

技術紹介

熱応力解析を用いた空温式蒸発器の設計最適化

Ambient Air Vaporizer of Design Optimization with the Thermal Stress Analysis

相葉 恵介*
AIBA Keisuke六車 淳**
MUGURUMA Jun岩崎 修***
IWASAKI Osamu

1. はじめに

株式会社クライオワン（以下、Coi）が設計・製作する空温式蒸発器は、フィン管・集合管・連結板・脚部・枠材等のアルミニウム合金部品から成る溶接構造体である。当該蒸発器は複数部品から成る複雑な構造の上、製作時・輸送時・運転時の各段階での荷姿や環境条件が大きく異なるため、各状況を踏まえた機械的強度を客観的に考慮した設計は極めて難しく、設計者の経験に頼ることも少なくない。

このような複雑構造に対し詳細な強度評価を実施するには、有限要素法を用いた構造解析技術が有効である。構造物の形状情報から有限要素モデルを作成し、構造物に係る環境条件を解析条件に落とし込むことができれば、様々な条件における変形挙動や発生応力を可視化し、詳細な強度評価を実施することができる。

本報告では、当該蒸発器の運転状態に限定し、構造解析技術により蒸発器の変形挙動及び発生応力を把握し、得られた結果から設計最適化を図った事例について紹介する。

2. 解析形状と解析条件

本解析では、空温式蒸発器による液化窒素供給の運転状態に際して、蒸発器の一部に密な水が付着した過酷な状態を想定とした静的熱応力解析を実施し、得られた結果より設計最適化を図る事とした。尚、解析形状の作成には SpaceClaim Engineer 2015、有限要素モデルの作成及びソルバーには ANSYS Ver.15.0 を用いた。

解析対象の空温式蒸発器は、Coi がリリースする EAL 型シリーズより EAL-2000V を選択した。解析形状を図 1 に示す。解析形状は現行の設計を基に、フィン管・上下部集合管・連結板・脚部・上下部枠材を面形状で、

一部溶接部を立体形状で作成し、各部品を組み込んだ総合的な形状とした。尚、計算効率化のために、構造物の対称性を考慮し、蒸発器の中央より半分を 3 次元形状として作成した。また一部のフィン管のフィンは解析結果に影響が小さいと判断して省略し、質量のみを考慮した。これら形状からシェル要素及びソリッド要素を用いて作成した有限要素モデルについて、節点数 1,919,174、要素数 1,790,614 となった。

次に解析条件の概略図を図 2 に示す。拘束条件は、脚部ベースプレートのボルト穴縁を完全拘束とし、プレートを鉛直方向拘束とした。荷重条件は、液化窒素を供給することを想定した温度分布を定常伝熱解析から求め、温度荷重として定義した。また、蒸発器の液入口側一部のフィン管が着氷状態にあることを考慮すべく、着氷が想定される範囲のフィンに、運転状態にある実機総質量の約 1.5 倍に相当する質量荷重 4,500kg を定義した。その他、形状作成を割愛したフィンを含む蒸発器各部材の自重を考慮した。

