



米国バーモント州の「PFAS 処理技術文書」について (その 4)

PFAS 処理技術文書(仮訳)

バーモント天然資源庁環境保全局

2024 年 8 月

4 処理設備設計の要件と考慮事項

PFAS 処理設備に関する設計及び建設許可プロセスを合理化・迅速化するため、飲料水・地下水保護課は、計画及び最終設計段階の一部として検討・対処するための GAC 処理チェックリスト及び AIX 処理チェックリスト(それぞれ添付資料 A 及び B)を作成した。以下の情報は、チェックリスト項目に対処する際の文書化及びサポートとして機能することを意図している。

4.1 粒状活性炭 (GAC)

市町村等水道システム又は専用水道システム(NTNC)で PFAS 除去として GAC 処理が提案されている場合、建設許可申請書には、規則の付録 A パート 1 の要件を満たす技術者の報告書を含めなければならない。一時利用水道システム (TNC) は、規則の付録 A、パート 11 の要件を満たす報告書を含めなければならない。設計の基礎には、第 4.11.1 部に記載される GAC システム設計パラメータ及び技術情報を含めなければならない。設計は、第 4.11.2 部の GAC フィルターの技術基準に従わなければならない。本規則に概説される設計基準及び規制要件に沿った効果的な PFAS 処理設備を設計及び実施する際に必要とされる文書及び重要な検討事項を概説したチェックリスト(添付資料 A)を使用することができる。規則に対するいかなる変更提案も、裏付け文書及び個別の変更要請書(規則第 3.7 項)を添付しなければならない。追加の設計詳細及び考慮事項の説明は、以下のセクションにまとめられている。

4.1.1 設計前の水質評価

水質の特性評価には、GAC 又は AIX 処理を阻害する可能性のある成分を含めなければならない(セ

クション 3.3 参照)。特に GAC については、水質成分には TOC、鉄、マンガン及び濁度を含めなければならない。DOC 又は TOC として測定される天然有機物は、PFAS を吸着する GAC 媒体能力に影響を及ぼすことが知られており(Berretta ら、2021、McNamara ら、2018)、干渉は原水に存在する天然有機物の種類に依存する可能性がある(Gagliano ら、2020)。TOC は、除去される PFAS の濃度よりも桁違いに高く、GAC 上の吸着部位をめぐって PFAS と競合する。原水に高濃度の TOC が存在する水道システムでは、GAC 媒体の交換頻度が高くなり(EPA, 2024a)、ライフサイクルコストが増加する可能性がある。

処理に影響を及ぼす可能性のある他のパラメータは、鉄とマンガンである。鉄とマンガンは、GAC 媒体の汚損／プレローディングの原因となり、汚染物質除去能力を低下させ、反応速度を遅らせる(Speth, T., 2022)。濁度は、浮遊粒子で媒体を詰まらせることにより、GAC 処理プロセスの有効性を妨げる可能性がある。

4.1.2 処理設備の設計要件案

4.1.2.1 GAC 媒体とフィルターの構成

GAC 媒体は、付録 A パート 4.11.2(g)に記載のとおり、AWWA B604、GAC の規格に適合しなければならない。処理設計の一部として、製造業者のカットシートを含め、選択された GAC 媒体の選択の正当性が示されなければならない。

処理設備設計の一部として、GAC 媒体のスタートアップ手順中の逆洗を可能にするため、フィルターから排水及び逆洗への規定が設けられるべきである。スタートアップ手順と逆洗については、セクション 4.1.5.2 で詳述する。

規則により、専用水道システム、一時利用水道システム及び家庭用ボトル水システムは、直列に配管された 2 つの GAC フィルターからなる少なくとも 1 つのトレインを設置する必要がある。市町村等水道システム、少なくとも 2 つのフィルタートレインを設置する必要があり、各トレインは直列に配管された 2 つの GAC フィルターで構成される。

フィルタートレインが 2 系列のみ設置される市町村等水道システムの場合、各系列は、承認されたる過率で、施設設計能力(計画1日最大需要量)を満たすことができなければならない。フィルタートレインが3系列以上設置される場合、処理設備は、1 系列のフィルタートレインを使用から外した状態で、承認されたる過率で施設設計能力を満たすことができなければならない(付録 A パート 4.11.2)。

