

複合遊星歯車装置の軸トルク計算式

2個の内歯車式単純遊星歯車機構の組み合わせ
からなる閉路式差動歯車装置

両角 宗晴* 岸 佐年**

(昭和59年9月10日受理)

Torque Distribution in Combined Planetary Gear Systems

(Closed Type Differential Gear Systems Composed of
a Pair of Simple Planetary Trains with a Ring Gear)

Muneharu MOROZUMI and Satoshi KISHI

The closed type differential gear transmission was subjected to an analysis with a view to deriving formulas for the torque distribution on shafts. The analysis has revealed that torque formulas may be derived by using the efficiency formula and power flow diagram for the closed type differential gear transmission. All possible closed type differential gear transmissions were worked out, and tabulation has been made of the results obtained. The torque formulas obtained require as parameters only two quantities, the number of teeth and the efficiency of stationary gear trains. The results tabulated can be utilized safely without requiring any understanding of the underlying theory.

1 緒 言

2個の単純遊星歯車機構の各々3本の基本軸の2本同志を連結し、残りの各々1本の基本軸の一方を固定軸とし、他の1本の基本軸と二組の連結軸の一方との間で動力の受け渡しを行なう装置を複合遊星歯車装置と呼び、自動変速機や大きな減速比を得ようとする遊星歯車装置に多く用いられている。

この複合遊星歯車装置においては、2個の単純遊星歯車機構同志の連結の仕方により、動力伝達に際して二組の連結軸上を動力が循環する場合と動力が分流する場合とが生ずる¹⁾²⁾³⁾。従ってこれら複合遊星歯車装置を設計する際には、あらかじめその複合遊星歯車装置の理論効率値を計算により求め、効率について充分検討する必要がある、またこれと同時にその複合遊星歯車装置の各基本軸と連結軸とに作用するトルクの値を計算により求

*精密工学教室 教授

**長野工業高等専門学校機械工学科 助手

め、軸の強度と寸法とを充分検討することが必要である。この複合遊星歯車装置の理論効率計算式についてはいくつかの研究が発表されているが、著者の一人も別の方法により、2個の内歯車式単純遊星歯車機構の組み合わせからなる複合遊星歯車装置の場合⁴⁾、内歯車式単純遊星歯車機構と複式外歯車遊星歯車機構との組み合わせからなる複合遊星歯車装置の場合⁵⁾⁶⁾、2個の複式外歯車遊星歯車機構の組み合わせからなる複合遊星歯車装置の場合⁷⁾について既に理論効率計算式を求めている。

本研究では2個の内歯車式単純遊星歯車機構の組み合わせからなる複合遊星歯車装置の種々の結合型式の中で、連結軸としない各々のキャリアの内の一方を固定軸とする、いわゆる閉路式差動歯車装置の場合について、著者の一人が以前に求めたこの閉路式差動歯車装置の理論効率計算式および動力の流れ線図などを用いて、各基本軸と連結軸とに作用する軸トルクの理論計算式を求めた。そして読者がこれら計算式を使用する際にその適用を誤るおそれのない、便利な型式別一覧表を作成した。

2 閉路式差動歯車装置の軸トルク計算式の誘導

2.1 動力循環型閉路式差動歯車装置

いま図1に示すごとく、2個の内歯車式単純遊星歯車機構IとII（要素I、要素IIと呼ぶ）との結合において、太陽外歯車AとA'とを連結し、太陽内歯車CとC'とを連結し、要素IのキャリアSを固定し、要素IIのキャリアS'を従動軸とする場合について考える。この場合の速比 u の計算式として次式が既に著者の一人により求められている⁴⁾。ただし ω_A 、 $\omega_{S'}$ は軸A、S'の角速度を示し、 z_A 、 z_C 、 $z_{A'}$ 、 $z_{C'}$ は歯車A、C、A'、C'の歯数を示す。

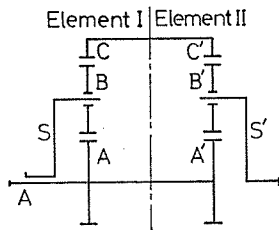


Fig. 1 Combined Planetary Gear with Power Circulation

すなわち

$$u = \frac{\omega_{S'}}{\omega_A} = - \frac{z_A z_{C'} - z_{A'} z_C}{z_C (z_{A'} + z_{C'})}. \quad (1)$$

そして要素IIを太陽外歯車A'と太陽内歯車C'とが駆動軸でキャリアS'が従動軸である差動歯車機構と考え、これを太陽内歯車C'を固定し、太陽外歯車A'のみの回転によりキャリアS'に出力 N_{o1} を伝達する第1成分遊星歯車装置、および太陽外歯車A'を固定し、太陽内歯車C'のみの回転によりキャリアS'に出力 N_{o2} を伝達する第2成分遊星歯車装置からなると考えた時、これら N_{o1} 、 N_{o2} と全出力 N_o との関係式が既に著者の一人により求められている⁴⁾。

すなわち

$$N_{o1} = - \frac{z_{A'} z_C}{z_A z_{C'} - z_{A'} z_C} N_o, \quad (2)$$

$$N_{o2} = \frac{z_A z_{C'}}{z_A z_{C'} - z_{A'} z_C} N_o. \quad (3)$$

よって式, (2), (3)より

$$\frac{N_{o2}}{N_{o1}} = -\frac{z_A z_C'}{z_{A'} z_C} < 0$$

となるから, この装置では常に動力が循環することがわかる.

(i) $z_A z_C' > z_{A'} z_C$ の場合

この場合の装置全体の効率 η として次式が求められている⁴⁾. ただし簡単のため要素 I と II の基準効率をいずれも η_0 とする.

$$\eta = \frac{\eta_0(\eta_0 z_{A'} + z_C')(z_A z_C' - z_{A'} z_C)}{(z_{A'} + z_C')(z_A z_C' - \eta_0^2 z_{A'} z_C)}. \quad (4)$$

そして式(2), (3)より $N_{o1} < 0, N_{o2} > 0$ となるから, 要素 II の第 1 成分遊星歯車装置における動力 ($-N_{o1}$) がキャリア S' から逆に入力として入り, ($-N_{o1}$) \rightarrow $S' \rightarrow B' \rightarrow A' \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow C' \rightarrow B'$ の流れ方で動力循環することになる. この時の装置内全体の動力の流れを図 2 に示す⁴⁾. すなわち動力 ($-N_{o1}$) は歯車 B', A'

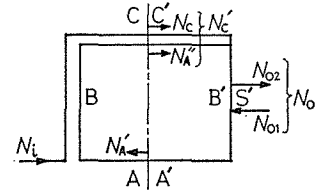


Fig. 2 Power Circulation

を経て歯車 A' から要素 I の歯車 A に動力 $N_{A'}$ となって流れ込み, この $N_{A'}$ は歯車 A, B, C を経て歯車 C から要素 II の歯車 C' に動力 $N_{A''}$ となって流れる. 一方この時, 入力 N_i は歯車 A, B, C を経て, 歯車 C から要素 II の C' に動力 N_C となって流れる. 従って歯車 C と歯車 C' とを連結する軸 $C'-C'$ にはこれら $N_{A''}$ と N_C とが合流した動力 $N_{C'}$ が流れる.

