
株式会社ファソテック

設計者CAE向け
ビジネスコラムシリーズ

「構造最適化解析で3Dプリンタ造形革新」

FAJOTEK

設計者CAE向けビジネスコラムシリーズ

「構造最適化解析で3Dプリンタ造形革新」 目次

1. 構造最適化解析と3Dプリンタ活用の勧め
 2. 3Dプリンタ造形部品のトポロジー最適化例
 3. 形状最適化解析と金属3Dプリンタ造形の連携
 4. ビード補強最適化解析例
-

構造最適化解析で3Dプリンタ造形革新

1. 構造最適化解析と3Dプリンタ活用の勧め

1. 構造最適化のニーズ

昨今の動向として自動車などの開発においては部品の軽量と強度のトレードオフ事象を最適化する設計が強く求められています。シンプルな事象に対する最適化は、ベテラン設計者の知恵と簡単な計算である程度成し遂げられていますが、マルチフィジクス（構造・流体・熱 etc.）などの複雑な事象に対する最適設計は、コンピュータによる大規模なシミュレーションが必要となります。そして現在コンピュータによる最適化手法は、技術的な進歩を遂げて設計現場でも活用され始めており、今後この構造最適化はCAEの必須機能になると予想されます。

図1に示しますように構造最適化ツールと弊社が販売する金属材料3DプリンタMetal X（Markforged社開発）を組合せて活用することにより製品開発プロセスにおける手戻りを削減し開発期間短縮の効果が期待されています。

図1.最適化とラピッドプロトタイピングを駆使した製品開発プロセス

従来の製品開発プロセス



最適化ツールと3Dプリンタを活用した製品開発プロセス



構造最適化解析で3Dプリンタ造形革新

1. 構造最適化解析と3Dプリンタ活用の勧め

2. 構造最適化手法の種類

構造最適化手法は、大きく分けて以下の3つに分類され、それぞれ用途が異なると考えます。

トポロジー最適化

形状最適化

寸法最適化

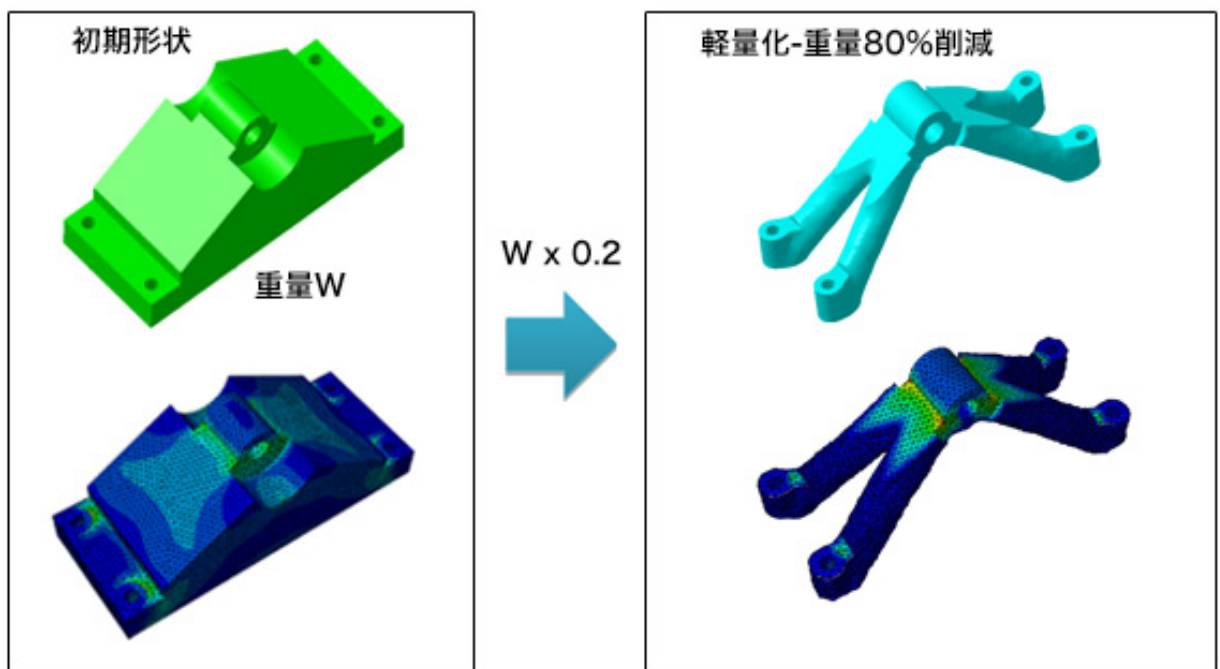
1. は、ある設定した設計空間の範囲で、目的関数を満たすように大胆な形状を生成します。例えば部品の形状を四角が良いか三角が良いかなど設計初期において最適な概念設計を導く効果があります。

