

## 面粗さ測定時の測定手法の検討②

田中 敦士\*<sup>1</sup>

上原 忍 \*<sup>2</sup>

廣瀬 龍希\*<sup>3</sup>

### 【要 旨】

仮想うねり及び仮想粗さから構成される仮想表面について作製条件を変えて複数作製し、L フィルタのネスティングインデックスを用いて再度分離を行うことで、どの構成要素が最もネスティングインデックスの値に影響を及ぼすかを検討した。結果、粗さ要素の波長成分が最も影響を及ぼしていることが判った。

また、本検討からネスティングインデックスの値を算出する式を導き、実際の表面にも活用できるかの検討についても行ったところ、ネスティングインデックスの設定値の目安としての利用可能性があることが判った。

### 1 はじめに

面粗さでは、ISO 規格及びJIS 規格において、Sa (算術平均粗さ)<sup>1, 2)</sup>等の粗さパラメータと測定条件の関連付けがされていないため、測定間隔・範囲等の測定条件やL フィルタのネスティングインデックス等の解析条件については、測定者の判断に委ねられているのが現状である<sup>3, 4)</sup>。そのため、測定物の表面状態を考慮した測定を行うためには試行に多くの時間を要することとなる。

R2 年度研究「面粗さ測定時の測定手法の検討」<sup>5)</sup>により、測定間隔を決定する際の目安となる手法について検討を行い、より広い面積を短時間で測定可能であることが判ったが、より広い面積を評価するためには、うねりの影響が無視できない。しかしながら、うねりの影響を考慮した評価を行うための評価領域及びネスティングインデックスについての検討が不足しているため、本稿では主に、面粗さ測定時のネスティングインデックスを決定する際の目安となる手法について検討を行った。

### 2 検討方法

始めに、余弦波から構成されるうねり、正弦波から構成される粗さを想定し、それぞれの「振幅」「波長」を設定することで仮想うねり (図1)・仮想粗さ (図2) を作製した。また、これらを合成することで仮想表面を作製した【step. 1】。

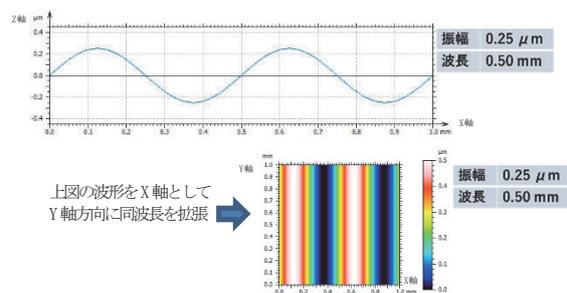


図1 仮想うねりの作製イメージ例

\*1 基盤技術課 技師

\*2 基盤技術課 主任研究員

\*3 基盤技術課 主任

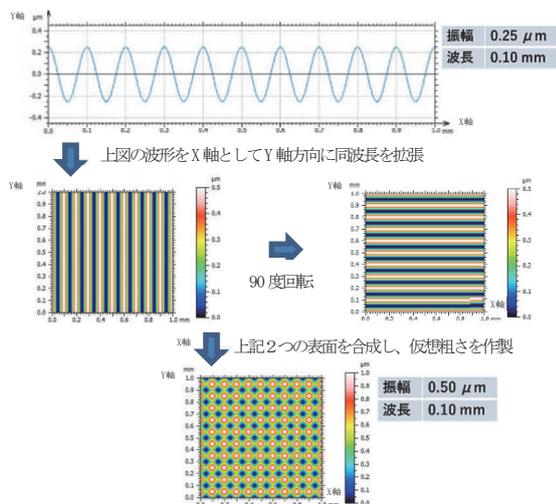


図2 仮想粗さの作製イメージ例

次に、作製した仮想表面を L フィルタのネスティングインデックスを用いて再度うねりと粗さに分離し【step. 2】、合成前の仮想粗さと分離粗さの Sa 値を比較することで、合成前の仮想粗さに最も近くなる時のネスティングインデックス値を求めた (図3)【step. 3】。これをネスティングインデックスの理論値とする。

