

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560574

研究課題名（和文） 硫化水素発生を制御した廃石膏ボードの効率的な埋立手法の開発

研究課題名（英文） Development of the efficient landfilling system for suppression of hydrogen sulfide generation from the waste plasterboard

研究代表者

柳瀬 龍二 (YANASE RYUJI)

福岡大学・環境保全センター・教授

研究者番号：20131849

研究成果の概要（和文）：

最終処分場から発生する硫化水素は廃石膏ボード由来が主であり、硫化水素の発生要因や抑制手法を、埋立廃棄物の組合せや埋立構造等の観点から検討した。埋立処分された石膏ボードは、嫌気性雰囲気の中で、pHが中性領域、温度が15℃以上及び有機物が存在する環境では硫化水素が発生し気相へ流出したが、好気性雰囲気では発生しなかった。また、アルカリ性廃棄物と混合埋立すると硫化水素の発生を抑制でき、更に、覆土材による硫化水素の固定化法として、真砂土よりも鉄系廃棄物（鋳物砂等）が、硫化水素の大気拡散を制御することが可能であった。

研究成果の概要（英文）：

A key factor in the generation of hydrogen sulfide in landfill disposal sites is thought to be waste plasterboard. Consequently, the disposal of waste plasterboard to landfill poses a problem for the environmental management of landfill sites. The factors affecting the release of hydrogen sulfide and techniques for preventing the generation of hydrogen sulfide in landfill sites were examined from the viewpoint of the combination of landfill wastes and the landfill types. Hydrogen sulfide was released from landfilled plasterboard under anaerobic conditions in an experimental lysimeter. The gas was released when the environment included a pH in the neutral. The release of hydrogen sulfide could be suppressed even after the addition of organic waste to stimulate the production of hydrogen sulfide

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：廃棄物，硫化水素，廃石膏ボード，最終処分場，発生抑制，埋立構造

### 1. 研究開始当初の背景

近年、産業廃棄物の安定型最終処分場で硫化水素が発生し悪臭問題や硫化水素中毒と疑われる死亡事故が発生した。硫化水素の発生は国立環境研究所の調査結果から、石膏と有機物（紙、バインダー）で製品化された石膏ボードが使用後に廃棄され、埋立処分された廃石膏ボードがその原因物質として特定された。これを受け、環境省は平成18年6月1日以降廃石膏ボードの安定型最終処分場への埋立を禁止し、処分方法を表面の紙を除去した後に管理型最終処分場へ埋立処分する方向へと転換した<sup>1)</sup>。しかし、管理型最終処分場では有機物を含む産業廃棄物が埋立処分される中、廃石膏ボードの管理型最終処分場への埋立処分が増加することで、硫化水素の発生頻度が高くなる可能性がある。埋立地で発生した硫化水素の対策として、硫化水素の吸収剤を用いる武下ら<sup>2),3)</sup>の方法や石灰とコンクリート混合物を覆土とするCristine<sup>4)</sup>らの方法など多くの報告があるが、新たに費用が発生するものがほとんどである。このため、石膏ボードが埋立処分された場合、硫化水素がどのような条件下で発生し、一方で硫化水素の発生を抑制する条件を把握することが埋立地における硫化水素対策の基本となる。

### 2. 研究の目的

本研究では産業廃棄物最終処分場で顕在化している、硫化水素の発生を抑制する手法を把握するため、硫化水素の発生要件を解明し、同時に、廃石膏ボードと一緒に埋立処分されている産業廃棄物を利用することで、硫化水素の発生を抑制し、通常の埋立手法で十分な環境保全対策が可能な効率的な埋立手法を確立することを目指した。

そこで本研究では、硫化水素の発生に関する情報収集と、埋立実験槽を用いて、大きく2項目について検討した。

- (1) 産業廃棄物と廃石膏ボードの混合埋立実験による硫化水素発生抑制と埋立構造の違いによる硫化水素の発生状況の検討。
- (2) 埋立実験槽を用いた廃棄物による発生した硫化水素の固定化実験。

