

# 材料工学系におけるエンジニアリング キャップストーン・プログラムの試行

板垣 吉晃<sup>1)</sup>, 佐々木 秀顕<sup>1)</sup>, 藤岡 克則<sup>2)\*</sup>, 田中 寿郎<sup>1)</sup>

1) 愛媛大学大学院理工学研究科

2) 愛媛大学教育・学生支援機構英語教育センター

\*現所属：大阪産業大学国際学部

## A Trial of Engineering Capstone Program in Material Science

Yoshiteru ITAGAKI<sup>1)</sup>, Hideaki SASAKI<sup>1)</sup>, Katsunori FUJIOKA<sup>2)\*</sup>, Toshiro TANAKA<sup>1)</sup>

1) Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

2) English Education Center, Institute for Education and Student Support, Ehime University

\*現所属：Faculty of International Studies, Osaka Sangyo University

### 1. はじめに

工学教育の目的は有能な技術者 (engineer) を世の中に輩出することである。Hoffman (2014) は、「エンジニアリング」とは製品の質や性能, 安全生や信頼性を仕様, 予算, 納期に適合させながら高めていくことであると述べている。これらは理工学的な基礎理論をベースとしながら, しかしそのような抽象化された知識のみでは獲得できない能力である。従来の工学系カリキュラムでは, 技術的な問題解決のための基礎となる論理的思考能力や自然科学の知識を修得させることを主目的としている。このような教育は技術問題や解決のプロセスがある程度特定されている場合には有効である。しかし, 社会のグローバル化や多様化に伴って, より複雑な技術問題を抱える今日に至っては, 上記のような基礎知識に加えて複雑な問題から解決すべき課題を抽出して明確化する能力が必要となる。著者らは, 現実社会で実際に生じている問題を演習テーマとして, それらを学術的知識と融合させながら課題解決を行うプロセスが工学教育に必要であると考えている。しかし, 現行の工学系カリキュラムでは学生が現実社会で起こっている問題に直接取り組む機会ほとんど無い。卒業生のほとんどが技術者として社会に出ていくことに鑑みれば, 基礎理論の積み上げだけに重点をおく教育や仮想的な課題を迫及する教育は現実といささか乖離しているように思える。そこで, 著者らは社会実践型教育プログラムである「キャップストーン・プログラム」を工学教育内に試行的に取り入れた。

さらに現在, 国内の既成概念にとらわれず海外の動向を

見据えながら多角的に判断できる技術者の養成が求められている。しかし, 愛媛大学工学部に在籍している学生の多くはグローバルな人材として育成される機会を持たない。そこで著者らは, 平成25年度に採択された愛媛大学教育改革促進事業 (愛大GP) 「国際協働によるキャップストーンプロジェクト教育の開発 —工学教育へ地域の課題を学生と解決するプロジェクト学習の導入—」の支援を受けて, 国際協働による問題解決プログラムを実施し, 多角的な視野を持つ技術者育成カリキュラムの策定を目指した。本稿では, 平成25年から27年までの2年間に実施したキャップストーン・プログラムを中心とした技術者教育に対する著者らの取り組みを紹介する。

### 2. キャップストーン・プログラムとは

キャップストーン・プログラム (以下CSP) とは, 大学教育の総仕上げとして最終年次に行われるもので, 社会 (地域, 自治体, 企業など) で現実に起こっている問題に対して解決策を提示する実践的教育プログラムである。CSPは米国で1990年代に公共政策・公共行政分野における教育プログラムとして考案され, 現在ではビジネス, 医療, 工学などさまざまな分野へ広がってきている。現在我国の理工系学部の多くでは最終年次の総仕上げとして「卒業論文研究」が行われているが, これは研究の学術的な価値, 達成度や論理構成を評価するものであり, 設定される課題は多くの研究者の間で共通に認識されているものであることが多い。卒業論文研究は, 研究テーマの自由度が高く, 必ず

