

## 複合遊星歯車装置の速比と効率の計算式

第2報 内歯車式単純遊星歯車装置と複式外歯車  
遊星歯車装置の組合せからなる複合遊  
星歯車装置

両角宗晴\*  
(昭和57年10月29日 受理)

### Speed-Ratio and Efficiency Formulas for Combined Planetary Gear Systems.

2nd Report. Combined Planetary Gear Systems  
Composed of a Simple Planetary Train with  
a Ring Gear and a Planetary Train with  
Compound Planets

Muneharu MOROZUMI

The combined-planetary-gear transmission was subjected to an analysis with a view to deriving formulas for speed ratio and efficiency. The analysis has revealed that the transmitted power in the transmission in question may be split or may allow a great circulation to occur, thus leading to a successful formulation. The efficiency formula obtained requires as parameters only two quantities, the number of teeth and the efficiency of stationary gear trains.

### 1 緒 言

第1報において2ケの内歯車式単純遊星歯車装置の組合せからなる複合遊星歯車装置の速比と効率の計算式を与えたが<sup>1)</sup>, 本論文においては内歯車式単純遊星歯車装置と複式外歯車遊星歯車装置の組合せからなる複合遊星歯車装置の速比と効率の理論計算式を求め, これら結果を動力分流型と動力循環型に整理分類した. そして装置の歯車の歯数と基準効率から直ちに装置の効率を計算することができるようにした.

### 2 複合遊星歯車機構における動力の分流と そのときの効率計算式の誘導

図1に示すごとく, 内歯車式単純遊星歯車装置Iと複式外歯車遊星歯車装置II(要素I,

\*精密工学教室 教授

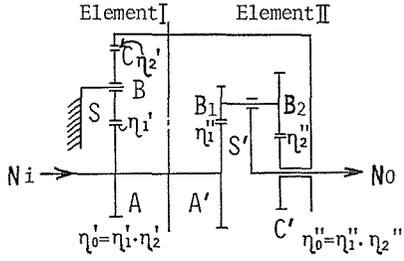


Fig. 1 Combined Planetary Gear with Power Division

の分流や循環は生じない。図1において要素Iと要素IIを連結するのに、外歯太陽歯車AとA'を連結し、内歯太陽歯車Cと外歯太陽歯車C'を連結し、要素IのキャリアSを固定して、基本軸Aを入力軸とし、要素IIのキャリアS'を出力軸とするとき、動力が分流することについて考えてみる。要素IとIIを切り離れたときの要素IのキャリアSの角速度 $\omega_S$ と、要素IIのキャリアS'の角速度 $\omega_{S'}$ はそれぞれ次式で求められる。

$$\omega_S = \frac{\omega_A Z_A + \omega_C Z_C}{Z_A + Z_C}, \quad (1)$$

$$\omega_{S'} = \frac{\omega_{A'} Z_{B2} Z_{A'} - \omega_{C'} Z_{B1} Z_{C'}}{Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_{C'}}. \quad (2)$$

ただし $Z_A, Z_C, Z_{A'}, Z_{C'}, Z_{B1}, Z_{B2}$ はそれぞれ歯車A, C, A', C', B1, B2の歯数。 $\omega_A, \omega_C, \omega_{A'}, \omega_{C'}$ はそれぞれ歯車A, C, A', C'の角速度とする。図1のように要素IとIIを連結すると、 $\omega_A = \omega_{A'}, \omega_C = \omega_{C'}$ となり、 $\omega_S = 0$ とすると式(1)より次式を得る。

$$\omega_C = -\frac{Z_A}{Z_C} \omega_{A'}. \quad (3)$$

これを式(2)に代入すると

$$\omega_{S'} = \frac{Z_{B2} Z_{A'} Z_C + Z_{B1} Z_{C'} Z_A}{(Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_{C'}) Z_C} \omega_{A'}. \quad (4)$$

これより速比 $u$ は

$$u = \frac{\omega_{S'}}{\omega_A} = \frac{Z_{B2} Z_{A'} Z_C + Z_{B1} Z_{C'} Z_A}{(Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_{C'}) Z_C}. \quad (5)$$

そしてこの場合要素IIは歯車A'と歯車C'が入力軸で、キャリアS'が出力軸の差動歯車機構である。そこでこの差動歯車機構をつぎのごとき2つの成分の遊星歯車装置に分けて考える。すなわち歯車A'を固定し、歯車C'のみの回転によって、キャリアS'に $\omega_{S1'}$ の角速度と、 $N_{01}$ の出力を伝達する第1成分遊星歯車装置と、歯車C'を固定し、歯車A'のみの回転によって、キャリアS'に $\omega_{S2'}$ の角速度と $N_{02}$ の出力を伝達する第

IIと呼ぶ)のそれぞれの3本の基本軸のうち2本の基本軸同志を結合し、残りの基本軸の1本を固定した機構を複合遊星歯車機構と呼ぶが、結合させる2本の基本軸の選び方により、動力伝達に際して動力が分流する場合と、動力が循環する場合が生じ、前者を動力分流型、後者を動力循環型と呼ぶ。この場合、連結されている軸の一つを固定軸としたり、2つの連結の一方を入力軸とし、他方を出力軸とする場合は、動力

2成分遊星歯車装置からなると考える。いまキャリア  $S'$  への全出力を  $N_o$ 、出力トルクを  $T_o$  とすると次式が成立する。

$$N_o = T_o \omega_{S'} = T_o(\omega_{S1'} + \omega_{S2'}) = N_{o1} + N_{o2}.$$

故に

$$T_o = \frac{N_o}{\omega_{S'}} = \frac{N_{o1}}{\omega_{S1'}} = \frac{N_{o2}}{\omega_{S2'}}.$$

