

工学部・工学研究科における創成教育の取り組み

田 川 智 彦

〈要 旨〉

工学部・工学研究科では課題解決型のいわゆる「創成教育」を導入して約10年が経過した。この中では、実験や実習を通じた体験型学習が重要な位置を占めている。内容は、各専攻・分野で社会的な要請や学術の発展動向などを踏まえてそれぞれ進化してきているが、これに大学院における高度総合工学創造実験、研究インターンシップ、海外研修制度が加わり、職業的自立や社会のニーズにこたえる工学部・工学研究科独自のカリキュラムスタイルが確立してきている。本稿では、こうした創成教育のカリキュラム内での位置づけを紹介するとともに、その具体例として、分子化学工学コースの「プロセス基礎セミナー」および大学院共通実験の「高度総合工学創造実験」の実施の詳細を述べる。いずれも、事後アンケートにおける受講者の評価や満足度は非常に高く、体験型学習を通じた創成教育の大きな可能性を示すものである。学生の要求に応え、教育目標・目的を達成する内容であると言えよう。いずれも、指導を担当する教員への負担が大きな問題であり、しっかりとしたサポート体制が不可欠である。

1. はじめに

理系部局の多くがそうであるように、工学部・工学研究科でも実験・演習がカリキュラムの中で主要な位置を占めてきた。これらは座学で取得した知識を実際に自身で体験することを目的とするため、理論から説き起こして、具体的な操作や結果の解析まで、詳細なマニュアルが整備されており、あらかじめ準備された実験用の器具や装置を利用して正確にマニュアルをフォローすることにより予測通りの結果（唯一の解）を得ることができる。こうした積み重ねが血肉となって卒業研究における「答えのない課

題」への取り組みの中で活かされる。一方で学生諸君は卒業後、企業においてさまざまな学問的背景を有するメンバーで構成されるチームの中に身を置いて、課題を設定しこれを解決することが要求される。必ずしも唯一の解が存在するわけではなく、様々な可能性の中から最適な解を選択する能力が要求される。従来こうした訓練は、卒業研究や修士論文研究において指導教員との議論の中でなされていた。しかし、問題発見・解決能力の養成をカリキュラムの中にもっと積極的に取り込むべきであるとの社会的要請を受けて、平成 15～18 年度に文部科学省の「創成型工学教育支援プログラム」の支援により、工学部および工学研究科のカリキュラムの中に「創成科目」を全面的に配置した。創成科目をバランス良く配置することで学生の学習意欲を向上させるとともに、「答えのない問題」への向き合い方を各発達段階で学ばせようというものである。初年次教育において、「基礎セミナー」が実施され、少人数グループで、教員の指導を受けつつ課題を解決するセミナー形式の入門講義を受講している。これを受けて、各コースの 2 年生、3 年生を対象とした学生実験に創成科目を配置した。支援プログラムが終了後もプログラムは継続されて現在にいたっている。多くはその成果を 4 年生の卒業研究で発揮することになる。大学院に進学すると高度総合工学創造実験および研究インターンシップが総合工学科目として配置されており、内容的にはより実社会との関連が強固なものとなっている。その実施のために平成 13 年に創造工学センターが設置され、専任教員（助教）1 名と企業経験のある CP（Coordinating Professor）1 名が配置されて、企業との調整や実験設備利用の指導などにあたっている。なお、同センターには電気系と機械系の工作実習室が設置されており、技術職員の指導のもとに利用することが可能である。

2. カリキュラムにおける「創成科目」の配置

上述のように、学部カリキュラムにおける「創成科目」の配置と内容はそれぞれの専門分野（学科・コース）で独自に進化を遂げているため、ここでは筆者が所属する、化学・生物工学専攻、分子化学工学分野(学部は分子化学工学コースと表記)を例として、カリキュラム配置の具体例を紹介する。表 1 に学部 2 年生から大学院（前期課程）までのカリキュラムにおける創成科目の配置の概略をまとめた。通常科目の配置の詳細は表 1 脚注の URL を参照願いたい。

表 1 分子化学工学コース（学部）および分野（大学院）における創成科目の配置

		通常科目	創成科目
2 年生	前期	専門基礎科目	プロセス基礎セミナー
	後期	専門基礎科目 専門科目	プロセス工学
3 年生	前期	専門科目 共通実験	
	後期	専門科目 化学工学実験	同応用実験
4 年生	前期	卒業研究 関連専門科目 夏 -----（大学院入試）-----	プロセスデザイン
	後期	卒業研究	
大学院博士前期 1 年生	前期	修士研究 基礎論・特論	高度総合工学創造実験
	後期	修士研究 特論	海外研修 研究インターンシップ
2 年生	前期	同上	
	後期	同上	

<http://www.nuce.nagoya-u.ac.jp/curriculum/gakubu/program3.html>

まずコース分けされた2年生は、前期に少人数でものづくりを通して課題の発見と解決を図る「プロセス基礎セミナー」(内容は後述)を受講する。2年生後期では講義形式の「プロセス工学」を受講し問題解決のための考え方や手法を学習する。3年生前期は化学・生物工学系の共通実験を受講するとともに、専門分野の講義によりその学問的基礎を形成する。このため創成科目の配置はない。3年生後期には専門科目の内容を実験的に追体験する「化学工学実験」を受講するが、この科目の中の1/3(5週相当)に「マニュアル」の無い「応用実験」を配置し、各グループは実験方法を工夫しながら要求された目的を達成する「創成的内容」を加えている。4年生前期では「プロセスデザイン」を必修科目とし、エンジニアリング企業の全面的な協力を得て、実際に稼働している化学プロセスの開発プロジェクトの立ち上げから設計・運転までをプロセスシミュレータにより体験す

る。この間に3年生後期の工場見学や特別講義により実際の工業生産現場に触れる。4年生前期には、研究室への配属が行われ、この時点で卒業研究のテーマが決定され未知の課題への取り組みがスタートする。学生によってはインターンシップに参加するものいる。卒業必要単位 131.5 単位中の6単位がこれら創成科目に充てられている。これは、卒業研究と1年生の基礎セミナーを除いた単位数である。多くが演習科目で実働時間当たりの単位数が少ないことを考えると、全体カリキュラムの中でも、もっと比重が高い実感がある。

繰り返しになるが、この例は分子化学工学コースの具体例であり、他のコースも各々独自のカリキュラムで創成科目を配置している。コースによっては、学問分野の発達に応じる形で演習の強化や企業研究者による最先端研究の講義を導入する例もある。これらの詳細は、工学部ホームページ (<http://www.engg.nagoya-u.ac.jp/school/index.html>) に紹介されている。

工学部・工学研究科では大多数の学生が大学院に進学し、博士前期課程で修了する。このため、学部から修士までを一貫した教育対象と考え、大学院にも創成科目を配置した。本特集は学部教育を主な対象としたものであるが、工学研究科のこうした特殊性を考慮して大学院のカリキュラム構成についても述べることにする。

学部での創成科目は各分野の独自性・特殊性を考慮してコースごとの配置としたが、大学院（博士前期課程）では、総合工学科目として各専攻共通に設定されている（名古屋大学シラバス 2013）。表1 下段に示すように、前期には高度総合工学創造実験が配置されており、学内にいながら、現役の企業の開発担当者の指導を受けつつ、様々な専門の学生が数名のチームを組んで課題に取り組む。また、夏季休暇から後期にかけてインターンシップが実施されるが、工学研究科では、学生を企業の研究・開発の場に受け入れていただき実際に研究に参加する「研究インターンシップ」を導入している。このため、前期から企業側と研究内容のマッチングが開始され、夏季休暇も含め1~3か月という長期にわたって企業での研究に挑戦する。後期には、企業の指導者と本学の指導教員も含めた報告会を実施し、研究内容についてもディスカッションする場を設けている。さらに、近年はリーディング大学院事業等の援助を得て、海外での研究を体験する学生も大幅に増加している。博士前期課程の修了要件 30 単位に対して、高度総合工学創造実験は3単位、研究インターンシップは従事期間に応じて2~8単位が認定される。

以上、「創成科目」のカリキュラム上の配置を概説したが、配置に際しては学生の学修段階に応じて科目のレベルを慎重に設定することが重要な課題である。ここで、ミスマッチが起ると単なる「お楽しみイベント」でしかなくなってしまう。また、こうした科目が、社会の要請や当該分野の学問の進展、学生の要求や職業的自立心の涵養などにマッチしたものであるかの検証も順次行うことも大切であろう。次項では具体的な科目の実施状況について紹介する。

3. プロセス基礎セミナーの実施内容

この科目は、分子化学工学コースの学部 2 年前期に配置されている。1 年生を化学・生物工学という大学科で過ごし、コース分属が終わったばかりの 2 年生に、お互いの顔を覚えつつ、これから向かう専門分野への動機づけを行う役割を担っている。専門分野の学修は行っていないので化学工学としての学問的深みに対する達成感は期待できないことが前提となる。彼らの知識を最大限集約できる身近なテーマを設定し、「化学工学を学修することによりさらに高度な解を得ることができる」ことを期待させることが重要である。

シラバスには、教育目標として「唯一の解をもたない化学工学的課題に対してその解決法の発案、研究、および成果発表を行う。この科目は研究成果を求めるものではなく、グループ研究を通して学生の独創性及びデザインの思考を培う」と記している。与えられた課題に対して単に解決法を発案するだけでなく、グループで装置設計、試作、実験、改善という PDCA サイクルを実際に行うことにより、デザインの思考、創成力、グループワーク力を養成する（橋爪 2010）。

具体的な実施内容は「プロセス基礎セミナー運営委員会」を編成して検討する。いろいろな解が出てくる可能性があるので、安全性の確保、時間的制約、予算上の制約など綿密な準備が要求される。指導は分子化学工学教室所属の助教全員が担当し、技術職員もサポートを行う。委員長と副委員長は准教授・講師層から 2 名が輪番で選出され全体の統括に当たる。学生は 5 名程度のグループに分かれて同じテーマに挑戦し、限られた予算範囲内で装置を試作し、最後に競技会を開催して評価を行う。分子化学工学教室の教員のほか、企業からも数名の OB を招聘教員として招き評価者としている。最終回には総合評価と懇親会が開催され、優秀なグループには

賞状とともに賞品などが授与される。

表2 プロセス基礎セミナー 実験テーマ一覧

平成14年度	外部エネルギーを用いた氷を溶かす装置
平成15年度	小麦から細かく白度の高い小麦粉を作る装置
平成16年度	化学反応を利用して動く Chem-E car
平成17年度	光触媒と紫外線ランプを用いた排水処理
平成18年度	アミノ酸を分離・精製する装置
平成19年度	「こな」を輸送する装置
平成20年度	豆乳の製造とおからの乾燥
平成21年度	ジュースサーバーを作る (冷熱源からの熱の取り出し)
平成22年度	化学反応を利用して動く Chem-E car
平成23年度	化学反応を利用して動く Chem-E car
平成24年度	化学反応を利用して動く Chem-E car
平成25年度	粒子の分離装置を作る (比重、大きさ、形状の異なる混合物の分離)

表2にこれまで実施したテーマを列挙する。粉体操作、熱移動、分離システム、触媒プロセスなど身近な化学工学関連の内容が分かりやすい目標とともに示される。「化学反応を利用して動く Chem-E car」については何度か実施されているが、このテーマは、世界化学工学会議（WCCE）や米国化学工学会（AIChE）で行われている Chem-E-Car Competition をアレンジしたもので、化学エネルギーを動力として自走する車を作り、その車で所定重量の荷物を運び所定位置で止める競技を行うものであり、化学反応システムの作製と制御を目的としている。本稿では、Chem-E-car を例に実際のセミナー内容を紹介する。

第1回はシラバスの説明、テーマ内容とルール、安全教育等を行ったうえで、グループにわかれ最初のディスカッション（＝ブレインストーミング）を行う。第2回には基本アイデアをまとめ発表準備を行う。第3回に全員でアイデアの発表と質疑を行う。この時点（装置の試作にかかる前）で明らかに動作しない装置やルール違反の装置を除外する。第4回以降各グループで装置の試作を行う。第7回でプレ競技会を行い、第8回で試作した装置の全体における位置付け、問題点を認識し、改善点を洗い出

す。折り返し点でこうした作業を行うことでPDCAサイクルを実際に体験することができる。第9回以降、装置の改良を行い、第11回には、競技とそれに先立つ口頭発表の準備を行う。第12回は口頭発表の後、競技会を開催する。第13回に招聘教員による講評と順位発表を行うとともに、競技会の考察、今後の課題等をレポートとして提出する。何度かの口頭発表を経るうちに、発表のスキルが向上するとともに、少しずつではあるが「化学工学」という学問領域を意識した内容にブラッシュアップされてゆくグループが多い。