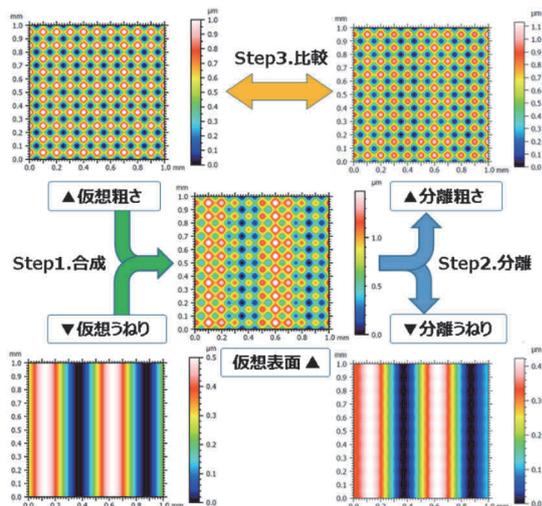


図3 ネスティングインデックスの導出行程イメージ

最後に、図3に示す【step. 1】～【step. 3】ま

での流れを、「(仮想) うねりの振幅」「(仮想) うねりの波長」「(仮想) 粗さの振幅」「(仮想) 粗さの波長」の4つの構成要素の内1つの要素の数値のみ変化させて繰り返した。変化させる要素を変えてこれを繰り返し、4つ全ての構成要素の数値変化とそれに伴うネスティングインデックス値の変化を比較することで、どの構成要素が最もネスティングインデックスの値に影響を及ぼすかを検討した。

また、測定範囲による影響も考慮し、評価領域を4mm角で評価した。

### 3 結果

4つの構成要素の数値変化とそれに伴うネスティングインデックス値の変化の結果を表1～4に示す。

表1 「うねりの振幅」要素の影響

	振幅(μm)	波長(mm)								
仮想うねり	A	0.5								
仮想粗さ	0.5	0.1								
A=	0.05	0.1	0.15	0.2	0.5	0.75	1.0	2.5	5.0	10
仮想表面 Sa	0.205	0.212	0.222	0.235	0.36	0.503	0.657	1.602	3.188	6.368
仮想粗さ Sa	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
分離粗さ Sa	0.203	0.202	0.203	0.203	0.202	0.201	0.201	0.198	0.197	0.198
ネスティングインデックス	0.32	0.29	0.28	0.27	0.23	0.21	0.20	0.16	0.13	0.10

表2 「うねりの波長」要素の影響

	振幅(μm)	波長(mm)								
仮想うねり	0.25	λ								
仮想粗さ	0.5	0.1								
λ=	0.10	0.12	0.15	0.20	0.30	0.40	0.70	1.00	1.30	2.00
仮想表面 Sa	0.254	0.248	0.249	0.249	0.25	0.25	0.25	0.251	0.25	0.251
仮想粗さ Sa	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203	0.203
分離粗さ Sa	0.21	0.204	0.202	0.204	0.204	0.202	0.203	0.203	0.203	0.203
ネスティングインデックス	0.16	0.17	0.18	0.2	0.23	0.24	0.29	0.3	0.35	0.5

表3 「粗さの振幅」要素の影響

	振幅(μm)	波長(mm)								
仮想うねり	0.25	0.5								
仮想粗さ	A	0.1								
A=	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
仮想表面 Sa	0.251	0.434	0.629	0.827	1.028	1.228	1.430	1.630	1.832	2.034
仮想粗さ Sa	0.203	0.405	0.608	0.811	1.014	1.216	1.420	1.621	1.824	2.026
分離粗さ Sa	0.203	0.406	0.608	0.811	1.014	1.216	1.420	1.621	1.824	2.026
ネスティングインデックス	0.26	0.29	0.30	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.36	0.40

表4 「粗さの波長」要素の影響

	振幅(μm)	波長(mm)								
仮想うねり	0.25	0.5								
仮想粗さ	0.5	λ								
λ=	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
仮想表面 Sa	0.251	0.251	0.25	0.251	0.249	0.247	0.243	0.251	0.246	0.254
仮想粗さ Sa	0.202	0.203	0.203	0.203	0.203	0.202	0.202	0.203	0.202	0.203
分離粗さ Sa	0.202	0.203	0.203	0.202	0.202	0.203	0.202	0.202	0.201	0.203
ネスティングインデックス	0.16	0.26	0.36	0.42	0.49	0.57	0.64	0.67	0.75	0.77