これより

$$N_{o1} = \frac{\omega_{S1'}}{\omega_{S'}} N_o, \quad (6)$$

$$N_{o2} = \frac{\omega_{S2'}}{\omega_{S'}} N_o. \quad (7)$$

#### 第1成分遊星歯車装置

この第1成分では、歯車  $A'$  を固定するから、式(2)において  $\omega_{A'} = 0$  とおき

$$\omega_{S1'} = \frac{Z_{B1} Z_C' Z_A}{(Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_C') Z_C} \omega_A. \quad (8)$$

式(6)に式(4)と(8)を代入して次式を得る。

$$N_{o1} = \frac{Z_{B1} Z_C' Z_A}{Z_{B2} Z_{A'} Z_C + Z_{B1} Z_C' Z_A} N_o. \quad (9)$$

#### 第2成分遊星歯車装置

この第2成分では、歯車  $C'$  を固定するから、式(2)において  $\omega_{C'} = 0$  とおいて

$$\omega_{S2'} = \frac{Z_{B2} Z_{A'}}{Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_C'} \omega_{A'}. \quad (10)$$

式(7)に式(4)、(10)を代入して次式を得る。

$$N_{o2} = \frac{Z_{B2} Z_{A'} Z_C}{Z_{B2} Z_{A'} Z_C + Z_{B1} Z_C' Z_A} N_o. \quad (11)$$

式(9)と(11)より

$$\frac{N_{o2}}{N_{o1}} = \frac{Z_{B2} Z_{A'} Z_C}{Z_{B1} Z_C' Z_A} > 0$$

となるから、この機構は図2に示すごとく、常に動力は分流する。そして歯車  $A$  からの入力を  $N_i$ 、キャリア  $S'$  からの出力を  $N_o$  とすれば、装置の効率  $\eta$  は

$$\eta = N_o / N_i. \quad (12)$$

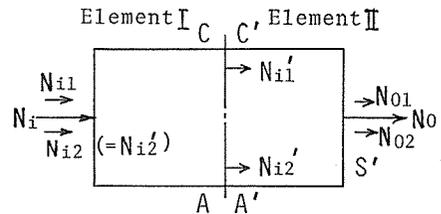


Fig. 2 Power Division

から計算される.

(i)  $Z_{A'} > Z_{C'}$  の場合

この場合は次式が成立する.

$$N_i = N_{i1} + N_{i2}, \quad (13)$$

$$N_{o1} = \eta_1 N_{i1}' = \eta_1 \eta_3 N_{i1}', \quad (14)$$

$$N_{o2} = \eta_2 N_{i2}' = \eta_2 N_{i2}. \quad (15)$$

故に

$$N_i = \frac{N_{o1}}{\eta_1 \eta_3} + \frac{N_{o2}}{\eta_2}. \quad (16)$$

ここで  $\eta_1$  は要素IIで歯車  $A'$  を固定し, 歯車  $C'$  を入力側, キャリヤ  $S'$  を出力側としたときの効率で

$$\eta_1 = \frac{\eta_o'' - i_o'^{(2)}}{1 - i_o'}. \quad (17)$$

ただし

$$0 < i_o' \left( = \frac{Z_{B1} Z_{C'}}{Z_{B2} Z_{A'}} \right) < 1$$

要素IIの複式遊星歯車装置において, 歯車  $A'$  と  $B_1$  の嚙合効率を  $\eta_1''$ , 歯車  $C'$  と  $B_2$  の嚙合効率を  $\eta_2''$  とすると, キャリヤ  $S'$  を固定したときの要素IIの基準効率  $\eta_o''$  は  $\eta_o'' = \eta_1'' \cdot \eta_2''$ . つぎに  $\eta_2$  は要素IIで歯車  $C'$  を固定し, 歯車  $A'$  を入力側, キャリヤ  $S'$  を出力側としたときの効率で

$$\eta_2 = \frac{\eta_o'' - i_o'^{(2)}}{\eta_o'' (1 - i_o')}. \quad (18)$$

$\eta_3$  は要素Iでキャリヤ  $S$  を固定し, 歯車  $A$  を入力側, 歯車  $C$  を出力側としたときの効率で

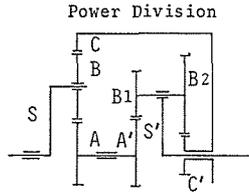
$$\eta_3 = \eta_o'. \quad (19)$$

ただし要素Iの単純歯星歯車装置において, 歯車  $A$  と  $B$  の嚙合効率を  $\eta_1'$ , 歯車  $B$  と  $C$  との嚙合効率を  $\eta_2'$  とすると, キャリヤ  $S$  を固定したときの要素Iの基準効率  $\eta_o'$  は  $\eta_o' = \eta_1' \cdot \eta_2'$ . 式(16)に式(9), (11), (17), (18), (19)を代入すれば

$$N_i = \frac{(Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_{C}')(\eta_o' \eta_o'' Z_{B2} Z_{A'} Z_C + Z_{B1} Z_{C}' Z_A)}{\eta_o' (\eta_o'' Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_{C}') (Z_{B2} Z_{A'} Z_C + Z_{B1} Z_{C}' Z_A)} N_o. \quad (20)$$

