論文

液-液抽出法による微細鉱物粒子の回収に関する基礎的研究*

胡 玻¹ 中 廣 吉 孝² 若 松 貴 英³

Recovery of Fine Mineral Particles by Liquid-Liquid Extraction

by Bo HU¹, Yoshitaka NAKAHIRO¹ and Takahide WAKAMATSU¹

1. Faculty of Engineering, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606

The effect of the organic phases on the recovery of fine quartz particles by liquid-liquid extraction at various pH has been investigated using dodecylamine acetate (DAA) as a collector. Three kinds of organic solvents, n-butanol, methyl isobutyl ketone (MIBK) and iso-octane, were used as the oil phase in the present study. The interactions between the oil droplets and the quartz surface under different conditions of pH and DAA concentration have been examined through the related studies on the oil/water interfacial tension, contact angle and interfacial free energy for oil droplets to contact at the quartz surface in water. Good correlation was obtained between the percentage of quartz recovery and these variables. The recovery depends not only upon pH and collector concentration, but upon the properties of oil phase.

KEY WORDS: Liquid-Liquid Extraction, Fine Mineral Particle, Contact Angle, Adhesion Tension, Zero Point of Charge, Dodecylamine Acetate

1. 緒 言

微細な鉱物粒子($<10\mu\text{m}$)の浮選法による分離回収は粒度限界が存在するため極めて困難である。鉱物粒子が微細になると、気泡への付着が困難となり、また気泡との衝突確率が低下するなどの理由により鉱物の浮遊性に種々の影響を及ぼすことになる¹⁾。空気泡の代わりに油滴を使用すれば、油/水界面エネルギーが空気/水界面のエネルギーより小さいため、固体粒子に対する油滴の付着は気泡の場合よりも容易になる。さらに、油滴径を気泡径より小さくすることは容易であるので、油滴と固体粒子との衝突確率が大きくなる。したがって、微細粒子を気/水界面よりも油/水界面に捕収することが容易である²⁾。液-液抽出法は、このような考えに基づいて提案された微細鉱物粒子の分離回収法の一つである。

液-液抽出法による微細粒子の分離回収に関する研究は、多くの研究者らにより行われているが³⁾⁻⁷⁾、主に油/水界面における粒子と捕収剤との相互作用などについて検討しており、油相としてはほとんど無極性の炭化水素有機溶媒であるiso-オクタンが用いられている。しかしながら、有機溶媒の差異に基づく液-液抽出分離に対する影響についての詳細な報告はあまりなされていない。液-液抽出分離において、油相として用いられている有機溶媒の選択は捕収剤の選択の場合と同じように重要であり、油/水

界面張力、有機溶媒の性質、複数の有機溶媒を使用する場合の協同効果などは、目的粒子の油相への移行に大きな影響を与えるものと考えられる。

本研究では、微細石英粉末を用い、界面活性剤の添加および無添加の場合の各種有機溶媒-水系での微細固体粒子の水相からの油相への移行挙動について、油/水界面張力および固/油/水三相系における接触角の測定を併用し基礎的な検討を行った。

2. 実験試料および試薬

実験に用いた微細石英試料は、石英(京都府大谷鉱山産)をベブルミルで微粉碎し、沈降法で分離を行って得られたものである。光透過法による試料の平均粒度は $8.0\mu\text{m}$ であり、またBET法による試料の比表面積は $3.08\text{m}^2/\text{g}$ であった。不純物除去のため、石英試料は濃塩酸で処理したあと、蒸留水で中性pHになるまで繰り返し洗浄し、低温で乾燥して実験に用いた。

固/油/水三相系における接触角の測定に用いられた石英試料は、測定面をダイヤモンド・パスト研磨剤を用いて研磨し、研磨した試料をエタノールおよび希塩酸で洗い、さらに蒸留水で十分洗浄したものである。1回の測定が終わったあと、次の実験を行う前にも、研磨したのち上述と同じ表面洗浄方法で測定面を調整した。

実験に使用した試薬については、界面活性剤としてドデシルアミン・アセテート(Dodecylamine acetate, DAAと略す)を用いた。油相としてはn-ブタノール(n-butanol)、iso-オクタン(iso-octane)およびMIBK(Methyl isobutyl ketone)を使用した。Table 1にこれらの油の物理的性質を示した⁸⁾。いずれも特級試薬である。なお、pH調節はHClあるいはNaOHを用

* 1992年5月26日受付 8月11日受理

1. 正会員 京都大学大学院 資源工学専攻 博士後期課程

2. 正会員 工博 京都大学助教授 工学部資源工学科

3. 正会員 工博 京都大学教授 工学部資源工学科

キーワード: 液-液抽出法, 微細鉱物粒子, 接触角, 付着張力, 電荷零点, ドデシルアミン・アセテート

Table 1 Physical properties of organic solvents and water.

