

彫刻ロールの高度レーザー加工技術に関する研究開発 (第1報)

— 彫刻ロール表面の特性評価 —

材料科 材料スタッフ 大竹正寿 萱沼広行*
 村田ボーリング技研株式会社 村田省三

Research and development on advanced laser engraving of micro-patterns on roll surfaces (1st Report)

- Surface morphology characterization of engraving ceramic roll -

Masatoshi Otake, Hiroyuki Kayanuma and Shozo Murata

Engraving ceramic roll is widely used as flexographic anilox roll or other coating applications such as alignment layer for liquid crystal. Cr_2O_3 was sprayed on the surface of steel roll, and then the roll was engraved by fiber laser combined with an electro-optic modulator and its control units. Surface morphology characterization of this roll was conducted by confocal laser scanning microscope and scanning electron microscope. The results obtained were as follows:

- (1) Replica method was effective to morphology evaluation of engraving roll because distance between two locations can be measured by this method with an accuracy of approximately 0.15%.
- (2) The stable and precise cell structure was obtained by the process in 1000 line/inch, but the engraved cells in 1600 line/inch were inhomogeneous and distorted.
- (3) Cell depth is dependent on engraving rate, radiation distance, duty cycle and number of radiation, while the geometry of cells is dependent on duty cycle and MAD amplitude.
- (4) The whole action of engraving system and the geometry of cells can be calculated theoretically from process parameters.

1. はじめに

彫刻ロールは、凸版印刷の一種であるフレキソ印刷や液体のコーティングに使用されるロールである。従来はメッシュ状に機械加工したロール表面を硬質クロムメッキして作製されていたが、近年、酸化クロム (Cr_2O_3) の溶射膜をレーザー加工¹⁾する方法が主流となり、耐久性が数十倍に向上した (図1)。なお、表面のメッシュ状の模様は「セル」と呼ばれるが、大きさと深さに応じて塗布量をコントロールできるが、形状が半球状で液体の抜け性がよいため、精密で常に安定したコーティングをすることが可能である。

この彫刻ロールを使った液晶の配向膜塗布により、液晶パネルが盛んに製造されており、需要の急増および大型化が今後も見込まれている。ところが、大

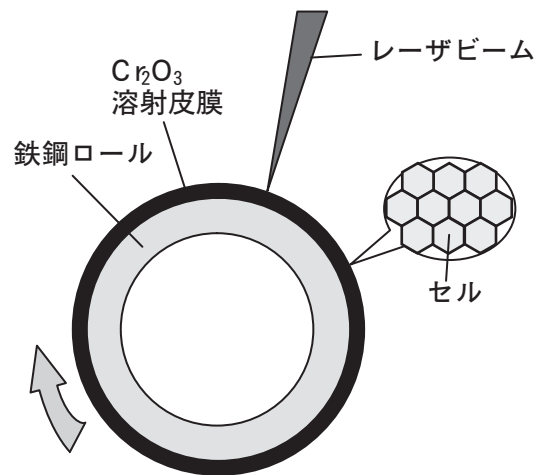


図1 ロールのレーザー加工

型液晶パネル用の大型のロールを製造する場合、セルが均一に加工できない問題点があり、大型化する液晶パネル生産のネックになっている。一方、印刷

*) 現 環境衛生科学研究所

用途でも、印刷品質の向上を背景にロールのセルは高精細化の傾向にあるが、高精細なセルの加工は技術的に難しく、歩留まりが悪い状況である。

本研究では、これらの問題点を解決するために、彫刻加工の安定化および高度なセル形状制御技術を確立させ、最終的に高品位な彫刻ロールが製造可能な、加工システムを試作することを目的とした。手始めとして、本報告では、既存装置の性能の限界を調査し、加工条件が彫刻品質に与える影響について調査を行った。

