HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	全学初習教育および工学部専門教育における創成型教育の試み
Author(s)	工藤，一彦；高橋，英明；岸浪，健史 他
Citation	高等教育ジャーナル，10，69-84
Issue Date	2002
DOI	https://doi.org/10.14943/J.HighEdu.10.69
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29666
Type	departmental bulletin paper
File Information	10_P69-84.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

全学初習教育および工学部専門教育における創成型教育の試み

工藤 一彦*, 高橋 英明, 岸浪 建史, 三上　隆

北海道大学工学研究科　工学教育プログラム実施検討専門委員会委員

Trials on Problem-Based Learning for Freshmen and Engineering Education

Kazuhiko Kudo,** Hideaki Takahashi, Takeshi Kishinami, and Takashi Mikami

Graduate School of Engineering,
Research and Development Group of Engineering Education Programs

Abstract — Problem-Based Learning (PBL) is introduced as a subject for freshmen and engineering education. The Committee of the Japan Engineering Education Program organized by 15 universities was established in 1996 and proposed the promotion of PBL and outcome assessment of engineering education. Following the proposal, a Committee for Research and Development of Engineering Education Programs was established in 1999 at the Faculty of Engineering, Hokkaido University, and promoted PBL in freshmen and engineering education. As a result, 18 PBL courses were provided in 2000 by members of the Faculty of Engineering and 22 courses were taught in 2001. They included 2 and 4 courses for freshmen education, respectively. The outcome assessments of the courses showed an intensive growth of the creative abilities of the students and much student satisfaction with the courses. For further promotion, it is advised that it is important to secure abundant seminar spaces and good teaching assistants, and to reserve sufficient time for the program.

(Received on February 2, 2002)

1. はじめに

工学部では，最近脚光を浴びまたその普及が望まれている,「創成型教育」（創造力・企画力・人間力形成科目：Problem-Based Learning (PBL)）について，平成11年度より，全学初習教育と工学部専門教育への導入を積極的に進めてきた。本報は, その取り組みについての報告である。

創成型教育は，これまでの講義のように知識を一方的に教授する教育ではなく，学生が頭脳と手足を動かして自主的に何かを行うという過程を経験することで動機付けられ, 自ら進んで物事に取り組み, 創

*）連絡先：060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科

**）Correspondence: Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Sapporo 060-8628, JAPAN

り出す能力, チームで協力していく能力等, 将来にわたって有用な, 社会人としての基本的な活動能力・態度を育成する科目の総称である。

その目標は,

（1）基礎理論に対する知識の準備なしに,
（2）目標のはっきりした，しかし
（3）方法や結果は不明で，解も解答者の数だけ存在するような問題,

に学生を直面させることにより，学生の

（1）問題解決意欲
（2）情報収集能力
（3）専門外分野を理解できる能力（学際力）
（4）課題目標に合致する多方面の解決法を考え，その中から制約条件にしたがって最適解を見出す設計選択眼（創造性，論理的思考能力）
（5）チーム解決能力，コミュニケーション力，管理能力，リーダーシップ等の人間関係能力,
（6）文書作成能力，およびプレゼンテーション能力
（7）他人の業績の正しい評価能力
（8）英語によるコミュニケーション能力，等々

を養うことにある。

このような創成型教育は，指導的役割を果たす能力をもつ高度の工学専門家の具体的イメージとして, 米国の技術者教育プログラム認定機構(ABET2000)が掲げる下記のような基準において,（3）,（4）,（5）,（7）,（11）等を主として育成する科目である。

（1）数学，科学，工学の知識を応用する能力
（2）データを分析，解釈する能力と同様，実験を計画し，遂行する能力
（3）必要なニーズを充たすためにシステム, 部品, プロセスを設計する能力
（4）学際的なチームで活動できる能力
（5）工学の問題を識別し，形成し，解決する能力
（6）専門職的・倫理的責任の理解
（7）有効にコミニューケーションを行う能力
（8）地球的・社会的な流れの中での工学的解決のインパクトを理解するのに必要な幅広い教養
（9）生涯学習を行うニーズの認識とその能力
（10）現代の課題への知識
（11）工学の実践に必要な技術，スキル，最新の工学ツールを使う能力

このような創成型科目の導入は，工学部の教育目標である,

（1） 将来の工学の発展を担う指導的役割をはたす能力をもつ高度の工学専門家の育成,
（2） 工学の一般的基礎と各専門分野の基礎をなす知識の着実な取得と，広い社会的視野の上に専門性を段階的に築き上げる能力の育成

に大いに寄与するとともに，北海道大学の教育理念

（1） Frontier Spirit（Boys be Ambitious : 開拓者精神）
（2） International Viewpoint（国際的視野）
（3） Be Gentleman（全人教育）

にも合致するものである。

2. これまでの経過

平成８年に８大学工学部長懇談会（北大，東北大，東大，東工大，名大，京大，阪大，九大）の下に「工学における教育プログラムに関する検討委員会」が発足し，その後17大学18学部体制で，３年間，欧米における工学教育とわが国の工学教育の詳細な比較検討を行った上で，世界をリードするわが国独自の新しい工学教育プログラムのあり方を検討してきた。この結果，平成11年に

（1） デザイン型の工学教育「創成型科目」の普及,
（2） 教育の結果の査定にアウトカムズ型アセスメントの手法をとりいれること

が提案された。ここで, アウトカムズアセスメントとは耳慣れない言葉であるが，これは，講義を何時間行ったとか, 何人学生が合格したとか, あるいは講義を聴講した後の試験等で調べられる，個々の講義内容の理解度, 応用力のような講義の直接の結果（アウトプット）ではなく, その講義によって, 本来の教育目標，すなわち指導的役割を果たす能力をもつ高度の工学専門家としてどれだけ有用な能力が身についたかの評価を, 例えば上記ABET2000の基準(1)-(11)に照らして行うことを言う。これにより, 教育システム内部にその自己改革システムを内在させていくことを目指している。

