

アスファルト固化施設火災・爆発事故原因究明に関わる 熱流動解析および熱伝導解析

1998年2月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

アスファルト固化施設火災・爆発事故に関わる熱流動解析および熱伝導解析

実施責任者 河村 和廣

報 告 者 菅生 徹¹⁾ 正木 敏夫¹⁾ 小林 洋昭¹⁾

川又 宏之²⁾ 四倉 浩司³⁾

要旨

アスファルトの固化施設火災・爆発事故の早期の原因究明のため、「アスファルトの固化施設火災・爆発事故原因究明・再発防止対策班」(以下、原因究明班)より、アスファルトの固化体の熱流動解析、アスファルト充填室の空気流動解析およびエクストルューダの熱伝導解析について、環境技術開発部 環境技術第一開発室(HTS)に依頼があり、それぞれの解析を実施した。

それぞれの解析には、原因究明班より提供、もしくは指示された物性値等の入力データを用いた。本報告書は、主に上記の解析結果について、とりまとめたものである。

-
- 1) 環境技術開発部 環境技術第一開発室(HTS)
 - 2) 原子力システム株式会社
 - 3) 検査開発株式会社

目 次

1.	はじめに	1
1.1	解析に至った経緯	1
1.2	使用した解析コードについて	1
1.3	HTSの作業範囲	1
2	アスファルト固化体の熱流動解析 (FLOWMEL)	2
2.1	解析条件	2
2.2	解析結果	5
3	アスファルト固化体熱流動解析 (α -FLOW)	21
3.1	解析内容	21
3.2	解析対象	21
3.2.1	解析モデル	21
3.3	メッシュ形状	22
3.4	解析条件	23
3.5	解析結果	25
3.6	考察	60
3.7	まとめ	60
3.8	α -FLOW のソース改造について	61
4	アスファルト充填室の流れ解析 (FLOWMEL)	64
4.1	解析内容	64
4.2	解析条件	64
4.3	解析結果	64
4.4	まとめ	70
5	エクストゥルーダの熱伝導解析	71
5.1	目 的	71
5.2	解析対象	71
5.2.1	解析モデル	71
5.2.2	熱電対温度計の位置	71
5.3	解析条件	75
5.4	解析結果	79
5.5	まとめ	109
6	あとがき	110

図表リスト

図 2.1	アスファルト固化体熱流動解析メッシュ図	3
図 2.2	アスファルト固化体熱流動解析メッシュ図	4
図 2.3	流速ベクトル図 (CASE1)	6
図 2.4	流速ベクトル図 (CASE2)	7
図 2.5	流速ベクトル図 (CASE3)	8
図 2.6	流速ベクトル図 (CASE4)	9
図 2.7	温度コンター図 (CASE1)	10
図 2.8	温度コンター図 (CASE2)	11
図 2.9	温度コンター図 (CASE3)	12
図 2.10	温度コンター図 (CASE4)	13
図 2.11	温度時系列変化図 (CASE1)	14
図 2.12	温度時系列変化図 (CASE2)	15
図 2.13	温度時系列変化図 (CASE3)	16
図 2.14	温度時系列変化図 (CASE4)	17
図 2.15	流速ベクトル図 (2 5 時間後)	18
図 2.16	温度時系列変化図—CASE1.....	19
図 2.17	温度時系列変化図—CASE2.....	20
図 3.1	解析モデル	21
図 3.2	メッシュ分割図	22
図 3.3	温度コンター図 (CASE1)	26
図 3.4	温度コンター図 (CASE2)	27
図 3.5	温度コンター図 (CASE3)	28
図 3.6	温度コンター図 (CASE4)	29
図 3.7	温度コンター図 (CASE5)	30
図 3.8	温度コンター図 (CASE6)	31
図 3.9	温度コンター図 (CASE7)	32
図 3.10	温度コンター図 (CASE8)	33
図 3.11	温度コンター図 (CASE9)	34
図 3.12	温度コンター図 (CASE10)	35
図 3.13	速度ベクトル図 (CASE1)	36
図 3.14	速度ベクトル図 (CASE2)	37
図 3.15	速度ベクトル図 (CASE3)	38
図 3.16	速度ベクトル図 (CASE4)	39

図 3.17	時系列温度グラフ (CASE1:立体領域 1)	40
図 3.18	時系列温度グラフ (CASE1:立体領域 2)	40
図 3.19	時系列温度グラフ (CASE1:立体領域 3)	41
図 3.20	時系列温度グラフ (CASE1:立体領域 4)	41
図 3.21	時系列温度グラフ (CASE2:立体領域 1)	42
図 3.22	時系列温度グラフ (CASE2:立体領域 2)	42
図 3.23	時系列温度グラフ (CASE2:立体領域 3)	43
図 3.24	時系列温度グラフ (CASE2:立体領域 4)	43
図 3.25	時系列温度グラフ (CASE3:立体領域 1)	44
図 3.26	時系列温度グラフ (CASE3:立体領域 2)	44
図 3.27	時系列温度グラフ (CASE3:立体領域 3)	45
図 3.28	時系列温度グラフ (CASE3:立体領域 4)	45
図 3.29	時系列温度グラフ (CASE4:立体領域 1)	46
図 3.30	時系列温度グラフ (CASE4:立体領域 2)	46
図 3.31	時系列温度グラフ (CASE4:立体領域 3)	47
図 3.32	時系列温度グラフ (CASE4:立体領域 4)	47
図 3.33	時系列温度グラフ (CASE5:立体領域 1)	48
図 3.34	時系列温度グラフ (CASE5:立体領域 2)	48
図 3.35	時系列温度グラフ (CASE5:立体領域 3)	49
図 3.36	時系列温度グラフ (CASE5:立体領域 4)	49
図 3.37	時系列温度グラフ (CASE6:立体領域 1)	50
図 3.38	時系列温度グラフ (CASE6:立体領域 2)	50
図 3.39	時系列温度グラフ (CASE6:立体領域 3)	51
図 3.40	時系列温度グラフ (CASE6:立体領域 4)	51
図 3.41	時系列温度グラフ (CASE7:立体領域 1)	52
図 3.42	時系列温度グラフ (CASE7:立体領域 2)	52
図 3.43	時系列温度グラフ (CASE7:立体領域 3)	53
図 3.44	時系列温度グラフ (CASE7:立体領域 4)	53
図 3.45	時系列温度グラフ (CASE8:立体領域 1)	54
図 3.46	時系列温度グラフ (CASE8:立体領域 2)	54
図 3.47	時系列温度グラフ (CASE8:立体領域 3)	55
図 3.48	時系列温度グラフ (CASE8:立体領域 4)	55
図 3.49	時系列温度グラフ (CASE9:立体領域 1)	56
図 3.50	時系列温度グラフ (CASE9:立体領域 2)	56
図 3.51	時系列温度グラフ (CASE9:立体領域 3)	57
図 3.52	時系列温度グラフ (CASE9:立体領域 4)	57

図 3.53	時系列温度グラフ (CASE10:立体領域 1)	58
図 3.54	時系列温度グラフ (CASE10:立体領域 2)	58
図 3.55	時系列温度グラフ (CASE10:立体領域 3)	59
図 3.56	時系列温度グラフ (CASE10:立体領域 4)	59
図 4.1	メッシュ図	65
図 4.2	流速ベクトル図—E断面	66
図 4.3	流速ベクトル図—F断面	67
図 4.4	流速ベクトル図—G断面	68
図 4.5	流速ベクトル図—H断面	69
図 5.1	エクストルーダの3次元メッシュ図	72
図 5.2	Zone 7 モデル図	73
図 5.3	Zone 7 部分横断面のメッシュ図	74
図 5.4	発熱密度に係わる発熱領域の設定	76
図 5.5	温度コンター図 (1 メッシュ・170℃・8kW)	80
図 5.6	温度コンター図 (1 メッシュ・170℃・1kW)	81
図 5.7	温度コンター図 (1 メッシュ・170℃・10kW)	82
図 5.8	温度コンター図 (1 メッシュ・175℃・1kW)	83
図 5.9	温度コンター図 (1 メッシュ・175℃・10kW)	84
図 5.10	温度コンター図 (1 メッシュ・180℃・1kW)	85
図 5.11	温度コンター図 (1 メッシュ・180℃・10kW)	86
図 5.12	温度コンター図 (1 メッシュ・185℃・1kW)	87
図 5.13	温度コンター図 (1 メッシュ・185℃・10kW)	88
図 5.14	温度コンター図 (3 メッシュ・170℃・1kW)	89
図 5.15	温度コンター図 (3 メッシュ・170℃・10kW)	90
図 5.16	温度コンター図 (3 メッシュ・175℃・1kW)	91
図 5.17	温度コンター図 (3 メッシュ・175℃・10kW)	92
図 5.18	温度コンター図 (3 メッシュ・180℃・1kW)	93
図 5.19	温度コンター図 (3 メッシュ・180℃・10kW)	94
図 5.20	温度コンター図 (3 メッシュ・185℃・1kW)	95
図 5.21	温度コンター図 (3 メッシュ・185℃・10kW)	96
図 5.22	温度コンター図 (5 メッシュ・170℃・1kW)	97
図 5.23	温度コンター図 (5 メッシュ・170℃・10kW)	98
図 5.24	温度コンター図 (5 メッシュ・175℃・1kW)	99
図 5.25	温度コンター図 (5 メッシュ・175℃・10kW)	100
図 5.26	温度コンター図 (5 メッシュ・180℃・1kW)	101
図 5.27	温度コンター図 (5 メッシュ・180℃・10kW)	102

図 5.28	温度コンター図 (5 メッシュ・185℃・1kW)	103
図 5.29	温度コンター図 (5 メッシュ・185℃・10kW)	104
図 5.30	初期温度別発熱温量対 Zone 7 熱伝対温度グラフ (1 メッシュ)	106
図 5.31	初期温度別発熱温量対 Zone 7 最高温度グラフ (1 メッシュ)	106
図 5.32	初期温度別発熱温量対 Zone 7 最低温度グラフ (1 メッシュ)	106
図 5.33	初期温度別発熱温量対 Zone 7 熱伝対温度グラフ (3 メッシュ)	107
図 5.34	初期温度別発熱温量対 Zone 7 最高温度グラフ (3 メッシュ)	107
図 5.35	初期温度別発熱温量対 Zone 7 最低温度グラフ (3 メッシュ)	107
図 5.36	初期温度別発熱温量対 Zone 7 熱伝対温度グラフ (5 メッシュ)	108
図 5.37	初期温度別発熱温量対 Zone 7 最高温度グラフ (5 メッシュ)	108
図 5.38	初期温度別発熱温量対 Zone 7 最低温度グラフ (5 メッシュ)	108
表 2.1	解析条件	5
表 3.1	基本の解析条件	23
表 3.2	各解析ケースの条件設定	24
表 3.3	解析作業状況	25
表 3.4	最終温度一覧	60
表 4.1	各測定点の流速値一覧	70
表 5.1	物性値	77
表 5.2	各パラメータの設定内容	78
表 5.3	Zone 7 解析温度 (1 メッシュ)	105
表 5.4	Zone 7 解析温度 (3 メッシュ)	105
表 5.5	Zone 7 解析温度 (5 メッシュ)	105

1. はじめに

1.1 解析に至った経緯

平成9年3月に発生した動力炉・核燃料開発事業団の東海事業所における「アスファルト固化処理施設火災・爆発事故」に対応するため、事業所内に「アスファルト固化処理施設火災・爆発事故原因究明・再発防止対策班」(以下、原因究明班)が設置された。

原因究明班では、火災爆発に至った原因を究明するために、各種の早急な解析作業を必要とした。

一方、環境開発部・環境開発第一開発室(HTS)ではガラス溶融炉の解析のために、昭和56年より熱流動解析コードの開発に着手しており、その後そのコードは「FLOWMEL」として現在に至っている。

この「FLOWMEL」はガラス溶融炉の解析のために開発されたコードではあるが、他の流体も扱える事、また使用実績が長い事などの理由から、他のコードでの解析も含めて原因究明班からの依頼を受けるに至った。

1.2 使用した解析コードについて

① FLOWMEL

1.1 でも述べているとおり、動力炉・核燃料開発事業団がガラス溶融炉の解析のために開発した熱流動解析コードである。熱流動解析を対象としたコードに、複数の電気回路での直接通電によるジュール加熱や、放射性物質の崩壊熱及び炉内の堆積物(主に白金族元素)が考慮できる機能を追加している。

② α -FLOW

(株)富士総合研究所が販売元となっている汎用流動解析コードである。FLOWMELの他にこの解析コードを使用した理由は、一般的な解析コードとの比較についても考慮に入れたためである。

③ FINAS

動力炉・核燃料開発事業団が高速増殖炉の開発にける様々な構造設計、ならびに構造強度評価上の課題を解決するために用いた有限要素法による構造解析コードである。この解析コードはエクストゥルーダの熱伝導解析のために用いられ、原因究明班およびHTSで並行して解析を行った。

1.3 HTSの作業範囲

本解析の解析条件および入力データはほとんどが原因究明班から提供、もしくは指示されたものであり、それにより出力された結果はそのまま原因究明班へ提出した。よって、HTSは解析結果に対して考察を行っていないが、一部若干の評価を書き加えた。

2 アスファルト固化体の熱流動解析 (FLOWMEL)

(株) 日立製作所が作成した「アスファルト固化体温度計算速報 (2)」の解析データの比較として、PNCが所有するコードによるアスファルト固化体の熱流動解析を行った。

2.1 解析条件

(株) 日立製作所が作成した「アスファルト固化体温度計算速報 (2)」の計算において使用されている数値を用いて解析を行う。

FLOWMEL は 3 次元の円筒座標系での解析が基本だが、 θ 方向のメッシュは 1 メッシュのみとするため、擬似的な 2 次元解析となる。

① メッシュ形状

固化体形状は、直径 567mm、高さ 794mm の円筒形であり、その半分の 283.5mm×794mm を解析対象とする。図 2.1 にそのメッシュ図を示す。「アスファルト固化体温度計算速報 (2)」では図 2.2 に示すようにドラム缶自体のメッシュ設定は無く固化体部のメッシュ設定のみであるが、本解析のメッシュにはドラム缶 (厚さ 1.6mm) 分をメッシュに追加している。

② 解析条件

解析条件と各ケースの設定内容を表 2.1 に示す。

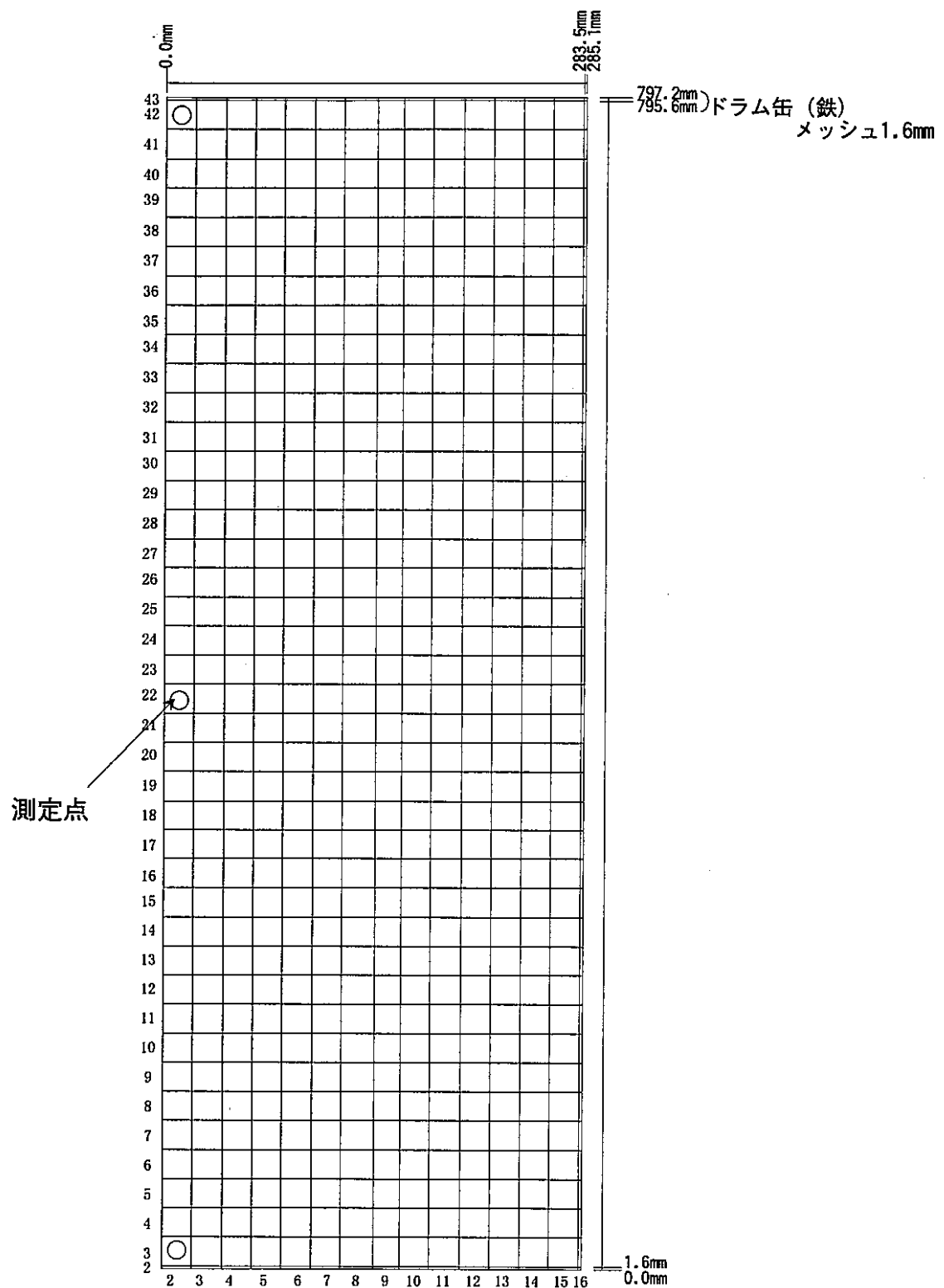


図 2.1 アスファルト固化体熱流動解析メッシュ図

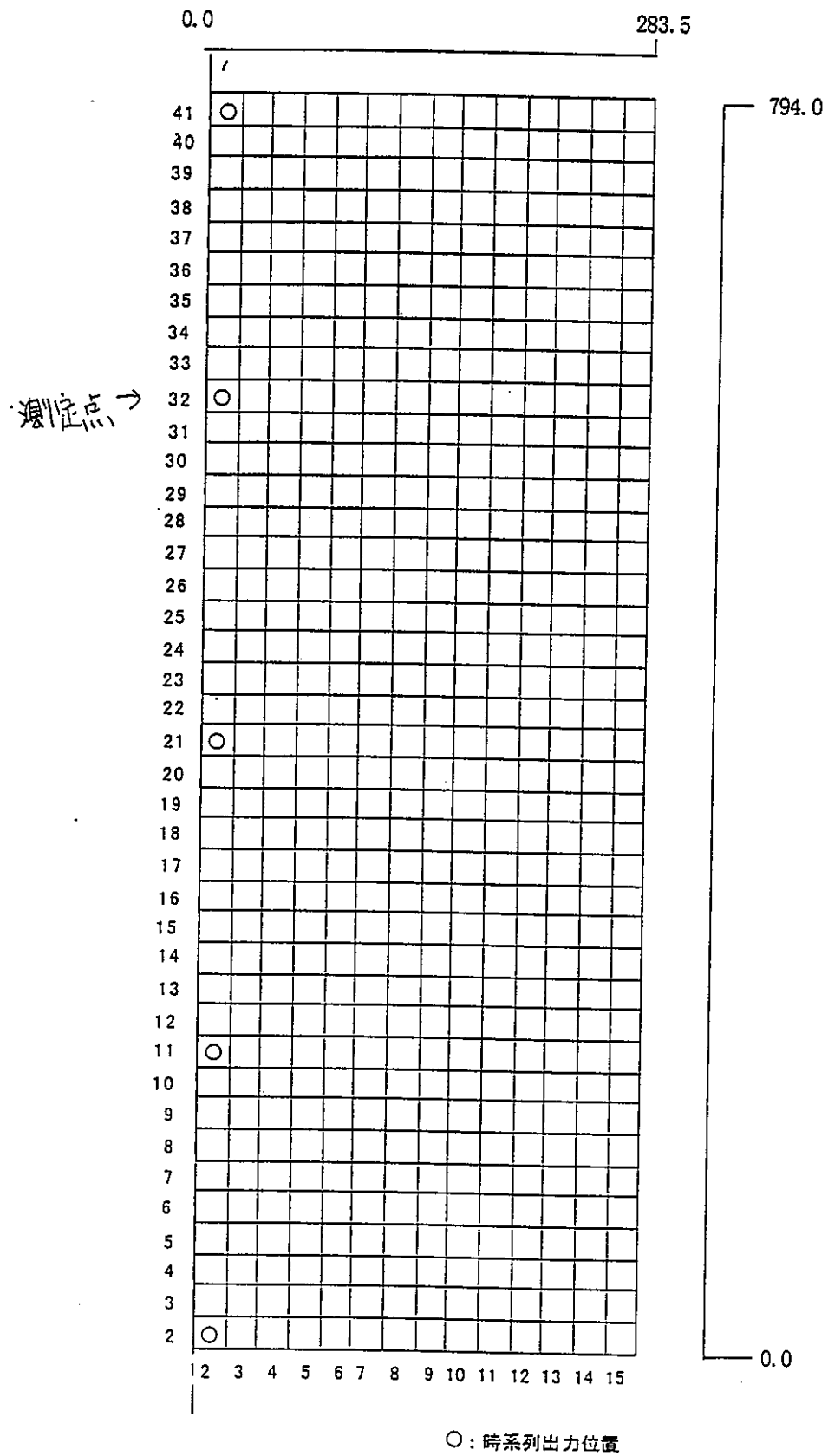


図 2.2 アスファルト固化体熱流動解析メッシュ図
 ((株) 日立製作所「アスファルト固化体温度計算速報(2)」)

表 2.1 解析条件

解析条件名		単位	日立報告書	CASE1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
放熱条件	上面	W/m ² K	11.181				
	側面		11.181				
	下面		7.312				
内部発熱量		W/kg	10.43	10.43	31.29	10.43	10.43
周囲雰囲気温度		℃	20	20	20	40	60
初期条件			メッシュ全域の温度を 180℃とする。				
各種物性値	アスファルト固化体	熱伝導率	W/mK	0.35			
		密度	kg/m ³	1450			
		比熱	kJ/kgK	1.47			
		体膨張率	1/K	0.00066			
		粘性係数		$\mu = \exp(16263/(T+273) - 33.74) \text{ (Pa}\cdot\text{s)}$ $T < 290$ T: 温度 (℃) $\mu = 0.0077996$ $T \geq 290$ 注)			
	ドラム缶	熱伝導率	W/mK	56.0			

注) : 日立製作所の報告書におけるアスファルト固化体の粘性係数の式は、温度が 290℃以上の場合に $\mu = 0.0077996$ と固定値を設定している。

FLOWMEL は 換算式をそのまま使用し、解析中に固化体の温度が全体的に 290℃前後となった時に解析を止め、粘性係数を固定値に変えてリスタートを行う、という擬似的な解析を行った。その結果、最終温度は、換算式のみでの解析に比べ約 2℃低い値となった。

2.2 解析結果

周囲雰囲気温度を CASE1～CASE4 の解析結果をそれぞれ図 2.3～図 2.6 (流速ベクトル図)、図 2.7～図 2.10 (温度コンター図)、図 2.11～図 2.14 (温度時系列変化図) に示す。

また、比較のために日立製作所「アスファルト固化体温度計算速報 (2)」での解析結果を図 2.15 (流速ベクトル図)、図 2.16, 17 (温度時系列変化図) に示す。

解析データの概略は、雰囲気温度を 40℃、60℃上昇させるほどドラム缶内のアスファルト固化体の温度は高くなる傾向となり、特に、20℃の場合では温度が変動しないドラム缶の底の測定点 (2, 3) でも、60℃の場合には温度が上昇した。

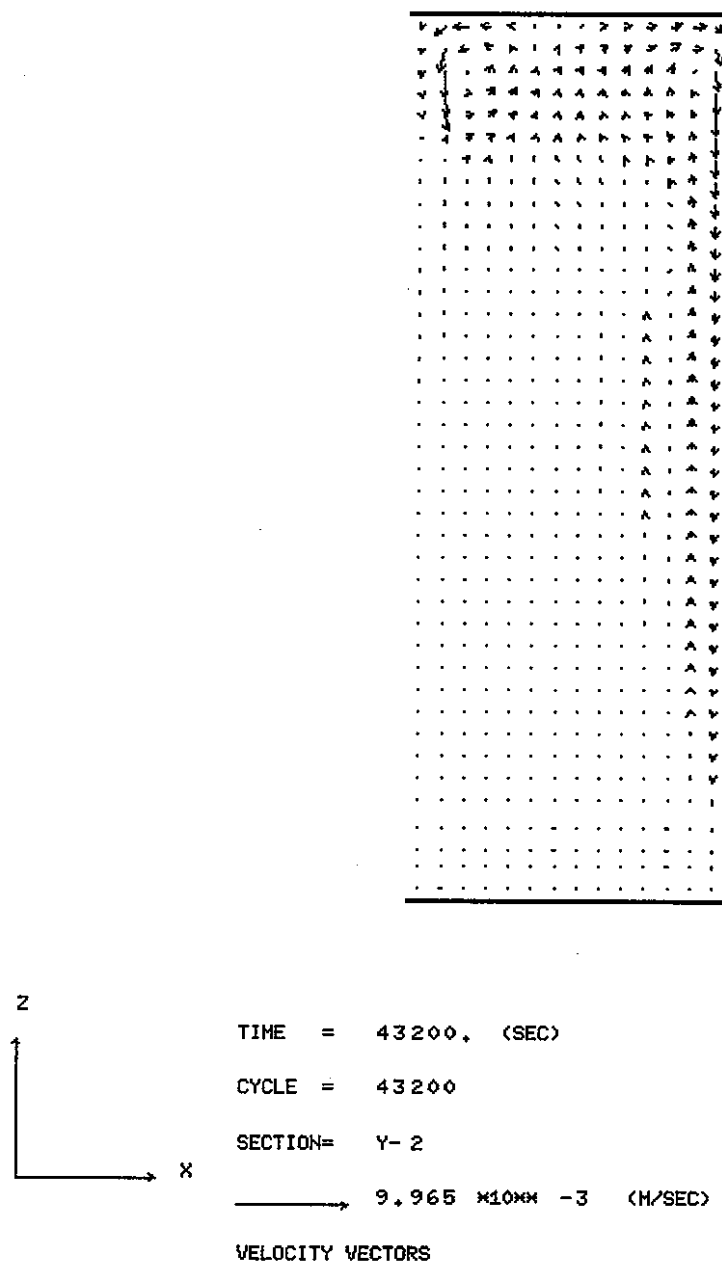


図 2.3 流速ベクトル図 (CASE1)

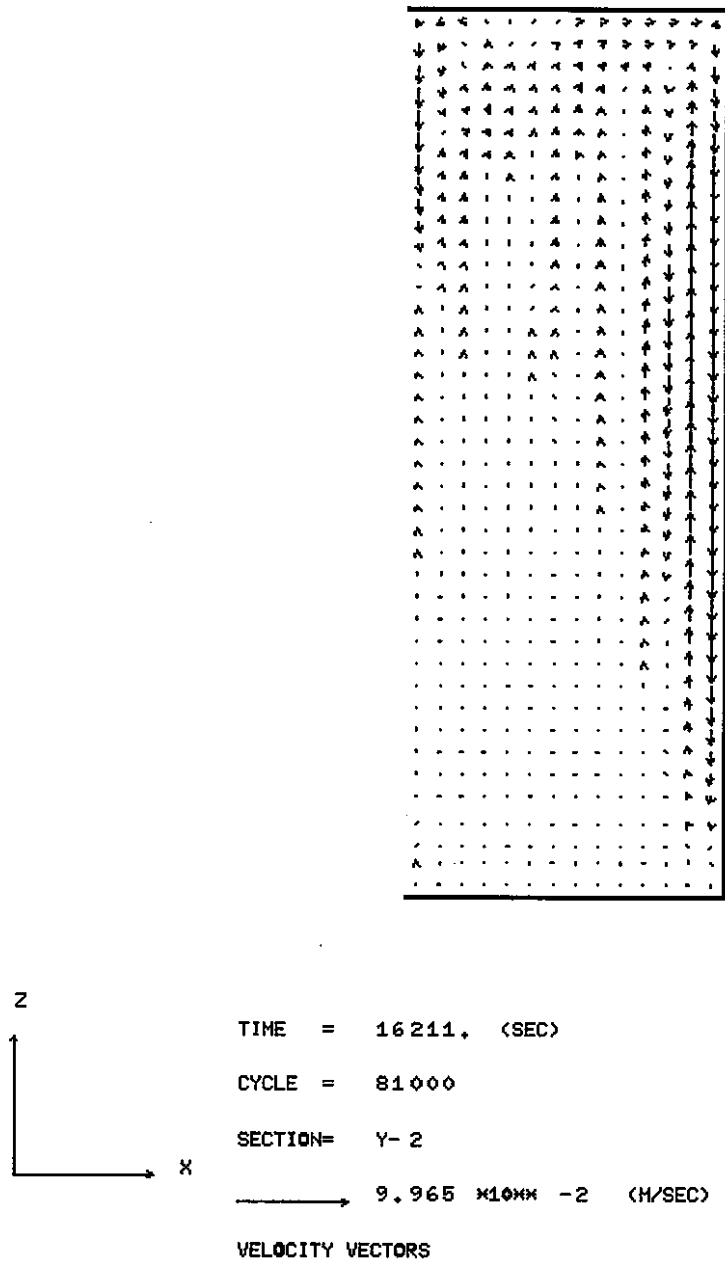


図 2.4 流速ベクトル図 (CASE2)

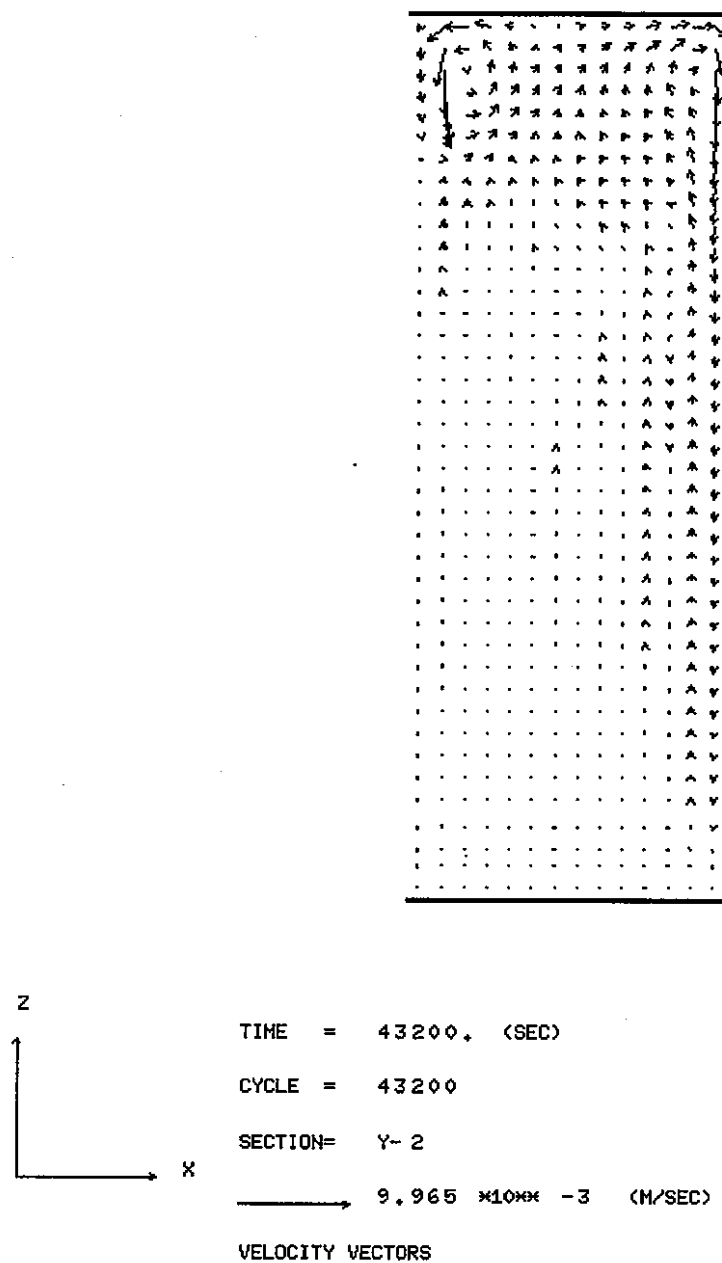
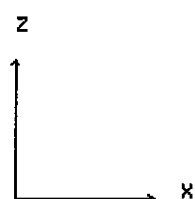
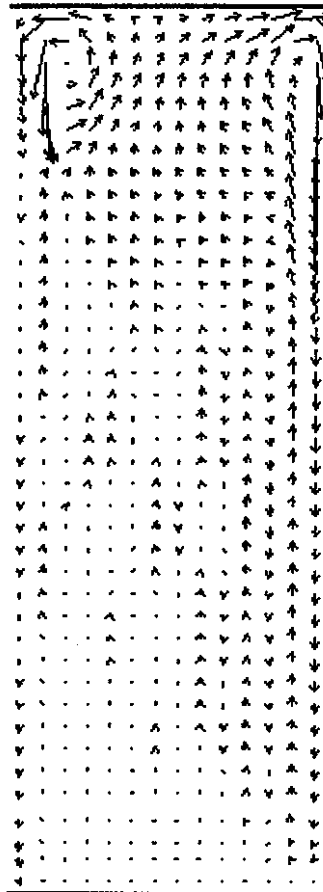


図 2.5 流速ベクトル図 (CASE3)



TIME = 43200. (SEC)

CYCLE = 43200

SECTION= Y-2

————→ 9.965 $\times 10^{-3}$ (M/SEC)

VELOCITY VECTORS

図 2.6 流速ベクトル図 (CASE4)

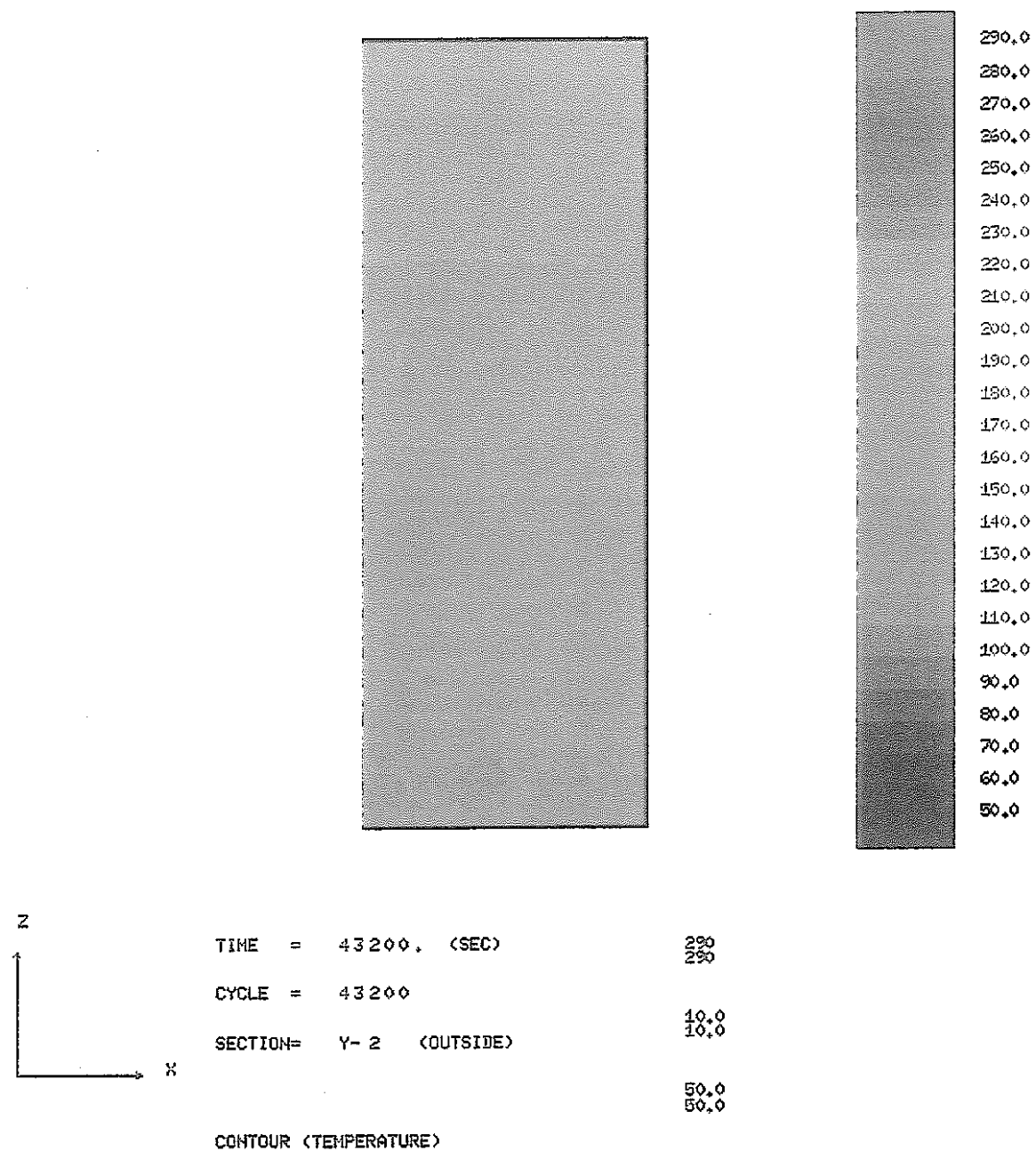


図 2.7 温度コンター図 (CASE1)

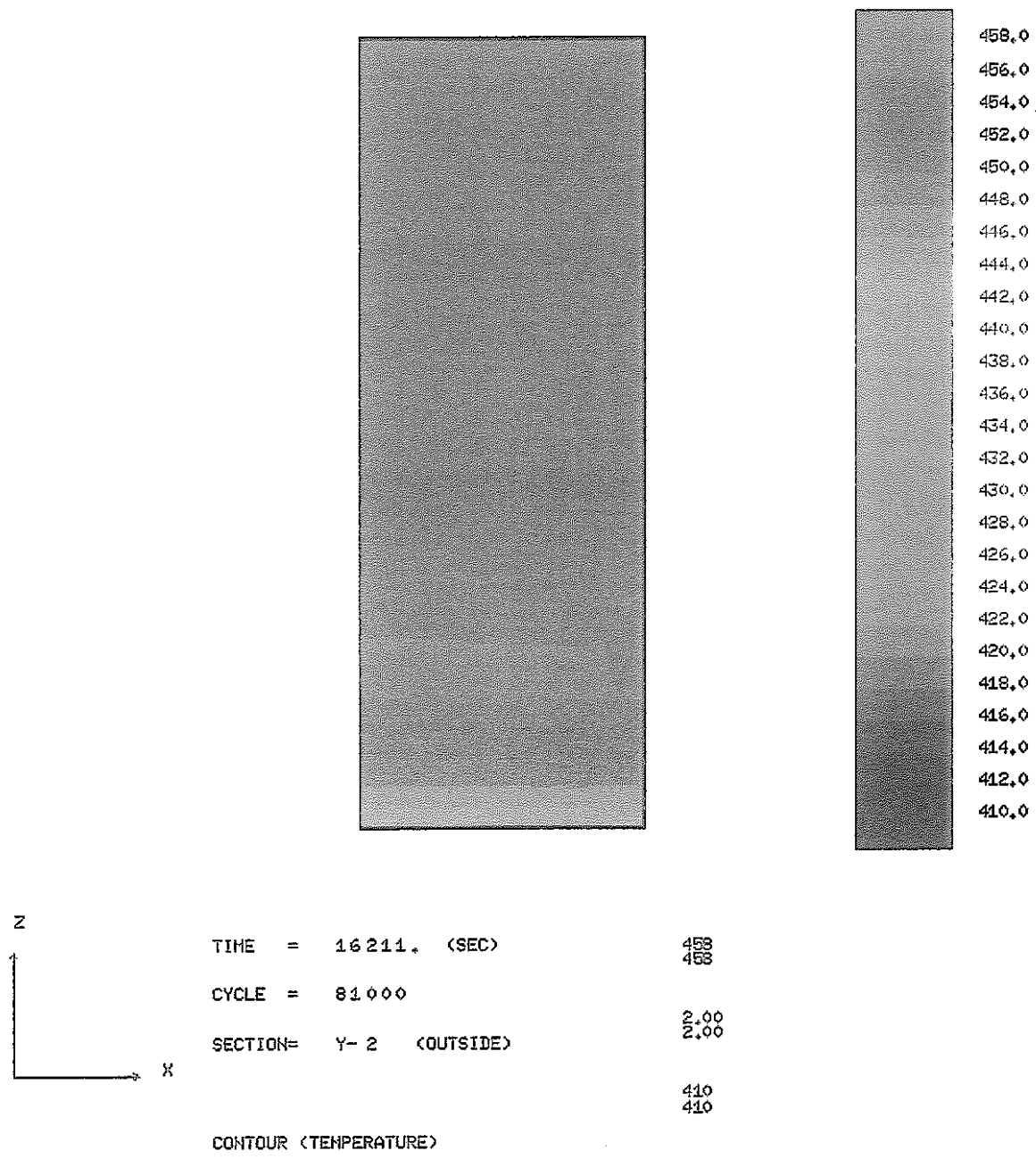


図 2.8 温度コンター図 (CASE2)

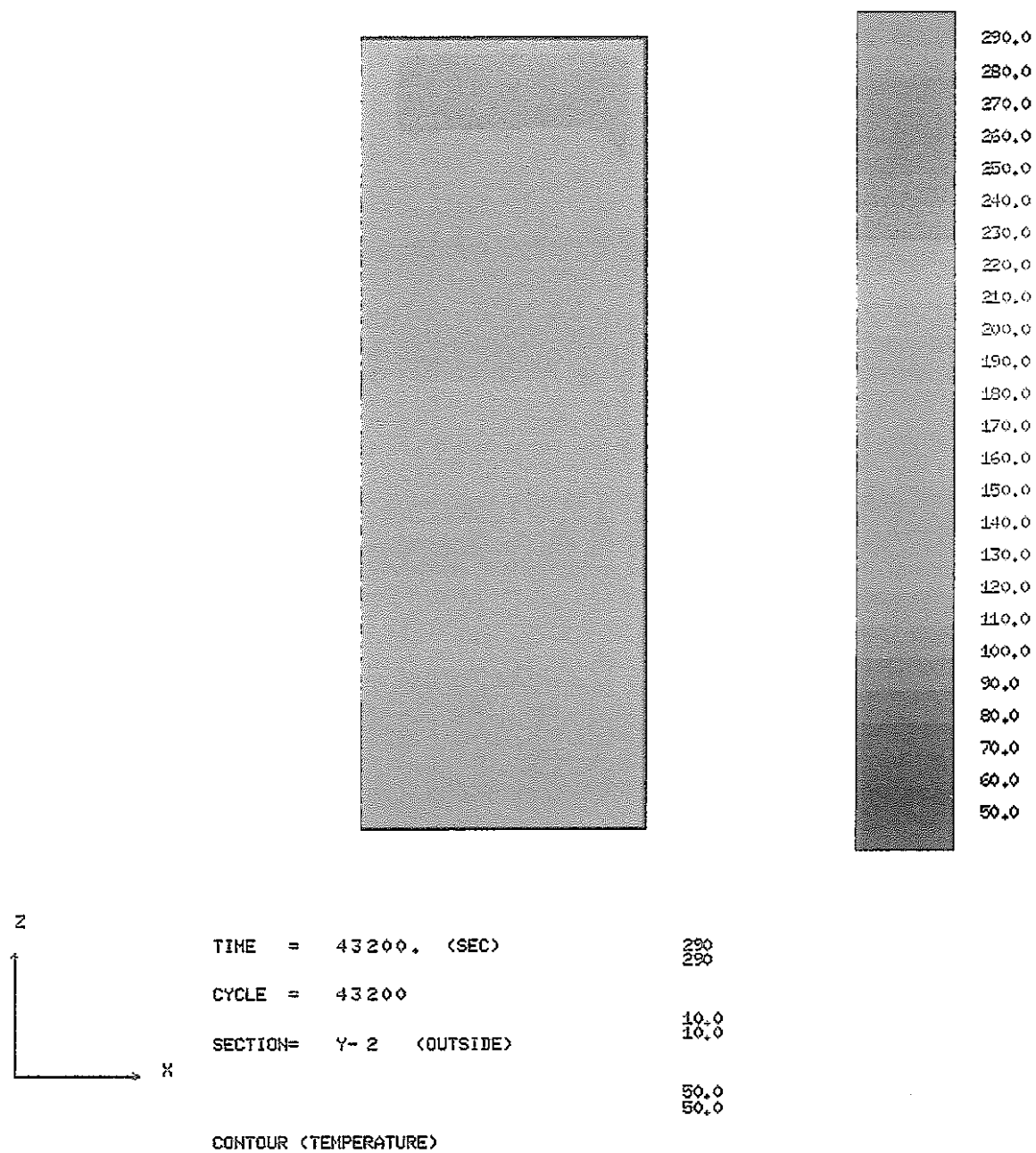


図 2.9 温度コンター図 (CASE3)

