

2. 大阪市の水質事故リスク評価に基づく HS-GCMS を用いた PRTR 第 1 種指定化学物質の浄水処理性の調査

人見 文隆
藪内 宣博
今中 壮一
平林 達也

1. はじめに

本市では原水水質リスク管理体制の強化を図るため、PRTR（化学物質排出移動量届出制度）第 1 種指定化学物質 462 物質について、「排出量及び移動量データ」と「水質事故が発生した時の影響度」からリスクマップを作成し、それに基づき水質事故リスクの高い化学物質を抽出し順位付を行った¹⁾。また、最新の届出データ²⁾からリスクマップを更新し、HS-GCMS 等で測定可能な物質について、水質事故時を想定した迅速分析法の検討を行ったところである³⁾。本稿では、選定した 38 物質について、原水水質リスクを把握するべく浄水処理性の評価を行ったので報告する。

2. リスクマップの作製及び測定対象物質の選定

既報¹⁾に基づき、2018 年度の届出データから、排出量及び移動量と水質事故が発生した時の影響度を同様に評価し、淀川水系における排出量・移動量があった 164 物質を抽出し、図-1 のようにリスクマップを更新した。影響度は、オゾンでの除去性、粒状活性炭での除去性及び原因物質を摂取した時の健康影響から評価し、点数が 2 点より高ければ、よりリスクが高い物質と考えた。

本調査では、図-1 に示された物質のうち HS-GCMS で測定できる 27 物質に加え、排出量及び移動量がないものの標準試料を保有している 6 物質（アリアルアルコール、1,2-ジクロロプロパン、1,2,3-トリクロロプロパン、4-ビニル-1-シクロヘキセン、アルファ-メチルスチレン、アクリル酸 2-エチルヘキシル）、さらには異性体を含めた計 38 物質を評価対象とした。

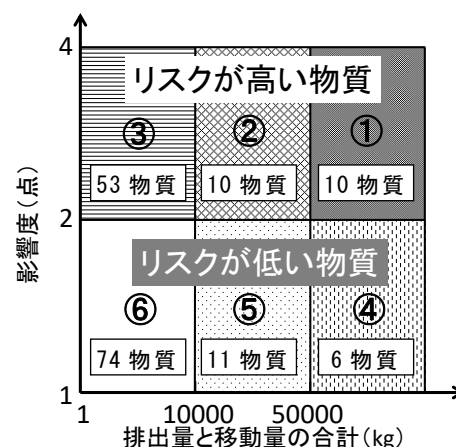


図-1 リスクマップ

3. 標準原液及び分析条件

各標準品（富士フイルム和光純薬(株)、関東化学(株)社製）をアセトニトリルで溶解し、5,000mg/L に調製したものを標準原液とした。試料調製方法及び分析条件については、既報³⁾に従った。

4. 各処理性評価

4. 1 凝集沈澱処理実験

ジャーテスター JT-6DN（宮本理研工業（株））を用いてジャーテストにより凝集沈澱処理を行った。柴島浄水場原水 1 L に各 PRTR 対象物質を第 4 検量点の濃度になるように添加し、硫酸ばんどは、浄水場における注入率 17ppm と同程度になるよう添加し、急速攪拌（148rpm、5 分）及び緩速攪拌（48rpm、15 分）した。その後、20 分静置し、濁質分を沈降させた上澄水を検水とした。

4. 2 砂ろ過処理実験

内径 2.3cm、長さ 100cm のアクリル製円筒型カラムに実際池で使用しているろ過砂を層厚 60cm となるように充填し、このカラムに各 PRTR 対象物質を第 4 検量点の濃度になるよう添加した中オゾン処理水（水温 24.3℃、pH7.3）を通水した。線速度は、50、100、150m/d とし、通水量を一定量とするため、それぞれの採水時間は概ね 90、45、30 分後とした。なお、中オゾン処理水は、予め 1 w/v% アスコルビン酸水溶液を処理水に対して 0.5% 添加することにより残留オゾンを除去したものを調査に供した。また、カラムに充填したろ過砂のアンモニア態窒素の除去率は、水温 28.8℃において 95%以上を示した。

4. 3 オゾン処理実験

オゾン発生装置 WAT-08（ラウンドサイエンス社）を用いてバッチ式のオゾン処理実験を行った。砂ろ過処理水（水温 18.5℃）に各 PRTR 対象物質を第 4 検量点の濃度になるように添加した試料 5 L（pH7.4）をガラス容器に入れ、ここにオゾンガスを毎分 0.2mg/L で注入し、0、1、3、5、8、10、15、20、30、45、60 分後に採水を行った。なお、処理水中の残留オゾンは、1 w/v% アスコルビン酸水溶液を試料に対して 0.5% 添加することで除去した。

4. 4 GAC 処理実験

内径 4.7cm、長さ 50cm のガラス製円筒型カラムに庭窪浄水場で約 5 年使用した GAC（以下、経年炭）または未使用の GAC（以下、新炭）（石炭系、水蒸気賦活、有効径 0.6mm）を層厚 20cm となるよう充填したものを実験に用いた。この経年炭を充填したカラムに、各 PRTR 対象物質を第 4 検量点の濃度になるように添加（pH7.5）した砂ろ過処理水（高水温期の水温 27.0℃、低水温期の水温 8.3℃、新炭実験時の水温 19.1℃）を通水した。流量は、60、40、20mL/min とし、通水量を一定量とするため、それぞれの採水時間は、概ね 45、65、120 分後とした。この時の空間速度（SV）はそれぞれ 10、7、3.5/h となる。一方、新炭では流量 40mL/min（空間速度（SV）は 7/h）の場合のみ行い、65 分後に採水を行った。本実験で使用した経年炭のアンモニア態窒素除去率は、28.0℃で 95% 以上、7.9℃では 0% であり、高水温期は GAC 層内にアンモニア態窒素を除去するような生物処理能を有していたと考えられた。また、本市における GAC による不揮発性溶存有機炭素の除去率は、新炭で 60%、5 年 6 ヶ月使用した経年炭で 0% という報告⁴⁾があることから、今回使用した経年炭の物理的な除去能は低いと考えられた。

