

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2007～2009
課題番号：19340153
研究課題名 (和文) 休廃止鉱山における重金属汚染残土・水の浄化およびリスク逡減に関する新技術
研究課題名 (英文) New technology of phytoremediation of heavy metal-polluted soil and water in abandoned mines
研究代表者 榊原 正幸 (SAKAKIBARA MASAYUKI) 愛媛大学・大学院理工学研究科・教授 研究者番号：80202084

研究成果の概要 (和文)：本研究では、カヤツリグサ科ハリイ属マツバイなどの有害金属に対する重金属超集積植物を用いたファイトレメディエーション技術を実用化するため、スクリーニング調査、ラボ実験、室内・温室栽培実験、フィールド実験およびエンジニアリング設計ならびに経済性評価を行った。その結果、マツバイを用いたファイトレメディエーションが重金属汚染された土壌・水環境の浄化に有効であることが明らかになった。

研究成果の概要 (英文)：In the present study, screening survey, laboratory experiment, greenhouse cultivation experiment, field experiment, and engineering design and economical evaluation were done for practice of the phytoremediation using hyperaccumulators *Eleocharis acicularis*. As a result, it was clarified that the phytoremediation using *Eleocharis acicularis* is effective for the remediation of heavy metal-polluted soil and water in abandoned mine sites.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	9,100,000	2,730,000	11,830,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	11,000,000	3,300,000	14,300,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：環境地質

1. 研究開始当初の背景

「ファイトレメディエーション」は、水分や養分を吸収・分解する植物の性質・能力を利用して、土壌や水などの環境を修復する技術である。日本列島のような活動的島弧では、地盤・資源開発が行われた場合、残土や地下水中に環境基準を超える有害金属が含まれている場合が多い。現在、日本では、それら残土の遮水埋設処分を行っているが、この方法は高コストで、かつ将来再びそのリスクが増大する可能性が大きい。しかしながら、一方で、発生した自然由来の有害金属に富む膨大な量の残土をファイトレメディエーションによ

ってすべて浄化することも極めて困難である。

このような背景において、申請者らは、有害残土が周辺環境へ与えているインパクトを重視し、その「リスクを逡減」し、「原位置のまま封じ込める」技術の開発が急務であると考えている。この研究プロジェクトの成功によって、植物による自然由来の有害金属に富む残土のリスク逡減・原位置封じ込め技術が開発・実用化されれば、現在、日本各地で問題となっている有害残土の処分コストおよび環境への二次的負荷は著しく軽減されることが期待される。

2. 研究の目的

本研究プロジェクトの目的は、カヤツリグサ科ハリイ属マツバイなどの有害金属に対する既知ならびに未知の重金属超集積植物 (HA) を用いたファイトレメディエーションによって、残土の表層および周辺水環境へのリスク軽減し、それらの原位置封じ込める技術を開発することである。そこで、この技術に関する基礎的研究をフィールド調査、基礎的室内・温室実験から始めて、サイト実験にまで段階的に展開する。また、全体システムの設計およびコスト・経済性分析も行った。

3. 研究の方法

本研究プロジェクトは(1)スクリーニング調査、(2)ラボ実験、(3)室内・温室栽培実験、(4)フィールド実験および(5)エンジニアリング設計ならびに経済性評価、によって構成される。

4. 研究成果

(1) 休廃止鉱山地域の植物・水・土壌のスクリーニング調査

① 愛媛県西条市・市ノ川鉱山周辺

野外調査で合計で13種34サンプルの植物サンプルを採取した。そのうちシダ植物門に属するものが6種20サンプル、被子植物門のユリ綱に属するものが4種8サンプル、モクレン綱に属するものが3種6サンプルである。

超集積植物としての規定値を越える重金属を含有する植物は見られなかったが、ヘクソカズラの葉が51.2 mg/kg-DWのSbを、オオキジノオの栄養葉が1,980 mg/kgのMnを含有していた。ヘクソカズラの自生土壌のSb濃度は、472 mg/kgであった。

