

# 原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2019.6.NO.130

## 目次

センターの活動状況 .....	①
ベントナイト資源及び工業の現状と将来 .....	③

## センターの活動状況

### I 運営状況

#### 第28回理事会の開催

2019年6月11日（火）開催の第28回理事会において、平成30年度事業報告、平成30年度決算、組織の改編及び第21回評議員会（定時）の招集について、資料に基づき説明し、その承認を求めたところ、それぞれ原案のとおり承認可決されました。

#### 第21回評議員会（定時）の開催

2019年6月26日（水）開催の第21回評議員会（定時）において、平成30年度事業報告及び決算等について報告するとともに、任期満了に伴う理事全員の選任及び評議員の選任について付議し、原案のとおり承認可決されました。

今回の選任により、次の方が交代されました。

（敬称略）

区分	退任者	新任者	新任者所属・役職
理事	廣江 讓	月山 將	電気事業連合会 副会長
評議員	豊松 秀己	森中 郁雄	関西電力株式会社 代表取締役 副社長執行役員 原子力事業本部長

第21回評議員会（定時）終了後、同評議員会において選任された理事全員及び監事全員に対して、理事長、専務理事及び常務理事の選定について提案をし、理事全員の同意の意思表示及び監事全員の異議がない旨の意思表示を得ましたので、6月26日付けをもって高橋彰理事が理事長に、田中隆則理事が専務理事に、田中俊彦理事が常務理事に、それぞれ再任されました。

## Ⅱ 成果等普及活動の実施状況

### 2019年度 第1回原環センター講演会の開催

2019年度第1回原環センター講演会を以下のとおり開催しました。

開催日時：2019年4月23日（火）14:30～16:30

会場：（一社）日本交通協会 大会議室

演題：英国及びカナダにおける放射性廃棄物処理事業の進捗と地域対話

講演者：技術情報調査プロジェクト 山田文香、布目礼子

公募によるサイト選定プロセスを進めている英国とカナダの地層処理事業の進捗と対話活動を紹介しました。英国では、2008年以降、コミュニティの自主性を尊重したアプローチに基づき、地層処分施設のサイト選定が行われており、その中で、英国が経験したカンブリア州の事例や、その事例を踏まえたサイト選定プロセスの取り組みの見直しについて紹介しました。一方、カナダでは、実施主体 NWMO が、使用済燃料の長期管理アプローチの開発やサイト選定プロセスの策定などに関して、国民の意見を反映して進めるとして、さまざまな形での対話活動を行っており、全国を対象としたものから地域を絞ったものまで、どのような活動が行われたのか紹介しました。



### 2019年度 第1回原環センターセミナーの開催

放射性廃棄物処分の安全評価から処分の全体像を把握する第一歩として、安全評価の入門知識を習得したい技術者・研究者を対象とした、第1回原環センターセミナー「放射性廃棄物処分の安全評価の基礎Ⅰ」を以下のとおり開催しました。講義後の総合討論では、質疑応答を通じて、安全評価への理解をさらに深めていただきました。

開催日時：2019年6月4日（火）10:30～18:30

開催場所：京都大学東京オフィス A,B 会議室

講師：公益財団法人原子力安全研究協会

技術顧問 朽山 修 氏

プログラム：

講義1：放射性廃棄物の管理：発生から処分まで

講義2：放射線の健康影響と放射線防護

講義3：高レベル放射性廃棄物および TRU 等廃棄物の地層処分に向けた取り組みの現状と課題

総合討論



## ベントナイト資源及び工業の現状と将来

クニミネ工業（株）取締役資源探査部長  
伊藤 雅和

### プロローグ

ベントナイトを長年取り扱ってきた私にとってもびっくりした話ですけれども、それを最初に紹介したいと思います。

私たちはアメリカからベントナイトを乾燥原鉱で輸入しています。乾燥原鉱は、ばら積みの船に積んで運び、仙台港、相馬港の岸壁に近い所に置いていました。

そんな中、東日本大震災が発生しました。仙台港、相馬港とも津波により浸水しました。津波の人的、物的被害に関する情報が無い中、原鉱については、岸壁に近い所にあり、全部流されただろうと考えました。

3月29日に、ようやく港に行けるような状況になりました。港までの道路沿いには、建物などが壊れ、壊れた車が多数放置されているという大変悲惨な状況でした。

その時の港の原鉱在庫の写真が図-1です。原鉱の後ろの倉庫は壊れていたのですが、原鉱はそのままに近い形で残っていました。表面は明らかに水ぬれしていますが、その下には、乾いたような原鉱がそのままありました。この水ぬれ部分は2～3cmで、雨が降った後と同じような状況でした。



図-1 仙台港の原鉱（津波浸水後）

この原鉱を試験した結果、ぬれている部分の原鉱水分は高くなっていましたが、水ぬれの下は12%以下で通常の原鉱と同じでした。原鉱の導電率は、水ぬれの部分は500～700  $\mu$  S/cmと高く、水ぬれの下は200～300  $\mu$  S/cmで通常の原鉱と同じでした。導電率が高くなったのは海水の浸水の影響を受けていると考えられます。メチレンブルー吸着量は、水ぬれ部分も下の部分も変わりません。

結果、仙台港の原鉱の山は2～3cmしか水ぬれせ

ず、ほとんどが海水、浸水の影響を受けていないことが分かりました。

相馬港では、原鉱のほか中国のベントナイト粉製品を置いていました。倉庫には1トンバックが700本ありましたが、500本がその倉庫の壁を突き破って外に散乱していました。

相馬港では、仙台と違う原鉱を2種類置いていたのですが、違いは水ぬれ部分の厚さだけでした。

これらの話は、海水や津波といった特殊な場合でも、ベントナイトの特異性、遮水性が発揮されたのではないかと考えています。

流出しなかった理由が、ベントナイトに特有なものか、それともバラ積みの山の物性なのか、はっきりしないですが、ベントナイトの特異性を示す例と考えています。

### 1. ベントナイトとは

今回は、ベントナイトに携わっている方にとっても、通常はあまり触れられないような見方からの話ができればと考えています。なお、データは一般公開資料に加え社内の資料も使っております。それらの解釈は、客観的また公平にやっているつもりですが、主観も入っていることをご承知ください。

まず、月布鉱山見学で、坑内のベントナイト原鉱を見た場合、ただの岩石に見えて、周りの泥岩と区別がつかなくて「どこがベントナイトですか」と聞かれることが多いです。ただし、部分的に水が出ていて、膨潤しているところがあると、初めて「やはりベントナイトだな」とは言っていただけます。

