

樹皮で有害重金属をつかまえる

- 廃材の高度利用の試み -

青 山 政 和

はじめに

木材工業では、木材を加工する過程で樹皮やのこくずなど大量の廃材が発生します。これら木質廃材も貴重な資源であり、それらの高度利用技術の開発は、林産工業の発展に欠くことのできない重要な課題の一つです。

これまでに廃材利用に関してさまざまな提案がなされ、中にはバーク堆肥など実用化されている例もいくつかあります。わが国では、1960年代からの木材需要の増大や燃料消費構造の急激な変化に伴い、大量の木質廃材が焼却されました。しかし、焼却による大気汚染が問題にされるようになってからは、主として廃棄物処理の観点から木質廃材の再利用が検討されるようになりました。とりわけ廃材として大量に排出され、また利用技術の開発が遅れていたために燃料以外に使い道がなかった樹皮も、近年の省資源、省エネルギー、環境問題に対する関心の高まりから、燃料の他に家畜敷料、土壌改良材など農業用有機資材として利用されるようになってきました。最近では、北海道でも樹皮は廃棄されることなく再利用されており、用途も燃料から家畜敷料へ移行し、より付加価値の高い方向に向かっていきます。もちろん樹皮を含め木質物は燃料としてすぐれた特性を持っており、化石資源に乏しいわが国では、木質廃材を熱源として利用することも必要です。また、樹皮のもつ理化学的性質を生かした農業用有機資材としての利用も、資源の有効利用以外に農林地の地力の維持や向上に欠かせず、合理的な利用法の一つといえるでしょう。

しかし、現在の廃材利用形態は、まだ廃棄物処

理の域を脱したのではなく、低位、粗放なレベルといっても過言ではありません。年間総排出量が720万 m^3 にもものぼると推定されている樹皮の高度利用技術の開発が望まれています。ここでは樹皮中に含まれているポリフェノールのイオン交換性に着目し、カドミウムなどの有害重金属を含んだ排水を樹皮が浄化する能力について調べたので、その結果を紹介します。

排水処理の現状は

重金属を含んだ排水の処理法には、中和法、硫化法、イオン交換法、キレート樹脂吸着法などがあります。金属鉱業では、安価で簡便な処理法として中和凝集沈殿法が一般的です。イオン交換樹脂を用いたり、濃縮し析出分離する方法は、貴金属や放射性物質などを対象とする場合に限られているようです。また、活性炭などを併用する方法もありますが、あまり一般的ではありません。

中和法は、消石灰または炭酸カルシウムを加えて、金属イオンを水に不溶性水酸化物として沈殿除去する方法です。鉱山排水などを処理する場合には、鉄やその他の金属イオンの沈殿に伴って、本来、そのpHでは水に可溶性亜鉛やカドミウムイオンなどが一部凝集沈殿します。一般的に中和凝集沈殿処理法では、pHが9以上になるように中和剤を投入します。この処理で、各金属の排水中の濃度を基準値（溶解性鉄、亜鉛、溶解性マンガンはそれぞれ10、5、10mg/l）以下にすることが可能です。しかし、この方法では、重金属を分別回収することはできません。また、生成したスラッジ（汚泥）はそのまま投棄できないため

に、事業所内に堆積される場合が多いようです。したがって、堆積物の流出や再溶出を防止する処置に加えて、堆積場の確保が問題となってきます。スラッジの一部は、土木工事資材として利用される例はありますが、この資材化にあたっては、焼成やセメントまたはアスファルトによる固化などの処理が必要となります。現状では得られた固形物の用途がないために、スラッジの処理経費が持出しとなっています。最近、メッキや電子部品を製造する工場では高価なキレート凝集剤で重金属含有廃液を処理していますが、この場合も処理された金属は再利用されることなく廃棄されています。

