

# 第 1 章

## 手戻りのない設計プロセス

本章では、手戻りのない設計の進め方を 3 ステップに分けて説明する。3DCAD を使うから特別なプロセスが必要だ、ということではない。何らかの設計課題を解決する方法として、ベテラン設計者なら普通の業務で実行していることを整理して明確にしたものだ。

構造・機構設計と 3DCAD に焦点をあてて説明しているが、他の設計分野や設計以外の業務にも応用できると考えている。

# 1.1 設計にはプロセスがある

設計とは「何らかの目的を実現するために、具体的な手段や方法を考え、全体を統合しながら課題を解決していく作業」である。これは全ての機械や製品に共通であり、

(Step-1) 仕様の明確化：機械や製品に求められる条件や機能を定義する

(Step-2) 機能の具現化：仕様を満たす具体的な構造や機構を考える

(Step-3) 設計検証：仕様に対する検証で、必要に応じて具現化の内容を見直すというプロセスをたどる。

ここでひとくちに「設計」と呼んでいるが、**実務では白紙の状態から設計する「新規設計」と、既存の機械や製品をひな形として、部分的な機能を追加・変更するだけの「流用設計」という2種類の設計が存在する。**どのような企業でも、毎回のように新規に設計しているわけではなく、日々の業務は多くが流用設計だろう。

本書では主として新規設計のプロセスを扱っている。流用設計を軽視するということではなく、新規設計の進め方を理解していれば、流用設計でも手戻りを発生させないような進め方ができるということだ。反対に、流用設計しか経験したことがない設計者は、新規設計の進め方を理解できないことが多い。同じように設計者と呼ばれていても、両者の間には大きな差があるので、本書をきっかけに、ぜひ新規設計のプロセスを身に付けてほしい。

## 1.1.1 新規設計と流用設計

新規設計であれ流用設計であれ、基本的な設計プロセスは変わらない。両者の違いは、流用設計の場合、大部分が「従来の機械や製品と同じ」であるということだ。2種類の設計を図1-1で比較しながら、ステップ毎に進め方を説明していこう。

### Step-1 仕様の明確化

仕様の明確化とは、機械や製品の使用場面を想定したうえで、設計課題を解決するための条件や機能を定義する段階である。定義した条件や機能については、誤解や曖昧さが生じないように、**目標を数値化しておくことが重要だ。**仕様が曖昧なまま具現化のステップに進むと、設計検証の可否が判定できないので、結果的に無意味な構造や機構を作ってしまう。

流用設計では仕様の大部分が従来の機械や製品と同じである。とはいえ、追加・変更する部分の構造や機構にだけ注力するのではなく、それらが従来の仕様に影響を及ぼすのではないか、という確認を忘れてはいけない。

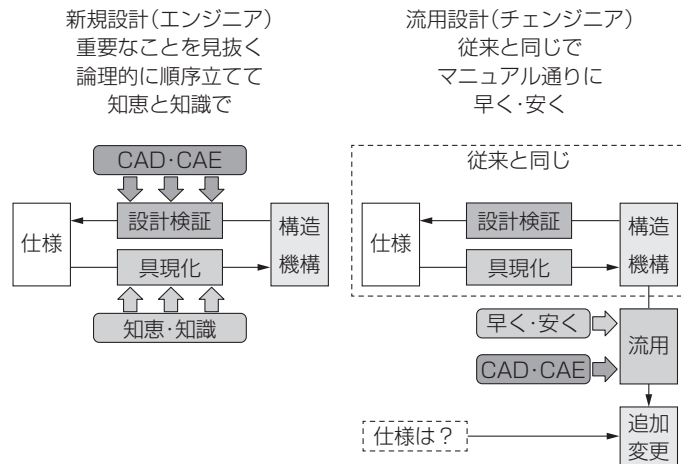


図 1-1 新規設計と流用設計のプロセス

## Step-2 機能の具現化（構想設計・基本設計・詳細設計）

機能の具現化は狭い意味での「設計」と呼ばれている工程である。仕様を満たすアイデアを抽出しながら、具体的な構造や機構を考えていく（構想設計）。その際は、思いついた部分から具現化してはいけない。**機械や製品の全体構成から機能別に分類・系統化し、個々の部品へと具現化を進める。**