ベントナイトの定義は、「スメクタイトを主成分とする粘土」ですが、スメクタイトの何%以上がベントナイトというような定義はありません。このため、スメクタイトが多少入っていればベントナイトということもできます。

ベントナイトには、石英やクリストバライトのシリカ鉱物、クリノプチロライト、モルデナイト、アナルシムなどのゼオライトなどが入っていますが、これら鉱物組成は、ベントナイトの産地によっても違いますし、成因によっても違うと考えられます。

スメクタイトは、シリカと酸素の四面体シートの二枚の間に、アルミやマグネシウムの八面体シートが入った、層状ケイ酸塩鉱物です。

スメクタイトグループの中のモンモリロナイトでは、八面体層の3価のアルミニウムを2価のマグネシウムが置換することによって発生する負の電荷を補償するために、層間に陽イオンが入っています。

スメクタイトグループは、八面体の中がアルミニウムかマグネシウムかによって、2八面体型か3八面体型に分かれて、また八面体と四面体の中の組成によって、鉱物種が細分されています。

天然のベントナイトでは、モンモリロナイトとバイデライトの間のもが多く、それ以外のものは少ないとされています。

図-2は月布のベントナイト原鉱を高倍率の走査型電子顕微鏡及び透過型電子顕微鏡で見たものです。これを見ると、きれいに層が積み重なっていることがよく分かります。スメクタイトを分散させて、透過型電子顕微鏡写真では、ナトリウム型ベントナイトの場合はこのような不定形で、広がりがあり、ひらひらした形状に見えます。

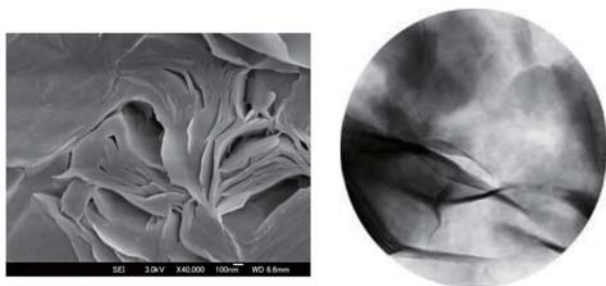


図-2 月布ベントナイトの電子顕微鏡写真

## 2. 鉱業法と採石法

表-1は鉱産物の法律上の分類です。鉱業法では法定鉱物が決まっています、金属鉱物のほか石灰石、ドロマイトなどが入っています。それ以外のもが岩石ということで、いわゆる岩石のほかに、ベントナイトもこの岩石に入っています。法定鉱物が鉱業法で採掘されるのに対し、ベントナイトは採石法で採掘されています。

石灰石や耐火粘土は、最初は法定鉱物に入っていませんでしたが、昭和26年の鉱業法改定で法定鉱物として追加されています。ベントナイトも昭和50年ごろ、法定鉱物への追加要請をしたようですが、結果として追加にはなっていません。法定鉱物かそれとも岩石かによって、供給に当たっての採鉱、採掘の考えなどが変わります。

鉱業法と採石法の違いで、大事なものは、資源が誰のものかということです。法定鉱物の場合は、所有、管理は国になります。それに対し、採石法の所有者は地上権者、地主です。ということで、法定鉱物では、鉱業法で権利を取得して、国に鉱区税などを払えば採掘ができます。一方、採石法の場合は、国にはお

金を払う必要はないのですが、地上権者、地主とは何らかの契約などを結ぶなどして了解を取らないことには、ベントナイトなり岩石を掘ることができないという制約があります。

表-1 鉱物、岩石の法律上の分類

法律上の分類 ① 鉱業法の法定鉱物 金属鉱物の22鉱種 非金属鉱物の黒鉛、硫黄、石こう、重晶石、明ばん石、ほたる石、石棉、石灰石、ドロマイト、けい石、長石、ろう石、滑石、耐火粘土の14鉱種 燃料鉱物の5鉱種 ② 岩石 花こう岩、せん緑岩、はんれい岩、かんらん岩、はん岩、ひん岩、輝緑岩、粗面岩、安山岩、玄武岩、れき岩、砂岩、けつ岩、粘板岩、凝灰岩、片麻岩、じや紋岩、結晶片岩 ベントナイト、酸性白土、けいそう土、陶石、雲母及びひる石 採石法での採掘
--

## 3. ベントナイトの分類

表-2は、日本のベントナイトの分類例で、ナトリウム型ベントナイト、カルシウム型ベントナイト、活性化ベントナイト（カルシウム型のソーダ灰処理品）という分類です<sup>1)</sup>。分類方法として一番簡単なのは、交換性陽イオンの種類による方法です<sup>2)</sup>。1価のイオンのナトリウム、カリウムに対して、2価のカルシウム、マグネシウムの割合、それが1を超えるかどうかということで、ナトリウム型かカルシウム型かというのを分類します。この分類は分かりやすいのですが、同じ鉱山でもナトリウム型とカルシウム型が混在する可能性がでてきます。

表-2 日本のベントナイトの分類

特徴	Na ベントナイト	Ca ベントナイト
膨潤度	大きい	小さい
水素イオン濃度 pH	高い (9-9.5)	低い (6-6.5)
溶融点	1,103°C	1,235°C
水との溶け具合	溶けにくい	溶け易い
アメリカの主産地に因んだ呼び方	ウエスタン型	サウザン型

## 4. ベントナイトの生産量

次にベントナイトの生産量です。USGS（アメリカ地質調査所）では毎年 Minerals Yearbook<sup>3)</sup>を出しています。この中には金属鉱物からベントナイトなどまで含まれています。この資料からベントナイトをひろったのが図-3のグラフで、赤い棒が世界のベントナイトの総生産量です。2011年の年間1,500万トンから、2017年の1,900万トンという形で、2011年から2017年まで23%増加しています。

図-3の折れ線は国別の変化ですが、ずっと世界一の生産量だったアメリカですが、2013年に中国に抜かれ、その後、差はどんどん開いています。

注目されるのはトルコです。トルコの生産量は数十万トン程度でしたが、2014年以降300万トンを超



えるようになっていきます。

日本のベントナイト生産量も、USGS資料にも2014年まではありましたが、2003年まで日本ベントナイト工業会による統計データ<sup>4)</sup>もありました。両者のデータを図-4に示しました。日本ベントナイト工業会は、日本の国内のベントナイト生産者7社の統計です。ベントナイト工業会には、輸入ベントナイトの専門業者や日本のベントナイトの一部会社でも入っていない会社がありますので、日本のベントナイト総生産量はベントナイト工業会の数字よりは少し多い数字になると思います。それからすると、最近の日本のベントナイトの生産量は、年45万から50万トン程度が日本のベントナイトの生産量になると思います。

