

高度な解析技術を用いた

プラント診断・改善サービス 『PLANT PLUS™』

Plant Diagnosis and Improvement Service

Using Advanced Analysis Technology 『PLANT PLUS™』

本田 卓郎
Takuro Honda

プロセステクノロジー本部 EN テクノロジーセンター
Process Technology Division, EN Technology Center

要旨

当社では既設プラント向けに、効率改善、省エネ化、環境規制強化への対応、構造強度に関する診断など様々なニーズに対してソリューションを提案するサービス「PLANT PLUS™」を実施している。本稿では PLANT PLUS™の適用事例、サービスの内容および適用メリットを解説する。

Abstract:

JGC provides the engineering service titled “PLANT PLUS™” which provides the solutions to improve plant operational efficiency, to achieve energy saving, to comply with the tightening of environmental regulations, and for solving troubles regarding the structural integrity. This article shows examples of its application and the merits of PLANT PLUS™.

1. はじめに

当社では 40 年以上にわたって、国内の石油精製・石油化学などの既設プロセスプラント向けに、効率改善、省エネ化あるいは構造強度に関する診断業務を数多く実施してきた。その対象は加熱炉、熱交換器などの各種機器、さらには、配管から架構までと非常に幅広い。しかも対象既設プラントは当社が建設したものに限らない。そのような経験から、既設プラントの診断または改善に係る多くの知見・ノウハウを蓄積してきた。

現在、国内の既設プラントの多くは高経年化し、安定運転および信頼性確保のために今までのメンテナンスよりも高度な技術が必要とされている。また、効率改善や能力増強を目的とした改造も求められるようになってきている。このような状況に対して、当社の知見と技術を活かし、様々なニーズに応じたソリューションを提供するサービス「PLANT PLUS™ (プラント プラス)」を実施している。

2. PLANT PLUS™について

Fig. 1 に PLANT PLUS™の概要を示す。CFD (Computational Fluid Dynamics) による熱流動解析を用いた「設備改善」と、振動測定や有限要素法 (FEM : Finite Element Method) などの構造解析による「構造健全性診断」を二つの柱とし、プラントの効率改善、省エネ化、運転トラブルの解決、環境規制強化への対応などに取り組んでいる。高度な解析技術を用いて、プラント設備に関する様々な現象をシミュレーションして視覚化することが可能であり、直感的に分かりやすい検討結果を提供できる。また、検討結果に対して、国内・国外の設計規格や文献、あるいは当社の自社基準や実績などから、判断基準や数値目標を提案できる。このため、トラブルの原因となっている現象や、対応策の費用対効果が明確になり、プラントオーナーの問題解決を強力に支援するサービスとなっている。次章以降で具体的な改善事例および診断事例を紹介する。

