土木学会論文集 No. 503／II-29, pp. 197~205, 1994. 11

ダム貯水池流木の木炭化による再資源化

黒田重徳*・小山喜久二**

ダム貯水池に浮遊する流木は発電等の取水支障や水の流れの妨げにもなるため，日頃から流木を貯水池から引き揚げて処理・処分することはダム保守管理の重要な業務の一つである．しかし，この処理・処分にはたいへんな費用を伴うため苦慮しているダムは数多い．そこで，本文では，これらの流木を再資源化して有効利用する方法の一つとして，流木の特性に着目した木炭化による再資源化利用を提案する．

Key Words : *dam reservoir, driftwood, solid waste, carbonization, wood vinegar, utilization*

1. 研究の目的

台風や大雨のあとなどには大量の流木塵芥がダム貯水池に流入してきて池内を浮遊するが，このような流木塵芥は，船舶の安全航行の妨害や貯水池周辺の景観を損なうだけでなく，発電取水のための取水口スクリーンに目詰まりして取水を防げ発電などに支障を与えるのをはじめ，洪水時，水の流れの障害となり二次災害の原因ともなる．このため，日頃からできるだけ貯水池より引き揚げて速やかに処分することが，ダム貯水池ならびに取水設備の管理上大変重要な業務の一つとなっている（**Photo 1**）．

毎年発生する流木量はその年の気象条件によって大きく変動するが，毎年の流木処理量は，当社管理ダム群の総集水面積８，５１６km²に対して，平均すると約３４m³に及んでいる．これは単位集水面積あたり処理量になおすと，水系によって大きく異なるが，概ね４m³/km²に相当する．それでも，まだかなりの量の流木が貯水池に残されている状況である．また，いったん沈木した流木は，貯水池容量を減じて貯水機能を低下させる原因になるなど大変なやっかいものである．

以上に対し，速やかに処理したくても流木処理・処分設備などを設置できる平地を急峻な山岳地帯では十分確保できない，資金的な制約と処理費用対効果の問題から処理設備を設けることが困難，最終処分場が長年の流木塵芥の埋立てで満杯状態，新たな処分場を求めようとするとすると地元民の生活場となっている事が多く取得は困難，焼却しようにも既存設備では量的処理限界に達している，処分しきれない程の量が毎年流入してくるなど，

Photo 1 Washed out Driftwoods in TAKI reservoir, the TADAMI river

その対策に苦慮しているダムは数多い．かといって，このまま放置すれば，取水効率，水力発電効率の低下や貯水機能，貯水池環境の悪化を招く懸念がある一方，流木塵芥に対する処理費用の増加は事業活動の隘路となることなど，なかなか根本的解決の方向性を見い出せないでいる状況にある．

このようなダム貯水池に浮遊する流木塵芥処理への取り組み方について，各ダム地点の固有な事情などから，1）処理施設の確保，2）分別化などによる適正処理，3）再資源化など，当然違ったものになり様々であるが，滞りがちな大量の流木処理をスムーズに行い，かつ，貯水池を円滑に運営管理するためには，浮遊流木をできるだけ再資源化して有効利用することが，流木対策として

＊ 正会員　電源開発（株）建設部　設計室
（〒104 東京都中央区銀座６－１５－１）
＊＊　電源開発（株）沖縄海水揚水建設所
（元東北支社　田子倉電力所）

Photo 2 Carbonized Driftwoods, Granular Charcoal (right) and By-product Wood Vinegar(left)

極めて重要であると考える．

本文では，その有効利用のひとつとして，流木の漂着特性，処理・処分状況，流木の木質，流木の特殊性などに着目した木炭化による再資源化を提案する．そして，その炭化方法ならびに再生された流木の炭化物ならびに副産物としての木酢液（**Photo 2**）の属性などについて報告する．

2　流木の漂着特性と処理状況

流木のダム貯水池への漂着特性は一般に，雪解け，大雨，台風時期に集中して発生する．その量は，毎年の気象条件，たとえば，降雪量に伴う雪崩や降雨に伴う出水規模，台風による倒木被害の程度などによって大きく変動する．また，水源流域の地形，地質などの地勢条件，植生被覆状況，植林された人工林か広葉樹が多い天然林かの樹種によっても大きく異なる傾向にある．

