

プロジェクト「次代の科学・工業系人材育成を目指した学習教材のパッケージ化」での 連携事業，教材開発の基本原則

後藤顕一^{1*} 糸永全宏² 柄山正樹³ 佐藤成美⁴ 吉江由美子¹ 高橋三男⁵ 飯田寛志⁶

Basic principles of the collaborative project and development of teaching materials in the project "Packaging of learning materials for the development of the next generation of scientific and industrial human resources"

Kenichi Goto^{1*} Masahiro Itonaga² Masaki Karayama³ Narumi Sato³
Yumiko Yoshie¹ Mitsuo Takahashi⁵ Hiroshi Iida⁶

Abstract: In order to nurture the next generation of science and technology human resources, we conceived the idea of “actively introducing a variety of educational activities”, including a learning environment based on the intrinsic motivation of individuals and the promotion of creative challenges.

In order to achieve this goal, we articulated the principle of collaborative projects and the principle of materials development. In the principle of materials development, we proposed to organize the perspectives of learners, instructors, materials, and participation from both educational and social perspectives, respectively, and link them to specific practices.

1. はじめに

東洋大学工業技術研究所「産学連携プロジェクト研究」において、国産化学株式会社との連携事業「次代の科学・工業系人材育成を目指した学習教材のパッケージ化」（以下、「次世代教材開発プロジェクト」とする）を行っている。これは、工業技術研究所の主な活動内容の柱である隔合して生まれる「産業連携」の実現を目指した取組であり、企業と連携しながら新たな価値の創出を目指した研究制度である。

本報告では、次世代教材開発プロジェクトにおける連携の基本原則と教材開発の基本原則について示すとともに、現状の成果と課題を明らかにする。

2. プロジェクト研究推進の背景

2.1 科学技術・イノベーション基本計画が求めること

2020年に示された第6期科学技術・イノベーション

基本計画（内閣府，2021）では、①イノベーション力の強化，②研究力の強化，③教育・人材育成を3本柱としている。

そこでは、「科学技術イノベーションは経済再生の原動力であり，科学技術イノベーション政策を強力に推進し，諸外国における政策動向の変化などの環境変化も生じつつある中で，我が国を「世界で最もイノベーションに適した国¹⁾」としていくことが，今，最も必要」としている。これらの実現を目指し，持続可能で強靱な社会への変革，「知」の創造，新たな社会への対応を具体的に実践する取り組みが求められている。

また，科学技術イノベーションを担う多様な人材の育成や活躍促進が不可欠であり，科学技術を担う多様な人材を育成するためには，国家的な戦略として，国民全体の科学技術への関心を高め，科学技術に対する理解を深め，科学的能力を育成し，科学技術に参画す

¹ 東洋大学 食環境科学部
Faculty of Food and Environmental Sciences, Toyo University

² 国産化学株式会社 企画開発室
Planning and Development Office, Kokusan Chemical Co.

³ 東洋大学 食環境科学部 元教授
Former Professor, Faculty of Food and Environmental Sciences, Toyo University

⁴ 東洋大学 食環境科学部 非常勤講師
Part-time Lecturer, Faculty of Food and Environmental Sciences, Toyo University

⁵ 大妻女子大学 家政学部
Faculty of Home Economic, Otsuma Women's University

⁶ 静岡県立天竜高等学校
Tenryu High School, Shizuoka, Japan

*Corresponding Author: goto093@toyo.jp

る意識と態度を育成する実効性のある産学連携のような具体的な取組が必要であることが明らかになった。

第6期科学技術・イノベーション基本計画は、それまでの科学技術基本計画を法改正し名称を変え、人文・社会科学の振興とイノベーションの創出を法の振興対象に加えたのである。これは、科学技術・イノベーション政策が、科学技術の振興のみならず、社会的価値を生み出す人文・社会科学の「知」と自然科学の「知」の融合による「総合知」により、人間や社会の総合的理解と課題解決に資する政策となったことを意味するものである。示された計画の現状認識として次のようなことを問題として挙げられている。

