609 無段変速機を用いた効率の良い パワースプリット差動遊星機構の設計法 Design method of high efficiency power split type differential planetary mechanism including CVT

正員 矢田恒二 (矢田技術士事務所)

Tsuneji YADA, YADA Engineering Consulting Office, 2-7-8 Komaba, Toride, Ibaraki

This paper investigates the power split type differential planetary mechanism (SDM) that includes CVT and is possible to operate in high efficiency region. There are two regions indicating high efficiency in the coordinate, horizontal axis of which is ω_1/ω_3 and vertical axis ω_2/ω_3 , where ω_3 is angular velocity of input shaft of planetary system, ω_1 and ω_2 are velocities of other two shafts of it. The paper shows planetary mechanism possible to set operating point in the high efficiency region. Using CVT as an apparatus to realize operation in high efficiency region, SDM having high efficiency can be obtained.

Keywords: CVT, planetary gear, power split, efficiency, traction drive, design

1. はじめに

著者は既に遊星歯車機構の特性線図を提唱し、これを用いることによって差動遊星機構を見通し良く設計できることを示した¹⁾。ここで特性線図法とは遊星歯車機構の入力軸角速度を ω_3 、他の2軸の角速度を ω_1 、 ω_2 としたとき、 ω_1/ω_3 を横軸、 ω_2/ω_3 を縦軸とする座標内に於いて、遊星歯車機構を固有のJ直線で表現する方法である。本文ではこれを用いることによって、無段変速機(CVT)を組み込んだパワースプリット型差動遊星機構(SDM)において、高効率の機構を設計する方法について述べる。

2. 効率の高い領域

CVTと遊星歯車機構とを組み合わせることによって様々な変態形態を持つ変速機構を構成することができる。図1はそのシステムを概念的に表したもので、 π は遊星歯車機構、Rは無段変速機を示している。ここでは遊星歯車機構は動力の分配機構的な役割をするために、その組み合わせ方によって動力の流れもいろいろな形が発生する。大まかに分ければ入力動力が内部でわかれて再度出力側で合流する分流型(これをパワースプリット型と呼ぶ)と、入力動力とは別の動力が内部で発生して循環動力流を発生させる動力循環型とに分けることができる。

Fig 1 Example of SDM and power flow

パワースプリット型では入力動力がわかれて流れるが大きな動力が流れる部分に効率の悪い要素を持つてくる

ことは得策ではない。通常歯車列よりもCVTの方が効率は悪いので、CVTには小さい動力が流れるように設計する必要がある。

図2は遊星歯車機構の基準効率(キャリアを固定したときの効率)を99%、CVTの効率を95%としたときの速度と効率分布の関係を示したものである。ここで横軸は ω_1/ω_3 、縦軸は ω_2/ω_3 を表した特性座標を逆数座標を用いて表したもので、ここでの座標軸のスケールは絶対値が1より小さい範囲は通常のスケール、1より大きいときは逆数のスケールで表している。

Fig 2 Efficiency contour of SDM

この図2に於いて動力循環の発生する部分は太線の枠内の部分でそれ以外は動力分流状態で動力が伝えられる領域を示している。また図の白抜きの部分は効率95%以上の領域を示している、効率の良い差動遊星機構を設計するときにはこの領域に動作点のあることが必要となる。したがってパワースプリット型で効率のよい機構を設計

するためには図2のA、Bで示した領域に動作点を見つける問題に帰着する。なお動力循環型でもA'、B'の領域では効率の良い部分のあることがわかる。

3. 遊星歯車機構要素と端子の組合わせ

特性線図に於いて座標点(1, 1)を通るJ直線は遊星歯車機構固有の構造を示し、1個の遊星歯車機構には6個のJ直線のあることがわかっていて。また差動遊星機構を構成するCVTを含む②-R-歯車列-①の回路の速度比 r は原点を通る直線で表され、速度比が変化する場合にこの直線の勾配が速度比の最大値と最小値にある直線群で示される。したがってCVTの速度比が変化するときのこの差動遊星機構の動作点はJ直線上における r の直線群の交点の間にある(図3)。

