熊本大学工学部・機械システム工学科における 卒業研究の位置づけ

The Role of Senior Thesis in the Curriculum of Mechanical Systems Engineering Course
at Kumamoto University

鳥越 一平^{*1}
Ippei TORIGOE

We introduce the curriculum of mechanical systems engineering course at Kumamoto University, putting a stress upon the role of senior thesis in engineering education. After showing our system of supervising thesis and the framework of assessment of thesis, we devote a short discussion concerning the effectiveness of senior thesis in the development of student's potential.

Keywords : Engineering Education, Senior Thesis, Mechanical System, Engineering Design

キーワード : 工学教育, 卒業論文, 機械システム工学, エンジニアリングデザイン

1. はじめに

我が国の新制大学がモデルとしたアメリカ合衆国の大学では¹⁾, 通常, 卒業要件として「卒業研究」を求めない. 我が国の卒業論文に相当すると言われる Senior thesis が必修となるのは, 優秀学生向けの特別プログラム (Honors program) を履修する場合だけである^{2), 3)}. 草創期には, 我が国の大学はドイツの大学をモデルとしていたと考えられるが^{1), 4)}, このとき移入された Diplom/Magister 論文の制度が, 新制大学で卒業論文として生き残ったのではないかと推測される. つとに喧伝されているとおり, アメリカの大学生と比較したとき, 日本の大学生の学習時間は極端に短い. このことと, Honors program を履修するのが GPA3.0 以上といった成績優秀者であることを合わせ考えると, 実施形態において Senior thesis と卒業論文が類似しているといっても, 実質や水準まで含めて相当するとは考えるのは無理であろう. 我が国の卒業研究は, それまでの不勉強を, 最終年度に一気に取り戻すことを目指した, アメリカ合衆国にもボローニャプロセスにも類例を見ないユニークな教育形態と言えるかも知れない.

熊本大学工学部・機械システム工学科でも, 卒業研究と卒業論文執筆を, 学習の総合的な仕上げの科目と位置づけ, 卒業の要件に設定している. 当学科のカリキュラムにおける卒業研究の位置づけ, 指導体制, 評価方法, アンケートから読み取れる教員と学生の卒業研究に対する意識, そして, 卒業研究のアウトカムズ

測定の試みについて紹介する.

2. 機械システム工学カリキュラム

2.1 学習・教育目標

当学科の学習・教育目標は以下の三つの大項目, (A) ~ (H) の八つの中項目からなる.

- (1) 技術者としての共通基礎能力の育成
 - (A) 自主的学習および問題解決能力
 - (B) コミュニケーション能力: 日本語で論理的に記述・発表・討論する能力, および, 英語によるコミュニケーションのための基礎能力
 - (C) 人文科学・社会科学の基本的知識: 二十一世紀社会に生きる技術者として必要な人文・社会科学的知識
 - (D) 情報リテラシー: 技術者として必要な情報処理能力とそれを持続的に発展させる能力
 - (2) 機械工学に関する基礎能力
 - (E) 工学の共通基礎知識
 - (F) 機械工学の専門知識
 - (3) 機械工学に関する応用能力
 - (G) 実験を計画・遂行し, 結果を分析する能力
 - (H) 機械システムを設計・製作する能力: 拘束条件が科され, 解が一意で無い課題に対して, 多面的・総合的に検討し, 実現可能な最適解を見出だす能力
- (A)~(H) のそれぞれの項目には, さらにいくつかの小項目を付加し, その学習目標が目指している技術者像を例示している. 長くなるので, (A) (G) (H) に付加した項目のみを例として示す.
- (A) 自主的学習および問題解決能力

2012年5月16日受付

^{*1} 熊本大学自然科学研究科

- 学問や技術の伝統を尊重しながら、同時に、科学、技術、産業の最新動向に常に興味を持ち、継続的に学習できる。
- 必要な情報、知識、技術をみずから求めて学習し、問題解決を目ざし続ける毅(つよ)い意志をもつ。
- 技術者としての知識・教養に基づいて、問題自体を適切に設定できる。
- 先入観に囚(とら)われない批判的思考ができる。

