

差動不思議歯車機構の効率計算式

(第2報 3K型差動歯車機構)

両角宗晴*

(昭和56年9月18日受理)

Efficiency Formulas for Differential Gears Employing the Mechanical Paradox Internal Gear (2nd Report. The 3K Type Differential Gears)

Muneharu MOROZUMI

A theoretical derivation was developed to obtain formulas for evaluating the efficiency of the 3K type differential gears with the mechanical paradox internal gear applied; the differential is a simple planetary train in which all its three principal members rotate, one serving as the driver and the other two as followers, or vice versa, and theoretical formulation of the efficiency of differential gears is of value since it allows characterization of different kinds of differential gears. The formulas derived are so handy as to contain only two variables, the number of teeth and efficiency of stationary gear trains.

1 緒 言

歯数の異なる2ケの太陽内歯車に1ケの遊星ピニオンが噛み合い、この遊星ピニオンに太陽外歯車が噛み合う3K型遊星歯車機構では、これに用いる2ケの太陽内歯車と遊星ピニオンおよび太陽外歯車にそれぞれ適当な転位を与えなければ、噛み合いが成立せず、このような遊星歯車機構は Ferguson 歯車機構又は不思議歯車機構と呼ばれており¹⁾、筆者は、このような3K型不思議歯車機構の効率計算式を誘導し、さらに実際にその設計と試作を行ない、効率測定を行なって理論効率値が実験効率値によく一致することを示した²⁾。この3K型遊星歯車機構は入力軸、出力軸および補助軸の三本の基本軸からなっており、2ケの太陽内歯車と1ケの太陽外歯車が基本軸となり、2つの基本軸の駆動により残りの第3の軸がそれらの作用を同時に受けて回転したり、または1つの軸を駆動して他の2本の基本軸が被動されるような、いわゆる差動歯車機構が考えられるが、本論文においてはこれら3K型差動不思議歯車機構の効率計算式を求めた。

* 精密工学教室 教授

2 3 K型差動不思議歯車機構の効率計算式の誘導

図1に太陽外歯車 B 、太陽内歯車 C 、 D 、遊星ピニオン P およびキャリア A からなる3K型差動不思議歯車を示す。いま歯車 B 、 C 、 D の歯数をそれぞれ Z_B 、 Z_C 、 Z_D とし、基本軸 B 、 C 、 D の回転角速度をそれぞれ ω_B 、 ω_C 、 ω_D とすると、表1から次式が得られる。

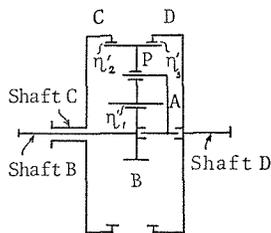


Fig. 1 3K Type Differential Gear Applying the Mechanical Paradox Internal Gear

Tabl 1. Solution by Tabulation (rad/sec)

Step no.	Gear B	Gear P	Gear C	Gear D	Arm A
1. Gear Locked	ω_A	ω_A	ω_A	ω_A	ω_A
2. Arm Fixed	$-\omega_A + \omega_B$	$-(\omega_A + \omega_B) \frac{Z_B}{Z_P}$	$-(\omega_A + \omega_B) \frac{Z_B}{Z_C}$	$-(\omega_A + \omega_B) \frac{Z_B}{Z_D}$	0
3. Result	ω_B	$\omega_A(1 + \frac{Z_B}{Z_P}) - \omega_B \frac{Z_B}{Z_P}$	$\omega_A(1 + \frac{Z_B}{Z_C}) - \omega_B \frac{Z_B}{Z_C}$	$\omega_A(1 + \frac{Z_B}{Z_D}) - \omega_B \frac{Z_B}{Z_D}$	ω_A

$$\omega_C = \omega_A \left(1 + \frac{Z_B}{Z_C}\right) - \omega_B \frac{Z_B}{Z_C}, \quad (1)$$

$$\omega_D = \omega_A \left(1 + \frac{Z_B}{Z_D}\right) - \omega_B \frac{Z_B}{Z_D}. \quad (2)$$

