

Case Study



U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board

化学物質の荷下ろし作業中の 誤混合防止のための重要な教訓 カンザス州アチソンにおける化学反応と流出

MGPI Processing, Inc.

事故発生日：2016年10月21日

140人以上が医療処置を受け、6人が入院

No. 2017-01-I-KS

2017年12月発行



重要課題：

- 化学物質移送設備の設計
- 緊急遮断の自動化とリモート操作
- 配管マーキング
- 化学物質の荷下ろし手順
- ヒューマンファクター
- 緊急事態計画



CSB (The U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board) は、人々と環境を保護するために独立した調査を通じて化学安全の改善を推進することを使命とする独立した連邦機関である。

CSBは科学的調査機関であり、法執行機関や規制機関ではない。1990年の改正大気浄化法に基づき設立され、事故の根本原因および寄与要因を特定し、安全に関する勧告を行い、化学安全に関する課題を調査研究し、化学安全に関わる他の政府機関の有効性を評価する役割を担っている。CSBに関する詳細は、www.csb.govを参照のこと。

CSBは、その活動と決定内容について調査報告書を通じて公表しており、報告書には必要に応じて安全対策の勧告が含まれる。以下は、CSBが発行する報告書の種類の例である。

CSB Investigation Reports (調査報告書) : 重大な化学事故に関する正式かつ詳細な報告書であり、主な調査結果、根本原因、安全に関する勧告が記載されている。

CSB Investigation Digests (調査ダイジェスト) : 調査報告書の要約版で、平易な言葉で書かれている。

CSB Case Studies (ケーススタディ) : 完全な調査報告書よりも取り扱う課題が限定されるが、特定の事故に関する調査情報を提示し、関連する予防策について議論している。

CSB Safety Bulletins (安全速報) : 化学事故の防止を促進することを目的とした内容で、新しい情報や適時性のある情報を提供する一般向けに簡潔な出版物。

CSB Hazard Investigations (ハザード調査) : 重大な化学ハザードに関するより広範な調査研究。

Safety Videos (安全ビデオ) : 労働者と環境の保護の改善という同機関の使命を支える、質の高い広報資料。

CSBの出版物は、www.csb.gov からダウンロードできるほか、下記に問い合わせでも入手可能。



U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board

Office of Congressional, Public,
and Board Affairs
1750 Pennsylvania Ave NW,
Suite 910
Washington, DC 20006
(202) 261-7600

化学事故、その調査に関連するCSBの結論、調査結果、または勧告のいかなる部分も、証拠として認められるものではなく、また損害賠償を求める訴訟や法的措置において使用することはできない。42 U.S.C. § 7412(r)(6)(G) を参照のこと。

用語集

酸 (Acid) : 水素イオンを供与する能力を持つ物質 (例: 硫酸)。酸の水溶液のpHは7未満である。

塩基 (Base) : プロトン供与体から水素イオンを受容する能力を持つ物質 (例: 次亜塩素酸ナトリウム)。塩基 (アルカリ) の水溶液はpHが7を超える。塩基は酸と反応して塩を生成する。

運送状 (Bill of Lading) : 運送会社によって発行される文書で、輸送される貨物の種類、数量、および目的地が詳細に記載されている。

貨物タンク (Cargo tank) : 液体、気体、固体、または半固体を輸送することを主目的としたタンクで、動力車に取り付けられているか、その一部を構成している。本ケーススタディでは「タンクトラック」とも呼んでいる。

貨物タンク自動車 (Cargo tank motor vehicle) : 1つまたは複数の貨物タンクが車両に恒久的に取り付けられているか、車両の一部を構成している動力車¹。

カムレバーダストキャップ (Cam lever dust cap) : 充填ラインの接続ポイントに取り付けられる金属製またはプラスチック製のキャップで、ゴミの侵入や充填ラインへのアクセスを防止するために使われる。このキャップにはレバーが付いており、レバーを閉じるとキャップを除去できない構造になっている。レバーは閉じた状態でロックすることができ、許可のないアクセスを防ぐ。

接続ポイント (Connection point) : ホースが充填ラインに接続される場所。

デイタンク (Day tank) : 1日または短期間で使用するのに十分な化学物質を収容するタンク。通常、大型のバルク貯蔵タンクから化学物質を移送して毎日または必要に応じて補充される。

排出ホース (Discharge hose) : 貨物タンク自動車から充填ラインに接続されるホース。

充填ライン (Fill lines) : 貨物タンク自動車から化学物質を荷下ろしするためにホースが接続される、施設側の配管。

暖房、換気、空調 (Heating, ventilation and air conditioning) : 室内空間に熱快適性と空気品質を提供するシステム。

貨物運送会社 (Motor carrier) : 道路を使って化学物質を配送する化学品流通会社の総称。

Mod Bエリア (Mod B area) : MGPIでの事故の発生場所。移送設備、タンクヤード、プロセスエリア、および制御室を含む。

Mod Bビル (Mod B building) : Mod Bエリア内の建物で、屋内化学プロセスルーム、ロッカールーム、実験室、および制御室を含む。

プルーム (Plume) : 継続して排出されるガス雲。

スプリットリング (Split ring) : 2つの物体を接続するために使用される、円周上に切れ目の入った金属リング。キーリングとも呼ばれる。

移送設備 (Transfer equipment) : 貨物タンク自動車から貯蔵タンクへの化学物質の荷下ろし・移送に使用される充填ライン、バルブ、配管の総称。

¹ 49 C.F.R. § 171.8 (2017).

略語および頭字語

AAR & IP	事後報告書および改善計画 (After-Action Report and Improvement Plan)
ACDEM	アチソン郡緊急事態管理局 (Atchison County Department of Emergency Management)
AFD	アチソン消防局 (Atchison Fire Department)
ANSI	米国規格協会 (American National Standards Institute)
API	米国石油協会 (American Petroleum Institute)
ASHRAE	米国暖房冷凍空調学会 (American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers)
ATSDR	有害物質疾病登録庁 (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
CCPS	化学プロセス安全センター (Center for Chemical Process Safety)
CEPR	緊急事態計画・対応委員会 (Commission on Emergency Planning and Response)
CI	塩素協会 (Chlorine Institute)
CIA	化学工業協会 (英国) (Chemical Industry Association)
Cl	塩素 (chlorine)
CSB	米国化学事故調査委員会 (U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board)
CTMV	貨物タンク自動車 (cargo tank motor vehicle)
DOT	米国運輸省 (U.S. Department of Transportation)
EMS	緊急医療サービス (Emergency Medical Services)
EPA	米国環境保護庁 (U.S. Environmental Protection Agency)
EPCRA	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 Act)
ERPG	緊急対応計画ガイドライン (Emergency Response Planning Guidelines)
FMCSA	米国連邦自動車運輸安全局 (U.S. Federal Motor Carrier Safety Administration)
H ₂ SO ₄	硫酸 (sulfuric acid)
hazmat	危険物 (hazardous materials)
HMEP	危険物緊急時対応計画 (Hazardous Materials Emergency Preparedness)
HMR	危険物規制 (Hazardous Materials Regulation)
HOCl	次亜塩素酸 (hypochlorous acid)
HVAC	暖房・換気・空調 (heating, ventilation and air conditioning)
KDEM	カンザス州緊急事態管理局 (Kansas Department of Emergency Management)
KDHE	カンザス州保健環境局 (Kansas Department of Health and Environment)
LEPC	地域緊急事態計画委員会 (Local Emergency Planning Committee)
NACD	全国化学品流通業協会 (National Association of Chemical Distributors)
NaClO	次亜塩素酸ナトリウム (sodium hypochlorite)

NEP	国家重点プログラム (National Emphasis Program)
NIOSH	国立労働安全衛生研究所 (National Institute for Occupational Safety and Health)
NPRM	規則制定案通知 (Notice of Proposed Rulemaking)
NRC	国家対応センター (National Response Center)
NSSP	全国症候群監視プログラム (National Syndromic Surveillance Program)
OSHA	米国労働安全衛生局 (U.S. Occupational Safety and Health Administration)
pH	水素イオン指数 (potential of hydrogen)
PHA	プロセスハザード分析 (process hazard analysis)
PHMSA	米国パイプライン・危険物安全局 (U.S. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration)
PO	酸化プロピレン (propylene oxide)
PPE	個人用保護具 (personal protective equipment)
ppm	百万分率 (parts per million)
PSM	高度危険化学物質のプロセス安全管理 (Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals)
RMP	リスク管理プログラム (Risk Management Program)
SDS	安全データシート (Safety Data Sheet)
SERC	州緊急事態対応委員会 (State Emergency Response Commission)
SO ₂	二酸化硫黄 (sulfur dioxide)
VOC	揮発性有機化合物 (volatile organic compound)
WWTP	廃水処理施設 (Wastewater Treatment Plant)

1.0 はじめに

本ケーススタディでは、2016年10月21日にカンザス州アチソンにあるMGPI Processing, Inc. (MGPI社)の施設で発生した、混合禁忌の化学物質の誤混合について詳しく検討する。硫酸と、次亜塩素酸ナトリウム(低濃度では一般的に漂白剤として知られる)の混合により、塩素などの化合物を含む雲が発生した。この雲は、施設内の労働者と周辺地域の住民に影響を及ぼした。この事故は、MGPI施設のタンクヤードにおいて、Harcros Chemicals (ハークロス)の貨物タンク自動車(CTMV: cargo tank motor vehicle)からの、定期的な硫酸の納入作業中に発生した。

アチソン郡緊急事態管理局(ACDEM: Atchison County Department of Emergency Management)は、数千人の地域住民に屋内退避を命じ、一部の地域では避難を指示した。一般市民、MGPI社の従業員、ハークロスの従業員など140人以上が医療処置を受け、その内、MGPI社の従業員1人と一般市民5人が、化学反応により発生した雲への曝露により入院した。

この事故では特定の2種類の物質が関与していたが、多くの酸や塩基、あるいは他の混合禁忌の化学物質が、荷下ろし作業やその他の活動中に誤って混合されると、危険性を持った反応を引き起こす可能性がある。CTMVからの化学物質の荷下ろし作業は、定置の施設における他のプロセスと比較すると単純であると思われがちだが、これらの作業では極めて大量の化学物質が関わる可能性があるため、事故が起きた場合の影響は深刻なものとなる可能性がある²。全国化学品流通業協会(NACD: National Association of Chemical Distributors)によると、2016年には8.4秒ごとに3990万トン以上の製品が顧客に納入されたという。したがって、施設管理者は、管理の階層化(hierarchy of controls)を適用し、ヒューマンファクターを考慮することによって、化学物質移送設備の設計と運用に細心の注意を払い、誤って混合される可能性を低減し、万が一事故が発生した際の影響を軽減する必要がある。さらに、CTMVの運転手が化学物質の荷下ろしに直接関与する状況では、化学物質が安全に荷下ろしされるよう、化学品流通会社と施設管理者の間で責任を分担する必要がある。本ケーススタディでは、MGPI社で発生した事故の要因を検証し、化学物質の受け入れ施設と配送会社が同様の事故を防止するための重要な教訓を提示する。

目次

- 1.0 はじめに
- 2.0 背景
- 3.0 事故の概要
- 4.0 化学分析
- 5.0 事故分析
- 6.0 荷下ろし作業における類似事故
- 7.0 業界団体とガイダンス
- 8.0 規制監督とガイダンス
- 9.0 MGPIとハークロスの事故後の変更点
- 10.0 重要な教訓
- 11.0 結論
- 12.0 勧告
- 付録A - 簡易原因分析
- 付録B - 化学物質荷下ろし作業において推奨される対策

² Center for Chemical Process Safety 『Unloading and Loading Hazardous Materials Process Safety Beacon』 (オンライン、2015年9月)
<https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20150920.pdf> (閲覧日: 2017年9月12日)

2.0 背景

2.1 MGPI PROCESSING, INC. (MGPI社)

MGPIの施設は、ミズーリ州カンザスシティの北西約50マイルに位置するカンザス州アチソン市の、主都市部の近くに位置している。同社は1941年に小さな蒸留所として設立され、現在はMGP Ingredients, Inc.の事業子会社となっている。アチソン工場には2つの事業部門があり、1つは食品用アルコール、蒸留残渣飼料、燃料用アルコール、コーン油などの蒸留製品を生産し、他の事業部門では食品および非食品用途向けの特種および一般的な小麦デンプンやタンパク質からなる原料を生産している。アチソン工場には、穀物加工場、蒸留作業場、倉庫、研究所、オフィスビルがあり、140人の従業員が勤務している。そのうち100名は、全米食品商業労働組合のLocal 74Dに所属している。

2.2 HARCROS CHEMICALS (ハークロス社)

ハークロス社は、工業用化学製品および特殊化学製品の製造・販売を手がけ、中西部と南東部を中心に米国全土の幅広い産業顧客に製品を供給している。カンザス州カンザスシティに本社を置くハークロス社は、2つの化学製品製造施設と29の流通拠点を運営している。ハークロス社は、化学製品の配送用に約50台の危険物CTMVを運用している³。2016年、ハークロス社は、事故が発生したMGPI社のプロセスエリアに硫酸、水酸化ナトリウム、酸化プロピレンを供給していた。

2.3 プロセスの概要

2016年10月の事故は、MGPIのMod Bエリアで発生した。このエリアでは、顧客の仕様に基づいて特殊小麦デンプンが製造されている(図1)。Mod Bでは、特殊および一般用途のデンプン製造で様々な特性を実現するために、各種化学物質が使用されている。これには、pH調整によるデンプンの改質のための硫酸の使用や、デンプンの酸化のための次亜塩素酸ナトリウムの使用などが含まれる。Mod Bエリアは、線路によって本工場とは分離されており、Gasoline Alleyと呼ばれる連絡道路沿いに位置し、MGPI社の廃水処理施設(WWTP: Wastewater Treatment Plant)に隣接している(図2)。Mod Bエリアは、Mod Bビルと、それに隣接する屋外タンクヤードで構成されている(図3)。Mod Bビルには、化学物質を混合して製品を製造する屋内プロセスエリアがある。このビルには、ロッカールーム、実験室、オペレーターが作業の大半(プロセスの状況監視など)を行う制御室も備わっている。



図1：カンザス州アチソンにあるMGPI社のMod B施設 (出典：MGPI)

³ Federal Motor Carrier Safety Administration 『Safety Measurement Profile for Harcros Chemicals Inc.』
<https://ai.fmcsa.dot.gov/SMS/Carrier/980774/CompleteProfile.aspx> (閲覧日：2017年9月12日)。

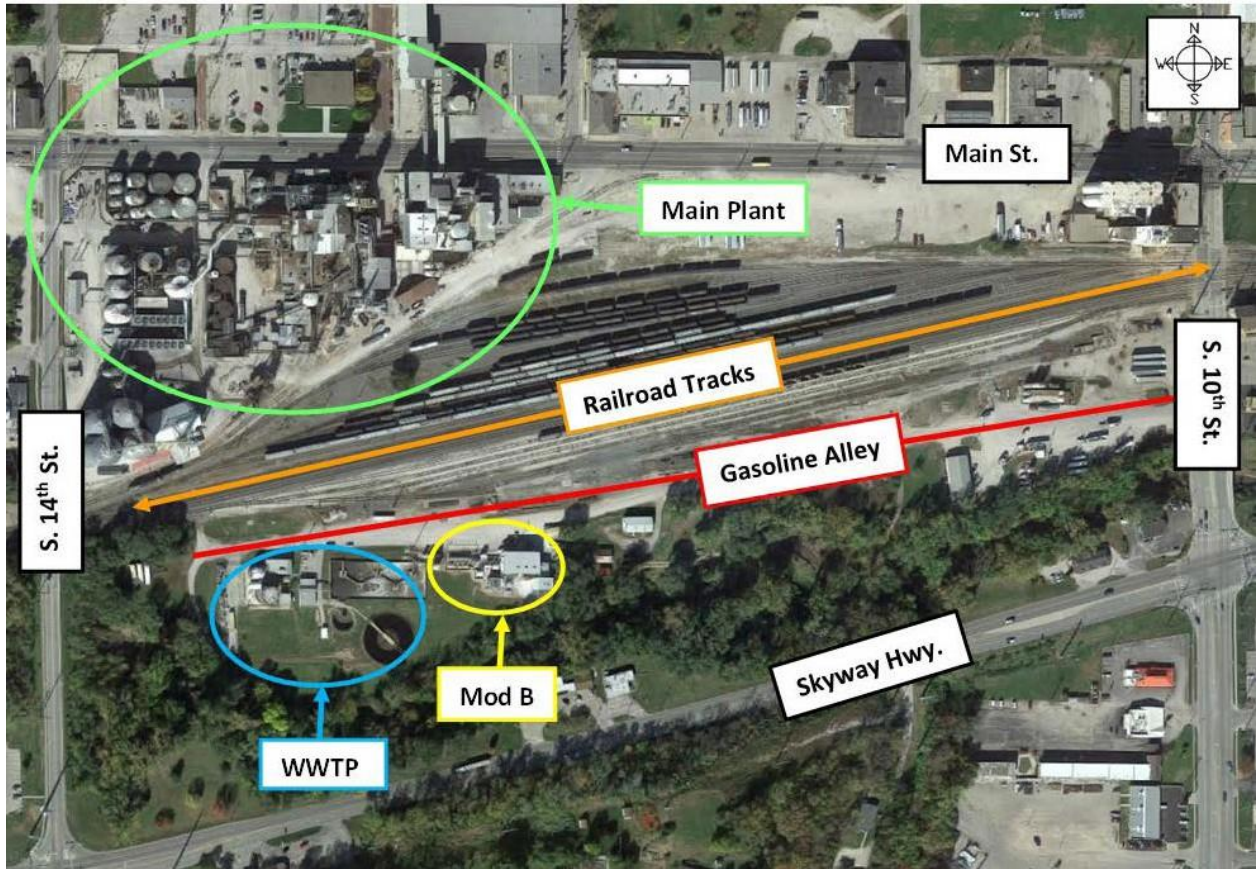


図2 : MGPI社とその周辺エリア (出典 : Google)

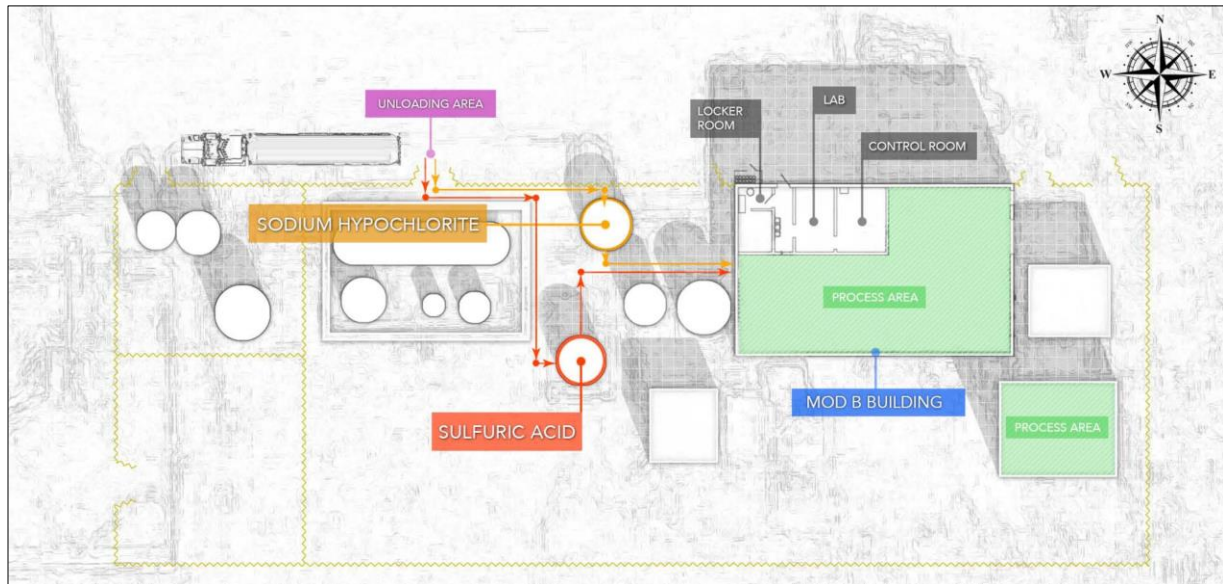


図3 : 化学物質の荷下ろし用のMod Bエリアとタンクヤード (左) とMod Bビル (右) (出典 : CSB)

タンクヤードの周囲には荷下ろしエリアがあり、ここで様々な企業のCTMVが次亜塩素酸ナトリウム⁴、硫酸、酸化プロピレン、水酸化ナトリウム、無水酢酸⁵の5種類の化学物質をバルク納入している。CTMVの運転手は、貨物タンクから充填ラインに排出ホースを接続して化学物質を移送する。化学物質はそこから配管を通してタンクヤード内の複数の大型バルク貯蔵タンクに流れる（図4）。その後、オペレーターが必要に応じてこれらの化学物質を少量ずつMod Bビル内のデイトンクやプロセス容器に移送し、生産に利用している。

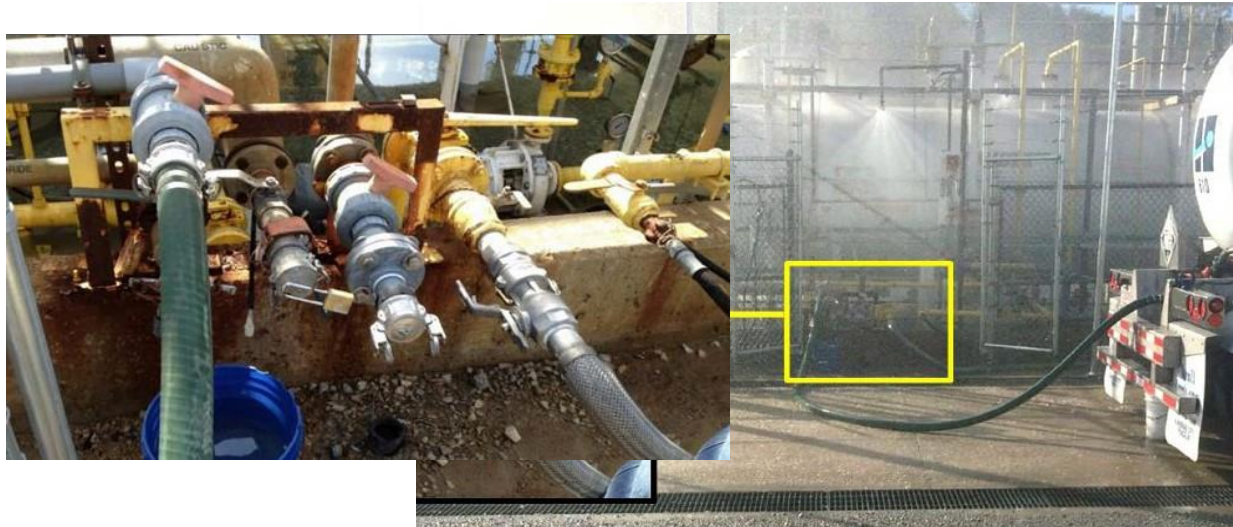


図4：事故発生時の化学物質の荷下ろし作業（出典：MGPI社）⁶

Mod Bに納入される化学物質の中には、12.5%の次亜塩素酸ナトリウムが含まれている。これは、漂白剤の濃縮バージョンである。MGPIは、次亜塩素酸ナトリウムを化学物質の荷下ろしエリアで受け入れ、配管を通じて屋外の6,500ガロン（約24,600L）のバルクタンクに移送し、大気圧下で保管している。オペレーターは、配管を介して次亜塩素酸ナトリウムをMod Bビル内にある小型のデイトンクに移し、そこからさらに必要に応じてプロセス容器に移送している。Mod Bに納入されるもう一つの化学物質は硫酸である。MGPIは、30%の硫酸を化学物質の荷下ろしエリアで受け入れ、屋外の8,500ガロン（約32,000L）のデイトンクに貯蔵している。オペレーターは硫酸をデイトンクから直接プロセスに移送して使用している。

2.3.1 事故発生前の化学物質の荷下ろし作業

化学物質を納入する際に充填ラインにアクセスするには、まず、タンクヤードエリアと各化学物質に対応する5つの充填ラインを囲む有刺鉄線のゲートを、オペレーターが解錠する必要がある（図4）。次に、オペレーターは、納入される化学物質用の充填ラインを固定しているカムレバーダストキャップの南京錠を解錠する。カムレバーダストキャップは、使用していない充填ラインの先端をキャップで覆うことで、充填ラインへの不適切なアクセスを防止する。図5に示すように、カムレバーダストキャップは、2つのレバーを係合させ、南京錠と2つの割リングで所定の位置にロックすることで固定される。CTMVの運転手は、オペレーターが移送する化学物質用の充填ラインを解錠し、確認することを前提として作業を始める。オペレーターは、運転手に適切な充填ラインを示した後、解錠が完了すると、制御室に戻る。運転手はダストキャップを取り外し、排出ホースを貨物タンクから充填ラインに接続する。納入が完了すると、運転手は充填ラインのダストキャップを元に戻し、

⁴ 本ケーススタディでは、水酸化ナトリウムを「苛性ソーダ」とも呼ぶ。

⁵ Mod Bにおいて、米国労働安全衛生局（OSHA：Occupational Safety and Health Administration）の「高度危険化学物質のプロセス安全管理規則（Process Safety Management of High Hazardous Chemicals standard）」（29 C.F.R §1910.119）は、その規則の対象となる閾値以上の量が貯蔵されている2種類の化学物質（酸化プロピレン（荷下ろしエリアで受け入れられる引火性液体）およびオキシ塩化リン（荷下ろしエリアでは受け入れられない））に適用されている。本事故に関与した2つの化学物質は、この規則の対象外である。

⁶ この写真は、MGPIが事故直後に充填ラインに接続されたハーカロスのCTMVを撮影したもの。この時点で、放水システムが作動し、流出の影響を軽減していた。

南京錠を閉めて再び固定する。MGPIでは、納入時のみ充填ラインのダストキャップを解錠する運用を過去から現在に至るまで実施している。



図5：Mod Bの充填ライン末端にある施錠されたカムレバーダストキャップ（出典：CSB）

3.0 事故の概要

3.1 事故

2016年10月21日午前7時35分頃、ハークロスのCTMVが30%硫酸を予定通り配送するため、MGPI社のアチソン施設に到着した。到着後、ハークロスの従業員（運転手）⁷は運転席から降り、荷下ろしのために貨物タンクを加圧し始めた。午前7時42分頃、運転手は運送状をMod Bビルに持ち込み、そこで当直のMGPIの夜勤オペレーターが荷受けの書類を確認し、署名した。運転手がMGPIに到着したのは朝7時35分で、日勤シフトの開始前であったため、夜勤シフトのオペレーターが荷受けを行った。

午前7時44分、オペレーターは運転手をMod Bビルから化学物質の荷下ろしエリアまで案内した。彼らがCTMVの後部に到着すると、運転手は書類を貨物タンクの後部に置き、助手席側を歩き、個人用保護具（PPE：personal protective equipment）を装着した⁸。この間、オペレーターは移送装置の前のゲートを解錠し、硫酸充填ラインのカムレバーダストキャップの錠を外した。オペレーターは硫酸充填ラインの錠を充填ライン上部の山形鋼に置いた（図6）。運転手は貨物タンクの背面からシール⁹を取り外し、それをオペレーターに渡し、その後、CTMVからホースを取り出して接続作業を開始した。オペレーターは、運転手に硫酸充填ラインの位置を指し示し、運転手はその位置を確認したと報告しているが、運転手は、オペレーターが充填ラインを指示しなかったと主張している。続いてオペレーターは午前7時47分頃、運転手が排出ホースを充填ラインに接続するのを見ることなく、Mod Bビルに戻っていった。運転手は、施設内で最初に目にした解錠済みの充填ラインからダストキャップを取り外した。運転手は、それが硫酸の充填ラインだと思い込んでいた。運転手はホース

