

エゼクタ計算

報告書

平成21年2月10日

Advanced Algorithm & Systems

目 次

	ページ
1. 本報告書の範囲 -----	3
2. 解析モデル -----	3
3. 解析の試行経緯 -----	5
4. 設計と計算結果の比較 -----	7
5. 今後の課題 -----	8
添付資料	
A ノズルだけの解析結果 -----	10
B 合流モデル 2 解析結果(空気のみ) -----	16
C 瞬間分布と時間平均分布の比較 -----	25
D 混合気(蒸気・空気)の解析 -----	34

1 . 本報告書の範囲

蒸気エゼクタ (SJAE ; Steam jet air ejector) を対象とする (図 1.1)。仕組みは駆動用蒸気を先細末広ノズルで超音速に加速し、空気 (非凝縮ガス) を巻き込んで下流に吹き出すことで、空気の吸込み側を真空にする機器である。

最終的な解析の興味の対象は図の蒸気条件近くで流れ場がバランスしている時、以下を精度良く推定することにある。

- (1) エゼクタの内部ではどのような現象が発生しているか (衝撃波、駆動蒸気の断熱膨張による凝縮、蒸気と非凝縮ガスの混合等)
- (2) また、新しい形状、条件でエゼクタを設計する場合、どのような流れ場およびエゼクタ効率となるか

本報告書は、図 1.1 で示したノズル形状の蒸気エゼクタを対象として、空気のみの場合 (表 1.1) および混合気 (蒸気・空気) (表 1.2) について解析した結果をまとめたものである。

2 . 解析モデル

図 1.1 に示された図から、2 種類の解析格子を作成した。

モデル 1 : ノズルだけの解析格子

モデル 2 : 駆動側および被駆動側を合流させた解析格子

格子形状については添付資料 A および B を参照のこと。

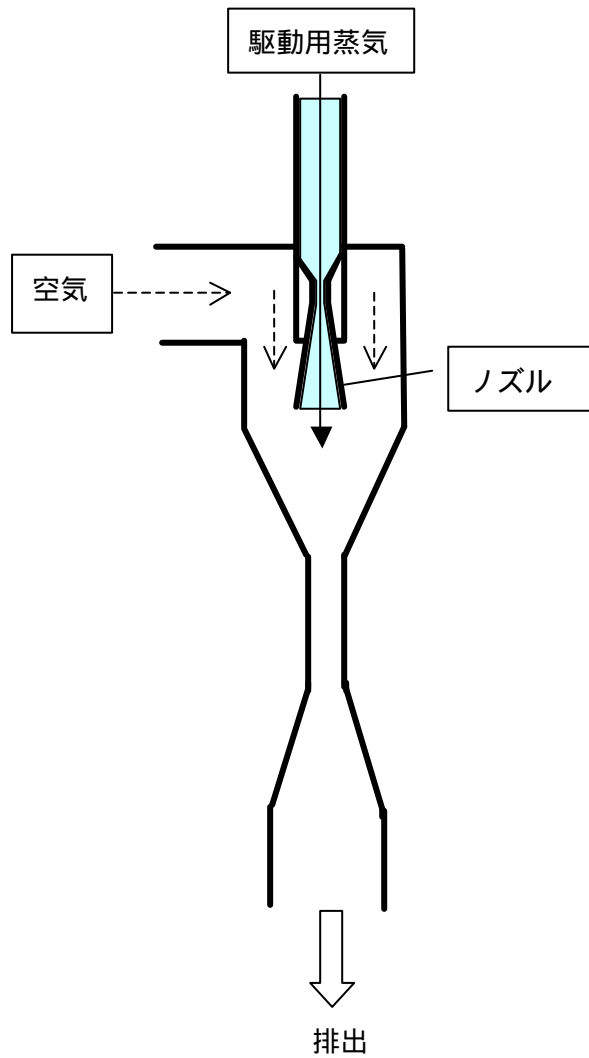


図 1.1 蒸気エゼクタ概念図

ノズルの設計条件を以下に示す。

表 1.1 ノズルの設計値 (空気)

ノズル内 (入口~スロート~出口) の流れ

流体 空気

	P	T	V	A	A/A*	M	G	R
	barA	K	kg/m ³	m/s	m ²	-	kg/s	- kJ/[kgK]
よどみ点	0	2	573.15	1.216	0	0		1.4 0.287
静 (臨界)	*	1.057	477.6	0.771	438.1	4.191E-04	1	0.1415 (空気300Kで代表)
静 ノズル入口		1.946	568.7	1.192	94.4	1.257E-03	2.998	0.1976
		1.945	568.6	1.192	95.6	1.242E-03	2.964	0.2
		1.879	563.0	1.163	142.7	8.529E-04	2.035	0.3
		1.791	555.4	1.124	189.0	6.664E-04	1.590	0.4
		1.686	545.9	1.076	234.2	5.615E-04	1.340	0.5
		1.568	534.7	1.022	278.1	4.980E-04	1.188	0.6
		1.442	522.0	0.962	320.6	4.586E-04	1.094	0.7
		1.312	508.1	0.900	361.5	4.351E-04	1.038	0.8
		1.183	493.2	0.835	400.7	4.228E-04	1.009	0.9
スロート		1.057	477.6	0.771	438.1	4.191E-04	1.000	1 204.48
		0.256	318.4	0.280	715.4	7.072E-04	1.688	2
出口		0.095	239.8	0.138	818.4	1.257E-03	2.998	2.637 -33.40
(出口		0.002	84.0	0.010	991.3	1.429E-02	34.099	5.397 -189.18 オリジナルの出口条件)

表 1.2 ノズルの設計値 (蒸気)

流体 蒸気

	P	T	V	A	A/A*	M	G	R
	barA	K	kg/m ³	m/s	m ²	-	kg/s	- kJ/[kgK]
よどみ点	0	2	573.15	0.756	0	0		1.292 0.4614
静 (臨界)	*	1.094	500.0	0.474	546.1	4.191E-04	1	0.1085 (蒸気300Kで代表)
静 ノズル入口		1.949	569.8	0.741	116.5	1.257E-03	2.998	0.1999
		1.949	569.8	0.741	116.6	1.256E-03	2.996	0.2
		1.888	565.7	0.723	174.2	8.613E-04	2.055	0.3
		1.806	560.0	0.699	231.2	6.719E-04	1.603	0.4
		1.707	552.9	0.669	287.1	5.651E-04	1.348	0.5
		1.594	544.5	0.635	341.9	5.003E-04	1.194	0.6
		1.473	534.8	0.597	395.3	4.599E-04	1.097	0.7
		1.347	524.1	0.557	447.2	4.357E-04	1.040	0.8
		1.220	512.5	0.516	497.5	4.230E-04	1.009	0.9
スロート		1.094	500.0	0.474	546.1	4.191E-04	1.000	1 226.90
		0.261	361.7	0.157	928.8	7.462E-04	1.781	2
出口		0.113	299.0	0.082	1057.5	1.257E-03	2.998	2.505 25.83
(出口		0.004	137.2	0.006	1333.4	1.429E-02	34.099	4.661 -135.91 オリジナルの出口条件)

3 . 解析結果についての所見

安定な解を求めて数多くの試行を行った。主要なものについて、試行過程に沿って、その狙いと、解析モデルへの適用方法(パラメータ指示値等)を簡潔に列挙する。

まず、Smagorinsky 粘性 (参考文献 1) を考慮しないで計算した。

- (1) まず、指定された条件で合流モデル 1 を計算したら「定常状態」に至る前に計算が破綻した。
- (2) 被駆動側の圧力が最も低く、流れが一方向にならないような気がしたので、被駆動側の圧力は固定しない方針とした。(合流部の圧力が自然と下がれば、被駆動側の圧力は指定された圧力に近くなるだろうと考えた)。しかし破綻することは変わらなかった。
- (3) 破綻箇所はラバルノズルの出口付近。速度は速いが、圧力/温度/密度のあまり大きくない気体が、合流部付近の、圧力/温度/密度がそこそこ大きい気体に押し負けるという印象を持ったので、ラバルノズルの出口付近の気体が「薄く」なるよりも速く、合流部の気体が「薄く」なるような条件を見付ける方針に変更。例えば、

- 流出口の圧力 or 速度を変えて、素早く気体を排出させる
- 初期条件の圧力等を「薄い」気体のものに変えてしまう
- 被駆動側から送り込んで、合流部に流れを作るようにする

具体的な計算条件の代表的な例は以下の通りである。

- ・ 出口圧力の影響
出口圧力を御社の提示値(0.5d5 Pa)に固定
- ・ 出口速度の影響
出口速度を 100 m/s などに固定
- ・ 初期条件の圧力の影響
初期条件の圧力を適当に上下(たとえば、1.9d5 Pa, 0.5d5 Pa, 0.1d5 Pa など)
- ・ 被駆動側速度の影響
被駆動側速度を 10 m/s などに固定
- ・ 被駆動側圧力の影響
被駆動側圧力を 0.11d5 Pa, 0.2d5 Pa などに固定

しかし、いずれも計算は破綻した。

- (4) また、格子間隔の影響を調べるため、特に合流部のメッシュを細かくしてみたが、破綻する。
- (5) ラバルノズルのみの計算は安定するのか確かめるためにモデル 1 の計算を行った。単に、入口の状態を固定しただけの場合は、出口付近から破綻し始めるが、出口の圧力も固定すると、安定して計算できることが分かった。結果を添付資料 A に示す。
- (6) 合流モデル 2 の場合、破綻のタイミングや破綻場所を特定することはできていない。破綻する条件であっても、時間刻みを多少変更すると、破綻する時刻が大きく変化する。
- (7) 添付資料 B は、設計条件に最も近い条件で計算した場合、破綻する前(0.04 秒)の結果を図示

したものである。後節4で示すように、駆動側の流入口から合流部までの解は設計値とよく一致している。

以下、一様に分子粘性を大きくしたり、Smagorinsky 粘性を考慮して計算した。

(8) 次に、被駆動側速度を 5 m/s に固定し、粘性係数を調節することで定常状態に近くなることを期待して試した。上記(7)までの計算で用いた粘性係数は、物理的な分子粘性で、乱流や渦による粘性を考慮していない。k-モデルなどの乱流モデルは、分子粘性に乱流や渦によるエネルギー散逸を粘性係数として付加しているものである。定常解を得る一つの試みとして行った。具体的に行ったことは3つである。

(a) 分子粘性を 1000 倍にして一様に与えて計算した。結果は定常解に至る前に 0.025 秒で破綻した。

(b) 最初の計算が破綻する(0.05 秒)まで分子粘性を用い、その後、分子粘性を 1000 倍に一様に与えて計算して、かなり安定した(0.06)ところで最初の分子粘性にもどした。結果は定常解に至る前に 0.065 秒で破綻した。

また、被駆動側から流入させることで解析時間が長くなった。

(c) 次にもっと流れの影響を取り込める Smagorinsky モデルを用いた。これを用いるとかなり計算時間が長く、ほとんどの場合に安定することがわかった。結果を添付資料 C に示す。

(9) 添付資料 C には、上図にある時刻の瞬間分布、下図にはその時刻近傍での時間平均値分布を載せている。これまでの結果を考察すると、ある時刻での値はかなり変動していると思われ、定常解が存在するのか、という疑問がある。そこで時間平均をとって調べてみると、あたかも定常解であるかのような挙動(準定常)を示すことがわかる。

もし、この時間平均値がある一定の値に収束すれば、計算が破綻する前でも十分設計に用いることができる可能性がある。その検討を添付資料 D で行った結果、「準定常」とみなすことができることがわかった。

(10) 添付資料 C で行った解析とほぼ同じ条件で、駆動側から蒸気を流入させた結果添付資料 D に示す。結果から読みとれる主な点はいかの通りである。詳細は、添付資料 D を参照のこと。

- a. 各時刻においては非定常状態でも時間平均をとると、「準定常状態」とみなすことができそうである。
- b. 被駆動側からの流入がない条件では、合流部から被駆動側の流入口までは、流れがほとんどない状態となる。
- c. b の状態で被駆動側からの圧力または速度条件を与えることで、流入が生じる。混合気の場合、被駆動側からの流入がないと蒸気が合流部から被駆動側に流れ込み、そのまま計算を続けると発散しやすくなる。
- d. 混合気の場合、被駆動側からの流入があると、蒸気は合流部から流出口のみに存在し、解は安定するようである。
- e. Smagorinsky 粘性を考慮することにより安定性が得られることが期待できる。ただし、より厳しい条件については改めて検討する必要があると思われる。

4 . 設計と計算結果の比較

分子粘性だけでは、合流モデルについて定常解が得られなかったが、ノズル部分に関しては定常的な挙動を示した。以下に、添付資料 A および B の結果について、設計条件との比較を行った。

