

高品位炭による雨水浄化に関する研究

五十子祐輝¹・吉本國春²・中島古史郎³・永山慎之介⁴・山口安幸⁵

¹ (株)進日本工業 工事部(〒273-0014 千葉県船橋市高瀬町 31 番地 9 号)

E-mail: cbr66sf_rr@yahoo.co.jp

² 正会員 東洋大学教授 工学部環境建設学科(〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100)

E-mail: yoshi@eng.toyo.ac.jp

³ 正会員 積水化学工業(株)環境・ライフラインカンパニー(〒105-8450 東京都港区虎ノ門 2-3-17)

E-mail: Nakajima016@smile2.sekisui.co.jp

⁴ JFE ホールディングス(株)開境部 (〒100-0005 東京都千代田区丸の内 1 丁目 1 番 2 号)

E-mail: s-nagayama@jfe-holdings.co.jp

⁵ (株)日本リサイクルマネジメント(〒113-0033 東京都文京区本郷 2 丁目 30 番地 7 号)

雨水の有効利用を図るために、廃木材から製造されたリサイクル資材である高品位炭を使用して、戸建て住宅の雨樋で集めた雨水を浄化する実験を行った。実験の結果、1 時間滞留によって、COD 4.0~0.6mg/lの水質の雨水が、COD 2.8~0.6mg/lにまで浄化された。実験装置を1ヶ月間停止した後、再びそれを稼働させたが、高品位炭による浄化能力は継続して認められた。したがって、貯留雨水は、高品位炭によって実用上様々な利用が可能レベルの水質まで浄化できることが分かった。

Key Words: high-grade charcoals, rain water purification, retention time,
COD concentration, effective use of rain water

1. はじめに

雨水は土壤に浸透し地下水などとして形を変え水資源となるが、都市部においては土壤に浸透することは少なく、下水道を経て河川に直ちに流出している。その結果、都市部では豪雨による洪水やヒートアイランド現象などが起きている。

雨水を貯留して浄化処理を施すことにより、震災等における非常時用水はもちろんのこと、ビオトープの親水公園といったコミュニティなどでの活用が大いに期待されている^{1), 2)}。また、雨水に対する地域住民の知識や関心が高まり、経済的にも雨水の浄化が出来るようになれば、生活用水として使用していくことも十分可能であると考えられる。

しかし、都市の貴重かつ最後まで残された水資源ともいえる雨水は積極的に利用されていないのが現状である。

その理由としては、

- ・上水道料金が現在高騰したといってもまだ比較的廉価であること
 - ・都市の雨水を経済的に浄化する技術が確立されていないこと、また、
 - ・こうした技術の研究・開発が積極的に行われていないこと、さらには、
 - ・住民などの意識や関心の低さ
- などが挙げられる。

一方、湖沼などへ流入する小河川や水路などにおいて、間伐材やダムへの流木材等から製造された一般炭等を利用した水質浄化を目的として研究や調査^{3), 4)}が行われている。しかし、水質浄化が目詰まりによって短期間しか発揮できないといった効果の持続性の問題点も多く認められ、十分な成果が得られていないのが実状である。こうした炭を利用した水質浄化に際しては、その特性を最

大限に活用するために、汚濁の著しい排水を対象とするのではなく、雨樋などで集水した比較的汚染の少ない雨水浄化等への適用がシステムとしては最適と判断される。

本研究は、比較的汚染の少ない屋根の雨水を集水（雨樋での集水）して、都市の廃木材から製造されたリサイクル資材である高品位炭を使用して比較的簡便かつ経済的に浄化し、もって都市の貴重な水資源ともいえる雨水の有効利用を目的として行ったものであり、いくつかの知見が得られたことから、ここに報告する。

2. 実験資材

高品位炭は、主として都市で発生した建築廃木材等のリサイクルチップを 850℃以上の高温で炭化させたものである（表－1 参照）。高品位炭の特徴は、マクロ孔、メソ孔など大きさの異なる孔がある多孔質である。また、多孔質で内部表面積が大きいために反応性や吸着性に富み、しかも微生物が付きやすいという性質を兼ね揃えている。