「(前略) 独創的な挑戦の促進を内包した多様な教育活動や、個々人の内発的動機や好奇心に基づく学びの環境の積極的な導入が進まなかった。実際に、諸外国と比べて、成績は良くても学びは好きではないという児童・生徒の割合は大きい。このような問題意識は教育現場のみならず社会全体において既に高まりつつあり、新学習指導要領やGIGAスクール構想に見られるように、新しい時代の教育に向けた積極的な変化が生まれつつある¹⁾。」としている(下線は、筆者による)。

これは、Society 5.0時代の価値創造を実現するために、初等中等教育段階からSociety 5.0時代の学びを実現していく必要性を示しているのである。そして、「あるべき姿とその実現に向けた方向性」として、「Society 5.0時代において自ら課題を発見し解決手法を模索する、探究的な活動を通じて身につく能力・資質を磨き高めることにより、多様な幸せを追求し、課題に立ち向かう人材を育成することを目指す」として具体的な取組を求めている。

2.2 「令和の日本型教育」が求めること

一方、学校教育を取り巻く変化に対して文部科学省は、「令和の日本型教育」として答申を示している。ここでは、「一人一人の児童生徒が、自分のよさや可能性を認識するとともに、あらゆる他者を価値のある存在として尊重し、多様な人々と協働しながら様々な社会的変化を乗り越え、豊かな人生を切り拓き、持続可能

な社会の創り手となることができるようにすることが必要である²⁾」としている。2020年代を通じて実現を目指す学校教育「令和の日本型学校教育」(文部科学省, 2021)の姿として、全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、協働的な学びの実現を目指している。この実現には、2019年度より段階的にスタートしている新学習指導要領で示されている学びの充実が求められている。

さて、学校教育においては、2019年度より段階的に新学習指導要領の改訂による新たな学びが進められている。新学習指導要領では、「子供たちに、情報化やグローバル化など急激な社会的変化の中でも、未来の創り手となるために必要な知識や力を確実に備えることのできる学校教育を実現³⁾」(文部科学省, 2016年)していくことを目指している。この実現のためにも、育成すべき資質・能力を明確にするとともに、幼・小・中・高(・大)・社会と続く視点、すなわち一貫して社会との関係を重視するとともに、学校全体、地域全体、社会全体という視点、すなわち社会一体で子供を育てていくことを重視する、といった教育の質的転換を図ること「社会に開かれた教育課程の実現」が求められ、その具体的かつ実効性のある取り組みが求められているのである。

3. 本研究の目的

背景で示したことに基づき、次代の科学技術系人材育成に向けて「独創的な挑戦の促進を内包した多様な教育活動や、個々人の内発的動機や好奇心に基づく学びの環境の積極的な導入」を目指す取組を構想した。

初等中等教育の段階から、子どもの自発的な「なぜ?」「どうして?」を引き出し、好奇心に基づいた学びを実現する必要がある。これは、広く言えば、市民社会の形成にとって不可欠なものであり、さらに人類の繁栄を支えてきた科学研究のプロセスそのものであり、こうした取組こそが、試行錯誤しながら課題に立ち向かう「探究力」を育成する学びそのものであるといえる。

そこで、国産化学株式会社と共同研究に発展させて

次の2点を目的に据えた。

- ①産学連携による学習教材の開発と教育現場で用いることができる製品パッケージ化
- ②実証的な研究による検証と修正を一貫して行う本学教員志望学生による学内起業支援

4. 背景を踏まえた本研究の原理

4.1 産学連携の研究の原理

大学にはイノベーションを引き起こす人材育成が求められている。そのためには、「資源やモノではなく知識を共有し集約することで、様々な社会課題を解決し、新たな価値が生み出される社会」を目指して2025年までを目途に、具体的な改革の方向性を提示している。そこで、本研究では、産学連携のもと、探究型の実験を構想し、学習教材を開発し、それらを学校種ごとに製品パッケージ化させ、学習科学、科学教育に基づく実証研究による検証により、学習教材、製品パッケージのメンテナンス、修正を一貫して行う本学教員志望学生による学内起業を創設することを目指す。

本研究で共同研究する国産化学は、これまでも、さまざまな実験を通じて「化学の面白さ、モノをつくる喜び」を体験し、将来、数多くの創造力豊かな科学者が誕生することを願って、中学生・高校生のための生物・化学実験教材セット「科学の小箱」を提供してきた。本学、及び、理系教員志望者と協同的に研究を推進していくことで本研究が目指す目的の達成とともに、大きな成果が期待できる。