4. 5 塩素処理実験

本実験に用いた塩素水は pH や緩衝液の影響を考慮し、次亜塩素酸ナトリウム溶液から精製した塩素水⁵⁾を用いて、有効塩素濃度約 280mg/L（pH11.3）に調製した。GAC 処理水に各 PRTR 対象物質を第 4 検量点の濃度になるように添加した試料 300mL に初期塩素濃度が 5.0mg/L となるよう塩素水を 5.36mL 添加し、密栓後に十分攪拌し、室温 20℃にて遮光し静置した（pH7.1）。試料は塩素添加 2 時間後及び 24 時間後に採水した。なお、処理水中の残留塩素は、1 w/v% アスコルビン酸ナトリウム水溶液を試料に対して 0.5% 添加し除去した。

4. 6 粉末活性炭処理実験

柴島浄水場原水（水温 20.7℃）1 L に各 PRTR 対象物質を第 4 検量点の濃度になるように添加し（pH7.5）、精製水で 10w/v% スラリーに調製した粉末活性炭（以下、粉炭）を注入率が 5、10、30、50ppm となるように加え、回転速度 120rpm で攪拌し、攪拌開始から 10、30、60 分後に採水した試料水をろ過した。なお、粉炭については、ヨウ素吸着能が 710mg/g-PAC または 1070mg/g-PAC の 2 種類について行った。

5. 結果と考察

5. 1 凝集沈澱処理実験の結果

凝集沈澱処理実験の結果を図-2 に示す。なお、図-2 に示したデータは攪拌による対象物質の揮散を考慮した結果となっている。どの物質もほとんど除去することができず、凝集沈澱処理はこれらの物質の除去には有効ではない結果となった。

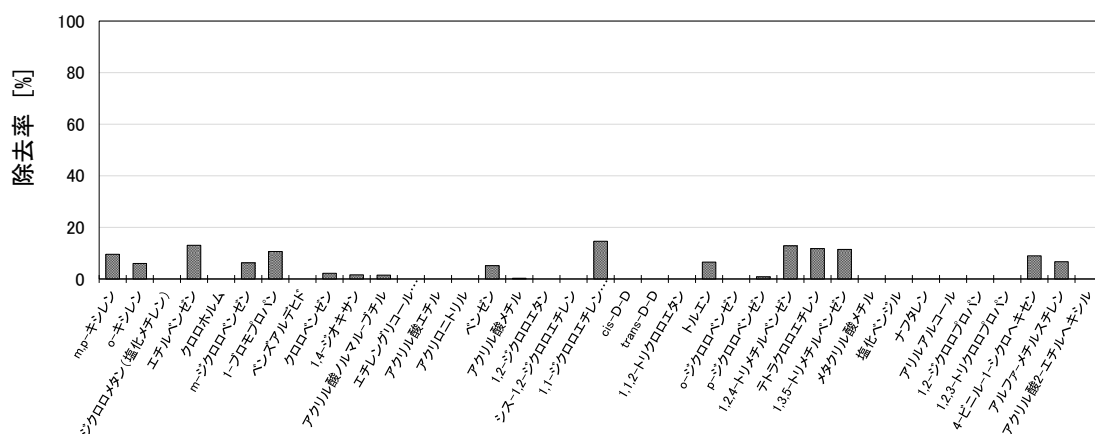


図-2 凝集沈澱処理の除去率

5. 2 砂ろ過処理実験の結果

砂ろ過処理実験の結果を図-3に示す。線速度を変化させても、ほとんどの物質が砂ろ過処理で除去されなかったが、一部の物質において一定量除去されていたことから、除去率が20%を超えた8物質（ベンズアルデヒド、アクリル酸ノルマルブチル、エチレングリコールモノエチルエーテルアセテート、アクリル酸エチル、アクリル酸メチル、メタクリル酸メチル、アリルアルコール、アクリル酸2-エチルヘキシル）について、それらの物質の構造に着目した。これら8物質のうち、ベンズアルデヒド及びアクリル酸2-エチルヘキシルを除く6物質が低級脂肪酸エステルであった。検討対象物質にこれら以外の低級脂肪酸エステルが存在していないこと、線速度の増加とともに除去率が向上していることから、低級脂肪酸エステルが構造内に含まれていると、生物処理機能を有する砂ろ過による除去が期待されると考えられた。

また、アリルアルコールはアルコール性ヒドロキシ基、ベンズアルデヒドはアルデヒド基と各官能基を持った物質が他に検討対象物質内に存在しないことから、これらの官能基を有する他の物質について同様の傾向を示すか追加調査が必要であると考えられた。

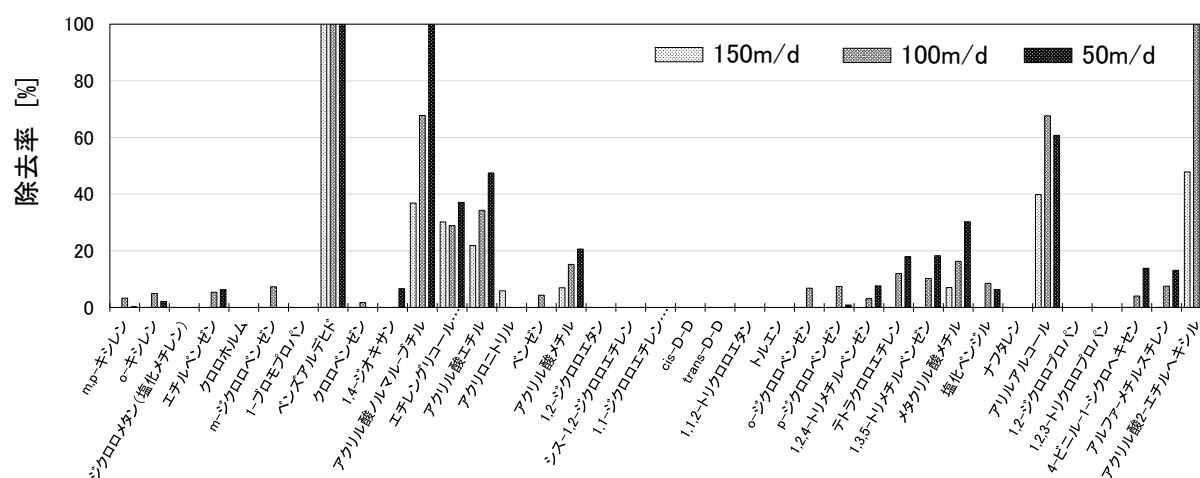


図-3 砂ろ過処理における各線速度の除去率

5. 3 オゾン処理実験の結果

本市では、有機物等の分解に必要なオゾン量を確保しつつ臭素酸の生成を抑制するため、残留オゾン濃度と接触時間の積からなる値（以下、CT値）（ $\text{mg-O}_3 \cdot \text{min/L}$ ）を指標としたオゾン注入制御方式を採用している。通常時では、後オゾン処理における制御目標値をCT2.5で運用していることから、オゾン処理性の評価はCT2.5の条件下で行った。また、CT2.5における除去率は、各物質の残存率の対数とCT値に直線関係があることから、近似式を用いてCT2.5の残存率を換算し、そこから除去率を求めた。また、オゾン注入を強化する場合を想定してCT5.0における除去率も近似式から換算した。図-4にCT2.5及びCT5.0の実

