

機械の素から思索の素における2次元図と3次元図の関連性

平野 重雄 Shigeo HIRANO 喜瀬 晋 Susumu KISE 関口 相三 Sozo SEKIGUCHI
奥坂 一也 Kazuya OKUSAKA 荒木 勉 Tsutomu ARAKI

概要:設計の初期に設計者が悩むのは、設計者としての経験とバランス感覚に基づいて判断する要素である。経験豊富な設計者にとって、そのような要因は何の障害にもならない。しかし、若手設計者がそれらの要素をいくら考えても、解決策にたどり着くことが出来ないことが多い。新しい機械をつくるには機構の知識が必要になる。また、設計の感性を養うことも大切である。ここでの設計の感性とは、機構に関する広範な知識と経験の組み合わせに基づいて、不必要な複雑性を持たせることなく、バランスの取れた動きと力を組み込む能力を指す。本報は、新製品の設計を進める上で、さまざまな機構を素早く発想出来る基本的な考え方などを若手設計者が有効に活用出来る内容について検討した。また、学習の実践例を紹介する研修教材を新たに開発した過程とその成果について述べる。

キーワード:設計・製図教育／機構設計／創造的なプロセスのトレーニング方法と教材／2次元図と3次元図

1. はじめに

ある機能を果たす機構を考えると、機構の創案は、求めている機構の動きに対して、その運動を実現可能な機構やその組み合わせを知識の中から探していく作業であり、直感的に解が求まることが多い。

これは、機構の解はひとつとは限らず、機構そのものを数式化して処理することも難しいからである。直感的に解が出るためには、多くの事例の知識が必要である。似たような動きをする機構を連想、考究することで、新たな機構案が出てくるのである。

新しい機械をつくろうと思えば、機構の知識が必要になる。さらに、よりよい機械をつくるには設計の感性が必要不可欠である。ここで設計の感性とは、無理・無駄のない動きと力の働き方のバランスを全面的に組み込む能力であり、それは機構に対する知識の広さと経験から生まれるものである。

本論は、機械設計の基盤となる設計法の中の機構を再確認し、若手設計者が機構設計を行う際、特に新たな製品設計を進めていくうえで十分に対応できる内容、例えば、いろいろな機構が速やかに創案できる基本的な考え方、そして実際例を提示し学ぶことができる教材の開発を行った。

研究内容は、①機構学と動くメカニズム、②設計は機構

の組み合わせの創造作業、③機構設計者としての技術スキル向上について、④2次元図と3次元図の関連性を明確にする教材の開発とその成果について考究している。

2. 機構学と動くメカニズム

機械設計の内容、方法について分類すると、車のボディやフレームなど動きのないものを設計するのが構造設計(製品の外装を設計するのが筐体設計)である。

駆動部やロボットのアームなど動きのあるものなどを設計するのが機構設計といえる。自動車のボディ設計(構造設計)では、製品の強度や流体の流れを考慮して設計する。また、駆動部の設計(機構設計)ではモーターのギア比や軸にかかる荷重計算が必要になる。

機械設計に必要なスキルは、構造設計では、材料力学・熱力学・流体力学・機械力学に加えて、製品のデザインや操作性(持ちやすさや使いやすさ)を考慮する必要がある。

動きのあるものを設計する機構設計では、力学の知識に加えて、電気設計やプログラムの知識が必要になる。したがって、単純に各部品の構造を理解するだけでは不十分で、どういう状況でどういう動作をするかをきちんと理解しておく必要がある。

機構学は、機械装置を構成するメカニズムのことで、機械部品の実際の形状、材質および伝達される力には、直接関係せずに、構成する要素の動作を系統立て、要素の組み合わせから得られる運動(相対運動)を学ぶ、機械工学の一分野である。

メカニズムの歴史は、紀元前より実用されており、多くの先人のアイデアが引き継がれてきた^[1]。それは、メカニズムが理解できなければ、設計はおろか機械装置の運転もままならないからである。言わば、機械の基礎である。

