

3D・CADが生成するSTLファイルデータを用いて大型曲面形状塗布面へ
曲面に沿って画像をインクジェット印刷する

株式会社 ワイ・ドライブ 山崎智博

1. Inkjet システム用3D曲面印刷ソフト開発

- i. ヘッドは塗布ステージ面に対し平行に取り受け、3D曲面の塗布面に対し平行にするような θ 軸を持たない。
- ii. 塗布メカ：3軸（X・Y・Z）動作メカ
※Y軸エンコーダ信号、印刷スタート信号（往路・復路）を受け取る
- iii. 3D曲面印刷ソフトは、3軸メカへXYZ軸座標データの送付する
- iv. 3D曲面印刷ソフトは、印刷解像度をZ軸移動に合わせて演算する
- v. ヘッド幅4列ノズル間隔距離などの制約で曲面端部の印刷解像度の劣化は容認する。
また、ヘッド幅の制約で曲面間凹凸の最小幅に限界が起きるが補正はしない。

1-1 3D曲面印刷ソフト動作実証用に、簡易小型塗布機を構成した

- i. XYZの3軸移動メカ 移動範囲：X軸 400mm Y軸：400mm（エンコーダ付き） Z軸：150mm

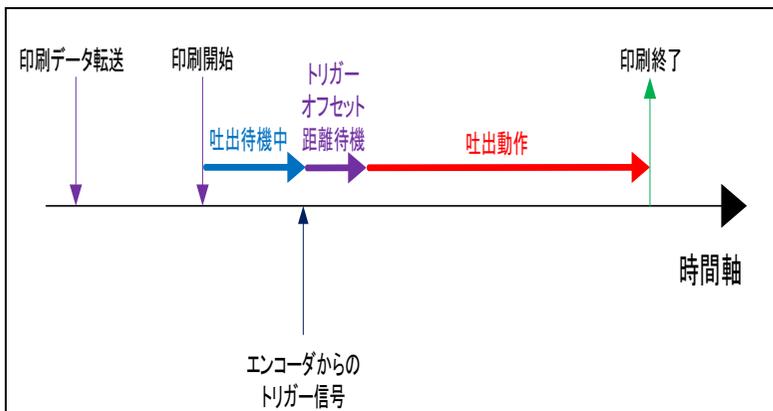
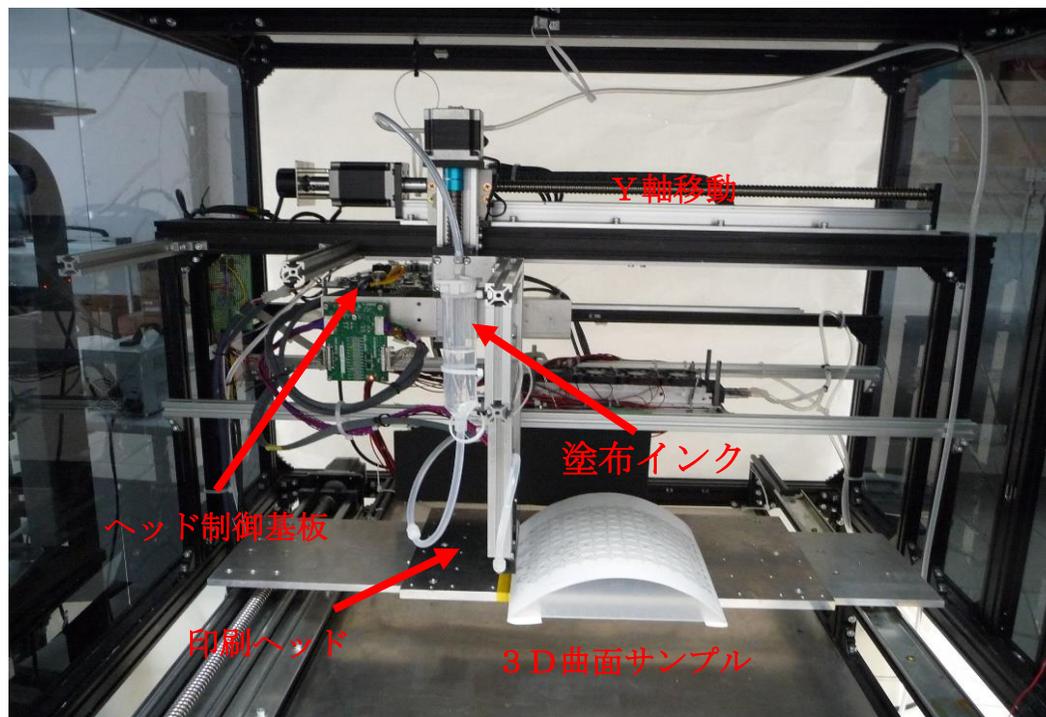


