

ELDC

位相(トポロジ)最適化と 構造要素設計法による内部荷重ベース設計

第20回計算工学講演会

主催:(社)日本計算工学会

日時:2015年6月8日(月)~6月10日(水)

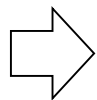
会場:つくば国際会議場

エレメンタル デザイン & コンサルティング 株式会社

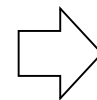
代表取締役 高岡 秀年

これからお伝えしたいこと

位相最適化
の結果・疑問

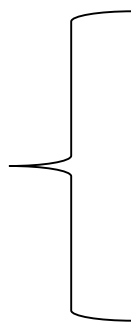


内部荷重
を分析



工学的な妥当性確認
問題点の把握

内部荷重の分析



構造要素による単純化

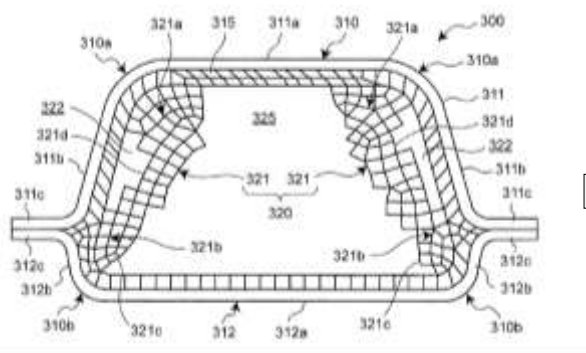
効率的な分担荷重

力の釣合い・作用反作用

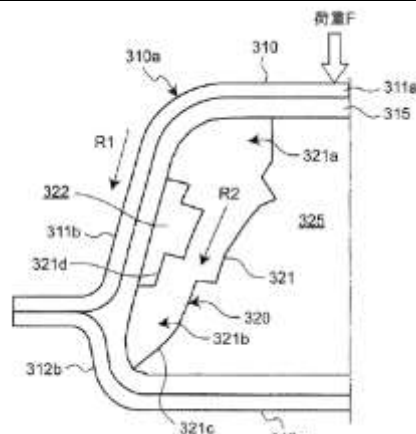
適用事例: マツダ株式会社様

内部荷重伝達に着目して最適化結果の妥当性を説明

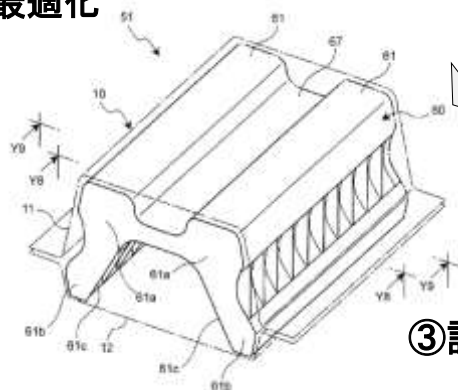
特許取得に寄与



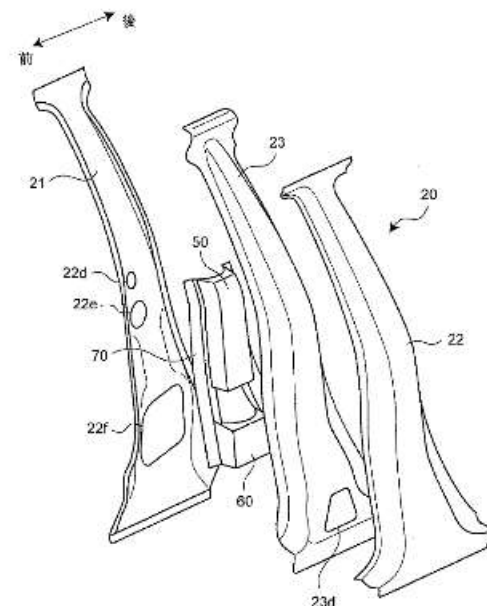
①位相最適化



②荷重伝達モデル



③設計検討



④樹脂体レイアウト検討

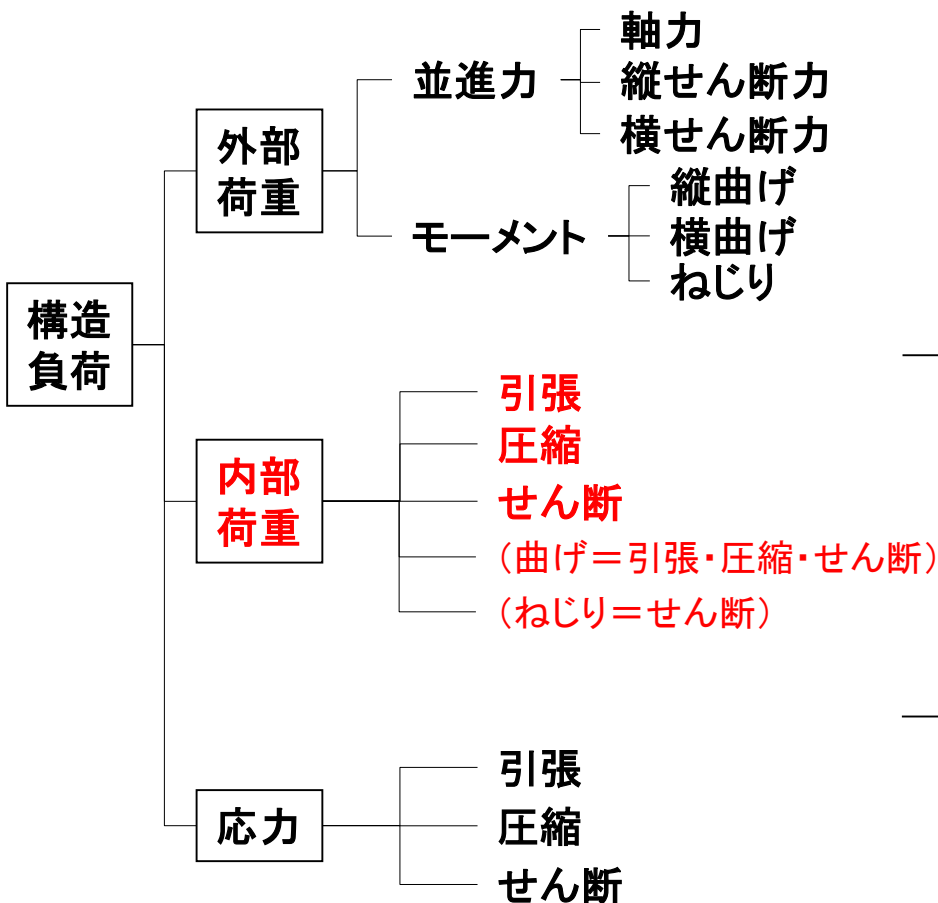
マツダ株式会社様

樹脂体を内蔵したフレーム構造(特開2011-207403)

樹脂体を内蔵したセンターピラー構造(特開2011-207404)より抜粋 前職にて①②を担当

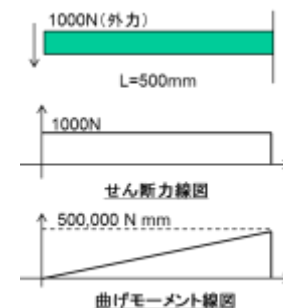
内部荷重ベース設計とは

構造の役割(荷重伝達)を体系的に把握して設計する手法



製品が受ける荷重

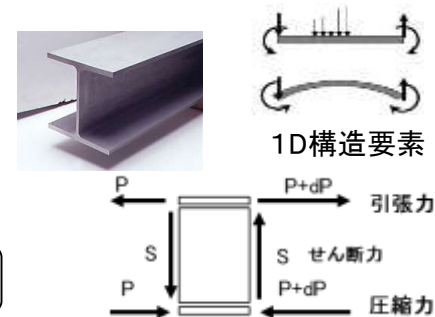
- ・せん断力線図
- ・曲げモーメント線図



部材が受ける荷重

- ・構造要素で単純化
- ・荷重伝達モデル化

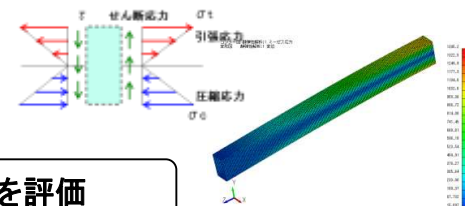
部材の役割を把握



素材が受ける荷重

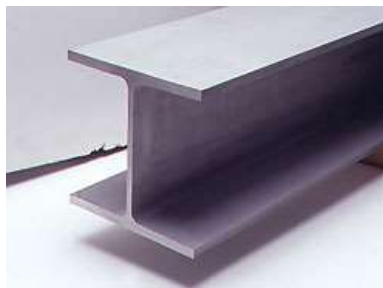
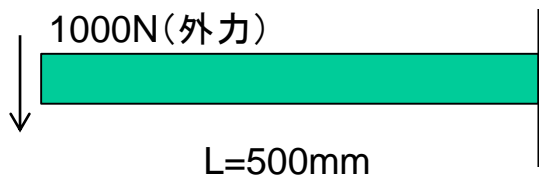
- ・材料力学
- ・FEM解析

