

平成22年3月31日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500754
 研究課題名（和文） 化学教育におけるプロジェクト授業のモデル開発に関する日独共同研究
 研究課題名（英文） Japan-Germany Joint Research for Development of “Projektunterricht”
 in Chemical Education
 研究代表者
 藤井 浩樹（FUJII HIROKI）
 県立広島大学・人間文化学部・准教授
 研究者番号：30274038

研究成果の概要（和文）：本研究では、中等教育段階で使用可能な化学教育におけるプロジェクト授業（探究活動・課題研究の授業）のモデルを、日本とドイツの共同研究によって開発した。モデルの題材は有機化学分野の「バイオエネルギー」と「キチン・キトサン」であった。開発した授業モデルは、生徒の科学的な思考力や判断力を高める上で有効であることがわかった。また、化学の基本概念の形成を図る上でも有効であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：Lesson models in chemical education of high school on the topic of bio-energy and also chitin/chitosan were developed through this Japan-Germany joint research. Results of the evaluation to the trial showed the lesson models realized the promotion of student's scientific thinking and their abilities in proper judgment of social problems and also the urge to acquire basic conceptions of chemistry.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：科学教育

科研費の分科・細目：（分科）科学教育・教育工学、（細目）科学教育

キーワード：化学教育、学校教育、授業、プロジェクト、ドイツ

1. 研究開始当初の背景

探究能力・問題解決能力は、科学教育で育成すべき生徒の学力の根幹をなすものである。平成10年改訂の中学校学習指導要領理科や平成11年改訂の高等学校学習指導要領理科では、このような能力を重点的に育成するために、探究活動・課題研究の内容が盛り込まれている。例えば、科目「化学」のこの内

容では、「化学についての応用的、発展的な課題を設定し、観察、実験などを通して研究を行い、化学的に探究する方法や問題解決の能力を身に付けさせる」ことが求められている。しかしながら、科学教育における探究活動・課題研究の実践は十分に展開されているとはいえない状況にある。その理由の一つには、必要な時間数を確保するのが困難である、

高校入試や大学入試においてその成果が評価される機会が少ない、といった現実的な問題がある。しかし、それらの問題だけにとどまらず、探究活動・課題研究についての研究が継続的に進められておらず、その具体的に効果的な授業モデルが確立されていないという根本的な問題がある。このことは化学教育においても例外ではない。

もちろん、先述の学習指導要領の改訂時には、化学教育における探究活動・課題研究についての実践研究は盛んに進められてきた。また最近では、丹沢哲郎ら(2001)がLearning Cycle教授モデルを用いて粒子概念の獲得にかかわる仮説・演繹的な探究活動の教授可能性とその問題点を明らかにしている。しかし、授業モデルにかかわる重要な課題、例えば、探究活動・課題研究に好適な新しい化学教育内容の構成の検討、学習活動において生徒の振り返りや反省の思考を促す方法の検討などは十分に行われていない。

一方、ドイツの中等学校の科学教育(化学教育)では、わが国の探究活動・課題研究に相当する内容は従来から一貫して盛り込まれ、プロジェクト授業(Projektunterricht)と呼ばれる問題解決型・課題追求型の授業を中心に活発に展開されている。そして、プロジェクト授業のおよそ100年に及ぶ研究の蓄積が、化学教育における探究活動・課題研究の重要性や必要性についての認識を高め、生徒の探究能力・問題解決能力の育成にかかわる多様な研究を進展させることとなっている。例えば、今日もにおいても定評のある研究の一つに、Wolfgang Münzinger・Karl Freyの「プロジェクトにおける化学」(1986)と題する書物を挙げることができるが、この中で彼らは、提案、提案の分析、計画、実施、及び評価の5つの段階から構成されるプロジェクト授業の過程を示し、化学教育内容に応じた実践可能ないくつかの授業モデルを提案している。また、本研究の海外共同研究者の一人である Claus Bolte(2004)は、「化学教育におけるデルフィ(Delphi)研究」と称して、授業において生徒同士の対話を重視することで、探究能力・問題解決能力を高める化学授業のあり方を検討している。しかしながら、学力中位の生徒はプロジェクト授業に比較的関心が低い、探究の問題や課題を生徒自身が段階的に練り上げていくのが難しいなど、直面する課題は多い。