⁷ ハークロスのこの運転手は、2016年にMod Bに硫酸を配送していた複数のハークロスの運転手のうちの1人である。ハークロスは前年に硫酸を多数回納入しており、そのうちの6回をこの運転手が担当した。次亜塩素酸ナトリウムの納入は、別の化学品流通会社が行っていたため、ハークロスの運転手は関与していない。

⁸ 運転手は、化学耐性のあるコート、ゴム手袋、フェイスシールド付きヘルメット、安全メガネを着用していた。

⁹ 内容物の改ざんを防止し、トレーラーの内容物が運送状やその他の書類に記載されている内容と一致していることを受取人が確認できるように、貨物タンクのトレーラーバルブとキャップにはシールが貼られている。このシールは、貨物タンクから剥がすと破れ、再度貼り付けられないようになっている。シールの番号は、発送者が作成した書類上の番号と一致するようになっている。

を充填ラインに接続し、次にホースをトラックに接続した。運転手は貨物タンクの空気圧を点検し¹⁰、漏れがないことを確認すると、施設のバルブを開き、続けて貨物タンクのバルブを開き、硫酸の排出を開始した。運転手は運転席に戻る途中で空気圧をチェックし、運転席に乗り込んで書類を置いた。その間、MGPIの日勤オペレーターと研修生はMod Bビルで夜勤オペレーターとプラントの運転状況について話し合っていた。

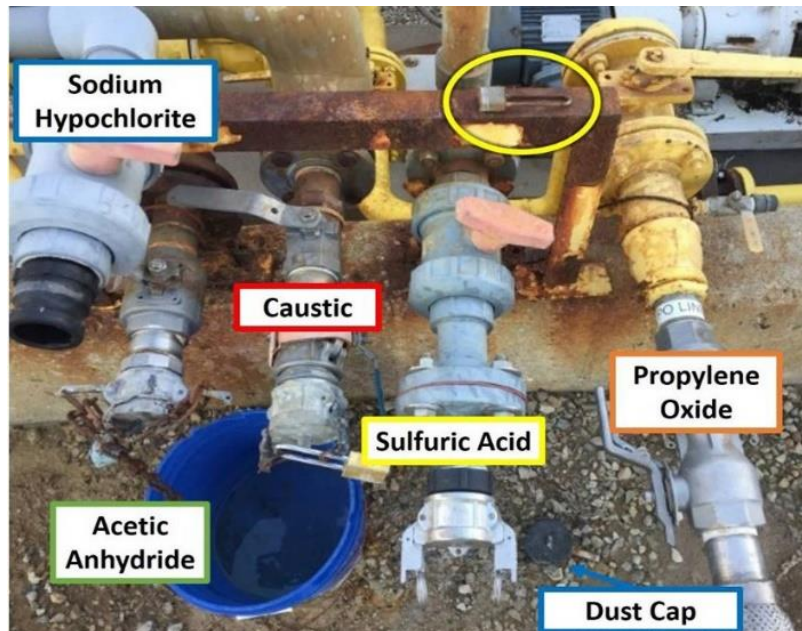


図6：事故後の接続部分の状態。硫酸充填ラインの南京錠（丸で囲んだ部分）が山形鋼の上に置かれている。充填ラインの下の地面に置かれた次亜塩素酸ナトリウムのダストキャップ（出典：CSB）

午前8時少し前、次亜塩素酸ナトリウムのバルクタンクから黄緑色のガスが噴出し、雲を形成し始めた。この雲は次第に大きくなり、ハークロスのトラックとMod Bビルを覆い、その後、施設を越えて北東方向へと移動した。

ガス流出の発生時にMod Bの制御室にいた3人のオペレーターは、ビル内に侵入したガスの異臭によって化学反応にすぐに気づいた。彼らはすぐに緊急脱出用呼吸具のフェイスピースを使用しようとしたが、呼吸具のフェイスピースがすぐにアクセスできる場所に保管されていなかったか、別の場所に移動されていたため、使用することができなかった¹¹。その結果、3人のオペレーターは全員、呼吸用保護具なしで建物から避難せざるを得なかった。建物を出た後、オペレーターたちは雲の中を歩いて北東方向（図2）に走り抜け、線路付近の新鮮な空気のある場所までたどり着いた。線路に到着したオペレーターの1人が、無線機を使ってMGPIの従業員に緊急事態を知らせた。この通報を受けて、別の従業員が午前7時59分に911に通報した。

トラックの運転席にいた運転手は、まずバックミラーにガス雲が映っていることに気づいた。運転手はトラック後部の接続エリアに向かおうとして運転席側を走ったが、ガスに圧倒されて断念した。運転手は向きを変えて助手席側から同じことを試みたが、やはりガスに圧倒されてしまった。この時、隣接するWWTPのマネージャーがガス流出を目撃し、運転手に自分の方向に走るよう叫んだ。WWTPのマネージャーは運転手をWWTPの制御室に連れて行き、水を飲ませ、運転手が建物内にい

¹⁰ 運転手はエアゲージと圧力調整器を使用して空気圧を点検する。適用される圧力は、製品の粘度やその他の物理的特性、温度や湿度、機器のパラメータ、トラックからタンクまでの配管の長さ、顧客施設での空気供給状況など、各種荷に応じた様々な変数によって異なる。

¹¹ 夜勤および日勤のオペレーターは、各自のロッカーから呼吸具のフェイスピースを取り出そうとしたが、できなかった。フェイスピースには、5分間の脱出用ポンプが付いている。MGPIでは研修生にはロッカーが割り当てられないため、研修生にはロッカーがなく、通常は制御室のカウンターに呼吸具を保管していた。しかし、前のシフトがカウンタースペースを必要としたため、別の場所に移動されていた（セクション5.4）。

て、雲の外にいることをMGPIの従業員に無線で連絡した。また、WWTPのマネージャーはMGPIの経営管理者にも電話と無線で流出事故について警告した。

硫酸のダストキャップは荷下ろしの直前に解錠されていたが、CSBの調査では、次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインも運転手からアクセス可能な状態であったことが判明した（図7）。運転手は、安全対策が施されていない次亜塩素酸ナトリウムバルクタンクへの充填ラインに、硫酸の排出ホースを接続したため、約4,000ガロン（約15,000L）の硫酸と5,850ガロン（約22,000L）の次亜塩素酸ナトリウムが誤混合された。この混合禁忌の化学物質の誤混合により反応が起こり、塩素ガスとその他の化合物を含む雲状の物質が流出した（セクション4.0参照）。



図7：スプリットリングが外れた次亜塩素酸ナトリウムダストキャップ。スプリットリングが無いと、ダストキャップを南京錠で固定できなかった（出典：CSB）

3.2 緊急対応

アチソン消防局（AFD：Atchison Fire Department）は午前8時2分に化学物質流出の通報を受け、午前8時5分に現場に到着した。雲またはプルームは、高さ数百フィートに達し、ゆっくりと北北東方向に移動していると推定された。時間帯の関係で、施設の周辺は交通量が多く、消防隊は付近の交差点を封鎖して、プルームの発生しているエリアへの車の進入を制限し、車を誘導した。午前8時10分までの時点で、Mod Bのオペレーターは病院へ向かう途中であり、ほぼ同時刻、MGPIは緊急対応要員に「塩素のような」プルームは、硫酸と次亜塩素酸ナトリウムが誤混合されて反応した結果生じた可能性が高いと伝えた。ほぼ同時刻に、アチソン郡緊急事態管理局（ACDEM：Atchison County Department of Emergency Management）は、アチソン郡の11,000人の住民に屋内退避を指示した¹²。MGPIは消防局と協力して、流出を抑制するための計画を策定した。数分後、プルームは北西に移動したため、緊急対応要員はより安全な場所に避難する必要が生じた。午前8時43分までに、危険物（hazmat：hazardous materials）運搬車が追加の緊急対応要員と機材とともに到着した。緊急対応要員は貨物タンクの排出バルブを安全に閉じ、トラックのエンジンを停止させることができた。また、化学反応によって発生したプルームを抑制するために、水スプレーを設置し、手動でMod B散水システム（スプリンクラー）を作動させた。

プルームがMod Bの西側に移動すると、WWTPのマネージャー、運転手、そして運転手の世話をしていた2人の消防士がいたWWTPに向かってプルームが移動し始めた。彼らはプルームが自分たちの方向に向かっているのを見ると、その場から避難した。その後、緊急医療サービス（EMS：Emergency Medical Services）車両が運転手を病院に搬送し、雲への曝露による症状の治療を受けさせた。同時に、施設付近で発生した自動車事故により、2人の消防士による支援が必要となった。自動車事故の被害者の治療中に、風によりプルームが移動し、その2人の消防士がプルームにさらされたため、2人とも病院に搬送された。

カンザス州ハイウェイパトロールは、午前中の間、ヘリコプターからプルームの規模と移動を監視

¹² ACDEMは、テレビ、ラジオ、ソーシャルメディアを通じて、地域住民に屋内退避と避難命令を出した。

し、緊急対応要員を支援した。風向きが変わったことで緊急対応要員たちは困難に直面した。プルームが市の北西部に向かって動き始めたものの、風速が弱まったため煙の動きは鈍くなった¹³。ACDEMは、プルームの及んでいない北側の学校や住民に対して避難命令を出した。バスを使って800人の中高生を風上のアチソン市南側に無事に避難させた。午前10時半頃、カンザス州ハイウェイパトロールは緊急対応要員に、プルームは市の北西部郊外に達し、急速に消散していると報告した。事故発生から約3時間後の午前11時、ACDEMは安全宣言を発し、屋内退避と避難命令を解除した。

3.3 影響

化学反応とガスの流出により、MGPIの従業員4名、ハークロスの運転手、および140人を超える地域住民が医療処置を受けた¹⁴。このうち、有毒な雲に直接曝露されたMGPIの従業員1名が病院に入院し、3日後に退院した。市民5人が病院に入院し、そのうち4人は2日以内に、1人は5日後に退院した。病院や医療センターを訪れた人の多くが、塩素への急性曝露の症状として一般的とされる、息切れ、咳、喉の炎症などの呼吸器系全般の症状を訴えた。入院しなかった人の大半は診察後に自宅に帰されたが、一部は診察を受ける前に帰宅した。

塩素は黄緑色の気体で、目、皮膚、気道を刺激する可能性がある¹⁵。症状の程度は、濃度、曝露経路、曝露時間によって異なり、一部の症状は遅れて現れる（表1）¹⁶。急性曝露による長期にわたる健康への影響は、通常、高濃度への曝露後に発症する合併症と関連している¹⁷。

表1：動物およびヒトの研究に基づく、短期間の塩素曝露による潜在的な健康への影響（出典：ATSDR）

濃度	潜在的な健康への影響 ¹⁸
1～3 ppm	軽度の鼻への刺激
5 ppm	目の刺激
5～15 ppm	喉の炎症
30 ppm	即時の胸痛、嘔吐、呼吸数の変化、咳
40～60 ppm	肺の損傷および肺に液体がたまる状態（肺水腫）
430 ppmを30分間	死亡
1,000 ppmを数分間	死亡

4.0 化学分析

¹³ 最寄りの気象観測所はミズーリ州セントジョセフにあり、2016年10月21日の午前10時53分までは穏やかな風が吹いていたと報告している。

¹⁴ CSBは、流出の結果として医療処置を受けた人々に関する患者情報を近隣の病院や診療所から収集した。

¹⁵ Centers for Disease Control and Prevention 「Facts about Chlorine」、<https://emergency.cdc.gov/agent/chlorine/basics/facts.asp>（閲覧日：2017年9月12日）

¹⁶ ATSDRによると、上記の濃度は概算であり、影響は曝露時間にも依存する。一般的に、アレルギーや花粉症などの呼吸器疾患を患っている人やヘビースモーカーは、健康な人や非喫煙者よりも深刻な影響を受ける傾向にある。有害物質疾病登録庁（ATSDR：Agency for Toxic Substances and Disease Registry）『Toxicological Profile for Chlorine』（オンライン）<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp172.pdf>（閲覧日：2017年11月27日）

¹⁷ Centers for Disease Control and Prevention 『Facts about Chlorine』、<https://emergency.cdc.gov/agent/chlorine/basics/facts.asp>（閲覧日：2017年9月12日）

¹⁸ Agency for Toxic Substances and Disease Registry 『Toxicological Profile for Chlorine』（オンライン）<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp172.pdf>（閲覧日：2017年9月12日）

CSBは、事故に関与したタンクおよびトラックの内容物を特定するために化学分析を委託した¹⁹。調査員は、次亜塩素酸ナトリウムと硫酸が混合されたと推測される次亜塩素酸ナトリウムバルクタンク、下流の次亜塩素酸ナトリウムのデイトンク、および事故後のCTMVに残っていた液体からサンプルを採取した。実験室での試験の結果、バルクタンクとトラックの推定内容物と一致し、次亜塩素酸ナトリウム溶液と30%硫酸が関与していることが確認された²⁰。採取されたサンプルの分析からは、次亜塩素酸ナトリウムと硫酸に含まれる以外の元素は検出されなかった。

MGPIで使用されている次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) は希釈水溶液として供給されており、次亜塩素酸ナトリウム (10~16%)、塩化ナトリウム (12%)、水酸化ナトリウム (4%)、水 (残量) を含んでいる。次亜塩素酸ナトリウム溶液は、漂白剤特有の臭いを持つ澄明な黄色の液体である。強塩基性であり、酸やアンモニア、有機塩素化合物などと反応する²¹。酸と混合すると、次亜塩素酸イオンは塩素ガスを発生させることが知られており、溶液から発生した塩素ガスは深刻な塩素流出を引き起こす可能性がある²²。硫酸 (H₂SO₄) は強酸であり、塩基 (アルカリ) と激しく反応し、ほとんどの金属に対して腐食性を示す。硫酸は水やその他の有機物と激しい反応を起こし、熱や刺激性のあるガスを発生させることがある²³。

また、CSBは、事故当日にどのような反応経路が起こり得たかを完全に理解し、どのような生成物が生成され放出されたかを判断するための分析も委託した。委託先は、反応生成物の生成と大気中でのブルームの挙動の両方に対する気象条件の影響を評価した。分析の結果、正確な化学反応は明確に決定できないものの、主な毒性反応生成物は塩素およびその他の塩素含有化合物である可能性が高いという結論に達した²⁴。次亜塩素酸ナトリウムと硫酸が混合された際、直ちに強い発熱反応が始まった²⁵。タンクに追加された液体とこの反応によって発生したガスは、直径3インチの大気ベントとバルクタンクの屋根に設置された直径18インチの蓋を通じて放出された。

混合物の温度とpH、および次亜塩素酸ナトリウムタンクに硫酸が投入された際に起こった混合の程度によって、いくつかの異なる反応系列が生じた可能性がある。初期反応で生成された物質は、さらに反応して、毒性なガス (g) 生成物と水溶液 (aq)、イオン種を生成した可能性が高い。これには以下が含まれていた可能性がある。

- 塩素ガス (Cl₂(g))
- 二酸化塩素 (ClO₂(g))
- 塩化水素 (HCl(g)) または塩酸 (HCl(aq))
- 硫酸ナトリウム (Na₂SO₄(aq))
- 重硫酸ナトリウム (NaHSO₄(aq))
- 水
- 酸素 (O₂(g))

¹⁹ Case Forensics 『Characterization of Reactants MGPI Processing Inc. in Atchison Kansas』 (2017年、オンライン)
http://www.csb.gov/assets/1/19/2445003_Report_Redacted.pdf (閲覧日: 2017年9月12日)

²⁰ ハークロスのCTMVの2件の硫酸サンプルの密度は、それぞれ1.228 g/cm³ および1.227 g/cm³であり、30%硫酸の密度と一致している。事故後の下流デイトンクからの次亜塩素酸ナトリウムのpHは12.3であった。12.5%次亜塩素酸ナトリウムのpH範囲は11.5から13.5である。Case Forensics 『Characterization of Reactants MGPI Processing Inc. in Atchison Kansas.』 (2017年、オンライン)
http://www.csb.gov/assets/1/19/2445003_Report_Redacted.pdf (閲覧日: 2017年9月12日)

²¹ The Chlorine Institute Pamphlet 96 『Sodium Hypochlorite Manual』 第4版, The Chlorine Institute: バージニア州アーリントン (2011年10月)

²² The Chlorine Institute Pamphlet 96 『Sodium Hypochlorite Manual』 第4版, The Chlorine Institute: バージニア州アーリントン (2011年10月)

²³ National Institute of Occupational Safety and Health 『Pocket Guide to Chemical Hazards, Sulfuric Acid』 (オンライン)
<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0577.html> (閲覧日: 2017年9月12日)

²⁴ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』 (CSBに提出した技術報告書) ワシントンDC (2017年)

²⁵ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』 (CSBに提出した技術報告書) ワシントンDC (2017年)

硫酸により次亜塩素酸ナトリウムのpHが低下し、反応で発生した熱と相まって、次亜塩素酸ナトリウムの分解速度が加速した。その結果、反応物および分解生成物の両方が関与する、いくつかの主反応および副反応が起こった可能性がある²⁶。硫酸と次亜塩素酸ナトリウムの間の典型的な反応経路では、次亜塩素酸と硫酸ナトリウムが生成され、次亜塩素酸はさらに分解して塩素および二酸化塩素を形成する。二酸化塩素自体も分解して塩素ガスと酸素ガスを生成することがある。また、二酸化塩素は塩酸と反応して、40～70°C（104～158°F）の温度で塩素ガスと水になる²⁷。これらの塩素含有化合物は黄緑色を帯びている。MGPIの複数の従業員は、CSBの調査員に対して、発生したガス雲は黄色がかかった緑色をしていたと述べた（図8）。起こりえた化学反応に関する技術的概要については、CSBの[委託先報告書](#)を参照のこと。

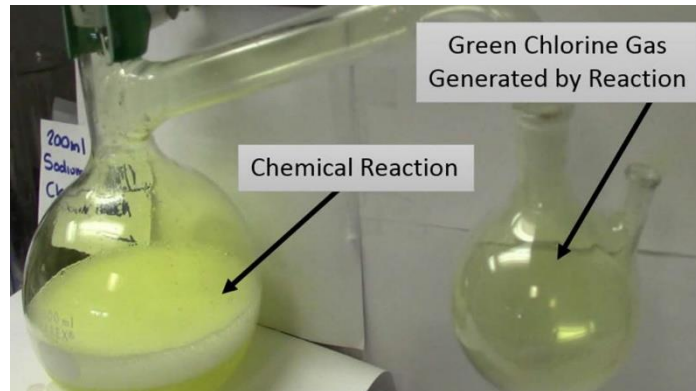


図8：ハークロスの硫酸サンプルを新しいClorox® 漂白剤（5～10%次亜塩素酸ナトリウム）に加えてから約1分後の化学反応²⁸。これら2つを混合した結果、小さな塩素ガスの泡が発生し（左）、蒸留装置に集められた（右）（出典：CSB）

セクション3.3で説明したように、誤混合によって生じた一連の反応により、健康に悪影響を及ぼす可能性のある有毒な生成物が生成された。その健康への影響度合いは、生成された有毒生成物の濃度に大きく依存する。反応および反応生成物の量は、発生源の状態や環境（温度、濃度、pHなど）に左右されるが、委託先は、次亜塩素酸ナトリウムは事故時に完全に分解された可能性があるとして保守的に想定した²⁹。反応により生成された塩素ガスの理論上の最大量は、塩素がさらに反応したり、プルームから除去されたりしなかったと仮定して3,490ポンド（1583kg）と推定された³⁰。プルーム内の塩素と水の反応によって、塩素ガスの総量は減少した可能性が高い³¹。

事故発生時には、プルームに存在する化学物質の濃度をリアルタイムで検出できるような大気モニタリングデータは存在しなかった。MGPIは、Mod Bエリアとその周辺に固定式の大気モニタリング装置を設置していたが、これらは酸化プロピレンとオキシ塩化リンの濃度を検出するためのものであった。緊急対応要員がトラックの排出バルブを閉めることで反応を抑制した直後、大気質のモニタリングを実施し、事故の発生した建物およびその周辺地域の大気は安全であると判断した。さらに、米国環境保護庁（EPA：the U.S. Environmental Protection Agency）が午後1時に到着し、塩素センサーを搭載した携帯型検出器を使用して、現場および周辺の大気モニタリングを開始した。モニタリングの結果、塩素は検出されなかった。MGPIにより雇われた環境コンサルタントも、午後3時30

²⁶ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』（CSBに提出した技術報告書）ワシントンDC（2017年）

²⁷ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』（CSBに提出した技術報告書）ワシントンDC（2017年）

²⁸ 『Safety Data Sheet for Clorox Regular Bleach;1』 The Clorox Company: カリフォルニア州オークランド（2015年6月12日）（オンライン）<https://www.thecloroxcompany.com/wp-content/uploads/cloroxregular-bleach12015-06-12.pdf>（閲覧日：2017年9月12日）

²⁹ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』（CSBに提出した技術報告書）ワシントンDC（2017年）

³⁰ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』（CSBに提出した技術報告書）ワシントンDC（2017年）

³¹ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』（CSBに提出した技術報告書）ワシントンDC（2017年）

分に様々な機器を使用してリアルタイムの大気モニタリングを実施し、Mod Bのすぐ近くで塩素濃度が0.1～11.7ppmであることを検出した³²。モニタリングの時点では、プルームの大部分が消散してから約5時間が経過しており、塩素濃度は地域社会では検出限界以下であることが確認された。

委託先は、同様の大気条件下における塩素ガス雲の特徴を理解するために、PHAST™ ソフトウェアを使用して仮想的な放出のモデル化も行った。PHASTソフトウェアは、化学物質が大気中でどのように拡散するかを予測するために数学的計算を用いる。拡散モデルの結果は、放出源と周囲の大気の特徴に大きく依存する。プルームモデリングは、事故当日の雲の基本的な特性を一部で提示しているものの、プルームの濃度や移動距離は実際の状況を反映してはいない。この理由として、モデルが副次的な反応、気象の変動、または事故当日に塩素やその他の化合物の濃度を薄くした可能性のあるその他の条件を考慮していない点が挙げられる。

大気状態の分析と仮想的な放出モデリングにより、MGPIでの事故の深刻さには天候が重要な役割を果たしたと結論付けられた。発熱反応により比較的高温のガスに浮力が生じ、その結果、プルームがバルクタンクの上方に持ち上げられ、その後風下に拡散した可能性が高い³³。最寄りの気象観測所のデータによると、事故発生から1時間以内に、大気は霧と無風の状態から、南からの微風を伴う霧の状態へと変化した³⁴。このような条件下では、大気は安定しており、風または大気乱流 (atmospheric turbulence) ³⁵ (またはその複合) はほとんどないか、まったくないとみなされる。化学物質流出時に大気が安定している場合、化学物質が大気中で容易に混合または希釈されないため、プルームの拡散は遅い³⁶。しかし、事故当日は霧や高湿度が生じていたため、空気が水分で飽和しており、これにより発生中および既存のプルーム内の塩素を溶解し、状況が改善された可能性がある。一方で、プルームの浮力により、塩素やその他の化学物質の濃度が最も高い部分は、地域社会上空の高い位置にとどまり、地上レベルでの影響を軽減した可能性がある。

5.0 事故分析

5.1 ヒューマンファクター

CSBは、オペレーターと運転手の化学物質移送設備との関わりに影響を与え、その結果として事故を発生させた、いくつかのヒューマンファクターの問題を特定した。本セクションでは、これらの問題について説明し、より安全な設計戦略を適用することで、オペレーターと運転手の行動への依存度をどのように低減できるのかについて述べる。「ヒューマンファクター」は、作業環境における作業員、設備、およびプロセスの相互作用を扱うものであり³⁷、作業現場の設計と物理的特性、作業員のストレスや疲労、そして手順、訓練、コミュニケーションを含めた作業体制など、安全性に影響を与える可能性のある幅広い分野が含まれる³⁸。プロセスプラントの運転や保守を行うために、作業員は装置を頻繁に扱う必要があるため、施設管理者は、プロセスのハザードを特定し安全対策を評価する際に、ヒューマンファクターの役割を慎重に検討して不具合や障害が生じる可能性を減らすか排除しなければならない。ヒューマンファクターは、あらゆるレベルの管理の階層化

³² 大気モニタリング機器により、現場の62サンプル中3サンプルで0.1～0.2 ppmの二酸化硫黄が検出された。

³³ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』 (CSBに提出した技術報告書) ワシントンDC (2017年)

³⁴ Peterson, E.; Reed, M. 『MGPI Investigation Support – Chemical Reactions and Air Modeling』 (CSBに提出した技術報告書) ワシントンDC (2017年)

³⁵ 大気乱流 (atmospheric turbulence) とは、速度と方向の両方が変動する不規則な空気の動きまたは風を指す。この状態により、大気中での化学物質の混合が増加する。Hanna, S.; Britter, R. 『Wind flow and Vapor Cloud Dispersion at Industrial and Urban Sites』 (オンライン) CCPS/AIChE: ニューヨーク (2002年) pp 14. <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kt002YJLVL/wind-flow-vapor-cloud/definitions-concepts> (閲覧日: 2017年12月6日)

³⁶ Wells, G. 『Major Hazards and their Management』 (オンライン) IChemE: 英国ウォリックシャー州ラグビー (1997年) pp 33. <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kt00A7EN31/major-hazards-their-management/wind-dispersion> (閲覧日: 2017年12月6日)

³⁷ Crowl, D. 『Human Factors Methods for Improving Performance in the Process Industries--Introduction』 (オンライン) 化学プロセス安全センター/AIChE: ニューヨーク州ニューヨーク (2007年) <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt004MHZ41/human-factors-methods/introduction> (閲覧日: 2017年9月12日)

³⁸ Crowl, D. 『Human Factors Methods for Improving Performance in the Process Industries--Introduction』 (オンライン) 化学プロセス安全センター/AIChE: ニューヨーク州ニューヨーク (2007年) <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt004MHZ41/human-factors-methods/introduction> (閲覧日: 2017年9月12日)

(hierarchy of controls) (設計、管理策、PPEに至るまで) に組み入れられなければならない、管理が効果的に機能するように徹底し、きちんと理解してもらえないようにしなければならない³⁹。

危険な化学物質に関連するリスクが、代替化またはその他の本質安全な手法によって排除できない場合⁴⁰、次となるアプローチは、人と機械の相互作用の限界を考慮し、追加の保護対策を提供するシステムを設計することである⁴¹。人との相互作用を必要とするすべてのプロセスおよび装置について、施設にはヒューマンファクターを適用し、どのように作業者が装置と関わり、使用するのかを理解しなければならない⁴²。装置の主要な属性としては、アクセス性、サイズ、形状、ラベル表示、配色などが挙げられるが、これらは人間の身体的および精神的な能力を考慮して設定すべきである⁴³。例えば、装置は指定されたタスクに適合し、不必要な複雑さを省き、その構成要素は認識しやすく、ユーザーの訓練や経験と一致するよう設計されていなければならない。

表2：Mod Bの充填ラインにおける化学的不適合：安全ではない組み合わせは「X」で示されている (出典：CSB)⁴⁴

	硫酸	次亜塩素酸 ナトリウム	水酸化 ナトリウム	無水酢酸	酸化 プロピレン
硫酸		X	X	X	X
次亜塩素酸ナトリウム ⁴⁵	X			X	X
水酸化ナトリウム	X			X	X
無水酢酸 ⁴⁶	X	X	X		X
酸化プロピレン ⁴⁷	X	X	X	X	

5.1.1 化学物質移送設備の設計

5.1.1.1 充填ラインの近接

³⁹ 管理の階層化 (hierarchy of controls) は、ハザードとその結果を排除または低減するために管理策を階層順に適用する概念である。CCPS 『Guidelines for Engineering Design for Process Safety--Introduction』 第2版 (オンライン) 化学プロセス安全センター/AIChE: ニューヨーク州ニューヨーク (2012年) <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A68RS1/guidelines-engineering/inherent> (閲覧日: 2017年9月12日)

⁴⁰ 本質安全なアプローチは、例えば、より危険性の低い物質やプロセス条件を使用することによってハザードを排除する。

⁴¹ 『A Human Factors Roadmap for the Management of Major Accident Hazard』 (オンライン) HSE: 英国マージーサイド, <http://www.hse.gov.uk/humanfactors/resources/hf-roadmap.pdf> (閲覧日: 2017年9月12日)

