

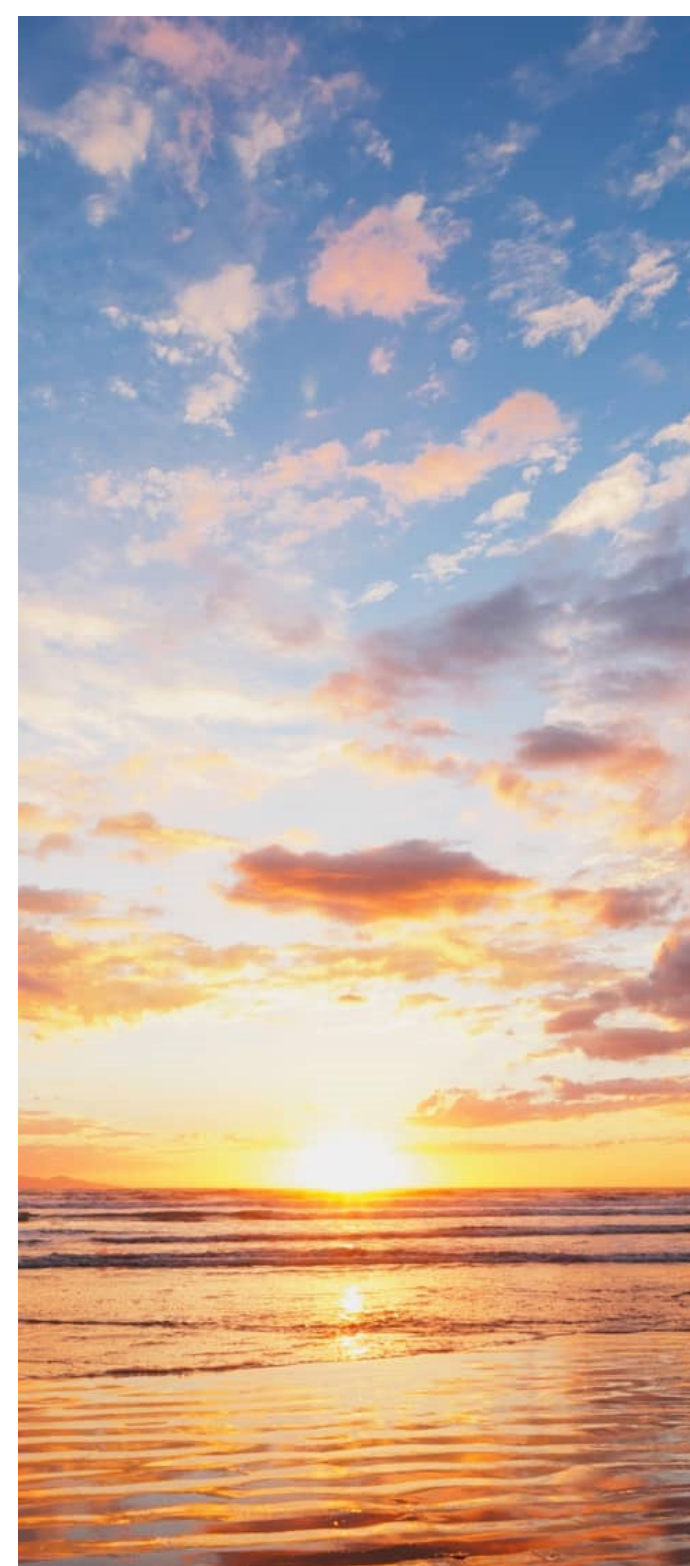
総務省消防庁 予防課・広域応援室 御中

諸外国における林野火災対応の行政体制 及び実施状況等に係る調査業務

米森林局（USDA FS）の消火薬剤試験について（健康・環境影響試験）

株式会社野村総合研究所
コンサルティング事業本部
アーバンイノベーションコンサルティング部

2026年3月12日





米森林局（USDA FS） | 消火薬剤の仕様・承認試験の仕組み

米森林局では、国家技術開発プログラム(NTDP)において、林野火災に用いる消火薬剤はすべて仕様書に基づく試験・評価と認定製品リスト(QPL)への登録を行い、品質管理している。

- 国家技術開発プログラム (NTDP : National Technology and Development Program) においては、**林野火災用消火薬剤システム (WFCS: Wildland Fire Chemicals System)** が仕様書に基づいて林野火災用化学製品 (消火薬剤) を評価し、その製品を**認定製品リスト (QPL : Qualified Product List)** に追加すべきかどうか推奨を行うこととなっている。
 - QPLに掲載された製品の評価結果や、これらの林野火災用消火薬剤の使用に関するガイダンスはNTDPによって作成されており、国際機関、連邦機関、および州機関は、QPLに掲載されている製品のみを購入することとなっている。
 - 現場での使用が開始された後も、これらの製品は**ロット受入・品質保証プログラム (LAQA: Lot Acceptance & Quality Assurance Program)** を通じて、NTDPによって継続的に監視され(後述)、現場で使用される林野火災用化学製品に関する問い合わせや問題が生じた場合は、NTDPが調査を行う。

林野火災用消火薬剤のQPL申請→登録までの流れ



林野火災用消火薬剤のQPL登録試験の項目概要

①Corrosion : 全面腐食および粒界腐食

②Stability : 製品の安定性

③Effectiveness : 難燃効果

④Toxicity : 毒性に関する物理的パラメータ

- 哺乳類毒性 (経口毒性 [摂取]、経皮毒性 [皮膚からの吸収]、眼刺激性、および皮膚刺激性を含む)
- 水生生物毒性
- 毒性試験および安全データシート (SDS) のデータを使用した、人体健康および生態系リスク評価

米森林局では、連邦政府機関等の林野火災用消火薬剤について、以下の仕様書に基準を定めて試験を実施。試験では前頁に記載の通り、腐食、安定性、有効性、毒性を検査。

- 現在、QPLには以下の4種類の林野火災用消火薬剤が掲載されている。
 - **長期延焼防止剤（Long-term retardants）** および**前処理用延焼防止剤（Pre-treatment retardants）** には、火の燃焼挙動を変化させる難燃性塩類（一般的には肥料成分）が含まれており、元々含まれていた水分が蒸発した後であっても、火勢を弱め、延焼速度を低下させる。長期延焼防止剤は水分蒸発後も効果を発揮し続け、雨や風化によって除去されるまで数日から数週間にわたり機能するため、間接消火や防火帯の構築に最適である。散布時に含まれる水分は、主に目標区域全体に薬剤を均一に散布するための媒体としての役割を果たす。これらの製品は直接消火にも使用できるが、その用途においては水と比較してわずかに効果が高い程度にとどまる。
 - **泡消火剤（Foams）** には、食器用洗剤やその他の洗浄剤に含まれるような発泡剤や湿潤剤が含まれている。泡消火剤は、火災を抑制するためにその水分に依存しており、水分が蒸発してしまうと効果はなくなる。この特性により、直接消火や残火処理（モップアップ）において最も効果を発揮する。林野火災には、クラスA泡消火剤のみが使用される。
 - **水質改良剤（Water enhancers）** または**ゲル剤**には、水の物理的特性を変化させる成分が含まれており、消火効果、投下精度、あるいは可燃物への付着性を高めるよう設計されている。また、垂直な面や滑らかな表面に水が留まる能力も向上させる。水質改良剤は、火災を抑制するためにその水分に依存しており、水分が蒸発してしまうと効果はなくなるため、直接消火や短期的な間接消火に適している。

林野火災用消火薬剤の仕様書

長期延焼防止剤
(Long-term Retardants)

「Specification 5100-304d」(2020年1月7日、2021年5月6日最終更新)
「Interim Amendment Federal Specification 5100-304d」(2024年10月25日)
※差し替え前のバージョンは、「Specification 5100-304c」(2007年6月1日)

前処理用延焼防止剤
(Pre-treatment Retardants)

泡消火剤 (Class A Foam)

「Specification 5100-307b」(2021年5月6日)
※差し替え前のバージョンは、「Specification 5100-307a」(2007年6月1日)

水質改良剤・ゲル剤 (Water Enhancers)

「Specification 5100-306b」(2018年9月、2023年11月16日最終更新)
※差し替え前のバージョンは、「Specification 5100-306b」(2018年9月、2021年5月6日最終更新)

LAQAは、延焼防止剤の品質基準維持・監視を目的とする品質検査。連邦機関やメーカー等が運営するすべての基地で、使用中の延焼防止剤の品質基準の維持を確認する。

- 「全国延焼防止剤契約（バルク供給およびフルサービス）」においては、すべての延焼防止剤使用基地（常設および臨時／移動式）がこのプログラムに参加し、検査プロセスの一環として延焼防止剤のサンプルを提出する契約上の要件が設けられている。各基地は、当該シーズンの地域の火災活動状況に応じて、使用中の延焼防止剤サンプルをMTDCの試験場に送付しなければならない。延焼防止剤サンプルには、以下の表に示す4つのカテゴリがある。
 - すべての試験結果は、基地マネージャー、場合によってはミックスマスター（調合担当者）、その基地を監督する森林またはその他の部隊の火災管理責任者（FMO）、およびLAQAプログラム管理者に送付される。
 - すべてのサンプルは、当該シーズンおよびその前の1シーズンの間保管され、安定性と腐食特性が許容範囲内であることを確認するためにサンプルに追加試験が行われる場合がある。この追加試験を容易にするため、稀に、基地に対して大量のサンプルの送付を依頼することがある。
 - いずれかのサンプルに問題が見つかった場合、MTDCのWFCSチームはまず基地の職員に問題の内容を説明し、解決策を提案する。必要な場合にはメーカーにも連絡を取り、問題の是正に関与してもらうこととなっている。

ロット受入・品質保証プログラム(LAQA)で提出が義務づけられているサンプル ※延焼防止剤のみ実施

サンプルカテゴリ	サンプルの概要	必須／任意
越冬サンプル (Overwinter Sample)	<ul style="list-style-type: none"> 火災シーズン開始時に十分な循環混合を行った後、各貯蔵タンクから最初に採取されるサンプル。 すべての延焼防止剤基地は、使用中の各貯蔵タンクから1つの越冬サンプルを送付しなければならない。 	必須
トラック搬入サンプル (Truckload Samples)	<ul style="list-style-type: none"> 基地に配送される延焼防止剤の各トラック積載分から採取される、濃縮液/粉末から混合された延焼防止剤のサンプル。 トラック搬入サンプルの数は、その地域での消火活動の有無や頻度により変動し、消火活動が全くない場合はゼロだが、各基地の所管地域内で消火活動が活発な場合はサンプル数が多数に及ぶ。 	必須
シーズン終了時サンプル (End of Season Sample)	<ul style="list-style-type: none"> シーズン終了時、基地閉鎖の直前に十分な循環混合を行った後、各貯蔵タンクから最後に採取されるサンプル。 すべての延焼防止剤基地は、使用中の各貯蔵タンクから1つのシーズン終了時サンプルを送付しなければならない。 	必須
トラブルシューティングサンプル (Troubleshooting Sample)	<ul style="list-style-type: none"> 延焼防止剤の見た目や感触が適切でない場合や、調整しても試験結果が正しく出ない場合等、基地で延焼防止剤に問題が発見された際に採取されるサンプル(粘度が高く塩分濃度が低い、或いはその逆のケースが多くみられる)。 これにより単純な混合の問題である可能性が除外され、製造プロセスに問題がないか供給業者に連絡し調査を依頼することになる。本ケースは稀だが、これこそがプログラムを維持する真の理由でもある。 	異常時のみ 必須

各基地はLAQAとは別に、自らの基地で使用される混合設備と製造された延焼防止剤の自主検査を“**妥当な間隔**”で実施し、品質基準が維持されていることを確認しなければならない。

