

高大連携による高校生のための 創造的化学実験プログラムの開発

Development of Creative Program for Chemical Experiments to Senior High School
Students by Cooperation between University and High School

松下 洋一^{*1}
Yoh-ichi MATSUSHITA

塩 盛 弘一郎^{*1}
Koichiro SHIOMORI

菅 本 和 寛^{*1}
Kazuhiro SUGAMOTO

宮 武 宗 利^{*1}
Munetoshi MIYATAKE

倉 内 誠 尚^{*2}
Shigehisa KURAUCHI

中 原 重 弘^{*2}
Shigehiro NAKAHARA

The creative program for chemical experiments in high school has been developed for five years by cooperation between Faculty of Engineering, University of Miyazaki and Miyakonojo Izumigaoka Senior High School through the science partnership program (SPP) planed by the Ministry of Education and Science. Practical experiments of the formation of organic gel and then evaluation of its properties were mainly selected for the program. Although the students learned the gel formation for the first time in this program, they felt great interest in exciting behavior of the gel. The useful educational materials to the high school students was established in the SPP.

Keywords : Cooperation between University and High School, Chemical Experiments, Gel formation, Science Partnership Program

キーワード：高大連携，化学実験，ゲル形成，サイエンス・パートナーシップ・プログラム

1. はじめに

高大連携による中学・高校理科の実験プログラムについて幾つかの報告がある^{1), 2)}。しかし、何年間にもわたり高校教員と大学教員が協力して高校での理科実験を改良し、創造的実験を構築する例は少ないと思われる。この報告では、宮崎県立都城泉ヶ丘高等学校が文部科学省のサイエンス・パートナーシップ・プログラム (SPP) 連携プログラムの研究者招聘講座事業の助成を受けて平成16年から平成20年まで継続実施した「創造的化学実験の開発」の講座に、招聘講師として宮崎大学工学部物質環境化学科教員が参加して行った高大連携について述べる³⁾。

近年、若者の“理科離れ”が現実となり、大学の理工系学部では深刻な問題となっているが⁴⁾、同時に高校理科教員にとっても進路指導を含めて大きな悩みとなっている。高校の化学は、現象とその理解・実験を系統立てて指導しているが、授業時間数が限られ、化学反応や計算式を中心に指導する傾向が強い。そのため、生徒が学んだ知識を、実験を通して実感し、創意

工夫する機会は少ない。「高校生が科学への興味・関心を抱き、夢を持って大学理工系学部を目指してくれるようにしたい」との高校理科教員と大学教員との共通する思いが、高校での創造的化学実験の開発に取り組む動機になった。

高校側が考える創造的化学実験教材開発の前提は、「科学現象の面白さを伝え、興味を持たすことができれば、学びたい意欲が増し、より深く探求しようとする活動につながる」との仮説であった。実験を通じて、「現象への興味・関心の段階」、「能動的・主体的な学ぶ意欲が育つ段階」、「学習事項から発展的な探求活動ができる段階」へ至れば、あとは生徒自身による個別的な取組が派生してくると想定した。大学側では、このような高校の考え方を受けて、講座での実験内容を議論・検討した。その結果、高校での化学の学習範囲を越えていても、化学変化が目に見えてわかり、興味がわく驚きのある実験を設定すれば、生徒は自ら考え工夫するとの考えに至った。ただし、身近にあり、よく知っている材料を実験に使うことで、生徒が未学習の事項を実験する際の壁を低くできるコツとなると考えた。大学での研究のように先端科学材料を安易に使うのを避けた実験内容を設定することにした。このような考え方に基いて行った「創造的化学実験の開

平成 22 年 4 月 5 日受付

*1 宮崎大学工学部物質環境化学科

*2 宮崎県立都城泉ヶ丘高等学校

発」の高大連携の試みについて実施例を報告すると共に、生徒へのアンケート結果から考察できることを述べる。

2. 実施内容

2.1 創造的・化学実験の目的

高大連携により下記のような実験目標で体験型実験プログラムを構築した。これらについては、毎年度の第1回目の実験で大学教員が講義により説明して理解を促した。

(1) 都城泉ヶ丘高校SPP実験目標

- 1) 面白い科学の実験体験をしよう。
- 2) 試行錯誤は必要、変化を考える姿勢を持とう。
- 3) グループでなぜか考え、次の実験へ生かす工夫をしよう。
- 4) 独創的、個性的な実験やものつくりすることにグループで挑戦しよう。
- 5) みんなで実験結果や製作作品について議論し、科学的考察ができるようになるよう。

