

機械設計製図 2

ピストンスカート部の形状と作図のヒント

連桿比 λ といい、コンロッドの長さでクランクアームの半径の比を表した値がある。この値によりエンジン全体の寸法が変化するとともに、ピストンやバランスウェイトの設計に影響を及ぼすものである。

2021年度は連桿比 $\lambda=3.2$ と設定され、初回の兼任講師の高橋先生の講義の通り、現在商品として供給されるエンジンにも用いられている数値の範囲である。そのため、難易度の高い設計となるため、ヒントとなる補助資料を用意した。

まず初めに連桿比 λ が小さくなる(コンロッドが短くなり、ピストンとバランスウェイトが近くなる)ことにより設計が難しくなる理由を挙げておく。

- A) 連桿比 λ が小さいとコンロッドが短くなるため、ピストンの動作範囲とバランスウェイトの動作範囲が干渉する。ただし、初回の兼任講師の高橋先生の講義通り、エンジンとしては全高が抑えられるため、実用的な設計の観点では好都合である。
- B) バランスウェイトを軸方向に長くして半径を抑えようとする、クランクピン中央に掛かる曲げモーメントが大きくなる形状になるなど、他の要素の設計に影響し、現実的な寸法とならない。
- C) コンロッドの揺動角度が大きくなるため、ピストン側圧が大きくなる。これを補うにはピストン長さを大きく設定する必要がある。

以上の問題を解決するためにピストンの形状を工夫し、クランクシャフトのバランスウェイトとの干渉を回避する。また、条件により側圧を確保する形状を工夫する必要がある。続いて、ピストンの大まかな形状と注意すべき強度の関係を説明する。

ピストンは鋳造(鍛造)により一体成型され、その形状は、1) 頂部の厚い円盤、2) 本体の円筒、3) ピストンピンを支えるボスの円筒から構成される立体である。それぞれの部分に掛かる力と強度についてはすでに説明のあった Part1~3 の資料の通り、以下の点を留意する必要がある。

- 1) 膨張(燃焼、爆発)時の圧力を受け止めるための頂部の厚さ
- 2) ピストンクランク機構そのものに起因するピストン側圧を受け止めるピストン直径とピストン長さによる投影面積
- 3) 膨張(燃焼、爆発)時の圧力とピストン往復運動の慣性力を受け止めるためのピストンピンボス外径・内径(ピストンピン外径)とピストンピンボス長さによる投影面積

ピストン寸法、バランスウェイト寸法を一定として、連桿比 λ を小さくするよう変化させた場合の寸法関係の模式図を図 1 に示す。連桿比 λ が大きい場合、エンジンとしての全高は大きくなる代わりに、各 부품の寸法の選択範囲は広い。コンロッドを短くして連桿比 λ を小さくすると、ピストンが下死点に到達した時には、バランスウェイトがピストンに干渉し、ピストンピンボスに接近する。また、クランクアームとコンロッドのなす角度が直角になる場合、揺動する角度が大きいため、側圧が大きくなる。