- 本検査は「**基地品質管理 (Base Quality Control)**」を目的とした日常の自主検査であり、基地の職員によって基地内で実施される。
- 自主検査の実施には契約業者の担当者が指名される場合もあるが、その場合においても基地職員も検査プロセスに関与する必要がある。
- 基本的な検査内容はLAQAプログラムで実施されるものと同じだが、以下の内容が含まれる。
 - 各航空機への積載分の塩分濃度 (屈折計により計測)
 - 各航空機への5~10回目の積載ごとの粘度 (当該積載日中に、ファンネル粘度計またはブルックフィールド粘度計により計測)
 - 貯蔵中の混合済み延焼防止剤の塩分濃度と粘度 (7日ごとに計測)
- なお、基地サンプルのすべての検査結果は、万が一問題が発生した際に原因を追跡するため、基地を運営する機関の内部用に記録・保管されるが、問題発生時を除き、これらのサンプルや試験結果はWFCS (Wildland Fire Chemical Systems) には送付されない。

ロット受入・品質保証プログラム(LAQA)／基地による品質管理 (Base Quality Control) のおける関係者の役割

航空基地

基地マネージャー

- (異常時)基地の責任者として対応指示等

ミックスマスター (調合担当者)

- LAQAプログラムのためのサンプル送付
- 基地品質管理(Base Quality Control)のための日常検査の実施
- 自主検査結果の内部用記録・保管
- 異常サンプル発生時などの解決に向けた対応

メーカー担当者

(Perimeter Solutions社等)

基地を監督する連邦機関

(USDA FSやBLM等)

火災管理責任者

(Fire Management Officer)

- (異常時)基地の管理責任者として対応指示等

USDA FS

Missoula Technology&Development Center (MTDC)

Wildland Fire Chemical Systems (WFCS)

- LAQAプログラム全体の運用・管理
- LAQAプログラムによる**定期検査**の実施
 - 越冬サンプル(Overwinter Sample)
 - トラック搬入サンプル(Truckload Samples)
 - シーズン終了時サンプル(End of Season Sample)
- LAQAプログラムによる**異常時検査**の実施
 - トラブルシューティングサンプル(troubleshooting sample)
- 検査結果の報告レポートの送付 (目標: サンプル受領後24時間以内)
- 検査における異常発生時の解決に向けた助言
- 基地から受領したサンプルの2シーズン分の保管

（参考）CA州消防局（CAL FIRE）の航空基地における長期延焼防止剤（リターダント：PHOS-CHEK MVP-Fx - Perimeter Solutions）製造・供給設備及び保管タンクの様子

- 各航空基地はリターダントの製造・供給設備を保有し、CAL FIRE以外の機関への供給も実施。混合前の粉末は付近のメーカー倉庫に保管され、基地で混合した段階で所有権が移行する。混合したリターダントは1年以上もつので、100,000ガロンの混合済み製品を作っておいてある。混ぜ続ける必要はあるが、1日1回リターダントの状態を確認することになっており、問題がなければ航空機にロードする。
- なお、CAL FIREの航空基地にはリターダントの製造設備があり、2,000lbsのリターダントの粉を2,000ガロンの水と1:1で混合する。製造設備は配管でタンク（容量：25,000ガロン×5タンク）に繋がっており、最大125,000ガロンの混合済みリターダントを保管できる。また、ポンプでタンクからピットに運んで航空機にロードするが、500ガロン/分の速度で最大4機まで同時にロードできる。S-2Tだと積めるキャパが1,000ガロンなので2-3分、同様にC130だと4分程度、DC10は20分でロードできる（DC10は複数のポートから同時にロードできるのでその場合はもう少し早くロードできる）。

CAL FIREの航空基地“McClellan Airbase”における、リターダントタンク・ミキサーの様子



リターダントの製造設備
（粉末と水の混合）



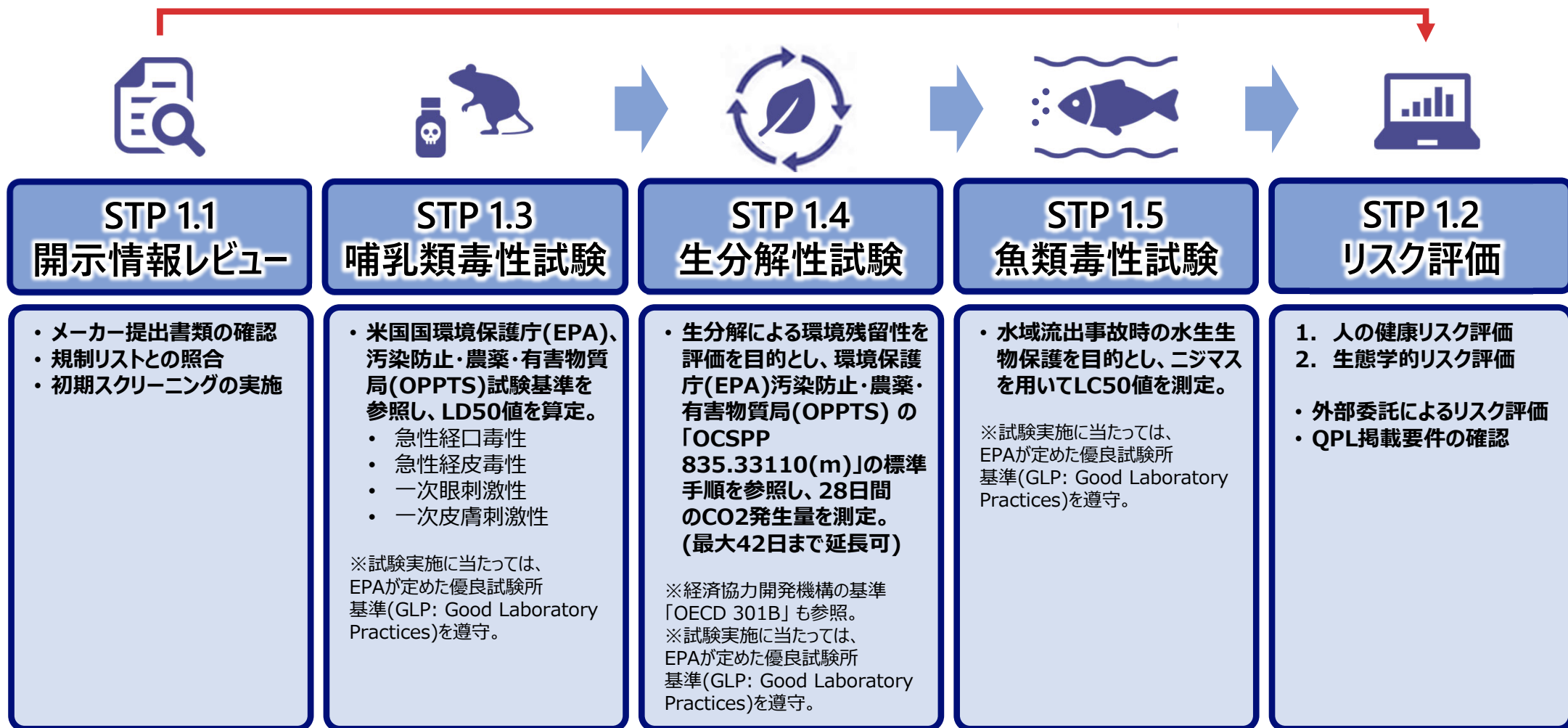
リターダントの保管タンク及び
機体供給用ポンプ

認定製品リスト(QPL)登録に向けた 製品評価（健康・環境影響試験）の流れ

FSの消火薬剤試験では、メーカーから提出された資料のレビュー、及び、哺乳類毒性・生分解性・魚類毒性に関する試験を実施し、リスク評価に反映。リスク評価はQPL登録前に必須。

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤試験の標準試験手順：製品評価 (健康・環境影響試験) のプロセス全体像

※書類審査時点で懸念が示された場合は、先にリスク評価を実施



※STP：Standard Test Procedure (標準試験手順)

出所) Missoula Technology&Development Center/WFCS

QPLへの登録にあたっては、申請者は製品とその含有成分について記入した製剤開示フォーム、技術データシート、および製品安全データシート (MSDS/SDS) を提供しなければならない。

- 森林局の林野火災用消火薬剤システム (WFCS) プロジェクトマネージャーは、提出された文書のレビューを実施する。本プロセスにおいて、環境規制に基づく製剤に関するレビューを行い、提供された情報に関する疑義も解消する。
- なお、製剤開示フォーム・技術データシートのフォーマットは、製造業者提出手順 (Manufacturer Submission Procedures) 内、または森林局のウェブサイトからダウンロード可能。

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤試験 : STP1.1 開示情報レビュー

方法 (Method):

1. 各成分のステータスは、以下に示す規制リストに基づいて判断される。
 - a. 連邦規則集 (Code of Federal Regulations、以下CFR) 第40巻第355編 (40 CFR 355.) 付録A
 - 包括的環境対策補償責任法 (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act / CERCLA、以下スーパーファンド法) - 極めて有害な物質のリストおよびその閾値計画量
 - b. 国家毒性プログラム (National Toxicology Program、以下NTP) の発がん性物質報告書 (Report on Carcinogens、以下RoC)
 - c. 国際がん研究機関 (International Agency for Research on Cancer、以下IARC) の潜在的発がん性物質に関するモノグラフ
 - d. 連邦規則集第40巻第302編4条 (40 CFR 302.4.) - CERCLA、有害物質のリストおよび報告義務量
 - e. 連邦規則集第40巻第261編33条 (40 CFR 261.33.)
 - 資源保全回復法 (Resources Conservation and Recovery Act、以下 RCRA)、急性有害廃棄物および毒性廃棄物
 - f. 連邦規則集第40巻第372編 (40 CFR 372.) - スーパーファンド改正・再授權法 (Superfund Amendment and Reauthorization Act、SARA)、第3編 第313条 緊急事態計画および地域住民の知る権利法 (Emergency Planning and Community Right to Know、以下EPCRA)、有害物質排出目録 (Toxic Release Inventory、以下TRI)
2. いずれかの成分に懸念がある場合、薬剤の評価を実施する前に「リスク評価 (Risk Assessment)」が必要となる場合がある。

関連資料:

- 米国環境保護庁 (EPA) 統合リスト (Consolidated List of Lists)
- 米国保健福祉省 (HHS)、国家毒性プログラム (NTP): 発がん性物質に関する報告書 (RoC)
- 国際がん研究機関 (IARC)、ヒトに対する発がん性リスクの同定に関するモノグラフ
(2023年10月改訂)

米森林局 (USDA FS) | 消火薬剤の仕様・承認試験の仕組み | STP 1.1: 開示情報レビュー | 規制に基づく禁止物質の確認
 森林局は、EPAが所管するスーパーファンド法(CERCLA)と資源保全回復法(RCRA)に基づく有害物質リスト、及び独立機関の発がん性基準を参照し、スクリーニング・リスク検討を実施。

USDA FS WFCFSが参照する、米国の有害物質に関する法令および規制リストの全体像

目的①(消火薬剤の基地での貯蔵・散布・事故時の環境汚染リスク、住民の知る権利への対応)

【所管:EPA】包括的環境対策補償責任法 (CERCLA)
通称：スーパーファンド法

- 1980年に制定。放置された有害廃棄物処分場の浄化や、有害物質等の漏洩事故に対して、連邦政府が直接対応・責任追及するための法律。

改正・強化



d. 有害物質リスト・報告義務量(RQ)
(40 CFR 302.4)

【所管:EPA】
スーパーファンド改正・再授權法 (SARA)

Title III
の別名



- 1986年にCERCLAを改正した法律。
- 改正の目玉として「第3編 (Title III)」が追加された。

【所管:EPA】
緊急事態計画および地域住民の知る権利 (EPCRA)

a. 極めて有害な物質(EHS)リストと閾値計画量(TPQ)
(40 CFR 355. Appendix A)
【緊急事態計画・保有量届出義務】

f. 有害物質排出目録 (TRI)
(40 CFR 372.)【情報公開義務】

目的②(消火薬剤や容器等の廃棄にかかる法的・コスト的リスクの排除に向けた)廃棄物の適切な追跡・管理

【所管:EPA】
資源保全回復法 (RCRA)

- 連邦の非有害廃棄物と有害廃棄物を規制するための法律。収集・保管に関する要件、廃棄物分別ガイドライン、廃棄物の廃棄者の義務、処理処分施設の技術基準などを定めている。

e. 廃棄される商業用化学製品のリスト
(40 CFR 261.33.)