以上の検討結果を基に、廃石膏ボードと他の産業廃棄物の組合せによる混合埋立実験を主体に検討し、管理型処分場における廃石膏ボードからの硫化水素発生を抑制する効率的な埋立手法と、その一方で、石膏ボード中の硫酸体を硫化水素化させない環境を創造する埋立手法を提案する。

### 3. 研究の方法

(1) 廃棄物と廃石膏ボードの混合埋立実験による硫化水素発生抑制と埋立構造の違いによる硫化水素の発生状況の検討

廃石膏ボードから発生が想定される硫化

水素の発生を抑制する条件を把握するため、廃石膏ボードと他の廃棄物（廃棄物の性状や排出量等を考慮）を用いて、混合比の違いや組合せが硫化水素の発生に及ぼす影響について検討した。

①対象廃棄物：

廃石膏ボード、焼却灰、破碎残渣

②混合条件：

2種類の廃棄物の混合埋立とし、その組合せ条件は表1の通りとした。

表1 硫化水素発生実験条件

実験槽	埋立構造	廃棄物混合比
No. 1	準好気性	石膏 10 割
No. 2	嫌気性	
No. 3	準好気性	石膏 3 割 ：焼却灰 7 割
No. 4	嫌気性	
No. 5	準好気性	石膏 1 割 ：焼却灰 9 割
No. 6	嫌気性	
No. 7	準好気性	石膏 3 割 ：破碎残渣 7 割
No. 8	嫌気性	
No. 9	準好気性	石膏 1 割 ：破碎残渣 9 割
No. 10	嫌気性	

石膏：廃石膏ボード、焼却灰：一般廃棄物の焼却灰、破碎残渣：一般廃棄物の不燃残渣

③埋立実験槽（図1参照）

混合埋立に使用する実験槽は直径30cm、ごみ層50cmとし、堅型ガス抜き管近傍を想定し、廃棄物が一部滞水状態（嫌気性）と非滞水（準好気性）状態になるように設置。散水は日平均降雨量5mmを2回/週に分けて散水。

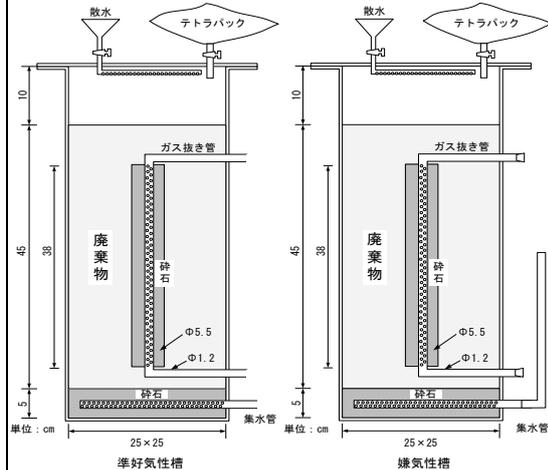


図1 硫化水素発生抑制埋立実験槽

(2) 埋立実験槽を用いた廃棄物による発生した硫化水素の固定化実験

①対象産業廃棄物：

廃石膏ボードと破碎残渣の混合物

②硫化水素固定材：

2種類の固定材（鋳物廃砂）と比較対象材（真砂土）

- ③混合条件と硫化水素固定材の設置方法：  
埋立表面に一定の厚さで覆土材として設置（表2参照）

表2 硫化水素固定実験条件

実験槽 No.	11	12	13	14	15	16
埋立構造	嫌気性埋立					
廃棄物	石膏3割：破碎残渣7割					
硫化水素固定材	無し	鋳物砂 A	鋳物砂 B	真砂土		
層厚 (cm)	0	2	4	4	2	4

- ④埋立実験槽（図2参照）

使用する埋立実験槽は直径30cm、廃棄物層50cmとし、堅型ガス抜き管近傍を想定した構造で、廃棄物の一部が滞水（嫌気性）状態となるように設置する。散水は日平均降雨量5mmを2回/週に分けて散水。

