

顧客: xxxxxxxx 殿

水素配管熱応力解析及び疲労評価による
装置の推定耐用期間の検討
【サポート支持点: 丸孔形状】

令和5(2023)年2月15日

有限会社 日本プラント設計

		頁
1	適用法規、関連規格及び基準	1
2	解析手法	1
3	解析条件	1
4	荷重の組合せ及び許容応力	1
5	熱応力解析及び疲労評価による装置の推定耐用期間のまとめ表	2
6	モデル図	3
6.1	全体	3
6.2	温度条件	4
7	配管応力図	5
7.1	固定荷重(自重)+内圧荷重	5
7.2	熱荷重(温度ケース1)	6
7.3	熱荷重(温度ケース2)	7
8	フレーム溶接部に作用する荷重	8
9	サポート荷重	9
10	配管変位図	10
10.1	熱荷重(温度ケース1)	10
10.2	熱荷重(温度ケース2)	11
11	配管アイソメ図	12
12	疲労評価による装置の推定耐用期間の検討	13
12.1	配管熱伸縮の熱荷重でサポートの推定耐用期間を検討	13
12.2	配管熱伸縮の強制変位量でサポートの推定耐用期間を検討	16
12.3	配管貫通フレーム溶接部の推定耐用期間の検討	19
12.4	水素配管の推定耐用期間の検討	20

自己加圧用蒸発器 水素配管熱応力解析 (サポート支持点：丸孔形状)

1. 適用法規、関連規格及び基準

1.1 ASME B31.3 Process Piping

2. 解析手法

2.1 剛性マトリックス法による詳細解析を行い、配管系の節点に生じる反力、応力、変位量を算出する。

2.2 使用プログラム

Auto PIPE Version 12.08 (株式会社ベントレーシステムズ)

3. 解析条件

3.1 内圧荷重

設計圧力によって生じる長手方向応力

設計圧力 = 1MPa 運転圧力 = 20~60KPa

3.2 熱荷重

ケース1：1段目出口と3段目出口の温度差により2段目出口の温度を推定

第1段：入口 = -253℃ 出口 = -190℃

第2段：入口 = -190℃ 出口 = -96℃

第3段：入口 = -96℃ 出口 = -1℃

第4段：入口 = -1℃ 出口 = +15℃

ケース2：1段目入口と4段目出口の温度差により2段目出口の温度を推定

第1段：入口 = -253℃ 出口 = -190℃

第2段：入口 = -190℃ 出口 = -119℃

第3段：入口 = -119℃ 出口 = -1℃

第4段：入口 = -1℃ 出口 = +15℃

3.3 配管溶接継手効率

0.7とする。(溶接部の放射線透過試験は20%未満実施する。)

3.4 応力範囲減少係数

0.65とする。(3回/日 x 365日 x 50年 = 5.475 x 10⁴)

4. 荷重の組合せ及び許容応力

各荷重条件における許容応力は表-1 許容応力一覧表による。

表-1: 配管応力評価において考慮する荷重の組合せとその許容応力一覧表

荷重の種類	荷重条件			許容応力 (N/mm ²)
	内圧	固定	温度	
内圧荷重	○			σ
固定荷重	○	○		σ_h
熱荷重	○	○	○	$\sigma_A = f[1.25(\sigma_c + \sigma_h) - \sigma_L]$