わが国は重金属資源に乏しく、その大半を海外に依存しています。現在、作業性や経済性のみを追求するあまり、ほとんど再利用されずに廃棄されている金属の中には有用なものが多く、世界的に希少な資源も含まれています。鉱山排水や工場廃水からの重金属の回収、再利用は、環境保全だけでなく、鉱物資源の有効利用の点からも極めて重要な課題です。安価なバイオマスを使った各種産業排水や海水からの有用重金属の回収は、天然廃資源の活用と環境保全の二つの要件を満たす重要な技術と考えられます。

樹皮による重金属の吸着

ある種の天然物質、例えば木炭や^{植物}硅藻土は古くから吸着剤、ろ過剤として利用されており、また羊毛や毛髪などのケラチン物質が重金属イオンを吸着することはよく知られています。1970年代に入り、農畜産業で排出される副産物の有効利用の一環として、各種副産物の重金属排水処理への適用が検討され始めました。これまでに、クルミ、ピーナッツ、クリなどの皮、廃茶葉などのポリフェノール系物質、柑橘類の皮などのペクチン酸 - ポリフェノール系物質などが重金属イオンの除去、回収に有効であると報告されています。稲ワラ、モミ殻、麦ワラ、バガス、コーンコブ(トモロコシ穂軸)などのリグノセルロース系副産物も検討されましたが、それらの重金属捕集能はポリフェ

ノール系の物質ほどは大きくはないようです。樹木を対象としたものでは、樹皮、樹葉、のこずなどの残廃材、化学的に改質した木材や機械パルプの利用も考えられています。しかし、これらバイオマス系吸着剤は処理能力、利便性、経済性のいずれかに課題を残しており、まだ実用化されているものはありません。

表1 樹皮および活性炭のカドミウム・銅・亜鉛吸着
(その1)

樹種	カドミウム		銅		亜鉛	
	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g
針葉樹						
トドマツ	28.1	6.7	31.5	4.4	26.0	3.6
エゾマツ	51.0	12.2	50.3	7.1	50.2	7.1
アカエゾマツ	50.2	12.1	54.5	7.6	50.2	7.0
ヨーロッパトウヒ	63.1	15.8	68.9	9.6	56.8	8.2
カラマツ	38.4	9.1	35.8	5.0	33.3	4.7
グイマツ	38.4	9.8	45.9	6.4	35.5	5.0
アカマツ	40.5	9.7	33.3	4.7	32.7	4.6
クロマツ	29.7	7.2	44.8	6.3	35.2	5.0
ストロブマツ	38.3	9.4	41.6	5.8	26.9	3.9
イチイ	59.4	14.4	55.3	7.6	55.0	7.9
スギ	49.8	12.1	46.7	6.5	46.9	6.6
コウヤマキ	43.9	10.7	53.9	7.5	44.1	6.3
ヒノキ	47.8	11.6	34.4	4.8	41.1	5.8
サワラ	47.3	11.6	36.3	5.0	43.5	6.1
ヒノキアスナロ	57.5	13.9	40.7	5.6	42.6	5.9
広葉樹						
ギンドロ	58.1	14.5	60.3	8.3	50.9	7.1
エウロアメリカボラ	56.0	13.9	55.4	7.8	49.1	6.8
ドロノキ	69.9	17.0	78.6	11.0	65.9	9.4
セイヨウハコヤナギ	48.6	12.1	45.9	6.4	41.6	5.8
ヤマナラシ	71.0	16.8	66.1	9.1	67.7	9.5
エバノバッコヤナギ	50.4	12.0	40.6	5.6	47.0	6.7
エゾノカワヤナギ	44.5	10.8	37.9	5.2	42.6	6.2
サワグルミ	66.3	16.1	62.3	8.6	64.8	9.0
シナサワグルミ	73.2	17.6	63.0	8.7	69.8	9.8
ヒッコリー	71.5	17.6	62.4	8.7	74.4	10.5
アラハダヒッコリー	72.4	17.7	60.3	8.5	67.6	9.5
オニグルミ	69.7	16.8	65.8	8.9	67.3	9.3
ヒメグルミ	66.8	16.7	61.7	8.4	60.4	8.6
テウチグルミ	70.4	17.0	68.4	9.4	69.8	9.7
サワシバ	56.9	13.8	54.7	7.5	53.3	7.5
シラカンバ	55.7	13.6	53.8	7.4	49.1	7.0
ダケカンバ	24.2	5.7	18.8	2.6	22.4	3.1
ヤエガワカンバ	30.3	7.4	28.7	3.9	21.9	3.0
ケヤマハンノキ	39.9	9.6	39.2	5.4	32.3	4.5
ブナ	50.9	12.2	42.7	5.8	47.6	6.7
ミズナラ	54.2	12.5	47.2	6.4	46.7	6.5
カシワ	62.0	15.3	32.5	4.4	32.2	4.5
クリ	57.4	13.9	57.7	8.0	56.4	8.0
ハルニレ	63.5	15.6	66.5	9.3	58.5	8.4
ケヤキ	41.8	10.4	31.8	4.3	31.5	4.4
ヤマグワ	67.0	16.8	71.4	9.7	62.0	8.8
カツラ	45.6	11.0	43.7	6.0	43.9	6.2
キタコブシ	57.7	13.7	72.0	9.9	51.2	7.3
ホオノキ	62.0	15.6	80.1	10.8	59.9	8.5
ユリノキ	62.2	15.6	46.9	6.5	56.7	8.1