このように日独両国において、生徒の探究能力・問題解決能力の育成をめざして、プロジェクト授業(探究活動・課題研究の授業)の効果的な実践が求められているものの、その達成には検討すべき数多くの課題が残されている。このことはかねてより、研究代表者(藤井)と分担者(小川)、そして海外共同研究者の共通の問題意識であり、藤井と小川

のドイツでの研究滞在時を中心に、共同研究に向けての協議を重ねてきた。また、藤井はこれまで、ドイツの化学教育実践について報告発表するとともに、実践を支える学問としての「化学教授学(Chemiedidaktik)」の構造と内容について理論的研究を進めてきた。このような経緯で、今回、化学教育におけるプロジェクト授業のモデル開発を行う日独共同研究を進めることとなった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、生徒の探究能力・問題解決能力の育成をめざした、中等教育段階の化学教育におけるプロジェクト授業(探究活動・課題研究の授業)のモデルを、日本とドイツの共同研究によって開発することである。具体的には、次の3点を行う。

(1) 授業モデルの開発

生徒の探究能力・問題解決能力の育成に効果的があると考えられる授業の要素を抽出するとともに、モデル開発にふさわしい、日本とドイツに共通した題材・教材を選定する。これらをもとに、化学教育におけるプロジェクト授業のモデルを複数開発する。

(2) 授業モデルの試行と評価

授業モデルを日本では高等学校、ドイツではギムナジウムで実践し、その結果を日本とドイツで比較する。生徒の到達度を測定・分析することで、開発した授業モデルの有効性と問題点を検討する。

(3) 授業モデルの提示

以上の研究成果を総合的に評価・判断し、モデルの改良、再試行、及び評価を行う。その成果をもとに、中等教育段階で使用可能な化学教育におけるプロジェクト授業のモデルを提示する。

3. 研究の方法

(1) 2007年度

化学教育におけるプロジェクト授業のモデルを開発する。

① 生徒の探究能力・問題解決能力の育成に効果があると判断される授業の要素を抽出する。

② モデル開発にふさわしい、日本とドイツに共通した題材・教材を選定する。

③ 化学教育におけるプロジェクト授業のモデルを複数開発する。授業の目標、配当時間数、内容構成、学習指導法、及び評価方法を検討するとともに、生徒が実際に使用するワークシートや教材教具を作成する。

(2) 2008年度

化学教育におけるプロジェクト授業のモデルの試行と評価を行う。

① 授業モデルの試行

開発した授業モデルを用いて、日本では高等学校、ドイツではギムナジウムの理科

(化学)の授業を実践する。

② 授業モデルの評価

授業を通じた生徒の探究能力・問題解決能力の到達度を測定する。そのために、授業実践の記録を用いて生徒の発言や行動の記録を分析するとともに、質問紙調査を実施し、分析する。

(3) 2009年度

3年間の研究をまとめ、中等教育段階で使用可能な化学教育におけるプロジェクト授業のモデルを最終的に提示する。

① 授業モデルの改良、再試行、評価

前年度までの研究成果を総合的に評価・判断し、授業モデルの改良、再試行、及び評価を行う。

② 授業モデルの提示

授業モデルの再試行・評価を踏まえて、中等教育段階で使用可能な複数の授業モデルを提示する。

4. 研究成果

(1) バイオエネルギーの授業モデル

近年世界的に、従来の化石燃料に代わる再生可能なエネルギー源の開発が急速に進められている。その一つであるバイオエネルギーは、バイオマス(生物資源)を由来とするもので、カーボンニュートラルなエネルギーとして注目されている。

しかしわが国では、バイオエネルギーに対する生徒の理解は低く、エネルギーにかかわる社会的問題を科学の裏付けをもって判断する能力は乏しい。

そこで本研究では、高等学校の化学教育において、生徒の判断力育成を目標としたバイオエネルギーの授業モデルを、ドイツの先行モデル^{1) 2)}を改良しながら開発し、その試行と評価を行った。

① 授業モデルの開発

授業の目標は、エネルギー供給のあり方という意見が分かれる社会的問題について、科学の裏付けをもって判断する能力を育成することである。

授業の内容は、以下の項目から構成される。なお、括弧内は配当時間を示している。

- a. 講義:「世界と日本のエネルギー事情とバイオエネルギー」(1時間)(社会科担当教諭による授業)
- b. 講義と実験:「固体からのエネルギーの獲得(木)」(4時間)(理科担当教諭による授業、以下同様)
- c. 講義と実験:「液体からのエネルギーの獲得(バイオディーゼル)」(4時間)
- d. 講義と実験:「気体からのエネルギーの獲得(バイオガス)」(2時間)
- e. 視察旅行:「バイオエネルギープラント」(1日)
- f. 演習:「バイオエネルギーに対する評価」(3時間)