高品位炭の形状を写真－1 に示す。

表－1 高品位炭の特徴

区 分	木炭製品	
	高品位炭	低品位炭
製品価格 (円/kg)	10～25	0～5
比表面積 (m ² /g)	130～250	1 桁台
臭気	無臭	無臭
残留揮発物	微量	タール分を含む 残留揮発分が多い。
不純物	Ash を含む。	Ash を含むシアン、 DXN 等の未分解



写真－1 高品位炭の形状

3. 実験法

(1) 雨水浄化実験

a) 実験施設と雨水浄化装置の概要

実験施設の全体概要とステンレス製の雨水浄化装置（以下「浄化装置」）を図－1 と図－2 に示す。図－2 の浄化装置の内部は 4 槽に区切られており、中央の二つの槽に高品位炭を金網で挟みこむ形で 1500 充填した。高品位炭は充填直前に水洗いし、表面に付着している炭粉を洗浄した。高品位炭部での見かけ上の滞留時間が 1 時間となるようポンプの送水量を 1500/時に設定した。

なお、高品位炭の空隙率は、充填法にもよるが測定の結果 50%程度であることから、試料水の高品位炭部での実際の滞留時間は 0.50 時間となる。

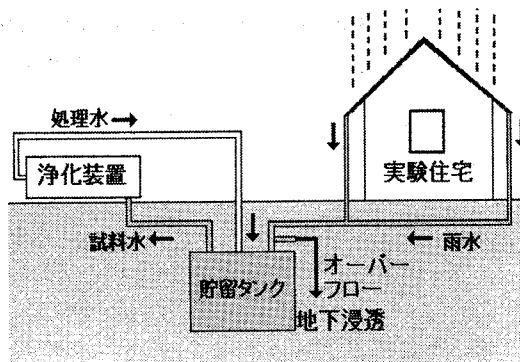
b) 浄化装置の運転法

浄化装置は午前 9 時 30 分から午後 3 時 30 分までの 6 時間、実験期間中は毎日移動させた。移動のオンオフはプログラムタイマーで管理を行った。送水量と浄化装置の容量・形状から判断して、水質分析のための採水は、試料水（浄化前）では午前 9 時 30 分から 10 時まで、浄化後の処理水では午後 1 時 30 分から 2 時までにを行った。

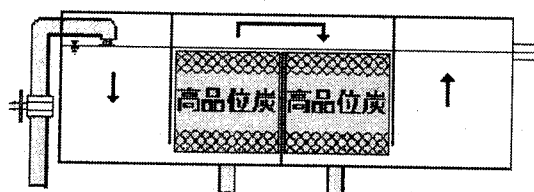
本研究は、

- ・ 高品位炭部での 1 時間滞留による水質浄化と、
- ・ 浄化した処理水を地下タンクへ戻すという、処理水の循環を行うことにより、貯留雨水の水質が最終的にはどの程度までの浄化が見込めるのか、

この 2 通りの実験を行った。



図－1 実験施設の全体概要



図－2 ステンレス製浄化装置

c) 実験期間と降雨状況

実験は図-3に示すように9月中旬から12月中旬までの約3ヶ月にわたり行った。その間、途中の1ヶ月間は浄化装置を停止して、貯留雨水の水質劣化状況の把握を行った。

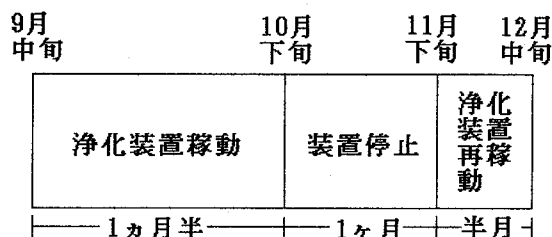


図-3 浄化装置稼動状況

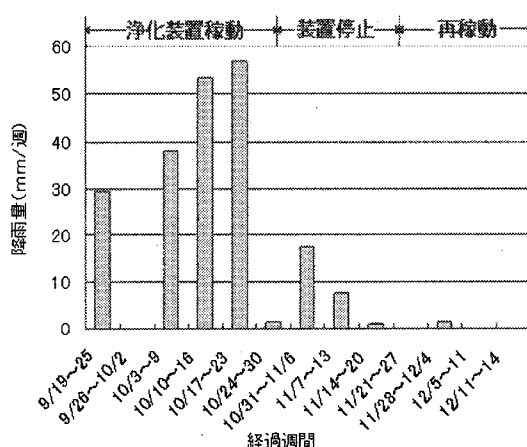


図-4 実験期間中の降雨概況

表-2 実験住宅の概況

(単位: m^2)