モデル 1 については出口の断面、モデル 2 については合流位置でのノズル部の断面での値である。ノズル部に関する限りは、設計値（表 1.1）と計算値はよく一致している。

表 4.1 ノズルのみのモデル 1

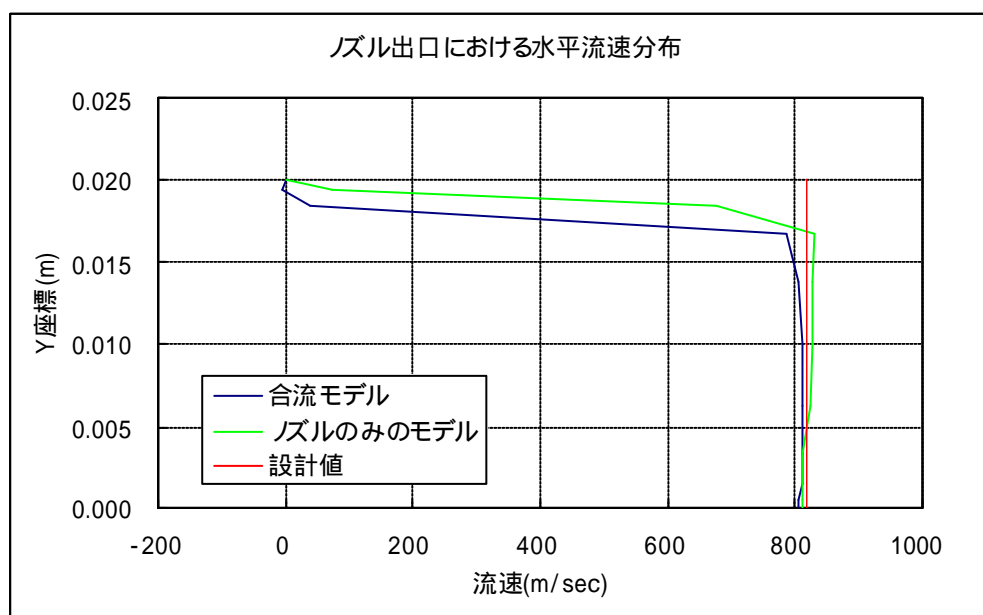
境界条件		設計条件				計算			初期条件
変数	単位	臨界	入口	スロート	出口	入口	スロート	出口	
P	barA	1.057	1.946	1.057	0.095	1.946	0.928	0.095	1.000
T	K	477.6	568.7	477.6	239.8	568.7	502.9	247.9	284.3
	kg/m ³	0.771	1.192	0.771	0.138	1.192	0.823	0.140	1.22
V	m/s	438.1	94.4	438.1	818.4	94.4	398.5	819.8	0.0
A	m ²	4.19E-04	1.26E-03	4.19E-04	1.26E-03				
A/A*			2.998		2.998				
M			0.1976		2.637				

入力値
入力値から計算された値

表 4.2 合流モデル 2（ノズル部）

境界条件		設計条件				駆動側 計算			初期条件
変数	単位	臨界	入口	スロート	出口	入口	スロート	出口	
P	barA	1.057	1.946	1.057	0.095	1.946	0.932	0.108	1
T	K	477.6	568.7	477.6	239.8	568.7	467.9	253.6	284.3
	kg/m ³	0.771	1.192	0.771	0.138	1.192	0.691	0.148	1.220
V	m/s	438.1	94.4	438.1	818.4	94.4	475.1	806.6	0
A	m ²	4.19E-04	1.26E-03	4.19E-04	1.26E-03				
A/A*			2.998		2.998				
M			0.1976		2.637				

入力値
入力値から計算された値



Smagorinsky 粘性を考慮して、計算の安定性を確保した結果を、添付資料 D としてまとめた。粘性を考慮すると、設計値より小さめになるように思われる（添付資料 D、図 4.1、図 4.2）。

5 . 今後の課題

現条件での計算の安定性が確保されたが、今後の課題として次のものが挙げられる。

- (1) より厳しい条件の解析（安定性と結果の評価）
- (2) 解析を設計にどう役立たせるか、の戦略の整理
- (3) 実機メッシュでの解析
- (4) 結露を伴うモデルの開発

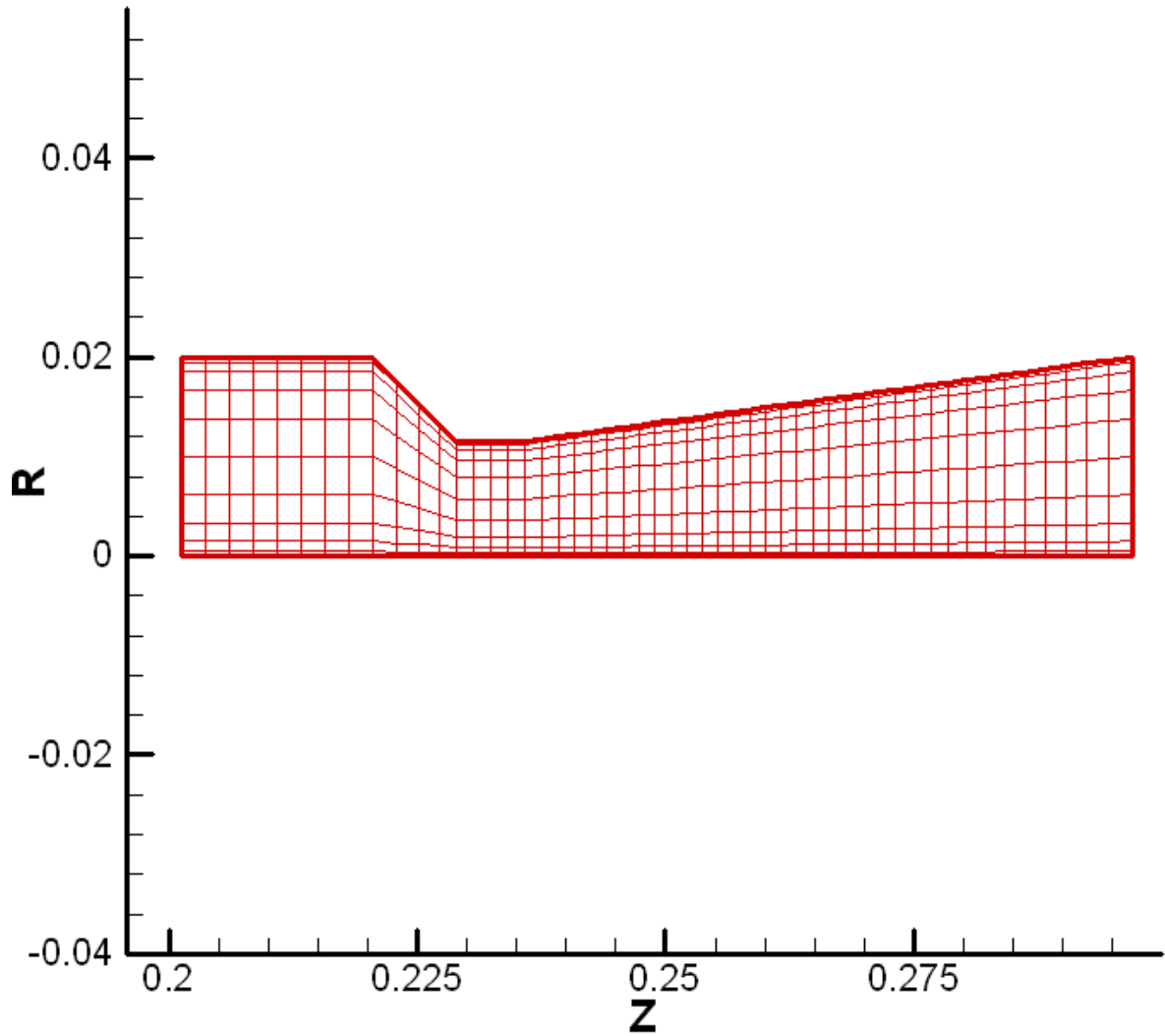
参考文献 1 ANSYS CFX Ver.11 マニュアル xthry11.pdf, P98-99
Large Eddy Simulation Theory 節の Smagorinsky Model の項。

添付資料 A

ノズルだけのモデル 1

超音速流れが再現されるかどうかのテストとして、下図のメッシュ、下記の条件で計算した。結果から、亜音速で流入させる条件を用いて、超音速で流出する計算が可能であることが分かる。

A1 メッシュ



A2 現在の解析条件

A2.1 物性関係

- 状態方程式：理想気体
- 成分：分子量 28 の物質 (N_2)0.76 質量分率と分子量 32 の物質 (O_2)0.24 質量分率
- 比熱：実際の気体の測定値(上記成分(N_2 , O_2))を想定。温度に依存して変化する)
- 粘性係数：実際の気体の測定値(上記成分(N_2 , O_2))を想定。温度に依存して変化する)

A2.2 境界条件

	流入口	流出口
圧力 [$10^5 PaA=1barA$]	1.946	0.095
温度 [K]	568.7	-
速度 (vz) [m/s]	94.4 (*)	-
速度 (vr) [m/s]	0.0	-

(*) 上部の壁では、ゼロ(non-slip)

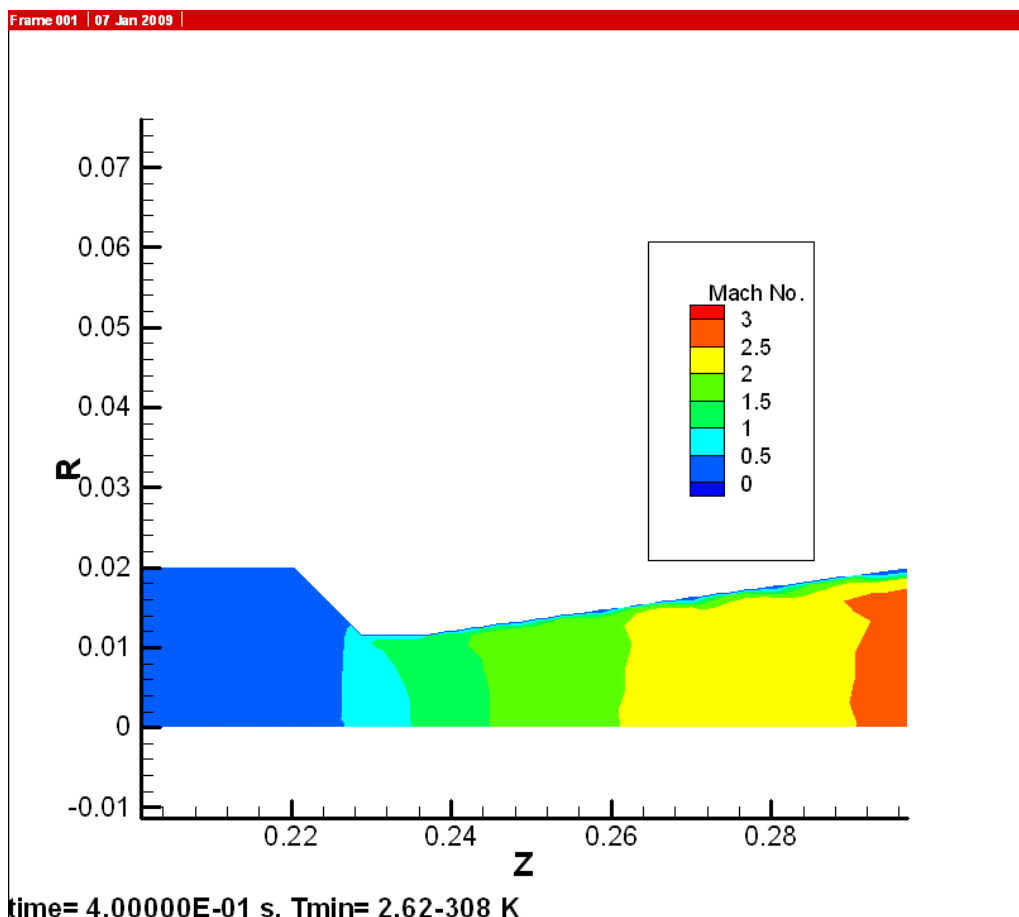
A2.3 初期条件

	値
圧力 [$10^5 PaA=1barA$]	1.9
温度 [K]	540.3
密度 [kg/m^3]	1.22
速度 (vz) [m/s]	0.0
速度 (vr) [m/s]	0.0