一口に「流木」といっても千差万別である．樹種の違いはもちろん，老大木から若木，長木から短木，太い幹から枝木，直木から曲木，折損した木，穴のあいた木，砂や砂利をかんだ木など様々である．その姿は，長年の漂流過程で表皮ははげ落ち，水アカ，汚れがしみつき，水膨れして大変重たくなっている．このことから，浮遊流木の集木→引き揚げ→運搬→処分のプロセスには，集塵船，クレーン設備，切断機，集積ヤード，焼却設備そして最終処分場など大掛りな設備が必要となっている．各ダムでの流木処分状況は，主に陸揚げ後，野積み，野焼き（法改正により現在禁止），埋立，焼却炉による焼却などダム地点の固有の事情により様々であるが，最終処分地の確保が困難となる中，減容化と衛生化のため焼却する地点が増えてきている．この場合，大規模な焼却炉の設置を行なおうとすると，処理費用負担はますます増大していき，水力発電事業の社会的便益の縮小化が懸念されるところである．

Table 1 Fibrous Components of Driftwoods

Items ＼ Kind of wood	Driftw. Beech	Beech[2)]
Holo-cellulose (%)	76.3	81.0
Lignin (%)	23.5	20.6
Solubility		
with Cold Water(%)	0.9	2.3
with Hot Water(%)	1.7	3.6

3.　浮遊流木の木質

森の生態系の営みの中で，自然発生的に生み出されていく流木は，数年から数百年の周期をもって流入してくる更新性資源といえる．このように，絶えることのない流木を活用しようとする場合，倒木して以来，長年，風雨にさらされ，土砂にまみれ，そして，貯水池を浮遊，漂流しながら厳しい大自然の中に身を委ねてきた流木の物理，化学的特性ならびに力学的性質などについてよく知る必要がある．そして，流木にとって最も好ましい利用法を探ることが肝要である．

（1）　木の化学組成

木の細胞壁の主成分は，セルロース，ヘミセルロース，リグニンである．なお，セルロースとヘミセルロースを合わせた多糖をホロセルロースと称する．浮遊する代表的樹種の一つである流木ブナと通常の木材ブナの化学組成，可溶分についての分析結果[1)]を**Table 1**に示す．

通常のブナの木材[2)]に対して，流木ブナはセルロース含量が若干減少している．また，流木は冷水（20℃）ならびに熱水（100℃）に対する可溶分が少ない結果になっている．よって，流木は水中にあって成分が溶出しているといえる．

（2）　流木の化学・物理的性質

貯水池に浮遊する代表的樹種の一つであるブナについて，流木と生木の工業分析，元素組成分析および物理試験結果[1)]を**Table 2**に示す．試験は試料到着時の自然な状態で行っている．

流木は生木に対し炭素量が多く発熱量（無水ベース）も大きい．水分含有は少なく乾いた木材といえる．元素分析から毒性を示す有害な物質は含んでいない．流木の物理的性質について，吸水率はかなり大きい．これは，流木が水中にある間に樹脂など溶けだすため内空率が高くなっている影響で，見掛け比重が小さくなっていることからもこれを裏付けられている．この結果，細胞壁の劣化を招き流木の強度は低下している．

Table 2 Properties of Driftwoods in Reservoir

Items \ Kind of wood	Driftw. Beech	Beech
Caloric Value (cal/g)	4,700	4,580
Water Moisture (%)	5.6	9.2
Ash (%)	1.4	1.0
Volatile Matter (%)	83.7	85.9
Fixed Carbon (%)	14.9	13.1
Carbon C (%)	50.1	47.7
Hydrogen H (%)	5.3	5.4
Nitrogen N (%)	0.2	0.2
Oxgen O (%)	43.0	45.7
Water Absorbtion (%)	165.5	120.4
Specific Gravity	1.53	1.53
Apparent Density	0.44	0.58
Strength (kgf/mm^2)	0.96	1.40

（3）流木の腐朽性

数百種あるとされる木材を栄養源として繁殖する好気性菌，木材腐朽菌の活動により木は分解されて腐る．このような菌が繁殖する条件は，一般に，酸素があること，栄養源である木材があること，適当な温度（10～35℃），適当な湿度，水分そして直射日光・紫外線がないことがあげられる[3]．浮遊流木の場合，木の多くの部分が水中にあって，分解菌の活動に必要な酸素の供給が不十分なことから，腐りにくい環境下にあるといえる．そのため，腐朽菌による分解は木の表面だけに限られ，表層部分のみが軟腐朽して材が柔らかくなっている．

以上のように，流木は生木に比べて，外見上の姿，形の違いに見られる程，内部木質にさほど傷みはなく本来の木の細胞組織構造が健全な形で存在している．このことから，流木は木材としての価値は依然内包しているといえ，流木の再資源化は十分可能であるいえる．

4. 流木の木炭化と炭化試験

（1）なぜ木炭化か

流木資源の有効活用について，今までにチップ化などによる活用が検討されているが，流木は漂流過程の中で汚れて，石，砂などの異物を噛んでいるため品質保証が難しいこと，そしてチップカッターの摩耗，損傷が大きく，トラブルによる機器の稼働率が低いことなどが指摘されている．このような流木の抱える特殊事情と潜在的賦存量の大きさ，再資源化のための施工性や経済性そして市場性などの要件が求められる中で，流木の木炭化による再資源化を提案する．その主な理由として，一旦，