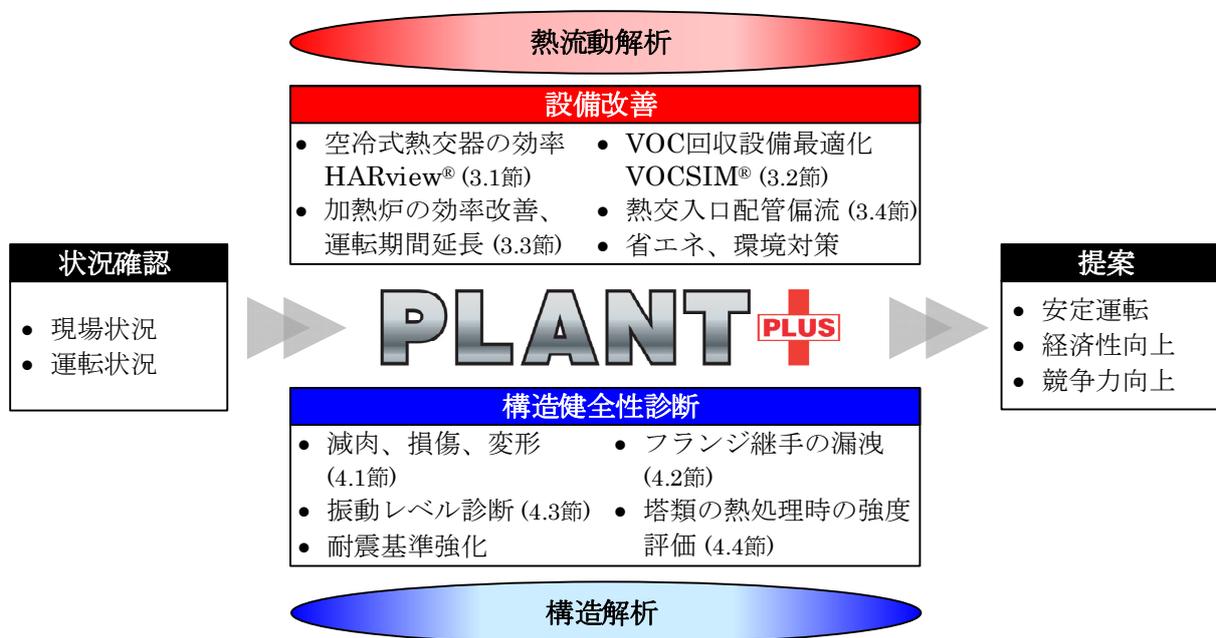


Fig. 1 Outline of PLANT PLUS™

3. プラント設備の改善事例

本章では、空冷式熱交換器の効率改善 (HARview®)、タンクベントからの VOC 回収設備の最適化 (VOCSIM®)、加熱炉の効率改善・運転期間延長、熱交換器入口配管の偏流改善について紹介する。

3. 1 空冷式熱交換器の効率改善 (HARview®)

□ プラントオーナーの悩み・プラントで起きる問題

プロセス流体の冷却装置として使用される空冷式熱交では、通常、熱交換されて熱くなった空気 (Hot Air) はファンにより上方へ放出され、温度差による浮力もあって上空に拡散される。しかし、風向や大気温度、機器の配置によっては Hot Air が下方へ循環し、空冷式熱交換器の空気吸い込み口温度が上昇することで、所定の能力が発揮できない事態が起

きる。この現象は“HAR” (Hot Air Recirculation) と呼ばれている。HAR 現象は、関連機器の負荷増加に起因するプラントの緊急停止を引き起こすことも少なくない。特に、気温が高くなる夏場の昼間には、生産量を下げた運転をせざるをえない場合もある。

□ PLANT PLUS™のサービス内容

HAR 現象の診断・改善サービス「HARview®」を提供している。具体的には、既設プラントに温度計や風向風速計を設置し、実測データの収集、分析を行う。それらの実測データを活用して Fig. 2 に示すような CFD 解析を行い、HAR の影響を定量的に評価している。また、プロセス運転データなどを併せて解析することで、生産量への影響についても定量的に評価している。