検討の結果、「粗さの波長」要素が最も影響を及ぼしていることが判明した。また、その他の構成要素についても少なからずネスティングインデックス値に影響を与えていることが判ったため、構成要素を含んだネスティングインデックスの算出式を変化のプロット図から導出できないかを考察した。

## 4 考察

### 4.1 算出式の導出

ネスティングインデックスは、最も影響を及ぼしている「粗さの波長」 $\lambda$ に補正係数 $k$ を掛けて算出されると仮定した。また、「粗さの波長」を「うねりの波長」で割ったものを「波長の割合」と、「粗さの振幅」を「うねりの振幅」で割ったものを「振幅の割合」として構成要素を変換し、表1～4に示すネスティングインデックスの理論値の変化を再度、表5にまとめた。表5の結果を、縦軸を補正倍率 $L_c/\lambda$ 、横軸を「波長の割合」または「振幅の割合」としてプロット図を作成した。

表5 ネスティングインデックス値の変化

	$L_c$ : ネスティングインデックス	$\lambda$ : 粗さの波長	$\lambda_k$ : 波長の割合	$A_k$ : 振幅の割合	$L_c/\lambda$ : 補正倍率
粗さの波長変化	0.16	0.05	0.10	2.00	3.20
	0.26	0.10	0.20	2.00	2.60
	0.36	0.15	0.30	2.00	2.40
	0.42	0.20	0.40	2.00	2.10
	0.49	0.25	0.50	2.00	1.96
	0.57	0.30	0.60	2.00	1.90
	0.64	0.35	0.70	2.00	1.83
	0.67	0.40	0.80	2.00	1.68
	0.75	0.45	0.90	2.00	1.67
	0.77	0.50	1.00	2.00	1.54
うねりの波長変化	0.16	0.10	1.00	2.00	1.60
	0.17	0.10	0.83	2.00	1.70
	0.18	0.10	0.67	2.00	1.80
	0.20	0.10	0.50	2.00	2.00
	0.23	0.10	0.33	2.00	2.30
	0.24	0.10	0.25	2.00	2.40
	0.29	0.10	0.14	2.00	2.90
	0.30	0.10	0.10	2.00	3.00
	0.35	0.10	0.06	2.00	3.50
	0.50	0.10	0.05	2.00	5.00
粗さの振幅変化	0.26	0.10	0.20	2.00	2.60
	0.29	0.10	0.20	4.00	2.90
	0.30	0.10	0.20	6.00	3.00
	0.32	0.10	0.20	8.00	3.20
	0.33	0.10	0.20	10.00	3.30
	0.34	0.10	0.20	12.00	3.40
	0.35	0.10	0.20	14.00	3.50
	0.36	0.10	0.20	16.00	3.60
	0.38	0.10	0.20	18.00	3.80
	0.40	0.10	0.20	20.00	4.00
うねりの振幅変化	0.32	0.10	0.20	1.00	3.20
	0.29	0.10	0.20	5.00	2.90
	0.28	0.10	0.20	3.33	2.80
	0.27	0.10	0.20	2.50	2.70
	0.23	0.10	0.20	1.00	2.30
	0.21	0.10	0.20	0.67	2.10
	0.20	0.10	0.20	0.50	2.00
	0.15	0.10	0.20	0.20	1.60
	0.13	0.10	0.20	0.10	1.30
	0.10	0.10	0.20	0.05	1.00

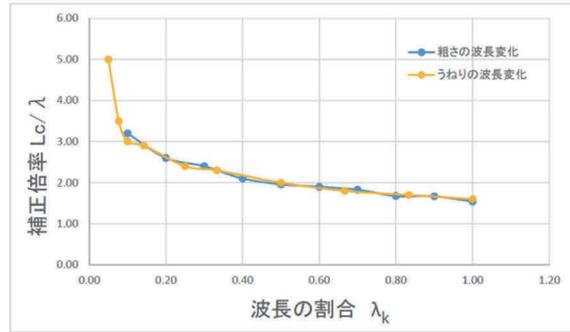


図4 プロット図1 (波長変化)