(2) SPP実験の七ヶ条

- 1) 実験に先だって十分に調査し、材料や実験内容の原理や仕組みを理解することが大切である。
- 2) 実験計画はグループで話し合っ決めて、実験上の欠点が少なくなるよう多面的に議論する。
- 3) 実験方法はできるだけ実験書などに従い、十分に経験した上で、独自の改良を行う。
- 4) 先ずは予備の実験で感触をつかむ。Try and Errorは実験でも大事で、Errorを次の実験に生かす。
- 5) 実験データの収集が大切で、実験ノートにできるだけ詳しく実験の経過、結果をメモする。
- 6) 実験データは整理・解析して、図表などにまとめる。
- 7) 整理・解析した実験データを深く考察する。考察は次の実験計画に生かす。

2.2 平成16年度実験：酵素や化学物質を封入した「ゲルカプセル」を利用した化学反応実験

理数科の1年生84名を対象に、1クラス42名の2クラス編成で同実験内容を同時に平行して実施した。大学側から1クラスあたり講師1名、副講師1名、ティーチングアシスタント3名がついた。高校からは理科教員3名が実験運営に携わった。1回3時間の実験を下のよう計3回3日間で実施した。なお、各実験日の数日前に、高校教員より事前指導（調査と試薬準備・調製）を行い準備させた。実験ののち、生徒には各自で報告書を作成させて、実験結果の整理・まとめおよび実験の考察により実験のより深い理解を促した。

(1) 第1回実験

- 1) 花色による酸・アルカリセンサーゲルカプセル

- 2) 夜光顔料を封入したゲルカプセル

(2) 第2回実験

- 1) 大豆ウレアーゼを封入した尿素分解ゲルカプセル
- 2) オイルをゲルカプセルでつつんだ人工イクラ

(3) 第3回実験

- 1) 野菜ジュースゲルカプセルで過酸化水素を分解
- 2) ルミノール発光ゲルカプセル（人工ウミホタル）

2.3 平成17年度実験：ハイドロゲル等を利用した独創的な化学電池の化学実験

理数科の1年生87名と2年生84名を対象として、1年生と2年生は別の日時に違う実験内容を設定した。2年生は金属と金属イオンの化学反応を学習しているが、1年生は未学習であるので、実験内容の難易度を変えて実施する必要があったためである。各学年とも2クラス編成で、3時間の実験を2回2日間で行った。1回目は電池性能と電解質・電極などの関係を自分たちで確認する基本実験を行い、2回目は1回目の結果からグループごとに創意工夫してオリジナル電池をつくる発展実験を行った。平成16年度と同じく、大学側から1クラスあたり講師1名、副講師1名、ティーチングアシスタント3名がついた。高校からは理科教員3名が実験運営に携わった。各学年の実験終了後、グループで実験結果をまとめる期間をおいた後、1、2年生合同の研究発表会を実施した。

(1) 1年生の実験

- 1) ボルタ電池と電解質・電極の関係
- 2) 自作ボルタ電池の作製と性能評価

(2) 2年生の実験

- 1) ダニエル電池のための電解質ゲルの調製と選定
- 2) 自作ダニエル型ゲル電池の作製と性能評価

(3) 1、2年生合同の発表会

各班が模造紙1枚に実験成果を事前にポスターとしてまとめた。当日は各班の1分間の結果の概要口頭説明の後、30分間のポスターセッションを行った。この間、高校・大学の指導教員が各班の結果を5段階評価し、最後に講評と1～3位の班の発表を行った。

2.4 平成18年度実験：ゲルやマイクロカプセルの実験およびそれらを使った新しい機能性材料の研究開発

理数科の1年生84名を対象に、平成16年度と同様に、1クラス42名の2クラス編成で同実験内容を同時に平行して実施した。大学側の実験指導者および高校側の理科教員も前年と同じ体制で準備と実施を行った。各学年の実験終了後、グループで実験結果をまとめる期間をおいた後、発表会を行った。

(1) 第1回実験：ゲル材料を合成してゲルの状態を体験

- 1) 温度を感じて変化するヒドロゲルの合成
- 2) 虹色にかがやくコレステリック液晶の調製

- 3) 廃油をゲル化剤で固化
- (2) 第2回実験：ゲル材料を使って創意工夫のものづくり①
 - 1) 機能性ポリマーの温度による状態変化を体験
 - 2) コレステリック液晶封入キーホルダーづくり
- (3) 第3回実験：ゲル材料を使って創意工夫のものづくり②
 - 1) コレステリック液晶でオリジナル装飾品づくり
 - 2) ゲル化剤でオリジナルアロマキャンドルづくり
- (4) 発表会