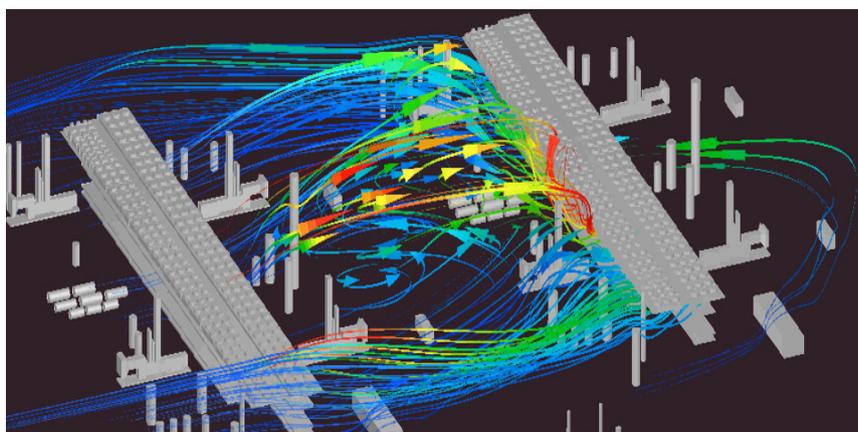


Fig. 2 HAR CFD Analysis

□ PLANT PLUS™適用のメリット

HAR 現象の影響を定量的に評価し、状況に応じた HAR 緩和策を提案することで、空冷式熱交換器の効率改善および生産量の安定化を実現する。また、HAR によるプラント緊急停止リスクの低減を図ることが可能となる。

3. 2 タンクベントからの VOC 回収設備の最適化 (VOCSIM®)

□ プラントオーナーの悩み・プラントで起きる問題

大気汚染防止法やプラントオーナーの自主的取組によって、タンクからの排気 (ベント) に含まれる揮発性有機化合物 (VOC : Volatile Organic Compounds) の排出量が規制されている。VOC 排出量削減対策の一つに VOC 回収設備の設置がある。VOC 回収設備の処理能力決定には、気温変動下でのタンク内部温度上昇により発生する「タンクベント瞬間排出量」の値が必要となるが、その算出方法は確立されていなかった。このため、VOC 回収設備の最適化設計は困難とされてきた。

□ PLANT PLUS™のサービス内容

CFD を用いてタンクベント排出量さらには VOC 濃度を時系列に予測することで、有害化学物質の排出削減の最適化提案を行うサービス「VOCSIM® (ボクシム)」を提供している。VOCSIM®の特徴は、タンクを設置した地域の緯度、経度、日照時間などのデータを

用いてタンクへの入熱量を時系列に算出し、VOC の排出量を予測することである。また、に示すように気液境界面での蒸発・凝縮やタンク壁面での凝縮をモデル化することで、タンクベント中の VOC の濃度および組成も予測可能となった。

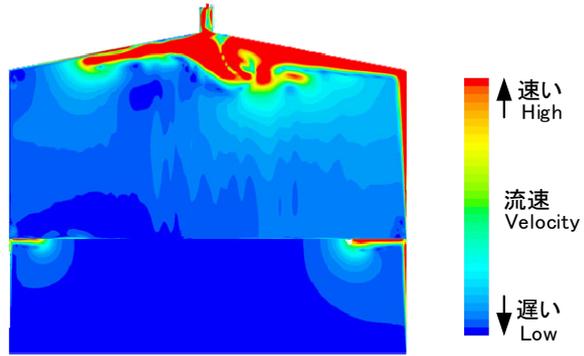


Fig. 3 Distribution of VOC Velocity

□ PLANT PLUS™適用のメリット

VOCSIM®の適用により、タンクベント排出量を適切に予測し、VOC 回収設備の最適設計を提案する。また、外気温度低下時のタンクへのパージガス供給量を予測することで、パージガス供給設備の最適設計も可能となる。

3. 3 加熱炉の効率改善、運転期間延長

□ プラントオーナーの悩み・プラントで起きる問題

昨今の製油所の統廃合に伴い、加熱炉 1 基当たりの通油量は増大する傾向となっている。また、油種の組成変動も年々大きくなっており、加熱炉の能力増強が課題となっている。さらに、省エネルギーや環境負荷低減の気運の高まりにより、加熱炉熱効率改善を目的とした改造案件が増加している。

□ PLANT PLUS™のサービス内容

加熱炉の輻射部は、加熱炉管を均一に加熱するために加熱炉の形状、サイズ、加熱炉管の配置に応じたバーナの配置や選定が重要となる。Fig. 4 は、加熱炉の改造案件において、幅広で火炎長の長いバーナを新たに採用することによって、加熱炉管の均一加熱を実現し、連続運転期間延長を達成できた事例である。CFD 解析によって求めた加熱炉管の表面温度から、管内のコーキング速度を算出し、改善前後の連続運転時間を比較した。

