(8) 機械工学分野

① 機械工学分野のビジョン

18 世紀の産業革命以降の人類社会の近代化は、様々な機械システムの普及に依拠してきたといっても過言ではない。しかし、人口、資源･エネルギー、環境等の様々な地球規模で生じる問題が顕在化するのに伴い、人類の文明文化の均衡ある発展には、機械工学自体の拡充と多様な学問分野との学融合による総合的方法論の確立が必要不可欠となっている。一方、学術としての機械工学は、材料力学、熱力学、流体力学、並びに機械力学の基礎 4 力学を中心とした分析（アナリシス）と、設計と生産を中心にした総合、或いは統合（シンセシス）の学術コアから構成されるディシプリンに、様々な応用技術（人工物の科学）に関わる工学知を組み上げた立体構造を有する[9]。このような構造を有する機械工学は、「外部から与えられた資源（エネルギー、情報）を所要の機能に変形・変換する働きを有する機械に関わる自然科学とその設計に関わる科学から構成される学問」と定義されている[10]。今後、機械工学は個別学術分野の深化と拡張と共に、自然科学分野、さらには人文・社会科学分野をも包含する科学と技術の融合や協同を進め、先端・融合のフロンティア領域の開拓、機械の創造・利用、並びに人間・自然環境の持続性を可能とするハーモナイゼーションの学術の構築が目指すべき発展の目標となる。したがって機械工学は、多くの自然科学分野との密接な連関を有すると共に、人間生活や社会において基盤的知識・知恵となる学問であるため人文社会分野を含むあらゆる学術分野との協働が必要であり、その結果、多面的かつ総合的な発展の可能性を有している。

21 世紀の社会における機械工学のミッションは、科学の共通課題「社会のための科学・技術」への貢献であり、特に、「人と社会を支える機械工学」として、環境制約、資源制約のもとで、安心・安全で真に豊かさの感じられる持続的な社会を構築するための具体的な方策を提示することである[11]。すなわち、あらゆる生産・消費活動において、低炭素化に向かう流れを誘導せねばならず、機械工学は他の学術分野と広く協働して、目に見える具体的成果を継続的に生み出していく役割を有している。そのためには独自の科学・技術研究開発の優れた成果によってイノベーションを達成し、新たな産業を発展させ、国際社会へ我が国の優れた製品や知識を提供できるようにすることが求められる。すなわち機械工学は活力ある知識基盤社会を我が国に実現するための有用な学問分野である。こうした科学・技術駆動型イノベーションの創出において、機械工学の学術的、技術的な貢献が極めて重要である。

機械工学の学術的な役割は、それ自身の深化と同時に、基礎科学及び学際分野と連携して、社会から求められる技術や価値を創造するための基盤的な知の体系を築き、科学・技術駆動型イノベーション創出の原動力としての工学を実現することである。社会との関係で見れば、機械工学は、これまで高度な機能代替型の機械システムを普及させ、さらに近年、多様な知能代替型の機械システムを生み出している。今後、こ

れらの多様なものづくりの技術と産業を 21 世紀の地球社会にふさわしい持続性ある姿に転換し、人間の感情や感性、夢や希望にも応えられるような技術パラダイムを切り拓いていくことが機械工学に与えられた社会的役割であるといえる[8]。

こうした機械工学の役割を合理的に達成するためには、大学等の高等教育機関と産業界の各々の改革と共に、オープンイノベーションを指向したダイナミックな連携に基づく、戦略的研究開発体制の構築が必要である。そのためには、ビジョン駆動型、ビジョン牽引型、目的指向型の基盤研究を推進する必要があり、次世代の機械工学の研究開発を担う人材を確保、育成する教育体制の整備も必要である。