2. は、穴の形状を円形から楕円に変えるなど詳細設計フェーズで細部形状を最適化するのに効果があります。最適化する設計範囲を指定しますが、設計変数の設定は不要です。

3. は、板厚など最適化する設計変数を明示する手法です。詳細設計フェーズで形状細部の寸法を最適化するのに効果があります。

図2にトポロジー最適化のサンプルを示します。

図2.トポロジー最適化例



Markforged社製3Dプリンタ Metal Xと最適化ツールの組合せにご興味ございましたら、資料最終ページの「お問い合わせ」にてご連絡ください。

1. 構造最適化のニーズ

トポロジー最適化は新製品開発においてゼロベースから部品の最適な新形状を生み出すときに有効な手法です。類似設計や派生設計において従来の部品形状を元に最適化する目的には向いていないと考えます。なぜならばトポロジー最適化は最初に部品の形状が納まる設計空間を定義してその空間の範囲内に最適な形状が生成されますが、もし類似設計で従来の部品形状を設計空間として最適化解析すると従来部品形状をはみ出して大きくしたり肉盛りされることは皆無になり真の最適形状は得られないこととなります。

トポロジー構造最適化ソフトウェアは近年多くのベンダーから提供されていますが、ダッソー・システムズ製品としてはTosca structureや3DEXPERIENCEのFunction Driven Generative Designer (GDE)が挙げられます。なお本コラムではGDEを使って最適化した例を掲載しております。

2. トポロジー最適化解析と3Dプリンタ造形の手順

最適化対象部品の形状生成が許される3次元の領域範囲を定義します。これをデザイン・スペースまたは設計空間と呼びます。

設計空間のうち部品に荷重が作用する領域や境界条件が設定される領域は形状が変更がされないように機能領域として設定します。設計空間から機能領域を差し引いた部分のみが最適化に伴い新しい形状が生成されます。

まず設計空間形状モデルに荷重条件と拘束条件を設定して応力解析を行います。

最適化解析のために目標関数を定義します。この例の場合は剛性最大化です。

次に制約条件を設定します。この例では重量が設計空間の15%に軽くなるように設定しています。

最適化ソルバーを実行すると目的関数に沿って制約条件を満たすように最適化された形状が生成されます。

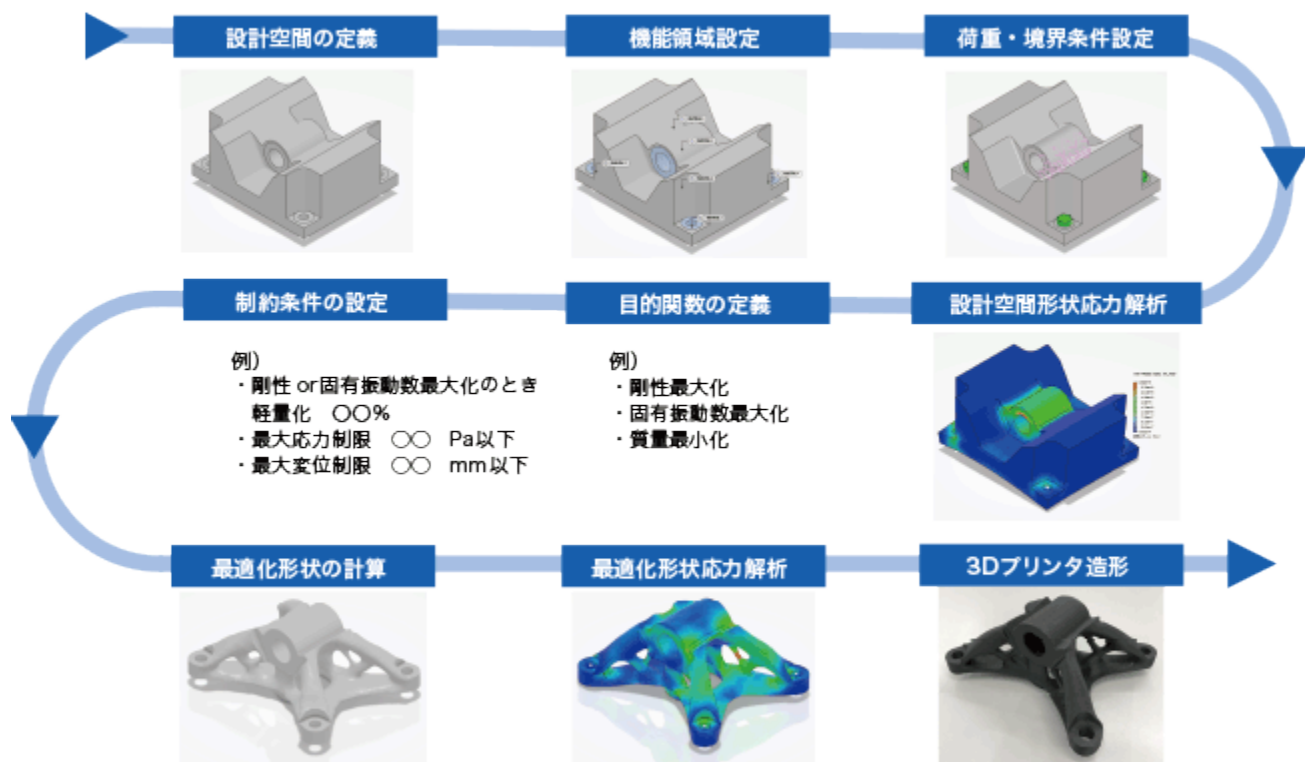
最適化形状をSTLファイルでエクスポートして3Dプリンタに入力し造形します。この例ではMarkForged社3DプリンタMark Twoを使ってオニキス材料で造形しております。