Substance	Formula	Specific gravity (g/cm ³)	Coefficient of viscosity (cP)	Surface tension (dyn/cm)	Dielectric constant (20°C)	Solubility (wt%)	
						Oil in water	Water in oil
n-butanol	C ₄ H ₁₀ O	0.810	2.950	24.6	17.10	7.80	20.00
MIBK	C ₆ H ₁₂ O	0.796	0.542	23.9	13.11	1.70	1.90
iso-octane	C ₈ H ₁₈	0.692	0.504	18.8	1.94	0.00	<0.01
Water, 20°C	H ₂ O	1.000	1.002	72.8	80.36		

いて行った。

3. 実験方法

液-液抽出実験では、微粉碎した試料の一定量を分液漏斗にとり、pHを調節した蒸留水あるいは界面活性剤溶液の所定量を添加して20分間攪拌した。次いで、油/水比=20/80の割合で有機溶媒を加えてさらに10分間攪拌した。2分間静置して分相させたのち、下部の水相をビーカに分取し、pHを測定したあと、濾過、乾燥、秤量のうえ、水相に残留した試料の固体乾燥重量から油相に抽出された産物の回収率を求めた。

油/水界面張力の測定はCBVP-AB型自動表面張力計（協和界面科学製）を用いた。

固/油/水三相系における接触角の測定は、気泡接触法と同じ方法を用いた。Fig. 1に示すように、注射器で油滴を作り、水中に於いて固体試料表面に接触させ、5分間保持したのち、水相側の固体面となす角を測定した。

界面活性剤を添加した場合における油/水エマルジョンの生成状況は、日立124型分光光度計（Hitachi, Ltd., JAPAN）を用いて調べた。pHを調節した所定濃度の界面活性剤溶液に有機溶媒を加え、液-液抽出実験と同じ攪拌強度で10分間攪拌したあと油と水の混合液をガラス製セルに採取して、1分間静置したのち、波長500nmにおいて吸光度を測定しその液の濁度とした。

4. 実験結果

4.1 油/水界面張力

各油相と水相との界面における界面張力の測定結果はFig. 2に示されている。3種類の油/水界面の中で、n-ブタノール/水界面は最も小さい界面張力を示し、iso-オクタン/水界面は最大の界面張力を示した。これは有機溶媒の水に対する溶解度に対応している。すなわち、水に対する溶解度が大きいほど、その油/水界面張力は小さくなる。また、図から油/水界面張力はpHの影響をほとんど受けないことが認められる。

4.2 接触角

Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 およびFig. 6は各種有機溶媒を用いた油/水/石英系において、界面活性剤の添加および無添加の場合

Fig. 1 Apparatus for measurement of contact angle of oil droplets on solid in the solid/oil/water system.

Fig. 2 Oil/water and air/water interfacial tension as a function of pH without DAA.

の接触角を測定した結果である。Fig. 3に示されているように界面活性剤が無添加の場合には、油滴と石英表面との接触角は小さく、これらの有機溶媒の中でn-ブタノール油滴の接触角が最も大であった。また、接触角に与える水相のpHの影響について、n-ブタノールの油滴はpH4付近において最大接触角となり、他の有機溶媒よりもpHの影響を顕著に受ける。すなわち、接触角は有機溶媒の水に対する溶解度の大きさおよびpHによっても異なることが確かめられた。一方、界面活性剤としてDAAを添加した場合には（Fig. 4～6），界面活性剤が石英表面を疎水化するため、油滴の付着は容易になり、したがって、接触角も大きくなる。Fig. 4, Fig. 5 およびFig. 6に示されるように、いずれの有機溶媒を用いた場合についても、pHの増加に従い油滴の接触角も増加し、中性付近で最大となる。しかも、DAAの添加濃度が高いほど大きい接触角が得られる。アルカリ性側になると、接触角は減少する傾向を示し、強アルカリ性の場合に著しく減少することが認められる。さらに、これらの有機溶媒の中で、n-ブタノール油滴の接触角は、他の油滴より高い値を示した。すなわち、n-ブタノールは他の油滴と比べて、水中における石英に対する親油性が高いことが認められた。3種類の有機溶媒油滴の石英に対する付着性は次の順序で小さくなることが確かめられた。

