

楕円系歯車歯形的设计

高 三徳、五十嵐 三武郎、桜井 俊明、高山 文雄、大表 良一

いわき明星大学科学技術学部

要旨:楕円系歯車は楕円カムと円形歯車の運動特性をもつ不等速な回転伝達機械要素である。楕円系歯車機構により正弦変動の運動を簡単に実現することができる。本研究では、楕円系歯車ピッチ曲線の基本式、楕円系歯車歯形的设计入力パラメータ、変位曲線グラフ(伝達角度、角速度、角加速度)解析、歯形創成図、歯形軌跡計算およびデータファイル出力を述べ、同葉数および異葉数の楕円系歯車対偶のCADを行った。

キーワード:楕円系歯車、葉数、ピッチ曲線、歯形創成、変位曲線グラフ

1. 緒言

非円形歯車は、歯車の回転伝達とカムの不等速回転運動の二つの動きを同時にもち機構学的特性を有する不等速な回転伝達機構であり、簡潔な機構で小形化でき、任意の不等速回転伝達が得られ、噛み合い歯面のすべり接触が小さいので磨耗疲労が少なく、耐久性に優れ、重負荷の伝達が可能である、などの特長があり、流量計、印刷機械、包装機械、田植え機械などの装置と機械の小形化、簡素化、低コスト化に応用できる¹⁾。しかし、その設計は円形歯車より複雑であるため、汎用CADソフトだけでなく、特別の解析・計算・プログラミングも必要である²⁾⁻⁴⁾。そこで、本研究では、楕円系歯車ピッチ曲線の基本式、設計入力パラメータ、変位曲線グラフ(伝達角度、角速度、角加速度)解析、歯形創成図、歯形軌跡計算およびデータファイル出力を述べ、“楕円系歯車歯形設計システム”⁵⁾を用いて、同葉数および異葉数の楕円系歯車対偶のCADを行った。

2. 楕円系歯車ピッチ曲線の基本式

図1に示すように、中心距離を一定に保ちながら噛み合う一対の楕円歯車機構において、駆動歯車をピニオン、従動歯車をギアとして、ピニオンが微小角度

d 回転すると、ギアが d 回転する。この回転運動を定義するのに、角速比 d/d を採用する。図2のように d/d は θ の関数として変動し、回転速度や加速度の変化などを示す。

図3に示すように、ピニオンとギアのピッチ曲線半径(各々回転中心からピッチ曲線までの距離)をそれぞれ r と r とし、これらの曲線が転がり曲線⁶⁾として、

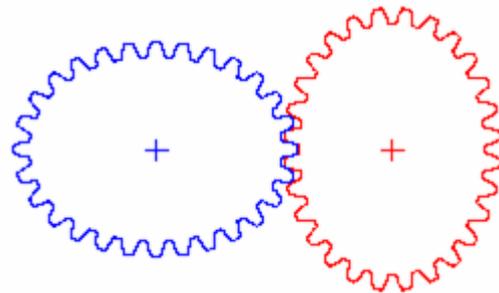


図1 噛み合い楕円歯車対偶

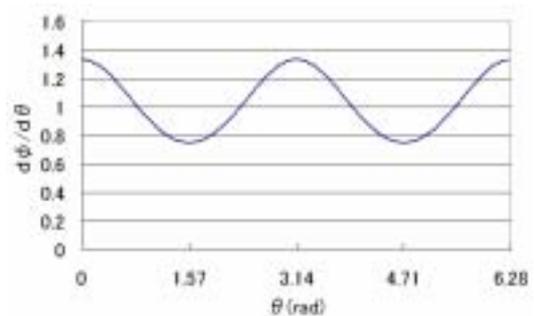


図2 角速比曲線

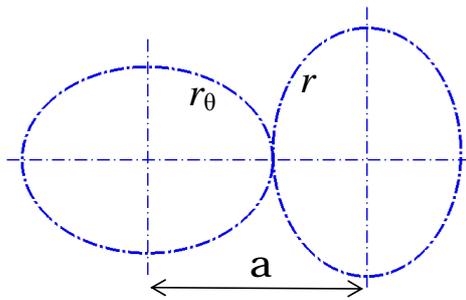


図3 ピッチ曲線

接触点では r と r の和が一定で中心距離 a と等しく、ピニオンとギアの間で滑りが発生しない、つまり、接線方向に線速度が同じである性質を具備するので、次のような転がり伝達条件が成り立つ。