Pリスト (急性有害廃棄物)

Uリスト (毒性廃棄物)

目的③消防士や地域住民の健康保護のための発がん性リスクの排除 (独立機関の評価)

b. 米保健福祉省(HHS) 国家毒性プログラム(NTP)
発がん性物質報告書 (RoC) 【米国基準】

c. 世界保健機関(WHO) 国際がん研究機関(IARC)
発がん性評価モノグラフ 【国際基準】

森林局は、禁止物質のスクリーニングやリスク検討にあたり、以下の規制リストを参照している。

USDA FS WFCSが参照する、米国の有害物質に関する規制リスト（1 / 2）

-	法令名(英語)	規制リスト名	管轄機関	法令の概要（目的・対象物質）	米森林局の審査における視点
a	40 CFR 355. Emergency Planning and Notification - Appendix A	極めて有害な物質(EHS)リストと閾値計画量(TPQ) (The List of Extremely Hazardous Substances and Their Threshold Planning Quantities)	米国環境保護庁 (EPA)	<ul style="list-style-type: none"> 地域の緊急事態対応計画のために策定されたリスト。漏洩等の事故時に、地域社会や環境に深刻な急性被害をもたらす「極めて有害な物質」を指定し、施設での保有上限（閾値）を定めている。 	<ul style="list-style-type: none"> 航空基地での貯蔵タンク破損や、散布時、輸送中のトラック事故などで消火薬剤が環境に流出した際、地域社会や生態系に致命的な急性被害をもたらす物質が成分に含まれていないかを確認する。
b	—	国家毒性プログラム(NTP) 発がん性物質報告書 (RoC)	米国保健福祉省 (HHS)	<ul style="list-style-type: none"> ヒトに対する発がん性があることが「知られている」または「合理的に予測される」物質を特定し、公表する報告書。 米国内の公的な発がん性基準となっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 消火薬剤の製造、混合、散布作業に携わる消防士や、散布地域周辺の住民が発がんリスクに曝されることを防ぐため、該当成分が使用されていないかを確認する。
c	—	IARCモノグラフ (潜在的発がん性物質に関する評価)	世界保健機関 (WHO)/国際がん研究機関 (IARC)	<ul style="list-style-type: none"> 世界中の科学的知見に基づき、化学物質等の発がん性リスクをグループ1（ヒトに対して発がん性がある）からグループ3（分類できない）などに分類した国際的な評価基準。 	<ul style="list-style-type: none"> 米国国内の基準（NTP）だけでなく、国際的な基準に照らし合わせても発がん性が疑われる物質が配合されていないかをスクリーニングする。
d	40 CFR 302.4. Hazardous substances and reportable quantities.	有害物質リストおよび報告義務量 (RQ)	米国環境保護庁 (EPA)	<ul style="list-style-type: none"> スーパーファンド法 (CERCLA) に基づき、環境（土壌、水質、大気）へ一定量 (RQ) 以上放出された場合、連邦政府への通報が法的に義務付けられる「有害物質」のリスト。 	<ul style="list-style-type: none"> 実際の消火活動での空中散布や、誤って河川に投下してしまった場合に、連邦法に基づく重大な環境浄化責任（スーパーファンドの対象）や報告義務が生じる物質が含まれるのを避けるために確認する。

【前頁の続き】

USDA FS WFCSが参照する、米国の有害物質に関する規制リスト (2 / 2)

-	法令名	規制リスト名	管轄機関	リストの概要 (目的・対象物質等)	米森林局の審査における視点
e	40 CFR 261.33. Discarded commercial chemical products, off-specification species, container residues, and spill residues thereof.	・急性有害廃棄物(Pリスト) ・毒性廃棄物(Uリスト)	米国 環境保護庁 (EPA)	<ul style="list-style-type: none"> 資源保全回復法(RCRA)に基づき、廃棄された際に、特別な処理や厳重な管理が求められる商業用化学物質のリスト。 - Pリスト:微量でも危険な急性有害廃棄物 - Uリスト:一般的な毒性廃棄物 	<ul style="list-style-type: none"> 使用後の空容器の処理や、期限切れの余剰薬剤を廃棄する際に「有害廃棄物」に指定されると、森林局に莫大な処理コストと法的管理義務が発生するため、これを未然に防ぐために確認する。
f	40 CFR 372. Toxic Chemical Release Reporting Community Right-to-know	有害物質排出目録(TRI)	米国 環境保護庁 (EPA)	<ul style="list-style-type: none"> 緊急事態計画および地域住民の知る権利法(EPCRA)(SARA第3編第313条)に基づき、がん、慢性的な健康影響、または著しい環境破壊を引き起こすことが知られている特定の有害化学物質について、産業施設に毎年の排出・廃棄量の報告を義務付けるための対象物質リスト。 	<ul style="list-style-type: none"> 慢性毒性や環境蓄積性など、EPAが「排出動向を監視しなければならない」とみなすほど懸念が高い物質が森林に散布される消火薬剤に含まれることを防ぐために確認する。

FSの仕様書(Specification)では、禁止物質(Unacceptable Ingredients)が指定されている。前の版(2007年版)と比して、現行の2020-21年版では禁止物質の種類が拡張されている。

- ひとつ前の2007年版と比して、現行の2020-21年版では禁止物質 (Unacceptable Ingredients) が拡張されているが、新たな毒性・環境影響に関する研究や世論の高まり等を背景としたEPA等の規制強化・基準改定などにより追加された。
 - (例)PFAS問題の顕在化：2010年代以降、PFASによる汚染が社会問題化し、EPAも有害物質として指定したことを踏まえ、森林局も禁止物質に指定。
 - (例)硫酸アンモニウム：かつて安価な延焼防止剤の主成分として多用されていたが、特に魚類等の水生生物に対する急性毒性を持つことが判明し、環境保護団体からの大規模な訴訟提起もあった。また、EPAのTRIにおいてもアンモニアをカテゴリ指定しており、水中で解離するアンモニウム塩等から生じる水溶液中のアンモニアを含むとしている。
 - (例)環境ホルモンへの懸念：NPEは優れた界面活性剤として使用されていたが、2010年代に入りNPEが分解されるとノニルフェノールとなり、水生生物のメス化を引き起こす環境ホルモンとして働くことが判明。EPAが水質環境基準を厳格化したことに追従し、森林局も使用禁止とした。
 - (例)国際的な残留性有機汚染物質(POPs)全廃の動き：PBDEなどは延焼防止剤等に使用されていたが、自然界で分解されず生体濃縮されることが判明。EPAも規制を敷いた。

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤仕様書における禁止物質 (1 / 2)

#	物質名 (日本語)	物質名 (英語)	禁止の理由	該当リスト					
				a	b	c	d	e	f
1	フェロシアン化ナトリウム	Sodium ferrocyanide (Yellow Prussiate of Soda/YPS)	EPAの分類上、包括的な「シアン化合物 (Cyanide Compounds)」のカテゴリに含まれ、(d)CERCLAの有害物質および(f)TRIの報告対象に指定されている。				✓		✓
2	二クロム酸塩	Dichromates (e.g., sodium or potassium dichromate)	六価クロム化合物として非常に厳格に規制される。(c) IARCグループ1 (発がん性あり)、(b)NTP (ヒト発がん性物質) に指定。また重クロム酸ナトリウム (sodium bichromate) 等は(d)CERCLA有害物質であり、(f)TRIの対象となる。廃棄時は(e)RCRAの毒性特性廃棄物 (D007など) に該当する。		✓	✓	✓	✓	✓
3	チオ尿素	Thiourea	(b)NTPで「合理的に予測されるヒト発がん性物質」に指定 ((c) IARCでも評価歴あり/グループ3)。(e) RCRAのUリスト (U219: 毒性廃棄物) に指定されており、それに伴い(d) CERCLA (報告義務量: 10ポンド) および(f) TRIの報告対象にもなっている。		✓	✓	✓	✓	✓

【前頁の続き】

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤仕様書における禁止物質 (2 / 2)

#	物質名 (日本語)	物質名 (英語)	禁止の理由	該当リスト					
				a	b	c	d	e	f
4	ホウ酸塩・その他 ホウ素化合物	Borate or other boron- containing compounds	ホウ酸自体は発がん性リスト (NTP/IARC) にはないが、三塩化ホウ素 (Boron trichloride) や三フッ化ホウ素 (Boron Trifluoride) などの特定のホウ素化合物が、(a) EPCRAの極めて有害な物質(EHS)、(d) CERCLA有害物質、および (f) TRIに指定 (土壌の不毛化などを招くため森林局が制限)。	✓			✓		✓
5	ポリ塩化ビフェニル	Polychlorinated biphenyls (PCB)	主にTSCA (有害物質規制法) で規制されるが、(c) IARCグループ1および(b) NTPの発がん性物質。(d) CERCLAでは報告義務量が「1ポンド」と極めて厳しく設定されており、(f) TRIの対象でもある。		✓	✓	✓		✓
6	ポリ臭素化 ジフェニルエーテル	Polybrominated diphenyl ethers (PBDE)	延焼防止剤として使われていた物質群。(c)IARCで評価(グループ3)されている他、デカBDE(Decabromodiphenyl oxide)などは(f)TRIの報告対象。またモノBDE (4-Bromophenyl phenyl ether) などは(d)CERCLAの有害物質に指定。			✓	✓		✓
7	ノニルフェノール エトキシレート	Nonylphenol ethoxylates (NPE)	内分泌かく乱作用 (環境ホルモン) や水生生物への高い毒性が懸念される界面活性剤。EPAにより(f)TRIに「ノニルフェノールエトキシレート類」という独立したカテゴリーとして追加され、排出報告が義務付けられている。						✓
8	硫酸アンモニウム	Ammonium sulfate	肥料や消火薬剤の主成分で、水に溶けるとアンモニアを遊離して魚類に猛毒となる。EPAはこれを(f)TRIにおける「アンモニア (水で解離するアンモニウム塩)」カテゴリーの報告対象物質として指定している。※延焼防止剤のみ						✓
9	PFAS類 (PFOA/PFOS 等)	Per- and poly- fluoroalkyl substances (PFAS) – including PFOA & PFOS	2024年の最終規則により、PFOAとPFOSは(d)CERCLAの有害物質に正式指定された。(f)TRIにもPFASが追加済み。さらに最新の(c)IARC評価では、PFOAは「グループ1 (発がん性あり)」、PFOSは「グループ2B (発がん性の可能性あり)」に分類されている。			✓	✓		✓

リスクアセスメントは、QPL掲載前に必ず外部の評価機関により実施される。 EPAガイドライン等に基づき、人体の健康リスクおよび生態学的リスクを評価する。

- WFCS (Wildland Fire Chemical Systems) プロジェクトマネージャーは、STP1.1で提出された製剤開示シート、技術データシート、および化学物質安全性データシート (MSDS) による製品情報をレビューし、薬剤の成分や特性に懸念が生じた場合、その理由が「極めて危険な物質リスト (Extremely Hazardous Substances List)」や「既知または疑わしい発がん性物質リスト」への掲載によるものであれ、MSDSの記述によるものであれ、STP1.3以降の試験開始前にリスク評価が必要となる場合がある。
- STP1.1で懸念がない場合においても、先に森林局の認定製品リスト (Qualified Products List, QPL) に掲載されるすべての製品は、現場で使用される前にこれらのリスク評価を完了する必要がある。WFCSプロジェクトマネージャーは、STP 1.3およびSTP1.5からすべての毒性データが収集された時点で申請者に通知する。この情報は、生態学的リスク評価および人体の健康リスク評価の両方に使用される。
- 物質移転契約 (Material Transfer Agreement) に基づき、森林局は申請者に対し、毒性試験の結果およびすべての関連SDSファイル、製剤情報が、この評価の一環として移転されることを通知する。
- その後、森林局は承認された請負業者 (コントラクター) に対し、確立された森林局ガイドラインに従って作業を実施するために必要なすべての関連情報を送付する。結果は森林局に返送される。WFCSプロジェクトマネージャーは、プログラムマネージャーと共に結果をレビューし、すべてのレポートの写しも申請者に提供される。

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤試験 : STP 1.2 リスクアセスメント

方法 (Method) :

1. **人の健康リスク評価** : 林野火災用消火薬剤ユニットのために実施された、以前のリスク評価で確立された曝露シナリオおよび方法論を使用して評価。
2. **生態学的リスク評価** : EPAのガイドライン、および、林野火災用消火薬剤システムのために実施された以前のリスク評価で確立された方法論に従う。

参考文献 (References) :

- Labat-Anderson, Incorporated. *Human Health Risk Assessment: Wildland Fire-Fighting Chemicals*. 2003.
- Labat-Anderson, Incorporated. *Chemicals Used in Wildland Fire Suppression: A Risk Assessment*. 1996.
- U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum. *Guidelines for Ecological Risk Assessment*, USEPA EPA/630/R095/002F. 1998.

