

## 米国におけるWET手法を用いた排水改善等の事例について

※本資料で記載した事例は、米国環境保護庁(EPA)が発行している次の文書で紹介されている事例である。これらは、海外における1970～1990年代の排水毒性の原因調査、排水改善等の事例であり、各事例中で行われた取組が現在の我が国で実施可能又は必要かどうかを判断するものではない。

- ・産業系事業場: Generalized Methodology for Conduction Industrial Toxicity Reduction Evaluation (TREs), EPA/600/2-88/070, 1989年4月
- ・下水処理施設: Toxicity Reduction Evaluation Guidance for Municipal Wastewater Treatment Plants, EPA/833B-99/002, 1999年8月

※下記の事例で紹介されている事業場における排水処理技術等は、現在の我が国の事業場で用いられているものとは異なる可能性がある。また、各州における関連制度等は排水改善等が行われた当時から変更されているものがある(例: 慢性毒性試験法の整備等)。

※各欄中で「-」とされているものは、当該欄に対応する情報が出典元の文書に記載されていないことを示す。

### 1. 産業系事業場

番号	施設の名称	所在地(州)	排水毒性に係る調査、排水改善等の時期	事業場情報							主な排水毒性原因とされた物質(群)	排水毒性削減が必要とされた生態毒性と試験生物種	毒性原因調査の際に用いられた生物応答試験	
				業種、施設の概要	規模(排水量)	排水口の数	排水先水域	当初想定された排水中の主な汚濁物質	排水の発生・処理工程、処理技術の概要等	排水前の塩素添加				
1	A Multipurpose Speciality Chemical Plant (MSCP) in Virginia	ヴァージニア州	1985年～1986年前半	多目的化学工場(高機能物質、農薬、アミン化合物等の製造、研究所等)	約1,960m <sup>3</sup> /日(518,000ガロン/日)	1	-	-	-	・排水は各製造物質の製造工程の他、研究所、冷却水等からも発生 ・ばっ気槽、沈殿槽(2槽)等により排水処理	-	農薬(ジクロロボス、製造工程で使用)	・魚類(ファットヘッドミノー)急性毒性 ・オオミジンコ(D. magna)急性毒性	オオミジンコ(D. magna)急性毒性試験
2	Tosco Corporation's Avon Refinery	カリフォルニア州	1986年6月頃～(1989年の出典文書とりまとめ当時、調査未了)	精油所(ガソリン、ディーゼル燃料などを精製)	約11,700m <sup>3</sup> /日(310万ガロン/日)	1	海域	-	-	・排水は、化学物質や油類、生活排水などを含むもの。 ・ばっ気、生物処理(Rotating biological contactors)、沈殿ろ過により排水処理。	-	中性有機化合物(具体的な原因物質は不明)	魚類(トゲウオ)急性毒性	発光バクテリア試験(標準試験法として整備されたものではないが、魚類急性毒性試験の結果との相関性があるとして、より簡易に実施できる方法として用いられた)
3	Martinez Manufacturing Complex, Shell Oil Company	カリフォルニア州	1976年～1985年(調査は数次に分かれる)	精油所(ガソリン、ディーゼル燃料、潤滑油、グリースなどを精製・製造)	15,000m <sup>3</sup> /日	1	河川(河口域)	油類・グリース、アンモニア、浮遊物質など	・原油と水を分離後、活性汚泥処理、二次分離、ろ過などにより排水処理。	-	油・グリース(主にナフテン酸)、アンモニア、有機アミン化合物	魚類(トゲウオ)急性毒性	・急性毒性試験: 魚類(トゲウオ)急性毒性試験など計6種(トゲウオ試験以外の内訳は記載なし) ・慢性毒性試験3種(内訳は記載なし)	
4	A North Carolina Textile Mill (Glan Raven Mills)	ノースカロライナ州	1985年初頭～1987年前半	繊維工場(染色等)	約100m <sup>3</sup> /日(2万7千ガロン/日)	不明	河川	BOD、COD(界面活性剤由来など)、浮遊物質、硫化物、フェノール、クロム等の金属類	・約9割が染色工程に由来する排水。残りは生活排水。 ・工程排水は活性汚泥処理。	あり	界面活性剤	ミジンコ(D. pulex)急性毒性	ミジンコ(D. pulex)急性毒性試験	