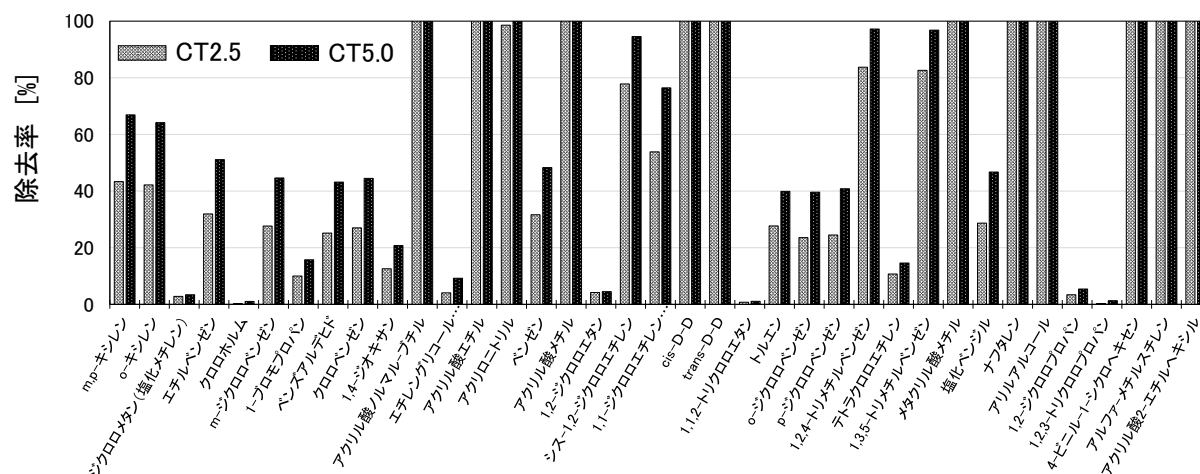


図-4 オゾン処理における各CT値の除去率

験結果を示す。検討対象 38 物質のうち、CT2.5 において 11 物質の除去率が 100%であった。除去率が 100%に満たない物質については、オゾン CT 値を 5.0 に上昇させると除去率は高くなったが、その程度は小さかった。

次に、処理対象物質のオゾン反応速度定数や物質構造によりオゾン処理の除去性が大きく異なることから、その関係性を調べることにした。検討対象 38 物質のうち文献^{6)・7)}からオゾン反応速度定数が得られた 20 物質について、オゾン反応速度定数と除去率の関係を図-5 に示した。オゾン反応速度定数と除去率は正の相関を示していることから、反応速度定数が未知の物質であっても、その除去率からおおよそのオゾン反応速度定数を見積もることが可能であると推測された。また、塩素原子が存在する物質は、電子吸引基として系を不活性化するために反応性が低下するのに対し、電子供与基であるアルキル基を複数有している物質は、系を活性化させるため反応性が増加すると推測された。これは、奥村⁸⁾の報告と同様の結果であった。

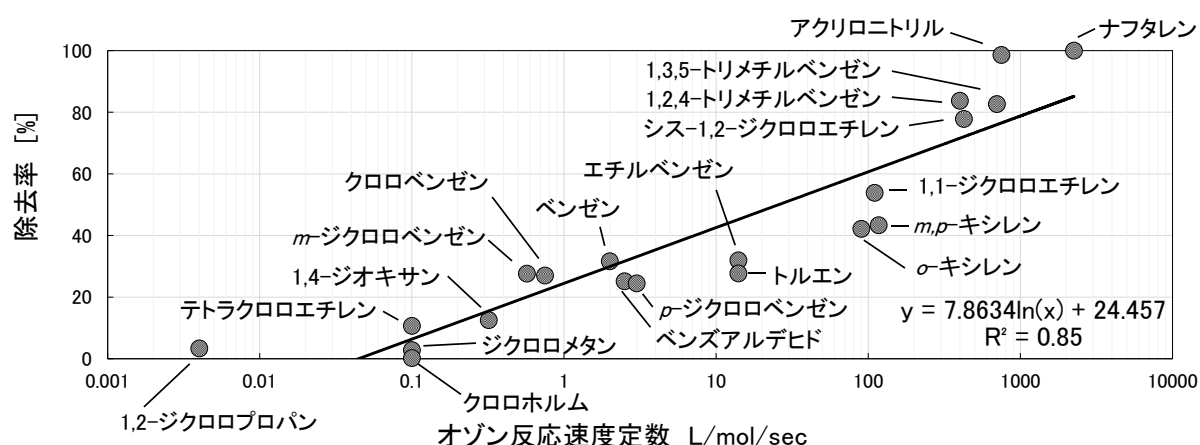


図-5 オゾン処理除去率 (CT2.5) とオゾン反応速度定数

5. 4 GAC 処理実験の結果

高水温期における GAC 処理実験の結果を図-6 に示す。高水温期では、空間速度によらず多くの物質が除去されており、除去性が低い一部の物質であっても空間速度を低下させることにより除去性が向上した。次に、低水温期における GAC 処理実験の結果を図-7 に示すが、低水温期においては、一部の物質で除去率の低下が見受けられたため、SV 7 において水温の違いによる除去性を比較することとした。その結果を図-8 に示す。

高水温期においては、検討対象 38 物質のうち、26 物質の除去率が 100%であったが、低水温期では 2 物質の除去率が低下し、除去率が 100%を示したのは 24 物質であった。また、高水温期に除去率が 100%とならなかった物質の除去性は低水温期では低下した。これらのことから、高水温期では生物活性が高まるために経年炭による除去性が高くなることがわかった。なお、新炭の調査結果は示していないが、すべての物質において除去率は 100%であった。

また、GAC 処理では処理対象物質の水溶解度によって除去性が異なると考えられたことから、SV 7 における除去率と水溶解度の関係性を調べた。その結果を図-9 に示す。水溶解度が 1000mg/L を超過すると一部の物質について除去率が低下していることから、除去率が低下した 11 物質 (ジクロロメタン、クロロホルム、1-ブロモプロパン、1,4-ジオキサン、アクリロニトリル、1,2-ジクロロエタン、cis-1,2-ジクロロエチレン、1,1-ジクロロエチレン、1,1,2-トリクロロエタン、1,2-ジクロロプロパン、1,2,3-トリクロロプロパン) について、物質の構造に着目した。このうち、1,4-ジオキサン及びアクリロニトリルを除く 9 物質がハロゲン系脂肪族炭化水素であり、テトラクロロエチレンのような水溶解度が低い物質については除去率が 100%であることから、水溶解度が高いハロゲン系脂肪族炭化水素は原水水質リスクの高い物質であると考えられた。

一方、水溶解度が 1000mg/L を超えても除去率が低下しなかった 10 物質 (ベンズアルデヒド、アクリル酸ノルマル-ブチル、エチレングリコールモノエチルエーテルアセテート、アクリル酸エチル、ベンゼン、