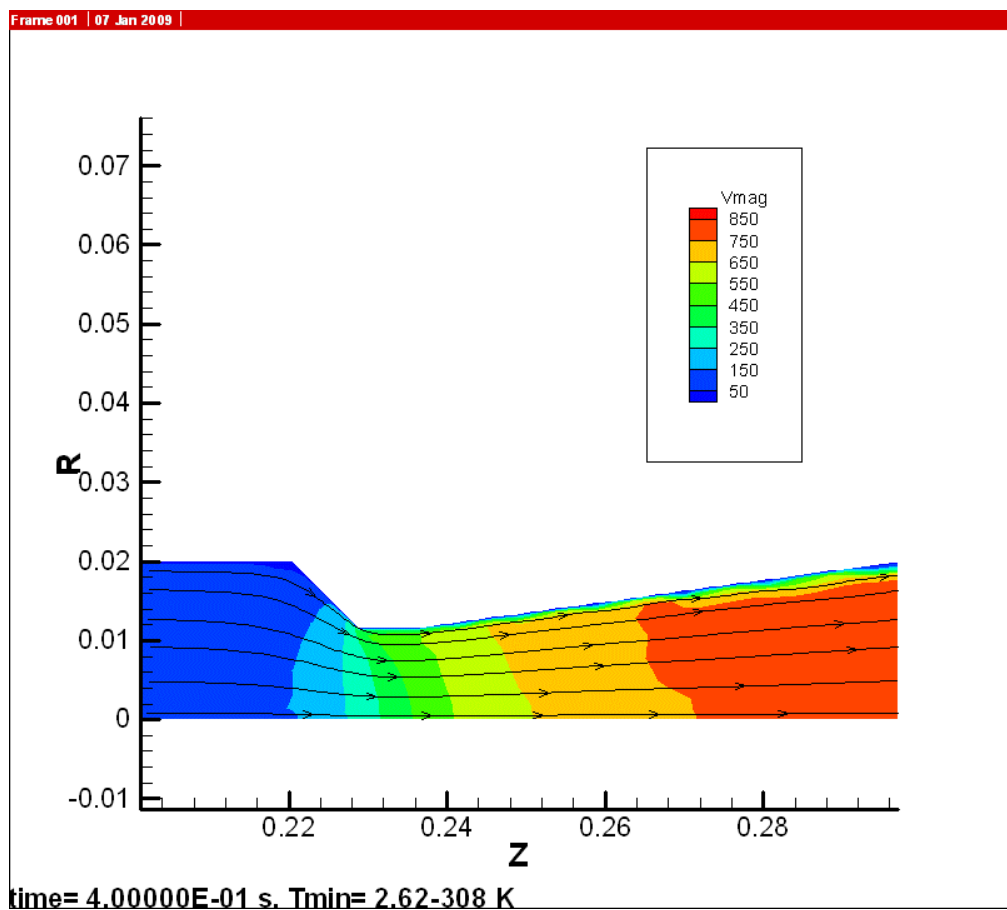
A3 結果

計算を開始してからシミュレーション内の時間で 0.4 秒経過した後の結果を載せる。

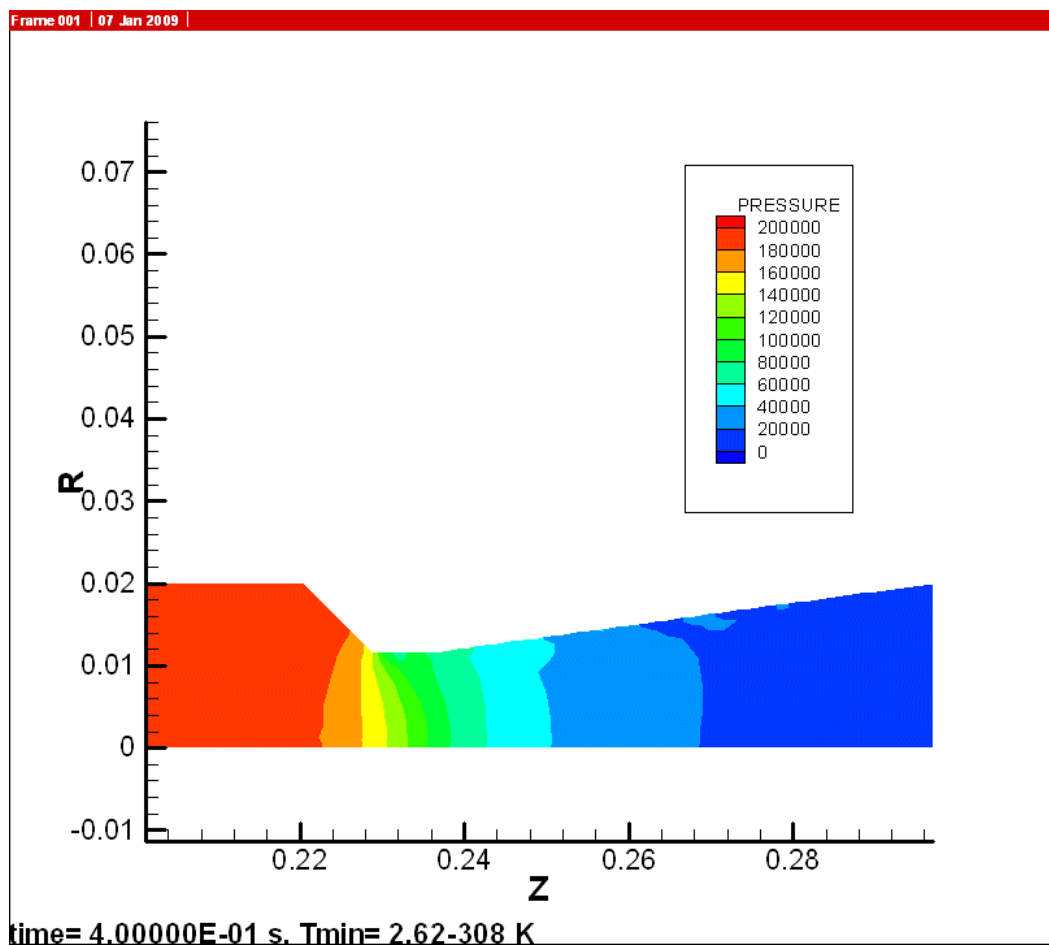
A3.1 マッハ数



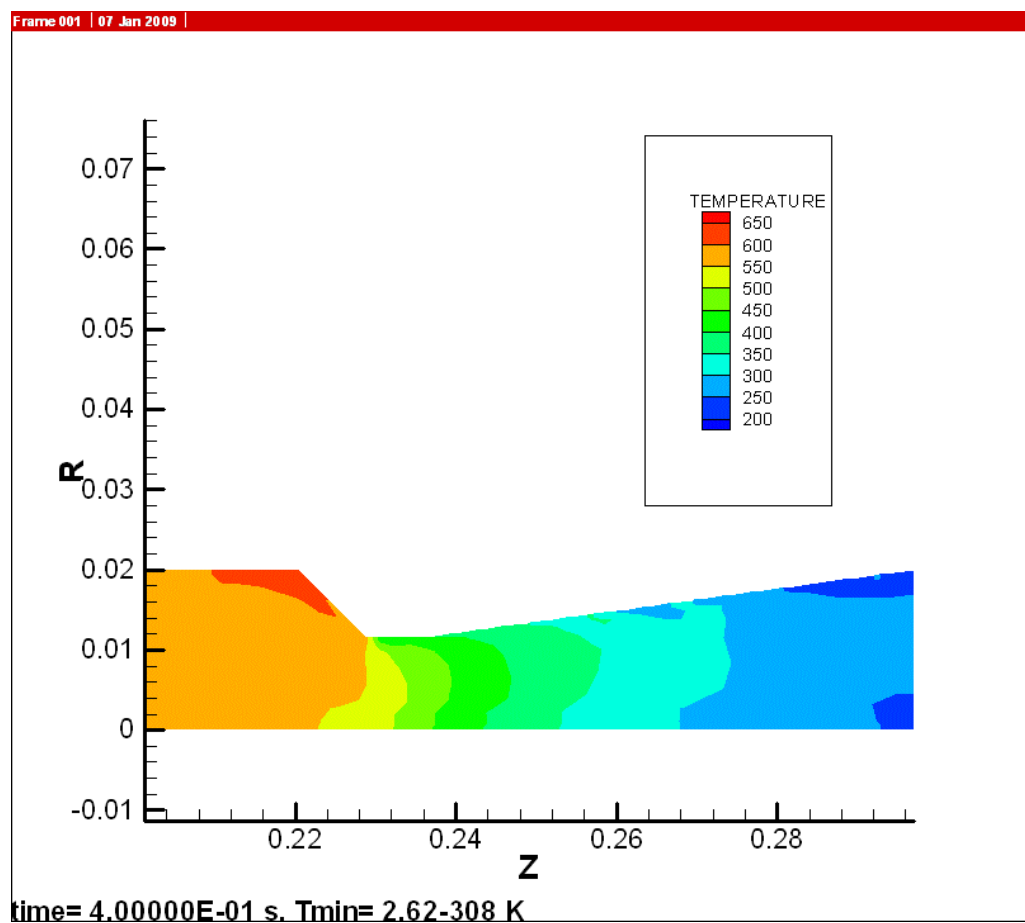
A3.2 速さと流線



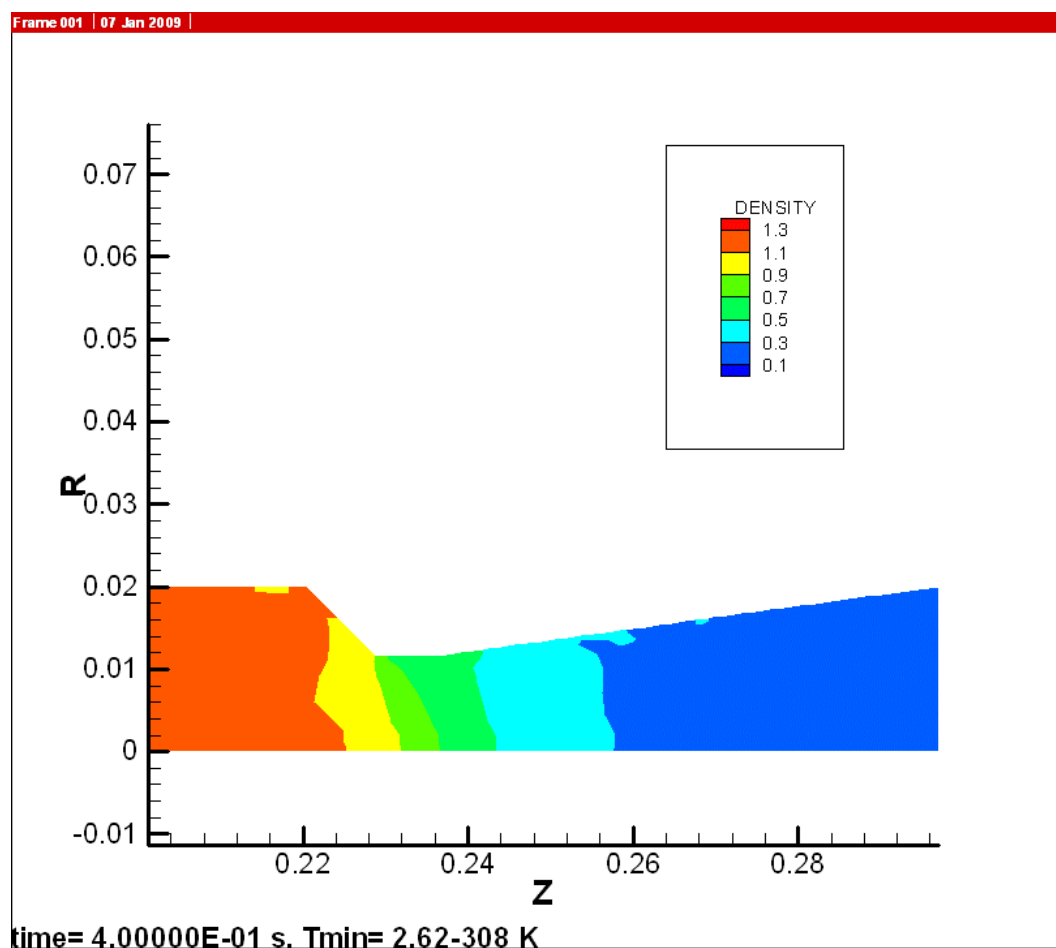
A3.3 压力



A3.4 温度



A3.5 密度



添付資料 B

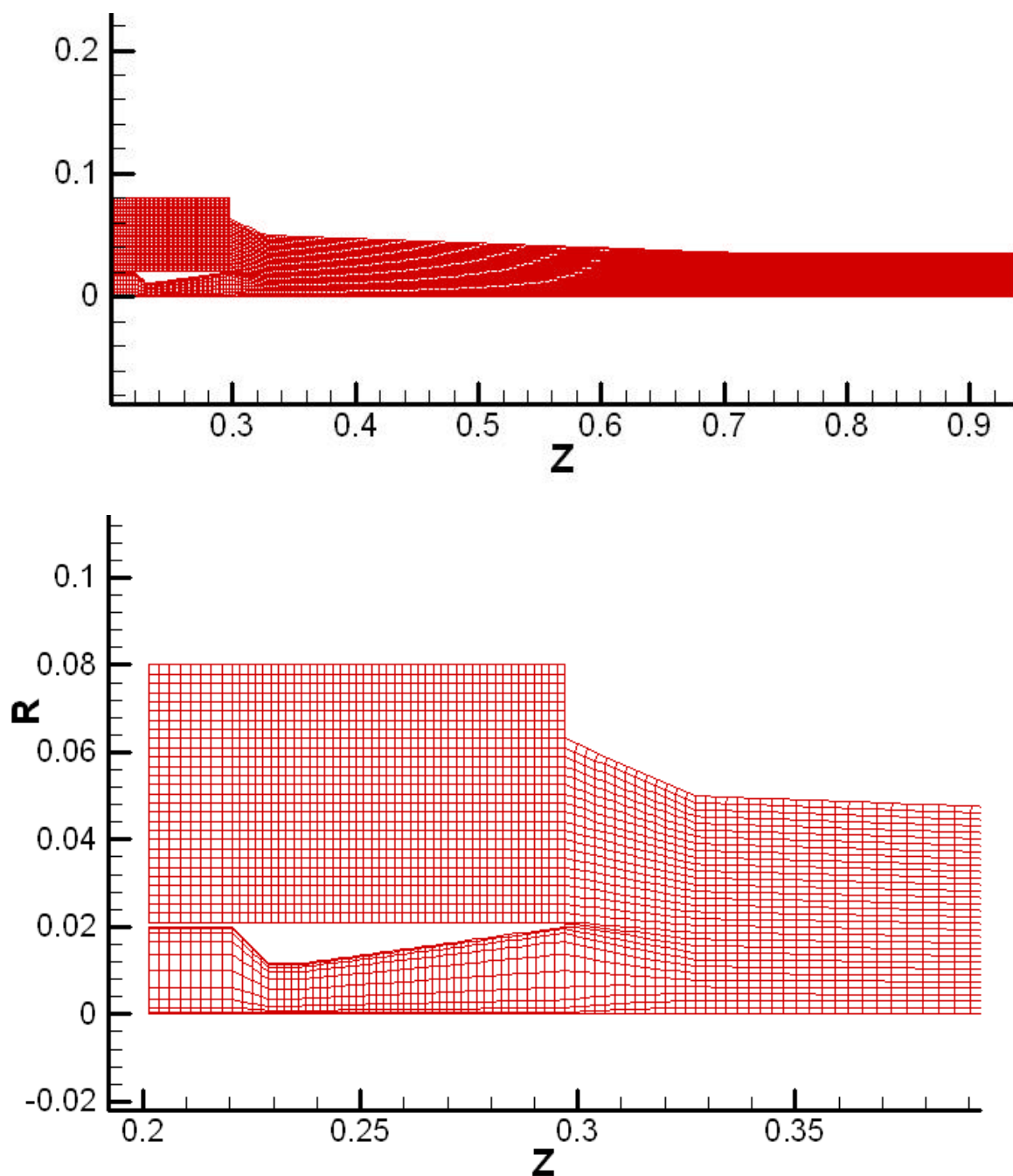
合流モデル解析結果（空気のみ）

駆動側と被駆動側を考慮した合流モデルとして下図のメッシュを作成し、下記の条件で空気のみの場合を計算した。

実機の解析を行う前に、いくつかの問題を明確にする必要がある。そのためには条件を変えて数多くの計算をする必要がある。しかし、実機メッシュでの解析には多大な解析時間がかかるため、まず本質を含む準実機メッシュを作成し、解析した。主眼点は以下の通りである。

- (1) 安定して計算できる条件の理解
- (2) 現象の理解

B1 メッシュ



B2 解析条件

B2.1 物性関係

- 状態方程式：理想気体
- 成分：分子量 28 の物質 (N_2)0.76 質量分率と分子量 32 の物質 (O_2)0.24 質量分率
- 比熱：実際の気体の測定値(上記成分(N_2 , O_2))を想定。温度に依存して変化する)
- 粘性係数：実際の気体の測定値(上記成分(N_2 , O_2))を想定。温度に依存して変化する)

B2.2 境界条件

	駆動側流入口	被駆動側流入口	流出口
圧力[Pa]	1.946e5	free	free
温度[K]	568.7	294.8	free
密度[kg/m ³]	EOS(*)	free	free
速度(vz)[m/s]	94.4	>0.0	>0.0
速度(vr)[m/s]	0.0	0.0	free

