10.　有機溶媒等による火災又は爆発への対処

目次

10.　有機溶媒等による火災又は爆発への対処

10.1　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策

10.1.1　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策の具体的内容

10.1.1.1　プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及びプルトニウム濃縮缶の加熱の停止

10.1.1.2　貯留設備による放射性物質の貯留

10.1.2　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策の有効性評価

10.1.2.1　有効性評価

10.1.2.2　有効性評価の結果

10.1.2.3　重大事故等の同時発生又は連鎖

10.1.2.4　判断基準への適合性の検討

10.2　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策に必要な要員及び資源

10.　有機溶媒等による火災又は爆発への対処

⑴　有機溶媒等による火災又は爆発の特徴

有機溶媒等による火災又は爆発の特徴として想定するＴＢＰ，ＴＢＰの分解生成物であるりん酸二ブチル又はりん酸一ブチル（以下 10. では「ＴＢＰ等」という。）と硝酸又は硝酸プルトニウムの錯体（以下 10. では「ＴＢＰ等の錯体」という。）の急激な分解反応（以下 10. では「ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応」という。）は，プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶（以下 10. では「プルトニウム濃縮缶」という。）での発生を想定している。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応には，ＴＢＰ等の錯体の存在及びＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度に至るための加熱源が必要であるため，ＴＢＰ等の供給源又は加熱源のいずれかを除去することで，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生は防止できる。

プルトニウム濃縮缶には，硝酸プルトニウム及び硝酸が既に存在することから，プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶供給槽（以下 10. では「プルトニウム濃縮缶供給槽」という。）からプルトニウム濃縮缶へ供給される溶液（以下 10. では「供給液」という。）からＴＢＰを除去することにより，ＴＢＰ等の錯体の形成を防止することができる。

プルトニウム精製設備では，供給液にはＴＢＰが混入しないよう，供給液からＴＢＰを除去する設計としている。

また，加熱源の除去として，プルトニウム濃縮缶を加熱する設備に熱的制限値を設定するとともに，熱的制限値に達した場合に加熱を停止するための設備を有する設計としている。

これらにより，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の発生を防止する設計としている。

ＴＢＰを除去する設備は，ＴＢＰを含む硝酸プルトニウム溶液に希釈剤を接触させることで水相中のＴＢＰを除去するミキサセトラ，希釈剤を供給する試薬設備及びＴＢＰを含む硝酸プルトニウム溶液を供給する設備で構成する。

プルトニウム濃縮缶の加熱を停止するための設備は，加熱蒸気の温度が熱的制限値に至る場合に一次蒸気，加熱蒸気を遮断するための加熱停止回路及び遮断弁で構成する。

プルトニウム濃縮缶，プルトニウム濃縮缶等を収納するセル及びセルを取り囲む建屋は，それぞれ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 10. では「塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）」という。），精製建屋換気設備のセルからの排気系（以下 10. では「セル排気系」という。），セル等以外の建屋内の気体を排気する精製建屋換気設備により換気され，建屋，セル，プルトニウム濃縮缶の順に圧力を低くできる設計としている。

動的機器の多重故障及び誤作動並びに運転員等の多重誤操作により，希釈剤によるＴＢＰの除去機能が喪失し，供給液にＴＢＰが多量に含まれる状況で供給液の供給が継続するとともに，プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の制御にも異常が生じ，熱的制限値によるプルトニウム濃縮缶を加熱する設備の停止機能が喪失した状態が継続することで，プルトニウム濃縮缶内の溶液の温度がＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超えた場合にＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が継続する（以下ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が継続することを「ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発」という。）。

ＴＢＰ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ＴＢＰ等から二酸化炭素，水，窒素やりん酸といった分解

生成物が生成されるとともに熱が発生するため，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）の機器へ圧力波が伝播し，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）の系統内には塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポット（以下 10. では「廃ガスポット」という。）があるため，一時的に一部の平常運転時に気相中に移行した放射性物質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，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴う圧力波の伝播による溶液の飛散や急激な加圧により発生する放射性エアロゾルが，圧力波の伝播後から遅れて機器外に放出される。ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が終わると，プルトニウム濃縮缶内の圧力及び温度は速やかに低下する。

仮にＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処を行わないとした場合には，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応発生によりＴＢＰ等の錯体が消費され，プルトニウム濃縮缶へのＴＢＰ等の供給及び加熱が継続されることによりＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が再発し，放射性物質の放出量が増加する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応は，１建屋１機器において発生を想定する。

【補足説明資料 10－１】

【補足説明資料 10－２】

【補足説明資料 10－３】

⑵　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処の基本方針

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処として，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ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策を整備する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合には，「⑴　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の特徴」に記載したとおり，放射性物質の気相中への移行量が増加する。プルトニウム濃縮缶への供給液の供給及びプルトニウム濃縮缶の加熱が継続した場合には，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が再発することで放射性物質の放出量が増加する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生を防止するためには，ＴＢＰ等の供給源又は加熱源のいずれかを除去する必要があることを考慮し，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策として，ＴＢＰ等の供給源を除去するためにプルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止する対策及び加熱源を除去するためにプルトニウム濃縮缶の加熱を停止する対策を整備する。

また，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により気相中に移行した放射性物質の大気中への放出量を低減するため，直ちに自動でＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した設備に接続される塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の流路を遮断し，放射性物質を貯留する対策を整備する。

各対策の概要図を第10－１図及び第10－２図に示す。また，基本方針の詳細を以下に示す。

ａ．ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策

動的機器の多重故障及び誤作動並びに運転員等の多重誤操作により，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は，ＴＢＰ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又は手動で停止する。また，プルトニウム濃縮缶の加熱の停止のために，蒸気発生器への一次蒸気の手動弁を閉止する。これらの対応により，ＴＢ

Ｐ等の錯体の急激な分解反応の再発を防止する。

【補足説明資料10－４】

ＴＢＰ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）の流路を遮断するとともに，プルトニウム濃縮缶から，ＴＢＰ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を貯留する貯槽（以下10. では「廃ガス貯留槽」という。）への流路を確立し，空気圧縮機を用いて廃ガス貯留槽に放射性物質を含む気体を導出する。

廃ガス貯留槽への放射性物質を含む気体の導出完了後，放出経路の切替えを実施し，プルトニウム濃縮缶気相部に残留している放射性物質を，高い除染能力を有する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）から主排気筒を介して大気中へ放出する。放出経路を切り替えた場合に，廃ガス貯留槽前には逆止弁が設置されているため，廃ガス貯留槽内の放射性物質を含む気体が塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）へ逆流することはない。

その後，廃ガス貯留槽の隔離弁を閉止し，空気圧縮機を停止する。

10.1　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策

10.1.1　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策の具体的内容

10.1.1.1　プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及びプルトニウム濃縮缶の加熱の停止

ＴＢＰ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計，プルトニウム濃縮缶圧力計及びプルトニウム濃縮缶気相部温度計により検知し，論理回路がＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生したと判定する。また，これらの計器は，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応を検知した場合に警報を発報する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生を検知した場合は，供給液がプルトニウム濃縮缶へ連続的に供給されることによってＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が再発することを防止するため，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を１分以内に自動で停止する。

並行して，中央制御室における緊急停止系によって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一次蒸気を供給する系統の手動弁を現場で閉止する。

対策の概要を以下に示す。また，対策の系統概要図を第10.1.1－１図に，対策の手順の概要を第10.1.1－２図に，対策における手順及び設備の関係を第10.1.1－１表に，必要な要員及び作業項目を第10.1.1－３図に示す。

⑴　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生の検知，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処の着手及び実施判断

プルトニウム濃縮缶液相部温度計，プルトニウム濃縮缶圧力計及びプ

ルトニウム濃縮缶気相部温度計の３つのうち，２つ以上の計器によりＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生を検知した場合に，論理回路はＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生したと判定する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生したと判定された場合には，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処の着手及び実施を判断し，以下の⑵及び⑷に移行する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処の着手判断及び実施判断に必要な監視項目は，プルトニウム濃縮缶気相部の温度，圧力及びプルトニウム濃縮缶液相部の温度である。

⑵　プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生したと判定された場合は，自動でプルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止する。

並行して，中央制御室からの操作により，緊急停止系を作動させ，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止する。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止時に確認が必要な監視項目は，監視制御盤及び緊急停止操作スイッチの状態表示ランプである。

⑶　プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止の成否判断

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の成否を判断する。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止の成否判断に必要な監視項目は，プルトニウム濃縮缶供給槽の液位である。

⑷　プルトニウム濃縮缶の加熱の停止

プルトニウム濃縮缶の加熱を停止するため，蒸気発生器へ一次蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作を実施する。

⑸　プルトニウム濃縮缶の加熱の停止の成否判断

プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計により，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になったことを確認することで，プルトニウム濃縮缶の加熱の停止の成否を判断する。

プルトニウム濃縮缶の加熱の停止の成否を判断するために必要な監視項目は，プルトニウム濃縮缶加熱蒸気の温度である。

10.1.1.2　貯留設備による放射性物質の貯留

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により気相中に移行した放射性物質の大気中への放出量を低減するため，廃ガス貯留槽に放射性物質を導出する。そのため，貯留設備の隔離弁を自動で開とするとともに貯留設備の空気圧縮機を自動で起動し廃ガス貯留槽に放射性物質を導く。同時に，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の流路を遮断するため，自動で塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁を閉止するとともに，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。

貯留設備の圧力計により，廃ガス貯留槽が規定圧力に至ることを確認した場合には，手動で塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機を起動するとともに，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁を開とすることで，高い除染能力が期待できる平常運転時の放出経路に復旧し，プルトニウム濃縮缶内に残留している放射性物質を管理された状態において主排気筒を介して大気中へ放出する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生によって，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の系統内の圧力が瞬間的に上昇することにより，平常運転時に気相中に移行した放射性物質が廃ガスポットからセルへ導出される。その後，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の系統内の圧力は速やかに低下する。ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴い発

生する放射性エアロゾルは，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生後遅れて発生することから，廃ガスポットからセルへ導出される放射性物質には，ＴＢＰ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。

セルへ導出された放射性エアロゾルは，セル排気系のセル排気フィルタユニットの高性能粒子フィルタにより除去された上で，主排気筒を介して大気中へ放出される。

対策の概要を以下に示す。また，対策の系統概要図を第10.1.1－４図に，対策の手順の概要を第10.1.1－２図に，対策における手順及び設備の関係を第10.1.1－２表に，必要な要員及び作業項目を第10.1.1－３図に示す。

⑴　廃ガス貯留槽への導出

プルトニウム濃縮缶液相部温度計，プルトニウム濃縮缶圧力計及びプルトニウム濃縮缶気相部温度計の３つのうち，２つ以上の計器によりＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応を検知した場合に，論理回路はＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生したと判定する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生したと判定された場合には，貯留設備の隔離弁を自動で開とするとともに貯留設備の空気圧縮機を自動で起動し，廃ガス貯留槽に放射性物質を導く。同時に，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の流路を遮断するため，自動で塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁を閉止するとともに，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。

⑵　廃ガス貯留槽への導出開始の確認

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生したと判定された場合には，

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処の着手及び実施を判断し，監視制御盤において塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁「閉」，安全系監視制御盤において塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機「停止」，貯留設備の隔離弁「開」及び貯留設備の空気圧縮機「起動」の確認を行う。

貯留設備の圧力計の指示値の上昇及び貯留設備の流量計の指示値の上昇により，放射性物質を含む気体の廃ガス貯留槽への導出が開始されたことを確認する。

また，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガス洗浄塔入口圧力計により，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガス洗浄塔入口の圧力が負圧に維持され，貯留設備による圧力の制御が機能していることを確認する。

廃ガス貯留槽への放射性物質の導出開始の確認に必要な監視項目は，貯留設備の圧力及び流量並びに塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガス洗浄塔入口の圧力である。

⑶　廃ガス貯留槽への導出完了判断

廃ガス貯留槽内の圧力が規定の圧力（0.7ＭＰａ）に達した場合に，導出の完了と判断する。

廃ガス貯留槽への導出完了を判断するために必要な監視項目は，貯留設備の圧力である。

⑷　排気経路の切替えによる塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）からの換気再開

廃ガス貯留槽への放射性物質の導出完了後，中央制御室において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）の排風機を再起動して，高い除染能力が

期待できる平常運転時の放出経路に復旧し，プルトニウム濃縮缶内に残留している放射性物質を管理された状態において主排気筒を介して大気中へ放出する。

塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の再起動後，貯留設備の隔離弁を閉止し，空気圧縮機を停止する。

⑸　換気再開の成否判断

塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の再起動が完了したことを，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機の運転表示ランプにより確認する。

塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による換気の再開の成否判断において必要な監視項目は，安全系監視制御盤における塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機の運転表示である。

⑹　大気中への放射性物質の放出の状態監視

主排気筒の排気モニタリング設備により，主排気筒を介して大気中への放射性物質の放出状況を監視する。

10.1.2　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策の有効性評価

10.1.2.1　有効性評価

⑴　代表事例

「３．設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定」で示したとおり，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を代表事例とする。

⑵　代表事例の選定理由

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応については，重大事故等が発生する機器がプルトニウム濃縮缶のみであることから，プルトニウム濃縮缶を代表事例として選定した。

⑶　有効性評価の考え方

ＴＢＰ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に係る有効性評価では，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生後，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止又はプルトニウム濃縮缶の加熱の停止ができることを評価する。ＴＢＰ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の有効性評価においては，解析コードは用いない。

貯留設備による放射性物質の貯留に係る有効性評価は，大気中への放射性物質の放出量を算出し，これをセシウム－137換算した値（以下10.では「大気中への放射性物質の放出量（セシウム－137換算）」という。）を評価する。大気中への放射性物質の放出量は，廃ガスポットからセルへ導出され，主排気筒を介して大気中へ放出される放射性物質及び貯留設備による放射性物質の貯留完了時にプルトニウム濃縮缶に残留しており，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による換気の再開に伴って大気中に放出さ

れる放射性物質を評価対象とする。

この評価においては，機器に内包する溶液の放射性物質量，事故時の放射性物質の移行率，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及び放出経路構造物による除染係数並びに貯留設備による放射性物質の貯留の効果により期待される放出低減効果を考慮する。

大気中への放射性物質の放出量（セシウム－137換算）の算出において用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の除染係数は，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応によ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の圧力及び温度について，汎用熱流体解析ソフトウェアであり，航空機の翼周りの流れ，炉内の燃焼，血流及びクリーンルーム設計等様々な工業用途に対応し，活用されているソフトウェアである解析コードＦｌｕｅｎｔを用いて解析した結果に基づき設定する。

貯留設備による放射性物質の貯留の有効性評価においては，解析コードは用いず，簡便な計算に基づき評価する。

【補足説明資料10－２】

⑷　有効性評価の評価単位

「⑴　代表事例」で示したとおり，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生が想定される機器はプルトニウム濃縮缶のみであることから，機器グループや建屋単位による整理はない。

⑸　機能喪失の条件

内的事象を要因とした安全機能の喪失の想定では，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生の起因となる異常の発生防止に係る安全機能及び異常の拡大防止に係る安全機能が喪失することを想定し，それ以外の安全機能

の喪失は想定しない。

【補足説明資料 10－５】

⑹　事故の条件及び機器の条件

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応における事故の条件として，プルトニウム濃縮缶内のＴＢＰ量は，ＴＢＰの水への溶解度，平常運転時の硝酸プルトニウム溶液のプルトニウム濃度である 250ｇＰｕ／ＬからＴＢＰ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硝酸プルトニウム溶液の濃度である 800ｇＰｕ／Ｌまで濃縮するのに必要な供給液量及びプルトニウム濃縮缶運転時におけるＴＢＰの液相中の残留率より算出し，約 208ｇとする。

また，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が１分間継続する際に供給されるＴＢＰ量は，ＴＢＰの水への溶解度及び１分間の供給量より算出し，約１ｇとする。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策に使用する設備を第 10.1.2－１表に示す。また，主要な機器の条件を以下に示す。

ａ．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，供給液を汲み上げ，プルトニウム濃縮缶に一定流量で供給液を供給する設備である。

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に対して，113 Ｌ／ｈで供給液を供給する。

プルトニウム濃縮缶液相部温度計，プルトニウム濃縮缶圧力計及びプルトニウム濃縮缶気相部温度計の３つのうち，２つ以上の計器によりＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応を検知した場合に，論理回路はＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生を判定し，内部を減圧するための圧縮空

気の供給を自動で遮断させ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。

ｂ．蒸気発生器へ一次蒸気を供給する系統の手動弁

蒸気発生器へ一次蒸気を供給する系統の手動弁を閉止することにより，プルトニウム濃縮缶の加熱が停止する。

ｃ．安全圧縮空気系

安全圧縮空気系は，プルトニウム濃縮缶に対して，平常運転時に供給される圧縮空気流量である約 0.4m^3／ｈで空気を供給する。

ｄ．一般圧縮空気系

一般圧縮空気系は，プルトニウム濃縮缶に対して，平常運転時に供給される圧縮空気流量である約 0.05m^3／ｈで空気を供給する。

ｅ．プルトニウム濃縮缶

プルトニウム濃縮缶は，プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンにより供給液を供給され，蒸気発生器の加熱蒸気により加熱されることで，プルトニウム溶液を濃縮する。

プルトニウム濃縮缶に内包する硝酸プルトニウム溶液の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 45,000MWｄ／ｔ・ＵＰｒ，照射前燃料濃縮度 4.5ｗｔ％，比出力 38MW／ｔ・ＵＰｒ，冷却期間 15 年を基に算出した平常運転時の最大値に，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度が硝酸プルトニウム溶液の沸点となる濃縮倍率を乗じた値とする。

プルトニウム濃縮缶に内包する硝酸プルトニウム溶液の液量は，プルトニウム濃縮缶の公称容量とする。

ｆ．セルへ導出される放射性物質を含む気体の体積

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い，標準状態で約 740Ｌの気体状の分解生成物や熱が発生することでプルトニウム濃縮缶に接続する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスの圧力が上昇する。ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する前にプルトニウム濃縮缶から廃ガスポットまでの間にある放射性物質は，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスの圧力上昇に伴い，廃ガスポットからセルへ導出されるものと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及び排風機を介して主排気筒につながる流路を流れるものに分けられるが，より厳しい条件として放射性物質の全量がセルへ導出されるものとして評価する。セルへ導出される放射性物質の体積は，プルトニウム濃縮缶の気相部体積及びプルトニウム濃縮缶と廃ガスポットを接続する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の機器の体積の合計である約 0.8m^3とする。

ｇ．電源設備

電源設備は，１系列当たり精製建屋で最小約 110ｋＶＡの余裕を有し，ＴＢＰ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，ＴＢＰ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。

精製建屋のＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備
約 40ｋＶＡ

⑺　操作の条件

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止において必要となる緊急停止系の操作は，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の検知から１分以内

で操作を完了する。

プルトニウム濃縮缶の加熱の停止において必要となる蒸気発生器へ一次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の発生を検知してから速やかに開始し，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の検知から25分以内で作業を完了する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により発生した放射性物質の廃ガス貯留槽への導出完了後に実施するプルトニウム濃縮缶からの排気経路を，貯留設備から平常運転時の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）に切り替える操作は，中央制御室から行う操作で，貯留設備の廃ガス貯留槽への放射性物質を含む気体の導出完了から，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機の再起動完了まで３分で完了し，その後，貯留設備の空気圧縮機を停止する操作を，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機の起動操作後，５分で完了する。

これらの対策の準備及び実施時に想定される作業環境を考慮した必要な作業と所要時間を，第10.1.1－３図に示す。

⑻　放出量評価に関連する機器の条件及び操作の条件の具体的な展開

主排気筒を介した大気中への放射性物質の放出量の評価は，廃ガスポットからセルへ導出され，セル排気系から主排気筒を介して大気中へ放出される放射性物質の放出量評価（以下10.では「セル排気系からの放射性物質の放出量評価」という。）及びプルトニウム濃縮缶内に残留し，貯留設備への放射性物質の導出完了後に塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）から主排気筒を介して大気中へ放出される放射性物質の放出量評価（以下10.では「塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）からの放射性物質の放出量評価」という。）に分けられる。

有効性評価における大気中への放射性物質の放出量のうち，セル排気系からの放射性物質の放出量評価は，セルへ導出されるプルトニウム濃縮缶から廃ガスポットまでの廃ガスの放射性物質量に対して，大気中への放出経路における除染係数を乗じて算出する。また，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）からの放射性物質の放出量評価は，プルトニウム濃縮缶に内包する放射性物質量に対して，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により影響を受ける割合,溶液の沸騰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除染係数を乗じて算出する。

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，大気中への放射性物質の放出量（セシウム－137換算）を算出する。セシウム－137への換算係数は，ＩＡＥＡ－ＴＥＣＤＯＣ－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を用いて,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。

【補足説明資料 10－６】

ａ．セル排気系からの放射性物質の放出量評価

(a) プルトニウム濃縮缶から廃ガスポットまでの廃ガスの放射性物質量

プルトニウム濃縮缶気相部から塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)の廃ガスポットまでの廃ガスの放射性物質の全量がセルへ導出されたことを想定し，セル排気系から大気中への放射性物質の放出量を評価する。

塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）で平常運転時に処理する廃ガス中の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45,000ＭＷｄ／ｔ・U_{Pr}，照射前燃料濃縮度4.5ｗｔ％，比出力38ＭＷ／ｔ・U_{Pr}，冷却期間15年を基に算出した値とする。

(b) ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の影響を受ける割合

セルへ導出される廃ガス中に含まれる放射性物質量のうち，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により影響を受ける割合は１とする。

(c) 平常運転時に気相中に移行する放射性物質の割合

平常運転時に塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）へ移行する放射性物質量の算出の際は，空気１m^3当たり10ｍｇが移行することとし，1×10^{-8}とする。

【補足説明資料 10－６】

(d) 大気中への放出経路における除染係数

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。

セル排気系のセル排気フィルタユニットの高性能粒子フィルタは１段で，セル排気系のセル排気フィルタユニット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10^3とする。

ｂ．塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）からの放射性物質の放出量評価

(a) プルトニウム濃縮缶に内包する硝酸プルトニウム溶液の放射性物質量

プルトニウム濃縮缶に内包する硝酸プルトニウム溶液の放射性物質の組成，濃度，崩壊熱密度及びプルトニウム濃縮缶の液量は，事故の条件及び機器の条件と同様であるため，硝酸プルトニウム溶液の放射性物質の濃度とプルトニウム濃縮缶の液量を乗じた値とする。

(b) ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の影響を受ける割合

プルトニウム濃縮缶に内包する放射性物質量のうち，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により影響を受ける割合は１とする。

(c)　ＴＢＰ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

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による発熱量は1,400ｋＪ／ｋｇ・ＴＢＰとする。

プルトニウム濃縮缶内のＴＢＰ量は，(6)　事故の条件及び機器の条件に示すとおり，約208ｇとする。

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て，約４×10^{-3}とする。

この値は，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放射性物質の気相中への移行率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である。

また，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が１分間継続する際に供給されるＴＢＰ量は，(6)　事故の条件及び機器の条件に示すとおり，約１ｇとする。

ＴＢＰ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１分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0.35ＭＰａ未満における値とし，５×10^{-5}とする。

プルトニウム濃縮缶内に存在するＴＢＰ等は，供給液の供給分のみであり，ＴＢＰ等の錯体の分解反応が発生した場合の発熱量は小さく，分解生成物の発生量も少ないため，プルトニウム濃縮缶内の圧力の上昇が小さいことから，この値とした。

【補足説明資料 10－７】

⑷　大気中への放出経路における除染係数

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。

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は，解析コードＦｌｕｅｎｔによ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健全性を維持できることを確認したため，１段目を10^3，２段目を10^2とする。

廃ガス貯留槽へ貯留されずプルトニウム濃縮缶内に残留する放射性物質の割合は，機器に供給される安全圧縮空気系及び一般圧縮空気系の圧縮空気により機器外に放射性物質が移行する効果を考慮して求めた割合である約４％とする。

【補足説明資料 10－６】

⑼　判断基準

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策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又はプルトニウム濃縮缶の加熱の停止

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止又はプルトニウム濃縮缶の加熱の停止により，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発を速やかに防止できること。

ｂ．貯留設備による放射性物質の貯留

セルへ導出され，セル排気系から放出される放射性物質の放出量及びＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発を防止し，廃ガス貯留槽での貯留が完了した上で，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を起動して平常運転時の放出経路に復旧した状況下での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を下回るものであって，かつ，実行可能な限り低いこと。

10.1.2.2　有効性評価の結果

⑴　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又はプルトニウムの加熱の停止

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発を防止するために必要なプルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止又はプルトニウム濃縮缶の加熱の停止は，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の判定後１分以内に自動又は手動にて停止できるため，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発を速やかに防止できる。

ｂ．貯留設備による放射性物質の貯留

セル排気系からの放射性物質の放出量及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）からの放射性物質の放出量（セシウム－137換算）は，約３×10^{-5}ＴＢｑであり，100ＴＢｑを十分に下回る。

また，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応で発生した放射性物質については，貯留設備により，可能な限り外部に放出されないよう措置することから，大気中への放射性物質の放出量（セシウム－137換算）は，実行可能な限り低くなっている。

具体的な評価結果を第10.1.2－２表から第10.1.2－３表に示す。また，

大気中への放射性物質の放出率の推移の概念図を第10.1.2－１図に示す。

放射性物質が大気中に放出されるまでの過程を第10.1.2－２図に，プルトニウム濃縮缶におけるプルトニウム濃度及びＴＢＰ量の推移を第10.1.2－３図に示す。

⑵　不確かさの影響評価

ａ．解析コードの不確かさの影響

解析コードによる高性能粒子フィルタの健全性確認の解析結果においては，系統を断熱とし，蒸気の凝縮，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を介した他機器への廃ガスの流出経路並びに機器の内部構造物を考慮していないことから，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に対し,圧力及び温度が影響を及ぼしやすいモデルとしており，より厳しい結果を与える条件を設定しているため，解析コードの不確かさが高性能粒子フィルタの健全性評価の結果に与える影響はない。

ｂ．事象，事故の条件及び機器の条件の不確かさの影響【補足説明資料10－８】

⒜　貯留設備による放射性物質の貯留

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に内包する放射性物質量

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期間によっては，減衰による放射性物質量のさらなる低減効果

を見込める可能性がある。

ＴＢＰ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供給槽ゲデオンは自動又は手動にて停止するため，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。

以上より，設定値に対して１桁未満の下振れを有する。

ⅱ．ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の影響を受ける割合

沸点がＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度となるプルトニウム濃度は800ｇＰｕ／Ｌであり，プルトニウム溶液の粘性は高いと考えられることから，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，800ｇＰｕ／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，ＴＢＰ等の錯体の全量が急激な分解反応を引き起こすことを前提とした割合であることから，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。

ⅲ．ＴＢＰ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

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴いプルトニウム濃縮缶の気相中に移行する放射性物質の割合を算出する際に使用した式は，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，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。

一方，この式ではＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギを算出する必要があり，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による発熱

量は，引用する文献によって発生する単位ＴＢＰ量当たりの発熱量が１桁未満の上振れを有する。また，ＴＢＰ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。

ＴＢＰ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，ＴＢＰ量が少なく，発熱量及び分解生成物の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0.35ＭＰａ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。

以上より，設定値に対して１桁程度の下振れを有し，条件によっては，設定値に対して１桁未満の上振れを有する可能性がある。

ⅳ．大気中への放出経路における除染係数

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ため，大気中への放射性物質の放出量は１桁程度の下振れを有する。

ｃ．操作の条件の不確かさの影響

⒜　実施組織要員の操作

排気経路の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）への切替えの操作については，切替えの操作に想定よりも時間を要した場合においても，廃ガス貯留槽と塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）との間に設置する逆止弁により，廃ガス貯留槽内の放射性物質が塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）に移行することはない。また，切替えの操作に想定よりも時間を

要した場合には，廃ガス貯留槽内の圧力が空気圧縮機の吐出圧に達することで，廃ガス貯留槽への放射性物質の導出が困難となり，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポットからセルに放射性物質が導出される可能性はあるが，それらの放射性物質はセル排気系の高性能粒子フィルタ（１段）により除去された上で，主排気筒を介して，大気中へ放出される。

その場合の大気中への放射性物質の放出量への影響は，高性能粒子フィルタの除染係数の低下により,設定値に対して３桁未満の上振れとなるが,その場合でも，大気中への放射性物質の放出量がセシウム－137換算で100ＴＢｑを十分下回り，判断基準を満足することに変わりはない。

⑹　作業環境

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合，ＴＢＰ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内包する機器周辺の線量率が上昇するが，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処の操作場所はそれらの線源から離れた位置にあり，建屋躯体による遮蔽を考慮できること，セルへ導出される放射性物質はセル排気系で換気されるため，アクセスルート及び作業場所において，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。

10.1.2.3　重大事故等の同時発生又は連鎖

⑴　重大事故等の事象進展，事故規模の分析

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生を検知した場合には，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止及びプルトニウム濃縮缶の加熱を停止する。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止は，ＴＢＰ等の錯体の急激な

分解反応の発生を検知した後，１分以内に実施する。

プルトニウム濃縮缶の加熱の停止は，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生を検知した後，25分以内に実施する。

以上の拡大防止対策を考慮したときのプルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液等の状態及び硝酸プルトニウム溶液等の状態によって生じる事故時環境は次のとおりである。

ａ．硝酸プルトニウム溶液等の状態

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応は，プルトニウム濃縮缶にＴＢＰ等が多量に混入したことでＴＢＰ等の錯体が形成された状態において，加熱蒸気温度の制御機能が喪失することで，プルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液の過濃縮が生じ，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超えることにより発生する事象である。このときのプルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液の状態は，温度がＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度，硝酸プルトニウム溶液の濃度が 800ｇＰｕ／Ｌ，硝酸濃度は最大で約８規定，ＴＢＰ等の混入量は 208ｇである。ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により，プルトニウム濃縮缶内のＴＢＰ等は全量消費されることから，これ以上のＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応は発生しないが，プルトニウム濃縮缶への供給液には溶存しているＴＢＰ等が含まれており，加熱も継続しているため，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給が継続すると，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応は再発することが想定される。これらのＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応によって二酸化炭素，水，窒素やりん酸といった分解生成物が発生する。また，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応は発熱反応であるためエネルギが発生する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴うプルトニウム濃縮液等の状態

変化は，わずかではあるが硝酸量が低下する。ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応については，ＴＢＰに 14 規定の硝酸を作用させた場合に，ＴＢＰ１モルに対して硝酸 14.4 モルが消費されるという知見があることから，ＴＢＰ208ｇは約 0.8 モルであり，このＴＢＰ量が分解反応をした際に消費される硝酸量は約 12 モルとなる。プルトニウム濃縮缶内の硝酸量は 1,000 モル以上あることを考慮すると，硝酸の減少量による影響は極めて小さいことから，硝酸量の減少によるプルトニウムの析出や酸化プルトニウムの生成はない。

ｂ．環境条件

(a) 温度

拡大防止対策である加熱の停止が実施されるまではプルトニウム濃縮缶の加熱が継続するため，プルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液はＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度に維持されている。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により発生するエネルギは約 0.3MＪであり，Ｆｌｕｅｎｔ解析の結果より，プルトニウム濃縮缶気相部は，瞬間的に約 370℃まで上昇するが，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）へ廃ガスが移行することにより温度は速やかに低下し，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する前の温度に戻る。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により発生するエネルギを全てプルトニウム濃縮缶に与えたとしても，プルトニウム濃縮缶は変形及び損傷することはない。

その後，供給液の供給が継続している場合，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が再発しても，ＴＢＰ等の量が少ないため分解反応により発生

するエネルギは小さく，気相部の温度はほぼ一定であり，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度に維持される。

(b) 圧力

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生により分解生成物が生成することを考慮したＦｌｕｅｎｔ解析の結果より，プルトニウム濃縮缶気相部は平常運転時の圧力に対して瞬間的に約 0.9ＭＰａ上昇するが，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）へ廃ガスが移行することにより圧力は速やかに低下し，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する前の圧力に戻る。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による圧力の上昇を考慮しても，プルトニウム濃縮缶は変形及び損傷することはない。

その後，供給液の供給が継続している場合，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が再発しても，ＴＢＰ等の量が少ないため分解反応により発生する分解生成物は少なく，エネルギは小さいため，気相部の圧力はほぼ一定であり，平常運転時と同程度である。

(c) 湿度

プルトニウム濃縮缶は硝酸プルトニウム溶液を蒸発濃縮する設備であるため，平常運転時及び事故時においても多湿環境下であり，平常運転時と同程度である。

(d) 放射線

プルトニウム濃縮缶内では，平常運転時（約 250ｇＰｕ／Ｌ）よりもプルトニウム濃度が高いため，線量率は平常運転時よりも高い。放射性物質は，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い気相中へ移行するため，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）における線量率も上昇する。

