

# 卒業製作にみる機械設計教育の課題に関する一考察

京都職業能力開発短期大学校

長嶋喜一郎

Educational Problems on Mechanical Design Found through Special Study for Graduation

Kiichiro NAGASHIMA

## 要約

本文は、卒業製作を指導した経験に基づいて、初心者あるいは経験の浅い技術者が犯しやすい機械設計に関する初歩的なトラブルを考察分析し、教育上配慮すべき諸点を論及したものである。すなわち、ここではトラブルを空間的理解の不足、機械の機能に対する理解不足、計算上の不備、設計上の工夫不足、製図の基本に対する理解不足、製作工程に対する配慮不足ならびに間に合わせの対策等に基因するものに分類できることを示し、実践教育的立場からその対策を論じている。

## 1 はじめに

生産現場においては、生産技術の差がそのまま製品の優劣として現れるため、現場技術者にとっては、卓越した製作技術はもとより、それに至る作業、すなわち設計・製図・製作に至る一貫した技術の錬磨が重要視されるようになってきている。こうした技術の習熟には、豊富な経験と知識の蓄積が欠かせないため、多くの企業では、これまで個人的、あるいは企業内教育の形での技術獲得研修が積極的に実施されてきている。教育訓練の現場でも、このようなニーズの動向に呼応すべく、基礎的な素養の充実に努めているが、一方においてゆとりある生活をという社会の要望もあって時間的な制約がかなり厳しくなりつつあり、さらに効果的な教育の展開が望まれるようになってきている。

こうした社会のニーズを考慮するとき、多くの短大で採用している卒業製作は、学生が、設計から製作に至る過程のすべてを理解し、その実践技術を習得する上で、極めて価値ある教育方式かと考えられる。すなわち多くの学生にとっては、比較的身近な課題を対象として機械の構想から製作までの、一貫した作業を実践的に経験できることで、設計の具体的なイメージが高められることになるから、効果的な設計教育の一方

法と考えられる。

しかしながら、学生は一般に初心者クラスであり、経験も浅いこともあって、実際の卒業製作に際してはいくつかのトラブルに遭遇することが多い。このトラブルは、比較的単純なものから、既成の設計教育のあり方を考えさせられるものまで、かなり多岐にわたっている。ここでは、卒業製作実施時に発生した設計上のトラブルを分類し、分析するとともに、これを基に解決の方法論を模索検討した結果を報告する。

## II 学生に提示する参考資料

著者が関与した卒業製作は、機械システム（機械）に関するものが多い。これらを設計するためには、機構や強度の計算式を記述した資料<sup>(1)(2)</sup>や、設計に関する文献のほか、機械システムの設計予備知識として、構想からまとめまでの一連の作業を分かりやすく説明した資料<sup>(3)(4)</sup>も必要になる。しかし、初心者が、システムを概観できる適切な参考書は少ないようなので、学生には以下の簡単な資料1～3を用意して提供することとしている。ただこれらの資料は、初心者が一人で扱える範囲の設計を想定し、機械の大枠から詳細に向かって、段階的に設計が進むように構成されているが、個々の具体的な計算処理や作業の細目について