哺乳類毒性試験は、STP1.3に指示が記載されている。森林局は、米国環境保護庁(EPA)の標準試験を採用し、哺乳類毒性および眼・皮膚への刺激性の評価を実施している。

- 急性毒性および刺激性試験は、すべての製品に対して実施される。これらの試験は、消火薬剤を混合したり取扱う消防士や消火活動中の消防士の労働安全を守ることや、火災後にその地域に立ち入り、当該薬剤に曝露される可能性のある一般市民を保護することを目的としている。
- 森林局のWFCS（Wildland Fire Chemical Systems）プロジェクトマネージャーは、製品の濃縮サンプルおよび混合サンプルを認定試験のために承認された試験機関に送付し、試験機関からのレポートと結果を受け取って製品の性能を示す書類を作成して申請者に送付する。試験機関のレポートの写しは申請者に提供され、STP1.2のリスク評価プロセスでも使用される。

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤試験：STP 1.3 哺乳類毒性試験の概要

方法 (Method):

- すべての試験は、米国環境保護庁（EPA）、汚染防止・農薬・有害物質局（OPPTS）のプロトコルに従って実施される。
- なお、試験機関は、EPAが定めた優良試験所基準（Good Laboratory Practices: GLP）を遵守する。

参考文献 (References):

- 米国環境保護庁、化学物質安全性・汚染防止局（Office of Chemical Safety and Pollution Prevention）。
 - 870.1100 急性経口毒性 (Acute Oral Toxicity)
 - 870.1200 急性経皮毒性 (Acute Dermal Toxicity)
 - 870.2400 一次眼刺激性 (Primary Eye Irritation)
 - 870.2500 一次皮膚刺激性 (Primary Dermal Irritation)
- 米国環境保護庁、連邦殺虫剤・殺菌剤・殺鼠剤法。優良試験所基準（Good Laboratory Practices）；40 CFR 160
- 米国環境保護庁、有害物質規制法。優良試験所基準（Good Laboratory Practices）；40 CFR 792

(2023年10月改訂)

森林局のSTP1.3 哺乳類毒性試験においては、被験製品の濃縮物と混合製品のいずれも試験し、以下の基準値をクリアしなければならない。

- なお、混合製品 (Mixed Products) については、製品ごとに以下の条件で混合したもので試験を行う。
 - 長期延焼防止剤 (Long-term retardants) および前処理用延焼防止剤 (Pre-treatment retardants) : 製品の仕様に基づく混合率
 - 泡消火剤 (Class A Foam) : 1%の混合率
 - 水質改良剤またはゲル剤 (Water enhancers) : 推奨される最も高い混合率 (highest recommended mix ratio)

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤試験 : STP 1.3 哺乳類毒性試験の合格基準値

試験種別	原液又は乾燥濃縮物 (Wet or Dry Concentrate)	混合製品 (Mixed Products)
急性経口毒性 (Acute Oral Toxicity)	LD50 > 500mg/kg (EPAガイドライン : 【カテゴリⅢ】 毒性は中程度)	LD50 > 5000mg/kg (EPAガイドライン : 【カテゴリⅣ】 毒性は低い)
急性経皮毒性 (Acute Dermal Toxicity)	LD50 > 200mg/kg (EPAガイドライン : 【カテゴリⅡ】 毒性が高い)	LD50 > 2000mg/kg (EPAガイドライン : 【カテゴリⅢ~Ⅳ】 毒性は中程度~低い)
一次眼刺激性 (Primary Eye Irritation)	軽度の刺激性以下。(Mildly irritating or less.) 刺激性がより強い場合は、保護具および安全な取扱い手順(Safe handling procedures)を推奨すること。	軽度の刺激性以下。(Mildly irritating or less.) 刺激性がより強い場合は、保護具および安全な取扱い手順(Safe handling procedures)を推奨すること。
一次皮膚刺激性 (Primary Dermal Irritation)	一次刺激性指数 < 5.0 刺激性がより強い場合は、保護具および安全な取扱い手順(Safe handling procedures)を推奨すること。	一次刺激性指数 < 5.0

なお、環境保護庁(EPA)のガイドラインでは以下の通り基準値が定められている。
被験物質の試験結果は、各毒性カテゴリに当てはめて格付け評価し、安全対策を検討。

Q. LD50の閾値設定の判断根拠は何か (なぜその数値に設定されているのか)。

- 米森林局(FS)は、哺乳類毒性や眼・皮膚への刺激性を評価にあたって、**米国環境保護庁 (EPA) のガイドラインで定められた標準試験をそのまま採用している。**
 - 試験では承認された混合比に基づく「製品濃縮物」および「最も高濃度の混合製品」について、急性経口毒性および急性経皮毒性の試験を行い、LD50値を算出。
 - また、環境保護庁(EPA)の眼刺激性・皮膚刺激性の試験についても、同様に「製品濃縮物」および「最も高濃度の混合製品」に対して実施。
 - ・ これらの試験結果は、製品を取り扱う際に妥当な個人用保護具 (PPE) を指定するための必要情報を得るために行われる (QPLから除外する指標ではない)。
 - ・ 眼または皮膚の刺激性スコアの値を比較する場合、値が低いほど刺激性が低いことになる。
 - 個人差があるため、これらの試験で許容範囲内の結果であった製品でも、一部の人には刺激、アレルギー反応、またはその他の過敏症を引き起こす可能性がある。
 - ・ このような症状が発生した場合は、より厳格な衛生習慣や追加の保護具が役立つ可能性があるため、監督者に報告する必要がある。
 - ・ より極端な場合には、刺激物への曝露を最小限に抑えるために職務の変更が必要になることもある。

環境保護庁 (EPA) による毒性カテゴリ …FSの濃縮物の基準 …FSの混合製品の基準

試験種別	カテゴリⅠ (毒性が極めて高い)	カテゴリⅡ (毒性が高い)	カテゴリⅢ (毒性は中程度)	カテゴリⅣ (毒性は低い)
急性経口毒性	50mg/kg以下	50超～500mg/kg以下	500超～5000mg/kg以下	5000mg/kg超
急性経皮毒性	200mg/kg以下	200超～2000mg/kg以下	2000超～20,000mg/kg以下	20,000mg/kg超
一次眼刺激性	腐食性； 7日以内に回復しない角膜混濁	7日以内に回復する角膜混濁； 7日間持続する刺激性	角膜混濁なし； 7日以内に回復する刺激性	刺激性なし
一次皮膚刺激性	腐食性 (真皮に至る組織破壊 および/または癬痕化)	72時間で重度の刺激性 (重度の紅斑または浮腫)	72時間で中等度の刺激性 (中等度の紅斑)	72時間で軽度またはわずかな 刺激性

急性経口毒性試験では、主にラットを対象とした動物実験を行う。実施にあたっては、被検体とする動物種や飼育条件、投与する物質の用量等、EPAのガイドラインに従って準備を行う。

- 急性経口毒性試験では、環境保護庁(EPA)が発行する「健康影響試験ガイドライン OPPTS 870.1100 急性経口毒性」に従って準備・実施し、LD50の値を算出する。
 - LD50は、経口経路で投与された場合に、動物の50パーセントに死をもたらすと予想される、統計的に導き出された物質の単回用量。LD50値は、試験動物の単位体重あたりの被験物質重量 (mg/kg) で表される。
 - なお、EPAは、LD50および信頼区間を計算するためのソフトウェアプログラムを開発しており、試験結果の評価にあたっては、同ソフトウェア (AOT425StatPgm) のみを使用することを強く推奨している。

試験を実施するにあたっての準備・条件

(1)動物種の選択

- 推奨される動物種：げっ歯類種のうち、ラット
- 他のげっ歯類種も使用可能

(2)単一性別の選択

- 単一の性別を選択(雌雄はいずれも可)
- ただし、感受性に差がある情報がある場合は、最も感受性の高い性別で試験を実施(通常は雌)

(3)年齢および体重範囲

- 健康な若年成体動物を使用
- 雌の場合は未経産かつ妊娠していない個体を使用
- 8~12週齢 (10週齢(±1週間の範囲)が推奨)
- 体重は、以前投与された全動物の平均初期体重の±20%の範囲内

(4)飼育および給餌条件

- **実験室の温度**：22°C (±3°C)
- **実験室の相対湿度**：最低30%、部屋の清掃時以外は70%を超えないことが望ましい
- **照明**：人工照明(12時間ごとに明→暗の順序)
- **飼育**：個別のケージ等で飼育
- **飼料**：従来のげっ歯類用実験飼料を使用
- **飲料水**：無制限

(5)動物の準備

- 動物は、試験全体を通して適切なサイズと年齢範囲の動物が利用できるように準備し、無作為に選択
- 個体識別ができるようにマークし、実験室の条件に順応させるため、投与の最低5日前にケージに入れる

(6)用量の調整

- 被験物質は適切な媒体に溶解・懸濁させ、溶液/懸濁液/乳液での使用を推奨
- 溶解・懸濁させる媒体は水→油→その他の順に推奨
- 水以外は、その媒体の毒性学的特性の認知が必要
- 投与用調製物は投与直前に調製
- 投与には最大用量容量を超えない一定濃度を使用
- 一度に投与できる液体の最大容量は、試験動物の大きさに依存し、げっ歯類では通常、容量は体重100gあたり1mlを超えてはならないが、水溶液の場合は体重100gあたり2mlを考慮可能

(7)投与の実施

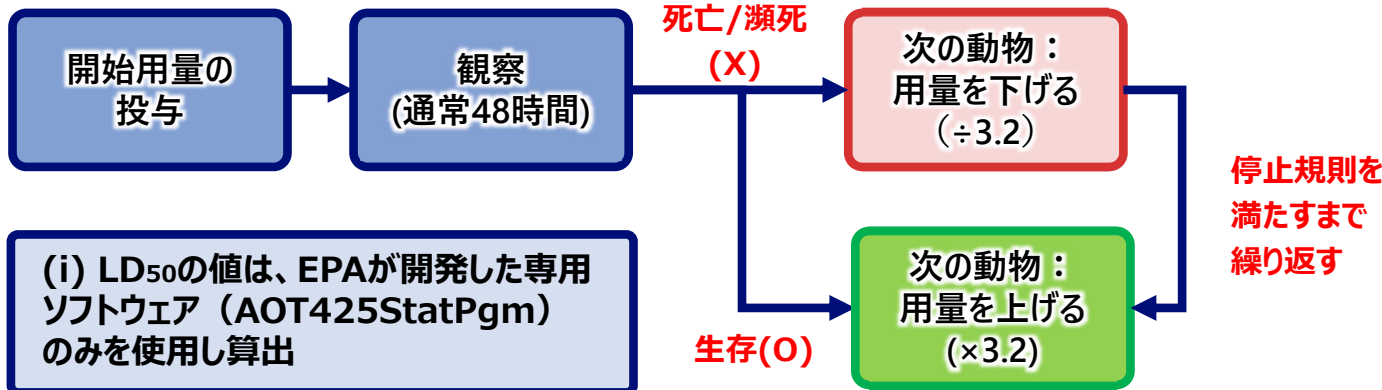
- 被験物質は、胃管または適切な挿管カニューレを用いた強制経口投与による単回投与
- 単回投与が不可の場合、24時間以内に分割投与
- 動物は投与前に絶食させ、動物の体重を測定して用量を計算し、被験物質を投与 (例：ラットは餌は一晚抜き水は与える、マウスは餌は3~4時間抜き水は与える)

