

今後活用が見込まれる処理技術、研究・開発中の処理技術

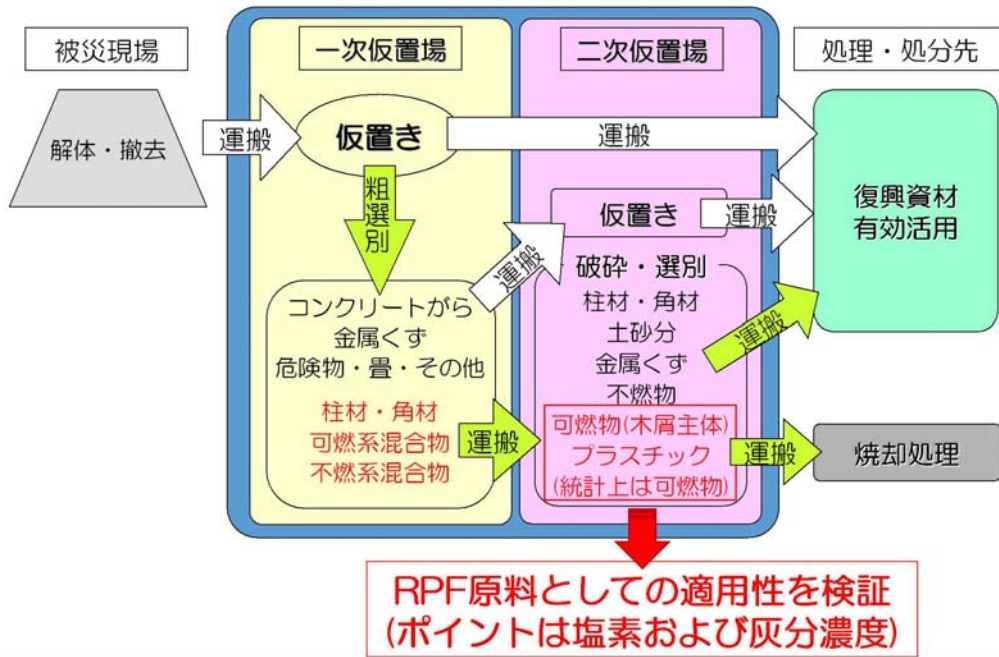
東日本大震災をはじめとする過去の災害において、導入は実現されていないが、今後活用が見込まれる処理技術や研究・開発中の処理技術を以下に示す。

- ①高度選別された災害廃棄物の RPF 化技術実証
- ②気仙沼処理区における廃漁網からの鉛除去実験
- ③災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関する研究
- ④防災・減災を志向した分散型浄化槽システムの構築に関する研究
- ⑤東日本大震災による漂流ごみの移動経路把握による二次災害防止に関する研究
- ⑥放射能汚染廃棄物処理施設の長期管理手法に関する研究
(ダイオキシン類及び重金属類の管理の観点から)

①高度選別された災害廃棄物のRPF化技術実証

名称	高度選別された災害廃棄物のRPF化技術実証
執筆者	国立環境研究所（大迫政浩、野村和孝、前背戸智晴） 市川環境エンジニアリング（下野正良、加賀山保一） 奥村組（岡崎稔、大塚義一）
出典	第35回全国都市清掃研究_講演論文
技術を適用できる処理工程区分	解体 撤去 運搬 破碎 選別 焼却 処分 再資源化
実用化までの技術レベル	従来の技術（工夫・改善を含む） 実証レベル 実用化レベル
処理技術の開発の背景	東日本大震災において、可燃物は仮設焼却炉による単純な焼却処理が中心でエネルギー回収等はほとんどなされていないのが現状である。廃プラスチックについても一部リサイクルが適用されているものの、十分な対応がなされたとはいえない。そのため、適用可能な有効利用技術を見出すことは、将来の災害に備える意味から極めて有意義である。
実証実験の概要	高度な選別機能を有する設備で選別された木屑主体の可燃物と、事前に選別された廃プラスチックを原料として、実施設を用いた固形燃料（RPF）化の実証実験。
処理技術の特徴	<p>【選別システムの特徴】 二次選別高精度自動選別装置(磁選機で金属除去、回転篩機で土砂除去、可燃物分離装置)を採用している。粗選別された混合物から灰分の少ない木屑中心の可燃物を得ることができる。</p> <p>【RPF製造設備】 高品質確保のためにRPFに適した材料を選別する方式であり、残渣率は高めである。</p>
留意事項	津波被害で発生した混合可燃物には土砂が多く含まれており、可燃物をRPFの原料に用いるためには、高度な分離が求められる。
災害廃棄物のRPF原料としての適用性	<p>(1) 選別可燃物 使用した可燃物の灰分濃度は過去のデータと遜色なく、混合比率を考慮すれば高品位なRPFの原料として十分適用可能。保管状況から水分濃度が高くなる可能性があるが、造粒過程である程度蒸発するため、大きな問題にならない。なお、高度選別を実施しない場合、RPFにおける灰分の品質基準を満たさなくなることはもとより、不燃物など異物混入の可能性が高まり、二次破碎機に直接投入することが困難になると考えられる。その場合、選別機のラインに投入する必要が生じ、結果として歩留りが悪くなるため、高度選別を実施する優位性は高いと思われる。</p> <p>(2) 廃プラスチック 試験に用いた廃プラ①（目視で塩ビ類を除いた混合プラスチック）は、残渣率が9割弱と非常に歩留りが悪かった。風力選別については、装置の設定を最適化することで、歩留りの改善が期待できるが、土砂の付着については、灰分濃度への影響も考慮すると洗浄のような前処理が必要かもしれない。また、塩素含有プラスチックが多く含まれており、高品位のRPFに適用するためには、さらなる分別技術が必要であると考えられる。</p> <p>廃プラ②（主に解体現場から収集された断熱材）については、RPF原料として十分適用可能であるが、比重が小さく重量を確保しにくいことや、発泡剤としてフロンが使用されている可能性について考慮が必要かもしれない。</p>

対象とした災害廃棄物

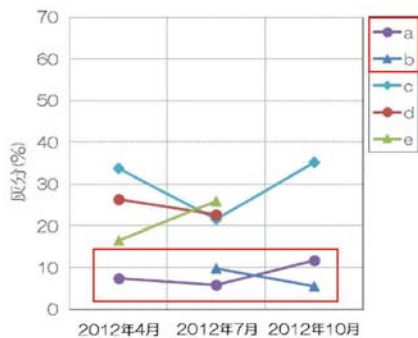


IV-124

④

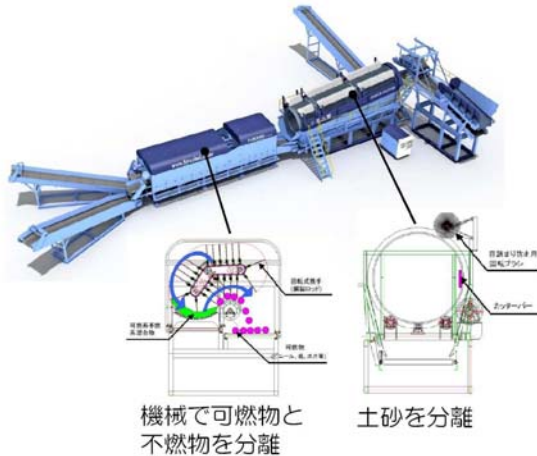
対象とした災害廃棄物処理区

岩手県各処理区における
選別可燃物の灰分濃度



(分析データは岩手県HPで公開)

高精度自動選別機

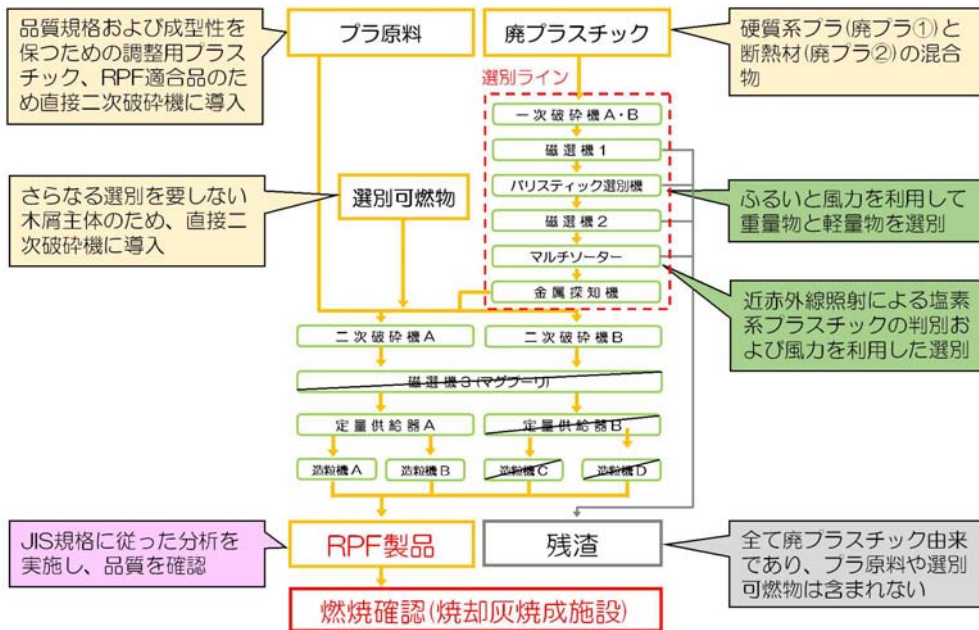


aおよびb地区では粗選別された混合物から灰分の少ない木屑中心の可燃物を得ることができる
 →今回はa地区の災害廃棄物を対象とした

IV-124

⑤

RPF製造プロセス



IV-124

⑥

対象原料の性状



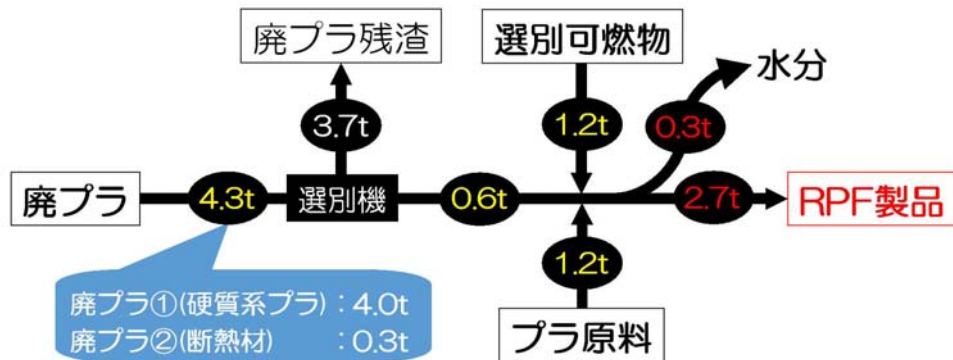
項目	単位	可燃物	廃プラ①	廃プラ②	プラ原料
水分	%	50.9	3.0	2.8	0.9
灰分	%	11.8	16.3	5.4	<0.1
可燃分	%	37.2	80.7	91.8	98.2
高位発熱量	MJ/kg	7.2	25.5	30	45.7
全塩素	%	0.06	3.80	0.13	<0.01

可燃物 : 灰分は過去の数値と同程度
 廃プラ① : 土砂の付着により灰分が高い、塩素系プラを含む
 廃プラ② : 左-スチロフォーム、右-硬質ウツフォーム、灰分は付着リサイクル由来
 プラ原料 : ポリエチレン製のストレッチフィルム

IV-124

⑦

マテリアルバランス



- 選別可燃物は全量を原料として投入
- 投入した廃プラの9割弱が残渣
→バリスティック選別機で約4割が残渣に移行
→マルチソーターで残りの約8割弱が残渣に移行
- 選別可燃物に含まれる水分が造粒過程で蒸発

IV-124

⑧

RPF製品の品質

項目	単位	分析値	RPF			
			RPF-coke	A	B	C
高位発熱量	MJ/kg	26.3	33以上	25以上	25以上	25以上
水分	%	10.4	3以下	5以下	5以下	5以下
灰分	%	10.6	5以下	10以下	10以下	10以下
全塩素	%	1.69	0.6以下	0.3以下	0.3-0.6	0.6-2.0
かさ密度	g/cm ³	0.29	-	-	-	-
粉化度	%	0.60	-	-	-	-

RPF製品の外観



◇ C等級に準じた品質(水分・灰分が基準外)