式(1)と(2)から ω_A を消去して次式を得る。

$$\omega_B = \frac{(1 + i_o'')\omega_C - (i_o + i_o'')\omega_D}{1 - i_o}, \quad (3)$$

$$\omega_C = \frac{(i_o + i_o'')\omega_D + (1 - i_o)\omega_B}{1 + i_o''}, \quad (4)$$

$$\omega_D = \frac{(1 + i_o'')\omega_C - (1 - i_o)\omega_B}{i_o + i_o''}. \quad (5)$$

$$\text{ただし} \quad i_o = Z_D/Z_C, \quad i' = Z_C/Z_B, \quad i_o'' = Z_D/Z_B = i_o \cdot i_o'. \quad (6)$$

いま $Z_C > Z_D > Z_B$ として論を進める. すなわち $0 < i_o < 1, i_o' > 1, i_o'' > 1$.

2.1 軸 B と D が入力軸で軸 C が出力軸の差動歯車機構

この差動歯車機構はつぎのごとき2つの成分遊星歯車装置からなるものとする. すなわち, 外歯車 B を固定し, 内歯車 D を駆動して内歯車 C に角速度 ω_{C1} , 出力 N_{o1} を生ずる遊星歯車装置と, 内歯車 D を固定し, 外歯車 B を駆動して内歯車 C に角速度 ω_{C2} と出力 N_{o2} を生ずる遊星歯車装置からなるものとする.

第1成分遊星歯車装置 (B 固定, D 駆動, C 従動)

式(4)において $\omega_B = 0$ として次式を得る.

$$\omega_{C1} = \frac{i_o + i_o''}{1 + i_o''} \omega_D. \quad (7)$$

この遊星歯車装置の効率 η_1 は

$$\eta_1 = \frac{\eta_1' \eta_2' (\eta_1' \eta_3' + i_o'') (1 + i_o')^2}{(1 + i_o'') (1 + \eta_1' \eta_2' i_o')}. \quad (8)$$

ただし外歯車 B と遊星ピニオン P との噛み合い効率を η_1' , 遊星ピニオン P と内歯車 C との噛み合い効率を η_2' , 遊星ピニオンと内歯車 D との噛み合い効率を η_3' とする. このときの軸 D への入力 N_{i1} と軸 C の出力 N_{o1} との関係は

$$N_{i1} = N_{o1} / \eta_1. \quad (9)$$

第2成分遊星歯車装置 (D 固定, B 駆動, C 従動)

式(4)において $\omega_D = 0$ とおくと

$$\omega_{C2} = \frac{1 - i_o}{1 + i_o''} \omega_B.$$

この遊星歯車機構の効率 η_2 は

$$\eta_2 = \frac{(1 + \eta_1' \eta_3' i_o'') (1 - i_o)^2}{(1 + i_o'') (1 - \eta_2' \eta_3' i_o)}. \quad (10)$$

このときの軸 B への入力 N_{i2} と軸 C の出力 N_{o2} の関係は

$$N_{i2} = N_{o2} / \eta_2. \quad (11)$$

したがって軸 C からの総出力を N_o とすると, 全体の効率 η は

$$\eta = \frac{N_o}{N_{i1} + N_{i2}} = \frac{N_o}{\frac{N_{o1}}{\eta_1} + \frac{N_{o2}}{\eta_2}}. \quad (12)$$

しかるに軸 C の出力トルクを T_o とすれば

$$N_o = T_o \omega_C = T_o (\omega_{C1} + \omega_{C2}) = N_{o1} + N_{o2}.$$

したがって

$$T_o = N_o / \omega_C = N_{o1} / \omega_{C1} = N_{o2} / \omega_{C2}.$$

これより

$$N_{o1} = \frac{\omega_{C1}}{\omega_C} N_o = \frac{(i_o + i_o'') \omega_D}{(i_o + i_o'') \omega_D + (1 - i_o) \omega_B} N_o, \quad (13)$$

$$N_{o2} = \frac{\omega_{C2}}{\omega_C} N_o = \frac{(1 - i_o) \omega_B}{(i_o + i_o'') \omega_D + (1 - i_o) \omega_B} N_o. \quad (14)$$