表1 樹皮および活性炭のカドミウム・銅・亜鉛吸着
(その2)

樹種	カドミウム		銅		亜鉛	
	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g
エゾヤマザクラ	37.8	9.2	31.8	4.2	32.4	4.6
シウリザクラ	54.7	13.8	57.6	7.9	49.7	7.2
キハダ	69.0	16.8	66.8	9.3	30.9	4.3
イタヤカエデ	52.1	12.5	43.8	6.0	51.4	7.1
トチノキ	57.6	13.7	48.4	6.6	52.4	7.4
オオバボダイジュ	61.9	14.5	59.6	8.3	56.6	8.1
シナノキ	62.4	15.1	52.8	7.2	57.6	8.1
ハリギリ	58.7	14.0	55.2	7.5	53.6	7.5
ミズキ	58.9	14.4	59.9	8.3	58.3	8.5
エゴノキ	68.9	17.4	66.5	9.2	61.7	8.8
ハシドイ	28.3	6.8	36.3	4.9	34.7	4.8
アメリカトネリコ	52.0	12.7	35.6	4.9	45.7	6.5
アオダモ	58.5	14.4	47.5	6.7	58.2	8.3
ヤチダモ	65.5	16.1	57.1	8.0	63.7	9.1
活性炭(粒状)	33.7	7.3	50.6	6.5	44.9	5.7
活性炭(粉末)	30.2	7.1	45.5	5.8	18.9	2.5

最近、固定化タンニンを醸造用水の除鉄、海水や鉱山排水からのウランウムなど有用金属の回収に利用することが検討されています。樹皮類は重要なタンニン原料の一つであ

り、その中にはベイスギのように重金属類に対し高い親和性を示す樹種もあります。ここでは、まず主要な本邦産商業樹種を含む60樹種の樹皮についてカドミウム、銅、亜鉛などの有害、有用重金属に対する捕集能を調べ、次いで優れた吸着能を示す樹皮を用いて、吸着速度、重金属吸着に及ぼす検水のpHや重金属濃度などの影響、さらに実際の鉱山排水に対する処理能力について検討しました。

樹皮の吸着性能試験

樹皮粉末(42~80メッシュ)0.5gを1mMの金属を含む水溶液(pH5)100mlに懸濁させ、30で24時間振とうかくはんし、担体をろ別後、ろ液中の残留金属量を原子吸光法で定量し、金属吸着量を算出しました。1mMとは、ある溶液1l中に溶質1mmolを含む濃度のことです。なお、カドミウム、銅、亜鉛については全樹種で実施し、銀、コバルト、マンガン、ニッケルに関しては比較的重金属に対し親和性が高い針葉樹3樹種と広葉樹14樹種について実施しました。表1と表

