

植物系活性炭の再生後の 浄水処理性に関する調査研究

保坂幸尚¹・北野守康¹・石田直洋¹・岩波亜紀子¹・佐藤貴文¹

¹東京都水道局 研修・開発センター（〒158-0085 東京都世田谷区玉川田園調布 1-19-1）

E-mail: hosaka-yukihisa@waterworks.metro.tokyo.jp

東京都水道局では、高度浄水処理における生物活性炭処理において、廃棄焼却時のカーボンニュートラルの観点から、新炭では石炭系破砕炭と同等の浄水処理性を持つ植物系造粒炭の使用の検討を行ってきた。本調査研究では、新炭で 3 年間通水継続した石炭系破砕炭と植物系造粒炭の一部について、水蒸気賦活法による再生処理を行い、再生炭の物性試験を行うとともに、有機物処理及びアンモニア態窒素の硝化に關する浄水処理性について、さらに 3 年間にわたり調査した。浄水処理性の調査は、石炭系・植物系それぞれの新炭及び 4 年目以降の経年炭とも比較した。その結果、石炭系・植物系ともに、再生炭は新炭とほぼ同程度の浄水処理性を示した。

Key Words : *activated carbon, reactivated carbon, plant materials*
water purification characteristics, organic material removal, nitrification

1. はじめに

東京都水道局では、平成 4 年に最初の高度浄水施設を金町浄水場に導入するに当たって、ヤシ殻を原料とした植物系活性炭と石炭を原料とした石炭系活性炭の比較実験を行った結果、当時は石炭系活性炭の方が浄水処理性に優れていたことから、使用する粒状活性炭は石炭系を採用して、以降、当局の高度浄水施設ではすべて石炭系活性炭を使用してきた。

一方、近年では活性炭の成形技術に進歩がみられ、ヤシ殻を原料として、石炭系破砕炭に近い細孔分布を有する球状造粒炭が製造されるようになった。植物系活性炭は、廃棄焼却時のカーボンニュートラルの観点から二酸化炭素排出量の削減にも寄与できることから、このような新しい植物系活性炭の浄水処理性についても検討することが必要となってきた。平成 22 年に稼働した東村山浄水場の高度浄水施設では、これまで生物活性炭吸着池の 1 池に試験的に植物系造粒炭を使用してきた¹⁾。

当局の研修・開発センター水処理実験施設では、植物系（ヤシ殻）造粒炭の新炭について、当初 3 年間、オゾン処理水を活性炭層に通水して生物活性炭としての処理性を調査した。その結果、有機物の処理性及びアンモニア態窒素の硝化活性までに要する時間のいずれについても、植物系造粒炭は石炭系破砕炭と比較して大差のない

ことを確認できた²⁾。

そこで本調査研究では、新炭で 3 年間通水継続した石炭系破砕炭と植物系造粒炭の一部について、水蒸気賦活法による再生処理を行い、再生炭の物性試験を行うとともに、有機物処理及びアンモニア態窒素の硝化に關する浄水処理性について、さらに 3 年間にわたり調査した。

2. 活性炭の再生処理と物性試験

(1) 活性炭の再生処理

最初の新炭購入から生物活性炭処理を約 3 年間継続した石炭系破砕炭・植物系造粒炭について、活性炭の再生処理（水蒸気賦活法）を行った。生物活性炭層に通水した水は、多摩川下流域の河川水を原水として、凝集沈澱・砂ろ過処理を行った後、オゾン処理を行ったものである。この原水中の溶存性有機炭素の濃度は、高度浄水処理を有する利根川・荒川水系の浄水場に比べて高いため、本調査で使用する経年炭は、他の浄水場で 3 年程度使用した経年炭よりも吸着性能の低下が進んでいるものと考えられる。

表-1 活性炭の再生条件

	A 社	B 社
活性炭重量(kg)	7.5	0.4
水蒸気量(kg/h)	10	0.2*
再生温度(℃)	292	850
再生温度維持時間(min)	30**	15***
容器内圧力(MPa)	0.016 程度	—

*単位は L/h.