5	A North Carolina Metal Product Manufacturer (Halstead Metal Products)	ノースカロライナ州	1985年6月頃～1987年(毒性削減は未了)	金属製品製造工場(銅製パイプの成型など)	約20m <sup>3</sup> /日(5,400ガロン/日)	不明	河川	銅、pH、BOD、COD(界面活性剤由来など)、油・グリースなど	・排水は生活排水(従業員の作業後に行う手洗い等の排水)由来で、製造工程に直接由来する排水は僅少。 ・活性汚泥法で排水処理。	あり	銅	ミジンコ(D. pulex)急性毒性	ニセネコゼミジンコ(C. dubia)急性毒性試験	
6	Texas Instruments Facility in Attleboro	マサチューセッツ州	1984年～1985年前半(毒性削減は未了)	-	-	3つ(うち金属加工工程に由来する一つについて調査)	河川	金属	不明(過酸化処理あり)	-	金属	・魚類(ファットヘッドミノー)急性毒性 ・ミジンコ(D. pulex)急性毒性	・ミジンコ(D. pulex)急性毒性試験 ・ミジンコ(C. affinis/dubia)慢性毒性試験(魚類よりも当該事業場の排水毒性の影響を受けやすいことからミジンコが選択されたもの)	
7	Chemical Plant I	西海岸	1985年～1986年	化学工業(有機染料(中間生成物を含む)、エポキシ樹脂、紡績・製紙・プラスチック産業に用いる化学製品を製造)	-	-	海域	-	排水は活性汚泥処理	-	非生分解性有機化合物	アミ(M. bahia)急性毒性	アミ(M. bahia)急性毒性試験	

番号 (再掲)	排水生態毒性の原因調査の主な内容					排水毒性削減方法	一連の調査、排水改善等において生じた課題
	処理工程等の最適化についての検討内容	毒性同定評価 (Toxicity Identification Evaluation, TIE)			毒性発生源の調査		
		Phase1: 毒性物質の特徴化に係る調査	Phase2: 毒性物質の絞り込みに係る調査	Phase3: 毒性物質の確認に係る調査			
1	—	・排水中の化学物質をガスクロマトグラフ質量分析計 (GC/MS) によって無機化合物と有機化合物に分画し、分画後のそれぞれのサンプルについて生物応答試験を実施。生態毒性を調査。有機化合物を含むサンプルで毒性を確認。 ・当該サンプルに含まれる有機化合物を、更に、酸性、中性・アルカリ性、残渣に含まれるものに分画。酸性、中性・アルカリ性の化合物に由来する毒性を確認。	GC/MS分析により、具体的な生態毒性原因となった有機化合物の絞り込みを行った結果、ジクロロボス (農薬) など3種類の化合物が候補とされた。	3種の原因候補物質の排水中濃度と排水毒性の関係を生体応答試験を用いて調査した結果、ジクロロボス濃度とミジンコ急性毒性の関係が認められた一方、他2物質についてはこうした結果が得られず、ジクロロボスを主な毒性原因物質と判断。	・事業場で製造している農薬を梱包する工程で原因物質が使用され、梱包用容器の洗浄水が排水に流入したことが発生源と推定。 ・1985年11月に上記の使用プロセスを停止した後、排水毒性が低減されたことで確認。	毒性の発生源とされた作業プロセスの停止により、排水毒性を削減。	ジクロロボスに由来する排水毒性を削減した後、事業場内の排水処理施設の不具合により、別の物質が原因とみられる毒性が一時的に確認された。
2	—	・分画用の樹脂や有機溶媒を用い、排水中の有機化合物と無機化合物を分画し、分画後のそれぞれのサンプルについて生物応答試験を実施。有機化合物を含むサンプルで毒性を確認。 ・当該サンプルに含まれる有機化合物を、更に、酸性、中性、アルカリ性のものに分画。中性有機化合物を含むサンプルから最も強い毒性が、次いで酸性有機化合物を含むものから毒性を確認。 ・無機化合物を含むサンプルは、有する電荷の陰陽によって更に分画したサンプルについて試験を実施。	・有機化合物に由来する毒性原因について、GC/MS分析と既存文献における検出物質の毒性値を比較したが、3回の測定結果が変動し、また、GC/MS分析で検出された物質の範囲内では元のサンプルの毒性を説明できなかった。 ・別途行われている排水の常時水質モニタリング結果 (pH、浮遊物質量、フェノール、アンモニア、油類・グリース、クロム、亜鉛、硫黄、塩素、溶存酸素量 (DO)、水温、流量) と生態毒性との関連性を比較したが、関連は確認されなかった。	—	・排水処理前後や排水の発生源となる各工程の前後でサンプル採取し生態毒性を比較した結果、排水処理により80%以上の生態毒性が削減されていること、毒性への寄与が大きな排水発生源としてアンモニアリカバリーユニット (Ammonia Recovery Unit) 等があることが判明。 ・化学分析により、当該ユニット等を経た後のサンプルからは、中性以外の有機化合物が相対的に高濃度で検出。	中性有機化合物を除去する様々な処理方法を検討中 (1989年当時)。	生産プロセスの予期せぬ変更によって排水の性状が変動し、予定していた調査が困難になったことがあった。
