

高圧ガス事故概要報告

整理番号 —	事故の呼称 熱交換器のチューブ洗浄中に発生した事故(非高圧ガス事故)		
事故発生日時 2021年11月27日(土) 13時45分	事故発生場所 愛媛県 新居浜市	事故発生事象 1次)その他 (中毒) 2次)	事故発生原因 主)操作基準等の不備 副)
施設名称 合成青酸プラント	機器 熱交換器	材質 シェル : SM400B チューブ : SUS316L	概略の寸法 シェル : 内径 850mm チューブ : 外径 19mm 長さ 5,000mm
ガスの種類および名称 可燃性毒性ガス (シアン化水素)*	高圧ガス製造能力 112,841,646 m <sup>3</sup> /日(事業所) 12,058,753 m <sup>3</sup> /日(施設)	常用圧力 管側 0.12MPa	常用温度 管側 35℃
被害状況(人的被害、物的被害) 人的被害 : 重症者1名(CPA(心肺機能停止)で病院に搬送され、事故発生後、5日(120時間)超で死亡が確認された。) 物的被害 : なし			
<p>事故の概要</p> <p>合成青酸プラントの定期修理において、熱交換器(縦型)(図1参照)を開放し、チューブ(伝熱管)を高圧水ジェット洗浄中、洗浄作業を担当していた協力会社の作業員が倒れ、公設消防により病院へ救急搬送された。</p> <p>以下、事故の概要を時系列で記す。</p> <p>11月10日(水) 定期修理の関係者は、キックオフミーティングを開催した。その後、熱交換器のチューブの高圧水ジェット洗浄作業について、操業課、工事担当部署および工事協力会社で要注意作業安全打合わせを行った。</p> <p>11月20日(土) 操業課員は、定期修理のため、合成青酸プラントを停止し、除害作業として熱交換器のシアン化水素の追い出し操作を開始した(図2参照)。</p> <p>11月21日(日) 操業課員は、シアン化水素の濃度が作業手順書で定めた目標値を下回ったため、追い出し操作を停止し、水による洗浄作業(バッチ式)に移行した。</p> <p>11月22日(月) 操業課員は、洗浄水の中にシアン化水素が検出されないことを確認し、水による洗浄作業(バッチ式、全6回)を終了した。</p> <p>11月23日(火) 操業課員は、熱交換器の窒素パージをした。</p> <p>11月24日(水) 操業課員は、熱交換器の空気パージをした。</p> <p>11月25日(木) 操業課員は、シアン化水素を検出できるガス検知器(以下「ガス検知器」という)を用いて熱交換器の気相部を測定し、シアン化水素が検出されないことを確認し、除害作業を終了した。</p> <p>11月26日(金) 9時00分頃 協力会社Aの作業員は、操業課員と工事担当者の立会いのもと、熱交換器の上部チャンネルカバーの開放作業を開始した。操業課員は、開放作業の間、ガス検知器で測定を継続した。</p> <p>9時30分 開放後、操業課員は、ガス検知器を用いて上部チャンネルカバ</p>			

