表５－２　数学・物理学・工学の連携の現状

科目	学習内容・到達目標	主要項目	工学分野との関連・応用例	数学との関連
力学	広義の力学は，力学と解析力学からなる．力学は，以下の3つに分類して階層的・積み上げ的な学習が必要である．(1)1質点の力学：質点の位置の時間変化に関する法則（運動法則）とその数学的な記述・解析（微積分法，ベクトル解析）に習熟すること．運動量，エネルギー，角運動量などの物理量の定義と意味を理解でき，その時間変化に関わる法則の誘導・応用ができること．(2)質点系及び連続体の力学：質点系全体としての運動法則及び運動量，角運動量などの諸量の時間変化に関わる法則の誘導・応用ができること．質点系の連続体近似式として，波動方程式を理解でき，その応用ができること．(3)剛体の力学：慣性モーメントなどの諸量に習熟し，剛体の運動方程式を使って剛体の運動を解析できること．解析力学は，量子力学を学ぶ上で不可欠であり，ラグランジュ形式とハミルトン形式による記述に習熟する必要がある．ラグランジュ関数やハミルトン関数で系の力学的状態の時間発展が記述できることを理解し，簡単な系での計算ができること．	(1)時間・質量・位置・速度・加速度・力の概念とそれらの関係（運動法則），(2)運動方程式（微分方程式）の解法，(3)運動量・角運動量・エネルギー保存則，(4)波動の表式と波動方程式，(5)剛体の運動方程式，(6)ラグランジュ及びハミルトンの方程式	力学は，物体の運動や力のつり合いに関係する工学分野において，その解析の基礎を提供している．力学の記述方法は微積分学であり，微積分学は因果関係を記述する学問体系であるという意味で，力学の記述方法（力学的自然観）は多くの自然科学・社会科学の基礎となっている．典型的な応用例に，機械工学（機械部品の運動性能の解析），材料力学（機械部品の強度や歪の解析），土木工学（橋梁，ダム等の強度や振動解析），建築工学（建物の強度や振動解析），地盤工学（地盤解析），スポーツ工学（器具の開発，スキーやゴルフの力学）がある．	微分積分法は古典力学の記述言語であり，ベクトル値関数の微分・積分は必要不可欠となる．運動方程式を解くことは微分方程式の初期値問題に相当する．その典型的な例として変数分離形や定数係数線形微分方程式の解法は必須である．質点系の力学や剛体の力学との関連では行列やテンソルの概念も必要である．また，現象記述という立場から偏微分の概念を身につけることは波動方程式や解析力学を理解するために有用である．
電磁気学	電荷間に働く力の法則（クーロンの法則），電流の間に働く力の法則，ファラデーの電磁誘導の法則などの実験法則が理解できること．また，それらが電場と磁場の概念の導入によって，より根本的・統一的に記述できることを理解すること．静電場・静磁場の空間分布に関する法則（ガウスの法則，ビオ・サバールの法則）を使って，簡単な系における電場や磁場の計算ができること．電場・磁場中の荷電粒子の運動が記述できること．電場や磁場の空間的分布及びその時間変化を記述するマックスウェルの方程式（積分形式及び微分形式）に習熟し，それから電磁波の波動方程式や光の屈折の法則などを導けること． また，これとは別に，現象論的法則（オームの法則，キルヒホッフの法則，ジュールの法則など）及び理論（交流理論，回路理論など）に習熟し，簡単な系での計算ができること．各種物理量（電場，磁場，電位，電流，電荷など）の定義と単位に習熟し，電磁現象の計算が正しくできること．	(1)クーロンの法則，(2)電場と電位の関係式(3)ガウスの法則，(4)ビオ・サバールの法則，(5)ローレンツ力，(6)マックスウェル方程式，(7)電磁物理量の定義とその単位，(8)電気・磁気に関する現象論的法則及び理論（キルヒホッフの法則，交流理論など）	電磁気学は，電気・磁気に関係する工学分野において，解析の基礎を提供している．