3	・化学分析の結果から、油類中のナフテン酸の排水毒性への寄与を推定。 ・アミン化合物の製造状況が排水毒性と関連することが確認され、当該化合物の分解等により生成したとみられるアンモニアやポリエチレンイミン (別途、排水処理工程において凝集剤として利用) も毒性原因候補として推定。 ・アンモニアの排水毒性への寄与は、定期的な生物応答試験と化学分析、生物硝化処理の導入によるアンモニア濃度低下による排水毒性の低下などから確認。	—	各原因候補物質 (群) の排水中濃度などから、排水毒性への各物質 (群) の寄与を推定したところ、約3割がナフテン酸、約2割がアンモニア、約4割がポリエチレンイミン、残り約1割が浮遊物質と推定。	・ナフテン酸: 原油脱塩装置の洗浄水から排水に流入したとみられたため、当該装置の改良を実施。 ・アンモニア: 活性汚泥槽に硝化処理を設置。 ・ポリエチレンイミン: 排水処理工程における使用を停止。 (浮遊物質については、特段対策不要と判断)	—	一部の原因物質は非急性の毒性を示したが、こうした毒性に係る削減評価方法は当初未確立だった。	
4	染色工程で使用する化学物質質量 (染料、界面活性剤など) の最適化を図ったが、更なる毒性原因調査を行わない段階では、毒性削減には特段効果がなかった。	・当初より毒性原因と推定されていた金属と界面活性剤について、排水中濃度分析を生物応答試験と組み合わせつつ実施。結果、銅などの金属、非イオン系界面活性剤、陰イオン系界面活性剤が毒性に寄与していると考えられる濃度で検出。 ・排水サンプル中から金属を除去した後も排水毒性の削減は僅少だったことから、界面活性剤が主な毒性原因と判断。	・当初より染色工程が原因と推定されていた。 ・既存の知見で未分会の非イオン系界面活性剤が水生生物への影響を及ぼすとの報告があったことから、染色工程に添加する界面活性剤を生分解性のより高いものに代替。 ・また、排水処理工程への排水流入量の均等化による処理槽滞留時間の延長、染色工程への染料の添加量低減を実施。	—	—	—	
5	右欄のTIEに先立ち、排水路にトラップを設置し銅片の排水処理工程への流入を防止。	・毎月の生物応答試験と排水中銅濃度の測定により、排水中の銅濃度が試験生物に毒性のあるレベルだと確認。また、銅に比べ寄与度は低い、亜鉛も排水毒性に寄与している可能性のあることを排水中濃度の測定などから確認。 ・有機化合物については、既存の排水処理設備で処理されていることをCOD等の測定から確認。	・金属を選択的に試験生物に対して無害化するキレート剤を排水サンプルに添加するなどし、生物応答試験を行った結果、排水毒性の削減を確認。これにより、銅などの金属が毒性原因物質と確認。 ・なお、排水中の塩素が銅の可溶性を高めていると考えられた。	事業場で使用している井戸の一つで、銅濃度が生態毒性を生じるレベルであったことを確認。	・排水処理槽のばっ気頻度を高める、製造工程で使用している石灰を排水処理工程でも活用するなどの処理方法の改善が費用対効果を考慮に入れて有効とされた。 ・また、排水中の塩素濃度を削減する方法も提案された。	—	
6	—	・排水の急性・慢性毒性試験を、重金属類を中心とした約20の水質項目の測定とともに5セット実施。 ・この結果、個別の金属種の濃度と排水毒性の間に相関関係は確認されなかったが、銀、銅及び鉛が濃度が低いとき、排水毒性も低くなった。この傾向は、他の金属種の濃度が高くても影響されなかった。	—	—	・排水処理工程における不溶 (鉄) 硫化物沈殿処理、膜処理、キレート樹脂によるイオン交換、溶存硫化物 (硫化ナトリウム) による沈殿過を改善方策の候補としてパイロットスケールで実施し、これらの実施可能性をコスト面を踏め検討。 ・パイロット試験で十分な毒性削減が行われた不溶 (鉄) 硫化物沈殿処理を既存の処理に追加して導入する方向で、検討することとされた。	—	
