

ObjWeaver 3D & OBJStroke 公式マニュアル

～ 3D OBJモデルからセルアニメ調トゥーン塗り・乗算影・動的ハッチング線画・金属調・倍率同期リグを完全自動生成 ～

本書は、Moho Pro 12.5 以降（Moho 12 / 13 / 14+ 完全対応）を対象とするプロ仕様の3D幾何投影・2.5Dベクターリギングエンジン「ObjWeaver 3D」および「OBJStroke」の公式マニュアルです。

※本ツールはWindows環境を中心に検証されていますが、内部アーキテクチャ（Luaスクリプト・MohoネイティブAPI）はmacOS環境でも同様に動作するよう設計されています。

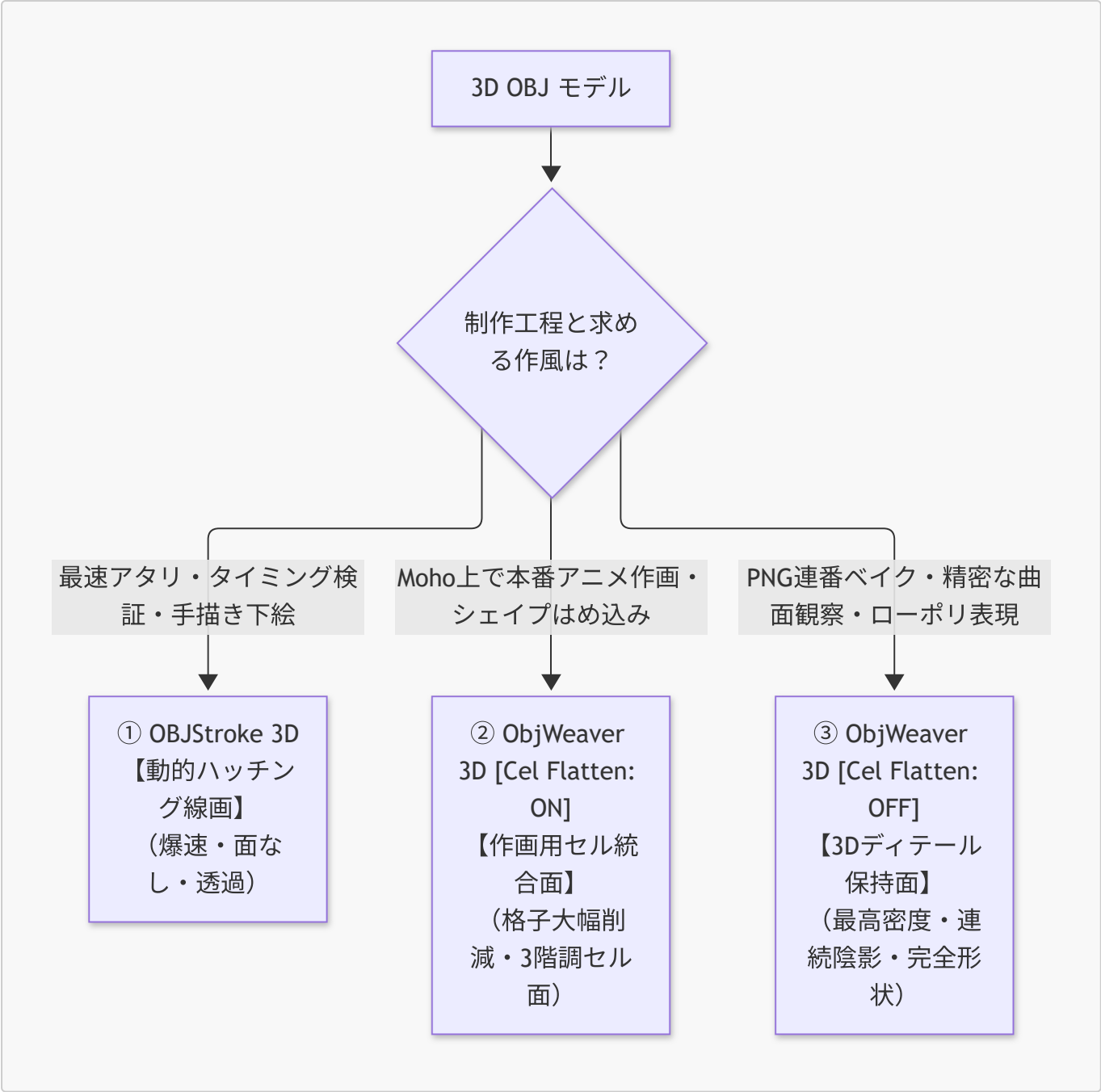
第1部：ObjWeaver 3D & OBJStroke とは何か？（設計思想と3大アプローチ）

1.1 本ツールの本質：なぜ2つのツールと3つの表現が存在するのか？

3Dモデル（OBJ形式）を2Dアニメーション制作に取り込む際、長年アニメーターを悩ませてきたのは**「3D特有の硬さやテクスチャの浮き」、「レンダリング後のベクター修正の困難さ」、そして「ベクターメッシュの描画負荷によるビューポートの重さ」**でした。

本システムは、3D OBJの頂点座標・面構造を直接解析し、Moho Proのネイティブな**2.5Dベクターメッシュ（Switchレイヤー補間対応リグ）へと一瞬で再構築します。

求める作風やアニメーションの目的に応じて、以下の「3つの表現の柱」**から最適なアプローチを選択できます。



1.2 3大表現アプローチの徹底比較マトリクス

比較項目	① OBJStroke 3D (動的ハッチング線画)	② ObjWeaver 3D [Cel Flatten: ON] (セル統合面)	③ ObjWeaver 3D [Cel Flatten: OFF] (詳細3D面)
表現スタイル	手描きペン画・カケアミ線画	アニメ調セル画 (3階調塗り)	3D幾何モデル・連続シェード
内部格子線	なし (前面エッジのみ)	大幅削減&同色化 (目立たないセル面) ※平面ディゾルブで削減されますが曲面構造線は保持	あり (全ポリゴンファセット)

比較項目	① OBJStroke 3D (動的ハッチング線画)	② ObjWeaver 3D [Cel Flatten: ON] (セル統合面)	③ ObjWeaver 3D [Cel Flatten: OFF] (詳細3D面)
シェイプ数	極小 (1 Shapeのみ統合)	多数 (ポリゴンを3階調スタイルに分類・リンク)	多数 (全ポリゴン個別シェード)
動作・描画速度	圧倒的爆速 (0.4秒~1秒未満)	安定 (作画・変形に最適)	忠実 (情報量最大)
背後の透過性	完全透過 (下の絵が透けて見える)	不透過 (密閉されたソリッド面)	不透過 (密閉されたソリッド面)
最適な工程	コンテ、アニメティクス、作画下絵	2.5Dキャラクター本番作画、ブロップ	PNG連番ベイク、等高線アタリ、パーツ改造

1.3 なぜサブレイヤー補間 (Tweening) が完璧に機能するのか？

通常、3Dモデルを複数角度でベクター化すると、角度ごとに面の重なり順や頂点数が変わり、Mohoの「サブレイヤー補間 (Switch Tweening)」が破綻して線がグチャグチャに崩れてしまいます。

本システムは、**全レイヤー (全角度) で100%同一の頂点数・頂点ID・カーブIDを厳格に固定保持する「完全固定トポロジー」**を数学的に貫いています。

そのため、角度を切り替えるだけで、Mohoの内部エンジンが自動的かつ美しく頂点座標をモーフィング補間し、スマートボーンのダイヤルを回すだけで3Dモデルが無段階にぐるぐる回転する2.5Dリグが誰でも簡単に制作できます。

1.4 カメラ空間重心ピボット自動補正 (偏心・ドリフトの解消)

3Dモデルの原点 (Pivot) が中心からズレている場合、回転させた際に画面上でモデルが大きくブレ回ってしまいます (偏心ドリフト)。

本システムは、3Dメッシュ全体のバウンディングボックスから幾何重心 (Centroid) を算出し、**カメラ空間における重心ピボットオフセットをミリ秒単位で自動補正**します。モデルがその場で綺麗にターンするため、回転時の軸ブレが一切起きません (※OBJ本来の原点を維持したい場合は、設定で「Match 3D Model Pivot Origin」をONにすることも可能です)。

第2部：インストールとセットアップ

2.1 ファイル構成

本システムは以下のスクリプトファイルで構成されています。

ファイル名	配置先フォルダ	役割
<code>we_objweaver_menu.lua</code>	<code>Scripts/Menu/3D/</code>	ObjWeaver 3D メニュー実行スクリプト
<code>we_objstroke_menu.lua</code>	<code>Scripts/Menu/3D/</code>	OBJStroke メニュー実行スクリプト