具体的な説明をすると、設計目標である対象が決まると、まず対象に必要な動きが想定される。次に、その動きをどのようなメカニズムで対応するかがポイントとなる。このポイントが機構学であり、このときのメカニズムは数種類以上考えられるであろう。そして、複数の選択肢から最適なひとつを選ぶために、動きを構成する要素の単純なもの、必要な力を満足する機構、最もエネルギーの少ない機構、精密さ、動力源の数などから決定することになる。

3. 設計は機構の組み合わせの創作物業^{[1],[2]}

ものづくりは日本(人)の得意とするところである。人に喜びを与える行為のひとつでもある。ただし、ものづくりと言っても、現代では創造性を発揮した新製品や高い技術の改良製品をつくらなくては生き延びることはできない。

日常、何らかの困難や予期しなかった問題に直面し、それらを何らかの方法で切り抜けている。このとき自分で気づかずに小さな創造を行っている。現在生きているということは、その創造が成功している証である。その無意識に行われている創造的行為を、少々系統立てて考察してみる。

新聞や雑誌を読んでいると「イノベーション(技術革新)」という言葉をよく目にする。創造性を発揮してイノベーションを起こす。時代の流れに乗るには大事なことだと思う半面、自分は創造性などとは無縁だから難しいことだなとも感じる事があろう。

創造性と聞くと、誰も考えつかないような画期的なアイデアを生み出すといったイメージを持つ。辞書には、「既存のアイデアやルール、パターン、関係性、そのようなものを乗り越える能力。また、意味のある新しいアイデアや形式、方法、解釈を作ること」などと書いてある。そのためには、常にポジティブに物事を捉え、柔軟な発想力を持たなければならない。

3.1. 創造はひらめきではない

第1の目的は、企業、科学、工学、芸術、いずれにおいても創造性とは、既に存在する2つまたはそれ以上のものを新しく組み合わせること。創造とは、生活上の問題で実は誰でも経験しているはずだからである。そして、創造が必要であるということは、困難に直面し突破口を探さなければならないことでもある。

第2の目的は、よく言われる「ひらめき」とは、問題を必死に考えた後、全く別のことをしているとときに起きるのである。無から起きるのではない。

3.2. 創造とは

創造によって新製品をつくるといっても、全くの無から新製品を設計・生産すべしと言うのではない。ここで、創造の定義をはっきりさせなければならない。

創造、革新の重要性が多くの識者によって叫ばれているにも関わらず、創造、革新とは具体的にどうすればよいかについては詳しく論じられていない。それは、創造の定義を明確に理解していないからである。

多くの人が考える「新製品とは無から有が生ずることによって生まれるもの」という固定観念をまず打ち破らなくてはならない。新製品とは、「2つまたはそれ以上の、既に存在する製品を組み合わせること」なのである。すなわち「統合」

することである。

実際、全くの無の状態から新しく発明された新製品は極めて少ない。家にある新製品を見るだけでも分かるはずだが、例えば、携帯電話などもみな既製のモノの組み合わせである。全く新しい製品を見つけることは至難である。

創造とは、既に存在する2つ、または、それ以上のモノを統合することなのである。創造は無から突然生まれるものではない。既知の事実を統合することである。

3.3. 創造の面白さは、組み合わせの「妙」にある

ものの見方や考え方は、設計するときも頻繁に使われる。例えば、企業でも成功している事実から固定概念が生まれ、古くなりつつあるものの見方や考え方のように時代の変化や顧客の要求に疎くなり、後進の会社に追われ、競争に敗れ、消滅していくものが少なくない。固定概念から脱出することは容易ではないのである。

古い確立された一組の事実を打ち壊し、新しい組み合わせを確立することによって、古いものの見方や考え方から見ると、とんでもない組み合わせを、とんでもある組み合わせにすることである。組み合わせにはいろいろあるであろう。かなめは、組み合わせる努力が必要なのである。

天然資源の少ない日本が生き残れる唯一の方法は、ソフトを含め、その頭脳によって今まで考えられなかった製品を既製品と組み合わせる競争に勝っていくことである。

世界の科学・工学をリードし得るため、若い人材を育成するためには、固定概念にとらわれず、また単に流行を追わない独自の創造が生まれる環境をつくるのが最も大切である。つまるところ、諸問題を注意深く観察し、事実を統合することによって、世の中で起きていることが系統立てて分かってくる。