$$n\text{-butanol} > \text{MIBK} > \text{iso-octane}$$

Fig. 7は、pH6.0と一定条件の下での界面活性剤の添加濃度と接触角との関係を示している。DAAの添加濃度の増加と共に、いずれ油滴についても接触角は顕著に増加する。その中で、n-ブタノールは他の有機溶媒よりも大きな接触角を示し、 1.0×10^{-4} M以上のDAA添加濃度において、n-ブタノール油滴は完全に石英表面を被覆することが認められる。MIBKは石英に対する親和性がn-ブタノールより劣るが、iso-オクタンよりよいことが認められた。

4.3 水中における固体粒子の油相への移行挙動

Fig. 8は、界面活性剤が無添加の場合について、

Fig. 3 Contact angles of oil droplets on quartz surface as a function of pH without DAA.

Fig. 6 Contact angles of iso-octane droplets on quartz surface as a function of pH with DAA.

Fig. 4 Contact angles of n-butanol droplets on quartz surface as a function of pH with DAA.

Fig. 7 Contact angles of oil droplets on quartz surface as a function of DAA concentration (pH 6.0).

Fig. 5 Contact angles of MIBK droplets on quartz surface as a function of pH with DAA.

Fig. 8 Recovery of quartz in the oil phases as a function of pH without DAA.

水相の pH を変化させたときの微細石英粒子の各種有機溶媒油相への移行挙動を検討した結果である。図に示されているように、n-ブタノールおよび MIBK の場合には pH 4 付近において油相中の石英粒子の回収率は最大となり、pH 6 以上のアルカリ性側になると、回収率は著しく低下する。このように、n-ブタノールおよび MIBK の場合には石英の油相への移行は pH に依存して変化するが、石英粒子の油相中への移行は可能である。しかしながら、iso-オクタンの場合には、すべての pH 範囲において石英粒

Fig. 9 Recovery of quartz in the n-butanol phase as a function of pH with DAA.

Fig. 10 Recovery of quartz in the MIBK phase as a function of pH with DAA.

Fig. 11 Recovery of quartz in the iso-octane phase as a function of pH with DAA.

子の顕著な油相への移行は認められない。

つぎに、界面活性剤として DAA を用いて石英表面を疎水化した場合について、石英粒子の各油相への移行挙動について検討した。得られた結果は Fig. 9, Fig. 10 および Fig. 11 に示した。DAA の添加により石英粒子は水相からいずれの油相にも移行することが認められる。しかしながら、その移行挙動は有機相の種類によってかなり異なる。n-ブタノール油相の場合、DAA 添加濃度が 5×10^{-6} M と低い場合には pH が中性付近において、95% 以上の回収率が得られるが、酸性およびアルカリ性の溶液では石英粒子の油相への回収率は著しく低下する。しかしながら、DAA 添加濃度の増加とともに、石英粒子の抽出できる pH 範囲はかなり広がる。DAA の添加濃度が 1.0×10^{-4} M の場合には pH 4-7 においてほぼ 100% の石英粒子が回収される。MIBK 油相の場合には、pH が 6 以下の酸性領域において抽出が可能であり、いずれの DAA 添加濃度の場合についても pH 6 付近において最大の回収率が得られた。pH がそれ以上高くなると、石英の回収率が著しく低下する。また、その回収率は DAA の添加濃度に依存し、 1.0×10^{-4} M の濃度の場合、pH 6 付近においてほぼ 100% の石英粒子が油相中に移行することが認められた。一方、iso-オクタノール油相の場合、DAA の添加濃度が低いときには、2.0 および中性付近の pH 領域で回収率のピークが認められる。DAA 添加濃度が高くなると、すべての pH 領域で高い回収率が得られる。しかし、いずれの DAA の添加濃度においても、100% の石英の回収率は得られなかった。

