

## 島しょ型ゼロエミッション推進実証事業 －不燃物の造粒化の研究－

花城可英、羽地龍志、前堂正志<sup>1</sup>、手登根茂<sup>1</sup>

沖縄県内において産業廃棄物の管理型最終処分場は極めて逼迫した状況にある。島しょ型ゼロエミッション推進実証事業の一環として産業廃棄物のリサイクルについて検討し、管理型最終処分場掘り起こし物、及び搬入廃棄物を選別して得られたリサイクル困難な不燃混合物について造粒実証試験を行い、その造粒体の安全性を確認し、路盤材としての評価を行うことにより、土木資材としてリサイクル可能であることを明らかにした。これにより選別困難物、高塩素含有物を除く大部分の産業廃棄物選別物のリサイクル製品化が可能であることが明らかになるとともに、産業廃棄物最終処分場の延命化も期待される。

### 1 緒言

沖縄県における産業廃棄物最終処分場は非常に逼迫した状態であり、産業界だけではなく一般の県民生活にまで影響が出てきている。特に管理型最終処分場の逼迫は深刻であり、広域的に産業廃棄物を受け入れている2カ所の管理型最終処分場の残余年数も厳しい状況にある。一方、新たな管理型最終処分場の建設は必要とされているが、社会情勢から設置場所の確保が非常に困難であり、沖縄県内では平成元年以来産業廃棄物最終処分場は設置されていない。

このため沖縄県は、島しょ型ゼロエミッション推進実証事業として国の補助を受け、管理型最終処分場へ搬入される産業廃棄物や既に埋め立てられている産業廃棄物を掘り起こし選別することによりリサイクルし、管理型最終処分場の延命化及び静脈産業の創出に取り組むことにした。しかし、管理型最終処分場の掘り起こし技術およびリサイクル品の製造技術は実証規模において検討されたことはなく、技術的に確立されたものはない。

そこで、本事業においては管理型最終処分場を取り巻く環境が非常に逼迫している状況を緩和する技術の集積として、管理型最終処分場への埋立量を低減化させる産業廃棄物の選別技術の構築、及び選別物のリサイクルについて沖縄県において対応可能な島しょ型の技術構築を目指すことを目的としている。

さらに、技術的な集積のほとんどない管理型最終処分場の掘り起こしについて、環境保全策、掘り起こし物の選別・資源回収およびリサイクルについて技術的な検討を行い、本県の将来的な管理型最終処分場の延命化を目指した。

今回有価物を選別した後の土砂類を主成分とするそのままではリサイクルが困難な不燃混合物について重金属類の溶出防止対策を行い、造粒することにより、土木資材としてのリサイクル製品化を検討したので、報告する。

### 2 実験方法

#### 2 - 1 造粒原料

平成15年度に設置した産業廃棄物選別プラントにより掘り起こし及び搬入廃棄物を選別し、風力併用振動選別機から得られた不燃混合物と重量物を粉碎し、振動スクリーンによりふるい分けされた20mmアンダー品の不燃混合物を元原料とした。これら不燃混合物はまだ釘などの細かな鉄くず、細かな可燃物を含みそのままでは造粒し、土木資材として利用することは困難と考えられた。このため平成16年度に土砂選別機を設置し、これにより不燃混合物をさらに選別し釘類、細かな軽量物を取り除いて得られた5mmアンダーの不燃混合物を造粒原料として使用した。

造粒物の化学組成はリガク社製エネルギー分散型蛍光X線装置XEPOSを用いて測定し、鉍物組成は島津製作所製回折X線分析装置XD-D1により測定した。またふるい分けにより粒度を測定した。さらに環境省告示第46号付表による溶出試験と特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物に係る基準の検定方法に基づきダイオキシン類毒性等量の測定を委託した。

#### 2 - 2 造粒機

造粒機は廃棄物を使用するため原料を乾燥する必要がなく、湿潤状態でも造粒可能で造粒時の粉塵の発生が比

1 沖縄県環境管理センター協同組合

較的少ない、混合型の株式会社北川鉄工所製ペレガイア VZ-500Eを使用して造粒実証試験を行った。

### 2 - 3 重金属類の溶出防止対策

産業廃棄物を原料として使用するため重金属類の溶出を抑えなければならない。この安全性確保の手段として現在有機系のキレート剤が主流である。しかし有機系であるが故に長期の安定性には不安があり、熱や紫外線に対する安定性が落ちると考えられる。

