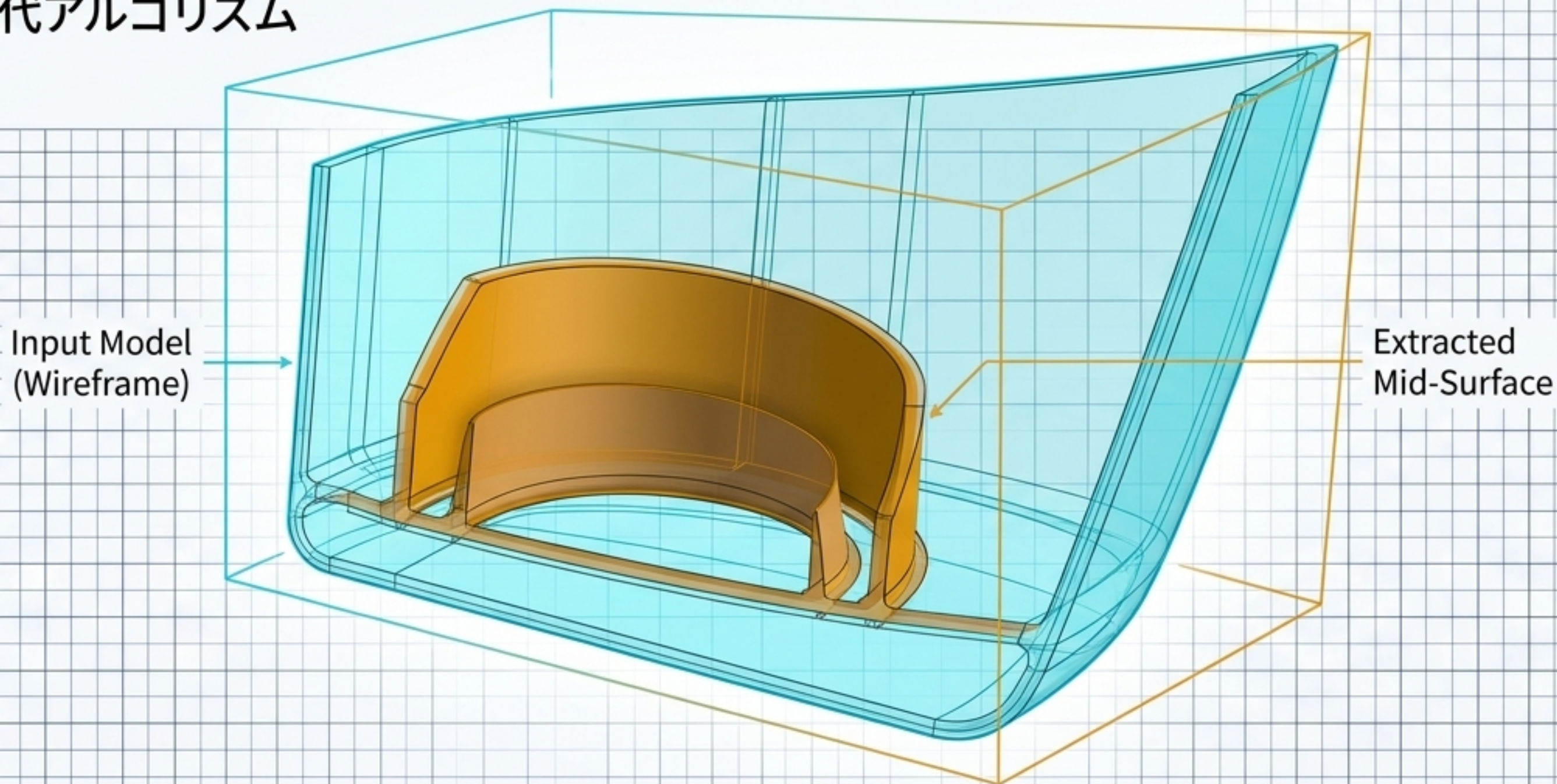
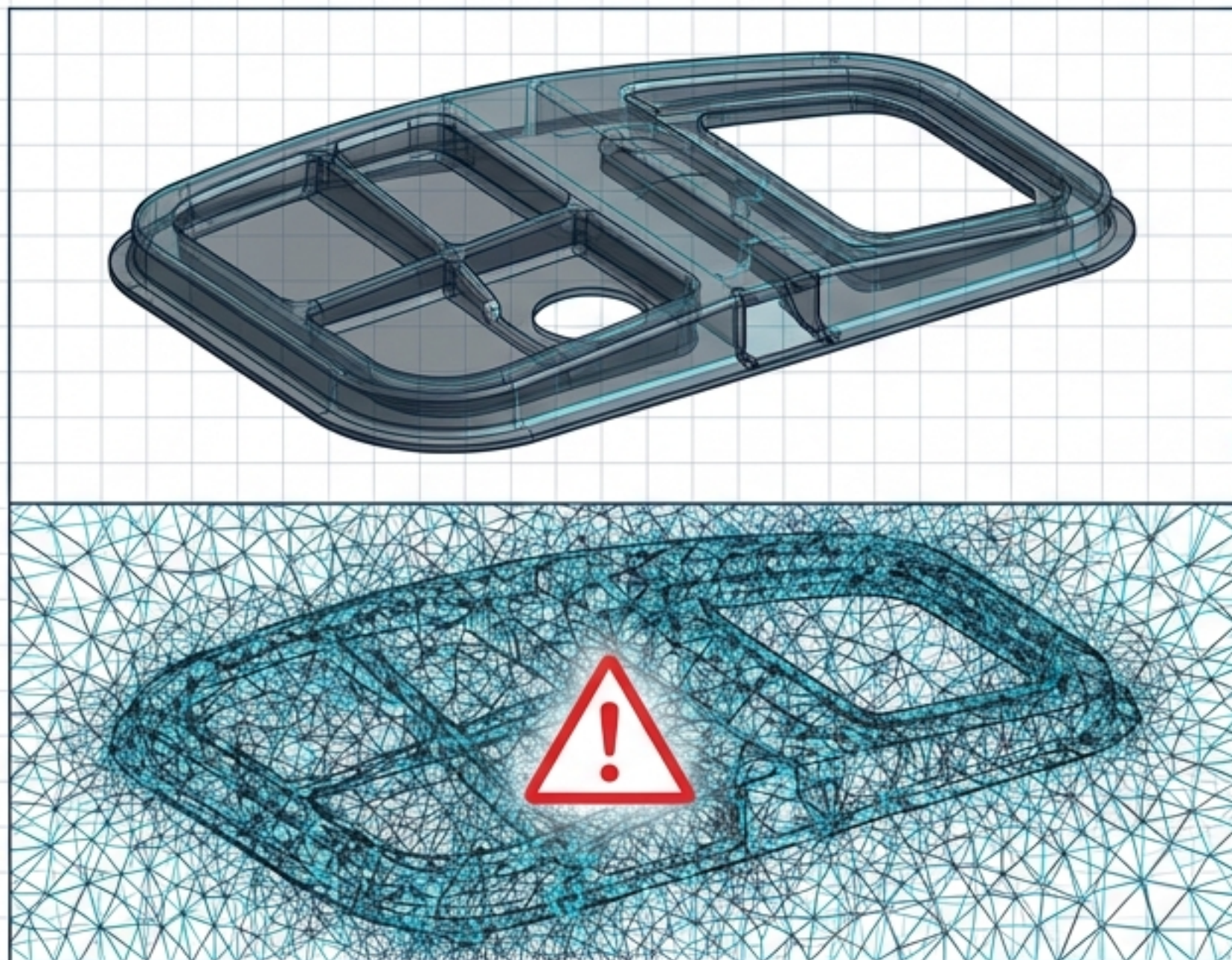


MidSurfer: 複雑な変動肉厚モデルの 効率的な中間面抽出

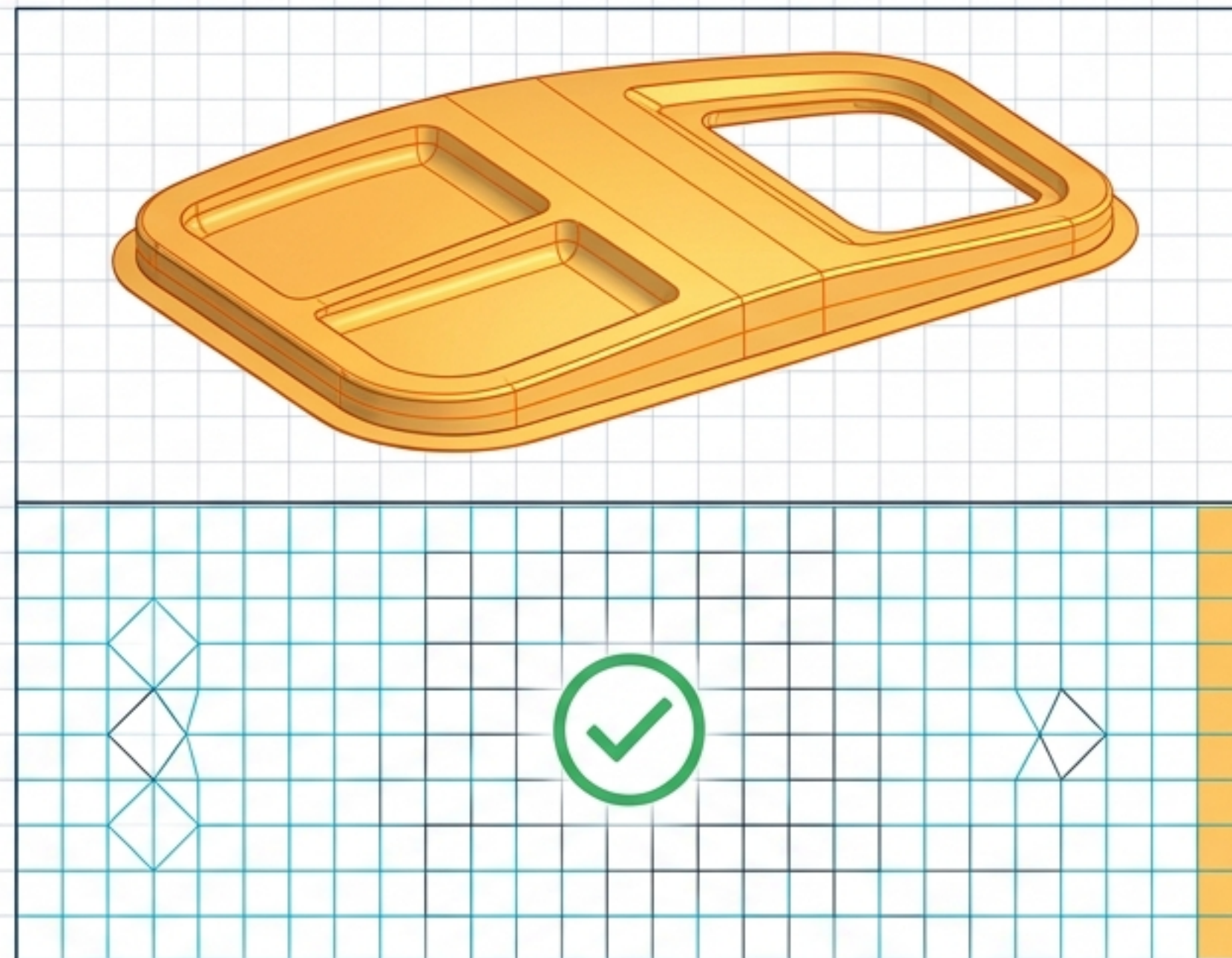
CAD/CAEのボトルネックを解消する、最大12倍の高速化と高精度を両立した次世代アルゴリズム