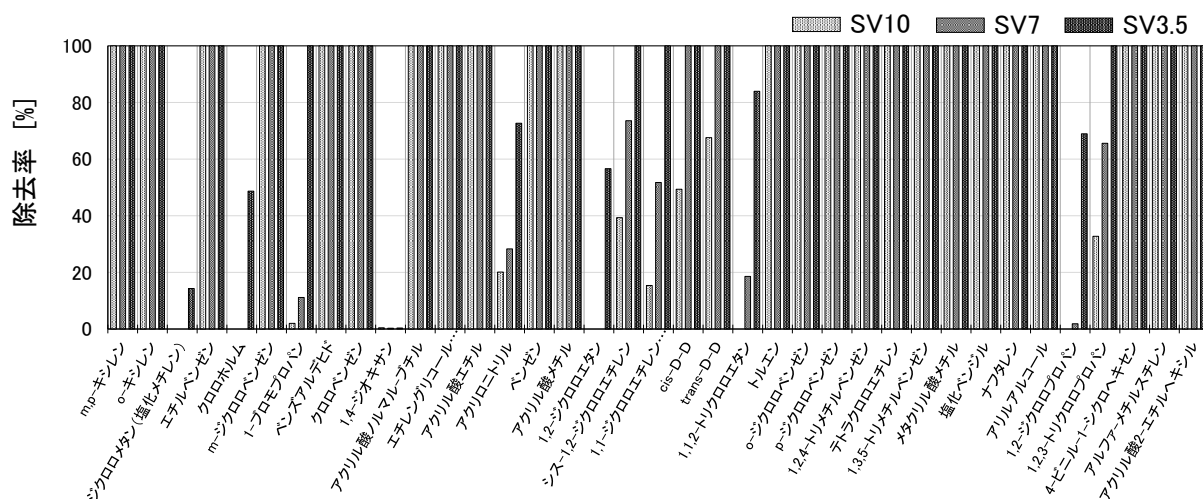


図-6 GAC 処理（高水温期）における各空間速度の除去率

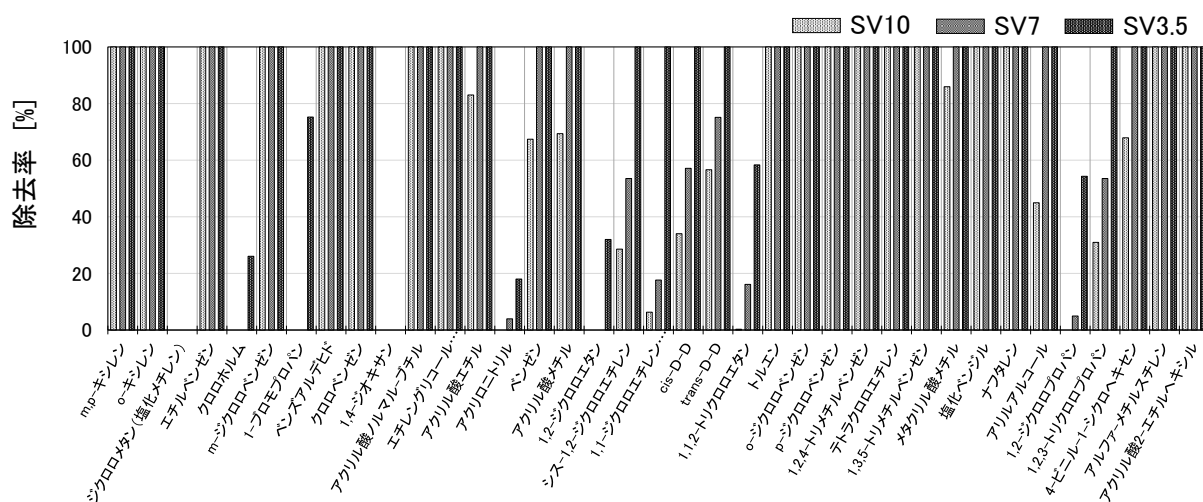


図-7 GAC 処理（低水温期）における各空間速度の除去率

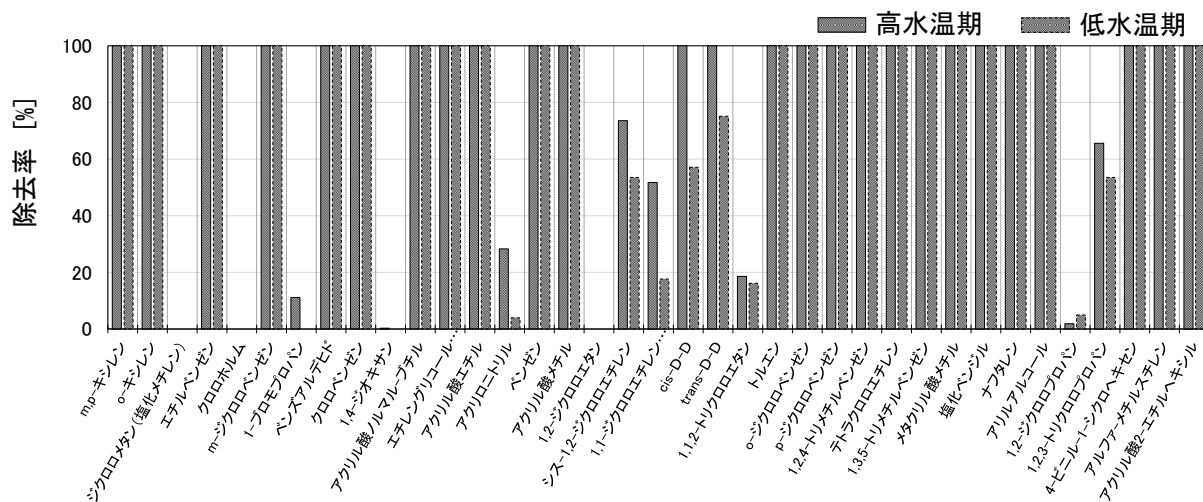


図-8 GAC 処理（SV7）における各水温期の除去率

アクリル酸メチル、*cis*-D-D、*trans*-D-D、メタクリル酸メチル、アリルアルコール）について、同様にそれらの物質の構造に着目した。これら 10 物質のうち 5 物質が低級脂肪酸エステルであり、水溶解度が高いにもかかわらず芳香族については除去率は 100%であった。

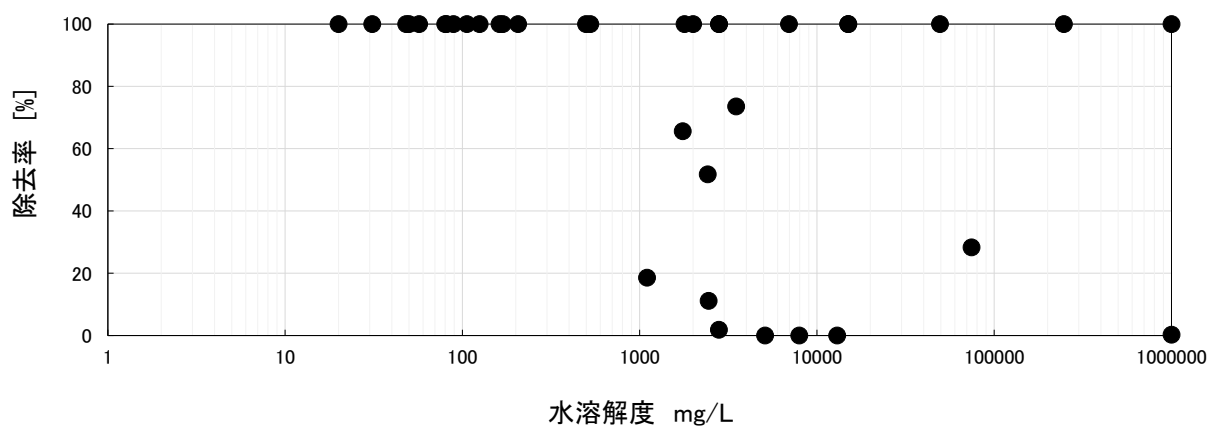


図-9 GAC 処理（高水温期、SV 7）除去率と水溶解度

5. 5 塩素処理実験の結果

塩素処理実験の結果を図-10 に示す。塩素との接触時間を 2 時間から 24 時間に延長しても、ほとんどの物質が除去されなかった。しかし、一部の物質について一定量除去されていたことから、塩素接触 24 時間における除去率が 20%を超えた 8 物質（*m*-キシレン、*p*-キシレン、1,2,4-トリメチルベンゼン、1,3,5-トリメチルベンゼン、ナフタレン、アリルアルコール、4-ビニル-1-シクロヘキセン、アルファ-メチルスチレン）について、それらの物質の構造に着目した。これら 8 物質のうち、アリルアルコール及び 4-ビニル-1-シクロヘキセンを除く 6 物質が芳香族炭化水素であった。このうちアリルアルコールは塩素下において 3-クロロ-1,2-プロパンジオールに、ナフタレンは 1-クロロナフタレンになることが知られており、その結果と一致する。また、芳香族炭化水素については、他の塩素処理低除去率物質（エチルベンゼン、*m*-ジクロロベンゼン、ベンズアルデヒド、クロロベンゼン、ベンゼン、トルエン、*o*-ジクロロベンゼン、*p*-ジクロロベンゼン、塩化ベンジル）と比較すると、電子供与基であるアルキル基を複数有していた。また、1,2,4-トリメチルベンゼンに比べ、1,3,5-トリメチルベンゼンの除去率が高い要因としてメチル基の部位、すなわち配向性が考えられた。

