

# 災害廃棄物由来の分別土有効利用における 木くず等有機炭素含有量の評価 (H27-28 : 2カ年)

国立環境研究所○遠藤和人

工学院大学 小林 潤

長崎大学 朝倉 宏

立命館大学 石森洋行

千葉科学大学 安藤生大

(協力) 総務省消防研究センター 古積 博

## 本研究課題の背景

- 災害廃棄物由来の分別土（土砂分）の有効利用が進まなかった一つの要因として**木くず等の有機性夾雑物の混入**が挙げられる。
- 熱しゃく減量や強熱減量が有機物含有量の試験法として使われた。
- **過大評価にならない有機物含有量の評価方法（強熱減量）とその判定基準値の問題（強熱なら災害時でも実施可能な機関が多い）**

- 畳や木くずチップ、可燃物混じり混合廃棄物などの仮置場では**蓄熱火災**が発生した。
- 発火防止は、高さ制限で対応していた。その対象品目は、木くず等とその他混合廃棄物、津波堆積物のみの分類。
- 復興資材となる分別土であれば高さ制限を無くすことが可能では無いか。では、その値は？

※東日本では高さ5mで制限

## 各分野毎の強熱試験の考え方

**【定義】** ある強熱温度で揮発してしまう成分（物質）の合計量。

分野と規格	分析方法
地盤工学 (JIS A 1226)	750±50℃で1時間強熱。 <b>主に土壤中の揮発成分（有機物と結晶水、結合水が対象）を測定</b> することが目的。
コンクリート	975±25℃で強熱（おそらく2時間）。高炉セメントの場合には700±25℃。 <b>不純物含有量（クリンカーや水和物等からの脱水、石灰石の脱炭酸、石こう結晶水の脱水が要因で最大4.78%の減量値）を測定</b> することが目的。
廃棄物 (環整95号： 昭和52年)	600±25℃で3時間強熱。名称は「熱しゃく減量」。 <b>焼却残さの燃え残り</b> を評価することが目的。埋立基準は熱しゃく減量15%。 平成10年環境庁告示34号にて工作物の新築、解体由来処理物の安定型産業廃棄物の埋立基準5%の方法としても利用。
工業排水 (JIS K 0102)	600±25℃で30分間強熱。名称は「強熱残留物」。工業排水中の強熱による <b>非揮発性残留物量（無機物）を測定</b> することが目的。
VS: Volatile Solids	550℃で15～30分強熱。諸外国における一例。

**強熱減量は有機物を表現していないが有機物含有量の代替指標として利用されている**

## 東日本大震災での対応：津波堆積物等に対する強熱減量

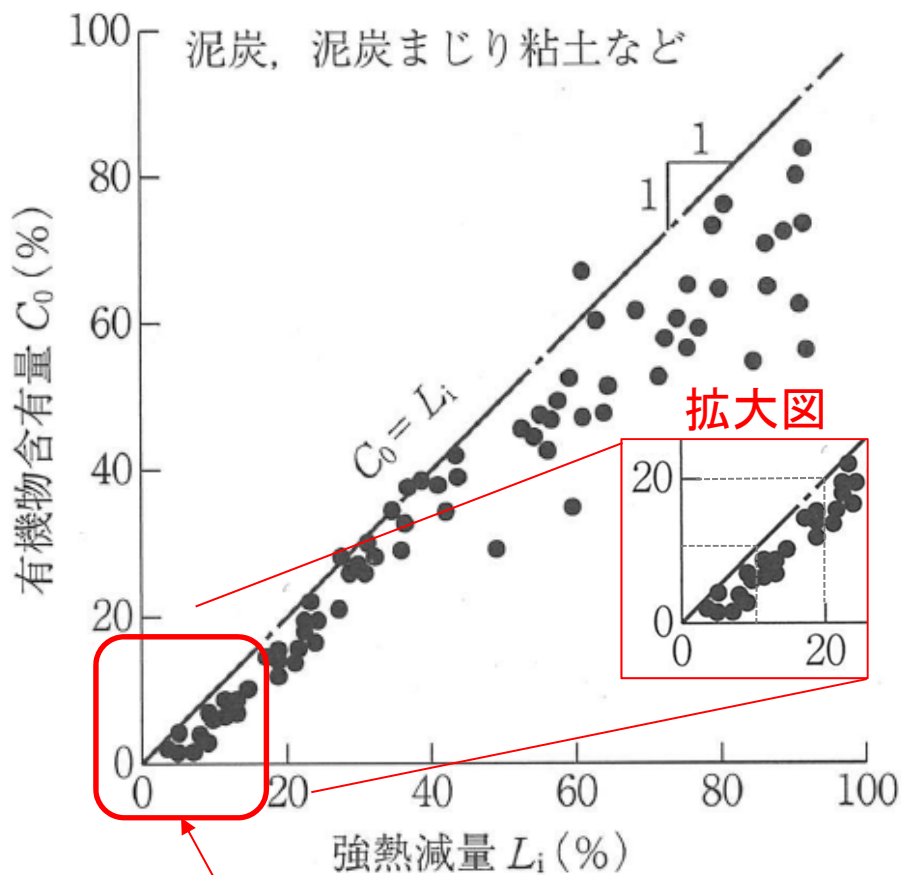
- 安定型埋立基準の熱しゃく5%
  - 廃棄物資源循環学会の「津波堆積物処理指針（案）」：平成23年7月5日
  - ただし、留意事項があり、土壌由来の熱しゃく減量が存在するので、区分を慎重に行う必要あり
- 強熱減量で概ね10%
  - 林野庁治山課の「海岸防災林造成に当たっての災害廃棄物由来の再生資材の取り扱いについて（事務連絡）：平成24年6月21日」
- 判定値の記載無し
  - 国土交通省都市局公園緑地・景観課の「東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術指針：平成24年3月」

