

【公開版】

資料 2-6	令和 2 年 1 月 30 日
日本原燃株式会社	

六ヶ所再処 理 施 設 に お け る
新 規 制 基 準 に 対 す る 適 合 性

第 28 条：重大事故等の拡大の防止等
有機溶媒等による火災又は爆発への対処

10. 有機溶媒等による火災又は爆発への対処

目次

10. 有機溶媒等による火災又は爆発への対処

10.1 T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策

10.1.1 T B P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

10.1.2 T B P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

10.2 T B P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

有機溶媒による火災又は爆発（放射線分解により発生する水素による爆発を除く）については、合理的な範囲での多重の誤操作において、火災又は爆発のプロセス量を逸脱するものの、火災又は爆発に至る温度条件、水素濃度条件が成立しないことから、事故に至らない。

このため、設定した設計上定める条件より厳しい条件の下では有機溶媒等による火災又は爆発は想定されないが、T B P等の錯体の急激な分解反応は過去に他の施設において発生していることを踏まえ、2建屋4機器（分配設備のウラン濃縮缶、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶、高レベル廃液濃縮設備の高レベル廃液濃縮缶及び酸回収設備の第2酸回収蒸発缶）を特定し、さらに異常検知機能、誤操作等の条件を厳しく想定し、公衆への影響を考慮し、プルトニウム濃縮缶において重大事故等の発生を想定した。

(1) T B P等の錯体の急激な分解反応の特徴

T B P又はその分解生成物であるりん酸二ブチル、りん酸一ブチル（以下、これらの物質を「T B P等」という。）と硝酸、硝酸ウラニル又は硝酸プルトニウムの錯体（以下、これらの錯体を「T B P等の錯体」という。）の急激な分解反応のおそれのある機器には、加熱蒸気最高温度を設定するとともに供給液にはT B Pが混入しないよう、供給液からT B Pを除去する設計とすることで、濃縮缶又は蒸発缶におけるT B P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。

濃縮缶又は蒸発缶の加熱設備において加熱を停止するための設備は、加熱蒸気の温度が加熱蒸気最高温度の設定値に到達した場合に一次蒸気及び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される。

T B Pを除去する設備は、T B P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T B P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T B Pを含む硝酸プルトニウム溶液を供給する設備で構成される。

濃縮缶又は蒸発缶，機器及び配管等(以下 10. では「濃縮缶等」という。)，濃縮缶等を収納するセル及びセルを取り囲む建屋は，それぞれ塔槽類廃ガス処理設備，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。)，建屋換気設備の建屋排気系により換気され，濃縮缶等，セル，建屋の順に負圧が浅くなるように設計されている。

希釈剤によるT B P等の除去機能が喪失し，濃縮缶又は蒸発缶への加熱蒸気の制御にも異常が生じ，熱的制限値による停止機能が喪失した状態が継続し，濃縮缶又は蒸発缶内の溶液の温度がT B P等の錯体の急激な分解反応の発生する温度を超えた場合にT B P等の錯体の急激な分解反応が発生する。

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い，濃縮缶又は蒸発缶内に存在しているT B P等は全て分解反応により消費されることを想定すると，分解反応に伴い二酸化炭素，水，窒素やりん酸といった分解生成物及び熱が発生するため濃縮缶又は蒸発缶内及び濃縮缶又は蒸発缶に接続している塔槽類廃ガス処理設備内の配管へ圧力波が伝播し，圧力及び温度が急激に上昇する。塔槽類廃ガス処理設備の系統内には水封安全器があるため，一時的に一部の廃ガスが水封安全器からセルへ導出される可能性がある。また，濃縮缶又は蒸発缶では，T B P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，圧力波の伝播後に遅れて機器外に放出される。T B P等の錯体の急激な分解反応が終わると，濃縮缶又は蒸発缶内の圧力及び温度は低下する。

T B P等の錯体の急激な分解反応発生後，濃縮缶又は蒸発缶へT B P等

の供給及び加熱が継続され、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超えた場合には、この分解反応は継続的に発生することが考えられる。

T B P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】

(2) T B P等の錯体の急激な分解反応への対処の基本方針

T B P等の錯体の急激な分解反応への対処として、再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の第二十八条及び第三十七条に規定される要求を満足するT B P等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策を整備する。

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合には、(1) T B P等の錯体の急激な分解反応の特徴に記載したとおり、気相へ移行する放射性物質の量が増大する可能性があり、供給液の供給及び加熱が継続した場合には、継続的に分解反応が発生する可能性がある。

以上を考慮し、再発防止を拡大防止対策として、T B P等の錯体の急激な分解反応の再発を防止するための対策、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した設備に接続する換気システムの配管の流路を遮断するために必要な対策及びT B P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貯留設備へ貯留するために必要な対策を整備する。

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

a. T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知し、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を自動又は手動で供給液の供給を停止する。また、プルトニウム濃縮缶を加熱するための蒸気発生器への蒸気供給を手動にて停止する。これらの対応により、T B 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】

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の経路を自動的に直ちに遮断するとともに、T B P等の錯体の急激な分解反応により発生した放射性物質を貯留タンクへ貯留するための経路を確立し、空気圧縮機を用いて貯留タンクに放射性物質を含む気体を貯留する。

貯留タンクへ放射性物質を含む気体を導出し、貯留タンクが規定圧力に到達後、平常運転時の塔槽類廃ガス処理設備からの排気の経路に復旧するとともに、貯留タンクの隔離弁を閉止し、空気圧縮機を停止する。また、貯留タンク入口には、逆止弁を設置することで、貯留タンクから通常時の排気経路への放射性物質を含む気体の逆流を防止する。

10.1 T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大防止対策

10.1.1 T B P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の停止及び加熱設備の停止

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合は、連続的に供給液が供給されることによって再発するT B P等の分解反応を防止するため、プルトニウム濃縮缶液相部温度高警報、プルトニウム濃縮缶の気相部圧力高高警報及びプルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報の発報により、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給を自動的に停止する。

並行して、手動にて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設備の手動弁を閉止する。

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、対策における手順と設備の関係を第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。

a. T B P等の錯体の急激な分解反応の発生検知及び重大事故等の判断

プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報、気相部圧力高高警報及び気相部温度高警報の3つのうち、2つ以上の警報の発報により、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を検知するとともに、供給液の供給が自動的に停止する。

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

b. 緊急停止系による供給液の供給停止

中央制御室からの操作により、緊急停止系を作動させ、供給液の供給を停止する。

c. 供給液の供給停止の成功判断

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を判断する。

d. プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止

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

e. プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止の成功判断

加熱蒸気温度計により、加熱蒸気温度がT B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度未満になり、プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止が成功したと判断する。

10.1.1.2 貯留設備による放射性物質の貯留

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合には、貯留タンクに放射性物質を導出するため、貯留設備の隔離弁を自動開放するとともに貯留設備の空気圧縮機を自動的に起動し貯留タンク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、隔離弁の閉止に加え、排風機を自動的に停止する。

T B P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）の系統内の圧力が上昇することにより、廃ガスポートから廃ガスの一部がセルへ放出されることが考えられる。この際、セルへ放出される廃ガスには、T B P等の錯体の急激な分解反応によって発生する放射性物質は含まれない。

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

及び第10.1.1-5図に、対策の手順の概要を第10.1.1-2図に、対策における手順と設備の関係を第10.1.1-2表に、必要な要員及び作業項目を第10.1.1-6図に示す。

a. 貯留タンクへの導出

プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報、気相部圧力高高警報及び気相部温度高警報の3つのうち、2つ以上の警報の発報によるTBP等の錯体の急激な分解反応の発生の検知後、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の流路を自動的に遮断するとともに、プルトニウム濃縮缶から貯留タンクへの流路を確立し、TBP等の錯体の急激な分解反応に伴い発生する放射性物質を貯留タンクに導く。

b. TBP等の錯体の急激な分解反応の発生検知及び重大事故等の判断

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

プルトニウム濃縮缶におけるTBP等の錯体の急激な分解反応の発生の検知により、貯留タンクへの放射性物質の導出が開始されたことの確認作業の実施を判断し、以下のc.に移行する。

c. 貯留タンクへの導出状況の確認

貯留タンク内の圧力の上昇及び貯留タンク入口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貯留タンクへの導出が開始されたことを確認する。

d. 貯留タンクへの導出完了判断及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による排気再開

貯留タンク内の圧力が規定の圧力に達した場合に、導出の完了と判断

する。

貯留タンクへの放射性物質の導出完了後，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，排風機を再起動して，平常運
転時の放出経路に復旧し，放射性物質を管理された状態において放出する。

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。

10.1.2 T B P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

(1) T B P等の錯体の急激な分解反応の起回事象

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生原因をフォールトツリー分析により明らかにする。T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を頂上事象とした場合のフォールトツリーを第 10.1.2-1 図に示す。

プルトニウム濃縮缶におけるT B P等の錯体の急激な分解反応は、T B P等の錯体の急激な分解反応の起因となる異常の発生防止に係る安全機能及びT B P等の錯体の急激な分解反応の起因となる異常の進展防止に係る安全機能が喪失することで、プルトニウム濃縮缶にT B P等が供給され、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度までプルトニウム溶液が加熱されることを想定する。

(2) 安全機能の喪失に対する仮定

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生を想定する機器の安全機能は、前述した機能以外の喪失は想定しない。

【補足説明資料 10-5】

(3) 有効性評価の考え方

重大事故等の拡大の防止のための措置に係る有効性評価では、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生後、供給液の供給停止又は加熱の停止操作に要する時間を評価する。供給液の供給停止又は加熱の停止操作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では、供給液の供給停止又は加熱の停止によりT B P等の錯体の急激な分解反応の再発が防止され、また、貯留タンクへの導出が完了し、貯留タンクにおいて放射性物

質を貯留している状況下において、TBP等の錯体の急激な分解反応が発生したプルトニウム濃縮缶内に残留している放射性物質が、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による排気の再開に伴って大気中に放出されることを想定し、放射性物質質量、事故時の放射性物質の移行率、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して大気中への放射性物質の放出量（以下、「セシウム-137換算放出量」という。）を評価する。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、解析コードは用いない。

(4) 機器の条件

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機器を第10.1.2-1表に示す。また、主要な機器の機器条件を以下に示す。

i. プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン

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

ii. 蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁

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

iii. 安全圧縮空気供給設備

安全圧縮空気供給設備は、プルトニウム濃縮缶に対して、約0.4

m^3/h で空気を供給するものとする。

iv. 一般圧縮空気供給設備

一般圧縮空気供給設備は、プルトニウム濃縮缶に対して、約 $0.05 \text{ m}^3/\text{h}$ で空気を供給するものとする。

v. プルトニウム濃縮缶

プルトニウム濃縮缶は、 $\blacksquare \text{ L}/\text{h}$ で供給液の供給及び蒸発濃縮がなされているものとする。

vi. セルへ導出される空気量

T B P 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は、プルトニウム濃縮缶から廃ガスポットまでの空気量とし、具体的には約 0.8 m^3 とする。

vii. 貯留設備

貯留設備は、プルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報、プルトニウム濃縮缶の気相部圧力高高警報及びプルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報の3つのうち、2つ以上の警報の発報により T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生が検知された場合に、直ちに貯留タンクへの経路の確立及び放射性物質の導出が自動で実施され、T B P 等の錯体の急激な分解反応により発生する放射性物質を含む気体が貯留タンクに導出され、貯留完了後に貯留タンクへの経路から平常運転時の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）に系統を切り替えられるものとする。

貯留設備の貯留タンクは、T B P 等の錯体の急激な分解反応の検知を起点として約2時間にわたって放射性物質を含む気体を貯留できる容量として約 11 m^3 を有するものとする。

\blacksquare については商業機密の観点から公開できません。

viii. 電源設備

電源設備は、1系列当たり精製建屋で最小約120kVA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ものとする。

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50kVA

(5) 操作条件

プルトニウム濃縮缶への供給の停止において操作を要するものは、緊急停止系による移送停止操作である。プルトニウム濃縮缶の加熱の停止において操作を要するものは、プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作である。

緊急停止系による核燃料物質の移送停止操作は、TBP等の錯体の急激な分解反応の検知から1分で操作を完了できるものとする。

プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作は、プルトニウム濃縮缶において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発生の検知から25分後までに作業を完了できるものとする。

貯留設備による放射性物質の貯留において操作を要するものは、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貯留タンクへ導出した後に、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

である。

本操作は、中央制御室から行う操作で、貯留タンク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8分で完了するものとする。

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図及び第10.1.1-6図に示す。

(6) 放出量評価に関連する機器条件及び操作条件の具体的な展開

T B P等の錯体の急激な分解反応によって、プルトニウム濃縮缶から塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）内の廃ガスポットまでの廃ガスは、セルへ放出され、セル排気系から大気中へ放出される。一方、T B P等の錯体の急激な分解反応に伴い気相中に移行した放射性物質は、プルトニウム濃縮缶に供給される空気、プルトニウム濃縮缶の加熱に伴う溶液の沸騰で発生した水蒸気及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の系統内の空気により貯留タンクに導かれ、貯留タンクで貯留されるため、貯留タンク内の圧力が規定の圧力である0.7MP aに達するまでの期間においては大気中への放射性物質の放出は生じない。

貯留タンクへの導出が完了し、排気経路を塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）に切り替えた以降は、プルトニウム濃縮缶の気相部に残留している放射性物質が塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）において除染されたうえで外部に放出される。

有効性評価における大気中への放射性物質の放出量は、プルトニウム濃縮缶から廃ガスポットまでの廃ガス及びプルトニウム濃縮缶が保有する放射性物質質量に対して、T B P等の錯体の急激な分解反応により影響を受ける割合、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低減割合を乗じて算出する。

セシウム-137への換算係数は、 I A E A - T E C D O C - 1162に示される、地表沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく及び再浮遊した放射性物質の吸入摂取による内部被ばくに係る実効線量への換算係数を用いて、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】

- i. 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可能性がある放射性物質の放出量評価
- (i) 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の廃ガス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。
 - (ii) 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 $45,000\text{MW d} / \text{t} \cdot U_{P_r}$ 、照射前燃料濃縮度 $4.5\text{wt}\%$ 、比出力 $38\text{MW} / \text{t} \cdot U_{P_r}$ 、冷却期間15年を基に算出した値とする。
 - (iii) 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。
 - (iv) 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。
 - (v) セルへ放出される可能性がある放射性エアロゾルに対する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 とし、(iv)と合わせて除染係数は 10^4 とする。
 - (vi) 肺に吸収され得るような浮遊性の微粒子状の放射性物質の割合は1

とする。

ii. T B P等の錯体の急激な分解反応に伴う放射性物質の放出量評価

- (i) プルトニウム濃縮缶を対象に大気中への放射性物質の放出量を評価する。
- (ii) プルトニウム濃縮缶が内包する放射性物質の濃度は、1日当たり処理する使用済燃料の平均燃焼度 $45,000\text{MW d} / \text{t} \cdot U_{PR}$ 、照射前燃料濃縮度 $4.5\text{wt} \%$ 、比出力 $38\text{MW} / \text{t} \cdot U_{PR}$ 、冷却期間15年を基に、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度が沸点となるまで過濃縮されたプルトニウム溶液から算出した値とする。
- (iii) プルトニウム濃縮缶が保有する放射性物質量は、(ii)において算出した放射性物質の濃度に機器が内包する溶液の体積を乗じて算出する。
- (iv) T B P等の錯体の急激な分解反応の発生後、供給液の供給は自動又は手動にて速やかに停止するため、1分間T B P等の錯体の急激な分解反応が継続することによる放射性物質の放出量を加味して評価する。
- (v) プルトニウム濃縮缶が保有する放射性物質量のうち、T B P等の錯体の急激な分解反応により影響を受ける割合は1とする。
- (vi) プルトニウム濃縮缶内のT B P量は、100% T B Pの水への溶解度を基に算出した30% T B Pの水への溶解度、濃縮倍率、T B Pの気相への留出率、プルトニウム濃縮缶の液量より算出し約208 gとする。また、1分間T B P等の錯体の急激な分解反応が再発する際に供給されるT B P量は、100% T B Pの水への溶解度を基に算出した30% T B Pの水への溶解度及び1分間の供給量より算出し約1 gとする。
- (vii) T B P等の錯体の急激な分解反応により発生する熱量は $1,400\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{T B P}$ とする。
- (viii) T B P等の錯体の急激な分解反応発生時における放射性物質の気相

中への移行率は、爆発事象を想定した実験結果を整理した式のうち最も厳しい結果を与える upper bound とされる計算式から算出した値とし、以下の通りとする。

- ・プルトニウム濃縮缶内の過濃縮溶液：約 4×10^{-3}

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

また、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分間連続供給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0.35MPa 未満における値とし、以下の通りとする。

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

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

【補足説明資料 10-7】

- (ix) 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。
- (x) 塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）から放出される放射性エアロゾルに対する塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタは2段で、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタの放射性エアロゾルの除染係数を1段目は 10^3 、2段目は 10^2 の合計 10^5 とし、(ix)と合わせて除染係数は 10^6 とする。

(xi) 肺に吸収され得るような浮遊性の微粒子状の放射性物質の割合は1とする。

(xii) 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及び一般圧縮空気によって機器外に放射性物質が移動するとして求めた割合である約4%とする。

(7) 判断基準

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有効性評価の判断基準は以下のとおりとする。プルトニウム濃縮缶におけるプルトニウム濃度、TBP量の推移及び圧力の推移を第10.1.2-2図に示す。

a. プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止又は加熱設備の停止

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へ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. 大気中への放射性物質の放出量

TBP等の錯体の急激な分解反応の再発を防止し、貯留タンクでの貯留が完了したうえで、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

(1) 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加熱設備の停止

T B P 等の錯体の急激な分解反応を検知した場合は、自動的に又は手動によりプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンを T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後 1 分以内に停止することができる。

プルトニウム濃縮缶を加熱する蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作は、T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後 2 名にて 25 分以内で完了するため、加熱を停止することができる。

プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンを T B P 等の錯体の急激な分解反応発生後 1 分以内に停止することができるため、T B P 等の錯体の急激な分解反応の再発は速やかに防止できる。

b. 大気中への放射性物質の放出量

貯留設備による放射性物質の貯留後に、塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の起動によって、プルトニウム濃縮缶内の気相部に残存している可能性のある放射性物質が放出された場合の放出量は、100 T B q を十分に下回る。

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。T B P 等の錯体の急激な分解反応で発生した放射性物質については、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は、実行可能な限り低くなっており、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} T B q となる。

放射性物質が大気中に放出されるまでの過程を第 10.1.2-3 図に、放出量の推移を第 10.1.2-4 図に示す。

(2) 不確かさの影響評価

a. 事象，事故条件及び機器条件の不確かさの影響

【補足説明資料10－8】

(a) 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が保有する放射性物質質量

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

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

ii. T B P等の錯体の急激な分解反応が発生後の供給液の供給時間

T B P等の錯体の急激な分解反応を検知後，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。

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

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生するプルトニウム濃度は800 g / Lであり，プルトニウム溶液の粘性は高いと考えられることから，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，800 g / Lのプルトニウム溶液と供給液の混合液が加熱されることによ

る分解反応の発生についても不確かさが存在する。それぞれ、分解反応が発生することを前提とした値であることから、体系に起因した不確かさとして1桁未満の下振れを有する。

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

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

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

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

v. 放出経路構造物による放射性物質の除染係数

プルトニウム濃縮缶から塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機までの経路上のプルトニウム精製設備及び塔槽類廃ガス処理系（プ

ルトニウム系)の配管は、曲がり部が多く、数十m以上の長い配管及び複数の機器で構成されることから、放射性物質を大気中へ押し出すエネルギーの減衰や放射性エアロゾルの沈着による除去が期待できる。

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

b. 操作条件の不確かさの影響

(a) 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)への切替え操作については、切替え操作が想定よりも時間を要した場合においても、貯留タンク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、貯留タンク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、切替え操作に想定よりも時間を要した場合には、貯留タンク内の圧力が空気圧縮機の吐出圧に達することで、貯留タンク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、塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)を起動すること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より放射性エアロゾルを除去した後、主排気筒から大気中へ放出することから、判断基準を満足することには変わりはない。

万一、放射性物質の全量が廃ガスポットからセルへ導出された場合には、放射性エアロゾルは建屋換気設備に設置されている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る。廃ガスポッ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よりも上流にあること

から、セル排気フィルタユニットによって除染された放射性物質は、設定値に対して3桁未満の上振れを有するが、判断基準を満足することには変わりはない。

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生検知後に実施する加熱蒸気の供給停止操作に想定よりも時間を要した場合、プルトニウム濃縮缶の温度が高い状態が継続することとなるが、T B P等を含む供給液の供給は停止しており、T B P等の錯体の急激な分解反応の再発は防止できていることから、判断基準を満足することには変わりはない。

(b) 作業環境

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

10.1.2.3 同時発生又は連鎖

(1) 同時発生

T B P等の錯体の急激な分解反応については、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、その具体的な発生条件は同種の重大事故及び異種の重大事故の起因となる安全機能の喪失に当たらないことから、重大事故が同時に発生することは想定されない。

(2) 連鎖

プルトニウム濃縮缶においてT B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合には、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、加熱蒸気の供給を停止する。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止は、速やかに自動又は手動にて実施される。また、T B P等の錯体の急激な分解反応の検知後、現場にて蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止により、加熱蒸気の供給を停止する。

以上の拡大防止対策を考慮した時のプルトニウム濃縮液等の状態及びプルトニウム濃縮液等の状態によって生じる事故時環境を明らかにし、プルトニウム濃縮液等の状態によって新たに連鎖して発生する重大事故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の有無を明らかにする。

- a. 起因となるT B P等の錯体の急激な分解反応の事象進展，事故規模の分析

拡大防止対策を考慮した時のプルトニウム濃縮液等の状態及びプルトニウム濃縮液等の状態によって生じる事故時環境は以下のとおりである。

(a) プルトニウム濃縮液等の状態

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を想定するプルトニウム濃縮缶に内包されている溶液は、プルトニウム濃縮液 (800 g P u / L) で、硝酸濃度は最大でも約 8 N である。プルトニウム濃縮缶へ供給される供給液における硝酸濃度及びプルトニウム濃度は平常運転時と変わらないが、プルトニウム溶液中に T B P 等が多量に溶存している。

T B P 等の錯体の急激な分解反応は、プルトニウム濃縮缶に T B P 等が多量に混入したことで T B P 等の錯体が形成され、温度の制御機能が喪失することで、プルトニウム濃縮液の温度が T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超えることにより発生する事象である。T B P 等の錯体の急激な分解反応により T B P 等は全量消費されることから、これ以上の反応はないが、プルトニウム濃縮缶への供給液には溶存している T B P 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、この分解反応は再度継続的に発生することが想定される。この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及び発熱反応であるためエネルギーが発生する。

T B P 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、僅かではあるが硝酸量が低下する。T B P 等の錯体の急激な分解反応については、T B P に 14N の硝酸を作用させた場合に、T B P 1 m o l に対して硝酸 14.4 m o l が消費されるという知見があることから、T B P 208 g が分解反応をした際に消費される硝酸量は約 12 m o l となる。プルトニウム濃縮缶内の硝酸量を考慮すると、硝酸の減少量による影響はきわ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ため、T B P等の錯体の急激な分解反応によるプルトニウム濃縮液への影響は小さい。

(b) 環境条件

i. 温度

プルトニウム濃縮缶内の温度は、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生直前ではT B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度程度であり、プルトニウム濃縮缶の加熱設備の温度はT B P等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を超える温度とする。拡大防止対策である加熱蒸気の停止が実施されるまではプルトニウム濃縮缶への加熱が継続するため、T B P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。

プルトニウム濃縮缶気相部は、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生により、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、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生する前の温度に戻る。

その後、供給液の供給が継続している場合、T B P等の錯体の急激な分解反応が継続的に発生していても、T B P等の量が少ないため分解反応により発生するエネルギーは小さく、気相部の温度はほぼ一定であり、急激に上昇することはない。

ii. 圧力

プルトニウム濃縮缶内の圧力は、T B P等の錯体の急激な分解反応の発生直前では平常運転時と同程度と想定する。

T B P等の錯体の急激な分解反応の発生により、プルトニウム濃縮缶気相部は瞬間的に約 840 k P a 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、T

B P等の錯体の急激な分解反応が発生する前の圧力に戻る。

その後、供給液の供給が継続している場合、T B P等の錯体の急激な分解反応が継続的に発生していても、T B P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、エネルギーは小さいため、気相部の圧力はほぼ一定であり、急激に上昇することはない。

iii. 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沸騰蒸気により多湿環境下となる。

iv. 放射線

プルトニウム濃縮缶内では、平常運転時よりもプルトニウム濃度が高いため、放射線量は平常運転時よりも高い。放射性物質は、T B P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）における放射線量も上昇する。

v. 物質（水素，蒸気，煤煙，放射性物質，その他）及びエネルギーの発生

プルトニウム濃縮液の濃度が平常運転時よりも高いため、平常運転時と比較すると水素発生量が増加する。

また、iii. に記載したとおり、プルトニウム濃縮液の蒸発濃縮運転により沸騰状態であるため、沸騰蒸気が発生する。

T B P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ーが発生する。

一方、T B P等の錯体の急激な分解反応が発生したとしても、プルトニウム濃縮缶の形状は維持でき、硝酸プルトニウム溶液として維持しているため、臨界の発生は想定されないことから、新たな放射性物質の生成はない。

有機溶媒として、*n*-ドデカンが水へ不溶であることからプルトニウム濃縮缶への供給液には含まれないため、考慮しない。

有機溶媒として、TBP等は水へ可溶であることから水相中への飽和濃度として溶存分がプルトニウム濃縮缶へ供給されるが、TBP等はTBP等の錯体の急激な分解反応により全量が反応し、分解してなくなることから、有機溶媒による火災が発生しないため、ばい煙が発生することはない。

vi. 落下・転倒による荷重

TBP等の錯体の急激な分解反応が発生したとしても、プルトニウム濃縮缶の材質の強度が有意に低下することはない、プルトニウム濃縮缶が転倒・落下することはない。

vii. 腐食環境

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

b. 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

(a) 臨界事故

「a. 起因となるTBP等の錯体の急激な分解反応の事象進展，事故規模の分析」に記載したとおり、プルトニウム濃縮液は約800g Pu/Lと平常運転時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、プルトニウム濃縮液は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。また、プルトニウム濃縮缶の材質はジルコニウムであり、想定される温度、圧力、腐食環境等の環境条件によってプルトニウム濃縮缶のバウンダリが喪失することはない、変形もしない。

以上より、臨界事故が発生することはない。

(b) 冷却機能の喪失による蒸発乾固

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。

「a. 起因となるTBP等の錯体の急激な分解反応の事象進展，事故規模の分析」に記載したとおり，プルトニウム濃縮液は約 800 g Pu/Lと平常運転時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，加熱蒸気の供給停止によりプルトニウム濃縮液の温度は沸点を下回る。

以上より，冷却機能の喪失による蒸発乾固が発生することはない。

(c) 放射線分解により発生する水素による爆発

「a. 起因となるTBP等の錯体の急激な分解反応の事象進展，事故規模の分析」に記載したとおり，プルトニウム濃縮液は約 800 g Pu/Lと平常運転時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は，安全圧縮空気供給系から圧縮空気が供給されており，安全圧縮空気供給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，プルトニウム濃縮缶内の水素濃度はドライ換算約 0.7 vol %であり，ドライ換算 4 vol %を超えることはない。

また，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圧力が圧縮空気の供給圧力を瞬間的に上回るが速やかに復旧する。この圧力が瞬間的に上昇した際，プルトニウム濃縮缶内の水素も塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）へ掃気され，その後発生する水素に対しては，復旧した圧縮空気により掃気される。

以上より，放射線分解により発生する水素による爆発が発生することはない。

ない。

(d) 有機溶媒等による火災への連鎖

「a. 起因となるTBP等の錯体の急激な分解反応の事象進展，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にn-ドデカンはなく，TBP等の錯体の急激な分解反応によりTBP等は全量が消費されることから，有機溶媒等が残っていないため，有機溶媒等による火災の発生は想定されない。

(e) その他の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，配管の材質はジルコニウム及び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，配管等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。

c. 重大事故が発生したプルトニウム濃縮缶以外への影響

プルトニウム濃縮缶に接続する機器，配管の材質はジルコニウム及び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，配管等のバウンダリが喪失することはないことから，温度，圧力，腐食環境等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，圧力，湿度，放射線及び物質（水素，蒸気，煤煙，放射性物質，その他）及びエネルギーの発生は，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ものの，TBP等の錯体の急激な分解反応により発生するエネルギーが0.3MJ程度であり，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ことから，温度，圧力，湿度，放射線及び物質（水素，蒸気，煤煙，放射性物質，その他）及びエネルギーの

発生といった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た環境条件の貯槽等へ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

安全圧縮空気系のセル内配管の材質はジルコニウム及びステンレス鋼であり、許容圧力は数MPaである。

TBP等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の気相部の圧力は、TBP等の錯体の急激な分解反応による分解生成物及び発生するエネルギーにより瞬間的に最大840kPa程度上昇するが、速やかに塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）へ加圧された気体は移行し、圧力は低下する。

この圧力上昇により安全圧縮空気系のセル内配管は損傷することはない。瞬間的な圧力上昇により配管内の圧縮空気が押し込まれ水素掃気用空気の供給はできなくなるが、速やかに塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）へ加圧された気体は移行し、圧力は低下することから、水素掃気用圧縮空気の供給は速やかに復旧するため、安全圧縮空気系配管を通じて圧力影響が波及することはない。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、貯槽等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ーは0.3MJ程度であり、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、貯槽等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。また、機器内の溶液の性状が変化するような温度変化も生じ

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、T B P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50°C程度、差圧の上昇は4 k P a程度であるため、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。T B P等の錯体の急激な分解反応による圧力上昇により、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が、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%として高性能粒子フィルタに付着することを想定した場合でも、水ミスト量は300g程度である。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、高性能粒子フィルタのリークが始まる水ミスト量を1300gと評価しているため、T B P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機能の低下や喪失はない。

以上より、T B P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い、その他の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0.8m³程度であり、廃ガスが有するエネルギー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、

T B P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、放射性物質は、プルトニウム濃縮液に含まれる放射性物質が廃ガススポットより導出先セルへ移行するため、導出先セル及び導出先セル以降の排気経路では上昇するが、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、その他の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T B P等の錯体の急激な分解反応について評価を実施し、上述のとおり、想定されるプルトニウム濃縮液の状態及び事故時環境において、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

T B P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T B P等の錯体の急激な分解反応が発生した場合でのプルトニウム濃縮缶への供給液の供給を停止する手段、プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給を停止する手段、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）を平常運転時の放出経路へ復旧する手段を整備しており、これらの対策について有効性評価を行った。

プルトニウム濃縮缶への供給液の供給は、T B P等の錯体の急激な分解反応を検知後、自動的に又は手動により速やかに停止することで、T B P等の錯体の急激な分解反応の再発を防止することができる。

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

放射性物質を塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタで除去し、貯留設備による貯留を講ずること及びセルへ導出された放射性物質をセル排気フィルタユニットの高性能粒子フィルタで除去することにより、大気中へ放出される放射性物質の放出量（セシウム-137換算）は、約 3×10^{-5} T B qであり、設定した貯留設備による放射性物質の貯留の評価に用いるパラメータの不確かさの幅を考慮しても、100 T B qを下回る。このため、有効性評価で示す大気中への放射性物質の放出量は妥当であると考えられ、大気中への異常な水準の放出を防止することができる。

評価条件の不確かさについて確認した結果、運転員等操作時間に与える影響及び評価項目となるパラメータに与える影響は無視できる又は小さいことを確認した。

以上より、「(5) 有効性評価の判断基準」を満足する。

10.2 T B P 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

T B P 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。

(1) 必要な要員の評価

T B P 等の錯体の急激な分解反応において、プルトニウム濃縮缶への供給液の供給停止後の液位監視、加熱停止及び温度の監視、貯留設備への放射性物質の貯留時の監視及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）を平常運転時の放出経路へ復旧させる操作に必要な要員は 12 名であり、18 名の実施組織要員で実施可能である。

(2) 必要な資源の評価

T B P 等の錯体の急激な分解反応は、動的機器の機能喪失及び人為的な過失の重畳を起因として発生することから、電源等については平常運転時と同様に使用可能である。

a. 電源

T B P 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 120 k V A に対し最大でも貯留設備の空気圧縮機の約 50 k V A である。また、空気圧縮機の起動時を考慮しても約 80 k V A であり最小余裕に対して余裕があることから、必要電源容量を維持できる。

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

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備	可搬型重大事故等対処設備	計装設備
a.	T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生検知及び重大事故等の判断	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム濃縮缶圧力計における圧力高高警報の発報，プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報及びプルトニウム濃縮缶液相部温度高警報の3つのうち2つ以上の警報の発報により，T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を判断し，重大事故等対策として以下の b. 及び d. に移行する。 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室の監視制御盤 ・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.	緊急停止系による供給液の供給停止	<ul style="list-style-type: none"> ・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供給槽ゲデオンを停止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急停止系 ・緊急停止操作スイッチ
c.	供給液の供給停止の成功判断	<ul style="list-style-type: none"> ・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が停止したことを判断する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室の監視制御盤 ・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
d.	プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止	<ul style="list-style-type: none"> 蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止操作を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> 蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁 	—	—
e.	プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止の成功判断	<ul style="list-style-type: none"> プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計により, 加熱蒸気温度がT B P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。 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室の監視制御盤 プルトニウム濃縮缶加熱蒸気温度計

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

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備	可搬型重大事故等 対処設備	計装設備
a.	T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生検知及び重大事故等の判断	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム濃縮缶圧力計における圧力高高警報の発報，プルトニウム濃縮缶気相部温度高警報及びプルトニウム濃縮缶液相部温度高警報の 3 つのうち 2 つ以上の警報の発報により，T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を判断し，重大事故等対策として以下の b. に移行する。 	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・中央制御室の監視制御盤 ・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