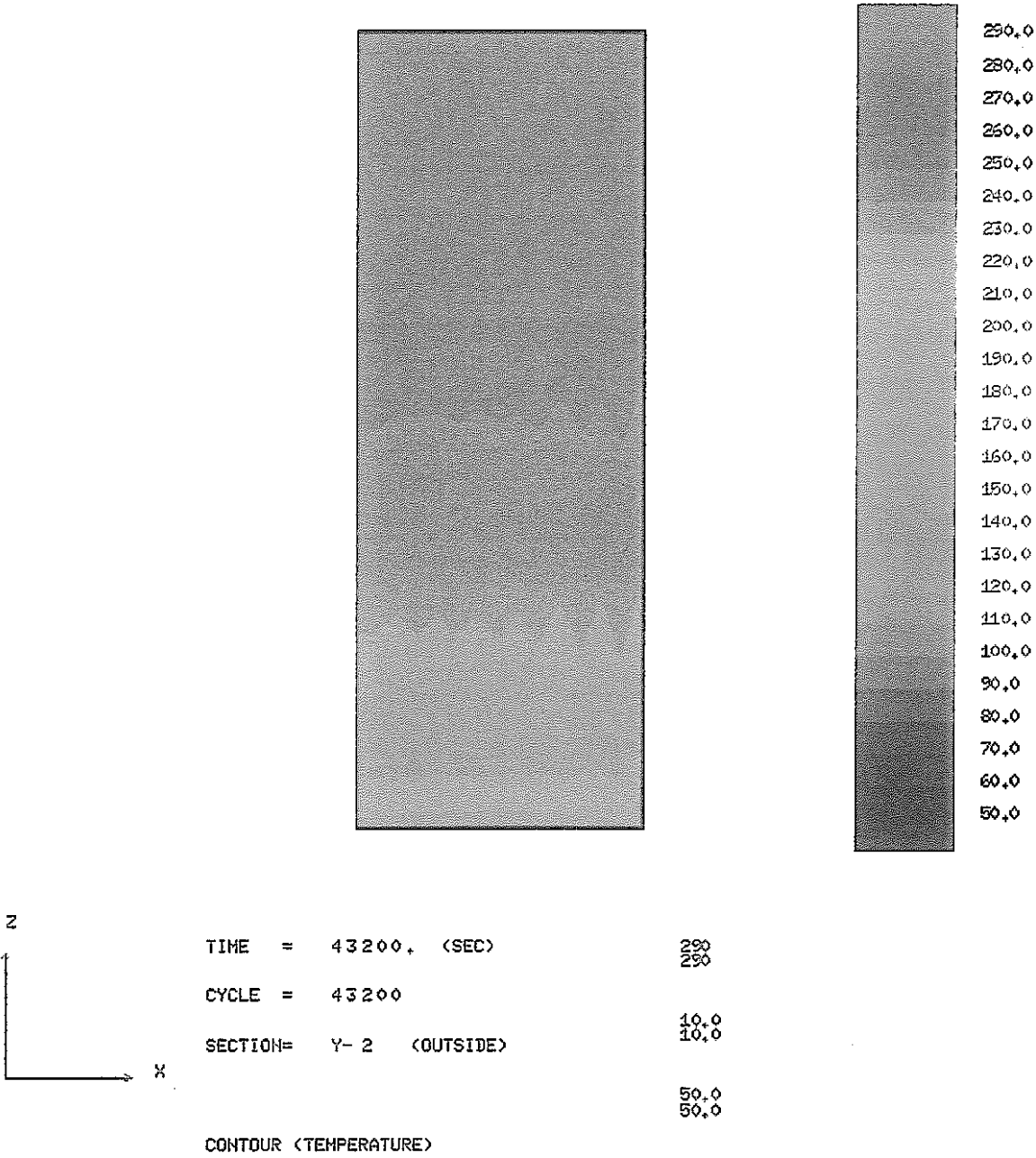


図 2.10 温度コンター図 (CASE4)

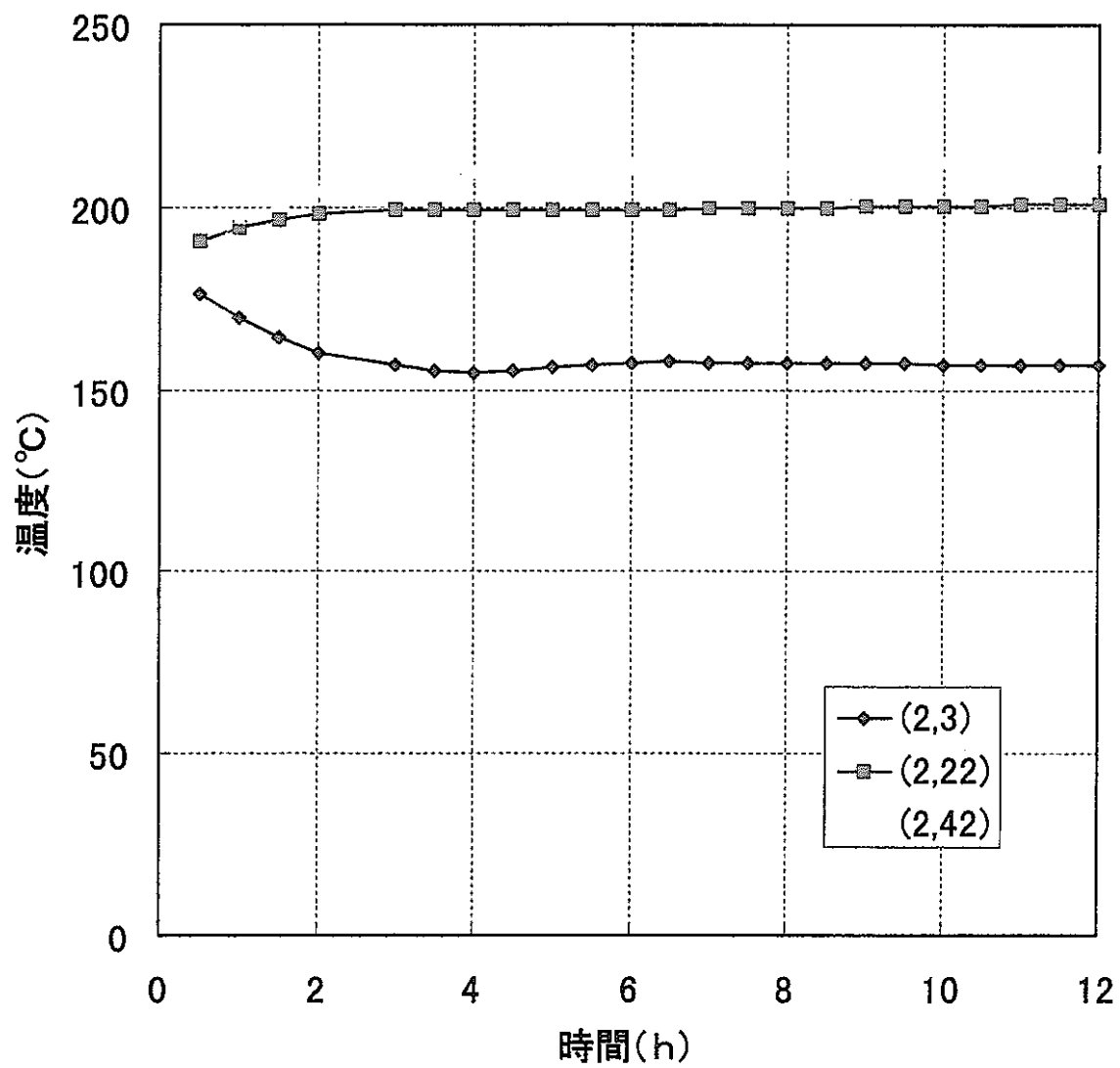


図 2.11 温度時系列変化図 (CASE1)

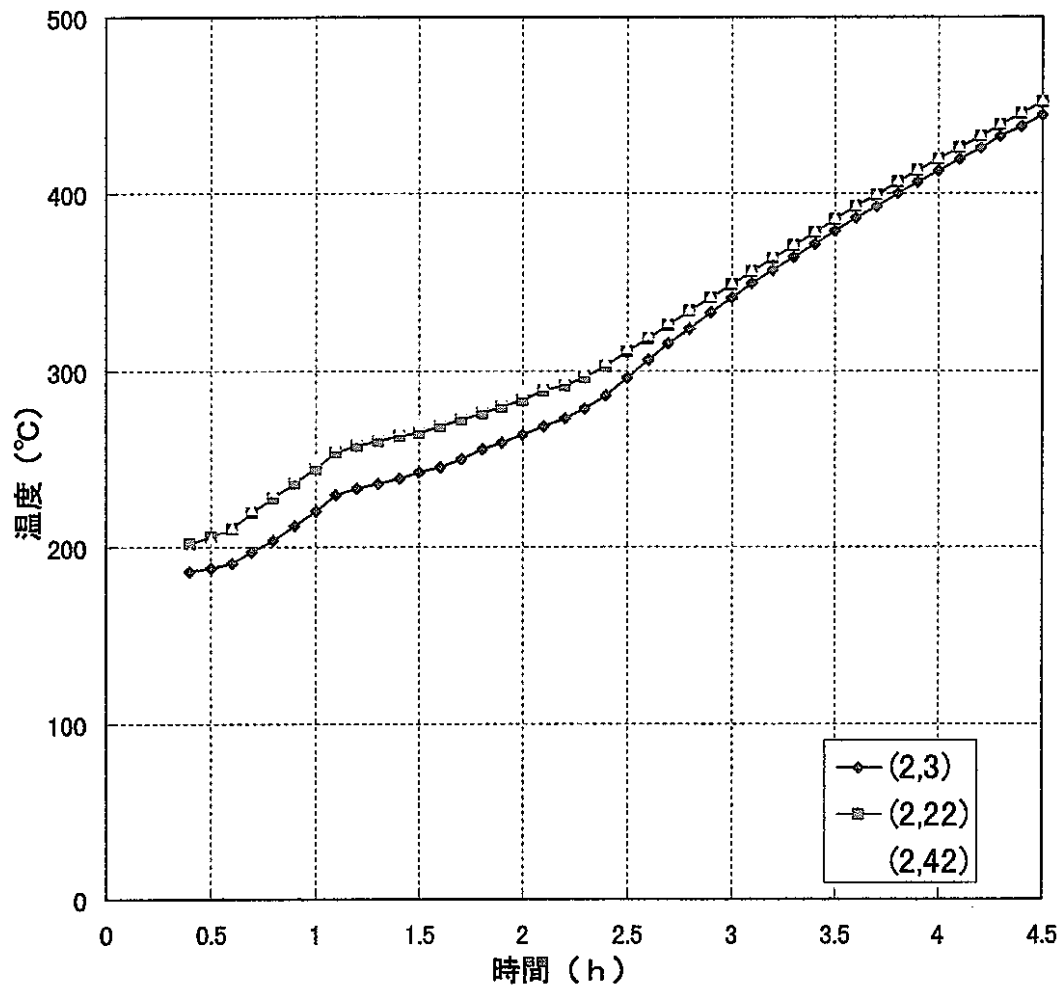


図 2.12 温度時系列変化図 (CASE2)

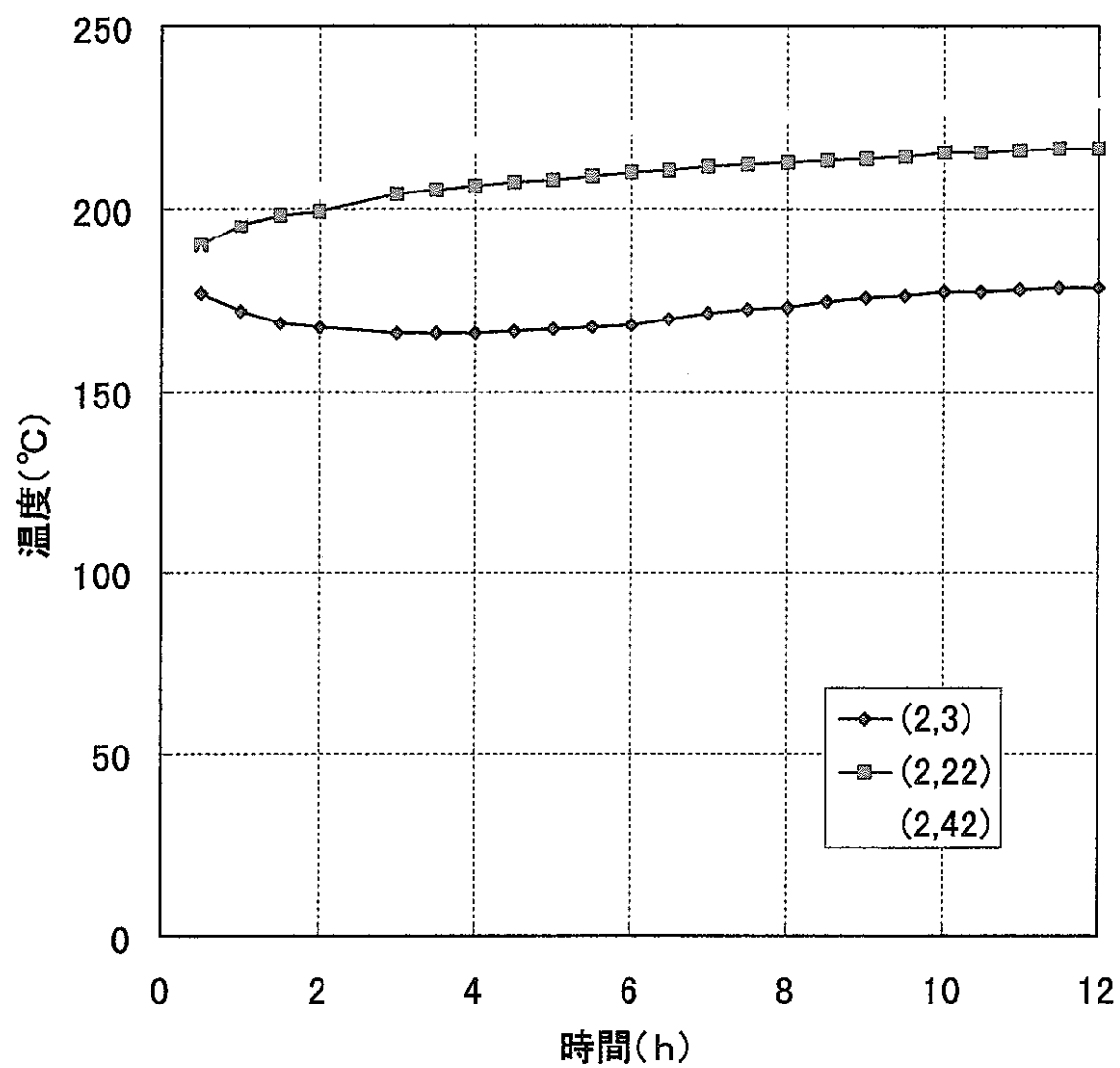


図 2.13 温度時系列変化図 (CASE3)

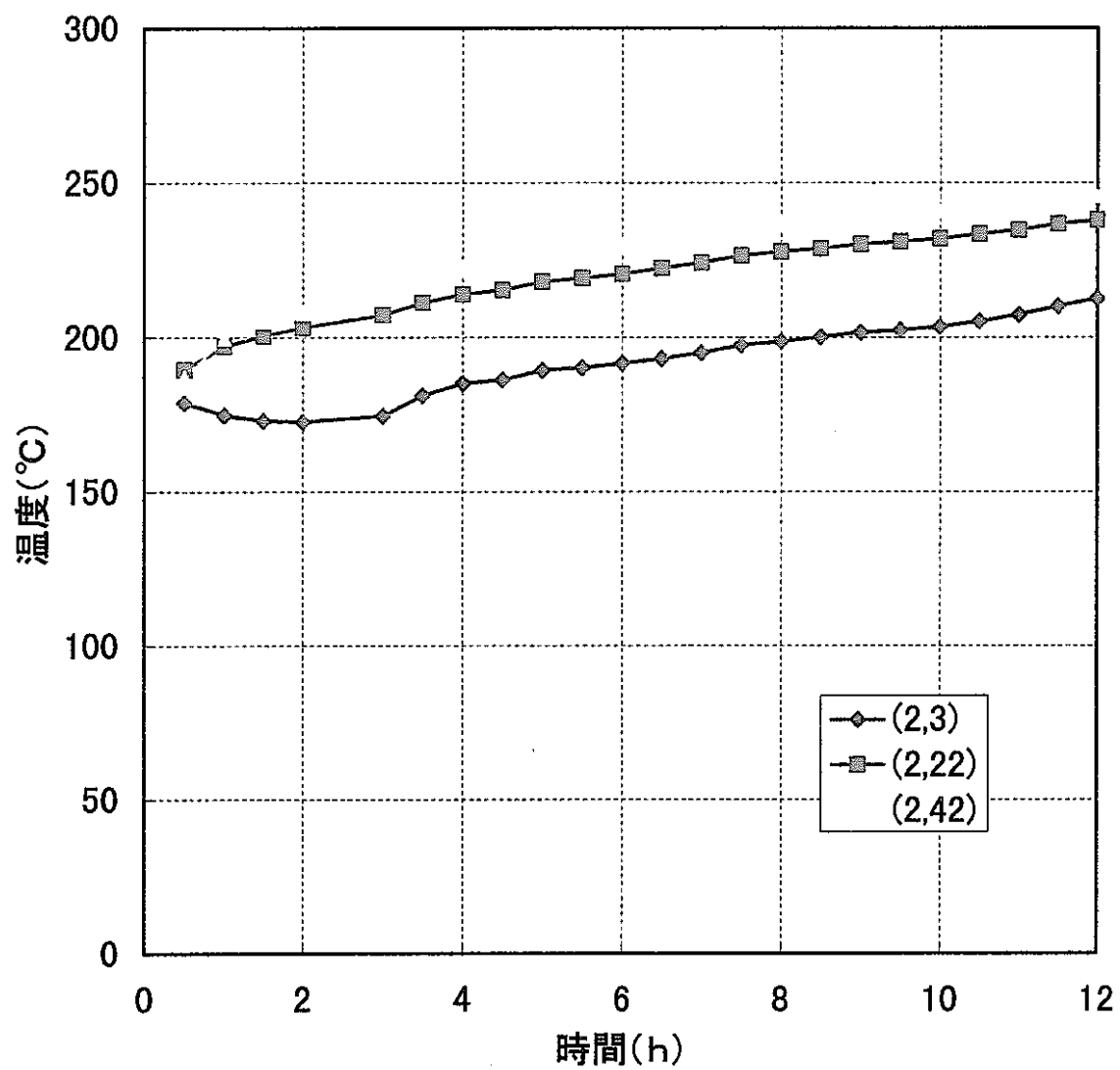


図 2.14 温度時系列変化図 (CASE4)

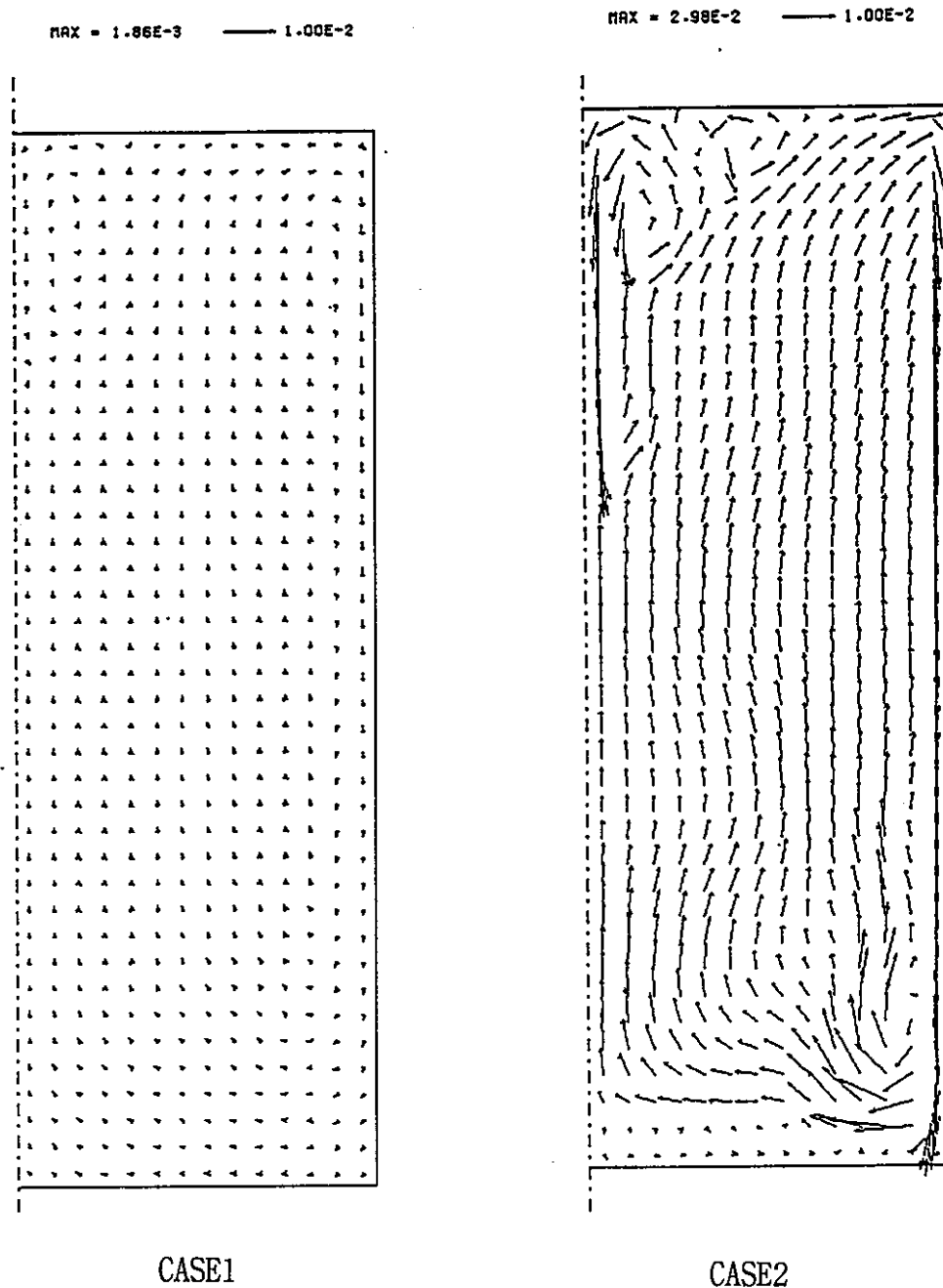


図 2.15 流速ベクトル図(25時間後)
 ((株) 日立製作所「アスファルト固化体温度計算速報(2)」)

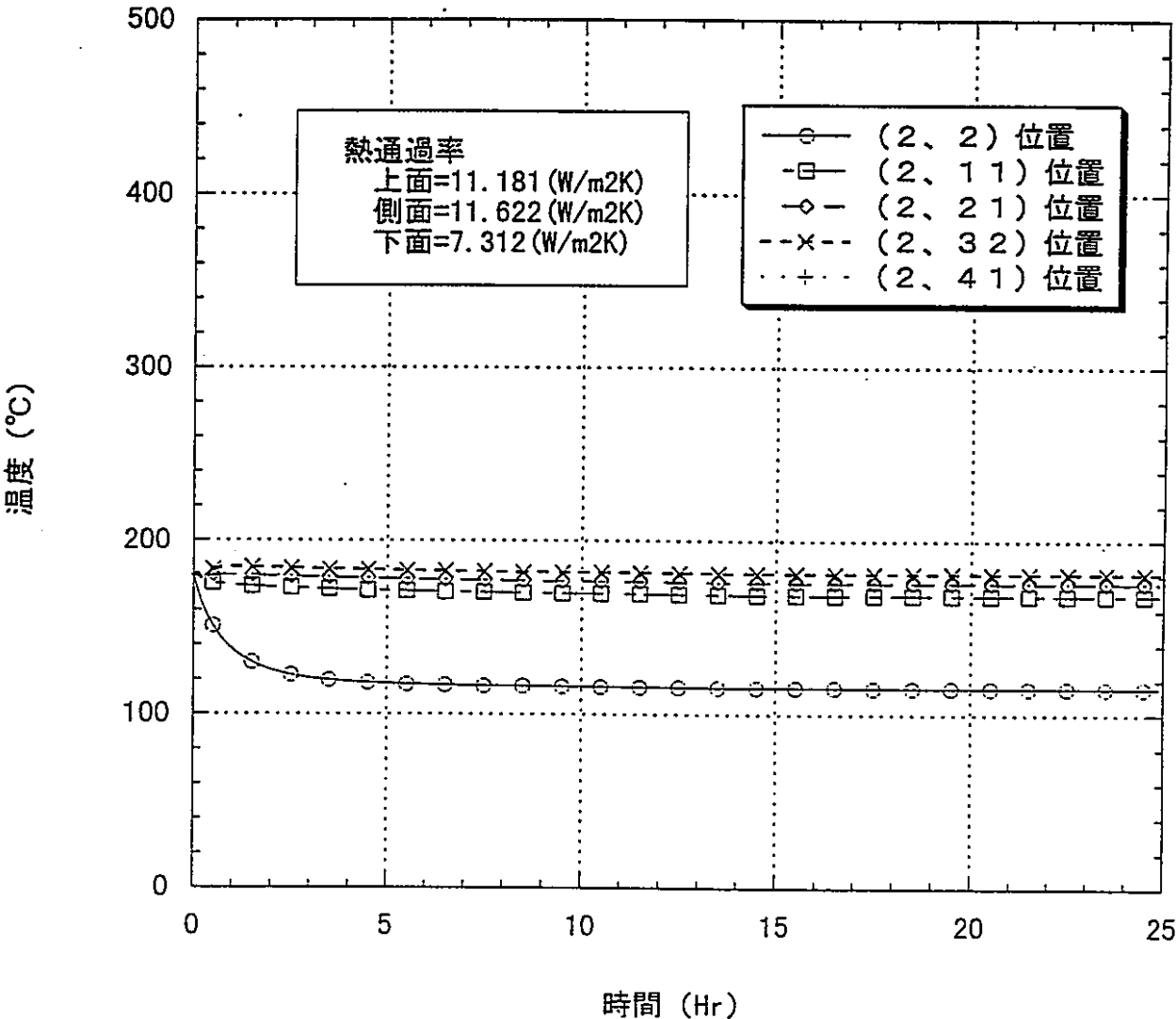


図 2.16 温度時系列変化図—CASE1
((株) 日立製作所「アスファルト固化体温度計算速報 (2)」)

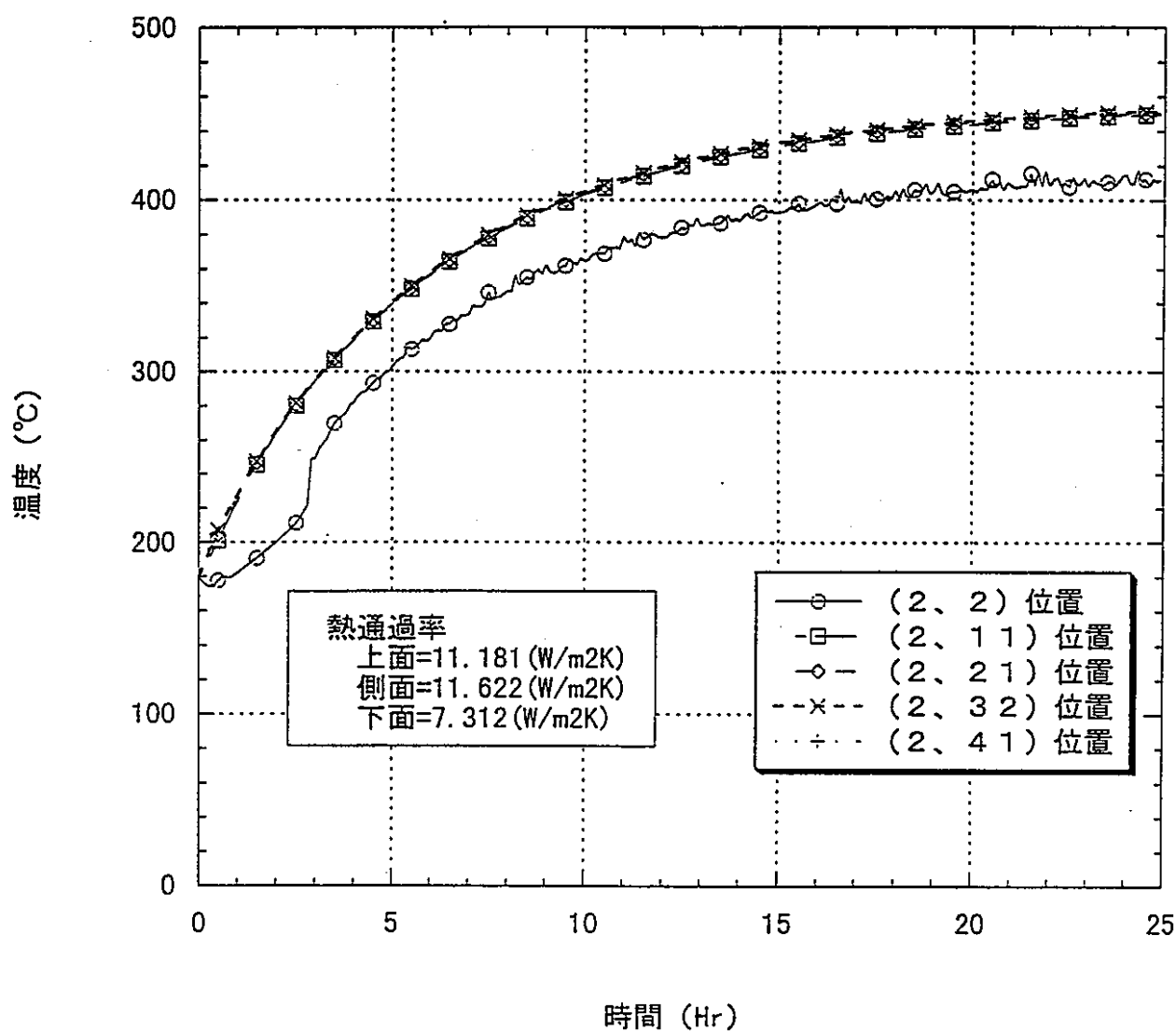


図 2.17 温度時系列変化図—CASE2

((株) 日立製作所「アスファルト固化体温度計算速報 (2)」)

3 アスファルト固化体熱流動解析 (α -FLOW)

汎用熱流動解析コードの代表として、PNCが所有する「 α -FLOW」を用いて、アスファルト固化体の熱流動解析を行った。本解析は「 α -FLOW」の開発元である（株）富士総合研究所において行われた試解析（契約番号 09C8098：「流動解析コード α -FLOW の改造」試解析結果報告書）の解析条件を元に物性値等を一部変更した解析を10ケース行った。

3.1 解析内容

アスファルト固化体が発火するに至る温度上昇の過程を再現する。また、非定常計算と定常計算のそれぞれの場合について、時間経過に伴い温度が上昇する初期温度と下降する初期温度の分岐点を求める。

3.2 解析対象

3.2.1 解析モデル

固化体形状は、直径 3.67mm、高さ 794mm の円筒形である。座標系は2次元の円筒座標系を用い、図 3.1 に示す解析モデル図の 283.5mm×794mm の領域を解析対象とした。

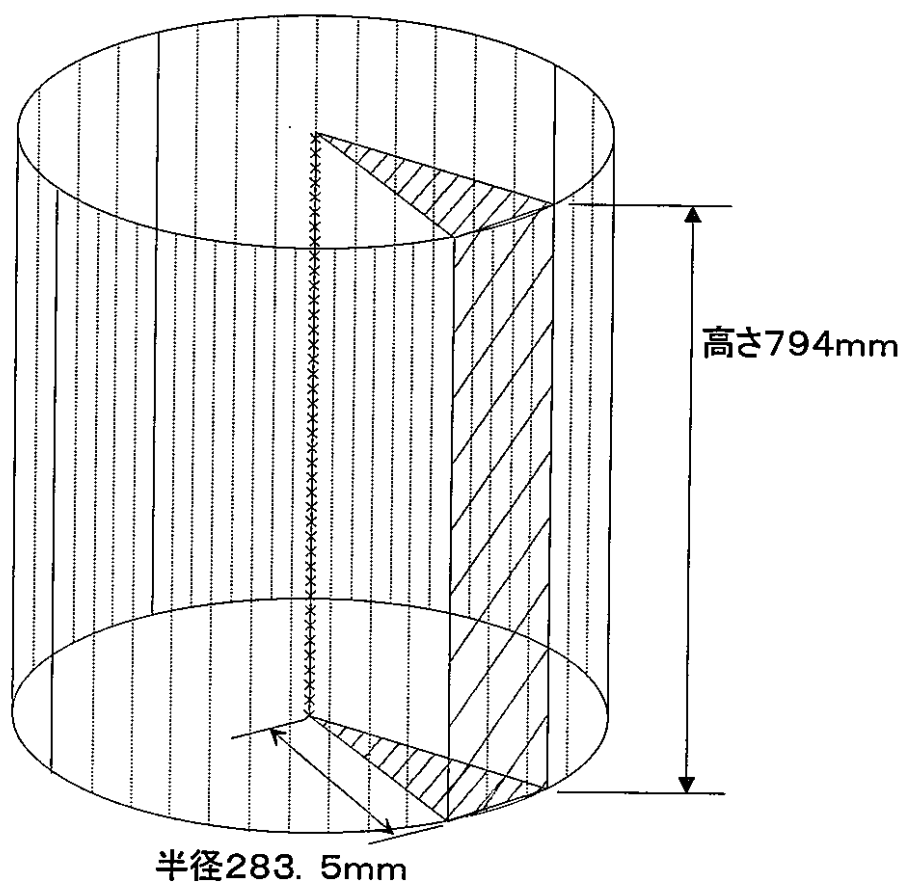


図 3.1 解析モデル

3.3 メッシュ形状

メッシュ数は 15×40 、座標系は円筒座標系を用い、 r - z 断面の 2 次元解析とした。図 3.2 にメッシュ分割図を示す。

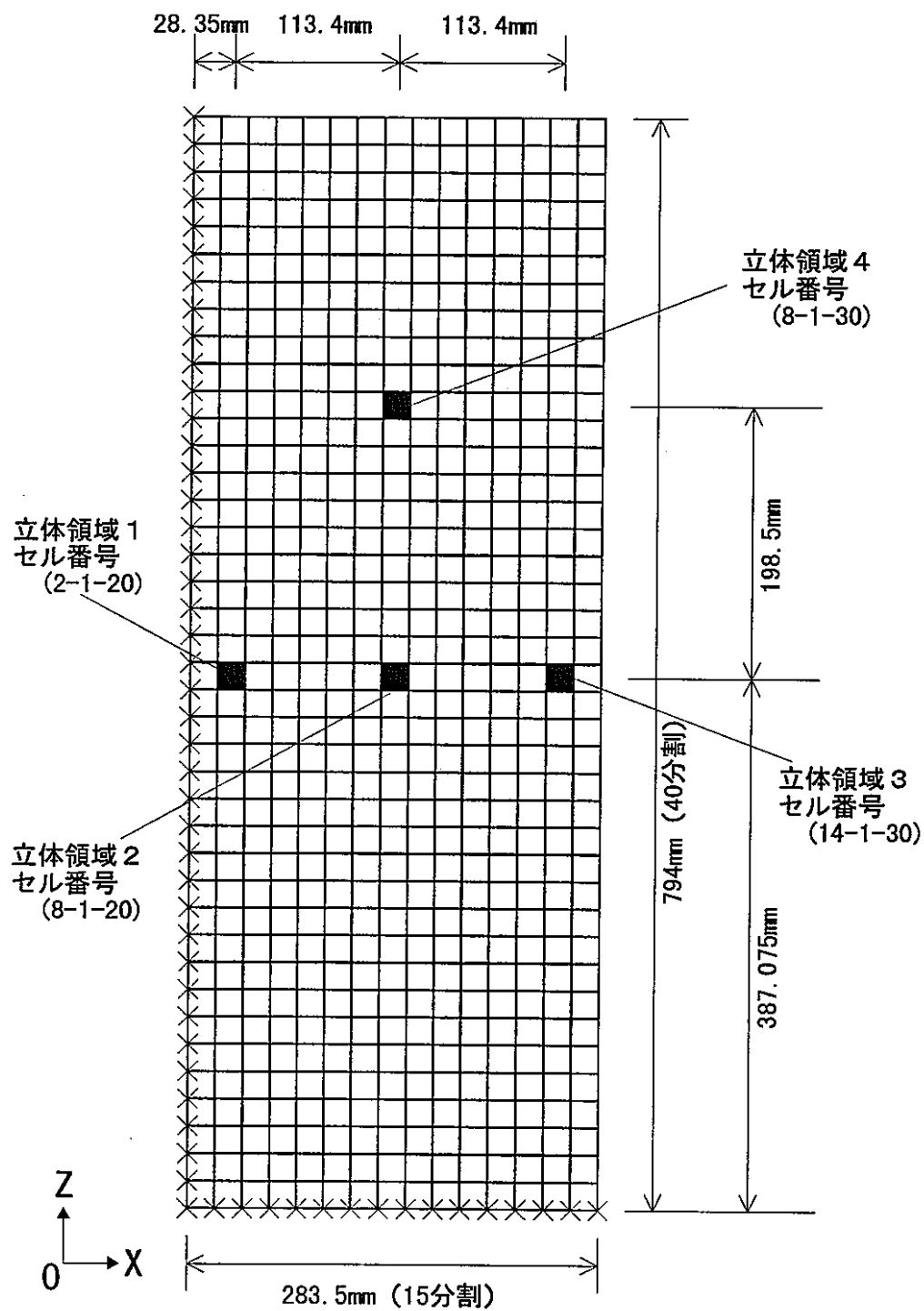


図 3.2 メッシュ分割図

3.4 解析条件

本解析の解析条件は、(株)富士総合研究所において行われた試解析（契約番号 09C8098：「流動解析コード α -FLOW の改造」試解析結果報告書）の解析条件を元に、若干の新しい物性値データを加えたものである。以下にその基本的なデータを表 3.1 と各ケースの設定内容表 3.2 を示す。

表 3.1 基本の解析条件

項目	内容
解析対象	アスファルト固化体
座標系	円筒座標系
格子分割数	15×1×40
運動方程式	各ケースによって相違あり（表 3.2 参照の事）
エネルギー方程式	計算する
乱流モデル	計算しない
時間スキーム	SIMPLE
時間刻み幅	1 秒
解析ステップ	3000 ステップ
対流項差分スキーム	1 次風上差分
粘性項差分スキーム	2 次中心差分
物性値	熱伝導率 : $0.47023 + 5.623 \times 10^{-4} T$ (W/mK) 密度 : $1350 / (1 + 0.00057 (T - 20))$ (kg/m³) (基準温度 220℃, 重力項中の密度のみ温度依存) 比熱 : $732 + 2.73 T$ (J/kgK) 体膨張率 : $0.00063 (1/K)$ 粘性係数 : $\mu = \exp \left\{ \frac{16263}{T + 273} - 33.74 \right\}$ (Pa·s) ($T \leq 290^\circ\text{C}$) $\mu = 0.0077996$ (Pa·s) ($T > 290^\circ\text{C}$) (T: 温度(℃))
流速境界条件	壁面 : ノン・スリップ その他 : スリップ
温度境界条件	周囲温度 : 30℃ 放熱条件 (熱伝導率) : 上面(TOP) 各ケースによって相違あり (Table. 2 参照の事) 側面(SIDE) 4.70(W/m²K) 下面(BOTTOM) 2.80(W/m²K) 発熱量 : 各ケースによって相違あり (Table. 2 参照の事)
初期値	流速 : $u=0.0$(m/s), $v=0.0$(m/s), $w=0.0$(m/s) 圧力 : 0 (Pa) 温度 : 220(℃)

表 3.2 各解析ケースの条件設定

ケース名	発熱量(W/m^3)	上面熱伝導率 (W/m^2K)	運動方程式
CASE 1	$Q = 6.72 \times 10^{23} \exp\left\{\frac{-204}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\} (W/m^3) \quad T: \text{温度}(^{\circ}C)$	4.50	解く (非定常計算)
CASE 2	$Q = 4.40 \times 10^{29} \exp\left\{\frac{-274}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\} (W/m^3) \quad T: \text{温度}(^{\circ}C)$	4.50	解く (非定常計算)
CASE 3	$Q = 6.72 \times 10^{23} \exp\left\{\frac{-204}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\} (W/m^3) \quad T: \text{温度}(^{\circ}C)$	1.35	解く (非定常計算)
CASE 4	$Q = 6.72 \times 10^{23} \exp\left\{\frac{-204}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\} (W/m^3) \quad T: \text{温度}(^{\circ}C)$	0.45	解く (非定常計算)
CASE 5	$Q = 6.72 \times 10^{23} \exp\left\{\frac{-204}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\} (W/m^3) \quad T: \text{温度}(^{\circ}C)$	4.50	解かない (定常計算)
CASE 6~8	$Q = 6.72 \times 10^{23} \exp\left\{\frac{-204}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\} + 7.45 \times 10^{10} \exp\left\{\frac{-76}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\}$	4.50	解かない (定常計算)
CASE9, 10	$Q = 6.72 \times 10^{23} \exp\left\{\frac{-204}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\} + 7.45 \times 10^{10} \exp\left\{\frac{-76}{8.317 \times 10^{-3}(T+273)}\right\}$	4.50	解かない (定常計算)

3.5 解析結果

各ケースの温度コンター図、速度ベクトル図、時系列温度グラフを図 3.3 ～ 3.56 に示す。(CASE5, 9, 10 は定常計算のため、速度ベクトル図はなし)

CASE6～CASE10 の非定常計算と定常計算の各解析の作業状況を表 3.3 に示す。

表 3.3 解析作業状況

ケース	1 解析のステップ数	1 解析時間 (h)	分岐点を求める までの解析回数	設定した初期温 度の範囲 (°C)	運動方程式
CASE 6, 7, 8	3000	3～4	17	220～270	計算する (非定常計算)
CASE 9, 10	99999 (解析がアボートされた 場合はその直前まで)	3～4	15	210～225	計算する (定常計算)

①非定常計算：

CASE6：初期温度 260.0°C の場合、時間の経過に従いドラム缶内の一部領域で温度上昇が見られる。

(図 3.37 ～ 3.40)

CASE7：初期温度 259.7°C の場合、初期温度 259.5°C の場合で温度が上昇していた領域も温度上昇を示さなくなり、

(図 3.41 ～ 3.44)

CASE8：初期温度 259.5°C の場合、ドラム缶内の全領域で温度は下降する。

(図 3.45 ～ 3.48)

よって、以上の内容から、259.7°C を温度上昇、下降の分岐点と判断した。

②定常計算：

定常計算の場合、初期温度が低い解析では、ドラム缶内の外側から中心部へ向かって冷えてゆく経過をたどる。

はじめ、温度下降の要因のないドラム缶中心部の領域では当然、温度が上昇するが、外部からの冷却の影響がドラム缶中心部にまで及ぶと、温度は下降に転ずる。ただし、初期温度が十分に高い場合はその冷却の影響が及ぶ前に領域が非常に高い温度になってしまうため、温度が下降することはない。

CASE9：初期温度 224.70°C の場合、ドラム缶内の一部領域で急激な温度上昇のため解析がアボートされる。

(図 3.49 ～ 3.52)

CASE10：初期温度 224.65°C の場合、全領域で温度は下降している。

(図 3.53 ～ 3.56)

以上の内容から、224.65°C から 224.70°C の間が温度上昇、下降の分岐点と判断した。(この場合、さらに細かく分岐点を求めることも可能であるが、0.01°C 以下の単位で違いを求めず、これ以上の解析は行っていない)

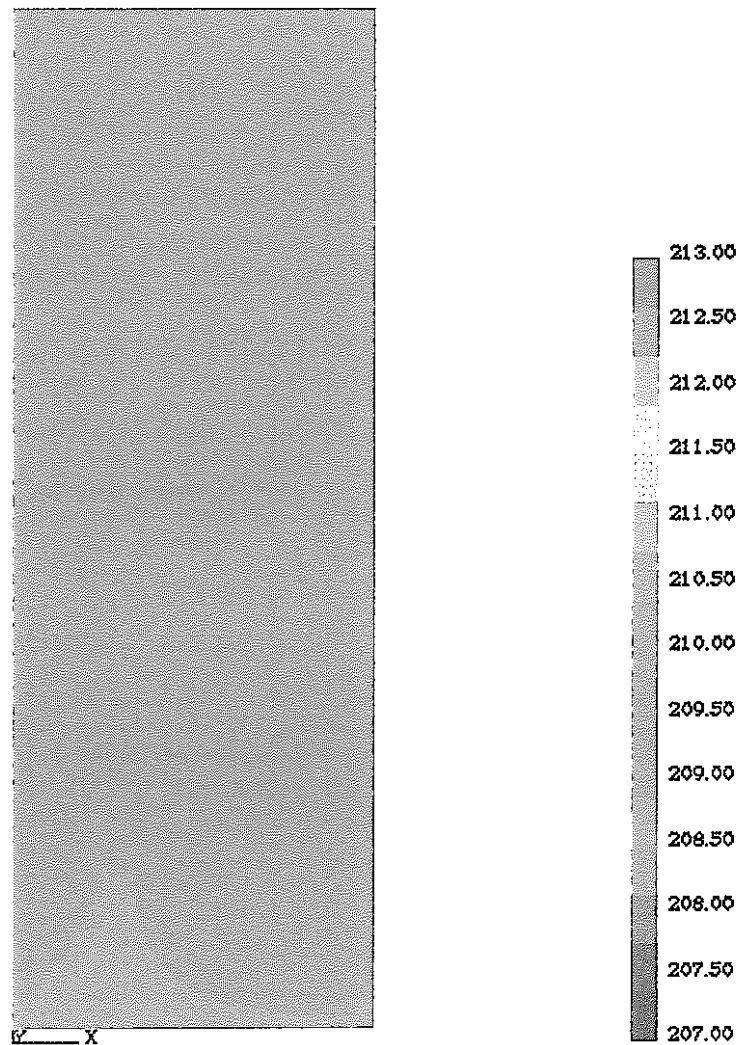


図 3.3 温度コンター図 (CASE1)