強度を評価

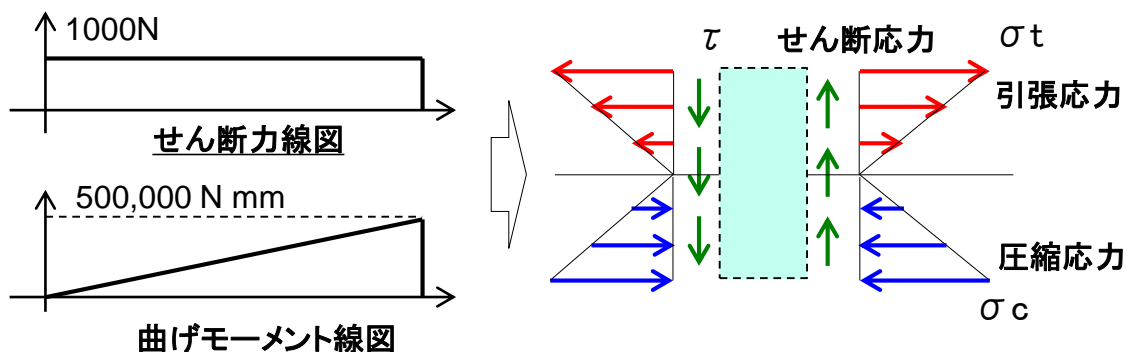


従来手法(外部荷重→応力)の問題点

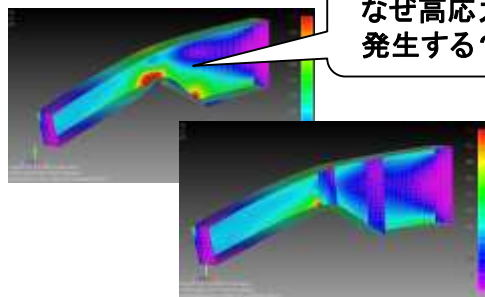
負荷の状態は把握できるが、構造・部材の役割が不明確



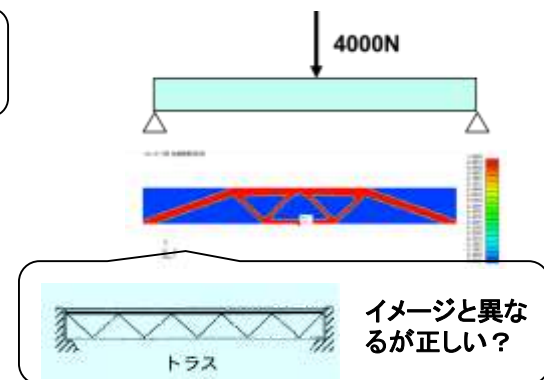
材料力学: 荷重分布を求め、断面二次モーメントを計算し、応力を算出



FEM解析により容易に応力確認



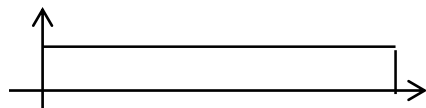
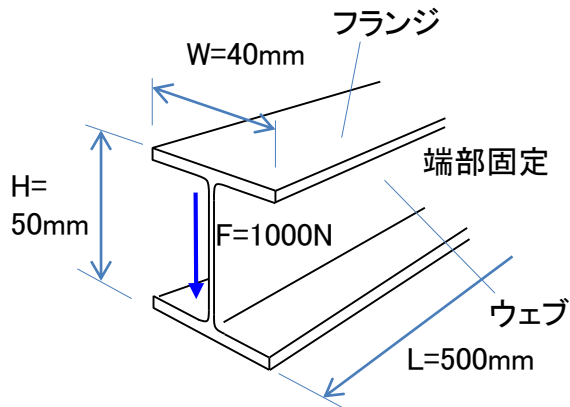
位相最適化により設計案も容易に取得



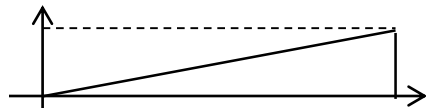
内部荷重ベース設計のメリット

「外部荷重→内部荷重→応力」の順で考えると部材の役割が明確に

①外部荷重の把握



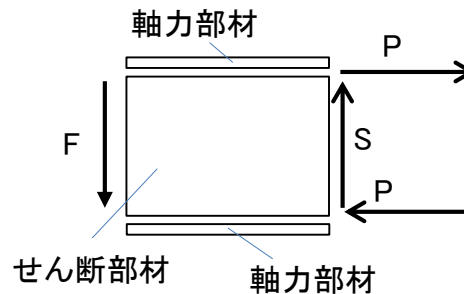
せん断力線図



曲げモーメント線図

②荷重伝達モデル化と内部荷重計算

(a) 分担荷重を考慮し構造要素でモデル化



(b) 力の釣合い・内部荷重計算

曲げモーメント

$$M = F \cdot L = 500,000 \text{ N mm}$$

フランジ軸力と曲げモーメントの釣合い

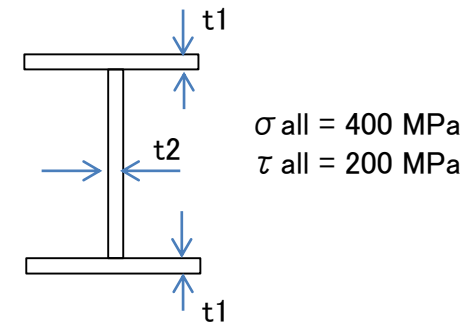
$$P \cdot H = M$$

$$P = M / H = 500,000 \text{ Nmm} / 50 \text{ mm} = 10,000 \text{ N}$$

せん断力と外力Fの釣合い

$$S = F = 1000 \text{ N}$$

③部材寸法・応力計算



フランジ必要板厚

$$\sigma = P / (W \cdot t1) \text{ より}$$

$$t1 = P / (W \cdot \sigma_{all}) = 10,000 \text{ N} / (40 \text{ mm} \cdot 400 \text{ MPa}) = 0.625 \text{ mm}$$

ウェブ必要板厚

$$\tau = 1.5 \cdot S / (H \cdot t2) \text{ より}$$

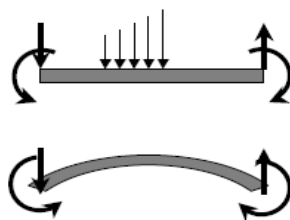
$$t2 = 1.5 \cdot 1,000 \text{ N} / (50 \text{ mm} \cdot 200 \text{ MPa}) = 0.15 \text{ mm}$$

初歩の力学でCAEの結果解釈・評価が可能

形状と分担荷重で構造を分類



棒 (Rod)

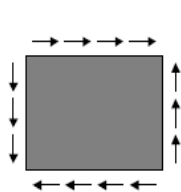


梁 (Beam)

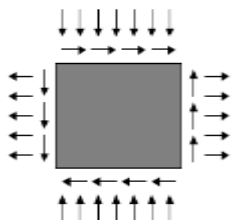


柱 (Column, Beam Column)

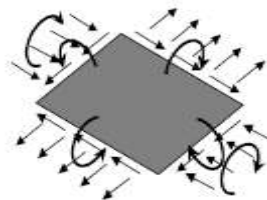
1次元部材



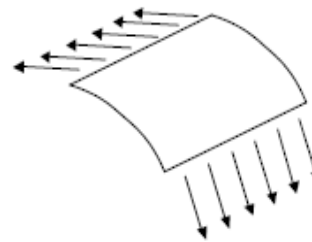
せん断パネル
(Shear Panel)



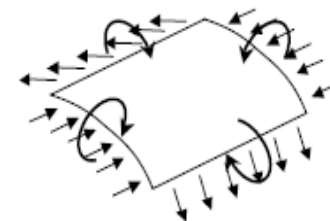
面内板



曲げ板



膜 (Membrane)



殻 (Shell)

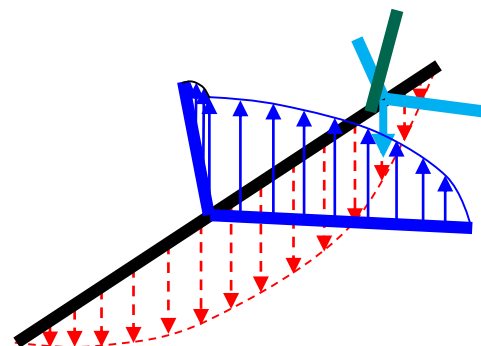
2次元(平面)部材、板(Plate)

