

Mesh & Pin Weaver 3D マニュアル

～ 3Dプロップへのカメラ正対 2Dスマートワープ&ピンボーンリグ自動投影・ベイク ～ 本書は、Moho Pro 12 以降（Moho 12 / 13 / 14 対応）を対象とするプロ仕様の3D幾何投影・カメラ正対2Dリギングエンジン「MeshWeaver 3D」および「PinWeaver 3D」の公式マニュアルです。

第1部：Mesh & Pin Weaver 3D とは何か？

Mesh & Pin Weaver 3D は、Moho Pro の 3D 空間でアニメーションする立体のプロップ（小道具・背景・FoldWeaver で組み立てた複合パーツなど）から 3D 座標を抽出し、カメラ正対（2D スクリーン平面）のスマートワープメッシュおよびピンボーンリグへと数学的に投影・ベイクする双発エンジンです。

画像認識によるモーショントラッキングを一切使わず、Moho の完全な変換マトリクス計算により 3D 頂点座標を 2D スクリーン座標へ直接変換・投影するため、誤差やジッター（ブレ）のない 100% 正確な幾何学的同期を実現します。

1.1 従来の画像モーショントラッキングとの違い

比較項目	従来の画像モーショントラッキング	Mesh & Pin Weaver 3D（幾何学的投影ベイク）
トラッキング精度	パースの歪み、照明変化、単色面で外れ・ジッター（ブレ）が頻発。	誤差ゼロ（100% 完全同期）。頂点の幾何計算により、外れやブレは原理的に一切発生しません。
作業工程と手順	レンダリング → トラッカー配置 → 解析 → ベイクという煩雑な多段階工程。	ワンクリック（約 1 秒）。ガイド点／レイヤーを選択してショートカット（ Shift+W / Shift+P ）を押すだけで完了。
作画・塗りのしやすさ	傾いた斜め視点で作画が必要となり、ブラシやベジェ操作軸が歪みやすい。	カメラ正対（2D 正面平面）。紙に描く感覚で直感的に作画、影塗り、ポイント変形が可能です。
修正・イテレーション	3D アニメーション修正のたびに再レンダリングとトラッキング解析のやり直しが必要。	非破壊上書き。描いた絵を100%保持したまま、ボタン 1 発で最新のアニメーションに即座に再同期。

1.2 2大投影エンジン：メッシュワープ vs ピンボーン

Weaver パイプラインは、用途やリグ構造に応じて使い分ける 2 つの強力なエンジンを提供します：

エンジン	実行コマンド	出力リグ構造	最適なユースケース
MeshWeaver (メッシュワープ)	<code>we_meshweaver_tool</code> (Shift+W)	Auto_Warp_Rig └── Mesh_Warp (4 点スマートワープ) └── Paint_Canvas (自動 バインド)	曲面テクスチャ・ラッピング: 円柱、パイプ、看板、箱の表面など、4隅で囲まれた平面全体のパース変形や、楕円の膨らみを調整する用途。

エンジン	実行コマンド	出力リグ構造	最適なユースケース
PinWeaver (ピンボーン)	we_pinweaver_menu (Shift+P)	<pre> Auto_Pin_Rig ├── Pin_1 .. Pin_N (ピンボーン) └── Paint_Canvas (フレキシバインド) </pre>	自由形状・パーツピン留め: 任意頂点 (1~10点)、キャラクターのアクセサリー、なびくりボン・帯、関節に追従するバッジ、有機的な多点変形。

1.3 なぜ「カメラ正対 (2Dスクリーン空間)」なのか？

3D 空間上で回転・変形する立体のパーツに対して直接テクスチャを描こうとすると、面の傾きやパースによってブラシやベジェハンドルの操作軸が大きく歪んでしまいます。

Mesh & Pin Weaver 3D では：

- **MeshWeaver:** 3D の回転・パース追従の外枠 4 点スマートワープメッシュ (**Mesh_Warp**) が引き受け、フラットな作画平面 (**Paint_Canvas**) を提供します。
- **PinWeaver:** カメラ正対のピンボーン (**Pin_1..Pin_N**) が 3D 空間の頂点をスクリーン上で追従し、キャンバス自体を 3D 空間に傾けることなくスムーズに変形させます。

これにより、アニメーターは 3D の難しい座標や UV 展開を一切意識することなく、「紙の上に絵を描く感覚」で美しいベクター線・セル画調の陰影・ハイライトを自在に作画・調整 することができます。

第2部：インストールとセットアップ (アイコン版 vs メニュー版)

FoldWeaver 3D と同様に、MeshWeaver 3D および PinWeaver 3D スクリプトはお好みの作業スタイルに応じて、「アイコン版 (Tools パレット配置)」または「メニュー版 (スクリプトメニュー配置)」、あるいはその両方を同時にインストールして運用できます。