電磁気学は「場の物理学」であり，「物の物理学」である力学と対照的である．その意味で，電磁気学の記述方法は力学と並んで重要であるが，微積分学で記述するという意味では，力学と同様に因果的記述方法である．典型的な応用例に電気工学（発電機やモーターの特性解析），電子工学（各種電子部品の性能解析），プラズマ工学（プラズマの時空間解析），通信工学（電磁波解析），計算機工学（デジタル信号解析），光学部品（レンズ，回折格子，光ファイバー等）の設計がある．	電磁気学の基礎原理であるマックスウェル方程式は，多変数の微分積分法であるベクトル解析の諸概念を用いて記述される．ガウスの発散定理やストークスの定理は，局所的な変化を寄せ集めれば大域的な変化になるという微分積分学の基本定理の1例にすぎない． 電気電子の集中定数回路の基本方程式はキルヒホッフの電流則（第一法則）と電圧法則（第二法則）またはそれらの等価表現，ならびに枝特性（素子特性）で記述され，枝特性の線形性や非線形性により，回路方程式は線形や非線形方程式となり，キャパシタやインダクタが含まれるとき，微分方程式で記述される．また，分布定数線路からなる回路の回路方程式は偏微分方程式で記述される．回路では線形代数学，微分方程式論，複素関数論，演算子法，数値解析が有用である．
熱学・統計力学	熱や温度に関するマクロな法則（熱力学第1，第2法則）を理解し，それを使って様々な熱力学現象（エンジン，エネルギー変換など）の解析ができること．熱力学諸量（温度，熱，エントロー，内部エネルギー，比熱，エンタルピーなど）の定義とその単位に関する事項に習熟して，熱力学的状態の変化を定量的に記述することができ，その数値の計算が正しくできること．可逆変化と非可逆変化の区別が理解でき，熱力学的諸量の変化は準静過程（可逆過程）で計算することを納得すること．準静過程の意味とその意義を認識できること． また，これとは別に，系の熱力学的状態やその変化を，系を構成する原子分子の運動学からミクロ的に説明する理論（分子運動論）やミクロ的な状態の出現確率から系のマクロ的物理量を計算する理論（統計力学）に習熟すること．力学の枠組みで，熱現象の多くが記述できることを納得し，その計算が正しくできること．	(1)熱力学第一，第二法則，(2)熱力学諸量（温度，熱，エントロー，内部エネルギー，比熱，エンタルピー），(3)可逆・不可逆変化，(4)カルノーサイクル，(5)熱機関，(5)分子運動論，(6)カノニカル分布，(7)状態和，(8)熱伝導，(9)拡散現象，(10)揺らぎ	熱学・統計力学は，熱や温度に関係する工学分野において，解析の基礎を提供している．巨視的・現象論的な解析では，熱力学で十分な場合が多いが，現象を微視的な立場から第一原理的に理解するためには，統計力学が有効である．統計力学は熱平衡状態のみならず，過渡現象や揺らぎをも解析の対象とすることができる．微積分学を使った因果的な記述のほかに確率論な記述が特徴的である．典型的な応用例は，内燃工学（エンジンの特性解析），化学工学（反応速度解析），原子力工学（エネルギー変換解析），物性工学（相転移，熱特性の解析）がある．	熱力学に現れる物理量は一般に多変数関数であり，力学や電磁気学と同様に基礎となる数学は微分積分学である．偏微分を扱うときは固定する独立変数の認識が特に重要であり，多変数関数の微小変化量を表す全微分の概念も必須である．熱伝導や拡散などの物理現象を理解するためには偏微分方程式や確率論も必要となる．
