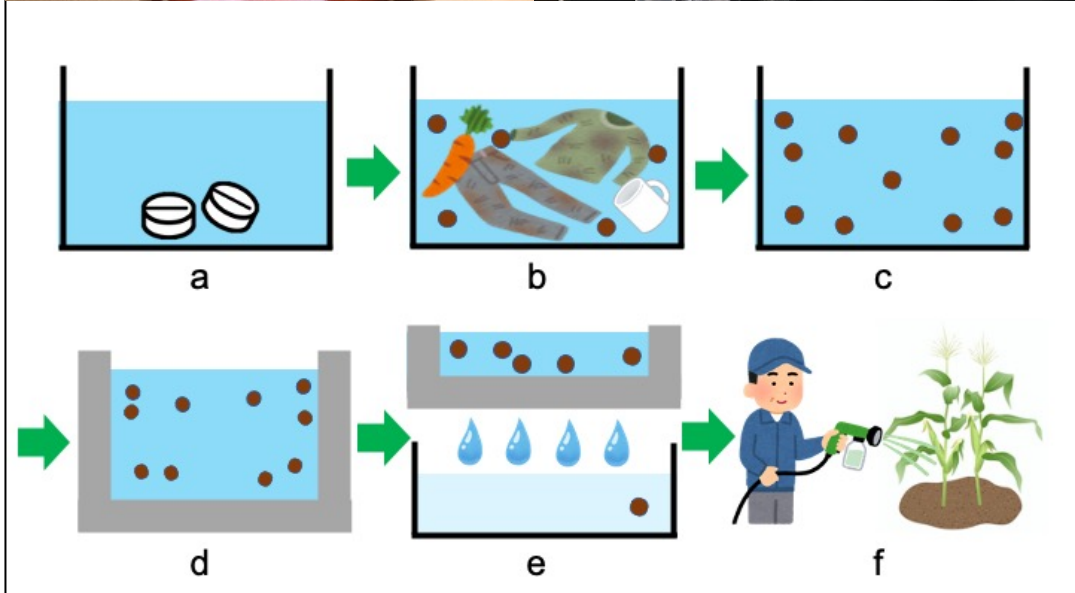


# 開発途上国の水質汚染抑制研究



青森県立名久井農業高等学校

F L O R A   H U N T E R S

## 1 研究の背景

窒素やリンなどの栄養塩類は、水生生物の栄養源である。しかし窒素が増え富栄養化になると植物プランクトンの繁殖により溶存酸素が減少し、水生生物や人間の健康に悪影響を与えてしまう。富栄養化の原因として産業排水や生活排水があげられる。特に生活排水は小規模だが広く存在し、水質汚染の原因の約 70%にもなっている（表 1）。し尿以外の台所、風呂及び洗濯等の排水を生活雑排水（グレイウォーター）というが、人口増加に設備が追いつけない開発途上国では深刻な問題となっており、早急な対策が求められている。



図 1 未処理で排出される生活雑排水

表 1 生活排水の内訳(1人/1日)

分類	排出率	BOD
し尿	30%	13g
生活雑排水	台所	40%
	洗濯・風呂他	30%
		17g
		13g

そこで私たちは①洗剤の使用量を削減できる②生活雑排水を浄化できる③除菌ができる途上国向けの洗浄除菌技術を考案した。原理は土と砂と消石灰を水で練って土壌を固化させる日本伝統工法の三和土（たたき）を利用して強アルカリ水を製作し、洗浄や除菌を行うものである。現在、日本で pH 12 以上の強アルカリ水で洗うコインランドリーが開発され注目されている。pH 11 以上の強アルカリ水が油汚れを落とし、さらに除菌効果があるとの報告がされているからである。しかし電解水生成装置は高価で途上国では導入しにくい。また粉体の石灰だと浸漬したものに付着して扱いにくい。この技術は、安価で簡単に作れる三和土ブロックを水に浸漬して洗浄除菌する持続可能なシステムである。

## 2 研究方法

### (1) 三和土の成分試験

どのような成分の三和土が目的の pH12 以上の強アルカリ水を作れるのか表 2 の試験区を設け実験を行った。なお、さまざまな土壌でも作れるように、砂質土である真砂土と膨潤性粘土であるベントナイトの 2 種類で製作した。また石灰質資材は消石灰の他、ホタテ貝殻を焼成して作った貝殻焼成カルシウムの 2 種類とした。