そして要素 II の第 2 成分遊星歯車装置においては歯車 C' に $N_{C'}$ が入力として入り, 歯車 B' を経てキャリア S' から N_{o2} となって出力する. そしてこれら動力 $N_{A'}, N_{C'}$ は次式で表わされる⁴⁾.

$$N_{A'} = \eta_1(-N_{o1}) \quad (5)$$

$$N_{C'} = \frac{N_{o2}}{\eta_2} \quad (6)$$

ただし η_1 は要素 II で太陽内歯車 C' を固定した第 1 成分遊星歯車装置において, キャリヤ S' を駆動側, 太陽外歯車 A' を従動側とした時の効率であり, また η_2 は要素 II で太陽外歯車 A' を固定した第 2 成分遊星歯車装置において, 太陽内歯車 C' を駆動側, キャリヤ S' を従動側とした時の効率であり, それぞれ次式で表わされる⁸⁾.

$$\eta_1 = \frac{\eta_0(z_{A'} + z_C')}{\eta_0 z_{A'} + z_C'}. \quad (7)$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_0 z_{A'} + z_C'}{z_{A'} + z_C'}. \quad (8)$$

いま駆動軸の角速度 ω_A と軸トルク M_A が与えられていると考えると、入力 N_i は

$$N_i = \omega_A M_A \quad (9)$$

で表わされ、従って出力 N_o は

$$N_o = \eta N_i = \frac{\eta_0(\eta_0 z_{A'} + z_{C'})(z_A z_{C'} - z_{A'} z_C)}{(z_{A'} + z_{C'})(z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C)} \omega_A M_A \quad (10)$$

で表わされる。次に式(5)に式(2)を代入して

$$N_{A'} = \eta_1(-N_{o1}) = \eta_1 \frac{z_{A'} z_C}{z_A z_{C'} - z_{A'} z_C} N_o$$

を得、これに式(7)、(10)を代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} N_{A'} &= \frac{\eta_0(z_{A'} + z_{C'})}{\eta_0 z_{A'} + z_{C'}} \cdot \frac{z_{A'} z_C}{z_A z_{C'} - z_{A'} z_C} \cdot \frac{\eta_0(\eta_0 z_{A'} + z_{C'})(z_A z_{C'} - z_{A'} z_C)}{(z_{A'} + z_{C'})(z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C)} \omega_A M_A \\ &= \frac{\eta_0^2 z_{A'} z_C}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} \omega_A M_A. \end{aligned} \quad (11)$$

また式(6)に式(3)を代入して

$$N_{C'} = \frac{N_{o2}}{\eta_2} = \frac{1}{\eta_2} \cdot \frac{z_A z_{C'}}{z_A z_{C'} - z_{A'} z_C} N_o$$

を得、これに式(8)、(10)を代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} N_{C'} &= \frac{z_{A'} + z_{C'}}{\eta_0 z_{A'} + z_{C'}} \cdot \frac{z_A z_{C'}}{z_A z_{C'} - z_{A'} z_C} \cdot \frac{\eta_0(\eta_0 z_{A'} + z_{C'})(z_A z_{C'} - z_{A'} z_C)}{(z_{A'} + z_{C'})(z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C)} \omega_A M_A \\ &= \frac{\eta_0 z_A z_{C'}}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} \omega_A M_A. \end{aligned} \quad (12)$$

そこで従動軸 S' に作用するトルク $M_{S'}$ は

$$M_{S'} = \frac{N_o}{\omega_{S'}}$$

で計算され、これに式(10)を代入して

$$M_{S'} = \frac{\eta_0(\eta_0 z_{A'} + z_{C'})(z_A z_{C'} - z_{A'} z_C)}{(z_{A'} + z_{C'})(z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C)} \cdot \frac{\omega_A}{\omega_{S'}} M_A$$

を得、式(1)を代入して

$$\begin{aligned}
 M_{S'} &= \frac{\eta_0(\eta_0 z_A' + z_C')(z_A z_C' - z_A' z_C)}{(z_A' + z_C')(z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C)} \cdot \frac{-z_C(z_A' + z_C')}{z_A z_C' - z_A' z_C} M_A \\
 &= -\frac{\eta_0 z_C(\eta_0 z_A' + z_C')}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} M_A
 \end{aligned} \tag{13}$$

を得る。次に太陽外歯車 A, A' の連結軸 A-A' に作用するトルク $M_{AA'}$ は

$$M_{AA'} = \frac{N_A'}{\omega_A}$$

で計算され、これに式(11)を代入して

$$M_{AA'} = \frac{\eta_0^2 z_A' z_C}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} M_A \tag{14}$$

を得る。また太陽内歯車 C, C' の連結軸 C-C' に作用するトルク $M_{CC'}$ は

$$M_{CC'} = \frac{N_{C'}}{\omega_C} = \frac{N_{C'}}{-\omega_A \frac{z_A}{z_C}} = -\frac{z_C}{z_A} \cdot \frac{N_{C'}}{\omega_A}$$

で計算され、式(12)を代入して次式を得る。

$$M_{CC'} = -\frac{\eta_0 z_C z_C'}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} M_A. \tag{15}$$

次に固定軸 S に作用するトルク M_S について考える。いま遊星ピニオン B に作用する、太陽外歯車 A からのトルクおよび太陽内歯車 C からのトルクと M_S との釣り合いを考え、図 3 を得る。この図 3 より次式を得る。

$$M_S = |M_{CC'}| + \left| \frac{N_A' + N_i}{\omega_A} \right|. \tag{16}$$

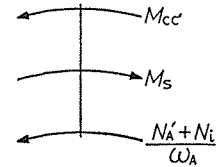


Fig. 3 Torques Acting on a Planet Gear

そこで

$$\begin{aligned}
 N_A' + N_i &= \frac{\eta_0^2 z_A' z_C}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} \omega_A M_A + \omega_A M_A \\
 &= \frac{\eta_0^2 z_A' z_C + z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} \omega_A M_A \\
 &= \frac{z_A z_C'}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} \omega_A M_A
 \end{aligned} \tag{17}$$

を得、この式(17)と式(15)を式(16)に代入して

$$\begin{aligned}
 M_S &= \frac{\eta_0 z_C z_C'}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} M_A + \frac{z_A z_C'}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} M_A \\
 &= \frac{z_C'(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_C' - \eta_0^2 z_A' z_C} M_A
 \end{aligned} \tag{18}$$

を得る.