(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
b.	貯留タンクへの導出状況の確認	<ul style="list-style-type: none"> 貯留設備の圧力計及び流量計により，放射性物質を含む気体が貯留タンク内へ導出されていることを確認する。 <hr/> <ul style="list-style-type: none"> 貯留設備の圧力計及び流量計を監視する。 	<ul style="list-style-type: none"> プルトニウム精製設備の配管・弁 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 貯留設備の貯留タンク 貯留設備の主配管・弁 	—	<ul style="list-style-type: none"> 中央制御室の監視制御盤 中央制御室の安全系監視制御盤 貯留設備の圧力計 貯留設備の流量計

(つづき)

	判断及び操作	手順	重大事故等対処施設		
			常設重大事故等対処設備	可搬型重大事故等 対処設備	計装設備
c.	貯留タンクへの導出完了判断及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による排気再開	・貯留タンク内の圧力が規定の圧力に達した場合に、導出の完了と判断する。	—	—	・中央制御室の監視制御盤 ・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
c.	貯留タンクへの導出完了判断及び塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）による排気再開	<ul style="list-style-type: none"> ・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁の開操作を行い，塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機を再起動することで通常時の放出経路に復旧し，管理された状態において放出する。 ・貯留設備の隔離弁を閉止し，空気圧縮機を停止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プルトニウム精製設備の配管・弁 ・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）の高性能粒子フィルタ ・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の排風機 ・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の廃ガスポット ・貯留設備の主配管・弁 ・貯留設備の隔離弁 ・貯留設備の貯留タンク ・精製建屋換気設備のダクト・ダンパ ・精製建屋換気設備のグローブボックス・セル排風機 ・精製建屋換気設備の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のダクト・ダンパ ・主排気筒 	—	<ul style="list-style-type: none"> ・貯留設備の圧力計

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		プルトニウム濃縮缶への供給の停止 重大事故等対処設備	加熱蒸気の供給停止 重大事故等対処設備	貯留設備による放射性物質の貯留 重大事故等対処設備	放出低減対策 重大事故等対処設備
	設備名称	構成する機器				
精製建屋 TBP爆発	計測制御系統施設	緊急停止操作スイッチ(精製施設用) (電路含む)	○	×	×	×
		監視制御盤(精製施設用) (電路含む)	○	○	○	×
		安全系監視制御盤(精製建屋)	×	○	○	×
		緊急停止系(精製建屋) (工程制御盤、電路含む)	○	×	×	×
		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	○	×	×	×
	(計測制御系統施設)	貯留設備の圧力計	×	×	○	×
		貯留設備の流量計	×	×	○	×
	電気設備	154kV母線	○	○	○	○
		ケーブル及び電線路(154kV)	○	○	○	○
		受電変圧器	○	○	○	○
		非常用電源建屋の6.9kV非常用主母線	×	○	○	○
		ユーティリティ建屋の6.9kV運転予備用主母線	○	○	○	○
		精製建屋の6.9kV運転予備用母線	○	○	○	○
		制御建屋の6.9kV非常用母線	×	○	○	○
		前処理建屋の6.9kV非常用母線	×	×	○	×
		制御建屋の6.9kV運転予備用母線	○	○	○	○
		ケーブル及び電線路(6.9kV)	○	○	○	○
		非常用電源建屋の460V非常用母線	×	×	○	×
		精製建屋の460V非常用母線	×	○	○	○
		前処理建屋の460V非常用母線	×	×	○	×
		精製建屋の460V運転予備用母線	○	○	○	○
		制御建屋の460V非常用母線	×	×	○	×
		制御建屋の460V運転予備用母線	○	○	○	×
		ユーティリティ建屋の460V運転予備用母線	○	×	○	×
		精製建屋の460V非常用コントロールセンタ	×	○	○	○
		精製建屋の460V運転予備用コントロールセンタ	○	○	○	○
		制御建屋の460V非常用コントロールセンタ	×	×	○	×
		制御建屋の460V運転予備用コントロールセンタ	○	○	○	×
		ユーティリティ建屋の460V運転予備用コントロールセンタ	○	×	○	×
		ケーブル及び電線路(460V)	○	○	○	○
		精製建屋の非常用無停電電源装置	×	○	×	×
		精製建屋の無停電電源装置	○	○	○	○
		制御建屋の非常用無停電電源装置	×	×	○	×
		制御建屋の無停電電源装置	○	○	○	×
		ユーティリティ建屋の無停電電源装置	○	×	○	×
		精製建屋の非常用直流電源設備	×	○	○	○
		制御建屋の非常用直流電源設備	×	×	○	×
	制御建屋の直流電源設備	○	○	○	×	
	ユーティリティ建屋の直流電源設備	○	×	○	×	
	(精製建屋塔槽類廃ガス処理設備)	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	×	×	○	×
		貯留設備の貯留タンク	×	×	○	○
		貯留設備主配管・弁[流路]	×	×	○	○
	精製建屋塔槽類廃ガス処理設備	高性能粒子フィルタ	×	×	○	○
		排風機	×	×	○	○
		隔離弁	×	×	○	○
		圧力計	×	×	○	×
		廃ガスボット	×	×	○	×
	プルトニウム精製設備	精製建屋塔槽類廃ガス処理設備(プルトニウム系)主配管・弁[流路]	×	×	○	○
		配管・弁[流路]	○	○	○	○
	主排気筒	プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン	○	×	×	×
		蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁	×	○	×	×
	一般冷却水系	主排気筒	×	×	×	○
		一般冷却水系	×	×	○	×
一般圧縮空気系	一般圧縮空気系	○	×	○	×	
	安全圧縮空気系	×	×	○	×	
低レベル廃液処理設備	水素掃気用安全圧縮空気系主配管・弁[流路]	×	×	○	×	
	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]	×	×	×	○	
排気モニタリング設備	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	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	×	×	○	○	
放射能観測設備	放射能観測車	×	×	○	○	
気象観測設備	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(廃ガスポットからセルに導出される廃ガス)

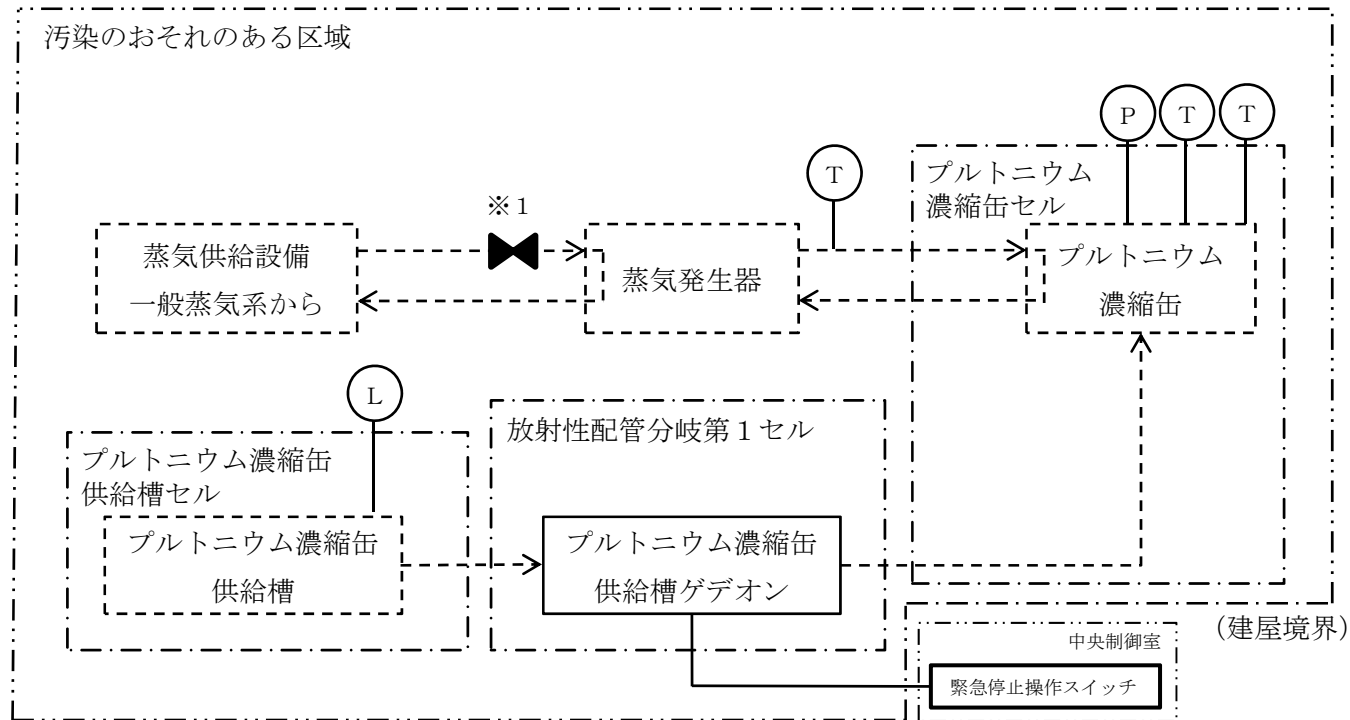
核種	放出量(Bq)
Pu-238	6×10^3
Pu-239	6×10^2
Pu-240	9×10^2
Pu-241	2×10^5

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(プルトニウム濃縮缶に残留し、塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)から放出される廃ガス)

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

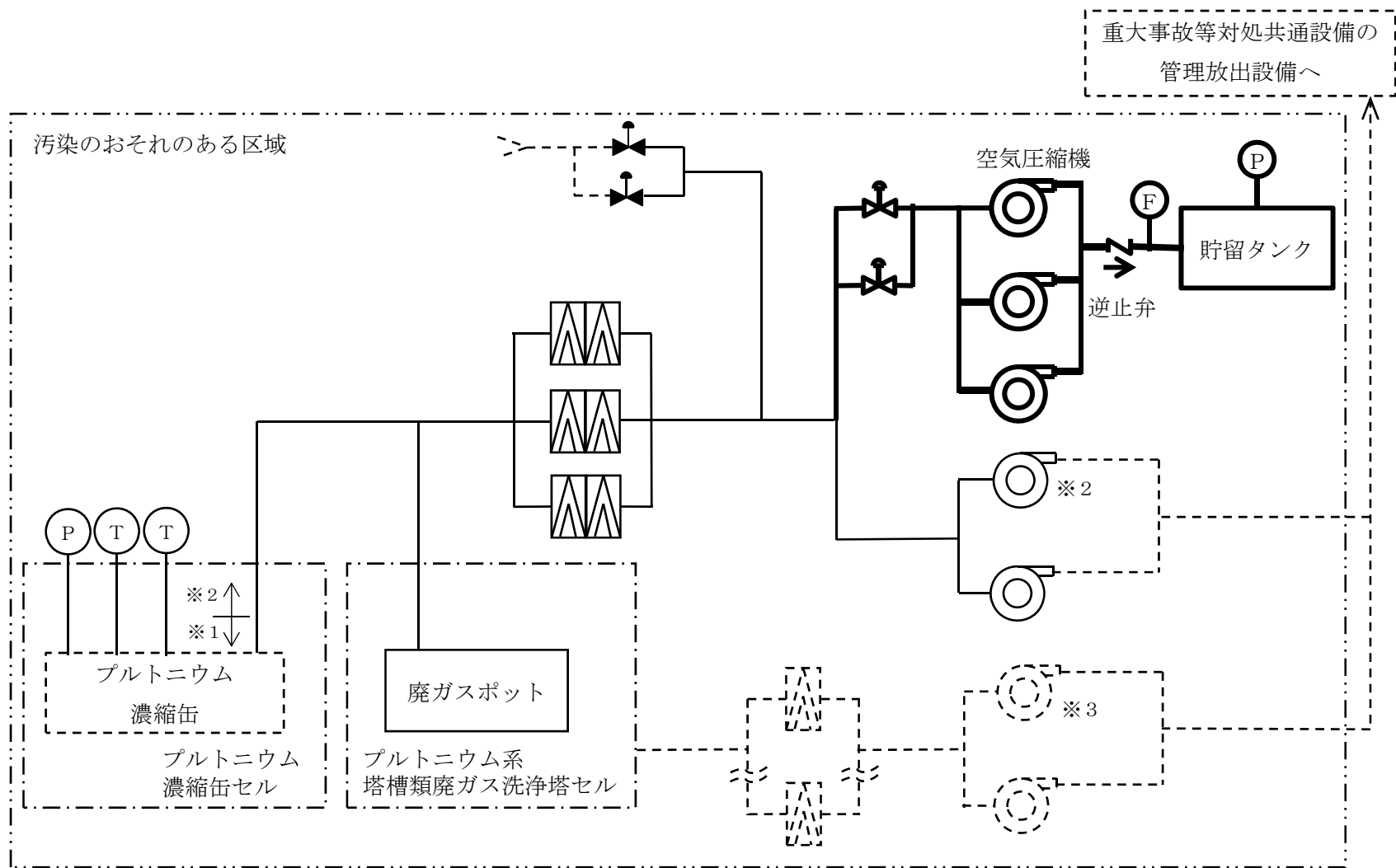
第10.1.2-3表 「精製施設のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮
缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」時の放射性物質
の放出量（Cs-137換算値）

評価対象	放出量(TBq)
Cs-137換算値	3×10^{-5}



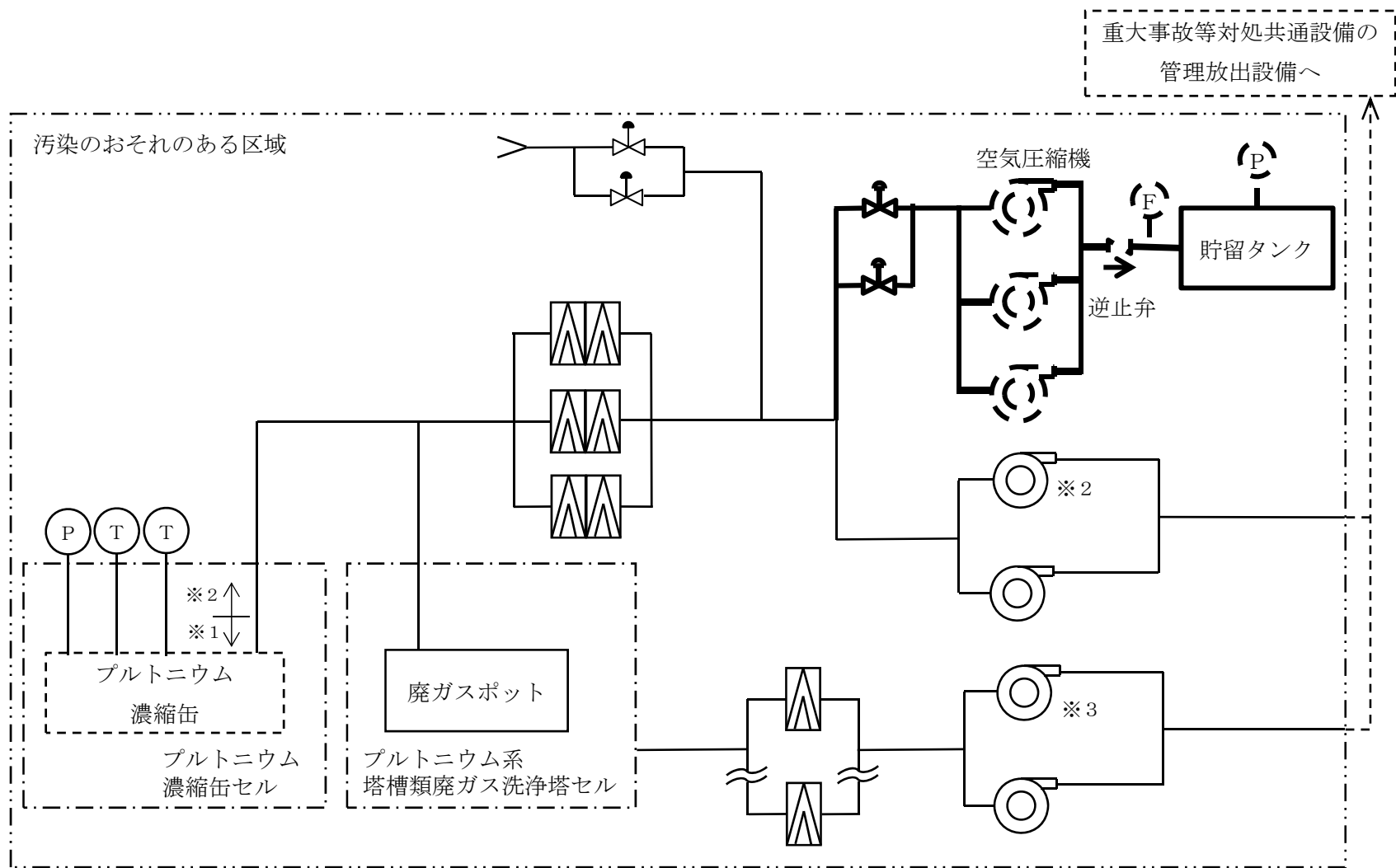
※1 精製施設のプルトニウム精製設備

第10 - 1 図 T B P 等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
(プルトニウム濃縮缶への供給停止・加熱蒸気の供給停止)



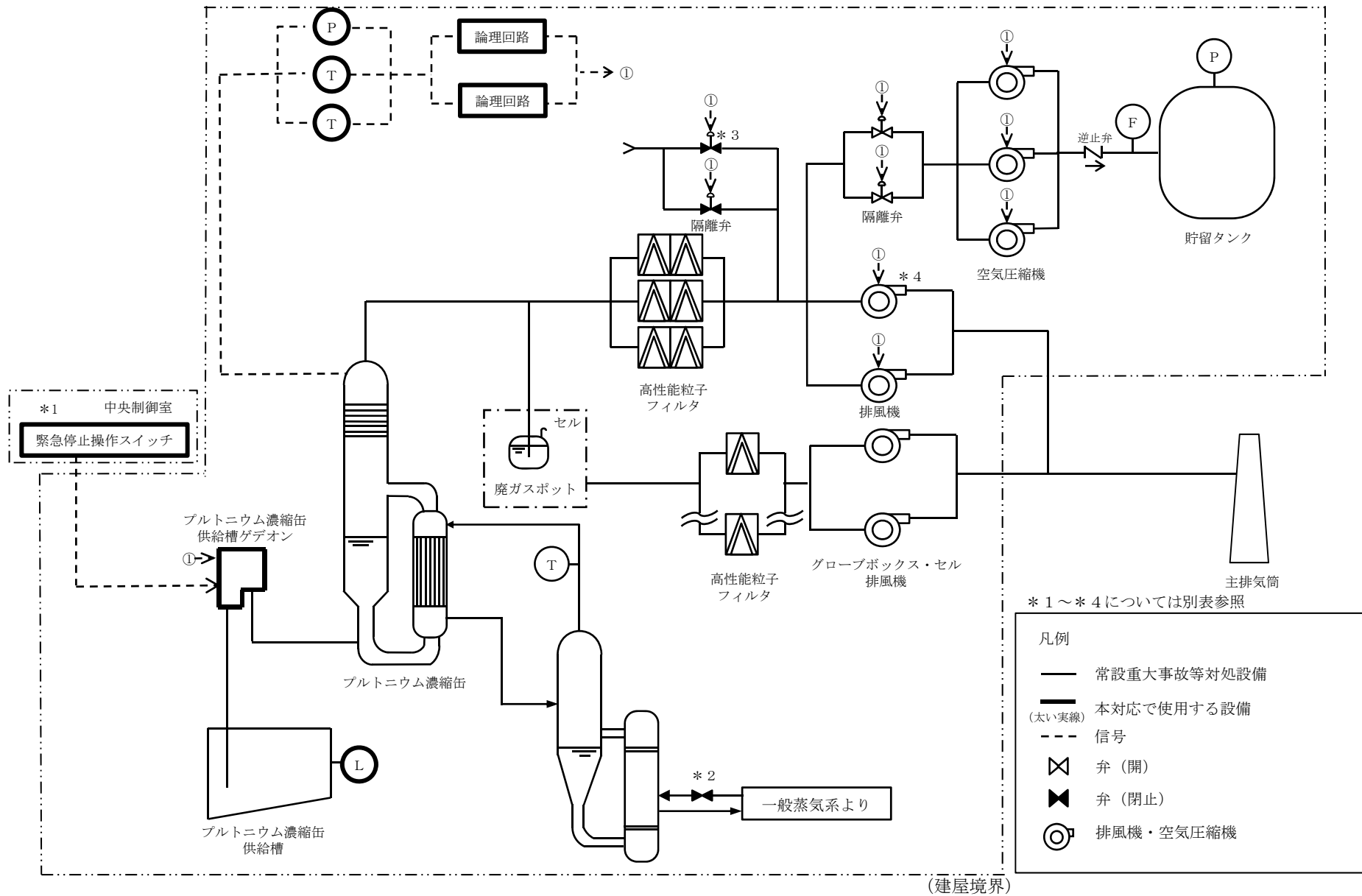
- ※1 精製施設のプルトニウム精製設備
- ※2 気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）
- ※3 気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の精製建屋換気設備の精製建屋排気系

第10 - 2 図 (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
(貯留設備を用いた放射性物質の貯留)

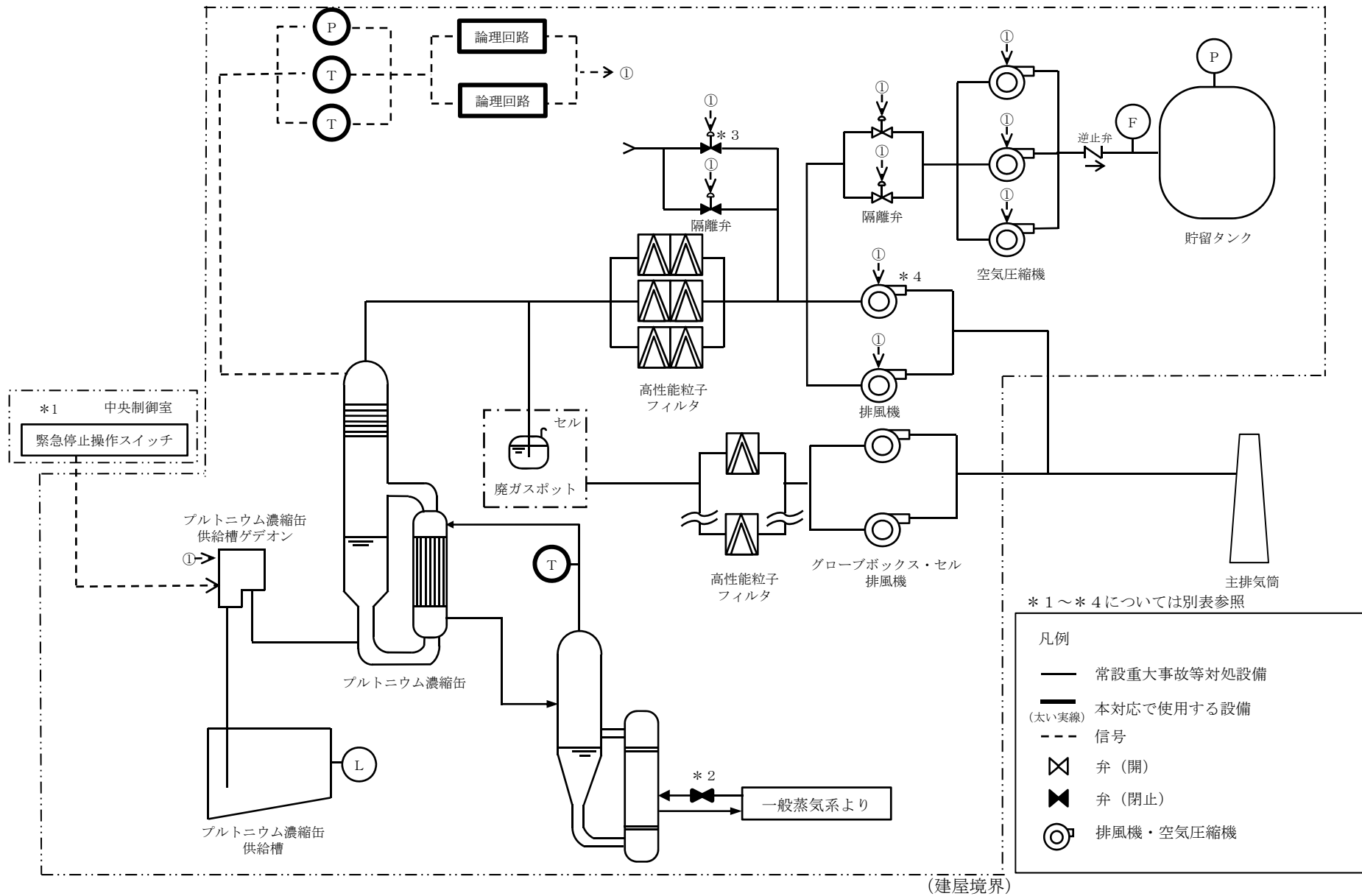


- ※1 精製施設のプルトニウム精製設備
- ※2 気体廃棄物の廃棄施設の塔槽類廃ガス処理設備の精製建屋塔槽類廃ガス処理設備の塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）
- ※3 気体廃棄物の廃棄施設の換気設備の精製建屋換気設備の精製建屋排気系

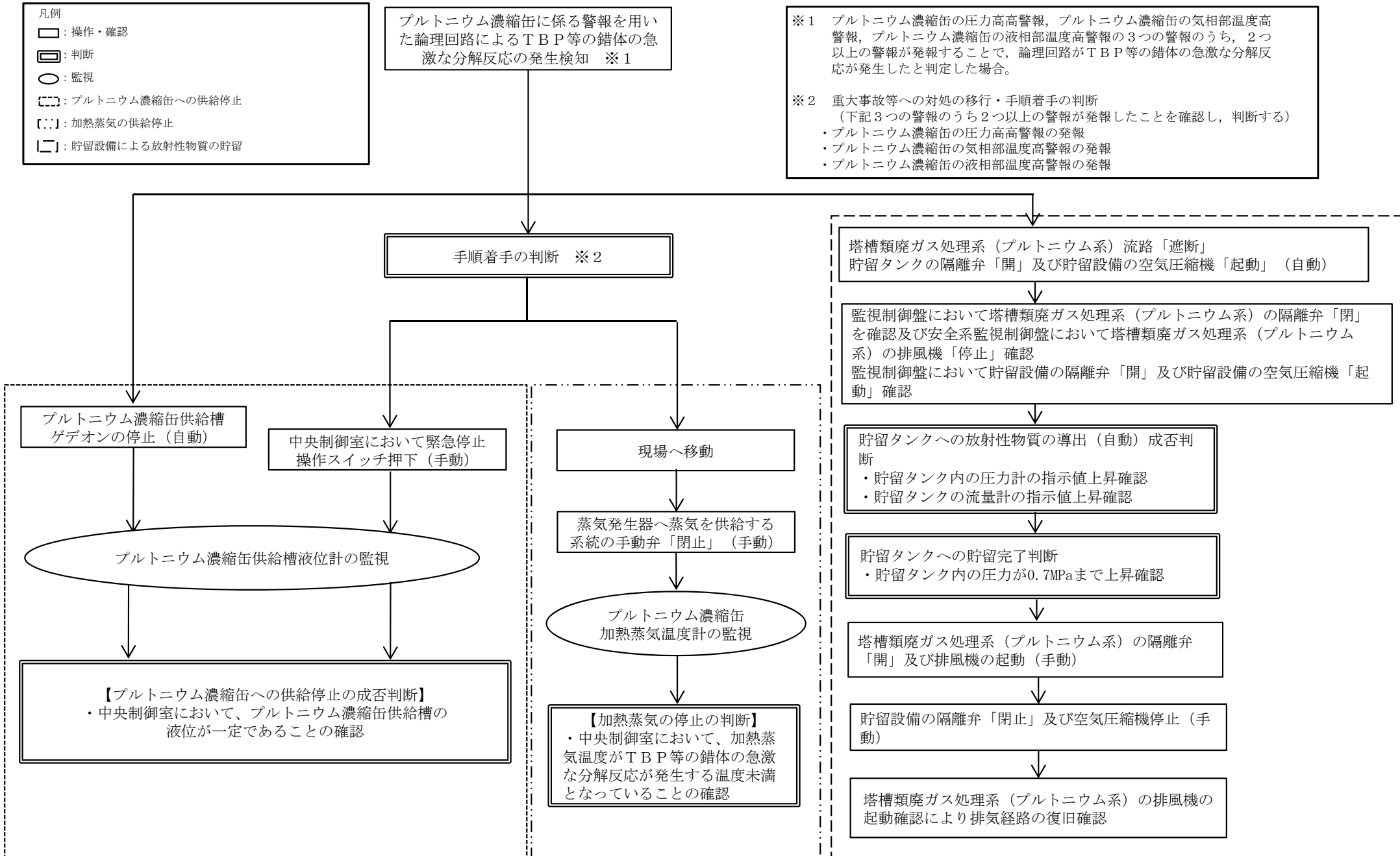
第10 - 2 図 (2) TBP等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
(放出低減対策)



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)



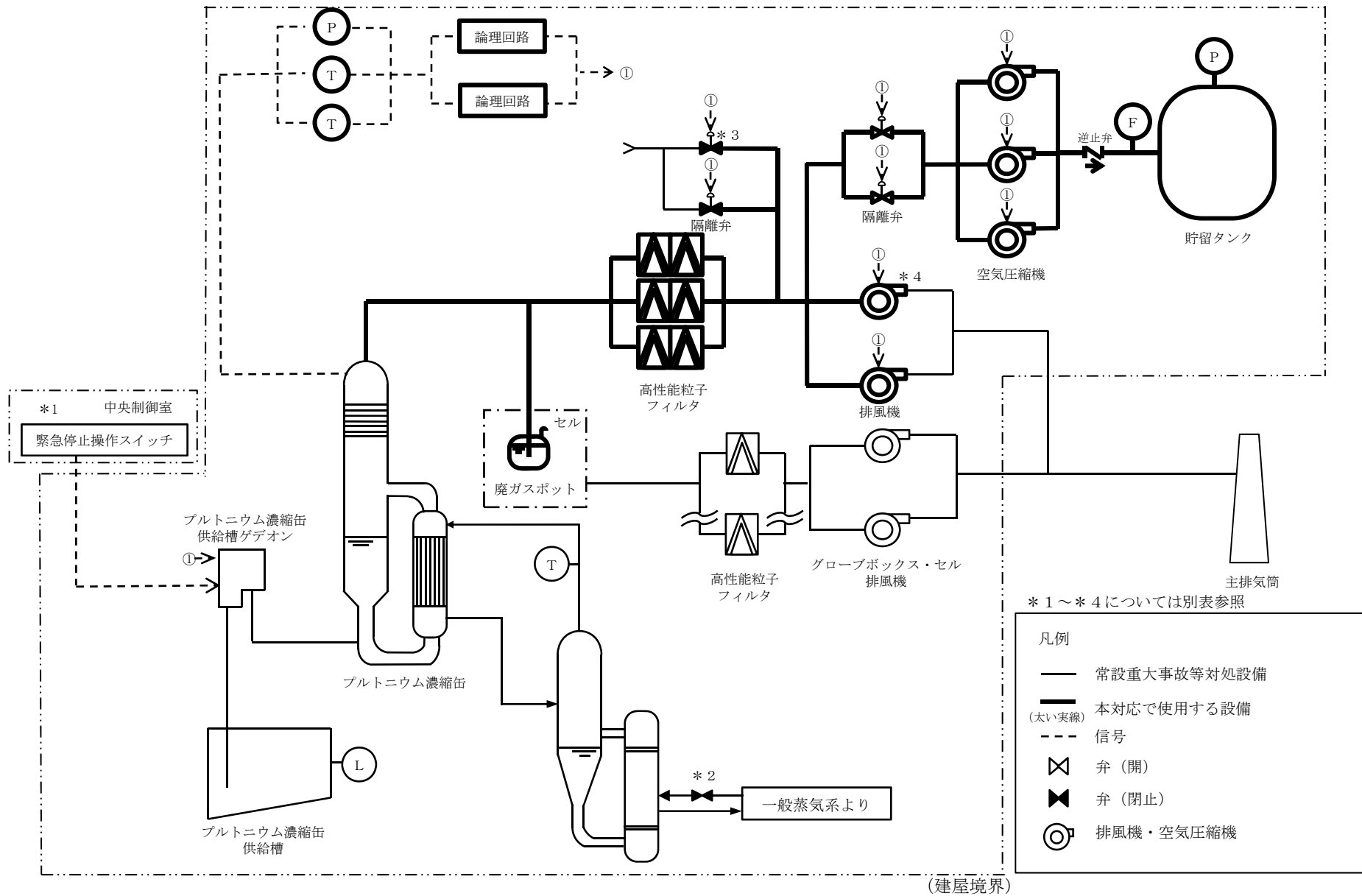
第10.1.1-1図(2) TBP等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
(プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止)