名称	循環再生型実験住宅	
取水面積	切妻	67.27
	片流れ	24.18
	総面積	91.45
総屋根面積	切妻	72.45
	片流れ	26.40
	総面積	98.85
傾斜角	21.8度	
材質	瓦	
建築年	平成17年1月	

なお、降雨の測定は、実験地の脇の転倒ます雨量計 MW-010 を用いて行った。受水口 $\Phi 200 \text{ mm}$ 、出力は降雨 0.5 mm 毎に1接点パルス(無電圧)である。測定された降水量を1週間の降雨量としてまとめた結果を図-4に示す。

(2) 水質分析法

水質分析項目は、COD、細菌類(一般細菌、大腸菌群)、リン酸態リン(リンと略)、アンモニア態窒素(アンモニアと略)、重金属類、pHと溶存酸素を選定した。これらのうち、重金属類についてはICP発光分析法とGeo-REXにより、一般細菌と大腸菌群については平板培養法により測定を行った。また、pHはガラス電極法、DOは隔膜電極法により行った。

なお、Geo-REXは、積水化学工業(株)が新たに開発した重金属分析装置である。ティッシュ箱サイズで、 0.0001 mg/l レベルの検出感度を備え、オンサイトでの分析が3分間で行える装置である。

4. 実験結果

(1) 試料水

東洋大学工学部(川越キャンパス)内の北側、地域産業共生研究センターの循環再生型実験住宅の表-2に示す屋根面に降った雨水を雨どいで地下に設けた 3 m^3 の雨水タンクに貯留した。雨水タンクへ流入させる際には、雨水タンクの入り口に金網のフィルターを設けて、雨水と共に流入してくるゴミの浸入を抑制した。

なお、本装置では初期雨水の分離は行っておらず、すべての降雨を貯留の対象とした。

雨水タンクが満水状態の場合は、雨水タンクへの雨水の流入はほとんどなく、オーバーフローして地下浸透させる構造となっている。この雨水タンクに貯留した雨水を実験対象の試料水とした。

(2) 実験結果⁵⁾

a) COD

浄化実験におけるCODの測定結果を図-5に示す。実験開始に際して、貯留槽をいったん空にし、その後に雨水を貯留した。その水質はCODが 4.0 mg/l だったものが、1時間の滞留時間により処理水は 2.8 mg/l にまで低下した。それ以降もCODは低下し、14日目には貯留雨水のCOD 2.3 mg/l が、処理水では 1.4 mg/l にまで低下した。浄化装置停止までの1ヶ月半に及ぶ実験では、貯留雨水を循環・浄化処理することにより最終的なCODは 1.0 mg/l にまで低下した。

浄化装置の停止期間中は、貯留雨水のCODがどのように変化していくのか把握した。水質変化の程度は小さく、

1ヶ月間の放置で貯留雨水のCODが1.0mg/ℓから2.3mg/ℓまで、1.3mg/ℓの上昇が認められた。この時期は降水量が少なく雨水貯留タンクへの流入が少なかったこと、晩秋であるために水温が低いことから、貯留雨水の水質劣化が抑制されたことが主な原因と考えられる。

浄化装置を再び稼働させると、1時間の滞留時間で貯留雨水のCOD 2.3mg/ℓが処理水では1.7mg/ℓにまで低下した。再稼働から8日間で処理水のCODは0.6mg/ℓ近くまで低下したことから、1ヶ月間に及ぶ浄化装置の停止後も高品位炭による浄化能が持続していることになる。それ以降は貯留雨水、処理水の水質はともにCOD 0.6mg/ℓ前後で変化は認められなかった。

なお、12月の実験終了から約2ヶ月経過した2月に貯留雨水のCODを測定した結果、COD 0.6mg/ℓの貯留雨水がCOD 1.6mg/ℓにまで上昇していた。

b) 一般細菌と大腸菌群

図-6と図-7に示すように、CODと同様に高品位炭の浄化処理による細菌類の除去が認められた。実験開始前の貯留雨水は、一般細菌数 40,000CFU/ml、大腸菌群数 40CFU/mlであった。実験開始6日目に測定した結果、貯留雨水は、一般細菌数が 27,800CFU/ml、大腸菌群数 25CFU/mlにまで低下していた。それ以降も一般細菌、大腸菌群数はともに減少し、浄化装置が停止するまでに貯留雨水は、一般細菌数が 1,000CFU/ml、大腸菌群数は 14CFU/mlにまで低下した。