**温度上昇・低下時間を含めた時間は、150min.

***昇温は 10℃/min で行ったため、温度上昇時間を含めた時間は約 100min である。

活性炭の再生処理は、当初 A 社により、次に B 社により行った。A 社は独自の排水浄化装置において、活性炭による排水処理と活性炭の自動再生を行っており、本実験ではこの活性炭自動再生装置を用いて再生を行った。

A 社によると、この装置で行われる再生方法は水蒸気賦活法であり、自動再生でありながら従来の方式に比べて吸着性能の回復は遜色なく、再生後の重量損失がほとんどないとされている。一方 B 社は、従来からのロータリーキルンを用いた水蒸気賦活法である。A 社と B 社の再生条件は、再生時の管理項目が異なるので単純には比較できないが、再生温度が、A 社は 300℃程度、B 社は 850℃と大きく異なっている（表-1）。

(2) 活性炭の物性試験の結果

A 社及び B 社が再生処理を施す前の経年炭及び再生処理を施した後の再生炭の物性試験結果を表-2 に示す。再生規格については、東京都水道局が平成 16 年度に別途実施した経年炭再生利用において定めたものである。

なお、経年炭の試験前の通水倍率は、石炭系・植物系とも 102,451 である。

再生炭について、吸着に関する項目（比表面積、ヨウ素吸着量、メチレンブルー脱色力）に着目すると、A 社による再生炭は、石炭系・植物系ともに比表面積及びヨウ素吸着量において、当局の再生規格を満たしていなかった。一方、B 社による再生炭は、石炭系・植物系ともに吸着に関するすべての再生規格を満たしていた。これは B 社による再生処理ではロータリーキルンを用いており、最高 850℃で水蒸気賦活を行っていたが、A 社による再生処理ではロータリーキルンで処理をする工程がなく、また約 300℃と低温であることから、経年炭表面に付着して比表面積や吸着能を低下させていた不揮発性有機物が分解されなかったためと考えられる。

このことから、石炭系及び植物系再生炭の物性に関する測定項目の比較は、再生が十分に行われた B 社による再生炭についてのみ行った。B 社による植物系再生炭は再生規格を全て満たしていたものの、石炭系再生炭は有効径、充填密度の項目で再生規格を満たしていなかった。これは、植物系造粒炭の方が硬さの面で優れている一方、石炭系破砕炭は、経年使用により細粒化が進んでいるためと考えられる。また、再生収率でも植物系造粒炭の方が優れており、石炭系破砕炭は再生過程で摩耗し微粉化したため、再生収率が向上しなかったと考えられる。このことから、長期間通水を継続した石炭系破砕炭と植物系造粒炭の再生炭の性能等を比較すると、植物系造粒炭の方が再生炭として優れていることがわかった。

表-2 再生前の経年炭とその再生炭の物性試験結果

測定項目	再生規格	A 社による再生処理				B 社による再生処理			
		石炭系破砕炭		植物系造粒炭		石炭系破砕炭		植物系造粒炭	
		再生前	再生後	再生前	再生後	再生前	再生後	再生前	再生後
0.85～2.00mm の粒度(%)	90 以上	98.4	96.4	65.6	74.8	98.1	97.3	86.9	91.9
有効径(mm)	1.1 以上	1.0	1.0	1.5	1.1	1.0	1.0	1.4	1.3
均等係数(-)	1.4 以下	1.4	1.5	1.3	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3
平均粒径(mm)	—	1.4	1.4	1.9	1.7	1.4	1.4	1.7	1.7
pH	5.8～8.6	—	8.6	—	8.5	—	7.7	—	7.9
硬さ(%)	—	85	85	87	89	88	85	95	93
充填密度(g/mL)	0.4～0.5	0.61	0.58	0.50	0.49	0.63	0.53	0.54	0.44
比表面積 (BET 法) (m ² /g)	—	537	624	683	679	450	670	510	840
再生による増加量	+150 以上	—	+87	—	-4	—	+220	—	+330
ヨウ素吸着量(mg/g)	—	280	400	400	470	230	540	290	700
再生による増加量	+300 以上	—	+120	—	+70	—	+310	—	+410
メチレンブルー脱色力(mL/g)	—	74	120	90	120	70	100	90	130
再生による増加量	+10 以上	—	+46	—	+30	—	+30	—	+40
強熱残分(%)	—	9.0	10.2	7.7	8.7	10.8	10	8.2	7.5
再生収率(%)	—	—	85	—	85	—	86.8	—	92