数字が先行して復興資材利用に向けた妨げに。検討事例も極めて少なかった。  
木くずの混入率を問題にするのであれば、新たな代替指標を作るべきではないか。

# 強熱減量試験を有機物量とすることの課題

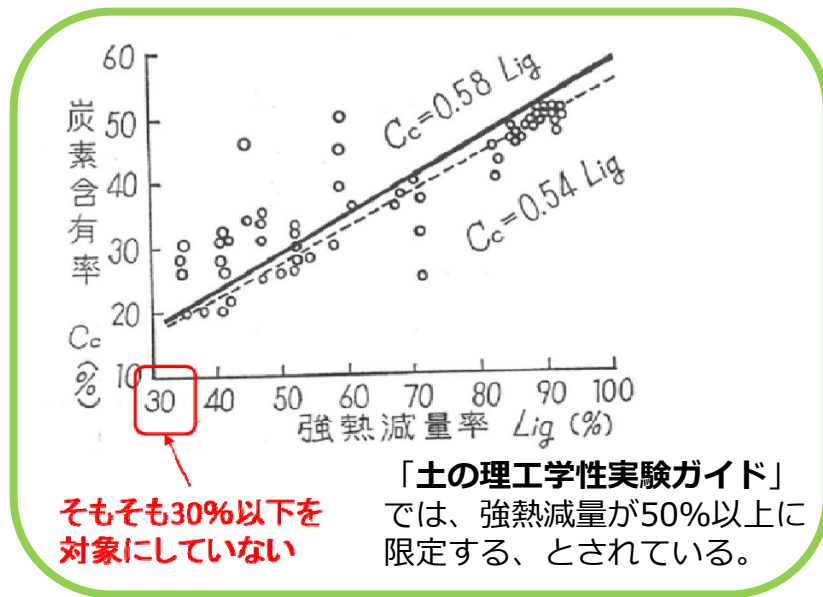
## 地盤工学会「赤本」からの抜粋

「750℃強熱減量値を有機物含有量とできるのは高有機質土や有機質土であるが、これに対して、アロフェン、モンモリロナイト、カオリナイト、加水ハロイサイトなどの鉱物を含む粘土の無機質系の土では、結合水や結晶水などの水分量の目安を得るために行われることが多い。」



ターゲットはこの範囲

縦軸の有機物含有量5%をみると、強熱減量としては10%程度の値を示している。安全側ではあるが、有機物量を過大評価する恐れが強い。



## 明らかにしたいこと（目的）

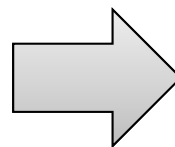


100% 土粒子

木くず 100%

木くずの混入が有効利用の妨げとなっていたが、実際、どの程度が許容範囲なのか？

- 木くず混入率の適切な判定方法とは？
- 木くずの混入が、どの程度の環境影響を及ぼすのか？
- どの程度の有機炭素があると発火危険性が有意になるのか？



- ✓ 復興資材の有効利用の促進（今後の災害対応として）
- ✓ 災害廃棄物処理計画への反映（処理後の出口戦略）
- ✓ 発火メカニズムの解明
- ✓ 仮置場の適正管理
- ✓ 復興資材の適正管理