⁴² Crowl, D. 『Human Factors Methods for Improving Performance in the Process Industries--Introduction』 (オンライン) 化学プロセス安全センター/AIChE: ニューヨーク州ニューヨーク (2007年) <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt004MHZ41/human-factors-methods/introduction> (閲覧日: 2017年9月12日)

⁴³ Crowl, D. 『Human Factors Methods for Improving Performance in the Process Industries--Introduction』 (オンライン) 化学プロセス安全センター/AIChE: ニューヨーク州ニューヨーク (2007年) <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt004MHZ41/human-factors-methods/introduction> (閲覧日: 2017年9月12日)

⁴⁴ 表2に挙げた化学物質の組み合わせの中には、通常は激しい反応は起こらないが、特定の条件下では激しい反応が起こる可能性があるものもある。混合禁忌性および反応性に関する情報については、化学物質製造会社の安全データシート (SDS) を参照すること。また、CSBは、化学物質の反応性の組み合わせについて、EPAの化学反応性ワークシートも利用した。<http://response.restoration.noaa.gov/reactivityworksheets>。塩素協会, Pamphlet 96 『Sodium Hypochlorite Incompatibility Chart』 第4版, 塩素協会: バージニア州アーリントン (2011年10月)

⁴⁵ 塩素協会, Pamphlet 96 『Sodium Hypochlorite Incompatibility Chart』 第4版, 塩素協会: バージニア州アーリントン (2011年10月)

⁴⁶ 無水酢酸は、アルコール、アミン、酸化剤、強塩基、水と激しく反応する。国立労働安全衛生研究所 (NIOSH) 『Pocket Guide to Chemical Hazards, Acetic Anhydride』 CDC: ジョージア州アトランタ (2015年7月) (オンライン) <https://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0209.html> (閲覧日: 2017年11月27日)

⁴⁷ セントラルミシガン大学 『Chemical Incompatibility Chart』 (オンライン)

<https://www.cmich.edu/fas/fsr/rm/EHS/Documents/chemical%20compatibility%20chart.pdf> (閲覧日: 2017年9月12日)

CSBの調査によると、Mod Bエリアにおいて、硫酸の充填ラインが次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインに近接していたことが、化学物質移送時に誤接続が発生する可能性を高めていた。このMod Bの化学物質移送エリアには5本の充填ラインがあったが、いずれも互いに近い位置に配置されていた。特に、次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインは硫酸の充填ラインから約18インチ（約46cm）の距離にあった（図9）⁴⁸。次亜塩素酸ナトリウムと硫酸が混合禁忌であることに加え、Mod Bに納入された他の化学物質も混合すると反応危険性を示す（表2）。

充填ラインを物理的に隔離するか、距離を取って分離することで、誤接続のリスクを低減できる⁴⁹。物理的な隔離は受動的管理⁵⁰と考えられ、様々なクラスや種類の化学物質を受け入れる際には特に重要となる。研究所や輸送業界では、化学物質の容器からの流出や漏出時の混合を防ぐために、化学物質の保管に物理的な分離を適用している。酸の荷降ろしを塩基の荷降ろしエリアから離れた場所で行うことで、意図しない反応のリスクが低減される。これは、CTMVの運転手が化学物質を誤って混合禁忌の化学物質の充填ラインに荷下ろしするには、施設の別のエリアまで運転しなければならないためである。

充填ラインを物理的に隔離するか、距離を取って分離することで、バルク荷下ろし作業中の誤接続のリスクを低減できる。

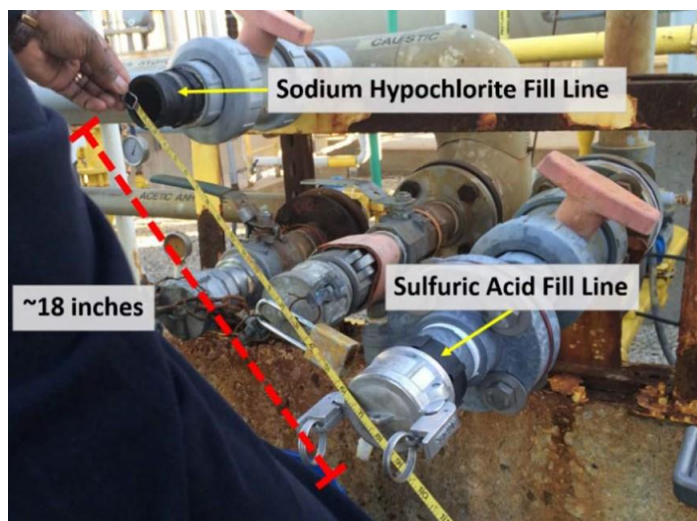


図9：充填ライン間の距離（出典：CSB）

5.1.1.2 同一の接続仕様とロック

事故後に行われた荷下ろしエリアの調査により、硫酸の納入時にオペレーターが硫酸のダストキャップのロックを解除した際、次亜塩素酸ナトリウムと無水酢酸の充填ラインのダストキャップが固定されていなかったことが判明した。次亜塩素酸ナトリウムのダストキャップは、レバーの一方のスプリットリングが欠けていたため、ロックできなかった。カムレバーの1つにスプリットリングがない場合、南京錠で充填ラインのダストキャップを固定することはできない（図5および図7）⁵¹。

⁴⁸ CSBは、化学物質の充填ラインが現在と同じ配置でMod Bに初めて設置されたのは1996年であると判断した。CSBは誤接続に関連する過去の事故を割り出さなかったが、この充填ラインの近接配置が今回の事故で不注意による誤接続の可能性を高めたことと結論付けた。

⁴⁹ CCPS 『Guidelines for Process Safety in Batch Reaction Systems--Table 3: Equipment Configuration and Layout』 (1999年、オンライン) p 11, 15, 33. <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003JMGR1/guidelines-process-safety/equipment-configuration> (閲覧日：2017年9月12日)

⁵⁰ 受動的管理 (passive control) は、装置の能動的な機能や人間の関与を必要とせず、プロセスおよび設計戦略を通じて危険を最小化するものである。受動的制御の例としては、スペースの確保や、適合しないホースカップリングの使用が挙げられる。CCPS 『Guidelines for Engineering Design for Process Safety--Introduction』 第2版5.1.1 (オンライン) 化学プロセス安全センター/AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク (2012年) <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A68RS1/guidelines-engineering/inherent> (閲覧日：2017年9月12日)

⁵¹ CSBは、事故現場で発見された次亜塩素酸ナトリウムのダストキャップと単一のスプリットリングの機械的機能試験を通じて、

CSBは、次亜塩素酸ナトリウムのダストキャップがスプリットリングを欠いていた原因や、事故前にどれくらいの期間、未固定の状態で見捨てられていたのかを特定できなかった。可能性として、9日前に最後に次亜塩素酸ナトリウムを納入した運転手が、次亜塩素酸ナトリウムのダストキャップを固定せず、MGPIがそれに気づけなかった可能性がある。MOD Bのオペレーターは、スプリットリングが化学腐食を起こし、それが原因でスプリットリングが劣化してダストキャップから外れた可能性があるとして報告した。直接の原因ではないが、CSBは無水酢酸のダストキャップについても、レバーの1つからスプリットリングがなくなっていることに気づいた。無水酢酸ダストキャップでは、チェーンがカムレバーの一方のスプリットリングに取り付けられるとともに、スプリットリングのない方のレバーに巻き付けられていたため、充填ラインに固定されているように見えた（図6）。

MGPIは、2010年の食品安全検査を受けて、製品汚染や改ざん問題を防止するためにすべての受入ラインでダストキャップの使用を開始した。ダストキャップを固定することは、プロセス安全または環境上の理由からの具体的な要件ではなかったが、適切に実施されれば、運転手が誤った充填ラインに接続することを防ぐ唯一の物理的障壁となっていた。MGPIには、運転手が誤った接続を行うことを防ぐ設計上または技術上の管理策が存在しなかった。事故発生当時、Mod Bの充填ラインは外観が類似しており、サイズも同じであった。オペレーター側は習慣的に使用していない充填ラインをダストキャップでロックしていたため、運転手側は接続前にオペレーターが正しい充填ラインのダストキャップの固定を解除してくれるものと考えていた。両方の充填ラインは直径と向きが同一であったため、運転手はロックが解除されていた次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインに誤って硫酸のホースを接続することが可能であった。

化学プロセスプラントおよび化学品流通会社は、ラインの接続や手動設定の際に間違いが発生しづらい、または発生しない機器の設計や選定を行うことで、誤接続の可能性を低減することが可能である⁵²。特定のホースはそれに適合する充填ラインにしか接続できないように設計することも対策の一つである。サイズや形状が特殊なホースカップリングや充填ラインコネクタを使用することも、誤ったホースの接続による誤った物質の移送を排除または低減する、受動的管理の例である（図10）。

貨物運送会社と協力して、化学物質または化学物質クラスごとに独自形状を持ち、色分け表示された継手でホースカップリングと充填ラインを接続する方法を選択する

南京錠と1つのスプリットリングのみを使用してダストキャップを充填ラインにロックする方法は存在しないことを確認した（例：スプリットリングが欠けていたレバーに南京錠を通すなどの方法は不可能であった）。

⁵² CCPS 『Inherently Safer Chemical Processes-- A Life Cycle Approach: 4.5.10 Limitation of Available Energy』第2版（オンライン）化学プロセス安全センター/AICbE: ニューヨーク州ニューヨーク（2009年）<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0068GQQ3/inherently-safer-chemical/limitation-available>（閲覧日：2017年9月12日）

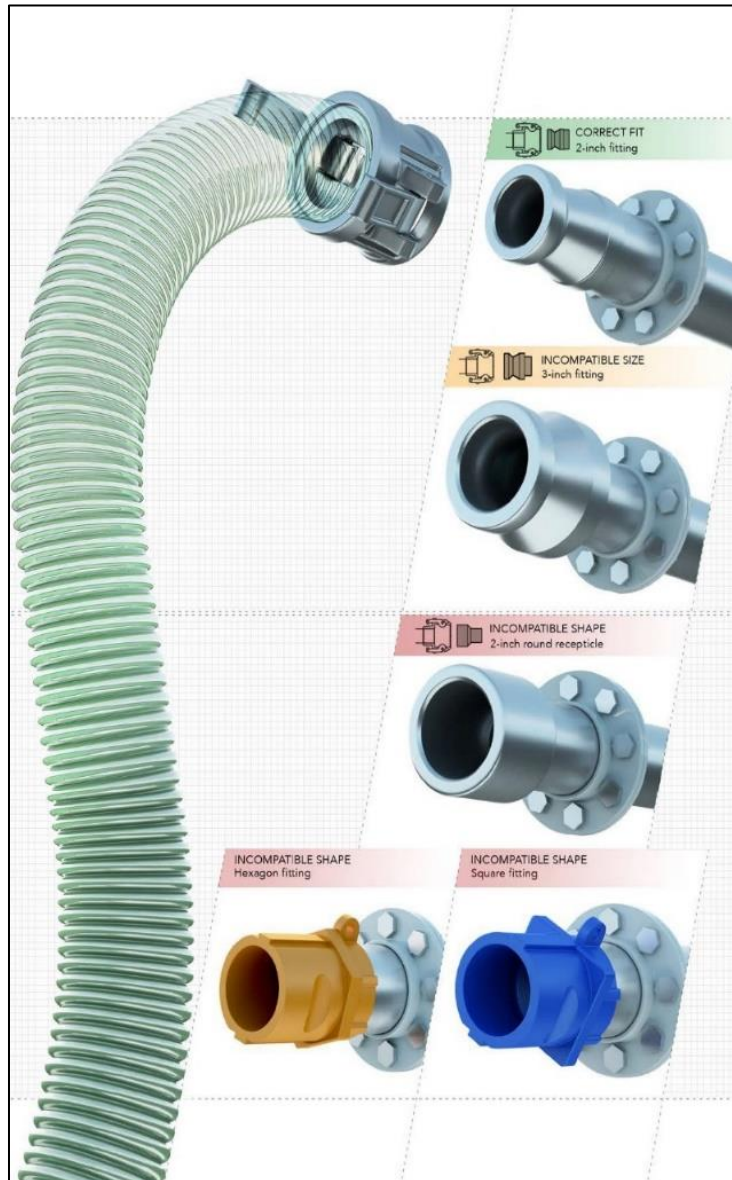


図10：充填ラインの形状とサイズの組み合わせにより、配送中の誤接続を回避する（出典：CSB）

CSBは、様々なホースメーカーが提供する継手の直径範囲を確認した結果、Mod Bで使用されている充填ラインのサイズと向きは、一般的な業界慣行と一致していることが分かった。化学物質流通業界からの情報によると、この種のサービスでは、2インチおよび3インチの丸型ホースカップリングと充填ライン受け口の組み合わせが最も一般的である。充填ラインが同一サイズであることにより、施設は複数の化学品流通会社から化学物質の納品を受けることができるが、誤接続の可能性も生じる。事故後、ハークロスとMGPIと協力し、硫酸用に独特な形状の移送装置を選定し、そのラインに別の配送ホースを接続できないようにした（セクション9.0参照）。複数の化学物質を受け入れる施設は、配送会社と協力して、どのようなサイズと形状のホースカップリングが実現可能かを判断し、それに応じて荷下ろし設備を改修すべきである。

適切な接続を確保する上で色分けも有効な手段となる。化学物質の各クラスに関連付けられた色を、配管マーカ、カップリング、充填ライン、移送配管に使用することができる⁵³。例えば、施設および化学品流通会社は、酸にはオレンジ色の六角形のカップリングと充填ライン受け口を、塩基には

⁵³ 米国機械学会（ASME）規格A13.1『Scheme for the Identification of Pipes』（配管識別スキーム）には、6つの化学物質カテゴリー別に配管の色分けを定義するカラーチャートと、その他の化学物質用にユーザー定義の4つのカラーオプションが用意されている。

紫色の四角形のカップリングと受け口を選択することができる。

また、CSBは、次亜塩素酸ナトリウムと硫酸のダストキャップに同一の南京錠を使用するMGPIのやり方が、誤接続の可能性を高めるかどうかについても評価した。CSBは、因果関係はないものの、同じ鍵で両方の化学物質のダストキャップを開けることができるのなら、その結果として、誤って別のラインのダストキャップを開けてしまう可能性があることから、この方法では誤接続が起こりうると判断した。Mod Bとは異なり、敷地内のWWTPでは、Mod Bの移送エリアから約200フィート離れた場所においてCTMV経由で4種類の化学物質⁵⁴を受け入れているが、各充填ラインには異なる南京錠と鍵を使用している⁵⁵。各バルブに異なる南京錠と鍵を使用することで、オペレーターが別の鍵で誤ったバルブの錠を開けてしまうことを防止できる。

5.1.2 配管マーキング

配管マーキング、ラベル、タグは、作業員が操作を必要とする設備を識別し、他の手段では管理できないハザードを伝達できるので、プロセスプラントや危険化学物質を扱う全ての施設において極めて重要である。適切な装置の識別により、誤った装置を使用したり、誤った操作を行ったりするといった作業ミス⁵⁶の発生を減らすことができる⁵⁷。CSBは、Mod Bの荷下ろしエリアの配管マーキングシステムに、誤接続につながる可能性が高い重要な欠陥が複数あることを発見した。CSBは、このエリアの5つの充填ラインのうち、接続ポイントに配管マーカが付けられていたのは酸化プロピレンのみだったことを確認した（図11）。MGPIがすべての充填ラインの接続ポイント、あるいは少なくとも次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインの接続ポイントに配管マーカや識別タグを付けていれば、運転手は誤った充填ラインに排出ホースを接続していることを即座に認識できた可能性がある。

移送装置および配管に示す配管マーキングは正確で読みやすいものでなければならない。配管マーカは、充填ラインにできるだけ近い位置に配置する

⁵⁴ MGPIの敷地内にあるWWTPは、リン酸、水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）、尿素、塩化第二鉄を受け入れている。

⁵⁵ MGPIは、WWTPの4つの充填ラインのうち3つの移送バルブをロックしていた。苛性ソーダラインにはキャップが取り付けられており、Mod Bの充填ラインと同様に、カムレバーを用いて充填ライン端部にキャップを固定し、施錠するようになっていた。CSBは、キャップは苛性ソーダ充填ラインの末端に取り付けられていたが、一方のレバーにはスプリットリングが付いていないように見られたため、事故当時は施錠されていなかったことを確認した。

⁵⁶ 通常、誤った操作や、誤った値の入力により、決められた手順から外れた作業を行うことが過失につながる。

⁵⁷ Crowl, D. 『Human Factors Methods for Improving Performance in the Process Industries - 11. Labeling』（オンライン）化学プロセス安全センター/AICbE: ニューヨーク州ニューヨーク（2007年）<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt004M11B3/human-factors-methods/labeling>（閲覧日：2017年9月12日）

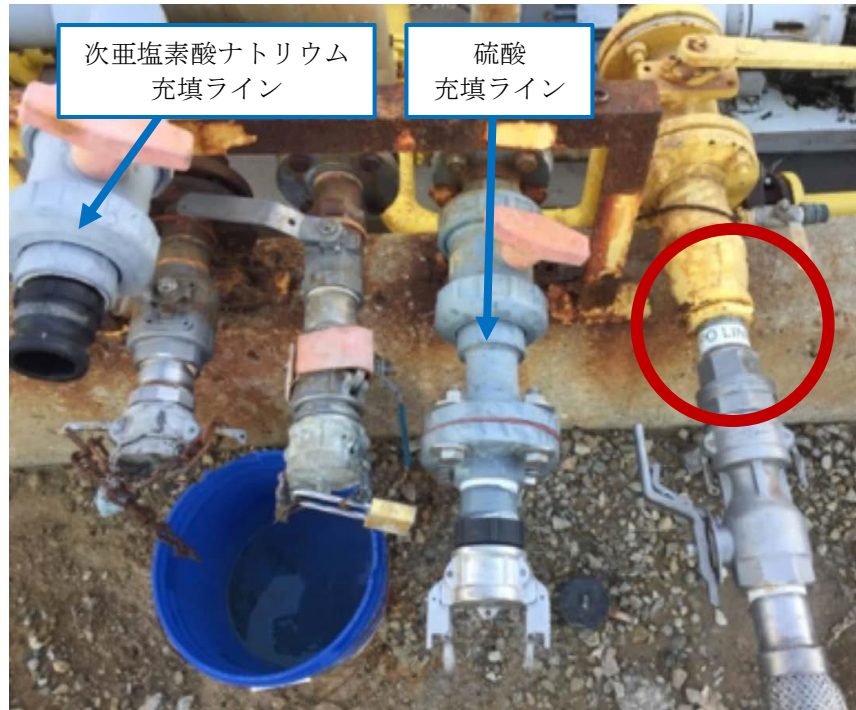


図11：次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインも硫酸の充填ラインも、接続ポイントに配管マーカ―や識別タグが貼付されていなかった。一方で、MGPIは、酸化プロピレン（PO）充填ラインには接続ポイント付近に配管マーカ―を付していた（丸印）（出典：CSB）

また、CSBは、Mod Bの一部の充填ラインの下流にある配管のマーキング位置や向きは、配管配置に不慣れた運転手にとって正しい接続かどうかを判断しにくいものであることも確認した。配管マーカ―は、配管に沿って、始点（接続ポイントなど）から終点（タンクなど）まで、複数の地点に配置するのが一般的である⁵⁸。これらの配管マーカ―は、通常の視線から見やすく、容易に追跡できるように戦略的に配置されている必要がある⁵⁹。効果的な配置により、配管を「追跡」することが可能になる。CSBは、硫酸と次亜塩素酸ナトリウムの配管に沿って配管マーカ―を調査し、MGPIが充填ラインの接続ポイントのできるかぎり近くに配管マーカ―を配置していなかったことを確認した。Mod Bのすべての充填ラインのすぐ下流の配管は、90度のエルボーで方向転換していた（図12、右）。次亜塩素酸ナトリウムと硫酸の配管マーカ―は、エルボーと充填ラインから数フィート下流の位置に設置されていた（図12、右）。業界における配管識別に関する推奨慣行では、配管マーカ―を方向変更点に隣接して配置すべきであるとしている⁶⁰。また、MGPIは、次亜塩素酸ナトリウムの配管用に、配管に緩く取り付けるスリーブ式またはラップ式のマーカ―を選択していた。さらに、配管マーカ―の文字は、充填ラインエリアの見やすい地点から見ると上下逆になっていた（図12、左）。MGPIの次亜塩素酸ナトリウム配管マーカ―の配置と向きは、運転手が硫酸ホースを充填ラインに接続する際に、その視認性と可読性を低下させるものだったと思われる。

⁵⁸ 米国機械学会. 『A13.1 Scheme for the Identification of Pipes』 ASME: ニューヨーク (2007年)

⁵⁹ 米国機械学会. 『A13.1 Scheme for the Identification of Pipes』 ASME: ニューヨーク (2007年)

⁶⁰ 米国機械学会. 『A13.1 Scheme for the Identification of Pipes』 ASME: ニューヨーク (2007年)



図12：上下逆に表示されている次亜塩素酸ナトリウムの配管マーカ（左）と、以前使用されていた「塩酸」のラベルが残って誤表示されている硫酸の配管（上）。両方の配管マーカは、充填ラインおよびエルボーから数フィートの位置に配置されている（右）（出典：CSB）

事故後の調査で、硫酸の充填ラインは、以前の使用状況から「塩酸」と誤って識別されていたことが判明した（図12、上）⁶¹。CSBは、荷下ろしステーションと充填ラインから南に約3フィート離れた地面に、損傷した硫酸配管マーカを発見したが、この配管マーカが事故前に硫酸の充填ラインに取り付けられていたかどうかは判断できなかった⁶²。

これと比較すると、CSBは、WWTPの設計と識別スキームは、Mod Bよりもはるかにシンプルであると指摘している。例えば、WWTPの化学物質充填ラインは、各接続ポイントの上にラベルでより明確にマーキングされている（図13）。

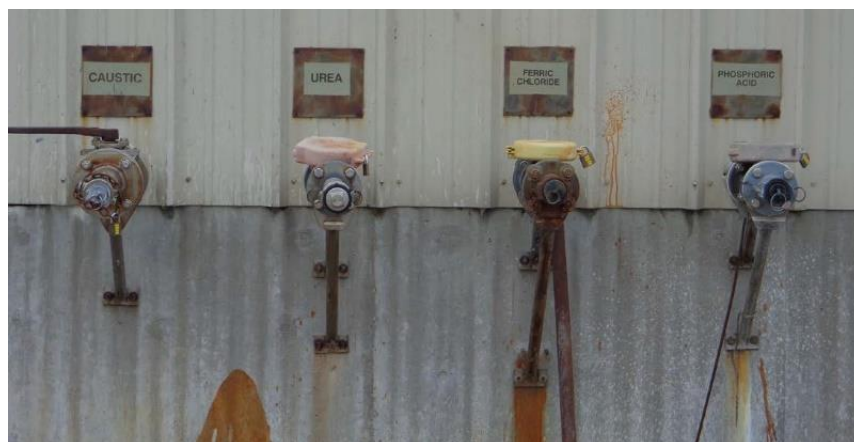


図13：WWTPの化学物質充填ライン（出典：CSB）

⁶¹ デンプンプロセスを変えたため、移送システムは2009年に変更され、MGPIは恒久的に塩酸を硫酸に置き換えた。

⁶² 事故発生前、硫酸ラインの表示は、以前塩酸を使用していた際に使われていた塩酸マーカの上に、接着式の配管マーカをテープで固定する形で取り付けられていた。MGPIによれば、事故時に使用された散水システムや消防車の水噴射、および緊急対応作業によって配管マーカが外れてしまったとされている。

5.1.3 化学物質の荷下ろし手順

プロセスをより安全なものにするには、設計や配管のマーキングと同様、操作手順においてヒューマンファクターに細心の注意を払う必要がある。手順の設計や配置が「何をすべきか」を明確に示していない場合、結果として混乱が生じ、過誤の発生可能性が高まる⁶³。これに対応するため、チェックリストなどの作業支援ツールを手順に組み込むことで、重要な手順が確実に守られるようにすることができる。施設運営者が作業員に対して手順に関する訓練をどの程度行い、その知識と技能を検証しているかも、過誤の発生可能性に影響を与える要因となる⁶⁴。CSBの調査によると、MGPIの荷下ろし手順は実際の作業慣行と一致しておらず、オペレーターがこれらを理解し安全に遵守できるようにするための厳格なプロセスが不足していた。また、ハークロスの手順も作業慣行と一致しておらず、これらの欠陥やその他の問題は、不十分な訓練に起因していた。

5.1.3.1 MGPI

5.1.3.1.1 手順と作業慣行の不一致

セクション3.1で述べたように、オペレーターは、制御室で運転手と書類に署名した後、運転手を荷下ろしエリアまで案内した。その途中で、オペレーターは、安全シャワーの場所を運転手に示し、その後、硫酸充填ラインのロックを解除した。オペレーターは、運転手に充填ラインの場所を指し示し、運転手はその場所を確認したと報告している。しかし、運転手は、オペレーターがその場所を指し示さなかったと報告している。その後、運転手が貨物タンクから内容物を排出するため、接続を確立し、化学物質移送バルブを開く前に、オペレーターは制御室に戻った。この作業手順は、Mod Bにおける硫酸荷下ろし手順と2つの重要な点で一致していなかった。第一に、手順書では、オペレーターが「米国運輸省 (DOT : Department of Transportation) 承認の運転手が荷下ろしホースをタンクの荷下ろしステーションに接続」し、「運転手が他の接続口にホースを接続することを防止」することにより、接続を確認しなければならないとしている。第二に、運転手が準備を整えホースが接続された後は、硫酸の充填ラインバルブを開けるのは（運転手ではなく）オペレーターの役割とされている。これらの手順のいずれかに従っていれば、オペレーターには排出ホースと充填ラインの接続を目視確認する必要があった。オペレーターは硫酸の充填ラインバルブの位置を運転手よりも把握していることから、運転手が次亜塩素酸ナトリウムのラインに接続したことに對し、オペレーターが、接続が正しいかを確認した時や、バルブを開けようとした時に気付くことができたかもしれない。

CSBの調査によると、一部のオペレーターは荷下ろし手順のこの2つのステップを十分に理解していなかった。オペレーターたちは手順書には正しい接続を確認する指示は記載されていないと認識していたが、実際にはMod Bのすべての荷下ろし手順に確認のステップが含まれていた。オペレーターの1人は、CSBの調査員に対して、1つの充填ライン（正しい充填ライン）のみロックを解除すれば、トラック運転手はそのラインにのみ接続可能であるから正しく荷下ろしができる、というのは論理的であると報告した。また、複数のオペレーターが、Mod Bの他の全ての荷下ろし手順とは対照的に、トラック運転手に充填ラインのバルブを開けさせるのが彼らの通常の慣行であると報告した。彼らは、トラック運転手は適切な個人用保護具を着用しているため、充填ラインから漏出または流出が発生した場合を考えると、トラック運転手が充填ラインのバルブを開ける方が安全だと考えていた。

5.1.3.1.2 訓練とアクティブモニタリング

CSBは、MGPIの訓練プログラムおよびアクティブモニタリングプロセスを調査し、これらが事故の直接的な要因となった可能性について評価した。訓練に関しては、DOT規制が危険物 (hazmat : hazardous materials) 取扱従業員に対する要件を規定している。この規則では、危険物取扱者には一

⁶³ CCPS 『Inherently Safer Chemical Processes--A Life Cycle Approach: 6.4 Error Prevention』 (オンライン) 化学プロセス安全センター /AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク (2009年) <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0068GRV3/inherently-safer-chemical/error-prevention> (閲覧日: 2007年9月12日)

⁶⁴ CCPS 『Inherently Safer Chemical Processes--A Life Cycle Approach: 6.4 Error Prevention』 (オンライン) 化学プロセス安全センター /AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク (2009年) <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0068GRV3/inherently-safer-chemical/error-prevention> (閲覧日: 2007年9月12日)

般認識／習熟訓練、および貨物タンクからの荷下ろし訓練などの機能別訓練が義務付けられている⁶⁵。また、訓練は、最初の訓練から少なくとも3年に1回実施しなければならない⁶⁶。CSBの調査によれば、訓練プログラムの一環として、MGPIはMod Bのオペレーターに対して、荷下ろし手順を含むすべての手順を毎年見直すことを義務付けている。さらに、MGPIは、Mod Bでは「ツールボックス・トーク」と呼ばれる、オペレーターが化学物質の配送に関する観察事項や必要な変更点などについて話し合うミーティングが定期的実施されていると主張している。事故当日に勤務していたMod Bのオペレーターは、硫酸の荷下ろし手順に関するMGPIの訓練要件をすべて満たしていた⁶⁷。しかし、一部のオペレーターは手順書では正しい充填ラインの確認は求められていないと認識しており、また、充填ラインのバルブを開けるのは（トラック運転手ではなく）オペレーターであると規定されていることを知らないオペレーターもいた。CSBは、これらの認識の相違は、MGPIの訓練プログラムの不十分さを示していると結論付けた。

MGPIの訓練プログラムを評価するにあたり、CSBは、MGPIのアクティブモニタリングプロセスを調査する必要性も認めた。アクティブモニタリングとは、バリアやリスクコントロールが効果的に機能するよう、ラインマネージャー（すなわち現場で作業を行う人々を直接監督する人）が先を見越して実施する、公式および非公式のすべてのチェック活動を指す⁶⁸。これに対して監査は通常、ライン管理からある程度の独立性を保って実施される⁶⁹。アクティブモニタリングはライン管理の責任に焦点を当て、ラインマネージャーが安全システムをより効果的に実施できるようにする⁷⁰。

CSBは、Mod Bの荷下ろし作業ではアクティブモニタリングプロセスが存在していたにもかかわらず、そのプロセスでは、オペレーターが手順書通りに作業を行っていないことを特定できなかったことを明らかにした。オペレーターは、化学物質への曝露を避けるため、施設の移送バルブを運転手に開けさせるという形で手順から逸脱した。しかし、この手順逸脱行為により、運転手が化学物質を混合することを防ぐための重要なバリアが取り除かれてしまった。Mod Bの監督者は、荷下ろし作業の大部分に参加・監督することで、荷下ろしの実施を監視しているはずだが、CSBによる調査ではオペレーターによる逸脱行為に関する記録や報告が存在しないことが判明した。こうした記録や報告があれば、荷下ろしの方法や手順を改善する最善の方法を経営陣に伝えられたと思われ、アクティブモニタリングの重要な役割を証明したであろう。例えば、運転手ではなくオペレーターが施設の移送バルブを開けなければならないという要件に対し、オペレーターが逸脱しているという記録が作成されていた場合、オペレーター、監督者、および適切な経営陣は、そうした逸脱行為に対する安全リスクを評価し、それに応じて方法や手順を調整することができたはずである。事故当日、Mod Bの監督者は非番であった。その要因があったとしても、CSBの調査では、MGPIが彼に対して移送作業を適切に監督するための必要な訓練を提供していなかったことが判明した。適切な監督者には、ケースバイケースで不適合を是正すること以上の能力が求められる。

システムや手順は常に意図した通りに機能するとは限らないため、企業はアクティブモニタリングを通じて、それらを定期的かつ効果的に検証することが極めて重要である⁷¹。有意義な従業員参加が伴えば、必要に応じて、実際のオペレーターの作業内容に一致するよう手順を記述・更新することができる。ただし、実際の作業が安全性を損なうような形で手順から逸脱している（例えば、オペレーターの確認なしにトラック運転手がホースラインの接続を行うなど）ことが判明した場合、手順を遵守するための監督指導、訓練、検証が必要である。

あるいは、実際のオペレーターによる作業が手順書に記載されている内容よりも安全である場合、

⁶⁵ 49C.F.R. § 172.704(a) (2017).