2. 方法

2.1 レプリカ評価法の有効性検証

製造しているロールは大型で、切断することが簡単にできないため、レプリカ法（樹脂で表面の形状を写し取って樹脂を評価する方法）によりロールの評価を行うこととした。ここでは、その前段階として、レプリカによって、ロールの表面形状が精度よく写し取られているか調査し、この方法が有効であるかどうかの検証を行った。

(1) 評価実験 1

金属顕微鏡用スケール（金属製、最小目盛 $10\mu\text{m}$ ）を利用し、スケールそのもの（オリジナル）および写し取ったもの（レプリカ）の形状を測定し比較した。測定箇所はスケール溝間隔(A)、スケール溝幅(B)、溝

深さ(C)（図2）。なお、レプリカ樹脂は丸本ストラス製 レプリセットF5を使用し、オリンパス製のレーザー顕微鏡OLS3000で計測した。

(2) 評価実験 2

彫刻したロール（ $\Phi 65\text{mm}$ ）を利用し、ロールそのもの（オリジナル）と写し取ったもの（レプリカ）の形状を測定したあと、比較した。評価箇所はセルの幅、高さ、体積（図3）。

2.2 高精細彫刻

溶射済みのロールに300, 500, 1000, 1600 line/inchの彫刻を行った後、前節で行った同様の方法で表面のレプリカを採取し、このレプリカをレーザー顕微鏡および走査型電子顕微鏡（株式会社日立ハイテクノロジーズ製 S-3700N）で観察を行った。

2.3 彫刻模様と加工パラメータの関係

既存彫刻機の装置設定条件（加工パラメータ）とセル形状の相関に関する調査を行った。加工パラメータを変えて彫刻したロールのレプリカを採取した後、レプリカ形状をレーザー顕微鏡で計測し、さらにレプリカ表面を走査型電子顕微鏡で観察した。

3. 結果

3.1 レプリカ評価法の有効性検証

図4に、彫刻ロール表面の光学顕微鏡写真（オリジナルおよびレプリカ）を示した。セルの形状は、

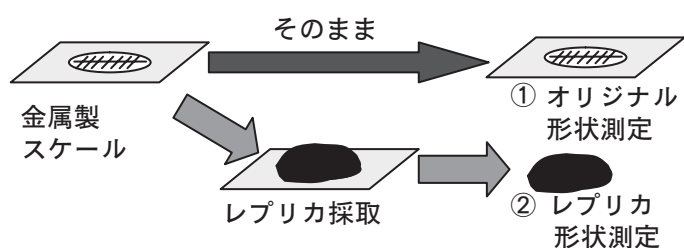


図2 レプリカ法評価実験(1)

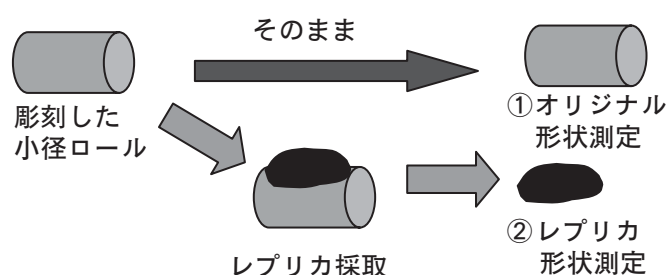
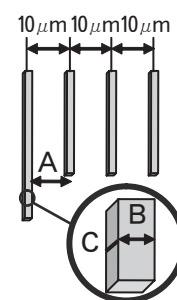
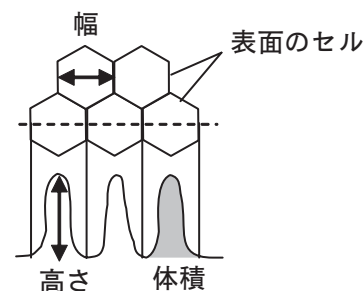


図3 レプリカ法評価実験(2)