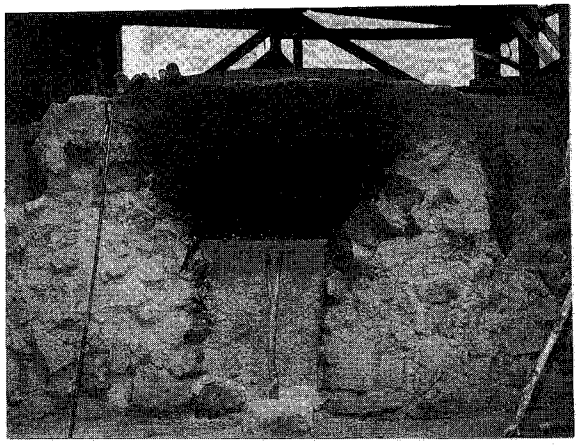


Photo 3 Experimental Kiln for Driftwoods

流木が炭にできると，

1）アカ，汚れ，カビ菌などがきれいに熱分解されて，真黒な炭化物（有価物）に変わる
2）化物は，腐敗や化学変化しないため，放置しておいても何ら環境に悪影響を及ぼさない
3）炭素固定化により，流木腐朽および焼却による二酸化炭素（CO_2）の発生を抑制する
4）炭化後は約重量比２０%，容量比６０%に減容化する[2]ため運搬，取扱いが大変容易となる
5）炭の団塊は，簡単に粉砕化できるため輸送手段の多様化が図れる
6）炭化物質は，燃料をはじめ炭素材として多様な用途の道が開かれる
7）炭化過程の副産物として，有機化合物の混合物（木酢液）が得られる
8）簡便な方法で，量産化可能である

などの利点が考えられるからである．

（2）流木の炭化方法

a）炭窯の構造

木は約３００°Cに温められると，主成分であるセルロース，リグニンの熱分解が起こりガスが出てくる．空気中ではこのガスに火がついて燃えるが，空気供給が遮断されているとガスは出るが火はつかない．この状態で熱分解が終わると炭が残る．

炭窯は，炭のできる原理に従い，基本的には，千℃位の高熱に耐える材料より築造されること，窯の上部と下部の温度差を少なくする様な対流を促して温度成層化を防止する構造であること，炭化熱源を水分の気化熱にうばわれないような窯の防水・排水機能が万全であること，そして，空気を完全に遮断できる密閉性構造であることなどが不可欠な要件である．