2.1 ツール (Tool) とボタン (Button) の根本的な違い

Moho のスクリプトは大きく「tool (選択・調整ツール)」と「button (ワンショット即時実行ボタン)」に分類されます。

- **ツール (Tool) :**
 - クリックするとそのツールがアクティブ (選択状態) になり、ビューポート上でドラッグ操作やパラメータ調整を行います。
- **ボタン (Button) :**
 - クリックやショートカットを押した瞬間、ツールを持ち替えることなくワンアクションで処理を即座に実行 します。
 - 現在選択しているツール (ポイント変形、ポイント追加、ブラシなど) の選択状態が維持されるため、作画や編集の手を止めることなく瞬時に投影・ベイクを実行できます。
 - **MeshWeaver 3D および PinWeaver 3D は、この超高速な「Button」形式として設計されています。**

2.2 インストール方式の選択

【方式A】アイコン版（Tools パレットへの配置）

Moho のツールパレット内に専用アイコンを常時表示させてクリックしたい場合に選択します。

- 配置先フォルダ: [Moho カスタムコンテンツフォルダ]/scripts/tool/
- 配置するファイル:
 - **MeshWeaver**: we_meshweaver_tool.lua および we_meshweaver_tool.png
 - **PinWeaver**: we_pinweaver_tool.lua および we_pinweaver_tool.png
- **_tool_list.txt** の編集（必須）: ツールパレットにアイコンを表示させるため、同じ scripts/tool/ フォルダ内にある **_tool_list.txt** をテキストエディタで開き、group Weaver（またはお好みのグループ）配下に以下を追記します:

```
group Weaver
button we_meshweaver_tool ...
button we_pinweaver_tool ...
```

[!NOTE] Weaver シリーズ一括導入時の **_tool_list.txt** 記述例

```
group Weaver
button we_foldweaver_add_marker_tool ...
button we_foldweaver_align_tool ...
button we_foldweaver_clear_tool ...
button we_foldweaver_origin_tool ...
button we_meshweaver_tool ...
button we_pinweaver_tool ...
```

行頭には必ず **button** と記述し、タブ（または半角スペース）で区切って拡張子なしのファイル名を記述します。末尾の **...** はショートカットキーのプレースホルダーです。

【方式B】メニュー版（スクリプトメニューへの配置）

ツールパレットをスッキリ保ち、上部メニューバー（Scripts メニュー）から実行したい場合に選択します。

- 配置先フォルダ: [Moho カスタムコンテンツフォルダ]/scripts/menu/Weaver/（Weaver フォルダを新規作成）
- 配置するファイル:
 - we_meshweaver_menu.lua および we_pinweaver_menu.lua をコピー配置します。
- 特徴:
 - 上部メニュー階層に以下のようにスマートに表示されます:
 - **Scripts > Weaver > MeshWeaver: Project & Bake**
 - **Scripts > Weaver > PinWeaver: Project & Bake**
 - **_tool_list.txt** の編集は不要です。Moho 起動時に自動認識されます。
 - キーボードショートカットを割り当てれば、アイコン版と全く同じ爆速感覚で呼び出し可能です。

2.3 キーボードショートカットの割り当て（Shift+W および Shift+P）

Weaver パイプラインの真価を引き出すには、専用ショートカットの割り当てが不可欠です。Weaver シリーズ全体で美しく統一された **Shift+W**（Mesh/Warp）および **Shift+P**（Pin）を強く推奨します。

スクリプト	推奨ショートカット	頭文字 / 役割	Weaver エコシステムの連携性
MeshWeaver	Shift+W	Warp（4点スマートワープ）	Shift+M (Marker), Shift+A (Align), Shift+C (Clear), Shift+O (Origin) と自然に連動
PinWeaver	Shift+P	Pin（ピンボーン投影）	キー競合を起こさず多点ピンボーンリグを直感的に呼び出し