2.2 インストール手順

1. Mohoのカスタムコンテンツフォルダ内の `scripts/menu/` に、フォルダ **3D** を作成します。
 - パス例: `[Moho Custom Content Folder]/scripts/menu/3D/`
2. 作成した **3D** フォルダ内に、上記 2 つのファイルをコピーします。
3. Mohoを起動（または `Ctrl + Shift + Alt + L` でスクリプト再読み込み）します。
4. 上部メニューの **スクリプト > 3D > ObjWeaver 3D** および **OBJStroke** から起動できるようになります。

2.3 事前準備（3D OBJモデルの読み込みと選択）

1. Mohoの上部メニューから **ファイル > 読み込み > OBJ 3Dモデル...** (`File -> Import -> OBJ 3D Model1...`) を選択し、任意の3Dモデルを読み込みます。
2. レイヤーパネルで、読み込んだ **3Dモデルレイヤーを選択状態** にします。
3. この状態でスクリプトを実行すると、自動的に3Dメッシュの面数・頂点数・現在の回転角度が検出され、操作ダイアログが立ち上がります。

第3部：ObjWeaver 3D 操作ガイド

メニューから **ObjWeaver 3D** を実行すると、設定ダイアログが表示されます。

3.1 4大ビジュアルスタイルの選択

Visual Style:

- (*) Solid Toon (100% Full Fill Coverage / Flat Shaded Cel Animation)
- () Multiply Shadow (Shadow Faces Only / Semi-Transparent Multiply Blend)
- () Line Art (Front Edges Only / Fixed Stroke / Color Theme Ready)
- () Point Cage (Shape 0 / Ultra-Fast Point-Only Rig Structure)

1. Solid Toon（ソリッド・トゥーン / 面塗り 100%）

- **内容:** 全ポリゴンを奥から手前へペインターズアルゴリズムで隙間なく塗り重ねる基本モード。
- **適した用途:** テレビアニメ調のセル画キャラクター、立体感のある小道具・メカ。

2. Multiply Shadow（乗算シャドウ / 透過オーバーレイ影）

- **内容:** 既存の3Dモデルや手描きイラストの上に重ねるための「影パーツ」を自動生成。独自の透過（Alpha）階調制御により、**Mohoのブレンドモードを変更することなく、上にレイヤーを重ねるだけで自然な陰影**が落ちます。
- **Cel Flattening [ON]:** 下地モデルの「3色セル塗り（ハイライト・地肌・影）」に呼応し、パキッとした**「2段階のセル影（1影 + 2影）」**を出力。重ねるだけで完璧な3色セル画が完成します。
- **Cel Flattening [OFF]:** 動的トーン解析（ヒストグラム80%ハイライト境界）に連動し、奥が程よく暗く締め手前に向かって透明へ抜ける**「心地よい明暗差の滑らかなグラデーション影（およびインバート時の鮮やかな白影）」**を出力します。
- **適した用途:** 既存の赤い金床やキャラクターの上に重ねて、ドラマチックな陰影や白影エッジ光を落とす作画レイヤー。

3. Line Art（ラインアート）

- **内容:** 手前を向いているエッジのみを細い均一線（2.0px）で描画。
- **適した用途:** 漫画の下絵、設計図風ワイヤーフレーム、クリーンな線画。全エッジが1個のシェイプに統合されているため極めて軽快です。

4. Point Cage（ポイントケージ）

- **内容:** シェイプ数 **0** 個。頂点と接続カーブのみで構成される超軽量スケルトン。
- **適した用途:** スマートボーンで変形させるためのガイド枠、複雑なリギングのベース構造。シェイプ計算負荷が完全にゼロのため、最も高速にサブレイヤー補間（Tweening）が動作します。

3.2 Cel Flattening（作画用セル統合）のON / OFF 使い分け詳解

ダイアログ下部にある **Cel Flattening** チェックボックス（デフォルト: ON）は、アニメーション制作のワークフローを根本から変える中核機能です。

[x] Cel Flatten (3-Tone) / 作画用セル統合・格子大幅削減

【レ点 ON のメリット】～ 2.5D手描きアニメ制作の最強ベース ～

- **内部格子の削減と同色エッジ化（目立たないセルベース面）:**
同一平面上の細かなポリゴン格子がディゾルブ削減されるとともに、各ポリゴンの輪郭線（エッジ）が塗り色と同化され、手前向きの面が**「パキッとした広大な3階調のセル面」**として視覚的に統合されます（※完全な1枚のシェイプに結合されるわけではないため、曲面や陰影境界の構造線は保持されます）。
- **シェイプはめ込みが劇的に容易:**
平面上の余分な格子線が整理され陰影が3色に統一されるため、アニメーターが生成されたメッシュの上に、目・口・服の模様・ハイライトなどの別ベクターパーツ（Shape）を自由にはめ込み作画できます。
- **シェイプグループ自動命名（混同・誤選択防止）:**
生成される全シェイプに元の3Dモデル名（例: **Anvil**）がグループ名（Shape Name）として自動付与されます。アニメーターが後から手描きシェイプを描き足しても、Mohoのシェイプ選択ツールやスタイルウィンドウで3Dシェイプのみを一括選択・判別でき、追加したシェイプとまぜこぜになりません。
- **黄金比3階調によるアニメセル塗り:**
全アングルを事前スキャンし、最もコントラストが美しい角度から「影（1影）」「ベース」「ハイライト」の3階調閾値を自動決定。モデルの向きが変わっても崩れない、安定したセル画調の陰影が得られます。
- **100%気密（Airtight）な密閉描画:**
エッジや角のベベル、ホーン先端などの微細ポリゴンもペインターズアルゴリズムで完全にカバーされ、穴あき（背景色の抜け）が一切起きません。
- **Multiply Shadow 時の「3色セル影」出力:**
下地モデルの「3色塗り（ハイライト・地肌・影）」に完璧に合致するよう、単一のベタ黒ではなく**

「1影（薄い影）」「2影（濃い影）」の2段階のパキッとしたセル影**を出力。下地の上に置くだけでプロ仕様の3色アニメセル画が完成します。

【レ点 OFF のメリット】～ あえてチェックを外すべきケース ～

チェックを外すと、3Dモデルの全ポリゴン幾何学と滑らかな連続陰影が保持される「詳細3Dマスターモード」になります。以下の用途ではあえてレ点を外すことで真価を発揮します：

1. Multiply Shadow 時の「豊かな明暗差グラデーション影」：

影の範囲を動的トーン解析（ヒストグラム80%ハイライト境界）に基づいて手前向き全域まで広げ、奥の暗い芯から光の境界に向かって透明度（Alpha）が滑らかに抜ける**「心地よい明暗差の美しいグラデーション影（インバート時は鮮やかな白影）」**を出力します。下地の上に置くだけで、エアブラシで吹いたような滑らかな立体影が落ちます。

2. PNG連番書き出し・軽量化における圧倒的なリッチさ（最重要）：

「一度ObjWeaverで回転させてPNG連番画像（またはImage Switch Layer）に書き出して使う」ワークフローをとる場合、ベクターの描画重さは完全に無力化されます。この場合、レ点を外した高密度ポリゴンの連続グラデーションがPNGにそのまま焼き付けられ、極めて滑らかで美しいハイエンドな3D質感のアニメ素材が完成します。

3. 「等高線・法線マップ」としての精密な作画アタリ：

3色にデフォルメされないため、ポリゴン1枚1枚の反射光から「曲面の曲率」「どこから急激に落ち込んでいるか」「微小な段差」が等高線のように手に取るように把握できます。手描き作画の厳密なリファレンスとして最適です。

4. ベクターパーツの個別切り出し・改造の自由度：

ポリゴン構造が独立して保持されているため、例えば「上面の作業板だけ」「足のパーツだけ」を選択して別レイヤーに切り出したり、特定部位だけに別マテリアルを適用するような高度なベクターモデリングが直感的に行えます。

5. ローポリゴンアート・メカニカルな鑑賞美：

90年代のローポリゴンCGや、ファセット（面の反射）が際立つサイバー・メカ・ガジェット感を出したい場合、あえてポリゴンの陰影差を見せるレ点OFFが最も魅力的なグラフィックとなります。

3.3 カラーテーマ（全8色）と Metallic Presets（金属調プリセット）

ダイアログの **Color Theme** には、スタンダードな単色・モノクロに加え、金属質感を再現する3大メタリックプリセット（Row 2）が搭載され、合計8色から選択可能です。

Color Theme:

[Row 1] (*) Metal Gray () Burgundy Red () Cel Blue () Ink Black (Noir)
() Ink Invert (White Shadow)
[Row 2] () Gold () Silver () Bronze

【Row 1: スタンダード & ノワール表現】

- Metal Gray（メタルグレー）**：基本デフォルト。機械・プロップ・万能なグレースケール下地に最適。
- Burgundy Red（バーガンディレッド）**：暖色系の深みあるワインレッド。有機物や衣装、アクセントに。
- Cel Blue（セルブルー）**：アニメの影色やクリアなメカ表現に最適な青系カラー。

