

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：53801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00946

研究課題名(和文) 地域の廃棄物問題を教育に：融合複合分野の実践的教育システム構築を目指して

研究課題名(英文) LOCAL WASTE PROBLEMS FOR ENGINEERING EDUCATION

研究代表者

竹口 昌之 (TAKEGUCHI, Masayuki)

沼津工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号：30321441

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、高専が有する工学教育システムを生かし、地域産業の課題に取り組むことが求められている。そこで、地域の廃棄物問題の解決に向けて異なる専門分野の学生と教員が連携して処理プロセス構築に携わり、必要な知識・技能・マネジメント力を修得する社会実装教育の実施を目指した。具体的には、(1)地域の眠っている未利用資源の探索、(2)廃棄バイオマスからのエタノール生産、(3)エタノール回収装置の製作について実施した。その結果、学生に対して課題設定・課題解決能力やマネジメント能力の涵養が可能となる教育事例を築くことができた。

研究成果の概要(英文)：In recent years it is demanded that KOSEN, which provides the unique and successful higher-education system, works on local industrial problems. In order to solve these problems, we make a comprehensive and integrated study of traditional fields such as mechanical engineering, electrical engineering, control engineering and chemistry. The action to explore a local waste disposal and the study of recycling of industrial waste by collaboration with respective faculty members were carried out. Therefore, we built a community-oriented (or social implementation education) subject to provide students with opportunities of facing up to real local industrial problems by collaboration with respective faculty members for three years.

研究分野：生物工学

キーワード：地域志向 社会実装教育 教員間連携 実践的教育 廃棄物問題 エタノール

1. 研究開始当初の背景

これまでに産業界を中心に多くの技術者を輩出してきた「高専」であるが、今なお技術の高度化と産業構造の変化に対応できる技術者の育成が求められている<sup>1)</sup>。また、国立高等専門学校機構第3期中期計画「2 研究や社会連携に関する事項」<sup>2)</sup>において、地域共同テクノセンター等を活用して、産業界や地方公共団体との共同研究、受託研究への取り組みを促進するとともに、これらの成果を公表することが求められており、高専が有する工学教育システムを生かし、地域産業の課題に取り組むことが必須となっている。沼津高専が推し進める教育プログラム<sup>3)</sup>と求められる技術者像を図-1に示す。環境・エネルギー、新機能材料、医療福祉分野を重視する近年の産業構造の変化に対応するために、専攻科では学際教育を深化する融合複合領域の実践的・創造的技術者教育を行っている。これまで、各専門分野に特化した実践的教育が実施されてきたが、近年、特定の専門分野に偏らない、融合複合領域の協働教育が求められている。沼津高専では、この教育プログラムを通して、「知識の活用能力」、「課題設定・解決能力」、「マネージメント能力」および「高いレベルの倫理観」を持ち合わせてイノベーションを創出できる実践的技術者<sup>4)</sup>の養成を目指している。

そこで私たちは学生が地域社会の問題点を明らかにし、専門が異なる学生と教員とが連携して地域社会の問題の解決に向けて取り組む実践的な教育(社会実装教育)を実施したいと考えている。この教育では、答えのない問題からベストと考えられる対応策を具現化し、その実用性を評価する過程が技術者教育の理想型と考えている。



図-1 時代が求める技術者育成を目指して

2. 研究の目的

専門分野の異なる学生からなるクラスへの講義・演習・実習、地域志向型の社会実装教育は多くの高専で取り組みが始まっている。文部科学省大学間連携共同教育推進事業「KOSEN 発“イノベティブ・ジャパン”プロジェクト」では、学生が社会に出てニーズ等を分析した上で、実際にその開発に取り組み、これを具現化するプロセスを高専教育に取り入れている<sup>5)</sup>。また、本プロジェクトの協力校である福島高専では専門分野の異なる教員指導体制による専攻科目を実施しており、機動的な社会実装教育が達成されている<sup>5)</sup>。本研究課題は対象を専攻科生に特定せず、本科低学年から高学年、さらに専攻科にかけて学年を横断したプログラムを検討し、加えて本校カリキュラムに対応可能な社会実装教育の実践を目指した。