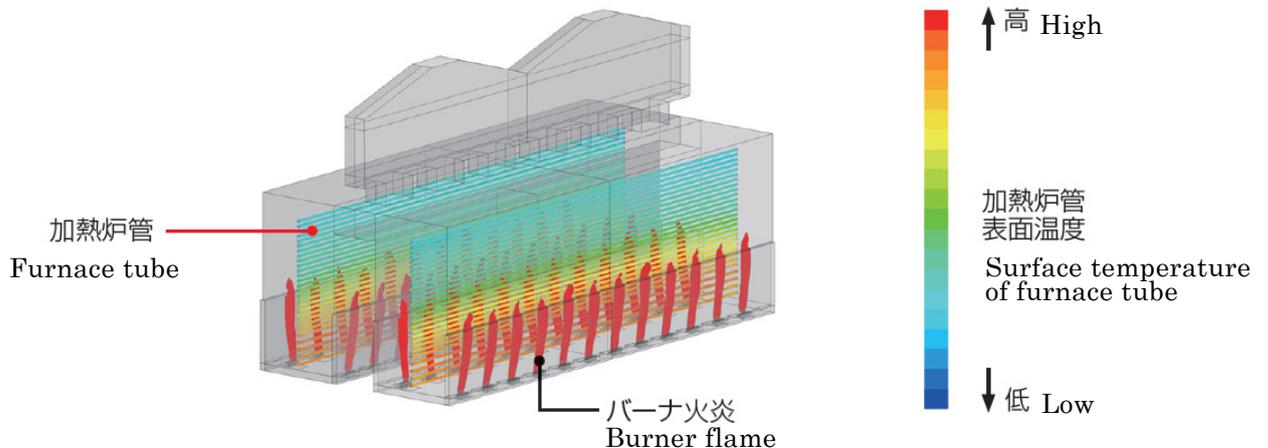


Fig. 4 Distribution of Surface Temperature of Furnace Tubes

□ PLANT PLUS™適用のメリット

連続運転期間延長の検討以外に、次のような検討が可能である：燃焼空気予熱時の熱効率向上、加熱炉管コーティングによる熱効率向上、ホットスポットの抑制、未燃燃料排出防止策、バーナ火炎の加熱炉管への干渉確認。

3. 4 熱交換器入口配管の偏流改善

□ プラントオーナーの悩み・プラントで起きる問題

1本の配管を分岐して複数の熱交換器に接続する場合、熱交換器1基あたりの流量を等しくするために、接続する配管系のレイアウトを対称形とし、分岐前の配管に一定以上の直管長を確保する。しかし、対称形やある程度の直管長を確保しても、配管エルボの位置や数によっては流量分布が均一にならない場合がある。そのため、特定の配管への流量が大きくなり、熱交換器の性能低下あるいは配管の腐食速度が増大することが懸念される。

□ PLANT PLUS™のサービス内容

Fig. 5は、空冷式熱交換器の入口配管をモデル化し、気液2相流が流れた場合の液相の流量分布を解析した事例である。エルボで発生する旋回流によって偏流が増幅され、分岐後の各配管および空冷式熱交換器の各ノズルへの流量が大きく偏っている状況が再現された。解析モデルのエルボ位置あるいは直管長を変化させて流量分布を比較することで、均一に近い流量分布を実現するための最適な配管レイアウトを検討した。