記号説明

σ : 内圧による許容応力

σ_h : 運転時温度における材料の基本許容応力

σ_c : 常温時温度における材料の基本許容応力

σ_A : 熱変位合成応力に対する許容応力

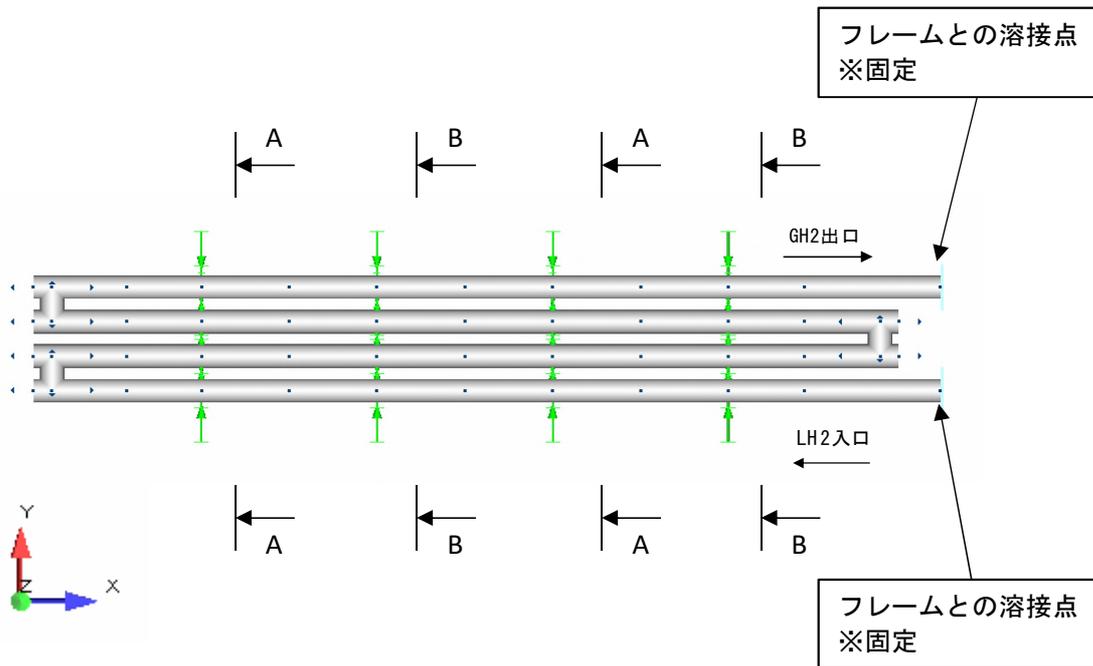
σ_L : 固定荷重において発生する長手方向応力

f : 応力範囲減少係数(サイクル5.475 x 10⁴ より f = 0.65)

サイクル数 N = 3回/日 x 365日 x 50年 = 5.475 x 10⁴

自己加圧用蒸発器 水素配管熱応力解析 (サポート支持点：丸孔形状)

6. モデル図
6.1 全体

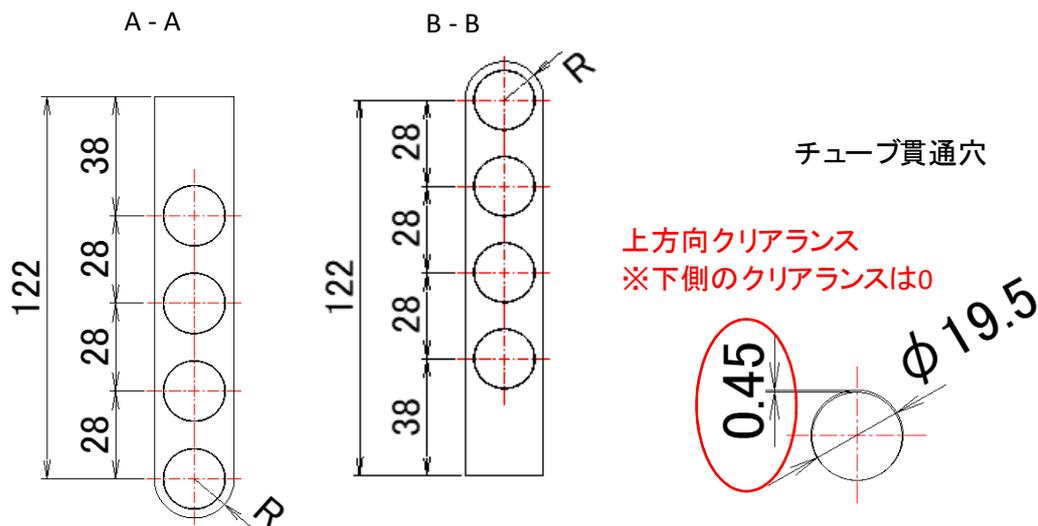


実外径 (mm)	肉厚 (mm)	配管材質	常温時許容応力 N/mm ²	運転時許容応力 N/mm ² (-253°C~+15°C)
19.05	1.65	SUS316LTP-S	114	114

SUS312L 注1)
(UNS S31254)

154

154
(シャルピー試験で低温特性確認要)