- 【水分】
→製造直後にサンプリングしたため、十分に風乾されていなかった
- 【灰分】
→廃プラ①の土砂の付着量が多く、予想より灰分濃度が高かった

IV-124

⑨

災害廃棄物のRPF原料としての適用性

◇ 選別可燃物はRPF原料として十分に適用可能

→灰分の基準や二次破砕機への直接投入を考えると、自動選別機の適用は有効であると考えられる

◇ 廃プラは残渣率9割弱と歩留りが悪かった

【廃プラ①(硬質系プラ)】

→形状や重さが風力選別に不向き

→土砂の付着が灰分濃度や選別に大きく影響を及ぼした

【廃プラ②(断熱材)】

→材質としては適用に問題ないが、比重が小さく量を確保しにくい

→フロン含有の可能性

◇ RPF製品の品質は、JIS規格においてC等級に準ずる

→廃プラ①の灰分や塩素濃度の影響が大きい

◇ 燃料としての利用に問題はなかった

→塩素濃度が高いため、燃焼利用できる施設が限定される

IV-124

⑩

おわりに

阪神淡路大震災や東日本大震災のデータから可燃物のリサイクル率は不燃物に比べて低いことが明らかになっている。そのような状況のなか、今回は、将来に備えた災害廃棄物の有効利用の一例として、可燃物のRPF化について実証例を紹介した。

【課題】

◇ 廃プラのより正確な性状把握や分別技術の開発

◇ 市場性や経済性を含めた需要と供給のマッチング



RPF化のみならず、マテリアルリサイクルやフラフ燃料化などへの幅広い実適用が期待される

IV-124

⑪

②気仙沼処理区における廃漁網からの鉛除去実験

名称	気仙沼処理区における廃漁網からの鉛除去実験
執筆者	富山県立大学（立田真文） 佐藤鉄工株式会社（山田宏志） 宮城県環境生活部震災廃棄物対策課気仙沼事務所（堀籠洋一、佐藤文彦） 気仙沼ブロック気仙沼処理区 大成、安藤ハザマ、五洋、東急、西武・深松・丸か・小野良・阿部伊特定業務共同体（山本哲、萩原純一）
出典	第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2013
技術を適用できる処理工程区分	解体 撤去 運搬 破碎 選別 焼却 処分 再資源化
実用化までの技術レベル	従来の技術（工夫・改善を含む） 実証レベル 実用化レベル
処理技術の開発の背景	廃漁網は多量に鉛を含んでいるため焼却も埋立も安易にはできない状況であることから、廃漁網から鉛を効率よく除去する機械を設置し、その除去効率について検討した。
実験の概要	<ul style="list-style-type: none"> 平成25年7月に宮城県気仙沼市気仙沼ブロック（気仙沼処理区）にて鉛分離実験を実施。 粗切断した廃漁網を、クロスフローシュレツダの上部投入口から投入し、設定した処理時間運転（バッチ処理）し、処理停止後、下部から取り出した。設定処理時間は、30、60、90秒とし、1回バッチあたり5kgの廃漁網を投入。下部からバットに受けた処理廃漁網は、手で振るうことにより、鉛を振るい落とし、ロープの部分と鉛部分とを分離。回収された鉛はフレコンに集積され、分離されたロープの部分はコンテナに集積された。
実験の結果	<p>【鉛除去実験】</p> <ul style="list-style-type: none"> 廃漁網5kg、30秒処理を10回繰り返した時、ロープが約3kg、鉛が1.5kg程度分離できた。小計が5kgに満たないのは土砂によるものと考えられる。 鉛の廃漁網全体に対する重量比率は$33.5 \pm 0.6\%$。（廃漁網の含水率は4.5～14.3%） 分離された鉛は純度95%以上と非常に高い。 バージンの漁網の処理結果と比較した場合、異なるのは処理されたロープの状態。バージンの漁網では処理された後も処理前の状態とあまり変化は見られなかったのに対し、廃漁網においては処理された後のロープは“ふわふわの綿状”になっており、ロープの種類が全く同じでなかったことも原因の一つであるかもしれないが、海水の浸水や潮流の影響、それに紫外線の影響によりロープ自体が疲労していたことが推察できた。 <p>【鉛残存分析】</p> <ul style="list-style-type: none"> 60、90秒処理した廃漁網からは未処理鉛（ロープ内に取り残された鉛）は確認できなかったが、絡まり鉛（ロープからは分離されたが、綿状のロープに絡まり振るえきれなかった鉛）は微量ながら確認された。 30秒処理では、未処理鉛、絡まり鉛とも確認された。処理時間の30秒は不適切であることが分かった。

③災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関する研究

(独立行政法人国立環境研究所・山本貴士)

研究の要旨 (400 字以内)

東日本大震災あるいは今後発生するおそれのある災害に際し、復旧・復興のための作業等における石綿曝露による健康被害を未然に防止するための石綿の適正管理手法について研究を実施した。石綿含有建材の目視判定方法の検討では、目視判定用マニュアルを作成し、これに基づく講習によりスレート板等の建材を 90%以上の正解率で判定できた。石綿含有物の迅速判定方法の検討では、偏光顕微鏡法を採用し、1 試料当たり 10 分程度、1 重量%まで公定法と同等精度での判定を可能とした。石綿含有廃棄物の発生量推定方法の検討では、石綿含有建材の出荷量統計より建築物の構造別建築年別石綿使用原単位を推定し、地域メッシュ毎の構造別建築年別ストック床面積ならびに震度分布から石綿含有建材種類別発生量を推定する手法を開発した。石綿飛散防止対策方法の検討では、成形板解体除去時や破砕選別時、混入土壌等からの石綿飛散量を調査や実験から把握した。

1. 研究の目的

東日本大震災ではがれきや津波堆積物等大量の災害廃棄物が発生し、その速やかな処理が求められた。しかし、石綿含有建材を使用した建築物の被災によって発生した災害廃棄物には石綿混入のおそれがあり、実際、我々の調査でも集積場の災害廃棄物に石綿含有建材を確認している。災害廃棄物処理の際に不用意に石綿含有物を重機で移動させたり、集じん装置のない破碎選別機への投入することで石綿を飛散させるおそれがある。また、石綿が集積場土壌に混入した場合は、跡地利用が制限される。被災により全半壊した建築物の解体においては、不十分な事前調査に基づいた建築物の重機によるミンチ解体や、飛散防止対策が十分でない解体による石綿飛散が報告されている。石綿含有成形板等のレベル3建材^{a)}は吹付け石綿等に比べて石綿の飛散性が少ないとされるが、手解体でなく破碎除去すれば大量の石綿が飛散することが指摘されており、作業現場内の石綿繊維濃度が管理濃度(150 本/L)を大幅に上回る現場もある。また、津波被害により災害廃棄物となった船舶については、ボイラー等石綿を使用している部位が多くあり、やはり十分な対策がとられずに解体されている可能性が多い。このように、災害廃棄物処理過程で従事者が石綿に曝露する可能性は高く、現実に阪神・淡路大震災の災害廃棄物処理従事者に中皮腫認定患者が発生している。従って、災害廃棄物処理過程において石綿を適切に管理してその飛散を抑制し、健康被害を防止する事は極めて重要である。また、石綿の混入は災害廃棄物全体の処理を滞らせる要素にもなっている。そのため平時から処理計画を立てておくことが重要である。建物解体による石綿含有建材のストック量や排出量を推定した既往研究は数例あるが、その対象は日本全域であり、自治体が震災廃棄物の処理計画を立案するのに適したものではない。

このような背景を踏まえ、東日本大震災あるいは今後発生するおそれのある災害に際し、復旧・復興のための作業等における石綿曝露による健康被害を未然に防止するため、災害廃棄物の適切な処理計画を立案する上で必要となる自治体規模での石綿含有廃棄物発生量を推定する手法の開発、災害廃棄物選別や被災建築物解体時に必要となる石綿迅速判定方法の開発、また石綿含有建材の解体除去時や災害廃棄物処理時における石綿飛散防止対策方法の検討等、適正管理手法の確立を目的として本研究を実施した。

a) レベル3建材：建設業労働災害防止協会による石綿含有建材別作業レベル区分3に該当する建材。

2. 研究によって得られた成果

(1)東日本大震災の災害廃棄物処理に活用された内容

石綿含有建材の目視判定方法について、石綿含有建材の写真や特徴等、さらに判定の手順をマニュアル「石綿含有建材の見分け方」にまとめた(図1、本技術資料に添付)。このマニュアルや実際の建材、ルーペ等を使用した石綿含有建材判定研修を企画し、石巻市や南相馬市の被災地住民や解体作業従事者向けに実施した。受講者を対象に建材判定試験を実

施したところ、石膏ボード等判定が困難な建材もあったが、波板スレート板、平板スレート板、窯業系サイディング、押出成形板では90%以上の正解率であり、講習の効果が確認された。このことから、予備知識のない一般住民でも教育により一定程度の判定が可能となり、正解率の高いスレート板、窯業系サイディング、押出成形板については目視により含有の有無を判定できる可能性がある。これらの建材は石綿含有建材の大きな割合を占め、分析の費用と時間の負担を大きく軽減できると考えられる。また、石巻市や気仙沼市、女川町、南相馬市等の被災地で現地調査を行い、吹付け材と波板スレートを使用した建築物のマッピングを実施した。例えば、吹付け耐火被覆と波形スレートは石巻市ではそれぞれ14か所と140か所、また気仙沼市ではそれぞれ28か所と25か所で確認された。現地調査では、レベル3建材のある解体現場の一部で、事業者が石綿含有という認識を持たず、散水等の飛散対策や保護具の着用のない事例もあった。そのような事例を発見した場合には、飛散対策及び保護具の着用を指導した。

2. 石綿含有建材の見分け方のポイント

1)見分けられる建材

この方法で見分けられる建材は、セメント系建材である波板スレート、平板スレート、窯業系サイディング、押出成形セメント板の4種類と軽い酸カルシウム板(第1種)です。これら以外の建材の石綿含有の有無は通常はルーベではわかりません。また「含有なし」の判定をすることはできません。「含有なし」とするためには正規の分析が必要です。

2)試料の採取

試料の採取の際には、対象となる建材は石綿含有を前提として、飛散防止の対策をとります。飛散防止対策は、水で湿潤化を必ず行い、必要に応じて、部分的に養生をして、周辺への飛散を防止します。区分3(RL-3またはRS-3の取替え式防じんマスク)以上の呼吸用保護具と手袋を着用します。防護を確認し、カッター、のこぎり、ペンチなどで試料の断片を取ります。必要な試料の量はわずか(1cm角程度)で十分です。

3)観察

観察にはルーベを使用します。写真1の3枚のレンズを使用した高倍率のルーベを使うと観察が容易です。採取した試料の破断面をルーベで観察します。この時に試料にルーベを近づけ、さらに眼もルーベに近づけて観察することで、視野を広く大きな画像を観ることができます。また十分な光線の下で観察することも重要で、直射日光が曇中電灯などの光を直接試料にあたるようにします。ヘッドランプ式の強力なLED電灯がライト付きルーベが適切です。




4)石綿含有ありの判断

試料の新しい破断面を観察して下記の特徴が観られる場合、石綿含有ありと判断します。

①試料の断面から白く輝く繊維の束が出ている。(クリソタイルの場合)
 試料の断面から青い繊維の束が出ている。(クロシドライトの場合)
 試料の断面から茶色または金色の繊維の束が出ている。(アモサイトの場合)

②繊維の束の太さ、長さ、場所が不規則に見える。
 ③繊維の束を釘などで触ると、曲がり、先が広がる。
 (クリソタイルは顕微鏡、クロシドライト、アモサイトは折れて細かく分離する場合もある。)

石綿以外の繊維(石綿代替繊維)を使用しているものは、一見すると石綿以外の繊維だけを使用しているように見えるものの、少量の石綿を含むものもあり、特に注意が必要です。

5-7頁に石綿含有あり、なしの代表的な建材の拡大写真を示します。これらを参考にしながら、石綿含有ありの建材を特定することができます。

図1 「石綿含有建材の見分け方」



図2 廃FRP船の石綿含有材料の判定

石綿含有物の迅速判定方法について、米環境保護庁(EPA)のバルク建材中の石綿試験法(EPA 600/R93/116)を参考に、実体顕微鏡と偏光顕微鏡(PLM)を用いた石綿含有物の迅速判定法を採用した。その流れは次の通りである。①試料採取→②実体顕微鏡で低倍率で観察。繊維状物質が存在しなければ石綿非含有とする。存在する場合、PLM 観察用試料を調製する→③PLM で観察(100 倍、オープンニコル^{b)})。繊維の形状、色を観察→④クロスニコル^{c)} 観察で複屈折^{d)}を確認する。複屈折がなければ石綿非含有(ガラスウール等)とする→⑤消光角^{e)}を確認する。直消光でなければ石綿非含有(繊維状石膏等)とする→⑥鋭敏色検板^{f)}を挿入して伸長の符号^{g)}を確認。負であればクロシドライト、正であればそれ以外の石綿とする→⑦判定終了。以上の判定操作は1試料当たり10分程度で実施できる。また、判定精度は1重量%程度まで国内公定法(JIS A 1481)と同等であり、石綿を意図的に使用した建材の判定には十分である。以上の顕微鏡や機材一式を搭載した車両で被災地を巡回し、迅速判定を行った。相馬市において津波被害廃 FRP 船の石綿含有材料使用の有無及び使用部位の判定を行った。58 隻の判定を約 3 時間半で完了した。石綿含有が疑われる材料が確認されたのは 15 隻であり、迅速判定により含有が確認できたのは 6 隻であった。使用部位としては、煙突及びエンジンから煙突への配管周りの布状の断熱材であった(図 2)。判定結果は相馬市担当者に通知し、石綿含有材料の適正処理に活用された。

b) オープンニコル：光路内に偏光板を 1 枚のみ入れた状態。c) クロスニコル：光路内に偏光板を 2 枚直交するように入れた状態。d) 複屈折：その物質が 2 つの異なる屈折率を持っていること(光学的異方体)。クロスニコル観察で試料台を回転させた場合に 4 回明暗を繰り返す。e) 直消光：クロスニコル観察で試料が暗くなる角(消光角)が繊維の方向と一致すること。一致しないものを斜消光という。f) 鋭敏色検板：干渉色を観察するための検板。試料の位相差が 530nm より大きくなると青色、小さくなると黄色を示す。g) 伸長の符号：鋭敏色検板を入れて観察した場合に、繊維の方向が右上がりであれば青色、右下がりであれば黄色となる繊維は伸長の符号が正。