前年度と同様の方法で発表会を実施した。

2.5 平成19年度実験：探索研究を通して学ぶ工学研究

理数科だけでなく、普通科2年理系にも枠を広げ、希望者を募る方法に変更した。生徒41名が参加した。また、実験指導を大学側が行う方式から、高校の理科教員が自ら実験指導を行う体制に変えて実施することにした。このため、高校の化学、物理および生物の担当教員のほとんどが実験指導に参加した。大学から1名の教員が招聘講師として参加し、化学、物理、生物に関係する実験テーマを十数件提案した。これら実験テーマを高校教員が参加生徒に提示し、どのテーマを希望するか調査して、実施する実験テーマを決定した。大学教員が決定された実験テーマについて実験の原理と実験方法の概要をまとめた説明書を作成して、高校教員がこの説明書に基づいて予備実験を行って、実験内容を改良し、また実験準備を行った。生徒の希望に従ったので、実験テーマごとに参加生徒数が異なるグループ構成での実験となった。3時間の実験を3回3日間で行い、その後昨年度までと同じく発表会を実施した。1つのグループに1～2名の高校教員が指導者として付いて、生徒の試行錯誤の実験を支援した。

(1) 実験テーマ

- 1) 化学メッキとそれを利用した燃料電池の作製
- 2) 酵母をゲルカプセルに封入したバイオエタノールリアクター
- 3) 納豆菌や乳酸菌のゲルの性質・役割を調査
- 4) ダイオードやペルチェ素子などの電子材料を体験
- 5) ペルオキシダーゼ作用をルミノール発光に利用
- 6) ジャンピングコイルとリニアモーターを作製

(2) 発表会

例年と同じように、斑で実験結果をまとめる期間をおいた後、研究発表会を実施した。本年度より各グループの1分間プレゼンテーションではパワーポイントを使った発表として、プレゼンテーション能力の向上も目指した。その後の詳しい説明は実験での試作品を用意して、ポスター発表で行った。

2.6 平成20年度：アルギン酸ナトリウムゲルカプセルを利用した触媒機能の研究

平成20年度は、化学系実験、物理系実験および生物系実験に分けて、それぞれ別々に実施した。ここでは、化学分野の実験のみをまとめる。昨年度と同様に参加希望を募る方法で約40名の生徒が化学系実験に参加した。大学教員1名のみが指導講師として参加し、実験原理の解説および実験方法の説明を行った。高校の化学担当教員全員で各グループの実験指導を行った。

(1) 第1回実験：アルギン酸ゲルカプセルに機能を持たせよう！

- 1) 酸アルカリセンサーゲルカプセル
- 2) オイルインゲルカプセル

(2) 第2回実験：過酸化水素を分解するゲルカプセル触媒を作ろう！

- 1) 二酸化マンガングエルカプセル
- 2) カタラーゼゲルカプセル

(3) 第3回実験テーマ：過酸化水素で基質が発色や発光をするゲルカプセル触媒を作ろう！

- 1) ペルオキシダーゼゲルカプセルで褐色に発色
- 2) ヘモグロビンゲルカプセルでルミノール発光

(4) 発表会

前年度と同様の方法で発表会を実施した。

3. 結果および考察

3.1 実施後の生徒へのアンケート結果からの考察

表1に平成16年度から平成19年度までSPP実験を実施後に、同一の質問項目で生徒に行ったアンケートの集計結果を示す。

平成16年度のアンケートでは、多くの生徒が実験に面白いと感じて興味を持ち、次回も参加したいと考えていることがわかる。高校側で期待した生徒が興味・感心を持つ実験が実施できたと言える。ところが、「自分で調べたい・どちらかと言えば調べたい」は50%にとどまり、最終的な目標である「生徒自身による個別的な取組が派生する」には未だ不満足な結果である。継続して実験を体験させなければ、本当に科学大好き生徒の裾野を増やせないのかもしれない。内容が難しいと感じた学生も過半数に上る。しかし、内訳を見ると、「内容が難しい・どちらかと言えば難しい」と答えた者の中で、「理解できた・どちらかと言えば理解できた」との回答は61%になった。実験が面白ければ、ある程度理解も進むと言える。