したがって装置全体の効率  $\eta$  は

$$\eta = \frac{\eta_o' (\eta_o'' Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_{C}') (Z_{B2} Z_{A'} Z_C + Z_{B1} Z_{C}' Z_A)}{(Z_{B2} Z_{A'} - Z_{B1} Z_{C}') (\eta_o' \eta_o'' Z_{B2} Z_{A'} Z_C + Z_{B1} Z_{C}' Z_A)}. \quad (21)$$



Combination  
A — A'  
C — C'

Table 1 Speed-Ratio and Efficiency Formulas for Combined Planetary Gears with Power Division

	Driver	Follower	Fixed	Speed Ratio	Efficiency of Combined Planetary Gears
$Z_A' > Z_C'$	A	S'	S	$U = \frac{\omega_{S'}}{\omega_A} = \frac{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0''(\eta_0''Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(\eta_0''\eta_0''Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
	C	S'	S	$U = \frac{\omega_{S'}}{\omega_C} = \frac{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}{(Z_{B1}Z_C' - Z_{B2}Z_A')Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0''(\eta_0''Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(\eta_0''Z_{B2}Z_A'Z_C + \eta_0''Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
	S'	A	S	$U = \frac{\omega_A}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C}{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}$	$\eta = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(\eta_0''\eta_0''Z_{B1}Z_C'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C)}{(Z_{B2}Z_A' - \eta_0''Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
	S'	C	S	$U = \frac{\omega_C}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_{B1}Z_C' - Z_{B2}Z_A')Z_A}{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}$	$\eta = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(\eta_0''Z_{B1}Z_C'Z_A + \eta_0''Z_{B2}Z_A'Z_C)}{(Z_{B2}Z_A' - \eta_0''Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
$Z_A' < Z_C'$	A	S'	S	$U = \frac{\omega_{S'}}{\omega_A} = \frac{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0''(Z_{B2}Z_A' - \eta_0''Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(\eta_0''Z_{B2}Z_A'Z_C + \eta_0''Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
	C	S'	S	$U = \frac{\omega_{S'}}{\omega_C} = \frac{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}{(Z_{B1}Z_C' - Z_{B2}Z_A')Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0''(Z_{B2}Z_A' - \eta_0''Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + \eta_0''\eta_0''Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
	S'	A	S	$U = \frac{\omega_A}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C}{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}$	$\eta = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(\eta_0''Z_{B1}Z_C'Z_A + \eta_0''Z_{B2}Z_A'Z_C)}{(\eta_0''Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
	S'	C	S	$U = \frac{\omega_C}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_{B1}Z_C' - Z_{B2}Z_A')Z_A}{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}$	$\eta = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B1}Z_C'Z_A + \eta_0''\eta_0''Z_{B2}Z_A'Z_C)}{(\eta_0''Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
$Z_A' \geq Z_C'$	S	A'	S'	$U = \frac{\omega_{A'}}{\omega_S} = \frac{(Z_A' + Z_C)Z_{B1}Z_C'}{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0''(Z_A' + Z_C)\{\eta_0''(Z_A' + \eta_0''Z_C)Z_{B2}Z_A'Z_C + (\eta_0''Z_A' + Z_C)Z_{B2}Z_C'Z_A\}}{(Z_A' + \eta_0''Z_C)(\eta_0''Z_A' + Z_C)(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
	S	C'	S'	$U = \frac{\omega_{C'}}{\omega_S} = \frac{(Z_A' + Z_C)Z_{B2}Z_A'}{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0''(Z_A' + Z_C)\{\eta_0''(\eta_0''Z_A' + Z_C)Z_{B2}Z_A'Z_C + (Z_A' + \eta_0''Z_C)Z_{B1}Z_C'Z_A\}}{(Z_A' + \eta_0''Z_C)(\eta_0''Z_A' + Z_C)(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}$
	A'	S	S'	$U = \frac{\omega_S}{\omega_{A'}} = \frac{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}{(Z_A' + Z_C)Z_{B1}Z_C'}$	$\eta = \frac{\eta_0''(\eta_0''Z_A' + Z_C)(Z_A' + \eta_0''Z_C)(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}{(Z_A' + Z_C)\{\eta_0''(Z_A' + \eta_0''Z_C)Z_{B2}Z_A'Z_C + \eta_0''(\eta_0''Z_A' + Z_C)Z_{B1}Z_C'Z_A\}}$
	C'	S	S'	$U = \frac{\omega_S}{\omega_{C'}} = \frac{Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A}{(Z_A' + Z_C)Z_{B2}Z_A'}$	$\eta = \frac{\eta_0''(\eta_0''Z_A' + Z_C)(Z_A' + \eta_0''Z_C)(Z_{B2}Z_A'Z_C + Z_{B1}Z_C'Z_A)}{(Z_A' + Z_C)\{\eta_0''(Z_A' + \eta_0''Z_C)Z_{B2}Z_A'Z_C + (\eta_0''Z_A' + Z_C)Z_{B1}Z_C'Z_A\}}$

複合遊星歯車装置の速比と効率の計算式

(ii)  $Z_A' < Z_C'$  の場合

$$\eta_1 = \frac{1 - \eta_o'' i_o'^2}{\eta_o''(1 - i_o')}, \quad (22)$$

ただし

$$1 < i_o' \left( = \frac{Z_{B_1} Z_C'}{Z_{B_2} Z_A'} \right).$$

$$\eta_2 = \frac{1 - \eta_o'' i_o'^2}{1 - i_o'}, \quad (23)$$

$$\eta_3 = \eta_o'. \quad (19)$$

式(16)に式(9), (11), (22), (23), (19)を代入すれば

$$N_i = \frac{(Z_{B_2} Z_A' - Z_{B_1} Z_C')(\eta_o' Z_{B_2} Z_A' Z_C + \eta_o'' Z_{B_1} Z_C' Z_A)}{\eta_o'(Z_{B_2} Z_A' - \eta_o'' Z_{B_1} Z_C')(Z_{B_1} Z_C' Z_A + Z_{B_2} Z_A' Z_C)} N_o. \quad (24)$$