表 2 三和土の配合量（土の体積 1 に対して）

試験区	土	砂	石灰質資材
真砂土 消石灰 20% 区	真砂土	0.5	消石灰 20%（土砂の体積に対して）
真砂土 貝殻焼成 20% 区			焼成カルシウム 20%（ " ）
真砂土 消石灰 30% 区	真砂土	0.5	消石灰 30%（土砂の体積に対して）
真砂土 貝殻焼成 30% 区			焼成カルシウム 30%（ " ）
ベントナイト消石灰 30% 区	ベントナイト	0.5	消石灰 30%（土砂の体積に対して）
ベントナイト貝殻焼成 30% 区			焼成カルシウム 30%（ " ）
ベントナイト消石灰 40% 区	ベントナイト	0.5	消石灰 40%（土砂の体積に対して）
ベントナイト貝殻焼成 40% 区			焼成カルシウム 40%（ " ）

真砂土への添加量が 20%と 30%であるのに対し、ベントナイトが 30%と 40%多いのは、

微粒子のベントナイトを固化させるのに石灰質資材を多く必要だからである。握って崩れない硬さに練った三和土を容器に 100g 充填して 100 回叩き、1 週間放置して固化させ三和土ブロックを作る。その後、精製水 1 L の入った水槽に浸漬して水質の変化を 6 週間測定した。また 20g、40g、60g、80g、100g の重量の異なる三和土ブロックを浸漬して pH の推移を測定して適した大きさを探った。



図 2 三和土ブロック  
(左：真砂土、右：ベントナイト)

#### (2) 三和土アルカリ水の希釈試験

三和土アルカリ水を原液として純水で希釈し、pH を調査した。また三和土アルカリ水の使用法を探るため、水槽に蓋をして保存した場合と蓋をしない場合の pH の変化も測定した。

#### (3) 三和土アルカリ水の洗浄試験

純水と三和土アルカリ水に油を 3 滴垂らし、変化を観察する。また 5 cm 四方に切った綿布に油を 3 滴垂らしたら 30 分間布に馴染ませる。その後、三和土アルカリ水に浸漬し、2 時間後に引き上げて汚れの状態を観察する。

#### (4) 除菌試験

ドライイーストで酵母菌培養液、100ml の純水に 50g の腐葉土を浸漬して腐葉土培養液を作る。試験は三和土アルカリ水 20ml にそれぞれの培養液 0.5ml 加えて 5 分経った液を、一般細菌試験紙に 1ml 垂らして 37 度 24 時間培養し、発現したコロニー数を測定した。また純水にでも同じ実験行ない三和土アルカリ水と比較した。

#### (5) 廃液処理試験

生活雑排水を三和土に透過させたら汚染源の窒素や塩分を削減できるか排液処理試験を行なった。実験は浄化資材を底部に穴のあいたプラスチック容器に深さ 5 cm で充填して廃液を注ぎ、その透過水の成分を測定して浄化力を評価した。試験区は表 3 のとおりである。また浄化資材としてバーミキュライト (Vm) も用いた。

表 3 排液の浄化処理試験

試験区	内容
真砂土区	真砂土だけを充填
ベントナイト区	ベントナイトだけを充填
真砂土三和土区	真砂土 1、砂 0.5、消石灰 (土砂体積の 20%)
ベントナイト三和土区	ベントナイト 1、砂 0.5、消石灰 (土砂体積の 30%)
バーミキュライト三和土区	バーミキュライト 1、砂 0.5、消石灰 (土砂体積の 20%)

### 3 結果

#### (1) 三和土の成分試験

真砂土とベントナイトをベースにして消石灰と貝殻焼成カルシウムで製作したブロックでは、どのように水質が変化するか pH と Ca イオン濃度を 6 週間測定した (図 3)。左が消石灰、右が焼成貝殻カルシウムで固化させた三和土の水質である。その結果、いずれの石灰質資材でもすぐに pH が上昇し、目標である pH12 以上の強アルカリ水となった。特に 3 ~ 4 週間後には pH12.5 を超えた。また真砂土、ベントナイトとも石灰質資材の添加量が多