平成17年度のアンケートは参加した2年生の回答を集計した結果である。この2年生は平成16年度のSPP実験を体験した生徒であり、質問項目は同じであるので実験への評価を比較できる。どちらとも言えないが昨年に比べて大幅に増えているので各項目の数値は単純には比較できない。「内容が難しい・どちらかと言えば難しい」は昨年より減少した。電池は高校の化学

表1 平成16～19年度の創造的化学実験後の生徒アンケート問1～問5の集計結果(%)

問1 授業(実験)はおもしろかったですか

	16年	17年	18年	19年
面白かった	58	33	53	76
どちらかと言えば面白かった	29	32	33	16
どちらとも言えない	8	22	8	8
どちらかと言えば面白くなかった	4	8	3	0
面白くなかった	1	5	3	0

問2 内容は難しかったですか

	16年	17年	18年	19年
易しかった	2	1	3	0
どちらかと言えば易しかった	11	9	9	5
どちらとも言えない	36	42	29	25
どちらかと言えば難しかった	28	32	39	51
難しかった	23	16	20	19

問3 内容は理解できましたか

	16年	17年	18年	19年
理解できた	21	24	24	43
どちらかと言えば理解できた	54	39	54	52
どちらとも言えない	20	23	15	3
どちらかと言えば理解できなかった	2	9	4	2
理解できなかった	3	5	3	0

問4 また参加したいですか

	16年	17年	18年	19年
参加したい	61	38	60	65
どちらかと言えば参加したい	29	25	24	24
どちらとも言えない	5	20	10	5
どちらかと言えば参加したくない	4	9	5	3
参加したくない	1	8	1	3

問5 理科・数学について自分で調べようと思うようになりましたか

	16年	17年	18年	19年
思うようになった	13	9	23	38
どちらかと言えば思うようになった	35	20	34	41
どちらとも言えない	36	49	34	19
どちらかと言えば思わない	10	11	9	0
思わない	6	11	0	2

で学ぶので、難しいと回答する割合が減少するのは当然であろう。しかし、「面白かった・どちらかと言えば面白かった」、「理解できた・どちらかと言えば理解できた」、「参加したい・どちらかと言えば参加したい」および「調べたいと思うようになった・どちらかと言えば調べたいと思うようになった」の回答割合がいずれも昨年を下回った。特に、内容の理解が進んでいない点は問題である。昨年のゲルの実験は高校までに全く学習していない範囲なのに、結果として理解が進んだ。これらの差は、実験テーマ「電池」にあると考え

た。生徒たちは電池のことを中学や高校での理科学習の中である程度知っている。このため、生徒が見たこともないと驚く新鮮な感動が電池実験では呼び起こせなかった。逆に、電池性能は電極材料・電解質・抵抗など絡み合った複雑な要素で決まり、理解が難しかったのかもしれない。実験指導する側にも姿勢に問題があった。高校化学で習う電池なので、実験テキストや説明が「原理や仕組みを教えたい」と意気込む教員の視点・姿勢に傾いてしまい、最も大切な実験に興味を持たせる指導になっていなかった。このため、生徒に高校授業での理科実験に近いと感じられてしまったと考える。

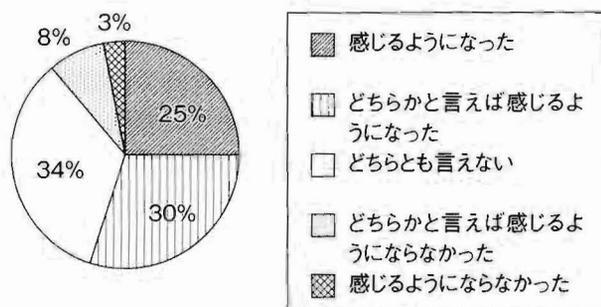
平成17年度の実験テーマの設定に生かした。高校理科の範囲にこだわった実験は「教える実験」になってしまうことから、これまで生徒が見たことも触れたことも無い材料として「機能性ゲルやマイクロカプセル」を実験テーマにした。平成18年度の実験テーマでも「難しかった・どちらかと言えば難しかった」と59%の生徒が答えている。今まで原理や仕組みを全く知らなかった実験材料であり、当然の結果である。しかし、他のアンケート項目での肯定的な回答割合が軒並み平成17年度アンケート結果を上回り、好評であった。「内容は理解できたか」の質問にも78%が「理解できた・どちらかと言えば理解できた」と答えており、興味ある実験であれば、原理や仕組みが難しくとも理解が進むことがわかった。「理科・数学について調べたい」との意欲も向上しており、生徒が不思議と感じる実験材料を選択する意義は大きいと思われる。

