

コンクリート廃材から骨材の再生

—廃棄物処理と粉砕技術—

花崎 芳朗*, 坂田 博志**

1. はじめに

振動式粉砕機をはじめ各方式の破砕機・粉砕機の特徴を活かした粉砕技術は多くの廃棄物処理分野で、さまざまな目的に使用されている。ここでは、振動式粉砕機および慣性円錐型磨砕機を例に利用技術の1つを紹介する。

一般に粉砕の目的は、①有効成分分離・抽出のための前処理、②混合・均一化による粉体の製造、③微粉化による、比表面積を大きくして反応速度のアップや活性化、に大別される。

廃棄物処理に使用される粉砕技術には、食品廃棄物処理場の発酵処理前工程の振動ミルによる微粉砕などのように、③を目的とした例もある。しかしながら、大部分の廃棄物処理で破砕・粉砕機が使用される目的は、a)廃棄自動車などの排ガス触媒から貴金属の回収、b)AV機器・PCなどの基盤から銅の回収、c)一般ごみ焼却場のガス化炉排出物から、不燃物分離を目的とした前処理、など上記①を目的に使用されている。同じ目的でも、a)はすべてを微細化することが目的で、b、c)は、粉砕物の被粉砕性の差を利用してふるい分けなどで成分分離しようとするものである。

ここでは、目的①の1つであるが、廃コンクリートから、骨材を再生するシステムでの粉砕利用技術について紹介する。この骨材再生システムは、篠崎建材合資会社・ラサ工業株式会社およびユーラステクノ株式会社に共同開発した高品質再生骨材製造システムである。

1-1. 廃コンクリートの現状

ビル・橋などの解体から発生するコンクリート塊は、2000年度で、3,527万t。再利用率は96%以

上¹⁾といわれるが、その用途のほとんどは舗装用路盤材や埋戻し・裏込め材である。しかしながら、道路整備が進んだ現在、路盤材としての需要が今後とも高い水準で望めない実情である。一方、この廃コンクリート塊は、2020年度には5,000万t発生すると推定¹⁾されている。このような状況の中、近い将来、再生骨材をより積極的にコンクリートに利用していかなければならなくなると予測されている²⁾。すでに2005年には“JIS A5021 コンクリート用再生骨材H”というJIS規格が、続いて2006、2007年には“再生骨材L & Mを用いたコンクリート”JIS A5023 & JIS A5022が制定。骨材の規格が整備され、コンクリート骨材としての再利用の準備が整いつつある。

1-2. 開発のコンセプト

このような背景の中、大学・セメント会社・建設会社など独自の再生骨材製造システムが研究開発されつつある³⁾。ところが、実際に再生骨材製造プラントを設立するには必ずしも満足できるものでないと考え、次の点をコンセプトに新規開発を行った。〈開発コンセプト—システムの特徴〉

- JIS A5021 “コンクリート用再生骨材H”をクリアした粗骨材・細骨材を安定して製造できること
 - 連続プロセスで再生処理可能である—
- 環境に優しいプロセス
 - 乾式プロセスで、水処理不要
 - 空気流により骨材粒子を洗浄
 - 低騒音・設備壁から1mで65dB
(境界で55dB(A)をクリア)
 - 粉塵のない設備
- 熱エネルギー不要な省エネプロセス

コンクリートの組成は、生コンの組成に見ることが出来る。一例を図1、表1に示した。コンクリートの強度を発揮するための粗骨材・細骨材とこの骨材を結合するセメントと水の水和物(セメントペースト)から構成される。再生骨材の製造とは、このコンクリートから、結合材の役目をするセメントペ

* Yoshiro HANASAKI; ユーラステクノ(株)技術部取締役部長 (Tel. 03-3863-6421)

** Hiroshi SAKATA; ラサ工業(株)羽犬塚工場設計技術課環境設計担当課長 (Tel. 0942-52-7116)

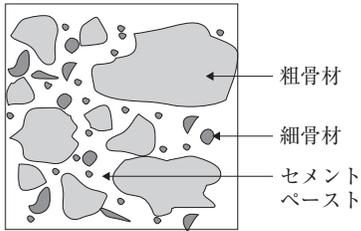


図1 コンクリートの構成

表1 生コンの組成例

材料名	重量比 [%]
セメント	13.1%
水	7.8%
粗骨材	40.5%
細骨材	38.5%
混和材	0.1%

表3 原骨材の代表特性値

文献に見る骨材の特性値	吸水率 [%]	絶乾密度 [kg/l]
粗骨材平均値	0.59	2.67
細骨材平均値	1.55	2.56

表2 コンクリート用再生骨材 (JIS規格)

