

はじめに

機械設計者の価値とは

「**機械設計者の価値**」とは、自分で引いた図面で製品を作り、それをどれだけ世の中に出してきたか、それがどれだけ消費者からの厳しい批判を受け、耐えてこられたかにより決まるでしょう。

私の考える機械設計者の成長を3段階に分けて紹介してみます。

まず第1段階として、自分の描いた図面が「**機械製品として成立する**」のかどうかを知らなければなりません。

- ① この図面で本当に加工できるのか。
- ② 本当に組み立てられるのか。
- ③ 本当に必要な運動をするのか。
- ④ 本当に目標の性能を発揮できるのか。
- ⑤ 消費者の使用に耐えられるのか。

これらのことが部品ごとに確信を持って設計できなければなりません。これらに対する確信は、自分で計画した機械図面を製品にすることで初めて得ることができます。つまり、図面上の数値を具体的なモノとして目で見て、手で触れ、感触で実感しなければ不可能でしょう。特に、ハメアイや表面粗さなどは、実際の製品を通して経験する以外に正しく理解し使いこなす術を身につける方法はないのです。

第2段階としては、生産製造システムの上流者としての「**設計者の責任の大きさ**」を知らなければなりません。例えば、図面上で1本の線をミスしたことにより、システム全体にどれだけの損害を与えることになるのかを知らなければなりません。まさに経験した者でなければ知り得ない痛恨の1本線で

す。これによりいっそう勉強し、自己検図の能力が向上します。これを考えただけでも、設計とは相当な責任の重さと多くの勉強の必要性があることは容易に想像できるでしょう。

私も機械設計を始めた初期は、加工担当者に「きみ！ これはどうやって加工するんだね？ 自分でやってみろよ！！」とか、製造担当者に「おれの目の前で、1分以内にこのボルトを締められたら、協力してやるよ！」と、何度も怒鳴られた経験を持っています。今思うとたいへんありがたいご指導をいただいていたと思います。

ある先輩から「**設計部は工場にとっては親のようなものだ**」と言われた言葉を思い出します。つまり、工場全体にわたって責任を負っているという意味です。生産技術に対しては、品質基準や組立て工法を示し、製造部に対しては組立て性を保証し、製品出荷に対しては性能を保証しなければなりません。設計部は、製品が市場に出たら不具合に対する責任が最も重い部門だからです。今では分業化、責任分散が進んで、責任の重さは「親」とまではいきませんが、それでもそのくらいのプライドと責任感を持っていたいものです。

第3段階は、図面に自分の「**オリジナルなアイデア**」を取り入れ、新しい試みをし、それがどのように世間に評価されたかを知らなければなりません。消費者というのは、時にたいへん残酷なものです。良くて当たり前で、欠点があればその商品全体が否定されてしまいます。消費者にとっては、どれほど設計過程での努力や画期的な生産技術があろうと関係なく、「悪いものは悪い」のです。市場での批判を受け止め、それを設計力の糧にしてこそ真の設計者が育つと私は信じています。改善の努力が設計者の付加価値を高めるのです。

現代はコンピュータの進化とともに、3次元CADが急速な進化を遂げ、これさえあれば機械設計に関することならなんでもできそうな錯覚に陥りがちではあります。しかし本書に記したことは、機械設計全般において普遍的で共通な考え方であり2次元CADのみならず、3次元CADで設計製図を行う際にも必ず基本的考え方として役立つことであると信じています。

本書は、特にこれから機械設計の現場に入る方や入って間もない方にご一読いただきたいと考えています。項目分けをし、質問、クイズ、練習問題形式を採用しているので、興味のある項目だけでも拾い読みしていただければ、いつかのときにお役に立てるのではないかと思います。

どんなにデジタルな時代になっても、どんなにコンピュータが発達しても機械設計を支える根幹の部分は変わりませんし、アナログ、2次元の部分は必要です。これからも必ず残ると思われます。簡単な例でいえば幾何公差、表面性状、熱処理・表面処理、……、これらは3次元CADデータでも属性として持たせることはできますが、表現方法としてどちらが優れているかといえば、2次元図面であることは間違いありません。工作機械の前でパソコンを操作しながら公差データをいちいち探していたら仕事にならないことを考えれば、おわかりいただけるでしょう。