しも現実に起こっている問題を取り上げるものとは限らない。したがって、本稿ではあえて卒業論文研究をCSPには含めないこととする。

青山は(2013)CSPの特徴として次の4項目を挙げている。

1. 実際の社会で起きていることを扱うPBLであり、問題解決の方策を提案するものであること。
2. プロジェクトを提起するクライアントがいること。
3. 大学で学んだことの総仕上げとして実施されるものであり、卒論に匹敵すること。
4. 数人のチームを組んで、ワークショップを行いながら実施するものであること。

プロジェクトの実施目的はあくまでもクライアントの要請を満足することであり、要請に応じた技術設計が必要となる。

### 3. UWBにおける キャップストーン・プログラム

愛媛大学での実施に先立って、平成26年に米国におけるCSPの取り組みについてUniversity of Washington, Bothell (UWB) のElectrical Engineeringにて現地調査を行った。同学科は2013年に米国技術者教育認定会議 (ABET) の認定を得ている。UWBでのCSPは必修 (2クォーター) であり、Capstone Project I (BEE495) とII (BEE496) から成り立っている。Iでは課題の明確化、調査、仕様のなどを行い最終的に企画書の作成を行なう。IIでは提案書に沿ってプロジェクト開発を実行し、最終報告書の作成と成果発表を行なう。学生は4~5名のチームで活動し、スポンサー企業の技術者やシニア・アドバイザーがメンターとして学生チームの技術的指導に当たる。メンターは学生の成績評価にも加わっている。

### 4. 材料工学分野での キャップストーン・プログラム

材料工学分野でのCSPは、実験に係る材料費や多くの実験設備が必要であることや、化学物質を扱うことから安全上の制約が多いため他の工学分野に比べて実施へのハードルが高い。企業からの教育資金の提供が盛んな米国では、材料工学分野でのCSPも多く見られる。しかし、工学系のCSPが未だ十分に浸透していない日本では、材料工学分野でのCSPはほとんど取組み事例が見当たらない。

著者らは材料工学分野でのCSPの可能性や有効性を検討するため、平成27年度に工学部機能材料工学科の学生チーム1チーム (4回生2名) により試行した。CSPは卒業論文研究の代替として位置づけている。図1の愛媛大学工学

部機能材料工学科でのCSPの概念図を示した。CSPは「学生チーム」、「地域企業」そして「大学」の三者で成り立っている。まず企業より大学へ技術的課題が提供され、大学は学科のカリキュラムや教員の専門分野とのマッチングを行った後、学生チームに投げかける。学生チームは提供された課題の解決策を企業に最終報告書を持って提案する。この間、学生チームは担当する大学教員と企業からのアドバイザーの双方から技術的、学術的指導を受ける。米国では主に企業からの資金によりCSPを行なう。しかし、愛媛大学工学部の事例では企業側からの技術指導や可能な範囲での企業内設備の使用や実験用資材の提供がCSP合意の条件であり、資金提供は必ずしも求めていない。特に、材料開発を目的としたCSPでは関連する設備が円滑に使用できることがもっとも重要である。開発費は大学の基盤教育経費や外部資金により充当される。これは、技術的問題を抱える地域企業との連携へのハードルを下げることを目的としている。

最終報告書は英語と日本語の両方で作成し、大学の卒論発表は英語で行なう。さらに3月にUWBで行われるElectrical Engineeringで開催される成果報告会に特別に参加させていただき、成果発表を行った。