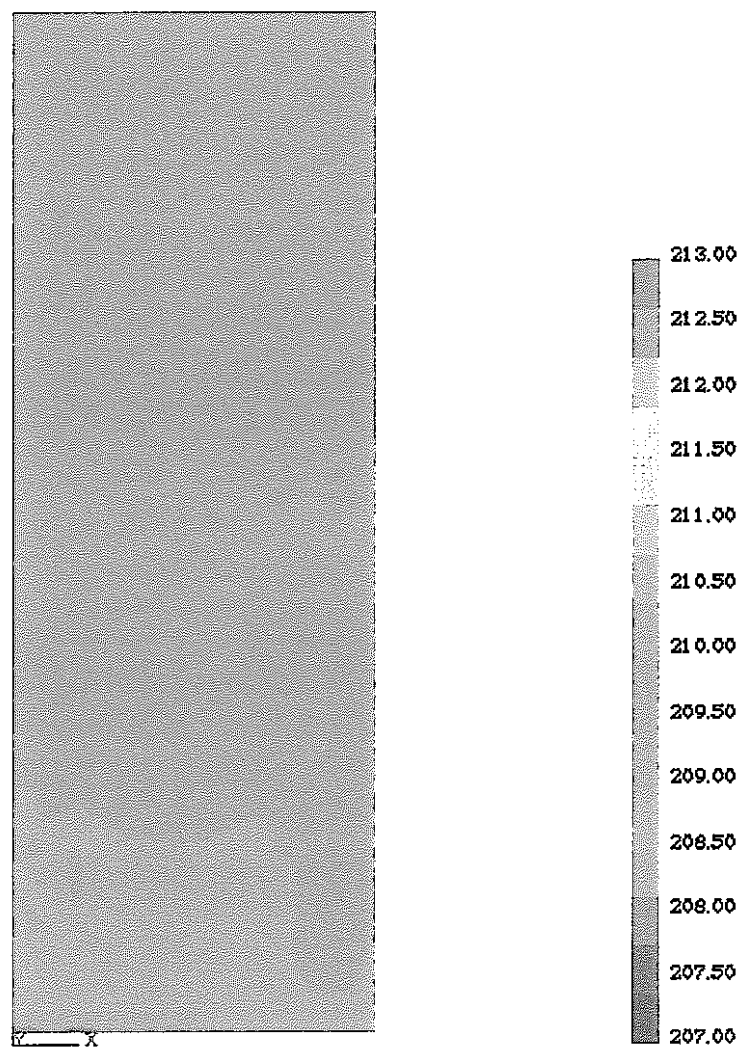


図 3.4 温度コンター図 (CASE2)

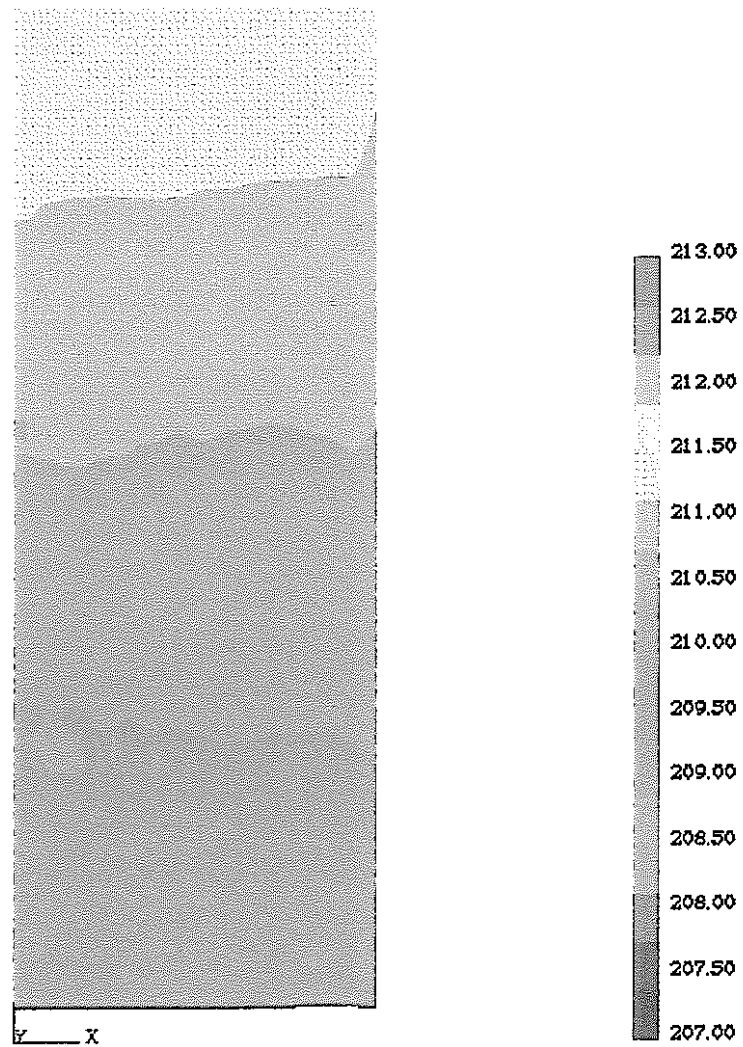


図 3.5 温度コンター図 (CASE3)

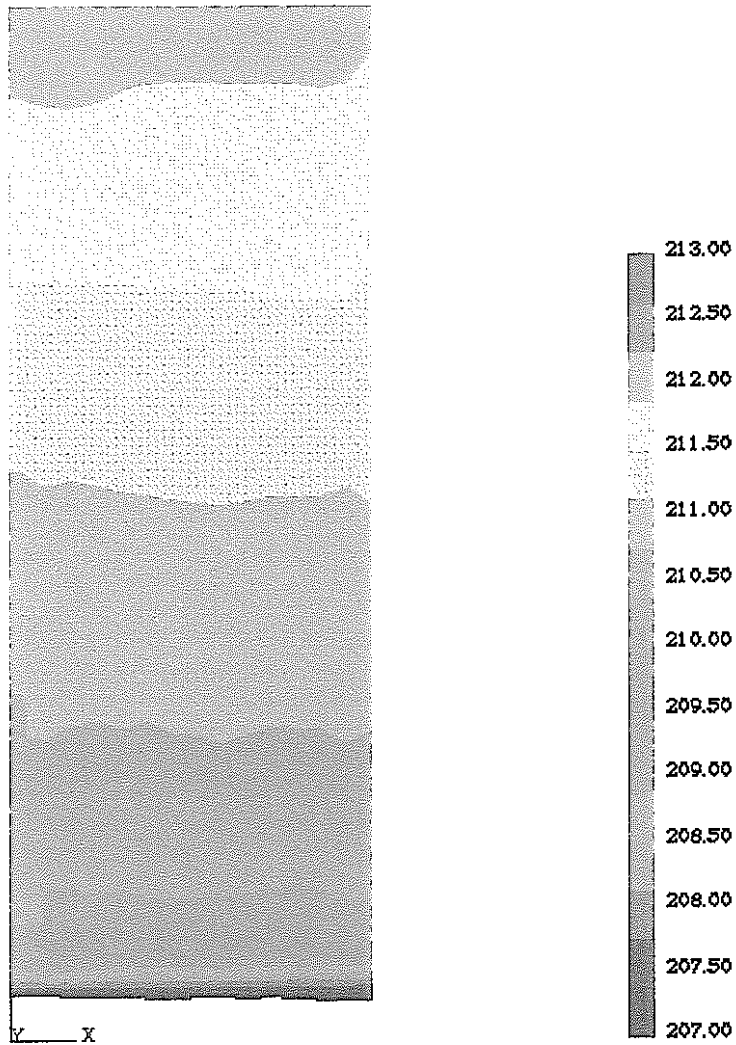


図 3.6 温度コンター図 (CASE4)

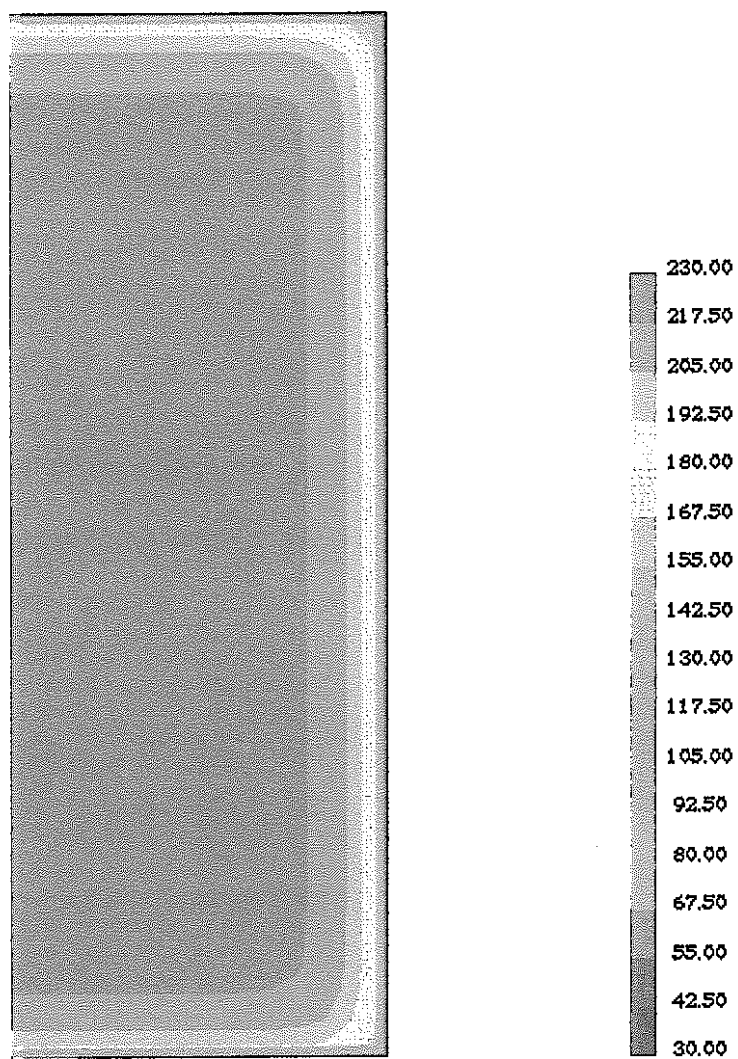


図 3.7 温度コンター図 (CASE5)

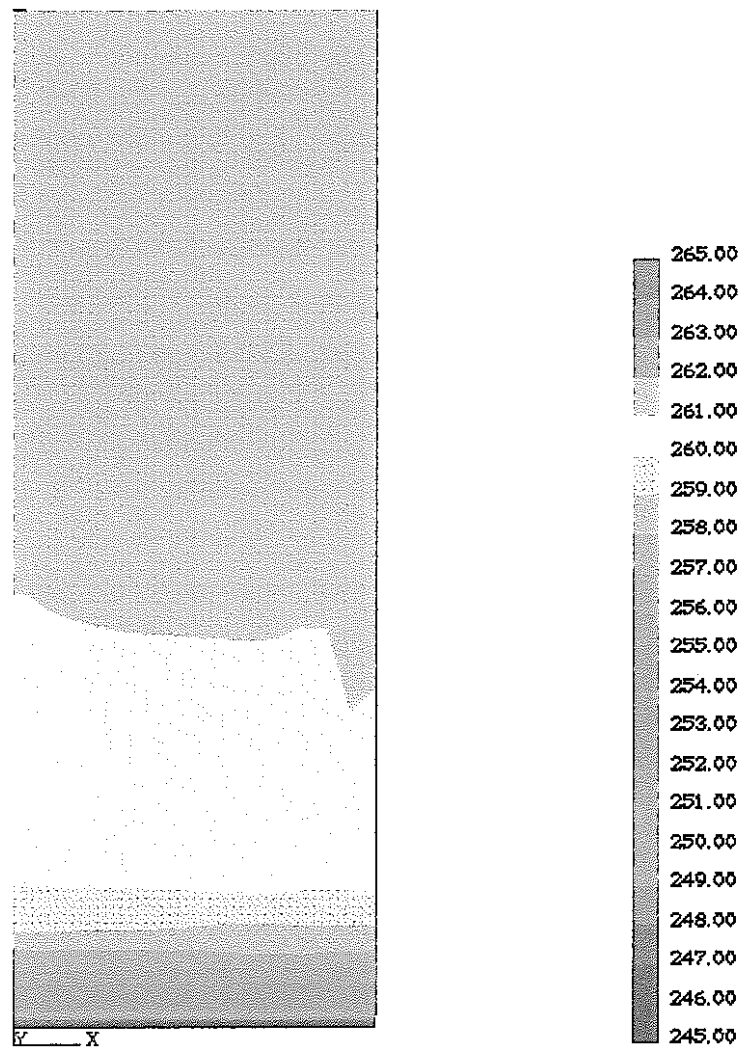


図 3.8 温度コンター図 (CASE6:非定常計算、初期温度 260.0°C)

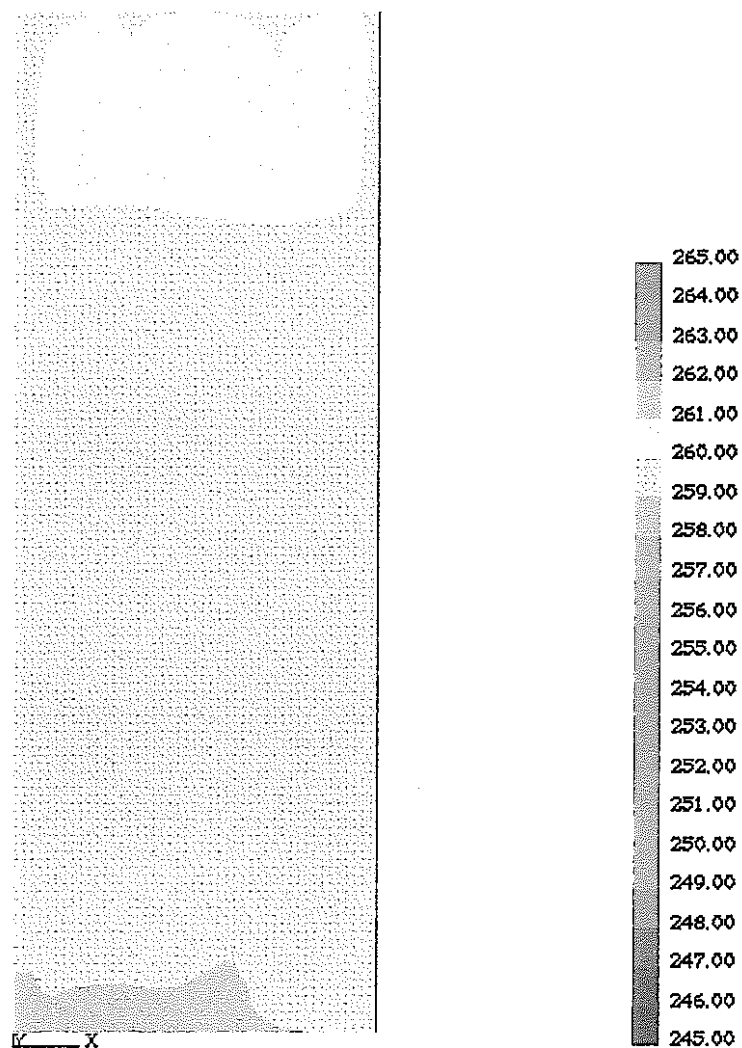


図 3.9 温度コンター図 (CASE7:非定常計算、初期温度 259.7°C)

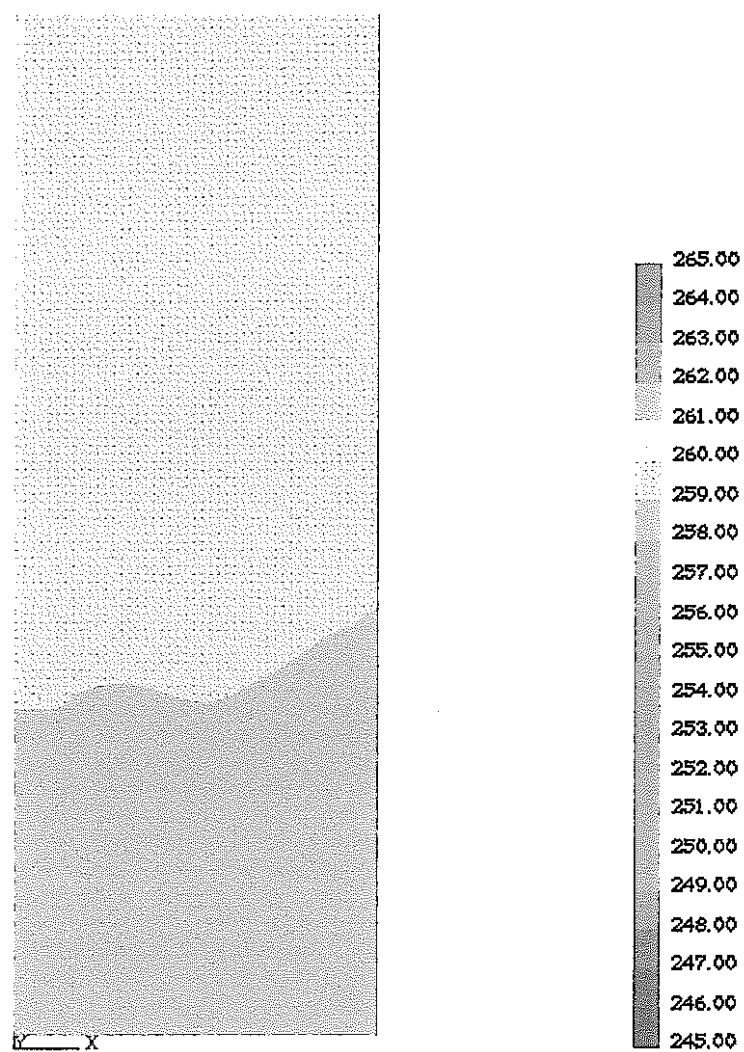


図 3.10 温度コンター図 (CASE8:非定常計算、初期温度 259.5°C)

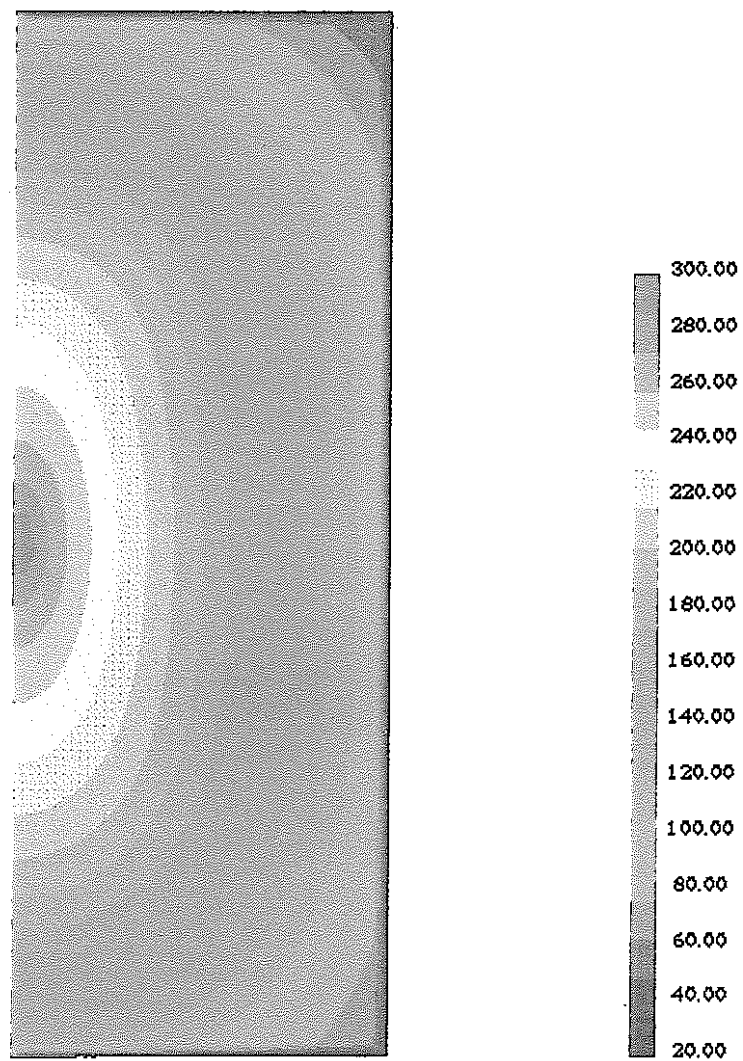


図 3.11 温度コンター図 (CASE9:定常計算、初期温度 224.7°C)

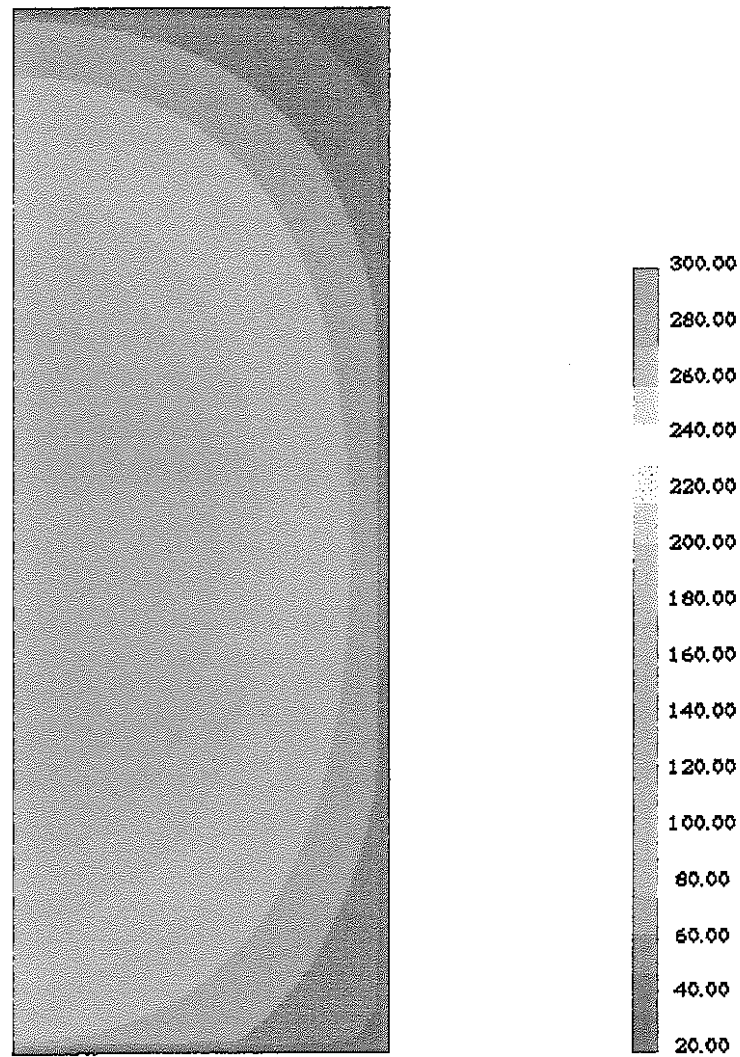


図 3.12 温度コンター図 (CASE10:定常計算、初期温度 224.65°C)

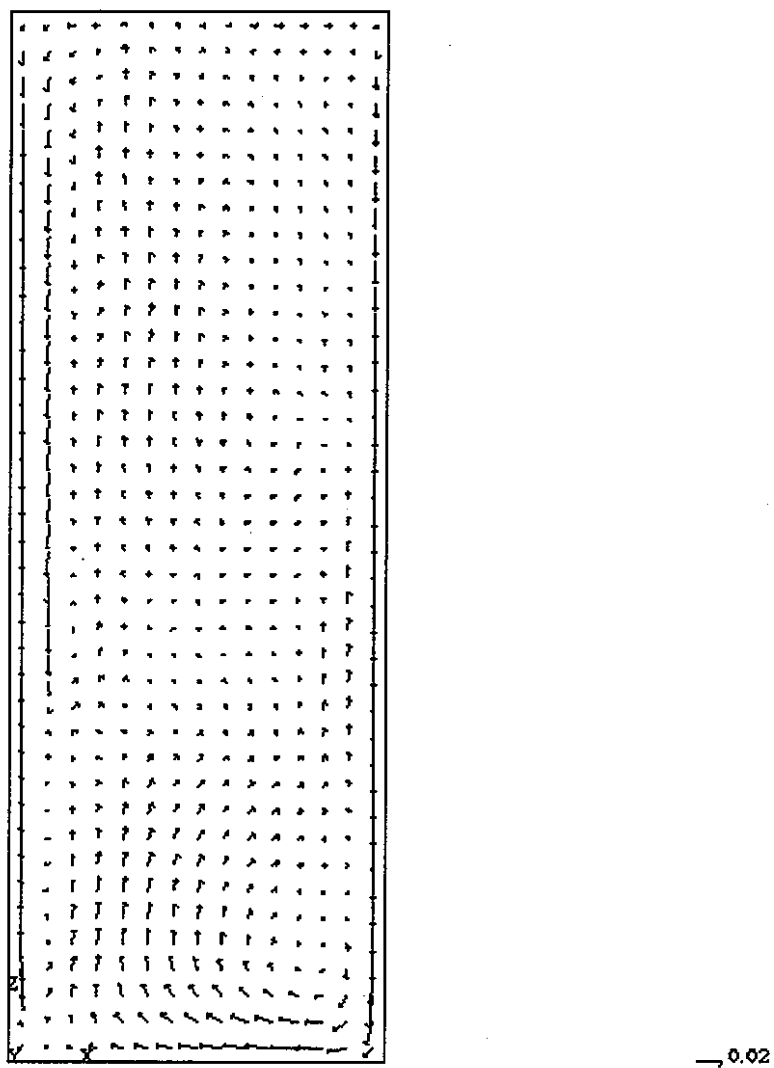


図 3.13 速度ベクトル図(CASE1)

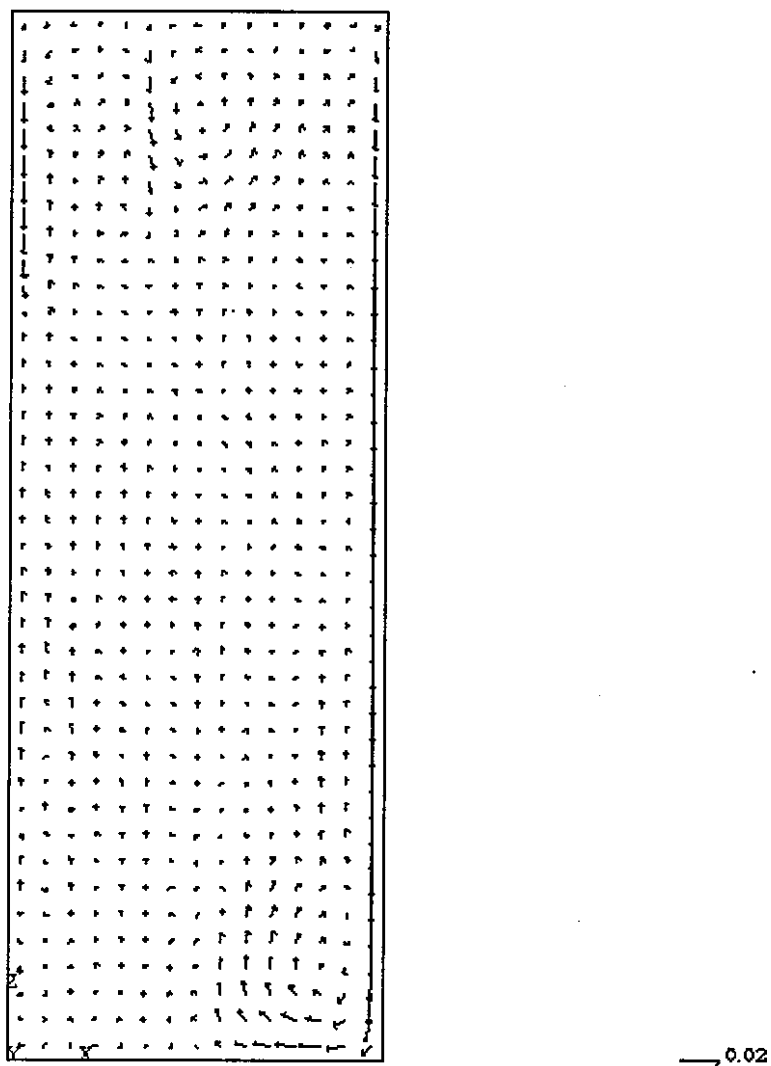


図 3.14 速度ベクトル図(CASE2)

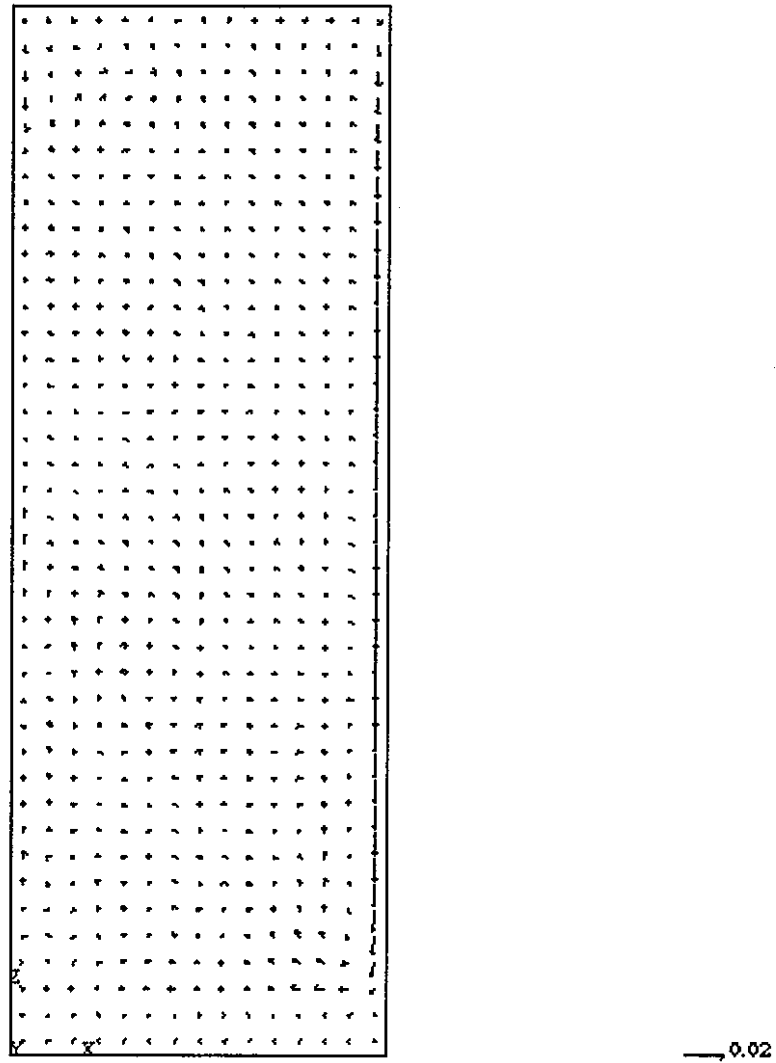


図 3.15 速度ベクトル図(CASE3)

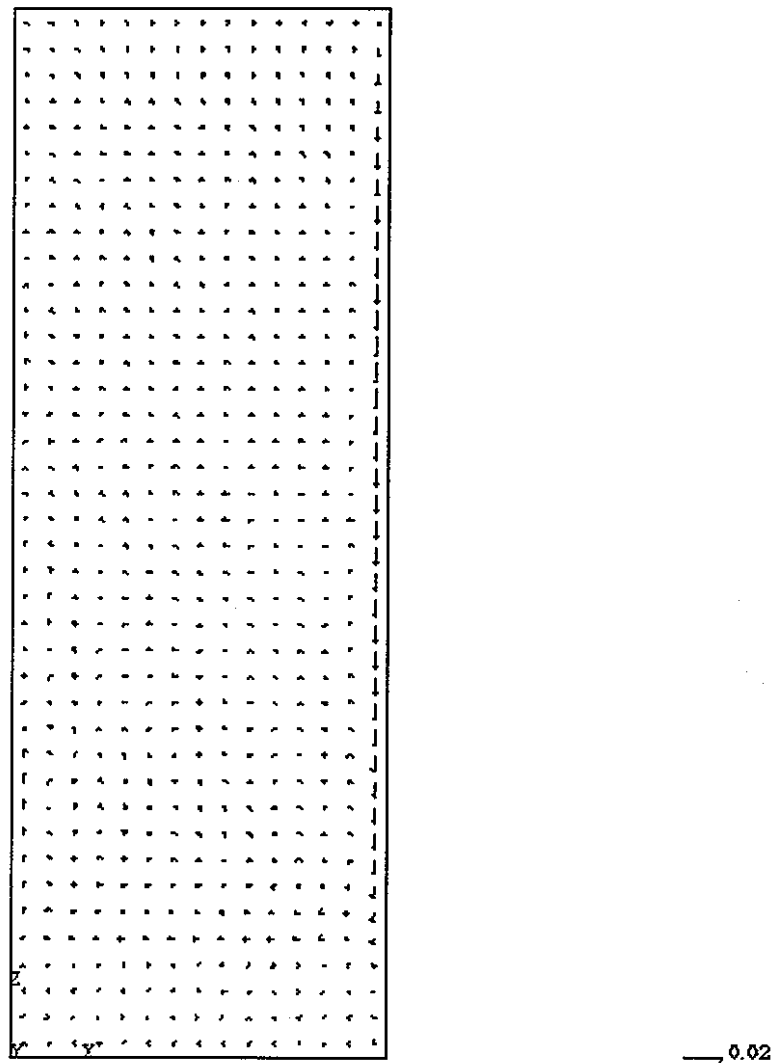


図 3.16 速度ベクトル図(CASE4)

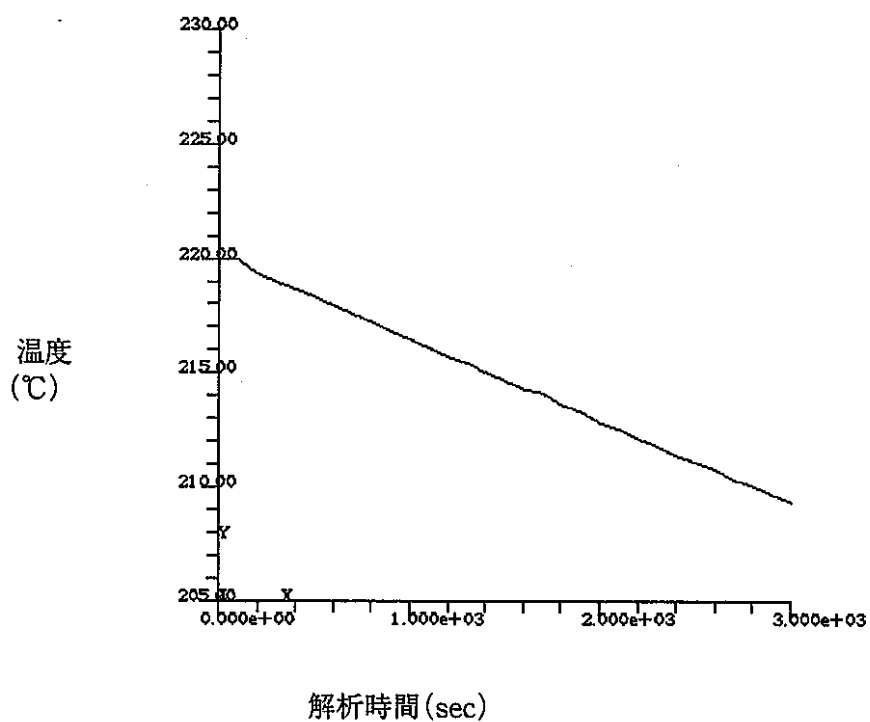


図 3.17 時系列温度グラフ(CASE1:立体領域1)

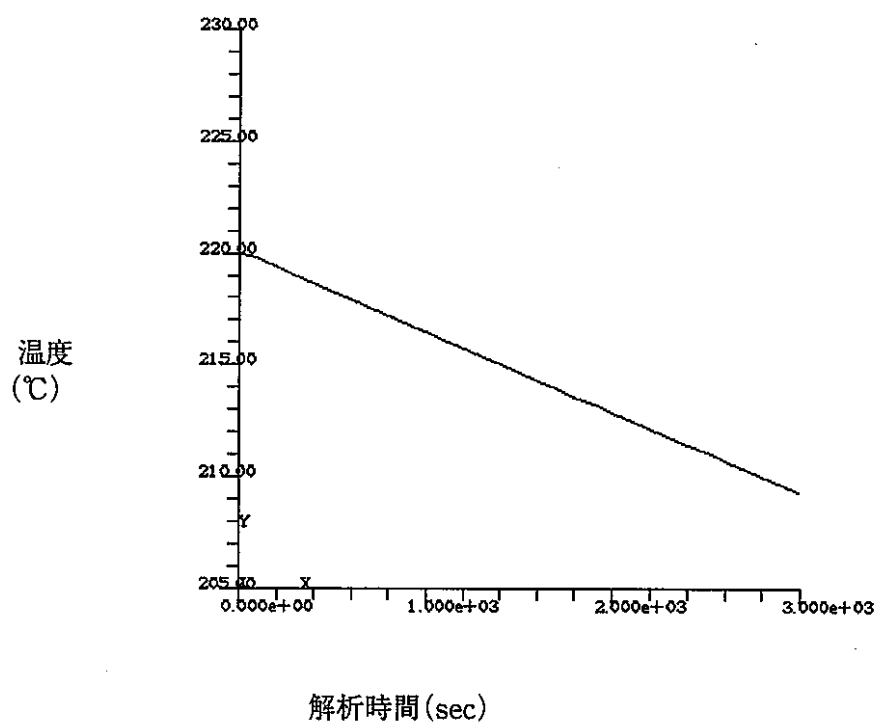


図 3.18 時系列温度グラフ(CASE1:立体領域2)

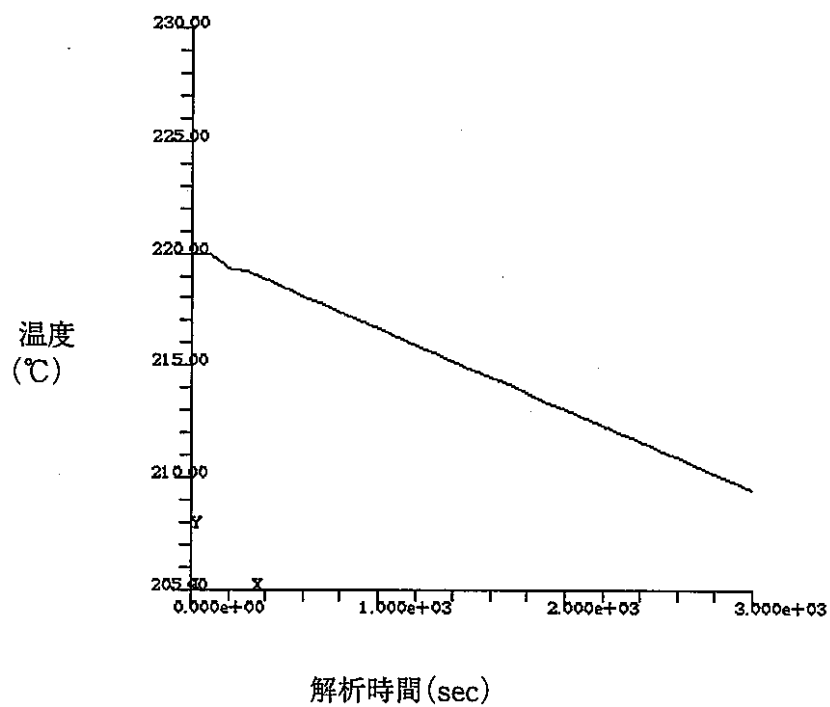


図 3.19 時系列温度グラフ(CASE1:立体領域3)

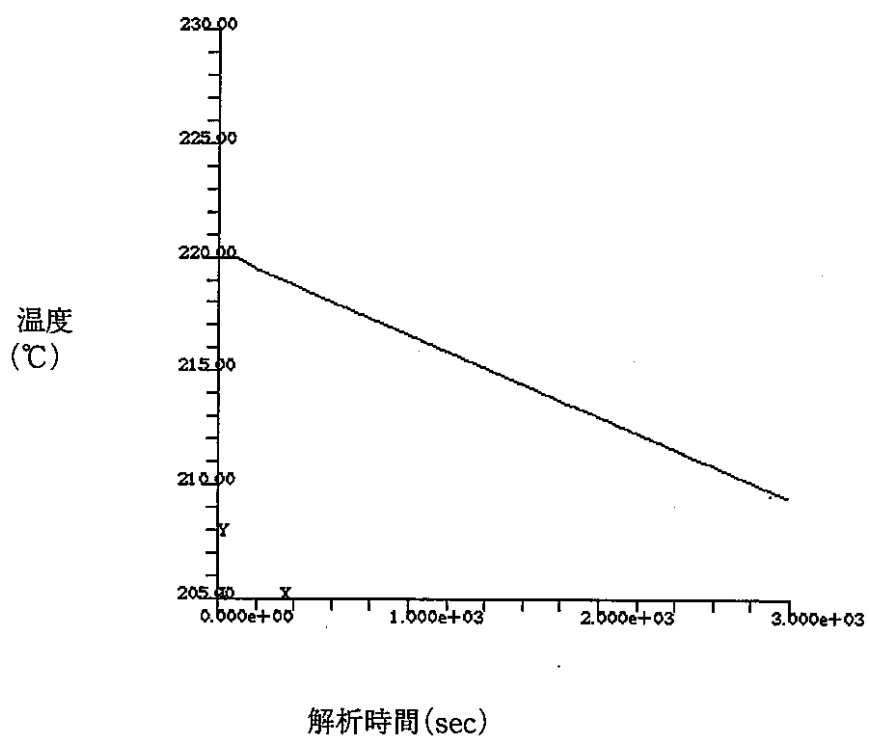


図 3.20 時系列温度グラフ(CASE1:立体領域4)

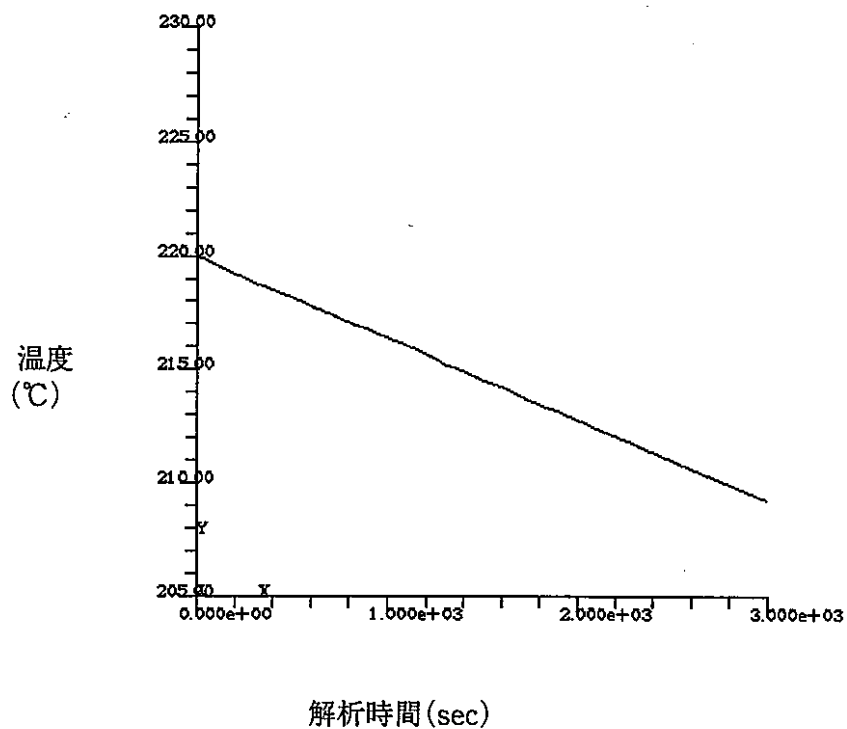


図 3.21 時系列温度グラフ(CASE2:立体領域1)

