

低水温原水に対する U-BCF 処理性能評価

Performance Evaluation of Up-flow Biological Contact Filter Under Low Water Temperature



榎本周一*
Shuichi Enomoto



熊野 晋*
Susumu Kumano



高橋祥太**
Shota Takahashi



石丸 豊***
Yutaka Ishimaru
技術士（総合技術監理
部門、上下水道部門）

上水分野において、水源水質の悪化にともなう臭気物質の発生、溶解性物質濃度の上昇により浄水障害が生じ課題となっている。臭気物質および溶解性物質の除去方法として、近年、生物処理、とりわけ粒状活性炭を利用した上向流式生物接触ろ過方式が注目を集めている。しかし、生物処理であるため、原水の低水温化による生物活性の低下が懸念される。当社は、寒冷地に所在する浄水場にて四季を通じた上向流式生物接触ろ過設備による臭気物質、溶解性物質の除去性能の評価を行い、低水温となる地域においても上向流式生物接触ろ過設備が適用可能であることを確認した。

In water treatment, purification trouble arises because of the generation of odor-causing substances and the rise in concentration of the dissolved substances caused by the worsening quality of water sources. Recently, an Up-flow Biological Contact Filter (U-BCF) that uses microbial processing and granular active carbon has garnered attention as a method for removing odor-causing substances and dissolved substances. However, because it uses microbial processing, it is feared that biological activity may be reduced by low water temperatures. We evaluated U-BCF removal performance of odor-causing substances and dissolved substances at a drinking water treatment plant in a cold area during all seasons of the year, and confirmed that the U-BCF was applicable technology for cold areas.

Key Words :

上 水 処 理
上向流式生物接触ろ過
低 水 温
臭 気 物 質
溶 解 性 物 質

Water treatment
Up-flow Biological Contact Filter
Low water temperature
Odor-causing substances
Dissolved substances

【セールスポイント】

北海道や東北地方等の寒冷地においても生物処理による浄水処理が適用可能である。

ま え が き

上水分野において、水源水質の悪化にともなう臭気物質の発生や溶解性物質濃度の上昇によって浄水処理に障害が発生し、課題となっている。また、さらに近年では、冬季においても臭気物質が発生する

事例が確認されており、水源の悪化と同じく浄水処理に悪影響を及ぼす。

上記課題に対して、生物処理、とりわけ粒状活性炭を利用した上向流式生物接触ろ過方式が有効であり、注目されている。しかし、生物接触ろ過方式の

場合、除去対象物質を生物の働きにより除去もしくは分解することから、原水の低水温化による生物活性の低下が懸念される。また、生物処理における原水水温と除去対象物質の定量的な評価が行われていない。

上記現状から、当社は上向流式生物接触ろ過設備（以下、U-BCF と称す）の低水温原水への適用性確認を目的として、寒冷地におけるダム湖沼水を水源とする浄水場に U-BCF 実験装置を設置し、四季を通じた臭気物質、溶解性物質の除去性能を評価した。

なお、本研究は東北学院大学との共同研究として実施した。

1. 実験装置と方法

生物接触ろ過設備は、担体であるろ材に保持された浄化能力を有する微生物を利用して、原水中の臭気物質や溶解性物質を微生物に接触させて除去もしくは分解するシステムである。そのなかで U-BCF

はろ材の下部から上向きに原水を通水して生物処理を行う方式であり、通水速度を大きくして接触ろ過層を膨張させた流動状態（流動床）とし、生物接触ろ過層内の濁質捕集を抑制しており、以下の特長を有する。¹⁾

- 1) 流動床であるため、接触ろ過層全体を有効に利用でき、生物処理効率が良い。
- 2) 小粒径の活性炭を利用することで、ろ材の表面積が大きくとれ、生物の付着量が多くなり処理効果を向上できる。
- 3) 上向流であるため、原水中の濁質によるろ過層の閉塞が生じない。また、濁度が高い原水を高い通水速度で接触ろ過できるので、施設の設置面積のコンパクト化が可能である。