* 状態方程式によって計算した値を設定

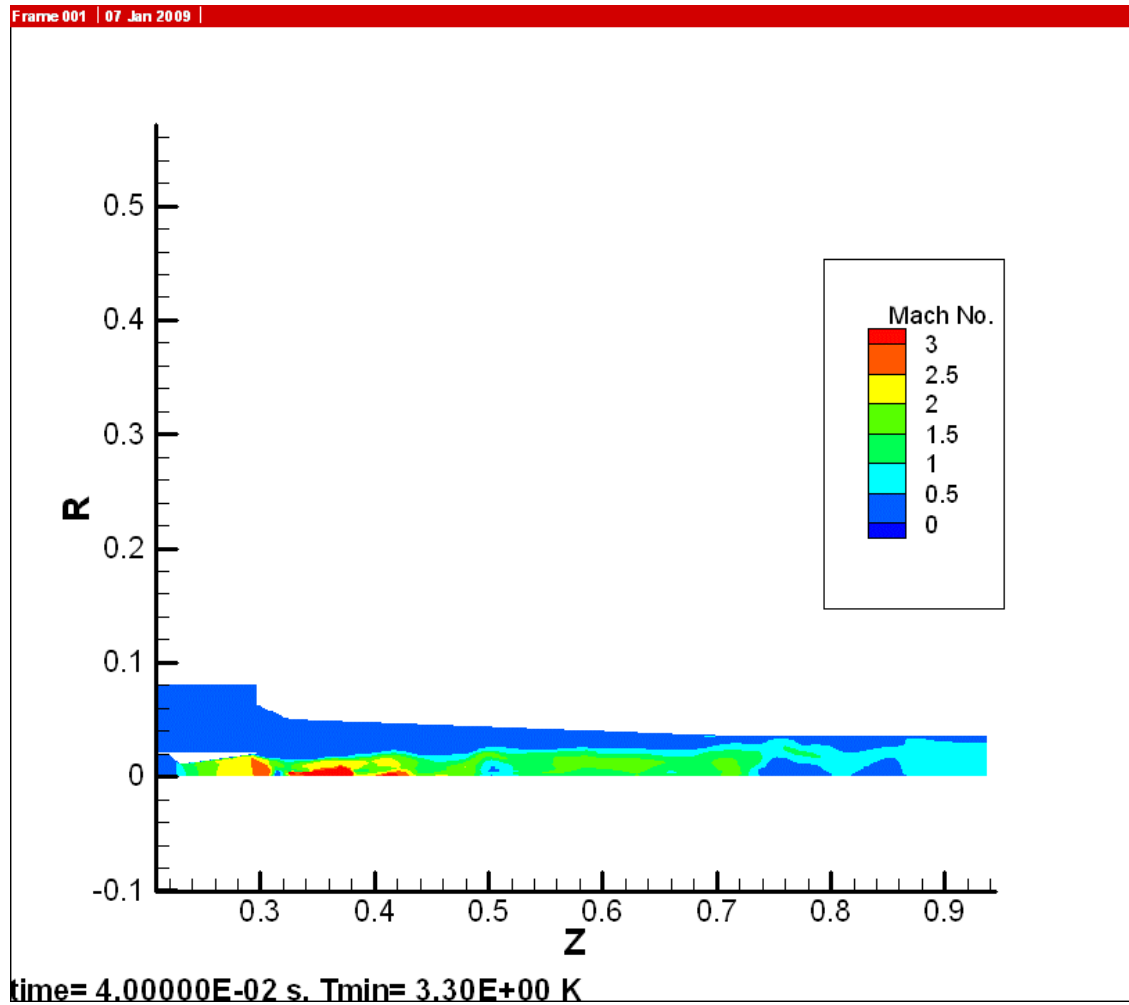
B2.3 初期条件

	値
圧力[Pa]	1.0e5
温度[K]	284.4
密度[kg/m ³]	1.22
速度(vz)[m/s]	0.0
速度(vr)[m/s]	0.0

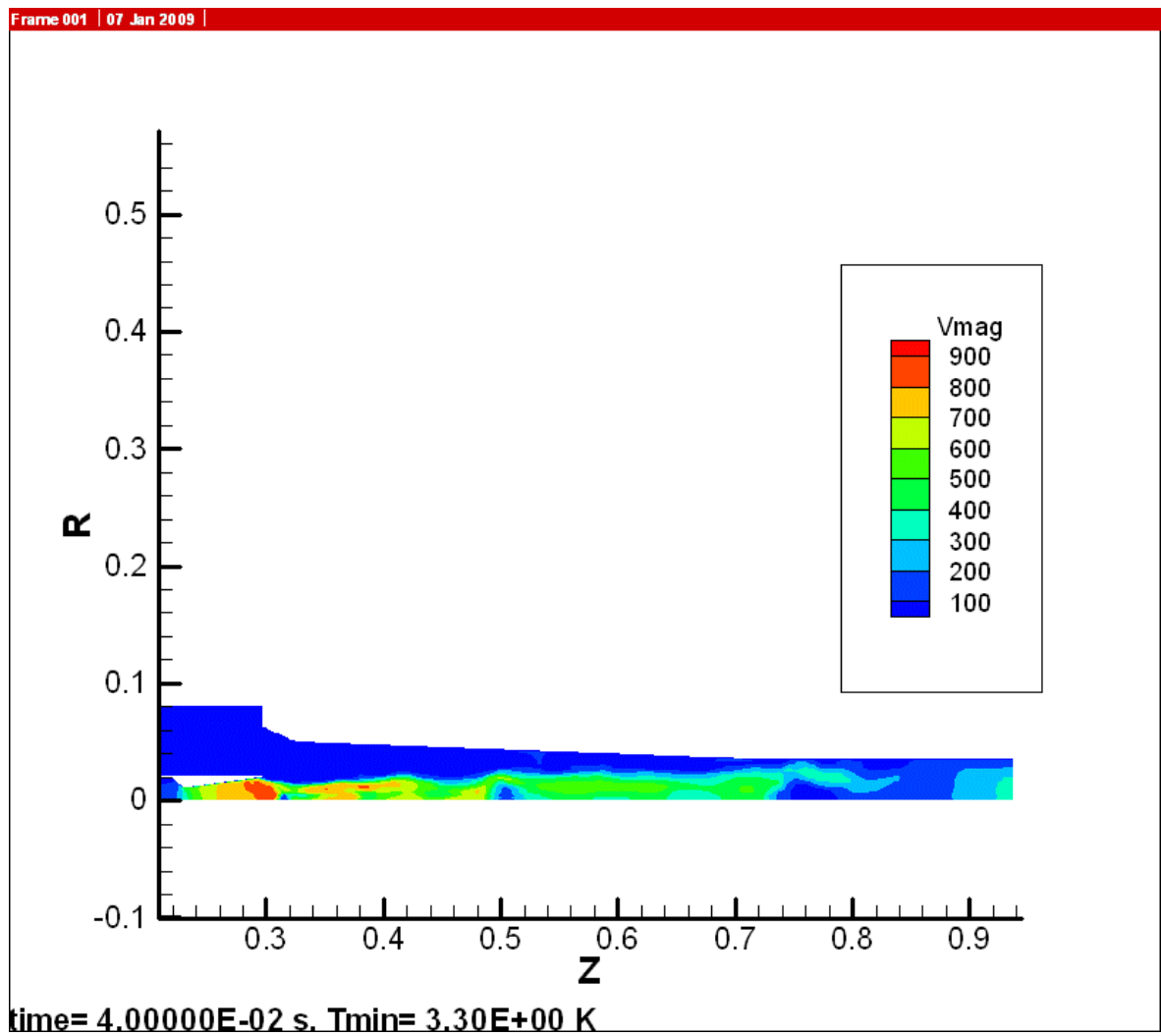
B3 空気のみ解析結果

計算を開始してからシミュレーション内の時間で 0.04 秒経過した後の結果を載せる。

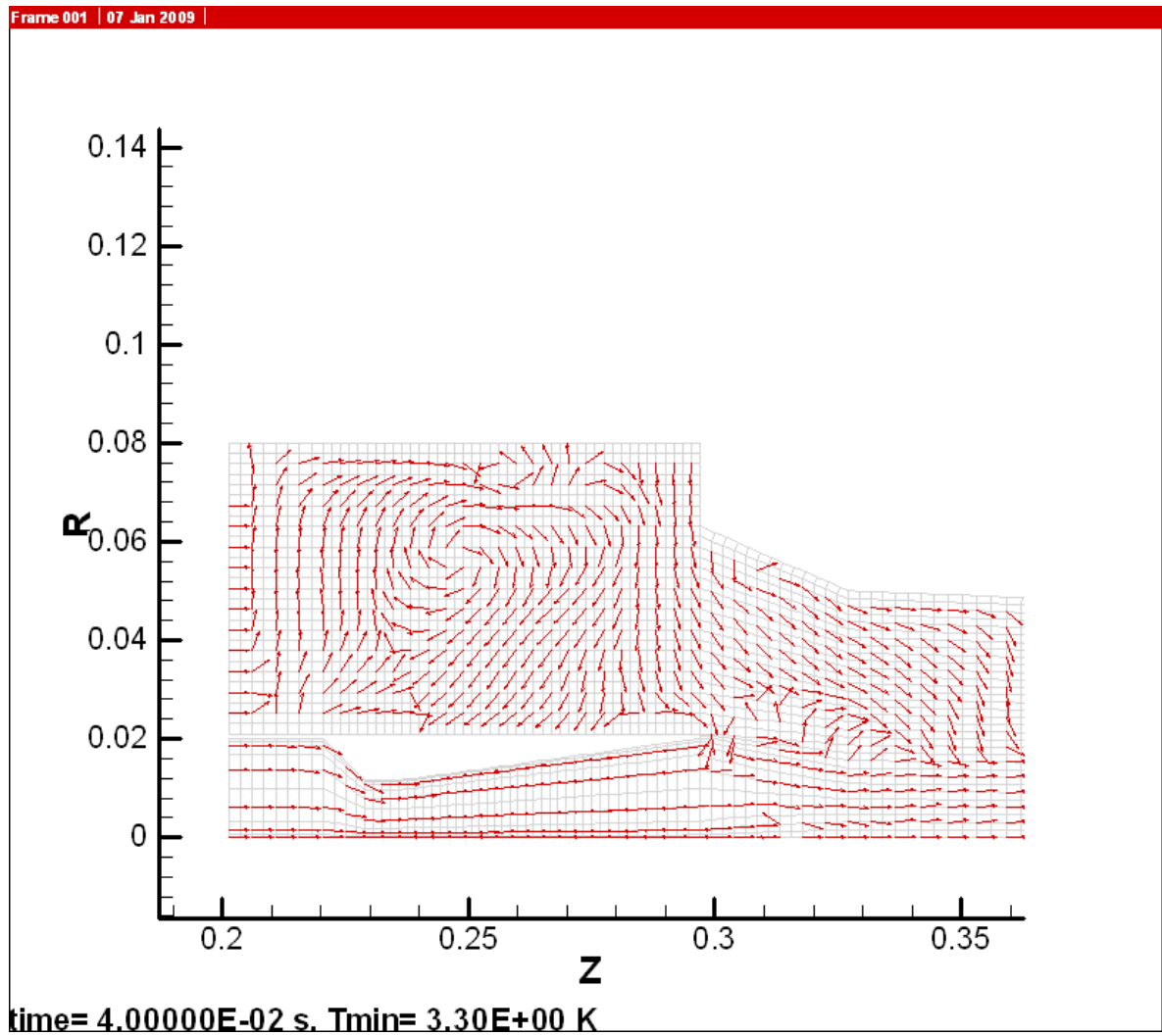
B3.1 マッハ数



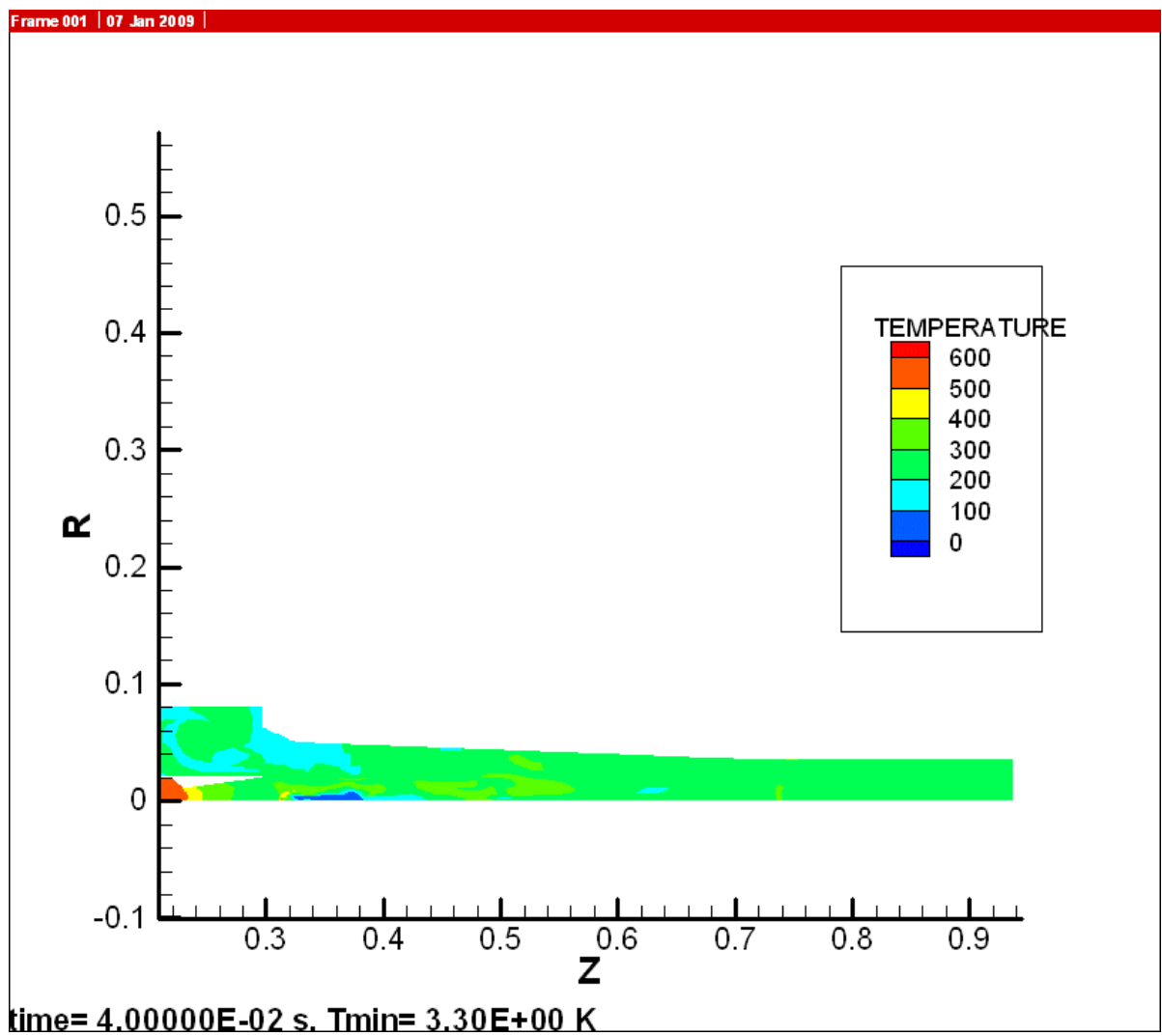
B3.2 速さ



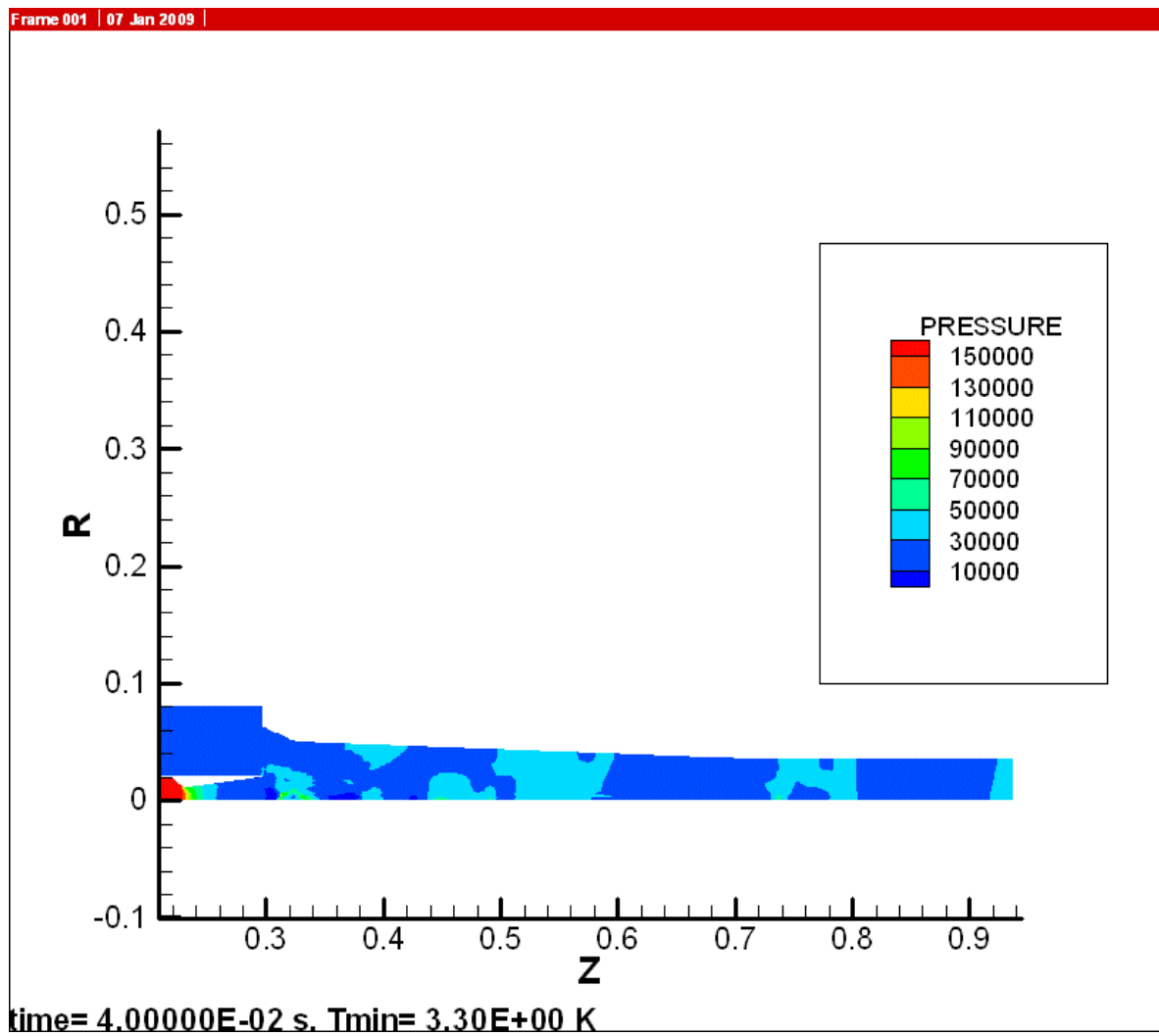
B3.3 速度ベクトル



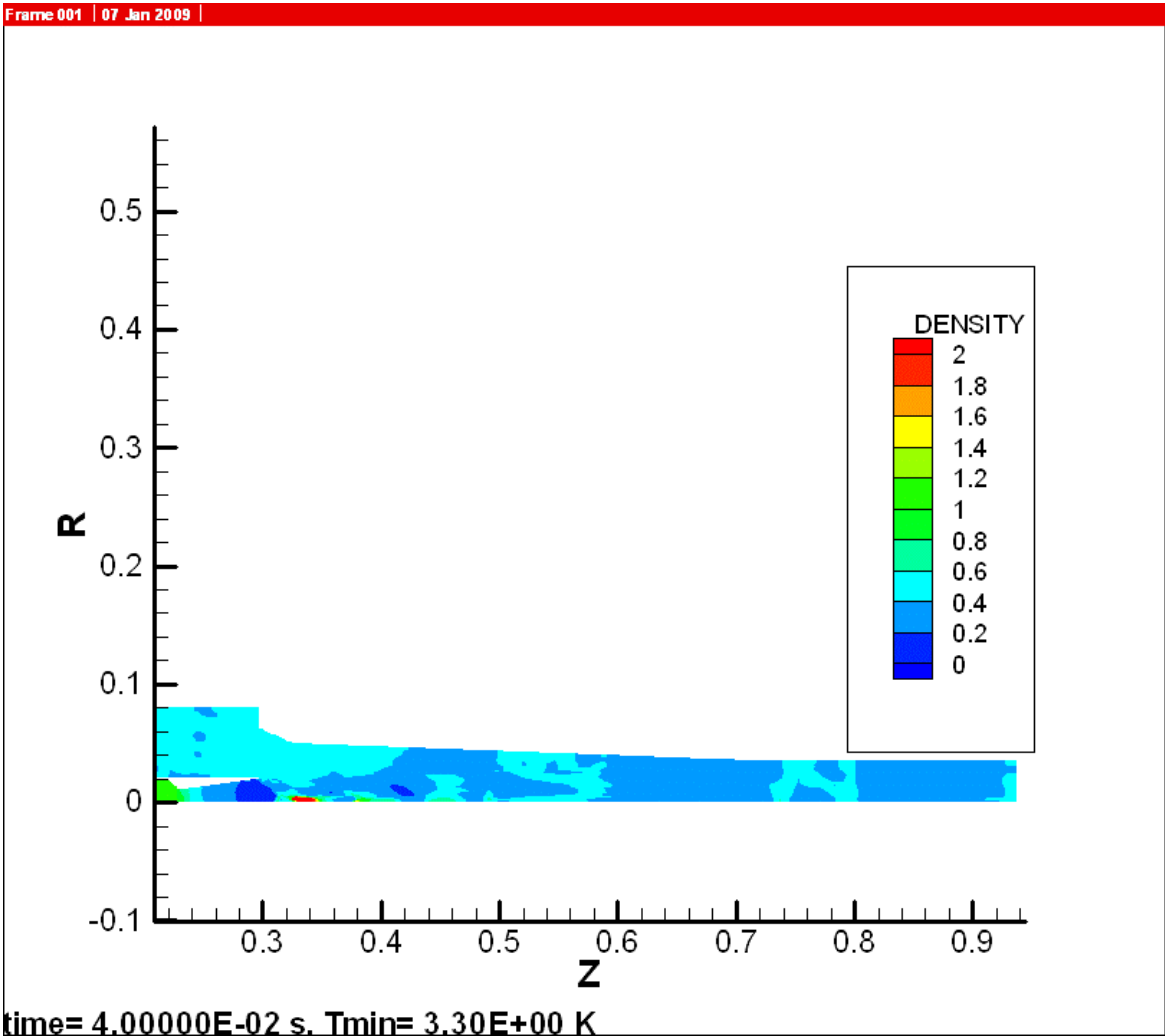
B3.4 温度



B3.5 压力



B3.6 密度



添付資料 C

合流モデル2：空気のみ

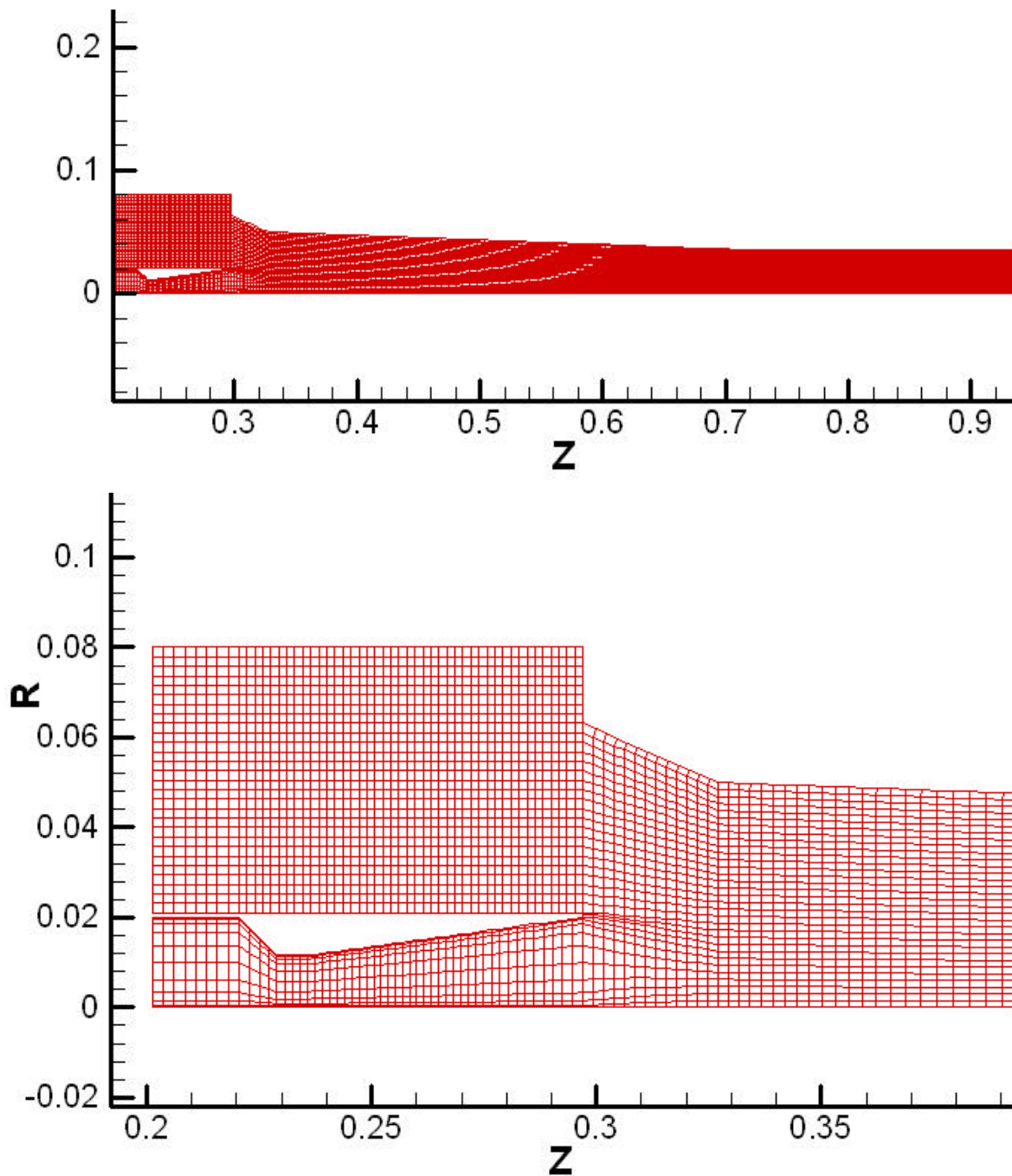