Fig 3 Operation zone of SDM

1個の遊星歯車機構は6個のJ直線を持つが、一つのJ直線に注目したとき、それに対応する遊星歯車機構は遊星歯車機構の3個の要素、すなわちキャリアと二個の太陽歯車(ここでは内歯歯車も太陽歯車と見なす)とが、外部に接続することのできる端子と、どのようにの組み合わせられるかによって決まる。ここで対象とする遊星歯車機構を2K-H型としたとき、A、B領域の効率の良い部分を通るJ直線を持つ遊星歯車機構の端子の組合わせは、表1のようになる。

Table 1 Combination between terminal and element

Zone	group	①	②	③	j_{si}^H
A	a	H	s	i	$-1 > j_{si}^H$
	b	i	s	H	$j_{si}^H > 2$
	c	i	H	s	$2 > j_{si}^H > 1$
B	d	i	s	H	$-1 > j_{si}^H$
	e	s	H	i	$j_{si}^H > 1$

ここで①、②、③は端子を示し、Hはキャリア、sは小径の太陽歯車、iは大径の太陽歯車を示している。従ってaグループでは端子①とキャリアH、②と小径太陽歯車、③と大径太陽歯車が組み合っていることを示している。また j_{si}^H はキャリアを固定したときの伝達比(=小径太陽歯車の角速度/大径太陽歯車の角速度)を示している。こ

の値は遊星歯車機構の構造とも関連していて、 $j_{si}^H < -1$ の場合は太陽歯車と内歯歯車からなる通常の遊星歯車機構に相当する。また $j_{si}^H > 1$ の機構は外歯太陽歯車2個、あるいは内歯歯車2個からなる遊星歯車機構であり、ラビニオウ型遊星歯車機構もこの条件に当てはまる。

さらに表1のZone A、Bは先に示した領域を示している。ここでA領域に該当する機構で $j_{si}^H > 2$ と、 $2 > j_{si}^H > 1$ の2種類の機構があるのは、同じ機構構成を持っている遊星歯車機構のなかで小径太陽歯車と大径太陽歯車の大きさの差の関係によって決まってくるためである。表1に示す端子と要素の組合わせの具体的な構成の例を図4に示す。

4. 効率の高い差動遊星歯車機構

差動遊星機構としては図1の機構の端子①、②に、表1に示す遊星歯車機構の端子を接続することで、高効率のパワースプリット型遊星歯車機構を構成することができる。ここで無段変速機(CVT)の速度比はCVTの構造によって定まるが、図3で示されている座標上では原点を通る直線群で表される。しかしその勾配は ω_2/ω_1 で表されるので、図の機構では①-歯車列-R-②の回路をたどったときに変換される角速度 ω_2 と ω_1 の比として表される。ここで ω は符号を持つ値であるので回転方向が相互に異なるときはこの比はマイナス符号を持つので、原点を通る直線の勾配は右下がりになる。

Fig 4 High efficiency SDM in zone B

ところでCVTのなかには速度比が1を境に減速領域と増速領域を持つものがある。この場合 ω_2/ω_1 が1より大きくなると、B領域に動作点を取ろうとしても、動作点座標が(1, 1)より大きくなり、動作点はB領域から外れ動力循環部分に動作点に移る。そのためこの所では効率は急激に悪くなる。これを防ぐためにはCVTの最大速度比のところで①-歯車列-R-②の回路内の ω_2/ω_1 を1より小さくすることが求められる。A領域に動作点を求めているときはB領域のような制約は比較的緩い。A領域で動作する機構はA領域よりもA'領域の動力循環型で動作させるようにした方が高効率を得やすいのが特徴である。

参考文献

- 1) 矢田恒二 機械の研究 vol. 49, No10-vol. 52, No11