(ii) $z_A z_C' < z_A' z_C$ の場合

この場合の装置全体の効率 η として次式が求められている⁴⁾.

$$\eta = \frac{(z_A' + \eta_0 z_C')(z_A' z_C - z_A z_C')}{(z_A' + z_C')(z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C')} \tag{19}$$

そして、この場合は式(2), (3)より $N_{01} > 0$, $N_{02} < 0$ となるから、要素IIの第2成分遊星歯

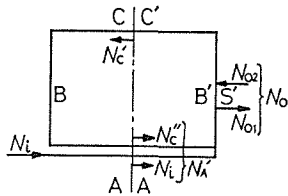


Fig. 4 Power Circulation

車装置における動力 ($-N_{02}$) がキャリア S' から逆に
入力として入り, ($-N_{02}$) $\rightarrow S' \rightarrow B' \rightarrow C' \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow$
 $A' \rightarrow B'$ の流れ方で動力循環することになる. この時
の装置内の全体の動力の流れを図4に示す. すなわち
動力 ($-N_{02}$) は歯車 B' , C' を経て歯車 C' から要素
Iの歯車 C に動力 $N_{C'}$ となって流れ込み, この $N_{C'}$
は歯車 C , B , A を経て要素IIの歯車 A' に動力 $N_{C''}$
となって流れる. またこの時, 軸Aからは入力 N_i が

流れ込むから, 歯車 A と歯車 A' とを連結する軸 $A-A'$ には $N_{C''}$ と N_i とが合流した動力 $N_{A'}$ が流れる. そして要素IIの第1成分遊星歯車装置においては, 歯車 A' に $N_{A'}$ が
入力として入り, 歯車 B' を経てキャリア S' から N_{01} となって出力する. そして, これ
ら $N_{A'}$, $N_{C'}$, $N_{C''}$ はそれぞれ次式で表わされる⁴⁾.

$$N_{A'} = \frac{N_{01}}{\eta_3} \tag{20}$$

$$N_{C''} = N_{A'} - N_i \tag{21}$$

$$N_{C'} = \eta_4 (-N_{02}) \tag{22}$$

ただし, η_3 は要素IIで太陽内歯車 C' を固定した第1成分遊星歯車装置において太陽外歯車 A' を駆動側, キャリヤ S' を従動側とした時の効率であり, η_4 は要素IIで太陽外歯車 A' を固定した第2成分遊星歯車装置においてキャリヤ S' を駆動側, 太陽内歯車 C' を従動側とした時の効率であり, それぞれ次式で表わされる⁸⁾.

$$\eta_3 = \frac{z_A' + \eta_0 z_C'}{z_A' + z_C'} \tag{23}$$

$$\eta_4 = \frac{\eta_0 (z_A' + z_C')}{z_A' + \eta_0 z_C'} \tag{24}$$

いま駆動軸の角速度 ω_A と軸トルク M_A が与えられていると考えると、入力 N_i は

$$N_i = \omega_A M_A \quad (9)$$

で表わされ、従って出力 N_o は

$$N_o = \eta N_i = \frac{(z_A' + \eta_0 z_C')(z_A' z_C - z_A z_C')}{(z_A' + z_C')(z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C')} \omega_A M_A \quad (25)$$

で表わされる。次に式(20)に式(2)を代入して

$$\begin{aligned} N_{A'} &= \frac{z_A' + z_C'}{z_A' + \eta_0 z_C'} \cdot \frac{z_A' z_C}{z_A' z_C - z_A z_C'} \cdot \frac{(z_A' + \eta_0 z_C')(z_A' z_C - z_A z_C')}{(z_A' + z_C')(z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C')} \omega_A M_A \\ &= \frac{z_A' z_C}{z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C'} \omega_A M_A \end{aligned} \quad (26)$$

を得る。次に式(21)に式(9), (26)を代入して

$$N_{C''} = \frac{z_A z_C}{z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C'} \omega_A M_A - \omega_A M_A = \frac{\eta_0^2 z_A z_C'}{z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C'} \omega_A M_A \quad (27)$$

を得る。また式(22)に式(3)を代入して

$$N_{C'} = \eta_4 \frac{z_A z_C'}{z_A' z_C - z_A z_C'} N_o$$

を得、これに式(24), (25)を代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} N_{C'} &= \frac{\eta_0(z_A' + z_C')}{z_A' + \eta_0 z_C'} \cdot \frac{z_A z_C'}{z_A' z_C - z_A z_C'} \cdot \frac{(z_A' + \eta_0 z_C')(z_A' z_C - z_A z_C')}{(z_A' + z_C')(z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C')} \omega_A M_A \\ &= \frac{\eta_0 z_A z_C'}{z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C'} \omega_A M_A. \end{aligned} \quad (28)$$

そこで従動軸 S' に作用するトルク $M_{S'}$ は

$$M_{S'} = \frac{N_o}{\omega_{S'}}$$

で計算され、これに式(25)を代入して

$$M_{S'} = \frac{(z_A' + \eta_0 z_C')(z_A' z_C - z_A z_C')}{(z_A' + z_C')(z_A' z_C - \eta_0^2 z_A z_C')} \cdot \frac{\omega_A}{\omega_{S'}} M_A$$

を得、式(1)を代入して

$$\begin{aligned}
 M_{S'} &= \frac{(z_{A'} + \eta_0 z_{C'})(z_{A'} z_C - z_A z_{C'})}{(z_{A'} + z_{C'})(z_{A'} z_C) - \eta_0^2 z_A z_{C'}} \cdot \frac{z_C(z_{A'} + z_{C'})}{z_{A'} z_C - z_A z_{C'}} M_A \\
 &= \frac{z_C(z_{A'} + \eta_0 z_{C'})}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A
 \end{aligned} \tag{29}$$

を得る．次に太陽外歯車 A, A' の連結軸 A-A' に作用するトルク $M_{AA'}$ は

$$M_{AA'} = \frac{N_{A'}}{\omega_A}$$

で計算され，これに式(26)を代入して

$$M_{AA'} = \frac{z_{A'} z_C}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A \tag{30}$$