EPAはLD₅₀(50%が死亡する境界線)を効率的に探索するため、アップ・アンド・ダウン法(アップ=生存、ダウン=死亡)による試験を採用し、動物福祉に配慮。

- **アップ・アンド・ダウン法**により、これまで30匹以上必要になることが多かった実験動物の数を6~10匹程度まで削減し(最大15匹)し、低い用量から開始することで動物の苦痛も軽減。
 - 動物を1匹ずつ順に試験する段階的な投与：1匹に投与するごとに通常48時間待って生死を確定させ、次の動物への投与を開始する。
 - 前の動物の結果による次の動物への投与量の確定：前の動物が生存した場合は用量を上げ(通常3.2倍)、死亡した場合は用量を下げる(通常1/3.2倍)ことで生死の境界(LD₅₀値)に自然と用量が収束していく仕組み。

本試験(Main Test)の実施フロー

(ii) アップ・アンド・ダウン法による被験物質の投与試験



(i) LD₅₀の値は、EPAが開発した専用ソフトウェア (AOT425StatPgm) のみを使用し算出

(iii) 開始用量/用量進行係数

被験物質の致死性の推定値情報・あり：推定LD₅₀値の1段階下から投与開始。

被験物質の致死性の推定値情報・なし：175mg/kgから投与開始。

※用量進行係数：デフォルトは3.2。化学物質に対する動物の耐性が大きく変動すると予想される場合、(勾配が2.0未満と予想される場合)用量進行係数を対数用量スケールでのデフォルトの0.5 (すなわち、3.2進行係数) を超えて増加させることを検討。

用量シーケンス例
(mg/kg)

1.75

5.5

17.5

55

175

550

1750

5000

停止規則・結果評価

(iv) 停止規則

いずれかに該当した時点で試験終了

(A) 上限用量で3匹連続で生存

(B) 連続6匹で反転(生存↔死亡)が5回発生。

(C) 最初の反転後、尤度比が基準超(要計算)

(v) 総動物数

通常、反転後4~6匹程度で終了。試験で使用する総動物数は、最大15匹までとする。

(vi) LD₅₀の算出

試験終了後、ソフトウェアでLD₅₀値を算出。

(vii) 人道的慣行

人道的理由で殺処分された瀕死の動物は死亡とみなす。予期せぬ遅発性死亡は投与を中止し観察。その後の生存動物も死亡し、すべての用量レベルがLD₅₀を超えていると思われる場合は、死亡個体が出た最低用量より最低2段階下の用量から試験再開。

急性経皮毒性試験においては、被験物質を段階的に異なる用量で経皮投与し、毒性反応及び致死性を評価。上限の2000mg/kgで限界試験を行い、死亡があれば本試験を実施。

試験方法

- 被験物質を動物の体表面積の約10%に塗布して24時間ガーゼ等で覆って固定し、24時間後に洗い流す。最低14日間毎日観察し、中毒症状・体重変化・死亡等を記録。
- **限界試験 (Limit Test)** : 毒性が低いと予想される場合は上限の限界用量 (げっ歯類の場合は2000mg/kg) を雌雄各5匹の単一グループに投与。死亡がなければ終了。
- **本試験 (Main Test)** : 限界試験で死亡が生じた場合は3段階の用量で本試験を実施し、LD50値 (体重1kgあたり何mg塗れば半数が死亡するか(mg/kg)) を算出する。

試験を実施するにあたっての準備・条件

(1)動物の準備

- ・ 試験動物が無作為化され処置群に割り当てられる前、試験の最低5日前から実験室の条件に順応させる

(2)種および系統

- ・ ラット、ウサギ、またはモルモット
- ・ 特に、アルビノウサギは大きさ、取扱いの容易さ、皮膚透過性、広範なデータベースがあることから推奨

(3)年齢および体重範囲

- ・ 若年成体動物を使用 (投与開始時に、ラットは8~12週齢、ウサギは最低12週齢、モルモットは5~6週齢)
- ・ 動物の体重変動は、各性別の平均体重の20%以内であることが必須

(4)動物の数

- ・ 健康で無傷の皮膚を持つ、実験未経験の動物を各用量レベルで少なくとも5匹使用
- ・ 本試験を実施する前により感受性の高い性別を決定的に判断するため、1つ以上の用量レベルで各性別少なくとも1グループ5匹の動物を試験
- ・ 上記以外の高等動物を用いた急性毒性試験では、より少数の使用を検討

(5)動物の性別

- ・ 全て同じ性別とし、一方の性別での試験完了後、もう一方の性別の最低1グループ5匹に投与し、この性別の動物が被験物質に対して著しく感受性が高くないことを確認
- ・ 雌は未経産かつ妊娠していないもの

(6)動物の割り当て

- ・ 動物には個体識別番号を割り当て、動物を試験群および対照群に無作為に割り当てるシステムが必要

(7)飼育

- ・ 動物は個別のケージで飼育
- 1. **実験動物室の温度** : げっ歯類は22℃ (±3℃)、ウサギでは20℃ (±3℃)
- 2. **実験動物室の相対湿度** : 30~70%とする
- 3. **照明** : 人工照明の場合、順序は12時間明/12時間暗とする
- 4. **給餌** : 従来の実験用飼料を使用でき、飲料水は無制限に供給

一次眼刺激性においては、アルビノウサギの成体 1 匹～ 3 匹を使用し、被験物質を片方の眼の結膜嚢に点眼する。試験結果は眼の病変反応により評価し、スコア付けを行う。

試験方法

- 動物はアルビノウサギが推奨され、最低3匹の健康な成体動物（いずれの性別でも可）を使用。まず1匹の動物を曝露し、その後に追加の動物を曝露する段階的手順を踏む。単一動物試験の場合は1匹の動物で試験を行い、その結果が、被験物質が眼に対して重度の刺激性（可逆的影響）または腐食性（不可逆的影響）があった場合は試験を終了する。単一動物試験以外の場合は最低3匹の動物を使用する。
- 被験物質の用量は、液体を試験する場合は0.1mLが推奨されるが、固体・ペースト・粒子状物質を試験する場合は0.1mL、または100mg以下とする。

評価方法

- 点眼から1、24、48、72時間後に各被検体の眼を検査し、以下の表により眼の反応を評価する。72時間後に刺激の様子がない場合は試験を終了する。なお、持続的な角膜病変またはその他の眼刺激がある場合、病変の進行とその可逆性または不可逆性を判断するために、延長観察（例：7日～21日）が必要になる場合がある。

眼の病変反応の評価

角膜の混濁 (密度の程度：読み取りには最も密度の高い領域を採用)	虹彩	結膜の発赤 (眼瞼および眼球結膜を指し、角膜および虹彩を除く)	結膜の腫脹 (眼瞼および/または瞬膜を指す)	値
潰瘍または混濁なし	正常	血管正常	腫脹なし	0
散在性またはびまん性の混濁領域(正常な光沢のわずかな鈍りを除く)、虹彩の詳細が明確に見える	著しく深まったヒダ、うっ血、腫脹、中等度の角膜周囲充血、または注入（これらのいずれか、またはそれらの組み合わせ）、虹彩はまだ光に反応する（遅い反応は陽性）	一部の血管が明確に充血している	正常を超えるあらゆる腫脹（瞬膜を含む）	1
容易に識別できる半透明領域、虹彩の詳細がわずかに不明瞭	光への反応なし、出血、肉眼的破壊（これらのいずれかまたはすべて）	びまん性、深紅色、個々の血管が容易に識別できない	眼瞼の部分的内反を伴う明らかな腫脹	2
真珠光沢領域、虹彩の詳細が見えない、瞳孔の大きさがかろうじて識別できる	—	びまん性の牛肉のような赤色	眼瞼が半分ほど閉じる腫脹	3
不透明な角膜、混濁を通して虹彩が識別できない	—	—	眼瞼が半分以上閉じる腫脹	4

なお、EPAは2024年に眼刺激性・腐食性の評価において、従来の動物実験から培養細胞等を用いた新アプローチ手法(NAMs)の優先評価手法の「決定フレームワーク」を公表した。

- 森林局の仕様書においては本内容について未対応であるが、ヒアリングによると改訂中であるとのことであり、本件についても更新される可能性が高いため、参考としてその概要を掲載する。

試験手法

- ヒト細胞/組織を用いた代替試験／非ヒトの代替試験 (in chemico, in vitro, ex vivo) ／動物実験 (in vivo)
- ※眼のデータがない場合は、皮膚のデータを流用可能。

試験結果の判定カテゴリ

- 結果は、「腐食性 (Corrosive)」「刺激性 (Irritating)」「非刺激性 (Nonirritating)」の3段階で判定。

眼刺激性評価の意思決定フロー（優先順位）

評価ステップ	確認するデータの内容	試験結果の活用
事前確認 (Decision 1)	データの品質と妥当性	<ul style="list-style-type: none"> 不備があるデータは除外。 眼のデータがなければ類似物質のデータを使用。
第1優先 (Decision 2)	「ヒト細胞・組織」を用いた代替試験データ	<p>【最も優先されるデータ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 試験結果が3段階（腐食/刺激/非刺激）を特定できる場合は、その結果を採用。 ※2段階（非刺激 or 刺激/腐食）しか分からない試験で「刺激/腐食」が出た場合は、安全のため一番重い「腐食性」とするか、次のステップへ。
第2優先 (Decision 3)	「非ヒト（ウシ・鶏など）」の代替試験データ (in vitro, ex vivo 等)	<ul style="list-style-type: none"> ヒト細胞データがない、または不十分な場合に採用。 試験能力に応じて結果を判定。迷った場合は最も重い（保守的な）結果を採用する。
第3優先 (Decision 2)	「動物実験 (in vivo)」のデータ (生きたウサギ等)	<ul style="list-style-type: none"> 代替試験のデータが一切ない場合にのみ採用。 最も重い（保守的な）重症度評価を選択して評価を終了する。
代替手段 (Decision 4～6)	眼のデータが一切ない場合 →「皮膚刺激性」のデータ	<ul style="list-style-type: none"> 眼のデータがない場合、皮膚のデータを流用可能（皮膚への刺激があれば、眼にも刺激があるとみなす）。 ここでも「ヒト細胞の皮膚試験」を最優先する。

動物実験に代わる新試験方法では、OECDの試験ガイドラインに則る。腐食/刺激/非刺激のいずれも評価できる試験と「非刺激」か「それ以外」の2択評価のみできる試験に分かれる。

推奨される主な代替試験法 (NAMs) とその判定能力

試験方法 (OECD TG)	試験に用いる対象	判定能力 (どこまで見分けられるか)	備考
TG 492B (RhCE ET50)	ヒトの培養角膜モデル	● 3つ全て特定可能 (腐食/刺激/非刺激)	EPAが最も推奨。 ヒト由来で最も精度が高い
TG 492 (RhCE)	ヒトの培養角膜モデル	● 2つの値のみ特定可能 (腐食/刺激または非刺激)	刺激性と腐食性の区別不可
TG 467 (DAL2)	複数の試験の組み合わせ	● 3つ全て特定可能 (腐食/刺激/非刺激)	BCOPとSTEの合わせ技で 高精度となる
TG 437 (BCOP)	食肉処理場のウシの眼	● 2つの値のみ特定可能 (※他のデータと組合せれば3つ特定可)	試験は広く普及
TG 438 (ICE)	食肉処理場の鶏の眼	● 2つの値のみ特定可能 (※他のデータと組合せれば3つ特定可)	同上
TG 491 (STE)	ウサギ由来の培養細胞	● 2つの値のみ特定可能 (※他のデータと組合せれば3つ特定可)	—
TG 496 (Ocular Irritation)	ヒト角膜成分の模造品 (生体外)	● 2つの値のみ特定可能 (非刺激か刺激/腐食)	—
TG 460 (FL)	イヌ由来の培養細胞	● 重篤/腐食性のみ特定可能	刺激性と非刺激性の区別 不可