4. Ink Black (Noir) (ノワール黒) :

- 配色: ハイライト 純白 RGB(250, 250, 255) / 地肌 インク黒 RGB(45, 45, 52) / 影 漆黒 RGB(20, 20, 25)
- 効果: アメコミやフィルム・ノワール調のハイコントラスト。漆黒のボディに白い光のハイライトがギラリと抜けます。

5. Ink Invert (White Shadow) (反転白影) :

- 配色: 影 反転白 RGB(250, 250, 255) / 地肌 ダークチャコール RGB(50, 50, 58) / 光 漆黒 RGB(20, 20, 25)
- 効果: 「影が白く型抜きされる」アバンギャルドな木版画・ネガ調スタイル。

【Row 2: Metallic Presets (金属調プリセット)】

1. Gold (金調 / ゴールデンイエロー) :

- ベース色: RGB(212, 175, 55)
- 効果: 王冠、金貨・コイン、優勝トロフィー、黄金の装飾品、ゴールドセイント調の甲冑に。

2. Silver (銀調 / プラチナシルバー) :

- ベース色: RGB(195, 200, 210)
- 効果: 騎士の甲冑・西洋鎧、クロームメッキ、精密機械、銀食器、サイバーブレードに。

3. Bronze (銅調 / アンティークブロンズ) :

- ベース色: RGB(180, 110, 65)
- 効果: 銅像、スチームパンク調の真鍮・パイプ配管、アンティーク古道具、銅メダルに。

3.4 ポイント削減 (Point Reduction: 3大モード) と隙間封鎖技術

ダイアログ最下部に、モデルのポリゴン密度を意図に合わせてコントロールできる **Point Reduction (Smooth / Mesh)** 機能が常設されています。

```
[x] Point Reduction (Smooth / Mesh)
  Mode: (*) Smooth (Keep Curves / Former Flat)
         ( ) Mesh - Mid (~600 pts)
         ( ) Mesh - Low (~250 pts)
```

1. 3つの削減モードの使い分け

モード名	ターゲット 頂点数	削減アルゴリズムと特徴	最適な用途
Smooth (Keep Curves)	モデル依存 (平面のみ 最小化)	非破壊・完全平面ディゾルブ (runCoplanarPassExact) 球面やパイプの曲面・丸みを 100% 崩さず維持したまま、同一平面の平坦グリッド面のみを統合。立方体ならわずか8頂点に縮小。	有機モデル、 顔、丸みを帯びたプロップの形状維持
Mesh - Mid	約 600 点	空間グリッドクラスターリング (runGridClusterPass) 曲面も含めて均一な空間セルで統合し、中規模な頂点数にシェイプアップ。	画面内に多数配置する背景小

モード名	ターゲット 頂点数	削減アルゴリズムと特徴	最適な用途
			物、中景プロップ
Mesh - Low	約 250 点	超軽量ローポリゴンクラスターリング 描画負荷を極限までカット。角張ったスタイリッシュなローポリゴン造形化。	遠景モブ、軽量なゲーム素材、高速プレビュー用

2. 隙間封鎖ベース線幅（Seam-Sealing Base Stroke）の自動連動

ポリゴン削減を行うと、面の単純化によって頂点位置がわずかにシフトし、パーツの継ぎ目に微小な隙間（Seam Gaps）が生じやすくなります。ObjWeaver 3D は、選択された削減モードに応じて**ベース線幅（Base Stroke Width）**を自動昇格させ、隙間を完全にシーリングします：

- **OFF** または **Smooth: 2.0px**（歪みゼロの精密標準線幅）
- **Mesh - Mid: 3.5px**（隙間を密閉する強化線幅）
- **Mesh - Low: 5.0px**（ローポリ間の隙間を力強く塞ぐ極太線幅）※生成されるレイヤー名にも `_Smooth`, `_Mid`, `_Low` のサフィックスが自動付与されます。

3. 急傾斜面の動的線幅ブースト（Grazing-Angle Stroke Boosting: 最大2.5倍）

3Dモデルを2D画面に投影した際、横や下を向く急峻な斜面（視線と直交に近い面：すくい角面）は、2D上の射影面積が極度に圧縮され、エッジ同士の間に「針の穴のような背景抜け（アンダーハングの隙間）」が発生する幾何学的な問題がありました。

本システムは、面の法線Z成分（*nz*）をリアルタイム判定し、**急峻な面ほど局所的にストローク幅を最大 2.5 倍までピンポイントで動的ブースト（Pinpoint Boost）**して隙間を物理的に塞ぎます。これにより、どんな極端なローアングルや急斜面でも穴あきのない 100% 気密（Airtight）なベクター面が完成します。

3.5 初期向き・ピボット原点・タイムライン出力設定

ダイアログ上部～中央には、シーン構築を効率化する以下の重要パラメータが配置されています。

1. **Initial 3D Orientation（初期3D向きの取得とリセット）**：
 - **From Current Frame**: 現在フレームの3Dレイヤーの回転角度（Pitch X / Yaw Y / Roll Z）をワンクリックで読み込み、正面基準として設定します。
 - **Reset (0 deg)**: すべての回転角を 0° にリセットします。
2. **Match 3D Model Pivot Origin (Scene Match)（ピボット原点保持）**：
 - **OFF（デフォルト）**：モデルの幾何重心（Centroid）を中心に回転。キャラクターの顔パーツやプロップを「その場でブレずにきれいに回したいリグ」に最適です。
 - **ON**: OBJモデル本来の原点（3D空間の原点位置）を厳格に保持。シーン全体のワールド座標配置や既存の3Dレイヤー位置と完全一致させたい場合に使用します。
3. **Timeline Output Start Frame（タイムライン出力開始フレーム）**：
 - 生成されるアニメーションキーフレームの開始位置を指定（デフォルトは現在フレーム `curF`、または 1）。既存のアニメーションを壊さず、任意のタイミングから展開できます。

第4部：OBJStroke 操作ガイド（Dynamic Hatching 詳解）

メニューから **OBJStroke** を実行すると、ハッチング専用の操作ダイアログが表示されます。

4.1 Dynamic Hatching（動的ハッチング）のメカニズム

OBJStrokeは、3Dの頂点法線とカメラ光源の内積（*dot*）から、急峻な**非線形ガンマ 2.2 パワーカーブ**によって頂点線幅と不透明度を動的に決定します。

$$\text{LightFactor} = \text{clamp} \left(\frac{\text{dot} + 1.0}{2.0}, 0.0, 1.0 \right)$$

$$\text{ShadowIntensity} = (1.0 - \text{LightFactor})^{2.2}$$

- Hatching Contrast（陰影強弱倍率: 2.5x ~ 70.0x / デフォルト: 5.0x）**：ダイアログでモデルの形状やメッシュ密度に応じたコントラスト比（強弱のダイナミックレンジ）を自由に調整できます。
 - 2.5x（Soft / ビル群・直方体向け）**：日向 **0.60倍** ~ 影 **1.50倍**。面が90度単位で離散的な建造物や工業製品でも、線が均一で落ち着いた端正なワイヤー描画になります。
 - 5.0x（Standard / 標準推奨）**：日向 **0.30倍** ~ 影 **1.50倍**（約5倍差）。自然なGペンの入り抜きが効き、日向がすっきりと抜けて影が引き締まります。
 - 10.0x（Dense / Anvilなど高密度曲面向け）**：日向 **0.15倍** ~ 影 **1.50倍**。ポリゴンが細かく密集したモデルでも、日向が極細線に抜けるため線同士が合体してベタ塗り（青・黒潰れ）になるのを完全に防ぎます。
 - 25.0x ~ 70.0x（High Contrast / 劇画調）**：日向 **0.06倍** ~ **0.02倍** ~ 影 **1.50倍**。光が当たる面を真っ白に飛ばし、影面に太いハッチングを集中させたい表現に最適です。
- レイヤースケール自動正規化（Mode 1 と Mode 2 の線幅完全一致）**：Mode 2~5 の Switch リグにおいて、3Dレイヤーのスケール（拡大率）が親レイヤーに同期された場合でも、シェイプ線幅が自動で逆数補正されるため、**Mode 1（1:1静止画）と Mode 2~5（リグ）で画面上の見かけの線幅が 100% 正確に一致**します。

4.2 動的カリングとアングル数に応じたメッシュ構造（Switch Tweeningとポイント数）

OBJStrokeは、3Dモデルの各ポリゴンの法線ベクトルとカメラ視線方向を高速幾何演算し、下地塗り（Fill）がなくても手前の面と裏の面がごちゃ混ぜにならず、**すっきりと立体的な線画**として成立させます。

ここで、「**単一アングル（1フレーム）**」と「**複数アングル（Switch Layer）**」とで内部のメッシュ生成仕様が異なる点にご留意ください。

【重要：アングル数とポイント数の関係（和集合メッシュの仕組み）】

OBJStroke 3Dは、指定された全アングル（Switch Layer）を事前にスキャンし、「**いずれかの角度で1度でもカメラ側を向くすべての前面エッジの『和集合』**」を1つの固定メッシュとして生成します。