試験項目	再生粗骨材			コンクリート用砕石
	H	M	L	
絶乾密度 [g/cm ³]	2.5 以上	2.3 以上	—	2.5 以上
吸水率 [%]	3.0 以下	5.0 以下	7.0 以下	3.0 以上
微粒分量 [%]	1.0 以下	1.5 以下	2.0 以下	1.0 以下
すりへり減量 [%]	35 以下	—	—	40 以下
規格 No. JIS A……	A5021	A5022	A5023	A5005

試験項目	再生細骨材			コンクリート用砕砂
	H	M	L	
絶乾密度 [g/cm ³]	2.5 以上	2.2 以上	—	2.5 以上
吸水率 [%]	3.5 以下	7.0 以下	13.0 以下	3.0 以下
微粒分量 [%]	7.0 以下	7.0 以下	10.0 以下	7.0 以下
すりへり減量 [%]	—	—	—	—
規格 No. JIS A……	A5021	A5022	A5023	A5005

規格の形態	骨材としての規格	コンクリートとしての規格	
想定される用途	とくに制限なし (通常の骨材と同等)	杭, 基礎梁, 鋼管充填コンクリートなど, 乾燥収縮の影響を受けにくい部材での使用を想定	裏込め・均し・捨てコンクリートなど, 高い強度高い耐久性が要求されない部材および部位での使用を想定

※問題点: 生コンの JIS 規格 (JIS A 5308:2003/12/20 改訂) には, 再生骨材の使用が規定されていない。

ーストだけを除去して, 元の骨材のみを取り出すことである。

再生された骨材が原骨材と同じ状態に戻ったか否かの主な尺度として, JIS A5021 では, 吸水率と絶乾密度が採用されている。再生骨材の各グレードの規格値を表2に示した。再生骨材 H の規格値は,

コンクリート用砕石・砕砂 A5005 と同じ値が採用され原材料と同等の特性値まで再生が要求されている。また参考までに, 文献^{4,5,6)}による原材料のこれらの値の例を表3に示した。

2. 再生骨材製造システム

2-1. システムの概要

再生骨材製造システムのフローを図2に示す。

金属類, 木片, 紙類やプラスチックなど不純物を選別した後, 30~40 mm 以下に破碎されたコンクリート廃材は振動式粉碎機 “バイプロミル” に供給される。粉碎機で, 衝撃&摩擦粉碎作用を受け, およそ 5 mm 以下 40~60% 程度に粉碎される。バイプロミル出口部の廃コンクリート (分級作用を受ける前) は, 理想的には骨材とセメントペーストに分離されることであるが, ここでは, まだ, 分離したセメントペーストおよびセメントペーストが結合した骨材と一部破碎された骨材の微粒が混合状態で存在する。これらの砕成品は, バイプロミル出口端に設けられた風力分級機構で分級作用を受け, 500~600 μm 以下のセメントペーストと骨材の微粒で構成される粒子は, 空気流とともにバイプロミル粉碎ドラム上部から系外に排出され, プレダスター&バグフィルターでダストとして回収される。

一方 500~600 μm 以下の微粒子を除去された砕成品は, 粗骨材回収スクリーンで 20~5 mm にふるい分けられ, 再生粗骨材として回収される。図3にバイプロミル前後の吸水率&絶乾密度の変化を示し, また図4に粒度分布を示した。バイプロミル出粉の状態では粗骨材 H 規格を満足するが, 粗骨材・細骨材にふるい分けると, 細骨材