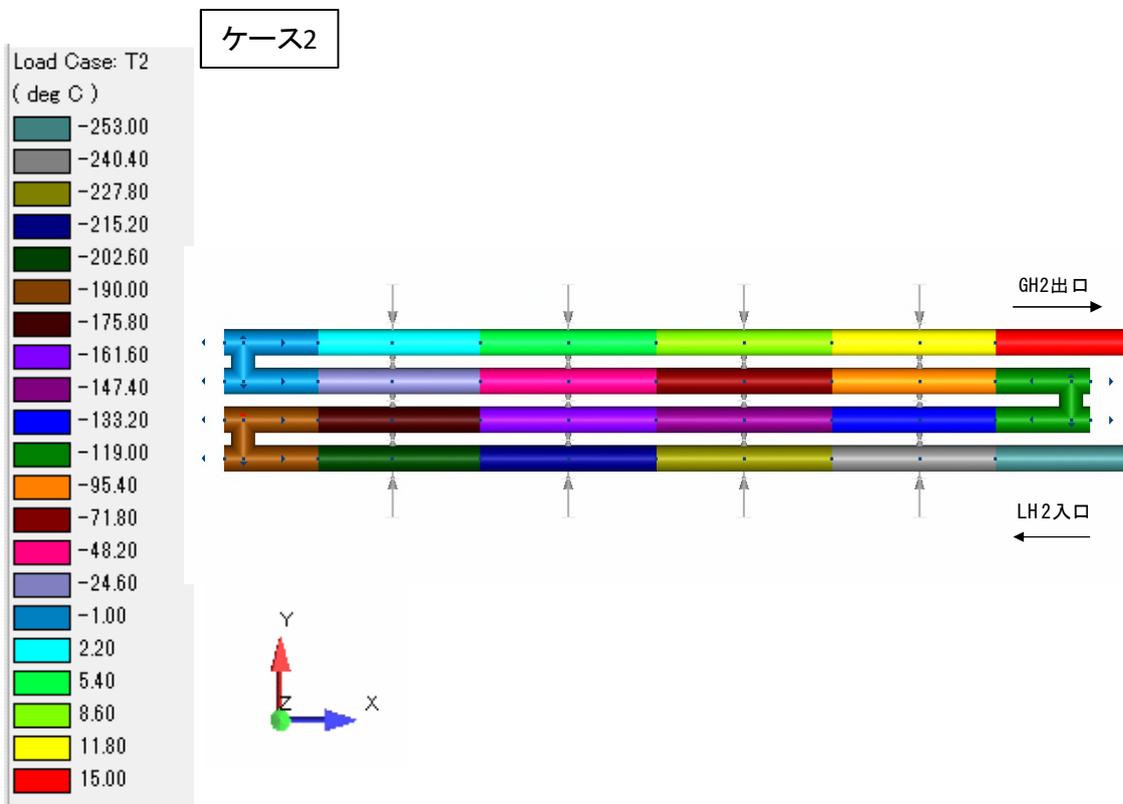
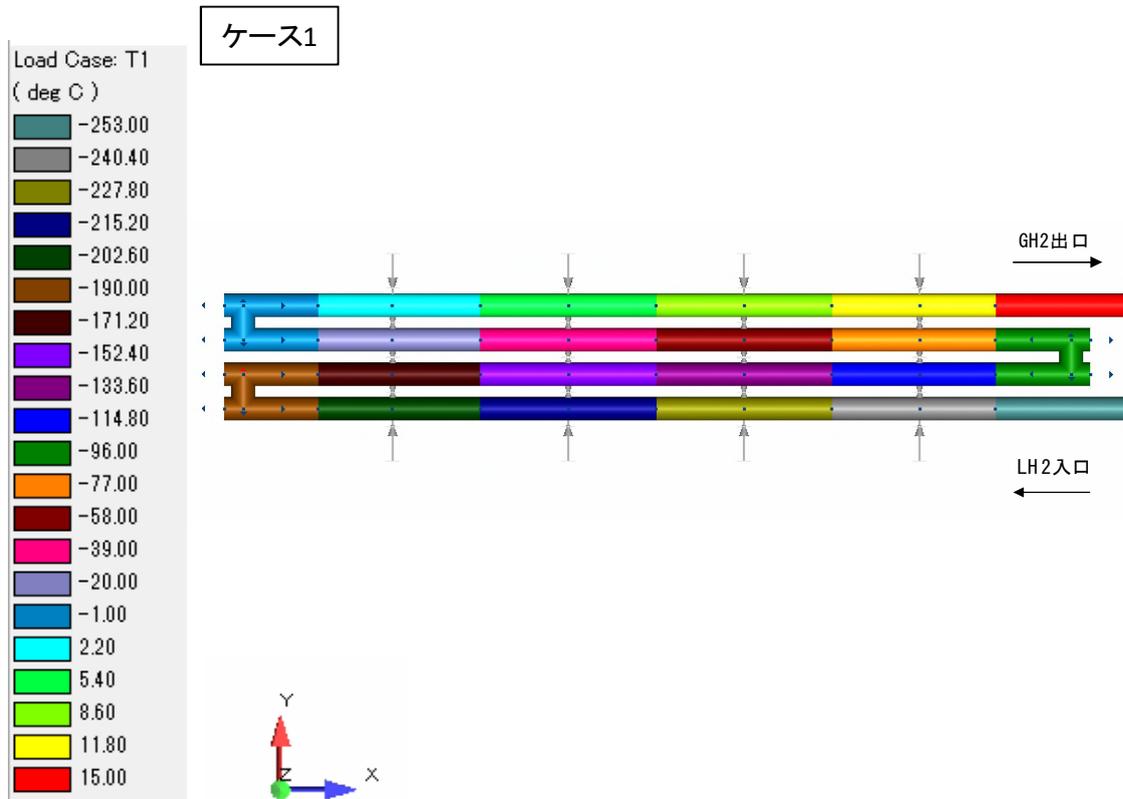