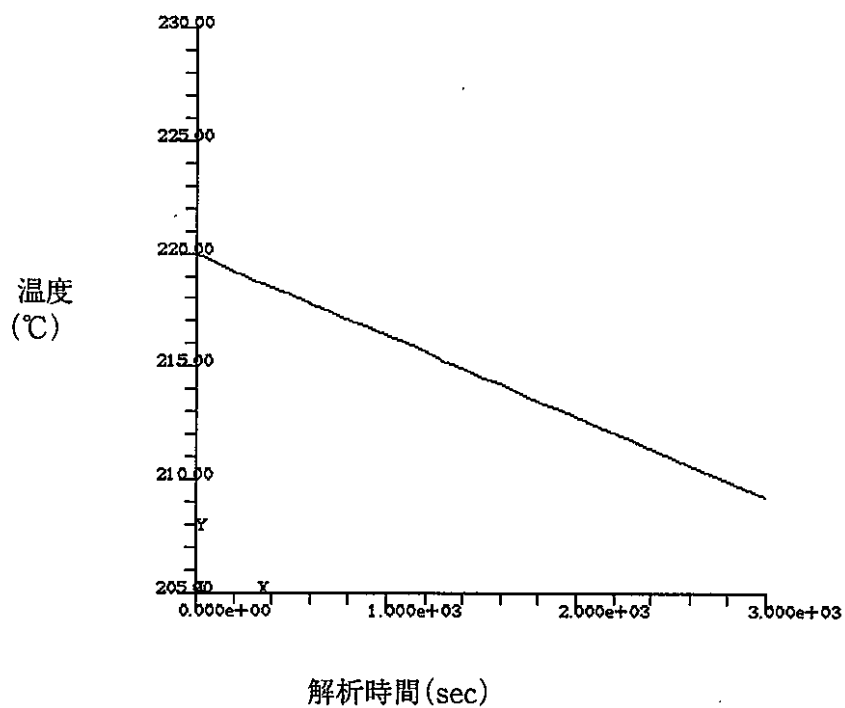


図 3.22 時系列温度グラフ(CASE2:立体領域2)

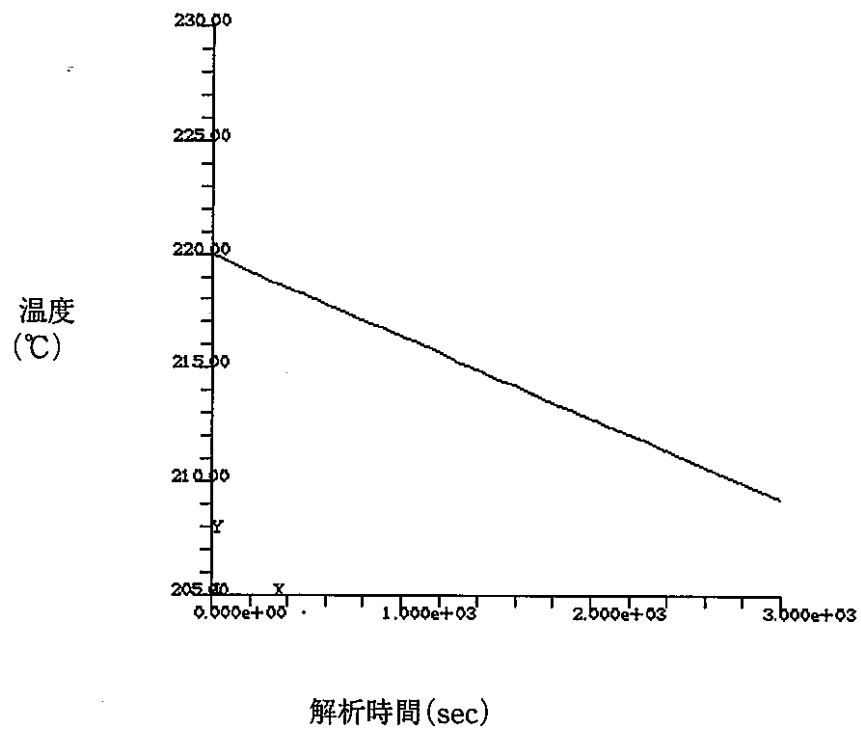


図 3.23 時系列温度グラフ(CASE2:立体領域3)

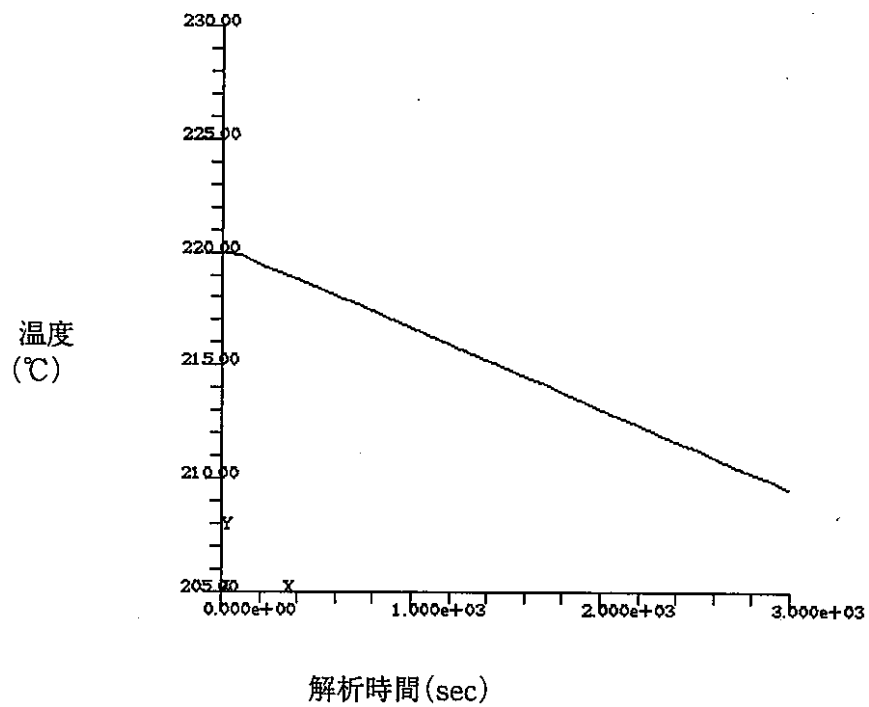


図 3.24 時系列温度グラフ(CASE2:立体領域4)

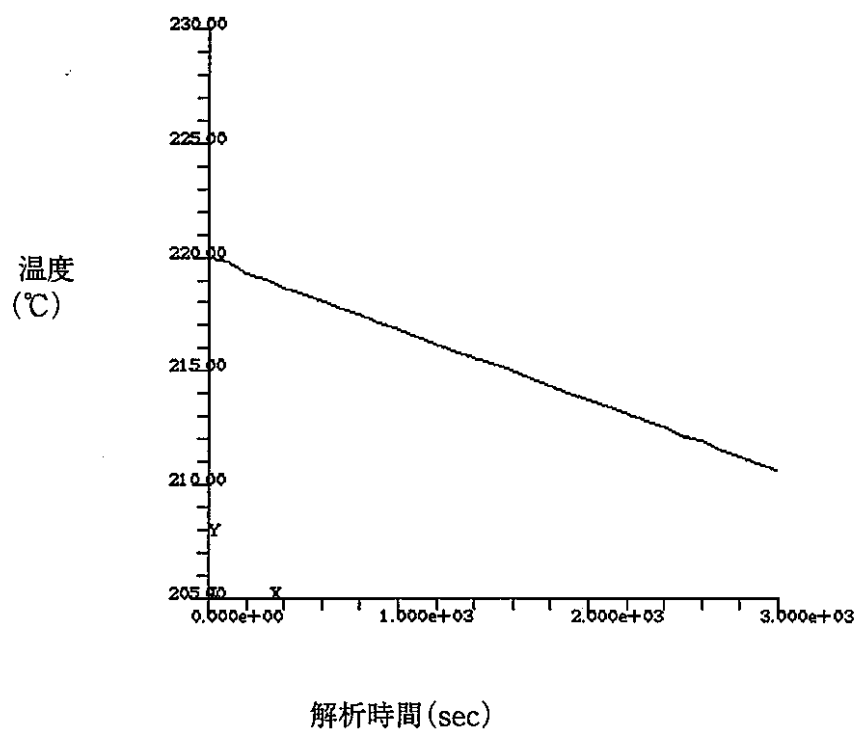


図 3.25 時系列温度グラフ(CASE3:立体領域1)

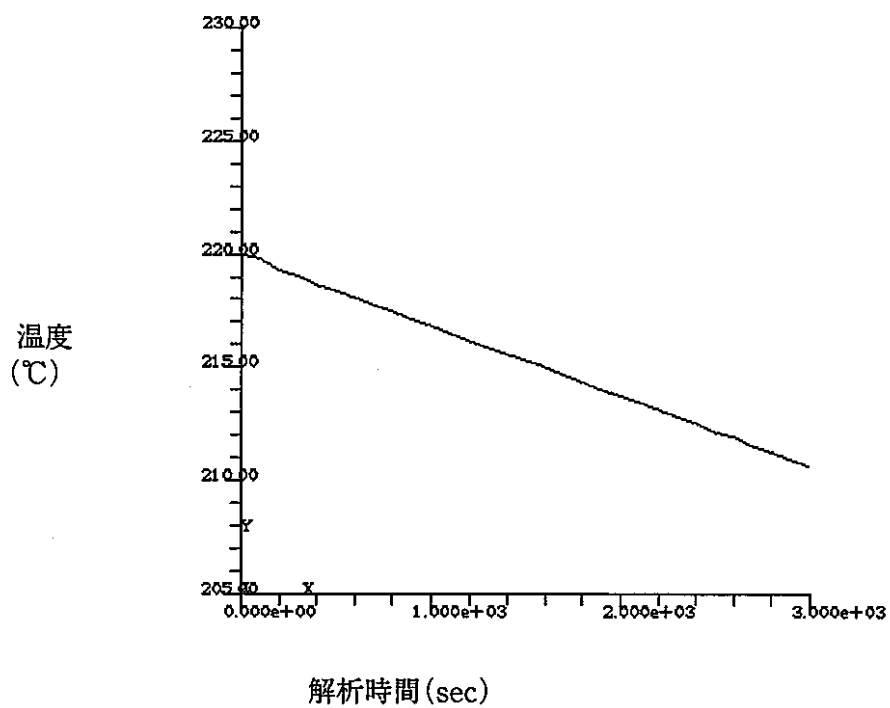


図 3.26 時系列温度グラフ(CASE3:立体領域2)

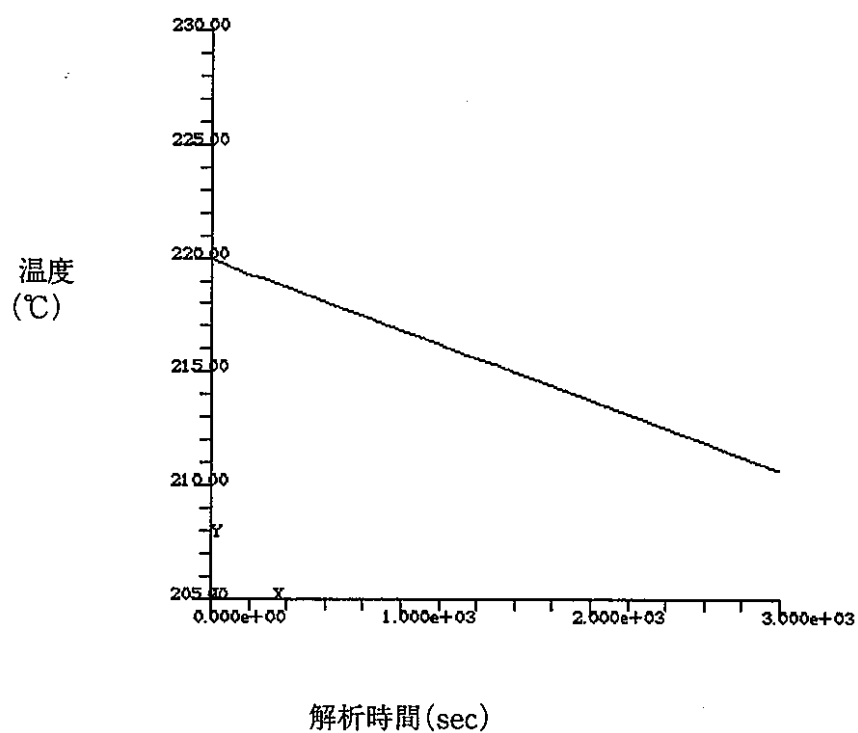


図 3.27 時系列温度グラフ(CASE3:立体領域3)

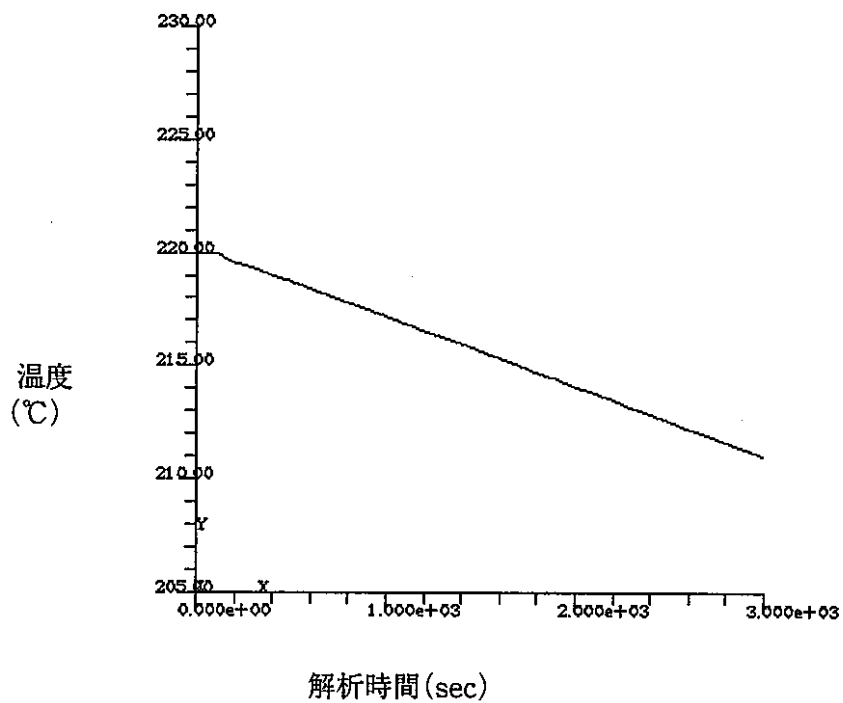


図 3.28 時系列温度グラフ(CASE3:立体領域4)

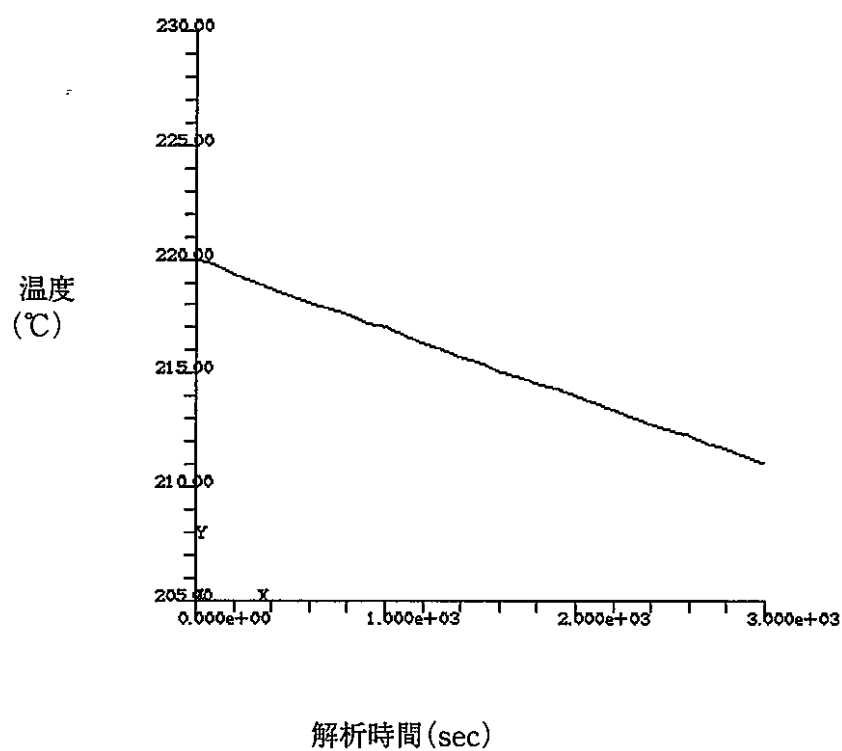


図 3.29 時系列温度グラフ(CASE4:立体領域1)

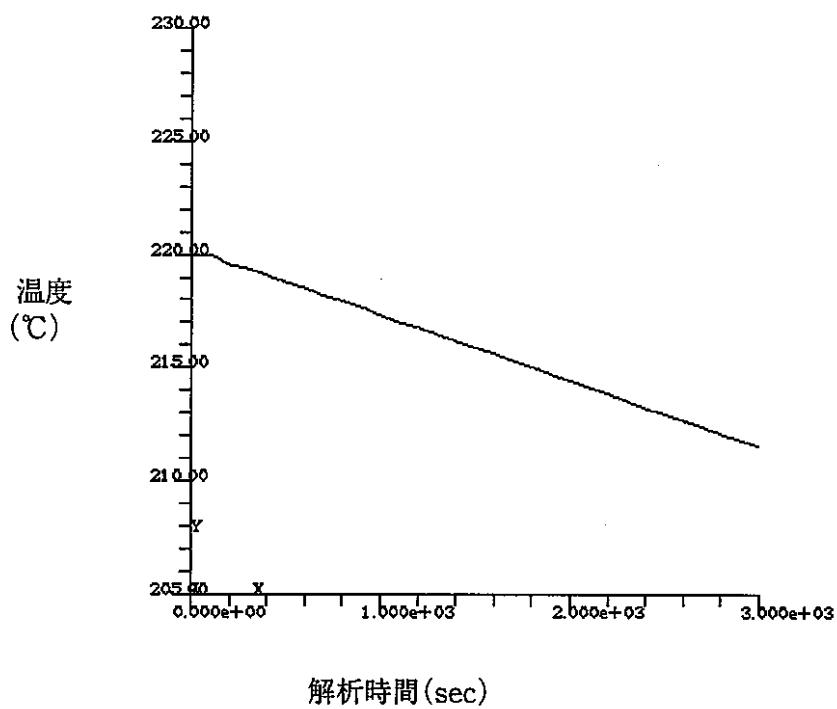


図 3.30 時系列温度グラフ(CASE4:立体領域2)

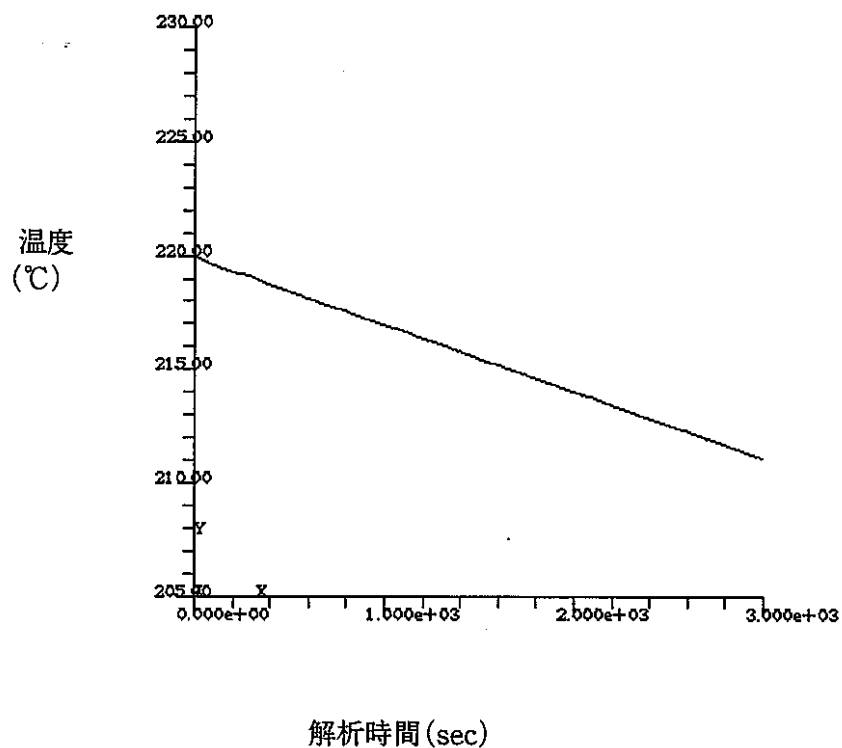


図 3.31 時系列温度グラフ(CASE4:立体領域3)

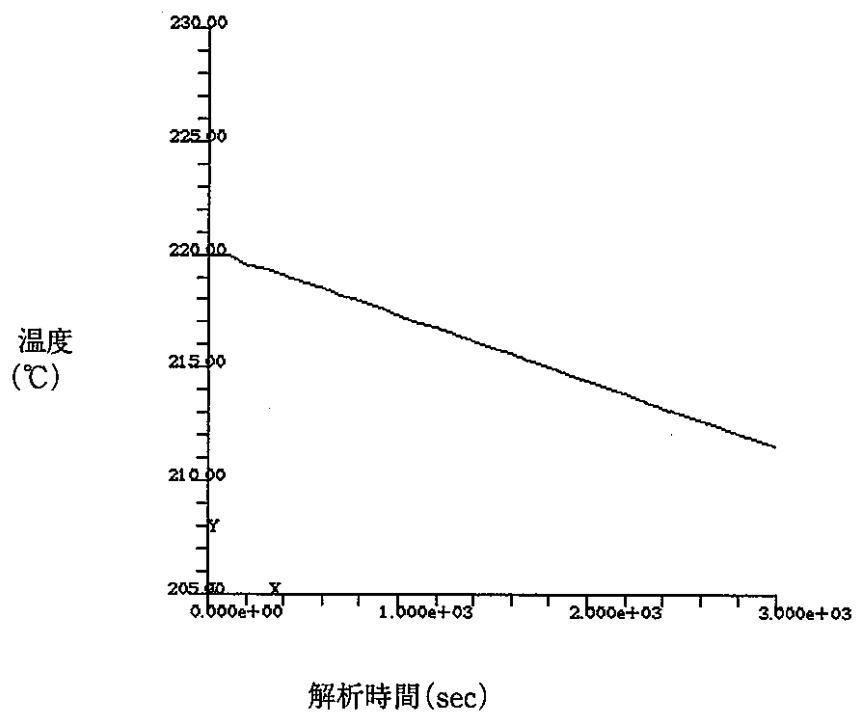


図 3.32 時系列温度グラフ(CASE4:立体領域4)

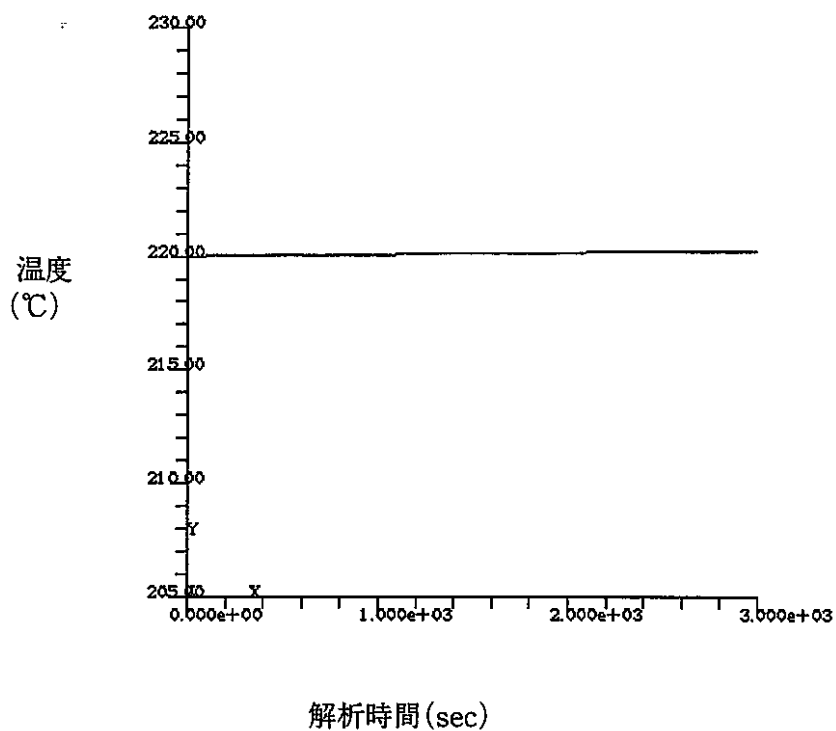


図 3.33 時系列温度グラフ(CASE5:立体領域1)

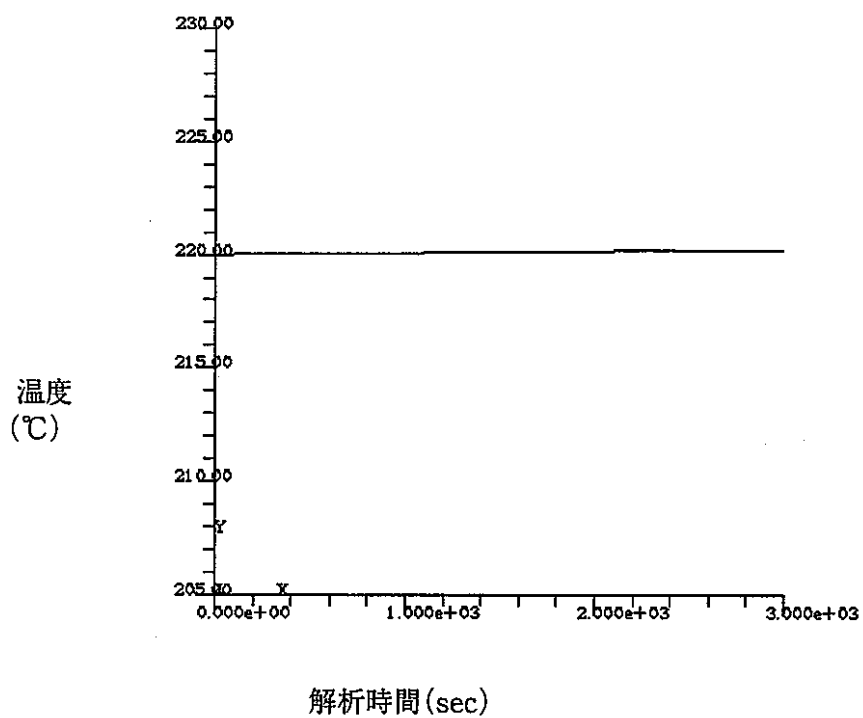


図 3.34 時系列温度グラフ(CASE5:立体領域2)

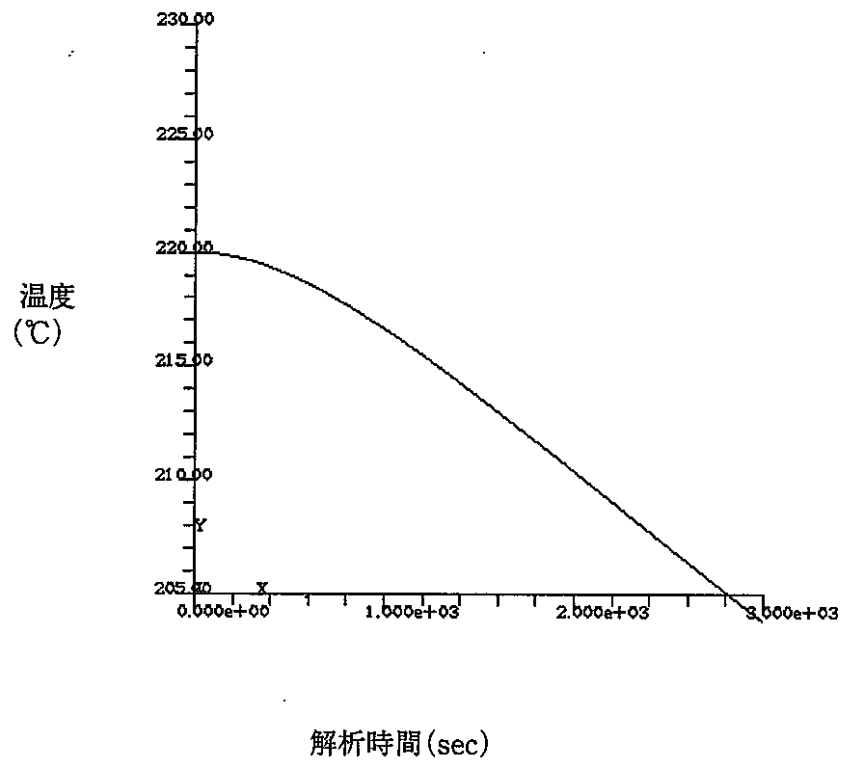


図 3.35 時系列温度グラフ(CASE5:立体領域3)

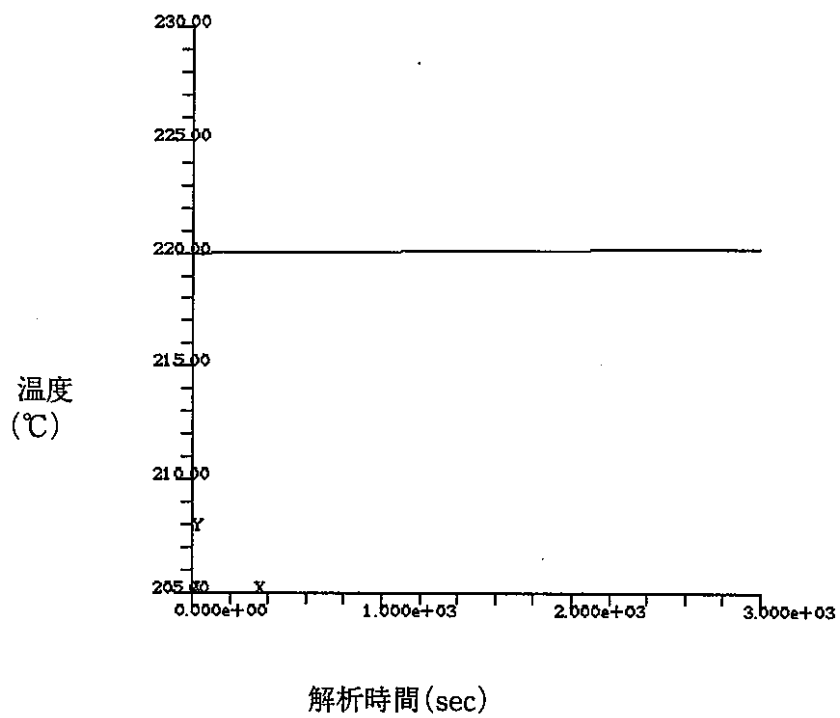


図 3.36 時系列温度グラフ(CASE5:立体領域4)

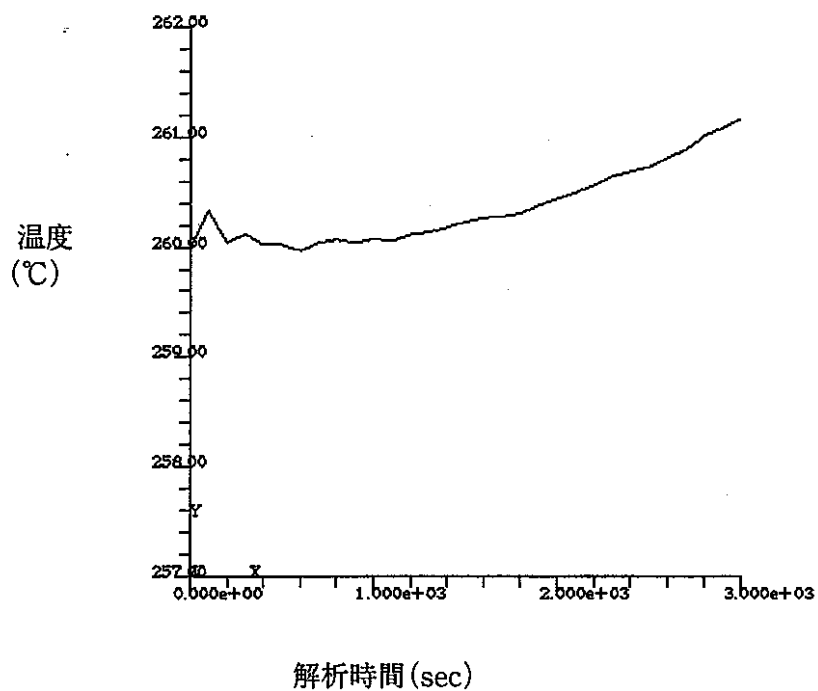


図 3.37 時系列温度グラフ(CASE6:立体領域1)

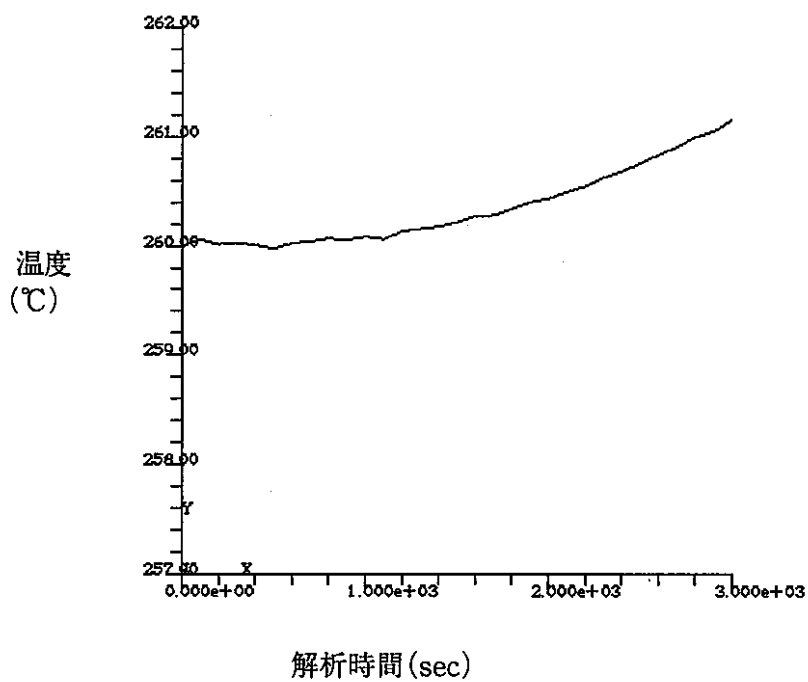


図 3.38 時系列温度グラフ(CASE6:立体領域2)

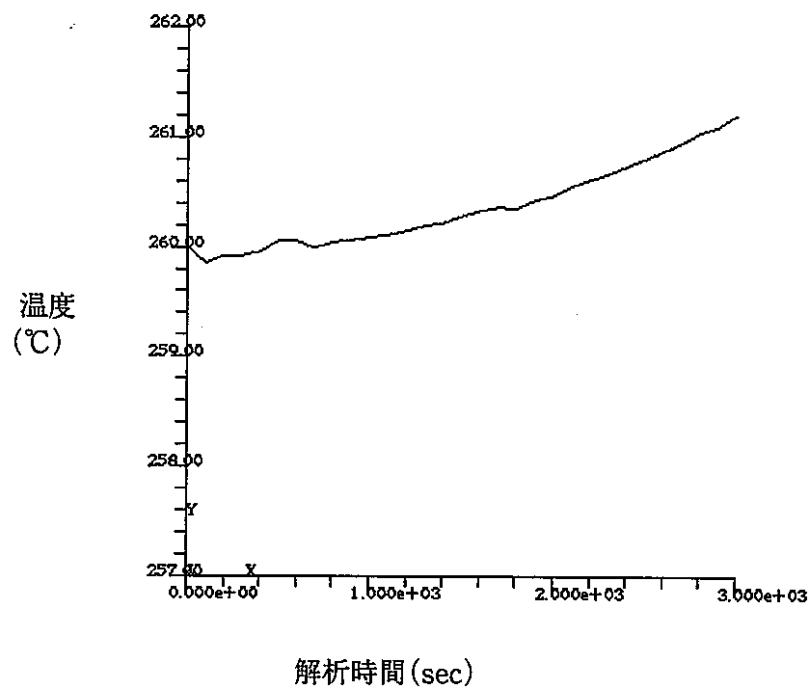


図 3.39 時系列温度グラフ(CASE6:立体領域3)

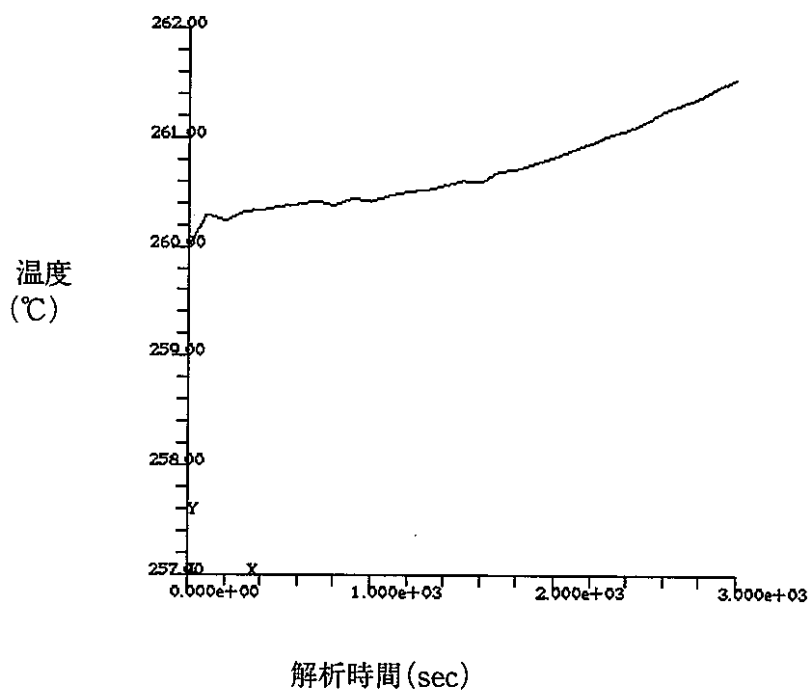


図 3.40 時系列温度グラフ(CASE6:立体領域4)

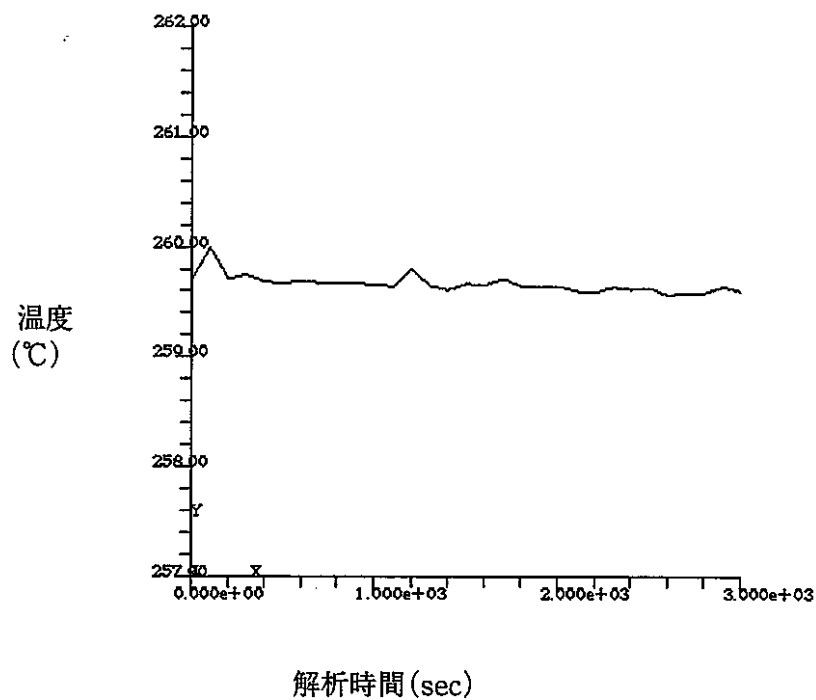


図 3.41 時系列温度グラフ(CASE7:立体領域1)

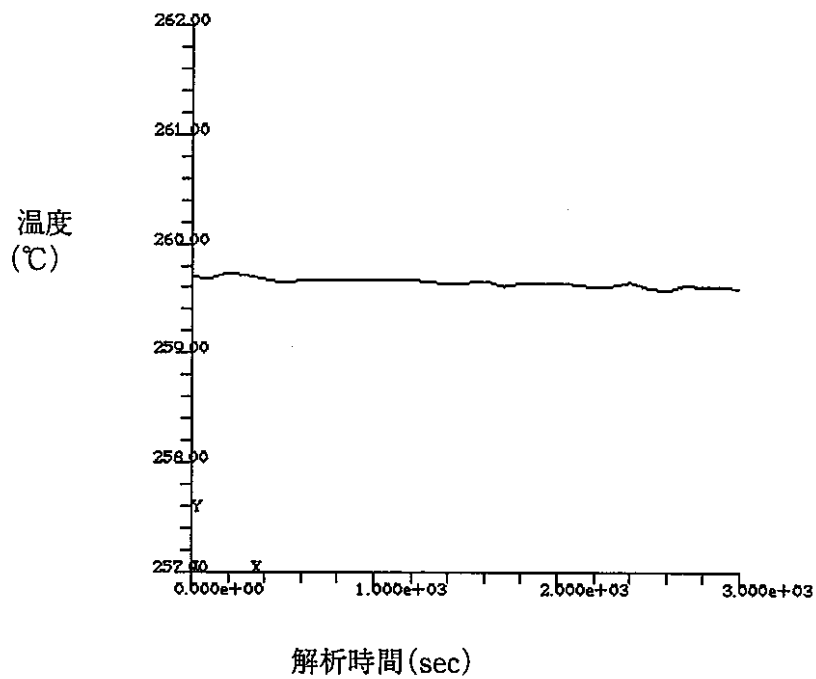


図 3.42 時系列温度グラフ(CASE7:立体領域2)

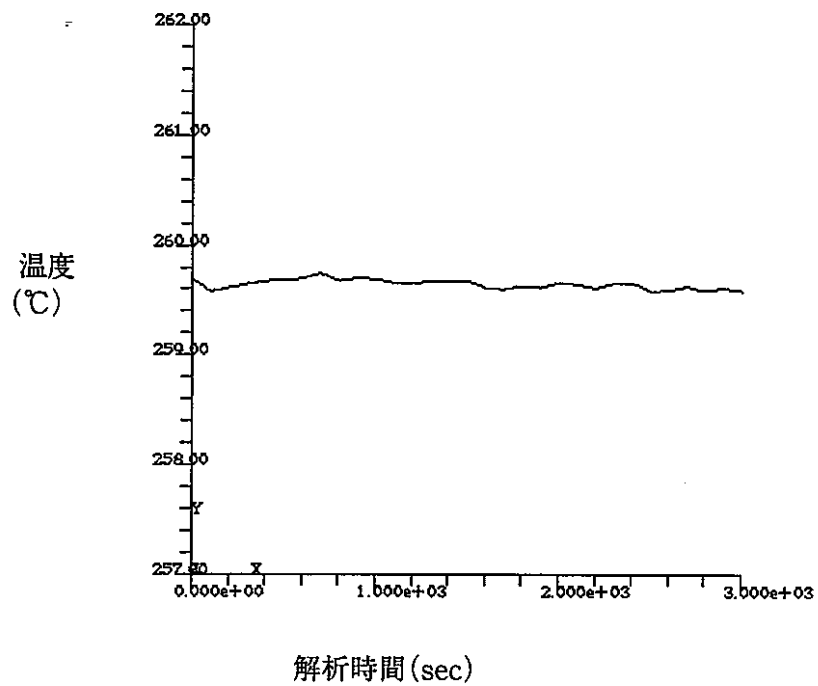


図 3.43 時系列温度グラフ(CASE7:立体領域3)

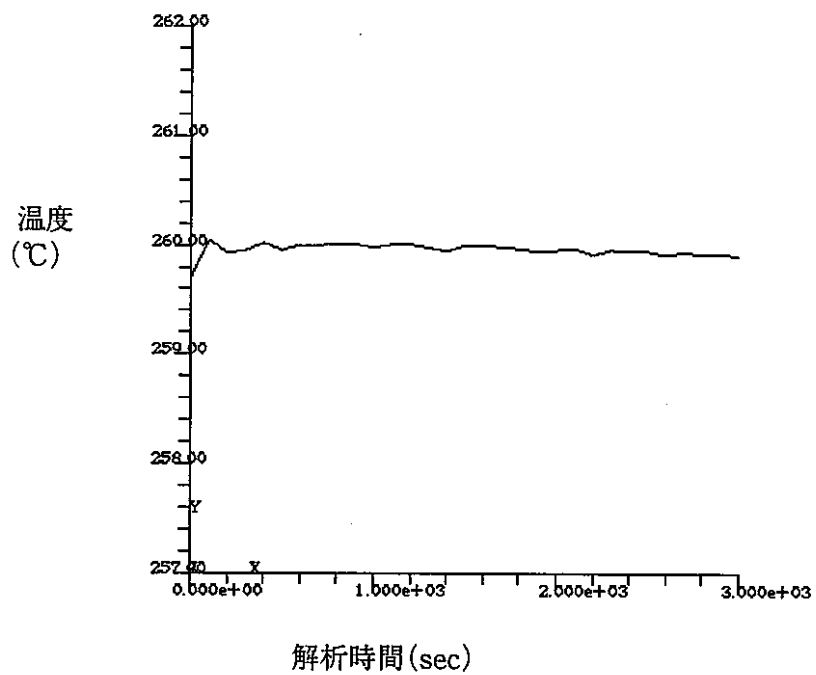


図 3.44 時系列温度グラフ(CASE7:立体領域4)