式(12)に式(13)と(14)を代入すると

$$\eta = \frac{(i_o + i_o'') \omega_D + (1 - i_o) \omega_B}{\frac{(i_o + i_o'') \omega_D}{\eta_1} + \frac{(1 - i_o) \omega_B}{\eta_2}}. \quad (15)$$

2.2 軸 B と C が入力軸で、軸 D が出力軸の差動歯車機構

第1成分遊星歯車装置 (B 固定, C 駆動, D 従動)

式(5)において $\omega_B = 0$ とすれば

$$\omega_{D1} = \frac{1 + i_o''}{i_o + i_o''} \omega_C. \quad (16)$$

この遊星装置の効率 η_1 は

$$\eta_1 = \frac{\eta_1' \eta_3' (\eta_1' \eta_2' + i_o') (1 + i_o'')^2}{(1 + i_o') (1 + \eta_1' \eta_3' i_o'')}. \quad (17)$$

このときの C 軸への入力 N_{i1} と D 軸の出力 N_{o1} との関係は

$$N_{i1} = N_{o1} / \eta_1. \quad (18)$$

第2成分遊星歯車装置 (C 固定, B 駆動, D 従動)

式(5)において $\omega_C = 0$ とすれば

$$\omega_{D2} = \frac{i_o - 1}{i_o + i_o''} \omega_B. \quad (19)$$

この遊星歯車装置の効率 η_2 は

$$\eta_2 = \frac{\eta_2' \eta_3' (1 + \eta_1' \eta_2' i_o') (1 - i_o)^2}{(1 + i_o') (1 - \eta_2' \eta_3' i_o)}. \quad (20)$$

このときの軸 B への入力 N_{i2} と軸 D の出力 N_{o2} との関係は

$$N_{i2} = N_{o2} / \eta_2. \quad (21)$$

したがって軸 D からの総出力を N_o とすると、全体の効率 η は

$$\eta = \frac{N_o}{N_{i1} + N_{i2}} = \frac{N_o}{\frac{N_{o1}}{\eta_1} + \frac{N_{o2}}{\eta_2}}. \quad (22)$$

しかるに軸 D の出力トルクを T_o とすれば

$$N_o = T_o \omega_D = T_o (\omega_{D1} + \omega_{D2}) = N_{o1} + N_{o2}.$$

したがって

$$T_o = N_o / \omega_D = N_{o1} / \omega_{D1} = N_{o2} / \omega_{D2}.$$

これより

$$N_{o1} = \frac{\omega_{D1}}{\omega_D} N_o = \frac{(1 + i_o'') \omega_C}{(1 + i_o'') \omega_C - (1 - i_o) \omega_B} N_o, \quad (23)$$

$$N_{o2} = \frac{\omega_{D2}}{\omega_D} N_o = \frac{-(1 - i_o) \omega_B}{(1 + i_o'') \omega_C - (1 - i_o) \omega_B} N_o. \quad (24)$$

式(22)に式(23)と(24)を代入すると

$$\eta = \frac{(1 + i_o'') \omega_C - (1 - i_o) \omega_B}{\frac{(1 + i_o'') \omega_C}{\eta_1} - \frac{(1 - i_o) \omega_B}{\eta_2}}. \quad (25)$$

2.3 軸 C と D が入力軸で軸 B が出力軸の差動歯車機構

第1成分遊星歯車装置 (C 固定, D 駆動, B 従動)