注1) SUS312L (UNS S31254)の許容引張応力は、SUS316Lと同様に規定最小引張強さに対し同じ安全率(4.21)を採用する。

自己加圧用蒸発器 水素配管熱応力解析 (サポート支持点：丸孔形状)

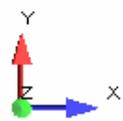
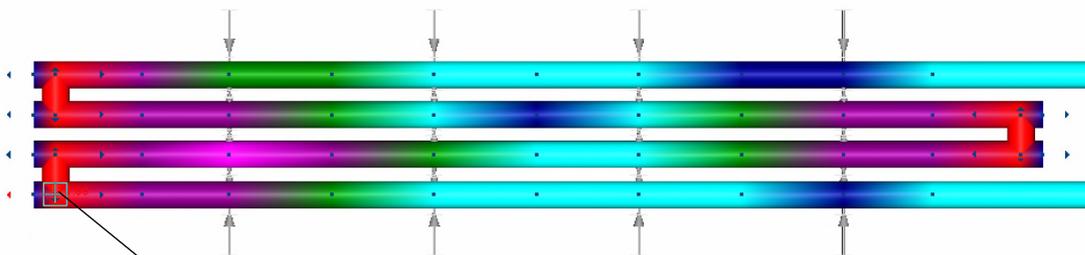
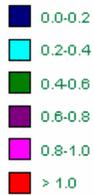
6. モデル図

6.2 温度条件



7.2 熱荷重(温度ケース1)

Ratio to Allowable Stress:



最大応力

節点:	A10	(母管)
熱膨張 (Max):	N/mm2	
応力:	369.0	
許容値:	183.7*	
許容比:	2.01	
組合せ:	Amb to T1{1}	

許容値

$$\sigma_A = f [1.25 (\sigma_c + \sigma_h) - \sigma_L]$$

f : 応力範囲減少係数 [0.65]

σ_c : 常温時の許容応力 [114 N/mm²]

σ_h : 運転時の許容応力 [114 N/mm²]

σ_L : 長期応力 (Auto PIPE 計算値) [2.4 N/mm²]

$$\sigma_A = 0.65 [1.25 (114 + 114) - 2.4]$$

$$= 183.7 \text{ N/mm}^2$$

装置の使用回数が、7000回以下の場合には応力範囲減少係数 (f) は「1」となる。

- ・ 使用年数 = 7000 / 3 / 365 = 6.39年(約6年4ヶ月) 以下の場合
- ・ 許容値 A = 183.7 / 0.65 = 282.6 N/mm²