工学部では, この「工学における教育プログラムに関する検討委員会」の提案を受け, このような創成型教育が将来の技術者・研究者の育成のために必須であるとの認識の下に，平成11年７月に教務委員会に工学教育プログラム実施検討専門委員会（委員は本報告の著者４名，以下本専門委員会と称する）を設け，これが中心となって工学部専門教育および全学初習教育の枠組みの中でその拡充に努めてきた。

平成11年度は，まず，現状のカリキュラム内の創成型教育に該当する科目の調査を行った結果，12学科中4科目がその目標の一部を包含した内容を有することが分かった。これらは，

（1） プレゼンテーション力を養う英文論文講読とその内容発表で，材料工学演習III（材料工学科４年前期）と応用物理学英文講読（応用物理学科３年後期），および，

（2） 創造力の向上を目指した，新しい機器・システムの設計と製図で，設計演習（機械工学科３年後期）とシステム工学演習製図（システム工学科３年後期）

である。これらの調査の結果，従来の工学部のカリキュラムは，座学中心の知識を伝授する講義が多く，創成科目が意図する，「自主的になにかを行うという過程を経験することで，自分から進んで物事に取り組み，創り出す能力，チームで協力していく能力などを育成する」科目はきわめて少ないことがわかった。

そこで平成12年度にむけて，工学部の各学科の教務委員に創成型科目の意義・手法を説明した上で，各学科少なくとも１科目以上の創成型科目の実施を依頼した。またこれとは別に，創成型科目実施上の問題点を探るため，本専門委員会独自で，全学初習教育にむけての創成型科目「一般教育演習―工学的創成実験」の立ち上げを準備した。

この結果，平成12年度には，工学部の教官によって，**表１**に示すような18科目の創成型科目が実施された。このうち3，11番の２科目は全学初習教育であり，他の16科目は工学部の専門教育範疇にある。

平成13年度は，**表２**に示すように，22科目の創成型科目が実施され，そのうち3,4,12,21番の４科目が全学初習教育，他の18科目が工学部の専門教育にあたる。上記の全学初習教育用創成型科目「一般教育演習―工学的創成実験」は，本年度は有志教官の協力で２科目に増やしている。

平成14年度は，平成13年度の創成型科目の継続的実施とその拡充を各学科に依頼するとともに，「一般教育演習―工学的創成実験」は本専門委員会と有志

表１　平成12年度実施創成型科目

	科目名	担当学科	学年	学期
1	機器分析化学	応用化学	3	後
2	創造工学	材料工学	2	後
3	一般教育演習 工学的創成実験	材料・システム・機械・土木	1	前
4	電子工学実験I	電子工学	3	前
5	電子工学実験II	電子工学	3	後
6	情報工学実験I	情報工学	3	前
7	情報工学実験II	情報工学	3	後
8	設計演習 位置エネルギー利用投てき装置	機械工学	3	前・夏休み・後
9	応用物理学英文購読	応用物理	3	後
10	物理化学演習	資源開発工学	2	後
11	一般教育演習 シャボン玉・砂遊び	資源開発工学	1	前
12	計画・設計演習II	建築都市学	3	前
13	計画・設計演習III	建築都市学	3	後
14	環境と設備の演習	建築都市学	3	後
15	建築都市計画演習	建築都市学	4	前
16	建築都市ゼミI	建築都市学	2	後
17	建築都市ゼミII	建築都市学	3	前
18	計画数理学演習	土木工学科	3	後

教官で４科目に増加させる予定で，**表３**に示すように準備中である。

また現在までは，従来のカリキュラム体系の見直し無しに，従来のカリキュラム中に創成型科目を新科目として追加導入することが困難であったために，各学科の従来の科目の一部を創成型科目に模様替えして実施してきた例が多かったが，今後はJABEE（日本技術者教育認定機構）対応，工学部組織改革対応等で，各学科のカリキュラムの全面的見直しをする機会が増えるので，その中で創成型科目を独立した科目として定着させることが期待される。

以上のような工学部教官による創成型教育の実施とその成果については，年１回，集会（下記(1), (4), (6)）を開催して発表し，文部科学省や他大学の専門家の批判を仰ぐとともに，下記の講演会・集会（(2), (3), (5)）に参加して発表してきた。

（1）工学教育プログラム北海道地区シンポジウム
（北海道大学工学部，H.12.2.4）
（2）平成 12 年度工学・工業教育研究講演会
（名古屋逓信会館，H.12.7.19）
（3）第 27 回応用物理学会スクール A
（北海道工業大学，H.12.9.4）
（4）平成 12 年度北海道工業教育協会研究集会
（北海道大学工学部，H.12.12.4）
（5）平成 13 年度工学・工業教育研究講演会
（東北大学工学部，H.13.7.17-19）
（6）創造工学教育研究集会
（北海道大学工学部，H.13.12.7）

