

ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟

FEMにより設計された配管の耐震評価について

【概要】

- ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の崩壊熱除去機能及び閉じ込め機能を担う機器・配管系について、廃止措置計画用設計地震動に対する耐震評価を実施している。
 - ・ ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟の配管設計においては、耐震分類 A 類に属する配管で定ピッチスパン法を適用していないもの(約 300 モデル)は、設計当初より FEM を用いて耐震設計を実施している。
 - ・ 既設工認時の設計基準地震動 S_1 と観測波に基づく入力地震波の最大加速度は建家基礎入力波でそれぞれ 162.3 cm/s^2 , 180 cm/s^2 である。廃止措置計画用設計地震動における建家基礎入力波の最大加速度は S_{s-2} (解放基盤面での最大加速度は 952 cm/s^2) で 699 cm/s^2 であることから、地震動(建家基礎入力波)の増大率は 3.9~4.3 倍となっている。
 - ・ これに基づき、本耐震評価では、既設工認時の地震動に対する応力比(地震により生じる応力と許容応力の比)について整理し、上述した地震動の増倍率をそのまま考慮すると、応力比が 1.0 を超えるおそれのある配管モデルについて、廃止措置計画用設計地震動による評価を実施した。
 - ・ 評価の結果、 S_1 に対する応力比が最も厳しかった配管(屋上にある 2 次冷却系配管)で設計用地震動により生じる応力が許容応力を超過する結果となった。
 - ・ 評価した配管の内、上記配管より応力比の低い配管については、設計用地震動により生じる応力は許容応力未満であることを確認した。
- 上記耐震評価結果に基づき、耐震性が不足している配管に対して、耐震性向上のために配管サポートの追加を行う予定である(令和 3 年度の工事実施を計画している)。

令和2年7月27日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟 有限要素法（FEM）により設計された配管の耐震評価について

高放射性廃液の閉じ込め機能及び崩壊熱除去機能を構成する配管について、廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用した際の耐震性について評価した。以下にその概要を示す。なお、詳細な耐震計算書は7月の廃止措置計画の変更申請に含める。

1. 評価方針

ガラス固化技術開発施設（TVF）ガラス固化技術開発棟の配管の構造強度の評価は、有限要素法（FEM）解析により行うもの及び振動数基準の定ピッチスパン法により行うものがある。振動数基準の定ピッチスパン法により行うものについては高放射性廃液貯蔵場（HAW）の配管で行った評価と同様の方法により耐震性を確認している。

有限要素法（FEM）解析により構造強度の評価を行う配管としては、既往の設計及び工事の方法の認可申請時に基準地震動 S_1 （建家基礎面の入力波の最大加速度が 162.3 cm/s^2 ）及び観測波に基づく入力地震動（建家基礎面の入力波の最大加速度が 180 cm/s^2 ）に対して発生応力を算出したモデルが約 300 あり、これらの配管の耐震性について確認を行う。

廃止措置計画の安全対策として考慮する廃止措置計画用設計地震動による建家基礎入力波の最大加速度は S_s-2 の 699 cm/s^2 （解放基盤面での最大加速度は 952 cm/s^2 ）と、既設工認時の建家基礎入力波加速度に対して増大率は 3.9~4.3 倍以下に収まっている。このことから、既設工認時の地震動に対する発生応力と供用状態 D_s における許容応力の比（応力比）について約 300 の配管モデルを応力比の大きい順に整理し、上述した地震動の増倍率をそのまま考慮すると応力比が 1.0 を超えるおそれのある配管モデルを抽出（応力比が上位 20 位に入るもの）し、廃止措置計画用設計地震動に対する詳細評価（FEM による耐震解析）を行った。

2. 評価の方法

配管の構造強度の評価部位は、本体の一次応力とした。また、発生応力の算出については、自重、圧力及び地震力による応力を組み合わせた。地震力による応力については、FEM 解析（スペクトルモーダル法）により計算し、水平方向応力と鉛直方向応力を二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEA4601-2008」に基づき、水平方向・鉛直方向とも 0.5 %とした。

作用させる地震力は建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに作成した各階の床応答スペクトル（ S_s-D , S_s-1 , S_s-2 の 3 波包絡、周期軸方向に ± 10 % 拡幅したもの）から、配管据付最上階のものを用いた。