特殊相対論	運動を記述する座標系に絶対的なものがなく，すべての慣性系は対等であること（相対性原理）と光の速度が座標系に依存しないこと（光速の絶対性）からローレンツ変換式を導出できること．ローレンツ変換式から相対論的な速度の合成則を導出できること．ローレンツ変換式を使って，時間の遅れ，空間の収縮を計算でき，時空間の概念を相対論的に把握できること．その結果，相対論的効果を伴う現象（例えば宇宙線の寿命の増大など）を定量的に記述できること． 相対論的時空間は，絶対的時空間に基づくニュートン力学と矛盾するので，ローレンツ変換に対して共変性を有する相対論的力学の必要性を認識できること．相対論的力学の主要な関係式に習熟し，それを使って，簡単な事象（質量とエネルギーの変換など）の計算ができること．相対論的力学はニュートン力学を修正してつくられたものであること，従って，相対論的力学は，光速に対して十分小さい速度においては，ニュートン力学と一致することを数式的に理解できること．	(1)古典的な時間と空間の概念，(2)ガリレイ変換と特殊ローレンツ変換，(3)相対論的速度の合成則，(4)時間の遅れ，(5)空間の収縮，(6)ミンコフスキー空間，(7)相対論的力学の主要な関係式の導出とその応用，(8)4元形式による特殊相対性理論の表式	特殊相対論は，高速（光速に近い速度）で運動する粒子に関係する工学分野において，解析の基礎を提供している．典型的な応用例として，粒子線工学（中性子線，電子線，ポジトロンなどによる各種分析機器の設計），原子炉工学（炉内反応解析），宇宙工学（電離層解析），高エネルギー工学（核融合反応解析），各種加速器の設計・特性解析がある．	特殊相対論の初歩は特別な数学は必要とせず，中学生レベルの数学知識で，簡単に理解できる．がしかし，電磁気学との関連などより深い理解を得るためには偏微分や座標変換，テンソル解析などの数学が必要である．
量子力学	原子・分子・電子の挙動（黒体輻射，比熱，原子の安定性，原子スペクトル，光電効果など）の記述において，古典物理学（ニュートン力学，電磁気学）が破綻し，これらの実験事実を説明するために，様々な仮説（量子仮説）やモデル（ラザフォードモデル，ボーアモデル）が導入された歴史的経緯を把握し，その個々について，数式的な説明ができること．Einstein-Comptonの関係式をたよりに，自由粒子に関するシュレーディンガー方程式が導出できること．一般的な系におけるシュレーディンガー方程式の立て方及びその解（波動関数）の解釈（ボルンの確率解釈）・利用方法（物理量の期待値の計算法）に精通すること．シュレーディンガー方程式を使って，1次元箱形ポテンシャル，調和振動子，水素原子，Kronig-Pennyモデルなど比較的簡単な系の量子的挙動を解析できること．古典力学と量子力学の類似点（Ehrenfestの定理など）・相違点（不確定性原理など）の由来を数式的に把握でき，量子力学の理論体系と古典力学のそれとの関係が理解できること．	(1)黒体輻射と量子仮説，(2)原子スペクトルとボーアモデル，(3)光電効果と光量子仮説，(4)Einstein-Comptonの関係式，(5)シュレーディンガー方程式とボルンの確率解釈，(7)箱形ポテンシャル，調和振動子，水素原子 など簡単な系の量子力学的解析	量子力学は，光や粒子（電子，中性子，ポジトロンなど）と物質の相互作用や原子間・分子間相互作用に関係する工学分野において，解析の基礎を提供している．典型的な応用例として，半導体工学(電気特性解析），金属工学（電気特性・熱特性解析），化学工学（光化学反応解析，触媒反応解析），原子力工学(核反応解析），粒子線工学（粒子線と物質との反応解析），レーザー工学（レーザー発振解析），電子物性工学（光電特性，仕事関数，蛍光特性など各種電子物性解析）がある．	量子力学を記述する数学として複素数は不可欠である．そして，線形代数学は量子力学と密接な関係があり，特に固有値，固有ベクトル，正規直交基底，シュミットの直交化，エルミート行列の対角化などの概念を必要とする．関数空間における固有値問題を扱うフーリエ解析も有用な道具として利用される．シュレーディンガー方程式を解くためには，線形偏微分方程式の初期境界値問題の古典的解法である変数分離法が使われ，定数係数線形常微分方程式の解法も必須である．