表２　平成 13 年度実施創成型科目

	科目名	担当学科	学年	学期
1	機器分析化学	応用化学	3	後
2	創造工学	材料工学	2	後
3	一般教育演習 I 工学的創成実験 I	材料・システム・機械・土木	1	前
4	一般教育演 II 工学的創成実験 II	材料・システム・機械・土木	1	前
5	電子工学実験 I	電子工学	3	前
6	電子工学実験 II	電子工学	3	後
7	情報工学実験 I	情報工学	3	前
8	情報工学実験 II	情報工学科	3	後
9	システム工学設計製図	システム工学	3	後
10	ラボラトリーセミナー 木登りロボット	機械工学	3	前
11	応用物理学英文講読	応用物理工学	3	後
12	一般教育演習 原子力とハイテクノロジー	原子工学	1	前
13	環境ゼミナール I	環境工学	4	前
14	計画・設計演習 II	建築都市学	3	前
15	計画・設計演習 III	建築都市学	3	後
16	環境と設備の演習	建築都市学	3	後
17	建築都市計画演習	建築都市学	4	前
18	建築都市ゼミ I	建築都市学	2	後
19	建築都市ゼミ II	建築都市学	3	前
20	計画数理学演習	土木工学科	3	後
21	一般教育演習 シャボン玉・砂遊び	資源開発工学	1	前
22	物理化学演習	資源開発工学	2	後

表３　平成 14 年度「一般教育演習－工学的創成実験」の内容と担当

工学的創成実験 I		
時を刻もう	（機械科学専攻	鍵和田忠男）
アルミニウムの表面積を２０倍にしてみよう	（分子化学専攻	高橋英明）
VLSI モジュールを作ってみよう	（電子情報工学専攻	宮永喜一）
交通システムをデザインしよう	（都市環境工学専攻	萩原　亨）
工学的創成実験 II		
コンピュータに図形を描かせてみよう	（システム情報工学専攻	岸浪建史）
フラクタルを創る	（量子物理工学専攻	中山恒義）
卵を軟着陸させるには	（社会基盤工学専攻	大沼博志）
いろいろな着色ガラスビーズを作ろう	（物質工学専攻	嶋田志郎）
工学的創成実験 III		
ペットボトルロケットの長滞空時間化	（機械科学専攻	工藤一彦）
紙で作る強い橋	（社会基盤工学専攻	蟹江俊仁）
原子の顔を見てみよう	（物質工学専攻	大貫惣明）
電子回路―発振器と増幅器―の製作	（電子情報工学専攻	雨宮好仁）
工学的創成実験 IV		
輪ゴムの正体	（社会基盤工学専攻	三上 隆）
時計反応を利用して携帯用タイマーをつくる	（分子化学専攻	上舘民夫）
ロボットを造り，行動させる	（システム情報工学専攻	和田充雄）
レゴマインドストームロボットの制御とプログラム	（量子エネルギー工学専攻	榎戸武揚 島津洋一郎）

3. 創成型科目の実施例

3.1 実施方法

実施前にあらかじめ学生に，**表４**のような実施要領にもとづき，創成型科目の概念とアウトカムズアセスメントに基づく評価基準について説明するとともに，実施後，個々の学生の成績評価とは別に，科目全体の有効度評価と今後の改善に資するため，学生および担当教官に**表５**のようなアンケート調査を行った。

平成13年度に１年生前期の全学初習教育として提供した「一般教育演習―工学的創成実験 I，II」の場合，下記のように実施した。

第１回目：
- 演習課題の説明
- 受講希望学生50人（工学的創成実験I，II）を抽選で選択

第２回目：
- 創成型科目の概念とアウトカムズアセスメントに基づく評価基準についての説明（**表４**）
- 各人に下記の前半と後半の４つずつの課題からそれぞれ１課題，合計２課題を選択させ，その後，各課題の希望者が12～13人程度になるように調整する。なお課題名の後のカッコ内は，各課題を担当した専攻名である。

（１年前期前半課題）

(1) 輪ゴムの正体（社会基盤工学）

表４　工学部創成型科目実施要領

１．創成型科目の目的

1) 北海道大学の教育理念

（1） Frontier Spirit（Boys be Ambitious : 開拓者精神）
（2） International Viewpoint （国際的視野）
（3） Be Gentleman（全人教育）

2) 北海道大学工学部の教育目標

（1）将来の工学の発展を担う指導的役割をはたす能力をもつ高度の工学専門家の育成,
（2） 工学の一般的基礎と各専門分野の基礎をなす知識の着実な取得と，広い社会的視野の上に専門性を段階的に築き上げる能力の育成

3)「指導的な役割をはたす能力をもつ高度の工学専門家」の具体的イメージ (ABET2000)

（1）数学，科学，工学の知識を応用する能力
（2）データを分析，解釈する能力と同様，実験を計画し，遂行する能力
（3）必要なニーズを充たすためにシステム，部品，プロセスを設計する能力
（4）学際的なチームで活動できる能力
（5） 工学の問題を識別し，形成し，解決する能力
（6）専門職的・倫理的責任の理解
（7） 有効にコミニューケーションを行う能力
（8）地球的・社会的な流れの中での工学的解決のインパクトを理解するのに必要な幅広い教養
（9）生涯学習を行うニーズの認識とその能力
（10） 現代の課題への知識
（11）工学の実践に必要な技術, スキル, 最新の工学ツールを使う能力

4) 創成型科目の定義（創造・企画力・人間力形成科目）

知識を一方的に教授する講義ではなく, 学生が頭脳と手足を動かして自主的に何かを行うという過程を経験することで, 動機付けられ, 自分から進んで物事に取り組み, 創り出す能力, チームで協力していく能力など将来にわたって有用な根本的な態度を育成する科目の総称。

２．創成型科目の実施方法

卒業研究は代表的な創成型科目の例と考えられるが，１，２年時における幅広い素養教育の観点から各学科における創成型科目の実施形態としては, 以下の形態が考えられる。

（1）各学科の演習(あるいはその一部)をABET2000基準の幾つかを評価基準とする内容に切り替える。
（2）各学科の実験（あるいはその一部）をABET2000基準の幾つかを評価基準とする内容に切り替える。
（3） 一般教育演習（あるいはその一部）に, 創成型教育を取り入れる。
（4） 総合講義（あるいはその一部）を創成型科目として位置づけする。