を得る．また太陽内歯車 C, C' の連結軸 C-C' に作用するトルク $M_{CC'}$ は

$$M_{CC'} = \frac{N_{C'}}{\omega_{C'}} = \frac{N_{C'}}{-\omega_A \frac{z_A}{z_C}} = -\frac{z_C}{z_A} \cdot \frac{N_{C'}}{\omega_A}$$

で計算され，これに式(28)を代入して

$$M_{CC'} = -\frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A \tag{31}$$

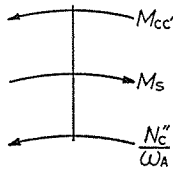


Fig. 5 Torques Acting on a Planet Gear

を得る．次に固定軸 S に作用するトルク M_S について考える．いま遊星ピニオン B に作用する，太陽外歯車 A からのトルクおよび太陽内歯車 C からのトルクと M_S との釣り合いを考え，図 5 を得る．この図 5 より

$$M_S = |M_{CC'}| + \left| \frac{N_{C''}}{\omega_A} \right|$$

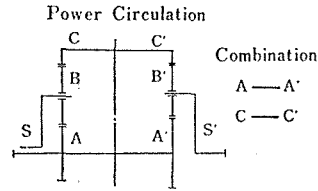
を得，これに式(27), (31)を代入して

$$\begin{aligned}
 M_S &= \frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A + \frac{\eta_0^2 z_A z_{C'}}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A \\
 &= \frac{\eta_0 z_{C'}(z_C + \eta_0 z_A)}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A
 \end{aligned} \tag{32}$$

を得る．

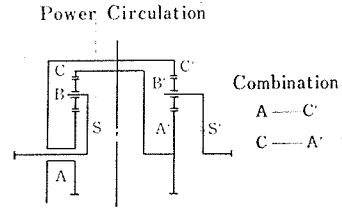
以上により，駆動軸 A に作用するトルク M_A が既知の時， $M_{S'}$, $M_{AA'}$, $M_{CC'}$, M_S の値は， $z_A z_{C'} > z_{A'} z_C$ の場合は式(13), (14), (15), (18)により求められ， $z_A z_{C'} < z_{A'} z_C$ の

Table 1 Torque Formulas for Closed Type Differential Gears with Power Circulation



| | Driver | Follower | Fixed | Torque on Shaft | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|----------|-------|---|--|--|--|---|
| | | | | Input Shaft | $M_{AA'}$ | $M_{CC'}$ | Fixed Shaft | Output Shaft |
| $z_A z_{C'} > z_{A'} z_C$ | A | S' | S | M_A | $\frac{\eta_0^2 z_A' z_C}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} M_A$ | $\frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} M_A$ | $M_S = \frac{z_C (z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} M_A$ | $M_{S'} = \frac{\eta_0 z_C (\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} M_A$ |
| | Reduced (Opposite direction) | | | | | | | |
| | C | S' | S | M_C | $\frac{\eta_0 z_A z_{A'}}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} M_C$ | $\frac{z_A z_{C'}}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} M_C$ | $M_S = \frac{\eta_0 z_{A'} (z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} M_C$ | $M_{S'} = \frac{z_A (\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_{A'} z_C} M_C$ |
| | Reduced (Same direction) | | | | | | | |
| | S | A' | S' | M_S | $\frac{\eta_0 z_A}{\eta_0 z_A + z_C} M_S$ | $\frac{z_C}{\eta_0 z_A + z_C} M_S$ | $M_{S'} = \frac{z_C (\eta_0 z_{C'} + z_{A'})}{\eta_0 z_C (\eta_0 z_A + z_C)} M_S$ | $M_{A'} = \frac{\eta_0^2 z_A z_{C'} - z_{A'} z_C}{\eta_0 z_C (\eta_0 z_A + z_C)} M_S$ |
| | Increased (Same direction) | | | | | | | |
| S | C' | S' | M_S | $\frac{\eta_0 z_A}{\eta_0 z_A + z_C} M_S$ | $\frac{z_C}{\eta_0 z_A + z_C} M_S$ | $M_{S'} = \frac{\eta_0 z_A (z_{A'} + \eta_0 z_{C'})}{z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_S$ | $M_{C'} = \frac{\eta_0^2 z_A z_{C'} - z_{A'} z_C}{z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_S$ | |
| Increased (Opposite direction) | | | | | | | | |
| $z_A z_{C'} < z_{A'} z_C$ | A | S' | S | M_A | $\frac{z_A' z_C}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A$ | $\frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A$ | $M_S = \frac{\eta_0 z_{C'} (z_C + \eta_0 z_A)}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A$ | $M_{S'} = \frac{z_C (z_{A'} + \eta_0 z_{C'})}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_A$ |
| | Reduced (Same direction) | | | | | | | |
| | C | S' | S | M_C | $\frac{\eta_0 z_A z_{A'}}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_C$ | $\frac{\eta_0^2 z_A z_{C'}}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_C$ | $M_S = \frac{z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_C$ | $M_{S'} = \frac{\eta_0 z_A (z_{A'} + \eta_0 z_{C'})}{z_{A'} z_C - \eta_0^2 z_A z_{C'}} M_C$ |
| | Reduced (Opposite direction) | | | | | | | |
| | S | A' | S' | M_S | $\frac{z_A}{z_A + \eta_0 z_C} M_S$ | $\frac{\eta_0 z_C}{z_A + \eta_0 z_C} M_S$ | $M_{S'} = \frac{\eta_0^2 z_C (\eta_0 z_{A'} + z_{C'}) - (1 - \eta_0) z_A z_{C'}}{\eta_0 z_C (z_A + \eta_0 z_C)} M_S$ | $M_{A'} = \frac{z_A z_{C'} - \eta_0^3 z_A' z_C}{\eta_0 z_C (z_A + \eta_0 z_C)} M_S$ |
| | Increased (Opposite direction) | | | | | | | |
| S | C' | S' | M_S | $\frac{z_A}{z_A + \eta_0 z_C} M_S$ | $\frac{\eta_0 z_C}{z_A + \eta_0 z_C} M_S$ | $M_{S'} = \frac{z_A (\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{\eta_0 z_{A'} (z_A + \eta_0 z_C)} M_S$ | $M_{C'} = \frac{z_A z_{C'} - \eta_0^2 z_A' z_C}{\eta_0 z_{A'} (z_A + \eta_0 z_C)} M_S$ | |
| Increased (Same direction) | | | | | | | | |