1993年7月号

表2 樹皮および活性炭の銀・コバルト・マンガン・ニッケルの吸着

樹種	銀		コバルト		マンガン		ニッケル	
	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g	%	mg/g
エゾマツ	20.4	5.0	28.6	3.7	34.6	4.1	31.5	4.2
ヨーロッパトウヒ	23.1	5.7	44.5	5.4	42.8	5.3	53.7	3.3
イチイ	22.5	5.7	47.3	6.2	47.2	5.6	47.7	6.1
ドロノキ	30.0	7.2	31.9	4.2	47.4	5.7	47.9	6.5
ヤマナラシ	19.8	4.7	43.1	5.4	45.9	5.6	60.3	8.5
サワグルミ	29.1	6.8	53.9	7.1	46.7	5.6	54.0	6.7
シナサワグルミ	26.5	6.1	49.0	6.4	43.5	5.1	51.2	6.3
ヒッコリー	28.3	6.7	53.9	7.2	45.8	5.5	54.0	6.8
アラハダヒッコリー	33.3	7.7	52.3	6.9	47.3	5.6	53.7	6.6
オニグルミ	30.6	7.0	54.1	7.0	46.6	5.5	54.0	6.6
ヒメグルミ	29.8	6.8	49.8	6.5	47.6	5.6	50.7	6.2
テウチグルミ	34.6	8.0	55.1	7.2	49.8	5.9	58.9	7.3
ヤマグワ	23.9	5.9	52.2	6.7	52.1	6.1	52.8	6.6
キタコブシ	29.1	7.2	24.1	3.1	51.1	5.9	54.2	7.7
ホオノキ	34.5	8.6	40.0	5.4	51.1	5.9	55.4	7.9
エゴノキ	28.4	6.9	46.5	6.2	55.6	6.4	63.4	9.1
ヤチダモ	26.9	6.4	39.2	5.3	52.6	6.1	49.8	6.2
活性炭(粒状)	—	—	33.4	3.8	28.6	3.1	27.2	3.2
活性炭(粉末)	—	—	22.4	2.8	11.4	1.3	21.3	2.6

2に吸着試験結果を示します。表1と表2から、樹皮の重金属捕集能は樹種の違いによりかなりの差異があることが分かります。ポプラの仲間のドロノキ、ヤマナラシやオニグルミ、サワグルミ、ヒッコリーなどのクルミ科樹種、ヤマグワ、キハダ、エゴノキ、ヤチダモなどがカドミウムに対し高い親和性を示し、樹皮1g当たり16mg以上のカドミウムを捕集できます。銅に対しては、ヨーロッパトウヒ、ドロノキ、ヤマナラシ、テウチグルミ、ハリニレ、ヤマグワ、ホオノキ、キタコブシ、エゴノキなどが高い捕集能を示しました。特にホオノキやドロノキ樹皮は64ppmの銅を含む検液から約80%の銅を除去することができます。ppmとは100万分の1という意味で、正確ではありませんが溶液1l中に溶けている物質のmg数と考えてよいでしょう。ドロノキ、ヤマナラシ、クルミ科樹種、ヤマグワ、ホオノキ、エゴノキ、ヤチダモなどの樹皮は亜鉛に対しても高い親和性を示しています。銀、コバルト、マンガン、ニッケルに対する吸着量は、ホオノキが銀に対して、またヤマナラシとエゴノキがニッケルに対して比較的高い値を示しましたが、カドミウムや銅に対す

