大阪公立大学
Osaka Metropolitan University
学術情報リポジトリ

超減速装置の開発

メタデータ	言語: Japanese
	出版者:
	公開日: 2013-12-05
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 吉田, 丈夫, 宮本, 知尚, 廣口, 和夫, 笠井, 三男
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007789

超減速装置の開発

吉田　丈夫*　宮本　知尚**　廣口　和夫*　笠井　三男**

Development Of Super-Reduction Gear

Takeo YOSHIDA*　Tomohisa MIYAMOTO**　Kazuo HIROGUCHI*　Mitsuo KASAI**

ABSTRACT

In order to make miniaturized machines or to use high speed actuaters for ordinary machines, a super-reduction gear is very useful. But the ones used in the industry are around 1/100 ratio reduction gears, and there exists no apparatus which has around 1/1000 reduction ratio. In this research, a reduction gear which could be named 'Super-reduction' was investigated. The main point of this apparatus is the use of differential gear. Both of the side-gears of it were slightly different in number and were rotated in an opposit direction. This apparatus acommplished 1/3600 reduction ratio by the use of 42 teeth gear for side gear. In case the larger number of teeth were used, much more reduction ratio will be obtained easily.

Key Words: Differential Gear, Side Gear, Reduction Ratio, Miniaturization, Teeth Number, Furman Mechanism

1）はじめに

電子デバイスの進歩，省資源化政策，人々の趣向等により機械はますます小型軽量化の方向に向かっている．しかし，モーター・エンジン・タービン等機械を動かすためのアクチュエーターにはますます強力なものが要求されており，これは必然的に大型化，高回転化をまねく．一方機械に要求される駆動装置の回転数はそんなに高くないのが普通である．従ってアクチュエーターと機械との間に減速装置が必要となり，装置の小型化のためには減速装置の小型化が必要である．減速装置の小型化は減速比の大きな"超"減速装置の開発によって可能となる（本稿では1/1000程度の減速装置を超減速装置と呼ぶことにする）．それは通常の歯車の組合せでは不可能である．現在超減速と呼べるような減速装置は実用されていない．不思議歯車を用いた装置[1]や，ハーモニックドライブと呼ばれる特殊な方式があるが，これらによる実用範囲での減速比は1/100前後で"高"減速と呼べるものでしかない．本研究は超減速装置を開発しようとするものである．装置の核心部分は差動歯車で，車に用いられるデフとは入出力の関係を逆にし，かつ２つのサイドギヤとして歯数が数枚異なったものを用いる．このような条件の下で駆動用モーターを用いて両サイドギヤを逆回転させ，ピニオンの回転を出力として取り出す．この方式で超減速を実現するとともに，装置の小型化をも追及する．

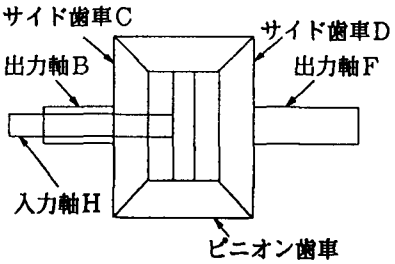
１９９４年４月１１日受理

＊システム制御工学科
（Department of Systems and Control Engineering）
＊＊機械工学科（Department of Mechanical Engineering）

