

熱応力解析における各断面の解析結果

天井レンガ周辺の温度環境変化に対するレンガの影響を確認するため、図1、図2に示す解析モデルに基づき、各条件において発生する応力を解析により求めた。

表1、2に解析条件を示す。それぞれの断面における各条件下での応力は表3～7のとおりであり、間接加熱装置の近傍と遠方では装置により近い方が応力が高く、また同じ断面においては間接加熱装置温度が急激に降下する条件下において、降下温度勾配が最大の時に最も応力が高くなる結果となった。

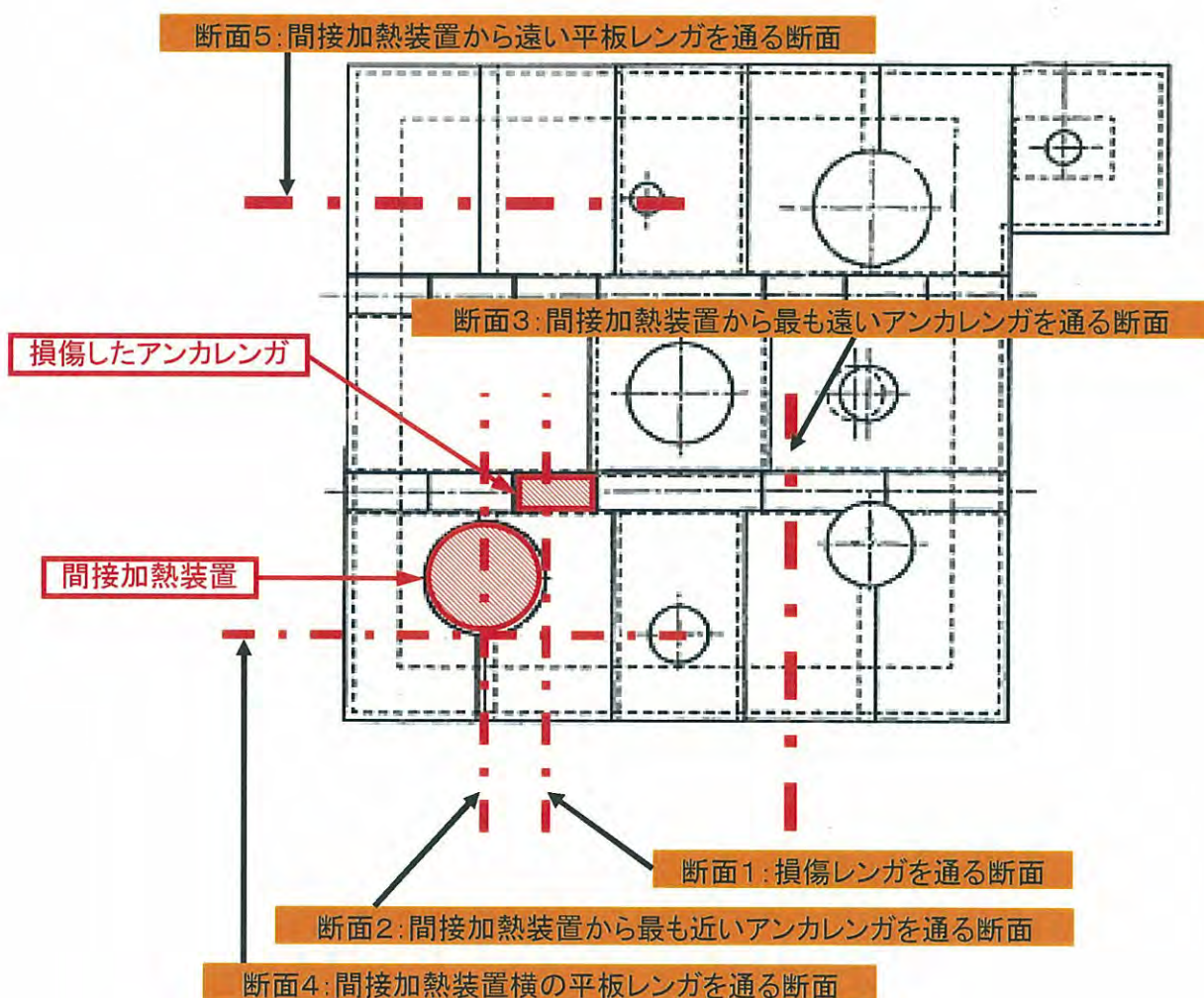
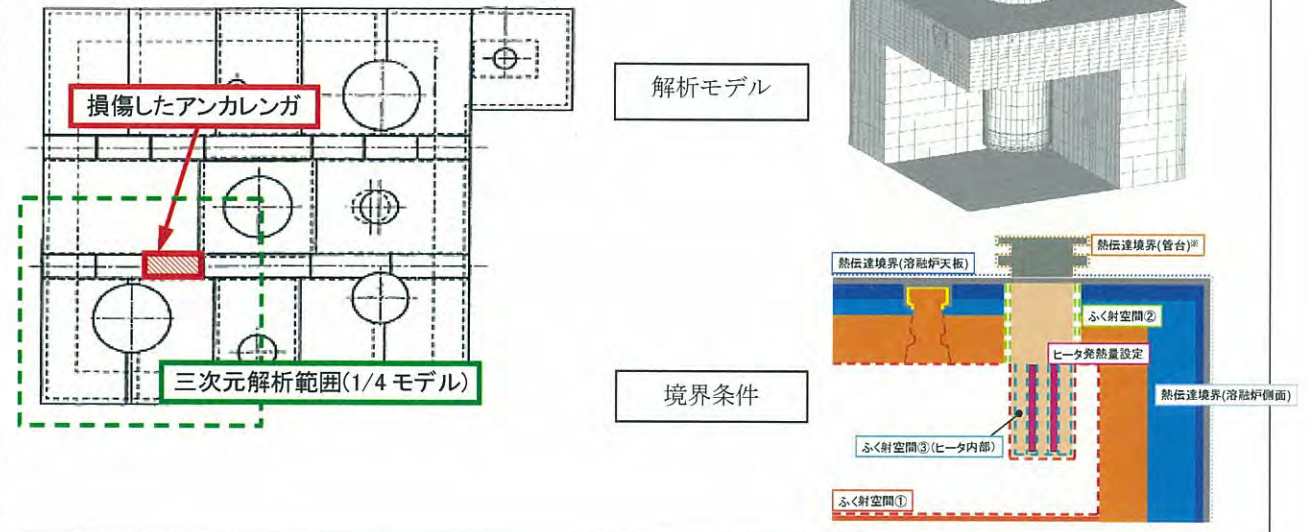