$$r_{\theta} + r_{\phi} = a \quad (1)$$

$$r_{\theta} \cdot d\theta = r_{\phi} \cdot d\phi \quad (2)$$

また、楕円系のピッチ曲線は正弦カーブをころがり接触ラックとして導くことができ、これにより交換性を有する任意の葉数の楕円系ピッチ曲線が次式のように得られる。

$$y = A \cdot \cos(2\pi x / p) \quad (3)$$

ここで、 A は楕円の長半径と短半径の長さの差、 p はピッチである。 n 葉のピッチ曲線の極座標は次式となる。

$$r = \frac{L}{1 \pm \varepsilon \cdot \cos(n \cdot \theta)} \quad (4)$$

ここで、 $\varepsilon = A / K$

$$L = (1 - \varepsilon^2) \cdot K$$

$$K = \sqrt{A^2 + (n \cdot p / 2\pi)^2}$$

である。

3 . 楕円系歯車歯形のCAD

3 . 1 同葉数楕円系歯車対偶

長半軸または短半軸の本数を楕円葉数という。葉数 Z_1 は歯数 Z_2 と異なり、円の場合、葉数 $Z_1 = 1$; 通常の楕円の場合、葉数 $Z_1 = 2$; 三つ葉の場合、葉数 $Z_1 = 3$ である。

まず、“楕円系歯車歯形設計システム”を用いて、ピニオンとギア両方とも2葉である同葉数楕円系歯車対偶のCADを行った。図4-13には、設計の入力パ

ラメータ、計算結果、ピッチ曲線(等価円ピッチ曲線を含む)、歯形創成図、歯形軌跡、変位曲線グラフ(伝達角度、角速度、角加速度)、3次元歯面および歯形DXFデータファイル出力を示す。

A 諸元				
基準ラック	記号	単位	ピニオン	ギヤ
歯末のたげ係数	hac	---	0.800	0.800
歯元のたげ係数	hfc	---	1.000	1.000
歯元R係数	Rc	---	0.300	0.300
圧力角	α_n	deg	20.00000	
歯車	記号	単位	ピニオン	ギヤ
葉数	Z1	---	2	2
基準長直径	A	mm	64.0000	64.0000
基準短直径	B	mm	48.0000	48.0000
歯数	Z2	---	28	28
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000
歯幅	b	mm	20.0000	20.0000

図4 同葉数楕円系歯車対偶設計の入力パラメータ

A 寸法				
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
モジュール	mn	mm	2.02010	
最大歯先円直径	daMax	mm	67.2322	67.2322
最小歯底円直径	dfMin	mm	43.9598	43.9598
基準円直径	d	mm	56.0000	56.0000
中心距離	a	mm	56.0000	
クリアランス	ck	mm	0.4040	0.4040
トールバックラック	BL	mm	0.0000	