⑇　物質（水素，蒸気，煤煙，放射性物質，その他）及びエネルギの発生

プルトニウム濃縮缶内では，平常運転時（約 250ｇＰｕ／Ｌ）よりもプルトニウム濃度が高いため，平常運転時と比較すると水素発生量が増加する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応では，二酸化炭素，水，窒素やりん酸といった分解生成物及びエネルギが発生するが，ＴＢＰ等はＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により全量が分解してなくなることから，有機溶媒による火災は発生しないため，煤煙が発生することはない。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合に，プルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液は約 800ｇＰｕ／Ｌと平常運転時（250ｇＰｕ／Ｌ）と比べてプルトニウム濃度が高い状態であるが，プルトニウム濃縮缶は全濃度安全形状寸法管理により臨界事故の発生を防止しており，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応によりプルトニウム濃縮缶は変形・損傷することはないため，臨界は発生しない。ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により，硝酸プルトニウム溶液が析出する又は酸化プルトニウムとして生成することはなく，硝酸プルトニウム溶液の形で存在しているため，臨界は発生しない。したがって，臨界による新たな放射性物質の生成はない。

ＴＢＰ等以外の有機溶媒として，ｎ－ドデカンは水へ不溶でありプルトニウム濃縮缶への供給液には含まれないため，火災が発生することはなく煤煙及びその他の物質が発生することはない。

⑈　落下又は転倒による荷重

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による発熱量によってプルトニウム濃縮缶の温度が上昇することを考慮したとしても，材質の強度が有意に低下することはないため，プルトニウム濃縮缶が落下又は転倒すること

はない。

⑿　腐食環境

プルトニウム濃縮缶内の硝酸濃度は最大約８規定となる。蒸気の硝酸濃度は１～２規定となる。

⑵　重大事故等の同時発生

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応については，「３.設計上定める条件より厳しい条件の設定及び重大事故の想定箇所の特定」で示すとおり，動的機器の多重故障及び誤作動並びに運転員等の誤操作を起因とした複数の発生防止機能の喪失により発生するものであり，その具体的な発生の条件は同種の重大事故及び異種の重大事故の要因となる安全機能の喪失に当たらないことから，重大事故等が同時に発生することは想定されない。

⑶　重大事故等の連鎖

プルトニウム濃縮缶においてＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合には，拡大防止対策として，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止するとともに，プルトニウム濃縮缶の加熱を停止する。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止は，速やかに自動又は手動にて実施される。また，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の検知後，現場にてプルトニウム濃縮缶への加熱を停止する。

以上の拡大防止対策を考慮した時のプルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液等の状態及び硝酸プルトニウム溶液等の状態によって生じる事故時環境を明らかにし，硝酸プルトニウム溶液等の状態によって新たに連鎖して発生する重大事故等の有無及び事故時環境が安全機能の喪失をもたらすことによって連鎖して発生する重大事故等の有無を明らかにする。

ａ．事故進展によりプルトニウム濃縮缶において発生する重大事故の特定

⒜　臨界事故

プルトニウム濃縮缶の材質はジルコニウムであり，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応によって想定される温度，圧力，腐食環境等の環境条件によってプルトニウム濃縮缶のバウンダリが喪失することはなく，プルトニウム濃縮缶は変形しない。「⑴　重大事故等の事象進展，事故規模の分析」に記載したとおり，プルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液は約800ｇＰｕ／Ｌと平常運転時（250ｇＰｕ／Ｌ）と比べてプルトニウム濃度が高い状態であるが，プルトニウム濃縮缶は全濃度安全形状寸法管理により臨界事故の発生を防止しており，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により，硝酸プルトニウム溶液が析出する又は酸化プルトニウムとして生成することはなく，硝酸プルトニウム溶液の形で存在しているため，臨界は発生しない。

以上より，臨界事故が発生することはない。

⒝　蒸発乾固

プルトニウム濃縮缶は安全冷却水等による冷却はしていない機器である。

「⑴　重大事故等の事象進展，事故規模の分析」に記載したとおり，プルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液は約 800ｇＰｕ／Ｌと平常運転時（250ｇＰｕ／Ｌ）と比べてプルトニウム濃度が高い状態であり，崩壊熱密度が平常運転時よりも高いが，セルへの放熱を考慮すると，崩壊熱のみでは沸騰せず，プルトニウム濃縮缶の加熱の停止により硝酸プルトニウム溶液の温度は沸点を下回る。

以上より，蒸発乾固が発生することはない。

(c) 水素爆発

「(1) 重大事故等の事象進展，事故規模の分析」に記載したとおり，プルトニウム濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液は約 800ｇＰｕ／Ｌと平常運転時（250ｇＰｕ／Ｌ）と比べてプルトニウム濃度が高い状態であり，水素発生量が平常運転時よりも多い。プルトニウム濃縮缶には，安全圧縮空気系から圧縮空気が供給されており，安全圧縮空気系からの圧縮空気の供給量は，十分な余裕が確保されていることから，ドライ換算４ｖｏｌ％を超えることはない。

以上より，水素爆発が発生することはない。

(d) 放射性物質の漏えい

プルトニウム濃縮缶に接続する機器の材質はジルコニウム又はステンレス鋼であり，想定される温度，圧力，腐食環境等の環境条件によって，機器のバウンダリの健全性が損なわれることはなく，放射性物質の漏えいが発生することはない。

ｂ．重大事故が発生した機器以外の安全機能への影響及び連鎖して発生する重大事故の特定

プルトニウム濃縮缶の材質は，ジルコニウム又はステンレス鋼であり，想定される温度，圧力等の環境条件によってこれらのバウンダリが喪失することはなく，温度及び放射線以外のプルトニウム濃縮缶内の環境条件が，プルトニウム濃縮缶外へ及ぶことはないことから，温度及び放射線以外の環境条件の変化によってその他の重大事故が連鎖して発生することはない。

温度及び放射線の影響は，プルトニウム濃縮缶外へ及ぶものの，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の温度は約50℃であり，放射線については躯体による遮蔽によって，これらの影響が十分な

厚さを有するセルを超えてセル外へ及ぶことはない。また，セル内の安全機能を有する機器も，これらの環境条件で健全性を損なうことはないことから，温度及び放射線の環境条件の変化によってその他の重大事故が連鎖して発生することはない。

プルトニウム濃縮缶に接続する配管を通じて，プルトニウム濃縮缶内の環境条件の伝播による安全機能への影響の詳細は次のとおりである。

(a) 安全圧縮空気系及び一般圧縮空気系

安全圧縮空気系及び一般圧縮空気系は配管長が長いため，安全圧縮空気系及び一般圧縮空気系の配管を通じてプルトニウム濃縮缶気相部の圧力上昇による影響の波及はない。

以上より，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により安全圧縮空気系及び一般圧縮空気系が機能喪失することはなく，水素爆発が発生することはない。

(b) 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）等

プルトニウム濃縮缶に接続する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の配管を通じて，プルトニウム濃縮缶内の環境が各機器に波及する。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により発生するエネルギは約 0.3ＭＪであり，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による環境条件が塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の配管を通じて各機器に波及した場合でも，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）等の材質はステンレス鋼であり，プルトニウム濃縮缶内の環境条件によってバウンダリが喪失することはない。

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，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による温度及び圧力の上昇を考慮しても，温度は約 50℃，差圧の上昇は約４ｋＰａであるため，温度上昇及び圧力上昇により健全性を損なうことはない。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による瞬間的な圧力上昇により，プルトニウム濃縮缶及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の系統内の蒸気を凝縮する機能が一時的に喪失し，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水ミストが到達することが想定される。より厳しい条件として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）の高性能粒子フィルタまでの全ての気体を湿度 100％として，プルトニウム濃縮缶気相部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までの廃ガス量の容量を約６ｍ^3，平常運転時の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）内の廃ガス温度として 40℃とした場合に，高性能粒子フィルタに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）の高性能粒子フィルタまでの全ての気体に含まれる水ミストが付着することを想定した場合において，水ミスト量は約 300ｇである。プルトニウム濃縮缶凝縮器の冷却機能喪失時における高性能粒子フィルタの機能維持時間の評価結果（第 15 条　安全機能を有する施設　補足説明資料１－３　安全上重要な施設と同等の信頼性を維持する施設とした根拠（プルトニウム精製設備　注水槽及び注水槽の液位低警報））より，水ミストが存在する条件下でフィルタ差圧が 250ｍｍＡｑを超えたところから高性能粒子フィルタのリークが始まるため，試験で用いたフィルタの定格風量と実機における定格風量の比から，高性能粒子フィルタのリークが始まる水ミスト量を 1,300ｇと評価しており，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴い高性能粒子フィルタへ付着する水分による除染機能の低下や喪失はない。

【補足説明資料 10－４】

以上より，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）が機能喪失することはなく，放射性物質の漏えいが発

生することはない。

(c) 放射性物質の放出経路（建屋換気設備等）

廃ガスポットから放出される廃ガス量は約0.8m^{3}であり，廃ガスが有するエネルギをセルへ放出したとしても，導出先セル及び導出先セル以降の排気経路の温度，圧力及び湿度は平常運転時と同程度であることから，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により放射性物質の排気経路が機能喪失することはない。

一方，廃ガスポットから導出先セル及び導出先セル以降へ放射性物質が移行するため，その排気経路では放射性物質量が増加するが，放射性物質の排気経路は鋼材であり，損傷することはない。また，放射性物質の排気経路の下流側に設置しているセル排気系のセル排気フィルタユニットの高性能粒子フィルタへの影響が考えられるが，セル排気系のセル排気フィルタユニットの高性能粒子フィルタのろ材はガラス繊維であり，放射線によって劣化することはないため，放射性物質の漏えいが発生することはない。

以上より，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により放射性物質の放出経路（建屋換気設備）が機能喪失することはなく，放射性物質の漏えいが発生することはない。

d．分析結果

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について評価を実施した。安全圧縮空気系及び一般圧縮空気系は配管長が長いため，安全圧縮空気系及び一般圧縮空気系の配管を通じたプルトニウム濃縮缶内の環境条件の波及はない。また，プルトニウム濃縮缶への圧縮空気の供給量は十分な余裕が確保されており，プルトニウム濃縮缶の気相部の水素濃度がドライ換算４ｖｏｌ％を超えることがないこと等，ＴＢＰ等の錯

体の急激な分解反応の発生によって他の重大事故等が連鎖して発生することがないことを確認した。

10.1.2.4　判断基準への適合性の検討

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策として，プルトニウム濃縮缶においてＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合における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の加熱を停止する手段，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，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応を検知後，自動又は手動により速やかに停止することで，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発を防止することができる。

プルトニウム濃縮缶の加熱の停止は，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応を検知後，蒸気発生器へ一次蒸気を供給する系統の手動弁を閉止することで，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発を防止することができる。

セルへ導出された放射性物質をセル排気系のセル排気フィルタユニットの高性能粒子フィルタ及び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し，貯留設備による貯留を講ずることにより，大気中への放射性物質の放出量（セシウム－137 換算）は，約３×10^{-5}ＴＢｑとなり，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。

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結果に与える影響は無視できる又はないことを確認した。

また，想定される事故時環境において，プルトニウム濃縮缶に接続する安全機能を有する機器が，損傷又は機能劣化することはなく，他の重大事故等が連鎖して発生することがないことを確認した。

以上のことから，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合にお

いても，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止又はプルトニウム濃縮缶の加熱の停止によりＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発を防止することができる。また，有効性評価で示す大気中への放射性物質の放出量は実行可能な限り低く，大気中への異常な水準の放出を防止することができる。

以上より，「10.1.2.1 ⑼ 判断基準」を満足する。

10.2　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策に必要な要員及び資源

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策に必要な要員及び資源を以下に示す。

⑴　必要な要員の評価

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策に必要な要員は８人であり，これに対し精製建屋に係る実施組織要員は 14 人である。

さらに，重大事故等の発生時に実施する大気中への放出状況の監視等に必要な要員は５名，重大事故等の発生時に実施する電源の確保及び制御室の換気状態の確認に必要な要員は９人である。これに対し，精製建屋に係る実施組織要員を除く実施組織要員は 27 人である。

上記のとおり，実施組織要員数は，対策に必要な要員数を上回っていることから，重大事故等の対応が可能である。

⑵　必要な資源の評価

ＴＢＰ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発生の起因とした内的事象により発生することから，電源，圧縮空気及び冷却水については平常運転時と同様に使用可能である。

ａ．電源

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処に必要な負荷は，最小余裕約 110ｋＶＡに対し最大でも貯留設備の空気圧縮機の約 40ｋＶＡである。また，空気圧縮機の起動時を考慮しても約 80ｋＶＡであり最小余裕に対して余裕があることから，必要電源容量を確保できる。

ｂ．圧縮空気

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処として水素掃気，圧力及び液位の監視に圧縮空気が必要になる。これらの圧縮空気は，平常運転時にお

いても継続的に常設重大事故等対処設備に供給されているものであり，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処においても平常運転時と同様に使用可能である。

ｃ．冷却水

冷却水については，平常運転時においても継続的に常設重大事故等対処設備に供給されているものであり，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処においても平常運転時と同様に使用可能である。

10.3　参考文献

⑴　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．

⑵　Wallace W. Schulz，James D. Navratil，Andrea E. Talbot. Science and Technology of Tributyl Phosphate Volume Ⅰ. CRC Press，1984.

⑶　住友金属鉱山.ウラン濃縮缶等での TBP 挙動検討試験　報告書.1991-07，TR91-01.

⑷　G.S. Nichols，“Decomposition of the Tributyl Phosphate- Nitrate Complexes”，DP-526，November 1960.

⑸　小林卓志ほか.“再処理工場水素爆発事故時における放射性物質の移行率の調査（５）環状容器試験その２”.日本原子力学会 2016 年春の年会，日本原子力学会，2016-03

⑹　尾崎，金川，“高性能エアフィルタの苛酷時健全性試験，（Ⅳ）多湿試験”日本原子力学会誌，Vol.28 No.６（1986）

⑺　Science Applications International. Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook. United States Nuclear Regulatory Commission，1998-03，NUREG/CR-6410.

⑻　GENERIC PROCEDURES FOR ASSESSMENT AND RESPONSE DURING A RADIOLOGICAL EMERGENCY. IAEA，VIENNA，2000 IAEA-TECDOC-1162

⑼　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.

⑽　F.J. Herrmann，et. al.，Some Aspects of Aerosol Production and Removal During Spent Fuel Processing Steps，Proceedings of the 16th

DOE Nuclear air cleaning conference held in San Diego, California, 20-23 October 1980.

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プルトニウム濃縮缶の加熱の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 放射線計測設備
a．	ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生の検知，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処の着手及び実施判断	・論理回路によりＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生したと判定された場合には，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対処の着手及び実施を判断し，以下のｂ．及びｄ．に移行する。	・プルトニウム濃縮缶	－	・監視制御盤 ・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．	プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止	・中央制御室からの操作により，緊急停止系を作動させ，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止する。	・プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン	－	・緊急停止系 ・緊急停止操作スイッチ
c．	プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止の成否判断	・プルトニウム濃縮缶供給槽液位計により，プルトニウム濃縮缶への供給液の供給が停止したことの成否を判断する。	・プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン	－	・監視制御盤 ・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 放射線計測設備
d．	プルトニウム濃縮缶への加熱の停止	・ 蒸気発生器へ一次蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作を実施する。	・蒸気発生器へ一次蒸気を供給する系統の手動弁	－	－
e．	プルトニウム濃縮缶への加熱の停止の成否判断	・ プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計により，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になったことを確認することにより，プルトニウム濃縮缶の加熱の停止の成否を判断する。	－	－	・安全系監視制御盤 ・プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計

第 10.1.1－２表　貯留設備による放射性物質の貯留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 放射線計測設備
a．	廃ガス貯留槽への導出開始の確認	・貯留設備の圧力計の指示値の上昇及び貯留設備の流量計の指示値の上昇により，放射性物質を含む気体の廃ガス貯留槽への導出が開始されたことを確認する。 ・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の圧力計により，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の系統内の圧力が負圧に維持され，貯留設備による圧力の制御が機能していることを確認する。	・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の主配管・弁 ・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）の排風機 ・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 ・貯留設備の隔離弁 ・貯留設備の空気圧縮機 ・貯留設備の逆止弁 ・貯留設備の廃ガス貯留槽 ・貯留設備の主配管・弁	－	・監視制御盤 ・安全系監視制御盤 ・貯留設備の圧力計 ・貯留設備の流量計 ・廃ガス洗浄塔入口圧力計

（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 放射線計測設備
ｂ．	廃ガス貯留槽への導出完了判断	・廃ガス貯留槽内の圧力が規定の圧力（0.7ＭＰａ）に達した場合に，導出の完了と判断する。	－	－	・監視制御盤 ・貯留設備の圧力計

（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 放射線計測設備
c．	塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による換気再開	・廃ガス貯留槽への放射性物質の導出完了後，中央制御室において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）の排風機を再起動して，高い除染能力が期待できる平常運転時の放出経路に復旧し，機器内に残留している放射性物質を管理された状態において主排気筒を介して放出する。	・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の主配管・弁 ・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）の排風機 ・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 ・貯留設備の隔離弁 ・貯留設備の空気圧縮機 ・貯留設備の逆止弁 ・貯留設備の廃ガス貯留槽 ・貯留設備の主配管・弁 ・ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備主配管 ・高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備高レベル濃縮廃液廃ガス処理系主配管 ・主排気筒	－	・監視制御盤 ・安全系監視制御盤

（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 放射線計測設備
c．	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）の再起動後，貯留設備の隔離弁を閉止し，空気圧縮機を停止する。	・貯留設備の隔離弁 ・貯留設備の空気圧縮機	－	・監視制御盤
d．	換気再開の成否判断	・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の再起動が完了したことを，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機の運転表示ランプにより確認する。	・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機	－	・安全系監視制御盤

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等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置		
	設備名称	構成する機器	プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止	プルトニウム濃縮缶の加熱の停止	貯留設備による放射性物質の貯留
			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等の錯体の急激な分解反応	制御室	監視制御盤（精製施設用）	○	○	○
		安全系監視制御盤（精製施設用）	×	○	○
		緊急停止操作スイッチ（精製施設用，電路含む）	○	×	×
	計測制御系統施設	廃ガス洗浄塔入口圧力計	×	×	○
		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	×	○	×
		供給槽ゲデオン流量計	○	×	×
		緊急停止系（精製施設用，電路含む）	○	×	×
		貯留設備の圧力計	×	×	○
		貯留設備の流量計	×	×	○
	電気設備の受電開閉設備・受電変圧器	受電開閉設備	○	○	○
		受電変圧器	○	○	○
	所内高圧系統	6.9kV非常用主母線	○	○	○
		6.9kV運転予備用主母線	○	○	○
		6.9kV常用主母線	×	×	○
		6.9kV非常用母線	○	○	○
		6.9kV運転予備用母線	○	○	○
		6.9kV常用母線	×	×	○
	所内低圧系統	460V非常用母線	○	○	○
		460V運転予備用母線	○	○	○
	直流電源設備	第1非常用直流電源設備	×	×	○
		第2非常用直流電源設備	○	○	○
		常用直流電源設備	○	○	○
	計測制御用交流電源設備	計測制御用交流電源設備	○	○	○
	精製建屋塔槽類廃ガス処理設備塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）	貯留設備の隔離弁	×	×	○
		貯留設備の空気圧縮機	×	×	○
		貯留設備の逆止弁	×	×	○
		貯留設備の廃ガス貯留槽	×	×	○
		貯留設備配管・弁［流路］	×	×	○
		高性能粒子フィルタ	×	×	○
		排風機	×	×	○
		隔離弁	×	×	○
		廃ガスポット	×	×	○
		主配管・弁［流路］	×	×	○
	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋塔槽類廃ガス処理設備	主配管［流路］	×	×	○
	高レベル廃液ガラス固化建屋塔槽類廃ガス処理設備高レベル濃縮廃液廃ガス処理系	主配管［流路］	×	×	○
	プルトニウム精製設備	プルトニウム濃縮缶	○	○	×
		プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン	○	×	×
		蒸気発生器へ一次蒸気を供給する系統の手動弁	×	○	×
	主排気筒	主排気筒	×	×	○
	冷却水設備	一般冷却水系	×	×	○
	圧縮空気設備	一般圧縮空気系	×	×	○
		安全圧縮空気系	×	×	○
	低レベル廃液処理設備	第1低レベル廃液処理系	×	×	○
	精製建屋換気設備	ダクト・ダンパ［流路］	×	×	○
		グローブボックス・セル排風機	×	×	○
		セル排気フィルタユニット	×	×	○
	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋換気設備	ダクト・ダンパ［流路］	×	×	○
	放射線監視設備	主排気筒の排気モニタリング設備	×	×	○
		環境モニタリング設備	×	×	○
	試料分析関係設備	放出管理分析設備	×	×	○
		環境試料測定設備	×	×	○
	環境管理設備	放射能観測車	×	×	○
		気象観測設備	×	×	○

第10.1.2－２表（１）　「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（セル排気系からの放射性物質の放出量）

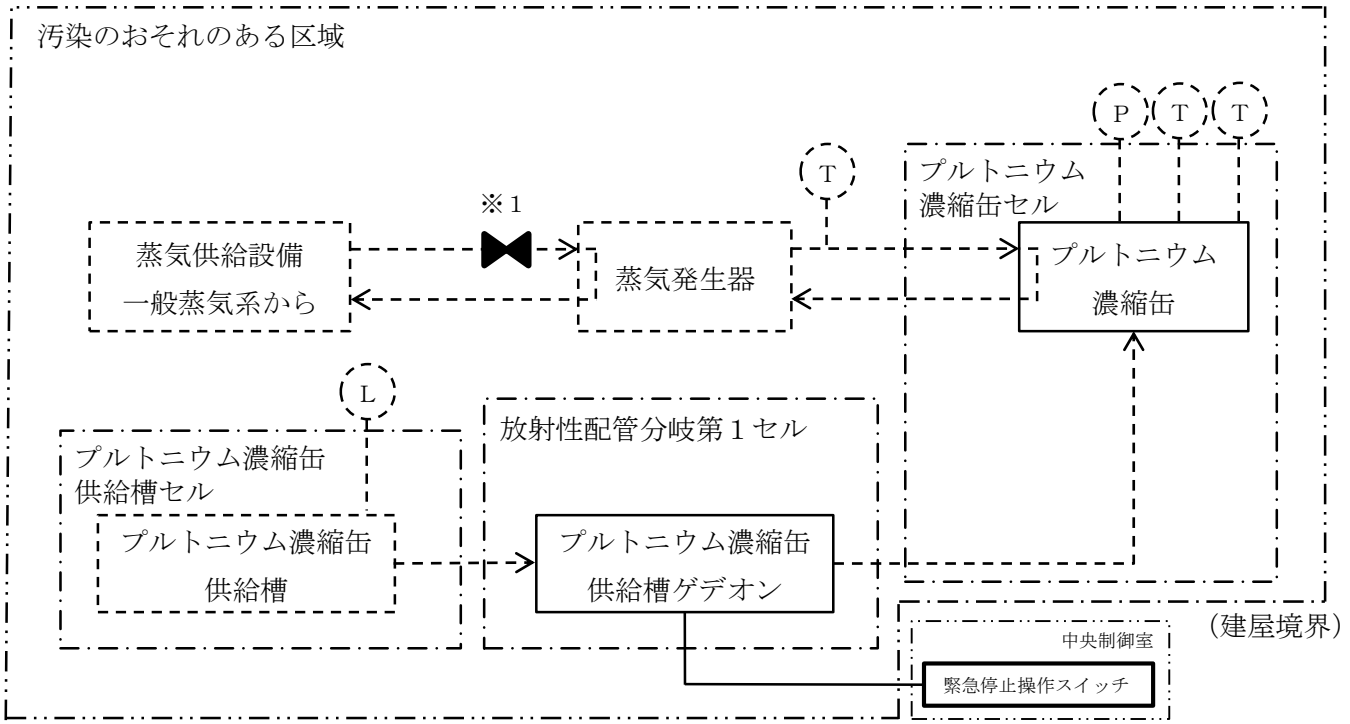
核　種	放出量（Ｂｑ）
Ｐｕ－238	6×10^{3}
Ｐｕ－239	6×10^{2}
Ｐｕ－240	9×10^{2}
Ｐｕ－241	2×10^{5}

第10.1.2－２表（２）　「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（塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)からの放射性物質の放出量）

核　種	放出量(Ｂｑ)
Ｐｕ－238	6×10^{5}
Ｐｕ－239	6×10^{4}
Ｐｕ－240	9×10^{4}
Ｐｕ－241	2×10^{7}

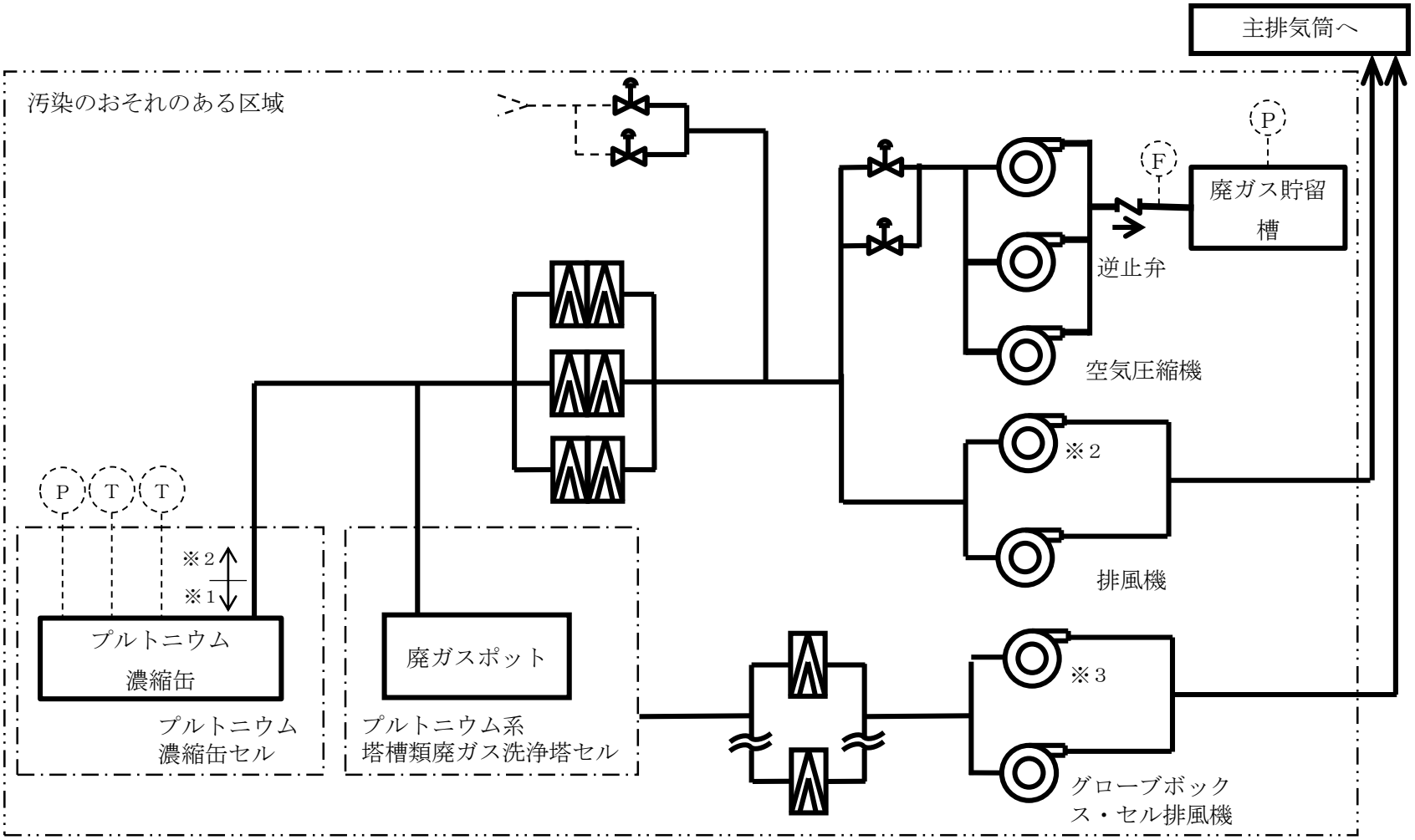
s 第10.1.2－３表　「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応」時の放射性物質の放出量（セシウム－137換算値）

評価対象	放出量（ＴＢｑ）
セシウム－137換算値	3×10^{-5}



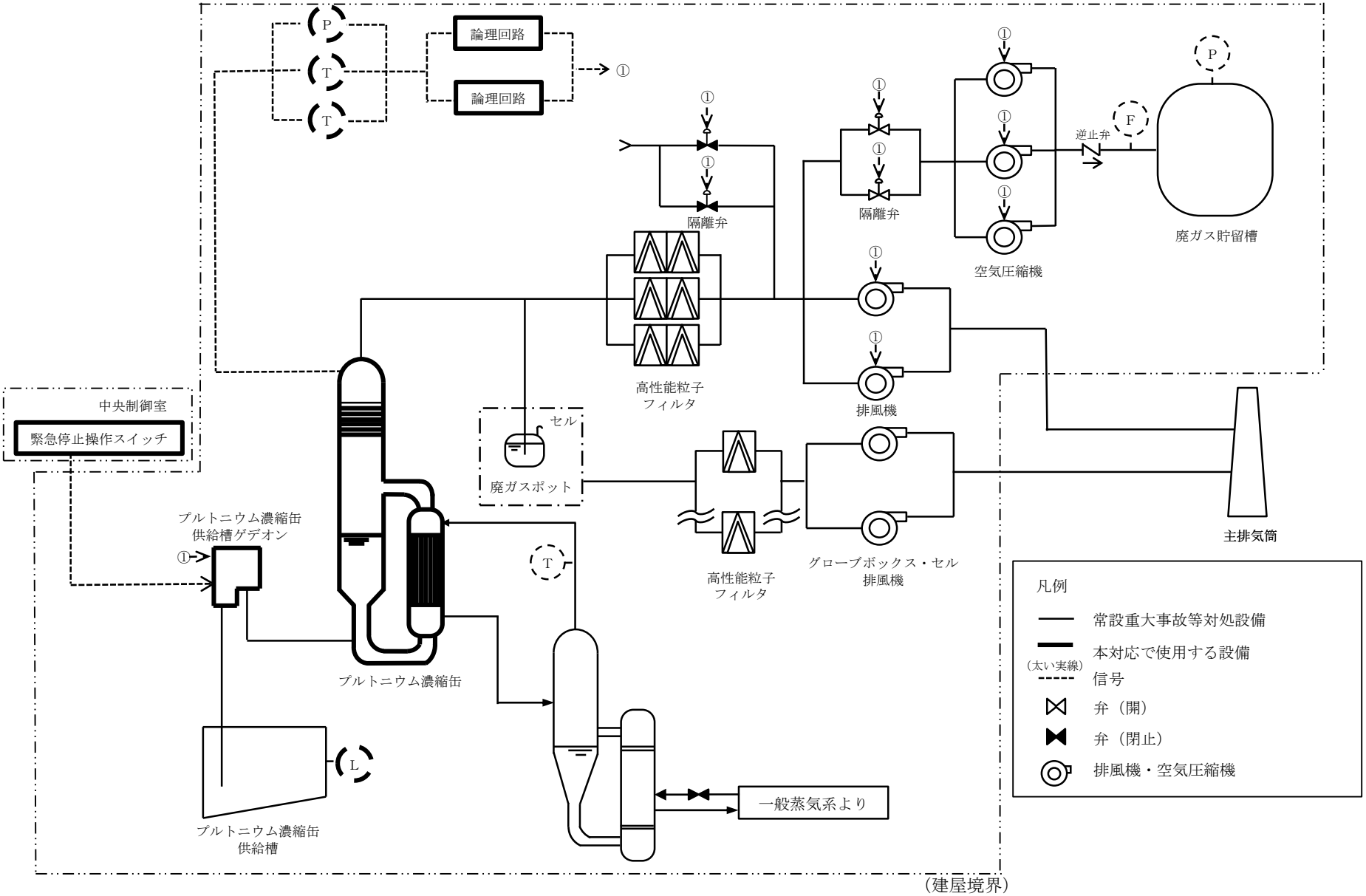
※１　精製施設のプルトニウム精製設備

第10－１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
（プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止，プルトニウム濃縮缶の加熱の停止）