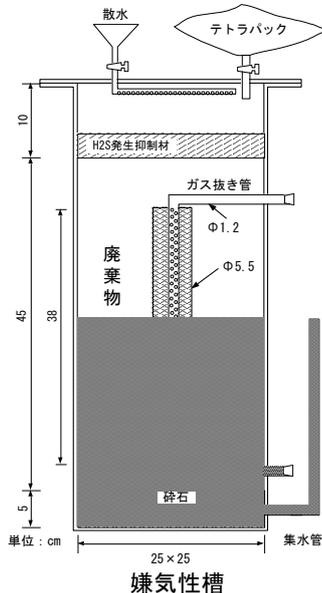


図2 硫化水素固定化埋立実験槽

#### 4. 研究成果

- (1) 廃棄物と廃石膏ボードの混合埋立実験による硫化水素発生抑制と埋立構造の違い

廃石膏ボードと廃棄物を混合埋立した場合の硫化水素の発生条件を検討した。硫化水素が発生する埋立地の条件として、有機物含有量の違いとそのpHの違い（焼却灰と破碎残渣の違い）及び埋立構造の違い（準好気性：好気性雰囲気と嫌気性：嫌気性雰囲気の違い）を想定し、小型埋立実験槽を用いて硫化水素が発生する条件と発生を抑制する条件で検討した結果を以下にまとめた（図3, 4, 5, 6, 7参照）。

- ①準好気性埋立の場合：廃石膏ボードと廃棄物を混合埋立した埋立実験でも、準好気性条件下では硫化水素の発生がほとんど無

く、埋立実験槽内でも廃石膏ボードが硫酸カルシウム状態で存在し、硫酸還元菌による分解が起きていない。また、廃石膏ボードと混合する廃棄物の違い（焼却灰や破碎残渣）に関係なく硫化水素の発生は認められなかった。

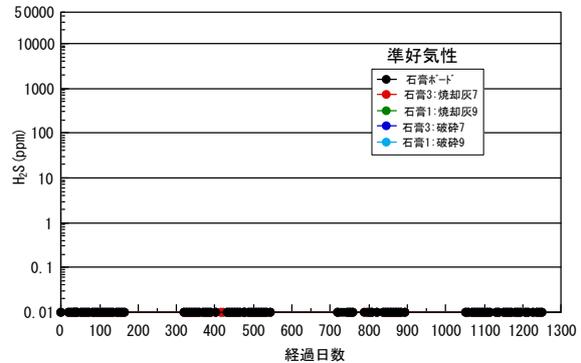


図3 準好気性埋立における硫化水素発生

- ②嫌気性埋立の場合：石膏ボードを焼却残渣と混合埋立した場合は、準好気性埋立と同様に、硫化水素がほとんど発生しなかった。しかし、廃石膏ボードの単独埋立や破碎残渣と混合埋立すると、嫌気性条件下では埋立層内温度が15℃以上、流出する浸出水中のTOC濃度が40mg/l以上、pHが9以下では、高濃度の硫化水素が発生した。また、温度が低くなる冬季には硫化水素の発生が小さくなったが、埋立2年目も温度が高くなると硫化水素の発生が確認された。
- ③嫌気性条件下において有機物が不足すると硫化水素の発生が終息する傾向を示したことから、有機物の再添加による硫化水素発生再現性を埋立4年目に検討した。有機物（TOC 500mg/l）を含む水溶液を散水によって埋立層に供給した結果、廃石膏ボードと破碎残渣の混合埋立において硫化水素の発生が再開したことから、埋立廃棄物中に易分解性有機物が存在すれば硫化水素の発生の可能性がある事が確認できた。
- ④アルカリ性領域では硫酸還元菌の生育阻害によって、硫化水素が発生しなかったことが想定された。また、埋立層内で発生した硫化水素は埋立廃棄物中の金属類と硫化物を形成し、硫化水素がガスとして大気拡散をしていない可能性が有る。その一方で、硫化水素が浸出水中に可溶化している可能性もあった。そこで、浸出水中の硫化物等を検討した結果、浸出水中から検出された硫化物は1mg/l以下で、溶解性硫化水素と懸濁物質由来の硫化水素の両者が確認され、懸濁物質由来の硫化水素が約60%を占めていたが、流出量は少量であった。