②　機械工学分野の夢ロードマップの考え方

学問領域である機械工学の構造特性に由来して、機械工学は対象を選ばず、広範な学及び技術の基盤を創造する役割を果たしている。さらに人間社会のための科学・技術の方向性を常に牽引しうる特性を有している。また、機械工学のディシプリンは、今なお科学としての学術的な飛躍と発展の可能性を有している。機械工学は、多様なスケールに及ぶ力学を基盤とした認識科学と、ものづくりや価値創造を先導する設計科学としての２つの機能を堅持しつつ、先進的な研究開発を持続することが課題である。一方、ものづくりのプロセスには社会の持続性との調和、それらを利用する人々との意思疎通が必要であり、ハーモナイゼーションとしての学術を取り込むことも重要である。また、先端・融合による機械工学フロンティアの開拓も重要なベクトルとなる[12]。それらの点を勘案して、機械工学分野のロードマップとして、機械工学分野全体と自動車工学の夢ロードマップを示す。

ア　機械工学分野の夢ロードマップ

広範な学術領域を含む機械工学の構造特性から、様々な切り口で夢ロードマップを描くことができる。ここに示すロードマップには、(ア)アナリシスの学術コアの進展、(イ）シンセシスの学術コアの進展、(ウ）ハーモナイゼーションの学術としての進展、(エ)先端・融合領域における機械工学フロンティアの開拓、の総計４つの軸に集約される方向性が明確に表れていることを確認できる。

（ア）　アナリシスの学術コア（認識科学としての機械工学）の進展

機械工学におけるアナリシスの学術基盤は、分析対象の本質に迫る力学体系により構成されているのが特徴である。例えば、固体の変形と破壊に関わる現象を取り扱う材料力学は、交通機器やエネルギー機器を始めとしてすべての機械の設計・製造や運用・保守等のための基盤学術であり、社会の安心・安全の向上に貢献する。今後も機器の設計に関する基盤である材料力学には、MEMS/NEMS や電子/光デバイスに関連した微小材料（マイクロ/ナノ・マテリアル）の強度や生体機能と関連した材料の微視的力学等、その学術的展開が期待される。そのためには、

分子動力学、量子力学、或いは生物学・医学等の知識との融合が必要である。また、宇宙や海洋等の極限環境下で使用される種々の材料の問題は、最先端の力学を必要とし、材料力学をさらに発展させていくことが期待される。

一方、流体力学は流れの本質を理解し、その挙動を予測し、制御するための学問として発達してきた。最近の流体力学の進展は、対象の時間・空間スケールの広がりと、新たな応用分野への展開の２点に集約される。例えば、数値解析手法の進歩と計算機性能の向上により、微細な乱流の渦運動の数値シミュレーションが可能となると共に、分子動力学を応用して、界面現象の解明や生体組織の理解が進んでいる。今後、相変化、化学反応、音の発生等、様々な物理・化学現象の解析と制御が進展することが期待される。一方、シンセシスを意図した研究の進展も期待される。例えば、高レイノルズ数乱流の直接数値シミュレーションから生み出される膨大な数値データから流れの本質的な機構を理解し、設計に有用な情報を抽出するための方法論の確立が重要となる。また、乱流渦を直接的な対象とした制御技術等の開発によって、例えば、航空機の騒音低減や高速車両の抵抗低減等の実現が期待される。そのためには、微小なセンサー、アクチュエータ等の要素研究開発や、非線形現象を対象とした制御手法の開発等がその成否の鍵を握っており、設計・制御工学との融合が重要な課題としてクローズアップされるものと考えられる。

熱伝導、ふく射等の熱輸送現象や化学反応、流体の熱物性、そして熱と仕事との変換過程を体系化した学術である熱工分野においては､相変化現象､界面現象、反応流や燃焼流等の未解明な現象も多く、これらの解明、予測、制御を主要な研究課題として、一層の発展が期待される。分子動力学法や量子力学計算の応用により、マイクロ・ナノスケールでの現象の解明や理解をもとに、マクロな現象の解明や予測が進展するものと期待される。これらの知見をマクロスケールの実際の機械の設計に組み入れる手法も重要である。例えば、乱れスケールによりはるかに小さい空間・時間スケールを有する燃焼流の予測や制御の手法の開発が望まれる。また、熱工学は、人間や機械に関わる事象の非線形散逸系としての状態変化にマクロ的な方向性を与える普遍的学理を提供するので、バイオエンジニアリングやナノテクノロジー等の新分野においても強力な学術基盤として機能することが期待される。