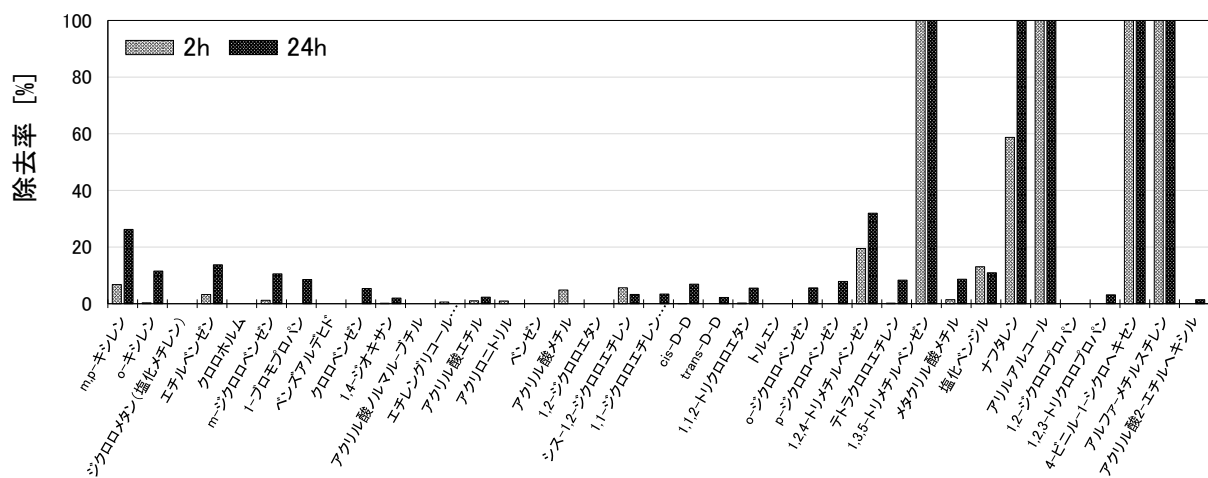


図-10 塩素処理における各接触時間の除去率

5. 6 粉末活性炭処理実験の結果

粉炭処理実験のうち 1,3,5-トリメチルベンゼンの結果（ヨウ素吸着能 710mg/g-PAC）を図-11 に示す。なお、図中に示した除去率は揮散の影響を排除した値となっている。この結果より、粉炭注入率が高くなるほど、また粉炭との接触時間が長くなるほど 1,3,5-トリメチルベンゼンは除去されることがわかった。

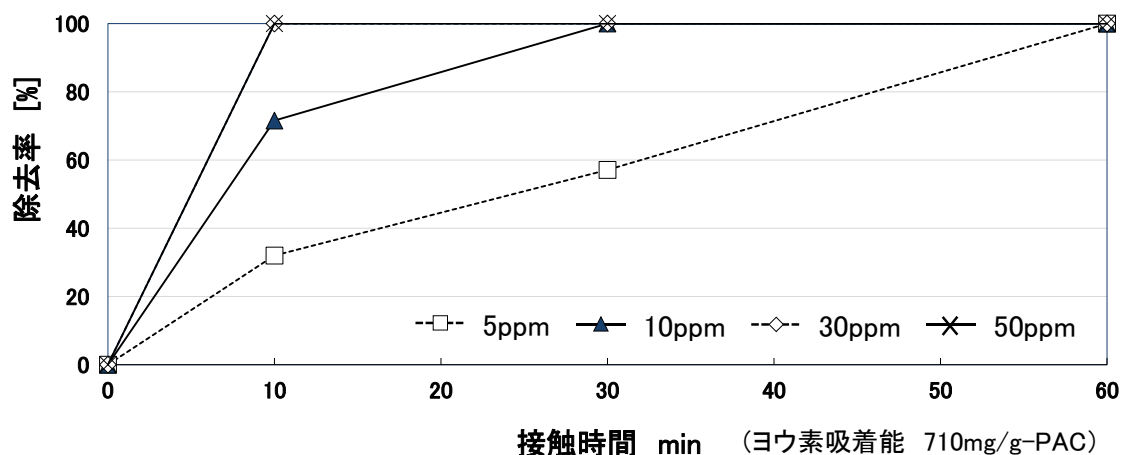


図-11 1,3,5-トリメチルベンゼンの粉炭処理における各注入率の除去率

注入率 10ppm、接触時間 30 分における除去率の結果を図-12 に示す。ヨウ素吸着能が 1070mg/g である粉炭を用いた方が除去率は高いものの、ヨウ素吸着性能 710mg/g の除去性と大きく変わらなかった。また、GAC 処理による除去率が低かったもの（ジクロロメタン、クロロホルム、1-プロモプロパン、1,4-ジオキサン、アクリロニトリル、1,2-ジクロロエタン、シス-1,2-ジクロロエチレン、1,1-ジクロロエチレン、1,1,2-トリクロロエタン、1,2-ジクロロプロパン、1,2,3-トリクロロプロパン）については、粉炭処理においても除去率が他の物質に比べ低かった。さらに、GAC 処理による除去率が 100%であったにもかかわらず、一部の物質（エチレングリコールモノエチルエーテルアセテート、アクリル酸エチル、ベンゼン、アクリル酸メチル、*cis*-D-D、*trans*-D-D、メタクリル酸メチル、アリルアルコール）については粉炭処理による除去率が低かった。このため、各物質の水溶解度に注目し、粉炭処理による除去率との相関を調べた。水溶解度と粉炭処理による除去率の関係（図-13）から、水溶解度が高い物質ほど除去率が低下する傾向が確認された。このことから、GAC 処理による除去は除去対象物質の構造が、粉炭処理の除去性は水溶解度が支配要因であると考えられた。