5. 考 察

5・1 水中における固体粒子に対する油滴の付着性

固相と水相との界面にこれらと混合しない油滴を接触させた場合、平衡状態において、固/油、固/水および油/水界面張力（それぞれ γ_{so} , γ_{sw} および γ_{ow} で表す）の間に次のような関係がある。

$$\gamma_{so} - \gamma_{sw} = \gamma_{ow} \cos \theta \quad \text{..... (1)}$$

式(1)は Young の式である。

また、水相に浸漬している固体を油相へ引き上げて水を固体表面から完全に取り除くのに要する単位面積当たりの仕事（油/水界面の面積は一定とする）は式(2)のように表される。これは付着張力（Adhesion tension）と呼ばれる。

$$A_s(w \rightarrow o) = \gamma_{so} - \gamma_{sw} \quad \text{..... (2)}$$

すなわち、付着張力は固/水界面が固/油界面に変わるときの単位面積当たりの界面自由エネルギーの減少に等しいことを示している。

式(1)から式(2)は下式のように示される。

$$A_s(w \rightarrow o) = \gamma_{ow} \cos \theta \quad \text{..... (3)}$$

したがって、付着張力は油/水界面張力および接触角により表され、油滴の固体に対する付着しやすさの尺度として用いられる⁹⁾。

式(3)から明らかなように、油/水界面張力が小さいほどまたは接触角が大きいくほど付着張力は小となる。すなわち、水相中に懸濁

Table 2 Calculation of adhesion tension for oil droplets to contact at quartz surface in water (pH 6.0).

Oil phases	Interfacial tension (dyne/cm)	Contact angle (degree)	Adhesion tension (dyne/cm)
n-butanol	1.5	68	0.6
MIBK	9.6	43	7.0
iso-octane	40.8	25	37.0

している固体粒子を油 / 水界面または油相中に移行しやすくなる。

界面活性剤が無添加の場合、pH 6.0と一定条件の下で、固 / 油 / 水三相系における 3 種類の油滴の石英表面に対する付着張力について計算した結果を Table 2 に示している。これらの有機溶媒の中で、油滴の付着張力は次の順で大となる。

したがって、石英粒子を水相から油相へ移行することは、この順序に従って困難となることが推察される。Fig. 8 に示した結果はこの推察と一致している。

接触角の測定結果から、有機溶媒の種類によって、水相中の石英に対する油滴の親油性が異なり、さらにその親油性が水相の pH にも依存することが見出された。

n-ブタノールが他の油滴より石英表面に付着しやすいことは、n-ブタノールは MIBK や iso-オクタンより極性が大きいことによるものと思われる。極性の小さい有機溶媒よりも極性の大きな有機溶媒の方が、石英のような極性のある固体表面との親和性が強く、油 / 水界面張力も小さい。そのため固 / 水界面へ付着するのが容易になるものと考えられる¹⁰⁾。なお、n-ブタノールは水に僅か溶解するので、水分子は n-ブタノール油滴にも溶解し、この水分子が n-ブタノールの石英表面への付着を助長するものと推察される。

5・2 油滴の石英表面への付着に対する界面活性剤の影響

固 / 油 / 水三相系において、界面活性剤を添加すると、界面活性イオンまたは分子が固 / 水界面および油 / 水界面に吸着するため、油滴の固体表面への付着に対する界面活性剤の影響は著しく複雑である。通常の場合、界面活性剤は界面張力を低下させ、また固体表面を疎水化して油滴の付着を容易にし、油滴との接触角を増加するという役割を有する。

本研究に用いた界面活性剤としての DAA は、陽イオン性のアミン塩であり、鉱物に対する捕収作用は主に静電的な吸着によるものと考えられている¹¹⁾¹²⁾。通常、25℃の水溶液において、DAA は次のような電離平衡が存在する。

したがって、水溶液中における RNH_3^+ イオン濃度は水溶液の pH に依存する。 RNH_3^+ イオンが親水性のため水相のみに存在するが、 RNH_2 分子は油溶性であるので、水相と油相との間に分配が起こる。

ここで、 D は平衡分配比であり、 $[\text{RNH}_2]_w$ と $[\text{RNH}_2]_o$ はそれぞれ水相および油相中の RNH_2 分子の濃度である。

Shergold らは²⁾、iso-オクタン / 水系における DAA の分配挙動を検討した結果、pH 6.5 以下の pH 領域において、 RNH_3^+ イオンの存在が優勢であるが、pH 6.5 以上の pH 領域では pH の増加と共に水相中の RNH_3^+ イオンの濃度が著しく低下し、油相中の RNH_2 分子の存在が優勢となると報告している。