⁶⁶ 49C.F.R. § 172.704(c)(2) (2017)

⁶⁷ Mod Bのオペレーターは、直近では2016年6月から7月にかけて硫酸の荷下ろし手順に関する訓練を完了していた。

⁶⁸ Wilkinson, P. 『The role of “Active Monitoring” in Preventing Major Accidents』 (オンライン) Noetic Group (Risk): 豪州キャンベラおよび米国ワシントンDC. http://www.csb.gov/assets/1/7/Wilkinson_Active_Monitoring.pdf (閲覧日: 2017年9月12日)

⁶⁹ Wilkinson, P. 『The role of “Active Monitoring” in Preventing Major Accidents』 (オンライン) Noetic Group (Risk): 豪州キャンベラおよび米国ワシントンDC. http://www.csb.gov/assets/1/7/Wilkinson_Active_Monitoring.pdf (閲覧日: 2017年9月12日)

⁷⁰ Wilkinson, P. 『The role of “Active Monitoring” in Preventing Major Accidents』 (オンライン) Noetic Group (Risk): 豪州キャンベラおよび米国ワシントンDC. http://www.csb.gov/assets/1/7/Wilkinson_Active_Monitoring.pdf (閲覧日: 2017年9月12日)

⁷¹ Wilkinson, P. 『The role of “Active Monitoring” in Preventing Major Accidents』 (オンライン) Noetic Group (Risk): 豪州キャンベラおよび米国ワシントンDC. http://www.csb.gov/assets/1/7/Wilkinson_Active_Monitoring.pdf (閲覧日: 2017年9月12日)

管理者はその行動を手順書に組み入れ、新たな手順を基にした訓練を実施することができる。CSBは、この点はアクティブモニタリングにおいて重要であると結論付けた。次亜塩素酸ナトリウム充填ラインのダストキャップが最後の配送後にロックされたかどうかは判断できなかったものの、Mod Bの荷下ろし手順書には納品後の充填ラインのダストキャップがロックされたことを確認する手順は記載されていなかった。事故発生以前には、2本の充填ラインが物理的にロックできない状態であったにもかかわらず、オペレーターは、ダストキャップがロックされていることを確認することが日常業務であるとCSBに報告していた。荷下ろし手順には、納品後に充填ラインが適切にロックされていることを確認する手段が必ず含まれているべきであり、その実施状況は定期的に確認すべきである。MGPIが荷下ろし手順について効果的なアクティブモニタリングを実施していれば、管理者は手順と実際の作業との間の不一致に気づき、手順を改訂し、それに基づいてオペレーターに適切な訓練を提供できたであろう。

5.1.3.1.3 MGPIにおける他の化学物質の荷下ろし手順との比較

因果関係はないものの、CSBは比較のために、MGPIの他の化学物質の荷下ろし手順（Mod Bエリアの次亜塩素酸ナトリウムおよびWWTPにおける化学物質の荷下ろし手順を含む）を検証したところ、それらの手順に一貫性がないことが判明した。手順の一貫性は、標準的かつ効果的なフォーマットやページレイアウトの使用などにより、手順が容易に遵守できるようになる⁷²。手順はまた、完全かつ正確で、適切なレベルの詳細事項を含まなければならない⁷³。これは、特に重要な作業や活動に関する手順に当てはまる。手順が陳腐化、不正確、利用不可能、または実施が困難であるために守られない場合、安全上のリスクが生じることが多い⁷⁴。

CSBは、Mod Bにおける硫酸と次亜塩素酸ナトリウムの荷下ろし手順を調査した結果、そのアプローチが一貫していないことを確認した。次亜塩素酸ナトリウムの手順には、各ステップにオペレーターが署名し、日付・時刻を記入する欄があったが、硫酸の手順にはなかった（図14）。さらに、次亜塩素酸ナトリウムの手順は、特にトラック運転手の行動が手順に沿っていることを確認する点において、より詳細かつ明確であった。例えば、次亜塩素酸ナトリウムの手順では、「供給業者には車両の移送バルブをゆっくり開けさせる」と明記されているが、硫酸の手順では車両の移送バルブに関する記載はなかった。CSBは、硫酸の荷下ろし手順に対する厳格さは、少なくとも次亜塩素酸ナトリウムの手順と同等、あるいはそれ以上であるべきであったと指摘している。特に、硫酸はEPAの緊急事態計画および地域住民の知る権利法（EPCRA：Emergency Planning and Community Right-to-Know Act）の下で「極めて危険な物質」に分類されているが、次亜塩素酸ナトリウムはその対象外であるため、その重要性はさらに高い⁷⁵。

⁷² CCPS 『Guidelines for Writing Effective Operating and Maintenance Procedures』（オンライン）化学プロセス安全センター/AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク（1996年）<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGWEOMP01/guidelines-writing-effective/guidelines-writing-effective>（閲覧日：2007年9月20日）

⁷³ CCPS 『Guidelines for Writing Effective Operating and Maintenance Procedures』（オンライン）化学プロセス安全センター/AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク（1996年）<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGWEOMP01/guidelines-writing-effective/guidelines-writing-effective>（閲覧日：2007年9月20日）

⁷⁴ CCPS 『Inherently Safer Chemical Processes--A Life Cycle Approach: 6.4 Error Prevention』（オンライン）化学プロセス安全センター/AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク（2009年）<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0068GRV3/inherently-safer-chemical/error-prevention>（閲覧日：2007年9月12日）

⁷⁵ EPCRAは、業界に対し、危険物質の保管、使用、および流出に関する情報を連邦政府、州政府、および地方政府に報告することを求めている。硫酸はEPCRAの「極めて危険な物質」リストに含まれており、報告が必要な量は1,000ポンドである。40 C.F.R. §355 app. A（2017年）。EPCRAの詳細については、セクション5.5.2を参照のこと。

38. The Modified Starch Operator directs the supplier to the chemical unloading station. Verified: _____ Time: _____ Date: _____	3. Unlock gate by chemical unloading area.
39. VERIFY the vendor Bill of Lading and that the vendor is delivering Sodium Hypochlorite. Verified: _____ Time: _____ Date: _____	4. Have DOT-approved driver hook unloading hose to Bulk Tank Unloading station. Do not allow driver to connect this hose to any other connection. Consequence of Deviation from this: possibility of heavy reaction with any trace chemical in the wrong line. Heat reaction will occur, which may cause very hazardous situation in rest of tank yard.
40. VERIFY that the supplier is wearing the proper personal protective equipment. Verified: _____ Time: _____ Date: _____	5. Make sure valve #202 (Drain Valve) is closed.
41. Have supplier CONNECT vehicle transfer hose to the NaOCl Fill Line valve 176. Verified: _____ Time: _____ Date: _____	6. When driver is ready, and hose is connected, then open valve #203. Driver will send Sulfuric Acid through this valve to the tank.
42. OPEN the NaOCl Fill Line valve 176 to the Sodium Hypochlorite Bulk Tank NaOCl-BT. Verified: _____ Time: _____ Date: _____	7. Confirm liquid is transferring from the unloading truck to the tank, by observing level on tank.
43. Have supplier SLOWLY OPEN vehicle transfer valve. Verified: _____ Time: _____ Date: _____	8. When unloading is finished, close valve #203 at the unloading station.
44. Have supplier BEGIN to transfer of Sodium Hypochlorite from the chemical truck to the Sodium Hypochlorite Bulk Tank NaOCl-BT. Verified: _____ Time: _____ Date: _____	9. Have driver unhook Sulfuric Acid hose from station connection.
45. Have supplier MONITOR for leaks while unloading Sodium Hypochlorite. Verified: _____ Time: _____ Date: _____	10. Lock up gate at chemical unloading station, and complete paperwork for verification.

図14：Mod Bの次亜塩素酸ナトリウム荷下ろし手順（左）と硫酸荷下ろし手順（右）の一部（出典：MGPI）

CSBはまた、WWTPの手順では、化学物質の荷下ろしに関して大きく異なった、より具体的なアプローチが採用されていることも確認した。硫酸の荷下ろし手順では欠落している重要なステップが、例えば、Mod Bにも納入される化学物質である苛性ソーダのWWTP荷下ろし手順には含まれている。正しい接続の確認については、WWTPの苛性ソーダ荷下ろし手順には、「トラック運転手がホースを正しい充填ラインに接続し、すべての接続が確実に行われていることを確認する。接続が正しいことを確認した旨をトラック運転手の書類に署名し、（略）その後、運転手に苛性ソーダの荷下ろしを開始させる」と記載されている。この確認に関する手順は、Mod Bエリアの硫酸荷下ろし手順の確認ステップと比較してはるかに具体的である。また、この手順書では、納入後にキャップがロックされていることをWWTPの担当者が確認することも求めている。手順にこのようなステップを盛り込んでも、そのステップが確実に実行されるという保証はないが、重要な検証ステップを含めることで、そのようなステップが見落とされる可能性は低くなる。

5.1.3.2 ハークロス

5.1.3.2.1 手順と作業慣行の不一致

CSBはハークロスのCTMV荷下ろし手順を確認した結果、作業慣行が手順書と一致していない重大な点を2つ特定した。事故当日、運転手はオペレーターが荷下ろしエリアを離れた後、最初に解錠されていると見えた充填ラインに排出ホースを接続した。その後、バルブを開き、運転席に戻った。まず、手順では、運転手は「移送する物質が正しい容器に入ることを慎重に確認」しなければならないと規定されている。次に、「移送を継続的に監視する」とも規定されている⁷⁶。しかし、CSBの調査では、運転手がトラック内の物質が正しい容器に入ることを確認するための措置、例えば、オペレーターと一緒に充填ラインを追跡する、あるいはオペレーターが荷下ろしエリアを離れる前に正しい接続であることを確認するよう求めるといった行動を取らなかったことが判明した。さらに、トラック運転手は荷下ろしエリアとは反対方向を向いたトラックの運転席にいたため（図15）、移送を継続的に監視していなかった⁷⁷。この手順の2番目のステップが守られていたならば、運転手はトラックの後部近くの場所から荷下ろし作業を監視していた可能性が高く、それにより硫酸の流れを止めるために充填ラインまたはトラックのバルブを直ちに閉めることができたと考えられる。

⁷⁶ この手順は、米国運輸省規制49 C.F.R. §177.834(i) (2017) の要件である。49 C.F.R. §177.834(i)(2) (2017) には、「貨物タンクを使用して危険物を輸送する貨物運送会社は、荷下ろし中は常に貨物タンクに有資格者が立ち会っている状態を確保しなければならない」と規定されている。49 C.F.R. §177.834(i)(2)(2017)

⁷⁷ 4949 C.F.R. § 177.834(i)(3) (2017) には、有資格者が貨物タンクの積み込みまたは荷下ろしに「立ち会う」条件が記載されている。立ち会いは、(1)有資格者が貨物タンクから25フィート以内に位置し、警戒を怠らず、視界を妨げられずに貨物タンクと配送ホースを視認できること、(2)有資格者がビデオカメラで観察し、積み込みまたは荷下ろしシステムに各種の安全装置が装備されていること、または(3)積み込みまたは荷下ろしに使用されるホースは、人的介入なしに、供給元および受入先のタンクの両方から1秒以内に製品の流出入を停止できること、が要求事項となっている。49 C.F.R. §177.834(i)(3) (2017年)

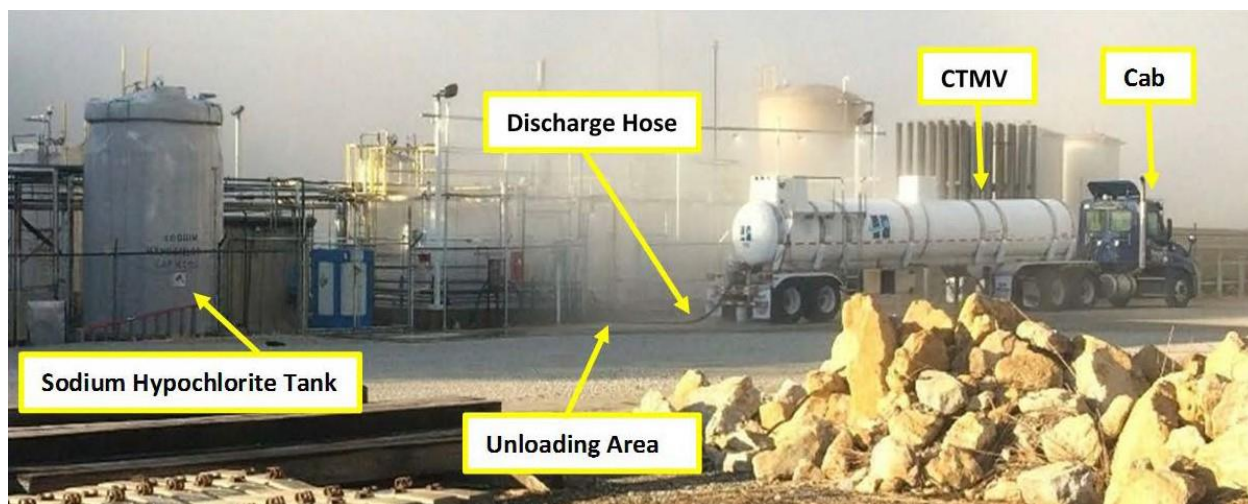


図15：事故後に撮影された、Mod B荷下ろしエリアで次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインに接続しているハークロスCTMVの写真（次亜塩素酸ナトリウムタンクおよびCTMVの運転席を含む）（出典：MGPI）

これにより、化学反応がより早い段階で減速または停止し、その結果として事故の影響が軽減されていた可能性がある。しかし、トラック運転手はトラックバルブを閉じようと試みたものの、すでにガス雲が発達し、毒性ガスに囲まれていたため、安全にバルブを閉じることができなかった。

CSBは、タンクトラックの荷下ろし手順におけるこの2つのステップについて、運転手が熟知していなかった可能性が高いと結論付けた。実際、運転手が正しく接続されていることを確認しなかったのは、オペレーターが1本の充填ライン（すなわち正しいライン）しか解錠しないと考え、運転手が解錠されているのを目にした充填ラインが唯一かつ正しいラインだと推測したためである可能性が高い。MGPIのオペレーターが想定したように、トラック運転手も他のすべての充填ラインが適切に固定されていると想定していた。さらに、運転手はCSBに対し、運転席に戻ったのは書類を片付けるためだったと報告している。ハークロスは、トラックの側面ミラーを通して排出ホースや貨物トラックを遮るもの無く見ることで、運転手は運転席の中からでも荷下ろし作業を継続的に監視できたはずであると主張している⁷⁸。

5.1.3.2.2 訓練

CSBはまた、ハークロスの訓練プログラムを調査し、事故当日に作業慣行と一致していなかった重要な安全手順の重要性が効果的に伝達されていない点で、このプログラムに欠陥があると判断した。ハークロスの訓練プログラムの一環として、運転手はタンクトラック研修記録に記載された様々なタスクを完了することが求められており、研修トレーナーがそれを観察し、完了時にイニシャルで署名する必要がある。これらのタスクには、「顧客の配管が正しい貯蔵容器に接続されていることを確認すること」と「漏れやその他の不具合を防ぐため、荷下ろし作業中は接続部およびタンク部を常時監視すること」の2つが含まれる。研修記録では、運転手がハークロスの全ての最新の研修要件を満たしていたことが示されているが⁷⁹、CSBによる聴取中に運転手は、正しい接続を確認することが手順として求められていることについて言及しなかった。また、荷下ろしプロセスを継続的に

⁷⁸ 米国運輸省の米国パイプライン・危険物安全局（PHMSA）は、MGPIでの事故と類似する多数の事故を調査しており、その中には2015年にフロリダ州ホリーヒルで発生した事故（セクション6.0）も含まれている。ホリーヒルの事故では、運輸省は、荷下ろし中にトラック運転手がトラックの運転席に入ることを社内の手順で義務付けていたため、配送会社が立ち会い要件に違反したとして摘発した。調査チームは、トラックの運転席に座っていると、運転手が貨物タンク後部および配送ホースから約40フィート（約12メートル）離れた位置にいることになり、ホースやその周辺で発生している活動を視線の遮断なく視認できないことを確認した。MGPIでの事故においても、ハークロスの運転手に関して同様の状況が発生していた。

⁷⁹ タンクトラック研修記録によれば、運転手は直近では2016年に訓練を修了していた。また、CSBは、運転手が危険物およびタンカーの商業運転免許証を現在有効に保持していることも確認した。

監視する責任があることについても触れなかった。

ハークロスの訓練記録を確認したところ、CSBは事故の一因となり得る別の問題領域を特定した。タンクトラック研修記録には、運転手がトレーラー前部にある製品流出を停止する内部バルブ用の空気圧式⁸⁰ 緊急遮断スイッチの位置を把握していることが示されていたが⁸¹、CSBは運転手が事故発生時に運転席にいたにもかかわらず、この緊急遮断スイッチを作動させていなかったことを確認した（図16参照）。



図16：ハークロスのCTMV（右）と緊急遮断スイッチ（左）（出典：ハークロスおよびCSB）

DOTの運転手訓練に関する規則では、容量が1,000ガロン以上の貨物タンクまたは可搬式タンクを使用する車両の操作に関しては、「貨物タンクまたは可搬式タンクの緊急制御機能の操作」に関する訓練を行うことが義務づけられている⁸²。この訓練は、49 C.F.R. §177.816(d)および49 C.F.R. §172.704(c)(2)に基づいて3年ごとに実施しなければならない。したがって、運転手は緊急遮断用リモートスイッチの位置やその機能について熟知している必要がある。もしハークロスが、運転手に緊急遮断用リモートスイッチの位置を確認し作動させる模擬訓練を課すなど、十分な訓練を提供していたならば、運転手はトレーラー後部のバルブを閉じようとするのではなく、この緊急遮断スイッチの作動を試みていたかもしれない。適切な訓練がなければ、どれだけ文書を読んで確認しても、実際の緊急事態で適切な対応を確実に取ることは期待しにくい。

5.1.3.3 手順策定における協力

CSBは、施設および化学品流通会社が、荷下ろし作業に関連するリスクを特定および評価し、それらのリスクに対処する手順を策定・合意するために、協力することが極めて重要であると結論付

**施設と化学品流通会社は、
化学物質の荷下ろし手順を
策定・合意するために協力
すべきである。**

⁸⁰ 空気圧式とは、加圧された空気またはガスを封入すること、またはそれらにより作動させることを指す。

⁸¹ ハークロスのタンクトレーラーは、DOT 412規格であり、操作してから30秒以内にタンクの排出口を閉鎖可能なストップバルブを備え、リモート操作が可能であることが要求されている。49 C.F.R. §178.345および178.348 (2017)。ハークロスによると、同社の貨物タンクにはタンクトラックからの化学物質の流出を止めることができた可能性のある4つの装置が設置されていた。(1) 貨物タンク後部に設置された外部手動弁、(2) 貨物タンク後部に設置された内部手動弁、(3) 貨物タンク前部に設置された空気圧式緊急遮断弁、(4) 貨物タンク頂部、ドーム付近に設置された手動弁。

⁸² 49C.F.R. §177.816(b)(1) (2017)

けた。このような協力により、責任が明確に定義される。例えば、事故当日、トラック運転手が充填ラインのバルブを開けたが、これはMGPIの手順ではオペレーターが行うことになっていた。この行動は、ハークロスの手順と矛盾するものであった。手順が両者によって共同で作成されるか合意されていれば、役割が入れ替わることはなかったかもしれない。また、手順には、施設担当者の方が施設の設備に精通しているため、施設担当者が納入時に現場に物理的に立ち会うことを求めるプロセスを確立するべきである。施設担当者とCTMV運転手の双方が化学物質の荷下ろしプロセスを監視することで、どちらの担当者も問題を特定できるようになり、安全な作業実施の可能性が高まる。

この事故が示すように、施設担当者とCTMV運転手の双方が化学物質の移送前に正しい接続を確認することが重要である。複数の人間が関わる手順を調整する際に、チェックリストやその他ヒント、リマインダーなどの手段を用いることは、特に安全にとって重要なステップの見落としを防ぐために不可欠である⁸³。正しい接続の確認は、口頭と目視の両方による確認を行うべきである。口頭および目視による確認を組み合わせることが重要である。なぜなら、作業員自身が自分の間違いや見落としを発見しやすくなり、起こっている事象に関して自身の理解が正しいかどうかを確認できる可能性が高まるからである。事故当日、口頭による確認も視覚的な確認も行われず、また要求もされなかった。オペレーターは正しい接続を指し示したと報告しているが、運転手はその情報を聞いた記憶がないと述べている。また可能ならば、接続ポイントから貯蔵タンクまでの充填ラインをオペレーターが運転手とともに確認する設備巡回を実施することも有効である。さらに、施設および化学品流通会社の管理者は、定期的に、または設備や化学物質が変更された場合には、荷下ろし手順に関する効果的な訓練を提供すべきである。最後に、管理者および監督者は、手順が適切に遵守されているか能動的に監視し、必要に応じて手順を更新しなければならない。

5.2 自動化とリモートシャットダウン

事故発生時、MGPIのMod Bプロセス制御システムには、次亜塩素酸ナトリウムのバルクタンク内で温度、圧力、または液面の上限超過などのプロセス逸脱が発生した場合に、化学物質の移送を自動的に停止する計器が備わっていなかった。今回の反応では大きな圧力が発生し、タンクは納入前の時点ですでに90%まで充填されていたため、圧力や液面レベルのインジケータにインターロックが設置されていれば、移送バルブに自動的に閉止信号が送られ、オペレーターによる操作を必要とせずに化学物質の移送が停止できたかもしれない。

化学物質の荷下ろし作業中の安全を維持するためのインターロックと緩和措置の設置または設定

警報やインターロックはアクティブセーフガードとして機能し、作動中はプロセス変数を監視し、ハザードを排除または軽減する役割を果たす⁸⁴。プロセスプラントでは、オペレーターの操作なしにプロセス設備を自動的に修正または停止させるように計装機器を設定することが可能であり、あるいは制御システムを介してオペレーターがリモートでプロセス逸脱（圧力上昇など）を軽減できるように信号を送ることもできる。MGPIの次亜塩素酸ナトリウムタンクには液面レベルインジケータが設置されており、液面がタンク容量に近づくとき制御システムで警報を発する。しかし、このインジケータは液面レベルが高いことをオペレーターに通知するだけで、移送を自動的に停止するには設定されていなかった。事故当日、硫酸がタンク内に流れ込み始めた後、午前7時59分に次亜塩素酸ナトリウムのバルクタンクの液面インジケータが警報を発した。オペレーターへの聞き取り調査によれば、これはおそらく、オペレーターが化学反応に気づき、制御室の建物から避難を開始した頃とほぼ同じタイミングだったと考えられる。

MGPIは、Mod Bプロセス用に2つの緊急停止ボタンを設置していた。1つは制御室に、もう1つは屋

⁸³ CCPS 『Guidelines for Writing Effective Operating and Maintenance Procedures--5.4 Procedure Checklist Elements』（オンライン）化学プロセス安全センター/AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク（1996年）
http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpGWEOMP01/viewerType:toc/root_slug:guidelines-for-writing-effective-operating-and-maintenance-procedures（閲覧日：2017年9月12日）

⁸⁴ CCPS 『Guidelines for Engineering Design for Process Safety - 5.1.7 Safeguard Stewardship』第2版（オンライン）化学プロセス安全センター/AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク（2012年）
<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00A68RY1/guidelines-engineering/safeguard-stewardship>（閲覧日：2017年9月12日）

内プロセスエリアに配置され、化学物質の荷下ろしエリアの下流にある設備やプロセスをリモートで停止させることが可能だった。また、オペレーターは制御システムを介して設備をリモートで停止させることもできた。緊急停止ボタンの1つは、次亜塩素酸ナトリウムタンクからデイタンクへの流れを停止することができたが、化学物質の荷下ろしエリアからバルクタンクへの流れを停止することはできなかった。また、MGPIは、荷下ろしエリアにおける酸化プロピレンの流出を緩和するための放水システムを備えており、緊急対応要員が手動で作動させて反応により生じた雲を抑える助けとなった。