今回使用した U-BCF 実験装置フロー図、装置諸元をそれぞれ図 1、表 1 に示す。原水は水中ポンプにて沈砂池より取水され、実験装置内の原水槽へ移送される。原水槽に移送された原水は、原水ポンプ

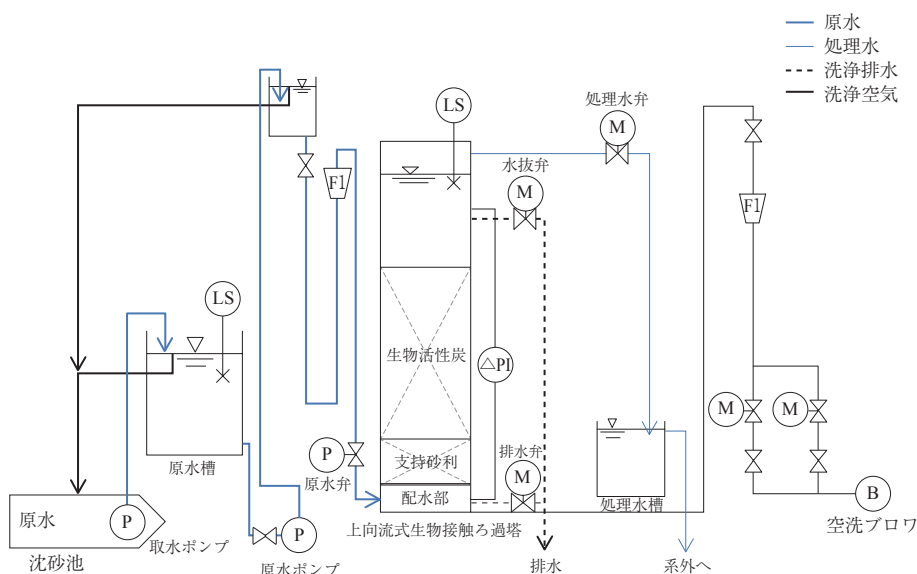


図 1 現地実験装置フロー図および外観

表 1 現地実験装置諸元

生物接触ろ過塔	
型式	PVC 製円筒型
塔数	1 塔
寸法	200 mm ϕ × 4 500 mmH
通水方式	上向流式
ろ過速度	15 m/h
空間速度	10 /h
ろ材	粒状活性炭 1 500 mmH (有効径 0.4–0.5 mm)
支持砂利	300 mmH
配水装置	有孔ブロック式

にてU-BCFへ送水され、下部配水装置、支持砂利層を経て、ろ過層でろ材（活性炭）と接触処理され、ろ過塔上部より処理水槽へ移送される。洗浄は原水および空洗ブロワからの空気を使用してろ過と同様の上向流にて行った。

2. 実験結果

2.1 現地実験結果

溶解性物質である溶解性マンガン、アンモニア態窒素、および臭気物質であるジェオスミン、ジメチルイソボルネオール（以下2-MIBと称す）に着目してU-BCF処理性能を評価した。各物質の原水濃度、処理水濃度、原水水温を図2～5に示す。

実験期間は、2010年10月18日から2012年8月23日までとした。2010年10月18日から2011年6月25日までは、馴養期間であること、震災で現地入場ができなかったことよりデータは未掲載とした。なお、実験装置はデータ未掲載期間中、故障することなく運転していた。

1) 溶解性マンガン

原水濃度は0.001 mg/L（検出限界値）未満～0.048 mg/Lの範囲で実験期間中推移していた。これに対して処理水濃度は、原水水温が5℃以下となる期間（低水温期）も含めて実験期間中常に0.001 mg/L（検出限界値）未満で推移しており、良好に処理されていた。