3.4. ものづくりにおける構想設計の重要性

製造メーカーが成功する革新的な製品を開発する能力は、多くの場合、新しいアイデアやコンセプトを育み、具体化し、発展させて新製品をつくりあげる能力にかかっている。設計者が複数の代替設計案の作成と検討に時間をかけることができる企業は、それができない企業より一歩先を行っている。

構想を練るという工程は、設計全体の上流に位置しており、構想の出来、不出来で後工程の品質・コスト・納期に大きく影響する。では構想設計で考えることは何であろうか。

例えば、①全体のコンセプトをどう展開するか。②レイアウトはどのようにするか。③全体のデザインはどのようにするか。④どんな機構を使うか。⑤駆動系は何を使うか。⑥制御系は何を使うか。⑦コストターゲットにどう合わせるか。など、多様な事柄を考えながら、段々とイメージを固めていく。

この構想を練る作業でどのようにアイデア出すかが問題になる。

3.5. 紙と鉛筆でポンチ絵を描く

構想設計は、紙と鉛筆で練ることを勧める。自分の頭の中にしっかりとアウトラインのイメージが固まるまで、何枚も紙に描くことである。いかに3次元CADが便利とはいえ、考えた案を即座に鉛筆で紙に描いていくスピードにはかなわないのである。

そのようなときは、各部分が絵画的に分析され、スケッチされていれば、そのアウトラインのおかげで、イメージをまとめあげることができ、図面の細部をすべて記憶しようと努力する必要がなくなる。

鉛筆の角度を自然に制御させ、思い通りにならない線を描いては消し、消しては描くという作業を繰り返すことで、存在と非存在、充足と空虚などの間で矛盾する要素をたえず混合させながら、いつしか融合するときを待つ。まるで生きているかのような線により、アイデアがアイデアをよぶ環境が構築され、線は無限のひろがりを見せ、不本意に引いた線が新たな線をよび、より斬新なアイデアを牽引する仕組みができあがる。描かれた図を評価し、さらに修正を加えていくことで、最終的に理想のイメージにたどりつくのである。

手描きと3次元CADは、設計や製図に対する考え方は同じであっても、役割において、ある部分は混ざり合い、ある部分では乖離している。アナログにはアナログの良さがあり、デジタルにはデジタルの良さがある。

ポンチ絵は、3次元CADのようにきれいに描く必要はない。こまかな面取り形状や加工の工夫は、詳細設計でCADの画面上で実現させればよい。そして、機能検証あるいは構造検証で使用したポンチ絵は、立派な技術構想書(図)であり、次世代機種の構想設計の有効な資料として使えるのである。

4. 機構設計者としての技術スキル向上について

若手設計者と新入社員の技術教育で明らかになったことは次の項目である。

- ① 広い工学知識はあるが、真の基礎知識が欠けている。
- ② 実践的設計に結びつく、体験教育がなされていない。
- ③ 機械材料・各種工作法の知識が不足している。
- ④ メカニズムの構築ができない。

どのような製品でも、機能が増えると中身が複雑になる。また、分野の異なる技術を組み合わせる機会も増加する。これらを総合して製品全体での複雑さが高まる。そして内容が複雑になるほど指数的に設計の難しさは増し、成功の確

率は下がることになる。

このような状況では、設計の内容を把握する技術が求められる。例えば、

- ① 構成している各部の整合性は確保されているか。
- ② 全体の構成は妥当か。
- ③ 安全確保やリカバリー機能が、適切に組み込まれているか。

いろいろな視点から設計内容を把握する必要がある。そうしなければ、設計の質を高く保てないからである。これらを踏まえて創造力と設計技術のスキルアップを図らなければならない。その内容は次の項目が挙げられる。

1) 設計の作業をより広く捉える。

設計という言葉からは、計算しながら図面を描く、試作したものを実験して測定するなど実際の作業が思い浮かぶ。確かに狭い意味で捉えた設計だとそのような作業が中心となる。しかし、ある程度以上に複雑なものを設計すること。さらに、設計の質を高める場合には、設計の作業をより広く捉える必要がある。

2) 設計の手順を遵守する。

実際の設計を分析すると、どんな条件を満たすものをつくるべきかという、設計に求められる条件を最初に規定する。設計途中での評価は、不適切な設計の防止に直接役立つ。また、使用後の評価は、長い目で見たときに設計の質を向上するために貢献できる。