図1 印刷時の時間軸

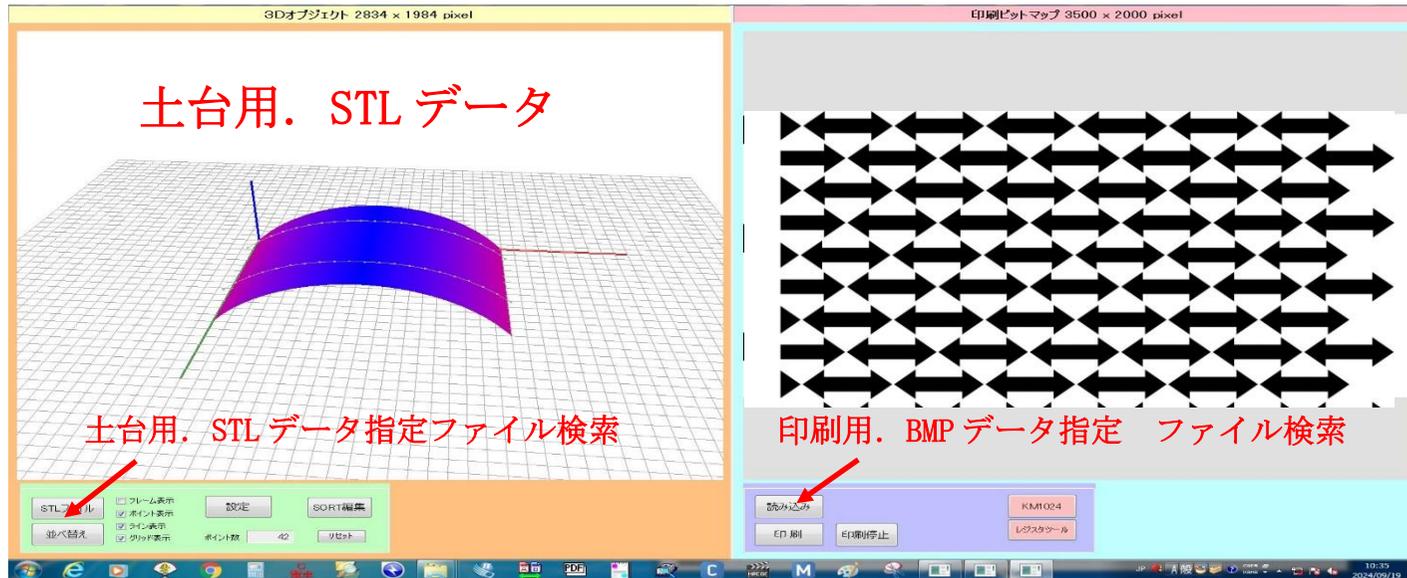


ii. 開発した 3D 曲面印刷制御ソフト

3D 曲面印刷制御ソフト操作画面



塗布印刷動作画面の説明 : 表示項目毎に説明

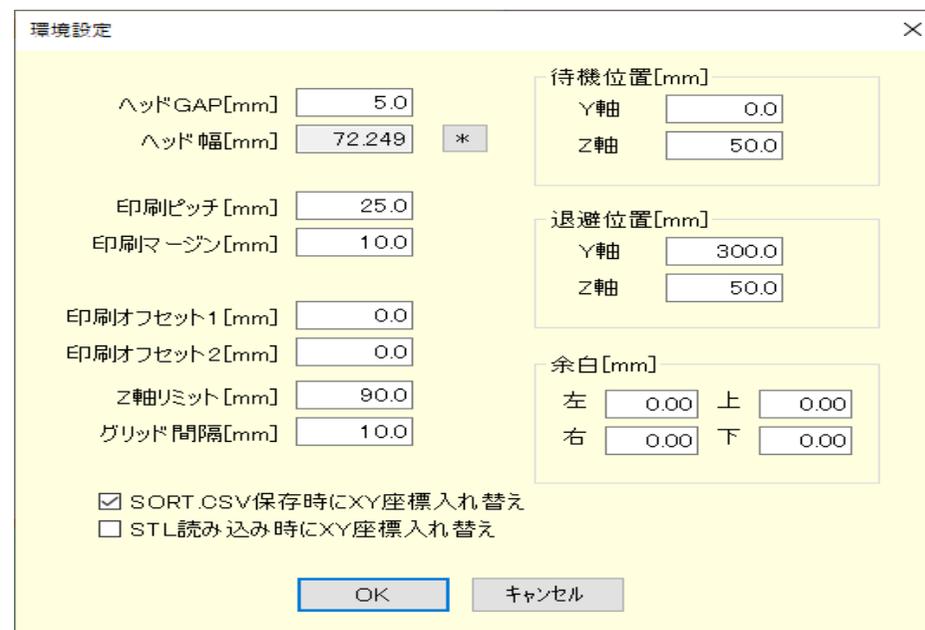


iii. ソフト動作実証用に製作したXYZ 3軸移動メカの操作説明

3D曲面印刷メカステージ制御ソフト操作画面

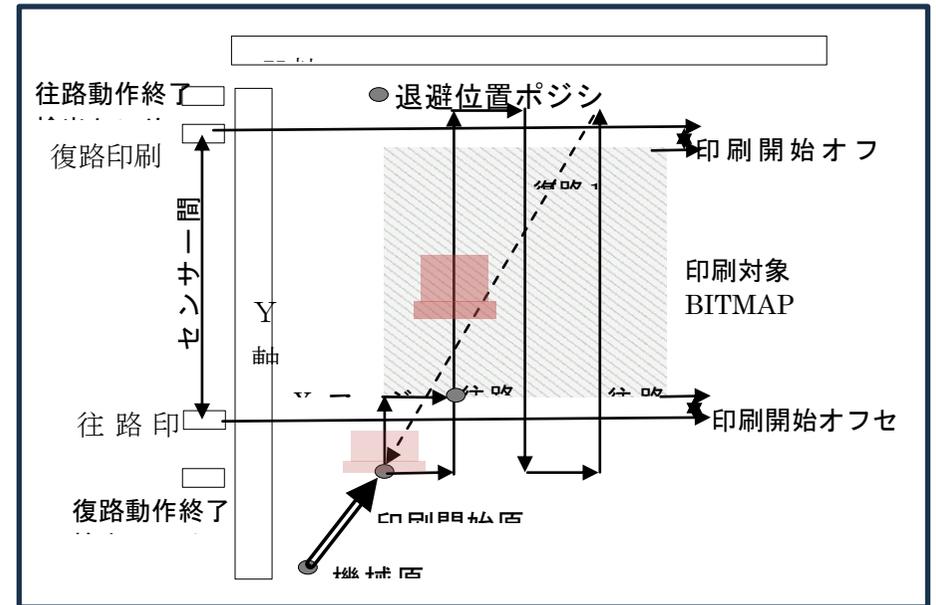
項目	内容	項目	内容
STLファイル	STLファイルを読み込みます	読み込み	印刷するビットマップファイルを読み込みます
並べ替え	3次元データを印刷用のトレースデータに変換します	印刷	読み込まれたデータの印刷処理を実行します
フレーム表示	オブジェクトをフレームで描画します	印刷停止	印刷処理を停止します
ポイント表示	印刷用のトレースポイントを描画します	KM1024	ヘッド基板の制御ダイアログを表示します
ライン表示	上記ポイントデータをラインで結びます	レジスタツール	FPGA制御基板のレジスタにアクセスするツールを起動します
グリッド表示	XYZ軸及びXY平面のグリッドデータを描画します		
リセット	3D描画の表示をリセットします		
設定	環境設定ダイアログを表示します		
SORT編集	SORT.CSVの位置情報を編集します(Z軸データのみ)		