	<p>一内から上部管板に落下し、堆積した重合物の近傍を測定し、シアン化水素が検出されないことを確認した後、測定を継続しながら堆積した重合物を手作業で除去した(図3参照)。</p>
11月27日(土)	
8時30分頃	<p>操業課員は、ガス検知器を用いて上部管板の直上を測定し、シアン化水素が検出されないことを確認した。</p>
	<p>協力会社Aは、熱交換器のチューブを高圧水ジェット洗浄するため、養生を行った。</p>
9時30分頃	<p>協力会社Bは、高圧水ジェット洗浄作業の準備を開始した。</p>
	<p>協力会社Bは、熱交換器のチューブの高圧水ジェット洗浄作業を3人体制で開始した。</p>
	<p>① 高圧水ジェット洗浄作業員 (以下「作業員①」という)  ② 監視員 (以下「作業員②」という)  ③ 高圧水ジェット洗浄車操作員(以下「作業員③」という)</p>
11時00分頃	<p>高圧水ジェット洗浄作業の水圧は、100MPaとした。</p>
	<p>協力会社Bは、熱交換器のチューブ内の重合物が硬いため、高圧水ジェット洗浄作業の水圧を150MPaに上げることを、工事担当者に相談した。</p>
11時20分頃	<p>協力会社Bは、午前中の高圧水ジェット洗浄作業を終了した。</p>
13時30分頃	<p>協力会社Bは、昼休憩を終え、熱交換器のチューブの高圧水ジェット洗浄作業を水圧150MPaに上げて再開した。</p>
13時40分頃	<p>作業員①は、作業員②に高圧水の送水を停止するよう合図した。</p>
	<p>作業員②は、作業員③に高圧水の送水を停止するよう指示した。</p>
	<p>作業員③は、高圧水の送水を停止した。</p>
	<p>その後、作業員②は、作業員①から応答がないため、養生の隙間から確認したところ熱交換器の上部管板の上に倒れていた。</p>
	<p>作業員②は、周囲に助けを求めた。</p>
	<p>操業課員が駆け付け、ガス検知器を用いて周辺雰囲気を選定したが、シアン化水素は検出されなかった。</p>
13時47分	<p>駆け付けた操業課員から連絡を受けた他の操業課員は、構内警備に通報した。</p>
	<p>構内警備は、119番通報をした。</p>
14時10分頃	<p>公設消防が現着し、作業員①を病院へ救急搬送した。</p>
14時45分頃	<p>警察による現場確認時に操業課員が、ガス検知器を用いて上部管板の直上を測定、10～20ppm程度が検出された。</p>
12月2日(木)	
16時23分	<p>作業員①は、治療を受けていた病院で、死亡した。</p>

#### 事故発生原因の詳細

##### (1) 技術的要因

##### ① シアン化水素の径路

作業員①は、午後の作業開始前は特に異常はなかったことから、シアン化水素に曝されたとすると、午後の作業開始後、10～25分間程度であったと推測される。熱交換器のチューブ内にシアン化水素が残留しており、高圧水ジェット

洗浄作業時にシアン化水素を含む液滴が飛散して作業員①の口の部分に到達し、それを飲み込んだか、またはシアン化水素を含む液滴から蒸発したシアン化水素ガスを吸引したと推察される（図4、図5参照）。

## ② 作業員①の保護具

高圧水ジェット洗浄作業時の保護具は、作業前にガス検知器による測定でシアン化水素が検知されないことを確認していた。作業員は基準に従って、保護面、全身防護服、ゴム手袋、ゴム長靴を着用していた（図6参照）。ただし、この保護面は吸入、吐出用に小さな開口部があり、飛散したシアン化水素を含む液滴が、内部に飛び込んだ可能性がある。

## ③ シアン化水素が残留するプロセス

事故後、チューブ内の観察を含む調査を実施した結果、シアン化水素を含む液滴は、以下の複数の条件が満たされたことでチューブ内に残留していた可能性があり、高圧水ジェット洗浄作業によりその液滴が飛散したものと推察される。

- チューブ内で小さな重合物が成長し、内部が狭まった後、さらに上から重合物が落下して詰まり、重合が進行することでチューブ内に閉塞が発生する（図7、図8参照）。
- 閉塞したチューブの上部に、重合物が落下、または、落下した重合物を起点に重合が進行し閉塞することで蓋をされ、除害作業後であっても、チューブ内にシアン化水素を含む液滴が残留する（図9、図10参照）。

### (2) 管理的要因

#### ① 慣れと過信

これまで、15年以上にわたり大きなトラブルなく同様な作業を実施した状況に慣れてしまっていた。シアン化水素の重合物の生成メカニズムの究明など、作業方法をより安全にするための改善の活動が不十分であった。

#### ② 安全に対する感受性の不足

マニュアル、過去の実績などに囚われることなく、現場状況の変化点（高圧水ジェット洗浄作業において、100MPaでの水圧で重合物の除去が出来ないと報告があった時点）では、一度作業を止め、安全について再点検してから再開すべきであった。

#### ③ 「安全をすべてに優先させる」理念の徹底不十分

工場幹部のリーダーシップのもと、継続的な啓発活動により「安全をすべてに優先させる」という理念を隅々まで浸透させるための、より一層の努力が必要であった。

### (3) その他

事業所の報告書では、事故原因としては挙げられていないが、次の事実が記載されていた。

事業所内の他の同種合成青酸プラントでは、以前、高圧水ジェット洗浄作業において、コンデンサー排水口付近にいた操業課員と、上部管板の上にいた高圧水ジェット洗浄作業員がシアン化水素特有の臭気を感じた（排水口付近のガス検知器は発報せず、上部管板の上でガス検知器により測定したが、不検出）という事象があった。このため、高圧水ジェット洗浄作業時は、臭気対策としてエアラインマスクを着用する運用に変更した。この同種合成青酸プラントの操業課内では、情報はライン管理者を含めて報告され、周知されていた。しかし、作業員へのリスクが低いと判断されたことから、他の同種合成青酸プラントの操業課への周知を要しない事案として、処理され共有されていなかった。

## 事業所側で講じた対策(再発防止対策)

### (1) 技術的対策

- ① 除害効果を向上するため、洗浄操作を追加するとともに、エアパーズ終了後、内部確認を行い、チューブ内に重合物による閉塞があれば、操業課員で閉塞除去および水洗浄を追加で行い、協力会社に引き渡すように除害方法の見直しを行った(図 11 参照)。
- ② ガス検知器により検知されなくても、熱交換器の開放時と高圧水ジェット洗浄作業時には、エアラインマスクを着用することに基準を変更した。
- ③ 運転中は、シアン化水素の重合抑制を目的として、熱交換器に酢酸を供給しているが、酢酸の温度が低いと供給ノズル内でシアン化水素のガスが液化し、重合物が発生する恐れがあるため、酢酸を加温した状態で供給できるように設備改造を行う。

### (2) 管理的対策

- ① 重大事態につながるような作業は、改めてリスクアセスメントを実施し、対策を行う。
- ② 毒性の強い物質を使用する設備は、除害後、工事協力会社に引き渡すときの判断基準を再確認するとともに、除害またはその完了確認が困難な場合に十分な裕度のある安全対策(保護具、作業手順、立会いなど)について、再点検を行う。
- ③ 全従業員を対象に今回の事故を教材とした安全管理教育を実施する。毒性の強い物質と接触する可能性のある作業を協力会社に依頼するときに、都度、安全情報の連絡と教育を実施することを再徹底する。
- ④ 異なる課の技術交流、トラブル事例、ベストプラクティスの情報共有をもっと深めていくなど、技術レベルと安全レベルの底上げを図るための工場横断的取組みを推進する。機器を安全な状態にして工事協力会社に引き渡すため、製造課による定修前の対応必要箇所の取り纏めおよび随時更新と、課員全員の情報共有を行う。工事引き渡し時に、製造課から工事担当部署、工事協力会社への除害状況、物質情報などの工事安全に関する情報提供の再徹底を行う。具体的には、職場において除害の再確認を実施し、除害状況の結果を工事協力会社の方へ情報共有する。

## 教訓(事故調査解析委員会作成)

- ① 反応副生成物(重合物)は、ハザード(異物)となることを認識する必要がある。反応副生成物の特性は、十分に解明されていない(学識が未知)。
- ② これまで問題がなかった作業であっても常に検証を行わなければ事故が発生することがある。問題がないことに過信せず、常に新たなハザードに着目してリスクアセスメントを実施し、検証を行うことが重要である。高圧水ジェット洗浄では、水圧上昇がハザードとなる。
- ③ 毒性ガスを扱う設備では、開放作業を行うとき、想定外の事態も考慮し、設備から完全に除害されるまで、作業中は適切な保護具を装着することが必要である。
- ④ 事業所内で、同種の設備がある場合、経験したすべての情報を共有する必要がある。
- ⑤ 毒性ガスを扱う同様な製造施設を持つ事業所間では、事故、トラブル、除害作業上の安全対策などについて情報交換を行い、共同して事故の未然防止に努めることが重要である。

事業所の事故調査委員会

事故発生日の令和3年11月27日から令和4年1月14日まで35回、事業所と本社で対策会議を実施した。

備考

※ この事業所では、「シアン化水素」を「青酸」と呼んでいるため、事業所提供の図面では、「青酸」が用いられている。

キーワード

シアン化水素、青酸、中毒、熱交換器、チューブ、異物、重合物、開放作業、除害作業、保護具、閉塞、高圧水ジェット洗浄、リスクアセスメント

関係図面(特記事項以外は事業所提供)

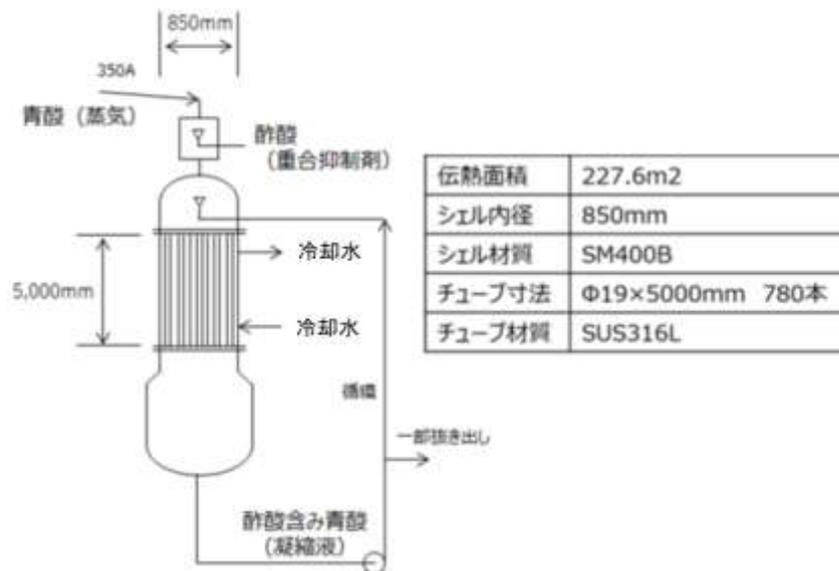


図1 熱交換器

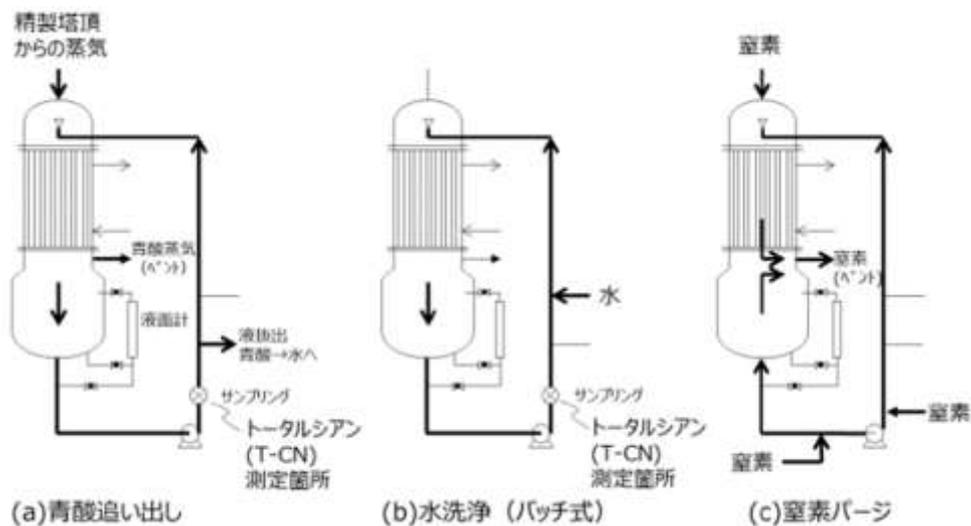


図2 除害作業

堆積した重合物



上部管板

図3 上部管板に落下し、堆積した重合物

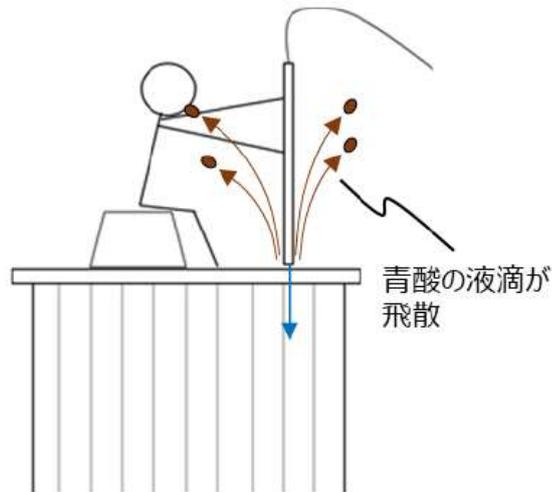


図4 シアン化水素の径路のイメージ