また私はこれらの機械設計実務の経験をもとに、現在は工業高等専門学校で機械設計製図の教科指導をしています。もちろん教科書に書いてある内容だけを教えるなら上記のような経験は必要ないでしょう。しかしこれらの経験は必ず指導に付加価値を与えてくれると信じています。もちろん現在、高等学校、工業高等専門学校、大学、各種学校で機械設計製図の教科を指導している教員の方々に、これから私と同様な経験を求めるものではありません。しかし、機械設計製図の指導担当者にはぜひ目を通していただきたいと思います。それにより教科書では教えていない実際の設計現場で使われている手法や考え方に触れていただき、それを知って指導に当たっていただければ、機械設計製図の指導内容に奥行きが生まれるものと信じています。

このように現場の**機械設計者**と**教育者の両方**の視点からまとめられていることが本書の特徴の一つだと思います。

機械設計者のイメージ

一口に機械設計者と言ってもピンからキリまであることは想像がつくと思います。そこでここでは自動車会社の一般的なエンジン設計部を例に説明してみます。

設計部の中には、例えば部品点数2000点を超える大型エンジンをゼロから設計する設計者もあれば、そのエンジンに付属するポンプやターボチャージャーなどの補機類を設計する設計者もあり、さらにエンジン周りの水油の配管類を考えるのも設計者の仕事と言えます。もちろんまったくの新製品を最初の計画から手掛けるチャンスなどはそう簡単にはめぐってはきません。多くの場合、新型と称した設計変更品や、市場や製造部門から要求される不具合対策に多くの時間を取られるのが若い設計者の現実の姿です。彼らにとったら学校で教わった機械設計のイメージからするとかけ離れた仕事のように感じることでしょう。機械設計とは、まず要求される耐荷重から力学計算して……と考えている学生がほとんどだと思います。

しかし、少し考えればわかると思いますが、1年生設計者に人命を左右するような重要な設計は任せられませんし、これだけ競争の激しい市場で通用する仕事ができるとは考えられません。

したがって、教科書で教わる機械設計製図のルール以外に、**1人前の機械設計者になるために通らなければならない道**、**考え方が存在する**のです。本書では、その一部を紹介していきたいと思います。

2011年6月

北條 恵司

目次

第1章 プロの設計手法 編

1. 軸 - 穴のハメアイでスキマ 0.001 mm を実現したい。 002
(確実にしかも安価で微小スキマを実現するためには)
2. 製品組み立て時に発生する累積公差の扱い方 006
(今、注目の公差解析の入り口。設計1年生は必読)
 - ▶ 例題 1 公差解析 1
 - ▶ 例題 2 公差解析 2
3. 設計の始まり：計画図（構想図）の描き方 014
(設計現場での計画図を通して、描き方を紹介)
 - 3-1 計画図とは
 - 3-2 単品部品の計画図の描き方
 - 3-3 製品全体の計画図の描き方
 - 3-4 部品計画のためのバックグラウンド図の作成方法
 - 3-5 計画図から出図まで
4. 製品全体の寸法公差は「リミット表」で管理しよう。 026
(製品全.....体の品質管理方法, 全体を見渡す方法)
5. 寸法記入が満足にできれば“設計者” 031
(具体的な部品で寸法記入手順を考える)
 - 5-1 寸法記入の考え方
 - 5-2 寸法記入手順
 - ▶ 例題 3 普通公差
 - ▶ 例題 4 寸法記入 1
 - ▶ 例題 5 寸法記入 2
6. はっきりしろよ！ 安全率 046
(どの教科書を見てもはっきりした答えが出ないのはなぜか)