*A 社と B 社で、再生前の経年炭の物性試験結果が一部異なるのは、物性試験を行った試験機関が異なることによる。

表-3 浄水処理性調査での通水後の活性炭の物性試験結果（参考：納入時の新炭の物性）

測定項目	新炭仕様	石炭系破砕炭				植物系造粒炭			
		通水後			通水前 新炭	通水後			通水前 新炭
		新炭	再生炭	経年炭		新炭	再生炭	経年炭	
0.85～2.00mm の粒度(%)	90 以上	98.8	77	97.1	93.0	97.6	70.5	99	96.4
有効径(mm)	1.2 以上	1.15	0.58	0.97	1.2	0.99	0.65	1.08	1.3
均等係数(-)	1.3 以下	1.3	1.8	1.4	1.3	1.2	1.7	1.3	1.3
硬さ(%)	90 以上	96.6	88.3	93.4	94	88.3	90	93.9	98
充填密度(g/mL)	0.4～0.5	0.526	0.535	0.701	0.48	0.441	0.463	0.691	0.46
比表面積 (BET 法) (m ² /g)	1,000 以上	720	560	130	1,070	950	670	55	1,230
ヨウ素吸着量(mg/g)	1,000 以上	490	280	170	1,020	660	370	160	1,230
メチレンブルー脱色力(mL/g)	180 以上	90	80	60	190	140	100	70	230

さらに、3. で述べる石炭系破砕炭及び植物系造粒炭の浄水処理性の調査を実施した後も、約 2 年間通水した石炭系・植物系それぞれの新炭、再生炭（B 社による再生処理）、当初からの経年炭の物性試験を行った。

浄水処理性の調査での通水後におけるそれぞれの活性炭の物性試験結果を表-3 に示す。なお、参考として、実験で使用した石炭系破砕炭及び植物系造粒炭の納入時の新炭の物性試験結果も合わせて示す。

この結果から、再生炭は、約 2 年間の通水によって、石炭系破砕炭・植物系造粒炭ともに、新炭及び当初からの経年炭に比べて細粒化が進んでいることがわかった。

3. 浄水処理性の調査内容と結果

(1) 実験フローと運転条件

本調査に用いたオゾン処理+BAC 吸着処理の実験装置のフローを図-1 に示す。通水した水は、多摩川下流域にある玉川浄水場の原水を凝集沈澱及び砂ろ過で処理した水を用いた。

実験で使用した 2 槽の向流式オゾン接触槽は、アクリル製の円筒形槽（φ150×H3,000）で、有効水深が 2.0m、有効容量は最大 0.035m³である。

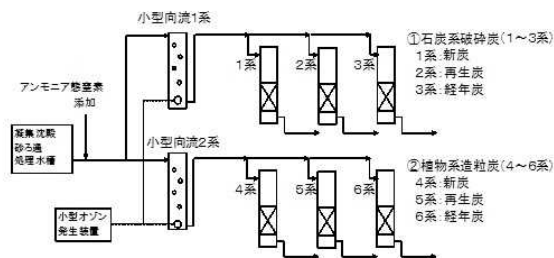


図-1 実験装置のフロー図

これらに、凝集沈澱・砂ろ過処理した水をそれぞれ最大 4.18m³/d で通水した。滞留時間は 12min であり、オゾン接触は接触槽出口で 0.10mg/L 以上の溶存オゾン濃度となるように手動制御した（結果的に平均溶存オゾン濃度は 0.14mg/L）。