3) 設計者の自主性も重要

設計という作業は、管理と相反する性質を持つ。設計者にはある程度の自由を保障しながら、目標や条件を規定することで、設計の大枠や方向を示さなければならない。各設計者には、自主性を促しその範囲内で最大限の力を発揮してもらう。これが現実的で最善の方法である。

5. 2次元図と3次元図の関連性を明確にする教材の開発とその成果

5.1. 業務フローを体験する教材^{2),3)}

知識偏重脳を実作業脳へ移行するひと工夫が必要である。そこで、自ら観察し・考え・判断し・責任を持ってアウトプットするという当たり前の業務フローを体験させる教材を開発した。

◇機械系の実践型課題

機械系の実践型課題のひとつで、筆アール(呼称)の「ばらし」という課題である。この装置は文字を描くために3軸(XYZ)構成された構造で、XY 軸はステッピングモータとボールねじ駆動、Z 軸はプッシュプルソレノイドを装備している。この筆アールの組立図と現物を提供

し部品図をフリーハンドで描く課題である。機械系では当たり前の内容ではあるが、基礎能力のひとつに「図面を読む、図面を描く」があり、図面情報から形状を頭で認識してフリーハンドで紙にアウトプットする作業である。目で見た情報を図面という表現方法でアウトプットする作業である。

◇図面が描けない

仕組みを理解出来ていないと図面は描けない。なんとなく解るでは理解出来たことにはならない。機械製図法を知っていても図面の読み描きが出来なくては本末転倒である。自転車の構造は理解しているが自転車に乗れないようなものである。記憶型学習で得た知識だけでは解答は出来ない。

◇達成感・充実感

人は自分の能力でそれなりに物事を解決すると達成感を感じ、それがひとつの自信となり、充実感を得る。それを足掛りにして次のステップに進むことが出来る。まさしくこれが狙いである。

◇レクチャーにも工夫

レクチャーにも工夫をしており、解答を朱色で修正し、教えずにヒントを与えながら、誤りの種類と数だけを指摘するだけで、あとは自分で解決させることにしている。よって、お互いに粘り強い作業となる。

◇図面の評価

図面の評価は、その図面でモノを製作して、要求機能を満たす製品が出来あがるかどうかであり、若手設計者や新入社員が自分自身で考えたストーリーで公差や表面性状や表面処理を決定していれば合格としている。要するに図面にその人の意志が盛り込まれているか無いかである。解答が出来ても、その答えが説明出来ない場合は理解出来ていないということになる。

5.2. 新たな教材(思索の素)の開発

身の回りにある機械は、各種機構の「しくみ」と、そのしくみの組み合わせによって動いている。機械を設計する上では、そのしくみと特性を十分に理解する必要がある。

機構の事例は、機構学に関連する書籍「メカニズムの事典」^[4]を参考にして、2次元図を全て3次元図に置き換え、機構の仕組みを理解できるように教材開発を行った。

「メカニズムの事典」の原典は、東京工業大学名誉教授浅川権八先生のご著書で、1912年(明治45年)初版発行の名著「機械の素」の改題・縮刷版である。工学系エンジニアのバイブルといえる「機械の素」は、情勢によるいくつかの出版社の変転と改訂、新編、改題を経て復刊し、明治から令

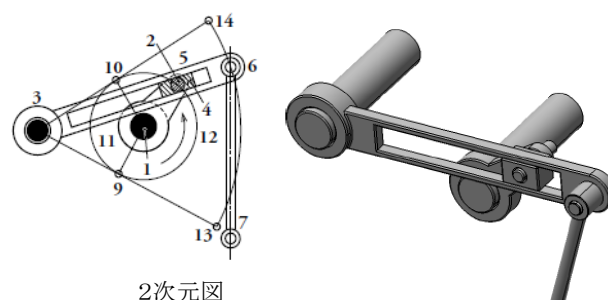
和へ続く書として愛読されている。

そこで、「メカニズムの事典」に掲載の機構の数々から着想を得て、当代に適合した機構を厳選し、3次元画像を製作し、製品設計に必要な各種機械要素・機構を「2次元図」と「3次元モデリング図」を同一ページ上に展開して、学習者がその「しくみ」をより具体的な形で「見てわかる」ように構成・解説を加えた。

