

# ジェットエンジン教育の構築

The lesson plans of education for the aero gas turbine engine

安 昭八\*  
Shohachi YASU

**Abstract:** This paper has described the lesson plans of education for the aero gas turbine engine. These lessons introduce principles of the jet engine and provide the students to see how the turbo-jet engine can be operated. Additionally, these lessons can provide exercises for disintegrating and assembling of the turbo-jet engine, problem-solving experience that incorporates the necessary elements for engineering skill.

**Key word:** lesson plans, jet engine, practice, experiment

## 1. はじめに

静岡理工科大学機械工学科航空工学コースの学生が履修する必修科目の内、ジェットエンジンに関する教育方針として、講義科目から実験科目まで一貫して学生が学ぶことができるような教育プログラムを構築し、現カリキュラム内に組込むことを計画した。構築したプログラムに沿った教育内容の充実化を図り、2010年度より航空工学コース学生を対象に実践したので、その結果について報告する。

## 2. 教育プログラム

### 2.1 カリキュラム

現行の機械工学科3年生のカリキュラムでは、表1に示すようにジェットエンジンに関する科目として、講義科目の航空原動機を前期に、実験および実習科目を後期に履修するスケジュールとなっている。

表1 ジェットエンジンに関する科目

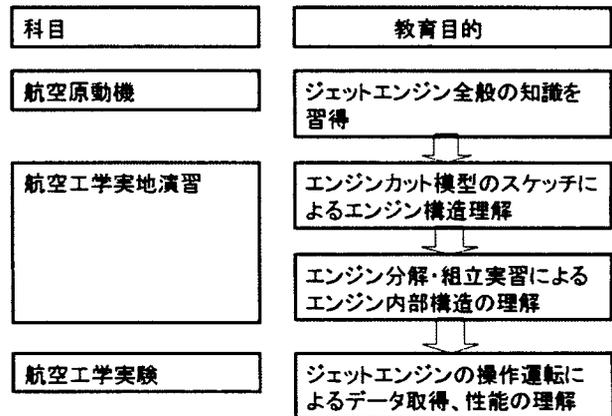
| 機械工学科3年生 |                    |
|----------|--------------------|
| 前期       | 後期                 |
| 航空原動機    | 航空工学実験<br>航空工学実地演習 |

講義科目の航空原動機は2008年度より開講しており、ジェットエンジンの作動原理、エンジン内部の各要素の構造・特徴、開発エンジンの各種認定試験、エンジン製造方法などを動画や写真を多用してプロジェクターにより学生に説明する講義方式を採用した。本学学生にとって、ジェ

ットエンジンに関する適切な教科書が見当たらない事情もあり、講義ごとに講義資料の抜粋を学生に配布し、最新情報を紹介することに努めた。

一方、後期に開講する航空工学実験と航空工学実地演習は機械工学科航空工学コースの学生がコース専門科目として履修すべき実験と演習科目と位置付けられている。表2にジェットエンジンに関する科目と教育目的を示す。

表2 ジェットエンジン関連科目と教育目的



表より明らかなように、当該科目を履修する学生はまず講義科目においてジェットエンジン全般の知識を習得する。その後、実地演習において超小型ではあるがジェットエンジンの実物に触れエンジンの構造を理解するとともに実際のエンジン内部の部品構成や構造をより深く理解しながら分解し、再び元のエンジン形態まで組立を行う。これらの実習内容が航空工学実地演習テーマの中に組込まれるよう2009年度末までにシラバスの改定を行った。

次に、学生達はエンジンの構造を理解した上で航空工学実験の科目において、エンジン性能実験とエンジン騒音実験を行い、エンジンの実性能データを取得しレポートにまとめる。本エンジン実験ではエンジンをより深く理解でき

2011年1月31日受理

\* 理工学部 機械工学科

るよう、学生自らが超小型ジェットエンジンを始動から高速回転運転まで操作・運転を行うプロセスにすべく計画した。なお、実験での安全を確保するため、実験手引書内に詳細な運転手順、緊急停止手順を記載した。