浄化装置停止期間中は細菌数もCODと同様に上昇していた。1ヶ月に及ぶ浄化装置停止期間において、貯留雨水は一般細菌数 3,000CFU/ml、大腸菌群数は 21CFU/mlにまで上昇していた。一般細菌数は浄化装置停止から約3倍の上昇、大腸菌群数は1.5倍の変化が認められた。

なお、浄化装置を再び稼働すると、貯留雨水の一般細菌数 2,700CFU/ml、大腸菌群数 20CFU/mlが、1時間の滞留時間で一般細菌数 530CFU/ml、大腸菌群数が 13CFU/mlにまで低下した。循環・浄化処理することにより、一般細菌数は貯留雨水、処理水ともに約200CFU/ml、大腸菌群数も約10CFU/mlにまで低下した。

一般細菌に関しては、実験開始当初と終了時を比較すると大幅な浄化が行われたことが確認できた。大腸菌群数に関しては、一般細菌と比較すると、もともとの数値が小さいために大きな変化は認められなかった。

c) pH

貯留雨水は図-8に示すように実験開始当初のpHは6.3と中性付近の水質であった。浄化処理により1時間の滞留時間で処理水のpHは6.8にまで上昇した。これは高品位炭からのアルカリ分が溶出したためと考えられる。しかし、実験開始からしばらくすると、処理水のpHの上昇は収まり安定していたが、その後1ヶ月を過ぎる頃か