式(3)において $\omega_C = 0$ とすると

$$\omega_{B1} = \frac{i_o + i_o''}{i_o - 1} \omega_D. \quad (26)$$

この遊星歯車装置の効率 η_1 は

$$\eta_1 = \frac{\eta_1' \eta_2' (\eta_2' \eta_3' - i_o) (1 + i_o')^2}{(1 - i_o) (\eta_1' \eta_2' + i_o')}. \quad (27)$$

このときの軸 D への入力 N_{i1} と軸 B の出力 N_{o1} との関係は

$$N_{i1} = N_{o1} / \eta_1. \quad (28)$$

第2成分遊星歯車装置 (D 固定, C 駆動, B 従動)

式(3)において $\omega_D = 0$ とすると

$$\omega_{B2} = \frac{1 + i_o''}{1 - i_o} \omega_C. \quad (29)$$

この遊星歯車装置の効率 η_2 は

$$\eta_2 = \frac{\eta_1'(\eta_2'\eta_3' - i_o)(1 + i_o'')^2}{\eta_2'(1 - i_o)(\eta_1'\eta_3' + i_o'')} \quad (30)$$

軸 C への入力 N_{i2} と軸 B の出力 N_{o2} との関係は

$$N_{i2} = N_{o2}/\eta_2 \quad (31)$$

したがって軸 B からの総出力を N_o とすると、全体の効率 η は

$$\eta = \frac{N_o}{N_{i1} + N_{i2}} = \frac{N_o}{\frac{N_{o1}}{\eta_1} + \frac{N_{o2}}{\eta_2}} \quad (32)$$

いま軸 B の出力トルクを T_o とすれば

$$N_o = T_o \omega_B = T_o(\omega_{B1} + \omega_{B2}) = N_{o1} + N_{o2}.$$

したがって

$$T_o = N_o/\omega_B = N_{o1}/\omega_{B1} = N_{o2}/\omega_{B2}.$$

これより

$$N_{o1} = \frac{\omega_{B1}}{\omega_B} N_o = \frac{-(i_o + i_o'')\omega_D}{(1 + i_o'')\omega_C - (i_o + i_o'')\omega_D} N_o \quad (33)$$

$$N_{o2} = \frac{\omega_{B2}}{\omega_B} N_o = \frac{(1 + i_o'')\omega_C}{(1 + i_o'')\omega_C - (i_o + i_o'')\omega_D} N_o \quad (34)$$

式(32)に式(33)と(34)を代入すると

$$\eta = \frac{(1 + i_o'')\omega_C - (i_o + i_o'')\omega_D}{\frac{(i_o + i_o'')\omega_D}{\eta_1} + \frac{(1 + i_o'')\omega_C}{\eta_2}} \quad (35)$$

2.4 軸 C が入力軸で軸 B と D が出力軸の差動歯車機構

第1成分遊星歯車装置 (B 固定, C 駆動, D 従動)

式(4)において $\omega_B = 0$ とすると

$$\omega_{C1} = \frac{i_o + i_o''}{1 + i_o''} \omega_D \quad (36)$$

この遊星歯車装置の効率 η_1 は

$$\eta_1 = \frac{\eta_1'\eta_3'(\eta_1'\eta_2' + i_o')(1 + i_o'')^2}{(1 + i_o')(1 + \eta_1'\eta_3'i_o'')} \quad (37)$$

このときの軸 D の出力 N_{o1} と軸 C への入力 N_{i1} の関係は

$$N_{o1} = N_{i1} \cdot \eta_1. \quad (38)$$

第2成分遊星歯車装置 (D 固定, C 駆動, B 従動)

式(4)において $\omega_D = 0$ とすると

$$\omega_{C2} = \frac{1 - i_o}{1 + i_o''} \omega_B. \quad (39)$$

この遊星歯車装置の効率 η_2 は

$$\eta_2 = \frac{\eta_1'(\eta_2'\eta_3' - i_o)(1 + i_o'')^2}{\eta_2'(1 - i_o)(\eta_1'\eta_3' + i_o'')}. \quad (40)$$