したがって

$$\eta = \frac{\eta_o'(Z_{B_2} Z_A' - \eta_o'' Z_{B_1} Z_C')(Z_{B_1} Z_C' Z_A + Z_{B_2} Z_A' Z_C)}{(Z_{B_2} Z_A' - Z_{B_1} Z_C')(\eta_o' Z_{B_2} Z_A' Z_C + \eta_o'' Z_{B_1} Z_C' Z_A)}. \quad (25)$$

表1の一番上の式が式(21)であり, 上から5番目の式が式(25)である. 他の場合についても同様の計算を行なって表1を得た.

### 3 複合遊星歯車機構における動力の循環と効率計算式の誘導

図3において要素IとIIを連結するのに, 内歯太陽歯車Cと外歯太陽歯車A'を連結し,

キャリアSと外歯太陽歯車C'を連結し, 太陽外歯車Aを固定して, 内歯車Cを入力軸とし, 要素IIのキャリアS'を出力軸とするとき, 動力の循環が行なわれることについて考えてみる. 要素IとIIを切り離れたときの要素IのキャリアSの角速度 $\omega_s$ と, 要素IIのキャリアS'の角速度 $\omega_{s'}$ はそれぞれ式(1)と式(2)で求められる. 図3のように要素IとIIを連結すると $\omega_c = \omega_{a'}$ ,  $\omega_s = \omega_{c'}$ となり,  $\omega_a = 0$ とすると, 式(1)より次式を得る.

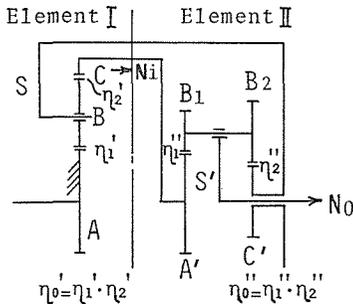


Fig. 3 Combined Planetary Gear with Power Circulation

$$\omega_s = \frac{Z_C}{Z_A + Z_C} \omega_c. \quad (26)$$

これを式(2)に代入して整理すれば

$$\omega_{s'} = \frac{Z_{B_2} Z_A' (Z_A + Z_C) - Z_{B_1} Z_C' Z_C}{(Z_{B_2} Z_A' - Z_{B_1} Z_C') (Z_A + Z_C)} \omega_c. \quad (27)$$

これより速比  $u$  は

$$u = \frac{\omega_{S'}}{\omega_C} = \frac{Z_{B2}Z_{A'}(Z_A + Z_C)' - Z_{B1}Z_C'Z_C}{(Z_{B2}Z_{A'} - Z_{B1}Z_C')(Z_A + Z_C)}. \quad (28)$$

この場合の要素Ⅱは、歯車  $A'$  と歯車  $C'$  が入力軸で、キャリア  $S$  が出力軸の差動歯車機構である。そこでこの差動歯車機構をつぎのごとき2つの成分の遊星歯車装置に分けて考える。すなわち、歯車  $A'$  を固定し、歯車  $C'$  のみの回転により、キャリア  $S'$  に  $\omega_{S1}'$  の角速度と、 $N_{o1}$  の出力を伝達する第1成分遊星歯車装置と、歯車  $C'$  を固定し、歯車  $A'$  のみの回転によってキャリア  $S'$  に  $\omega_{S2}'$  の角速度と  $N_{o2}$  の出力を伝達する第2成分遊星歯車装置からなると考える。いまキャリア  $S'$  の全出力を  $N_o$ 、出力トルクを  $T_o$  とすると、次式が成立する。

$$N_o = T_o \omega_{S'} = T_o(\omega_{S1}' + \omega_{S2}') = N_{o1} + N_{o2},$$

故に

$$T_o = \frac{N_o}{\omega_{S'}} = \frac{N_{o1}}{\omega_{S1}'} = \frac{N_{o2}}{\omega_{S2}'}.$$

これより

$$N_{o1} = \frac{\omega_{S1}'}{\omega_{S'}} N_o, \quad (29)$$

$$N_{o2} = \frac{\omega_{S2}'}{\omega_{S'}} N_o. \quad (30)$$

### 第1成分遊星歯車装置

この第1成分では歯車  $A'$  を固定するから、式(2)において  $\omega_{A'} = 0$  とおき

$$\omega_{S1}' = \frac{-Z_{B1}Z_C'Z_C}{(Z_{B2}Z_{A'} - Z_{B1}Z_C')(Z_A + Z_C)} \omega_C. \quad (31)$$

式(29)に式(27)と(31)を代入して次式を得る。

$$N_{o1} = \frac{-Z_{B1}Z_C'Z_C}{Z_{B2}Z_{A'}(Z_A + Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C} N_o. \quad (32)$$

### 第2成分遊星歯車装置

歯車  $C'$  を固定するから、式(2)において  $\omega_{C'} = 0$  とおいて

$$\omega_{S2}' = \frac{Z_{B2}Z_{A'}}{Z_{B2}Z_{A'} - Z_{B1}Z_C'} \omega_C. \quad (33)$$