CAE/FEAにおける最大のボトルネック：薄肉構造の解析



ソリッドモデルの直接解析：膨大な計算コストとトポロジー破綻

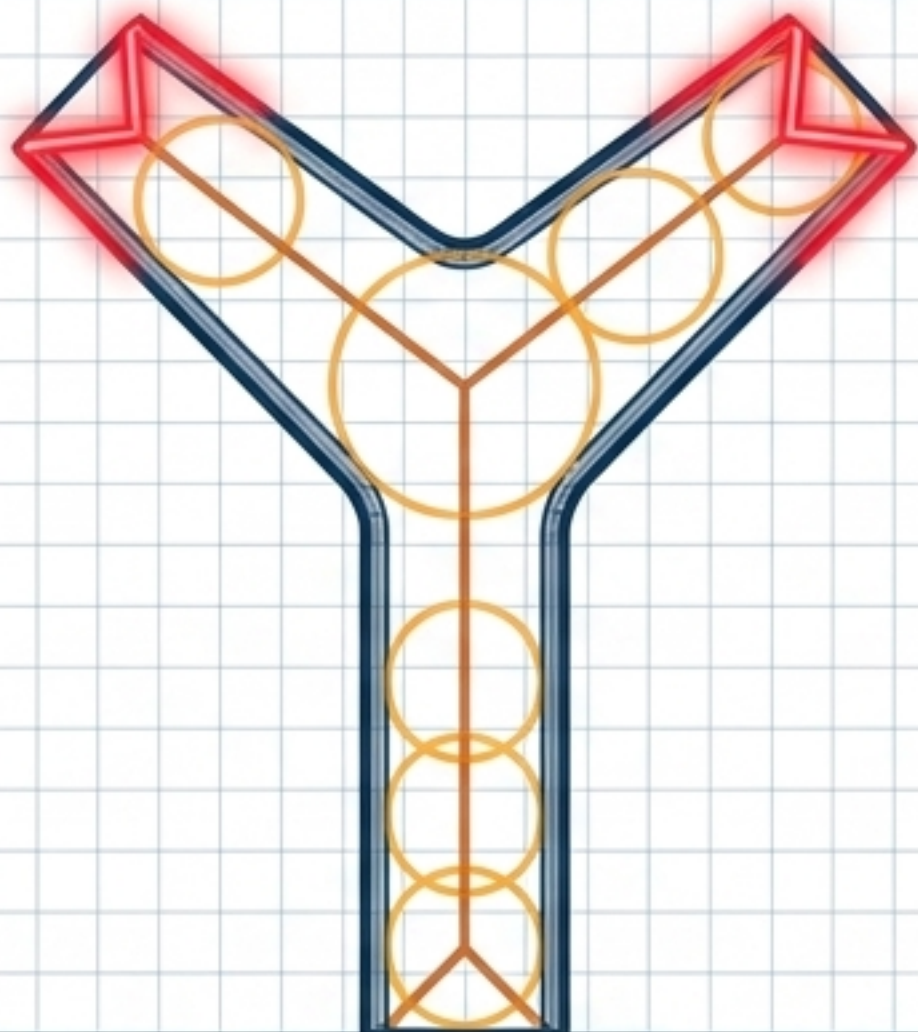


中間面 (Mid-surface) 抽出：シミュレーション時間とコストの劇的削減

フィレットや面取り、変動肉厚を持つ複雑なモデルでは、既存ツールの自動化は破綻し、エンジニアによる膨大な手作業での修正を強いています。

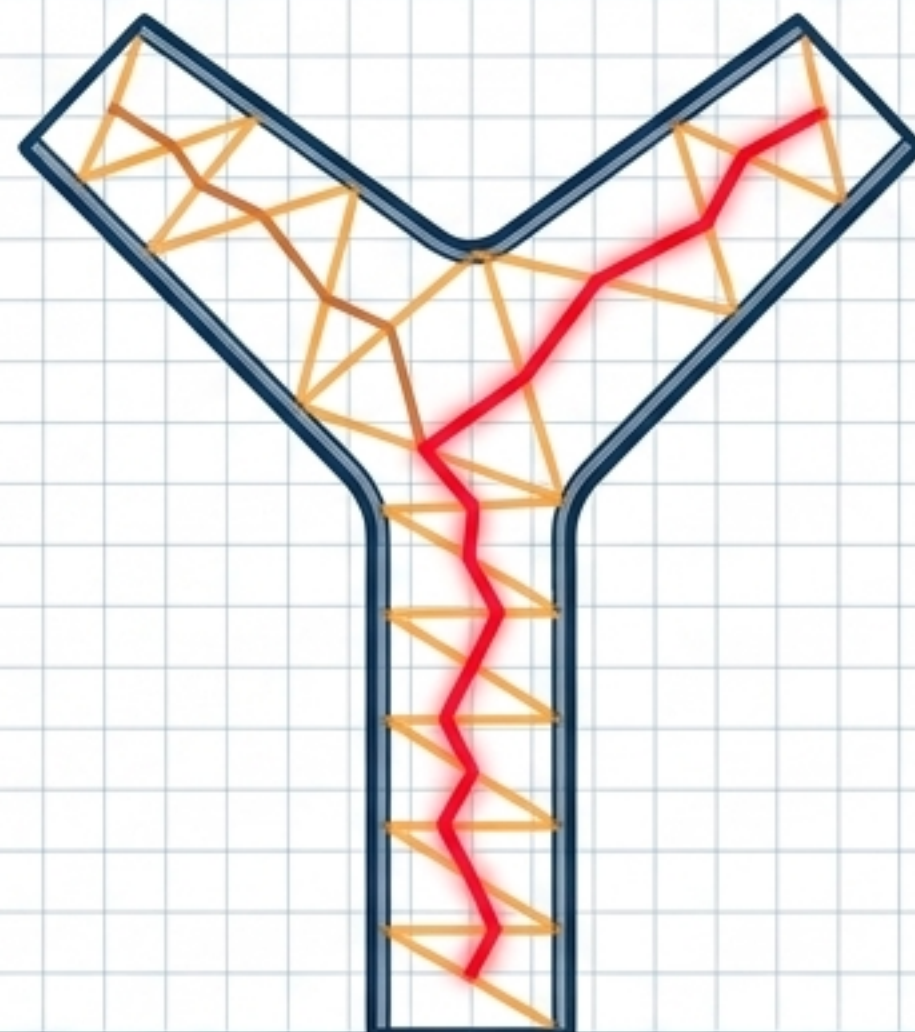
既存手法の構造的限界

MAT (Medial Axis Transform)



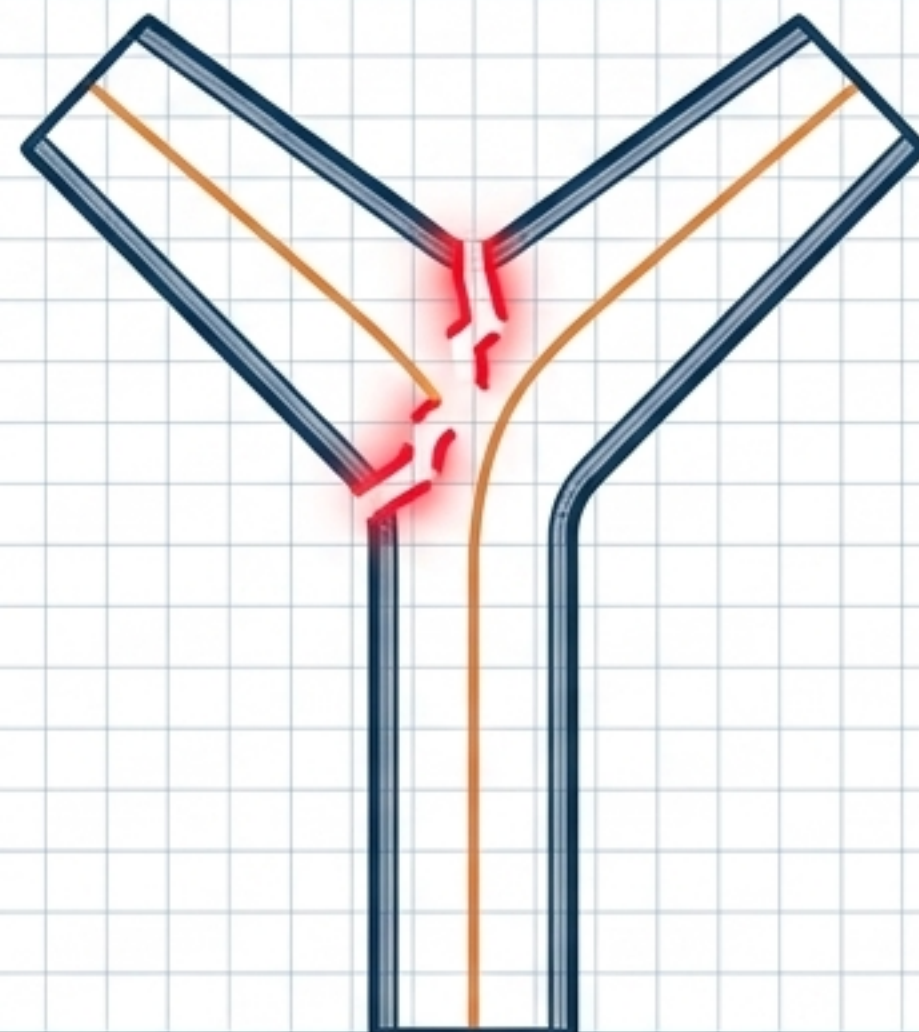
不要な分岐が多数発生し、
手動でのトリミングが必須。

CAT (Chordal Axis Transform)