るそれと比較して一般に低いようです。広葉樹樹皮は針葉樹樹皮よりも重金属吸着量が低いという報告もありますが、本研究ではコバルトを除くすべての重金属に対する平均捕集量はいずれも広葉樹樹皮が針葉樹樹皮のそれよりも高い値を示しました。これらの相違は試験に用いた樹種の違いや試料の水洗処理の有無によるものと思われます。樹皮の重金属吸着量と樹種分類体系との明らかな相関は必ずしも認められませんでした。クルミ科樹皮(7樹種)はいずれも重金属に対し高い親和性を示したのに対して、シラカンバやハンノキなどカバノキ科樹皮(6樹種)のそれは逆に低いようです。樹皮と市販活性炭の吸着能を比較すると、広葉樹樹皮はすべての重金属に対して活性炭より高い吸着能を示しました。針葉樹樹皮の吸着能は、銅と亜鉛に対しては顆粒状活性炭とほぼ同等でしたが、それ以外の重金属に対しては活性炭より優れていました。したがって、樹皮類は重金属捕集用吸着剤として少なくとも市販活性炭よりは優れているといえます。

樹皮の重金属を吸着する特性は

樹皮の重金属吸着特性を明らかにする目的で、ドロノキ樹皮と硝酸カドミウム水溶液を用いて、吸着速度、吸着に及ぼす検液のpHや重金属イオン濃度、担体(樹皮)量などの影響を調べました。試験方法は前項と同じバッチ式の平衡吸着試験で実施し、試験結果を図1~4に示します。

図1から明らかなように、試験開始1時間後ですでに平衡吸着量の81%のカドミウムが吸着され、その値は2時間後には93%、4時間後には96%に達しています。このことから樹皮の吸着速度が極めて速いことがわかります。図2はカドミウム吸着に及ぼす検液のpHの影響を示しております。ただし、カドミウムはpH8以上の領域では水酸化物を形成し沈殿するため、検液のpHは2~7の範囲としました。pH4~7の弱酸性ないし中性領域で最大吸着量が得られ、pH3以下では吸着量は急激に低下しています。カドミウム吸着に及ぼす検液のカドミウムイオン濃度の影響を