② 愛媛県A鉱山の残土堆積場

愛媛県A鉱山の残土堆積場において、湿地の水の重金属濃度を測定した。その結果、Mnが39.4, Cuが15.9, Znが28.8, Asが0.34およびPbが1.54 ppbであった。また、湿地底質の粒度分析および重金属濃度を測定した。分析した結果、25地点の底質はシルトが約65、その他として細粒砂が約24、中粒砂が約10、粗粒砂0.9および粘土が約0.4 wt.%であった。底質の重金属濃度(25地点の平均)は、Mnが913, Cuが261, Znが11,000, Asが32.3およびPbが38.1 mg/kgであった。A鉱山残土堆積場の湿地に自生していた植物は、イグサ科のイグサおよびコウガイゼキショウであった。

③ 岡山県B鉱山・残土堆積場

本研究では、岡山県B鉱山の残土堆積場における河川水の重金属濃度の長期的変化を明らかにするため、2008年9月、2009年8月および10月

の3回に渡って測定した。2008年9月6日、2009年8月4日および同年10月28日の3回の測定の水の重金属濃度平均は、Mnが10.6, Coが0.09, Niが0.66, Cuが85.3, Znが1290, Asが33.9, Cdが17.6およびPbが0.08 μg/Lであった。

底質の重金属濃度は、Asが230~1,603, Cuが108~2,044, Znが67~2,100およびPbが32.1~202 mg/kgである。それらの平均(n=4)は、Asが1,032, Cuが767, Znが966, およびPbが85 mg/kgである。

(2) ラボ実験

重金属精密分析システムの構築

クリーンラボは愛媛大学理学部の耐震改築の際に設計・構築した。クリーンラボは前室がクラス10万、後室がクラス1万および後室内のクリーンブースがクラス100と用途ごとに3タイプの実験室によって構成されている。また、前処理に必要な超純粋製造装置および電子天秤を本課題の設備備品費で購入した。

(3) 室内・温室栽培実験

① マツバイの栽培実験

○水耕栽培実験

本研究課題において、マツバイに関して、2回の水耕栽培実験を行った。一つは、Sb, As, Cu, およびZnによって汚染された水におけるマツバイの水耕栽培実験である。この実験では、マツバイはその汚染された水によく順応して生育することができた。室内実験におけるSb, As, CuおよびZnの蓄積速度はそれぞれ3.04, 2.75, 0.417, および1.49 μg/L/dayであった。10日間後には、マツバイのSb, As, CuおよびZnの蓄積濃度が6.29, 6.44, 20.5および73.5 mg/kgであった。

もう一つ実験では、マツバイの重金属吸収量と水溶液中の重金属およびSi濃度と関係について検討した。

② ヘクソカズラの栽培実験

2週間水耕処理したヘクソカズラ3株を、それぞれ、(a)Sbを高濃度に含有する河川水(Sb濃度:326 μg/L)、(b)河川水と超純水を1:1で混合したもの、(c)超純水、の3種の水で14日間水耕栽培した。水は48時間ごとに新しいものと交換した。植物は実験終了後にSb濃度を測定した。

水のSb濃度は明確な減少が見られず、また植物のSb濃度も、河川水で水耕栽培したヘクソカズラの根の2.0 mg/kgが最大であった。

○ 土壌栽培実験の方法および結果

愛媛県砥部町弘法師鉱山付近の土壌にさらに輝安鉱粉末を混合したもの(Sb濃度:約600 mg/kg)を用いて、プランター1つにつき2株、合計4株のヘクソカズラを室内にて1年間栽培した。1, 2,

3 および7.5ヶ月目に新しく伸びた部位を5~8割程度、実験終了時に植物体全てを回収し、Sb濃度を測定した。

葉、つるおよび根の最大Sb濃度はそれぞれ81.3, 66.4 および 122 mg/kg であった。また、植物が集積したSbの重量を算出したところ、1年間の栽培実験で1株あたり最大65.5 µgのSbを集積しており、そのうち約70%は根に集積していた。

(4) フィールド実験

① マツバイのフィールド栽培実験

(a) 愛媛県西条市市ノ川鉱山

愛媛県西条市市ノ川鉱山周辺に建設された砂防ダム前の砂礫堆積物に直接マツバイを移植し、数週間ごとに試料を採取した。その結果、10週間後にマツバイに蓄積されたSb, As, Cu および Znの最大濃度(乾燥重量)はそれぞれ76.0, 22.4, 33.9 および 266 mg/kg であった。この結果は、マツバイが重金属汚染された河川水からSb, As, Cu および Znを吸収・蓄積する能力があることを示している。