実際に試作された Chem-E-car を紹介する。ミニチュアの蒸気タービンを積載した車 (図1)、化学的に発生したガスを噴出させ推進力とするジェット車 (図2)、電池に工夫を凝らした電気自動車 (図3) 等がアイデアとしてよく出されるものである。電池の発電方式にいろいろと工夫を加えるグループが多くなってきている。大きさにも制限を加えるので、手作りメジャーで事前にサイズも計測しておく (図4)。競技会風景を図5、6に示す。直線コースを2本用意し (図5)、審判の合図から一定時間内にスタートさせ (図6)、当日発表される負荷 (運搬する水の量、移動距離) をどこまで正確にクリアできるかを競う。したがって、迅速に要求されるエネルギー量を見積もって必要な試薬量や充電量を決定する必要がある。2台で競うため視覚的效果も大きい。1グループ2回の試走でよい方の結果を採用する。



図1 蒸気タービン車



図2 ガス噴出型ジェット車



図3 電池による電気自動車



図4 車両サイズの計測



図5 競技会の様子

ガイドラインのついたテストコースを2組準備し、2グループが同時にスタートする。教員が分担して時間と距離を計測し、ビデオ撮影を行う。各グループは2回の試走の機会が与えられる



図6 競技のスタート

車上にある水の入った白いポリエチレン瓶が当日指定される「荷物」。この荷物を積載して、スタートラインから出発し、当日指定された走行距離にどれだけ近くまで走って停止できるかを競う。

講評では、招聘教員から企業内での経験をもとに、アピールの重要性、全体のスケジューリングの重要性、前提条件を常に意識すること、コストの考え方など貴重なコメントをいただく。言葉の端端に、実社会での開発・実用化の厳しさが垣間見られ、コース配属間もない2年生にとっては良い刺激となっている。

こうした授業では、教員がどこまで踏み込んで指導するかが大きな課題である。特に複数の教員が指導に当たる場合、その足並みをそろえる必要がある。本セミナーでは、学生各々の自己解決力を養うため、決められた解に誘導するようなあからさまな指導は控えつつ、学生に任せ切りにして

袋小路に入り込むことを防ぐよう運営委員が適切な配慮を行うこと。また、最後の本競技会の前に、コンセプト発表、プレ競技会を設け、実現性に無理がある装置の不備などを早めに指摘するなどして、学生が解決の道筋を見つけられるよう舵取りをすること。などのガイドラインを運営委員会で申し合わせ、これに従って実施している。なお、本セミナーの実施にあたっては、学科の同窓会の理解と支援も不可欠であることを申し添えたい。

セミナー終了後、授業アンケートを実施しているが、学習目標の達成、専門分野への興味、教員の熱意、総合的満足などの項目で90%を大きく超える肯定的回答がえられ、2年生前期の平均値を大きく上回っている。このことは、学生の化学工学に対する興味を増大させるという当初の目的は達成されたことを示している（橋爪 2010）。一方で、こうした興味が、それ以降の講義の受講に対する積極性を生み出しているか、それを含め教室の助教が総がかりで運営する人的コストに見合った成果であるか、などについては、さらに検証が必要である。教室では、構成員全員が参加するFDの機会を設け、実施時期の妥当性や実施内容の革新について、常に議論が続けられている。なお、同セミナーは化学工学教育における創成型科目の先駆けとして注目を集め、「プロセス基礎セミナー運営委員会」は、化学工学会の平成24年度教育奨励賞を受賞した（化学工学会 2013）。

以上、分子化学工学コースの「プロセス基礎セミナー」の実施例を紹介した。もちろん上記以外のコースにおいてもこうした努力が継続されている。たとえば、電気系教室では、学生実験改革として「やったぞ、学生実験プロジェクト」を行い、通称「大実験」を実施している。機械系教室では、ビル屋上から卵を落としても割れない紙製のコンテナを作成するコンテスト；たまごおとし実験（http://ocw.nagoya-u.jp/index.php?lang=ja&mode=c&id=62&page_type=index）からスタートし、機械工作をリンクさせたものづくり実習テーマを開発した業績に対し、日本工学協会賞業績賞（平成17年度）が授与されている（佐藤 2011）。

4. 高度総合工学創造実験の実施内容

前項では、学部の創造実験科目について実例を紹介した。ここでは大学院における、高度総合工学創造実験の実施例を紹介する。同実験は、研究科の共通講義として開講されており、実施については創造工学センターが担当している。（名古屋大学創造工学センター 2011）同実