Table 2 Torque Formulas for Closed Type Differential Gears with Power Circulation



| Driver | Follower | Fixed | Torque on Shaft | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------|-----------------|--|--|---|---|
| | | | Input shaft | $M_{AC'}$ | $M_{CA'}$ | Fixed Shaft | Output Shaft |
| A | S' | S | M_A | $\frac{z_C z_{C'}}{z_C z_{C'} - \eta_0^2 z_A z_{A'}} M_A$ | $\frac{\eta_0 z_A z_C}{z_C z_{C'} - \eta_0^2 z_A z_{A'}} M_A$ | $M_S = \frac{\eta_0 z_A (\eta_0 z_A + z_{C'})}{z_C z_{C'} - \eta_0^2 z_A z_{A'}} M_A$ | $M_{S'} = \frac{z_C (\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{z_C z_{C'} - \eta_0^2 z_A z_{A'}} M_A$ |
| Reduced (Same direction) | | | | | | | |
| C | S' | S | M_C | $\frac{\eta_0 z_A z_{C'}}{z_C z_{C'} - \eta_0^2 z_A z_{A'}} M_C$ | $\frac{\eta_0^2 z_A z_{A'}}{z_C z_{C'} - \eta_0^2 z_A z_{A'}} M_C$ | $M_S = \frac{z_{C'} (\eta_0 z_A + z_{C'})}{z_C z_{C'} - \eta_0^2 z_A z_{A'}} M_C$ | $M_{S'} = \frac{\eta_0 z_A (\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{z_C z_{C'} - \eta_0^2 z_A z_{A'}} M_C$ |
| Reduced (Opposite direction) | | | | | | | |
| S | A' | S' | M_S | $\frac{z_A}{z_A + \eta_0 z_C} M_S$ | $\frac{\eta_0 z_C}{z_A + \eta_0 z_C} M_S$ | $M_{S'} = \frac{z_A (z_{A'} + \eta_0 z_{C'})}{\eta_0 z_{C'} (z_A + \eta_0 z_C)} M_S$ | $M_{A'} = \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'} - z_A z_{A'}}{\eta_0 z_{C'} (z_A + \eta_0 z_C)} M_S$ |
| Increased (Same direction) | | | | | | | |
| S | C' | S' | M_S | $\frac{z_A}{z_A + \eta_0 z_C} M_S$ | $\frac{\eta_0 z_C}{z_A + \eta_0 z_C} M_S$ | $M_{S'} = \frac{\eta_0^2 z_C (z_{A'} + \eta_0 z_{C'}) - (1 - \eta_0) z_A z_{A'}}{\eta_0 z_{A'} (z_A + \eta_0 z_C)} M_S$ | $M_{C'} = \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'} - z_A z_{A'}}{\eta_0 z_{A'} (z_A + \eta_0 z_C)} M_S$ |
| Increased (Opposite direction) | | | | | | | |

場合は式(29), (30), (31), (32)により求められる. これら式(13), (14), (15), (18)を表1の1行目に示し, 式(29), (30), (31), (32)を表1の5行目に示す.

同様な方法により, この動力循環型複合遊星歯車装置において, 駆動軸, 従動軸, 固定軸の他の六つの組み合わせの場合に, 各基本軸と連結軸とに作用するトルクの理論計算式を求め, 表1に一覧表として示した.

なお他の型式の動力循環型の閉路式差動歯車装置について, 前述と同様な誘導方法により各基本軸と連結軸とに作用するトルクの理論計算式を求め, 表2に一覧表として示した.

2.2 動力分流型閉路式差動歯車装置

図6に示すごとく, 2個の内歯車式単純遊星歯車機構IとII(要素IとII)の結合において, 太陽内歯車Cと太陽外歯車A'とを連結し, キャリヤSと太陽内歯車C'とを連結し, 要素IIのキャリヤS'を固定し, 要素Iの太陽外歯車Aを駆動軸とし要素IIの太陽内歯車C'を従動軸とする場合について考える. この場合の速比 u , 装置全体の効率 η を求める計算式が既に著者の一人により求められている⁴⁾. ただし $\omega_A, \omega_{C'}$ は軸A, C'の角速度を示し, $z_A, z_C, z_{A'}, z_{C'}$ は歯車A, C, A', C'の歯数を示す. また簡単のため要素IとIIの基準効率をいずれも η_0 とする.

すなわち

$$u = \frac{\omega_{C'}}{\omega_A} = \frac{z_A z_{A'}}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \quad (33)$$

$$\eta = \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'} + z_{A'}(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \quad (34)$$

そしてこの場合, 要素Iを太陽外歯車Aが駆動軸でキャリヤSと太陽内歯車Cとが従動軸である差動歯車機構と考え, これを, キャリヤSを固定し太陽外歯車Aを動力 N_{i1} で駆動し太陽内歯車Cを従動させる第1成分遊星歯車装置と, 太陽内歯車Cを固定し太陽外歯車Aを動力 N_{i2} で駆動しキャリヤSを従動させる第2成分遊星歯車装置からなると考える. この動力 N_{i1}, N_{i2} と全入力 N_i との関係式として次式が既に求められている⁴⁾.

すなわち

$$N_{i1} = \frac{z_C z_{C'}}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} N_i \quad (35)$$

$$N_{i2} = \frac{z_{A'}(z_A + z_C)}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} N_i \quad (36)$$

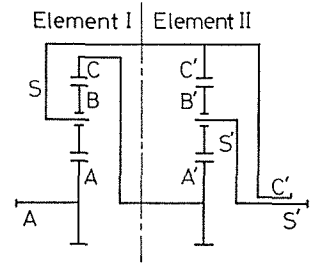


Fig. 6 Combined Planetary Gear with Power Division

従って式(35), (36)から

$$\frac{N_{i2}}{N_{i1}} = \frac{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C}{z_C z_{C'}} > 0 \quad (N_{i1} > 0, N_{i2} > 0)$$