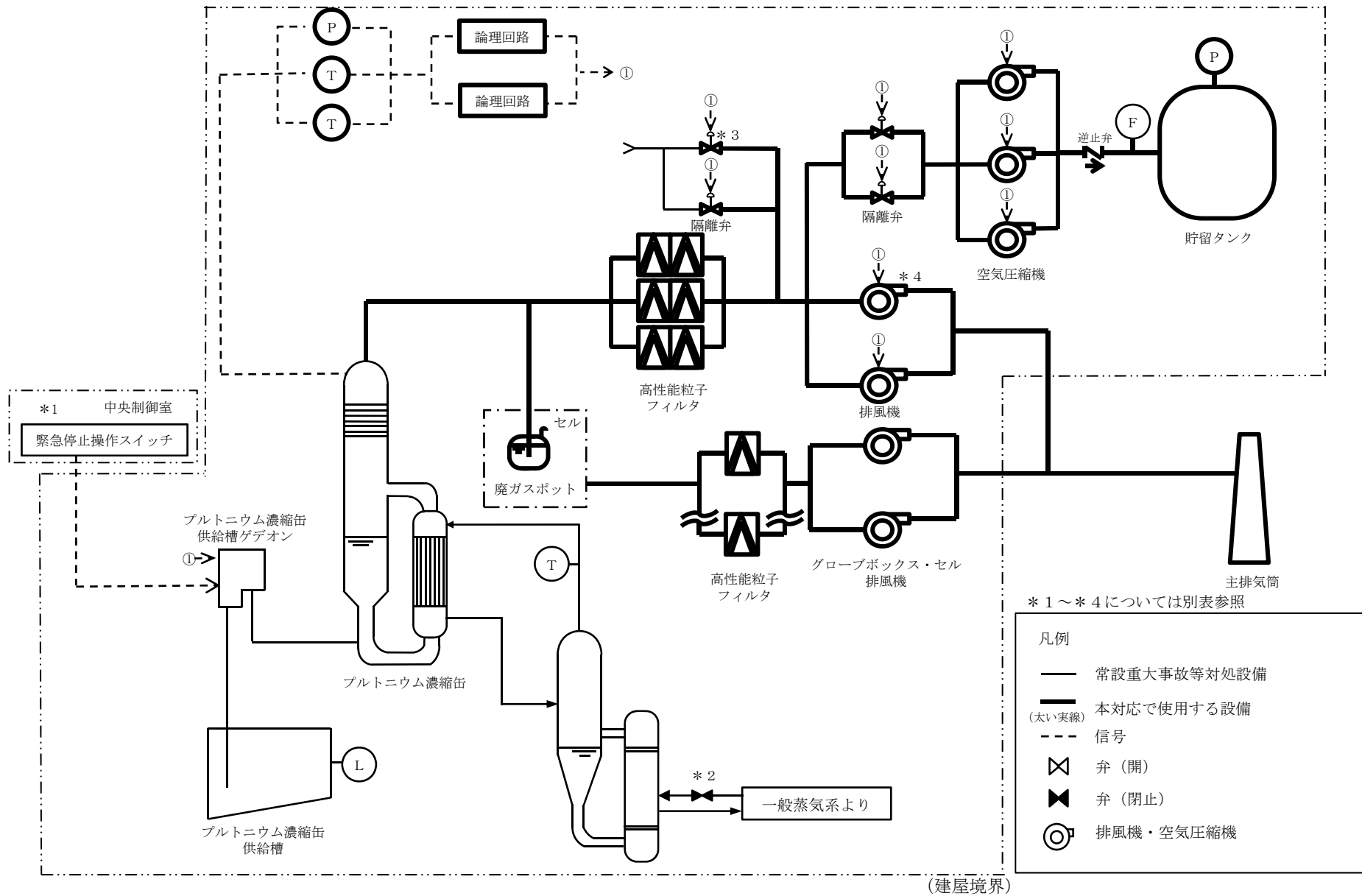
第10.1.1-2 図 「精製建屋におけるプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のTBP等の錯体の急激な分解反応」 の手順の概要

対策	作業	要員数	経過時間 (分)												備考				
			0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00											
			▽事象発生																
拡大防止	発生検知	・プルトニウム濃縮缶の圧力高高警報, プルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報及びプルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報のうち2つが発報した場合にT B P等の錯体の急激な反応分解の発生を判断 統括当直長 (実施責任者)	1	0:01															
	供給液の供給停止	・緊急停止系の操作による供給液の供給停止 当直長 (実施組織要員)	1	0:01															
	液位監視	・プルトニウム濃縮缶供給槽液位の監視 A, B	2			0:20													
	加熱蒸気の供給停止	・蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁の閉止 C, D	2				0:05												
	温度監視	・加熱蒸気温度の監視 A, B	2					0:25											

第10.1.1-3図 「精製建屋のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のT B P等の錯体の分解反応」の拡大防止対策の作業と所要時間



第10.1.1-4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. - 5 図 TBP等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図 (放出低減対策)

対策	作業	要員数	経過時間 (分)												備考		
			0:10	0:20	0:30	0:40	0:50										
異常な水準の放出防止対策	貯留設備による放射性物質の貯留	・プルトニウム濃縮缶の圧力高高警報、プルトニウム濃縮缶の気相部温度高警報及びプルトニウム濃縮缶の液相部温度高警報のうち2つが発報した場合にT B P等の錯体の急激な反応分解の発生を判断	統括当直長 (実施責任者)	1	0:01												
	貯留状況確認	・貯留タンク内圧力及び流量の監視	E, F	2													
	放出経路構築	・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の隔離弁の操作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	A, B	2									0:03				
		・貯留タンクの隔離弁の操作及び貯留タンクの空気圧縮機の停止	A, B	2										0:05			

第10.1.1-6 図 「精製建屋のプルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶のT B P等の錯体の分解反応」
異常な水準の放出防止対策の作業と所要時間

別表 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操作対象機器リスト

供給液の供給停止

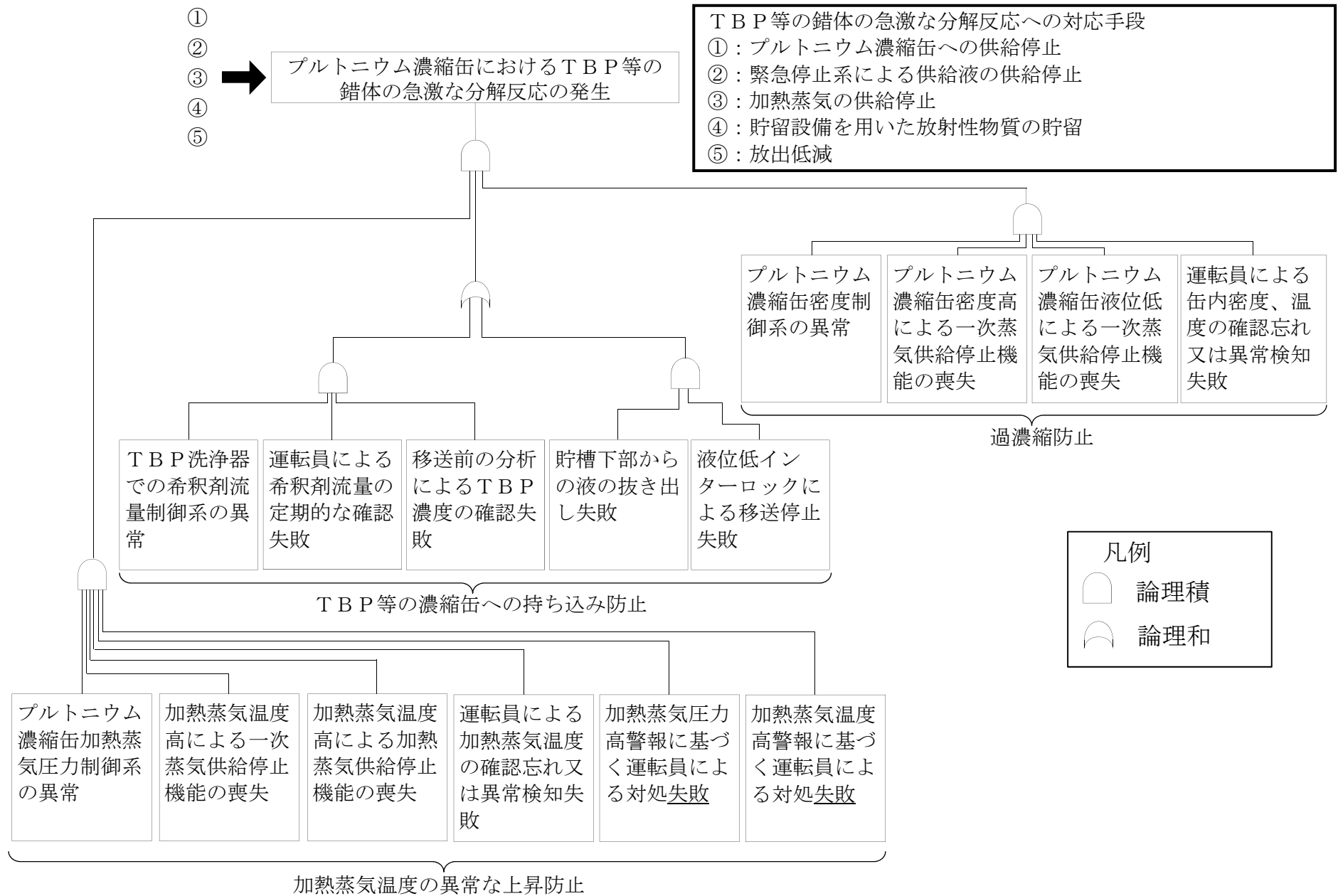
No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 1	緊急停止操作スイッチ	スイッチ操作	中央制御室

加熱蒸気の供給停止

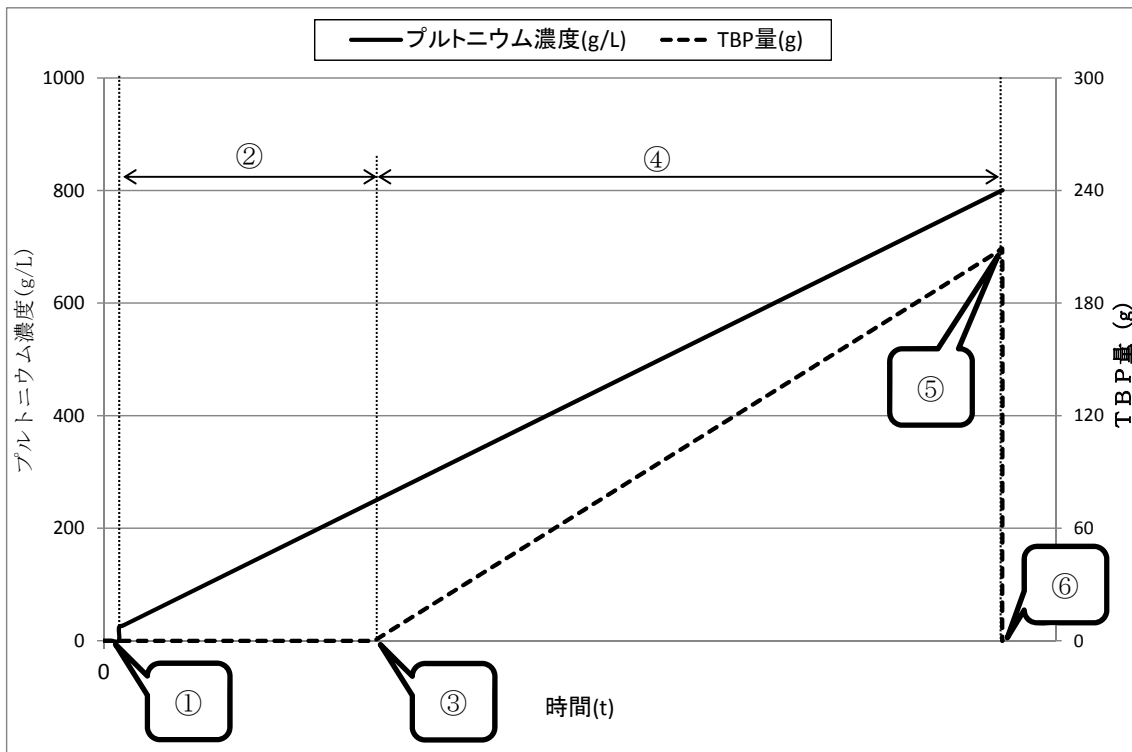
No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 2	蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁	手動操作	精製建屋地下 2 階

貯留設備による放射性物質の貯留

No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 3	廃ガス処理設備の隔離弁	スイッチ操作	中央制御室
* 4	廃ガス処理設備の排風機	スイッチ操作	中央制御室



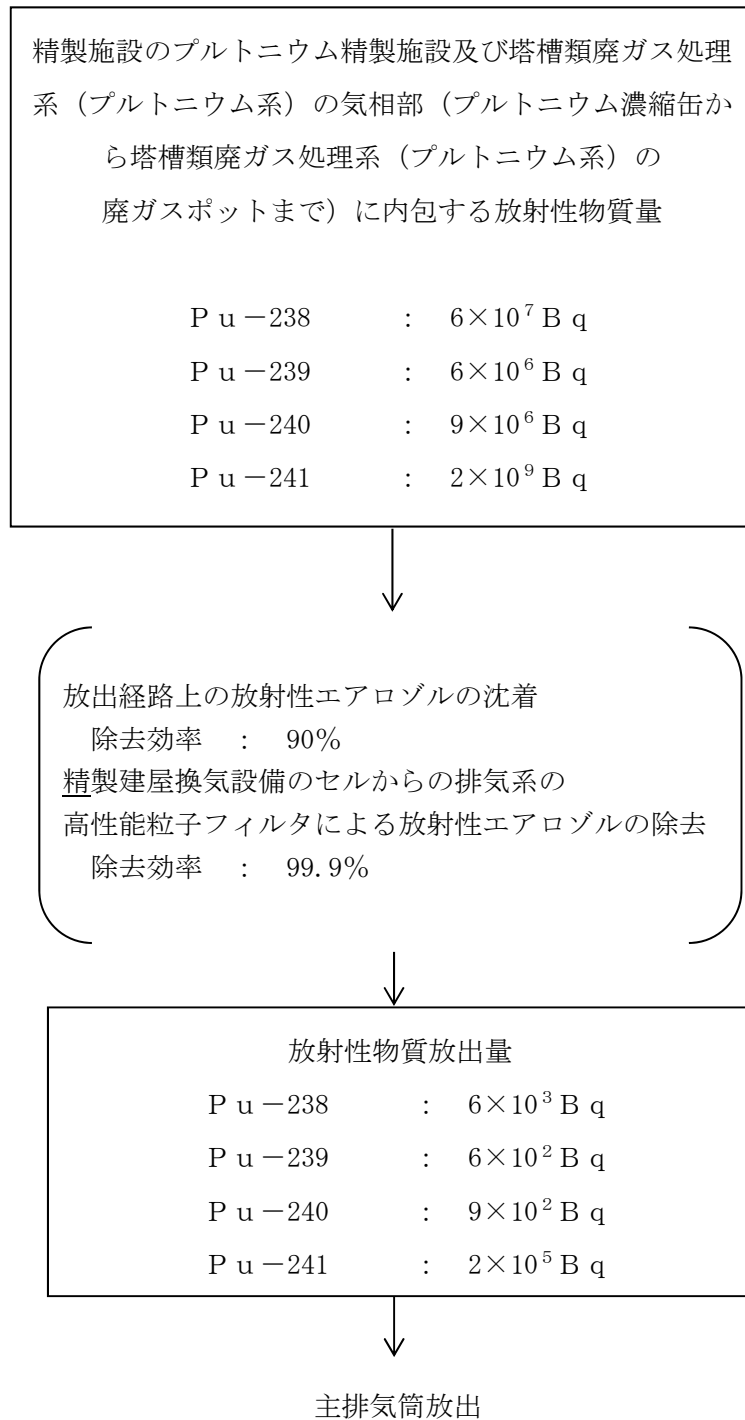
第10.1.2-1図 フォールトツリー（T B P等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備）



【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 10.1.2-2 図 プルトニウム濃縮缶の運転概要及び濃度推移



第 10.1.2-3 図 (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 T B P 等の錯体の急激な分解反応」時の放射性物質の大気放出過程（廃ガスポットからセルに導出される廃ガス）

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

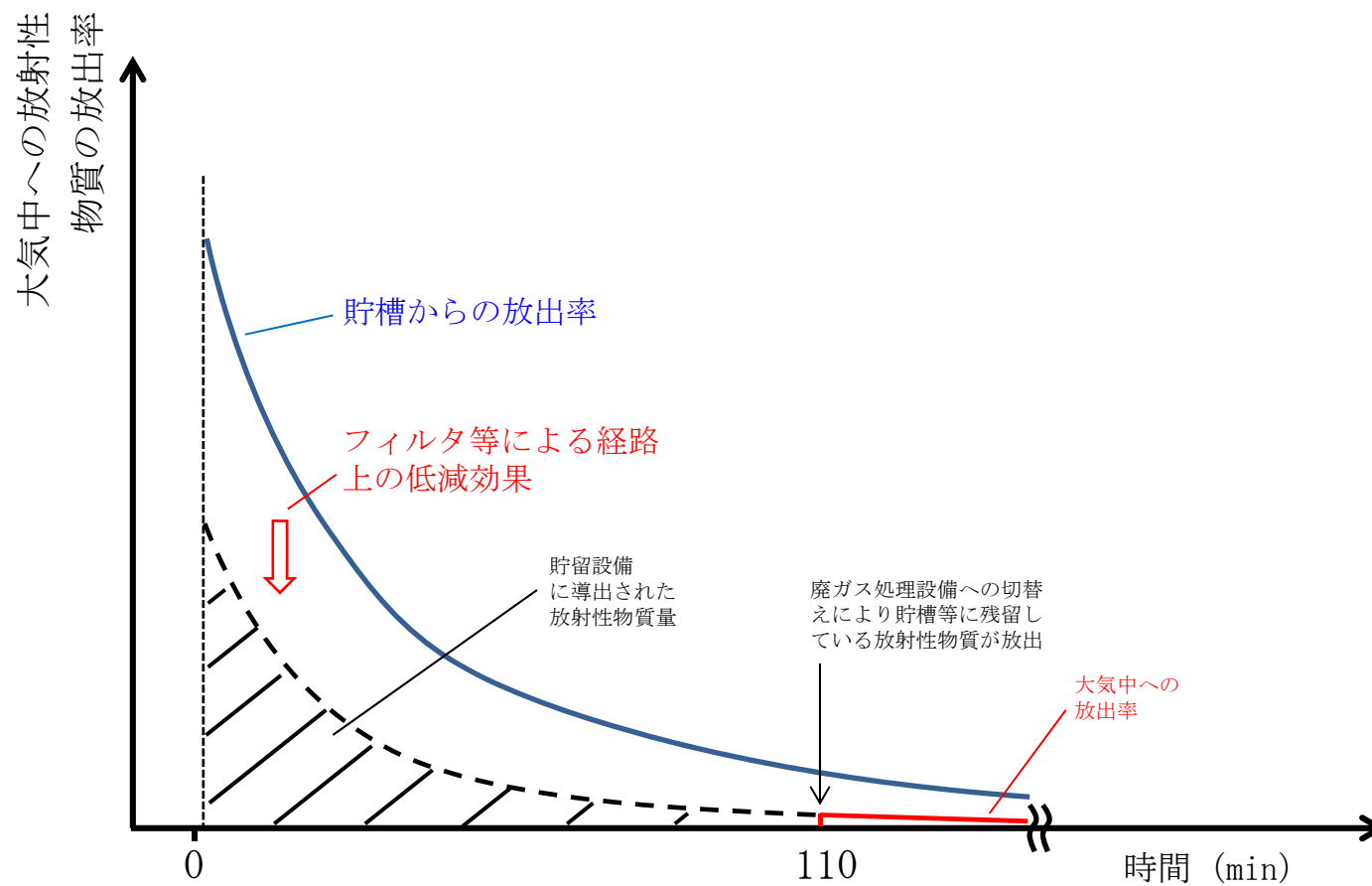
放射性物質の気相中への移行	
移行割合	:
T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時	: 0.4%
T B P 等の錯体の急激な分解反応発生～供給停止	: 0.005%

放出経路上の放射性エアロゾルの沈着	
除去効率	: 90%
塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)の高性能フィルタによる放射性エアロゾルの除去	
除去効率	: 99.999%
貯留設備による放射性物質の貯留実施時の放出割合: 4%	

放射性物質放出量	
P u - 238	: 6×10^5 B q
P u - 239	: 6×10^4 B q
P u - 240	: 9×10^4 B q
P u - 241	: 2×10^7 B q

主排気筒放出

第 10.1.2-3 図 (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 T B P 等の錯体の急激な分解反応」時の放射性物質の大気放出過程 (プルトニウム濃縮缶に残留し, 塔槽類廃ガス処理系(プルトニウム系)から放出される廃ガス)



第10.1.2-4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

再処理施設 補足説明資料リスト

第28条: 重大事故等の拡大防止 (10. 有機溶媒等による火災又は爆発への対処)

資料No.	再処理施設 補足説明資料 名称	備考
補足説明資料10-1	有機溶媒等による火災又は爆発に関する事象選定及びTBP等の錯体の急激な分解反応に関する事象発生シナリオ等について	
補足説明資料10-2	プルトニウム精製設備プルトニウム濃縮缶におけるTBP等の錯体の急激な分解反応発生時の温度・圧力等の経時変化	
補足説明資料10-3	TBP等の錯体の急激な分解反応に関する知見	
補足説明資料10-4	プルトニウム濃縮缶でのTBP等の錯体の急激な分解反応における拡大の防止のための措置の概要	
補足説明資料10-5	プルトニウム濃縮缶でのTBP等の錯体の急激な分解反応における関連機器の機能及び機能喪失の想定	
補足説明資料10-6	事態の収束までの放出量評価	
補足説明資料10-7	TBP等の錯体の急激な分解反応発生時における放射性物質の気相中への移行率	
補足説明資料10-8	不確かさの設定	
補足説明資料10-9	系統概要図, アクセスルート	
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	
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	

補足説明資料 10－1

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

目次

1. 有機溶媒等による火災又は爆発の事象選定

2. T B P 等の錯体の急激な分解反応の事象発生シナリオ及び対策
 2. 1 概要
 2. 2 事象発生シナリオの再検討
 2. 2. 1 プルトニウム濃縮缶の運転方法
 2. 2. 2 起因の整理
 2. 2. 3 事象発生シナリオ

3. T B P 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 T B P 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。T B P等の錯体の急激な分解反応事象が発生した場合の両機器の公衆への影響は、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶では $0.4 \mu S v$ 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 $6.8 \times 10^{-5} \mu S v$ であり、平常時を十分下回るため、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶を対象機器として選定した。

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

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

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

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

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

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

核種グループ	被ばく線量（ μ Sv）	
	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. T B P 等の錯体の急激な分解反応の事象発生シナリオ及び対策

2. 1 概要

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

2. 2 事象発生シナリオ

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

2. 2. 1 プルトニウム濃縮缶の運転方法

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

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

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

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

と密度制御がともに自動制御モードであり、硝酸プルトリ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リ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、プルトリウム濃縮缶の加熱を継続しながら硝酸プルトリウム溶液の供給は停止し、プルトリウム濃縮缶から発生する凝縮液の全量をプルトリウム濃縮缶に戻すことで、プルトリウム濃縮缶内の液位を保ちながら待機する。

工程停止は、加熱を停止するとともにプルトリウム濃縮液をプルトリ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。

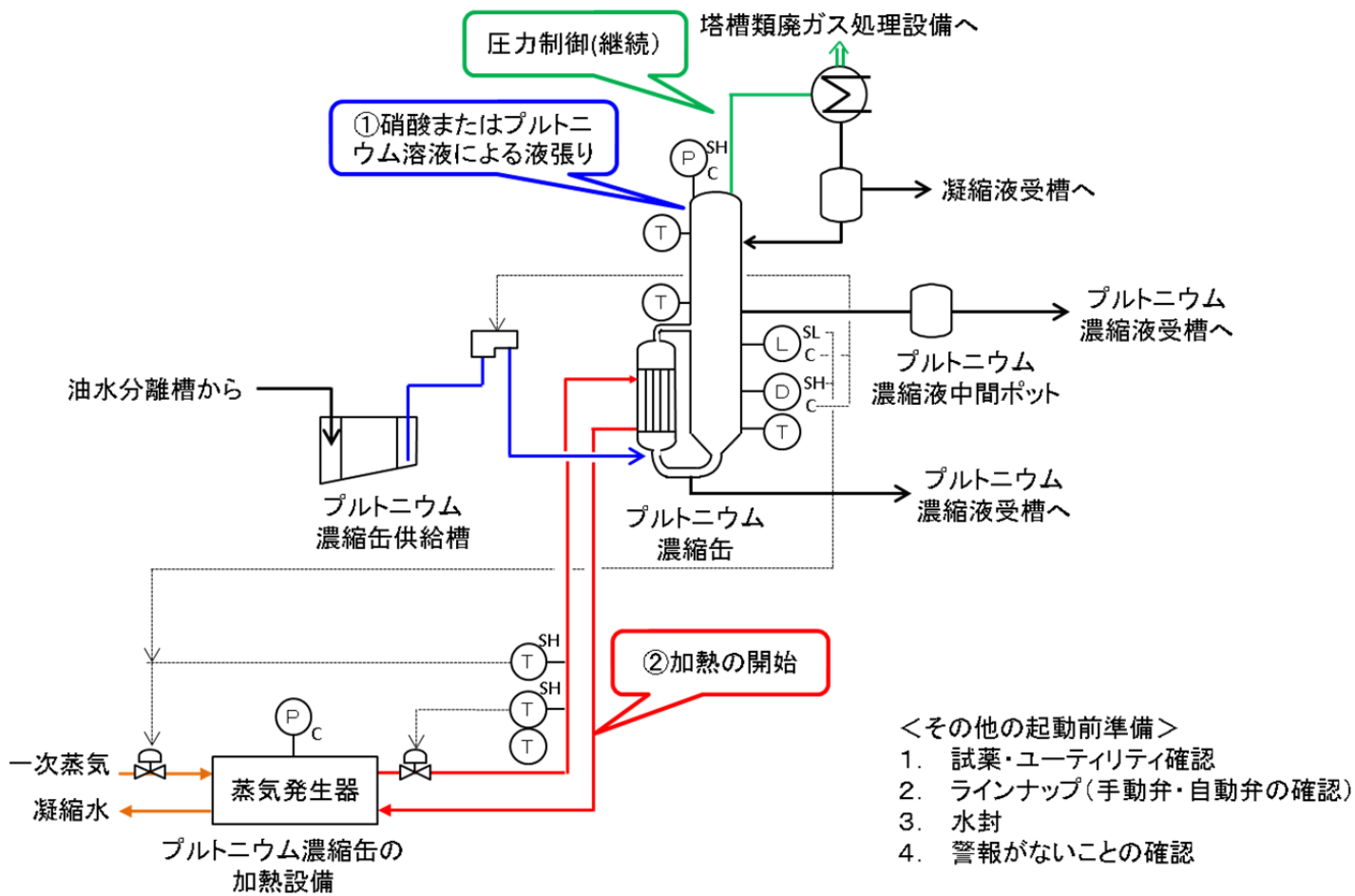


図-1 (1 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (立ち上げ)

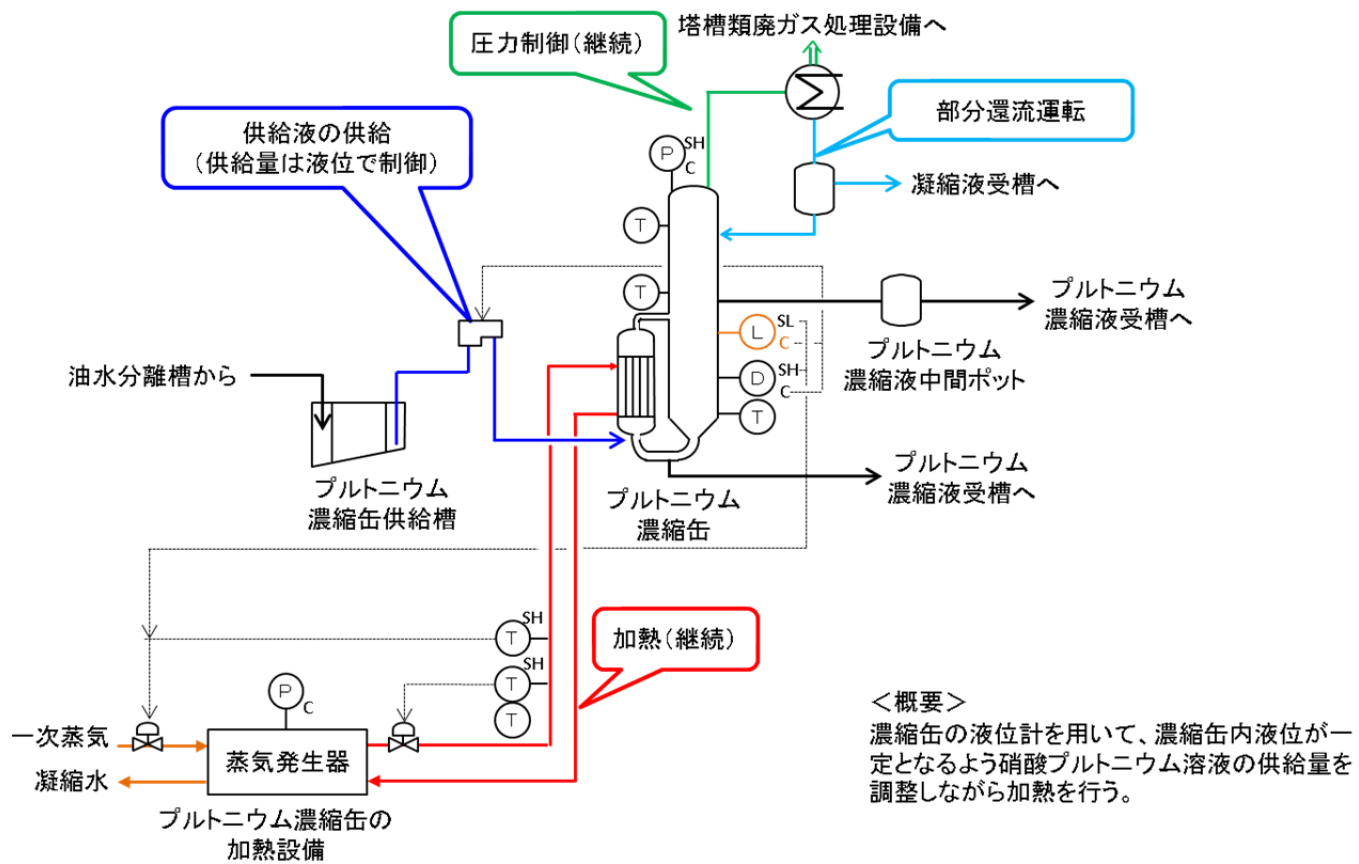
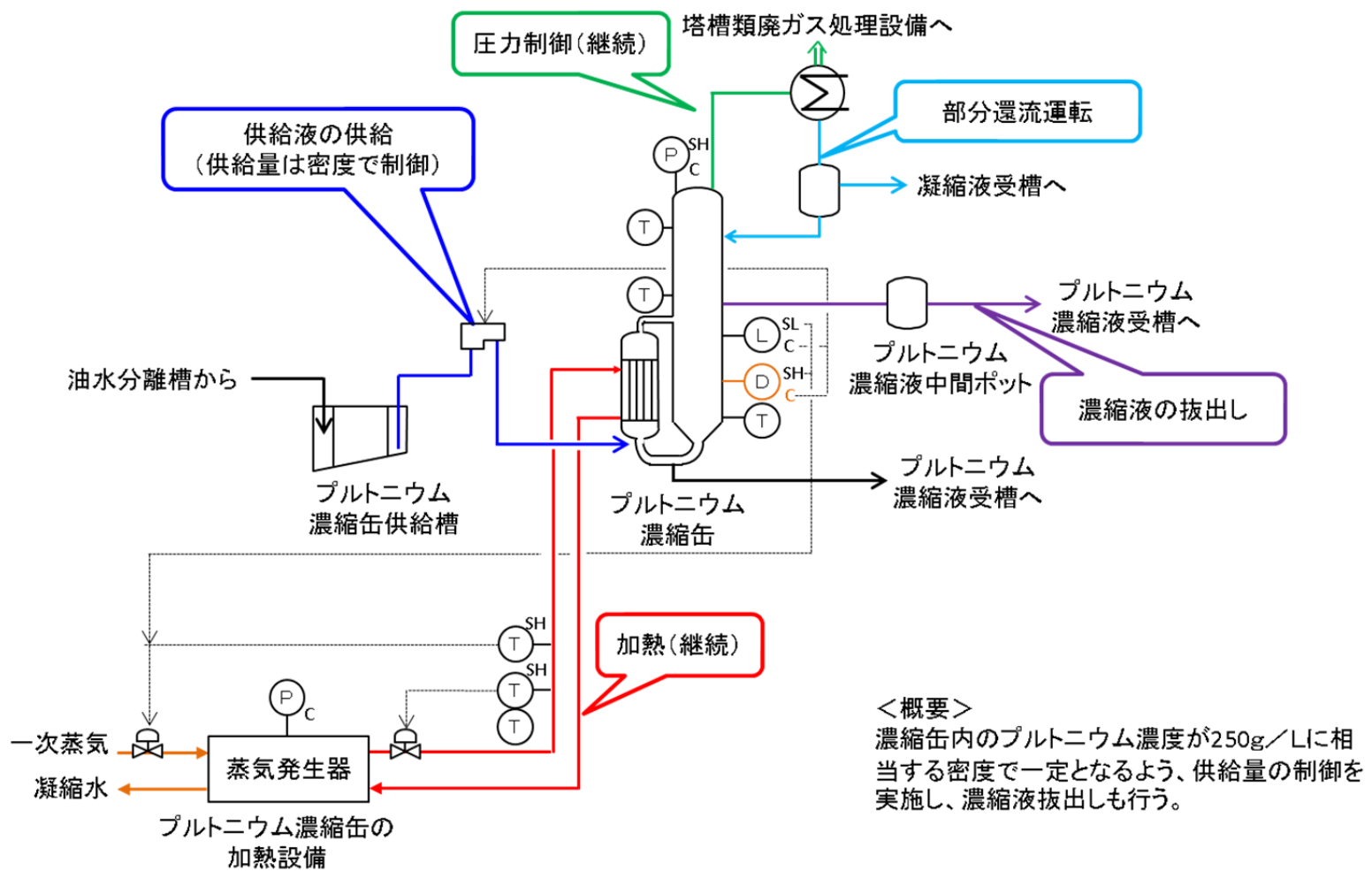


図-1 (2 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (液位制御運転)



<概要>
 濃縮缶内のプルトニウム濃度が250g/Lに相当する密度で一定となるよう、供給量の制御を実施し、濃縮液抽出も行う。

図 - 1 (3 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (密度制御運転)