第2章 機械製図法の表現 編

1. 図面は閉じた形状で描く。 052
(図面を引き締めて見せる小ワザ)
2. データム, 切断線, 部分拡大図, 矢視図……すべて記号はAから? ... 053
(図面全体で, 使用する記号は考えなければならない)
3. 0.05 mm 除去する追加工は, どう描くの? 055
(意外に多い追加工指示の図面, 相手に意思をうまく伝える)
4. 図面の中の“あいまい”は悪いこと? 057
(正確さを知った上で“あいまい”を使いこなす)
5. 加工刃物などは積極的に記入します。 060
(加工者は設計者の力量を見ている)
6. めねじのメントリ忘れずに。 061
(自分の図面でモノを製作したことのある人とない人の違いが出る)
7. 表面粗さの加工方法の指示は必要なの? 063
(つつい忘れがち。だけどとても大切)
8. JIS の年次変更はすべて反映が必要なの? 066
(毎年送られてくる変更書類はどう扱えばいいのか)
9. なぜドリル穴には表面性状を記入しないの? 067
(JIS 製図にはいくつもの特例がある。これもその一つ)

第3章 機械設計の心構え 編

1. 機械設計者の鉄則! 「困ったときはモノに聞け」 070
(設計者が壁や問題を乗り越えなければならないときに)
2. 製品は美しくなければならない。 071
(この仕事に対して, 取り組む姿勢として身につけたいもの)
3. 機械設計の第一歩はまねることである。 073
(機械設計者は芸術家とある意味で共通点を持っている)

4. 機械加工を知ること ～加工基準と設計基準の図面～ 074
 (機械図面のほとんどは加工に関する指示…ならば責任を持って加工の勉強をしなければ)
- 4-1 図面は加工者の視線で描こう
 - 4-2 加工機械を適切に選定するようにしよう
 - 4-3 寸法は「加工基準」と「設計基準」を使い分けよう
5. 機械設計力を支えるもの 081
 (土台の下の基礎部分にあたるもの)
- 5-1 材料学・力学 (材料力学, 水力学, 工業力学など)
 - 5-2 IT ツール (CAD, CAE など)
 - 5-3 設計の要素 (継手, 軸受, 締結など)
 - 5-4 生産技術 (加工学, 生産工学, 統計力学など)
6. 金属の表面粗さ, ハメアイスキマを手で測定できますか? 086
 (それくらい機械設計者にとって大切なこと)
7. 「品質が高い」=「良いこと」なの? 087
 (学校教育では言えない「適当に作れ!」は社会の常識)
8. 「他人の図面はウソの図面」ってどういう意味? 088
 (ウソをつくのは図面だけではないが…ぜひ知っておきたい)

第4章 機械設計者のワザ 編

1. 世の中, 「限界設計」だらけ? 092
 (限界設計は非常ではなく日常として業務に取り組む)
- ▶ 例題 6 設計変更 1
 - ▶ 例題 7 設計変更 2
2. 機械製図の難関「幾何公差」について 096
 (JIS 製図解説者泣かせの幾何公差, 一度は理解しておきたい)
- 2-1 幾何公差の力関係
 - 2-2 公差域で考えよう
 - 2-3 複数のデーラムを使いこなそう

3. 機械設計者の必需品：「シール（密封）」、「潤滑」、「耐熱・耐振動」 をマスターしよう。	105
3-1 シール（密封） —非接触型シールは漏れる？ 漏れない？	
3-2 潤滑 —なぜ、すべり軸受は金属-金属の摺動回転ができるのか？	
3-3 耐熱・耐振動 —エンジンのフライホイールのボルト破断が止まらない	
4. 機械部品カタログの使い方	111
(機械製品のカタログは衣料品カタログとはひと味もふた味も違う)	
5. 50 ± 0.3 と $50.3 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.6 \end{smallmatrix}$ で加工者心理の違い	114
(製品の出来上がり寸法の分布をコントロールする)	
6. カギの材質はなに？	116
(材料特性を知ることが設計の幅を広げる)	
7. ティアダウンとは？	118
(涙を流すくらいに一生懸命に働くこと？)	
8. 設計上は不要。でも加工上は必要	119
(図面に描かれた製品を具現化するために必要な指示)	
9. 便利で安価な IT 公差	124
(なぜ IT 公差に示される数値は中途半端に細かいのか)	
10. 「肉盗み」って、新しいお酒の名前？	127
(ユニークな呼び名以上に重要なアイテム)	
おわりに	128
索引	129