制御室にガス雲が侵入したことで、オペレーターは化学プロセス用の緊急停止ボタンを作動させることができなかった。緊急停止ボタンを作動させればプロセスを停止させることはできたであろうが、化学物質の荷下ろしエリアにはリモート停止機能がなかったため、反応そのものを緩和することはできなかったであろう。

化学物質の荷下ろしエリアに自動化システムを設計・設置することは、荷下ろしプロセスに追加のセーフガードを提供する。このシステムは、予期せぬ反応やタンクのオーバーフローが発生した際に、バルクタンクやデイタンクに化学物質を供給するバルブを自動的に閉じる機能を持つ。MGPIにこのような自動遮断装置が設置されていれば、緊急対応要員が約45分後にハークロスのトラックの排出バルブを閉じるずっと前に、バルクタンク内で次亜塩素酸ナトリウムと反応していた硫酸の流れを止めることができただろう。

5.3 MOD Bの換気

CSBの調査によれば、事故前のMod Bビルとその換気システムの設計により、反応で発生したガス雲が建物内に流入し、オペレーターが避難を余儀なくされたことが判明した。反応によって発生したガスが充満したため、制御室内のオペレーターは避難を余儀なくされ、外部のさらに高濃度の化学物質によって生ずる呼吸器系の危険から身を守るための緊急脱出用呼吸具を取り出す時間もなかった。

Mod Bビルには陽圧の制御室があり、隣接する屋内プロセスエリアから有害ガスが制御室内に侵入するのを防ぐよう設計されている。陽圧は、制御室内の空気圧を屋内プロセスエリアよりも高く維持することで実現される。MGPIのMod B用の暖房・換気・空調（HVAC：heating, ventilation, and air conditioning）システムは、Mod Bビル外部の2つの吸気口から空気を引き込む、高速モーター付き容量4トンのエアハンドラーを備えている。一方の吸気口は、タンクヤードおよびバルク化学物質移送エリアに隣接する、建物の1階部分に設けられている。制御室内の空気圧は常時計測され、生産エリアの空気圧と比較されている。制御室の圧力が生産エリアの圧力を下回る場合、アラームが作動し、オペレーターに避難を促す仕組みとなっている。

MGPIは、制御室の職員を生産エリア内の有害な蒸気から保護する目的で設計していたが、建物外部からの有害ガスや蒸気から職員を守ることは考慮していなかった。MGPIでは化学物質の荷下ろしエリアおよびタンクヤードで多くの危険物を受け入れ、貯蔵していたため、タンクトラックの荷下ろし作業や、タンクの換気口や圧力解放装置から発生する蒸気が、ドアや隙間、吸気口を通じて制御室内に侵入する可能性があった。

新鮮な空気を取り入れて制御室に空気を供給するための吸気口には、粒子フィルター以外の浄化システムやフィルターがなく、屋外の空気から塩素ガスやその他のガスを効果的に除去する機能を備えていなかった。毒性物質が放出される時に換気システムを停止することで制御室内への影響を軽減することは可能だが、オペレーターがガスの流出に気づく前に、Mod Bビルの吸気口を通じてガス雲が侵入してしまっていた。MGPIは、Mod Bタンクヤード近くに、酸化プロピレン濃度のみを検出する屋外空気モニターを設置していた。酸化プロピレン濃度が事前に設定された閾値に達した場合、制御室に警報が鳴り、緊急対応計画に基づきオペレーターは換気システムを停止する必要があった。HVACの吸気システムには、ガスが吸気口を通じて侵入する前にオペレーターに避難用呼吸具の装着を警告できる毒性ガスアラームはなかった。

2003年、CSBは、ルイジアナ州バトンルーージュにあるHoneywell International, Inc.（ハネウェル）の化学プラントで塩素ガスが流出した事故を調査した。この事故では、7人の作業員が負傷し、半径0.5マ

イル以内の住民に対して屋内退避勧告が発令された⁸⁵。塩素は故障した冷却システムから流出し、MGPIの事故と同様に、換気システムを通じて職員のいる制御室内に侵入した。CSBの調査では、ハネウェルでの塩素流出が3.5時間続いた理由の一つとして、オペレーターが問題を調査し、漏出源を遮断する前に現場から避難せざるを得なかった点を挙げている。

MGPIと同様、ハネウェルの制御室も有害ガスの侵入を防ぐ目的で陽圧設計されていた。ただし、MGPIのMod Bビルが生産エリアに対してのみ陽圧を維持していたのに対し、ハネウェルの制御室は外気圧よりも高い圧力を維持するよう設計されていた。ハネウェルでは、外部の蒸気が制御室に侵入するのを防ぐため、新鮮な空気を取り込むように換気システムの吸気口をプラントの最も高い位置に設置していた。しかし、CSBの調査によると、2003年の流出事故では、この陽圧制御システムが人員や設備を十分に保護できなかったことが判明した。ハネウェルの事故では、屋根に設置されたHVAC吸気ダクトに穴や隙間が見つかり、それが流出中の塩素が建物内に引き込まれる原因となった。さらに、ハネウェルの制御室用換気システムの吸気口には、毒性ガスの警報装置や自動遮断機能が設置されておらず、あるのは手動遮断装置だけであった。

5.3.1 ガイダンスと基準

危険な化学物質を取り扱う施設の建物内の職員を保護するための、建物および換気システムの設計基準や業界ガイダンスは限られている。米国石油協会（API：American Petroleum Institute）は石油精製所の基準を策定しており、API Recommended Practice 550、551、752は、他の業界でも役立つであろう陽圧制御室に関する指針である。また、塩素協会（CI：Chlorine Institute）は、次亜塩素酸ナトリウムを取り扱う施設の建物および換気システムの設計ガイダンスを提供している。MGPIはCIの会員ではないが（セクション7.1参照）、CIが発行するPamphlet 64は換気システム設計に関するガイダンスを提供しており、次亜塩素酸ナトリウムを取り扱う業界や施設にとって有用であると考えられる。

Pamphlet 64（セクション7.1参照）は、次亜塩素酸ナトリウムに関する緊急対応計画を取り扱っており、建物および換気システムを設計する際、流出時の建物内の職員への影響を最小限に抑えることを検討するよう提案している⁸⁶。例えば、塩素ガスは空気より重く、低い場所に滞留しやすいため、吸気口を高所に設置することが推奨している⁸⁷。Mod Bビルの吸気口は1階にあったため、化学反応開始直後、ガス雲中の塩素濃度が高い空気を建物内に取り込む原因となったと考えられる。さらに、Pamphlet 64では、塩素流出時に建物内にいる人員の安全を確保するため、塩素モニターをアラームと連動させ換気システムを自動停止する仕組みや、供給空気から塩素を除去するためのフィルター装置を設置することを推奨している。こうした制御装置がない場合、オペレーターは呼吸用保護具に頼らざるを得ないが、MGPIのケースでは、ガス雲が制御室に警告なしに侵入したため、呼吸用保護具の使用が困難であった（セクション5.4参照）。

制御室の具体的な設計要件は含まれていないが、米国労働安全衛生局（OSHA：Occupational Safety and Health Administration）の「高度危険化学物質のプロセス安全管理」（PSM：Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals）基準では、対象プロセスに対するプロセスハザード分析（PHA：process hazard analysis）の実施を施設に求めている⁸⁸。PSMはパフォーマンスベースの基準であり、毒性、反応性、可燃性、または爆発性を持つ化学物質の、壊滅的な流出を防止または影響を最小化するための要件を含む（セクション8.1参照）⁸⁹。PSM基準は、特定の化学物質を指定された閾値以上の量で使用するプロセスに適用される⁹⁰。PSMは雇用主に対し、対象プロセスについて最

⁸⁵ CSB 「Honeywell Chemical Incidents」 (2005年8月8日) http://www.csb.gov/investigations/completed-investigations/?F_InvestigationId=54 (閲覧日：2017年10月3日)

⁸⁶ 塩素協会, Pamphlet 64 『Emergency Response Plans for Chlor-Alkali, Sodium Hypochlorite and Hydrogen Chlorite Facilities』 第7版, 塩素協会: バージニア州アーリントン (2014年11月)

⁸⁷ 塩素協会, Pamphlet 64 『Emergency Response Plans for Chlor-Alkali, Sodium Hypochlorite and Hydrogen Chlorite Facilities』 第7版, 塩素協会: バージニア州アーリントン (2014年11月)

⁸⁸ 29C.F.R. §1910.119(e) (2017)

⁸⁹ 29C.F.R. §1910.119 (2017)

⁹⁰ 19C.F.R. §1910.119(a)(1) (2017)

初のPHAを実施し、プロセスに関連するハザードを特定、評価、管理することを求めている⁹¹。特に、PHAには施設の立地に関する評価が含まれなければならない⁹²。施設の立地を評価する際、流出した毒性ガスや可燃性ガスが制御室に侵入する可能性の有無を検討する必要がある。

2008年、OSHAはPSM基準に基づき、ニュージャージー州サウスカーニーにある塩素アルカリプラントであるKuehne Chemical社⁹³に対して、塩素ラインからの壊滅的な流出によって制御室内に侵入した塩素ガスに対して適切に対応しなかったとして出頭命令を出した。塩素は、一定量以上が保管されている場合、PSM基準の対象となる化学物質である。MGPIの事故当日、塩素ガスやその他の毒性化合物がMod Bビルに侵入したが、塩素は、いずれもPSM基準対象外となる硫酸と次亜塩素酸ナトリウムの反応副生成物であった。

しかし、Mod Bにおける他のプロセスや化学物質はPSM基準の適用対象であり、これにはMod Bに閾値量以上が保管されていた2種類の化学物質、すなわち酸化プロピレン（荷下ろしエリアで受領される）とオキシ塩化リン（荷下ろしエリアで受領されない）が含まれている。MGPIの事故を受けて、OSHAは当初MGPIに対して12件の違反として警告した⁹⁴。その中の1つは、毒性で可燃性の蒸気が加圧空調設備を通じて制御室に侵入するハザードを考慮した適切なPHAを実施していなかったことであった。また、MGPIは施設の立地に関連するハザードを十分に考慮していないとして特に指摘された。OSHAは「従業員は、職場での負傷や死亡につながる爆発、火災、および健康危害をもたらす揮発性有機化合物（VOC：volatile organic compounds）の大気中への流出にさらされていた」と結論付けた⁹⁵。もし事故前に毒性蒸気が制御室に侵入するハザードが認識されていたれば、Mod Bの換気システムがその侵入を防ぐように改良または設計されていたかもしれない。

一般的に参照される文献では、陽圧制御室および換気システムについて簡単に触れている。『Lees' Loss Prevention in the Process Industries』（第4版）は、気密設計の必要性、陽圧要件、および通常時の換気状態を遮断する仕組みを備えた、制御室建物内の毒性ガス検知器やアラームの使用の可能性について説明している⁹⁶。また、化学工業協会（英国）（CIA：Chemical Industry Association）による『Process Plant Hazard and Control Building Design』（1979年）では、毒性ガスの流出に対する制御室の保護設計についても論じている⁹⁷。特に、

化学物質の荷下ろしステーション付近の建物の設計と換気システムを評価し、流出や化学反応が発生した場合に職員が確実に保護されるようにする

「汚染される可能性のある通常の外部換気・給気装置は密閉可能でなければならない…（さらに）緊急時には、制御室建物内の職員には、緊急事態の間またはプラントを停止するために必要な時間の間、清浄な空気が供給されなければならない」と述べている⁹⁸。さらに、CIAは、「建物そのものが危険にさらされるような風の条件下でも」、十分に離れた場所からダクトを通して汚染されていない空気を供給することが可能であると認めている⁹⁹。本ケーススタディのセクション3.1および5.4で説明しているとおり、Mod Bのオペレーターは、タンクヤードに隣接する通気口を通じて建物内に毒性ガスが侵入したこと、適切な防毒マスクを取りに行けなかったことにより、他のプロセスを停止できないまま建物から避難せざるを得なかった。

⁹¹ 29C.F.R. §1910.119(e)(1) (2017)

⁹² 29C.F.R. §1910.119(e)(3)(v) (2017)

⁹³ Kuehne社。 <http://www.kuehnecompany.com/history/>（閲覧日：2017年11月27日）

⁹⁴ OSHAとMGPIは2017年5月10日に非公式和解合意に達し、違反件数および罰金が削減された。詳細はセクション8.1を参照のこと。

⁹⁵ OSHA検査番号1186824、違反1項目7。この違反は非公式和解合意で修正され、一般的なPHA違反である違反1項目6へと統合された。

⁹⁶ Mannan, S. Lees 『Loss Prevention in the Process Industries』 Vols. 1-3, 第4版（オンライン）Elsevier: マサチューセッツ州ウォルサム（2012年） <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpLLPPIVH2/lees-loss-prevention/lees-loss-prevention>（閲覧日：2017年9月13日）

⁹⁷ Chemical Industry Association（1979年）『An approach to the categorization of process plant hazard and control building design』 ロンドン、英国（1979年）

⁹⁸ Chemical Industry Association（1979年）『An approach to the categorization of process plant hazard and control building design』 ロンドン、英国（1979年）Appendix III.6.

⁹⁹ Chemical Industry Association（1979年）『An approach to the categorization of process plant hazard and control building design』 ロンドン、英国（1979年）Appendix III.6.

化学プロセス安全センター（CCPS：Center for Chemical Process Safety）による『*Guidelines for Facility Siting and Layout*』（2003年）では、制御棟の配置および建物のHVAC吸気口の設置について検討している。CCPSは、設備のベントおよび開放ベントが安全な場所、特に建物のHVAC吸気口から十分に離れた安全な距離に配置されるべきであると推奨している¹⁰⁰。さらに、CCPSは、API RP 752に基づく影響分析を実施し、制御室建物に対する潜在的な毒性影響に対応すべきであると提案している。分析の結果、制御室建物が影響を受けると示された場合には、空気の供給、HVACの加圧、またはシャットダウンといった緩和措置を講じるべきである¹⁰¹。

5.3.2 ASHRAEに対する以前の勧告

Mod Bビルと換気システムが、屋外のタンクヤードからの放出による室内への侵入を防止するか、または自動的に対応するよう設計されていたなら、オペレーターはプロセスを安全に停止し、緊急脱出用呼吸具を取り出し、避難するためのより多くの時間を確保できたであろう。米国では、様々な発生源から放出される多様な危険物質から作業員を守るための、建物用換気システムの具体的な設計方法に関する基準やガイダンスが不足しているため、2005年にハネウェル調査の結論を受けて、CSBは勧告2003-13-I-LA-R22¹⁰²を米国暖房冷凍空調学会（ASHRAE：the American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers）に対して発行した。CSBはASHRAEに対し、「危険物質の流出が発生した場合に従業員と設備を保護するための、HVACシステムおよびその他の必要な制御室コンポーネントの効果的な設計とメンテナンスに関するガイダンスを作成すること」と勧告した。2015年、CSBはこの勧告のステータスを「未解決—受け入れ可能な対応または代替対応」に更新した¹⁰³。当時、ASHRAEはこの勧告を支持する意思を表明し、ASHRAEハンドブックの一章、基準、または設計ガイドとして提案された「危険区域の暖房、換気および空調」という名称の新しいガイダンス文書の概要をCSBに提出した。また、ASHRAEは2016年2月にこのガイダンス文書の草案作成を開始する計画であることを示した。

ASHRAEは、HVAC業界向けに合意された自主基準を策定・公表する世界的な非営利団体である¹⁰⁴。これらの基準は許容可能な性能の最低値を定義している一方で、その他の文書では性能の向上を促進している¹⁰⁵。ASHRAEは米国規格協会（ANSI：American National Standards Institute）によって認定されており、ANSIの適正手続き要件および基準策定要件を遵守している¹⁰⁶。OSHAは、認識されているハザードを特定する目的において特定のOSHA基準がないため、ANSIおよびASHRAE基準を国家合意基準として認めており、それらの基準は一般義務条項の対象となっている¹⁰⁷。さらに、建築およびエネルギーに関するモデル規約には一部のASHRAE基準が採用されており、管轄区域によっては厳格な遵守が義務付けられている¹⁰⁸。

¹⁰⁰ CCPS 『*Guidelines for Facility Siting and Layout*』（オンライン）化学プロセス安全センター/AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク（2003年）<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGFSL0005/guidelines-facility-siting/guidelines-facility-siting>（閲覧日：2017年9月13日）

¹⁰¹ CCPS 『*Guidelines for Facility Siting and Layout*』（オンライン）化学プロセス安全センター/AICHe: ニューヨーク州ニューヨーク（2003年）<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGFSL0005/guidelines-facility-siting/guidelines-facility-siting>（閲覧日：2017年9月13日）

¹⁰² 『Recommendation Status Change Summary, 2003-13-I-LA-R22』[http://www.csb.gov/assets/recommendation/Status_Change_Summary_ASHRAE_\(Honeywell_R22\)_O-ARAR1.pdf](http://www.csb.gov/assets/recommendation/Status_Change_Summary_ASHRAE_(Honeywell_R22)_O-ARAR1.pdf)（閲覧日：2017年9月13日）

¹⁰³ 「未解決—受け入れ可能な対応または代替対応」への指定は、完了までのスケジュール文書を含め、実施された場合には勧告の目的を果たす行動計画の回答が受領者からあったことを意味する。

¹⁰⁴ ASHRAE 『About ASHRAE』<https://www.ashrae.org/about-ashrae>（閲覧日：2017年9月13日）

¹⁰⁵ ASHRAE 『Standards and Guidelines』<https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines>（閲覧日：2017年9月13日）

¹⁰⁶ ASHRAE 『Standards and Guidelines』<https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines>（閲覧日：2017年9月13日）

¹⁰⁷ 労働安全衛生法（the Occupational Safety and Health Act）Section 5(A)(1)では、雇用主は、死亡または深刻な身体的危害を引き起こす、または引き起こす可能性が高いと認識されているハザードを伴わない、雇用と就業場所を提供することが義務付けられている。この規定により、OSHAは次の4つの条件が満たされた場合に違反通知を発行できる。1) 雇用主が職場からハザードを排除しなかった、2) その危険が、違反を指摘された雇用主個人に、または雇用主の業界で一般に「認識」されていた、3) 認識されたハザードが死または深刻な身体的危害を引き起こしていた、または引き起こす可能性があった、4) その危険を排除または大幅に削減できる実行可能な手段があった。

¹⁰⁸ ASHRAE標準90.1 『*Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*』、ASHRAE: ジョージア州アトランタ（2016年）

2014年、ASHRAEはCSBに対し、「危険区域の暖房、換気および空調」と題した一章または基準の草案概要を提出した。この概要は11のセクションに分かれており、最初のいくつかのセクションでは目的、範囲、定義、および適用基準を扱っており、11番目のセクションでは参考文献を提供している。他のセクションでは、関連する危険物質、作業スペースに関連するハザードの発生源、保護の原則、設備の選択と設置などのトピックについてガイダンスを提供している。注目すべき点として、作業スペースに関連するハザードの発生源に関するセクションでは、ASHRAEは外部発生源、内部発生源、および複合発生源を区別している。MGPIはMod Bビルのプロセスエリアにあった内部発生源からMod Bビル内の職員を保護していたが、Mod Bビル内に侵入した毒性雲は外部発生源、より具体的には複合発生源によるものであった。さらに、ハザードに関するセクションでは、通常状態および異常状態（例えば、意図しない化学反応による流出の結果として）において存在する危険な状態について取り上げている。

設備の選択に関するセクションでは、他の基準と連携しながら、換気設備、加圧設備、およびろ過を含む様々な内容を取り上げている。換気については、保護の原則のセクションでさらに詳しく説明されており、陽圧換気と負圧換気の違いを明確にしている。また、加圧、封じ込め、隔離と除去、ろ過などの他の保護原則についても取り上げている。この基準または一章の残りの部分では、施設が職員を保護するための適切な機器を選択し、設置するのに役立つ内容が含まれている。

ASHRAEは、基準または一章の草案やその完成までのスケジュールをCSBにまだ提供していない。MGPIでの事故は、ASHRAEが2014年にCSBに提案したように、専用ガイダンスの策定を継続する必要性を浮き彫りにしている。CSBは、化学施設における建物の換気を扱う既存の基準やガイダンスには、多様な化学物質や発生源からのハザードを管理するために必要なHVACシステムの設計および維持管理に関する具体的な情報が欠けていると判断した。ASHRAEがこのガイダンスを発行すれば、施設はそれを活用して作業員のいる建物や化学プロセスの設計や改良、または内部もしくは外部発生源からの汚染物質を処理するための工学的管理策の有効性を評価することが可能になる。

5.4 緊急脱出用呼吸具へのアクセス

MGPIの緊急対応計画では、安全に実施可能であれば流出源を遮断し、当該エリアから避難することを求めている。セクション5.2で説明したとおり、制御室内に毒性雲が侵入したため、オペレーターは安全な場所からの移送停止操作による流出の停止ができなかった。その結果、オペレーターは直ちに建物から避難したが、CSBの調査によれば、Mod Bのオペレーターは脱出用呼吸具に即座にアクセスできなかった¹⁰⁹。Mod Bには、有害な大気環境での緊急避難で短時間使用することを想定した、呼吸用空気を満たした移動式の脱出用ボンベが配備されていた。これらは事故発生時に容易に利用可能であったものの、呼吸具に取り付けて使うフェイスピースが利用可能な状態ではなかった。Mod Bのオペレーターによれば、オペレーターたちはシフト終了時にフェイスピースを個人用ロッカーに収納して施錠し、シフト開始時に取り出す習慣があった。今回の事故はシフト交代時に発生したため、新しく勤務に入る日勤オペレーターの呼吸具は施錠保管されたままであった。さらに問題を複雑にしたのは、これらのロッカーがダイヤル式の施錠装置を備えており、緊急時にはロックを解除するのにより長い時間を要する点である。

MGPIの呼吸具訓練プログラムの記録によれば、同社は従業員に対して、使用していないときには呼吸具を適切に保管し、損傷を防ぐよう指導している¹¹⁰。防護装置の損傷を防ぐために適切な保管が重要である一方で、呼吸具への即時のアクセスが妨げられるような保管方法は避けるべきである。OSHAの呼吸用保護具基準では、緊急用呼吸具は作業エリアにアクセス可能な状態で保管され、緊急用呼吸具を収納していることが明確に表示された収納スペースまたはカバー内に保管することを求めている¹¹¹。MGPIの事故では、屋外での化学物質流出から自らを保護するためにオペレーターは呼

¹⁰⁹ 脱出用呼吸具は呼吸用空気の供給源にフードまたはフェイスピースが取り付けられたもので、緊急時の避難のみに使用することを目的としている。

¹¹⁰ 事故当日、制御室内にいたオペレーターは、直近では2016年4月に呼吸用保護具の訓練を修了していた。

¹¹¹ OSHA 『Respiratory Protection Standard』 29 C.F.R. §1910.134(h)(2)(ii) (2017)

MGPIは、事故後、Mod Bでの緊急脱出用呼吸具の入手可能性を確保することで、この問題に直ちに対処した。事故後の変更内容については、セクション9.0を参照のこと。

吸用保護具に頼らざるを得ない状況であったため、即時アクセスが極めて重要であった。前述の通り、Mod Bエリアには硫酸の移送を直ちに停止したり建物の換気システムを停止したりする自動制御装置が装備されていなかった。そのため、MGPIがMod Bのオペレーターに、フェイスピースや移動式の脱出用ポンベを含む呼吸具の、容易にアクセス可能な保管場所を提供していれば、Mod Bのオペレーターは避難前に脱出用呼吸具を着用し、その結果負傷の重篤度を軽減できたかもしれない。

CSBの調査によれば、トラック運転手も事故発生時に呼吸用保護具を利用できなかった。ハークロスは顧客が要求しない場合には配送運転手に呼吸具を装備する義務を課しておらず、呼吸具を提供していなかった¹¹²。このため、ハークロスの運転手は通常、呼吸用保護具基準に基づく訓練を受けていない。ハークロスによれば、MGPIには呼吸具の使用要件がなく、同社から口頭で配送指示を受けた際にもそのような要件は示されなかった。そのため、ハークロスは、MGPIに化学物質を配送する際には、運転手が呼吸具を着用する必要があるような、既知の職場のハザードはないという前提の下で運用を行っていた。しかし、CSBは、ハークロスが作成した硫酸の安全データシート（SDS）には、個人保護のために有機性蒸気用カートリッジと全面フェイスピースを備えた化学防毒マスクを着用することが記載されていることを発見した。そのため、MGPIはハークロスの運転手がトラック内に呼吸具を備えているという前提で運用していた。さらに、CSBは、ハークロスのタンクトラック研修記録には、配送される化学物質のSDSに従い、適切なすべての個人用保護具（PPE）を着用する必要があると記載されていることも確認した。CSBは、事故当日、この種の呼吸具が運転手に提供されていなかったと判断した。有機性蒸気用カートリッジと全面フェイスピースを備えた化学防毒マスクは、運転手に清浄な呼吸空気を提供することはできなかったかもしれないが、少なくともある程度の保護を提供することができたであろう。その結果、運転手がより軽傷で避難できたかもしれない。

CTMVでの呼吸用保護具の提供に関する規制を確認したところ、CSBは、米国パイプライン・危険物安全局（PHMSA：Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration）の危険物規制（HMR：Hazardous Materials Regulation）において、特定の化学物質の輸送時に呼吸用保護具の提供が義務付けられていることを確認した。たとえば、塩素を輸送するCTMVには、塩素用として国立労働安全衛生研究所（NIOSH：National Institute of Occupational Safety and Health）が承認したタイプのガスマスクが装備されていなければならない¹¹³。また、一酸化炭素や低温液体を輸送する運送会社は、NIOSH承認の自給式空気呼吸具を運転手に提供する必要がある¹¹⁴。硫酸の輸送については同様の規制が存在しないが、これらの要件は、状況に応じて化学品流通会社が運転手に呼吸用保護具を提供することの重要性を示している。したがって、化学品流通会社は、適切な個人用保護具（PPE）の着用と、荷下ろし作業中における化学物質の流出や漏出への対応に関する訓練を行う必要があるかどうかを評価すべきである。事故の緩和措置ができそうな場合には、それを実施するため、化学品流通会社はCTMVに適切なPPEを備えておくべきである。事故の緩和が不可能な場合には、事故発生時に安全に避難できるよう、化学品流通会社は、運転手がCTMVに備えられた緊急脱出用呼吸具へアクセスすること、運転手が適切に装着訓練を受けていること、を確実にすべきである。さらに、化学品流通会社がCTMVに防毒マスクを備えることに加えて、施設側も荷下ろしエリア付近に緊急用の呼吸用保護具を備えることが可能である。適切な訓練を受けた運転手は、流出事故が発生した場合には、これらの緊急用防毒マスクにアクセスし、安全に避難することが可能となる。

CSBは、ハークロスの運転手に対する呼吸保護の方針が不十分であると判断したが、その理由の一つとして、前述の通り、ハークロスが職場のハザードを判断する際に顧客からの連絡に依存していることが挙げられる。しかし、当事者がコミュニケーションの責任を積極的に明確化しない場合、このような依存関係は間違いの元となる。つまり、一方の当事者の不作為が、他方の側からは義務として解釈されている可能性がある。このように、化学品流通会社と施設管理者の間で、化学物質を安全に荷下ろしするための責任を共有する必要がある。したがって、CSBは、ハークロスが各顧客の施設における化学物質の荷下ろしに関連する呼吸器系のハザードを事前に評価するプロセスを

¹¹² ハークロスは、同社の顧客のうち2社は、呼吸器系の危険事態が生じる可能性があるため、ハークロスの運転手が当該顧客の施設に配達を行う際には、呼吸用保護具をすぐにご利用できるようにしておくことを求めていると述べた。ハークロスは、一方の顧客には珪藻土を、他方の顧客には苛性ソーダと苛性カリを配送している。両顧客とも過式呼吸用保護具の使用を求めている。

¹¹³ 49C.F.R. §177.840(e) (2017年)

¹¹⁴ 49C.F.R. §177.840(k) (2017年)