(G) 実験を計画・遂行し、結果を分析する能力

- 実験目的を自ら設定し、目的に適った手順と方法を企画することができる。
- 実験結果を、予断に囚(とら)われることなく科学的・論理的に分析することができる。

(H) 機械システムを設計・製作する能力

- 与えられた要求を、機械システムの仕様の形に具体化できる。
- コスト、安全性、納期、環境影響などを含む制約条件を総合的に評価しながら設計を行うことができる。
- 機械工学の専門知識を利用して、仕様を満たす詳細設計ができる。
- 機械加工法、製造工程、利用可能な資源などに適合した設計ができる。
- 設計対象の全体像をイメージし、文書化・定式化・図面化ができる。
- 複数人で共同して作業を行う場合に、協調性、時間配分などに配慮しつつ、同時に主体的・積極的に役割を果たすことができる。

カリキュラムは、上記の学習・教育目標を達成することを目指して設計されている。機械工学のほぼ全領域をカバーした標準的なカリキュラムである⁵⁾。卒業研究は、4年次の前後期通年で実施される。なお、当学工学部では、4年次進級に閥門が設定されており、一定数以上の単位を修得していないと、卒業研究に着手することができない。

2.2 卒業研究の実施体制

卒業研究着手資格を得た学生は、教員が提示した研究テーマの一覧を参照して、第一希望研究室を決定する。研究室側には、教員数に応じて卒業研究生の受け入れ人数の上限が設定されており、学生の希望通り無制限に受け入れる訳ではない。上限数以上に希望が重なった場合には、学業成績が上位の者を優先して配属する。第一希望の研究室に配属されなかった学生は、まだ受け入れ数に余裕のある研究室の中から配属研究室を選ぶ。この段階の研究室決定では、学業成績を用いることはせず、学生間の自主的な調整に任せている。

どのような研究テーマで卒業研究が行われているか、平成23年度を例にとって下に示す(どちらにも分

類できるものは二重にカウントしている)。

- 機械加工 (15件)
- 機械材料 (6件)
- 破壊力学 (5件)
- 衝撃工学 (12件)
- 非破壊検査 (4件)
- 流体工学 (12件)
- 熱工学 (11件)
- 機械力学 (3件)
- 制御工学 (6件)
- 計測工学 (8件)
- ロボット&自律システム (9件)
- バイオメカニクス (8件)

国内大学で唯一の爆発実験設備を擁する特徴を反映して、衝撃工学のテーマが目立つ点を除けば、機械工学プログラムとして標準的なテーマ分布と言ってよからう。なお、当学科の場合、卒業研究として純理論的なテーマが設定されるケースは稀で、ほとんど全ての学生が、何らかの実験ないしは数値実験を経験することになる。

各研究室に配属された後は、机や必要な機器が与えられ、講義科目を受講する時間などを除いて、学生は配属研究室で過ごす。研究指導は、基本的に指導教員単位で行われるが、週に1回程度の英語文献講読、週に1~2回程度の研究打合せ会合は、教員数名の単位で行われる場合もある。指導教員は、会合時以外にも、日常的に学生と接して指導を行うのが普通である。

卒業研究の最終審査は、2月の下旬にポスター発表形式で行われる。このほか、12月頃に、「中間発表会」を実施する研究室が多い。

2.3 卒業研究の評価

卒業研究の審査会では、指導教員以外の教員2名が試問担当教員となり、ポスター発表に対する試問を行う(審査には全教員が参加する。試問担当教員は、時間不足で審査が不十分になったりしないよう、優先して担当学生の試問を行うことが求められるということである)。指導教員は、1年間の研究状況、卒業論文、そして上記の試問結果を勘案して、100点満点で評点を決定する。前述の通り、当学科のカリキュラムでは、卒業研究は学習の総仕上げと位置づけられており、卒業研究への取り組みを通じて、最終的に学習・教育目標を達成することが想定されている。このため、評価も、少なくとも形式上は、学習・教育目標の達成度の観点から行われる。

図1に示すのが、共通に用いられる卒業研究評価票である。評価項目の記号は、学習・教育目標(A)~(H)に対応している。講義科目の履修だけでは修得が難しく、その目標の達成に卒業研究が大きなウェイトを占めると考えられている(A)(G)(H)に関しては、4倍の重みがかけられる。また、目標(B)に関しては、日本語の記述