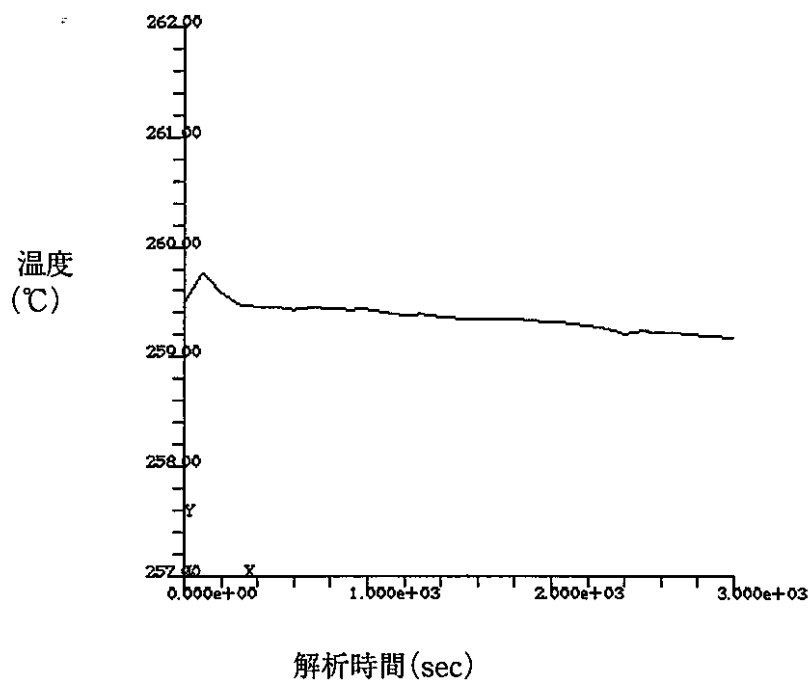


図 3.45 時系列温度グラフ(CASE8:立体領域1)

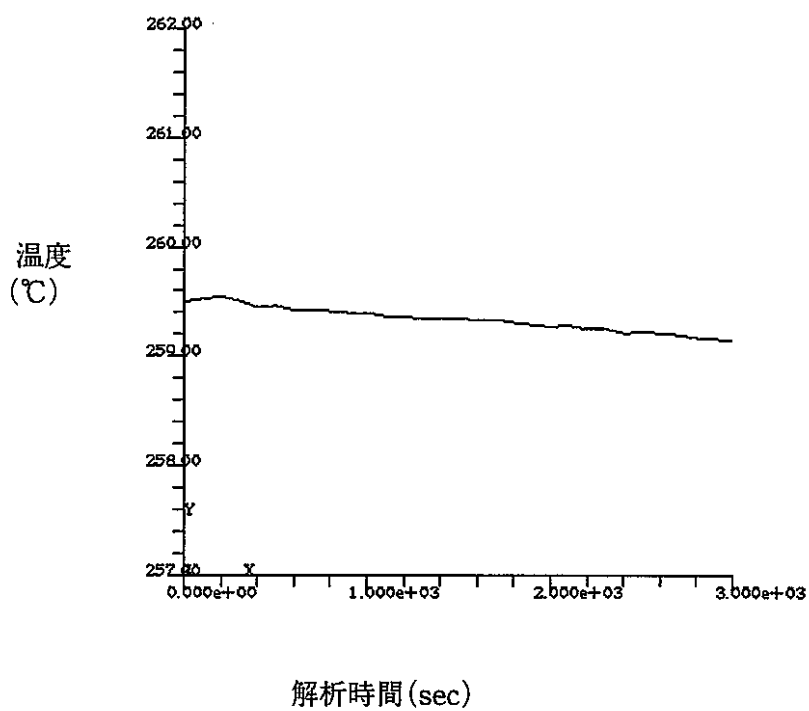


図 3.46 時系列温度グラフ(CASE8:立体領域2)

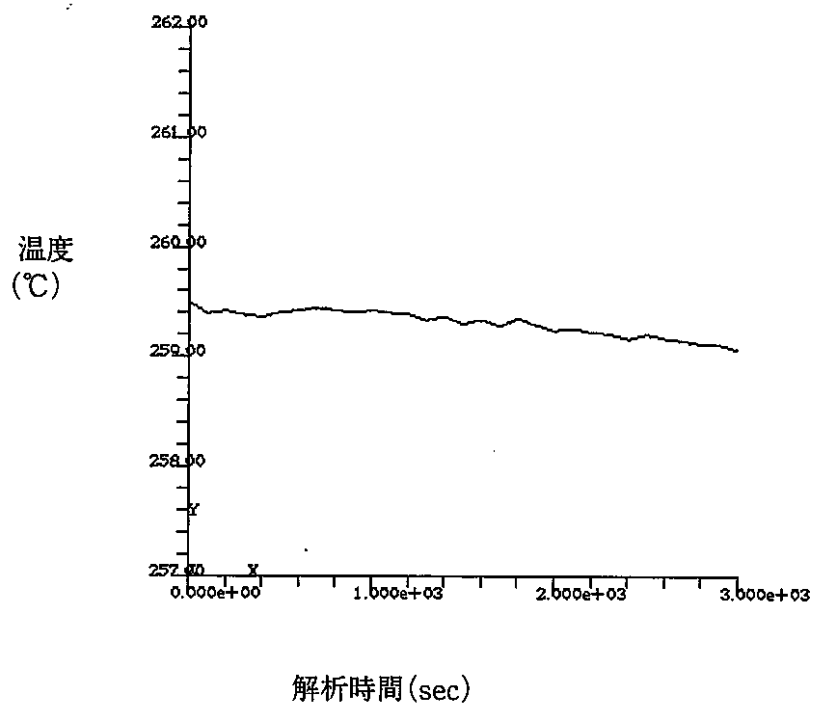


図 3.47 時系列温度グラフ(CASE8:立体領域3)

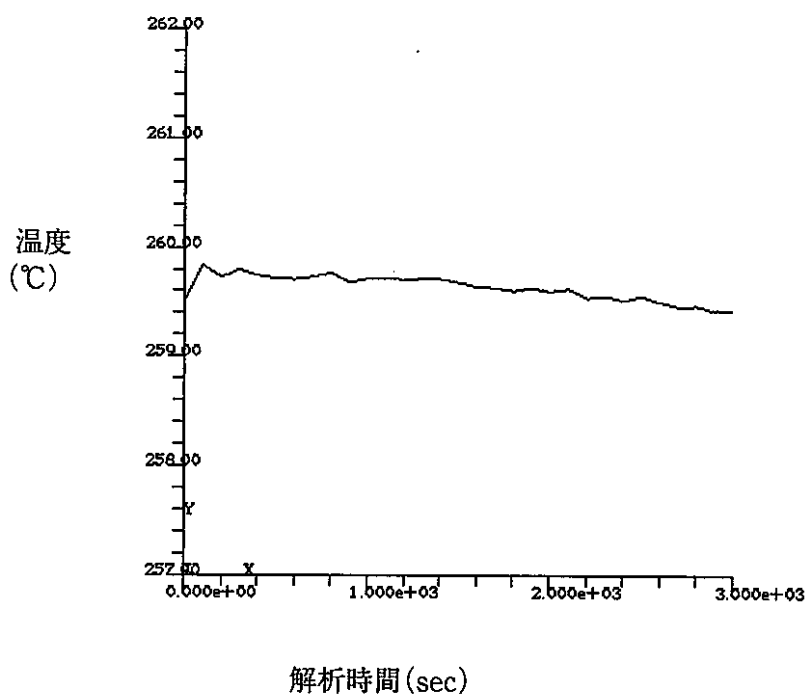


図 3.48 時系列温度グラフ(CASE8:立体領域4)

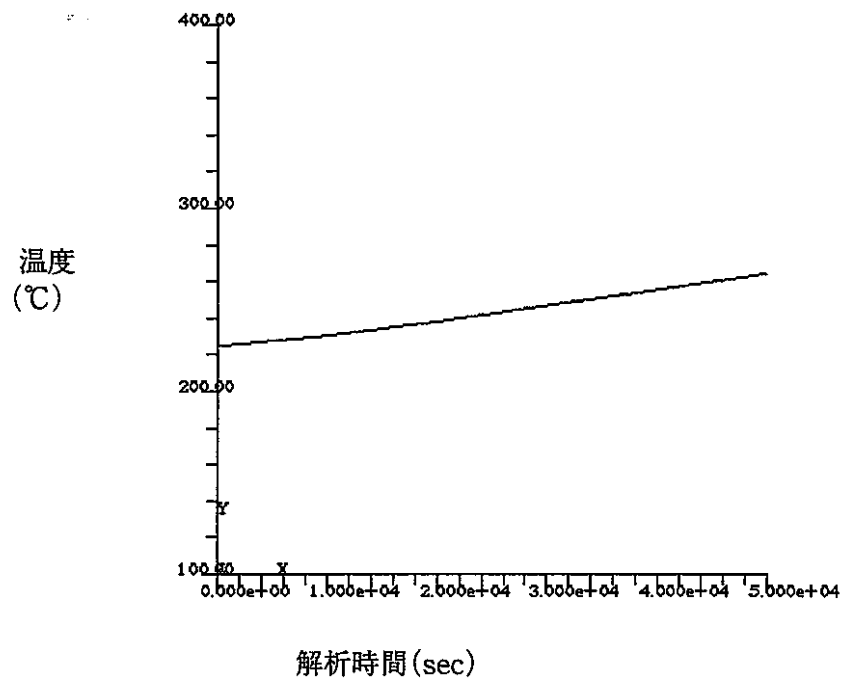


図 3.49 時系列温度グラフ(CASE9:立体領域1)

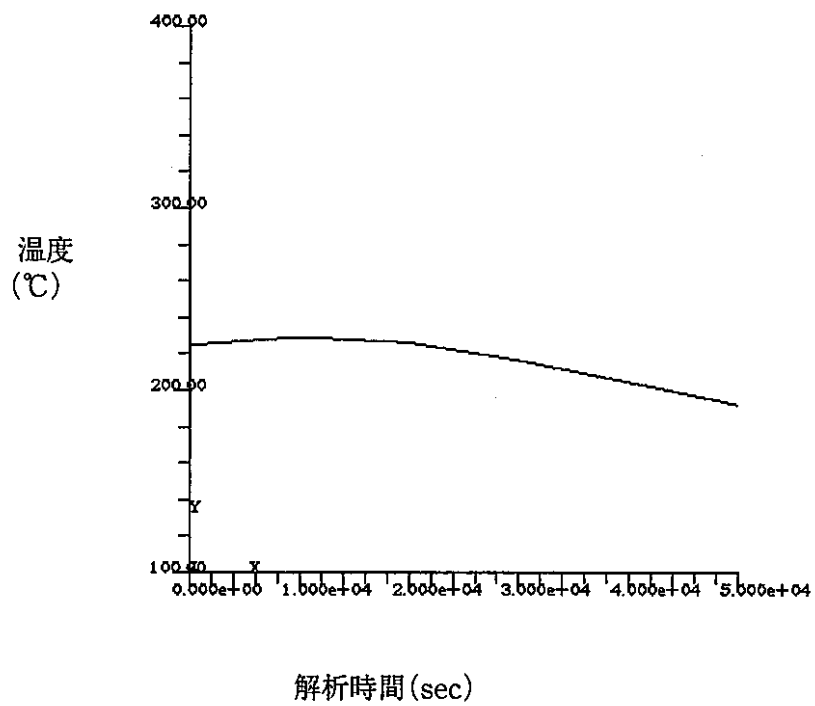


図 3.50 時系列温度グラフ(CASE9:立体領域2)

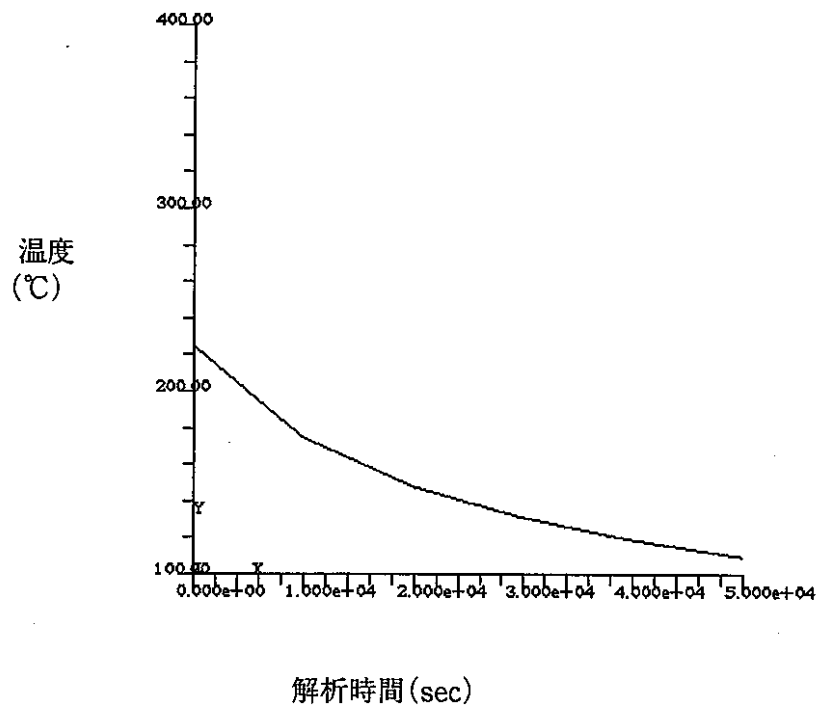


図 3.51 時系列温度グラフ(CASE9:立体領域3)

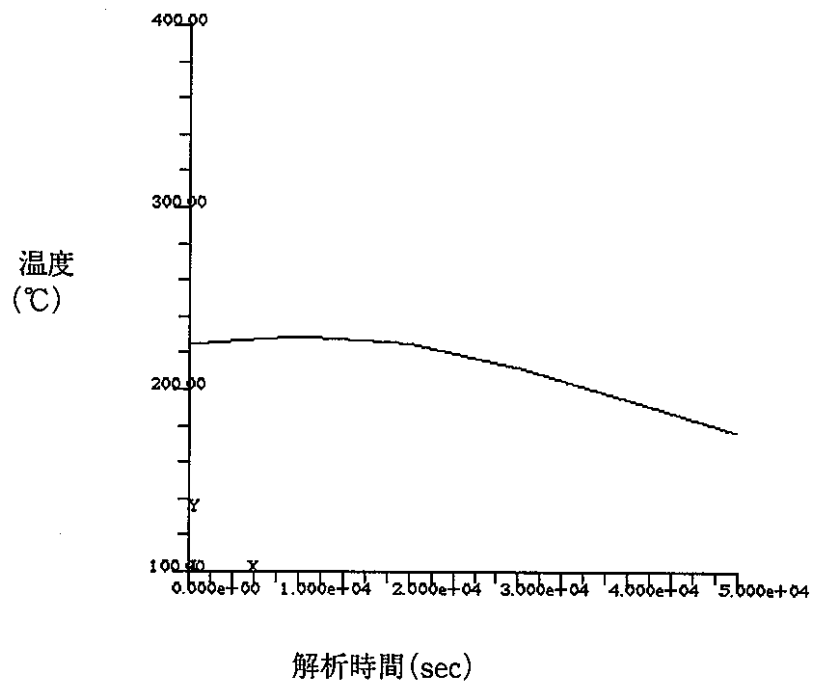


図 3.52 時系列温度グラフ(CASE9:立体領域4)

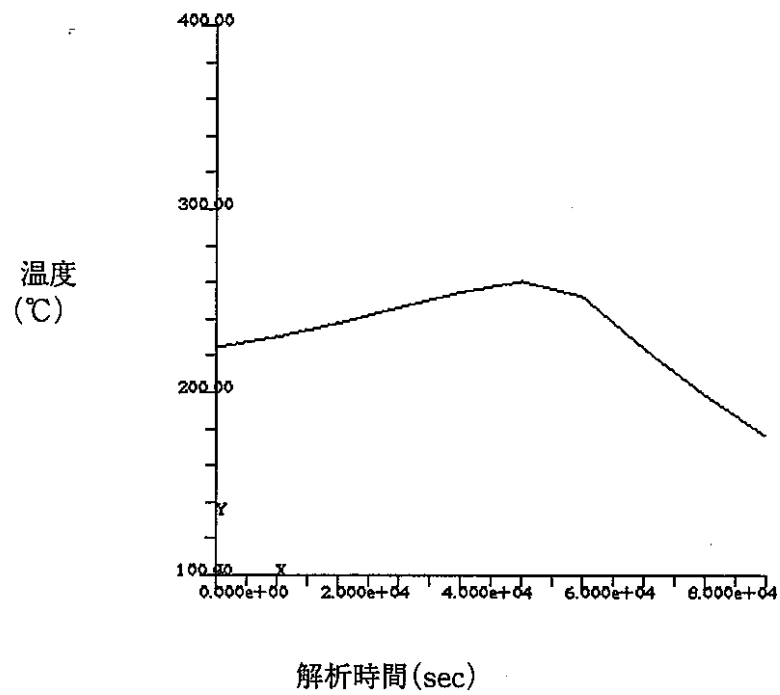


図 3.53 時系列温度グラフ(CASE10:立体領域1)

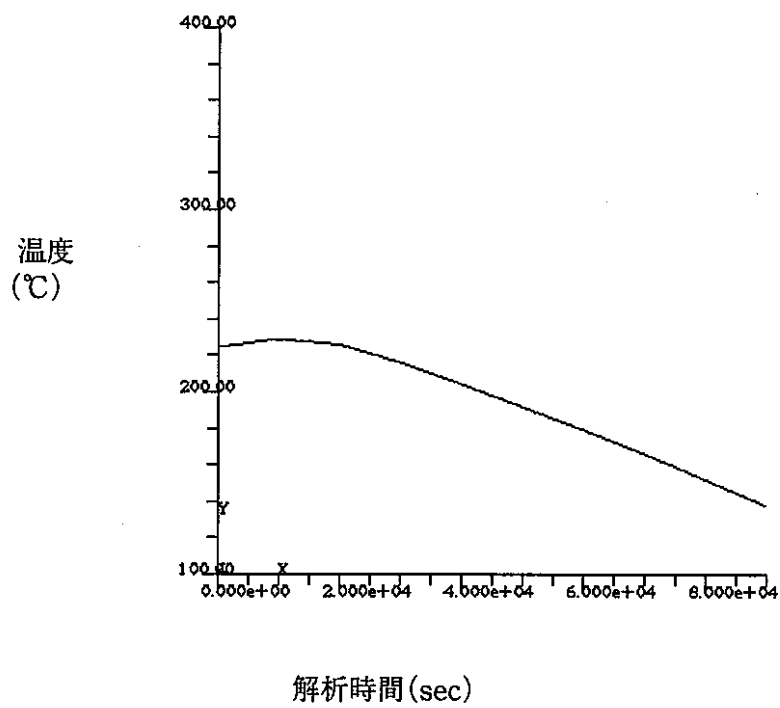


図 3.54 時系列温度グラフ(CASE10:立体領域2)

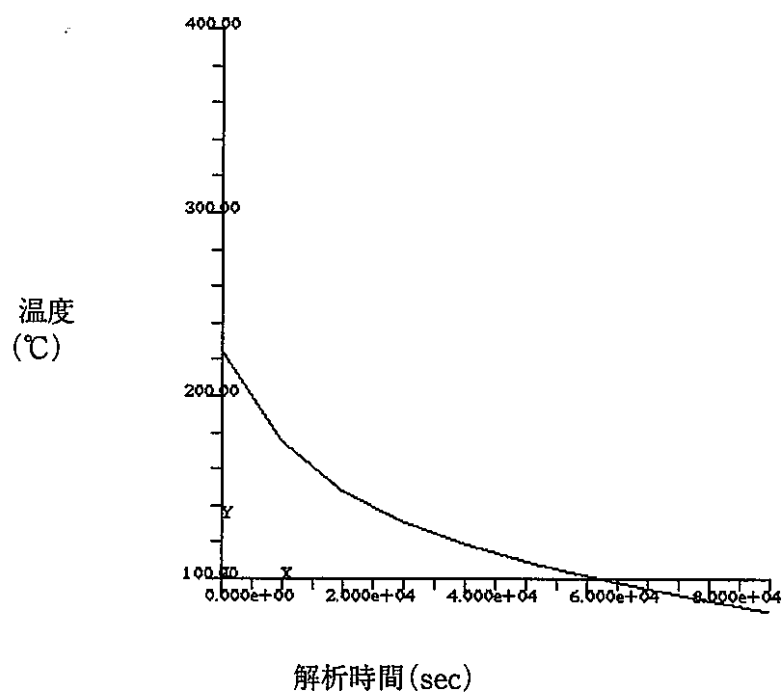


図 3.55 時系列温度グラフ(CASE10:立体領域3)

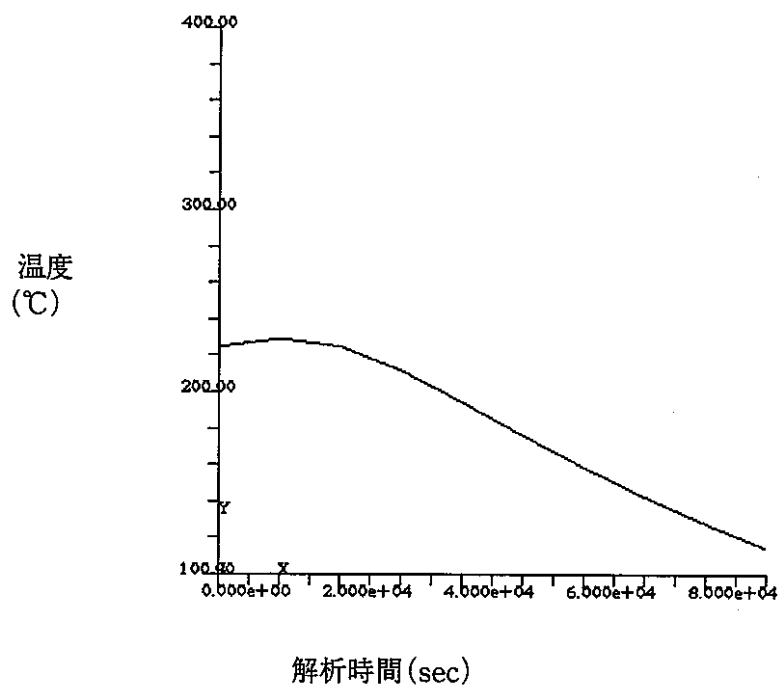


図 3.56 時系列温度グラフ(CASE10:立体領域4)

3.6 考察

各ケース各領域（立体領域1～4）の最終温度の一覧を表3.4に示す。

表 3.4 最終温度一覧

ケース名	立体領域 1 温度(℃)	立体領域 2 温度(℃)	立体領域 3 温度(℃)	立体領域 4 温度(℃)
CASE 1	209.60	209.47	209.38	209.57
CASE 2	209.30	209.25	209.23	209.50
CASE 3	210.62	210.67	210.66	210.99
CASE 4	211.02	211.06	211.05	211.53
CASE 5	220.23	220.23	203.78	220.23

CASE1～4 は全域温度が下降傾向にある。CASE5 のみ一部領域で温度が上昇しているが、このケースは流れのない定常計算であるため、参考になる例とは言い難い。

また、CASE1～4 で最終の温度を比較した場合でも、最大でも約2℃の差しかみられず、今回の解析で設定した内容は温度上昇にはあまり影響しない事が分かる。今後は他のパラメータを変えて解析を行う必要があると思われる。

3.7 まとめ

α -FLOWにより、ドラム缶内の初期温度を変えてアスファルト固化体熱流動解析を行い、時間の経過に伴う温度の上昇、下降の分岐点を求めた結果、非定常計算の場合の分岐点の初期温度は 259.7℃、定常計算の場合の分岐点の初期温度は 224.65℃から 224.7℃の間であった。

3.8 α -FLOW のソース改造について

今回の解析を行う前に、 α -FLOW のソルバーのソースに直接手を加える方法で、発熱量の式を変更した。以下に、その内容について記述する。

①改造理由

発熱量の算出式として、高温の式 (Q_1) と低温の式 (Q_2) があり、実際の発熱量は $Q_1 + Q_2$ で表される。現在の α -FLOW ではどちらか一方の式しか設定できないため。

②改造内容：発熱量算出の式を以下の形式で算出できるようにする。

$$Q = Q_1 + Q_2 = A \cdot \exp(B/(T+C)) + D + E \cdot \exp(F/(T+G)) + H$$

ただし、 T ：温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 A, B, C, D ：任意の指定可

E, F, G, H ：値固定

③改造方法：富士総合研究所からの指示により、ソルバーのソースに直接

$$Q_2 = E \cdot \exp(F/(T+G)) + H$$

の式を盛り込む。

今まで、 α -FLOW 改造の場合は富士総合研究所に依頼していたが、今回は原因究明班の要望により、HTSにて直接改造を施す方法を採用することになった。

この改造方法を選んだ場合、

①改造費用がかからない（富士総合研究所からの指示、はサービス）

②改造に伴う諸手続きを省くことができ、時間も節約できる。

等のメリットがある。

以下に、実際の改造ソースリストを示す。

α-FLOW のソース"FE2. FOR"内のサブルーチン FHSCT の一部

ソース内容	行番号	変更行
C-----<< HEAT SOURCE(TEMPDEPEND) >>---	00014600	
CUPDATE 97.8.13 TEMPERATURE DEPENDENT MODIFIED BY TANAKA START	00014700	
C	00014800	
NORDR =4	00014900	
C write(*,*) 'kqhsc (fhsct) =', kqhsc	00015000	
C	00015100	
DO 100 LL=1,NT1P	00015200	
IJK=IT1(4,LL)	00015300	
C	00015400	
QQQ = 0.0D0	00015500	
C*****	00015600	
IF(KQHSC.EQ.0) THEN	00015700	
DO 110 L=1,NORDR	00015800	
QQQ=QQQ*TT(IJK)+AQHSCO(L)	00015900	
110 CONTINUE	00016000	
ELSEIF (KQHSC.EQ. 1) THEN	00016100	
C	00016200	
C EXPONETIAL CALCULATION R=A*EXP(B/(T+C))+D	00016300	
C	00016400	
CA = AQHSCO(1)	00016500	
CB = AQHSCO(2)	00016600	
CC = AQHSCO(3)	00016700	
CD = AQHSCO(4)	00016800	
C	00016900	追加
CE = 7.45D10	00017004	追加
CF = -76/0.008317	00017104	追加
CG = 273	00017204	追加
CH = 0	00017304	追加
C	00017404	
C1 = TT(IJK)+CC	00017501	
C2 = SIGN(1.0D0,C1)*MAX(ABS(C1),EPS)	00017601	
C3 = TT(IJK)+CG	00017704	追加
C4 = SIGN(1.0D0,C3)*MAX(ABS(C3),EPS)	00017804	追加
C	00017902	追加
QQQ = CA*EXP(CB/C2)+CD + CE*EXP(CF/C4)+CH	00018004	変更
ELSE	00018102	
WRITE(*,*) 'ERROR TEMPERATURE INPUT (FHSCT)'	00018202	
STOP	00018302	
ENDIF	00018402	
C*****	00018502	
DHDT(IJK)=DHDT(IJK)+QQQ*GV(IJK)	00018602	
CTANAKA828	00018702	
CCC WRITE(*,*) 'QQQ NT1P IJK', IJK, '=', QQQ	00018802	
C	00018902	
100 CONTINUE	00019002	
C	00019102	
DO 120 LL=1,NT2P	00019202	
IJK=IT2(4,LL)	00019302	
C	00019402	

ソース内容	行番号	変更行
QQQ = 0.0D0	00019502	
C*****	00019602	
IF (KQHSC.EQ. 0) THEN	00019702	
DO 130 L=1, NORDR	00019802	
QQQ=QQQ*TT(IJK)+AQHSCO(L)	00019902	
130 CONTINUE	00020002	
ELSEIF (KQHSC.EQ. 1) THEN	00020102	
C	00020202	
C EXPONETIAL CALCULATION R=A*EXP(B/(T+C))+D	00020302	
C	00020402	
CA = AQHSCO(1)	00020502	
CB = AQHSCO(2)	00020602	
CC = AQHSCO(3)	00020702	
CD = AQHSCO(4)	00020802	
C	00020903	追加
CE = 7.45D10	00021004	追加
CF = -76/0.008317	00021104	追加
CG = 273	00021204	追加
CH = 0	00021304	追加
C	00021603	
C1 = TT(IJK)+CC	00021703	
C2 = SIGN(1.0D0, C1)*MAX(ABS(C1), EPS)	00021803	
C3 = TT(IJK)+CG	00021904	追加
C4 = SIGN(1.0D0, C3)*MAX(ABS(C3), EPS)	00022004	追加
QQQ = CA*EXP(CB/C2)+CD + CE*EXP(CF/C4)+CH	00022204	変更
ELSE	00022303	
WRITE(*,*) 'ERROR TEMPERATURE INPUT (FHSCT)'	00022403	
STOP	00022503	
ENDIF	00022603	
C*****	00022703	
DHDT(IJK)=DHDT(IJK)+QQQ*GV(IJK)	00022803	
CTANAKA828	00022903	
CCC WRITE(*,*) 'QQQ NT2P IJK', IJK, '=', QQQ	00023003	
C	00023103	
120 CONTINUE	00023203	
CUPDATE 97.8.13 TEMPERATURE DEPENDENT MODIFIED BY TANAKA END	00023303	

4 アスファルト充填室の流れ解析 (FLOWMEL)

アスファルト充填室内の空気の流れの解析を行った。

本来アスファルト充填室にはアスファルトとともに廃棄物を充填されたドラム缶が置かれているが、今回の解析ではそれを考慮に入れていない。単純にアスファルト充填室内の流れを解析し、原因究明班より指定された箇所の流速を求めた。

4.1 解析内容

アスファルト充填室内の空気の流れを推測するため、熱に関する計算は行っていない。解析のモデルは、実際のアスファルト充填室の図面を元に作成され、空気の流入流出口の場所も実際の場所と同じである。ただし、空気の流入流出量に関しては流出量のみが知られており、そのため流入量は流出量から換算するという方法を用いて値を求めている。

また、本来アスファルト充填室にはアスファルトとともに廃棄物を充填されたドラム缶が置かれているが、それを考慮しない解析を行った。

4.2 解析条件

解析に用いたモデルのメッシュ図を図 4.1 に示す。

また、解析に用いた条件、および各種物性値は以下の通りである。

(1) 充填室からの流出量は、 $4000 \text{ (m}^3/\text{h)} \times 3$ (図 4.1 ⑧～⑩)、 $525 \text{ (m}^3/\text{h)}$ (ファン排気：図 4.1 ⑪)とする。

(2) 充填室への流入量は、流出量より算出。

つまり、流出する量と同じ量が流入されると仮定して計算した。

1カ所あたりの流入量 $= (12000 + 525) / 7 = 1789.2 \text{ (m}^3/\text{h)}$ (図 4.1 ①～⑦)

各流入、各流出口の速度は、

流入速度 $= 1789.2 / 3600 / 0.5 / 0.5 = 1.99 \text{ (m/s)}$ 注)

流出速度 $= 4000 / 3600 / 0.7 / 0.7 = 2.27 \text{ (m/s)}$

ファン排気速度 $= 525 / 3600 / 0.14 / 0.14 = 7.44 \text{ (m/s)}$ 注)

注) 各流入口とファン排気口の形は円形であるが、解析で用いるメッシュの形状の関係で、直径を一辺の大きさとした正方形として計算した。

(3) 各物性値 (空気)

粘性係数： $18.0 \times 10^{-6} \text{ (Pa} \cdot \text{s)}$

流体密度： $1.293 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

4.3 解析結果

「図 4.1 メッシュ図」内に示す、E、F、G、H の断面の流速ベクトル図を図 4.2 ～図 4.5 にそれぞれ示す。

また、「図 4.1 メッシュ図」内の T、C1-1、C1-2、C1-3、C1-4、C2-1、C2-2、C2-3、C2-4 は、流速値抜き出しのために原因究明班より指定された箇所である。それら合計 9 カ所の流速一覧を表 4.1 に示す。

指定された箇所では、流速充填室から流出する空気の流れの速度 (2.27 m/s) の約 5.2～13.6% の速度の空気の流れが維持されていることを示している。

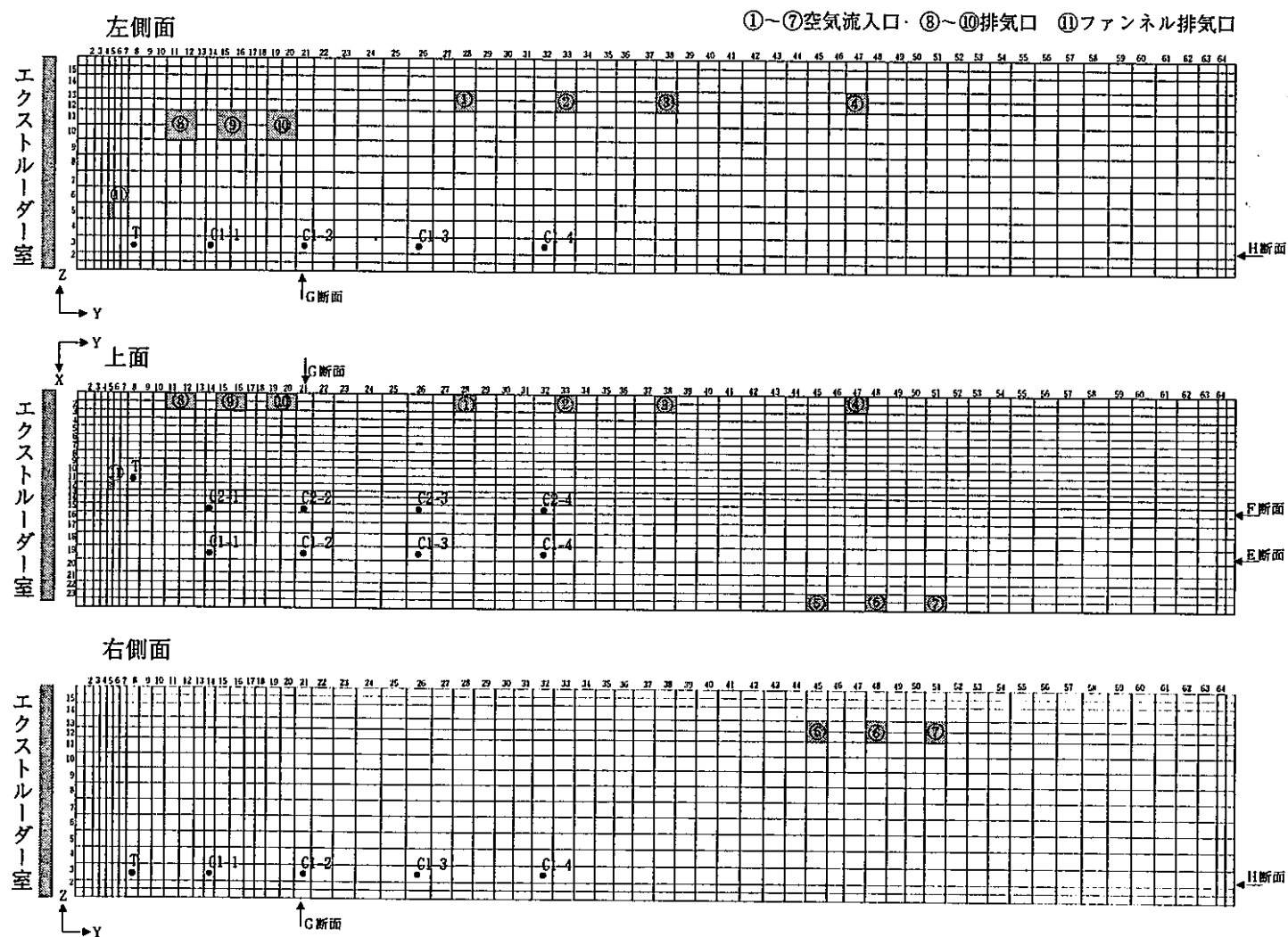


図 4.1 メッシュ図

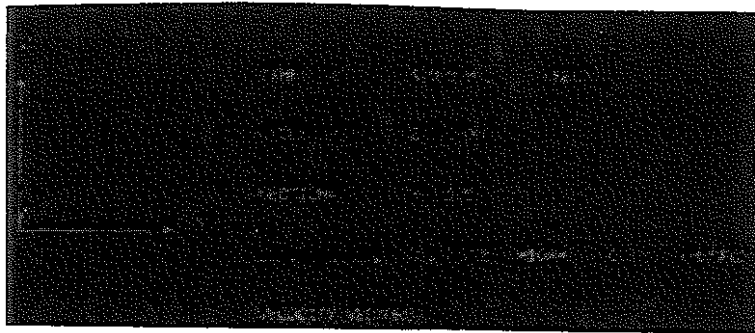


図 4.2 流速ベクトル図－E断面

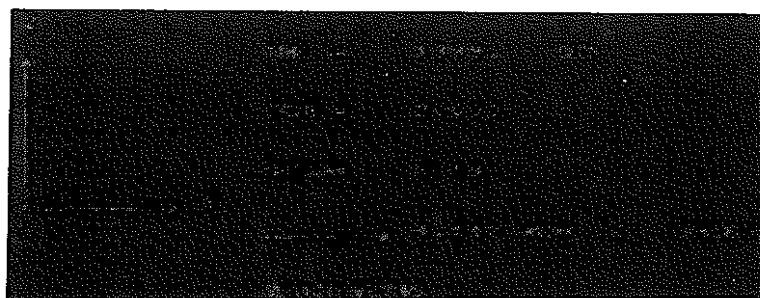
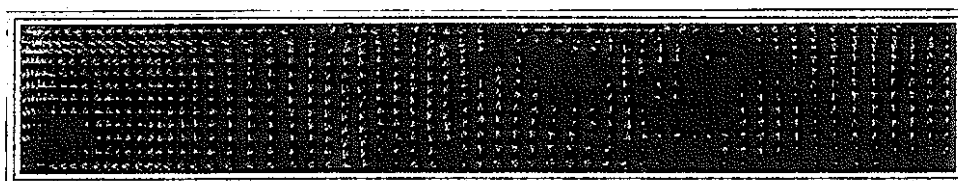


図 4.3 流速ベクトル図－F断面

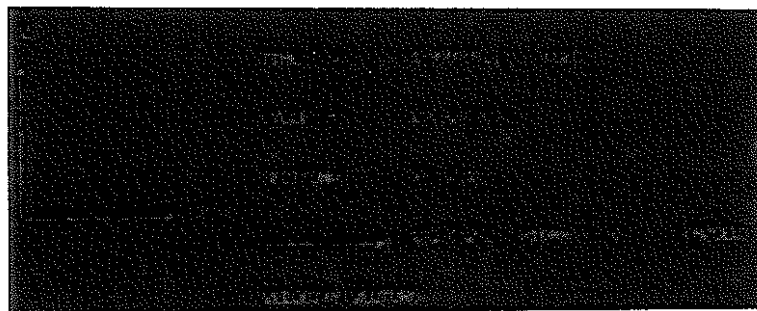
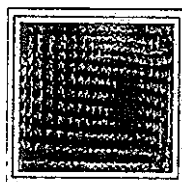


図 4.4 流速ベクトル図－G断面

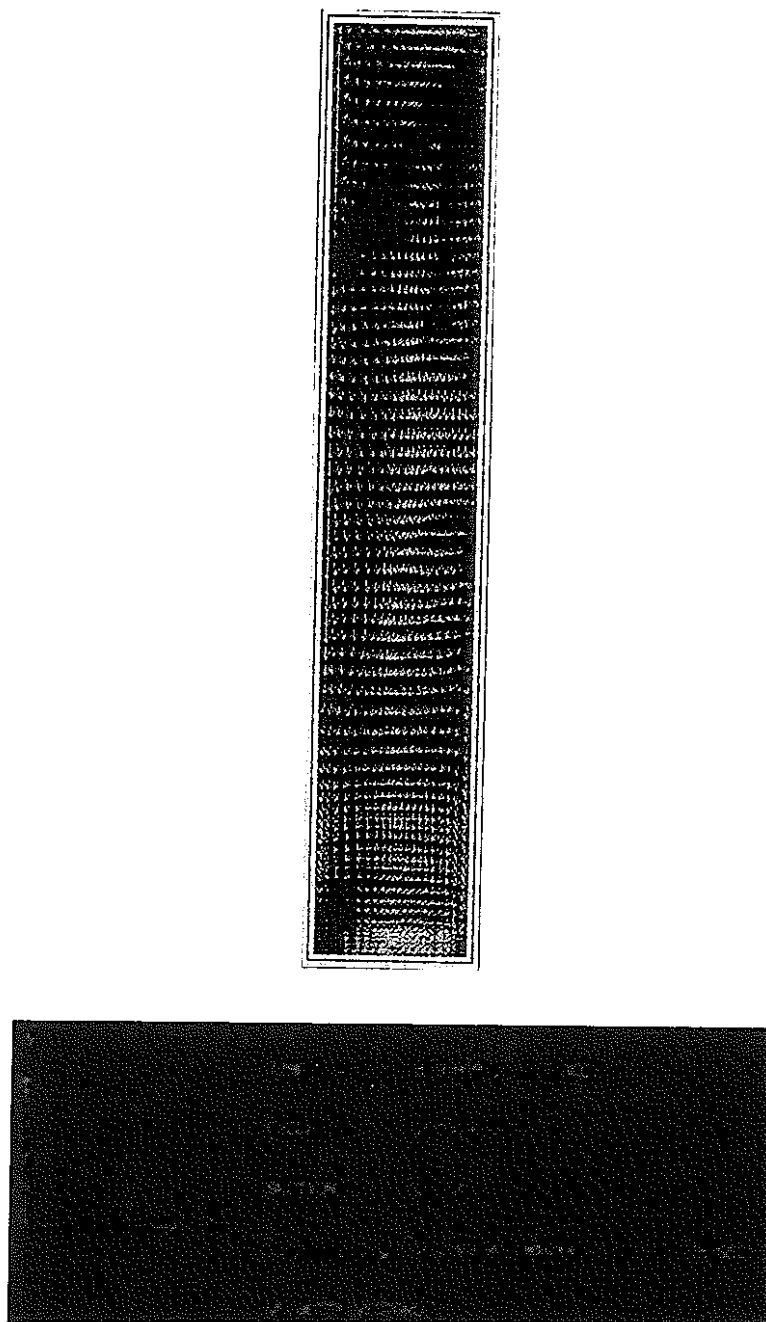


図 4.5 流速ベクトル図－H断面

表 4.1 各測定点の流速値一覧

測定点	座標(mm) x y z	セル座標	流速 u(m/s)	流速 v(m/s)	流速 w(m/s)	流速ベクトル 絶対値(m/s)
T	2300, 1600, 1000	11, 8, 3	-0.126	-0.0042	0.0459	0.1342
C 1 - 1	3725, 3400, 1000	19, 14, 3	-0.0553	-0.1548	-0.057	0.1740
C 1 - 2	3725, 5900, 1000	19, 21, 3	-0.0776	-0.1429	-0.1008	0.1913
C 1 - 3	3725, 8925, 1000	19, 26, 3	-0.0861	-0.1339	-0.0903	0.1830
C 1 - 4	3725, 11950, 1000	19, 32, 3	-0.07	-0.1868	-0.0519	0.1898
C 2 - 1	2829, 3400, 1000	15, 14, 3	-0.0744	-0.0963	-0.0026	0.1217
C 2 - 2	2829, 5900, 1000	15, 21, 3	-0.11	-0.1003	-0.0202	0.1502
C 2 - 3	2829, 8925, 1000	15, 26, 3	-0.2141	-0.2133	-0.0438	0.3054
C 2 - 4	2829, 11950, 1000	15, 32, 3	-0.1373	-0.2044	0.0706	0.2562

4.4 まとめ

FLOWMELにより、アスファルト充填室の流動解析を行った結果、各ポイントで 0.12~0.30m/s の空気の流れがあることが判った。

5 エクストウルーダの熱伝導解析

汎用熱流動解析コード「FINAS」を用いて、エクストウルーダの熱伝導解析を行った。本解析は、原因究明班の指示により解析のパラメータとして発熱量、初期温度、発熱密度をそれぞれ変えて行ったものである。

5.1 目的

発熱量、初期温度、発熱密度をそれぞれ変えて解析を行い、それらの解析結果によりエクストウルーダの温度上昇の傾向を探る。

5.2 解析対象

5.2.1 解析モデル

解析対象は、図 5.1 に示すエクストウルーダの全体図の内、中間に位置する Zone7（エクストウルーダの中間部分）である。Zone7 の 3 次元メッシュ図を図 5.2 に示す。なお、これら解析対象のモデルデータは原因究明班より提供されたものである。

5.2.2 熱電対温度計の位置

Zone7 には 1 カ所だけ熱電対の温度計があり、その観測データが実際のエクストウルーダの様子と解析結果とを比較できる唯一のものとなっている。Zone7 の断面図とその熱電対温度計の位置を、図 5.3 に示す。