② 授業モデルの試行

2008年7月28~31日の連続した4日間において、広島大学附属高等学校の第2学年25

名、第1学年3名を対象に試行した。1日目は授業内容のaとbであり、aでは世界と日本のエネルギー消費、CO₂排出量、原油価格、及び再生可能エネルギーの開発動向について講義した。bでは木の組成、燃焼のプロセス、燃焼による発熱量について講義し、木質ペレットとパラフィンの発熱量の測定・比較、木質ペレットの燃焼によって生じる気体の検出を行った。

2日目はcとdであり、cでは油脂と脂肪酸、菜種油のエステル交換によるバイオディーゼルの生成について講義し、バイオディーゼルの生成、菜種油・バイオディーゼル・軽油の発熱量、粘度、及び引火点の測定・比較を行った。dではメタン発酵、バイオガスの組成と発熱量について講義し、メタンを燃焼するとともに馬糞からメタン発生を試みた。

3日目はeであり、バイオマスタウンの先進地である岡山県真庭市に出掛け、木質ペレットや廃食油バイオディーゼルの製造と利用の現場を視察した。

4日目はfであり、バイオディーゼルと軽油、木質ペレットと灯油を燃料として比較・評価するとともに、バイオエネルギーにかかわる農業・林業従事者、企業経営者、消費者、科学者、行政担当者の立場に分かれ、バイオエネルギーの推進の是非について討論した。

③ 授業モデルの評価

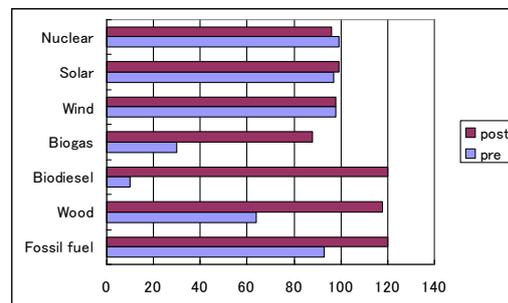


図 1-1 エネルギー供給施設の建設に賛成する論拠と反対する論拠

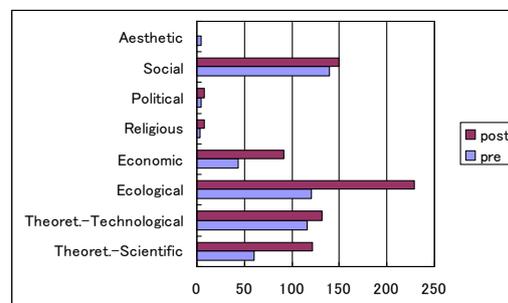


図 1-2 賛成する論拠と反対する論拠の視点

授業前後に生徒に調査をした。まず、それぞれのエネルギー供給施設(化石燃料、木、バイオディーゼル、バイオガス、風力、太陽

光、原子力)の建設に賛成する論拠と反対する論拠を挙げてもらった。論拠の数を一人あたりで平均すると、授業前は20個、授業後は30個と約1.5倍に増加した(図1-1)。特に3種類のバイオエネルギーに対する論拠の数は約7倍に増加した。また、授業後は論拠の視点が多様になり、エコロジーの視点だけでなく経済性や科学(化学)・技術の視点が特に増加した(図1-2)。地域の持続可能性の視点も表れるようになった。

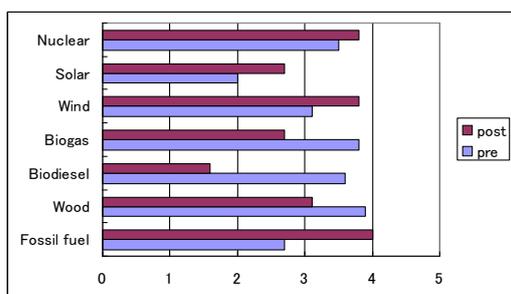


図1-3 エネルギー供給施設の等級

次に、先述のエネルギー供給施設の等級(1~6、1が最高、6が最低)を付けてもらった。化石燃料の等級が下がったのに対し、木の等級が上がったのが際立った(図1-3)。

Work sheet

Carry out your own assessment of the two fuels, biodiesel and diesel, in group work.

