

# 放射性汚染物質の減容化に伴う セシウム排出挙動実証試験

水循環・まちづくりグループ  
研究員 立田潤一郎

1

## 本研究のポイント

1. **実験試材**：試料は、実験地周辺の落葉、木枝。
2. **実験装置**：特別な熱分解装置を用いて、窒素雰囲気下で、炭化減容化実験を実施。
3. **測定した指標**：熱分解前後に、試料と装置周辺で、空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )、Cs濃度(Bq/kg)を測定。

・ベクレル(Bq)とは、放射性物質の量で、NBqとは、1秒間にN個の放射性崩壊する放射性物質の量を表す。

・濃度(Bq/kg)とは、ある物質の濃度を知りたい場合の指標。(cf: ある地域の蓄積量を表す場合は、 $\text{Bq/m}^2$ (インベントリー))

・線量(シーベルト: Sv)とは、放射能が人体に及ぼす影響を含めた線量。放射線が生物に及ぼす効果は、放射線の種類やエネルギーにより相違。SvとBqは、核種別に、経口摂取、吸入摂取別に換算係数がある。

・空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) とは、1時間あたりの線量。mSv、 $\mu\text{Sv}$ は、Svの $1/10^3$ 、 $1/10^6$ 。

### 4. 結果：

- 減容化実験の前後で、空間線量率、Cs濃度の変化
  - ・装置周辺での空間線量率は、ほぼ変化なし。
  - ・炭化した試料表面のCs濃度、空間線量率は減容化による重量の減少割合ほど上昇せず。…何故か。
  - ・副産物のタール水、スクラバー水Cs濃度は、検出限界値以下か、検出限界値付近。
- 減容化実験中で、空間線量率、Cs濃度の変化
  - ・中和槽上部の気体放出管の空間線量率は、周辺大気レベル。Cs濃度は、検出限界値以下。

2

# 1. 本研究の背景と目的

3

1. 本研究の背景と目的

- 2011年度以降、放射性物質を含んだ農産物残渣、森林残渣、瓦礫等の安全な処理ニーズが高まり。
- 本研究所では2011年度以降、Cs等の放射性物質を含んだ廃木材、農業残渣、間伐材などを、窒素雰囲気下での熱分解方式による炭化減容化処理の実証的研究への取組。
- 「放射性下水道汚泥炭化減容化試験報告(2011年9月)」では、福島県終末処理場の下水汚泥の熱分解処理で、容積及び体積が約1/8に減少した一方で、試料のCs134、Cs137の濃度が約1.5倍程度しか上昇しないという結果を得た。さらに放射線量率の測定結果から、熱分解過程において、Csが、気化による装置外への排出、乾留物への溶出した痕跡がなかった。しかし、スクラバー水への溶出状況に関しては、分析がなされなかった。
- そこで本年度は、Cs134、Cs137を含んだ落葉、木枝を用いて、窒素雰囲気下での熱分解実験を行い、実験過程でのCs134、Cs137の気化によるシステム外への排出状況、タール水やスクラバー水への溶出状況を評価することを目的として、公益財団法人原子力バックエンド推進センター、株式会社EENとともに研究を実施。

4

## 2. 先行研究の結果概要

5

2. 先行研究の結果概要

- 2011年5月28日に、福島市などの協力を得て、公共下水道堀河町終末処理場で放射性物質を含んだ下水汚泥の標本として、約3kgを採取した。
- 2011年6月7日、8日に、窒素雰囲気下での熱分解方式による炭化減容化処理を行い、熱分解の前後での空間線量率を、トレイ上、クーラーボックス内で測定する実験を実施した。
- 測定結果は、p7～p9の通りである。

6

## 熱分解前後の試材の空間線量率などの測定結果

2. 先行研究の結果概要

|                 | 熱分解前の<br>汚泥          | 熱分解後の<br>汚泥        | 熱分解前後<br>の比率 |
|-----------------|----------------------|--------------------|--------------|
| 重量              | 2,650g               | 315g               | 11.9%        |
| 体積              | 2,000cm <sup>3</sup> | 520cm <sup>3</sup> | 26.0%        |
| 空間線量率 ケースA      | 12.1μSv/h            | 15.7μSv/h          | 129.8%       |
| 空間線量率 トレイ上 ケースB | 6.5μSv/h             | 7.6μSv/h           | 116.7%       |
| 空間線量率 クーラーボックス内 | 17.7μSv/h            | 27.5μSv/h          | 155.4%       |