そこで今回の造粒実証試験では長期的な安全性を確保するため、無機系特殊硬化剤を使用した。なおその添加量は予備造粒試験によりその量を決定した。

### 2 - 4 造粒実証試験

造粒実証試験は次に示す手順で行った。

- (1)原料を原料供給フィーダにより定量に切り出し、造粒機内に投入する。
- (2)原料の計量後、スクリュウコンベヤによりセメントを投入する。硬化補助剤は手作業により造粒機に投入する。
- (3)原料と固化材等を混合する。
- (4)混合後、薬剤及び水をポンプにより投入する。
- (5)「混練」「造粒」「整粒」のプロセスを経た後、出来上がった造粒体を製品ベルトコンベアへ排出する。

なお予備造粒試験を受けて今回の実証試験ではセメント量を少なくしたため、強度面を考慮し、硬化補助剤を併せて使用した。

表1に配合を示す。表に示すように無機系特殊硬化剤1%、高炉セメント6%、硬化補助剤0%～30%の配合で造粒試験を行った。水分量は攪拌時の粒の状態を確認しながら徐々に添加していった。

表1 造粒配合表

試料名	主原料	無機系硬化剤	セメント	硬化補助剤	水分
造粒No.1	掘起物	1%	6%	0%	11%
造粒No.2		1%	6%	10%	11%
造粒No.3		1%	6%	20%	12.3%
造粒No.4		1%	6%	30%	15%
造粒No.5		1%	Cr対策6%	20%	15%
造粒No.6		1%	FAセメ6%	20%	13%
造粒No.7	搬入物	1%	5%	20%	6.5%
造粒No.8		1%	6%	20%	7%
造粒No.9		1%	8%	20%	7%

### 2 - 5 造粒物の評価

造粒体は1週間養生した後風乾し、土壌環境基準に基づく溶出試験と一部の造粒体についてはダイオキシン類の含有量の測定を委託した。

造粒物をふるい分けし、9.5mm～13.2mmの試験体を選別し、1週間後の圧壊強度をJIS Z 8841造粒物 - 強度試験方法に準じて測定した。

土木資材への用途開発を目的に路盤材料としてすりへり減量、CBR、ふるい試験などを委託した。

### 3 実験結果と考察

#### 3 - 1 不燃混合物

5mmアンダーの不燃混合物のふるい分け試験結果を図1に示す。また化学組成を表2に示す。またX線回折図を図2、図3に示す。

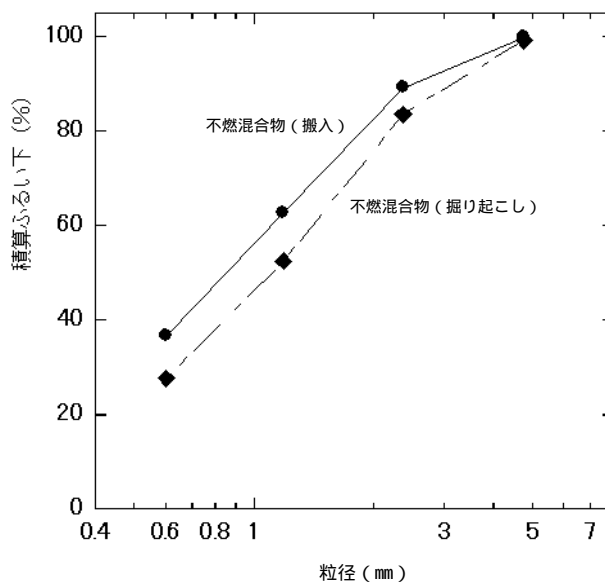


図1 不燃混合物のふるい分け試験結果

不燃混合物は産業廃棄物選別プラントにおいて20mmアンダーにふるい分けされたものと風選後の重量物から金属類、木、プラスチック類を手選別により取り除き粉碎したものを磁力選別機により釘類を取り除き、土砂選別機により、軽量の紙、プラスチック類を取り除き、5mm目のふるいにより選別したものである。