解析コードには FINAS^{※1} 又は MSC. Nastran^{※2} 用いた

※1 日本原子力研究開発機構、伊藤忠テクノソリューション株式会社、“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”。

※2 MSC Software Corporation, “MSC. Nastran Version 2005r2”。

3. 評価結果

構造強度評価結果の内、既設工認の地震動時の発生応力と許容応力の応力比が大きいもの上位 10 モデルを抜粋して廃止措置計画用設計地震動で評価した結果を表 1 に示す。応力比が最大である配管(KG83-616)を除き、いずれも許容応力以下であることを確認した。

表 1 評価結果（上位 10 モデルを抜粋して示す）

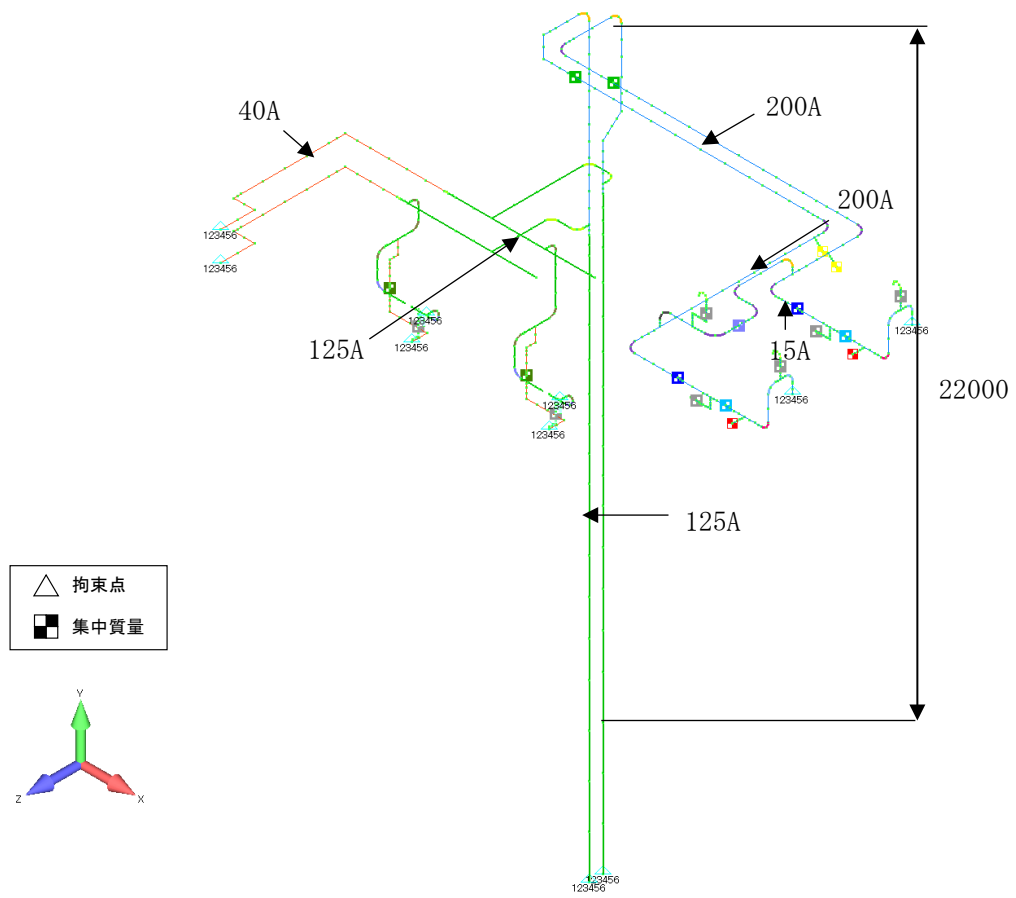
評価対象設備	材料	温度 (°C)	最大発生 応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
配管 (KG83-616)	STPG370	55	721	326	2.22
配管 (KG83-619)	STPG370	55	206	326	0.64
配管 (KG83-618)	STPG370	55	182	326	0.56
配管 (KG84-600)	SUS304TP	35	333	468	0.72
配管 (KG83-624)	STPG370	55	149	326	0.46
配管 (KG86-642)	SUS304TP	60	135	440	0.31
配管 (A861A-1)	SUS304TP	60	362	440	0.83
配管 (A411A-2)	SUS304TP	60	168	440	0.39
配管 (KG21-600)	SUS304TP SUS304LTP	60	195	440	0.45
配管 (KG84-617)	SUS304TP	60	102	468	0.22