米森林局（USDA FS） | 消火薬剤の仕様・承認試験の仕組み | STP 1.3：哺乳類毒性試験 | 870.2500 一次皮膚刺激性

一次皮膚刺激性においては、アルビノウサギの成体 3 匹を使用し、被験物質を 4 時間程度曝露させる。試験結果は、紅斑や浮腫形成等の皮膚反応により評価し、スコア付けを行う。

試験方法

- 動物はアルビノウサギが推奨され、最低3匹の健康な成体動物（いずれの性別でも可）を使用。まず1匹の動物を曝露し、その後に追加の動物を曝露する段階的手順を踏む。
- 試験の約24時間前に動物の体幹背部から試験領域の毛を除去する。その際、皮膚の損傷（擦り傷）を避けるように注意し、健康で無傷の皮膚を持つ動物のみを使用する。
- 被験物質は、液体の場合は0.5mL、固体または半固体の場合は500mgの用量を試験部位となる皮膚の小領域（約6cm²）に適用し、非刺激性テープで固定されたガーゼパッチで覆う。
 - 推奨される曝露期間は腐食が観察されない限り、通常4時間。
 - 被験物質を塗ったパッチが皮膚からズレたり落ちたりしないよう、試験による曝露期間中、通気性のあるテープや包帯などで優しく固定する。
 - 動物がパッチを触ったり、なめたり、かじったりして被験物質を口や鼻から吸い込まないように、しっかりと防護する。

評価方法

- 皮膚刺激性は、動物を紅斑および浮腫の兆候について検査し、パッチ除去後30～60分以内、および24、48、72時間後に反応をそれぞれスコア付けする。
- スコア付けおよび記録は下表に従って実施。可逆性を確立するために、必要に応じてさらなる観察が必要になる場合がある。刺激の観察に加えて、あらゆる病変およびその他の毒性作用をすべて記述する。

皮膚反応の評価

紅斑および痂皮形成	浮腫形成	値
紅斑なし	浮腫なし	0
非常に軽度の紅斑（かろうじて知覚できる）	非常に軽度の浮腫（かろうじて知覚できる）	1
明確な紅斑	軽度の浮腫（領域の端が明確な隆起で定義される）	2
中等度から重度の紅斑	中等度の浮腫（約1mm隆起）	3
重度の紅斑から軽度の痂皮形成（深部損傷）	重度の浮腫（1mm以上隆起し、曝露領域を超えて広がる）	4

生分解性試験は、林野火災用の泡消火薬剤およびゲル剤の各製品がどの程度容易に生分解されるかを評価する試験。微生物の代謝によって発生したCO2量を測定して評価する。

- 生分解性は、経済協力開発機構（OECD）「**OECD 301B**」および環境保護庁（EPA）の「**OCSP 835.3110(m)**」の標準手順を使用し、28日間にわたって評価する。
- 森林局のWFCSプロジェクトマネージャーは、各薬剤のサンプルを承認された試験機関に送付し、返送された結果をとりまとめ、提出された製品の性能を示す書類を作成して申請者に送付する。試験機関からの結果の写しも申請者に送付される。

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤試験：STP 1.4 生分解性試験

方法 (Method):

1. すべての試験は、米国環境保護庁（EPA）、汚染防止・農薬・有害物質局（OPPTS）のプロトコルに従って実施される。
2. 試験を実施する試験機関は、EPAが定めた優良試験所基準（Good Laboratory Practices）を遵守して実施する。

参考文献 (References):

- 米国環境保護庁（EPA）化学物質安全性・汚染防止局（OPPTS）のガイドライン「易生分解性（Ready Biodegradability）835.3110(m)」に記載の二酸化炭素発生試験（Carbon Dioxide Evolution Test）
- 経済協力開発機構（OECD）の「OECD 301B」による、化学物質の「易生分解性（Ready Biodegradability）」を評価するための「二酸化炭素（CO₂）発生法（Carbon Dioxide Evolution Test）」（改良シュトルム法）。
- 米国環境保護庁（EPA）「連邦殺虫剤・殺菌剤・殺鼠剤法」による、優良試験所基準（Good Laboratory Practices）：40 CFR 160
- 米国環境保護庁（EPA）「有害物質規制法」による、優良試験所基準（Good Laboratory Practices）：40 CFR 792

(2023年10月改訂)

具体的な試験方法は、EPAの「OCSP 835.3110(m)」の炭酸ガス発生法(改良シュトルム法: Modified Sturm Test)をベースとし、試験期間の延長等の独自のルールを一部加えている。

STP 1.4 生分解性試験の実施手順 (1 / 2)

被験物質の生分解試験の概要

- 生分解(biodegradation)とは、有機物が微生物の働きによって二酸化炭素と水に分解される現象をいい、**本試験ではこの分解率(%)と日数を評価する。**
- 試験では、培地に一定濃度の被験物質と微生物源を加えて培養を行い、薬剤の成分から**発生するCO2量が理論値の『60%』に達することを確認する。**
- 期間は原則『**28日以内**』とするが、FSの試験では『**最長42日**』まで延長可能。
 - なお、使用する**微生物(接種源:イノキュラム)**は、EPA基準では都市下水(家庭排水)を処理している下水処理場の「活性汚泥」または「二次処理水」、あるいは「地表水(川や湖の水)」、「土壌」などとされるが、USFSの仕様書(STP-1.4)による特例として、「活性下水汚泥の代わりに、**市販の接種源(市販の微生物群: Commercial inoculum)**を使用してよい」と明記。※最も手軽で標準的

試験が「有効(成立)」と認められるための前提条件

(1) 対照群のCO2発生量

- 被験物質を入れない接種源(微生物)のみのフラスコから発生する総CO2量が、28日間で「培地1Lあたり40mg」を超えないこと。 ※微生物自身の自己消化によるCO2発生が多すぎると正確な測定ができないため。

(2) 参照物質の分解スピード

- 微生物が生きているかを確認するために入れる「参照物質(アニンやフタル酸など)」が、試験開始から14日目までに必ず合格レベル(60%)に達していること。

(3) 反復試験のばらつき

- 2つのフラスコ(反復試験)で出た結果の差が「20%未満」であること。

生分解試験の準備

試験の準備物

- 2L~5Lの大型フラスコを5個(最大7個)準備し、**底まで届く「空気を吹き込むための管(曝気管)」と、「空気の抜け道(排気口)」を付ける。
- 排気口の先には、発生したCO2を捕まえるための「CO2吸収瓶(水酸化バリウム等を入れる)」を2~3個直列で接続する。

被験物質の必要量

- 培地の中で「10~20mg/L(炭素量として)」になる量で、重さ(mg)ではなく、物質に含まれる「有機炭素(TOC)の量」で計算する。
- 仮に1つのフラスコに3リットルの液を作る場合、フラスコ1個あたり「純粋な炭素量として30~60mg分」の薬剤を投入する。

試験で使用する被験物質のセットアップ



フラスコ1
被験物質(消火薬剤) + 微生物



フラスコ2 (反復試験用)
被験物質(消火薬剤) + 微生物



フラスコ3
微生物のみ



フラスコ4 (反復試験用)
微生物のみ



フラスコ5
参照物質(アニン等) + 微生物(微生物が活発かどうか確認するための試験用)



フラスコ6
毒性確認用(必要な場合のみ)



フラスコ7
滅菌対照用(必要な場合のみ)

※フラスコ3・4は、微生物自身の呼吸によるCO2を測る対照用(被験物質を入れたフラスコ1・2との差分を見るためのもの)

生分解率(%)も「OCSP 835.3110(m)」に則り算出を行い、製品が易生分解性(Readily biodegradable)又は生分解性(Biodegradable)のいずれかの要件に該当で合格となる。

- **易生分解性 (Readily biodegradable)** : 28日間以内に60%の分解率を達成すること。 ※ただし、EPAの厳格なルールでは、さらに「10%分解に達した日から10日間以内に60%まで到達すること(10日間ウインドウ)」が求められるが、FS試験では免除。
- **生分解性 (Biodegradable)【FS独自の延長ルール】** : 28日目に60%に達していない場合、最長42日間まで試験を延長し、その期間内に60%を達成すること。(消火薬剤には分解速度の遅い成分が含まれることがあるため、最終的に自然界で分解されれば良しとする現実的な基準を設けている)

STP 1.4 生分解性試験の実施手順 (2 / 2)

試験の大まかな流れ

【STEP 1 : 準備 (0日目)】

- 無機栄養培地を作り、微生物(接種源)を入れる。この液に「CO2を完全に除去した空気」を一晩吹き込み、液の中にもともと溶けていたCO2を完全に排出する。

【STEP 2 : 試験開始】

- 5つのフラスコそれぞれに、指定された通り「被験物質」や「参照物質」を入れる。
- フラスコの排気口に「CO2吸収瓶」をセットする。
- 暗所(または散乱光下)、22℃の環境に置き、再び「CO2を含まない空気」をゆっくりと吹き込み続ける。(※微生物が呼吸して、物質を分解し始める)

【STEP 3 : 測定 (1日目~28日目)】

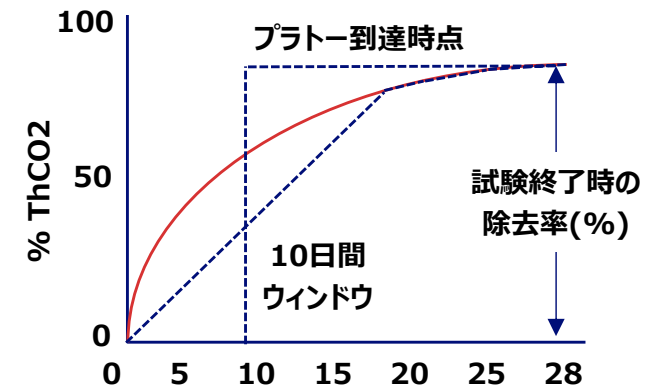
- 最初の10日間は2~3日おき、その後は5日おきに、排気口につないだ「CO2吸収瓶」を外す。
- 吸収瓶の中の液体を滴定(塩酸を垂らして色の変化を見るなど)または機器で分析し、「微生物が薬剤を分解して吐き出したCO2の量」を計算。
- 新しい吸収瓶を付け直し、試験を継続。

【STEP 4 : 終了と判定 (28日目 または 42日目)】

- 28日目(USFSの延長ルールを適用する場合は最長42日目)に試験を終了。
- 28日間(または42日間)で発生したCO2の合計量が、理論上発生するはずの限界量(ThCO2)の60%に達していれば「合格(生分解性あり)」となる。

生分解曲線 (Biodegradation Curve)

- 分解の経過をグラフィカルに表示し、10日間ウインドウを示す。
- プラトー(平坦部)に達した時点、**試験終了時**、および/または10日間ウインドウ終了時のいずれか適切な時点での**分解率(%)**を計算して報告する。



試験日数 ※FSの試験は42日まで延長可

$$\text{生分解率 (\%)} = \frac{\text{生成されたCO}_2 \text{ (mg)}}{\text{理論上の限界量ThCO}_2 \text{ (mg)}} \times 100$$

(または)

$$\text{生分解率 (\%)} = \frac{\text{生成されたCO}_2 \text{ (mg)}}{\text{試験で添加されたTOC (mg)} \times 3.67} \times 100$$

※ここで3.67は炭素からCO2への変換係数(44/12)である。任意の時間間隔後の分解率は、測定されたその日までに計算された理論上のCO2(%)の値を足し合わせることで得られる。

なお、OECD 301の試験ガイドラインでは、好気性水性媒体中での化学物質の易生分解性（Ready Biodegradability）をスクリーニングするための6つの方法が記述されている。

- 同試験ガイドラインでは、好気性水性媒体中での化学物質の易生分解性（Ready Biodegradability）をスクリーニングするための6つの方法を記述。これらの方法は以下の通り：