このため比較的粒子の小さい土砂類も取り除かれ、比較的微粒子の部分が少なくなっており、メディアン径は1mm前後を示している。

造粒には微粒子も必要であり、土砂選別機の風量調整、あるいは微粒子を多く含む原料の添加が必要と考える。

表2 不燃混合物の化学組成

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	Ig.Loss
搬入物	23.65	6.11	38.23	1.34	0.08	1.25	5.26	0.24	1.97	0.06	25.98
掘起物	17.45	8.08	29.95	2.15	1.11	1.98	5.47	1.42	10.43	1.71	22.24

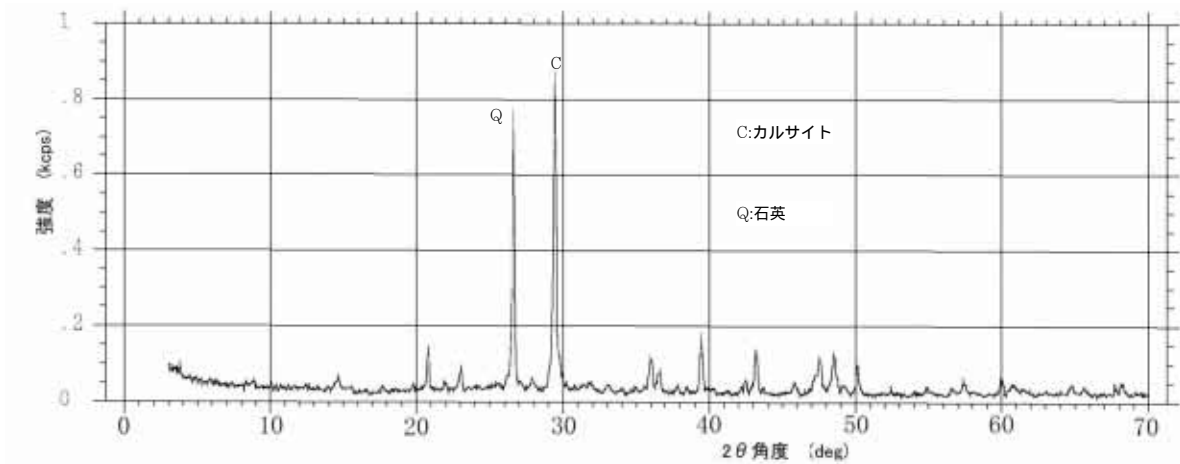


図2 不燃混合物（搬入廃棄物）のX線回折図

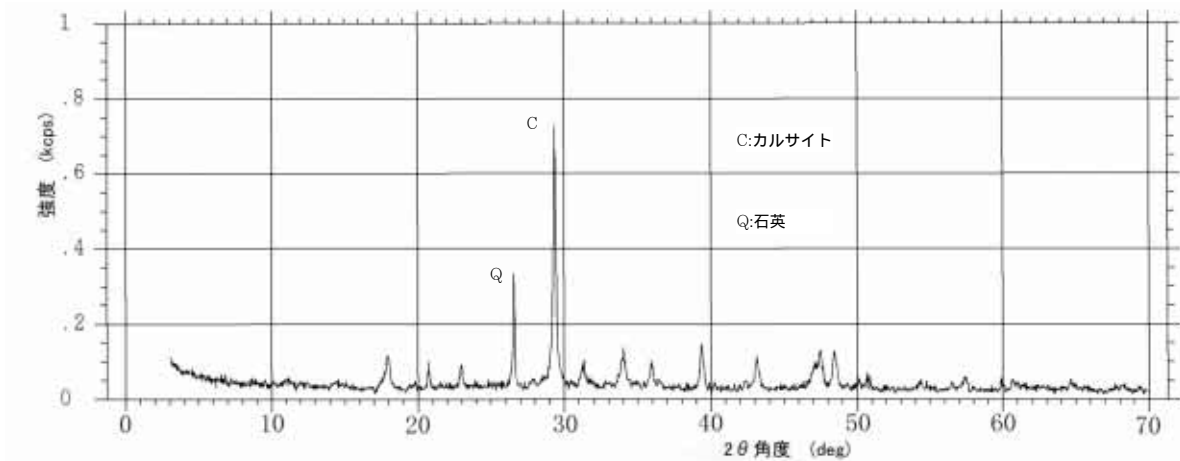


図3 不燃混合物（掘り起こし廃棄物）のX線回折図

表2に示すように搬入廃棄物、及び掘り起こし廃棄物の不燃混合物ともシリカ分、カルシウム分が高い。また図2、図3に示すようにカルサイトと石英のピークがみられる。

沖縄島は石灰石の島であり、コンクリートの骨材の大部分は石灰石である。このため建設現場からの廃棄物が大部分を占める搬入廃棄物からの不燃混合物中のカルシウム分が高くなっているものと思われる。また同様な理由により、掘り起こし物の不燃混合物中のカルシウム分が高くなっていると思われる。