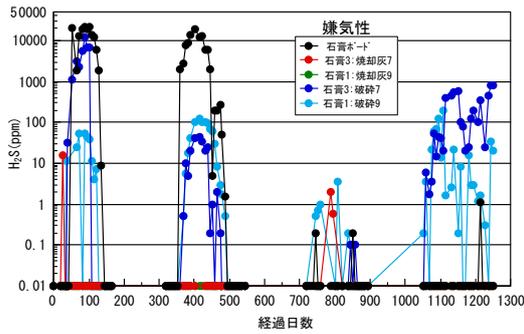


図4 嫌気性埋立における硫化水素発生

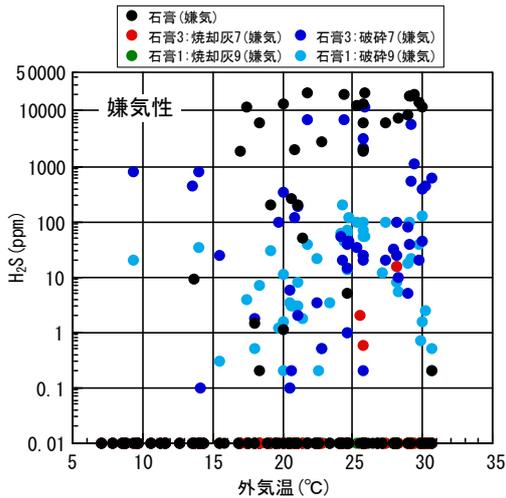


図5 温度と硫化水素発生の関係

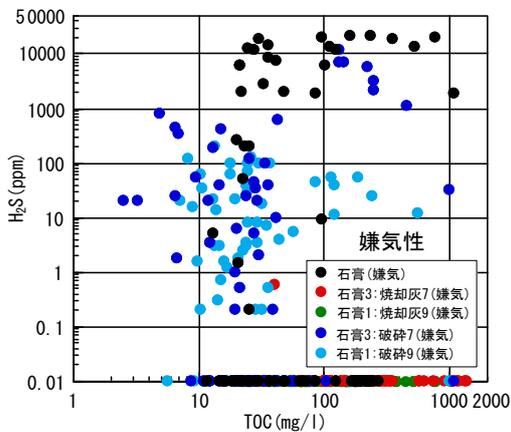


図6 TOCと硫化水素発生の関係

(2)埋立実験槽を用いた廃棄物による発生した硫化水素の固定化実験

廃石膏ボードと他の廃棄物を混合埋立処分した場合、一定の条件下で硫化水素が発生する事が明らかになったことから、埋立地内で発生した硫化水素を、廃棄物や覆土材等を用いて固定化し、大気拡散を抑制する手法を検討した結果を以下にまとめた。

①埋立実験槽からの硫化水素の発生は、廃

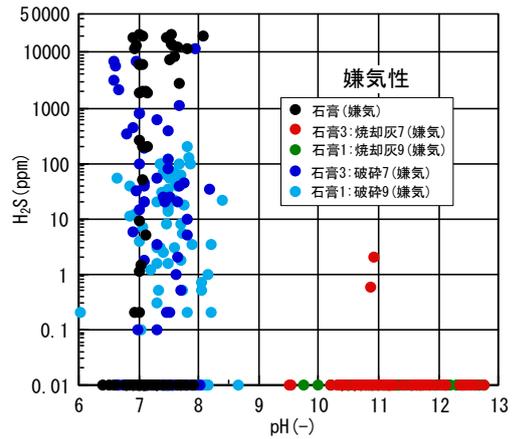


図7 pHと硫化水素発生の関係

物砂や真砂土を固定材として覆土に使用生する事が明らかになったことから、埋立地内で発生した硫化水素を、廃棄物や覆土材等を用いて固定化し、大気拡散を抑制する手法を検討した結果を以下にまとめた。

①埋立実験槽からの硫化水素の発生は、廃物砂や真砂土を固定材として覆土に使用した場合と覆土材のない場合と比較すると、硫化水素の発生濃度は真砂土が1/10以下まで、廃物砂が1/1000以下まで低下する等、廃物砂を用いた方が硫化水素の大気拡散を抑制することが可能であった(図8参照)。