卒業研究評価票

学生番号		総合点	0
氏名			
研究課題			

総合点＝小計＋B2＋特別加点

評価項目		評点	備考
A	情報・知識の収集、技術修得に自主的に取り組み、問題解決に向けて独自の工夫ができたか？		(0～5点)
B1	正確で明晰な日本語が書けているか？		
	英語を使って、情報収集や学習ができたか？		
C	研究テーマを通して、技術が社会および自然に与える影響について考察できたか？		
	研究テーマを、背景技術の中に正當に位置づけ、多面的に（安全・コスト・環境など）考察できたか？		
D	情報技術を十分に活用できたか？		
E	数学・物理などの基礎知識を、課題解決に応用することができたか？		
F	関連専門分野の学習は十分であったか？		
G	実験（シミュレーションや思考実験を含む）の計画・遂行と結果の分析が適切に行えたか？		
H	実験装置や機械システムのデザインができたか？		3点以上をもって合格とします。 (3点未満の項目が一つでもあると、総合成績は不合格となります)
小 計		0	
B2	論理的で明快な発表・討論ができたか？		(0～5点) 同上
特別加点	<理由または根拠>		(10点以下、総合点 ≤ 100 の範囲)

署 名		月 日	備考
指導教員		月 日	

図1 卒業研究評価票

力、英語リテラシー、口頭コミュニケーション力の三つに分けて評価し、結果的に3倍の重みがかかっている。全ての評価項目で5点を獲得すると総合点は100点に、全ての項目が3点なら総合点は60点（卒業研究合格最低点）となる。いずれかの評価項目で評点が2点以下となった場合は、他の項目で高得点を得て総合点が60点を越えていても、達成が不十分な学習・教育目標があると判定され、不合格となる。

一方、学生には、「卒業研究自己評価票」を配布し、卒業研究で各評価項目に関連してどのような取り組みを行ったか、卒業論文のどのページにその取り組みが反映しているかを記入させ、卒業論文と一緒に提出させている。自己評価票は、卒業研究開始時に、図2の

「記入例」とともに配布する。開始時に配布するのは、卒業研究がどのような能力を養成することを目指しているのか、どのような観点から評価されるのかを理解した上で卒業研究に取り組ませるためである。また、記入例の配布は、それらの能力を養成するために求められている学習や作業の具体的なイメージを持たせることを目的としている。

3. 卒業研究の効果

3.1 教員の意識

当学科の教員の卒業研究に対する考え方を調査する目的で、簡単なアンケートを実施した。学科の教員の83%に相当する25名からの回答を得た。

卒業研究自己評価票 記入例

学生番号	050-T2400	氏名	機械 学
研究課題	「自己評価」欄には、自分の研究が、各評価項目を満足しているという「主張と根拠」、「卒業論文中の対応箇所」欄には、その証拠となる箇所を記載する。		記入年月日