は必ずしもうまく対応しているとはいえない難い面も残されている。

1. 資料1：設計作業の一般的な流れ

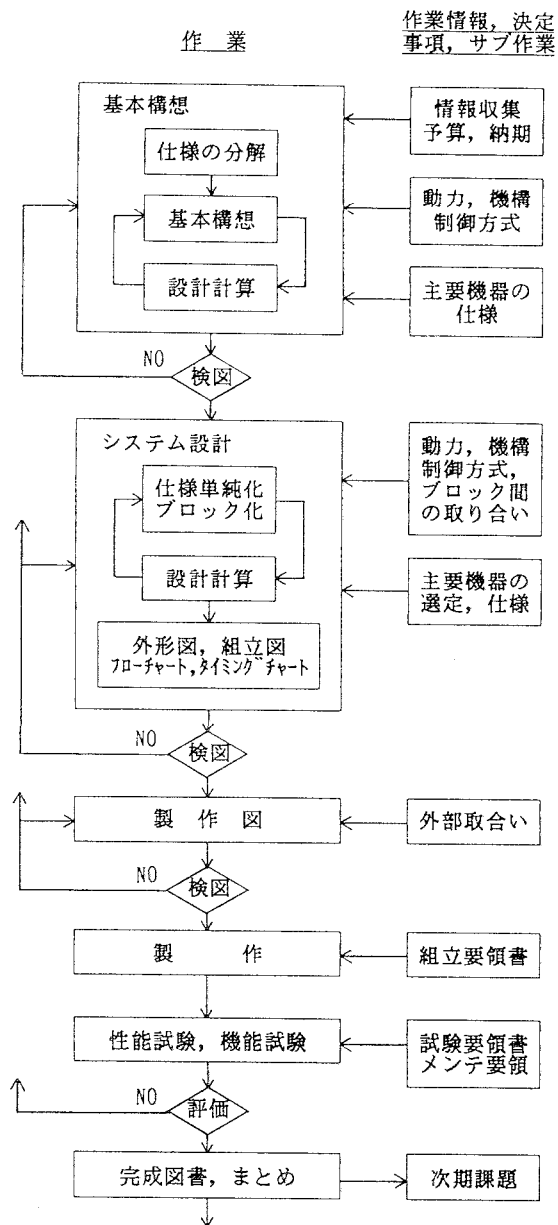


図1 設計作業の一般的な流れ

図1は、設計作業の一般的な流れを示したものである。

機械の新規開発を想定して、仕様の解釈、概念設計、製作図面からまとめまでを体系的に記録した資料<sup>6)</sup>で、どの時期に何を検討し、どのような作業を実行するか、の全体的な設計の流れが分かるようになっている。したがってこの手順に従って進めば、設計する機械の基本的な概観が構成できることになる。

2. 資料2：機能別部位ごとに確認すべきこと

機械を構成する機能別部位（ブロック）が具備すべき内容を、機能、性能、操作性など、12項目に分けて

提示されている。また、合理的な設計の着想法などについても付記している。

3. 資料3：経験的知見リスト

購入品のチェック項目、卒業製作等で得た知見の羅列的なリストなどである。

III 発生したトラブル

設計作業の各工程で発生したトラブルは、以下の7項目にまとめられる。また、製作作業も含めたトラブルの項目別発生状況はおおむね表1に示すようである。これらは、著者が、過去4年間に指導した7テーマ(16人)の卒業製作から収録したものである。

表1 トラブルの分類と主な発生部位

トラブルの分類項目		主な発生部位	割合%
1	空間の把握・設営	立体的運動部, 安全対策	8
2	機能の分離・独立	取替部品, 付属部品	11
3	設計計算	フレーム, 付属部品	11
4	設計の仕方・工夫	加工部位, 接合部位	15
5	製 図	寸法・指示標記, 組立図	28
6	工 程	構想, 製作, 手直し工程	6
7	トラブル対策作業	原因の調査・究明不足	9
製作等の作業		加工作業, 手順, 調整	12

以下各項目に発生したトラブルのいくつかを紹介する。

1. 空間の把握・設営に関すること

図2は、部品が干渉する例で、同一平面の構成部品が干渉する形になっている。設計平面が複数になると、平面関係が混乱し空間的な部品構成ができない、あるいは、部品の運動が空間的に把握されていないこともある。また、単一平面要素（部品）は図面にできるが、組立図は描けない。

2. 機能の分離独立に関すること

改造や修理には部分的な脱着や、機能別に一定のまとまりとして分解することが必要であるが、できない設計になっていることがある。

3. 設計計算に関すること

的確な計算をしていないために起こる問題として、構造上必要な部材が抜けるとか、機械を運転すると架台がゆがむなど不十分な設計がある。これには設計変更、手直しが必要になる。また計算の不備で購入部品が使えないとか、多様な部品を買って間に合わせるなどのトラブルもあった。このような学生は、計算結果