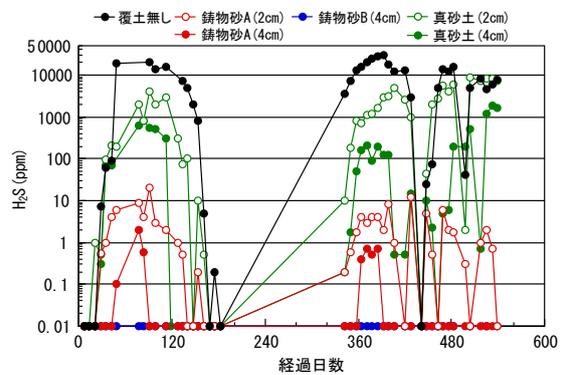


図8 固定材による硫化水素発生抑制

②現在一般的に使用されている埋立地の覆土材(真砂土)が硫化水素の固定材として使用可能か検討した結果を、廃物砂による硫化水素の発生抑制と比較した。廃物砂を用いた場合は10ppm以下にまで硫化水素の発生が抑制され、これは真砂土の約1/100の硫化水素濃度であり、廃物砂が硫化水素の固定材と有効であることが確認できた(図9参照)。

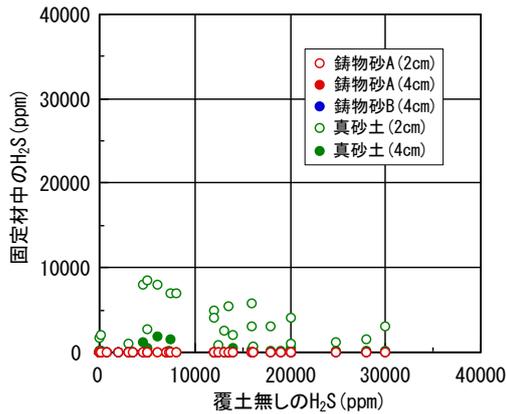


図9 固定材による硫化水素発生抑制効果

(3) 総括

本研究では管理型処分場に廃石膏ボードが埋立処分された場合を想定した埋立実験の結果、硫化水素発生条件を表3に示した。

- ①埋立地の内部温度が15℃以上である事、
- ②浸出水へ流出するTOC濃度が40mg/l以上である事、
- ③埋立地内部のpHが中性領域であり、浸出水のpHが9以下である事、
- ④好気性環境下では硫化水素の発生はなく、嫌気性環境下

表3 埋立地における硫化水素の発生条件

埋立廃棄物	準好気性	嫌気性
石膏ボード単独	発生無し	発生有り
石膏ボード+焼却灰	発生無し	発生無し
石膏ボード+破碎残渣	発生無し	発生有り

で硫化水素が発生する事、⑤焼却残渣等のアルカリ性廃棄物との混合埋立では硫化水素の発生が抑制され、破碎残渣などの中性廃棄物や易分解性有機物を含有する廃棄物と混合埋立を行った場合は、硫化水素が発生する環境にあった事などが、主たる要因となっていることが確認できた。

一方、埋立地内部で発生した硫化水素はその一部が埋立廃棄物中の成分と反応し硫化物を生成し、硫化水素の発生濃度を低濃度化していることが想定された。また、その一部はSS性硫化物や可溶化した硫化水素が浸出水中に微量流出する傾向にあった事も確認できた。更に、埋立地内で硫化水素が発生した場合を想定した硫化水素対策として、埋立地の覆土材による硫化水素の固定化の可能

表4 硫化水素の発生条件（要因）とその抑制対策

硫化水素の発生条件		発生抑制対策
①硫酸イオンの存在 ②有機物の存在		<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 過度の硫酸塩含有廃棄物、有機物を含む廃棄物の埋立を制限する（有機物を多く含む廃棄物と混合埋立をしない）</li> <li>▶ 廃石膏ボード単体では賛成状態になるため、アルカリ性廃棄物（燃え殻・焼却灰・鉍さい等）と混合埋立する。（ただし、浸出水中に硫化水素が溶解する可能性が有り、浸出水処理時に硫化水素の発生に注意が必要）</li> </ul>
③嫌気性環境 ④埋立層内の滞水	層内に浸出水・浸透水が滞水し嫌气的状態  埋立地内部の中層域が酸素不足となり嫌气的状態（廃棄物層厚が10m以上）	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 埋立層内を滞水させないように、集排水管の木野を維持する。</li> <li>▶ 浸出水・浸透水の発生量を削減する（雨水排除を実施する）。</li> <li>▶ 埋立地内部をより好气的にするため、ガス抜き管（堅型、横引き）等を多く設置する（埋立途中からでも実施可能）</li> <li>▶ 廃石膏ボードを埋立地内部の好気性領域（ガス抜き管近傍など）に処分する。</li> <li>▶ 廃石膏ボードは空気を通さない汚泥等の廃棄物と混合埋立しない。</li> </ul>