剛体の運動や振動を対象とした機械力学分野においても、その応用分野の拡大に伴い、弾性振動、熱・流体関連振動、自励振動、或いは非線形系の振動問題等、他の力学との連成解析が進展してきた。また、剛体運動やリンク機構を扱う機構学から発展したロボット工学、運動解析から発展した車両工学等、新たな工学分野の開拓に貢献してきた。この分野でもコンピュータ・シミュレーションの応用

が進んでいるが、特に、多体系の動力学解析（マルチボディ・ダイナミクス）の発展は著しく、最近では機械を構成する複雑な剛体の結び付きだけでなく、弾性体要素、流体要素、トライボロジーまで含め、シミュレーションモデルを生成し、高度な設計・開発のニーズに応えられるようになってきた。さらに、機械力学は姿勢制御、振動制御の基礎となっていることから、制御工学との結び付きも強く、電子工学や電気工学と融合したメカトロニクスの発展にも寄与してきた学術といえる。このように、機械力学は、今後とも他の基礎力学と共に発展を続けながら、シンセシスの学術コアとの有機的結合を先導する有用な力学として貢献することが期待される。

（イ） シンセシスの学術コア（設計科学としての機械工学）の進展

現象や特性の解明や分析に力点が置かれた学術コアの知見を活かして人間が必要とするものを創り出すための、シンセシスの学術コアの重要性は今後一層増していくと考えられる。一方、設計・生産・加工・計測・使用・廃棄・回収といった一連の「ものづくり分野」は、機械工学だけではなく、あらゆる学術分野の成果を統合し、新しいものを創造していくための学術の構築を目指している[13]。しかし、その多様性と知識の急速な拡大に対して、学術としての体系化は遅れている現況にある。ものづくり分野の学術の体系化にあたっては、自然に存在するものを活用して、人間が必要とするものを人為的に創り出すための普遍的な法則を導き出すと共に、説明・記述する学術基盤としての設計の科学を改めて問い直す努力が必要となろう。そのためには、作図、製図、CAD、CAM、CAT という積み上げ的に構築された方法論を脱却し、環境→顧客→製品→部材→加工→設計→材料という従来とは逆のプロセスからものづくりを分析し、全体プロセスを一体的にデジタル・エンジニアリング化する手法についても学術的に探求する必要がある。

機械工学とものづくりとは、これまで相互に強い影響を及ぼしあいながら発展してきた。今後、より密接な協働によって社会の要求に対応していく必要がある。すなわち、機械工学の原理・原則に基づいて構想される革新的な機械システムが、その生産プロセスやサービス形態までを含めて設計される。その一方で、精緻で巧みな製造技術によってそれらが忠実に創成され、その結果が直ちにフィードバックされるコンカレントな関係が実現されれば、シンセシスの学術コアが実現化技術（Enabling Technologies）としての役割を一層高めることができる。

（ウ） ハーモナイゼーションの学術としての進展

独特の構造を有する機械工学のディシプリンとものづくり科学を包含する機械工学には、今後さらに機械の創造・利用と人間・自然環境の持続性を可能とするハーモナイゼーションのための学術の確立が求められる。ここで「ものづくり」