一方、石英の界面電気化学的な研究から、石英表面の電気二重層の電位決定イオンは H^+ および OH^- であり、石英の表面電位は水溶液の pH に依存して変化することが知られている。一般に、石英の ZPC は pH 2 付近で、pH の増加とともに表面の負電荷が多くなる¹³⁾。DAA の吸着により、石英表面の疎水性が大きくなるので油滴との接触角は増大する。このことは Fig. 4~6 の結果からも明らかのように、中性 pH 付近で接触角は最大値を示しており、pH が中性からアルカリ性側になるに従い、 RNH_3^+ イオンの濃度の低下により石英表面への吸着が減少するので、石英の疎水性の程度は当然低下する。したがって、油滴との接触角も小となる。DAA 添加濃度の増加とともに、その接触角は増大する

(Fig. 7)。また、Fig. 3 に示したように、界面活性剤の無添加の場合、油滴と固相との最大接触角が pH 4.0 付近にあるが、界面活性剤の添加により、その最大接触角が中性 pH 付近に移行する。すなわち、界面活性剤を添加することにより石英表面の親油性が増大される。

5・3 固体粒子の油相への移行に対する界面活性剤の影響

水中に懸濁している固体粒子を水相から油相に移行させる場合、油滴の固体表面に対する付着張力は低下するので、固体粒子を水相から油相へ移行することが容易になる。これは界面活性剤の添加により油 / 水界面張力が低下し、油滴と固体との接触角を増大させることによるものである。

石英粒子の液-液抽出実験結果から明らかなように、界面活性剤が無添加の場合には (Fig. 8)、石英粒子の油相への移行は主に水相の pH および有機相の性質 (油 / 水界面張力、極性、溶解度) などに依存するが、界面活性剤を使用した場合には (Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11)、石英の油相への移行挙動は DAA の添加濃度および RNH_3^+ イオンの吸着密度にも関係している。石英粒子を油相に移行するために必要な DAA の添加濃度は使用した有機溶媒の種類によって異なるが、DAA の添加濃度の増加または石英表面の RNH_3^+ イオンの吸着量の増加とともに、石英粒子の回収率は増加し、最大回収率がそのときの石英に対する油滴の最大接触角と一致することが認められた。

DAA のような界面活性剤が存在すると石英粒子の油相への移行が促進される一因として、有機溶媒の水溶液中でのエマルジョン化が関係しているものと考えられる。界面活性剤を含む水溶液では、油相はエマルジョン化を起こし、微細な油滴となって水に分散することがある。Fig. 12 は、pH 2.0 および pH 4.0 の一定条件の下において、DAA の添加濃度による油 / 水エマルジョン生成の程度を検討した結果を示している。透過率が小となるほど、生成したエマルジョン化の程度の大きいことを意味している。すなわち、水溶液中に分散している油滴のサイズが小さいことである。油滴が微細であると、微細な固体粒子の油滴への付着が大となり、粒子間の液架橋作用も強くなる。したがって、石英粒子の油相への移行が容易になる。Fig. 12 から認められるように、DAA 添加濃度が低い場合、いずれの油相も両 pH における透過率はほぼ同じ値であり、エマルジョン化の程度は小さい傾向を示しているが、DAA の添加濃度の増加とともに、油滴のエマルジョン化が強くなる。n-ブタノール油相は pH 4.0 におけるエマルジョン化が pH 2.0 の時より強いので、 1.0×10^{-4} M の DAA 添加濃度で、粒子の油相

Fig. 12 Transmittance of oil/water emulsion as a function of DAA concentration at pH 2.0 and pH 4.0 respectively.

中への移行が可能になる。iso-オクタン油相のエマルジョン化に対する pH の影響は n-ブタノールの場合とは逆になっている。したがって、pH2.0 の時にエマルジョン化の傾向が強いため、粒子の抽出は pH4.0 の時よりよくなる。一方、MIBK 油相は pH2.0 の時と pH4.0 の時のエマルジョン化の傾向はほぼ同じであるので、DAA の添加濃度の増大とともにエマルジョン化が強くなり、石英粒子の油相中への移行量が増加する。