初等中等教育の学校現場、産業界、さらには、大学研究者による検証と、教職志望学生による学内起業が、一体となった研究は、各分野のニーズに応えることができ、社会の中での学術のありかたを考え、社会のための学術の推進に取り組み、これまでの従来の産学の在り方を超える研究である。

4.2 教材開発の原理

教材開発の基本的な原理として、「丁寧な教材づくり」とし、学習者側の視点、指導者側の視点、教材の

視点、教材開発に参画する側の視点それぞれについて検討、整理をした。

	教育的な視点	社会的な視点
学習者の視点	科学技術者への意識 科学的探究力の育成 資質・能力の育成 興味関心の醸成	科学知の涵養 国民としての素養の獲得 SDGsへの関心 多様な学びの創出
指導者の視点	内容理解、実験技能 指導力の向上、自信 資質・能力の育成	指導者への信頼 グリーン・ケミストリー への意識
教材の視点	実践プロセスの確立 学習書・指導書・ビデオ作製の検討	SDGs目標12「つくる責任つかう責任」の意識、 安全性重視、廃液の扱い
参画の視点	参画学生等の起業への興味関心向上	産学連携のモデル化 社会インパクト

4.3 原理に基づく組織体制の構築

産学連携の原理、教材開発の原理を踏まえて、次に示す組織体制を構築しプロジェクト研究を推進した。

	具体的な現状及びニーズ	期間内明らかにすること及び、もたらされる結果・意義
A: 理論研究	理論の整理、実証研究との関係整理の必要性、B~Gに向けた情報提供	学術的な理論的枠組みの整理を示す。また、その成果を公開する。理論と実践をつなぐことによる成果を公開する。
B: 教材開発研究	学校種ごとに求められている探究的実験の整理、理念の追求、パッケージの必要性	実験パッケージの必要性を明確にし、学校種ごとに明確にする。また、製品化を行うことで、社会に貢献する。
C: 実証研究	評価の作成、効果検証	Bを用いた実証研究を行うとともに、学術的な分析と成果を公開する。
D: 研究総括	理論と実践の往還とそれに基づく検証	Cの結果を受け、取組を評価・検証するとともに、成果を公表し、理系人材育成のモデルプランを提示する。
E: 協力校	教材、実験パッケージの必要性、教員の力量形成の必要性	実験パッケージの利用、教員・学習者の資質・能力の向上を図る。
F: 協力都道府県教育センター	研修題材の必要性、新学習指導要領に基づく実験パッケージの必要性	実験パッケージの普及、教員研修における資質・能力の育成を図る。
G: 学内起業準備室	学生の起業家精神が希薄、教員志望学生の力量形成、新学習指導要領の理解	学生のキャリア形成、起業家精神の醸成、教員志望者の資質・能力の育成を目指す。

5. 国産化学との共同研究のこれまでの成果

5.1 実験教材の改訂の整理

理学・工学的な視点、科学技術・イノベーション基本計画や令和の日本型教育、新学習指導要領が求める探究的な視点、主体的・対話的で深い学びの視点から

改訂を行うことを目指し、教材開発の基本原則に基づき、「科学の小箱」の教材を基に検討した。

	商品名
○1	ケミカルガーデン実験セット
2	気体の発生と性質実験セット
3	中和滴定実験セット
4	酸化還元滴定実験セット (I)
5	酸化還元滴定実験セット (II)
6	染料の合成と染色セット
7	青写真実験セット
8	サリチル酸誘導体の合成実験セット
9	エステルの合成実験セット
◎10	炎色反応実験セット
○11	無電解メッキ実験セット
○12	セッケン製造実験セット
◎13	ナイロン合成実験セット
14	硫酸イオン比色分析実験セット
15	鉄イオン比色分析実験セット
16	ペーパークロマトグラフィー実験セット

「科学の小箱」に示されている16の教材改訂とさらに新しい教材開発を目指す、試行的に「10 炎色反応実験セット」「11 無電解メッキ実験セット」「12 セッケン製造実験セット」「13 ナylon合成実験セット」について検討した。ここでは、「10 炎色反応実験セット」における教材改訂を示す