オゾン発生装置は、除湿装置を通じて乾燥空気を原料とする無声放電式で、オゾン発生量は 3.0g-O₃/h、オゾン濃度は最大 20g/Nm³である。

次に、6 槽の生物活性炭処理槽は、アクリル製の円筒形槽（φ105×H2,800）で、ろ層厚は 1,250mm 程度である。支持砂利は、7～13mm の径のものを積高 80mm とした上に、3.5～7mm の径のものを積高 70mm とした。この生物活性炭処理槽に、オゾン処理水をそれぞれ平均 0.04m³/h で通水した。LV は 120m/d 程度、SV は 4.0h⁻¹、滞留時間は 15min である。

使用した粒状活性炭は、浄水処理性の比較のために新たに購入した新炭（1 系：石炭系破砕炭・4 系：植物系造粒炭）、凝集沈澱、砂ろ過及びオゾン処理を施した水を約 3 年間通水した活性炭（経年炭）について 850℃ の高温で蒸気賦活法により再生処理した再生炭（2 系：石炭系破砕炭・5 系：植物系造粒炭）、及び、当初からの経年炭である（3 系：石炭系破砕炭・6 系：植物系造粒炭）。

粒状活性炭層の洗浄方法は、いずれも空気洗浄 7min、水洗浄 13min とした。水洗浄時の膨張率は約 30%であった。洗浄は、原則週 2 回実施した。

(2) 有機物の浄水処理性に関する調査結果

実験に供した 6 種類の粒状活性炭（石炭系破砕炭・植物系造粒炭ともそれぞれ新炭・再生炭・経年炭）については、生物活性炭としての有機物の浄水処理性に関して、水中の有機物を紫外線吸光度（UV260）、溶存性有機炭素（DOC）及びトリハロメタン生成能（THMFP）の濃度を生物活性炭処理槽の入口・出口で測定して、それぞれ除去率により評価した。

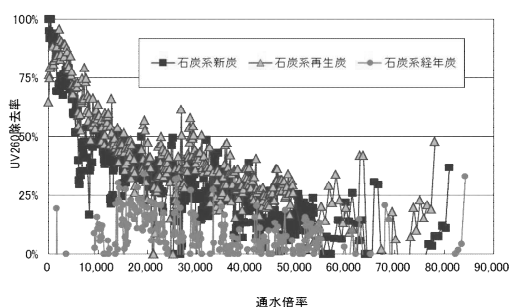


図-2 石炭系破砕炭での UV260 の除去率の推移

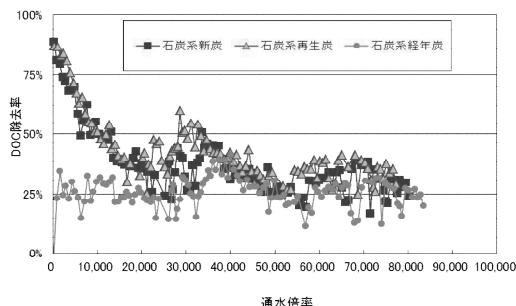


図-3 石炭系破砕炭での DOC の除去率の推移

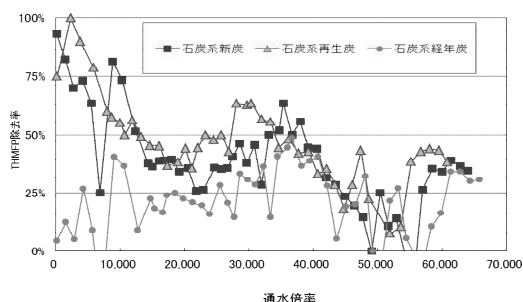


図-4 石炭系破砕炭での THMFP の除去率の推移

石炭系破砕炭（新炭・再生炭・経年炭）について、生物活性炭の UV260 での除去率の経時変化（通水倍率に対する除去率の関係）を図-2 に示す。同様に、DOC 及び THMFP の除去率の推移を図-3 及び図-4 にそれぞれ示す。