その他にも，種々の教育形態が考えられるが，以下の教育・学習評価を採用する科目は創成型科目として考える。各学科における全教科単位に対する創成型科目の割合は5-10%程度とする。

３．創成型科目の評価方法

（1）創成型科目はABET2000基準の幾つかの観点で評価（アウトカムズアセスメント）する科目とする。
（2）学生成績の評価方法
グループ評価 60%（グループ発表評価）
個人評価 40%（個人レポート評価）
を目安とする。
（3）創成型科目自体の評価
学生・教官アンケート事後調査（ABET2000基準によるアンケート調査）とする。

1) 学生成績の評価項目

（1）情報収集能力
各種情報収集手法（図書館，インターネット，専門家への問い合わせ等）への習熟
（2）学際力
自分の専門分野以外の分野に対する理解力
（3） 発想力・論理的思考能力
課題目標に合致する多方面の解決法を考え, その中から制約条件に従って最適解を見出す能力
（4）グループ活動能力
チームで解決する能力，コミュニケーション力，説得力，管理能力，リーダーシップ
（5）プレゼンテーション力
成果を他人に理解させるための文書作成能力, 効果的なオーラルプレゼンテーション能力
（6）国際的能力
英語によるコミュニケーション能力

表５　科目評価用アンケート

1) 学生アンケート

A. 創成科目により、１～６の能力が培われたか。
1. 情報収集能力
2. 学際力
3. 発想力・論理的思考能力
4. グループ活動能力
5. プレゼンテーション力
6. 国際的能力

B. 創成科目を履修することにより達成感があったか。

C. 創成科目を履修することにより問題解決意欲が増したか。

D. 創成科目を履修することにより社会に対する眼が養われたか。

E. 感想を自由にお書き下さい。

2) 教官アンケート

A. 講義開始時に，学生に創成科目の意味，評価基準などを説明頂いたでしょうか。
a) 説明した　　b) 説明しなかった

B. 創成科目が目指している次の６つの能力のうち，どの能力の向上に重点をおいて講義を進めましたか。重点をおいた順に記号でお答え下さい。
１位　　２位　　３位
４位　　５位　　６位

1. 情報収集能力：各種情報収集手法（図書館，インターネット，専門家への問い合わせ等）の習熟
2. 学際力：自分の専門分野以外の分野に対する理解力
3. 発想力・論理的思考能力：課題目標に合致する多方面の解決法を考え，その中から制約条件にしたがって最適解を見出す能力
4. グループ活動能力：チームで解決する能力，コミュニケーション力，説得力，管理能力，リーダーシップ
5. プレゼンテーション力：成果を他人に理解させるための文書作成能力，効果的なオーラルプレゼンテーション能力
6. 国際的能力：英語によるコミュニケーション能力

C. 上記６つの能力以外に重点をおいた点があれば，お教え下さい。
重点項目：

(2) コンピュータに図形を書かせてみよう
（システム情報工学）
(3) ペットボトルロケットの長滞空時間化
（機械科学）
(4) アルミニウムの表面積を 10 倍にしてみよう
（分子化学）
（１年前期後半課題）
(1) 紙でつくる強い橋（社会基盤）
(2) LSI モジュールの設計（電子情報）
(3) フラクタルを創る（量子物理）
(4) 化学時計をつくる（分子化学）

・12～13 人程度の４グループに分けられた学生は，それぞれ前半課題担当の４研究室に行く。
・各課題に振り分けられた 12～13 人の学生は，さらに課題内で４～５人の小グループに分けられ，同じ課題をこの小グループで競いながら実施する。

第３－７回目：
・引き続き前半課題担当の各研究室で演習を行う。

第８回目：
・受講者全員が１つの教室に集合し，全体発表会を行う。ここでは各グループ毎に，OHP やパソコンプロジェクタを使用して，全員の前で成果を発表する。発表は各グループ４～５人全員で行う。
・発表内容について質疑応答を行う。うまく目標を達成できたグループ，残念ながらうまくいかなかったグループそれぞれであるが，いずれも学生がこの演習に能動的に取り組んだことが示された。

第９―15 回目：
・後半の４つの課題について，前半の課題に関する第２－８回目と同様の演習と発表会を行う。

このようにして１回１時間半の演習を，課題説明と組分け１回，前半の課題７回，後半の課題７回と合計 15 回行い，最後に成績評価を行うと共に，学生と教官へのアンケート（**表５**）を取って終了する。前半と後半ではグループメンバーの組替えを行うので，前半でうまくいかなかったグループも，違ったキャラクターの学生との出会いにより，後半ではうまくゆく例が多かった。

担当の各研究室では，演習用の場所を研究室内に確保すると共に，インターネット接続用のコンピュータおよび演習用の教材，実験・測定装置等を準備した。教授陣は，課題内容にしたがって実施計画をたて，準備するとともに，大学院生のティーチングアシスタント（各課題１名）とともに学生の指導にあたった。この指導では，課題に関する最低限の基礎知識と安全上の注意を説明したあとは，課題の解を直接・間接に示唆することは避け，インターネットや図書館等で情報を得る方法を指導すること，その方面の参考書を指示することで，自主的な解決の方向を示すこととした。