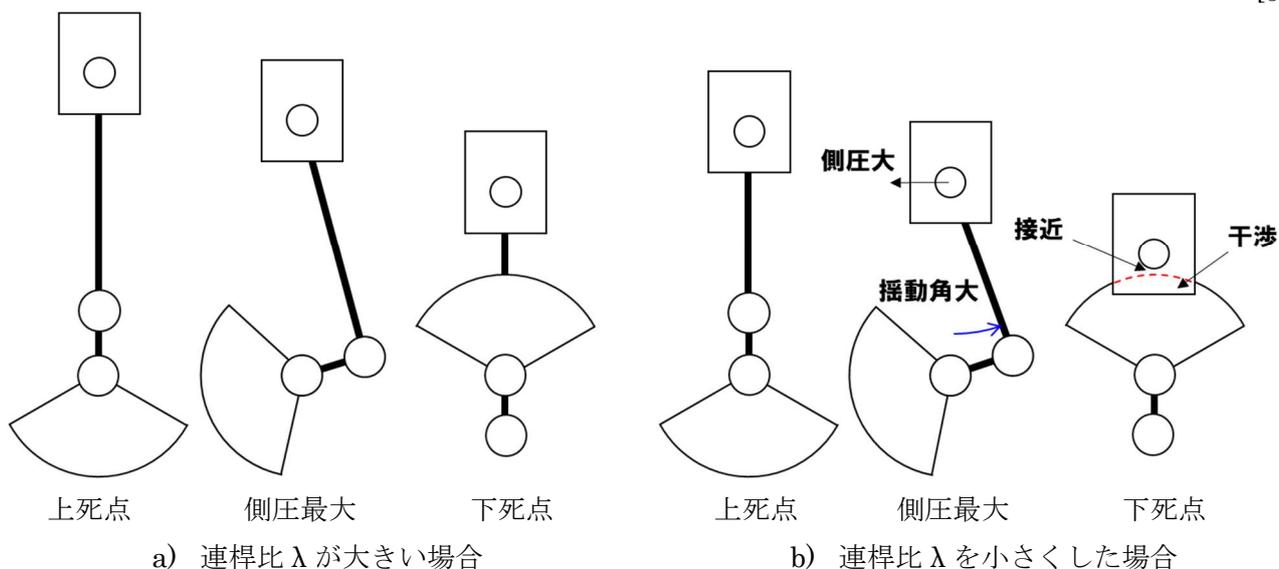


図 1: 連桿比 λ を変化させた場合の寸法関係

図 1 の通り、バランスウェイトの動作軌跡は円筒面となる。これに対し、さらに 5mm の空隙を設けた上でのピストンスカートと円筒面の交差部の形状は、エンジン前面から見ると円弧となり、側面から見ると両側が楕円の弧(厳密には、ピストン直径とバランスウェイト半径で変化する)で削られた切り欠き形状としなければならない。これを勘案して設計した例が図 2 である。

