

オゾン、生物活性炭、膜ろ過から構成される高度浄水処理プロセスの処理特性

早瀬伸樹(農博)*・山本誠一(工博)*・杉田 哲*・吉田忠広**・石丸賢二**・保野健治郎(工博)***

*技術開発本部・化学環境研究所 **都市環境本部・環境エンジニアリングセンター ***近畿大学・工学部

Characteristics of Advanced Process ,Including Ozonation ,Biological Activated Carbon Filtration and Ultrafiltration ,in Drinking Water Treatment

Dr .Nobuki Hayase ・ Dr .Seiichi Yamamoto ・ Satoru Sugita ・ Tadahiro Yoshida ・ Kenji Ishimaru ・ Dr .Kenjiro Yasuno

In drinking water treatment, the removal of organic pollutants was investigated with a pilot-scale plant using ozonation, biological activated carbon (BAC) filtration and ultrafiltration. Organic pollutants such as the trihalomethane precursor were largely removed. For maximum reduced influent quality, musty odor, detergent, and trihalomethane precursor were added to influent. The musty odor and detergent were completely removed and the trihalomethane precursor was largely removed by the process. This new process showed excellent potential for drinking water treatment .

まえがき = 近年、河川、湖沼などの水道水源の汚染により、異臭味被害の増加やトリハロメタンなどの有害物質の生成による安全性の問題がクローズアップされてきている。しかし、従来の凝集沈澱、急速ろ過による浄水処理方式では、濁質の除去性能は優れているものの、溶解性物質の除去能力は低く、臭気物質やトリハロメタン前駆物質の除去は期待できない¹⁾。そこで、これらの問題を解決するために、オゾン処理、生物処理、活性炭吸着、膜処理など各種の高度処理技術が検討されており、なかでも、処理性能および経済性の観点からオゾン処理と生物活性炭の組み合わせ処理が注目を集めている²⁾³⁾。

本稿では、オゾン、生物活性炭、限外ろ過膜を組み合わせた高度浄水処理プロセスの処理特性を浄水場の凝集沈澱水を使用したフィールド実験で把握するとともに、さらに将来の水質悪化を想定し、カビ臭成分、発泡成分、トリハロメタン前駆物質を凝集沈澱水に添加して処理性能を評価し、水質汚染の進んだ水道水源への本処理プロセスの適用の可能性について検討したので、その結果について報告する。

1. 処理フローの概要

実験フローを第1図に示した。まず、浄水場において凝集沈澱し濁質を除去した凝集沈澱水をオゾン処理する。オゾン処理では、色度成分、臭気成分、トリハロメタン前駆物質などを直接酸化分解するとともに、有機物の低分子化および親水化により生物分解性が向上し、後段の生物処理による除去性能が向上する。

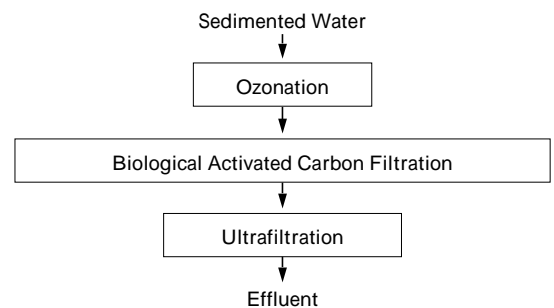
生物活性炭では、活性炭の吸着機能と活性炭に付着した微生物の有機物分解機能の相互作用により有機物が分解除去されるため、活性炭が本来有している物理的な吸着能力以上の有機物除去が可能である。さらに、生物活性炭では、活性炭に付着繁殖した微生物による有機物の直接分解と活性炭に一度吸着した有機物の分解(活性炭の生物再生)により、活性炭の吸着寿命を延長することができるため、処理コストの大幅な低減も可能である⁴⁾。以上のように、オゾンと生物活性炭の組み合わせ処理は、

オゾンの有する強力な酸化力と生物活性炭の吸着機能、さらに生物分解機能を効果的に組合わせた処理方法である。生物活性炭で処理された水は膜処理に送られ、生物活性炭上で増殖し処理水中にリークした微生物や生物活性炭で除去しきれなかった濁質などの不溶性成分が除去される。