図-2～図-4 の結果から、石炭系破砕炭の再生炭は、経年炭の有機物処理性を上回り、新炭と同程度の浄水処理性が確認された。

次に、植物系造粒炭（新炭・再生炭・経年炭）での有機物の除去率の経時変化（通水倍率に対する除去率の関係）について、図-5 に UV260 の除去率、図-6 に DOC の除去率、図-7 に THMFP の除去率を示す。

図-5～図-7 の結果から、植物系造粒炭の再生炭についても、経年炭の有機物処理性を上回り、新炭と同程度の浄水処理性を有することが明らかとなった。

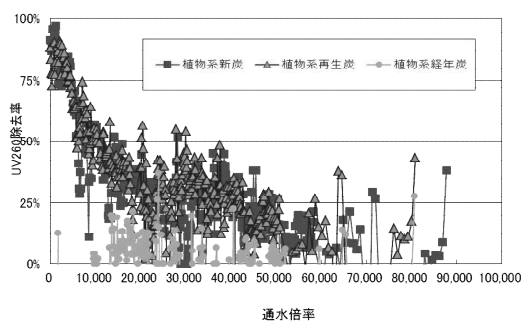


図-5 植物系造粒炭での UV260 の除去率の推移

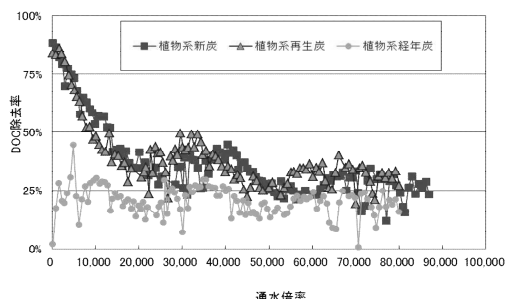


図-6 植物系造粒炭での DOC の除去率の推移

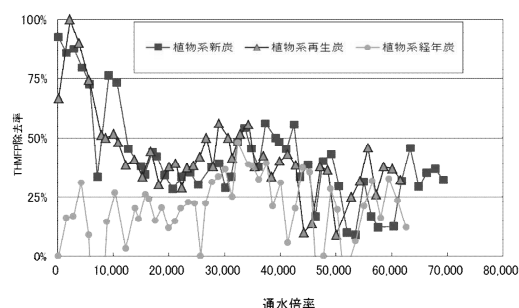


図-7 植物系造粒炭での THMFP の除去率の推移

再生炭における有機物の浄化処理性を石炭系破砕炭と植物系造粒炭で比較するため、UV260 の除去率について図-2 及び図-5 からそれぞれ再生炭の結果を抽出したものを図-8 に示す。