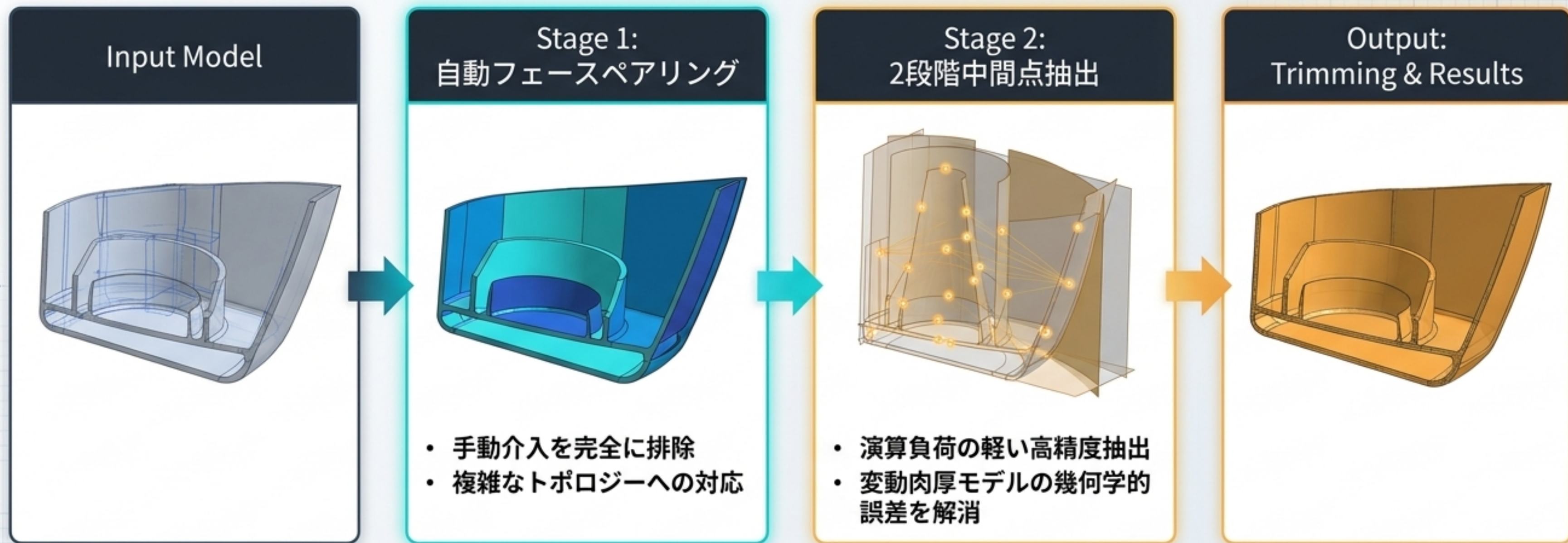
四面体メッシュに依存するため、
滑らかな自由曲面が波打つ
形状エラーが発生。

従来のペアリング手法
(Parasolid等)



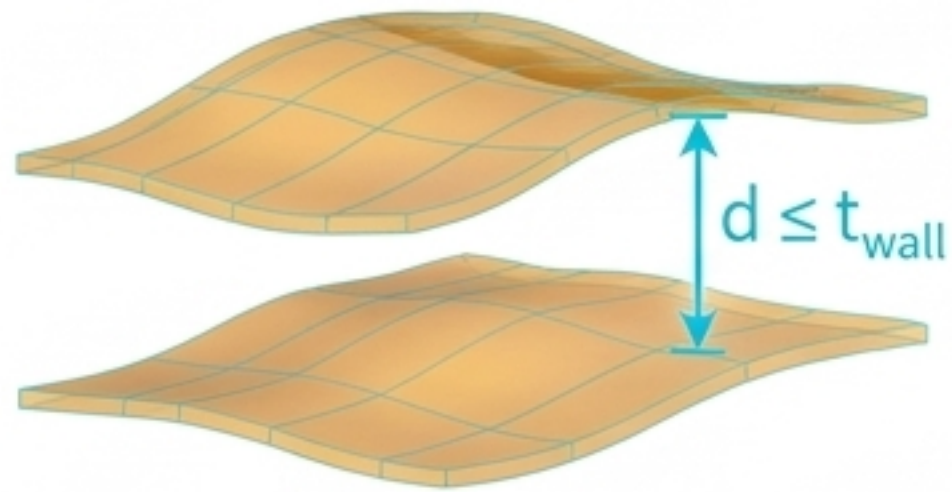
単純な1対1のペアリングに依存。
フィレットなどの連続的な変化や
変動肉厚モデルでトポロジーが破綻。

MidSurferのパラダイムシフト：2段階の革新アーキテクチャ

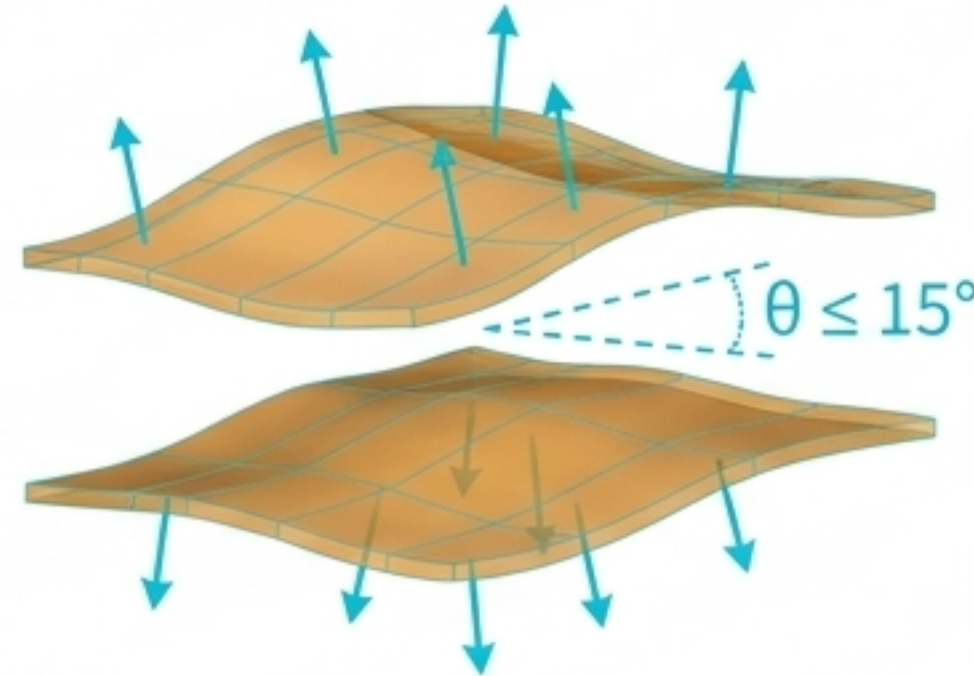


従来のアプローチを再構築。手動介入を排除する「拡張フェースペアリング」と、演算負荷の軽い「高精度中間点抽出」を組み合わせた完全自動パイプライン。

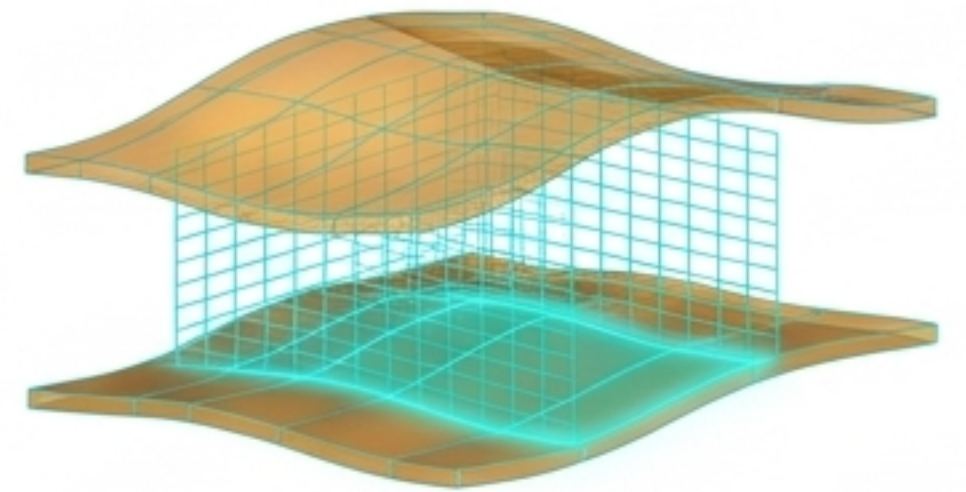
Innovation 1: トポロジーを捉える3つの評価基準



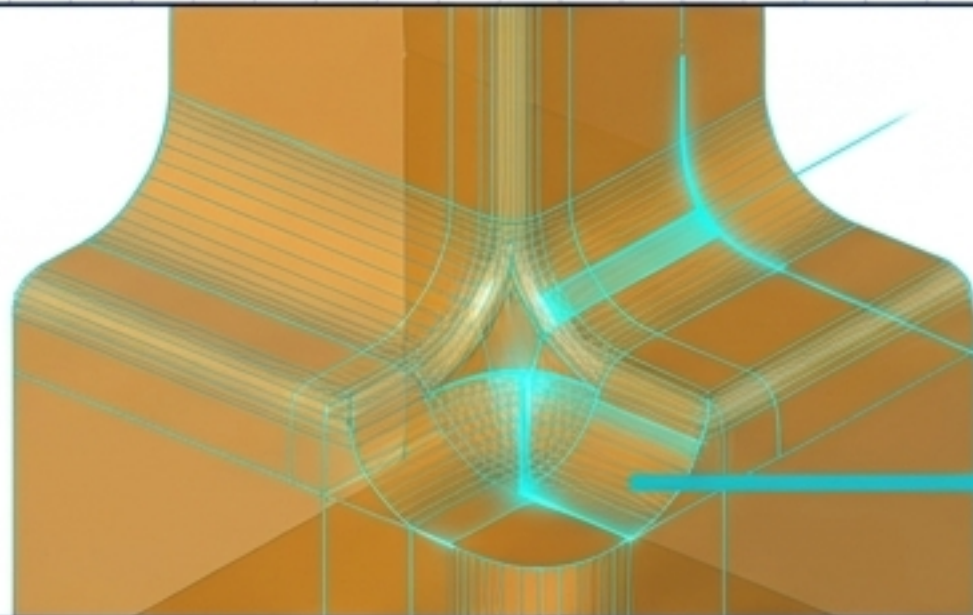
1. 距離 (Distance)