評価項目	自己評価	卒業論文中の対応箇所	
A	<p>情報・知識の収集、技術修得に自主的に取り組み、問題解決に向けて独自の工夫ができたか？</p>	<p>(1) データ処理に必要なプログラミング言語Gを自習して修得した。 (2) センサー信号処理回路を製作するために、技術部主催の講習会に参加して電子回路を学習した。 (3) 鉄筋にナットを溶接し、このナットに加速度ピックアップをねじ込む新しいセンサー取り付け方法を工夫した。これによって、不要振動の発生が抑えられ、鉄筋中の弾性波を正しく検出できるようになった。 (4) 実験装置の構造について、指導教官と意見が対立したが、筆者の構造がより優れていることを示し、結局この構造が採用された。</p>	<p>(1) 「付録1 信号処理プログラム」(p. 120-127) (2) Fig. 12 信号調整回路(p. 78) (3) (4) 「3.2 実験装置の構成」(p. 62-84)</p>
B1	<p>正確で明晰な日本語が書けているか？</p>	<p>本多勝一「日本語の作文技術」、木下是雄「理科系の作文技術」、酒井聡樹「これから論文を書く若者のために」、岩淵悦太郎「第三版 悪文」を読んで作文の基本を学習し、卒業論文執筆の際の参考とした。</p>	<p>本文全体(p. 1-142)</p>
	<p>英語を使って、情報収集や学習ができたか？</p>	<p>(1) ICの英文データシートを読んで、電子回路を設計した。 (2) ロックインアンプ使用に当たって、英文の取扱説明書を熟読した。 (3) 英文解説書 (A Beginner's Guide to Uncertainty Analysis in Measurement) を読んで、測定データの不確かさ解析を行った。</p>	<p>「3.2 実験装置の構成」(p. 62-84) 「3.3 測定結果とその解析」(p. 85-102) 参考文献 6) 7) 9) 11)</p>
C	<p>研究テーマを通して、技術が社会および自然に与える影響について考察できたか？</p>	<p>本研究の方法について、UNEPのレポートを参考にして、炭素循環および環境負荷の観点から考察を行った。また、本研究の地域社会への波及効果について考察した。</p>	<p>「1. まえがき」(p. 3-7) 参考文献 2)</p>
	<p>研究テーマを、背景技術の中に正當に位置づけ、多面的に(安全・コスト・環境など)考察できたか？</p>	<p>本研究の方法を従来技術と比較したときの得失を総合的に検討した。その結果、測定時間ではやや劣るものの、測定精度で従来法を凌駕しており、コストと環境負荷を考慮したとき、新しい方法として存在意義が大きいことが分かった。</p>	<p>「2.2 従来技術との比較」(p. 12-28) 参考文献 3) 4) 5)</p>
D	<p>情報技術を十分に活用できたか？</p>	<p>(1) データ処理プログラムを作成し、測定データの取り込み及び解析をパーソナルコンピュータを用いておこなった。 (2) データシート、UNEPレポートの入手、従来技術の調査などでインターネットを利用した。 (3) 有限要素プログラムを作成して、数値解析を行った。</p>	<p>(1) 「付録1 信号処理プログラム」(p. 120-127) (2) 参考文献 2)-7) 11) (3) 「付録2 有限要素プログラム」(p. 29-40)</p>
E	<p>数学・物理などの基礎知識を、課題解決に応用することができたか？</p>	<p>(1) 熱力学および熱伝導方程式に基づいて、基本方程式を導いた。 (2) 偏微分方程式論およびフーリエ級数展開の知識を用いて基本方程式の解を求めた。 (3) 測定データの誤差解析において、確率統計の諸定理を応用した。</p>	<p>「3.1 原理」(p. 41-61) および「3.3 実験結果とその解析」(p. 85-102) 参考文献 11)-18) 21)</p>
F	<p>関連専門分野の学習は十分であったか？</p>	<p>(1) 本研究のために、機械工学全般、特に材料力学、振動工学、熱工学を復習した。これによって、現象の物理的基礎を理解することができ、実験上の工夫をするための見通しが得られた。 (2) 実験データ解析に、ウェーブレット解析を学んで応用した。 (3) 鉄筋の挙動解析のため、有限要素法を学んでプログラムを作成した。</p>	<p>「3.1 原理」(p. 41-61) および「3.3 実験結果とその解析」(p. 85-102)</p>
G	<p>実験(シミュレーションや思考実験を含む)の計画・遂行と結果の分析が適切に行えたか？</p>	<p>(1) 実験に先立って、センサーのキャリブレーションを行うための治具を作製し、キャリブレーション手順を確立した。 (2) 検証実験では、はじめに温度変動と常時微動の影響を見積る実験を行った。次いで、測定量を変化させながら実験を行って測定した。 (3) 測定量が加わらない場合を対照実験として、これと比較しながら測定データを解析した。 (4) 同一条件で5回の実験を行い、再現性を確認した。</p>	<p>「3.2 実験装置の構成」(p. 62-84) および「3.3 測定結果とその解析」(p. 85-102)</p>
H	<p>実験装置や機械システムのデザインができたか？</p>	<p>(1) 強度、固有振動数に対する要求、重量、アクチュエーターのパワーを勘案して、測定装置の形状・材質を決定し、CAD図面を作成した。 (2) 応答速度と感度の要求に合致する静電容量型のセンサーを選定し、アクチュエーターの発熱と振動の影響を考慮して取付位置を決定した。 (3) 測定用試料は他の実験グループと共用するため、共同で製作した。 (4) データ取込・解析およびアクチュエーター制御を行うシステムを設計し、RISC CPU+μITRONのシステム上に実装した。</p>	<p>「3.2 実験装置の構成」(p. 62-84) 「3.3 実験結果とその解析」(p. 85-102) 「付録3 実験装置図面および設計仕様書」(p. 135-142)</p>