(2)今後活用が期待される内容

石綿含有建材の目視判定方法について、将来の災害に備えた建設事業者、労働者への教育の実施が予定されており、その中で今回開発した方法が導入される予定である。この教育は継続して実施され、参加者との意見交換等を通じて迅速判定法はブラッシュアップされる。東日本大震災の総括と提言、建設事業者、労働者への教育を通じて、迅速判定法による調査を含めた実践的な震災対策マニュアルと建設現場での石綿対策マニュアルを作成する予定である。これらを通じ、今後の震災に備えた平時の石綿調査の促進が期待される。

石綿含有物の迅速判定方法について、現在利用可能な方法の特性を把握し、判定精度を向上させることを目的として、災害廃棄物集積場で採取した建材片 32 種を共通試料として比較を行った。比較した迅速法・公定法等は以下の通りである。①偏光顕微鏡法(本課題)、②近赤外反射分光法(東急建設開発)、③近赤外反射分光法(米 Thermo 社製 microPHAZIR)、④X 線回折法(現行 JIS A 1481)、⑤走査型電子顕微鏡法。近赤外反射分光法は石綿の近赤外光の吸収により石綿同定を行う方法であり、②は現在同社が開発中の建材分別システムの

構成要素であり、③は川崎市等が解体現場での石綿建材判定に用いている可搬型の製品である。④はJIS A 1481に、⑤は環境省アスベストモニタリングマニュアルにそれぞれ採用されている。いずれも時間を要し現場分析はできないが、同定精度は他の方法よりよいと考えられる方法である。結果は表1に示す。石綿同定の確実さは電子顕微鏡法が優れており、それを正解とするとそれぞれの迅速判定法には課題があるといえる。現在進行中で結

表1 石綿含有建材判定結果一覧

試料	迅速判定法				走査型電子顕微鏡	X線回折	
	偏光顕微鏡1	偏光顕微鏡2	近赤外装置(東急)	近赤外装置(Phazir)		定性	定量(%)
1	不含有	不含有	○	不含有(時々検出)	不含有	不含有	-
2	含有(Cry)	含有(Cry)	○	不含有(時々検出)	含有(Cry)	含有(Cry)	1.6
3	含有(Cry)	含有(Cry)	○	不含有(時々検出)	含有(Cry)	含有(Cry)	1.6
4	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)	含有(Cry)	含有(Cry)	4.9
5	不含有	不含有	x	不含有(n=5)	不含有	不含有	-
6	不含有	不含有	x	不含有(n=5)	不含有	不含有	-
7	含有(Cry)	含有(Cry)	x	含有(Cry)(検出2/4)	含有(Cry)	含有(Cry/Wa)	2.6
8	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)	含有(Cry)	含有(Cry)	1.4
9	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)	含有(Cry)	含有(Cry)	6.9
10	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)		含有(Cry)	4.8
11	不含有	不含有	○	不含有	不含有	不含有	-
12	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)		含有(Cry)	4.3
13	不含有	含有(Cry)	x	不含有(1/5検出)	不含有	不含有	-
14	不含有	含有(Cry)	○	不含有(1/5検出)	含有(Cry)	含有(Cry)	2.0
15	不含有	不含有	x	不含有(2)	不含有	不含有	-
16	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)		含有(Cry)	6.0
17	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)	含有(Cry)クロソイド ライトなし	含有(Cry/Cro)	5.9
18	不含有	不含有	x	不含有		不含有	-
19	不含有	含有(Cry)	x	不含有(3/10検出)	含有(Cry)	含有(Cry/Wa)	2.6
20	含有(Cry)	含有(Cry)	x	含有(Cry)(断面も)	含有(Cry)	クリソタイル	2.0
21	不含有	不含有	○	不含有	不含有	不含有	-
22	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)		含有(Cry)	4.9
23	含有(Cry)	含有(Cry)	x	含有(Cry)	含有(Cry)	含有(Cry)	2.3
24	不含有	不含有	x	不含有(1/5検出アモ、クロソイド)	不含有	不含有	-
25	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)		含有(Cry)	4.9
26	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)		含有(Cry)	3.1
27	不含有	不含有	x	不含有	不含有	不含有	-
28	不含有	不含有	○	不含有	不含有	不含有	-
29	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)		含有(Cry)	4.6
30	含有(Cry)	含有(Cry)	○	含有(Cry)(1/3不検出)	含有(Cry)	含有(Cry)	3.9
31	含有(Cry)	含有(Cry)	○	測定不能(黒色)		含有(Cry)	4.8
32	不含有	不含有	x	不含有(2/6検出、1アクチノ)	不含有	不含有	-

Cry:クリソタイル; Cro:クロソイドライト; Wa:ワラストナイト
X線回折の判定のうち、クリソタイル/ワラストナイトの判定は装置の判定としてワラストナイトの可能性があるとの意味。

果評価をまとめており、各判定法の評価を行う。各判定法には長所・短所があり、①検出下限・定量限界、②どのような「場」で使用可能か(適用範囲)の明確化、③観察前処理法、④含有判定の留意点を明確にして、「使えるマニュアル」をめざす。また、「誰が使うか・使えるか」の観点から、自治体職員、処理業者、ボランティア、分析技術者を対象にした内容も整理する。

石綿含有廃棄物の発生量推計について、石綿含有建材の過去の出荷量統計より、建築物の構造別建築年別石綿使用原単位を推定した。また、地域メッシュ毎の構造別建築年別ストック床面積ならびに震度分布をもとに、石綿含有建材種類別の廃棄物発生量を推定する

手法を開発した(図 3)。これらの手法を用いることで、今後の大規模災害における石綿含有廃棄物の処理計画の立案に活用することが期待される。

石綿含有成形板解体除去時の石綿飛散量について、実験室内の汚染を起こさない、密閉卓上型の破碎実験装置を開発した。破碎条件のうち、建材の幅と粉じん発生量とに正の相関を得た。また、破碎実験より得られた石綿飛散係数を用いて、建材

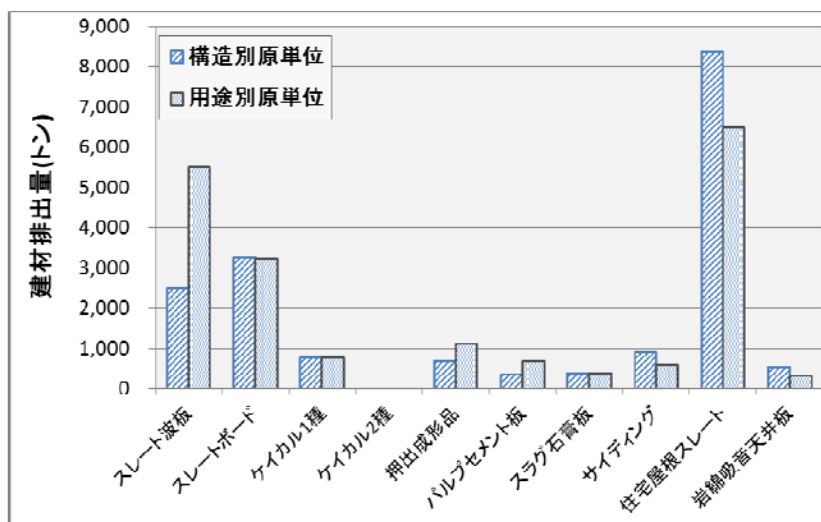


図 3 仙台市における石綿含有廃棄物発生量の推定結果

撤去作業中の石綿濃度を推定したところ、実測値と概ね整合する結果が得られた。今後のリスク評価への活用が期待される。

復興資材への石綿混入状況の評価について、災害廃棄物二次集積場において破碎選別過程での繊維飛散量について調査した。破碎選別装置近傍での総繊維濃度は 3.6~24 本/L であったが石綿繊維は不検出(3.9 本/L 未満)であった。災害廃棄物がれき(石綿含有建材)調査、解体現場や仮置場、集積場での破碎選別過程等の大気調査等の調査を行って情報集積を進めることが、将来想定される巨大地震対策立案上の基礎情報となる。

石綿含有建材が混入した土壌の適切な管理のため、石綿飛散量の把握とその制御方法について検討することを目的として、EPA Method 540/R97/028 に記載のダスト発生装置を用いて石綿含有建材とその混入土壌からの石綿繊維飛散量を測定した。長さ 5 μ m 以上の石綿繊維飛散量は石綿含有建材からは 1.2 \times 10⁶ 本/g、混入土壌からは 6.7~9.3 \times 10⁶ 本/g と見積もられた。EPA 法では 10⁻⁶ リスクと関連づけられる長さ 5 μ m 以上の石綿繊維数濃度を 3 \times 10⁷ 本/g としており、今回の結果はこれを下回った。この方法は、今後石綿含有建材混入のおそれのある処理残渣や土壌(集積場跡地)のリスク評価に活用できると考えられる。

3. 今後の検討課題

石綿含有建材の目視判定については、前述の通り建設事業者や労働者向けの教育が実施される予定であるが、教育効果の確認が必要である。

石綿含有物の迅速判定方法については、本課題で採用した偏光顕微鏡による方法は ISO で石綿含有建材の定性分析法として採用され、今後 JIS 法での採用が予定されている。一方で近赤外反射分光法等異なる原理に基づいた方法も開発されており、偏光顕微鏡法に拘

らずに迅速・簡易・確実な方法について検討する必要がある。また、比較的低濃度での信頼性について検討を進めていく。

石綿含有廃棄物の発生量推計については、建築物の構造別・建築年別ストック床面積の情報源として、固定資産課税台帳の活用が期待されるが、①非課税建物が漏れる、②個人情報保護の強化に伴い本来目的以外での利用が困難になりつつある、といった課題がある。

石綿含有成形板解体除去の石綿飛散量については、破碎実験の再現性の向上ならびに、対象とする建材の種類や破碎条件(破碎時エネルギー、湿潤状態等)を変え、それらの要因と石綿飛散量との関係を明らかにしていくことが今後の課題である。

一連の石綿飛散量の調査や実験的検討については、得られた数字と想定される健康被害との関連について、被災建築物の解体から災害廃棄物の収集運搬、仮置、二次集積場での破碎選別、復興資材としての利活用に至る各局面において石綿曝露リスク評価を実施し、最大曝露の起きる局面を明確化することが必要である。

石綿含有建材の見分け方



目次

1. この冊子の使い方	3
2. 石綿含有建材の見分け方のポイント	4
3. 主な石綿含有建材	
レベル1の石綿含有建材（吹付け材）	8
レベル2の石綿含有建材（断熱材等）	9
波板スレート	10
平板スレート	11
住宅屋根用化粧スレート	12
窯業系サイディング	13
押出成形セメント板	14
ケイ酸カルシウム板第1種	15
石膏ボード	16
ビニル床タイル	17
ビニル床シート	18
ロックウール天井吸音板	19

平成25年度 環境研究総合推進費補助金

K123108 災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関する研究

研究分担者 外山尚紀（労働科学研究所）

1. この冊子の使い方

石綿（アスベスト）はこれまでにおよそ1千万トン輸入され、その8割以上が建材に使用されました。石綿の輸入のピークは1970年代から80年代までの20年間におよび、ほとんどの石綿含有建材は建物に残されており、解体時に破碎などによって石綿の細かい粉じんが飛散し、作業する人や周辺の人々に被害をおよぼす可能性があり、法律で規制されています。石綿含有製品は、吹付け材（レベル1）、断熱材、保温材、耐火被覆板など（レベル2）、成形板等（レベル3）のように分類されます。レベル3にあたるスレート板、押出成形セメント板、窯業系サイディングのセメント系建材が石綿含有製品としては最も多く、大半を占めますが、これらは規制が弱く、飛散防止対策が十分にとられずに重機などで破碎されていることが報告されています。建材と規制について表1にまとめました。