図1にトポロジー最適化解析の流れを示します。

構造最適化解析で3Dプリンタ造形革新

2. 3Dプリンタ造形部品のトポロジー最適化例

図1. トポロジー最適化解析と3Dプリンタ造形の流れ



注) 上記のモデル形状はダッソー・システムズ社のGDEデモパッケージより引用。

3Dプリンタと最適化ツールの組合せにご興味を持たれている方はぜひ資料最終ページの連絡先までお問い合わせください。

3.形状最適化解析と金属3Dプリンタ造形の連携

1. 形状最適化の特長

形状最適化（Shape Optimization）解析は既存の部品形状をベースに最適な設計改良案を導き出す手法ですので、流用設計や派生設計の場合に有効です。この手法は初期形状のメッシュモデルにおいて要素を構成している節点の位置を移動させて最適化形状を表現しますので元形状より膨らんだり縮んだりした形状を創出することができます。なお節点の位置座標の移動により有限要素の構成節点群が変わったり節点の数が増減することはありません。

一方、前号で紹介しましたトポロジー最適化解析は設計空間メッシュモデルにおける有限要素を変形または削除して最適化形状を表現しますので画期的な形状を創出できますが設計空間をはみ出る形状は生み出されません。

これに対して形状最適化は最適化領域を部分的に自在に設定することにより意図した最適化形状を得ることができます。本コラムでは薄板をプレス成形してできたブラケット部品を例に挙げて最適化した形状2案を掲載しております。