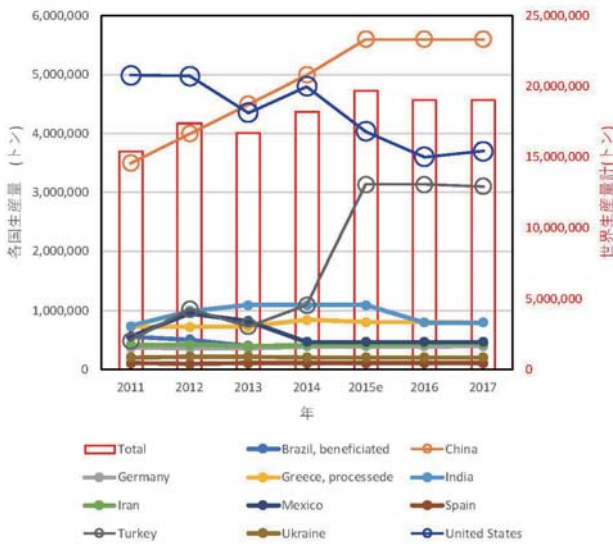


図-3 世界のベントナイト生産量 (USGS Minerals Yearbook)

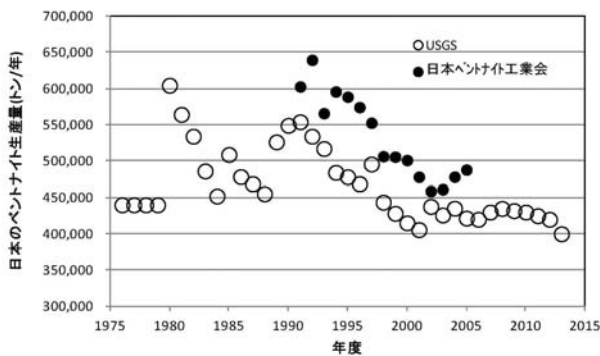


図-4 日本のベントナイト生産量

## 5. ベントナイトの生産

次に、ベントナイトの生産についてです。

まずはベントナイトの採掘ですが、採掘方法は、露天掘りと坑内掘りに分かれますが、露天掘りがほとんどです。露天掘りも通常は、厚いベントナイト層に適応している階段採掘法が多いです。そのほか、採掘跡地盛法というのがあって、群馬のベントナイ

ト鉱山でこの方法が紹介されています。ワイオミングのベントナイト鉱山もこれに近い方法を取っています。露天掘りの宮城県川崎鉱山では、ベントナイトの厚さは平均30mぐらいですが、部分的にはより厚くなっているところもあります。図-5はワイオミングのベントナイト鉱山の写真です。ねずみ色っぽいところがベントナイトです。ベントナイトの上は表土です。ベントナイトの厚さは1m以下です。ワイオミングでは、1つの採掘場所で掘れる数万トンから数十万トンの原鉱を集めて、百万トン単位になっています。



図-5 ワイオミングベントナイト鉱山

ワイオミングの場合でも大事なものは、この原鉱と表土の割合および傾斜です。層傾斜が10°以下のものを対象にしているという報告もあります。10°以下の層を、図-6のスクレーパーといわれる採掘機械で採掘しています。



図-6 ワイオミング鉱山のスクレーパー

次に、坑内掘りですが、ベントナイトを坑内掘りにしているのは非常に珍しく、たぶん世界でもごくわずかしかなかった。中国で見られるのは、石炭の挟みで出てくる粘土をベントナイトとして石炭と一緒に掘る場合があって、ベントナイトだけを坑内掘りするというのは非常に珍しくて、月布鉱山などは本当に珍しいケースかと思っています。

月布鉍山では以前は傾斜が60°から70°の急傾斜の層を掘っていました。採掘方法が石炭に近いということで、月布鉍山では九州や北海道の炭鉍の経験者が多く働いていました。

最近では水平部から緩傾斜部の層を採掘しています。水平部の厚い層は6～7m層厚がありますが、そのうちだいたい3.5mぐらいを対象に採掘機械で採掘しています。図-7のように、ロードヘッダーでの採掘、坑内の運搬、枠付けを全部1人でやり、1切羽1人体制になっています。

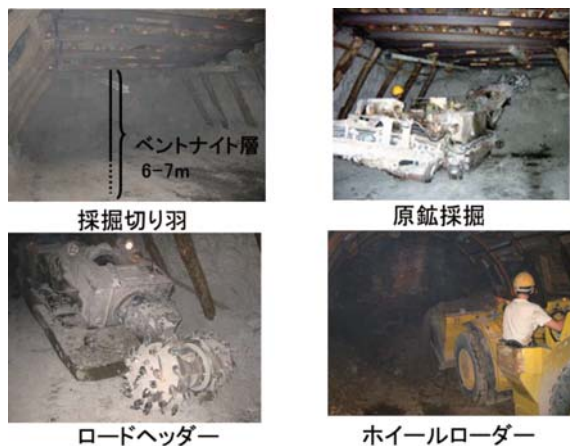


図-7 坑内水平部機械採掘法

次は工場です。ベントナイトの生産工程は、会社などが違って、また国が違って、基本的にはほとんど同じです。工程は、粗砕工程、乾燥工程、粉碎工程、包装工程という4つに分かれます。

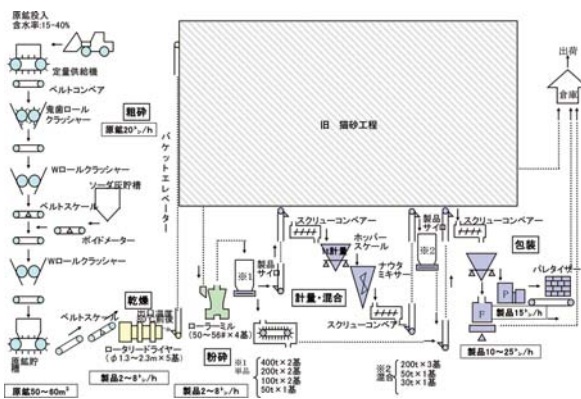


図-8 クニミネ工業蔵王工場の生産工程

まず粗砕工程ですが、採掘原鉍は数十センチ大あります。粗砕工程では、その数十センチ大のものを、ロールクラッシャー3台を通して、数センチ以下の大きさに砕いています。

次は、活性化の工程です。中国のベントナイトはほとんどが活性化ベントナイトです。そのため中国のベントナイトの会社は活性化工程を重要視してい

ます。ナトリウム型ベントナイトの工場では、この工程は要りません。

活性化工程はソーダ灰（炭酸ナトリウム）の添加、加水混合、反応、養生に分かれます。ソーダ灰の添加は原鉍に対して3%から4%ぐらい、加水は数%から十数%加水しています。