流木の炭化試験窯は，ダム発電所で発生する貴重な電

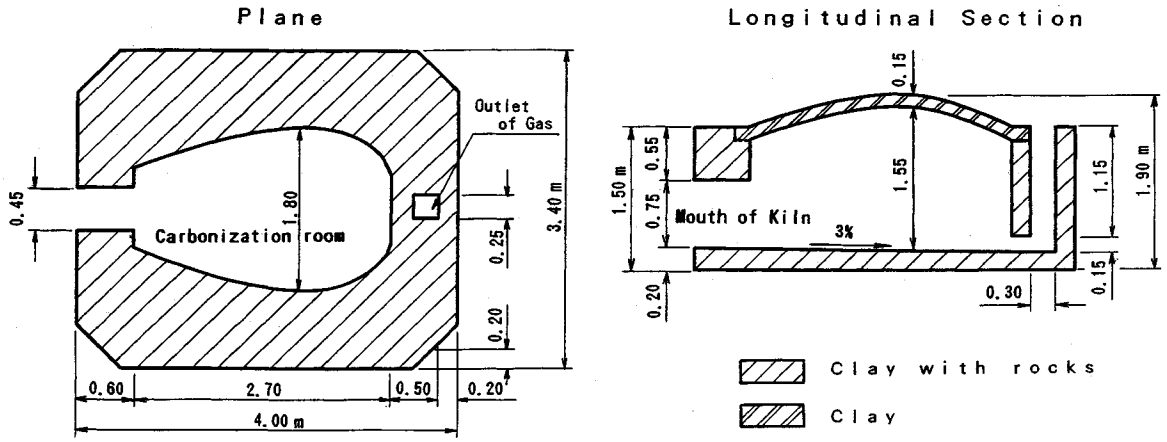


Fig. 1 Basic Design of the Charcoal Kiln

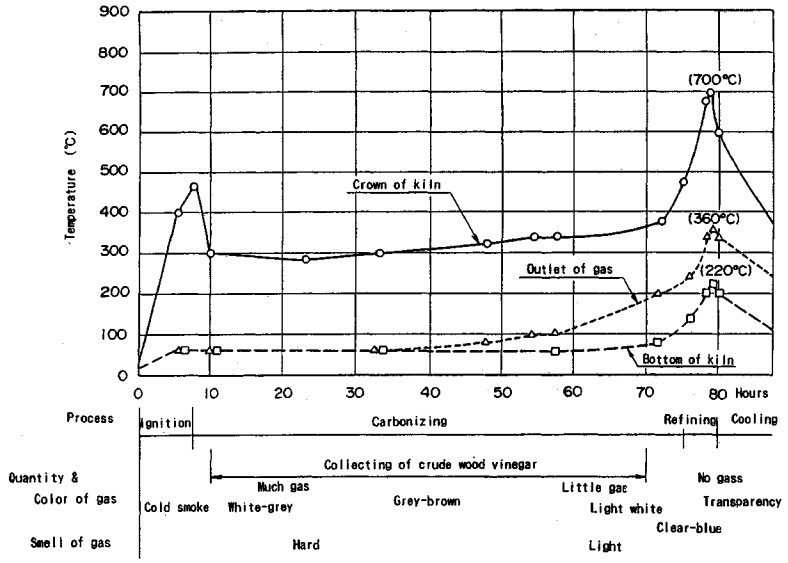


Fig. 2 Kiln's Carbonization Temperature and Its Output Gas Condition

力を極力使わないで炭化できる，焚口，点火室，炭化室そして煙道機能からなる日本の伝統的な土窯とする．

流木の炭化試験窯の様子を**Photo 3**に，基本設計図を**Fig.1**にそれぞれ示す．

b）炭のやき方

炭のやき方は，炭窯のタイプ，炭材の樹種，大きさや乾燥状態，焼く温度など様々な要因に影響されることから，日本独特の伝統技術の一つとして，「炭は臭いと煙の色，量そして味を見ながら勘でやく」といわれている[1]．流木の場合の方法・手順を要約すると次の様である．

1）貯水池からの流木引き揚げ→分別→運搬
2）炭材作り→炭材乾燥→炭材の窯入れ
3）窯の口焚き→窯内の炭材に点火→炭化開始
4）炭化過程（すなわち木酢液採取過程）
5）煙道口から出る煙の臭いが消え，煙量が少なくなり，煙の色が青みを帯びたら→精練作業
6）極限まで熱っせられたところで完全に密閉（黒炭）→窯内の消火→温度の低下→炭を取り出し→終了
7）次の窯入れ準備

流木の炭化試験での，点火から窯の密閉までの窯の温度操作ならびに管理と排煙ガスの様子を**Fig. 2**に示す．

Table 3 Properties of Driftwood's Charcoal of a Beech and Beech charcaol

Items \ Kind of wood	Driftw. Beech	Beech
Caloric Value (cal/g)	7,590	7,040
Ash (%)	3.0	7.0
Volatile Matter (%)	14.5	11.4
Fixed Carbon (%)	82.5	81.6
Carbon C (%)	86.3	85.5
Hydrogen H (%)	2.2	1.2
Nitrogen N (%)	0.3	0.4
Oxegen O (%)	8.2	5.9
Specific Gravity	1.55	1.76
Apparent Density	0.37	0.57
Water Absorbtion (%)	136	124
Charcoal Hardness	3	12
pH	7.5	8.8

5. 流木炭化物の性質

(1) 「流木炭」と生木炭の炭質比較

貯水池に浮遊する流木群を材料に木炭化するという試みは，日本あるいは世界の木炭史上において類を見ない[4]ことから，「流木炭」と呼ぶことにした．

生の原木を材料にする従来の炭（生木炭）と流木を材料とする「流木炭」と，炭の性質にどのような差違が生じているのだろうか．両者間の物理，化学的特性[1]の相違について，ブナの生木と流木を同条件下で炭化して相互比較（無水ベース）したものが**Table 3**である．試験は試料到着時の自然な状態で行っている．

発熱量（無水ベース）について，流木炭は7，５９０cal/gと高カロリーである．木炭より約５００cal/g，率にして約７％大きい．木炭の品位を決める重要な因子である灰分は，生木炭の約半分以下の３％と極めて少なく，固定炭素は８２．５％と高い炭化度を示している．

見掛け比重について，生木炭０．５７に対し流木炭は０．３７と極めて軽くなっている．このことより，流木炭は内空化の進んだ空隙の多い，すなわち，通気性に富んだ木炭であることがわかる．吸水率は，内空化している流木炭の方が大きくなっている．だから，木炭内に蓄えられる保水能力もより大きいといえる．木炭の強度や火持ちのよさを示す木炭の硬度は，生木炭１２度に対し流木炭は３度と大変強度劣化している．しかし，燃料として見方をかえると通気性に富んで火持ちが悪い分，逆に，火着きがよくなり燃焼効率は高くなっているといえる．溶出ｐＨについて，生木炭８．８に対し流木炭は７．５とアルカリ性より中性化している．