# 判定方法の検討（試験方法）

試料炉乾燥110±5℃ 24時間



試料の分取



試料をるつぼ内に投入



強熱操作

温度：350℃、375℃、400℃、  
450℃、600℃、750℃

時間：10min、20min、30min、  
60min、120min、360min



デシケーター内にて室温まで冷却



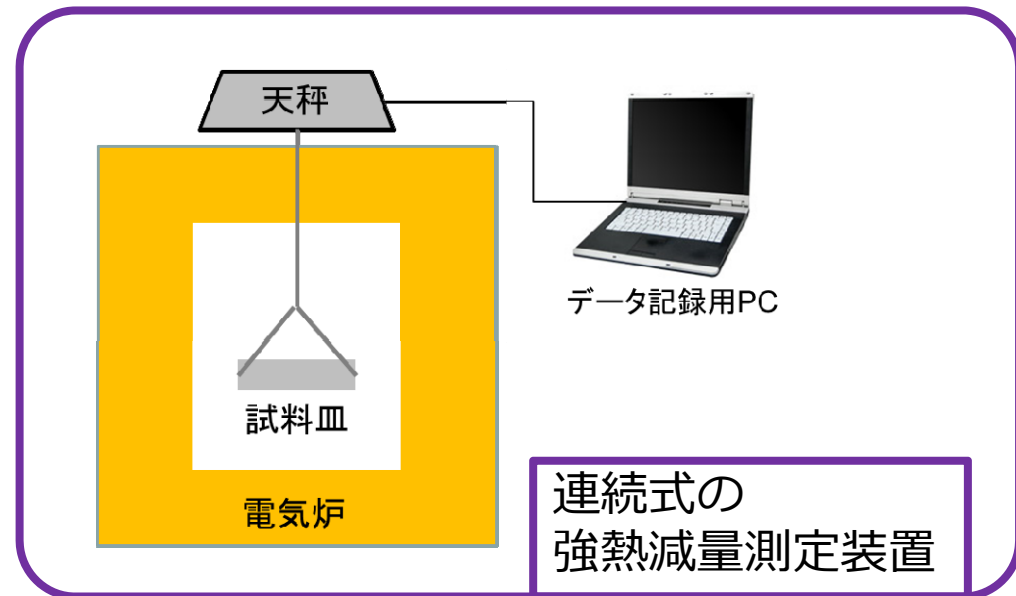
試料の重量変化率を確認



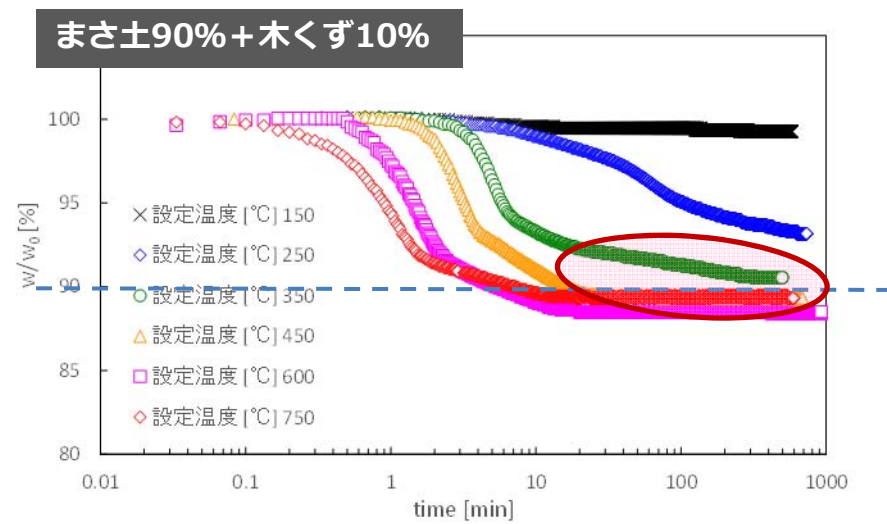
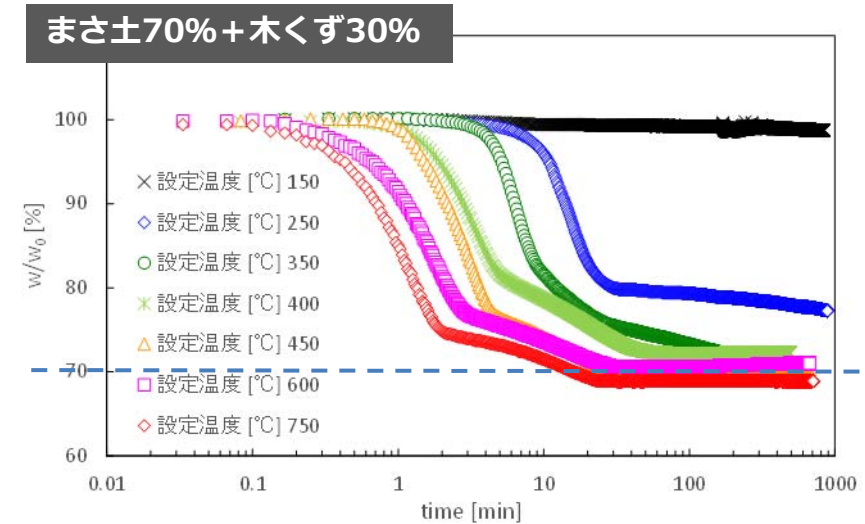
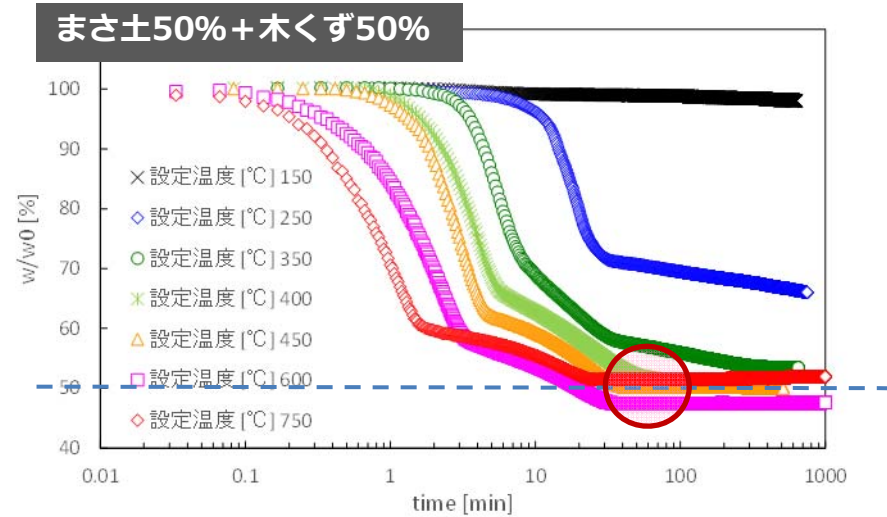
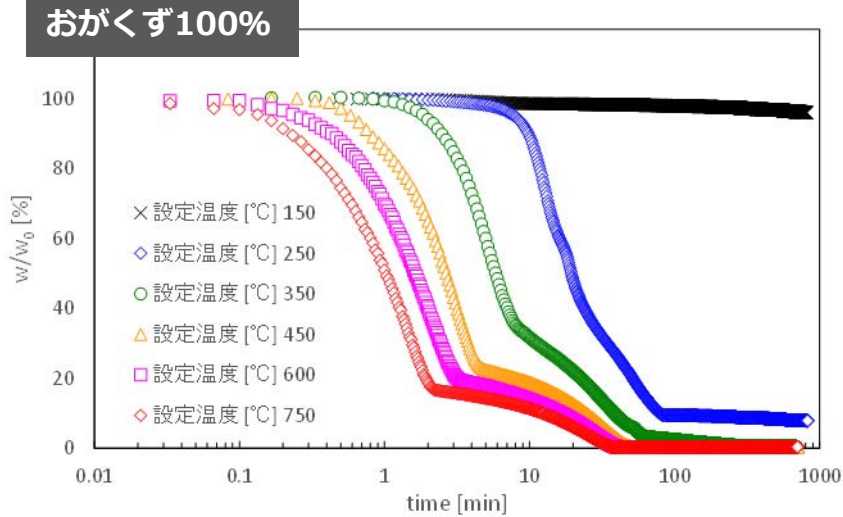
120min試料はCHN分析へ