3.2 実施内容

(1) 輪ゴムの正体（伸縮力の内容を簡単な実験で確かめなさい）担当：三上隆，小池明夫

主題
・とにかく作って見よう。試してみよう。
・輪ゴムの物理・力学的特性
・力学的特性把握のための簡易実験方法の考案
・設計の基本的な考えかた

目標
材料は，複数組み合わせて使用することにより，その特長を最大限に生かせる。この授業では輪ゴムを取り上げ，学習する人達自身の手で構造模型を作り，それを押したり引いたりして，「どのようなことが起こるかを予想・観察し」，「なぜそうなるかを調べ・考えること」から，ものつくりのための設計には基礎的な学習や広い範囲の情報にふれる必要性を学ぶ。

授業内容
材料の諸特性と実験誤差：
机を例にあげ，以下の４項目について学ぶ。
・力（荷重）の伝達機構
・材料特性
・荷重―変位関係
・実験誤差
課題１：輪ゴムの物理・力学的特性について
課題２：輪ゴムの荷重―変位関係の計測法について

輪ゴムの物理・力学的特性について：
（課題１）について，各グループで発表（10分），全体討議（30分）を行う。進行役は学生が担当

実験方法の考案：
身近にある器具を用いた輪ゴムの荷重―変位関係の計測法（課題２）について，各グループで発表（10分），全体討議（30分）を行う。進行役は学生が担当

改良した実験方法による計測：
改良した実験方法により，輪ゴムの荷重―変位関係を計測し，理論計算と実験の差に考察

を加える。
次回の発表会の準備（資料A4-2枚，OHP作成）
発表会
発表
報告書作成

（2）コンピュータに図形を書かせてみよう（図形をコンピュータに描かせるための基本構造と手順を知ろう）担当：岸浪建史，田中文基

主題
・図形と数式
・パラメータ表現とプログラミング技法
・直線・円弧・曲線の描き方
・文字の曲線表現と回転・拡大・平行移動

目標
図形をコンピュータに描かせるための基本構造と手順を知るために，数式とは何かや，図形を描く基本手順を理解させ，コンピュータに実行させる技法を修得する。さらに適当な文字を曲線表現し，文字の拡大・縮小・回転の機能を学び，創造的図形表現への発想を支援する。

授業計画
コンピュータグラフィックスの概要と演習の目標説明：
図形をコンピュータに描かせる原理
区分直線を描く機能分析
全ての曲線は区分微小直線の積分である
直線表現とプログラミング技法
区分直線を描くVisual BASICの例
コンピュータによる演習
円弧表現とプログラミング技法
円のパラメータ表現
円弧を描くプログラミング演習
円弧のDDA表現
DDA表現とプログラミング技法
曲線表現とプログラミング技法
曲線のパラメータ表現
曲線を描くプログラミング演習
アフィン変換とプログラミング
座標変換とアフィン変換
図形の回転・縮小・拡大・移動
文字の曲線表現とプログラミング
文字のパラメータ表現
文字表現のプログラミング演習
文字の拡大・回転・平行移動
発表会
発表
報告書作成

（3）ペットボトルロケットの長滞空時間化（滞空時間を長くするアイデアを考え，実現してみよう）担当：工藤一彦，持田あけの

主題
・水と圧縮空気のみで飛行するペットボトルロケットの規格型製作・発射
・上昇高度予測計算シミュレーション
・ペットボトルロケットの滞空時間を長くする手法の考案と実機製作・発射

目標
物を製作する楽しさ・難しさを体験し，工学に対する興味を喚起するとともに，物理現象を定量的に予測する手法の修得，創造性の開発，情報収集のやり方の修得，およびグループでの共同作業を通じて協調性・指導性を修得する。また結果発表会における発表・討論により，やったことをまとめ，人に分かりやすく説明する能力を養う。

授業計画
ペットボトルロケットの基本理解と規格型の発射：
原理の説明
シミュレーションコードによる上昇高度予測計算（プログラム貸与）
規格型のロケットの製作・発射体験
次回までに長滞空時間化を考案すること，またwebサイトの手がかりとなるURLを教え，情報収集を行う
アイデア絞り込みと規格型ロケットの製作・発射
長滞空時間化のアイデア絞り込み
規格型ロケットを発射し，発射角度，水の量と空気の比，圧縮空気と飛行距離の関係をシミュレーションと実験で調べる
考案したアイデアでロケットを製作・発射・改良
長滞空時間を実現するアイデアを入れた機体を製作・発射し，改良を重ねる。（**図1**参照）
発表会
発表
報告書作成

（4）アルミニウムの表面積を10倍にしてみよう

図１　パラシュート付きペットボトルロケットの発射試験（うまく開くかな？）

（アルミ板の表面積が電解エッチングで増加することを調べ，その制御法を考えて表面積を 10 倍に増加させてみよう）担当：高橋英明，坂入正敏

主題

・電解エッチングによる表面積の拡大
・表面積の測定
・エッチピットの観察

目標

電解エッチングによるエッチピットの形成の神秘を体験し，それをいかにコントロールして工学とするかを考える。その過程において，文献検索，実験装置の組み立て，実験遂行，結果の整理および発表をグループで役割分担して行い，テクノロジー創成の能力を養う。

授業計画

表面積増大の意義とシミュレーション（教官による説明と演習）
　表面積増大の工業的意味
　化学的エッチングと電解エッチング
　表面積拡大と表面の幾何学的構造のシミュレーション
　表面積の測定方法
実験器具と実験条件（学生による調査発表）
　電解エッチングに必要な実験器具
　電解エッチングの実験条件
　表面積測定に必要な実験器具
　表面積測定の実験条件
電解エッチングと表面積測定（器具の用意と調整）
　電解エッチングに必要な実験器具の用意と調整
　電解エッチングの予備実験
　表面積測定に必要な実験器具の用意と調整
　表面積測定の予備実験
電解エッチングと表面積の測定
エッチピットの電子顕微鏡観察
　酸化皮膜レプリカ法によるピット形状観察
発表会
　発表（表面積と電解条件(溶液組成，温度，電流波形，電流密度）との関係について調べた結果をもとに，表面積を 10 倍にする最適条件についてグループ発表する）
　報告書作成