手法	ガイドライン
DOC減少法（DOC Die-Away）	OECD 301A
炭酸ガス発生法（改良シュトルム法：Modified Sturm Test）	OECD 301B 及び 森林局が採用するEPA OPPTS835.3110(m)
MITI (I)法	OECD 301C
密閉ビン法（Closed Bottle）	OECD 301D
改良OECDスクリーニング法（Modified OECD Screening）	OECD 301E
マンOMETリック呼吸法（Manometric Respirometry）	OECD 301F

- 試験物質の溶液または懸濁液（十分に決定・記述されたもの）を無機塩類培地に加え、接種源（inoculum）を接種し、好氣的条件下、暗所または散光下で培養する。接種源のみを含み試験物質を含まないブランク（空試験）を並行して行うことで、接種源の内生活性を測定できる。また、試験手順の動作を確認するために、参照化合物（アニリン、酢酸ナトリウム、または安息香酸ナトリウム）を並行して試験する。
- 通常、試験期間は28日間。
- 試験物質と接種源を含むフラスコまたは容器を少なくとも2つ、接種源のみを含むフラスコまたは容器を少なくとも2つ使用する（参照化合物については単一の容器で十分である）。
- 一般に、分解は、DOC（溶存有機炭素）、CO₂（二酸化炭素）生成量、酸素消費量などのパラメータを測定することによって追跡される。
- 易生分解性（Ready Biodegradability）の合格基準（pass levels）は、DOC除去率で70%、呼吸法による理論的酸素要求量（ThOD）または理論的二酸化炭素生成量（ThCO₂）に対する割合で60%。これらの合格値は、28日間の試験期間内の「10日間ウィンドウ（10-d window）」で達成されなければならない。

魚類毒性試験は、消火薬剤が水域に流入した場合に曝露される可能性のある魚類及びその他水生生物の保護を目的として実施。基準値のLC₅₀は200mg/Lを超えなければならない。

- 魚類毒性試験は、すべての製品に対して認定および使用前に実施される。具体的な試験対象種、月齢、およびその他の試験条件は、ミズーリ州コロンビアおよびサウスダコタ州ヤンクトンの環境・汚染物質研究センター (Environmental and Contaminants Research Centers) による研究に基づいて確立された。
- 森林局は、評価のために提出された消火薬剤のサンプルを承認された試験機関に送付し、試験機関が試験を実施する。
- WFCSプロジェクトマネージャーは、試験機関から返送された試験結果を取りまとめ、提出された製品の性能を示す書類を作成して申請者に送付する。試験機関のレポートの写しも申請者に提供される。

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤試験 : STP 1.5 魚類毒性試験の概要 (次頁に続く)

方法 (Method) :

1. すべての試験は、米国環境保護庁 (EPA) 化学物質安全性・汚染防止局 (OCSP) のプロトコルに従い、以下に定義された種および条件を使用し、製品のLC₅₀ (半数致死濃度) を試験確認する。
 - a. 種 : ニジマス (*Oncorhynchus mykiss*)、孵化後 60 (±7) 日
 - b. 試験条件 : 96時間、静水式、非換水曝露 (static, non-renewal exposure)
 - c. 水質 : 軟水 (ASTMのガイドに基づく)
2. 試験を実施する試験機関は、EPAが定めた優良試験所基準 (Good Laboratory Practices) を遵守して実施する。

参考文献 (References) :

- 米国環境保護庁 (EPA) 旧汚染防止・農薬・有害物質局 (OPPTS) による「淡水および海水における魚類急性毒性試験 (Fish Acute Toxicity Test, Freshwater and Marine) 」 OCSP 850.1075。
- 米国環境保護庁 (EPA) による「連邦殺虫剤・殺菌剤・殺鼠剤法」の優良試験所基準 (Good Laboratory Practices) ; 40 CFR 160。
- 米国環境保護庁 (EPA) による「有害物質規制法」の優良試験所基準 (Good Laboratory Practices) ; 40 CFR 792。
- 米国試験材料協会 (ASTM) 「魚類、大型無脊椎動物、および両生類を用いた試験材料に関する急性毒性試験の実施のための標準ガイド」 (Standard Guide for Conduction Acute Toxicity Tests on Test Materials with Fishes, Macroinvertebrates, and Amphibians) ; E729-96(2002)。

(前頁の続き)

USDA FS WFCS 林野火災用消火薬剤試験 : STP 1.5 魚類毒性試験の概要 (前頁の続き)

参考文献 (References) :

- Susan Finger (編) ; 米国地質調査所、生物資源部門。『植物および動物群集に対する延焼防止剤および泡消火剤の毒性』 (Toxicity of Fire Retardant and Foam Suppressant Chemicals to Plant and animal Communities) 。1997年。
- McDonald, Susan F., Hamilton, Steven J., Buhl, Kevin J., および Heisinger, James F. 『オオミジンコ (*Daphnia magna* (Straus)) およびムレミカツキモ (*Selenastrum capricornutum* (Printz)) に対する火災制御用化学薬品の急性毒性』 (Acute Toxicity of Fire Control Chemicals to *Daphnia magna* (Straus) and *Selenastrum capricornutum* (Printz)) 。*Ecotoxicology and Environmental Safety* Vol. 33, pp 62-72。1996年。
- McDonald, Susan F., Hamilton, Steven J., Buhl, Kevin J. and Heisinger, James F. 『ヨコエビの一種 (*Hyalella azteca* (Saussure)) に対する延焼防止剤および泡消火剤の急性毒性』 (Acute Toxicity of Fire-Retardant and Foam-Suppressant Chemicals to *Hyalella azteca* (Saussure)) 。*Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 16, No. 7, pp 1370-1376。1997年。
- **Gaikowski, Mark P., Hamilton, Steven J., Buhl, Kevin J., McDonald, Susan F., and Summers, Cliff H. 『ファットヘッドミノー (Fathead Minnow) の4つのライフステージに対する消火用化学製剤の急性毒性』 (Acute Toxicity of Firefighting Chemical Formulations to Four Life Stages of Fathead Minnow) 。*Ecotoxicology and Environmental Safety* Vol. 34, pp 252-263。1996年。**
- **Gaikowski, Mark P., Hamilton, Steven J., Buhl, Kevin J., McDonald, Susan F., and Summers, Cliff H. 『ニジマス (*Oncorhynchus mykiss*) の初期ライフステージに対する3種の延焼防止剤および2種の泡消火剤の急性毒性』 (Acute Toxicity of Three Fire-Retardant and Two Fire-Suppressant Foam Formulations to the Early Life Stages of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)) 。*Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 15, No. 8, pp 1365-1374。1996年。**
- Buhl, Kevin J. and Hamilton, Steven J. 『ニジマスに対する火災制御用化学薬品、窒素化合物、および界面活性剤の急性毒性』 (Acute Toxicity of Fire-Control Chemicals, Nitrogenous Chemicals, and Surfactants to Rainbow Trout) 。*Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 129, pp 408-418。2000年。
- Buhl, Kevin J. and Hamilton, Steven J. 『マスノスケ (*Oncorhynchus tshawytscha*) の初期ライフステージに対する延焼防止剤および泡消火剤の急性毒性』 (Acute Toxicity of Fire-Retardant and Foam-Suppressant Chemicals to Early Life Stages of Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)) 。*Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 17, No. 8, pp 1589-1599。1998年。

(2023年10月改訂)

EPAのガイドラインにおける魚類毒性試験は、ニジマス・ブルーギル等を用い、96時間以内の半数致死濃度 (96-h LC50) を算出する。FSではニジマスを用いるが、EPAの試験方法に則る。

OCSP 850.1075: 淡水および海水における魚類急性毒性試験 Freshwater and Saltwater Fish Acute Toxicity Test

1. 試験の概要

- 目的: 化学物質が魚類に与える急性毒性 (96時間以内の死亡率) を評価し、96時間半数致死濃度 (96-h LC50) を算出する。
- 対象: 淡水魚 (ニジマス、ブルーギル等) および海水魚 (トウゴロウイワシ類等)。
- 期間: 96時間 (4日間)。
- 方法: 試験物質を溶かした水槽に魚を入れ、死亡数や中毒症状を観察する。

2. 試験の種類

- 本試験 (Definitive Test): 正確なLC50値を求めるための試験。少なくとも5段階の濃度で行う。
- 限界試験 (Limit Test): 毒性が低いことを確認するための簡易試験。上限濃度 (例: 100 mg/L) のみで実施し、死亡がなければ終了。

3. 主な試験の条件

試験データが有効と認められるには、以下の条件を満たす必要がある。

項目	条件
対照群の死亡率	• 薬剤を入れていない水槽 (対照群) での死亡率や異常が10%以下であること
給餌	• 試験中の96時間は餌を与えてはいけない
環境条件	
水温	• 魚種に応じた適温 (例: ニジマス12℃、ブルーギル22℃) を保つ (変動±2℃以内)
溶存酸素	• 飽和度60%以上を維持すること
pH	• 一定範囲内 (淡水6.0-8.5、海水7.5-8.5) に保つこと
魚の条件	• 健康な幼魚 (3.0g未満) を使用し、試験前の死亡率が低いこと
サンプル抽出	• 水槽や魚の割り当ては無作為 (ランダム) に行うこと

森林局のSTP1.5 魚類毒性試験においては、消火薬剤ごとに試験の合格基準となるLC50値が設定されている。なお、基準値は原液または濃縮物(Concentrate)に対して設定されている。

消火薬剤タイプごとの“LC50”の合格基準値

	長期延焼防止剤/前処理用延焼防止剤 (Long-term retardants/ Pre-treatment retardants)	泡消火剤 (Class A Foam)	ゲル剤 (Water Enhancer)
閾値設定 (LC50 >)	• 200 mg/L	• 10 mg/L	• 100 mg/L
希釈倍率 (Mix Ratio)	<p>粉末 (Pounds concentrate per gallon water)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Phos-Chek MVP-Fx : 0.96lb/gal • Phos-Chek 259-Fx : 1.01 lb/gal <p>液体</p> <ul style="list-style-type: none"> • Phos-Chek LCE20-Fx : 原液1に対して水5.2倍に希釈 (約16%の濃度で使用) 	<ul style="list-style-type: none"> • いずれの製品も、0.1%～1.0% (100倍～1000倍希釈で使用) 	<ul style="list-style-type: none"> • 製品によって異なるが、0.37%～3% (約33～270倍希釈で使用)

“LC50”の指標の見方

項目	概要
指標の定義	<ul style="list-style-type: none"> • 特定の時間枠内（この場合は96時間）に、試験対象の水生生物の50パーセントが死に至る水中の製品濃度のことを指す。 • 魚類毒性サマリーで報告される値は、溶液1リットルあたりの製品ミリグラム数（mg/L）で表される。
値比較にあたっての注意事項	<ul style="list-style-type: none"> • 特に記載がない限り、報告された値は「製品濃縮物」に関するものである。 • 現場での毒性を推定する際には、LC50に加えて混合比も考慮しなければならないが、これは、異なる混合比を持つ製品を比較する場合に特に重要となる。 • LC50値が低いほど、毒性が強い。 (= 試験対象のニジマスの50%が死に至る、試験対象薬剤の水中濃度が薄いほど毒性が強い)

希釈倍率が低い(濃い状態で撒く)薬剤ほど、原液の毒性基準は厳しく(数値を高く)設定されているが、希釈倍率が高い(薄めて撒く)薬剤は原液の毒性が多少強くても許容される