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

廃止措置計画用設計地震動に対する応力比が 1.0 を超えた配管 (KG83-616) については耐震性が不足していることから、補強工事により、廃止措置計画用設計地震動時の発生応力が許容応力以下となるようにする。

配管 (KG83-616) の解析モデルを図 1 に、配管の主要寸法・仕様を表 2 に示す。また、配管 (KG83-616) の固有周期及び固有モードを図 2~4 に、応力比が 1.0 を超える箇所を図 5 に示す。

応力比が 1.0 を超えた箇所について、サポートを追加することにより耐震性を向上することについて検討を行った。その結果、図 6 に示す位置に新たにサポートを追加することにより、廃止措置計画用設計地震動に対する発生応力を許容応力以下に抑制できるという結果を得た。これらの評価に基づき、配管サポートの追加工事を実施し、ガラス固化技術開発施設 (TVF) ガラス固化技術開発棟の配管の耐震性を確保することとする。



(単位：mm)

図1 配管(KG83-616)の解析モデル

表 2 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
配管 (KG83-616)	安全上の機能	閉じ込め機能 崩壊熱除去機能
	機器区分	クラス 3
	流体名	水
	流体の密度	1.0 (g/cm ³)
	材質	STPG370
	保温有無	有
	温度 (設計温度)	55 (°C)
	圧力 (設計圧力)	0.98 (MPa)
	呼び径-Sch.	15A-Sch. 80 40A-Sch. 40 80A-Sch. 40 125A-Sch. 40 150A-Sch. 40 200A-Sch. 40

1次モード図

固有周期 : 0.123 (秒)