5.2 教材の改訂（炎色反応を例に）

(1) 学習者の視点

	教育的な視点	社会的な視点
学習者の視点	科学技術者への意識 科学的探究力の育成 資質・能力の育成 興味関心の醸成	科学知の涵養 国民としての素養の獲得 SDGs への関心 多様な学びの創出

これら項目の中で、科学的探究力の育成、資質・能力の育成、興味関心の醸成に向けて、プロセスを重視する学習過程を構想した。また、さらに、多様な学びが創出できるような仕掛けをプロセスに内包させた。

【基本レベル】

探究のプロセス	具体的内容																
実験のねらい	主な成分元素を検出する炎色反応を体験し、化合物についての考えを深める。																
どうだろう（自然事象に対する気付き）	物質に含まれる元素を簡単に見分けることができるだろうか。																
しらべてみよう（必要な知識・概念）	金属元素を含む物質を炎中に入れると、次のような物質に含まれる金属元素に特有な色の炎色となるらしい。 <table border="1" style="margin: 5px auto;"> <tr> <td>元素</td> <td>Ca</td> <td>Li</td> <td>Na</td> <td>Sr</td> <td>Ba</td> <td>K</td> <td>Cu</td> </tr> <tr> <td>炎色</td> <td>橙赤</td> <td>赤</td> <td>黄</td> <td>紅</td> <td>黄緑</td> <td>赤紫</td> <td>青緑</td> </tr> </table> これらの元素を含む物質や水溶液を炎中に入れ、炎色を確かめることによって、物質に含まれる元素を見分けることができる。	元素	Ca	Li	Na	Sr	Ba	K	Cu	炎色	橙赤	赤	黄	紅	黄緑	赤紫	青緑
元素	Ca	Li	Na	Sr	Ba	K	Cu										
炎色	橙赤	赤	黄	紅	黄緑	赤紫	青緑										
やってみよう（課題の設定）	7つの元素を含む7つの物質の炎色を確かめて物質に含まれる元素を見分ける。炎色反応で物質に含まれる元素を確かめてみよう！																
実験の準備	（検証計画の立案）実験の手順図をフローチャートで表現してみよう。																
実験してみよう	（観察・実験の実施）																
結果を整理しよう	（結果の処理）空欄にして結果をまとめられるようにする																

考えてみよう 説明しよう。	（考察・推論、表現・伝達） ・確認した炎色により、含まれる元素を表でみんなに分かりやすく
どうだろう	（自然事象に対するさらなる気付き） 炎色は炎の光の波長とどのような関係があるのだろうか。

【さらなる探究のレベル】

探究のプロセス	具体的内容																								
どうだろう	（自然事象に対するさらなる気付き） 炎色は炎の光の波長とどのような関係があるのだろうか。																								
しらべてみよう（必要な知識・概念）	炎色反応の炎の光の波長は、次のような値らしい。 <table border="1" style="margin: 5px auto;"> <tr> <td>元素</td> <td>Ca</td> <td>Li</td> <td>Na</td> <td>Sr</td> <td>Ba</td> <td>K</td> <td>Cu</td> </tr> <tr> <td>炎色</td> <td>橙赤</td> <td>赤</td> <td>黄</td> <td>紅</td> <td>黄緑</td> <td>赤紫</td> <td>青緑</td> </tr> <tr> <td>波長/nm</td> <td>423</td> <td>610,671</td> <td>589,590</td> <td>461</td> <td>493,554</td> <td>404</td> <td>537</td> </tr> </table>	元素	Ca	Li	Na	Sr	Ba	K	Cu	炎色	橙赤	赤	黄	紅	黄緑	赤紫	青緑	波長/nm	423	610,671	589,590	461	493,554	404	537
元素	Ca	Li	Na	Sr	Ba	K	Cu																		
炎色	橙赤	赤	黄	紅	黄緑	赤紫	青緑																		
波長/nm	423	610,671	589,590	461	493,554	404	537																		
やってみよう（課題の設定）	・炎色反応の炎の光の波長を確かめてみたい。 ・ナトリウムの炎色反応の炎の光について、簡易分光器で線スペクトルを観察しよう！																								
実験の準備	（検証計画の立案）実験の手順図をフローチャートで表現してみよう。																								
実験してみよう	（観察・実験の実施）																								
結果を整理しよう	（結果の処理）簡易分光器の観察結果を図や説明でまとめてみよう。																								
考えてみよう 説明しよう。	（考察・推論、表現・伝達） ナトリウムの炎の光の波長が589nm、590nmの2本の線スペクトルであるのに、簡易分光器による観察では1本の線スペクトルとして観察される理由を調べて、実験結果と関連付けて、簡易分光器の観察結果とナトリウムの炎の光の波長との関係について、みんなに分かりやすく説明しよう。																								