機械設計のマメ知識

機械設計に関するいくつかの質問を準備しましたので一緒に考えてみてください。日常生活の中で当たり前に思っていること、ふつうに使われていることでも意外にその理由はわからないものです。それらの理由・原因がわかれば、必ず応用が利き考え方に幅が出るものです。一つずつ謎を解明すれば機械設計の（隠れた？）基礎力が身につくと信じています。もちろん、すでに答えをご存知の方は読み飛ばしていただければけっこうかと思えます。

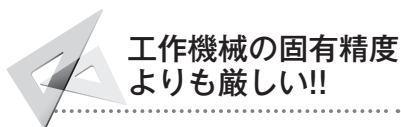
(その1)	切り欠きには応力が集中する？	013
(その2)	乗用車とトラックはどちらの設計が厳しい？	042
(その3)	金属材料の疲労限度を10分で予測するってホント？ ...	050
(その4)	乗用車デザインの売れる VS 売れない	058
(その5)	この字、読めますか？	062
(その6)	転がり軸受の玉はどうやって入れるの？	067
(その7)	パイプが破裂！ これ、どこが設計ミス？	080
(その8)	大きいもののほうが強度は低い？	090
(その9)	「出図」とはどこからどこへ図面を出すこと？	094
(その10)	なぜ鉄に炭素を入れると硬くなるの？	117
(その11)	エンジンの30万km保証ってどうやるの？	122

第 1 章

プロの設計手法 編

1. 軸-穴のハメアイでスキマ 0.001 mm を実現したい。

これは機械設計業務を始めると何年もしないうちに必ず遭遇する問題だと思えます。現場ではよく使われている手法ですので覚えておけば、どこかで役に立つと思います。



ポンプを代表とする^{しゅう}摺動を伴う製品の効率は、そのスキマの大きさに反比例します。摺動とは、部品どうしが接しながら相対運動することを意味します。接触部が高圧、高温、高速の過酷な環境になることもあるので、機械設計者は特に気を配らなければならない部分です。

例えば、ディーゼルエンジンの燃料噴射ポンプ（図 1.1）に使用されているニードル（ピストン）-シリンダ、またトロコイドポンプのインナ-アウト（図 1.2）などは、燃料などの流体の漏れをできるだけ小さくしようとしています。その理由は、スキマが小さければ小さいほど、効率が高くなるからです。そのため、スキマ 0.001 mm を要求されることもしばしばあります。



図 1.1 ディーゼルエンジンの燃料噴射ポンプ



図 1.2 トロコイドポンプのインナ-アウト

スキマが小さいほうが効率はいいことはわかりきっていますので、設計者はつつい要求を高くしてしまいがちで、図 1.3 のような図面寸法を記入してしまう例も見つかることがあります。

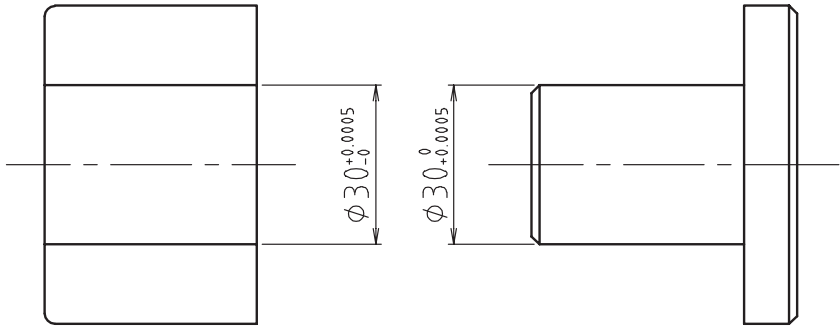


図 1.3 要求の高い図面寸法

しかし実際にこの寸法精度で製品を加工するとすると、歩留まりが低く、たいへんなコスト高になってしまうでしょう。歩留まりとは、簡単に言うと製造された製品全体に対する合格率のことです。これが高ければ高いほど、企業の利益は高くなり、たいへん重要な割合となります。