表1：石綿含有建材の種類と分類、対策

	建材	必要な対策
レベル1	吹付け材（8頁参照）	含有有無の分析。負圧除じん装置と密閉養生。
レベル2	耐火被覆板、折板裏断熱材 煙突用断熱材、配管保温材（9頁参照）	含有有無の分析。負圧除じん装置と密閉養生。
レベル3	スレート波板、スレート平板、 押出成形板、窯業系サイディング、 けい酸カルシウム板、岩綿吸音板、床材等で レベル1、2以外全て（10-20頁参照）	含有有無の分析または分析せずに「含有あり」とみなす。散水と手ばらし（破碎せずに取り除く）。

本書では、実際に建物の解体作業に従事する皆さんが、建物の解体・改修の現場で石綿含有の可能性のある建材を取り扱うときに、石綿含有の可能性を自分である程度判断し、危険がある場合に自ら必要な防護をとることをめざして作られました。もしも現場で、レベル1、2にあたる建材が発見された場合は、正規の分析を経なければ除去などはできません。レベル3にあたる建材が発見された場合は、「含有なし」として扱うためには正規の分析を経なければなりません。また、「含有あり」として対策をとれば除去することができます。建材などの石綿含有の有無は、高倍率の顕微鏡でなければ判断できないものもありますが、セメント系の建材については、目視とルーペでの観察で含有の有無が判断できるものがほとんどです。この冊子では、現場でルーペを使って、主にセメント系建材の石綿含有の有無を判断し、積極的に対策をとることによって、作業する人と周辺での石綿を吸ってしまうことを予防することをめざします。

本書を使う利点

- ・外観から建材の種類を見分けることができる。
- ・見逃されているレベル1、2について分析し、対策を促すことができる。
- ・レベル3のうちセメント系建材などについて、含有ありの判断をして、対策をとることができる。
- ・レベル3のその他の建材について、分析またはみなし工事などの対策を促すことができる。

2. 石綿含有建材の見分け方のポイント

1)見分けられる建材

この方法で見分けられる建材は、セメント系建材である波板スレート、平板スレート、窯業系サイディング、押出成形セメント板の4種類とけい酸カルシウム板（第1種）です。これら以外の建材の石綿含有の有無は通常はルーペではわかりません。また「含有なし」の判定をすることはできません。「含有なし」とするためには正規の分析が必要です。

2)試料の採取

試料の採取の際には、対象となる建材は石綿含有を前提として、飛散防止の対策をとります。飛散防止対策は、水で湿潤化を必ず行い、必要に応じて、部分的に養生をして、周辺への飛散を防止します。区分3（RL-3またはRS-3の取替え式防じんマスク）以上の呼吸用保護具と手袋を着用します。防護を確認し、カッター、のこぎり、ペンチなどで試料の断片を取ります。必要な試料の量はわずか（1cm角程度）で十分です。

3)観察

観察にはルーペを使用します。写真1の3枚のレンズを使用した高倍率のルーペを使うと観察が容易です。採取した試料の破断面をルーペで観察します。この時に試料にルーペを近づけ、さらに眼もルーペに近づけて観察することで、視野を広く大きな画像を観ることができます。また十分な光線の下で観察することも重要で、直射日光か懐中電灯などの光を直接試料にあたるようにします。ヘッドランプ式の強力なLED電灯かライト付きルーペが適切です。



写真1



写真2

4)石綿含有ありの判断

試料の新しい破断面を観察して下記の特徴が観られる場合、石綿含有ありと判断します。

①試料の断面から白く輝く繊維の束が出ている。（クリソタイルの場合）

試料の断面から青い繊維の束が出ている。（クロシドライトの場合）

試料の断面から茶色または金色の繊維の束が出ている。（アモサイトの場合）

②繊維の束の太さ、長さ、場所が不規則に見える。

③繊維の束を釘などで触ると、曲がり、先が広がる。

（クリソタイルは顕著、クロシドライト、アモサイトは折れて細かく分離する場合もある。）

石綿以外の繊維（石綿代替繊維）を使用しているものは、一見すると石綿以外の繊維だけを使用しているように見えるものの、少量の石綿を含むものもあり、特に注意が必要です。

5-7頁に石綿含有あり、なしの代表的な建材の拡大写真を示します。これらを参考にしながら、石綿含有ありの建材を特定することができます。



写真1

写真1、2 **石綿含有あり** スレート平板

破断面からたくさんの白い繊維束が出ています。繊維束は輝くような白色で、非常に細かい繊維の集まり。触ると柔らかく柔軟性があります。これはクリソタイルの繊維束です。太さ長さが不規則な繊維束が不規則に入っている特徴があります。

写真3 **石綿含有あり** 押出成形板

写真1、2より少ないですが、クリソタイル繊維の束が観えます。



写真2



写真3



写真4

写真4 **石綿含有あり** スレート平板

板材の表面の白い筋がクリソタイルで、写真では少し浮き上がっています。

写真5 **石綿含有あり** スレート平板

青い繊維束はクロシドライトで、これもおく細かい繊維の束でクリソタイルよりも直線的です。

写真6 **石綿含有あり** けい酸カルシウム板

白いまっすぐの繊維束はアモサイトです。ごく細かい繊維の束で若干茶色か金色に観えます。



写真5

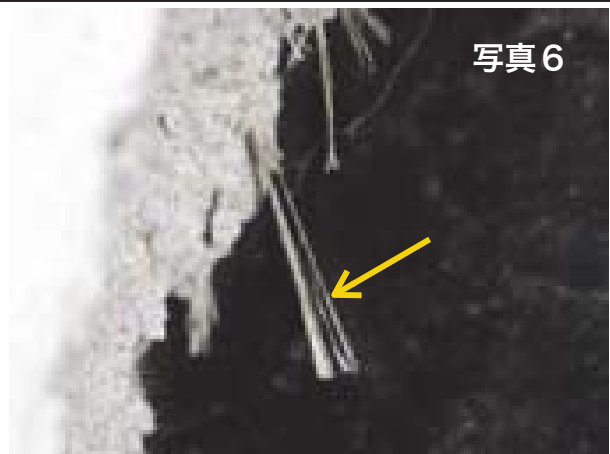


写真6



写真1

写真1 **石綿含有なし** スレート波板

石綿と比較して太い人工の有機繊維を使用しています。同じくらいの太さの単繊維が全体に均一に入っている特徴があります。

写真3 **石綿含有なし** スレート平板

繊維はあるが全体に均質で、太い短繊維。

写真4 **石綿含有なし** ケイ酸カルシウム板



写真2



写真3



写真4

写真4 **石綿含有なし** けい酸カルシウム板

有機繊維の他にまっすぐの単繊維が観られます。これはワラストナイト（矢印）という鉱物繊維で石綿ではありません。

写真5 **石綿含有なし** 屋根用化粧スレート

石綿より太い短繊維とワラストナイトが入っています。

写真6 **石綿含有なし** サイディング

木材片を固めた材料で繊維は観られません。



写真5



写真6



写真1 **石綿含有あり** スレート平板

石綿（クリソタイル:白矢）と有機繊維:黄矢を併用しているもので、判定が難しい場合があります。

写真2 **石綿含有あり** スレート波板

石綿（クリソタイル:白矢）と有機繊維:黄矢を併用しているもの。

写真3 **石綿含有あり** スレート波板

2種類の石綿（クリソタイル:青矢とクロシドライト:赤矢）と有機繊維:黒矢を使用したもの。

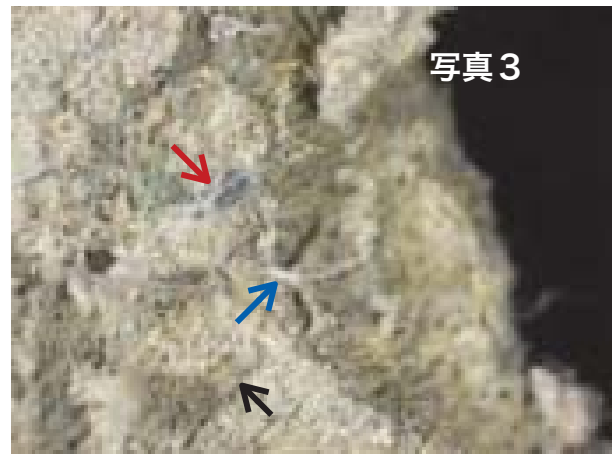


写真4 **石綿含有あり** けい酸カルシウム板

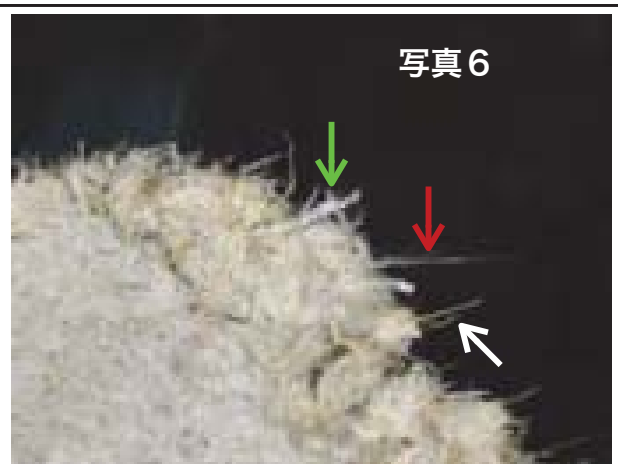
石綿(クリソタイル:矢印)と有機繊維を使用したもの。

写真5 **石綿含有あり** けい酸カルシウム板

石綿(クリソタイル:赤矢)と有機繊維:黒矢を使用したもの。

写真6 **石綿含有あり** けい酸カルシウム板

2種類の石綿（クリソタイル:緑矢とアモサイト:赤矢）と有機繊維:白矢を使用したもの。



レベル1の石綿含有建材（吹付け材）



写真1

写真1 吹付け石綿（クリソタイル）

写真2 吹付け石綿（クロシドライト）

写真3 吹付け（アモサイト）

吹付け石綿は1975年以前に建物に施工され、鉄骨造の建物の鉄骨とプレート部分に施工されていることが多いが、鉄筋コンクリート造でも壁面、天井面に施工されていることがあります。木造の建物への施工はほとんどありません。石綿以外の成分はセメントのみ。石綿含有率は通常50%以上。



写真2



写真3



写真4

写真4 吹付けロックウール（岩綿）

吹付け石綿が1975年禁止され吹付けロックウールが施工されるようになりましたが、石綿を0.1-5%含有したものが使用された時期があります。

写真5 吹付けバーミキュライト（ひる石）

写真6 パーライト吹付け

これらは全て正規の分析を要し、石綿含有ありの場合は専門業者による対策工事が必要です。



写真5



写真6

レベル2の石綿含有建材（断熱材等）

写真1



写真1 煙突用断熱材のある煙突

写真2 煙突用断熱材

煙突用断熱材は1964年から91年まで製造され、84年までの製品にはアモサイトを含有するものがある。見落とされることがあるので注意が必要。

写真3 折板裏断熱材

1958年から83年まで製造され、石綿を含有しているものは90%が石綿。青いものはクロシドライト含有。

写真2



写真3



写真4



写真4 けい酸カルシウム板（第2種）

写真5 耐火被覆板

けい酸カルシウム板（第2種）と耐火被覆板は鉄骨の周りに貼り付けるタイプの耐火材で、アモサイトを含有していることが多い。

写真6 配管保温材

配管のエルボ（曲がり）に塗り施工される保温材。
これらは全て正規の分析を要し、石綿含有ありの場合は専門業者による対策工事が必要です。

写真5



写真6



波板スレート

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>工場や倉庫の外壁と屋根材に使用されることが多い波状のカーブのある灰色の板材。2004年までのほとんど全ての製品が石綿（クリソタイル）含有で、1995年以前の製品にはアモサイト、クロシドライトを含有しているものもあります。微細で不規則的な形状の繊維の有無が石綿含有の判断のポイント。非含有製品には湾曲した単繊維の有機繊維が使用されていることが多い。</p>	

平板スレート

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>外壁、軒天や内装材など様々な場所に使用される灰色の板材。2004年までのほとんど全ての製品が石綿（クリソタイル）含有で、1995年以前の製品にはアモサイト、クロシドライトを含有しているものもあります。微細で不規則的な形状の繊維の有無が石綿含有の判断のポイント。非含有製品には湾曲した単繊維の有機繊維が使用されていることが多い。</p>	




住宅屋根用化粧スレート

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>木造住宅の屋根等に使用され、洋風瓦とも呼ばれるスレート板の一種で表面が塗装されています。2004年までの製品にクリソタイルを含有している可能性があります。微細で不規則的な形状の白い繊維の有無が石綿含有の判断のポイント。非含有製品には湾曲した単繊維の有機繊維が使用されていることが多い。</p>	







窯業系サイディング

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>住宅などの外壁に使用される厚く硬い板。セメントが主原料で強化のために石綿などの繊維が添加された。2004年までの製品にクリソタイルが含有している可能性があります。微細で不規則的な形状の白い繊維の有無が石綿含有の判断のポイント。非含有の場合は様々な繊維が使用され、写真はパルプが使用されています。</p>	

