

# 産技高専・航空宇宙コースにおける熱工学実験教育 ～エネルギーリテラシーの教育課程～

## Thermal engineering laboratory education in the Aerospace Engineering Course of Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

### : An Educational Curriculum to Develop Student's Energy Literacy

○小林 茂己 (産技高専) 宇田川 真介 (産技高専)  
Shigemi KOBAYASHI, Shinsuke UDAGAWA, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology,  
8-17-1 Minami-Senju, Arakawa-ku, Tokyo 116-8523

The education that authors practice in the aerospace engineering course is the thermal engineering laboratory education, which not only provides practical engineering training but also helps students acquire so-called "energy literacy". Through its unique experimental teaching materials and curriculum, this education aims to equip student engineers with energy literacy at a certain level that can be immediately applied in actual industrial fields. The experimentally based curriculum consists of four steps depending on the student's grade, such as the heat release from fuel, conversion to output power, and the conversion to thrust work in case of propeller plane or jet aircraft. This paper introduces practical examples of thermal engineering laboratory education to train energy literacy in students.

**Key Words** : Thermal Engineering Laboratory Education, Energy Literacy, Reciprocating Engine, Jet Turbine Engine

#### 1. はじめに

著者らが所属する航空宇宙工学科では実験実習の一分野として、熱工学実験教育を行っている。これは実践的な工学教育を提供することはもとより、いわゆる「エネルギーリテラシー」を学生に身につけさせることを目的としている。独自の実験教材とカリキュラムを通して、学生を産業現場の即戦力に育成するために、エネルギーリテラシーを実感と共に体得させることを目指している。本稿は、以前より継承するカリキュラムが示す理念を守りながら、学生たちのエネルギーリテラシーを効果的に養えるよう試行を重ねた結果を報告し、さらなる改善につながる機会を得ようとするものである。

現代の技術者を目指す学生にとって、カーボンニュートラルなど地球規模のエネルギー課題や SDG's に関連した様々な課題は、これらを将来避けて通れない宿命にある。工学は応用科学と工業技術から成り立っており<sup>(1)</sup>、IT をはじめとする 21 世紀の科学・技術は多くの産業技術に影響を与えている。すなわち工学教育においても広い視野で最新の科学・技術を取り入れた応用的学習が必要とされるが、ことエネルギーリテラシーのような基礎教育に関しては、それらの応用的な知識とは区別して取り扱う必要があると考えられる。高専で学ぶ基礎的知識やそれらを正しく理解して活用できる技能は、後に行う応用的学習のためにも不可欠であり、最近の学生に接して感じる特性を顧みると今後さらに基礎教育の重要性は高まると予想される。

#### 2. 本稿のエネルギーリテラシー教育

ここで本稿のエネルギーリテラシー教育とは、実験実習による教育カリキュラムによって行われ、初学者にとって目新しいエネルギー視点の知識を授け、それを活用する術を身に付けさせる教育である。とくに航空宇宙工学に興味のある学生に向けて、熱工学的な題材を用い、分かり易く、好奇心を喚起すべく工夫した教育教材を用いたことが特徴である。「エネルギーとは何か」の初歩から始まり、教材の中核として汎用小型原動機 (2.2 kW) や航空レシプロ原動

機 (132 kW) を用い、さらに航空機用ジェットタービン式小型原動機 (推力 400 N) を用いて無理なくステップアップしていく。いわゆる内燃機関はエネルギー変換を論じる上で格好の素材であり、航空宇宙産業をはじめ日常生活でも多数使われ、学生の興味・関心も高い。さらに本校所有の小型航空機と併用して、航空原動機ベンチを利用して開発した航空教材を利用し、実機より切り出したコックピットに乗り込み、操縦系を操作して原動機の始動や、可変ピッチプロペラを用いた実験を行っている。

これらの教材は学問領域としての、いわゆる 4 力学 (熱力学、流体力学、材料力学、機械力学) とそれに関連する工学 (熱工学、流体機械、設計学、機械要素、機構学、材料、工作学、計測、制御など) と密接に結びついて成立しており、簡単な実験から高度な実験まで、エネルギーリテラシーを軸に工学一般を幅広く理解させるために最適である。