いほど pH が高くなった。なお測定時以外は容器をラップで蓋をしている。

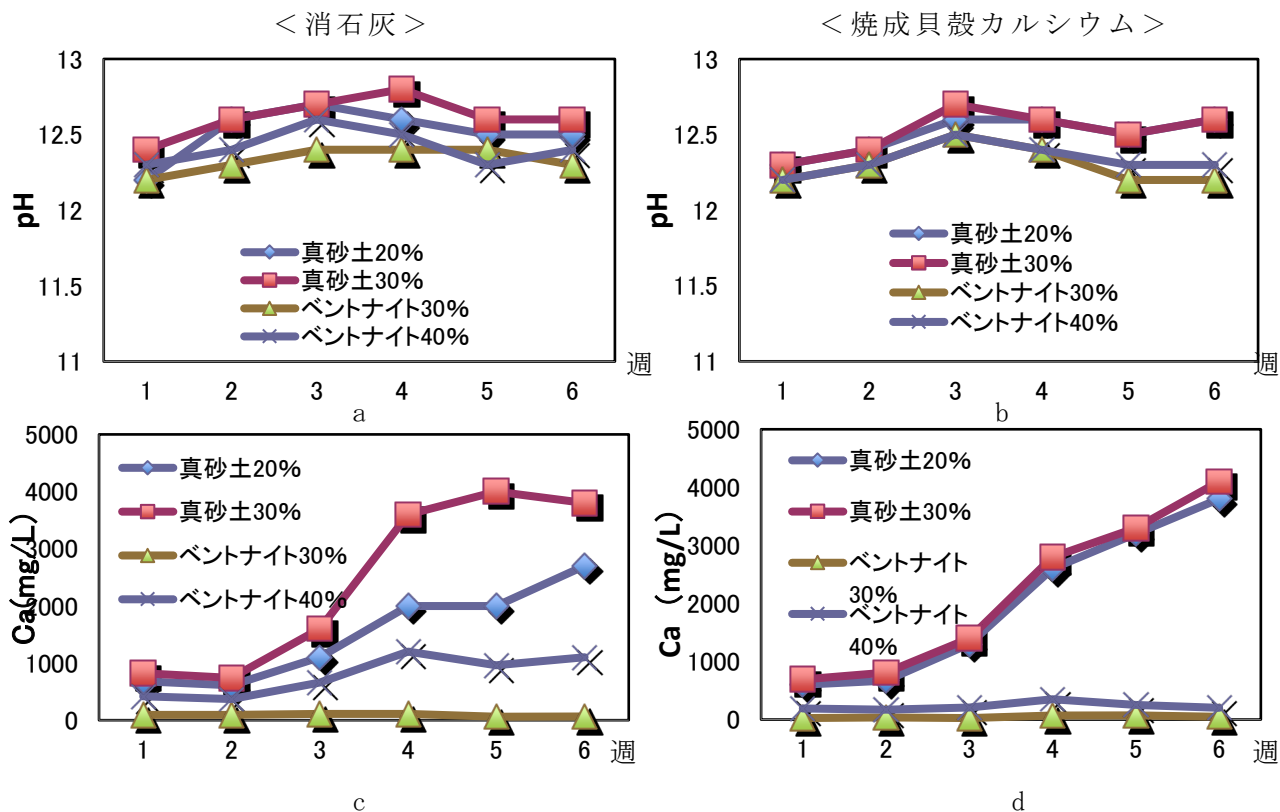


図3 6週間の pH と Ca 濃度の変化。(消石灰:ac、貝殻焼成カルシウム:bd)

さらにどの石灰質資材でもベントナイトより真砂土の pH と Ca 濃度が高くなり、たくさんの Ca が溶出していることがわかった。砂質の真砂土の粒子は粘土のベントナイトより大きい。そのため隙間に水が入り込みやすく Ca の溶出を促したものと考えられる。また固化中、三和土に加えた消石灰である水酸化カルシウムは、二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムに変わる。また貝殻焼成カルシウムの主成分は生石灰と同じ酸化カルシウムだが、水と反応して水酸化カルシウムに変化し、炭酸カルシウムとなる。炭酸カルシウムは水に溶けにくいが強アルカリ性のため、ともに強アルカリ水になったと考えられる。