- Mode 1（1アングルのみ変換）**：その角度から見えている手前エッジ（全体の約30~40%）だけを抽出するため、生成されるポイント数は****最小（最軽量）****になります。
- Mode 2~5（複数アングル / Switch Layerを一括変換）**：回転によって現れる裏側や側面をカバーするための線がベースメッシュに追加されるため、**アングル数（Switch Layer数）を増やせば増やすほど、初期生成されるポイント数・エッジ数は段階的に増大**します（360°ターンテーブルの場合は全周のエッジが網羅されます）。

【なぜ裏側の線までデータとして保持するのか？】

各レイヤー上では、その角度で見えないエッジの線幅（Width）および不透明度（Opacity）を **0.0**（完全透明）に設定して隠すことで「手前のエッジのみを描画」しています。

物理的に裏面のエッジを削除せずデータとして保持している理由は、**「全レイヤーで頂点数・頂点順序（トポロジー）を100%完全一致させ、Mohoのサブレイヤー補間（Switch Tweening）による滑らかなモーフィング回転を成立させるため」**です。

[!TIP] アングル数増加に伴うポイント数増大の対策:

360°ターンテーブルなどで全周をカバーしてポイント数が増大した場合は、後述の「**4.4 高密度メッシュ安全インターセプト**」による **[Merge & Optimize]**（間引き・最適化）を併用することで、全周リグでもMohoが軽快に動作する安全域へとスリム化できます。

- **純粋な1-Shape Stroke特化:** 余計な塗りシェイプを持たないため、ダイアログの設定も極めてシンプル（線の太さとカラーテーマのみ）で、直感的に操作できます。

4.3 なぜ OBJStroke はあれほど圧倒的に速く、補間が滑らかなのか？

- **レイヤーあたり「たった1つの統合Stroke Shape（1-Shape Fusion）」:**
 - 前面の全エッジを「たった1つの統合Stroke Shape」に集約して動的ハッチング描画。
 - 1,000面～2,000面あるモデルでも、レイヤー内のシェイプ総数は**わずか1個だけ**。
 - 数百～千個の面を個別ラスターライズする従来方式と比べ、レンダリング負荷が数千倍軽量化され、0.3秒未満の超爆速生成とリアルタイム再生（Spaceキー再生）が可能になります。
- **トポロジー完全一致（Switch Tweening）:** 全レイヤーで全く同じ面・頂点構造・シェイプ順序（厳格な固定順序）で生成されるため、Mohoのスイッチレイヤー補間（サブレイヤー補間）が100%機能し、**角度の切り替えが無段階で滑らかにモーフィング回転**します。
- **アニメ制作での役割:** タイムライン上でカクつくことなくリアルタイムに再生できるため、**「演出コンテ」「アニメティクス」「カメラワークや演技のタイミング検証」「コミック調・手描き風ペン画の動的レイアウト」**において無類の強さを発揮します。

4.4 高密度メッシュ安全インターセプト（OBJStroke特化）

OBJStroke にも、ObjWeaver 3D と共通の **高密度メッシュ安全インターセプト & 2段階外周オブティマイザ** が標準搭載されています。

- **高密度基準（5,000面以上）:** Mohoの単一ストロークシェイプ生成エンジンのキャパシティを考慮し、**5,000 面以上** で自動警告が表示されます。
- **フリーズ防止オブティマイズ（ターゲット: ~3,500点/面）:** **[Merge & Optimize]** を選択すると、Mohoが確実にフリーズせず数秒で完走する安全域（約3,500点/面）へと自動スリム化し、軽快に美しい動的ハッチング線画を生成します。

4.5 【新機能】 Match 3D Size (1:1) と Mode 1 カメラ完全吸着（ObjWeaver との完全な寸法一致）

ObjWeaver 3D と全く同じ幾何学変換エンジン・スケール同期エンジンが OBJStroke にも完全適用されました。

1. **Mode 1（Current Frame）のカメラ完全吸着（1:1 Perspective Overlay）:**

- カメラの画角（FOV 30° / 60° や焦点距離、ズーム、位置）およびモデルの原点深度を物理幾何学的に自動解析。
- 生成された線画レイヤーに `SetImmuneToCamera(true)` を設定し、**画面上の 3D モデルに 1 ピクセルも狂わず 1:1 で吸着** します。
- 手描き作画のアタリやコンテ、レイアウト線画として即座に重なります。

2. 全モード共通の [x] Match 3D Size (1:1) 対応:

- ダイアログに新設されたチェックボックス（デフォルト: ON）により、3D レイヤー本来の拡大縮小倍率（例: `Scale: 335.3%`）がターンテーブルやマルチアングルリグへ 100% 同期されます。画面枠への強制縮小（`1.2 / maxDim`）は完全にバイパスされます。

3. ObjWeaver（トゥーン塗り面）との 100% 寸法一致（究極のハイブリッド作画）:

- ObjWeaver で出力したセル塗りレイヤーの上に、OBJStroke で出力したハッチング線画レイヤーを重ねた際、**大きさ・角度・パースが 1 ピクセルもズレずに完全に重なり合います。**
- これにより、「3色セルアニメ塗り + 手描き動的ハッチング線画」というプロ仕様のハイブリッド 2.5D 表現が手動調整ゼロで実現します。

4.6 【新機能】カメラZ深度段階グループ分け（Depth Tiers: 5段階／3段階／2段階／Off）と個別シェイプ命名

両ツール（ObjWeaver 3D および OBJStroke）に、生成されるベクターカーブおよびポリゴン面をカメラ空間のZ深度（奥行き）に基づいて自動的にグループ分け・シェイプ命名する **Depth Tiers 機能** が追加されました。

ダイアログ内 Depth Tiers 設定:

(*) 5 Tiers (Default) () 3 Tiers () 2 Tiers () Off (1 Shape)

4.6.1 段階設定と命名規則

- **5 Tiers（デフォルト・推奨）:**
 - `Depth_1_Back`: 最も奥にある背景側パーツ・線画
 - `Depth_2_MidBack`: 中奥の要素
 - `Depth_3_Mid`: 中央深度の要素
 - `Depth_4_MidFront`: 中手前の要素
 - `Depth_5_Front`: 最も手前にある前面の輪郭線・面
- **3 Tiers:** `Depth_1_Back`（奥）、`Depth_2_Mid`（中央）、`Depth_3_Front`（手前）
- **2 Tiers:** `Depth_1_Back`（奥）、`Depth_2_Front`（手前）
- **Off (1 Shape):** 従来通りの単一統合シェイプとして生成（最軽量・最高速動作）

4.6.2 Moho 上での直感的なアクセス（OBJStroke と ObjWeaver の最適な住み分け）

1. OBJStroke（線画）: 1深度 = 1統合シェイプ（Qキーで一発選択）:

- 各段階が「たった1つの統合シェイプ」として生成され、`<レイヤー名>_Depth_1_Back` 等の深度名が付与されます（5段階ならシェイプ数は合計5個）。
- Moho の **シェイプ選択ツール（Qキー）** で奥の線や手前の線をクリックするだけで、その深度に属する街全体の線画が一瞬で丸ごと選択されます。
- スタイルパネルから「奥の線だけ透明度（Alpha）を下げる」「奥の線を暗い色にする」「手前の線だけ太くする」といった調整がワンクリックで完了します。

2. ObjWeaver（面塗り）：最大15個の「共有スタイル」自動リンク & 視認性の高い深度シェイプ名：

- Moho の内部仕様上、スクリプト側で名前を指定しない場合でも `s1`, `s2`... といった無意味なデフォルト名が自動採番されてしまうため、各ポリゴン面（シェイプ）にも所属する深度がひと目でわかる階層名（例: `<レイヤー名>_Depth_1_Back ~ Depth_5_Front`）を付与しています。画面上で Q キーで面をクリックした際も、どの深度グループに属する面かが即座に識別できます。
- スタイルに関しては、個別に色を持たせるのではなく、**5段階 × 3階調（High/Mid/Shad）＝最大15個の Moho ネイティブ共有スタイル**（例: `<レイヤー名>_Depth_5_Front_Shadow` など）が自動生成され、すべてのポリゴン面が裏で自動リンクされます。
- これにより、スタイルパネルのドロップダウンから **15個のスタイルを選ぶだけで、何千面あっても奥や手前のビル群の陰影色・透明度が一瞬で連動変更**されます。

3. Moho ネイティブポイントグループ（`mesh:AddGroup` / G キー）：

- 生成された各階層の頂点は、Moho のポイントグループとしても同名で登録されます。
- グループパレットや **ポイント選択ツール（G キー）** から、特定深度の頂点だけを一括選択してボーンにバインドしたり、個別に変形調整することが可能です。

4.6.3 動的ハッチング（筆圧・陰影）との完全な共存

- 「深度別にグループ分けすると、OBJStroke の動的ハッチング（陰影線幅）や ObjWeaver のセル陰影とぶつかるのではないかな？」という懸念を解消するため、陰影ロジックへの固定値上書きを行わず、**陰影計算を100%保持したまま幾何形状をZ深度バケットに分割するハイブリッド構造**を採用しています。
- これにより、手前・奥の面それぞれが持つ自然な立体陰影を保ったまま、奥の面や線だけを自由に暗くしたり半透明フェードさせることができます。