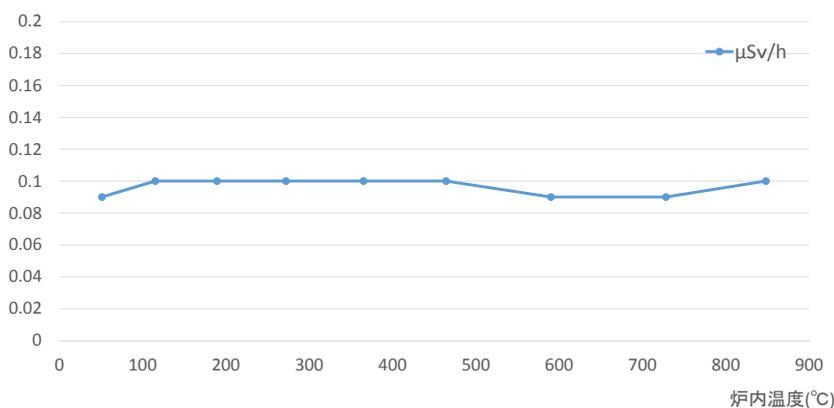
トレイ上の空間線量率の測定



クーラーボックス内の空間線量率の測定

## 排ガスの空間線量率の測定結果

2. 先行研究の結果概要



- 熱分解過程で、Csの気化によるシステム外への排出状況、Csの乾留液への溶出状況を把握するため、装置の開閉部及び乾留液の線量率を測定した。
- 熱分解装置排気口の排ガスの線量率は、ほぼ大気中と同様の数値となった。
- 熱分解中の装置開閉部の線量率は0.14μSv/h、熱分解中に発生したタール液の線量率は0.11μSv/hであり、大気中と同程度となった。

## 下水汚泥炭化物のCs濃度の測定結果、Cs溶出率

2. 先行研究の結果概要

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Cs <sub>134</sub> 濃度 | 82万Bq/kg  |
| Cs <sub>137</sub> 濃度 | 110万Bq/kg |
| Cs合計 濃度              | 192万Bq/kg |
| Cs溶出率                | 0.14%     |

- 下水汚泥の炭化物のCs濃度は、合計で192万Bq/kgとなった。
- 本熱分解方式で減容化された下水汚泥の炭化物のCs溶出率は0.14%となった。
- 通常燃焼焼却の副産物である一般廃棄物の飛灰や焼却灰のCs溶出率20%～80%と比較すると、著しく低い。