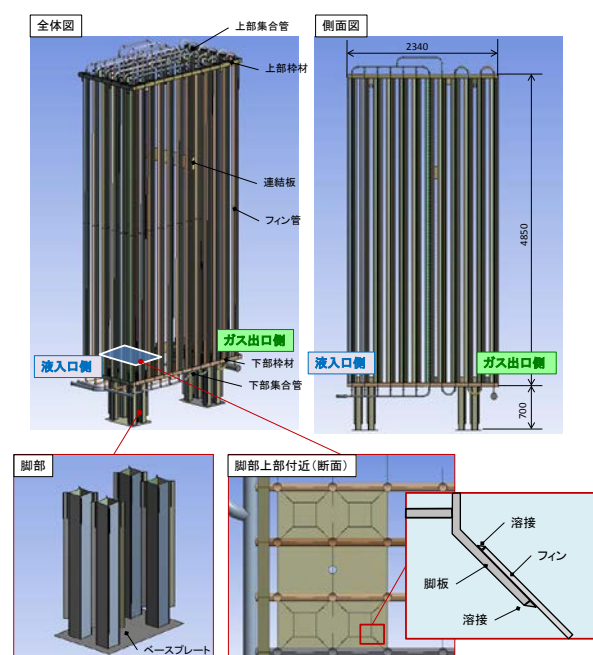


図 1. 解析形状

* 開発・エンジニアリング本部 技術サポートセンター シミュレーション技術部 技術課

** オンサイト・プラント事業本部 PEC 製作部

*** 株式会社クライオワン

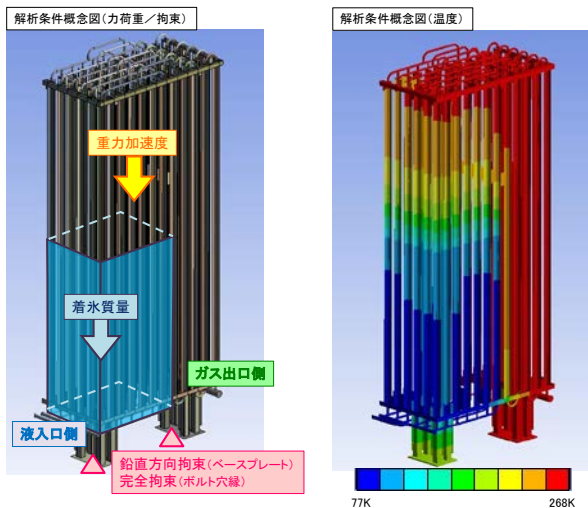


図 2. 熱応力解析の解析条件

表 1. 本解析で用いた材料定数 (アルミニウム合金)

密度	2770	kg/m ³
ヤング率	71	GPa
ポアソン比	0.33	—
線膨張係数	2.3×10 ⁻⁵	K ⁻¹
熱伝導率*	114	W/(m・K) @173K
	144	W/(m・K) @273K
	165	W/(m・K) @373K

※ 各温度間の熱伝導率は線形補間したものを用いる

本解析で用いた材料定数を表 1 に記載する。定常熱解析及び静的熱応力解析に必要な各材料定数は、ANSYS のデータベースに備わるアルミニウム合金の物性値を採用した。

3. 解析結果

図 3 に現行設計の当該蒸発器における相当応力分布を示す。特にフィン管と接続される液入口側及びガス出口側脚部の局所的な範囲に大きな応力が発生した。脚部及び脚部周りのフィン管の変形挙動に下部の枠材及びフィン管同士を繋ぐ連結板の配置が寄与しており、脚部の局所的な発生応力に影響することが分かった。

この結果を基に、脚部の局所的な範囲に発生する応力を低減させるための設計最適化を検討した。当該蒸発器の現行設計に対し、連結板の配置を変更し、また下部枠材を取り外した。図 4 に設計最適化を図った当該蒸発器における相当応力分布を示す。脚部及び脚部周りのフィン管の変形挙動に係る下部枠材及び連結板

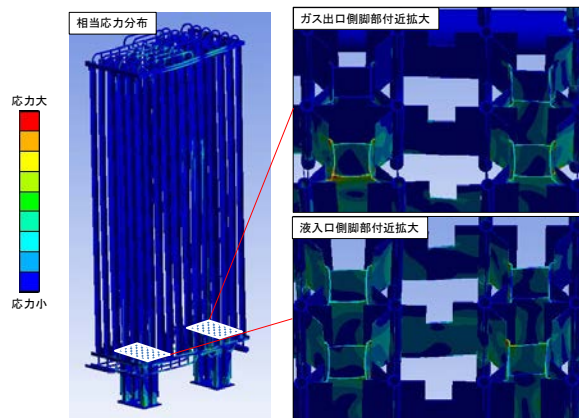


図 3. 相当応力分布 (設計最適化前)

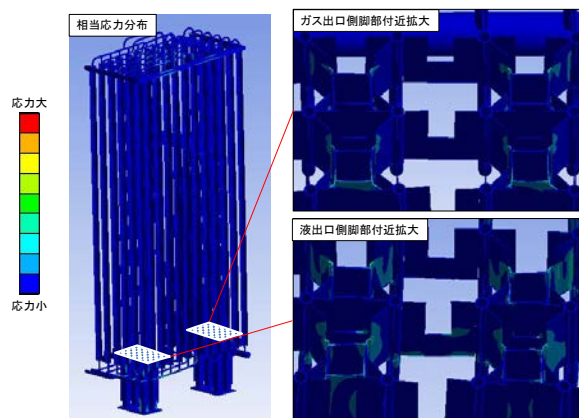


図 4. 相当応力分布 (設計最適化後)

を無くすことで、発生応力の低減を確認できた。

4. おわりに

本解析では、空温式蒸発器の運転状態を想定した構造解析を実施し、現行設計の蒸発器に関する変形挙動及び発生応力を把握すること、その結果を用いて設計の一部のみを変更することにより、応力低減のための設計最適化を図った。

本解析の応用により、空温式蒸発器の製作時や輸送時などの状態、また当該蒸発器以外の複数部品から構成される複雑な構造物について、実機の観察では把握が難しい変形挙動や発生応力を可視化し強度評価を実施することで、技術的根拠に基づき設計することが可能である。