このときの軸 B の出力 N_{o2} と軸 C への入力 N_{i2} との関係は

$$N_{o2} = N_{i2} \cdot \eta_2. \quad (41)$$

したがって軸 C への総入力を N_i とすると全体の効率 η は

$$\eta = \frac{N_{o1} + N_{o2}}{N_i} = \frac{N_{i1} \eta_1 + N_{i2} \eta_2}{N_i}. \quad (42)$$

いま軸 C の入力トルクを T_i とすると

$$N_i = T_i \omega_C = T_i (\omega_{C1} + \omega_{C2}) = N_{i1} + N_{i2}.$$

したがって

$$T_i = N_i / \omega_C = N_{i1} / \omega_{C1} = N_{i2} / \omega_{C2}.$$

これより

$$N_{i1} = \frac{\omega_{C1}}{\omega_C} N_i = \frac{(i_o + i_o'') \omega_D}{(i_o + i_o'') \omega_D + (1 - i_o) \omega_B} N_i, \quad (43)$$

$$N_{i2} = \frac{\omega_{C2}}{\omega_C} N_i = \frac{(1 - i_o) \omega_B}{(i_o + i_o'') \omega_D + (1 - i_o) \omega_B} N_i. \quad (44)$$

式(42)に式(43)と(44)を代入して

$$\eta = \frac{(i_o + i_o'') \omega_D \eta_1 + (1 - i_o) \omega_B \eta_2}{(i_o + i_o'') \omega_D + (1 - i_o) \omega_B}. \quad (45)$$

2.5 軸 D が入力軸で軸 B と C が出力軸の差動歯車機構

第1成分遊星歯車装置 (B 固定, D 駆動, C 従動)

式(5)において $\omega_B = 0$ とおけば

$$\omega_{D1} = \frac{1 + i_o''}{i_o + i_o''} \omega_C. \quad (46)$$

この遊星歯車装置の効率 η_1 は

$$\eta_1 = \frac{\eta_1' \eta_2' (\eta_1' \eta_3' + i_o'') (1 + i_o')^2}{(1 + i_o'') (1 + \eta_1' \eta_2' i_o')} \quad (47)$$

このときの軸 D への入力 N_{i1} と軸 C の出力 N_{o1} の関係は

$$N_{o1} = N_{i1} \cdot \eta_1 \quad (48)$$

第2成分遊星歯車装置 (C 固定, D 駆動, B 従動)

式(5)において $\omega_C = 0$ とおけば

$$\omega_{D2} = \frac{i_o - 1}{i_o + i_o''} \omega_B \quad (49)$$

この遊星歯車装置の効率 η_2 は

$$\eta_2 = \frac{\eta_1' \eta_2' (\eta_2' \eta_3' - i_o) (1 + i_o')^2}{(1 - i_o) (\eta_1' \eta_2' + i_o')} \quad (50)$$

このときの軸 D への入力 N_{i2} と軸 B の出力 N_{o2} の関係は

$$N_{o2} = N_{i2} \cdot \eta_2 \quad (51)$$

したがって軸 D への総入力を N_i とすると全体の効率 η は

$$\eta = \frac{N_{o1} + N_{o2}}{N_i} = \frac{N_{i1} \eta_1 + N_{i2} \eta_2}{N_i} \quad (52)$$

いま軸 D の入力トルクを T_i とすれば

$$N_i = T_i \omega_D = T_i (\omega_{D1} + \omega_{D2}) = N_{i1} + N_{i2}$$

したがって

$$T_i = N_i / \omega_D = N_{i1} / \omega_{D1} = N_{i2} / \omega_{D2}$$

これより

$$N_{i1} = \frac{\omega_{D1}}{\omega_D} N_i = \frac{(1 + i_o'') \omega_C}{(1 + i_o'') \omega_C - (1 - i_o) \omega_B} N_i \quad (53)$$

$$N_{i2} = \frac{\omega_{D2}}{\omega_D} N_i = \frac{(i_o - 1) \omega_B}{(1 + i_o'') \omega_C - (1 - i_o) \omega_B} N_i \quad (54)$$