（5）紙でつくる強い橋（紙の特性を生かし，軽くて

強い橋を作ってみよう）担当：蟹江俊仁，小池明夫

主題と目標

身近な材料である紙を使って，さまざまな破壊性状について調査し，理解するとともに，その材料の特性をいかして，耐荷能力の高い橋を実際に作成してみる。作成にあたっては，学生自らの頭脳と手を使うことを尊重し，できあがった橋の耐荷能力を競うものとする。調査，実験，製作，プレゼンテーションを通じて，総合的な活動を実施する。

実験計画

スタートアップ

概要説明

グループ形成，調査方法の説明，調査手段の紹介

構造と機能の分析

様々な橋の形態を観察し，その構造と機能について考える。

資料調査：様々な形状の橋について調査を行う。

部材の破壊

部材の破壊性状，形態について，簡単な実験を通じて学習する。

全体系の安定性，耐荷力の検討

部材の特徴を踏まえた上で，全体系の安定性について考える。組み合わせ方や構造的な弱点が，全体系としての保有耐荷力に与える影響を調査する。

橋の製作とプレゼンテーション準備

それまでに得られた知見をもとに，実際に橋を製作してみる。具体的には，A4 の普通紙で長さ 40cm 以上の橋を作る。中央の位置をバネばかりで下方に引っ張り，橋の耐荷荷重Ｐと橋の重さWに関し，Ｐ／Wの大きさを競う。紙以外に利用できる材料はのり，先割れリベット，ホッチキスである。

適宜，耐荷力試験を実施しながら，様々な工夫を試みる。

発表準備

発表会（**図２**参照）

発表

報告書作成

（製作された橋の構造の例）

・立体トラスタイプ

・平面三角トラスタイプ

・圧縮材・引っ張り材分離タイプ

（6）LSI モジュールの設計（プラグラマブル LSI を用いて演算回路を作ってみよう）担当者：宮永喜一

主題と目標

実験を通して，LSI モジュールの設計・開発・試作を行い，計算機・情報処理・情報通信の各領域で利用されている，VLSI システムについて理解を深める。

授業計画

スタートアップ：

概要説明，グループ形成，実験説明

LSI, FPGA（プログラマブル LSI）の説明

VHDL，文法，記述法と簡単な例題

Maxplus の使い方と簡単な回路を記述

ビットの加算器を記述

FPGA で加算器を実現

以上の演習で，LSI とは何かを知り，実チップ試作のため，FPGA を使った簡単な回路モジュールの設計・試作・開発を行う。

発表会

発表

報告書作成

（7）フラクタルを創る（電気化学的手法で樹枝状結晶を作り，フラクタルの概念と原理を学ぼう）担当者：中山恒義，島弘幸

主題

・フラクタルとはなにか？その概念と定量化

・身近な対象のフラクタル構造を探す

・フラクタル構造の計算シミュレーション

・実験室でフラクタル構造を作る（電気化学的方法による樹状成長）

・上記フラクタル構造のフラクタル次元を求める

目標

新しいものにトライする楽しさ・難しさを体験し，創造性の開発，情報収集のやり方を修得する。また，発表会における発表・討論により，自分自身のオリジナリティを出し，その分かりやすい説明をする能力を養う。

授業計画

フラクタルとなにか？その概念の定量化

フラクタル構造の定義の説明

フラクタル次元の意味と定量化

図２　紙の橋の耐荷荷重を調べます。（どれだけの力に耐えるかな？）

フラクタル構造の例を見る
身近な対象のフラクタル構造を探す
自然界でのフラクタルそして人工的なフラクタル構造の例を考案する。図書・文献による情報収集を行う。
フラクタル構造の計算シミュレーション（プログラム貸与）
コンピュータ上でフラクタルを作る
グラフィック上で初期条件を変えたときの変化を見る
実験室でフラクタル構造を作る（電気化学的方法による樹枝状成長）
電気化学的に樹枝状フラクタルを作る
電圧によるフラクタル成長の速度の度合いを見る
製作フラクタル構造のフラクタル次元を求める
フラクタルの次元を求める
溶媒による変化を調べる
発表の準備
発表会
発表
報告書作成

(8) 化学時計をつくる（化学反応によって規定時間後発色する化学時計を作り，その可搬化に挑戦してみよう）担当者：上舘民夫，石田晃彦

主題

・化学反応によって時間を計る
時計反応：酸化剤であるヨウ素酸イオンと還元剤である亜硫酸イオンおよびヨウ化物イオンとの間で起こる反応であるが，用いる試薬の量によって変色するまでに要する時間が変化する。
・化学時計の時間を決定する因子の解析
・携帯用化学タイマーの製作

目標

化学反応を開始後，しばらくして突然色が現れる現象を利用すると，時間の測定ができる。そこで，化学時計のしくみと時間の関係を理解し，化学時計を創成する。その過程において，情報収集，実験の遂行，結果の整理および発表をグループで行い，化学システムの創成を能力を養う。