## 2.2 教育機材

前節の教育目的を達成するために、2009 年度末時点でジェットエンジンのカットモデルや分解組立キット等の教育機材が不足していた。そこで 2010 年度の教育予算に上記機材を申請した。その結果、2010 年度の新規教材として(1)超小型ジェットエンジン J-850 のカット模型 2 式、(2)超小型ジェットエンジンの分解・組立キット 6 式を導入することになった。当該機材は何れも日本製の小型ジェットエンジンであり、航空工学実験のエンジン性能試験やエンジン騒音試験に供する既存エンジンと同型であることから採用した。これは学生がジェットエンジンを習得する上で統一されたエンジンを扱うことにより、理解をより高めることができる効果を狙ったものである。

## 3. 教育の実施

教育目標およびそのための教育準備を 2010 年度前期までに完了させ、2010 年度後期より航空工学実地演習と航空工学実験を開始した。その結果について以下に紹介する。

### 3.1 航空工学実地演習<sup>1)</sup>

航空工学実地演習は主に坂口実験場を演習場所として実施されたが、エンジン構造に関する演習は教育機材のサイズがアタッシュケース程度であったため袋井校舎 201 実験室で行った。

2010 年度の航空工学実地演習の履修者数は機械工学科 3 年生の約半数の 37 名であったため、ガイダンス時に 1 グループ 10 名の 4 グループに分け、エンジン構造に関する演習を 1 日 2 コマ 2 グループが実施し、2 日で全グループが完了する計画とした。

すなわち 1 日に 2 グループ 20 名の学生が演習を行う。エンジンカット模型のスケッチ及び寸法計測を行うエンジン構造(その 1)とエンジン分解組立キットを使うエンジン構造(その 2)の演習を実施する学生をそれぞれ 1 グループ 1 コマ分に対応させる。前の演習が終了した時点で演習内容を入れ替え後半の 1 コマ分を未実施のエンジン構造の演習を行うことにした。その結果、エンジン構造(その 1)の演習では 1 台のエンジンカット模型を 5 名の学生がスケッチ及び寸法計測する。また、エンジン構造(その 2)の演習では、2 人一組で 1 台のエンジン分解組立キットを使用することになり当初計画した通りの教育機材の個数となった。

図 1 にエンジン構造(その 1)に使用したエンジンカット模型を示す。本模型は、実機の部品をそのまま使用しエンジン内部構造が分かるようにエンジンを半分に切断した模型である。

図 2 にエンジン構造(その 1)の演習状況を示す。演習の内容は、エンジンのカット面をスケッチし、圧縮機入口・出口径、軸間距離、燃焼器外形寸法などの計測を行い、学生がスケッチした断面を演習レポート用紙の図面欄に作図し、図面上に主要要素名と主要寸法を記入する内容である。また、圧縮機、燃焼器やタービン等の機能を記述させる欄を演習レポート用紙に設けた。これは講義科目の航空原動機で学習した内容の復習に繋がるものである。