3次元(曲面)部材

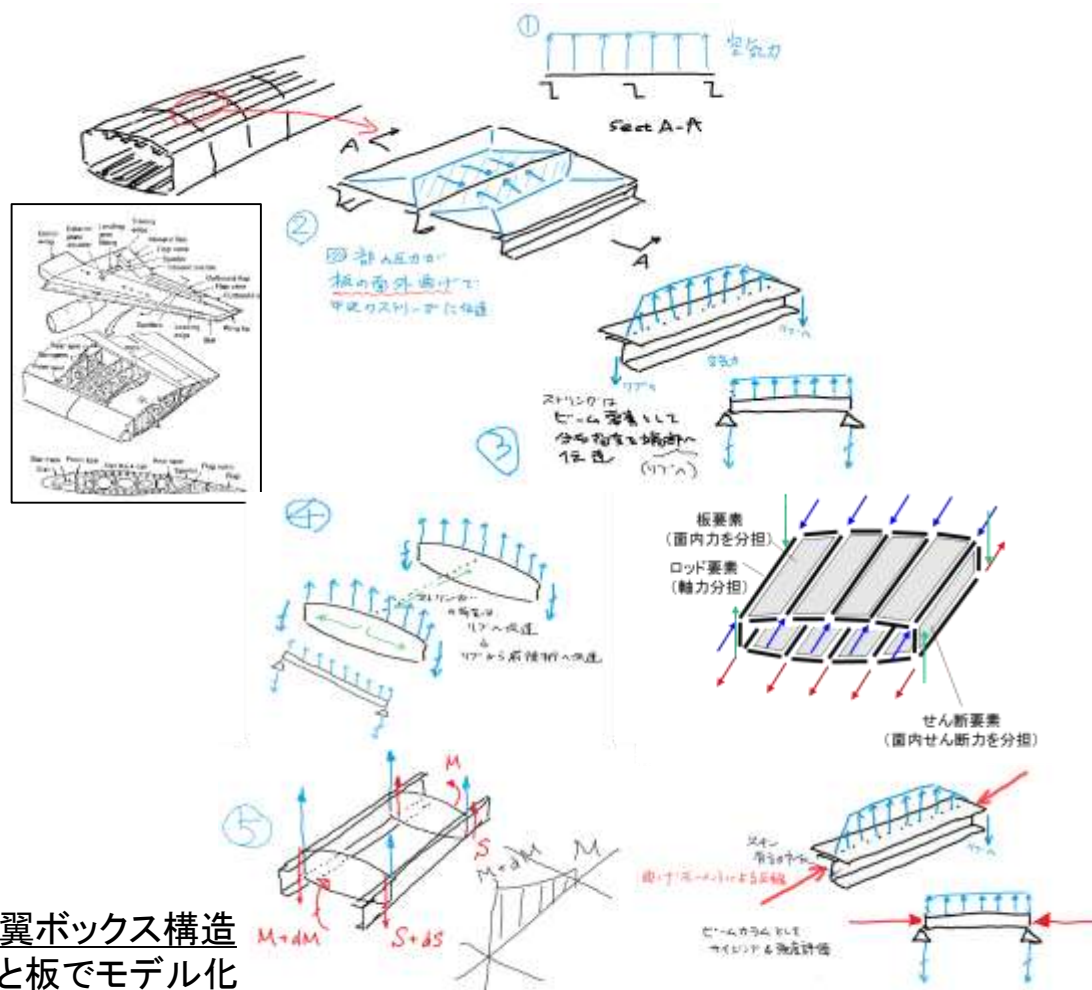
形状に応じて効率的に分担できる荷重が決まっている。

構造要素による荷重伝達のモデル化

単純化し荷重伝達をモデル化＝構造の本質を把握



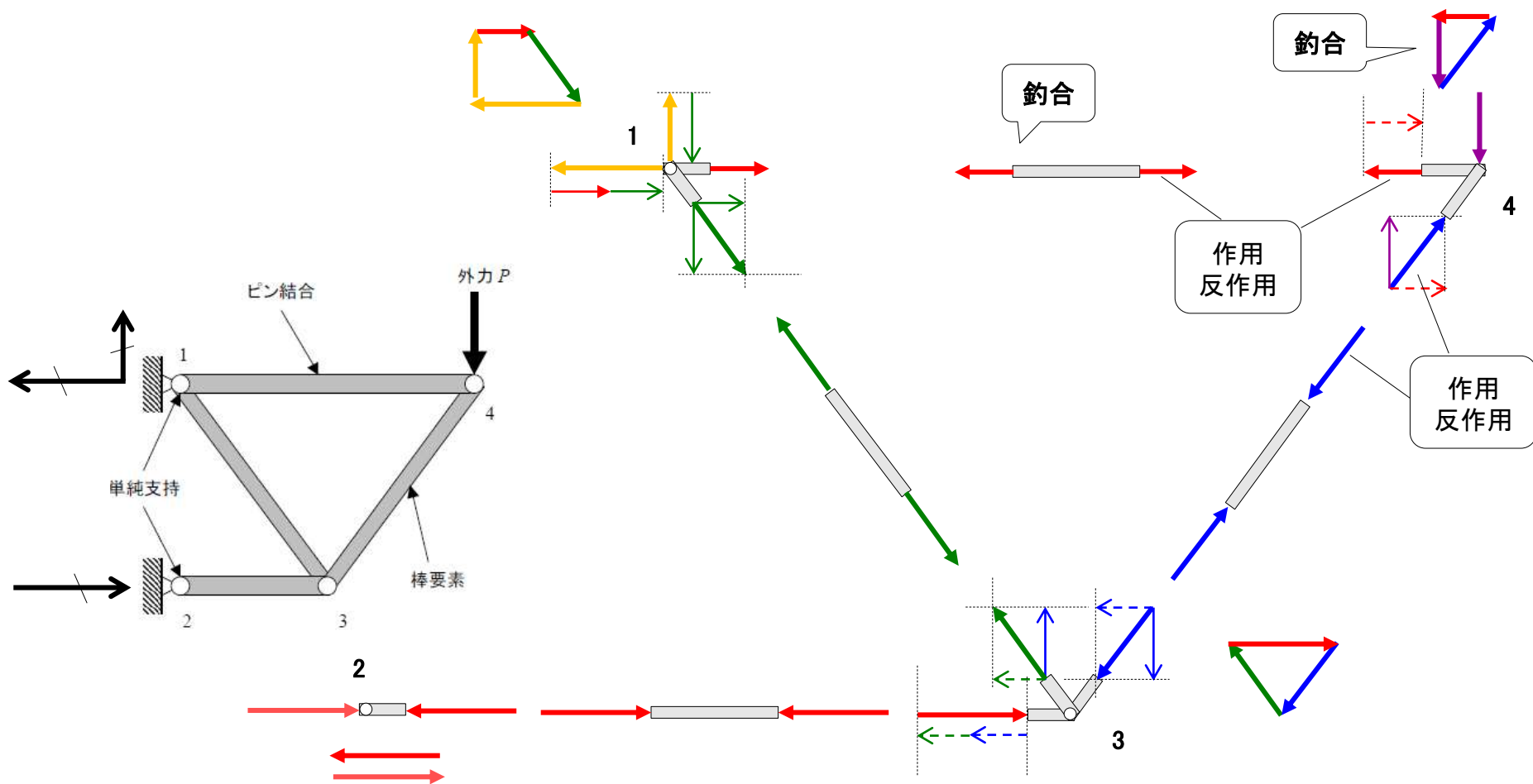
航空機は梁でモデル化



主翼ボックス構造
梁と板でモデル化

内部荷重伝達のモデル化の手順

力の釣合い・作用反作用に則って、内部荷重伝達モデルを作成

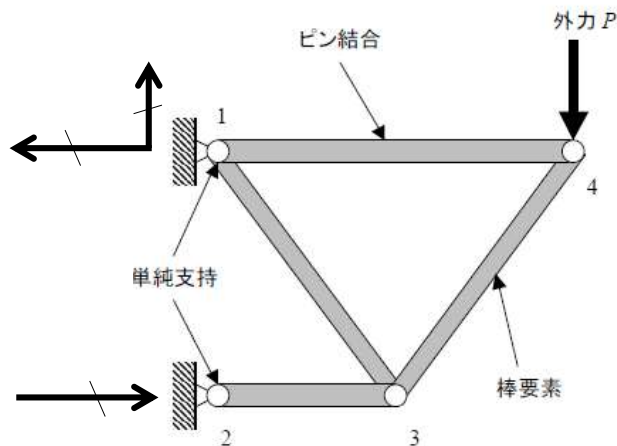


図：フリーボディ・ダイアグラム

内部荷重に基づいたサイジング

各部位の分担荷重に応じ、材料選定・断面設計を実施

内部荷重に基づいて断面サイジング



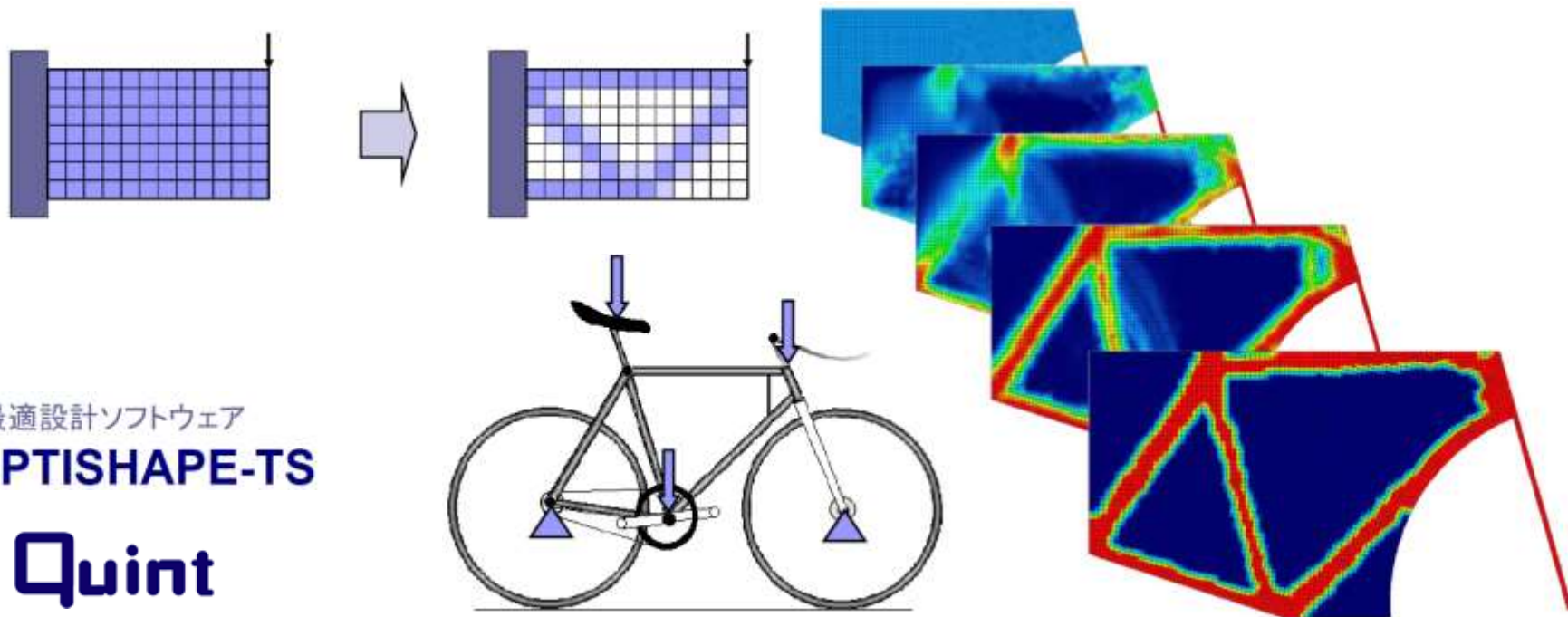
	□	○	I	C