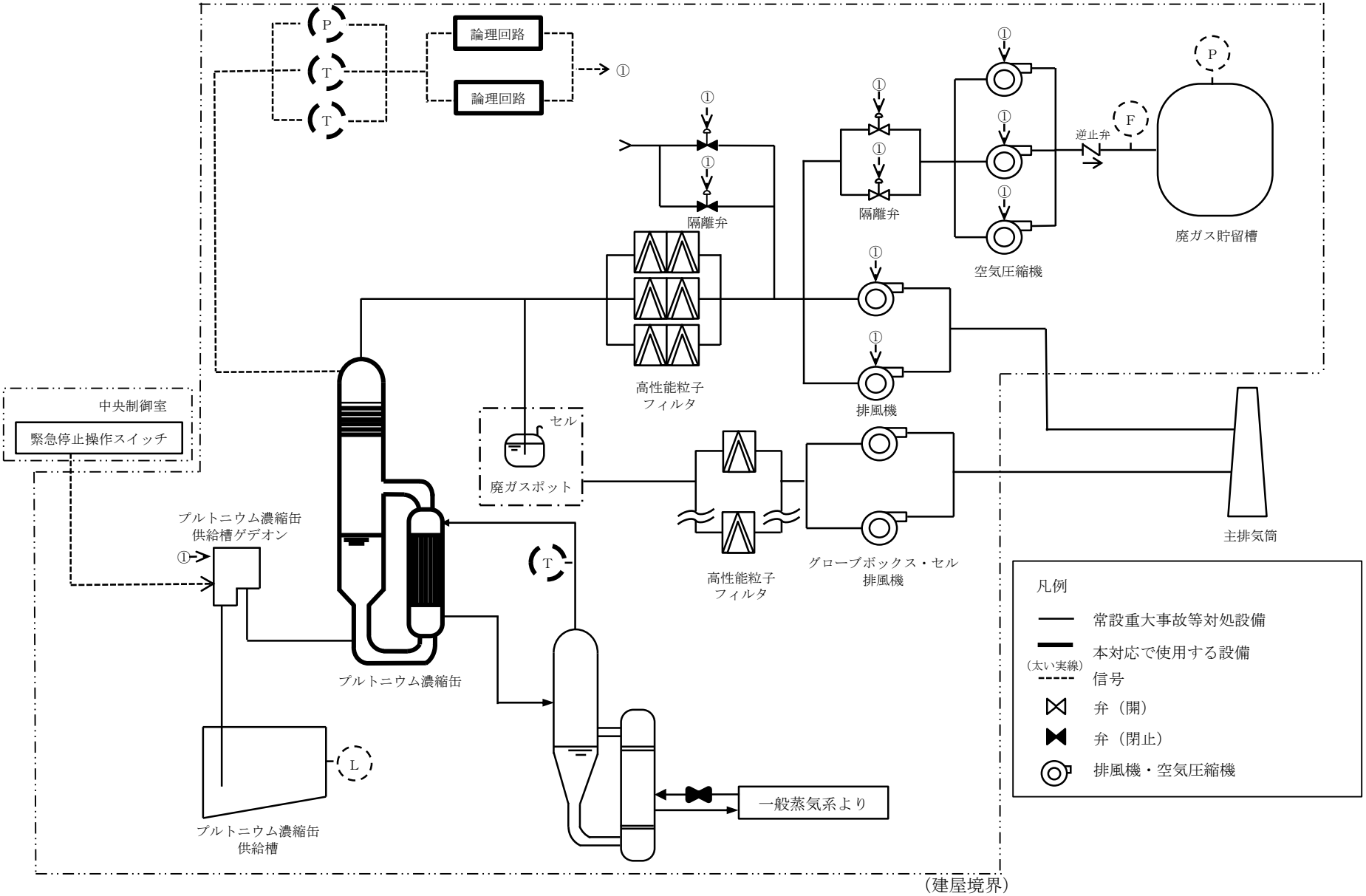


※１　精製施設のプルトニウム精製設備
※２　気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）
※３　気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の精製建屋換気設備の精製建屋排気系

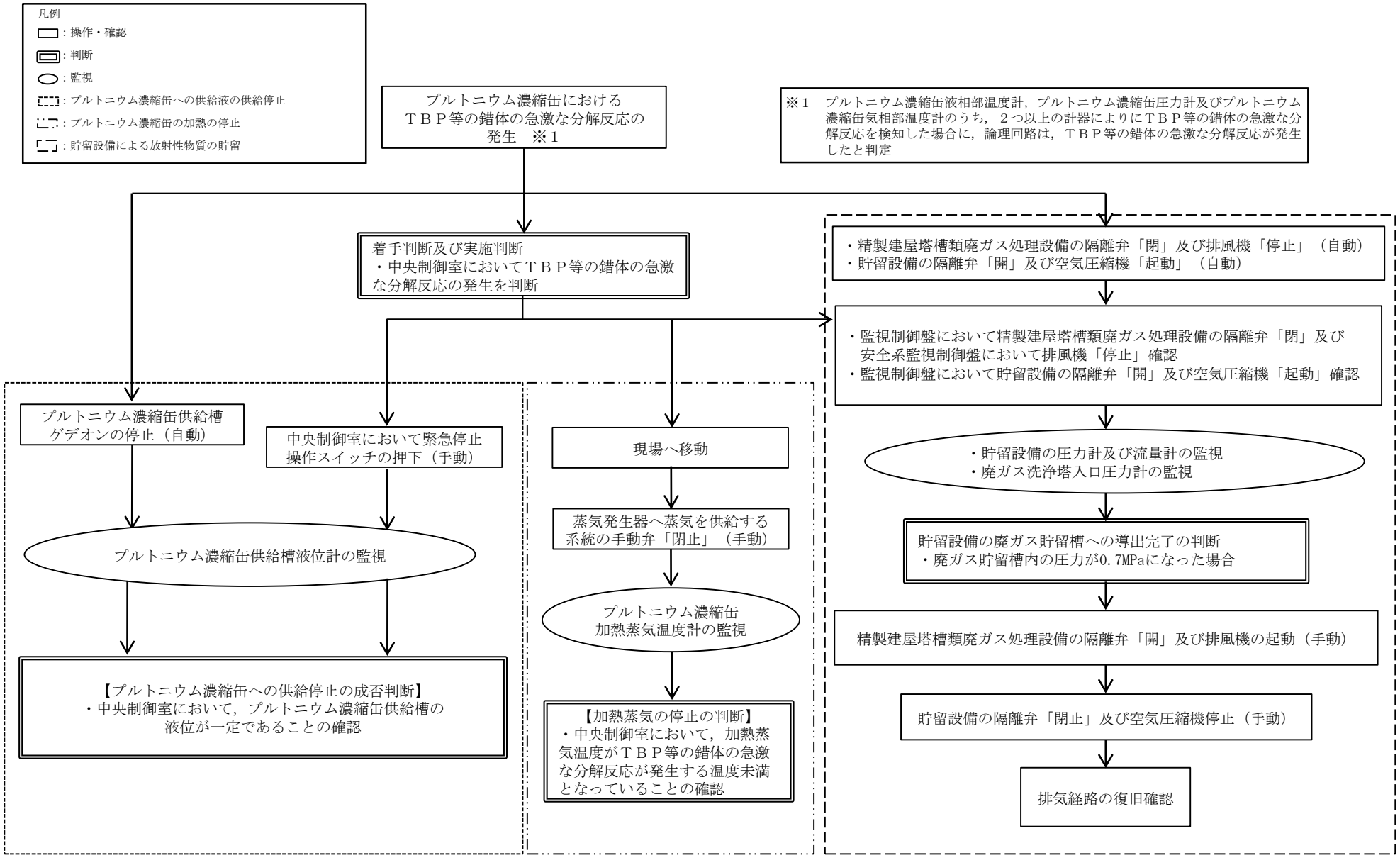
第10－２図　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
（貯留設備による放射性物質の貯留）



第10.1.1－１図（１）　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
（プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止）

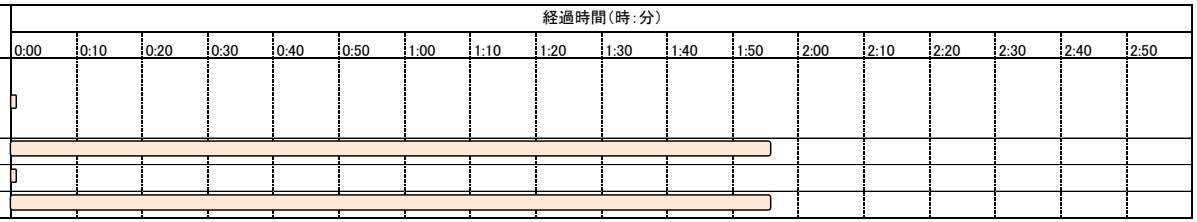


第10.1.1－１図（２）　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
（プルトニウム濃縮缶の加熱の停止）

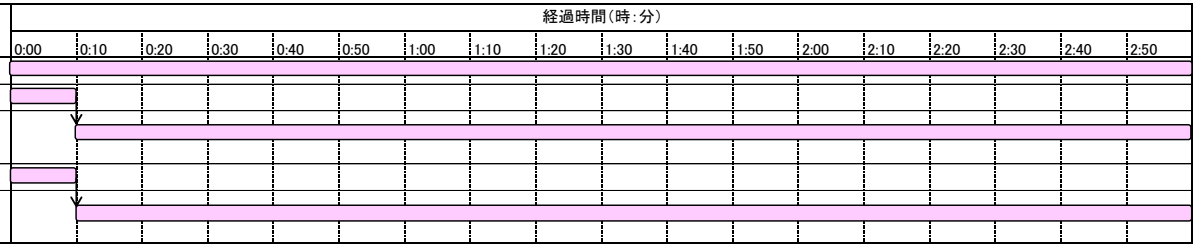


第10.1.1－２図「プルトニウム濃縮缶のＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応」の手順の概要

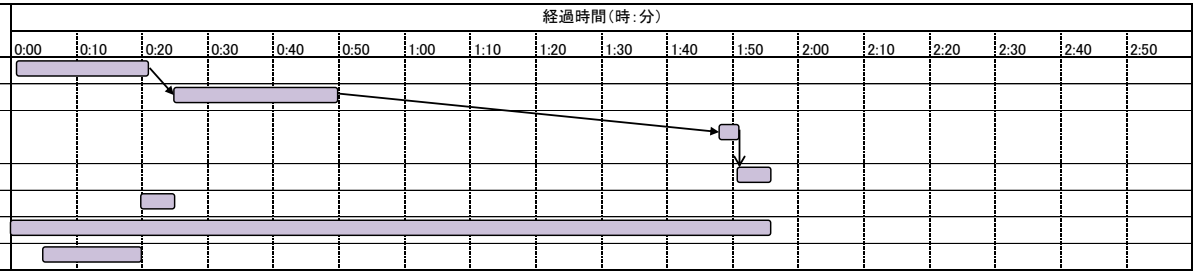
班名	作業番号	作業内容	要員数	所要時間（時：分）
実施責任者	1	・プルトニウム濃縮缶液相部温度計，プルトニウム濃縮缶圧力計及びプルトニウム濃縮缶気相部温度計のうち2つ以上の計器で同時に警報が発報したことを検知した場合に，TBP等の錯体の急激な分解反応の発生を判断	1	0:01
	2	・対策活動の指揮		1:56
建屋対策班長	3	・緊急停止系の作動によるプルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止	1	0:01
	4	・対策の実施、対策作業の進捗管理		1:56
小計			2	



班名		作業番号	作業内容	要員数	所要時間（時：分）
放射線対応班	放射線対応班長	5	・放射線監視盤の状態確認及び監視	1	—
	放管1班	6	・放射線監視盤の状態確認及び監視	2	0:10
		7	・主排気筒管理建屋ダストろ紙回収及び測定 ※初回測定以降、事象継続状況を踏まえ、測定・報告を繰り返す。		—
	放管2班	8	・放射線監視盤の状態確認及び監視	2	0:10
		9	・建屋周辺サーベイ ※初回測定以降、事象継続状況を踏まえ、測定・報告を繰り返す。		—
小計				5	



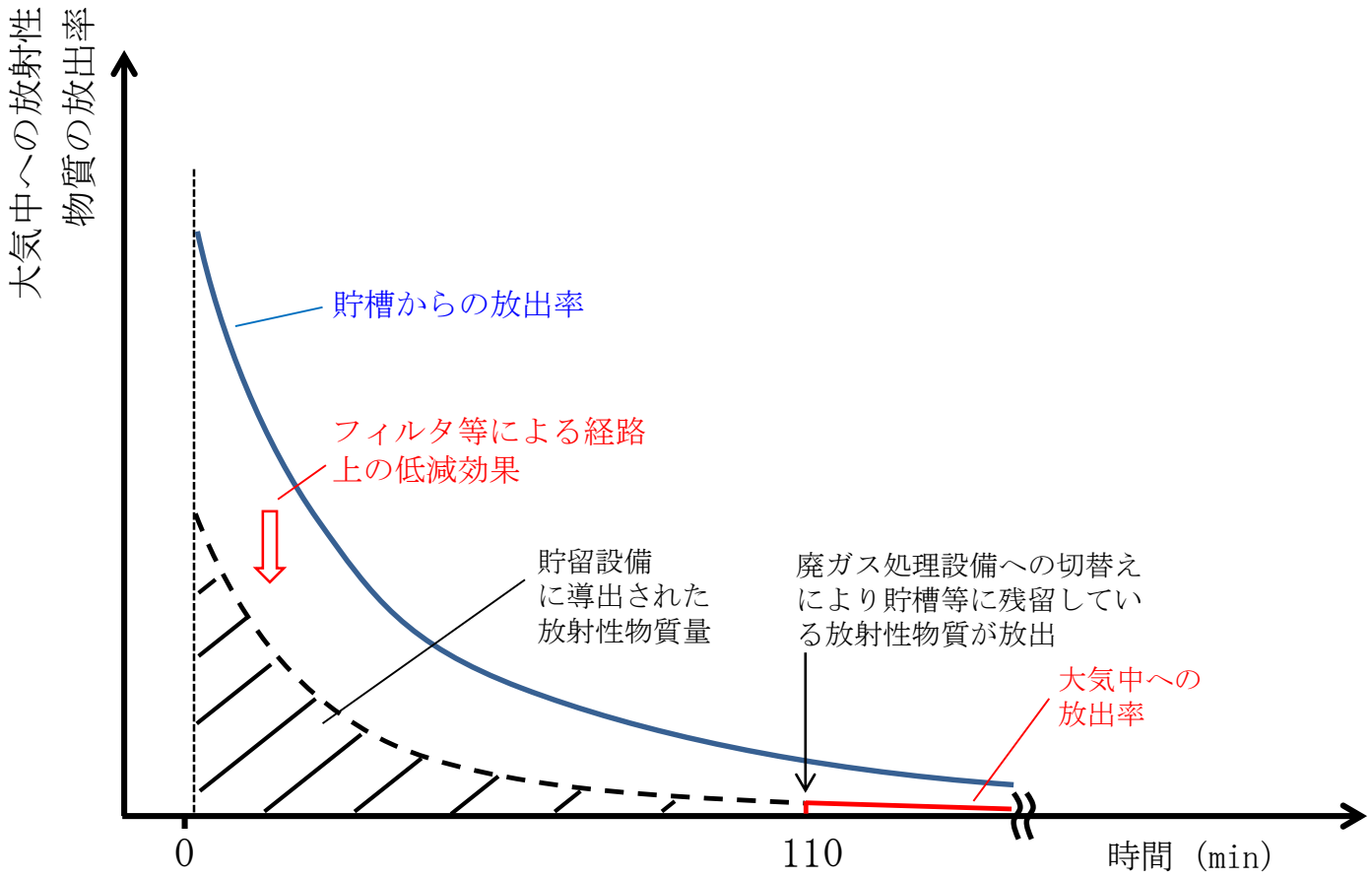
班名		作業番号	作業内容	要員数	所要時間（時：分）
建屋対策班	建屋内1班	10	・プルトニウム濃縮缶供給槽液位等の監視	2	0:20
		11	・加熱蒸気温度等の監視		0:25
		12	・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁の操作及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機の起動		0:03
		13	・貯留設備の隔離弁の操作及び貯留設備の空気圧縮機の停止		0:05
	建屋内2班	14	・蒸気発生器へ一次蒸気を供給する系統の手動弁の閉止	2	0:05
	建屋内3班	15	・貯留設備の圧力及び流量の監視	2	1:56
	建屋内4班	16	・精製建屋各工程の運転状態確認	2	0:15
小計				8	



班名	作業番号	作業内容	要員数	所要時間（時：分）
実施組織要員	17	・非常用電源建屋の受電状態確認	3	0:10
	18	・制御建屋の受電状態確認	3	0:10
	19	・ユーティリティ建屋の受電状態確認	3	0:10
小計			9	

合計	**24**

第10.1.1-３図　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大防止のための措置の作業と所要時間
（プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止，プルトニウム濃縮缶の加熱の停止，貯留設備による放射性物質の貯留）



第10.1.2-１図　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放出量の推移

精製施設のプルトニウム精製施設及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の気相部（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）の廃ガスポットまで）に内包する放射性物質量

Ｐｕ－238	：	6×10^{7} Ｂｑ
Ｐｕ－239	：	6×10^{6} Ｂｑ
Ｐｕ－240	：	9×10^{6} Ｂｑ
Ｐｕ－241	：	2×10^{9} Ｂｑ

↓

放出経路上の放射性エアロゾルの沈着
除去効率　：　90％
精製建屋換気設備のセルからの排気系の
高性能粒子フィルタによる放射性エアロゾルの除去
除去効率　：　99.9％

↓

放射性物質放出量

Ｐｕ－238	：	6×10^{3} Ｂｑ
Ｐｕ－239	：	6×10^{2} Ｂｑ
Ｐｕ－240	：	9×10^{2} Ｂｑ
Ｐｕ－241	：	2×10^{5} Ｂｑ

↓

主排気筒放出

第 10.1.2－２図（１）　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の発生による放射性物質の大気放出過程（セルからの排気系からの放射性物質の放出量）

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量

Ｐｕ－238	：	4×10^{15}Ｂｑ
Ｐｕ－239	：	4×10^{14}Ｂｑ
Ｐｕ－240	：	6×10^{14}Ｂｑ
Ｐｕ－241	：	8×10^{16}Ｂｑ

↓

放射性物質の気相中への移行

移行割合　：

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応発生時	：	0.4％
ＴＢＰ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：４％

↓

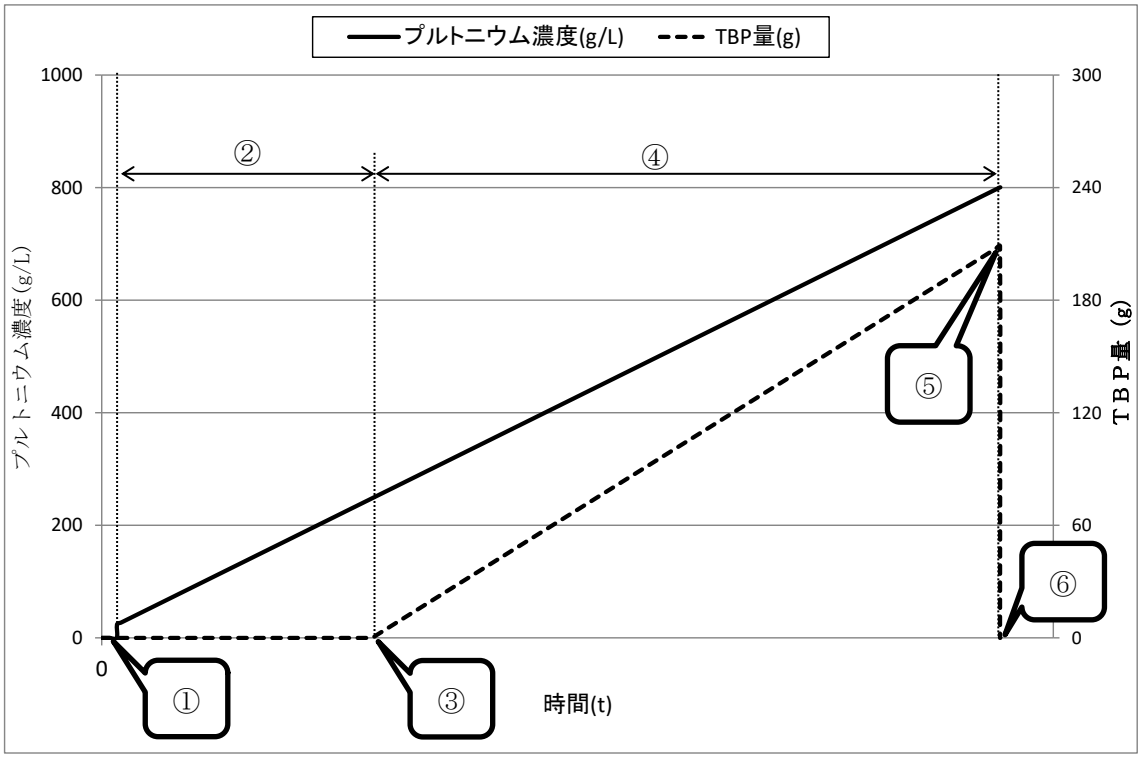
放射性物質放出量

Ｐｕ－238	：	6×10^{5}Ｂｑ
Ｐｕ－239	：	6×10^{4}Ｂｑ
Ｐｕ－240	：	9×10^{4}Ｂｑ
Ｐｕ－241	：	2×10^{7}Ｂｑ

↓

主排気筒放出

第 10.1.2－２図（２）　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の発生による放射性物質の大気放出過程（塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）からの放射性物質の放出量）



【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 10.1.2－３図　プルトニウム濃縮缶の運転概要及び濃度推移

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への対処）

再処理施設 安全審査 整理資料 補足説明資料				備考（8月提出済みの資料については、資料番号を記載）
資料No.	名称	提出日	Rev	
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	3/13	6	新規作成
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	1/22	4	新規作成
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	3/13	4	新規作成
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	3/13	6	新規作成
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	1/8	3	新規作成
補足説明資料10-6	事態の収束までの放出量評価	3/13	6	新規作成
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	12/16	1	新規作成
補足説明資料10-8	不確かさの設定	3/13	5	新規作成
補足説明資料10-9	系統概要図，アクセスルート	3/13	3	新規作成
補足説明資料10-10	TBP等の錯体の急激な分解反応発生時のプルトニウム濃縮缶内の水素濃度評価方法と評価に用いたパラメータについて	1/22	0	新規作成
補足説明資料10-11	加熱停止後のプルトニウム濃縮缶の温度評価	1/22	0	新規作成
補足説明資料10-12	敷地外被ばく線量評価	3/13	0	新規作成

令和２年３月１３日　R6

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

目次

１．有機溶媒等による火災又は爆発の事象選定

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

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

３．ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の廃ガスポットの水封の状況

３．１　廃ガスポットの構造

３．２　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の影響

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,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ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生する温度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。ＴＢＰ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 0.4μＳｖ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，公衆への影響は 6.8×10^{-5} μＳｖ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ＴＢＰを含む供給液を供給することはなく，沸点はＴＢＰ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，ＴＢＰ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。

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ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に寄与するＴＢＰ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ＴＢＰ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，ＴＢＰ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 0.29ｋＰａ，温度が約 170℃であり，フィルタの健全性が確認されている 9.3ｋＰａ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	Ｃｓ換算放出放射能量（ＴＢｑ）	
	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	3.9E-14	1.2E-15
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	2.0E-11	6.1E-13
Ｐｕ（α）	1.6E-10	5.1E-04
Ａｍ／Ｃｍ（α）	7.7E-08	0.0E+00
Ｕ（α）	1.8E-08	1.2E-12
Ｎｐ（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。

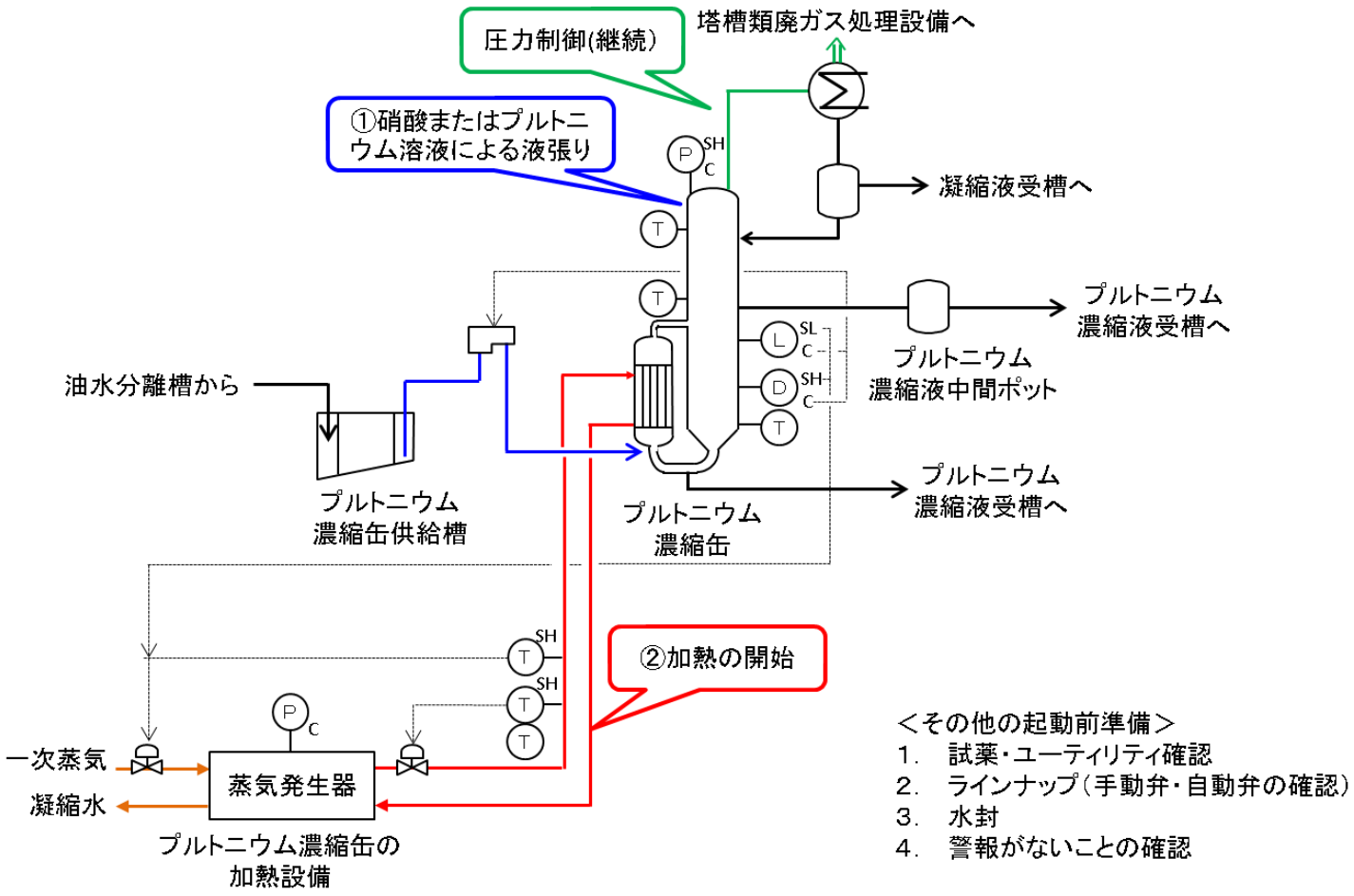
密度制御による濃縮運転では,濃縮缶内の硝酸プルトニウム溶液の濃度が 250ｇ／Ｌに相当する密度となるよう,プルトニウム溶液の供給流量を制御するとともに濃縮した硝酸プルトニウム溶液（以下,「プルトニウム濃縮液」と言う。）の抜き出しを実施する。液位制御による濃縮から密度制御による濃縮は，液位制御

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。

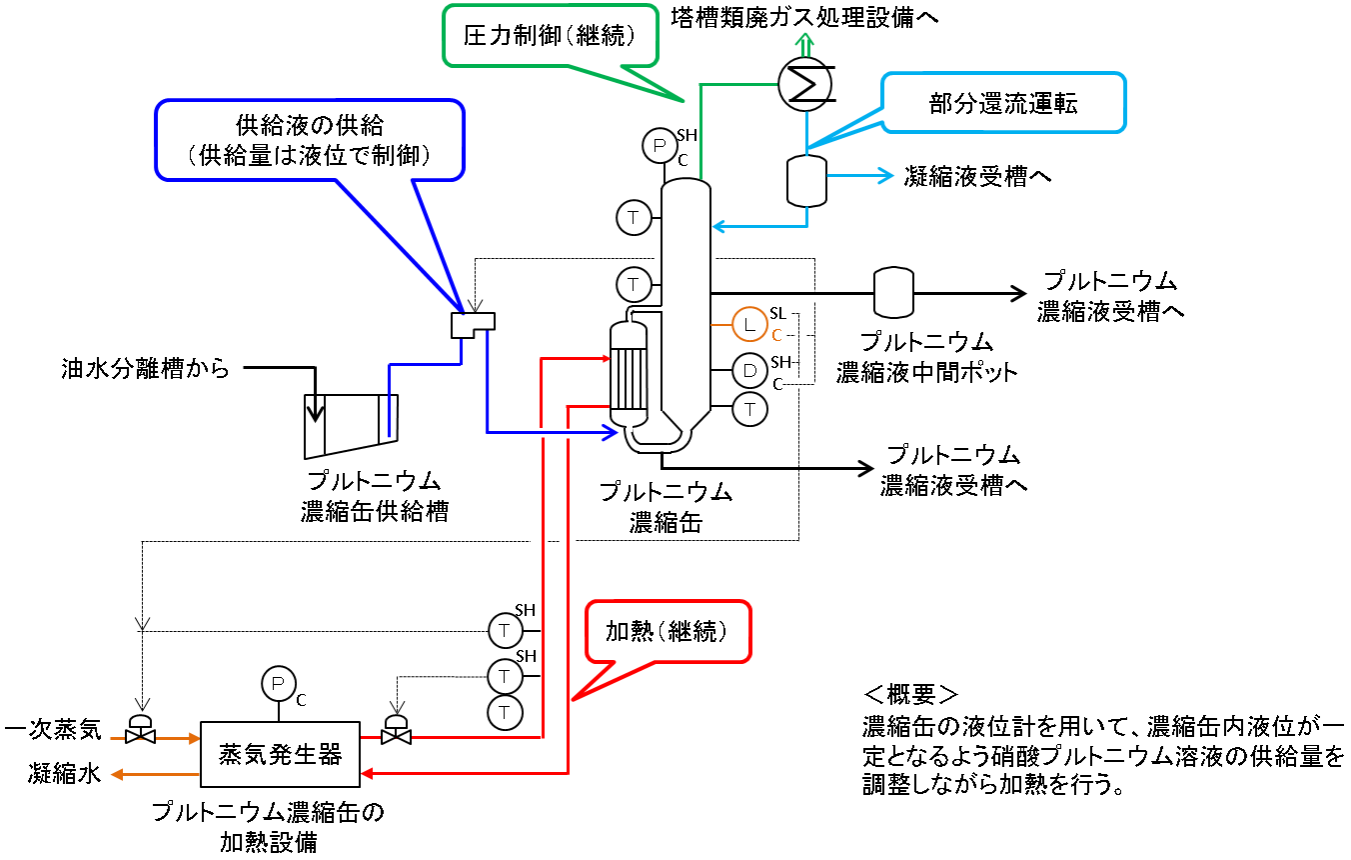
待機運転は，上流工程からのプルトニウム溶液の移送が遅れる等の理由により短期的に濃縮運転の継続が困難となった場合に実施し，プルトニウム濃縮缶の加熱を継続しながら硝酸プルトニウム溶液の供給は停止し，プルトニウム濃縮缶から発生する凝縮液の全量をプルトニウム濃縮缶に戻すことで，プルトニウム濃縮缶内の液位を保ちながら待機する。