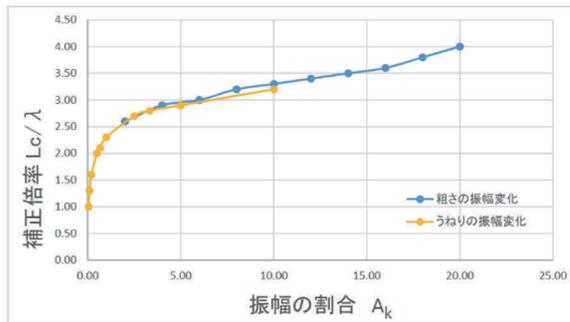


図5 プロット図2 (振幅変化)

図4・図5より、補正係数  $k$  を求める式を以下のとおり仮定した。

$$L_c = \lambda \times k$$

$$k = \alpha \times \lambda_k^a \times A_k^b$$

$L_c$  : ネスティングインデックス [mm]

$\lambda$  : 粗さの波長 [mm]

$\lambda_k$  : 波長の割合 (粗さの波長/うねりの波長)

$A_k$  : 振幅の割合 (粗さの振幅/うねりの振幅)

またこの時、プロット図より、

$\alpha = 1.215$ 、 $a = -0.37$ 、 $b = 0.2$  と導出し、上式は

$$L_c = \lambda \times k \tag{1}$$

$$k = 1.215 \times \lambda_k^{-0.37} \times A_k^{0.2} \tag{2}$$

となる。

### 4. 1 算出式の有用性の検証 (仮想表面)

算出式 (1) (2) に対応する値を表5から代入すると、補正係数  $k$  は以下の表6のとおりとなる。また、表5で得られた補正倍率  $L_c/\lambda$  との差を図6・図7に示す。

表6 補正倍率  $L_c/\lambda$  の比較

	$L_c$ :ネスティングインデックス	$\lambda$ :粗さの波長	$\lambda k$ :波長の割合	$A_k$ :振幅の割合	$L_c/\lambda$ :補正倍率	$k$ :補正係数
粗さの波長変化	0.16	0.05	0.10	2.00	3.20	3.27
	0.26	0.10	0.20	2.00	2.60	2.53
	0.36	0.15	0.30	2.00	2.40	2.18
	0.42	0.20	0.40	2.00	2.10	1.96
	0.49	0.25	0.50	2.00	1.96	1.80
	0.57	0.30	0.60	2.00	1.90	1.69
	0.64	0.35	0.70	2.00	1.83	1.59
	0.67	0.40	0.80	2.00	1.68	1.52
	0.75	0.45	0.90	2.00	1.67	1.45
	0.77	0.50	1.00	2.00	1.54	1.40
うねりの波長変化	0.16	0.10	1.00	2.00	1.60	1.40
	0.17	0.10	0.83	2.00	1.70	1.49
	0.18	0.10	0.67	2.00	1.80	1.62
	0.20	0.10	0.50	2.00	2.00	1.80
	0.23	0.10	0.33	2.00	2.30	2.10
	0.24	0.10	0.25	2.00	2.40	2.33
	0.29	0.10	0.14	2.00	2.90	2.87
	0.30	0.10	0.10	2.00	3.00	3.27
	0.35	0.10	0.08	2.00	3.50	3.61
	0.50	0.10	0.05	2.00	5.00	4.23
粗さの振幅変化	0.26	0.10	0.20	2.00	2.60	2.53
	0.29	0.10	0.20	4.00	2.90	2.91
	0.30	0.10	0.20	6.00	3.00	3.15
	0.32	0.10	0.20	8.00	3.20	3.34
	0.33	0.10	0.20	10.00	3.30	3.49
	0.34	0.10	0.20	12.00	3.40	3.62
	0.35	0.10	0.20	14.00	3.50	3.74
	0.36	0.10	0.20	16.00	3.60	3.84
	0.38	0.10	0.20	18.00	3.80	3.93
	0.40	0.10	0.20	20.00	4.00	4.01
うねりの振幅変化	0.32	0.10	0.20	10.00	3.20	3.49
	0.29	0.10	0.20	5.00	2.90	3.04
	0.28	0.10	0.20	3.33	2.80	2.80
	0.27	0.10	0.20	2.50	2.70	2.65
	0.23	0.10	0.20	1.00	2.30	2.20
	0.21	0.10	0.20	0.67	2.10	2.03
	0.20	0.10	0.20	0.50	2.00	1.92
	0.16	0.10	0.20	0.20	1.60	1.60
	0.13	0.10	0.20	0.10	1.30	1.39
	0.10	0.10	0.20	0.05	1.00	1.21