その場合のSUS316Lでの評価は；

- ・ 応力 = 369.0 N/mm²
- ・ 許容値 = 282.6 N/mm²
- ・ 許容比 = 1.31 > 1.0 NG

SUS312L (UNS S31254)での評価は；

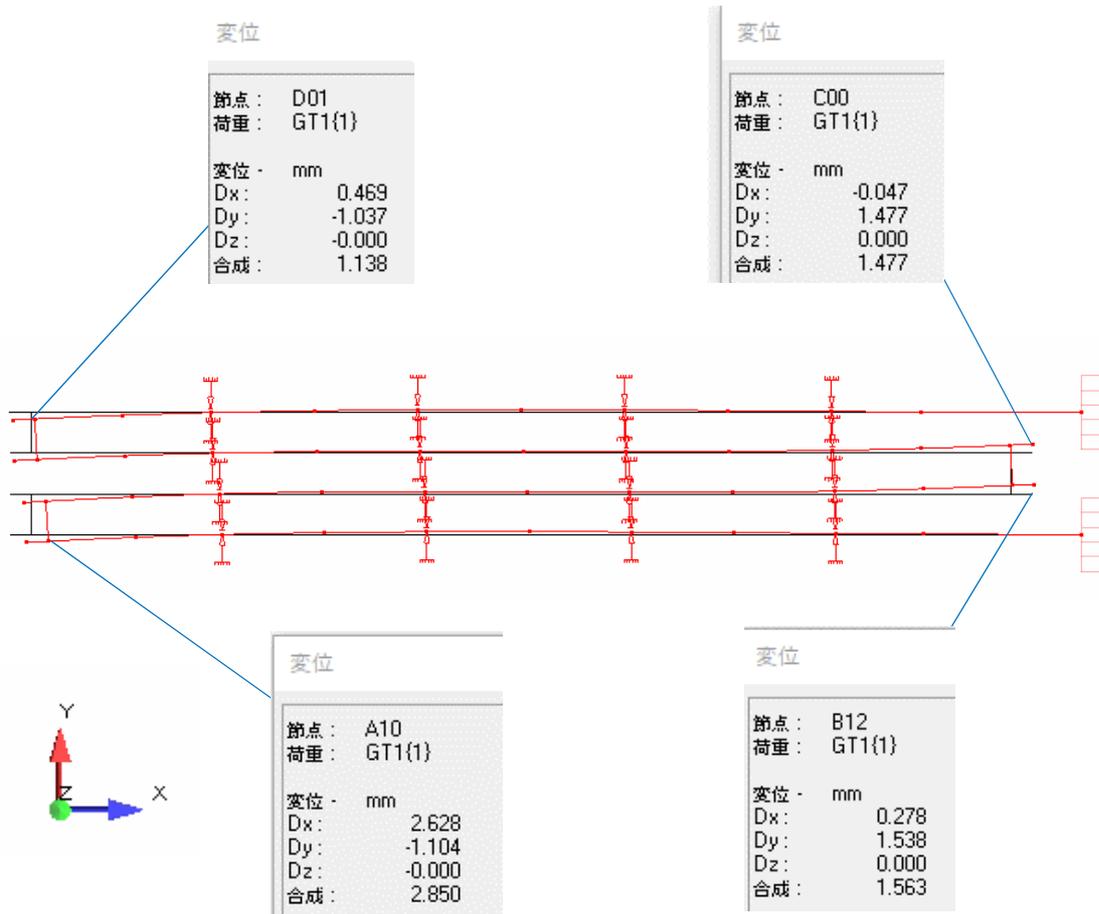
- ・ 応力 = 369.0 N/mm²
- ・ 許容値 = 382.6 N/mm²
- ・ 許容比 = 0.964 < 1.0 OK