図1 解析対象断面図

① 三次元ふく射伝熱解析モデル（天井 1/4、間接加熱装置詳細モデル化）

ガラス溶融炉の運転実績（間接加熱装置温度）にあうように発熱量を調整し、間接加熱装置表面温度を求める。



② 三次元ふく射伝熱解析モデル（天井 1/1、間接加熱装置表面のみ）

- ①で求めた間接加熱装置表面温度を入力とし、天井全体の温度分布を求める。
- 気相温度を貼り付け、天井全体の温度分布を求める。

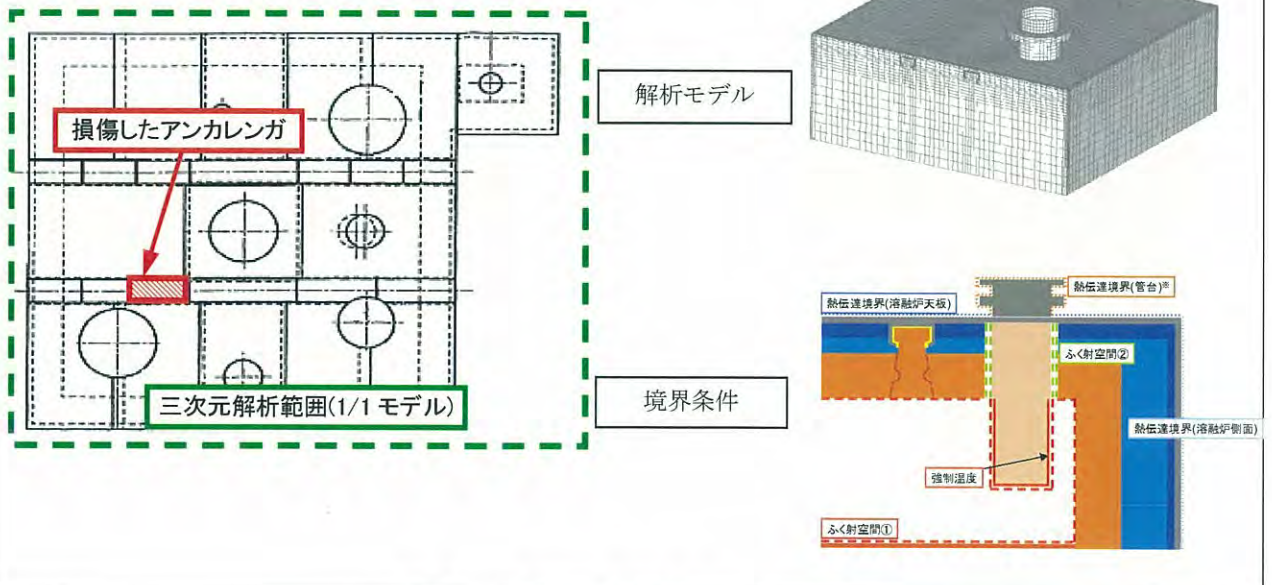
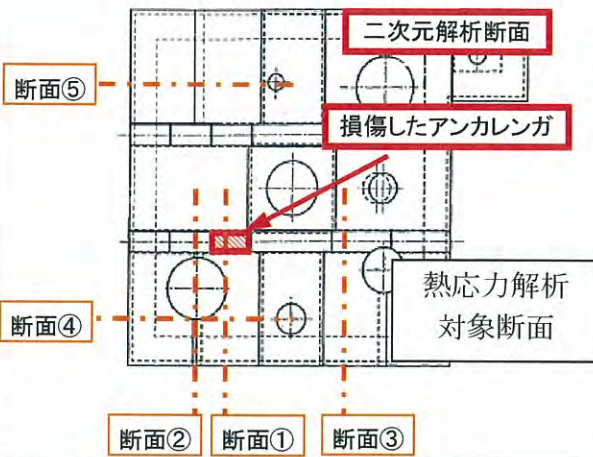
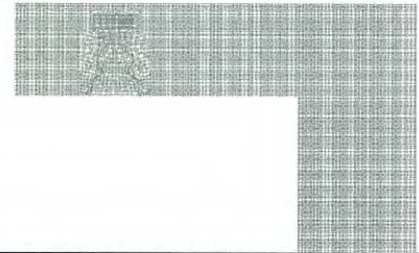


