

3D 計測点群に基づく形状検査のための TTRS モデルの拡張

北海道大学 〇岩崎匠史, 金井理
日立製作所 渡辺正浩, 谷口敦史

本研究では, CAD モデル上の Feature 間の幾何拘束を運動自由度の観点から 2 項関係で統一的に表現したモデルである TTRS[1]を大幅に拡張し, これを公差指定と公差検証を支援する公差の 3 次元モデル表現として活用する方法を提案する. 本報では, データムと公差付形体, 公差タイプに加え, TTRS により公差域を統一的に表現するモデル化手法を提案するとともに, 図 1 のように, 本提案公差モデルが, 設計者による CAD モデル上で公差タイプや公差値の対話指定の作業支援に, どのように活用されるかのシナリオを示す.

1. はじめに

最近の 3 次元 CAD や非接触計測技術の発達により, 3 次元計測点群に基づいて製品の効率的形状検査を実現する必要性が高まっている. その実現には, ①設計者が製品上の必要個所に適切な公差情報 (公差タイプと公差値) を指定できること, ならびに②検査者が製品の計測点群に基づいて, 指定公差が充足されているか否かを効率的に検証できること, という 2 つの機能が必要となる. このためには, 単なる CAD モデルの表記要素としてではなく, ISO 等の公差規格と整合し, かつ公差指定と公差検証の両者に一貫して利用可能な公差の 3 次元モデル表現が必要となる.

そこで本研究では, CAD モデル上の Feature 間の幾何拘束を運動自由度の観点から二項関係で統一的に表現したモデルである TTRS[1]を大幅に拡張し, これを公差指定と公差検証を支援する公差の 3 次元モデル表現として活用する方法を提案する. すでに TTRS を寸法・幾何公差のモデル化に拡張した研究もあるが[2], これはデータムと公差付形体, 公差タイプ間の関係を整理しただけに留まり, 公差のモデル化や公差検証に必須な公差域のモデル化は行っていない. 本報では, データムと公差付形体, 公差タイプに加え, TTRS により公差域を含めて統一的に表現するモデルのフォーマルな定義を行うとともに, 図 1 のように, 本提案公差モデルが, 設計者による CAD モデル上で公差タイプや公差値の対話指定の作業支援に, どのように活用されるかのシナリオを示す.

2. TTRS モデル

2.1 TTRS モデルの基本概念

TTRS とは, CAD モデル上の Feature 間の幾何拘束を運動自由度の観点から二項関係で統一的に表現したモデルであり. TTRS を構成する面分形状を elementary surface と呼ぶ. TTRS も面分と同様に elementary surface を持ち, 別の TTRS の構成要素となることが出来る. 一方表 1 のように, 各 elementary surface は, 面間の幾何拘束を保ちながら相対運動する際に不変な形状を表す Basic MGDE (point, line, plane) のいずれかの形状) と, その組み合わせで表現可能な MGDE (Minimum Geometric Datum Element) とを持つ. TTRS の形状が複雑となっても, その MGDE は表 1 の 7 種類のみに分類される利点がある. ただし本報では, 公差指定に Helical Surface は取り扱わないため除外する.

2.2 TTRS モデルのフォーマルな定義

TTRS モデルのフォーマルな定義 M_{TTRS} は, 式(1) で与えられる.

$$M_{TTRS} = \langle TR, TM, MG, P, L, S, es_{type}, mg_{type} \rangle \quad \dots(1)$$

ここで,

$TR = \langle T \cup E, R \rangle$: TTRS Tree のノード間の関連集合

$R = \{(t_p, t_{c1}, t_{c2}) | t_p \in T, t_{c1}, t_{c2} \in T \cup E\}$: TTRS の親ノード t_p とその 2 つの子ノード t_{c1}, t_{c2} との間の二項関係を表す関連

$TM = \{(t, m) | t_p \in T \cup E, m \in MG\}$: TTRS に固有な MGDE 表現

$MG = \{mgde_1, mgde_2, \dots\}$: MGDE の集合

$P = \{p_1, p_2, \dots\}$, $L = \{l_1, l_2, \dots\}$, $S = \{s_1, s_2, \dots\}$ 各 $mgde$ を構成している Basic MGDE の point, line, plane 集合

$es_{type}: T \cup E \rightarrow \{spherical, plane_{es}, cylindrical, of_revolution, prismatic, general\}$