断面積(静強度)	○	○	○	○
断面2次モーメント (座屈強度)	×	○	○	○
製造性	○	×	△	○

多少寸法が変化しても、内部荷重の大きさは影響を受け難い。
効率的な検討が可能。

位相最適化とは

設計条件を考慮しながら、適切な材料レイアウトを導出可能

- 密度関数(0~1)の分布を最適化
 - 密度 = 1 : 材料を配置すべき部位
 - 密度 = 0 : 肉抜きすべき部位
- 位相形態(穴の数)の最適化が可能



構造最適設計ソフトウェア

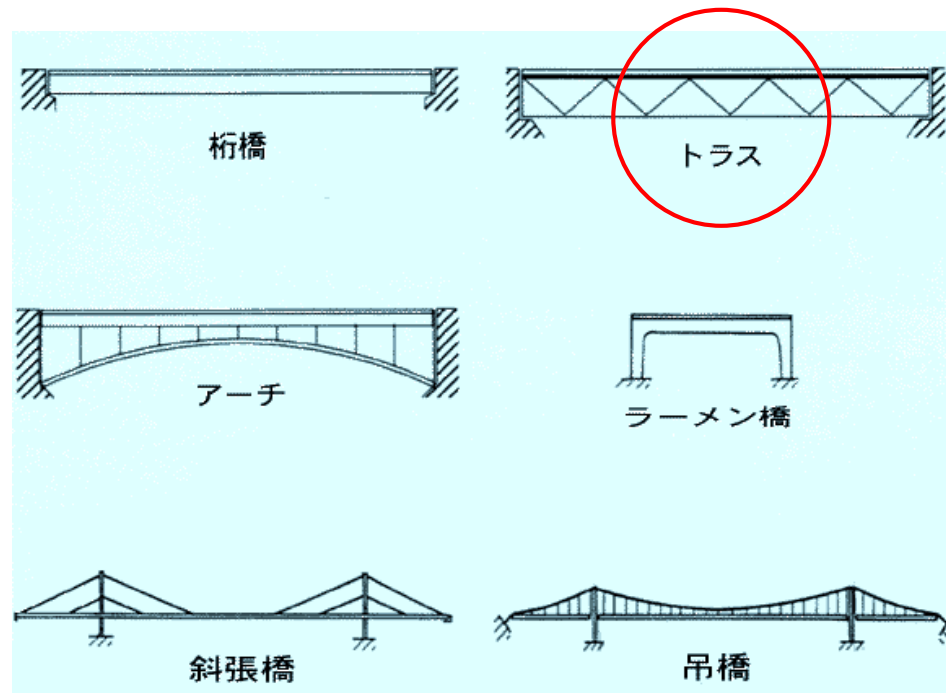
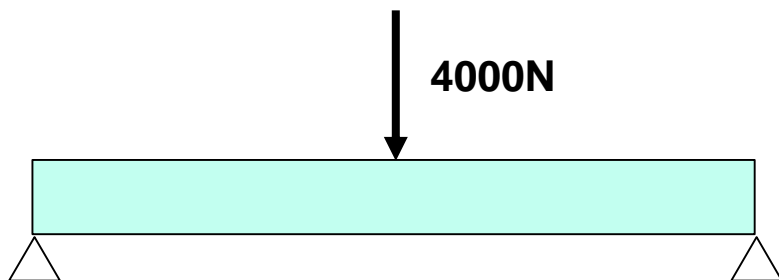
OPTISHAPE-TS

Quint

開発元:(株)くいんと

① 位相最適化結果の分析

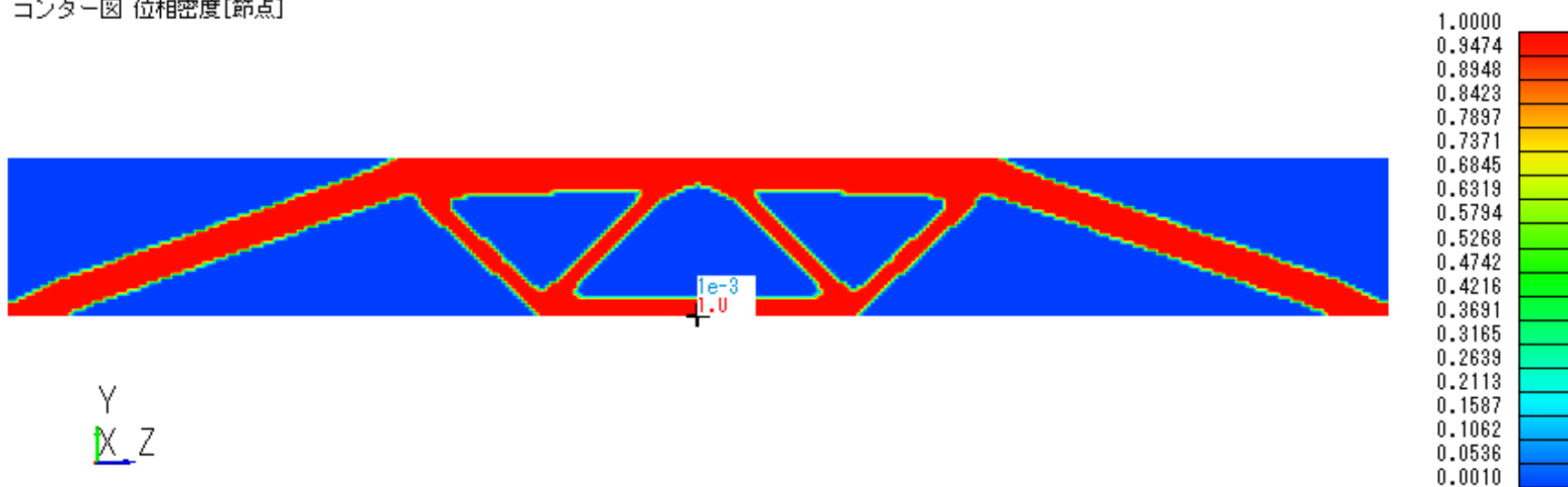
剛性を最大化すると、どのような形状になるか??