ショートカット設定手順：

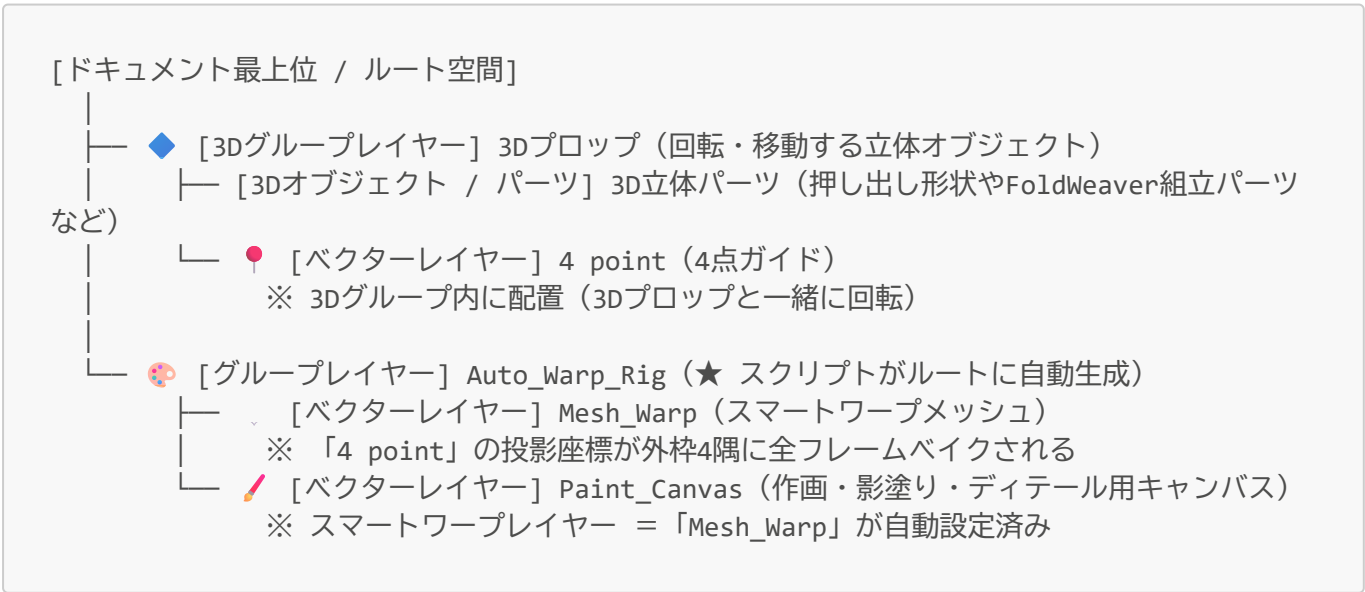
- Moho 上部メニューから **編集 > キーボードショートカット（Edit > Keyboard Shortcuts）** を開きます。
- 左上の検索ボックスに **Weaver** またはスクリプト名を入力します：
 - MeshWeaver の場合：**MeshWeaver** を検索 → **Shift+W** を割り当て
 - PinWeaver の場合：**PinWeaver** を検索 → **Shift+P** を割り当て
- OK** をクリックして設定を保存します。

第3部：システム構成とレイヤー階層構造

MeshWeaver 3D および PinWeaver 3D は、3D プロップ内に配置されたガイド情報を元に、ドキュメントの最上位（ルート空間）にカメラ正対の専用リグ構造を全自動で構築します。

3.1 2大リグのレイヤー階層ツリー

【構造A】 MeshWeaver リグ階層（Auto_Warp_Rig）



【構造B】 PinWeaver リグ階層（Auto_Pin_Rig）

[ドキュメント最上位 / ルート空間]



3.2 レイヤーの役割と自動設定仕様

エンジン	構成要素名	種別	生成元	役割と動作仕様
MeshWeaver	4 point (ガイド)	ベクター	ユーザー作成	【3D幾何ガイド】 3Dグループ内に配置する4頂点の四角形レイヤー。テクスチャを貼りたい面の4隅を示し、MeshWeaverが全フレームのスクリーン投影座標を算出します。
MeshWeaver	Auto_Warp_Rig	グループ	自動生成	【カメラ正対リグコンテナ】 ルートに生成。親の3D回転から独立し、常にカメラの正面（2Dスクリーン平面）を向くフラットな作画環境を提供します。
MeshWeaver	Mesh_Warp	ベクター	自動生成	【スマートワープメッシュ】 角が尖った四角形（ MOHO.PEAKED ）メッシュ。4点ガイドの全フレーム投影座標を受け取り、正確に伸縮・変形します。
MeshWeaver	Paint_Canvas	ベクター	自動生成	【作画・テクスチャキャンバス】 塗りつぶし、セル画調の落ち影、ハイライト、線画を描き込むキャンバス。 ★ 自動バインド: レイヤー設定（Vectorsタブ）の**「ワープレイヤーを選択（Select warp layer）」に Mesh_Warp が全自動で割り当てられます**。
PinWeaver	ガイド頂点	ベクター 頂点	ユーザー作成	【3Dガイド頂点】 動く3D構造体上に配置された1~10点の選択頂点（または選択レイヤー内の全頂点）。
PinWeaver	Auto_Pin_Rig	ボーン	自動生成	【カメラ正対ピンボーンコンテナ】 ルートに生成される最上位ボーングループ。生成されたピンボーン群と作画キャンバスを内包します。