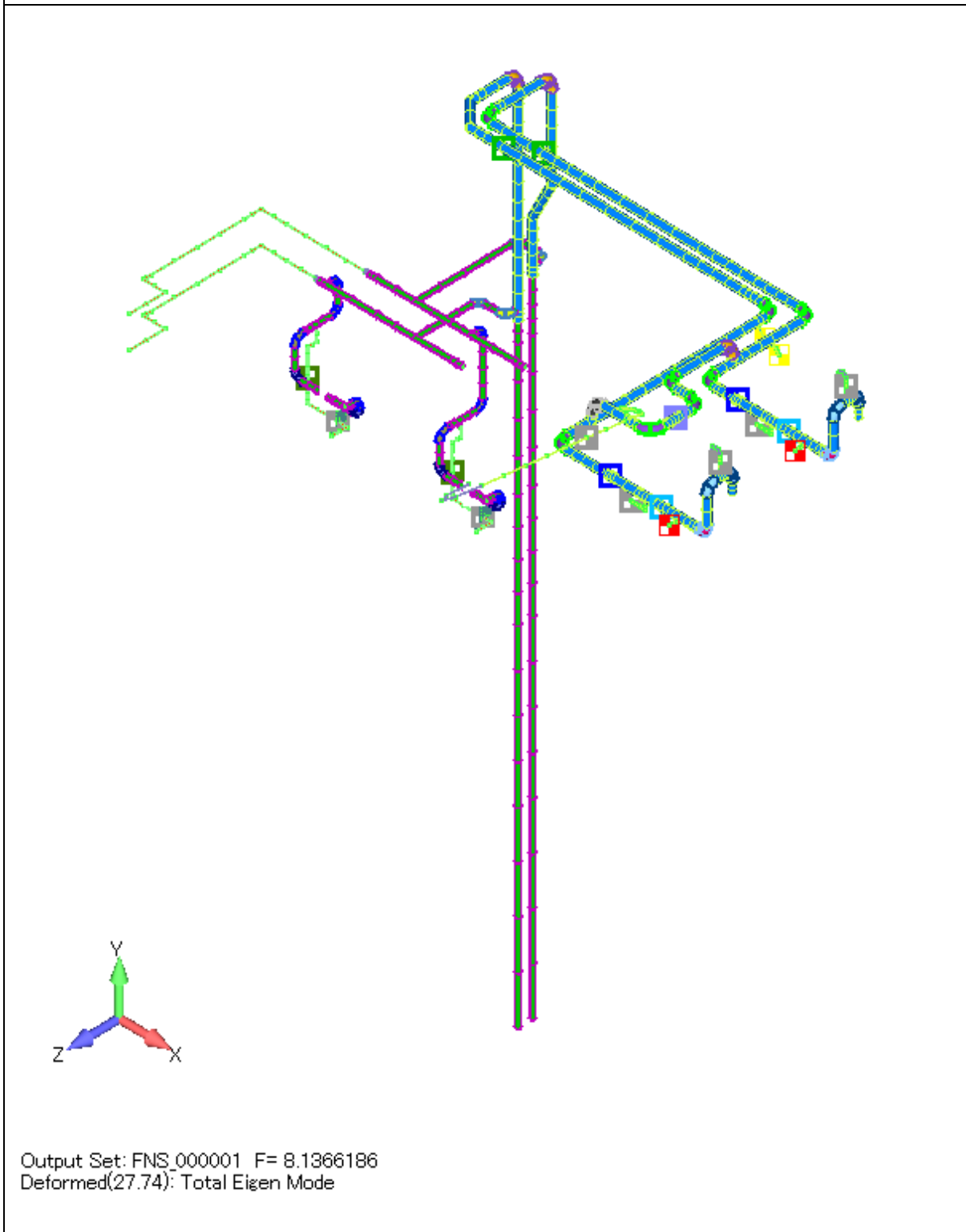


図2 系配管 (KG83-616) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期 : 0.121 (秒)