2. 連続通水による処理性能試験

2.1 実験フローおよび実験装置

パイロット実験装置の仕様を第1表に、実験装置概



第1図 オゾン、生物活性炭、膜ろ過から構成される高度浄水処理プロセスのフロー図

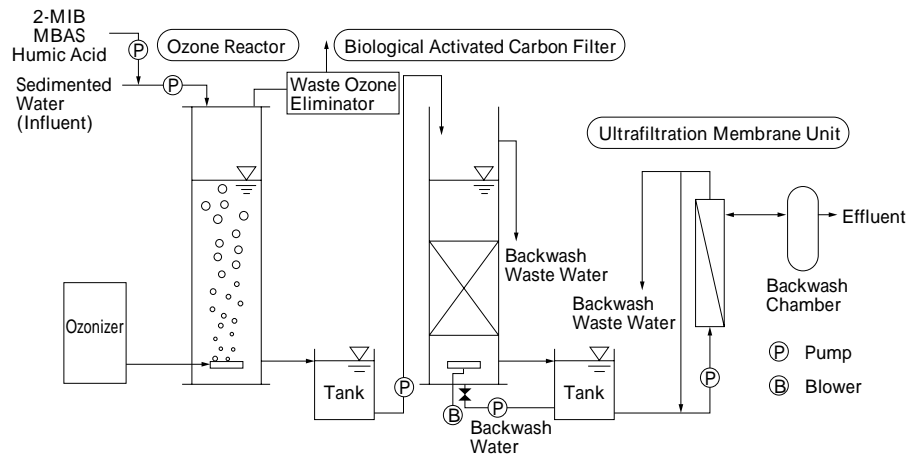
Fig. 1 Flow diagram of advanced drinking water treatment process including ozonation ,BAC filtration and ultrafiltration

第1表 パイロットスケール実験装置の仕様

Table 1 Principal size and brief description of pilot-scale plant

Equipment	Size and Description
Ozone Reactor	Cross Flow Type Size : 200 × 5 000h mm
BAC* -filter	Fixed-bed Down Flow Type Size : 200 × 5 000h mm Carrier : Granular Activated Carbon Particle Size : 0.8~1.2mm Filter Depth : 1 500mm
Ultrafiltration Membrane Unit	Cross Flow Type Membrane : Polysulfonate Capillary Cut-off Molecular Weight : 20 000 Filter Area : 0.4m ²

* Biological Activated Carbon



第2図 パイロットスケール実験装置の概略図
Fig. 2 Schematic diagram of pilot-scale plant

略図を第2図に示した。実験には、ダム水を水道水源とする浄水場の凝集沈澱水をパイロット実験装置に連続的に通水した。オゾン反応塔は、底部にディフューザを有し、向流方式で気液接触させた。生物活性炭は、石炭系破碎炭を使用し、固定床下向流方式で通水した。通水とともに生物活性炭に蓄積する濁質は、定期的に底部より空気と生物活性炭処理水を流すことにより、塔外に排出した。膜処理は、内圧式中空糸限外ろ過膜を使用し、クロスフロー方式で処理をおこなった⁵⁾。

2.2 連続通水運転条件

1995年12月より、パイロット実験装置の生物活性炭に通水速度153m/dayで通水を開始した。通水開始より110日間は、活性炭への生物膜の付着を促進するために水源ダム水を生物活性炭塔に直接通水した。その後、181日まで凝集沈澱水を通水し、それ以降は、第1図に示した実験フローにて運転をおこなった。また、連続通水条件は第2表に示した。

2.3 連続通水による処理性能

オゾン処理、生物活性炭、膜処理による代表的な処理結果を第3表に示した。色度はオゾン処理により完全に除去された。濁度は、生物活性炭のろ過機能によりほぼ完全に除去された。過マンガン酸カリウム消費量は、オゾン処理による除去率は低かったが、生物活性炭により高除去率で処理され、膜処理では検出限界以下にまで低下した。トリハロメタン生成能(以下THMFPと略す)は、オゾン処理により約50%除去され、生物活性炭では0.002mg/lにまで処理された。難分解性物質の指標である波長260nmの吸光度(E260)は、THMFP

第2表 パイロットスケール実験装置の連続運転条件
Table 2 Operational conditions for pilot-scale plant

Equipment	Conditions
	Ozone Dosage : 0.5~1.0mg/l Retention Time : 8.5min Effective Water Depth : 4.5m
	Linear Velocity : 153m/day Retention Time : 14min
	Flux : 1.9m/day Backwash Interval : 30min

とほぼ同一の挙動を示し、オゾン処理で約50%除去され、生物活性炭と膜処理で完全除去が可能であった。

一般細菌数と大腸菌群数は、オゾン酸化の殺菌効果により大きく低減したが、その後生物活性炭で微生物が増殖し、生物活性炭処理水へのリークが確認された。しかし、後段の膜処理においてリークした微生物は完全に除去された。