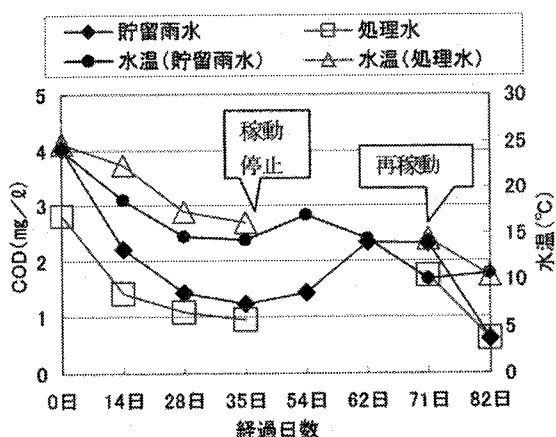


図-5 CODの推移

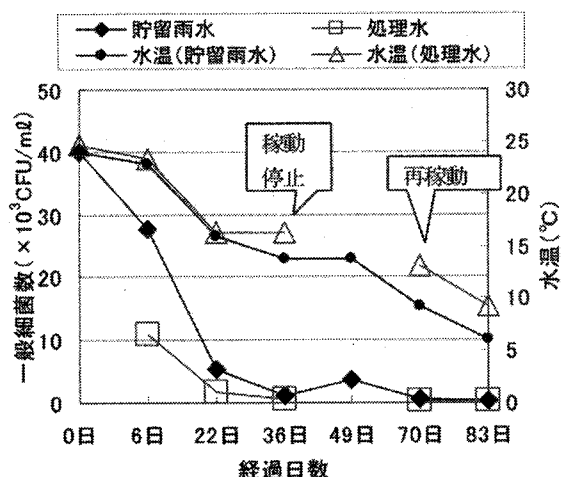


図-6 一般細菌数の推移

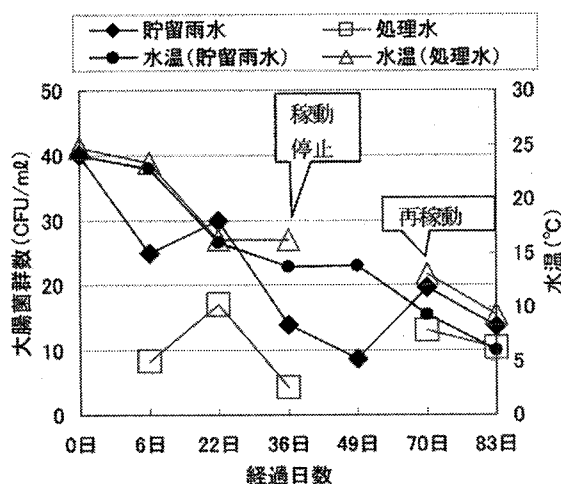


図-7 大腸菌群数の推移

ら徐々に低下し始めた。浄化装置を再び稼働させると処理水の pH は 7.6 から 8.0 近くまで上昇した。

d) 貯留雨水の重金属濃度の測定

実験開始から 1 ヶ月経過した時点で貯留雨水中の重金属濃度の測定を行った。分析項目は過去の降雨の測定事例や人体への影響などから As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Se の 7 項目を選定し、ICP 発光分析法で 7 項目を分析、Geo-REX (積水化学工業 (株) 製) では Pb と Cd の 2 項目の分析を行った。

測定結果を表-3 に示す。ICP 発光分析法では Cr が 0.001 mg/l, Cu が 0.002 mg/l 検出され、他の 5 項目は定量下限値以下であった。Geo-REX では Pb が 0.0008 mg/l とごく微量ながら検出された。Cd は定量下限値以下であった。

貯留雨水中の重金属濃度が低い理由は、雨水の貯留場所が川越市の郊外という汚染の比較的小さい地域であること、さらには高品位炭による 1 ヶ月に及ぶ循環・浄化によるものが挙げられる。

e) 溶存酸素、アンモニア、リン

貯留雨水中の溶存酸素が不足すると浄化装置内が嫌気状態となり、処理水質への悪影響も考えられたことから、浄化装置の前後での溶存酸素の測定を行った。

測定結果を図-9 に示す。図-9 によると浄化装置前後での溶存酸素は十分にあることが認められる。また実験開始から数日間経過すると、処理水の溶存酸素濃度は、貯留雨水の溶存酸素より低くなり、それ以降も実験が終了するまで同様の傾向が認められた。

この理由は、浄化装置の高品位炭に微生物が生息し、微生物による溶存酸素の消費によって COD の除去が行われているものと考えられる。

また、図-9 によると貯留雨水と処理水の溶存酸素濃度は徐々に上昇しており、貯留雨水の溶存酸素はほぼ飽和の値を示している。

つぎに、アンモニアは微量しか認められなかった。しかし、高品位炭の原料の建築廃木材等のリサイクルチップにはもとよりリンが含まれていることから、リン濃度は微量ながらも徐々に上昇していた。

なお、実験終了後、水面下の高品位炭の一部の表面を目視で観察すると、変色やスライムの付着等の異常は認められなかった。

f) その他

以上の実験結果を表-4 に示す雑用水に関する水質基準と比較すると、大腸菌群数が適合していないが、これは簡単な塩素処理を行うことで容易にクリア出来る。色度や濁度など測定していない項目もあるが、表-4 に示されている用途以上、例えば震災等における非常時用水としても十分に適用出来る水質であると認められる。

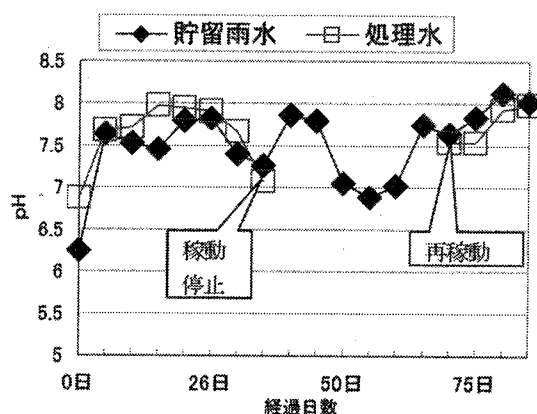


図-8 pHの推移

表-3 重金属測定結果 (貯留雨水)

測定項目	ICP 発光分析 (mg/l)	Geo-REX (mg/l)	水道水の 水質基準 ⁶⁾ (mg/l)
As	<0.004	-	<0.01
Cd	<0.0001	<0.001	〃
Cr	0.001	-	<0.05
Cu	0.002	-	<1
Pb	<0.001	0.0008	<0.01
Se	<0.007	-	〃
Hg	<0.002	-	<0.0005