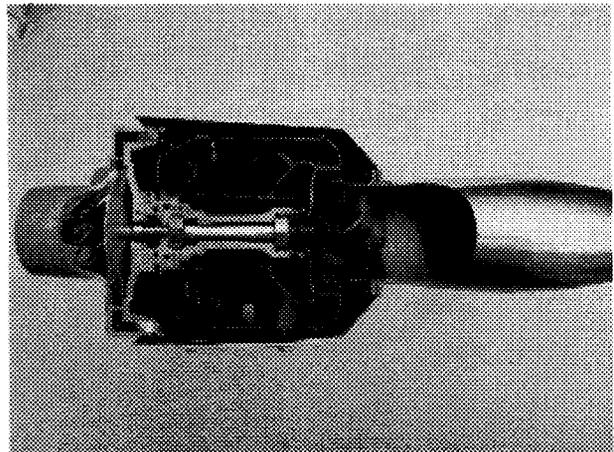


図 1 エンジン構造(その 1)の教材

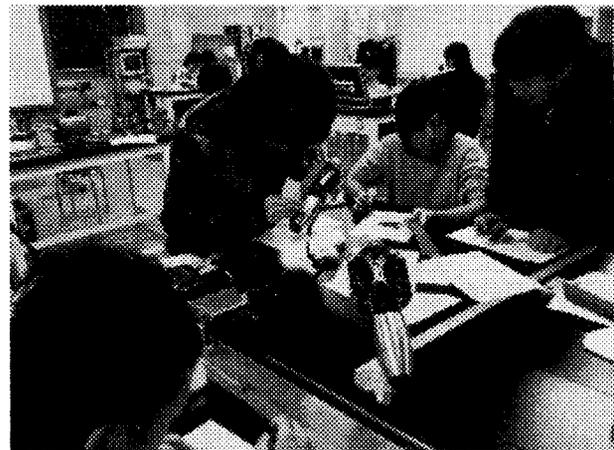


図 2 エンジンカット模型の寸法計測状況

当初エンジンカット模型のスケッチの書き方等で悩んでいた学生も周りの学生に触発されて真剣にスケッチを書くようになってきたことは学生間のコミュニケーション力の醸成にも繋がっているような印象を持った。

一方、グループ分けした他方のグループ 10 名は、学籍番号順に 2 人 1 組に分け、それぞれに 1 台のエンジン分解・組立キットを渡し、手順書を読みながら分解をするよう指

示し、分解作業を開始させた。ただし分解・組立上の注意点、たとえば回転系であるためネジは左ネジになっていること、工具は指定した工具以外は使用禁止、分解した部品は整理して並べて置くなどの基本的な項目をレクチャーした後、学生に自由に分解作業をさせた。

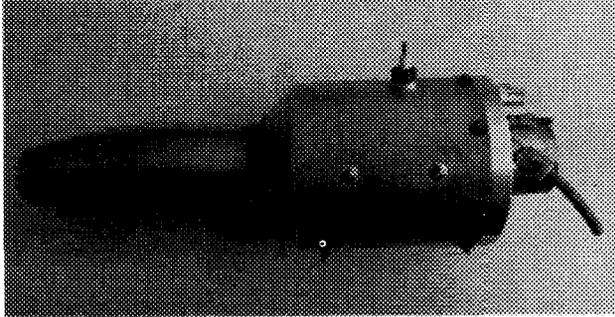


図3 エンジン分解組立キットのエンジン本体

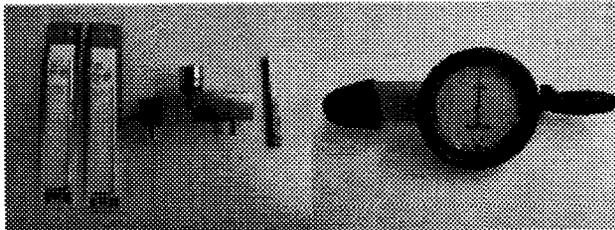


図4 工具類と組立用トルクレンチ

図3にエンジン分解に供するエンジン本体を示す。部品等は実機と同じものであるが、嵌め合い等は分解や組立を容易にするために緩めに加工を施している。また、図4にはエンジン分解・組立を行うための工具一式を示す。

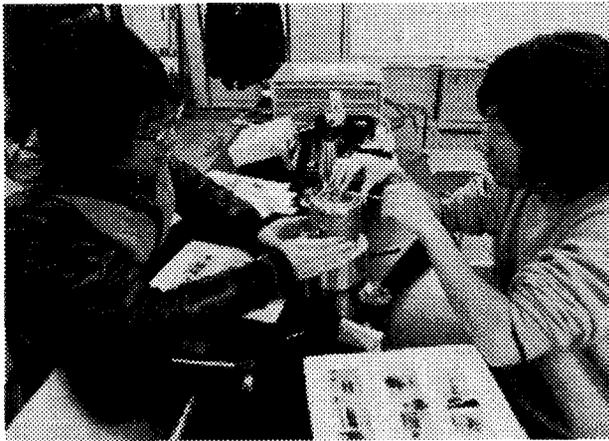


図5 エンジン分解時の状況

図5にエンジン分解・組立の手引書の手順を見ながら分解を進めている状況を示す。エンジン入口部に取り付けられている遠心圧縮機が外れ、エンジン外壁と燃焼器を分離する作業を行っているところである。