6. 結 言

本研究においては、微細な石英粒子を対象として、液-液抽出における有機溶媒の効果について検討した。3 種類の有機溶媒を使用して、界面活性剤の添加および無添加の場合について、油 / 水界面張力および固 / 油 / 水三相系における接触角を測定し、さらに石英粒子の液-液抽出結果に基づき、各種の有機溶媒による石英粒子の水中から油相への移行挙動について検討した。その結果を要約すると以下のようである。

1) 油 / 水界面張力は有機溶媒の種類によりかなり異なるが、水相の pH の影響は小さいことが認められた。液-液抽出実験結果から、油 / 水界面張力が小さい場合には油滴と石英粒子との付着を容易にさせ、石英粒子が水相から油相に移行しやすいことが確かめられた。

2) 固 / 油 / 水三相系において、水中における油滴と石英表面との接触角測定から油滴の石英表面への付着効果を検討した。有機溶媒の石英表面に対する親和性は有機溶媒の種類により異なることが認められた。3 種類の有機溶媒中で、アルコール系は最もよい親和性を示した。なお、有機溶媒の水に対する溶解度が油滴の固相への付着に対して、密接な関係を有することを明らかにした。また、界面活性剤の添加は、油滴の付着に対し顕著な影響を与えることが確かめられた。

3) 界面活性剤の添加および無添加の場合について各種有機溶媒による微細石英粒子の油相への移行挙動と接触角との相関性に

ついて検討した結果、最大回収率は油滴の石英に対する最大接触角に一致することが認められた。石英粒子を水相から油相に抽出する際、水相の pH に強く依存することが認められた。

4) 液-液抽出においては、有機溶媒の極性および溶解度の差異により固体粒子の水相から油相への移行挙動が異なることが認められた。界面活性剤の添加および無添加の場合、石英粒子の液-液抽出実験結果から、本実験で使用した有機溶媒の中で n-ブタノールは最も強い捕収性を示すことが確かめられた。また、界面活性剤を添加した場合、油 / 水エマルジョン化の程度も石英粒子の抽出に大きな影響を与えることが認められた。

参 考 文 献

- 1) Samasundaran, P. Ed.: Fine Particles Processing, AIME. New York, 669~697, (1980)
- 2) Shergold, H. L. and Mellgren, O.: Trans. SME/AIME, **247**, 149~159, (1970); Trans. IMM, Sect. C, **18**, 121~131, (1969)
- 3) W. M. Lai Ralph, and Fuerstenau, D. W.: Trans. SME/AIME, **241**, 549~555, (1968)
- 4) Mackenzie, J. M. W.: Trans. SME/AIME, **247**, 202~208, (1970)
- 5) Zambanara, G. Z., Madina, R. T., Gutierrez, G. B. & Vergas, R. R.: Int. J. Miner. Process., **1**, 355~345, (1974)
- 6) Marinakis, K. I. and Kelsall, G. H.: Trans. IMM, Sect. C, **96**, 63~68, (1987)
- 7) 日下英史・中廣吉孝・若松貴英: 資源と素材, **104**, 795~801, (1988); **116**, 743~748, (1990)
- 8) 石橋弘毅: 溶剤便覧, (1967), 槇書店 (東京)
- 9) 中垣正幸: 表面状態とコロイド状態, 現代物理化学講座 9, 139~160, (1966), 東京化学同人
- 10) 芝崎一郎: 接着百科 (上), 新高分子文庫 8, 22~24, (1988), 高分子刊行会
- 11) De Bruyn, P. L.: Trans. AIME, **202**, 291~296, (1955)
- 12) Fuerstenau, M. C. Ed.: Flotation, A. M. Gaudin Memorial, **1**, 87~113, (1976)
- 13) A. Parks George, : Chemical Reviews, **65**, 177~195, (1965)

➡ 資料お願ひいたします

スラリー輸送研究会

「建設副産物の再資源化に関するセミナー」

1992年7月10日

於: 住友金属工業株式会社 東京本社会議室

東京都千代田区大手町 1-1-3 大手センタービル

頒 価: 3,000円 (税込み, 送料別)

申込先: 資源・素材学会内 スラリー輸送研究会

目 次

リサイクル法の概要

建設省建設経済局事業調整官室長 前川秀和
建設副産物の発生抑制と再生利用技術の開発

建設省土木研究所土質研究室長 三木博史
セメントコンクリート塊の高度化再生利用技術

大有建設(株)常務取締役技術本部長兼中央研究所長 吉兼 亨
建設汚泥処理システム

建設省土木研究所施工研究室長 苗村正三