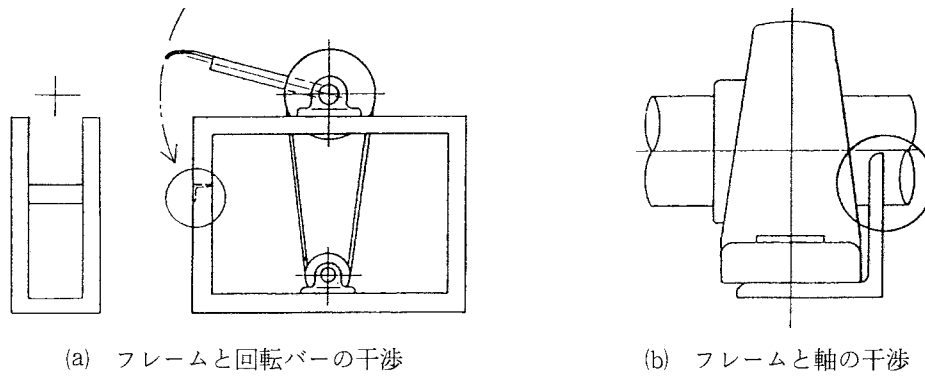


図2 空間の理解不足に関するトラブル例

の判断や改善策を指導者に期待し、自発的に計算することを避ける傾向にある。

#### 4. 設計の仕方・工夫に関すること

図3は、方法や手順の変更で製作時間の短縮が見込める設計例で、この種のものでは簡単な工夫を施すことにより各種作業の精度が飛躍的に上がることが多い。また板厚などに標準的な市販寸法が考慮されない例や、常識では考えられない市販品の使い方をする例もあった。

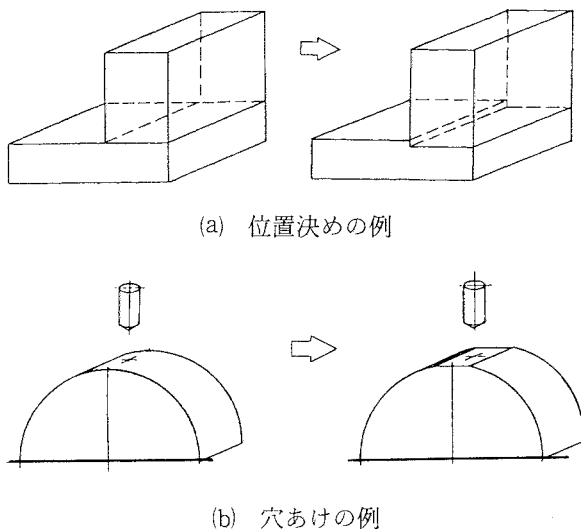


図3 簡単な工夫で実現できる設計改善例

#### 5. 製図に関すること

図4は、勘合部に面取り加工が示されていない例を示す。誤解を生みやすい図面の例としては、一寸法に基準面が2カ所ある、とりあえず入れやすいところに寸法を記入した、形鋼の寸法にマイクロオーダーが記入されている、段付き軸の接合面が直角になっている、などがある。

面取り加工指示がされていない軸

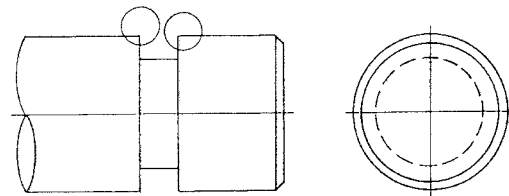


図4 製図の不備に関するトラブル例

#### 6. 工程に関すること

一般的に、卒業製作には、工程に手直しなどの予備の時間が計画されていない場合が多く、工程の終期になるほど濃密なスケジュールをこなさざるを得なくなるのが通例である。工程は、製作部品の仕上がり時期、購入部品の納期などを勘案集約して設定されていくが、学生は、図面通りに部品ができ、正確で忠実に動くことと安易に考える傾向にあるため、トラブルへの対策が遅れた例もある。また購入部品の納期が間に合わなかったなどのトラブルもある。