次に重量の違う三和土ブロック（消石灰20%）の pH を測定した。の関係を探った。その結果、100g 以下のブロックでは pH が 12 以上には上昇しなかった。これは pH を上昇させるだけの Ca が溶出していないためと考えられる。この結果から三和土ブロックは 100g/L が良いことがわかった。今後の実験は 100g/L のブロックで行うこととした(図4)。

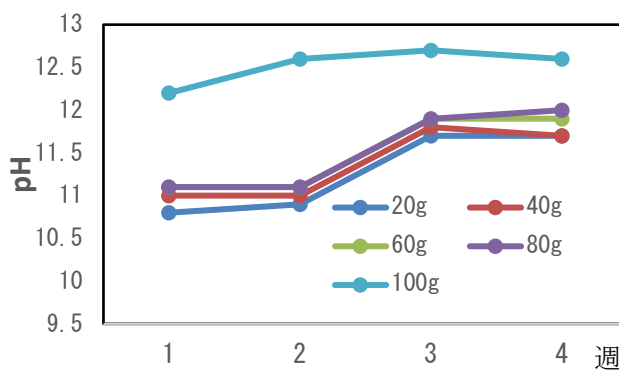
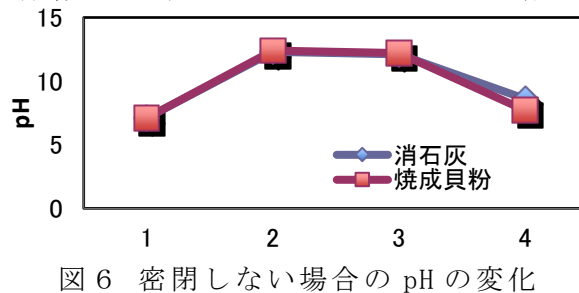
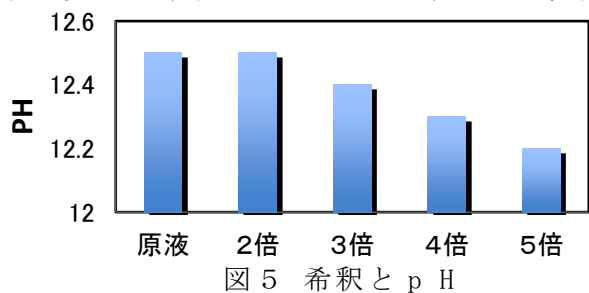


図4 三和土の重量と pH

### (3) 三和土アルカリ水の希釈試験

pH12.5 のアルカリ水を純水で 2 倍、3 倍、4 倍、5 倍に希釈した。その結果、5 倍まで希釈しても pH12.2 と高い pH を示した。これにより原液を希釈しながら使うことが可能であることがわかった(図5)。また三和土アルカリ水を放置すると pH が下がった。二酸化

炭素と反応し中和したためだと考えられ、密閉保存が必要であることがわかった（図6）。



#### (4) 三和土アルカリ水の洗浄試験

純水に垂らした油は水では混じらず水面に集まったが、三和土アルカリ水では油が小さく分割され、水に混ざる乳化現象が起きた（図7）。脂肪酸がアルカリ成分で乳化し、グリセリンと石鹼の成分である脂肪酸塩に分解されたと思われる。また油汚れをつけた綿布を浸漬すると純水では約4分の1残っていたが、三和土アルカリ水ではほぼ落ちていた（図8）。これにより食器や衣類の簡易洗浄に使える可能性が高いと思われる。

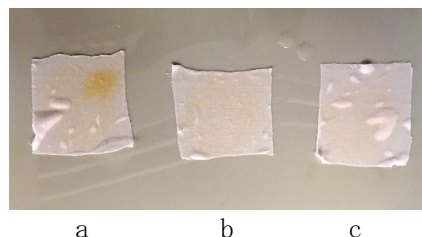
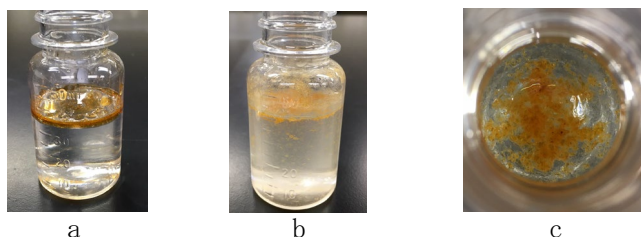