式(30)に式(27)と(33)を代入して次式を得る。

$$N_{o2} = \frac{Z_{B2}Z_{A'}(Z_A + Z_C)}{Z_{B2}Z_{A'}(Z_A + Z_C) - Z_{B1}Z_{C'}Z_C} N_o. \quad (34)$$

式(32)と(34)より

$$\frac{N_{o2}}{N_{o1}} = \frac{Z_{B2}Z_{A'}(Z_A + Z_C)}{-Z_{B1}Z_{C'}Z_C} < 0.$$

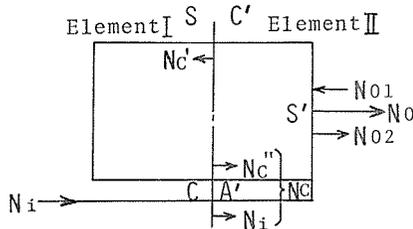


Fig. 4 Power Circulation

となるから、この機構は常に動力が循環する。そして  $N_{o1} < 0$ ,  $N_{o2} > 0$  であるから、要素 II の歯車  $A'$  を固定した第 1 成分遊星歯車装置において、図 4 に示すごとく、動力 ( $-N_{o1}$ ) がキャリア  $S'$  から  $C'$  に逆に入力として入り、この動力が

$$C' \longrightarrow S \longrightarrow B \longrightarrow C \longrightarrow A' \longrightarrow B_1 \longrightarrow B_2 \longrightarrow C'$$

の流れ方で循環することを意味する。そして、 $S'$  から  $C'$  に入力した動力 ( $-N_{o1}$ ) が  $C'$  から  $N_{c'}$  なる動力となって要素 I のキャリア  $S$  に流れる。そして要素 I のキャリア  $S$  に流れ込んだ動力  $N_{c'}$  は歯車  $B, C$  を経て  $N_{c''}$  となって要素 II の歯車  $A'$  に流れ、この  $N_{c''}$  と  $N_i$  とが合流して  $N_c$  となって流れる。要素 II の歯車  $C'$  を固定した第 2 成分遊星歯車装置においては、 $A'$  に  $N_c$  が入力として入り、 $S'$  から  $N_{o2}$  が出力として出るから次式が成立する。

$$N_c = N_i + N_{c''}. \quad (35)$$

$$N_{o2} = \eta_2 N_c, \quad (36)$$

$$N_{c''} = \eta_3 N_c' = \eta_1 \eta_3 (-N_{o1}). \quad (37)$$

式(35), (36), (37)より次式を得る。

$$N_i = \frac{N_{o2}}{\eta_2} - \eta_1 \eta_3 (-N_{o1}). \quad (38)$$

(i)  $Z_{A'} > Z_{C'}$  の場合

$\eta_1$  は要素 II で歯車  $A'$  を固定し、キャリア  $S'$  を入力側、歯車  $C'$  を出力側としたときの効率で

$$\eta_1 = \frac{\eta_o''(1 - i_o')^2}{1 - \eta_o'' i_o'}. \quad (39)$$

ただし

$$0 < i_o' \left( = \frac{Z_{B1}Z_{C'}}{Z_{B2}Z_{A1}} \right) < 1$$

$\eta_o''$  は要素 II の基準効率で  $\eta_o'' = \eta_1'' \times \eta_2''$ .  $\eta_2$  は要素 II で歯車  $C'$  を固定し、歯車  $A'$  を

入力側, キャリヤ  $S'$  を出力側としたときの効率で

$$\eta_2 = \frac{\eta_o'' - i_o'^2}{\eta_o''(1 - i_o')} \cdot \quad (40)$$

$\eta_3$  は要素 I で歯車  $A$  を固定し, キャリヤ  $S$  を入力側, 歯車  $C$  を出力側としたときの効率で

$$\eta_3 = \frac{\eta_o'(1 + i_o)^2}{1 + \eta_o' i_o} \cdot \quad (41)$$

ただし

$$i_o = Z_C/Z_A$$

$\eta_o'$  は要素 I の基準効率で  $\eta_o' = \eta_1' \times \eta_2'$ .

式(38)に式(32), (34), (39), (40), (41)を代入すれば

$$N_i = \frac{\eta_o''(Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})(Z_A + Z_C) \{ (Z_{B_2}Z_{A'} - \eta_o''Z_{B_1}Z_{C'})Z_{B_2}Z_{A'} \}}{(Z_{B_2}Z_{A'} - \eta_o''Z_{B_1}Z_{C'})(\eta_o''Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})(Z_A + \eta_o'Z_C)} \cdot \frac{(Z_A + \eta_o'Z_C) - \eta_o'(\eta_o''Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})Z_{B_1}Z_{C'}Z_C}{(Z_{B_2}Z_{A'}Z_A + Z_{B_2}Z_{A'}Z_C - Z_{B_1}Z_{C'}Z_C)} N_o. \quad (42)$$

したがって

$$\eta = \frac{N_o}{N_i} = \frac{(Z_{B_2}Z_{A'} - \eta_o''Z_{B_1}Z_{C'})(\eta_o''Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})(Z_A + \eta_o'Z_C)}{\eta_o''(Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})(Z_A + Z_C) \{ (Z_{B_2}Z_{A'} - \eta_o''Z_{B_1}Z_{C'}) \}} \cdot \frac{(Z_{B_2}Z_{A'}Z_A + Z_{B_2}Z_{A'}Z_C - Z_{B_1}Z_{C'}Z_C)}{Z_{B_2}Z_{A'}(Z_A + \eta_o'Z_C) - \eta_o'(\eta_o''Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})Z_{B_1}Z_{C'}Z_C}. \quad (43)$$

表 2 の一番上の欄の式がこの式(43)である. 他の場合についても同様の計算を行なって表 2 を得た.