Table 4 Properties of Driftwoods' Charcoal

Items \ Kind of wood	Beech	Pine	Willow
Caloric V. (cal/g)	7,590	7,650	7,790
Ash (%)	3.0	2.2	2.6
Fixed Carbon (%)	82.5	84.3	89.0
Specific Gravity	1.55	1.63	1.62
Apparent Density	0.37	0.28	0.24
Water Absorb. (%)	136	266	382
Porosity (cm^3/g)	1.34	2.05	1.75
Surface Area(m^2/g)	43	210	-
Charcoal Hardness	3	1	1

以上のように，流木炭は，３章で述べたように長い間水に浸っている流木の属性をそのまま引き継いだ特長を持っている．生木炭に比べて炭の発熱量，品位，吸水性，通気性（内空率），火着きの良さなどで優位性を示す一方，木炭の強度や火持ち時間を低下させているといえる．

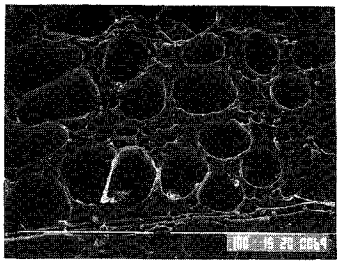
最近，話題となる化石燃料の燃焼による酸性雨，大気汚染問題さらに地球温暖化の問題について，ここで改めて注目したい点は，木炭は元素分析から明らかなように，微量な硫黄分以外は有害物質を含有しない大変クリーンな燃料であることである．また，木材を炭化することで，自然界の営みの中で腐朽菌により分解されて発生するCO_2や燃やされて発生するCO_2を抑制することができるということである．

(2) 樹種別にみた「流木炭」の炭質

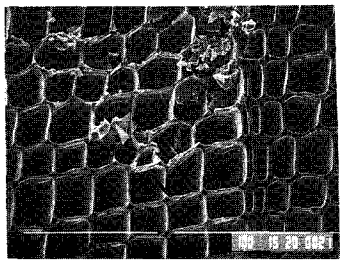
木を炭化すると，本来，木のもつ植物細胞組織がそのまま木炭に引き継がれるため，樹種の属性は木炭の炭質に反映されるの一般的である．流木の場合も樹種の違いを反映するのだろうか．浮遊流木の代表的樹種であるブナ，松，柳について炭種比較したものが**Table 4**である．試験は試料到着時の自然な状態で行っている．

a）発熱量と炭化度

木炭の発熱量（無水ベース）は，元素組成の炭素含有率に比例して増加する．よって，木をそのまま薪材としないで木炭化する意義はこの発熱量の高付加価値化にもある．一般に，木炭を燃料として価値評価する場合，炭素量すなわち炭化度が高くかつ灰分が少ない木炭が良質とされ，そのための製炭技術が競われることになる．ブナの流木で見た比発熱量の変化は流木で４，７００cal/gだったものが，炭になると７，５９０cal/gにまで上昇している．率にして実に約１．６倍である．流木炭の



Beech



Pine

Photo 4 Electoron Micrograph of Driftwoods' Charcoal

発熱量は炭化度の違いで若干相違するが，７．６００～７．８００cal/gと樹種に関係なく高カロリーである．灰分もいずれも３％以下である．流木炭は黒炭でありながら，いずれの樹種も，灰分，炭化度ならびに発熱量は，高品質炭として知られる白炭と同様の値を示している．

b）見掛け比重

見掛け比重が０．３７～０．２４と非常に小さいことは内空化が進んだ流木炭の特長の一つである．この軽量化は，樹種によってさらに異なる傾向にあるが，元になった炭材が広葉樹などの堅い木か，針葉樹などの柔らかい木かを反映したものになっているようである．

c）吸水率

流木炭の吸水率は内空化が進んでいることから１３６％以上と大きい．この大きさは樹種により大きく異なる傾向にあるが，針葉樹で比較的大きくなっている．特に，柳は３８０％と抜群の吸水性を誇っている．これは柳が水辺に生育することと無関係ではないだろう．

d）細孔容積と比表面積

木炭には樹種の細胞構造がそのまま残されているためマクロ孔，メソ孔，ミクロ孔などが無数に混在する．これらの数および分布割合は個々の木の特殊性や樹種固有のものとして異なる．