瞬間分布と時間平均分布の比較

基本的に添付資料 B と同じ条件での計算であるが、以下の点が異なる。

- (1) 被駆動側から 5.0m/sec の流量を与えた。
- (2) 渦粘性を Smagorinsky モデルで与えた。

使用した格子は添付資料 B と同じ、以下のものである。

c1 メッシュ



c2 解析条件

c2.1 物性関係

- 状態方程式：理想気体
- 成分：分子量 28 の物質 (N_2)0.76 質量分率と分子量 32 の物質 (O_2)0.24 質量分率
- 比熱：実際の気体の測定値(上記成分(N_2 , O_2))を想定。温度に依存して変化する)
- 粘性係数：実際の気体の測定値(上記成分(N_2 , O_2))を想定。温度に依存して変化する)。
Smagorinsky 粘性 (注) を考慮。

(注) ANSYS CFX Ver.11 マニュアル xthry11.pdf, P98-99

Large Eddy Simulation Theory 節の Smagorinsky Model の項を参考のこと。

c2.2 境界条件

	駆動側流入口	被駆動側流入口	流出口
圧力[Pa]	1.946e5	free	0.3e5
温度[K]	568.7	294.8	free
密度[kg/m ³]	EOS(*)	free	free
速度(vz) [m/s]	94.4	>0.0	>0.0
速度(vr) [m/s]	0.0	0.0	free

* 状態方程式によって計算した値を設定

c2.3 初期条件

	値
圧力[Pa]	1.0e5
温度[K]	284.4
密度[kg/m ³] (***)	1.22
速度(vx) [m/s]	0.0
速度(vy) [m/s]	0.0

c3 空気のみ解析結果

以下の2種類の結果を比較した。

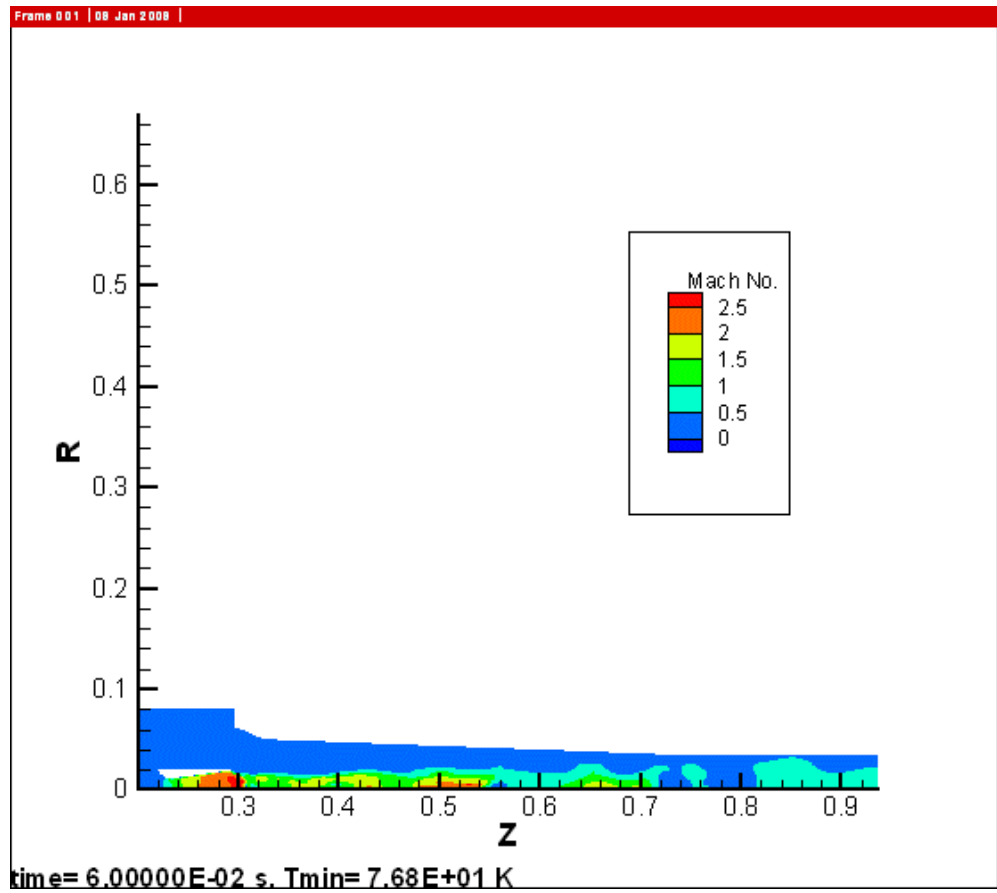
上図： 計算を開始してからシミュレーション内の時間で0.06秒経過した後の結果（瞬間分布）

下図： 0.055～0.060秒の時間平均値（時間平均分布）

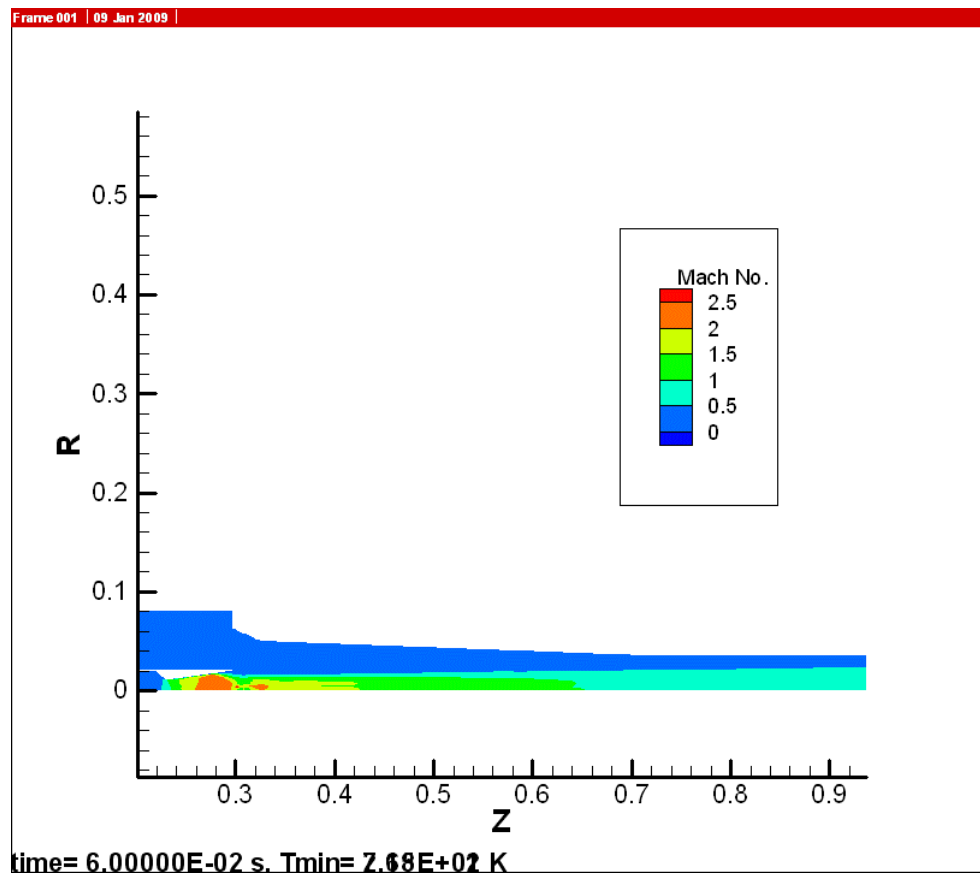
- （1） 解析結果から、瞬間分布は時刻によって変化しているようでも、時間平均分布は「準定常状態」の挙動を示すことがわかる。
- （2） また、現条件で計算の安定性が確保された。