3D曲面印刷の塗布域は以下の様に考えている



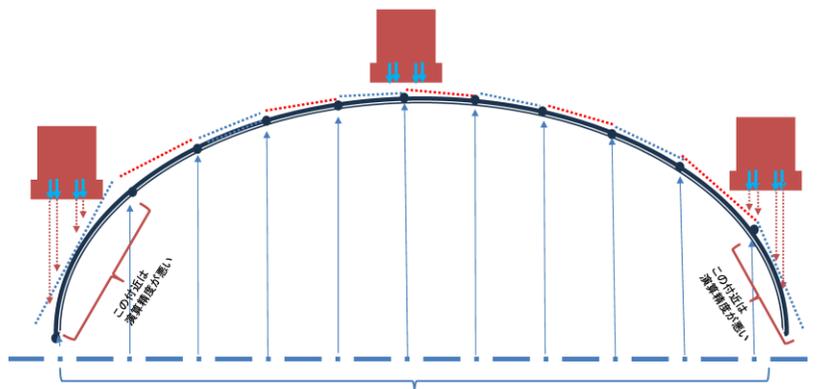
塗布域とヘッドと印刷対象を正確に位置合わせできるように、各種パラメータ設定する操作画面を作成した
3軸XYZメカからは、印刷開始信号とY軸エンコーダ信号で、印刷を行う

項目	内容
ヘッドGAP	印刷ヘッドからオブジェクトまでの間隔を設定します
ヘッド幅 (編集不可)	印刷ヘッドの幅を表示します (ヘッドの仕様に依存) ※下記項目の「ヘッド仕様編集」で変更可能
*	ヘッド仕様の編集ダイアログを表示します
印刷ピッチ	印刷方向への補間間隔を設定します
印刷マージン	印刷開始時のX軸方向の余白を設定します
印刷オフセット1	印刷開始時の往路センサーからのオフセットを設定します
印刷オフセット2	印刷開始時の復路センサーからのオフセットを設定します
Z軸リミット	Z軸モーターの最大値 (ソフトウェアリミット) を設定します
グリッド間隔	3Dオブジェクト描画用グリッド間隔を設定します
待機位置	往路側のヘッド待機位置を設定します
退避位置	復路側のヘッド退避位置を設定します
余白	印刷用ビットマップに対して上下左右に余白を挿入します
SORT.TXTでXY座標...	SORT.CSV書き込み時にXY座標を入れ替えます
STL読み込み時...	STLファイル読み込み時にXY軸座標を入れ替えます

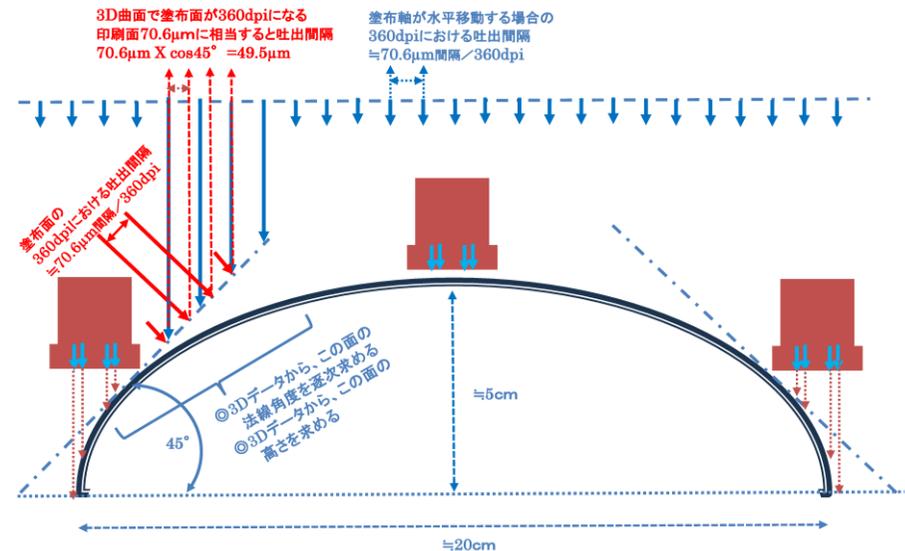


iv. 3軸メカは、曲面の凹凸に合わせてZ軸移動が可能であるが、3D曲面印刷で想定する画像を曲面上に印刷するには、3D-CADのSTLデータから、XYZ軸の曲面座標を演算で求める必要がある。また、Y移動は印刷面に対しY方向に一定速度・距離でしか動作しないので、曲面でも平面と同じ等距離間隔で塗布するには、ヘッドの吐出周期を曲面に合わせて可変する必要がある。

曲面へのヘッド移動とヘッド吐出周期の概念を示す



◎3DCADの.stlデータから
X・Y・Z軸の座標位置データの演算点イメージ
※演算ピッチ間隔は、等間隔で行っている
※位置ピッチ間隔演算回数は可変 (パラメータ設定)
◎法線角度 (傾斜角) 演算も、同上位置で行っている