(注) -: 測定なし。

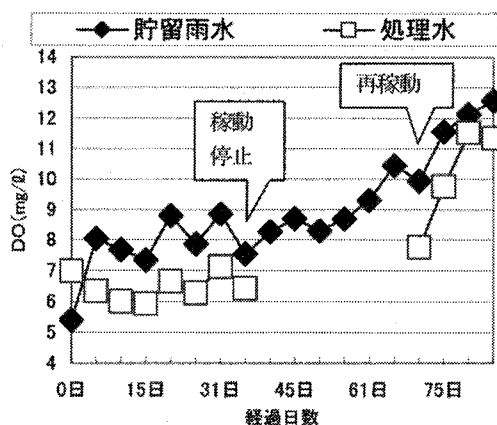


図-9 溶存酸素の推移

表-4 国土交通省の雑用水に関する水質基準⁷⁾

用途	水洗便所用水	散水用水	修景用水	親水用水
外観	不快でないこと	不快でないこと	-	-
色度 (度)	-	-	40 以下	10 以下
濁度 (度)	-	-	10 以下	5 以下
臭気	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
pH	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
BOD (mg/l)	20 以下	-	10 以下	3 以下
COD (mg/l)	30 以下	-	-	-
大腸菌群数 (個/ml)	10 以下	検出されないこと	10 以下	0.5 以下
残留塩素 (mg/l)	保持されて いること	0.4 以上	-	-

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

戸建て住宅の雨樋で集め地下タンクに貯留した雨水は、高品位炭によって実用上様々な利用が可能なレベルの水質まで浄化できることが分かった。1時間の滞留時間の浄化により COD 4.0~0.6mg/lが、処理水では COD 2.8~0.6mg/lまでの水質が得られた。

なお、貯留雨水を循環・浄化処理することにより、最終的なCODは0.6 mg/l にまで浄化されたことになる。

さらには雨水浄化装置を1ヶ月停止した後、再び稼働させた後も高品位炭による浄化能力が継続していることが確認された。

(2) 今後の課題

今後の課題として、特に夏場のデータを収集し、冬期のデータと併せて1年間のデータをもとにして貯留雨水の水質と高品位炭による浄化能力とを総合的に解析する必要がある。

また、浄化施設の改良・改善を進め、より効率的な雨水の浄化法を確立し、もって雨水利用の普及・促進を図っていく必要がある。

最後に、本研究は文部科学省・私立大学学術研究高度化推進事業「東洋大学地域産業共生研究センター」(平成16年度~平成20年度)の一部として行われたものである。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：雨の建築学，北斗出版，2000.
- 2) 例えば山森雄介，出村克宣：雨水の再資源化システムの開発及び有用性についての検討，日本建築学会大会学術講演集（北海道），p. 507~p. 508，2004.
- 3) 株式会社エックス都市研究所：児島湖水質浄化の評価システム構築調査報告書，2005.
- 4) 市川隆夫，吉本國春：高品位炭を利用した水質浄化に関する研究，第33回環境システム研究論文発表会講演集，土木学会，p. 415~p. 419，2005.
- 5) 例えば井上弥九郎，松原誠，榊原隆，山下洋正：屋根雨水の水質特性，土木技術資料 42-10，下水道特集，p. 24~p. 29，2000.
- 6) 日本環境管理学会編：水道水質基準ガイドブック，丸善（株），2004.
- 7) 大西正宣：(第二版) 環境と共生する建築 25のキーワード，（株）学芸出版社，p. 196，2005.

RESEARCH ON RAIN WATER PURIFICATION BY USING HIGH-GRADE CHARCOALS

Yuki ISOKO, Kuniharu YOSHIMOTO, Koshiro NAKAJIMA
Shinnosuke NAGAYAMA and Yasuyuki YAMAGUCHI

The research to purify rain water collected from the gutter of the detached house by using

high-grade charcoals manufactured from raw materials such as waste woods was conducted with the aim of enabling the effective use of rain water. As a result of a experiment, when COD concentration of the influent (the rain water) to the experimental apparatus was 4.0~0.6mg/ℓ, the effluent from the experimental apparatus was 2.8~0.6mg/ℓ for the retention time of one hour. When the experimental apparatus was operated again after one month's suspension, the purification capacity with high-grade charcoals was continuously admitted. Therefore, it has been understood that high-quality charcoal is able to purify rain water to at the level usable for various practical purposes.