水道システムの配水系統への入口地点で測定されるラグフィルターの破過が発生するまでに、リードフィルターが完全に使用されるため、リード／ラグ構成では、フィルターの能力がより多く使用されることになる。その後、ラグフィルターがリードフィルターの位置に移動した場合、配水系統への入口地点で破過が発生すると、それも完全に使用され、その結果、能力が 100%使用されることになる。リード／ラグ構成の欠点は、TOC のような共存汚染物質のプレローディングによるラグフィルターの能力低下であり、フィルターの能力を最大 30%減少させる(WSID 20734 Pownal FD2、バーモント州環境保全局(VT DEC)による推定)。リード／ラグ構成はまた、汚染物質濃度を監視するために中間点サンプルを追加採取した場合の安全マージンを提供する。中間点モニタリングは、汚染物質の飲料水基準を超過する前に、媒体交換を指示するためにも使用できる。

建設許可申請書には、以下の設計の基礎を含めるべきである。

- 処理設備のトレインの数と配置

- GAC 容器の数とサイズ、及び代表的なフロー構成
- GAC 媒体の選択と容器内の媒体の量
- TOC 及びその他の汚染物質による GAC 吸着位置の潜在的競合の評価
- GAC の予想寿命
- EBCT と水理的負荷率
- 必要であれば前処理
- 消毒

4.1.2.2 空床接触時間(EBCT)

EBCT は、水が GAC 媒体と接触している理論的な時間量であり、GAC 媒体の体積(ガロン)を設計流量(ガロン/分(gpm))で割ったものとして計算される。EBCT の計算を正確に行うため、計算は容器容積ではなく、容器内の GAC 媒体の実際の容積に基づいて行わなければならない。処理システムの構成及び設備全体の処理トレインにおける GAC フィルターの位置に応じて、設計流量は、おそらく瞬間ピーク需要(IPD)又は最大日需要(MDD)のいずれかに等しくなるであろう。建設許可申請書を提出する前に、飲料水・地下水保護課に連絡して同意を得ることを推奨する。各フィルターの EBCT は、少なくとも 10 分でなければならない。媒体製造業者の仕様を満たすか、それを超えるものでなければならない。最初の設置又は媒体交換の際、逆洗は、存在する炭素の洗い流し、炭素床を適切に成層化し、リセットするために実施される。GAC 床の上の媒体量及び空間は、逆洗時に GAC の損失なしに推奨される床の膨張を可能にするのに十分でなければならない。逆洗に必要なヘッドスペースの量は、総媒体容積を決定する際に考慮されるべきである。十分なヘッドスペースが提供された後、提案された設計の EBCT がフィルターあたり 10 分未満である場合、最小 EBCT を達成するのに十分な容積を提供するため、より大きなフィルターが必要となる。天然資源庁長官は、合計 20 分未満の EBCT 案を含む変更設計を、変更申請の承認を通じて明確に承認しなければならない。

4.1.2.3 水理的負荷

規則の付録 A パート 4.11.2 (i) では、各ユニットの水理的負荷率は、床面積 1 平方フィート当たり毎分7ガロン (gpm/ft²) を超えてはならないと規定されている。水理的負荷率は、フィルターに適用される水の速度をフィルターの断面積で割ったものである。水理的負荷の計算では、フィルター列の数、容器の直径、及びシステム流量を考慮する必要がある。水理的負荷率は、瞬間ピーク需要、ピーク時流量、ブースターポンプ又は井戸ポンプの提案された動作ノード、又は処理トレインの構成と水道システムの規模に応じた別の方法を用いて算出されるべきである。設計では、水理的負荷率の計算の正当性を示さなければならない。瞬間ピーク需要の計算又は井戸ポンプノード以外の方法を使用して流量を推定する場合は、建設許可申請を提出する前に、飲料水・地下水保護課に連絡して同意を得ることを推奨する。

4.1.2.4 消毒

規則の付録 A パート 4.11.2(n)に記載されているように、付録 A パート 4.3 及び 40 CFR パート 141 の要件を満たす消毒処理を、GAC によって処理される全ての水の処理に対して適用しなければならない。消毒処理は、配水システムへの流入地点の前に行わなければならない。塩素系又は紫外線などの非塩素系のいずれかとすることができる。