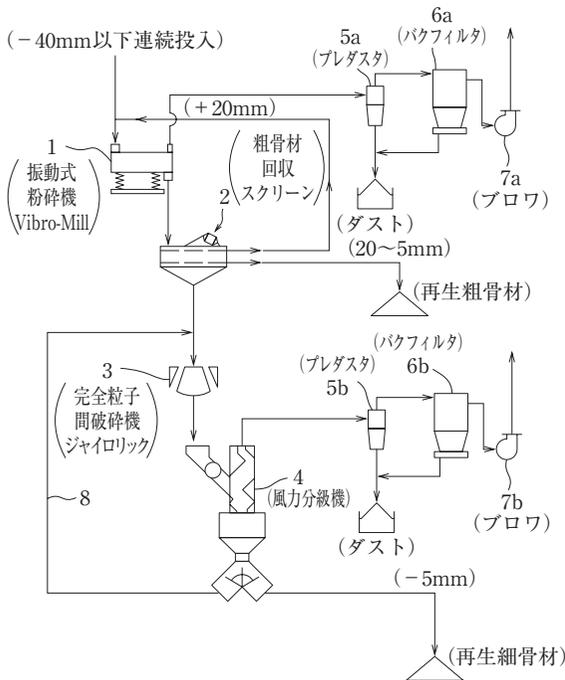


図2 再生骨材製造システムフロー図

は、H規格値を満足できない。

そこで、さらにセメントペーストのストリップングを進めるため、完全粒子間磨砕を行うことが可能な慣性円錐型磨砕機“ジャイロリック”に供給される。細骨材中間製品は、最適な磨砕力と回転振動で磨砕され、風力分級機でセメントペーストを分離されるとともに、細骨材の表面を空気洗浄する。分級

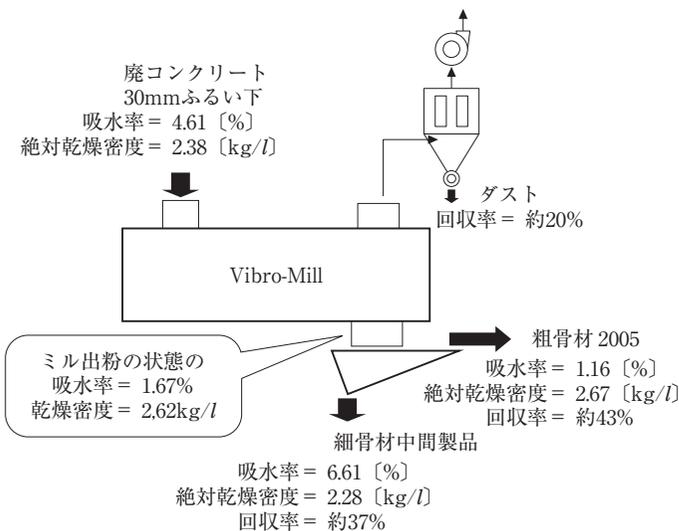


図3 廃コン処理：特性値の変化 (収率は参考値)

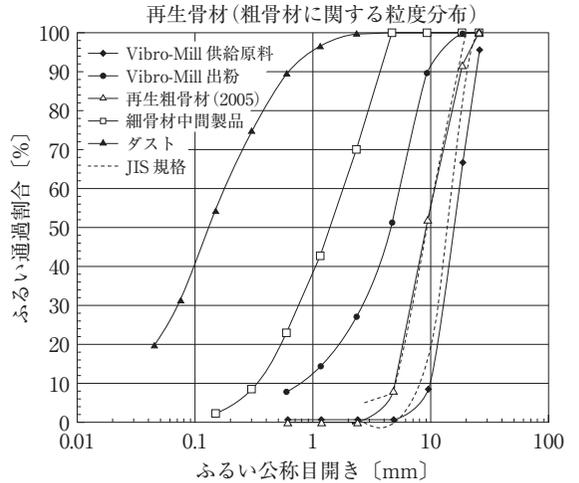


図4 バイプロミル前後の粒度分布

製品の細粒側は、ダストとして回収され、粗粒側は、細骨材として回収され、一部はジャイロリックに再度循環される。このジャイロリックに循環する割合を循環率と呼び、この割合の調節により、細骨材の特性値をコントロールすることができる。

2-2. 振動式粉砕機“バイプロミル”

骨材再生用に使用した振動式粉砕機“バイプロミル”を写真1に示す。

骨材再生用バイプロミルは錘を回転させ振動を発生する加振機と水平に配置された中空円筒状の粉砕ドラムから構成される。加振機を中心に両サイドに粉砕ドラムが配置され、振動部全体が防振ばねで支えられた構造となっている。一般には粉砕媒体として鋼球や鋼棒(ロッド)が使用されるが、ここではロッドが充填されている。