#### 7. トラブル対策の仕方に関すること

一般に、トラブル対策に際し、原因の究明より先に小手先で対処する傾向があり、不具合が再発することも起こる。

### IV 分析と対策

#### 1. 教育環境の現状

学生を取り巻く教育環境としては、カリキュラム、教育方法、指導体制、設計支援環境等が考えられる。しかし、これらのうち設計指導の観点から特に重要なものは、生産技術科のカリキュラムであろう。すなわち、これが設計技術者の養成にうまく対応できているかどうかという点である。このため、トラブルの分析、対策の検討と同様に、教育環境の現状が評価される必要

がある。

これについての詳細な議論は、別の機会に行いたいと考えているので、ここでは、本校の場合を例にしてこれを巨視的に眺めると表2のようである。

これを見ると、機械技術者を育成するコアとしての基礎的な設計・製図の分野、および製作の分野が各40%、支援技術としてのメカトロニクス、制御関連学科が20%配置されており、そのバランスは比較的よいように思われる。次に機械システム系（生産技術科、制御技術科）の指導体制は、各分野数名の教官が配置され、また設計参考資料などの図書やCADシステムの支援環境についても充実しているといえる。

表2 設計製作関連科目の分野と割合

分野	関連科目	割合%
設計学	要素設計, 機械設計, システム設計 材料力学, 機構学, 機械力学ほか	20
製図	基礎製図, 機械製図, CAD演習ほか	20
製作	機械加工学, 数値制御, 機械加工実習, 金属加工実習ほか	40
制御関連	電気電子工学, 制御工学, シーケンス制御実習, メカトロニクス実習ほか	20

## 2. 分析と対策

いうまでもなく図5に示したように、機械の製作は、設計者が3次元の機械を発想し、2次元の図面に替える。これを製作者が3次元の実体に戻す作業である。この過程に多くのトラブルを生む余地がある。

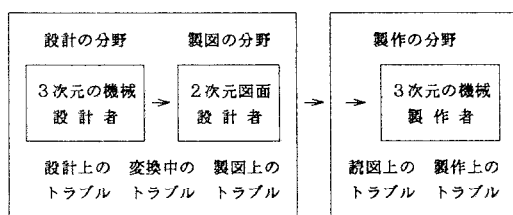


図5 トラブルの発生過程

製作過程の作業面からみて、予想されるトラブルの大部分は、以下の2分野に集約されるように思われる。すなわち、一つは機能、性能、強度など機械の構造を計画する設計学的な分野と、これを図示するための製図の分野、いま一つは、手際よい工作手順や方法を考える製作的な分野である。1個の製品が完結していくには、これらが滞ることなく実施できることが必要で、図6に見られるように、機械の高級化に伴い密接になってくる。この意味では、機械とは前述の2分野が調和して織りなした総合的な作品ということになる。こ

の完成度は、設計者が各分野でしてきた経験、熟達度に依存するところが大きい。

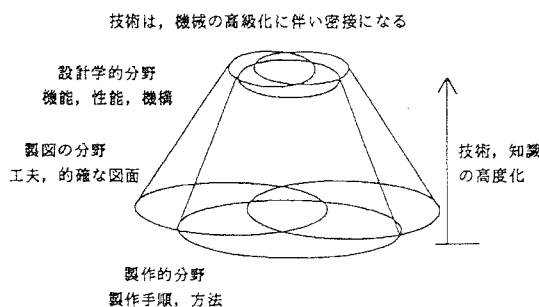


図6 機械の高級化と各分野の関係

こうした観点から、いま一度表1のトラブル発生状況を見ると、製作的な分野で発生するトラブルは、分類項目別発生割合では中位にあるが、設計過程から発生するトラブル全体と比較すると少ないことが分かる。これは、前者は具体的な方法で体験し、その結果をリアルタイムで確認できることで教育内容の理解が促進されるのに対し、後者は実際的な検証ができていくことに原因があるように思われる。