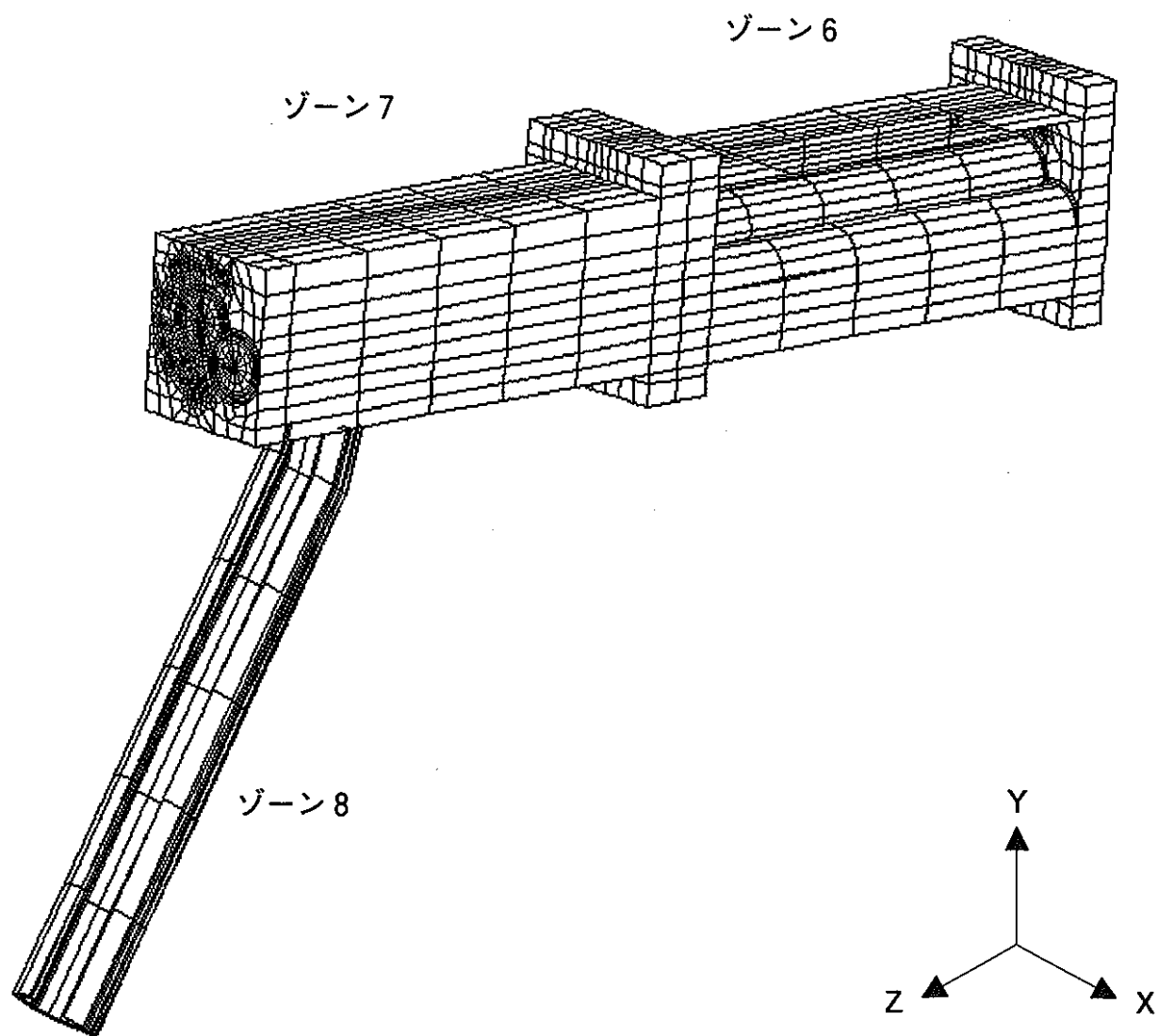


図 5.1 エクストルーダの3次元メッシュ図

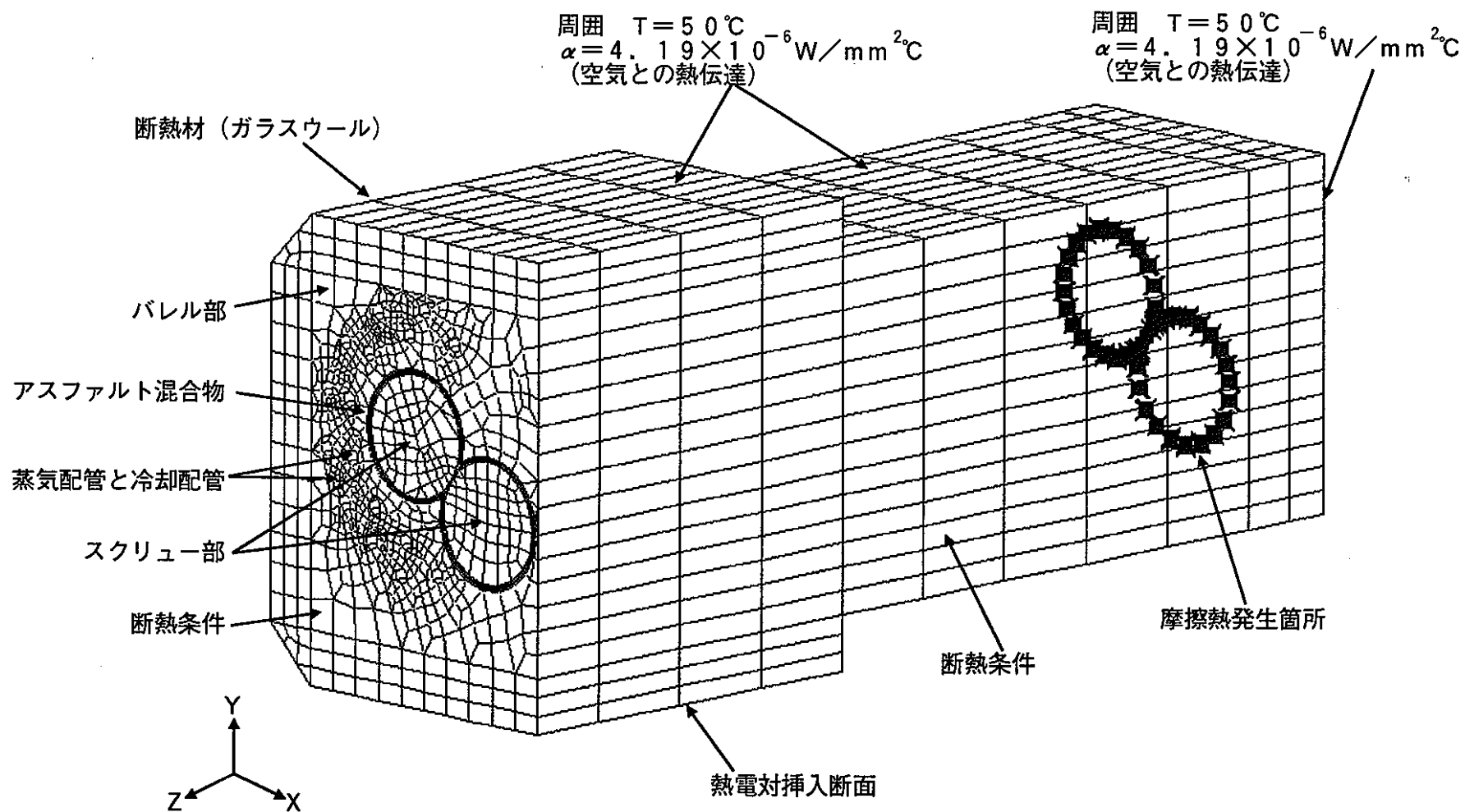


図 5.2 Zone7モデル図

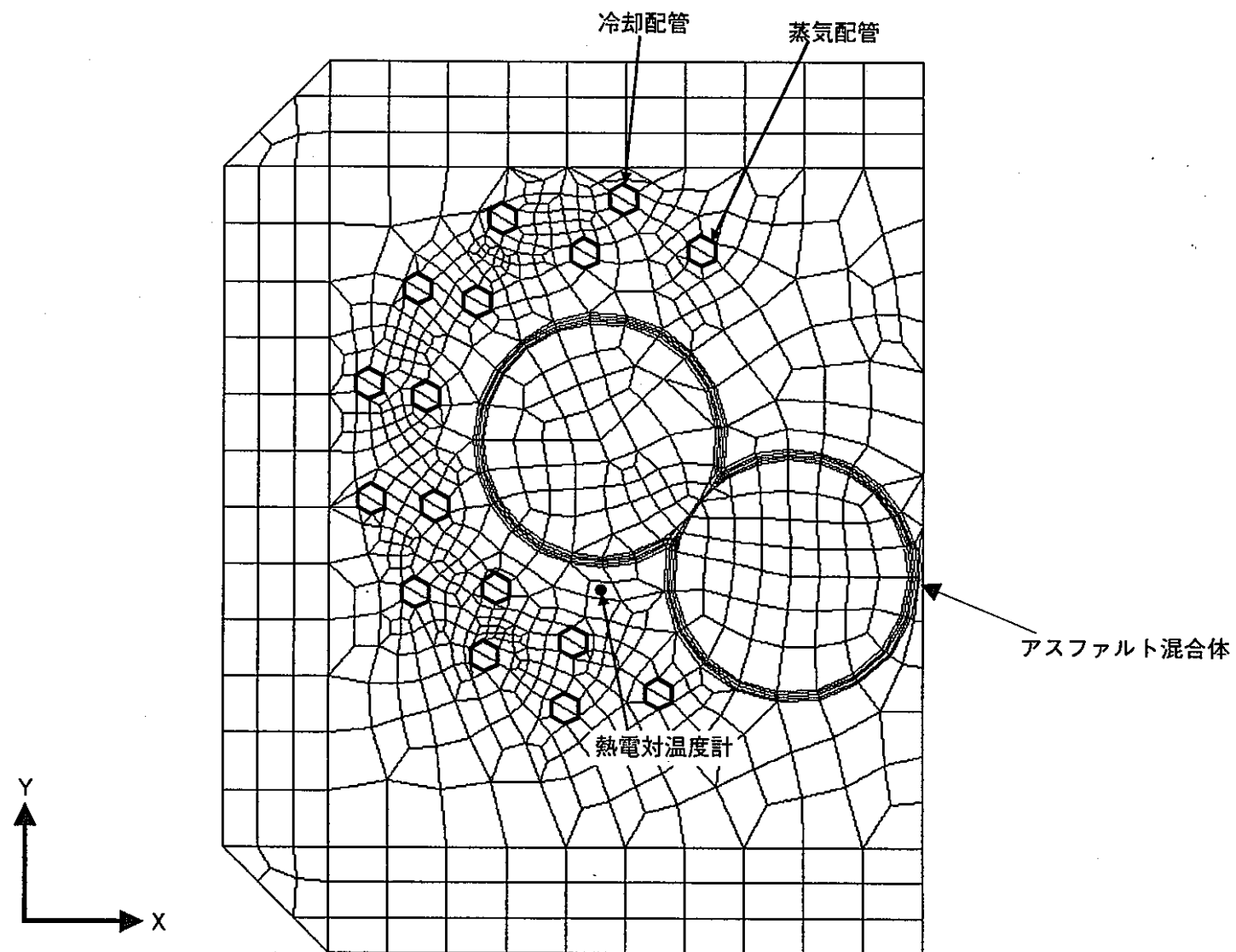


図 5.3 Zone7部分横断面のメッシュ図

5.3 解析条件

本解析では発熱密度の変化は、同じ発熱量で発熱の領域を増減することにより設定している。つまり、水平方向1メッシュの部分だけ発熱領域を設定した場合の1要素あたりの発熱量を1とすると、水平方向3メッシュでは発熱量 $1/3$ 、水平方向5メッシュでは発熱量 $1/5$ 、となる。

図 5.4 にそれぞれの発熱密度の発熱の領域を示す。

本解析は3次元の熱伝導・定常解析である。各物性値の値を表 5.1 に示す。また、発熱密度、初期温度、発熱量の各パラメータの設定値を表 5.2 に示す。

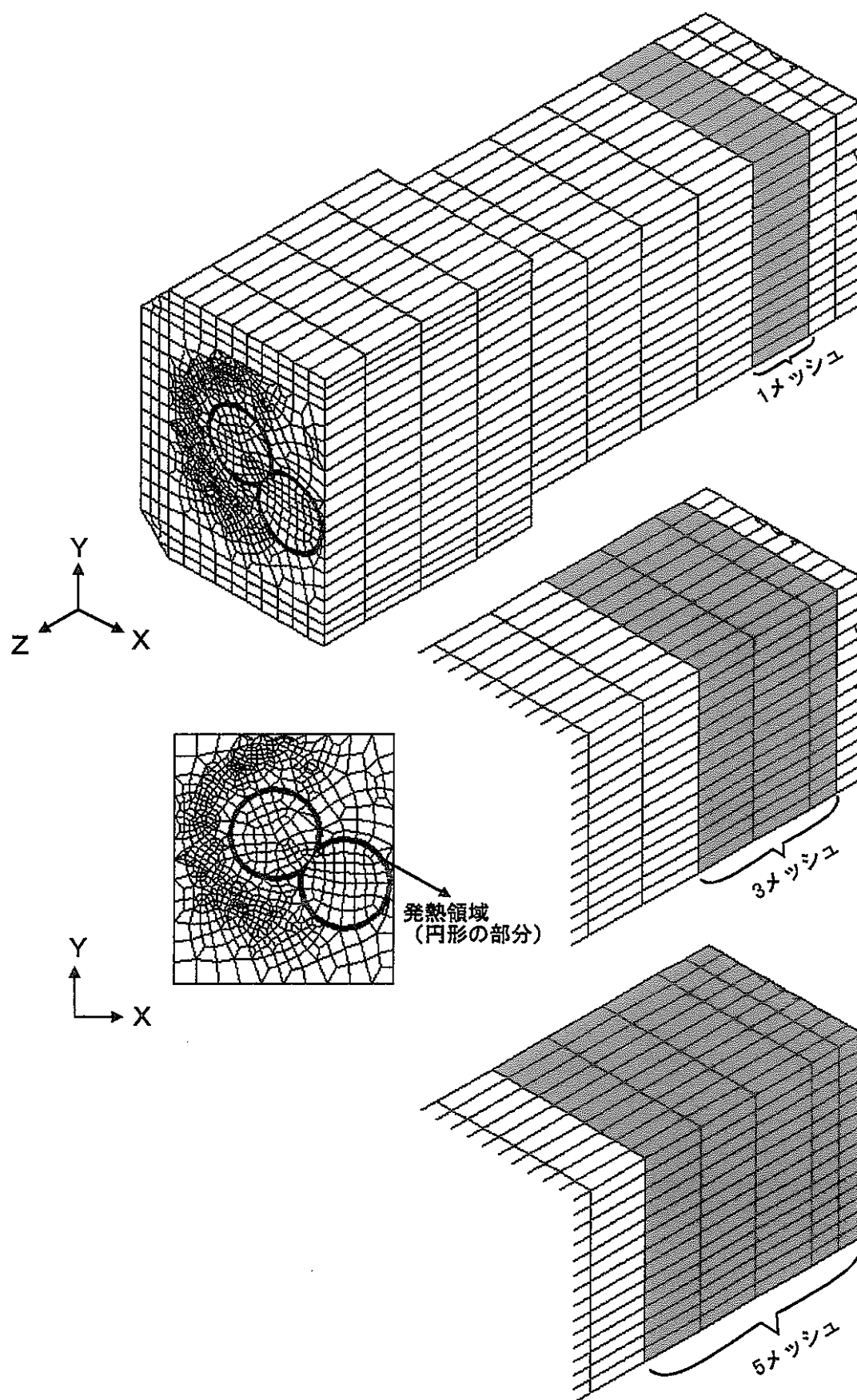


図5.4 発熱密度に係わる発熱領域の設定

表 5.1 物性値

材料名	温度 (°C)	密度 (kg/m ³)	比 熱 (kJ/kgK)	熱 伝 導 率 (W/mK)
アスファルト塩混合物	293	1350	1.426	0.305
	393	1277	1.663	0.249
	493	1212	1.9	0.193
	593	1153	2.137	0.137
スクリー部分 (機械構造用炭素鋼 S35C)	300	7850	0.465	43
	500	7790	0.528	38.6
	800	7700	0.622	27.7
バレル部分 (1%Cr-Mo 鋼)	300	7830	0.433	43
	500	7770	0.479	41.7
	800	7680	0.546	34.8
グラスウール	293	32	0.81	0.034
	450	32	0.81	0.057

表 5.2 各パラメータの設定内容

発熱密度	初期温度 (℃)	発熱量	
		総発熱量(k W)	1 要素当たり(kcal/s)
水平方向 1 メッシュ分	170	1	3.68E-07
		8	2.94E-06
		10	3.68E-06
	175	1	3.68E-07
		10	3.68E-06
	180	1	3.68E-07
		10	3.68E-06
	185	1	3.68E-07
		10	3.68E-06
水平方向 3 メッシュ分	170	1	1.23E-07
		10	1.23E-06
	175	1	1.23E-07
		10	1.23E-06
	180	1	1.23E-07
		10	1.23E-06
	185	1	1.23E-07
		10	1.23E-06
水平方向 5 メッシュ分	170	1	7.35E-08
		10	7.35E-07
	175	1	7.35E-08
		10	7.35E-07
	180	1	7.35E-08
		10	7.35E-07
	185	1	7.35E-08
		10	7.35E-07

5.4 解析結果

各パラメータで解析を行った場合の温度コンター図を図 5.5 ～ 5-29 に示す。

また、各発熱密度につき、初期温度別の発熱量对各种温度データを表 5.3～5.5 に、グラフを図 5.30 ～ 5.38 に示す。

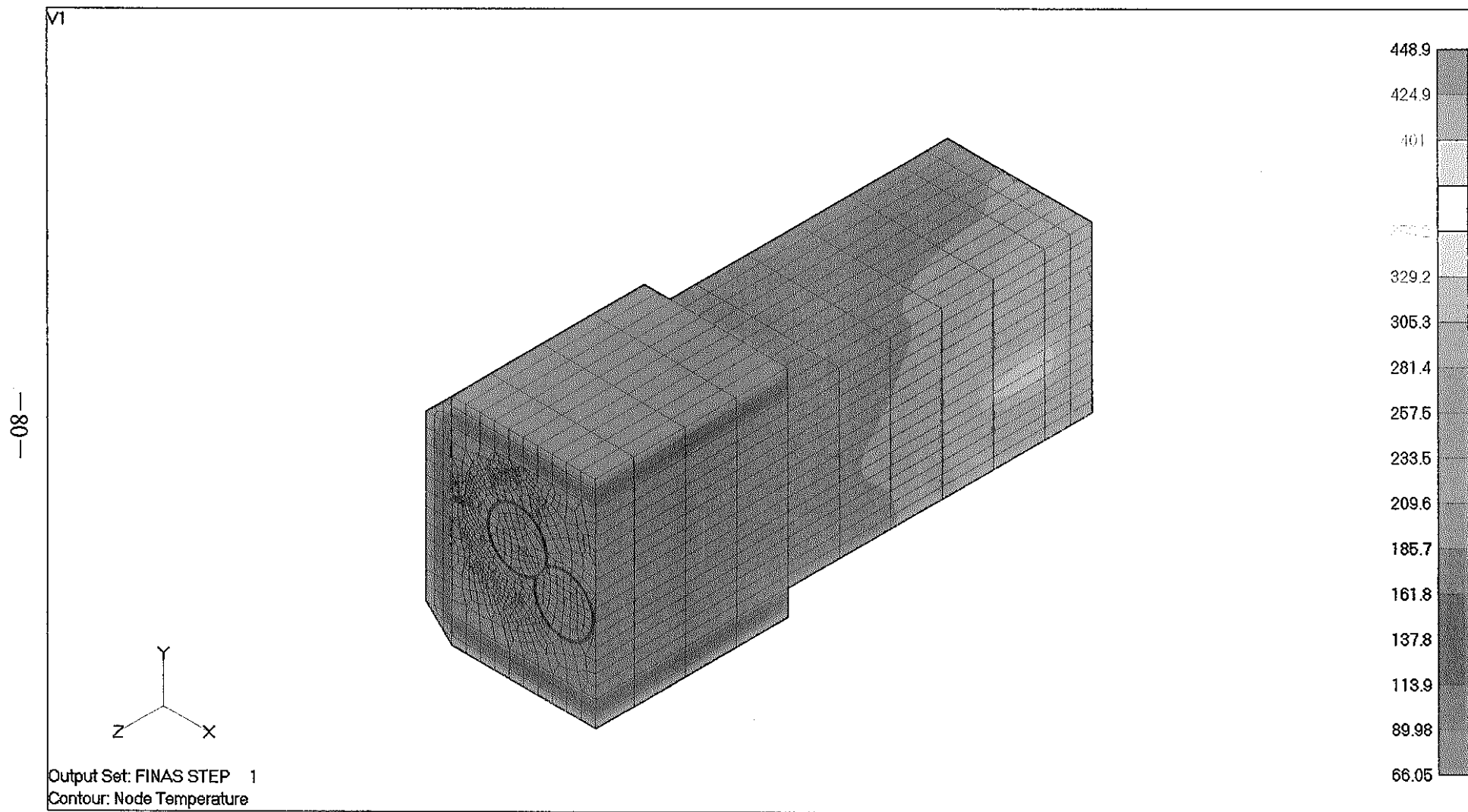


図 5.5 温度コンター図 (1 メッシュ・170℃・8kW)

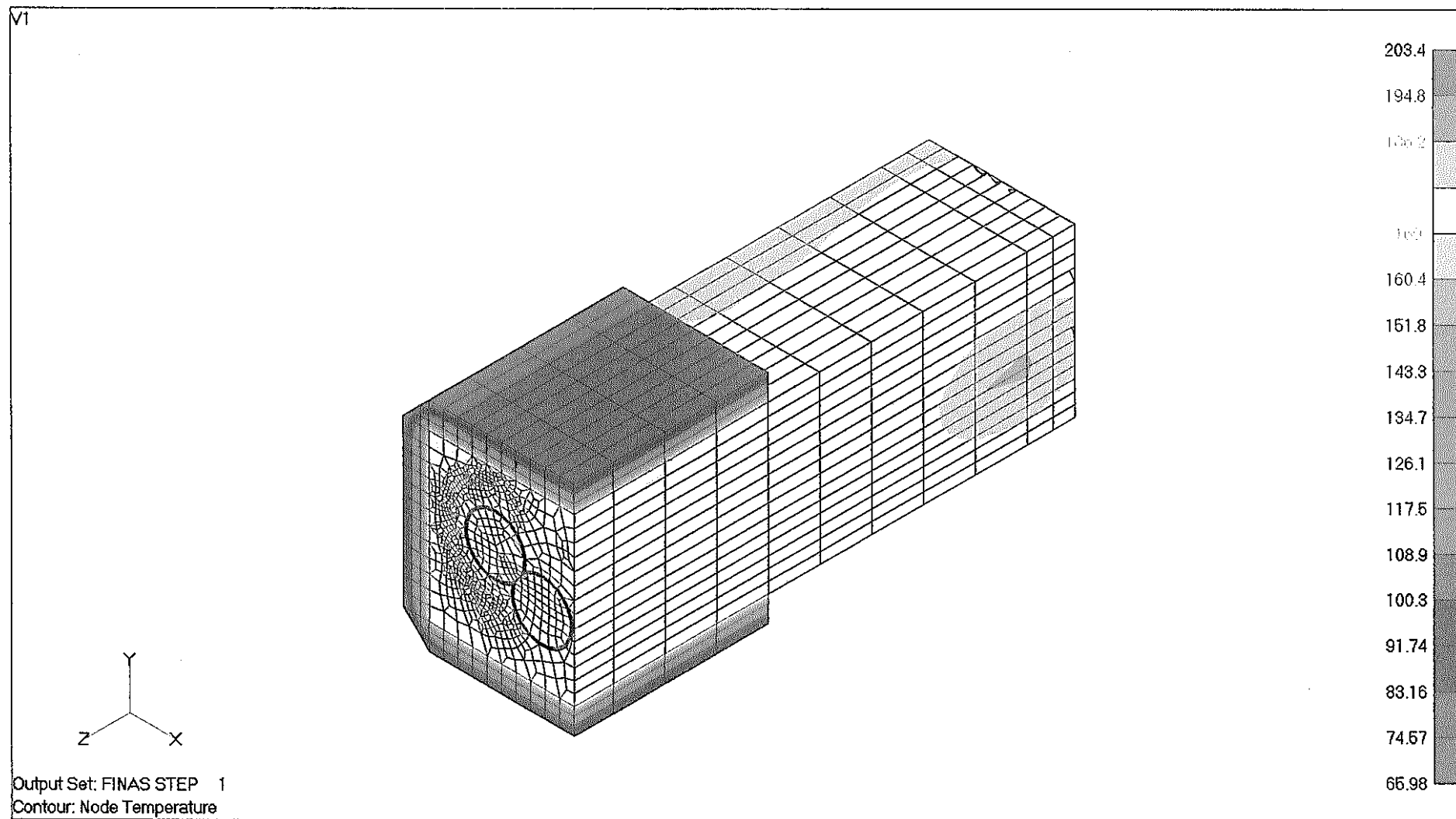


図 5.6 温度コンター図 (1 メッシュ・170℃・1kW)

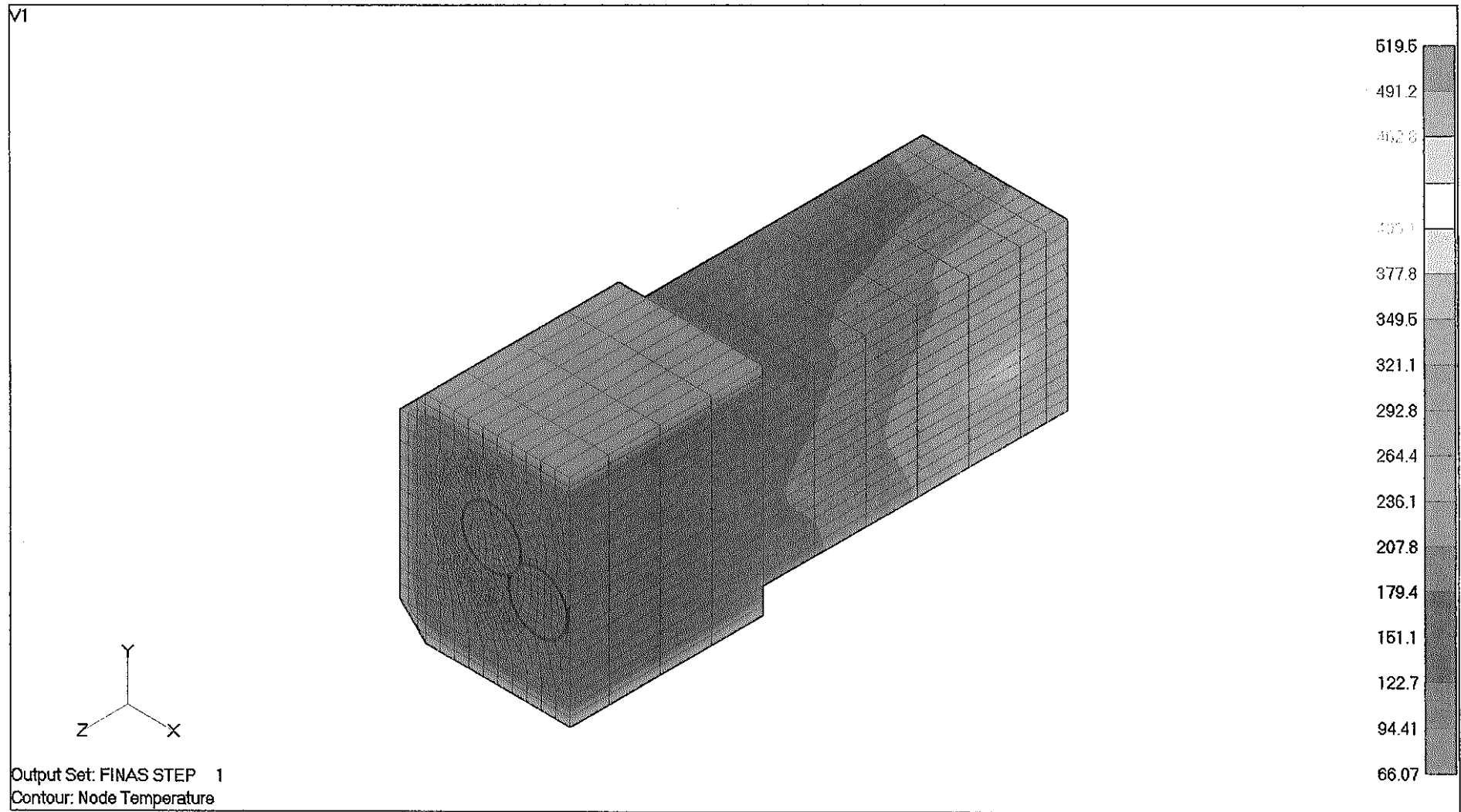


図 5.7 温度コンター図 (1 メッシュ・170℃・10kW)

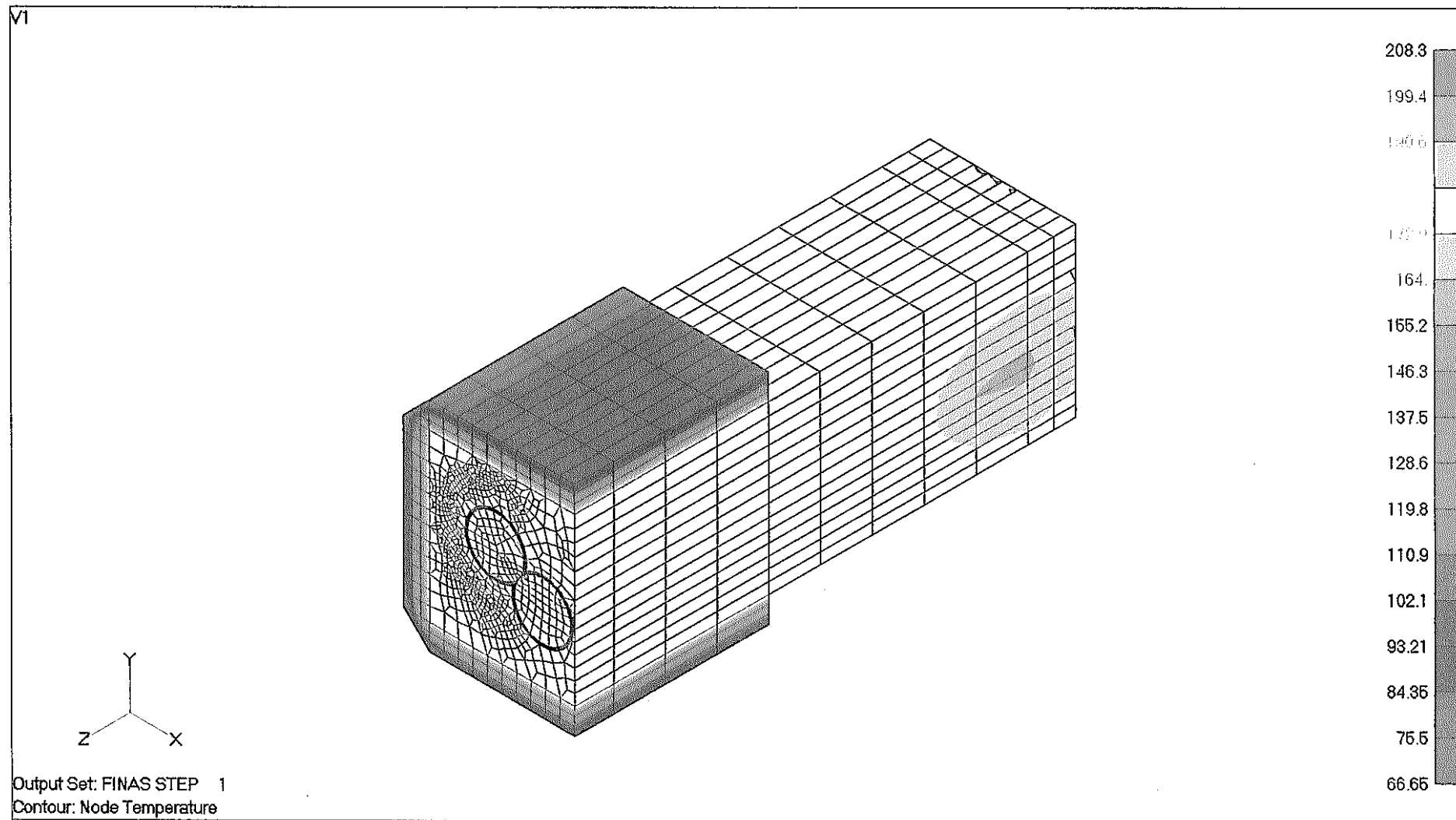


図 5.8 温度コンター図 (1 メッシュ・175℃・1kW)

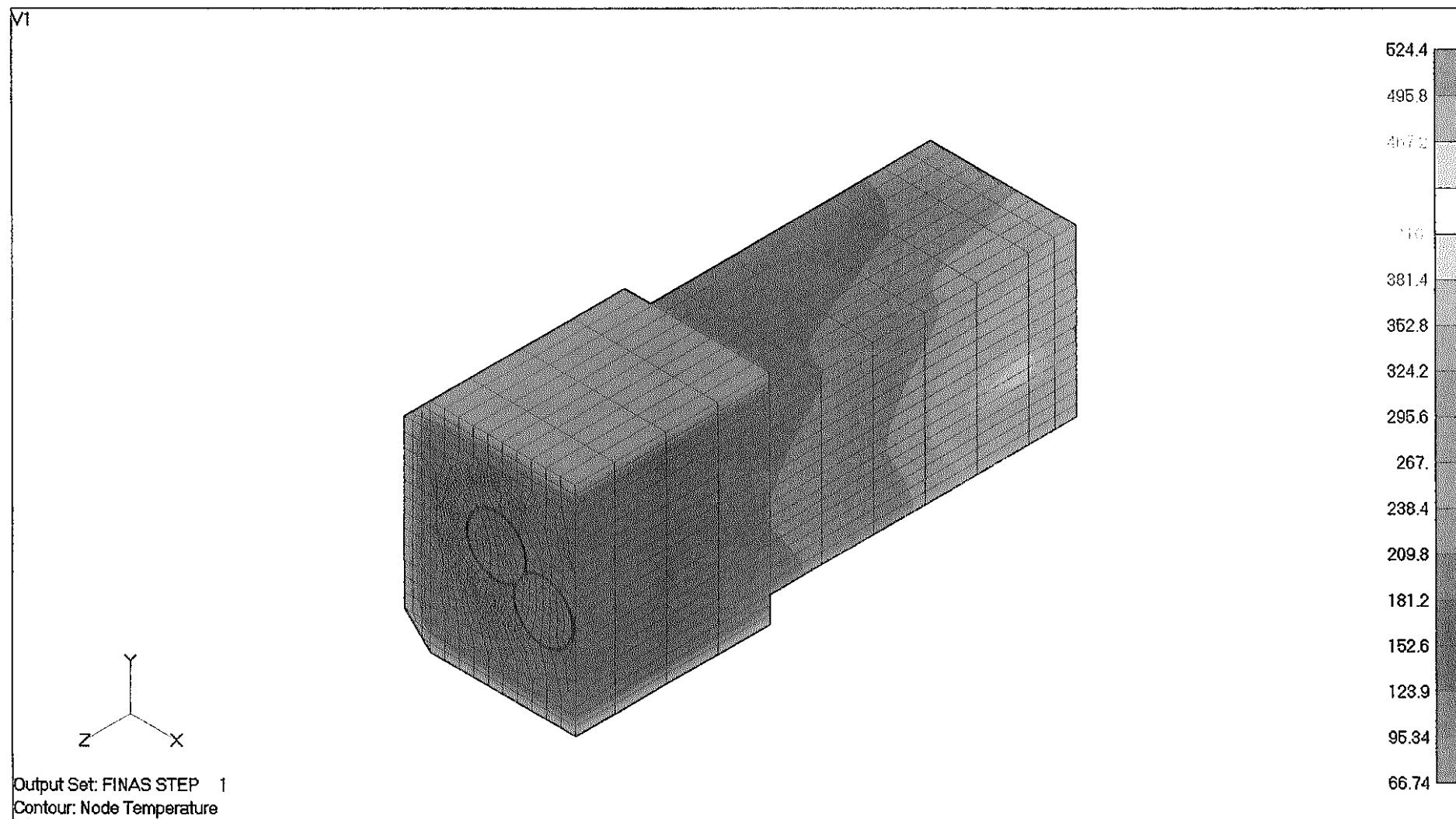


図 5.9 温度コンター図 (1 メッシュ・175℃・10kW)

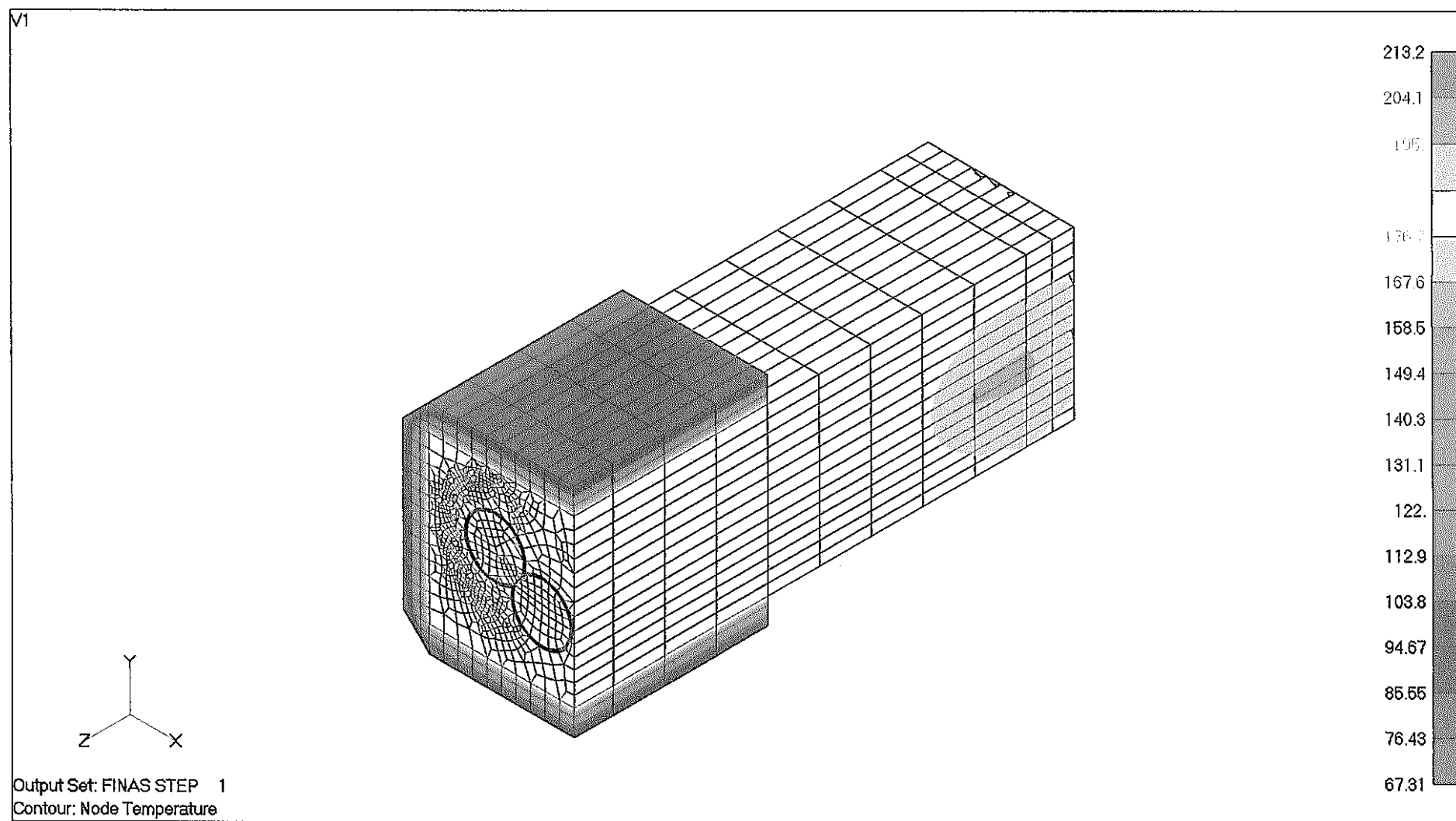


図 5.10 温度コンター図 (1 メッシュ・180℃・1kW)

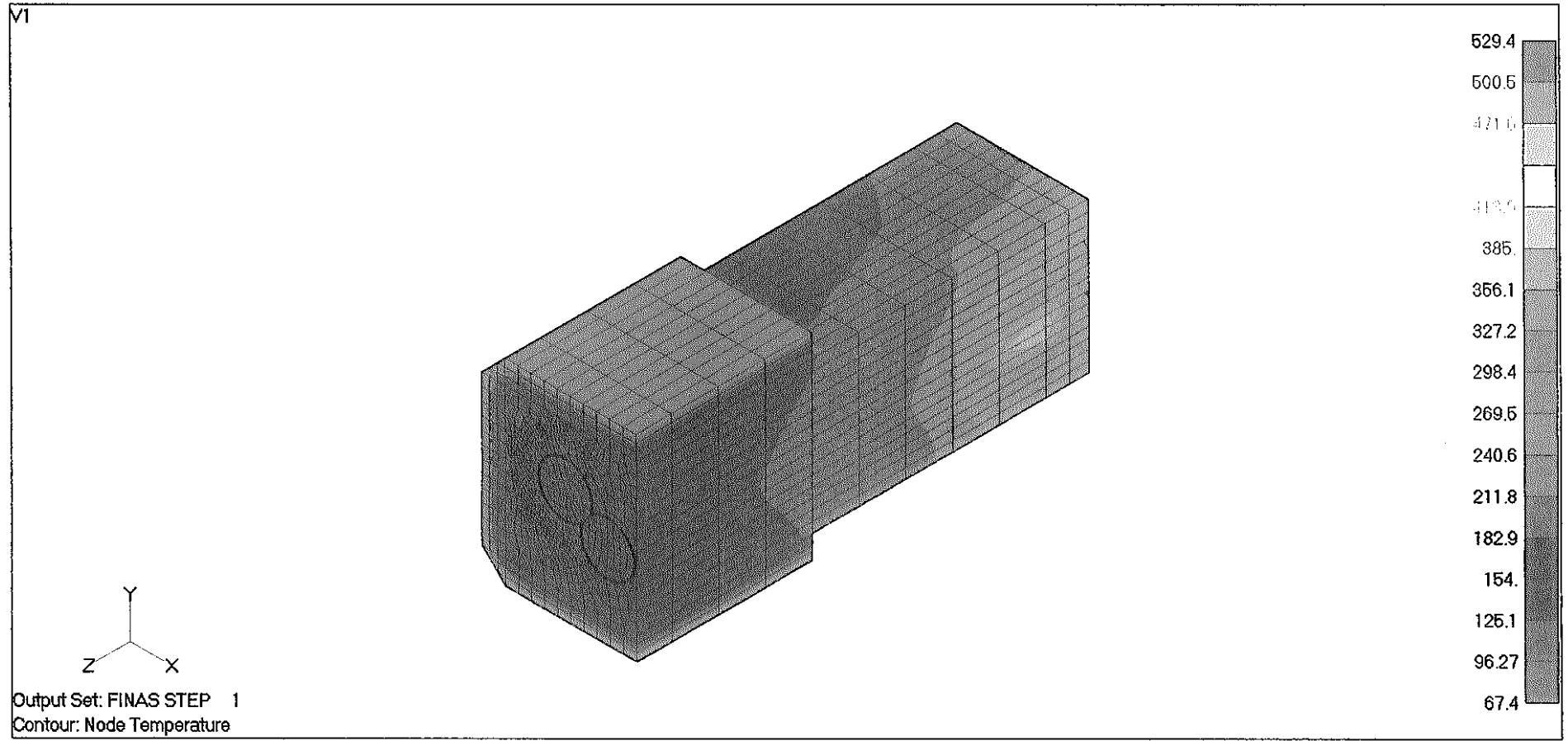


図 5.11 温度コンター図 (1 メッシュ・180℃・10kW)