授業計画

化学時計の原理と作り方（教官による説明と実演）
時計反応・化学時計の説明
化学時計の実演
時計反応についての Web と図書館での情報収集
調査・考察結果の発表

製作する携帯用化学タイマーのデザイン
製作方法
携帯用化学タイマーの製作
30秒で色が変わる小型のタイマーを製作
発表資料の準備
発表会
発表
報告書作成

3.3 学生の実施例

3.2節の（1），（3）のテーマを例にとり，これらの提起した課題に対する学生の報告した解をまとめ，その解決方向の多様性を示すこととする。

(1) 輪ゴムの正体

・輪ゴムを直列および並列に接続し，バネ定数を求めた。
・種類の違うゴムおよび太さの異なるゴムの荷重と伸びの関係をしらべ，断面積で割ることにより弾性係数を求めた。
・さまざまな調味料に輪ゴムを長時間浸しておき，引っ張り強度を測定した。水につけたゴムはもろく，油につけたゴムは伸びにくくなった。
・引っ張り強度のばらつきを統計学的に求めた。
・冷凍庫に長時間入れてゴムの変質を調べた。

これらのなかには，ゴムの弾性の分子的なメカニズムを調べた例があった。

(2) ペットボトルロケットの長滞空時間化

ロケットの頭にビニールシート製のパラシュートをつけることは，全て共通であったが，これをロケットの上昇の頂点付近で開傘させる手法にさまざまな工夫がこらされた。

・パラシュートの上にプラスチックの薄板で作った円錐状のカバーをのせる。このカバーをそっとのせておくと，ロケットが軌道の頂点で傾いたときに，空力でこのカバーがはずれ，パラシュートが開くはず。

カバーとロケット本体とのはめあいのきつさが問題で，きつすぎるとカバーがはずれず，またゆるすぎると上昇途中ではずれてしまう。実際はうまく加減ができて，成功した。

・パラシュートをロケットの頭にかぶせて打ち上げるとロケットが傾いたときパラシュートがロケット本体からはずれて開くはず。

ロケットの上昇中にパラシュートのすそがひらひらし，これにかかる空力がロケットの周方向に一様ではないので，ロケットが直進しなかった。

・滞空時間増加のため，大きなパラシュートをつけ，これをロケット頂部の筒状空間に格納し，これを引出すためにの小型パラシュートをこの大型パラシュートに結びつけ，この小型パラシュートをロケットの最上部にのせ，そのうえに円錐形のカバーをのせる。軌道の頂点でカバーが外れ，小型パラシュートが開き，大型パラシュートが引っ張り出されるはず。

アイデアは非常におもしろかったが，大型パラシュートの格納時のたたみかたによって，小型パラシュートで引っ張り出せないことが多かった。

・ペットボトルをパイプを間にはさんで２つ直列につなぎ，ロケットに搭載される水と圧縮空気を２倍にすることで滞空時間がふえるはず。

２つのペットボトルの接合部の圧縮空気もれを防げず失敗。またもしこれがうまくいっても，ロケットが重すぎてうまく発射できなかったであろう。このグループはこのあと，カバー方式のパラシュートに変更した。

4. 創成型科目実施後のアウトカムズアセスメント結果

4.1 学生アンケート結果

図３に平成12年度の工学的創成実験を行った後にとった学生アンケートの結果を示す。これより，今回の創成実験内では演習を特に行わなかった，国際性の涵養の項を除いては，ほぼ効果があがったことが示されている。特に，発想力・論理的思考能力とグループ活動能力が育成され，また達成感の充足および問題解決意欲の増加が著しいことが示された。

また，自由感想欄では，下記のような積極的な意見が多数見られた。

・この授業には一番時間をかけたし，積極的に参加できた。何をするにも自分で進めなければならないので大変だったけれど，やりがいがあった。
・今まで受験勉強ばかりで受身の態度だったが，この授業を受けて，自分で積極的に頭を働かす楽しさを久しぶりに味わうことができた。この授業で培われたことはこれからの自分にとって

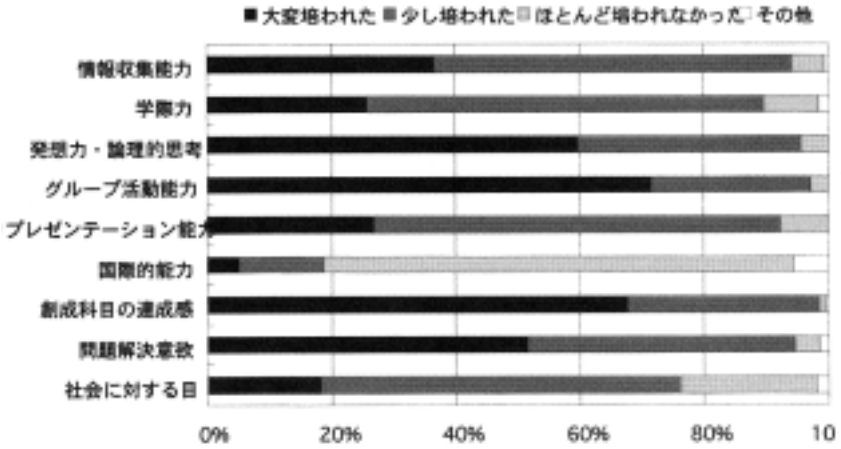

図３　工学的創成実験終了後の学生アンケート結果

非常に役に立つと思った。

・この講義は自分で調べることが多くて大変だった。でもそういう何でも自分でやるというところが大学らしくて，これからの２年からの講義の役に立ちそうで良かった。また，グループみんなで調べごとができたりして楽しかった。

・この授業をうけて感じたことは，自分の足で調べることの大切さを身をもって感じたことでした。調査して初めて授業ができるという大変なものだったが，実験をやっているときは「ああやって良かった」と思いました。楽しかったというのが素直な感想です。