2. 法線 (Normal)



3. オーバーラップ (Overlap)

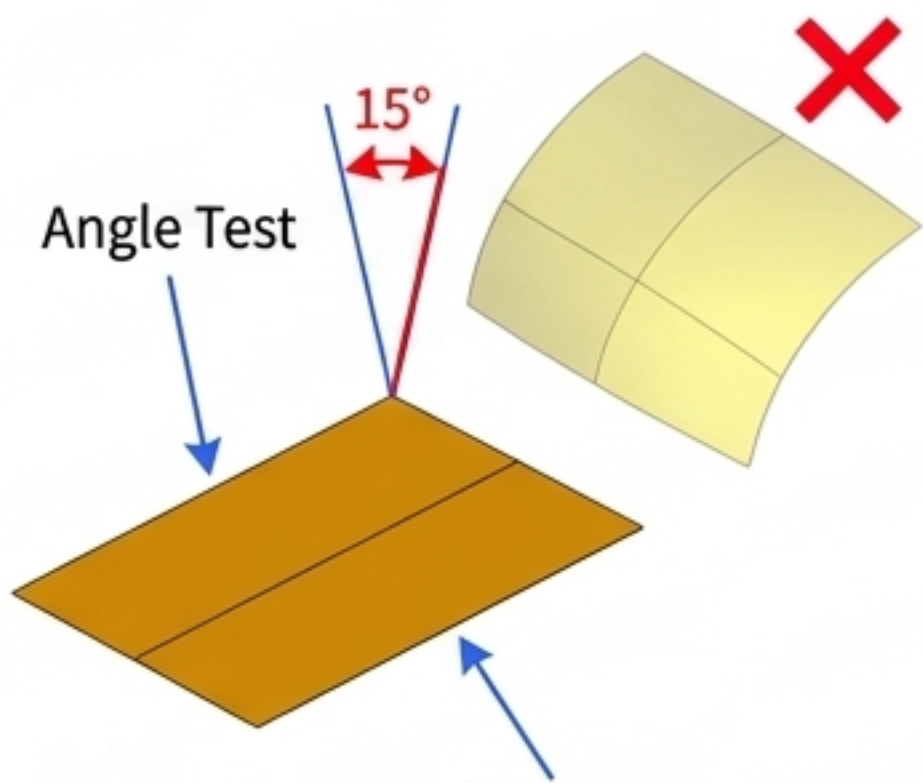


MidSurferは元の形状（特徴）を抑制することなく評価。単純な1対1のペアだけでなく、フィレットや面取りを含む1対n、n対nの複雑な遷移領域を正確にマッピングします。

1-n / n-nペアリング対応

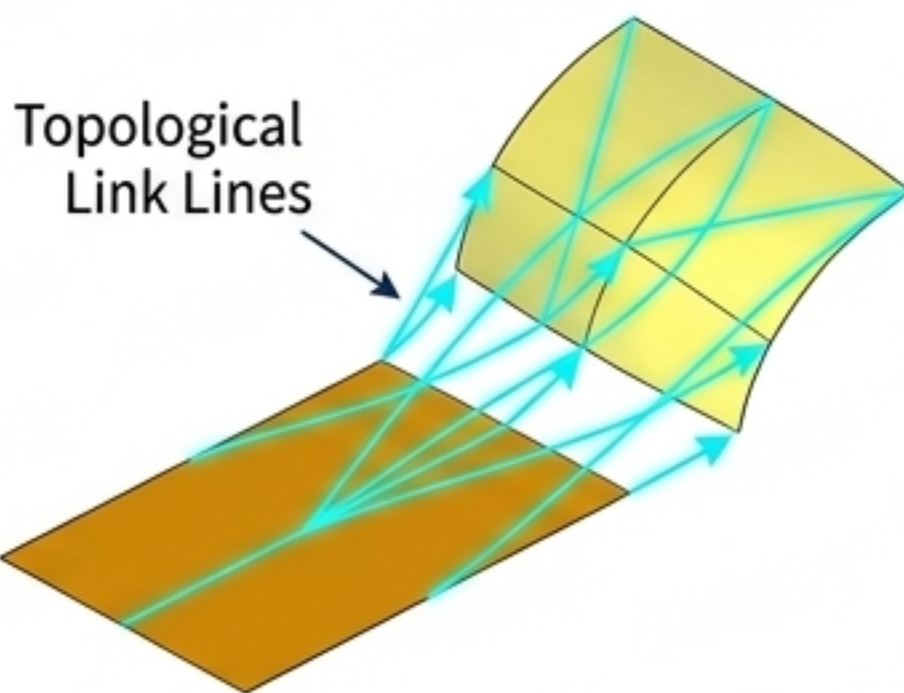
欠落を防ぐ「ペアリング補完」メカニズム

1. 初期基準でのマッチング失敗 (厳格な法線テスト)



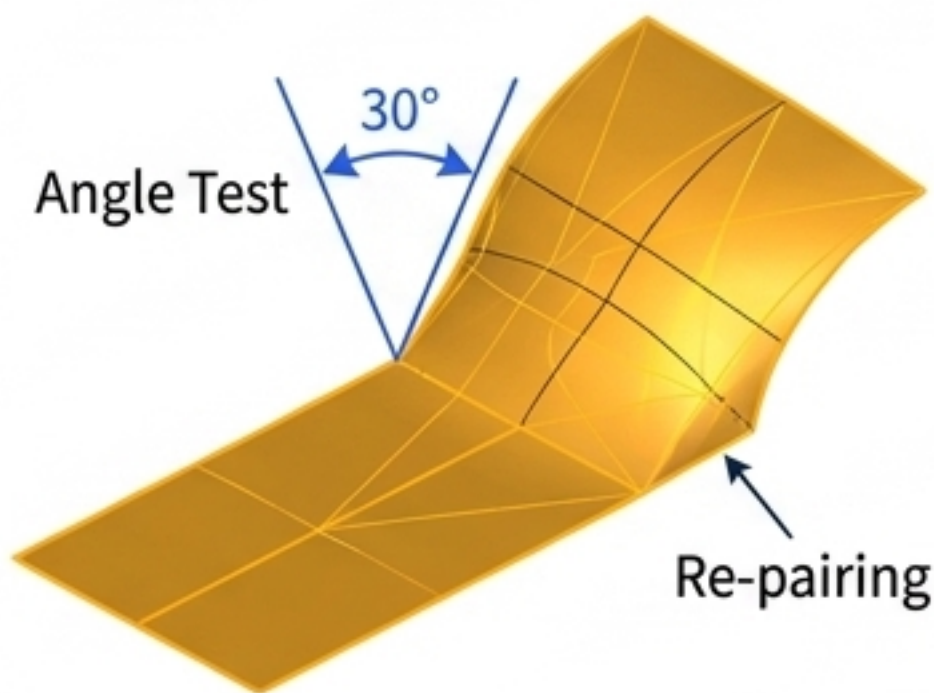
厳格な法線テスト (Normal Criterion) により、複雑な遷移面がペアリング基準から外れる。

2. 隣接面グラフ (Adjacency Graph) の展開



隣接するペアの位相情報を活用し、論理的に連続している面を特定する。

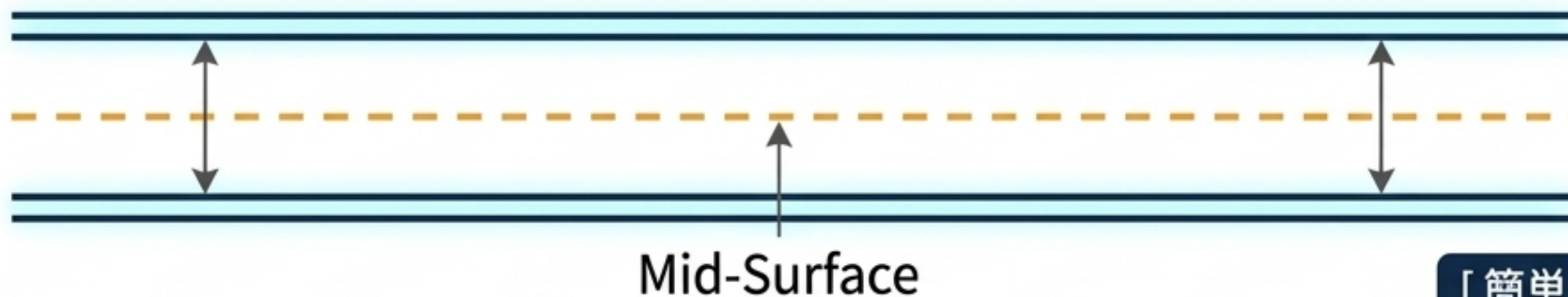
3. ソフトな基準 (Soft Criteria) による再ペアリング



特定された連続面に対し許容値を緩和し、中間面の欠落を完全に防ぐ。

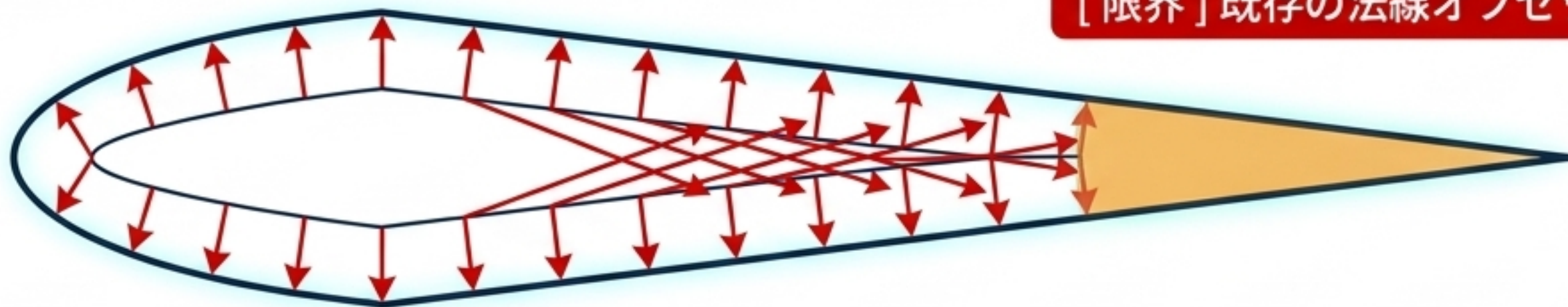
初期の厳密な基準で弾かれた複雑な遷移面（法線の変化が激しい面など）に対し、隣接面の位相情報を活用。論理的に連続している面に対しては許容値を緩和し、トポロジーの破綻や中間面の欠落を完全に防ぎます。

Innovation 2: 変動肉厚モデルという難問



定肉厚
(Constant Thickness)