確立することを勧告している。この評価では、運転手が化学物質の予期せぬ反応や流出が発生した場合に、緊急脱出用呼吸具を必要とするかどうかを判断すべきである。このような保護のための装備および訓練は、OSHAの呼吸用保護具基準に従って適切に提供されるべきである。最後に、MGPIのオペレーターが直面した問題を回避するために、これらの装備はCTMV内のすぐにアクセス可能な場所に保管する必要がある。

5.5 緊急事態計画と対応の分析

5.5.1 事故後のレビューと改善

2016年10月の本事故後、市および郡の緊急対応要員は、対応中に特定された課題を検討するため、事故後の批評を実施した。対応は概ね成功と評価されたものの、アチソン郡緊急事態管理局（ACDEM : Atchison County Department of Emergency Management）が発行した「事後報告書および改善計画（AAR & IP : After-Action Report and Improvement Plan）」では、いくつかの問題点や改善が必要な領域が指摘された。ほとんどの緊急対応要員は、事故当日における機関間の連絡および調整が良好であったことに同意していたが、事故に関する一般市民への伝達や地域病院への最新情報の提供において課題があったと指摘した。報告書では、コミュニティ通知システムCodeRED®に関する問題が挙げられた。CodeREDは、音声、テキスト、電子メール、モバイルアラートなど様々な方法で緊急事態や悪天候について警告・通知する大量通知システムのプロバイダーである¹¹⁵。アチソン郡ではCodeREDを使用しているが、事故発生時には通知が配信されなかった。CodeREDが機能しない状況下で、ACDEMおよび地域の緊急対応要員は、ソーシャルメディアや地元のラジオ・テレビを利用して緊急事態の詳細を伝えた。AAR & IPの中でACDEMが特定したように、CodeRED通知が送信されなかった原因は、システムに関する訓練不足であった。事故以降、CodeREDに関しては進展が見られている。ACDEMは、CodeREDシステムに関する追加訓練を完了し、システムが適切に機能できるようにするとともに、通知システムの周知活動を強化した。

一部の緊急対応要員は、反応に関与した化学物質について迅速に把握したものの、ガス雲に含まれる化学物質の正確な種類や濃度、また曝露による地域社会への影響については、事故発生中を通じてほとんど知らされていなかった。事後レビューの一環として、病院の職員からは、潜在的な被害者の状況や当該化学物質の除染手順に関する情報が提供されなかったとの報告があった。さらに、事故対策本部が放出された化学物質に関する情報を病院に直接伝達したのは、事故発生から約1時間半から2時間後であった。緊急対応要員は、一般市民を病院搬送前に評価するためのトリアージステーションを市内に設置した。アチソン病院は当初対応が困難であったものの、到着した患者全員を除染し治療することができた。ACDEMによれば、事故後、地域の病院と連携し、事象の規模に応じた緊急対策本部または指揮所に、代表者を配置する計画を立てた。これは、病院に伝えるべきすべての最新情報を代表者が把握できるようにするための措置である。

事故発生時、カンザス州保健環境局（KDHE : Kansas Department of Health and Environment）は、全国症候群監視プログラム（NSSP : National Syndromic Surveillance Program）を通じて症候群監視を開始した¹¹⁶。NSSPシステムは、あらゆるレベルの公衆衛生機関が即座に健康情報を伝達・共有し、危険事象や感染症の発生に対する認識を高め、対応することを可能にする¹¹⁷。KDHEの疫学者はこのシステムを使用して、反応に関与した化学物質による健康への影響を調査し、事故発生から2時間以内に州および地域の保健局や病院との情報共有を開始した¹¹⁸。

事故後、AAR & IPは、同様の事故が発生した場合には、より緊密な連携と、曝露情報を伝達する連絡窓口が必要であることを認識した。MGPIは、事故から2か月を経過しないうちに、アチソン病院の代表者を含む地域の緊急対応要員とともに訓練を実施し、Mod Bで使用される化学物質の危険性

¹¹⁵ OnSolve CodeREDの製品説明書。 <https://www.onsolve.com/solutions/products/codered/>（閲覧日：2017年10月30日）

¹¹⁶ 全国症候群監視プログラム『Chemical Spill in Kansas: Importance of Sharing Information across Sites』CDC（2017年2月）
<https://www.cdc.gov/nssp/2Fdocuments/2Fsuccess-story-chemical-spill-20170201.pdf&usg=AOvVaw2QLzSqlBWPIpKcz3akXCg>（閲覧日：2017年10月30日）

¹¹⁷ <https://www.cdc.gov/nssp/overview.html>

¹¹⁸ 全国症候群監視プログラム『Chemical Spill in Kansas: Importance of Sharing Information across Sites』CDC（2017年2月）
<https://www.cdc.gov/nssp/2Fdocuments/2Fsuccess-story-chemical-spill-20170201.pdf&usg=AOvVaw2QLzSqlBWPIpKcz3akXCg>（閲覧日：2017年10月30日）

について議論した（セクション5.5.2.1参照）。

5.5.2 州および地域の緊急事態計画

化学物質による緊急事態に対する地域の備えに関する懸念に対処し、一般市民が情報を入手できるようにすることを目的として、1986年の緊急事態計画および地域住民の知る権利法（EPCRA：Emergency Planning and Community Right-to-Know Act）は、州が化学物質による事故に備えて事前に計画を立てるための枠組みを確立した¹¹⁹。EPCRAは、(1)緊急事態計画（§§301～303）、(2)緊急放出通知（§304）、(3)危険化学物質の在庫報告（§§311～312）、(4)毒性化学物質の排出量報告（§313）の4つの部分に分けられている¹²⁰。EPCRAの各セクションで対象とされる化学物質は異なり、報告を必要とする量も異なる¹²¹。

EPCRA第301条では、各州が緊急対応に関する専門知識を持つ個人で構成される州緊急事態対応委員会（SERC：State Emergency Response Commission）を設立することを求めている¹²²。また、各SERCには緊急計画地区を設定することが求められ、それぞれの地区には地域緊急計画委員会（LEPC：Local Emergency Planning Committee）を設置しなければならない¹²³。LEPCは、選挙で選ばれた州および地方の公務員、警察、消防、民間防衛、公衆衛生、交通、環境の専門家、EPCRAの緊急事態計画要件の対象となる施設の代表者、地域団体、およびメディアで構成されていなければならない¹²⁴。SERCはLEPCの活動を監督および調整し、一般市民からの情報提供依頼の受付および処理の手順を確立するとともに、地域緊急対応計画をレビューする役割を担う。一方、LEPCは地域緊急対応計画を作成し、計画を毎年見直し、一般市民に情報を提供する¹²⁵。

地域緊急対応計画は、LEPCが利害関係者の参加を得て作成する¹²⁶。これらの計画では、(1)極めて危険な物質の施設および輸送経路の特定、(2)現場および現場外での緊急対応手順の記載、(3)計画を実施するための地域コーディネーターおよび施設コーディネーターの指名、(4)緊急通知手順の概要、(5)化学物質の流出による影響が及ぶ可能性のある地域および人口を判断する手段の説明、(6)地域の緊急設備および施設、ならびにそれらの責任者の記載、(7)避難計画の概要、(8)緊急対応要員向けの訓練プログラム（スケジュールを含む）の提供、および(9)緊急対応計画の実施方法およびスケジュールの詳細、が提供されていなければならない¹²⁷。EPCRA第311条の対象施設は、緊急・危険化学物質インベントリフォームを毎年、管轄するSERC、LEPC、および地元の消防署に提出する必要がある¹²⁸。施設は、Tier IまたはTier IIのインベントリフォームを提出する¹²⁹。Tier Iインベントリフォームに含まれる情報は、(1)前年中の任意の時点で施設内に存在した各カテゴリーの危険化学物質の最大量の推定値（範囲で表記）、(2)各カテゴリーの危険化学物質に関する1日あたり平均量の推定値（範囲で表記）、(3)各カテゴリーの有害化学物質の一般的な保存場所、を含む¹³⁰。Tier IIインベントリフォームもほぼ同じ情報を含むが、危険カテゴリーごとではなく化学物質ごとに情報を記載する

¹¹⁹ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年11月2日）

¹²⁰ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年11月2日）

¹²¹ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年10月31日）

¹²² 42U.S.C. §11001 (1986)

¹²³ 42U.S.C. §11001 (1986年)

¹²⁴ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年11月2日）

¹²⁵ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年11月2日）

¹²⁶ EPA. 地域緊急計画委員会. <https://www.epa.gov/epcra/local-emergency-planning-committees>（閲覧日：2017年11月2日）

¹²⁷ EPA. 地域緊急計画委員会. <https://www.epa.gov/epcra/local-emergency-planning-committees>（閲覧日：2017年11月2日）

¹²⁸ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年10月31日）

¹²⁹ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年10月31日）

¹³⁰ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年10月31日）

¹³¹。第311条および第312条に基づいて提出される情報は、SERCおよびLEPCを通じて一般市民が入手可能である¹³²。

EPCRAは緊急事態計画およびその管理において重要な機能を提供しているが、資金難から不足が生じている場合が多い。EPAが2008年に実施した調査によると、LEPCの大半は連邦政府からの技術支援やガイダンスを受けていないものの、その多くが活動を指揮する上で連邦政府による支援は「重要な役割を果たす」と報告している¹³³。LEPCの活動に対しては、米国運輸省（DOT：Department of Transportation）の危険物緊急時対応計画（HMEP：Hazardous Materials Emergency Preparedness）助成金のような連邦政府の補助金が時折提供されるものの、多くのLEPCはEPCRA報告提出に伴う州の手数料を通じてのみ直接的な資金を得ているか、資金がまったくない状態で運営されている¹³⁴。そのため、LEPCがその能力を十分に発揮できるようにするためには、利用可能な助成金やリソースを最大限に活用することが重要である。

カンザス州では、緊急事態計画・対応委員会（CEPR：Commission on Emergency Planning and Response）が州の緊急事態対応委員会として機能している。CEPRは連邦政府のEPCRA条項を実施し、州および地域の緊急対応および準備能力の向上に取り組んでいる¹³⁵。これは、地域の危険緩和計画の策定支援、訓練および演習の実施、緊急事態対応のレビューおよび改善案の提言、を通じて達成されている¹³⁶。CEPRは、緊急事態計画地区の指定、州内の105のLEPCの監督、訓練助成金の提案の調整など、様々な職務を担っている¹³⁷。

また、カンザス州緊急事態管理局（KDEM：Kansas Department of Emergency Management）はCEPRに行政支援を提供するとともに、これらの組織は共同で州内のLEPCに情報および訓練を提供している。CEPRおよびKDEMは、LEPCの職務および責任、活動例、演習例、利用しうる他のLEPC資金源に関する情報を提供するLEPCハンドブックを発行している¹³⁸。さらに、CEPRはLEPCに対して、会議でのプレゼンテーションや地域訓練活動など、様々なリソースを提供している。

5.5.2.1 アチソン郡のLEPC

緊急事態計画および対応を検討する中で、CSBは、対応に関しては緊急対応要員や一般市民にさらなる影響を与えるような問題はなかったものの、市や郡がこのような事態を想定した訓練を実施していなかったことを指摘した。アチソン消防局（AFD：Atchison Fire Department）に関して、CSBは、AFDがMGPIを対象に年次視察を実施し、MGPI従業員向けの年次消火器訓練も行っていたことを確認した。さらに、AFDは施設のスプリンクラー、安全シャワー／洗眼ステーション、非常灯、消火栓の年次検査を実施している。アチソン郡のLEPC¹³⁹に関して、CSBは、LEPCがACDEMと協力して地域の緊急対応要員向けに年間を通じて訓練や机上演習を実施していることを確認した。LEPCは3年ごとに本格的な演習を実施しているが、2016年10月の事故以前の最近の演習は主に感染症、銃乱射事件、および悪天候に重点が置かれており、化学施設での事故、より具体的には地域での未知の化学物質の流出事故に関連する演習は含まれていなかった。2019年第2四半期には機能的な危険物演

¹³¹ EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年10月31日）

¹³² EPA 『The Emergency Planning and Community Right-to-Know Act』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/epcra_fact_sheet.pdf（閲覧日：2017年10月31日）

¹³³ EPA 『2008 Nationwide Survey of Local Emergency Planning Committees (LEPCs): Final Report』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-08/documents/2008_lepcsurv.pdf（閲覧日：2017年12月5日）

¹³⁴ EPA 『2008 Nationwide Survey of Local Emergency Planning Committees (LEPCs): Final Report』 https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-08/documents/2008_lepcsurv.pdf（閲覧日：2017年12月5日）

¹³⁵ カンザス州緊急事態管理局、緊急事態計画・対応委員会. <http://www.kansastag.gov/KDEM.asp?PageID=408>（閲覧日：2017年12月4日）

¹³⁶ カンザス州緊急事態管理局、緊急事態計画・対応委員会. <http://www.kansastag.gov/KDEM.asp?PageID=408>（閲覧日：2017年12月4日）

¹³⁷ カンザス州緊急事態管理局、緊急事態計画・対応委員会. <http://www.kansastag.gov/KDEM.asp?PageID=408>（閲覧日：2017年12月4日）

¹³⁸ カンザス州緊急事態管理局『Kansas LEPC Handbook』 http://kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/2014%20LEPC%20Handbook%209%20apr%2014.pdf（閲覧日：2017年10月30日）

¹³⁹ アチソン郡のLEPCはACDEMによって運営されている。

習が予定されている。

事故後、MGPIは地域の緊急事態計画担当者および対応者との連携を強化した。2016年12月12日の週に、MGPIはMod Bに緊急対応要員を招き、そこで使用・保管されている化学物質に関する訓練を実施し、それらの化学物質の特性と危険性について議論した。この訓練は3回に分けて行われ、AFD、アチソン郡LEPC、およびアチソン病院の関係者が参加した。この訓練でMGPIは、Mod Bで使用されるすべての化学物質に関する混合禁忌マトリクス、緊急対応計画、および施設の地図（バルクタンクおよび保管化学物質の位置を含む）のコピーを提供した。また、この会議の中で、事故以降にMod Bに配備された新しいPPEも紹介された。さらに、2017年10月6日、MGPIはカンザス州ハイアワサでKDEMが主催した机上演習に参加した。この演習では、鉄道車両の脱線による塩素ガスの漏出を想定したシミュレーションが行われた。アチソン郡LEPCのメンバーもこの演習に参加した。

MGPIが地域の緊急計画担当者および対応者との連携を強化したのと同様に、緊急対応要員および施設側もアチソン郡LEPCへの参加を増加させた。2016年4月のLEPC名簿には20名が記載されていたが、2017年3月の最新の名簿には、法執行機関、EMS（緊急医療サービス）、消防およびMGPIの代表者を含む26名が記載されている。2017年3月22日に開催されたLEPC会議では、委員会メンバーによりMGPIで発生した事故を題材とした机上演習が実施された。地域の緊急対応部門は、その日の出来事について議論するとともに、成功点や将来の改善点について話し合った。また、MGPIは、緊急対応計画について毎年末に議論するよう要請した。LEPCの会議は、2017年5月、7月、および8月にも開催された。

CSBは、アチソン郡LEPCが、極めて危険な化学物質を生産または保管する施設によって提出されるEPAリスク管理計画をレビューしておらず、訓練対象にしていないことを確認した。さらに、CSBは、アチソン郡内にはEPAリスク管理プログラム（RMP：Risk Management Program）の対象となる十分な量の危険化学物質を保管している施設がMGPI以外に4つ存在すると結論づけた。KDEMは、事前計画や訓練のために施設のリスク管理計画を州から取得することをLEPCに奨励している¹⁴⁰。しかし、アチソン郡は事故前にリスク管理計画を取得またはレビューしていなかった。MGPIが提出したリスク管理計画には、EPAのRMPの対象外である次亜塩素酸ナトリウムや硫酸は含まれていなかった。しかし、CSBは、LEPCが施設のリスク管理計画をレビューし、それらの施設で処理および保管されている化学物質の敷地外流出に対する訓練を行うことで、有用な情報を得られる可能性があるかと判断した。

5.5.3 HMEP助成金プログラム

LEPCは通常、州の手数料やその他の民間資金源を通じてのみ資金を受け取るため、LEPCおよびSERCは連邦助成金の機会を活用して緊急事態計画および訓練プログラムを支援・強化する必要がある¹⁴¹。PHMSAが提供するHMEP助成金プログラムは、危険物緊急事態計画および訓練を強化するための財政的および技術的支援とガイダンスを提供している¹⁴²。HMEP助成金は、計画用と訓練用の2つがある¹⁴³。計画助成金の目的は、EPCRAに基づいて緊急事態計画を策定、改善、実施することである。訓練助成金は、危険物事故に対応する公的セクターの職員の訓練に対する資金提供である。州、準州、部族国家は、HMEP助成金を受け取るための機関を指定することができる¹⁴⁴。カンザス州

¹⁴⁰ カンザス州緊急事態管理局『Kansas LEPC Handbook』 pp 35.

http://kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/2014%20LEPC%20Handbook%209%20apr%2014.pdf（閲覧日：2017年10月31日）. KDEM『How LEPCs can use RMP tools when planning for chemical accidents』（2016年7月）

http://kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/Risk%20Management%20Program-EPA%20Ndiaye%20and%20Brewer.pdf（閲覧日：2017年10月31日）

¹⁴¹ EPA『2008 Nationwide Survey of LEPCs』 pp 26. https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-08/documents/2008_lepcsurv.pdf（閲覧日：2017年11月1日）

¹⁴² 危険物補助金プログラムは、DOTが危険物の荷送人および運送会社から徴収する登録料によって賄われている。『PHMSA Hazardous Materials Grants Program』 <https://www.phmsa.dot.gov/grants/hazmat/hazardous-materials-grants-program>（閲覧日：2017年10月31日）

¹⁴³ 『PHMSA Hazardous Materials Grants Program』 <https://www.phmsa.dot.gov/grants/hazmat/hazardous-materials-grants-program>（閲覧日：2017年10月31日）

¹⁴⁴ 『PHMSA Hazardous Materials Grants Program』 <https://www.phmsa.dot.gov/grants/hazmat/hazardous-materials-grants-program>（閲覧日：2017年10月31日）

では、活動中で適格なLEPCからプロジェクト提案をKDEMが募集し、PHMSAに助成金申請を提出している¹⁴⁵。PHMSAが助成金を供与すると、KDEMは助成金を配分し、資金の使用状況を監視する¹⁴⁶。2014～2015会計年度には、カンザス州は368,000ドルの助成金を受け取った¹⁴⁷。KDEMは、LEPCへの直接的な資金配分、地元対応者の利益となる演習および訓練計画への資金提供、または大学および訓練機関を通じた州および地域の危険物訓練への資金提供を行うことができる¹⁴⁸。HMEP助成金プログラムは、危険物輸送事故を防止するための計画および訓練に対して優先順位を指定している¹⁴⁹。これには、特定の管轄区域内の危険物リスクのレベルを判断するための適切なハザード評価の実施、郡の緊急対応能力を試験して訓練や計画立案のギャップを特定するための演習の実施が含まれる¹⁵⁰。適格な訓練活動には、毒性化学物質の流出など、化学物質特有の対応訓練が含まれる¹⁵¹。計画活動には、危険物の机上演習および定置の施設向けの危険物防災活動が含まれる¹⁵²。

アチソン郡LEPCは、地域の税収から資金が提供されている。CSBの調査によれば、アチソン郡LEPCは2007年以降、HMEP助成金を計画や訓練の目的で直接申請または受給していない。2007年には、郡の緊急対策計画を更新するための助成金を受け取った。また、2013年には、州全体の危険物輸送順序のパターンを特定するために行った、12郡における物品の地域流動調査申請（申請は他の郡）に含まれていた。KDEMは、HMEP助成金を活用して州および地域レベルでの活動を実施しており、LEPCや緊急対応要員がこれらに参加できるようにしている。CSBは、アチソン郡LEPCが計画および訓練活動を拡充するための助成金を申請することで利益を得られる可能性があると判断した。そのため、CSBは、アチソン郡LEPCが州および地域レベルで利用可能な訓練および情報資源をより効果的に活用し、危険物関連の緊急事態に備えるための資金を提供する助成金を州と協力して申請するべきであると結論付けている。さらに、LEPCは郡内の化学施設と協力して事前計画および訓練を増やし、地域社会が将来の事故に備えられるようにするべきである。

6.0 荷下ろし作業における類似事故

CSBの調査によれば、過去数年間において、荷下ろし中の誤混合に関連する類似の事故が原因で多数の負傷者が発生している。PHMSAは2003年から2007年の事故データをレビューした結果、報告義務が課されている危険物の移動に付随する積み込みおよび荷下ろし作業中に発生したハイウェイ事故¹⁵³が多数発生していることを確認した¹⁵⁴ ¹⁵⁵。CSBはPHMSAに対し、類似の事故に関する情報を要請し、その提供を受けた。その一例として、フロリダ州ホリーヒルで発生した事故が挙げられる。この事故はMGPI事故に類似しており、次亜塩素酸ナトリウムを配送する運送会社が関与していた。

CSBはPHMSAの2014年から2017年までの事故データを検討し、間違ったタンクにホースを接続した

¹⁴⁵ 『Kansas HMEP Grant Guideline』 KDEM (2016年) pp 3, 5. http://www.kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/HMEP%202015-2016%20Grant%20Guide%20.pdf (閲覧日: 2017年11月1日)

¹⁴⁶ 『Kansas HMEP Grant Guideline』 KDEM (2016年) pp 5, 17. http://www.kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/HMEP%202015-2016%20Grant%20Guide%20.pdf (閲覧日: 2017年11月1日)

¹⁴⁷ 『Kansas HMEP Grant Guideline』 KDEM (2016年) pp 5. http://www.kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/HMEP%202015-2016%20Grant%20Guide%20.pdf (閲覧日: 2017年11月1日)

¹⁴⁸ 『Kansas HMEP Grant Guideline』 KDEM (2016年) pp 5. http://www.kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/HMEP%202015-2016%20Grant%20Guide%20.pdf (閲覧日: 2017年11月1日)

¹⁴⁹ 『Kansas HMEP Grant Guideline』 KDEM (2016年) pp 5. http://www.kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/HMEP%202015-2016%20Grant%20Guide%20.pdf (閲覧日: 2017年11月1日)

¹⁵⁰ 『Kansas HMEP Grant Guideline』 KDEM (2016年) pp 7. http://www.kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/HMEP%202015-2016%20Grant%20Guide%20.pdf (閲覧日: 2017年11月1日)

¹⁵¹ 『Kansas HMEP Grant Guideline』 KDEM (2016年) pp 9. http://www.kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/HMEP%202015-2016%20Grant%20Guide%20.pdf (閲覧日: 2017年11月1日)

¹⁵² 『Kansas HMEP Grant Guideline』 KDEM (2016年) pp 10-11. http://www.kansastag.gov/AdvHTML_doc_upload/HMEP%202015-2016%20Grant%20Guide%20.pdf (閲覧日: 2017年11月1日)

¹⁵³ PHMSAの規制は危険物の商業輸送に適用され、輸送に伴う積み込み、荷下ろし、保管を含む。49 C.F.R. §171.1(c) (2017) では、輸送機能を、(1)移動、(2)危険物の移動に付随する積み込み、(3)危険物の移動に付随する荷下ろし、(4)危険物の移動に付随する保管、の4つの領域に分けている。

¹⁵⁴ PHMSAの規制では、49 C.F.R. §171.16 (2017) に記載の通り、危険物の事故に関する詳細な書面報告が求められている。また、49 C.F.R. §171.15 (2017年) で規定された閾値を満たす重大な事故については、即時報告が義務付けられている。

¹⁵⁵ PHMSAのデータとガイダンスに関する詳細については、セクション8.2.1「PHMSAのガイダンス」を参照。

ことによる荷下ろし事故が頻繁に発生していることを確認した。ただし、これらの事故の多くは混合可能な物質間で発生しており、タンクの過充填という結果になることが多かった。MGPI事故のように、タンク接続のミスにより混合禁忌の物質が誤混合されて化学反応を引き起こす事故は比較的稀である。しかしながら、2014年1月1日以降¹⁵⁶、MGPI事故のように混合禁忌の物質が誤って混合され、化学反応が発生した事故は8件発生している。これらの事故では44人が負傷し、846人が避難を余儀なくされた（表3）。

ホリーヒル事故

2015年にフロリダ州ホリーヒルで発生した、MGPI事故に類似した事故について、米国パイプライン・危険物安全局（PHMSA：U.S. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration）が調査を行った。PHMSAの調査では、タンクトラックの運転手が次亜塩素酸ナトリウムを搭載したトラックの配送ホースを、硫酸を貯蔵する2つのタンクへの充填ラインに接続したことが明らかとなった。この2つの物質が混ざり合うことでガスが発生し、オペレーターと数名の地域住民を巻き込む事態となった。

DOTの調査チームは、「貨物タンクの荷下ろしに関する同社の標準作業手順および関連訓練は、49 C.F.R. §177.834(i)で規定されている荷下ろし中の立ち会い要件に違反している」と結論づけた。この手順は、貨物タンクと固定貯蔵タンクのバルブを開いて液体の流れを開始した後、貨物タンクの後部を離れ、トラックの運転席に登ってエンジンを始動し、空気圧を上げるという流れである。DOTの調査チームは、トラックの運転席に座ると貨物タンクの後部や配送ホースから約40フィート（約12メートル）離れた場所に位置することになり、荷下ろし作業中のホースや作業の全体を視野に捉えることができないと結論付けた。その結果、接続部分で異常が発生しても、運転席から戻るまで運転手はそれに気づかない可能性があった。ホリーヒルでの事故では、事態が制御不能に陥った後に、運転手が車両後部に戻る際に化学物質のガス雲の中に入ってしまったとされている。

表3：PHMSAデータベースに登録された誤混合を伴う事故（出典：CSB）

PHMSA合計：（2014年1月1日 ～2017年6月9日）	
事故：	8件
負傷者：	44人
入院：	2人
避難した人数：	846人

データの分析から、これらの事故は定期的に発生しており、特定の産業に限定されないことが明らかになった。例えば、水処理施設、発電所、公共および民間のプール、その他の産業施設で事故が発生している。こうした事故は、激しい化学反応を引き起こし、有害ガスが大気中に放出される可能性があるため、負傷者や避難者を生じさせる事態につながりかねない。荷下ろし中の誤混合は、複数種類の化学物質を受け入れる施設であればどこでも発生する可能性がある。CSBは、本ケーススタディから得られた重要な教訓と勧告を、認知度の高い業界ガイダンスや規制当局のガイダンス

¹⁵⁶ 2017年6月9日まで。

に追加採用することで、同様の事故を防止できると結論付けている。

7.0 業界団体とガイダンス

7.1 塩素協会

塩素協会（CI：Chlorine Institute）は、クロールアルカリ系¹⁵⁷の化学物質の生産、流通、使用に焦点を当てた技術系の業界団体である¹⁵⁸。CIの会員には、塩素の生産者、包装会社、配送会社、利用者、および供給者が含まれる。CIの北米における生産者会員は、アメリカとカナダにおける総塩素生産能力の大部分を占めている。

CIは、その塩素管理プログラムの一環として、塩素を生産、流通、または使用する会員に対し、毎年「会員の安全およびセキュリティに関する誓約書」および「パンフレット認証」への署名を求めている。これにより、会員は安全とセキュリティを推進・実践することを誓約し、塩素管理に関するポリシー（安全およびセキュリティ監査、クロールアルカリ運用のハザード評価を含む）を実践し、遵守していることを証明する¹⁵⁹。さらに、CIはクロールアルカリ業界および緊急対応要員向けに、多くの安全リソースおよび技術パンフレットを開発し、ガイドライン、推奨プラクティス、その他の情報を提供している。CSBはMGPIの設備およびプロセスに関連するパンフレットをレビューし、これらのパンフレットに記載された情報を自主的に遵守していれば、事故の防止または緩和が可能であったであろうと結論付けた。