図2 天井レンガ解析モデル（1）

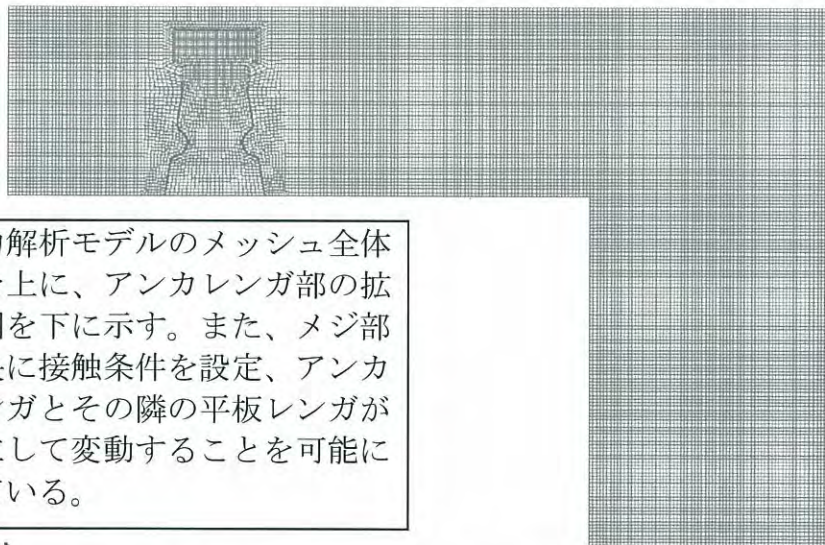
③ 二次元熱応力解析モデル



②で求めた天井全体の温度分布から、対象の断面の温度を抽出し、熱応力解析を行う。

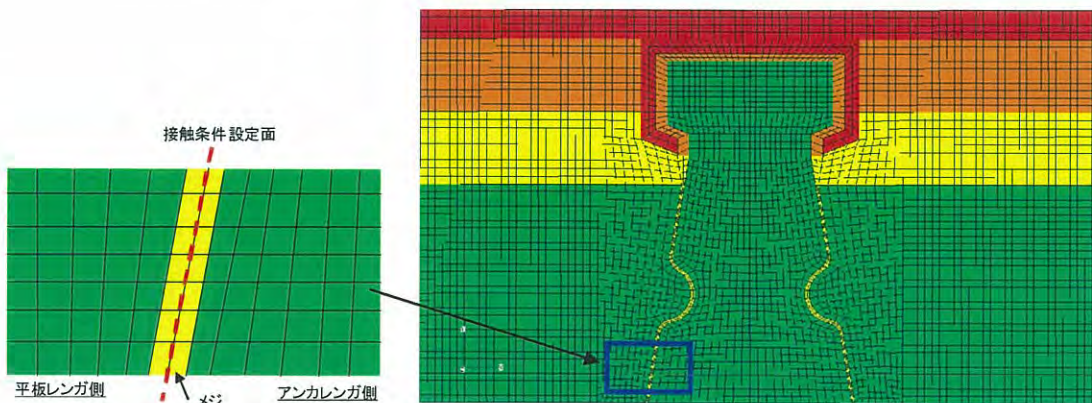


二次元断面解析モデル (断面①)



応力解析モデルのメッシュ全体図を上、アンカレンガ部の拡大図を下に示す。また、メジ部中央に接触条件を設定、アンカレンガとその隣の平板レンガが独立して変動することを可能にしている。

応力解析モデルのメッシュ図 (20,000 メッシュ)



応力解析モデルのメッシュ図 (アンカレンガ拡大図)

図2 天井レンガ解析モデル (2)

表1 実績による熱応力解析条件（気相温度）

No.	時期	初期温度 ℃	温度変化率 ℃/60min
1	—	<input type="text"/>	(一定)
2	化学試験	<input type="text"/>	-55
3	化学試験	<input type="text"/>	-68
4	化学試験	<input type="text"/>	-40

表2 実績による熱応力解析条件（間接加熱装置温度）

No.	時期	初期温度 ℃	温度変化率 ℃/10min
5	化学試験	<input type="text"/>	(一定)
6	化学試験	<input type="text"/>	-142
7	化学試験	<input type="text"/>	-249
8	アクティブ試験	<input type="text"/>	-150
9	化学試験	<input type="text"/>	-249
10	化学試験	<input type="text"/>	-249
11	化学試験	<input type="text"/>	-249
12	化学試験	<input type="text"/>	-207

(1) 間接加熱装置近傍部

表3 損傷レンガ部

対象断面	条件概要		最大発生応力[MPa]	
			アンカレンガ	右平板レンガ
断面1	気相温度が高い条件(<input type="text"/> °C) [ケース No.1]		1.7	<1.0
	気相温度が急激に変化する条件	降温[ケース No.2]	1.6	1.3
		温度勾配最大[ケース No.3]	2.3	2.3
		初期温度最低[ケース No.4]	1.5	<1.0
		温度が高い条件(<input type="text"/> °C) [ケース No.5]	1.10	<1.0
	間接加熱装置温度が急激に降下する条件	降温[ケース No.6]	1.2	2.3
		温度勾配最大[ケース No.7]	3.4	5.2
		初期温度最低[ケース No.8]	1.9	4.5

表4 アンカレンガ部(間接加熱装置に最も近いアンカレンガ)

対象断面	条件概要	最大発生応力[MPa]	
		アンカレンガ	左平板レンガ
断面2	間接加熱装置温度が急激に降下する条件 [ケース No.9]	3.80*	—*

※ 間接加熱装置の穴を通る2次元断面での応力解析ができない(穴部の周囲で熱ひずみが伝わらない)ため、穴部にレンガを詰めた仮想的なモデルで応力解析を実施。このためこの値は参考値とする。

表5 平板レンガ部(間接加熱装置に最も近い平板レンガ)

対象断面	条件概要	最大発生応力[MPa]	
		左メジ部凹側	右メジ部凹側
断面4	間接加熱装置温度が急激に降下する条件 [ケース No.10]	4.2	2.6

(2) 間接加熱装置遠方部

表6 アンカレンガ部(間接加熱装置から最も遠いアンカレンガ)