図2 卒業研究自己評価票(学生向) 記入例

科学・技術の専門化にともなって、理工系学部では、学部レベルの論文が研究論文としては成り立たなくなり、「卒業論文」を卒業の要件として課さない学部が増えていると言われるが⁶⁾、当学科では、70%以上の教員が、卒業研究の意義は今でも大きいと考えている。多くの教員に共通しているのは、卒業研究のテーマそのものは「素材」であり、卒業研究に取り組むプロセスから派生する教育効果が重要であるとする考え方である。卒業研究の意義が薄れつつある、或いは、むしろ廃止した方が良いと回答した30%弱の教員も、卒業

研究の教育効果を否定しているわけではなく、同等以上の教育効果を実現する卒業研究以外の教育形態が有り得ると考えるために上記のように回答していることが、自由記述から読み取れる。

卒業研究の指導は、通常、一人の教員(ないしは一つの研究室)によってなされるから、学生は、細分化された専門領域で研究を行うことになる。このため、学生は、視野が狭窄になったり指導教員の考え方の影響を強く受けるという問題点が指摘されている。この点について、卒業研究に対する上記の考え方から当然

予想される通り、およそ90%の教員が問題にならないとしている。ただし、後述の学生に対するアンケートでは、16%ほどの学生が、視野狭窄になる懸念があると回答している。

卒業研究の評価法については、過半の教員が現状の評価法で問題が無いとしているが、指導教員に圧倒的な評点決定権が与えられた状況であるため、評価の観点や評価基準が指導教官ごとに異なることに対して懸念を感じている教員も40%近く存在した。

前述の通り、当学科では、卒業研究を学習・教育目標達成のための最終的かつ総合的な科目と位置づけている。卒業研究が、(A)～(H)の学習・教育目標に掲げた能力を向上させるのにどの程度有効かについて、教員の意識をまとめた結果を図3に示す。

図3のグラフは、卒業研究に対する教員の期待を表していると考えることができる。これに対して、ここ数年間に実際に指導した学生の能力が向上したか否か

図3 卒業研究は目標に掲げた能力を向上させるのに有効か（教員の意識）

図4 能力は向上したか（教員側の評価）

の教員側評価をまとめると図4のようになる。期待通り100%とまでは行かぬものの、卒業研究は概ね有効であったという評価になっている。

3.2 学生の意識

学習・教育目標達成の観点から、学生が、卒業研究の経験をどのように自己評価しているか、やはり簡単なアンケートを実施した。対象は、当学科で卒業研究を行ってから、本年4月に大学院に進学した修士1年生43名である。卒業研究開始時との成績比較、卒業研究テーマとの相関を見るために記名式で行った（ただしアンケート内容は指導教員には開示しないことを約束した）。

現在の卒業研究配属法に不満を持つ学生は2%のみであった。また、90%以上の学生が、研究テーマに興味をもって卒業研究に取り組んだと回答している。81%の学生は、研究テーマを深く探求するためには、一つのテーマで一人の教員に指導される体制が良いと考えている。前記のように、16%の学生は、この体制では、視野が狭窄になる恐れがあると考えている。大部分の学生は現状の実施体制と指導方法に満足しているが、20%ほどの学生は、研究室による指導方法や拘束時間の差などに違和感を感じていたことが分かった。

卒業研究を通じての学習・教育目標達成状況について、学生がどのように自己評価しているかをまとめたものを図5に示す。

目標(C)でかなり、全般に学生の自己評価（図5）が教員側の評価（図4）よりやや甘めであるものの、両者に大きな隔たりは無いと言ってよさそう。なお、(C)に関しては、教員側が広く技術者倫理への理解を期待しているのに対して、学生は、機械工学の範囲内での安全や環境を想定して回答した可能性がある。