エンジン	構成要素名	種別	生成元	役割と動作仕様
PinWeaver	Pin_1 .. Pin_N	ピンボーン	自動生成	【投影ピンボーン】 長さゼロのピンボーン（ <code>fLength = 0, fStrength = 6.0, fIsPin = true</code> ）。各ボーンの位置が対応する3Dガイド頂点のスクリーン座標にロック＆ベイクされます。
PinWeaver	Paint_Canvas	ベクター	自動生成	【アタッチメントキャンバス】 <code>Auto_Pin_Rig</code> 内に配置。ここに描かれたベクター画は、動くピンボーン群によって滑らかに変形・追従します。

第4部：基本操作手順とワークフロー（ワンクリック投影ベイクチュートリアル）

両エンジンともに、**ワンクリック（約1秒）**の超高速な実行フローを共有しており、4隅の面ワーブ（MeshWeaver）または多点のピン留め・アタッチ（PinWeaver）の目的に応じて直感的に使い分けることができます。

4.1 ワークフローA：4点曲面投影（MeshWeaver / **Shift+W**）

円柱、パイプ、看板、箱の表面、湾曲したプロップのテクスチャ貼り付けに使用します。

【MeshWeaver ワークフロー（約1秒）】

- ①「ガイド配置」：3Dグループ内に4頂点の四角形ベクターレイヤー（例："4 point"）を作成
- ②「選択」：ガイドレイヤーをクリックして選択（アクティブ化）
- ③「ベイク」：ショートカット **Shift+W** を押す（または MeshWeaver ボタンをクリック）
- ④「作画」：自動選択された Paint_Canvas にそのまま直接お絵描き！

ステップ1：3D空間内に4点ガイドを配置する

1. 3Dレイヤーや FoldWeaver を使用して、3Dプロップ（回転する円柱やボックスなど）のアニメーションを作成・確定します。

[!TIP] 【FoldWeaver 連携：Shift+O による原点リセットと奥行き計算】 ガイドを配置する前に、プロップの親グループを選択して **FoldWeaver** の **Shift+O（原点リセット）** を押すと、原点がワールド原点（0, 0, 0）にピタリ一致します。（※底面の頂点やプロップの中心頂点を1点選択して **Shift+O** を押すだけで、その正確な重心位置へ原点がスナップします）。例えば円柱の半径が 0.5 の場合、ガイドレイヤーの「位置 Z」にそのまま 0.5 を入力するだけで、引き算の計算をすることなく曲面の表面へ正確にガイドを密着配置できます！

2. 3Dグループの中に、新規ベクターレイヤー（名前は任意。例: 4 point）を作成します。
 - ※3Dグループ内に配置することで、3Dプロップの回転・移動に完全に追従します。

3. 四角形ツール（Rectangle）またはポイント追加ツールで、テクスチャを貼りたい範囲に合わせて**頂点数がちょうど 4 点の四角形**を描きます。

ステップ2：ワンクリック投影ベイク（Shift+W）

1. 作成したガイドレイヤー（4 point）が選択されていることを確認します。
2. **Shift+W** を押します（または MeshWeaver ボタンをクリック）。
3. 【内部の全自動処理（約1秒）】：
 - ドキュメントのルートに **Auto_Warp_Rig** を自動生成。
 - 内部に **Mesh_Warp** と **Paint_Canvas** を生成し、スマートワープレイヤーを自動バインド設定。
 - 開始フレームから終了フレームまで全フレームを走査し、3Dガイドのスクリーン投影座標を **Mesh_Warp** の角の尖った4隅にベイク。
 - 自動的にアクティブレイヤーを **Paint_Canvas** へ切り替えて待機します。

ステップ3：テクスチャと影の作画

1. タイムラインの再生ヘッドを「**フレーム 0**」に移動します。
2. **Paint_Canvas** 上で、Moho 標準のブラシ、塗りつぶし、グラデーションツールを使ってイラストや影を描き込みます。
3. タイムラインを再生すると、3Dプロップの回転やパースに合わせて描いた絵が100%完全同期して滑らかに変形・追従します！

4.2 ワークフローB：多点／ピンボーン投影（PinWeaver / Shift+P）

キャラクターのアクセサリー、なびくりボン・帯、メカパーツのジョイント、有機的な多点表面ピン留めに使用します。

【PinWeaver ワークフロー（約1秒）】

- ①「頂点選択」：3Dベクターレイヤー上の 1～10 点の頂点を選択（またはガイドレイヤーを選択）
- ②「ベイク」：ショートカット **Shift+P** を押す（または Scripts > Weaver > PinWeaver を実行）
- ③「作画・貼付」：Auto_Pin_Rig 内の Paint_Canvas にイラストを描画またはペースト！