- ・るつぼは事前に加熱処理済み。
- ・JIS A1226-2009に準じ実施

サンプルは、凍結粉碎もしくはブレンダーミル（スムージー用）によって粉碎



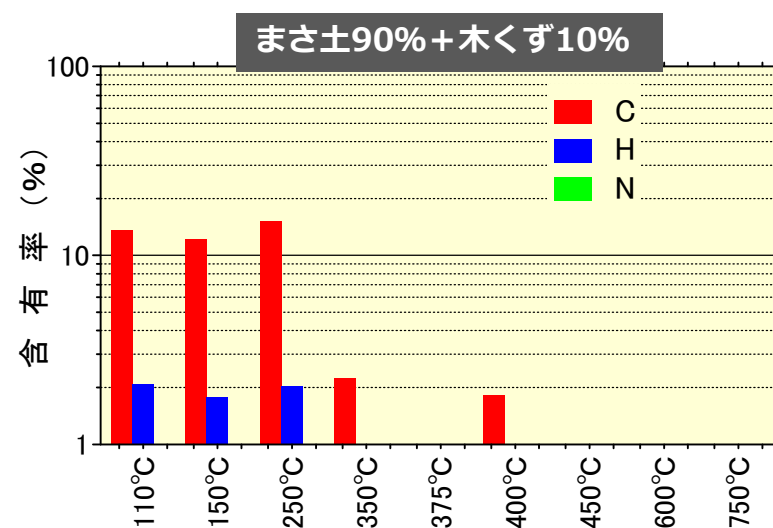
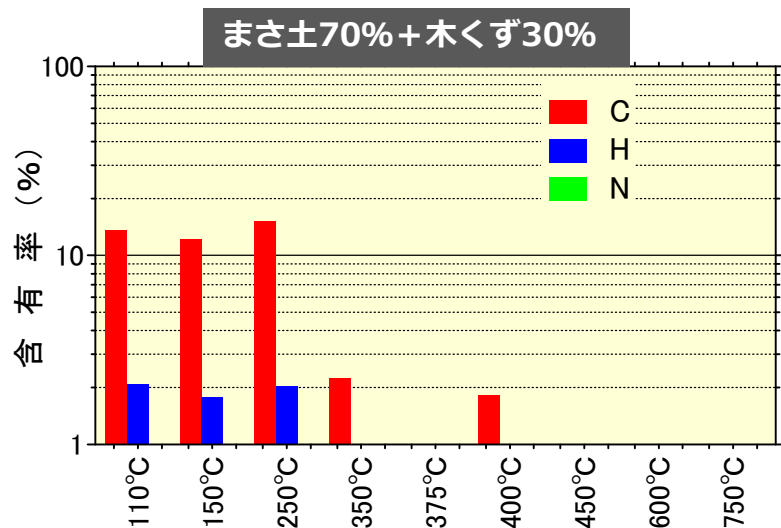
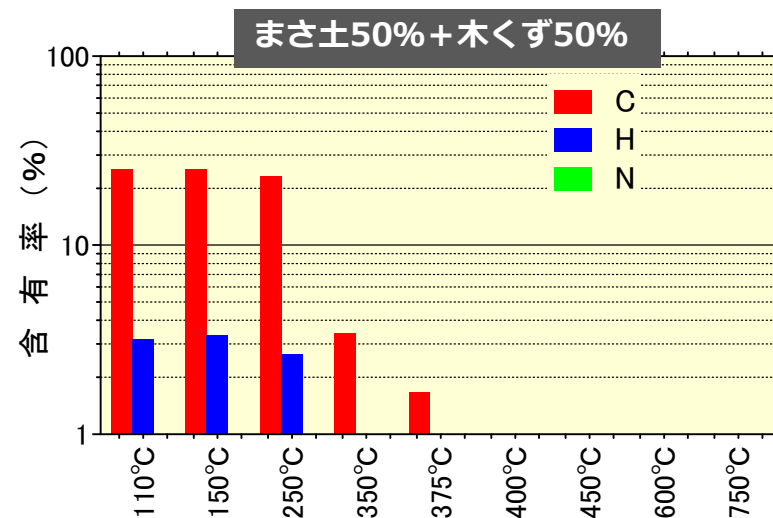
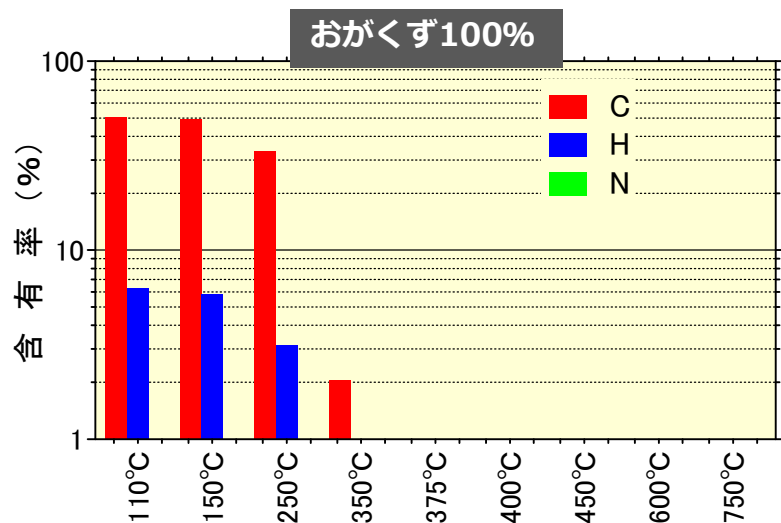
# 連続式強熱減量（時間と温度の影響）