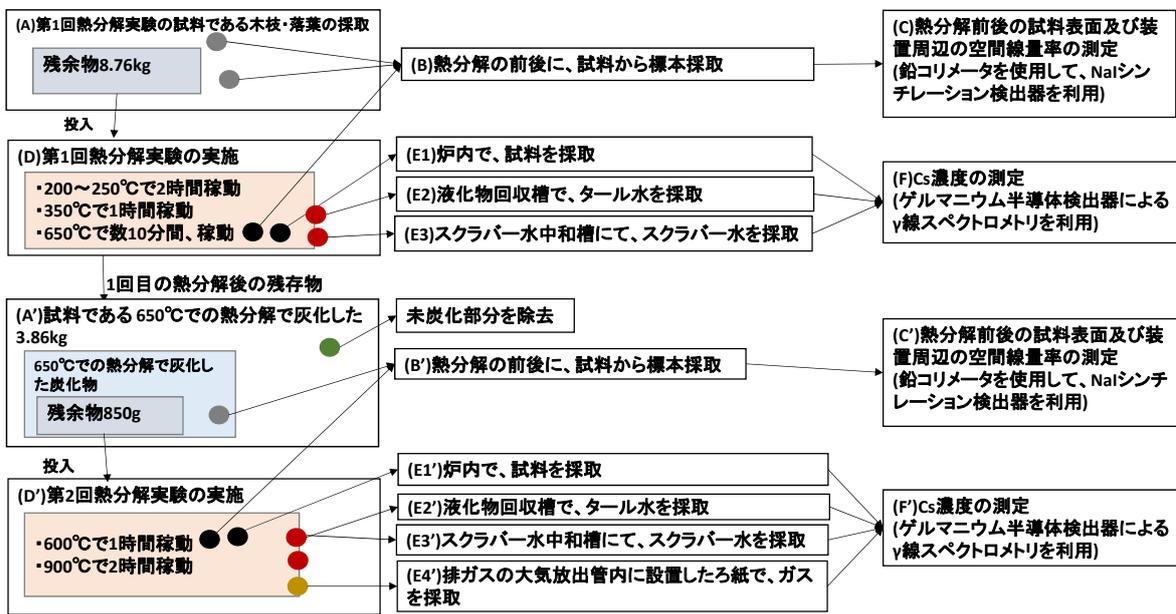
9

## 3. 本研究の方法

10

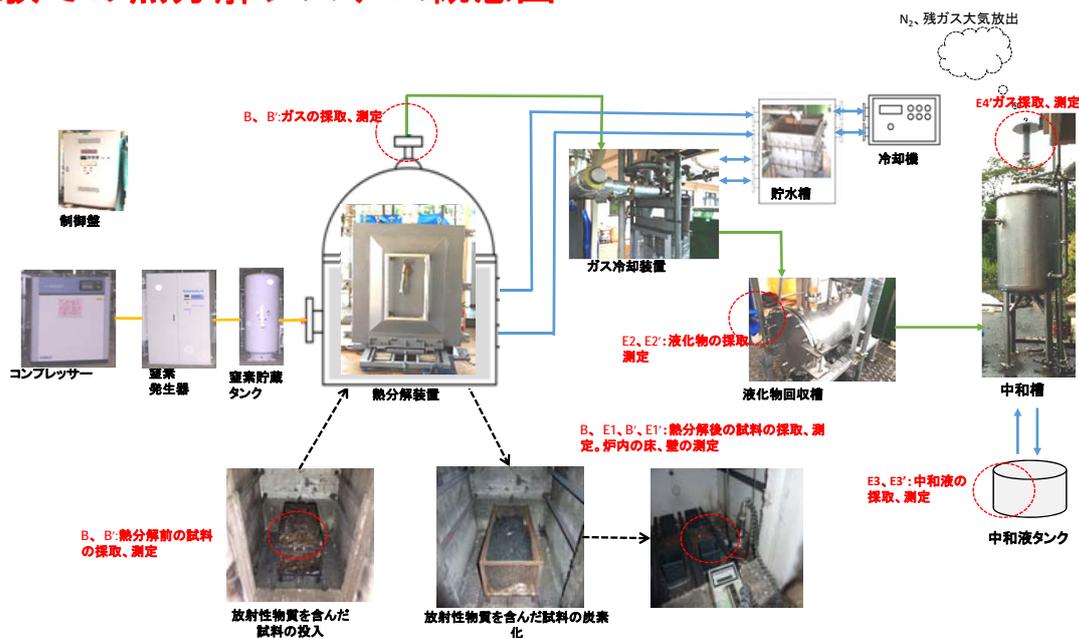
### 本実験の実施フロー

3. 本研究の方法



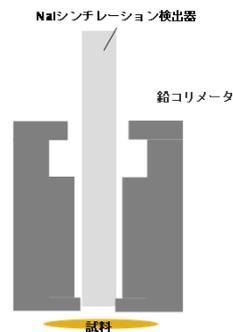
### 本実験での熱分解システム概念図

3. 本研究の方法



## 熱分解実験での空間線量率の測定方法

3. 本研究の方法



|     |   |
|-----|---|
| 運転前 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 空間線量率の測定はバックグラウンドの影響を排除するため、蓋部と底部がない腹部の厚さが3.9cmの鉛コリメータを使用。</li> <li>● この鉛コリメータでバックグラウンドを遮蔽した下で、NaIシンチレーション検出器を用い、熱分解炉周辺の放射線量率を測定。</li> </ul> |
| 運転後 | <p>熱分解炉の運転中及び運転終了後に、運転前と同様に熱分解炉周辺の線量率の測定。</p>   |