2）理論

2-1）デファレンシャルギヤー（デフ）の解析

図－１に通常のデファレンシャルギヤー（以下デフと呼ぶ）を示す．



図－１デファレンシャルギヤー（デフ）

この装置の入出力の関係は

$$Nd = 2Nh - Nc \quad \text{----------(1)}$$

Nd：出力軸Fの回転数
Nh：入力軸Hの回転数
Nc：出力軸Bの回転数

となる．従ってNcの値を強制的に２Nhに近付けるとNdは限りなく０に近付く．しかしながらこの場合には出力軸Ｆは回転数が減少するだけで，回転トルクを

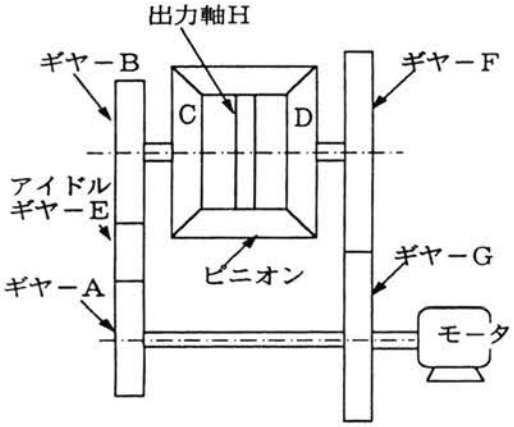
伝達することは出来ない．そこで(1)式を変形する．

$$Nout = \frac{Nc + Nd}{2} \quad \text{------(2)}$$

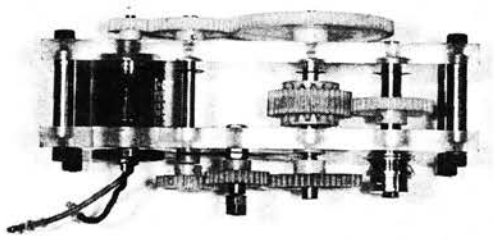
(2)式より，軸Cと軸Dを入力軸とし，両軸の回転を逆方向にし，かつ両回転数を近接させると（Nc≒－Nd）出力軸Hの回転数は限りなく0に近付き，減速装置が実現できることが解る．この場合は歯車Bと歯車Fを一つの駆動モータで強制回転させることになるので，軸Hへの回転トルクは伝達されることになる．

2-2）デフを用いた減速装置

以上の考察の下に図－2に示す減速装置を製作した．また装置図を写真－1に示す．



図－2　デフを用いた減速装置



写真－1　減速装置図

この装置における減速率は次のようになる．

$$Nd = Nf = -Nin \times \frac{Zg}{Zf} \quad \text{------(3)}$$

$$Nc = Nb = Nin \times \frac{Za}{Zb} \quad \text{------(4)}$$

$$Nout = \frac{Nc + Nd}{2} = \frac{Nin}{2} \times \left(\frac{Za}{Zb} - \frac{Zg}{Zf}\right)$$

$$\frac{Nout}{Nin} = \frac{ZaZf - ZbZg}{2 \times ZbZf} \quad \text{------(5)}$$

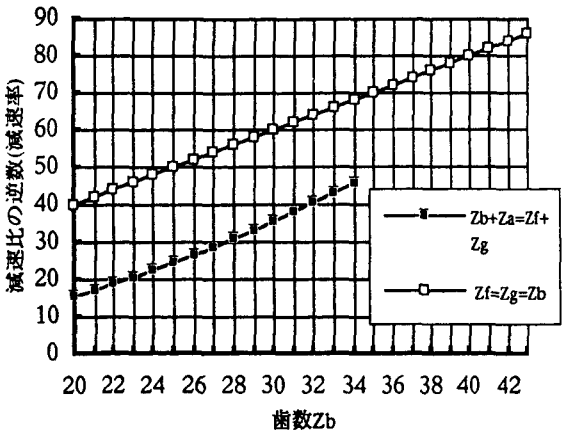
(5)式を用いて減速比を求めるために歯車A，B，F，Gを選定する．装置の小型化のために出来るだけ小さい歯数の歯車を用いることとし，今仮に15～34枚の歯車を選んで減速比Nout／Ninを求めると表－1のようになる．モジュール一定とするとともに軸間の距離も一定としなければならないので　Za＋Zb＝Zf＋Zg＝49とした．表よりこの装置における減速比は計算に用いた歯数の範囲では，1／46までである．歯数を多くすれば減速比は大きくなるがその場合は装置が大きくなる．また他に考えられる歯数の組合せでも結果は大体同様である．そこで，もっと大きな減速比を得る方法を考える．今の場合はZa＋Zb＝Zf＋Zgとなるようにに ZaとZbの他にZfとZgも変化させたが，Zf＝Zg≒Zbとすると表－2の結果が得られる．以上の結果をまとめたのが図－3であるが，Zf＝Zg≒Zbとすると Za＋Zb＝Zf＋Zgの場合に比べてほぼ1.5倍の大きな減速が得られている．表2よりZb＝43でその値は 1/86である．しかしこの方式で得られる減速比は超減速と呼ぶにはまだほど遠い．これは歯車Cと歯車Dの回転数の差を小さくする方法として歯車A，B，F，Gの歯数だけに依存しているためである．図－2ではデフを構成している歯車Cと歯車Dの歯数は同じである．そこで歯車Cと歯車Dの回転数の差を更に小さくするために歯車Cと歯車Dの歯数に差をつけることを考える．

表－1　Za＋Zb＝Zf＋Zg の場合の減速比

Zb	Za	Zf	Zg	Nout/Nin
20	29	19	30	1/16
21	28	20	29	1/17
22	27	21	28	1/19
23	26	22	27	1/21
24	25	23	26	1/23
25	24	24	25	1/24
26	23	25	24	1/27
27	22	26	23	1/29
28	21	27	22	1/31
29	20	28	21	1/33
30	19	29	20	1/36
31	18	30	19	1/38
32	17	31	18	1/40
33	16	32	17	1/43
34	15	33	16	1/46

