

電気・機械の融合モデルで新たなイノベーションを！

コーディネーター 萩原一郎

昨今、文理融合、複合領域融合などと唄われているが、産業界もまさに複合領域融合の時代となっていることは、電気と機械の2つの動力源を有すハイブリッド車がイノベーションを起こしていることでも明白である。しかし、個々の学問が非常に細部に亘り専門分化した今日、異分野融合の困難さにも直面している。この困難さは、各分野にはそれぞれベースとなるモデルが存在し、それがその分野内では共通の言語となっているが、各分野で表現法が異なることも大いに関係する。同じ工学系でも電気系と機械系ですらお互いに理解が困難なケースも多い。

80年代後半以降、車の衝突解析の成功が契機となり各産業界でスーパーコンピュータが導入され、振動解析や熱流体解析などのCAE技術が実験に替わる有効な手段として急速に実用化され、本書の第4章で述べられる“モデルベース開発”時代が到来した。そのお陰で、現在、モデルチェンジ型の新車の開発期間は1年を切り、開発試作なしでいきなり量産試作に入るほどになった。ここに至ってCAD/CAMそしてCAEは、単にコンピュータ内に車のデジタルモックアップを作るだけでなく、その中で車を走らせることを可能にしたとって過言でない。しかし、最近では車に限らず様々な製品が機械、電気・電子、制御、ソフトウェアの融合人工物になり、機能や性能が格段に向上した一方で、品質保証や信頼性確保の面では却って困難さを増している。

現在、機械、電気・電子、制御、ソフトウェアの各分野で、高度・専門化した異なるモデルと異なるシミュレーション技術が用いられているが、本書によって、それぞれ独自に発展した領域にまたがる新しいモデリングとシミュレーションが、可能となることが期待される。

第1章の「力学の再構成」では、因果関係と対称性に関する表現の不完全さを補い、第2章の「電磁気学への入口」と違和感なく複合領域としてシミュレーションを可能とするアプローチへの準備段階として、基礎的な事項から丁寧に述べられている。この段階で、これら両者のギャップを無意識に避けながら対応してきた技術者にとって、大変魅力的な内容となっている。

力学と電磁気学の関連づけとして、弾性力学におけるニュートンの法則と対称・双対となる考え方を導入している。力と運動の世界における法則として、慣性と弾性、運動と力、力と速度（作用反作用）の因果関係と対称性を説明している。ニュートンの法則では、質量が主役で力が原因で運動が結果であるが、弾性が主役で運動が原因で力が結果となる立場から見た支配法則を提唱している。フックの法則を時間微分すると、力の変化が速度を支配することになる。この因果関係は、弾性の線形・非線形を問わず成立する。たとえば、一端を固定した弾性体の別の端部に力を与えると、弾性体の中を流れる力線に従って内力変動が生じて、内部に変形が生じる。拘束力に対する弾性体の内力と変位を保持する挙動を観察することになる。

これらの考え方に基づき、著者は力学的エネルギーの対称性に注目し、力学的エネルギーは、運動エネルギーと力のエネルギーがその対称・双対の関係のもと、均衡状態を保つ様に挙動を支配するとしてシミュレーションを行うことで、電磁気でのエネルギーの扱い

と複合的領域を形成することを目指している。ここで力のエネルギーは、従来から力学では位置エネルギーと言われていたものであり、より一般化するため、場には色々な因果関係と均衡する力が存在し、場のエネルギーは力エネルギーの形を取るものとしている。

各章とも具体的な事例を取り入れた例題も記載されており、これらを読むことで著者の主張する複合領域のシミュレーションに違和感なく入ることができ、電気系や機械系の専門家が、お互いになじみの薄い他の分野の理解のための入門書となるように配慮された内容となっている。

以下に改めて本書の要点を述べる。第1章では、力学の根幹を力と運動からエネルギーに移し、また力学全体に自然界の対称性が具現され、合わせて物理事象の閉じた因果関係が弾性体の力学に導入された。これにより、我々がものづくりに用いている古典力学を本来あるべき姿に再構成している。

第2章では、電磁気学における対称性と真空中の電磁波を表現するマクスウエルの方程式の2つの表について丁寧に説明していることから、機械系の読者にとっても違和感なく電磁気学に入り込めるよう配慮されている。

第3章では、「電気と機械の相似関係」が簡単なモデルを用いて例証されている。つまり、機械工学で基本的なマスー弾性（剛性の逆数）モデル、電気工学で基本的な静電容量—インダクタンスの回路モデル、のそれぞれ最も基本的なモデルを少し変えることで、電気系・機械系で同じモデル化法が得られ、お互いの風通しが良くなることが示されており、様々な部品のモデル化を手掛ける技術者、研究者にとって大いに参考になろう。

第4章では物理機能線図の概要が示されている。一般に機械は数多くの部品や部分構造から構成され、それら各々の局部機能が融合

されて全体の機能を実現している。そこで製品モデルは、局部機能と全体機能の両者を同時に視覚的に理解できるように階層化され、同位レベルの部品群の機能展開、上位レベルへの機能統合、下位レベルへの機能分解が可能であることが要求される。物理機能線図はこれらの要求を満足している

以上のように、本書では、電磁気学と機械力学との融合について示されたが、この延長には熱、流体、化学との融合があり、著者はすでにその研究に着手されている。さらにその先には文理融合の夢へと広がる。このような新しい、極めて有意義な視点から精力的に研究されている長松昌男先生の益々のご発展を祈念するとともに、多くの研究者・技術者が、本書によって、電気・機械の融合法を把握され、それぞれの業務に有効に利用され、この中から新たなイノベーションも起こされるよう祈念して筆を置きたい。