3D曲面を上方から見ると、傾斜部の画像は短く見えるが、印刷時は傾斜部でも平面部と同じ画像長さで印刷する必要がある。3D-CADのSTLデータから、曲面部の長さを演算で求め、演算結果からヘッド吐出周期を再演算して画像データに反映させることによって、曲面部の画像長さを平面部と同等にする工夫が必要である。3D-CADのSTLデータから、XYZ軸の曲面座標を演算するが、塗布域内で演算する点は可変であるが、実用的な演算点と演算回数が望まれる。上図に、実用的な演算点と演算回数の場合のXYZ座標のイメージを示す
 ヘッドのノズル面幅の為、3D曲面の端部ではヘッドの4列ノズルが曲面外になり、4列ノズルごとに塗布面との距離が異なる現象がある

v. 3D-CADのSTLデータから、XYZ軸の曲面座標を演算した結果を示す塗布域内での演算点は可変パラメータを持つ。双方向印刷なので、往路と復路で塗布域がヘッド幅の為、異なる座標データになる。XYZ座標データフィル

number	1				
direction	0				
X	36.124	Y	0	Z	78.314
X	36.124	Y	10	Z	69.201
X	36.124	Y	20	Z	62.109
X	36.124	Y	30	Z	56.084
X	36.124	Y	40	Z	51.224
X	36.124	Y	50	Z	47.375
X	36.124	Y	60	Z	44.192
X	36.124	Y	70	Z	41.984
X	36.124	Y	80	Z	40.556
X	36.124	Y	90	Z	39.736
X	36.124	Y	100	Z	39.618
X	36.124	Y	110	Z	39.713
X	36.124	Y	120	Z	40.483
X	36.124	Y	130	Z	41.966
X	36.124	Y	140	Z	44.192
X	36.124	Y	150	Z	47.189
X	36.124	Y	160	Z	51.061
X	36.124	Y	170	Z	55.916
X	36.124	Y	180	Z	61.955
X	36.124	Y	190	Z	69.313
X	36.124	Y	200	Z	78.436
number	2				
direction	1				
X	108.373	Y	200	Z	78.314
X	108.373	Y	190	Z	69.201
X	108.373	Y	180	Z	62.109
X	108.373	Y	170	Z	56.123
X	108.373	Y	160	Z	51.26
X	108.373	Y	150	Z	47.375
X	108.373	Y	140	Z	44.192
X	108.373	Y	130	Z	41.984
X	108.373	Y	120	Z	40.556
X	108.373	Y	110	Z	39.736
X	108.373	Y	100	Z	39.618
X	108.373	Y	90	Z	39.713
X	108.373	Y	80	Z	40.483
X	108.373	Y	70	Z	41.966
X	108.373	Y	60	Z	44.192
X	108.373	Y	50	Z	47.189
X	108.373	Y	40	Z	51.174

印刷回数指定

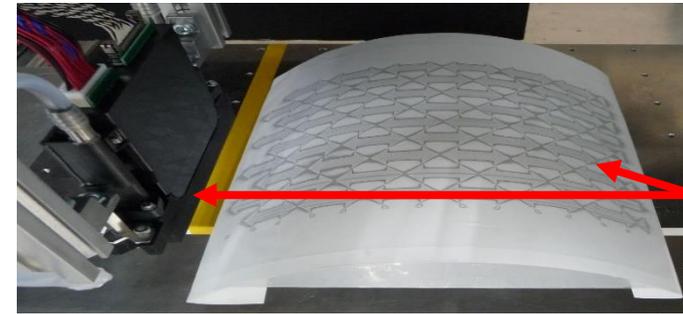
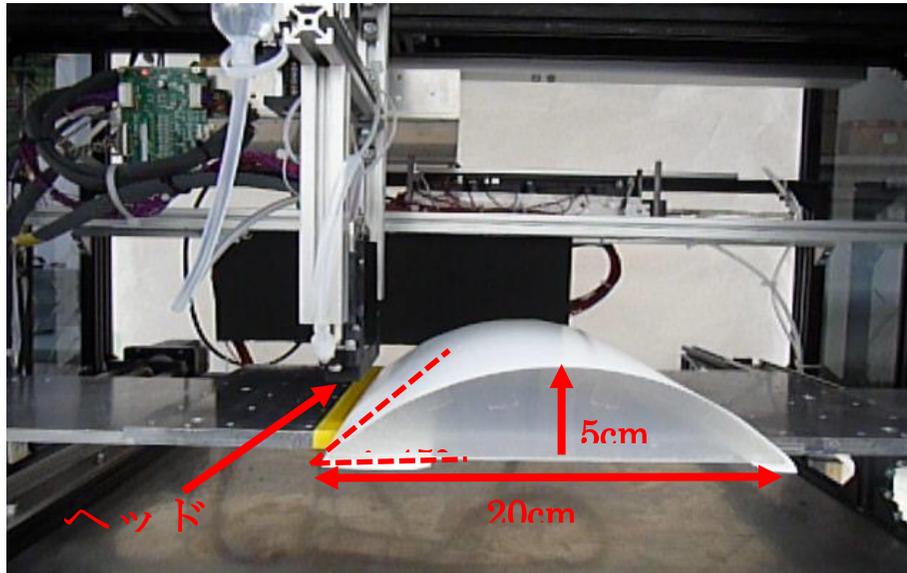
印刷方向指定=往路