: TTRS を表す elementary surface の分類名称

$mg_{type}: MG \rightarrow P \times L \times S$: TTRS に対応する MGDE の構成要素となる Basic MGDE(point, line, plane)の組み合わせ

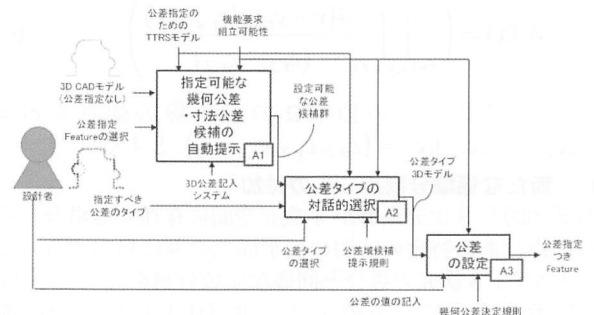


図 1 提案 TTRS モデルの公差指定時の活用シナリオ

表 1 Elementary Surface と MGDE の関係

Elementary Surface	MGDE Graphic	mgtype	不変度の値 (固定される自由度の値)	不変度 (固定される自由度)
General Surface		(point, line, plane)	6	3 Translations 3 Rotations
Prismatic Surface		(null, line, plane)	5	2 Translations 3 Rotations
Surface of Revolution		(point, line, null)	5	3 Translations 2 Rotations
Helical Surface		(point, line, null)	5	2 Translations 2 Rotations (1 coupling between translation and rotation)
Cylindrical Surface		(null, line, null)	4	2 Translations 2 Rotations
Plane Surface		(null, null, plane)	3	1 Translation 3 Rotations
Spherical Surface		(point, null, null)	3	3 Translations

表 2 mg_{type} 合成規則

$(t_p, mgde_p) \in TM$ $(t_p, t_{c1}, t_{c2}) \in R$		$(t_{c1}, mgde_{c1}) \in TM$		
		$mgtype(mgde_{c1}) = (p_1, null, null)$	$mgtype(mgde_{c1}) = (null, l_1, null)$	$mgtype(mgde_{c1}) = (null, null, s_1)$
$(t_{c2}, mgde_{c2}) \in TM$	$mgtype(mgde_{c2}) = (p_2, null, null)$	1. $p_1 = p_2$ $mgtype(mgde_p) = (p_1, null, null)$	1. $p_2 \in l_1$ $mgtype(mgde_p) = (p_1, l_1, null)$	$mgtype(mgde_p) = (p_1, l_p, null)$ $l_p \perp s_1, p_2 \in l_p$
	$mgtype(mgde_{c2}) = (null, l_2, null)$	2. otherwise $mgtype(mgde_p) = (p_1, l_p, null)$ $p_1, p_2 \in l_2$	2. otherwise $mgtype(mgde_p) = (p_1, l_1, s_p)$ $p_2, l_1 \in s_p$	2. $s_1 \parallel l_2$ $mgtype(mgde_p) = (null, l_1, s_p)$ $l_1, l_2 \in s_p$
	$mgtype(mgde_{c2}) = (null, null, s_2)$			3. otherwise $mgtype(mgde_p) = (p_p, l_1, s_p)$ $p_p \in l_2, l_1, p_p \in s_p$
			1. $l_1 = l_2$ $mgtype(mgde_p) = (null, l_2, null)$	1. $s_1 \perp l_2$ $mgtype(mgde_p) = (p_p, l_2, null)$ $p_p \in l_2, p_p \in s_1$
			2. $l_1 \parallel l_2, l_1 \neq l_2$ $mgtype(mgde_p) = (null, l_1, s_p)$ $l_1, l_2 \in s_p$	2. $s_1 \parallel l_2$ $mgtype(mgde_p) = (null, l_2, s_1)$
				3. otherwise $mgtype(mgde_p) = (null, null, s_1)$
				1. $s_1 \parallel s_2$ $mgtype(mgde_p) = (null, null, s_1)$
				2. otherwise $mgtype(mgde_p) = (null, l_p, s_1)$ $l_p \in s_1, l_p \in s_2$