表－2　Zf＝Zg≒Zb の場合の減速比

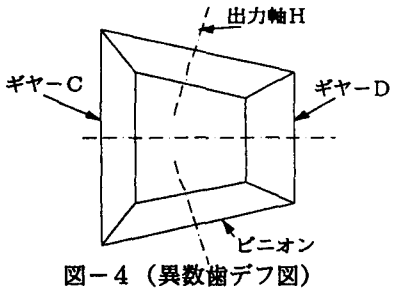
Zb	Za	Zf	Zg	Nout/Nin
20	19	20	20	1/40
21	20	21	21	1/42
22	21	22	22	1/44
23	22	23	23	1/46
24	23	24	24	1/48
25	24	25	25	1/50
26	25	26	26	1/52
27	26	27	27	1/54
28	27	28	28	1/56
29	28	29	29	1/58
30	29	30	30	1/60
31	30	31	31	1/62
32	31	32	32	1/64
33	32	33	33	1/66
34	33	34	34	1/68
35	34	35	35	1/70
36	35	36	36	1/72
37	36	37	37	1/74
38	37	38	38	1/76
39	38	39	39	1/78
40	39	40	40	1/80
41	40	41	41	1/82
42	41	42	42	1/84
43	42	43	43	1/86



図－３　歯数と減速比

2-3）異数歯デフを用いた減速

図－２における歯車Ｃと歯車Ｄの歯数を異なる値にしたデフ（図－４）を考え，これを異数歯デフと呼ぶことにする．　異数歯デフにすると大きな減速が出来る根拠は次の通りである．通常用いる歯車の歯数は数十枚までであり，それ以上に多い歯数の歯車を用いると装置が大きくなる．そこで歯車Ａと歯車Ｂの歯数差を最小の１にしても，歯車Ｃと歯車Ｄの回転数差は数



図－４（異数歯デフ図）

十分の１にしかならない．今の場合も両回転数差はあまり小さくならない．歯車Ｃの回転数が小さくなり過ぎているのである．しかるに出力軸Ｈの回転数は歯車Ｃと歯車Ｄの回転数差によって規定されるのではなく，その周速度差によって規定されるものである．従って歯車Ｄの直径を小さくしてやればその周速度は小さくなり，歯車Ｃとの周速度差は少なくなる．そこでこの異数歯デフの減速比を求める．

$$Nout = \frac{Zd}{Zc+Zd}\left(Nd + \frac{Zc}{Zd} \times Nc\right) \text{----------(6)}$$

式(3)，(4)を代入して整理すると

$$\frac{Nout}{Nin} = \frac{ZaZcZf - ZbZdZg}{ZbZf\ (Zc+Zd)} \text{----------(7)}$$

図－３から Zg＝Zf≒Zbとする方が大きな減速が得られることが解っているから Zg＝Zf とおくと式（7)は次のようになる．

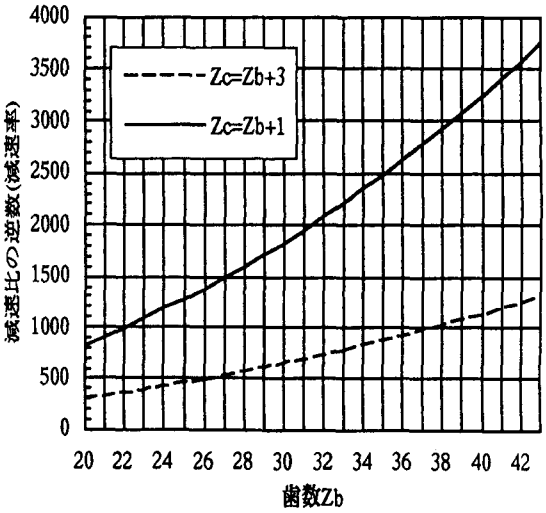
$$\frac{Nout}{Nin} = \frac{ZcZa - ZbZd}{Zb\ (Zc+Zd)} \text{----------(8)}$$

(8)式より分子（ZcZa－ZbZd）を出来るだけ小さくなるように歯車Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄの歯数を選んでやると大きな減速が得られることが解る．

2-4）歯数の選定

2-4-1）超減速を求めて

歯数を大きくすることが出来ないために歯車Ｂの回転数が落ち過ぎる分を異数歯で補うという今回の方式から考えて，Za＝Zb－ｎ，Zd＝Zc－ｎと置いた場合のｎの値は１である．ｎ＞１とすれば歯車Ｃと歯車Ｄの差は大きくなり過ぎ，Nc≒－Ndが実現出来ないからである．そこでZc＝Zb＋ｍ，Za＝Zb－１，Zd＝Zc－１と置いて(8)式を用いて計算すると図－５が得られる．図はｍ＝１の場合とｍ＝３の場合について求めた結果であるが，後者の場合に1/300～1/1300の減速が，前者の場合には減速比が 1/800～1/3700にも達する減速が得られており、超減速が得られている．ただし，複数のサイドピニオンを使用することを考えた場合には歯数Zbは無条件には選べない．そこで選択出来る歯数について考察する．