GAC 処理後の塩素処理を提案する場合、塩素接触時間の計算を提供し、ピーク需要時に貯蔵が十分な塩素接触時間を提供することを保証しなければならない。ピーク需要は、水道システムのピーク時流量に基づくべきである。不明な場合は、ピーク時の流量を保守的に見積もるべきである。ピーク時流量は、処理トレイン内の処理インフラの位置に依存する。非常に小規模な水道システムの場合、ピーク時流量は瞬間ピーク需要に等しいかもしれない。ピーク時流量が瞬間ピーク需要計算以外の方法で見積もられた

場合、建設許可申請書を提出する前に飲料水・地下水保護課に連絡し、同意を得ることを推奨する。接触時間を決定するために瞬間ピーク需要が使用される場合、瞬間ピーク需要は、市町村等水道システム以外の場合、以下のように計算されなければならない。

- (a) 州配管規則によって決定される、または
- (b) 住宅ユニットのみの場合、瞬間ピーク需要は5gpm にユニット数を乗じた値に等しい。

計算されたピーク需要は、AWWA マニュアル M22「Sizing Water Service Lines and Meters」に概説されている器具の使用方法によって得られる総 gpm、又は消火栓がシステムに設けられている場合は、必要な消火流量を下回るべきではない。ピーク需要が州配管規則又は AWWA マニュアル M22 に概説されている以外の方法を用いて計算される場合、建設許可申請書を提出する前に、同意のために飲料水・地下水保護課に連絡することを推奨する。塩素処理には、GAC フィルタートレインの下流で接触時間を確保するための貯蔵が必要になる可能性が高い。

塩素系システム以外の消毒方法(紫外線など)の設計・設置も、天然資源庁長官の文書によるガイドラインに適合していれば許可されるであろう(VT DEC, 2014)。

4.1.2.5 その他の設計上の考慮事項

GAC フィルターは、一次(リード)及び二次(ラグ)カーボンフィルターの構成を変更するため、また、処理プロセスの機能性を維持したままフィルター又はフィルタートレインを使用から外すため、操作調整を容易にするために必要な配管及びバルブを有しなければならない。さらに、水道システムは、全てのサンプリングポート及びゲージにアクセス可能であることを実証しなければならない。これは通常、設計図面に処理設備の縮尺に合わせた平面図を含めることで達成される。

各フィルターの圧力損失を監視するため、圧力計を設置しなければならない。ゲージの範囲と精度が規定され、ゲージ製造業者の仕様に従い、フィルター全体の圧力損失を監視するために適切なサイズのゲージを設置しなければならない。処理設備のピーク流量能力及びポンプの設計を決める際には、フィルターユニット全体で予想されるヘッド損失を考慮しなければならない。

サンプルポートは、各フィルターの入口と出口に設けられ、アクセス可能でなければならない。プロジェクトの一部として、新規又は既存の井戸のための個々の水道メーターを設置する必要がある場合、メーターを設計図面に示し、カットシートを提出しなければならない。新しい井戸ポンプを提案する場合は、井戸ポンプのカットシートや運転曲線を含め、井戸ポンプ選定の根拠を提示しなければならない。複数の水源を使用する場合は、井戸ポンプの運転の詳細を提示しなければならない(例えば、井戸ポンプは同時に作動するのか、交互に作動するのか?各井戸の特定の運転条件下での流量はどの程度か?)。新たな水源が提案されている場合、新たな水源許可が必要となる。

GAC フィルターの脱水防止には、バキュームブレーカー又は特殊バルブの設置を検討する。GAC システム設計段階の一部として、浸漬、逆洗、pH 中和、ヒ素洗浄及び消毒(セクション 4.1.5 で より詳細に説明)などの GAC 媒体のスタートアップ及び調整は、設計において考慮されなければならない。新規又は交換された媒体のスタートアップ及び調整で使用される逆洗水は、浄水又は最大許容濃度を超える PFAS を含まない水でなければならない。逆洗は、システムの初期設計の一部として組み込まなければならない。逆洗及び前段の洗浄から排水までの配管には、適切な逆流防止対策が施されなければならない。GAC 処理の他の用途とは異なり、PFAS 処理では媒体の定期的な逆洗は許可されない。これは媒体の寿命に悪影響を及ぼす可能性がある。