ステップ1：3D空間内でガイド頂点を選択する

1. 3Dキャラクター、メカ、プロップのアニメーションを作成します。
2. 3D構造内のベクターレイヤーを選択します：
 - **特定の頂点を指定する場合**: Moho のポイント選択ツール（G）で、ピン留めしたい 1～10 点の頂点をハイライト選択します。
 - **レイヤー全体を指定する場合**: 個別の頂点を選択していない場合、PinWeaver は現在選択されているベクターレイヤー内の全頂点（最大10点まで）を自動収集します。

ステップ2：ワンクリック投影ベイク（Shift+P）

1. **Shift+P** を押します（またはメニューから実行）。
2. 【内部の全自動処理（約1秒）】：

- ドキュメントのルートに **Auto_Pin_Rig**（ボーンレイヤー）を自動生成。
- ガイド頂点に対応するゼロ長ピンボーン（**Pin_1 .. Pin_N**、広域影響力 **fStrength = 6.0**）を生成。
- **Auto_Pin_Rig** 内に **Paint_Canvas**（ベクターレイヤー）を自動生成。
- タイムライン全域を走査し、各ピンボーンにスクリーン投影座標を高速ベイク。
- 自動的にアクティブレイヤーを **Paint_Canvas** へ切り替えて待機します。

ステップ3：ピン変形アートワークの作成

1. 「フレーム 0」 に移動します。
2. **Paint_Canvas** 上にバッジ、リボン、メカを目盛り、アクセサリなどを描画します。
3. タイムラインを再生すると、親となる3Dオブジェクトの動きに合わせてピンボーンが滑らかに駆動し、描いたイラストが自然に変形・追従します。

4.3 タイムラインの役割と推奨ワークフロー

MeshWeaver および PinWeaver は、直感的なタイムラインワークフローを採用しています：

タイムライン状況	挙動 / 役割	推奨される作業内容
スクリプト実行時	どのフレームで実行しても OK	フレーム0、フレーム1、タイムラインの途中など、どのフレームでスクリプトを実行しても、メモリ上でプロジェクト全域（フレーム0および開始～終了フレーム）を走査して一括ベイクします。
フレーム 0（セットアップ）	【作画・イラスト調整】	基本ポーズとボーンの初期位置がベイクされます。Moho の標準作法通り、ベクターアートの作画やカーブ調整は必ずフレーム0で行ってください。
フレーム 1 ～ 終了フレーム	【アニメーション再生確認】	全フレームに 3D 追従キーフレームがベイクされています。タイムラインを再生して、滑らかに同期変形する様子を確認してください。

第5部：実践スタイリング&作画テクニック（円柱・曲面・セル画影の表現）

Mesh & Pin Weaver 3D の最大の強みは、「土台の 3D 追従・パース変形は数学的投影が完璧に行い、表面の曲面表現や有機的な装飾、作画表現は 2D の手描き感覚で自由に行える」という明確な役割分担にあります。

【役割分担の黄金ルール】

- ・ Mesh_Warp / Pin Bones（ベイク担当）：3Dの回転・移動・パース（拡大縮小）を全自動で引き受ける土台（変更不要）
- ・ Paint_Canvas（作画・表現担当）：ハンドル操作・頂点変形・バッジ貼付・影塗りを 2D 空間上で直感的に作り込む

5.1 円柱・パイプの曲面（楕円フチ）を表現するテクニック（MeshWeaver）

円柱パーツ、パイプ、缶、ボトル、キャラクターの手足など、円筒形オブジェクトのフチの丸みや回り込みを表現する手順です：

1. ベースの四角形を描く（Frame 0）：
 - **Paint_Canvas** 上で、ガイドの 4 隅に合わせた長方形を描きます（塗りつぶし Fill または線画 Stroke）。
2. ポイント変形ツール（**T**）でカーブを作る：
 - 上下の水平な辺の中央付近をドラッグして、円柱のフチの傾きに合わせた**楕円カーブ（膨らみ）**を作ります。
 - ベジェハンドルや曲率（Curvature）ツール（**C**）を使って、円柱の厚み・パースにピッタリ合うようにカーブを微調整します。
3. 再生して追従を確認：
 - タイムラインを再生すると、外枠の **Mesh_Warp** が 3D プロップの回転に合わせて伸縮・傾斜するため、**Frame 0** で作った美しい楕円カーブの形状を完全に保ったまま 3D 空間を滑らかに回り込みます！