[簡単] オフセット面生成で対応可能

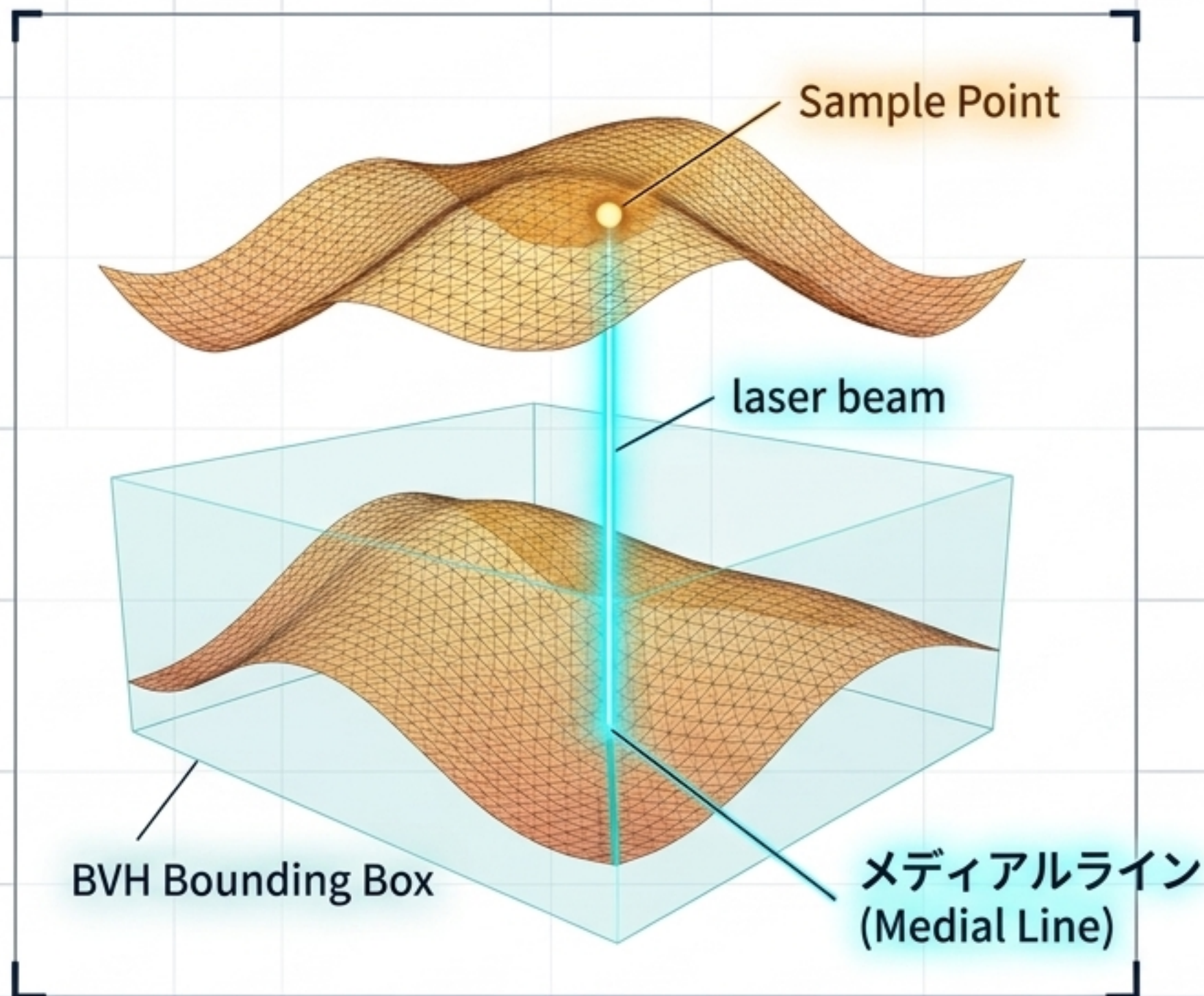


[限界] 既存の法線オフセット手法では交差エラーが発生

変動肉厚
(Variable Thickness)

航空機の翼やタービンブレードのような「変動肉厚モデル」では、従来のオフセット手法は破綻します。MidSurferは、表面生成から「精密な点群 (Point Cloud)」の抽出へとアプローチを根本的に切り替えます。

魔法の解剖：ステップ1 「メディアルライン生成」



重い幾何学的ブーリアン演算を完全に回避

- 面を細かなメッシュに離散化し、BVH (Bounding Volume Hierarchy) を構築。
- 一方の面から他方の面へ高速レイキャストを実行。
- 最短距離を結ぶ「メディアルライン」を無数に生成。この線上に必ず真の中間点が存在します。

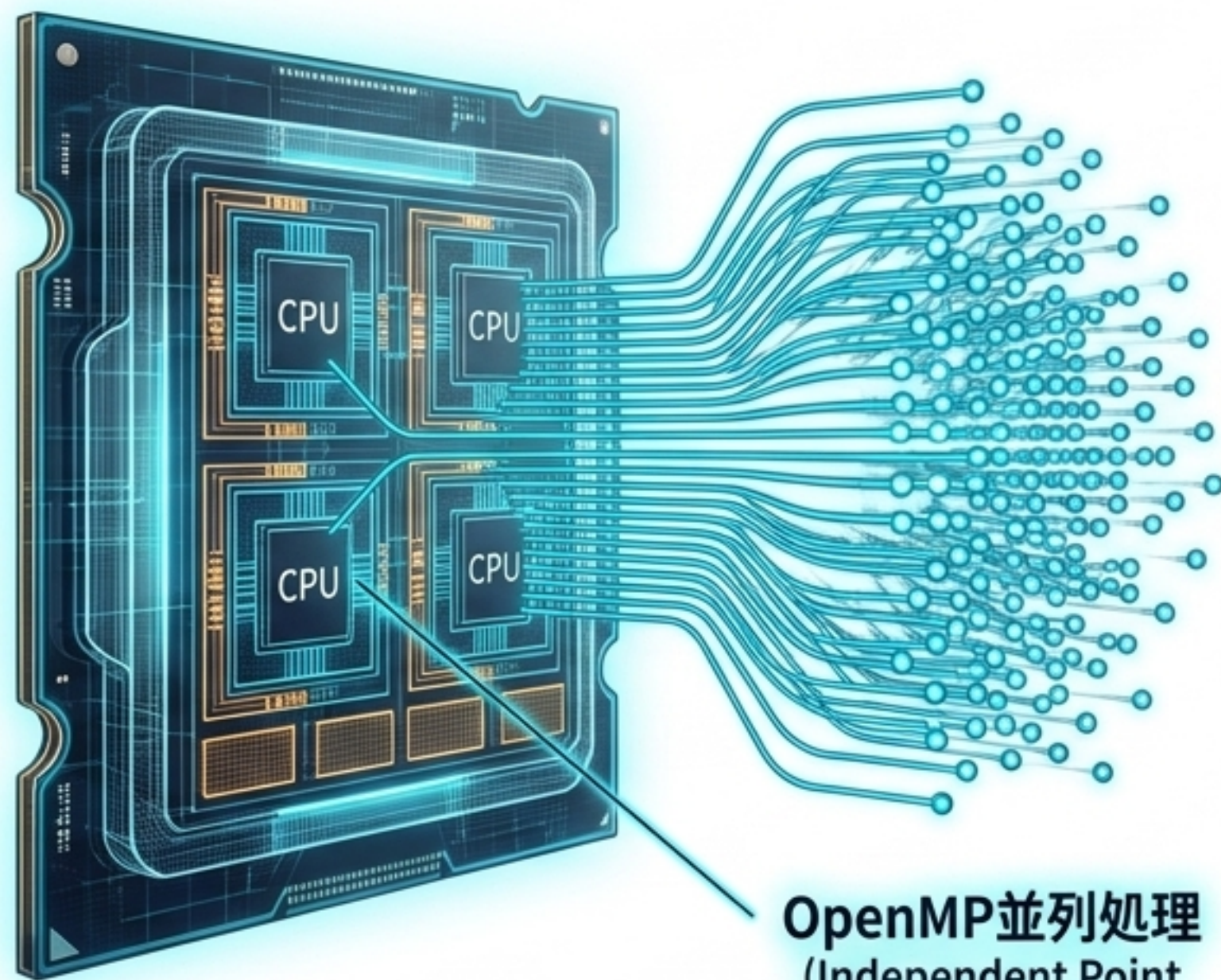
魔法の解剖：ステップ2「バイナリサーチによる中間点特定」



符号の反転が真の中心を示す

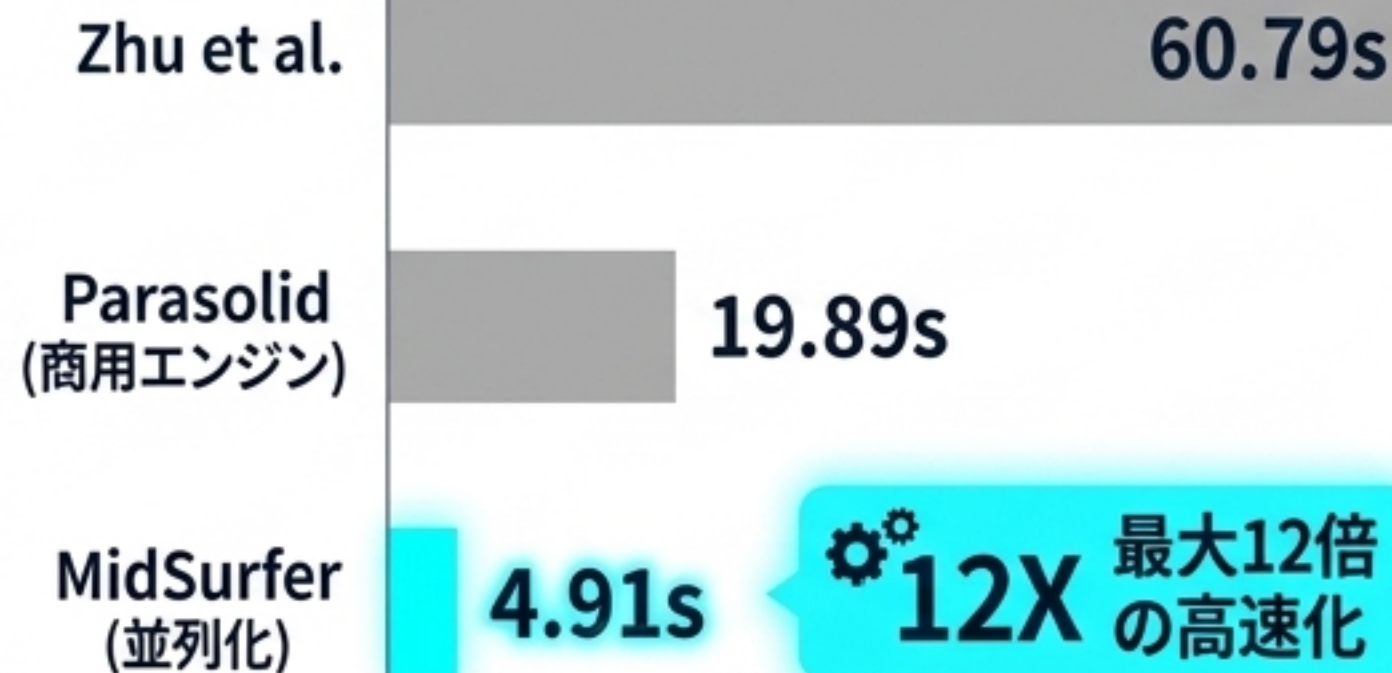
- メディアルライン上で上下の面までの「距離の差」をサンプリング計算。
- 差がマイナス(-)からプラス(+に切り替わる境界を瞬時に検知。
- 高速なバイナリサーチ（二分探索）へ移行し、許容誤差未満の完全な中間点をミリ秒単位で特定します。