複数の TTRS が合成されて新たな TTRS を構成する場合、新たな TTRS に対応した MGDE は、元の TTRS に対応する MGDE が両方とも Basic MGDE ならば、表 2 から算出する。それ以外の場合は、その合成が元の TTRS の相対運動自由度を減少させるかどうかを判断し、減少する場合は元の MGDE よりも自由度を拘束する MGDE を、減少しない場合は元の MGDE を選択する。

3. 提案する公差表現を可能とする拡張 TTRS モデル

3.1 データ形体・公差付形体表現の拡張

前節の TTRS モデルに対し、まず既存研究[2]に従い、データ形体と公差付形体の表現を追加した拡張 TTRS モデルを考え、そのフォーマルな定義 M_{GT} を式(2)として定義する。この拡張モデルでは、データ形体と公差付形体も、TTRS と同一構造で統一的に規定できるのが特徴である。

$$M_{GT} = \langle M_{TTRS}, T_G, T_D, T_T, T_E, T_Z, C_T, TM_Z, E_Z, MG_Z \rangle \dots(2)$$

ここで、

$T_G = \{(t_d, t_t) | t_d \in T_D \cup \{Null\}, t_t \in T_T\}$: 公差情報の集合

$T_D \subset (T \cup E)$: TTRS Datum (データとなる TTRS) の集合

$T_T = \{(t_e, t_z) | t_e \in T_E, t_z \in T_Z\}$: Toleranced TTRS

(公差付形体とその公差タイプの組合せ)を表す TTRS 集合

$T_E \subset (T \cup E)$: 公差付形体の集合

T_Z : 公差域を表す TTRS 集合

$C_T = \{-, \square, \square, \square, //, \perp, \angle, \oplus, \ominus, \equiv\}$: 幾何公差タイプ集合

$TM_Z = \{(t, m) | t \in T_Z \cup E_Z, m \in MG_Z\} \subset TM$:

公差に関与する TTRS が持つ MGDE の情報

E_Z : 公差域定義で使われる Elementary Surface の集合

MG_Z : 公差域の TTRS 内で使われる MGDE の集合

3.2 TTRS を応用した公差域表現

既存研究[2]では、公差情報を TTRS により表現する一手法を提案しているが、公差域や公差値の表現や、設計時に指定形体間に適切な幾何公差を選択する規則は示されていない。このため本研究では、設計者が選択したデータと公差付形体のタイプに応じ、規格上指定可能な公差域と幾何公差タイプを提示し、かつ公差値を表現できるモデルを独自に提案する。

式(2)のデータと公差付形体の定義 M_{GT} に対し、公差域と公差値を表現できるよう拡張した定義 M_A を、式(3)に示す。なお公差域候補、および幾何公差候補を選択するための規則は、3.3 節で述べる。

$$M_A = \langle M_{GT}, tol_{type}, F_{single}, F_{related}, zone_{type}, tolerance_{value} \rangle \dots(3)$$

ただし、

$tol_{type}: T_G \rightarrow C_T$: 対応する幾何公差

$F_{single}: eS_{type}(t_e) \rightarrow 2^{C_T}$: 単独形体の公差タイプを与える関数

$F_{related}: mg_{type}(t_e) \times mg_{type}(t_d) \rightarrow 2^{C_T}$:

関連形体の公差タイプを与える関数

$zone_{type}: T_G \rightarrow \{1_{sphere}, 2_{plane}, 2_{cylinder}, 1_{cylinder}, 1_{cuboid}\}$:

公差域の種類、それぞれ球内部、平行二平面間、同軸二円筒間、円筒内部、直方体内部

$tolerance_{value}: T_G \rightarrow R$: 公差の値

3.3 公差域と幾何公差候補の提示規則

公差付形体を表す elementary surface が持つ Basic MGDE の形状によって、公差域の領域は幾何学的に制限される。この対応関係を表 3 に示す。一方幾何公差の候補は、公差域の領域の 3 次元形状、及び公差付形体が持つ Basic MGDE とデータ形体が持つ Basic MGDE との相対位置関係によって制限される。公差域の 3 次元領域に応じて規定可能な幾何公差タイプの制約を表 4 に、形体の Basic MGDE 間の関係による幾何公差タイプの制約を表 5 に示す。