図5 同葉数楕円系歯車対偶の計算結果

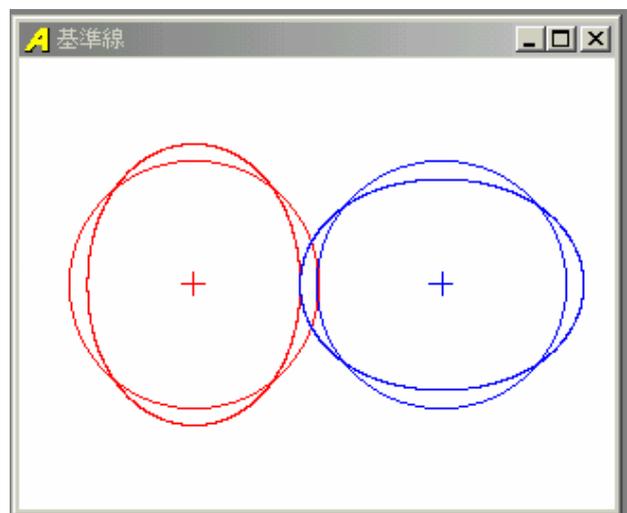


図6 同葉数楕円系歯車対偶のピッチ曲線

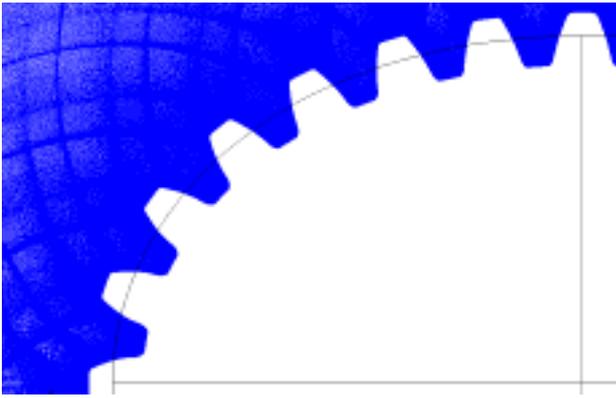


図7 歯形創成図

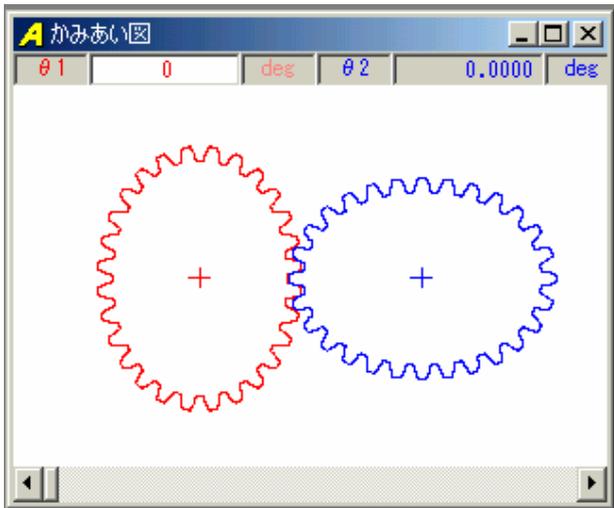


図8 同葉数楕円系歯車対偶の歯形軌跡

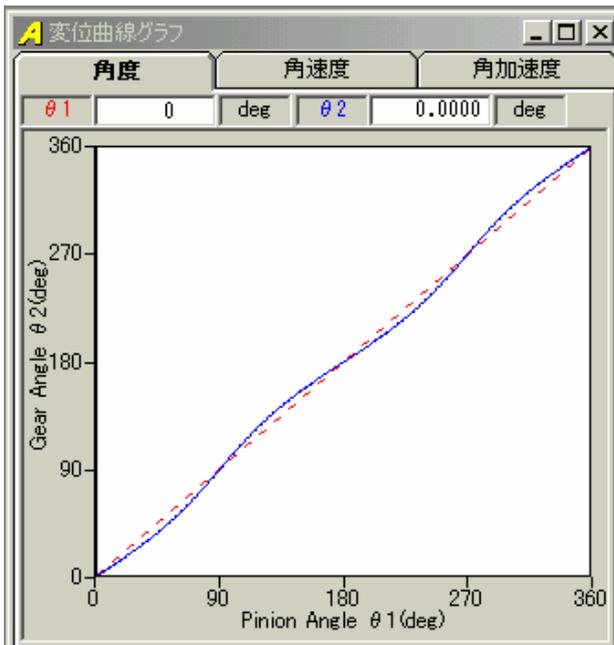


図9 同葉数楕円系歯車対偶の伝達角度グラフ

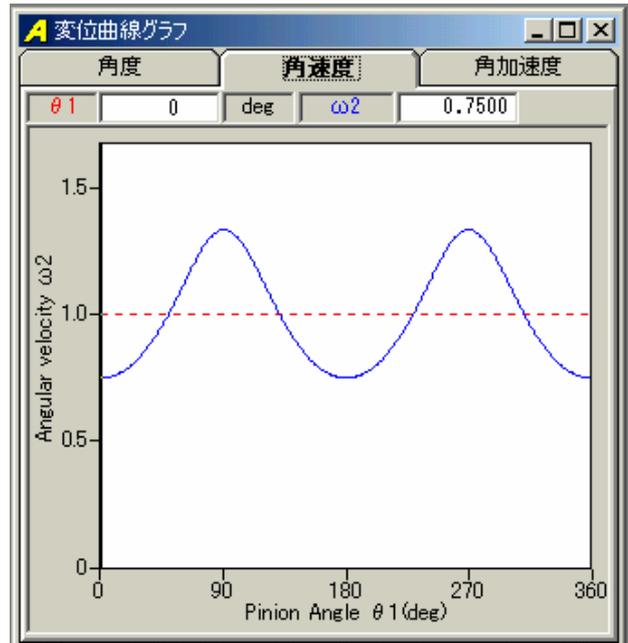


図10 同葉数楕円系歯車対偶の伝達角速度グラフ

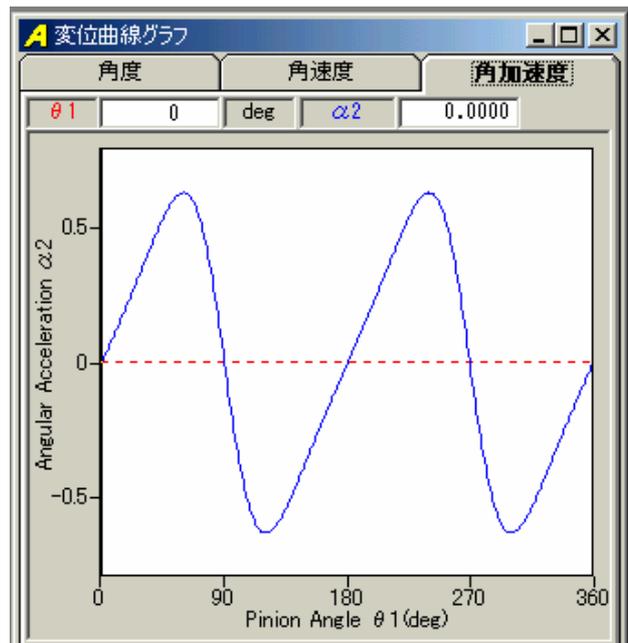


図11 同葉数楕円系歯車対偶の角加速度グラフ

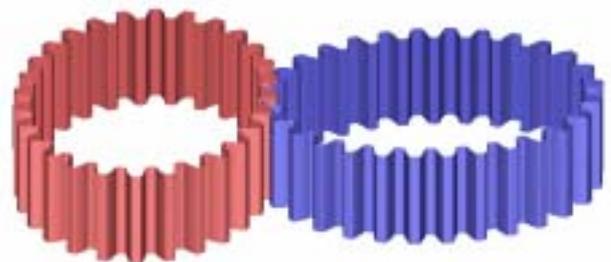


図12 同葉数楕円系歯車対偶の歯面



図13 歯形の DXF データファイル出力

3.2 異葉数楕円系歯車対偶

次に、3葉のピニオンと5葉のギアの異葉数楕円系歯車対偶のCADを行った。図14-21には、設計の入力パラメータ、計算結果、ピッチ曲線(等価円ピッチ曲線を含む)、歯形軌跡、変位曲線グラフ(伝達角度、角速度、角加速度)、3次元歯面を示す。

A 諸元				
基準ラック	記号	単位	ピニオン	ギヤ
歯末のたけ係数	hac	---	0.800	0.800
歯元のたけ係数	hfc	---	1.000	1.000
歯元R係数	Rc	---	0.300	0.300
圧力角	α_n	deg	20.00000	
歯車	記号	単位	ピニオン	ギヤ
葉数	Z1	---	3	5
基準長直径	A	mm	64.0000	100.7218
基準短直径	B	mm	48.0000	84.7218
歯数	Z2	---	27	45
法線歯厚減少量	fn	mm	0.0000	0.0000
歯幅	b	mm	10.0000	10.0000

図14 異葉数楕円系歯車対偶設計入力パラメータ

A 寸法				
項目	記号	単位	ピニオン	ギヤ
モジュール	mn	mm	2.14588	
最大歯先円直径	daMax	mm	67.4334	104.1552
最小歯底円直径	dfMin	mm	43.7082	80.4300
基準円直径	d	mm	56.0000	92.7218
中心距離	a	mm	74.3609	
クリアランス	ck	mm	0.4292	0.4292
トータルバックラジ	BL	mm	0.0000	