マルチスレッド化による圧倒的な高速化



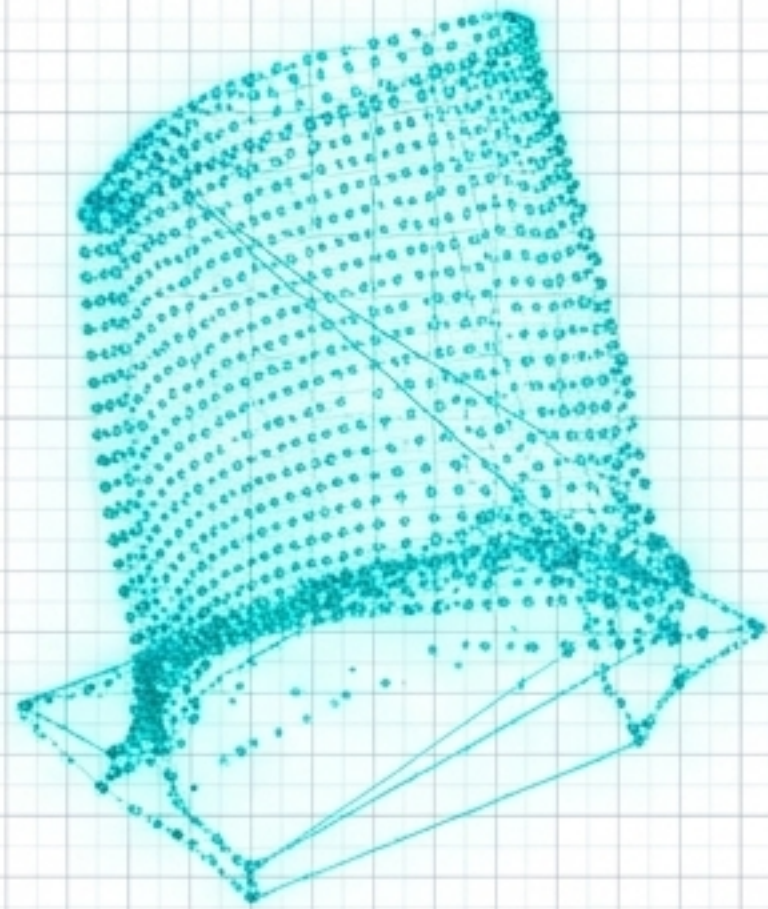
OpenMP並列処理
(Independent Point Calculations)

Geometry Extraction Time (Lower is Better)

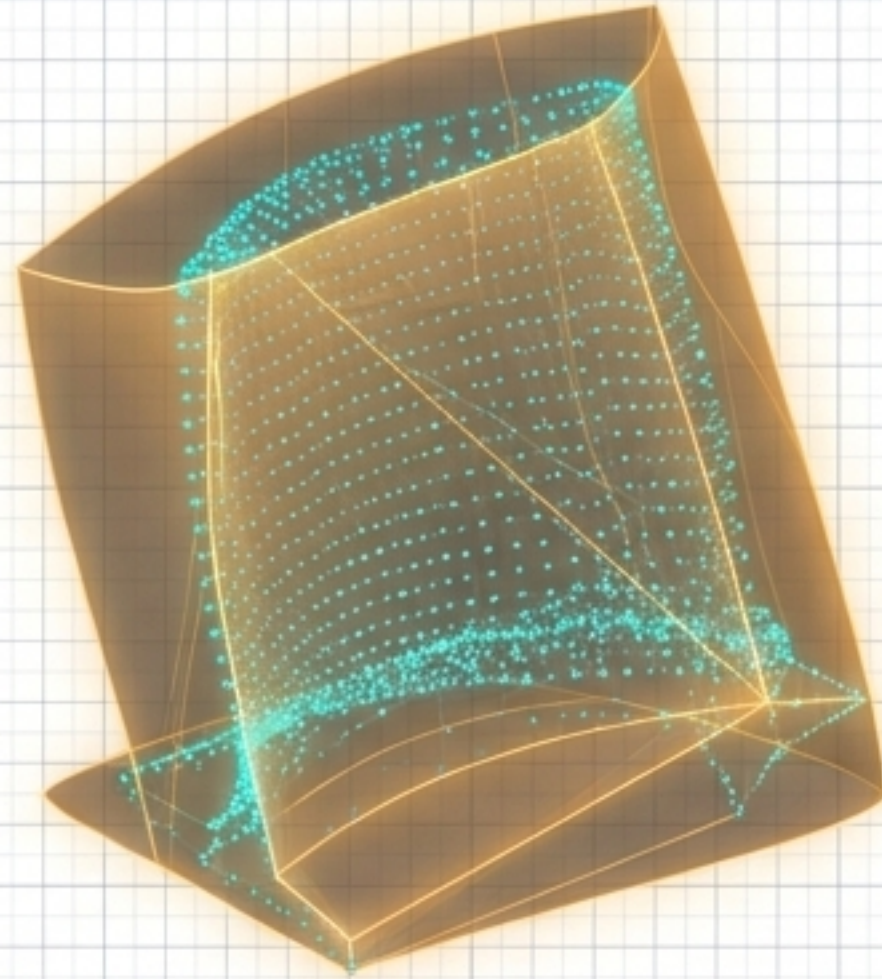


各サンプリングポイントの中間点計算は完全に独立。
CPUマルチスレッディングにより、数分かかっていた
抽出プロセスがわずか数秒で完了します。

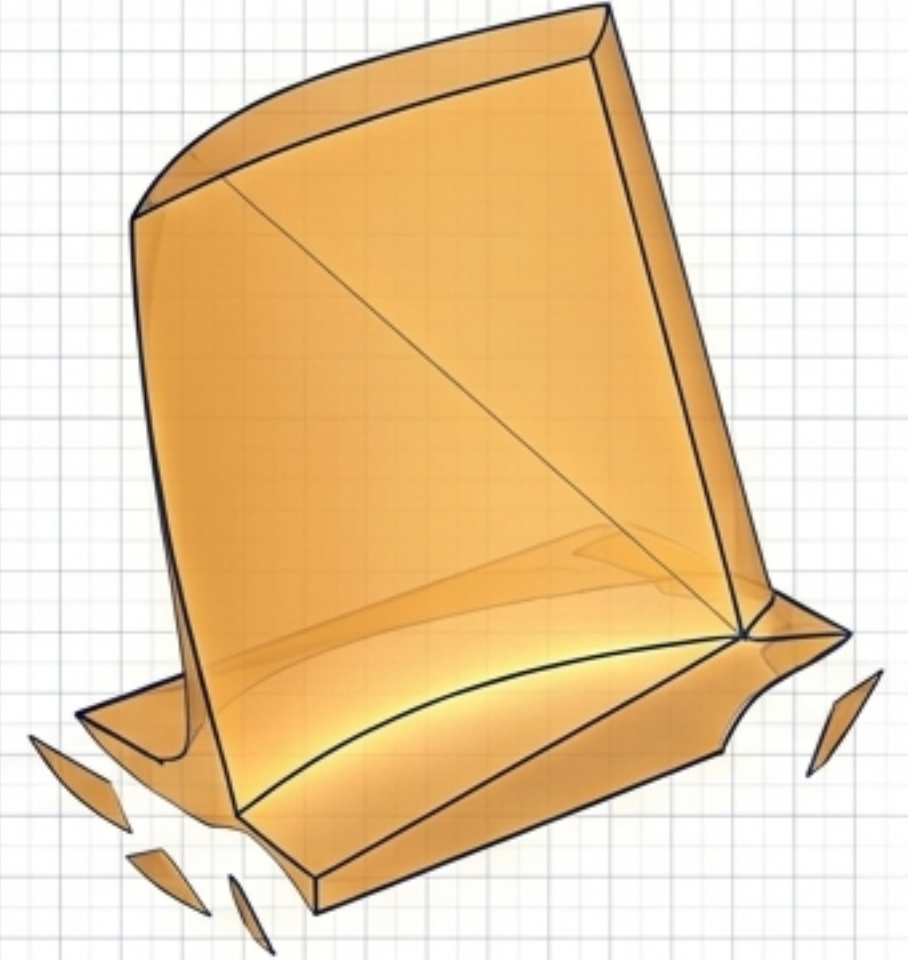
最終仕上げ：NURBSフィッティングとトリミング



1. 抽出された点群 (Point Cloud)