#### 3. エネルギーリテラシーを養う熱工学実験教育

##### 2・1 熱工学実験教育の考え方と具体策

基本的な考え方としては、まず「エネルギーとは何か」、「身近なエネルギーは量的にどれほどか」、「そのエネルギーをどのように利用しやすいエネルギーに変換できるのか」、原動機を例に「分解・組み立てを通じた機構学的構造」、「有効なエネルギー変換の工夫はどのようなか」、その際の「燃料種、燃焼形態、熱効率、CO<sub>2</sub> 排出量、サイクル論はどうか」などへ発展できるように構成した。したがって、エネルギー変換の基礎となる熱力学サイクルや原動機の正味熱効率ならびに燃料、燃焼、熱効率との関連については、同学年に行われる座学教科とタイミングを合わせて実験・実習のスケジュールを組むことで相乗効果を図った。学生に理解させたい筋は、「身近な燃料が内包するエネルギー量」、「化学エネルギーが燃焼により熱エネルギーに変わる」、動力発生機を経由した「燃料と出力の量的関係」、「その際のエネルギー変換効率」、さらに、航空機をはじめとする「輸送機械は原動機からの出力をどれほどの効率で推進

エネルギーに変換するか」という流れとなる。したがって実験・実習を通じて、分解・組立てなどの機構学的観点に加え、エネルギー変換ならびにエネルギー利用効率の観点を学習可能である。また、エネルギー源の密度、出力や効率の概念を直観的に捉えることや、我々がエネルギーを得る際のCO<sub>2</sub>排出の必然性と定量的な解釈に配慮した。

## 2・2 低学年次カリキュラム

低学年では身近な題材により、“エネルギーの量的なイメージ”を問いながら“エネルギーとはそもそも何を指したのか”実験装置や原理の学習を通じて感覚を養う。次にそのエネルギーをいかに有効に我々の生活に役立つ形態にして手にいれるかという順で、以下「Step 1」, 「Step 2」の実験テーマに取り組む。

### Step 1 燃料1gの発熱量の測定(燃料のエネルギー測定)

- ※ [クイズ] 1gのジェット燃料がもつエネルギーは電池何本分に相当するか?(実は何kcalかと同じ問い)
- ※ エネルギーとは何か
- ※ エネルギーの単位 (SI単位と工学単位)  
※ 航空工学テキストにcal等の工学単位が多く使われる
- ※ 電池1本のエネルギー  
例:  $1.2\text{ V} \times 1000\text{ mAh} = 1.2\text{ W} \times 3600\text{ s} = 4.3\text{ J}$   
1kcal(4.2kJ)は約電池1本分(4.3kJ)と理解すれば、エネルギー量のイメージがより身近になる。
- ※ 燃料1g燃焼時のO<sub>2</sub>量とH<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>排出量(量論係数)
- ※ ジェット燃料1gのエネルギー測定 熱量計を使用
  - ・ 熱量計の原理その1(燃焼と発熱,低位・高位発熱量)
  - ・ 熱量計の原理その2(水のエネルギー吸収と水温変化)
  - ・ 熱量計の原理その3(フーリエの法則と断熱の仕組み)
  - ・ 熱量計の校正(標準発熱物質により補正量を得る)
  - ・ ジェット燃料1gのエネルギー測定(発熱量測定)  
燃料は1gで電池10本  $\approx$  10kcalのエネルギーをもつ
- ※ Dulongの発熱量近似式による計算値と実測値の比較
- ※ 発熱量測定値の誤差要因と寄与率, 直接原因の推定

### Step 2 発熱エネルギーの有効利用(機械仕事への変換)

- ※ エンジンとは何をやるものだろうか?
- ※ エンジンの基本原理を考える前に
  - ・ 熱力学は人がエンジンを理解するためにできた
  - ・ 熱力学第1法則, 第2法則のエッセンス
  - ・ 熱力学法則からエンジンの基本原理を導いてみよう  
一学生が導きたいいくつかの図式を検証して1つ絞る
- ※ オットーサイクル(理論サイクル)と実際のサイクル
- ※ トルクとは  
ピストンの並進力を源とするクランク軸の回転力
- ※ トルク測定の原理\_ブローニーブレーキを例に
- ※ 出力の単位(機械エネルギーへの変換率・生成率)
- ※ 単気筒エンジン143ccの組立実習
- ※ 単気筒エンジン143ccの性能測定実験  
※ 熱効率の算出には Step1で実測した発熱量  $H\theta$  を使用