C3.1 マッハ数

瞬間分布

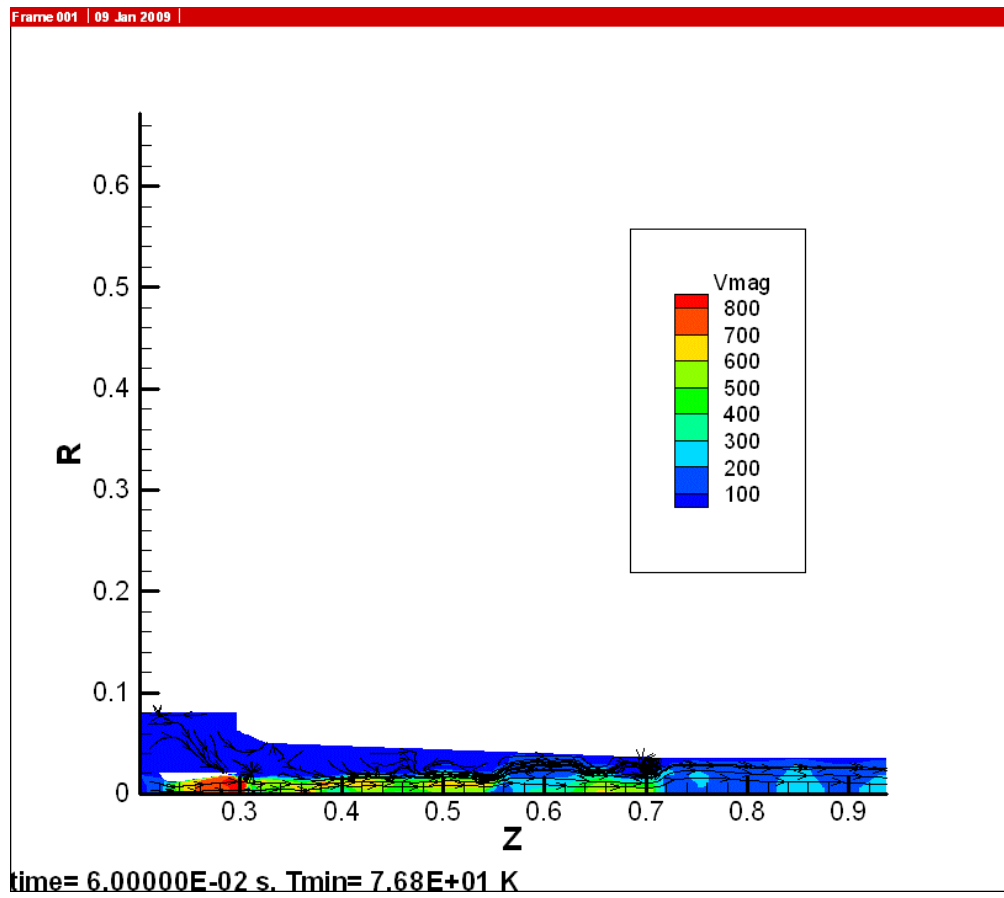


時間平均分布

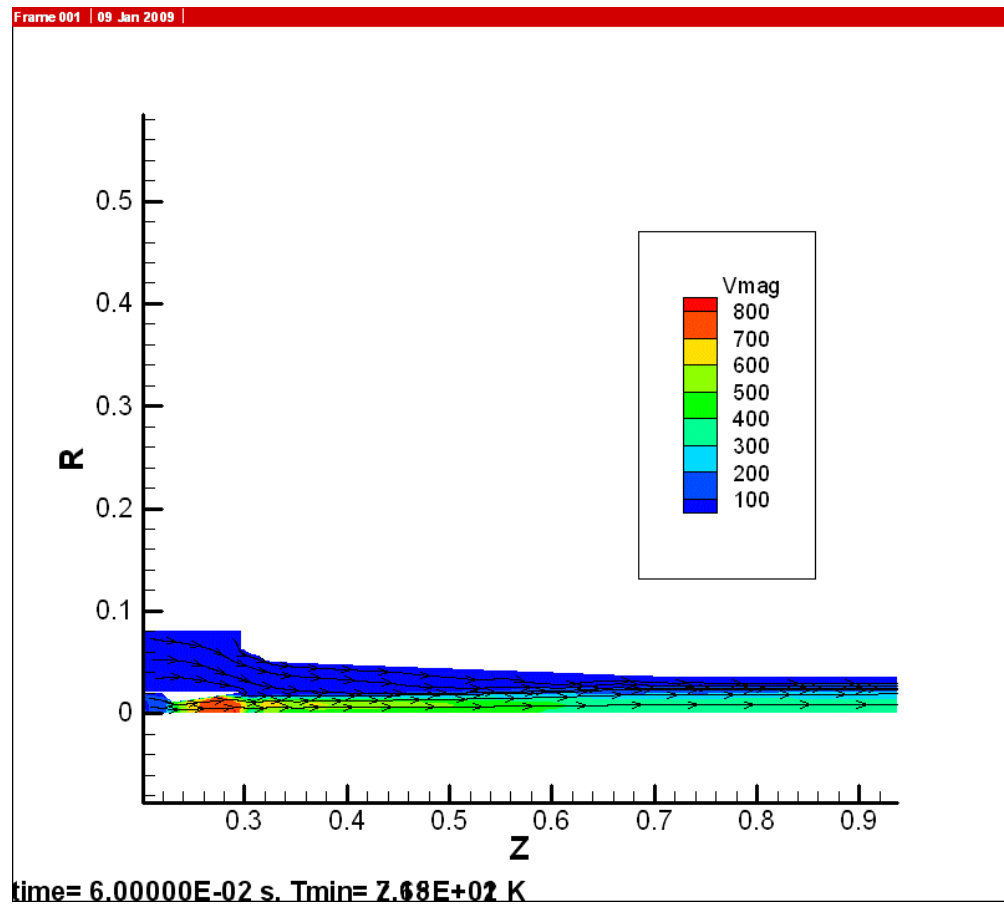


C3.2 速さと流線

瞬間分布

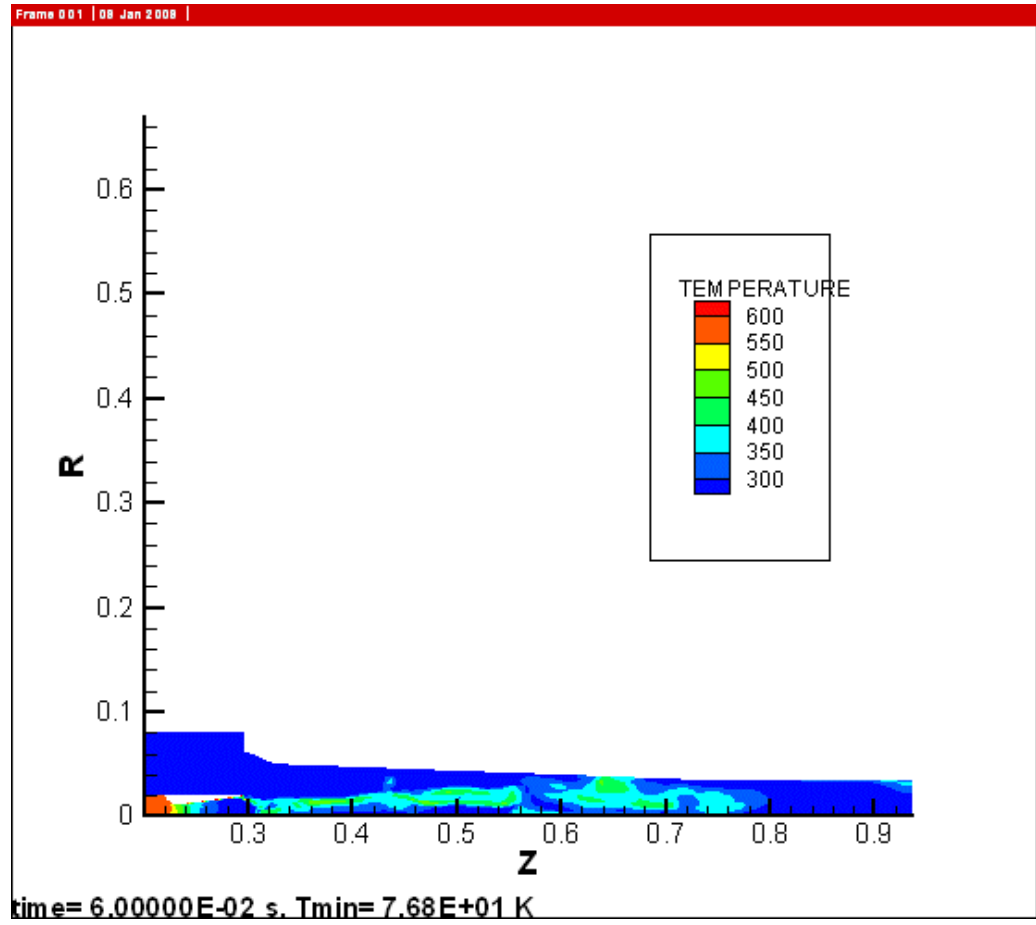


時間平均分布

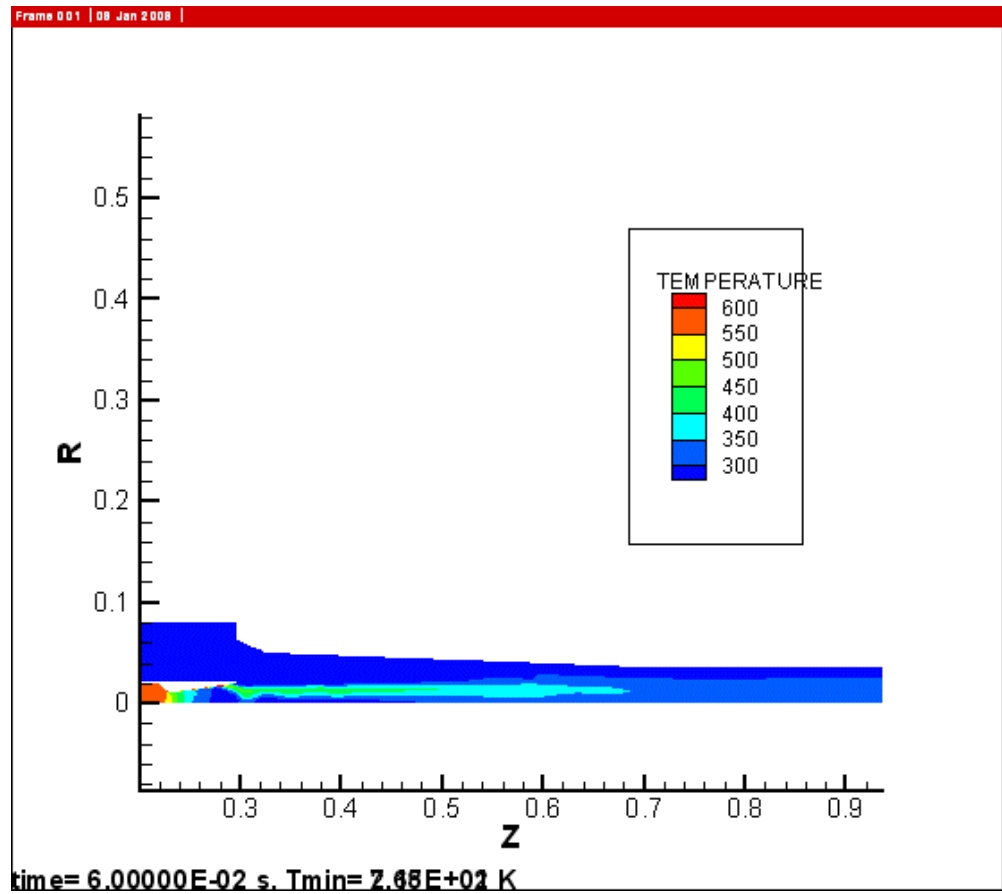


C3.3 温度

瞬間分布

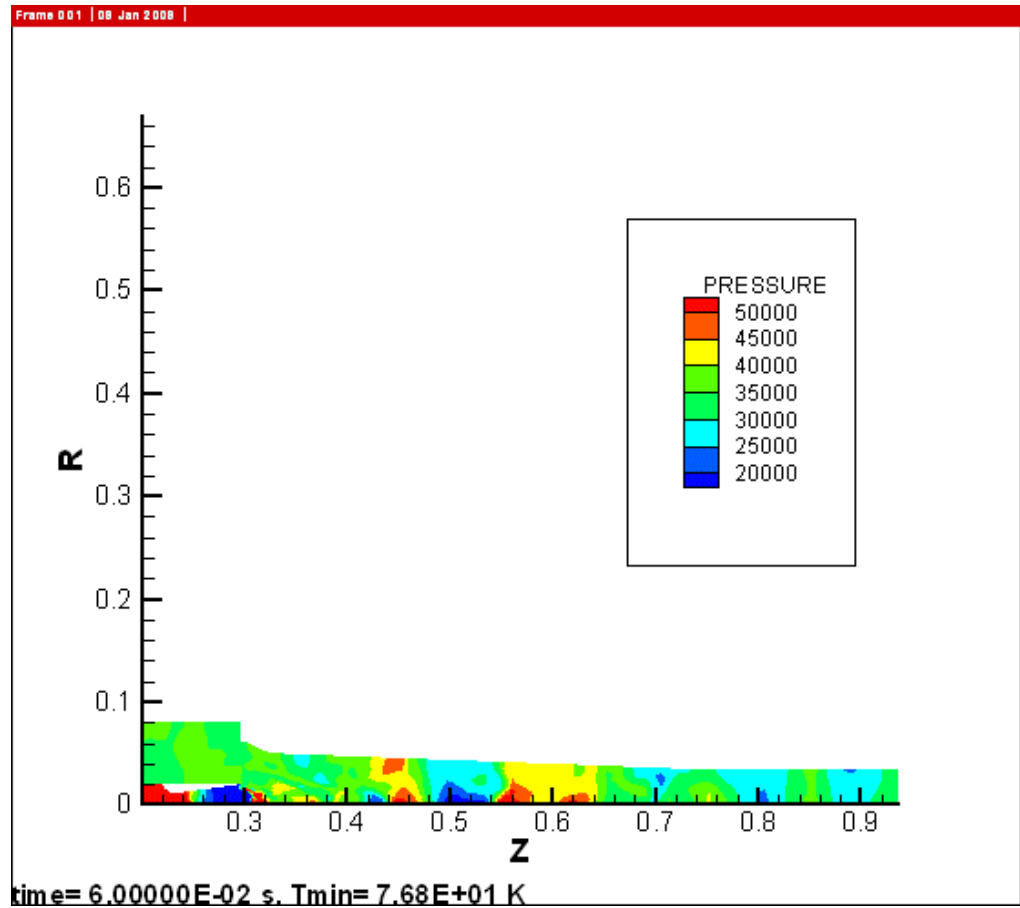


時間平均分布