例えば、加工中に材料が温度変化を起こし、熱膨張することもあります。また、加工を繰り返すと刃物の摩耗が発生して安定した寸法精度を保証できない可能性があります。最終的に旋盤加工の場合は、主軸の軸受の回転精度が寸法精度を決定しています。したがって、場合によっては工作機械の固有精度を超えた要求をしている可能性さえあります。要するにナンセンスな図面であると言えます。

では、先人の設計者はどのように知恵をしぼり対処したのでしょうか。このような場合、製品の「**グレードわけ**」と「**マッチング**」で対応することが鉄則なのです。今、 $\phi 30$ の穴軸のハメアスキマ 0.001mm を実現することを考えてみます。この場合、**図 1.4**に示すように図面には寸法精度を記入せずA、Bなどの記号で表します。

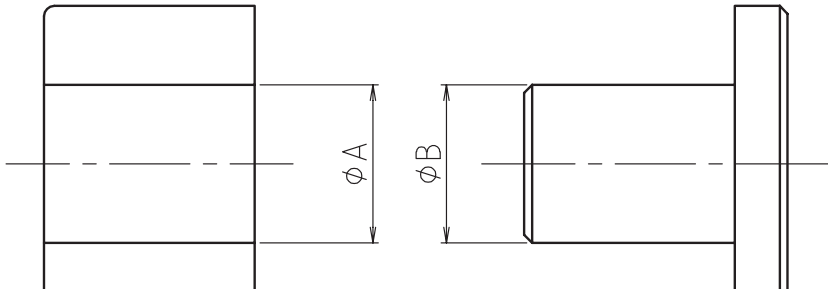


図 1.4 寸法精度を記入しない図面

そして製品を加工し仕上がった寸法を測定し、 0.001mm ずつに分けて扱うようにします。例えば、**図 1.5**のように部品番号の末尾にアルファベットの記号M、L、Nなどを追記し納入数量を管理しています。ここから「**グレードわけ**」と呼ばれるようになったのです。各グレード寸法とスキマ 0.001mm を実現できる相手部品を選択し組み合わせます。これを「**マッチング**」と呼んでいます。

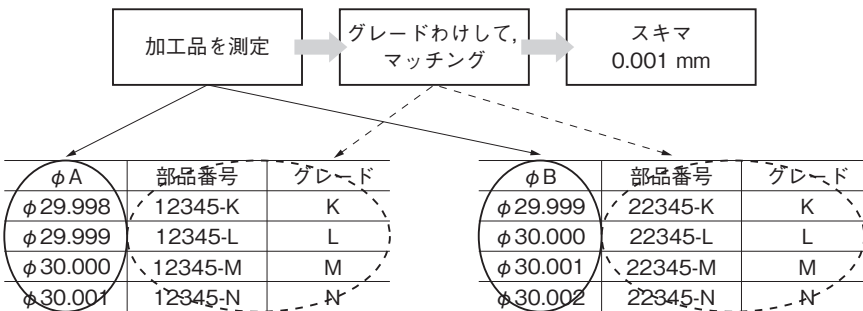


図 1.5 「グレードわけ」と「マッチング」によるスキマ 0.001mm の実現

人間の加工する製品寸法はほとんどの場合、軸に対しても穴に対しても狙いの寸法に対して数量と寸法の関係は、図 1.6 に示したように正規分布の関係になります。したがってたいていの場合、この方法を使えば、無駄な製品を廃棄する確率は極端に低くすることができます。