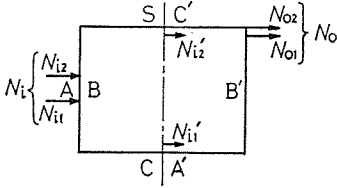


Fig. 7 Power Division

となることから、この装置では動力は循環せず、常に分流することがわかり、この時の装置内の動力の流れは図7に示すごとくなる⁴⁾。すなわち要素Ⅰの第1成分遊星歯車装置では、歯車A, Bを経て歯車Cに入った動力 N_{i1} は、歯車Cから N_{i1}' となって要素Ⅱの歯車A'に入り、歯車B', C'を経て軸C'から N_{o1} となって出力する。また要素Ⅰの第2成分遊星歯車装置では、歯車A, Bを経てキャリアSに入った動力 N_{i2} は、キャリアSから N_{i2}' となって要素Ⅱの歯車C'に入り、軸C'から N_{o2} となって出力する。そしてこれら N_{i1}' , N_{i2}' , N_{o1} , N_{o2} はそれぞれ次式で表わされる⁴⁾。

$$N_{o1} = \eta_0 N_{i1}' = \eta_0^2 N_{i1}, \quad (37)$$

$$N_{o2} = N_{i2}' = \eta_1 N_{i2}. \quad (38)$$

ここで、 η_1 は要素Ⅰの第2成分遊星歯車装置において、太陽内歯車Cを固定し、太陽外歯車Aを駆動側、キャリアSを従動側とした時の効率であり次式で表わされる⁸⁾。

$$\eta_1 = \frac{z_A + \eta_0 z_C}{z_A + z_C}. \quad (39)$$

いま駆動軸の角速度 ω_A と軸トルク M_A が与えられていると考えると、入力 N_i は

$$N_i = \omega_A M_A \quad (40)$$

で表わされ、従って出力 N_o は

$$N_o = \eta N_i = \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'} + z_{A'}(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \omega_A M_A \quad (41)$$

で表わされる。次に式(37)に式(35), (40)を代入して

$$N_{i1}' = \eta_0 N_{i1} = \frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \omega_A M_A \quad (42)$$

を得、また式(38)に式(36), (39), (40)を代入して次式を得る。

$$\begin{aligned}
 N_{i2}' &= \eta_1 N_{i2} = \frac{z_A + \eta_0 z_C}{z_A + z_C} \cdot \frac{z_A'(z_A + z_C)}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \omega_A M_A \\
 &= \frac{z_A'(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \omega_A M_A.
 \end{aligned} \tag{43}$$

そこで従動軸 C' に作用するトルク $M_{C'}$ は

$$M_{C'} = \frac{N_o}{\omega_{C'}}$$

で計算され、これに式(41)を代入して

$$M_{C'} = \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'} + z_{A'}(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \cdot \frac{\omega_A}{\omega_{C'}} M_A$$

を得、これに式(33)を代入して

$$\begin{aligned}
 M_{C'} &= \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'} + z_{A'}(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \cdot \frac{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}}{z_A z_{A'}} M_A \\
 &= \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'} + z_{A'}(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'}} M_A
 \end{aligned} \tag{44}$$

を得る。次に太陽内歯車 C と太陽外歯車 A' との連結軸 C-A' に作用するトルク $M_{CA'}$ は

$$M_{CA'} = \frac{N_{i1}'}{\omega_{A'}} = \frac{N_{i1}'}{-\omega_{C'} \frac{z_{C'}}{z_{A'}}} = -\frac{z_{A'}}{z_{C'}} \cdot \frac{N_{i1}'}{\omega_{C'}}$$

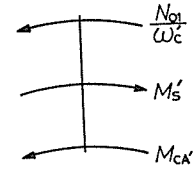


Fig. 8 Torques Acting on a Planet Gear

で計算され、式(42)を代入して

$$M_{CA'} = -\frac{z_{A'}}{z_{C'}} \cdot \frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \cdot \frac{\omega_A}{\omega_{C'}} M_A$$

を得、これに式(33)を代入して

$$\begin{aligned}
 M_{CA'} &= -\frac{\eta_0 z_{A'} z_C}{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}} \cdot \frac{z_A z_{A'} + z_{A'} z_C + z_C z_{C'}}{z_A z_{A'}} M_A \\
 &= -\frac{\eta_0 z_C}{z_A} M_A
 \end{aligned} \tag{45}$$

を得る。またキャリア S と太陽内歯車 C' との連結軸 S-C' に作用するトルク $M_{SC'}$ は

$$M_{SC'} = \frac{N_{i2'}}{\omega_{C'}}$$

で計算され、これに式(43)を代入して

$$M_{SC'} = \frac{z_A'(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'} + z_A' z_C + z_C z_{C'}} \cdot \frac{\omega_A}{\omega_{C'}} M_A$$

を得、これに式(33)を代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} M_{SC'} &= \frac{z_A'(z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'} + z_A' z_C + z_C z_{C'}} \cdot \frac{z_A z_{A'} + z_A' z_C + z_C z_{C'}}{z_A z_{A'}} M_A \\ &= \frac{z_A + \eta_0 z_C}{z_A} M_A. \end{aligned} \quad (46)$$

次に固定軸 S' に作用するトルク $M_{S'}$ について考える。いま遊星ピニオン B' に作用する、太陽外歯車 A' および太陽内歯車 C' からのトルクと $M_{S'}$ との釣り合いを考え図 8 を得る。この図 8 より次式を得る。

すなわち

$$M_{S'} = |M_{CA'}| + \left| \frac{N_{o1}}{\omega_{C'}} \right|. \quad (47)$$

ここで

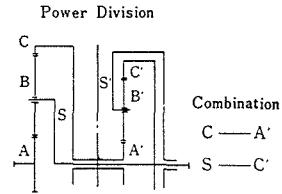
$$\begin{aligned} \frac{N_{o1}}{\omega_{C'}} &= \frac{\eta_0 N_{i1'}}{\omega_{C'}} = \eta_0 \frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{z_A z_{A'} + z_A' z_C + z_C z_{C'}} \cdot \frac{\omega_A}{\omega_{C'}} M_A \\ &= \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'}}{z_A z_{A'} + z_A' z_C + z_C z_{C'}} \cdot \frac{z_A z_{A'} + z_A' z_C + z_C z_{C'}}{z_A z_{A'}} M_A \\ &= \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'}}{z_A z_{A'}} M_A \end{aligned} \quad (48)$$

を得、式(47)に式(45), (48)を代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} M_{S'} &= \frac{\eta_0 z_C}{z_A} M_A + \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'}}{z_A z_{A'}} M_A = \frac{\eta_0 z_A' z_C + \eta_0^2 z_C z_{C'}}{z_A z_{A'}} M_A \\ &= \frac{\eta_0 z_C (z_A' + \eta_0 z_{C'})}{z_A z_{A'}} M_A. \end{aligned} \quad (49)$$

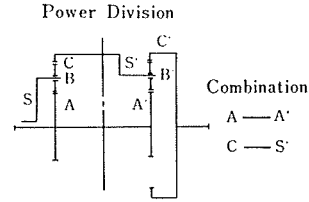
以上により、駆動軸 A に作用するトルク M_A が既知の時、 $M_{C'}$, $M_{CA'}$, $M_{SC'}$, $M_{S'}$ は式(44), (45), (46), (49)により求められる。そしてこれらの式を表 3 の 2 行目に示す。