流木炭の内部構造について，ブナならびに松の電子顕微鏡写真（横断面）を**Photo 4**にそれぞれ示す．

ブナは典型的な管状構造，松は蜂巣（ハニカム）構造とそれぞれの樹種の特殊性を反映する形で見事に形成されている．人の手ではとても作れそうにないこのような植物細胞組織構造が気体や液体の分子を容易に木炭内部まで取り入れ（吸着），あるいは排出する（脱着）などの自由な往来を可能にしていると考えられる．

流木炭の細孔容積は，細胞壁が一部溶脱していて全般的に大きくなっている．また，樹種の特殊性を反映して１．３４～２．０５cm^3/gと異なる傾向にある．

流木炭の比表面積について，１g当たり４３～２１０m^2と巨大である．これは広さにして約２７～１３５畳に相当する面積である．このような巨大な表面積が，気体，固体分子そして液体あるいはこれらの混合体などに対して強力な吸着能力を発揮する．

e）木炭の硬度

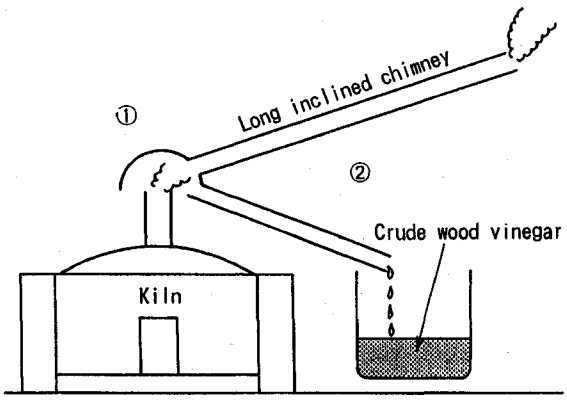
木炭の強度や火持ちの良さを示す硬度は，炭の焼き方の影響を受けるが，元来炭材となる樹種を反映する．カシ，ナラ，クヌギなどの広葉樹で堅い木の炭の硬度は大きく火持ちがよい．一方，松などの針葉樹は木が軟らかいため硬度は小さく火持ちは悪い．流木炭は全般に炭材が強度劣化していることから，硬度は小さく火持ちは悪くなる傾向にある．従来，木炭は家庭燃料の必需物資として強度と火持ちの良さが強く求められたが，現代の生活様式では，バーベキュウなどのアウトドアスポーツに見られるように火着きがよくて煙のでない燃焼効率のよい木炭に趣向が変化してきている．

Table 5 Chemical Components of Driftwoods' Ash

Components \ Kind of wood	Beech	Pine	Willow
CaO	31.1	43.9	51.5
K_2O	17.6	4.8	6.3
SiO_2	19.7	21.7	12.6
MgO	9.6	8.1	7.9
Al_2O_3	4.0	4.9	2.9
Fe_2O_3	2.0	3.0	1.9
Na_2O	2.1	1.6	3.1
TiO_2	0.3	0.3	0.3
MnO	0.9	0.5	0.8
Others			
pH	12.9	12.7	12.5

（３） 流木炭灰の化学的組成

木炭灰は樹木の灰分で，長年かかって土中より吸い上げ，樹木の成長に役立てたミネラルであり，微量ながら



① Collecting decomposed gas above the outlet of kiln

② Liquefaction of gas on the way in a long chimney (Crude wood vinegar)

Fig.3 Scheme of Collecting By-product Wood Vinegar

ことごとくが木の成長に必要な貴重な成分ばかりである．このように木炭灰は多様なミネラルを含有しているため，土に施用すると無機成分の補給効果から植物の生長を助けることはよく知られていることである．

流木炭灰の場合もこのようなミネラルが残存しているのだろうか．また，流木炭灰は樹種の違いを反映しているのだろうか．浮遊流木の代表的樹種であるブナ，松，柳について灰種比較[1]したものが**Table 5**である．

流木炭灰にも多様なミネラルが含まれている．樹木の生長のために多量必要とするカルシウム，カリなどは多量含まれ，微量でも生命の必需成分とされる鉄，マンガンなどは微量に含まれているなどバランスよく存在する．したがって，流木炭にも生命にとって貴重なミネラル成分がバランスよく含まれていることがわかる．

6. 副産物としての有機化合物の混合物（木酢液）

（1） 木酢液とその採取法

流木の炭化中に煙道口よりツンと刺激臭のある煙が立ち昇る．これは，木の主成分であるヘミセルロース，セルロース，リグニンの熱分解ガスと水蒸気である．ヘミセルロース，セルロース成分の熱分解温度は２００～３００°Ｃで白褐色の煙として排出され，リグニンは３００～４５０°Ｃで青い煙として排出されるといわれている[5]．熱分解ガスは窯の中で循環している間に凝固して水蒸気の微粒子となり煙となって煙突から出てくる．それは，湿っぽい煙になるので，この煙を細いパイプに通して冷却すると，微粒子が凝縮して水滴となる．これが有機化合物の混合物（粗木酢液）である[6]．