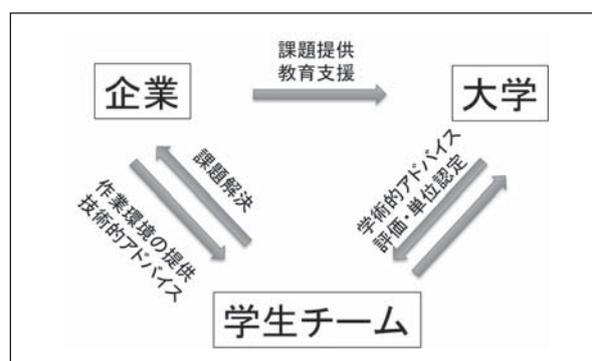


図1 愛媛大学工学部機能材料工学科でのCSPの概念図

### 5. 実施体制づくり

#### 5.1. 学生チームの選抜

平成27年度はCSPの試行として、4年次生 (卒論生) 2~3名からなる学生チームを1チームつくった。ただし、参加条件を大学院へ推薦で進学予定の者 (希望者のみ、3名程度) に設定した。これは就職活動や院入試勉強の必要がなく、それだけCSPに集中出来ることを意図したためである。しかし上記学生は成績上位者であり、研究指向が強く、これまでの研究の路線を変更することに違和感を感じており、元の研究テーマでの学会発表を控えているなどの理由から、希望者は少なかった。最終的に2名の希望者を得たがいずれも他大学大学院の進学予定者 (つまり、卒業論文研究テーマの継続がない学生) であった。

## 5.2. クライアントの決定

平成27年度は、ゴム製品製造企業である株式会社タケチ（本社：松山市）をクライアントとした。さらに、同社からアドバイザー1名を愛媛大学客員准教授として招聘し、学生チームの指導を委嘱した。実施テーマは、「ゴム磁石改質プロジェクト」とし、ゴム磁石の柔軟性の向上や磁性粉の粉落ちの解決に取り組んだ。実施に先立って、同社と愛媛大学間で秘密保持契約を交わした。

## 5.3. 実施体制

実施体制は、学生チーム（2名）に加え、クライアント企業からのアドバイザー1名、工学系教員2名（板垣・田中）と英語教員1名（藤岡）の計6名で構成した。今回の学生チームは、前期までは通常の卒業論文研究を行ってきており、それぞれ化学と磁性材料をバックグラウンドとしてきていたことから、今回の実施テーマの遂行のための基礎的な知識を有している。Hotalingら（2012）は、多分野の学生で構成されたチームによるCSPは単一分野のチームのそれに比べて良い結果を得ることができることを報告している。英語教員は、愛媛大学英語教育センターの教員を配置した。これは、UWBにおけるCSP発表会に愛媛大学の学生チームを参加させ、英語にて成果発表させるためのプレゼンテーション指導を意図したものである。

## 6. 実践

### 6.1. 実施スケジュール

平成27年度CSPの実施スケジュールを表1に示す。実施に向けての準備は8月から行い、後学期（10月～3月）の1 Semesterで実施した。米国でのCSPの様式に倣い、Capstone IとIIに分けて実施した。CSPの実施項目を表1に示す。

表1 CSP実施項目

	実施内容
準備期間	1. クライアント企業への趣旨説明 2. クライアント決定 3. 実施テーマの合意 4. 学生への説明会 5. 守秘義務契約書作成 6. 学生チームの決定 7. 実施同意書の作成
Capstone I	8. 活動開始（企画書作成） 9. インターンシップ 10. 開発動向調査 11. 大学への企画書提出 12. クライアント企業への企画書提出 13. 企画書の承認
Capstone II	14. プロジェクトの実施 ゴムマグ試作 特性評価 表面処理 分析 15. プロジェクト打ち合わせ (学生チーム・企業・大学) 16. 卒論発表準備 17. 卒論発表 (ミニトーク5分(英語)&ポスター) 18. 評価(卒論として通常学生と同等に評価) 19. UWBでの発表準備 20. UWBでの成果発表

表2に学生チームが実際に行ったCSPスケジュールを示す。Capstone Iは36日で終了している。これはCapstone IIで開発が予定通りに進まない可能性を考え、よりIIに多くの時間を使用するためである。