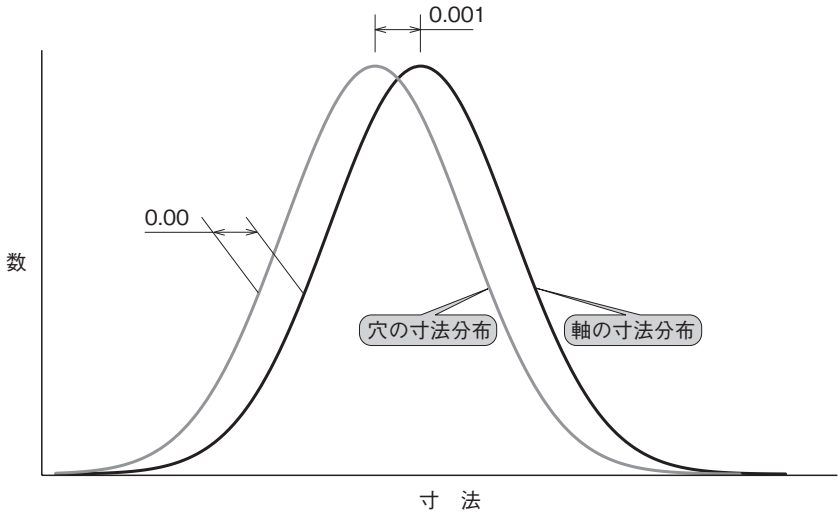


図 1.6 製品の数量と寸法の関係

この方法ならば、設計者にも加工者にもお互いにメリットが発生することは容易に想像できるでしょう。この方法は「グレード分け」と「マッチング」を採用しない場合に比べ、設計者はコストを数分の一に抑えることができ、加工者は安心して加工することができるようになります。

2.

製品組み立て時に発生する累積公差の扱い方

切削，研削，曲げ加工および溶接などにより機械部品を製作する場合，指示された寸法に対してまったく狂いのない寸法で仕上げることは事実上不可能です。例えば，図面上で $\phi 50$ mmを指示されたら，仕上がり寸法は $\phi 50.01$ mmや $\phi 49.99$ mmのようになることもあります。しかし，正確に指示されたとおりの寸法でなくても，使用目的によっては差し支えがない場合もあります。かえって機械加工の時間と費用を考えれば，できるだけ大きな許容範囲がよいでしょう。

これらのことを考慮して設計者はあらかじめ製品寸法に誤差範囲を決めておかなければなりません。これを「寸法公差」と呼びます[†]。

では，複数の部品を組み立てた場合，それらの寸法公差はどう考え，どう扱えばよいのでしょうか。

これは機械設計を始めて2～3年が経過し，簡単な組み立て部品の設計を任されたときに，だれもが経験する課題だと思います。しかし意外に知られておらず，無駄な設計をしている場面をよく見かけることがあります。

例えば簡単な例で，図 1.7 のような組立て機械があり，性能実現のため全体の組立て寸法を ± 0.4 mmの間に納めなければならないとします。このとき A，B，C，D の寸法公差をいくらにすれば要求された品質（寸法公差）を満足させられるのでしょうか。ただし，幾何公差は考慮しないものとします。

読者の方は，少しだけ自分で答えを考えてから，以下の【案】を読んでください。

[†] 「幾何公差」を含め，具体的な「寸法公差」の決定の仕方は，1章の(5-1)「寸法記入の考え方」，4章の「2. 機械製図の難関「幾何公差」について」で後述することになります。

索引

【あ】

穴基準125
安全率046

【い】

位置公差096
位置度096

【え】

円周振れ096
円筒度098
エンドミル060

【お】

応力集中013
応力比048
応力分布090
おねじの有効径013
回転図示断面図127

【か】

カエリ034
拡大図053
加工基準
——の機械図面078
過剰品質089
画層021
加速試験123
カタログ111
カッター060

【き】

機械加工用刃物の逃げ
.....119
機械材料学082

機械図面

加工基準の ——078
設計基準の ——078
機械設計力081
幾何公差096
基準寸法114
基準線019
規制086
機能美072
許容限界値114
許容強さ046
キリ穴067
切欠き
——の干渉効果013