この視点からみると、設計力を育成するためには、以下の課題を充実することが必要になる。

- (1) III - 1、III - 2 項の空間設定と機能別部位の分離独立は、設計者が創造性を発揮するとか、機械を構造化する上で避けられない基本的な事項であり、また、目的を持つ部品群をまとめる意味で重要である。このまとめには、単に経験ばかりではなく、試行錯誤的な検討やチャレンジが必要になる。また、いかにおおまかな設計で目的を達成するかを考究するには、思い切った工夫や発想の転換も必要になる。

学生は、機械を構成する各部品が、どのような状態で空間を占有し合っているか、またどのような状態で動いているかという、空間的な把握ができること、ならびに把握した具体的な機構を2次元の図面に表すこと、の訓練ができていない状態にあると判断できる。

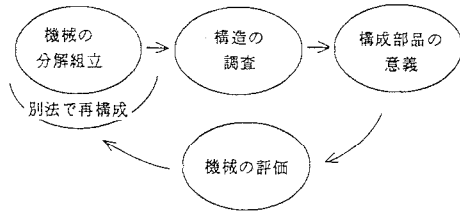
これは、機械にさわるとか観察した経験が少ないため、空間的なイメージがまとまりにくいことに原因があるように思われる。

この対策として、図7に示した2通りの方法が考えられる。

一つは、既存の機械を徹底的に分解し分析調査する方法である。まず機械を分解組立して構造を知り、次に構成している部品それぞれの存在意義を明確にする。さらに、なぜこの方法で機能が実

現されているのかを検討する。結果として、これとは別の方法を考案し、再構成してみることである。

その1



その2

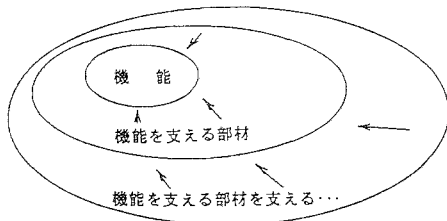


図7 設計方向向上のための具体的な方法例

いま一つは、設計する機械の最も重要な機能を司る部品に、1個づつ必要な部品を加えていく方法で、機械の全体を立体化して試みることである。

両方法とも、なんとか動く程度の機械になるまでには、部品の空間的な位置や、機械の運動を繰り返し再構成することが必要になる。できればさらに別の方法を考案する。このように機械を最適化する訓練ができるほど、設計技術の飛躍的な向上が期待される。

さらにこれらの実績を踏まえて、少数の部品で構成され、誰もがよく知っている機械をモデルに組立図を作成し、実際に作ってみることであろう。

(2) Ⅲ - 3、Ⅲ - 4 項は、設計の高級化に伴い、重視、勘案される事項であって、比較的検討範囲が狭く、理解しやすい。

Ⅲ - 3 項の、実際の設計計算は、演習で行う練習問題のように、課題が整理されていて一定のやり方で求まるものばかりではない。このため、計算式の導出や公式の適用に自信が持てないことが考えられる。しかし実際の設計では、計算上のトラブルは制御系で対応する、構造材で補強する等で、修正が可能になる場合も少なくない。したがって、概算でよいからまめに計算を実行し、自信をつけることである。計算ミスは、その原因を整理し次の機会に反映すればよい。

Ⅲ - 4 項は、作業の工夫、時間の短縮、常識的な使用方法など、作業効率に関わる事項で、充実し

た設計をするため、知っていると便利な知識である。どうしても、一つの方法が見つければ、これ以上に合理的な方法を模索することはせず、まずこれを実行することになりがちである。

この(2)は、経験数に比例して飛躍的に向上することが見込める技術で、この対策は(1)に通じることであるが、完成された機構を自分が設計し直す観点で観察する、良い設計はノートに記録する等であろう。

(3) Ⅲ - 5、Ⅲ - 6 項は、比較的簡単な指摘で理解される事項である。

Ⅲ - 5 項は、自分の描いた図面を用いて自分自身が加工することに原因がある。すなわち、自分に判断できる程度の図面で不自由しないため、図面を完成する意識が低いことに起因している。これには、互いに図面を交換して製作する、基準面、重要な寸法、意味のある寸法などを互いに検図するなど、分からない点を指摘し合えばよい。