2. C^2 連続 NURBS 曲面のフィッティング

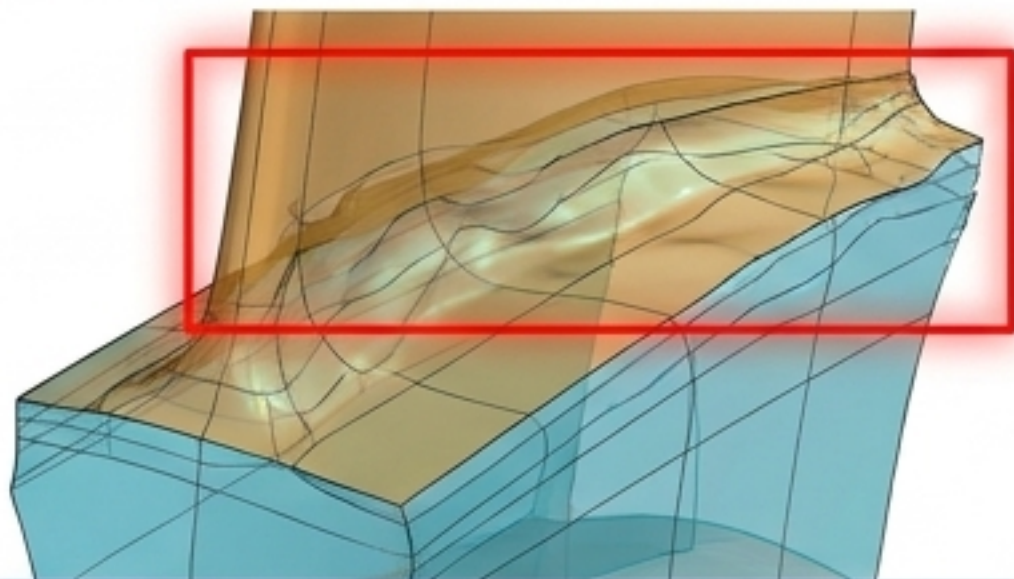


3. 境界インプリント&トリミング

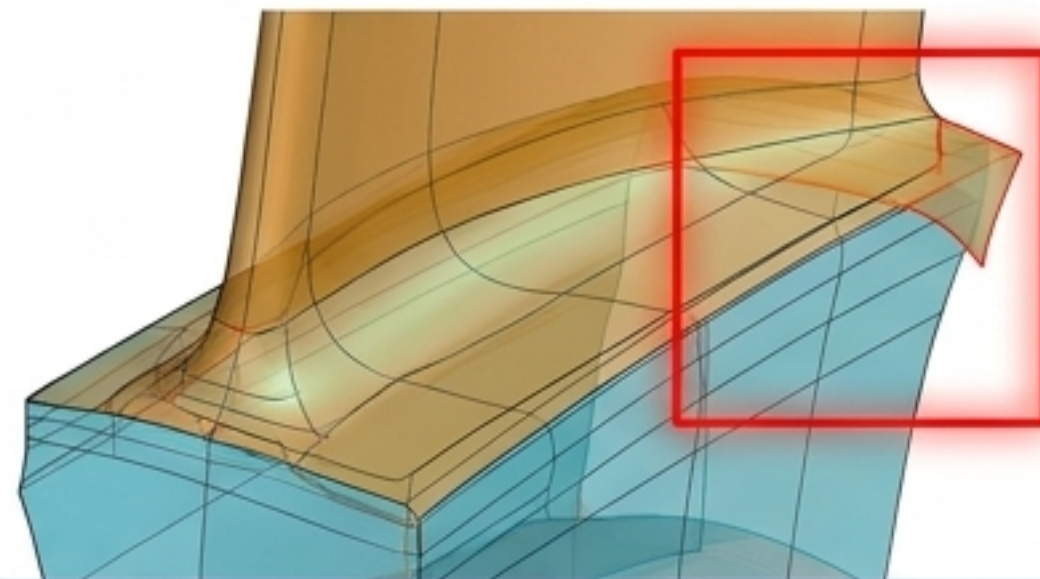
算出された高精度な点群は、滑らかなNURBS曲面へとフィッティングされます。その後、トポロジー情報から得られた境界線を元の表面に転写し、余分なパッチを正確にトリミング。解析に直結するシームレスな中間面が完成します。

ベンチマーク対決：視覚的精度の証明

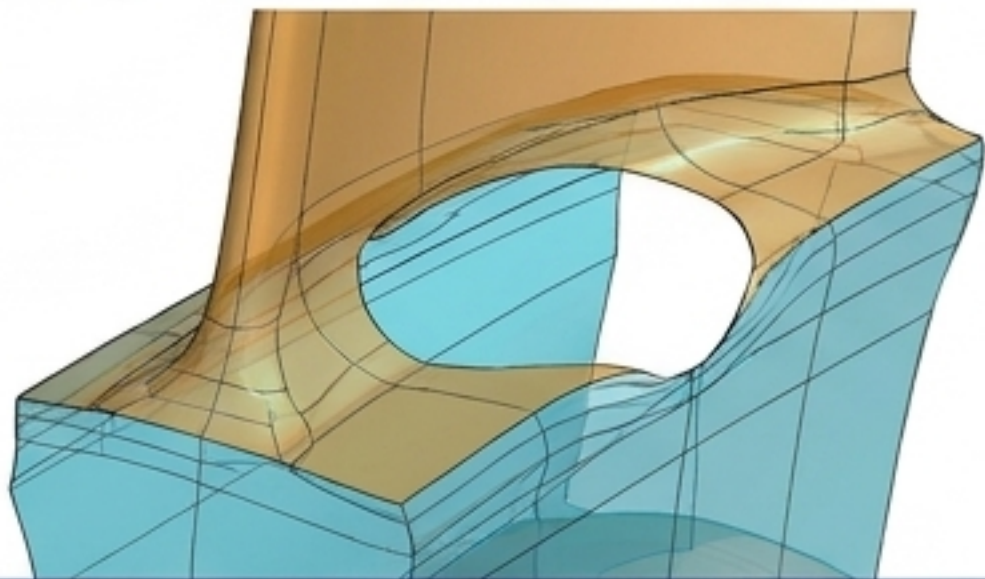
CAT: 境界部の波打ち・形状エラー



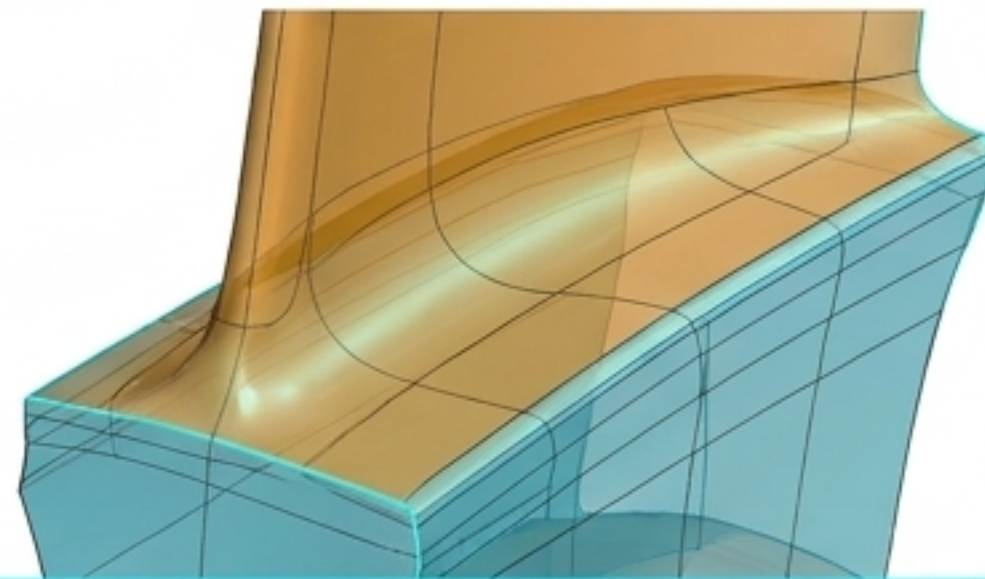
Zhu et al.: 境界の不適切な拡張エラー



Parasolid (商用): 中間面の完全な欠落



MidSurfer: 完璧なトポロジーと滑らかな連続性



複雑な変動肉厚と自由曲面を持つターボインペラ。商用エンジンでも抽出に失敗し欠落が生じる領域において、MidSurferのみが一切の波打ちや境界エラーのない完璧な中間面を構築。

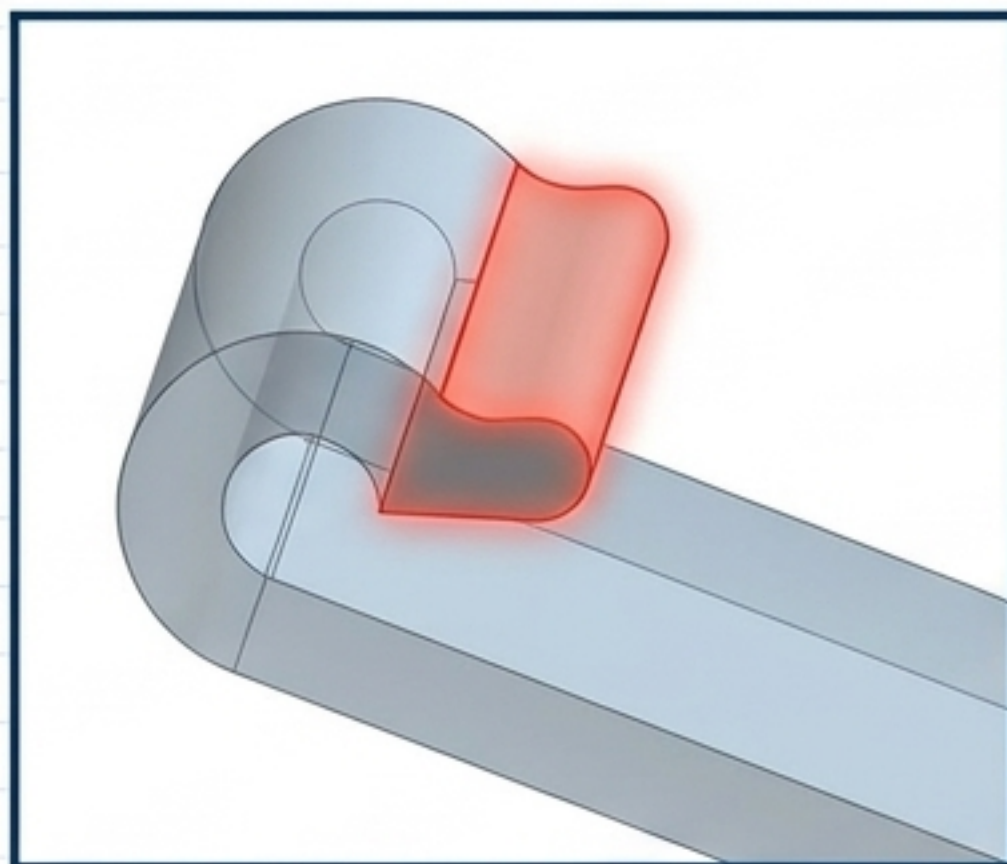
The Ultimate Matrix: 圧倒的な総合性能

アルゴリズム	高精度スコア (R-Error \leq 0.5h)	処理速度 (抽出時間)	全モデル抽出 成功率
CAT	0.49%	(基準)	19.87%
Zhu et al.	0.99%	60.79s	15.02%
Parasolid (商用)	38.52%	19.89s	43.66%
MidSurfer	70.89%	4.91s	69.01%