1) Write down ten criteria which are important for your assessment of both kinds of fuels, i.e. biodiesel and diesel.

2) Choose five of the ten criteria which you want to use for the assessment. Determine the "importance" or the weighting factor of each criterion by allocating all in all 20 points to the chosen criteria.

Criterion	Weighting factor
A	
B	
C	
D	
E	

3) Assessment of the fuel biodiesel:
List your selection of criteria and the respective weighting factors. Assess biodiesel after each criterion and allocate grades to it [1 = very good to 5 = inadequate].
* Calculate the "weighted grades" by multiplying the grade of the respective criterion with the weighting factor. Then add the single "weighted grades". In order to calculate the final grade, divide the sum of the "weighted grades" by 20.

Biodiesel	Weighting factor	Grade	"weighted grade"
A			
B			
C			
D			
E			
Sum	20		
Final grade			: 20

4) Assessment of the fuel diesel:
Use the same principle as with the fuel biodiesel.

Diesel	Weighting factor	Grade	"weighted grade"
A			
B			
C			
D			
E			
Sum	20		
Final grade			: 20

© Kirschenmann, Bolte 2007

図1-4 燃料を比較・評価するためのワークシート

また、授業後に、グループごとに木質ペレットと灯油、バイオディーゼルと軽油をそれぞれ燃料として比較し、評価してもらった。発熱量、製造の容易さ、価格、環境に対する配慮、将来性といった多様な評価基準が導き

出されていた(図1-4、図中のQuestion 1)、2)における記述)。そしてグループごとの評価の値を平均すると、木質ペレットは2.4に対して灯油は3.2、バイオディーゼルは2.4に対して軽油3.1となり(同、図中のQuestion 3)、4)のFinal grade)、木質ペレットとバイオディーゼルがそれぞれ高い評価を得た。

このように生徒は、エネルギー供給のあり方という意見が分かれる社会的問題について、科学の裏付けをもって判断していた。

[文献]

- 1) Kirschenmann, B.; Bolte, C., ParIS in Berlin: Bild Dir Deine Meinung... zum Thema Bioenergie, in: Höttecke, D. (Hg.), Naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich, LIT Verlag, Berlin (2006), 316-318.
- 2) Kirschenman, B.; Bolte, C., Science in a Class of Its Own: Renewable Energy Sources - "My iPod Works with Energy from Bull Shit", PARSEL Consortium Teaching-Learning Materials, Berlin (2007).

(2) キッチン・キトサンの授業モデル

キッチン、キトサンはカニやエビの殻などから得られる天然高分子化合物であり、デンプンやセルロースなどとともに多糖類に属する。キッチン、キトサンの研究が本格化したのはここ30年ほどの間であるが、それらは健康食品、衣料用抗菌剤、化粧品(シャンプー、乳液等)、医療材料(人工皮膚、縫合糸)、農業資材、廃水処理剤などに利用され、私たちの生活に広く普及する物質となっている。

高等学校化学ではキッチン、キトサンの内容を取り扱う教科書¹⁾も見られるが、その授業研究はほとんど進んでいない。そこで本研究では、キッチン、キトサンの授業モデルを開発し、試行と評価を行った。

① 授業モデルの開発

授業の目標は、キッチン、キトサンについての知識を習得させること、及び知識に基づいてその利用の問題を判断する能力を育成することである。

授業の内容は、以下ようになる。

- キッチン、キトサンの化学構造
- a. 講義 (30分)、b. 演習「分子模型の作製」(60分)
- キッチン、キトサンの原料と製造工程
- c. 講義 (30分)、d. 実験「キッチン、キトサンの生成」(60分)
- キッチン、キトサンの特長と利用
- e. 講義 (30分)、f. 実験「抗カビ性」(60分)、「汚泥の凝集、重金属イオンの回収」(60分)、「膜として利用されるキトサンフィルムの作製」(60分)
- キッチン、キトサンについての情報収集
- g. 演習「WEBを用いた情報収集」(30分)、h. 視

察旅行「キチン、キトサン製造工場」(1日)
 キチン、キトサンの利用に対する評価
 i. 演習 (60分)