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。

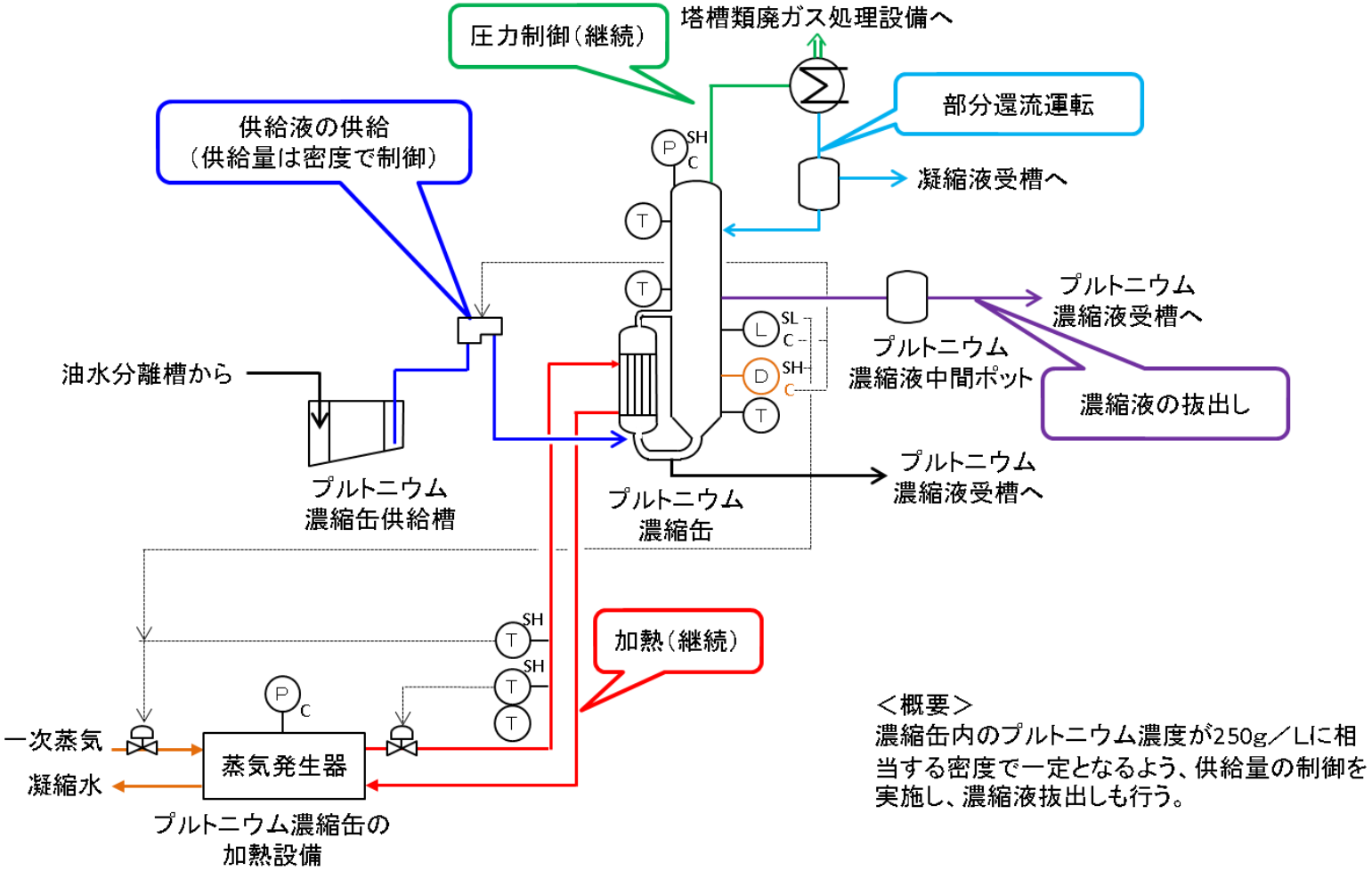
上記運転の概要を図－１に示す。



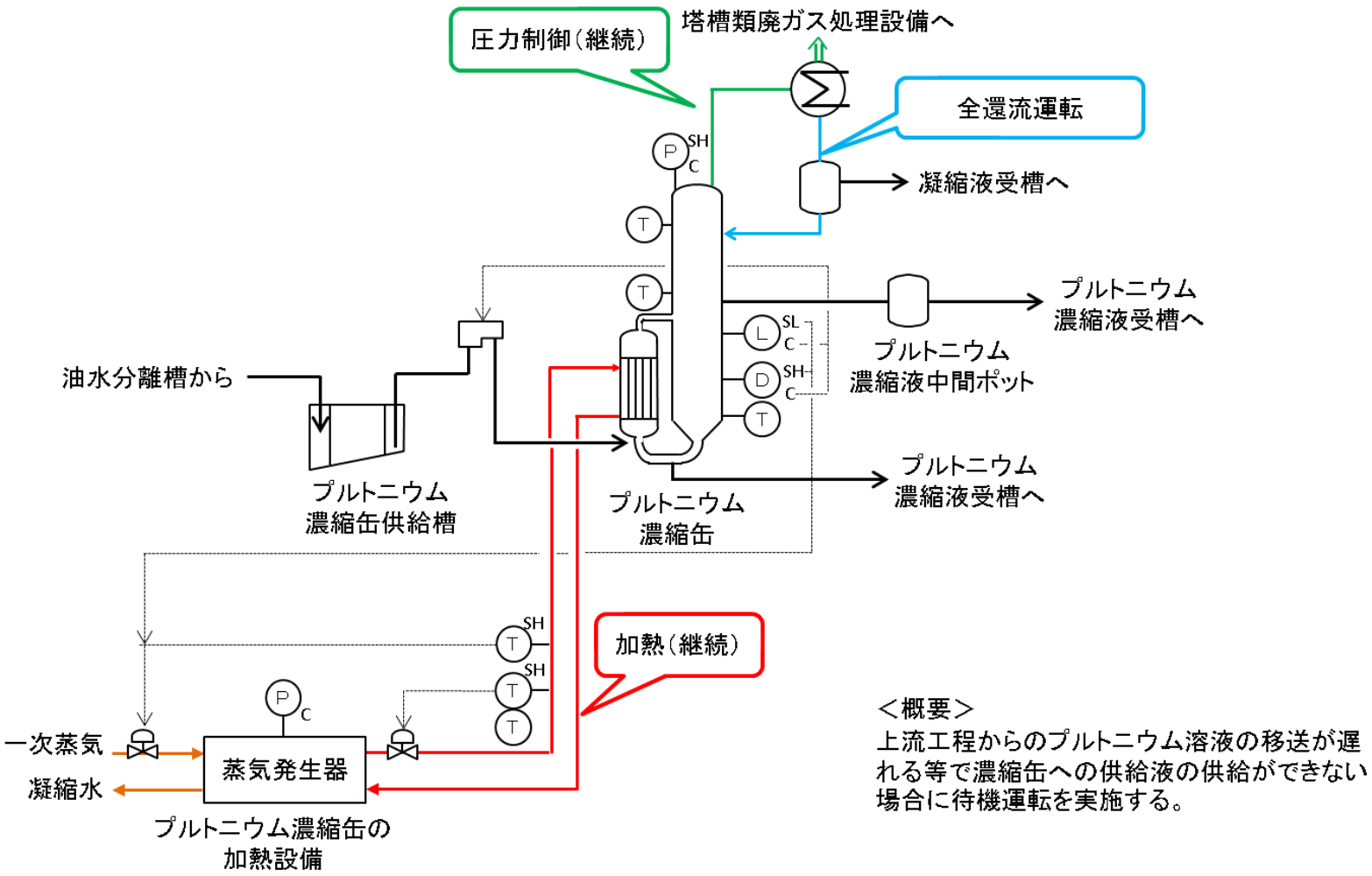
図－１（１／５）　プルトニウム濃縮缶の運転概要（立ち上げ）



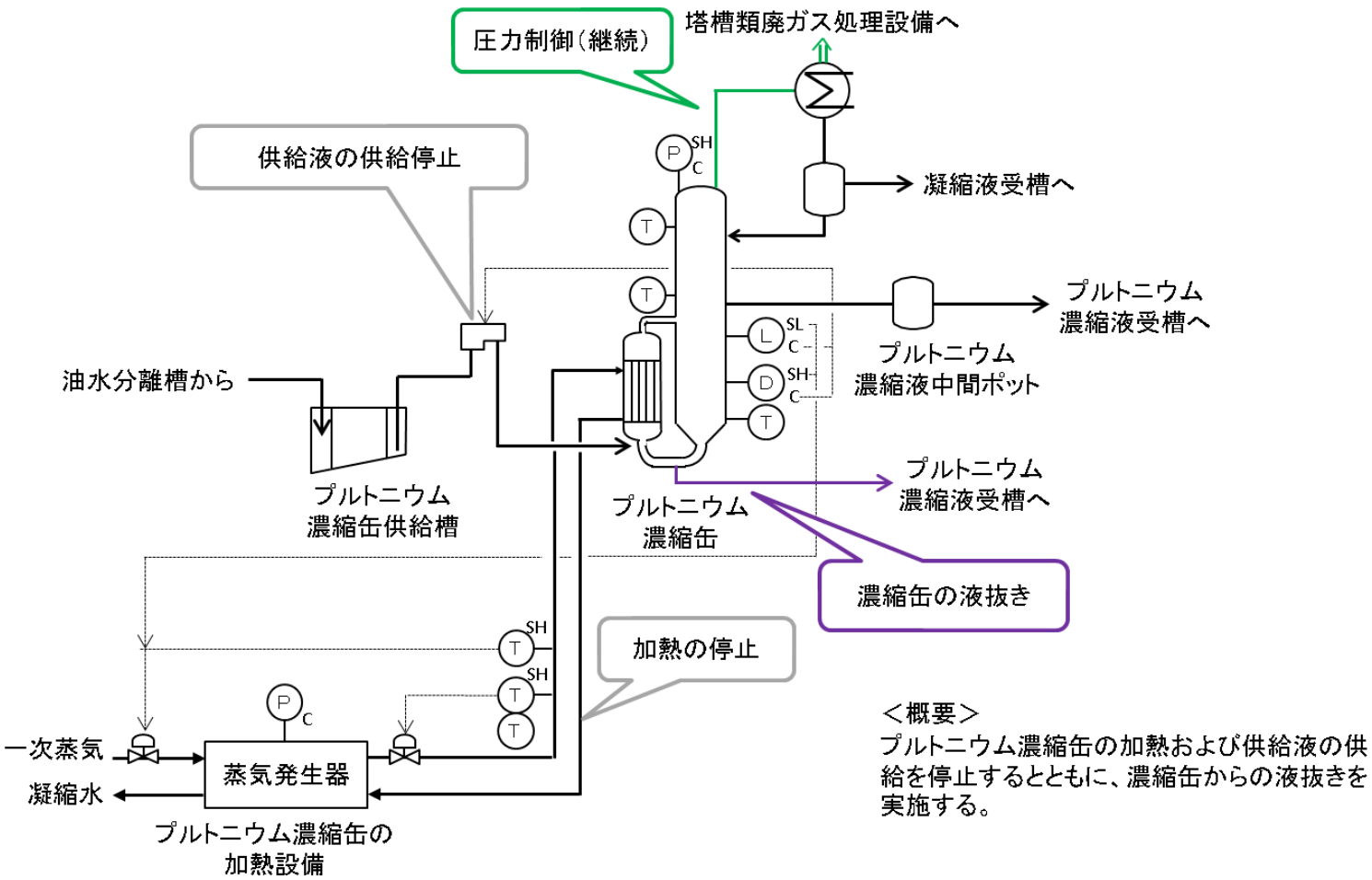
図－１（２／５）　プルトニウム濃縮缶の運転概要（液位制御運転）



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ＴＢＰ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。

①ＴＢＰ等の濃縮缶への持ち込み防止

・ＴＢＰ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

・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

・運転員による下流工程への移送前における溶液のＴＢＰ濃度の分析結果確認

・運転員による希釈剤供給流量の指示値の確認

②加熱蒸気温度の異常な上昇防止

・蒸気発生器における加熱蒸気の圧力（温度）制御

・運転員による加熱蒸気圧力高警報の発報確認

・運転員による加熱蒸気温度高警報の発報確認

・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

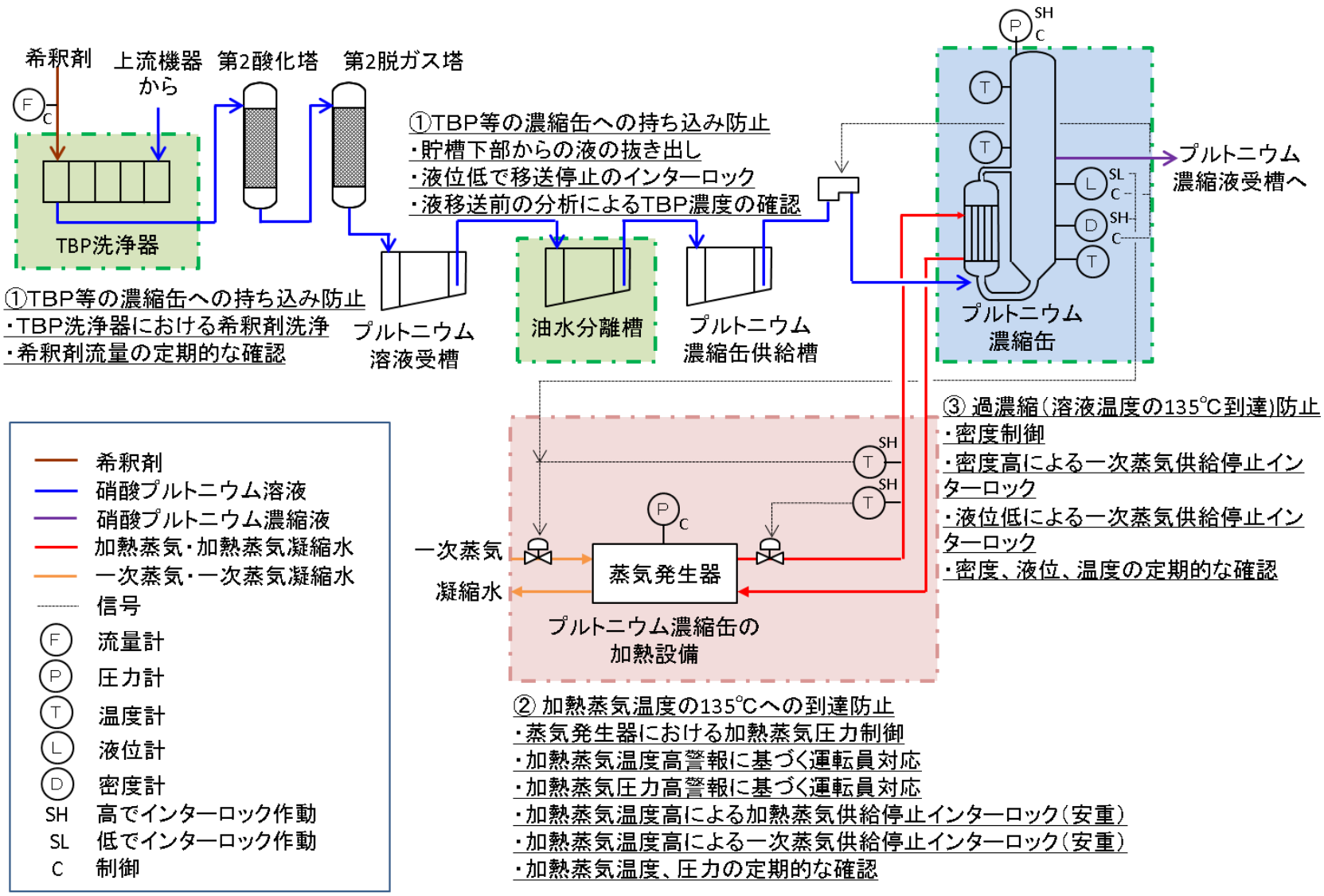
・濃縮缶の液位が異常に低下した場合に，警報を発するとともにインターロックにより蒸気発生器への一次蒸気の供給停止

・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

ＴＢＰ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。


希釈剤
上流機器から
第2酸化塔
第2脱ガス塔
F
C
TBP洗浄器
①TBP等の濃縮缶への持ち込み防止
・TBP洗浄器における希釈剤洗浄
・希釈剤流量の定期的な確認
①TBP等の濃縮缶への持ち込み防止
・貯槽下部からの液の抜き出し
・液位低で移送停止のインターロック
・液移送前の分析によるTBP濃度の確認
プルトニウム溶液受槽
油水分離槽
プルトニウム濃縮缶供給槽
P
SH
C
T
L
SL
D
プルトニウム濃縮缶
プルトニウム濃縮液受槽へ
③ 過濃縮（溶液温度の135℃到達）防止
・密度制御
・密度高による一次蒸気供給停止インターロック
・液位低による一次蒸気供給停止インターロック
・密度、液位、温度の定期的な確認
一次蒸気
凝縮水
蒸気発生器
プルトニウム濃縮缶の加熱設備
② 加熱蒸気温度の135℃への到達防止
・蒸気発生器における加熱蒸気圧力制御
・加熱蒸気温度高警報に基づく運転員対応
・加熱蒸気圧力高警報に基づく運転員対応
・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）
・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）
・加熱蒸気温度、圧力の定期的な確認
希釈剤
硝酸プルトニウム溶液
硝酸プルトニウム濃縮液
加熱蒸気・加熱蒸気凝縮水
一次蒸気・一次蒸気凝縮水
信号
流量計
圧力計
温度計
液位計
密度計
SH 高でインターロック作動
SL 低でインターロック作動
C 制御

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ＴＢＰ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ＴＢＰ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。

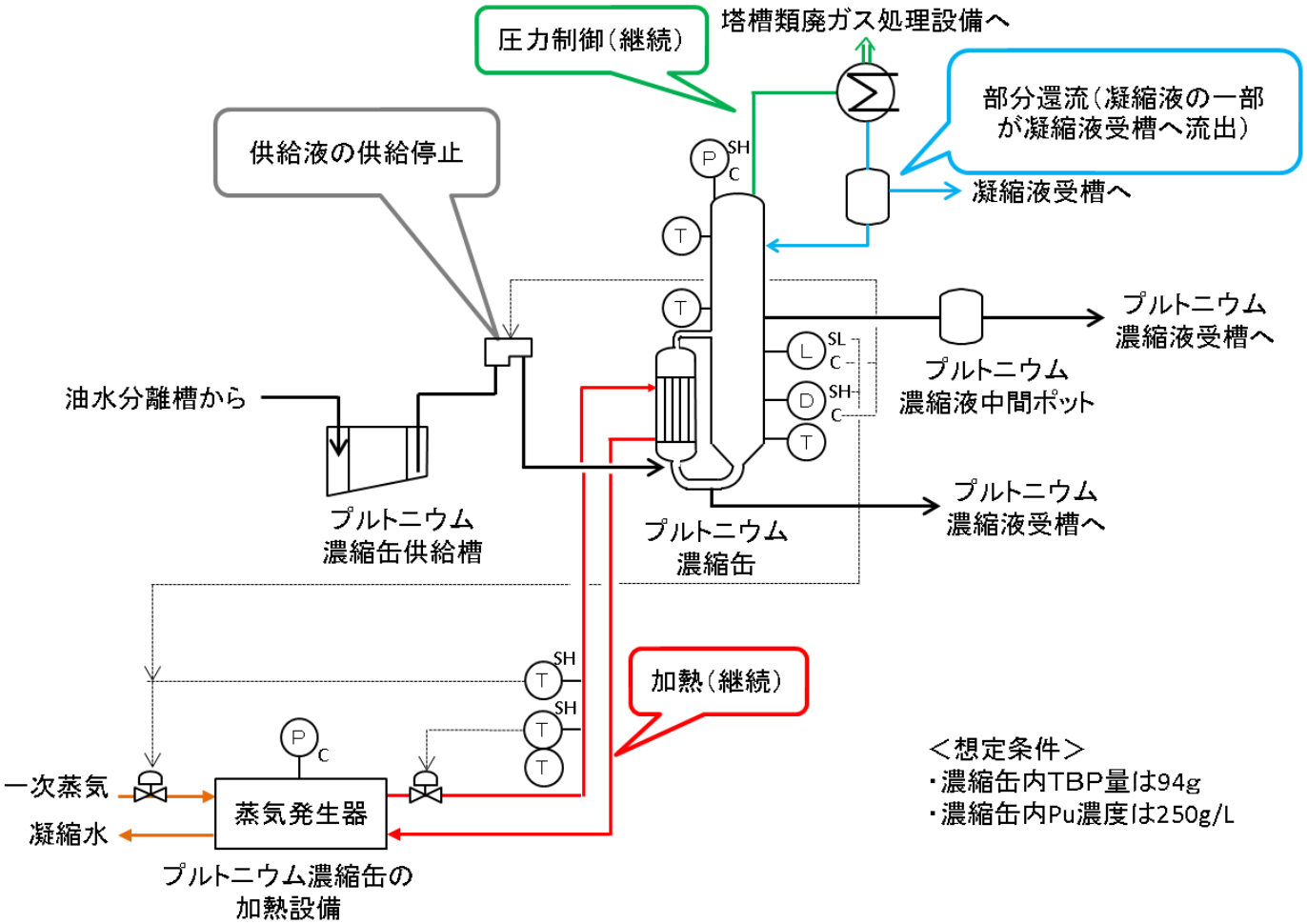
なお,プルトニウム濃縮液は,希釈剤洗浄が行われずＴＢＰ濃度が高い状態の硝酸プルトニウム溶液を処理することでプルトニウム濃度は 250ｇ／Ｌ,濃縮缶内のＴＢＰ量は 94ｇとなっており,加熱蒸気温度は,待機運転が開始され凝縮液の一部が下流

工程に移送される状態が始まった時点でＴＢＰ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。

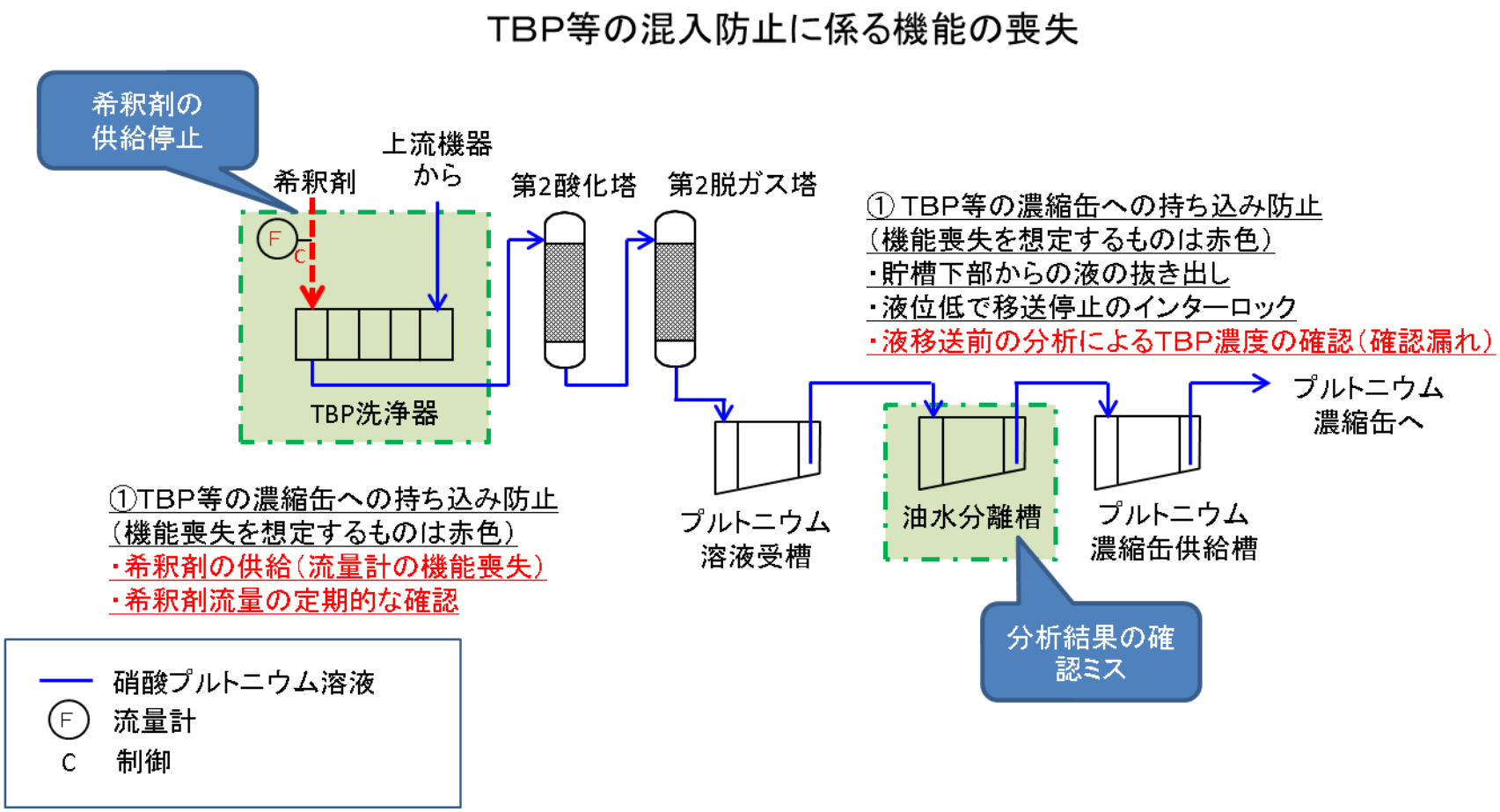
このケースでは，異常の発生（待機運転状態で凝縮液の一部が下流工程に移送される）から事象の発生（800ｇ／Ｌへの到達）までの時間は約29時間となる。

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。

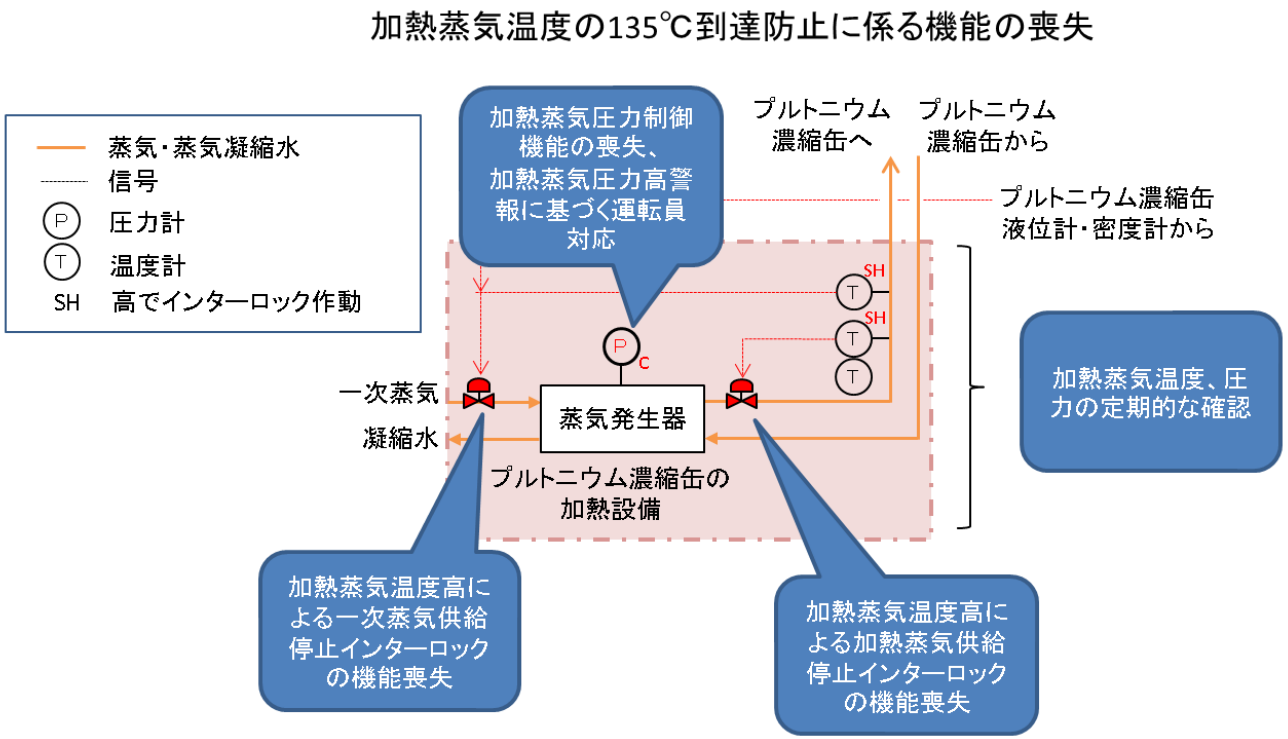
ケース１の場合，事象発生時にはプルトニウム溶液の供給は停止している状態であり，事象発生後の再供給は実施しない。また，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により，ＴＢＰ等の錯体は全てが分解されてしまうことから，事象発生後はプルトニウム濃縮缶内にはＴＢＰ等が存在しないこととなるため，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応は再発しない。



図－３　想定シナリオケース１の運転状態



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）

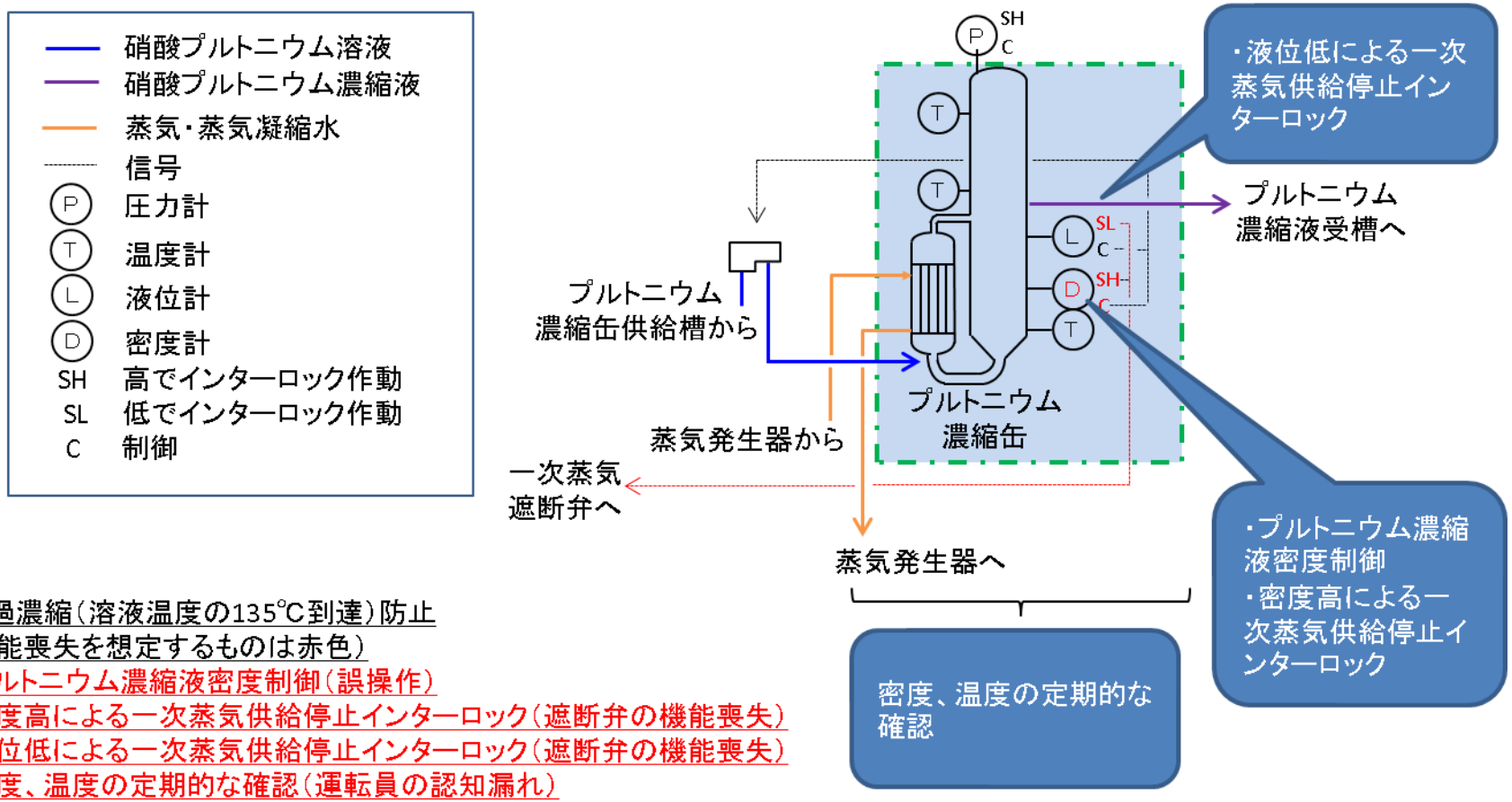


② 加熱蒸気温度の135℃到達防止（機能喪失を想定するものは赤色）

・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



③ 過濃縮（溶液温度の135℃到達）防止
（機能喪失を想定するものは赤色）
・プルトニウム濃縮液密度制御（誤操作）
・密度高による一次蒸気供給停止インターロック（遮断弁の機能喪失）
・液位低による一次蒸気供給停止インターロック（遮断弁の機能喪失）
・密度、温度の定期的な確認（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（３／３）

（２）ケース２：濃縮運転中の過濃縮

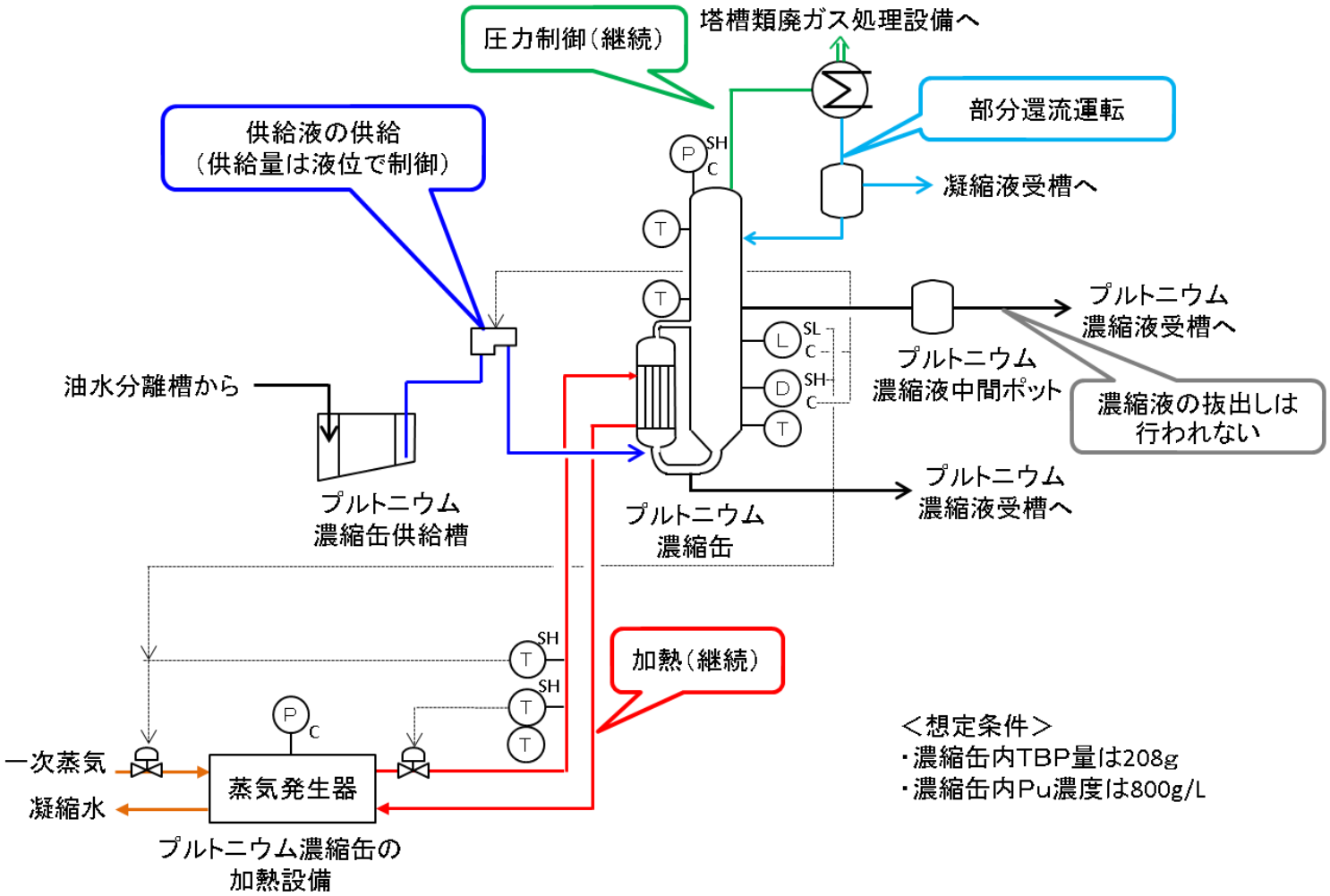
液位制御による硝酸プルトニウム溶液の濃縮運転を実施しており，所定の密度に到達したことから，通常であれば自動で密度制御に切り替わるところが，液位制御の制御モードが手動制御モードとなっており，密度制御への自動切り替えが行われず，液位制御による運転が継続することを想定する。さらに，加熱蒸気についても，この異常の発生と同時に圧力制御機能が喪失し，温度が上昇すると想定する。この状態では，硝酸プルトニウム溶液の供給は継続されるがプルトニウム濃縮液の抜き出しは行われないため，過濃縮が進むと想定する。プルトニウム濃縮液の密度の上昇が継続し，沸点がＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生する温度に相当する 800ｇ／Ｌ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（800ｇ／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（113Ｌ／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（２４ｇ／Ｌ）から，約[redacted]時間となる。