Table 6 Properties of Driftwoods' Wood Vinegars

Items \ Site	TADAMI	TENRYU	NAHARI
Water Content(%)	87.5	90.0	88.0
Organic Comp.(%)	12.5	10.0	12.0
Acid Content (%)	7.4	5.1	4.3
Specific Gravity	1.011	1.004	1.006
pH	2.5	2.6	2.4
Color	Clear Yellow	Clear Yellow	Clear Yellow
Organic Compounds(%)			
Methanol	0.30	0.10	1.53
Acetone	1.46	0.70	0.52
Formaldehyde	0.08	0.01	1.40
Acetoin	0.10	0.15	0.21
Propionic acid	1.59	2.83	3.07
Acetic acid	55.68	46.52	31.07
Tetrahydrofurfury	6.54	9.03	10.62
Furfural	6.67	0.14	1.12
o,m,p-Creosol	2.98	5.62	9.93
Maltol	2.12	5.10	4.22
Others			

流木の化学組成もヘミセルロース，セルロース，リグニン成分を主成分にすることから，流木の炭化過程でも副産物として木酢液の採取は十分可能と考えられる．

流木木酢液の採取法について，概略図とその解説を**Fig.3** に示す．

（2） 流木木酢液の化学的組成

流木の炭化過程の煙から採取された流木木酢液は，ダム地点に流れ込む様々の樹種の流木を無差別に原材料として炭化しているため，多品種樹木の混合木酢液といえる．ここで，流木木酢液は貯水池を長年浮遊して脱皮・脱脂した流木の熱分解成分であるためか，炭化過程で軽質油などの不安定成分やタール成分がほとんど発生しないため，粗木酢液からの木酢液の分離抽出が通常の生木に比べて大変容易になっている．

只見川，天竜川，奈半利川水系のダム地点の流木から，それぞれ採取した流木木酢液の化学的性質ならびに含有する主要な有機化合物について，分析した結果[1]を**Table 6** 示す．

流木木酢液は，約水分８７～９０%，有機物１２～１３%の混合物である．有機物中の有機酸含有率は約４～８%である．比重は１．０１１～１．００４，ｐＨは

2．4～2．6と強酸性である．これらの分析結果は，生木を炭材にして採取・精製された木酢液成分とバラツキ度合いを含めてほとんど差異はない．含まれる有機化合物成分は，酢酸を主成分とする有機酸類，クレゾールなどフェノール酸類，メタノールなどアルコール類，ホルムアルデヒトなどカルボニル化合物，マルトールなど中性成分，その他微量ながら実に多様な成分からなっており，流木木酢液の含有する化合物の種類ならびにその含有割合の分布は，生木の炭化過程で採取された木酢液とほぼ差異のない化学組成となっている．「ツン」と刺激臭を放つ流木木酢液は，黄色から赤褐色をした透明度の高い非常に美しい液体である(**Photo 2**)．

木酢液は微量ながら毒性や殺菌性の成分を含め推定２００種以上の有機化合物を混合含有するといわれ，現在，食物の安全性と品質の高規格化が求められる中，減農薬，無農薬あるいは有機栽培のための天然の助っ人液として，木酢液の活用が高い関心を集めている[8]．

7. 流木炭および流木木酢液の生成量

今回，試験土窯で行った５回の炭化試験一窯あたりの流木炭の収炭率および流木木酢液の収液量について，まず，収炭率は，原材料として窯内に立て込んだ流木重量（湿潤重量）に対する出炭（乾燥重量）の重量比で約１５～２４%の収炭量があった．つぎに，副産物としての粗木酢液の収液量は，収炭した単位炭重量に対して，０．１７～０．３４ﾘｯﾄﾙ/kgであった．

この流木の木炭化による再資源化技術の改善と量産化技術の開発は今後の大きな課題であるが，高い炭化度でできるだけ灰にならないようにする炭化技術の水準をはじめとして，炭材となる樹種の密度や，炭材計量時の木の含水状態等の違いによって，収炭ならびに収液性は当然影響を受けることはいうまでもない．

8. 結　論

ダムの保守管理の焦眉の課題のひとつである貯水池の浮遊流木対策について，「できるだけ再資源化して有効利用を図ることが最大の流木対策である」と，流木の木炭化による再資源化を提案した．そして，流木の炭化方法ならびに再生品の属性など．について分析試験結果を踏まえ論じた．これらを要約すると以下のようである．

（１）流木の木材としての木質について，化学組成，元素組成，物理・化学的性質について分析試験した結果，流木の傷み・腐朽は表層のみで内部は木材としての価値を十分有している．