② 授業モデルの試行

2009年7月21～23日の連続した3日間において、広島大学附属高等学校の第2学年18名、第1学年2名を対象に試行した。1日目は授業内容のa～d、及びfの一部である。aでは高分子化合物、多糖類、重合、及びキチン、キトサンの構造について講義した。bでは分子模型を用いて講義内容を確認した。cでは、廃棄物であった殻が有望なバイオマスとして注目されていることや、殻からキチンの生成(脱灰、脱タンパク質)とキチンからキトサンの生成(脱アセチル化)について講義した。dでは、ベンズワイガニの殻を用いて、キチン、キトサンを生成した。また、fの一部として、キトサン溶液を寒天培地に添加し、カビ増殖の抑制について調べた。

2日目はe～gである。eではキチン、キトサンの用途について講義した。fでは、キトサン溶液によってタンパク質(スキนมilkの溶液を使用)を凝集させた。また、キトサン溶液をビーズにし、重金属イオン(Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Co^{2+})と結合させた。さらに、キトサン溶液がフィルムになることを確認した。gでは、キチン、キトサンの情報を収集した。

3日目はh、iであり、hでは鳥取県境港市にある甲陽ケミカル株式会社に出掛け、キチン、キトサン、グルコサミンの製造と研究開発の現場を視察した。iでは、キチン、キトサンの利用の可能性と健康食品としての利用の是非について議論した。

③ 授業モデルの評価

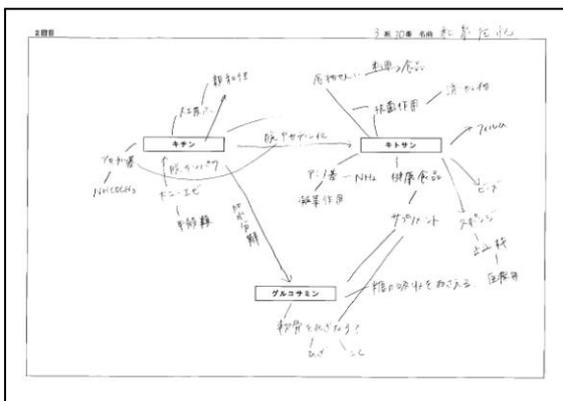


図2-1 キチン、キトサン、グルコサミン
 についての概念地図

授業前後に生徒に調査をした。まず、キチン、キトサン、グルコサミンから連想する言葉を挙げてもらった。言葉の数を一人あたりで平均すると、授業前は8個、授業後は16個と約2倍に増加した。言葉の内容からは、化学の基本概念にかかわる知識だけでなく、化学の応用・利用にかかわる知識が増えたこ

とがわかった。言葉の間の関係からは、双方の知識がつながるネットワークが生じたことがわかった(図2-1)。

次に、キチン、キトサンの利用の可能性について考えてもらった。キトサンの抗菌性やキチン類スポンジの吸水性を医療に活用するという考えが多かった。両方の特性を生かしてプールの更衣室のマットを開発するといった独創的な考えもあった。また、脂肪の消化吸收を阻害するとされるキトサンを、肥満予防のためのサプリメントとして使用するかどうかを考えてもらった²⁾。個人の体質に応じて使用する、脂溶性のビタミンを摂取すべきなので使用しないなど、生徒は習得した知識に基づいて判断を下していた。

〔文献〕

- 1) 化学II改訂版、新興出版社啓林館、2007.
- 2) Gräber, W., Chitosan - Fat Magnet!?, The PARSEL Consortium Teaching-Learning Materials, 2009.

(3) 研究成果のまとめ

本研究を通して、中等教育段階で使用可能な化学教育におけるプロジェクト授業(探究活動・課題研究の授業)のモデルを開発することを実現した。そして、開発した授業モデルは、生徒の科学的な思考力や判断力を高める上で有効であることがわかった。また、化学の基本概念の形成を図る上でも有効であることがわかった。

今後の研究では、無機化学分野や物理化学分野を中心とした新たな授業モデルを開発し、化学教育内容の多くをカバーする多数の授業モデルを提示することが求められる。

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6件)