3. 研究の方法

社会が求める課題を卒業研究や専攻科研究で取り上げることで、技術者が身につけるべき能力に気づき主体的に学んでいく態度が習得できることを実証している<sup>6)</sup>。そこで、本研究では地域に着目し、地域問題を見つけ解決策を探る社会実装型の卒業研究を実施した。そこで、図-2に示すように身近な問題として地域の廃棄物問題を取り上げ社会実装型の実践的教育を計画した。特に地域の問題として“廃棄物問題”に焦点を当て、地域で問題となっている廃棄バイオマスの現状を調査し、対応すべき課題を抽出するところから開始した。この過程では、高専が得意とする産業界との密接な連携を利用した。その後、廃棄バイオマスからバイオエタノールを合成するプロセス構築を実験室レベルとして

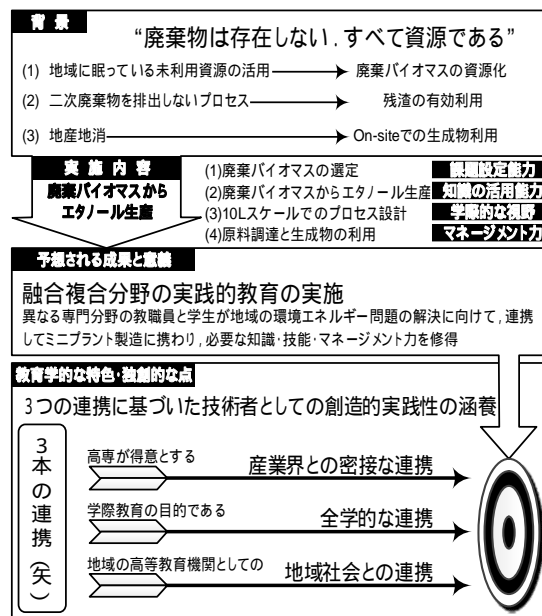


図-2 融合複合分野の実践的教育

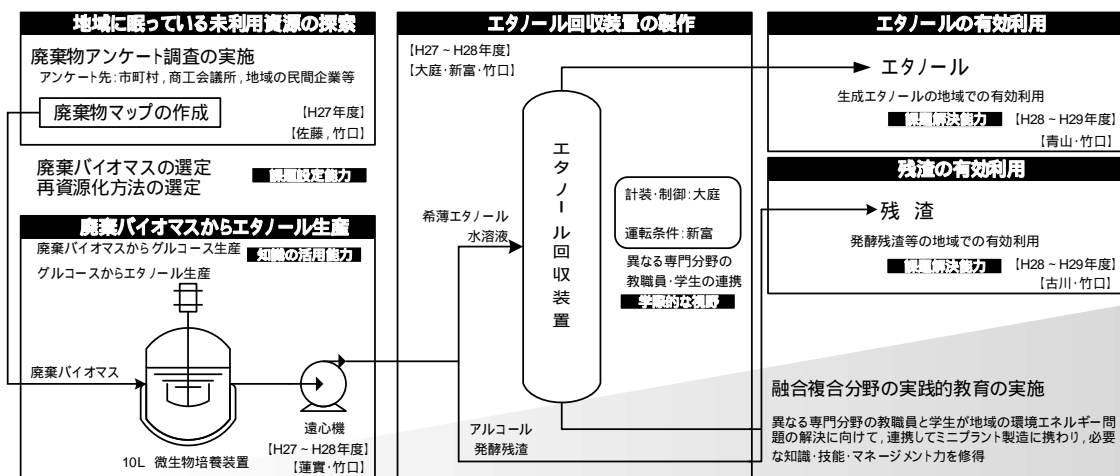


図-3 融合複合分野における実践的教育の概要

は大きな 10L スケールで試みた。

また、本研究は異なる専門分野の教員と学生が協働して設計・運用に携わった。高専は大学同様に専門性を有する教員が所属しているが、大学に比べ平時の教育活動（クラス運営，クラブ活動など）を通して交流が盛んであり，連携しやすい環境にある（全学的な連携）。

以上本研究では地域社会への貢献を視野に，廃棄物の調達方法とエタノールの On-site での利用を検討した（地域社会との連携）。実施期間は 3 年間とし，最終年度は本教育研究の成果を専攻科実験に導入した。