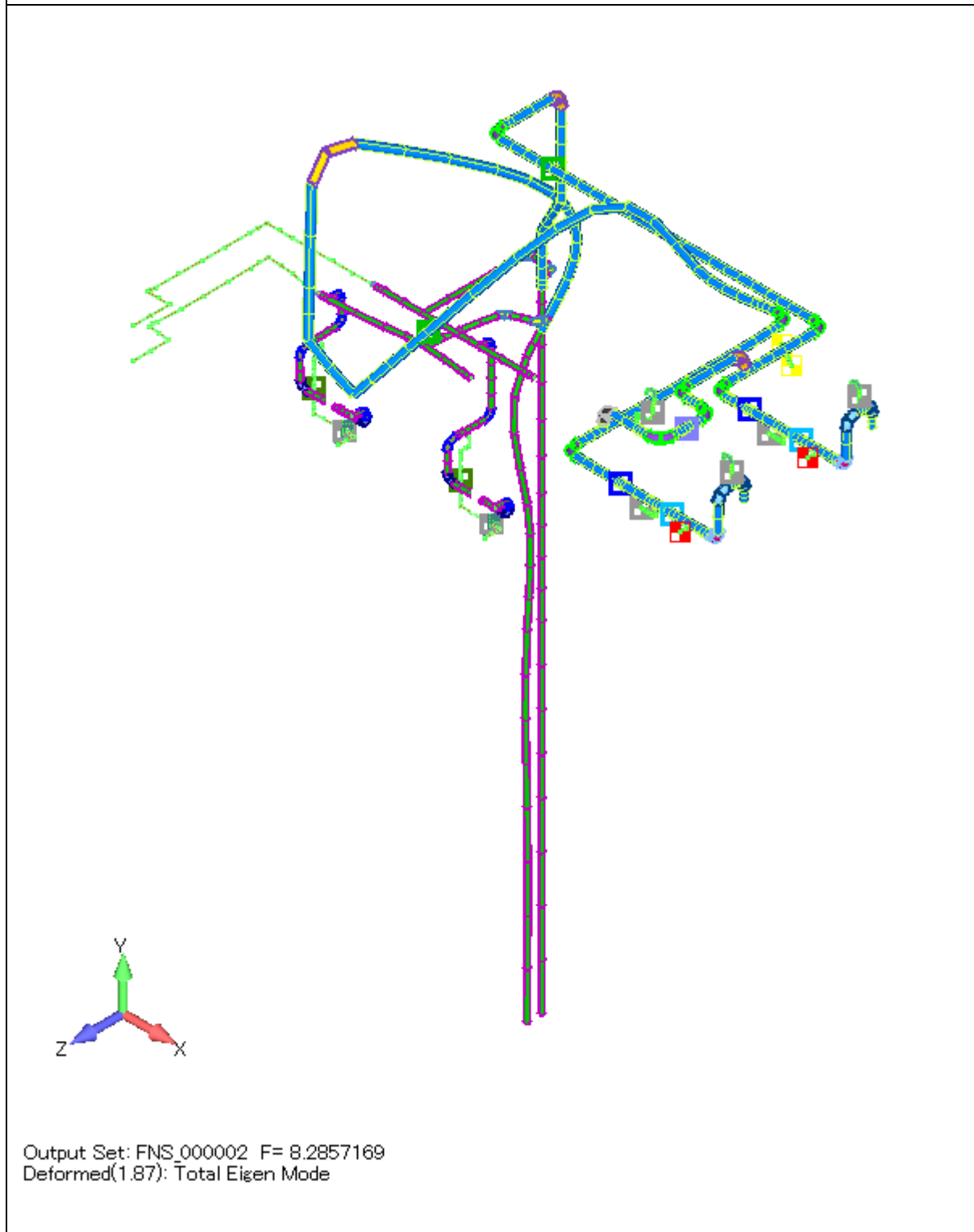
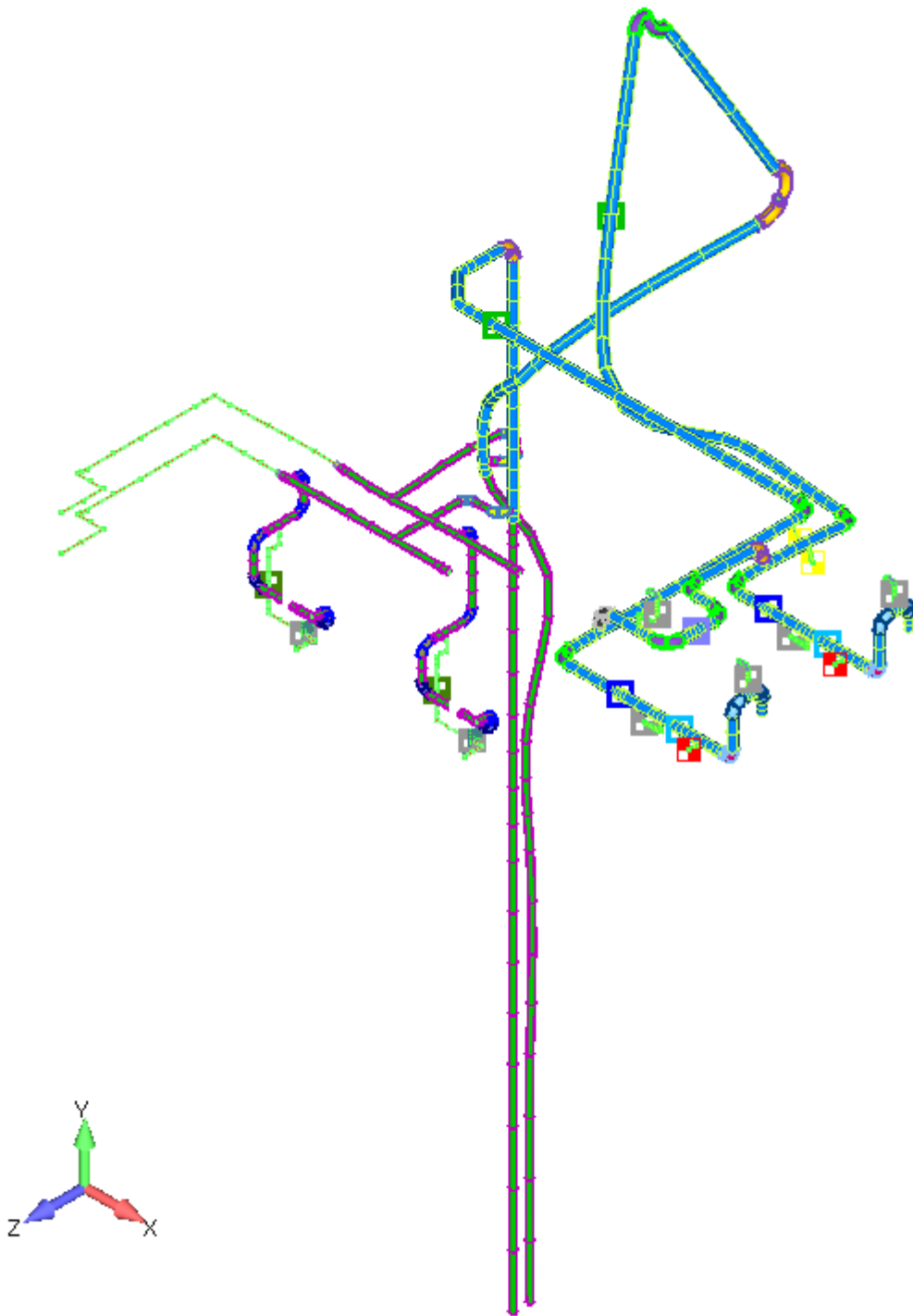