新規設計は前例も少ないので、重要なことを見抜きながら論理的に順序立てて考えていく。その過程では、多くの知恵と知識が必要である。流用設計でも追加・変更する機能に関する仕様は存在しているので、部分的とはいえ具現化については同じことだ。

しかし、流用設計に慣れてしまうと、「従来と同じで」「マニュアル通りに」「早く・安く」を優先するあまり、仕様を軽視したコピー＆ペーストの設計になりがちである。一度や二度であれば、運よく問題が発覚しないかもしれない。だからといって何度もコピー＆ペーストを繰り返せば、元の仕様との乖離が大きくなり、深刻な事故へと繋がることもある。

## Step-3 設計検証

設計検証は、具現化した構造や機構が仕様で決めた条件や機能を満たしているか、具現化の内容を見直す工程である。仕様が存在しない構造や機構は合否の判断ができないので、仕様の決定からやり直すような手戻りが発生するので注意が必要だ。

開発期間が同じであれば、3DCADやCAEなどのツールを使用すると、手作業の計算や実験よりも検証回数を増やすことができる。その結果、設計結果の精度が向上する、あるいは手戻りが少なくなる、という理屈だ。3DCADやCAEを導入しただけで、設計の手戻りがなくなるわけではない。

構想設計から基本設計、詳細設計へは、(Step-2) 機能の具現化と (Step-3) 設計検証を何度も繰り返しながら、構造や機構を詳細に詰めていく。これは新規設計でも流用設計でも同じであり、3DCAD や CAE は設計検証を効率的に行うためのツールとして活用してほしい。

本書冒頭「はじめに」にも記載した「3DCAD を導入してはみたけれど…」と感ずるのは、3DCAD を単に形を作るだけのモデリングツールとして使っている結果なのかもしれない。せっかく導入した（導入する）のであれば、設計プロセスを見直したうえで、設計検証ツールとして活用してほしい。そうすれば、新規設計でも流用設計でも有効に利用できるはずだ。

### 1.1.2 3DCAD 活用自己診断シート

自身が 3DCAD を効果的に活用できているかどうかは表 1-1 でチェックしてほしい。この「3DCAD 活用自己診断シート」は、実際に筆者がコンサルティングなどで使用しているものである。企業から問い合わせや相談を受けた際、直接の打ち合わせやヒアリングが距離的・時間的に難しい場合は、事前に自己診断していただく。

表 1-1 3DCAD 活用自己診断シート

分類	itm	内 容	Y e s	対 象 外	N o
モデ リ ン グ	m01	回転コマンドを使うことが多い。			
	m02	ソリッド（ボス、突き出し、パッド）やカット（切り抜き、ポケット）などの 2D スケッチに時間がかかる。			
	m03	ソリッド（ボス、突き出し、パッド）やカット（切り抜き、ポケット）などの 2D スケッチを定義するのが難しい。			
	m04	実際に加工する手順に従ってモデリングしている。			
	m05	作成したモデルの形状や寸法を変更するとエラーになることが多い。			
	m06	形状や寸法を変更してエラーになったら、削除して作り直すことが多い。			
	m07	板金部品の作成には板金専用コマンド（シートメタル）を使っている。			
	m08	意匠デザイン図面の指示どおりにモデリングしている。			
	m09	意匠デザイン形状をモデリングするのにラウンド（フィレット、丸みづけ）を使っている。			
	m10	ラウンド（フィレット、丸みづけ）の半径 R が次第に「0」となるような意匠形状の指定に徐変（可変）を使っている。			
	m11	シェル（側壁）で薄肉化できないことが多い。			
	m12	部品点数の多いアセンブリが呼び出せない、呼び出すのに時間がかかる。			
	m13	類似部品をファミリーテーブル（コンフィグレーション、パーツのファミリー）で作成している。			

## 1.1 設計にはプロセスがある

	m14	モデリングの際、他の部品から一部または全部の形状をコピー（外部参照、ジオメトリコピー）することが多い。			
	m15	3D モデルを完成させてから、2D 図面を作成している。			
	m16	2D 図面の作成には AutoCAD など別の 2DCAD を用いている。			
教 育	e01	操作教育に1ヶ月以上かけている。			
	e02	設計に必要なと思われるコマンドは全て教えるようにしている。			
	e03	操作練習に過去の 2D 図面を使っている。			
	e04	操作練習を兼ねて社内で使用する標準部品を作成している。			
	e05	教育しても設計に使ってくれない。			
	e06	共同作業やグループ設計のやり方がわからない。			
設 計	d01	ファイル名に「シャフト」や「ブラケット」などの名称をそのまま使用している。			
	d02	仮のファイル名で設計を始め、出図の前にファイル名を変更している。			
	d03	部品を完成させて（モデリングして）から、アセンブリ（プロダクト）に組み付けている。			
	d04	部品の面同士を合致させたり、孔に軸を挿入して組み付けることが多い（ねじ等の締結部品は除く）。			
	d05	アセンブリ（プロダクト）は製造する順番で組み付けることが多い。			
	d06	レイアウトや構想設計には 2DCAD を使用している。			
	d07	レイアウトや構想設計が完了した 2D 図面を見ながら 3D 化している。			
	d08	階層の深いアセンブリは設計検討しにくいと思う。			
	d09	図面レスを目標にしている。			
	d10	2D 図面の完成を待ってから検図している。			
	d11	片振り公差（100 mm+0/-0.1 など）は基準値（100 mm）でモデリングしている。			
	d12	射出成形品の抜き勾配は金型メーカーに任せている。			
	d13	複雑な射出成形品でもキャビティ形状とコア形状を 1 部品として作成している。			
	d14	射出成形品で、意匠デザインの完成を待ってからコア側のリブ等を作成している。			
d15	顧客から受け取る中間データ（IGES、STEP など）は修復しないと使えない。				
d16	金型メーカーの選定は、資材・購買部門に任せている。				
d17	3DCAD のアセンブリ構成は製造工程や組立順に着目した階層で作成している。				
d18	3DCAD のアセンブリ構成は、大分類／中分類／小分類、程度の浅い階層にしている。				
d19	アセンブリ（プロダクト）の代わりに、マルチボディ（ひとつのファイル内で複数の部品を作成）を使用することが多い。				
d20	設計の順番と製造の順番、設計基準と製造・検査・組立基準の違いがわからない。				

シートに記載された各質問に対して、該当する場合は [Yes] または [No] に [✓] を記入、質問内容が業務に関係ない場合は [対象外] に [✓] を記入するだけでよい。本書を読み進める前に、自己診断してみしてほしい。

## 第1章 手戻りのない設計プロセス

結果はどうだっただろうか？ この自己診断シートは全ての質問項目で [No] に [✓] されているのが理想だ。[Yes] に [✓] されている項目は、改善すべき内容である。質問内容そのものが問題の原因となっている場合もあるし、その裏に隠れた別の要因が真に解決すべき問題かもしれない。コンサルティングでは自己診断結果を踏まえ、直接の打ち合わせやヒアリングで詳細内容を確認させていただいている。

### 1.1.3 3DCAD 活用べし・べからず集

前項の「3DCAD 活用自己診断シート」は3DCADの活用方法に問題がないか、おおまかに調査するために使用している。その質問内容を反対側から表現したものを表 1-2 に示す、3DCAD を活用する際の「べし・べからず集」だ。内容を理解したうえで、日々の業務でのチェックに用いるのが良いだろう。

表 1-2 3DCAD 活用べし・べからず集

分類	itm	内 容	Y e s	対 象 外	N o
モデ リン グ	m01	回転コマンドは使うべからず。			
	m02	ソリッド（ボス、突き出し、パッド）やカット（切り抜き、ポケット）などの2Dスケッチには時間をかけるべからず。			
	m03	ソリッド（ボス、突き出し、パッド）やカット（切り抜き、ポケット）などの2Dスケッチは単純（○、□、△、／）にすべし。			
	m04	実際に加工・製造する手順ではなく、設計の手順でモデリングすべし。			
	m05	作成したモデルの形状や寸法を変更しても、エラーとならないようにすべし。			
	m06	形状や寸法を変更してエラーになっても、削除して作り直すべからず。			
	m07	板金部品の作成に板金専用コマンド（シートメタル）を使うべからず。			
	m08	意匠デザイン図面の指示どおりにモデリングするべからず。			
	m09	意匠デザイン形状をモデリングするのにラウンド（フィレット、丸みづけ）を使うべからず。			
	m10	ラウンド（フィレット、丸みづけ）の半径 R が次第に「0」となるような意匠形状の指定に徐変（可変）を使うべからず。			
	m11	シェル（側壁）で薄肉化できるモデルを作成すべし。			
	m12	部品点数が多くなると呼び出せない（呼び出すのに時間がかかる）ようなアセンブリのデータ構造にするべからず。			
	m13	ファミリーテーブル（コンフィグレーション、パーツのファミリー）で類似部品を作るべからず。			
	m14	モデリングの際、他の部品から一部または全部の形状をコピー（外部参照、ジオメトリコピー）するべからず。			
	m15	2D 図面は 3D モデルと同時に作成すべし。			

## 1.1 設計にはプロセスがある

	m16	2D 図面の作成には 3DCAD の製図機能を使うべし。AutoCAD など、別の 2DCAD を使うべからず。			
教育	e01	操作教育に 1ヶ月以上かけるべからず。			
	e02	操作コマンドは教えすぎるべからず。			
	e03	操作練習に過去の 2D 図面を使うべからず。			
	e04	操作練習を兼ねて社内で使用する標準部品を作成するべからず。			
	e05	設計作業に使える教育をすべし。			
	e06	共同作業やグループ設計ができる使い方を教えるべし。			
設計	d01	ファイル名に「シャフト」や「ブラケット」などの名称をそのまま使うべからず。			
	d02	仮のファイル名で設計を始め、出図前にファイル名を変更するべからず。			
	d03	部品を完成させて（モデリングして）から、アセンブリ（プロダクト）に組み付けるべからず。			
	d04	部品の面同士を合致させたり、孔に軸を挿入して組み付けるべからず。（ねじ等の締結部品は除く）			
	d05	アセンブリ（プロダクト）は製造する順番ではなく、設計する順番で組み付けるべし。			
	d06	レイアウトや構想設計にも 3DCAD を使うべし。			
	d07	レイアウトや構想設計が完了した 2D 図面を見ながら 3D 化するべからず。			
	d08	設計検討を効率的に行うには階層の深いアセンブリ構造にすべし。			
	d09	図面レスを目標にするべからず。			
	d10	検図は 2D 図面作成中に実施すべし。			
	d11	片振り公差（100 mm +0/-0.1 など）を指定する部分は中央値（99.95 mm）でモデリングすべし。			
	d12	射出成形品の抜き勾配は金型メーカー任せにせず、設計でモデリングすべし。			
	d13	複雑な射出成形品はキャビティ形状とコア形状を別部品で作成すべし。			
	d14	射出成形品で、意匠デザイン形状とコア形状は並行して作成すべし。			
	d15	修復しないと使えない中間データ（IGES、STEP など）は顧客から受け取るべからず。			
	d16	金型メーカーの選定は、資材・購買部門に任すべからず。			
	d17	3DCAD のアセンブリ構成は設計機能に着目して分類した階層に従うべし。			
	d18	3DCAD のアセンブリ構成は分木を少なく深い階層にすべし。			
	d19	アセンブリ（プロダクト）の代わりに、マルチボディ（ひとつのファイル内で複数の部品を作成）を使用するべからず。			
	d20	設計の順番と製造の順番は逆、設計基準と製造・検査・組立基準の位置は異なることを認識すべし。			

## 1.2 仕様の明確化 (Step-1)

設計作業を「具体的な構造や機構を考えること」であると、狭い範囲で捉えてしまう設計者も多い。しかし、考えた構造や機構には設計検証での見直しを容易にするため「なぜ、そうしたか?」という理由や根拠が必要である。そのため、設計における最初のステップは、具体的な構造や機構を考えるための条件や機能を明確にする作業から始める。本書では、仕様の明確化までを含めた広い範囲を設計と捉え、以降の説明を進めていく。

### 1.2.1 仕様の上下関係

仕様は設計の目標値であり、具体的な構造や機構を決める際の理由や根拠となる。実際の機械や製品では、数多くの仕様を設定することになり、仕様書には重要な仕様項目から順に整理して記載しておく。具現化に際しては、上位の重要な仕様から検討していくことになる。

当然ながら、上位の仕様に反する内容を下位の仕様で決めてはならない。下記に、大きな分類で仕様の上下関係をまとめておく。実務では法律が最上位であり、不可侵な仕様となる。

- |             |                                |
|-------------|--------------------------------|
| 1. 法律       | 実務では不可侵なもの。違法な機械や製品を作ることはできない。 |
| 2. 倫理・環境・規格 |                                |
| 3. コンセプト    | 使用場面や目的など、仕様に対する根拠となるもの。       |
| 4. 要求仕様     | 客先の要求、営業的な要求、コンセプトに直結した基本仕様。   |
| 5. 社内規格     |                                |
| 6. 設計仕様     | 設計を進めるために必要な全ての詳細仕様。           |

上記のうち「2. 倫理・環境・規格」と「5. 社内規格」は正当な理由があれば、必ずしも守る必要はない。しかし、「2. 倫理・環境・規格」に関しては、社会的制裁を受ける覚悟も必要であることに留意されたい。

受注設計では「3. コンセプト」や「4. 要求仕様」は客先から提示される場合が多い。自社設計の場合は、営業的な要求やコンセプトに直結した基本的な仕様に相当する。

注意してほしいのは1. ~5. までの仕様で、抜けている条件などは、設計部門が責任を持って決めきることである。客先から要求がないから、営業から何も言っていないから、などの理由でそのままにしておいてはいけない。未決定の仕様や曖昧な仕様は手戻りの原因となるので、少なくとも気が付いた時点で「6. 設計仕様」に追加しておくことを忘れてはいけない。

なお本書では「1. 法律」「2. 倫理・環境・規格」「5. 社内規格」に関しては深く触れない。以降は「3. コンセプト」「4. 要求仕様」「6. 設計仕様」の内容を中心に説明する。



## 1.2.2 コンセプトの設定

コンセプトは機械や製品の使用場面や目的など、要求仕様や設計仕様を決める際の前提条件である。要求仕様や設計仕様は、コンセプトに設定された前提条件の範囲内で議論しながら決めていく。そのため、実務では時間をかけて検討される内容である。

ここで設定しておくべき内容は、下記に示す 6W3H を利用して、抜けのないようにしよう。必ずしも全ての項目を最初から設定できないかもしれない。ただし不足があれば、要求仕様や設計仕様を決定する段階で気付くはずだ。その際は不足しているコンセプトの項目を追加して、要求仕様や設計仕様と整合させておくことが必要である。

1. When	いつ	
2. Where	どこで (使用場所)	
3. Who	誰が (購入ユーザ)	* 「4. Whom」と同じ場合もある
4. Whom	誰に (使用ユーザ)	* 「3. Who」と同じ場合もある
5. What	何を	
6. How	どのようにして	* 1. ~5. のおおまかな機能・方式など
7. How much	いくらで (価格設定)	
8. How many	いくつ (何台)	
9. Why	なぜ (そうしたか)	* 1. ~7. を設定した理由

上記 6W3H の項目は必要な条件であるが、それだけで十分とは言えないことに注意してほしい。特殊な事項があれば、コンセプトに追記しておくことを忘れないようにしよう。

図 1-2 は筆者が設計プロセス教育で使用している設計課題 (2 足歩行ロボット) の例である。この課題を「客先の要求」と考えるならば、仕様の前提条件となるコンセプトが不足しているのがわかる。このまま議論を進めても、検討すべき範囲が不明確なので、あらゆる場面を想定するあまり、なかなか結論を出せない状況に陥ることだろう。

実際の業務においても、似たような状況であることに気付けないことも多い。議論しているのになかなか結論が出ない場合は、いちど立ち止まって客先にコンセプトを再確認することが重要だ。決して、設計者の思い込みで作業を進めてはいけない。自社で商品企画している場合は、曖昧になっているコンセプトについて、担当部門と再検討することになる。

基本的なコンセプトを「競技会に出場し、確実にゴールする 2 足歩行ロボット」と設定すれば、6W3H の内容は下記のようなになる。ひとつの例として、参考にしていただきたい。