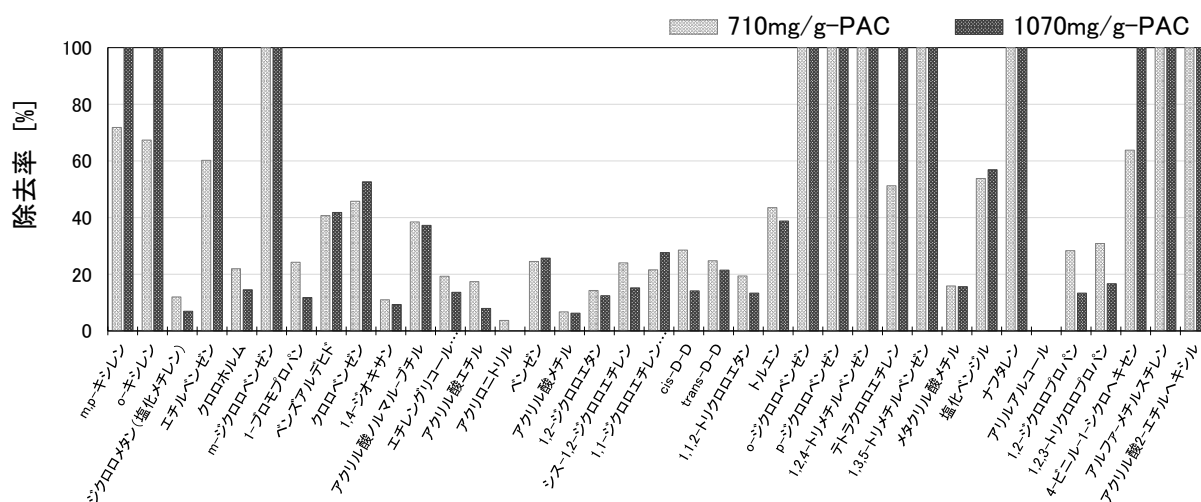


図-12 粉炭処理（注入率 10ppm、接触時間 30min）における各ヨウ素吸着能の除去率

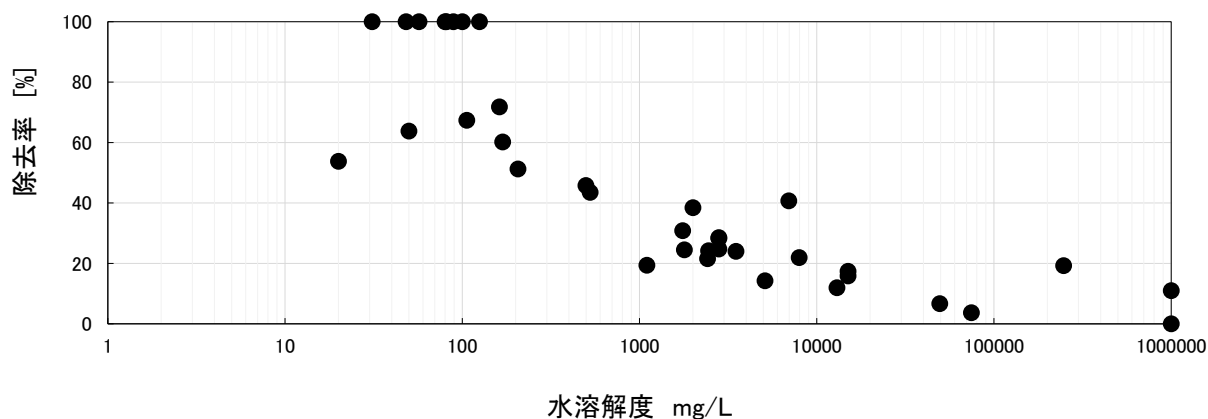


図-13 粉炭処理（ヨウ素吸着能 710mg/g-PAC、注入率 10ppm、接触時間 30min）除去率と水溶解度

5. 7 浄水処理性評価

これらの結果から各処理過程における残存率を掛け合わせることで、本市におけるトータルの浄水処理性（以後、総浄水処理性）を見積もった。その結果を粉炭処理を追加で行った場合の結果とあわせて図-14に示す。なお、複数の処理条件で実験を行ったが、より安全な評価を行うために、一般的に運用されている処理条件で得られた結果の中から処理性が低かった条件下での実験結果を採用した。また、その他の条件の結果を表-1に示した。

総浄水処理性を評価した場合、100%の除去性を示した物質がある一方で、粉炭を注入した場合においても、大きく除去率が向上しなかった物質も認められた。総浄水処理除去率が80%以下の9物質（ジクロロメタン、クロロホルム、1-ブロモプロパン、1,4-ジオキサン、1,2-ジクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、1,1,2-トリクロロエタン、1,2-ジクロロプロパン、1,2,3-トリクロロプロパン）に着目すると、8物質がハロゲン系脂肪族炭化水素であった。これらの物質は、GAC 処理において処理性が低かった物質群であり、水溶解度が高いハロゲン系脂肪族炭化水素は、原水水質リスクが高い物質であると判断される。また、これらの物質については、粉炭処理による除去が期待されないことから、原水への流入もしくはその可能性がある場合には取水制限等、その他の対応策が必要になると考えられた。

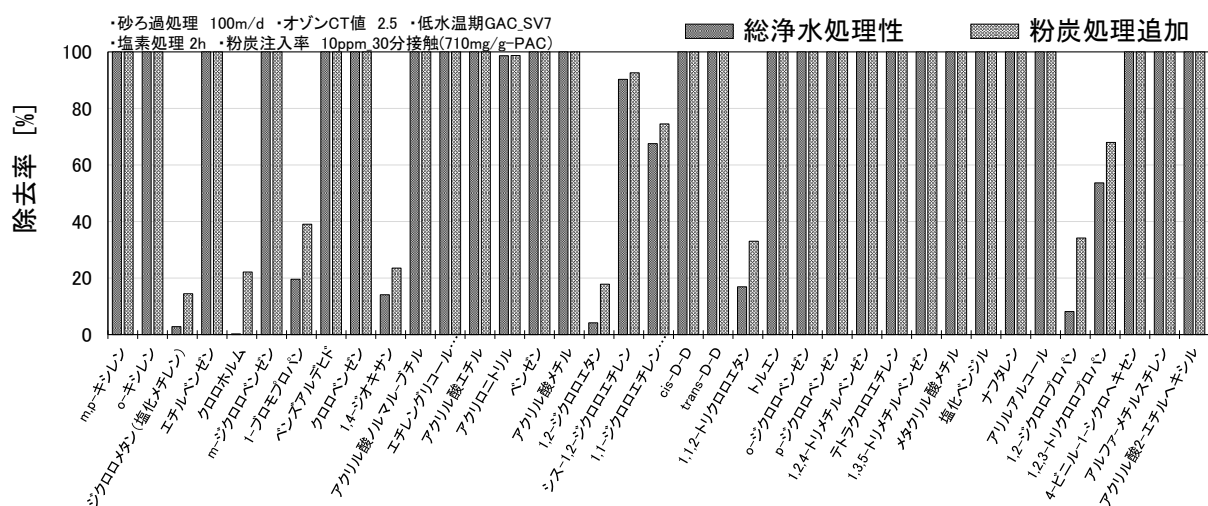


図-14 浄水処理性評価

6. まとめ

調査対象として選定した38物質について浄水処理性を調べたところ、次のような知見が得られた。

- 1) 凝集沈澱処理による除去効果は小さかった。
- 2) 砂ろ過処理により、低級脂肪酸エステルについては一定量除去された。

- 3) オゾン処理において、物質構造とオゾン反応速度定数には相関があることから、除去率を推定できることがわかった。また、オゾン処理により除去される物質であっても、オゾン注入を強化しても除去率は大きく変化しなかった。
- 4) GAC 処理の結果、水溶解度が高いハロゲン系脂肪族炭化水素は除去性が低かった。しかし、低級脂肪酸エステルや芳香族については、水溶解度が高いにも関わらず除去性が高かった。
- 5) 塩素処理では、ほとんどの物質が除去されなかった。
- 6) 粉炭処理の除去性は、GAC 処理の除去性と異なり物質構造ではなく水溶解度が支配要因であることがわかった。
- 7) 総浄水処理性を評価すると、水溶解度が高いハロゲン系脂肪族炭化水素は除去率が低く、粉炭処理も有効でないことから、原水水質リスクが非常に高い物質であり、原水への流入もしくはその可能性がある場合には取水制限等、その他の対応策が必要になると考えられた。