という言葉には、製品の企画・構想から、開発、設計、生産計画、製造、使用、評価（市場における評価も含む)、廃棄、回収、再利用に至るすべてのプロセスが包含されている。産業革命以降、機械は主として産業側の視点から創造され、供給されてきたため、その供給者と使用者（受益者）の規範は必ずしも一致していない。しかし、機械は本来それを利用する人間に利便性と喜びを付与するものであることから、供給者と使用者の一体化した開発規範への転換が始まり、人間の感覚、知覚、環境と人間との仲立ちを支援するインターフェースとしての生活機械が求められるものと予想できる。例えば、機械工学に基づいて創成された機械や機械システムが人間社会の利便性供与と安全性確保にいかに貢献すべきかという問いかけに応えるサービス科学や安全科学、さらには自然環境との視点から製品ライフサイクル科学等が、社会にふさわしい機械やシステムの創造と利用をもたらすはずである。特に、ものづくり分野には、あらゆる面で持続可能な環境と社会との調和が求められており、これを推進するために、前述のように、まずは改めて学術的基盤を確立することが急務となっている。今後は、コスト、技術に加え、持続可能性、そしてものづくりを通じて提供するサービスを重視し、また、グローバル化・技術移転を視野に入れたものづくりを実現するための新たな学術が必要であると考えられる。さらには、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災を受けて、原子力発電設備等の大規模システムにおいて個々の専門知の隙間に弱点が存在していたことが明らかになり、それを克服するためには大規模システムに弱点が生じないようにシステム全体の信頼性を向上させる方法論の確立が求められている[14]。以上のことから、従来からの設計、製造関連の学術の進展に加えて、サービス、世界標準・規格、技術移転戦略、省エネルギー、環境調和、安全・安心等を視野に入れた学術が必要であり、これらすべてを包含する「ものづくり科学」、すなわち設計の科学の一分野として明確に位置づけ、機械工学をハーモナイゼーションの学術としても発展させることが重要である。

（エ） 先端・融合領域における機械工学フロンティアの開拓

機械工学の基盤的な学術コアやものづくり科学の発展性に加えて、先端領域、融合領域の学術分野を発展させていくことも機械工学の重要な役割である。そのような先端領域や融合領域の開拓の可能性は、無限である。例えば、新材料分野や熱流体分野の学融合による超高効率エネルギー変換、電力・燃料・情報ネットワーク融合による高度分散エネルギーシステムや新たな交通物流システム、電子・情報分野との融合による知能ロボット、生化学と MEMS の融合によるマイクロ生化学分析チップ、高性能計算機システムによるシミュレーション生産科学等、いずれも未来社会において豊かな生活環境や新たな価値を生み出す可能性を有するものである。

生命組織体の構造と機能を力学的な視点から捉えるバイオメカニクス分野では、これまで科学的に扱えなかった生物体を扱う固有の工学的方法論を生み出す可能性がある。それによって、生体システムの原理を工学的に理解し、生体機能をバイオ・医療以外の技術にも応用し、社会の多様な要請にも応えることが可能となる。また、コンピューター上に作られる生命システムを工学的に応用して、高度な自律分散性と柔軟な適応性を発揮可能なシステムを構築し、ロボット技術やマイクロマシンの発展に繋げることも期待される。生体医用機械工学では、医療機器や車椅子等の福祉機械だけではなく、先進の医用マイクロデバイスや先進ロボティクス等、「新しい概念の機械」が次々に開発されつつある。微小な遠隔操作ロボットハンドの駆動には、レーザートラッピングによる光エネルギーが使われることも考えられるが、レーザー光学や制御工学だけでなく、表面修飾による親水化や細胞生物学等、従来の機械工学の範疇を超えた知識とそれを駆使していくことが要請される。

以上のように、先端領域・融合領域分野における機械工学の展開には、これまでに構築された力学主体の学問分野を基盤としながらも、アナリシス及びシンセシスの学術コアに加え、ものづくり科学に軸足を置いた研究開発が必要である。すなわち、従来の力学だけにこだわることなく、絶えず異分野の学問領域を吸収しながら新しい技術目標や研究領域を持続的に作り出す挑戦が、これからの機械工学のさらなる発展の鍵を握っていると考えられる。その結果、機械工学の基盤的学術が創成され、さらに発展していくことになる。