2) アンモニア態窒素

原水濃度は0.01 mg/L（検出限界値）未満～0.12 mg/Lの範囲で推移していたのに対し、処理水濃度は低水温期も含めてほぼ0.01 mg/L（検出限界値）未満で推移しており、良好に処理されていた。

3) ジェオスミン

原水濃度1 ng/L（検出限界値）未満～4 ng/Lの範囲で推移し、2011年9月中旬から2012年5月末にかけて2 ng/L前後検出されていた。一方、処理水濃度は全期間を通してほぼ1 ng/L（検出限界値）未満で推移しており、良好に処理されていた。

4) 2-MIB

原水濃度は1 ng/L（検出限界値）未満～17 ng/Lの範囲で推移していた。特に2011年9月中旬から2012年3月下旬にかけて高濃度で検出されていた。処理水濃度は低水温期においては最大で3 ng/L検出されたが、それ以外の期間においてはほぼ1 ng/L（検出限界値）未満で推移しており、良好に処理されていた。

5) 生物活性炭に付着している細菌数

臭気物質、溶解性物質の分析に加え、ろ材の微生物

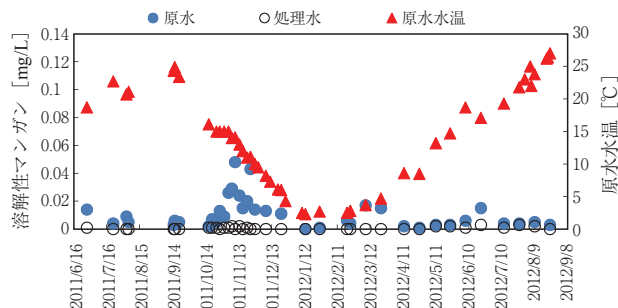


図2 溶解性マンガンの処理性能推移

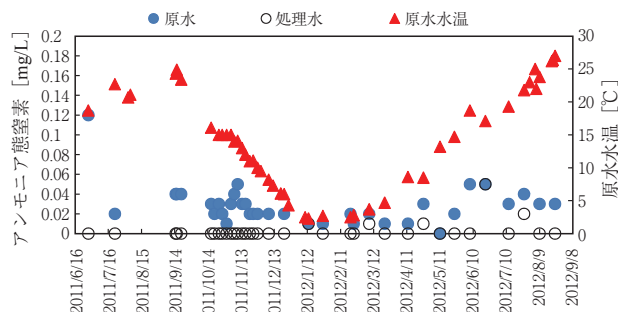


図3 アンモニア態窒素の処理性能推移

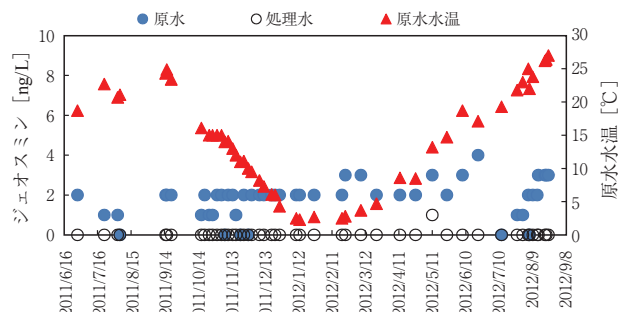


図4 ジェオスミンの処理性能推移

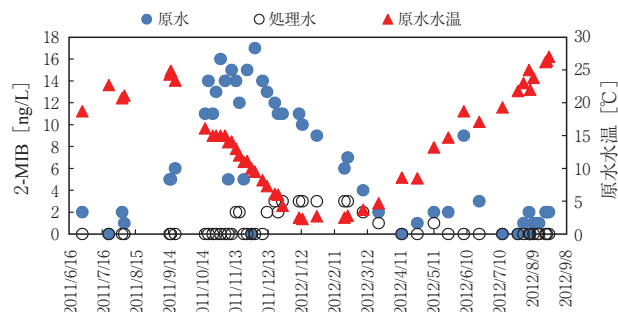


図5 2-MIBの処理性能推移

日 付	全 細 菌	硝 化 細 菌			Fe Mn 酸化細菌		
		AOB (アンモニア酸化細菌)	AOA (アンモニア酸化古細菌)	<i>Nitrospira</i>	<i>Crenothrix polyspora</i>	<i>Pedomicrobium & Hyphomicrobium</i>	<i>Galionella</i>
	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC	copies/g AC
2010/11/29	2.94E + 09	3.25E + 07	4.83E + 05	1.93E + 06	3.75E + 04	4.46E + 07	2.11E + 05以下