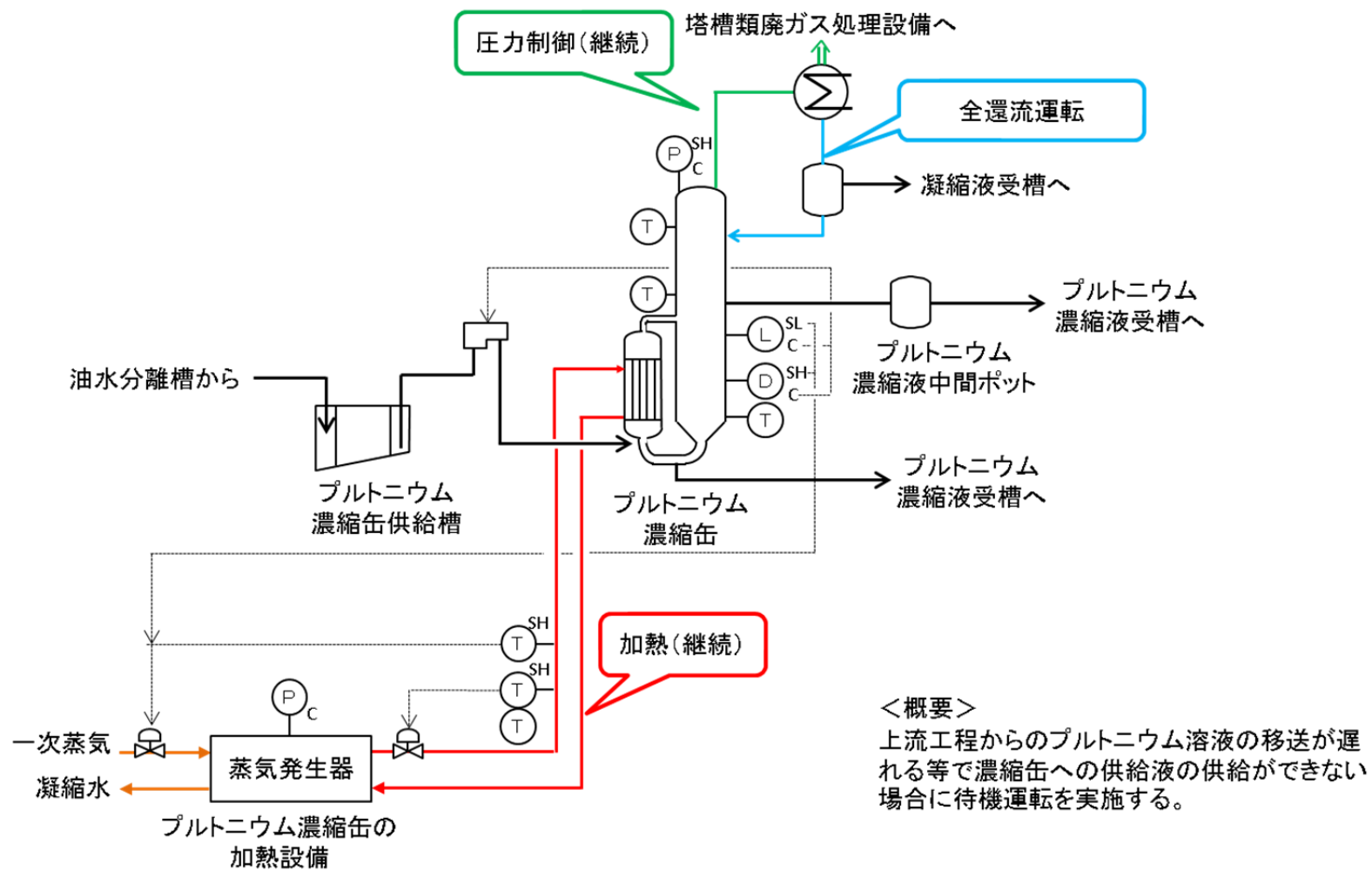


図-1 (4 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (待機運転)

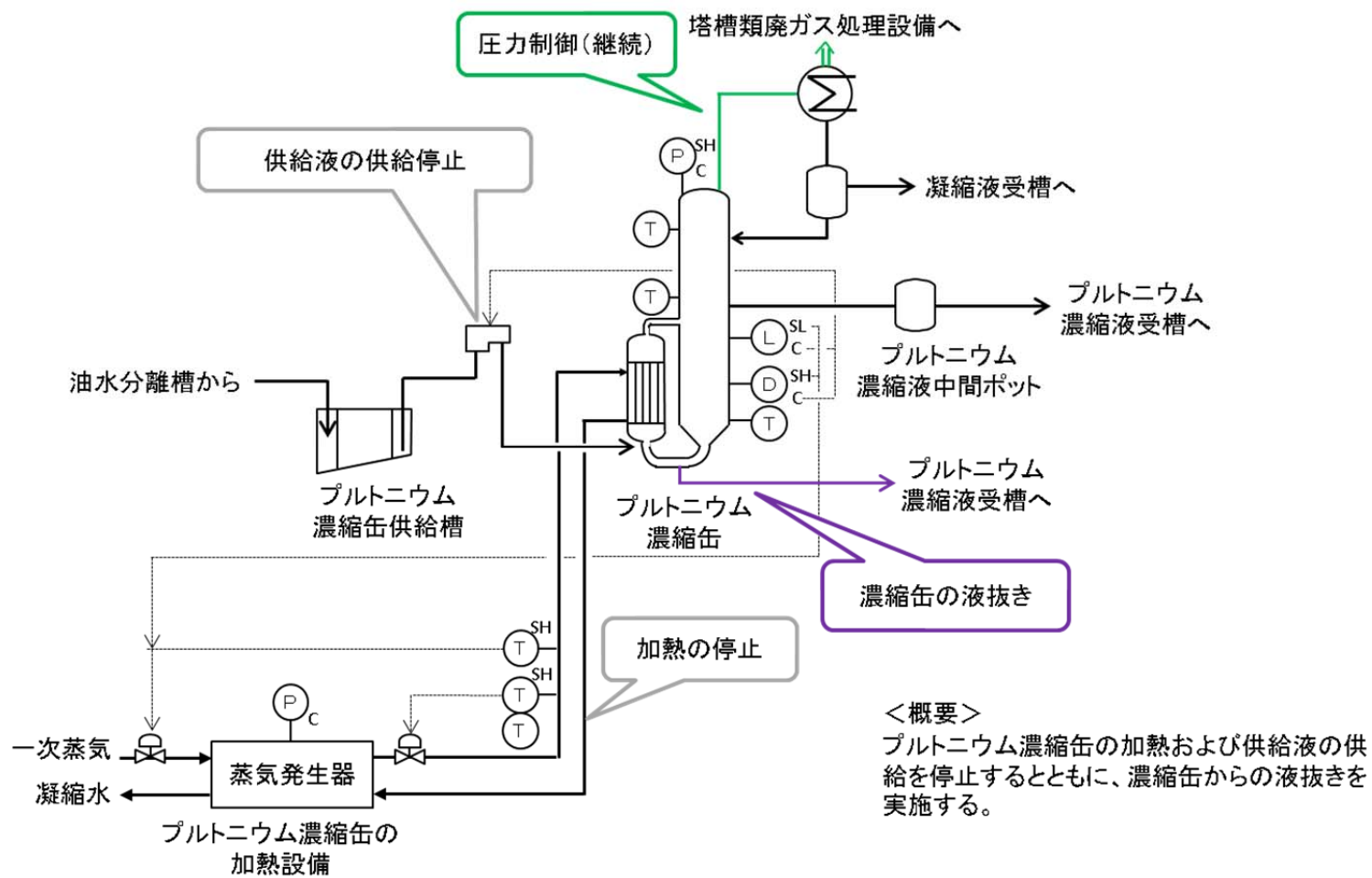


図-1 (5 / 5) プルトニウム濃縮缶の運転概要 (停止)

2. 2. 2 起因の整理

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

図－2 に発生防止機能を図示する。

① T B P 等の濃縮缶への持ち込み防止

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

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

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

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

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

止

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

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

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

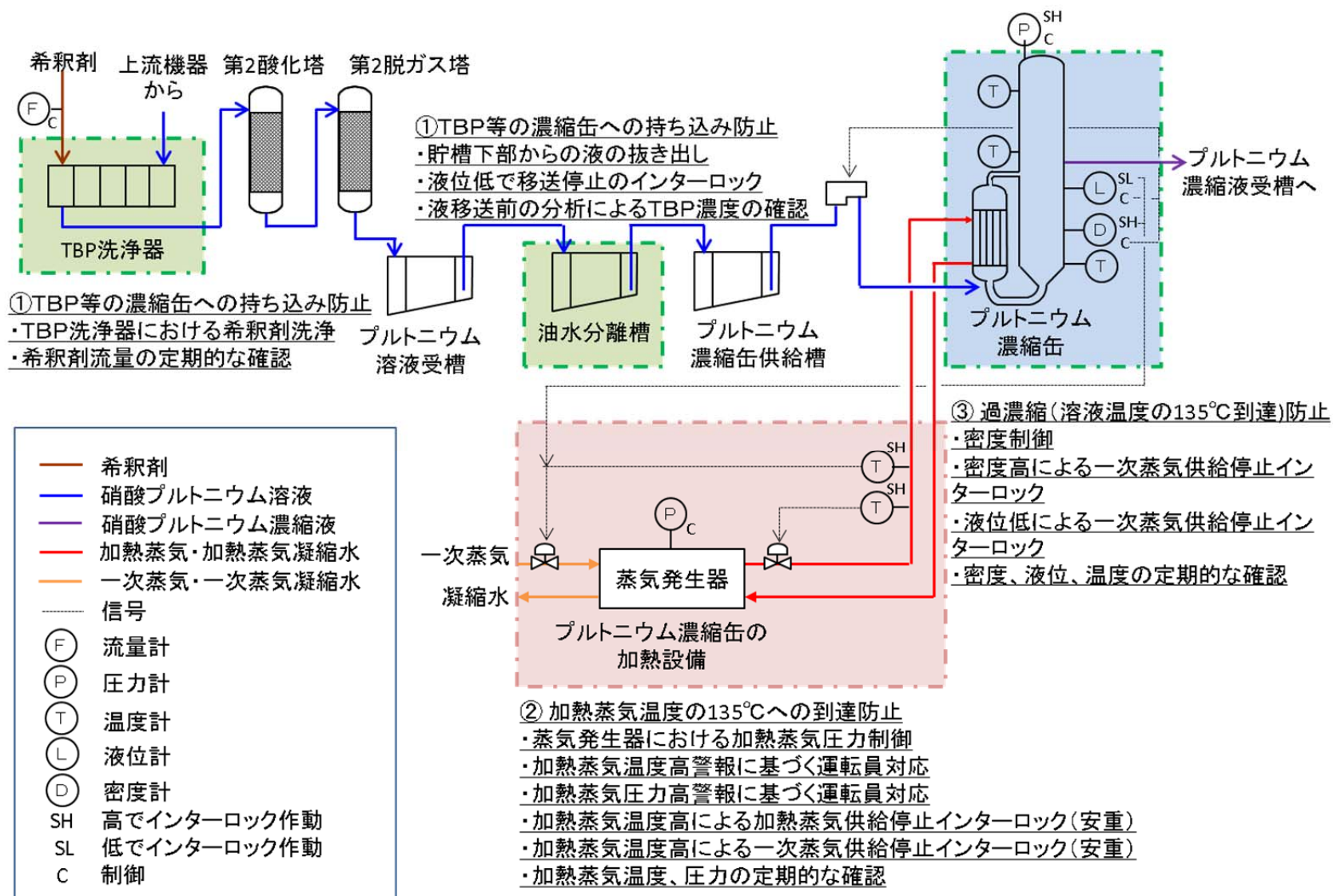


図-2 発生防止機能一覧

2. 2. 3 事象発生シナリオ

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

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

(1) ケース 1：待機運転時の過濃縮

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

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

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

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

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

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

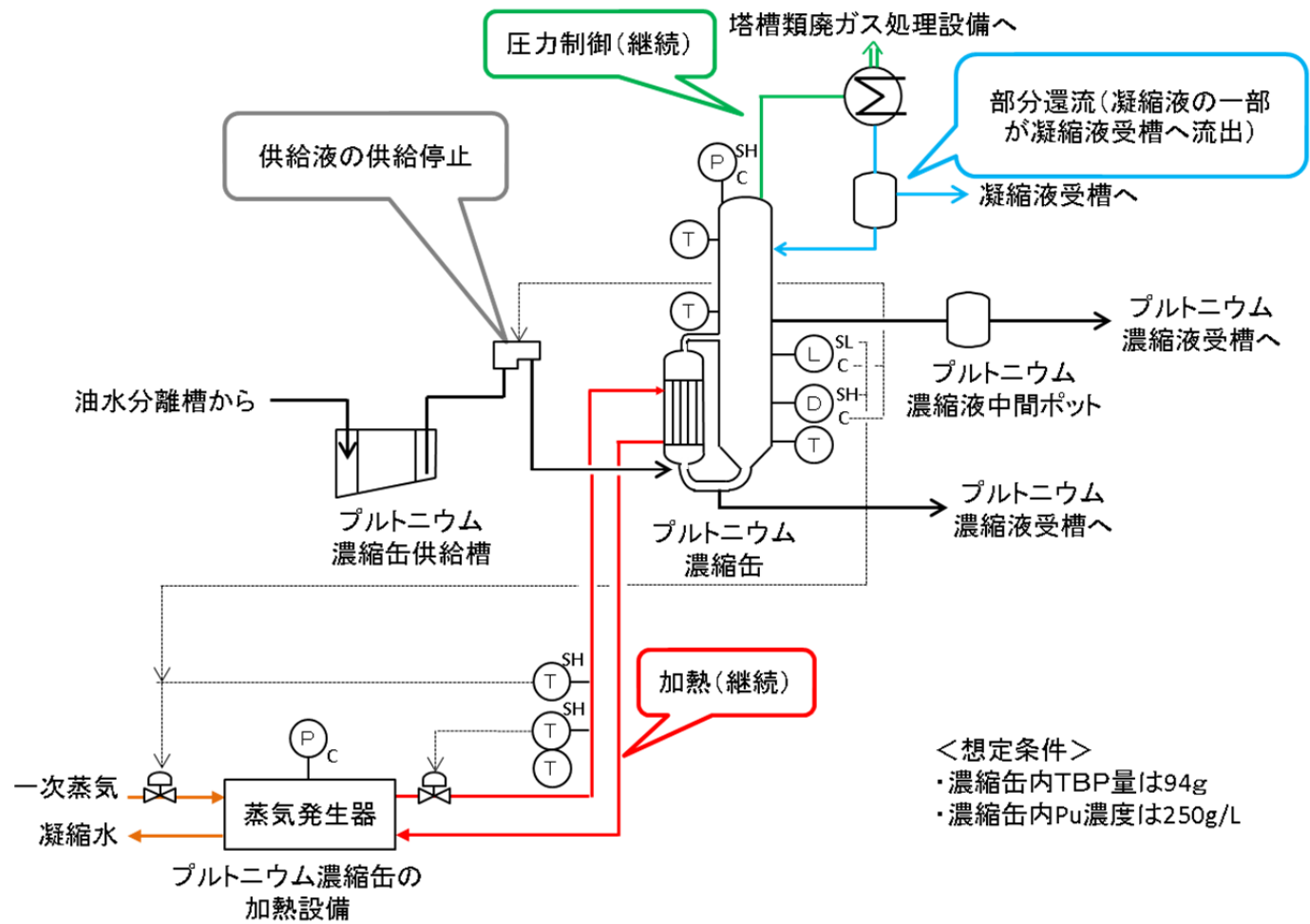


図-3 想定シナリオケース1の運転状態

TBP等の混入防止に係る機能の喪失

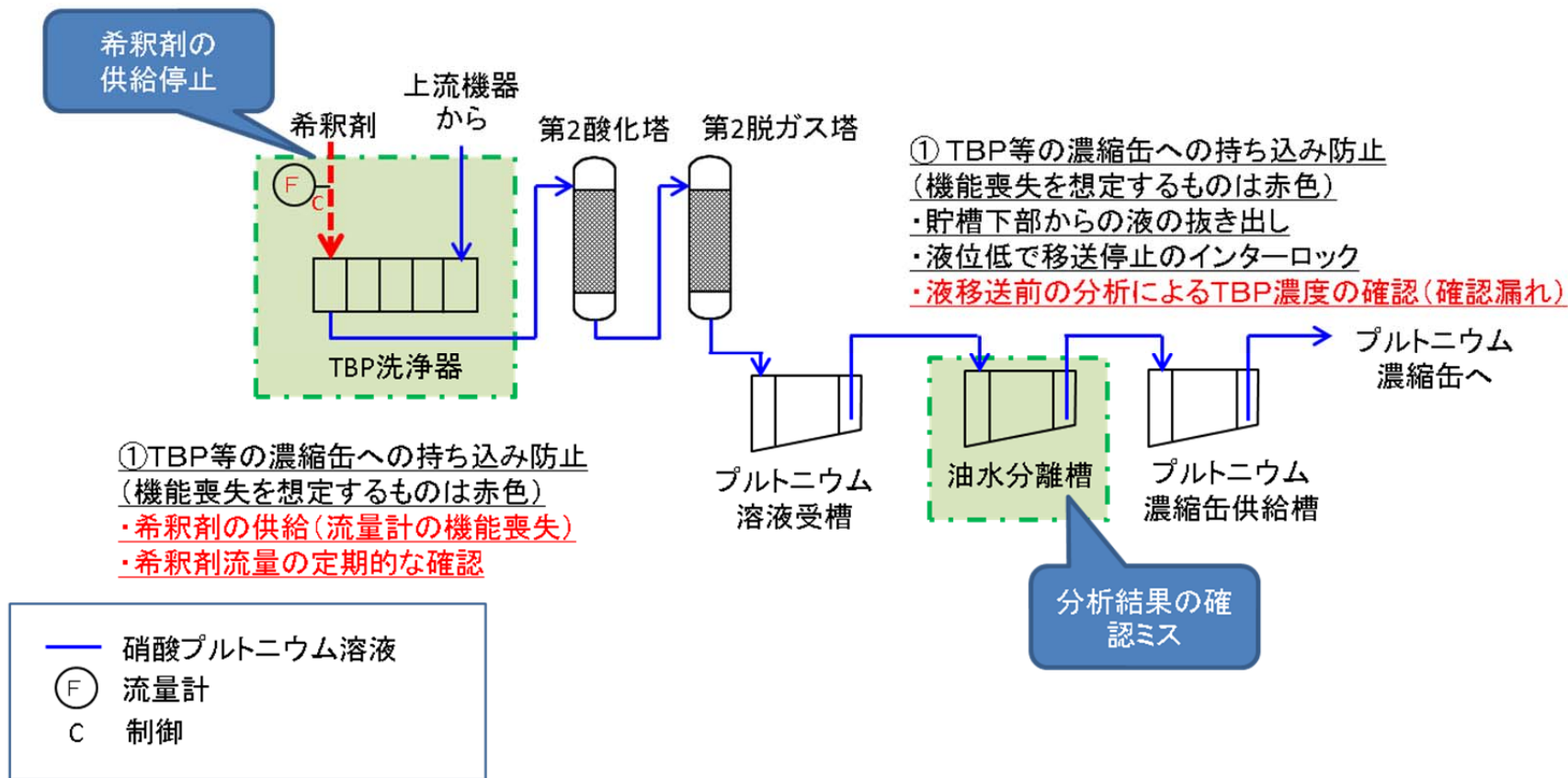
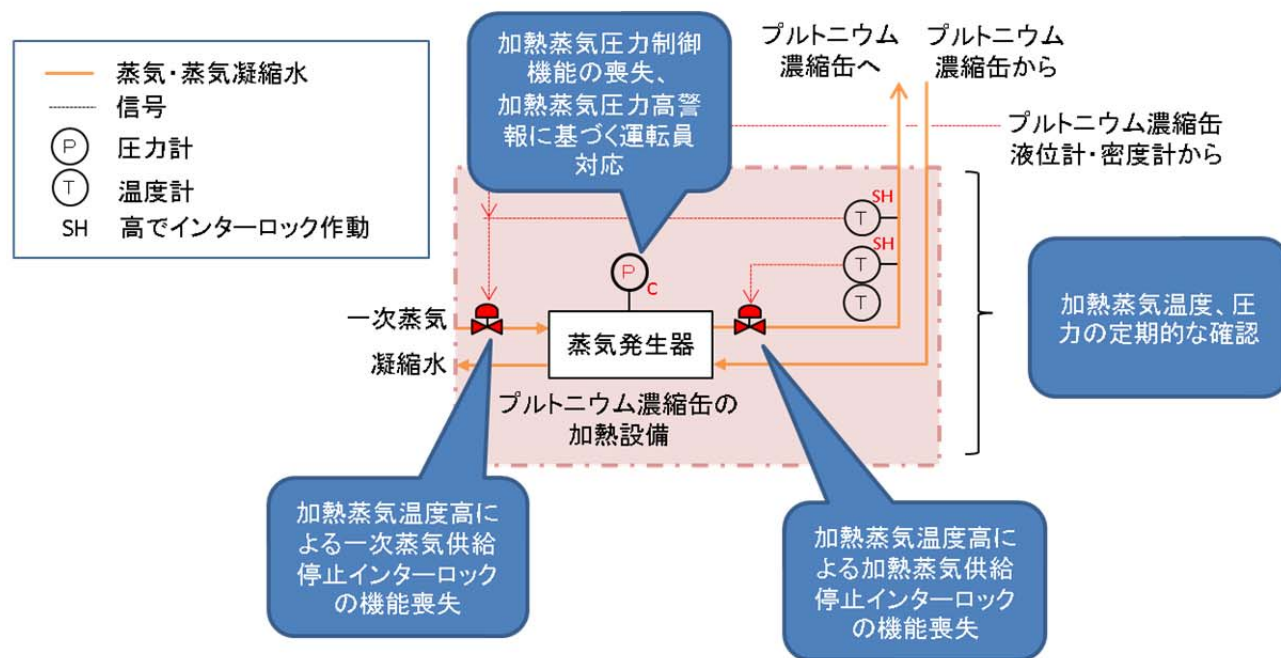


図-4 想定シナリオケース1の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態(1/3)

加熱蒸気温度の135°C到達防止に係る機能の喪失



② 加熱蒸気温度の135°C到達防止(機能喪失を想定するものは赤色)

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

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

過濃縮防止に係る機能の喪失

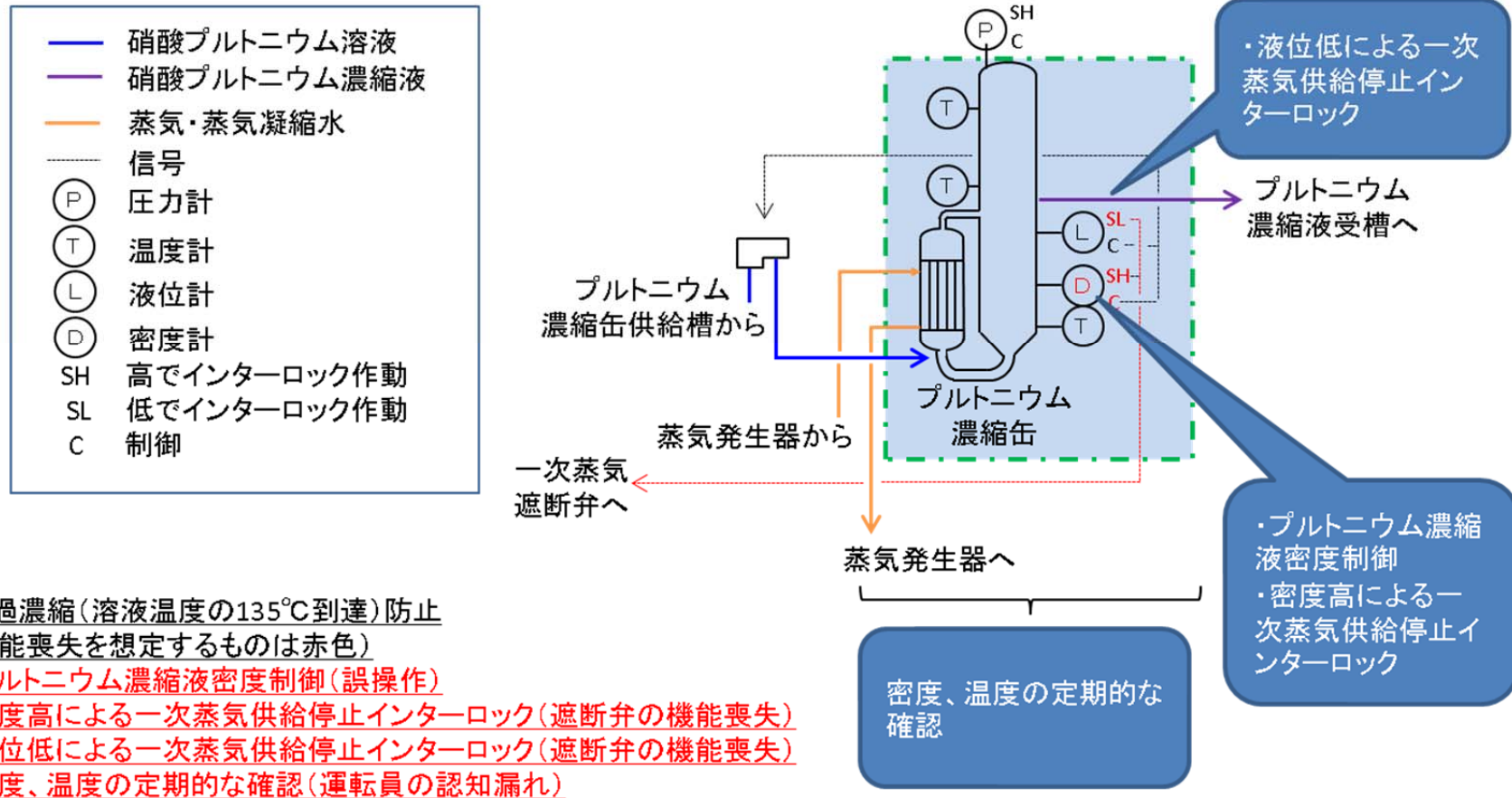


図-4 想定シナリオケース1の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態 (3 / 3)

(2) ケース2：濃縮運転中の過濃縮

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

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

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

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

\blacksquare について商業機密の観点から公開できません。

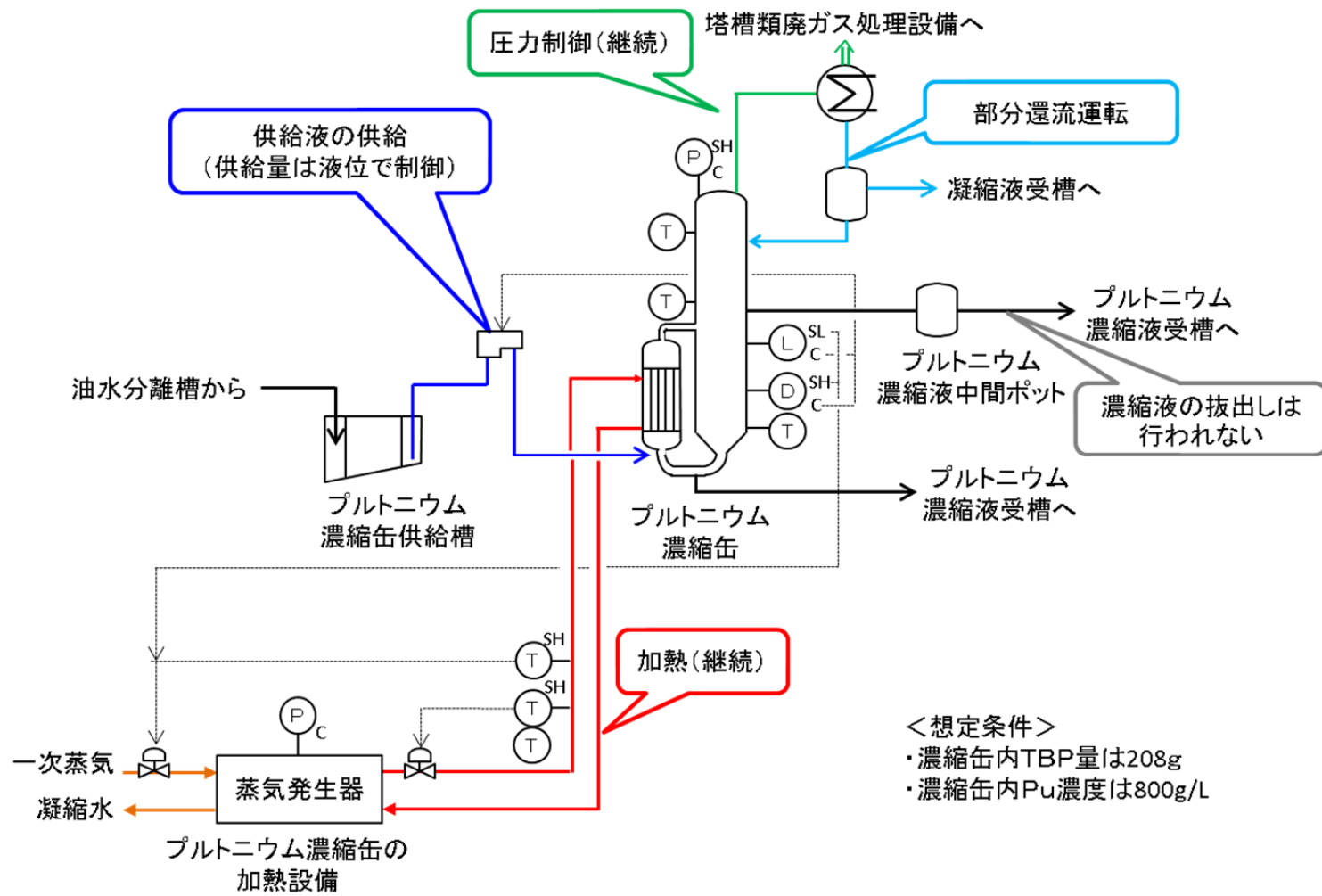


図-5 想定シナリオケース2の運転状態

TBP等の混入防止に係る機能の喪失

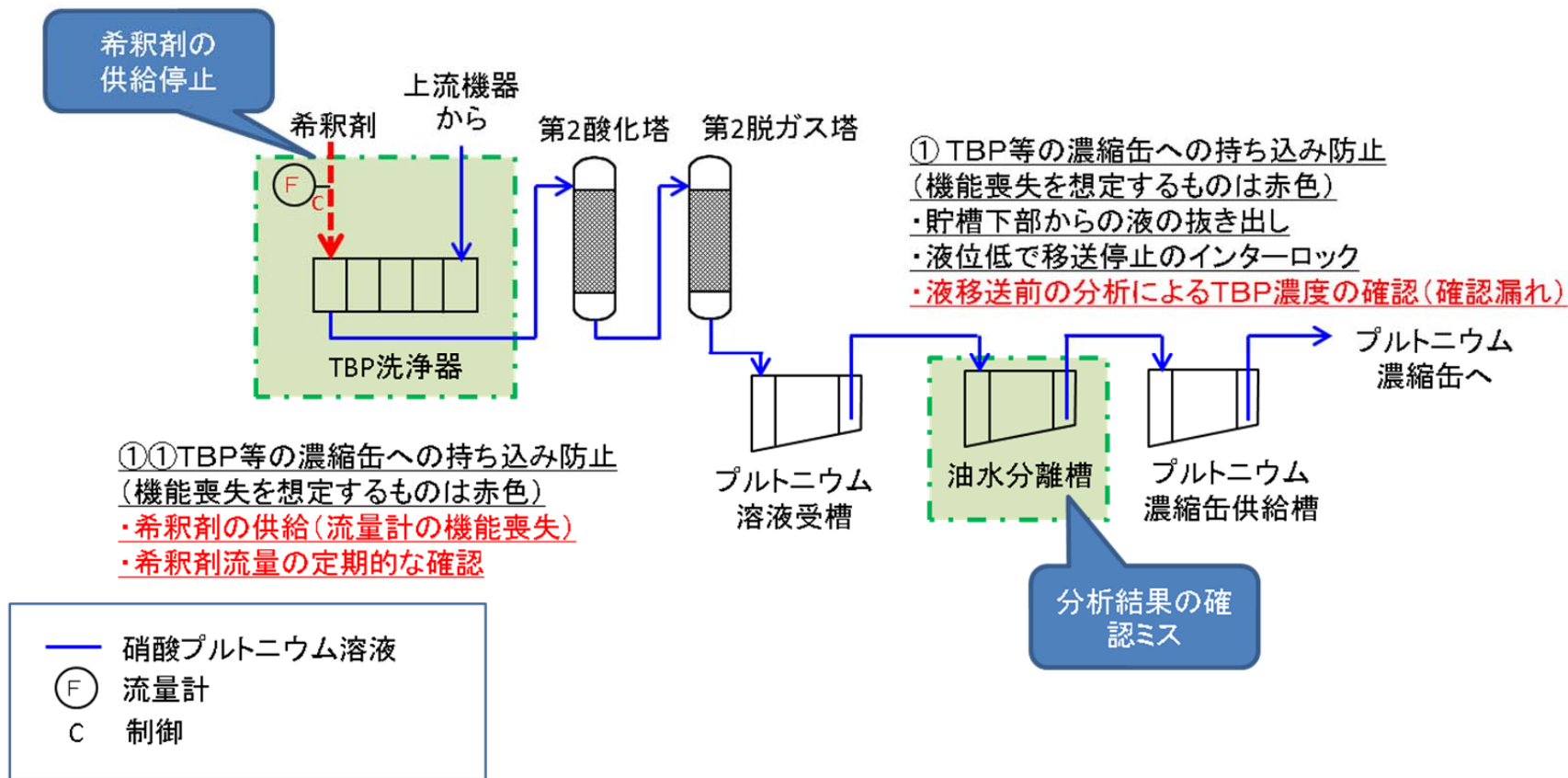
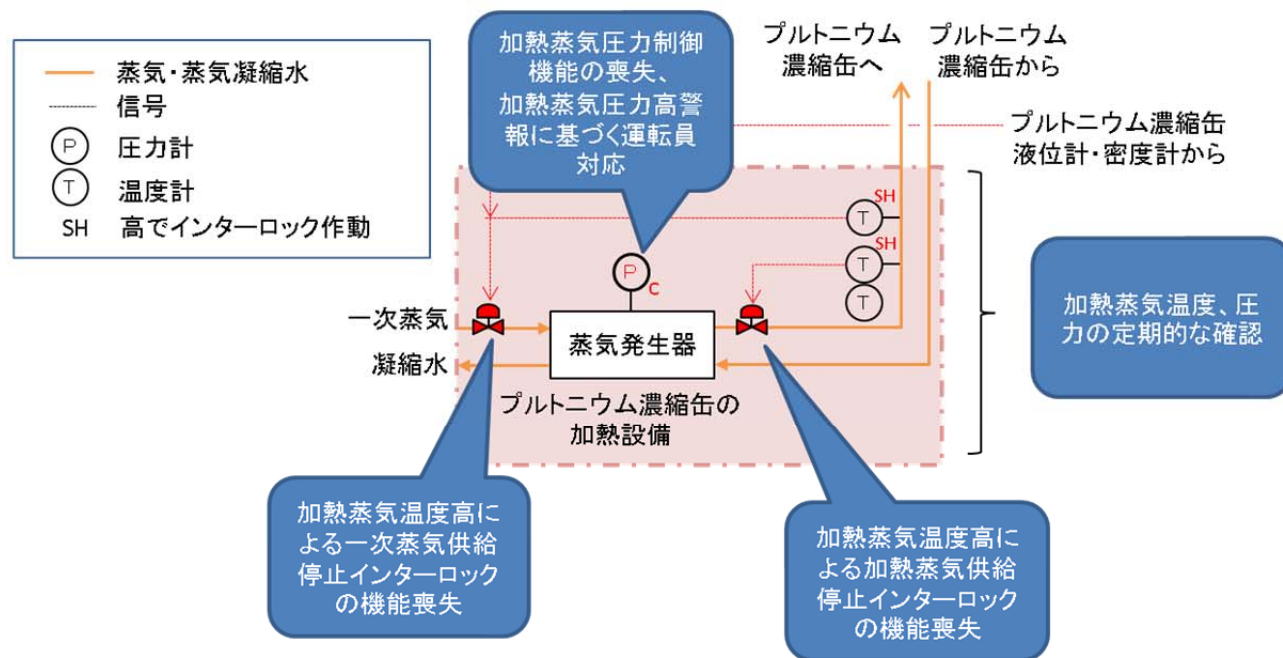