【報告】

レプリカによって、ミラーのようにほぼ正確に写し取られていることが確認できた。さらに、オリジナルおよびレプリカの形状を計測し、比較した結果を表1に示した。スケール溝の間隔やセルの幅は、非常によい一致（それぞれ0.5および0.15%の誤差）をしており、レプリカ法によって、2点間の距離がよい精度で計測できることがわかった。一方、体積や深さを評価する場合、オリジナルとレプリカでは25~30%程度値が異なる結果が得られた。しかしながら、レプリカ法でもデータの再現性はよいため、相対的な値の評価には十分利用できると考えられた。

3.2 高精細彫刻

図5に、300~1600 line/inchでセルのサイズを変化させ加工を行った場合の、ロール表面の電子顕微鏡写真およびセル形状の計測値を示した。生産現場では、通常500 line/inch以下の加工がほとんど

であるが、加工条件を最適化することにより、1000 line/inchまで、許容できる加工精度を得ることができた。一方、1600 line/inchでは、1) セル形状がきれいな六角形になっていない、2) セル形状が均一でなく、隣接するセルの重なり合う、といった問題が観測された。

この結果より、現状の彫刻機の性能では1600line/inchの加工精度が出ないことがわかった。現状装置のビーム径では、高精細な彫刻には限界があり、高精細彫刻を可能とする新装置開発の必要性が実験的に確認された。