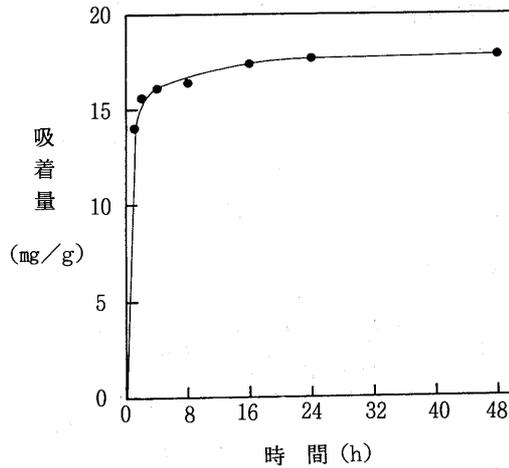


図1 ドロノキ樹皮のカドミウムの吸着量に及ぼす処理時間の影響

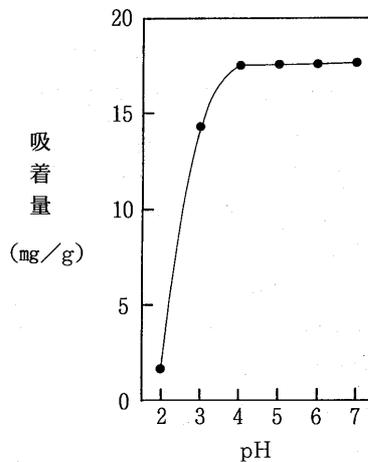


図2 ドロノキ樹皮のカドミウムの吸着量に及ぼすpHの影響

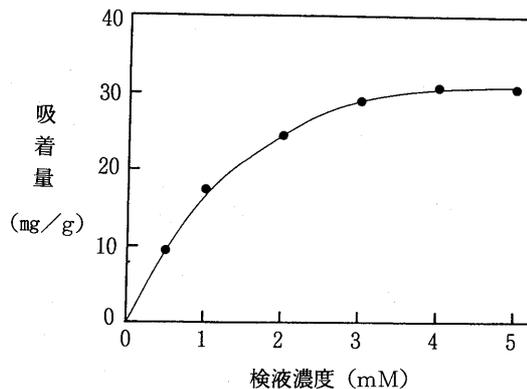


図3 ドロノキ樹皮のカドミウム吸着量に及ぼす濃度の影響

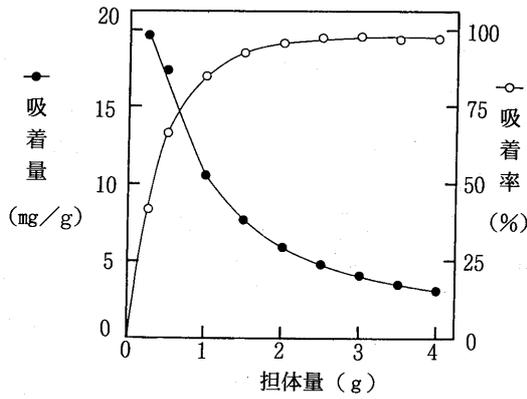


図4 ドロノキ樹皮のカドミウム吸着量に及ぼす担体量の影響

図3に示します。検液のカドミウムイオン濃度が高くなるにつれて吸着量は増加しますが、最終的には飽和状態に達しました。このことからドロノキ樹皮のカドミウム吸着能は32mg/gと推定されます。すなわち1gの樹皮で0.03gのカドミウムが除去できることとなります。カドミウム吸着に及ぼす樹皮量の影響を図4に示します。樹皮量が増加すると、樹皮単位重量当たりのカドミウム吸着量は減少しますが、吸着率で表される総吸着量は増加しています。以上の結果から、樹皮の重金属吸着に対し検液のpHや重金属イオンの濃度が大きく影響することが明らかです。

吸着性を向上させる化学的処理

これまでのスクリーニングテストや吸着特性試験から、ドロノキやオニグルミなどの樹皮が、重金属類に対して優れた捕集能を持つことが分かりました。しかし、キレート樹脂やイオン交換樹脂などと比較すると、その捕集能は合成樹脂の1/10~1/20程度に過ぎません。そのため、使用目的によっては、捕集能をかなり高める必要があります。また、樹皮はタンニン、低分子ポリフェノール、糖類など水溶性物質を多く含有しており、そのまま使用すると、これらの溶脱物質が処理水を着色させたり、BOD（生化学的酸素要求量）の増加をもたらす、排水基準を満たさなくなります。樹皮を吸着剤として使用するには、このような有機物による排水汚染の対策も必要です。その対策として、前もって溶脱成分を除く処理（熱水、アルカリ抽出）、溶脱成分をホルマリンと反応させ不溶化させる処理（固定化）、陽イオン交換能を向上させると同時に処理過程で溶脱成分を除く処理（リン酸エステル化）について検討しました。

ドロノキ樹皮を化学処理（熱水抽出、アルカリ抽出、固定化処理）して得られた担体と、単に水洗しただけの担体の重金属吸着量を表3に示します。熱水抽出処理樹皮と水洗処理樹皮との間に吸

表3 ドロノキ樹皮の化学処理による重金属吸着能の変化^{a)}

金 属	水洗処理		熱水抽出処理		アルカリ抽出処理		固定化処理		リン酸エステル化処理	
	吸着率 (%)	吸着量 (mg/g)								
亜 鉛	65.9	9.4	61.2	8.9	15.5	2.2	41.4	5.6	88.8	60.7
銅	77.2	10.6	72.0	10.4	14.6	2.1	57.3	7.4	92.1	105.8
カドミウム	69.9	17.0	65.5	16.4	23.9	5.9	45.3	10.2	80.2	54.3
収率 (%) ^{b)}	86.5		80.3		52.9		77.8		80.4	

a) 吸着試験は、リン酸エステル化では担体量を0.1gとし、それ以外では担体量を0.5gとした
 吸着率とは1mMの重金属イオンを含む検液100mlから担体により吸着された重金属イオンの量 (%)