ソーダ灰を入れて、加水混合した後、反応させますが、反応の工程が特に活性化工程の中でも一番注目されます。通常は、先ほど粗砕でも使っていたロールクラッシャーを2～3回通して反応させるという会社がほとんどですが、土練機や造粒機などで反応させるという会社もあります。反応後、養生という工程を取っています。これは数日や数週間から数カ月というところもあります。

活性化後、乾燥工程ですが、粗砕した原鉍の水分は15%ぐらいから40%ぐらいまであります。その水分のある原鉍を、最終的には、8%程度の製品水分まで乾燥させます。乾燥はロータリッドライヤーでやります。燃料は石炭から重油、ガスまでいろいろあります。品温は70℃～80℃で乾燥しています。

乾燥したものは遠心ローラーミルで粉碎します。粉碎粒度は200から250メッシュなどです。

ローラーミルはサイズがいろいろあり、アメリカのワイオミングの会社の場合は、粉碎能力毎時15トン、20トン以上の大きいミルを1台とか2台使っています。一方、中国の場合は毎時2トン～4トンの小さいミルを10台ぐらい使っています。

## 6. ベントナイトの品質管理

次に品質管理です。クニミネ工業などでは、品質マネジメントシステムISO9001を取得しており、基本的にはシステムにそった管理をしています。管理項目としては、粉体特性、ベントナイトの基本特性、用途ごとの特性、それぞれを試験しています。

粉体特性は、水分と粒度です。水分は、基準は乾燥器を使用する試験方法ですが、検査では赤外水分計を使用しています。粒度は、200メッシュと250メッシュのふるいを使用しています。

メチレンブルー吸着量はベントナイトの中のスメクタイトを簡易定量するという方法であり、ベントナイト分散とメチレンブルー滴定操作からなります。滴定ではろ紙上にメチレンブルーを滴下して、ハローと呼んでいる、濃いブルーの外側に薄いきれいなブルーが出てきます。このハローから、適正、弱いなど判定します。こういった終点の決め方なので、個人差や経験の有無で測定結果が変わるという欠陥があるとは言われています。ろ紙で判定する方法ではなく、吸光度計で測定する場合があります。

産業技術総合研究所ではメチレンブルーの吸着量の測定方法の標準化、JIS化を進めているということ

で、間もなく JIS 化されると聞いています。

ベントナイトの膨潤性の評価は、膨潤力、膨潤度、膨潤圧、膨潤変形などがありますが、通常、ベントナイト生産者でやっているのは、膨潤力測定です。膨潤力は、蒸留水にベントナイトを入れ、一晩置いた後の容積を測定する試験です。月布鉱山でも、層ごとに膨潤力は違います。

工場での生産管理は水分調整、粒度調整の2つが主ですので、品質についてはほとんど原鉱で決まっています。

したがって、ベントナイトの場合は、鉱山そして採掘の前のボーリング調査を大事に考えています。採掘する場所を選んだり、採掘して出てくる原鉱を評価したり、鉱山から工場に入れる原鉱の品質を試験することで、工場に入った原鉱は全て製品にできるような原鉱をできるだけ運ぶ、それが理想だと考えています。

輸入原鉱の場合の品質管理は結構難しいです。ワイオミングでも、掘る前に同じようにボーリング調査しています。ボーリングは、先方でやっているものに加え、必要な場合はボーリングを依頼し、サンプルを取るなど、品質を確認します。

## 7. ベントナイトの用途

ベントナイトの用途は「1,000 の用途を持つ粘土」とよくいわれます。次の6つなどが代表的な用途と考えます。

まず鋳物です。鋳物は日本でも一番の大きい用途で、世界でも一番多く、世界全体の3割が鋳物用です。700万トンが鋳物用に使われています。

次が猫のトイレ砂、猫砂です。猫砂はアメリカとヨーロッパが主体ですが、数量は約500万トン使われております。

次はボーリングおよび土木用です。こちらは結構なじみがあると思いますが、世界では約230万トン使われています。最近、アジア、ASEANでは、この土木用のベントナイトの市場が増えてきているということです。

次に廃棄物処分場です。こちらはだいたいボーリングと同じぐらいで、やはり約230万トン使われています。

最後は、いろいろな化粧品や塗料などです。この用途は数多くあり、ごく小さなものも合わせた数量は約170万トンです。

## 8. 今後の安定供給

ここからは、今後の安定供給についてです。まず「安定供給」についてですが、「鉱物資源安定供給論」<sup>5)</sup>を参考にさせてもらっています。それによると、安定供給というのは「適切な価格で必要な量が国内の産業に継続して供給されていること」という形で定義されています。これは金属資源に対しての話です

が、ベントナイトでもほぼ同じだと考えました。この価格、必要量、継続性について以下見ていきます。そのうち、価格を細かく、また放射性廃棄物処分では、長期の継続性が大事だと思うので、この継続性についてもお話しします。

ベントナイトの価格は、原価、利益と運賃に分かれます。ベントナイトの場合は、この製品の値段に対して、運賃の比率が高いため、運賃をどうするかというのが非常に大事になります。

まず、原料費を細かく見ます。以下が国内原鉱の露天掘の場合の原料費の構成です。

- ・開発準備費用(探査、地上権)
- ・表土、剝土処理費用
- ・採掘費用
- ・維持費用(水、道路管理)
- ・覆土・緑化費用(閉山費用)
- ・鉱山—工場輸送費

そのうち、剝土と原鉱の割合が大事な項目になります。ちなみに宮城の川崎鉱山のベントナイトの場合は、1トンのベントナイトを掘るのに3m<sup>3</sup>の表土を処理しています。また、場内の水の処理の仕方が大事です。