図-6 想定シナリオケース2の事象発生の起因となる発生防止機能の喪失状態(1/3)

加熱蒸気温度の135°C到達防止に係る機能の喪失

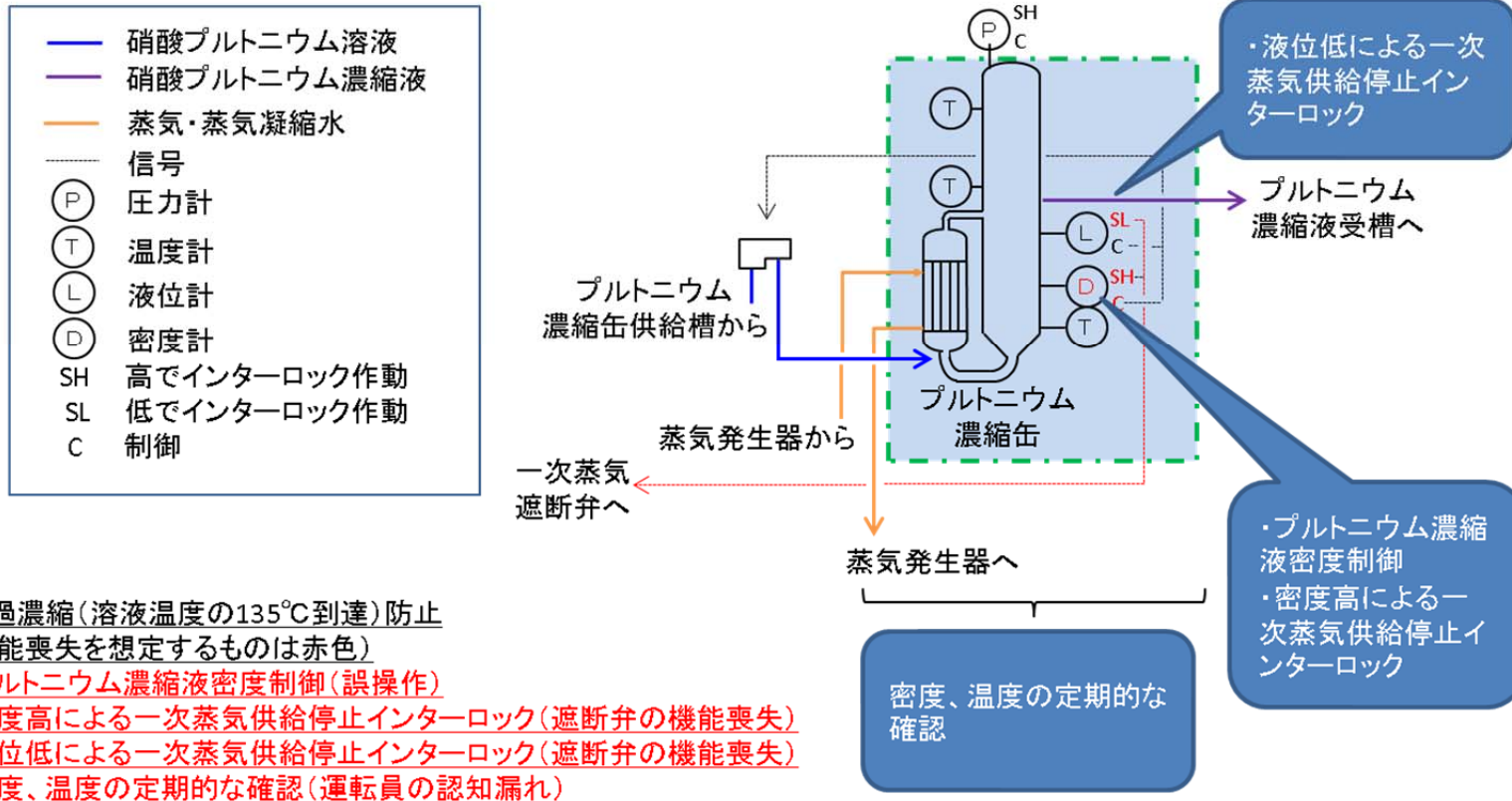


② 加熱蒸気温度の135°C到達防止(機能喪失を想定するものは赤色)

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

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

過濃縮防止に係る機能の喪失



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

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

比較の結果、以下の観点からケース 2 を対象とする。

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

表－２：ケース１とケース２の比較（１／３）

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

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

表－２：ケース１とケース２の比較（３／３）

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

2.3 事象発生シナリオとしてケース2を使用することについて

2.3.1 TBP等の錯体の急激な分解反応を起こすTBP等の量

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

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

① 放出放射エネルギー

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

② プルトニウム濃縮缶からVOGの高性能粒子フィルタまでの温度、圧力及び濃縮缶

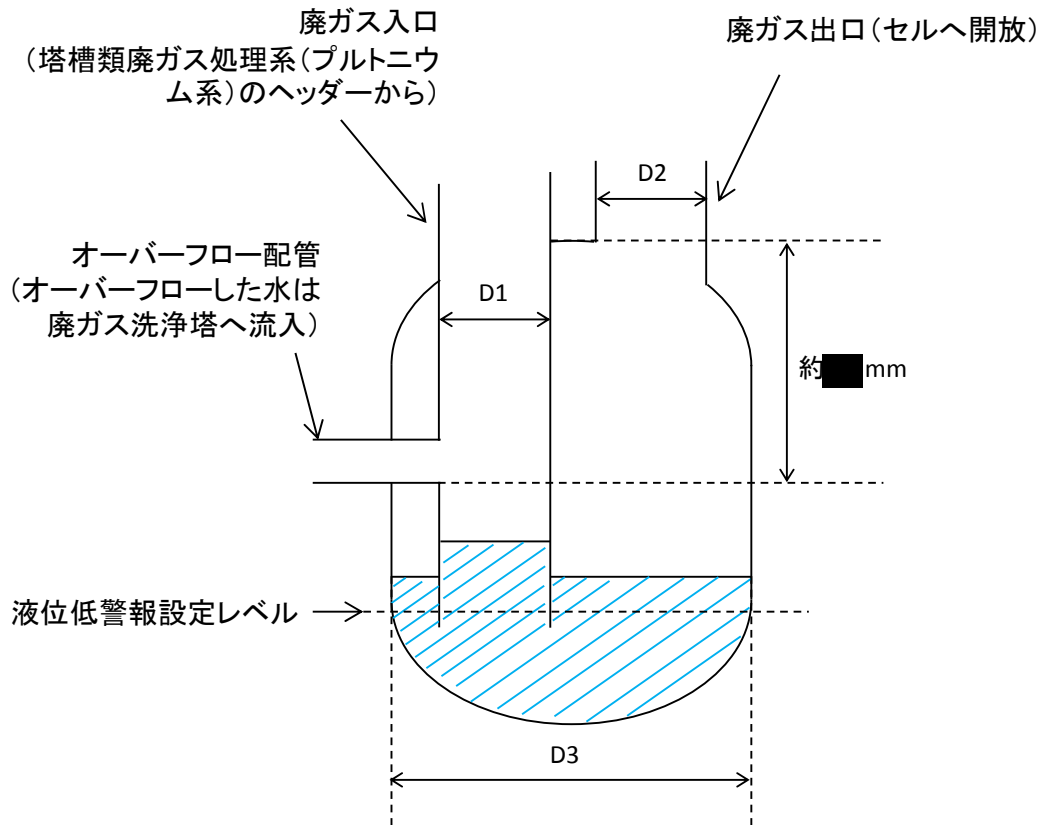
T B P 等の錯体の急激な分解反応を起こす T B P 等の量が増えているため、それぞれの温度、圧力も上昇する。

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

3. T B P 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る。

[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 T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の影響

T B P 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角にかかる圧力は、T B P 量を 240 g とした場合の F l u e n t による解析結果から、約 20 k P a 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 ■■■■ m m であるため、約 20 k P a 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 $100 \text{ m g} / \text{ m}^3$ を適

■■■■ 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、T B P 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 80m g 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。

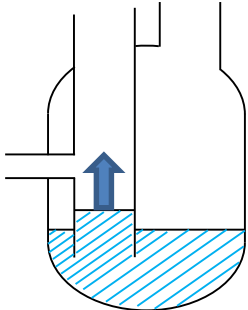
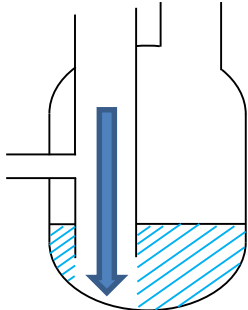
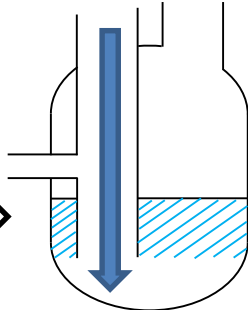
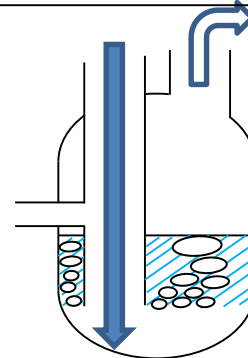
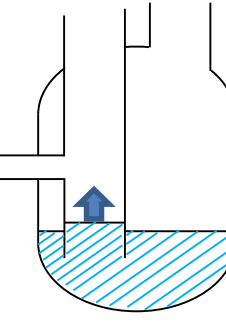
通常状態	事象発生後① (事象発生から約0.1秒後)	事象発生後② (事象発生後①から事象発生後③の中間)	事象発生後③ (事象発生から約0.3秒後)	事象発生後④ (事象発生から約1分後)
<p>青色の矢印は圧力のかかる方向と大きさを表している</p> 			<p>白抜き矢印は廃ガスの流れを表している</p> 	
<ul style="list-style-type: none"> ・廃ガスポット内の廃ガス入口配管は液浸(水封)しており、塔槽類廃ガス処理系(プルチウム系)の廃ガスがセルへ流出することはない。 ・廃ガス入口の配管(塔槽類廃ガス処理系(プルチウム系)のヘッダーからの配管)内の液面は、塔槽類廃ガス処理系(プルチウム系)の負圧により廃ガスポット内の液面よりも高くなっている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・TBP等の錯体の急激な分解反応の発生により、廃ガス入口配管から廃ガスポットに向かう方向に高い圧力で廃ガスが流入する。 ・圧力の上昇により廃ガス入口配管直下の水が押し下げられ、これにより廃ガスポット内の液面も上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・事象発生直後①の状態からさらに圧がかかることで、廃ガス入口配管の下端より下部の水は、圧力がかかることにより全て廃ガスポット上方に持ち上げられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・事象発生直後②の状態からさらに圧力がかかる(廃ガスが流入すること)で、廃ガス入口配管から押し出された廃ガスは、気泡の形で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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塔槽類廃ガス処理系(プルチウム系)の系統内の圧力上昇が収束し、空気圧縮機による廃ガスの貯留が始まると、廃ガス処理設備が微負圧となるため、廃ガス入口の配管は再び液浸(水封)され、塔槽類廃ガス処理系(プルチウム系)の廃ガスのセルへの流出は止まる。

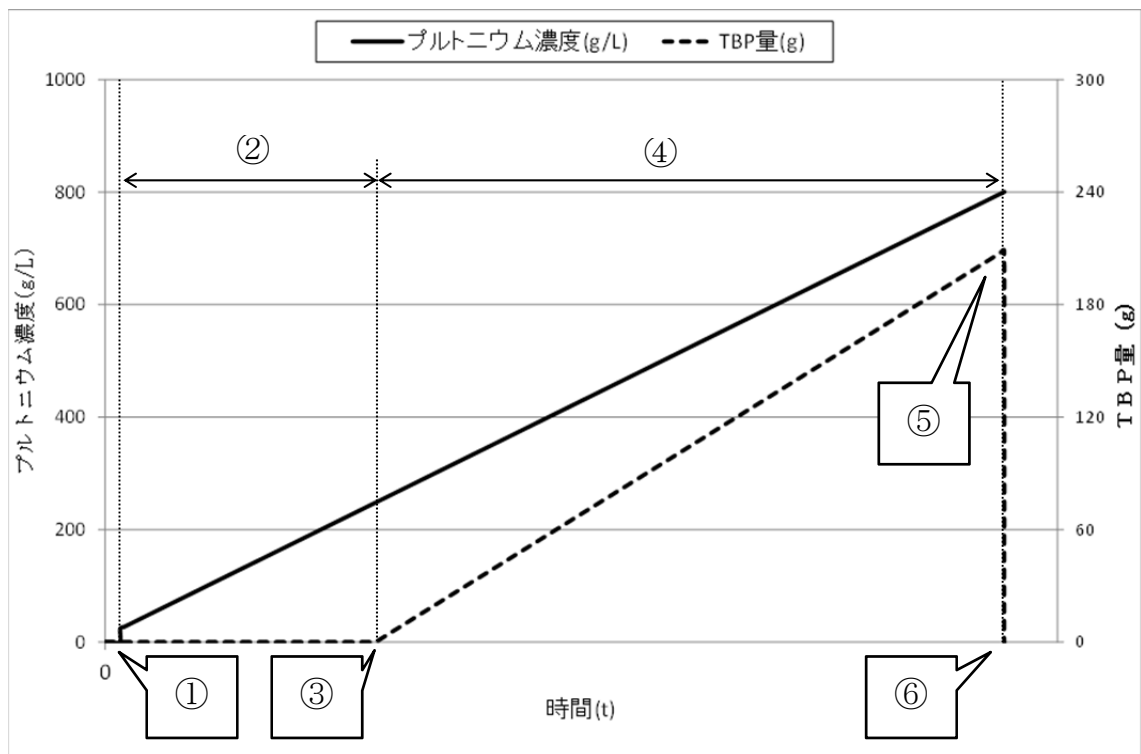
図-8 TBP等の錯体の急激な分解反応が発生した直後の廃ガスポット内の状況(想定)

補足説明資料 10－2

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

1. TBP等の錯体の急激な分解反応発生前の状況

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



【運転状態及び発生を想定する異常】

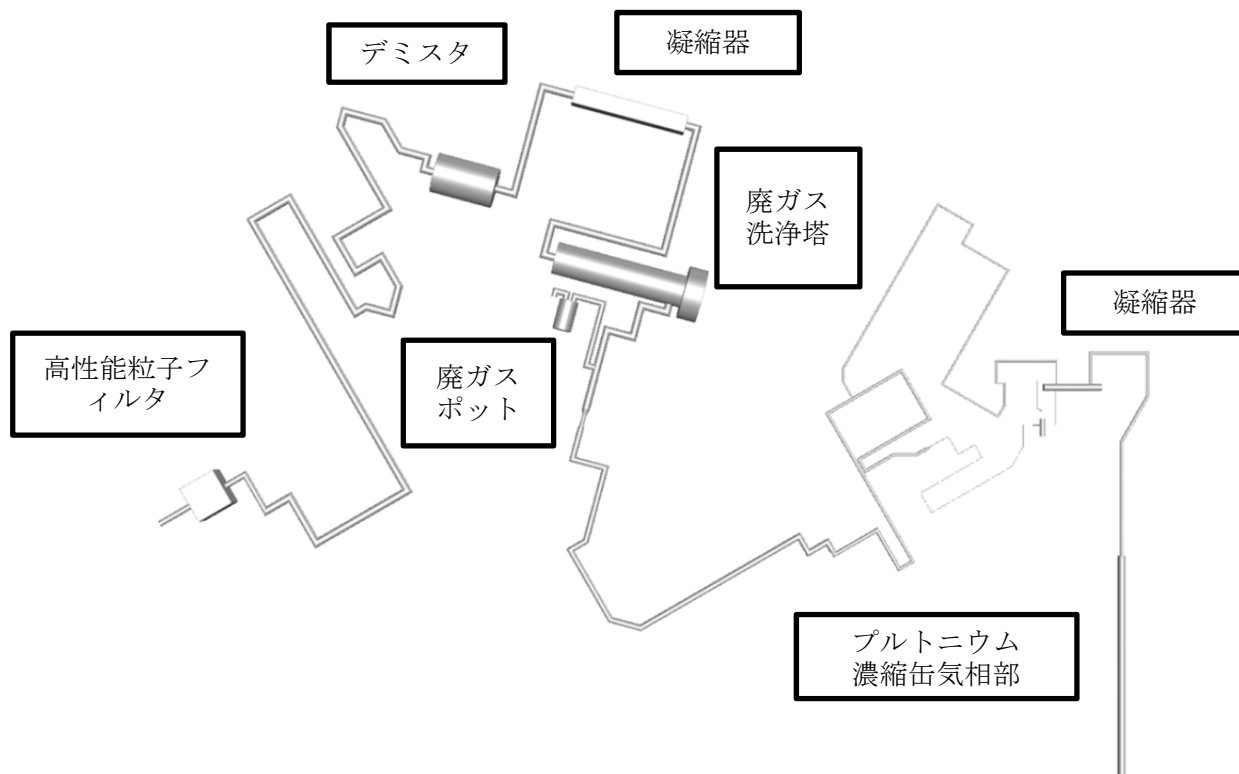
- ①：プルトニウム濃縮缶への液張り及びプルトニウム濃縮工程の立ち上げ
- ②：液位制御運転による所定濃度までの濃縮
- ③：液位制御から密度制御への切り替え不能（液位制御の継続）及びTBP等を含む供給液の供給開始
- ④：過濃縮の進展及びTBP等の蓄積
- ⑤：TBP等の錯体の急激な分解反応の発生
- ⑥：供給液の供給停止（TBP等の錯体の急激な分解反応の検知から1分以内）

第1図 プルトニウム濃縮缶のトレンドグラフのイメージ図

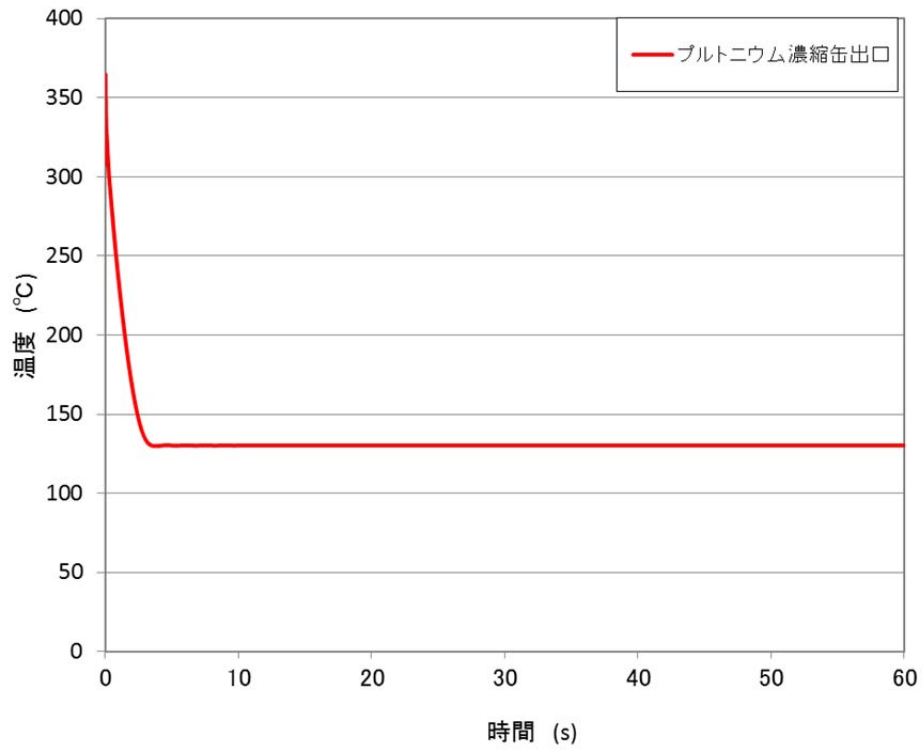
規定の P u 濃度に達した場合は、液位を一定に制御する運転から、密度を一定に制御する運転に切替えるが、液位制御運転が継続し、濃縮缶内の P u 濃度が上昇することを想定する。この時、併せて T B P 洗浄器での希釈剤洗浄機能が喪失し、濃縮缶内に T B P が飽和している供給液が供給される状態となる（図中①）。この状態が継続すると、濃縮缶内は過濃縮状態となり、P u 濃度が上昇し、T B P 等の錯体の急激な分解反応が起こる状態となる（図中②）。

2. T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時の状況

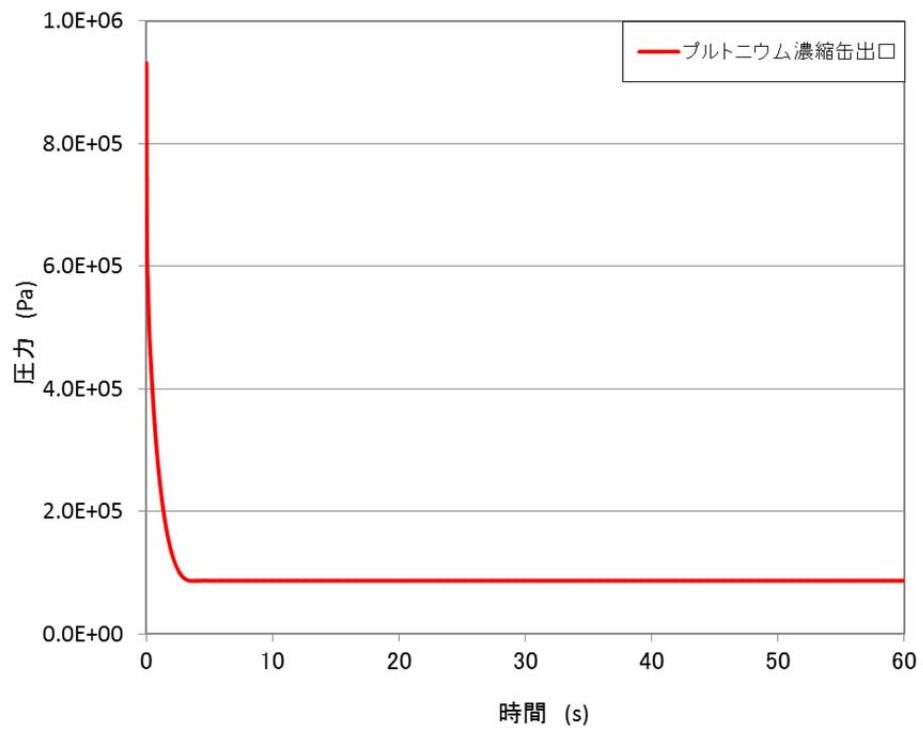
T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した際の温度及び圧力状態については、塔槽類廃ガス処理系の高性能粒子フィルタが健全であるか確認することを目的として、解析コード F l u e n t を用いた解析を行っている。解析コード F l u e n t 解析結果に基づき、プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶で T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した際の高性能粒子フィルタやプルトニウム濃縮缶出口部等の各部位の温度・圧力の経時変化を以下のとおりまとめた。なお、濃縮缶内 T B P 量は 208 g が想定シナリオの評価量であるが、F l u e n t 解析では 240 g をインプッ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