押出成形セメント板

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>住宅などの外壁に使用される厚く硬い板。セメントが主原料で強化のために石綿などの繊維が添加された。2004年までの製品にクリソタイルが含有している可能性があります。微細で不規則的な形状の白い繊維の有無が石綿含有の判断のポイントです。非含有製品には湾曲した単繊維の有機繊維が使用されていることが多い。</p>	



ケイ酸カルシウム板 第1種

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>軒天や内装の天井、壁に使用される板材でスレート板よりも軽く柔らかい。アモサイト、クリソタイトの片方または両方を含有している可能性があります。微細で不規則的な形状の繊維の有無が石綿含有の判断のポイント。非含有建材には湾曲した太い単繊維の有機繊維が使用されていることが多い。2004年の製品まで石綿含有の可能性がります。</p>	

石膏ボード

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	石膏の層の両面に補強のために紙が貼られている板材で、仕上げ材として使用される化粧石膏ボードと無地の石膏ボードがあります。石綿は化粧石膏ボードの紙の表面の層に入っていることが多く、紙のパルプの中にパルプとは異なる繊維が確認できる場合もありますが、通常はルーペと目視によって石綿繊維を確認することは難しいです。1986年までの製品に石綿含有の可能性がありま	







ビニル床タイル

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>Pタイルとも呼ばれる厚さ1mm程のプラスチック板。1986年までの製品にクリソタイルが含まれることがあります。含有している場合、石綿の繊維は短く細かく、含有の有無を目視で確認することは難しいです。接着剤に石綿を含有している場合もあります。</p>	

ビニル床シート

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>長尺シートとも呼ばれる厚さ1mm程のシート。複数の層から成り、石綿は一部の層にクリソタイルが含まれます。石綿含有の現場写真は被災地でコンクリート面に残された石綿の層。非含有ではナイロンの太い繊維が入っています。接着剤に石綿を含有している場合もあります。</p>	

ロックウール吸音天井板

	石綿含有	石綿非含有
現場		
カメラ接写		
拡大写真		
特徴	<p>オフィスなどの天井に使用されることが多い白く不規則な模様が特徴の板材で、通常は石膏ボードの下地の上に施工されます。1987年までの製品にロックウールの中にクリソタイルの短い繊維が混ざっていることがあります。目視では含有の有無の判断は困難です。</p>	

石綿含有建材の見分け方

平成25年度 環境研究総合推進費補助金

K123108 災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関する研究

研究分担者 外山尚紀（労働科学研究所）

④防災・減災を志向した分散型浄化槽システムの構築に関する研究

(独立行政法人国立環境研究所・蛭江美孝)

研究の要旨 (400 字以内)

東日本大震災における被災状況解析、液状化のモデル試験等を行い、ハード面の合理的な堅牢化として留意すべき構造・施工方法が見いだされ、耐震性評価についても基準策定の検討を進めた。また、避難所等での活用を想定した自立型浄化槽の開発を行い、コージェネレーション利用と処理水循環を想定した小型浄化槽の試験により、電力需要を満足しつつ、廃熱利用により処理性能の向上や固形廃棄物の乾燥が可能であること、大腸菌数を含め、排水再利用の水質基準をクリアできること等を確認した。

ソフト面での効率的なシステム構築については、し尿・汚泥の輸送シミュレーションを構築した。これは防災計画の策定等において有用であり、岩手県の沿岸部被災ケースでは、通常時の約3倍の輸送能力が必要なることを明らかとした。また、震災前後の人口動態等のデータ解析により、災害対応という観点を取り入れた污水处理施設整備の評価について検討を進めた。

1. 研究の目的

災害時におけるし尿等液状廃棄物の適正処理は、公衆衛生の確保の観点から極めて重要な課題であるが、我が国の生活排水処理施設として大きな割合を占める下水道は大規模集中型の社会インフラであるため、処理場の他、パイプライン、ポンプ場にも被災が認められ、この度の東日本大震災においては、被災地域だけでなく、非被災地域を含めた多く地域で長期的に多大な影響を及ぼすこととなった。浄化槽については、ほとんどの施設で使用可能であり、また配管のズレやブロワの流出等が見られた施設についても、応急修理で対応可能という状況であった。無論、津波や液状化による槽本体の流出・浮上により使用不可能となった施設も数%存在した（環境省：内陸部で進捗6弱以上の地域、津波被害地域における約1,000基の調査結果）が、分散型システムである浄化槽においてはその影響は局所的・限定的であり、かつ、復旧にかかる工期が短く、施設が戸別であるため、迅速に日常生活を取り戻すことが可能であった。

このように浄化槽は災害に強いという調査結果はあるものの、その耐震構造や耐震施工方法に関する基準が無い場合、国内外でその効果を明示することは困難である。また、被災時の公衆衛生の確保に対する効果についても検証がなされているものではない。さらに、被災時に使用される避難所等におけるトイレ事情は厳しく、QOL (Quality of Life) の観点から、災害時にも水洗トイレを使用可能とする自立型浄化槽の開発・適用が期待される。

さらに、生活環境の迅速な復旧を担保するうえでは、関連施設の被災・復旧状況等の情

報集約・伝達による汚泥、し尿等、廃棄物の効率的な収集・運搬体制の構築が極めて重要であり、浄化槽台帳等と連動した情報基盤整備の観点での対応は重要な課題である。このように、将来の大規模災害への備えとして今回の震災を教訓としたハード・ソフト両面からの防災・減災対策・迅速な復興支援が緊急の課題となっている。

そこで本研究では、東日本大震災において顕在化した分散型システムの重要性を鑑み、災害時の公衆衛生の確保を目指した災害対応浄化槽の技術基準の確立や避難所仕様の自立型浄化槽の開発、汚泥・し尿の輸送計画などの支援システムの基盤を確立し、その防災・減災効果を評価することを目的として研究を実施した。具体的には、東日本大震災での被害・復旧状況を踏まえ、従来基準の無かった浄化槽の耐震評価基準の策定を目指すとともに、災害時においても水洗トイレの使用を可能とする避難所仕様の自立型浄化槽システムの開発・設計を行った。さらに、し尿・汚泥輸送の最適化アルゴリズムの開発により、災害時の効率的な汚泥・し尿収集・運搬計画を例示し、災害対応の体制および平時の輸送効率化のための基盤を構築した。これらを踏まえ、災害時の復旧・復興を考慮した社会インフラとしての汚水処理施設整備効果を検討した。

2. 研究によって得られた成果

(1) 東日本大震災の災害廃棄物処理に活用された内容

現地調査を実施するに当たり、被災 3 県の浄化槽法定検査機関を中心とした関連団体に協力を得て、各地の浄化槽の被害状況の詳細情報、被災浄化槽の補修状況・方法に関する調査を行った。その結果として、被災 3 県における関連情報の共有を促進することとなり、浄化槽被災の地域特性や応急対応の状況、応急仮設住宅における浄化槽の設置状況等を含めた意見交換がなされた。これにより、被災浄化槽の適切な補修の促進、応急仮設住宅に設置された浄化槽の冬季の低温対策等に活用された。

(2) 今後活用が期待される内容

① 災害対応型浄化槽の構造・施工方法および耐震性評価

浄化槽の構造・施工方法と東日本大震災における被災状況の解析の結果、浄化槽の構造によって被害特性が異なることが明らかとなった（図 1）。

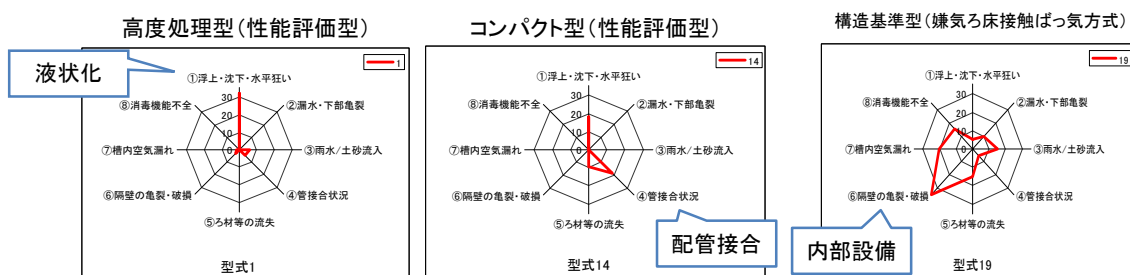


図 1 浄化槽の構造別被害特性

液状化のモデル試験等の結果、浄化槽の浮上防止の観点から留意すべき構造・施工方法が見いだされた。すなわち、液状化による浄化槽の浮上はその対応に多くの費用と時間を要するが、浄化槽のリブ（フランジ）や底部構造を工夫することで、浮上防止効果を向上できる可能性を見いだした（図2）。また、施工時には空隙率を指標として締固めを行いながら埋め戻すことが効果的であること、水締めと突き固めにより強い振幅に対しても浮上し難くなることなどを明らかにした（表1）。さらに、液状化対策として砕石による埋め戻しを検討し、FRP製の浄化槽であっても衝撃吸収シートを用いることにより、荷重負荷の緩和が可能であることを見いだした。

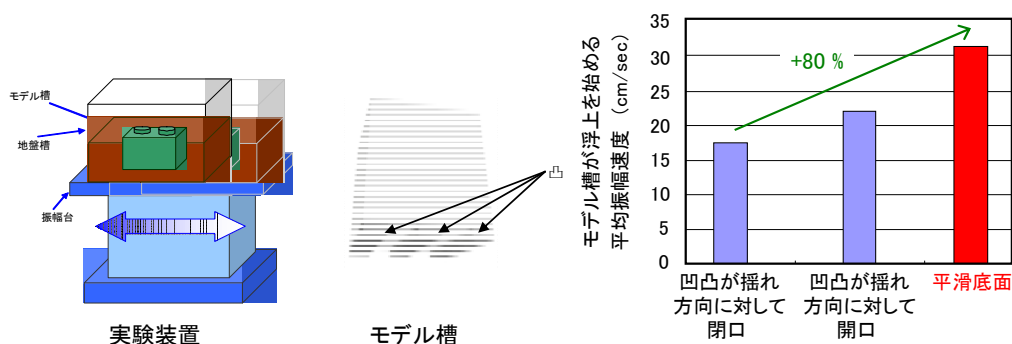


図2 液状化のモデル実験による底部構造の耐震性評価

表1 埋め戻し方法の違いと浮上時の振動サイクル・平均振幅速度

Run	埋め戻し方法	サイクル (回/秒)	平均振幅速度 (cm/秒)	浮上時の状況
1	水締め・突き固め無し	2.50	20.0	躯体が僅かに揺れ、浮上も僅かに認められる。
2	砂を入れた後に水締め・突き固め	3.57	28.6	躯体の水平移動が認められ、やがて揺れ始め、かなりゆっくり浮上。
3	砂入れ 3cm 毎に水締め・突き固め	3.95	31.6	地盤 1cm 程度低下、ゆっくり浮上。

一方、浄化槽本体と管きよの接続部の破損は軽微な補修で対応可能であるが、未処理の汚水が漏出することとなり、衛生環境保全の観点から大きな問題であり、トイレが使用できない期間をできるだけ短くすることが肝要である。そこで、現在我が国で製造されている工事中部材の状況等を調査し、地震に伴う浄化槽本体もしくは管きよの変位が生じた際に破損しづらい、もしくは復旧（補修）が容易な設置方法について検討し、排水ヘッダーおよび耐圧フレキシ管を用いた工事方法の提案を行った。

これらの浄化槽の堅牢化方法の検討を進めると同時に、耐震性評価についても基準策定の検討を進めた。浄化槽の耐震性評価については、(一財)日本建築センターにおいて実施されている FRP 評定 (FRP 構造に係る技術審査) において評価することを想定して基準作りを進めているところである。

② 指定避難所等での活用を想定した自立型浄化槽システムの構築

東日本大震災においては、避難所におけるトイレの継続的な使用の可否が課題となったことを受け、水や電力について大規模インフラから独立し、避難所等において活用されることを想定した自立型浄化槽の開発を行った。小型浄化槽によるモデル試験により、電力需要を満足しつつ、廃熱利用により処理性能の向上や固形廃棄物の乾燥が可能であること、大腸菌数を含め、排水再利用の水質基準をクリアできること等を確認した。