## 4. 本研究の結果

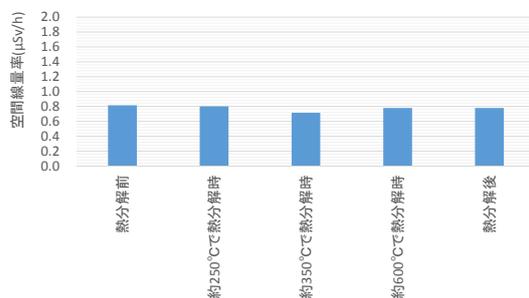
## 1回目の熱分解実験の結果

4. 本研究の結果

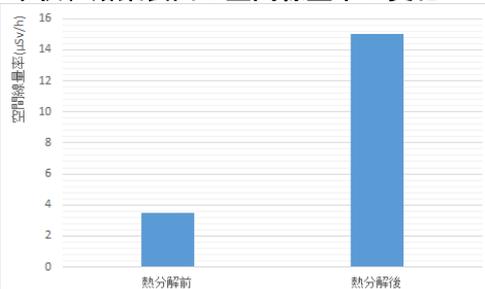
### 空間線量率の測定結果

|      | 測定対象                      | 空間線量率 (μSv/h) |
|------|---------------------------|---------------|
| 熱分解前 | 炉前の厚さ約0.5cmの鉄板上部          | 0.07          |
|      | 炉の屋根上部                    | 0.99          |
|      | 熱分解装置周辺<br>炉の屋根上の排気ガス配管上部 | 0.81~0.82     |
|      | 炉内部の床                     | 0.14          |
|      | 中和水槽水の上                   | 0.09          |
|      | タール水回収槽上部                 | 0.11          |
| 試料   | 木枝・落葉                     | 3.5           |
| 熱分解中 | 約250℃で運転時、炉の屋根上の排気ガス配管上部  | 0.8           |
|      | 約350℃で運転時、炉の屋根上の排気ガス配管上部  | 0.71~0.72     |
|      | 約600℃で運転時、炉の屋根上の排気ガス配管上部  | 0.76~0.80     |
| 熱分解後 | 熱分解炉、屋根上の排気ガス配管上部         | 0.76~0.80     |
|      | 試料                        | 木枝・落葉         |

### 熱分解装置周辺の炉の屋根上の空間線量率の変化



### 木枝、落葉表面の空間線量率の変化



## 1回目の熱分解実験における空間線量率の測定値結果のサマリー

4. 本研究の結果

- 熱分解前において、炉の周辺の空間線量率は0.07~1.0μSv/hであった。
- 熱分解の前、中、後で、データがそろっている「炉の屋根上の排気ガス配管上部」の空間線量率は0.7~0.8μSv/hであり、運転前後で、大きく変化しなかった。この線量値は、事故がない通常 of 自然環境の約10~15倍程度の大きさである。原因は、福島第一原発事故由来の放射性物質飛散によるバッグランドの上昇によるものと考えられる。
- 炉内部の床表面の空間線量率は、0.14μSv/hであった。試料表面の空間線量率と比較すると小さい。
- 試料の木枝・落葉表面の空間線量率は地表面付近で計測され、熱分解処理前は3.5μSv/h、処理後は15μSv/hであった。その比重は熱分解前後で、0.1~0.2から1付近まで増加。試料の密度が増加したことから、試料内の大半のセシウムは試料に留まり濃縮され、固定化したと考えられる。
- 試験設備の外部の道路などの空間線量率は、比較的大きな値。道路横の木枝・落葉のある場所の地表近傍では、20~30μSv/h程度であった。

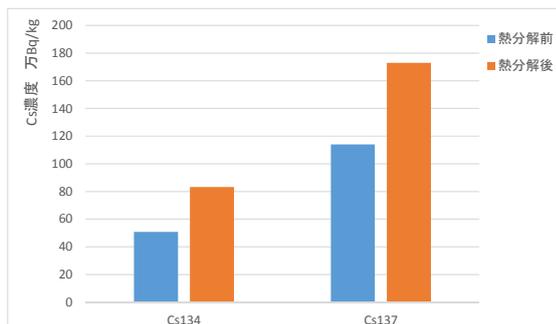
## 1回目の熱分解実験の結果

4. 本研究の結果

### 木枝、落葉、スクラバー水のCs濃度の変化の測定結果

|      | 測定対象   | Cs濃度(Bq/kg)        |                    |
|------|--------|--------------------|--------------------|
|      |        | Cs134              | Cs137              |
| 熱処理前 | 木枝・落葉  | $5.07 \times 10^5$ | $1.14 \times 10^6$ |
|      | スクラバー水 | 検出限界以下<5.03        | 検出限界以下<4.32        |
| 熱処理後 | 木枝・落葉  | $8.32 \times 10^5$ | $1.73 \times 10^6$ |
|      | スクラバー水 | 6.6                | 検出限界以下<5.18        |
|      | タール水   | 検出限界以下<6.60        | 7.5                |