(ii)  $Z_{A'} < Z_{C'}$  の場合

$$\eta_1 = \frac{1 - i_o''^2}{\eta_o'' - i_o''} \cdot \quad (44)$$

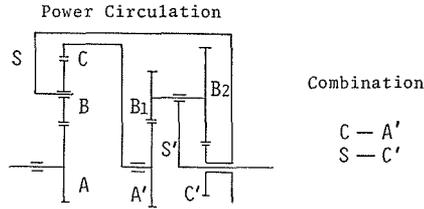
ただし

$$1 < i_o'' \left( = \frac{Z_{B_1}Z_{C'}}{Z_{B_2}Z_{A'}} \right)$$

$$\eta_2 = \frac{1 - \eta_o'' i_o''^2}{1 - i_o''} \cdot \quad (45)$$

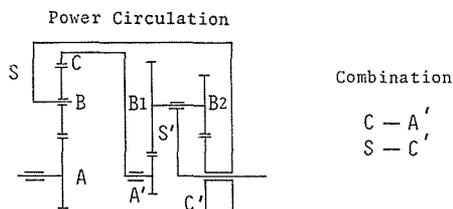
$$\eta_3 = \frac{\eta_o'(1 + i_o)^2}{1 + \eta_o' i_o} \cdot \quad (46)$$

Table 2 Speed-Ratio and Efficiency Formulas for Combined Planetary Gears with Power Circulation



	Driver	Follower	Fixed	Speed Ratio	Efficiency of Combined Planetary Gears
$Z_A' > Z_C'$	C	S'	A	$U = \frac{\omega_{S'}}{\omega_C} = \frac{Z_{B2}Z_A'(Z_A+Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_A+Z_C)}$	$\eta = \frac{(Z_{B2}Z_A' - \eta_0 Z_{B1}Z_C')(\eta_0 Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_A + \eta_0 Z_C)(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}{\eta_0'(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_A+Z_C)\{(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'Z_{B1}Z_C')Z_{B2}Z_A'(Z_A + \eta_0'Z_C) - \eta_0'(\eta_0'Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_{B1}Z_C'Z_C\}}$
	S	S'	A	$U = \frac{\omega_{S'}}{\omega_S} = \frac{Z_{B2}Z_A'(Z_A+Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0'(\eta_0'Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}{\eta_0'(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')\{(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'Z_{B1}Z_C')Z_{B2}Z_A'(Z_A + \eta_0'Z_C) - \eta_0'(\eta_0'Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_{B1}Z_C'Z_C\}}$
	A	A'	S'	$U = \frac{\omega_{A'}}{\omega_A} = \frac{Z_{B1}Z_C'Z_A}{Z_{B2}Z_A'(Z_A+Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0'\eta_0'Z_{B2}Z_A'Z_A + \eta_0'\eta_0'Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C}{\eta_0'(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}$
	A	C'	S'	$U = \frac{\omega_{C'}}{\omega_A} = \frac{Z_{B2}Z_A'Z_A}{Z_{B2}Z_A'(Z_A+Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0'\eta_0'Z_{B2}Z_A'Z_A + \eta_0'\eta_0'Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C}{\eta_0'\eta_0'(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}$
	A'	A	S'	$U = \frac{\omega_A}{\omega_{A'}} = \frac{(Z_A+Z_C)Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C'Z_C}{Z_{B1}Z_AZ_C}$	$\eta = \frac{\eta_0'\eta_0'\{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C + Z_{B2}Z_A'Z_A\}}{(\eta_0'Z_A+Z_C)Z_{B2}Z_A' - \eta_0'\eta_0'Z_{B1}Z_C'Z_C}$
	C'	A	S'	$U = \frac{\omega_A}{\omega_{C'}} = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C + Z_{B2}Z_A'Z_A}{Z_{B2}Z_A'Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0'\{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C + Z_{B2}Z_A'Z_A\}}{(\eta_0'Z_A+Z_C)Z_{B2}Z_A' - \eta_0'\eta_0'Z_{B1}Z_C'Z_C}$
	S'	C	A	$U = \frac{\omega_C}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_A+Z_C)(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')}{(Z_A+Z_C)Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C'Z_C}$	$\eta = \frac{(Z_A+Z_C)(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')\{(\eta_0'Z_A+Z_C)(\eta_0'Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_{B2}Z_A' - (Z_{B2}Z_A' - \eta_0'Z_{B1}Z_C')Z_{B1}Z_C'Z_C\}}{(\eta_0'Z_A+Z_C)(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'Z_{B1}Z_C')(\eta_0'Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}$
	S'	S	A	$U = \frac{\omega_S}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C}{(Z_A+Z_C)Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C'Z_C}$	$\eta = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')\{(\eta_0'Z_A+Z_C)(\eta_0'Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_{B2}Z_A' - (Z_{B2}Z_A' - \eta_0'Z_{B1}Z_C')Z_{B1}Z_C'Z_C\}}{(\eta_0'Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}$

Table 3 Speed-Ratio and Efficiency Formulas for Combined Planetary Gears with Power Circulation



	Driver	Follower	Fixed	Speed Ratio	Efficiency of Combined Planetary Gears
$Z_A' < Z_C'$	C	S'	A	$U = \frac{\omega_S}{\omega_C} = \frac{Z_{B2}Z_A'(Z_A+Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_A+Z_C)}$	$\eta = \frac{(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C')(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_A + \eta_0' Z_C)(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_A+Z_C)\{(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_{B2}Z_A'(Z_A + \eta_0' Z_C) - \eta_0'(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C')Z_{B1}Z_C'Z_C\}}$
	S	S'	A	$U = \frac{\omega_S}{\omega_S} = \frac{Z_{B2}Z_A'(Z_A+Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0'(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C')(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')\{(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_{B2}Z_A'(Z_A + \eta_0' Z_C) - \eta_0'(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C')Z_{B1}Z_C'Z_C\}}$
	A	A'	S'	$U = \frac{\omega_A}{\omega_A} = \frac{Z_{B1}Z_C'Z_A}{Z_{B2}Z_A'(Z_A+Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C}$	$\eta = \frac{(\eta_0' Z_A + Z_C)Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C'Z_C}{\eta_0' \eta_0'' (Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}$
	A	C'	S'	$U = \frac{\omega_C}{\omega_A} = \frac{Z_{B2}Z_A'Z_A}{Z_{B2}Z_A'(Z_A+Z_C) - Z_{B1}Z_C'Z_C}$	$\eta = \frac{(\eta_0' Z_A + Z_C)Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C'Z_C}{\eta_0' (Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}$
	A'	A	S'	$U = \frac{\omega_A}{\omega_A} = \frac{(Z_A+Z_C)Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C'Z_C}{Z_{B1}Z_A'Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0' (Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}{\eta_0' \eta_0'' (Z_A + \eta_0' Z_C)Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C'Z_C}$
	C'	A	S'	$U = \frac{\omega_A}{\omega_C} = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C + Z_{B2}Z_A'Z_A}{Z_{B2}Z_A'Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0' \eta_0'' (Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}{\eta_0' \eta_0'' (Z_A + \eta_0' Z_C)Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C'Z_C}$
	S'	C	A	$U = \frac{\omega_C}{\omega_S} = \frac{(Z_A+Z_C)(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')}{(Z_A+Z_C)Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C'Z_C}$	$\eta = \frac{(Z_A+Z_C)(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')\{(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_A + \eta_0' Z_C)(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_{B2}Z_A' - \eta_0'(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C')Z_{B1}Z_C'Z_C\}}{(Z_A + \eta_0' Z_C)(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}$
	S'	S	A	$U = \frac{\omega_S}{\omega_S} = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')Z_C}{(Z_A+Z_C)Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C'Z_C}$	$\eta = \frac{(Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')\{(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_A + \eta_0' Z_C)Z_{B2}Z_A' - \eta_0'(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C')Z_{B1}Z_C'Z_C\}}{\eta_0'(\eta_0'' Z_{B2}Z_A' - Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A' - \eta_0'' Z_{B1}Z_C')(Z_{B2}Z_A'Z_A + Z_{B2}Z_A'Z_C - Z_{B1}Z_C'Z_C)}$

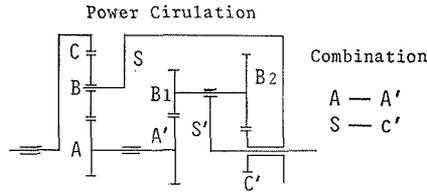


Table 4 Speed-Ratio and Efficiency Formulas for Combined Planetary Gears with Power Circulation