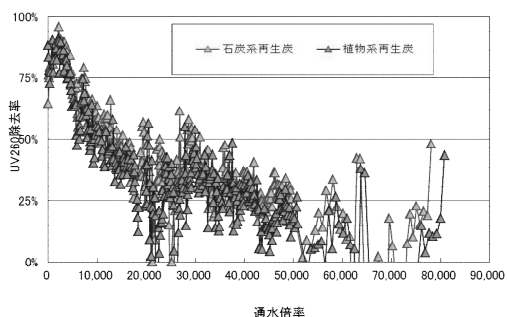


図-8 石炭系・植物系での UV260 の除去率の比較

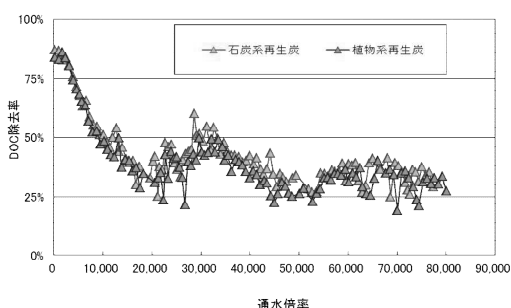


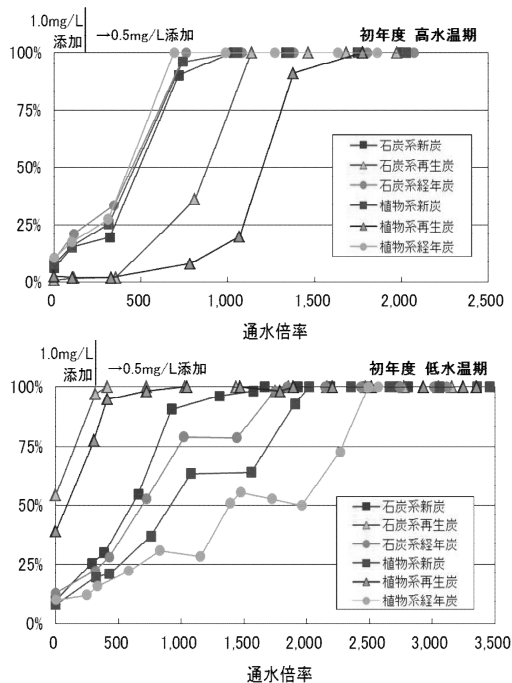
図-9 石炭系・植物系でのDOCの除去率の比較

また、DOCの除去率について、図-3及び図-6からそれぞれ再生炭の結果を抽出したものを図-9に示す。

以上のことから、再生炭における有機物の浄水処理性は、植物系造粒炭が石炭系破砕炭よりも、除去率が若干低い傾向があるものの、石炭系破砕炭と植物系造粒炭は、ほぼ同程度の性能を有することが明らかになった。

(3) アンモニア態窒素の硝化に関する調査結果

高水温期（10月17日～11月8日、翌年9月19日～9月26日）及び低水温期（2月3日～3月12日、翌年1月17日～3月13日）において、硝化細菌の栄養源となるアンモニア態窒素を凝集沈殿・砂ろ過処理水に添加して通水を行い、生物活性炭処理槽におけるアンモニア態窒素の除去率から、活性炭表面で増殖した硝化微生物の定着性を評価した。



アンモニア態窒素の添加を開始してからの通水倍率に対するアンモニア態窒素の除去率の推移を図-10に示す。

6種類の粒状活性炭について浄水処理性の実験を開始した初年度については、石炭系破砕炭及び植物系造粒炭とも、再生炭が高水温期にアンモニア態窒素の添加を開始してから最も早く除去率100%となった。これに対し、初年度の低水温期、次年度の高水温期・低水温期は、アンモニア態窒素の除去率についていずれも再生炭が最も早く100%に達し、次いで新炭、経年炭の順であった。また、新炭・再生炭・経年炭のいずれについても、石炭系破砕炭の方が植物系造粒炭よりアンモニア態窒素除去率の上昇がやや早い傾向が見られた。

初年度における10月からのアンモニア態窒素添加実験の期間では再生炭におけるアンモニア態窒素除去率の上昇が遅れる結果となったが、これは、新炭と経年炭が7月からの通水であったのに対して、実験の都合により再生炭が9月からの通水となったことから、再生炭における硝化微生物の定着が遅れたことが原因と考えられる。その他のアンモニア態窒素添加実験の期間において、再生炭の方が新炭・経年炭に比べてアンモニア態窒素除去率の上昇が早かったことは、通水後のそれぞれの活性炭の物性試験結果（表-3）で示されたように、通水によって新炭・経年炭よりも再生炭の細粒化が進んだことから、再生炭の細粒化と硝化微生物の定着のしやすさとの間には何らかの関係があるものと示唆される。