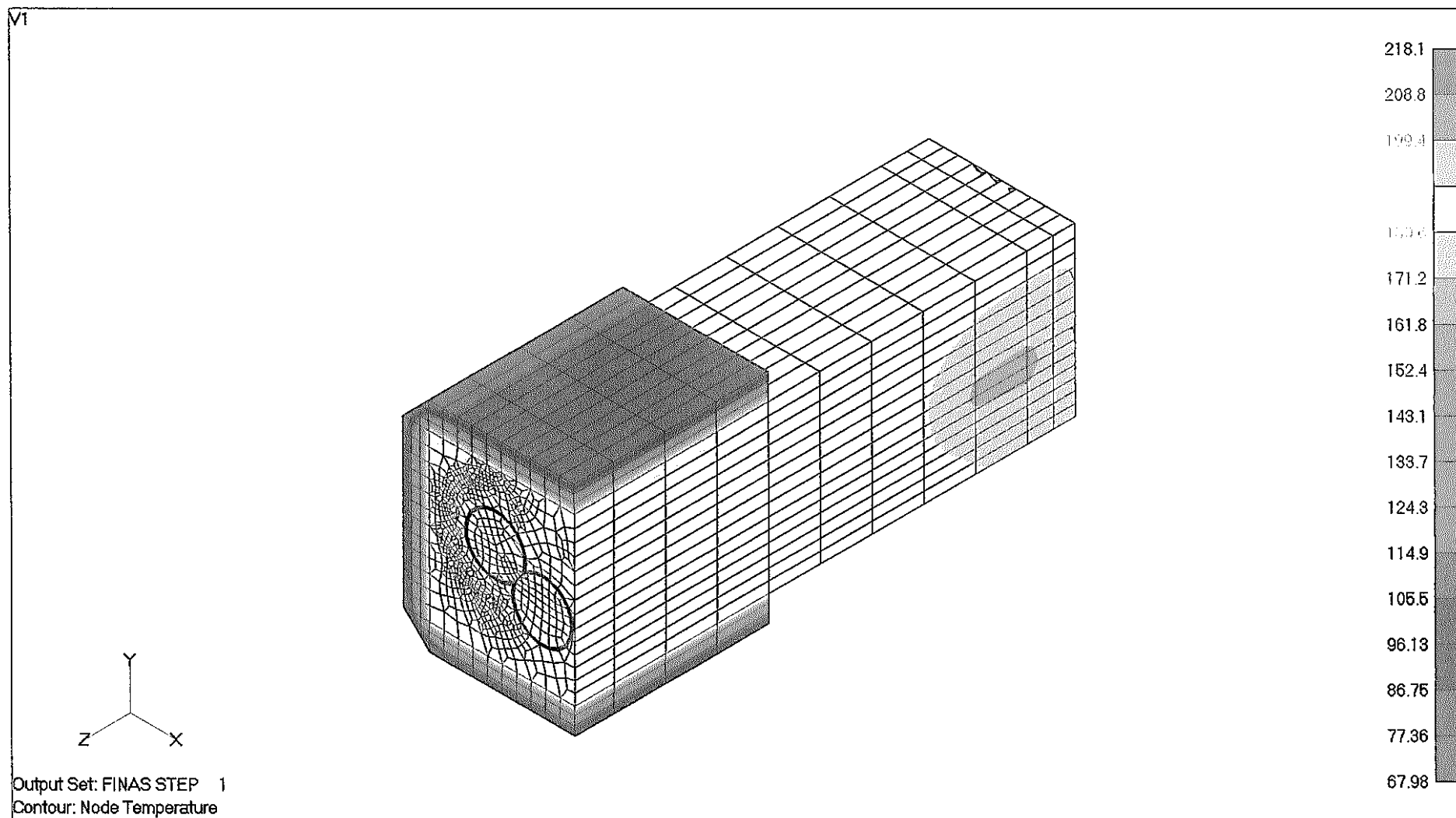


図 5.12 温度コンター図 (1 メッシュ・185℃・1kW)

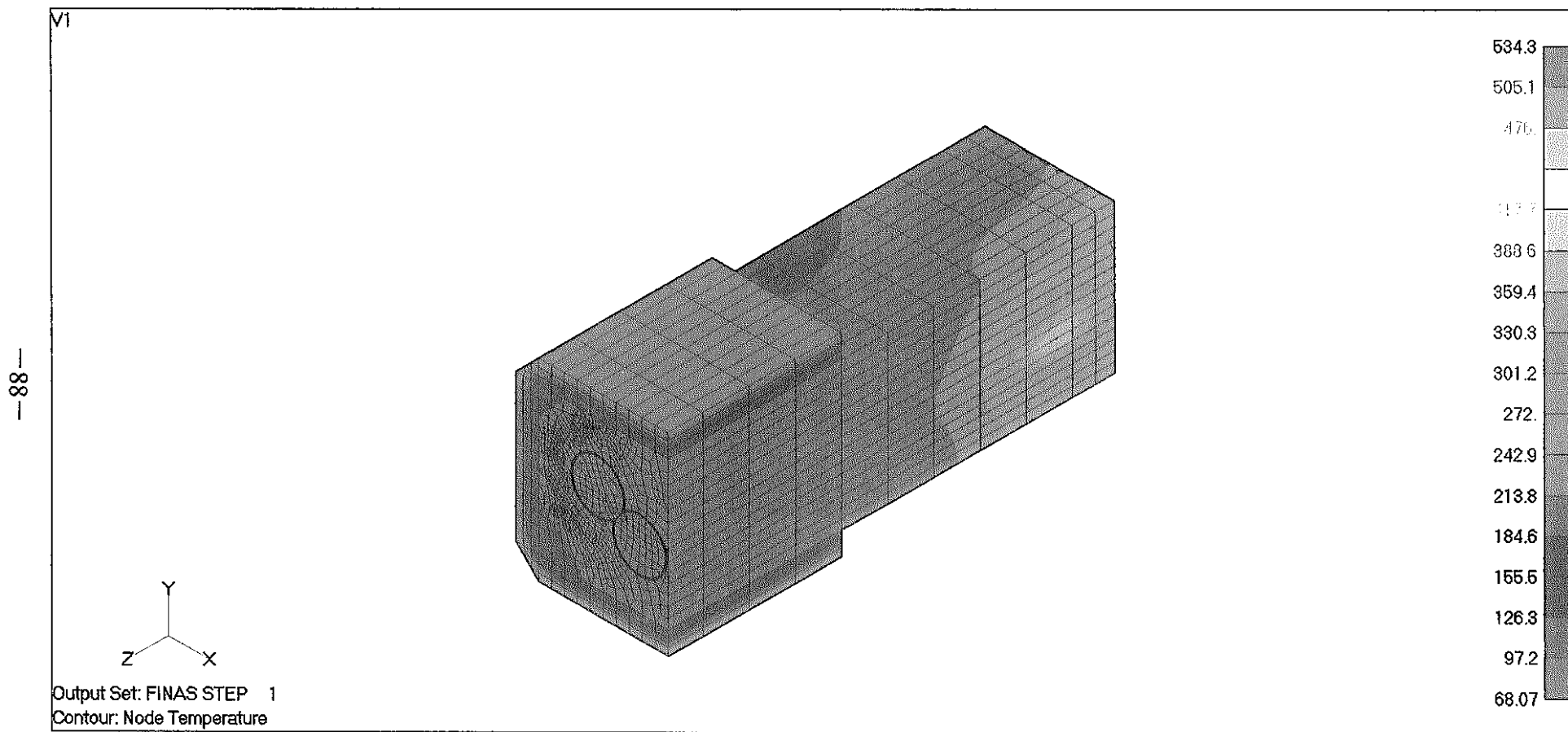


図 5.13 温度コンター図 (1 メッシュ・185℃・10kW)

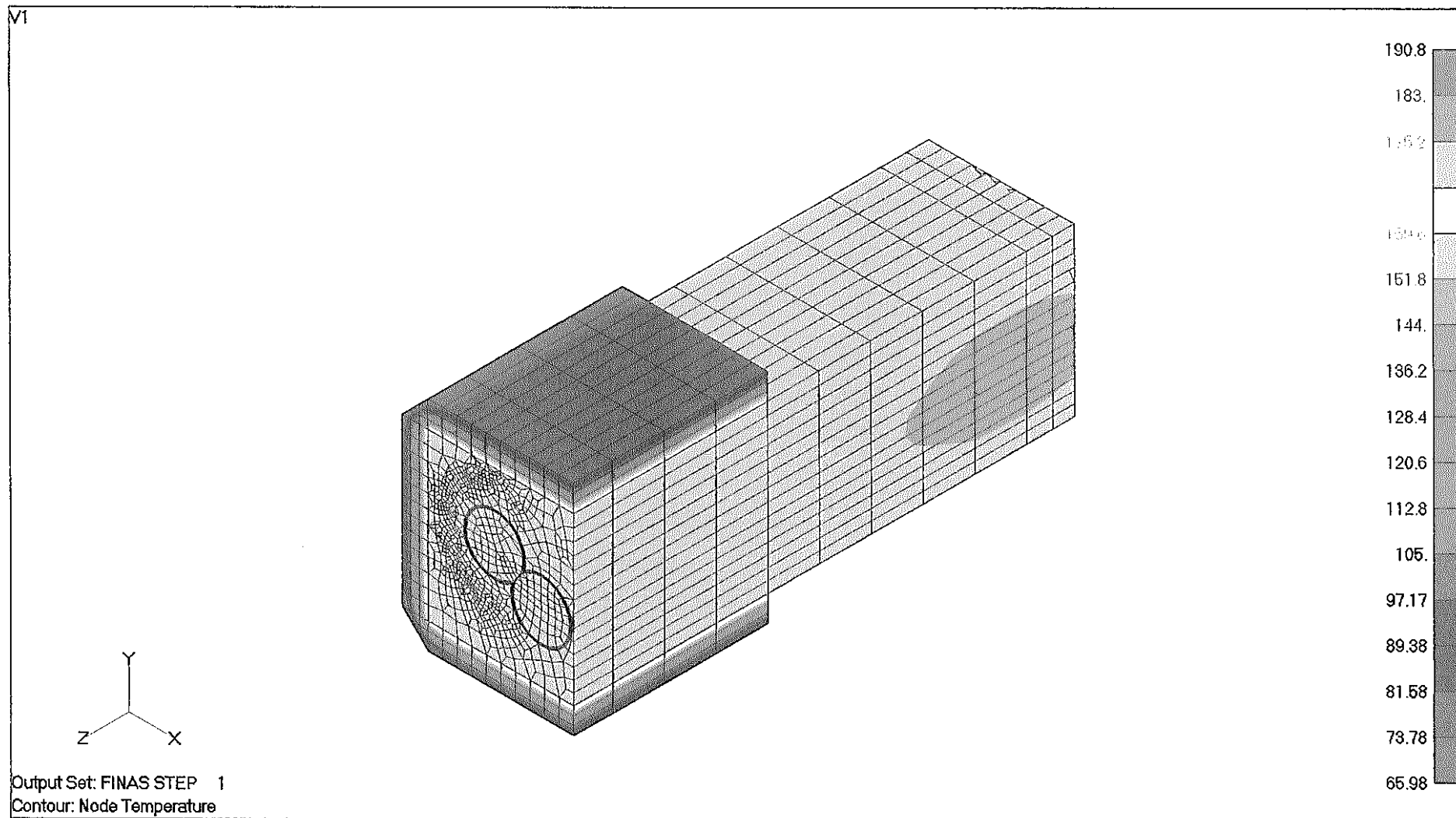


図 5.14 温度コンター図 (3 メッシュ・170℃・1kW)

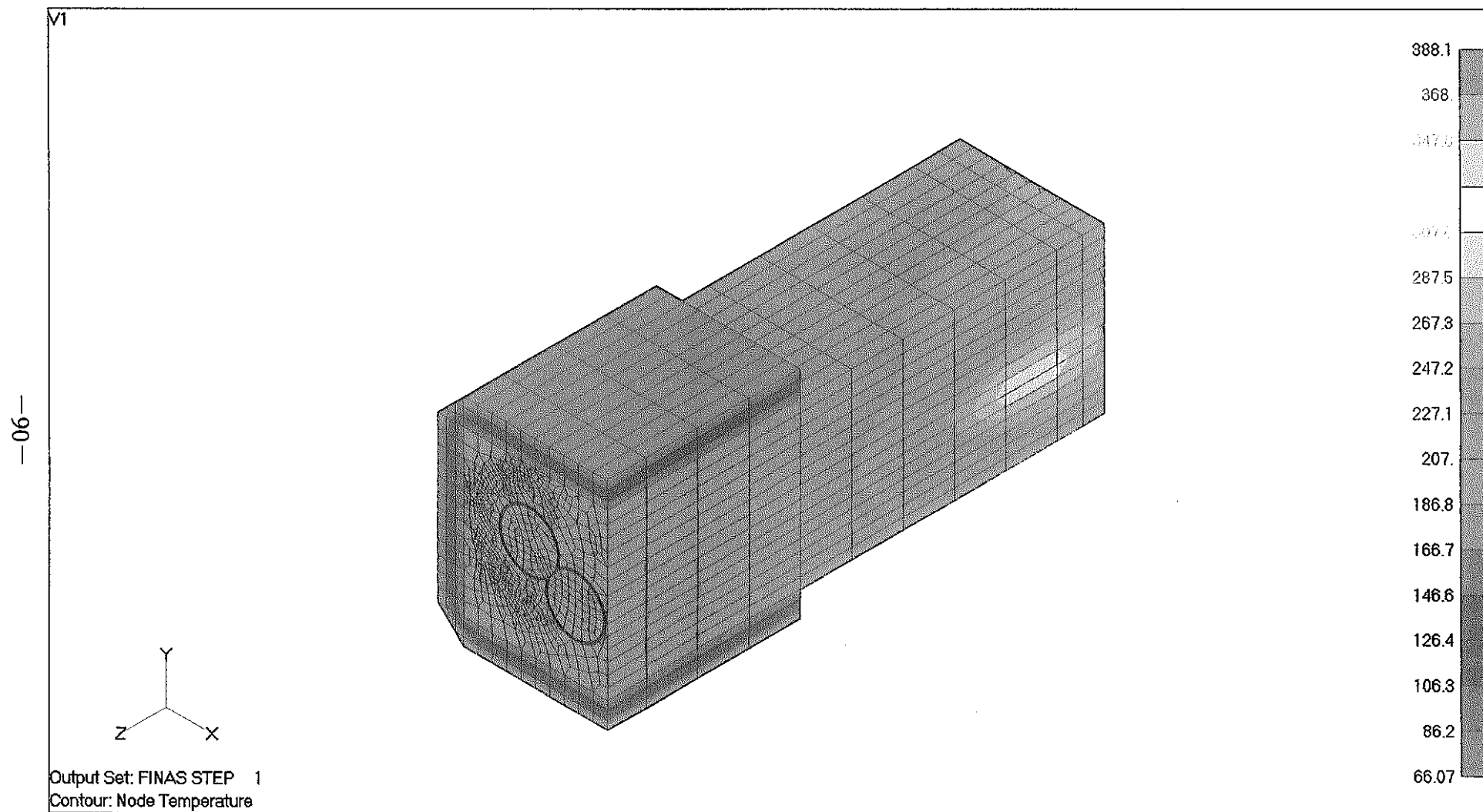


図 5.15 温度コンター図 (3 メッシュ・170℃・10kW)

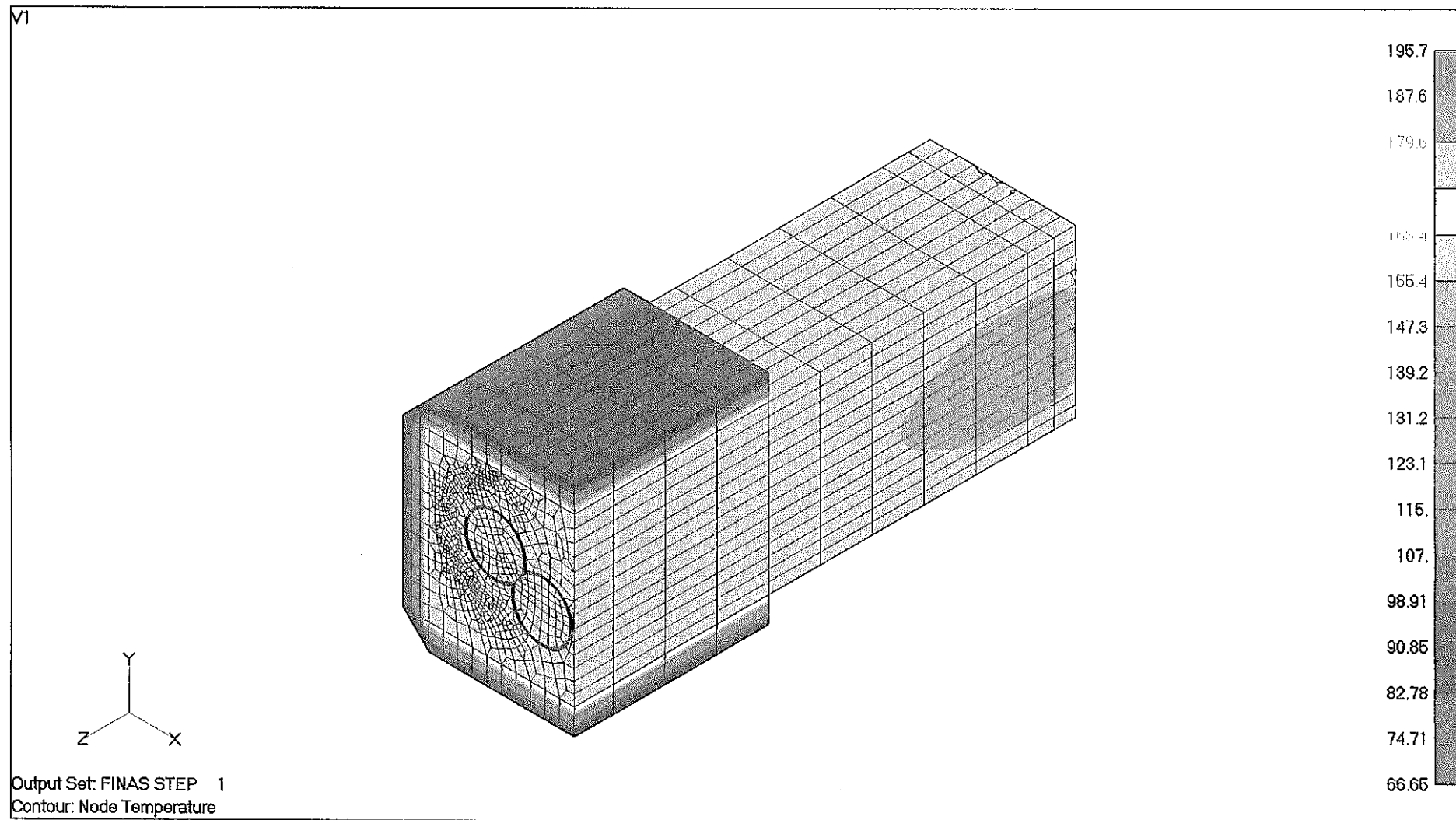


図 5.16 温度コンター図 (3 メッシュ・175℃・1kW)

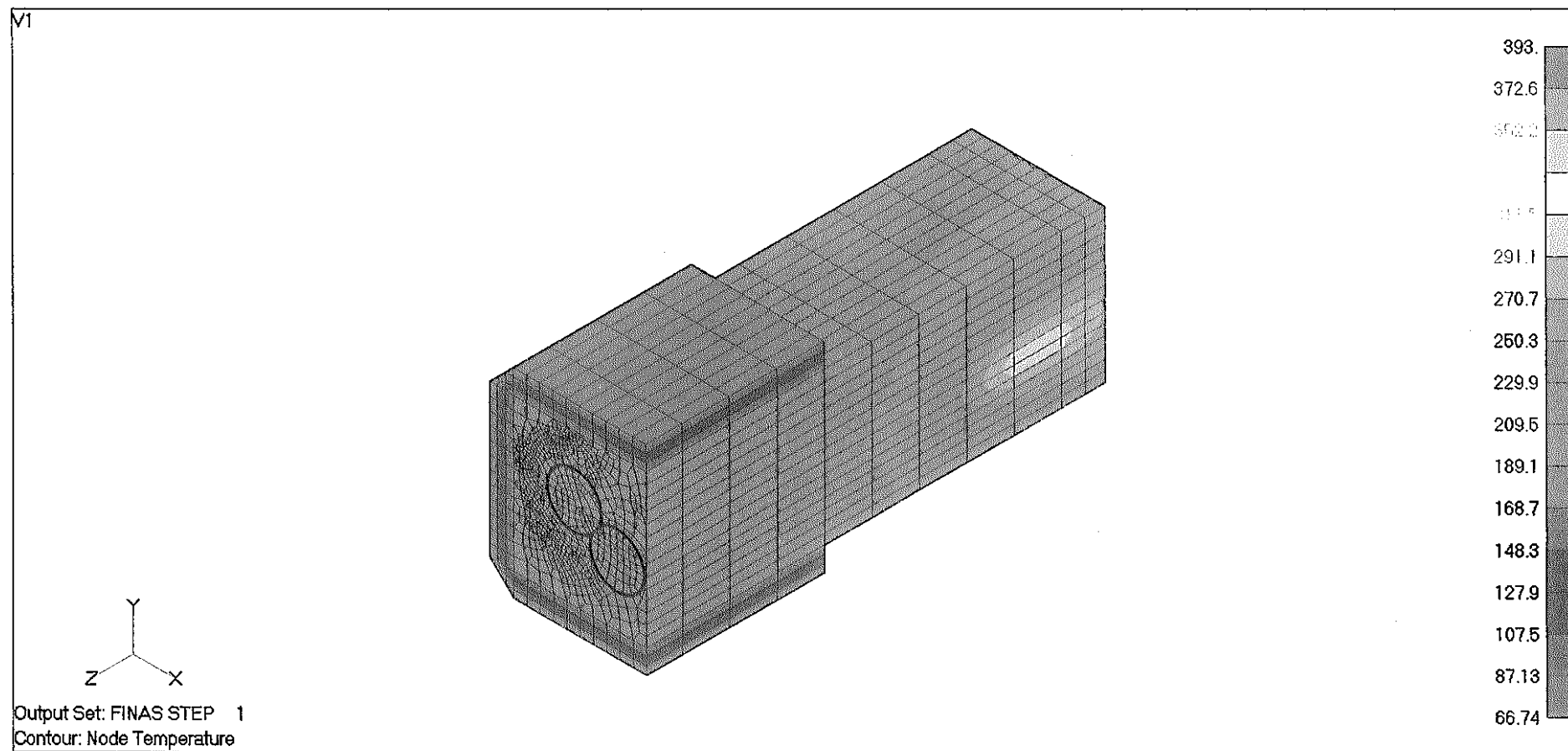


図 5.17 温度コンター図 (3 メッシュ・175℃・10kW)

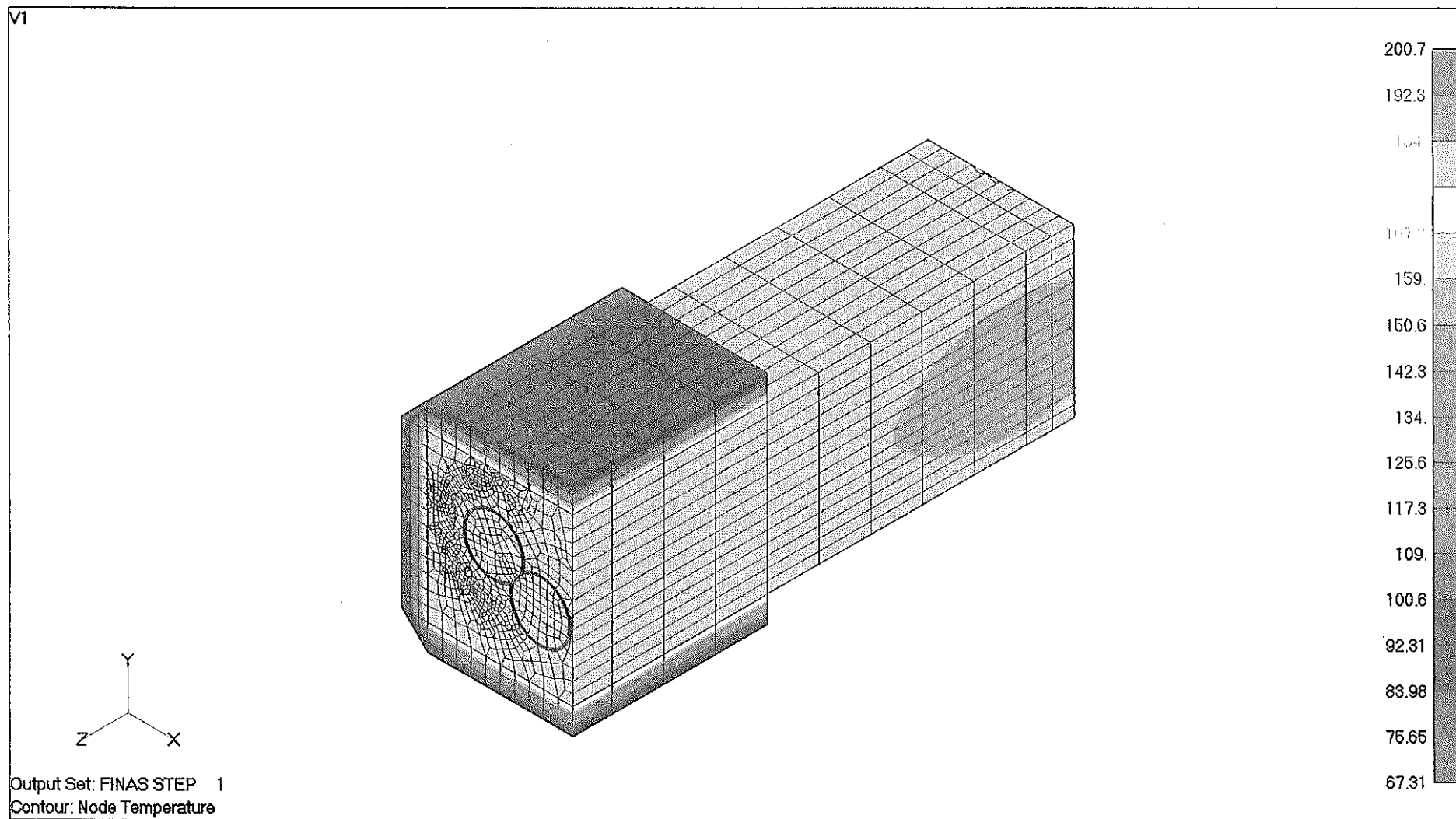


図 5.18 温度コンター図 (3 メッシュ・180℃・1kW)

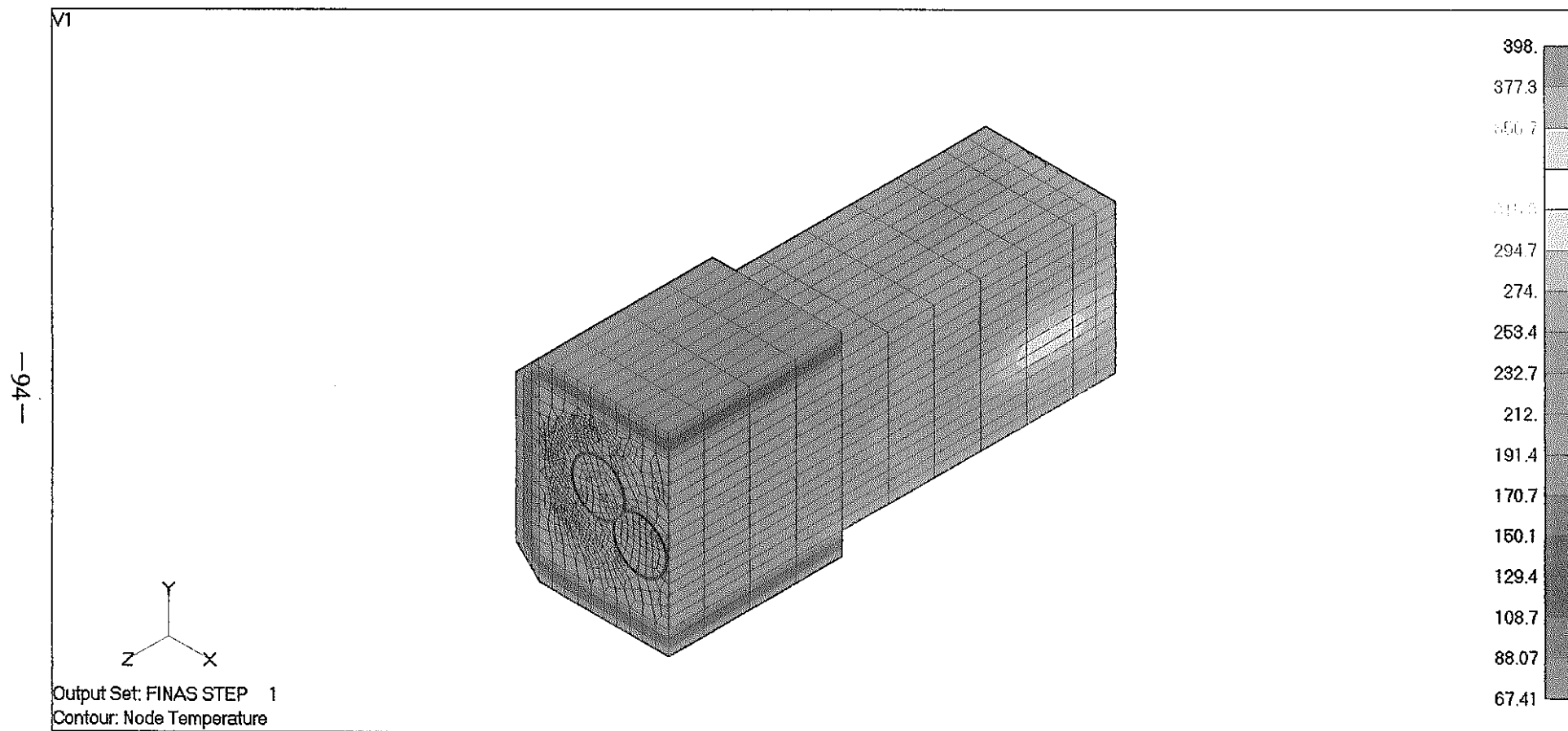


図 5.19 温度コンター図 (3 メッシュ・180℃・10kW)

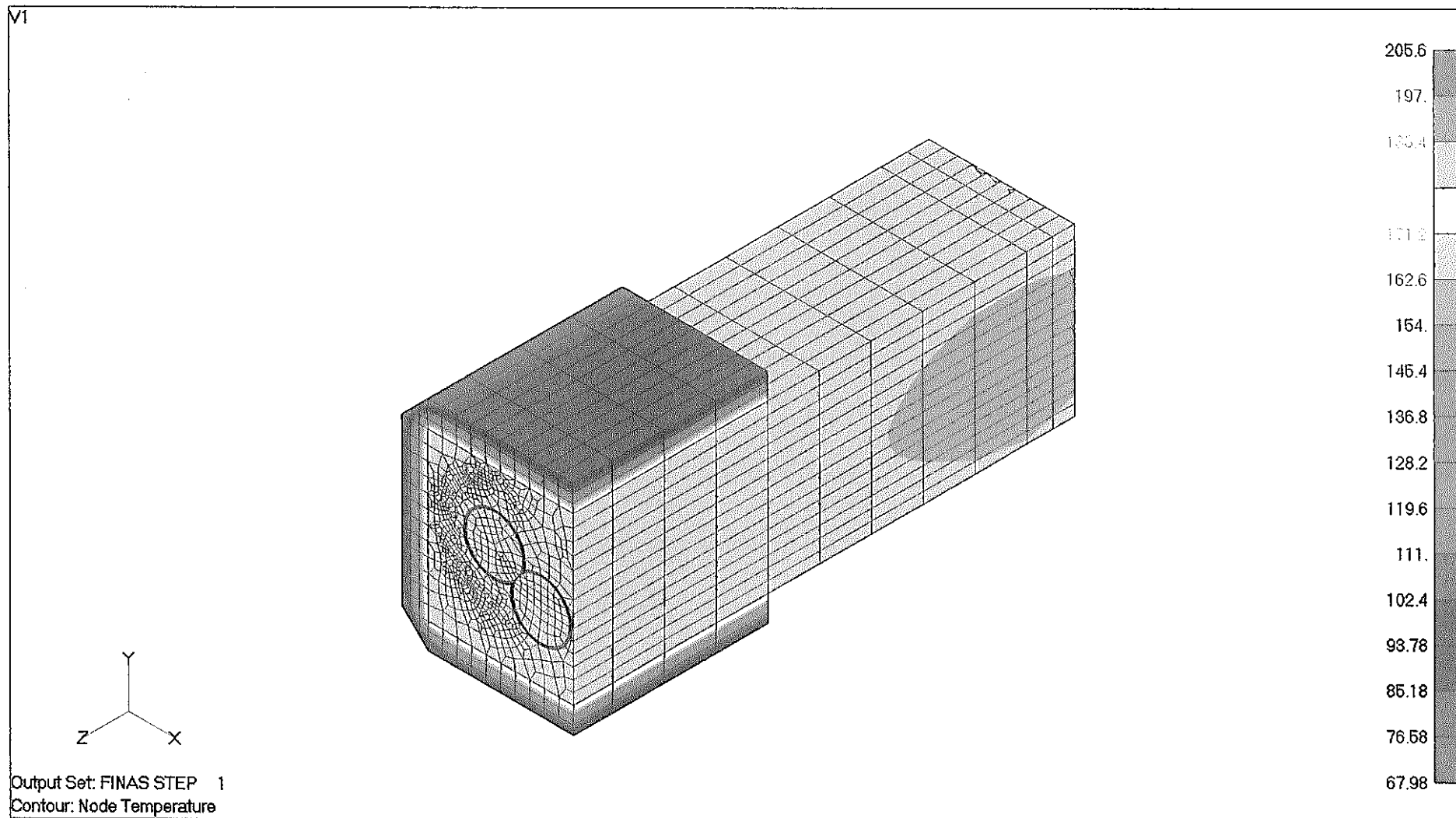


図 5.20 温度コンター図 (3 メッシュ・185℃・1kW)

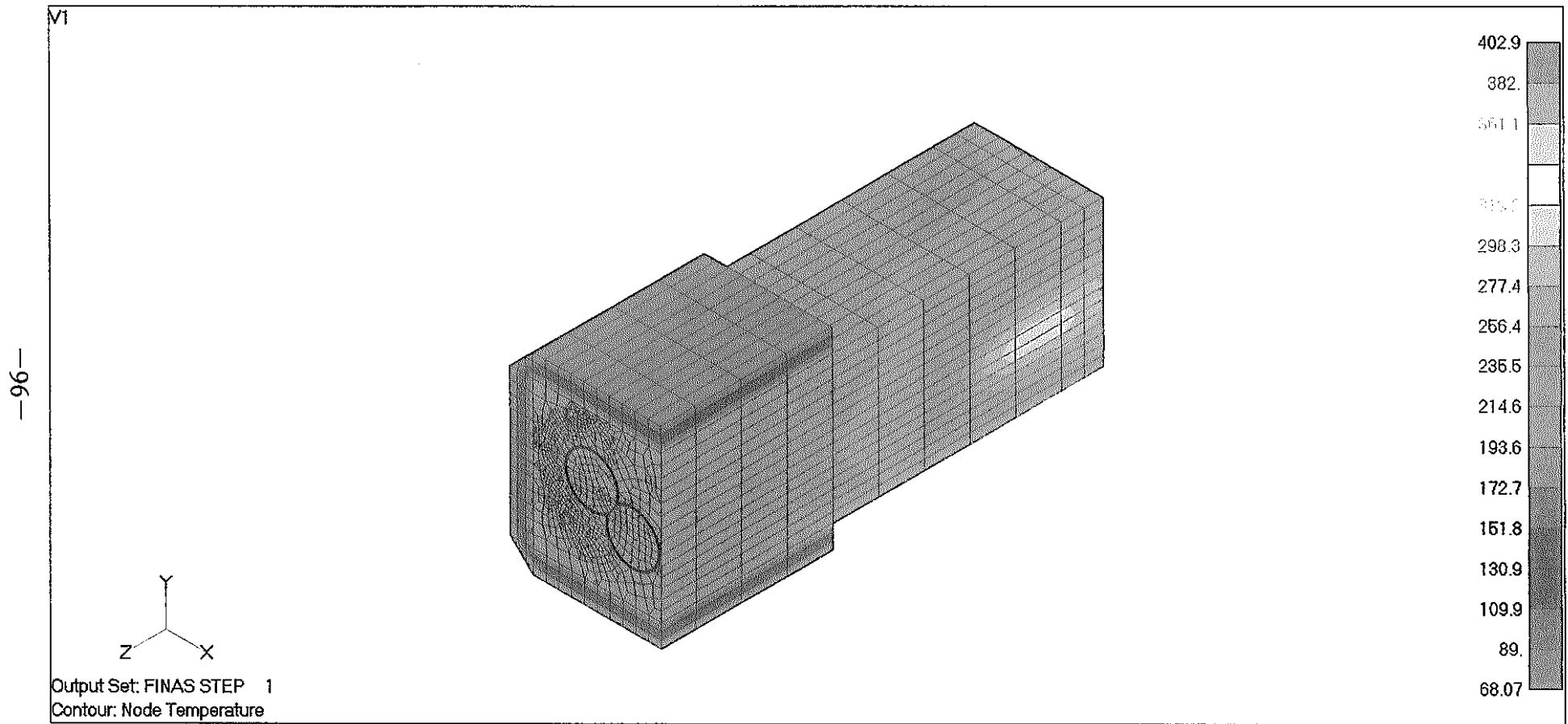


図 5.21 温度コンター図 (3 メッシュ・185℃・10kW)

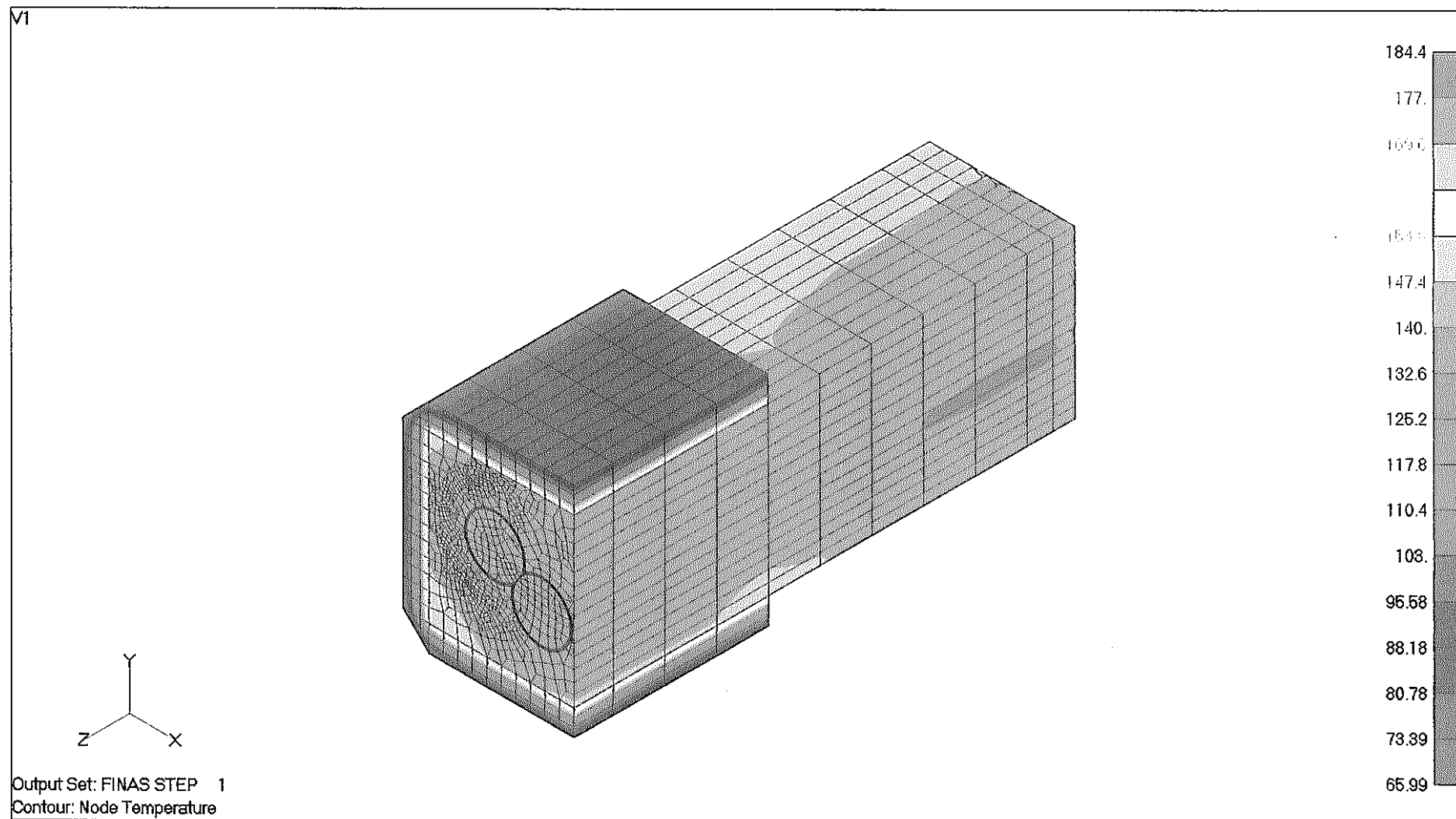


図 5.22 温度コンター図 (5 メッシュ・170℃・1kW)

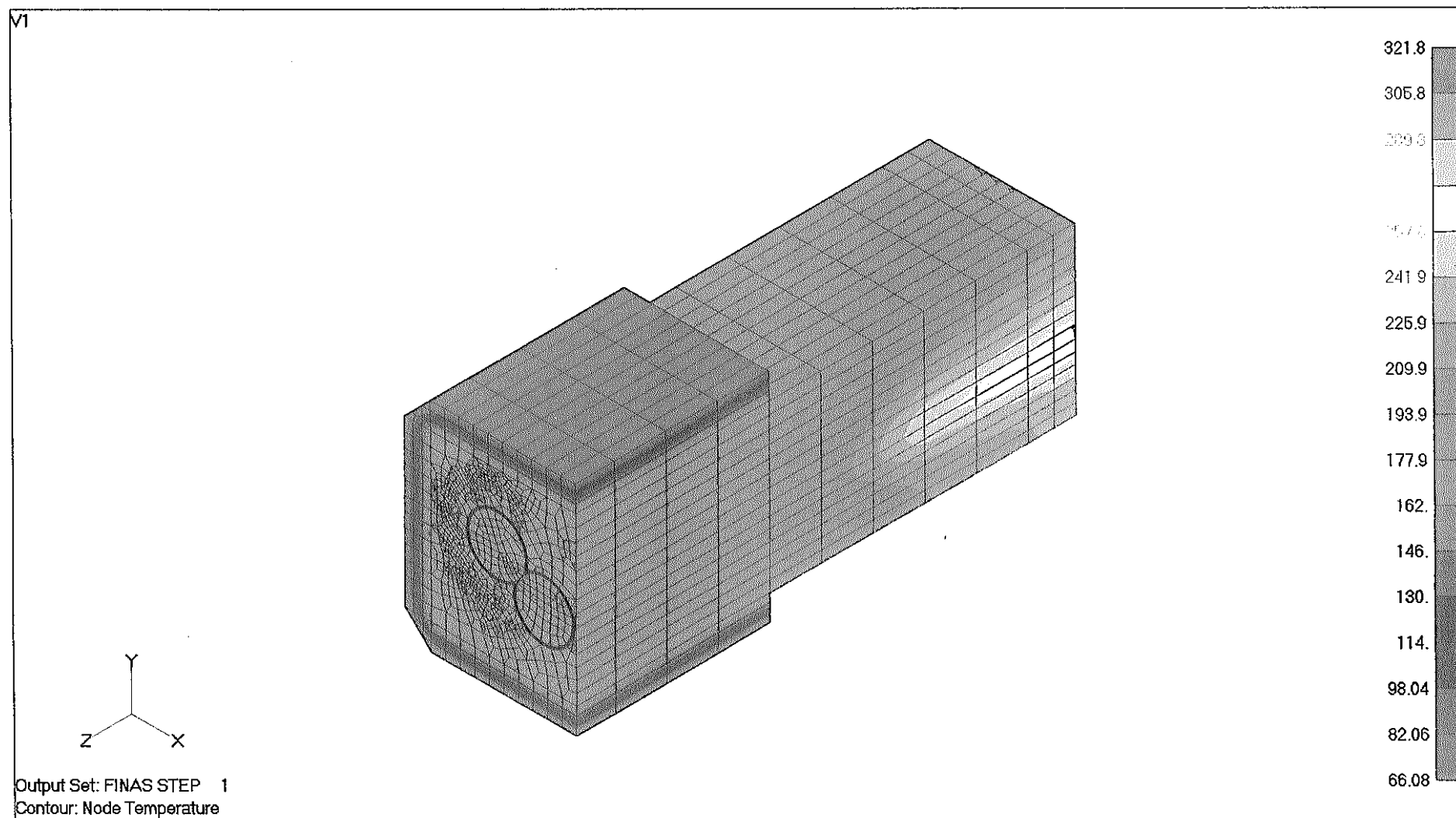


図 5.23 温度コンター図 (5 メッシュ・170℃・10kW)