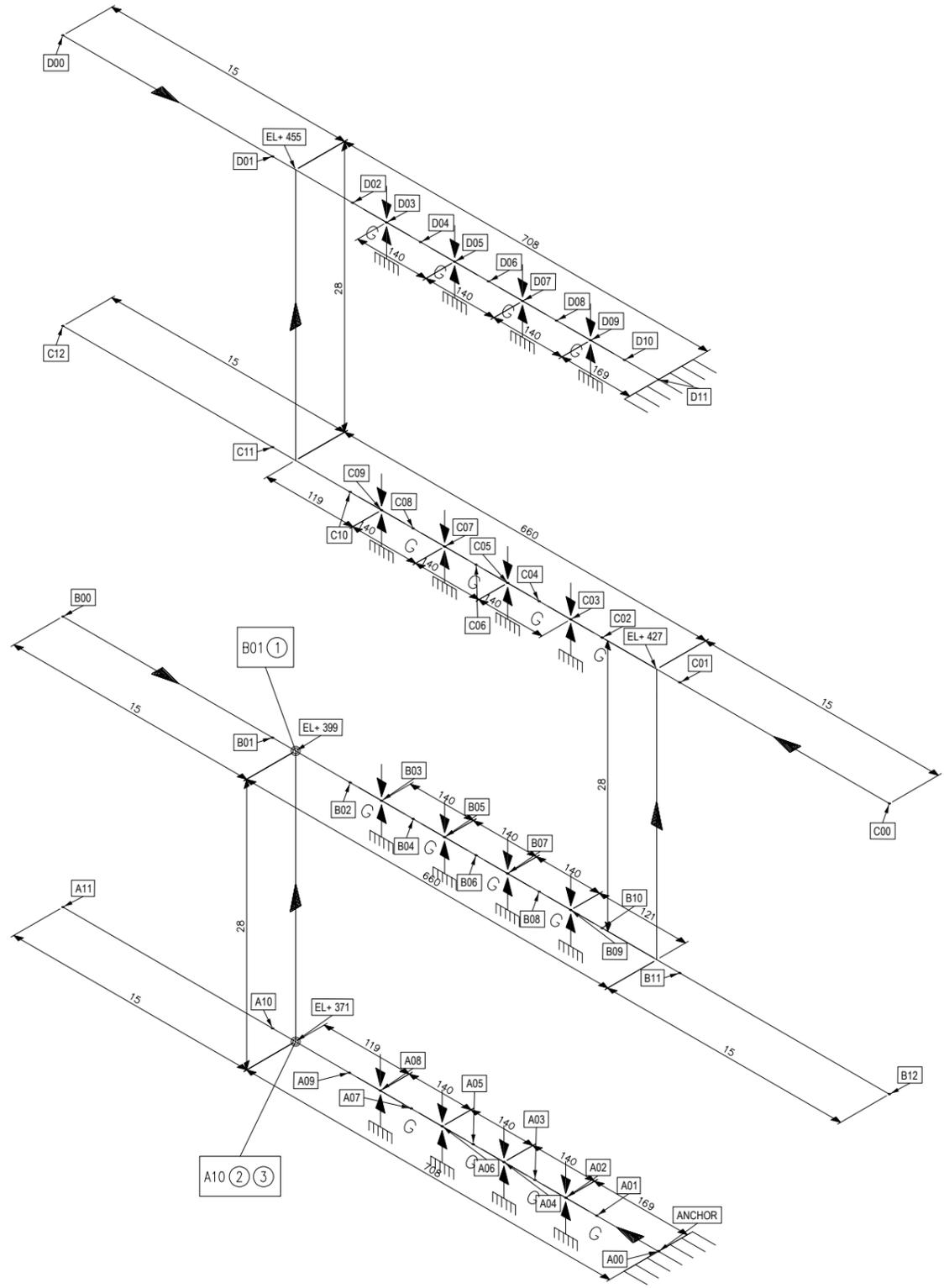
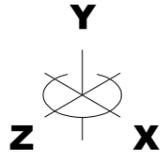
上記検討結果より、実際の材質(SUS312L (UNS S31254))では、使用繰り返し数7000回以下(使用年数 約6年4ヶ月)と設定した場合に ASME B31.3の評価方法を満足する。

自己加圧用蒸発器 水素配管熱応力解析 (サポート支持点：丸孔形状)

10. 変位図

10.1 熱荷重(温度ケース1)





◎は最大応力値を示す。

REV.	DATE	REVISION	BY	CHKD	APP	G-Gap 	ANCHOR 	LINESTOP 	V-STOP 	ROTATION 	GUIDE 	INCLINED 	SPRING 	CONSTANT 	DAMPER
						Line Direction For Support Gaps									

PROJECT NO:	DATE:
ANALYZED BY:	DATE:
CHECKED BY:	DATE:
APPROVED BY:	DATE:
AREA:	
LINE NO.:	
CLASS:	
FLOW DIAGRAM:	



DRG SIZE
A2

DRAWING No.

REV.