具体的には、図 3 に示す通り、コージェネレーションと処理水循環を組み込んだシステムを設計し、主要な構成設備についてモデル試験により評価した。

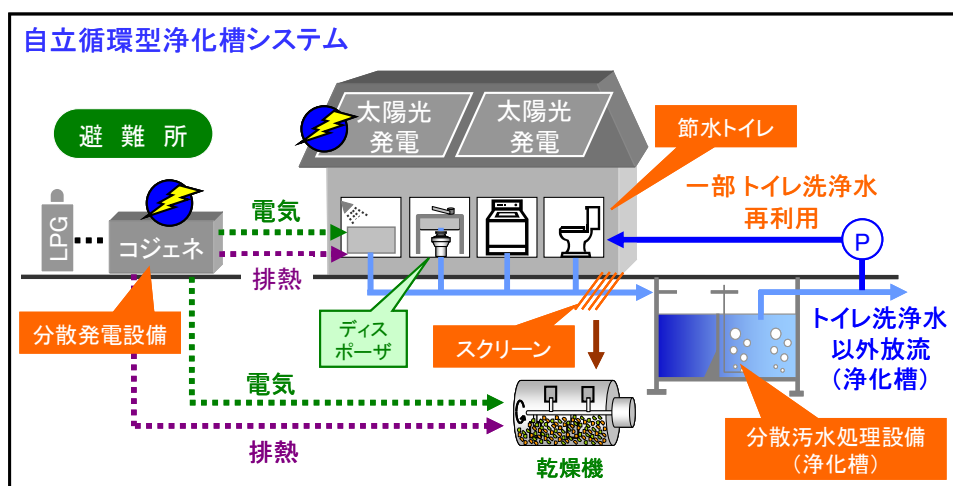


図 3 本研究で設定した避難所での利用を想定した自立循環型浄化槽システムのモデル

処理水をトイレ洗浄水として再利用するための水質基準値は建築物衛生法施行規則に示されており、災害・緊急時においても同レベルで適用すべきかどうかは議論の余地があるが、これを基準とした場合、特に大腸菌が検出されないという基準が重要な因子となる。通常、排水処理における衛生指標としては、大腸菌ではなく大腸菌群で評価がなされていること。そのため、既設浄化槽の処理水に含まれる大腸菌の挙動について調査した結果、大腸菌群と比較して少数ではあるが大腸菌も検出された。そこで本研究では、浄化槽に膜分離ユニットを導入し、大腸菌ゼロを達成することとした。また、排水の再利用時には臭気や外観も重要であることから、活性炭ユニットも付加したプロセスとした。実生活排水および模擬生ごみを用いた試験を実施した結果、本プロセスでは、排水再利用のための水質基準に対しても、流入開始直後より、確保できていることが確認された (表 1)。

・膜分離ユニット出口水

経過日数(日)	1	7	14	28	56	84
外観						
臭気	無	無	無	無	無	無
色度(度)Abs.390	11	17	15	13	13	15
濁度(度)Abs.660	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
大腸菌(cfu/mL) ^{※1}	0	0	0	0	0	0
大腸菌(/100mL) ^{※2}	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

※1 酵素基質選択培地(ECC) ※2 コリラート

・活性炭ユニット出口水

経過日数(日)	1	7	14	28	56	84
外観						
臭気	無	無	無	無	無	無
色度(度)Abs.390	0	0	4	5	7	6
濁度(度)Abs.660	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満	5未満
大腸菌(cfu/mL) ^{※1}	0	0	0	0	0	0
大腸菌(/100mL) ^{※2}	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	H.D.

さらに、災害時にごみ収集・処理システムの不全に陥った場合に生ごみ等の腐敗性有機物を長期間、衛生的に保管することを想定し、浄化槽において処理することを検討した。浄化槽の前段にディスポーザおよびスクリーン(1.0 mm)を設置することにより、固形物を回収・乾燥し、重量比で80%、体積比で74%の生ごみを削減でき、生ごみの長期衛生的な保管が可能であることを確認できた。ここで、乾燥には多量のエネルギーが必要となるが、本システムでは、後述の通り、コージェネレーションシステムからの廃熱を熱エネルギー源として利用することを想定している。

図4は、本研究で構築したモデルの電力・熱量バランスを示している。コージェネレーションシステムの活用により、電気エネルギーと等量の熱エネルギーが発生すると仮定すると、浄化槽を運転する消費電力により、生ごみ乾燥の熱エネルギーは十分に賄えると考えられる。また、余剰熱については、浄化槽内の加温に利用することにより、生物活性が15~17%増加することも確認できており、その効果を精査した上で、施設内での電力需要を踏まえたシステム設計が可能になる。

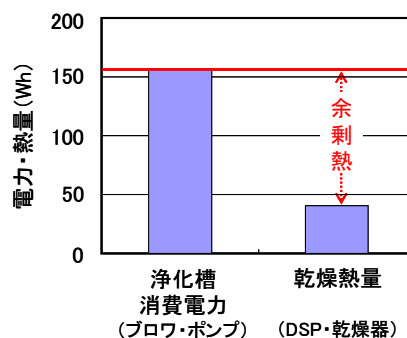


図4 自立循環型浄化槽システムモデルの電力・熱量バランス

なお、避難所においては、風呂、洗濯、炊事が限られているため、相対的にトイレ由来

の水量・負荷が割合が高くなる。排泄回数に通常トイレと節水トイレの洗浄水量を乗じた水量の比較をしたところ、節水トイレの導入により、約 43 % の節水効果が期待でき、水使用量削減と排水処理量削減の両面で有効であると考えられた。

③ 復旧支援システムの構築

ソフト面では、岩手県、宮城県の市町村および県内・隣接県外のし尿処理施設をノードとした道路交通ネットワークを構築し、し尿・汚泥の輸送シミュレーションを行った。例えば、岩手県は 33 市町村で構成され、13 箇所のし尿処理施設が稼働しており、県外との協力処理を行う際には 9 箇所が候補となる(図 5)。

そこで、輸送距離と重量を考慮した最適化シミュレーションを行った結果、表 3 に示す通り、沿岸部の被災を想定したケースでは、県外の隣接し尿処理施設での受入を含めたとしても、少なくとも通常時の約 3 倍のし尿・汚泥の輸送能力が必要なることが明らかとなった。このようなシミュレーションは、各市町村および県としての防災計画の策定等において、考慮すべき重要な知的基盤になり得る。

さらに、被災時の有用性の向上および平常時の効率的な運用を図る意味では、し尿・浄化槽のみならず、上下水道、ガス、電気等の社会インフラについても同様のシステム基盤を共有していくことが重要であると考えられた。

震災後の人口動態および汚水処理施設整備の観点から被災 3 県の施設整備状況について調査・検討した結果、震災後、汚水処理人口が減少している 42 市町村の中でも汚水処理施設未整備区域より整備区域の方が住民基本台帳人口の減少数が多い 12 市町村では、下水道施設や

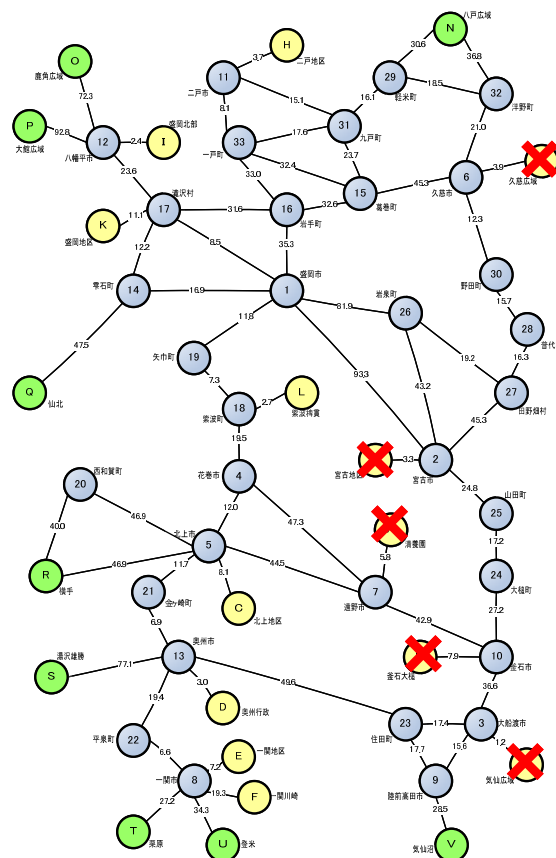


図 5 岩手県におけるし尿・汚泥輸送のネットワーク図

表 3 岩手県におけるし尿・汚泥輸送のシミュレーション結果

シミュレーションケース		ton-km	
Case1	現状	21,400	
Case2	現状最適化	21,116	
Case3	海岸域被害	県内配分	59,266
Case4-1		県外均等	69,485
Case4-2		県外フリー	52,775

農業集落排水施設等の集合処理施設整備区域内における人口減少傾向に歯止めがかかるか、増加に転じなければ、使用料収入が大幅に減少し、市町村財政に及ぼす下水道債償還の影響度合いがより大きくなることが懸念された。災害対応という観点を取り入れた汚水処理施設整備の評価については、被災時のトイレ使用、病原性微生物、環境負荷、事業性、将来の被災時の復旧コスト・速度等の評価指標を議論・整理した。衛生環境・環境負荷については、災害時の停電による浄化槽の処理性能に関する調査を行い、ブロワ停止が2ヶ月程度継続した状況で使用を続けた場合、停電復旧後（ブロワ再稼働後）、2～3週間程度で機能回復できることが確認できた。

3. 今後の検討課題

災害対応型浄化槽の構造・施工・補修方法については、本研究で得られた基盤的知見を基に実大試験を行うことで実用化を推進可能であり、環境省における「災害時の浄化槽被害等対策マニュアル」への追補等の貢献が期待できる。但し、処理機能や製造・運搬等とのバランスも必要であることから、メーカーを含めた研究開発体制への研究支援が重要である。また、耐震性評価については、(一財)日本建築センターの実施しているFRP評定（FRP構造に係る技術審査）の一環として位置づけて実施していく見通しがあり、国内外で耐震構造や耐震施工方法、災害時の公衆衛生確保の効果を明示することとなり、国際基準化も視野に入れた浄化槽の海外展開への波及効果が期待される。

避難所仕様の自立型浄化槽については、設計したシステムの実証的試験が必要で、被災時における避難所の急激な使用人員の増加、ストックマネジメントの確立が重要となる。今後、避難所運営の様々なシナリオについて実験的に検討し、評価する必要があるとともに、災害対応としての費用支援が期待される。

支援システムについては、浄化槽台帳の整備事業や災害時の協力協定等と併せて実用化に向けた関係者の議論が肝要である。すなわち、平常時より環境省のGIS台帳整備事業と連携することで、浄化槽行政・維持管理等の効率化が図られるとともに、浄化槽、汲み取り便槽等の関連施設の被災・復旧状況等の情報集約・伝達システムの構築に資することとなる。これは、復興計画における地域バイオマスの利活用等においても有用であり、さらに、上下水道や電力・ガス供給、道路交通網の管理等とも連携したシステムとすることで、社会インフラの統合的・効率的な運用が期待できる。これらを踏まえ、災害対応・復旧を踏まえた汚水処理施設整備のあり方を提示していくことが重要と考えられる。

⑤東日本大震災による漂流ごみの移動経路把握による二次災害防止に関する研究

(鳥取環境大学環境学部環境学科 松村 治夫)

研究の要旨 (400 字以内)

東日本大震災に起因する津波で発生した漂流物のうち、沿岸域に漂着したものは、港湾を塞いで船舶の航行に支障を及ぼすとともに、沿岸地域の産業活動や生活環境に大きな影響を引き起こした。そして、その後も大量の漂流物が洋上を移動していることから、その移動経路次第では新たな二次災害が発生する可能性があった。この問題に対処して地域住民への被害を最小限に止めるために以下の研究を実施した。

- 1) 東日本大震災によって発生した漂流物の移動経路を、東北沖の 3 か所から計 4 回にわたって発信機付き模擬ごみを用いて追跡して、その経路や漂着場所等を確認した。
- 2) 今回の震災で発生した漂流物が漂着した場所の現地調査を実施して、その被害状況や漂着物の性状等について把握した。
- 3) 本研究によって得られた成果について、国内および海外の関係者との情報交換を行って、情報の共有を図るとともに、漂流物に起因する今後生じうる課題の把握に努めた。

1. 研究の目的

東日本大震災とその津波で発生した漂流物のうち、沿岸域に漂着したものは、港湾を塞いで船舶の航行に支障を及ぼすとともに、沿岸地域の産業活動や生活環境に大きな影響を引き起こしている。


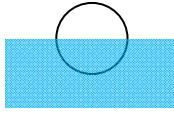
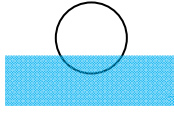
本研究では、東日本大震災の津波によって被災地から発生した大量の漂流物の移動経路を追跡して、その漂着に至るまでの経路や漂着場所等を把握するとともに、どのような流出物が漂着して、漂着場所でどのような被害が起こりうるかについて、既に漂流物が漂着した場所の現地調査を通じて把握するとともに、これら情報を活用するために国内外の関係機関等への情報発信を進めて、将来起こりうる可能性のある二次災害の防止対策に貢献することを目的とする。