平成 27 年度より開始した本研究の具体的な概要を図-3 に示す。初年度は，研究代表者の竹口（生物化学工学）と連携研究者の佐藤（地理学）は本科第 2 年次のミニ研究において地域の廃棄物の実態について調査を行ない，未利用資源活用の問題点を明らかにした。連携研究者の蓮實（培養工学）と竹口は製菓工場から排出される廃シロップを用いたエタノール発酵を試みた。また，生成したエタノールを回収する蒸留装置の設計を連携研究者の新富（伝熱工学），大庭（制御工学）と竹口とが行った。平成 29 年度は大庭がエタノール発酵液よりエタノールを回収する装置の開発を行った。回収したエタノールの利用については連携研究者の青山（高分子化学）が合成反応に利用する学生実験を構築した。また，エタノール回収後残渣については連携研究者の古川（遺伝子工学）と竹口が液肥としての利用を検討した。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 地域に眠っている未利用資源の探索

沼津高専では本科第 2 年次に全教員・全学生が取り組む課題解決型の授業「ミニ研究」が実施されている<sup>7)</sup>。本授業は，i) 学ぶことの楽しさを体験する，ii) 自律的に学習する姿勢を養う，iii) プレゼンテーションまでの一連のプロセスを経験する，iv) 活動内容を第三者に伝えられることを目的としている。PBL 方式の課題解決型授業として，研究計画

の立案・実施からスケジュール管理まで学生が主体的に行うことを目指している。教員が課題を設定し学生に提案することから，教員は課題に関する専門的な助言者の立場となり，加えて，研究者として研究の進め方を助言する。本科第 2 年次の学生は専門教育が始まったばかりであり，初めて答えが定まっていない問題に取り組むことになる。

平成 27 年度は竹口と佐藤が指導する 2 チームについて異なる観点で地域の未利用資源を調査した。地理学を専門とする佐藤は「地域社会への地理的アプローチ あなたの知らないゴミの世界」と題した課題を提案し，所属学科の異なる学生 3 名（機械工学科 2 名，電気電子工学科 1 名）が取り組んだ。学生は学校周辺地域の事業者（店舗・工場など）への聞き取り調査を行ない，どのような廃棄物が発生し，どのような手段でどこへ移動して処理されているかを，ケーススタディで明らかにした。この研究により，廃棄物には利用可能な物質が多く存在するが，その排出される量と不定期に排出されることと輸送コストが問題になっていることがわかった。生物工学を専門とする竹口は「捨てられている宝ものを探そう～廃棄物からバイオエタノールをつくろう～」と題した課題を提案し，物質工学科所属の学生 3 名が取り組んだ。特に糖質を有する廃棄バイオマスに注目し，近隣の製菓工場を現地調査した。製菓廃棄物は未利用バイオマスでありながら，多額の費用をかけて処理されていることを知った。そこで，調査した廃棄バイオマスの活用法についてチーム内で議論し，バイオマスより有価物（エタノール）を生産する実験を行った。

一つの課題について専門が異なる教員が連携を取りながら課題設定等を行った結果，廃棄物問題について異なる切り口で学生が取り組むことができた。課題設定能力を養成する観点からも，提案内容は十分な成果といえる。

##### 4.2 廃棄バイオマスからのエタノール生産 ミニ研究を通して製菓工場では高濃度の

廃シロップが排出され、活性汚泥法により処理されていることを知った。ミニ研究で得た情報をもとに、専門教育を受けた5年生の卒業研究として廃シロップの有効利用法について検討した。多糖、オリゴ糖、単糖等を含む廃シロップは貴重なバイオマス資源である。そこでこの廃シロップを用いて、*Saccharomyces cerevisiae* によるエタノール発酵を行ない、エネルギーおよび工業原料として注目されているエタノールを生産するプロセス開発を目指した。このプロセスの実現により、処理コスト削減に加え、廃棄物からの有用物質生産が可能となる。本研究には、竹口と微生物学を専門とする蓮實が連携した。

製菓工場より排出された廃シロップは水分71%と糖質29%を含む水溶液であった。廃シロップの糖質組成分析を高速液体クロマトグラフィーにより行ったところ、フルクトース13.2w/v%、グルコース12.3w/v%とスクロース7.1w/v%を主成分とする水溶液であった。このため、本廃シロップは糖化工程を必要とせず、直接エタノール発酵の原料となることがわかった。そこで、10vol%の廃シロップを含む酵母エキス・ペプトン含有培地を調製し、*S. cerevisiae* NBRC2044を植菌後30