図7 三和土アルカリ水の乳化

(a:純水、bc:三和土アルカリ水)

図8 三和土アルカリ水の油汚れの洗浄

(a:純水、b:消石灰、c:貝殻焼成Ca)

#### (5) 除菌試験

pH12.5の三和土アルカリ水に酵母菌をわずか5分入れただけでコロニー数は純水の70%に減らすことができた（図9）。また腐葉土から抽出した微生物では約95%も抑制した。強アルカリによって微生物の繁殖を抑制、死滅させたからだと考えられる。

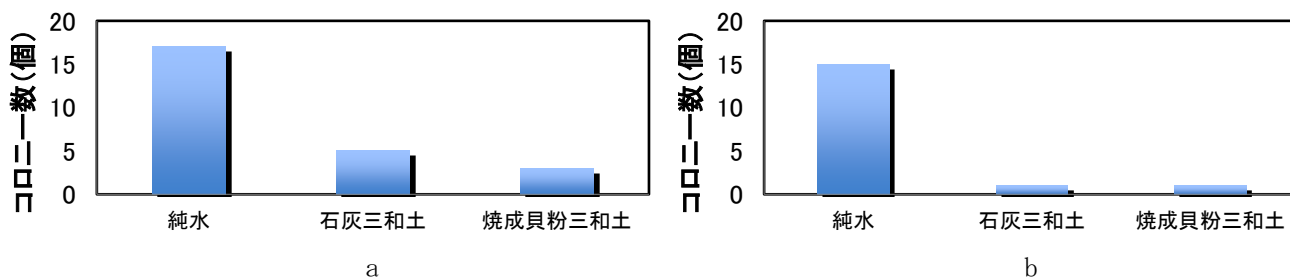


図9 コロニー数(a:酵母菌、b:腐葉土培養菌)

#### (6) 廃液処理試験

三和土アルカリ水で洗剤使用量を削減できでも浄化施設のない農村では排水されてしまう。そこで三和土を浄化フィルターとして使えないか、洗剤と食器洗浄廃液(表4)を注ぎ、透過水の水質を分析した。しかしベントナイトは膨潤性粘土のため水を吸水して膨らみ1週間経ってもまったく浸透しなかった。グラフにベントナイト区の記載がないのはそのためである。（図10）。

表4 廃液の成分

項目	pH	NH <sub>4</sub> -	NO <sub>3</sub> -	PO <sub>4</sub> -	Na (mg/L)	Ca (mg/L)
----	----	-------------------	-------------------	-------------------	-----------	-----------