- ① FUJII Hiroki, OGAWA Haruo, UTSUMI Ryoichi and HIRAMATSU Atsushi, Promotion of Student's Abilities in Proper Judgment on the Topic of Bio-energy: Development of Lesson Model in Chemical Education, Chemical Education Journal, 査読有, Vol.13 No.1, 2009, Registration No.13-8.
- ② OGAWA Haruo, FUJII Hiroki, and SUMIDA Manabu, Development of a lesson model in chemistry through "Special Emphasis on Imagination leading to Creation" (SEIC), Chemical Education Journal, 査読有, Vol.13 No.1, 2009, Registration No.13-1.
- ③ HIRAMATSU Atsushi, TAKABAYASHI Kenji, UTSUMI Ryoichi, FUJII Hiroki, and OGAWA Haruo, A Lesson Model Fostering Fine

Ideas in Chemistry Concerning Bio-diesel on the Basis of "Education for Sustainable Development": Potentialities for Collaboration with Social Study, Chemical Education Journal, 査読有, Vol.13 No.1, 2009, Registration No.13-7.

- ④ 小川治雄、高野博維、生尾光、吉永裕介、藤井浩樹、中・高等学校での化学における実験スキルの分析と有効数字を活かす実験スキル教材の開発—鉄の燃焼反応を例に—、東京学芸大学紀要自然科学系、査読無、第61集、2009、29-46.
- ⑤ 藤井浩樹、ドイツの初等理科教育—事実教授の教育課程・教科書と教員養成、化学と教育、査読無、56巻9号、2008、466-469.
- ⑥ 小川治雄、石脇健太、生尾光、吉永裕介、藤井浩樹、中・高等学校の化学分野における教科書中の図式について、東京学芸大学紀要自然科学系、査読無、第60集、2008、9-18.

[学会発表] (計7件)

- ① 藤井浩樹、内海良一、平松敦史、小川治雄、化学教育におけるキチン・キトサンの授業モデルの開発、日本理科教育学会第59回全国大会、2009年8月19日、仙台
- ② FUJII Hiroki、OGAWA Haruo、UTSUMI Ryoichi and HIRAMATSU Atsushi, Promotion of Student's Abilities in Proper Judgment on the Topic of Bio-energy: Development of Lesson Model in Chemical Education, Third NICE (Network for Inter-Asian Chemistry Educators) Symposium, 30th July 2009, Tokyo
- ③ OGAWA Haruo、FUJII Hiroki、and SUMIDA Manabu, Development of a lesson model in chemistry through "Special Emphasis on Imagination leading to Creation" (SEIC), Third NICE (Network for Inter-Asian Chemistry Educators) Symposium, 29th July 2009, Tokyo
- ④ HIRAMATSU Atsushi、TAKABAYASHI Kenji、UTSUMI Ryoichi、FUJII Hiroki、and OGAWA Haruo, A Lesson Model Fostering Fine Ideas in Chemistry Concerning Bio-diesel on the Basis of "Education for Sustainable Development": Potentialities for Collaboration with Social Study, Third NICE (Network for Inter-Asian Chemistry Educators) Symposium, 30th July 2009, Tokyo
- ⑤ FUJII Hiroki、OGAWA Haruo、Utsumi Ryoichi、and HIRAMATSU Atsushi, Development of Lesson Model on the topic of Bio-energy in Chemical

Education: A Trial by the Berlin Model in Japan, International PERSEL (Popularity and Relevance of Science Education for Scientific Literacy) Conference, 2nd March 2009, Berlin

- ⑥ OGAWA Haruo and FUJII Hiroki, Special Emphasis on Imagination Leading to Creation (SEIC), International PERSEL (Popularity and Relevance of Science Education for Scientific Literacy) Conference, 2nd March 2009, Berlin
- ⑦ 藤井浩樹、内海良一、平松敦史、小川治雄、化学教育におけるバイオエネルギーの授業モデルの開発に関する日独共同研究、日本理科教育学会第58回全国大会、2008年9月14日、福井

[図書] (計1件)

- ① 藤井浩樹、風間書房、ドイツ化学教授学の成立に関する研究、2010年、全255頁

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：
〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 浩樹 (FUJII HIROKI)
県立広島大学・人間文化学部・准教授
研究者番号：30274038

(2) 研究分担者

小川 治雄 (OGAWA HARUO)
東京学芸大学・教育学部・教授
研究者番号：10134769

(3) 研究協力者

CLAUS BOLTE
ベルリン自由大学・化学研究所・教授
WOLFGANG GRÄBER
キール大学・自然科学教育研究所・上級研究員