3.3 彫刻模様と加工パラメータの関係

(1) 加工パラメータがセル深さに及ぼす影響

彫刻後のロールの色はセルの深さと関係があり、セルが深いほど、銀色から濃い青色になる。また、次に示す加工パラメータによって、影響を受けるこ

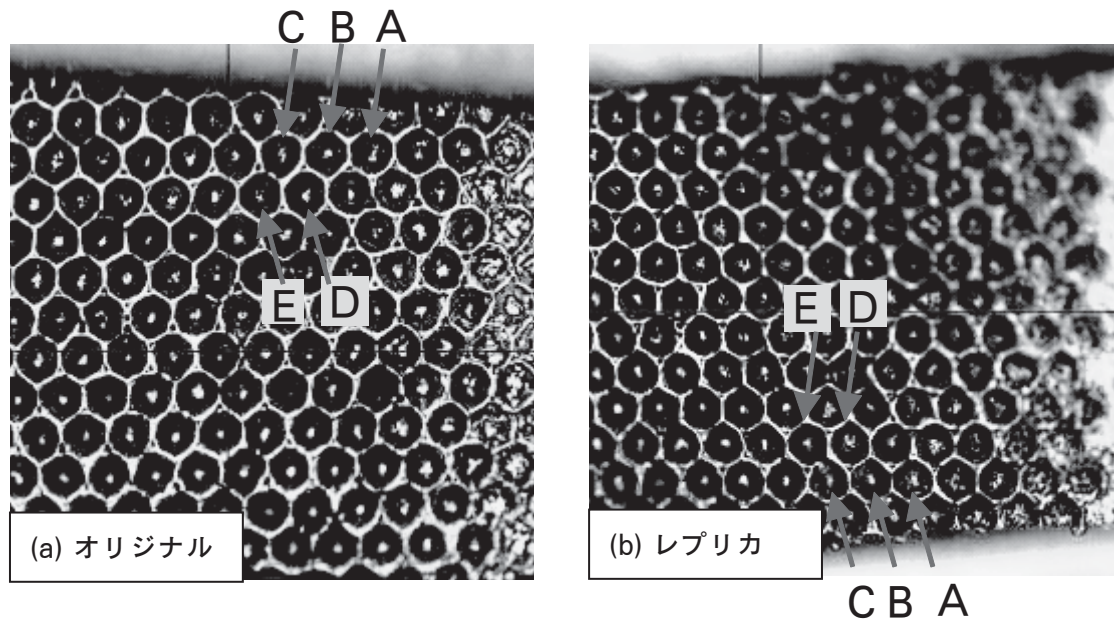


図4 彫刻ロールの光学顕微鏡像

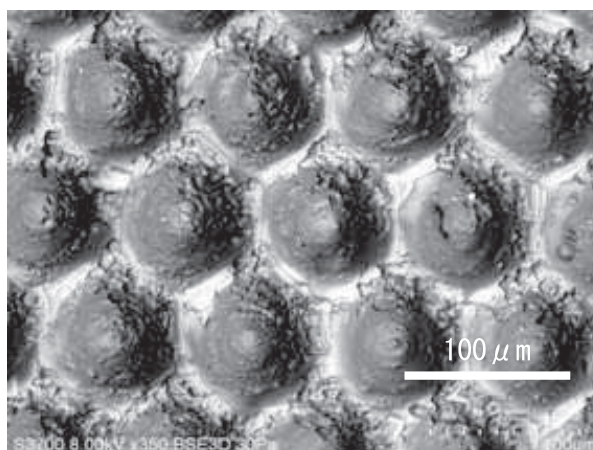
表1 オリジナルとレプリカの形状計測値

		スケールの溝				彫刻したセル		
		溝の間隔 A	溝の幅 B	溝の幅 B	溝の深さ C	セルの幅	セルの 深さ	セル体積
		μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm ³
		上面画像から		断面画像から		断面画像から		
オリジナル (形状凹)	平均値	9.81	2.61	3.45	0.268	62.7	17.0	17949
	σ	0.02	0.12	0.04	0.053	1.38	0.78	1382
レプリカ (形状凸)	平均値	9.86	3.12	2.84	0.124	62.6	21.2	23699
	σ	0.05	0.25	0.25	0.034	1.50	1.46	2495

①300 line/inch

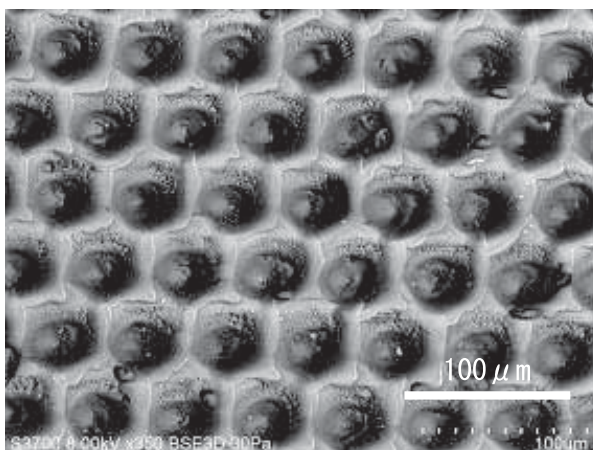
横幅a	50.55	μm
(σ)	0.78	
横幅b	49.02	
(σ)	1.06	
縦幅c	59.27	
(σ)	0.50	
高さh	25.28	
(σ)	1.02	
セル間l	88.87	
(σ)	0.85	

横幅 a: 断面から測定
横幅 b: 上面から測定



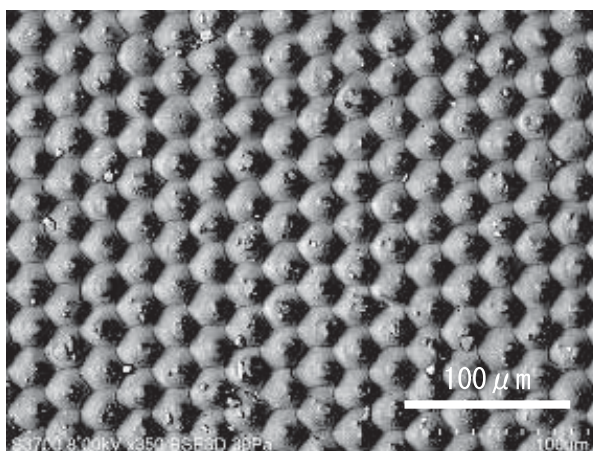
②500 line/inch

横幅a	50.55	μm
(σ)	0.78	
横幅b	49.02	
(σ)	1.06	
縦幅c	59.27	
(σ)	0.50	
高さh	25.28	
(σ)	1.02	
セル間l	88.87	
(σ)	0.85	