図 2 のモデルにおける、TTRS SL5, SL6 間の公差値入力を例に説明する。ただし、SL6 を公差付形体、SL5 をデータ形体とする。まず図 3 のように拡張済み TTRS モデルを作成し、表 2 を用いてそれぞれの mgde(両者とも line)を算出する。次に SL6 の mgde(line)に対して表 3 を用いて公差域候補を提示し、設計者が選択した公

表 3 公差域選択規則

TTRS elementary surface が含む mgde	提示する公差域の 3次元領域
point	1_sphere
plane	2_plane
line	1_cylinder, 1_cuboid, 2_plane
※ surface cylinder	2_cylinder

表 4 公差域に対応する公差

3次元領域	該当する幾何公差	図形
1_sphere	\oplus	
2_plane	$\oplus - \square \equiv // \perp \angle$	
2_cylinder	$\oplus - \square \equiv // \perp \angle$	
1_cylinder	$\oplus - \circ // \perp$	
1_cuboid	$\oplus - \equiv // \perp$	

表 5 幾何公差の選択規則

Mgtype(mgde1) = (point, null, null)	Merged	Separated
(point, null, null)	\oplus	\ominus
Mgtype(mgde2) = (null, line, null)	\oplus	\oplus
(null, null, plane)	\oplus	\oplus

Mgtype(mgde1) = (null, null, plane)	Merged	Parallel	Perpendicular	Secant
(point, null, null)	\oplus	\oplus		N.A.
Mgtype(mgde2) = (null, line, null)	\oplus	\oplus	\perp	\angle
(null, null, plane)	\oplus	\oplus	\perp	\angle

Mgtype(mgde1) = (null, line, null)	Merged	Parallel	Perpendicular	Concurrent Converging	Concurrent Non Converging
(point, null, null)	\oplus	\oplus			N.A.
Mgtype(mgde2) = (null, line, null)	\oplus	\oplus	\perp or \perp	\angle	N.A.
(null, null, plane)	\perp or \perp or \perp	\oplus	\perp	\angle	\oplus

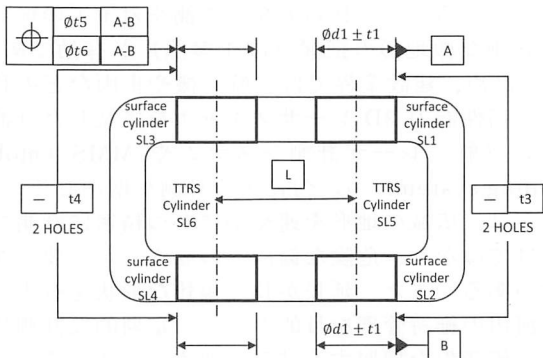


図 2 公差指定例

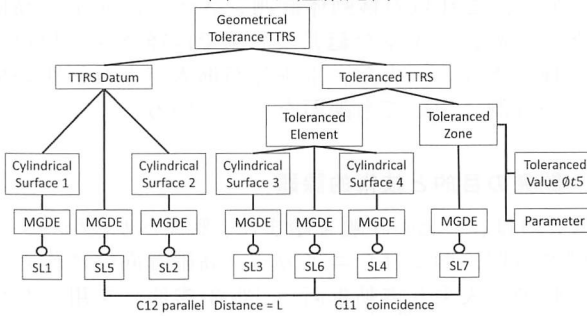


図 3 公差指定例に対する拡張済み TTRS モデル

差域(1_cylinder)から幾何公差の候補 C_{T1} を決定する。同時に、SL6 の mgde(line) と SL5 の mgde(line) から、表 5 を用いて幾何公差候補 C_{T2} を決定する。最終的な幾何公差候補は、 C_{T1} と C_{T2} の両方を満たすもの (\oplus, \perp) を提示する。最後に設計者は、この提示された幾何公差候補の何れかを選択し、その公差値を指定することとなる。

4. まとめおよび今後の課題

本報では、公差域候補や幾何公差を提示する規則を加えた公差情報を表現する拡張 TTRS モデルを提案した。今後、形状検査時の手法を開発する必要がある。

参考文献

[1] A. Desrochers, A. Clément, "A dimensioning and tolerancing assistance model for CAD/CAM systems", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 9 (1994), pp.352-361

[2] Cleme'nt, A., Rivie're, A., Serre', P., and Valade, C., "The TTRS: 13 Constraints for Dimensioning and Tolerancing," Proceedings of the 5th CIRP International Seminar on Computer-Aided Tolerancing, 1997.