平成19年度は、複数の実験テーマを提示して、参加希望者にどの実験を行うか選択してもらう方法で実験のグループを決定した。「実験は面白かったか」の質問に「面白かった・どちらかと言えば面白かった」との回答は92%にも達した。生徒自身が興味を持って選択した実験を行えた満足度が高いと判断できる。「内容は難しかったか」の質問には「難しかった・どちらかと言えば難しかった」が70%となり、高校理科レベルよりかなり高度な実験内容を設定したことを反映する結果であった。しかし、「内容が理解できた」、「また参加したい」および「自分で調べようと思った」は平成18年度に比べてもさらに肯定的回答の割合が増加した。高校教員が予備実験と十分な実験準備をして各グループの実験指導に当たったことが、SPP実験を期待通りに成功させることができたポイントと評価する。

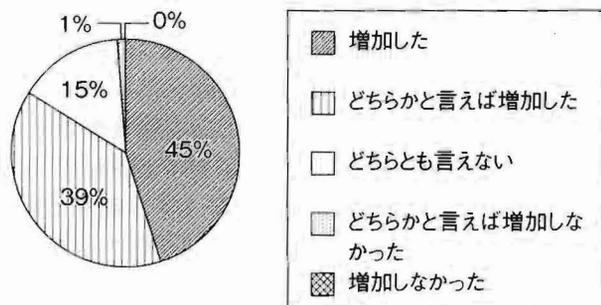
平成20年度は、化学系実験、物理系実験および生物系実験と分かれてそれぞれ実験を企画・実施したのでアンケートの比較分析は行わなかった。

図1に平成18年度に行った問6～問8のアンケート結果をまとめた。「研究者を身近に感じるようになった

問6 研究者を身近に感じるようになりましたか



問7 科学技術や理科・数学に対する興味・関心が増加しましたか



問8 研究機関で実施されている研究について、具体的なイメージを持つようになりましたか

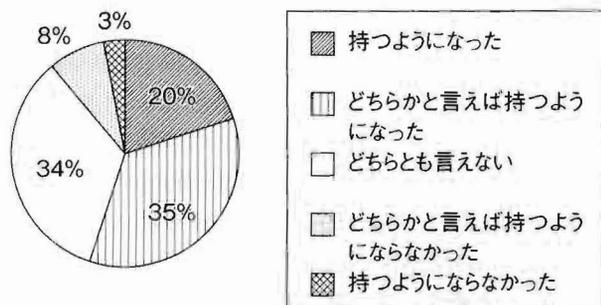


図1 平成18年度の創造的化学実験後の生徒アンケート問6～問8の集計結果

た。「科学技術や理科・数学に対する興味・関心が増加した」および「研究機関での研究に具体的なイメージを持つようになった」と肯定的に回答した割合は、それぞれ55%、84%および55%であった。特に、科学技術や理科・数学に対する興味・関心を生徒に持たせることができている点は評価できる。理科離れを防ぐ意味でも今回のような高大連携での「創造的科学的実験」への取組を増やす意義は大きいと考えられる。

3.2 高校での「創造的科学的実験の開発」への高大連携の評価

高校と大学が連携して試行錯誤で「創造的科学的実験の開発」を目的とするSPP実験講座を5年間継続して実施した。この間、高校教員と大学教員の実験の企画・実施での役割分担を次第に変えた。

平成16年度～18年度の3年間は、高校側の要請に

従って大学教員が実験の設定と準備を行い、実験テキストを作成した。高校教員は実験日までに、参加生徒に対して実験内容と実験準備の事前指導を担当した。実験当日は実験の原理や仕組みの説明を主講師の大学教員が行い、実験指導に大学教員、大学生のティーチングアシスタントおよび高校教員があたった。生徒40数名の実験クラスに対して、大学教員2名、ティーチングアシスタント3名、高校教員2～3名が指導に当たる体制であり、大学での学生実験よりも指導者数では充実していた。また、実験に必要な試薬・器具なども十分な準備ができた。SPP事業の支援を受けられたメリットは非常に大きかった。