魚類毒性試験や“LC50”についての確認事項（1 / 2）

#	質問	回答
1	USFSの基準で濃縮物（wet or dry concentrate）と混合物（mixed product）の2種で試験を課している理由は何か。	<ul style="list-style-type: none"> USFSのLC50の基準値は、基本的に原液又は乾燥濃縮物（Concentrate）に対して数値設定されている。（LD50は双方に課している。） 仕様書原文仮訳：「3.5.2.2. 水生毒性：濃縮物に曝露されたニジマスのLC50は、4.1.2項に従って試験された場合、200mg/Lを超えなければならない。」
2	魚毒性試験のLC50の数値設定がリターダント、泡、ゲル剤で数値設定が異なっている理由は何か。	<ul style="list-style-type: none"> 実際に環境中に放出される際は水で希釈されて使用されるため、環境負荷の違いを踏まえて設定。 最終的に環境に及ぼす影響を同程度に抑えるため、希釈倍率に応じて原液そのものの許容ラインが調整されている。 <ul style="list-style-type: none"> 延焼防止剤：比較的高濃度（濃い状態）で散布されることから、水で薄める倍率が低いため、原液自体の毒性が低くないと、散布された地点での環境負荷が大きくなってしまふ。よって、LC50の数値は大きく（毒性は低く）設定されている。 泡消火剤：水で100倍以上に薄めて使用する。現場で散布される液体の濃度は極めて薄いため、原液自体の毒性が多少強くても、環境中での実質的な濃度は低くなる。よって、原液のLC50基準は延焼防止剤に比べて緩く（低く）設定されている。 ゲル剤：泡消火剤と同様、高い希釈率で使用されるため、延焼防止剤ほど厳しい原液毒性基準は適用されないが、製品の性質上、泡よりもやや高い（安全な）数値設定。
3	LC50の閾値設定の判断根拠は何か（なぜその数値に設定されているのか）	<ul style="list-style-type: none"> 森林局が設定した「200mg/L」という基準値は、EPAが「実質的に無毒」と定義する「100mg/L」の2倍の濃度となっている。 LC50は「数値が大きいほど安全（死ぬのに高濃度が必要）」であることを意味するため、森林局はEPAの「無毒」区分よりもさらに厳しい安全基準を設け、環境リスクを最小限に抑えようとしていることが推察される。 なお、仕様書の3.5.2.2項では、混合液ではなく「原液又は濃縮物（Concentrate）」に対して200 mg/Lという基準を求めているが、この点も重要な意図が推察できる。混合製品（Mixed Product）は、実際に散布される際は水で希釈されるため、濃縮物の段階で200 mg/L以上の低毒性であれば、希釈された混合製品はさらに毒性が低くなり、散布時の安全性は極めて高くなる。また、原液又は濃縮物（Concentrate）がそのまま水源に流出した場合の最悪のシナリオであっても、魚類への致命的な影響を避けることができる。

なお、森林局はEPAのガイドラインを踏まえ、ASTMの水質管理ガイドラインを参照のうえ、米国地質調査所(USGS)と協力して、魚類毒性試験を開発している。

魚類毒性試験や“LC50”についての確認事項（2 / 2）

#	質問	回答
4	LC50の試験対象をニジマスに指定している理由は何か。（他に、甲殻類や藻類、微生物のLC50は考慮しないのか）	<ul style="list-style-type: none"> 森林局は、長年にわたり米国地質調査所（USGS：the United States Geological Survey）と協力して魚類毒性試験を開発した。 <ul style="list-style-type: none"> 試験の開発にあたり、実験室の研究で一般的に使用される魚類やその他の水生生物種、およびその日齢（成長段階）について、林野火災用消火薬剤に対する相対的な感受性を決定することに着目。 若いニジマスは、この水生生物グループの中で最も感受性が高い種の代表であり、これまでに研究された絶滅危惧種や絶滅の恐れのある種と同じくらい感受性が高いことが判明したため、最終的な試験は、孵化後60日（dph: day-post-hatch）のニジマスを使用する形で開発された。 LC50（半数致死濃度）を決定するために、魚は静水条件下で96時間、段階的に希釈された一連の製品に曝露された。すべての希釈液はASTM軟水を使用して調製された。これは、未開発地域の小川の水を単一で最も適切に代表していると判断されたためである。 標準試験手順（Standard Test Procedure）1.5に、魚類毒性試験の指示が記載されている。 これらの製品が水路に入らないような方法で散布することが、林野火災関係機関の目標となるが、これが常に可能とは限らないため、製品を慎重に選択することが、有害な影響を最小限に抑えるのに役立つといえる。
5	何故孵化後60日（±7日）の魚類、かつASTM軟水で試験を行うのか。	<ul style="list-style-type: none"> 参考文献のうち、以下の文献は、消火剤（延焼防止剤および泡消火剤）の水生生物への毒性について比較検討した重要な研究である。これらの研究では、標準化された軟水および硬水中における複数の消火用化学製剤の急性毒性を測定するため、各魚類の初期ライフステージ（成長段階）である卵、稚魚、孵化後30日、および孵化後60日の各ライフステージに対し、延焼防止剤と消火泡を用いて室内試験を実施。 <ul style="list-style-type: none"> 『ファットヘッドミノーの4つのライフステージに対する消火用化学製剤の急性毒性』 『ニジマスの初期ライフステージに対する3種の延焼防止剤および2種の泡消火剤製剤の急性毒性』 結果から導出された以下の点等が、森林局の環境影響評価においても参照されている。 <ul style="list-style-type: none"> 一般的に稚魚が最も感受性が高く（影響を受けやすく）、一方で卵は最も感受性が低い。 硬水の方が毒性が強くなる。 泡消火剤の方が延焼防止剤よりも毒性が強い。

参考資料

米森林局 (USDA FS) の研究開発部門 (R&D Stations & labs) 一覧

1. Northern Research Station (NRS) : 北東部・中西部・五大湖圏 (本部 : ペンシルベニア州ニュータウンスクエア)

- 東部広葉樹林・都市林・社会経済/アーバンフォレストリー
- 森林生態・気候変動・カーボンサイクル・病虫害/外来種

2. Southern Research Station (SRS) : 南東部・アパラチア (本部 : ノースカロライナ州アシュビル)

- 長伐期松林/湿地林の生態・再生
- 火入れ・燃料管理、WUI 火災、森林水文学、昆虫病理

3. Rocky Mountain Research Station (RMRS) : コロラド州を中心とする高地西部 (本部 : コロラド州フォートコリンズ)

- 火災科学 (Missoula Fire Sciences Lab 含む)、燃料・煙・気候適応
- 山岳/乾燥地生態系、流域管理、野生生物・草原生態

Missoula Fire Sciences Lab
= 林野火災の研究はこちらで実施

4. Pacific Northwest Research Station (PNW) ワシントン・オレゴン・アラスカ (本部 : オレゴン州ポートランド)

- 温帯雨林・沿岸/内陸針広混交林、サケ・水域生態
- カーボン・気候変動、社会経済・木質バイオエコノミー

5. Pacific Southwest Research Station (PSW) : カリフォルニア・ハワイ・太平洋 (本部 : カリフォルニア州アルバニー)

- 乾燥地・地中海性気候林、巨大林野火災・煙ダイナミクス
- 島嶼
- 水資源、生物多様性、侵入種管理、太平洋島嶼研究 (IPIF)

6. Forest Products Laboratory (FPL) : 全米 (本部 : ウィスコンシン州マディソン)

- 木材科学・工学、セルロースナノファイバー、バイオ製品
- 耐火・耐久建材、炭素固定建築、ライフサイクル評価

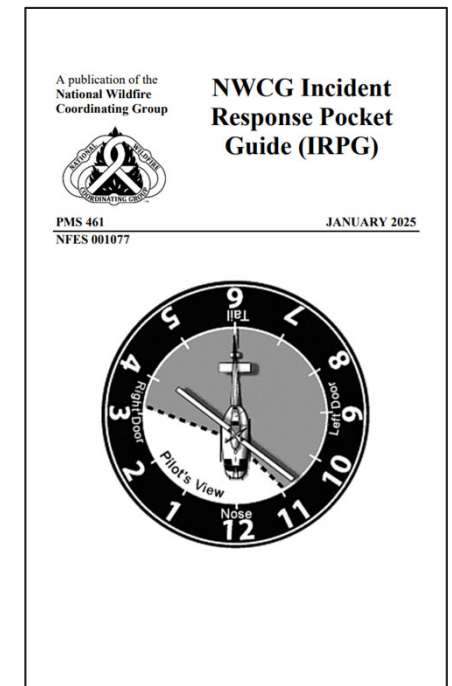
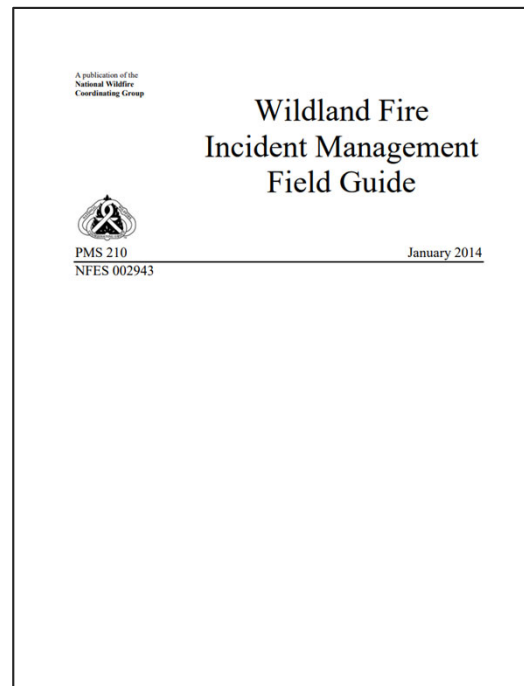
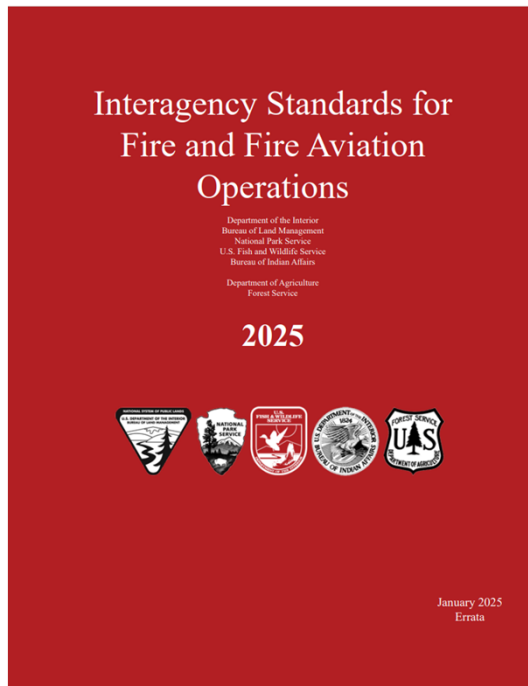
7. International Institute of Tropical Forestry (IITF) : カリブ海・ラテンアメリカ (本部 : プエルトリコ州サンファン)

- 熱帯林生態・回復、マングローブ・島嶼生態系、気候変動
- 生物多様性・水資源、森林社会学、国際協力・能力構築

米森林局の林野火災化学ラボ(Wildland Fire Chemicals Lab)では、国家技術開発プログラム(NTDP)による仕様書等の基準の見直しや化学薬剤に関する情報提供を実施。

- 林野火災化学ラボ（Wildland Fire Chemicals Lab）は、1962年以来、林野火災用消火薬剤の品質管理と現場支援を実施してきた。
- 林野火災や現場で使用される化学的ツールに関する知見が変化し続ける中で、仕様書等の基準の見直しや、消防士、関係機関、および一般市民への助言提供を実施。
- 関係機関との連携によるガイドラインの策定に向けては、以下の資料に掲載するために化学薬剤情報の要約を実施。
 - 全米省庁間火災センター（NIFC）の「火災および航空機運用に関する省庁間基準（レッドブック）」
 - 全米山火事調整グループ（NWCG）の「林野火災インシデント管理フィールドガイド」、「インシデント対応ポケットガイド（IRPG）」
 - その他、現場や訓練クラスで使用される業務支援ツール（ジョブエイド）等

関連ガイドライン等



米森林局（USDA FS） | 参考資料 | NIFC（全米共同防火調整センター）の協力機関

NIFC（全米共同防火調整センター）では、以下の機関が協力し合い、米国の林野火災プログラムに対してリーダーシップ、政策監督、調整機能を提供。



米内務省・インディアン事務局



米内務省・土地管理局



国防総省



U.S. Fire
Administration

国土安全保障省
連邦緊急事態管理庁・米国消防局



米内務省・魚類野生生物局



米農務省・森林局



州森林監督官協会
(非営利団体)



米商務省
海洋大気庁気象局



米内務省・国立公園局



**Envision the value,
Empower the change**