

フローチャート活用による設計・製図への一考察

日大生産工（非常勤講師）○川田 文喬,日大生産工 勝田 基嗣,日大生産工 加藤 数良

1. はじめに

物事を体系立てて処理していくためのツールとして、フローチャート（流れ図）が、Computer programming Design で多用されている。また、これを設計の手順表記として用いた例もあり、その有効性は蓋然的・定性的には明らかにされている。1)

しかし、その効果を定量的に捉え、更に設計ツールとしてのフローチャートのあるべき姿を追求した事例は殆どない。

フローチャートを設計に取り入れることで、設計思想・考え方が手順を追って整理でき、効率的で（逆戻りがなく）、誤りの生じにくい設計が可能となる。

そのためのフローチャートを設計用ツールとして考案し、使用に供し、その有効性を定量的に把握することは、複雑且つ高度化する設計に、更なる有効なツールを提供するための一ステップとして重要である。

本報告では、新たに開発した、設計・製図用フローチャートの提案と、その有効性評価について報告する。

2. 設計初心者にとってのボトル・ネック

設計のレベルは、初めて設計に携わる初心者のレベルから、中級設計者のレベル、そしてベテラン（熟練）設計者のレベルへと、設計経験を積むことで向上していく。一方、設計力（設計内容）は、“基本を十分理解して、正確に設計することが出来る力”（主として設計初心者に要求される力）から、“最適な設計を行うことが出来る力”（ベテラン設計者に要求される力）へと高度化する。

本報告では、初めて設計・製図に従事する人（ex. 学部2年生）、即ち、設計初心者を活用対象として捕らえ、その人達が、先ず“正確に設計できる力”を満たすことに着目した。

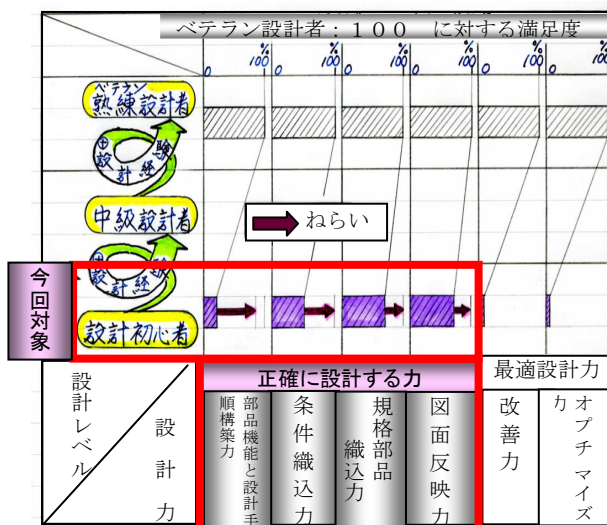


Fig. 1 本フローチャートの適用対象とねらい

今回開発したフローチャートを導入する以前の評価点データの一例として“歯車ポンプの設計”を課題とした場合の評価点をFig.2に示す。対象は学部2年生234名とした。平均点は76.8点（100点満点）で、標準偏差は7.4であり、正規分布を成している。