位相最適化結果

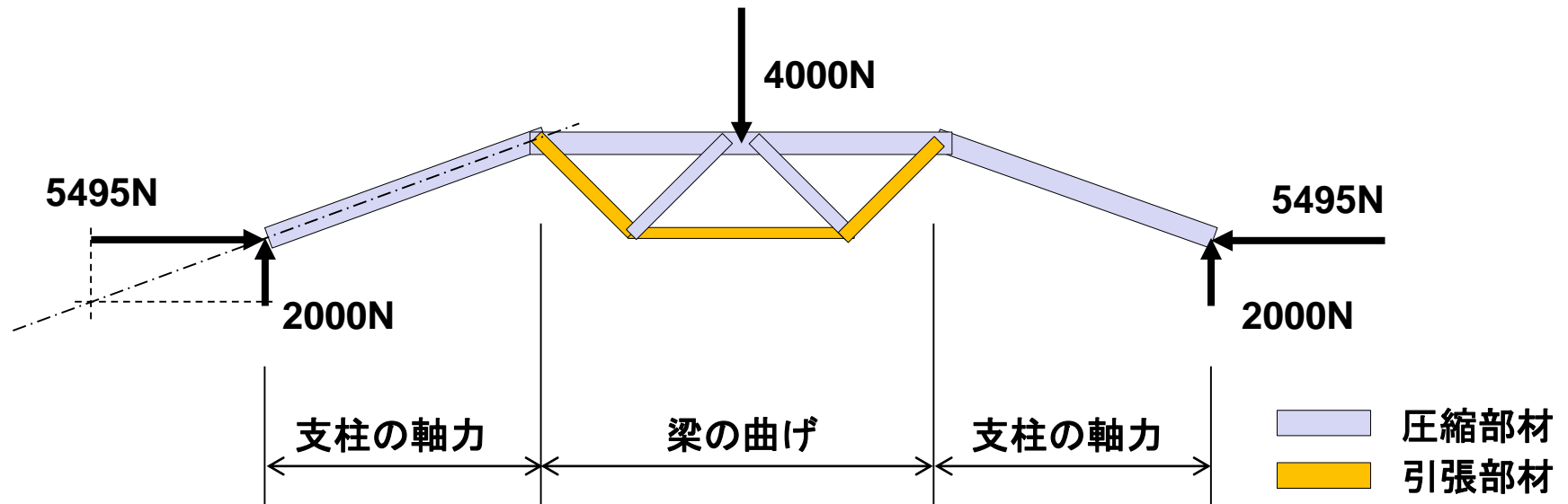
両端が・・・棒で大丈夫??

コンター図 位相密度[節点]



内部荷重の分析

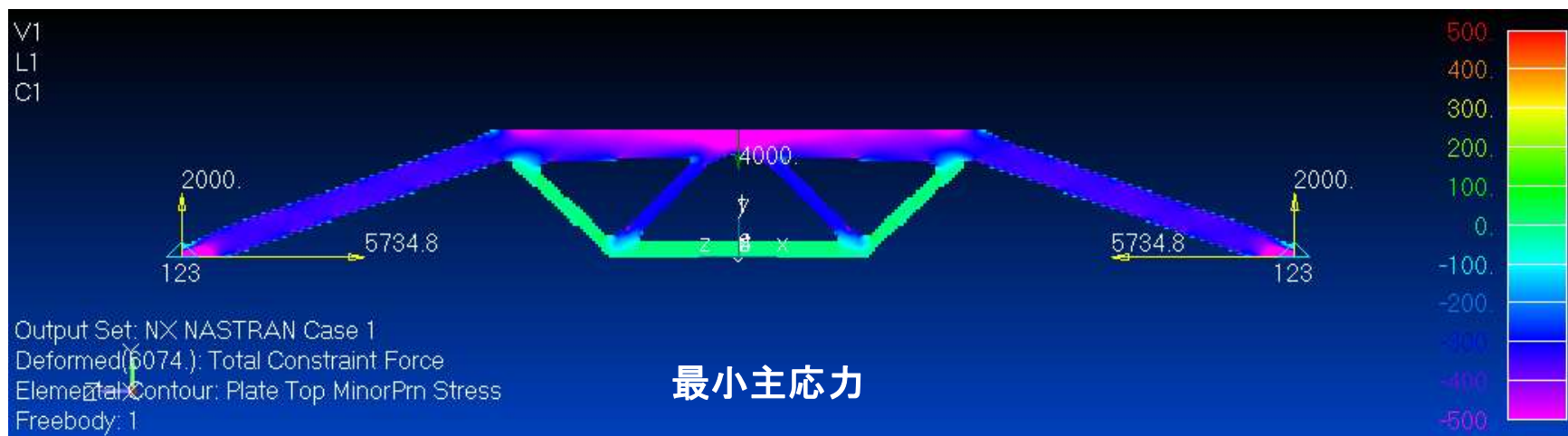
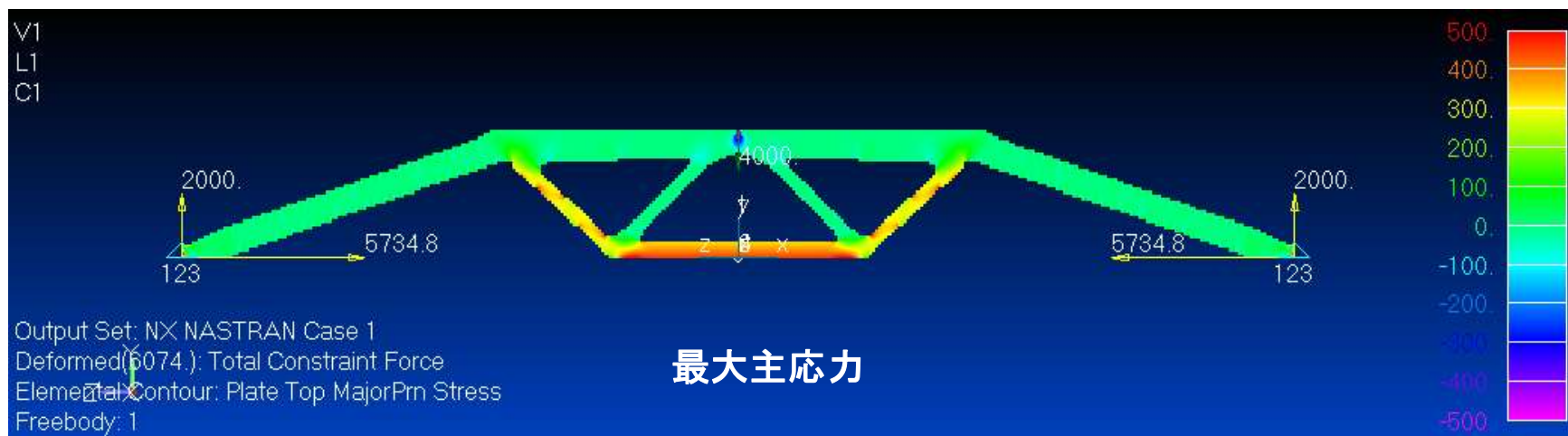
棒要素の役割＝軸力を効率的に伝達