3.3 アウトカムズ評価

学生の学習到達度を測定し、カリキュラム改訂の参考とする目的で、卒業研究着手資格を得た学生を対象

図5 能力は向上したか（学生の自己評価）

図6 達成度試験の設問の一つ

(部品①と部品②とをはめあわせ、4本のM4ねじで固定するとき、設計上考慮すべき事項を列挙し、加工図面を描かせる問題。)

に、簡単な筆記試験を昨年度から実施している。試験問題は、機械工学専門科目全般にわたる非常に基本的な設問からなり、主として学習・教育目標(E)(F)に関わる到達度を、一部、目標(H)に関わる到達度を見る試験となっている。

この筆記試験を、今般、卒業研究を修了して修士課程に進学した学生(アンケートの実施対象と同じ)に再度実施してみた(1年の間を置いているので、全く同じ設問を用いた)。卒業研究開始時点での試験成績と、卒業研究終了後、修士課程1年次入学時点の成績を比較すると、全体として成績向上が見られた。しかし、半数近い学生は、大学院入試に向けた受験勉強を経て入学しているので、この成績向上を以て、目標(E)(F)について卒業研究の効果があったと結論することはできない。

学習・教育目標のうち、卒業研究に大きな役割を期待している(A)(G)(H)については、多くの能力が数値化不可能であるため、到達度を客観評価するのは非常に難しい。筆記試験中の図6の設問は、(H)機械システムを設計・製作する能力、特に、エンジニアデザイン能力の一要素である「機械加工法、製造工程、利用可能な資源などに適合した設計ができる」かを測定する試みとして作成した。具体的には、二面同時接触を避けるための寸法公差、すきまばめのための公差と表面仕上げ、すみ部の干渉を避けるための面取りなど設計上の注意点を指摘できるか、機械加工図面を正確に書くことができるかを見る設問である。

この設問について、卒業研究前後の成績を比較する

と、平均点で若干の上昇が確認された。さらに細かく解答を分析すると、卒業研究前には、設計上の注意点を一つも挙げることができず、ネジ穴加工等の製図もできない0点の学生が14名いたのに対して、卒業研究後には、その数が7名に減少していた。残りの7名は、完全ではないが、上記の設計上の留意点のいくつかを指摘し、また製図の正確さも向上していた。成績が向上した7名は、いずれも、卒業研究において、実験装置や実験用治具の設計・製作を経験していることが注目される。

4. まとめ

当学科の卒業研究について、実施形態、評価方法、教員および学生に対して行ったアンケート、簡単な達成度評価を紹介した。

アンケートでは、少なくとも主観的には、教員はかなりの教育効果を期待して研究指導を実践しており、学生もほぼこれに込んでいるという結果が得られた。

達成度の客観評価の試みでは、サンプル数が少なく乏しい材料でしかないので断定はできないが、卒業研究がエンジニアデザイン能力向上に有効であるという結果が得られた。卒業研究は、適切に実施されれば、教員の期待通り、全ての学習・教育目標(A)～(H)に関して教育効果を持つ可能性があると言えよう。

参 考 文 献

- 1) 天野郁夫：大学の誕生(下)，中央公論新社，2009
- 2) 谷 聖美：アメリカの大学，ミネルヴァ書房，2006
- 3) 渡部哲光：アメリカの大学事情，東海大学出版会，2000
- 4) クリストフ・シャルル，ジャック・ヴェルジェ：大学の歴史，白水社，2009
- 5) <http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/curriculum2.php>
- 6) 奥田真丈，河野重男監修：現代学校教育大事典④，「卒業論文」の項，ぎょうせい，1993

著 者 紹 介

鳥越 一平

経 歴：1977年東京大学工学部計数工学科卒業。1979年同大学大学院計数工学専攻課程修了，富士電機製造(株)入社。1980年東京大学宇宙航空研究所助手。1990年熊本大学助教授。現在，熊本大学自然科学研究科機械知能システム講座教授。

専 門：計測工学。

連絡先：torigoe@kumamoto-u.ac.jp