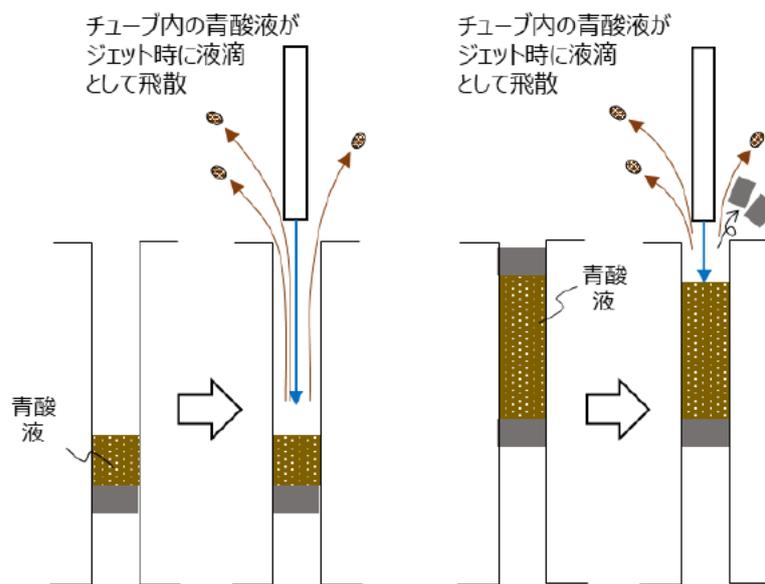


図5 シアン化水素を含む液滴が飛散したイメージ図



図6 保護面および全身防護服（被災者が着用していた同タイプ）

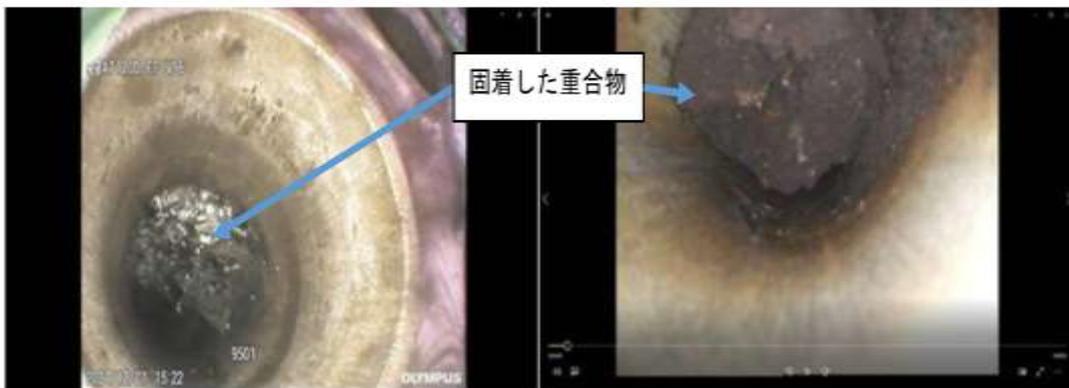


図7 チューブ内に重合物が固着している様子

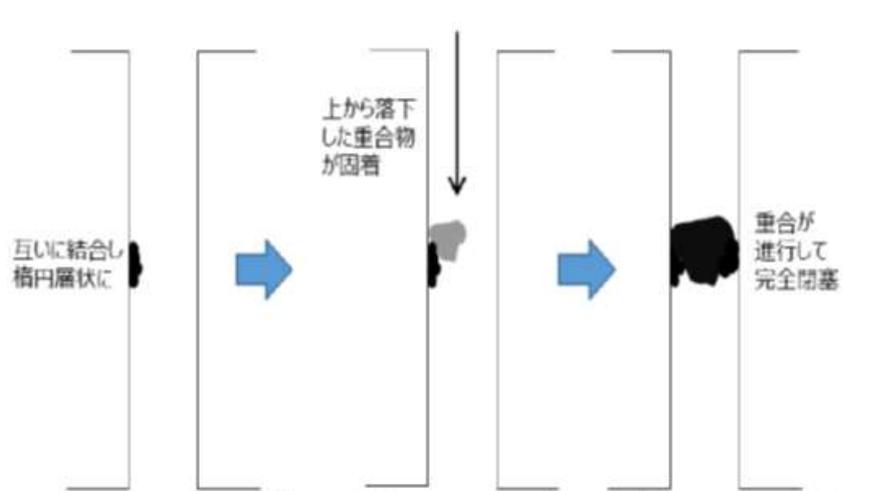


図8 チューブ内に重合物により閉塞するプロセス