Table 3 Torque Formulas for Closed Type Differential Gears with power Division



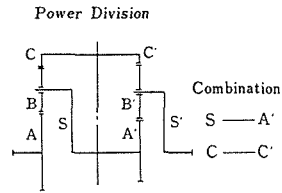
| Driver | Follower | Fixed | Torque on Shaft | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------|-----------------|--|---|--|--|
| | | | Input shaft | $M_{CA'}$ | $M_{SC'}$ | M_S' | Output shaft |
| A | A' | S' | M_A | $\frac{\eta_0 z_C}{z_A} M_A$ | $\frac{z_A + \eta_0 z_C}{z_A} M_A$ | $\frac{(z_A + \eta_0 z_C)(\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{z_A z_{C'}} M_A$ | $M_{A'} = \frac{\eta_0 (z_A z_{A'} + z_C z_{C'} + \eta_0 z_{A'} z_C)}{z_A z_{C'}} M_A$ |
| Reduced (Opposite direction) | | | | | | | |
| A | C' | S' | M_A | $\frac{\eta_0 z_C}{z_A} M_A$ | $\frac{z_A + \eta_0 z_C}{z_A} M_A$ | $\frac{\eta_0 z_C (z_{A'} + \eta_0 z_{C'})}{z_A z_{A'}} M_A$ | $M_{C'} = \frac{\eta_0^2 z_C z_{C'} + z_{A'} (z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'}} M_A$ |
| Reduced (Same direction) | | | | | | | |
| A' | A | S' | $M_{A'}$ | $\frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{\eta_0 (z_A z_{A'} + z_C z_{C'}) + z_{A'} z_C} M_{A'}$ | $\frac{z_{C'} (\eta_0 z_A + z_C)}{\eta_0 (z_A z_{A'} + z_C z_{C'}) + z_{A'} z_C} M_{A'}$ | $\frac{(1 + \eta_0) z_{C'} (\eta_0 z_A + z_C)}{\eta_0 (\eta_0 (z_A z_{A'} + z_C z_{C'}) + z_{A'} z_C)} M_{A'}$ | $M_A = \frac{\eta_0^2 z_A z_{C'}}{\eta_0 (z_A z_{A'} + z_C z_{C'}) + z_{A'} z_C} M_{A'}$ |
| Increased (Opposite direction) | | | | | | | |
| C' | A | S' | $M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_{A'} z_C}{z_C z_{C'} + \eta_0 z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)}{z_C z_{C'} + \eta_0 z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_{C'}$ | $\frac{z_C (\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{z_C z_{C'} + \eta_0 z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_{C'}$ | $M_A = \frac{\eta_0^2 z_A z_{A'}}{z_C z_{C'} + \eta_0 z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_{C'}$ |
| Increased (Same direction) | | | | | | | |

Table 4 Torque Formulas for Closed Type Differential Gears with Power Division



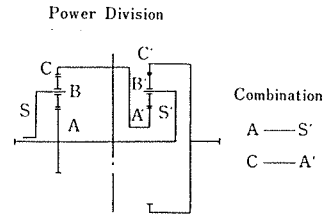
| Driver | Follower | Fixed | Torque on Shaft | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------|-----------------|--|---|--|---|
| | | | Input shaft | $M_{AA'}$ | $M_{CS'}$ | M_S | Output shaft |
| A | C' | S | M_A | $\frac{\eta_0 z_A' z_C}{z_A z_A' + \eta_0 (z_A z_C' + z_A' z_C)} M_A$ | $\frac{\eta_0 z_C (z_A + \eta_0 z_C')}{z_A z_A' + \eta_0 (z_A z_C' + z_A' z_C)} M_A$ | $\frac{(z_A + \eta_0 z_C)(z_A' + \eta_0 z_C')}{z_A z_A' + \eta_0 (z_A z_C' + z_A' z_C)} M_A$ | $M_{C'} = \frac{\eta_0^2 z_C z_C'}{z_A z_A' + \eta_0 (z_A z_C' + z_A' z_C)} M_A$ |
| Increased (Opposite direction) | | | | | | | |
| C | C' | S | M_C | $\frac{\eta_0 z_A z_A'}{z_A' z_C + \eta_0 z_A (z_A' + \eta_0 z_C')} M_C$ | $\frac{\eta_0 z_A (z_A + \eta_0 z_C')}{z_A' z_C + \eta_0 z_A (z_A' + \eta_0 z_C')} M_C$ | $\frac{z_A' (\eta_0 z_A + z_C)}{z_A' z_C + \eta_0 z_A (z_A' + \eta_0 z_C')} M_C$ | $M_{C'} = \frac{\eta_0^2 z_A z_C'}{z_A' z_C + \eta_0 z_A (z_A' + \eta_0 z_C')} M_C$ |
| Increased (Same direction) | | | | | | | |
| C' | A | S | $M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A'}{z_C'} M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A' + z_C'}{z_C'} M_{C'}$ | $\frac{(\eta_0 z_A + z_C)(\eta_0 z_A' + z_C')}{z_C z_C'} M_{C'}$ | $M_A = \frac{\eta_0 (\eta_0 z_A z_A' + z_A z_C' + z_A' z_C)}{z_C z_C'} M_{C'}$ |
| Reduced (Opposite direction) | | | | | | | |
| C' | C | S | $M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A'}{z_C'} M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A' + z_C'}{z_C'} M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A' (z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_C'} M_{C'}$ | $M_C = \frac{\eta_0 z_A z_A' + z_A z_C' + \eta_0^2 z_A' z_C}{z_A z_C'} M_{C'}$ |
| Reduced (Same direction) | | | | | | | |