第5部：6つの生成モード（共通ワークフロー）

両ツールともに、制作のステップアップ（単体作画素材 → 単一ターン → 全方位リグ → コマ送り連番）に直感的に対応する **6つの生成モード** を搭載しています。ダイアログを開いてそのまま「OK」を押すだけで、現在フレームの精密なベクターが即座に手に入ります。

Workflow Mode Selection:

- (*) 1. Current Frame (1 Still Vector Layer) 【最上位・デフォルト】
- () 2. Single Angle Turn Rig (Custom Angle to Single Layer)
- () 3. 180 deg Turntable Rig (Sweep Animation)
- () 4. Face Multi-Angle Rig (Top / Bottom / Left / Right / Diagonal Grid)
- () 5. Timeline Keyframes Rig (Bake All 3D Keys)
- () 6. Step Bake (F by F Switch: コマ送り連番バイク)

5.0 幾何学投影方式の決定的な違い：なぜ【1・6】と【2～5】で設計が根本から異なるのか？

本システムは、生成モードの性格とアニメーション制作における用途に応じて、「透視投影（パースペクティブ）」と「正射影（オーソグラフィック）」の2つの幾何学エンジンを明確かつ厳格に使い分けています。

【各モードの理想的な役割分担マトリクス（Mode 1～6 全覧）】

アニメーション制作パイプラインにおいて、各モードが果たすべき役割と推奨される投影方式は、以下の通り綺麗に二分されます。

モード番号・名称	採用されている投影方式	主な用途・アニメーターの目的	なぜこの投影方式なのか？（設計理由）
Mode 1 Current Frame	透視投影 （カメラ完全連動・1:1 吸着）	現在のカットの作画下絵・レイアウト・止め絵原画	いまカメラで見えている 3D の構図・遠近パースに 100% ピクセル単位で重なる下絵 が必要なため（1枚絵のため補間破綻のリスクがない）。
Mode 2 Single Angle Turn	正射影 （Orthographic）	1振りの Smart Bone 回転リグ	Tweening 補間時の形状破綻（風船のようなゴム膨らみ）を防ぎ、美しい剛体回転を維持するため。
Mode 3 180° Turntable	正射影 （Orthographic）	180度ターンテーブル往復リグ	同上（水平・垂直スイープ回転時にパーツがパースで歪まないようにするため）。
Mode 4 Face Multi-Angle	正射影 （Orthographic）	全方位多方向フェイスリグ	同上（斜め・上下左右の全補間グリッドで顔パーツの比率を均一に保つため）。
Mode 5 Timeline Keyframes	正射影 （スケール・位置・回転同期）	タイムラインキー間の 2.5D モーフィング	キー間で Tweening 補間させるため基本は正射影。元の3Dレイヤーの移動・回転・拡大縮小（fScale）は 100% 完全同期。
Mode 6 Step Bake	透視投影 （カメラ完全連動・動的オクルージョン）	激しいカメラワークのコマ送り連番	補間（Tweening）を行わない純粋なコマ送り（Stepped）のため、画面のパース完全一致が必須。

【なぜ【1・6】と【2～5】で設計が根本から違うのか？】

制作現場における「素材の用途」が根本的に異なるため、幾何学の数学的アプローチを変えています。

1. 【グループ A: Mode 1 & Mode 6】が「透視投影」でなければならない理由

- 役割: 「そのカット専用の原画・レイアウト・画面直貼り素材」
- 理由:
 - Mode 1 や Mode 6 は、いま Moho のビューポートに映っているカメラの画角（FOV 30° / 60° や焦点距離、ズーム、カメラ位置）に対して、**1ピクセルも狂わずに完全一致（1:1 吸着）** していなければ、作画下絵やレイアウトとして役に立ちません。
 - 手前にあるビルやパーツがぐっと大きく迫り、奥にあるパーツが小さくすぼまる「パースの迫力」をそのままベクター化する必要があります。
 - また、Mode 1 は「1枚絵」、Mode 6 は「補間を切ったコマ送り（Stepped）」であるため、**モーフィング補間による形状崩壊を心配する必要は一切ありません**。したがって、カメラパースを 100% 反映させるのが最も実用的です。

2. 【グループ B: Mode 2～5】にカメラのパス倍率を適用してはいけない 3大理由

- 役割: 「ボーンで動かすための汎用プロップ（小道具・部品） & キャラクターリグ素材」
- 理由①: モーフィング（サブレイヤー補間）が歪んで崩壊するのを防ぐため（最重要）:
 - Mode 2～5 は、Switch レイヤー補間（Tweening）やボーンリグを使って「角度を変える」「回転アニメーションを作る」ための動的リグです。
 - Moho のサブレイヤー補間（モーフィング）は、ベクター頂点の「2D 線形補間」によって行われます。
 - もしカメラの透視パス（手前が大きく、奥が小さい）を各アングルに焼き込んでしまうと、回転させた際に**「手前に回ってきたパーツが急にゴムや風船のように巨大化し、奥へ回ると縮む」という不気味な動的パス歪み（不気味の谷）**が発生し、綺麗なモーフィングができなくなります。
 - 距離による歪みのない「正射影（均一な直交寸法・剛体回転）」だからこそ、滑らかで破綻のないターンテーブル回転が実現できます。
- 理由②: シーンやカメラに依存しない「汎用プロップ（部品）」として再利用するため:
 - プロップ（武器、乗り物、頭部パーツ、家具など）は、カットごとに異なるカメラ画角（広角 FOV 60° や望遠 FOV 30°）やカメラとの距離で使い回されるのが通常です。
 - もし特定のカットのカメラパス倍率（焦点距離による拡大率）をメッシュ自体に焼き付けてしまうと、「そのカメラ・その距離でしか使えない専用部品」になってしまい、他のカットやキャラクターの手に持たせたときに大きさが合わなくなってしまいます。
 - パース癖のない「正射影のプレーンな原画素材」として出力しておくことで、どんなシーン・どんなカメラワークに持っていても自然に馴染みます（シーン全体のパスは Moho のカメラが後から自動でかけてくれます）。
- 理由③: 3Dモデル本来の基本サイズは Match 3D Size (1:1) で既に 100% 同期されているため:
 - 新機能 Match 3D Size (1:1) により、Mode 2～5 でも 3D レイヤー自体の拡大縮小倍率（例: Scale: 335.3%）はすでにベクター側へ正しく引き継がれています。
 - 3Dレイヤー本来の「物体としての大きさ」はすでに一致しており、カメラの「パスによる手前の膨らみ（透視投影係数）」をあえて入れないことで、部品としての均一な直交寸法を安全に保護しています。

1. Current Frame（現在フレームの単一ベクターレイヤー：最速 0.3秒）

- 概要: 3Dモデルの現在フレームの正確なカメラ透視投影ベクターレイヤーを1枚だけ瞬時に生成します（スイッチグループは作られません）。
- 【新仕様】カメラ完全吸着・1:1 リアルタイム透視投影（Perspective Overlay）:
 - Moho のカメラ設定（FOV 30°/60°、ズーム、Pan/Tilt/Roll、焦点距離 focalDist）およびモデルの原点深度（layerDist）を物理幾何学的に自動解析。
 - レイヤーに SetImmuneToCamera(true) を設定し、手前のビル群の自然なパス拡大を含め、**背後の 3D モデル枠（カメラ枠）の中に 1 ピクセルの狂いもなく 1:1 でピッタリ重なる完全吸着ベクター**を出力します。
 - Mode 6 のようなオクルージョン淘汰や画面外カリングは一切通さず、1枚絵として全ポリゴン を 100% 気密（Airtight）に保持します。
- 用途:
 - 「まず現在のポーズを1枚ベクター化して作画素材・レイアウトにしたい」
 - 「特定のカメラアングルからカット用の原画（止め絵）を起こしたい」

- 「スイッチ補間のような頂点移動の疑似3D歪み・縮み・変形誤差のない、幾何学的に100%正確な3Dパースのベクター線画やセル画が欲しい」
- **メリット:** ダイアログを開いて **Enter** (またはOK) を押すだけで0.3秒で完了。最も高頻度かつ直感的な単体ベクター化アクションです。

2. Single Angle Turn Rig (指定角度への1振りリグ：最小リグ)

- **概要:** 任意の軸・方向・角度を指定して、「正面 (**Angle_000_Center**)」と「指定角度ポーズ」の **2枚のレイヤーのみで構成される最小スイッチリグ** を生成します。
- **ダイアログ設定パラメータ:**
 - **Angle (角度)** : 振り向かせたい角度を数値入力 (デフォルト: **30.0°**)。
 - **Axis (回転軸)** : **Horizontal (Yaw: 水平)** または **Vertical (Pitch: 垂直)** を選択。
 - **Dir (方向)** : **Right/Up (+)** または **Left/Down (-)** を選択。
- **用途:**
 - 「ちょっとだけ右を向く」「少しだけうつむく」「上方を見上げる」といった特定の演技だけをピンポイントで軽量に作りたい場合。
 - フレーム 0 (正面) からフレーム 24 (指定角度) へスムーズにサブレイヤー補間 (Tweening) されます。