③1000 line/inch

横幅a	24.15	μm
(σ)	1.18	
横幅b	25.15	
(σ)	1.01	
縦幅c	29.75	
(σ)	0.40	
高さh	7.90	
(σ)	0.64	
セル間l	41.79	
(σ)	6.76	



④1600 line/inch

横幅a	15.25	μm
(σ)	0.94	
横幅b	15.41	
(σ)	0.95	
縦幅c	17.42	
(σ)	0.30	
高さh	2.19	
(σ)	0.35	
セル間l	28.13	
(σ)	0.93	

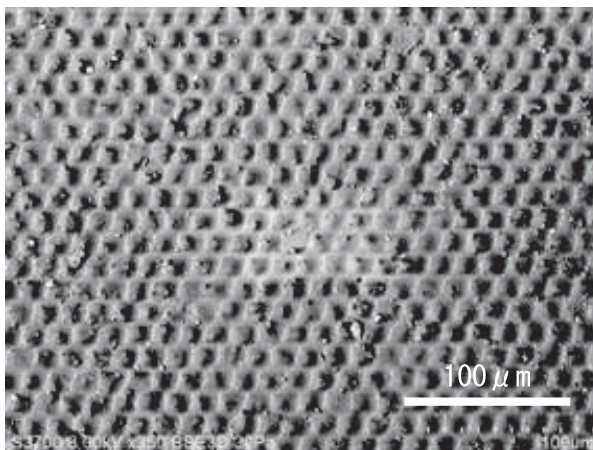


図5 セル形状計測値(左) および 電子顕微鏡 (3D-BSE) 像(右)
電子顕微鏡: 低真空BSE-3D像、加速電圧 8 kV、真空度30MPa、無蒸着

【報告】

とが明らかになった。

① 彫刻速度（回転数）の影響

彫刻速度（ロールの回転数）を大きくすると、セル深さは浅くなった。これは、彫刻速度が大きくなると1つのセルに照射する時間が短くなるためだと考えられた。また、照射エネルギーを横軸にとると、セル深さと照射エネルギーはほぼ比例していることがわかった(図6)。

② 照射距離の影響

通常の照射位置からレーザーヘッドを遠ざけると(+1mmおよび+2mm)、セル深さは急激に浅くなった。一方、近づけると(-1mmおよび-2mm)徐々にセル深さが深くなった(図7)。これは、ロール表面におけるビーム径が変化することで、単位面積当たりのエネルギー密度が変わるためだと考えられた。なお、この結果から、照射位置は、焦点より少