ここで被処理水として使用した凝集沈澱水の水質が良好であったこともあり、非常に良好な処理水質がえられた。水道水質基準値(色度5度、過マンガン酸カリウム消費量10mg/l、トリハロメタン0.1mg/l、大腸菌群数不検出、一般細菌数100個/ml)と比較しても基準値を大幅に下まわっていた。

3. 水質悪化を想定した添加実験

3.1 実験方法

本実験で使用した浄水場の凝集沈澱水には、実験期間中はカビ臭および発泡成分はほとんど検出されなかつ

第3表 オゾン処理、生物活性炭、膜処理による連続運転処理結果
Table 3 Typical treatment results by ozonation, BAC filtration and ultrafiltration

	Sedimented Water	Ozonated Water	BAC Filtrated Water	Ultrafiltrated Water
Color	4.3	<1	<1	<1
Turbidity	0.8	0.2	<0.1	<0.1
KMnO ₄ Consumption Value mg/l	1.6	1.4	0.3	<0.2
THMFP mg/l	0.015	0.008	0.002	0.002
E260	0.017	0.007	0.001	0
Total Bacteria /ml	420	18	480	N.D.*
Coliforms MPN/100ml	11,000	<2	11	<2

* Not detected

た。そこで、カビ臭の原因物質の一つである 2-メチルイソボルネオール（以下 2-MIB と略す）または発泡成分として陰イオン界面活性剤（以下 MBAS と略す）を、現在水質悪化の進んだ水道水源で検出されている濃度になるように凝集沈澱水に添加して、パイロット実験装置で処理性能を検討した。また、将来的な水質悪化を想定して、フミン酸ナトリウムを 3.5mg/l の濃度で凝集沈澱水に添加して、同様に処理性能を検討した。パイロット実験装置の運転条件は、オゾン注入率については 0.5, 1.0, 2.0mg/l に変化させたことを除いて、第 2 表に記載した連続通水条件と同条件で運転をおこなった。

3.2 カビ臭成分（2-MIB）の除去性能

パイロット実験装置における 2-MIB の除去性能を第 3 図に示した。オゾン注入率 0.5mg/l の場合、2-MIB 添加後の凝集沈澱水の 2-MIB が 87ng/l に対し、オゾン処理で 54% 除去され、生物活性炭処理水では、10ng/l 以下にまで低下した。また、オゾン注入率 1.0mg/l の場合には、被処理水の 2-MIB が 90ng/l に対し、すでにオゾン処理で 10ng/l 以下にまで除去されていた。このように、本プロセスは、100ng/l 程度の 2-MIB の除去に充分対応可能であり、また、2-MIB はオゾン処理により高除去率で処理されることより、さらに高濃度の 2-MIB が流入してくる場合においてもオゾン注入率の増加により十分に処理可能であると予想される。

3.3 発泡成分（MBAS）の除去性能

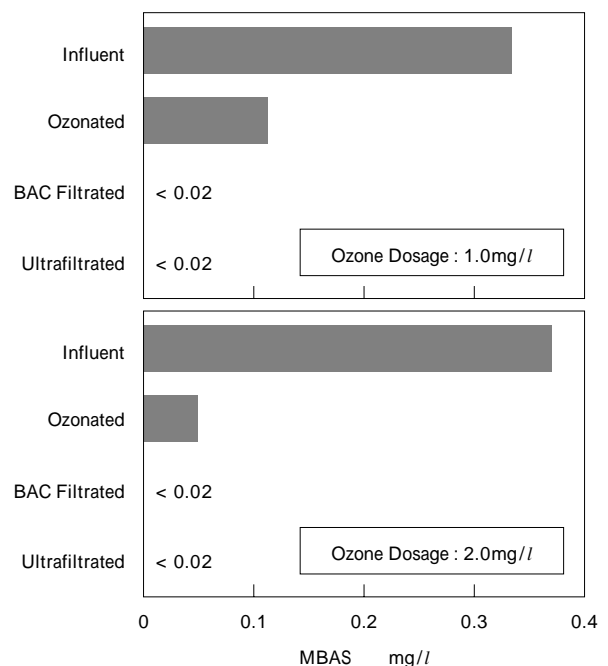
パイロット実験装置における MBAS の除去性能を第 4 図に示した。オゾン注入率 1.0mg/l の場合には、MBAS 添加後の被処理水濃度 0.33mg/l に対し、オゾン処理で 67% 除去され、生物活性炭では検出限界の 0.02mg/l 以下にまで除去された。オゾン注入率 2.0mg/l の場合には、被処理水の MBAS が 0.37mg/l に対しオゾン処理で 86% が除去され、生物活性炭では検出限界以下に除去された。MBAS も 2-MIB と同様にオゾン処理と生物