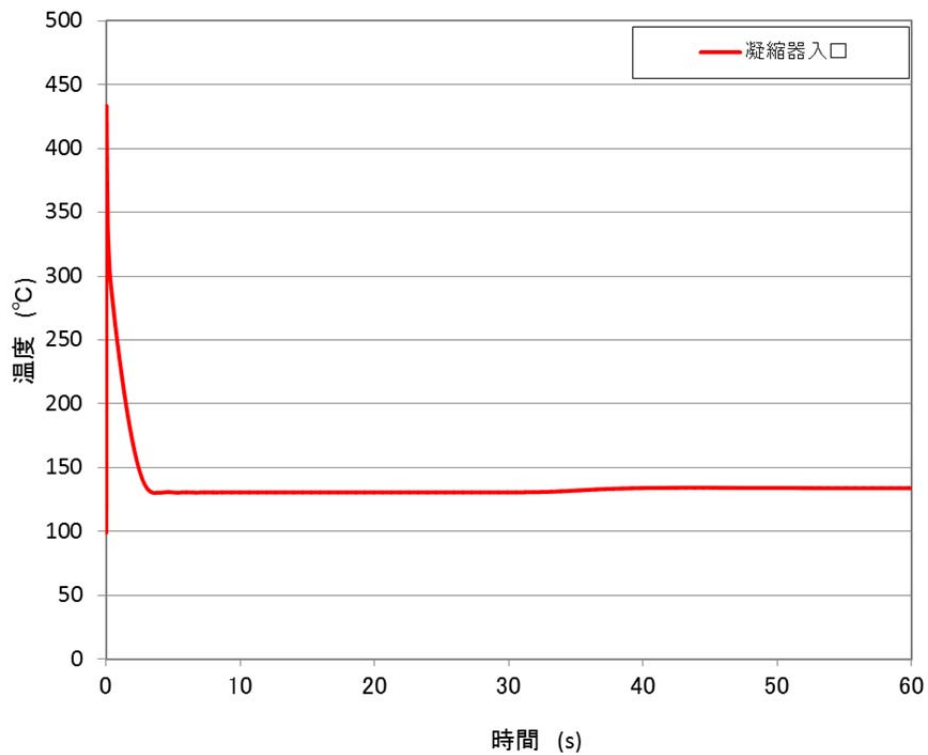
第2図 プルトニウム精製設備のプルトニウム濃縮缶周りの解析モデル



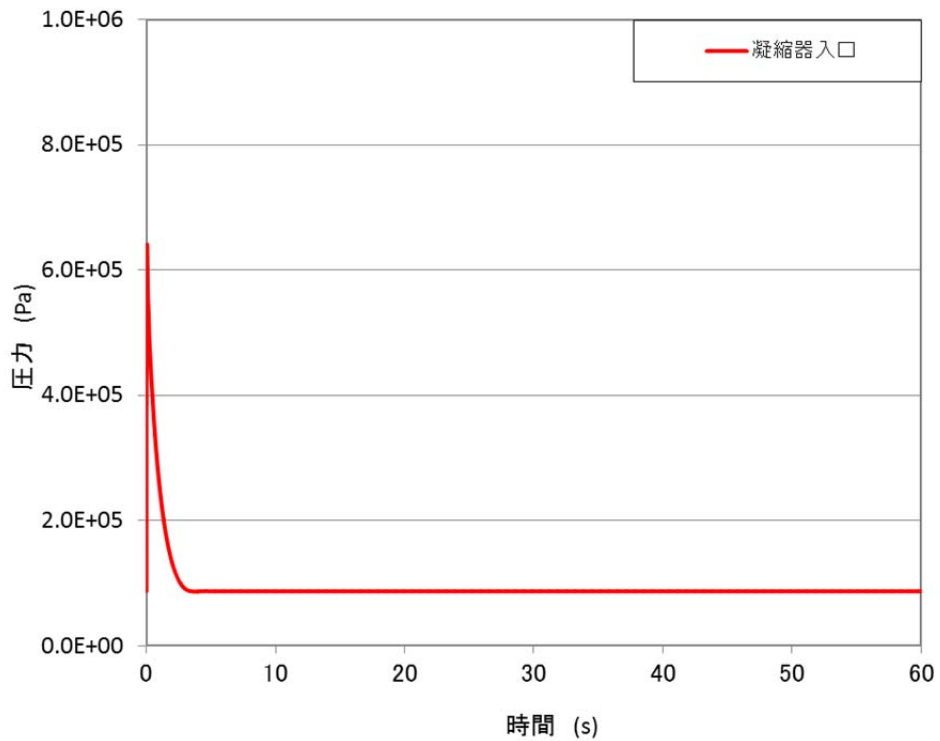
第3図 プルトニウム濃縮缶気相部の温度



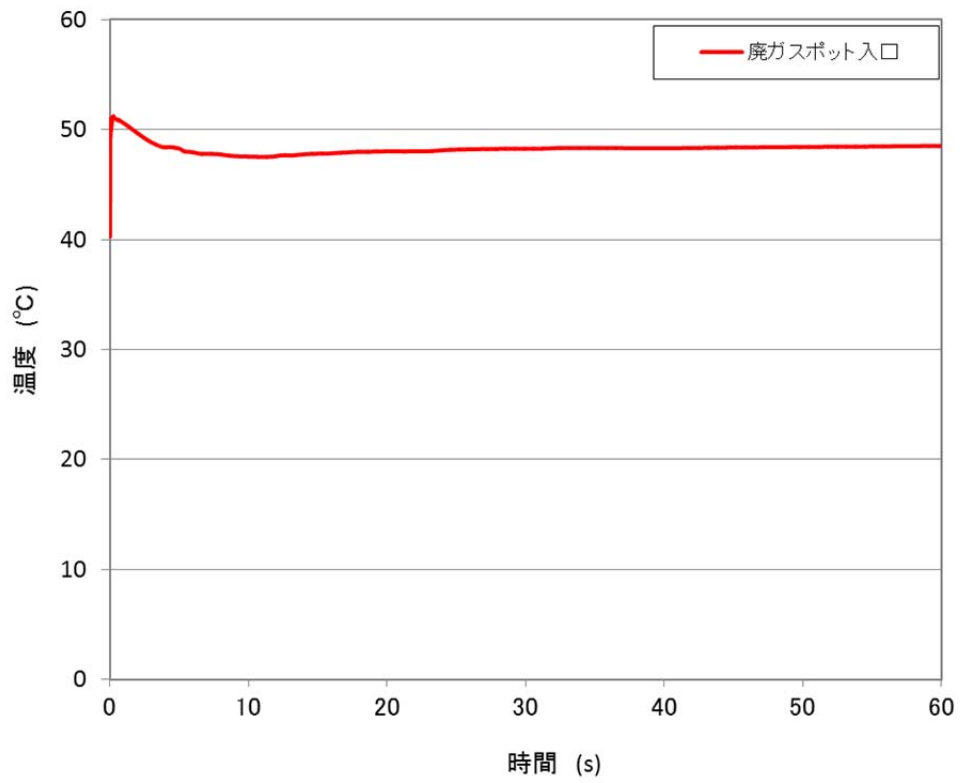
第4図 プルトニウム濃縮缶気相部の圧力



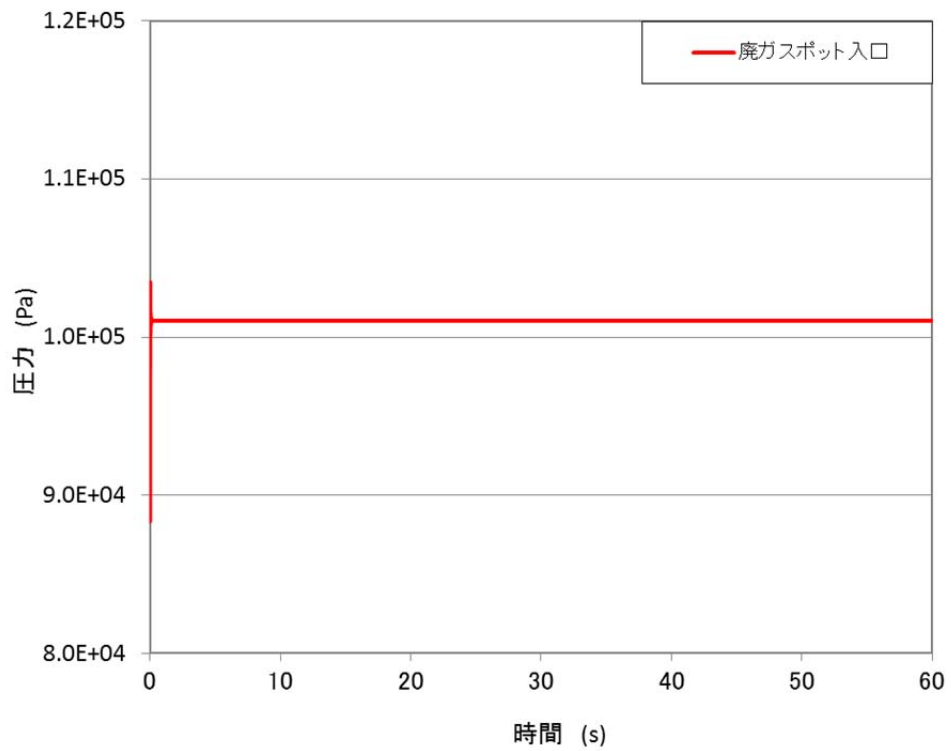
第5図 凝縮器入口部の温度



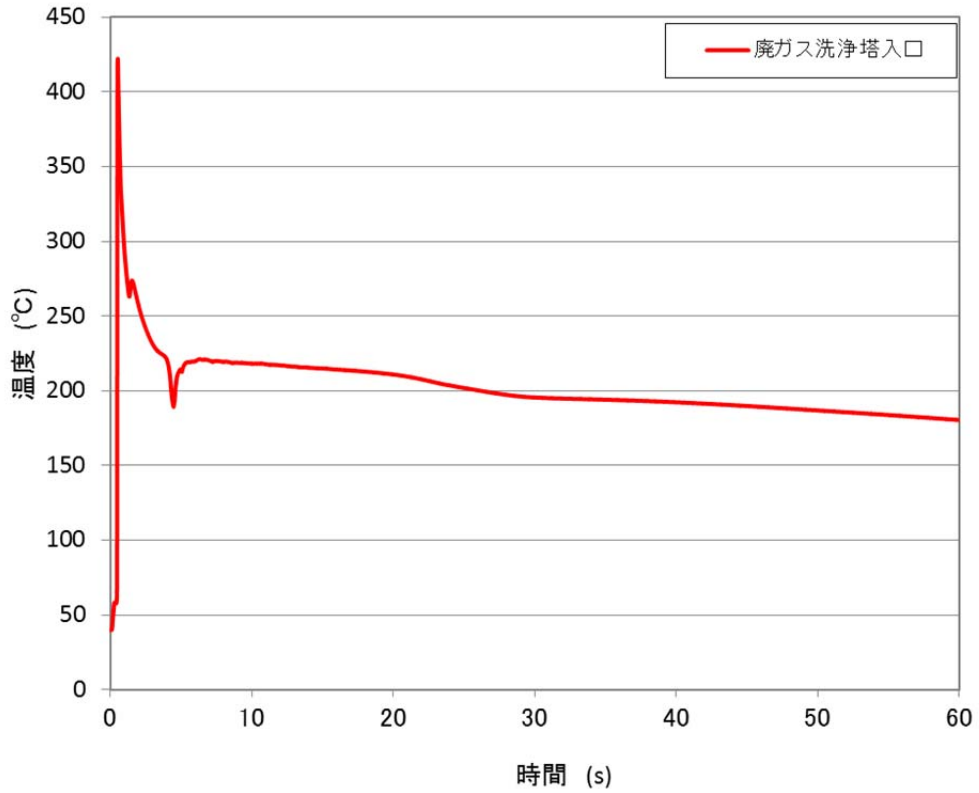
第6図 凝縮器入口部の圧力



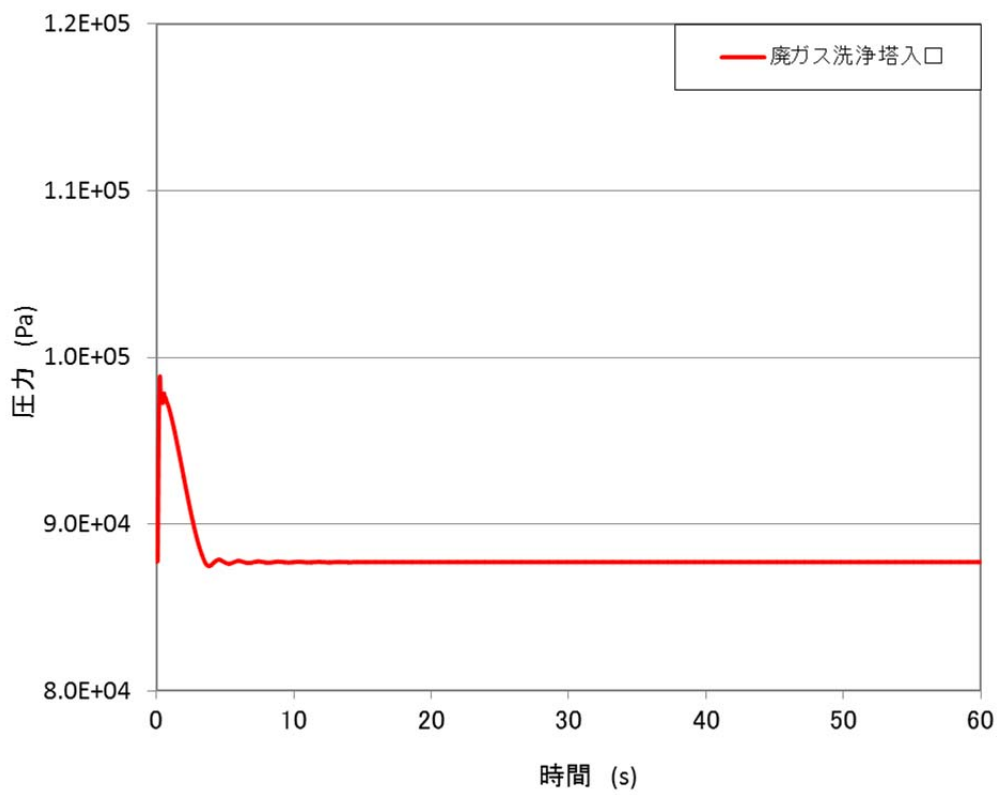
第7図 廃ガススポット入口部の温度



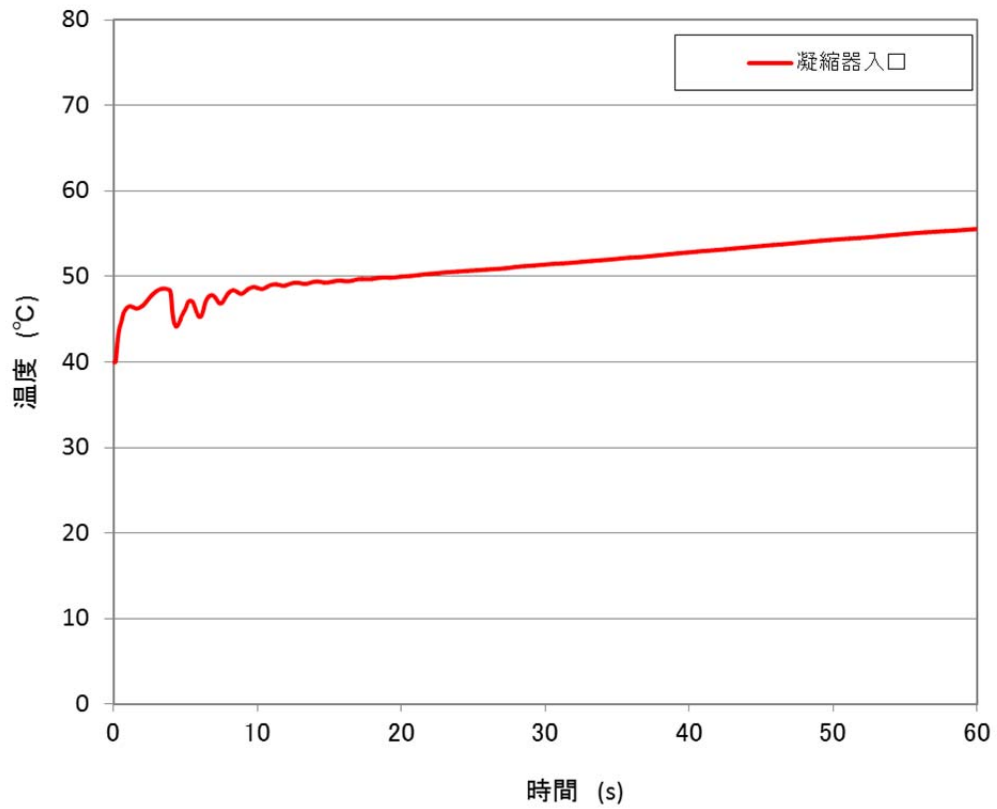
第8図 廃ガススポット入口部の圧力



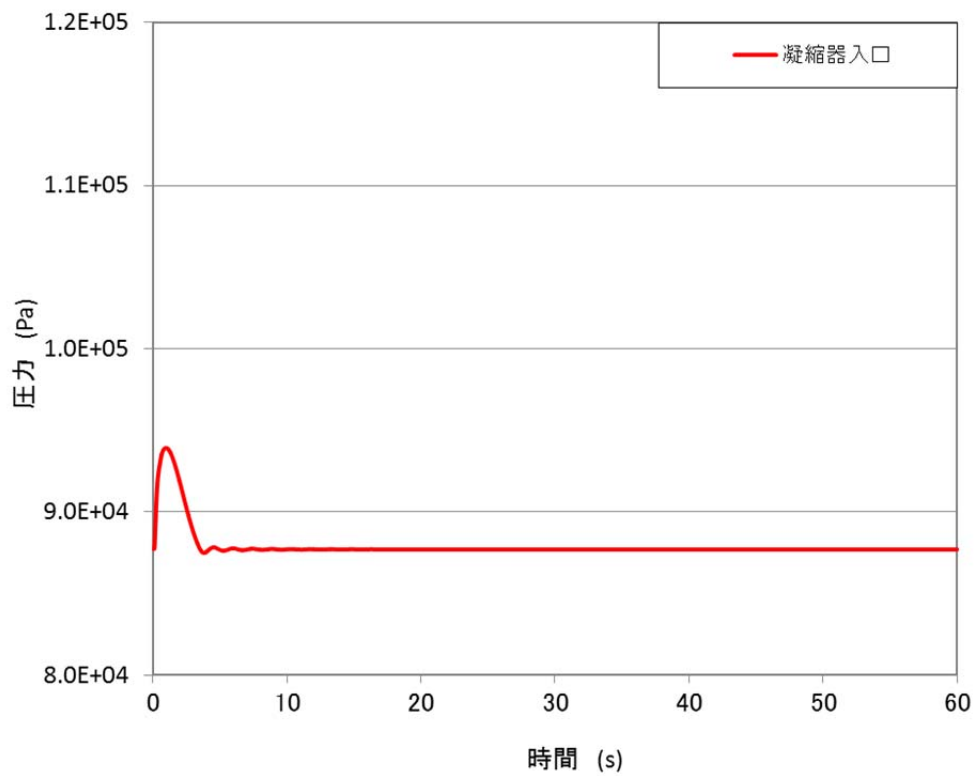
第9図 廃ガス洗浄塔入口部の温度



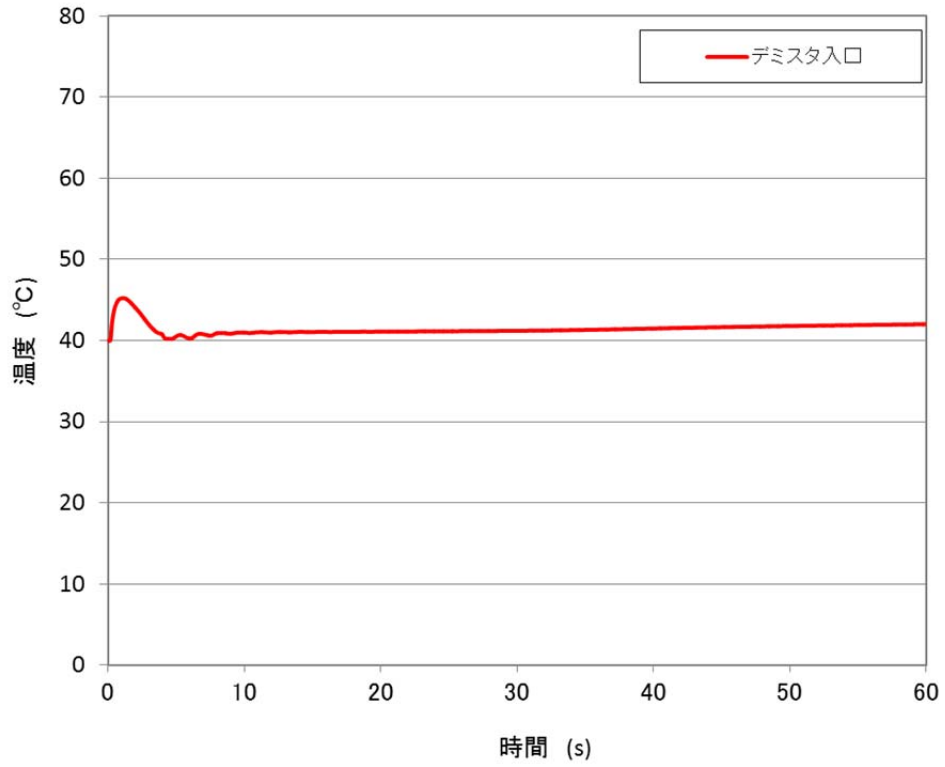
第10図 廃ガス洗浄塔入口部の圧力



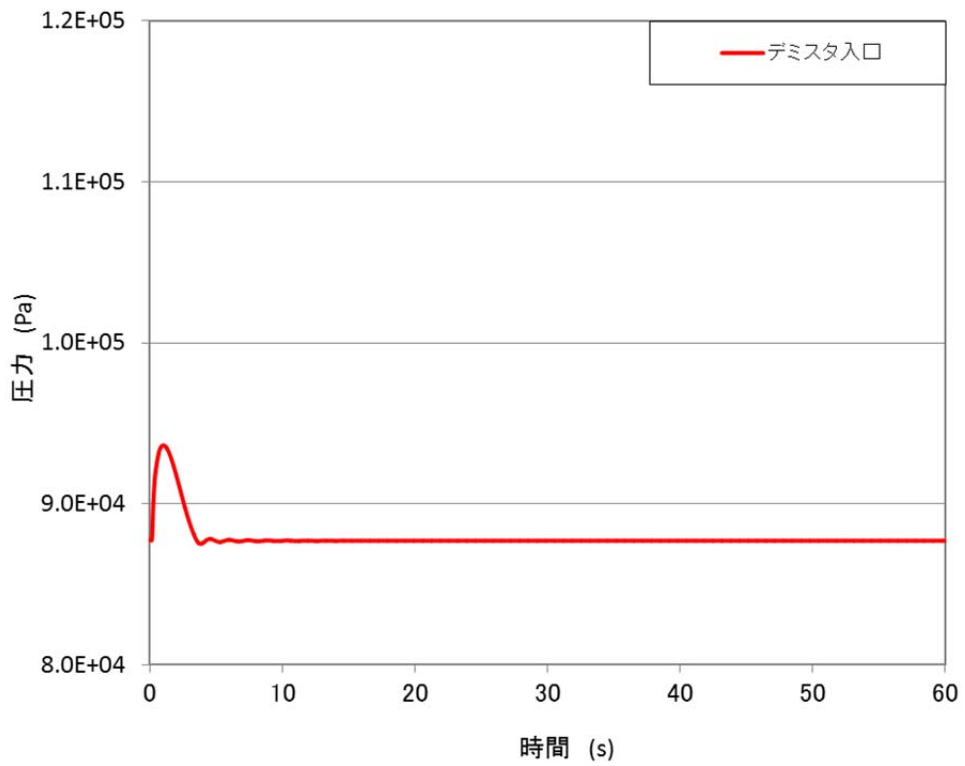
第11図 凝縮器入口部の温度



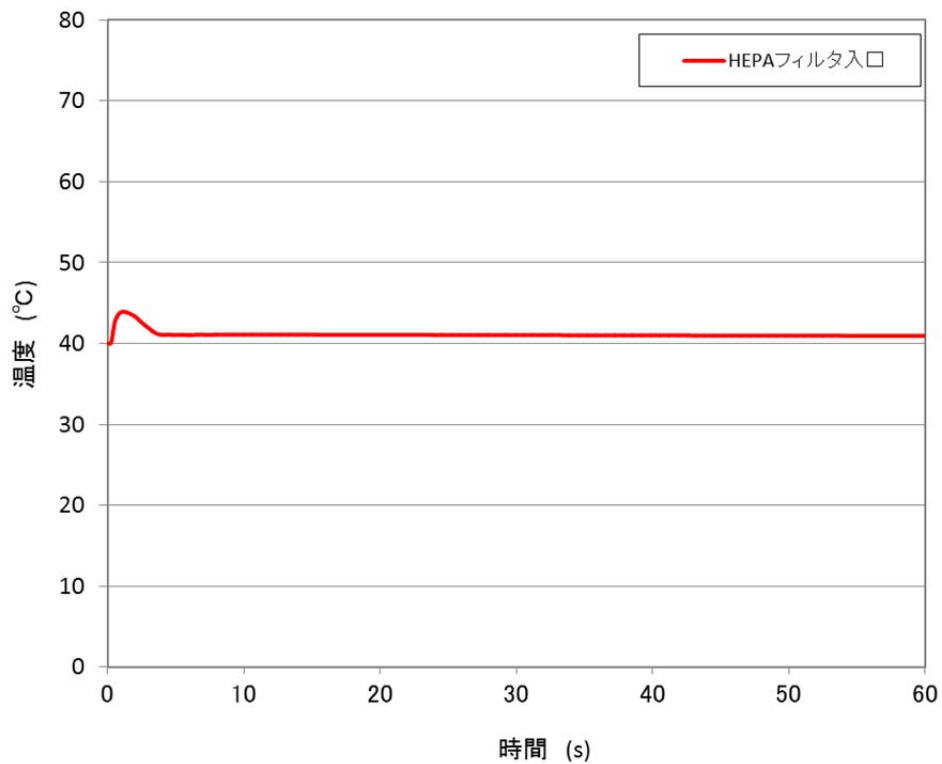
第12図 凝縮器入口部の圧力



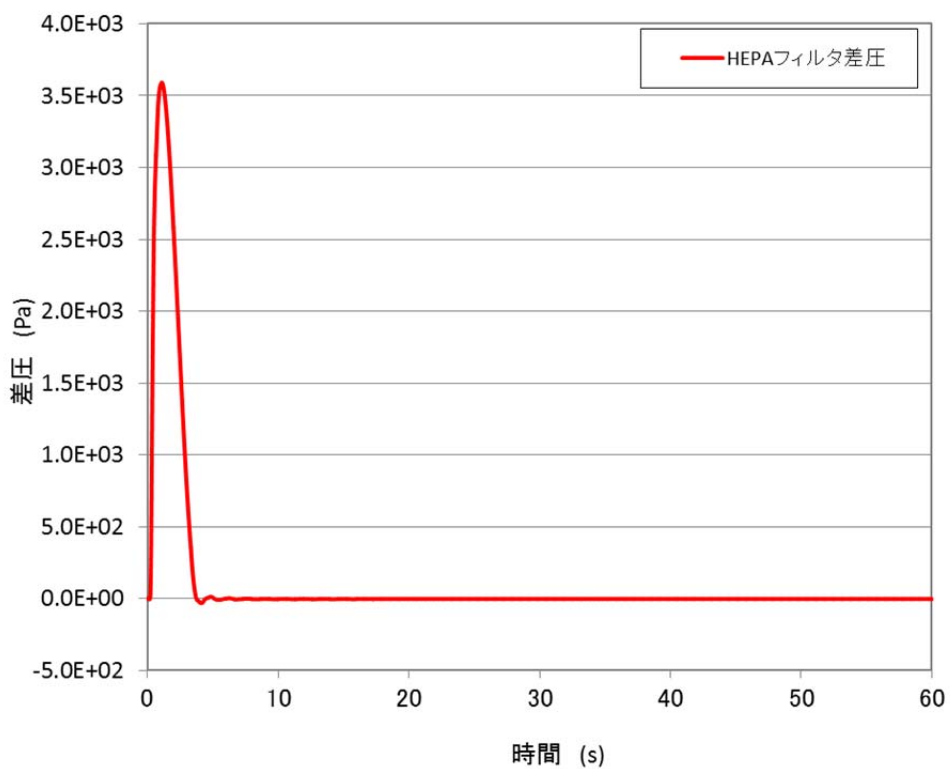
第13図 デミスタ入口部の温度



第14図 デミスタ入口部の圧力



第15図 高性能粒子フィルタ入口部の温度



第16図 高性能粒子フィルタ入口部の圧力

3. T B P等の錯体の急激な分解反応発生後から供給液停止までの状況

T B P等の錯体の急激な分解反応発生後，1分以内にプルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンは停止する。ただし，評価としてT B Pを含む供給液の供給が1分間継続した場合，濃縮缶内に供給されるT B P量は0.3 g程度となる。濃縮缶内がT B P等の錯体の急激な分解反応が起こる温度条件で成立している場合は，極小規模の爆発が起こることが想定されるが，T B P等の分解量が少ないことから，濃縮缶内の圧力及び温度に対して有意な影響を与えるものではない。

補足説明資料 10－3

T B P 等の錯体の急激な分解反応に関する知見

1. 文献から得られた知見

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

サバンナ・リバー・サイトにおける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，T B P 等の錯体の急激な分解反応はよく換気された系でも発生し，自己発熱はおおよそ 130℃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（T B P の分解生成物）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，T B P 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]

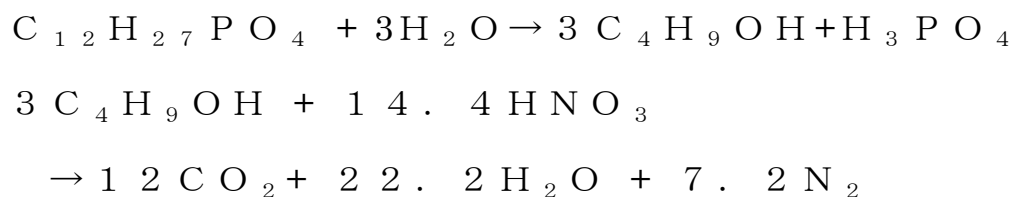
- 実験において確認された T B P 等の錯体の急激な分解反応の開始温度の平均値は 137℃であった。

○ T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生防止及び影響緩和の観点で重要な項目として温度，圧力（換気系の配管断面積の和と文献値との比較），有機相の蒸発缶等への持ち込み量，硝酸濃度を挙げている。

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

T B P 等の錯体の急激な分解反応では，主要なガスとして二酸化炭素，窒素，水が発生する。

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



T B P 等の錯体の急激な分解反応で反応する T B P 量は約 208 g（約 0.8mol）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

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

○サバンナ・リバー・サイト（1953年）

< 事故概要 >

硝酸ウラニル溶液の蒸発濃縮中に蒸発缶が爆発した。

< 原因 >

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

[1] T.J. Colven 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T B Pの錯体の状態で脱硝器に供給されたことが原因と推定される。

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

○トムスクー 7 (1993 年)

< 事故概要 >

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

< 原因 >

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

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

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

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

[1]“ロシアのトムスク際処理施設の事故に関する調査報告書”

科学技術庁，平成 6 年 9 月 8 日

以上

補足説明資料 10－4

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

1. T B P 等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置の概要

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

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）

T B P 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。

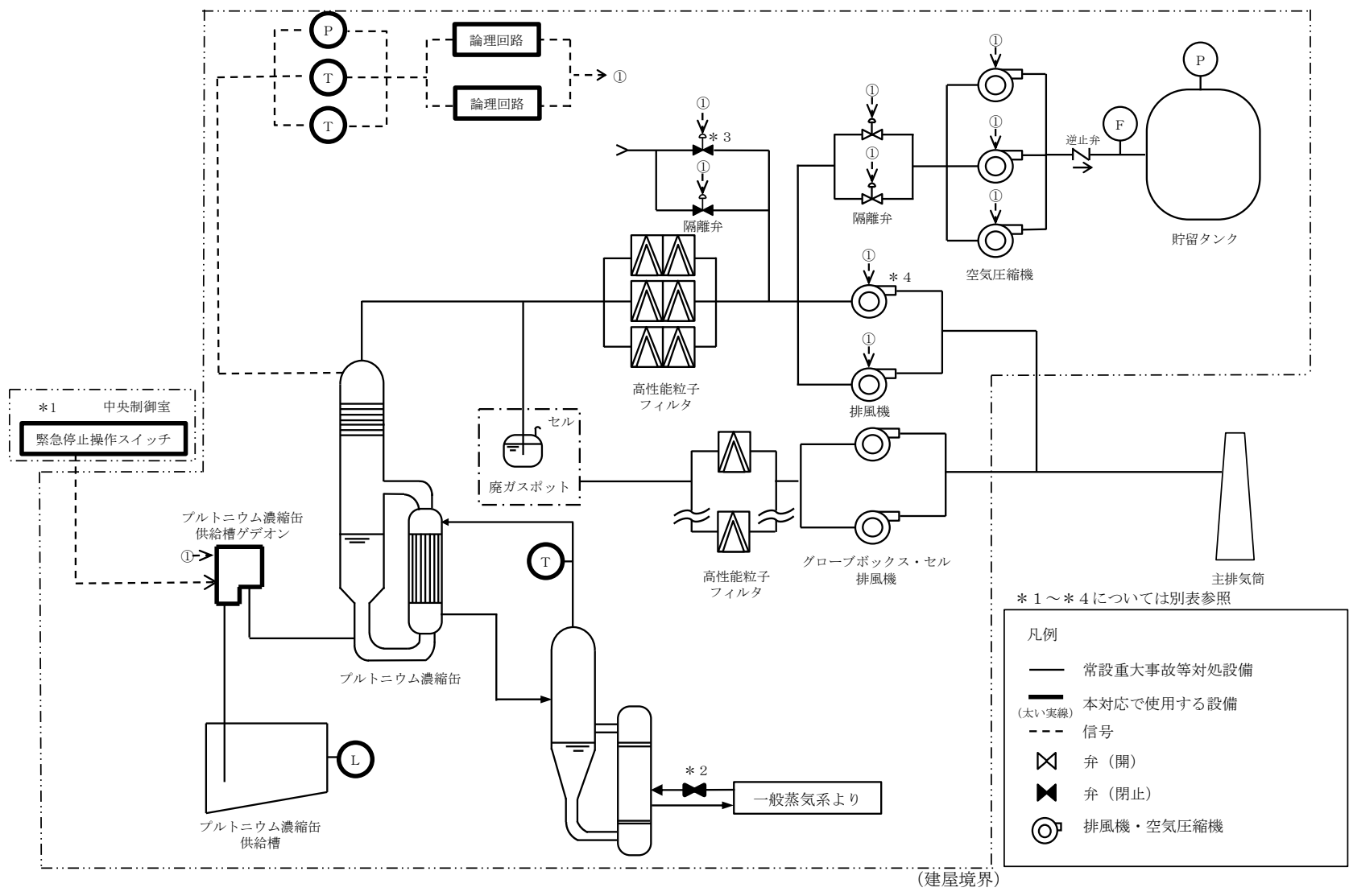


図-1 供給液の供給停止及び加熱蒸気の供給停止に関する系統概要図

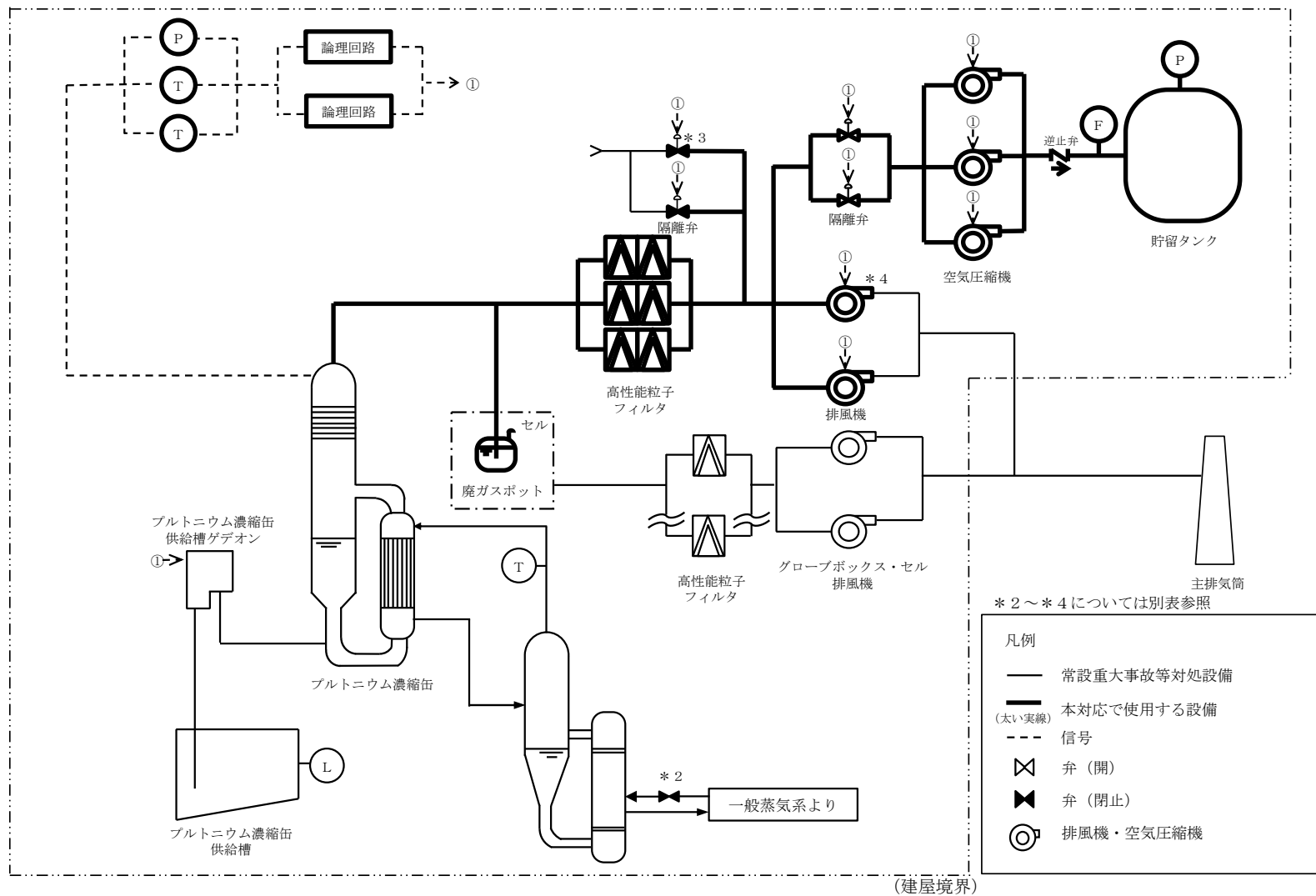


図-2 貯留設備による放射性物質の貯留に関する系統概要図

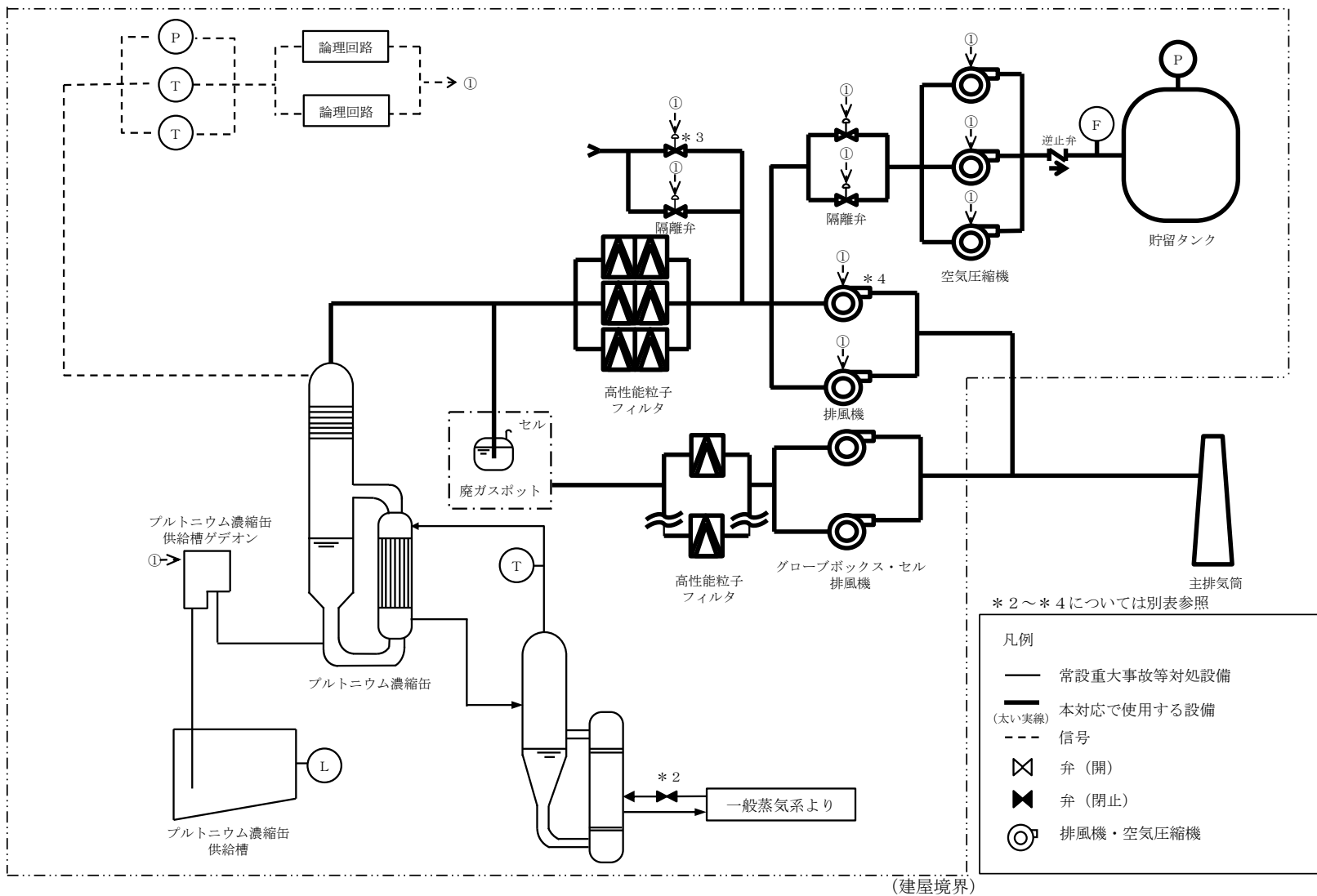


図-3 放出低減対策に関する系統概要図

別表 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操作対象機器リスト

供給液の供給停止

No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 1	緊急停止操作スイッチ	スイッチ操作	中央制御室

加熱蒸気の供給停止

No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 2	蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁	手動操作	精製建屋地下2階

貯留設備による放射性物質の貯留

No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 3	廃ガス処理設備の隔離弁	スイッチ操作	中央制御室
* 4	廃ガス処理設備の排風機	スイッチ操作	中央制御室