バイプロミルは大きな振動強度で振動する。粉砕ドラム内の粉砕媒体は、相互にぶつかりあいながら、ドラム内を公転

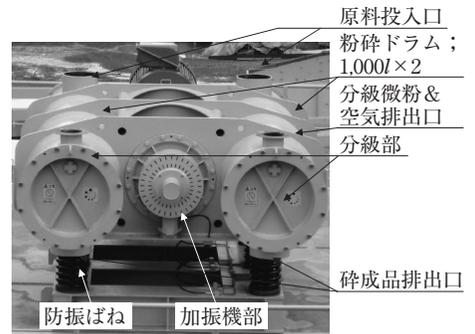


写真1 骨材回収用振動ミル YAMT-2000

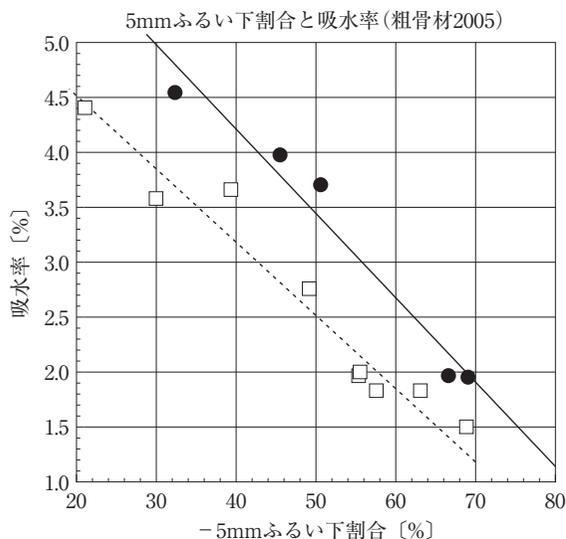


図5 粉砕の程度と吸水率

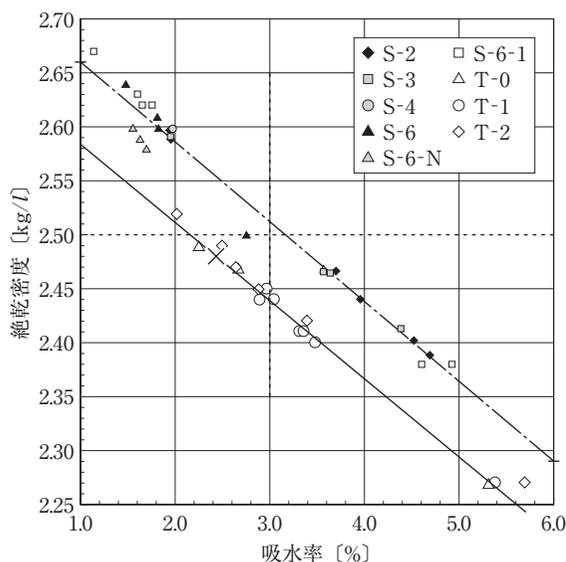


図6 原料に起因する吸水率と絶対乾密度 (粗骨材 2005)

する。粉砕機に供給された材料（以下、砕料という）は、粉砕媒体から与えられる衝撃力と媒体の公転で砕料粒子相互に作用する摩擦力で粉砕される。砕料である廃コンクリートは、衝撃力で（骨材単体粒子+セメントペースト）まで粉砕され、摩擦力で骨材単体粒子に固着したセメントペーストの分離作用を受けると推定される。

2-3. 粗骨材の再生処理

このパイロミルでの粉砕の程度と吸水率との関係を実験的に求め図5に示した。



写真2 慣性円錐型磨砕機“ジャイロリック 600”

図5で破線および白抜きのプロットで示した実験は、ビル解体廃コンクリートなど良質な原骨材が使用されていると推定されるものを選別し再生原料とした場合であり、実線（黒丸）は、それ以外（選別なし）のものである。

横軸は-5mm含有率≒0%の原料を再生処理し5mm以下がどの程度増加したかを粉砕の尺度として使用し、縦軸は、ミル出粉を目開き4.75mmでふるい分けふるい上を粗骨材とみなして吸水率を測定したものである。その結果、再生原料とする廃コンクリートの質により、規格値を満足させるための粉砕の程度が異なることがわかる。また、廃コンクリートとして入荷したもから大まかに夾雑物を除去し、破碎&ふるい分けで30mm以下に調整された再生原料をパイロミルで処理した場合の、粗骨材の粒度領域での吸水率と絶対乾密度を図6に示した。