2. 研究によって得られた成果

(1) 東日本大震災の災害廃棄物処理に活用された内容

人工衛星を通して位置情報を送信する機能を備えた模擬ごみを、被災地周辺から 4 回放流した。全 4 回の放流実験で用いた模擬ごみの概要を表 1 に示す。

表 1 放流した模擬ごみの種類と条件

模擬ごみの種類	海面下漂流物	標準漂流物	海面上漂流物
模擬ごみの沈下率 (海面下の体積割合)	約 80%	約 50%	約 10%
模擬ごみの沈下のイメージ			
想定している実際の漂流物	流木や海水を含んだ木材など	冷蔵庫、タイヤ、コンテナなど	浮遊船舶やボール
受ける影響	海流の影響が強い	海流と偏西風の両方	偏西風の影響が強い
放流時期：第 1 回 第 2 回 第 3 回 第 4 回	2013 年 1 月	2011 年 6 月 2011 年 10 月 2012 年 1 月 2013 年 1 月	2013 年 1 月
放流場所 (4 回とも共通)	① 岩手県宮古沖 ② 宮城県気仙沼沖 ③ 福島県相馬沖	左に同じ	左に同じ

被災地周辺の 3 か所から 4 回にわたって計 18 個のアルゴス発信機を備えた模擬ごみを放流した結果、以下のことが判明した。

1) 放流した 18 個のうちの 2 個が国内に、1 個が米国西海岸に漂着した。国内に漂着したのは、福島県相馬沖から放流されたもので、第 1 回放流では約 40 km 北方の宮城県名取市、第 2 回放流では約 200 km 南方の茨城県神栖市に漂着しており、震災起因漂流物による国内への二次災害の発生がその移動経路も含めて判明した。また、第 1 回放流で岩手県宮古沖から移動した模擬ごみ (図 1 参照) は北海道に接近し、そのまま漂着する可能性の高い経路を辿ったが、その後、沿岸部を旋回して東方に進んで米国に向かい、電池寿命の制約により 8 か月後に通信途絶となって後半の移動経路は不明となったが、1 年 9 か月後に米国オレゴン州 Arch Cape の海岸に漂着 (図 2 参照) したことが判明した。なお、北海道沿岸での現地調査の結果からも、この移動経路が裏付けられた。

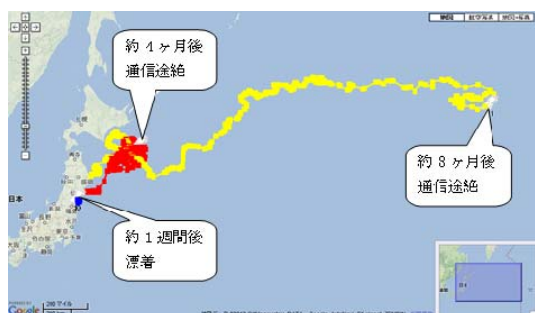


図 1 第 1 回放流の模擬ごみの位置情報

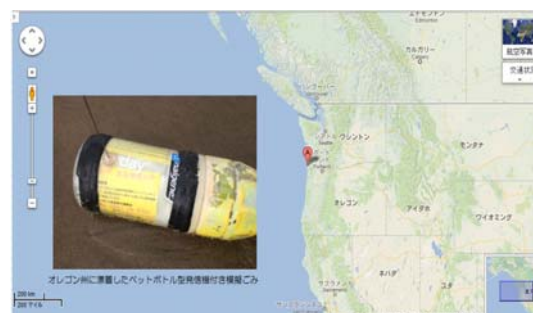


図 2 米国オレゴン州に漂着した模擬ごみ

2) 各々の放流を通じて、小海流渦に巻き込まれてその中に留まる漂流物が存在することも確認された。この小海流渦は消失したり移動することもあるが、漂流物が長期間滞留するものもあり、太平洋ごみパッチ (Great Pacific Garbage Patch) に流れ着いたことが判明した。太平洋ごみパッチは、日本近海にある西部パッチと、米国のハワイ州とカリフォルニア州の間にある東部パッチの 2 つが指摘されており、洋上の漂流物の 90%以上がこのパッチに吸収されると推定されている (図 3 参照)。第 2 回宮古沖放流 (図 4 参照) と第 3 回相馬沖放流の 2 個の模擬ごみが西部パッチに留まり、第 2 回気仙沼放流の模擬ごみ (図 5 参照) は、2013 年末まではサンフランシスコに向かっていたがその後旋回しており、東部パッチへ移動するものと見られる。

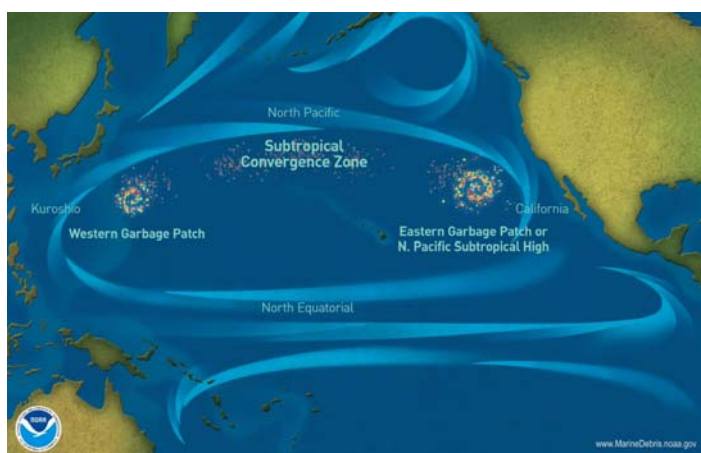


図 3 太平洋ごみパッチの概念図 (出典：米国海洋大気庁)



図 4 第 2 回宮古沖放流の模擬ごみの移動経路 (西部パッチを周回中)



図 5 第 2 回気仙沼沖放流の模擬ごみの移動経路 (東部パッチに移動中)

3) 今回の震災で発生した漂流物が漂着した場所の現地調査を実施して、その被害状況や漂着物の性状等について把握した。震災起因漂流物の性状は、通常の漂着ごみのものとは大きく異なっており、以下のものが混在するという特徴がある。

- ① 鋭利物（釘、木ねじ等）の付いた木材や、加工跡のある木材、ロープ等が巻かれた木材、外装の付着した建材など。
- ② 巨大な力で破損した堅牢な物（例：厚手の FRP 製漁業用ブイ等）。
- ③ 住宅内に収納されている物品の中で、数量の多いもの。衣類、靴、スニーカー、鞆、ハンドバッグなどの事例あり。とくに、新品の物や痛んでいない物、布団・座布団など、通常、廃棄物としては捨てられないものが散見。
- ④ 冷蔵庫などの電気製品で、製造年度が新しいもの。
- ⑤ 有価物の付着したもの（アルミホイール付きのタイヤなど）
- ⑥ 排出者が比較的容易に特定できるもの（船舶など）。

なお、これらの震災起因漂流物の中には、被災者にとって貴重な物品もあることに留意する必要がある。



割れた FRP ブイ



屋根用スレート材



加工跡のある木材



巨大な力で折れた円柱



底の新しい長靴



多数の靴の出現



外壁の付いた木材



大きく凹んだポリタンク



船名の入った FRP 船

図 6 通常の漂着ごみには見られない震災起因漂流物の事例

4) 震災起因の漂流物は津波の巨大なエネルギーによって引き起こされることから、日常的に発生している海洋漂流物と違った、様々な性状のものが海洋に流出することになる。家屋や車などが漂流するのはその事例であり、それによって引き起こされる二次災害の主な内容とそれに関連する情報を表 2 に示す。

表 2 震災起因漂流物によって生じる二次災害と関連情報

二次災害の内容	ごみの状態	被害者	必要な情報
海岸漂着による景観劣化や観光施設等への影響	漂着ごみ	国内外の漂着先の関係者	漂着物の量や内容、処理方法、経費など
海洋生態系への影響	漂流ごみ 海底沈積物	海洋生物 水産食品の関係者	漂流物の種類、量による被害の情報など
漁場環境の破壊による水産資源の減少	漂流ごみ 海底沈積物	漁業者	具体的な被害状況
船舶航行への支障	漂流ごみ	船舶業者	漂流ごみの位置
港湾の閉鎖に伴う活動機能の損失	海底沈積物	港湾関係者	海底沈積物の情報

(2) 今後活用が期待される内容

南海沖トラフ大地震を想定した津波漂流物の移動経路調査を 2013 年 9 月末に実施した。太平洋沿岸の 4 か所からアルゴス送信機各 3 台、計 12 台を放流して実施した結果を図 7 に示す。

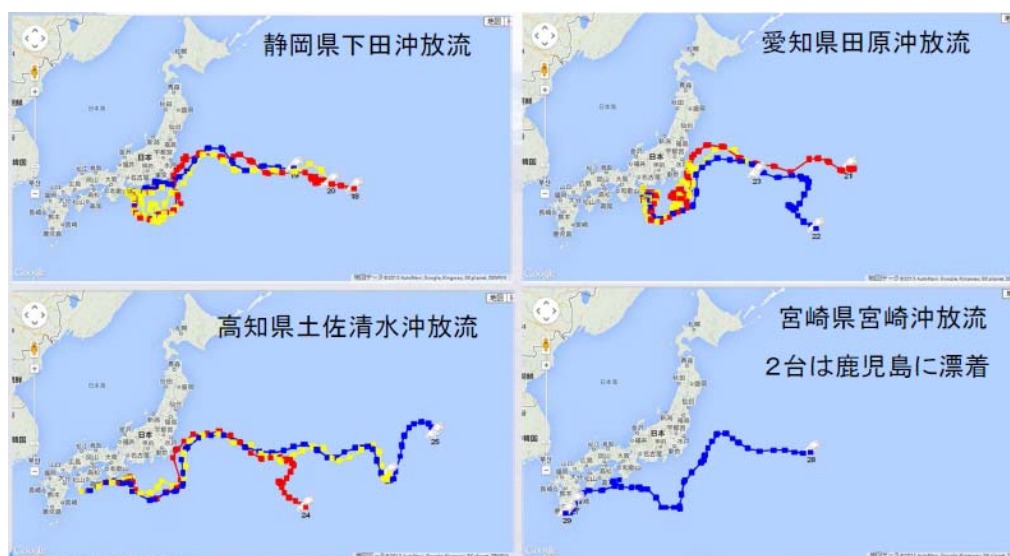


図 7 南海沖トラフ大地震を想定した津波漂流物の移動経路調査 (2013 年 9 月末放流)

その放流結果は、宮崎県宮崎沖で放流した 3 台の内の 2 台が鹿児島県内の沿岸に漂着したが、それ以外は全て黒潮の流れに乗って、伊豆七島を横切って、太平洋を東に向かうことが分かった。本実験の結果からは、当初想定していた日本の沿岸に多量に漂着するのと

は異なった結果が得られている。このことは、もし大地震が起きて津波起因の漂流物が流出した場合は、沿岸部に漂着するものよりも外洋への漂流物が多くなる可能性のあることを示しているので、今後の更なるデータの収集を検討して行きたい。

3. 今後の検討課題

発信機付き模擬ごみの移動経路の実データは、シミュレーションの精度向上に繋がるものと考えられるが、実データ調査機関にて、シミュレーションも実施することは経費的にも技術的にも限界がある。シミュレーションを行う機関との役割分担、費用分担など協業のあり方が課題となる。また、本研究によって得られた成果については、これまでに本学で開催した国内シンポジウムや国際シンポジウムを通じて国内および海外の関係者との情報交換を行って、情報の共有を図るとともに、漂流物に起因する今後生じうる課題の把握に努めてきた。さらに昨年 10 月にハワイで開催された国際会議での協議結果を通じて、オレゴン州立大学や米国海洋大気庁の関係者などの米国側ネットワークへの情報提供を現在進めているが、引き続き継続できるかどうかの見通しは、経費面の制約もあって、現時点では難しい状況にある。

⑥放射能汚染廃棄物処理施設の長期管理手法に関する研究 (ダイオキシン類及び重金属類の管理の観点から)

((独) 国立環境研究所・大迫政浩)

研究の要旨 (400 字以内)

災害廃棄物の処理が行われていた複数の仮設焼却炉について、放射性セシウム (Cs) と同時に測定した炉内の耐火物及び付着物中のダイオキシン類や重金属類 (以後、有害物質) の測定結果について考察し、維持管理や解体撤去時の管理上の留意点について整理し、指針反映のための基礎資料を提供した。

すなわち、可燃系の災害廃棄物には、焼却処理時にダイオキシン類生成ポテンシャルと高める塩素系プラスチックの混入も多く、また廃漁網と同時に混入する鉛の混入が問題になる可能性があった。施設調査においても、耐火物や付着物にこれら有害物質の蓄積状況が見られた。また、挙動の把握を補完するシミュレーションモデルを開発し、特に鉛に関するシミュレーションモデルを作成し、鉛挙動を予測した。以上から、点検補修及び解体撤去の作業時の暴露防止や汚染拡大防止において留意すべき事項が明らかとなった。

1. 研究の目的

放射性物質により汚染された廃棄物の焼却施設における放射性 Cs の長期的蓄積挙動を把握、解明し、作業者の被ばく防止及び周辺環境への汚染拡大防止の観点から長期的な維持管理及び解体撤去手法を提示することを目的とする。