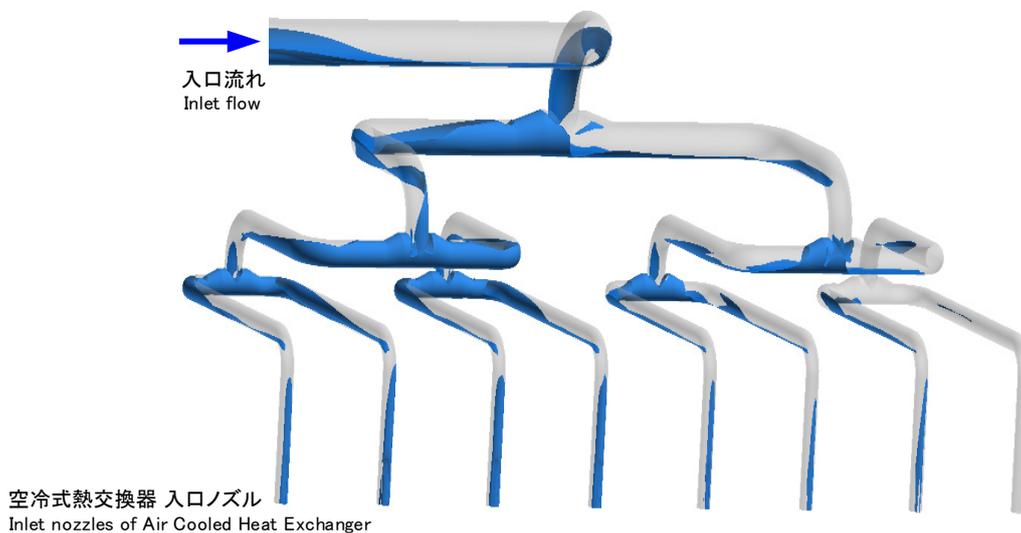


Fig. 5 Liquid Flow Distribution at Air Fin Cooler Inlet Piping

□ PLANT PLUS™適用のメリット

偏流の程度を定量的に評価し、改善策を提案できる。それにより、熱交換器の性能改善、配管の腐食リスク低減を図ることが可能となる。

4. 構造健全性の診断事例

本章では、減肉・損傷・変形、フランジ継手からの漏洩、振動レベルの診断、塔類の熱処理時の強度評価について紹介する。

4. 1 減肉、損傷、変形（運転継続可否評価、原因究明および対策提案）

□ プラントオーナーの悩み・プラントで起きる問題

高経年化したプラントでは、腐食あるいは摩耗によって配管系や圧力容器が減肉し、設計時の必要肉厚を局所的に下回る場合がある。また、物の落下・衝突によって損傷や変形が生じることがある。

□ PLANT PLUS™のサービス内容

Fig. 6 に圧力容器のノズル近傍の局部減肉の解析モデルを示す。このような損傷を受けた装置に対して、そのまま運転を継続できるのか、補修するか、取り替えるかなどを評価する。評価方法として、供用適性評価（FFS：Fitness For Service）を用いる^{1), 2)}。損傷形状および運転状態が単純であれば、供用適性評価規格で規定される評価式あるいは評価線図を用いて運転継続の可否を簡易に判断できる。一方、Fig. 6 に示す局部減肉のように構造不連続部近傍で損傷した場合、あるいはクリープ変形や疲労破壊が懸念されるような運転状態の場合、FEM 解析を用いた評価を行う。