表2 学生チームが実施したCSPスケジュール

工程	開始日	終了日	日数
Capstone I			
ゴム磁石に関する情報の収集	2015/10/1	2015/10/12	12
株式会社タケチにてインターンシップ	2015/10/13	2015/10/16	4
現在の製品の表面分析	2015/10/17	2015/10/24	8
磁性粉の表面改質方法の提案	2015/10/24	2015/11/4	12
Capstone II			
必要な器材・薬品の注文	2015/11/4	2015/11/15	12
磁性粉の表面処理方法の決定	2015/11/15	2015/11/30	16
磁性粉の表面処理と評価	2015/11/30	2015/12/6	7
表面処理した磁性粉とゴム素地の混練	2015/11/30	2015/12/31	25
完成したゴム磁石の分析・評価	2015/12/7	2016/1/24	49
分析結果の考察	2015/12/7	2016/1/24	49
プロジェクト報告書の作製	2016/1/8	2016/1/31	24
卒論発表資料作成	2016/1/25	2016/2/7	14
卒論発表練習	2016/2/8	2016/2/17	10
卒論発表会	2016/2/18	2016/2/19	2
UWB発表資料作成	2016/2/20	2016/2/28	9
UWB発表練習	2016/2/29	2016/3/8	9
UWB発表会	2016/3/9	2016/3/14	6

### 6.2. Capstone I (設計)

Capstone Iは10月～11月中旬の約1.5ヶ月で行った。最初に、課題の明確化から行った。課題の明確化とは、クライアントの要請に対して、問題の本質がどこにあるのかを明らかにすることである。今回の実施例の場合、クライアントからはゴム磁石の「しなやかさ」の改善を要請されており、これに対してそもそも「しなやかさ」を低下させている原因は何であるのかを明確にする。つまり「しなやかさ」の改善とはそれを低下させている原因の除去と同義である。学生チームは課題の明確化を目的として、クライアント企業内で4日間のインターンシップ研修を行い、ゴム磁石に関する基礎知識の習得から、製造実習までを行った（表3）。その結果、学生チームは課題点として磁性粉粒子とゴム素地の相溶性に問題があることに着目して、磁性粉粒子表面の化学的な改質を行うことに課題を見出す結果となった。Capstone Iは明確化された課題に対して解決策の立案、物品、コスト市場調査そして企画書の作成と企画の合意をもって終了とした。

表3 CSPインターンシップの実施スケジュール

日程	実施内容
第一日目	座学 企業紹介、磁石について、粉体について、ゴム磁石の作り方、安全について
第二日目	見学 ゴム磁石の練り見学、生産ライン見学、物性評価試験
第三日目 ～第四日目	実習 ゴム磁石の製造と評価

### 6.3. Capstone II (実行)

Capstone IIではCapstone Iで作成した企画書の内容に基づいてプロジェクトを実行した。ゴム磁石の試作と機械的評価はクライアント企業にて、構造評価は愛媛大学にて行った。図2にゴム磁石の改良前後の曲げ試験の様子を示す。改良前の現行品では曲げによってゴム磁石にひび割れが発生したが、改良後にはひび割れの発生は見られなかった。したがって、磁性粉粒子の表面改質はゴム磁石の曲げ特性を改善することがわかった。

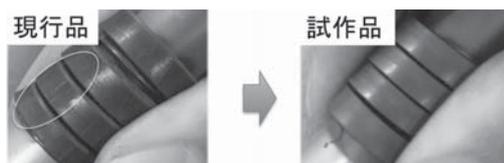


図2 ゴム磁石の改良前後の曲げ試験

### 6.4. 最終報告

CSPの最終報告は、通常の卒業論文発表に加えて、UWBの発表会にも参加した(図3)。学生チームは海外での発表経験はなかったが、積極的にUWBの学生に対して説明を行い、かつ他の学生の発表にも非常に興味を持って質問しているのが印象的であった。これは、学生自身の潜在能力が高かったことに加えて、今回のCSPにおいて実施テーマのデザインから実施までを一貫して学生主体で行ったことからより自信をもって発表会に望むことができたからではないかと予想される。