イ　自動車工学の夢ロードマップ

広範な分野を含む機械工学分野において最も代表的な工学の１つである自動車工学を対象とした夢ロードマップを示す。自動車工学は、具体的なミッションである「人と社会を支える機械工学」の一分野として、機械工学を基盤として様々な周辺の学問分野を融合しながら発展し、現在に至っている。その内容には人間社会における合理的な移動・輸送手段を実現するための工学、或いはそれらを製造するための工学を含んでいる。自動車工学の将来ビジョンは、製品供給者である自動車メーカと製品利用者であるユーザーの両者の視点から描くことができるが、それらをここでは短期、中期、並びに長期に分けて示している。それら将来ビジョンの具体的な方向は、以下の(A)から(E)の５つに集約される。なお、具体的なビジョンの内容は、「②機械工学分野のロードマップ」で述べた４つの方向性にも対応していることから、両者の関係についても述べる。

（ア）　高齢化社会に対応する技術革新、新たなサービスの提供、輸送手段の開発の進展

自動車工学は、自由で安全に移動を楽しむことができるパーソナルモビリティから自動車・ネットワークの有機的な結合による新たな情報化社会の実現を目指している。短期ビジョンは、ハーモナイゼーションの学術としての進展、中長期ビジョンは先端・融合領域における機械工学フロンティアの開拓に含まれる。

（イ） 軽量化・高機能化・２酸化炭素排出量の削減に代表される地球環境の温暖化に対応する技術開発の進展

自動車車体やエンジンへの新素材の適用は、車体の軽量化やエンジンの高効率化に大きく貢献する。またインテリジェントでコンパクトな高効率生産システムの構築は、地球環境との調和を目指す生産手段を提供することになる。短中期ビジョンはシンセシスの学術コアの進展、長期ビジョンはハーモナイゼーションの学術としての進展と先端・融合領域における機械工学フロンティアの開拓に含まれる。

（ウ） 交通事故ゼロの実現を目指す安全・人間工学の体系化

プリクラッシュセーフティ等交通事故による歩行者・乗員の安全保護、総合的な安全運転支援システムの実現等社会におけるモビリティの安心・安全の実現を目指している。いずれの方向もハーモナイゼーションの学術としての進展に含まれる。