Fig. 6 Analysis Model of Local Metal Loss around Equipment Nozzle

□ PLANT PLUS™適用のメリット

従来は運転を止めて補修や取替を行っていたような破損トラブルでも、供用適性評価を行うことでそのまま運転を継続できる可能性が期待できる。

4. 2 フランジ継手からの漏洩（原因究明および対策提案）

□ プラントオーナーの悩み・プラントで起きる問題

設計あるいは製作時の不具合やボルト締付け力の不足など、様々な原因によってフランジ継手からの漏洩が発生する。

□ PLANT PLUS™のサービス内容

FEM 解析で圧力、熱による膨張または収縮、ボルト締付力などを考慮し、漏洩時の変形の様子、ボルト軸力、ガスケット面圧などを解析することで、原因究明と対策検討を行う。Fig. 7 は FEM 解析により熱交換器の管板近傍の温度分布を解析した結果である。運転開始時、シェル側に摂氏 0 度以下の低温流体が流れ始め、シェル底面の限定的な範囲だけが低温になる。シェル底面が軸方向に収縮するため、フランジは開くように回転する。このためシェル底面側のガスケット面圧が低下し、漏洩の危険性が高くなる。設計規格³⁾、⁴⁾の応力計算方法では、ボルト締付力や圧力による影響は考慮するが、前述したような温度差による影響は規定されていない。そのため通常的设计手順では見落とし易く、定量的な検証も困難である。このような場合、Fig. 7 に示すような解析モデルを作成し、内圧およびボルト締付力に加えて、3 次元的な温度分布を考慮することで、現実的なガスケット面圧分布を解析し、漏洩に対する健全性評価を実施している。

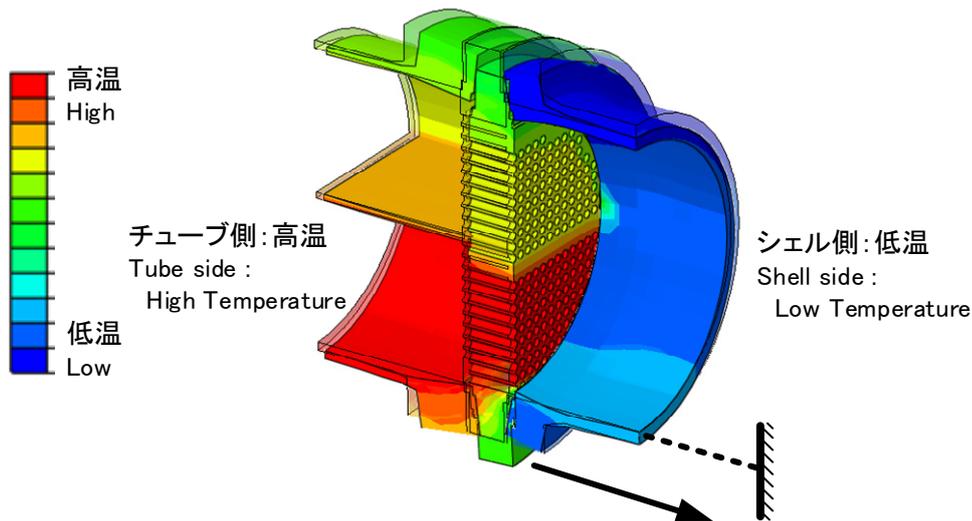


Fig. 7 Temperature Distribution of Flange

□ PLANT PLUS™適用のメリット

FEM 解析を活用することで、フランジ継手から漏洩するメカニズムを定量的かつ視覚的に分かり易く解明できる。必要に応じて対策を提案できる。

4. 3 振動レベルの診断

□ プラントオーナーの悩み・プラントで起きる問題

プラントの運転に伴い、回転機械、配管などでは種々の原因で振動が生じる。回転機械のトリップ、配管系の変形や破損、計装機器の作動不良、フランジ継手部の緩みによる流体の漏洩、騒音、作業者に与える心理的圧迫感や不安感など、振動は様々な障害を引き起こす。

□ PLANT PLUS™のサービス内容

現場での振動測定を行い、振動の速度、方向、卓越周波数などのデータ分析を行うことで振動原因を究明し、効果的な対策を提案する。測定データの分析結果に対して、ISO 10816 シリーズ、API 関連規格、その他プラント業界でよく使用される判定基準から、状況と目的に合わせて振動レベルを診断する。振動原因究明および対策案検討においては、Fig. 8 に示す FEM 解析などによる数値シミュレーションを用いる場合もある。このようなシミュレーション結果と、測定データの分析結果を比較検討することによって、信頼性の高い振動原因の究明および対策立案が可能である。対策が施工された後、現場測定を行い対策の有効性を検証する。