・インターネットによる情報収集を本格的にしたのは初めてで，また，実験も想像よりハードで大変やりがいがありました。こういう授業こそ工学部の必修にすべきだと思います。

・もっと時間をかけて一つの実験をじっくりやりたかった。時間がないのが残念であった。

・最初の方は何をしていいかわからず，右往左往していましたが，終わりのほうになると楽しく実験することができました。他の授業では発表の機会がないので，発表の準備などためになりました。

4.2 教官の感想

・テーマの進め方については，学生実験にならないように教官およびTAで良く議論して慎重に進めた。初めての経験であり，また1.5時間のなかで実験をおりまぜながら演習を進めるため，時間的余裕がなく，シラバスどうりには進められなかった。また学生とのコミュニケーションの時間は十分にとれず，あわただしく終わってしまったが，学生のアンケートでは，それぞれに得るところがあったようである。発表会は，２つくらいのテーマ毎にやったほうがよく，全体の発表会を長時間，大人数でおこなっても積極的な質疑応答も出にくいと感じた。

今回は３～４名で１グループとしたが，お客さんになる学生もなく，良く協力しながら作業をすすめており，学生の前向きな姿勢を感じた。なかには講義の合間にも研究室に顔を出し，実験の準備や資料を作成する学生もいた。

・何も教えない講義のスタイルをとったので，学生達にかなりのとまどいがあったようで，実験を開始するまでにかなりの時間を要した。新入生のため，情報収集能力に欠けている上，共同作

業に不慣れであったことが原因であるように思われる。しかし，実験を進めていくうちに，協力して行う姿勢がうまれたようであり，かなり真剣に取り組んでくれた。各グループとも当初の実験目標をほぼ達成し，彼等なりにかなりの達成感があったと思われる。１テーマ５回の演習ではディスカッションおよび実験の時間が足りず，かなりの補充授業をおこなった。また学生が11名いたため，実験スペースが若干手狭であった。本実験には，いろいろな学部の学生が参加したため，最初共同作業がうまくいかなかった欠点はあるが，異なる学部学生と知り合うチャンスとして有意義と思われる。また，教官側からもいろいろな学生を知るチャンスとして同じことが言える。

・学生・教官・TAともども楽しんでやった演習であった。最初作ったロケットが隣の情報棟より高く上がったときの感動は忘れられないものであった。ただ時間が十分とれなかったため，いろいろなアイデアの試行ができなかったのが残念であった。また，いろいろな学科からの学生が混じっているので，1.5時間の演習時間が終わると次の講義がある学生が何人かいるので時間延長も難しく，また取っている科目がまちまちなので，演習時間以外の時間にみんなが同時に集まるのも難しいようであったが，最後の追い込みでは，週末を利用してがんばったようであった。学生にもの作りの楽しさを分かってもらうこと，共同でプロジェクトを実行することに関しては成功したと考えるが，シミュレーションプログラムを使った物理的・定量的な考え方の育成は不充分であった。

・一般教育演習の枠内で実施する場合，担当教官の裁量で利用できる環境(装置，部屋)がなければ創成実験の実施は困難と思えます。このことは逆に言えば，各教官が所有する研究環境の一部を１年生に開放することが前提となると思います。

１年生は大変好奇心が強いと思います。その要求にこたえる方法として，少人数で適当に学生が操作できる実験機材を与え，試行錯誤を繰り返す創成工学実験は，学生にとって効果的学習形態であるといえる。興味を持つ学生は時間外でも研究室に出入りし，実験を行っていた。したがって，この演習は時間割の最後に置くと良いのかもしれない。

受動的学習態度から能動的学習態度に変換させる効果を見ると，入学後すぐにこのような演習をやると効果的である。

以上の感想等から，今後科目のさらなる拡充のためには下記の検討が望まれる。

・演習時間を十分とること。創成型科目を成功させるためには，この科目にあてられた単位数に相当した時間枠だけでは不充分であり，正規の演習時間のあとも演習を継続できるように，グループ全員がその後の時間枠に他の授業がないような時間帯を，カリキュラム編成上で配慮する必要がある。

・演習場所の確保。この科目をやっている期間学生が占有でき，製作途中の作品をおいておき，学生達が自由なときに来て演習を続けられる演習スペースの確保が望ましい。

・TAの確保。上記のように長時間に渡る演習の間に適切な各種指導助言等を行って，学生の創造力を高めるためには，年齢の近い有能なＴＡの確保が必須である。

5. まとめ

工学部における創成型教育は，工学教育プログラム実施検討専門委員会からの実施依頼に対する工学部各担当教官のご協力により，平成12年度は18科目（含全学教育２科目），13年度は22科目（含全学教育４科目）を実施できた。平成14年度はさらに拡大の方向で計画中である。

教官にとって，効果的な創成型教育を行うためには周到な計画と準備が必要となるが，全学教育の学生を対象とした「一般工学演習―工学的創成実験」では，学生アンケートを含むアウトカムズアセスメントを実施し，学生の成長のあとが観察され，また学生側も十分に達成感を感じることができたことが示され，ほぼ成功したと考えられる。

このような演習では，TAの役割は重要であった。

今後この科目のさらなる拡大充実のための課題としては，演習スペースとTAの確保，カリキュラム上の十分な演習時間の確保，他学部の関連科目との連係，小・中・高生および社会人への創成型教育の実施，

等があげられる。現在これらの目的で「創造学習センター」構想案をまとめ，提案中である。

最後に，本専門委員会の依頼に快く応じて，創成型教育の実施・普及にご尽力いただいている，工学部の担当教官・TA・事務の方々，本プログラムの実施にご理解とご協力いただいた本学高等教育機能開発総合センターの方々に感謝の意を表する次第です。