対象断面	条件概要	最大発生応力[MPa]	
		アンカレンガ	右平板レンガ
断面3	間接加熱装置温度が急激に降下する条件 [ケース No.11]	2.1	2.3

表7 平板レンガ部(間接加熱装置から最も遠い平板レンガ)

対象断面	条件概要	最大発生応力[MPa]	
		左メジ部凹側	右メジ部凹側
断面5	間接加熱装置温度が急激に降下する条件 [ケース No.12]	2.0	2.4

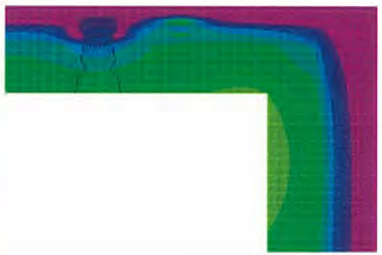

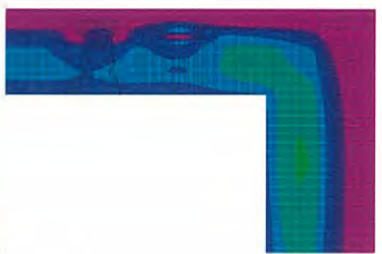

※ [] 内の解析条件ケース No は添付資料-16のケース番号を示す。

断面1における損傷レンガの温度コンター図 (1/2)

対象断面	条件概要			対象断面	条件概要			
断面1	ケース No.1 気相温度温度が高い条件 (気相温度 <input type="text"/> °C一定)			断面1	ケース No.2 気相温度が急激に 低下する条件 (気相温度初期 温度 <input type="text"/> °C)	CT (降温)		
断面1	ケース No.3 気相温度が急 激に低下する条 件 (気相温度初期 温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾 配最大)		断面1	ケース No.4 気相温度が急激 に低下する条件 (気相温度初期 温度 <input type="text"/> °C)	CT (初期温 度最低)		



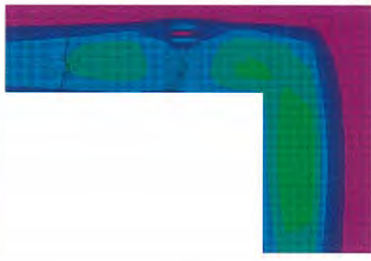

※全て最大応力が確認された時点の温度分布

断面1における損傷レンガの温度コンター図 (2/2)

対象断面	条件概要			対象断面	条件概要		
断面1	ケース No.5 間接加熱装置温度が高い条件 (気相温度 <input type="text"/> °C一定)			断面1	ケース No.6 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (降温)	
断面1	ケース No.7 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)		断面1	ケース No.8 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	AT (初期温度最低)	


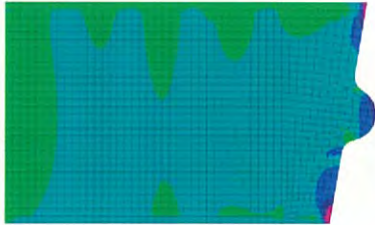

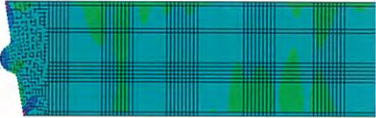
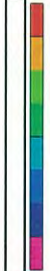
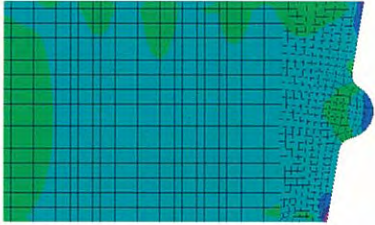
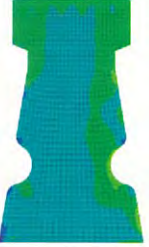