CI Pamphlet 96『次亜塩素酸ナトリウムマニュアル』は、次亜塩素酸ナトリウムに関する情報を提供することを目的としたガイダンス文書であり、その特性、製造、安全な取り扱い、包装、輸送および使用、ならびにこれらの分野に関連する規制について記載している¹⁶⁰。Pamphlet 96の重要な部分の一つが付録D「Guidance to Avoid Accidental Mixing」（偶発的な混合を防ぐためのガイダンス）であり、これは以前の版に新たに追加された内容である。付録Dで推奨されている荷下ろし手順には、「荷下ろしの接続部および配管が正しいことを確認する（ラベルや配管経路などを確認）」、「別の人による接続確認を行う」、「監視および立会いに関する適用規則に従う」が含まれる¹⁶¹。さらに、付録Dでは以下を推奨している。

- 次亜塩素酸ナトリウムの荷下ろし接続部を、混合禁忌製品の積み込み・荷下ろし接続部から離れた場所に設置すること。
- 荷下ろし担当者が接続ポイントから受入タンクまでの製品配管を追跡できるように、次亜塩素酸ナトリウムの配管は短く、見やすく、マーキングをできる限り明確にすること。
- 次亜塩素酸ナトリウム専用の荷下ろしラインを設け、混合禁忌の問題を回避すること。
- 適切な確認の前にタンクへの荷下ろしが行われることのないよう、ロックアウトシステムの使用を検討すること。

前述のとおり、混合禁忌の関係にある化学物質であるにもかかわらず、MGPIの次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインと硫酸の充填ラインはわずか18インチ（約45cm）しか離れていなかった。また、充填ライン接続ポイントに最も近い次亜塩素酸ナトリウム配管のマーカ―は、配管への取り付けが緩く、上下逆に見える状態だった。配管マーカ―が、接続ポイント部分や、すぐ下流のエルボー部分に配置されていれば、配管をたどりやすかったと思われる。さらに、Pamphlet 96では触れられていないが、次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインの接続ポイントにも、CTMVホースの受け口にも、誤接続を防ぐために同一のサイズや形状を避けるといった措置はなされていなかった。また、MGPIは荷下ろしエリアの充填ラインのキャップを開けるために南京錠と鍵を使用していたが、事故発生時には次亜塩素酸ナトリウムの充填ラインの鍵はかかっていなかった。最後に、MGPIもハークロスも、

¹⁵⁷ クロールアルカリ製品とは、塩素、水酸化ナトリウム、水酸化カルシウム、次亜塩素酸ナトリウム、無水塩化水素、塩酸の総称である。

¹⁵⁸ 塩素協会, <https://www.chlorineinstitute.org/about-us/>（閲覧日：2017年9月12日）

¹⁵⁹ 塩素協会, <https://www.chlorineinstitute.org/hess/hess-overview/>（閲覧日：2017年11月15日）

¹⁶⁰ 塩素協会, Pamphlet 96『Sodium Hypochlorite Manual』第4版, 塩素協会: バージニア州アーリントン（2011年10月）

¹⁶¹ 塩素協会, Pamphlet 96『Sodium Hypochlorite Manual』第4版, 塩素協会: バージニア州アーリントン（2011年10月）

正しく接続されているか否かを確認していなかった。もしMGPIが事故前に自主的にPamphlet 96に従っていたら、事故を防止できたか、その発生可能性を低くできたと思われる。

CIのPamphlet 64『クローラルカリ、次亜塩素酸ナトリウム、および塩化水素施設向け緊急対応計画』は、クローラルカリ製品の偶発的な流出時などに使用される緊急対応計画の基本部分となっている¹⁶²。その他、雇用主が脱出用呼吸具を提供し、建物の換気システムの設計および運用においては、建物内の職員に対する流出の影響を最小限に抑える措置を検討することを推奨している¹⁶³。セクション5.4で説明されているように、事故発生時にオペレーターが脱出用呼吸具に容易にアクセスできず、呼吸用保護具なしで避難しなければならなかったことが問題となった。また、セクション5.3で述べられているように、Mod Bの制御室の換気システムは職員をプルームから保護できなかった。MGPIが事故前から自主的にPamphlet 64の指針に従っていたら、誤混合によって引き起こされた結果の深刻度合いを軽減できた可能性がある。次亜塩素酸ナトリウムはCI会員企業が取り扱う化学物質の一つであるため、CSBは調査完了後、CIと協力して本ケーススタディから得られた重要な教訓を周知する予定である。

7.2 全国化学品流通業協会

全国化学品流通業協会（NACD：National Association of Chemical Distributors）は、化学品流通会社とそのサプライチェーンパートナーの国際的な協会である¹⁶⁴。会員は、化学製品を加工、配合、混合、再包装、保管、輸送、および販売する企業で構成され、製品を750,000以上の顧客に提供している¹⁶⁵。NACDの約450の会員企業および提携企業は、米国における化学物質流通能力の85%以上を占めている¹⁶⁶。

NACDの会員企業となるには一定の要件を満たす必要があるが、その一つがNACDの「Responsible Distribution® プログラム」への参加である¹⁶⁷。このプログラムでは、会員は健康、安全、環境保護に関するパフォーマンスの、継続的改善に取り組むことが求められている¹⁶⁸。NACDは、第三者による検証を必須としている、環境、健康、安全およびセキュリティプログラムを通じてこれを達成している¹⁶⁹。NACDのResponsible Distributionプログラムの認証は、各NACD会員および化学物質取扱提携企業¹⁷⁰の会社施設の20%を抽出して検証することとなっている¹⁷¹。現地でのプログラム検証は、「Responsible Distributionプログラム基本指針」および「管理実践規範」に基づく仕様書に照らして、独立した第三者の検証者によって行われる¹⁷²。この検証に少なくとも3年に一度合格することが、NACDの会員資格を継続する条件となっている¹⁷³。Harcros Chemicals Inc.（ハークロス）は、NACDのResponsible Distributionプログラムの認証を受けた会員である¹⁷⁴。そのため、ハークロスの製造施設および流通施設は、Responsible Distributionの現地調査の対象となっている¹⁷⁵。

2002年、CSBは「反応性ハザード管理の改善」調査研究に基づき、NACDに対する勧告を発表した¹⁷⁶。

¹⁶² 塩素協会, Pamphlet 64 『Emergency Response Plans for Chlor-Alkali, Sodium Hypochlorite and Hydrogen Chlorite Facilities』第7版, 塩素協会: バージニア州アーリントン (2014年11月)

¹⁶³ 塩素協会, Pamphlet 64 『Emergency Response Plans for Chlor-Alkali, Sodium Hypochlorite and Hydrogen Chlorite Facilities』第7版, 塩素協会: バージニア州アーリントン (2014年11月)

¹⁶⁴ 全国化学品流通業協会. <https://www.nacd.com/about/about/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁶⁵ 全国化学品流通業協会. <https://www.nacd.com/about/about/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁶⁶ 全国化学品流通業協会. <https://www.nacd.com/about/about/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁶⁷ 全国化学品流通業協会. <https://www.nacd.com/about/about/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁶⁸ 全国化学品流通業協会. <https://www.nacd.com/about/about/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁶⁹ 全国化学品流通業協会 『Responsible Distribution』 <https://www.nacd.com/rd/about/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁷⁰ 化学物質取扱提携企業の例としては、公共倉庫や運送会社が挙げられる。

¹⁷¹ 全国化学品流通業協会 『Third Party Verification』 <https://www.nacd.com/rd/about/verification/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁷² 全国化学品流通業協会 『Third Party Verification』 <https://www.nacd.com/rd/about/verification/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁷³ 全国化学品流通業協会 『Third Party Verification』 <https://www.nacd.com/rd/about/verification/> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁷⁴ 『Harcros Distribution』 <http://harcros.com/distribution> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁷⁵ 『Harcros Distribution』 <http://harcros.com/distribution> (閲覧日: 2017年12月4日)

¹⁷⁶ CSB 『Improving Reactive Hazard Management』 <http://www.csb.gov/assets/1/19/ReactiveHazardInvestigationReport.pdf> (閲覧日: 2017年9月19日)

この調査研究でCSBは、1980年から2001年の間に発生した反応性ハザードを伴う167件の重大事故のうち、50%以上がOSHAおよびEPAの既存のプロセス安全基準の対象とはなっていない化学物質に関係するものであり、30%が化学物質を大量に使用または消費する施設で発生したことを明らかにした¹⁷⁷。これを受け、CSBはNACDに対し、「既存のResponsible Distributionプロセスを拡大し、反応性ハザード管理を重点分野として含めること」、および「最低限、混合禁忌の化学物質の偶発的な混合によるハザードを含む、保管および取り扱いを対象とする改定を確実に実施すること」を勧告した¹⁷⁸。この勧告に応じてNACDは、2003年にResponsible Distributionプログラムの管理実践規範を改定し、会員企業の施設での化学物質の積み込みおよび荷下ろし手順に、混合禁忌の化学物質の偶発的混合によるハザードへの認識向上などを盛り込んだ。2016年のMGPI事故当時、ハークロスの荷下ろし手順では、不適切な積み込みや荷下ろしによる偶発的混合のリスクを最小限に抑えるため、正しい接続を確実にするための検証が求められていた。

NACDによる手順確認の変更は、Responsible Distributionプログラムに参加する会員企業およびその化学物質取扱提携企業にのみ適用されるものであった。しかし、NACDは、不注意による化学物質混合のハザードへの認識を高めるための情報を顧客（化学物質を受け取る施設等）も受け取れるよう、会員企業がそのためのプロセスを確立していることを確認できる内容に、管理実践規範も改定した。この確認プロセスの一環として、会員企業は、積み込みおよび荷下ろし、化学物質の保管、混合禁忌の化学物質混合のハザードに関するガイダンスおよび情報が、顧客や倉庫会社、運送会社といった下流の利用者にどのように共有されているかを説明しなければならない。

下流の利用者はResponsible Distributionプログラムの対象ではないものの、NACDは様々なイベント、会議、およびウェビナーを開催し、それらを通じて下流の利用者も情報共有や得られた教訓の恩恵を受けることができる。このため、CSBは本ケーススタディの公表後、NACDと協力して、教訓や推奨プラクティスがNACDの会員企業だけでなく、NACDの活動に参加する非会員の配送会社や下流の利用者にも共有されるようにする予定である。

8.0 規制監督とガイダンス

CSBは、この事故への規制の適用性を判断するために、様々な機関の各種規制をレビューした。OSHAとPHMSA、この2つの機関による規制が本ケーススタディ議論の対象に含まれる。OSHAは、この事故に起因する調査を実施し、完了した。OSHAがMGPIとハークロスに対して指摘した違反の多くは、CSBの調査結果に一致している。その他の違反については、30%硫酸および次亜塩素酸ナトリウム以外の化学物質が関与しているという点でCSBの調査範囲外であるが、ここでは、MGPIが事故前に自主的に実施したプロセスハザード分析（PHA：Process Hazard Analysis）に関する洞察を提供するため、ここでの説明には含めている。前述のとおり、PHAはOSHAのPSM基準で義務付けられているが、事故に関与した2種類の化学物質については、その基準の対象外であるため、MGPIによって実施されたものは自主的なものだった。CSBはまた、PHMSAの規制もレビューした。これに関してCSBは、PHMSAのHMRとその規制の経緯を調査し、特に混合禁忌の化学物質の誤混合に関する部分は適切であることを確認した。このため、CSBはHMRおよび関連するPHMSAのガイダンスをこの事故に関連付けながらレビューした。

8.1 OSHA

OSHAにはバルク荷下ろし作業に関する特定の基準はないものの、化学物質の安全な取り扱いに適用される複数の規則が存在する。例えば、OSHAの「ハザードコミュニケーション基準」では、雇用主に対し、職場で取り扱いや保管が行われる危険物質に関する効果的なコミュニケーションおよび訓練を従業員に提供することを求めている¹⁷⁹。これには、反応性などの化学的特性や、従業員が化学物質への暴露から身を守るための対策が含まれる¹⁸⁰。

¹⁷⁷ CSB 『Improving Reactive Hazard Management』 <http://www.csb.gov/assets/1/19/ReactiveHazardInvestigationReport.pdf>（閲覧日：2017年9月19日）

¹⁷⁸ CSB 『Improving Reactive Hazard Management』 <http://www.csb.gov/assets/1/19/ReactiveHazardInvestigationReport.pdf>（閲覧日：2017年9月19日）

¹⁷⁹ 29CFR 1910.1200(h)

¹⁸⁰ 29CFR 1910.1200(h)(3)(ii), 1910.1200(h)(3)(iii)

Mod Bプロセスでは、酸化プロピレンとオキシ塩化リンという2種類の化学物質を使用しており、これらはOSHAのPSM基準の対象となっている。この基準には、危険性の高い化学物質の取り扱いに伴うハザードを管理するための要件が含まれている。次亜塩素酸ナトリウムと30%硫酸は対象化学物質ではないが、MGPIは自主的に、対象外である化学物質の荷下ろし設備や作業も含め、Mod Bプロセス全体にPSMの要素の多くを適用した。PSMの重要な規定のひとつにPHAがあり、潜在的なプロセスのリスクと、それを軽減するための安全対策を特定することを従業員に求めている。事故前のMod Bに対して2015年3月に実施されたPHAでは、MGPIはオペレーターの実行ミスや化学製品の「不適切な発送」により、誤った化学物質が次亜塩素酸ナトリウムのバルクタンクに移送される可能性を確認していた。MGPIは、誤った化学物質の移送を防ぐための一般的な管理上の安全対策、例えばトレーニングや手順などを措置していたが、そのほとんどは、このケーススタディで説明されている2016年10月の事故を防ぐことも軽減することもできなかった。

この事故の後、OSHAはMGPIに対し、事故に関与したプロセスや活動の規制遵守状況、およびMod BでPSM対象となる化学物質のPSM適用状況に対する検査を実施した。また、OSHAは、MGPI施設内における、ハークロスへの要求事項に対する遵守状況検査も実施した。2017年4月19日、OSHAはMGPIとハークロスに対して違反通告を出した。MGPIに課された違反の一部は、OSHAのPSM基準に関連するものであり、OSHAのPSM対象化学施設のための国家重点プログラム（NEP：National Emphasis Program）でカバーされる内容であった¹⁸¹。セクション5.3で述べられているように、PSM違反の1つは、施設立地に関するPHA要件に関連するものであり、具体的には、Mod Bビル内の制御室を含む有人構造物に関するものであった。

他のOSHA違反には、Mod Bの制御室に十分な数の非常口が設置されていなかったこと、緊急時対応計画の要件に違反していたこと（MGPIのオペレーターが書面で定められた計画に従って呼吸具を取り出せなかったこと）、および硫酸の荷下ろしの標準作業手順に従うために必要とされているハザードコミュニケーション訓練が従業員に提供されていなかったことが含まれる。2017年5月10日、OSHAとMGPIは非公式和解合意に署名し、一部の指摘事項および罰則が修正または撤回された。

ハークロスは、OSHAのハザードコミュニケーション訓練要件に基づく訓練の不足により、従業員が化学物質の危険にさらされないようにする義務を怠ったとして違反を通告された。この違反では、ハークロスの運転手が、荷下ろし作業中の化学物質の誤混合を防止するための適切な措置（作業手順）や、化学物質が漏出した際の緊急時の手順に関する訓練を受けていなかったことが指摘された。ハークロスは2017年5月8日、OSHAと非公式和解合意に達した。

8.2 PHMSA

PHMSAは、危険物の安全な輸送を促進し、人々と環境を保護することを目的として、2004年にDOTの機関として設立された¹⁸²。PHMSAは、国家政策を策定し、基準を設定および執行し、教育を行い、事故防止のための研究を実施している¹⁸³。PHMSA内の危険物安全局は、HMRを執行しており¹⁸⁴、これらの規則は一般的に、鉄道車両、航空機、自動車、船舶を通じて州間、州内、外国の運送会社によって輸送される危険物に適用される¹⁸⁵。ハークロスは、MGPIやその他の施設に自動車を使用して危険物を配送しているため、HMRの対象となる。PHMSAはまた、輸送に伴う積み込み、荷下ろし、保管を含む、商業的な危険物の輸送についても規制している¹⁸⁶。

PHMSAは、CSBに対し、類似事故に関する最近のPHMSAの調査の記録、荷下ろし事故に関するガイダンス文書、および荷下ろし事故の徹底的な調査を可能にするその他の情報を提供した。荷下ろしと混合禁忌の化学物質の誤混合を伴う同様の事故については、セクション6.0で取り上げている。

¹⁸¹ 前述の通り、OSHAのPSMは、Mod Bエリアで閾値以上の量で保管されている2種類の化学物質、(1)酸化プロピレン、(2)オキシ塩化リンに適用される。OSHAのPSM基準に関する詳細情報は、https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9760を参照のこと。PSM対象化学施設に関するNEPを含むOSHAのNEPに関する情報は、<https://www.osha.gov/dep/neps/nep-programs.html>を参照のこと。

¹⁸² PHMSA 『Mission, Vision and Goals』 <https://www.phmsa.dot.gov/about/mission>（閲覧日：2017年9月13日）

¹⁸³ PHMSA 『Mission, Vision and Goals』 <https://www.phmsa.dot.gov/about/mission>（閲覧日：2017年9月13日）

¹⁸⁴ 49C.F.R. Parts 171-180（2017年）。HMR、特に立ち会い要件に関するより詳細な説明については、セクション5.1.3を参照のこと。

¹⁸⁵ 49C.F.R. §171.1(c)（2017）

¹⁸⁶ 49C.F.R. §171.1(c)（2017）

8.2.1 PHMSAのガイダンス

セクション6.0で述べたように、荷下ろし作業中に混合禁忌の化学物質が誤混合される同様の事故は、比較的頻繁に発生している。PHMSAは、2003年から2007年の間に発生した、道路および鉄道で輸送された危険物のバルク積み込みおよび荷下ろしに関与した重大事故のデータを調査した。その結果、事故原因が報告された事故のうち33%は積み込みまたは荷下ろし作業時の誤操作に起因することが判明した。これらの事故原因の例としては、「作業中の立ち会いや監視を怠ったこと、バルブを誤った位置に設定したこと、ホースやその他の機器を不適切に接続したこと」などが挙げられる¹⁸⁷。PHMSAはまた、「重大な事故の90%は道路輸送での積み込み作業中または荷下ろし作業中に発生しており、これらの事故の約75%はCTMVが関与している」ことも確認した¹⁸⁸。

バルク荷下ろし事故の頻発と、CSBおよびNTSBによる安全勧告を受けて、2011年にPHMSAはHMRを改正する規則制定案通知（NPRM：Notice of Proposed Rulemaking）を発行した¹⁸⁹。この改正案では、CTMVの積み込みや荷下ろしに従事する各作業員に対して、リスク評価を実施し、その結果に基づいて安全な作業手順を策定し、実施することが義務付けられる予定であった¹⁹⁰。PHMSAは、これらの作業を行う人員に対する追加の訓練および資格要件も提案した¹⁹¹。さらに、この規則案では、MGPIのような施設に対して、CTMVに搭載されたホースの保守点検プログラムを現行基準に一致した形で実施することも義務付けることになっていた¹⁹²。しかし、コメントを受け取り補足的な政策分析を行った後、PHMSAは、規則制定を通じたバルク積み込みおよびバルク荷下ろし作業の安全リスクに対処するアプローチについて再検討した。結果、規則制定の代わりに、PHMSAは啓発活動を行うこととし、現行の規制と併せてバルク積み込みおよびバルク荷下ろしに関する指針を提供するガイダンス文書¹⁹³を発行することを決定した。

2014年、OSHAおよびEPAからの助言を受け、PHMSAは『貨物タンク自動車（CTMV：Cargo Tank Motor Vehicle）の積み込み／荷下ろし作業：推奨されるベストプラクティスガイド』（PHMSAガイド）を発行した¹⁹⁴。PHMSAは同時に、化学物質運送用トラックの運転手向けの参考資料として、2ページのポケットガイド（PHMSAポケットガイド）も発行した。

PHMSAガイドは、訓練、リスク評価および監査の実施、およびそれら評価と監査に基づく明確な作業手順の実施に関する様々なベストプラクティスを提供している¹⁹⁵。PHMSAは、運送会社または施設に雇用されている危険物取扱者の全員に対して、安全な積み込み／荷下ろし手順の理解度を測るために毎年評価を行うことを推奨している¹⁹⁶。また、従業員を観察・評価し、その業務遂行に対してフィードバックを提供すべきであるとした¹⁹⁷。CSBの調査によると、MGPIもハークロスも、荷下

¹⁸⁷ 連邦官報第76巻『Hazardous Materials: Cargo Tank Motor Vehicle Loading and Unloading Operations』 pp. 13313, 13315（2011年3月11日）。分析は、事故報告書で報告された事故原因を反映している。すべての事故報告書が事故原因を報告しているわけではなく、報告書に事故原因が示されていない場合、PHMSAは事故原因を想定していない。約39%は事故原因を含んでいなかった。

¹⁸⁸ 連邦官報第76巻『Hazardous Materials: Cargo Tank Motor Vehicle Loading and Unloading Operations』 セクションIII-A, pp. 13313, 13315（2011年3月11日）

¹⁸⁹ 連邦官報第76巻『Hazardous Materials: Cargo Tank Motor Vehicle Loading and Unloading Operations』 セクションII, pp. 13313, 13315（2011年3月11日）

¹⁹⁰ 連邦官報第76巻『Hazardous Materials: Cargo Tank Motor Vehicle Loading and Unloading Operations』 pp. 13313, 13313（2011年3月11日）

¹⁹¹ 連邦官報第76巻『Hazardous Materials: Cargo Tank Motor Vehicle Loading and Unloading Operations』 pp. 13313, 13313（2011年3月11日）

¹⁹² 連邦官報第76巻『Hazardous Materials: Cargo Tank Motor Vehicle Loading and Unloading Operations』 pp. 13313, 13313（2011年3月11日）

¹⁹³ ガイダンスは法的拘束力を持たず、特定の行動を義務付けたり要求したりするものではない。その目的は、有益な情報を提供し、規則または法令の意義を明確にし、要件を実施するためのPHMSAの方針を伝えることである。連邦官報第76巻『Hazardous Materials: Cargo Tank Motor Vehicle Loading and Unloading Operations』 pp. 13313, 13315（2011年3月11日）。

¹⁹⁴ 「Cargo Tank Motor Vehicle (CTMV) Loading/Unloading Operations: Recommended Best Practices Guide」（オンライン）
https://hazmatonline.phmsa.dot.gov/services/publication_documents/CTMV%20Guidelines.pdf（閲覧日：2017年12月7日）

¹⁹⁵ 「Cargo Tank Motor Vehicle (CTMV) Loading/Unloading Operations: Recommended Best Practices Guide」（オンライン）
https://hazmatonline.phmsa.dot.gov/services/publication_documents/CTMV%20Guidelines.pdf（閲覧日：2017年12月7日）

¹⁹⁶ 『Cargo Tank Motor Vehicle (CTMV) Loading/Unloading Operations: Recommended Best Practices Guide』 pp 5.（オンライン）
https://hazmatonline.phmsa.dot.gov/services/publication_documents/CTMV%20Guidelines.pdf（閲覧日：2017年12月7日）

¹⁹⁷ 「Cargo Tank Motor Vehicle (CTMV) Loading/Unloading Operations: Recommended Best Practices Guide」 pp 5（オンライン）

ろし作業を行うMod Bの従業員やハークロスの運転手に対する評価やフィードバックの提供に関するプログラムやプロセスを持っていなかったことが分かった。MGPIとハークロスが荷下ろし作業中のオペレーターを積極的に監視していれば、オペレーターや運転手が文書化された荷下ろし手順に従っていないことに気付き、適切なフィードバックと訓練を提供して、不備を是正できた可能性がある¹⁹⁸。

PHMSAはまた、CTMVの積み込みまたは荷下ろしを行う当事者に対して、施設職員またはCTMV運転手のどちらが積み込み／荷下ろし作業を担当するのかを明確に特定することを含め、作業のリスク評価を行うよう推奨している。また、安全な積み込み／荷下ろしを確保するための手順を評価し、改善すべき領域を特定する必要がある。もしMGPIの管理者が事故前にリスク評価を実施していれば、バルブ操作における施設職員とCTMV運転手の役割と責任が入れ替わることはなかったかもしれないし、手順から重要なステップが抜け落ちていることが特定され、修正されていた可能性もある¹⁹⁹。さらにMGPIは、Mod Bでの誤った配管マーカールや、接続ポイントにおける標識や配管マーカールの不足を特定できたかもしれない²⁰⁰。PHMSAは、雇用主がこれらのリスク評価を活用し、新たな操作手順とするか、既存の手順を強化することを推奨している²⁰¹。

事故以前は、ハークロスとMGPI社のいずれの手順においても、化学物質が適切なタンクに移送されていること、およびタンクに化学物質を収容するのに十分な余裕があることの確認が義務付けられていたが、両社の手順とも運転手とオペレーター間の口頭によるコミュニケーションに依存していた。混合禁忌の接続間の距離を長くする、独自の継手を選ぶ、より明確な配管マーキングを施すなど、設計上の問題を解決することができれば、誤接続の可能性が大幅に低減する可能性がある。PHMSAガイドは、混合禁忌の物質の混合を回避するための技術工学的な管理策の実施も提案しており（図17）、これらの技術工学的な管理策が実施されていれば事故を防ぐことができた可能性がある²⁰²。さらに、PHMSAガイドは、施設のオペレーターに対して、荷下ろし作業中に運送会社の人員を監督し、荷下ろし中の監督や、荷下ろし手順を遵守させるための書面による指示または少なくとも十分な情報の提供をすることなどを推奨している。

Ideas for ensuring proper connections and use of transfer equipment include color-coding components and/or receiving containers or introducing specially designed connections/couplings that only link with other components intended for use in the transfer of a specific material.