7. 参考文献

- 1) 簀内ら：大阪市における PRTR 第 1 種指定化学物質の水質事故リスク評価、日本水道協会関西地方支部第 62 回研究発表会概要集、pp.143-146、2018 年
- 2) 経済産業省：PRTR 制度に基づく届出データの公表について
https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/prtr/6a.html
- 3) 人見ら：大阪市の水質事故リスク評価に基づく HS-GCMS 及び GC-TOFMS を用いた PRTR 第 1 種指定化学物質の迅速測定法の検討、日本水道協会関西地方支部第 63 回研究発表会概要集、pp.214-217、2020 年
- 4) 浄水技術 R&D Program 柴島浄水場・水質試験所：高度浄水処理における粒状活性炭の更新に関する調査報告、水道事業研究、第 149 号、pp. 3-38、2005 年
- 5) 日本水道協会：上水試験方法 2011 年版・有機物編、pp.126
- 6) Sonntag and Gunten. : CHEMISTRY OF OZONE IN WATER AND WASTEWATER TREATMENT、IWA Publishing、pp.81-224、2012
- 7) 吉田隆：OH ラジカル類の生成と応用技術、NTS、pp.180-184、2008 年
- 8) 奥村為男：水中農薬の塩素およびオゾンによる分解について、水環境学会誌、第 15 巻、第 1 号、pp.62-69、1992 年

表 - 1 検討対象 38 物質の測定結果一覧

区分	物質名	揮発沈殿	砂ろ過池			オゾン		新炭	GAC						塩素		粉炭(10ppm*30min)	
			50 (m/d)	100 (m/d)	150 (m/d)	CT2.5	CT5.0		高水温			低水温			2hr接触	24hr接触	710 (mg/g)	1070 (mg/g)
									(SV10)	(SV7)	(SV3.5)	(SV10)	(SV7)	(SV3.5)				
①	m-キシレン	10	0	3	0	43	67	100	100	100	100	100	100	100	7	26	72	100
①	o-キシレン	6	0	5	2	42	64	100	100	100	100	100	100	100	0	12	67	100
①	ジクロロメタン(塩化メチレン)	0	0	0	0	3	3	100	0	0	14	0	0	0	0	0	12	7
①	エチルベンゼン	13	0	5	6	32	51	100	100	100	100	100	100	100	3	14	60	100
②	クロホルム	0	0	0	0	0	1	100	0	0	49	0	0	0	0	0	22	15
②	m-ジクロロベンゼン	6	0	7	0	28	45	100	100	100	100	100	100	100	1	11	100	100
③	i-プロピロベン	11	0	0	0	10	16	100	2	11	100	0	0	75	0	9	24	12
③	ベンズアルデヒド	0	100	100	100	25	43	100	100	100	100	100	100	100	0	0	41	42
③	クロロベンゼン	2	0	2	0	27	44	100	100	100	100	100	100	100	0	5	46	53
③	1,4-ジオキサン	2	0	0	7	13	21	100	0	0	0	0	0	0	0	2	11	9
③	アクリル酸ノルマル-ブチル	1	37	68	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	38	37
③	エチレンジクロールモノエチルエーテルアセテート	0	30	29	37	4	9	100	100	100	100	100	100	100	1	0	19	14
③	アクリル酸エチル	0	22	34	47	100	100	100	100	100	100	83	100	100	1	2	17	8
③	アクリロニトリル	0	6	0	0	99	100	100	20	28	73	0	4	18	1	0	4	0
③	ベンゼン	5	0	4	0	32	48	100	100	100	100	67	100	100	0	0	25	26
③	アクリル酸メチル	0	7	15	21	100	100	100	100	100	100	69	100	100	5	0	7	6
③	1,2-ジクロロエタン	0	0	0	0	4	4	100	0	0	57	0	0	32	0	0	14	12
③	シス-1,2-ジクロロエチレン	0	0	0	0	78	95	100	39	74	100	29	54	100	6	3	24	15
③	1,1-ジクロロエチレン(塩化ビニリデン)	15	0	0	0	54	76	100	15	52	100	6	18	100	0	3	22	28
③	cis-D-D	0	0	0	0	100	100	100	49	100	100	34	57	100	0	7	29	14
③	trans-D-D	0	0	0	0	100	100	100	68	100	100	57	75	100	0	2	25	21
③	1,1,2-トリクロロエタン	0	0	0	0	1	1	100	0	19	84	0	16	58	0	6	19	13
④	トルエン	7	0	0	0	28	40	100	100	100	100	100	100	100	0	0	44	39
⑤	o-ジクロロベンゼン	0	0	7	0	24	40	100	100	100	100	100	100	100	0	6	100	100
⑤	p-ジクロロベンゼン	1	0	7	1	24	41	100	100	100	100	100	100	100	0	8	100	100
⑤	1,2,4-トリメチルベンゼン	13	0	3	8	84	97	100	100	100	100	100	100	100	19	32	100	100
⑤	トリクロロエチレン	12	0	12	18	11	15	100	100	100	100	100	100	100	0	8	51	100
⑤	1,3,5-トリメチルベンゼン	11	0	10	18	83	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
⑥	メタクリル酸メチル	0	7	16	30	100	100	100	100	100	100	86	100	100	1	9	16	16
⑥	塩化ベンジル	0	0	8	6	29	47	100	100	100	100	100	100	100	13	11	54	57
⑥	ナフタレン	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	59	100	100	100
-	アクリルアルコール	0	40	68	61	100	100	100	100	100	100	45	100	100	100	100	0	0
-	1,2-ジクロロプロパン	0	0	0	0	3	5	100	0	2	69	0	5	54	0	0	28	13
-	1,2,3-トリクロロプロパン	0	0	0	0	0	1	100	33	66	100	31	54	100	0	3	31	17
-	4-ビニル-1-ジクロロヘキセン	9	0	4	14	100	100	100	100	100	100	68	100	100	100	100	64	100
-	アクリル酸-メチルアクリレート	7	0	7	13	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
-	アクリル酸-エチルヘキシル	0	48	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	1	100	100

(%)