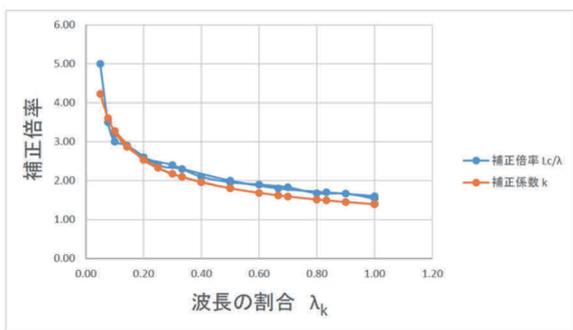


図6 プロット図3 (補正倍率の比較)

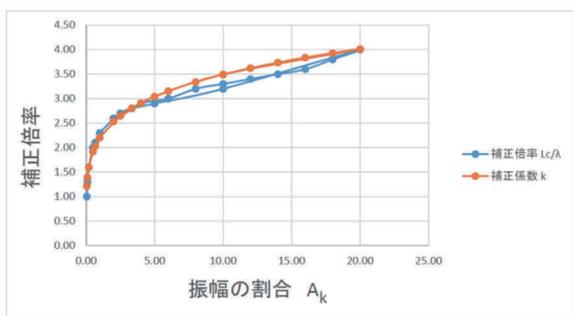


図7 プロット図4 (補正倍率の比較)

また、表5に示すネスティングインデックスの理論値と、算出式 (1) (2) より得たネスティングインデックス (以下、ネスティングインデックスの算出値とする) との比較を表7に示す。

表7 理論値と算出値の比較

	$L_c$ (mm)	算出 $L_c$ (mm)	誤差 (%)		$L_c$ (mm)	算出 $L_c$ (mm)	誤差 (%)
粗さの波長変化	0.16	0.16	0	うねりの波長変化	0.16	0.14	12.5
	0.26	0.25	3.8		0.17	0.15	11.8
	0.36	0.33	8.3		0.18	0.16	11.1
	0.42	0.39	7.1		0.2	0.18	10.0
	0.49	0.45	8.2		0.23	0.21	8.7
	0.57	0.51	10.5		0.24	0.23	4.2
	0.64	0.56	12.5		0.29	0.29	0
	0.67	0.61	9.0		0.3	0.33	10.0
	0.75	0.65	13.3		0.35	0.36	2.9
	0.77	0.70	9.1		0.5	0.42	16.0
粗さの振幅変化	0.26	0.25	3.8	0.32	0.35	9.4	
	0.29	0.29	0	0.29	0.30	3.4	
	0.3	0.32	6.7	0.28	0.28	0	
	0.32	0.33	3.1	0.27	0.26	3.7	
	0.33	0.35	6.1	0.23	0.22	4.3	
	0.34	0.36	5.9	0.21	0.20	4.8	
	0.35	0.37	5.7	0.2	0.19	5.0	
	0.36	0.38	5.6	0.16	0.16	0	
	0.38	0.39	2.6	0.13	0.14	7.7	
	0.4	0.40	0	0.1	0.12	20.0	

平均誤差は、6.7%程度であり、算出式 (1) (2) はネスティングインデックスの目安値の設定に利用できると判断した。

### 4. 2 算出式の有用性の検証 (実表面)

仮想表面だけでなく、実表面でも利用可能性のあるかを検証するため、正面フライス加工の粗さ標準片及び放電加工の粗さ標準片に導出した式を用いてネスティングインデックスを算出し、粗さ表面とうねり表面の分離後の表面が確かかを検証した。