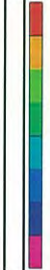

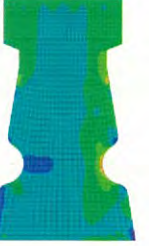

※全て最大応力が確認された時点の温度分布

断面1以外の断面における温度コンター図


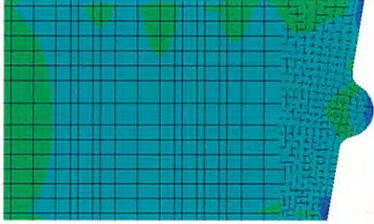

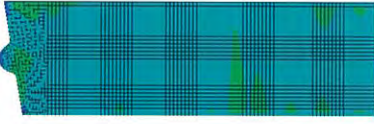

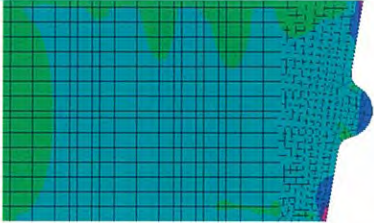
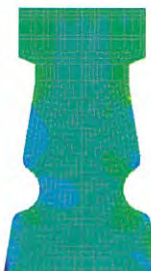
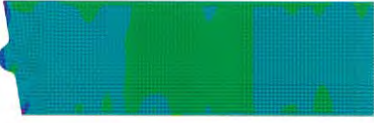
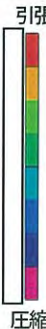
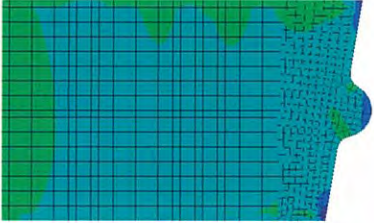
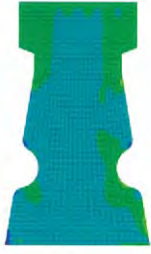
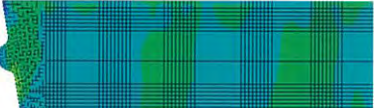
対象断面	条件概要			対象断面	条件概要		
断面2	ケース No.9 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)		断面3	ケース No.10 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)	
断面4	ケース No.11 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)		断面5	ケース No.12 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)	

※全て最大応力が確認された時点の温度分布

断面 1 における損傷レンガの応力コンター図 (1/3)

対象断面	条件概要			損傷レンガ左の平板レンガ	損傷レンガ	損傷レンガ右の平板レンガ
断面 1	ケース No.1 気相温度温度が高い条件 (気相温度 <input type="text"/> °C一定)		引張  圧縮			
	ケース No.2 気相温度が急激 に降下する条件 (気相温度初期温 度 <input type="text"/> °C)	CT (降温)	引張  圧縮			
	ケース No.3 気相温度が急激 に降下する条件 (気相温度初期温 度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾 配最大)	引張  圧縮			

断面1における損傷レンガの応力コンター図 (2/3)

対象断面	条件概要			損傷レンガ左の平板レンガ	損傷レンガ	損傷レンガ右の平板レンガ
断面1	ケース No.4 気相温度が急激に降下する条件 (気相温度初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (初期温度最低)	 <p>引張 圧縮</p>			
	ケース No.5 間接加熱装置温度が高い条件 (気相温度 <input type="text"/> °C一定)		 <p>引張 圧縮</p>			
	ケース No.6 間接加熱装置温度が急激に降下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (降温)	 <p>引張 圧縮</p>			

断面1における損傷レンガの応力コンター図 (3/3)

対象断面	条件概要			損傷レンガ左の平板レンガ	損傷レンガ	損傷レンガ右の平板レンガ
断面1	ケース No.7 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)				
		AT (初期温度最低)				

断面1以外の断面における応力コンター図 (1/2)

対象断面	条件概要			アンカレンガ左の平板レンガ	損傷レンガ	アンカレンガ右の平板レンガ
断面2	ケース No.9 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)				<p>断面2の応力解析において、間接加熱装置の穴を通る2次元断面での応力解析ができない(穴部の周囲で熱ひずみが伝わらない)ため、穴部にレンガを詰めた仮想的なモデルで応力解析を実施。このためこの値は参考値とする。</p>

断面 1 以外の断面における応力コンター図 (2/2)

対象断面	条件概要			アンカレンガレンガ左の平板レンガ	損傷レンガ	アンカレンガ右の平板レンガ
断面 3	ケース No.10 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)	引張 圧縮			

対象断面	条件概要			左の平板レンガ	中央平板レンガ	右の平板レンガ
断面 4	ケース No.11 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (温度勾配最大)	引張 圧縮			
断面 5	ケース No.12 間接加熱装置温度が急激に低下する条件 (間接加熱初期温度 <input type="text"/> °C ガラス液面初期温度 <input type="text"/> °C)	CT (初期温度最高)	引張 圧縮			