12 疲労評価による装置の推定耐用期間の検討

12.1 配管熱伸縮の熱荷重でサポートの推定耐用期間を検討 (1/3)

部位：サポート4 支持点4段目
FB 3t x 25Wの強度検討

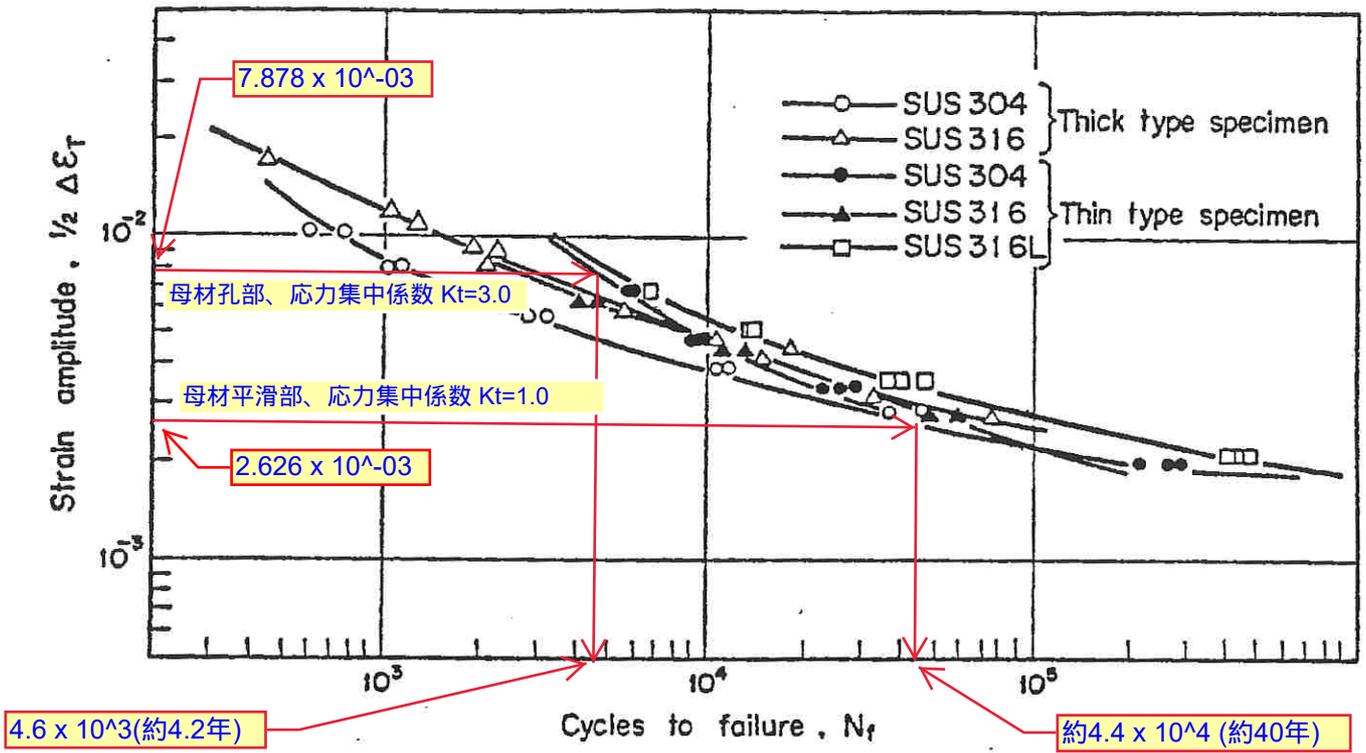


Fig. 6 $N_f - 1/2 \Delta \epsilon_T$ curve at room temperature.

図 6(a) ステンレス鋼の疲労曲線

すみ肉溶接部で同じ発生応力の場合は、許容値は、 $1/\sqrt{3}$ になる。従って、 $4.2年/\sqrt{3} = 約2.4年$

出典：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、JAERI 1237「5. 室温におけるステンレス鋼の疲れ特性」