5.2 有機的な装飾・パーツピン留めテクニック（PinWeaver）

PinWeaver は、動く 3D オブジェクトの任意の位置に 2D ベクターパーツをピン留めしたい場合に威力を発揮します：

- 浮遊バッジ・胸のエンブレム・肩当て：
 - 3D キャラクターの胸や肩のガイド頂点（1～2点）をベイクします。
 - **Paint_Canvas** 上にバッジを描画します。複雑な 3D ボーンバインドを行うことなく、正確な 3D 位置と傾きに追従します。
- なびくりボン・帯・マフラー（多点ピン変形）：
 - 動く 3D カーブやエッジに沿って 3～5 点のガイド頂点を選択・ベイクします。
 - 各ピンを結ぶようにしなやかなリボンを描画します。ピンボーンの空間運動（**fStrength = 6.0** による滑らかなボーンウェイト補間）に従って、リボンが有機的に伸び縮み・ねじれ・しなります。
- メカのメーター・ネジ・HUD オーバーレイ：
 - 計器類やネジ、HUD 表示を、回転するマシンパーツやコックピットに直接ピン留めできます。

5.3 アニメ調の「落ち影」「ハイライト」「可変線幅」の表現

3D CG ソフトの自動ライティングだけに頼ると、アニメ特有の「メリハリのあるセル画調の影」を意図通りに塗ることは困難です。Weaver パイプラインなら、2D 作画の手法そのままに立体へ美しい陰影を落とせます：

- セル画調の縦シャドウ（円柱の陰影）：
 - **Paint_Canvas** に円柱の側面に沿った影色ポリゴン（乗算 Fill や半透明色）を描き込みます。
 - 3D 回転に伴い、スマートワープやピンボーンによって影の幅がパースに合わせて自動で伸び縮み（圧縮・伸長）します。
- 手描き感のある輪郭線（可変線幅）：

- Moho 標準の線幅ツール (W) を使って、角の線を太く、中央の線を細くするなど、手描きアニメ特有のニュアンスを自由自在に付与できます。
- **グラデーションとテクスチャブラシ:**
 - 線形・放射グラデーション塗りや、有機的なベクターブラシ効果も **Paint_Canvas** 上で 100% ネイティブに適用可能です。

5.4 実践テクニック：Moho 3Dレイヤー（押し出し・膨張）のゴミ線消し込みと完全セルルック化

Moho Pro の標準機能であるベクターレイヤーの 3D 化（3D Extrusion / 押し出し・膨張）には、「**中心の元ベクター線が内部に残り、上面・側面・下面に不要な交差線（ゴミ線）や透け線が露出してしまう**」という長年の課題が存在します。

Mesh & Pin Weaver 3D は、この「3D の線の破綻」を完全に克服し、ピュアな 2D セルルックへと昇華させる特効薬としても絶大な威力を発揮します。

■ 解決の思想：3Dを「描画結果」ではなく「運動の足場（アンカー）」にする

3D 押し出しメッシュそのものを最終画面としてレンダリングするのではなく、「**3D は正確な運動・パースの足場としてのみ使い、画面に見える面や線はすべて Weaver 側の 2D キャンバスで上描き・覆い隠す（消し込む）**」という発想の転換を行います。

ext 【ゴミ線消し込みと完全セルルック化のフロー】 ① Moho 3D オブジェクトの角・頂点を選択 ② Weaver 投影バイク (Shift+W / Shift+P) ③ カメラ正対の 2D キャンバス (Paint_Canvas) が自動生成 ④ クリーンな面塗り・外枠線を描画（不要な内部ゴミ線を100%遮蔽・消し込み） ⑤ 【完成】ゴミ線のない完全な手描きセルルックプロップ！

■ 具体的な使い分けとテクニック

1. **面全体をスッキリ綺麗にしたい場合 (MeshWeaver / Shift+W) :**
 - 直方体（本・箱・スマホなど）の表紙や側面の 4 頂点を選び、Shift+W で 4 点メッシュをバイクします。
 - Paint_Canvas 上で美しい面塗りやクリーンな外枠線を描くだけで、**裏側に透けていた余計な中心線や内部の交差線が完全に隠蔽（消し込み）**され、歪みのないクリアな面が完成します。
2. **角のゴミ線を消したい／ワンポイント装飾を乗せたい場合 (PinWeaver / Shift+P) :**
 - 直方体の角（エッジの頂点）や装飾を置きたい位置を選び、Shift+P でピンボーンをバイクします。
 - Paint_Canvas 上に消し込み用のパッチ（遮蔽シェイプ）や、手描きタッチの装飾（留め具、ボタン、タイトルロゴなど）を描くことで、3D の不自然な厚み線を隠しつつ、手描きの温もりを付与できます。

第6部：3Dアニメーション修正時の非破壊イテレーション（再バイク手順）

アニメーション制作では、「3Dプロップの回転タイミングを変えたい」「カメラワークを変更したい」「キャラクターのポーズタイミングを直したい」といった修正が頻繁に発生します。