2. 形状最適化解析と3Dプリンタ造形の手順

最適化対象部品の元形状を3Dモデルで準備します。

部品形状の中で形状最適化を施したい境界部分（エッジ、面、セル）を最適化領域として指定します。

初期形状モデルに荷重条件と拘束条件を設定して応力解析を行います。

最適化解析のために目標関数を定義します。このブラケットの場合はミーゼス応力最大値の最小化です。

次に制約条件を設定します。この例では重量が変わらない条件を設定しています。

最適化ソルバーを実行すると目的関数に沿って制約条件を満たすように最適化された形状が生成されます。

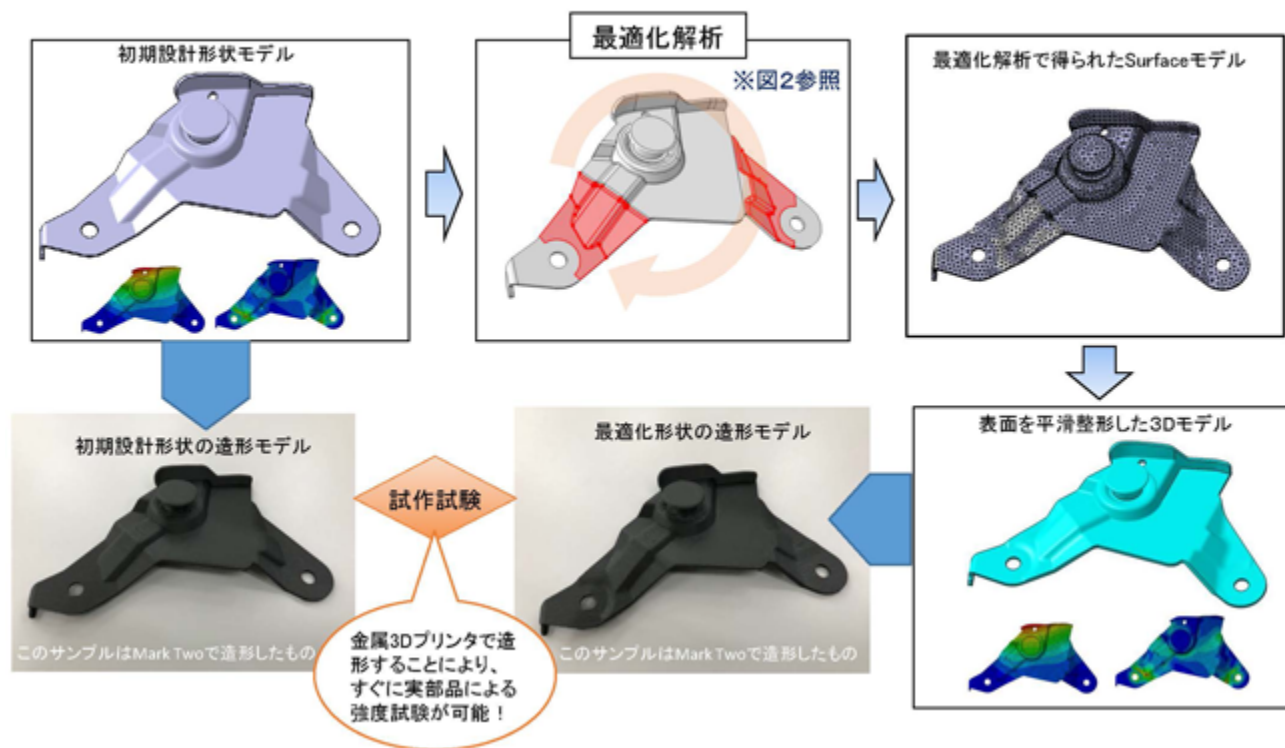
最適化形状をSTLファイルでエクスポートして3Dプリンタに入力し造形します。

この例では弊社既設のMarkForged社3DプリンタMark Twoを使ってカーボン含有のオニキス材料で造形しておりますが、今後リリース予定の同社金属3DプリンタMetal Xで造形することによりそのまま実機強度試験に供することができるため、即座に応力緩和度を確認できるものと考えます。