最適化結果のトラス形状も、各要素は軸力を効率的に伝達

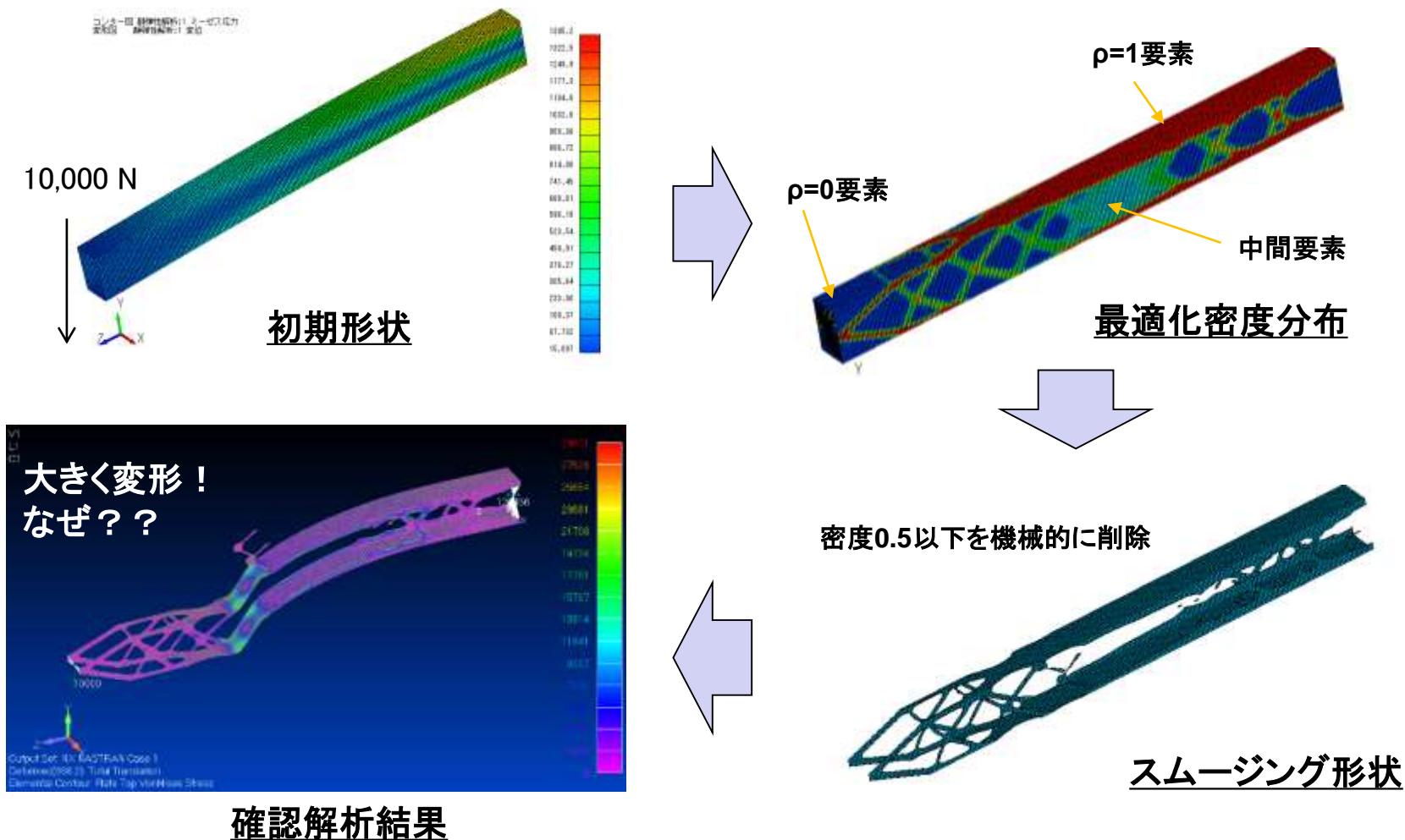
FEM解析結果との比較

構造要素の解釈はFEM解析結果とも整合が取れている。



② 位相最適化の課題の分析

中間要素(密度が0~1の間)の機械的な一律削除は危険！



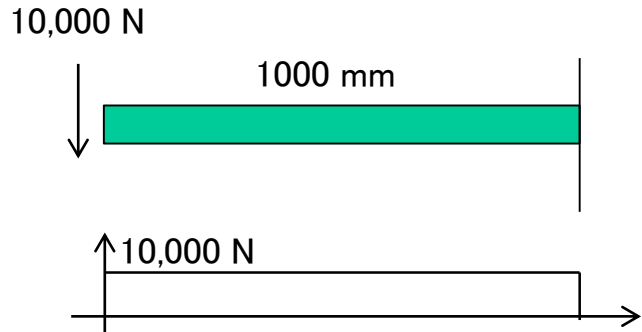
確認解析結果

スムージング形状は比剛性が大幅に悪化！！

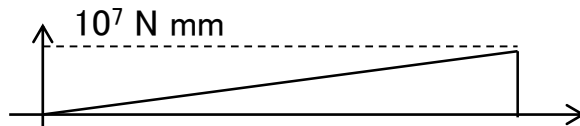
	① 質量 (kg)	② 変位 (mm)	③ 比剛性 (1/②)/①	備考
初期形状	2.50	36	0.0110	
最適化密度分布	1.25	55	0.0145	
スムージング形状	1.19	668	0.0013	