	Driver	Follower	Fixed	Speed Ratio	Efficiency of Combined Planetary Gears
$Z_A' > Z_C'$	A	S'	C	$U = \frac{\omega_S S'}{\omega_A} = \frac{Z_{B2} Z_A' (Z_A + Z_C) - Z_{B1} Z_C' Z_A}{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_A + Z_C)}$	$\eta = \frac{(\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') (\eta_0^0 Z_A + Z_C) (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}{\eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_A + Z_C) \{ (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') Z_{B2} Z_A' (\eta_0^0 Z_A + Z_C) - \eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_{B1} Z_C' Z_A \}}$
	S	S'	C	$U = \frac{\omega_S S'}{\omega_S} = \frac{Z_{B2} Z_A' (Z_A + Z_C) - Z_{B1} Z_C' Z_A}{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}{\eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') \{ (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') Z_{B2} Z_A' (\eta_0^0 Z_A + Z_C) - \eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_{B1} Z_C' Z_A \}}$
	S'	A	C	$U = \frac{\omega_A}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_A + Z_C) (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C')}{(Z_A + Z_C) Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C' Z_A}$	$\eta = \frac{(Z_A + Z_C) (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') \{ (Z_A + \eta_0^0 Z_C) (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_{B2} Z_A' - (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') Z_{B1} Z_C' Z_A \}}{(Z_A + \eta_0^0 Z_C) (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}$
	S'	S	C	$U = \frac{\omega_S}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_A}{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C}$	$\eta = \frac{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') \{ (Z_A + \eta_0^0 Z_C) (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_{B2} Z_A' - (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') Z_{B1} Z_C' Z_A \}}{(Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}$
$Z_A' < Z_C'$	A	S'	C	$U = \frac{\omega_S S'}{\omega_A} = \frac{Z_{B2} Z_A' (Z_A + Z_C) - Z_{B1} Z_C' Z_A}{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_A + Z_C)}$	$\eta = \frac{(Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (\eta_0^0 Z_A + Z_C) (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_A + Z_C) \{ (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_{B2} Z_A' (\eta_0^0 Z_A + Z_C) - \eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') Z_{B1} Z_C' Z_A \}}$
	S	S'	C	$U = \frac{\omega_S S'}{\omega_S} = \frac{Z_{B2} Z_A' (Z_A + Z_C) - Z_{B1} Z_C' Z_A}{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') \{ (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_{B2} Z_A' (\eta_0^0 Z_A + Z_C) - \eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') Z_{B1} Z_C' Z_A \}}$
	S'	A	C	$U = \frac{\omega_A}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_A + Z_C) (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C')}{(Z_A + Z_C) Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C' Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0^0 (Z_A + Z_C) (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') \{ (Z_A + \eta_0^0 Z_C) (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') Z_{B2} Z_A' - (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_{B1} Z_C' Z_A \}}{(Z_A + \eta_0^0 Z_C) (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}$
	S'	S	C	$U = \frac{\omega_S}{\omega_{S'}} = \frac{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_A}{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') \{ (Z_A + \eta_0^0 Z_C) (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') Z_{B2} Z_A' - (\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_{B1} Z_C' Z_A \}}{(\eta_0^0 Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 Z_{B1} Z_C') (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}$
$Z_A' \approx Z_C'$	C	A'	S'	$U = \frac{\omega_{A'}}{\omega_C} = \frac{Z_{B1} Z_C' Z_C}{Z_{B2} Z_A' (Z_A + Z_C) - Z_{B1} Z_C' Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0^0 \eta_0^0 Z_{B2} Z_A' Z_A + \eta_0^0 \eta_0^0 Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A}{\eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}$
	C	C'	S'	$U = \frac{\omega_{C'}}{\omega_C} = \frac{Z_{B2} Z_A' Z_C}{Z_{B2} Z_A' (Z_A + Z_C) - Z_{B1} Z_C' Z_A}$	$\eta = \frac{\eta_0^0 \eta_0^0 Z_{B2} Z_A' Z_A + \eta_0^0 \eta_0^0 Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A}{\eta_0^0 \eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}$
	A'	C	S'	$U = \frac{\omega_C}{\omega_{A'}} = \frac{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C}{Z_{B1} Z_C' Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0^0 \eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}{(Z_A + \eta_0^0 Z_C) Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 \eta_0^0 Z_{B1} Z_C' Z_A}$
	C'	C	S'	$U = \frac{\omega_C}{\omega_{C'}} = \frac{(Z_{B2} Z_A' - Z_{B1} Z_C') Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C}{Z_{B2} Z_A' Z_C}$	$\eta = \frac{\eta_0^0 (Z_{B2} Z_A' Z_A + Z_{B2} Z_A' Z_C - Z_{B1} Z_C' Z_A)}{(Z_A + \eta_0^0 Z_C) Z_{B2} Z_A' - \eta_0^0 \eta_0^0 Z_{B1} Z_C' Z_A}$

式(38)に式(32), (34), (44), (45), (46)を代入すれば

$$N_i = \frac{(Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})(Z_A + Z_C)\{(\eta_o''Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})Z_{B_2}Z_{A'}\}}{(Z_{B_2}Z_{A'} - \eta_o''Z_{B_1}Z_{C'})(\eta_o''Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})(Z_A + \eta_o'Z_C)}$$

$$\frac{(Z_A + \eta_o'Z_C) - \eta_o'(Z_{B_2}Z_{A'} - \eta_o''Z_{B_1}Z_{C'})Z_{B_1}Z_{C'}Z_C}{(Z_{B_2}Z_{A'}Z_A + Z_{B_2}Z_{A'}Z_C - Z_{B_1}Z_{C'}Z_C)}N_o. \quad (47)$$

したがって

$$\eta = \frac{N_o}{N_i} = \frac{(Z_{B_2}Z_{A'} - \eta_o''Z_{B_1}Z_{C'})(\eta_o''Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})(Z_A + \eta_o'Z_C)}{(Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})(Z_A + Z_C)\{(\eta_o''Z_{B_2}Z_{A'} - Z_{B_1}Z_{C'})\}}$$

$$\frac{(Z_{B_2}Z_{A'}Z_A + Z_{B_2}Z_{A'}Z_C - Z_{B_1}Z_{C'}Z_C)}{Z_{B_2}Z_{A'}(Z_A + \eta_o'Z_C) - \eta_o'(Z_{B_2}Z_{A'} - \eta_o''Z_{B_1}Z_{C'})Z_{B_1}Z_{C'}Z_C}. \quad (48)$$

表3の一番上の欄の式がこの式(48)である。他の場合についても同様の計算を行なって、表3を得た。なお表4も全く同様な計算を行なって求めた。

#### 4 結 言

内歯車式の単純遊星歯車装置と複式外歯車遊星歯車装置の組み合わせからなる複合遊星歯車装置で、それぞれの基本軸の連結の仕方によってできるいくつかの機構について、動力分流と動力循環が生ずる場合を明らかにし、それぞれの場合の速比と理論効率計算式を求め、これらの表を作成した。これら効率計算式は、歯数と基準効率を用いて理論効率を計算することができる。この場合キャリアを連結軸としないで、どちらかのキャリアを固定させると、いわゆる閉路式遊星歯車機構となる。最後に本研究に助力された西村信治、田中徳雄の両君に感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 両角宗晴, 複合遊星歯車装置の速比と効率の計算式について,  
第1報 2ケの内歯車式単純遊星歯車装置の組み合わせからなる複合遊星歯車装置, 信州大学工学部紀要, 44号昭(53-7), p.133
- 2) 両角宗晴, 遊星歯車機構の効率評価の簡単な分りよい方法について, 信州大学工学部紀要, 31号(昭46-12), p.105