2011/2/22	7.00E + 09	8.71E + 07	1.74E + 05	1.82E + 06	8.30E + 04	1.64E + 08	3.68E + 06
2011/8/12	7.21E + 09	5.17E + 07	8.22E + 05	3.87E + 06	1.07E + 06	6.28E + 08	1.41E + 07
2012/1/25	1.15E + 10	2.35E + 07	7.64E + 06	7.05E + 05	5.27E + 05	1.72E + 09	2.10E + 07
2012/5/24	9.13E + 09	5.03E + 07	1.61E + 06	6.01E + 05	1.04E + 06	1.75E + 09	5.35E + 07

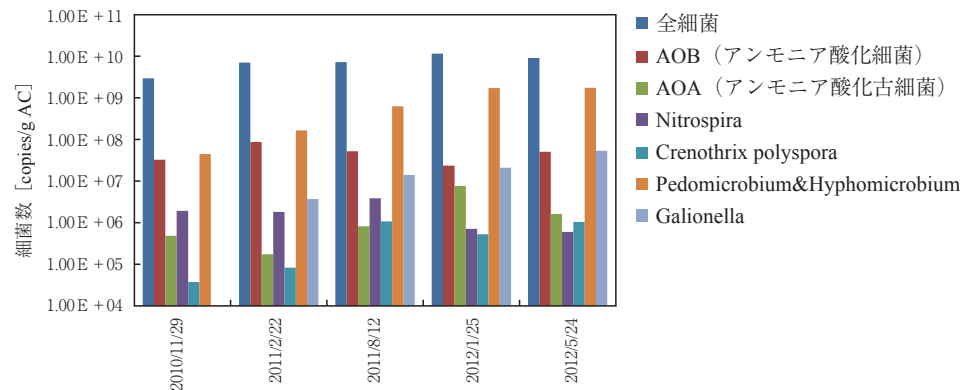


図6 ろ材の微生物分析結果

物分析も定期的に行った。結果を図6に示す。菌体数として、全菌数は実験期間中、ろ材1gあたり 1.0×10^9 から 1.0×10^{10} 個の範囲で微増傾向を示しながら推移し、冬季における菌数の減少は確認されなかった。年間を通してU-BCFのろ材には原水に順応した生物が保持されていたと考えられる。

上記1)～5)より、U-BCFでは低水温期においても、臭気物質および溶解性物質を良好に処理可能なことを確認できた。

2.2 ラボスケール実験方法および結果

2.1 現地実験結果より、低水温期においても臭気物質および溶解性物質を処理可能なことが確認されたが、各物質の原水濃度が低く、現地実験結果のみでは、原水水温と各物質の処理性能の関係を十分に評価することができなかった。そこで、共同研究先である東北学院大学にて透明PVC管を使用したラボスケール実験を実施した。実験装置フロー図、装置諸元をそれぞれ図7、表2に示す。ろ過塔は支持砂利層、ろ材で構成され、装置は原水槽、処理水槽を含め全て恒温室内に設置し、設定した水温を維持したまま実験を行った。なお、ろ材として、現地実験のU-BCFから採取した生物活性炭を使用し、実験条件毎に入れ替えた。原水は、現地で通水している原水を採取し、臭気物質、溶解性物質を添加して