350°Cだと燃え切らない場合があるし、時間もかかる。  
400°Cで約60分経過すれば燃焼完了。⇒ 時間は**120分**が適当。

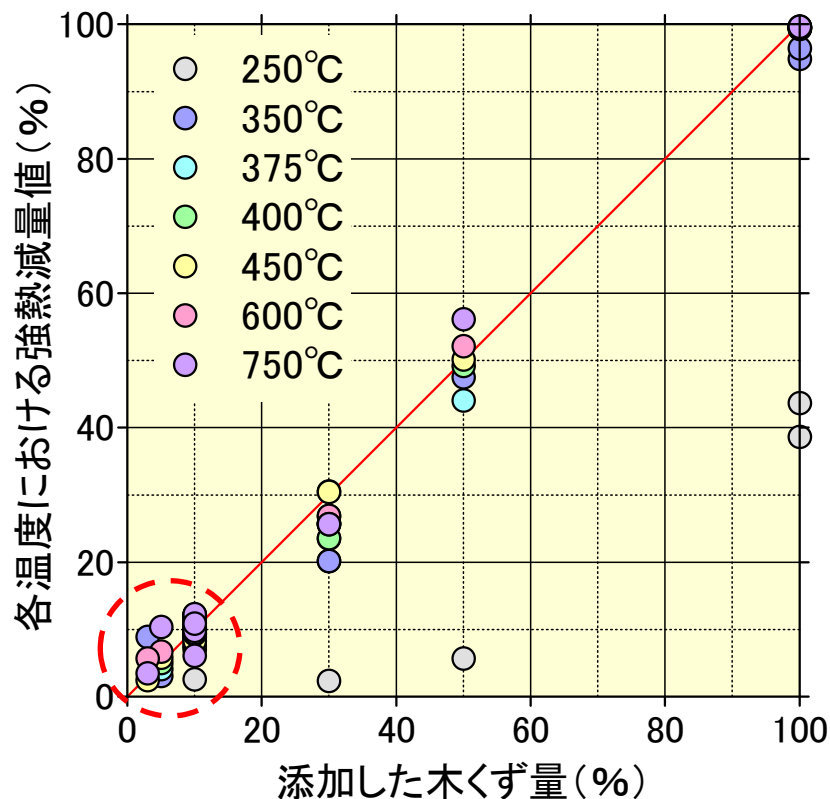


# 2時間強熱試験後の試料を用いたCHN分析結果

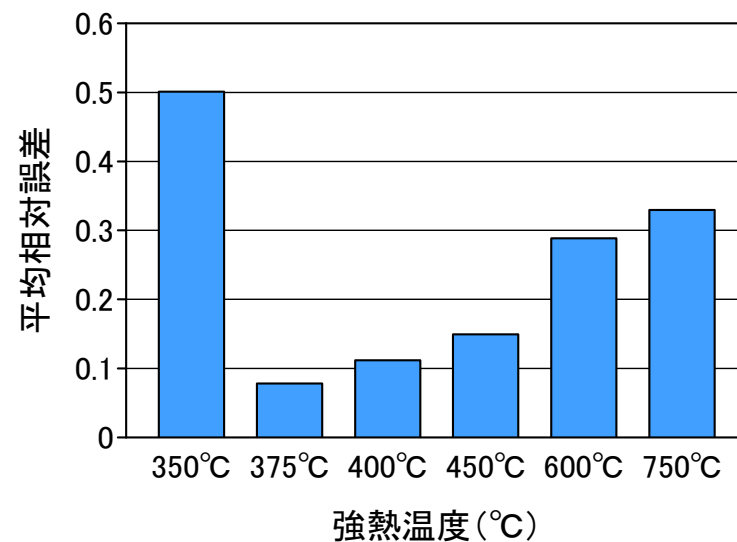


炭素残量から考えると375~400°C以上で1%以下に。  
木くず含有量が減ると多少の誤差が生じる。

# 木くず添加量と強熱減量の比較（温度の決定）



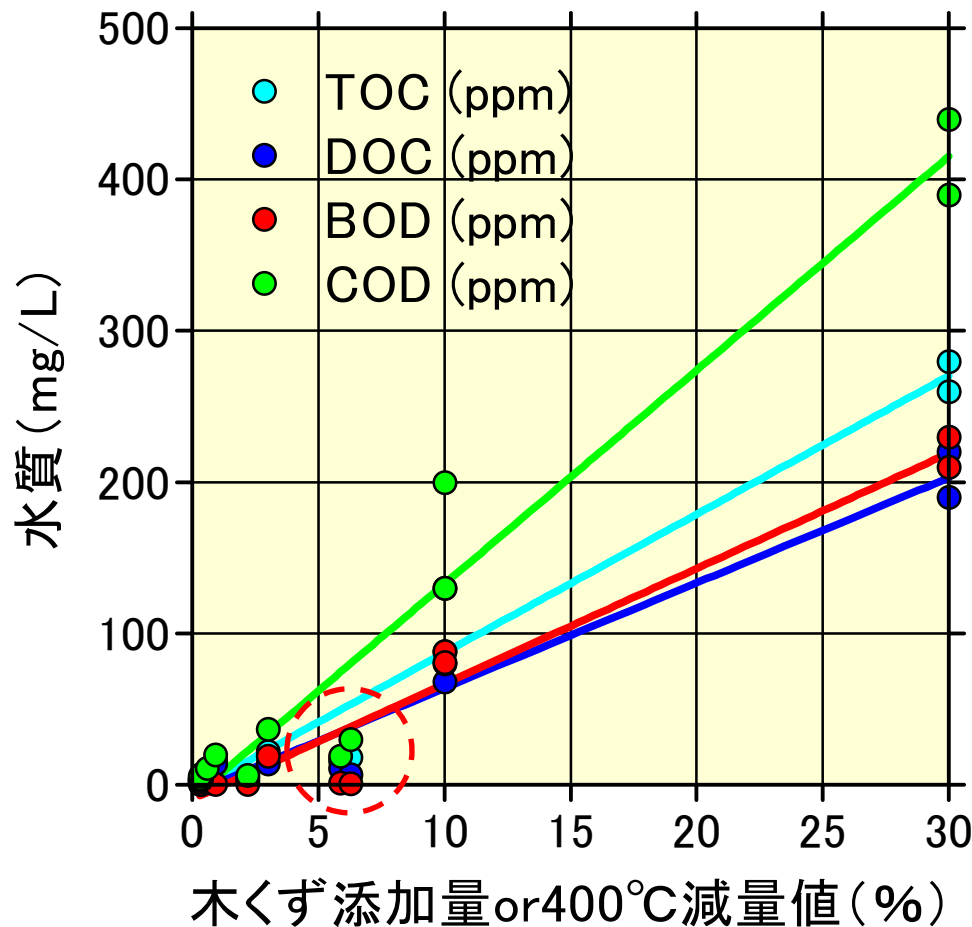
添加した木くず量（%）と強熱減量値は概ね比例関係にある。  
（250℃は大きくずれる）



添加した木くず量10%以下を対象として、平均相対誤差を評価すると、375℃が最も低く、目標とする強熱減量値に最も近くなる。次いで、400℃が良い。温度を上げていっても誤差は小さいが、下げると急激に大きくなる。

木くず等有機炭素含有量を評価する強熱温度は**375~400℃**が適当