#### 4. 2. 1 標準片 (正面フライス加工) の解析

標準片 (正面フライス加工) の実測表面を図8に示す。仮想表面と違い、うねりや粗さの振幅や波長が不明なため、二次元の断面曲線を抽出し、目視により適当と思われるカットオフ値を与えることで、うねり曲線と粗さ曲線に分離した。

うねり曲線及び粗さ曲線から算出される  $P_c$  (平均高さ) <sup>6) 7)</sup> 及び  $PS_m$  (平均長さ) <sup>6) 7)</sup> をそれぞれ、振幅 (の2倍) 及び波長に対応するものとした (図9)。

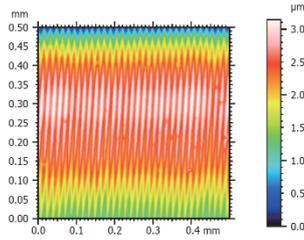


図8 正面フライス加工品の実測表面

実測表面から抜き出した断面曲線と同箇所を分離後の粗さ表面から抜き出し、図11に示す。

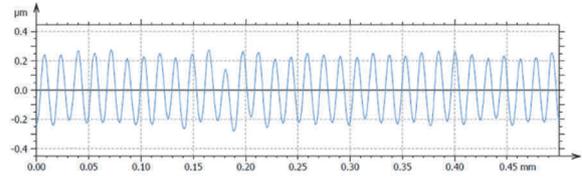


図11 粗さ表面(断面抜き出し)

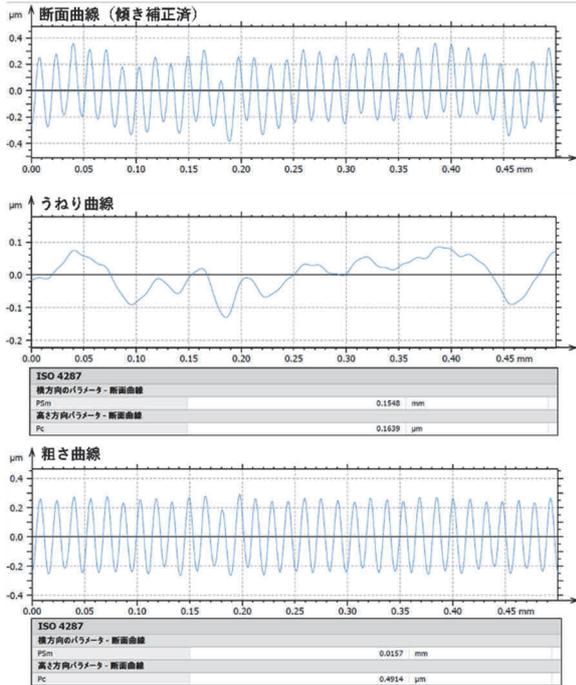


図9 断面曲線の解析

図9・図10・図11の表面状態より、算出式から得たネスティングインデックスによって正しく分離できていると考えられる。

#### 4. 2. 2 標準片(放電加工)の解析

標準片(放電加工)の実測表面を図12に示す。

また、前項と同様に二次元の断面曲線よりPc及びPSmを求めた(図13)。

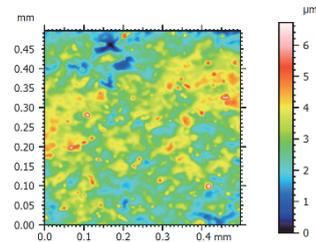


図12 放電加工品の実測表面

図9の値を式(1)(2)に代入し、得たネスティングインデックス  $L_s=0.05$  (mm) を用いて、粗さ表面とうねり表面の分離を行った。結果を図10に示す。

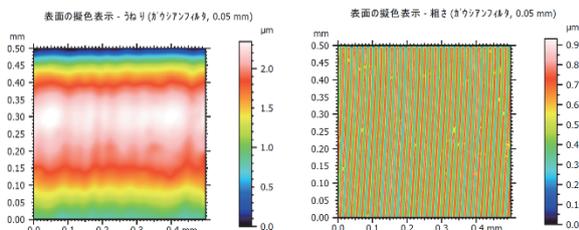


図10 分離後表面(左:うねり 右:粗さ)