平成19年度では、大学からの招聘講師は教員1名に変更した。それまでの3年間で高校教員も大学教員が企画した「創造的科学的実験」の内容を十分体験できた。また、実験テーマ・内容も3年間の蓄積で増えたことから、高校教員が主体で行うSPP実験へ移行できると判断したためである。ただし、高校側で実験準備や実験指導を行うためには、理科担当教員の大多数の協力が必須となり、教員間の話し合いで全員での実験指導へと意志を統一した。平成19年度の実験テーマと実験内容の概要を大学教員が高校側に提案した。高校教員が実施できそうな実験テーマに絞り込んだ後に、生徒に参加したい実験テーマを選択させ、実験グループを組んだ。物理系や生物系の実験テーマも導入され、高校理科教員自身が実験準備、予備実験、実験原理や仕組みの説明および実験指導を全て行った。大変な労力を要したが、この試みは生徒から極めて肯定的で高い評価を受けた。化学実験から物理実験や生物実験を含む「創造的科学的実験」へと拡大できたことも大きな成果であった。

平成20年度は、完全に化学系実験、物理系実験および生物系実験に分けてSPP実験講座を開催した。化学系実験では同じく大学教員は1名のみが指導者として加わり、実験準備から実験指導まで高校教員で実施した。実験内容はこれまでの集大成として、過去生徒が高く評価したアルギン酸ゲルカプセルの実験を選び、化学変化が体験できる実験内容に改良して実施した。参加した生徒は十分に実験を楽しんだようであった。

平成17年度以降は、生徒による実験結果・成果の発表会を行ってきた。平成17年度は模造紙に書いたポスターを用い1分間の口頭発表後に30分間程度のポスター発表を行った。大学および高校の教員が各グループの出来映えを評価する方法を採用した。その後、1分間の口頭発表はパワーポイントを用いるプレゼンテーションへと進化した。平成19年度には各グループが作成した試作品の展示も行われた。発表会を取り入れた成果は大きい。生徒たちはポスターを作成する過程で、実験結果をグループで整理して考えるトレーニングができ、実験結果をポスターに表現する方法を考

え学び、さらにプレゼンテーションの仕方を練習できる。実験実施だけでは教育上の効果は一過性で、生徒の印象も記憶に永く止まらない可能性が高い。自分たちでまとめてプレゼンテーションする発表会の実施により深い理解を促すことができたと考える。

4. あとがき

実験講座を含む青少年に向けた数多くの科学啓発事業があるが、単発で終わるか、もしくは継続しても数年の場合が多い。今回のように5年間も同じ高校の生徒を対象としてSPP講座で実験指導を行った経験ははじめてであった。中心となって計画を進める担当教員が高校側も大学側も5年間同じであったことが、この実験講座を継続できた要因である。同じ高校の生徒を対象として実施できたため、アンケート調査結果等を分析・評価して、次年度の実験テーマや実施方法の改善に生かす工夫が可能になった。実験内容も実施方法も5年間の間に着実に改良され、高校で行う「創造的 化学実験」としての教材化に成功したと自負する。「創造的 化学実験」を「創造的 科学実験」へと拡大できたことも成果である。高校教員がやりたいけれど様々な制約でできない試行的実験教育を、大学教員が協力することで企画・実行できた意義は大きい。このような高大連携事業の継続が、高校生の理科離れを防ぐ一助になると信じる。

参 考 文 献

- 1) 福田収一：教育の多様化を目指した高大連携, 工学教育, 52-1, pp.60-64, 2004
- 2) 宇佐美初彦, 足立 努, 安田健一, 金子恵一, 岩崎政次：SPP講座を通じた高校生への材料工学教育, 工学教育, 53-5, pp.91-94, 2005
- 3) 平成17年度と18年度についての中間成果発表は, 松下洋一, 塩盛弘一郎, 菅本和寛, 宮武宗利, 倉内誠尚, 中原重弘：高校の創造的 化学実験プログラム開発への高大連携, 工学・工業教育研究講演会講演論文集, 11-101, pp.198-199, 2006
- 4) 渡辺良男：理科離れは止めることができるか?, 工学教育, 56-6, pp.85-89, 2008

著 者 紹 介



松下 洋一

1979年広島大学大学院理学研究科化学専攻博士前期課程修了, 1979年大鵬薬品工業株式会社研究員, 1991年宮崎大学工学部助教授を経て, 現在, 宮崎大学工学部物質環境化学科 准教授

学 位：工学博士

専 門：天然有機化学, 有機合成化学, バイオマス利用化学

所属学会：日本化学会, 有機合成化学協会, 日本農芸化学会, 日本木材学会, 日本工学教育協会

e-mail : matusita@cc.miyazaki-u.ac.jp