採掘が終わった後、現状に戻すというのが条件ですが、掘った後のくぼ地を埋め戻して緑化する費用というのは、通常、閉山時に発生しますが、大きい山ですとその費用は数億円以上になります。それが一時的にかかると問題があるので、クニミネ工業では10年前から閉山費用を資産除去債務として毎年費用計上して、閉山時に一時的に発生しないような形で処理しています。

このように原料費にもいろいろな項目がありますが、図-9は、その項目の割合を示したグラフです。国内の鉱山のデータについては、あまり細かく分析していないので、ワイオミングのBlack Hills 鉱山のデータを紹介します<sup>6)</sup>。Black Hills では、採掘の地区が5~6カ所あります。そのうちの2カ所のデータです。

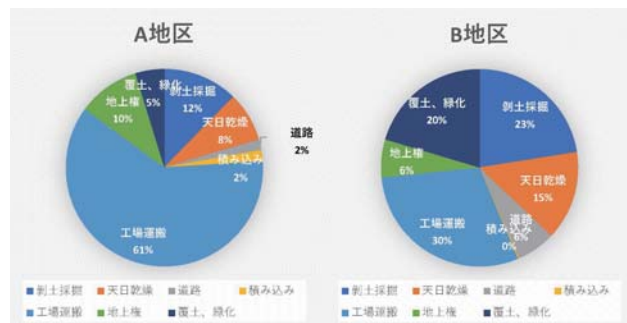


図-9 Black Hills 鉱山ベントナイトの原鉱コストの内訳比率



このA地区の原鉱では、鉱山から工場に運ぶ運搬費が半分以上を占め、特徴的な鉱山になっています。B地区のほうが典型的というか、通常の形ですが、剥土や採掘費用、工場運搬費用、覆土の緑化費用がそれぞれ2割から3割ぐらいです。ワイオミングでは天日乾燥ができますので、次に天日乾燥のコストがきます。

輸入ベントナイトの原料費の構成を以下に示します。

ロットが大きい場合はCrush&Dry（乾燥原鉱）、小さい場合は製品粉末のバック入りで輸送されます。「ロットが大きい」ものとして、ワイオミングベントナイトの乾燥原鉱での購入が、「ロットが小さい」ものとして、中国ベントナイトの製品粉末のバッグでの購入があります。

- ・工場出し価格
- ・工場—輸出港輸送費（鉄道、トラック）
- ・港費用（保管、船積み）
- ・海上運賃（ロット）
- ・日本港費用（通関、荷下ろし、保管）
- ・港—工場輸送費

ワイオミングベントナイトでは、工場からアメリカの港まで鉄道を使っているため、鉄道の運賃、それから港の保管費用、船積み費用、および海上運賃、この3つが非常に大事です。

ワイオミングには7社ぐらい会社があります。図-10は、そのうちの主要の3社、AMCOL、BPM、Black Hills、この3社のワイオミングでの原鉱の採掘量と製品の粉砕量＝製品量の割合の変化を見たものです<sup>7)</sup>。

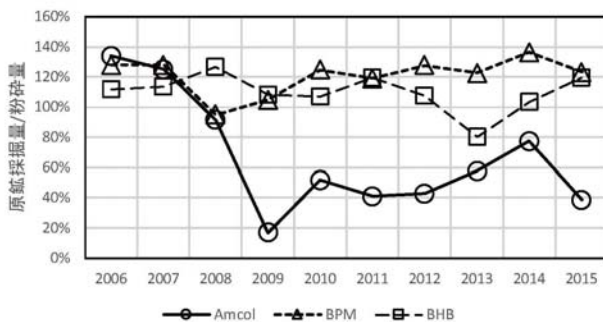


図-10 ワイオミング3社の原鉱採掘量 / 製品量の割合の推移

BPMとBlack Hillsについてはほとんど同じで、100%以上になっています。それに対して、ボルクレイのAMCOLの場合は、2009年以降、急激に原鉱の割合が少なくなっています。鋳物用ベントナイトですが、これはワイオミングだけではなく、サウスダコタとモンタナにまたがる所があるとされています。もともとAMCOLはワイオミングのコロニーで採掘していましたが、だんだんモンタナ州のほうに移動して行き、ワイオミングでの原鉱の量が減った

と考えています。このことは、鉱山と工場の距離が長くなり、運搬費の割合が高くなるということにつながるといえます。

輸入ベントナイトの場合、今まで説明したいろいろなコストが総合的に合わさって、この輸入コストになります。図-11はJETROの輸出入の統計資料です<sup>8)</sup>。左がアメリカからのベントナイトの輸入の、縦棒が数量、折れ線がCIFの単価です。右側は中国です。

アメリカは2004年から、数量は年10万から20万トンぐらいの数量になっています。CIFの単価は、最初は150ドルぐらいだったのが、最近では約250ドル、約160%になっています。

中国の数量は年4万トンから8万トンまで増えています。単価は、CIFは約100ドルから160～170ドルになっています。ただし170ドルになっている中国も原料、ベントナイトの原鉱だけではなくて、猫砂の製品なども入っているため、単価としてはちょっと割引かないとなりません。中国が2016年からいきなり下がっていますが、これは輸入のHSコードで、ベントナイトでは以前は全部2508というのを使っていましたが、ナトリウム交換ベントナイトでは活性化粘土382499というコードを使うようになったためです。このコードには様々な化学品も含まれているため、ナトリウム交換ベントナイトだけを抽出することは難しいです。

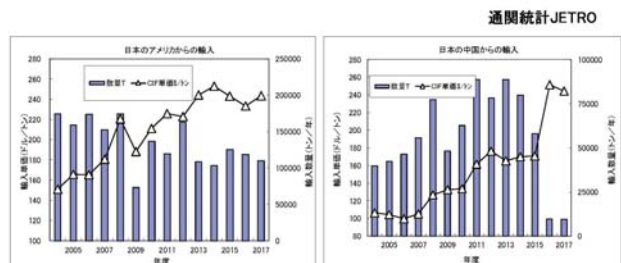


図-11 輸入ベントナイトの価格の推移

当社のワイオミングと中国のデータで、2003年から2018年を比較すると、単価、CIFの比率で見えています。比率で見ると、15年の間にワイオミングのCIFは2倍になっています。中国のベントナイトCIFは、2011年から2018年の7年間で、中国の場合は10%だけ上がっています。