原骨材、すなわち、新品の粗骨材の吸水率と絶対乾密度の関係は、JIS再生粗骨材H規格のポイントである点（吸水率、絶対乾密度）≒（3.0、2.5）を通る直線関係が知られており、廃コンクリートを選別した再生処理品は、この直線に重なるが、未選別のは、好ましくない方向にシフトした直線となる。この場合でも、本方式の再生処理では、単位再生処理量当たりのエネルギー密度を上げること、すなわち、粉砕の程度を上げることで、H規格をクリアできるが、図5、6で骨材の回収率が低下することがわかる。

2-4. 慣性円錐型磨砕機“ジャイロリック”

ジャイロリックの概観を写真2に示し、磨砕原理図を図7に示す。“ジャイロリック”は、固定して設置された逆円錐状のコーンケープと対向して取り

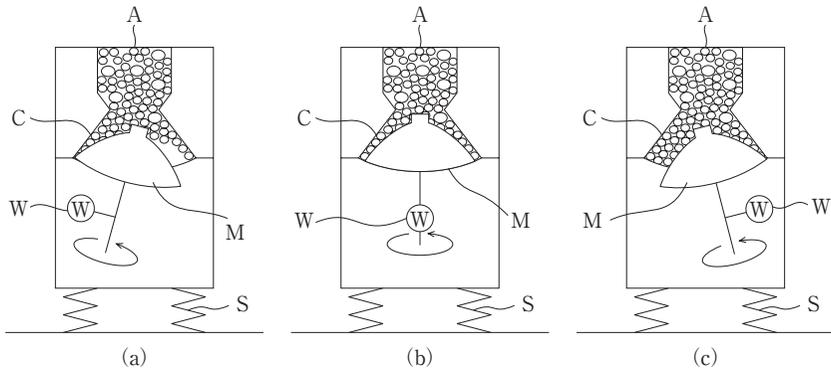


図7 ジャイロリック磨砕原理図 (A:再生原料(供給口), C:逆円錐状コーンケーブ, M:マントル, W:アンバランスウェイト, S:防振ばね)

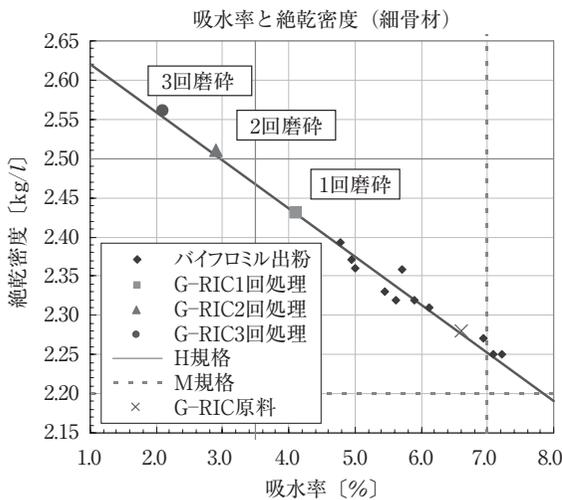


図8 再生細骨材の吸水率と絶対乾密度

付けられ、かつ回転&揺動可能なマントルとの間に形成され、常にかたがちが変化する粉砕室をもつ、完全粒子間磨砕機である。

〈磨砕原理〉

図7(a)の状態、コーンケーブとマントルにより構成される粉砕室左端では、偏心錘の回転により発生する遠心力でマントルとコーンケーブとの間隙が0mmに近い状態で、マントルが転動するため、この間に存在する砕料は、圧縮磨砕作用を受ける。

一方、右端では偏心錘で粉砕室が振動するため、粉砕室に砕料が高密度に充填される。マントルの回転で図7(b)となると、左端では圧縮磨砕された砕料が排出される。さらに、図7(c)では、(a)と左右が逆転した状態で右端の粉砕室内の砕料は、圧縮磨砕作用を受ける。図7(a)~(c)の繰り返しで、