式(52)に式(53)と(54)を代入して

$$\eta = \frac{(1 + i_o'') \omega_C \eta_1 - (1 - i_o) \omega_B \eta_2}{(1 + i_o'') \omega_C - (1 - i_o) \omega_B} \quad (55)$$

2.6 軸 B が入力軸で軸 D と C が出力軸の差動歯車機構

第1成分遊星歯車装置 (C 固定, B 駆動, D 従動)

式(3)において $\omega_C = 0$ とおけば

$$\omega_{B1} = \frac{-(i_o + i_o'')}{1 - i_o} \omega_D. \quad (56)$$

この遊星歯車装置の効率 η_1 は

$$\eta_1 = \frac{\eta_2' \eta_3' (1 + \eta_1' \eta_2' i_o') (1 - i_o)^2}{(1 + i_o') (1 - \eta_2' \eta_3' i_o)}. \quad (57)$$

このときの軸 B への入力 N_{i1} と軸 D の出力 N_{o1} の関係は

$$N_{o1} = N_{i1} \cdot \eta_1. \quad (58)$$

第2成分遊星歯車装置 (D 固定, B 駆動, C 従動)

式(3)において $\omega_D = 0$ とおけば

$$\omega_{B2} = \frac{1 + i_o''}{1 - i_o} \omega_C. \quad (59)$$

この遊星歯車装置の効率 η_2 は

$$\eta_2 = \frac{(1 + \eta_1' \eta_3' i_o'') (1 - i_o)^2}{(1 + i_o'') (1 - \eta_2' \eta_3' i_o)}. \quad (60)$$

このときの軸 B への入力 N_{i2} と軸 C の出力 N_{o2} の関係は

$$N_{o2} = N_{i2} \cdot \eta_2. \quad (61)$$

したがって軸 B への総入力を N_i とすると, 全体の効率 η は

$$\eta = \frac{N_{o1} + N_{o2}}{N_i} = \frac{N_{i1} \eta_1 + N_{i2} \eta_2}{N_i}. \quad (62)$$

いま軸 B の入力トルクを T_i とすれば

$$N_i = T_i \omega_B = T_i (\omega_{B1} + \omega_{B2}) = N_{i1} + N_{i2}.$$

したがって

$$T_i = N_i / \omega_B = N_{i1} / \omega_{B1} = N_{i2} / \omega_{B2}.$$

これより

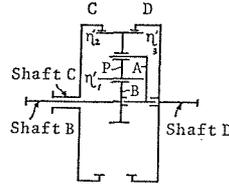
$$N_{i1} = \frac{\omega_{B1}}{\omega_B} N_i = \frac{-(i_o + i_o'') \omega_D}{(1 + i_o'') \omega_C - (i_o + i_o'') \omega_D} N_i, \quad (63)$$

$$N_{i2} = \frac{\omega_{B2}}{\omega_B} N_i = \frac{(1 + i_o'') \omega_C}{(1 + i_o'') \omega_C - (i_o + i_o'') \omega_D} N_i. \quad (64)$$

式(62)に式(63)と(64)を代入して

$$\eta = \frac{(1 + i_o'') \omega_C \eta_2 - (i_o + i_o'') \omega_D \eta_1}{(1 + i_o'') \omega_C - (i_o + i_o'') \omega_D}. \quad (65)$$