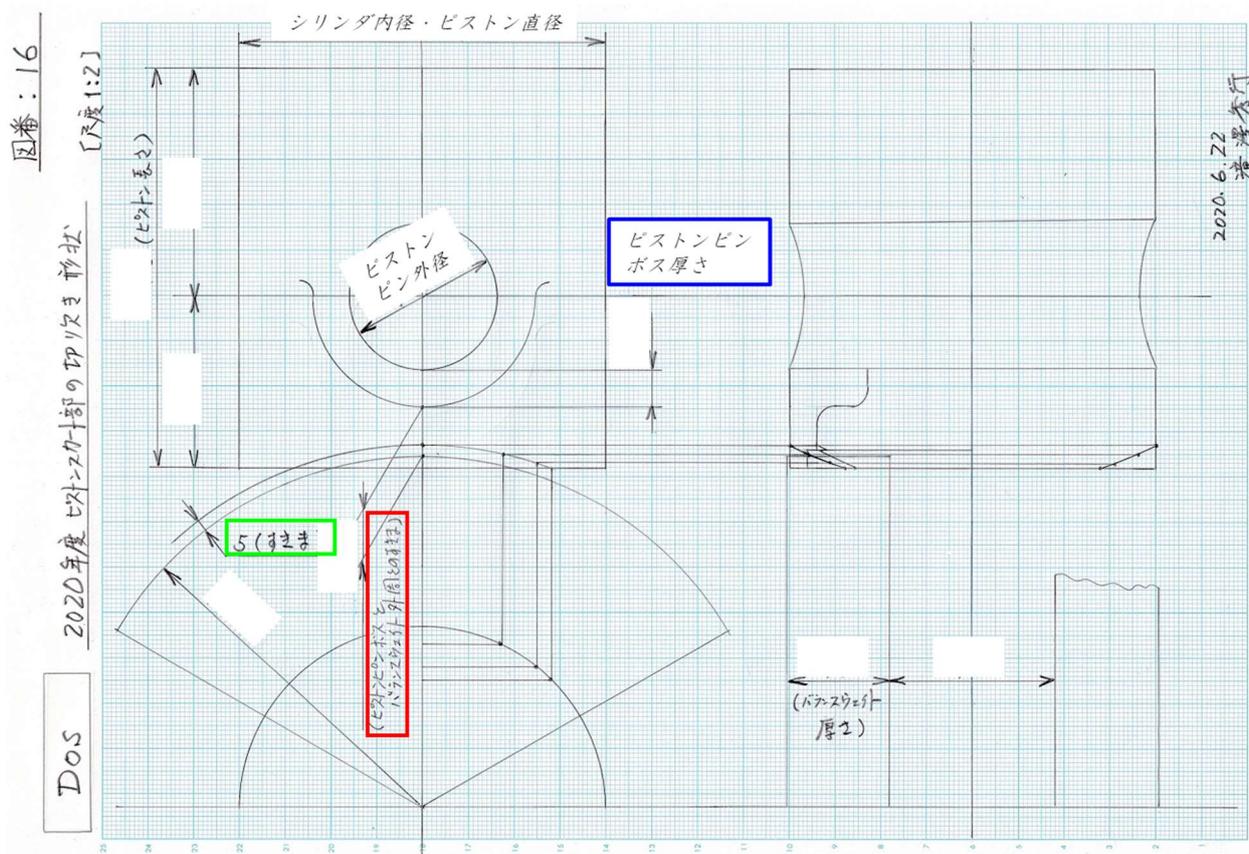


図 2: ピストンスカートおよびバランスウェイトの形状・寸法のサンプル

サンプルの図面は方眼紙に手描きで記されたもので、スカート部の要所の補助線が入っているため、

理解しやすいと思われる。これは本授業の兼任講師と担当した滝澤先生による作図であり、厳密な形状が再現されたものである。作図にあたり、機械製図、機械設計製図 1 で学んだ図法を思い出すとよい。

注意すべき点は、ピストンスカート部だけではなく、先のバランスウェイトの動作軌跡に 5mm の空隙(緑枠)を加えた軌跡(赤枠)がピストンピンボス外径に掛からないことである。ピストンピンボスの下部(青枠)もピストン上死点付近での大きな慣性力を受けるため、十分な強度を確保しておかなければならない。そのため、ピストン長さを考慮した上で、コンロッド小端部周辺に必要な形状を確保しつつ、ピストンピンボス穴の位置を上を移動するなどの調整を必要とする。

さて、バランスウェイトの半径が大きくならざるを得ない場合、図 1 のような切り欠きがさらに大きくなる。図 3 a)のようにピストンピンボスに切り欠きが達しないように注意する必要がある上、側圧が大きくなることを勘案すると、ピストン長さを確保しておかなければならないという課題がある。

しかしながら、ピストン長さを単純に長くするだけの設計は、次のような問題があるため適さない。

a)ピストン長さの範囲でピストンピンが低い位置となり支点より上と下の長さのバランスが悪くなり側圧が均等に掛からなくなくなる。

b)ピストンの重量増となり、ますますバランスウェイトを大きくしなければ動力的バランスがとれなくなる。

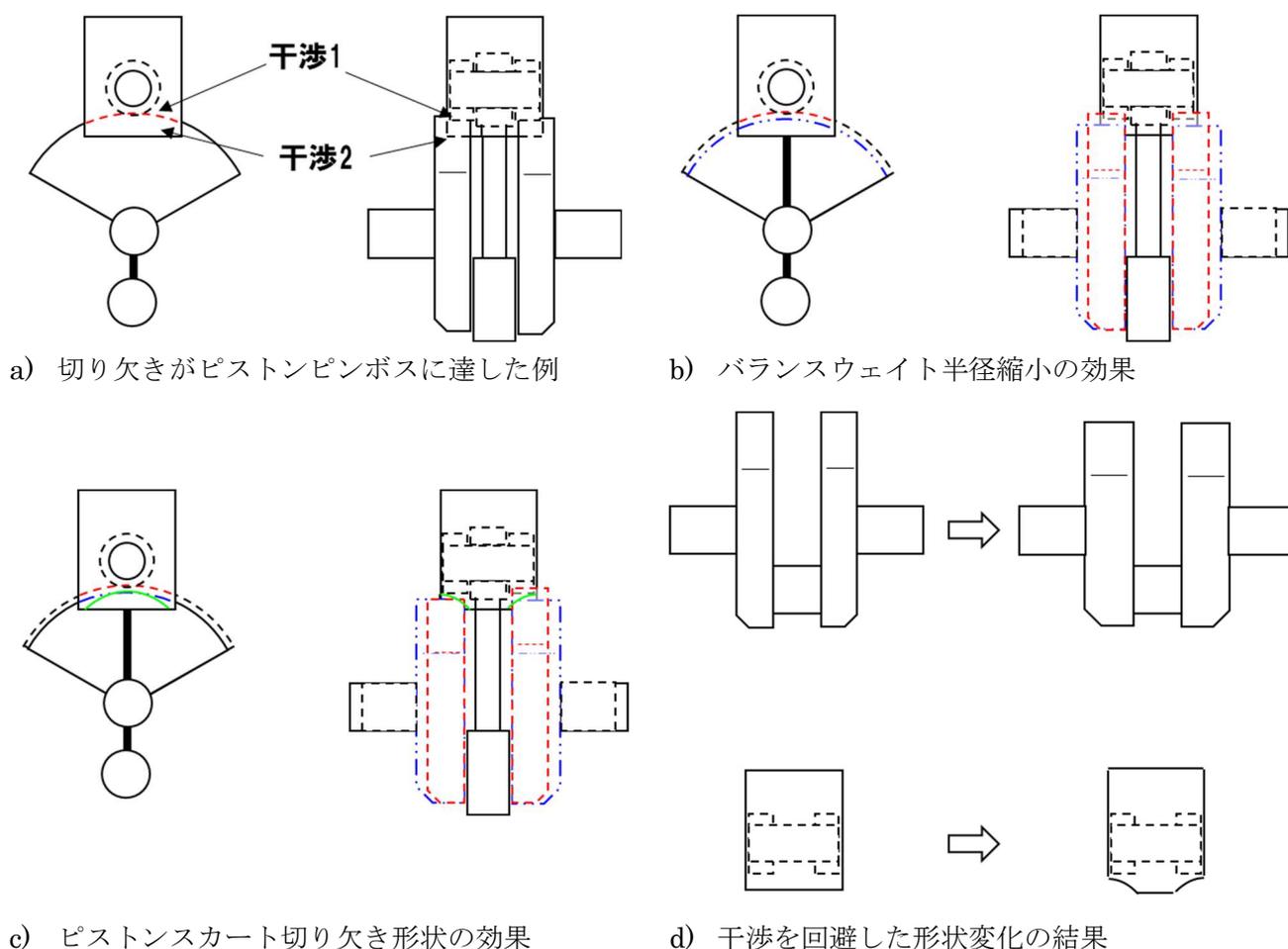


図 3：ピストンピンボス、ピストンスカートとの干渉を回避するための形状

そこで、ピストンピン中心より下の部分の長さを確保し、上下のバランスの良い設計をするには、さらなる形状的工夫が求められる。

図 3 b)のようにバランスウェイトがピストンピンボスに干渉する問題は、バランスウェイト半径を縮小するしかないため、軸方向は若干延長される。ピストンピンを可能な限り長く確保すれば、ピストンピンボス外径を減少させることは可能であるが、おそらく調整できる幅は僅かであろう。くれぐれもピストンピンボス外形を単純に減少させたり、バランスウェイト軌跡+5mm の隙間で切り欠くような形状にはできないことを認識しておく必要がある。

従って、先に示した図 2 同様にピストンスカート部に切り欠きを図 3 c)のように設けることで干渉を回避することが可能となる。その結果、図 3 d)に示したように、クランクシャフトとピストンの形状は変化する。

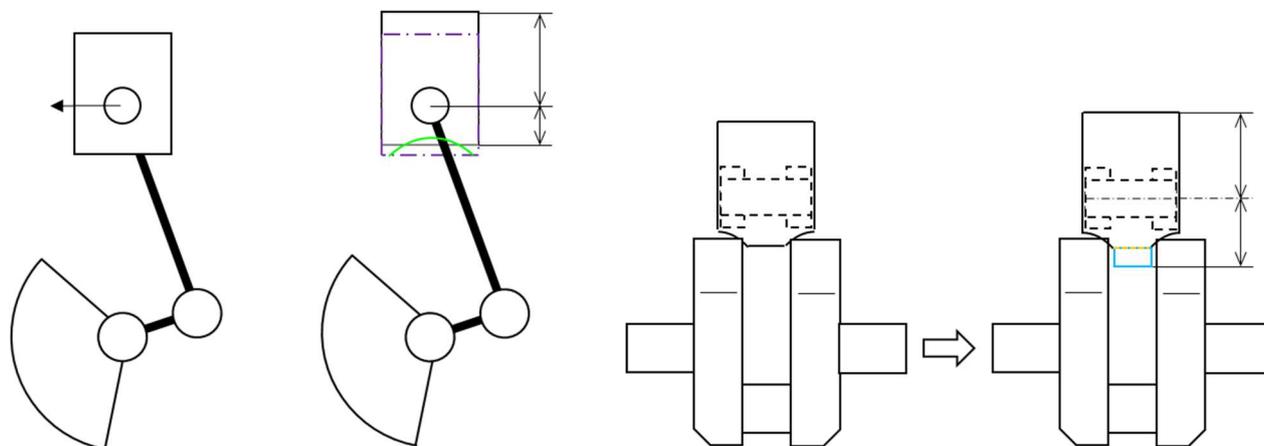
このような調整をすると、クランクジャーナル軸受け間距離が拡大し、クランクピン中央に加わる曲げモーメントが増大するなど、他の部分にも影響が出るため、Excel の計算書は変更結果が連動して更新できるよう、工夫を凝らしておくことが求められる。

以上のような形状が求められる場合、ピストン側圧についても確認を怠らないよう注意が必要である。側圧を減少させるべく、切り欠きを減らし、ピストン長さを増大させようと図 4 a)に示した例のような設計を試みると、ピストンピン中心から上下の長さが不均衡となり、すなわち作用点からのモーメントアームが不均衡となるため、面圧を意図通りに下げられない可能性があるため、さらなる工夫が求められる。

コンロッド大端部の幅がある形状故に、バランスウェイトは 2 つに分かれた形状となることから、バランスウェイトはピストンの中央部には干渉しないことに着目する。

図 2 ではバランスウェイトの半径方向に 5mm 余裕を設けたが、これに加えて軸方向に 5mm の余裕を設け、ピストン中央部の長さを確保する形状で設計する。これにより、図 4 b)のような形状となり、側方への投影面積が確保でき、しかも上下の長さの不均衡も解消できるため、意図通りの面圧調整ができるであろうと考えられる。

なお、図 4 b)ではバランスウェイトがピストンスカートに干渉しているように見えるが、ピストンピン、クランクアーム軸を通る断面で見れば干渉していないことを付記しておく。



a) 切り欠き減少とピストン延長の問題

b) ピストン長さ延長とバランスの良い面圧調整

図 4：ピストン側圧を考慮したピストン側方投影面積の確保

これらを勘案して設計された形状が図5である。図2同様、ピストンの下面の投影図があつて、特徴を示す点の位置関係をよく理解して断面図を示す必要がある。これにより断面図において切り欠き部が両端から内側に入るにつれて窄まった形状となっている理由が理解できよう。CADにおいては、複数の特徴点を通る楕円、補完曲線などで示せば良い。

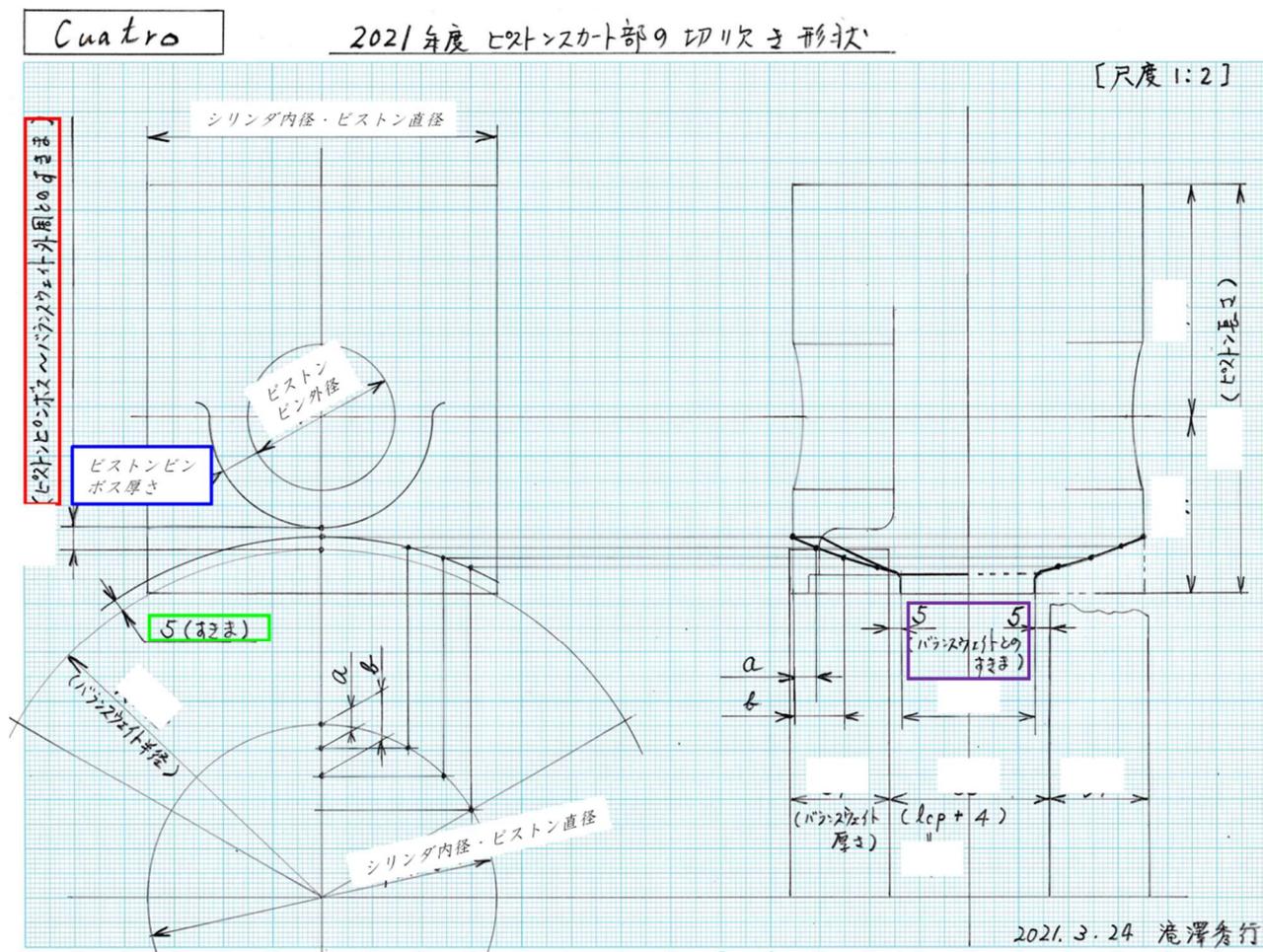


図5：ピストンスカートおよびバランスウェイトの形状・寸法のサンプル

以上の形状は実のところ市販品のエンジンのピストンに用いられているもので、考慮すべき点も多い難しいものであるが、形状と設計パラメータのつながりを意識しながら、ふるって設計に取り組んで欲しい。教室にある実物を見ると、複雑なピストン形状となっている理由が理解できるであろう。

関心のある学生は、図学、機構学関連の本を読んでおくと、上記のことがよく理解できるので、是非調べて欲しい。