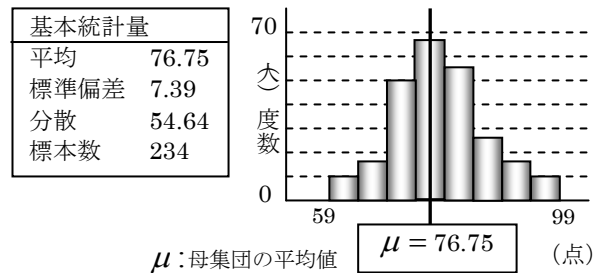


Fig. 2 フローチャート導入以前の評価点

また、現状調査には、全対象の中から30標本をランダム・サンプリングし、

- ① 設計構想段階（計算過程、計画図過程に分割）、
- ② 詳細設計段階（部品図過程、組立図過程に分割）

について、評価点の減点内訳を調査した。

なお、本調査では、JISB0001などに規定する製図図示方法への適合性は減点内容項目から除外した。

評価点の減点件数の内訳結果をFig.3, Fig.4に示す。

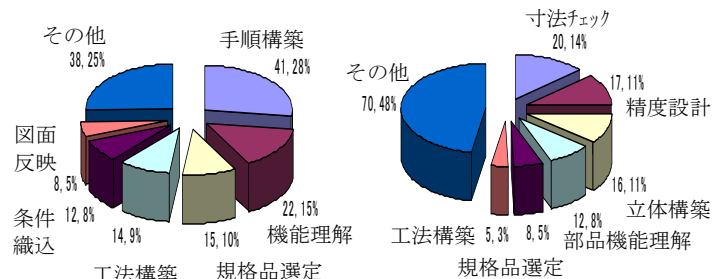


Fig.3 構想設計段階

Fig.4 詳細設計段階

これによると、ほぼ基本形状が決定してしまう**構想設計段階**（計算過程、計画図過程）で圧倒的に多いのが手順構築力不足である。全体を俯瞰して、何から始めて、どの様な手順を踏んで最終図面に落とし込むかが描けていない。

例えば歯車ポンプの設計例で見られたのは、①歯車の設計がキーとなる寸法決定箇所であるにも関わらず、外形形状の設計から始めてしまい、歯車が入らなくなり、やり直しになった例。②転位計算を後にしたため中心間距離が変わってしまい、これも同様にやり直しとなった例などがあげられる。

次に多いのが部品機能（はたらき）の理解不足である。“設計は機能を造り込んでいくものである。”という点に立てば、これは本質に係わる大きな問題である。

例えば、ポンプそのものの機能は概ね理解しているが、外接型歯車の液送原理を誤って捕らえており、ポンプの出入り口の配置、寸法が設計仕様を満足できていない。などである。

また、“規格品を使うべき箇所”と、“自らの創意で設計すべき箇所”が判らない。規格品を使うことで全体のコスト低減が図れるし、規格品は他の規格品と整合が取られていて品質の確保に問題が生じにくい利点を持っている。一義的には規格品を用いて設計を進める意義は大きい。これが正確に判断できていない。

計算結果と図面との関係が不明確で反映すべき計算値が図面に落とし込まれていない。など初歩的な問題も発生している。

詳細設計段階（部品図設計・組立図設計）で、多く発生している問題は、部品機能を満足するための精度設計力不足である。

例えば、ジャーナル軸受けの機能理解が出来ておらず公差設計に誤りがある。などである。

その他加工順序、組立順序が構築できず部品間の干渉が発生してしまった例があげられる。

3. フローチャートへの織込み課題

現状調査を踏まえ、設計初心者にとってのボトル・ネック回避のために、フローチャートへ織込むべき課題を整理すると以下ようになる。

- ① 仕様（設計条件）間の関係把握が不十分な為、織込み条件の欠落があげられる。
これに対しては、仕様間の関連付けが必要であり、設計仕様連関図の作成が課題となる。
- ② 設計対象全体をスルーして、設計プロセスを構築する力が不足。また、採用する要素部品の機能理解不足による設計手順の間違いがあげられる。
これ等に対しては、部品機能を明示した上で、手順フローチャートの作成が課題となる。
- ③ 設計条件への適合性を確認しながら、進めていくことへの不十分さに対しては、設計条件照合を注意喚起のために表記することが課題となる。
- ④ 規格部品を使用すべきか、自ら創意設計すべきか、また、規格部品は何を選定するのか、などの判断不足に対しては、関連規格の表記が課題となる。
- ⑤ 設計値が図面に反映できていないことに対しては、設計フローと関連付けた図面表記が課題となる。
- ⑥ 加工法・組立工法の理解不足に対しては、フローチャートでは回避できない問題であり、事例作成が課題となる。

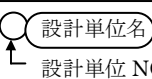
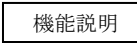
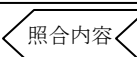
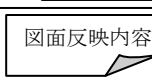
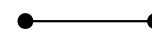
4. 今回提案するフローチャート

4. 1 フローチャートで用いる記号と意味

ここで採用するフローチャート作成のための各種記号は、コンピュータ・プログラム作成の初期段階で用いられるフローチャート記号と同じものであり、その図記号と用法は JISX0127-1988 に詳述されている。

今回使用する図記号と用法も JIS X0127 に準じているが、表中*印をつけた記号のみ設計・製図用に修正アレンジしたものである。Table. 1 に修正部分のみ示す。

Table. 1 フローチャート記号（設計・製図用修正部分）

用 法	意 味	記 号
* スタート/エンド 端子	一設計単位の名称・NO. (部品名称・部品番号)	 設計単位名 設計単位 NO
* 処理タスク	部品機能の説明	 機能説明
* 準備	JIS 規格・基準	 JIS 規格
* 検証チェック	仕様と設計結果との照合・検証内容	 照合内容
* 図面反映	図面に反映するべき設計結果の図面表示	 図面反映内容
* 相互関連フロー	相互の関連を結合表示	