Table 2 Speed Ratio and Efficiency Formulas for 3K Type Differential Gears Applying the Mechanical Paradox Internal Gear



i_o, i_o', i_o'' : Gear Ratio

$$Z_c > Z_o$$

$$i_o = \frac{Z_o}{Z_c}, \quad 0 < i_o < 1$$

$$i_o' = \frac{Z_c}{Z_b}, \quad 1 < i_o'$$

$$i_o'' = \frac{Z_o}{Z_b} = i_o \cdot i_o', \quad 1 < i_o''$$

Driver	Follower	Angular Velocity	Efficiency of Differentials	Component Planetary Trains			Direction of Rotation of Shafts B, C and D	
				Driver	Follower	Fixed		Efficiency
B, D	C	$\omega_c = \frac{(i_o + i_o'')\omega_b + (1 - i_o)\omega_B}{1 + i_o''}$	$\eta = \frac{(i_o + i_o'')\omega_b + (1 - i_o)\omega_B}{(i_o + i_o'')\omega_b + (1 - i_o)\omega_B}$ $\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_1 \eta_2}$	D	C	B	$\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2 (\eta_1' \eta_2' + i_o') (1 + i_o')}{(1 + i_o') (1 + \eta_1' \eta_2' i_o')}$	All Shafts: Same Direction
				B	C	D	$\eta_2 = \frac{(1 + \eta_1' \eta_2' i_o') (1 - i_o)}{(1 + i_o') (1 - \eta_1' \eta_2' i_o')}$	
B, C	D	$\omega_D = \frac{(1 + i_o'')\omega_c - (1 - i_o)\omega_B}{i_o + i_o''}$	$\eta = \frac{(1 + i_o'')\omega_c - (1 - i_o)\omega_B}{(1 + i_o'')\omega_c - (1 - i_o)\omega_B}$ $\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_1 \eta_2}$	C	D	B	$\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2 (\eta_1' \eta_2' + i_o') (1 + i_o'')}{(1 + i_o'') (1 + \eta_1' \eta_2' i_o')}$	Shaft B only: Opposite Direction
				B	D	C	$\eta_2 = \frac{\eta_1 \eta_2 (1 + \eta_1' \eta_2' i_o') (1 - i_o)}{(1 + i_o'') (1 - \eta_1' \eta_2' i_o')}$	
C, D	B	$\omega_B = \frac{(1 + i_o'')\omega_c - (i_o + i_o'')\omega_D}{1 - i_o}$	$\eta = \frac{(1 + i_o'')\omega_c - (i_o + i_o'')\omega_D}{(i_o + i_o'')\omega_D + (1 + i_o'')\omega_c}$ $\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_1 \eta_2}$	D	B	C	$\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2 (\eta_1' \eta_2' - i_o') (1 + i_o'')}{(1 - i_o') (\eta_1' \eta_2' + i_o')}$	Shaft D only: Opposite Direction
				C	B	D	$\eta_2 = \frac{\eta_1 (\eta_1' \eta_2' - i_o') (1 + i_o'')}{\eta_1' (1 - i_o') (\eta_1' \eta_2' + i_o')}$	
C	B, D	$\omega_c = \frac{(i_o + i_o'')\omega_b + (1 - i_o)\omega_B}{1 + i_o''}$	$\eta = \frac{(i_o + i_o'')\omega_b + (1 - i_o)\omega_B}{(i_o + i_o'')\omega_b + (1 - i_o)\omega_B}$ $\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_1 \eta_2}$	C	D	B	$\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2 (\eta_1' \eta_2' + i_o') (1 + i_o'')}{(1 + i_o'') (1 + \eta_1' \eta_2' i_o')}$	All Shafts: Same Direction
				C	B	D	$\eta_2 = \frac{\eta_1 (\eta_1' \eta_2' - i_o') (1 + i_o'')}{\eta_1' (1 - i_o') (\eta_1' \eta_2' + i_o')}$	
D	B, C	$\omega_B = \frac{(1 + i_o'')\omega_c - (1 - i_o)\omega_B}{i_o + i_o''}$	$\eta = \frac{(1 + i_o'')\omega_c - (1 - i_o)\omega_B}{(1 + i_o'')\omega_c - (1 - i_o)\omega_B}$ $\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_1 \eta_2}$	D	C	B	$\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2 (\eta_1' \eta_2' + i_o') (1 + i_o'')}{(1 + i_o'') (1 + \eta_1' \eta_2' i_o')}$	Shaft B only: Opposite Direction
				D	B	C	$\eta_2 = \frac{\eta_1 \eta_2 (\eta_1' \eta_2' - i_o') (1 + i_o'')}{(1 - i_o') (\eta_1' \eta_2' + i_o')}$	
B	D, C	$\omega_B = \frac{(1 + i_o'')\omega_c - (i_o + i_o'')\omega_D}{1 - i_o}$	$\eta = \frac{-(i_o + i_o'')\omega_D + (1 + i_o'')\omega_c}{(1 + i_o'')\omega_c - (i_o + i_o'')\omega_D}$ $\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_1 \eta_2}$	B	D	C	$\eta_1 = \frac{\eta_1 \eta_2 (1 + \eta_1' \eta_2' i_o') (1 - i_o)}{(1 + i_o'') (1 - \eta_1' \eta_2' i_o')}$	Shaft D only: Opposite Direction
				B	C	D	$\eta_2 = \frac{(1 + \eta_1' \eta_2' i_o') (1 - i_o)}{(1 + i_o'') (1 - \eta_1' \eta_2' i_o')}$	