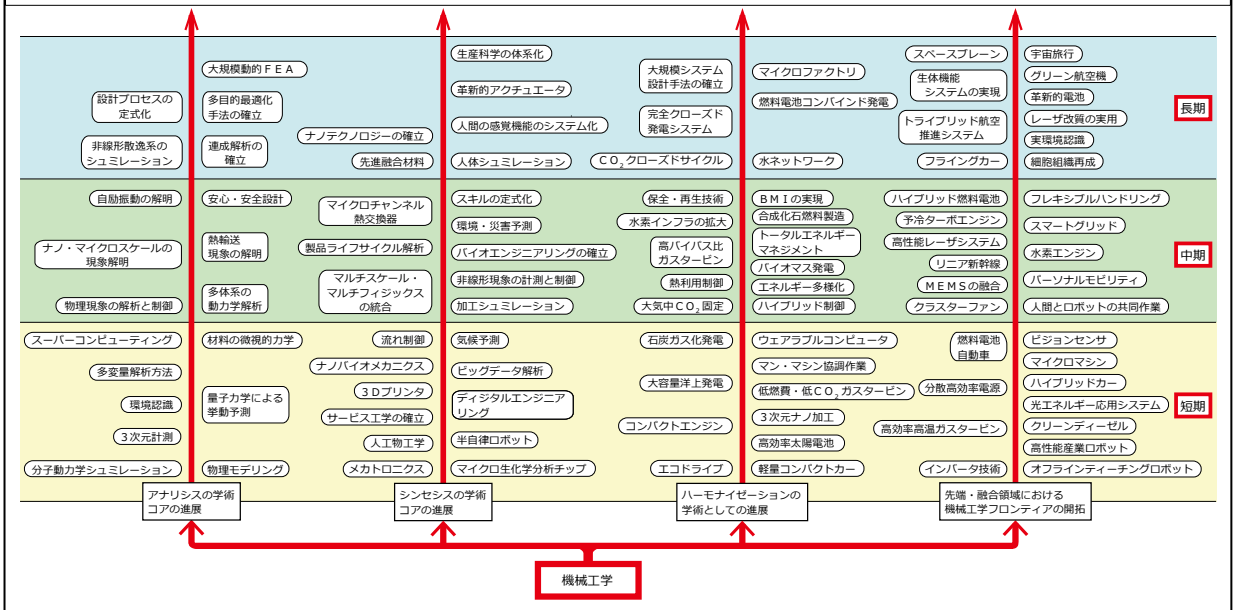
（エ） 新たな高性能の車両開発・車両運動の実現

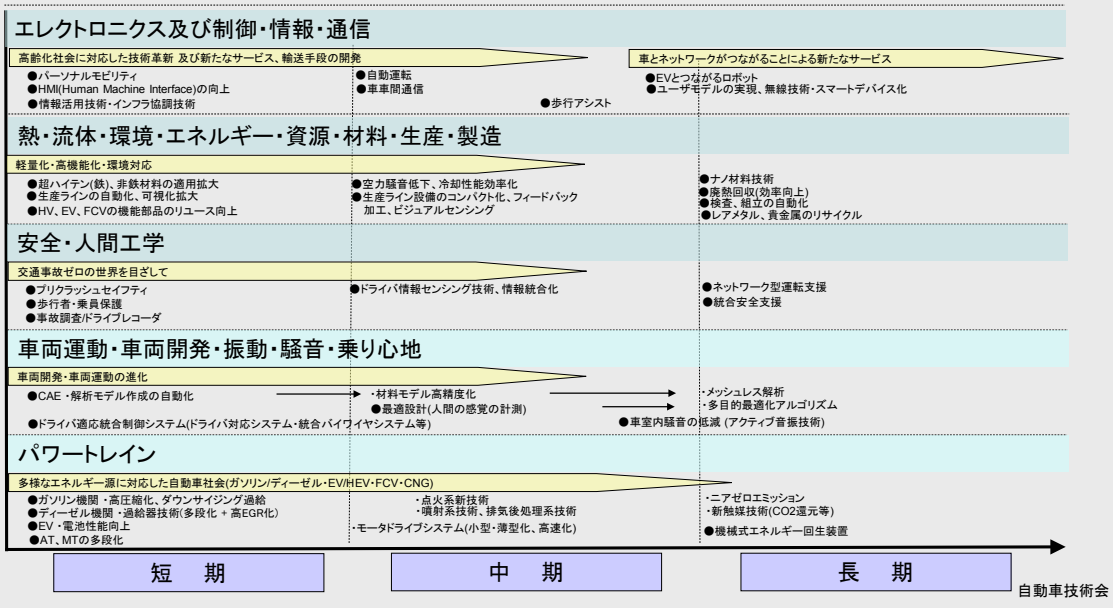
運転者適応統合制御システム、静粛化室内の実現といった革新的な車体を開発するため、解析モデルの自動生成、メッシュレス有限要素解析等「ものづくり」のシステム化の実現を目指している。短期から長期にわたる項目は、いずれもアナリシスの学術コアの進展とハーモナイゼーションの学術としての進展に含まれる。

（オ） 多様なエネルギー源に対応可能な自動車社会の実現

原油価格の高騰や地球環境の温暖化に合理的に対応するという観点から、高効率エンジン、革新的モータ、エネルギー回生デバイス等の実現を目指している。いずれの項目についてもものづくり科学の発展と新分野への展開が期待されることから、具体的な短期ビジョンは、シンセシスの学術コアの進展、中長期ビジョンは先端・融合領域における機械工学フロンティアの開拓に含まれる。

8　機械工学分野の夢ロードマップ



日本学術会議・機械工学委員会，日本機械学会

8-1　自動車工学分野の夢ロードマップ