活性炭により完全除去が可能であることが確認できた。

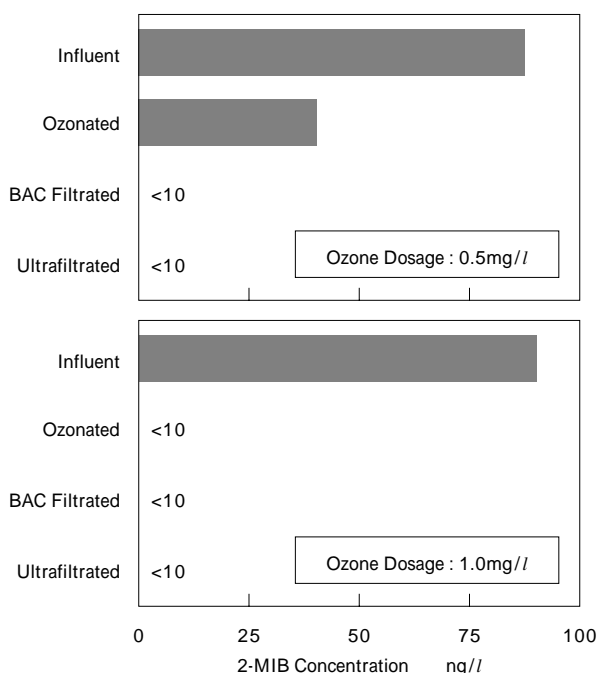
3.4 THMFP の除去性能

浄水処理においては、水道原水中のフミン質などのトリハロメタン前駆物質が塩素処理工程で遊離の塩素と反応し、発癌性のトリハロメタンを生成する。浄水処理においては、塩素処理による滅菌は不可欠の工程であり、トリハロメタンの生成を抑制するには、トリハロメタン前駆物質を除去する必要がある。

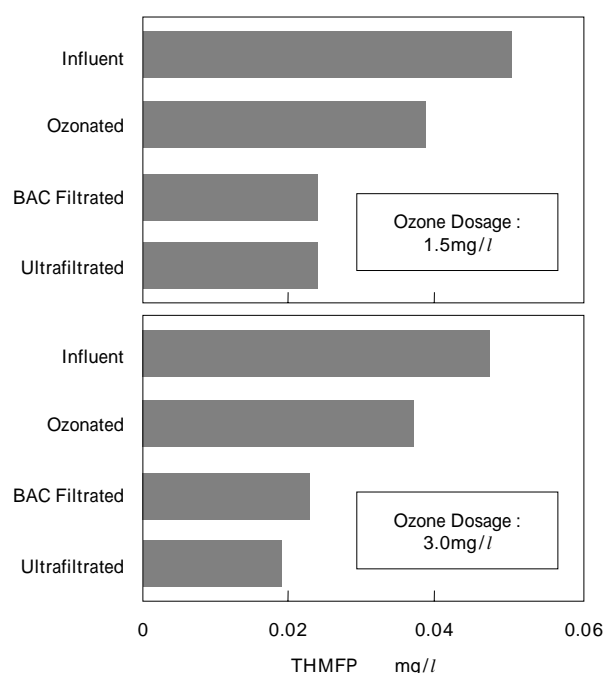
そこで、フミン酸ナトリウム添加実験におけるパイロット実験装置での THMFP の除去性能を検討した。（第 5 図）オゾン注入率 1.5mg/l で処理をおこなった場合には、被処理水の THMFP 濃度 0.05mg/l に対し、オゾン処理で 24% 除去され生物活性炭では 52% 除去され



第 4 図 パイロット実験装置における MBAS の除去性能
Fig. 4 Removal capacity of MBAS by pilot-scale plant



第 3 図 パイロット実験装置における 2-MIB の除去性能
Fig. 3 Removal capacity of 2-MIB by pilot-scale plant



第 5 図 パイロット実験装置における THMFP の除去性能
Fig. 5 Removal capacity of THMFP by pilot-scale plant