往路：軸座

印刷方向指定=復路

復路：軸座標

3D曲面塗布結果



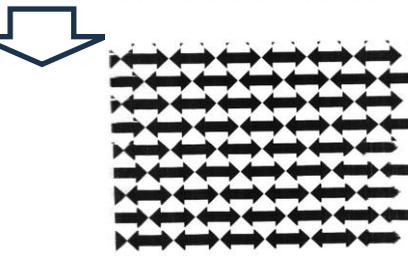
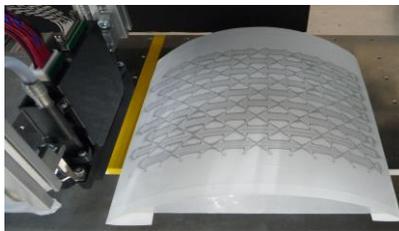
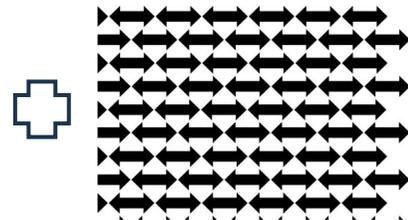
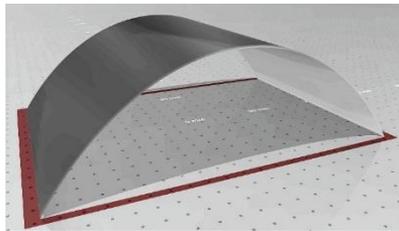
曲面端点では、ノズルと印刷面の距離が離れて文字が乱れる