また両不燃混合物中には%オーダーの重金属類は含まれていなかった。

### 3 - 2 溶出試験

造粒原料として使用した掘り起こし物及び搬入廃棄物から得られた精製不燃混合物と造粒物の環境省告示第46号付表による溶出試験と特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物に係る基準の検定方法に基づきダイオキシン類毒性等量の測定結果を表3、表4に示す。

表3 不燃混合物の溶出試験結果 (単位mg/l)

試料名	項目	掘起物No.1	掘起物No.2	搬入物No.1
カドミウム		0.005未満	0.005未満	0.005未満
シアン化合物		不検出	不検出	不検出
有機リン化合物		不検出	不検出	不検出
鉛		0.005未満	0.12	0.005未満
六価クロム		0.02未満	0.02未満	0.02未満
ヒ素		0.005未満	0.005未満	0.005未満
水銀		0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
アルキル水銀化合物		不検出	不検出	不検出
P C B		不検出	不検出	不検出
ジクロロメタン		0.002未満	0.002未満	0.002未満
四塩化炭素		0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
1,2-ジクロロエタン		0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満
1,1-ジクロロエチレン		0.002未満	0.002未満	0.002未満
シス1,2-ジクロロエチレン		0.004未満	0.004未満	0.004未満
1,1,1-トリクロロエタン		0.1未満	0.1未満	0.1未満
1,1,2-トリクロロエタン		0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満
トリクロロエチレン		0.003未満	0.003未満	0.003未満
テトラクロロエチレン		0.001未満	0.001未満	0.001未満
1,3-ジクロロプロペン		0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
チウラム		0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満
シマジン		0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満
チオベンカルブ		0.002未満	0.002未満	0.002未満
ベンゼン		0.001未満	0.001未満	0.001未満
セレン		0.005未満	0.005未満	0.005未満
フッ素及びその化合物		0.2	0.1未満	0.3
ホウ素及びその化合物		0.2	0.2	0.2
		(単位：ng-TEQ/g)		
ダイオキシン類毒性等量		0.89	0.58	0.22

原料となる不燃混合物の掘り起こし物 2において鉛の溶出量が土壌環境基準を越えていた。しかしその他の項目については土壌環境基準を超えるものは見られなかった。なお造粒実証試験には掘起物 1と搬入物 1を使用した。

ダイオキシン類は掘り起こし廃棄物の不燃混合物が若干高いが、環境基準を超えるものは見られなかった。

造粒物はすべて無機系特殊硬化剤の溶出抑制効果により、重金属類の溶出が押さえられ、ほとんどの測定項目で測定下限以下であり、すべての測定項目において土壌環境基準を満たし安全性が確認された。

またダイオキシン類の含有量も原料である不燃混合物よりも少なく、造粒物の安全性が確認された。

表4 造粒物の溶出試験結果 (単位mg/l)

試料名	項目	造粒No.1	造粒No.2	造粒No.3	造粒No.4	造粒No.5	造粒No.6	造粒No.7	造粒No.8	造粒No.9
カドミウム		0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
シアン化合物		不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
有機リン化合物		不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
鉛		0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
六価クロム		0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満	0.02未満
ヒ素		0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
水銀		0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
アルキル水銀化合物		不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
P C B		不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
ジクロロメタン		0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
四塩化炭素		0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
1,2-ジクロロエタン		0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満	0.0004未満
1,1-ジクロロエチレン		0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
シス1,2-ジクロロエチレン		0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満	0.004未満
1,1,1-トリクロロエタン		0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
1,1,2-トリクロロエタン		0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満
トリクロロエチレン		0.003未満	0.003未満	0.003未満	0.003未満	0.003未満	0.003未満	0.003未満	0.003未満	0.003未満
テトラクロロエチレン		0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
1,3-ジクロロプロペン		0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満	0.0002未満
チウラム		0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満	0.0006未満
シマジン		0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満
チオベンカルブ		0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
ベンゼン		0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
セレン		0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
フッ素及びその化合物		0.1未満	0.2	0.1未満	0.7	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.4	0.2
ホウ素及びその化合物		0.1	0.1未満	0.1未満	0.1	0.1	0.1未満	0.1	0.1	0.1未満
		(単位：ng-TEQ/g)								
ダイオキシン類毒性等量				0.50					0.0097	