製造現場におけるコスト削減のなかで、センサやアクチュエータなど、電力にたよらない「メカ」を見直す動きもあり、一方で生活環境の変化から、実物の機械に触れた経験のない学生も増え、2次元の図から3次元の実物をイメージすることが難しい(その逆も)との声が多く聞かれている。

何より専門性と総合性がともに味わえること、学べることであり、言い換えれば、深くて広いということである。しかも古きを踏まえ、新しきも取り込み統合されていることでもある。さらに、いま知られていると思われることが、将来のより優れた考えの素になるかも知れないという知識力と思考力が育成されることに繋がることになると考えている。

その一例を図1(概要、作動原理、使用例を含む)と図2～図5(2次元図と3次元図のみ)に示す。

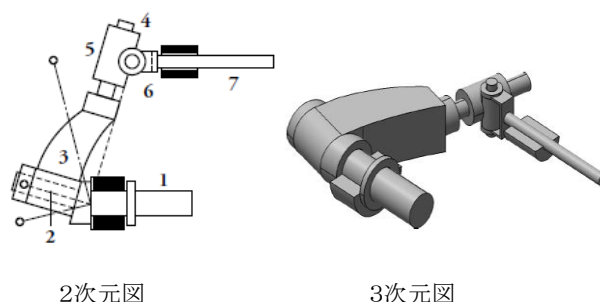


2次元図

3次元図

概要 ウィットウォースの早戻り機構と呼ばれる。
作動原理 クランク (1, 2) の1回転は、腕 (アーム) 3, 6 に1揺動を与える。クランクピン2が優弧 (9, 12, 10) を運動する間に、腕5は (13, 6, 14) の弧を運動して、劣弧 (10, 11, 9) を運動する間に、腕5は (14, 6, 13) の弧を運動する。揺動スライダ機構 (スイングングブロックリンクージ) とも呼ばれる。
使用例 形削り盤などに応用される。

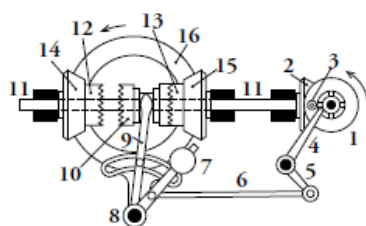
図1 早戻り機構



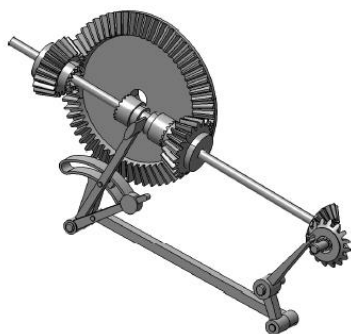
2次元図

3次元図

図2 斜軸クランクとスライダ

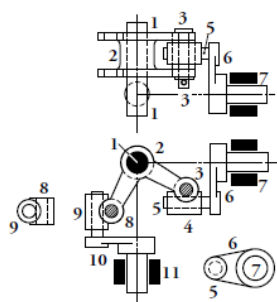


2次元図

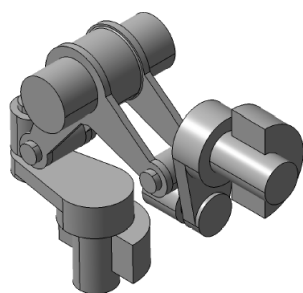


3次元図

図3 自動逆転機構

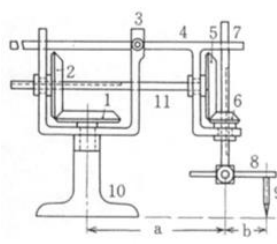


2次元図

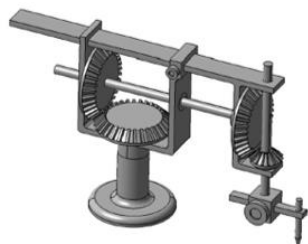


3次元図

図4 ヒチコック継手



2次元図



3次元図

図5 だ円製図器

5.3. 教材活用の成果

設計業務にはじめて携わる段階でよく悩むことのひとつに、設計者の経験やバランス感覚で決定する事柄についてである。経験者にとっては当たり前のことが若手設計者にとっては、いくら考えても解らない、非常に素朴な疑問となっている^[5]。