移送装置の適切な接続と使用を確保するためのアイデアとして、コンポーネントや受け入れ容器を色分けしたり、特定の物質の移送に使用することを目的とした他のコンポーネントとのみ接続する特別に設計された接続部／カップリングを導入したりすることが挙げられる。

図17：「CTMVの積み込み／荷下ろし作業：推奨されるベストプラクティスガイド」からの抜粋（出典：PHMSA）

https://hazmatonline.phmsa.dot.gov/services/publication_documents/CTMV%20Guidelines.pdf（閲覧日：2017年12月7日）

¹⁹⁸ 事故後、MGPIは荷下ろし手順を変更し、特に、荷下ろし中にオペレーターを監視するための従業員を配置することを義務付けた。手順上の不備に関する説明はセクション5.1.3を、MGPIの更新された手順の分析はセクション9.0を参照のこと。

¹⁹⁹ 操作手順に関する説明はセクション5.1.3を参照のこと。

²⁰⁰ MGPIのラベル表示上の不備の分析はセクション5.1.2を参照のこと。

²⁰¹ 『Cargo Tank Motor Vehicle (CTMV) Loading/Unloading Operations: Recommended Best Practices Guide』（オンライン）

https://hazmatonline.phmsa.dot.gov/services/publication_documents/CTMV%20Guidelines.pdf（閲覧日：2017年12月7日）

²⁰² MGPIの化学物質移送設備の設計に関する分析については、セクション5.1.1を参照のこと。

8.2.2 責任の共有

エネルギーおよびその他の危険物質の安全な輸送を推進することで人々や環境を保護するというPHMSAの使命は、HMRの執行とガイダンスの発行によって一部達成される。PHMSAの使命は危険物の輸送面に重点を置いているが、PHMSAはCSBと同様に、危険物の安全な積み込み／荷下ろしの責任は輸送会社と施設の双方で共有すべきであると結論付けている²⁰³。PHMSAガイドは、施設職員が主導的役割を果たすべき分野を明確にするために、訓練や評価、リスク評価、緊急対応、作業手順など、ベストプラクティスの実用的な応用例を提供している。CSBは、化学物質の安全な荷下ろしにおいても施設が重要な役割を果たしていると結論づけ、本ケーススタディで得られた教訓と提言は、類似の事故を防止するためのPHMSAおよびその他の機関のガイダンスや規制を補完するものであると結論付けている。

2ページからなるPHMSAポケットガイドは、主に運送会社の人員向けに、積み込み／荷下ろし前に確認すべき事項を提示している。化学物質を受け入れる施設にとっては、PHMSAの既存のガイダンスだけでなく、化学物質の積み込み／荷下ろし前に施設担当者が参照できる簡潔な参考ガイドも役立つ。そのため、CSBは「CTMVで化学物質を受け入れる施設のための推奨プラクティス」（付録B）を作成した。これは、本ケーススタディの補足文書として発行される予定である。

9.0 MGPIおよびハークロスによる事故後の変更

事故直後、MGPIは恒久的な変更が実施されるまでの間、同様の事故の発生を防ぐため、移送設備と荷下ろしエリアに一時的な変更を加えた。これには、各充填ラインのキャップには個別の鍵付きロックを取り付けること、充填ラインのキャップを別のロック機構を持つキャップに取り替えること、充填ラインの接続ポイントやエルボーの近くに新しい配管マーカを設置すること（または既存のマーカをよりしっかりと固定すること）、充填ラインに新しい色分けタグを取り付けること、および化学物質の荷下ろし手順を更新することが含まれていた。さらに、ハークロスはMGPIと協力して、Mod Bの硫酸充填ラインとハークロスの硫酸配送ホースに新しいカップリングを選定して取り付けた。これらのカップリングは特殊なサイズと形状を共有しており、正しい配送ホース以外は硫酸充填ラインに接続できないようになっている。また、これらのカップリングはMod Bの荷下ろしエリアにある他のすべてのカップリングとは異なる色で区別されている（図18）。

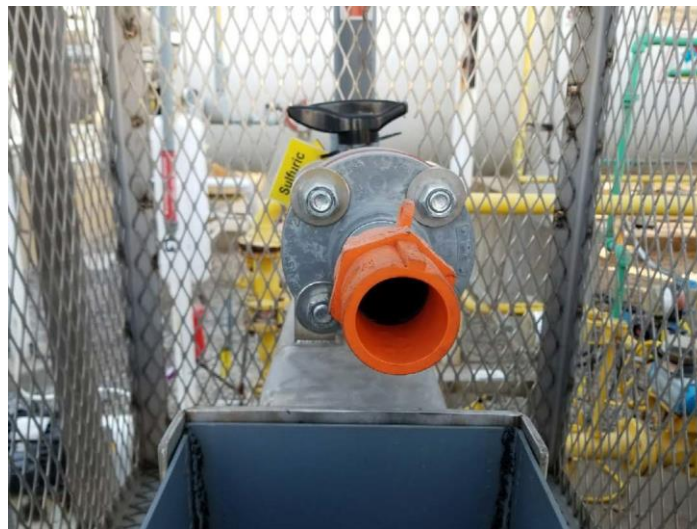


図18：Mod Bの硫酸充填ラインに設置された新しいカップリング（出典：MGPI）

上述の緊急対策を実施した後、MGPIはMod Bにおいて、以下を含むその他の数多くの工学およびプロセス安全の観点からの変更を実施した。

²⁰³ 『Cargo Tank Motor Vehicle (CTMV) Loading/Unloading Operations: Recommended Best Practices Guide』 pp 13.
https://hazmatonline.phmsa.dot.gov/services/publication_documents/CTMV%20Guidelines.pdf（閲覧日：2017年12月7日）

- 化学物質の荷下ろし接続の調整（各荷下ろし接続ポイントの間隔を最低3フィート離し、それぞれの周囲に安全ケージを設置し、カードリーダーによるアクセスと関連するアクセス管理制御を行う）（図19）。
- 警報設定の追加に対応する工学的システムインターロック
- 追加の監視装置および緊急停止装置
- オペレーター制御室および空調設備の設計変更
- スプリンクラー放水システムを含む緊急対応および準備態勢の変更

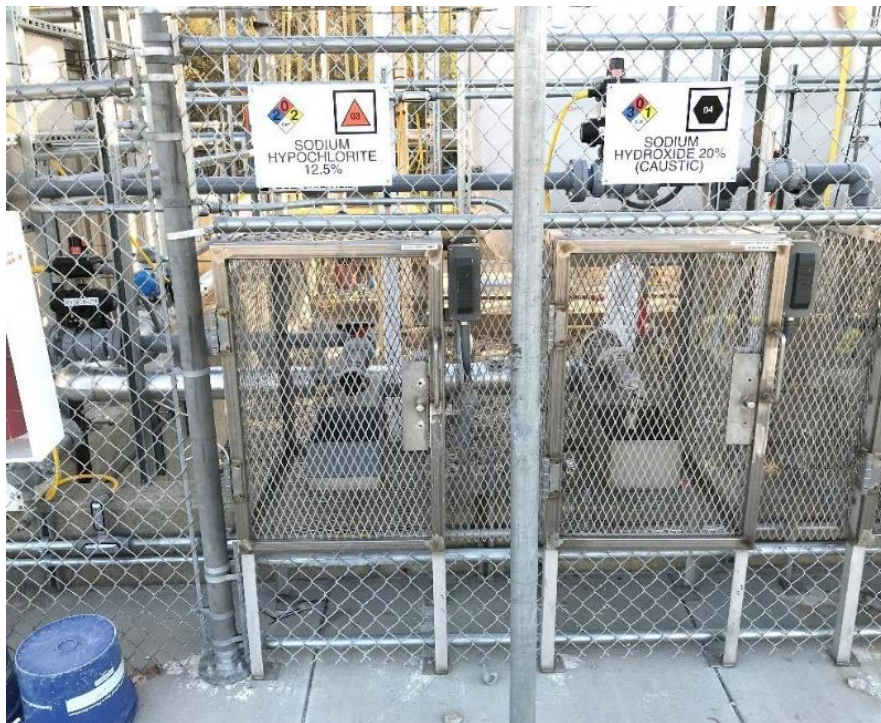


図19：Mod Bにおける接続ポイントの周囲に安全ケージを設置して、荷下ろし用の接続箇所を分離（出典：MGPI）

MGPIとハークロスの両社は、化学物質の荷下ろしの業務慣行と手順も改定した。MGPIでは現在、シフト交代から20分以内の荷下ろしを禁止し、貨物タンクのホースを化学物質の充填ラインに接続・切断する際には安全監視員の立ち会いを義務付けている。また、この手順では、配送の前後には充填ラインを点検し、すべてのダストキャップの固定・施錠を確認することもオペレーターに義務付けている。ハークロスは、MGPI専用の硫酸荷下ろし手順を新たに作成し、現在は同社の運転手には、タンカーの事前荷下ろしチェックリストをすべて顧客とともに確認することが義務付けられている。

MGPIとハークロスが独自に行った業務慣行と手順の変更とは別に、両社はオペレーターと運転手間の連携を強化するための変更も行った。例えば、オペレーターと運転手は、手順が確実に守られるように、また、化学物質の荷下ろし前に正しい接続が行われたことを証明するために、書面による確認フォームに記入をしなければならない。MGPIはオペレーターに対し、運転手がCTMVの緊急停止ボタンを識別できるように指導することを求めている。

この事故の後、MGPIはMod Bの緊急用呼吸具の保管方法とアクセス性も変更した。Mod Bの制御室では現在、緊急用呼吸具のフェイスピースを脱出用ボンベとは別々に保管するのではなく、空気供

給ボンベとフードの両方を収納したキャビネットを備え付けており²⁰⁴、同様の事故が発生した場合にオペレーターを保護すべく容易にアクセスできるようにしている。

MGPIは、この事故後の設備やプロセスの変更の検討と実施において、Mod Bの従業員（労働組合員を含む）から引き続き積極的な参加を得た。例えば、事故後の作業エリアの変更の要望を労働組合員に意見を求め、労働組合員はMod Bの変更に関するすべての変更管理²⁰⁵文書のレビューに関与した。MGPIは、荷下ろし手順の改定や新しい手順の策定についても労働組合員から意見を聞いた。労働組合員は、手順書を手に施設をくまなく歩き、手順についてオペレーターが再訓練を受ける頻度について提案を行い、その提案は採用され、会社の業務慣行に組み込まれた。

CSBは、事故後にMGPIが実施した変更の多くが、このケーススタディで提示された多くのヒューマンファクターと、設計上の問題に対処していると結論づけている。また、MGPIとハークロスは、同様の事故の可能性を減らすための手順や設計の変更を共同で策定、合意した。本セクションで例示した荷下ろし設備とプロセスの変更は、調査で示された重要な教訓に従って実施されることで、化学物質の荷下ろし作業中の誤混合の可能性を大幅に低減することができる。

10.0 重要な教訓

化学物質を受け入れる定置の施設の場合：

1. 化学物質の荷下ろしプロセスおよび設備に関連するリスクを評価する場合に、誤接続防止のための管理策および安全対策を評価する際には、管理の階層化（hierarchy of controls）を適用すること。施設要員またはCTMV運転手による人的介入を必要とする化学物質の荷下ろし作業については、必ず、誤接続の可能性を高めるヒューマンファクターの問題を特定し、対処すること。
2. 化学物質の移送設備およびプロセス（充填ライン、移送バルブ、配管、受入タンクなど）を評価し、可能であれば、化学物質の荷下ろし作業中の安全操作を維持するための安全装置を設置および構成すること（例：インターロックや緩和措置をプロセス制御システムに組み込む）。制御システムは、危険なプロセス状態（温度、液面レベル、圧力、空気中の濃度など）を監視し、化学物質の荷下ろし中に反応や放出が意図せず発生した場合には、化学物質の移送やその他のプロセスを自動的に停止するべきである。自動化されたプロセス制御や安全システムが実現できない場合は、移送バルブおよび移送設備、換気システム、散水システム、その他の緩和システムを構成し、緊急時に施設の配管や受入タンクへの化学物質の流れを停止できるよう、リモートで操作できるようにすべきである。
3. 混合禁忌の化学物質用の充填ラインが互いに容易に区別できるほど物理的に離れた位置に配置されるよう（例えば、酸は塩基から離れた荷下ろしエリアに配送する）、化学物質移送設備を設計または変更し、不注意による混合に起因する反応事故を回避する。
4. 複数の化学物質が近接した場所で荷下ろしされる場合には特に、化学品流通会社と協力して、化学物質または化学物質クラスごとに、独特な形状と色分け表示を持った継手を備えたホースカップリングおよび充填ライン接続方法を選択すること。この場合、各充填ラインにそれぞれが、形状が異なる（例えば、酸には四角形、塩基には六角形）継手を採用する、または異なる直径（例えば、2インチまたは3インチの円形）の継手を採用する等の方法が考えられる。
5. 配管のマーキングと移送設備（充填ライン、バルブ、移送配管、タンクなど）の識別表示が明確であり、業界で受け入れられている基準（ASME A13.1-2007「配管システムの識別スキーム」など）に従って、装置内に含まれる物質が正確に表示されているようにする。荷下ろし作業に携わる作業員が、接続作業を行う前に装置や化学物質を容易に識別できるよう、充填ラインの接続ポイントにできるだけ近い位置に配管マーカーを貼り付ける。これは、1つのエリアに複数の異なる化学物質の充填ラインがある場合に特に重要である。

²⁰⁴ フード（hood）とは、頭部および首を完全に覆う呼吸具の吸入ロカパーであり、肩や胴体の一部を覆うタイプもある。フェイスピースの代わりとして脱出用ボンベと一緒に使用されることがある。

²⁰⁵ 変更管理（Management of Change）とは、設備、プロセス、組織に対する変更を評価および管理し、その変更によって生じる可能性のあるハザードを特定して対処するためのプロセスである。

6. 化学品流通会社と協力してリスクアセスメントを実施し、その結果に基づいて、責任が明確に定義されるように、化学物質の荷下ろしおよび緊急時の作業手順を策定し、合意する。手順には、施設職員が化学物質の配送中に物理的に立ち会うことを求めるプロセスを定めるべきである。施設職員と運転手の双方が、化学物質を排出する前に、口頭および目視、書面によるチェックリスト、設備の巡回点検などにより、正しい接続が行われていることを確認する。施設および化学品流通会社の両方の管理者は、手順に関する効果的な初期訓練および更新研修を定期的実施するか、設備や化学物質が変更された際に実施すべきである。さらに、管理者は手順の遵守を積極的に監視し、適合性を確保すべきである。
7. 化学物質の荷下ろし場所付近の有人構造物の建物設計および換気システムを評価し、漏出や化学反応が発生した場合に職員を保護できるようにすること。設計上の考慮事項には、陽圧換気システム、空気清浄およびろ過システム、流出が発生した場合に自動的に空調システムを停止するセンサーおよび警報機、化学物質が空気供給源に侵入しないよう注意深く選択された吸気口の位置などを含むべきである。これらのシステムは、適切に機能していることを確認するために定期的に点検する必要がある。
8. 化学物質の荷下ろしエリアおよびバルク貯蔵タンク付近のすべての有人建物において、毒性物質の流出が発生した場合の緊急用呼吸具および脱出用ボンベの入手可能性を評価する。作業員が器具にいつでもすぐにアクセスできるようにするため、シフトの合間であっても、緊急用呼吸具の構成部品をロッカーに鍵をかけて保管することは避ける。制御室と緊急避難経路の確認を行い、脱出用ボンベの近くで従業員用呼吸具が最もアクセスしやすい場所を特定し、それに応じて緊急対応と呼吸用保護具の手順を更新し、訓練を行う。
9. 荷下ろし作業中、漏出や予期せぬ反応と流出が発生した場合に備え、運転手および職員のために、化学物質の荷下ろしエリア付近に緊急脱出用呼吸具を用意する。

化学品流通会社の場合：

10. 運転手がすべてのCTMVの緊急遮断装置の場所と使用方法を完全に把握できている状態にする。
11. 荷下ろし作業中に化学物質の漏出や流出が発生した場合に備え、適切な個人用保護具（PPE）を着用し、事故に対応するための訓練を運転手に対して実施する必要性を評価する。事故の緩和が可能な場合にはそれを実行できるよう、化学品流通会社はCTMVに適切なPPEを備えておくべきである。一方、事故の緩和が不可能な場合には、事故発生時に安全に避難できるよう、運転手がCTMVに備えられた緊急脱出用呼吸具にアクセスし、適切に装着する訓練を受けられるようにすべきである。

11.0 結論

米国の化学品流通会社の85%以上が加盟する全国化学品流通業協会（NACD：National Association of Chemical Distributors）によると、2016年には、8.4秒ごとに3990万トン以上の製品が顧客に配送された。MGPIで発生した事故は、荷下ろし作業が比較的単純であっても、配送中に移送される化学物質の量が多い場合には、作業人や周辺地域に大きな影響を及ぼし得ることを浮き彫りにした。定置の施設では化学物質の配送は日常的に行われるため、CSBは施設および化学品流通会社に対し、本ケーススタディから得られた重要な教訓と推奨される対策を採用し、不慮の混合事故の発生を防止または低減するための管理策と業務慣行を共同で実践するよう促している。本ケーススタディの発表後、CSBは塩素協会、NACD、および化学施設および化学品の輸送作業員を代表する労働組合と協力し、会員に重要な教訓と推奨される対策を周知してゆく予定である。

12.0 勧告

米国暖房冷凍空調学会（ASHRAE）に対する勧告：

CSBは、2005年にハネウェルの塩素流出事故調査の一環としてASHRAEに対して行った以下の勧告を再度表明する。

2003-13-I-LA-R22:

有害物質が流出した場合に、従業員と設備を保護するように設計されたHVACシステムおよびその他必要な制御室コンポーネントの効果的な設計と維持管理に関するガイダンスを策定すること。

今回の調査の結果から、CSBは以下の安全勧告を行う。

MGPIに対する勧告：

2017-01-I-KS-R1:

Mod Bビルおよび換気システムに関する独立した工学的評価を委託し、その評価結果に基づいて、化学物質の流出から職員を保護するための設計変更および管理策を実施すること。最低限、この評価では、建物の換気システムの有効性、化学物質の屋内および屋外の供給源、吸気口の位置、ろ過や除去などの汚染物質制御方法、汚染物質の監視装置、自動化に関して評価する必要がある。換気システムの工学的評価では、通常運転時の空気中の汚染物質だけでなく、流出、放出、意図しない反応や誤接続により生成された化学物質についても考慮すべきである。

2017-01-I-KS-R2:

Mod Bの化学物質移送設備（充填ライン、移送バルブ、移送配管、タンク、その他の関連設備など）の評価を実施し、バルク荷下ろし中の予期せぬ反応、化学物質の流出または漏出を防止および緩和するための適切な工学的安全策を導入する。可能な場合には、配送中に作業員が誤った化学物質移送バルブを開くことがないように、警報やインターロックなどの安全装置を設置する。また、プロセスの逸脱や異常な状態（圧力、温度、流量、液面レベル、ガス検知など）に基づいて、施設への化学物質の移送を自動的に停止する緩和措置を導入する。

ハークロスに対する勧告：

2017-01-I-KS-R3:

CTMVの運転手が緊急時に化学物質の流れを止められるようにすることを目的として、CTMVに設置された各種緊急遮断装置の場所、使用タイミング、およびその装置の有効性について、運転手が確実に理解するための再教育プログラムを策定すること。この再教育プログラムでは、荷下ろし作業中に発生し得る特定の事故シナリオ（例：不注意による誤混合、化学物質の流出など）を想定し、すべての遮断装置が作動する状況を運転手がシミュレーションする訓練を含めること。また、再教育訓練プログラムの有効性を評価するプロセスを確立すること。

2017-01-I-KS-R4:

顧客の施設における化学物質の荷下ろしに関連する呼吸器系ハザードを評価するプロセスを確立すること。この評価では最低限、事故による化学反応または流出が発生した場合に、運転手が緊急脱出用呼吸具を必要とするかどうかの判断を含めるべきである。評価の結果、呼吸用保護具が必要であると判断された場合は、適切な保護具およびその使用に関する訓練を提供すること。これらの保護具および訓練は、OSHAの呼吸器保護基準（29 C.F.R §1910.134）に準拠して提供する必要がある。また、保護具は、即座にアクセス可能な場所に保管すべきである。

アチソン郡緊急事態管理局に対する勧告：

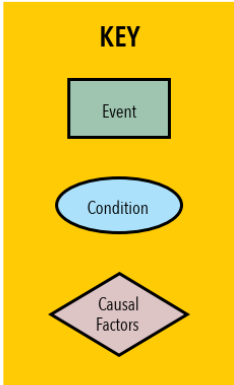
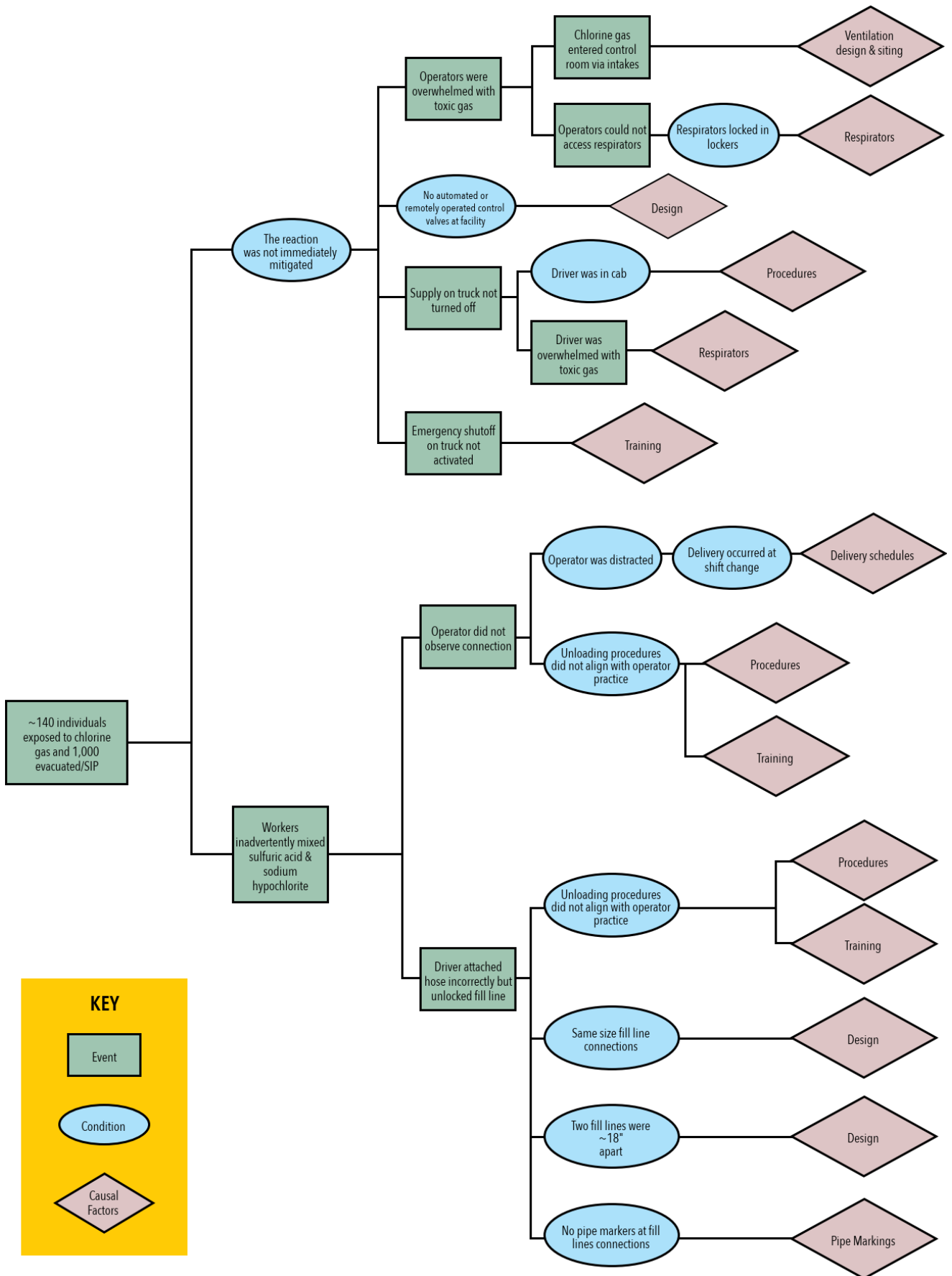
2017-01-I-KS-R5:

アチソン郡内の緊急対応要員が危険物に関わる将来の事故に備えられるよう、計画策定および訓練活動を調整すること。アチソン郡地域緊急計画委員会は、以下の措置を講じるべきである。

- a) 施設がEPAのリスク管理計画を提出または改定する時にレビューし、リスク管理プログラム対象施設および年間Tier IIレポートにより大量の有害化学物質を保管していると報告されている郡内の他のすべての施設で、事前計画を実施する。

- b) 今後3年以内に、施設外での化学物質流出シナリオを想定した本格的な有害物質演習を実施すること。この演習には、地域の緊急対応機関、病院、学校、固定施設からの参加者を含めるべきである。また、演習中に特定された調整事項やコミュニケーション上の問題を明確化し、解決すること。
- c) 州および地域の緊急対応訓練およびプログラムへの参加を強化すること。カンザス州緊急事態管理局と協力し、郡内の追加訓練および事前計画活動の資金援助を目的として、危険物緊急時対応計画（HMEP）の助成金提案書を提出すること。

付録A - 簡易原因分析



付録B – 化学物質荷下ろし作業において推奨される対策

(このページは意図的に余白としている)

荷下ろし作業中の誤混合の回避

貨物タンク自動車（CTMV）で化学物質を受け取る施設向けに推奨される対策

施設は、化学物質の配送中に不慮の誤混合事故の発生可能性を評価する際や、使用する化学物質やその荷下ろし設備、または化学品流通会社に変更が生じた場合には、以下のチェック項目について検討することを強く推奨する¹。

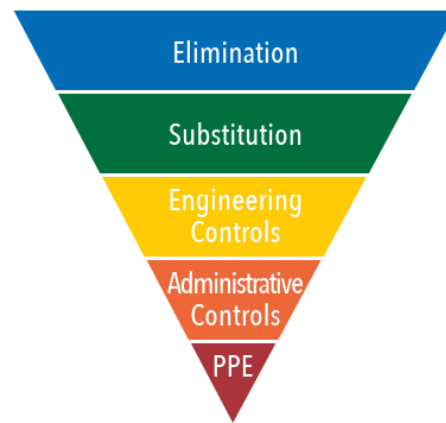
設計

- 荷下ろし設備およびプロセスに管理の階層化（hierarchy of controls）を適用する場合、混合を回避するため、より保護機能の高い安全対策（例えば、本質的に安全な戦略や設計管理）を実施または設置可能か？
- 作業員や運転手が設備とどのように関わるかを調査する際、どのようなヒューマンファクターの問題が誤混合の可能性を高めるか？
- 混合禁忌の化学物質の充填ラインまたは受入タンクは、隔離または距離を置いて設置できるか？
- 誤接続を防ぐために、充填ラインに独自の継手を選定することは可能か？
- あなたの施設には、緊急時にCTMVから施設の配管や機器への化学物質の流れを停止できる自動化機能が備わっているか（すなわち移送バルブに）？ それらの制御は、制御システムまたは緊急スイッチを通じてリモート操作可能か？
- 化学物質の移送設備には、運転手が該当する充填ラインを容易に特定できるよう、適切なラベルが貼られているか？ 接続前に配管を追跡する必要がないよう、充填ラインにはラベルがしっかり貼付されているか？

配管マーキング

- あなたの施設は、化学品流通会社と協力して、流通会社が納入する各化学物質の荷下ろしに関して現場固有の手順を策定し、その手順内容に合意しているか？ 混合禁忌の化学物質の混合が生じる可能性と緊急時対応計画について検討したか？ それらの手順や計画は、定期的に更新され、変更が生じるたびに相互に共有されているか？

管理の階層化（hierarchy of controls）



¹ 米国パイプライン・危険物安全局（PHMSA：Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration）によるCTMVに関するガイダンス。 https://www.phmsa.dot.gov/staticfiles/PHMSA/DownloadableFiles/Files/ctmv_pocket_guide_short_09212015.pdf.

手順

- あなたの荷下ろしプロセスには、施設職員と運転手が協力して正しい接続を行うための確認手順が含まれているか？
- 荷下ろし作業の責任は明確に定義され、関係者全員に理解されているか？
- 流出や放出が発生した場合に備え、呼吸具や緊急避難用パックなどの個人用保護具（PPE）が、施設職員や運転手全員がいつでもすぐに利用できるような状態で保管されているか？
- 化学品流通会社と協力し、化学物質配送時の緊急事態における運転手の行動を定義しているか？ 運転手がCTMVの緊急停止装置を作動させる方法について訓練を受けていることを確認しているか？

誤混合事故

CSBは、カンザス州アチソンにある施設で発生した、CTMVの硫酸が次亜塩素酸ナトリウムタンクに誤って混入した事故を調査した。これら2つの化学物質が混合することで化学反応が起こり、塩素ガスを含む濃い黄緑色の雲が発生した。何千人もの地域住民に屋内退避が命じられ、一部の地域では避難が行われた。一般市民や従業員など140人以上が医療措置を受け、入院が必要な者もいた。

CSBは、この事故や類似の事故は、化学物質の荷下ろしエリアの設計を改善し、混合禁忌の化学物質を誤って接続しないようにすることで防止できた可能性があると結論付けた。また、充填ラインの接続ポイントに明確な配管マーカを設置することでも、CTMVと施設の充填ラインの接続時にミスを起こす機会を減少させることもできた。

化学物質荷下ろし作業中の事故防止は、化学品流通会社と化学物質を受け取る施設双方で**責任を共有**しなければならない。したがって、施設と流通会社は協力して役割と責任を明確に定義した手順書を策定し、合意の上で安全な荷下ろし作業の実施を確保する必要がある。

Case Study

U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board



化学物質の荷下ろし作業中の 誤混合防止のための重要な教訓 カンザス州アチソンにおける化学反応と流出

Members of the U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board:

Vanessa Allen Sutherland, J.D./M.B.A.

Chairperson

Manuel Ehrlich

Member

Richard Engler

Member

Kristen Kulinowski, Ph.D.

Member