4. 2 フローチャートの FORMAT

フォーマットを Fig. 5 に示すとともに、その使用方法を述べる。

(i) 設計条件 <仕様>	(ii) 設計手順 部品機能 説明	(iii) 設計条件 照合	(iv) 関連規格	(v) 図面反映

Fig. 5 フローチャートの FORMAT

(i) 設計条件または仕様欄

この欄の使用方法は、次に示す (a) (b) のケースによって異なる。

(a) 設計ターゲットが明確に決まっている場合。例えば、発注者の意向に基づき設計する場合など。

(b) 設計ターゲットが非常に漠然としていて、仕様そのものから決定していかねばならない場合。例えば、全く新しい製品を設計する場合など。

ここでは、初めて設計・製図に携わる学生を対象として捉えているために (a) の“設計ターゲットが明確に決まっている場合。”について、以下述べることにする。

設計の与条件を最大漏らさずここに記入する。その際、下記の区分付けを行い、箇条書きにすると良い。

- ・製品および設計ターゲットの与条件として与えられた仕様。(例えば、発注者の意向)
- ・与条件をベースに算定が可能な設計条件。
- ・設計者自ら条件設定が可能なもの。あるいは、設定しても構わない条件。

更に、これらの各条件を、上位条件とそれに従属する下位条件との親子関係とし、ツリーで関連付けておくことが大切である。(仕様連関図の作成。)

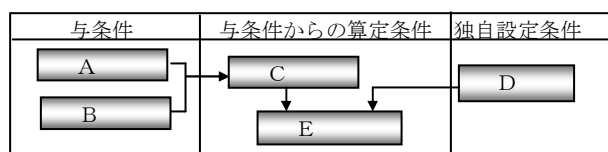


Fig. 6 仕様連関図のイメージ

(ii) 設計手順と部品機能表記欄

この欄には設計手順をフローチャート記号によって記入していくことになる。設計単位ブロック (ex. 部品単位) ごとに、スタート端子から始めエンド端子で終わるように記入していくことである。

更に、その部品が果たすべき機能をスタート端子の下部に表記する。部品設計に取り掛かる前段階として、部品機能をしっかりと押さえ、それにまつわる設計ポイントを箇条書きしておく。複雑なケースでは、機能ツリー図、あるいは関連図を作成しておくことも必要である。

部品機能には、製品機能 (主機能)、生産補助機能 (副次機能)、保守保全機能 (副次機能)、などがあり、これなどについて、更に細かく層別・分類して、具備すべき機能を明示にすることが大切である。

製品機能は、製品として備えるべき機能であり、製品部構造・形状、運転・操作性、強度、耐久性、安全性、安定性、などがあげられる。

生産補助機能は、製品が生産現場で造られるときに備えるべき機能であり、加工性・組み付け性、加工段取り性、などの製品製造機能である。

また、保守保全機能は、保全作業性、部品交換性 (含む交換基準部位具備)、潤滑性 (注油性)、清掃性 (4S性)、などがあげられる。

(iii) 設計条件 (目標) との照合欄

この欄は主として、(i) で与えられた条件 (ex 客先からの指定条件 etc) に対して (ii) の設計手順に従って設計してきた内容が適合しているかどうかを照合するために “適合しているかどうかの見方・考え方を記述するために” 設けた欄である。

(iv) 関連 JIS 欄

この欄には、関連する規格を記入する。その際、

- 必ず使用せねばならない規格。
- あくまで参考とする規格。

の二つの区分を明確にしておくことが大切である。

(v) (製図) 図面への反映欄

この欄は、(ii) の手順、(iii) の条件照合、(iv) の規格により決められた設計値が図面のどの部分に相当するのかを図示しておく欄である。

5. 歯車ポンプの設計・製図への適用事例

設計課題の概要を Fig. 7 に示した。

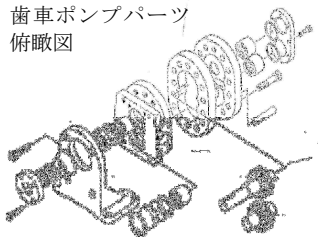
<課題> 仕様を満たす、外接型の平歯車ポンプを設計・製図。 (540 分で計算書・計画図・部品図・組立図を完成する。)	歯車ポンプパーツ俯瞰図 
--	--