験の特徴は、指導を本学の専任教員が担当するのではなく、企業で開発を担当する研究者を DP (Directing Professor) として招聘し、担当いただくところにある。大学側の教員は、教務委員会委員を中心に DP の支援にあたる。博士課程（後期）学生を中心とした TA のサポート体制も整っており、後期課程の TA 従事者には「実験指導体験実習 1.0」の単位が与えられる。

シラバスにはその目的とねらいとして

「異なる専門分野からなる数人のチームを編制し、企業からの非常勤講師 (Directing Professor) の下に自主的研究を行う。その目的およびねらいは、

1. 異種集団グループダイナミクスによる創造性の活性化、
 2. 異種集団グループダイナミクスならではの発明、発見体験、
 3. 自己専門の可能性と限界の認識、
 4. 自らの能力で知識を総合化
- することである。」と記している。

表 3 高度総合工学創造実験の平成 25 年度テーマ

DP 所属	テーマ	サブテーマ
(元) 日本ガイシ(株)	MAKERS 時代の新商品開発へのチャレンジ (機能性材料を利用して)	生活回りの高機能アイデア商品の開発
東レ(株)	地球環境問題を解決するグリーンイノベーションの創出	バイオベースポリマーの分子設計
日本電信電話(株)	新しい Web サービスの創造	研究一本で知らざる者同士の未来をつなぐ
(元) 三菱重工業(株)	内燃機関の要素技術	雪上対応型バギーの開発
JR 東海コンサルタンツ(株)	再生可能エネルギーの可能性と限界	Image of Space Energy Oasis
新日本製鐵(株)	製鋼スラッグの回生技術の検討	溶銑脱りんスラッグ中のりん酸濃縮・回収の探索

<http://www.cplaza.engg.nagoya-u.ac.jp/jikken/jikken.html>

表3に本年度のテーマをまとめた。1テーマ当たり4～6名の学生でグループを編成するが、この際できるだけ学年や専門分野が分散するよう配慮している。受講は広く開放されており、他研究科や他大学から受講する例もある。一部テーマで、特定の内容に深化させる場合はDPの希望によって特定学問分野の学生を集中させる配慮も行っている。実験の準備は前年度の12月ごろから始まる。年度末には、DP、大学側担当教員（教務委員会委員より選出）センター教員等が一堂に会して、教員側の説明・打ち合わせ会を開催する。4月には受講生募集を締め切り、4月中旬に学生への説明会を開催し、その翌週から実験が開始される。場合によってはDPの所属企業等への見学も行われる。5月後半には全員が集まって中間報告会（非公開）を開催し、研究内容の説明と進捗状況を報告した後、質疑応答を行う。この討論で、問題点を認識し、改善点を洗い出す。折り返し点でこうした作業を行うことでPDCAサイクルを体験する。さらに実験を継続し、最終週で成果発表会を行う。成果発表は、口頭発表（図7）とポスター発表（図8、9）を行い、ポスター発表は一般に公開される。ポスター発表の形式は比較的自由で、中には試作品を持ち込んで展示するグループもある。前項の「プロセス基礎セミナー」とは違い、研究内容がグループ間で異なるため、競技会や順位付けは行わない。成果発表会を含め実験全体で14回の講義回数を確保している。実験終了後は、DPと教員で総括会合を開催し、反省点や次年度への申し送りを検討する。グループによっては起業コンテストに応募したり、特許申請を行ったりする場合もある。最近では、開発したインターネットコンテンツが名古屋市の「学生ビジネスアイデア募集」にて努力賞（平成23、24年度）を受賞した。