このように設計を進める中で規格や論理的な計算で定められないことが多くある。これらの素直な疑問には、例えば

引用し簡単に答えることを心掛けている。彼らから「なるほど」という言葉が出たら、ひとつの知識を習得し消化したことを考えている。

教材を活用することにより次の成果が挙げられる。

- ①設計プロセス(トータルフローチャート)手順を理解することができる。
- ②設計=ものづくりを意識して、問題を解決する場合のプロセスを体験する(構想設計とポンチ絵)。
- ③ごく自然にメカニズムを理解する(投影図と立体図)。
- ④適正な材料の選択が行える(新素材の適用実例)。
- ⑤工作法(つくり方)を考えることができる。
- ⑥実際に存在している諸装置を簡潔に設計できる。

現在も試行の段階であり確たる成果は得られていないが、設計のスタンスと設計物に対する考え方などに前向きな変化があることも、受講後に実施したアンケート調査から明らかになった。

5.4. 技術研修(社員教育)担当者の評価

製作途中の教材の一部(機構の解説を含む2次元図と3次元図の図例30図)を産業機械、車両機器、工作機械などの企業20社で機械系の新入社員の技術研修担当の方々に「教材の有用性の評価」をお願いした^[5]。

詳細事項は省略するが、次のような意見をいただいた。

◇機構の2次元図とその3次元図が的確で、共感できるものがあり、新入社員の教育の一部として使わせていただきたい(5社)。

◇若手設計者を教育していく上で、良い教材と思っております(6社)。

◇全体的に内容に共感することが多く、若い人や同僚に伝えます(4社)。

◇新入社員教育(技術研修)向けに活用させていただきます(6社)。

◇若手社員のレベルアップを図ると共に、技術伝承を行う過程において、有用であると判断します(2社)。

6. おわりに

考え、苦闘することで無限の知恵が生み出されるのであれば、アイデアを生み出し、それをラフに描くことが設計の本質である。これらのステップを踏まなければ、機械設計手順を改善することはできない。

具体的な部品構成のアイデアが示されると、各機構のメリット・デメリットが明確になるため、いくつかの候補の中から最適な機構を選択することが容易になる。製品の品質に大きく影響する機構がある場合、設計者はその機構を先に設計し、その機構に合わせて周辺部品を

設計することを好む傾向がある。

さらに、若い設計者は図面が理解できない(読めない、描けない)と言われている。本報の提案が若い設計者にとって役立つことを願っている。

参考文献

- [1]平野重雄, 関口相三, モノ創り&ものづくり-アイデアから具現化まで, コロナ社. (2007).
- [2]Shigeo Hirano, Susumu Kise, Sozo, Sekiguchi, Kazuya Okusaka and Tsutomu Araki, “Consideration of Importance of Conceptual Design”, *Proc.17th ICGG(2016)*.
- [3]喜瀬 晋, 平野重雄, “企業における新入社員研修の事例(テクニカルスキルとヒューマンスキルについて)”日本設計工学会. 設計工学, Vol.60, (2019),163-169.
- [4]伊藤 茂, メカニズムの事典, オーム社. (1983).
- [5]Shigeo Hirano, Susumu Kise, Sozo, Sekiguchi, Kazuya Okusaka and Tsutomu Araki, “Training Methods for Young Designers in Mechanism Design and Development of Training Materials”, *Proc.21th ICGG (2024)*.

著者紹介

ひらの しげお:東京都市大学名誉教授,
株式会社アルトナー,
〒261-0012 千葉県千葉市美浜区磯辺3-44-5,
rs4775hirano@ybb.ne.jp
きせ すすむ:株式会社アルトナー,
〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18
kise@artner.co.jp
せきぐち そうぞう:株式会社アルトナー,
〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18
おくさか かずや:株式会社アルトナー,
〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-18
あらき つとむ:筑波技術大学名誉教授,
〒376-0011 群馬県桐生市相生町5丁目44-26