

1. 研究目的と研究内容

- 目的：抜本的な小型軽量化を実現するための熱交換器設計技術の開発と実証
- 内容：熱交換器性能予測と実験検証、および実機大熱交換器の設計・製造・検査実証

2. 研究成果

設計

- ◆ 1D/2D解析による熱交コアサイジング
 - ベースライン (Gyroid最適化)
 - TPMS (Gyroid)
 - Core Length
 - Plate & Fin
 - Shell & Tube
 - Gyroid
 - Gyroid w/Bias
 - Gyroidパラ最適化
- ◆ プラットフォーム化
 - コア体積
 - 出口温度
- ◆ 円筒タイプDfAM
 - 円筒タイプに適用
 - Gyroidに近い性能
 - 最適化に多ステップ必要
- ◆ 直交タイプDfAM
 - ✓ 圧損低減、サイズダウン
 - ✓ 伝熱試験結果反映

基礎理論

更なる性能向上 (トポロジー最適化)

✓ 数理計画問題として各要素の設計変数を最適化

$$\text{maximize } J = \int_{\Gamma} (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})(-T) d\Gamma, \quad \gamma: \text{設計変数}$$

subject to $0 \leq \gamma \leq 1, \quad \Gamma: \text{出口}, \mathbf{u}: \text{流速}, T: \text{温度}$

- $\gamma = 1$: 流体1 (酸素)
- $0 \leq \gamma \leq 1$: 隔壁
- $\gamma = 0$: 流体2 (水素)

検証

- ◆ 円筒タイプ全体CFD
 - ✓ 所期の伝熱性能を確認
- ◆ 極低温熱交換試験
 - ✓ 性能特性を把握
- ◆ 最終形態での評価
 - CFD
 - ✓ 伝熱、圧損
 - 水素温度
 - 酸素温度
 - 構造強度
 - ✓ 実機荷重での健全性

伝熱：CFDと一致

圧損：酸素がCFDよりも高い

平均応力

実証

- ◆ 円筒タイプ造形・切断評価
 - ✓ 形状、欠陥問題なし
- ◆ 最終形態での実証：実機相当の造形・加工・検査を実施し異常なし
 - 造形、加工
 - ✓ 問題なし
 - X線CT
 - ✓ 欠陥、粉末残留なし
 - 寸法
 - ✓ 問題なし
 - 耐圧試験
 - ✓ 変形、漏れなし
 - 気密試験
 - ✓ 漏れなし

3. まとめと事業化計画

- Gyroid熱交換器の最適化設計により、既存品に対し質量・製造期間・コストを約半分以下に低減できる見通しを得た。
- 上記設計手法について、実験・造形・検査で有効性を実証した。さらに均質化法によるトポロジー最適化で更なる性能向上の目途を得た。
- 今後本手法を、宇宙および地上用熱交換器の設計・製造に適用していく。