ワイオミングですが、工場出しの価格、アメリカ国内のもろもろのコスト、海上運賃の3つに分けてみます。アメリカ国内輸送での鉄道会社はほぼ独占の状態です。ベントナイトは数十万トンから100万トン単位で鉄道を使っていますが、競合している材料が石炭や穀物ということで、億トンベースで扱っている荷物で、ベントナイトはあまり相手にしてくれず、鉄道会社との交渉はほとんどできません。それと同様に、



港にある倉庫との交渉もほとんどできないため、どんどん値上がりしてきています。ワイオミングの工場出しそれほど大きくは変わっていませんが、それ以外のものが高くなって、2倍になっています。

中国については、FOBとフレートだけになっています。フレートが多少高くなっていますが、10%ぐらいの値上がりで、ワイオミングほど価格は変わっていないと考えています。

このような輸入原鉱と国内原鉱を日本の工場で製品化します。そのときの費用の構成は図-12のとおりです。電力と燃料費がほとんどで、原鉱に対する比率は原鉱によって違いますが、原鉱に対して15%から50%ぐらいの変動費がかかっています。

・製造費用		
粗砕費用 — 電力料		
(活性化費用) — ソーダ灰、電力料		
乾燥費用 — 燃料費、電力料		
粉砕費用 — 電力料		
包装費用 — 電力料		
・管理費用		
工場経費 — 減価償却費		
品質管理		
	+	人件費
	+	人件費

図-12 製造費用の構成

以上、もろもろ全部合わせて、最終的に顧客が使うときの値段の変化を示すものとして、建設物価があります<sup>9)</sup>。東京着のクニゲルV1の25キロ紙袋1トンをお客さまの現場に着けたときの値段は、平成16年から平成30年まで14年で38,000円から47,700円と、26%ぐらい上昇しています。比較としてセメントと見ましたが、セメントも全く同じ126%でした。ということで、ベントナイトだけ突出しているということはないという感じは見て取れます。

価格を見るときはの重要点としては、鉱山または輸入状況、製造条件、また輸送などいろいろな条件によって、それぞれ注意するところがあるといえます。

## 9. 需要量

次に需要です。図-13は日本とアメリカ、中国の主な用途ごとの比較をしたものです<sup>3) 10) 11)</sup>。日本は残念ながら結構古い、2005年の資料です。日本の場

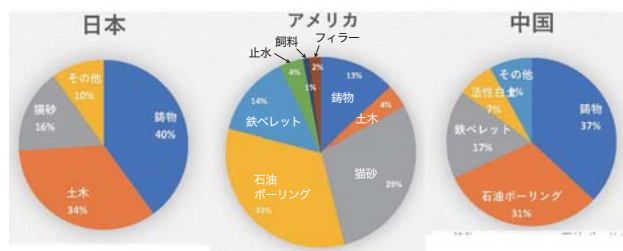


図-13 日本、アメリカ、中国のベントナイト用途の比較

合は鑄物と土木が多く、次に猫砂です。アメリカの場合は猫砂と石油ボーリングが多く、その次に鑄物、鉄ペレットです。中国の場合は鑄物と石油ボーリングが多く、次に鉄ペレットです。

アメリカの輸出量は年90万トンで、全生産量の約2割が輸出されています。輸出先はカナダ、日本などです。次に中国ですが、中国の輸出量は約25万トンです。生産量の5%ぐらいが輸出に回っています。市場や輸出などをみると、それぞれの国の産業の強さや指向などを表していると言えると思います。

市場の変化を現状までの経緯からみると、数十年前までは、日本では鉄ペレットが非常に多かったです。それが最近ではほとんどなくなりました。また、日本のボーリング泥水用ですが、それも、ボーリングがほとんど少なくなって、以前は10%以上あったのですが、今は1%以下という形になっています。

アメリカでは石油ボーリング用と鑄物用が多かったのですが、減少傾向にある。一方猫砂が増加するという形で、アメリカの会社はやっているということです。日本の猫砂の市場は生産者間の価格競争や別素材との競合などによって、ペット用のベントナイト系の割合は低下しています。

将来的な市場ですが、世界でも一番多い鑄物用がどうなるかということが今、一番の関心事で、ガソリン・ディーゼルエンジン車が電気自動車になったときに、鑄物がどこまで減っていくかが関心事になっています。

## 10. 持続的な供給

次に持続的な供給ということで、資源についてです。1946年の非常に古い資料<sup>12)</sup>では、日本のベントナイト鉱山、産地として紹介されたのが28カ所ありました。

図-14は現在の稼行中の鉱山を示しており、鉱山数は13カ所で、半分以下になっています。



図-14 現在稼行中のベントナイト 13 鉱山

このうち、青いものがクニミネ工業に関係する5つの山ですが、それ以外の山については、ほかの会社のホームページなどを参考にしています。13カ所のうち12カ所はもうかなり古い、平成というよりも昭和の時代からやっているような鉱山で、深く掘ったり範囲を拡大したりして、供給を続けているということです。

あと1つ、新潟の三川がありますが、これはホーjungの三川の鉱山で、これは新しく、平成になってから開発を始めた鉱山です。ただしまだ本格的な開発にはなっていないようです。

群馬では、1～2カ所、鉱山を閉山したという話もありますし、白崎はクニミネ工業の鉱山ですが、2～3年前に採掘を中止しております。

そのような状況での、日本のベントナイト鉱山の出鉱量の変化ですが、1995年頃は約60万トン掘っていましたが、それが最近のデータでは約30万トンと、約半分に減っています。一方、輸入量が増えているかということ、そうでもなくて、約20万トンで、それからすると、日本のベントナイトの市場が縮小傾向にあると言えると思います。

国内の鉱山、それから輸入ベントナイトが扱える会社では、国内の資源を温存するために、中国ベントナイトなどを活用するなど、いろいろな工夫をして、持続的な供給を考えています。

昔の資料にありますように、日本国内のベントナイト資源は非常に多くあります。ただし今後、新規に大規模な鉱山が開発される可能性があるかは不明です。また一方では、もし資源があったとしても、自社資金・技術での探鉱には限界があると考えられます。

法定鉱物の時に言いましたが、金属鉱床の場合は、国の補助で広域調査や精密調査などが進められていました。それによって、可能性のある地域はほとんど全部調査し尽したということで、未調査の地域からは新たな有力鉱床が発見されるポテンシャルはないと断言できるぐらい、調査はされています。それに対して、ベントナイトが金属鉱床と同じぐらい調査されているとは言えないと思います。