で48時間エタノール発酵を行った。培養開始14時間後に、フルクトースおよびグルコースの消費とともにエタノールが蓄積した。上記の結果を得た学生は、ミニ研究の結果を踏まえ、図-4に示す提案をした。当初考えていた燃料としてのエタノールの利用以外に、on-siteで使用する観点から製菓工場内で使用する消毒剤として利用する提案を行なった。また、新たに発生した蒸留残渣については、製菓原料になる農産物の肥料としての利用について提案した。実際に蒸留残渣を用いて小松菜の土壌栽培を行なった結果、灌水のみの対象に比べ、生育が阻害され、液肥としての利用は困難であることがわかった。蒸留残渣は依然として活性汚泥処理を必要とするが、糖濃度が大幅に減少しているため、最終的に活性汚泥法により処理しても処理負荷を相当量低減できたと考えている。

また、実際に生成したエタノールについては物質工学科第3年次の有機化学実験においてフィッシャーのエステル化反応で青山

が用いた。試薬として購入したエタノールと同様、バイオマス由来のエタノールが有機合成に使用できることを低学年の学生で確認した。

以上のように本課題に取り組んだ学生は、実際に生成したエタノールを用いて手の消毒効果についても検討を行うなど、実現可能性についても検討し卒業した。本卒業研究を通して課題解決能力の養成を期待したが、そのみならず社会実装に向けた取り組みにまで発展できた。

#### 4.3 エタノール回収装置の製作

4.2節で得られたエタノール発酵液から遠心分離により菌体を取り除き、上清を吸引し過した。得られたる液をオルダーショウ型蒸留塔で蒸留した。その結果、23.2 g/L (3.0vol%)のエタノールを含むエタノール発酵液を737.9 g/L (94.0vol%)に濃縮できた。本操作は物質工学科の5年生がすべて手動操作で行なった。ここで、伝熱工学を専門とする新富、制御工学を専門とする大庭と連携し、市販の蒸留塔に電磁弁・熱電対・流量計・電力計を追加して稼働状況を定量化し、得られた情報を基に装置を自動制御するシステム構築を電子制御工学科の5年生が卒業研究として実施した。物質工学科の5年生が希望する機能を伝え、電子制御工学科の5年生がシステム設計を行ない、部品の選定、組立・設置まで行った。初年度は熱電対によって加熱器や蒸気、冷却水の温度を計測することで、装置の稼働状況を可視化した。また、外部から電源を供給する箇所には電力計を設置し、エネルギー消費量を把握できるようにした。

蒸留操作を習得した物質工学科の学生が機能を提案し、センサ工学と制御工学を修得している電子制御工学科の学生が連携を取り、PDCAサイクルを回しながら一つの装置を開発することで、マネジメント能力の養成に高い効果があった。なお、4.2節と本節で報告した研究成果を学外の研究発表会で発表したところ、ともに優秀ポスター賞を受賞した。

#### 4.4 専攻科におけるPBL型実験

沼津高専の専攻科は専門分野ごとに専攻が分かれていたが、平成26年に総合システ

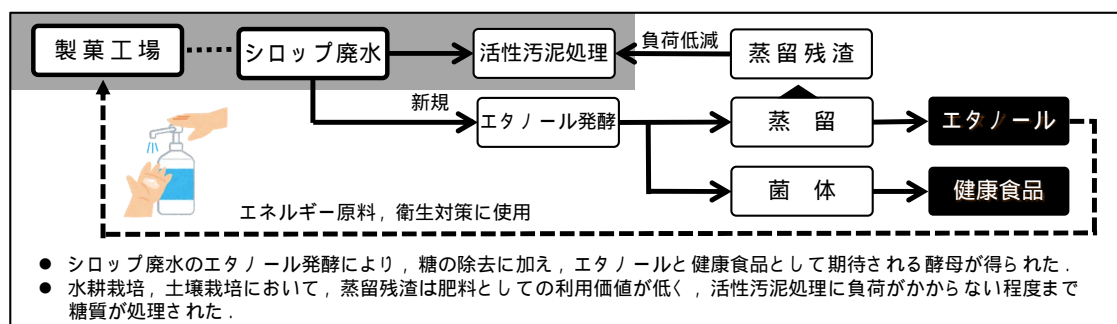


図-4 製菓工場廃棄物の処理プロセス

ム工学専攻（環境エネルギー工学コース、新機能材料工学コース、医療福祉機器開発工学コース）の1専攻3コースに専攻科を改編した。改編した専攻科では、従来の専門分野を超えた融合複合・新領域分野に対応できる創造的な知性と視野の広い豊かな人間性を備えた技術者の育成を目指している。