3. 180 deg Turntable Rig (180度ターンテーブル：水平 / 垂直スイープ)

- **概要:** ワンクリックで180度のスイープ往復回転リグを生成し、タイムライン上に往復キーフレームを自動配置します。
- **回転軸の選択:**
 - **Horizontal (Left 80 to Right 80)**: 左80°から右80°までの水平回転スイープ (横回転ターンテーブル)。
 - **Vertical (Down 80 to Up 80)**: 下80°から上80°までの垂直見上げ・見下ろし回転スイープ (縦回転ターンテーブル)。
- **ステップ角度:** **30° Step** (7アングル高精度) または **45° Step** (5アングル標準) から選択可能。
- **即座にプレビュー:** スクリプト実行直後にタイムラインを再生 (スペースキー) するだけで、滑らかに往復回転するターンテーブルアニメーションが確認できます。

4. Face Multi-Angle Rig (多方向グリッドリグ：全方位モーフィング)

- **概要:** 正面・上下左右・斜めの全方向を網羅したマルチアングルスイッチリグを一括生成します。
- **ステップ角度:**
 - **30° Step (推奨)** : 左右60°・80°、上下30°、斜め30°を含む高精度な補間グリッド (13アングル)。
 - **45° Step**: 標準的な9方向 (45°・80°) グリッド。
- **自動補間:** スイッチレイヤーの「Interpolate Sub-Layers (サブレイヤー補間)」が自動的にONになります。
- **自動プレビューキー:** 生成直後、タイムラインの 1~48 フレームに各アングルのキーフレームが自動配置され、全方向の回転モーフィングを即座に確認できます。

5. Timeline Keyframes Rig (タイムラインキーフレーム連動：移動・回転・倍率の完全自動ベイク)

- **概要:** 元の3Dモデルレイヤーに打たれているすべてのキーフレーム（移動・回転・拡大縮小倍率）を自動解析し、ユーザーの付けたアニメーションのリズムに完全一致したリグを生成します。数値入力（Start/End/Step）は一切不要です。
- **【新機能】3Dレイヤーの拡大縮小倍率（fScale）完全自動同期:**
 - 従来の移動（Position）・2D回転（Angle）の同期に加え、**3Dモデルの拡大縮小キーフレーム（fScale）をスイッチレイヤー（またはベクターレイヤー）へ 1:1 で自動同期**します。
 - カメラに向かって迫ってくる演出や、パースの効いた拡大・縮小アニメーションも、サイズ比率を完全に維持したまま滑らかに2.5Dモーフィング化されます。
- **【厳密な 1:1 原寸維持（No Enlargement）】:**
 - Mode 1~4 のような「画面枠に合わせたオートフィット拡大（1.2 / maxDim）」をバイパスし、ベクターメッシュの頂点座標を **1:1 原寸（scaleFactor = 1.0）** で生成します。
 - これにより、頂点拡大とレイヤースケールの2重掛け算（巨大化）が完全に防止され、元の3Dモデルと完全に重なり合う精密なシーンベイクが保証されます。
- **キーフレームがない場合（静止モデル）:**
 - 現在フレームのベクターレイヤー「1枚だけ」を生成し、親レイヤーのスケールを同期してタイムラインを汚しません。
- **キーフレームが複数ある場合（例: 3キー）:**
 - 3Dレイヤーに打たれたキーフレーム位置（例: フレーム 0、12、36）のポーズを生成し、選択した出力形式（Point Keys または Switch Layer）でタイムラインにベイクします。
- **【新機能：2大出力形式の選択（Point Keys vs Switch Layer）】:**
 - **Point Keys (1-Layer Vector)** **【推奨 / デフォルト】**: SwitchLayerを使わず、**単一の VectorLayer（1レイヤーのみ）を生成し、タイムライン上の各頂点位置チャンネル（fAnimPos）およびストローク幅（fWidth）に直接キーフレームをベイク**します。
 - **圧倒的な軽量化:** 子レイヤーが何十枚も増えることがなく、プロジェクト容量や描画負荷を最小限に抑制。
 - **Mohoネイティブのイージングが完全適用可能:** グラフエディタやタイムライン上で、ベジェ補間、イーズイン/アウト、バウンスなどの補間カーブを自由自在に編集可能。
 - **スカルプト・加筆修正の容易さ:** 特定のキーフレームで頂点ツールやマグネットツールを使って手作業で誇張・レタッチが可能。
 - **スマートボーンへの直接登録:** ボーンアクション（ダイヤルボーン等）に直接頂点キーフレームを仕込む運用にも最適です。
 - **Switch (Multi-Layer Rig):** 従来のSwitchLayer形式。各キーフレームの姿勢を個別の子ベクターレイヤーとして生成し、Switch補間（Tweening）で切り替えます。

6. Step Bake (F by F Switch: コマ送り連番ベイク / Stepped Frame-by-Frame)

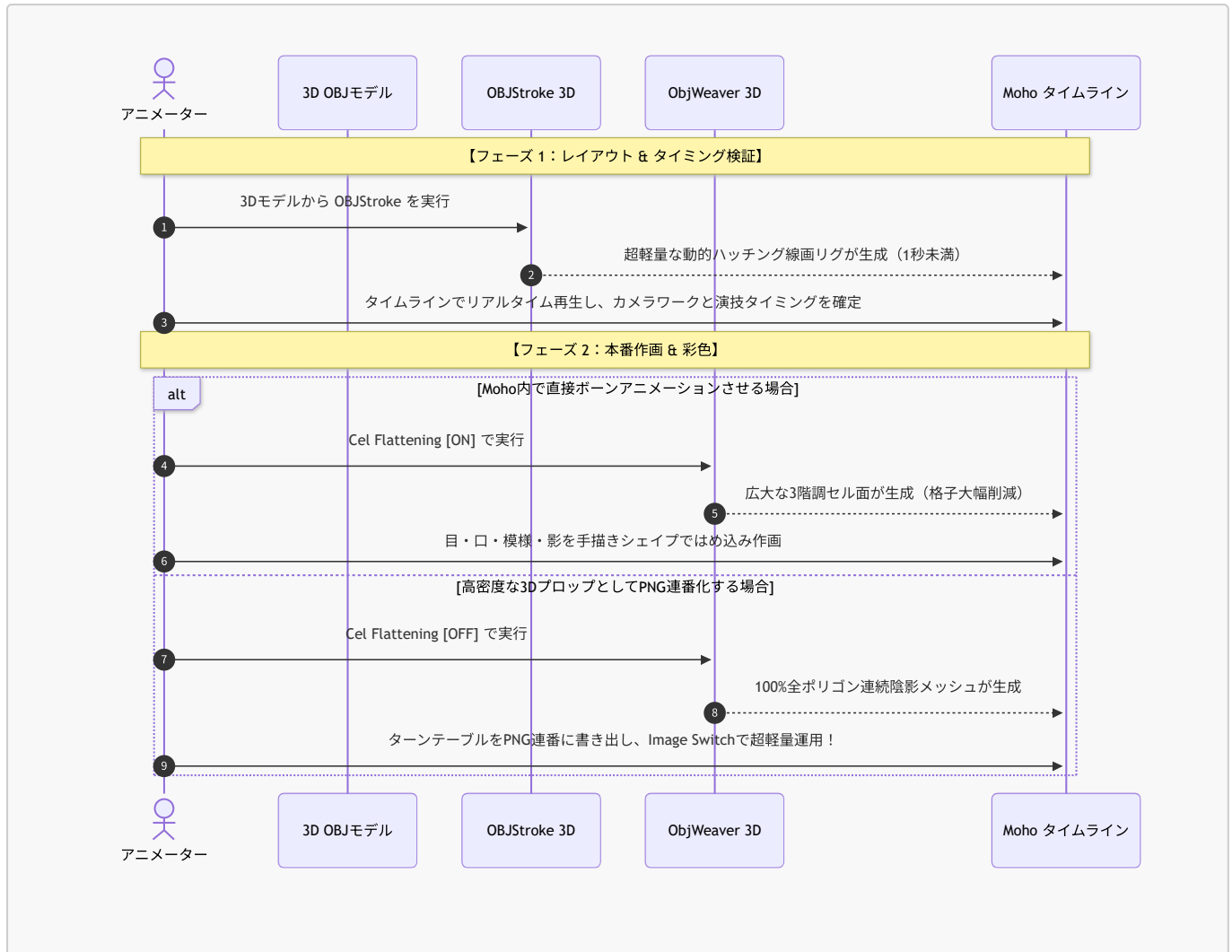
- **概要:** 指定した区間（Start~End フレーム）を、指定したコマ数刻み（Step: 1コマ打ち、2コマ打ちなど）で、カメラ視点・オクルージョンを計算したベクターメッシュを各フレームごとにコマ送り一括生成します。Switchレイヤーのサブレイヤー補間は明示的にOFF（Stepped）となり、純粋なコマ送り（リミテッド・フルアニメーション）としてタイムラインに配置されます。
- **設定パラメータ:**
 - **Step:** ベイクするコマ間隔（例: 1 = フルコマ・毎フレーム、2 = 2コマ打ち、3 = 3コマ打ち）。
 - **Start / End:** ベイク対象のタイムラインフレーム範囲。
- **【最新アップデート：1:1 原寸透視投影の完全同期（倍率巨大化・裏返り解消）】:**
 - カメラから3Dレイヤーまでの実距離（layerDist）を各フレーム自動計算し、scaleCorrection を適用することで、**標準スケール・無回転モデル（Anvilなど）でも 3D レイヤーと 1:1 に完全重なり合う原寸透視投影を実現**しました。