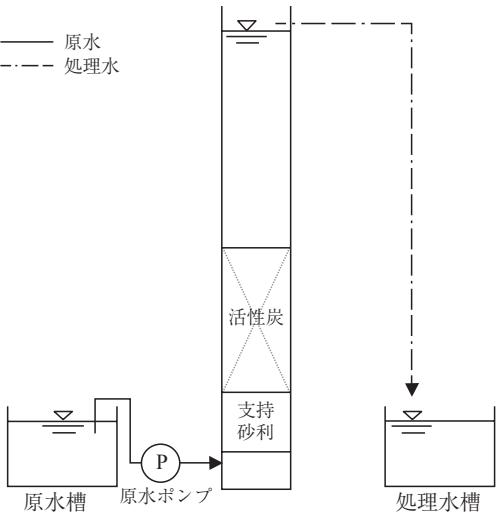


図7 ラボスケール実験装置フロー図

表2 ラボスケール実験装置諸元

生物接触ろ過塔	
型式	PVC 製円筒型
塔数	1塔
寸法	13 mm φ × 2 050 mmH
通水方式	上向流式
ろ過速度	10 m/h
空間速度	10 /h
ろ材	粒状活性炭1 000 mmH (有効径0.4－0.5 mm)
支持砂利	150 mmH