表5 硫化水素発生後の対策例

対策手法	内容
①薬剤散布	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 酸化剤となる薬品を埋立表面に散布、又は埋立層中に浸透させることにより、嫌気性環境における還元雰囲気改善する。</li> <li>▶ 鉄を含む溶液を散布し、硫化水素を硫化鉄として生成除去する。</li> </ul>
②ガス吸引／薬剤処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 埋立地内をボーリングし、発生した硫化水素を吸引した上で、薬剤等により硫化物を生成除去する。</li> </ul>
③ガス燃焼	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 硫化水素と一緒に埋立内から発生するメタンガスの燃焼が可能な状況にある場合は、埋立地内にボーリングし燃焼装置で、メタンガスと同時に硫化水素も燃焼する。</li> </ul>
④雨水排除／覆土施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 埋立地内への雨水浸透を抑制し、埋立地に浸出水が内部滞水しないように雨水排除を適切に行う。</li> <li>▶ 処分場表面から発生する硫化水素を硫化物を生成する能力のある廃棄物（廃鑄物砂等）を覆土材として使用し、硫化水素を固定化する。</li> </ul>

性を検討した結果、廃鋳物砂等の鉄系廃棄物を覆土材として活用することで、硫化物生成による固定化が十分可能であることが確認できた。

以上、廃石膏ボードを管理型処分場に埋立処分する場合は一定条件の埋立環境を整えれば硫化水素が発生することが確認できた。

そこで、本研究の成果とこれまでの経験等を踏まえ、廃石膏ボードが埋立処分されている廃棄物管理型最終処分場において、硫化水素の発生を抑制するための維持管理手法について、「硫化水素の発生抑制対策」と「硫化水素発生後の対策」について表4、5に整理し、廃石膏ボードを埋立処分する場合の硫化水素の発生抑制手法と発生後の対策について提案を行った。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 正本博士, 松清敦史, 重松幹二, 松藤康司, 柳瀬龍二, 廃石膏ボードの小型埋立実験場による気相中への硫化水素放出抑制の検討, 廃棄物資源循環学会論文誌, 査読有 Vol. 23, No. 3, 2012. 5, 掲載決定

[学会発表] (計3件)

- ① 正本博士, 川上徹也, 重松幹二, 松藤康司, 柳瀬龍二, 覆土材による最終処分場からの硫化水素放出抑制, 第22回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2011. 11. 5, pp429-430, 東洋大学
- ② 正本博士, 橋川祐樹, 石松卓也, 重松幹二, 松藤康司, 柳瀬龍二, 廃石膏ボードの埋立処分に伴う硫化水素の発生抑制に関する基礎研究(第3報), 第21回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2010. 11. 6, pp527-528, 金沢市
- ③ 正本博士, 川久保雅人, 山本悠貴, 重松幹二, 松藤康司, 柳瀬龍二, 廃石膏ボードの埋立処分に伴う硫化水素の発生抑制に関する基礎研究(第2報), 第20回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2009. 9. 18, pp445-446, 名古屋大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

柳瀬 龍二 (YANASE RYUJI)  
福岡大学・環境保全センター・教授  
研究者番号: 20131849

### (2) 研究分担者

松藤 康司 (MATSUFUJI YASUSHI)  
福岡大学・工学部・教授  
研究者番号: 40078663  
重松 幹二 (SHIGEMATSU MIKIJI)  
福岡大学・工学部・教授  
研究者番号: 00242743  
正本 博士 (MASAMOTO HIROSHI)  
福岡大学・工学部・助教  
研究者番号: 30122740