図－５　歯車Ｂの歯数と減速状況

2-4-2）サイドピニオンの噛み合い問題

デフのピニオンは通常１～３個使用される．強度，バランスを考慮すると３個使用するのが良い．本装置でもこの点から３ピニオン方式を採用する．しかるに本装置のデフは異数差デフであるから，ピニオンがう

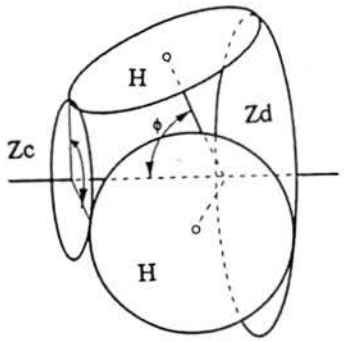
まく噛み合うかどうかの問題がある．つまりかさ型遊星歯車（Furman機構）の数論的考察が必要となってくる．図－６に示すのがFurman機構で，この機構で数個のピニオンが他の歯車と一斉に噛み合う条件は[2]

$$Zd+Zc=nX \quad \text{----------(9)}$$

$$Zd-Zc=(2\cos\phi)\times Zh \quad \text{----------(10)}$$

ここで　n：ピニオンの数（腕の数）

X：は任意の整数



図－６　Furman機構

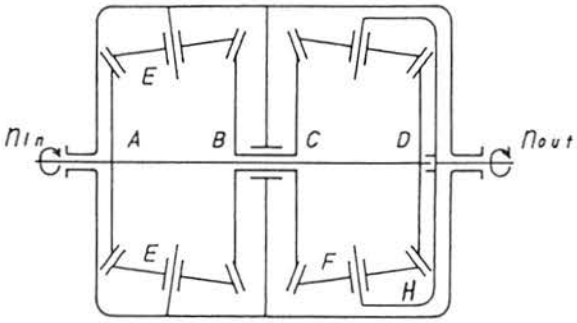
ここでn＝１とおくとZd＋Zc＝Xで無条件に成立し，ピニオンの数が１の時は問題がない．n＝２とおくとZd＋Zc＝2Xで両ピニオンの歯数の和が偶数であり，ピニオンの数が２の時はお互いが偶数であるか奇数であるかでないといけない．つまりこの時は歯数差１は有り得ず，２でなければならない．n＝３とおくとZd＋Zc＝３Xであり，この時 Zb－Za＝１となるためには次ぎの式でZcが整数になればよい．

$$Zc=(3X-1)/2$$

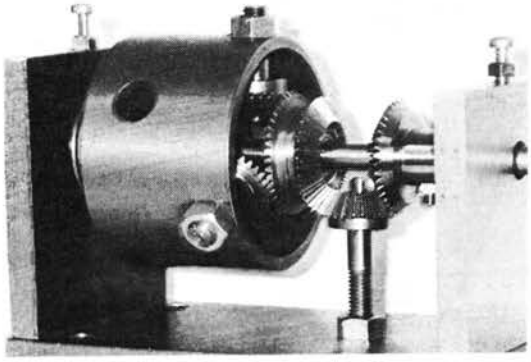
つまり（3X－１）が偶数の条件を満たせばピニオンが噛み合う．

３）小型化を考慮した超減速装置の製作

以上の結果より異数歯デフにより簡単にしかも少ない歯数のギヤーを用いて超減速が可能であることが解った．そこで次に小型化をも考慮に入れた装置を製作した．図－６に原理図を、その写真を写真－２に示す．　装置は全て傘歯車によって構成されている．図において左部（a）は歯車Ｃと歯車Ｄを互いに逆回転させると同時に，それらの回転数を異なった値にするための装置で，変速逆転機構と呼ぶことにする．右部（b）は異数歯デフである。歯車Ｂと歯車Ｃは直結されている．また歯車Ａと歯車Ｄはモータに直結してある．



図－７　原理図



写真－２　装置の写真

４）実験結果

歯数Za＝40，Zb＝41，Zc＝44，Zd＝43の歯車を用いて写真－２に示す装置で減速比を調べた結果，その値は1/1190で，理論通りの減速比がえられた．従って今回のZc＝Zb＋３を，Zc＝Zb＋１とすることによって1/3400がえられることが確認できた．ピニオンの運動は高速自転と低速公転であるから振動もなく，スムーズな運動をする．

５）おわりに

異数歯デフとFurman機構を取り入れた変速逆転機構を用いることによって超減速装置を簡単に実現できることが解った．今回の減速比は歯数Zb＝40で1/1200であったが，歯数の選択次第で1/3000以上の減速も簡単に可能であり，多くの機械・装置の小型化に使用し得る減速装置を開発することが出来た．

６）参考文献

（１）堀光平：マイクロマシン技術による製品小型化・知能化事典，（1992），産業調査会事典出版センター
（２）中田孝：転移歯車，（1965），誠文堂新光社