全ての接液部品及び材料は、飲料水用として米国規格協会(ANSI)/米国衛生財団(NSF)規格 61 に

適合していることが認証されていなければならない。全ての処理薬品は NSF 60 認証を受けていなければならない。

4.1.3 前処理

規則の付録 A パート 4.11.2 (o) に従い、提案された炭素処理の好結果を妨げる水質成分が存在する場合、又は GAC で除去されない汚染物質を除去するため、前処理を行わなければならない。鉄やマンガンなどの共存汚染物質の濃度が、サブチャプター 21-6 で規定されている第 2 種最大許容濃度よりも一貫して確実に低くなるように、必要に応じて提案された設計に前処理を行わなければならない。流入水中に鉄やマンガンが存在すると、GAC 媒体が汚れ、PFAS の効果的な除去が阻害される可能性がある。同様に、ヒ素などの第 1 種汚染物質は、濃度がサブチャプター 21-6 で規定されている第 1 種最大許容濃度よりも一貫して確実に低くなるよう、別途の処理が必要となる。前処理の根拠と処理の順序を詳細に説明しなければならない。

バーモント州の PFAS の最大許容濃度未満の処理水は、あらゆる前処理工程の逆洗に使用されるとともに、逆洗ラインの逆流防止が備えられなければならない。ブースターポンプ及び井戸ポンプへの追加需要(gpm)、逆洗の総量、及び予想される逆洗の頻度を提示しなければならない。逆洗/再生中の使用/需要に対する悪影響又は制限の評価を提示しなければならない。

4.1.4 維持管理

4.1.4.1 オペレーター認証

GAC を使用して PFAS 処理を行う公共水道システムは、地下水の場合は処理クラス 3、地表水の場合はクラス 4 に分類される。水道システムが、システムを運転するのに適切なオペレーターのクラスを持っていることを確認することが重要である。水道システムの登録オペレーターがクラス 3 又は 4 のオペレーターでない場合、水道システムは、処理設備を運転するために適切な資格を持つオペレーターを確保する必要がある。

4.1.4.2 圧力変化

GAC フィルターの有効性は、炭素と未処理水の接触時間に依存する。接触時間が長ければ長いほど、GAC フィルター媒体への汚染物質の吸着が良くなる。時間が経つにつれて、GAC 媒体内に溝が形成され、未処理水が媒体を通過することがある。

あるいは、鉄やマンガン、又は濁度が存在すると、GAC 媒体が汚れ、フィルター全体の圧力損失を引き起こす可能性がある。いずれの場合も、圧力ゲージを経時的に監視して変化がないか確認することが重要である。

4.1.4.3 配管とバルブ

GAC フィルターは、リードフィルターとラグフィルターの構成を変更するための操作調整を容易にし、処理プロセスの機能を維持しながらフィルターをサービスから外すため、必要に応じて配管とバルブが備え付けられていなければならない。複数のフィルターが直列で使用されている場合は、各リード/ラグフィルターの位置を識別する手順が整備されていなければならない。直列の容器の位置が変更（交換）された場合は、それに応じてラベルの位置を変更できなければならない。

4.1.4.4 中間点サンプリング

GAC 媒体の交換に要する時間は、媒体と請負業者の利用可能性に応じて異なる場合があり、PFAS の最大許容濃度を超える前に検討すべきである。リードフィルターとラグフィルター（中間点）の間で PFAS のサンプリングを定期的に行うことは必須ではないが、2 番目のフィルターが破裂したり、最大許容濃度に違反したりする前に、メディアの交換を決定することができる。中間点サンプルの結果は、ラグフィルターから PFAS が破過する前の残りのフィルター能力を推測するために使用できる。中間点サンプリングの取り組みに関係なく、遵守要件を満たすために流入地点モニタリングが実施されなければならない。

4.1.4.5 維持管理(O&M)マニュアル／標準作業手順書

建設許可に記載された標準条件の一部として、維持管理(O&M)マニュアル又は標準作業手順書(SOP)の更新版を作成しなければならない。市町村等水道システム及び 専用水道システム(NTNC) の場合、この 維持管理マニュアルの更新版は、建設許可によって許可された改善点を反映するように作成されなければならない。規則の付録 D の要件を満たさなければならない。O&M マニュアルの更新版は、工事完了証明書が提出される際に、レビュー及び承認が可能でなければならない。この維持管理マニュアルの更新が承認されたら、許可された者は、規則第 21-7 章の要件に従って、承認された水道システムの維持管理マニュアルにこれを組み込まなければならない。