(2) 指導者の視点

	教育的な視点	社会的な視点
指導者の視点	内容理解、実験技能 指導力の向上、自信 資質・能力の育成	指導者への信頼 グリーン・ケミストリーへの意識

指導者の内容理解が進むよう、また学習者への支援が充実するよう挿話などの工夫を今後検討する。「炎色反応」であれば、花火に関する話題は、学習者の興味関心を引き付けることができ、指導者としての自信も深められると考える。今後は、適正な資料提供を目指す計画である。

さらに炎色反応の実験方法は極めて多岐にわたっている。様々な実験手法から実験廃液の処理まで一連の実験方法を総合的に検討し、さらなる工夫により安全で安心な教材の開発を目指す。

(3) 教材の視点

	教育的な視点	社会的な視点
教材の視点	実践プロセスの確立 学習書・指導書・ビデオ作製の検討	SDGs 目標12「つくる責任つかう責任」の意識、安全性重視、廃液の扱い

先に示した学習書について、指導書との書き分けをしていくことにより、実践が速やかに進むように更な

る教材開発を進める。ここでは、試行的に作成した教材ビデオの作成について触れる。

教材作成において、教材の扱い方を書類だけで理解し、実践するのは、大変難しいことが分かってきた。そこで、指導者がたやすく実験の手順などが分かるようなビデオ作製を行った。作成に際しては、改訂版を用いて大学4年生が担当した。大学生は、大変興味を持ちながら伝えることができる映像とはどのようなものか、わかりやすく実験を再現してもら

うには何をどのようにすればよいのかを徹底的に議論し制作に励んでいた。編集作業、テロップや繰り返しの作業などには必要に応じて早回しを加えるなど丁寧な制作がなされていた。

制作に携わった学生は教職を志す学生が主であったため、学習者、指導者、教材の関係性をしっかりと吟味したうえでの検討がなされていた。

学生が作製した試行ビデオの URL を以下に添付する。

<https://youtu.be/hxgAjXTSmbQ>

<https://youtu.be/rtUIf5Nmhyo>

(4) 参画の視点

	教育的な視点	社会的な視点
参画の視点	参画学生等の起業への興味関心向上	産学連携のモデル化 社会インパクト

今回、協力した7名の学生は高い興味・関心を持ち産学連携の事業に取り組んでいた。さらに教材開発、教材の改訂、教材の紹介、ビデオ作製に至るまで、よく参画していた。さらにこれら教材会社設立おける起

業についても、7名全員が「今後も継続的にかかわりたい」という前向きな意思を示してくれた。

本取組の継続的かつ地道な発展が今後も期待され、さらにこれら連携をモデル化させ、起業まで果たすことができればよいのではないかととらえている。

6. 今後の課題

起業家精神がある学生が多数存在しているのにも関わらず、具体的な方法は未だ検討中であるため、実際の起業までは至っていない。この目的を達成させるためには、さらに多面的、多角的な追及、さらには、真の意味での産学連携、学内外関係者とのつながりを視野に置きながら、さらなるイノベーションを創出する力、具体的な方法の検討と遂行する力が必要であると考えている。

7. おわりに

本報告では、産学連携の原理と、教材開発の原理について示すとともに、現段階での進捗についてまとめた。今後は、研究をまとめながら、さらに理論と実践の往還とそれに基づく検証を続けるとともに、結果を踏まえて成果を公表し、理系人材育成のモデルプランを提示することが必要であると考えている。

そのためにも、快諾をいただいている研究協力校などでの教材、実験パッケージの実証的な研究、改訂を重ね、本実験パッケージの確立とともに、普及、広報に努めていく予定である。

参考文献

- 1) 内閣府, 2021, 第6期科学技術・イノベーション基本計画
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index6.html>
- 2) 文部科学省, 2021, 「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す, 個別最適な学びと, 協働的な学びの実現～(答申)
- 3) 文部科学省, 2016, 幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)