図15 異葉数楕円系歯車対偶の計算結果

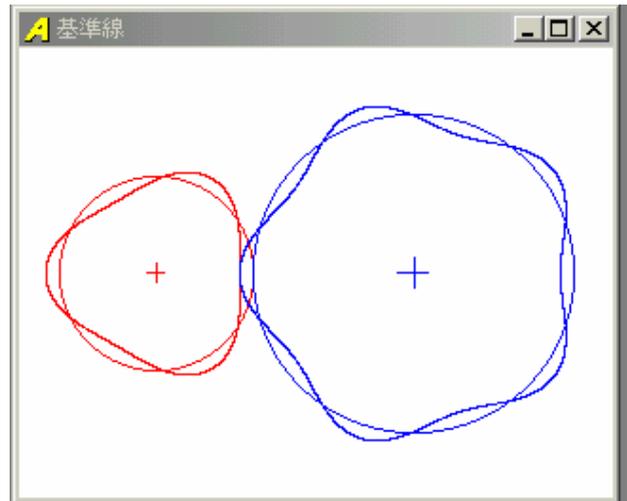


図16 異葉数楕円系歯車対偶のピッチ曲線

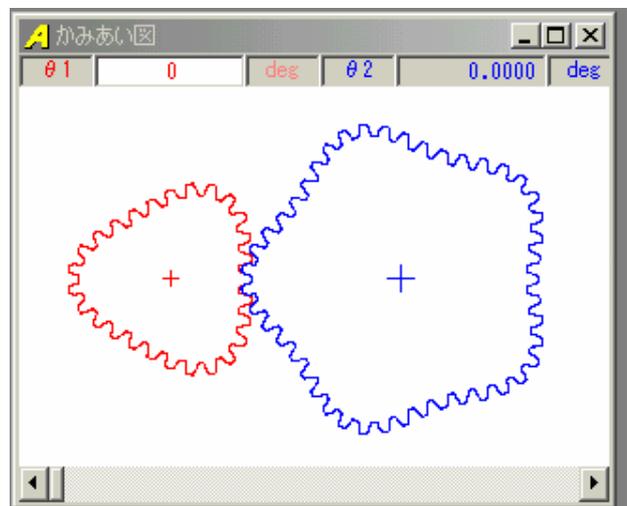


図17 異葉数楕円系歯車対偶の軌跡

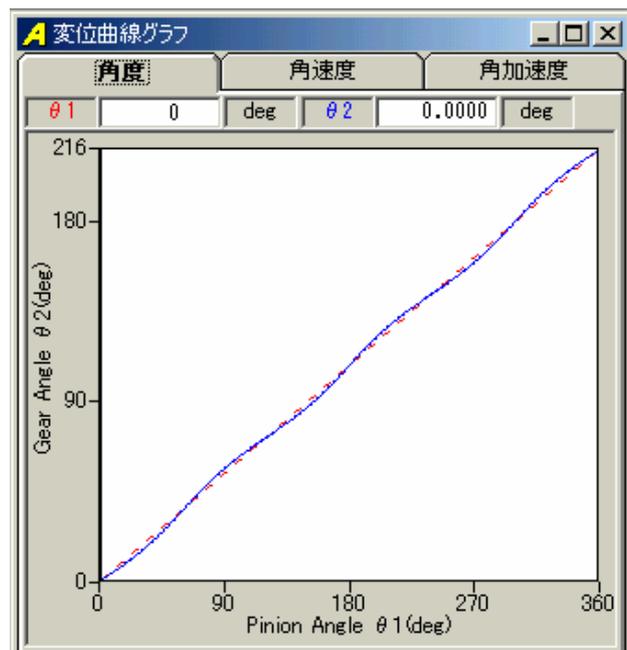


図18 異葉数楕円系歯車対偶の伝達角度グラフ

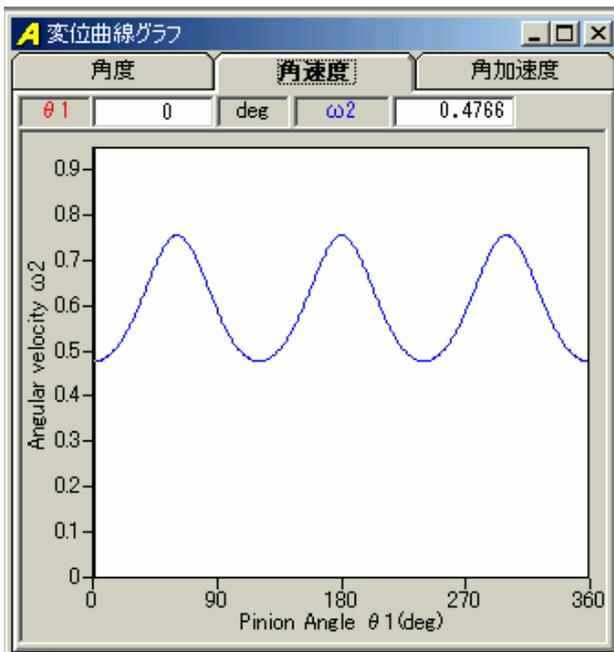


図19 異葉数楕円系歯車対偶の伝達角速度グラフ

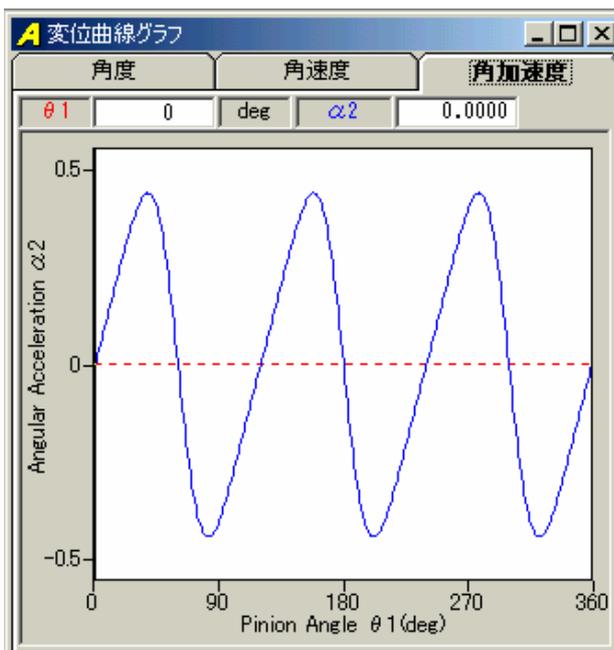


図20 異葉数楕円系歯車対偶の伝達角加速度

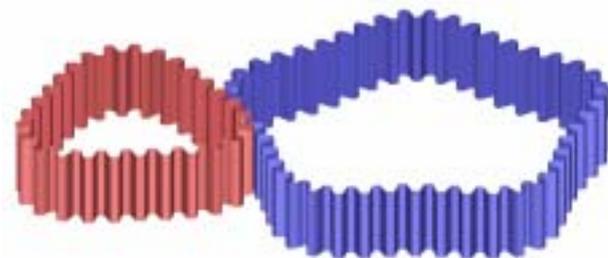


図21 異葉数楕円系歯車対偶の歯面

4. 考察

- (1) “楕円系歯車歯形設計システム”は、同葉数および異葉数の幅広い範囲の楕円系歯車対偶の歯形設計および伝達角度、角速度、角加速度の解析ができる。
- (2) 歯形の作成方法が創成法であるので、作成したピニオンとギアの噛み合い精度が高い。また、創成運動シミュレーションにより歯形に問題がないかをチェックすることができる。
- (3) 計算の補間精度が調整でき、精密加工に対応できる。また、CNC加工の補間方式に応じて、ピニオンとギアの直線補間または円弧補間のDXFをそれぞれ出力することができる。
- (4) 歯数 Z_2 は葉数 Z_1 の整数倍、すなわち Z_2 / Z_1 が整数ではなければならない。
- (5) 伝達角度、角速度、角加速度の曲線グラフの形状は葉数によって変化する。いずれもグラフ変動波数が駆動歯車(ピニオン)の葉数と同じである。

参考文献

1. 香取英男 著、非円形歯車の設計・製造と応用、日刊工業新聞社、2001年。
2. 嵯峨拓人、大峯和也、高三徳、桜井俊明、五十嵐三武郎、非円形歯車の設計について、日本図学会東北支部講演会、いわき市、2005年3月。
3. Sande GAO, Takuto SAGA, Kazuya OHMINE, Toshiaki SAKURAI, Saburo IGARASHI, Xiaochu TANG, Xue CHEN and Jing LI, Developing the Students' Designing and CG Programming Capacity through CAD of Non-Circular Gears, Proceeding of 7th China-Japan Joint Conference on Graphics Education, Xian, China, p.257-262 (2005).
4. Sande GAO, Takuto SAGA, Kazuya OHMINE, Xiaochu TANG, Xue CHEN and Jing LI, 3D-CAD and 5 Axis CAM of Non-Circular Gears, Proceeding of the Third International Conference on Leading Edge Manufacturing in the 21st Century, Nagoya, Japan, p.325-330 (2005).
5. AMTEC INC.、楕円系歯車歯形設計システムユーザーズガイド、2002年。
6. 安田仁彦 著、機構学、コロナ社、2001年。