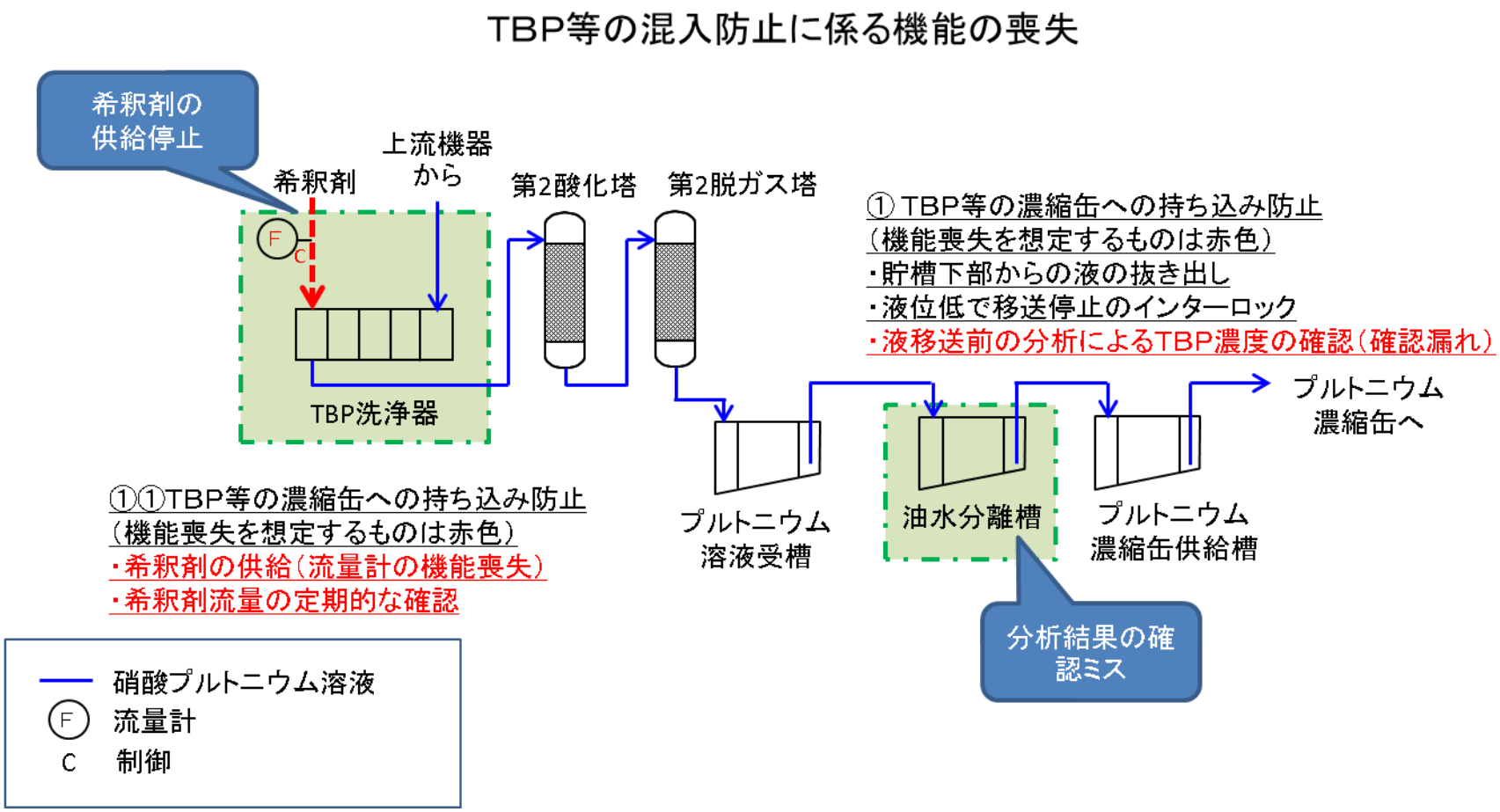
ケース２の運転状態を図－５，事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態を図－６に示す。

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。

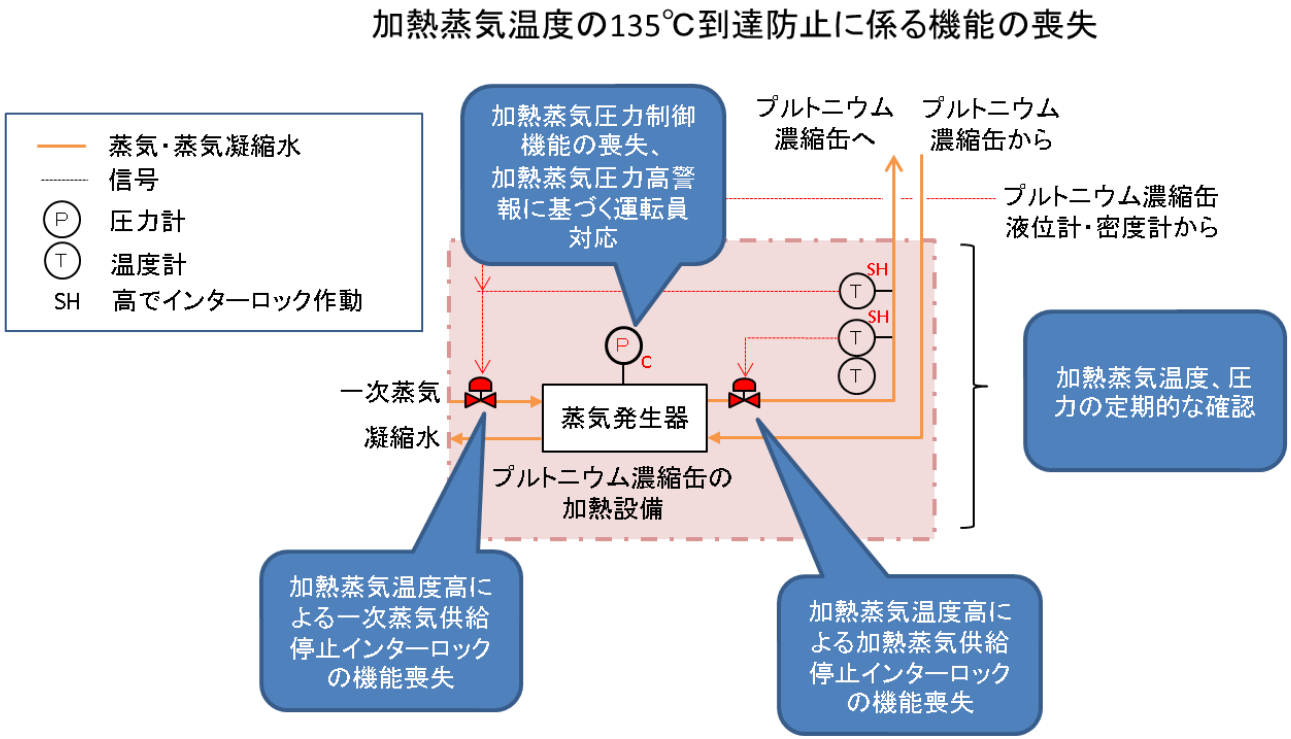
[redacted]については商業機密の観点から公開できません。



図－５　想定シナリオケース２の運転状態



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）

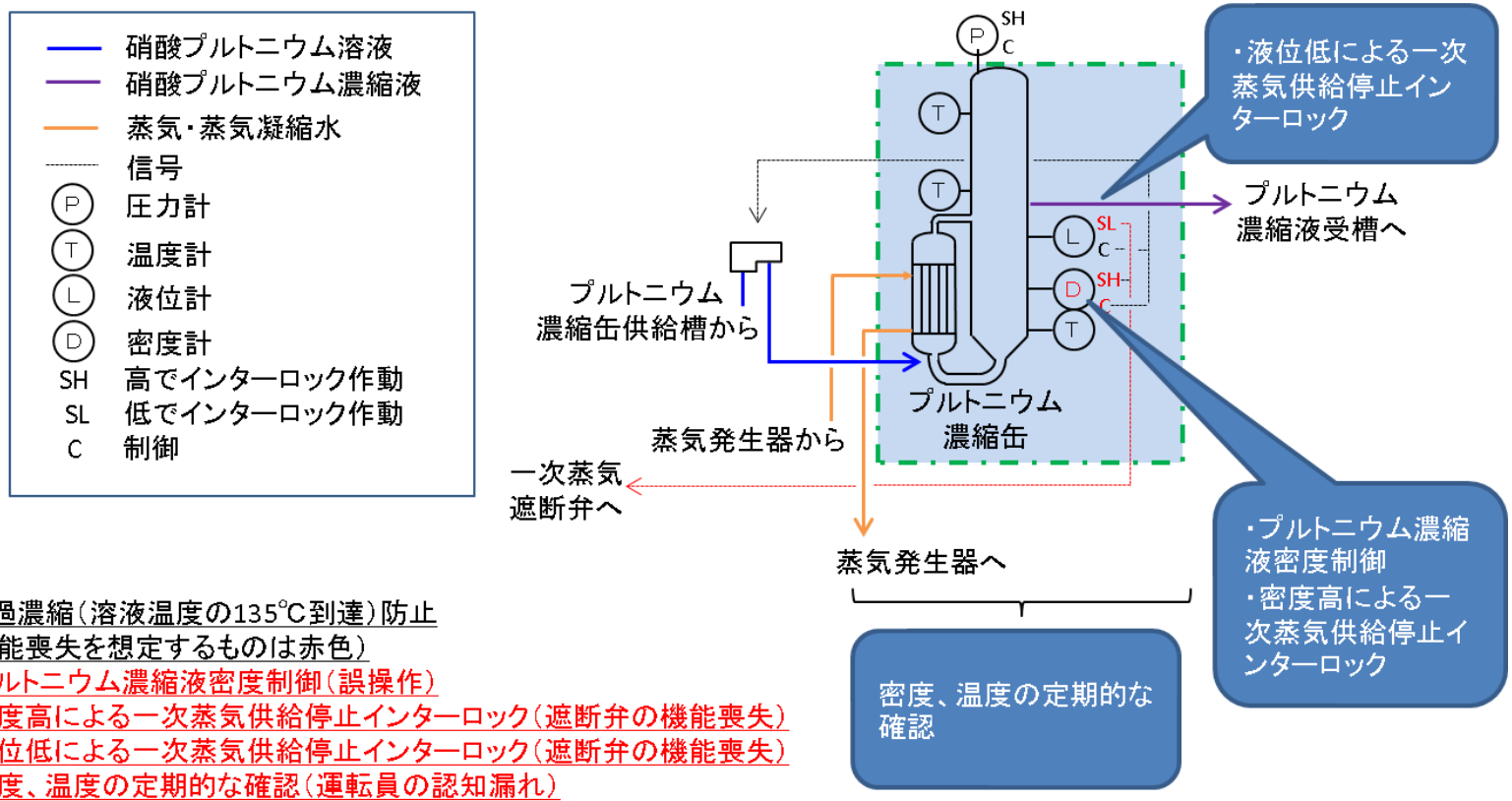


② 加熱蒸気温度の135℃到達防止（機能喪失を想定するものは赤色）

・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



③ 過濃縮（溶液温度の135℃到達）防止
（機能喪失を想定するものは赤色）
・プルトニウム濃縮液密度制御（誤操作）
・密度高による一次蒸気供給停止インターロック（遮断弁の機能喪失）
・液位低による一次蒸気供給停止インターロック（遮断弁の機能喪失）
・密度、温度の定期的な確認（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（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ＴＢＰ等の量及び放出放射能量が多い

・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（800ｇ／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（800ｇ／Ｌへの到達）までの時間は約 ■ 時間となる。
反応に使われるＴＢＰ量	反応に使われるＴＢＰ等の錯体量（ＴＢＰ等の量）は，約 24ｇ／Ｌのプルトニウム溶液を 250ｇ／Ｌに濃縮するために必要なプルトニウム溶液量に相当する量（94ｇ）	反応に使われるＴＢＰ等の錯体量（ＴＢＰ等の量）は，250ｇ／Ｌのプルトニウム濃縮液を，約 24ｇ／Ｌのプルトニウム溶液を用いて 800ｇ／Ｌに濃縮するために必要な硝酸プルトニウム溶液量に相当する量（約 208ｇ※）
事象の大きさ（圧力，温度，放出放射能量）	濃縮缶の健全性は保たれ，ＶＯＧの高性能粒子フィルタの健全性も維持できる。 放出放射能量は現状と同じ。	濃縮缶の健全性は保たれ，ＶＯＧの高性能粒子フィルタの健全性も維持できる。放出放射能量は，ＴＢＰ等の量が増えるためＡＲＦが上昇することから増加する。

■ については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	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，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により，ＴＢＰ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ＴＢＰ等が存在しないこととなるため，再発しない。	事象発生時にもＴＢＰ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ＴＢＰ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。
拡大防止対策	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。	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。

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	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。	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。
対策に対する時間余裕	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。	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。

※208ｇの算出方法について

平常運転時の250ｇ／Ｌのプルトニウム濃縮液を[redacted]ｇ／Ｌの硝酸プルトニウム溶液を用いて800ｇ／Ｌに濃縮するまでに必要な溶液量は，プルトニウム濃縮缶の容量を[redacted]Ｌとした場合，3713Ｌとなる。

$$(800-250)\times[redacted]\div[redacted]=3713$$

ＴＢＰ量は，水への100％ＴＢＰの溶解度（460ｍｇ／Ｌ）から30％ＴＢＰ（0.3倍）の溶解度を算出することで供給液のＴＢＰ濃度とし，これを140ｍｇ／Ｌとする。

蒸発濃縮運転時の濃縮缶内での残留率は40％[1)]とする。

これらを掛け合わせることで，208ｇとなる。

$$0.14\times3713\times0.4=208$$

1) 「ウラン濃縮缶等でのＴＢＰ挙動検討試験報告書」TR91-01，住友金属鉱山株式会社，平成3年7月における留出率60%から残留率を40%としている。

[redacted]については商業機密の観点から公開できません。

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，放出放射能量が増大する。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 放出放射能量

放出放射能量については，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，約 5×10^{-4} ＴＢｑとなる。また，被ばく線量については，約 4×10^{-1} μＳｖ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

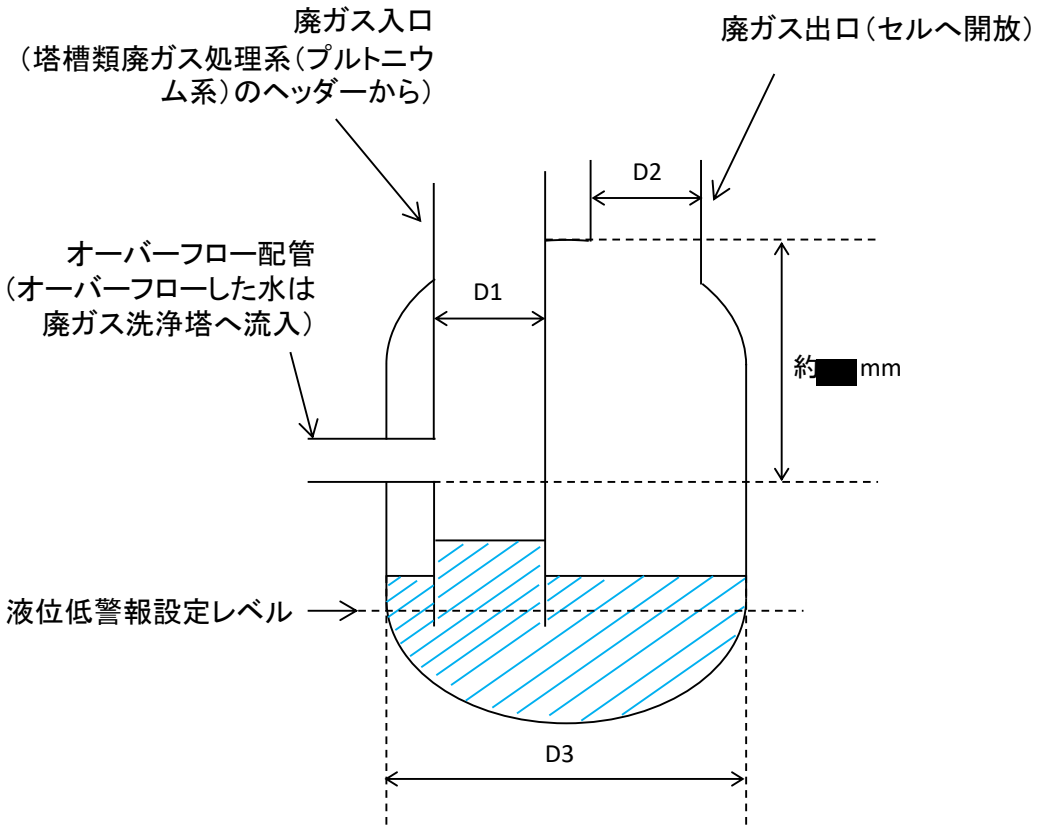
ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応を起こすＴＢＰ等の量が増えているため，それぞれの温度，圧力も上昇する。

ＴＢＰ等の量を 240ｇとした場合のＦｌｕｅｎｔを用いた解析では，当該濃縮缶の出口における圧力は約 840ｋＰａ上昇し，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。ＶＯＧの高性能粒子フィルタについても，最大差圧が約 3.6ｋＰａ，温度は約 44℃となり，健全性が確認されている 9.3ｋＰａ及び 200℃を下回るため，健全性は確保できる。

３．ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の廃ガスポットの水封の状況

３．１　廃ガスポットの構造

廃ガスポットの概要図を図－７に示す。



図－７　廃ガスポット概要図

廃ガスポットにはオーバーフロー配管が設置されており，有効容量は約[redacted]リットルである。

廃ガスポットの廃ガス入口配管は，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）のヘッダーからつながっている配管であり，廃ガスポット内で水封されてい

[redacted]について商業機密の観点から公開できません。

る。廃ガス出口配管は液浸しておらず，廃ガスポットからセルへ開放となっている。

廃ガス入口配管と廃ガス出口配管の径は同一であり，廃ガスポットの径は廃ガス入口配管の約３倍である。

廃ガスポットには液位低警報が設置されており，この警報が発報した際はポットの液張りを実施する。この警報の設定レベルは，廃ガス入口配管の下端レベルよりも高い位置に設定されている。

３．２　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の影響

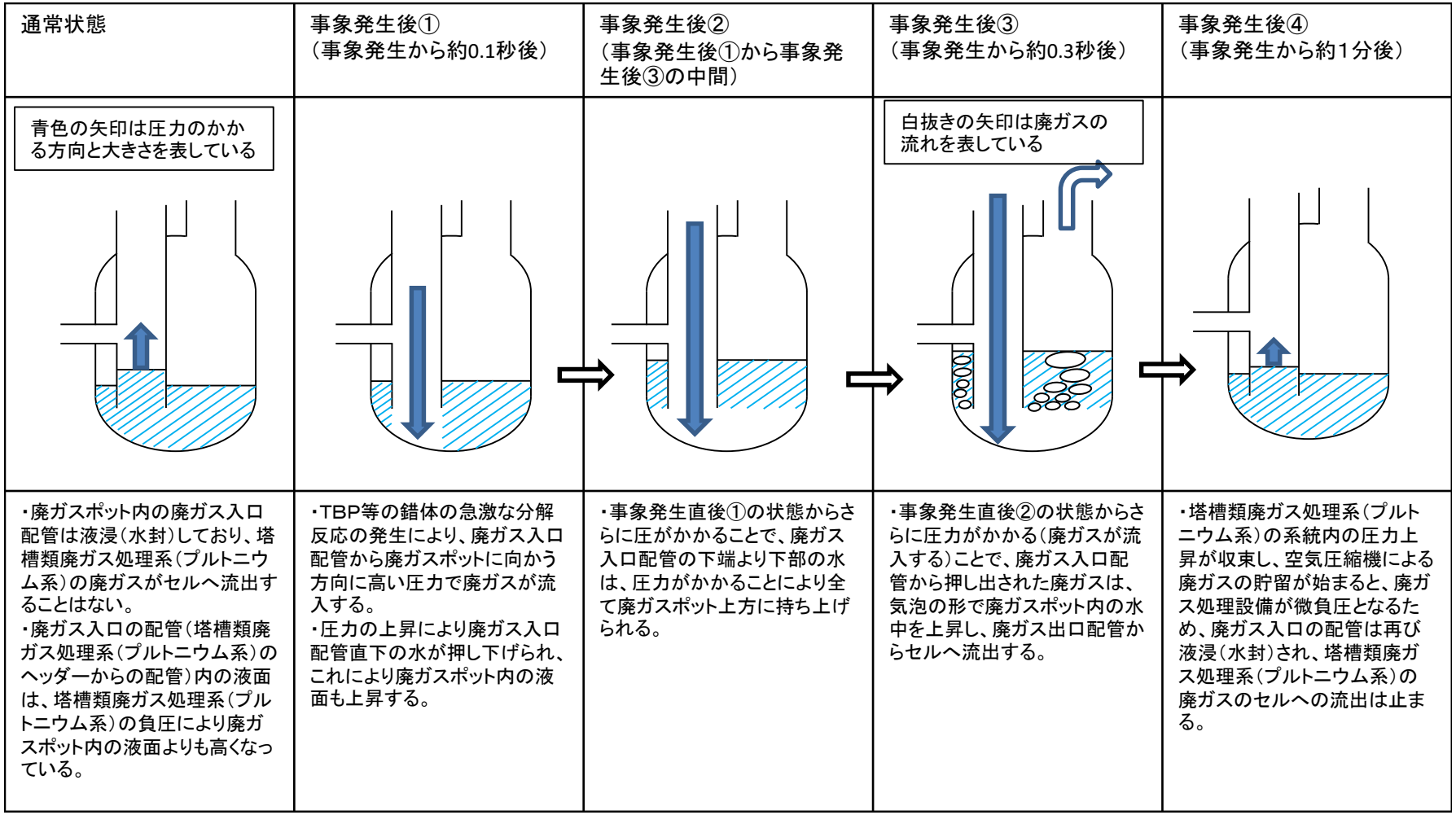
ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した際，廃ガス入口配管から廃ガスポットの方向にかかる圧力は，ＴＢＰ量を 240ｇとした場合のＦｌｕｅｎｔによる解析結果から，約 20ｋＰａと想定している。

廃ガスポット内の廃ガス入口配管の液浸は最大で約[redacted]ｍｍであるため，約 20ｋＰａの圧力がかかった場合には，廃ガス入口配管の下端から，廃ガスが気泡となって廃ガスポット内の水中を上昇し，廃ガス出口配管からセルへ流出する。その後，圧力上昇の収束に伴い廃ガスポット内の水の変動は収まる。（想定図を図－８に示す）

この場合，大量の気泡が水中を抜けていくことにより液面が乱れるとともに廃ガス出口から流出する廃ガスに同伴した水の分だけ液が減ることが考えられる。同伴する水の量は，爆発時におけるエアロゾル濃度の推奨値である 100ｍｇ／ｍ^{3}を適

[redacted]について商業機密の観点から公開できません。

用した場合，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い廃ガスポットからセルへ導出される空気量（約 0.8m^3）から，約80ｍｇとなる。この量の水が減少しても水封が切れることはない。



図－８　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した直後の廃ガスポット内の状況（想定）

令和２年３月１３日　R4

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

１．文献から得られた知見

ＴＢＰ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ＭＯＸ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ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が取り上げられており，ＴＢＰ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ＴＢＰ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，ＴＢＰ及び硝酸プルトニウム，硝酸，ＴＢＰの劣化物等との錯体で構成されている。

○ＴＢＰ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）

・ＴＢＰ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）

○ＴＢＰ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。

・ＴＢＰ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℃から 100℃での加熱で顕著となり，急激な分解反応は 135℃で発生する。

・Paddleford と Fauske によれば，ＴＢＰ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℃で確認された。[2]

・Hyder によれば，よく換気された系では，120℃までは，ｎ－ブタノール（ＴＢＰ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℃から 150℃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，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の開始温度は 130℃である。[4]

なお，この文献において開始温度を 130℃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℃であった。[5]

・実験において確認されたＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の開始温度の平均値は 137℃であった。

○ＴＢＰ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

ＴＢＰ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。

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

$C_{12}H_{27}PO_4 + 3H_2O \rightarrow 3C_4H_9OH + H_3PO_4$

$3C_4H_9OH + 14.4HNO_3$

$\rightarrow 12CO_2 + 22.2H_2O + 7.2N_2$

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応で反応するＴＢＰ量は約208ｇ（約 0.8ｍｏｌ）であり，分解ガスとしては約 43ｍｏｌが発生する。ガスの体積としては，標準状態で約 740Ｌとなる。

上述した反応式は完全な熱分解反応の化学式であるため,分解しきれなかった生成物がある場合には,上述の分解生成物の他に,炭化水素，カルボン酸，一酸化炭素や窒素酸化物が生成する。

[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.

２．過去の事故

ＴＢＰ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（ＴＢＰ，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，ＴＢＰ－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 at 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ＴＢＰ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ＴＢＰ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ＴＢＰの急激な分解反応が起こった。

＜原因＞

調整タンク内にはＴＢＰ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ＴＢＰ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

３．文献引用の妥当性について

３．１評価に用いた値・式と引用文献の関係について

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の評価条件に用いた文献を表１に示す。

表１　評価に用いた値・式と文献

分類	項目	採用した値	引用元，参考元
ARF	TBP の水への溶解度	460mg/L	Wallace W. Schulz, James D. Navratil, Andrea E. Talbot . Science and Technology of Tributyl Phosphate Volume Ⅰ. CRC Press, 1984. 住友金属鉱山．ウラン濃縮缶等での TBP 挙動検討試験報告書．1991-07, TR91-01.
ARF	TBP の留出率（残留率 40%を算出するために留出率 60%を引用）	60%	「ウラン濃縮缶等でのＴＢＰ挙動検討試験報告書」TR91-01,住友金属鉱山株式会社，平成３年７月
ARF	TBP 等の錯体の急激な分解反応の分解反応熱	1400kJ/kg-TBP	G.S. Nichols, “Decomposition of the Tributyl Phosphate-Nitrate Complexes”, DP-526, November 1960.
DF	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	10	小林卓志ほか．“再処理工場水素爆発事故時における放射性物質の移行率の調査（５）環状容器試験その２”．日本原子力学会 2016 年春の年会，日本原子力学会，2016-03

※ARF の算出式（$1.28MF^{0.827}$），ARF 値（5×10^{-5}）は補足説明資料 10-7 参照

３．２文献引用の妥当性

(1)ＴＢＰの水への溶解度：460ｍｇ／Ｌ

ＡＲＦを求めるに当たり，プルトニウム濃縮缶内のＴＢＰ量が必要となる。ＴＢＰ量 208ｇは,「水への 100％ＴＢＰの溶解度から求めた 30％ＴＢＰ濃度」,「平常運転時のプルトニウム濃度の硝酸プルトニウム溶液を用いた平常運転時の 250ｇ／Ｌのプルトニウム濃縮液から 800ｇ／Ｌに濃縮するまでに必要な溶液量」及び「ＴＢＰの残留率」の積より算出している。

ＴＢＰの水への溶解度：460ｍｇ／Ｌは,「水への 100％ＴＢＰの溶解度から求めた 30％ＴＢＰ濃度」に用いている。

ＴＢＰの水への溶解度は温度が低いほど大きくなる（次頁参照）。プルトニウム濃縮缶供給槽の温度について，溶解度が大きくなるよう 20℃と設定し，図より読み取り約 460ｍｇ／Ｌとした。プルトニウム精製工程で使用されるＴＢＰは希釈剤により 30％に希釈されているため 0.3 倍し，これを 140ｍｇ／Ｌとして評価した。0.3 倍については，ＴＢＰ濃度に対して直線性が得られるか不確かさを有するが，参考として，水へのＴＢＰの溶解度と硝酸水溶液へのＴＢＰの溶解度を比較すると，硝酸水溶液へのＴＢＰの溶解度の方が小さいことから，水への溶解度を用いることは厳しい評価結果を導くことになるため，妥当であると評価した。

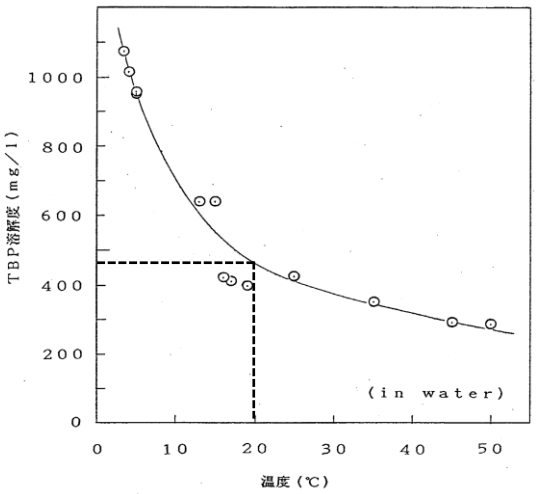
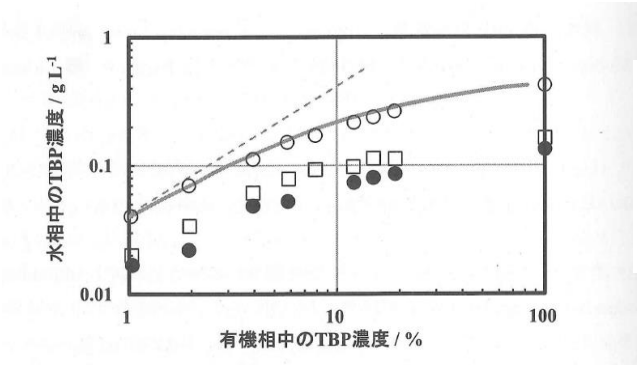


図　6　　ＴＢＰの溶解度
（１）温度の影響[8]

左図：住友金属鉱山．ウラン濃縮缶等での TBP 挙動検討試験　報告書．1991-07，TR91-01．より
（引用元）Wallace W. Schulz，James D. Navratil，Andrea E. Talbot．Science and Technology of Tributyl Phosphate Volume Ⅰ．CRC Press，1984．



左図：再処理プロセス・化学ハンドブック第３版 JAEA-Review 2015-002 より

図 9.5-3　硝酸水溶液への TBP の溶解度（Alcock，K.，et al.，Trans.Faraday Soc.，52，1956，硝酸濃度　実線：0 mol/L^{-1}，○：1 mol L^{-1}，●：7 mol L^{-1}，□：11 mol L^{-1}，温度 20～22℃，破線は傾き１を示す）

(2) ＴＢＰの留出率：60％

プルトニウム濃縮缶内のＴＢＰ量を求めるに当たり，「ＴＢＰの残留率」が必要となる。

ＴＢＰの留出率：60％は，「ＴＢＰの残留率」の算出に用いている。

ＴＢＰ水溶液を供給した場合のＴＢＰ留出率は有機相を連続的に混入させた試験において 60％以上であったことから，留出率を 60％とし，残留率 40％を算出した。

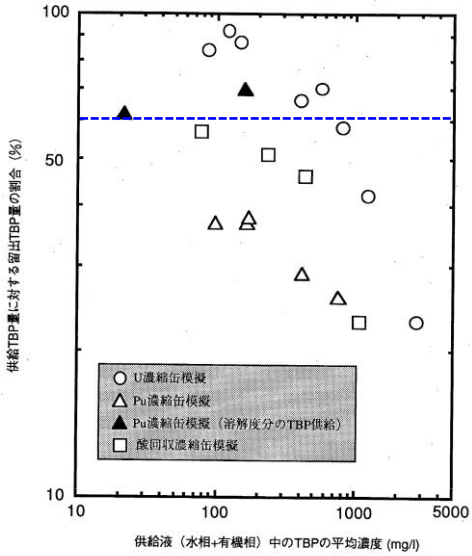


図 8 供給液中TBP濃度に対するTBP留出率 （有機相連続混入試験）

(2) 有機相連続混入試験

各濃縮缶を模擬した液に対して、TBP/n-ドデカンを一定速度で連続的に供給した場合の、TBP留出率を表4及び図8に示す。ここで供給液中及び留出液中のTBP濃度は、全供給液及び全留出液（水相と有機相）中の平均濃度である。TBPの留出率は大量混入試験結果にほぼ対応している。各試験はO/A比を約0.01にしてあるので供給液中のTBP 100 mg/l は供給液中のTBP 1.0 %/n-ドデカンに相当する。供給液中のTBPが100 mg/l 以下（溶解分）であれば、ウラン濃縮缶模擬液ではほぼ90 %以上留出する。

これに対し、プルトニウム濃縮缶系、酸回収濃縮缶系では供給液のTBPが100 mg/l 以下でも57 % 程度しか留出しない。図8には、プルトニウム系液に溶解度分のTBP水溶液（n-ドデカンなし）を供給した場合のTBP留出率も示している。この場合には、TBPは、60 %以上留出する。これは、n-ドデカンが存在するとTBPの留出速度が低下すること（図5(a)）を反映している。

上図：住友金属鉱山．ウラン濃縮缶等でのTBP挙動検討試験　報告書．1991-07，TR91-01．より
▲がＰｕ濃縮缶模擬（溶解度分のTBP供給）であり，留出率が60％以上を示している。

(3) ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の分解反応熱：1400 ｋＪ／ｋｇ－ＴＢＰ

ＡＲＦを求めるに当たり，ＴＢＰ等の錯体の分解反応熱が必要となるため，1400ｋＪ／ｋｇ－ＴＢＰを用いており，次頁に示す文献結果より以下の方法で算出した。

①ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により，ＴＢＰ等の錯体がN_2，CO_2，ブタン酸まで分解することを想定しており，その際の反応熱は179～258Ｃａｌ／1000ｇ溶液であった。

②1000ｇの溶液中にＴＢＰが 2.95ｍｏｌあることから，ｋＪ／ｋｇへ単位換算すると，258Ｃａｌ／1000ｇ溶液は約1374ｋＪ／ｋｇとなり，これを1400ｋＪ／ｋｇ－ＴＢＰ

とした。なお，Ｃａｌはｋｃａｌと同じである。

TABLE A-I

Heat of Reaction

Basis of 1000 g of organic phase prepared by contacting one part of 100% TBP with five parts of 10.7M HNO_3.