探鉱技術という面では、金属鉱床の探査では、地質調査からボーリング調査まで段階的に有望地を絞り込んでいます。一方、ベントナイトなど、非金属鉱物の探鉱方法については、ほとんど研究や開発はされていません。ですから、通常は、この地表調査の後、ボーリング調査になります。この形では、リスクが高いということで、ベントナイト生産者や非金属の生産者では、探鉱が十分やれているかという、あまりやれていないと思います。

それから、探鉱する場合の参考資料として『東北地方の工業用鉱物資源』<sup>13)</sup> というものがあります。ただしこれも1960年代のもので、ほとんど地表調査だけで取りまとめたもので、参考にはなりますが、

調査が十分ではないと思います。

この資料中でベントナイトやベントナイト類の産地が東北地方で25カ所あります。この25カ所のうち、今稼働されているのは青森の黒石、それから秋田の八沢木、山形の月布の3カ所だけです。一方、当社の宮城県の川崎と土浮山鉱山については何も記載がありません。川崎は、既に300万トンぐらい掘って、日本でも規模が大きいベントナイトの鉱山です。それがこの資料では抜けています。

従って、この資料で調査済みだから、あとは可能性がないという形になるかということ、そうでもないし、これからまだ探せば見つかる可能性もあるだろうと考えます。

あと、以前は金属鉱床だけではなくて、非金属の鉱床についても調査・研究をする先生はいましたが、最近では金属鉱床も含めて、研究者自体がもうほとんどいなくなっているように思います。特に粘土鉱物というのは、材料評価や開発の研究発表や論文は多いですが、鉱床の地質調査や地質などの研究者はいませんし、発表も少なくなっています。

次に海外資源ですが、今言ったような状況で、国内資源の供給が減り、輸入ベントナイトの割合が多くなっています。

輸入ベントナイトとしてはアメリカのワイオミングと中国が主です。ワイオミングの場合は天然のナトリウム型で、ワイオミングの大手生産者が7～8社ありますが、それぞれ日本の商社などを通じて輸入しています。用途は鋳物と土木ボーリングです。コストは先ほど言いましたように、工場出しだけではなくて、鉄道、港湾業者の価格上昇が著しく、その影響で倍になっています。先ほど言いましたように、ベントナイトの場合は取扱量が少ないので、価格競争力はほとんどないので、言われるままに上がっている状況です。ワイオミングのベントナイトの採掘場所は工場から離れてきて、工場間の輸送費は増加しています。また剥土比などの開発条件が良い場所は、ワイオミングでも少なくなっていると思います。これによって、原鉱コストは多少高くなることはあると思います。ただし鉱量は結構莫大な量がありますので、当面、供給が問題になることはないと考えられます。

ワイオミングのベントナイトの生産者を支えているというのは、アメリカ全体市場400万トンのうち250万トンが猫砂ということで、猫砂が支えている状況になっています。アメリカの猫砂市場は安定でしたが、最近、猫砂の市場の変化が出てきているような気がします。それで、もし猫砂市場が日本のような場合は、工場出しの価格は下がる可能性があります。ただしそれ以外のコストが高くなるので、結局、トータルとしては高い値段が続く可能性があると考えたほうが良いと思います。

中国は、ほとんどナトリウム交換ベントナイトです。以前は値段が安いものということで使っていましたが、今は品質のいい点のみで使っていますが、用途が広がってきています。コスト自体は、様々なところで上がっていますが、中国の場合は中国国内の生産者同士で競争をやってもらっていて、輸入ベントナイトの値段は比較的安定しています。中国の国内のベントナイト生産者の供給過剰の状態が続く間は、この価格傾向が続くというふうに考えられます。

世界のベントナイト埋蔵量はいろいろな数字があり、数十億トンというものもあります。ベントナイトの開発の状況は様々で、可採率は通常は何割と言っていますが、もしかしたら何%とか、0.何パーセントなどになる可能性があるのも、実際に掘れる量、可採率を確認していく必要があると思います。

その他としては、中国と同程度の安価ベントナイトとして、インド産のベントナイトがあります。ASEANではかなり使われてきています。ただし鉄分が多く、他のベントナイトとは異なった特徴があり、日本ではあまり活用が進んでいません。

ベントナイトは鋳物や土木など、基本的な工業原料であるため、ベントナイト生産はその国の経済発展と関連して増えたり減ったりします。今後ASEAN地域で経済発展がある場合は、新たなベントナイトの新たな生産国が出てくると考えられます。

もう1つ、ベントナイトの生産者の会社形態がいろいろあります。日本のベントナイト生産者はベントナイトを主体にしている会社です。外国では、ワイオミングではBlack HillsやWyo-Ben、インドのAshapuraなどの会社がそうですが、アメリカ・ヨーロッパの生産者は、ほとんどいろいろな会社の傘下に入っています。AMCOLはMTI、Silver & BariteはIMERYSという総合素材、これは工業用原料鋳物を主体にした会社の傘下に入っています。またドイツのSud-Chemieは化学会社Clariantの傘下に入っています。ワイオミングのBPMとMI-Swacoは、SchlumbergerやHalliburtonという総合企業の傘下に入っています。それぞれの生産者の会社の形態によって、いいところや問題などがいろいろあります。ですから、生産者などを見るときに、こういう強み、弱みがあるということで、見ていったほうがいいと思います。

## 11. まとめ

最後です。今後のベントナイトの供給についてまとめました。

1番目として、日本の国内のベントナイト生産者は天然の鋳産物であるベントナイトーベントナイトは天然の鋳産物であり、ばらつきや、場所ごとの品質変化がありますーを鋳山や工場の品質管理によって、工業製品に近い形で供給を続けてきています。今後

も、既存のユーザーに対して、生産者の供給責任を果たすべく、今までどおりの企業努力を続けていくというふうに考えます。これができるのは、ユーザーである市場の動きを生産者側が把握していることが条件の一つとして考えられます。

次に、放射性廃棄物処分の分野では、ベントナイトがいつ使われるか、どの程度使われるか、どのような品質要求があるか、今のところ、よく分かりません。このような情報がかなりのリードタイムで提供いただけるのであれば、このベントナイト資源の確保、それから生産体制の整備、品質管理体制の強化などをそれぞれの会社で進めることができると考えます。ただ、その資源の確保や体制の整備では、ベントナイト生産者はそれほど大きい規模の会社はなく、特に日本の場合には会社の規模が小さいので、会社の規模や技術能力などの点で、対応スピードやできる範囲は限度があると考えられます。