金属3Dプリンタ造形のメリットは最適化解析で得られた形状が少々複雑であっても試作の加工方法検討や金型の準備などを省略でき試作期間を大幅に短縮できることです。

図1は形状最適化解析と金属3Dプリンタ造形の活用連携の流れを示します。

3.形状最適化解析と金属3Dプリンタ造形の連携

図1. 形状最適化解析と金属3Dプリンタ造形の活用フロー



3.形状最適化解析と金属3Dプリンタ造形の連携

図2および図3はブラケットの最適化領域をそれぞれ変えた場合の最適化形状の違いを対比しています。

図2. 形状最適化解析 (Shape Optimization) 第1案

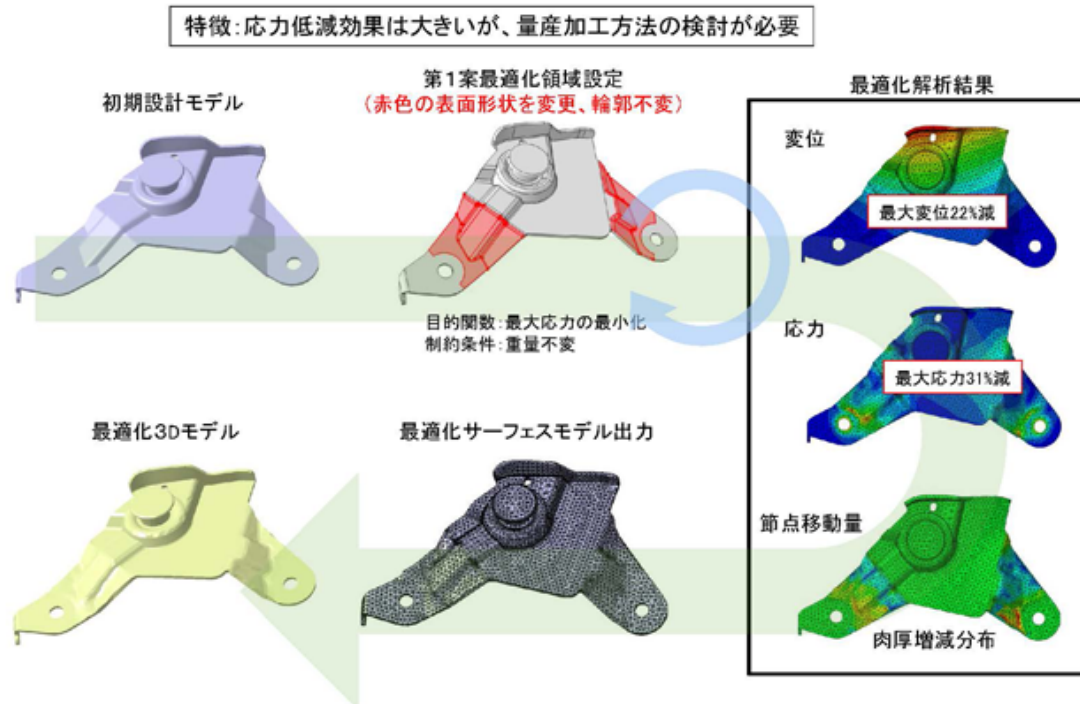
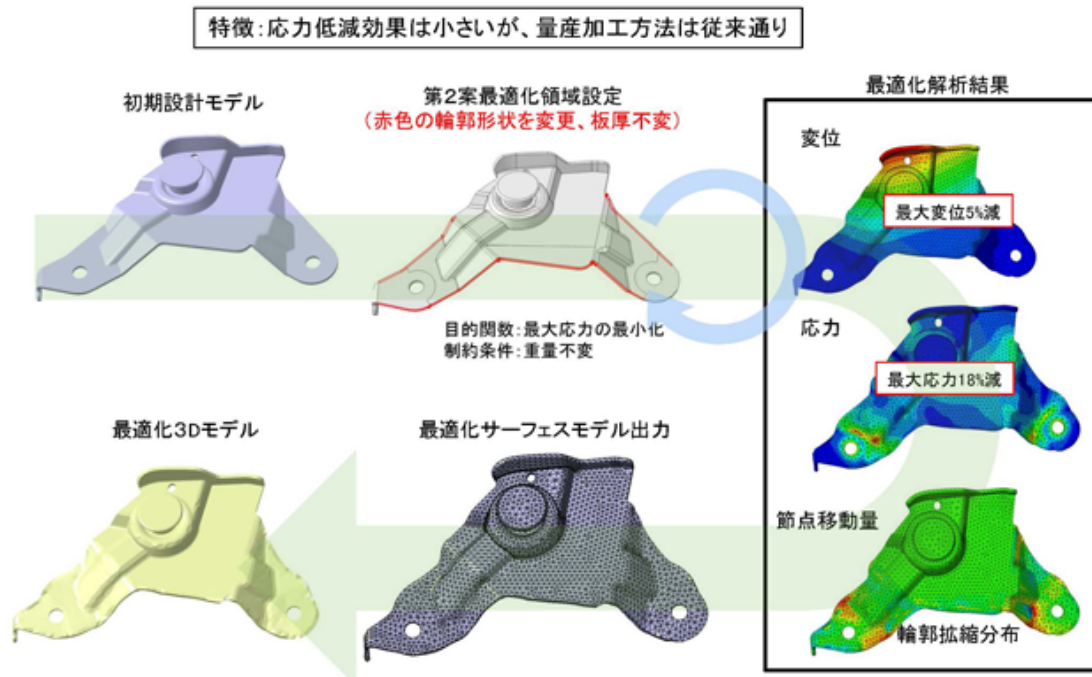