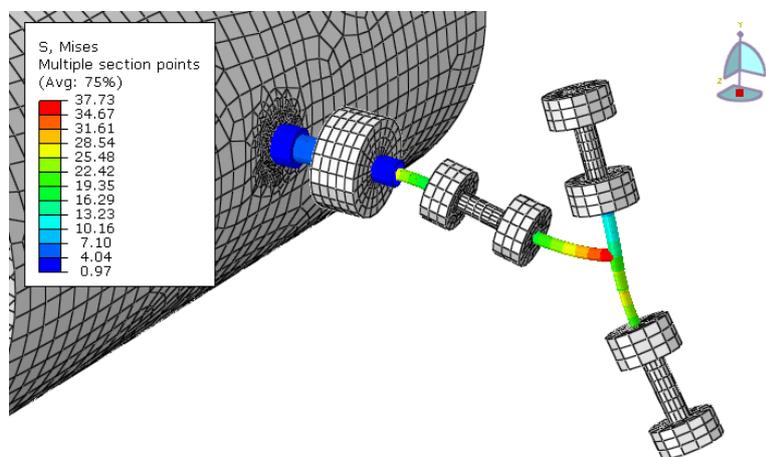


Fig. 8 Vibration Response Analysis

□ PLANT PLUS™適用のメリット

振動の原因および影響度を明確にし、必要に応じた振動対策を提案できる。

4. 4 塔類の熱処理時の強度評価 (安全な工法の提案)

□ 顧客の悩み、プラントで起きる問題

既設の塔を補修あるいは改造し、溶接後熱処理を行う場合、例えば炭素鋼であれば 600°C 程度まで加熱し、数時間保持する必要がある。昇温された部分は材料強度が低下するため、塔の自重および風荷重によって座屈や塑性変形が起きる危険性がある。安全に熱処理を行うため、クレーンによる支持などの安全対策の要否を検討する必要がある。

□ PLANT PLUS™のサービス内容

FEM 解析によって、熱処理時の温度分布の推定、熱処理時の座屈強度の評価、熱処理後の残留変形および残留応力の推定を行う。Fig. 9 は熱処理時の昇温部周辺における座屈モードを解析した事例である。風荷重の大きさや高温での材料特性など不確定な条件が多いため、どのくらい安全裕度があるのかという観点でも検証を行った。

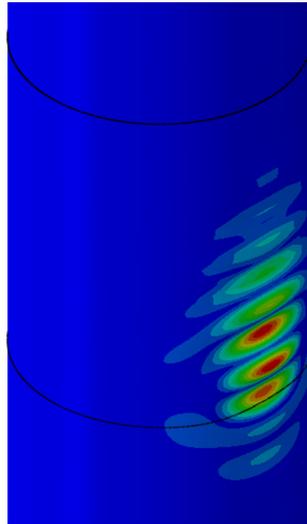


Fig. 9 Buckling Mode of Tower during Post Weld Heat Treatment

□ PLANT PLUS™適用のメリット

溶接後熱処理を実施する機器に対し、安全対策の必要性を検討できる。あるいは、機器単体の強度が十分であることが検証されれば、過剰な安全対策を防止することが可能である。

5. おわりに

国内の既設プラントの多くは高経年化が進んでいる。また、スーパー認定事業所制度が開始されるなど、今までのメンテナンスよりも高度な技術が必要とされている。このような状況に対し、PLANT PLUS™による診断・改善サービスが貢献できる機会は増えていくものと考えている。プラント設備の老朽化、効率改善や能力増強の要望、環境規制強化への対応などに関する課題があれば、ぜひ PLANT PLUS™を活用していただきたい。

【お問い合わせ先】

plantplus@jgc.com

045-682-8615

参考文献

- 1) WES2820 圧力設備の供用適性評価方法－減肉評価
- 2) API 579-1/ASME FFS-1 - 2016
- 3) JIS B8265 - 2017
- 4) ASME Section VIII Division 1 - 2017