【く】

クサビ効果107
クランク量024
繰り返し荷重048
グレードわけ004

【け】

計画図014
傾斜度096
形状公差096
軽量化072
限界設計092

【こ】

公差域100
構想図014
行程024
固溶117

【さ】

最大筒内圧力024

材料の許容強さ046
座グリ016
算術平均粗さ Ra 065
残留応力064

【し】

軸線019
軸力095
——の三角形109
姿勢公差096
思想のある図面128
下穴121
舌付き座金109
実用データム形体102
締付け線図109
摺動002
出図026, 094
潤滑107
使用応力046
衝撃荷重048
仕様書014
商品開発024
正面図044
常用するハメアイ125
シーリングキャップ121
シリンダ024
シール105
真円度098
真直度096

【す】

スキマ002
翼とハウジングの ——
.....029
スケッチ演習073
スラストベアリング078

寸法記入	031
寸法公差	006
——の解析	010

【せ】

正規分布	005
製造品質	089
静的荷重	048
製品図	014
設計基準	079
——の機械図面	078
設計品質	089
設計変更	093
設計リーダー	025
切断線	053
センタ穴	121
全負荷連続運転試験	122
全振れ	098

【そ】

想像線	056
速度境界層	106

【た】

耐久性保証試験	122
対称図示記号	053
耐振動	108
体積効果	090
耐熱	108
倒れ	043
炭素量	117
断面図	053

【ち】

チャンファー	034
注記	033
中心線	019
直角度	099
直角度公差	043

【て】

ティアダウン	118
定格運転	122

データム基準	053
データム系	102
データム形体	102
データムの優先度	103
デフォルメーション	056

【と】

投影図	053
統計学	085
同軸度	096
トリプルパンチ試験	123
トレーサー	026
トロコイドポンプ	002, 040

【に】

肉盗み	126
二乗法	009

【ぬ】

抜き勾配	121
------	-----

【ね】

ねじの切り上げ	119
燃料噴射ポンプ	002

【は】

排気量	023
はずみ車	108
破断線	052
バックグラウンド図	018
はば木	121
バリ	034

【ひ】

非尺度	056
ピストン直径	024
標準部品	042
標準偏差	009
表題欄	082
表面粗さ	032, 063
表面性状	063
疲労強度	049

疲労限度	049
疲労線図	049
疲労特性	047
品質	089

【ふ】

フィレット	016, 034, 072
不完全ねじ部	061, 119
普通公差	007
歩留まり	003
部分拡大図	052
部分投影図	052
フライホイール	108
フランジ部品	055
振れ	099
振れ公差	096

【へ】

平行度	099
平面応力状態	080
平面度	099
ベクタ形式	016
へたり	111

【ほ】

ボス	036
----	-----

【ま】

マッチング	004
マンドレル	102

【み】

右側面図	044
------	-----

【も】

目標性能	023
目標品質	014
モデリング	059

【や】

矢視図	053
-----	-----

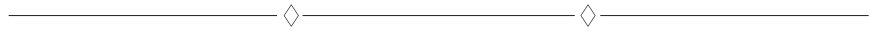
【よ】
翼とハウジングのスキマ
.....029

【ら】
ラビリンスシール105

【り】
リブ016, 057
リミット表028
理論的に正確な寸法035

【れ】
レギュレーション086
連結棒長さ024

【わ】
割りピン+溝付きナット
.....109



【G】
GO-STOP 試験123

【I】
international tolerance ..124
IT 公差124
IT ツール083

【R】
Ra064

— 著者略歴 —

- 1986年 群馬大学工学部機械工学科卒業
1986年 いすゞ自動車株式会社入社
(セラミックエンジンの研究開発等に従事)
1993年 神奈川県庁入庁(機械系職業訓練指導員として勤務)
2003年 博士(工学)(横浜国立大学)
2007年 小山工業高等専門学校機械工学科准教授
現在に至る

教科書では教えない機械設計製図

Knowledge of the Machine Design Drafting not to Teach with the Textbook

© Keiji Houjou 2011

2011年8月18日 初版第1刷発行



検印省略

著者 北 條 恵 司
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04615-1 (柏原) (製本:愛千製本所) K

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします