

厚生労働大臣賞（入選）

円弧歯形を持った歯車及び その歯車装置の開発

山口センター（山口職業能力開発促進センター） 平田 実

1. はじめに

従来、円弧歯形を持つ歯車としては、ウィルトハーバー・ノビコフ歯車（WN歯車）が有名であり、各種分野において円弧歯形に関する研究開発が進められ円弧歯形として、あるいは円弧と他の曲線を組み合わせた歯形として各種歯車へ応用されている。前記の歯形は、内接歯車式ポンプの歯車、自動車のステアリング装置のラックアンドピニオン、減速装置の歯車、歯付ベルトの歯等の歯として用いられている。

さて、本円弧歯形を持つ歯車は、長年の考察をへて訓練教材として開発したものである。歯切りに使用される専用機械（歯切り盤等）や NC放電加工機が設備されていない中で、歯車を加工することは大変困難なことである。ただし、フライス盤による平歯車やかさ歯車の加工は可能であるが、加工精度も劣る欠点があり、歯車の種類も限定されることになる。離転職者訓練用の実技教材に苦慮している中、現有の設備を利用する中で、歯車の加工が容易で、機構が簡単な歯車装置を考案することが必要であった。本円弧歯形を持つ歯車は、前述の要件を十分に満たしてくれる歯車であり、それを使用した歯車装置である。

2. 教材開発の目的

本教材は離転職者訓練（6ヶ月）用に開発したものである。開発した発端は下記の点による。

- 1) 機製図面や製作課題として参考とする課題が少ないこと。
- 2) 離転職者訓練生に理解され、しかも製作することが可能であること。
- 3) 製作する上で専用工作機械や特別な設備を必要としないこと。
- 4) 創意工夫を含め体験的に実感できる製作課題であること。

以上の点を含め現状の訓練に於いては、AB訓練生が短期間に製作できる課題を設定することは容易ではない。本教材は、上記の点を鑑みて図面から製作及び組立調整までを一貫とした訓練カリキュラムになるように一つのテーマを元に構成した課題である。

製作課題の機械要素の一つが円弧歯形を持った歯車であり、それを使用した内接歯車ポンプ及び歯車減速機である。円弧歯形を持った歯車については、次項にてその特徴を述べるが、前記の項目を十分に満たしてくれる機械要素であると思っている。

3. 開発教材の特徴

3.1 円弧歯形を持った歯車について

円弧歯形を持った歯車については、下記の様に定義している。

外歯車の歯先面の歯形形状は基準ピッチ線をを中心とした円弧半径Rの円弧で形成され、歯底面の歯形形状は基準ピッチ円と隣り合う歯先面の歯形形状である円弧半径Rの2つの円とに外接する3接円の円弧で形成され、外歯車の歯形は前記歯先面の歯形形状の円弧と前記歯底面の歯形形状の円弧が接する

関係で接続された曲線であり、内歯車の歯底面の歯形形状は基準ピッチ線上を中心とした円弧半径Rの円弧で形成され、歯先面の歯形形状は基準ピッチ円と隣り合う歯底面の歯形形状である円弧半径Rの2つの円とに外接する3接円の円弧で形成され、内歯車の歯形は前記歯底面の歯形形状の円弧と前記歯先面の歯形形状の円弧が接する関係で接続された曲線であり、前記のそれぞれの歯形を持った外歯車と内歯車である。

3.2 歯車基本計算式について

表1 内接歯車式ポンプ用歯車基本計算式

計算項目	記号	計算式		計算例	
		外接歯車(1)	内接歯車(2)	外接歯車(1)	内接歯車(2)
円弧半径	R	R		1	
歯数	z	z1	z2	5	6
ピッチ円直径	d	$d1=R*z1$	$d2=R*z2$	5	6
歯先円直径	da	$da1=d1+2R$	$da2=d2$	7	6
歯底円直径	df	$df1=d1$	$df2=d2+2R$	5	8
歯数分割角度	α	$\alpha 1=360/z1$	$\alpha 2=360/z2$	72	60
偏心量	e	$e=R/2$		0.5	

表1は、内接歯車式ポンプの計算式として各項目をあげているが、円弧歯形を持った歯車の基本計算式として共通に使用できるものであり、歯車の歯形曲線を作成する基礎となる計算式の一覧表である。円弧を組み合わせた歯形曲線なので、歯車計算が簡単であり、CAD/CAM装置による歯形曲線の作図、歯車加工データ作成、解析が容易にできるとNC加工データ容量が小さくなり、加工時間を短縮することが出来る特徴を有する。また、本歯車の特筆すべき点は、円弧半径Rを歯の大きさを表す単位にしていること（インボリュート歯車はモジュールを使用している）であり、更に、外歯車においては歯底面の歯形形状が各々の円の3接円弧で形成されること及び内歯車においては歯先面の歯形形状が各々の円の3接円弧で形成されることにより、この歯形曲線を使用した歯車の各々の歯の噛み合いをなめらかにしていることが最大の特徴である。歯の大きさを表す円弧半径Rの値により、任意の歯数、任意の大きさの歯車の設計が可能になる。

また、表1は歯車の基本計算式を内接歯車式ポンプの外接歯車と内接歯車を例として示したものである。円弧半径R、歯数zを基に外接歯車(1)と内接歯

車(2)のピッチ円直径d、歯先円直径da、歯底円直径df、偏心量eを算出する。尚、本歯車の大きな特徴の一つであるが、外接歯車(1)に関しては、ピッチ円直径d1と歯底円直径df1が等しい関係になる。また、内接歯車(2)に関してはピッチ円直径d2と歯先円直径da2が等しい関係になる歯形を形成している。また、外接歯車の歯形形状と内接歯車の歯形形状は、円弧半径Rと歯数が同じであれば、同一歯形形状となる。360度（1円）を各々の歯車の歯数zで割った角度を歯数分割角度 α と定義することにする。以下、歯数分割角度 α と表示することにする。表1で求めた基本データにより、CADソフトを使用して歯形曲線の作図をする。本歯車の歯形曲線は、形状が単純なので汎用CADソフトにて容易に作図が可能である特徴を有している。計算例は円弧半径Rを1として、外接歯車歯数z1が5枚、内接歯車歯数z2が6枚の計算例を示す。

3.3 歯形曲線の作図方法について

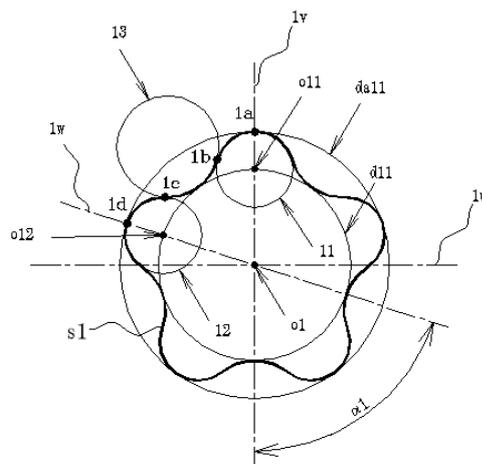


図1 外接歯車(1)を基にした歯形曲線の作図例

図1は、表1の計算例にある外接歯車(1)を基にした歯形曲線の作図例である。水平中心線lu、垂直中心線lvを作図する。次に歯数分割角度 $\alpha 1$ にて垂直中心線lvより左回り角度で、交点o1を通る中心線lwを作図する。交点o1を中心としてピッチ円d11と歯先円da11を作図する。次に、ピッチ円d11と垂直中心線lvと中心線lwの交点o11、と交点o12を中心とした円弧半径(R)1の円11、円12を作図する。前記の円11、

円12, ピッチ円d11に外接する3接円13を作図する。作図された円11の円弧1a, 1bと3接円の円弧1b, 1cと円12の円弧1c, 1dを接続すれば, 歯形曲線の一部が作図される。この歯形曲線をo1を中心として歯車の歯数値(5)ほど回転複写をすれば外接歯車の歯形曲線s1が作図される。

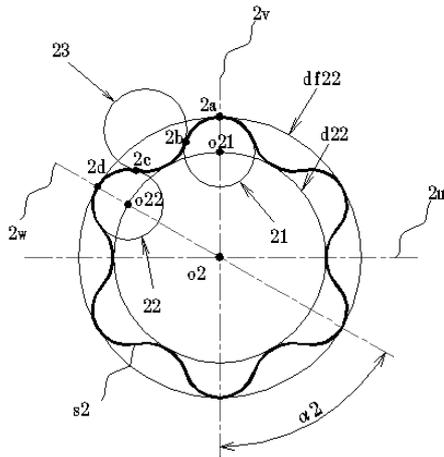


図2 内接歯車(2)を基にした歯形曲線の作図例

図2は, 表1の計算例の内接歯車(2)を基にした歯形曲線の作図例である。水平中心線2u, 垂直中心線2vを作図する。次に歯数分割角度 $\alpha 2$ にて垂直中心線2vより左回り角度で, 交点o2をと通る中心線2wを作図する。交点o2を中心としてピッチ円d22と歯底円df22を作図する。次に, ピッチ円d22と垂直中心線2vと中心線2wの交点o21, と交点o22を中心とした円弧半径(R)1の円21, 円22を作図する。前記の円21, 円22, ピッチ円d22に外接する3接円23を作図する。作図された円21の円弧2a, 2bと3接円23の円弧2b, 2cと円22の円弧2c, 2dを接続すれば, 歯形曲線の一部が作図される。この歯形曲線をo2を中心として歯車の歯数値(6)ほど回転複写をすれば内接歯車の歯形曲線s2が作図される。

本歯車は円弧歯形を持つ歯車であり, 歯の大きさは外歯車においては歯先面の歯形形状である円弧の半径R(以下, 円弧半径Rと定義する)また, 内歯車においては歯底面の歯形形状である円弧半径Rで表される。円弧半径Rは任意の値を設定することが可能であり, この値と歯数により歯車の大きさが決定することになる。一对の歯車が噛み合う条件は円

弧半径Rが同じ値になることが条件となる。この円弧半径Rはインボリュート歯車のモジュールに相当するものである。モジュールと比較すれば, 歯の大きさが測定可能な実測値として表現される利点があり, 円弧半径Rは歯車装置の大きさにより任意に設定することが可能となる。更に, インボリュート歯車と比較すれば, 噛み合いが滑らかであり, 振動が少なく歯部の強度が大となる。また, 歯と歯の干渉がないに等しい。少数枚数の歯の組み合わせから歯車列を構成できる特徴を有する。

3.4 内接歯車式ポンプについて

内接歯車式ポンプについては, トロコイドポンプの機構を応用したものである。

ハウジング内に回転自在に装着された円弧歯形を持った内接歯車と, 前記内接歯車内に偏心して配設された円弧歯形を持った外接歯車とを備え, 両歯車が互いにかみ合いして回転し, これら両歯車間に流体を吸入・吐出する内接歯車式ポンプであって, 前記内接歯車は, 前記外接歯車よりも1歯多い歯数を有し, 両歯車がお互いに最も深く噛み合う部分の反対側で両歯車の歯先同士が摺動する内接歯車式ポンプである。

従来から使用されている内接歯車式ポンプにはトロコイド歯形を使用したトロコイドポンプが多く使用されている。このトロコイド歯形を持った歯車を内接歯車式ポンプに使用した場合, 外接歯車の歯先円直径がその歯車の歯数と, 設計上の偏心量, 基礎円直径, 転円直径, 軌跡円直径により決定される。逆に, 外接歯車の歯先円直径を固定して偏心量を決めようとする, 偏心量の設定に自由度がなく, 吐出量を大きくすることが出来ない問題点がある。理論吐出量は偏心量が大きくなるにつれて増加するため, 吐出量を増やすには, 偏心量の設定に自由度を与える必要がある。円弧歯形を持った歯車を使用すれば, 装置の大きさを含めて偏心量の設定に自由度のある内接歯車式ポンプが設計可能となる特徴を有している。

3.5 内接歯車式ポンプの構成図

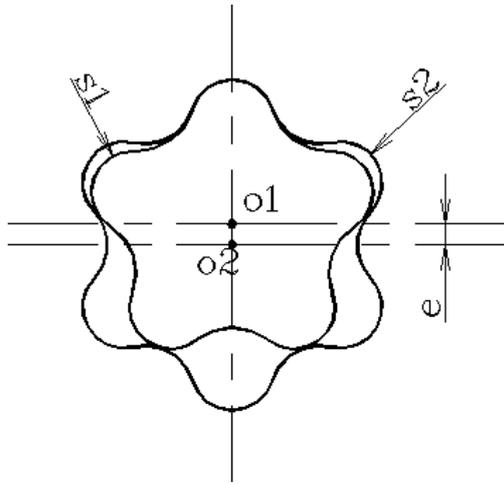


図3 内接歯車式ポンプの構成図

図3は表1の計算式を基にして作図した図1の外接歯車(1)と図2の内接歯車(2)を組み合わせた内接歯車式ポンプの構成図である。eは偏心量を示す。外接歯車歯数5枚の歯形曲線s1と内接歯車歯数6枚の歯形曲線s2のかみ合いを示す。入力軸を介して外接歯車(1)へ動力が伝達される。外接歯車(1)はo1を中心として回転をする。内接歯車(2)は外接歯車(1)とかみ合いながらo2を中心として同じ方向へ回転し、これら両歯車間に流体を吸入・吐出する内接歯車式ポンプであって、前記内接歯車は、前記外接歯車よりも1歯多い歯数を有し、両歯車がお互いに最も深くかみ合う部分の反対側で両歯車の歯先同士が摺動する内接歯車式ポンプである。偏心量eは表1の計算式の通り円弧半径R/2で簡単に求められることを最大の特徴としている。また、外接歯車と内接歯車の歯数の組み合わせは、最小1枚歯と2枚歯組み合わせから可能である。

図4は円弧歯形を持った歯車のかみ合い解析図である。図(a)は図1の外接歯車(1)の歯形曲線s1の1枚歯分の歯形曲線s11と図2の内接歯車(2)の歯形曲線s2の1枚歯分の歯形曲線s22がそれぞれo1及びo2を中心点としてかみ合っている状態を示している。図(b)は図(a)を初期状態として、外接歯車(5枚)と内接歯車(6枚)の歯数比5:6の逆比(6:5)の回転角にて左回りに回転させ、それぞれの歯形曲線s11, s22の各回転角におけるかみあい軌跡を図示したもの

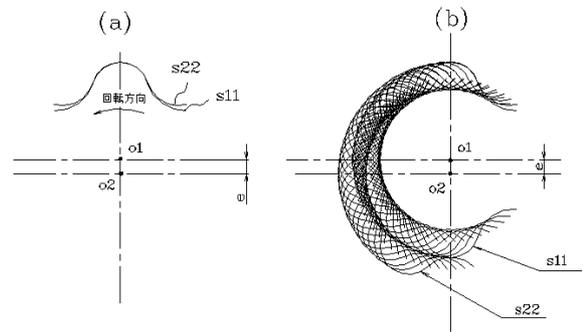


図4 円弧歯形を持った歯車のかみ合い解析図

である。歯形曲線s11はo1を中心として6度ごとに180度まで回転させたものであり、歯形曲線s22はo2を中心として5度ごとに150度まで回転させてかみ合い状態を解析したものである。更に、それぞれの回転角度に置けるお互いの歯の干渉を分析したものである。それぞれの回転角度に於けるかみ合い状態を解析した結果、歯と歯による干渉もなく、それぞれの歯の遅れや進み現象もないと推測される。

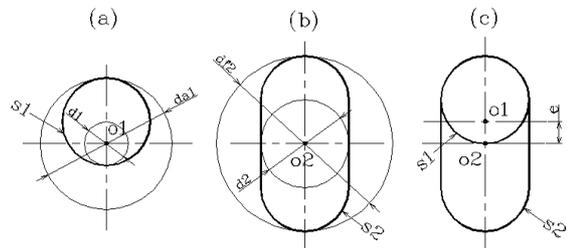


図5 最小枚数の組み合わせ図

図5は、外接歯車1枚歯と内接歯車2枚歯の各歯車とこれらの歯車を使用した内接歯車式ポンプの構成図を示す。本歯車を使用した最小枚数の組み合わせ図である。図(a)は外接歯車1枚歯を示す。表1より、d1は外接歯車のピッチ円直径、da1は歯先円直径である。本歯車の定義からすれば、歯形曲線の作図において1枚歯の場合は、3接円で求める歯形の円弧部の作図は不可能であるため、1枚歯歯形曲線s1はo1を中心として回転する円弧半径Rの円として定義することにする。図(b)は内接歯車2枚歯を示す。表1よりd2は内接歯車のピッチ円直径、df2は歯底円直径である。2枚歯の場合は、2つの円弧半径Rの円の中心とピッチ円の中心が同一直線上にあるため、3接円で求める歯形の円弧部は、前記3つの円の接線となる。図(c)は外接歯車1枚と内接歯車2枚を組

み合わせた内接歯車式ポンプの構成図である。入力軸を介して歯形曲線s1の外接歯車はo1を中心として回転をする。外接歯車が回転をすれば、それにかみ合っている歯形曲線s2の内接歯車はo2を中心として同方向へ回転をする内接歯車式ポンプである。偏心量eと円弧半径Rを多様に設定すれば、回転往復式ポンプや内燃機関にも応用は可能となる。以下、表1の計算式を基にして作図したポンプ構成図を下記に示す。円弧半径Rは1としている。

図6

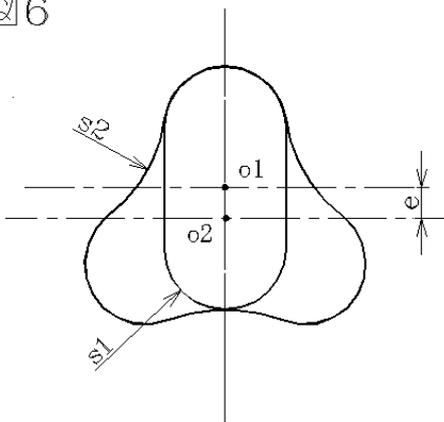


図7

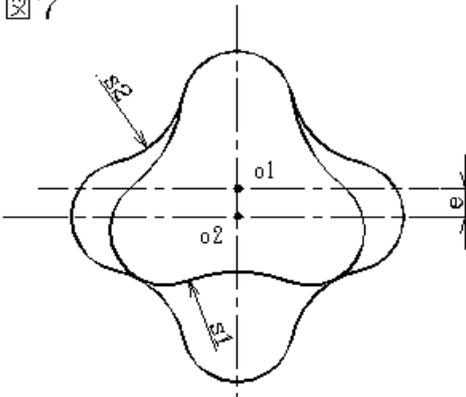


図8

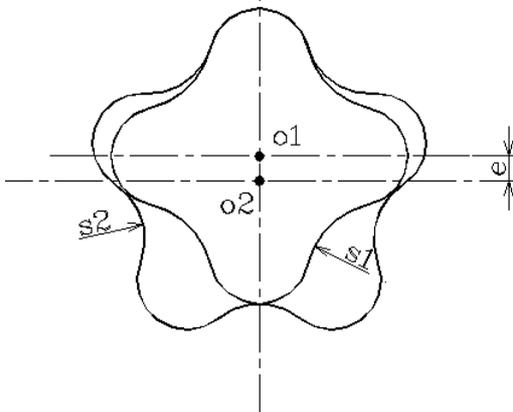


図9

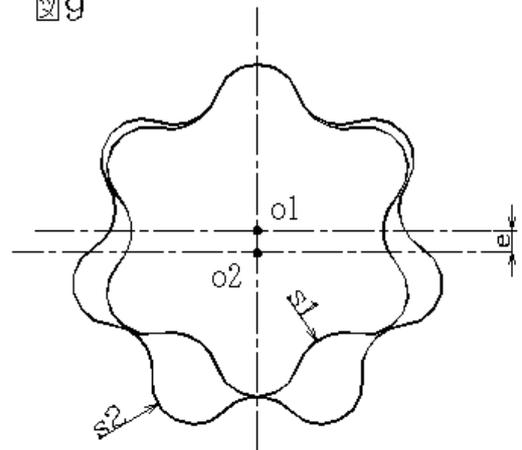


図6は外接歯車2枚歯と内接歯車3枚歯の内接歯車式ポンプの構成図である。図7は外接歯車3枚歯と内接歯車4枚歯の内接歯車式ポンプの構成図である。図8は外接歯車4枚歯と内接歯車5枚歯の内接歯車式ポンプの構成図である。図9は外接歯車6枚歯と内接歯車7枚歯の内接歯車式ポンプの構成図である。本歯車を使用すれば、内接歯車式ポンプは外接歯車と内接歯車の歯数を1枚差にすることを条件として、任意枚数の歯車組み合わせが可能となる特徴を有する。

3.6 オフセットさせた歯形曲線を持つ内接歯車式ポンプの構成図について

図10

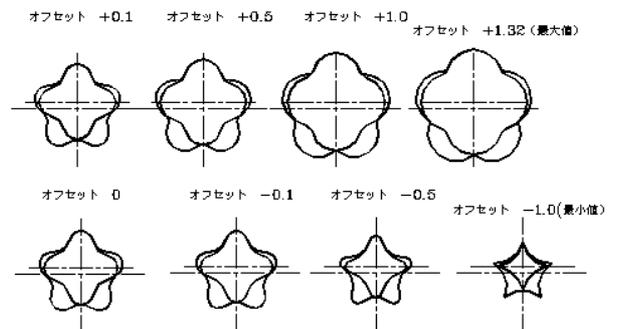


表1及び図1と図2で説明した外接歯車及び内接歯車の歯形曲線を標準歯形曲線とすれば、図10に示す歯形曲線は標準歯形曲線に対してオフセットして変形させた歯形曲線である。オフセットとは等間隔に平行移動させることである。但し、1組の歯車として正確なかみ合いを保つ為には、外接歯車の歯形

曲線と内接歯車の歯形曲線は同じオフセット量で同じ方向にて処理しなければならない制限がある。オフセットが可能な範囲は円弧半径Rの数値により決定される。オフセット値をFとすればFは+1.32Rから-Rの範囲で可能となる。図10は、外接歯車の歯数4枚、内接歯車の歯数5枚組み合わせの内接歯車式ポンプの構成図であり、円弧半径Rは1である。オフセット値0は標準歯形曲線を示す。標準歯形曲線に対してそれぞれプラス側とマイナス側へオフセットさせた図である。標準歯形曲線を使用した歯車で構成される内接歯車式ポンプを基にして、オフセットした歯形曲線を使用した歯車でポンプを構成すれば、装置の大きさの調整や吐出量の調整が可能となる特徴がある。つまり、内接歯車式ポンプの設計に多少の自由度を持たせることが可能となる。

3.7 円弧歯形を持った歯車を使用した減速機について

表 2

サイクロ減速機用歯車関係(1)				
	外接歯車133	内接歯車134	内ローラー(出力軸)135	
円弧半径 R	4	4	ピン取り付(ピッチ円直径 dp	50
歯数 z	20	21	円盤外径 dg	70
ピッチ円直径 d	80	84	ピン直径 dh	10
歯先円直径 da	88	84		
歯底円直径 df	80	92		
ピン穴径	14			
歯数分割角度 α	18.000	17.1428571		
偏心量 e	2			
歯幅 b	15			

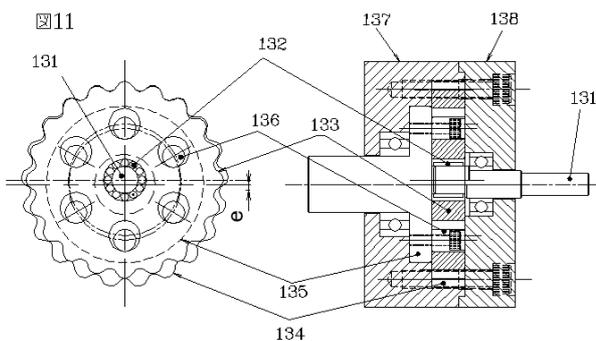


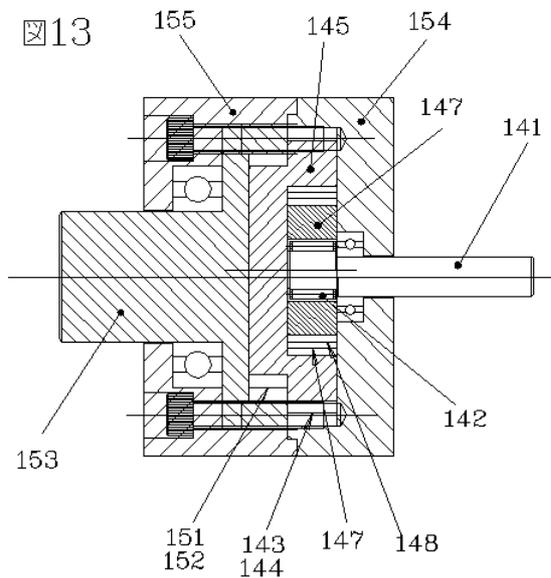
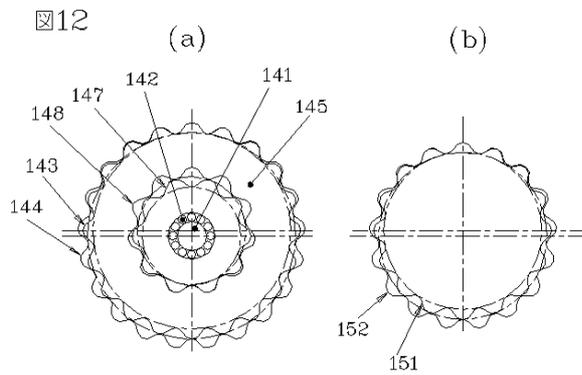
図11は、円弧歯形を持った歯車を使用した減速機の構成図を示す。左図がケーシングカバー138を取り除いた時に見える各々の歯車の構成図である。右図は減速機の組み立て断面図を示す。機構的な原理は、サイクロ減速機のしくみを応用したものである。この減速機は、本歯車を使用して構成されている。サイクロイド歯形は全く使用していない。円弧歯形の

み使用した歯車で構成した減速機である。表2に各歯車の基本データを示す。動力の伝達は入力軸131(偏心量eの偏心軸)から軸受け132(または、ローラーピン)を介して遊星歯車である外歯車133に伝達される。この外歯車133には、内ピン136が接触するピン穴が6個設けてある。外歯車133は固定太陽歯車134(ケーシング本体137に内歯車が歯切りしてある)とかみ合いながら回転をする。外歯車133が回転をすれば、6個のピン穴に接触している6個の内ピン136も同時に回転をする。内ピンは内ローラー135に固定されていて出力軸となる。表2より、遊星歯車である外歯車133の歯数 $z_1=20$ 枚で、太陽歯車である内歯車134の歯数 $z_2=21$ 枚なので、この減速機の減速比 $i = (z_2 - z_1) / z_1$ の式により、 $1/20$ の減速比となる。円弧半径Rと歯車の歯数の設定により、減速装置の大きさや減速比は任意に設定が可能となる特徴がある。尚、外歯車133と内歯車134は1枚差の歯車であり、内接歯車式ポンプの歯車構成を応用したものである。また、前記減速機に使用する歯車は、外歯車と内歯車が機能的に噛み合いをするならば、トロコイド曲線、サイクロイド曲線を含む他の歯形曲線を持った歯車でも前記の減速機の歯車として使用することは可能であると推測される。

図12, 図13は図11の減速機を基にした改良型減速機である。図12(a)は入力軸側の各々の歯車の構成図を示す。図12(b)は出力軸側の歯車の構成図を示している。図13は改良型減速機の組み立て断面図を示す。表3に各歯車の基本データを示す。内ピン及びピン

表 3

改良型サイクロ減速機用歯車(2)				
	外接歯車143	外接歯車151	外接歯車147	
円弧半径 R	4	4	4	
歯数 z	zb=20	zd=19	10	
ピッチ円直径 d	80	76	40	
歯先円直径 da	88	84	48	
歯底円直径 df	80	76	40	
歯数分割角度 α	18	18.947	36	
偏心量 e	2			
歯幅 b	15			
	内接歯車144	内接歯車152	内接歯車148	
円弧半径 R	4	4	4	
歯数 z	zB=21	zD=20	11	
ピッチ円直径 d	84	80	44	
歯先円直径 da	84	80	44	
歯底円直径 df	92	88	52	
歯数分割角度 α	17.14285714	18.000	32.72727273	
偏心量 e	2			
歯幅 b	15			



穴を無しにして、外歯車と内歯車の構成だけにしたものである。動力の伝達は入力軸141（偏心量 e の偏心軸）から軸受け142（またはローラーピン）を介して第1遊星歯車である外歯車147に伝達され、第2遊星歯車145の内歯車148とかみ合うと同時にその外歯車143は固定太陽歯車144（入力軸側ケーシングカバーに内歯車を歯切り）にも噛み合うことになる。尚、第2遊星歯車145には、3個の歯車が一体として歯切りされている。入力軸側の内歯車148及び固定太陽歯車に噛み合う外歯車143と出力軸側の外歯車151である。第2遊星歯車は揺動しながら、出力軸153に歯切りされている内歯車152と噛み合いながら出力軸へ動力が伝達される。第1遊星歯車の外歯車147と第2遊星歯車145の内歯車148が図11の減速機の6個の内ピンと6個のピン穴に相当する機能を分担していることになる。この減速機の場合は、第1遊星歯車の外歯車147とそれにかみ合う第2遊星歯車の内歯車148

の歯数比は減速比には関係しない。第2遊星歯車の外歯車143と固定太陽歯車144との歯数比及び出力軸側の外歯車151と内歯車152の歯数比がこの減速機の減速比に関係する。減速比を式にて説明すると次のようになる。減速比 $i = (z_B - z_b) / z_b \times (z_b - z_d) / z_D$ となる。 z_b は外歯車143の歯数であり、 z_B は内歯車144の歯数、 z_d は外歯車151の歯数、 z_D は内歯車152の歯数を示す。この減速機の場合、表3より減速比 $i = 1/400$ となり、大きな減速比を得ることができる。前記の減速比の式において、分子の歯車の歯数差が1に近い値になることと、分母の歯車の歯数が多いほど大きな減速比が得られる。また、減速比 i の値が正の値の時は、入力軸と出力軸の回転方向は同方向になる。減速比 i の値が負の値の時は、入力軸と出力軸の回転方向は反対方向になる。歯車の歯数及び円弧半径 R の設定により、更に大きな減速比を得ることが可能である。試作上は、減速比が $1/1600$ までの減速機を製作しているが、装置の大きさを少し拡大するか、又は減速機を2段、3段組合せることにより、無限に近い減速比を得ることが可能となる。

上述の様に円弧半径 R と歯車の歯数の設定により、減速装置の大きさや減速比は任意に設定が可能となる特徴がある。更に、機構的には内接歯車式ポンプの機構を応用しているため、減速装置への潤滑を自給させる機能を持たせることも可能となる特徴を有している。前記の減速装置に使用する歯車は、この減速装置の構成と機能が果たせるのであれば、前記減速装置に用いられる外歯車と内歯車の歯車は、インボリュート歯車やトロコイド曲線を歯形にした歯車、サイクロイド曲線を歯形にした歯車、または他の歯形曲線で形成される歯車を使用して減速装置の歯車として使用することも可能であると推測される。

4. 使用状況・訓練効果

4.1 教材としての活用概要

テクニカルオペレーション科CAMコースにおける本教材である円弧歯形を持った歯車及び歯車装置の活用状況を下記に述べる。

CAMコースの訓練カリキュラムは下記の6システムにて構成されている。本教材がそれぞれのシステムの中でどの様に活用されているかを簡単に説明する。

- 1) 機械製図基本及びCAD作業1
- 2) 機械製図基本及びCAD作業2
- 3) CAM応用
- 4) 旋盤及びNC旋盤作業
- 5) フライス盤及びマシニングセンタ作業
- 6) NC旋盤加工サブ, マシニングセンタ加工サブ

1) 機械製図基本及びCAD作業1

機械製図の基本である投影法を理解し、CAD基本操作、各種コマンドを習得後、簡単な課題図面の作成演習の中で加工図面作成に入る。(例えば内接歯車式ポンプ) 旋盤用加工図面は、軸、プシュ、軸受カバー、及び歯車素材と歯切り加工用取り付けジグ等である。フライス加工図面は、ケーシング本体及びケーシングカバーの素材図面(六面体加工図面)が主となる。但し、本教材を活用して訓練を進める場合は、製作課題として何に取り組むかを決定して置かなければならない。(本教材では、内接歯車式ポンプ又は歯車減速機) 製作に於いては、加工図面や材料及び工具の手配等が必要となる。製作課題の装置の大きさは、最初に決定している。材料や工具の手配及び機械等の設備を含め、手頃な課題になるように考慮しなければならないからである。

2) 機械製図基本及びCAD作業2

製作課題として使用する機械要素(ボルト、ナット、キー、軸、軸受、歯車等)の基礎知識を習得する中で、インボリュート歯車と比較しながら円弧歯形を持った歯車について基本的事項を説明している。例えば、歯形の種類、歯形の作成方法、各歯形の特徴などである。また、歯車装置の種類や機構についても課題図作成及び製作する上で必要となる知識なので試作教材(内接歯車式ポンプ、減速機)を例に示しながら説明をしている。ユニットのCAD応用2及びCAD応用3の訓練の中では、CAD作業の最終仕上げに入っている段階なので、教材である製作課題

を中心とした設計製図に訓練の割り振りをしている。簡単にその手順を説明すると下記のような手順になる。例えば内接歯車式ポンプでは、

- ① 4人程度を1班として、各課題ごとに訓練生の班への割り振りをする。
a班: 2枚歯3枚歯組合せの歯車ポンプ
b班: 3枚歯4枚歯組合せの歯車ポンプ
c班: 4枚歯5枚歯組合せの歯車ポンプ
d班: 5枚歯6枚歯組合せの歯車ポンプ
e班: 6枚歯7枚歯組合せの歯車ポンプ
f班: 7枚歯8枚歯組合せの歯車ポンプ
訓練生定員は、12名であり2期合同訓練をしているので24名となる。

- ② 試作した内接歯車式ポンプの分解およびスケッチ作業に入る。

- ③ 装置の大きさを設定した上で、歯車の大きさを決定する。

歯車基本計算式について説明をする。

- ④ ケーシング及びケーシングカバーの大きさを決定する。

- ⑤ 軸を設計する。また、軸受け、オイルシールを選定する。

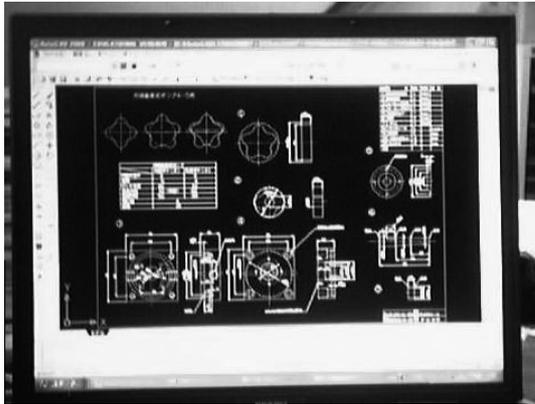
- ⑥ 以上の主な部品の大きさが決定したら、各部品図の作成に入る。

- ⑦ 部品図が完成すれば、組立図の作成に入る。

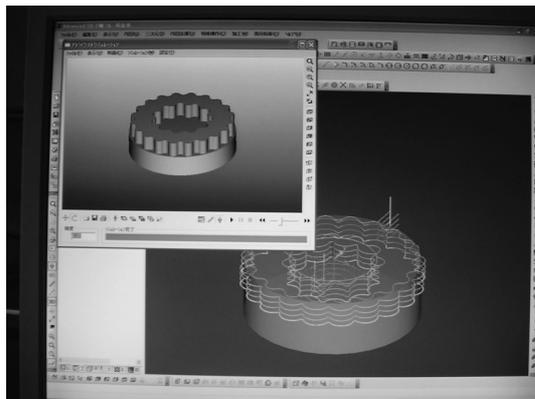
以上が、設計製図に取りかかる主だった手順である。但し、設計については歯車の大きさを計算式により決定し、使用する機械要素部品についてJISハンドブックまたはカタログにて選定する程度のものであり、本来の材料力学的な計算から部品の各部のサイズを決定する方法などは取っていない。

3) CAM応用

当センターでは、CAMの訓練時にはCAMソフトとして α CAMを使用している。 α CAMの操作および作図練習、基本的な2次元加工用モデルの加工データ作成が終了した時点において、2次元加工データ作成の応用編として教材用(内接歯車式ポンプまたは歯車減速機)の各部品(各種歯車、ケーシング、ケーシングカバー等)の加工データ作成に入っている



る。もちろん、ソースデータとなるのは機械製図基本及びCAD作業2で完成させている図面である。CAD作業にて作成した各班における図面をもとにして、NC工作機械用のNCデータ作成をすることになる。ここで作成されたデータは、NC工作実習の加工用データとなる。内接歯車式ポンプまたは歯車減速機の製作については、マシニングセンタ作業が主となっている。



4) 旋盤およびNC旋盤作業

前述のごとく、それぞれのシステムにおける教材としての活用は、ユニットシステムにおける基本課題を訓練生が習得した時点を見計らって導入することを基本としている。普通旋盤作業における教材としての活用は、内接歯車式ポンプを例にして取り上げるならば、旋盤の操作、芯出し作業、端面削り、外径削り、段付作業、内径加工等ひと通りの基本作業が終了した時点で、1) 機械製図基本およびCAD作業1及び2) 機械製図基本およびCAD作業2で作図した旋盤加工図面を基にして軸、歯車素材、プー

リー等の部品加工を進めることになる。尚、歯車素材からの歯切り加工には治具が必要になるので同時にそれぞれの歯車素材に応じた治具の製作にも取り組んでいる。

5) フライス盤およびマシニングセンタ作業

フライス盤作業においては、フライス加工の基本である六面体加工の段階にて教材となる材料の六面体加工を実施している。つまり、内接歯車式ポンプであれば、ケーシング本体、及びケーシングカバーの加工である。付随して、現時点で可能な加工（穴あけ、ねじ立て）は同時進行させている。尚、旋盤作業と同様に、1) 機械製図基本及びCAD作業1にて作図したフライス加工図面を基にして加工を進めている。

6) NC旋盤加工サブ、マシニングセンタ加工サブ

このシステムに訓練が進む頃には、旋盤作業で加工した部品（軸、軸受けカバー、プッシュ、プーリー、歯車素材等）また、フライス作業で加工した部品（ケーシング本体の素材、ケーシングカバーの素材）、NC加工時に必要な治具等が完成している時期である。また、NC旋盤およびマシニングセンタの基本プログラミング、基本課題演習は終了している。NC機の機械操作、座標系設定、工具のセティング、プログラム編集等の訓練の後に教材である部品の加工へと進めてゆくことになる。部品完成後は、教材（内接歯車式ポンプまたは減速機）の組み立て調整作業をへて完成となる。本来ならば、旋盤作業およびフライス作業での部品加工を含めて、部品となる製品の寸法精度等が要求される歯車装置であるが、装置を構成する主要部分はNC加工にての寸法精度に委ねる形で訓練を進めている。6ヶ月間の訓練の中で訓練生に高度な技能を要求することには無理がある。その不足する技能は、NC加工のプログラム上で表現できる教材として考案した次第である。

4.2 本教材の特色

1) 円弧歯形を持った歯車について

・歯の大きさを円弧半径Rにて表し、歯の大きさは

歯車のサイズにより任意に設定できる。

- ・歯形が円弧で形成されているので、歯の強度が高くなめらかなかみ合いが可能となる。
- ・歯形曲線の作図が簡単であり、円弧曲線だけを使用しているため、NCデータ容量を少なくすることが可能である。
- ・歯形曲線を変形させることが可能であり、自在に変形した歯形を持った歯車のかみ合わせが可能となる。(現在、開発中の課題として取り組んでいる)
- ・本歯車の加工は、専用の機械を必要とせず、NC工作機械にて種々の加工が可能である。



2) 円弧歯形を持った歯車を使用した歯車ポンプについて

- ・本教材としている内接歯車式ポンプは、トロコイドポンプをモデルとしたものである。トロコイドポンプと比較すれば、簡単な円弧曲線で構成した歯車であり、歯車設計上の容易さを特徴としている。表1の歯車計算式にて歯車の基本的事項は求まる。偏心量 e の設定に自由度を持たせているので、用途に応じたポンプを自在に設計することが

可能となる。

- ・歯車の歯数は1枚歯から任意の歯数まで設計が可能である。少数歯数の歯車組合せによる歯車ポンプの設計が可能となる。
- ・変形させた歯形を持った歯車をポンプに使用することにより、ポンプの容積率や圧力を向上させた歯車ポンプを設計することが可能となる。(現在、開発及び試作中)

3) 円弧歯形を持った歯車を使用した減速機について

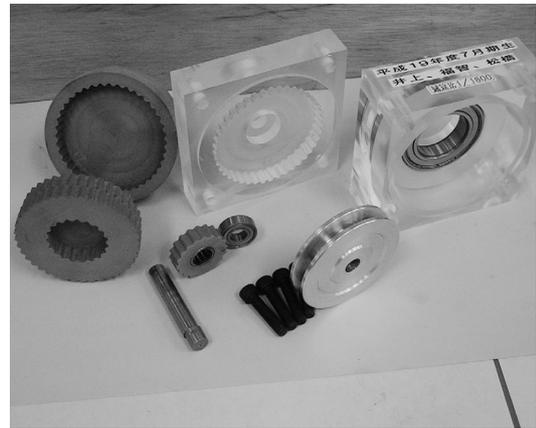
- ・本教材としている減速機は、サイクロ減速機(商標登録)をモデルとしたものである。上記4,5)円弧歯形を持った歯車で構成した減速機の構成図例その1及び2で説明の通り、円弧歯形を持った歯車で構成した減速機である。構造が簡単であり、部品数を少なくして大きな減速比が得られる減速機である。しかも、分解・組み立てが容易である特徴を持っている。
- ・前述の通り歯の大きさを任意に設定することが可能であるため、減速比、装置の大きさを任意に決定することが可能となる。

4) 本教材としての活用と効果

- ・設計製図が容易であり、初心者の訓練生にも理解することが可能であり、モデルとして製作した課題は、次期の訓練生にもスケッチ作業、設計製図に活用できること。
- ・製作する上での加工が容易であり、一般の汎用機械、NC工作機械で対応が可能であること。
- ・歯車ポンプ、減速機以外の他の歯車装置にも円弧歯形を持った歯車を活用することが可能であること。

5. おわりに

本教材は、円弧歯形を持った歯車を使用した装置の製作及び開発である。全く他で使用されたことのない歯車を使用して装置を構成する、つまり、ほとんど未知数の中での取り組みであったので、訓練教



材と言っても訓練生と共に創意工夫をしながらの課題製作であった。理論的あるいは、図面的に問題がなくても、課題製作においてはいろいろな問題点が生じてくることが多くあるが、それらを克服しながら完成品へとたどり着くことは中々容易ではない場合がある。

実際には、訓練生と共に考えながら進めて来たことになる。課題が完成した場合は、試運転をして確認することになっている。出来不出来はあるが、訓練生が一番すばらしい笑顔を見せるときでもある。指導員共々、歓喜に浸ることの出来るひと時である。

また、訓練教材については出来るだけ同じ課題（例えば、歯車ポンプでは組合せ歯数を変える。減速機では減速比を変える）は製作しないと言う事を前提に取り組んできたところであるが、ネタが底につきかけているので新たな工夫が必要に成って来ている。現在は、この円弧歯形を変形させた（歯形曲線の中心を基点にオフセットさせたもの）歯車にて、教材開発をしているところである。

最後に、受賞に際して共に製作に取り組んできた科の先生方および修了生、訓練生、関係各位の皆様に深く感謝を申し上げます。

<参考文献>

- 1) 特願2006-172806 円弧歯形を使用した歯車及び内接歯車式ポンプ、歯車伝達装置、歯車製造法（特許 第4088842号）
- 2) 特願2008-000244 円弧歯形を使用した歯車及び歯車伝達装置