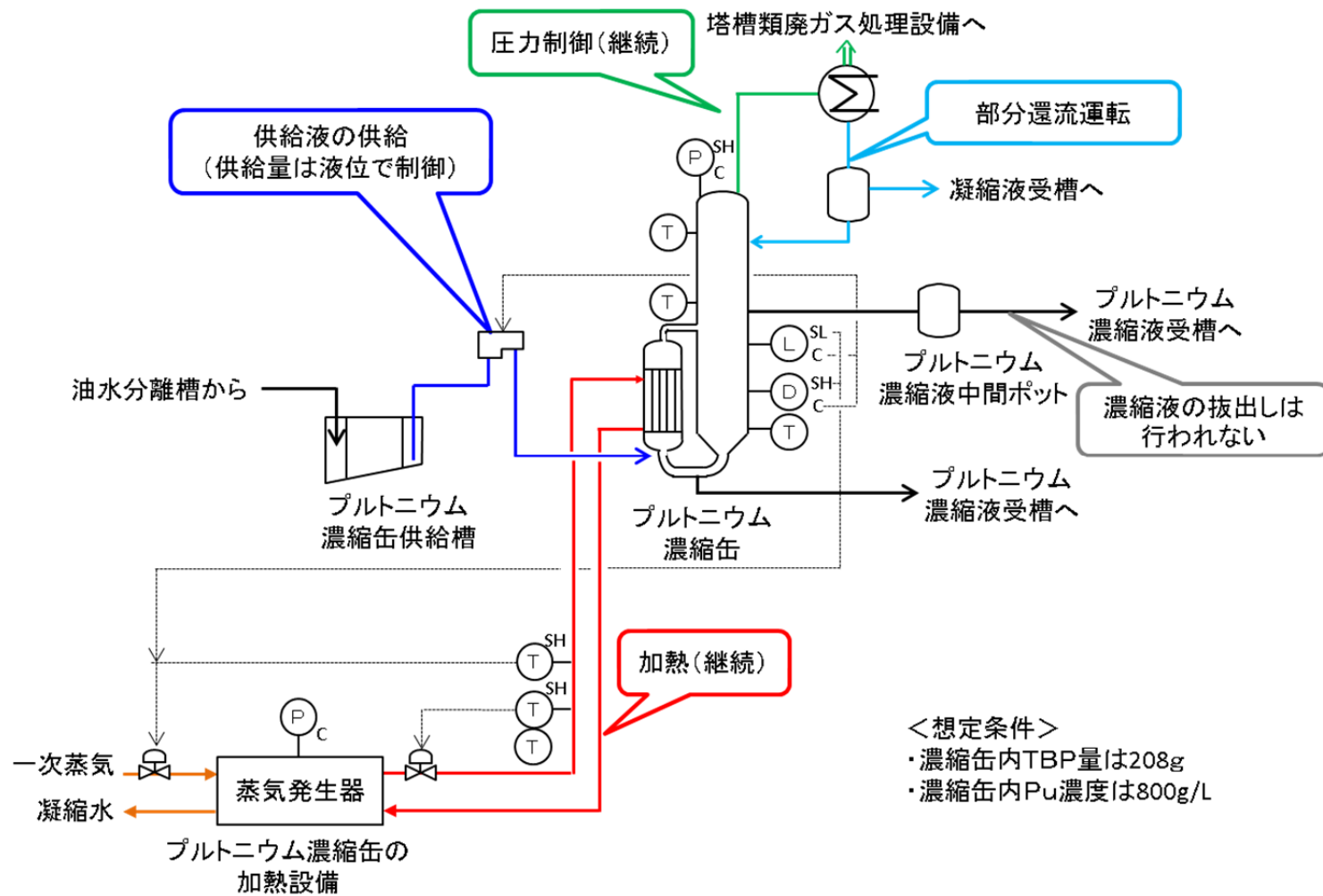
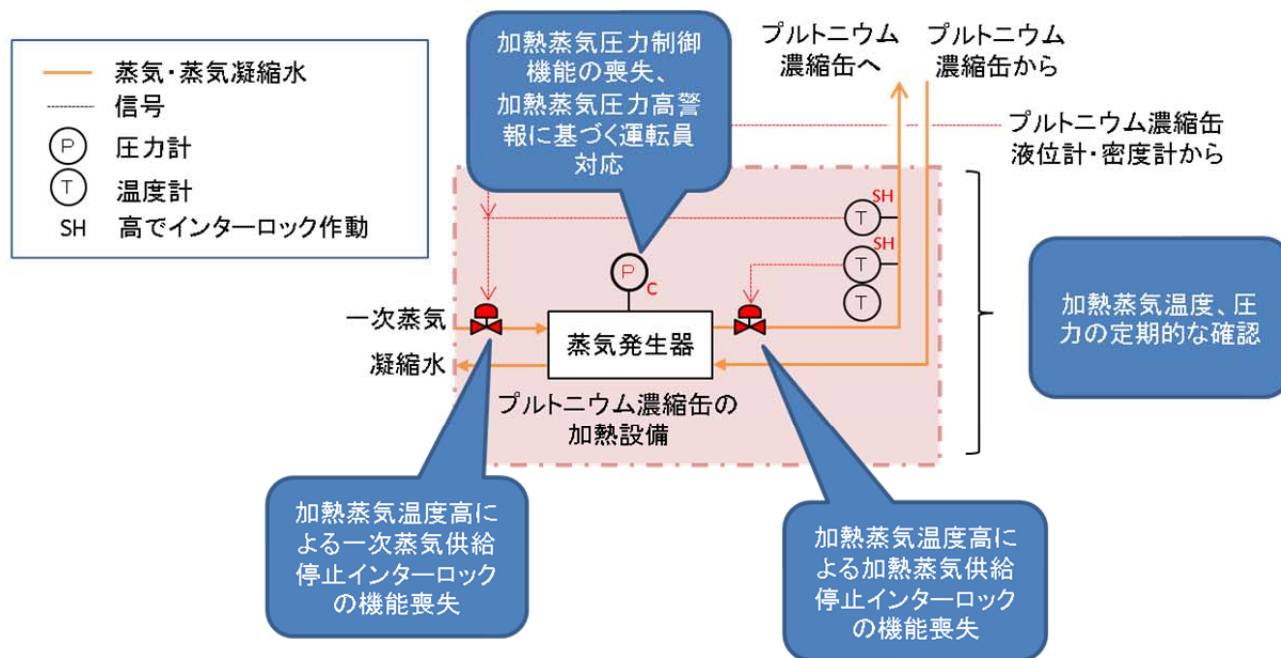


図-5 想定シナリオケース2の運転状態

加熱蒸気温度の135°C到達防止に係る機能の喪失

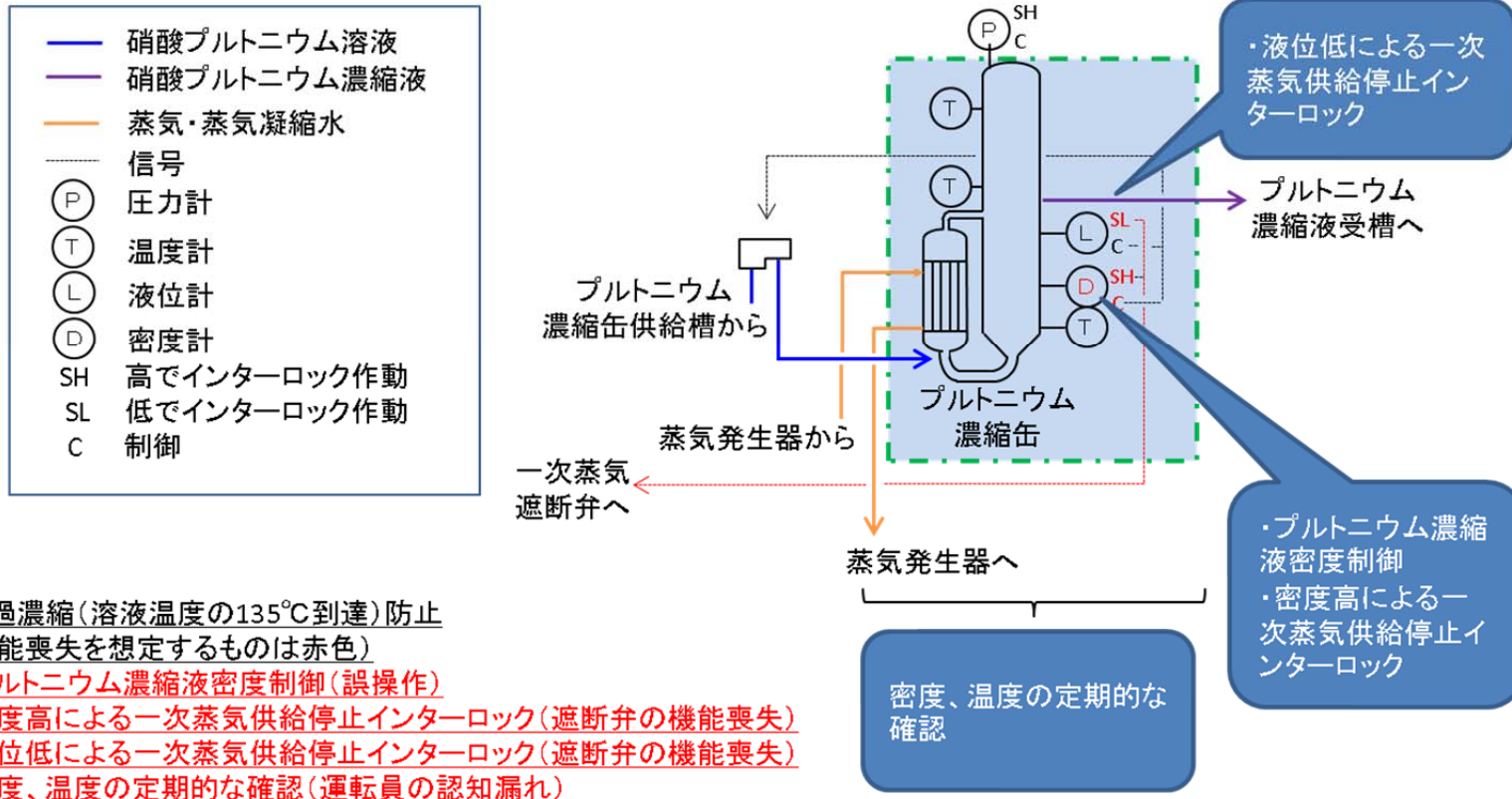


② 加熱蒸気温度の135°C到達防止(機能喪失を想定するものは赤色)

- ・蒸気発生器における加熱蒸気圧力計による加熱蒸気圧力制御(圧力計の機能喪失)
- ・加熱蒸気温度高警報に基づく運転員の対応(運転員の認知漏れ)
- ・加熱蒸気圧力高警報に基づく運転員の対応(圧力計の機能喪失)
- ・加熱蒸気温度高による加熱蒸気供給停止インターロック(安重)(遮断弁の機能喪失)
- ・加熱蒸気温度高による一次蒸気供給停止インターロック(安重)(遮断弁の機能喪失)
- ・加熱蒸気温度、圧力の定期的な確認(運転員の認知漏れ)

図－6 想定シナリオケース2の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態(2/3)

過濃縮防止に係る機能の喪失



図－6 想定シナリオケース2の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態 (3 / 3)

ケース 1 とケース 2 について、事象発生までの時間、事象の大きさ、再発の可能性等について比較を行った。結果を表 3 に示す。

比較の結果、以下の観点からケース 2 を対象とする。

- ・ケース 2 は、反応する T B P 等の量及び放出放射エネルギーが多い
- ・ケース 2 は、事象発生時にもプルトニウム溶液をプルトニウム濃縮缶へ供給しており事象が再発（継続）する可能性があるため、拡大防止対策として実施すべき事項がケース 1 よりも多く、ケース 2 の拡大防止対策を行うことでケース 1 においても拡大防止が可能

表－２：ケース１とケース２の比較（１／３）

項目	ケース１	ケース２
事象発生までの時間	異常の発生（待機運転状態で凝縮液の一部が下流工程に移送される）から事象の発生（800 g / L への到達）までの時間は約 29 時間となる。	異常の発生（液位制御から密度制御へ切り替わるべき状態で液位制御が継続）から事象の発生（800 g / L への到達）までの時間は約 ■■■ 時間となる。
反応に使われる T B P 量	反応に使われる T B P 等の錯体量（T B P 等の量）は、約 24 g / L のプルトリウム溶液を 250 g / L に濃縮するために必要なプルトリウム溶液量に相当する量（94 g）	反応に使われる T B P 等の錯体量（T B P 等の量）は、250 g / L のプルトリウム濃縮液を、約 24 g / L のプルトリウム溶液を用いて 800 g / L に濃縮するために必要な硝酸プルトリウム溶液量に相当する量（約 208 g）
事象の大きさ（圧力、温度、放出放射エネルギー）	濃縮缶の健全性は保たれ、V O G の高性能粒子フィルタの健全性も維持できる。放出放射エネルギーは現状と同じ。	濃縮缶の健全性は保たれ、V O G の高性能粒子フィルタの健全性も維持できる。放出放射エネルギーは、T B P 等の量が増えるため A R F が上昇することから増加する。

■■■ について商業機密の観点から公開できません。

表－２：ケース１とケース２の比較（２／３）

項目	ケース１	ケース２
再発の可能性	<p>事象発生時にはプルトニウム溶液の供給は停止している状態であり、事象発生後の再供給は実施しない。また、T B P等の錯体の急激な分解反応により、T B P等の錯体は全てが分解されてしまうことから、事象発生後はプルトニウム濃縮缶内にはT B P等が存在しないこととなるため、再発しない。</p>	<p>事象発生時にもT B P濃度が高いプルトニウム溶液をプルトニウム濃縮缶へ供給しており、缶内が高温、高硝酸濃度であることを踏まえると、供給したプルトニウム溶液に含まれるT B P等が、プルトニウム濃縮缶に供給した瞬間に分解反応を起こす可能性が否定できないため、再発（事象の継続）を想定する。</p>
拡大防止対策	<p>拡大防止対策は、プルトニウム溶液の供給が停止していることから、拡大防止対策は不要。</p>	<p>拡大防止対策は、プルトニウム溶液の供給の停止及び加熱の停止が必要。</p>

表－２：ケース１とケース２の比較（３／３）

項目	ケース１	ケース２
異常な水準の放出防止対策	<p>１回の反応による放射性物質の放出を考慮する。再発しないため、再発を考慮した対策は不要。</p>	<p>プルトニウム溶液の供給を止めるまでは放射性物質の放出が継続する可能性があるため、プルトニウム溶液の供給停止までを考慮した対策（再発を考慮した対策）が必要。</p>
対策に対する時間余裕	<p>拡大防止対策については、事象の再発がないことから、時間制限はない。</p>	<p>事象が再発（継続）していることから、拡大防止対策は速やかに実施する必要がある。</p>

2.3 事象発生シナリオとしてケース2を使用することについて

2.3.1 TBP等の錯体の急激な分解反応を起こすTBP等の量

プルトニウム濃縮缶に供給されるTBP等の量は、TBP等の濃度の高いプルトニウム溶液を供給しながら過濃縮に至ることから、約208gとなる。

TBP等の量がケース1と比べて増加することにより、TBP等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の放射性物質の気相への移行割合（ARF）が増大し、放出放射エネルギーが増大する。また、プルトニウム濃縮缶内のプルトニウム量が従来の評価よりも増えるため、MARも増大する。TBP等の錯体の急激な分解反応によるプルトニウム濃縮缶から精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）（以下、「VOG」と言う。）の高性能粒子フィルタまでの経路の温度及び圧力の上昇、濃縮缶の健全性、VOGの高性能粒子フィルタの健全性に関する評価も変更になる。それぞれの影響は以下のとおり。

①放出放射エネルギー

放出放射エネルギーについては、TBP等の錯体の急激な分解反応に使われるTBP量が増加することに伴いARFが約2倍、プルトニウム濃縮缶に供給される硝酸プルトニウム溶液の液量が増えることからMARが3.2倍となり、 5.1×10^{-4} TBq（従来の放出放射エネルギーは 8.2×10^{-5} TBq）となる。また、被ばく線量については、 4.0×10^{-1} μ Svとなる。

②プルトニウム濃縮缶からVOGの高性能粒子フィルタまでの

温度、圧力及び濃縮缶

T B P 等の錯体の急激な分解反応を起こす T B P 等の量が増えているため、それぞれの温度、圧力も上昇する。

T B P 等の量を 240 g とした場合の F l u e n t を用いた解析では、当該濃縮缶の出口における圧力は約 840 k P a となり、この圧力においてもプルトニウム濃縮缶の健全性は維持されると評価している。V O G の高性能粒子フィルタについても、最大差圧が約 3.6 k P a 、温度は約 44℃ となり、健全性が確認されている 9.3 k P a 及び 200℃ を下回るため、健全性は確保できる。

2. 4. 2 事故対策

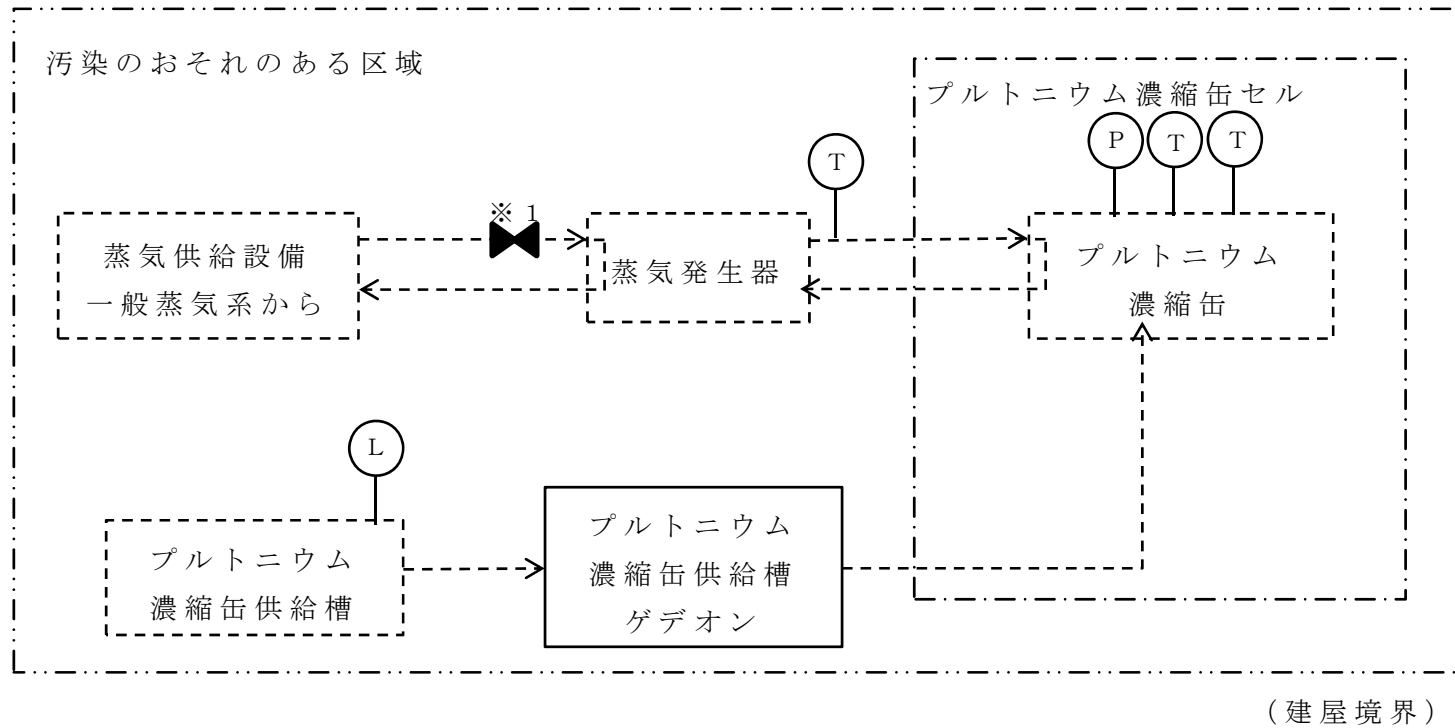
(1) 拡大防止対策

ケース 2 の事象の特徴として、事象発生後もプルトニウム濃縮缶へのプルトニウム溶液の供給が継続している。このプルトニウム溶液は T B P 等を含んでいることから、プルトニウム濃縮缶への供給が継続する間は、規模は小さいが、T B P 等の錯体の急激な分解反応が継続的に発生する可能性がある。このため、対策としては速やかにプルトニウム溶液の供給を停止し、事象の再発（継続）を防止する必要がある。

以上を考慮し、プルトニウム溶液の濃縮缶への供給はインターロックによる自動停止を実施する。蒸気発生器への一次蒸気の供給停止は、運転員が手動弁を操作することにより実施する。インターロックによる供給停止操作は、既存のインターロックの作動時間を踏まえると、事象発生から 30 秒程度で実施可能と考えられる。

この対策で使用するインターロックは、プルトニウム濃縮缶の気相部及び液相部の温度を測定する2つの独立した温度計を用い、T B P等の錯体の急激な分解が発生した場合の温度に相当する設定値により速やかに作動させることを検討している。

また、2.2.3で検討したケース1の場合、硝酸プルトニウム溶液の供給は行われなかったため、全てのシナリオにおいて本対策を行うことで事象の拡大が防止できる。対策の概要を図-7に示す。

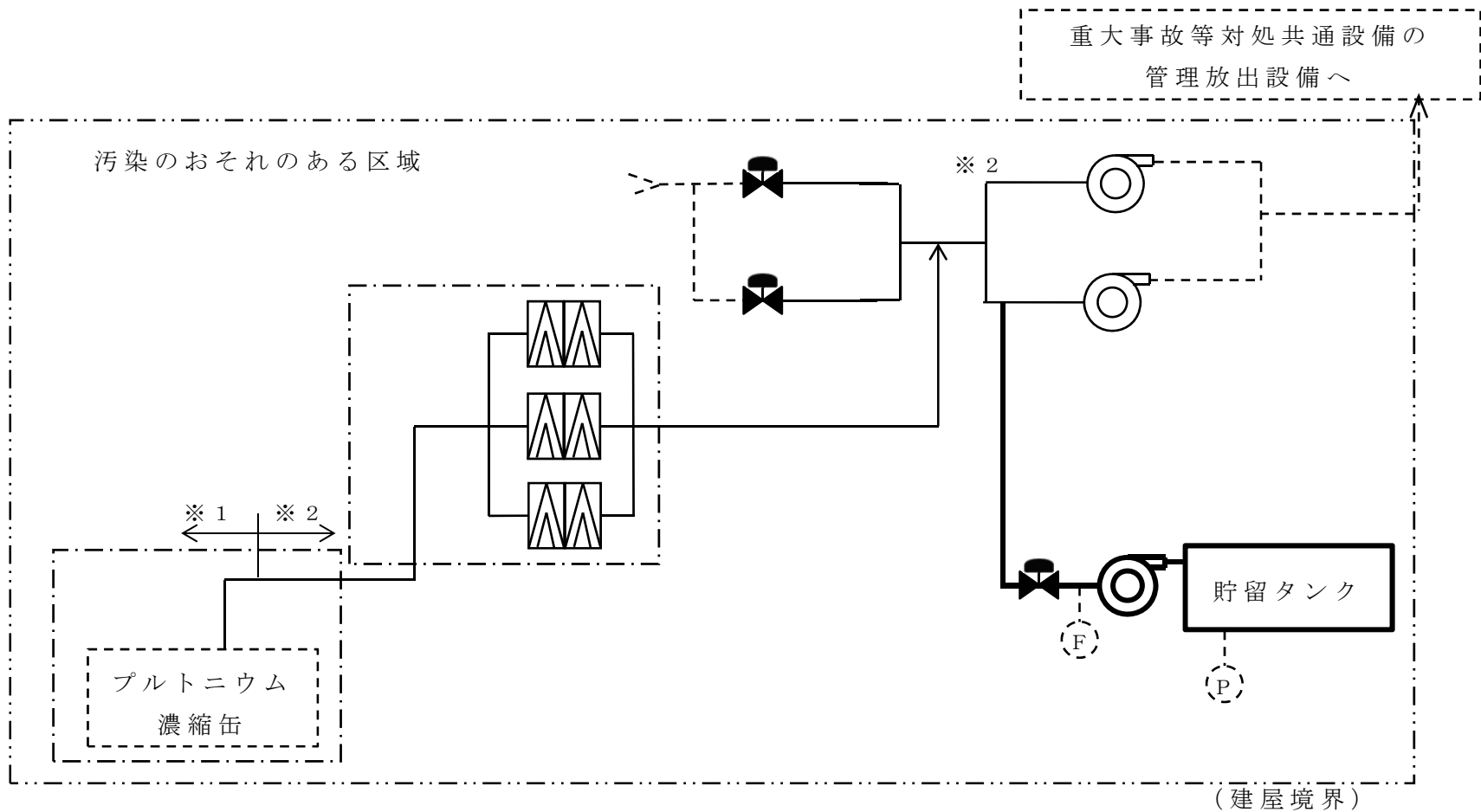


※1 精製施設のプルトニウム精製設備

図-7 見直し後の拡大防止対策の概要

(2) 異常な水準の放出防止対策

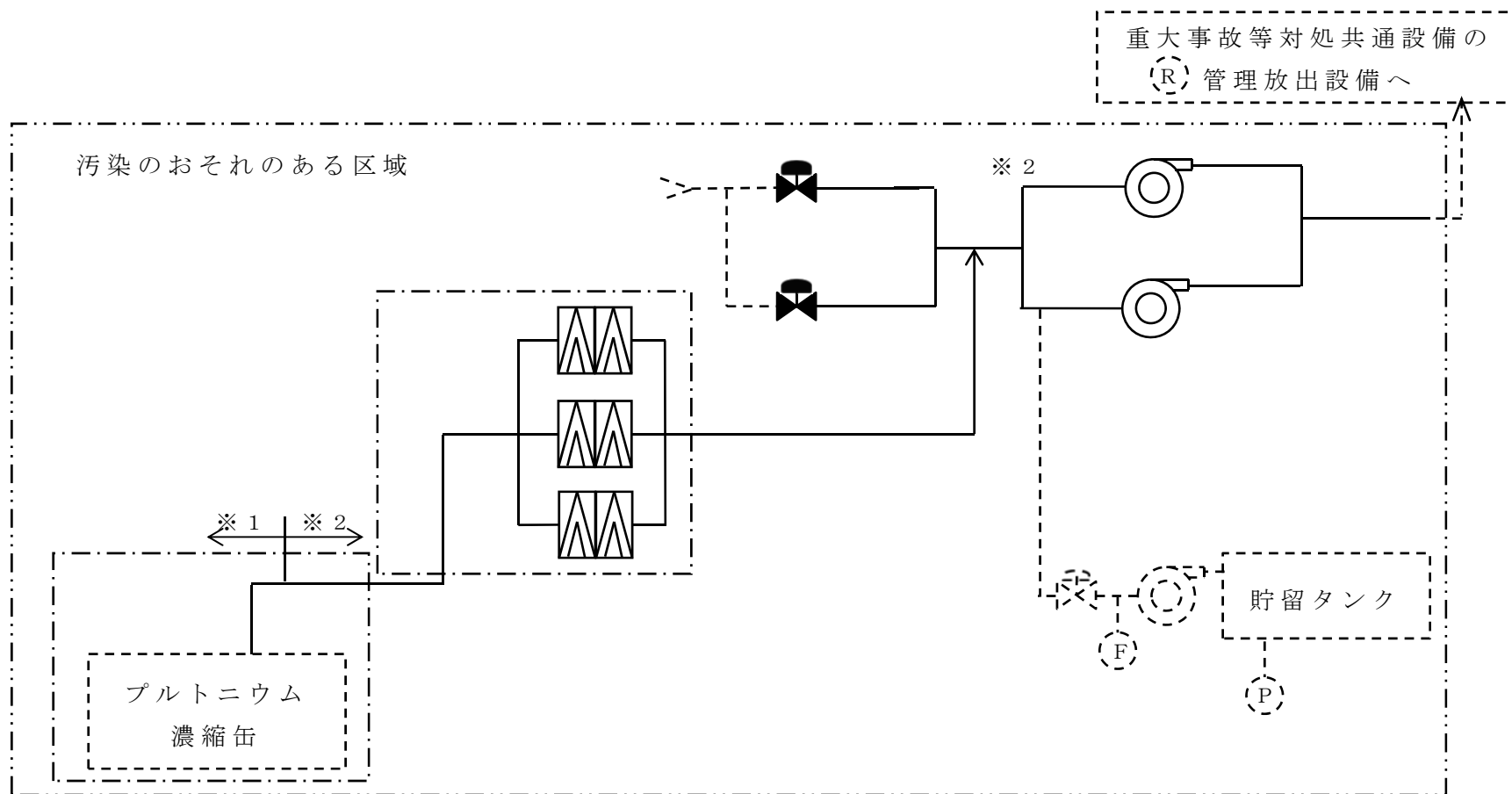
ケース2の場合、事象発生からプルトニウム溶液の供給停止までの間は分解反応が継続する可能性があるため、この期間は放射性物質の放出が継続すると想定する。万一、拡大防止対策が失敗し供給が継続する場合には、供給されるTBP等の量に応じて放出放射エネルギーが増加することになる。このような状態であっても、放出放射エネルギーを低減できるよう、本事象により気相に移行する放射性物質は、容器に一旦閉じ込め、その後、VOGの系統から放出する対策に変更する。対策の概要図を図-8に示す。



※1 精製施設のプルトニウム精製設備

※2 気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系
(プルトニウム系)

図-8 (1/2) 見直し後の異常な水準の放出防止対策の概要



(建屋境界)

- ※1 精製施設のプルトニウム精製設備
- ※2 気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系 (プルトニウム系)

図-8 (2/2) 見直し後の異常な水準の放出防止対策の概要

容器への閉じ込めはインターロックにより作動させる。この対策で使用するインターロックは、プルトニウム濃縮缶の気相部の温度を測定する2つの独立した温度計を用い、TBP等の錯体の急激な分解が発生した場合の温度に相当する設定値により作動させることを検討している。

インターロックは、事象の検知から1分以内に作動させるよう検討する。

異常な水準の放出防止対策で使用する容器閉じ込めに使用する系統、機器、プルトニウム濃縮缶の気相部温度計は、事象の発生防止機能を有しておらず、事象発生時にも機能喪失を想定していないため、対策として使用できる。

また、2.2.3で検討したケース1の場合、事象に寄与するTBP量に差はあるが、放射性エアロゾルが気相部に移行するメカニズムは同じと考えられることから、ケース1の場合でも事象の発生を検知し、容器閉じ込めを作動させることで異常な水準の放出を防止することができる。

この対策で使用する容器及び容器への導出ラインは臨界事故で準備する予定のものであるが、以下の評価により、TBP等の錯体の急激な分解反応でも使用できると判断した。
①事象により発生する放射性物質を含む廃ガスが閉じ込めの容器に到達するまでの時間

TBP等の錯体の急激な分解反応では、事象発生から約

0.3 秒で高性能粒子フィルタにて圧力上昇のピークが発生し、約 3 秒後には圧力上昇は収束する。これは、分解反応によって発生した圧力の伝播の様子を表すものであり、放射性エアロゾルの移動は、これとは別の挙動を示す。

放射性エアロゾルは、主に V O G 排風機による排気で生まれる廃ガスの流れに乗り高性能粒子フィルタ等の機器まで移動していく。この挙動は臨界、水素と同様と考えられる。

この速度は V O G 排風機の排気風量と同等と考えられ、プルトニウム濃縮缶から V O G 排風機までの距離は、約 ■■■m であるため、V O G 排風機までの到達時間は約 1 分と考えられる。

臨界における、放射性物質の V O G 排風機までの到達時間は約 1 分であり、この時間余裕の中で V O G 排風機を停止し容器への閉じ込めラインを形成するインターロックを作動させる。

T B P 等の錯体の急激な分解反応における時間余裕は臨界と同程度であるため、臨界において準備する容器閉じ込めは、時間余裕の観点では適用可能である。

②ガス発生量

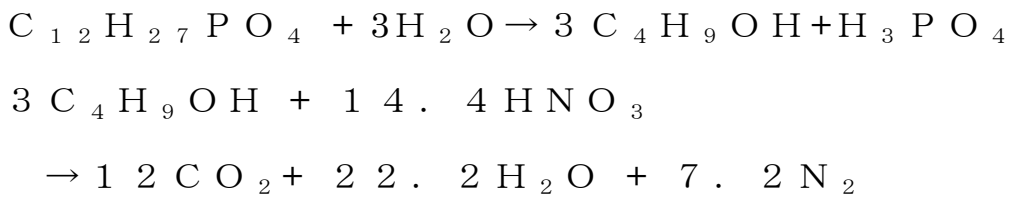
臨界では、事象発生から 1 時間は容器閉じ込めを実施する計画であり、この間に発生するガスとしては、水素掃気用圧縮空気と臨界によって発生するガス（水蒸気、放射性エアロ

■■■について商業機密の観点から公開できません。

ゾル) を考慮している。

T B P 等の錯体の急激な分解反応では、主要なガスとして酸素、窒素、水が発生する。

T B P に作用させる硝酸濃度が 14M の場合における T B P 等の錯体の分解反応について、以下の反応式がある。¹⁾



T B P 等の錯体の急激な分解反応で反応する T B P 量は約 208 g (約 0.8m o l) であり、分解ガスとしては約 43m o l が発生する。ガスの体積としては、標準状態で約 740 リットルとなる。

水素掃気用圧縮空気の発生量は同じであり、ガス量は臨界よりも少ないことから、臨界で準備する容器閉じ込めは利用可能である。

参考文献

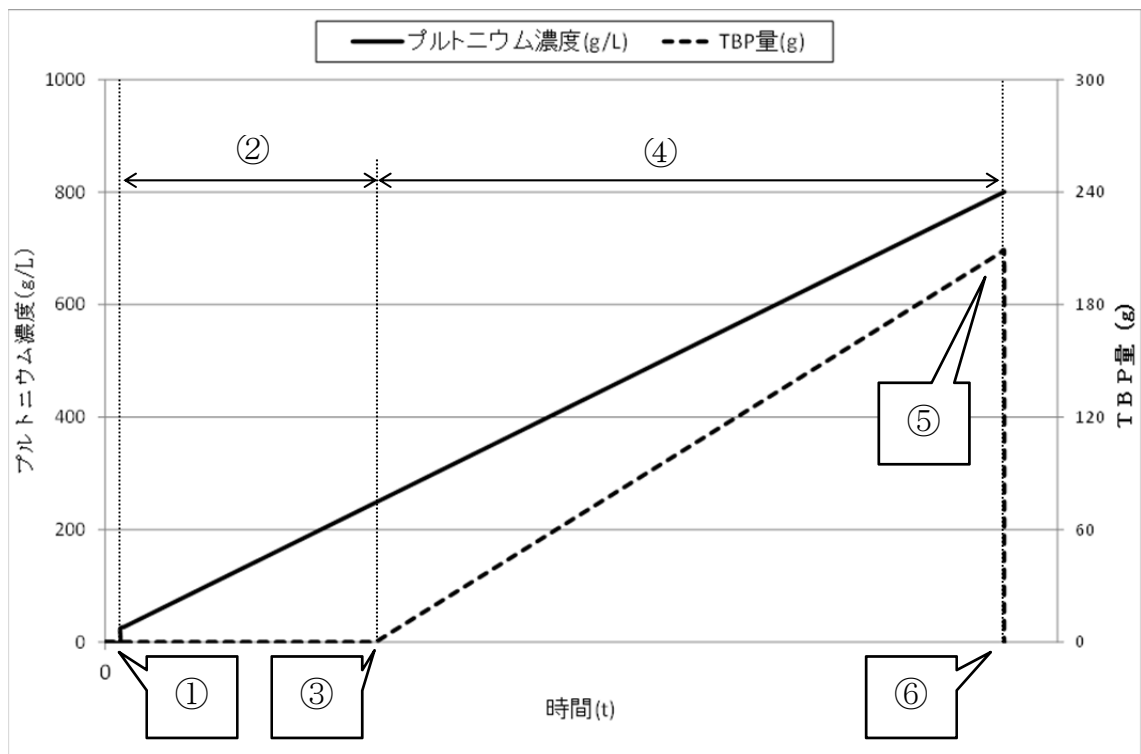
- 1) 日本原子力研究所. 再処理施設における溶媒と硝酸の熱分解反応に関する安全性実証試験(受託研究). 1995-02, JAERI-Tech 95-005.

補足説明資料 10－2

プルトニウム精製設備プルトニウム濃縮缶におけるTBP等の錯体の急激な分解反応発生時の温度・圧力等の経時変化

1. TBP等の錯体の急激な分解反応発生前の状況

TBP等の錯体の急激な分解反応の発生に至るまでの濃縮缶内の液量、Pu濃度及びTBP量のトレンドグラフのイメージ図を第1図に示す。



【運転状態及び発生を想定する異常】

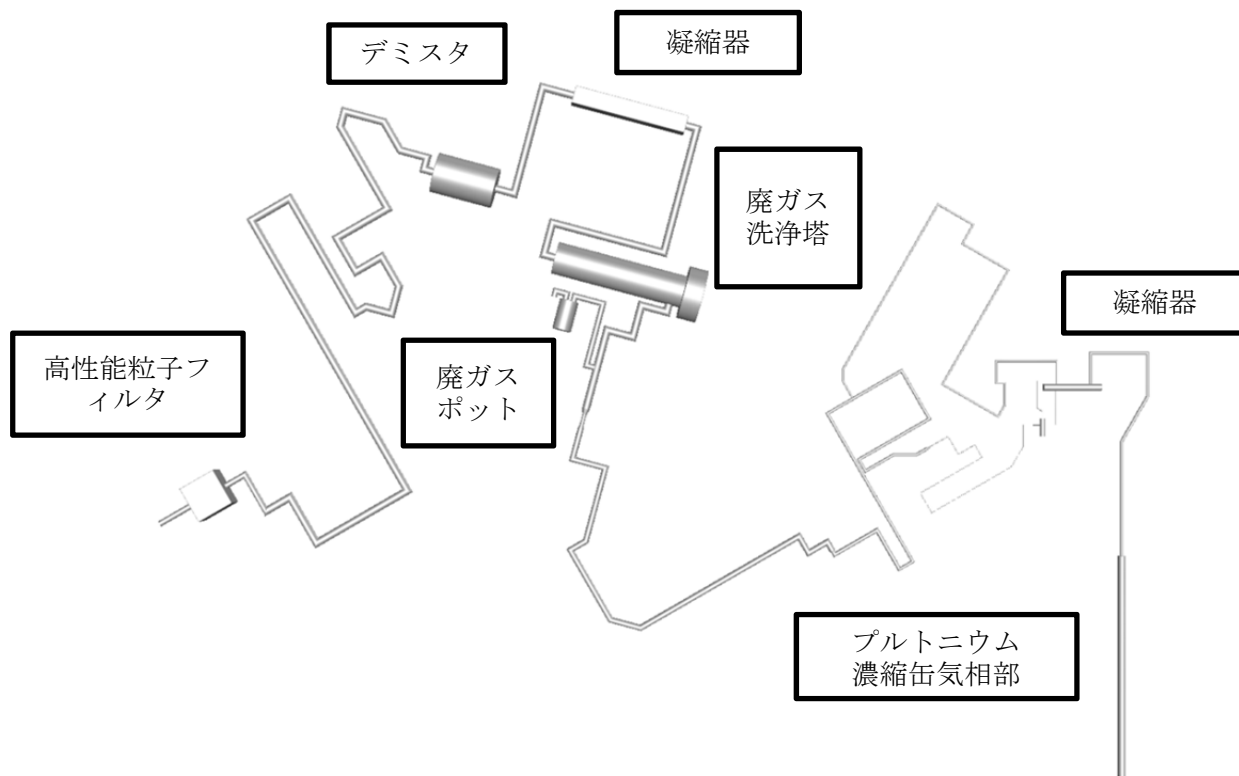
- ①：プルトニウム濃縮缶への液張り及びプルトニウム濃縮工程の立ち上げ
- ②：液位制御運転による所定濃度までの濃縮
- ③：液位制御から密度制御への切り替え不能（液位制御の継続）及びTBP等を含む供給液の供給開始
- ④：過濃縮の進展及びTBP等の蓄積
- ⑤：TBP等の錯体の急激な分解反応の発生
- ⑥：供給液の供給停止（TBP等の錯体の急激な分解反応の検知から1分以内）

第1図 プルトニウム濃縮缶のトレンドグラフのイメージ図

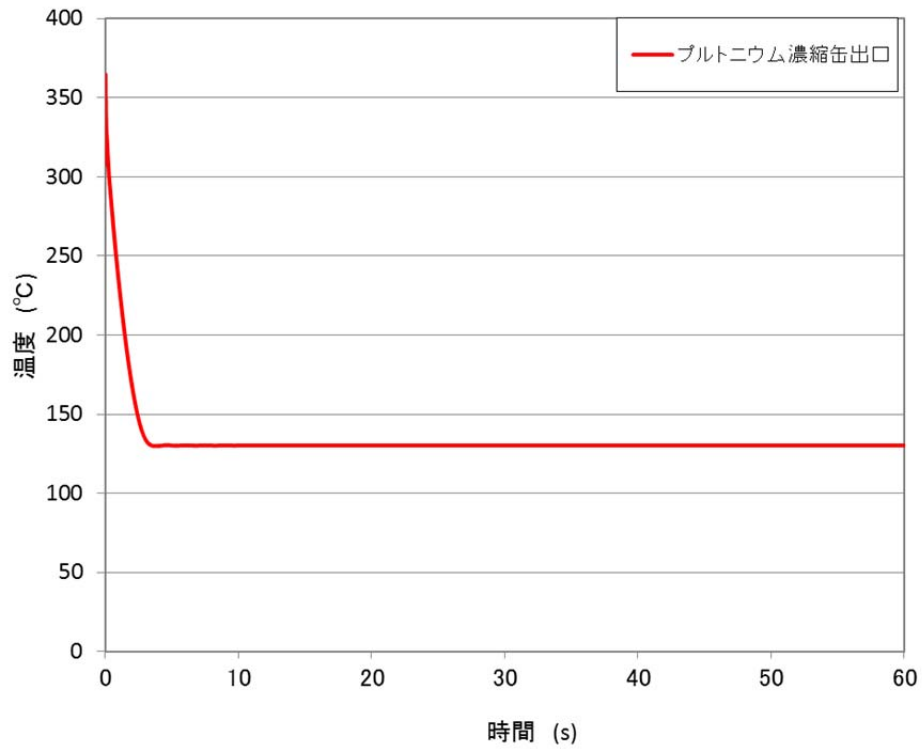
規定の P u 濃度に達した場合は、液位を一定に制御する運転から、密度を一定に制御する運転に切替えるが、液位制御運転が継続し、濃縮缶内の P u 濃度が上昇することを想定する。この時、併せて T B P 洗浄器での希釈剤洗浄機能が喪失し、濃縮缶内に T B P が飽和している供給液が供給される状態となる（図中①）。この状態が継続すると、濃縮缶内は過濃縮状態となり、P u 濃度が上昇し、T B P 等の錯体の急激な分解反応が起こる状態となる（図中②）。

2. T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時の状況

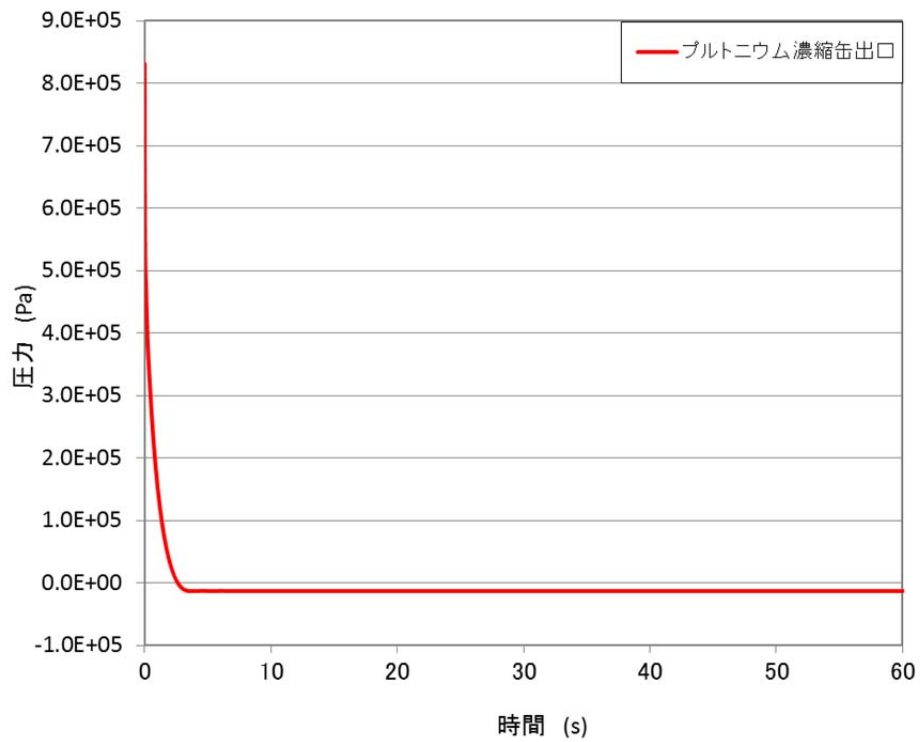
T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した際の温度及び圧力状態については、塔槽類廃ガス処理系の高性能粒子フィルタが健全であるか確認することを目的として、解析コード F l u e n t を用いた解析を行っている。解析コード F l u e n t 解析結果に基づき、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶で T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した際の高性能粒子フィルタやプルトニウム濃縮缶出口部等の各部位の温度・圧力の経時変化を以下のとおりまとめた。なお、濃縮缶内 T B P 量は 208 g が想定シナリオの評価量であるが、F l u e n t 解析では 240 g をインプットした結果を引用している。プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶の解析モデルを第 2 図に示す。図で示されている各部位における温度・圧力の経時変化を第 3 図から第 16 図に示す。T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合、プルトニウム濃縮缶気相部から高性能粒子フィルタまで、圧力及び温度は数秒のオーダーで伝播していく。なお、本解析モデルでは、高性能粒子フィルタへの影響を最も厳しく評価するため、T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後の廃ガス及び系統内の空気が全て高性能粒子フィルタへ到達し、廃ガスポットからセルへは導出しないモデルで解析している。



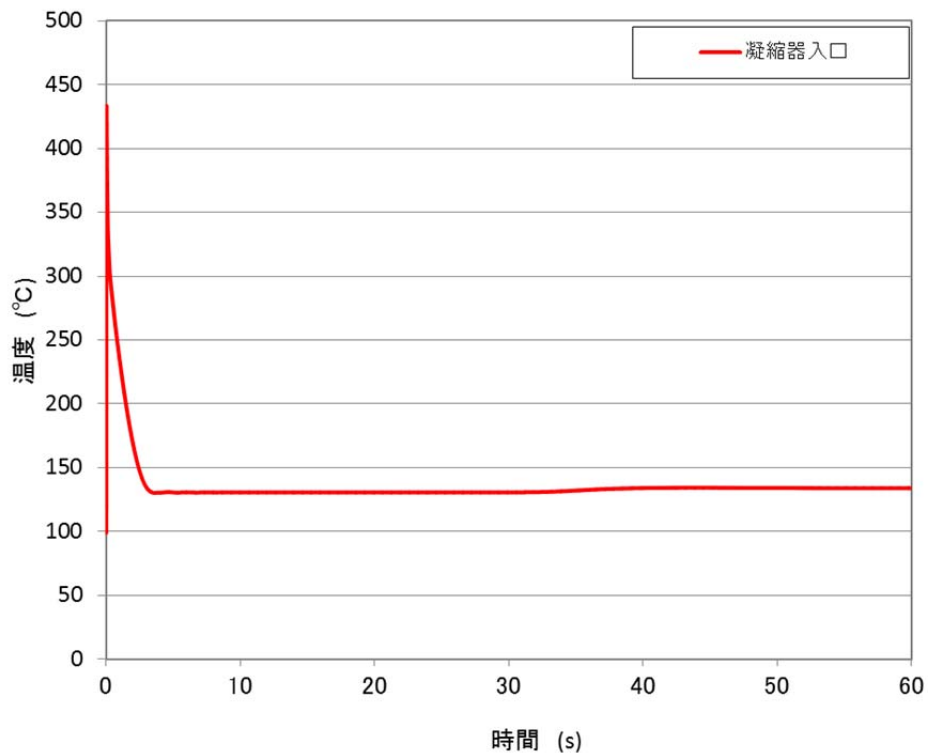
第2図 プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶周りの解析モデル



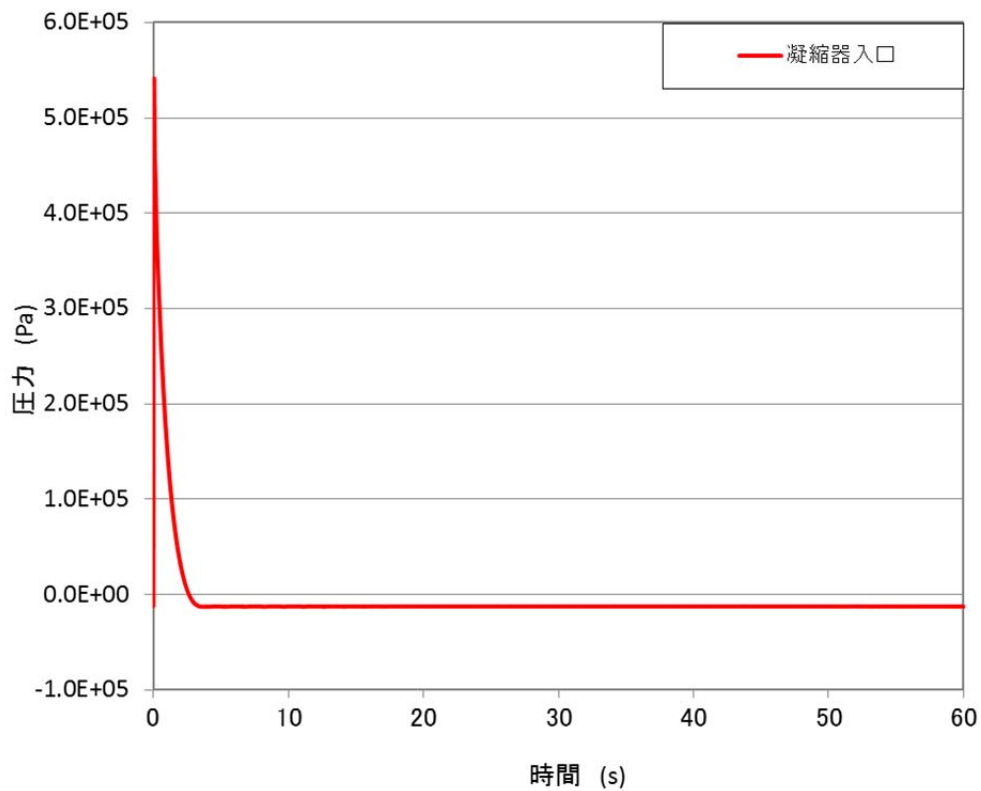
第3図 プルトニウム濃縮缶気相部の温度（全体）



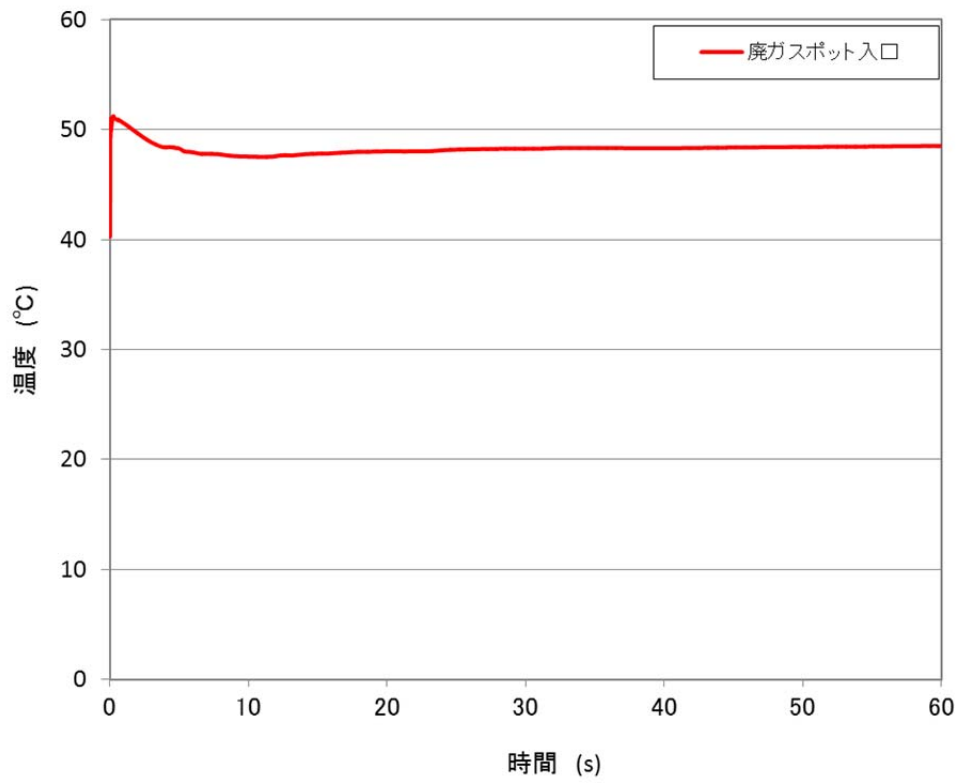
第4図 プルトニウム濃縮缶気相部の圧力（全体）



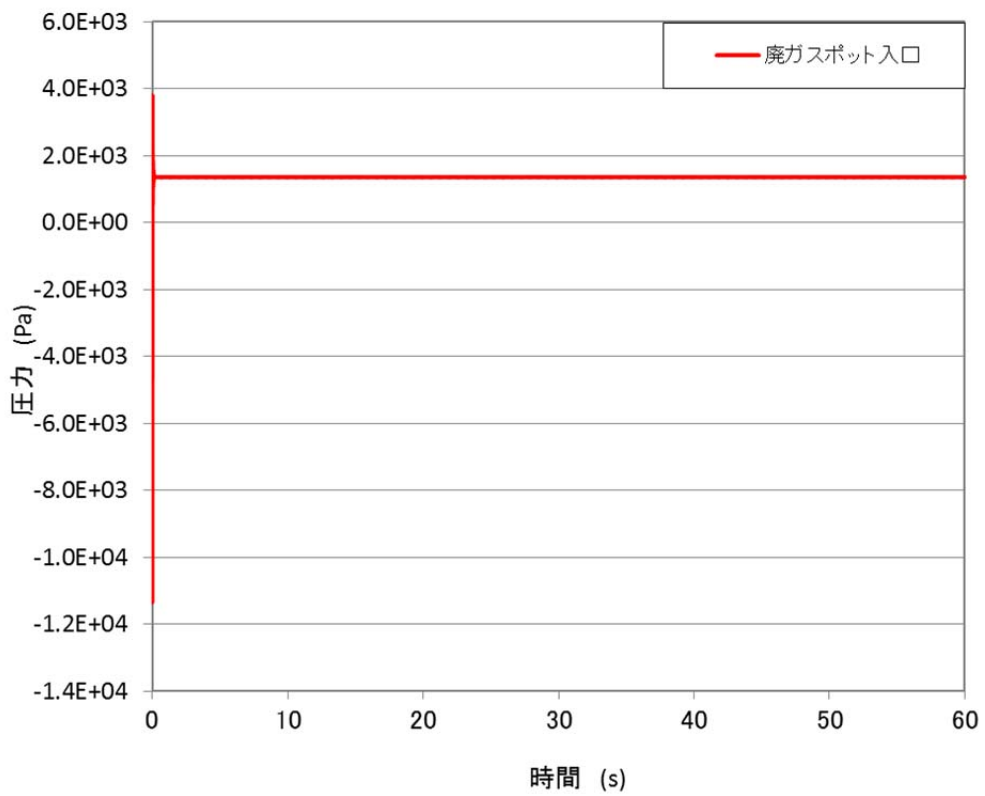
第5図 凝縮器入口部の温度 (全体)



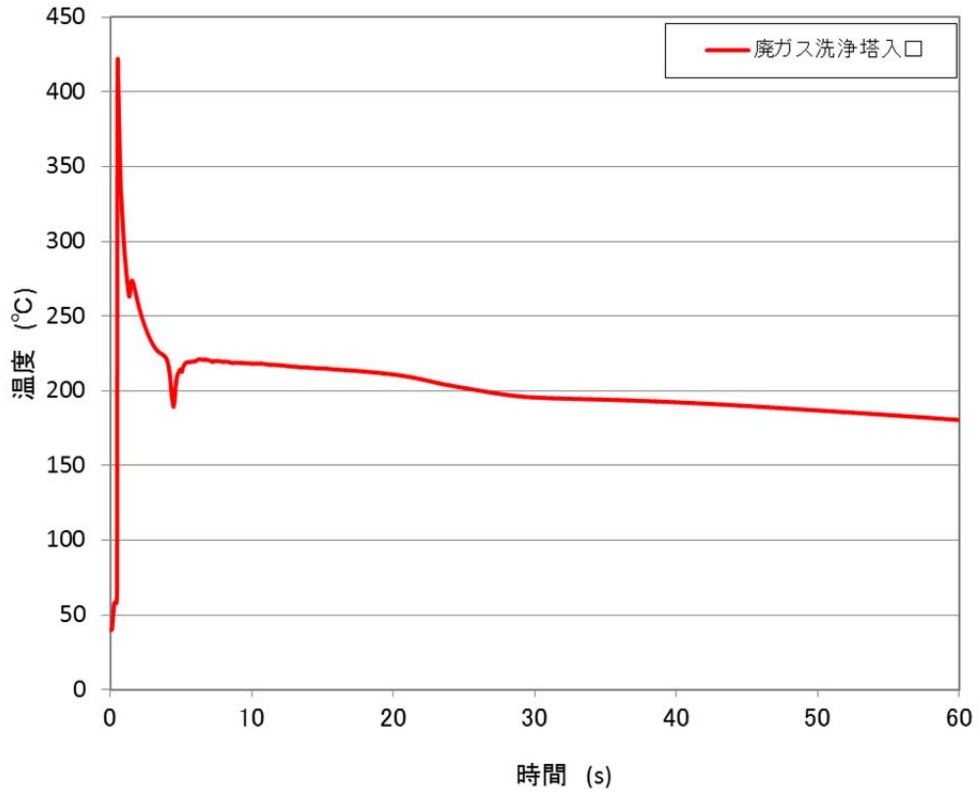
第6図 凝縮器入口部の圧力 (全体)



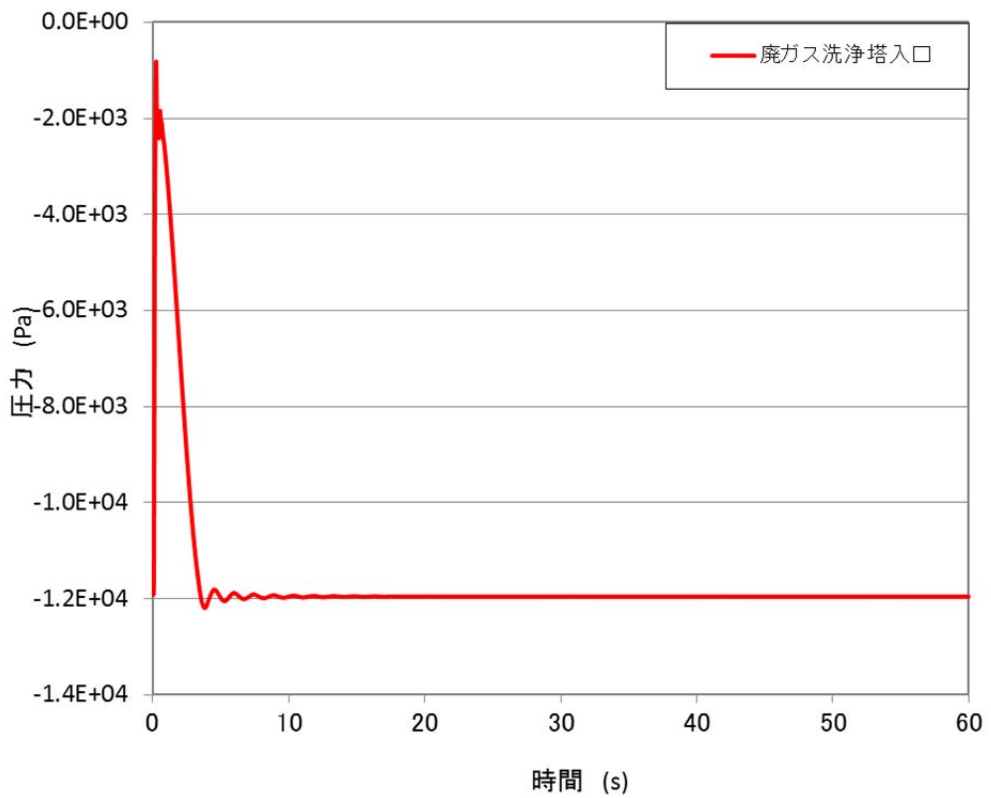
第7図 廃ガススポット入口部の温度（全体）



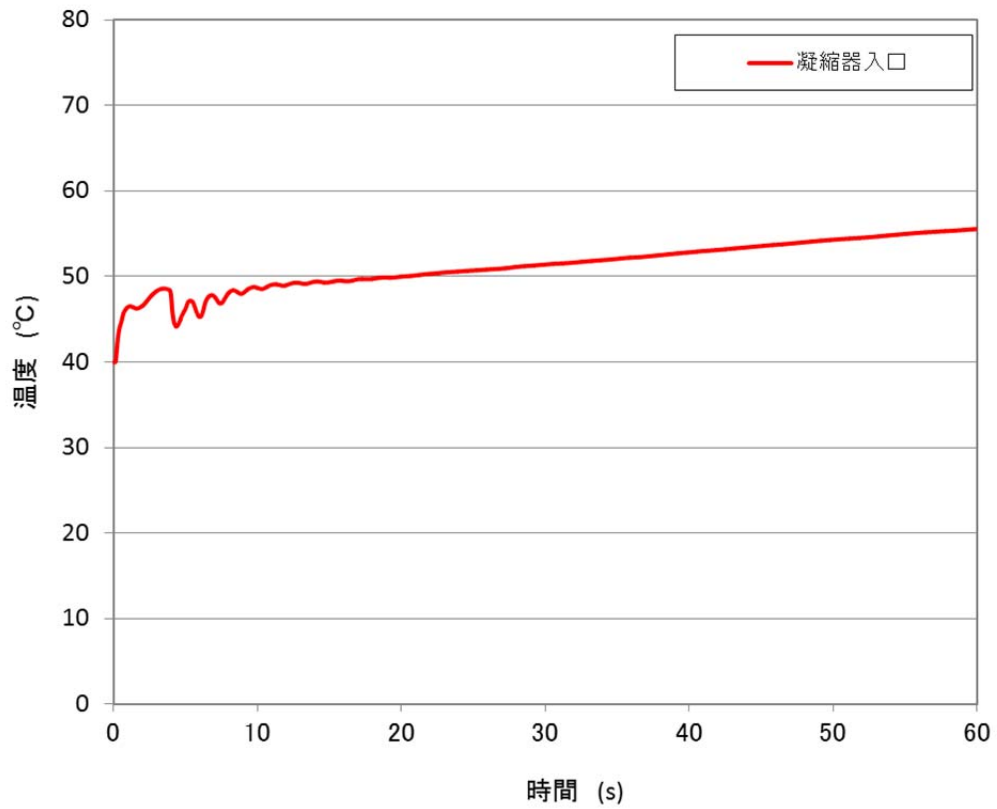
第8図 廃ガススポット入口部の圧力（全体）



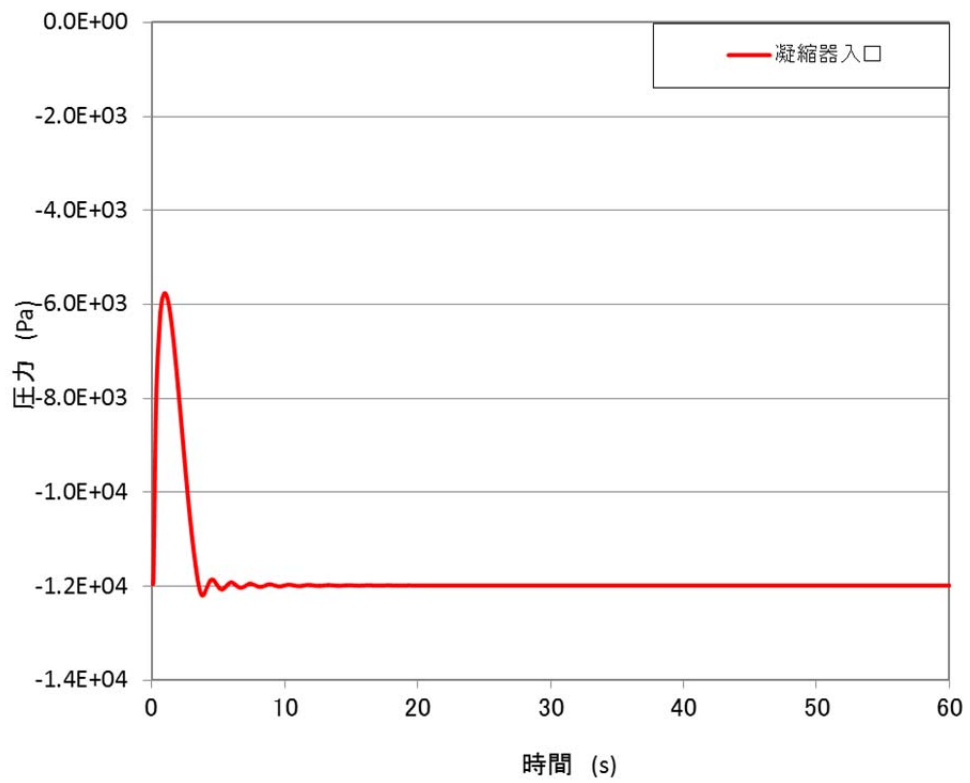
第9図 廃ガス洗浄塔入口部の温度（全体）



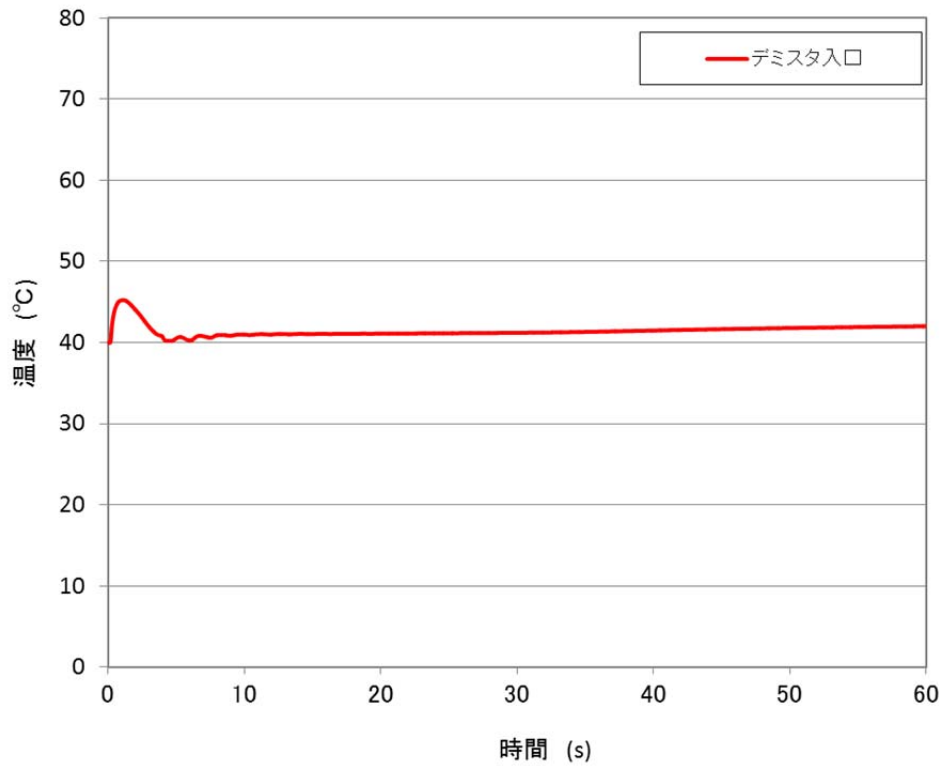
第10図 廃ガス洗浄塔入口部の圧力（全体）



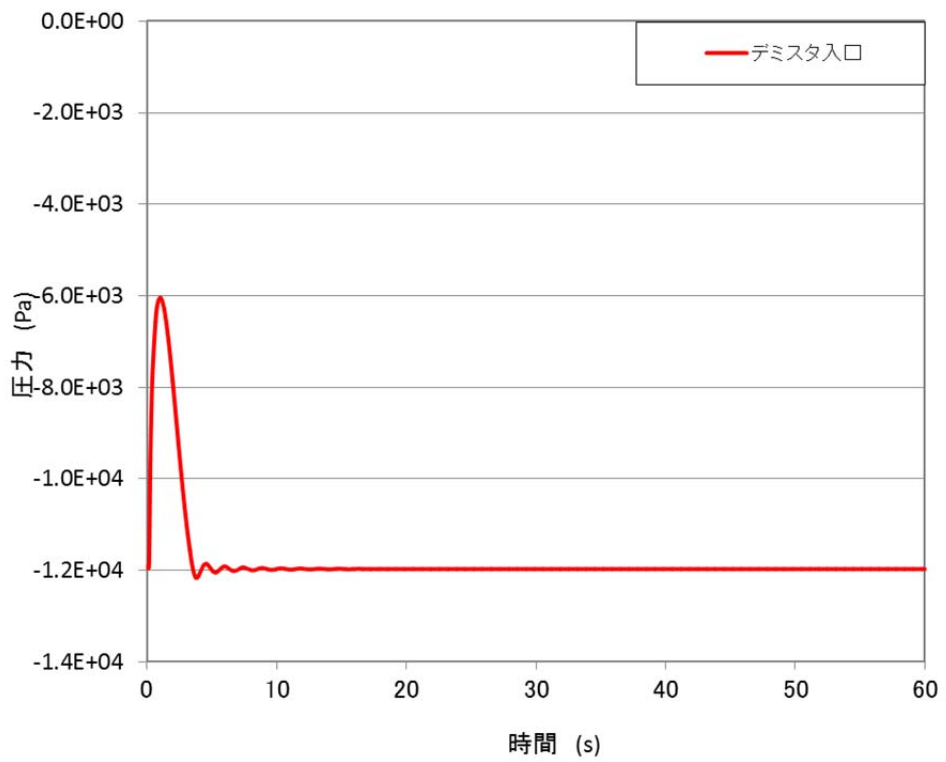
第11図 凝縮器入口部の温度 (全体)



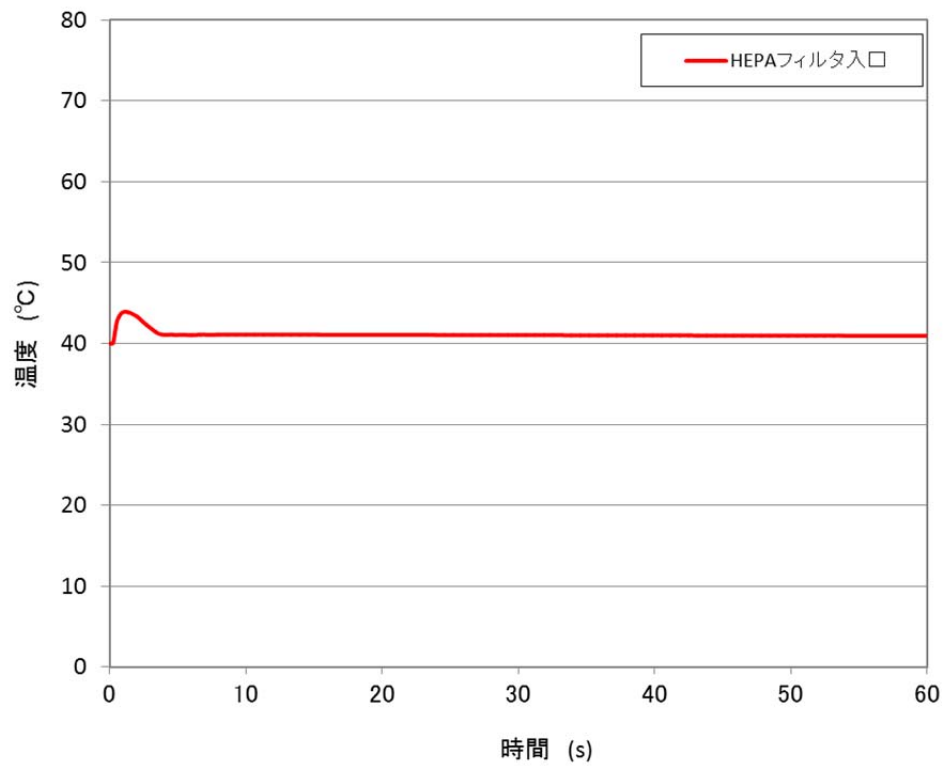
第12図 凝縮器入口部の圧力 (全体)



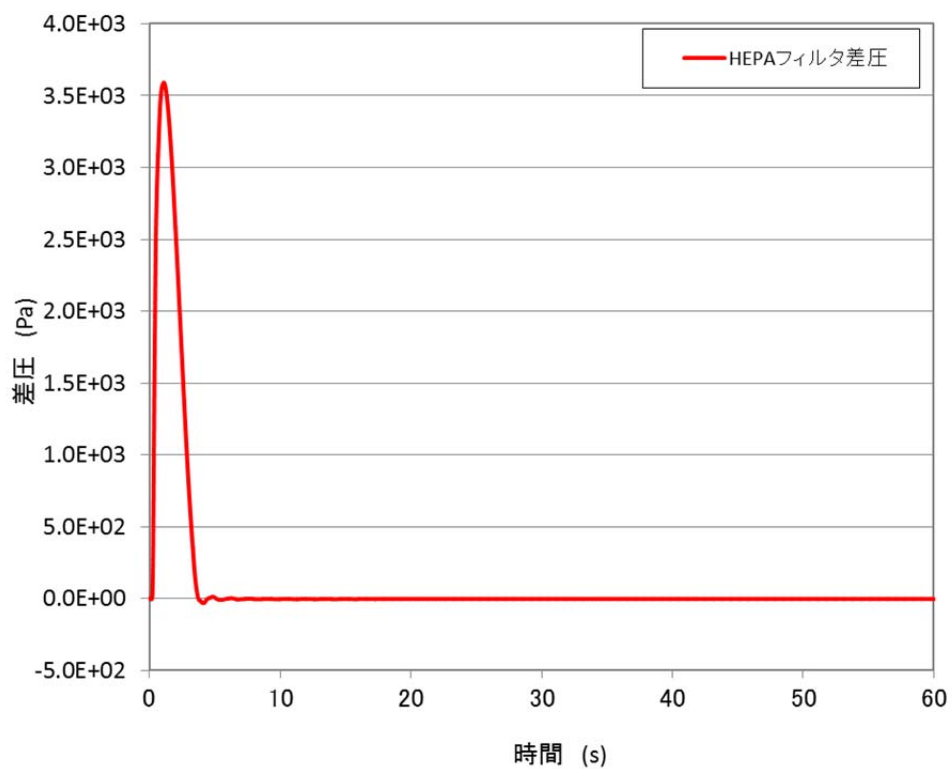
第13図 デミスタ入口部の温度（全体）



第14図 デミスタ入口部の圧力（全体）



第15図 高性能粒子フィルタ入口部の温度（全体）



第16図 高性能粒子フィルタ入口部の圧力（全体）

3. T B P等の錯体の急激な分解反応発生後から供給液停止までの状況

T B P等の錯体の急激な分解反応発生後、万が一T B P等の錯体の急激な分解反応の発生検知によるインターロックが機能しなかった場合には、T B P等の錯体の急激な分解反応発生から緊急停止系による供給液の停止までの約1分間、T B Pが飽和している供給液の供給が継続される。供給液の供給流量及び飽和T B P濃度より、1分間に濃縮缶内に供給されるT B P量は0.3g程度となる。濃縮缶内がT B P等の錯体の急激な分解反応が起こる温度条件で成立している場合は、極小規模の爆発が起こることが想定されるが、T B P等の分解量が少ないことから、濃縮缶内の圧力及び温度に対して有意な影響を与えるものではない。

補足説明資料 10－3

T B P 等の錯体の急激な分解反応に関する知見

1. 文献から得られた知見

T B P 等の錯体の急激な分解反応については、これまでに多くの研究が行われており、ここから得られた知見もまとめられている。

サバンナ・リバー・サイトにおける M O X 燃料製造工場の建設許可申請に関する最終安全評価報告書^[1]では、廃液処理及び酸回収設備で使用する蒸発缶において想定するリスクの一つとして T B P 等の錯体の急激な分解反応が取り上げられており、T B P 等の錯体の急激な分解反応の開始温度等に関する情報が記載されている。

○重金属の硝酸化合物，又は硝酸溶液の存在下で T B P は錯体を形成し，この錯体は発熱を伴う分解反応を起こす。

○この錯体は，T B P 及び硝酸プルトニウム，硝酸，T B P の劣化物等との錯体で構成されている。

○T B P 等の錯体の急激な分解反応に関して重要な反応として以下を挙げている。

- ・加水分解（ゆっくりと起きるが，温度の上昇に伴い反応速度は上昇）
- ・アルキル化及びニトロ化（ゆっくりと起きるが，温度の上昇に伴い反応速度は上昇）
- ・熱分解（ほとんど水がない状態で 150℃にて顕著となる）
- ・ブチルアルコール及び硝酸ブチルのニトロ化／酸化反応（90℃から 100℃で顕著となる）
- ・T B P のニトロ化／酸化（135℃近辺で顕著となる）
- ・ウラン及びプルトニウムの付加反応（15℃から 175℃で

顕著となる)

○ T B P 等の錯体の急激な分解反応の開始温度については、複数の記述がある。

- ・ T B P の分解生成物の内、揮発性を有するブチルアルコール等が蒸発していかない状態であれば、分解反応は 90°C から 100°C での加熱で顕著となり、急激な分解反応は 135°C で発生する。
 - ・ Paddleford と Fauske によれば、T B P 等の錯体の急激な分解反応はよく換気された系でも発生し、自己発熱はおおよそ 130°C で確認された。^[2]
 - ・ Hyder によれば、よく換気された系では、120°C までは、n-ブタノール (T B P の分解性生物) の蒸発及び蒸発に伴う攪拌による冷却が反応を抑制するのに十分な効果を持ち、130°C から 150°C の範囲で分解反応が急速となる。^[3]
 - ・ The Defense Nuclear Facilities Safety Board (DNFSB) によれば、T B P 等の錯体の急激な分解反応の開始温度は 130°C である。^[4]
- なお、この文献において開始温度を 130°C とした根拠となっている実験データについては、他の文献において異常値であったと結論付けられており、著者が確認した最も低い開始温度は 137°C であった。^[5]
- ・ 実験において確認された T B P 等の錯体の急激な分解反応の開始温度の平均値は 137°C であった。

○ T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生防止及び影響緩

和の観点で重要な項目として温度，圧力（換気系の配管断面積の和と文献値との比較），有機相の蒸発缶等への持ち込み量，硝酸濃度を挙げている。

- [1]U.S. Nuclear Regulatory Commission, Final Safety Evaluation Report on the Construction Authorization Request for the Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility at the Savannah River Site, South Carolina, NUREG-1821, 2011
- [2]D.F.Paddleford, H.K.Fauske, Safe Venting of “Red Oil” Runaway Reactions (U), WSRC-MS-94-0649, 1994.
- [3]M.L.Hyder, Safe Conditions for Contacting Nitric Acid or Nitrates with Tri-n-Butyl Phosphate (TBP)”, WSRC-TR-94-059, 1994
- [4]J.T.Conway, Control of Red Oil Explosions in Defense Nuclear Facilities, DNFSB/TECH-33, 2003
- [5]Rudisill, T.S. and W.J.Crooks III, Initiation Temperature for Runaway Tri-n-Butyl Phosphate/Nitric Acid Reaction, WSRC-MS-2001-00214, 2001

2. 過去の事故

T B P 等の錯体の急激な分解反応は、これまでに海外のプラントにおいて複数回発生している。主なものを以下に示す。

○サバンナ・リバー・サイト（1953年）

< 事故概要 >

硝酸ウラニル溶液の蒸発濃縮中に蒸発缶が爆発した。

< 原因 >

回分式蒸発缶の供給液に有機溶媒（T B P，ケロシン）が多量（約 80 ポンド）に混入されていたことに加えて、過濃縮により溶液の温度が高温になり、T B P - 硝酸ウラン錯体の急激な熱分解反応が起こったと推定される。

[1] T.J. Colven et al., TNX Evaporator Incident January. 12, 1953, Interrim Technical Report, DP-25, 1953

[2] W. S. Durant, "RED OIL" EXPLOSIONS AT THE SAVANNAH RIVER PLANT. DP-MS-83-142, DOE/ANL training course on prevention of significant nuclear events; Augusta, GA(USA); 12-15 Mar 1984.

○サバンナ・リバー・サイト可燃性ガス爆発事故（1975年）

< 事故概要 >

脱硝器での硝酸ウラニル溶液の加熱脱硝中に、室内の可燃性ガスに引火して爆発した。

< 原因 >

多くの有機溶媒が蒸発缶に混入したことで、硝酸ウラニルがT B Pの錯体の状態で脱硝器に供給されたことが原因と推定される。

[1] McKibben, J. M. et, Explosion and fire in the uranium trioxide protection facilities at the Savannah River Plant On February 12, 1975.

○トムスクー 7 (1993 年)

< 事故概要 >

調整タンク（抽出肯定へ供給する溶液の酸濃度を調整するための貯槽）において、濃硝酸と T B P を含む有機物が接触することで発熱反応を起こし、135℃以上に上昇して T B P の急激な分解反応が起こった。

< 原因 >

調整タンク内には T B P 等を含む多量の有機物（濃硝酸と反応しやすい芳香族炭化水素を含む）が存在していたが、別のタンクから T B P 等を吹く有機物と一緒に加熱されたままのウラン溶液（約 105℃）が移送され、さらにその際に規則で定められている攪拌を実施しなかった。

また、規定で定められている以上の濃度の濃硝酸を調整タンクに注入し、さらにその際に規則で定められている攪拌を実施しなかった。

その結果、濃硝酸と有機物が接触した状態で層を形成し、接触面で局所的に発熱反応を起こした。

さらに、排気機能低下も重なって、発生した蒸気やガスにより調整タンク内が加圧され、溶液温度が 135℃を超えたため、急激な分解反応に至ったと推定される。

[1]“ロシアのトムスク際処理施設の事故に関する調査報告書”

科学技術庁，平成 6 年 9 月 8 日

以上

補足説明資料 10－4

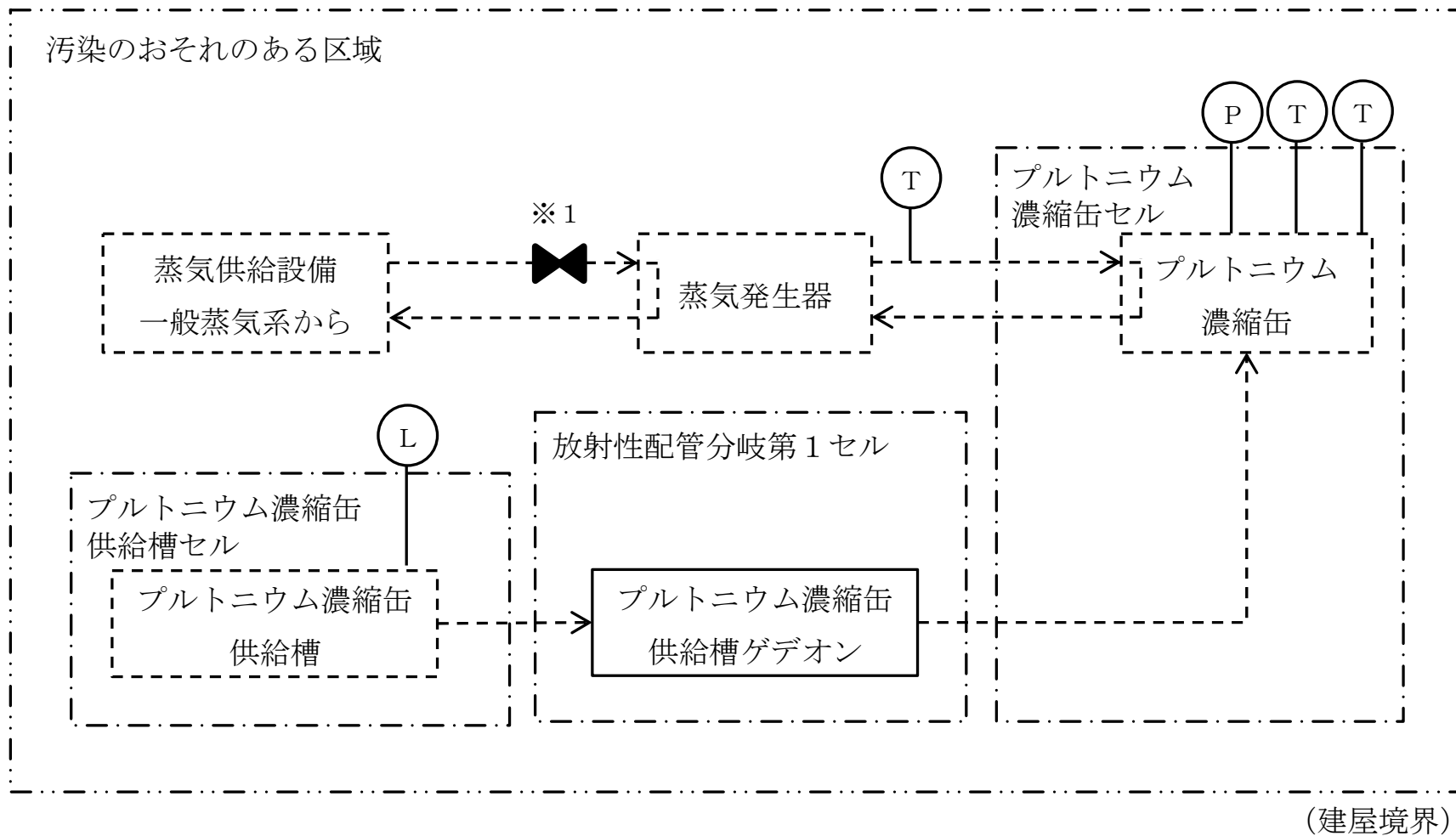
プルトニウム濃縮缶での T B P 等の錯体の
急激な分解反応における拡大の防止のための
措置の概要

1. T B P 等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置の概要

T B P 等の錯体の急激な分解反応は、プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報，気相部温度高警報又は気相部圧力高高警報のうち2つ以上の警報の発報により事象の発生を検知するとともにインターロックによりプルトニウム濃縮缶への硝酸プルトニウム溶液の供給を停止する。硝酸プルトニウム溶液の供給停止は、事象の発生検知から1分以内に実施する。これと並行して、運転員による蒸気発生器への一次蒸気の供給の停止（手動弁の閉止）を実施する。（図－1参照）

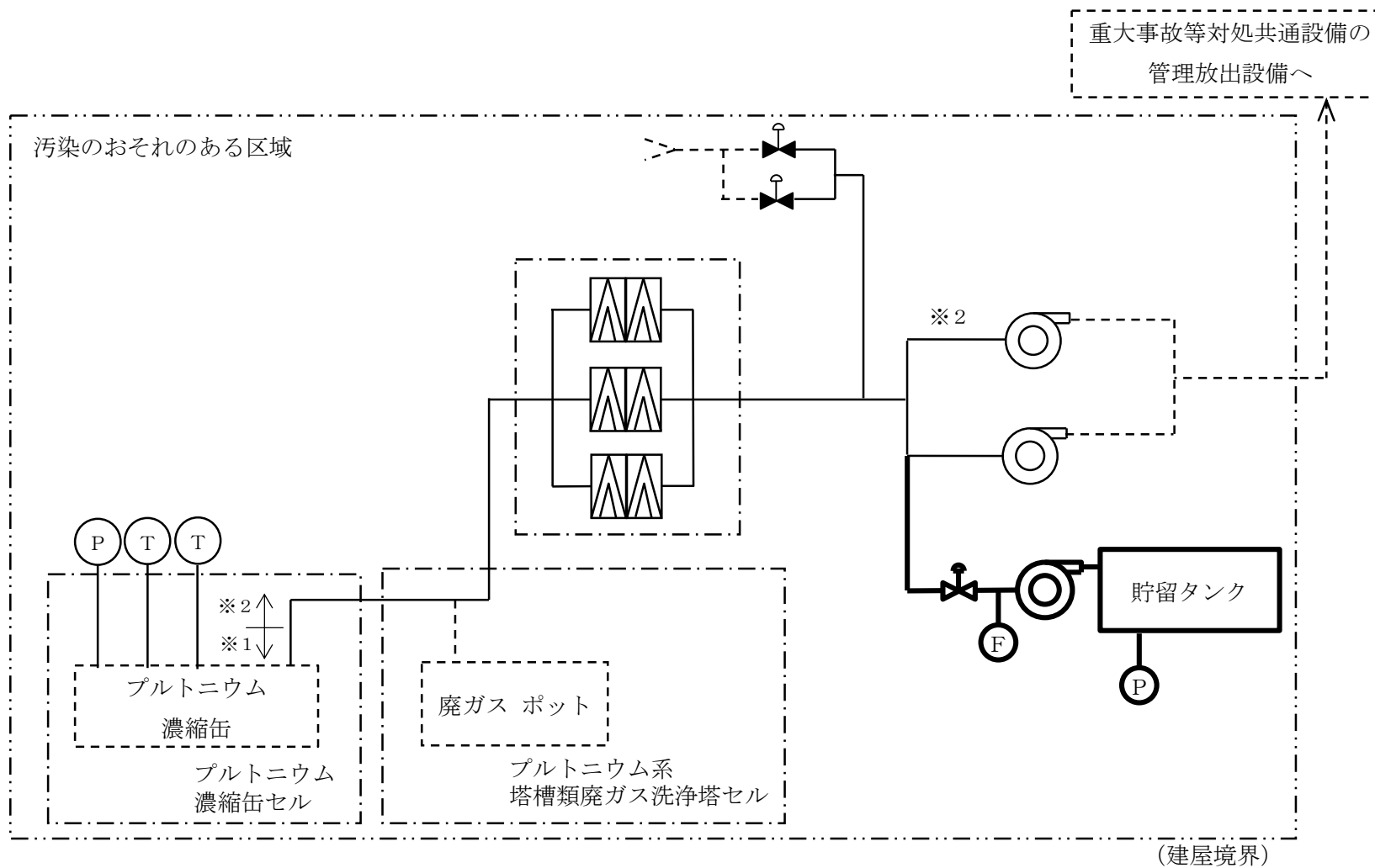
また、プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報，気相部温度高警報又は気相部圧力高高警報のうち2つ以上の警報の発報により事象の発生を検知した場合、精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機を停止するとともに貯留タンクへの系統を確立し、空気圧縮機を起動することにより、T B P 等の錯体の急激な分解反応で発生した放射性物質を貯留タンクに閉じ込める。この動作は、事象の検知から1分程度で実施できる。貯留タンクへの閉じ込めは、60分間継続する。その後、貯留タンクの隔離弁の閉止、空気圧縮機の停止を行うとともに塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を再起動する。（図－2、図－3参照）

これらの対策に使用する重大事故等対処施設は、対策実施時に想定される温度、圧力及び放射線の環境条件下においても必要な機能を発揮できる。



※1 精製施設のプルトニウム精製設備

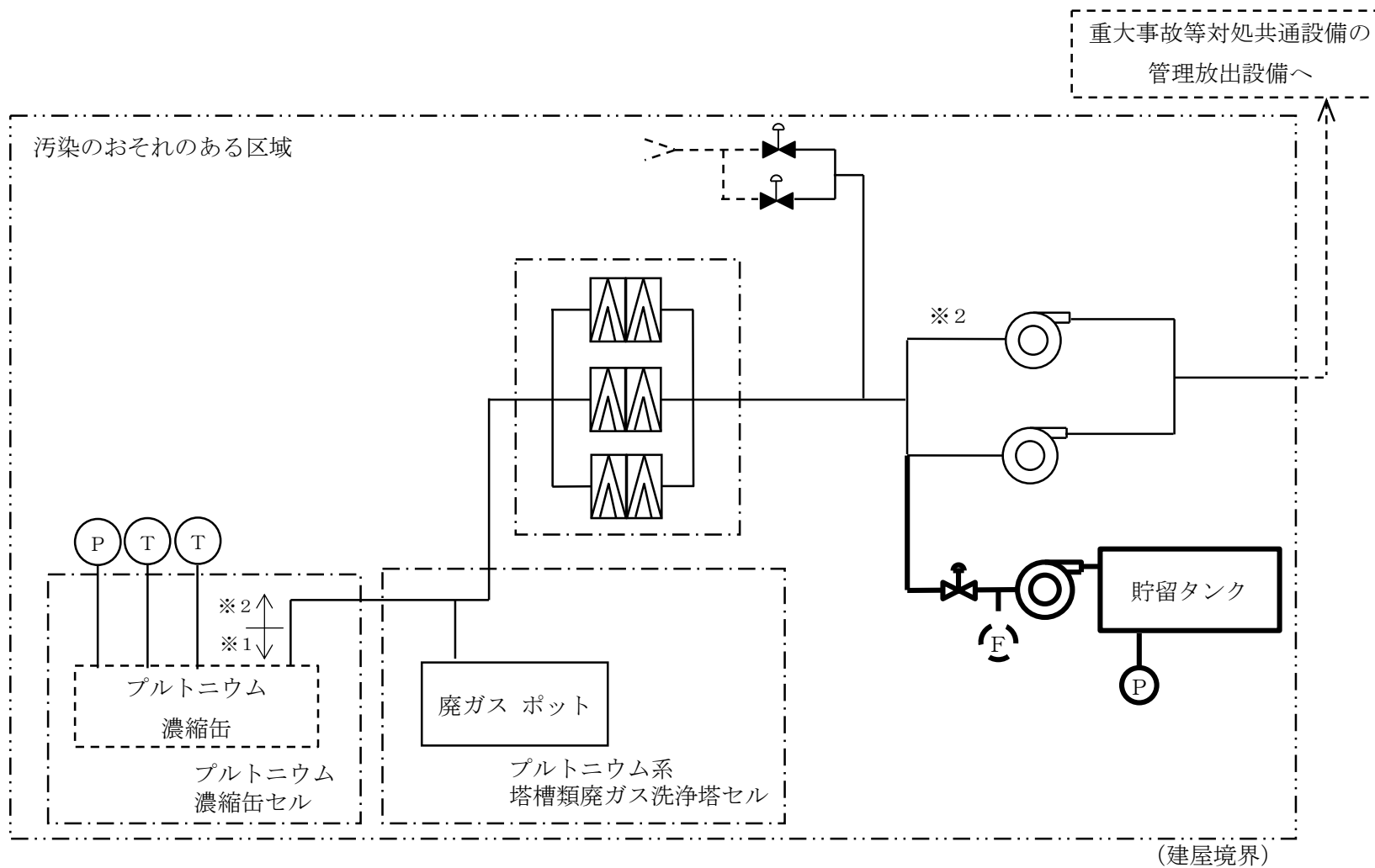
図-1 供給液の供給停止及び加熱蒸気の供給停止に関する系統概要図



※1 精製施設のプルトニウム精製設備

※2 気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）

図2 貯留設備による放射性物質の貯留に関する系統概要図



※1 精製施設のプルトニウム精製設備

※2 気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）

図3 放出低減対策に関する系統概要図

1. 1 T B P 等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置の信頼性

1. 1. 1 供給液の供給停止に使用する設備の設計

プルトニウム濃縮缶への硝酸プルトニウム溶液の供給停止インターロックは、異なる3つの計器（プルトニウム濃縮缶気相部温度、プルトニウム濃縮缶気相部温度、プルトニウム濃縮缶気相部圧力）からの信号のうち、2つ以上において事象の発生を検知する警報が発報した場合に、自動的に作動する。このため、1つの計器の誤作動により供給液の供給が停止することはない、事象を確実に検知するとともに供給を停止できる。

また、プルトニウム濃縮缶への硝酸プルトニウム溶液の供給はプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンにより行われるが、ゲデオンは、圧縮空気をエアジェットに供給することで作り出される真空により液をゲデオン内に引き上げ、機器内の堰を越えた分の液を供給先に供給する仕組みであるため、圧縮空気系の供給を遮断することで移送を止めることができる。事象の発生を検知した場合は、プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン用のエアジェットへの圧縮空気の供給を停止するため、確実に供給を停止することができる。

1. 1. 2 供給液の供給停止に使用する設備の有効性

a. 温度

T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合には、プルトニウム濃縮缶の気相部の温度は、T B P 量が 240 g

の場合の解析の結果として、一時的に約 370℃まで上昇する。

しかし、プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンはプルトニウム濃縮缶とは別の部屋に設置されており、温度上昇の影響を受けない。プルトニウム濃縮缶気相部温度計及びプルトニウム液相部温度計については、プルトニウム濃縮缶内の温度上昇は瞬間的であること及び鞘管に入った状態でプルトニウム濃縮缶に設置されていることを踏まえると、温度計の機能に影響はない。

プルトニウム濃縮缶気相部圧力計については、プルトニウム濃縮缶内の温度上昇は瞬間的であることから、本圧力計の機能に対して影響はない。

b. 圧力

T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合には、プルトニウム濃縮缶の気相部は、T B P 量が 240 g の場合の解析の結果として、一時的に約 840kPa まで上昇する。

しかし、プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンはプルトニウム濃縮缶とは別の部屋に設置されており、温度上昇の影響を受けない。

プルトニウム濃縮缶気相部温度計及びプルトニウム液相部温度計については、プルトニウム濃縮缶内の圧力上昇は瞬間的であること、鞘管に入った状態でプルトニウム濃縮缶に設置されていることを踏まえると、温度計の機能に影響はない。

プルトニウム濃縮缶気相部圧力計については、ページ式

圧力計であり，気相部圧力が瞬間的に上昇した場合でも最高使用圧力を上回ることはないため，当該圧力計の機能に影響はない。

c. 放射線

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生により，プルトニウム濃縮缶内のプルトニウム溶液が気相へ移行する。この移行により，通常時と比較してプルトニウム濃縮缶の気相部における放射線は高くなる。

プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン，プルトニウム濃縮缶気相部温度計，プルトニウム液相部温度計及びプルトニウム濃縮缶気相部圧力計は，上記反応により発生した放射線に対して，材質及び設備の設置場所を適切に考慮することから，設備の機能を損なうことはない。

1. 1. 3 加熱蒸気の供給停止に使用する設備の設計

加熱蒸気の供給停止に使用する設備は蒸気発生器の一次蒸気配管上の手動弁であり、運転員により容易に閉止操作が可能であるため，事象発生時にも確実に操作ができる。

1. 1. 4 加熱蒸気の供給停止に使用する設備の有効性

a. 温度，圧力，放射線

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生時，加熱蒸気の供給停止のために操作する手動弁は，プルトニウム濃縮缶とは異なる部屋に設置されており，プルトニウム濃縮缶内の温度の変化の影響を受けない。このため，確実に加熱蒸

気の供給を停止することができる。

1. 1. 5 貯留タンクでの貯留に使用する設備の設計

T B P 等の錯体の急激な分解反応に対する対処は、T B P 等の錯体の急激な分解反応により気相部に移行する放射性物質が外部に放出されることから、分解反応の発生を検知し、直ちに塔槽類廃ガス処理系の経路を遮断し、放射性物質を外部に放出させないことが重要な対策となる。

同対策に使用する貯留設備は、T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生時に確実に作動するよう、以下のような設計としている。

- ・貯留設備は、プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報、気相部温度高警報又は気相部圧力高高警報の3種類の警報のうち2つ以上の警報の発報により事象の発生を検知してインターロックによりさせる信号を発する。これにより、万一、3台の検出器のうち1台が動作不能であった場合でも、確実に作動信号を発することができる。
- ・貯留設備の弁は多重化し、どちらか一方の弁が作動した場合に貯留設備への経路を確立できる。
- ・貯留設備の貯留タンクは、T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合に、廃ガス処理設備の気体を1時間にわたって貯留できる容量に余裕をみて設計する。

1. 1. 6 貯留タンクでの貯留に使用する設備の有効性

a. 温度

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生により、プルトニウム濃縮缶から発生する廃ガスの温度は、T B P 量が 240 g の場合の解析の結果ではプルトニウム濃縮缶では瞬間的に 370℃程度まで上昇するが、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタ入口で約 44℃となる。

貯留タンクでの貯留に使用する設備のうち、高性能粒子フィルタの前段に位置する機器は鋼製であり、温度の上昇による影響は受けない。高性能粒子フィルタの後段には弁等が設置されるが、そこでの温度は通常とほぼ変わらないため、温度上昇による影響は受けない。

b. 圧力

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生により、プルトニウム濃縮缶から発生する廃ガスが流入する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタ入口での圧力は、T B P 量が 240 g の場合の解析の結果では、最大で約 4 k P a の圧力上昇となる。貯留タンクでの貯留に使用する設備のうち、高性能粒子フィルタの前段に位置する機器は鋼製であり、圧力の上昇による影響は受けない。高性能粒子フィルタの後段では、高性能粒子フィルタでの圧力損失の影響により、通常の圧力と同程度となるため、圧力上昇による影響は受けない。

c. 放射線

T B P 等の錯体の急激な分解反応により気相に移行する放射性物質の影響を受けるが、材質及び設備の設置場所を適切に考慮することから、設備の機能を損なうことはない。

1. 1. 7 貯留タンクの容量

T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生するプルトニウム濃縮缶において、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）に流入する流量は約 $70\text{m}^3/\text{h}$ であり、1 時間にわたって期待を貯留するとした場合の貯留タンクの容量（空気圧縮機による圧縮を考慮しない容量）は、約 82m^3 以上としているため、T B P 等の錯体の急激な分解反応において確実に貯留タンクに貯留できる。

1. 1. 8 放出低減対策に関する設計

T B P 等の錯体の急激な分解反応に対する対処は、T B P 等の錯体の急激な分解反応により気相部に移行する放射性物質を十分に低減することが重要な対策となる。

同対策に使用する設備は、以下のような設計としている。

- ・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタは、放出量を十分低減できるように、2 段×3 系列で構成されており、1 段あたりの除染係数は 10^3 を確保する。
- ・通常は 2 系列が運転状態であり、残り 1 系列は待機状態という系統構成を取ることで、1 系列が機能喪失しても切り替えにより機能が維持できる設計とする。
- ・高性能粒子フィルタの性能が維持できる温度上限を約 200°C で設計する。
- ・高性能粒子フィルタの性能が維持できるフィルタ差圧の

上限を約 **9.3kPa** で設計する。

1. 1. 9 放出低減対策に関する有効性

a. 温度

放出低減対策で使用する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタについては、T B P 量が 240 g の場合の解析の結果として、約 44℃まで上昇する。高性能粒子フィルタについては、200℃まで耐久性が確認されていることから、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタは温度上昇が発生しても機能を維持できる。

b. 圧力

放出低減対策で使用する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタについては、T B P 量が 240 g の場合の解析の結果として、フィルタ差圧が約 4 kPa まで上昇する。高性能粒子フィルタについては、フィルタ差圧として **9.3kPa** まで耐久性が確認されていることから、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタは圧力上昇が発生しても機能を維持できる。

c. 放射線

放出低減対策で使用する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタについては、放射線の変化に伴う性能の変化は生じないことから、機能は維持できる。

以上

補足説明資料 10 - 5

1. プルトニウム濃縮缶での T B P 等の錯体の急激な分解反応における関連機器の機能及び機能喪失の想定

プルトニウム濃縮缶における T B P 等の錯体の急激な分解反応は、複数ある当該事象の発生防止機能について多重故障及び誤操作を想定した場合に、発生が想定される。

このため、プルトニウム濃縮缶における T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生防止機能だけではなく、T B P 等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置に用いる設備及び工程上のつながりのある機器を対象として、関連する機能、T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する場合に機能喪失を想定した機器、機能を維持すると想定した機器及びその理由について表－1 にまとめた。

表－1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（1/34）

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無*	理由
TBP洗浄器	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	濃縮缶へ供給する硝酸プルトニウム溶液について、希釈剤を用いてTBPを洗浄する。(TBPの混入防止)	－	○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)との取り合いはないため、これらの機能喪失の影響は受けない。
希釈剤供給配管	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	TBP洗浄器への希釈剤の供給	TBP洗浄器(供給先)	○ 維持2	静的機器であり、機能喪失する設備(加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されているため機能に影響はない。希釈剤流量計の機能が喪失しても配管が壊れる・変形することはないため、機能に影響はない。
希釈剤流量計	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	希釈剤供給流量の計測	希釈剤供給流量制御	× 喪失1	流量計の詰まりや気泡の混入により正しい値を示さない(実際よりも高い値を示す)ことを想定

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (2/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
希釈剤供給流量制御	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	希釈剤の供給流量の制御	希釈剤流量計	▲ 波及影響	流量制御機能は維持できているが、流量計からの誤った値に基づき制御が行われるため、発生防止機能(希釈剤の供給)としては喪失すると判断。
プルトニウム溶液受槽	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止) 連続受入れ	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 (貯槽下部からの液の抜き出しによる)	—	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。
プルトニウム溶液受槽液位計	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 (貯槽下部からの液の抜き出しによる)	プルトニウム溶液受槽液位低インターロック	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 液位計は定期的に点検を行い、機能を維持している。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (3/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
プルトニウム溶液受槽液位低インターロック	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 (貯槽下部からの液の抜き出しによる)	プルトニウム溶液受槽液位計移送用エアリフト	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。
移送用エアリフト	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 (貯槽下部からの液の抜き出しによる)	プルトニウム溶液受槽液位低インターロック	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。
油水分離槽	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止) バッチ受入れ	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 (貯槽下部からの液の抜き出しによる)	—	○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されているため機能に影響はない。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (4/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
油水分離槽液位計	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 (貯槽下部からの液の抜き出しによる)	油水分離槽液位低インターロック	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。液位計は定期的に点検を行い、機能を維持している。
油水分離槽液位低インターロック	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 (貯槽下部からの液の抜き出しによる)	油水分離槽液位計 移送用エアリフト	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。インターロックは定期的に点検を行い、機能を維持している。
移送用エアリフト	発生防止機能 (濃縮缶へのTBP等の持込み防止)	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 (貯槽下部からの液の抜き出しによる)	油水分離槽液位低インターロック	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。

表－1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（5/34）

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
サンプリングベンチ	発生防止機能 （濃縮缶へのTBP等の持込み防止）	貯槽からの分析用試料の採取	－	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。サンプリングベンチは定期的な点検の対象となっている。
分析装置	発生防止機能 （濃縮缶へのTBP等の持込み防止）	試料の分析	－	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。分析装置は定期的な点検の対象となっている。
プルトニウム濃縮缶供給槽	発生防止機能 （濃縮缶へのTBP等の持込み防止） バッチ受入れ	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止 （貯槽下部からの液の抜き出しによる）	－	○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。

表－1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（6/34）

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無*	理由
プルトニウム濃縮缶供給槽液位計	発生防止機能（濃縮缶へのTBP等の持込み防止）	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止（貯槽下部からの液の抜き出しによる）	プルトニウム濃縮缶供給槽液位低インターロック	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 液位計は定期的に点検を行い、機能を維持している。
プルトニウム濃縮缶供給槽液位低インターロック	発生防止機能（濃縮缶へのTBP等の持込み防止）	貯槽上部に滞留する有機溶媒の下流機器への移送防止（貯槽下部からの液の抜き出しによる）	プルトニウム濃縮缶供給相ゲデオン	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（7/34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備（供給液の供給停止）	なし	プルトニウム濃縮缶供給槽液位高インターロック プルトニウム濃縮缶気相部圧力高高インターロック プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止インターロック（新設） 緊急停止系	○ 維持1	ゲデオンによる移送を行うために必要な真空は、エアジェットに圧縮空気を供給することにより製造するが、エアジェットへの圧縮空気の供給系は、希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（8/34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン流量制御	発生防止機能（過濃縮防止）	なし	プルトニウム濃縮缶密度制御 プルトニウム濃縮缶液位制御	○ 維持3	ゲデオンによる移送を行うために必要な真空は、エアジェットに圧縮空気を供給することにより製造するが、エアジェットへの圧縮空気の供給系は、希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶の密度制御とは信号の取り合いがあるが、本シナリオでは密度計からの信号ではなく液位計からの信号を受けて流量を調整することとなる。受け取る信号自体は通常の範囲であるため、機能への影響はない。
蒸気発生器	その他	なし		○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (9/34)

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
加熱蒸気圧力計	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 (加熱蒸気の供給停止)	加熱蒸気圧力が135℃を超えないよう、蒸気発生器への一次蒸気圧力の供給流量を制御	加熱蒸気圧力制御	× 喪失1	圧力計の故障により、実際の値よりも低い値を示している状態を想定。正しい値を示さないことから、機能喪失。
加熱蒸気圧力高警報	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気圧力が所定の値に到達したことに關する注意喚起	加熱蒸気圧力計	▲ 波及影響	実際よりも低い蒸気発生器圧力計指示値となっており、警報設定値には届かない値になっており警報は吹鳴しないと想定。警報機能は喪失していないが、発生防止機能としては機能喪失していると想定。
加熱蒸気圧力制御	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気圧力が135℃を超えないよう、蒸気発生器への一次蒸気圧力の供給流量を制御	加熱蒸気圧力計	▲ 波及影響	実際よりも低い蒸気発生器圧力計指示値に基づき圧力制御を行っており、圧力制御としては加熱蒸気圧力を上げるよう制御するため、加熱蒸気温度が135℃を超えるような圧力となっている。制御機能は喪失していないが、発生防止機能としては機能喪失していると想定。

表－1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（10/34）

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無*	理由
加熱蒸気温度計 1	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気温度の計測(生産系)	加熱蒸気温度 1 温度高警報	○ 維持 1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、一次蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは、同じ加熱蒸気系に設置されているが、加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁との取り合いはないため、機能喪失の影響は受けない。本温度計 1 は定期的な点検の対象となっている。
加熱蒸気温度 1 温度高警報	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気温度が通常範囲を外れていることに対する注意喚起	加熱蒸気温度計 1	○ 維持 1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、一次蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは、同じ加熱蒸気系に設置されているが、加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁との取り合いはないため、機能喪失の影響は受けない。本警報は定期的な点検の対象となっている。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（11/34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無*	理由
加熱蒸気温度計 2 (安重)	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気温度計 2 が所定値に到達した場合の加熱蒸気供給停止	加熱蒸気温度高による加熱蒸気供給停止インターロック	○ 維持 3	機能喪失する設備（希釈剤流量計、一次蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは、同じ加熱蒸気系に設置されているが、加熱蒸気圧力計との取り合いはないため、機能喪失の影響は受けない。温度計 2 と加熱蒸気遮断弁は、インターロックを介した信号の取り合いはあるが、加熱蒸気遮断弁から温度計 2 へ向かう信号はないため、加熱蒸気遮断弁の機能喪失の影響は受けない。本温度計 2 は定期的な点検の対象となっている。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（12/34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
加熱蒸気温度計2 （安重）温度高警報	発生防止機能 （加熱蒸気温度の異常な上昇防止）	加熱蒸気温度が所定の値に到達したことを運転員に対して注意喚起する	加熱蒸気温度計2（安重）	○ 維持3	機能喪失する設備（希釈剤流量計、一次蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは、同じ加熱蒸気系に設置されているが、加熱蒸気圧力計との取り合いはないため、機能喪失の影響は受けない。本警報と加熱蒸気遮断弁は、インターロックを介した信号の取り合いはあるが、加熱蒸気遮断弁から警報へ向かう信号はないため、加熱蒸気遮断弁の機能喪失の影響は受けない。本警報は定期的な点検の対象となっている。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (13/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
加熱蒸気温度計2温度高による加熱蒸気供給停止インターロック	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気温度が所定値に到達した場合の加熱蒸気供給停止	加熱蒸気遮断弁 加熱蒸気温度計2(安重)	▲ 波及影響	機能喪失する設備(希釈剤流量計、一次蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは、同じ加熱蒸気系に設置されているが、加熱蒸気圧力計との取り合いはないため、機能喪失の影響は受けない。加熱蒸気遮断弁と当該インターロックは信号の取り合いがあるが、加熱蒸気遮断弁からインターロックに向かう信号はなく、加熱蒸気遮断弁が故障することにより当該弁が閉止できない状態を想定していることから、インターロック自体は機能を維持しているが、発生防止機能としては機能喪失していると想定する。
加熱蒸気遮断弁	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気温度計2が所定値に到達した場合の加熱蒸気供給停止	加熱蒸気温度高による加熱蒸気供給停止インターロック	× 喪失1	弁の故障により閉止できない状態を想定する。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（14／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
加熱蒸気温度計3 (安重)	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気温度の計測(安全系2)	加熱蒸気温度高による一次蒸気供給停止インターロック	○ 維持3	機能喪失する設備（希釈剤流量計、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは、同じ加熱蒸気系に設置されているが、加熱蒸気圧力計および加熱蒸気遮断弁との取り合いはないため、機能喪失の影響は受けない。一次蒸気遮断弁と温度計3は、インターロックを介した信号の取り合いはあるが、一次蒸気遮断弁から温度計3へ向かう信号はないため、一次蒸気遮断弁の機能喪失の影響は受けない。本温度計3は定期的な点検の対象となっている。

表－１ T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（15／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
加熱蒸気温度計 3 （安重）温度高警報	発生防止機能 （加熱蒸気温度の異常な上昇防止）	加熱蒸気温度が所定の値に到達したことを運転員に対して注意喚起する	加熱蒸気温度計 3（安重）	○ 維持 3	機能喪失する設備（希釈剤流量計、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは、同じ加熱蒸気系に設置されているが、加熱蒸気圧力計および加熱蒸気遮断弁との取り合いはないため、機能喪失の影響は受けない。一次蒸気遮断弁と警報とはインターロックを介した信号の取り合いはあるが、一次蒸気遮断弁から警報へ向かう信号はないため、一次蒸気遮断弁の機能喪失の影響は受けない。本警報は定期的な点検の対象となっている。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (16/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
加熱蒸気温度計3温度高による一次蒸気供給停止インターロック	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気温度3温度高による一次蒸気遮断弁の閉止による一次蒸気供給停止	一次蒸気遮断弁 加熱蒸気温度計3(安重)	▲ 波及影響	機能喪失する設備(希釈剤流量計、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは、同じ加熱蒸気系に設置されているが、加熱蒸気圧力計および加熱蒸気遮断弁との取り合いはないため、機能喪失の影響は受けない。一次蒸気遮断弁と当該インターロックは信号の取り合いがあるが、一次蒸気遮断弁からインターロックに向かう信号はなく、一次蒸気遮断弁が故障することにより当該弁が閉止できない状態を想定していることから、インターロック自体は機能を維持しているが、発生防止機能としては機能喪失していると想定する。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (17/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
一次蒸気遮断弁	発生防止機能 (加熱蒸気温度の異常な上昇防止)	加熱蒸気温度3温度高による一次蒸気遮断弁の閉止による一次蒸気供給停止	加熱蒸気温度高による一次蒸気供給停止インターロック プルトニウム濃縮缶密度高インターロック プルトニウム濃縮缶液位低インターロック	× 喪失1	弁の故障により閉止できない状態を想定する。
加熱蒸気安全弁	その他	なし	—	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、一次蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁とは同じ加熱蒸気系に設置されているが、取り合いはないため、これら機器の機能喪失による影響は受けない。本安全弁は定期的な点検の対象となっている。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（18／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
一次蒸気元弁	拡大防止対策	なし	－	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。一次蒸気遮断弁と同じ一次蒸気系に設置されているが、取り合いはないため、一次蒸気遮断弁の機能喪失の影響は受けない。 本弁は定期的な点検の対象とする予定。
プルトニウム濃縮缶	その他 連続受入れ	なし	－	○ 維持2	静的機器であり、機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されているため機能に影響はない。

表－１ T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（19／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
プルトニウム濃縮缶密度計	発生防止機能（過濃縮防止）	過濃縮防止（プルトニウム濃縮液の濃度を一定値に保つよう流量を制御）	プルトニウム濃縮缶密度制御 プルトニウム濃縮缶密度高インターロック	○ 維持 4	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶密度制御機能は喪失するが、原因は運転員の誤操作であり、密度計の機能は維持できていると想定する。密度計は定期的な点検の対象となっている。
プルトニウム濃縮缶密度制御	発生防止機能（過濃縮防止）	過濃縮防止（プルトニウム濃縮液の濃度を一定値に保つよう流量を制御）	プルトニウム濃縮缶密度計 プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン流量制御	× 喪失 2	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶密度制御機能は喪失するが、原因は運転員の誤操作であり、設備としての異常は発生しないが、機能としては喪失していることを想定する。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (20/34)

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無*	理由
プルトニウム濃縮缶密度高警報	発生防止機能（過濃縮防止）	過濃縮防止（プルトニウム濃縮液の濃度が所定の値を超えたことについて注意喚起を行う）	プルトニウム濃縮缶密度計	○ 維持その他 （取り合いのある密度制御に設備故障はないため機能は維持）	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶密度制御機能は喪失するが、原因は運転員の誤操作であり、密度計の機能は維持できていると想定する。密度高警報は定期的な点検の対象となっている。
プルトニウム濃縮缶密度計密度高によるインターロック	発生防止機能（過濃縮防止）	過濃縮防止（プルトニウム濃縮液の濃度を一定値に保つよう流量を制御）	プルトニウム濃縮缶密度計 一次蒸気遮断弁	▲ 波及影響	本インターロックにより作動する一次蒸気遮断弁は機能喪失することを想定する。このため、インターロックとしても機能しないと想定する。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (21/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
プルトニウム濃縮缶 液位計	発生防止機能 (過濃縮防止)	過濃縮防止(プルトニウム濃縮液が一定量以下となった場合に加熱を停止する)	プルトニウム濃縮缶液位制御 プルトニウム濃縮缶液位低インターロック	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されており、密度計の計装配管を一部共用しているが、密度計は機能喪失せず、密度制御の信号と液位計とは取り合いがないため、密度制御機能の喪失の影響は受けない。本液位計は定期的な点検の対象となっている。
プルトニウム濃縮缶 液位制御	その他	なし	プルトニウム濃縮缶液位計 プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン流量制御	○ 維持3	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶の密度制御機能からの出力される制御信号は、液位制御機能から出力される制御信号も受け取る事となっており、ここで取り合いが発生するが、信号の逆流は発生しないため1機能は維持できる。

表－１ T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（22/34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
プルトニウム濃縮缶液位計液位低によるインターロック	発生防止機能（過濃縮防止）	過濃縮防止（プルトニウム濃縮液が一定量以下となった場合に加熱を停止する）	プルトニウム濃縮缶液位計 一次蒸気遮断弁	▲ 波及影響	本インターロックにより作動する一次蒸気遮断弁は機能喪失することを想定する。このため、インターロックとしても機能しないと想定する。
プルトニウム濃縮缶液相部温度計	その他	なし	プルトニウム濃縮缶液相部温度高警報（新設）	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されているが、密度計および密度制御機能との取り合いはないため、機能は維持される。液相部温度計は定期的な点検の対象となっている。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (23/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
プルトニウム濃縮缶液相部温度高警報(新設)	TBP等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備(供給液の供給停止、貯留タンクへの放射性物質の貯留)	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック(新設) プルトニウム濃縮缶への供給停止インターロック(新設)	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されているが、密度計および密度制御機能との取り合いはないため、機能は維持される。液相部温度高警報は定期的な点検の対象とする予定。
プルトニウム濃縮缶気相部温度計	TBP等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備(供給液の供給停止、貯留タンクへの放射性物質の貯留)	なし	プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報(新設) 貯留タンクへの貯留起動インターロック(新設) プルトニウム濃縮缶への供給停止インターロック(新設)	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されているが、密度計および密度制御機能のと取り合いはないため、機能は維持される。気相部温度計1は定期的な点検の対象となっている。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（24/34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
プルトニウム濃縮缶 気相部温度高警報 （新設）	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 （供給液の供給停止、貯留タンクへの放射性物質の貯留）	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック（新設） プルトニウム濃縮缶への供給停止インターロック（新設）	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されているが、密度計および密度制御機能との取り合いはないため、機能は維持される。気相部温度高警報は定期的な点検の対象とする予定。
プルトニウム濃縮缶 気相部圧力計	その他	なし	－	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されているが、密度計および密度制御機能との取り合いはないため、機能は維持される。気相部圧力計1は定期的な点検の対象となっている。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (25/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
プルトニウム濃縮缶気相部圧力制御	その他	なし	プルトニウム濃縮缶気相部圧力計1	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されているが、密度計および密度制御機能との取り合いはないため、機能は維持される。気相部圧力制御は定期的な点検の対象となっている。
プルトニウム濃縮缶気相部圧力計圧力高によるインターロック	その他	なし	プルトニウム濃縮缶気相部圧力計1 プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン 一次蒸気遮断弁	▲ 波及影響	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されているが、密度計および密度制御機能との取り合いはない。但し、一次蒸気遮断弁が機能喪失することから、インターロック機能の一部は喪失する。 (供給ゲデオンの停止は機能する)

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (26/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
プルトニウム濃縮缶 気相部圧力高高警報 (新設)	TBP等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 (供給液の供給停止、貯留タンクへの放射性物質の貯留)	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック (新設) プルトニウム濃縮缶への供給停止インターロック (新設)	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。プルトニウム濃縮缶に設置されているが、密度計および密度制御機能との取り合いはないため、機能は維持される。気相部圧力高高警報は定期的な点検の対象とする予定。
プルトニウム濃縮缶 凝縮器	TBP等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 (放射性エアロゾルの除去、貯留タンクへの放射性物質の貯留)	なし	—	○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されているため機能に影響はない。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (27/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
凝縮液流量制御	その他	なし	—	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。
プルトニウム濃縮液受槽 (バッチ受入れ)	その他	なし	—	○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されているため機能に影響はない。
凝縮液受槽A/B (連続受入れ)	その他 (連続受入れ)	なし	—	○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されているため機能に影響はない。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（28／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）洗浄塔	その他	なし	－	○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されているため機能に影響はない。
廃ガスポット	その他	なし	水封用純水供給インターロック（新設）	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。
隔離弁（塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系））	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備（貯留タンクへの放射性物質の貯留）	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック（新設）	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 当該隔離弁は定期的な点検の対象とする予定。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（29／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系） 排風機	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 (貯留タンクへの放射性物質の貯留)	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック (新設)	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 排風機は定期的な点検の対象となっている。
隔離弁（貯留設備）	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 (放射性エアロゾルの除去、貯留タンクへの放射性物質の貯留)	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック (新設)	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 本弁は定期的な点検の対象とする予定。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（30／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
空気圧縮機	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 （貯留タンクへの放射性物質の貯留）	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック （新設）	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 圧縮機は定期的な点検の対象とする予定
貯留タンク	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 （放射性エアロゾルの除去、貯留タンクへの放射性物質の貯留）	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック （新設）	○ 維持1	静的機器であり、機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されるため、機能に影響はない。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（31／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
圧力計（貯留タンク）	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 （放射性エアロゾルの除去、貯留タンクへの放射性物質の貯留）	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック （新設）	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 圧力計は定期的な点検の対象とする予定。
流量計（貯留タンク）	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備 （貯留タンクへの放射性物質の貯留）	なし	貯留タンクへの貯留起動インターロック （新設）	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 流量計は定期的な点検の対象とする予定。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (32/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
緊急停止系	自主対策設備(供給液の供給停止)	なし	希釈剤供給流量制御 加熱蒸気圧力制御 プルトニウム濃縮缶気相部圧力制御 一次蒸気遮断弁 加熱蒸気遮断弁 供給ゲデオン	○ 維持3	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもない。一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁とは信号の取り合いがあるが、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁から緊急停止系に向かう信号はないため、これら弁の機能喪失による影響は受けない。緊急停止系は定期的な点検の対象となっている。

表－1 T B P等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況（33／34）

機器	機能	T B P等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能（設備）とのつながり	機能喪失の有無※	理由
プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止インターロック（新設）	T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための設備（供給液の供給停止）	なし	プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報（新設） プルトニウム濃縮缶気液相部温度高警報（新設） プルトニウム濃縮缶気相部圧力高警報（新設） プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン	○ 維持1	機能喪失する設備（希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御）とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 当該インターロックは定期的な点検の対象となる予定。

表-1 TBP等の錯体の急激な分解反応に関連のある機器の機能と事象発生時における機能の状況 (34/34)

機器	機能	TBP等の錯体の急激な分解反応の発生防止に対する機能	他機能(設備)とのつながり	機能喪失の有無*	理由
貯留タンクへの貯留起動インターロック(新設)		なし	プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報(新設) プルトニウム濃縮缶気液相部温度高警報(新設) プルトニウム濃縮缶気相部圧力高警報(新設) 塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)排風機 塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)漏れ込みラインの自動弁閉止 空気圧縮機	○ 維持1	機能喪失する設備(希釈剤流量計、加熱蒸気圧力計、一次蒸気遮断弁、加熱蒸気遮断弁、プルトニウム濃縮缶密度制御)とは異なる設備に設置されており、信号の取り合いもないため機能に影響はない。 当該インターロックは定期的な点検の対象となる予定。

※ 「機能喪失の有無」に記載している事項の意味は以下のとおり。

維持1：機能喪失を想定する機能との取り合いがない

維持2：機能喪失する機能（機器）との取り合いがあるが、静的機器であるため影響は受けない

維持3：機能喪失する機能（機器）との取り合いがあるが、信号の取り合いであり、機能喪失した機器から信号を受けないため、機能喪失の影響は受けない

維持4：機能喪失する機能との取り合いがあるが、機能喪失の原因が誤操作であり機器の故障は発生しないため、影響は受けない。

波及影響：機能喪失する機能（機器）の影響により、当該機能（機器）の発生防止機能が喪失する

喪失1：機器の故障・異常による機能喪失

喪失2：誤操作による機能喪失

補足説明資料 10－6

1. T B P 等の錯体の急激な分解反応における事態の収束までの放出量評価及び被ばく線量評価

1.1 評価内容

プルトニウム濃縮缶における T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生してから収束するまでの放射性物質の大気中への放出量进行评估する。T B P 等の錯体の急激な分解反応により気相部に移行した放射性物質のうち、貯留タンクに貯留されなかった放射性物質が大気中へ放出されたものとして評価する。事態が収束するタイミングは、貯留タンクへの貯留時間は 1 時間とし、その後塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)を通常運転時の経路に復旧した時点とする。

T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した後も、供給液の停止操作完了までは供給液の供給が継続することから、T B P 等の錯体の分解反応発生後から供給液の供給停止完了までの約 1 分間に供給される T B P 全量について、T B P 等が分解反応により放射性物質を放出することを想定して放出量进行评估する。

また、放出量評価にあわせて放出期間中の事業所外における被ばく線量进行评估する。

なお、評価対象建屋はプルトニウム濃縮缶における T B P 等の錯体の急激な分解の発生を想定する精製建屋である。

1.2 大気中への放射性物質の放出量評価及び事業所外での被ばく評価

大気中への放射性物質の放出量は、重大事故等が発生する貯槽が保有する放射性物質量に対して、事故の影響を受ける割合、分解反応に伴い気相中に移行する放射性物質の割合、大気中への放出経路における低減割合及び貯留タンクへ貯留されない放射性物質の割合を乗じて算出する。

また、評価した大気中への放射性物質の放出量にセシウム-137への換算係数を乗じて、大気中へ放出された放射性物質の放出量（セシウム-137換算）を算出する。

さらに、事業所外での被ばく線量評価は、以下の計算式（1式）により算出する。

被ばく線量 [S_v]

$$\begin{aligned} &= \text{大気中への放射性物質の放出量 [Bq]} \\ &\quad \times \text{呼吸率 [m}^3/\text{s]} \times \text{相対濃度 } \chi / Q [\text{s} / \text{m}^3] \\ &\quad \times \text{線量換算係数 [Sv / Bq]} \quad (1 \text{式}) \end{aligned}$$

1.3 評価に用いる各種パラメータの設定

大気中への放射性物質の放出量及び事業所外での被ばく線量を「1.2 大気中への放射性物質の放出量評価及び事業所外での被ばく評価」の通りに算出する。また、算出に必要なパラメータは第 1. - 1 表、第 1. - 2 表及び第 1. - 3 表に示す通りである。

第 1. - 1 表 機器内の気相に移行する放射性物質の割合 (A R F) の設定

< T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時 (爆発時の圧力が 3.5 M P a を上回る場合での A R F の算出式を適用) >

①	T B P 等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギー E_1 [k J] 算出	E_1 [k J] = $1400 [J / g \text{ T B P}] \times \text{T B P 量} [k g]$
②	水蒸気発生量算出 W [k g]	$W [k g] =$ $E_1 / 2200 [k J / k g - s t e a m]$
③	発生水蒸気のマール分率算出 M F [-]	$M F =$ $W / (V_L \times 1000 [k g / m^3 - H_2 O])$ V_L : 塔槽内液相部体積 [m^3]
④	A R F 算出 [-]	$A R F = 1.28 \times M F^{0.827}$

< T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後から供給液の供給が停止するまで (爆発時の圧力が 0.35 M P a 未満の場合の A R F 値を適用) >

項目	パラメータ
A R F	5.0×10^{-5}

第 1. - 2 表 放出量評価に必要なパラメータの設定

項目	パラメータ	
貯槽が保有する放射性物質質量 (MAR)	プルトニウム濃縮缶の通常運転時の容量及び T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を沸点とするプルトニウム濃度から算出した放射性物質質量とする。	
MAR のうち事故の影響を受ける割合 (DR)	1 とする	
機器内の気相に移行する放射性物質の割合の (ARF)	第 1. - 1 表参照	
大気中への放出経路における低減割合 (DF)	経路上での沈着等	10
	高性能粒子フィルタ	1.0×10^5
貯留タンクへ貯留されない放射性物質の割合	約 3 %	

第 1. - 3 表 被ばく評価に必要なパラメータの設定

項目	パラメータ
呼吸率 [m ³ / s]	3.33 × 10 ⁻⁴
相対濃度 χ / Q [s / m ³]	1.20 × 10 ⁻⁶
線量換算係数 [S v / B q]	核種毎に設定

1.4 貯槽が保有する放射性物質質量の設定

貯槽が保有する放射性物質質量は，1日当たりに処理する使用済燃料の平均燃焼度 45,000MW d / t · U P r ，照射前燃料濃縮度 4.5w t % ，比出力 38MW / t · U P r ，冷却期間 15 年を基に算出した内蔵放射能に，使用済燃料の燃料仕様の変動に係る補正係数を考慮して平常運転時の最大値を算出し設定する。使用済燃料の燃料仕様の変動に係る補正係数を第 1. - 4 表に示す。

なお，プルトニウム濃縮缶における T B P 等の錯体の急激な分解反応は，濃縮缶内での過濃縮を経て事象発生することから，平常運転値の最大値を算出したうえで，過濃縮の濃縮倍率を考慮して放射性物質質量を設定する。

第 1. - 4 表 使用済燃料の燃料仕様の變動に係る補正係数

元素グループ	使用済燃料中の放射能		燃料仕様の變動に係る補正係数
	(B q / t · U P r)		
R u / R h	1.6 × 10 ¹² ※ 2		1.7
その他 F P ※ 1	1.3 × 10 ¹⁶		1.1
P u	α	1.7 × 10 ¹⁴	2.0
	β	2.9 × 10 ¹⁵	
A m , C m	1.8 × 10 ¹⁴		2.7

※ 1 その他 F P とは、核分裂生成物のうち、K r - 85 ,
I - 129 及び R u / R h を除いたものを示す。

※ 2 R u 及び R h の合算値を示す。

1.5 T B P 等の錯体の急激な分解反応に伴い機器の気相中 に移行する放射性物質の割合の設定

T B P 等の錯体の急激な分解反応に伴い気相中に移行する放射性物質の割合は、爆発時の圧力が 0.35 MPa を上回る場合は第 1. - 1 表の計算フローに基づき算出する。

爆発時の圧力が 0.35 MPa 未満の場合は 0.005% とする。

1.6 大気中への放出経路における低減割合の設定

放出経路上の構造物への沈着による放射性エアロゾルの除染係数は、D F 10 とする。また、高性能粒子フィルタの放射性エアロゾルの除染係数⁽²⁾は、T B P 等の錯体の急激な分解

反応が発生した場合の温度及び圧力においても健全であることを確認していることから、高性能粒子フィルタが所定の性能を発揮できることにより、2段でDF 1×10^5 とする。

1.7 セシウム-137 換算係数

放射性物質のセシウム-137 換算係数は、IAEA-TECDOC-1162に記載されている、地表沈着した核種からのガンマ線による外部被ばく及び再浮遊核種の吸入による内部被ばくを考慮した50年間の実効線量への換算係数並びに吸入核種の化学形態を線量告示に適合させるために、プルトニウム等の一部の核種について、IAEA-TECDOC-⁽²⁾1162に記載の吸入摂取換算係数をICRP Publication⁽³⁾.72の吸入摂取換算係数で補正するために設定する「吸入核種の化学形態に係る補正係数」を用いて、以下の計算式により算出する。

また、セシウム-137 換算係数の算出過程を第1. - 5表に示す。

セシウム-137 換算係数

$$= (\text{ある核種のCF4換算係数}) / (\text{セシウム-137CF4換算係数}) \times (\text{吸入核種の化学形態に係る補正係数})$$

第 1. - 5 表 主要な核種のセシウム-137 換算係数

	IAEA-TECDOC- 1162 の CF_4 換算係数 [A]	IAEA-TECDOC- 1162 の CF_4 換算係数 (Cs137 の値) [B]	吸入核種の化学形態 に係る補正係数 [C]	Cs137 換算係数 ※1 [D] = [A] / [B] × [C]
	($mSv / (kBq \cdot m^{-2})$)	($mSv / (kBq \cdot m^{-2})$)	(-)	(-)
Sr90	2.1E-02	1.3E-01	1.0	0.16
Ru106	4.8E-03	1.3E-01		0.037
Cs134	5.1E-02	1.3E-01		0.39
Cs137	1.3E-01	1.3E-01		1.0
Ce144	1.4E-03	1.3E-01		0.011
Eu154	1.3E-01	1.3E-01		1.0
Pu238	6.6E+00	1.3E-01	0.41	21
Pu239	8.5E+00	1.3E-01	0.42	27
Pu240	8.4E+00	1.3E-01	0.42	27
Pu241	1.9E-01	1.3E-01	0.39	0.56
Am241	6.7E+00	1.3E-01	0.45	23
Cm242	5.9E-02	1.3E-01	0.88	0.40
Cm244	2.8E+00	1.3E-01	0.47	10

注：放射平衡核種の子孫核種の寄与は、親核種に含む。

	IAEA-TECDOC- 1162 の吸入摂取換算係数 [a]	ICRP Publication.72 の 吸入摂取 換算係数(化学形態を考慮) [b]	吸入核種の化学形態に係る補正係数 [c] = [b] / [a]
	(Sv / Bq)	(Sv / Bq)	(-)
Pu238	1.13E-04 ※2	4.6E-05	0.41
Pu239	1.20E-04 ※2	5.0E-05	0.42
Pu240	1.20E-04 ※2	5.0E-05	0.42
Pu241	2.33E-06 ※2	9.0E-07	0.39
Am241	9.33E-05	4.2E-05	0.45
Cm242	5.93E-06	5.2E-06	0.88
Cm244	5.73E-05	2.7E-05	0.47

※1：地表沈着した核種からの外部被ばく及び再浮遊核種の吸入による内部被ばくの50年間の実効線量を用いてセシウム-137放出量に換算する係数

※2：化学形態としてキレートを想定

1.8 評価結果

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生から事態の収束までの放射性物質の大気中への放出量（C s - 137換算）及び放出期間中の事業所外における被ばく線量評価の計算過程を第 1. - 6 表に，評価結果を第 1. - 7 表に示す。

第 1. - 7 表の結果から，放射性物質の放出量は事業指定基準規則第 28 条で要求されているセシウム - 137 換算で 100 T B q を十分下回る。また，管理放出時の放射性物質の放出に伴う公衆の被ばくは、I C R P の 1990 年勧告に示されている平常時の公衆の被ばくに対する年実効線量限度の 1 m S v に対して十分低いレベルに抑えられている。

第 1. - 6 表 T B P 等の錯体の急激な分解反応の事態の収束までの

放出量 (C s - 137 換算) 及び被ばく線量の計算過程

< T B P 等の錯体の急激な分解反応による評価 >

機器	核種Gr	MAR [Bq]	DR [-]	ARF [-]	LPF (フィルタ・経路) [-]	貯留の考慮	①	②	③=①×②	④=Σ③	⑤	⑥	⑦	⑧=①×⑤ ×⑥×⑦	Σ⑧
							放出量 [Bq]	Cs-137換算係数 [Bq/Bq]	総放出量 (Cs-137換算) [Bq]	放出量 (Cs-137換算) [TBq]	χ/Q [s/m3]	呼吸率 [m3/s]	換算係数 [Sv/Bq]	被ばく線量 [Sv]	被ばく線量 [mSv]
プルトニウム濃縮缶	Zr/Nb	0.0E+00	1E+00	4E-03	1E-06	2E-02	0E+00	2E-02	0E+00	1.1E-05	1E-06	3E-04	2E-08	0E+00	8.7E-06
プルトニウム濃縮缶	Ru/Rh	1.9E+07					1E-03	2E-02	3E-05				3E-08	2E-20	
プルトニウム濃縮缶	Cs/Ba	0.0E+00					0E+00	5E-01	0E+00				2E-09	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	Ce/Pr	0.0E+00					0E+00	5E-03	0E+00				3E-08	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	Sr/Y	0.0E+00					0E+00	8E-02	0E+00				8E-08	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	その他FP	3.5E+08					3E-02	5E-01	1E-02				3E-08	3E-19	
プルトニウム濃縮缶	Pu	8.0E+16					6E+06	2E+00	1E+07				3E-06	9E-09	
プルトニウム濃縮缶	Am/Cm	0.0E+00					0E+00	2E+01	0E+00				4E-05	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	U(α)	4.5E+07					4E-03	7E+00	3E-02				5E-06	7E-18	
プルトニウム濃縮缶	Np(α)	0.0E+00					0E+00	3E-01	0E+00				4E-07	0E+00	

< T B P 等の錯体の急激な分解反応後～供給液の供給停止までの評価 >

機器	核種Gr	MAR [Bq]	DR [-]	ARF [-]	LPF (フィルタ・経路) [-]	貯留の考慮	①	②	③=①×②	④=Σ③	⑤	⑥	⑦	⑧=①×⑤ ×⑥×⑦	Σ⑧
							放出量 [Bq]	Cs-137換算係数 [Bq/Bq]	総放出量 (Cs-137換算) [Bq]	放出量 (Cs-137換算) [TBq]	χ/Q [s/m3]	呼吸率 [m3/s]	換算係数 [Sv/Bq]	被ばく線量 [Sv]	被ばく線量 [mSv]
プルトニウム濃縮缶	Zr/Nb	0.0E+00	1E+00	5E-05	1E-06	2E-02	0E+00	2E-02	0E+00	1.5E-07	1E-06	3E-04	2E-08	0E+00	1.2E-07
プルトニウム濃縮缶	Ru/Rh	1.9E+07					2E-05	2E-02	4E-07				3E-08	3E-22	
プルトニウム濃縮缶	Cs/Ba	0.0E+00					0E+00	5E-01	0E+00				2E-09	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	Ce/Pr	0.0E+00					0E+00	5E-03	0E+00				3E-08	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	Sr/Y	0.0E+00					0E+00	8E-02	0E+00				8E-08	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	その他FP	3.5E+08					4E-04	5E-01	2E-04				3E-08	4E-21	
プルトニウム濃縮缶	Pu	8.0E+16					9E+04	2E+00	2E+05				3E-06	1E-10	
プルトニウム濃縮缶	Am/Cm	0.0E+00					0E+00	2E+01	0E+00				4E-05	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	U(α)	4.5E+07					5E-05	7E+00	4E-04				5E-06	1E-19	
プルトニウム濃縮缶	Np(α)	0.0E+00					0E+00	3E-01	0E+00				4E-07	0E+00	

※ L P F = 1 / D F

第 1. - 7 表 T B P 等の錯体の急激な分解反応の事態の収束までの放出量 (C s - 137 換算) 及び被ばく線量

建屋 (機器)	放出量 (C s - 137 換算) [T B q]	放出期間中の 被ばく線量 [m S v]
精製建屋 (プルトニウム濃縮缶)	2×10^{-5}	9×10^{-6}

2. 参考文献

(1) Science Applications International. Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook. United States Nuclear Regulatory Commission, 1998-03, NUREG/CR-6410.

(2) GENERIC PROCEDURES FOR ASSESSMENT AND RESPONSE DURING A RADIOLOGICAL EMERGENCY. IAEA, VIENNA, 2000 IAEA-TCDOC-1162

(3) ICRP. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients. Annals of the ICRP, ICRP Publication 72. 1996, vol. 26, no. 1.

補足説明資料 10－7

T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時における
放射性物質の気相中への移行率

1. はじめに

本資料は、T B P等の錯体の急激な分解反応における大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）の算定にあたって使用する気相中への移行率（A R F）について説明するものである。

2. A R Fについて

A R Fは、N U R E G / C R 6 4 1 0において 0.35MP a 未満、0.35～3.5MP a、3.5MP a を超える圧力によるA R F 値又は式があり、最も高い値となる 3.5MP a を超える圧力によるA R F 式を厳しい条件として適用した。この式は、容器内に液体を入れ、容器の排気部を破裂板で閉止し、空間部を加圧したことにより破裂板が破裂した場合における容器内の液体のA R F の式である。

Calculating the ARF. The ARF can be obtained as a best fit of the pressurized release data. This best fit curve is

$$ARF = 0.115 MF_g^{0.827} \quad (3.6)$$

where MF_g is the mole fraction of pressurizing gas or vapor. This is the number of moles of gas or vapor produced upon depressurization, divided by the total moles of solvent plus dissolved gas before the depressurization. The ARF equation is the best fit and is shown in Figure 3-8. Upper and lower bound equations are

$$ARF_{ub} = 1.28 MF_g^{0.827} \quad (3.7)$$

$$ARF_{lb} = 2.23E-03 MF_g^{0.827} \quad (3.8)$$

A R FはU p p e r B o u n d, B e s t F i t, L o w e r B o u n dの3種類があり、それを図示したものが次頁の図である。

放射性物質の放出量に対し、より厳しい条件を設定するため、U p p e r B o u n dの式を用いてA R Fを算出した。

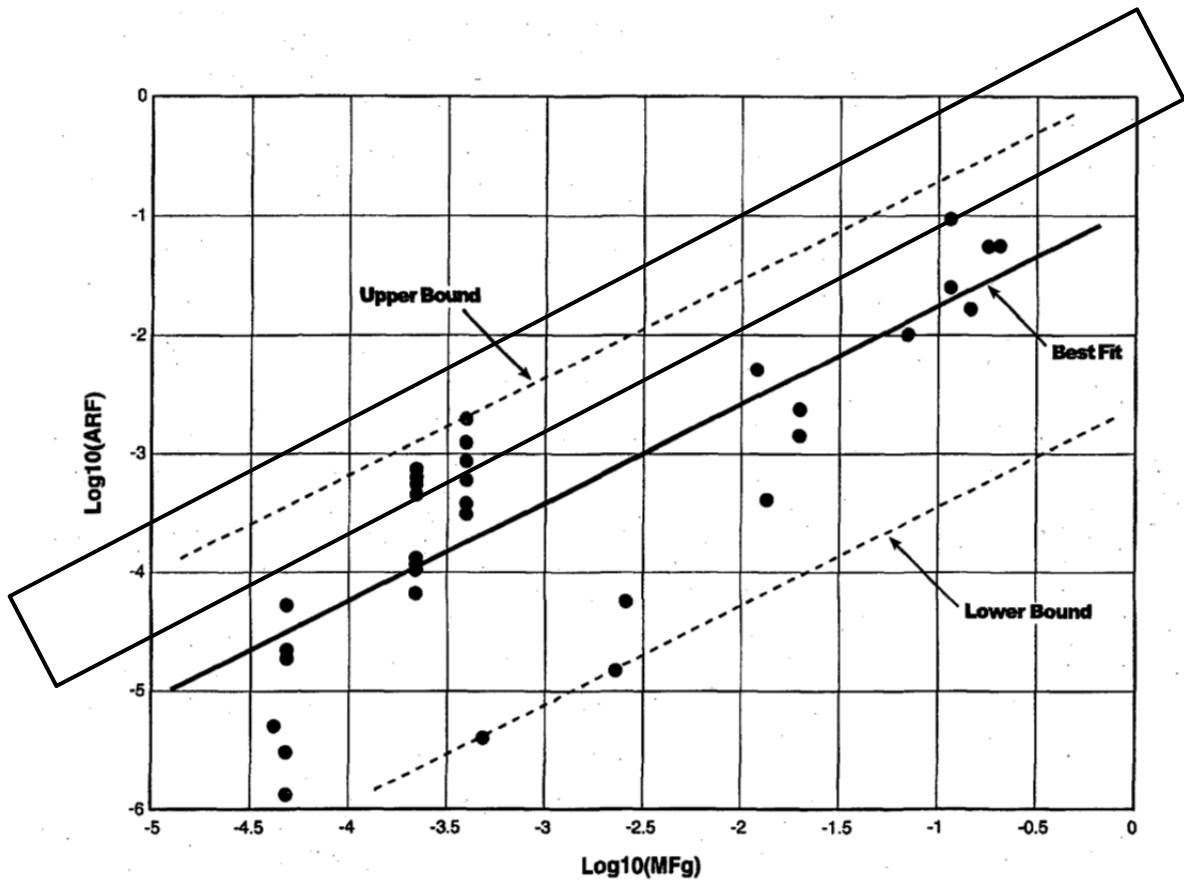


Figure 3-8. Fraction airborne vs. mole fraction of pressurizing gas for liquid pressurized releases

一方、T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後の連続供給時における T B P 等の分解反応として適用した A R F は、T B P 等の量が少なく、分解反応によって発生する熱やガス量が少ないため、気相部の圧力上昇が小さいことから、0.35MP a 未満の A R F 値として 5×10^{-5} を適用した。

3.3.1.8 Overpressurization to Rupture

A. Liquid, Confined (in vessel/container): Bounding Values

Slow Build up of Pressure:

a. *Vented above the surface level of liquid, failure pressure < 0.35 MPa_g (50.9 psig)*

<p>ARF 5E-5 RF (0.8)</p>
--

補足説明資料 10－8

不確かさの設定

1. はじめに

本資料は、T B P等の錯体の急激な分解反応における大気中への放射性物質の放出量（セシウム-137換算）の算定にあたって使用する各パラメータの不確かさについて説明するものである。

2. 各パラメータの不確かさについて

(1) 重大事故等が発生する機器に保有される放射性物質質量（MAR）

a. 上振れ効果

MARの上振れとなる要因はない。

b. 下振れ効果

第1表に示す再処理する使用済燃料の冷却年数を15年に制限した条件を用いて放射能濃度を算出し、第2表のとおり燃料仕様の変動に係る補正係数を考慮した場合、1桁未満の下振れとなる。

第1表 使用済燃料の条件

燃料型式	PWR
初期濃縮度	4.5w t %
燃焼度	45,000MW d / t · U _{PR}
比出力	38MW / t · U _{PR}
冷却年数	15年

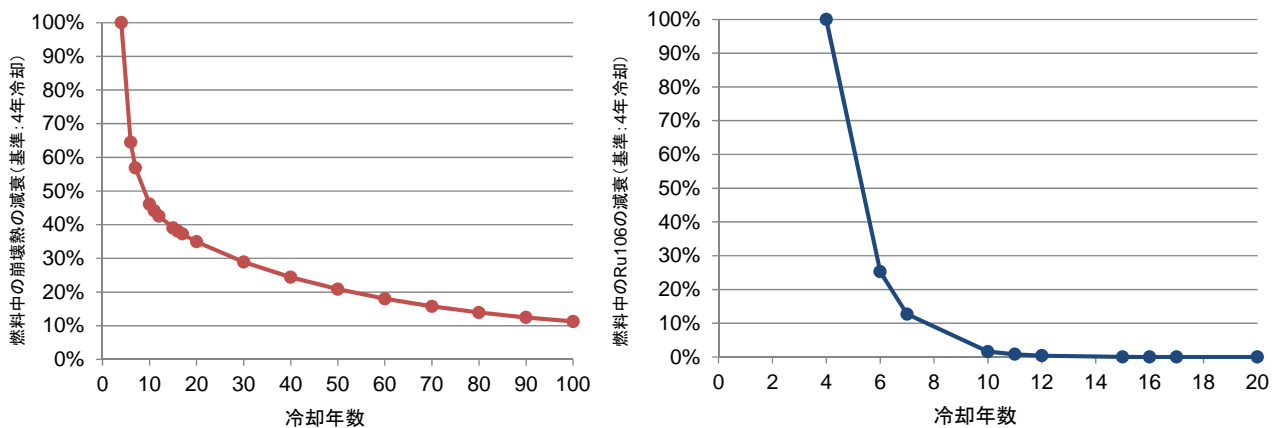
第2表 燃料仕様の変動に係る補正係数

元素グループ		燃料仕様の変動に係る補正係数
R u / R h		1.7 * ²
その他F P * ¹		1.1
P u	α	2.0
	β	
A m, C m		2.7

*1 その他F Pとは、核分裂生成物のうち、K r -85, I -129 及びR u / R h を除いたものを示す。

*2 R u 及びR h の合算値を示す。

再処理施設で保有する使用済燃料には、冷却期間 15 年以上となるものも含まれ、冷却期間 15 年以上の燃料を処理した場合、第1図に示すとおり放射能の減衰による放射性物質量のさらなる低減効果を見込める。



第1図 使用済燃料の冷却年数による崩壊熱及びR u -106 の減衰

T B P等の錯体の急激な分解反応を検知後、インターロックにより自動的にプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンは停止するため、供給液の供給は速やかに停止することから、1分間とした供給液の供給が停止するまでの時間には1桁未満の下振れがある。

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生するプルトニウム濃度は800 g/Lであり、プルトニウム溶液の粘性は高いと考えられ、この濃度での実験結果はないことから、気液分離部から加熱部への流動については不確かさが存在する。また、800 g/Lのプルトニウム溶液と供給液の混合液が加熱されることによる分解反応の発生についても不確かさが存在する。それぞれ分解反応が発生することを想定した設定値として評価していることから、体系に起因した1桁未満の下振れを有する。

(2) T B P等の錯体の急激な分解反応により影響を受ける割合 (D R)

D Rは1とし、不確かさの幅の設定は行わない。

(3) 機器の気相に移行する割合 (A R F)

a. 上振れ効果

第3表に示すように、A R Fの算出には、T B P等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギーが必要となる。

NUREG/CR-6410における爆発事象を想定した実験結果を整理した式にはT B P等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギーを使用するため、引用する分解反応によって発生する単位T B P量あたりの熱量によっては1桁未満の上振れを有する可能性がある。また、T B Pの水への溶解度の幅を考慮すると、T B P量について、条件によっては1桁未満の上振れを有する可能性がある。

第3表 ARFの計算フロー

①	TBP等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギー E_1 [kJ]算出	E_1 [kJ]= $1400[\text{J/g TBP}] \times \text{TBP量}[\text{kg}]$
②	水蒸気発生量算出 W [kg]	W [kg]= $E_1/2200[\text{kJ/kg steam}]$
③	発生水蒸気のマール分率算出 MF [-]	$MF =$ $W / (V_L \times 1000[\text{kg/m}^3 \text{H}_2\text{O}])$ V_L : 塔槽内液相部体積 $[\text{m}^3]$
④	ARF算出[-]	$ARF = 1.28 \times MF^{0.827}$

b. 下振れ効果

算出に用いる式については、NUREG/CR-6410における爆発事象を想定した実験結果を整理した式のうち最も厳しい結果を与えるupper boundとされる計算式を使用しており、設定したARFが最大値であることから、実験結果に対するbest fitの計算式との比較により、実際には1桁程度の下振れを有する。

(4) 大気中への放出経路における除染係数(LPF)

a. 上振れ効果

粒子径分布によっては、除染係数に対して1桁程度下振れする可能性がある。

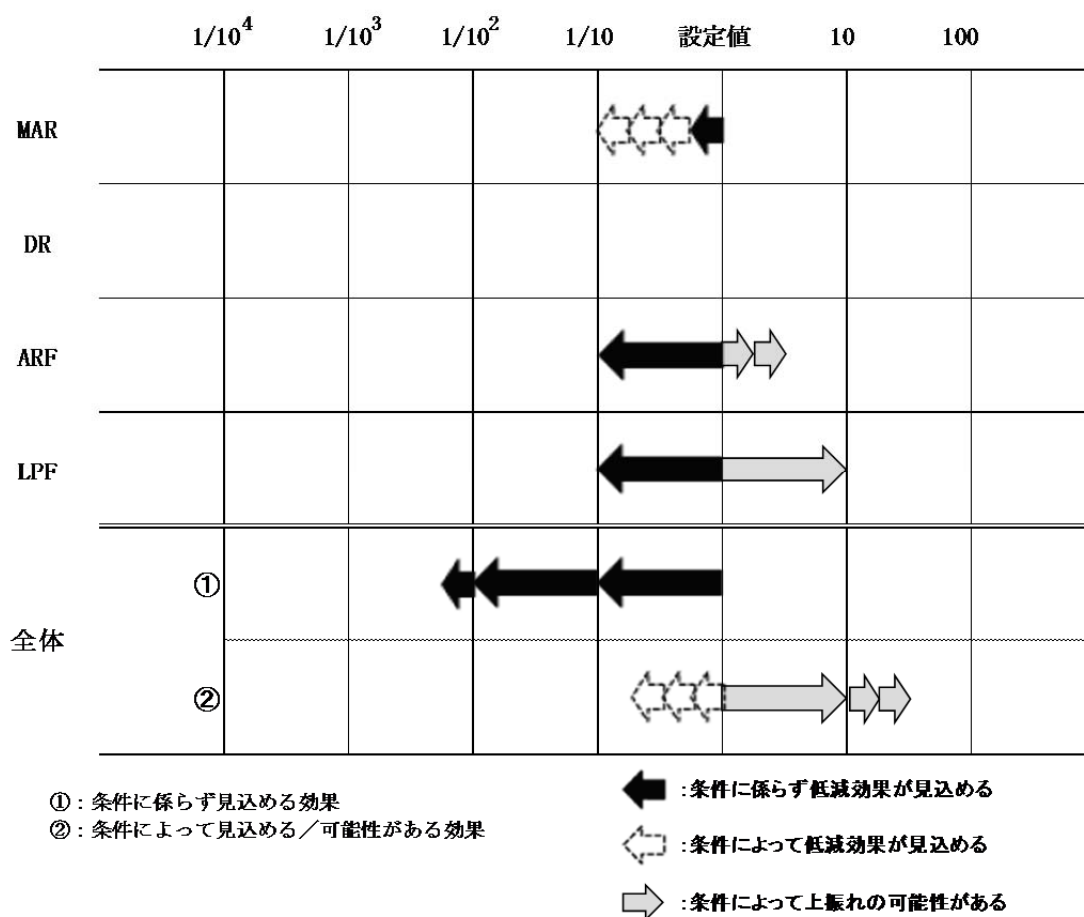
b. 下振れ効果

プルトニウム濃縮缶から塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)の排風機までの経路上の配管は、曲がり部が多く、数十m以上の長い配

管及び複数の機器で構成されることから、放射性物質を大気中へ押し出すエネルギーの減衰や放射性エアロゾルの沈着による除去が期待できる。

エネルギーの減衰や放射性エアロゾルの沈着による除去効果について、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による除去効果として1桁程度の下振れを有する。

(1)～(4)の不確かさをまとめると、第2図のようになる。



※LPF = (1 / 除染係数)

第2図 TBP等の錯体の急激な分解反応の放出量評価における不確かさ