- 従来の多数決カリリングを撤廃し、標準CCWカリリングにより手前側の面が正しく残り、前後反対（180度裏返り）になる問題を根本解消しました。
- 【最新アップデート：3階調立体セル陰影（Highlight / Mid / Shadow）の搭載】：
 - 各コマのフロント面全体の光の当たり方を統計集計し、**「下位35%を Shadow」「上位20%を Highlight」「中間を Mid」**に自動分類するパーセンタイル方式を搭載。白飛びのないクッキリとしたアニメ調の立体陰影が各コマに自動付与されます。
- 【最新アップデート：4つの Moho 共有スタイル自動作成とワンクリック連動】：
 - ドキュメントに以下の4つの共有スタイルを自動生成して各コマの面・線にリンクします：
 - <レイヤー名>_StepBake_High（ハイライト面）
 - <レイヤー名>_StepBake_Mid（通常中間面）
 - <レイヤー名>_StepBake_Shad（影面）
 - <レイヤー名>_StepBake_Edges（クリース・輪郭線）
 - Moho のスタイルパネルからワンクリックで、全コマの影色や輪郭線の太さを一括調整できます。
- 【最新アップデート：エッジ輪郭線専用の安全なグループ分け】：
 - 下敷きになっている面のマスク頂点を巻き込まず、抽出された**「エッジ輪郭線（Pass B）」のみにポイントグループ（Edges / Edges_Depth_X）を登録**。
 - Gキーで輪郭線のみを一発選択して編集・加筆できます。
- 【TIPS：シャープな線幅と手描きアニメ風の「抜け感（味）」について】：
 - モデルの硬質感や鋭角なキレ（エッジ感）を最優先するため、デフォルトの線幅は細めに設定されています。急角度部分にかすかな隙間（シーム抜け）が生じることがありますが、これは手描きペン画のような「抜け感（味）」として機能します。
 - もし隙間を完全に塞ぎたい場合や、太いカートゥーン線にしたい場合は、スタイルパネルで<レイヤー名>_StepBake_Edges の線幅（LineWidth）を少し上げる（例: 2.5px〜3.0px）だけで、全コマの隙間が一瞬で綺麗に密閉されます。
- ⚠️【極めて重要な制作上の前提：完成原画ではなく「作画・消し込みベース素材」です】：
 - 一発で完璧にクリーンな完成原画が出力されるわけではありません。
 - 3Dモデルの幾何学的な全ポリゴン・エッジからカメラ視線へ直接投影して生成するため、モデル内部の交差線、隠れるべき不要なストローク（Stroke線画）、不要な塗り（Fill面）が各コマのベクターに残ります。
 - 【推奨される本番アニメ制作ワークフロー】：
 1. Step Bake で、3Dの激しいカメラワークやパース変化に100%完全同期した「コマ送りベクター連番」を一括生成する。
 2. アニメーターが各コマのベクターレイヤーを開き、不要な線（Stroke）を消しゴムや非表示ツールで消し込み、不要な面（Fill）を整える（クリーンアップ作業）。
 3. 必要に応じて、キャラクターの表情や服のシワ・エフェクトを手描きで加筆・レタッチする。
 - つまり本モードは、「手作業で描くとパースが狂って何十時間も溶けるコマ送り作画の下絵・アタリ・輪郭ベース」を瞬時に用意するためのプロ向け土台ツールです。「ここから余分なStrokeやFillを自分で消し込んで完成させる」前提のベース素材であることをご理解の上ご活用ください。

第6部：制作パイプラインにおける実践ハイブリッド連携

6.1 プロの制作フローチャート（ツールの黄金リレー）

アニメ制作の現場では、1つのツールに固執せず、工程ごとにツールを切り替える「ハイブリッド運用」が最も効率的です：



6.2 スマートボーンとの連携（ダイヤルで回転）

生成されたスイッチレイヤー（Face Multi-Angle Rig や Turntable）は、親のボーンレイヤーに配置してスマートボーン（Smart Bone）と連携させることで真価を発揮します。

1. 親のボーンレイヤーを作成し、スイッチレイヤーを中に入れる。
2. 回転用コントローラーボーン（例: **Angle_X**, **Angle_Y**）を作成する。
3. ボーンの角度アクション内で、スイッチレイヤーのアングルを切り替える。
4. サブレイヤー補間が有効なため、ボーンを動かすだけで**3Dモデルが滑らかに2.5Dモーフィング回転**します。

6.3 Weaver シリーズ全体との有機的連携（パイプライン・シナジー）

本ツールは、Weaver シリーズの他のツール群と組み合わせることで真価を発揮します：

- **[Mesh & Pin Weaver 3D (v1.11)] (Shift+W / Shift+P) との連携:**

ObjWeaver や OBJStroke で生成した 180°ターンテーブルなどの Switch ガイド頂点に対して、MeshWeaver の新機能**「Switch Lerp 補間吸着エンジン」**が完全同期！Smart Warp メッシュを吸着させることで、回転する3Dモデルに合わせて2Dの顔パーツや服の模様・デカールが立体的に滑らかに追従します。

- **[ExtractWeaver] (Shift+E) との連携:**

生成されたターンテーブルの特定のアングル（キメポーズやオバケコマ）に、勢いのある手描き線や服のシワを加筆したい場合、そのフレームで **Shift+E** を押すだけで、元のマスターリグを一切傷つけることなく独立した作画用ベクターキャンバスを一瞬で抽出できます。

- **[FoldWeaver 3D] (Shift+A / Shift+O / Shift+L) との連携:**

OBJモデルをリギングする前に **Shift+O**（原点リセット・重心吸着）を実行しておくことで、モデルの回転中心がワールド原点 (0, 0, 0) にピタリと合い、オービットや回転時のパース視差によるブレを極限まで抑えることができます。

6.4 応用テクニック：3Dモデルのブレンド（模様・文字のベクター化）とMoho上での自由なレタッチ

本ツールの最大の強みは、「固定された3Dレンダリング画像」ではなく、「**Mohoの完全なネイティブベクター**」として出力される点にあります。これを活かしたプロ仕様の実践テクニックを2つ紹介します。

1. 3D OBJブレンド（内部模様・ロゴ・文字の立体ベクター自動化）

- **手法:** 3Dモデル本体に加えて、内部の模様、メカのパネルライン、看板やボディのロゴ・文字などをポリゴン（薄い板ポリゴンやラインオブジェクト）としてモデリングし、一体化（ブレンド）したOBJを変換します。
- **メリット:** 2D作画でパースに合わせて文字や模様を描き直す必要がなく、3Dモデルの回転・モーフィング（Switch Tweening）に文字や模様が100%狂いなく立体追従します。
- **個別管理:** OBJStroke の Depth Tiers 機能や Mohoのシェイプ選択ツール（Qキー）を使えば、変換後に「文字シェイプだけ」「枠線だけ」を一括選択し、別々のカラーや線幅を即座に割り当てられます。

2. Mohoネイティブ加工（影の濃淡・線幅・誇張表現の完全な自由度）

- **影の濃淡とハッチングの直感調整:** 生成後、Mohoの標準ツール「線幅ツール（Wキー）」を使って、影になる部分のポイントをドラッグして太くしたり、光の当たる部分を細く消し込んだりといった「作画監督のペン入れ感覚」で影の濃淡を思い通りに演出できます。
- **アニメ的なパース誇張・シルエット修正:** 3D特有の硬さを崩したい場合、ポイント選択ツールで手前側のパーツだけをダイナミックに拡大したり、頂点を少し引っ張ってアニメ的な「ケレン味（パースの誇張）」を加えることがMoho内で自由自在に行えます。