維持管理マニュアル又は標準作業手順書は、GAC フィルターから PFAS の漏出及び GAC 媒体の交換に対応する手順を含まなければならない。維持管理マニュアル又は標準作業手順書は、全ての GAC 媒体交換に NSF61 認証の未使用の媒体が使用されることを明記しなければならない。維持管理マニュアル又は標準作業手順書は、リード／ラグフィルターの一部交換又は完全交換などの交換手順、及び媒体調整を含むスターアップ手順に関する情報を含まなければならない。新しい GAC 媒体を調整するための規定は、製造業者の推奨に従わなければならない。

処理設備が機能していることを実証するため、性能試験(PFAS 及びその他の懸念される汚染物質を含む)が実施され、維持管理マニュアル又は標準作業手順書に記載されなければならない。

これらの手順を作成するには、以下を考慮すること。

- a. 容器の大きさと潜在的な重量を考慮すること。小さい容器の場合、リード/ラグの切り替えは、ユニットをそれぞれの場所に転がして行うことができる。しかし、より大きな容器(例えば、直径 16 インチ以上)では、重量によって、不可能な場合がある。製造業者の推奨に従い、新しい GAC メディアを事前調整するための規定について話し合うこと。
- b. ベンダーに必要とされる予想リードタイムの概要を明確に示すこと。サンプルの分析及び報告時間、業者のスケジュール調整、交換の完了、交換後のサンプルの分析及び報告に対応できるよう、媒体の交換に十分な時間を与えなければならない(すなわち、媒体の交換を完了するために、業者には何日／何週間のリードタイムが必要か?)。
- c. GAC ユニットがバイパスされていないことを実証し、未処理の水が配水側に流れないようにすること。
- d. 媒体の処分方法を記載すること(セクション 3.7 参照)。

4.1.5 スタートアップ手順

GAC 処理を新たに水道システムに設置する場合、又は媒体を交換する場合は、製造業者が規定した標準的なスタートアップ手順及び媒体の調整に従うことが不可欠である。適切なスタートアップとコンディショニングは、最適化された媒体性能を保証し、媒体の吸着能力を最大化し、美観上の懸念やろ過後の濁水の可能性を低減する。スタートアップ手順は、媒体の通常の手扱いによって生じる微粉を除去し、最

適な性能を確保するためにベッドを成層化し、カーボン中に存在する天然由来の不純物を除去することによって、媒体の性能を最適化することを目的としている。

浸漬と逆洗に関する全ての考慮事項は、製品固有のものである可能性があるため、メーカーが提供する正確なスタートアップ手順に従うべきである。しかし、それが提供されていない場合は、以下のセクションに記載されている一般的なガイドラインに従うべきである。

4.1.5.1 浸漬

GAC を新たに水道システムに導入する場合、媒体は乾燥しており、容器内で適切に湿らせて、水が拡散し、外部及び内部の空隙に混入した空気を排除できるようにする必要がある。フィルターは廃棄物として排出できるようにしなければならない。

カーボンが適切に浸漬されていないと、圧力損失が増加し、吸着がほとんど行われなくなるため、操作上及び性能上の問題が生じる可能性がある。カーボンの種類によって浸漬時間は異なり、温度とカーボンのメッシュサイズに依存する。製造業者のガイドラインに従うことを推奨する。

4.1.5.2 逆洗

最初の設置時又は媒体の交換時の逆洗の主な目的は、存在する炭素微粒子を洗い流し、炭素床を適切に成層化させてリセットすることである。逆洗は、水温に依存し、使用されている GAC 媒体に固有の gpm/ft^2 で指定された流量の下で行われる。逆流はベッドを流動化させる。空気を除去するためのランプアップ期間、逆洗期間、及びベッドを成層化するためのランプダウン期間を伴う逆洗では、25%～30%のベッド膨張を目標とすべきである。逆洗手順の詳細は、ベンダー/製造業者によって異なる場合がある。製造者の推奨に従って GAC 媒体を逆洗すること。