(b) 愛媛県A鉱山

○マツバイ栽培実験の方法

本研究では、底質の重金属によるマツバイの成長阻害を著しく軽減するため、「ポット栽培法」(ジフィーポットに市販の砂を入れ、これにマツバイを移植し、ポットごと底質に埋める方法)を開発した。

○マツバイの栽培経過

A鉱山残土堆積場における栽培実験は移植した日を1日目(2008年7月8日)とし、479日目(2009年10月29日)まで行い、現在も継続中である。栽培62日目には、移植したマツバイから新しい葉が成長し、根が広がっている様子も観察された。栽培94日目には、マツバイは大きく成長しており、葉の長さも10 cm以上になった。栽培479日目には湿地の水は消失していたが、マツバイの生育に問題は認められなかった。

「ポット栽培法」によって栽培したマツバイは、最終的にバイオマスは移植時の約4倍にまで増大した。

○マツバイの重金属濃度

実験期間中におけるマツバイの重金属濃度の最高値は、緑の葉ではMnが553, Cuが143, Znが273, Asが5.4, Cdが1.9 および Pbが8.4 mg/kgであった。褐色の葉は、Mnが1,323, Cuが467, Znが395, Asが7.0, Cdが1.8 および Pbが26.7 mg/kgで、根はMnが775, Cuが200, Znが257, Asが4.4, Cdが2.1 および Pbが13.5 mg/kgであった。

これらの結果は、湿地の水の重金属濃度が低いため、重金属集積量はあまり高くなかったが、マツバイは気温や水温の変化に関係なく順調に生

育し、コンスタントに重金属を蓄積していた。また、元素によって差はあるが、褐色の枯れた葉が緑の葉や根よりも重金属をより高濃度に蓄積していた。この事実からマツバイに蓄積された重金属は、枯れた後も溶出せず体内に固定されていると考えられる。

(c) 岡山県B鉱山

○マツバイ栽培実験の方法

本実験は、岡山県のA鉱山付近の残土堆積場を流れる小規模な河川において行った。実験では、この残土堆積場を流れる河川の約200 mの区間において、様々な底質13箇所にもマツバイを直接移植し、栽培後2, 3, 11 および 12ヶ月後にその葉の一部を採取し、それらの乾燥重量中の重金属濃度を測定した。

○実験結果

実験期間中における各栽培地点のマツバイに関しては、生育状況に関して大きなばらつきが見られた。採取したマツバイにおける葉中の各重金属濃度最大値は、栽培2ないし3ヶ月後が最も高いものが多く、Feが24,100, Cuが20,200, Znが14,200, Asが1,740, Pbが92.1, およびCdが239 mg/kgであった。一方、有用金属のうち、レアメタルおよび貴金属に関しては、採取したマツバイにおける葉中の各重金属濃度最大値は、Tiが1,150, Vが71.8, Crが157, Mnが2,640, Coが67.6, Niが66.4, Gaが78.9, Rbが80.6, Srが69.0, Zrが3,150, Nbが70.9, Moが40.6, およびAgが88.9 mg/kgであった。

今回の栽培実験で、これらベースメタルだけでなく、多数のレアメタルや貴金属をある程度吸収・蓄積する能力を有することが明らかになった。それらレアメタルの多くは、河川水や底質濃度が極めて低いことから、それらの生物濃集係数(Bioconcentration Factor)は非常に高いと推定される。このことは、濃度の高い鉱山廃水などでマツバイを生育することによって、マツバイがベースメタルおよびレアメタルのファイトマイニングに活用できることを示唆している。

② ヘクソカズラのフィールド栽培実験

市之川支流の上流部(平均Sb濃度: 92 mg/kg) および下流部(同: 280 mg/kg)に、各20株ずつヘクソカズラを植栽した。1, 2, 3 および 5ヶ月目にヘクソカズラを株ごと採取し、各部位のSb濃度を測定した。

ヘクソカズラは特に上流部において順調に生育し、つるの乾燥重量は実験開始時の3.5倍、根のそれは5倍に増加した。また、採取時のSb濃度は、上流部では最大5.2(根)、下流部では26.9 mg/kg(葉)であった。上流部では根のSb濃度が高く、重量換算でも平均62%のSbが根に集積していた。