以上の結果から表 2 を得る.

3 B 軸, C 軸および D 軸の回転方向の関係

遊星ピニオンにおける力の釣り合いから, 遊星ピニオンに作用する力の大きさと方向が定まる. すなわち内歯車 C と遊星ピニオン P の噛み合いピッチ円半径を r_C, r_{P1} とし, 内歯車 D と遊星ピニオン P の噛み合いピッチ円半径を r_D, r_{P2} とするとき, 不思議歯車において $Z_C > Z_D$ のときは $r_C < r_D, r_{P1} < r_{P2}$ となるから, 遊星ピニオン P と外歯車 B の噛み合いピッチにかかる力 W_B , 内歯車 C と遊星ピニオン P の噛み合いピッチ点にかかる力 W_C および内歯車 D と遊星ピニオン P の噛み合いピッチ点にかかる力 W_D の関係は図 2 のごとくなる. そして入力軸ではトルクのかかる方向と回転方向が同方向, 出力軸ではトルクのかかる方向と回転方向が反対方向であることより, $\omega_B, \omega_C, \omega_D$ の方向が定まる. 例えば表 2 の一番上の欄には軸 B と D が入力軸で, C 軸が出力軸の差動歯車を示し, この場合は, $\omega_B, \omega_C, \omega_D$ の回転方向は図 2 に示す方向をとることになり, $\omega_B, \omega_C, \omega_D$ はすべて同一方向となる. すなわち式 (3), (4), (5) において, $\omega_B, \omega_C, \omega_D$ がすべて正で成立するか, すべて負で成立するような関係を保つとき, この差動歯車装置が成立することになる. この考え方により, 表 2 のすべての場合の軸 B, C, D の回転方向を求め, 表 2 の右端の欄に, 軸 B, C, D の回転方向関係を示した.

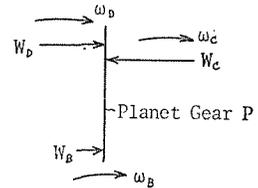


Fig. 2 Forces and Angular Velocities in Planet Gear

4 結 言

3 K 型差動不思議歯車機構の効率を計算するための計算式について考察し, 各歯車の噛み合い効率 $\eta_1', \eta_2', \eta_3'$ 歯数比 i_o, i_o', i_o'' を用いてこれら装置の効率を計算する式を導き, 回転角速度と効率の計算式の一覧表を作成した. 終りに本研究に助力された三浦司郎君に感謝の意を表します.

文 献

- 1) 中田 孝: 新版転位歯車; 誠文堂新光社, (昭46-4), p.177.
- 2) 両角宗晴: 不思議歯車を用いた遊星歯車装置の効率に関する研究; 信州大学工学部紀要, 46号 (昭54-7), p.1.