し遠ざかったデフォーカス位置だと推測できた。

③ ビーム照射数MBNBの影響

1つのセルに1~3回重ね照射を行った場合、ビーム照射回数(MBNN)にはほぼ正比例して、セル深さが深くなることが明らかとなった(図8)。

④ デューティサイクル(DC)の影響

DCに正比例して、セル深さが深くなることがわかった(図9)。これは、DCの増加によって、PL(パルス幅=照射している時間)が増加するためだと考えられた。

(2) 加工パラメータがセル形状に及ぼす影響

① デューティサイクル(DC)の影響

DCを増加させると、セル形状が大きく変化し、セルの縦方向が長くなることが明らかとなった(図10)。

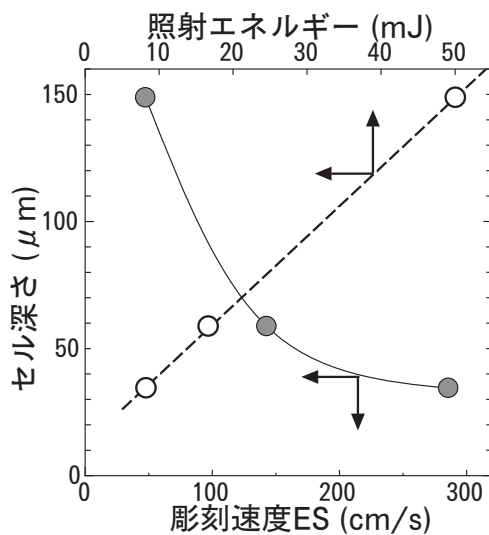


図6 彫刻速度とセル深さ

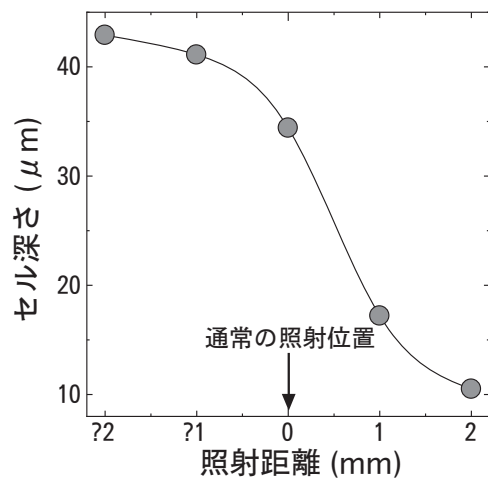


図7 照射距離とセル深さ

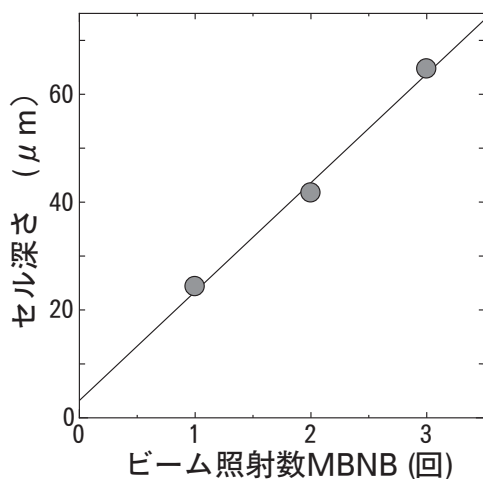


図8 ビーム照射数とセル深さ

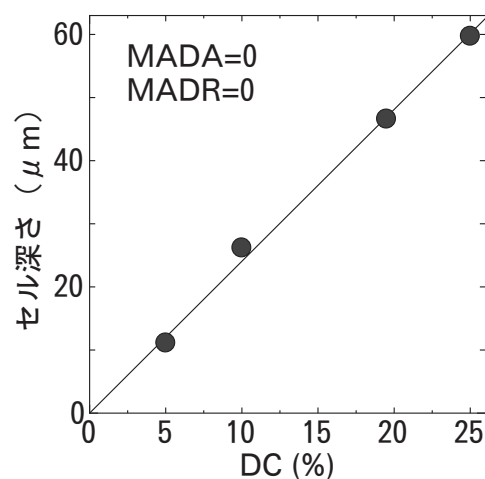


図9 DCとセル深さ

【報告】

② ビームの振り幅 (MADA) の影響

この装置では1つのセルにビームを照射する時に、セル内で軸方向(横方向)に細かくビームを振っている(振幅の大きさ:MADA)。MADA=0ではセルの最も深い部分が中心にあるが、MADAを増加させると、中心部分が横方向にずれていくことが