薄肉断面梁の荷重伝達モデル

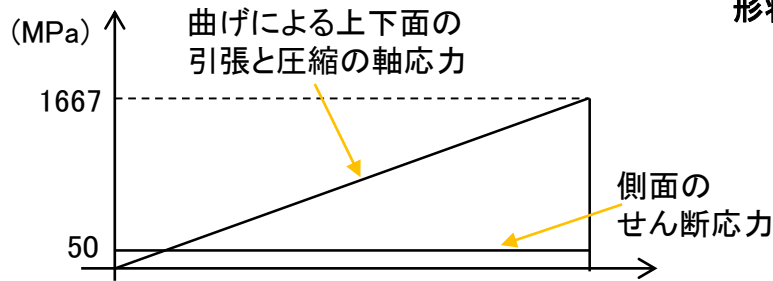
せん断力の伝達経路と密度分布に注意



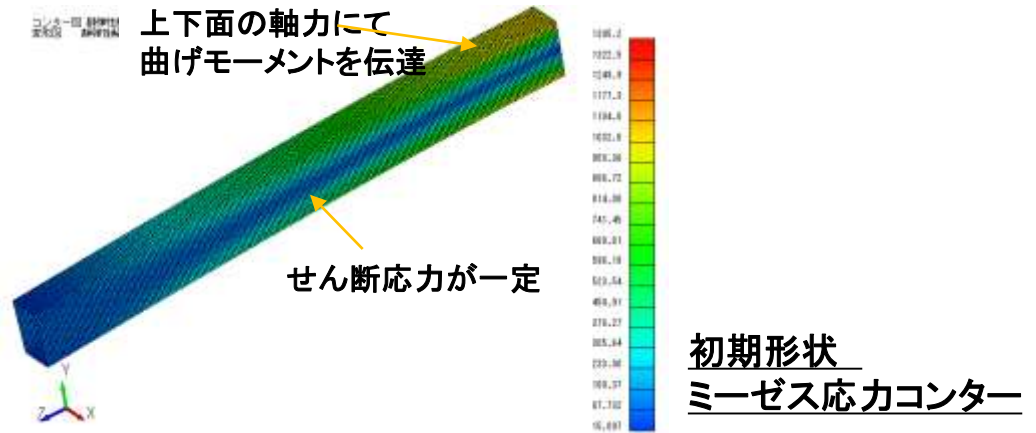
せん断力線図



曲げモーメント線図

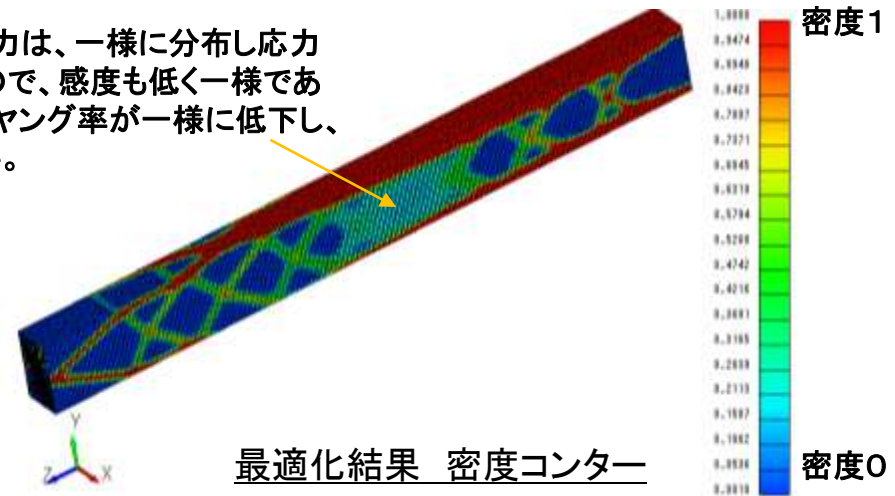


応力分布



初期形状
ミーゼス応力コンター

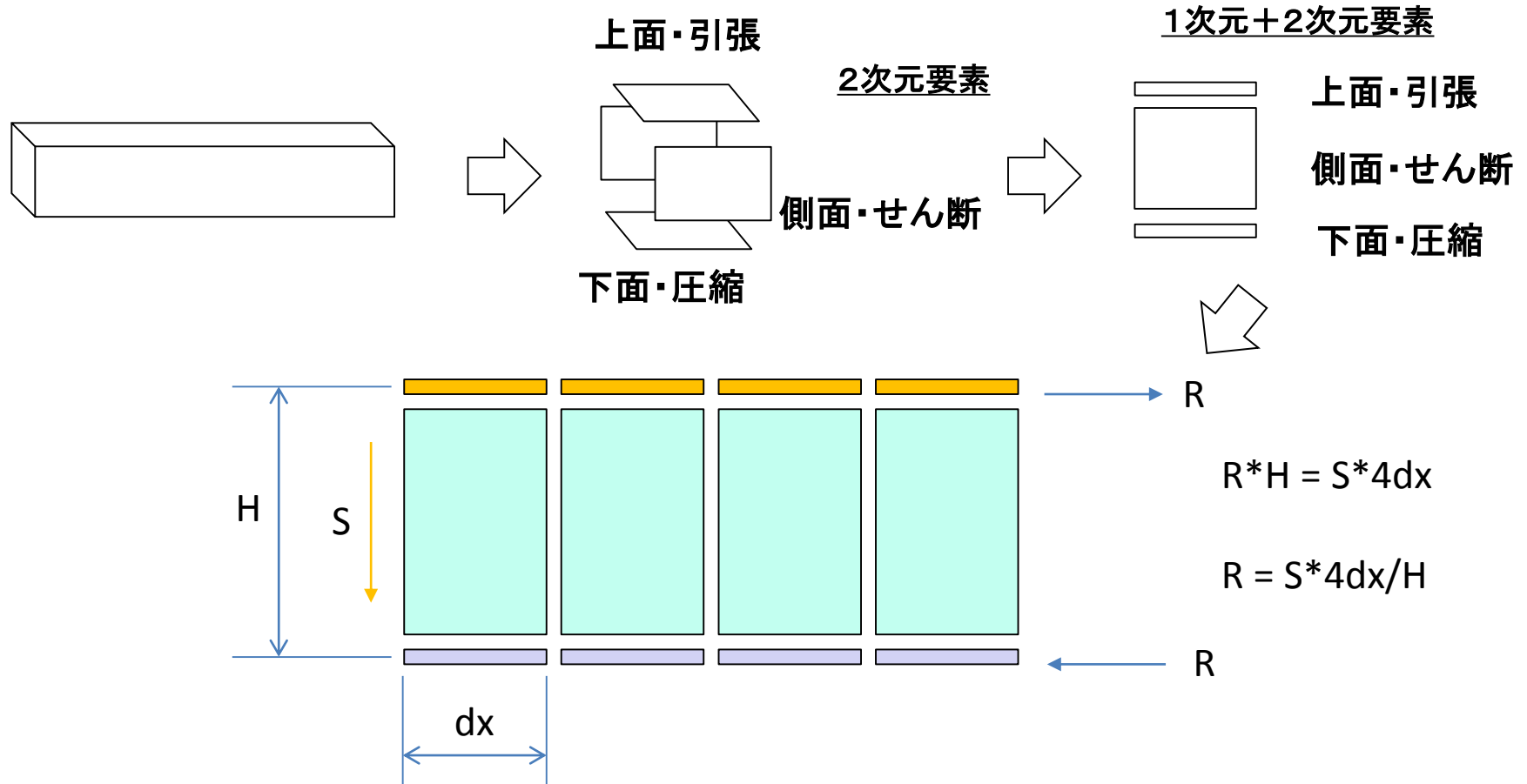
側面のせん断力は、一様に分布し応力レベルも低いので、感度も低く一様であるため、密度・ヤング率が一様に低下し、形状がでにくい。