図3. 形状最適化解析 (Shape Optimization) 第2案



構造最適化解析で3Dプリンタ造形革新

3.形状最適化解析と金属3Dプリンタ造形の連携

金属3DプリンタMetal Xと最適化解析ツールの組合せにご興味を持たれている方はぜひ弊社総合窓口（メール：info@fasotec.co.jp）までお問合せください

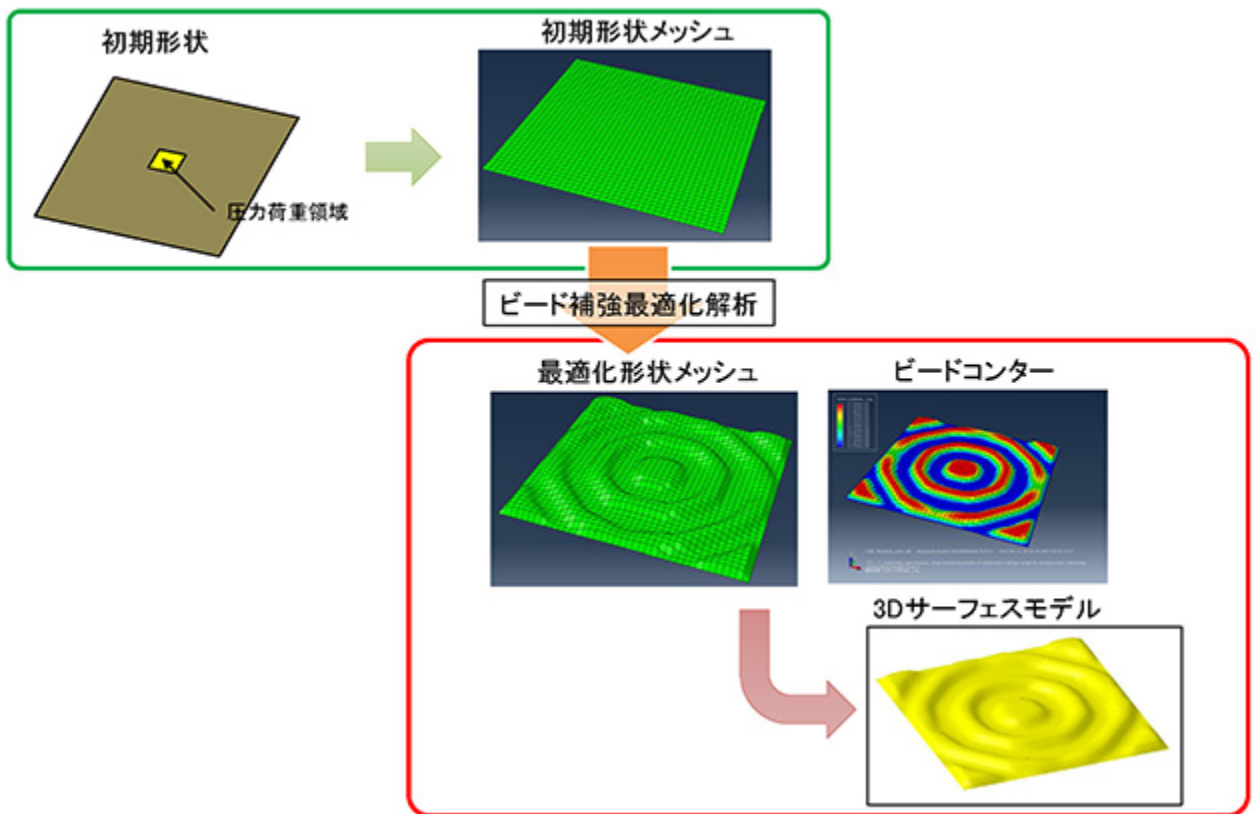
4. ビード補強最適化解析例

1. ビード補強最適化の特長

ビードの配置は面外荷重を受ける薄板構造物の曲げ剛性を高める効果があります。外荷重により生じる曲げモーメントを板厚の増加のみで賄うことは重量の極端な増加を伴ってしまいます。そこで板厚を増やさず断面2次モーメントを大きくする方法がビードによる補強です。ビード補強最適化は与えられた荷重に対して変位を最小化するビードの効果的な配置パターンを出力します。

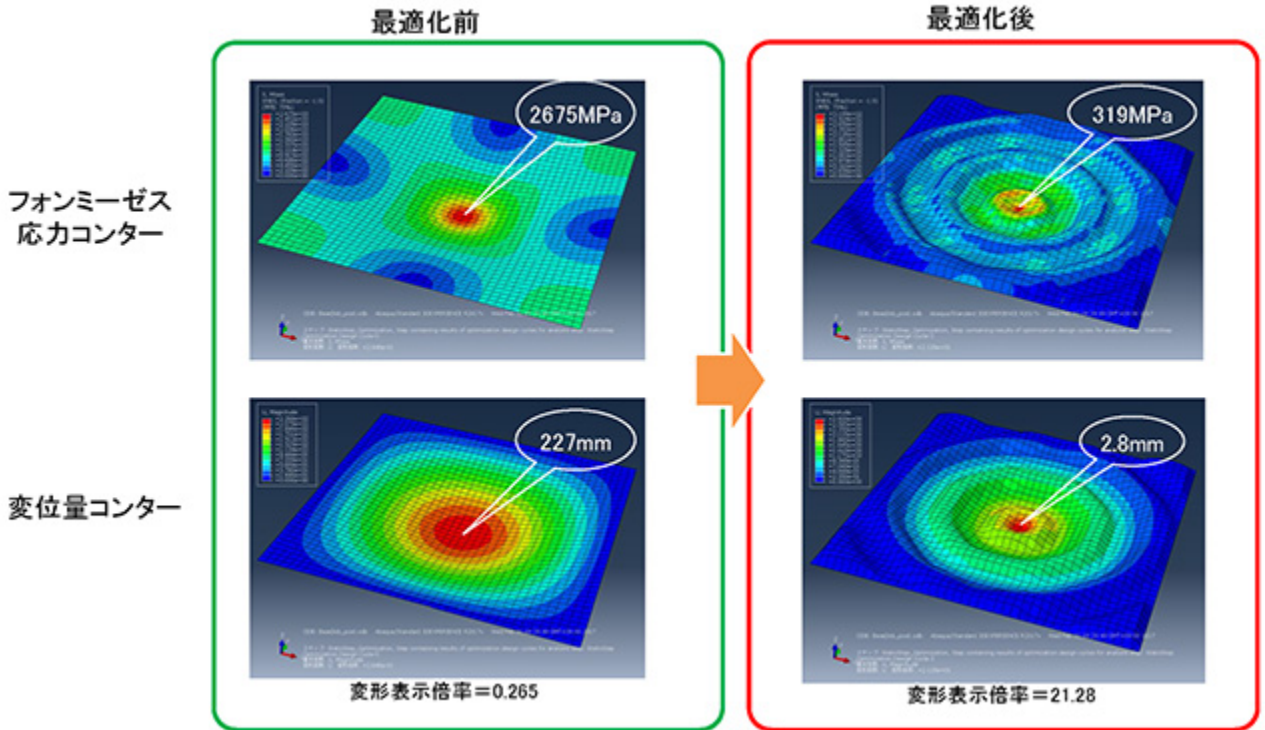
図1に中央に集中圧力を受ける平板のビード補強最適化解析例を示します。図2に示すようにビードが最適配置された形状では変位や応力の大胆な低減が図られています。