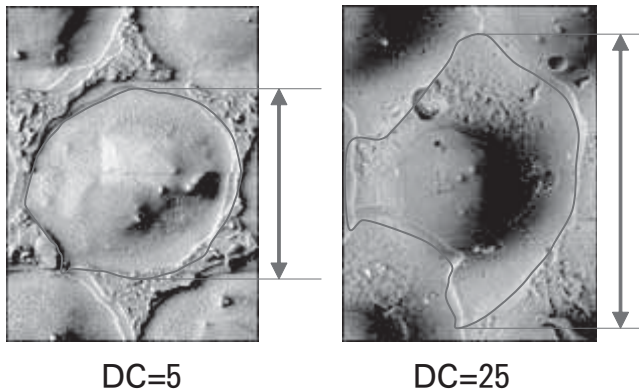


図10 DCによるセル形状の変化

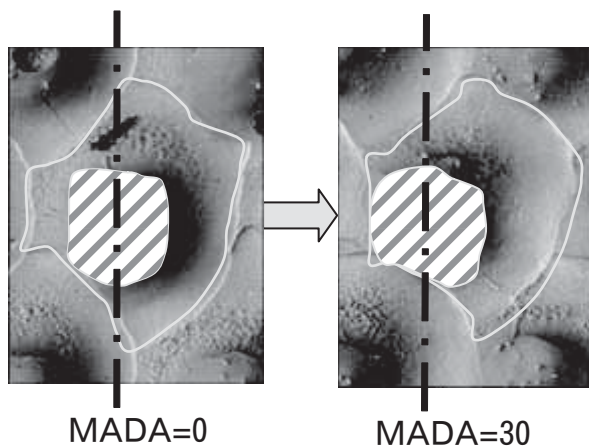


図11 MADAによるセル形状の変化

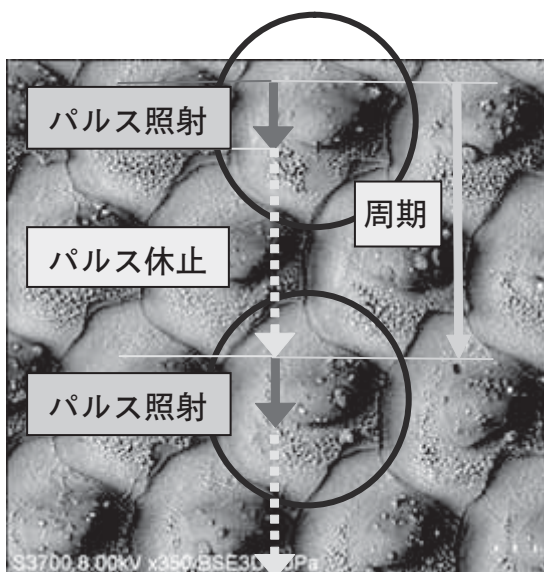


図12 パルス照射および休止の長さ(計算値)

わかった(図11)。なお、MADAには上限値が存在した。

(3) 加工パラメータと装置動作の関係

加工パラメータとセル形状・装置の動きの関係式を導出し、加工形状が直ちに予測できるようになった。また、パラメータは装置の①運転条件(回転数等)と②幾何学的な条件(彫刻線数等)の両方に関係している。そのため、あるパラメータを変化させると、それに応じて関連パラメータが影響を受ける。

図12にパルス照射および休止の長さを理論計算し、実際の電子顕微鏡像に当てはめた結果を示したが、非常によい一致がみられた。なお、彫刻速度(回転速度)を変えても、パルス繰り返し周期、パルス照射中の距離およびパルス休止中の距離が変化しないために、セルの形状は不変である。

4. まとめ

- (1) レプリカ評価法は、2点間の距離が0.15%程度のよい精度で測定できるため、ロール表面の形状評価に有用である。
- (2) 加工条件の最適化により、1000 line/inchの高精細加工が可能になった。しかしながら、1600 line/inchは既存の彫刻装置では加工精度が得られず、現状装置では、高精細な彫刻に限界があることが明らかとなった。
- (3) セル深さは、彫刻速度、照射距離、デューティサイクル(DC)、照射回数から影響を受ける。
- (4) セル形状はDCおよびMADAから影響を受ける。
- (5) 回転/軸方向の動きやセル形状は、全て加工パラメータから理論計算可能である。また、パラメータは独立ではなく相互に関係している。

参考文献

- 1) 新井武二：はじめてのレーザープロセス,工業調査会(2004)