



分類	材料シミュレーション
キーワード	炭素繊維強化複合材料、有限要素法、熱伝導解析、樹脂硬化解析、残留応力解析、損傷発展解析
開発者	小笠原朋隆、キム サンウォン、吉川暢宏
作成年月	2014年6月
コード名	FrontCOMP
使用言語	Fortran90、C、C++

#### ◇ソフトウェア開発の目的

航空機に代表される輸送機器の軽量化、燃料電池自動車を支える高圧水素容器の耐圧性能強化のため、炭素繊維強化複合材料 (Carbon Fiber Reinforced Plastic、CFRP) の活用が積極的に進められている。実用化の要となるのは信頼性の高い強度評価技術である。炭素繊維と樹脂からなる材料システムとしてのCFRPは、その非均質性に起因する局所的応力集中を排除することができない。複雑な3軸応力場での強度発現機構が解明できない主たる要因はこの非均質性にある。実験的なアプローチのみで問題解決することは難しく、その現状を打開するための強度評価支援ツールとして、FrontCOMPを開発した。

#### ◇ソフトウェアの構成

FrontCOMPにおいては、繊維束と樹脂を明確に区分するメゾモデルを機軸とする。「京」に代表される超並列スーパーコンピュータが利用可能となったことで、メゾモデル機軸の方法論が現時的なものになった。本ソフトウェアの開発は超並列計算を前提として行われた。

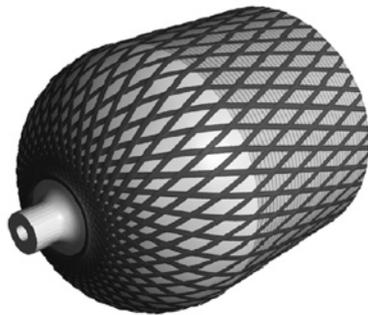
有限要素モデルを作成するプリプロセッサに相当するのが1) 賦型プロセスシミュレーター (FrontCOMP\_mold) である。曲面に沿った測地線を探索し、炭素繊維束の断面形状を直接的にハンドリングしながら、繊維束と樹脂からなる材料システムとしてのCFRPを有限要素離散化する。

CFRP材料硬化成形時の温度解析と残留ひずみ・応力解析を可能にしたのが2) 硬化プロセスシミュレーター (FrontCOMP\_cure) である。樹脂の自己発熱を考慮した熱伝導解析と硬化度解析機能を有し、異常昇温を避けた最適な硬化温度制御が可能となる。硬化後のそりや欠陥を予測し、硬化プロセスの最適化が図れる。

炭素繊維束単体、樹脂単体の材料試験結果からそれぞれの損傷則を合理的に設定し、材料システムとしての破壊を予測するのが3) 損傷発展シミュレーター (FrontCOMP\_damage) である。複合側に基づく既往の連続体モデル化手法の枠組みでは不可能であった、確度の高い強度評価が可能となる。

#### ◇高圧水素スタンド用蓄圧器の強度評価と最適設計

燃料電池自動車の普及に不可欠な高圧水素スタンドの基幹部品である CFRP 製蓄圧器の強度評価を例として、FrontCOMP の有用性を実証している。フィラメントワインディングより製造される繊維束メゾ構造を忠実にモデル化し行った応力解析の結果 (図1) から、繊維束交差部や、胴部と鏡部の境界である赤道付近で発生する特異な応力場が評価可能であり、従来の直交異方性連続体モデル化の枠組みでは不可能な、合理的基準による強度評価が可能となった。硬化プロセスで発生する過昇温や、欠陥発生による強度低下に関しても合理的評価が可能であり、製造効率と強度間のトレードオフ問題を解決する有効なツールとなりえると思われる。



フィラメントワインディングのプロセスを忠実にたどり作成したフープ/ヘリカル巻きメゾスケールモデル

内圧により発生する  
応力解析結果

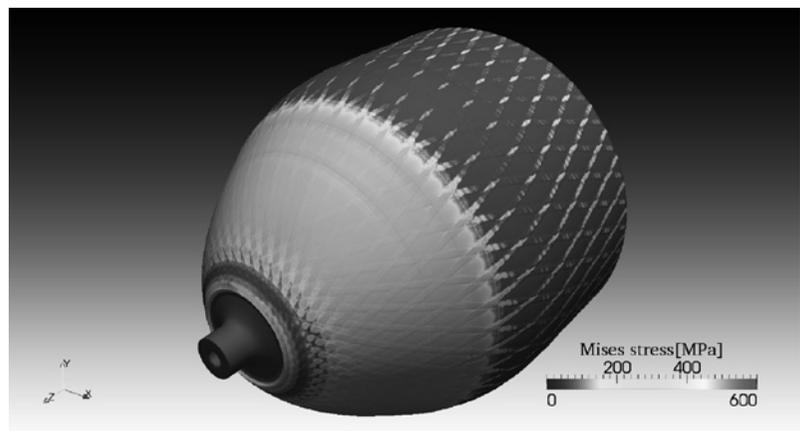


図1 高圧水素蓄圧器のメゾスケール応力解析

(執筆責任者: 吉川暢宏)