### 木枝、落葉のCs濃度の変化



17

## 1回目の熱分解実験におけるCs濃度の測定値結果のサマリー

4. 本研究の結果

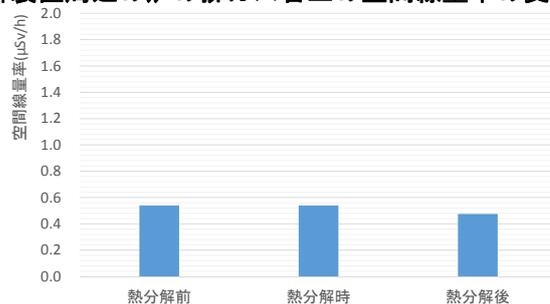
- 木枝・落葉のCs濃度はCs134及びCs137に関して、熱分解の前後で、 $1.647 \times 10^6 \text{Bq/kg} \rightarrow 2.562 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ に、約55.6%上昇した。
- 熱分解過程で発生したタール水のCs濃度がCs137が7.5Bq/kg、また、スクラバー水のCs濃度は6.6Bq/kgであった。
- 熱分解前の8.76kgの試料の放射エネルギーが $1.44 \times 10^7 \text{Bq}$ であったことを考慮すると、熱分解炉からの放射能移行は極めて微小と考えられる。

18

## 2回目の熱分解実験の結果

4. 本研究の結果

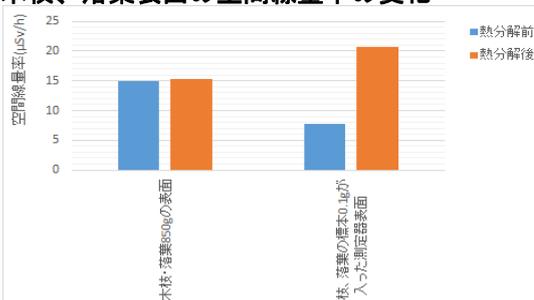
熱分解装置周辺の炉の排ガス管上の空間線量率の変化



### 空間線量率の測定結果

| 測定対象            | 空間線量率(μSv/h)            |           |
|-----------------|-------------------------|-----------|
| 熱分解前            | 炉内の床                    | 0.14      |
|                 | 熱分解装置周辺                 | 0.07~0.08 |
|                 | 炉前の鉄板上                  | 0.07~0.08 |
|                 | 炉の屋根上                   | 0.8       |
|                 | 炉の屋根上の排ガス配管上            | 0.54      |
| 試料              | 木枝・落葉850gの表面            | 15        |
|                 | 木枝・落葉0.1gを入れた測定器の表面     | 7.7       |
| 熱分解中            | 炉内の床                    | 熱分解前と変化なし |
|                 | 熱分解装置周辺                 | 熱分解前と変化なし |
|                 | 600°Cでの熱分解時に、ガスが通る炉室配管内 | 0.14      |
|                 | 900°Cでの熱分解時に、ガスが通る炉室配管内 | 0.10      |
| 熱分解時のスクラバー出口配管部 | 0.11~0.12               |           |
| 熱分解後            | 炉内の床                    | 熱分解前と変化なし |
|                 | 熱分解装置周辺                 | 熱分解前と変化なし |
|                 | 炉前の鉄板上                  | 熱分解前と変化なし |
|                 | 炉の屋根上                   | 0.47~0.48 |
|                 | 炉の屋根上の排ガス配管上            | 0.47~0.48 |
| 試料              | 木枝・落葉850gの表面            | 15.3      |
|                 | 木枝・落葉0.1gを入れた測定器の表面     | 20.7      |