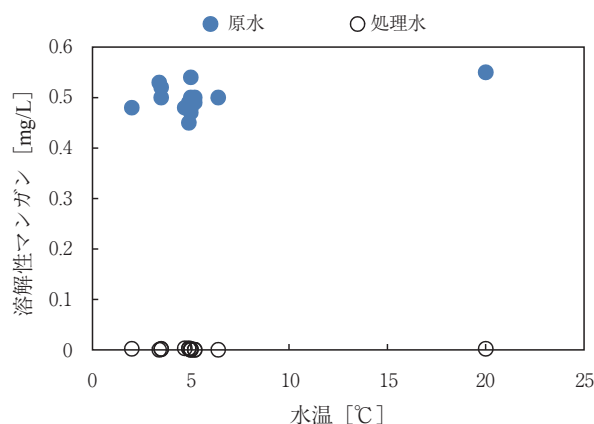


図8 原水水温と溶解性マンガンの処理性能の関係

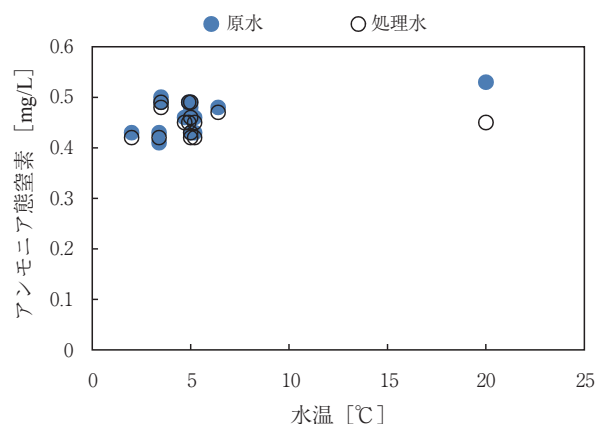


図9 原水水温とアンモニア態窒素の処理性能の関係

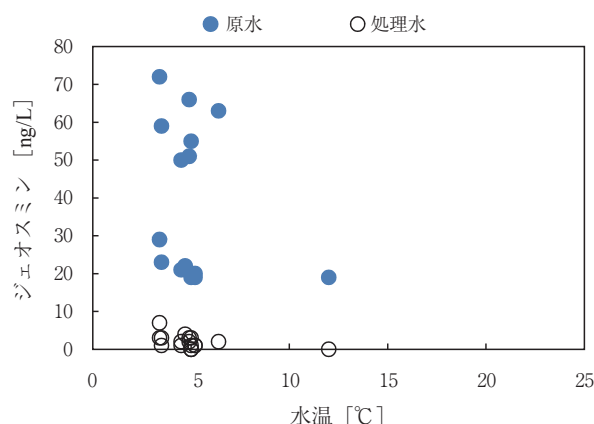


図10 原水水温とジェオスミンの処理性能の関係

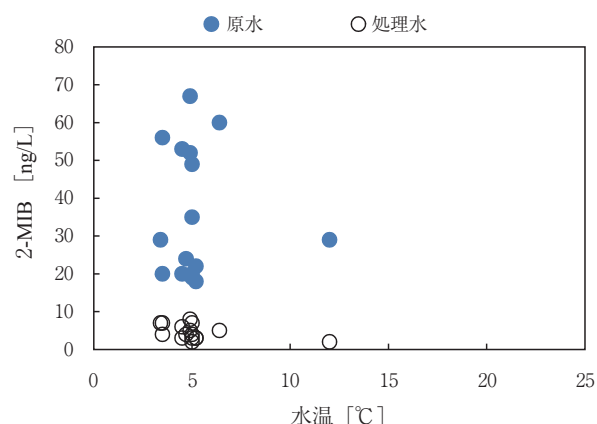


図11 原水水温と2-MIB の処理性能の関係

所定の濃度に調整したものを使用した。

原水水温と各物質の処理性能の関係を図8～11に示す。

1) 溶解性マンガン

原水水温を2～20℃、原水濃度を0.5 mg/L程度に調整して通水試験を行った。処理水濃度は、どの原水水温においても0.001 mg/L（検出限界値）未満であり、良好に処理がなされていた。

2) アンモニア態窒素

原水水温2～20℃、原水濃度0.41～0.5 mg/L程度に対し、処理水濃度は0.41～0.49 mg/Lとなり、どの原水水温条件下においてもほとんど除去できなかった。原因を下記(1)～(3)の情報をもとに考察した。

(1) 実験に使用した生物活性炭は連続通水中である現地実験装置から採取したものである。原水にはアンモニア態窒素濃度が低く、硝化菌が高濃度のアンモニア態窒素を含むラボスケール実験用原水に対して迅速に応答できず、アンモニア態窒素を除去できなかった。

(2) 本研究を始める以前に、当社にて硝化菌の硝

化速度と原水水温との関係に関する知見を得ており、原水水温が5℃以下となると硝化速度が急激に低下する結果が得られている。

(3) 5℃以上の原水水温では、原水濃度が0.5 mg/Lまで上昇しても処理可能である実績を有している。²⁾

(1)～(3)より、U-BCFは、アンモニア態窒素に関しては、原水水温5℃以下でかつ高濃度となることで、生物活性の低下および増殖速度が遅くなり、十分に処理できなかったと考えられる。ただ、低水温下であっても、一定濃度のアンモニア態窒素が定期的に存在かつ通水が継続された状態での硝化特性は別途確認実験が必要と思われる。

3) ジェオスミン

原水水温を3.4～12℃、原水濃度を20～72 ng/Lの範囲で調整し、通水試験を実施した。5℃以下の低水温条件下において、原水濃度を72 ng/Lまで上昇させて通水したところ、処理水濃度は7 ng/Lを示し、水道基準値である10 ng/L以下を満足する結果であった。本結果より、5℃以下の低水温条件