ヘクソカズラは、最大Sb濃度が122 mg/kgであることから、日本初のSb超集積植物である可能性が高い。また、ヘクソカズラは、高濃度のSbを含む水・土壌においても順調に生育していたことから、Sb耐性も高いと考えられる。

ヘクソカズラはつる性の多年草であり、荒廃地に好んで生育する繁殖力旺盛な荒地植物である。また、根は秋に地上部が枯れた後もそのまま残り、翌年も継続して成長する上、バイオマスの増加量も大きい。したがって、ヘクソカズラは、自然由来のSb汚染された土壌のファイトレメディエーションを数年間にわたり継続して行う上で、非常に有効な能力を有していると言える。

(5) エンジニアリング設計および経済性評価 (担当：西村文武)

(1)~(4)の研究結果に基づいて、マツバイによるファイトレメディエーションにおけるエンジニアリング設計および経済性について検討した。その結果、マツバイによる重金属汚染された水環境のファイトレメディエーションが可能な条件として、①河川の場合、砂防ダム前面の湿地など水の流速が極めて遅い環境であること、②水深がほぼ一定で、かつ数10 cm以下であること、が挙げられる。また、マツバイが吸収した重金属は、その大部分が体内のプラントオパールに蓄積されていることから、一種の不溶化が行われていることになる。したがって、栽培したマツバイは刈り取ることなく、バイオマスを増大させ、枯れたマツバイも刈り取る必要がないことが明らかになった。それに基づく経済性の評価は、従来の不溶化や浄化技術と比較して、1/100程度のコストで十分であるという結論に達した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計34件)

1. Sano, S., Kohno, R., Kizu, T. & Sakakibara, M., Natural clarification of heavy metal contaminated stream water by *Athyrium yokoscense* (submitted).
2. Ha, N. T. H., Sakakibara, M. & Sano, S., Accumulation of indium and other heavy metals by *Eleocharis acicularis*: an option for phytoremediation and phytomining. *Environment International* (submitted).
3. Ha, N. T. H., Sakakibara, M., Sano, S., Ito, Y. and Tamoto, S., Metal accumulation in wild plants growing at an abandoned mine site in Hokkaido, Japan. *Journal of Hazardous Materials*. (submitted)
4. Ha, N. T. H., Sakakibara, M. and Sano, S., 2009, Phytoremediation of Sb, As, Cu and Zn from Contaminated Water by the Aquatic Macrophyte *Eleocharis acicularis*. *Clean - Soil, Air, Water*; 37, 9, 720-725. 査読有
5. Ha, N. T. H., Sakakibara, M. and Sano, S., 2009, The potential of an aquatic macrophyte *Eleocharis acicularis* for phytoremediation of heavy metal contaminated water. The 15th Symposium on Soil and Groundwater Contamination and Remediation, 156-161. 査読有
6. 内海あずさ・榊原正幸・佐野 栄・世良耕一郎, 2009, アンチモン汚染された土壌のヘクソカズラによるファイトレメディエーション. 第15回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 167-170. 査読有
7. 榊原正幸・大森優子・佐野 栄・世良耕一郎・堀利栄, 2009, 重金属汚染された水・堆積物におけるマツバイによるファイトレメディエーションおよびファイトマイニング. 第15回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 525-530. 査読有
8. Sakakibara, M., Harada, A., Sano, S. and Hori, S. R., 2009, Heavy Metal Tolerance and Accumulation in *Eleocharis acicularis*, a Heavy Metal Hyperaccumulating Aquatic Plant Species. *Geo-pollution Science, Medical Geology and Urban Geology*, 5, 1, 1-9. 査読有
9. Ha, N. T. H., Sakakibara, M., Sano, S., Hori, S. R. and Sera, K., 2009, The potential of *Eleocharis acicularis* for phytoremediation: case study at an abandoned mine site. *Clean - Soil, Air, Water*; 37, 3, 203-208. 査読有
10. 内海あずさ・榊原正幸・佐野 栄・世良耕一郎・川又明德, 2009, 愛媛県西条市市ノ川嶺山周辺に自生する植物の重金属含有量. 愛媛大学理学部誌要, 15, 17-26. 査読無
11. Gupta, D.K., Huang, H.G., Yang, X.E., Razafindrabe, B.H.N., and Inouhe, M., 2009, The detoxification of lead in *Sedum alfredii* H. is not related to phytochelatins but the glutathione. *Journal of Hazardous Materials, In Press, Accepted Manuscript, Available online 21 December 2009*. 査読有
12. Ha, N. T. H., Sakakibara, M., Sano, S., Hori, S. R., Takehana, D. and Sera, K., 2008, Phytoremediation potential of *Eleocharis acicularis* in a mining site of Hokkaido, Japan. *Proceedings from the Fourth International Conference on Environmental Science and Technology*, p216-221. 査読有
13. Sugawara, H., Sakakibara, M., Belton, D. and Suzuki, T., 2008, Heavy metal Distribution in framboidal pyrite by Micro-PIXE. *Proceedings from the Fourth International Conference on Environmental Science and Technology*, p222-226. 査読有
14. 榊原正幸・大森優子・佐野 栄・世良耕一郎・濱田 崇・堀 利栄, 2008, マツバイによる廃止鉱山残土堆積場の重金属汚染された水・底質環境の浄化. 第14回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 130-133. 査読有
15. 菅原久誠・榊原正幸・Belton, D.・鈴木哲也・竹花大介, 2008, マイクロPIXEによる砒素を溶出する泥岩の重金属濃度精密マッピング分析. 第14回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 437-440. 査読有
16. Ha, N. T. H., Sakakibara, M., Takehana, D., Sano, S., Sera, K. and Hori, S. R., 2008, Accumulation of heavy metals by *Eleocharis acicularis* in an abandoned mining site of

- Hokkaido, Japan. The 14th Symposium on Soil and Groundwater Contamination and Remediation, 550-553. 査読有
17. Sugawara, H., Sakakibara, M., Belton, D. and Suzuki, T., 2008, Quantitative micro-PIXE analysis of heavy-metal-rich framboidal pyrite. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 103, 131-134. 査読有
 18. Gupta, D.K., Tripathi, R.D., Mishra, S., Srivastava, S., Dwivedi, S., Rai, U.N. Yang, X. E., Huang H., and Inouhe, M., 2008, Arsenic accumulation in root and shoot *vis-a-vis* its effects on growth and level of phytochelatins in seedlings of *Cicer arietinum* L. *Journal of Environmental Biology*, 29, 3, 281-286. 査読有
 19. Sano, S., Sakakibara, M., Hori, S. R. and Chiba, E., 2007, Sorption of antimony in stream water by weathered and altered rock. *Contaminated Soils, Sediments and Water*, 12, 149-158. 査読有
 20. Sakakibara, M., Sano S., Inouhe, M., Watanabe, A. and Kaise, T., 2007, Phytoextraction and phytovolatilization of arsenic from As-contaminated soils by *pteris Vittata*. *Contaminated Soils, Sediments and Water*, 12, 267-272. 査読有
 21. 佐野 栄・榊原正幸・千葉悦子, 2007, 河川水中のヒ素・アンチモン濃度と鉄水酸化物による元素の移動について: 市之川鉱山周辺の事例. *地質汚染—医療地質—社会地質学会誌*, 3, 10-18. 査読有
 22. 榊原正幸・佐野 栄・井上雅裕・渡邊 彩・貝瀬利一, 2007, 砒素を蓄積したモエジマンダによる砒素蒸散とその条件. 第13回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 35-38. 査読有
 23. 大森優子・榊原正幸・佐野 栄・堀 利栄・田本修一・伊東佳彦・菅原玲子・近藤敏仁, 2007, 北海道の休廃止鉱山周辺における自生植物の重金属耐性および集積能力. 第13回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 426-430. 査読有
 24. 榊原正幸・梅木育世・佐野 栄・井上雅裕, 2007, モエジマンダ胞子の発芽における砒素耐性および前葉体の砒素吸収能力に関する実験的研究. *愛媛大学理学部除要*, 13, 1-6. 査読無
 25. Ito, H., Inouhe, M., Tohoyama, H. and Joho, M., 2007, Characteristics of copper tolerance in *Yarrowia lipolytica*. *BioMetals*, 20, 5, 773-780. 査読有
 26. Ito, H., Inouhe, M., Tohoyama, H. and Joho, M., 2007, Copper extrusion after accumulation during growth of copper-tolerant yeast *Yarrowia lipolytica*. *Z. Naturforsch.* 62c, 77-82. 査読有
 27. Ito, H., Inouhe, M., Tohoyama, H. and Joho, M., 2007, Effect of copper on acid phosphatase activity in yeast *Yarrowia lipolytica*. *Z. Naturforsch.* 62c, 70-76. 査読有
- [学会発表] (計31件)