Temperature, °C	120	130	140	150	160
Total mols C_4H_9OH consumed	3.69	3.62	3.43	3.16	2.87
Consumed by complete oxidation to CO_2 and H_2O, %	2.3	2.7	4.0	6.0	8.2
Over-all heat of decomposition					
Cal/1000 g solution	179	184	204	232	258
Mols TBP present/1000 g	2.95	2.95	2.95	2.95	2.95
Heat of reaction, cal/g-mol (at the reaction temperature)	60	62	69	79	87
Heat of reaction, Btu/lb	319	331	367	418	464

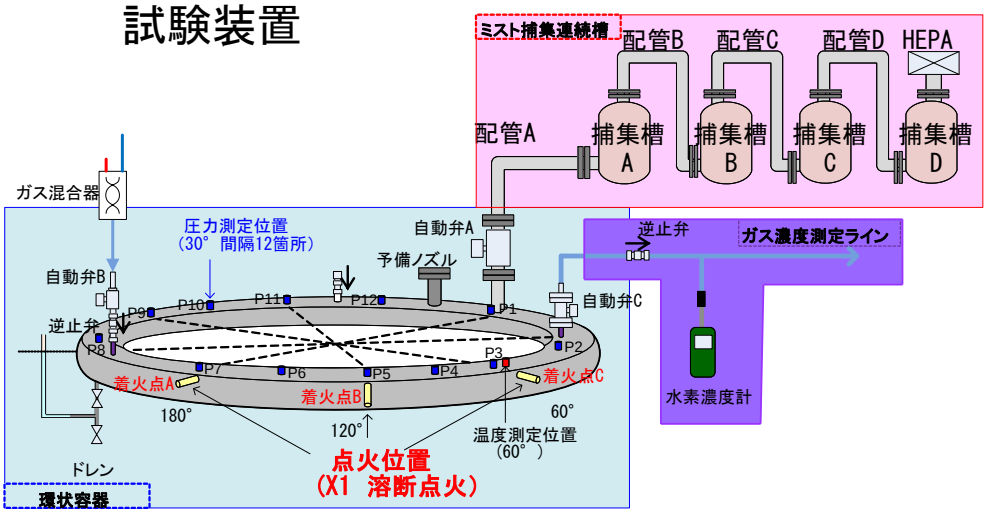
上表：G.S. Nichols, “Decomposition of the Tributyl Phosphate-Nitrate Complexes”, DP-526, November 1960.

(4) 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：10

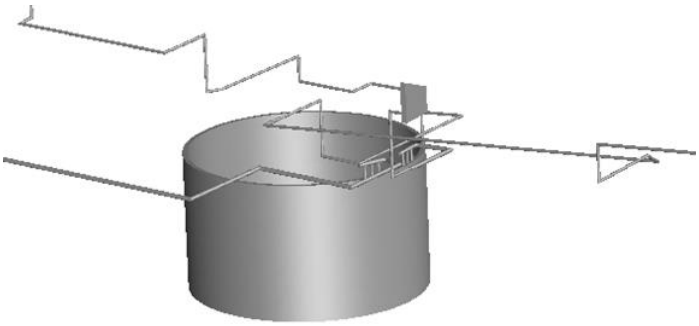
試験条件と実機の条件を以下に示す。試験から得られた配管曲り部の除染係数は，より複雑かつ配管の長い実機条件と比較して厳しい結果を与えると考えられ、除染係数 10 は適用可能である。

表２　試験条件と実機条件の比較

項目	試験条件	実機条件	考察
容器のサイズ	直径約3.8mの円環形状	水素爆発を想定する機器により様々	発生圧力が高いのは、壁面の圧力波の反射により火炎が加速しやすい円環形状の場合であり、飛沫が飛びやすい条件であり適用できると考える。
配管長さ	１ｍ～２ｍ	数十ｍ	試験条件の方が曲り箇所が極めて少なく、除染係数としては厳しい結果となると考えられるため適用できる。（下図参照）
爆発時圧力	3.5ＭＰａ	0.7～2.9ＭＰａ（水素濃度30ｖｏ１％における着火側機器の圧力）	試験の最大圧力は実機を想定して実施した試験結果である0.7～2.9ＭＰａを包含しており、適用できると判断した。



実機イメージ



上図　試験装置と実機の

令和２年３月１３日　R6

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

１．　ＴＢＰ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

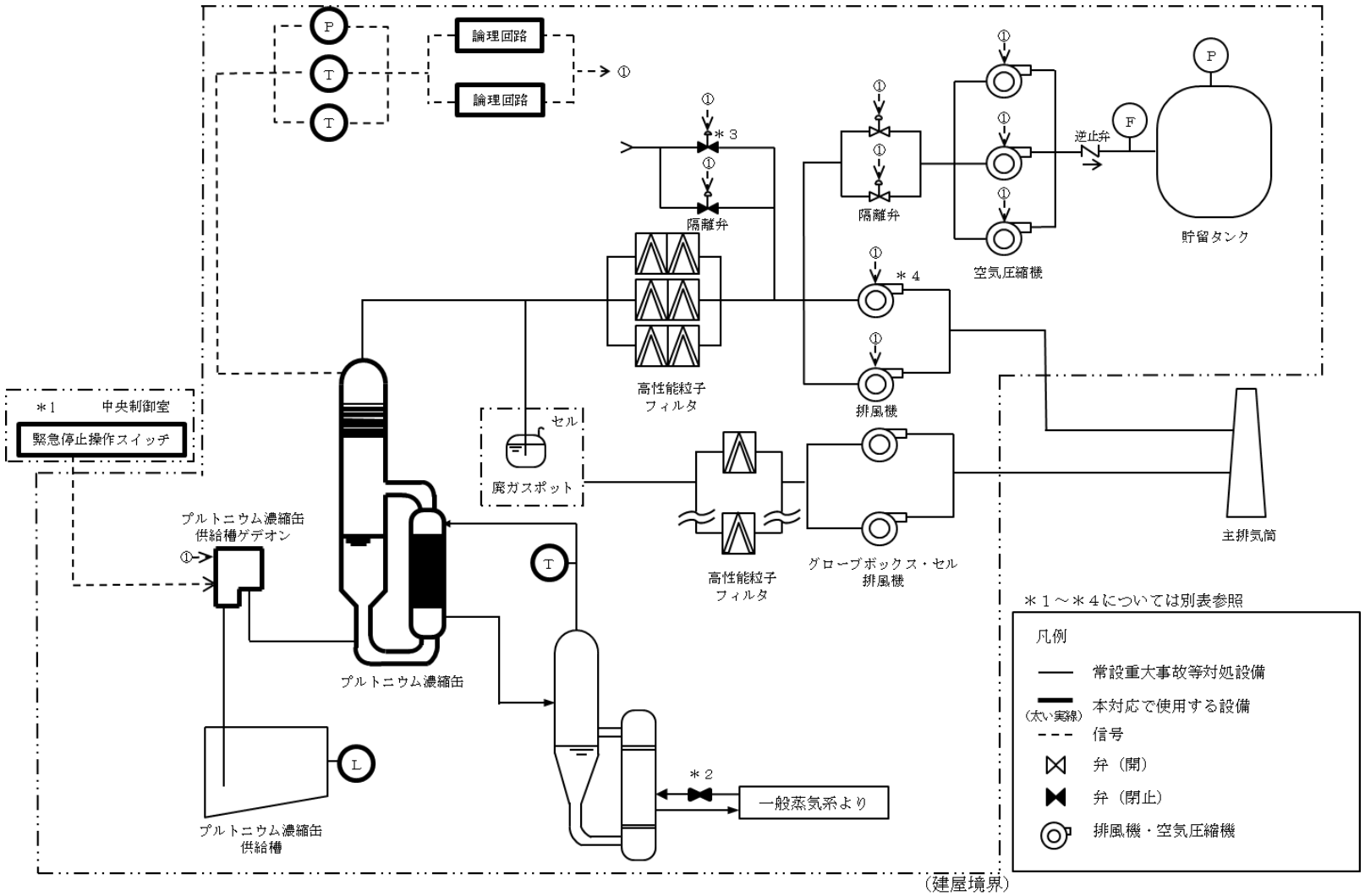
ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応は，プルトニウム濃縮缶液相部温度高警報，プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報又はプルトニウム濃縮缶気相部圧力高高警報のうち２つ以上の警報の発報により事象の発生を検知するとともに自動的にプルトニウム濃縮缶への硝酸プルトニウム溶液の供給を停止する，又は，中央制御室から緊急停止系を作動させることによって硝酸プルトニウム溶液の供給を停止する。硝酸プルトニウム溶液の供給停止は，事象の発生検知から１分以内に実施する。硝酸プルトニウム溶液の供給が停止したことは，プルトニウム濃縮缶供給槽液位計にて確認する。これと並行して，運転員による蒸気発生器への一次蒸気の供給の停止（手動弁の閉止）を実施する（図－１参照）。蒸気発生器への一次蒸気の供給が停止したことは，プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計にて確認する。

また，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気相部温度高警報又はプルトニウム濃縮缶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）（以下，補足説明資料 10-4 では「塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）」という。）の排風機を停止するとともに廃ガス貯留槽への系統を確立し，空気圧縮機を起動することにより，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応で発生した放射性物質を廃ガス貯留槽に閉じ込める。この動作は，事象の検知から１分程度で実施できる。廃ガス貯留槽への閉じ込め

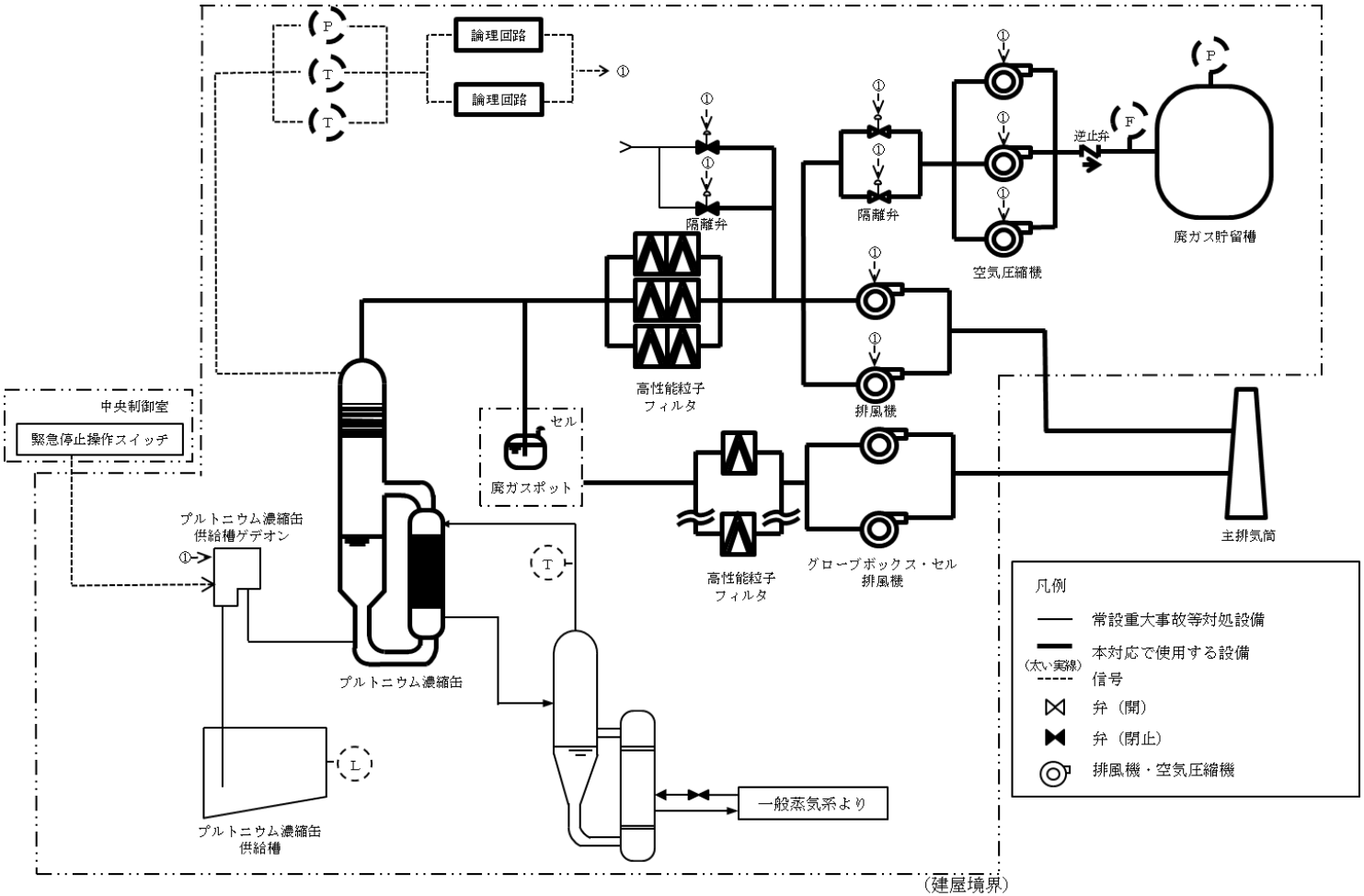
は，約２時間継続する。廃ガス貯留槽への閉じ込めの状況は貯留設備の圧力計及び流量計で監視し，廃ガス貯留槽の圧力が規定圧力に到達後，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁の開及び排風機を起動し，通常経路による排気を行うとともに，貯留設備の隔離弁の閉止，空気圧縮機の停止を行う。プルトニウム濃縮缶及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）に残留した放射性物質は，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を平常運転時の排気経路とした際に主排気筒から大気中へ放出される。（図―２，図－３参照）

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した際，プルトニウム濃縮缶気相部及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の系統内の廃ガスが塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポットからセルへ導出される。廃ガスポットからセルへ導出された廃ガスは，セル排気フィルタユニットにより放射性エアロゾルを除去後，グローブボックス・セル排風機により主排気筒から大気中へ放射性物質を放出する。

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。



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



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

１．１　ＴＢＰ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　プルトニウム濃縮缶への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及び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く，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，一般的にゲデオンは，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　プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止に使用する設備の有効性

ａ．温度

ＴＢＰ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，ＴＢＰ量が 240ｇ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，プルトニウム濃縮缶供給槽液位計及び緊急停止系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

ＴＢＰ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，ＴＢＰ量が 240ｇの場合の解析の結果として，一時的に約 840ｋＰａ上昇する。

しかし，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及び緊急停止系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，パ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

ＴＢＰ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供給槽液位計，緊急停止系，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。

ｄ．緊急停止系による弁動作

緊急停止系の緊急停止操作スイッチの押下により信号が発信され，プルトニウム精製設備の弁が閉止する。

弁は駆動動力として圧縮空気を用いており，駆動部内に設置されているバネを空気圧で押すことにより開となる構造である。駆動部に供給される圧縮空気は弁に附属する電磁弁が励磁することによって供給され，緊急停止信号を受け消磁すると空気の供給が停止し，バネの復元力によって閉止する。

１．１．３　プルトニウム濃縮缶の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　プルトニウム濃縮缶の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

ＴＢＰ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及びプルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計は,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　貯留設備による放射性物質の貯留に使用する設備の設計

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対する対処は，ＴＢＰ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，ＴＢＰ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，プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報又はプルトニウム濃縮缶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。

・貯留設備の廃ガス貯留槽は，ＴＢＰ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２時間にわたって貯留できる容量とする。

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対する対処は，ＴＢＰ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，１基×２段で構成されており，２段あたりの除染係数は，10^5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により，１系列が機能喪失しても切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℃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。

１．１．６　貯留設備による放射性物質の貯留に使用する設備の有効性

ａ．温度

ＴＢＰ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，ＴＢＰ量が240ｇ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。

廃ガス貯留槽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や貯留設備の圧力計及び流量計等が設置されるが，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。

ＴＢＰ量が240ｇの場合の解析の結果として，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での温度の最大値は約 44℃であった。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。

セルへ導出した廃ガスは，セル内に放出されることでエネルギを失う。セルの温度を数℃上げる程度のエネルギしか持っていないため，セル排気フィルタユニットは機能を維持できる。

ｂ．圧力

ＴＢＰ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，ＴＢＰ量が 240ｇの場合の解析の結果では，最大で約４ｋＰａの圧力上昇となる。廃ガス貯留槽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。

ＴＢＰ量が 240ｇの場合の解析の結果として，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での差圧の最大値は約４ｋＰａであった。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。

セルへ導出した廃ガスは，セル内に放出されることでエネルギを失うため，セル排気フィルタユニットは機能を維持できる。

ｃ．放射線

ＴＢＰ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。

機器はＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により発生した放射性物質からの放射線に晒されるが，材質及び設備の設置場所を適切に考慮することから，設備の機能は維持できる。

ｄ．湿度

ＴＢＰ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及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）では瞬間的に圧力が上昇する。この際，プルトニウム濃縮缶凝縮器による蒸気の凝縮及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の凝縮器による凝縮効果が期待できないため，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通過する廃ガスの湿度が平常運転時よりも高くなることが想定される。湿度が高い廃ガスが通過することにより，高性能粒子フィルタに水ミストが多量に付着した場合には，高性能粒子フィルタの性能の低下するおそれがある。

このため，高性能粒子フィルタに付着する水ミスト量及

び高性能粒子フィルタの健全性について評価する。

○　評価条件

・ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により系統内の圧力が上昇することにより，プルトニウム濃縮缶凝縮器及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）凝縮器の機能が期待できないことを想定する。

・ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の再発時は，ＴＢＰ量が少なく，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した際に発生するエネルギは小さいことから，プルトニウム濃縮缶凝縮器及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）凝縮器の機能は期待できるものとし，水ミスト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に付着しないものとする。

・プルトニウム濃縮缶気相部を含めた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）の高性能粒子フィルタ入口までの廃ガスを評価対象とし，廃ガス量は約６ｍ^{3}とする。なお，廃ガスがセルへ導出されることは想定しない。

・廃ガスの温度は，一様に塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の平常運転時の廃ガス温度として 40℃とする。

・廃ガスの湿度は 100％とする。

・上述の廃ガス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に到達し，廃ガスに含まれている水ミスト全てを高性能粒子フィルタに与えるものとする。

高性能粒子フィルタに付着する水ミストの量は，廃ガスの飽和水蒸気圧，飽和水蒸気量及び廃ガス量から計算する。

○　飽和水蒸気圧

・プルトニウム濃縮缶気相部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までの廃ガスの飽和水蒸気圧は，文献[1)]より 7.375ｋＰａとする。

○　飽和水蒸気量

・プルトニウム濃縮缶気相部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の入口までの廃ガスの水蒸気量は，水に対する気体の状態方程式及び飽和蒸気圧力から，約 52ｇ／m^3となる。

$$a = 217 \times E(t) / (T + 273.15) \qquad (1)式$$

ここで，

ａ：飽和水蒸気量

Ｅ（ｔ）：飽和水蒸気圧［ｈＰａ］

Ｔ：温度［℃］

上記から，高性能粒子フィルタに付着する水の量は，飽和

蒸気量と廃ガス量から，約 300ｇとなる。

文献[2)]によれば，水ミストが存在する環境下で，フィルタ差圧が 250ｍｍＡｑを超えたところから高性能粒子フィルタのリークが始まる。250ｍｍＡｑに相当する水ミスト量は，容量 2000Ｎｍ^3／ｈの高性能粒子フィルタで約 3.4ｋｇとされている。

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，容量約 380Ｎｍ^3／ｈ×２段が３系列（１系列は予備）であるため，約 760Ｎｍ^3／ｈとなる。リークが始まるフィルタ差圧である 250ｍｍＡｑに相当する水ミスト付着量は，文献値との比例計算から約 1300ｇとなる。

以上より，ＴＢＰ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）の高性能粒子フィルタに付着する水ミスト量は，リークが始まる水ミスト量を下回るため，高性能粒子フィルタの健全性は維持される。

廃ガス温度の幅を考慮し，50℃とした場合でも水ミスト量は約 500ｇとなり，高性能粒子フィルタの健全性は維持される。

１．１．７　廃ガス貯留槽の容量

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応よりも系統内の空気量が多い臨界において決定した容量である 11ｍ^{3}以上を基に

評価する。11m^{3}以上とした廃ガス貯留槽へ空気圧縮機で圧縮した廃ガスを導出し，規定圧力に到達するまで貯留する。11m^{3}を基に規定圧力に到達するまでの時間を評価すると約２時間であることから，その間ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴い発生した放射性物質を廃ガス貯留槽に貯留できる。

参考文献

1)　化学工学便覧（化学工学会編）　改訂五版 p.398

2)　尾崎，金川，“高性能エアフィルタの苛酷時健全性試験，（Ⅳ）多湿試験”　日本原子力学会誌，Vol.28 No.6（1986）

令和２年３月１３日　R6

補足説明資料 10－６

事態の収束までの放出量評価

1.　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴い気相に移行した放射性物質の放出量評価

1.1　評価内容

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を評価する。ＴＢＰ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，廃ガス貯留槽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，廃ガス貯留槽への貯留を約２時間行い，その後塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を平常運転時の経路に復旧した時点とする。

ＴＢＰ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，ＴＢＰ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を１分間とし，１分間に供給されるＴＢＰ全量について，ＴＢＰ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を評価する。

なお，評価対象建屋はプルトニウム濃縮缶が設置されている精製建屋である。

1.2　大気中への放射性物質の放出量評価

大気中への放射性物質の放出量は，プルトニウム濃縮缶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廃ガス貯留槽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。

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。廃ガス貯留槽へ貯留されない放射性物質の割合である約4％の根拠については，2.に記載する。

第1.－1表　機器内の気相に移行する放射性物質の割合（ＡＲＦ）の設定

＜ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応発生時（爆発時の圧力が3.5ＭＰａを上回る場合でのＡＲＦの算出式を適用）＞

①	ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギ E_1[ｋＪ]算出	E_1[ｋＪ]＝ 1400[Ｊ／ｇＴＢＰ]×ＴＢＰ量[ｋｇ]
②	水蒸気発生量算出 Ｗ[ｋｇ]	Ｗ[ｋｇ]＝ E_1／2200[ｋＪ／ｋｇ－ｓｔｅａｍ]
③	発生水蒸気のモル分率算出 ＭＦ[－]	ＭＦ＝ Ｗ／（V_L×1000[ｋｇ／m^3－H_2O]） V_L：塔槽内液相部体積[m^3]
④	ＡＲＦ算出[－]	ＡＲＦ＝1.28×$MF^{0.827}$

＜ＴＢＰ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0.35ＭＰａ未満の場合のＡＲＦ値を適用）＞

項目	パラメータ
ＡＲＦ	$\underline{5}\times10^{-5}$

第１.－２表　放出量評価に必要なパラメータの設定

<table>
<tr><th>項目</th><th colspan="2">パラメータ</th></tr>
<tr><td>機器が保有する放射性物質量（ＭＡＲ）</td><td colspan="2">プルトニウム濃縮缶の通常運転時の容量及びＴＢＰ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量とする。</td></tr>
<tr><td>ＭＡＲのうち事故の影響を受ける割合（ＤＲ）</td><td colspan="2">１とする</td></tr>
<tr><td rowspan="2">機器内の気相に移行する放射性物質の割合の（ＡＲＦ）</td><td colspan="2">4×10^{-3}
（爆発時の圧力が 3.5ＭＰａを上回る場合でのＡＲＦの算出式を適用）</td></tr>
<tr><td colspan="2">5×10^{-5}
（爆発時の圧力が 0.35ＭＰａ未満の場合のＡＲＦ値を適用）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">大気中への放出経路における除染係数（ＤＦ）</td><td>経路上での沈着等</td><td>10</td></tr>
<tr><td>高性能粒子フィルタ</td><td>1.0×10^{5}</td></tr>
<tr><td>廃ガス貯留槽へ貯留されない放射性物質の割合</td><td colspan="2">約４％</td></tr>
</table>

1.4　機器が保有する放射性物質量の設定

機器が保有する放射性物質量は，１日当たりに処理する使用済燃料の平均燃焼度 45,000ＭＷｄ／ｔ・ＵＰｒ，照射前燃料濃縮度 4.5ｗｔ％，比出力 38ＭＷ／ｔ・ＵＰｒ，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.－３表に示す。

なお，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上で，過濃縮の濃縮倍率を考慮して放射性物質量を設定する。

第 1.－３表　使用済燃料の燃料仕様の変動に係る補正係数

元素グループ		使用済燃料中の放射能（Ｂｑ／ｔ･ＵＰｒ）	燃料仕様の変動に係る補正係数
Ｒｕ／Ｒｈ		1.6×10^{12}　※２	1.7
その他ＦＰ※１		1.3×10^{16}	1.1
Ｐｕ	α	1.7×10^{14}	2.0
	β	2.9×10^{15}	
Ａｍ，Ｃｍ		1.8×10^{14}	2.7

※１　その他ＦＰとは，核分裂生成物のうち，Ｋｒ－85，Ｉ－129 及びＲｕ／Ｒｈを除いたものを示す。

※２　Ｒｕ及びＲｈの合算値を示す。

1.5　ＴＢＰ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

ＴＢＰ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除染係数の設定

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，ＤＦ10 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，ＴＢＰ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ＤＦ１×10^5とする。また，廃ガス貯留槽による低減割合として，約96％の放射性物質が廃ガス貯留槽に導出されることから，約４％まで低減されることを考慮する。

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－1162[(2)]に記載の吸入摂取換算係数をＩＣＲＰ Ｐｕｂｌｉｃａｔｉｏｎ．72[(3)]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.－４表に示す。

セシウム－137換算係数

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

第1.－4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・ｍ$^{-2}$））	（ｍＳｖ／（ｋＢｑ・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

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴い気相に移行した放射性物質の大気中への放出量（Ｃｓ－137換算）の計算過程を第1.－５表に，評価結果を第1.－６表に示す。

第1.－５表　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い気相に移行した放射性物質の放出量（Ｃｓ－137換算）の計算過程

＜ＴＢＰ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 放出量 [Bq]	② Cs-137換算係数 [Bq/Bq]	③=①×② 総放出量（Cs-137換算）[Bq]	④=Σ③ 放出量（Cs-137換算）[TBq]
プルトニウム濃縮缶	Zr／Nb	0E+00	1E+00	4E-03	1E-06	4E-02	0E+00	2E-02	0E+00	3E-05
プルトニウム濃縮缶	Ru／Rh	2E+07					3E-03	2E-02	5E-05	
プルトニウム濃縮缶	Cs／Ba	0E+00					0E+00	5E-01	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	Ce／Pr	0E+00					0E+00	5E-03	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	Sr／Y	0E+00					0E+00	8E-02	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	その他FP	4E+08					6E-02	5E-01	3E-02	
プルトニウム濃縮缶	Pu	8E+16					1E+07	2E+00	2E+07	
プルトニウム濃縮缶	Am／Cm	0E+00					0E+00	2E+01	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	U（α）	5E+07					7E-03	7E+00	5E-02	
プルトニウム濃縮缶	Np（α）	0E+00					0E+00	3E-01	0E+00	

＜ＴＢＰ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 放出量 [Bq]	② Cs-137換算係数 [Bq/Bq]	③=①×② 総放出量（Cs-137換算）[Bq]	④=Σ③ 放出量（Cs-137換算）[TBq]
プルトニウム濃縮缶	Zr／Nb	0E+00	1E+00	5E-05	1E-06	4E-02	0E+00	2E-02	0E+00	3E-07
プルトニウム濃縮缶	Ru／Rh	2E+07					4E-05	2E-02	7E-07	
プルトニウム濃縮缶	Cs／Ba	0E+00					0E+00	5E-01	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	Ce／Pr	0E+00					0E+00	5E-03	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	Sr／Y	0E+00					0E+00	8E-02	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	その他FP	4E+08					8E-04	5E-01	4E-04	
プルトニウム濃縮缶	Pu	8E+16					2E+05	2E+00	3E+05	
プルトニウム濃縮缶	Am／Cm	0E+00					0E+00	2E+01	0E+00	
プルトニウム濃縮缶	U（α）	5E+07					1E-04	7E+00	8E-04	
プルトニウム濃縮缶	Np（α）	0E+00					0E+00	3E-01	0E+00	

※ＬＰＦ＝１／ＤＦ

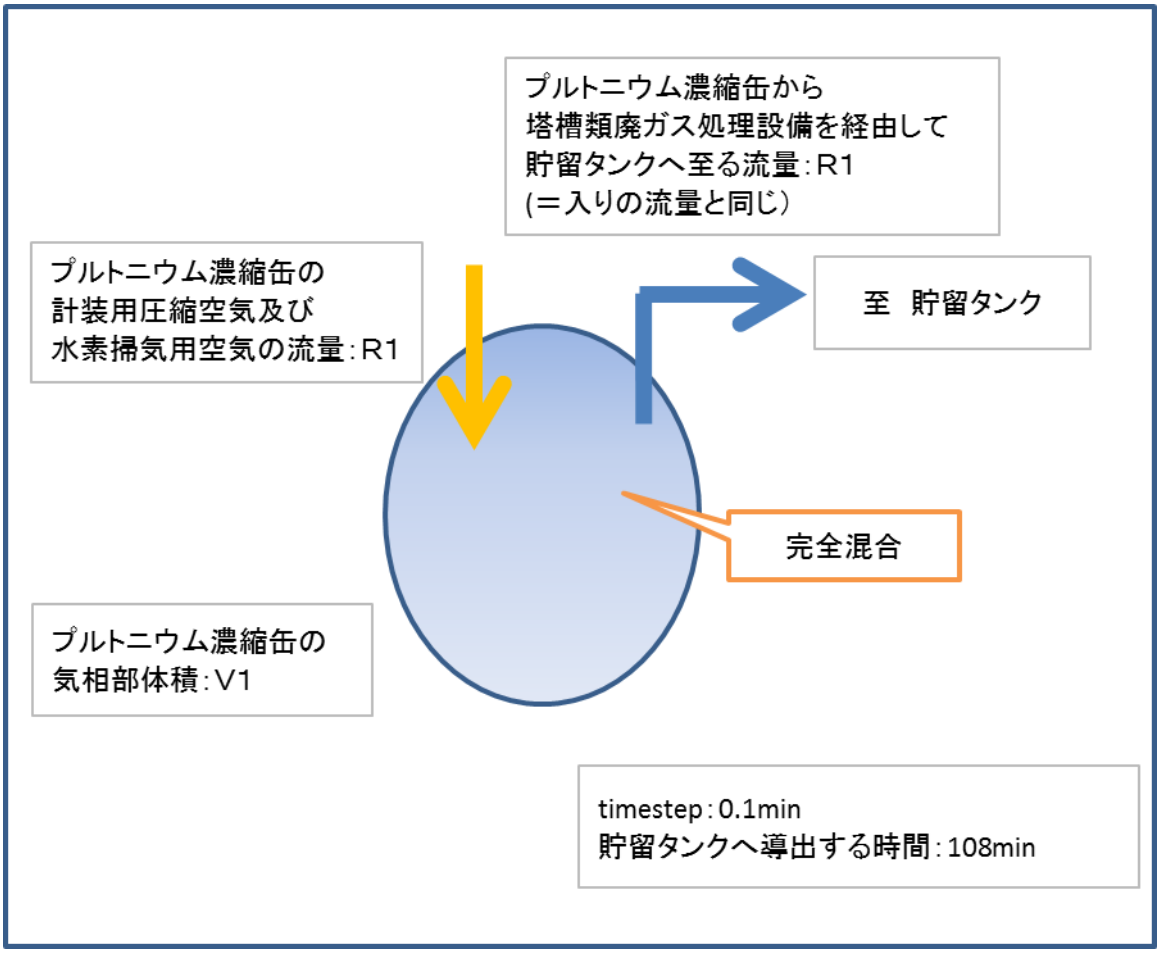
第 1.－６表　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い気相に移行した放射性物質の放出量（Ｃｓ－137 換算）