た。オゾン注入率 3.0mg/l の場合には、被処理水濃度 0.047mg/l に対し、オゾン処理で 21% 除去され、生物活性炭では 51% 除去された。トリハロメタン前駆物質の除去に関しては、分子量 1500 以上のフミン質の大部分は凝集沈澱で除去されることが報告⁶⁾されており、オゾン処理と生物活性炭に凝集沈澱を組み合わせることにより、さらに高度なトリハロメタン前駆物質の除去が可能であると推察される。

3.5 色度の除去性能

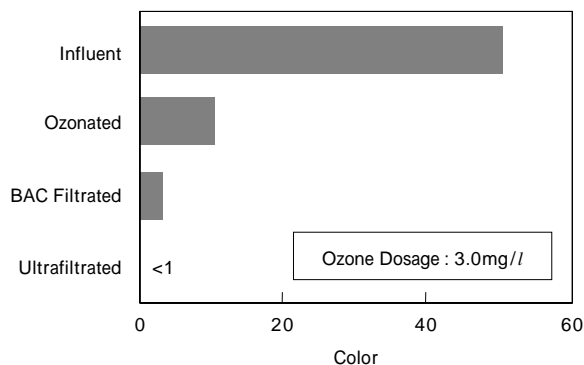
フミン酸ナトリウム添加後の色度は 50 度であり、水道原水の色度としては非常に高い値であったが、水質悪化の進んだ水道原水のモデルとして処理性能を検討した。

第 6 図に示したように、オゾン注入率 3.0mg/l の場合に、被処理水の色度 50 度に対し、オゾン処理で 80%、生物活性炭で 94% 除去され、膜処理水においては検出限界の 1 度以下に除去されていた。このように、色度については、非常に水質悪化の進んだ被処理水においても、オゾン処理により高除去率で処理され、その後の生物活性炭、膜処理により完全除去可能であることが確認できた。

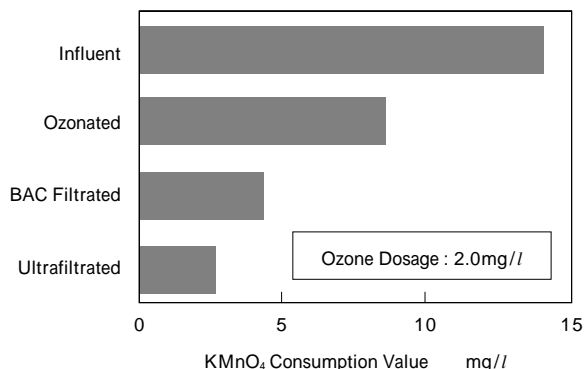
3.6 過マンガン酸カリウム消費量の除去性能

フミン酸ナトリウム添加後の過マンガン酸カリウム消費量の除去性能を第 7 図に示した。被処理水の過マンガン酸カリウム消費量 14mg/l に対し、オゾン処理で 39%、生物活性炭で 69%、膜処理で 81% 除去されて 2.7 mg/l に低下していた。高分子量でオゾン処理、生物活性炭での除去に適さないフミン酸ナトリウムの添加実験においても、本プロセスにより水道水質基準の快適水質項目の目標値 3 mg/l を達成していた。

むすび=高度浄水処理実験において、オゾン処理、生物活性炭、膜処理の組み合わせにより、THMFP をはじめとする各水質項目で良好な処理水質がえられ、高度浄水処理に有効なプロセスであることが明らかになった。また、将来的な水質悪化を想定したカビ臭、発泡成分、フミン酸ナトリウムなどの添加実験においても十分な処理性能が実証できた。今後、長期間の連続運転における処理性能



第 6 図 パイロット実験装置における色度の除去性能
Fig. 6 Removal capacity of color by pilot-scale plant



第 7 図 パイロット実験装置における過マンガン酸カリウム消費量の除去性能
Fig. 7 Removal potentiality of KMnO₄ consumption value by pilot-scale plant

能の安定性を検討するとともに、さらに経済性にすぐれ省スペースな処理技術を開発していく予定である。

最後に、本実験にご協力頂いた宇部市水道局関係各位に対し深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 社団法人日本水道協会：高度浄水施設導入ガイドライン(1988)
- 2) 村元修一：水道協会誌，Vol. 64 No.3 (1995)，p.34.
- 3) 海賀信好：水処理技術，Vol. 37 No.1 (1996)，p.25.
- 4) 王建中ほか：生産研究，Vol. 48 No.3 (1996)，p.139.
- 5) 沼寿実男ほか：第 48 回全国水道研究発表会講演集 (1997)，p.180.
- 6) 梶野勝司：水環境学会誌，Vol. 16 No.12 (1993)，p.14.