12.4 水素配管の推定耐用期間の検討

水素配管(φ19.05)、SUS312L (UNS S31254), をステンレス鋼の疲労曲線で推定耐用期間を求めた。

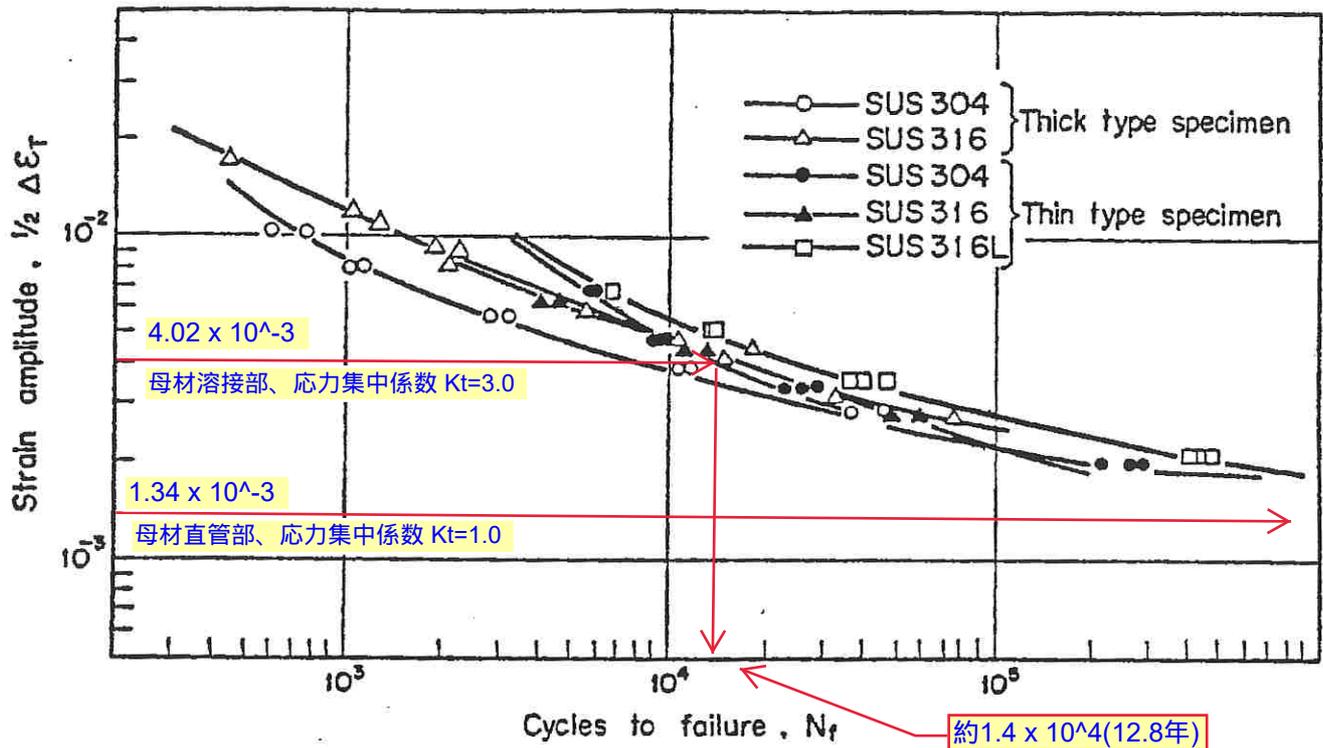


Fig. 6 $N_f - 1/2 \Delta \epsilon_T$ curve at room temperature.

図 6 (d) ステンレス鋼の疲労曲線

(5) 溶接部疲労強度の検討

- ・最大応力 $S_{max} = \Sigma \sigma = 371 \text{ N/mm}^2$ 装置運転時
 - ・最小応力 $S_{min} = 0 \text{ N/mm}^2$ 装置停止時
 - ・応力振幅 $S_a = (S_{max} - S_{min})/2 = (371 - 0)/2 = 186 \text{ N/mm}^2$
 - ・平均応力 $S_{mean} = (S_{max} + S_{min})/2 = (371 + 0)/2 = 186 \text{ N/mm}^2$
 - ・最小引張強さ $S_u = 650 \text{ N/mm}^2$ (メーカー値)
- ・ステンレス鋼の疲労曲線にプロットするための
 等価応力振幅 $S_{eq} = S_a / (1 - S_{mean} / S_u) = 186 / (1 - 186 / 650) = 261 \text{ N/mm}^2$
 歪み振幅 $\Delta \epsilon_T / 2 = S_{eq} / E = 261 / 195000 = 1.34 \times 10^{-3}$
 応力集中係数 $K_t = 3.0$ と設定すると 4.02×10^{-3}
- ・図 6 (d) の疲労曲線より、使用条件を 3 回 / 日、365 日とした耐用期間は ;
 (a) 母材直管部、応力集中係数 $K_t = 1.0$ の場合 : 疲労限以下となる。OK
 (b) 母材溶接部、応力集中係数 $K_t = 3.0$ の場合 : 約 1.4×10^4 回 (約 12.8 年)