4.1.5.3 pH 調整期間

GAC フィルターの始動時、pH レベルはしばしば上昇する。これは、活性化プロセス中に起こるプロトン化(媒体への H^+ の吸引)により、GAC 媒体の流出水の pH 値が一時的に高くなるためである。しかし、電荷が最終的に水中に存在する陰イオンと中和されるため、pH は運転時間の関数として減少する。フィルターから廃棄物まで pH が安定する可能性がある。

4.1.5.4 ヒ素含有量

ヒ素は GAC 媒体中に自然に存在することがある。新しい GAC 媒体をオンラインにすると、媒体表面に存在する溶出性ヒ素が液体中に移行し、場合によっては最大許容濃度を超えるヒ素濃度になることがある。pH と同様に、上昇したヒ素濃度に対処するための最適な手法は、流出水を適切に排水することである。スタートアップ時のヒ素汚染のリスクを低減するため、フラッシング手順はベンダーの推奨に従わなければならない。

4.1.5.5 細菌汚染

GAC 媒体の輸送中、GAC は汚染される可能性がある。媒体の最初のスタートアップと調整を行った後、新しい媒体を設計流量で洗浄する必要がある場合がある。細菌が水中の溶存栄養素を取り込み、GAC に吸着した栄養素によって細菌が高密度に増殖することがある(National Research Council (US) Safe Drinking Water Committee, 1980)。細菌は GAC 媒体に吸着し、ろ床をコロニー化する可能性がある。したがって、GAC によって処理される全て水には消毒処理が行われなければならない。(セ

クション 4.1.2.4 参照)。

4.1.6 スターアップ時の性能試験

建設許可により許可された処理装置の建設後、飲料水使用のために処理装置を稼働させる前に、性能試験を実施しなければならない。稼働に入る前に、水道システムの新しく建設された部分は、洗浄、圧力試験、消毒(処理媒体ではない)、及び再洗浄しなければならない。この手順の後、規則で規定されているサンプル採取間の最低再サンプリング期間を満たしつつ、代表的な採水場所から少なくとも 2 つの細菌学的サンプルを採取し、公共水道の細菌学的検査のためにバーモント州保健局認定の検査機関に送らなければならない。許可者は、サンプルが「建設許可コンプライアンス」用であることを研究所のフォームに記入しなければならない。システムを飲料水使用のために稼働させる前に、大腸菌が存在しないサンプル結果が必要です。圧力/漏水及び細菌試験の結果は、飲料水・地下水保護課に提出しなければならない。

性能試験には、建設許可証に記載された処理後サンプルタップの PFAS、具体的には PFBS、HFPO-DA、PFHxS、PFHpA、PFNA、PFOS、及び PFOA に関する EPA メソッド 537.1 又は 533 を用いた分析も含まなければならない。水質試料は、建設許可遵守のために採取された「特別」試料と表示され、規則第 21 章 6 に従って採取、輸送、分析されなければならない。分析結果は、飲料水使用のために新設された処理システムを稼働させる前に、飲料水・地下水保護課に提出しなければならない。

(作成) 理事長 安藤 茂

配信先変更のご連絡等について

「JWRC 水道ホットニュース」配信先の変更・追加・停止、その他ご意見、ご要望等がございましたら、会員様名、担当者様名、所属名、連絡先電話番号をご記入の上、下記まで E-メールにてご連絡をお願いいたします。

〒112-0004 東京都文京区後楽2-3-28 K. I. S飯田橋ビル7F (公財) 水道技術研究センター ホットニュース担当
E-MAIL : jwrchot@jwrc-net.or.jp

TEL 03-5805-0264 FAX 03-5805-0265

また、ご連絡いただいた個人情報は、当センターからのお知らせの配信業務以外には一切使用いたしません。

水道ホットニュースのバックナンバーについて

水道ホットニュースのバックナンバー (第58号以降) は、下記アドレスでご覧になれます。

バックナンバー一覧 <https://www.jwrc-net.or.jp/publication-outreach/hotnews/>

水道ホットニュースの引用・転載について

水道ホットニュースの引用・転載等を希望される方は、上記ホットニュース担当までご連絡をお願いいたします。なお、個別の企業・商品・技術等の広告にはご利用いただけません。