Ⅲ - 6 項は、卒業製作を始めた時点では、具体的な失敗の経験がないのでやむを得ないことであるが、設計開始から完成までの一連の体験をすることで、その必要性が理解される。なお、実施してきた設計作業を余すところなく文書に記録することは、別の設計者に伝達する手段としても重要な作業で、工程期間中に完了すべき事項である。

(4) Ⅲ - 7 項は、問題の発見、解決力に関する事項である。設計者は、どうしても一度した設計にとらわれる傾向にある。一定の制約の下で、原因と結果を分析しつつ最適な対策を検討し、実施してきた設計の弱点を考え直すという、難しい事項を含んでいる。この意味では、設計技術の向上に重要な役割を果たすものと思われる。

トラブルの発見と解決に指針を与えてくれるのは、自分がした設計行動に対し、明確に理由づけできることで、大きくは機能別部位に対して、また小さくは個々の部品に至るまで機会あるごとに習慣づけることが重要である。良い設計かどうかは別にして、設計のすべての特徴が理解されると、トラブルの原因が明確になり、その対策が自明になるからである。

以上7項目について対策を検討したが、大項目の(2)、(3)は現在教育され、一定の成果が挙がっている分野である。これによって設計補助者の役割を担うことができるようになり、現場技術者に欠かせない能力である。しかし、卒業製作のトラブルに見られたように、設計

のストーリーを描くにはどうしても(1)、(4)の育成が必要であり、具体的な対策を例示したところである。今後は、設計教育の比重を(1)、(4)へシフトしていくことも必要になろう。

結果として、技術者には、①設計する機械の運動が理解でき、空間の設営ができること、②目的の機構構成を実現するため、設計、製図、製作の技術全般を理解し、適切な処置ができること、また、③発生したトラブルの原因と解決策を順序立てて究明できること、が必要であると理解される。また教育訓練の効果を上げるには、これを獲得させるための精選された教育的な環境が準備されなければならないことが分かる。

しかし、これらの課題は、いずれも経験を積むことで解決する場合が多い。卒業製作のよいところは、誰もが自由な発想で、失敗を恐れることなく、思う存分やってみることができるという点にある。教育として設定されにくい(1)、(4)の項目にチャレンジできるよい機会でもある。失敗の経験は、将来的に見て大きな財産になり、結果はあまり問題にすべきでないと考えられる。

## V おわりに

ここで取り上げたトラブルは、数点の卒業製作から収録したものである。これらは、設計作業を困難にしているすべてではないが、多岐にわたり、重要な示唆を含むと思われる。従って、これから得られた知見の有効活用は、一層充実した設計教育の実現に役立つものと確信している。

この分析結果から、設計力を向上させる最も重要な資質は、自らの考えで実践できる能力であること、重点的に教育すべきことは、システム構成力の育成にあることが分った。また、この実践力を支える周辺知識の獲得には、体験的な検証によって結果の確認が行える方法が有効であるといえる。

この点からすると、CADによる設計教育は、重要なトラブルの一つである3次元の検証に有効であるし、シミュレーションも可能で、設計力を育成する強力な支援となるばかりか、設計ミスや機構などの修正が容易になることも期待され、その充実が望まれるところである。

ここに取り上げた方法は、決して特別なものではない。教育関係者やそのグループは、大なり小なり同様な試みをし、また研鑽を続けていることと思う。許容できる範囲の結果が実現できないとすれば、別の改善策を検討しなければならないし、また抜本的な対策が

必要になる。綿密な分析を進めて行く中では、仕上がり像に整合する訓練内容の洗い直しが必要になるかも知れない。

## 参考文献

- (1) 例えば、大西、機械設計製図便覧(第7版)、理工学社、1993年
- (2) 例えば、日本規格協会、機械システム設計便覧、1986年
- (3) 畑村、実際の設計、日刊工業、1990年
- (4) 伊藤、新しい機械設計法、日刊工業、1991年
- (5) 長嶋、機械システムの設計手順例、実践教育、6-1、1991年、p20-23