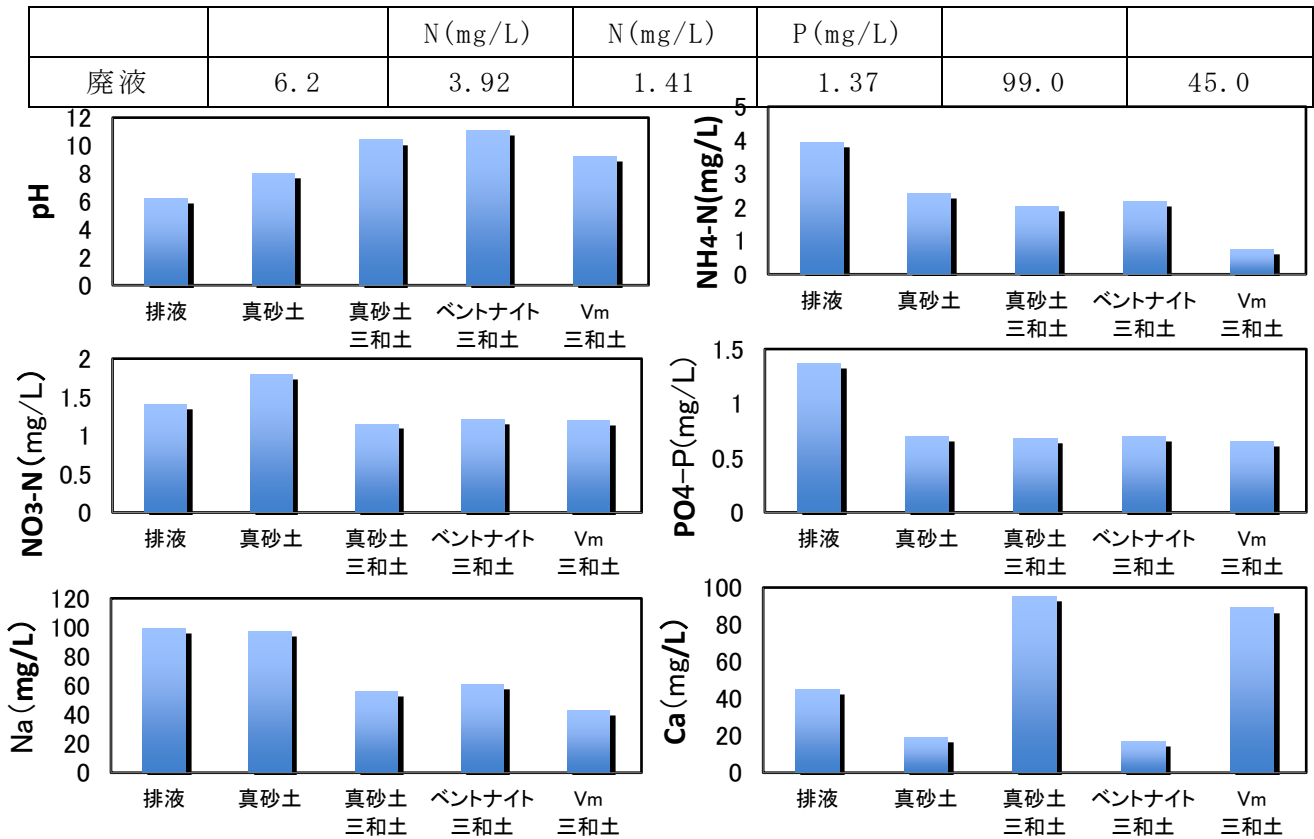
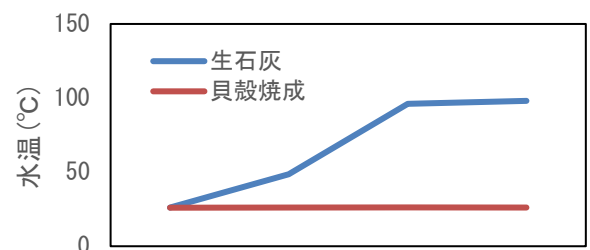


図 10 浸透水の水質分析

実験の結果、三和土を透過すると約 pH10 と高くなった。三和土の消石灰からカルシウムが溶出しているためと考えられる。これは Ca 濃度が高いことから推測できる。しかしベントナイトの Ca 濃度は低かった。微細なベントナイトの土壌粒子に消石灰が付着し、密に固着しているため溶出しにくかったと思われる。また富栄養化の原因となる NH<sub>4</sub>-N の濃度は、土壌を透過するといずれも半減した。特にバーミキュライトでは 3 分の 1 まで減った。バーミキュライトは交換性陽イオンとしてマグネシウムを保持している園芸用保肥材である。そのためマグネシウムと交換で廃液の NH<sub>4</sub>-N や Na を吸着したと考えられる。また NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P では NH<sub>4</sub>-N に比べると減少幅は小さかった。これは陰イオンの NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P は吸着されず透過したためと考えられる。

#### 4 まとめ

私たちは生活雑排水(グレーウォーター)による水質汚染を抑制する研究に取り組んできた。その結果、三和土ブロックでの洗浄除菌技術を開発した。使用の際は pH が高いためゴム手袋やトングを使うこと、中和しないよう蓋付き容器で作ることなど留意点はあるが焼成カルシウムは生石灰と同じ酸化カルシウムだが、K などの不純物を含むため水を加えても発熱せず安全に扱うことができる(図 11)。現在、開発途上国では生活雑排水を農業に利用する動きがある。しかし廃液そのままでは Na が多く、さらに有害微生物が繁殖している可能性もあり対策が求められている。しかし三和土透過水は Na が除去されアルカリ成分で除菌も可能となる。また吸着されない NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P は植物の肥料成分であるため再利用できる可能性が高い。今後は途上国の安全安心な暮



らしを支え、SDGsの実現に貢献できる本技術をさらに検証し、世界に普及にさせていきたい。

0 10 20 30 秒  
図 11 消石灰と貝殻焼成 Ca の発熱