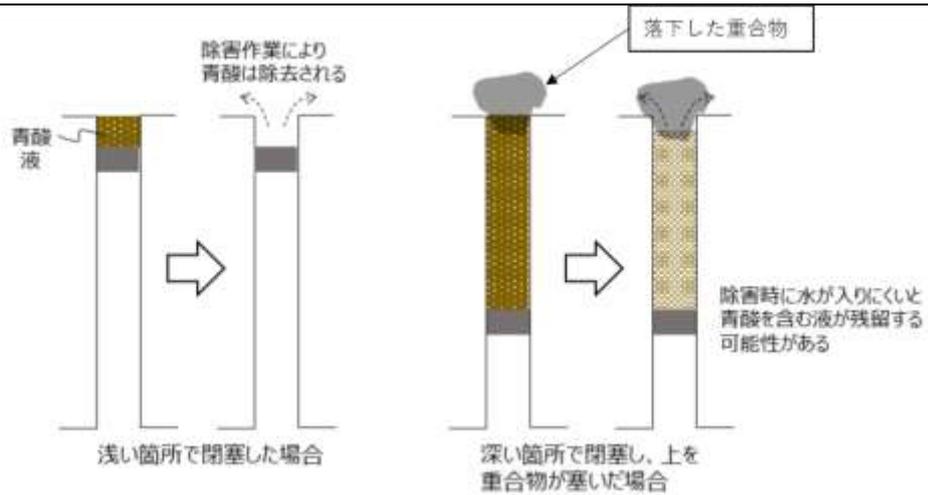


図 9 チューブにシアン化水素が液の状態で封入され残留するプロセス①

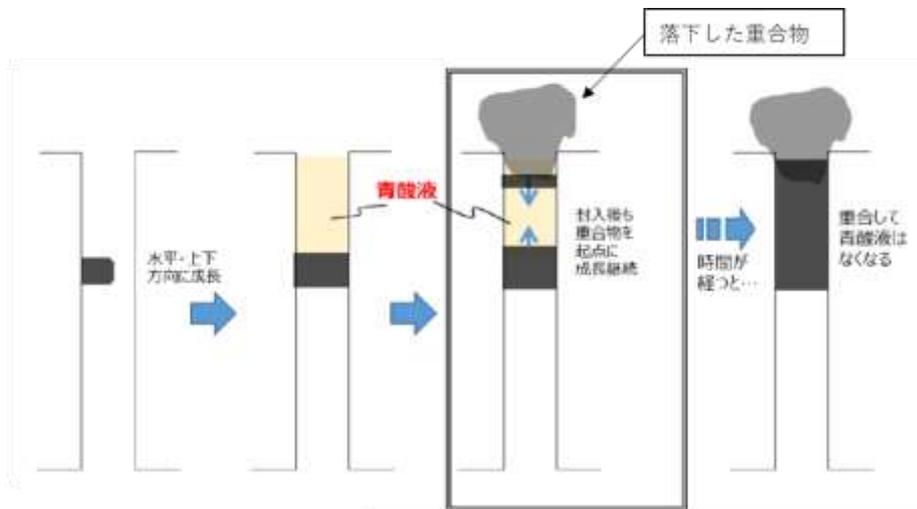


図 10 チューブにシアン化水素が液の状態で封入され残留するプロセス②

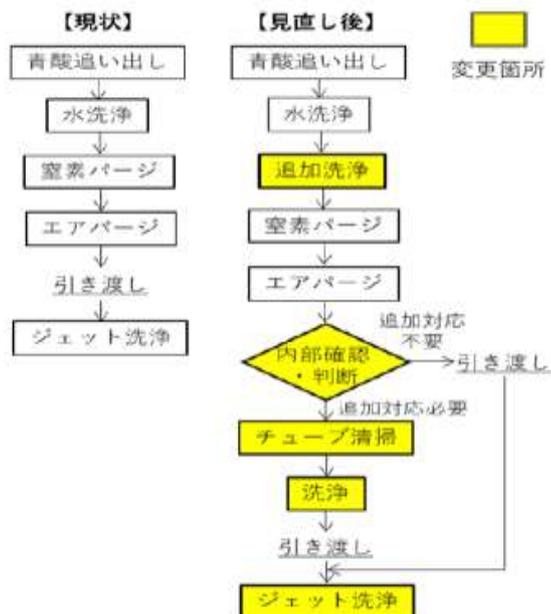


図 11 除害作業について現状と見直し後の比較