最後に、これは地質、資源に係ってきた者として言いたいのですが、ベントナイトに限らず、国内の資源産業でも、さまざまな供給の問題・課題を抱えていると思います。このことに少なくとも感心や理解を持ってもらうということができれば、生産者側としても、頑張っただけ供給を続けていこうという意欲が出てくる、より出てくることにつながると考えられます。

## 主な質疑応答

質問：過去には、たくさん鋳山があったけれども今はだいぶ減っているということですが、減った理由を教えてください。資源が枯れたのか、それともほかの理由があるのでしょうか。

回答：1946年のデータではかなりの数の鋳山がありましたが、その中には、ほとんど家内工業でやっているような会社も入っていたと思います。ですから、継続性はもともとなかったということがあるし、資金の面、営業力等の点があまりなかったということもあって、自然に淘汰されてしまったということがあると思います。

質問：資源としてまだ残っているというような状況の鋳山があった場合、それを再度稼働させるには、どれぐらいの時間や費用が必要なのか、おおよそで結構ですので、教えてください。

回答：鋳山の再稼働につきましては、やめ方がどういう形であったかによると考えます。きれいにやめているのであれば、再採掘もやりやすいですが、一般的には、条件のいいところだけ掘って、そのまま稼働をやめる場合が多いので、それを稼働する場合には、たぶんかなり範囲を拡大してやらないとできないと思います。準備期間がかなり必要で、通常の採石の山をやるのには、たぶん最低でも3年ぐらい準備期間が必要かと考えます。



質問：これからのベントナイトの市場の見通しが立たない、特に放射性廃棄物の処分に対して、という話がありましたが、あまり実績はないですが、低レベル放射性廃棄物の処分や産業廃棄物処分ベントナイトはどのくらい使われたと考えればよろしいですか。

回答：産業廃棄物や一般廃棄物処分場では、結構な数量は使われていると思います。それから、放射性廃棄物という形ではありませんが、福島第一原子力発電所の事故に絡んで、ベントナイトは結構使っています。ただし、もともと放射性廃棄物処分の担当者としては、目的はあくまでも放射性廃棄物処分であり、そういうものに対して、実験ではなくて、実際に処分に1トンでも使ってもらえれば、生産者としても実績が上がったなと思います。研究が始まって、たぶん20年以上ありますけれども、それがまだないので、会社の中でもなかなか立場が弱いのが現実です。

質問：供給元として、ワイオミング、中国や重要な国内を教えてくださいましたが、需要そのものは、猫砂とかは世界どこでもありそうです。地球上のエリア的には、いろいろな所で、それなりのベントナイトの採掘場というか、そういうものは分布していると考えてよろしいのでしょうか。

回答：あらためて世界のベントナイトの資源量について何かデータがあるかと思って見直しました。最新のものではありませんが、ある資料では「無限にある」というような表現があり、アメリカでもほとんど発表しなくなっていました。出してもあまり意味がないためだと思います。ワイオミングの場合は、先ほど、採取場がだんだんワイオミングからほかに移動しているという話をしましたが、それは条件がいい所の採掘が終了したということで、将来的にはもう一回元に戻って、少し深いところをまた採掘する可能性があります。そうすると、また今までと同じくらい掘れるという形になります。ただし、採掘コストは当然高くなるのですが、アメリカの採掘コストは非常に安いので、それが倍になっても最終価格は大きく変わらない可能性があります。それを加味すると、鉱量はあまり意味がないという話になってしまうと思っています。先ほど言いましたが、アメリカ、中国は鉱量が多いのですが、それ以外に、調べている中でも、インドネシアなども結構多いのです。今はあまり掘っていないのですが、これから出せそうな、もともと鉱床がありそうなところはまだ結構いっぱいあるので、それが今後の産業の発展とともに鉱山が出てくるということはあると

思います。それがもしかしたら日本にとってもいい供給元になる可能性はあると思います。

質問：国内の需要も少しずつ減ってきているということで、こういう状況が続いた場合、仮に地層処分事業で使用する場合には、コスト、価格は結構上がる方向になるのですか。

回答：上がる理由としては、生産者が今後も少なくなることによることが考えられます。今でも、たぶん、主要生産者は、3社か4社の状況です。ですから、国内の鉱山がなくなってしまって、輸入をやれるといいのですが、輸入がやれない会社もありますので、そういう場合は会社自体がなくなるということもあります。そういうことがあると、価格競争がなくなると考えます。

今後は、地層処分事業でどの程度の数量を使ってくれるかによると思います。使用量が多ければ、生産者も工夫すると思います。

クミネ工業のナトリウム型ベントナイトの場合は坑内掘りですので、坑口からどんどん奥深くなっています。これにより、コストとしては上がる方向は間違いありません。需要がはっきりしない状況では、今の鑄物の需要や土木の市場に合わせた鉱山開発していくことになります。将来的な見通しがあれば、先ほど言ったように、ある程度リードタイムをいただいた上、鉱山の開発方法を見直すなど、トータルコストを下げることなど、自社で考えられると思います。

(本稿は、平成31年2月8日に開催された平成30年度第3回原環センター講演会「ベントナイト資源及び工業の現状と将来」の内容を再構成したものです。)

#### 参考資料

1. 吉田國夫、鉱産物の知識と取引—鉱業鉱物編—(社)通商産業調査会、732-758,1992
2. 張培元編、中国工業鉱物と岩石 下冊、地質出版社、213-240,1987
3. USGS, Minerals Yearbook, 2011-2017
4. 日本ベントナイト工業会 資料
5. 経済産業省経済産業省鉱物資源課 見嶋秀平、鉱物資源安定供給論、平成14年7月12日  
(<https://www.rieti.go.jp/jp/projects/koubutsu/pp01r001-r0712.pdf>)
6. Black Hills Bentonite LLC, 社内資料
7. Wyoming Mine Inspectors data, 2007-2017
8. JETRO 通関統計資料, 2004-2018
9. クミネ工業 社内資料
10. 中国膨潤土市場調査資料
11. 建設物価
12. 内田宗義、膨潤土、1946
13. 産総研、東北地方の工業用鉱物資源調査について、地質ニュース、1963/5

編集発行

公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター  
〒104-0044 東京都中央区明石町6番4号(ニチレイ明石町ビル12階)  
TEL 03-6264-2111(代表) FAX 03-5550-9116  
ホームページ <https://www.rwmc.or.jp/>