1. Sakakibara, M., Ha, N. T. H., Omori, Y., Sano, S., Hori, S. R. and Sera, K., Macrophytes *eleocharis acicularis* in phytoextraction of heavy metal contaminated water and sediments in mine sites. The first International Conference on Environmental Pollution, Restoration, and Management, March 3, 2010, Ho Chi Minh City, Vietnam, poster
 2. Ha, N. T. H., Sakakibara, M., and Sano, S., Phytoaccumulation of trace elements from water by the aquatic macrophyte *Eleocharis acicularis*, The first International Conference on Environmental Pollution, Restoration, and Management, March 4, 2010, Ho Chi Minh City, Vietnam
 3. Ha, N. T. H.・榊原正幸・佐野 栄・世良耕一郎, The potential of the aquatic macrophyte *Eleocharis acicularis* for phytoremediation of metal-contaminated environments, 第19回環境地質学シンポジウム, 2009年12月4日, 東京
 4. 菅原久誠・榊原正幸・Belton, D.・鈴木哲也・竹花大介, Two-dimensional mapping analysis of heavy metals in an arsenic-releasing mudstone by micro-PIXE, 第19回環境地質学シンポジウム, 2009年12月4日, 東京
 5. 榊原正幸・大森優子・Ha, N.T.H.・佐野 栄・世良耕一郎・堀 利栄, カヤツリグサ科マツバイによるファイトレメディエーション技術の実用性, 第19回環境地質学シンポジウム, 2009年12月4日, 東京
 6. 久保田有紀・榊原正幸・濱田 崇・世良耕一郎, ヒ素汚染された河川におけるマツバイを用いたファイトレメディエーション, 第9回日本地質学会四国支部総会・講演会, 2009年11月28日, 高知
 7. Sugawara, H., Sakakibara, M., Belton, D.・鈴木哲也, Heavy metal distribution in framboidal pyrite by micro-PIXE, 2009 International Joint Symposium of IEGS (Korea), NIRE and CERi (Japan)- Studies on Survey and Evaluation Technologies of Underground Environment-, Nov. 3rd, 2009, Pusan, Korea, poster
 8. Ha, N. T. H.・榊原正幸・佐野 栄, The potential of an aquatic macrophyte *Eleocharis acicularis* for phytoremediation of heavy metal contaminated water, 第15回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 2009年6月18日, 名古屋, ポスター発表
 9. 内海あずさ・榊原正幸・佐野 栄・世良耕一郎, アンチモン汚染された土壌のヘクソカズラによるファイトレメディエーション, 第15回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 2009年6月18日, 名古屋, ポスター発表
 10. 榊原正幸・大森優子・佐野 栄・世良耕一郎・堀 利栄, 重金属汚染された水・堆積物におけるマツバイによるファイトレメディエーションおよびファイトマイニング, 第15回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 2009年6月19日, 名古屋, ポスター発表
 11. 丹生谷孝彦・佐久間洋・井上雅裕, トマトの懸濁細胞と植物体における亜鉛集積性と亜鉛結合物質の生成, 第50回日本植物生理学会年会, 2009年3月21-24日, 名古屋
 12. Ha, N. T. H.・榊原正幸・竹花大介・濱田 崇・佐野 栄・世良耕一郎・堀 利栄, Accumulation of heavy