図6に図5より分解が進みエンジン外壁と燃焼器が分離出来た状況を示す。また、エンジンの分解は図7に示すよ

うに、タービン、燃焼器、圧縮機、軸受の部品が現れるまで行い、担当教員の最終判断を受けた後、組立を開始させた。

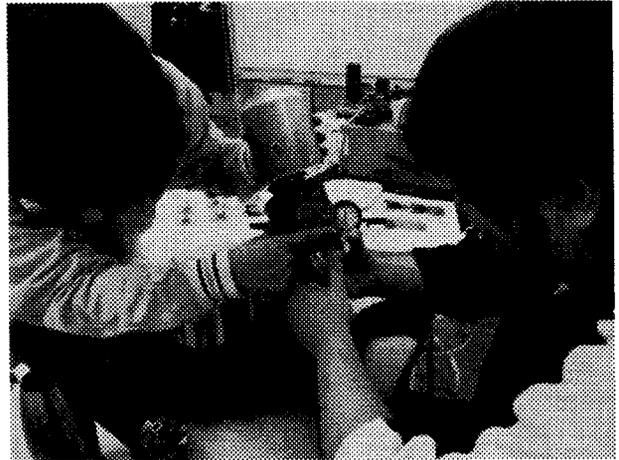


図6 エンジン外壁と燃焼器の分離

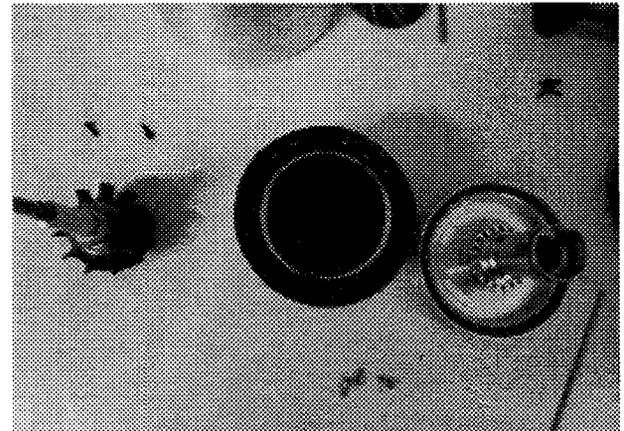


図7 エンジン分解の最終形態

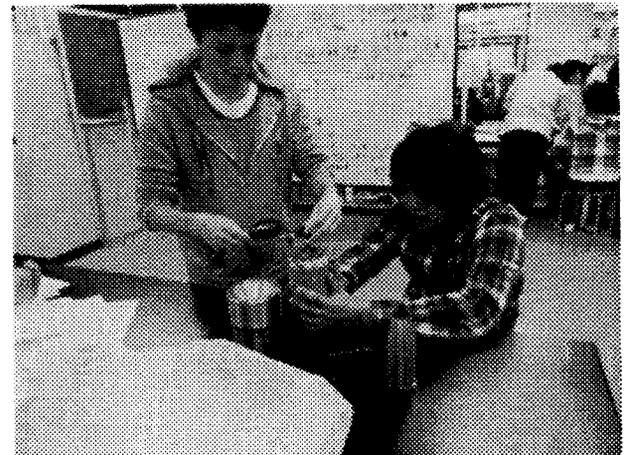


図8 エンジンの組立時の状況

図8にエンジン組立時の状況を示す。図では遠心圧縮機をタービン軸系に固縛するためのトルクレンチを使っている様子を示している。組立の最終チェックは回転軸系がスムーズに回ることを条件に付し、担当教員が最終判断を

行い、問題ない場合はエンジン分解組立キットをアタッシュケースに収納させ演習を終了させた。一方、回転がスムーズでない場合には、再度分解・組立工程を実施させ、回転がスムーズになるまで何回も同じ作業を行わせ、最終目標達成まで根気よく演習をさせた。演習を終了したグループは全員が完了するまで演習場所に残させることを徹底した。これは社会人としての基本マナーの教育にもなるものと期待しての対応である。

### 3.2 航空工学実験<sup>2)</sup>

航空工学実験のエンジン性能実験と騒音実験は、エンジン実験室で行った。

2010年度の航空工学実験履修者数は40名であったため、同時期に並行して実施された機械工学実験2のグループ編成を考慮し、40名を5班に分け、班ごと毎週異なった実験テーマを行うよう計画した。なお、エンジン性能実験とエンジン騒音実験は交互に実施するよう計画した。