従来の画像モーショントラッキングでは、修正のたびに「再レンダリング → トラッキング再解析 → 再ベイク・貼り直し」という膨大な手戻りが発生していましたが、Mesh & Pin Weaver 3D では **描いた絵を 100% 保持したまま、ワンクリックで最新アニメーションに瞬時に再同期** できます。

【アニメーション修正時の再ベイク手順（レイヤー削除不要！）】

- ① 3Dプロップ／キャラクターの回転・移動・カメラのタイミングを修正
- ② 3D構造内のガイドレイヤー（またはガイド頂点）を選択
- ③ 再度 Shift+W (Mesh) または Shift+P (Pin) を押す（約1秒で最新データへ上書き更新完了！）

6.1 既存レイヤーや描いた絵の削除は一切不要

- **描いた絵 (Paint_Canvas) の完全保護:**
 - Paint_Canvas に描いた色塗り、線画、楕円フチのカーブ形状、バッジ、テクスチャ、落ち影などは一切削除・初期化されません。
- **キーフレームのみを高速上書き更新:**
 - MeshWeaver: 既存の Auto_Warp_Rig と Mesh_Warp を自動検出し、**4隅のキーフレーム座標のみを最新の 3D アニメーションに合わせて高速上書き（リベイク）** します。
 - PinWeaver: 既存の Auto_Pin_Rig と Pin_1..Pin_N ボーンを自動検出し、描画されたベクター画やボーン影響力を保持したまま、全フレームの位置キーフレームのみを高速更新します。

6.2 制作現場でのメリット

1. **リテイク時のストレスゼロ:** 監督やクライアントからの「プロップの回転速度を半分にして」「もっと手前に倒して」「動きのタイミングをずらして」といった急なリテイクに対しても、3D アニメーションを直して Shift+W または Shift+P を 1 回押すだけで、テクスチャ作画やバッジが完全に追従します。
2. **作画先行ワークフロー:** 3D の動きやカメラワークが完全に確定する前であっても、先行して Paint_Canvas で絵やディテールを作り込んでおくことができます。
3. **マルチパス・ポリッシング:** 3D の動きの詰めと 2D ベクター作画のニュアンス調整を、制作のどの段階でも自由に行き来しながらブラッシュアップできます。

6.3 【プロ必読】Mohoスマートワープの評価仕様と追従表示の仕組み

MeshWeaver で作画を行ったりアクションを切り替える際、知っておくべき **Moho 内部のスマートワープ (Mesh Warp) 描画仕様** があります。

① スマートワープの変形原理 (Frame 0 = Rest Pose / 基準ポーズ)

- Mohoのスマートワープは、**「Frame 0 (セットアップポーズ) のメッシュ形状」を基準 (Rest Pose) とし、「Frame 1 以降のメッシュ変形量 (差分)」**を計算して Paint_Canvas のベクター描画を歪ませて投影します。
- そのため、テクスチャ作画は必ず **Frame 0** で行い、アニメーションの変形結果は **Frame 1 以降で確認** するのが基本原則となります。

② アクション切り替え時や静止編集時に「絵が置いていかれる」現象の理由

- **メッシュ (Mesh_Warp)** : 実際のベクター頂点データが存在するため、アクションの切り替えや頂点移動時に即座に新しい位置に枠線が移動します。
- **ペイントカーブ (Paint_Canvas)** : 頂点座標そのものが移動しているのではなく、親メッシュの歪みに合わせて GPU/レンダリングエンジンがリアルタイムに歪ませて表示 (ポストエフェクト投影) しています。
- **Mohoの内部キャッシュ仕様**: Mohoのビューポートは、静止状態の編集時やアクション切り替え直後はワープの再計算を一時保留し、**タイムラインの再生 (フレーム移動・スクラブ)** が発生した瞬間に**ワープ変形を再評価して一括描画する仕組み**になっています。そのため、「メッシュ枠だけ動いて絵が置いていかれた (アニメーション再生時しかついてこない)」ように見えることがあります。

③ 対処法 (ワンタッチで最新ポーズにスナップ)

- アクションを切り替えた後やガイド調整後に絵の追従が遅れている場合は、**タイムラインを再生 (スペースキー)** するか、**左右矢印キーで 1 フレーム進めて戻す** だけで、Mohoのワープ再計算が強制的にトリガーされ、ペイントカーブが最新のメッシュ形状に完璧に追従・スナップします。

第7部：技術仕様とエラーハンドリング (Fail-Fast設計)

Mesh & Pin Weaver 3D は、プロのアニメーション制作現場での絶対的な安定性を保証するため、厳格な安全性チェック、Fail-Fast (即時中断) データ検証、および高精度な幾何学計算エンジンを備えています。