Fig. 7 設計課題

本課題を、本フローチャートを用いて FORMAT に従い記述していく。歯車ポンプの設計・製図フローチャートの一部を Fig. 8 に示す。

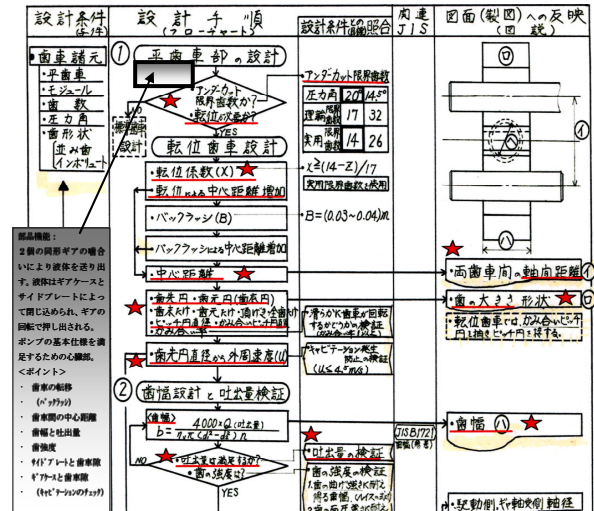


Fig. 8 歯車ポンプの設計・製図フローチャートの例

6. 本法適用、不適用による差異の検定

本法を適用して設計・製図を実施した場合と、適用しないで設計・製図を実施した場合とで、果たして効果が認められるかについて差異の検定・推定を行った。

6. 1 設計・製図結果の評価点

2 組のサンプルを取り、対応のない 2 組の平均値の差の検定と推定を行った。

・母集団 A グループ：本フローチャートを導入せずに歯車ポンプの設計課題を行ったグループ。

・母集団 B グループ：本フローチャートを導入して同一の設計課題を行ったグループ。

上記 2 組のグループから、標本として各 30 人をランダム・サンプリングし、それなどの基本統計量を求めると、以下であった。

<A グループのサンプル評価点の基本統計量>

平均点 75.17 標準偏差 6.88 分散 47.39

<B グループのサンプル評価点の基本統計量>

平均点 81.23 標準偏差 6.57 分散 43.22

6. 2 差異の検定・推定

まず、上記 2 組の分散の差を検定し、2 組の分散に有意差が認められない場合は 2 組の平均値に差異があるかの検定と、その推定値を求めることにした。もし、双方の分散に差があるときは、Welch の検定法 2) を採用することにした。

ステップ 1：A グループ、B グループ 2 組の母集団の分散に差があるか否か。F 検定を使用し、有意水準 5% なる限界値と比較する。

ステップ 2：2 組の分散に有意差が認められない場合、平均値に関する検定を行う。t 検定を使用。

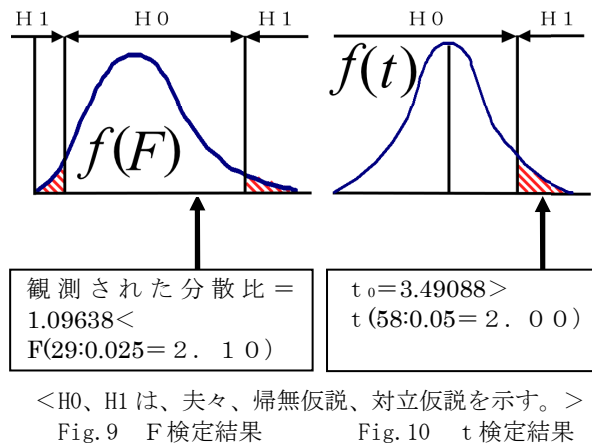
“本法適用後の平均点が、以前 (適用しない場合) より上昇している。” という対立仮説を設定するほうが適切とする理由で、上側に 5% の棄却域をもうけた片側検定を採用し、有意性を判断する。

ステップ 3：差の推定を行う。

母平均点の推定を点推定と 95% の信頼限界で区間推定を行う。

6.3 結果

Fig. 9 に、二組の母集団の分散の有意差検定結果（F 検定結果）を示す。また、Fig. 10 に、二組の標本の平均値の有意差検定結果（t 検定結果）を示す。



- ・本法適用による、学生の獲得点数の平均には差があると言える。
- ・本法適用による平均値の差は
点推定で：6.07点
区間推定で：71.69～78.65点の間にAの母平均があると信頼性95%で言うことができ、
区間推定で：77.75～84.71点の間にBの母平均があると信頼性95%で言うことができる。