b) 無処理担体を100とした乾物重量比

着量の大きな差はみられませんでした。しかも、熱水抽出処理による収率の低下はそれほど大きくはありませんでした。また、熱水抽出処理担体からの着色物質の溶出はほとんどみられず、熱水抽出が簡便な前処理として有効であることが分かります。一方、アルカリ抽出処理では、収率低下が著しく、吸着量も大幅に減少しました。このことは、アルカリによって抽出される成分が重金属吸着に大きく関与していることを示すものです。固定化処理は、熱水抽出処理と収率自体は同程度でしたが、得られた担体の吸着能は20～30%低下しています。さらに、この処理では硫酸やホルマリンなどの有害薬品が使用されることなどを考慮すると、前処理法としては適当ではないと思われます。

熱水抽出処理だけで樹皮の吸着能を向上させることはできません。一方、リン酸エステル化処理は、セルロースに重金属捕集能を付与する方法として有効な処理であることが知られています。そこで、樹皮についてもリン酸エステル化を行い、吸着能に及ぼす処理の効果を調べてみました。表3から明らかのように、エステル化によって重金属吸着能は水洗処理担体よりも向上し、亜鉛、銅、カドミウムに対してそれぞれ6.5、10、3倍も高くなっています。このことから、樹皮に対してもエステル化処理が有効であることが分かりました。そこで、ここで用いたエステル化条件での製造コスト（人件費、設備償却費を除く）を試算してみました。リン酸、尿素、ジメチルホルムアミド（DMF）の価格を各々200、100、300円/kgとすると、リン酸エステル化担体の製造原価

は約6,500円/kgになります。さらに、人件費や工場施設の減価償却分を加えると製品価格はさらに高くなり、この価格では、鉱山排水や工場廃水の一次処理剤として利用できる可能性は残念ながら低いとしかいえません。もっとも、貴金属、希少有用金属の回収や高度処理が要求される場合には利用できる可能性は残されており

実証化試験

まずバッチ式（浸せき法）による鉱山排水の処理について試験してみました。道内で採取したある浄化処理前の鉱山排水は188ppmの亜鉛を含んでいました。亜鉛に対する排水基準は5ppmとされており、この鉱山排水は基準値の約40倍の亜鉛が含まれていることとなります。この排水に希アルカリを加えていくと、pH4～5付近から茶褐色の水酸化鉄と思われるフロック（浮遊するかす）が生じます。さらにアルカリを加え、pHを7に調整した後、メンブランフィルターで沈殿を除き、2倍に希釈し重金属吸着試験用の検水としました。この検水はなお43.2ppmの亜鉛を含んでおり、中和により54%の亜鉛が除かれたこととなります。このようにして得られた検水100mlにヤマナラシ樹皮を加え、一昼夜振とうかくはんした結果を表4に示します。ドロノキ樹皮のカドミウム吸着の場合と同様、樹皮量の増加にともない亜鉛の総吸着量は増えますが、樹皮単位重量当たりの吸着量は逆に減少してきます。表から0.7gの樹皮

表5 カラム法によるドロノキ樹皮のカドミウム吸着試験

検液カドミウム濃度 (ppm Cd)	112.2	112.2	112.2
流速 (ml/min)	20	33	50
(SV値: bed vol./h)	30	50	75
総負荷量 (mg Cd/g)	26.7	26.7	26.7
定常状態での負荷量 (mg Cd/g)	20.4	13.4	10.7
定常状態での通過液の			
カドミウム濃度 (ppm Cd)	<0.1	<0.1	<0.1
定常状態での通過液 pH	5.17	5.15	5.19
最終通過液の			
カドミウム濃度 (ppm Cd)	58.4	65.2	76.4
総カドミウム吸着量 (mg Cd/g)	25.4	24.1	22.3

表4 ヤマナラシ樹皮による鉱山排水からの亜鉛吸着

担体量 (g)	吸着率 (%)	吸着量 (mg/g)	吸着量 (mmol/g)
0.25	23.5	9.36	0.144
0.50	43.5	8.04	0.123
0.75	57.0	6.98	0.107
1.00	61.8	5.68	0.087