ノズルからの吐出インク
 ※ノズルは4列
 曲面端点では、ノズル間で着弾距離が異なる

3. 印刷は「3D曲面印刷制御ソフト」による印刷評価

stlデータから取得する塗布土台 塗布土台に印刷するBMPデータ



塗布土台に曲面印刷結果

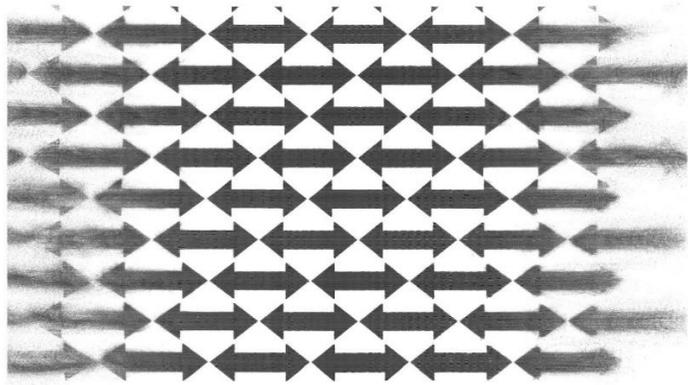
曲面印刷紙を平面に引きはがし

実験的に曲面土台を作成した 幅：20cm 曲面高さ：5cm



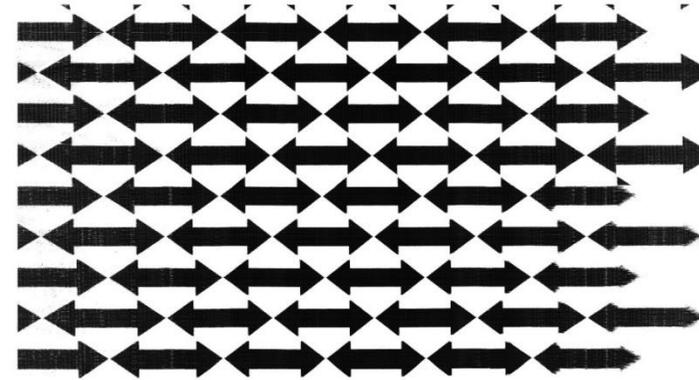
ソフト評価実験 1

曲面土台に印刷紙を張り付けて、Z軸の高さ移動無し、XY軸のみの平面印刷 ●想定通り曲面端部ではヘッドと印刷面の距離が多くインクが飛散する



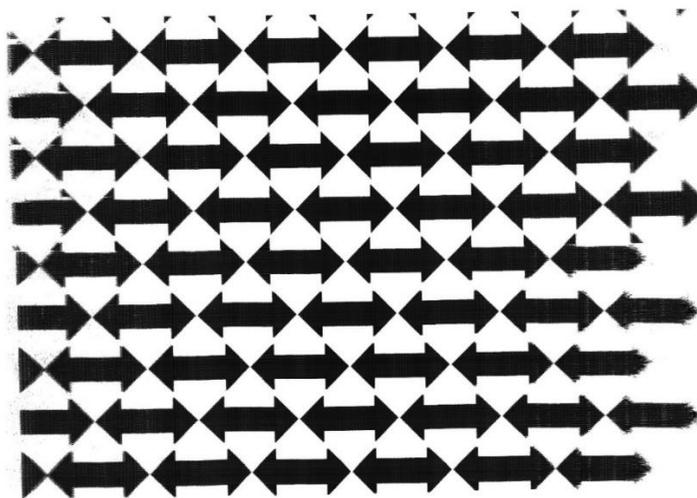
ソフト評価実験 2

曲面土台に印刷紙を張り付けて、Z軸の高さ移動付きだが、ヘッドの吐出周期を補正しない ●想定通り、曲面端部では印刷パターンが長くなる



ソフト評価実験 3

曲面土台に印刷紙を張り付けて、Z軸の高さ移動付きヘッドの吐出周期を補正付 ●想定通り、曲面端部では印刷パターンが補正される



●STLファイルから印刷BMPデータを創る

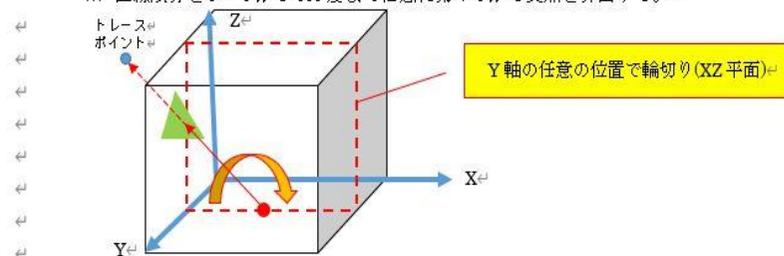
3Dデータ断面形状の検出

3Dデータ(STL)から印刷方向に沿った断面形状を取得し、形状の外側をトレースして印刷用データを生成する。Y軸上の任意の位置でXZ平面とオブジェクトとの交差するポイントに着目する。STLデータより3頂点のY座標範囲内に指定のY座標が含まれる三角形形状(Faces)をリストアップし、オブジェクトの中心から伸ばした直線と三角形との交点を求める。

三角形平面： $ax + by + cz + d = 0$ a, b, c ：平面の法線ベクトル d ：オフセット

直線： $P = P_0 + t * V$ P_0 ：直線の始点、 V ：直線方向ベクトル t ：パラメータ

※ 直線成分を $\theta = 0$ から180度まで任意に刻みながら交点を算出する。



求まった交点の延長上にポイントを設置することで、印刷トレースデータが生成される。

4. 印刷は「3D曲面印刷制御ソフト」による印刷評価のまとめ

- i. 3D-CADのSTLデータから、XYZ軸の曲面座標を演算し、更に曲面に応じてヘッド吐出周期を演算し、3D曲面塗布ソフトが機能することが分かった
- ii. 曲面の傾斜が45度では、曲面端部でヘッド幅や4列ノズル間隔等の影響で、インク滴が飛散し塗布画像が乱れる。
- iii. XYZ軸の曲面座標演算は、効果的に実行されるが、メカとの整合性で、微調整が必要である
- iv. 3D曲面塗布制御ソフトは、3D-CADの、STLデータと印刷画像BMPデータがあれば、塗布可能である。