7	・ばっ気期間を延長し、生分解性の塩素系有機化合物を除去したが、毒性削減されず。	・排水中の多くの有機化合物を抽出・分離できる添加剤を加えて処理を行ったサンプルに対し、生物応答試験を実施。毒性低減は確認されず。 ・非生分解性/無極性有機化合物の影響を調べるため、活性炭を用いて追加的な処理を行ったサンプルに対し、生物応答試験を実施。結果、サンプルの全有機物量 (TOC) 及び生態毒性が完全に除去。 ・金属類については、除去のための硫化物、水酸化物、ミョウバンを用いて沈殿・ろ過処理を追加的に行ったサンプルに対し、生物応答試験を実施したが、毒性低減は確認されず。	・GC/MS分析の結果、生態毒性を示したサンプルから、毒性を及ぼすレベルの濃度のベンズアントラセンを検出。 ・この他、毒性の有無にかかわらず、クロロホルム、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、ナフタレン、フタル酸ジブチルがサンプルから、ベンズアントラセンと同程度の濃度で検出。	・既存の排水処理工程における生物処理が排水毒性に及ぼす影響を調査した結果、処理前後でTOCと毒性への影響は確認されず。 ・これにより、非生分解性の有機化合物物が主な毒性原因とされた。	・7つの製造工程排水について調査したところ、排水処理前後のいずれでも生態毒性を確認。 ・126の排水ラインを調査したところ、クラスA (非生分解性、毒性あり) に該当するものが14ライン、クラスB (生分解性、毒性あり) が24ライン、クラスC (毒性なしだが、間接的に毒性に寄与する可能性あり) が29ライン、クラスD (毒性への影響なし) が54ラインとされた。 ・クラスA及びBにかかわる工程について毒性削減を検討。	・毒性発生源対策として、製造ユニットごとに工程排水のプロファイル、マテリアルバランスシートを作成し、毒性物質の負荷量を削減。 ・排水処理改善方策として、金属沈殿、逆浸透膜処理、過酸化処理、活性炭処理、粉末状活性炭処理、粒状活性炭処理、湿エアレーション処理、オゾン処理等が排水改善方法として検討され、結果、処理能力、設備上の実施の容易さ、コスト等を考慮し、粉末活性炭処理を選択。	・排水性状に日変動があった。 ・活性汚泥法での有機物除去性能を向上させると、添加する粉末活性炭の消費量が増える。

番号	施設の名称	所在地(州)	排水毒性に係る調査、排水改善等の時期	事業場情報						排水毒性削減が必要とされた生態毒性と試験生物種	毒性原因調査の際に用いられた生物応答試験		
				業種、施設の概要	規模(排水量)	排水口の数	排水先水域	当初想定された排水中の主な汚濁物質	排水の発生・処理工程、処理技術の概要等			排水前の塩素添加	
8	Chemical Plant II	-	-	化学工業 (界面活性剤及びその誘導体、合成有機化合物等を製造)	-	1つ	-	フェノール、陰イオン系界面活性剤、油類・グリース	・排水組成は複雑で、製造工程中の反応容器に由来する排水と、冷却設備などからの塩分を含む排水、生活排水など混合されたもの。 ・排水は、不溶物の粗ふるい分け、油分の回収、中和処理、活性汚泥処理、ポリマー添加などによる沈殿ろ過等を経て、塩素処理される。排水処理槽は6つ(以上)ある。	あり	ノニルフェノール及びノニルフェノールエトキシレート	アミ(M. bahia)急性毒性	アミ(M. bahia)急性毒性試験
9	I.T.T. Rayonier Plant	フロリダ州	1985年～1986年前半	パルプ製造業	-	-	河川	-	沈殿処理、中和処理、ばっ気等により排水処理を実施	-	アンモニア	ミジンコ(Ceriodaphnia属)急性毒性	(淡水生物試験) ・魚類(ファッドヘッドミノー)短期慢性毒性試験 ・ニセネコゼミジンコ(C. dubia)急性毒性試験(主に使用) ・ミジンコ(C. reticulata)短期慢性毒性試験 ・ウキクサ慢性毒性試験(海産生物試験) ・魚類(シルバーサイドミノー、シープスヘッドミノー)急性・慢性毒性試験 ・ウニ急性・慢性毒性試験 ・アミ急性・慢性毒性試験 ・紅藻急性・慢性毒性試験

番号 (再掲)	排水生態毒性の原因調査の主な内容			排水毒性削減方法	一連の調査、排水改善等において生じた課題	
	処理工程等の最適化についての検討内容	毒性同定評価 (Toxicity Identification Evaluation, TIE)				
		Phase1: 毒性物質の特徴化に係る調査	Phase2: 毒性物質の絞り込みに係る調査			Phase3: 毒性物質の確認に係る調査
8	製造工程排水処理槽と生活排水処理槽のそれぞれの有機化合物除去率を評価した結果、既存の処理工程の最適化で排水改善が当初可能と考えられたことから、この可能性を訴求する観点を持ちつつ以降のTIEを実施。	<p>排水の化学分析結果と生物応答試験の結果を比較することにより、ノニルフェノール及びその誘導体であるノニルフェノールエトキシレートの濃度と排水毒性の間に相関があることが確認された。</p> <p>・ノニルフェノールを添加した活性汚泥処理槽ではTOCの除去率が低くなることを確認。</p> <p>・これらにより原因物質として推定。</p>			<p>・毒性発生源対策については、濃度が高く排水量の少ない工程排水を冷却水等から分離して混合を回避し、事前に処理することが有効とされた。</p> <p>・排水改善方策として、活性炭処理、イオン交換樹脂等の添加、ミョウバン処理、過酸化水素処理を検討し、活性炭処理については粉末活性炭処理と粒状活性炭処理を比較したところ、粉末活性炭処理が最もノニルフェノールエトキシレートの除去率が高く、コストと施設面でも適していることが分かった。</p>	—
9	—	<p>・文献値と金属濃度を比較する等しつつ、金属を選択的に無害化するキレート剤を排水サンプルに添加し、毒性の低減の調べたところ、毒性が低減されたサンプルと低減されなかったサンプルがあり、金属が毒性原因の可能性が残された。</p> <p>・排水サンプルのpHを調整し、pH上げたサンプルを用いて生物応答試験を実施すると毒性が大きくなり、pHを下げたサンプルを用いると毒性が低減された結果となった。また、比較のため、排水中と同濃度のアンモニアを水に添加し、pHを調整したサンプルを用いて生物応答試験を実施したところ、排水由来のサンプルと同程度の生態毒性を示した。これらにより、アンモニアを毒性原因物質の候補として絞り込み。</p> <p>・金属とアンモニアのいずれが主要な毒性原因であるか調べるため、排水サンプルのろ過(懸濁物の除去)、エアーストリッピング(揮発性かつ酸化性物質を除去)、キレート剤処理(陽イオン性金属の除去)、還元剤添加処理(酸化性の物質(塩素等)の濃度を低減)、無極性有機化合物の除去等を行った上で、生物応答試験(ミジンコ急性毒性試験)を実施。結果、揮発性を有するアルカリ性の物質であるアンモニアが主な毒性原因候補物質と判断。</p>	<p>・排水サンプルのミジンコ急性毒性とアンモニア濃度の相関性を、試験サンプルの状態を調整しつつ調べた結果、非イオン態のアンモニアの濃度と毒性の間に有意な相関あり。</p> <p>・サンプル中のアンモニア濃度の低減により、紅藻類への生態影響が低減。</p> <p>・海産生物(ウニ、アミ、魚類)に対する排水中アンモニアの毒性と、アンモニアの毒性文献値を比較した結果、排水中濃度と文献における感受性データが整合。</p> <p>・以上からアンモニアを毒性原因物質と同定。</p>	<p>・エアーストリッピングによるアンモニアの除去後、中和処理やバクテリアによる生物的な硝化・脱窒処理を実施することが毒性削減に有効だった。</p> <p>・電気化学的処理、塩素処理、イオン交換、微生物同化処理も検討されたが、本事例では適切な技術ではないとされた。</p>	<p>・小規模実験系での生物応答試験(ミジンコ試験)はpHの制御が困難であったが、排水の着色により大規模な実験系での試験は行えなかった。</p> <p>・これに対する対応として、にアンモニアに対してミジンコより感受性の高いファットヘッドミノアの急性毒性試験も代替的に実施した。</p>	

2. 下水処理施設

番号	施設又は施設所在地等の名称	所在地(州)	排水毒性に係る調査、排水改善等の時期	事業場情報							排水毒性削減が必要とされた生態毒性と試験生物種	毒性原因調査の際に用いられた生物応答試験	
				排水の発生元の内訳等	規模(排水量)	排水口の数	排水先水域	当初想定された排水中の主な汚濁物質	排水処理技術の概要等	排水前の塩素添加			
1	Central Contra Cost Sanitary District, Martinez	カリフォルニア州	-	・生活排水と事業場排水の両方が流入 ・排水元となる地域の人口は約40万人、面積は約325km <sup>2</sup> (126平方マイル)	約14万6千m <sup>3</sup> /日(38.7百万ガロン/日)	-	海域	-	一次沈殿処理、活性汚泥処理(石灰添加あり)、二次沈殿を経て、塩素添加	あり	金属(主に銅)、アンモニア	ウニ受精阻害(D. excentricus: カシパンウニ、S. purpuratus: ムラサキウニの2種。排水先海域に生息することから使用。)	ウニ受精阻害試験(生物種は左記の2種)
2	Central Contra Cost Sanitary District, Martinez, California, and Other San Francisco Bay Area Publicly Owned Treatment Works (POTWs)	カリフォルニア州	1992年~1997年	・主な調査対象は番号1の事例と同様に生活排水と事業場排水が両方流入する下水処理施設(1カ所) ・排水元となる地域の人口等は1番の事例と同様 ・この他、上記処理施設を含む計9つの近郊の下水処理施設が毒性原因物質の存在状況調査(注:生物応答試験を用いた調査ではない)の対象に。	主な調査対象において約14万7千m <sup>3</sup> /日(39百万ガロン/日)  (他8つの処理施設は、約2万3千m <sup>3</sup> /日(6~137百万ガロン/日))	-	-	-	(主な調査対象処理施設) ・活性汚泥処理  (他の毒性原因物質の存在状況調査対象処理施設) ・5つの処理施設:活性汚泥処理 ・2つの処理施設:フィルムリアクター(1つは嫌気槽あり) ・1つの処理施設:生物膜処理	紫外線照射で消毒を実施(他の8つの処理施設では、6つで塩素処理、1つで紫外線照射、1つは特段添加等なし)	有機リン系殺虫剤(ダイアジノン、クロピリフォス)	・ミジンコ(C. dubia)急性毒性 ・ウニ急性毒性	ミジンコ(C. dubia)急性毒性試験
3	City of Reidsville	ノースカロライナ州	1992年~1994年	8つの事業場(繊維工場、たばこ製造工場、缶製造工場、食品工場、金属加工工場等)が接続している下水処理施設	-	-	-	(TIEでの排水毒性原因の特定が困難だった事例として紹介されている)	-	-	-	ニセネコゼミジンコ(C.dubia)慢性毒性	ニセネコゼミジンコ(C.dubia)繁殖試験
4	Michigan City Sanitary District	インディアナ州	1991年4月~1997年10月(1992年6月以降に急性毒性は確認されず)	-	約4万5千m <sup>3</sup> /日(12百万ガロン/日)	-	-	金属、アンモニア	・活性汚泥、砂ろ過 ・BOD除去率 96.7%、浮遊物質除去率 96%	-	金属	・魚類(ファットヘッドミノー)急性・慢性毒性 ・ミジンコ(C. dubia)急性・慢性毒性	・魚類(ファットヘッドミノー)急性・慢性毒性試験 ・ミジンコ(C. dubia)急性毒性試験・繁殖毒性試験(調査の初期段階では、コストと感受性の観点から、ミジンコ急性毒性試験を使用)
5	Linden Roselle Sewage Authority	ニュージャージー州	1989年~1997年	・流入水量の約20%が産業系(40事業者) ・排水元の地域の面積は約33km <sup>2</sup> (13平方マイル)	約4万9千m <sup>3</sup> /日(13百万ガロン/日)	不明	河川(河口域)	不明	・沈殿ろ過、活性汚泥処理等	あり(州の排水許可要件により、生物応答試験には塩素添加前の段階の排水が用いられた)	アンモニア、無極性有機化合物	アミ(M. bahia)急性毒性	・ミジンコ(C. dubia)急性毒性試験 ・アミ(M. bahia)急性毒性試験(調査の初期段階では、当時アミへの毒性についての知見が乏しかったことから、ミジンコ試験を使用)

番号 (再掲)	排水生態毒性の原因調査の主な内容				排水毒性削減方法	一連の調査、排水改善等において生じた課題	
	処理工程等の最適化についての検討内容	毒性同定評価 (Toxicity Identification Evaluation, TIE)		毒性発生源の調査			
		Phase1: 毒性物質の特徴化に係る調査	Phase2: 毒性物質の絞り込みに係る調査	Phase3: 毒性物質の確認に係る調査			
1	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>EPAが1988年に発行したTIEメソッドに従い、排水サンプルに対し、pH、ばっ気、金属を選択的に除去するキレート剤添加、無極性有機化合物の除去等を実施して毒性原因を調査した結果、既存の知見との比較から、排水中の陽イオンが原因物質として疑われ、特に銅が主要因として推定。</li> <li>他の陽イオン性物質(銀等)とアンモニアの生態影響も調査。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>排水に対する生物応答試験では、カンバンウニの方が、ムラサキウニよりも感受性が高かった。</li> <li>銅、アンモニアを個別物質としてばく露した試験でも、カンバンウニの方が感受性が高くなった(排水に対する試験と同じ傾向だった)が、銀等の陽イオン性の金属に係るばく露試験では2種の感受性は同程度だった。これらの結果は、排水中の銅とアンモニアが毒性原因物質である場合に想定される試験結果と矛盾しない。(アンモニアに係る調査はここまで)</li> <li>銅については更に、排水中濃度を調べたところ、当該排水には、試験生物種に対する最大無影響濃度(NOEC)の0.4~5.3倍の銅が含まれていた。他の金属の濃度はNOEC未満で、銅が主な毒性原因であることが更に支持された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>排水中の銅濃度を、サンプルに銅を加えるなどして調整して生物応答試験の結果への影響を調べたところ、銅濃度に従って排水毒性が増加。</li> <li>これにより、銅が主な毒性原因物質と確認。</li> </ul>	—	—	
2	下水処理施設の処理性能に特段問題はなかった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>5つの排水サンプルを対象に、無極性有機化合物を選択的に除去する処理、有機リン系殺虫剤の生態毒性を選択的に除去する添加剤を用いる処理、金属を選択的に除去するキレート剤処理、還元剤の添加処理、pH調整等の前後で生物応答試験を実施し、各処理等による毒性変化を調査。</li> <li>金属除去、pH調整等では大きな毒性変化がない一方、有機リン系殺虫剤の除去処理等によりサンプルの毒性が低減されたことから、有機リン系殺虫剤が毒性原因物質の候補とされた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4つの排水サンプルを対象に、クロマトグラフィーなどによる化学的手法により排水中物質の分離・抽出を実施。</li> <li>分離後のサンプルの毒性評価により、ダイアジノンが原因物質の一つであることを特定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>7つの排水サンプルを対象にダイアジノン濃度と毒性の相関関係を、生物応答試験を用いるなどして評価。</li> <li>当該相関は認められたが、排水全体の毒性値がダイアジノンの毒性のみでは説明できないことが判明。追加の化学的手法による排水サンプルからの有機リン化合物の抽出・分析を実施。</li> <li>全サンプルから有機リン系殺虫剤のクロピリフォスが試験生物に生態毒性を及ぼすレベルの濃度で検出。</li> <li>これらの調査により、有機リン系殺虫剤である2物質が毒性原因と特定された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>農業規制当局と共同で、住宅地区5地点、商業地区12地点から計200以上の排水サンプルを採取して、原因2物質の濃度・流量を測定するなどし、下水処理施設への負荷量を推計。</li> <li>結果、排水中濃度変動は大きかったが、ダイアジノンの52%、クロピリフォスの60%が生活排水等の住宅地域由来であったと推計(割合の残りは、調査対象となったペット関係事業場又は不明)</li> <li>(原因物質はペットのノミ駆除などに用いられていたことから、調査対象業種はこれを踏まえたものとされた)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>左記調査が行われた下水処理施設を含めた近隣の計9つの処理施設における原因2物質の流入水・排水中濃度が農業規制当局により調査され、全処理施設で両物質の流入等が確認された。</li> <li>これらの調査の後、原因2物質の大手製造事業者(紹介は物質毎に各1事業者)において、EPAと連携した製造製品における原因物質の使用量削減や消費者への製品の適正廃棄(殺虫剤を側溝等に流さないことなど)を呼びかける製品表示の充実等の取組が行われた。</li> </ul>	—
3	—	TIEでは毒性原因物質の絞り込みが行えず。		<ul style="list-style-type: none"> <li>排水元の7事業場の排水を対象とした生物応答試験の実施により、5事業場が毒性発生源の可能性があるとされた。</li> <li>実際の下水処理施設の排水フローを模した小規模な実験系で、5事業場の排水を加えて最終排水の生物応答試験を実施。(Toxicity Tracking Assessment (RTA)と呼ばれる手法)</li> <li>結果、繊維工場排水のみを加え場合に最終排水の生態毒性が大きくなり、当該工場を毒性発生源と判断。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実用的な排水毒性削減技術として、生態毒性を有する化学物質の使用の代替、これらを含む排水の最小化などの取組が各排水元の事業場(繊維工場以外を含む)に求められた。</li> </ul>	TIEによる毒性原因物質の絞り込みが行えなかった。	
4	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>排水サンプルに対し、無極性化合物(有機金属錯体、一部の金属等)を選択的に除去する処理、金属(イオン)を選択的に除去するキレート処理等を行い、各処理後のサンプルについて生物応答試験を実施。</li> <li>上述の2種類の処理により排水毒性が低減されたことから、金属が毒性原因と推定された。(ただし、具体的な金属の種類は特定・推定には至らなかったとみられる)</li> </ul>	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>ミンガン市当局が、金属を当該下水処理施設に排出している可能性がある事業場を調査したところ、許可違反のあるカドミウムめっき工場が排出元にあることが判明。</li> <li>当該工場の操業が停止した1992年4月以降、下水処理施設排水の毒性が確認されなくなった。</li> </ul>	—	—	
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>下水処理施設の処理性能に特段問題はなかった。</li> <li>アンモニア濃度と排水毒性の関係について、評価が必要と示唆された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EPAが1988年に発行したTIEメソッドに従い、排水サンプルに対して特定の物質群の抽出処理等を実施し、その前後でのサンプルの毒性を比較。</li> <li>これにより、アンモニアを主要な毒性原因物質と推定。</li> <li>また、無極性有機化合物も毒性に寄与している可能性があるとして推定。(以降は、これらの化合物の中での具体的な原因物質の特定を試みるための調査を実施)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>化学的手法でアンモニアを除去した上で、選択的に無極性有機化合物を抽出する処理を行い、これによる排水サンプルの毒性への影響を生物応答試験で調査。結果、無極性有機化合物が、排水毒性の原因の一つと確認された。</li> <li>具体的な原因物質の特定に向けて、GC/MS等の化学的手法を用い、無極性有機化合物の分離・抽出を行ったところ、20種の候補物質の他、毒性不明の他種類の物質が排水に含まれることが判明。</li> <li>分析対象とするサンプルによって検出される無極性有機化合物が異なったことなどから、原因物質の特定のための更なる調査は実施せず。</li> <li>検出された無極性有機化合物は、通常生活排水やその処理により生じる排水には含まれないものであったため、発生源としては事業場からの排水であることが推定された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RTA手法(3番の事例を参照)を用いて、アンモニアも含めた毒性原因全体の発生源を調査。</li> <li>アンモニアの主な発生源(言及なし)を特定後、約20の排水元(事業場又はマンホール)地点を対象に、無極性有機化合物の主な発生源を調査するためのRTA手法を追加して実施。(この際、アンモニアの試験結果への影響を除去するため、左欄と同様の前処理を実施)</li> <li>地点毎に、異なる2つの時期に採取したサンプルについて生物応答試験を実施した結果、計10事業場が無極性有機化合物に係る毒性原因の主な排出元と特定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(アンモニア)</li> <li>下水処理施設内のアンモニア処理法として6種の技術を検討したが、いずれも技術的・経済的に実用的ではなかった。</li> <li>結果的に、当局がアンモニアの前処理基準を定め事業者を実施を求めることで、アンモニア由来の排水毒性削減が実現。</li> <li>(アンモニア以外の毒性原因物質(無極性有機化合物))</li> <li>具体的な原因物質の特定に至らず</li> <li>毒性削減手法として粉末又は粒状活性炭処理が検討されたが、いずれも経済性の観点から実用的ではないとされた。</li> <li>結果的に、毒性の発生源と特定された事業場に対し、当局が生態毒性ベースで下水処理施設への排水の前処理基準を課すことで、毒性削減を目指すこととされた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>アンモニアによる全排水毒性への影響を適切に評価しつつ、他の物質に由来する排水毒性を評価することに複雑な処理等を必要とした。</li> <li>無極性有機化合物の中から具体的な毒性原因物質を特定が難しく、さらに毒性情報が不足した物質も検出された。</li> </ul>	