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

1. 1. 1 供給液の供給停止に使用する設備の設計

プルトニウム濃縮缶への硝酸プルトニウム溶液の供給停止インターロックは、異なる3つの計器（プルトニウム濃縮缶気相部温度、プルトニウム濃縮缶気相部温度、プルトニウム濃縮缶気相部圧力）からの信号のうち、2つ以上において事象の発生を検知する警報が発報した場合に、自動的に作動する。このため、1つの計器の誤作動により供給液の供給が停止することではなく、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、ゲデオンは、圧縮空気をエアジェットに供給することで作り出される真空により液をゲデオン内に引き上げ、機器内の堰を越えた分の液を供給先に供給する仕組みであるため、圧縮空気系の供給を遮断することで移送を止めることができる。事象の発生を検知した場合は、プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン用のエアジェットへの圧縮空気の供給を停止するため、確実に供給を停止することができる。

1. 1. 2 供給液の供給停止に使用する設備の有効性

a. 温度

T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合には、プルトニウム濃縮缶の気相部の温度は、T B P 量が 240 g の場合の解析の結果として、一時的に約 370℃まで上昇する。

しかし、プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン、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

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

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

プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオン、プルトニウム濃縮缶供給槽液位計、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 加熱蒸気の供給停止に使用する設備の設計

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

1. 1. 4 加熱蒸気の供給停止に使用する設備の有効性

a. 温度，圧力，放射線

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生時、加熱蒸気の供給停止のために操作する手動弁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 貯留タンクでの貯留に使用する設備の設計

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

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

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

1. 1. 6 貯留タンクでの貯留に使用する設備の有効性

a. 温度

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

貯留タンクでの貯留に使用する設備のうち，高性能粒
子フィルタの前段に位置する機器は鋼製であり，温度の
上昇による影響は受けない。高性能粒子フィルタの後段
には弁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。

b. 圧力

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

c. 放射線

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

1. 1. 7 貯留タンクの容量

T B P 等の錯体の急激な分解反応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 以上とした貯留タンク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 T B P 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貯留タンクに貯留できる。

1. 1. 8 放出低減対策に関する設計

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

同対策に使用する設備は，以下のような設計としている。

- ・塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）の高性能粒子フィルタは，放出量を十分低減できるように，2 段×

3 系列で構成されており， 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°C で設計する。
- ・ 高性能粒子フィルタの性能が維持できるフィルタ差圧の上限を約 9.3 kPa で設計する。

1. 1. 9 放出低減対策に関する有効性

a. 温度

T B P 量が 240 g 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°C であった。高性能粒子フィルタについては， 200°C 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ーを失う。セルの温度を数 $^{\circ}\text{C}$ 上げる程度のエネルギー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

T B P 量が 240 g 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 4 k P a 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 9.3 k P a 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ーを失うため、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

機器は T B P 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

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生により、プルトニウム濃縮缶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

- ・ T B P 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。
- ・ T B P 等の錯体の急激な分解反応の再発時は、T B P 量が少なく、T B P 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ーは小さいことから、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 6 m^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°C 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 7.375 kPa 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 $52 \text{ g} / \text{m}^3$ となる。

$$a = 217 \times E(t) / (T + 273.15) \quad (1) \text{式}$$

ここで、

a : 飽和水蒸気量

E (t) : 飽和水蒸気圧[h P a]

T : 温度[°C]

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 300 g 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 250m m A q 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。250m m A q に相当する水ミスト量は、容量 2000N m³ / h の高性能粒子フィルタで約 3.4 k g 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 380N m³ / h × 2 段が 3 系列（1 系列は予備）であるため、約 760N m³ / h となる。リークが始まるフィルタ差圧である 250m m A q 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 1300 g となる。

以上より、T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生により塔槽類廃ガス処理系（プルトニウム系）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 500 g となり、高性能粒子フィルタの健全性は維持される。

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）

補足説明資料 10 - 5

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

※ 「機能喪失の有無」に記載している事項の意味は以下のとおり。

維持1：機能喪失を想定する機能との取り合いがない

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

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

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

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

喪失1：機器の故障・異常による機能喪失

喪失2：誤操作による機能喪失

補足説明資料 10－6

事態の収束までの放出量評価

1. T B P 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 T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生してから収束するまでの放射性物質の大気中への放出量を評価する。T B P 等の錯体の急激な分解反応により気相部に移行した放射性物質のうち、貯留タンクに貯留されなかった放射性物質が大気中へ放出されたものとして評価する。事態が収束するタイミングは、貯留タンクへの貯留を約 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。

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

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

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

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。貯留タンク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 (A R F) の設定

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

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

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

項目	パラメータ
A R F	5.0×10^{-5}

第 1. - 2 表 放出量評価に必要なパラメータの設定

項目	パラメータ	
貯槽が保有する放射性物質質量 (MAR)	プルトニウム濃縮缶の通常運転時の容量及び T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生する温度を沸点とするプルトニウム濃度から算出した放射性物質質量とする。	
MAR のうち事故の影響を受ける割合 (DR)	1 とする	
機器内の気相に移行する放射性物質の割合の (ARF)	3.6×10^{-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)	
	5.0×10^{-5} (爆発時の圧力が 0.35MPa 未満の場合の ARF 値を適用)	
大気中への放出経路における除染係数 (DF)	経路上での沈着等	10
	高性能粒子フィルタ	1.0×10^5
貯留タンクへ貯留されない放射性物質の割合	約 4 %	

1.4 貯槽が保有する放射性物質量の設定

貯槽が保有する放射性物質量は，1日あたりに処理する使用済燃料の平均燃焼度 $45,000\text{MW d} / \text{t} \cdot \text{U P r}$ ，照射前燃料濃縮度 $4.5\text{w t} \%$ ，比出力 $38\text{MW} / \text{t} \cdot \text{U P r}$ ，冷却期間15年を基に算出した内蔵放射能に，使用済燃料の燃料仕様の変動に係る補正係数を考慮して平常運転時の最大値を算出し設定する。使用済燃料の燃料仕様の変動に係る補正係数を第1. - 3表に示す。

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

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		燃料仕様の変動に係る補正係数
	(B q / t · U P r)		
R u / R h	1.6 × 10 ¹² ※ 2		1.7
その他 F P ※ 1	1.3 × 10 ¹⁶		1.1
P u	α	1.7 × 10 ¹⁴	2.0
	β	2.9 × 10 ¹⁵	
A m , C m	1.8 × 10 ¹⁴		2.7

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

※ 2 R u 及び R h の合算値を示す。

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

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

爆発時の圧力が 0.35 MPa 未満の場合は 0.005% とする。

1.6 大気中への放出経路における除染係数の設定

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、D F 10 とする。また、高性能粒子フィルタの放射性エアロゾルの除染係数⁽²⁾は、T B P 等の錯体の急激な分解

反応が発生した場合の温度及び圧力においても健全であることを確認していることから、高性能粒子フィルタが所定の性能を発揮できることにより、2段でDF 1×10^5 とする。また、貯留タンクによる低減割合として、約96%の放射性物質が貯留タンク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-⁽²⁾1162に記載の吸入摂取換算係数をICRP Publication⁽³⁾.72の吸入摂取換算係数で補正するために設定する「吸入核種の化学形態に係る補正係数」を用いて、以下の計算式により算出する。

また、セシウム-137 換算係数の算出過程を第1. - 4表に示す。

セシウム-137 換算係数

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

第 1. - 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]
	($mSv / (kBq \cdot m^{-2})$)	($mSv / (kBq \cdot m^{-2})$)	(-)	(-)
Sr90	2.1E-02	1.3E-01	1.0	0.16
Ru106	4.8E-03	1.3E-01		0.037
Cs134	5.1E-02	1.3E-01		0.39
Cs137	1.3E-01	1.3E-01		1.0
Ce144	1.4E-03	1.3E-01		0.011
Eu154	1.3E-01	1.3E-01		1.0
Pu238	6.6E+00	1.3E-01	0.41	21
Pu239	8.5E+00	1.3E-01	0.42	27
Pu240	8.4E+00	1.3E-01	0.42	27
Pu241	1.9E-01	1.3E-01	0.39	0.56
Am241	6.7E+00	1.3E-01	0.45	23
Cm242	5.9E-02	1.3E-01	0.88	0.40
Cm244	2.8E+00	1.3E-01	0.47	10

注：放射平衡核種の子孫核種の寄与は、親核種に含む。

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

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

※2：化学形態としてキレートを想定

1.8 評価結果

T B P 等の錯体の急激な分解反応に伴い気相に移行した放射性物質の大気中への放出量（C s - 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 T B P 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

< T B P 等の錯体の急激な分解反応による評価 >

① ② ③=①×② ④=Σ③

機器	核種Gr	MAR [Bq]	DR [-]	ARF [-]	LPF (フィルタ・経路) [-]	貯留の考慮	放出量 [Bq]	Cs-137換算係数 [Bq/Bq]	総放出量 (Cs-137換算) [Bq]	放出量 (Cs-137換算) [TBq]
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	

< T B P 等の錯体の急激な分解反応後～供給液の供給停止までの評価 >

① ② ③=①×② ④=Σ③

機器	核種Gr	MAR [Bq]	DR [-]	ARF [-]	LPF (フィルタ・経路) [-]	貯留の考慮	放出量 [Bq]	Cs-137換算係数 [Bq/Bq]	総放出量 (Cs-137換算) [Bq]	放出量 (Cs-137換算) [TBq]
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	

※ L P F = 1 / D F

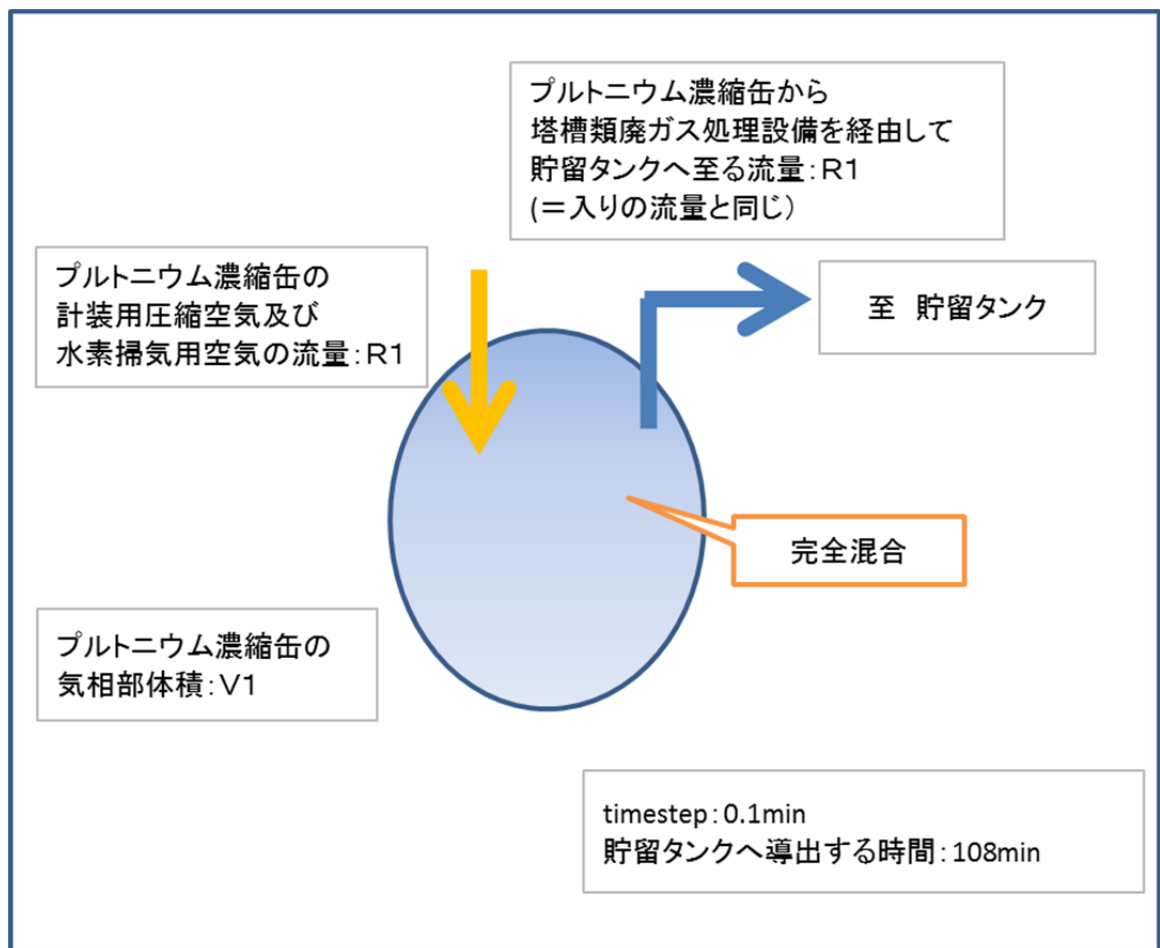
第 1. - 6 表 T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生に伴い気相に移行した放射性物質の放出量 (C s - 137 換算)

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

2. 貯留タンク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

貯留タンク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 貯留タンク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	V 1	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	R 1	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
貯留タンク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 T B P 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貯留タンク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貯留タンク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。

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

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]	貯留タンクへ導 出される量 [m3/timestep]	貯留タンクに貯 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. T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時に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）の空気の放出量評価

3.1 評価内容

T B P 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設備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廃ガスポットから、セルへ放出される。

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設備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 T B P 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ーにより圧縮され、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設備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

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

3.4 塔槽類廃ガス処理設備の気相部が保有する放射性物質質量の設定

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 $45,000 \text{ MW d} / \text{ t} \cdot \text{UPr}$, 照射前燃料濃縮度 $4.5 \text{ wt} \%$, 比出力 $38 \text{ MW} / \text{ t} \cdot \text{UPr}$, 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 T B P 等の錯体の急激な分解反応に伴い機器の気相中に移行する放射性物質の割合の設定

塔槽類廃ガス処理設備の気相部が保有する放射性物質量の算出の際は、文献に記載の割合を採用し、⁽⁴⁾ 圧縮空気 1 m³ 当たり 10m g 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、D F 10 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、T B P 等の錯体の急激な分解反応が発生した場合の温度及び圧力においても健全であることを確認していることから、高性能粒子フィルタが所定の性能を発揮できることにより、1 段で D F 1×10^3 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

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（C s - 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/m ³]	廃ガス量 [m ³ /y]	ARF	移行量合計 [Bq/y]	AdjP 燃料変動	補正係数 $\alpha \Rightarrow total$	補正係数 冷却年	Pu重量 補正	MAR&ARF [Bq/m ³]	
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	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	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	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	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	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	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	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	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	0E+00

① ② ③=①×② ④=Σ③

機器	核種Gr	MAR&ARF [Bq/m ³]	LPF	DR	ポットから 出る体積 [m ³]	放出量 [Bq]	Cs-137換 算係数 [Bq/Bq]	総放出量 (Cs-137換算) [Bq]	放出量 (Cs-137換 算) [TBq]
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（C s - 137 換算）

建屋	放出量 (C s - 137 換算) [T B q]
精製建屋	3×10^{-7}

4. T B P 等の錯体の急激な分解反応における事態の収束までの放出量評価

4.1 評価内容

1. に記載の T B P 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 T B P 等の錯体の急激な分解反応発生時に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放出量の合計が、T B P 等の錯体の急激な分解反応における事態の収束までの放出量に該当する。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

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生から事態の収束までの放射性物質の大気中への放出量（ $Cs-137$ 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 100 T B q を十分下回る。

第 4. - 1 表 T B P 等の錯体の急激な分解反応における事態の
収束までの放射性物質の大気中への放出量 (C s - 137 換算)

建屋	放出量 (C s - 137 換算) [T B q]
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-TCDOC-1162

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

(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.

補足説明資料 10－7

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

1. はじめに

本資料は、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気相中への移行率（ARF）について説明するものである。

2. ARFについて

ARFは、NUREG/CR 6410において0.35MPa未満、0.35～3.5MPa、3.5MPaを超える圧力によるARF値又は式があり、最も高い値となる3.5MPaを超える圧力によるARF式を厳しい条件として適用した。この式は、容器内に液体を入れ、容器の排気部を破裂板で閉止し、空間部を加圧したことにより破裂板が破裂した場合における容器内の液体のARFの式である。

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

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

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

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

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

ARFはUpper Bound, Best Fit, Lower Boundの3種類があり、それを図示したものが次頁の図である。

放射性物質の放出量に対し、より厳しい条件を設定するため、Upper Boundの式を用いてARFを算出した。

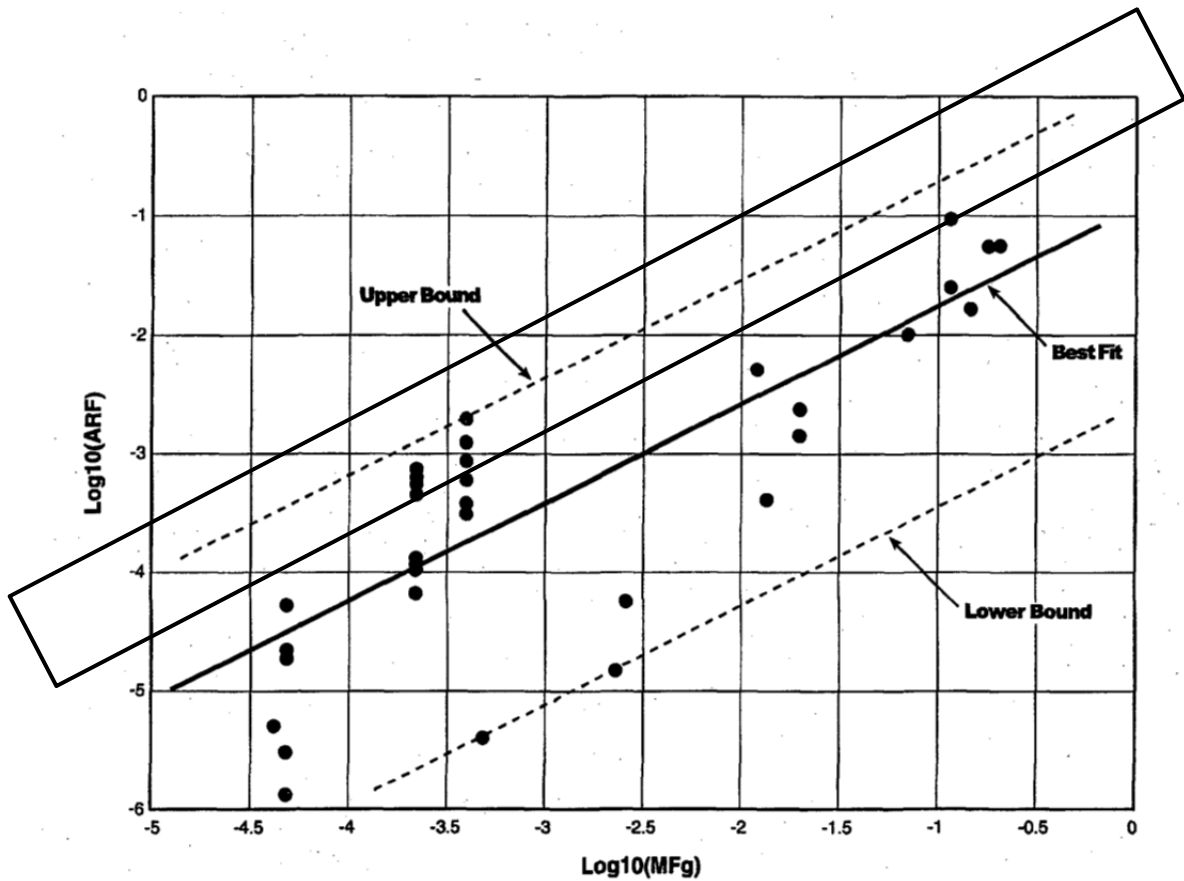


Figure 3-8. Fraction airborne vs. mole fraction of pressurizing gas for liquid pressurized releases

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

3.3.1.8 Overpressurization to Rupture

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

Slow Build up of Pressure:

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

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

補足説明資料 10－8

不確かさの設定

1. はじめに

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

2. 各パラメータの不確かさについて

(1) 重大事故等が発生する機器に保有される放射性物質質量（MAR）

a. 上振れ効果

MARの上振れとなる要因はない。

b. 下振れ効果

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

第1表 使用済燃料の条件

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

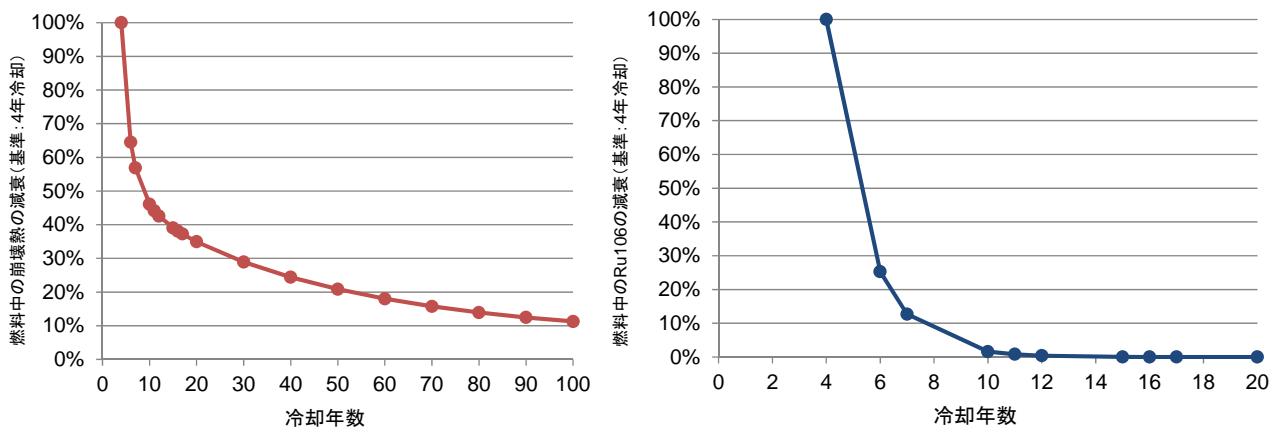
第2表 燃料仕様の変動に係る補正係数

元素グループ		燃料仕様の変動に係る補正係数
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

T B P等の錯体の急激な分解反応を検知後、プルトニウム濃縮缶供給槽ゲデオンは、自動停止又は緊急停止系の作動による手動停止が行われ、供給液の供給は速やかに停止することから、1分間とした供給液の供給が停止するまでの時間には1桁未満の下振れがある。

T B P等の錯体の急激な分解反応が発生するプルトニウム濃度は800 g/Lであり、プルトニウム溶液の粘性は高いと考えられることから、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、800 g/Lのプルトニウム溶液と供給液の混合液が加熱されることによる分解反応の発生についても不確かさが存在する。それぞれ分解反応が発生することを前提とした値として評価していることから、体系に起因した1桁未満の下振れを有する。

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

D Rは1とし、不確かさの幅の設定は行わない。

(3) 機器の気相に移行する割合 (A R F)

a. 上振れ効果

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

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

第3表 ARFの計算フロー

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

b. 下振れ効果

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

(4) 大気中への放出経路における除染係数(LPF)

a. 上振れ効果

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

放射性物質の放出量は、設定値に対して2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ーの減衰や放射性エアロゾルの沈着による除去が期待できる。

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

補足説明資料 10－9

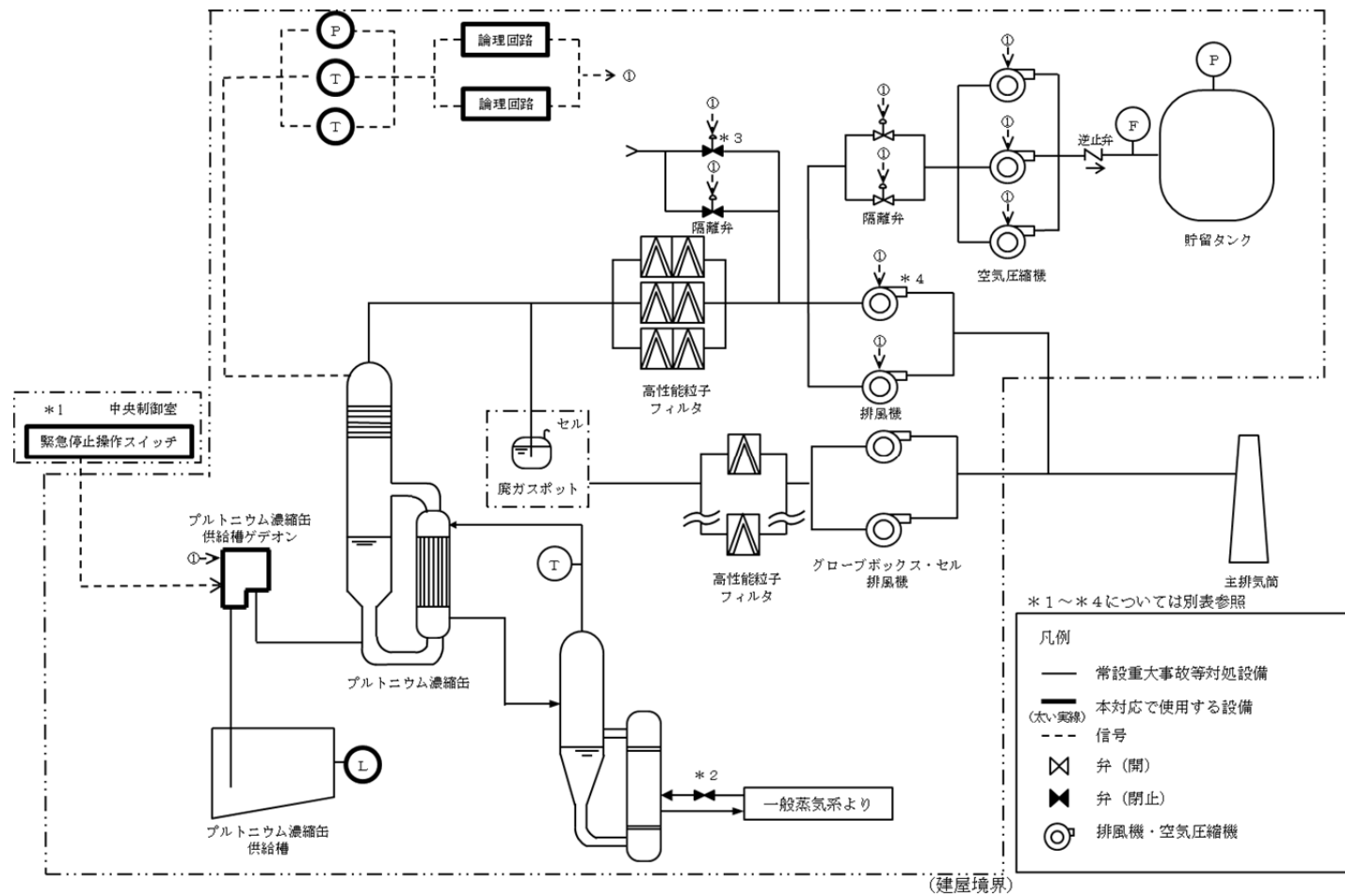
系統概要図，アクセスルート

図リスト

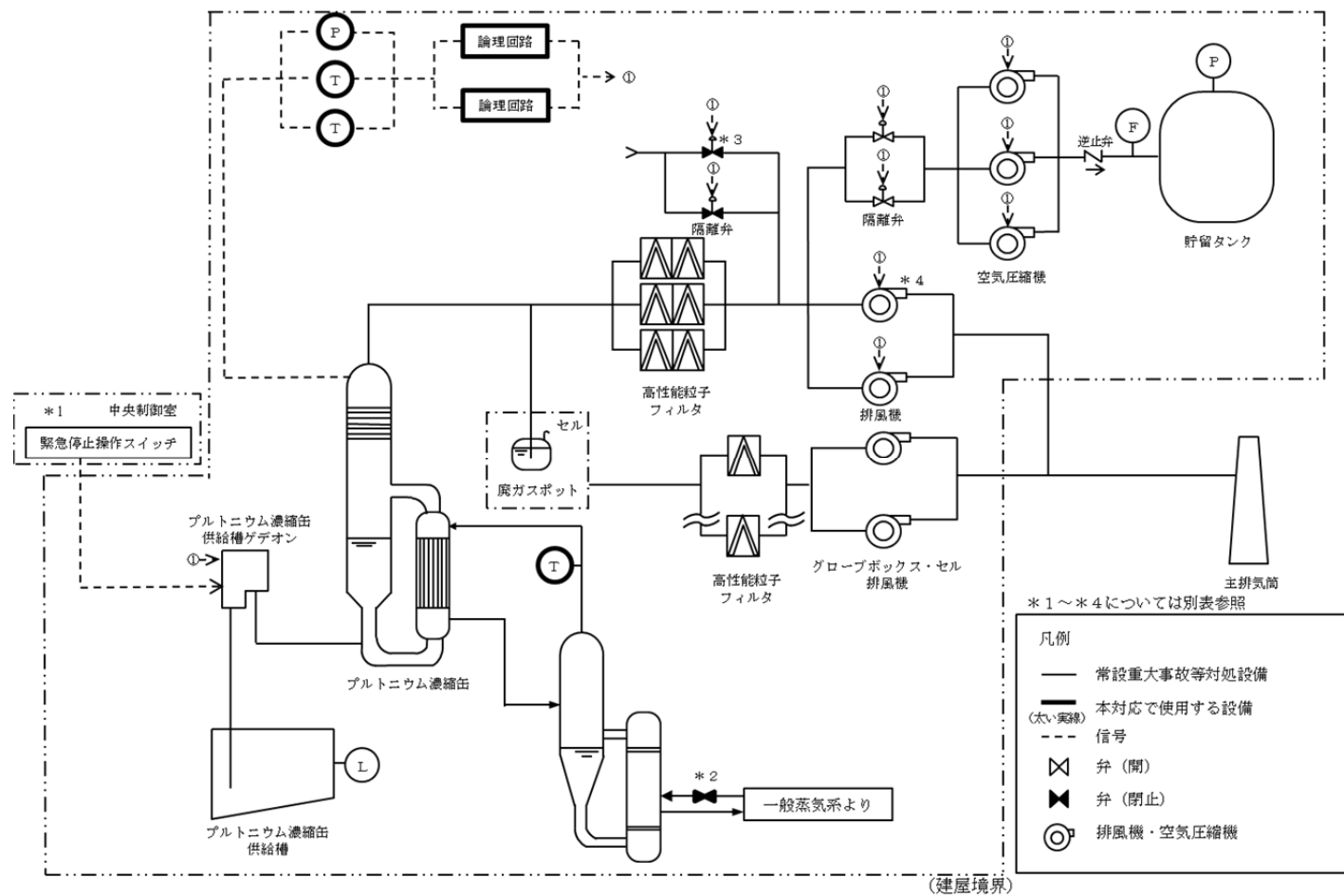
第1図～第5図 系統概要図

別表 TBP等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の操作対象機器リスト

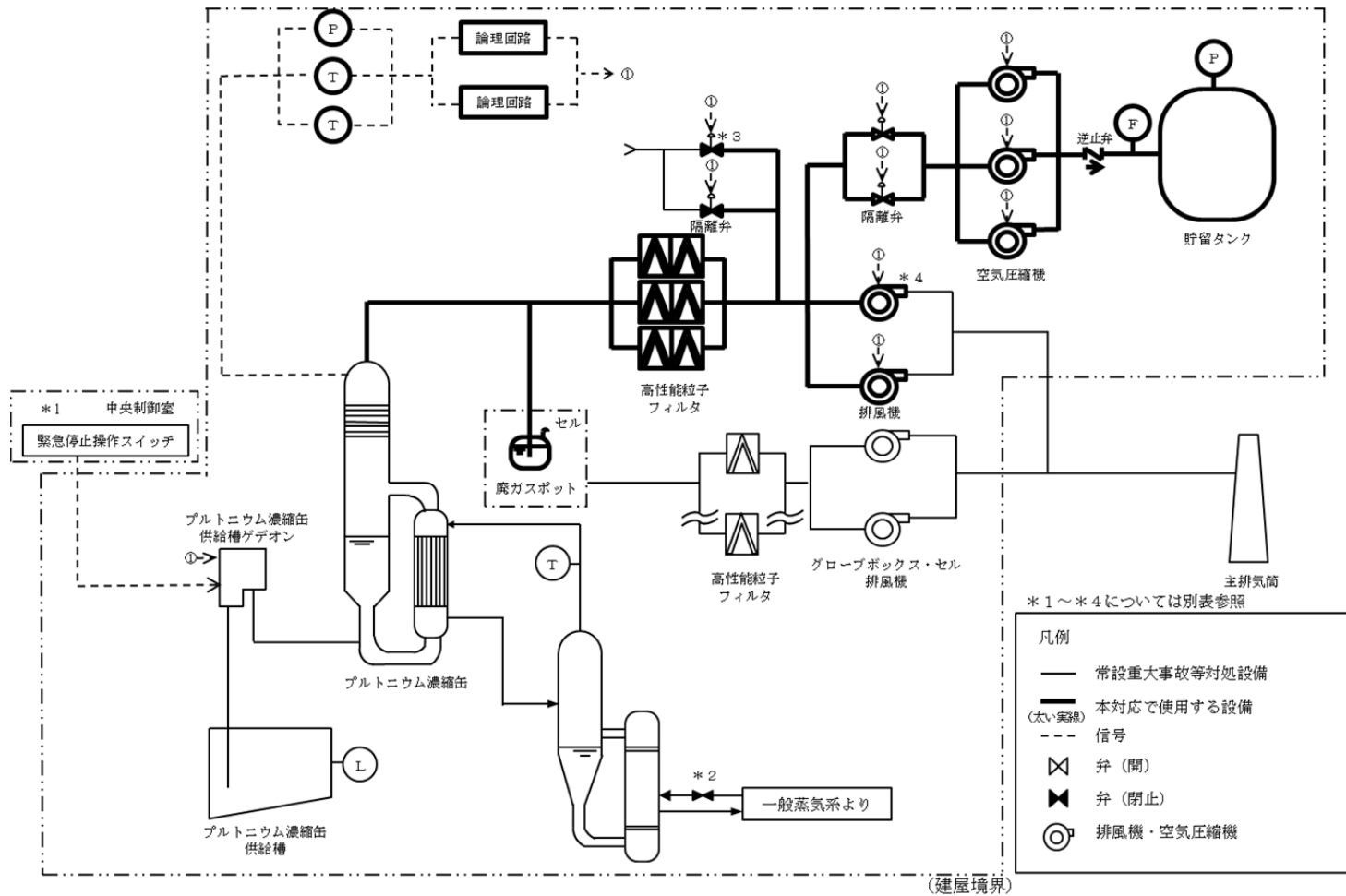
第6図～第9図 アクセスルート



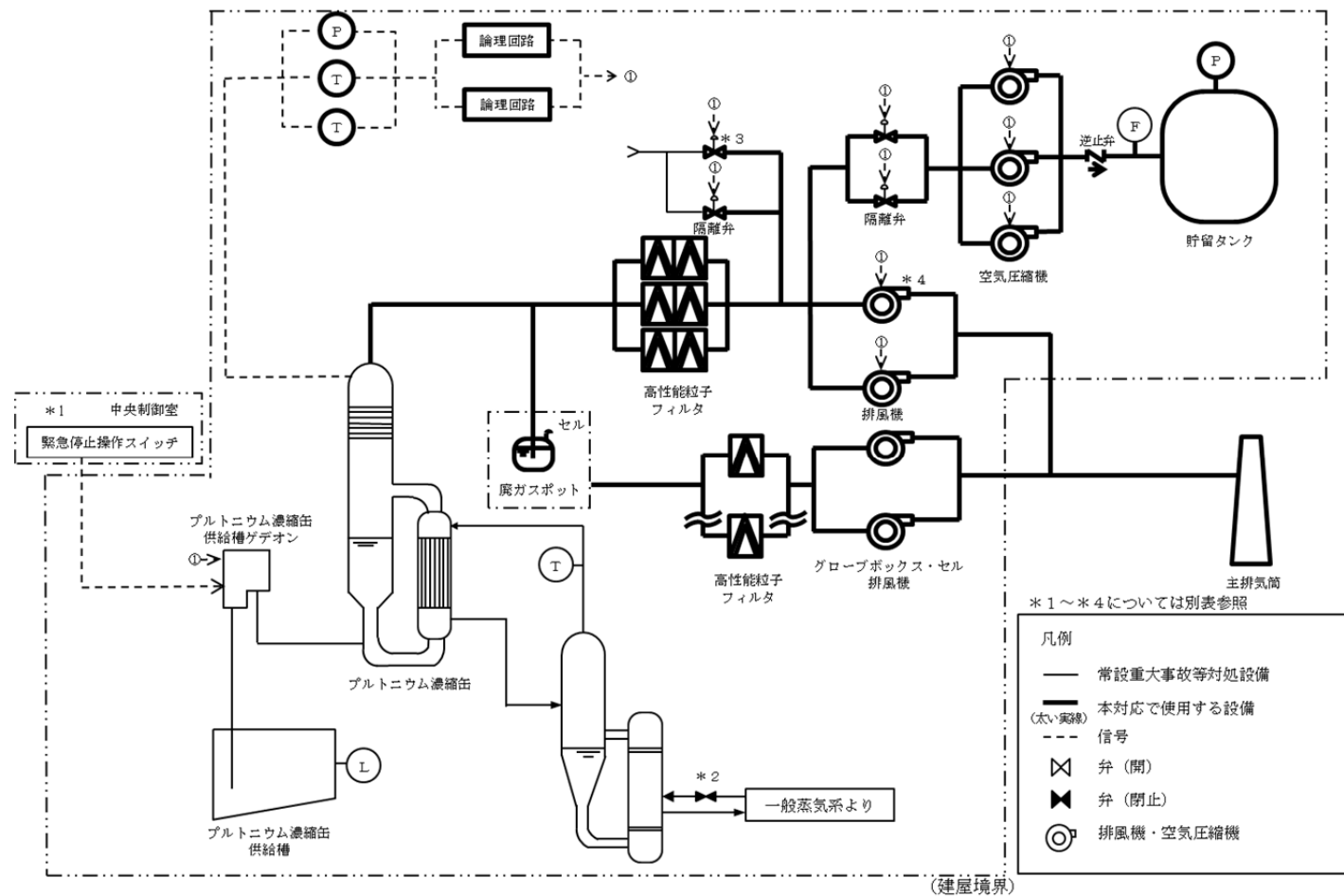
第1図 精製建屋 TBP等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
(プルトニウム濃縮缶への供給停止)