7.1 Fail-Fast (即時中断) 検証と安全なエラー通知

両スクリプトは、ドキュメントの変更を行う前に、選択されているデータの整合性を即座に検証します。条件を満たさない場合、推測による代用処理を行わず**即座に処理を中断 (Fail-Fast)** します：

【MeshWeaver の検証項目】

- **ベクターレイヤー種別チェック**:
 - 選択レイヤーがベクターレイヤーでない場合、処理を実行せずダイアログで通知します：`"Please select a 4-point Vector Guide Layer."`
- **頂点数チェック (厳格な 4 点厳守)**:
 - 選択されたガイドレイヤーの頂点数が 4 点以外 (3 点以下、または 5 点以上) の場合、推測で補完することなく**即座に処理を中断 (Fail-Fast)** し、ダイアログで通知します：`"The selected Guide Layer must contain exactly 4 points."`

【PinWeaver の検証項目】

- **ガイド頂点の存在確認チェック**:
 - ドキュメント内で頂点が選択されておらず、有効なベクターレイヤーも選択されていない場合、処理を中断して通知します：`"PinWeaver Error: No guide points found in selection or document."`
- **最大 10 点の安全リミット (MAX_POINTS = 10)**:
 - 検出された頂点数が 10 点を超える場合、ボーン階層の肥大化やパフォーマンス低下を防ぐため処理を中断します：`"PinWeaver Error: Too many points found (%d). Please limit guide points to 10 or fewer."`

7.2 完全変換マトリクス幾何投影エンジン

- **多階層 3D トランスフォーム&カメラパースの完全解釈:**
 - 親グループが何重に階層化されていても、Moho の `layer:GetFullTransform(frame, layerMat, doc)` を通じて、親レイヤーの 3D 移動、X/Y/Z 回転、スケール、反転、およびドキュメントカメラのパースペクティブを統合した**完全な合成変換マトリクス**を全フレームで正確に取得します。
- **二重パース歪みの排除:**
 - スクリーン 2D 座標への直接マトリクス変換 (`layerMat:Transform(screenPos)`) を行うため、手動計算によるパースのズレや拡大歪みが一切発生せず、3D ガイド頂点と 100% 完全に一致します。
- **シャープな四角形メッシュの維持 (MeshWeaver) :**
 - 全フレームにおいて Moho 公式 API である `M_Point:SetCurvature(MOHO.PEAKED, f)` を適用し、角が丸くならない直線エッジのクアッドメッシュを維持します。
- **ピンボーン影響カフィールドの設定 (PinWeaver) :**
 - 長さゼロのピンボーン (`fLength = 0, fStrength = 6.0, fIsPin = true`) を生成し、滑らかなボーンウェイト補間と精密なスクリーンバインドを実現します。

7.3 バージョン互換性とアンドゥ保護

- **Moho Pro 12 / 13 / 14 完全対応:**
 - 各バージョンで仕様の異なるスマートワープレイヤーの設定プロパティ (`fMeshLayer / fWarpLayer`) を安全に判別し、どのバージョンでも確実に `Mesh_Warp` がバインドされます。
 - 各 Moho バージョン間のピンボーンプロパティの違いも安全な関数呼び出し (`pcall`) で保護して設定します。
- **完全なアンドゥ保護 (PrepUndo) :**
 - スクリプト開始時に `doc:PrepUndo(nil, "...")` を実行しているため、ワンアクション (`Ctrl+Z` / macOS は `Cmd+Z`) で実行前の状態へ完全にロールバックできます。

■ 補足・重要：MeshWeaverとPinWeaverの変形精度と使い分け

1. MeshWeaver 3D (スマートメッシュ)

- **4点内部の完全変形:** 4頂点 (枠内) で囲まれた領域の描画・テクスチャは、Mohoのスマートワープエンジンにより**100%正確な幾何学精度で歪みなく完璧に変形・投影**されます。影響度 (Strength) による減衰がないため、四角い看板や剛体的な円柱 (ドラム缶・パイプ等) の4点内変形に最も適しています。

2. PinWeaver 3D (ピンボーン)

- **ボーン影響度 (Bone Strength) 依存の柔軟変形:** ピンボーンの変形度は、設定された**「ボーンの影響度 (Bone Strength / 影響範囲)」**に直接依存します。
- **親子継承による曲面追従:** 3Dガイドの4隅ピンボーン (親) に中間の制御ボーン (子) をペアレンティングし、各ボーンの影響度 (Strength) を適切に調整することで、しなやかに曲がる円柱 (腕・脚・有機的な体) の中間カーブを滑らかに動的追従させることができます。