# 強熱減量値が水質に及ぼす影響



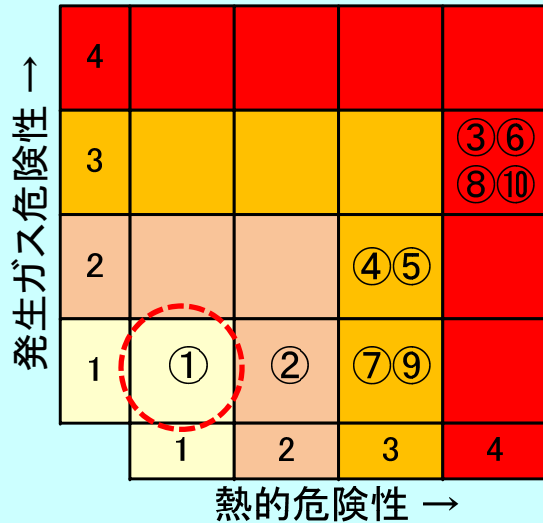
- 木くず添加量等が30%以下に限定すれば、水質との相関性は良い ( $r^2 = 0.9$ 以上)。
- 赤丸の領域は分別土B種や分別土砂に相当する。これらのBOD等は近似曲線よりも低い値である。
- 酸素消費速度を考慮して、2mの復興資材の山が嫌気性条件にならないためにはDOCが45 mg/L以下が条件であり、強熱減量7%以下。
- 安定型浸透水基準を適用するとBOD = 20mg/L以下なので、強熱減量で3%以下となる。

木くず等含有量が3%を超えるとBODが20 mg/Lを超える一般的な土壌（砂を除く）のみであってもBOD浸透水基準を超過するTOC = 100 mg/Lとすれば、強熱減量で約10%以下となる

# 発火危険性について

## 発火危険性の詳細評価

(水添加あり)



- ① 分別土B種
- ② RPF
- ③ RDF
- ④ 木ペレット(白)
- ⑤ バークペレット
- ⑥ 鶏糞
- ⑦ 石炭SS089
- ⑧ 汚泥燃料A
- ⑨ 汚泥燃料B
- ⑩ 汚泥燃料C