図3 UWBにおけるCSP成果発表の様子(ポスター発表)

### 6.5. 評価

今回のCSPは試行の段階として一部の学生に対してのみ実施したことから、評価には機能材料工学科の卒業論文研究評価用のルーブリックシートを用いて行った。評価項目は、以下に示すとおりである(各項目A~Dの4段階評価)。

- 1) 課題内容を理解し、計画的に実行したか。
- 2) 課題に取り組む姿勢が適切であったか。
- 3) 研究背景や先行研究を調査・理解した上で研究の位置づけが明確にされているか、研究目的が適切に設定されているか。
- 4) 調査・実験・解析等で得られた結果についての考察が示されているか。
- 5) 明確で論理的な文章で書かれているか。

6) 図表が適切であるか。文章内での引用(図表)が適切であるか。

7) 必要な文献を適切に引用(明記)しているか。

特に1)~3)はCSPで重要視する評価項目である。

## 7. 教育成果と今後の展望

今回の取り組みでは、学生チームが自ら考え、主体的に取り組む姿勢が随所に見られた。これは、自分たちのアイデアや成果がクライアントの事業に直結する可能性を秘めていることが良い動機づけになった結果であると推測する。また、チームで問題を共有し、解決策を協働作業で導くプロセスから、学生の技術者としてのチームワークやリーダーシップなどが育成できたと考えている。UWBでの発表で、学生の積極的にプレゼンする姿勢が見受けられた。海外渡航による成果発表は学生を強く動機づけるものであり、また成長させるものである事がわかった。したがって開発プロジェクトとセットで考えるべきものである。

本プロジェクトは試行として一部の学生を対象として行ったものであるが、少なくとも対象学生に対しては学習の質の向上に資するものであった。教育的価値を3つあげる。①クライアントの要求に応えるという明確な目的と責任が発生したことにより、学生の主体的な取り組み姿勢が見られた。また、要求に応えるためのアイデア、方法、実施設備、そしてコストなど、技術者の基本的な要素である「デザイン」という概念を現場で学ぶことができた。②学生チームとしてプロジェクトを遂行したことにより、チームとしての協調性を身につけ、ブレインストーミングの技術が自然と身についた。③海外で成果発表を行うことにより、その準備期間において語学力が向上した。さらに、異文化圏で自分たちの仕事が評価されたことにより大きな達成感が得られたとともに、学生が実践を通して国内だけでなく海外に視点を向けたキャリア育成への動機づけを行うことができた。

さらに、教育だけでなく、CSPは「新たな共同研究の形態」になり得ることを認識した。それは、企業担当者と大学教員が直接つながっている従来型の形態ではなく、企業と大学の間で第三者として学生が実施チームとして入るのである。今後さらにデータの蓄積を行っていき、研究に対する波及効果についても検討して行きたい。

### 【文献】

- 青山公三(2013) 公共政策学の新しい実践教育手法地域課題解決型実践教育プログラム「キャップストーン」の試み, 京都府立大学学術報告(公共政策)第5号, pp.73-82.
- H. F. Hoffman (2014) The Engineering Capstone Course, Fundamentals for Students and Instructors, Springer.
- N. Hotaling, B. B. Fasse, L. F. Bost, C. D. Hermann, C. R. Forest

(2012) A Quantitative Analysis of the Effects of a Multidisciplinary Engineering Capstone Design Course, J. Eng. Edu., 101, pp.630-656.

**【謝辞】**

本研究は、平成26・27年度愛媛大学教育改革促進事業(愛大GP)の支援を受けて行いました。今回のCSPの実施に当たって、課題提供と施設利用をお許しいただいた株式会社タケチ様、さらにアドバイザー(客員准教授)として学生指導頂いた築穴順央氏に心より感謝の意を表します。今回のCSPはUWBでの取組事例を参考としており、実施にあたって多くの有益なご助言を頂いたUWBのA. Berger博士、M. Depies博士、W. Kimura博士に心より感謝の意を表します。