により検水中の亜鉛の57%が、0.94gの樹皮で62%が捕集除去されたこととなります。これ以上樹皮量を増やしても、増やした割には処理効果は上がらないと思われまます。いずれにしても、樹皮が重金属含有排水中の亜鉛濃度をかなり下げることができることを示しています。

重金属排水を処理する場合には、処理施設、操作性、経済性などの点から、バッチ式よりも担体を充填したカラム内に処理水を通過させる連続法がより実用的と考えられます。そこで、亜鉛よりはるかに毒性が強く、水質基準値も厳しいカドミウム(0.1ppm)を使って、樹皮の重金属吸着性能を調べてみました(表5)。ドロノキ樹皮をガラスカラムに充填し、これに1mMのカドミウムを含む水溶液(pH5)を流速毎分20~50mlで流下させました。

浄化機能が完全に働いている定常状態では、樹皮カラム通過液中のカドミウム濃度は検出限界以下であることが分かります。しかし、カドミウム捕集量は流速に大きく影響され、流速が毎分20mlから33ml、50mlと速くなるにつれて樹皮単位重量当たりのカドミウム捕集量は、20.4mg/gから13.4mg/g、10.7mg/gと低下し、流速が遅いほど吸着量は高くなる傾向を示しました。流速を下げれば吸着量は増加しますが、作業性の面で限界があります。ここではSV値30~75と実用的な流速条件を採用しました。SVとはspace velocityの略字で、1時間当たりの通液量を充填担体容積で表した流速のことで、単位はbed vol./hです。なお、定常状態でのカラム通過液のpHは5.15~5.19とほぼ一定で、pHの低下はみられませんでした。

おわりに

世界的にエネルギー資源の枯渇や産業廃棄物による環境汚染が憂慮される現在、工業廃水や生活廃水を農林副産物を用いて浄化し、回収された重金属を再利用することのもつ意義は極めて大きいと考えられます。とりわけ樹皮などの木質系バイオマスは、①原料が安価で大量に入手できるこ

と、②これまでに未利用あるいは低位な用途に限られていたバイオマスが利用できること、③イオン交換樹脂などの合成高分子は、廃樹脂の処理が困難であるが、木質系吸着剤は焼却により吸着剤の処分と重金属の回収が同時に行えること、④二次環境汚染の心配がないことなどの利点があり、その実用化が期待されています。ここでは対象を樹皮にしぼり、その重金属用処理資材としての能力、特性、実用性などを総合的に解析しました。その結果、樹皮単独で工業的規模での排水処理は、吸着性能や利用可能な資源量の面から困難ですが、既存処理法の最終段階で高価なイオン交換樹脂を補うかたちで使うなど、二次処理資材としての用途に実用化が期待できると思われまます。

参考文献

- 1) Randall, J. M., R. L. Bermann, V. Garrett, A. C. Waiss, Jr.: *Forest Prod. J.*, 24(9), 80(1974).
- 2) Masri, M. S., F. W. Reuter, M. Friedman: *J. Appl. Polym. Sci.*, 18, 675 (1974).
- 3) Randall, J. M., E. Hautala, A. C. Waiss, Jr., J. L. Tschernitz: *Forest Prod. J.*, 26(8), 46(1976).
- 4) Randall, J. M.: *Forest Prod. J.*, 27(11), 51(1977).
- 5) Henderson, R. W., D. S. Andrews, G. R. Lightsey, N. A. Poonawala: *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 17, 355(1977).
- 6) 城代進, 往西弘次, 上原徹, 後藤輝男: 島根大農研報, 12, 102(1978).
- 7) Fujii, M., S. Shioya, A. Ito: *Holzforchung*, 42, 295(1988).
- 8) 関一人ほか3名: 林産試験場報, 6(5), 10(1992).

(林産試験場 成分利用科)