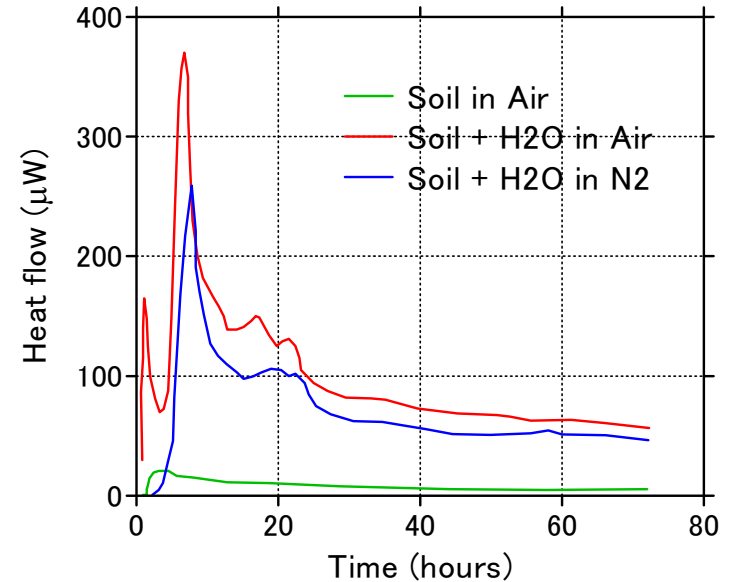
### 【熱的危険性評価法】

- C80試験・・・発熱開始温度に関する危険性評価
- SIT試験・・・自然発火温度に関する危険性評価
- TAM試験・・・発熱量に関する危険性評価

熱的危険性はC80試験, SIT試験, TAM試験, ガス発生試験を総合的に判断 (消防研究所の方法)

## TAMの結果の一例 (Soil+H2O)

24時間まで 305 mJ/g  
24時間以降 487 mJ/g



## C80測定結果 (まさ70+木30)

試験条件	発熱量
Soil in Air	---
Soil + H2O in Air	0.536 J/g
Soil + H2O in N2	0.569 J/g

# 木くず100%の低温蓄熱発火危険性計算結果

## Frank-Kamenetskii理論

$$\delta = \frac{A}{k} r^2 \left( \frac{E}{RT^2} \right) \cdot \exp \left( - \frac{E}{RT} \right)$$

δは、球形の時 3.32で、r は半径  
 無限円筒の時 2.00で、r は半径  
 無限平板の時 0.88で、r は厚さの1/2

※球形の場合の実験結果は多数あり  
 ※おが屑のパラメーターを用いて計算

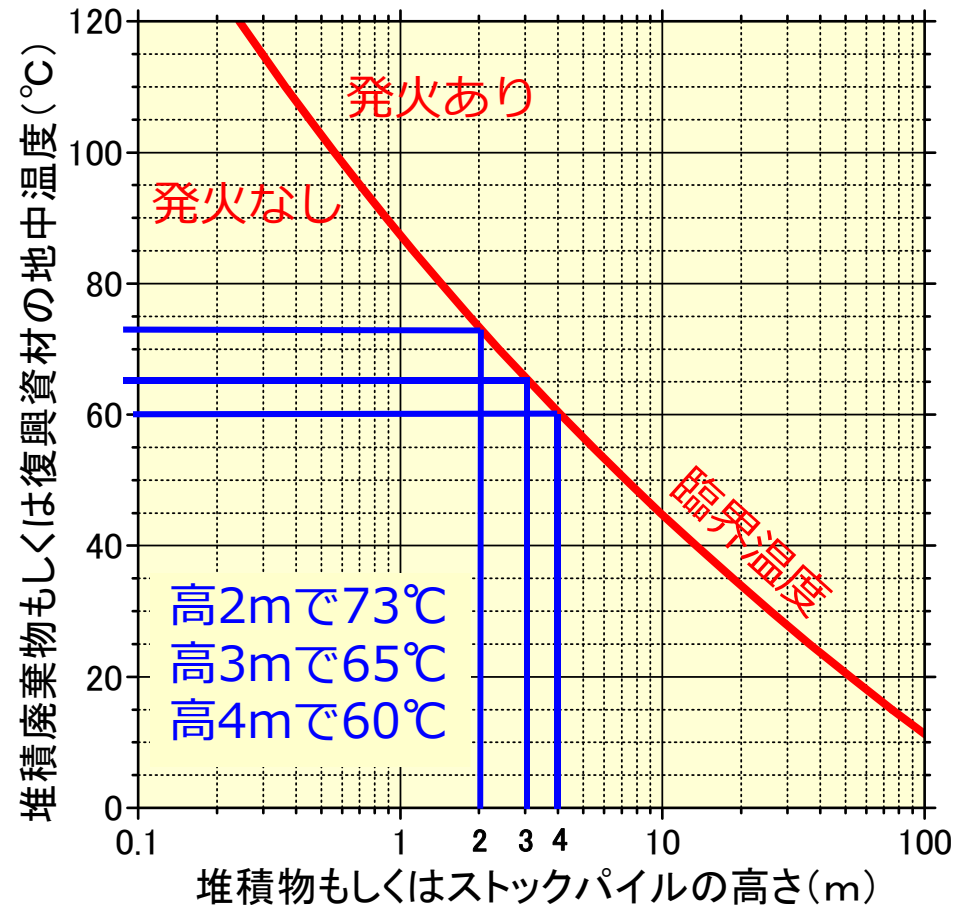
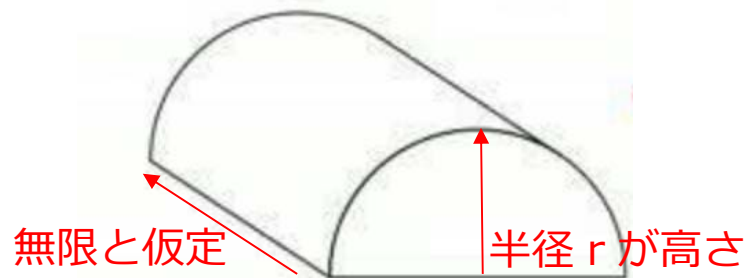
A = 高温においてこの材料の単位体積が単位時間に  
 燃焼するときの発熱量で、鋸屑では、

$$1.46 \times 10^9 \text{ cal/cm}^3 \cdot \text{s}$$

E = この材料の活性化エネルギーで、鋸屑では、

$$26.1 \text{ kcal/mol}$$

R = 気体定数で、2.0 cal/K°



実際の仮置場では、無限円筒の半分と模擬できる。  
 かつ、地面を断熱として保守的に考えれば、  
 半径 r が堆積高さとなり、 $\delta = 2.00$ として  
 計算することで臨界温度と高さの関係が求まる。