- ✓ **精度:** サブミリメートル単位の幾何学的精度で他を圧倒。
- ✓ **速度:** 独自の並列処理により商用エンジンの約4倍のスピード。
- ✓ **汎用性:** 独自の213モデルからなる薄肉パーツデータセット検証において最高の成功率を記録。

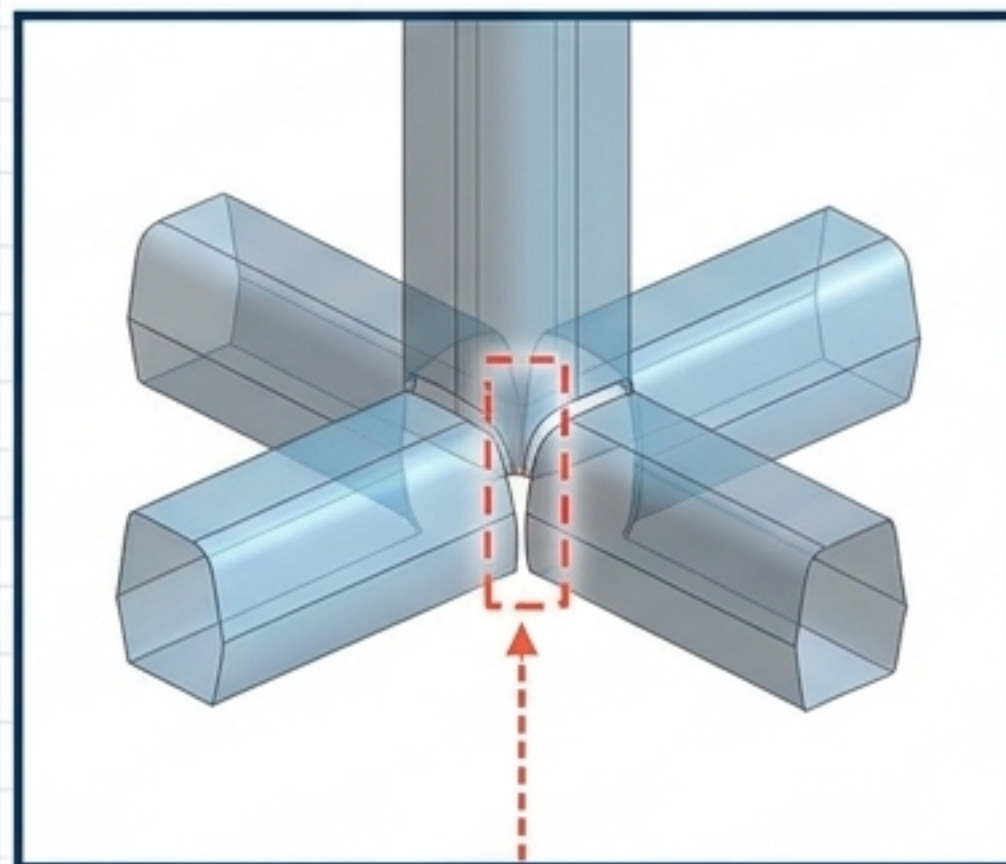
技術の地平と現在の限界 (Limitations)

1. 境界の単一面処理



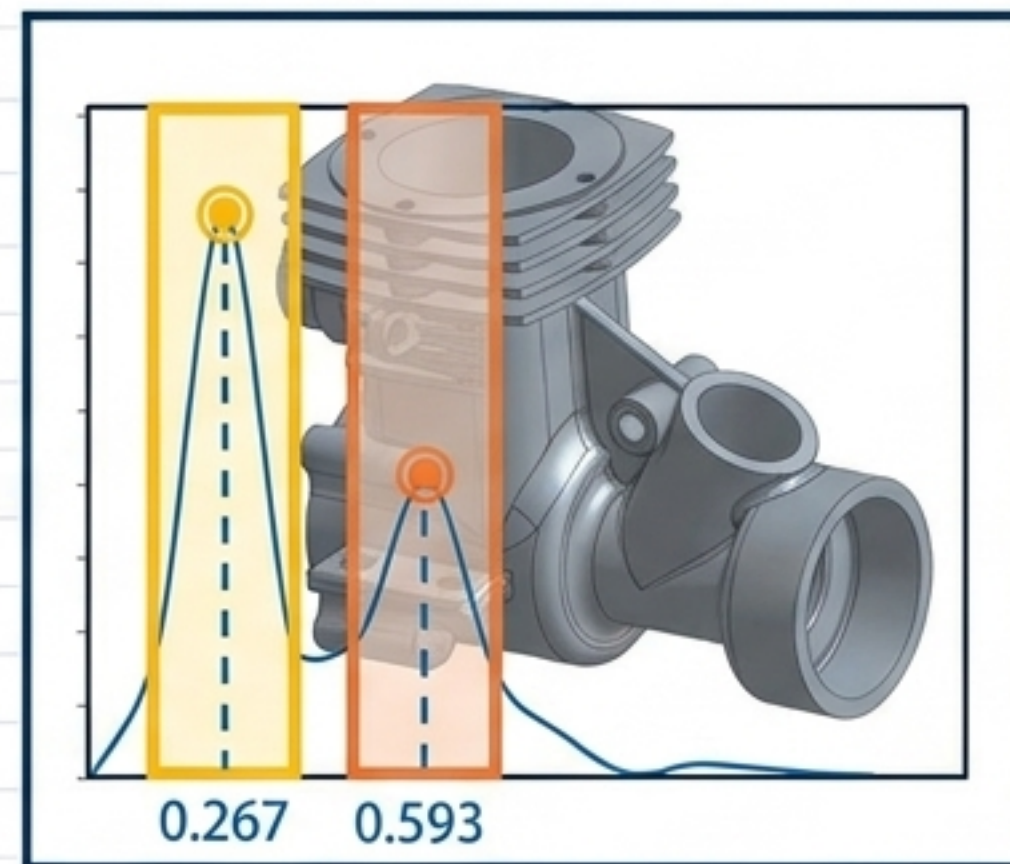
エッジ部分に存在する単一面の処理・セグメンテーション。

2. 極端なトポロジー欠損



リブ構造などにおける、微小な接続ギャップの発生。

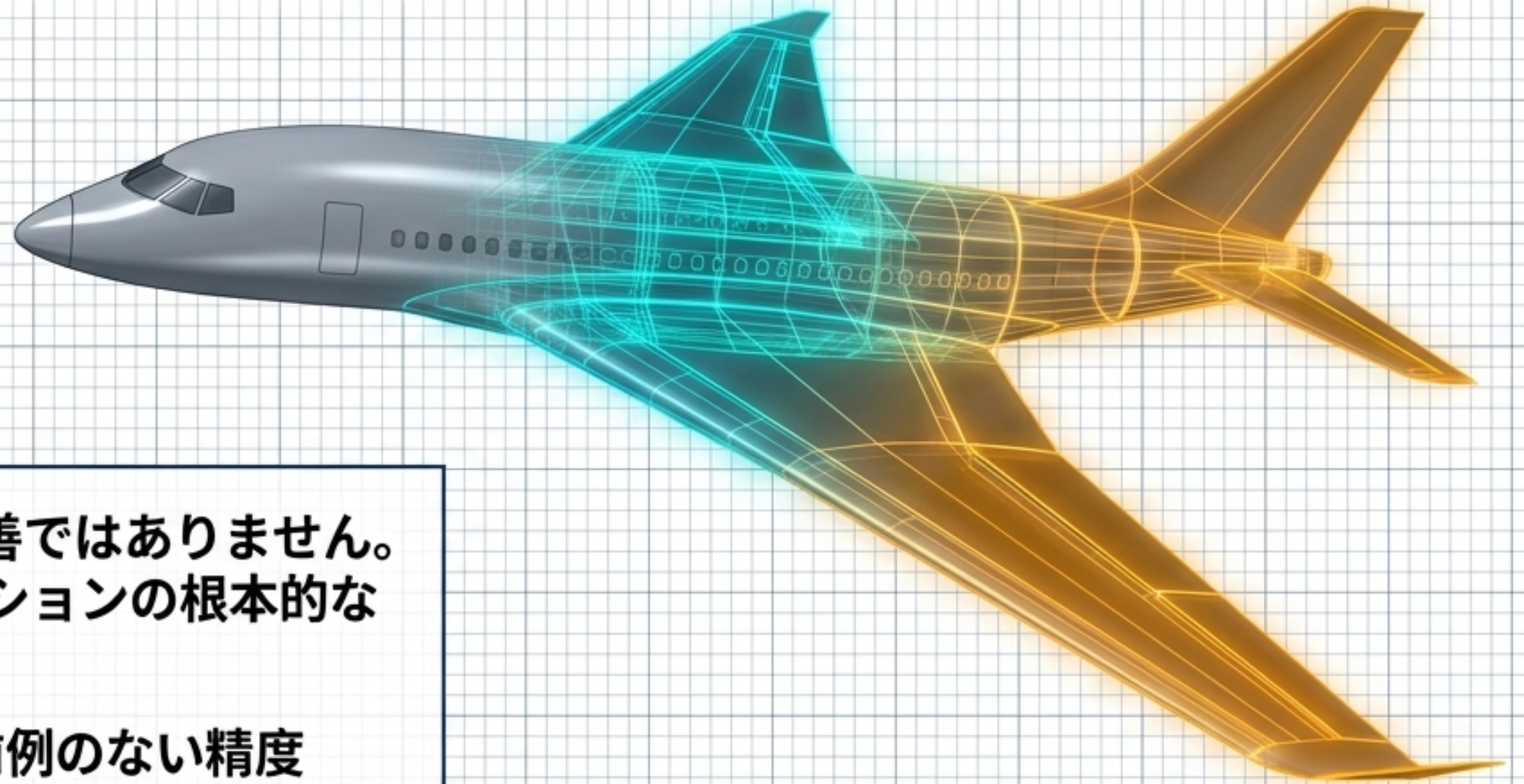
3. 複数の肉厚ピーク



完全自動化が困難であり、現在ユーザーによるしきい値選択が必要。

MidSurferは強力ですが、万能の魔法ではありません。学術的・工学的誠実さとして、今後のアルゴリズム拡張の余地を残している領域を明記します。

CAD/CAEの未来を設計する



MidSurferは単なる数式の改善ではありません。
エンジニアリングシミュレーションの根本的な
ワークフローを変革します。

- 変動肉厚モデルに対する前例のない精度
- 手動介入を完全に排除する高度な自動化
- マルチスレッドによる驚異的な高速処理

Next: GPUアクセラレーションによるリアルタイム抽出への進化を見据えて