

分割製造TYPE4高压水素容器の最適設計のための メゾ・マクロツースケール解析に基づくボス・ドーム部強度 高精度予測軸対称有限要素モデルの開発と実証

機械学習による燃料電池自動車用TYPE4高压水素容器の最適設計探索

設計要件

- 炭素繊維種別
- 樹脂種別
- 破裂圧力
- 容器内容積
- 容器収納スペース

機械学習モデル

最適設計

- 形状
- 寸法
- CFRP積層構成

積層1層	繊維
積層2層	繊維
積層3層	繊維
積層4層	繊維
積層5層	繊維
積層6層	ハイベリカル55度
積層7層	繊維
積層8層	繊維
積層9層	繊維
積層10層	ハイベリカル55度
積層11層	繊維
積層12層	ハイベリカル55度
積層13層	繊維
積層14層	ハイベリカル55度
積層15層	ハイベリカル55度
積層16層	ハイベリカル55度
積層17層	ハイベリカル55度
積層18層	ハイベリカル55度
積層19層	ハイベリカル55度
積層20層	ハイベリカル55度

軸対称連続体モデルの精度向上

繊維束が交差する
クリンプ部に
局所ひずみ発生

うねり係数 $\mu(\theta)$
= クリンプによるひずみ増分

1) 繊維束交差状態

繊維束が
回転移動し
繊維束のひずみが
緩和すると仮定

回転係数 $\omega(\theta)$
= 回転移動によるひずみ増分

2) 繊維束回転移動

実容器に近い
繊維束折り返し
形状

繊維束は
マトリクス樹脂
を介して
ボス・ライナー
と結合

メゾスケールモデル (断面)

3) ボス/繊維束の接触状態

繊維束端部の
ひずみ集中

端部係数 $\xi(\theta)$
= 端部によるひずみ増分

4) 分割製造を考慮した
繊維束端部

実容器に近い
ボス近傍折り返し部形状

マトリクス樹脂
相当の
接触領域を追加

軸対称モデルの
CFRP各要素
に組み込む

高精度軸対称モデル

$$E_1(\theta) = V_f E_{繊維} / \mu(\theta) \xi(\theta) + (1 - V_f) E_{マトリクス樹脂}$$

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \end{Bmatrix} = \frac{1}{\alpha(\theta)} \begin{Bmatrix} 1/E_1(\theta) & -\nu_{21}/E_2 & -\nu_{31}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{12}/E_1(\theta) & 1/E_2 & -\nu_{32}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{13}/E_1(\theta) & -\nu_{23}/E_2 & 1/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{31} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{12} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}$$

メゾスケール構造パラメータを導入したコンプライアンスマトリクス (要素剛性マトリクスの逆行列)

最適設計探索

遺伝的アルゴリズムを応用したランダムサーチによりパレート解を探索

Optimal design flow

Start: Input of a tank dimension and specification

- Size
- CFRP design parameters range
- Dome shape parameters range

Setting randomly selected tank design parameters

Creation of finite element analysis model of a tank

A finite element analysis of the tank model

Calculation of maximum value of fiber direction strain and CFRP mass per internal volume of the tank

Repetition about 10,000 times

Calculation of Pareto frontline from multi-objective optimization

Determination of the convergence

End: Output of the smallest CFRP mass tank

Modification of range of design parameters by genetic algorithm as the next generation

最適設計

CFRP mass per internal volume [kg/L]

Maximum value of fiber direction strain [%]

Pareto front lines

- 1st Generation
- 4th Generation
- 60th Generation