7. 設計初心者が陥り易い共通問題点の改善

一方、評価点の改善でも判るように、設計対象全体を把握できるようになり、前掲の設計初心者にとってのボトル・ネックは殆ど解消されている。“ほぼ迂回することなく図面を描けている。”というて良いし、また、部品機能を考えた上で設計に着手するようになった為に、思考範囲の幅が広がり、これについても前掲のミスが減っている。

Fig. 11 に、設計初心者が陥り易い共通的な問題点の改善結果を示した。

改善内容	減点件数の改善
構想設計段階で対象の全貌を把握でき、手順を追った設計ができた。	7 ← 21件 今回 前年度
部品機能を考えた設計が行えた。	5 ← 22件
与条件の織込み・規格部品の織込みが間違いなくできた。	5 ← 22件
設計値が間違いなく図面に反映できた。	3 ← 12件

Fig. 11 設計初心者が陥り易い問題点の改善結果

8. 結言

1) “フローチャート活用による設計・製図法”は、特に初めて学ぶ学生にとって有効であることが定量的に確認された。これにより、設計初心者が陥り易い問題が大幅に改善できた。

2) 特にフローチャートを作成する過程で、設計対象の全貌を捕らえ、構成部品の機能（はたらき）を踏まえて、設計手順を描くことが出来た。これが全体の評価の向上に繋がったことは勿論であるが、学生が設計への自信を深め得たことが、最も大きな成果であった。

3) 一方、熟練設計者にとって本法が有効であるかは今回の解析からは不明であるが、熟練設計者の思考過程も本法と同様の行動を頭で整理しながら行っているのではないかと考えている。

9. 今後の展開

1) FORMAT の作成のみに留まらず、設計・製図の基となる機械要素設計の全般に亘ってフローチャート化を確立することである。そして、これなど“機械要素設計フロー”を、ターゲットとする設計・製図のフロー中に組み込むことが可能な“モジュールフロー”として作成し、特に設計初心者が活用できるツールとして確立して行きたい。モジュールフローとターゲット設計フローの関係を Fig. 12 に示す。

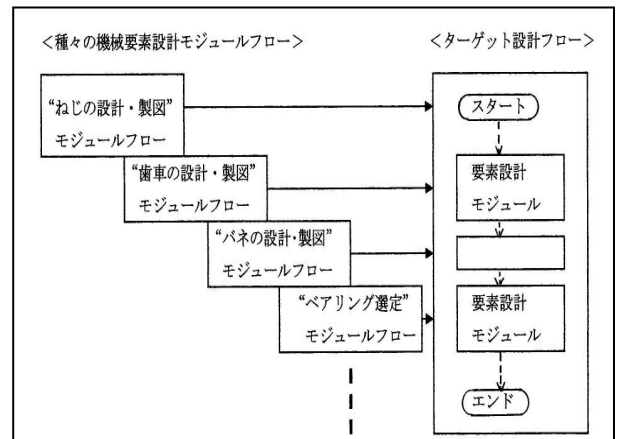


Fig. 12 モジュールフローとターゲット設計フロー

2) 今回適用対象から除外した“最適設計力”の伸張に向けて、特に生産現場で有効な、部品機能と部品コストとの適正な関係を導き出す解析手法を確立していく。

3) 加工手順・組立手順については、代表的な機械、例えばロボットメカなどを事例対象として、構成する要素機械の加工法・組立法の事例蓄積を図り、設計初心者への教材提供を図っていく。

<参考文献>

- 1) 大西 清, 手巻ウインチクレーン, オーム社, (1988), PP. 30
- 2) 鐵 健司, 品質管理のための統計的方法, 日科技連, (1990), PP. 90-92
- 3) オートヨタ SQC 研修会工程解析分科会, 簡易検定のしかた, トヨタ自動車品質保証部, (1970), PP. 11-19
- 4) JIS 規格 X 0 1 2 7, ソフトウェア工学
- 5) 勝田 基嗣 他, 機械要素設計, オーム社, PP. 243-245
- 6) 川田 文喬, Machine Design and Drawing <Lecture Notes>, (2003), PP. 13-15