図1. 平板のビード補強最適化例



4. ビード補強最適化解析例

図2. 平板の最適化前後の解析結果



2. ビード補強最適化解析の手順

前号と同様に薄板でできたブラケットをサンプルモデルとしてビード補強最適化解析の手順を図3に説明します。

部品のソリッド形状から薄板構造部分のみから中立面を抽出してサーフェスモデルを作成します。

薄板部分のうちビードを配置して剛性を高める領域を指定します。

薄板部分はシェル要素でメッシュ分割します。ソリッド形状を含む場合はソリッド要素とシェル要素が混在したハイブリッドモデルになります。

最適化解析条件を設定します

制約条件：ビード幅、ビード最大高さ

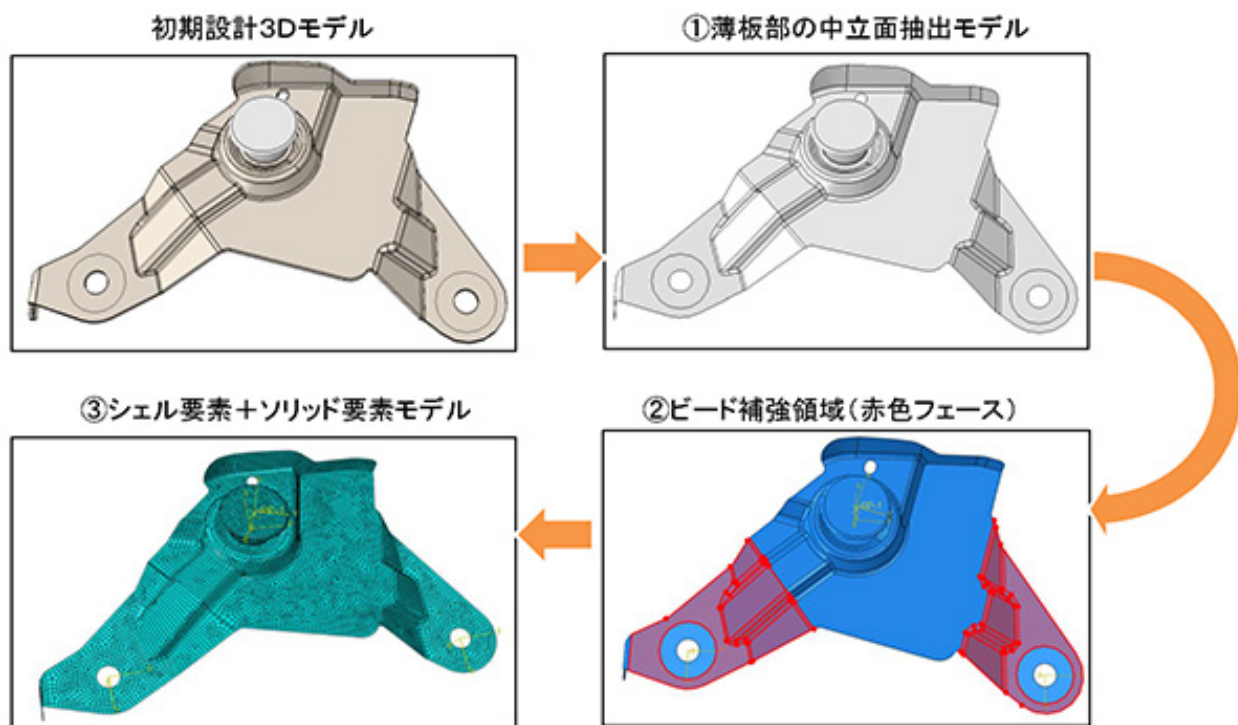
目的関数：剛性の最大化

上記条件で解析した結果を図4に示します。ビードコンターで示すビードの配置により最適化前後で最大応力20%減、最大変位15%減の効果が得られる結果となります。

4. ビード補強最適化解析例

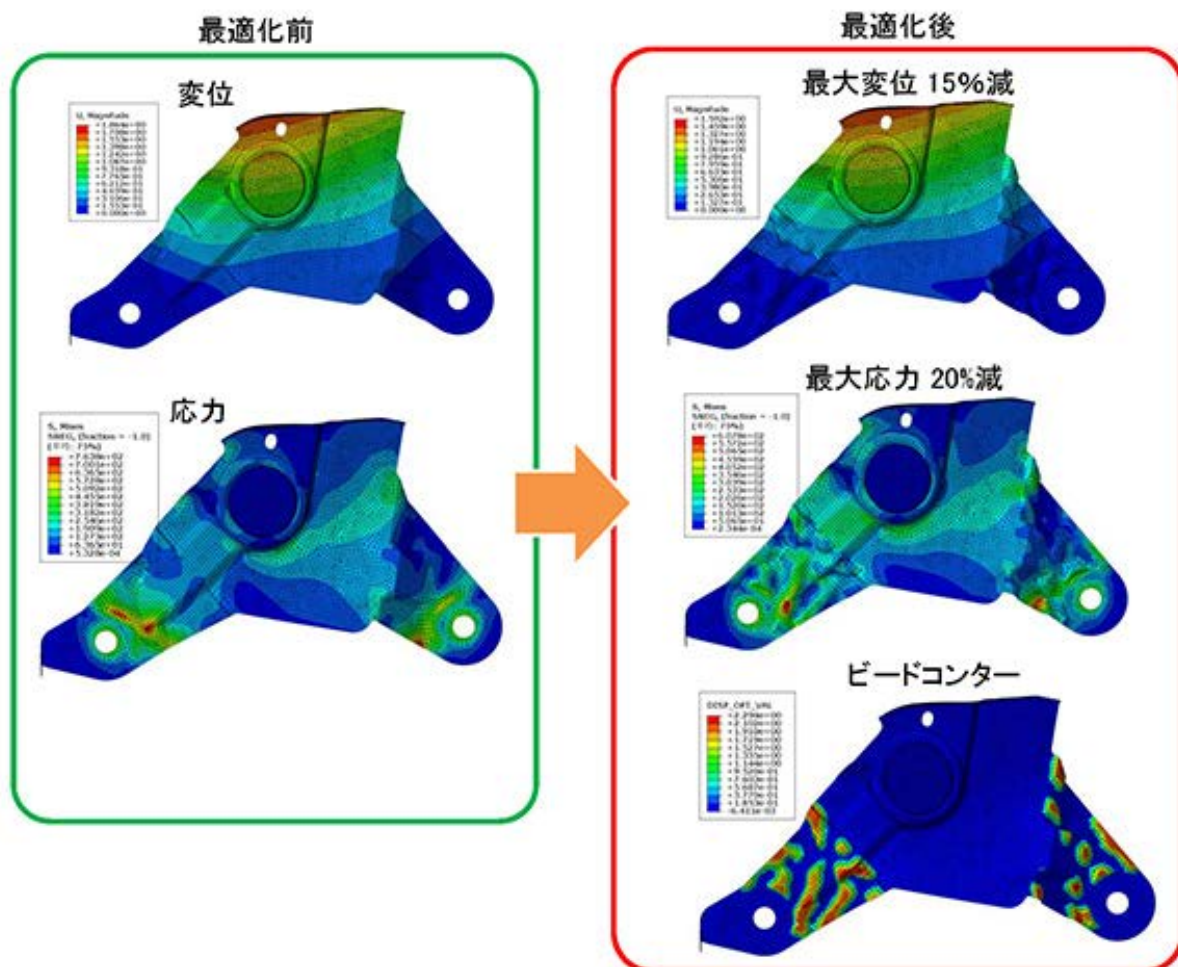
図3. ブラケットのビード補強最適化例

解析モデル化および解析条件の設定



4.ビード補強最適化解析例

図4. ブラケットの最適化前後の解析結果



おわりに