木枝、落葉表面の空間線量率の変化



## 2回目の熱分解実験における空間線量率の測定値変化のサマリー

4. 本研究の結果

- 熱分解装置周辺の空間線量率は、炉前の鉄板上、炉の屋根上で、熱分解の前、中、後で変化なく、炉の屋根上の排ガス配管上では熱分解の前後で若干、低下した。
- 炉内の炉床の空間線量率は、熱分解の前後で変化しなかった。
- 木枝・落葉の試料表面の空間線量率は、熱分解前後で15μSv/h→15.3μSv/hに変化した。
- 100ml測定器で0.1g採取した木枝・落葉の標本の空間線量率は、熱分解前後で7.7μSv/h→20.7μSv/hに変化した。
- 測定された空間線量率は、熱分解前後で増加、減少の双方が見られた。理由としては、①測定試料に関しては、熱分解後に密度が上昇し高密度化したことで試料の自己遮蔽能力が増大し線量が下がったと考えられること、②測定箇所及び測定日時での線量率のばらつきがあること、③測定装置の誤差(±0.1%程度)である。

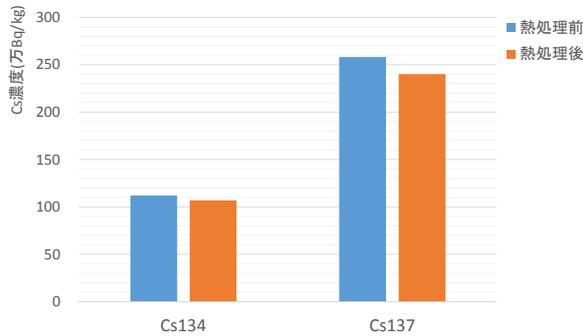
## 2回目の熱分解実験の結果

4. 本研究の結果

### Cs濃度の測定結果

|      | 測定対象              | Cs濃度(Bq/kg)         |                    |
|------|-------------------|---------------------|--------------------|
|      |                   | Cs 134              | Cs 137             |
| 熱処理前 | 木枝・落葉             | $1.12 \times 10^6$  | $2.58 \times 10^6$ |
|      | スクラバー水            | 検出限界以下<br><4.90     | 検出限界以下<br><3.99    |
|      | タール水              | 検出限界以下<br><5.39     | 検出限界以下<br><4.04    |
| 熱処理後 | 木枝・落葉             | $1.07 \times 10^6$  | $2.40 \times 10^6$ |
|      | スクラバー水            | 検出限界以下<br><5.30     | 検出限界以下<br><4.46    |
|      | タール水              | 4.62>検出限界<br>(4.45) | 検出限界以下<br><4.13    |
|      | ガスが通る炉室配<br>管内のろ紙 | 検出限界以下              | 検出限界以下             |

### 木枝、落葉のCs濃度の変化



21

## 2回目の熱分解実験におけるCs濃度の測定値変化のサマリー

4. 本研究の結果

- 第1には、熱分解を通して、試料のCs濃度が上昇すると思われたが、予想に反して、 $3.70 \times 10^6 \text{Bq/kg} \rightarrow 3.57 \times 10^6 \text{Bq/kg}$ に低下した。この原因としては、採取したサンプルが、試料のCs濃度の母集団平均から乖離していた可能性が考えられる。
- 第2には、熱分解炉の出口となる中和槽の排気ガス配管部のろ紙におけるCs濃度に関しては、検出限界以下であった。
- 第3には、熱分解後のタール水、スクラバー水のCs濃度に関しては、タールのCs134のみが僅かに検出限界値を超えたが、他のタール水のCs137、スクラバー水のCs134、Cs137の濃度は検出限界値以下であった。
- 第4には、上記第2、第3の結果から、900°Cの熱分解においても、セシウムが極めて微量しかガス化していなかったものと考えられる。

22

## 5. 本研究のまとめと今後の課題

23

5. 本研究のまとめと今後の課題

- 第1には、熱分解を通して、セシウムがほとんど気化せず、システム外の自然環境に放出されないと考えられる。
- 第2には、上記第1に加えて、熱分解過程で発生したスクラバー水、タール水のCs濃度が検出限界以下、或いはその付近の値であったことから、試料に含まれた放射性物質は、そのほとんどが炭化物に留まったと考えられる。
- 第3には、熱分解過程で、タール水以外の木酸等の水液体廃棄物が発生せず、タール処理の問題が発生しないことが確認された。
- 今後の課題は、実証データの積上げのため、大量の廃棄物での実証実験を実施することと考える。

24

ご清聴ありがとうございました。  
Thank you very much for your kind attention.

25