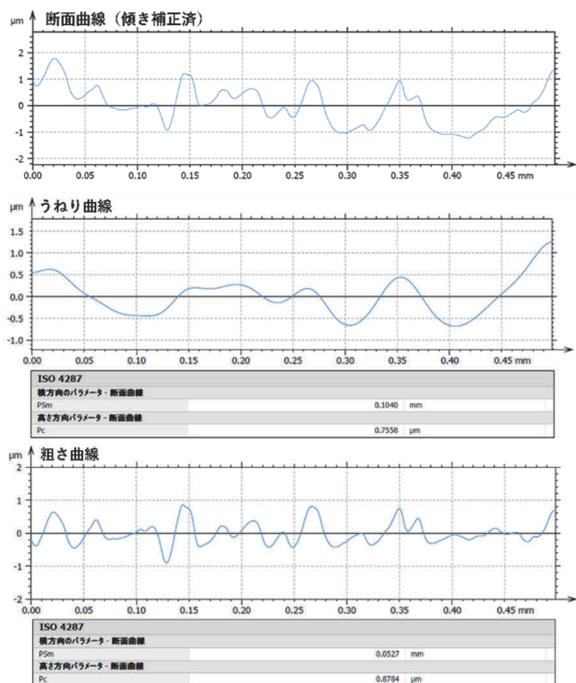


図13 断面曲線の解析

図13の値を式(1)(2)に代入し、得たネスティングインデックス  $L_s=0.08$  (mm) を用いて、粗さ表面とうねり表面の分離を行った。結果を図14に示す。

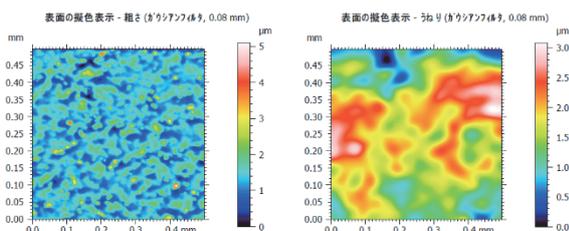


図14 分離後表面 (左:うねり 右:粗さ)

実測表面から抜き出した断面曲線と同箇所を分離後の粗さ表面から抜き出し、図15に示す。

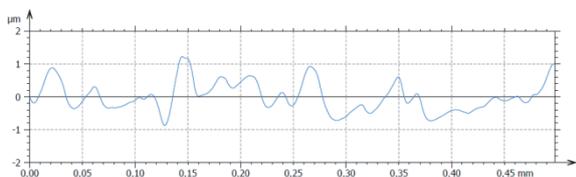


図15 粗さ表面 (断面抜き出し)

図13・図14・図15の表面状態より、算出式から得たネスティングインデックスによって正しく分離できていると考えられる。

これらより、実表面においても、算出式(1)(2)は、ネスティングインデックスの目安値の設定に利用できると判断した。

## 5 まとめ

ネスティングインデックスの導出には、粗さの波長要素が最も影響を及ぼしていることが判った。

また、ネスティングインデックスの算出式

$$L_c = 1.215 \times \lambda \times \lambda_k^{-0.37} \times A_k^{0.2}$$

$L_c$  : ネスティングインデックス [mm]

$\lambda$  : 粗さの波長 [mm]

$\lambda_k$  : 波長の割合 (粗さの波長/うねりの波長)

$A_k$  : 振幅の割合 (粗さの振幅/うねりの振幅)

を用いて、実表面での解析を行った結果、ネスティングインデックス設定値の目安としての利用可能性があることが判った。

## (参考文献)

- 1) JIS B 0681-2:2018 用語、定義及び表面性状パラメータ
- 2) ISO 25178-2:2012 Terms, definitions and surface texture parameters
- 3) JIS B 0681-3:2019 仕様オペレータ
- 4) ISO 25178-3:2012 Specification operators
- 5) 田中敦士, 上原忍, 大見庸平: 京都府中小企業技術センター技報, No.49, p15 (2021)
- 6) JIS B 001:2013 用語、定義及び表面性状パラメータ
- 7) ISO 427:1997 Terms, definitions and surface texture parameters