# その他, 報告していない研究成果

木くず等有機炭素含有量と溶出TOCが酸素消費とメタンガス発生に及ぼす影響



シナリオ: 有機炭素溶出 → 酸素消費・嫌気化 → メタンガス発生

実験

木くずからの有機炭素溶出試験

有機炭素による酸素消費速度試験と嫌氣的雰囲気形成

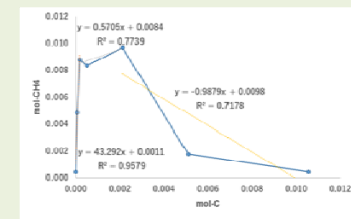
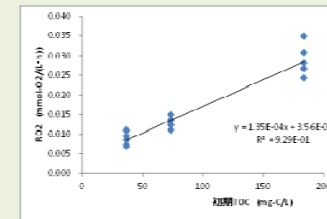
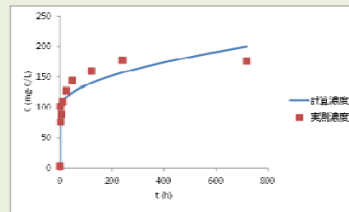
嫌氣的雰囲気におけるメタンガス発生強度試験

内容

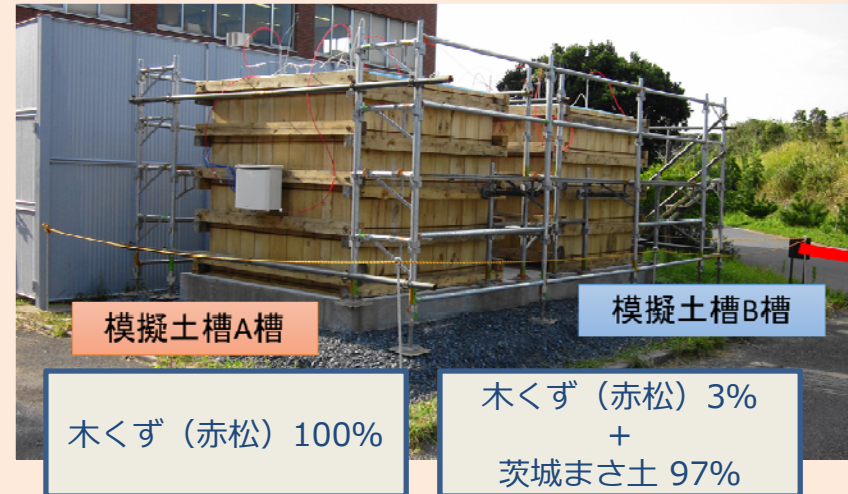
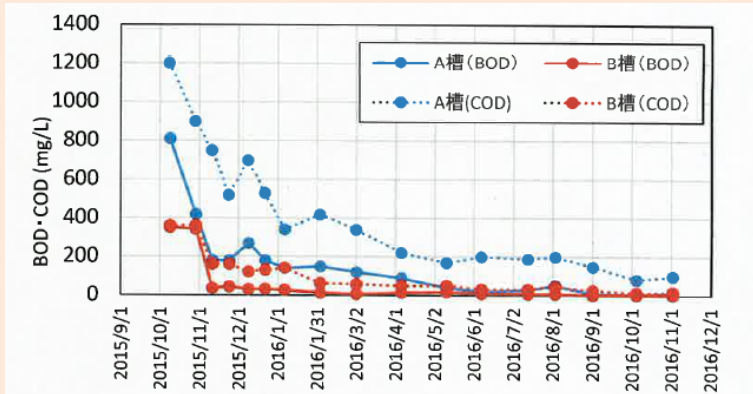
木くず量・粒径と有機炭素溶出量の関係

- 有機炭素濃度と酸素消費速度の関係
- 酸素消費速度と嫌気ゾーン形成深さの関係

有機炭素濃度とメタンガス発生強度の関係



発熱挙動の解明と水質変動の把握を目的とした模擬土槽実験



## 得られた結論

〇〇〇℃, 〇〇時間の強熱減量値によって木くず混入率を評価できる

**400±25℃, 2時間の強熱減量値によって木くず混入率を評価できる**

この方法で強熱試験を実施すれば, 過大評価とならない⇒有効利用促進

上記の強熱減量値〇〇%以下であれば環境保全上の支障は生じない

**上記の強熱減量値 - - %以下であれば生活環境保全上の支障は生じない**

判定閾値を決めるのが困難。土のみでのNG。TOC=100とすればLOI=10%

上記の強熱減量値〇〇%以下であれば堆積物の高さ制限は解除できる

**少なくとも,  
上記の強熱減量値10%以下であれば堆積物の高さ制限は解除できる**

復興資材のストックパイル, 無機系混合廃棄物の高さ制限は解除できる