最適化結果 密度コンター

初期形状の内部荷重伝達モデル

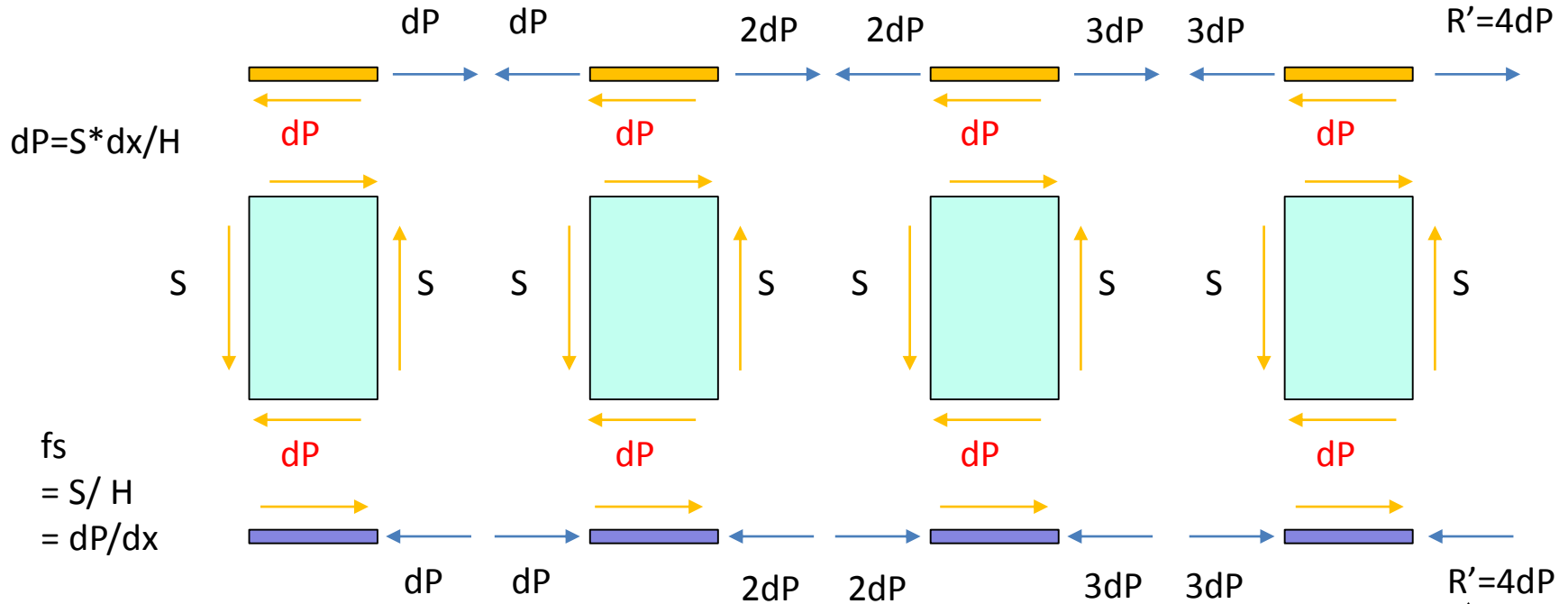
構造要素でモデル化



最適化前の初期形状の片持ち梁の内部荷重伝達モデル

初期形状の内部荷重伝達モデル

上下面の軸力によるモーメント伝達と側面のせん断力伝達は同期



パネルは、 S と dP が並進・回転とも釣合う。ロッドは、左端部軸力とパネルせん断力が右端軸力と釣合う。

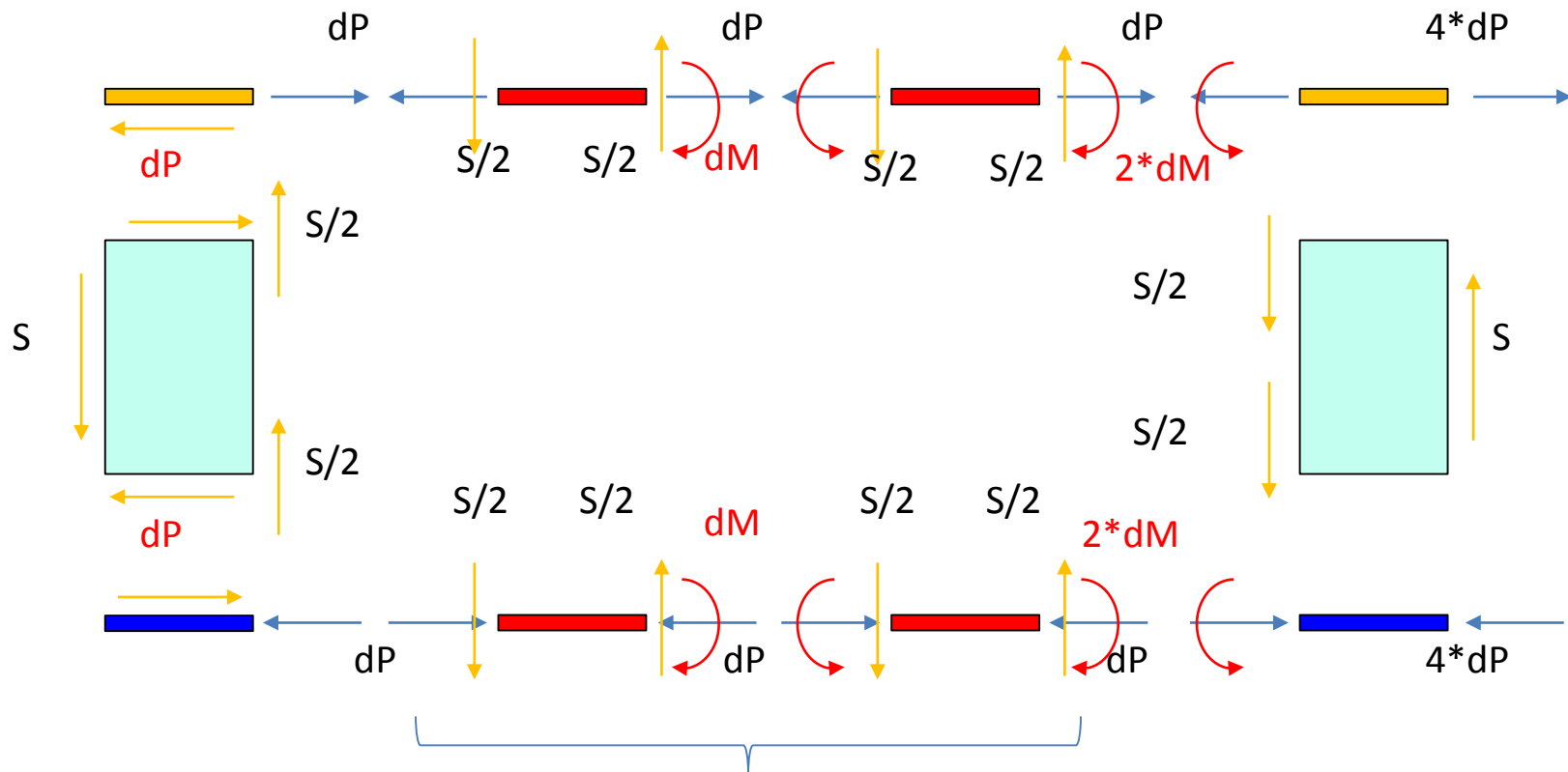


せん断パネルにより上下面は協調し、一つの梁として曲げモーメントを伝える。

$$R' = 4 \cdot dP = 4 \cdot (S \cdot dx / H) = R$$

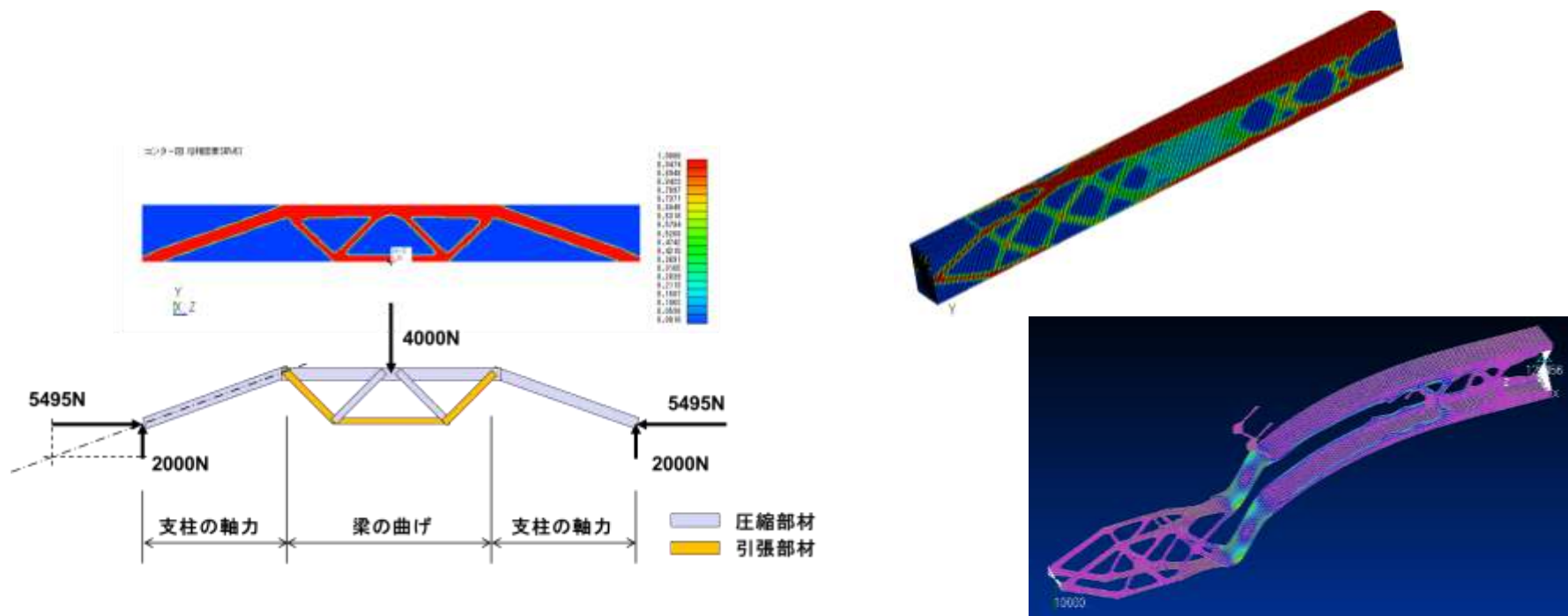
スムージング形状の内部荷重伝達モデル

上下2枚の薄板の面外曲げとして曲げモーメントを伝達



パネルで分担していたせん断力を上下面板で分担。
局所的に板の面外曲げが発生し、伝達効率が悪化。

CAEの活用は、部材の役割を理解した設計が重要

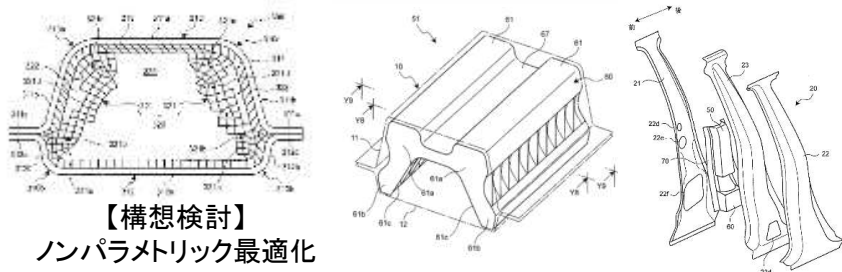


構造要素法による内部荷重ベース設計により
初歩の力学でCAEの結果解釈・評価が可能

(ご参考)弊社業務概要

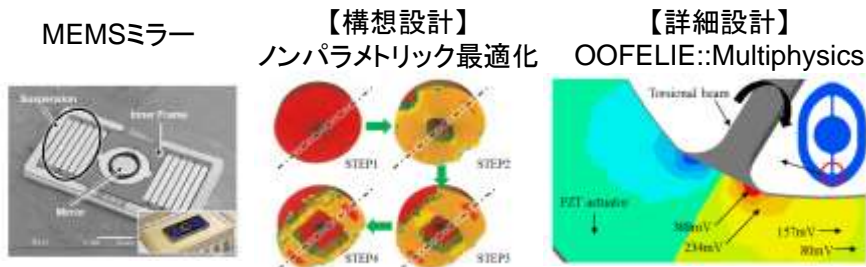
設計受託・支援サービス、関連ソフトウェアの販売・サポートを提供

国内トップメーカーに対するコンサル実績
軽量化と内部荷重ベース設計
受託・支援サービス



マツダ(株)様 (特開2011-207403、特開2011-207404)

一貫した設計ソリューションを提供
最適化とマルチフィジクス解析
によるMEMS・光学設計受託



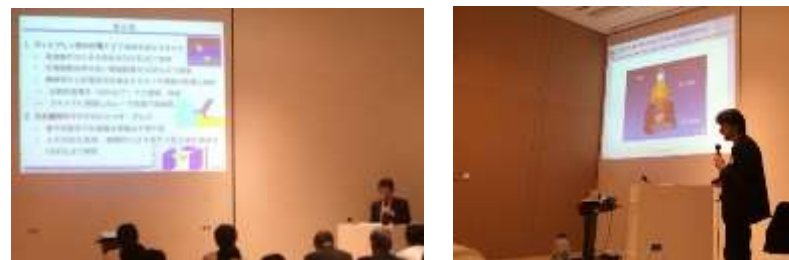
東京大学・スタンレー電気の共同研究に寄与

実務経験に基づいたご支援が可能
複合材 設計支援サービス



P-1/C-2のCFRP製脚扉・フェアリングの設計開発担当

技術セミナー・トレーニング企画・運営
マーケティング活動をご支援
技術企画・プロモーション



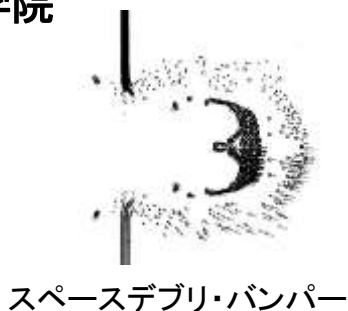
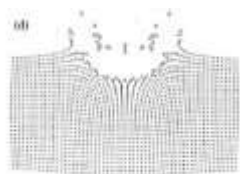
(ご参考)代表取締役 高岡秀年 略歴

メーカーでの設計実務とベンダーでのCAE活用経験を踏まえたサービスを提供

①1990年4月～1996年3月(6年)

名古屋大学 工学部 航空学科、大学院

✓ 粒子法の衝突数値解析コードの開発



スペースデブリ・バンパー

②1996年4月～2007年6月(11年)

三菱重工業株式会社

名古屋航空宇宙システム製作所

- ✓ 航空機の構造設計
- ✓ P-X/C-X提案書作成、荷重・強度担当
- ✓ 複合材設計と製造検査プロセス設定



P-1/C-2のCFRP製脚扉・フェアリングを担当

③2008年7月～2014年3月(6年)

株式会社ヴァイナス(大阪) 技術部長

✓ ソフトウェアの販売・サポート

- ・ノンパラメトリック最適化ソフトTOSCAの販売・サポート
- ・解析ソフトOOFELIE::MultiPhysicsの販売・サポート

✓ 設計コンサルティング:

- (マツダ) フレーム強度向上の特許(特開2011-207403他)
- (ホンダ) リアフロア牽引装置取付部の軽量化・強度向上等
- (東京大学・スタンレー電気) MEMSミラーの研究開発

④2014年4月 エレメンタルデザイン&コンサルティング株式会社 設立、代表取締役に就任