本研究の最終年度において、本専攻科のPBL型の実験として、製菓工場廃棄物処理を改善する課題を与え実施した。機械工学や電気工学を修得し、微生物の取り扱いを行なったことがない学生に基本的な取り扱いを説明し、実際にエタノールを回収するまでを体験した。今回の実施では改善策を提案する段階まで至らなかったが、異なる専門分野においてもこれまで修得した技術が生かされることを理解してもらえたと考えている。

## 5. 総括

地域の廃棄物問題の解決に向けて異なる専門分野の学生と教員が連携して処理プロセス構築に携わり、必要な知識・技能・マネジメント力を修得する社会実装教育の実施を目指した。提案した社会実装教育は、本校が有する3つの連携（(1)高専が得意とする産業界との連携、(2)本校全学的な連携、(3)静岡県東部地区の高等教育機関として地域社会との連携）に基づいて設計されており、本校の教育的資源の活用と実行可能な連携規模を考慮した教育プログラムとなっている。具体的には、(1)地域の眠っている未利用資源の探索、(2)廃棄バイオマスからのエタノール生産、(3)エタノール回収装置の製作について実施した。

(1)地域の眠っている未利用資源の探索については低学年におけるPBL型講義（ミニ研究）にて行った。専門学科の異なる3名の学生からなる2チームが異なる観点で地域の未利用資源を調査した。その結果、静岡県東部地区には資源となりうる廃棄バイオマス（製菓工場からの廃シロップ）があること、廃棄物を活用するための大きな問題点は輸送であることを明らかにした。2年生が自らの調査結果に基づき上記結果を得たことは課題設定能力を養成する観点から十分な成果といえる。

上記(1)の結果を踏まえ、5年生が卒業研究にて、(2)廃棄バイオマスからのエタノール生産に取り組んだ。低学年の学生が見出した地域の廃棄物問題に対して、専門科目を既に修得した高学年の学生が解決策を探ることとなった。エタノール発酵の条件を検討し、製菓工場の廃シロップより94.0vol%エタノールを得ることができた。当初、エタノールは燃料として利用することを考えていたが、担当した5年生の学生より製菓工場の殺菌に利用する提案がなされ、その効果についても検討した。本卒業研究を通して課題解決能力の養成を期待したが、それ以上の教育効果が得られた。

上記(2)の結果より得られたエタノールについて、回収装置の設計を専門学科の異なる2名の教員に加え、蒸留操作を習得した物質工学科5年生（上記(2)担当学生）と制御工学を習得した電子制御工学科5年生が協力して取り組んだ。まず物質工学科の学生が手動操作によって蒸留操作を行ない、使用者が希望する機能（計測データ表示や温度制御）を電子制御工学科の学生に伝えた。電子制御工学科の学生は求められた性能を発揮できるシステム設計を行ったのち、実際に装置作成を行った。異なる専門学科の教員と学生がチームを組み、課題解決する取り組みは互いのマネジメント能力の養成に有効であることがわかった。

最終年度は高専での専門教育を修得した物質工学科5年生と専攻科生に、対応する廃棄物問題の解決に向けたプロセスの最適化、バイオエタノール製造以外も視野に入れた最適な解決方法の提案を考える卒業研究および専攻科実験を行なった。

今後は本申請で得られた成果であるカリキュラムをPDCAサイクルにより改善していく。以上、本教育研究では社会実装教育の実施を目指し、教員間連携の可能性を示した。その結果、複数の教員が協力することで大きな教育効果が得られることが明らかになった。一方で、過密化するカリキュラムの中で、教員のみならず学生間連携を実施する時間をいかに確保するかという問題も明らかになった。その一つの解決として、同時間帯に複数教員が実施する既存科目（本校ではミニ研究、社会と工学、卒業研究、専攻科実験）において教員間で連携することが有効であることが明らかになってきた。