図3 系配管 (KG83-616) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期 : 0.117 (秒)

\ddot{C}_4



Output Set: FNS_000003 F= 8.5473537
Deformed(2.094): Total Eigen Mode

図 4 系配管 (KG83-616) 固有モード図 (3/3)

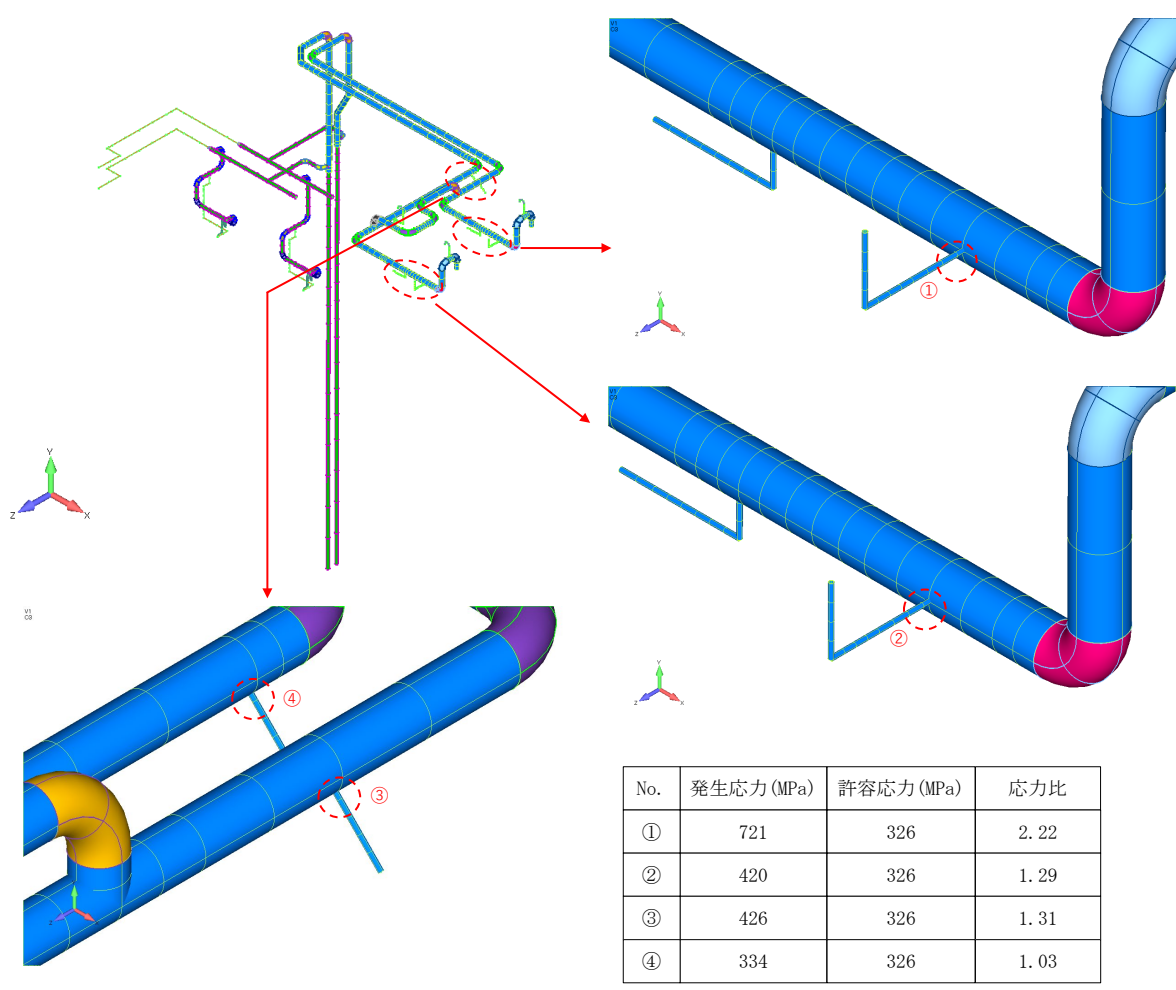


図5 応力比が1.0を超える箇所

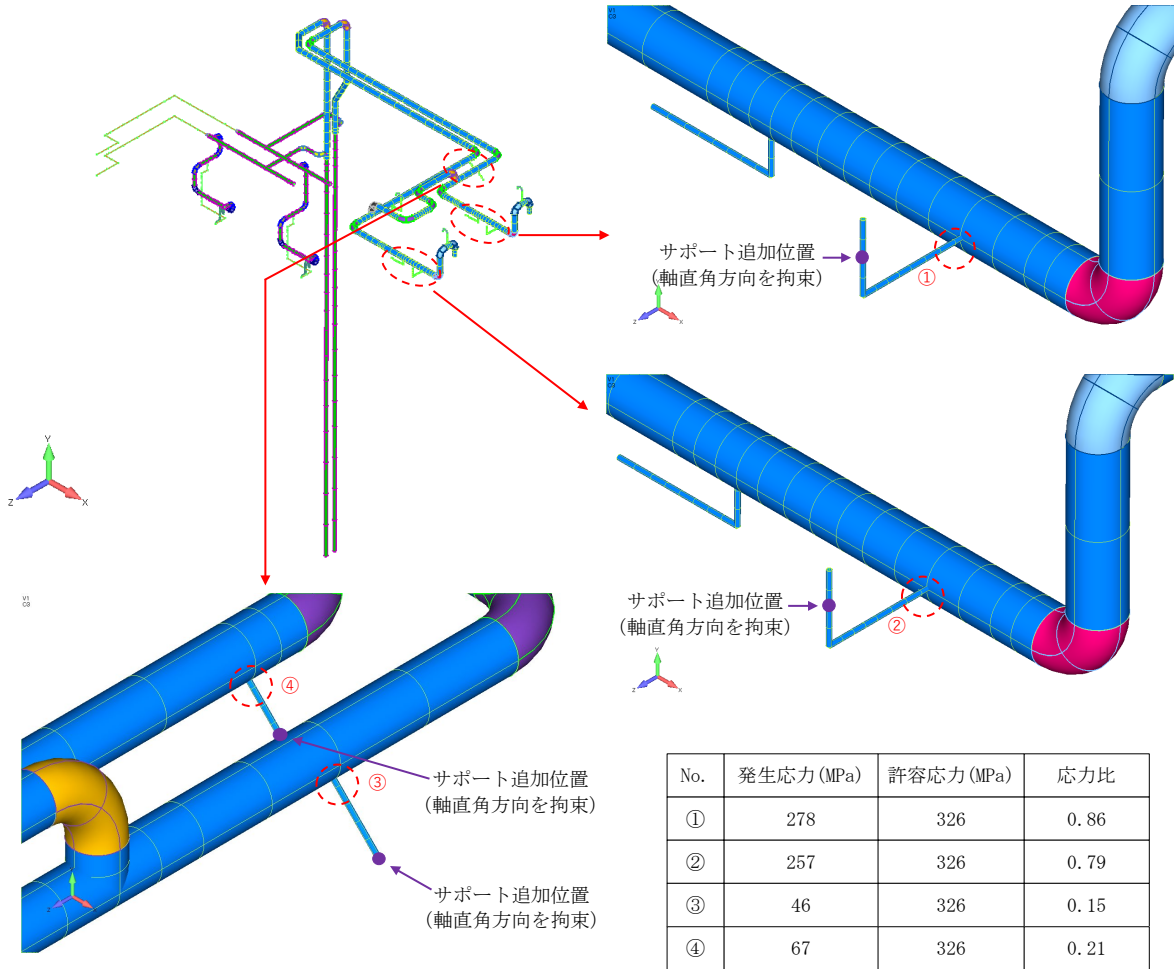


図6 サポートの追加位置及びサポート追加後の評価結果