ただし、災害廃棄物対策指針 (以後、指針) への反映という観点からは、放射能汚染廃棄物の処理は対象外であり、本報告においては、本研究において調査対象施設とした施設のうち、災害廃棄物の処理が行われていた仮設焼却炉について、放射性セシウム (Cs) と同時に測定した炉内の耐火物及び付着物中のダイオキシン類や重金属類の測定結果について考察し、維持管理や解体撤去時の管理上の留意点について整理し、指針反映のための基礎資料を提供する。

2. 研究によって得られた成果

(1) 東日本大震災の災害廃棄物処理における現状調査

①ダイオキシン類及び重金属類の観点からみた災害廃棄物の性状

災害廃棄物の焼却処理において、ダイオキシン類生成は燃焼や排ガス冷却の条件以外に、処理対象の災害廃棄物の性状、すなわち、塩素含有プラスチック等の混入状況などに影響されると考えられる。また、木造家屋の基礎部分の CCA 木材に防腐剤として使われている可能性がある Cd、Cr、As や、漁網の重りに使われている Pb など、可燃物の中に混入する可能性がある。



(a)選別可燃物（木屑主体） (b)事前選別された廃プラ (c)スタイロフォーム及び硬質ウレタン

図1 可燃系の災害廃棄物の概観

表1 可燃系の災害廃棄物の性状

項目	単位	選別可燃物	事前選別廃プラ	スタイロフォーム・ウレタン
水分	%	50.9	3.0	2.8
灰分	%	11.8	16.3	5.4
可燃分	%	37.2	80.7	91.8
高位発熱量	MJ/kg	7.2	25.5	30.0
全塩素	%	0.06	3.8	0.13

図1に、岩手県の二次仮置き場で採取した可燃系の災害廃棄物の概観と性状に関して測定した結果を示す。木屑主体の選別可燃物は全塩素濃度は低いが、事前に選別された廃プラスチックは相当程度高く、塩化ビニル等の塩素含有プラスチックの混入度合いが高いことが伺える。

②仮設焼却炉内での調査

災害廃棄物の仮設焼却炉内におけるダイオキシン類及び重金属類の存在状況を把握するため、宮城県及び福島県内の3施設において、点検補修又は解体時に、炉内から後段の排ガス処理プロセスにわたる広範な範囲で付着物を採取するとともに、耐火物を採取した。A施設の採取地点について図2に例示した。

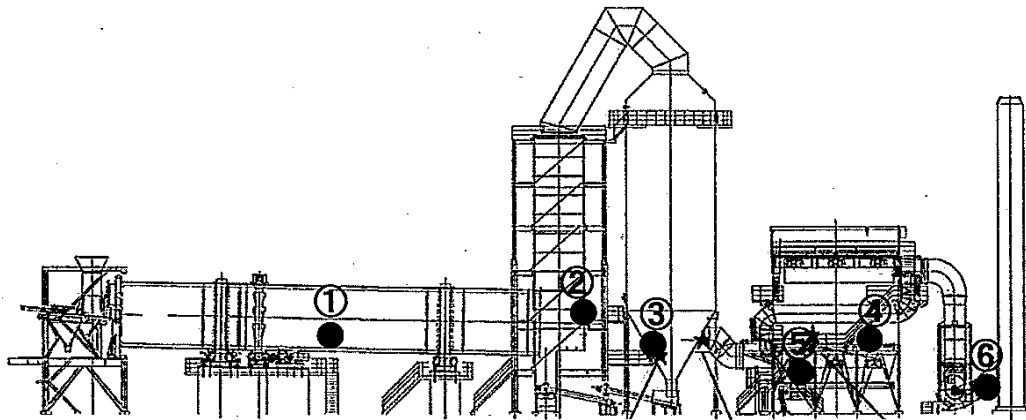


図2 災害廃棄物の仮設焼却炉（ロータリーキルン型）における試料採取点

ダイオキシン類及び重金属類の濃度分布を把握し、耐火物については、深さ方向に濃度分布を把握した。すなわち、図3のように耐火物を深さ方向に切断し、各切断層についてダイオキシン類及び重金属類を測定した。また、耐火物については、廃棄時の環境影響可能性を把握するために、溶出試験も実施した。重金属類を測定する際には、酸分解およびアルカリ融解後、原子吸光および ICP-MS により測定を行った。

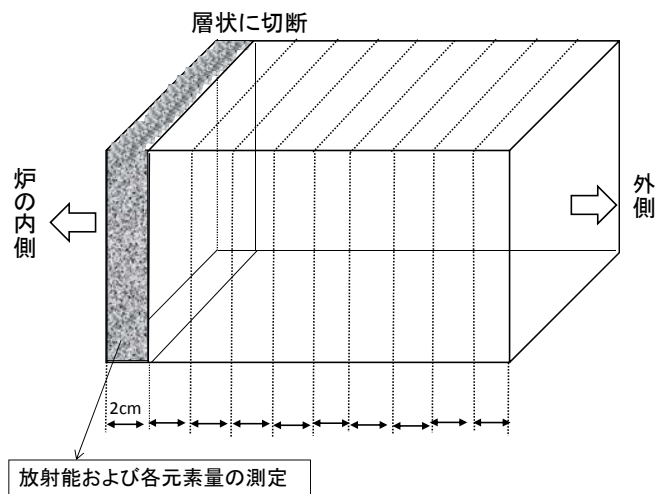


図3 耐火物の前処理方法

耐火物中のダイオキシン類及び重金属類については、深さ方向に浸透していることが認められた。一定の蓄積が考えられる。付着物中の濃度については、排ガスの流れに従って、後段にいくほど濃度は増加した。揮発していたダイオキシン類及び重金属類が、冷却されるに従い凝縮し濃縮されていくものと考えられた。ただし、ダイオキシン類は 200～300℃付近でデノボ合成されることから、詳細な傾向についてはデータの蓄積によって検討していく必要がある。

以上から、塩素系プラスチックを多く含む可燃物の処理や、仮に漁網などの鉛の多量に

含有する廃棄物が混入した場合などは、焼却残渣の高濃度化、耐火物や炉内付着物への蓄積が生じる可能性が高い。

また、耐火物の溶出試験を行った結果（表1）では、鉛の溶出が認められた。pH等の影響も考えられるが、含有濃度自体の高濃度化も影響しているものと考えられる。

表1 耐火物の溶出試験結果（焼却施設）

焼却施設	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb
試料番号	濃度[mg/L]	濃度[mg/L]	濃度[mg/L]	濃度[mg/L]	濃度[mg/L]
1	1.31	0.01	0.11	0.66	0.19
2	13.67	0.01	10.69	9.87	0.89
3	17.34	0.00	37.06	5.20	0.93
4	1.09	0.04	1.15	1.46	0.32
5	5.61	0.00	50.26	7.99	0.93
6	4.34	0.00	24.21	2.62	0.98
7	4.20	0.00	68.84	4.75	1.94
8	6.79	0.01	262.20	30.49	6.32
9	3.83	0.30	151.70	17.11	3.98
10	12.51	0.03	15.21	14.00	0.51
11	67.76	0.01	14.79	3.64	1.87
12	2.34	0.00	55.13	2.34	2.33
13	1.55	0.00	5.42	2.52	2.79
14	0.68	55.20	0.55	0.16	0.16
溶融施設	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb
試料番号	濃度[mg/L]	濃度[mg/L]	濃度[mg/L]	濃度[mg/L]	濃度[mg/L]
	0.03	1118.00	0.05	0.00	0.11
1	0.97	43.01	0.86	0.05	0.17
2	0.00	23.08	0.04	0.00	0.18
3	0.23	23.43	0.30	0.52	0.19
4	0.23	41.24	0.30	0.53	0.16
5	0.11	2.88	0.11	0.56	0.16
6	0.00	0.25	0.02	0.02	0.18
7	0.00	1.59	0.03	0.00	0.20
8	0.12	0.79	0.08	2.67	0.21
9	0.00	15.17	0.00	0.00	0.17

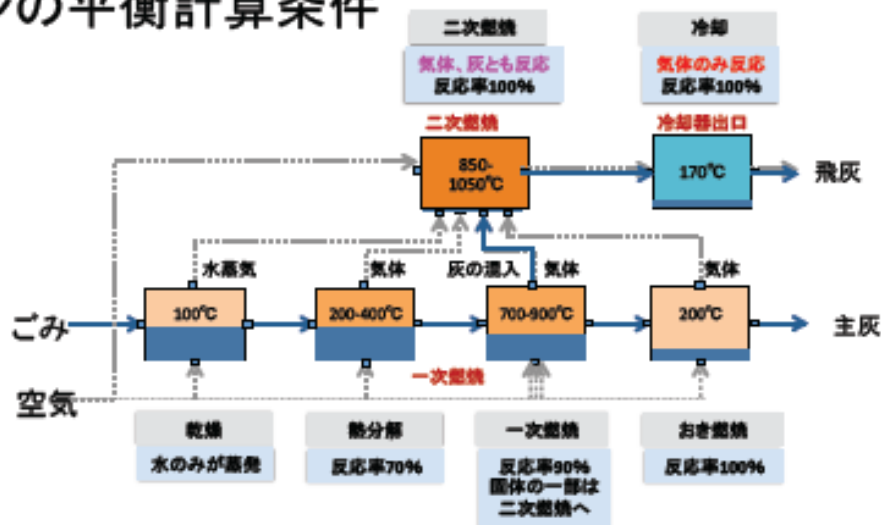
10	0.00	206.40	0.01	0.07	0.20
11	0.73	0.23	0.94	0.25	0.23
12	0.01	9.08	0.05	0.03	0.17
13	0.00	12.52	0.01	0.00	0.18
14	0.00	1.14	0.00	0.01	0.19
15	0.01	1150.00	0.01	0.07	0.12
16	0.00	10.52	0.10	0.28	0.15
17	0.11	27.67	0.04	0.03	0.20
18	0.00	41.78	0.06	0.02	0.18
19	0.00	465.80	0.01	-0.02	0.16
20	0.00	90.93	-0.01	-0.01	0.20
21	0.20	67.26	0.11	0.04	0.18
22	0.00	4.17	0.02	0.00	0.16
23	0.49	13.32	0.20	0.24	0.18
24	0.45	1.61	0.32	0.34	0.18

(現在、測定中。現時点でデータは一部掲載のみ)

③焼却炉内の鉛の挙動に関するシミュレーション

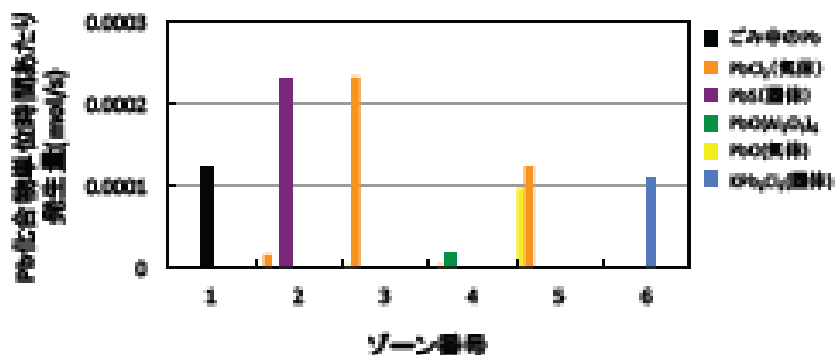
特に問題となる重金属類のうち、鉛を対象として熱力学的化学平衡計算の手法を応用したマルチゾーン平衡計算モデル(図4参照)により、その挙動をシミュレートした。焼却過程を乾燥、熱分解一時燃焼、おき燃焼、二次燃焼、冷却の6つのゾーンに分けて、各ゾーンでの平衡計算を逐次的に行った。

ゾーンの平衡計算条件



灰混入率: 一般的な灰の巻き上げ率を15%として固定

図4 マルチゾーン平衡計算モデルと計算条件



各ゾーンのPbの化学形態とその生成量の推定

図5 各ゾーンのPbの化学形態とその生成量の推定

計算結果を図5に示す。各ゾーンにおいてPbの生成量と化学形態は異なっており、条件の違いが影響している。本シミュレーション結果の実験的検証が必要であり、モデルの高精度化にもつながるものと考えられる。

(2) 今後活用が期待される内容

災害廃棄物の性状や炉のタイプ、さらに施設（炉）内の部位と、ダイオキシン類及び重金属類の存在量及び化学的な存在形態との関係を、実測及びモデルシミュレーションにより明確にすることで、ダイオキシン類については保守点検作業時のレベル区分の相場観を推測でき、重金属類の点でもリスク評価又は被ばく防止の必要性に関する判断基準を得ることができる。また、焼却残渣や廃耐火物の適正な処分方法、解体撤去プロセスにおける作業時の暴露防止、汚染拡大防止の適切な方策を立案できる。

3. 今後の検討課題

データのさらなる蓄積とモデルシミュレーションにおける鉛(Pb)以外の元素への拡張、高精度化等が課題である。