第7部：トラブルシューティング & FAQ

Q1. 生成されたベクターレイヤーの位置や倍率が3Dモデルとズレないのはなぜ？タイムラインに余計なキーは打たれない？

- **A:** 新設された「Match 3D Size (1:1)」統一機能および内部の **applyLayerTransform** により、元の3Dレイヤーの移動座標（Position）、2D回転（Angle）、そして拡大縮小倍率（Scale）が、全モード共通で新設されたスイッチレイヤー（またはベクターレイヤー）へ自動同期されるためです（ダイアログの「Match 3D Size (1:1)」がデフォルトでONになっています）。画面上で見た通りの大きさにベクターが出力されます。
【クリーン・タイムライン設計】：元の3Dモデルレイヤーにアニメーション（複数キー）が付いているチャンネルのみ現在フレームへキーフレームを同期し、静止モデルの場合は**フレーム0にのみ登録**され

ます。そのため、タイムラインの現在位置に不要な位置・回転・スケールキーが打たれて作業を邪魔することが一切ありません。

Q2. 以前の実行で未完了の残骸レイヤーが残ってしまったら？

- **A:** スクリプト実行中にエラーや中断が発生した場合、グループ外に未完成のベクターレイヤーが残ることがあります。正常に完成したスイッチグループ（中に **Angle_000_Center** などが入っているもの）以外の不要なレイヤーは、レイヤーパネルのゴミ箱アイコンで安全に削除してください。

Q3. OBJStroke の線の太さや濃淡を調整したいときは？

- **A:**
 - **実行前:** ダイアログの **Stroke Width (px)**（基本線幅: 推奨 **4.0px**）および **Hatching Contrast (x)**（強弱倍率: 推奨 **5.0x**、ビル群など箱物は **2.5x**、Anvilなど高密度曲面は **10.0x**）をモデルに合わせて調整してください。
 - **実行後:** 生成されたレイヤーを選択し、Mohoの標準ツール「線幅ツール（Wキー）」でポイントの太さを手動調整したり、スタイルパネルでストローク幅を一括変更できます。

Q4. Cel Flattening でエッジや角に穴があかないのはなぜ？

- **A:** バック・トゥ・フロント（奥から手前へ）のペインターズアルゴリズムと、新設された「すくい角・急傾斜面の動的線幅ブースト（Grazing-Angle Stroke Boosting: 最大2.5倍）」により、裏面や急峻なエッジを含めた全ポリゴンが隙間なく塗り重ねられているためです。モデル本来のシルエットが100%気密に密閉されます。

Q5. 生成されたベクターレイヤーに手描きシェイプを追加したら、3Dのシェイプと混ざってしまいませんか？

- **A:** まぜこぜになる心配はありません！ObjWeaver 3D および OBJStroke で生成される全シェイプには、元の3Dモデルレイヤー名（例: **Anvil**）が**シェイプ名（Group Name）**として自動登録されます。
Mohoの「シェイプ選択（Select Shape）」ツール（Qキー）のドロップダウンメニューやスタイルウィンドウにモデル名が表示されるため、3D由来のシェイプだけを一括選択したり、後から描き足した目・口・模様などの手描きシェイプと明確に区別して管理できます。

Q6. Point Reduction（ポイント削減）を使うとモデルの継ぎ目に隙間があきませんか？

- **A:** 隙間は自動的にシーリングされます！削減モードを選択すると、システムが自動的にベース線幅を昇格（Smooth: 2.0px / Mid: 3.5px / Low: 5.0px）させ、頂点の間引きによって生じる微小な隙間を物理的に塞ぎます。そのため、超軽量のローポリゴン化を行っても、背景が透けて見えるような穴あきは起きません。

Q7. なぜ Mode 1 と Mode 6 だけが透視投影で、Mode 2～5 は正射影なのですか？2～5 にもカメラのパス倍率を適用すべきではないのですか？

- **A:** 「プロップ（小道具・部品・リグ素材）としてのアニメーション運用性を守るため」です。
 - **Mode 1 & 6（カット専用素材）:** 画面上のカメラ枠・構図にそのまま貼り付けて使う素材のため、カメラの画角（FOV 30°などの望遠・広角）や焦点距離によるパス拡大（手前が大きく奥が小さい）を 100% 反映した「透視投影」でなければ画面と一致しません。

- **Mode 2～5（汎用リグ・部品素材）**：回転させてアニメーションさせるためのリグです。もし各アングルにカメラのパス歪みを焼き込んでしまうと、回転させた際に**「手前に回ってきたパーツが急にゴムのように巨大化し、奥へ回ると縮む」というモーフィング崩壊**を引き起こします。また、特定のカットのカメラ画角（広角/望遠）に固定されてしまい、他のカットやキャラクターの手に持たせて再利用できなくなってしまうます。
- そのため、Mode 2～5 は「正射影（均一な3D直交寸法）」を維持しつつ、3Dレイヤー自体の基本スケール（例: 335.3%）のみを **Match 3D Size (1:1)** で同期するのがアニメーション制作上最も安全かつ実用的な正解設計となっています。

Q8. 回転アニメーションの途中でモデルが小さく縮んだり、回転の向きがおかしく（逆回転やすり抜け）になってしまうのはなぜですか？

- **A: Mohoの頂点補間が「2D空間の最短直線ルート」を通るために発生する幾何学的な現象です。中間キー（中割り）を追加することで完全に解消できます。**
 - **現象の原因:**
 - Mohoのサブレイヤー補間（Switch Tweening）や頂点アニメーションは、開始ポーズと終了ポーズの間を**2D平面上の直線（リニア補間）**で移動させます。
 - 3D空間では「円弧（回転軌道）」を描くべき頂点が、最短距離の直線を突っ切って移動するため、大きな角度で回転させると**中心に向かってモデルがペンションコに縮小（しぼみ）して見えたり、手前を通るべき点が奥をすり抜けて回転方向が反転したように見えてしまいます。**
 - **解決策（キーの追加 / 中割り）:**
 1. **タイムライン上で中間にキーを追加する:**
大きな角度（例えば0°から90°など）を一気に補間させず、**中間地点（45°など）にキーフレーム（中割りポーズ）を1～2点追加**してください。頂点の直線軌道が折れ線となり、綺麗な円弧軌道に近似されるため、縮みや回転方向の狂いが解消され、ボリュームを維持した美しいターンになります。
 2. **生成時の推奨設定（30° Stepの活用）:**
ObjWeaver / OBJStroke でターンテーブル（Mode 3）やフェイシャルリグ（Mode 4）を生成する際は、ステップ角度を「45°」ではなく**「30° Step（推奨）」**にしておくことで、あらかじめ細かい中間アングルが配置され、補間時の縮み・反転を防ぐことができます。

Q9. OBJStroke でアングル数（Switch Layer）を増やすと、Mode 1（1アングル）の時よりポイント数が増えるのはなぜですか？

- **A: Mohoのサブレイヤー補間（Switch Tweening）を成立させるために、「全アングルで表出する可視エッジの和集合」を全レイヤー共通の固定メッシュとして生成しているためです。**
 - **Mode 1（1アングルのみ）**：その視点から見えている前面エッジ（全体の約30～40%）しか生成しないため、ポイント数は最小（最軽量）です。
 - **複数アングル（Switch Layer）**：回転した際に現れる裏側や側面をカバーするため、全アングル分の線が共通メッシュに追加されます。各レイヤー上では見えない線を「線幅 0.0・不透明度 0.0（透明）」にして隠していますが、全レイヤーで頂点数・順序（トポロジー）を完全一致させてモーフィング回転を成立させるため、データ上は全アングルの線を保持する仕様となっています。
 - ※ポイント数を抑えたい場合は、ダイアログの **[Merge & Optimize]**（高密度メッシュ安全インターセプト）を実行してメッシュを事前最適化してください。

Q10. 3Dモデルの中の模様やロゴ・文字と一緒にベクター化して回転させられますか？また生成後に影の濃淡や大きさは変えられますか？

- **A:** はい、どちらも自由自在に行えます！これこそが「固定画像（ラスター）」ではなく「**Mohoネイティブベクター**」として出力する最大のメリットです。
 - **模様や文字の3D立体ベクター化:** 3Dモデル側で模様やロゴ・文字をポリゴン（薄い板ポリゴンやライン）として配置・ブレンドして変換すれば、2D作画でパースに合わせて描き直す必要がなく、3Dモデルの回転・モーフィングに100%追従する文字・模様入り立体リグが完成します。Depth TiersやMohoのシェイプ選択（Qキー）で文字シェイプだけを一括選択して色変えや線幅変更も可能です。
 - **影の濃淡・大きさの自由なレタッチ:** 生成後はMohoの標準ベクターですので、線幅ツール（Wキー）で影の線の太さを直感的に調整したり、スタイルウィンドウでストロークの色や透明度を変えたり、ポイント編集で手前をダイナミックに拡大（アニメ調のパース誇張）したりと、思い通りの演出・作画修正が可能です。
-

第8部：開発クレジット & 設計誓約

- **開発プロジェクト:** Weaver Series 3D to 2.5D Vector Pipeline
- **設計規程:** WeaverFlashSkill / geminiFlashManualScript / Fail-Fast 原則
- **コミットメント:** 公式API外の推測実装を排し、Moho Pro のベクター描画エンジンが持つネイティブなポテンシャルを極限まで引き出すこと。