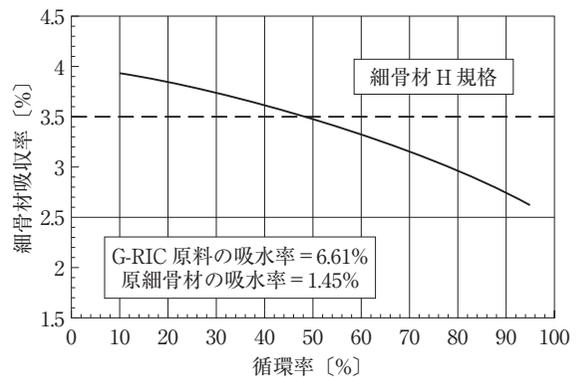


図9 細骨材吸水率 [%] に関する循環率の影響

廃コンクリートは、表面のセメントペーストが剥離され、丸みをおびた粒子となる。このジャイロリックは① 偏心錘調整 (偏心モーメントの調整でマントルの変位を調整)、② マントルの回転速度調整、の2点で骨材が破碎されにくく、セメントペーストの剥離可能な最適値に調整が可能である。

2-5. 細骨材の再生処理

さて、図8に細骨材の再生処理実験での吸水率と絶対乾密度の関係を、細骨材H&M規格の範囲とともに示した。図8で小さな凡例で示した点は、パイプロミルで細骨材処理にトライしたときのデータであり、ミル出粉を目開き4.75mmの振動スクリーンでふるい分け、このふるい下を細骨材として評価したものである。

パイプロミル処理では、再生細骨材M規格を十分に満足することは可能であるが、H規格には達しない。そこで、慣性円錐型磨砕機ジャイロリックを、滞留時間を長くとることができるように改造し細骨材の処理を行った。ジャイロリック出粉を分級



写真3 再生粗骨材 (吸水率=1.6%, 絶乾密度=2.6 kg/l)



写真4 再生粗骨材 (吸水率=3.0%, 絶乾密度=2.5 kg/l)

機を使用して付着微粉を除去する方法で1回~3回繰り返し、磨砕を行いその結果を図8に示した。

ジャイロリック2回処理で細骨材H規格を満足することがわかる。回分処理でなく連続処理でプロセスを構築するため、図2に示す処理方式すなわち、風力分級機で微粉を除去した粗粒(骨材側)の一部をジャイロリックで再磨砕する方法で吸水率の変化のシミュレーションを実験で求めたデータをもとに行った。

ジャイロリック供給材料の吸水率=6.61%、原細骨材の吸水率=1.45%と仮定して算出した結果を図9に示す。その結果、風力分級機出粉の約50%を循環することで、吸水率3.5%を満足でき、回分試験の結果ともほぼ一致することがわかった。

3. おわりに

振動式粉砕機“バイプロミル”と慣性円錐型磨砕機“ジャイロリック”を中心機とした廃コンクリー

トからJIS再生骨材H規格を満足する骨材再生システムについて簡単に紹介した。再生処理品の例を写真3, 4に示した。また、現在40t/hの骨材再生設備が稼働を開始したところである。関係各位のご理解をいただき、再生骨材の活用で、環境および資源枯渇問題に役立てれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省リサイクルホームページより
- 2) JIS A5021「コンクリート用再生骨材H」
- 3) 「廃コンクリートリサイクル技術の実用化研究」, クリモト技法, No.43 (2000.9)
- 4) 「解体コンクリートから高品質再生骨材の回収試験」, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2 (2000)
- 5) 「コンクリート用再生骨材の実用化に関する基礎的研究」, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1 (2001)
- 6) 講演 No.1488「再生粗骨材製造と表面改質」, 日本建築学会学術講演梗概集(北陸), 2002年8月
- 7) 「コンクリート廃材による再生骨材製造設備」, 日本産業機械工業会雑誌「産業機械」No.687 (Dec. 2007)

情報ファイル

廃プラスチック湿式選別システム 「プラセンエース」

廃棄物中に混在する多種多様なプラスチックを高効率かつ確実に選別・回収するプラスチック再資源化システム。破碎、選別、脱水、造粒の個々の先進機器をフレキシブルに組み合わせることにより、廃棄物中に混在するポリプロピレンやポリエチレンと塩ビの分離など使用目的に合わせた選別が可能で、マテリアル

リサイクル・ケミカルリサイクルなどにて、質の高い二次製品の製造ができる。

巴工業(株)
東京都品川区大崎1-2-2
〒141-0032 電話 03(5435)6526
(資料請求番号 5203)