Table 5 Torque Formulas for Closed Type Differential Gears with Power Division



| Driver | Follower | Fixed | Torque on Shaft | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------|-----------------|--|---|--|--|
| | | | Input shaft | $M_{C'}$ | $M_{S'A'}$ | $M_{S'}$ | Output Shaft |
| A | A' | S' | M_A | $\frac{\eta_0 z_C}{z_A} M_A$ | $\frac{z_A + \eta_0 z_C}{z_A} M_A$ | $\frac{\eta_0 z_C (\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{z_A z_{C'}} M_A$ | $M_{A'} = \frac{\eta_0^2 z_{A'} z_C + z_{C'} (z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{C'}} M_A$ |
| Reduced (Same direction) | | | | | | | |
| A | C' | S' | M_A | $\frac{\eta_0 z_C}{z_A} M_A$ | $\frac{z_A + \eta_0 z_C}{z_A} M_A$ | $\frac{(z_{A'} + \eta_0 z_{C'}) (z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_{A'}} M_A$ | $M_{C'} = \frac{\eta_0 (z_A z_{C'} + z_{A'} z_C + \eta_0 z_C z_{C'})}{z_A z_{A'}} M_A$ |
| Reduced (Opposite direction) | | | | | | | |
| A' | A | S' | $M_{A'}$ | $\frac{\eta_0 z_C z_{C'}}{z_{A'} z_C + \eta_0 z_{C'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_{A'}$ | $\frac{\eta_0 z_C (\eta_0 z_A + z_C)}{z_{A'} z_C + \eta_0 z_{C'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_{A'}$ | $\frac{z_C (z_{A'} + \eta_0 z_{C'})}{z_{A'} z_C + \eta_0 z_{C'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_{A'}$ | $M_A = \frac{\eta_0^2 z_A z_{C'}}{z_{A'} z_C + \eta_0 z_{C'} (\eta_0 z_A + z_C)} M_{A'}$ |
| Increased (Same direction) | | | | | | | |
| C' | A | S' | $M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_{A'} z_C}{z_C z_{C'} + \eta_0 (z_A z_{C'} + z_{A'} z_C)} M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_{A'} (\eta_0 z_A + z_C)}{z_C z_{C'} + \eta_0 (z_A z_{C'} + z_{A'} z_C)} M_{C'}$ | $\frac{(\eta_0 z_A + z_C) (\eta_0 z_{A'} + z_{C'})}{z_C z_{C'} + \eta_0 (z_A z_{C'} + z_{A'} z_C)} M_{C'}$ | $M_A = \frac{\eta_0^2 z_A z_{A'}}{z_C z_{C'} + \eta_0 (z_A z_{C'} + z_{A'} z_C)} M_{C'}$ |
| Increased (Opposite direction) | | | | | | | |

Table 6 Torque Formulas for Closed Type Differential Gears with Power Division



| Driver | Follower | Fixed | Torque on Shaft | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------|-----------------|--|--|---|---|
| | | | Input shaft | $M_{AS'}$ | $M_{C'A'}$ | M_S | Output Shaft |
| A | C' | S | M_A | $\frac{\eta_0 z_C (z_A' + \eta_0 z_C')}{z_A z_A' + \eta_0 z_C (z_A' + \eta_0 z_C')} M_A$ | $\frac{\eta_0 z_A' z_C}{z_A z_A' + \eta_0 z_C (z_A' + \eta_0 z_C')} M_A$ | $\frac{z_A' (z_A + \eta_0 z_C)}{z_A z_A' + \eta_0 z_C (z_A' + \eta_0 z_C')} M_A$ | $M_{C'} = \frac{\eta_0^2 z_C z_C'}{z_A z_A' + \eta_0 z_C (z_A' + \eta_0 z_C')} M_A$ |
| Increased (Same direction) | | | | | | | |
| C | C' | S | M_C | $\frac{\eta_0 z_A (z_A' + \eta_0 z_C')}{z_A' z_C + \eta_0 (z_A z_A' + z_C z_C')} M_C$ | $\frac{\eta_0 z_A z_A'}{z_A' z_C + \eta_0 (z_A z_A' + z_C z_C')} M_C$ | $\frac{(\eta_0 z_A + z_C) (z_A' + \eta_0 z_C')}{z_A' z_C + \eta_0 (z_A z_A' + z_C z_C')} M_C$ | $M_{C'} = \frac{\eta_0^2 z_A z_C'}{z_A' z_C + \eta_0 (z_A z_A' + z_C z_C')} M_C$ |
| Increased (Opposite direction) | | | | | | | |
| C' | A | S | $M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A' + z_C'}{z_C'} M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A'}{z_C'} M_{C'}$ | $\frac{z_A' (\eta_0^2 z_A + z_C)}{z_C z_C'} M_{C'}$ | $M_A = \frac{\eta_0^2 z_A z_A' + z_C (\eta_0 z_A' + z_C')}{z_C z_C'} M_{C'}$ |
| Reduced (Same direction) | | | | | | | |
| C' | C | S | $M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A' + z_C'}{z_C'} M_{C'}$ | $\frac{\eta_0 z_A'}{z_C'} M_{C'}$ | $\frac{(z_A + \eta_0 z_C) (\eta_0 z_A' + z_C')}{z_A z_C'} M_{C'}$ | $M_C = \frac{\eta_0 (z_A z_A' + \eta_0 z_A' z_C + z_C z_C')}{z_A z_C'} M_{C'}$ |
| Reduced (Opposite direction) | | | | | | | |

同様な方法により、この動力分流型複合遊星歯車装置において、駆動軸、従動軸、固定軸の他の組み合わせの場合に、各基本軸と連結軸とに作用するトルクの理論計算式を求め、表3に一覧表として示した。

なお他の型式の動力分流型の閉路式差動歯車装置の場合について、前述と同様な誘導方法により、各基本軸と連結軸とに作用するトルクの理論計算式を求め、表4、表5、表6にそれぞれ一覧表として示した。

3 結 言

2個の内歯車式単純遊星歯車装機構の各々3本の基本軸の内の2本同志を連結した、動力循環型と動力分流型の複合遊星歯車装置について、連結軸としない各々のキャリアの内の一方を固定し、他方のキャリアと連結軸との間で動力の受け渡しをする、いわゆる閉路式差動歯車装置の各基本軸と連結軸とに作用するトルクの理論計算式を誘導した。そして読者がこれら計算式を使用する際に、その適用に誤りを生ずる心配のない便利な型式別一覧表を作成した。そして、これら軸トルクの理論計算式は、装置を構成する各歯車の歯数と要素遊星歯車機構の基準かみあい効率とにより容易に計算することができる。

参 考 文 献

- 1) R. Poppinga : Stirnrad Planetengetriebe Franck' sche Verlag. (Stuttgart), (1949).
- 2) H. J. Förster : On the Efficiency of Epicyclic Gears. JSME Proceedings of Semi International Symposium (gearing), 1967-9-6, 105.
- 3) 佐藤申一 : 組合せ遊星歯車機構内の動力の流れ, 大同工業大学紀要, 6巻(昭45-12), 51.
- 4) 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装置の組合せからなる複合遊星歯車装置), 信州大学工学部紀要, 44(1978), 133.
- 5) 両角宗晴 : 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), 信州大学工学部紀要, 53(1982), 1.
- 6) 両角宗晴 : 複合遊星歯車装置の速比と効率の計算式 (第2報 (その2), 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), 信州大学工学部紀要, 54(1983), 31.
- 7) 両角宗晴 : 複合遊星歯車装置の速比と効率の計算式 (第3報 2ケの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), 信州大学工学部紀要, 55(1983), 1.
- 8) 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(1971-12), 105.