図7 口頭発表の様子

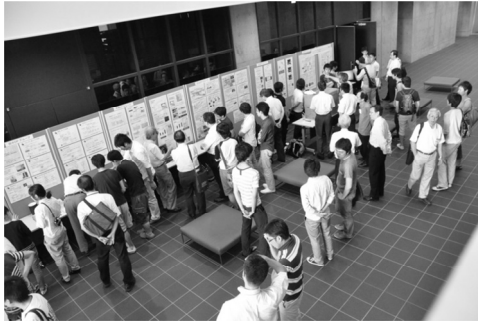


図8 ポスター発表会の様子

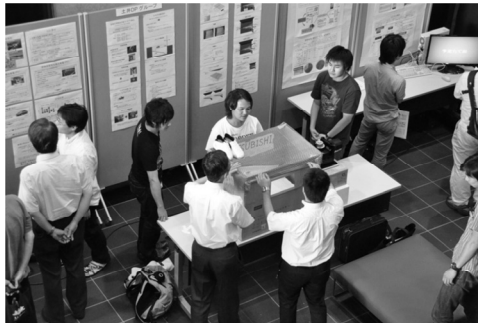


図9 試作品を持ち込んでのポスター発表

終了後のアンケートを見ると、他の専攻（学科）の学生と一緒に実験を行い、彼らから大いに学ぶところがあり、大変有益であった（60%）、他の専攻（学科）の学生と一緒に実験を行ったとき、自専攻（学科）でこれまでに学んだことを生かすことができた（40%）、いろいろな学年が混ざっているのがよい（60%）、などグループダイナミクスを実感した回答が多かった。総合的な満足度も90%を超えた。創造工学センターには、機械工作室、電気工作室が設置されており、技術職員のサポートを受けることができるが、これについても肯定的な回答が多かった。一方で、化学系の実験設備がないことについては不満足とする意見もあり、改善が望まれる。これらアンケート結果からも当初の学習目標が達成されていることが確認される（名古屋大学創造工学センター 2013）。

同実験を実施するためには、企業の最前線の研究者を長期間・長時間に

わたり大学に拘束することになり、所属企業のご理解なしにはなしえないものである。各 DP のご尽力と所属企業のご理解に改めて感謝の意を表したい。一方で、DP 各位は、大学のシステムや方法論については不慣れな場合が多く、センター専任教員や企業出身の CP (Coordinating Professor) あるいはセンター事務がその調整に不可欠である。こうした努力に対し、平成 14 年度には日本工学教育協会賞（業績賞）が与えられている。創造工学センターでは他にも、高校生や留学生などを対象としたものづくり講座を開講し高い評価を得ているが、詳細は同センター 10 周年報告を参照されたい（名古屋大学創造工学センター 2011）。

この高度総合工学創造実験はいわば、企業における開発にかかわるインターンシップを学内で実施しているようなものである。一方で、学生が 1 カ月～2 カ月の間、企業に出向いて開発・研究に取り組む「研究インターンシップ」も実施されている。このように様々なアプローチで企業の研究・開発マインドに触れる機会が設けられているのも、工学研究科カリキュラムの特徴の一つである。近年では、リーディング大学院制度の採択などにより、さまざまな海外研修制度が創設されてきており、もうひとつのキーワードである「国際化」についてもカリキュラム上での充実が著しい。

5. おわりに

本稿では、工学部・工学研究科における創成教育の取り組みについて、その経緯とカリキュラム設計上の特徴を述べた。具体例として、学部科目の「プロセス基礎セミナー」および大学院科目の「高度総合工学創造実験」の実施例について詳しく紹介した。事後アンケートによる受講者の満足度も高く、社会的要請や学生の要求にも応えうる内容であると言えよう。教育目的・目標を達成するために、体験型学習を通じた創成教育が大きな可能性を持つことを示すものである。一方で、指導を担当する教員への負担が大きな点が課題である。講師やインターンシップ受け入れをお願いする企業のご理解を得る努力も不可欠である。サポート組織や有機的な運営形態の工夫なしには継続が危ぶまれるのも事実であろう。また、人的コストに見合った適正な教育効果が得られているか常に検証を行うことも必要である。本稿をまとめるにあたって、こうした教育内容を継続するための不断の努力が極めて重要であることを改めて認識した次第である。担当各位のご尽力と奮闘に謝意を表してまとめとしたい。

参考文献

- 化学工学会、2013、「教育奨励賞」『化学工学』77: 159。
- 佐藤一雄・千田進幸、2011、「講義理解のための実習－機械系実習教育に対するあらたな要請」『工学教育』59: 15-9。
- 名古屋大学工学研究科、2013、『大学院教授要目シラバス 2013』。
- 名古屋大学創造工学センター、2011、『創造工学センター創立 10 周年記念シンポジウム 予稿集』、1-2。
- 名古屋大学創造工学センター、2013、『高度総合工学創造実験 実施報告書』。
- 橋爪進、2010、「創成教育を目指した化学工学の実習と実験の試み」『化学工学』74: 243-6。