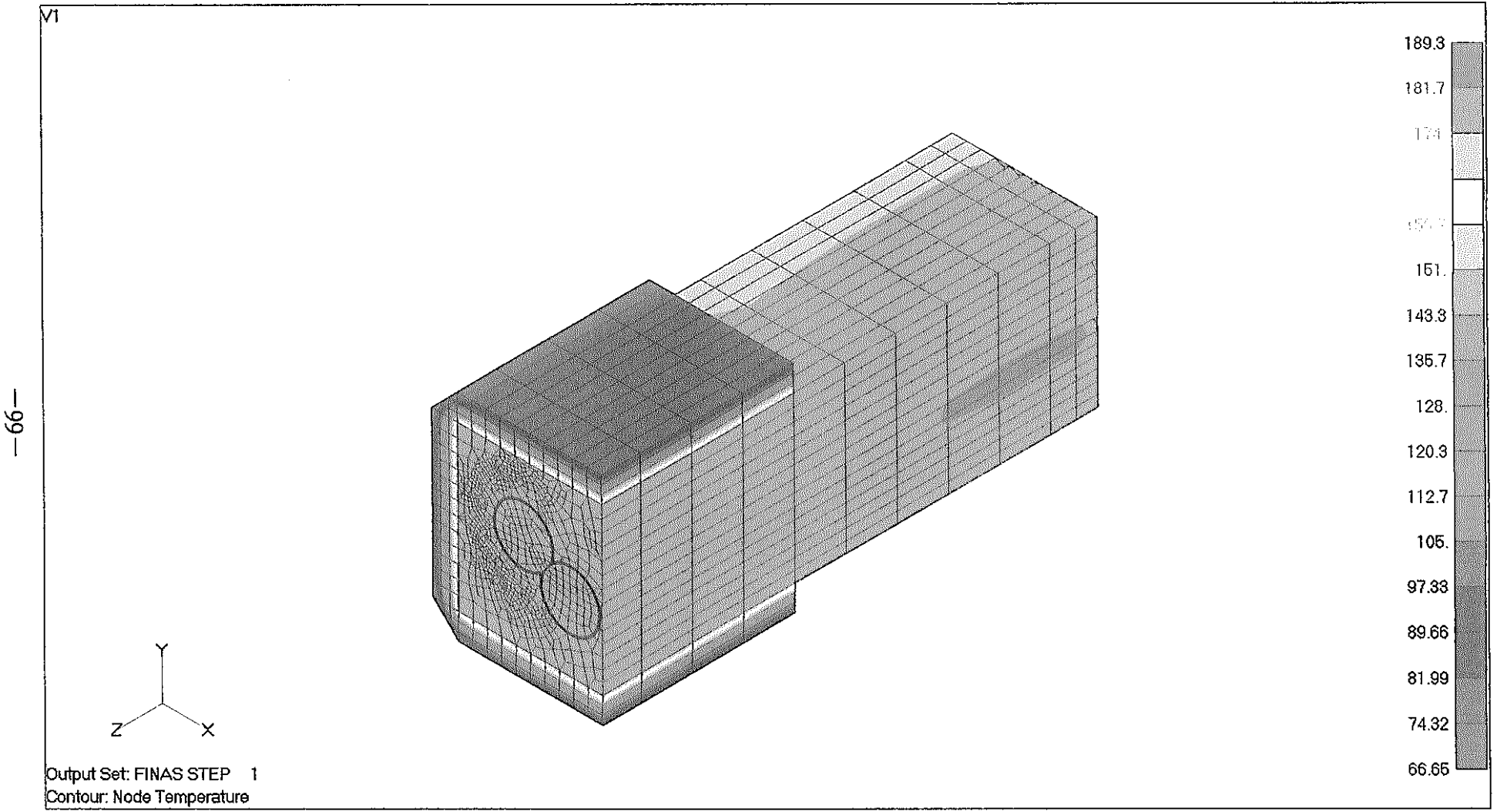


図 5.24 温度コンター図 (5 メッシュ・175℃・1kW)

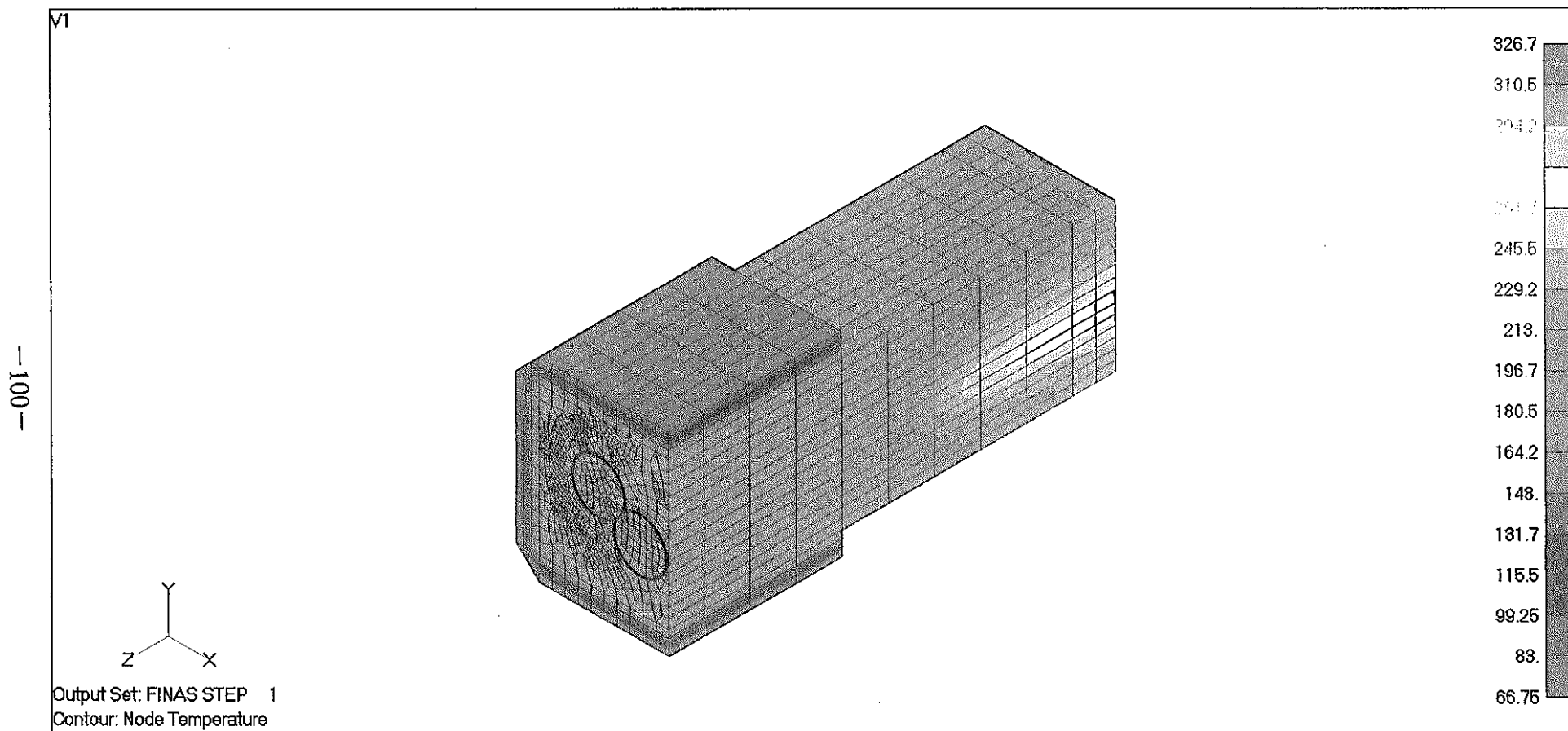


図 5.25 温度コンター図 (5 メッシュ・175℃・10kW)

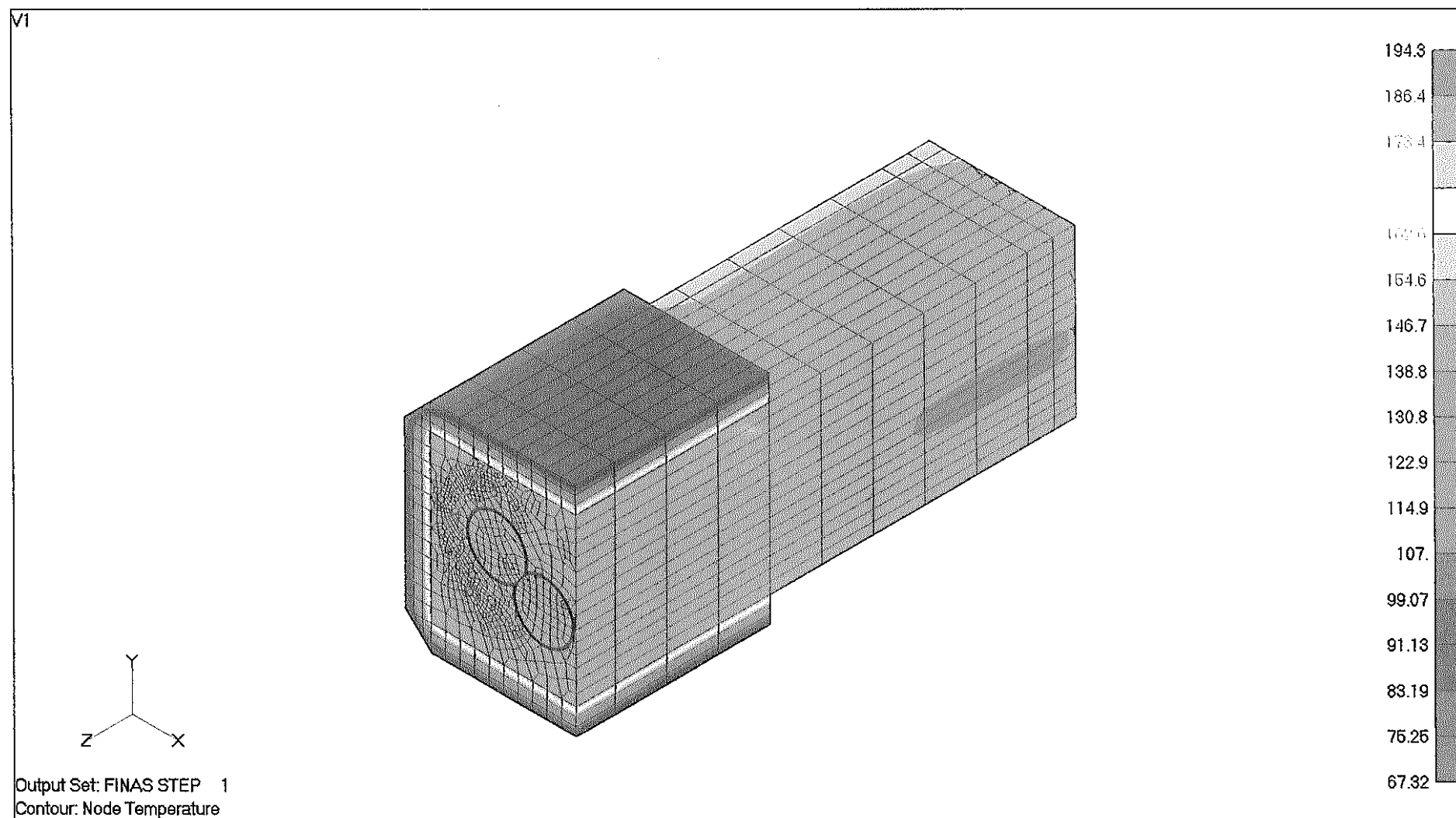


図 5.26 温度コンター図 (5 メッシュ・180℃・1kW)

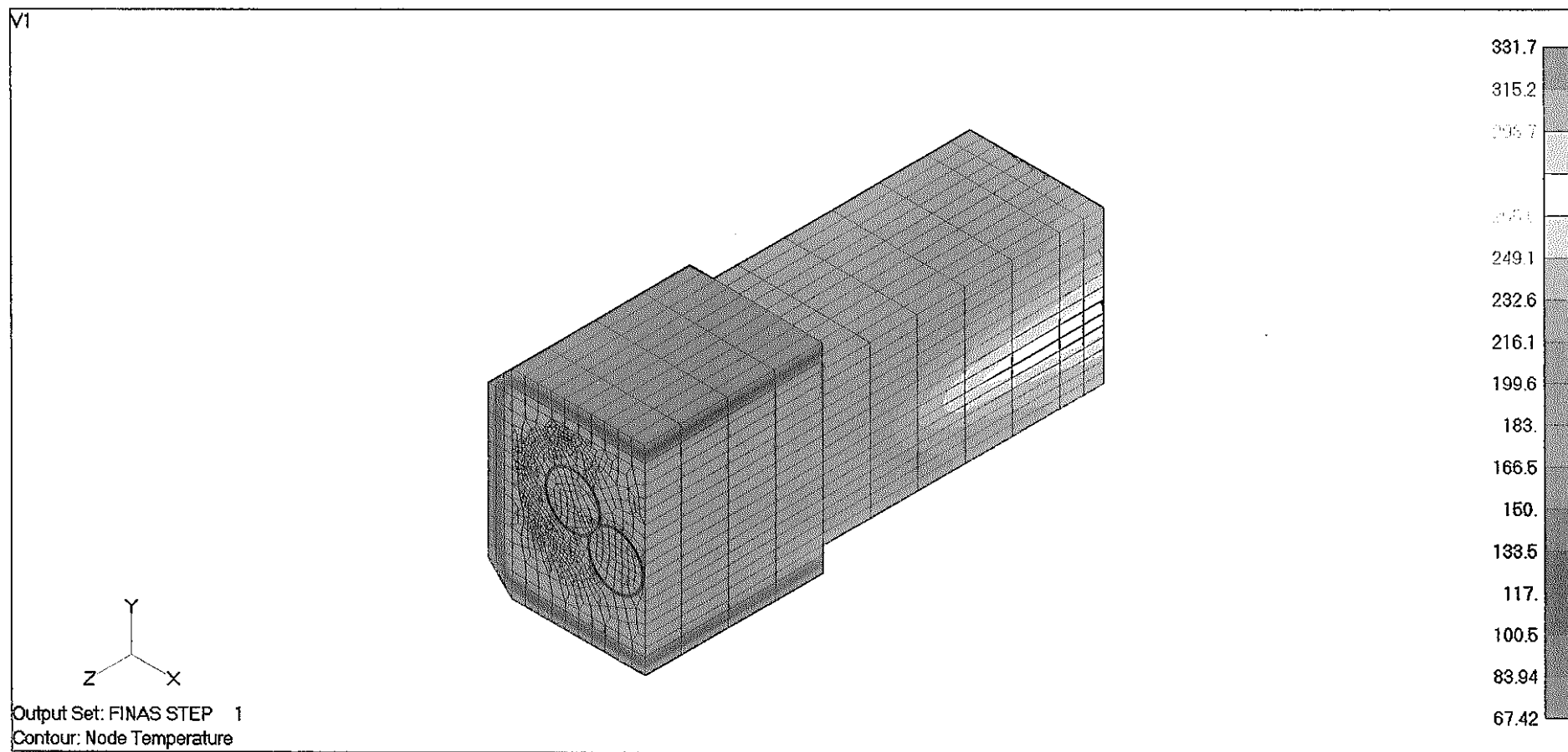


図 5.27 温度コンター図 (5 メッシュ・180℃・10kW)

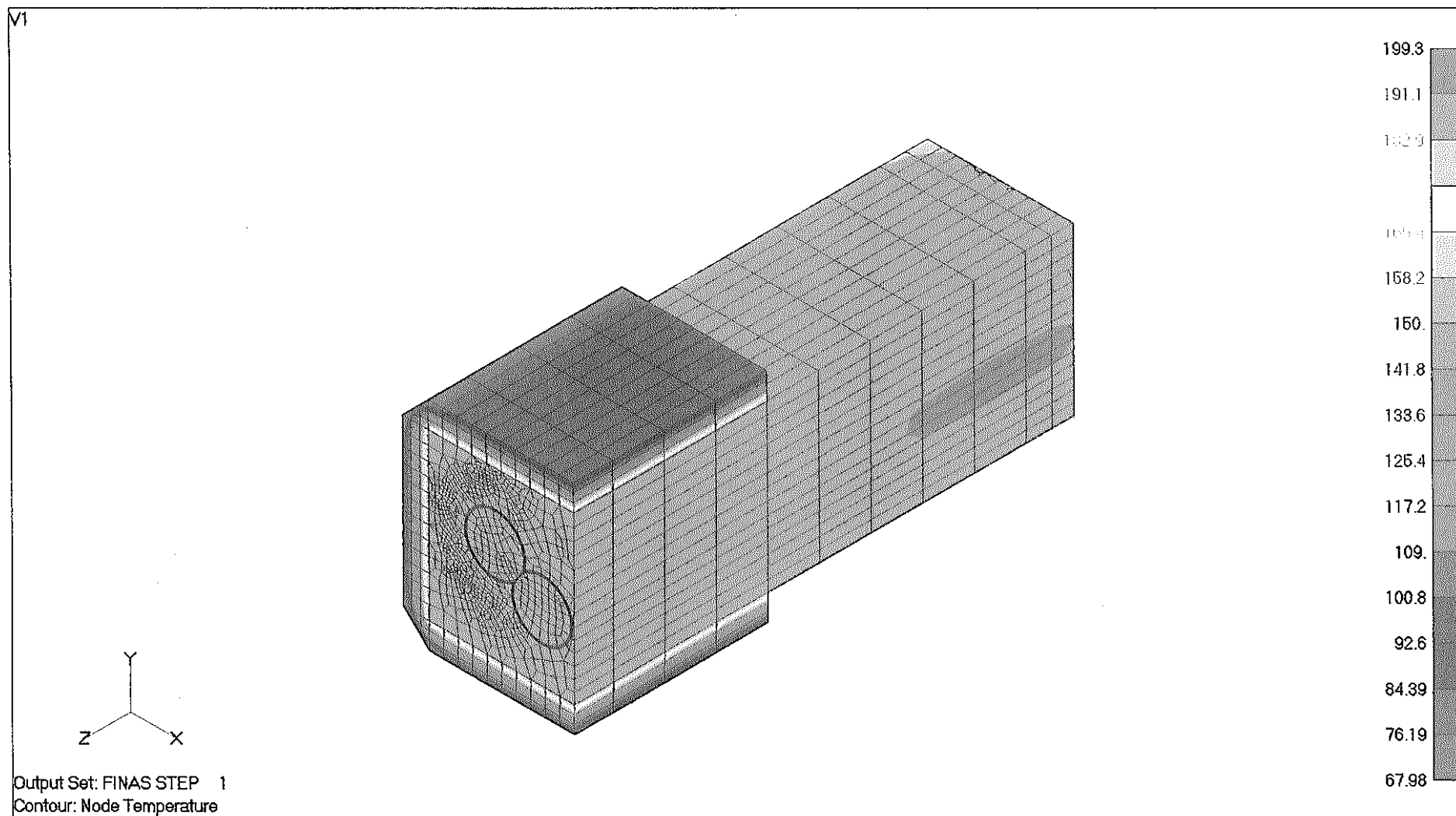


図 5.28 温度コンター図 (5 メッシュ・185℃・1kW)

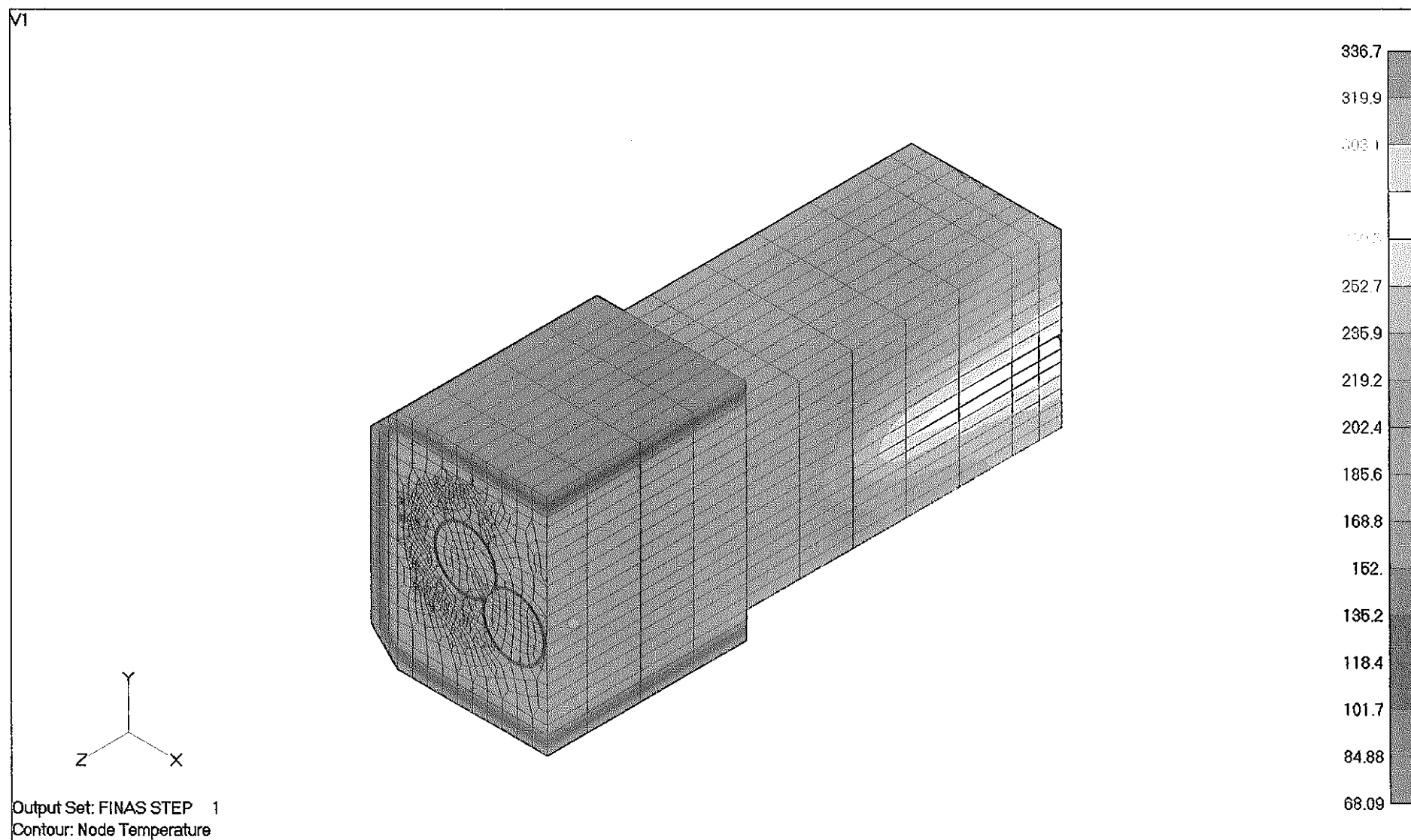


図 5.29 温度コンター図 (5 メッシュ・185℃・10kW)

表 5.3 Zone7解析温度(1メッシュ)

熱電対節点番号
8854

初期温度 170	発熱量 (k W)			初期温度 180	発熱量 (k W)		
	1	8	10		1	8	10
熱電対温度(℃)	169.96	170.11	170.15	熱電対温度(℃)	179.95		180.15
最高温度(℃)	203.4	452.4	519.5	最高温度(℃)	213.2		529.4
最低温度(℃)	65.98	66.05	66.07	最低温度(℃)	67.31		67.4

初期温度 175	発熱量 (k W)			初期温度 185	発熱量 (k W)		
	1	8	10		1	8	10
熱電対温度(℃)	174.96		175.15	熱電対温度(℃)	184.95		185.15
最高温度(℃)	208.3		524.4	最高温度(℃)	218.1		534.3
最低温度(℃)	66.65		66.74	最低温度(℃)	67.98		68.07

表 5.4 Zone7解析温度(3メッシュ)

熱電対節点番号
8854

初期温度 170	発熱量 (k W)			初期温度 180	発熱量 (k W)		
	1	8	10		1	8	10
熱電対温度(℃)	169.96	170.13	170.18	熱電対温度(℃)	179.96		180.18
最高温度(℃)	190.8	343.5	388.1	最高温度(℃)	200.7		398
最低温度(℃)	65.98	66.06	66.07	最低温度(℃)	67.31		67.41

初期温度 175	発熱量 (k W)			初期温度 185	発熱量 (k W)		
	1	8	10		1	8	10
熱電対温度(℃)	174.96		175.18	熱電対温度(℃)	184.95		185.17
最高温度(℃)	195.7		393	最高温度(℃)	205.6		402.9
最低温度(℃)	66.65		66.74	最低温度(℃)	67.98		68.07

表 5.5 Zone7解析温度(5メッシュ)

熱電対節点番号
8854

初期温度 170	発熱量 (k W)			初期温度 180	発熱量 (k W)		
	1	8	10		1	8	10
熱電対温度(℃)	169.97	170.21	170.27	熱電対温度(℃)	179.96		180.27
最高温度(℃)	184.4	291.1	321.8	最高温度(℃)	194.3		331.7
最低温度(℃)	65.99	66.08	66.08	最低温度(℃)	67.32		67.42

初期温度 175	発熱量 (k W)			初期温度 185	発熱量 (k W)		
	1	8	10		1	8	10
熱電対温度(℃)	174.97		175.27	熱電対温度(℃)	184.96		185.26
最高温度(℃)	189.3		326.7	最高温度(℃)	199.3		336.7
最低温度(℃)	66.65		66.75	最低温度(℃)	67.98		68.09

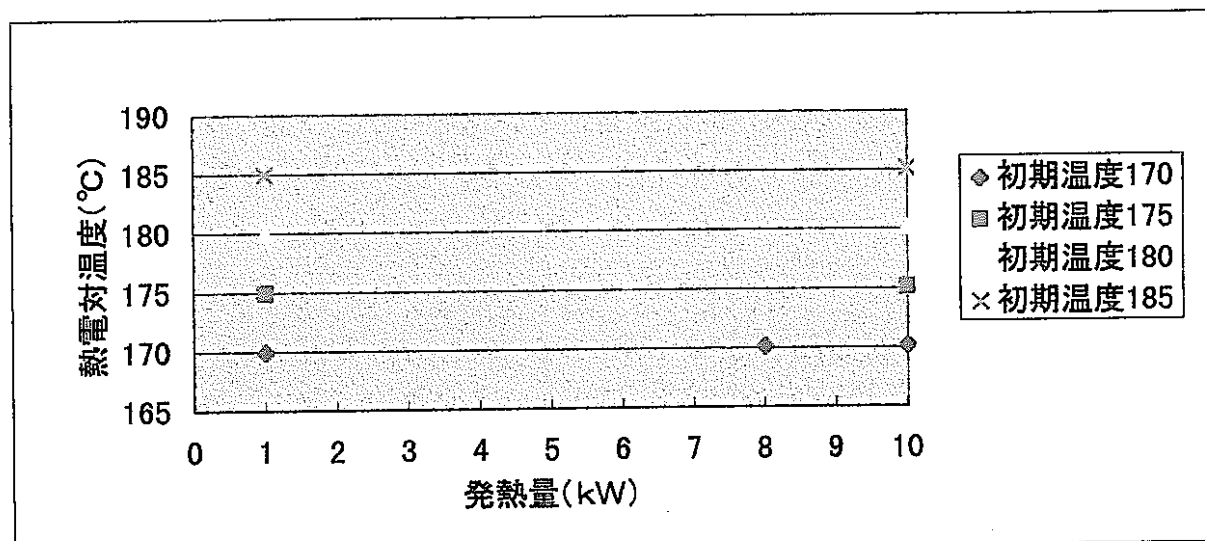


図5.30 初期温度別発熱量対Zone7熱電対温度グラフ(1メッシュ)

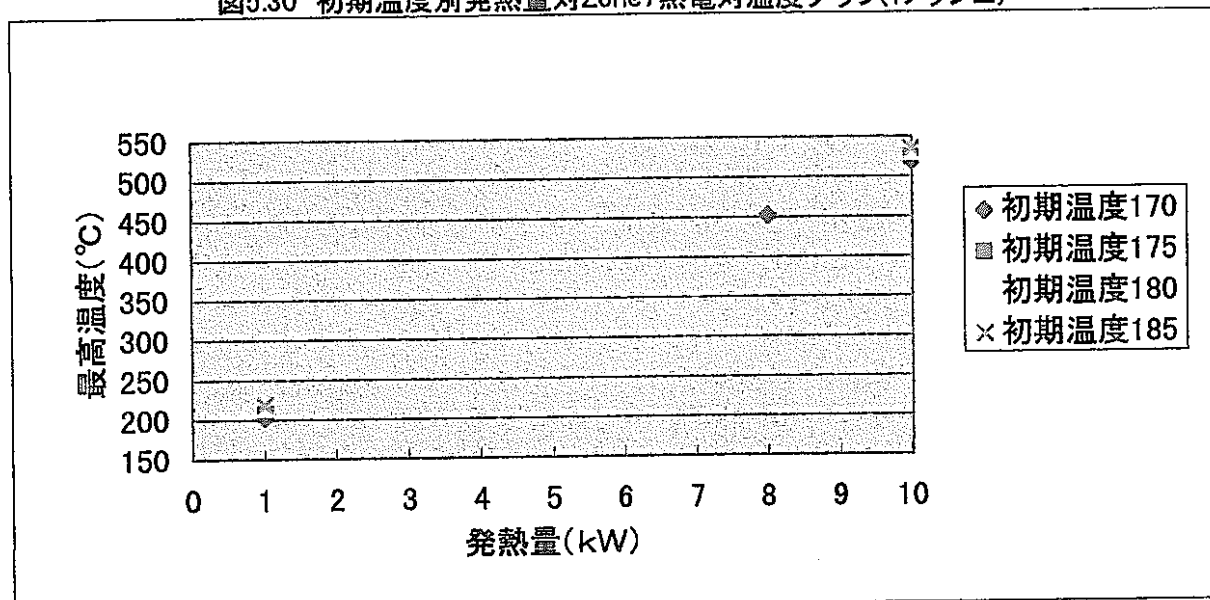


図5.31 初期温度別発熱量対Zone7最高温度グラフ(1メッシュ)

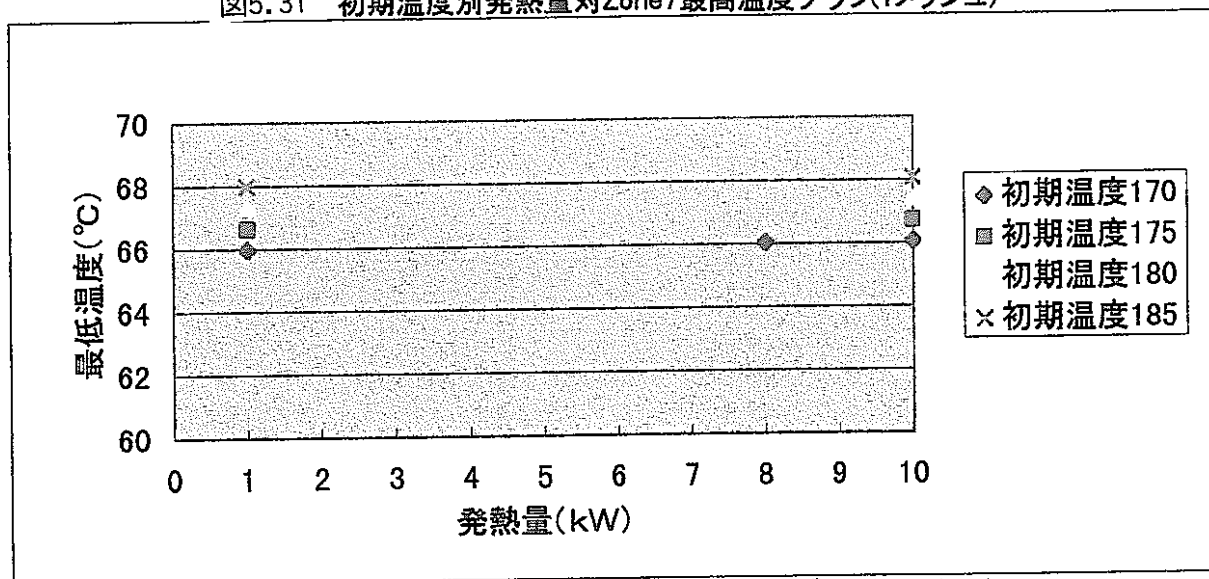


図5.32 初期温度別発熱量対Zone7最低温度グラフ(1メッシュ)

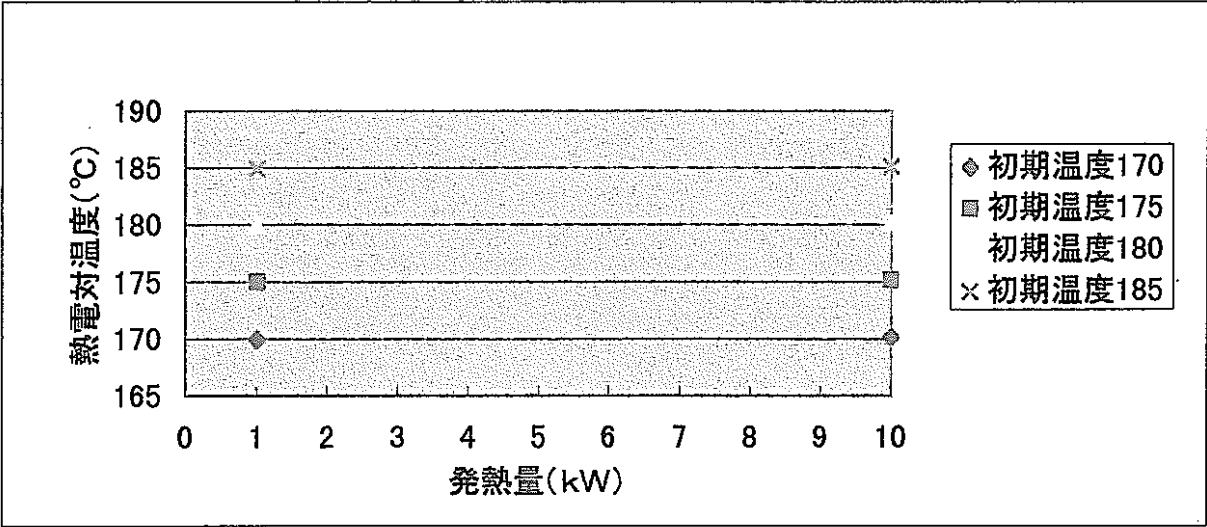


図5.33 初期温度別発熱量対Zone7熱電対温度グラフ(3メッシュ)

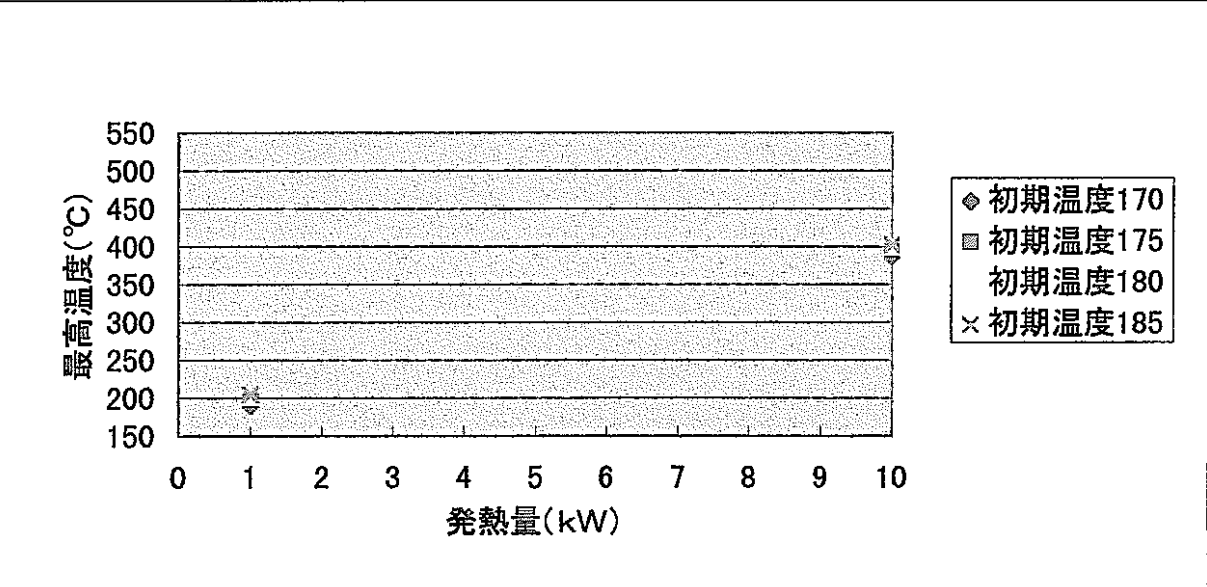


図5.34 初期温度別発熱量対Zone7最高温度グラフ(3メッシュ)

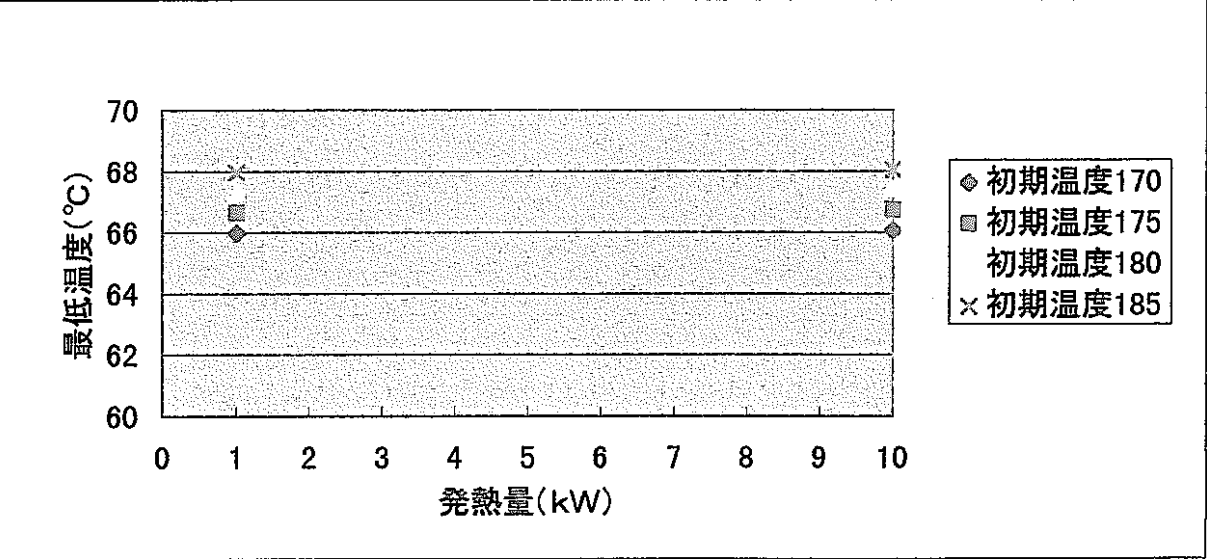


図5.35 初期温度別発熱量対Zone7最低温度グラフ(3メッシュ)

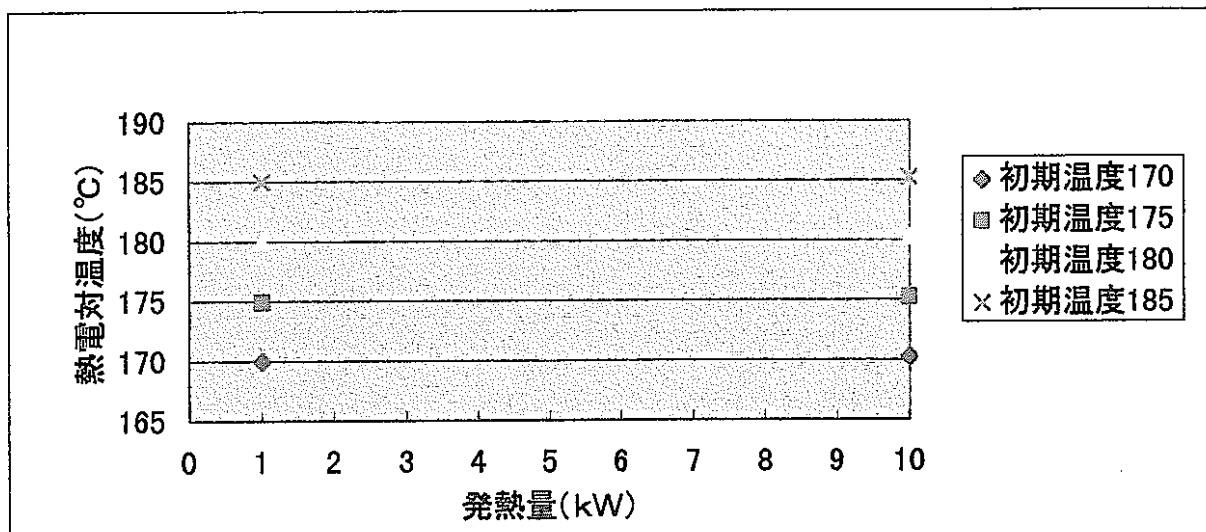


図5.36 初期温度別発熱量対Zone7熱電対温度グラフ(5メッシュ)

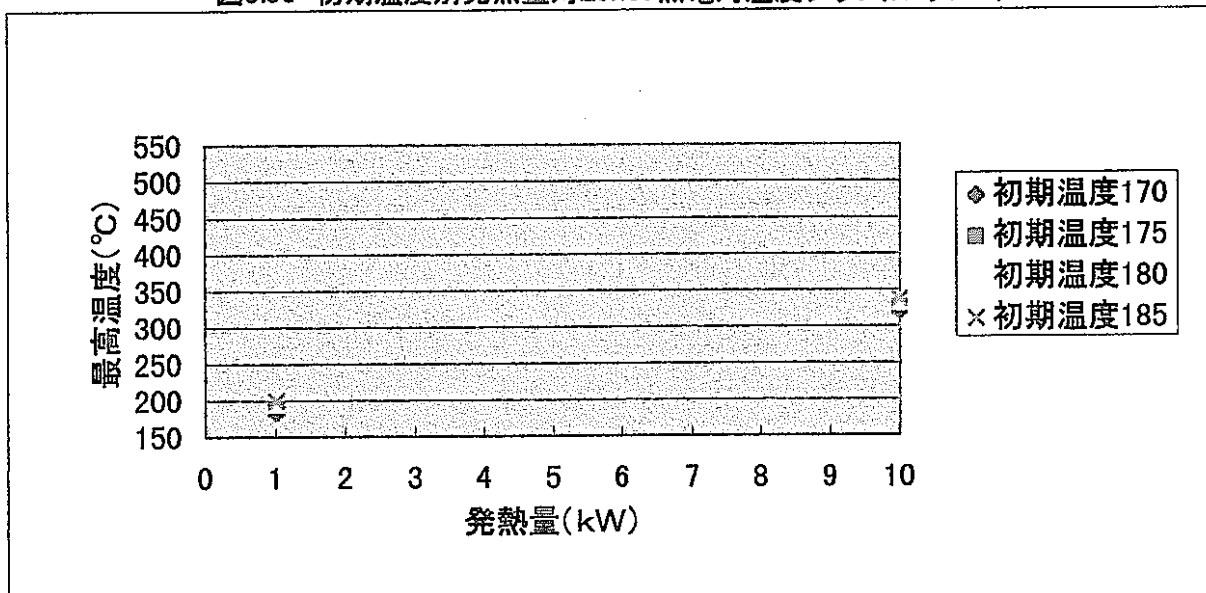


図5.37 初期温度別発熱量対Zone7最高温度グラフ(5メッシュ)

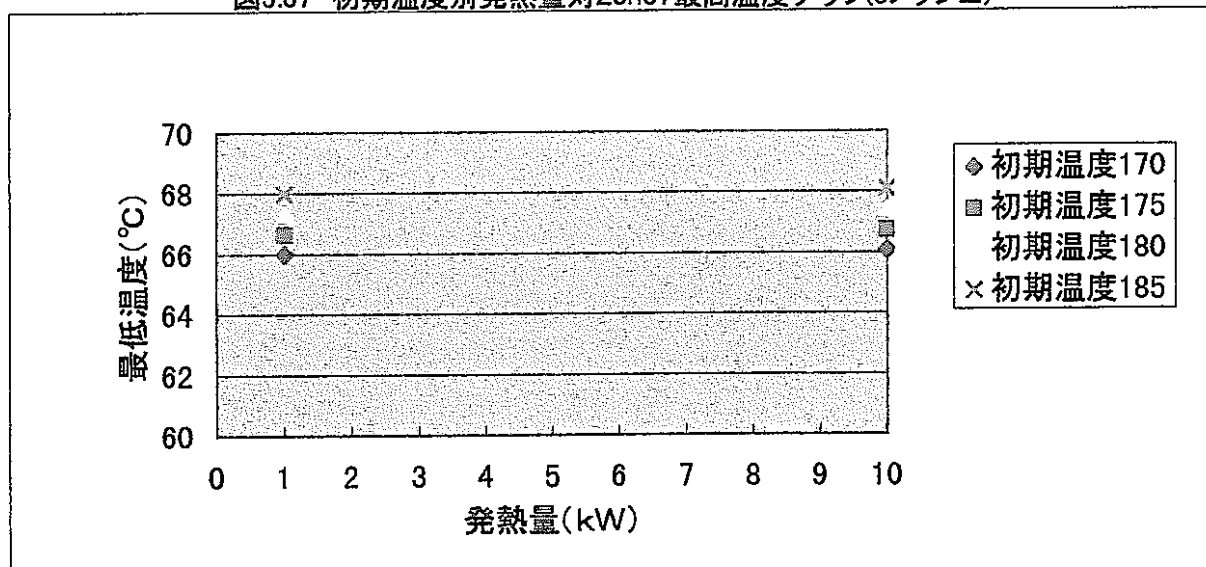


図5.38 初期温度別発熱量対Zone7最低温度グラフ(5メッシュ)

5.5 まとめ

汎用熱流動解析コード「FINAS」を用いて、エクストルーダの熱伝導解析解析を行った。原因究明班の指示により解析のパラメータとして発熱量、初期温度、発熱密度をそれぞれ変えて解析を行った結果、Zone7 の熱電対温度計の温度は、 $170^{\circ}\text{C}\sim 185^{\circ}\text{C}$ の範囲で変化が見られた。また、Zone7 の最高温度は、 $184^{\circ}\text{C}\sim 534^{\circ}\text{C}$ 、最低温度は $66^{\circ}\text{C}\sim 68^{\circ}\text{C}$ の範囲であった。

6 あとがき

「アスファルト固化処理施設火災・爆発事故究明・再発防止対策班」からの依頼により、アスファルト固化体の熱流動解析、アスファルト充填室の空気流動解析、エクストゥルーダの熱伝導解析をそれぞれ行った。

これらの解析の共通課題は、実測で得られたデータが非常に少ない、という点である。アスファルト固化体の熱流動解析、アスファルト充填室の空気流動解析の両者は実測値が無く、エクストゥルーダの熱伝導解析で一カ所、熱電対温度計の実測値があるのみである。以上のことから、「1.3 HTSの作業範囲」でも述べたように、HTSでは、本解析の結果に対する評価の任にないが、これらの結果から報告をまとめる方々には、これらの点を十分考慮して頂きたい。