建屋 （機器）	放出量 （Ｃｓ－137 換算） ［ＴＢｑ］
精製建屋 （プルトニウム濃縮缶）	3×10^{-5}

2.　廃ガス貯留槽に貯留されない放射性物質の割合について

2.1　評価方法

廃ガス貯留槽に貯留される放射性物質の割合の評価手法を記載する。計算に用いたモデルを第２．－１図に示すとともに、評価に用いた解析条件を第２．－１表に示す。



第２．－１図　廃ガス貯留槽に貯留されない放射性物質の割合評価モデル

第２．－１表　評価に用いた解析条件

プルトニウム濃縮缶気相部体積	Ｖ１	0.25 m^3
プルトニウム濃縮缶の計装用圧縮空気および水素掃気用空気の流量	Ｒ１	0.44 m^3/h
時間の刻み幅(timestep)	－	0.1 min
貯留設備の空気圧縮機の継続起動時間	－	108.6 min
廃ガス貯留槽に貯留されない放射性物質の割合	C	(逐次計算により算出)

具体的には，時間 t=0 にＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が起こったことを想定した。その後，0.1min の時間の刻み幅ごとに，プルトニウム濃縮缶への気体の流入，プルトニウム濃縮缶内での気体の完全混合及び廃ガス貯留槽への気体の導出が起こるとし，プルトニウム濃縮缶内に残留する割合を廃ガス貯留槽に貯留されない放射性物質の割合として計算した。

この際，プルトニウム濃縮缶の計装用圧縮空気及び水素掃気用空気の流量は一定流量で供給が継続されることとした。計算式は以下のとおり。

$$C_{t=n+0.1} = C_{t=n} \times \left(\frac{V1}{V1+R1}\right) \quad ※ \quad n = 0, 0.1, 0.2, \ldots \quad 、 \quad C_{t=0} = 1$$

2.2　評価結果

プルトニウム濃縮缶内に残留する放射性物質の割合は約４％となった。具体的な計算シートを第２．－２表に示す。

第２.－２表　プルトニウム濃縮缶内に残留する

放射性物質の割合の計算シート

経過時間 [min]	空気供給量 [m3/timestep]	廃ガス貯留槽へ 導出される量 [m3/timestep]	廃ガス貯留槽に 貯留されない放 射性物質の割合
0	0.00074	0.00074	1.0
0.1	0.00074	0.00074	1.0
0.2	0.00074	0.00074	0.99
0.3	0.00074	0.00074	0.99
0.4	0.00074	0.00074	0.99
0.5	0.00074	0.00074	0.99
0.6	0.00074	0.00074	0.98
0.7	0.00074	0.00074	0.98
0.8	0.00074	0.00074	0.98
0.9	0.00074	0.00074	0.97
1	0.00074	0.00074	0.97
1.1	0.00074	0.00074	0.97
1.2	0.00074	0.00074	0.97
1.3	0.00074	0.00074	0.96
1.4	0.00074	0.00074	0.96
1.5	0.00074	0.00074	0.96
108.6	0.00074	0.00074	0.04

3.　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応発生時に塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガス ポットからセル導出される塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の空気の放出量評価

3.1　評価内容

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合，分解反応に伴い発生する水蒸気等に押し込まれる形で，事象発生前にプルトニウム濃縮缶の気相部から塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポットまでの流路の配管に存在していた放射性物質を含む気体が塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポットから，セルへ放出されることを想定する。

ここでは，プルトニウム濃縮缶の気相部から塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポットまでの流路の配管に存在していた放射性物質を含む気体がプルトニウム濃縮缶内でのＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応によって発生した分解生成物及びエネルギにより圧縮され，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポットからセルへ導出された後，セル排気フィルタユニットを経由して主排気筒から放出されることを想定し，放出量評価を実施した。

3.2　大気中への放射性物質の放出量評価

大気中への放射性物質の放出量は，プルトニウム濃縮缶の気相部から塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポッ

トまでの流路の配管内の気相中に存在する放射性物質量に対して，事故の影響を受ける割合，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。

3.3　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を「3.2　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３．－１表のとおりであり，被ばく評価に必要なパラメータは第１．－３表と同様である。

第３．－１表　放出量評価に必要なパラメータの設定

<table>
<tr><th>項目</th><th colspan="2">パラメータ</th></tr>
<tr><td>気相部に保有する放射性物質量（ＭＡＲ）</td><td colspan="2">通常運転時の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の気相部に保有する放射性物質量を採用。
（ＡＲＦを考慮した値）</td></tr>
<tr><td>ＭＡＲのうち事故の影響を受ける割合（ＤＲ）</td><td colspan="2">１とする</td></tr>
<tr><td>機器内の気相に移行する放射性物質の割合の（ＡＲＦ）</td><td colspan="2">1×10^{-8}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">大気中への放出経路における除染係数（ＤＦ）</td><td>経路上での沈着等</td><td>10</td></tr>
<tr><td>高性能粒子フィルタ
(セル排気フィルユニット)</td><td>1.0×10^{3}</td></tr>
</table>

3.4　塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の気相部が保有する放射性物質量の設定

1.4の記載と同様，気相部が保有する放射性物質量は，１日当たりに処理する使用済燃料の平均燃焼度 45,000ＭＷｄ／ｔ・ＵＰｒ，照射前燃料濃縮度 4.5ｗｔ％，比出力 38ＭＷ／ｔ・ＵＰｒ，冷却期間 15 年の条件を考慮する。使用済燃料の燃料仕様の変動に係る補正係数は第 1.－３表と同じである。

なお，気相部の空間体積は設計図書から引用し，算出した。

3.5　ＴＢＰ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

塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の気相部が保有する放射性物質量の算出の際は，文献[4]に記載の割合を採用し，圧縮空気１m^3当たり 10ｍｇが移行することとし，１×10^{-8}とする。

3.6　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，ＤＦ10とする。また，セル排気フィルタ ユニットの高性能粒子フィルタの放射性エアロゾルの除染係数は，ＴＢＰ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，１段でＤＦ１×10^3とする。

3.7　セシウム－137換算係数

1.7と同様の値を採用し，評価した。

3.8　評価結果

塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポットからセル導出される塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の気体の放射性物質の大気中への放出量（Ｃｓ－137換算）の計算過程を第3.－２表に，評価結果を第3.－３表に示す。

第 3.－２表　塔槽類廃ガスポットからセル導出される塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の空気の放射性物質の大気中への放出量（Ｃｓ－137 換算）の計算過程

機器	核種Gr	インベントリ/濃度 [Bq/m3]	廃ガス量 [m3/y]	ARF	移行量合計 [Bq/y]	AdjP 燃料変動	補正係数 α⇒total	補正係数 冷却年	Pu重量 補正	MAR＆ARF [Bq/m3]
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Zr／Nb	0E+00	5E+06	1E-08	0E+00	1E+00	1E+00	1E+00	1E+00	0E+00
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Ru／Rh	2E+11			9E+09	1E+00	1E+00	5E-04	1E+00	1E+00
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Cs／Ba	0E+00			0E+00	1E+00	1E+00	6E-01	1E+00	0E+00
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Ce／Pr	0E+00			0E+00	1E+00	1E+00	6E-05	1E+00	0E+00
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Sr／Y	0E+00			0E+00	1E+00	1E+00	8E-01	1E+00	0E+00
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	その他FP	3E+10			1E+09	1E+00	1E+00	1E-01	1E+00	4E+01
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Pu	5E+15			2E+14	2E+00	2E+01	9E-01	1E+00	2E+09
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Am／Cm	0E+00			0E+00	3E+00	1E+00	1E+00	1E+00	0E+00
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	U(α)	2E+07			9E+05	1E+00	1E+00	1E+00	1E+00	2E-01
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Np(α)	0E+00			0E+00	1E+00	1E+00	1E+00	1E+00	0E+00

機器	核種Gr	MAR＆ARF [Bq/m3]	LPF	DR	ポットから出る体積 [m3]	① 放出量 [Bq]	② Cs-137換算係数 [Bq/Bq]	③＝①×② 総放出量 (Cs-137換算) [Bq]	④＝Σ③ 放出量 (Cs-137換算) [TBq]
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Zr／Nb	0E+00	1E-04	1E+00	8E-01	0E+00	2E-02	0E+00	3E-07
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Ru／Rh	1E+00	1E-04	1E+00	8E-01	8E-05	2E-02	2E-06	
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Cs／Ba	0E+00	1E-04	1E+00	8E-01	0E+00	5E-01	0E+00	
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Ce／Pr	0E+00	1E-04	1E+00	8E-01	0E+00	5E-03	0E+00	
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Sr／Y	0E+00	1E-04	1E+00	8E-01	0E+00	8E-02	0E+00	
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	その他FP	4E+01	1E-04	1E+00	8E-01	3E-03	5E-01	2E-03	
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Pu	2E+09	1E-04	1E+00	8E-01	2E+05	2E+00	3E+05	
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Am／Cm	0E+00	1E-04	1E+00	8E-01	0E+00	2E+01	0E+00	
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	U(α)	2E-01	1E-04	1E+00	8E-01	2E-05	7E+00	2E-04	
塔槽類廃ガス処理系(Pu系)	Np(α)	0E+00	1E-04	1E+00	8E-01	0E+00	3E-01	0E+00	

第 3.－３表　塔槽類廃ガスポットからセル導出される塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の空気の放射性物質の大気中への放出量（Ｃｓ－137 換算）

建屋	放出量 （Ｃｓ－137 換算） ［ＴＢｑ］
精製建屋	3×10^{-7}

4.　ＴＢＰ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

4.1　評価内容

1.に記載のＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に伴い気相に移行した放射性物質の放出量評価及び 3.に記載のＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応発生時に塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポットからセル導出される塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の空気の放射性物質の放出量の合計が，ＴＢＰ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に該当する。このためそれぞれの数値を合算した値について評価を行った。

4.2　評価結果

ＴＢＰ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（Ｃｓ－137換算）の評価結果を第4.－１表に示す。

第 4.－１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 100ＴＢｑを十分下回る。

第 4.－１表　ＴＢＰ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射性物質の大気中への放出量（Ｃｓ－137 換算）

建屋	放出量 （Ｃｓ－137 換算） ［ＴＢｑ］
精製建屋	3×10^{-5}

5. 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-TECDOC-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.

（４）F.J. Herrmann, et. al., Some Aspects of Aerosol Production and Removal During Spent Fuel Processing Steps, Proceedings of the 16th DOE Nuclear air cleaning conference held in San Diego, California, 20-23 October 1980.

令和２年３月13日　R5

補足説明資料 10－８

不確かさの設定

１．はじめに

本資料は，ＴＢＰ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

⑴　重大事故等が発生する機器に保有される放射性物質量（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	4.5ｗｔ％
燃焼度	45,000MWｄ／ｔ・U_{Pr}
比出力	38MW／ｔ・U_{Pr}
冷却年数	15 年

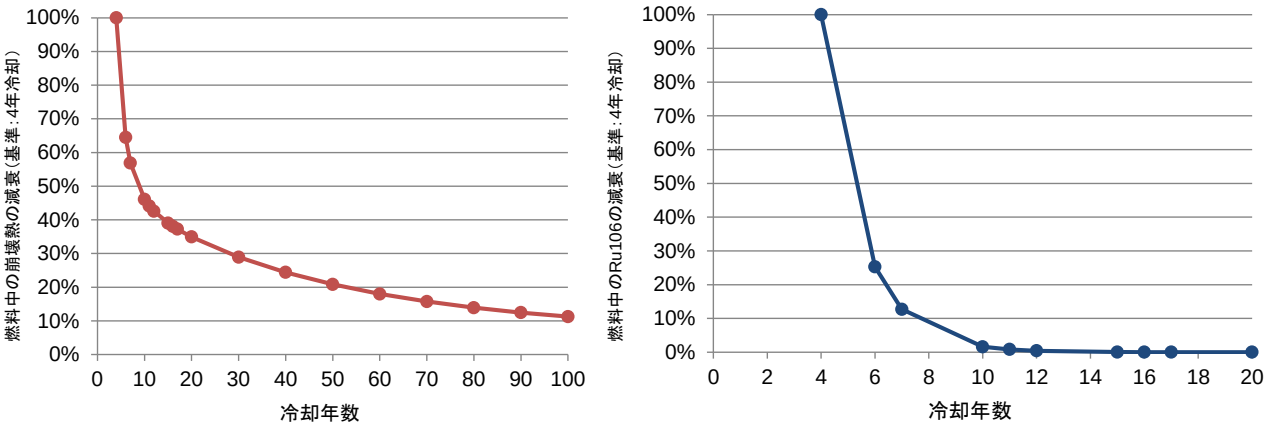
第２表　燃料仕様の変動に係る補正係数

元素グループ		燃料仕様の変動に係る補正係数
Ｒｕ／Ｒｈ		1.7 ＊[2]
その他ＦＰ ＊[1]		1.1
Ｐｕ	α	2.0
	β	
Ａｍ，Ｃｍ		2.7

*1　その他ＦＰとは，核分裂生成物のうち，Ｋｒ-85，Ｉ－129 及びＲｕ／Ｒｈを除いたものを示す。

*2　Ｒｕ及びＲｈ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Ｒｕ－106 の減衰

ＴＢＰ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 800ｇ／Ｌであり，プルトニウム溶液の粘性は高いと考えられることから，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，800ｇ／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。

⑵　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応により影響を受ける割合（ＤＲ）

ＤＲは１とし，不確かさの幅の設定は行わない。

⑶　機器の気相に移行する割合（ＡＲＦ）

ａ．上振れ効果

第３表に示すように，ＡＲＦの算出には，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギが必要となる。

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ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応による発生エネルギを使用するため，引用する分解反応によって発生する単位ＴＢＰ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，ＴＢＰの水への溶解度の幅を考慮すると，ＴＢＰ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。

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。

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E_1［ｋＪ］算出	E_1［ｋＪ］＝ 1400［Ｊ／ｇＴＢＰ］×ＴＢＰ量［ｋｇ］
②	水蒸気発生量算出 Ｗ［ｋｇ］	Ｗ［ｋｇ］＝ E_1／2200［ｋＪ／ｋｇ－ｓｔｅａｍ］
③	発生水蒸気のモル分率算出 ＭＦ［－］	ＭＦ＝ Ｗ／（V_L×1000［ｋｇ／m^3—H_2O］） V_L：塔槽内液相部体積［m^3］
④	ＡＲＦ算出［－］	ＡＲＦ＝$1.28 \times MF^{0.827}$

⑷　大気中への放出経路における除染係数（ＬＰＦ）

ａ．上振れ効果

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応への対策として実施する貯留タンクへの放射性物質の貯留は，確実性が高い対策ではあるが，万一，機器の動作不良等により貯留タンクへの気体の導出ができない場合には，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を再起動し，主排気筒から大気中へ放射性物質を放出する。この場合には，貯留タンクへの放射性物質の貯留割合はゼロとなり，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生に伴う放射性物質の放出量は，設定値に対して３桁未満の上振れとなる。

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。

令和２年３月13日　R3

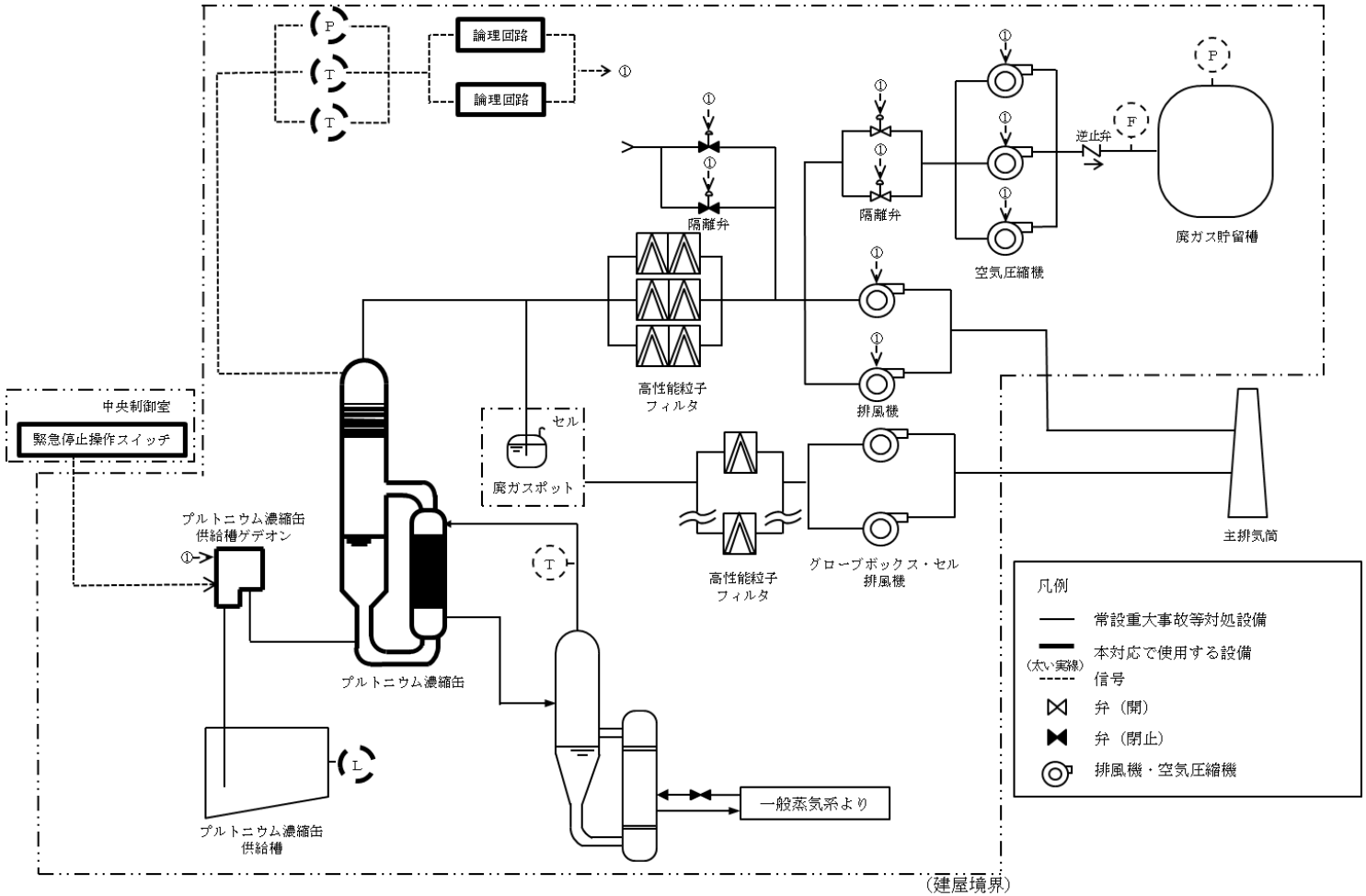
補足説明資料 10－９

系統概要図，アクセスルート

図リスト

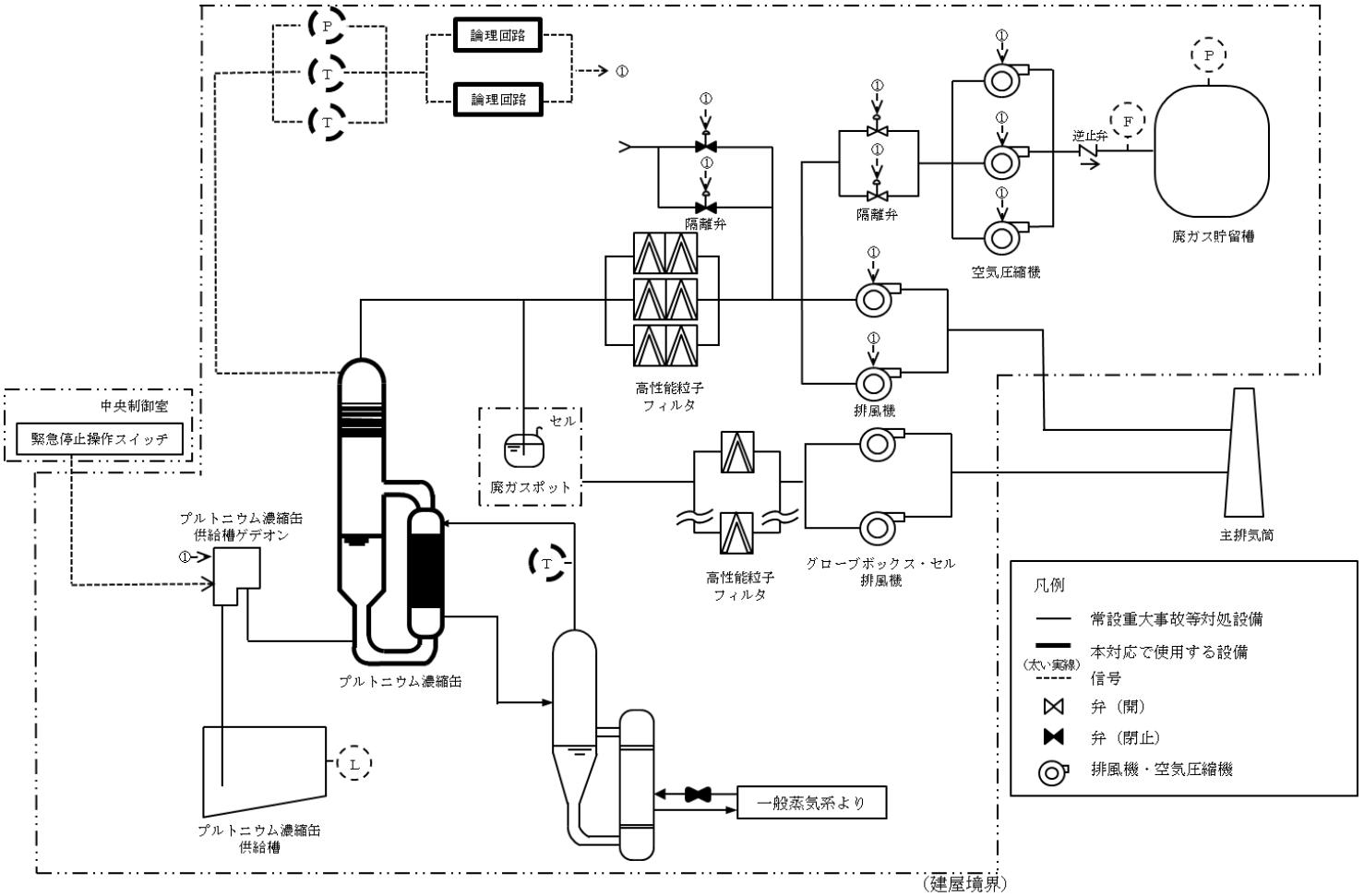
第１図～第４図　系統概要図

第５図～第７図　アクセスルート



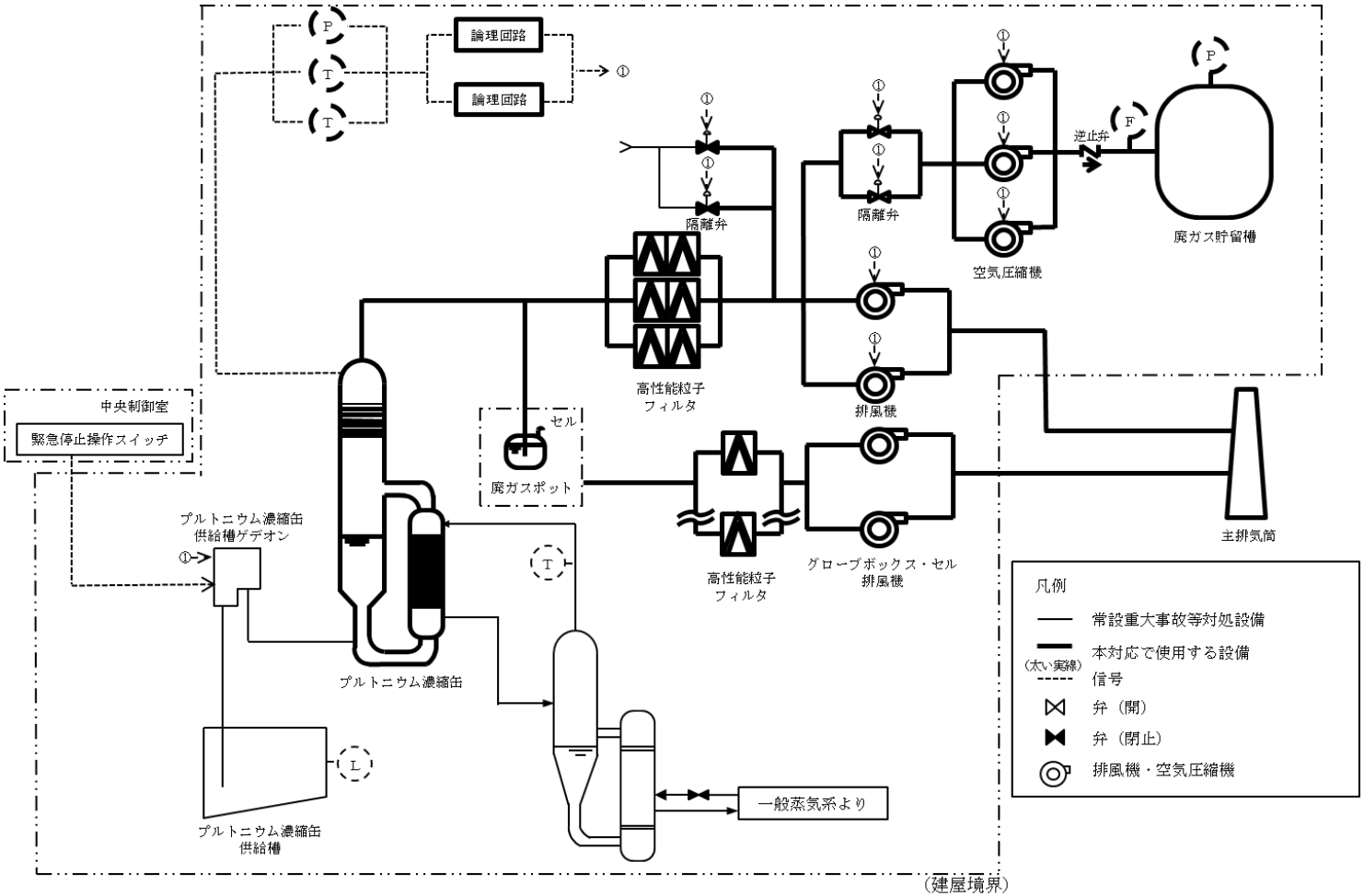
第１図　精製建屋　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図

（プルトニウム濃縮缶への供給停止）



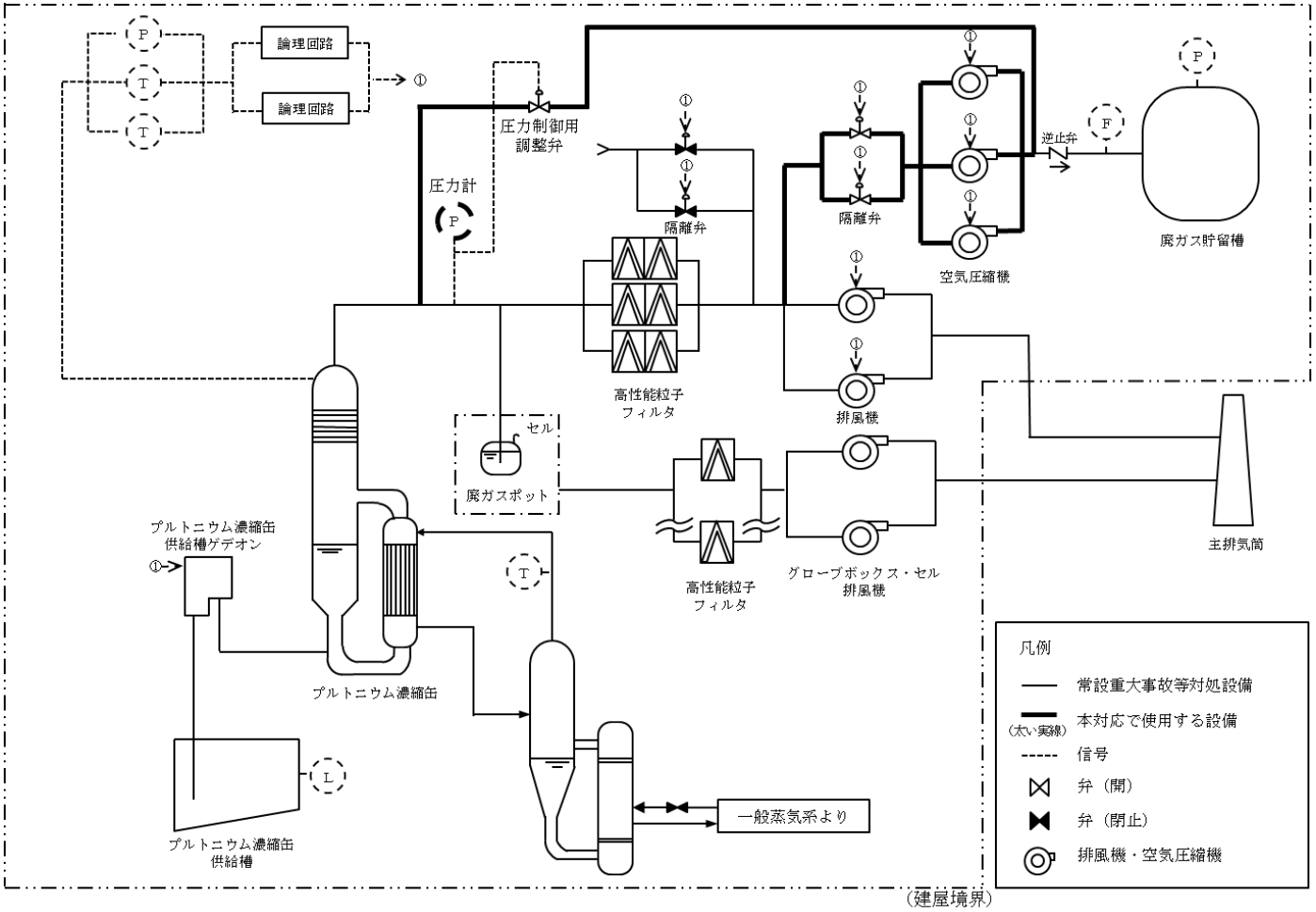
第２図　精製建屋　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図

（プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止）



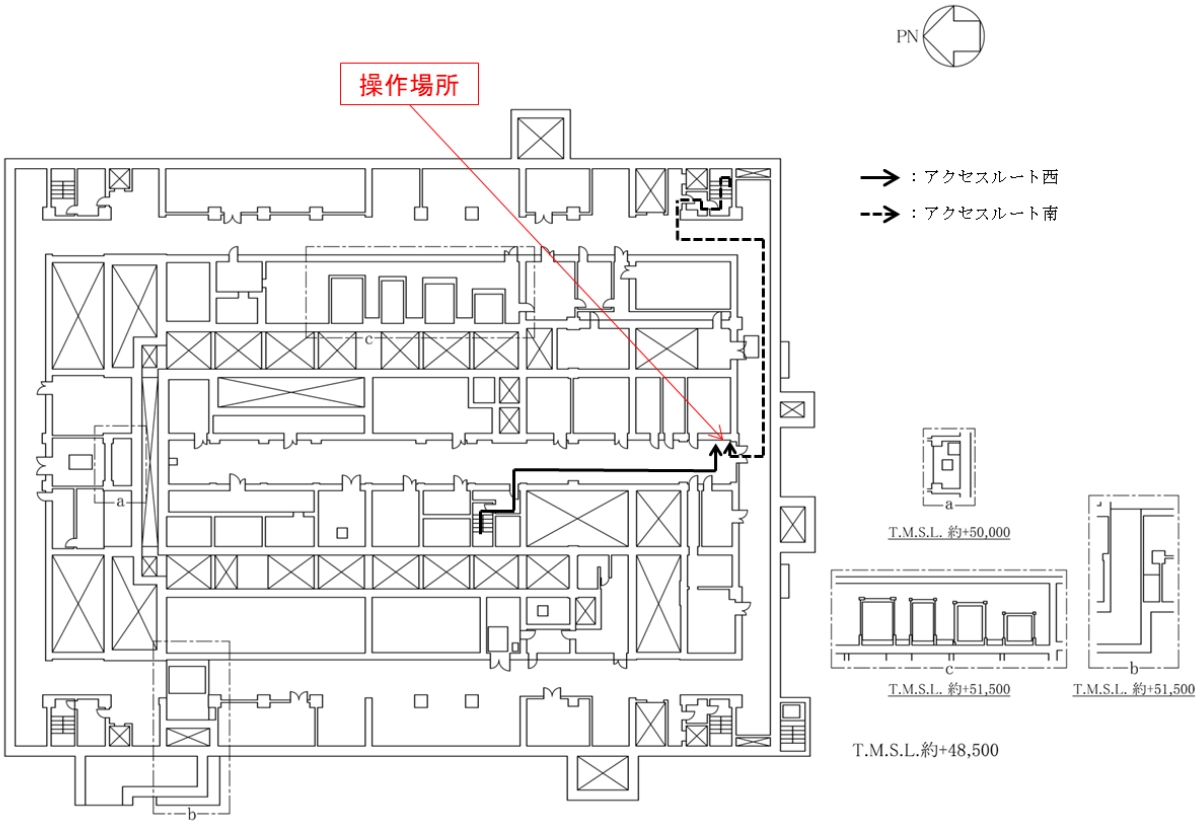
第３図　精製建屋　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図

（貯留設備への放射性物質の貯留）



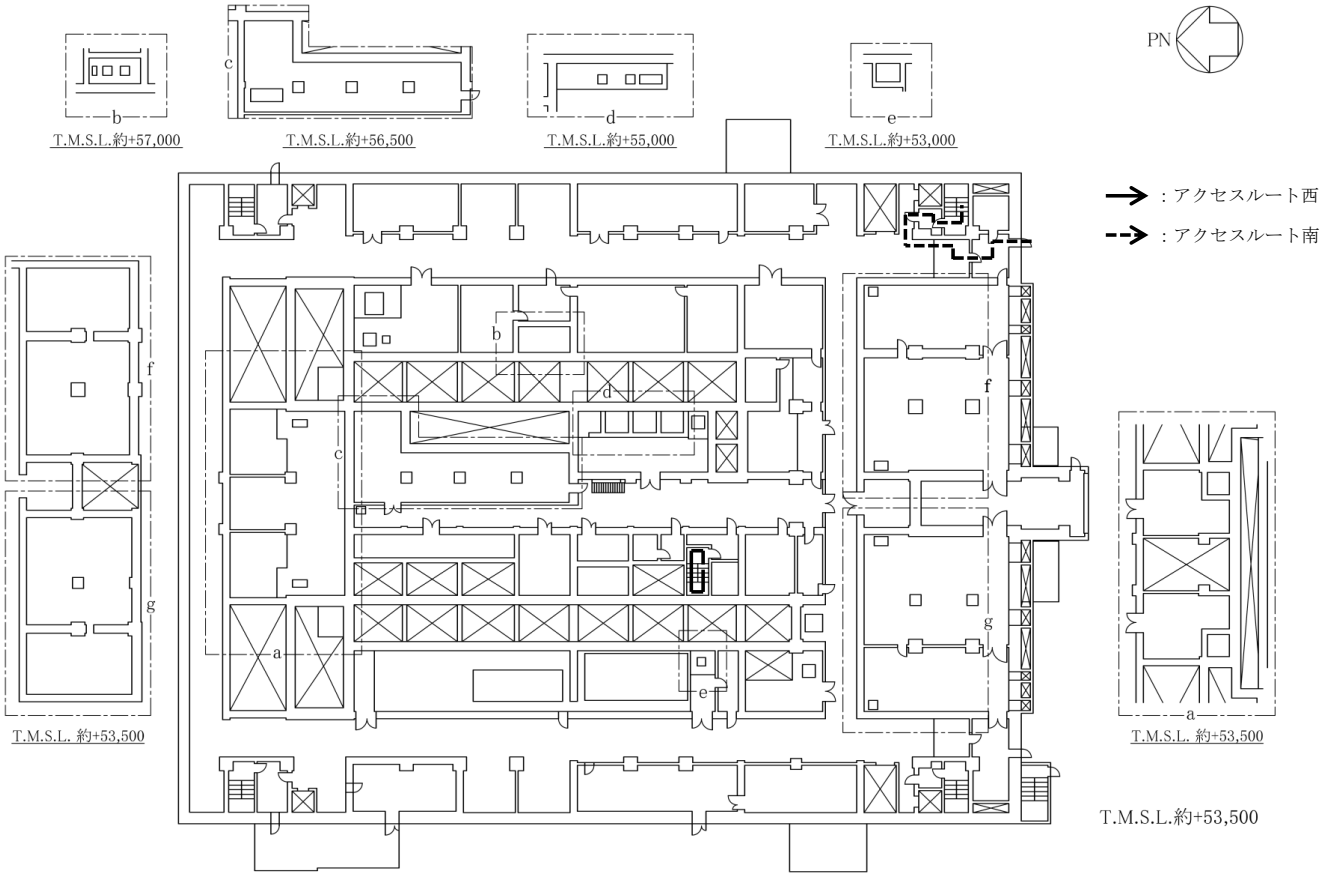
第４図　精製建屋　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図

（圧力制御概念）

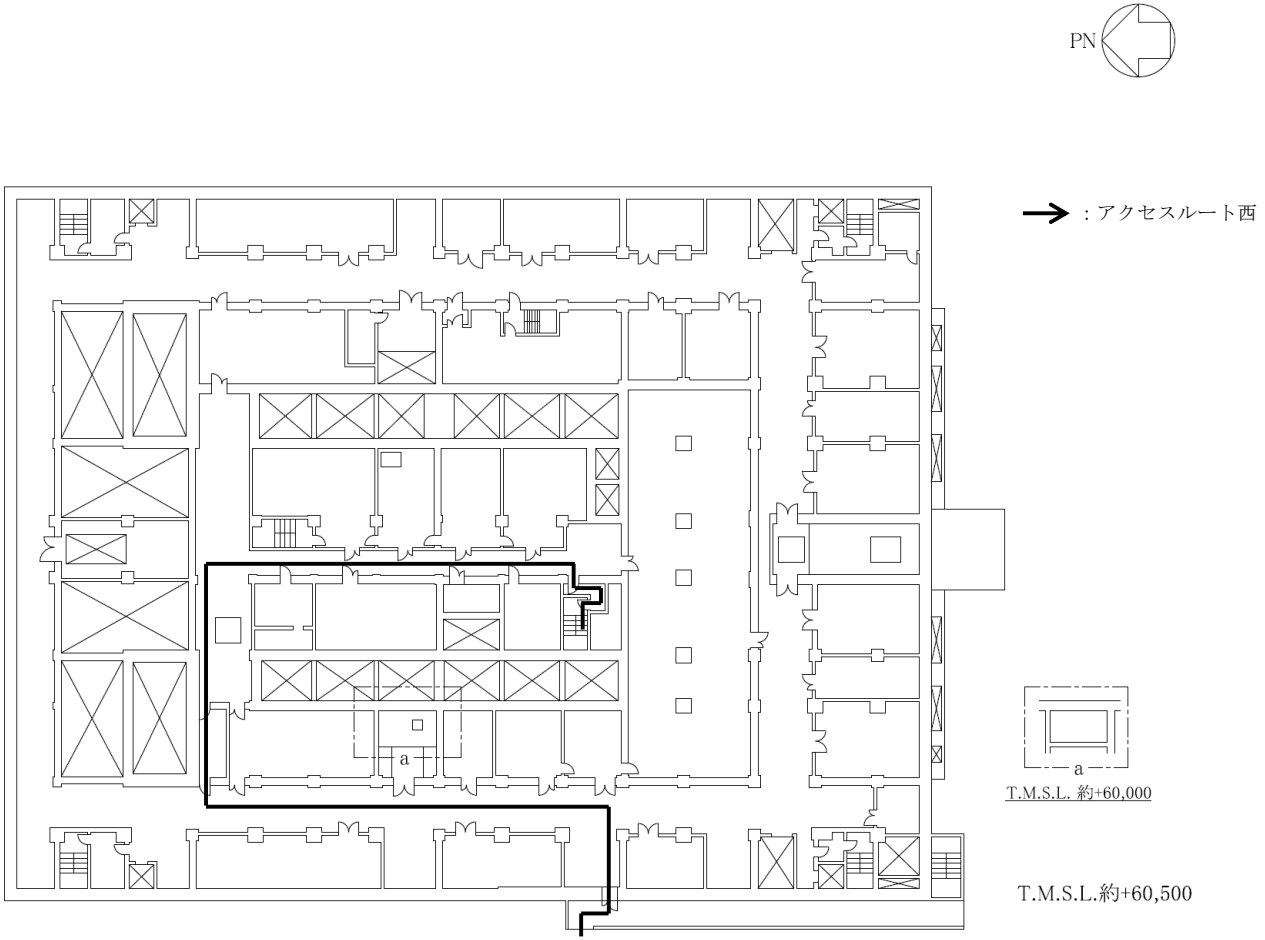


第5図 精製建屋　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置のアクセスルート

（地下１階）（プルトニウム濃縮缶の加熱の停止）



第6図 精製建屋　ＴＢＰ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アクセスルート
（地上１階）（プルトニウム濃縮缶の加熱の停止）



第7図 精製建屋　ＴＢＰ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アクセスルート

（地上２階）（プルトニウム濃縮缶の加熱の停止）

令和２年３月13日　R0

補足説明資料 10－12

敷地外被ばく線量評価

1.　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応発生時における敷地境界被ばく線量評価

1.1　評価内容

ＴＢＰ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に内包する硝酸プルトニウム溶液から放射性エアロゾルが発生し，放射性物質が主排気筒を介して，大気中に放出される。なお，放出量評価については，補足説明資料 10－６に示したとおりである。

上記放出量に対して，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生時における貯留設備による放射性物質の貯留対策成功時（拡大防止対策成功時）の敷地境界における被ばく線量を評価する。また，貯留設備が機能せず，放射性物質の貯留をしないまま放射性物質を塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）から主排気筒を介して大気中へ放出した場合（拡大防止対策失敗時）の敷地境界における被ばく線量も合わせて評価する。

評価対象建屋はＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応の発生を想定する精製建屋である。

1.2　敷地境界での被ばく評価

敷地境界被ばく線量は，ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の大気中への放射性物質の放出量，呼吸率，相対濃度及び線量換算係数を乗じて算出する。

敷地境界被ばく線量評価は，以下の計算式（１式）により算出する。

被ばく線量［Ｓｖ］

＝大気中への放射性物質の放出量［Ｂｑ］

×呼吸率［m^3／ｓ］×相対濃度χ／Ｑ［ｓ／m^3］

×線量換算係数［Ｓｖ／Ｂｑ］　　（１式）

1.3　評価に用いる各種パラメータの設定

拡大防止対策成功時及び拡大防止対策失敗時の敷地境界被ばく線量評価に用いた各種パラメータを第 1.－２表に示す。

第 1.－２表　被ばく線量評価に必要なパラメータの設定

項目	拡大防止対策成功時	拡大防止対策失敗時
ＭＡＲ	プルトニウム濃縮缶の通常運転時の容量及びＴＢＰ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量とする。	
ＤＲ	1	
ＡＲＦ	4×10^{-3} （爆発時の圧力が 3.5ＭＰａを上回る場合でのＡＲＦの算出式を適用）	
	5×10^{-5} （爆発時の圧力が 0.35ＭＰａ未満の場合のＡＲＦ値を適用）	
ＤＦ	2×10^{7}	10^{6}

第 1.－２表　被ばく線量評価に必要なパラメータの設定

項目	拡大防止対策成功時	拡大防止対策失敗時
相対濃度 χ／Ｑ （１時間値） ［ｓ／ｍ^3］	1.2×10^{-6} （放出点：主排気筒）	
呼吸率 ［ｍ^3／ｓ］	3.33×10^{-4}	
換算係数 ［Ｓｖ／Ｂｑ］	核種グループごとに設定	

1.4　換算係数

敷地境界被ばく線量を算出するにあたって，必要な換算係数は，核種グループごとに設定する。設定方法は，ＩＣＲＰ　Ｐｕｂ．72 に記載された核種ごとの換算係数に対して，ＯＲＩＧＥＮ2.0 において計算された各核種の使用済燃料中の存在割合を乗じて算出する。換算係数の結果を第 1.－３表に，核種グループごとの設定方法を第 1.－４表から第 1.－５表に示す。

第 1.－３表　核種グループごとの換算係数

核種Ｇｒ	換算係数 ［Ｓｖ／Ｂｑ］
Ｚｒ／Ｎｂ	1.68E-08
Ｒｕ／Ｒｈ	3.30E-08
Ｃｓ／Ｂａ	2.40E-09
Ｃｅ／Ｐｒ	2.64E-08
Ｓｒ／Ｙ	8.07E-08
その他ＦＰ	2.85E-08
Ｐｕ（α）	3.47E-06
Ａｍ／Ｃｍ（α）	3.57E-05
Ｕ（α）	5.12E-06
Ｎｐ（α）	4.19E-07

第1.－4表　換算係数の設定方法（核分裂生成物）

		①	②＝①／合計	③	④＝②×③
核種グループ	核種	使用済燃料棒内中の放射能量（Ｃｉ／ｔＵ）	グループ内相対値	Ｈ換算係数（Ｓｖ／Ｂｑ）【ＩＣＲＰ Ｐｕｂ．72】	グループ内換算係数
Ｚｒ／Ｎｂ	ＮＢ93Ｍ	1.36E+00	35%	1.80E-09	6.35E-10
Ｚｒ／Ｎｂ	ＺＲ 93	2.49E+00	65%	2.50E-08	1.62E-08
Ｚｒ／Ｎｂ	ＮＢ94	1.77E-04	0%	4.90E-08	2.25E-12
Ｚｒ／Ｎｂ	ＺＲ 95	2.78E-20	0%	5.90E-09	4.27E-29
Ｚｒ／Ｎｂ	ＮＢ 95	6.18E-20	0%	1.80E-09	2.89E-29
Ｚｒ／Ｎｂ	ＮＢ 95Ｍ	2.07E-22	0%	8.80E-10	4.73E-32
Ｚｒ／Ｎｂ	合計	3.84E+00	100%	合計（Σ④）	1.68E-08
Ｒｕ／Ｒｈ	Ｒｈ102	5.24E-02	0%	1.70E-08	2.08E-11
Ｒｕ／Ｒｈ	ＲＵ103	1.71E-36	0%	3.00E-09	1.19E-46
Ｒｕ／Ｒｈ	Ｒｈ103Ｍ	0.00E+00	0%	2.70E-12	0.00E+00
Ｒｕ／Ｒｈ	Ｒｕ106	2.14E+01	50%	6.60E-08	3.30E-08
Ｒｕ／Ｒｈ	Ｒｈ106	2.14E+01	50%	文献なし	
Ｒｕ／Ｒｈ	合計	4.29E+01	100%	合計（Σ④）	3.30E-08
Ｃｓ／Ｂａ	CS134	1.57E+03	1%	6.60E-09	5.31E-11
Ｃｓ／Ｂａ	CS135	5.82E-01	0%	6.90E-10	2.06E-15
Ｃｓ／Ｂａ	CS137	9.95E+04	51%	4.60E-09	2.34E-09
Ｃｓ／Ｂａ	BA137Ｍ	9.41E+04	48%	文献なし	
Ｃｓ／Ｂａ	合計	1.95E+05	100%	合計（Σ④）	2.40E-09
Ｃｅ／Ｐｒ	CE141	0.00E+00	0%	3.80E-09	0.00E+00
Ｃｅ／Ｐｒ	CE142	3.70E-05	0%	文献なし	
Ｃｅ／Ｐｒ	CE144	2.16E+00	50%	5.30E-08	2.63E-08
Ｃｅ／Ｐｒ	PR144	2.16E+00	50%	1.80E-11	8.95E-12
Ｃｅ／Ｐｒ	PR144Ｍ	2.59E-02	1%	文献なし	
Ｃｅ／Ｐｒ	合計	4.34E+00	100%	合計（Σ④）	2.64E-08
Ｓｒ／Ｙ	SR 89	1.95E-27	0%	7.90E-09	1.09E-40
Ｓｒ／Ｙ	SR 90	7.08E+04	50%	1.60E-07	8.00E-08
Ｓｒ／Ｙ	Ｙ 90	7.08E+04	50%	1.50E-09	7.50E-10
Ｓｒ／Ｙ	Ｙ 91	7.62E-23	0%	8.90E-09	4.79E-36
Ｓｒ／Ｙ	合計	1.42E+05	100%	合計（Σ④）	8.07E-08
その他ＦＰ	AG108	3.08E-06	0%	文献なし	
その他ＦＰ	AG108Ｍ	3.46E-05	0%	7.40E-09	2.63E-17
その他ＦＰ	AG109Ｍ	5.82E-07	0%	文献なし	
その他ＦＰ	AG110	1.88E-05	0%	文献なし	
その他ＦＰ	AG110Ｍ	1.42E-03	0%	7.60E-09	1.11E-15
その他ＦＰ	BE 10	3.96E-06	0%	3.50E-08	1.43E-17
その他ＦＰ	Ｃ 14	1.60E-04	0%	5.80E-09	9.52E-17
その他ＦＰ	CD109	5.82E-07	0%	6.60E-09	3.95E-19
その他ＦＰ	CD113Ｍ	3.66E+01	0%	5.20E-08	1.96E-10
その他ＦＰ	CD115Ｍ	1.98E-34	0%	6.20E-09	1.26E-46
その他ＦＰ	EU150	1.89E-05	0%	5.30E-08	1.03E-16
その他ＦＰ	EU152	3.94E+00	0%	4.20E-08	1.70E-11
その他ＦＰ	EU154	4.68E+03	48%	5.30E-08	2.55E-08
その他ＦＰ	EU155	1.23E+03	13%	6.90E-09	8.71E-10
その他ＦＰ	GD152	5.06E-13	0%	1.90E-05	9.89E-22
その他ＦＰ	GD153	1.06E-05	0%	2.10E-09	2.29E-18
その他ＦＰ	HO166Ｍ	4.09E-03	0%	1.20E-07	5.05E-14
その他ＦＰ	IN114	1.98E-33	0%	文献なし	
その他ＦＰ	IN114Ｍ	2.11E-33	0%	6.10E-09	1.32E-45
その他ＦＰ	IN115	1.58E-11	0%	1.60E-07	2.59E-22
その他ＦＰ	IN115Ｍ	0.00E+00	0%	5.90E-11	0.00E+00
その他ＦＰ	LA138	2.16E-09	0%	1.50E-07	3.33E-20
その他ＦＰ	ND144	2.19E-09	0%	文献なし	
その他ＦＰ	PD107	1.44E-01	0%	8.50E-11	1.26E-15
その他ＦＰ	PM146	6.93E-01	0%	2.10E-08	1.50E-12
その他ＦＰ	PM147	2.83E+03	29%	5.00E-09	1.46E-09
その他ＦＰ	PM148	2.39E-37	0%	2.00E-09	4.91E-50
その他ＦＰ	PM148Ｍ	3.94E-36	0%	5.10E-09	2.07E-48
その他ＦＰ	RB 87	2.98E-05	0%	5.00E-10	1.53E-18
その他ＦＰ	SB124	7.47E-25	0%	6.40E-09	4.92E-37
その他ＦＰ	SB125	4.12E+02	4%	4.80E-09	2.03E-10
その他ＦＰ	SB126	1.41E-01	0%	2.80E-09	4.05E-14
その他ＦＰ	SB126Ｍ	1.01E+00	0%	1.90E-11	1.96E-15
その他ＦＰ	SE 79	5.58E-01	0%	1.10E-09	6.31E-14
その他ＦＰ	SM146	4.31E-07	0%	1.10E-05	4.88E-16
その他ＦＰ	SM147	5.40E-06	0%	9.60E-06	5.34E-15
その他ＦＰ	SM148	7.84E-11	0%	文献なし	
その他ＦＰ	SM149	1.04E-12	0%	文献なし	
その他ＦＰ	SM151	4.25E+02	4%	4.00E-09	1.75E-10
その他ＦＰ	SN119Ｍ	5.04E-05	0%	2.20E-09	1.14E-17
その他ＦＰ	SN121Ｍ	2.22E-01	0%	4.50E-09	1.03E-13
その他ＦＰ	SN123	6.65E-10	0%	8.10E-09	5.54E-22
その他ＦＰ	SN126	1.01E+00	0%	2.80E-08	2.90E-12
その他ＦＰ	TB160	2.05E-20	0%	7.00E-09	1.48E-32
その他ＦＰ	TE123	4.00E-12	0%	1.90E-09	7.82E-25
その他ＦＰ	TE123Ｍ	4.07E-13	0%	4.00E-09	1.67E-25
その他ＦＰ	TE125Ｍ	1.01E+02	1%	3.40E-09	3.52E-11
その他ＦＰ	TE127	1.15E-11	0%	1.30E-10	1.54E-25
その他ＦＰ	TE127Ｍ	1.18E-11	0%	7.40E-09	8.96E-24
その他ＦＰ	TE129	0.00E+00	0%	3.70E-11	0.00E+00
その他ＦＰ	TE129Ｍ	0.00E+00	0%	6.60E-09	0.00E+00
その他ＦＰ	TM170	1.28E-14	0%	7.00E-09	9.20E-27
その他ＦＰ	TM171	7.12E-06	0%	1.40E-09	1.03E-18
その他ＦＰ	合計	9.72E+03	100%	合計（Σ④）	2.85E-08

第1.－５表　換算係数の設定方法（アクチノイド）

		①	②＝①／合計	③	④＝②×③
核種 グループ	核種	使用済燃料 棒内中の 放射能量 （Ｃｉ／ｔＵ）	グループ内 相対値	Ｈ換算係数 （Ｓｖ／Ｂｑ） 【ＩＣＲＰ　Ｐｕｂ．72】	グループ内 換算係数
Pu	PU236	2.96E-02	0%	2.00E-05	7.13E-12
Pu	PU237	2.59E-36	0%	3.90E-10	1.22E-50
Pu	PU238	3.73E+03	4%	4.60E-05	2.07E-06
Pu	PU239	3.57E+02	0%	5.00E-05	2.15E-07
Pu	PU240	5.69E+02	1%	5.00E-05	3.42E-07
Pu	PU241	7.84E+04	94%	9.00E-07	8.50E-07
Pu	PU242	2.38E+00	0%	4.80E-05	1.38E-09
Pu	PU243	2.37E-07	0%	8.60E-11	2.46E-22
Pu	Pu244	6.74E-07	0%	4.70E-05	3.81E-16
Pu	Pu246	1.54E-14	0%	8.00E-09	1.48E-27
Pu	合計	8.31E+04	100%	合計（Σ④）	3.47E-06
Am／Cm	AM241	2.90E+03	58%	4.20E-05	2.44E-05
Am／Cm	AM242M	9.54E+00	0%	3.70E-05	7.08E-08
Am／Cm	AM242	9.49E+00	0%	1.70E-08	3.24E-11
Am／Cm	AM243	2.62E+01	1%	4.10E-05	2.15E-07
Am／Cm	AM245	2.56E-13	0%	5.30E-11	2.72E-27
Am／Cm	AM246	1.54E-14	0%	6.60E-11	2.04E-28
Am／Cm	CM242	7.87E+00	0%	5.20E-06	8.21E-09
Am／Cm	CM243	2.16E+01	0%	3.10E-05	1.34E-07
Am／Cm	CM244	2.01E+03	40%	2.70E-05	1.09E-05
Am／Cm	CM245	3.26E-01	0%	4.20E-05	2.75E-09
Am／Cm	CM246	7.28E-02	0%	4.20E-05	6.14E-10
Am／Cm	CM247	2.37E-07	0%	3.90E-05	1.86E-15
Am／Cm	CM248	6.18E-07	0%	1.50E-04	1.86E-14
Am／Cm	CM250	6.17E-14	0%	8.40E-04	1.04E-20
Am／Cm	合計	4.98E+03	100%	合計（Σ④）	3.57E-05
U	U232	5.41E-02	1%	3.70E-05	4.95E-07
U	U233	4.90E-05	0%	9.60E-06	1.16E-10
U	U234	1.36E+00	34%	9.40E-06	3.16E-06
U	U235	2.18E-02	1%	8.50E-06	4.58E-08
U	U236	3.76E-01	9%	8.70E-06	8.09E-07
U	U237	1.92E+00	48%	1.90E-09	9.04E-10
U	U238	3.11E-01	8%	8.00E-06	6.16E-07
U	U240	6.73E-07	0%	5.80E-10	9.65E-17
U	合計	4.05E+00	100%	合計（Σ④）	5.12E-06
Np	NP235	1.08E-11	0%	4.20E-10	9.36E-21
Np	NP236	0.00E+00	0%	3.20E-06	0.00E+00
Np	NP237	4.85E-01	100%	2.30E-05	2.30E-05
Np	NP238	0.00E+00	0%	2.10E-09	0.00E+00
Np	NP239	0.00E+00	0%	9.30E-10	0.00E+00
Np	NP240M	0.00E+00	0%	文献なし	
Np	合計	4.85E-01	100%	合計（Σ④）	4.19E-07

1.5　評価結果

ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生し，放射性物質が主排気筒を介して，大気中に放出された場合の敷地境界被ばく線量評価の結果を第1.－６表に示す。

また，事態の収束までの敷地境界における被ばく線量評価の計算過程を第1.－７表から第1.－９表に，拡大防止対策失敗時の敷地境界における被ばく線量評価の計算過程を第1.－７表，第1.－10表から第1.－１１表に示す。

第1.－６表 ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合における敷地境界被ばく線量

建屋	核種 グループ	拡大防止対策成功時		拡大防止対策失敗時	
		放出量 ［Ｂｑ］	敷地外 被ばく線量 ［ｍＳｖ］	放出量 ［Ｂｑ］	敷地外 被ばく線量 ［ｍＳｖ］
精製建屋	Ｚｒ／Ｎｂ	0.00E+00	2×10^{-5}	0.00E+00	4×10^{-4}
	Ｒｕ／Ｒｈ	2.87E-03		6.82E-02	
	Ｃｓ／Ｂａ	0.00E+00		0.00E+00	
	Ｃｅ／Ｐｒ	0.00E+00		0.00E+00	
	Ｓｒ／Ｙ	0.00E+00		0.00E+00	
	その他ＦＰ	5.49E-02		1.28E+00	
	Ｐｕ（α）	1.21E+07		2.93E+08	
	Ａｍ／Ｃｍ（α）	0.00E+00		0.00E+00	
	Ｕ（α）	6.73E-03		1.64E-01	
	Ｎｐ（α）	0.00E+00		0.00E+00	
	合計	1.21E+07		2.93E+08	

第1.－７表　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合における敷地境界被ばく線量の計算過程（セルへ導出される放射性物質）（拡大防止対策成功・失敗共通で計算に使用）

核種	MAR	ARF	LPF	DR	放出量[Bq]	換算係数[Sv/Bq]	被ばく線量[mSv]	被ばく線量[mSv]
Zr／Nb	0.00E+00	1.00E-08	1.00E-04	1.00E+00	0.00E+00	1.68E-08	0.00E+00	1.78E-07
Ru／Rh	1.03E+08				8.34E-05	3.30E-08	1.10E-18	
Cs／Ba	0.00E+00				0.00E+00	2.40E-09	0.00E+00	
Ce／Pr	0.00E+00				0.00E+00	2.64E-08	0.00E+00	
Sr／Y	0.00E+00				0.00E+00	8.07E-08	0.00E+00	
その他FP	3.36E+09				2.72E-03	2.85E-08	3.10E-17	
Pu（α）	1.58E+17				1.28E+05	3.47E-06	1.78E-07	
Am／Cm（α）	0.00E+00				0.00E+00	3.57E-05	0.00E+00	
U（α）	1.98E+07				1.61E-05	5.12E-06	3.29E-17	
Np（α）	0.00E+00				0.00E+00	4.19E-07	0.00E+00	

第1.－８表　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合における敷地境界被ばく線量の計算過程（ＴＢＰ208ｇ）（拡大防止対策成功）

核種	MAR	ARF	LPF	DR	放出量[Bq]	換算係数[Sv/Bq]	被ばく線量[mSv]	被ばく線量[mSv]
Zr／Nb	0.00E+00	3.61E-03	4.10E-08	1.00E+00	0.00E+00	1.68E-08	0.00E+00	1.64E-05
Ru／Rh	1.86E+07				2.75E-03	3.30E-08	3.63E-17	
Cs／Ba	0.00E+00				0.00E+00	2.40E-09	0.00E+00	
Ce／Pr	0.00E+00				0.00E+00	2.64E-08	0.00E+00	
Sr／Y	0.00E+00				0.00E+00	8.07E-08	0.00E+00	
その他FP	3.47E+08				5.14E-02	2.85E-08	5.85E-16	
Pu（α）	7.99E+16				1.18E+07	3.47E-06	1.64E-05	
Am／Cm（α）	0.00E+00				0.00E+00	3.57E-05	0.00E+00	
U（α）	4.47E+07				6.62E-03	5.12E-06	1.35E-14	
Np（α）	0.00E+00				0.00E+00	4.19E-07	0.00E+00	

第 1.－９表　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合における敷地境界被ばく線量の計算過程（ＴＢＰ１ｇ）（拡大防止対策成功）

核種	MAR	ARF	LPF	DR	放出量[Bq]	換算係数[Sv/Bq]	被ばく線量[mSv]	被ばく線量[mSv]
Zr／Nb	0.00E+00	5.00E−05	4.10E−08	1.00E+00	0.00E+00	1.68E−08	0.00E+00	2.27E−07
Ru／Rh	1.86E+07				3.81E−05	3.30E−08	5.02E−19	
Cs／Ba	0.00E+00				0.00E+00	2.40E−09	0.00E+00	
Ce／Pr	0.00E+00				0.00E+00	2.64E−08	0.00E+00	
Sr／Y	0.00E+00				0.00E+00	8.07E−08	0.00E+00	
その他FP	3.47E+08				7.11E−04	2.85E−08	8.09E−18	
Pu（α）	7.99E+16				1.64E+05	3.47E−06	2.27E−07	
Am／Cm（α）	0.00E+00				0.00E+00	3.57E−05	0.00E+00	
U（α）	4.47E+07				9.16E−05	5.12E−06	1.87E−16	
Np（α）	0.00E+00				0.00E+00	4.19E−07	0.00E+00	

第 1.－10 表　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合における敷地境界被ばく線量の計算過程（ＴＢＰ208ｇ）（拡大防止対策失敗）

核種	MAR	ARF	LPF	DR	放出量[Bq]	換算係数[Sv/Bq]	被ばく線量[mSv]	被ばく線量[mSv]
Zr／Nb	0.00E+00	3.61E−03	1.00E−06	1.00E+00	0.00E+00	1.68E−08	0.00E+00	4.01E−04
Ru／Rh	1.86E+07				6.72E−02	3.30E−08	8.86E−16	
Cs／Ba	0.00E+00				0.00E+00	2.40E−09	0.00E+00	
Ce／Pr	0.00E+00				0.00E+00	2.64E−08	0.00E+00	
Sr／Y	0.00E+00				0.00E+00	8.07E−08	0.00E+00	
その他FP	3.47E+08				1.26E+00	2.85E−08	1.43E−14	
Pu（α）	7.99E+16				2.89E+08	3.47E−06	4.01E−04	
Am／Cm（α）	0.00E+00				0.00E+00	3.57E−05	0.00E+00	
U（α）	4.47E+07				1.62E−01	5.12E−06	3.31E−13	
Np（α）	0.00E+00				0.00E+00	4.19E−07	0.00E+00	

第 1.－11 表　ＴＢＰ等の錯体の急激な分解反応が発生した場合における敷地境界被ばく線量の計算過程（ＴＢＰ１ｇ）（拡大防止対策失敗）

核種	MAR	ARF	LPF	DR	放出量[Bq]	換算係数[Sv/Bq]	被ばく線量[mSv]	被ばく線量[mSv]
Zr／Nb	0.00E+00	5.00E−05	1.00E−06	1.00E+00	0.00E+00	1.68E−08	0.00E+00	5.55E−06
Ru／Rh	1.86E+07				9.30E−04	3.30E−08	1.23E−17	
Cs／Ba	0.00E+00				0.00E+00	2.40E−09	0.00E+00	
Ce／Pr	0.00E+00				0.00E+00	2.64E−08	0.00E+00	
Sr／Y	0.00E+00				0.00E+00	8.07E−08	0.00E+00	
その他FP	3.47E+08				1.74E−02	2.85E−08	1.98E−16	
Pu（α）	7.99E+16				4.00E+06	3.47E−06	5.55E−06	
Am／Cm（α）	0.00E+00				0.00E+00	3.57E−05	0.00E+00	
U（α）	4.47E+07				2.24E−03	5.12E−06	4.58E−15	
Np（α）	0.00E+00				0.00E+00	4.19E−07	0.00E+00	