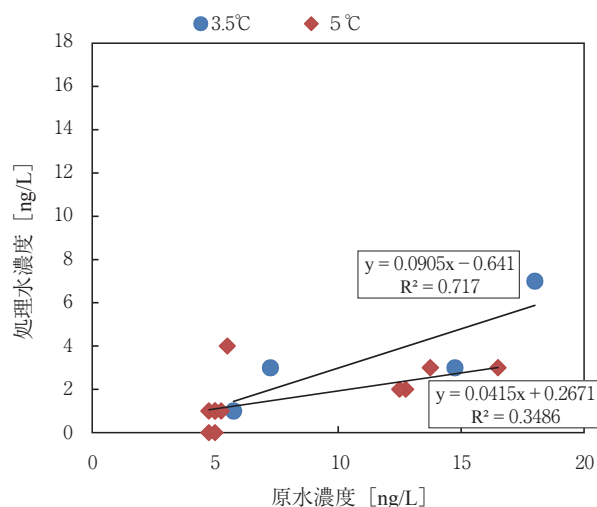


図12 ジェオスミン原水濃度と処理水濃度の関係

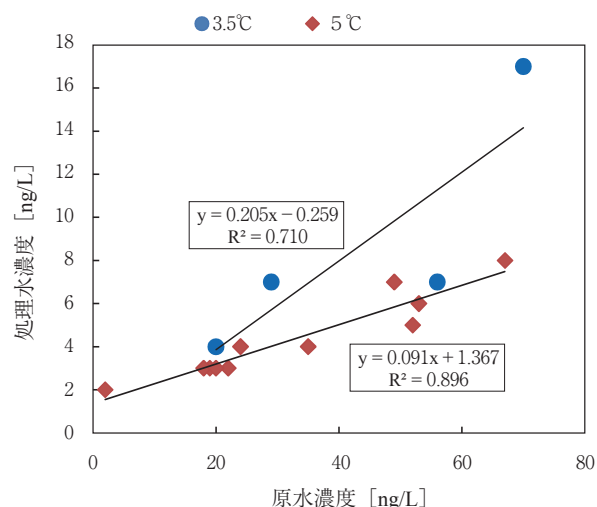


図13 2-MIB 原水濃度と処理水濃度の関係

下においても生物処理が可能であること、また、原水濃度を現地実験の平均値の約35倍に高めて通水しても良好に処理されていることより急激な濃度変動が生じても対応可能であることを確認した。

4) 2-MIB

ジェオスミンと同様に原水水温を3.4～12℃、原水濃度は20～67 ng/L の範囲で通水試験を行った。5℃以下の低水温条件下において、原水濃度を67 ng/L まで上昇させて通水しても、処理水濃度は8 ng/L であり、ジェオスミンと同じく水道基準値を満足していた。また、ラボスケール実験では、原水濃度を現地実験の平均値の約10倍相当まで高めて通水しても良好に処理されていた。よって、5℃以下の低水温条件下においても良好に処理が可能であり、かつ急激な原水濃度上昇にも対応できることを確認した。

5) 原水水温5℃以下における臭気物質の原水濃度と処理水濃度の関係

原水水温が5℃以下のときのジェオスミン、2-MIB の原水濃度と処理水濃度の関係を図12～13に示す。原水水温3.5℃のデータ、5℃のデータで相

関をとると、ややばらつきがあるものの正の相関があった。よって、原水濃度にかかわらず一定の除去率が得られることを確認した。

むすび

実原水で得られた低水温期を含む四季を通じた実証実験およびラボスケール実験結果より、溶解性物質である溶解性マンガン、水道基準値が定められた臭気物質であるジェオスミンおよび2-MIB については低水温期においても U-BCF で問題なく処理可能であり、寒冷地においても U-BCF が適用可能であることを本研究により見出すことができた。今後も、「安全でおいしい水」を供給するための技術開発を推進していく所存である。

最後に本研究の円滑な推進に多大なご協力を頂いた東北学院大学の石橋良信教授をはじめとする関係者各位に深く感謝の意を表す。

[参考文献]

- 1) 中町真美ほか：神鋼パンテック技報 Vol.46, No.1 (2002/8)
- 2) 松井日出夫：神鋼環境ソリューション技報 Vol.2, No.1 (2005/8)

*技術開発センター 水・汚泥技術開発部 水処理室 **水環境事業部 薬品室 ***水環境事業部