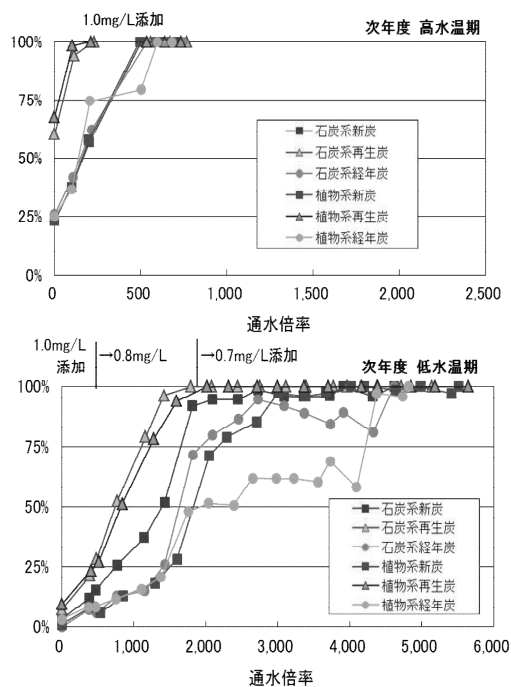


図-10 通水倍率に対するアンモニア態窒素の除去率の推移

いずれにしても、石炭系破砕炭の再生炭と植物系造粒炭の再生炭は、アンモニア態窒素の硝化においても、ほぼ同程度の性能を有することが明らかになった。

4. おわりに

新炭で3年間通水継続した石炭系破砕炭と植物系造粒炭の一部について、水蒸気賦活法による再生処理を行い、再生炭の物性試験を行うとともに、有機物処理及びアンモニア態窒素の硝化に関しての浄水処理性について、さらに3年間にわたり調査した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 再生直後に物性試験を行ったところ、植物系造粒炭の方が石炭系破砕炭よりも再生過程での摩耗が少なく、細粒化が進みにくいことがわかった。また、再生後2年間通水した後での物性試験では、石炭系・植物系ともに細粒化が進んだ。
- 2) 有機物処理性については、通水の経過に伴うUV260, DOC及びトリハロメタン生成能の除去率の変化を調べたところ、石炭系・植物系ともに、再生炭は新炭

とほぼ同程度の有機物処理性を示した。

- 3) アンモニア態窒素の硝化特性は、高水温期及び低水温期のそれぞれについて、凝集沈殿・砂ろ過処理した水にアンモニア態窒素を添加して調査した。再生炭のみ通水が遅れた初年度を除き、高水温期及び低水温期のいずれにおいても、アンモニア態窒素の添加を開始してからアンモニア態窒素の除去率が早く100%に達したのは、石炭系・植物系ともに、再生炭、新炭及び経年炭の順であった。通水によって新炭・経年炭よりも再生炭の細粒化が進んだことから、再生炭の細粒化と硝化微生物の定着のしやすさとの間には何らかの関係があるものと示唆される。

参考文献

- 1) 木下智之, 小山美喜彦, 田中真紀子, 石倉淳士, 田口達雄, 佐藤三郎, 師岡悟: 生物活性炭処理における植物系活性炭の処理特性, 第63回全国水道研究発表会講演集, pp.212-213, 2012
- 2) 江原和宏, 米田優宇: 植物系活性炭実用化及び粒状活性炭更新に関する調査研究, 平成22年度東京都水道局研究開発報告会, pp.43-48, 2010

(2016. 8. 26 受付)

STADY ON WATER PURIFICATION CHARACTERISTICS OF REACTIVATED CARBON MADE FROM PLANT MATERIALS

Yukihisa HOSAKA, Moriyasu KITANO, Naohiro ISHIDA, Akiko IWANAMI and Takafumi SATO

Tokyo Waterworks has studied to use activated carbon made from plant materials for biological activated carbon process in advanced water purification. The plant-made activated carbon has the merit of carbon neutral for the measures against climate change problem. In this study, activated carbon made from plant materials and that made from coal were reactivated with steam, and water purification characteristics on organic material removal and nitrification was investigated with each reactivated carbon in biological activated carbon equipment.

Removal performance of organic materials with reactivated carbon made from plant materials was as well as that with reactivated carbon made from coal, which is almost the same performance with each new activated carbon. 100% nitrification of ammonium nitrogen performed with each reactivated carbon was earlier than the new activated carbon and the continuous one. The relationship between the early nitrification performance and the minified reactivated carbon during the purification for long time was suggested.