- metals by *Eleocharis acicularis* in an abandoned mining site of Hokkaido, Japan, 第8回日本地質学会四国支部総会・講演会, 2008年12月20日, 愛媛, ポスター発表
13. 井上雅裕・大庭一井・須川貴裕・佐久間洋, マメ科植物のチオールペプチドとアスコルビン酸濃度に対する光酸化と銅イオンの影響, 日本植物学会第72回大会, 2008年9月24-27日, 高知
14. 菅原久誠・榊原正幸・Belton, D.・鈴木哲也・竹花大介, マイクロPIXE精密定量分析に基づく泥岩の溶出試験における砒素溶出の原因, 日本地質学会第115年学術大会, 2008年9月21日, 秋田, ポスター発表
15. 榊原正幸・大森優子・Ha, N. T. H.・佐野 栄・世良耕一郎・堀 利栄, マツバイによる鉱山周辺の重金属汚染された水環境の浄化, 日本地質学会第115年学術大会2008年9月21日, 秋田
16. Ha, N. T. H., Sakakibara, M., Sano, S., Hori, S. R., Takehana, D., Sera, K., Phytoremediation Potential of *Eleocharis Acicularis* in a Mining Site of Hokkaido, Japan, 4th International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST2008), July 31, 2008, Houston, USA, poster
17. Sugawara, H., Sakakibara, M., Belton, D., Suzuki, T., Heavy Metal Distribution in Framboidal Pyrite by Micro-PIXE, 4th International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST2008), July 31, 2008, Houston, USA, poster
18. Sakakibara, M., Sano, S., Hori, S. R., Harada, A., Phytoextraction of Heavy Metal Contaminated sediments and water by Macrophytes *Eleocharis Acicularis*, 4th International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST2008), July 31, 2008, Houston, USA, poster
19. Ha, N. T. H.・榊原正幸・竹花大介・佐野 栄・世良耕一郎・堀 利栄, Accumulation of heavy metals by *Eleocharis acicularis* in an abandoned mining site of Hokkaido, Japan, 第14回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 2008年6月26日, 埼玉, ポスター発表
20. 菅原久誠・榊原正幸・Belton, D.・鈴木哲也・竹花大介, マイクロPIXEによる砒素を溶出する泥岩の重金属濃度精密マッピング分析, 第14回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 2008年6月26日, 埼玉, ポスター発表
21. 榊原正幸・大森優子・佐野 栄・世良耕一郎・濱田 崇・堀 利栄, マツバイによる廃止鉱山残土堆積場の重金属汚染された水・底質環境の浄化, 第14回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, 2008年6月25日, 埼玉, ポスター発表
22. 丹生谷孝彦・佐久間洋・井上雅裕, 植物細胞による亜鉛の吸収と亜鉛結合物質の生成, 日本植物学会中四国支部第65回大会, 2008年5月17-18日, 広島
23. Ha, N. T. H.・榊原正幸・竹花大介・濱田 崇・佐野 栄・世良耕一郎・堀 利栄, *Eleocharis Acicularis* potential for the simultaneous uptake of heavy metals in abandoned mining sites in Hokkaido, 第7回日本地質学会四国支部講演会, 2007年12月15日, 愛媛, ポスター発表
24. 菅原久誠・榊原正幸・Belton, D.・鈴木哲也・竹花大介, マイクロPIXEによるフランボイダル黄鉄鉱の重金属精密定量分析, 第7回日本地質学会四国支部講演会, 2007年12月15日, 愛媛, ポスター発表
25. 菅原久誠・榊原正幸・Belton, D.・鈴木哲也, マイクロPIXEによる重金属に富むフランボイダル黄鉄鉱の定量分析, 日本鉱物科学会2007年度年会・総会, 2007年9月24日, 東京, ポスター発表
26. 大森優子・榊原正幸・佐野 栄・堀 利栄・田本修一・伊東佳彦・菅原玲子・近藤敏仁, 北海道の休廃止鉱山周辺における自生植物の重金属耐性および集積能力, 13回地下水・土壌汚染防止研究会, 2007年6月5日, 京都
27. 榊原正幸・佐野 栄・井上雅裕・渡邊 彩・貝瀬利一, 砒素を蓄積したモエジマンダによる砒素蒸散とその条件, 13回地下水・土壌汚染防止研究会, 2007年6月5日, 京都

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: 重金属超集積植物栽培部材および重金属回収方法

発明者: 榊原正幸・佐野 栄・堀 利栄

権利者: 国立大学法人愛媛大学

種類: 特願

番号: 2010-18302

出願年月日: 2010.1.29

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.sci.ehime-u.ac.jp/~sakakiba/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榊原 正幸 (SAKAKIBARA MASAYUKI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 80202084

(2) 研究分担者

・井上 雅裕 (INOUE MASAHIRO)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 80203256

・佐野 栄 (SANO SAKAE)

愛媛大学・教育学部・教授

研究者番号: 10226037

・堀 利栄 (HORI RIE)

愛媛大学大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 30263924

・西村 文武 (NISHIMURA FUMITAKE)

京都大学工学研究科・准教授

研究者番号: 60283636