## 2・3 高学年次カリキュラム

低学年では物理, 化学, 熱力学など基礎的座学の学習進捗とタイミングを合わせてエネルギーリテラシーの下地を固めてゆくが, 高学年ではコースならではの専門的座学「航空工学」, 「推進工学」等と歩調を合わせ, 以下「Step 3」, 「Step 4」の実験テーマに取り組む。ステップが上がっても, カリキュラムで扱うエネルギーの重要パラメーター

は論理的に関連させてあり, 低学年から高学年へ一貫した論理構成でエネルギーリテラシーを養える。

### Step 3 エンジン軸出力の利用(プロペラ推力への変換)

- ※ エンジンが発生した出力はどのように利用される?
  - ・  $BHP = \text{比例係数 } k \times \text{吸気管圧 } MAP \times \text{回転数 } N$
- ※ 航空機の推進力に利用するには
  - ・ プロペラの理論 運動量理論と翼素理論
  - ・ プロペラ効率(推進効率)  $\eta_p$
  - ・ 機速が速くなるとブレードが失速して効率が急減
  - ・ 固定ピッチでは高効率の速度範囲は狭い 図5
- ※ 可変ピッチプロペラなら広い速度範囲で高効率
  - ・ 機速が速くなってもブレード角を変えて効率維持
- ※ 定速ガバナはブレード角を自動制御してくれる
  - ・ ブレード角が自動的に調整される仕組み
  - ・ プロペラの回転抵抗とエンジントルクの釣合い
  - ・ 機速増加時も翼素の迎え角は高揚力範囲に留まる
- ※ エンジン運転実習と実験(実機利用の教材)図6, 図7
  - ・ 実機同様のコックピット図7からエンジン始動体験
  - ・ スロットル操作による回転速度, 騒音の実感
  - ・ 性能線図により吸気圧力から軸出力を求める
  - ・ プロペラ回転速度と軸出力の関係をグラフ化
  - ・ 定速ガバナ作動時の吸気圧力と軸出力の関係
- ※ 燃料のエネルギーからプロペラの推力馬力まで
  - ・  $THP = \eta_p \times BHP = \eta_p \times \eta_e \times Q_{in}$
  - ・ 総合利用効率は  $\eta_p, \eta_e$  で決まる

### Step 4 ジェット推進への発展(ジェット推力への変換)

- ※ 燃料のエネルギーはどのように推力に変換される?  
作用-反作用, 運動量保存則
- ※ ジェットエンジンの燃焼は著しく空気過剰
- ※ プレイトンサイクル
  - ・ p-v線図, h-s線図, 理論熱効率
- ※ ガスジェネレーターを構成する圧縮機, 燃焼器, タービンの効率と仕事
- ※ 流体のエネルギーについて  
全圧と静圧, 全温と静温の使い分け
- ※ エンジン性能について  
理論熱効率と実機の熱効率, 推力と比推力  
燃料消費量と燃料消費率
- ※ 小型ジェットエンジンの分解・組立実習  
運転用と同一機材を用いた分解・組立, 構造理解
- ※ 小型ジェットエンジンの性能測定  
各要素の入り口と出口の全温・全圧計測,  
推力・燃料流量・空気流量の計測  
※ 燃焼器効率の算出には Step1 実測の発熱量  $H\theta$  を使用

## 3. まとめ

当コースには航空工学・ロケット工学に関する多くの専門科目, 航空技術スペシャリストの育成プログラムがあり, 本稿の熱工学実験教育は, それらの専門・応用科目等を習得する上で共通して必須となるエネルギーリテラシーを授ける役割を担っている。本稿がエネルギーリテラシー教育を議論する上で, 何らかの足掛かりとなれば幸いである。

## 文献

- (1) 棚沢 泰, 工学と技術の本質(1978), 養賢堂。
- (2) 航空力学 I, 改定第3版(2016), 日本航空技術協会