3 - 3 造粒物の圧壊強度

造粒物の圧壊強度を図4に示す。

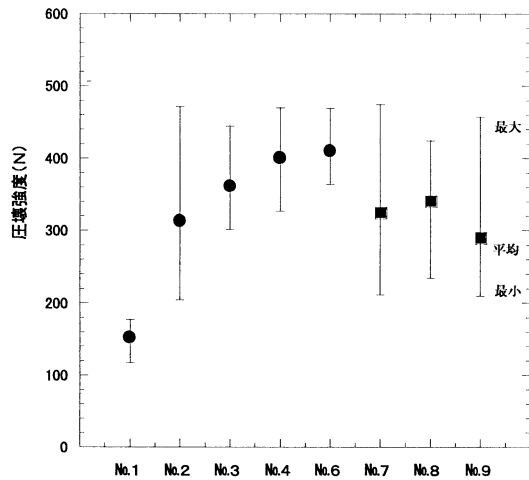


図4 造粒物の圧壊強度

図に示すように掘り起こし廃棄物の不燃混合物を原料とした1から4の造粒物の違いを見ると硬化補助剤が入っていない1に比べてその添加量が増えるとともに圧壊強度は増加する傾向が認められる。しかし強度のばらつきが大きく、硬化補助剤の最適添加量を明らかにすることは出来なかった。

3 - 4 土木資材としての評価

造粒物について路盤材としての利用を図るため、ふるい分け試験、すり減り減量、CBR等を測定した。

造粒2、3、8の結果を表5に示す。

表5 ふるい分け試験、すり減り減量、修正CBR

項目	造粒 2	造粒 3	造粒 8
ふるい分け試験	C-40に適合	C-40に適合	C-40に適合
液性限界 (%)	NP	NP	NP
塑性限界 (%)	NP	NP	NP
すりへり試験 (%)	34.7	93.5	44.5
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )		1.443	
最適含水比 (%)		26.7	
土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.597	2.611	2.553
修正CBR (%)		161.9	
CBR (%)	186.0		100.4
膨張比 (%)	0.000	0.000	0.000

いずれの造粒体も液性限界試験及び塑性限界試験が求められない粗粒分主体の非塑性土であることがわかった。

上層路盤材のすりへり減量として50%以下の目標値がある。硬化補助剤の添加量が多く、圧壊強度の高い造粒

3がこの目標値を越えていないという結果が得られた。

これは添加剤の配合量だけではなく、製造条件、養生条件により造粒物全体としての衝撃強度に違いが出た可能性が高いと考えられる。今後、より細かな製造条件、養生条件を検討していく必要があると考えられる。

試料2、8は乾燥させると突き固めが出来ず、所定の密度における修正CBRを求めることが出来なかった。このため室内CBRの測定を行った。一般的に路床工の設計CBRは20%であり今回作成した造粒物は強度としては大きな値を示している。

今回実証試験で作成した造粒物は路盤材としての修正CBRが測定できないあるいは基準以下であったが、物理、強度特性において良好であると言える。いずれの造粒物も軽量性に優れ、強度も大きく、圧縮性の小さい材料である。よって現場の用途に応じて使用すれば「土砂代替材料」として十分使用可能な材料であるといえる。

4 まとめ

島しょ型ゼロエミッション推進事業の一環として産業廃棄物の選別プラントによる選別行程で得られた不燃混合物について造粒することにより、土木資材へリサイクルできないか検討し、以下の結果を得た。

- (1) 不燃混合物はカルシウム分、シリカ分が高く、重金属類は比較的少なかった。
- (2) 溶出試験の結果掘り起こし廃棄物からの不燃混合物において鉛が基準値を超えているものがあつたが、造粒物はすべて土壤環境基準を満たしていた。
- (3) 造粒物は路盤材の規格を満たしていないが、軽量性に優れ、強度も大きいため、土砂代替品として十分利用可能である。

不燃混合物から得られた造粒物の安全性は確認できたが、路盤材の規格を満たしていないため、今後コスト削減とともに品質向上あるいは用途開発が必要である。

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。