120000rpmの高速で回転する実験装置を扱うため、実験に先立ち、実験装置の説明とともに緊急時のエンジン停止処置法を事前に訓練した。また実験前にグループ内で実験の役割を決めさせた。たとえば、エンジン運転を担当する学生、全体指揮を執る学生、各種計測器の読み取り担当の学生、記録係である。1日2回の実験を行えるよう計画しているため、実験ごとに役割を交代させることにした。これは社会人基礎力として企業から重視されているチームワーク力の醸成に関連するため取り入れた仕組みである。

図9にエンジン実験に供した超小型ジェットエンジンの実験装置を示す。図中窓ガラスに設置された騒音計はエンジン騒音実験でエンジンノズル形状を変化させた場合のジェット騒音レベルを求めるための計測機器である。

図10に学生がエンジン実験を実施している状況を示す。それぞれの役割を果たすべく計測器の前でエンジンの回転数が安定するまで待機しているところである。

エンジン性能実験では、エンジンの主要性能であるエンジン回数と推力の関係、エンジン吸込み流量と圧縮機出口圧の関係などを調べるための各種計測を行い、結果をレポートにまとめる。また、エンジン騒音実験では、エンジンの排気ダクト(ノズル)の終端形状を丸型からシェブロン状の形状に変更した場合の排気騒音レベルがどのように変化するかなどを実験的に明らかにするものである。

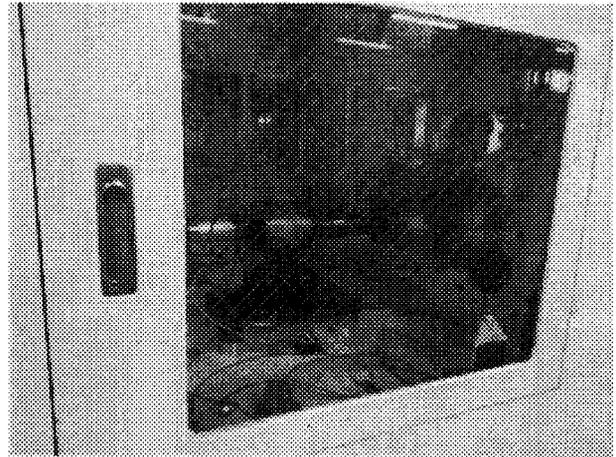


図9 超小型ジェットエンジン実験装置

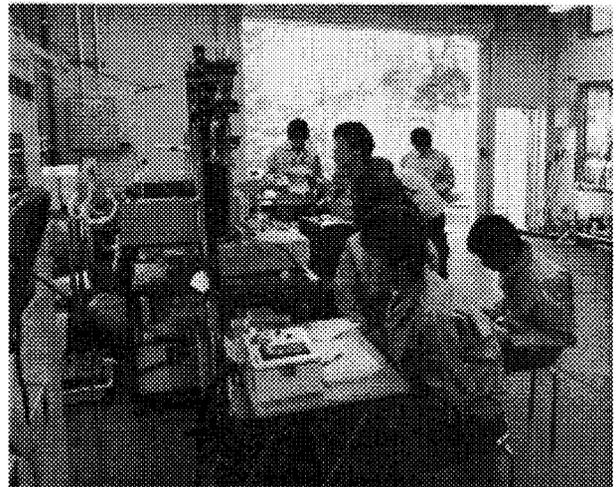


図10 エンジン性能実験の状況

## 4. まとめ

講義科目から実験科目まで一貫して学生が学ぶことができるよう教育プログラムを構築し、2010年度後期に航空工学コース学生対象に新規科目を展開してみた結果、学生のレポート等の感想文などには概ね当該内容が好評であった。また、実験や実習時に学生が活き活きと取組んでいる様子が窺え、当初予定していた教育目的が達成されつつあるとの思いである。なお、今後実習および実験内容をさらにブラッシュアップし、学生のジェットエンジンに関する理解度アップの改善をしていく予定である。

## 参考文献

- 1) 静岡理科大学, 航空工学実地演習, 2011年度発行予定
- 2) 静岡理科大学, 機械工学実験1 機械工学実験2 航空工学実験, 2011年度版