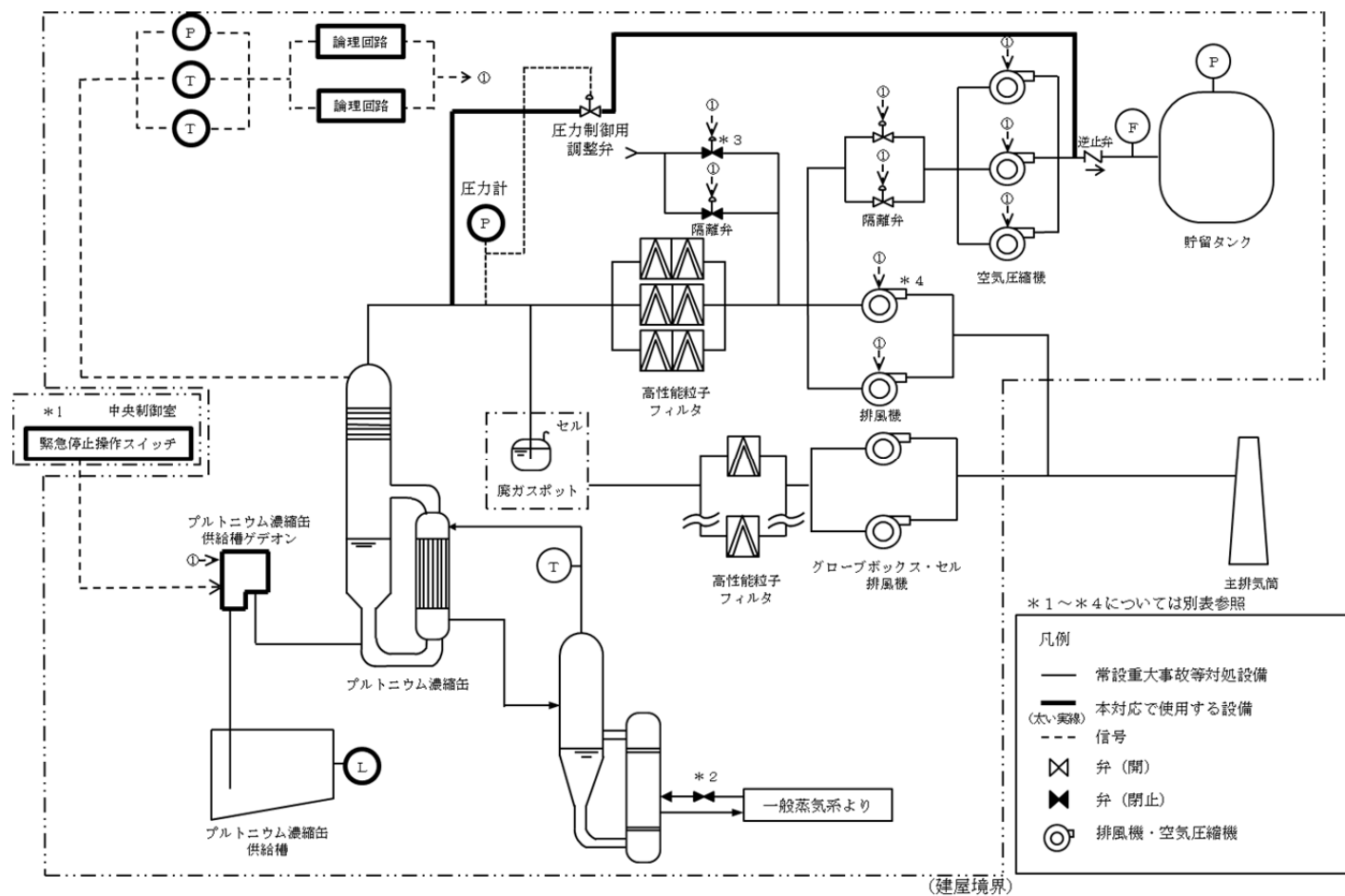
第2図 精製建屋 TBP等の錯体の急激な分解反応に対処するための設備の系統概要図
 (プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給停止)



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
(放出低減対策)



第5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)

別表 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操作対象機器リスト

供給液の供給停止

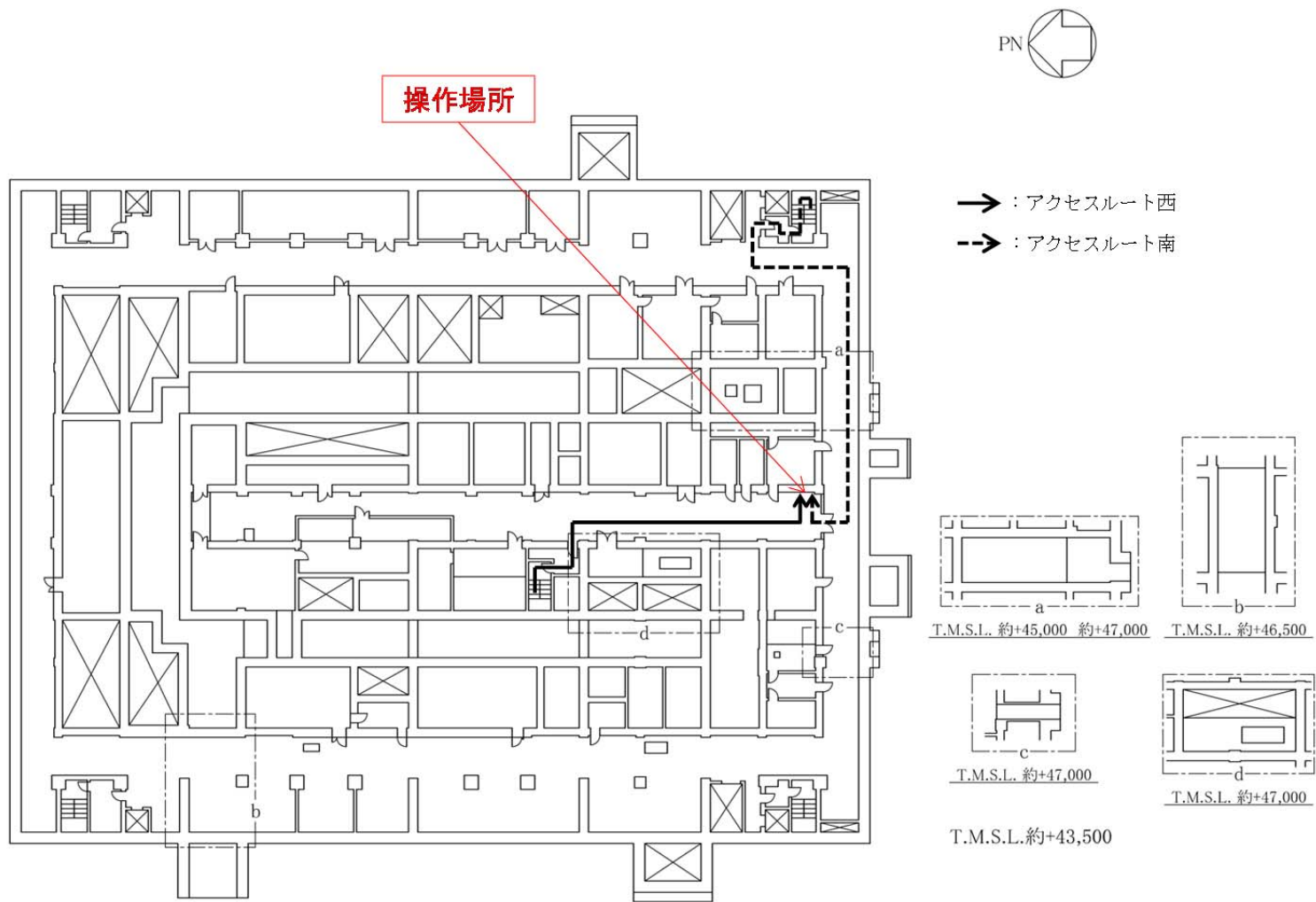
No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 1	緊急停止操作スイッチ	スイッチ操作	中央制御室

加熱蒸気の供給停止

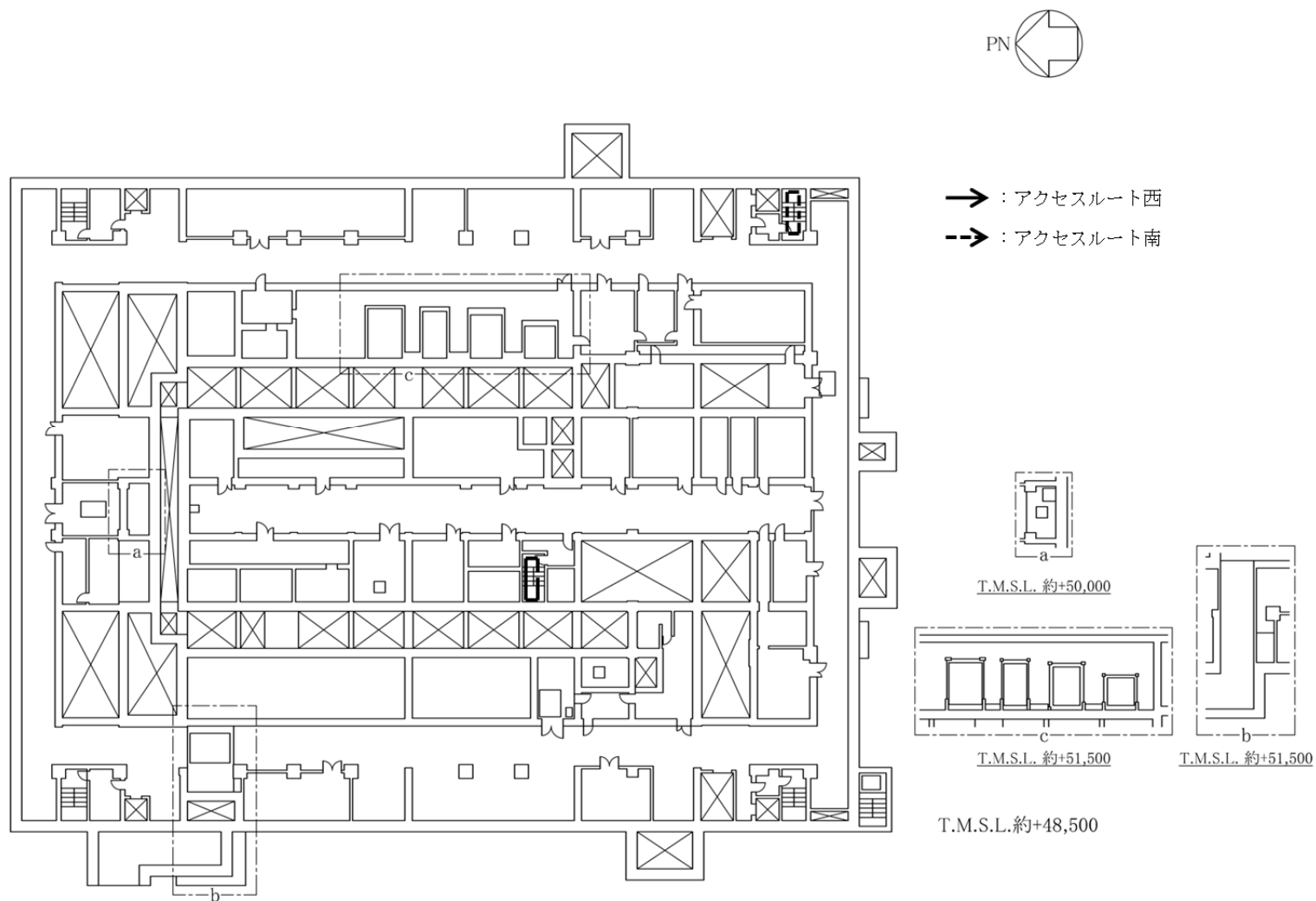
No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 2	蒸気発生器へ蒸気を供給する系統の手動弁	手動操作	精製建屋地下 2 階

貯留設備による放射性物質の貯留

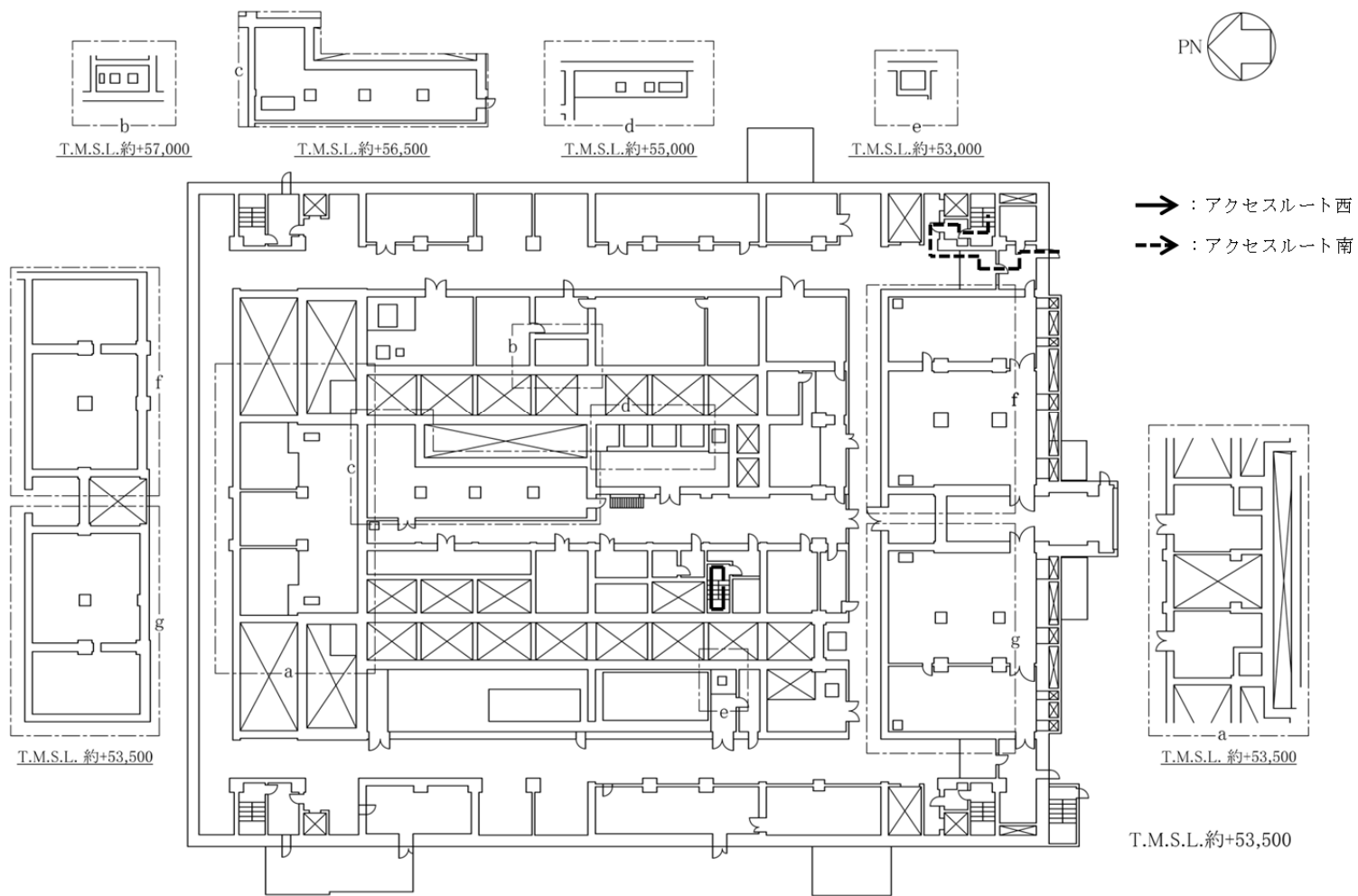
No.	機器名称	操作方法	操作箇所
* 3	廃ガス処理設備の隔離弁	スイッチ操作	中央制御室
* 4	廃ガス処理設備の排風機	スイッチ操作	中央制御室



第6図 精製建屋 T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置のアクセスルート
 (地下2階) (加熱蒸気の供給停止)



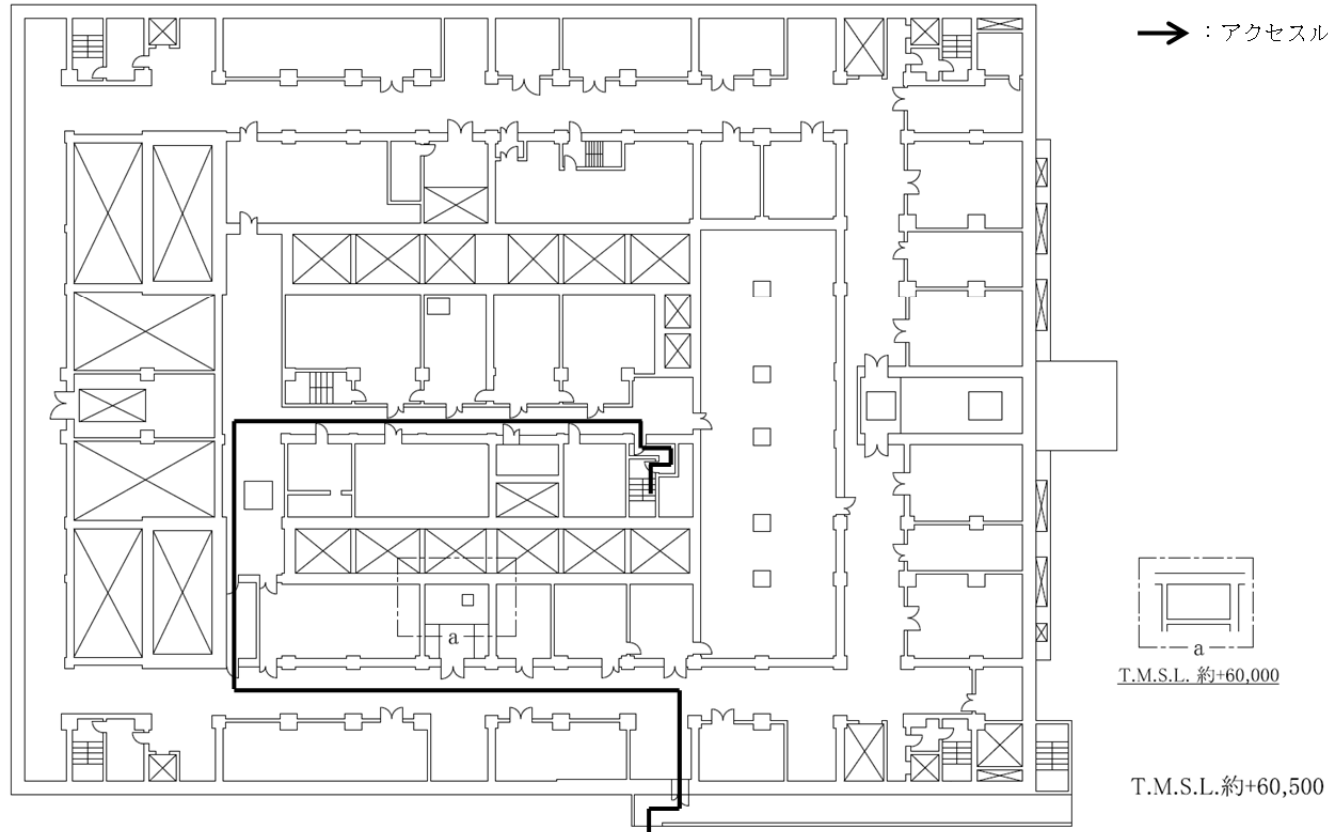
第7図 精製建屋 T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置のアクセスルート
 (地下1階) (加熱蒸気の供給停止)



第8図 精製建屋 T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置のアクセスルート
(地上1階) (加熱蒸気の供給停止)



→ : アクセスルート西



第9図 精製建屋 T B P等の錯体の急激な分解反応の拡大の防止のための措置のアクセスルート
(地上2階) (加熱蒸気の供給停止)

補足説明資料 10－10

T B P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. はじめに

T B P等の錯体の急激な分解反応を想定するプルトニウム濃縮缶内の溶液から発生する放射線分解水素の発生量及びプルトニウム濃縮缶に供給される水素掃気量から、プルトニウム濃縮缶内の水素濃度の評価を行ったので、ここでは、同評価の内容について取りまとめる。

2. 評価の方法

プルトニウム濃縮缶内の水素濃度を以下の通り評価する。

まず、水素発生速度を下式より求める。以下の式は、再処理施設の設計及び工事の方法の認可申請書における火災及び爆発の防止設計の水素発生量の評価式と同等である。

水相のみの場合、

$$F_{H_2} = 8.36 \times 10^{-6} \times V_{aq} \times (Q_{\alpha, aq} \times G_{\alpha, aq} + Q_{\beta\gamma, aq} \times G_{\beta\gamma, aq})$$

ここで、

F_{H_2} : 水素発生速度 (m^3/h [normal])

V_{aq} : 水相の液量 (m^3)

$Q_{\alpha, aq}$: 機器内の水相の単位液量あたりの α 崩壊熱量 (W/m^3)

$Q_{\beta\gamma, aq}$: 機器内の水相の単位液量あたりの $\beta\gamma$ 崩壊熱量
(W/m^3)

$G_{\alpha, aq}$: 水相での α 線のG値 (Molecules/100eV)

$G_{\beta\gamma, aq}$: 水相での $\beta\gamma$ 線のG値 (Molecules/100eV)

次に、水素発生速度を用いて、気相部の水素濃度を下式より求める。
評価に用いる水素掃気用安全圧縮空気流量は、水素掃気空気の流量計の警報設定値とし、水素濃度を高めに評価する。

$$C_0 = \frac{F_{H_2}}{F_{H_2} + f_{air}} \times 100$$

ここで、

C_0 : 水素濃度 (ドライ換算) (vol%)

f_{air} : 水素掃気用安全圧縮空気流量 (m³/h [normal])

なお、TBP等の錯体の急激な分解反応においては、水蒸気及び水素以外の分解生成物が主として発生することから、発生する気体の体積及び濃縮缶の空間体積を考慮して機器内水素濃度が低下することも考慮する。

評価に用いるパラメータを第1表に示す。

3. 計算結果及び評価結果

プルトニウム濃縮缶における水素発生速度及び機器内水素濃度を第2表に、プルトニウム濃縮缶内の水素濃度のトレンドを第1図に示す。TBP等の錯体の急激な分解反応発生時にプルトニウム濃縮缶内で発生する放射線分解水素の水素濃度は、プルトニウム濃縮缶内の水素濃度が可燃限界濃度であるドライ換算4vol%に達しないことから、TBP等の錯体の急激な分解反応を起因とした水素爆発は発生しない。

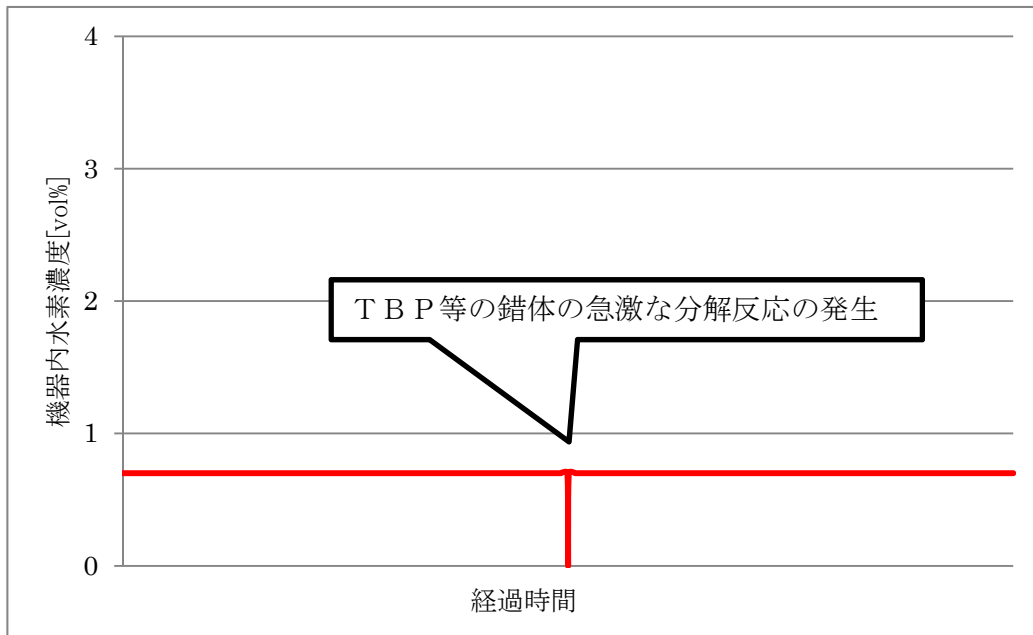
第1表 TBP等の錯体の急激な分解反応発生時のプルトニウム濃縮缶内の水素濃度評価に用いたパラメータ

精製 建屋	機器名	水相						有機相				水素掃気用安全 圧縮空気流量 (m ³ /h [normal])	評価用 空間 容量 (m ³)	
		液量 (m ³)	NO ₃ ⁻ 濃度 (mol/L)	崩壊熱密度		G値		液量 (m ³)	崩壊熱密度		G値			
				α (W/m ³)	βγ (W/m ³)	α	βγ		α (W/m ³)	βγ (W/m ³)	α			βγ
						(Molecules / 100 eV)								
プルトニウム濃縮缶	■	7.0	2.8×10 ⁴	—	0.048	—	—	—	—	—	—	0.36	0.24	

第2表 プルトニウム濃縮缶内の水素発生速度及び機器内水素濃度（ドライ換算）

精製 建屋	機器名	水素発生速度 (m ³ /h)	機器内水素濃度 (ドライ換算) (vol%)
		プルトニウム濃縮缶	2.3×10 ⁻³

■ について商業機密の観点から公開できません。



第1図 プルトニウム濃縮缶の機器内水素濃度のトレンド

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. 加熱停止後のプルトニウム濃縮缶の温度評価について

T B P 等の錯体の急激な分解反応の発生を検知した場合、プルトニウム濃縮缶への加熱蒸気の供給を停止する。この操作により、プルトニウム濃縮缶の加熱は停止するが、プルトニウム濃縮缶内のプルトニウム溶液は平常運転時よりもプルトニウム濃度が高くなっており、崩壊熱も高い。

このため、加熱停止後のプルトニウム濃縮缶の温度を評価することで、プルトニウム濃縮缶における沸騰の継続の有無を確認する。

1.1 熱移行の概念

熱移行の概念を下図に示す。

セル換気設備が運転している場合、機器内の崩壊熱は①「機器表面からセル雰囲気への熱伝達」により、機器からセル雰囲気へ熱が移行する。

このとき、セル雰囲気はセル換気設備が運転していることから、①の熱移行量が機器内液の崩壊熱と等しい値となった時が定常状態であり、このときの機器内液温度が平衡温度となる。

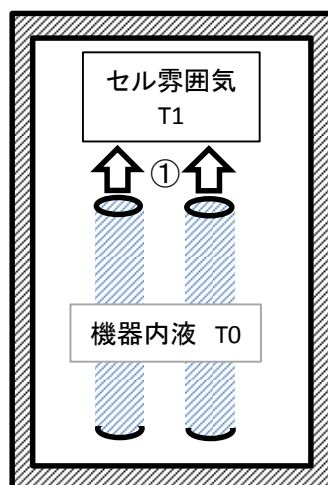


図 熱移行の概念図

ここで、プルトニウム濃縮缶については、実際に内包する液高さ(機器と接触している部分)までを対象とした 2 本の円筒容器にモデル化して平衡温度を評価する。

1.2 放熱量の算出方法

(1) ①機器内液からセル雰囲気への熱伝達

機器内液温度を T_0 ，セル雰囲気の温度を T_1 とした場合の機器表面からセル雰囲気への放熱量 Q_1 は、以下のとおり求められる。

$$Q_1 = h_1 \times A_1 \times (T_0 - T_1)$$

表 1-1 放熱量 Q_1 の算出に用いる各種パラメータ

Q_1	[W]	放熱量 (崩壊熱)
h_1	[W/m ² K]	総括熱伝達率
A_1	[m ²]	機器表面積 (2 本の円筒の側表面積)
T_0	[°C]	機器表面温度
T_1	[°C]	セル雰囲気温度

総括熱伝達率については、化学工学便覧の表から保守的な値として $10 \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} (= 11.63 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K})$ *と設定した。

※ 事象発生時(濃縮処理運転時)の換気設備は運転中でセル内空気は流動しており、プルトニウム濃縮缶についても径が小さく縦方向に長い円筒形状であることから、化学工学便覧に記載の温水放熱器(強制対流時)の総括伝熱係数 $10 \sim 50 \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ より、厳しい条件として $10 \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ を採用した。

1.3 機器内液平衡温度の計算結果

定常状態では、「 $Q_1 =$ 機器内液の崩壊熱」の状態が成り立っているため、 T_1 を起点として T_0 の機器内液温度を算出する。

以下に、プルトニウム濃縮缶を 2 本の円筒容器として計算した結果

を示す。

プルトニウム缶モデル

円筒容器	2	本
内径	■	m
高さ	■	m

機器内液温度

$$\text{算出式： } Q_1 = h_1 \times A_1 \times (T_0 - T_1)$$

$$\therefore T_0 = \frac{Q_1}{h_1 \times A_1} + T_1$$

Q ₁ 放熱量(崩壊熱)	■	W
h ₁ 総括熱伝達率	11.63	W/m ² K
A ₁ 機器内液表面積	■	m ²
T ₁ セル内温度	50	°C
T ₀ 機器内液温度	約 124	°C

以上より、セル内空気温度 (T₁) を 50°Cとして評価した結果、機器内液の平衡温度は約 124°Cとなり、800 g Pu/Lの溶液の沸点を下回るため、沸騰は停止する。

■ について商業機密の観点から公開できません。