（２）流木の木炭化は，特段の技術や高額な投資を必要としない，どこにでも簡単に窯の設置が可能な日本の伝統的な炭窯と焼き方で十分炭化できる．

（３）炭化したブナ流木の比発熱量の変化は，流木の場合，４，７００ cal/gだったものが，一旦木炭化されると実に７，５９０ cal/gにまで上昇する．これを率にすると約１．６倍である．

（４）流木でできた炭（流木炭）は，灰分は３%以下，発熱量は炭化度の違いで若干相違するが，７．６００～７．８００cal/gと樹種に関係なく高い発熱量を有している．炭質を灰分と熱量で見た場合，流木炭は高品位炭と評価できる．

（５）流木炭は流木の細胞組織構造をそのまま残しているため多孔性に富んで非常に軽い．容積重は通常の木炭の約半分である．そのため，強度低下を起こしているが，軽いため取扱いが大変容易である一方，通気性に富むため火着きがよく燃焼効率も高い．

（６）流木炭は間隙が大きいため吸水性，保水性に富む．

（７）流木炭は４３～２１０m^2／gと巨大な比表面積を有している．これは，流木炭が潜在的に高い吸着能力を持つことを示唆している．

（８）流木炭の灰は，多様なミネラルを含んでいる．

（９）流木の炭化過程の副産物として，有機化合物の混合物（木酢液）が採取できる．この流木木酢液は，多品種樹木からの混合木酢液であるが，化学的性質ならびに化学組成は生木炭からの精製木酢液とほとんど差異はない．

（10）貯水池に浮遊する流木を原材料にした流木炭ならびに流木木酢液（**Photo 2**）は，市販類似品と比較しても特段の差異は認められず，十分商品性を有していると評価できる．

（11）流木を炭材の原材料にしたときの，流木に対する流木炭の収炭率は重量比で１５～２４%，流木木酢液の収液量は出炭重量に対し０．１７～０．３４ﾘｯﾄﾙ/kgである．

ダム管理にとって大変やっかいな流木が一転有用な資源に再生できることが明きらかとなった今，流木対策にとどまらず，木炭，木酢液そして木灰と全く無駄のないこれらの物質を天与の資源として，できるだけ有効利用していくことを提案したい．

おわりに，本研究を通して，忘れかけていた「自然の摂理に逆らわず巧みにコントロールしていく」という日本独特の炭焼き技術の原点と教訓をえた．炭やきの会の岸本定吉博士をはじめ多くの方々の助言とご指導を戴いた．電源開発（株）田子倉電力所でダムの流木処理にあたっておられる目黒愛次氏には試験炭窯の製作と実証試験を，再生品の分析・試験では総合技術試験所三島敦夫氏の協力を戴いたことを記し厚く謝意を表す．

参 考 文 献

1) 電源開発（株）総合技術試験所　試験報告：流木・流木炭・流木木酢液の基礎物性調査，1991，1992，1993.
2) 里中聖一：木材炭化の基礎的研究，北大農学部演習林研究報告，第22巻，第2号，1963.
3) 浅野猪久夫：木材の事典，朝倉書店，1982.
4) 岸本定吉：木炭の博物誌，総合科学出版，1984.
5) 栗山旭：木材の炭化過程に関する研究，林業試験場研究報告，第304号，1979.
6) 岸本定吉：木酢・炭で減農薬，農文協，1991.
7) 黒田重徳：流木の再資源化と活用，電源開発（株）調査資料，No.93，1993.
8) 科学技術用語大事典：日刊工業新聞社，1974.

（1994.5.13 受付）

CARBONIZED UTILIZATION OF DRIFTWOODS IN DAM RESERVOIRS

Shigenori KURODA, Kikuji KOYAMA

A large amount of driftwoods flow into a dam reservoir during heavy rain or typhoon. These driftwoods are not only troublesome for the hydroelectric power generation, but it can cause the secondary disaster in a flood by obstructing the river flow. For this reason, it is one of the important tasks in dam maintenance to salvage these driftwoods whenever necessary. Salvaging driftwoods is very costly, and it is even more embarrassing to find the way of disposing them by burning or landfill. Now, based on the recognition that "the best way of driftwoods is to convert them into a usefulresources", the research of turning these driftwoods into charcoal has been embarked because of the specific characteristics of driftwoods in reservoirs. An experimental kiln of traditional clay type has been constructed, the carbonization methods, carbonizations on driftwoods and its properties have been investigated. It has also been attemped to extract organic compounds solution in the process of carbonizing the driftwoods. The charcoal and the organic solution obtained from driftwoods were proved to have sufficient commercial value based on chemical analyses and physical tests.