## 参考文献

- 1) 産業界から技術者の人材不足を訴える声 文科省 50億円計画、日本経済新聞 2014.10.4
- 2) 独立行政法人国立高等専門学校機構の中期計画（文部科学大臣変更許可 平成 28 年 3 月 28 日）
- 3) 押川達夫、勝山智男、新富雅仁、野毛悟、大庭勝久、遠山和之、芹澤弘秀、松澤寛、柳下福蔵、沼津高専における混合学級と学際教育の導入、平成 24 年度全国高専教育フォーラム、発表要旨
- 4) 大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議、大学における実践的な技術者教育のあり方、文部科学省（平成 22 年 6 月 3 日）p.4
- 5) 「イノベーション＝社会改革」を実現する新たな技術者の育成（文部科学省大学間連携共同教育推進事業「KOSEN 発“イノベティブ・ジャパン”プロジェクト」）平成 24 年度～平成 28 年度活動報告、KOSEN 発“イノベティブ・ジャパン”プロジェクト推進室（東京高専）
- 6) 蓮實文彦、竹口昌之：未来材料、Vol. 12, No. 8, 2012, pp. 35-37.

7)大庭勝久, 嶋直樹, 松澤寛: 東海工学教育協会 高専部会報告, No.10, 2016, pp. 29-30.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

竹口昌之、大庭勝久、佐藤崇徳、蓮實文彦、地域の廃棄物問題を工学教育に 社会実装教育を目指した1年目の取り組み、日本高専学会誌、査読有、22巻、2017、57-62

[学会発表](計7件)

森麻浦、大庭勝久、廃棄物の効率的な資源化に向けた蒸留塔の自動化システムの開発、日本機械学会東海支部第49回学生卒業研究発表講演会、平成30年3月、愛知佐野華鈴、今泉七星、小倉将也、竹口昌之、シロップ廃水の利活用を可能とする新たな処理、富士山麓アカデミック&サイエンスフェア2017、平成29年11月、静岡

伊東大輔、久保寺智哉、竹口昌之、大庭勝久、エタノールの再資源化システムの自動化-未利用資源の有効活用を目指して-、富士山麓アカデミック&サイエンスフェア2017、平成29年11月、静岡

戎高佑、小倉将也、竹口昌之、大庭勝久、蒸留塔監視システムの開発によるバイオエタノール蒸留の効率化、第21回高専シンポジウム in 香川、平成28年1月、香川

戎高佑、小倉将也、竹口昌之、大庭勝久、地域廃棄物の資源化システムの構築~蒸留塔自動制御システムの開発~、富士山麓アカデミック&サイエンスフェア2015、平成27年12月、静岡

小倉将也、戎高佑、大庭勝久、竹口昌之、地域廃棄物の資源化システムの構築~製靴工場廃シロップを利用したバイオエタノール生産~、富士山麓アカデミック&サイエンスフェア2015、平成27年12月、静岡

竹口昌之、新富雅仁、大庭勝久、古川一実、青山陽子、佐藤崇徳、蓮實文彦、地域の廃棄バイオマスを利用した教材開発:融合複合分野の実践的教育システムの構築を目指して、日本高専学会年会講演会、平成27年8月、静岡

[図書](計0件)

[産業財産権](計0件)

[その他]

5節に示した学会発表について、最優秀ポスター賞等を受賞した。番号は5節に示した学会発表番号を示す。

(平成27年度)

環境・生態・防災・資源分野 優秀ポスター賞

環境・生態・防災・資源分野 優秀ポスター賞

(平成29年度)

最優秀ポスター賞

優秀ポスター賞

6. 研究組織

(1)研究代表者

竹口 昌之 (TAKEGUCHI, Masayuki)

沼津工業高等専門学校・物質工学科・教授  
研究者番号: 30321441

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

佐藤 崇徳 (SATO, Takanori)

沼津工業高等専門学校・教養科・准教授  
研究者番号: 20294499

大庭 勝久 (OOBA, Katsuhisa)

沼津工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授

研究者番号: 40321442

青山 陽子 (AOYAMA, Yoko)

沼津工業高等専門学校・物質工学科・教授  
研究者番号: 70455103

蓮実 文彦 (HASUMI, Fumihiko)

沼津工業高等専門学校・物質工学科・教授  
研究者番号: 90164805

新富 雅仁 (SHINTOMI, Masahito)

沼津工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号: 40290754

古川 一実 (FURUKAWA, Kazumi)

沼津工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号: 90353151

(4)研究協力者

なし

以上