構造最適化解析シリーズの4つのコラムについてまとめますと、設計開発の目的に応じて構造最適化の各手法を選択することにより最適な設計案を生み出し、またその設計案を短期間で実物に成形できる3Dプリンターの活用を組み合わせることにより製品開発期間のさらなる短縮を図れるものと考えます。

3Dプリンターおよび構造最適化テクニックにご興味をお持ちの方はぜひ弊社へお問い合わせください。

著者情報



株式会社ファソテック 技術顧問 CAEコンサルタント 藤田俊之

1974年 名古屋工業大学 機械工学科を卒業、川崎重工業に入社。
10年間、化学プラントの耐震設計および航空機の強度・振動解析などの構造解析、さらに宇宙機器の開発に従事。
1984年 日本アイ・ビー・エム入社。26年間にわたりCAEDS (I-DEASの別名)、CATIAアナリシスおよびSIMULIAなどのCAEツールを担当するSEおよびテクニカルセールスを歴任し、一貫してCAE技術畑を歩む。
その後ダッソー・システムズを経て、2012年よりCAE推進をライフワークとするコンサルタントとしてファソテックに在籍し、現在に至る。

■お問い合わせ■ 株式会社ファソテック <https://www.fasotec.co.jp>

本社：〒261-8501 千葉県千葉市美浜区中瀬1-3 幕張テクノガーデンB棟21階
TEL 043-212-2512 FAX 043-212-2515 E-mail: info@fasotec.co.jp
【担当】 ビジネス企画推進部