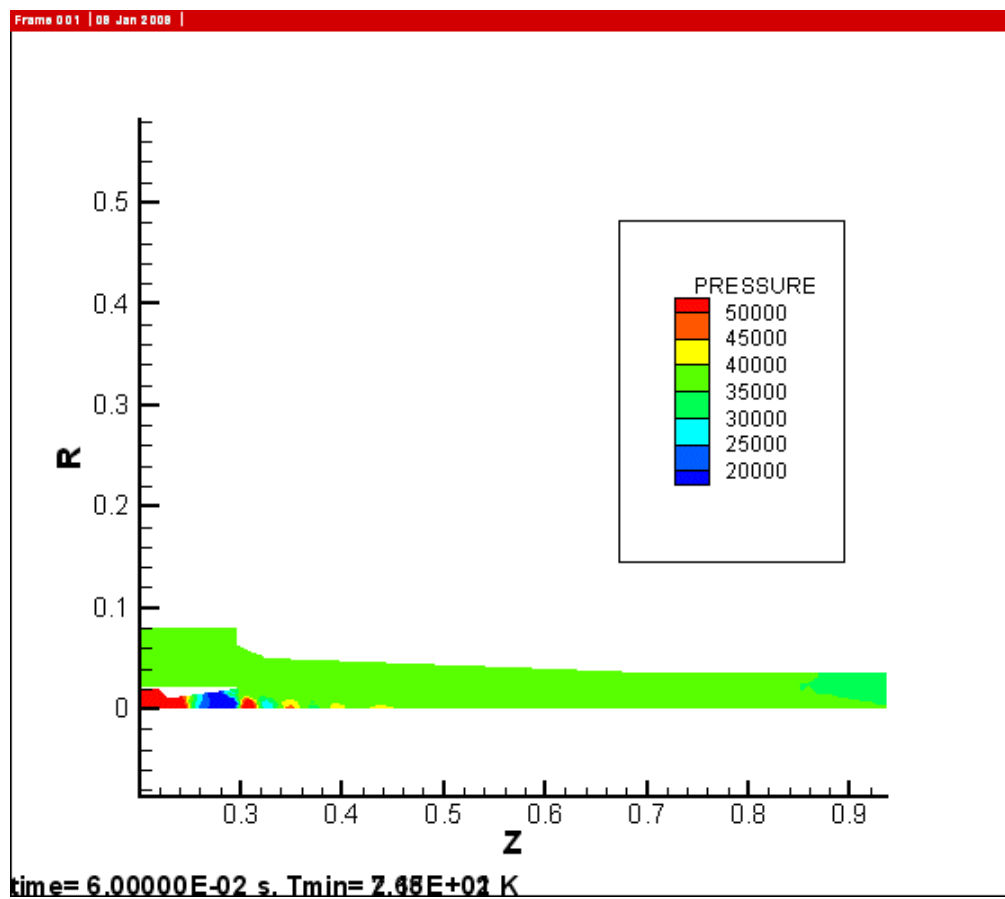


C3.4 压力

瞬間分布

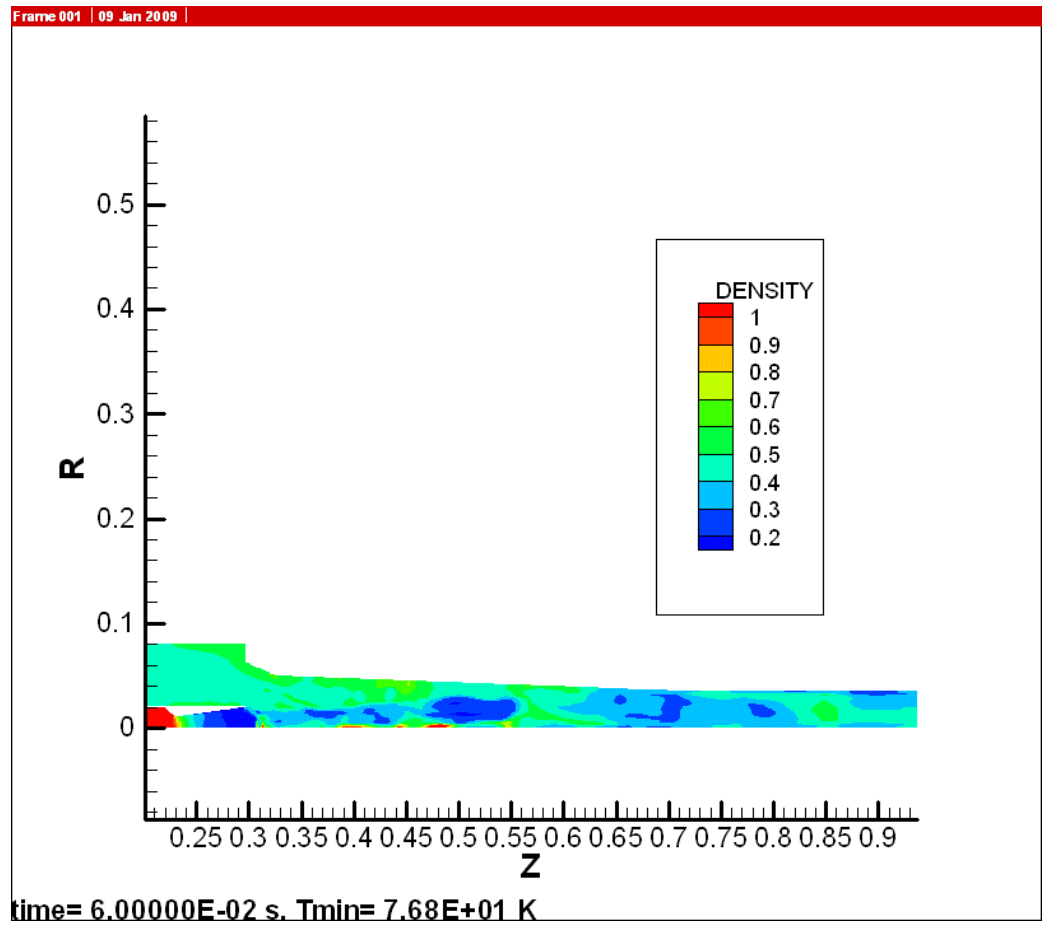


時間平均分布

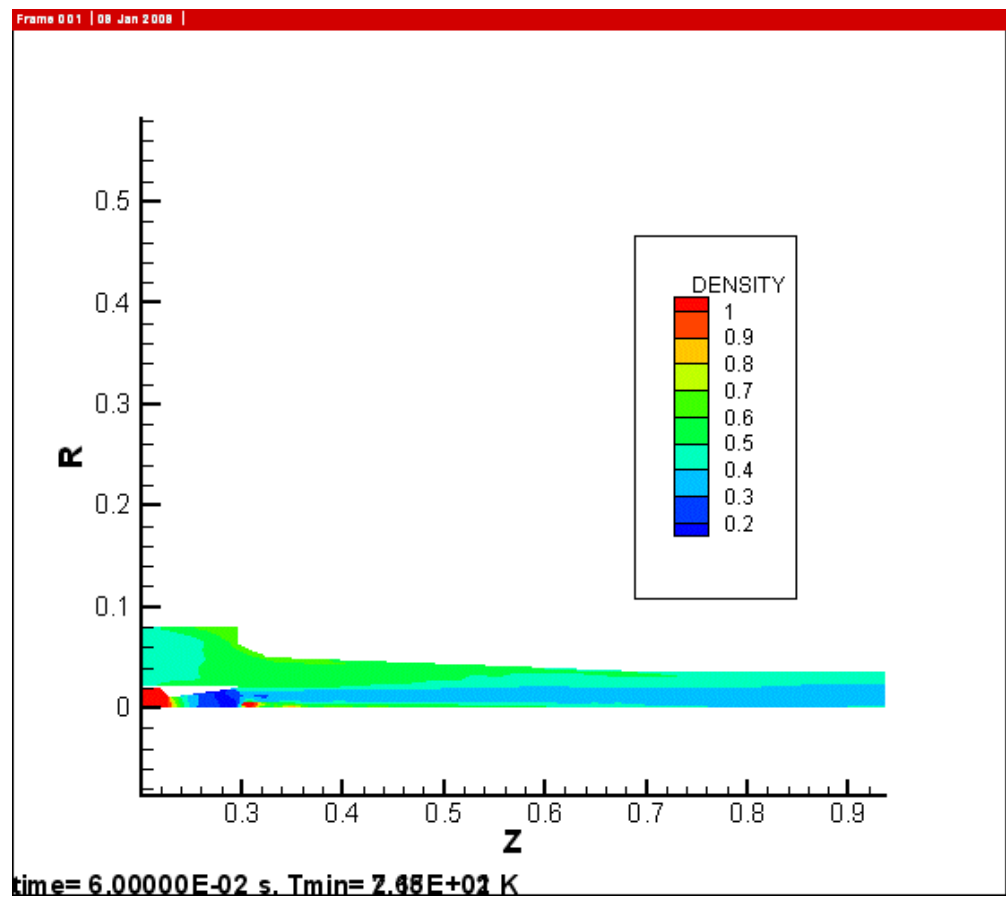


C3.5 密度

瞬間分布



時間平均分布



添付資料 D

合流モデル2

混合気（蒸気・空気）の解析

混合気（蒸気・空気）の解析を行うため、駆動側から蒸気を流入する以外、基本的に添付資料 B および C と同じ条件で計算を行った。

使用した格子は添付資料 B および C と同じ、以下のものである。

d1 メッシュ

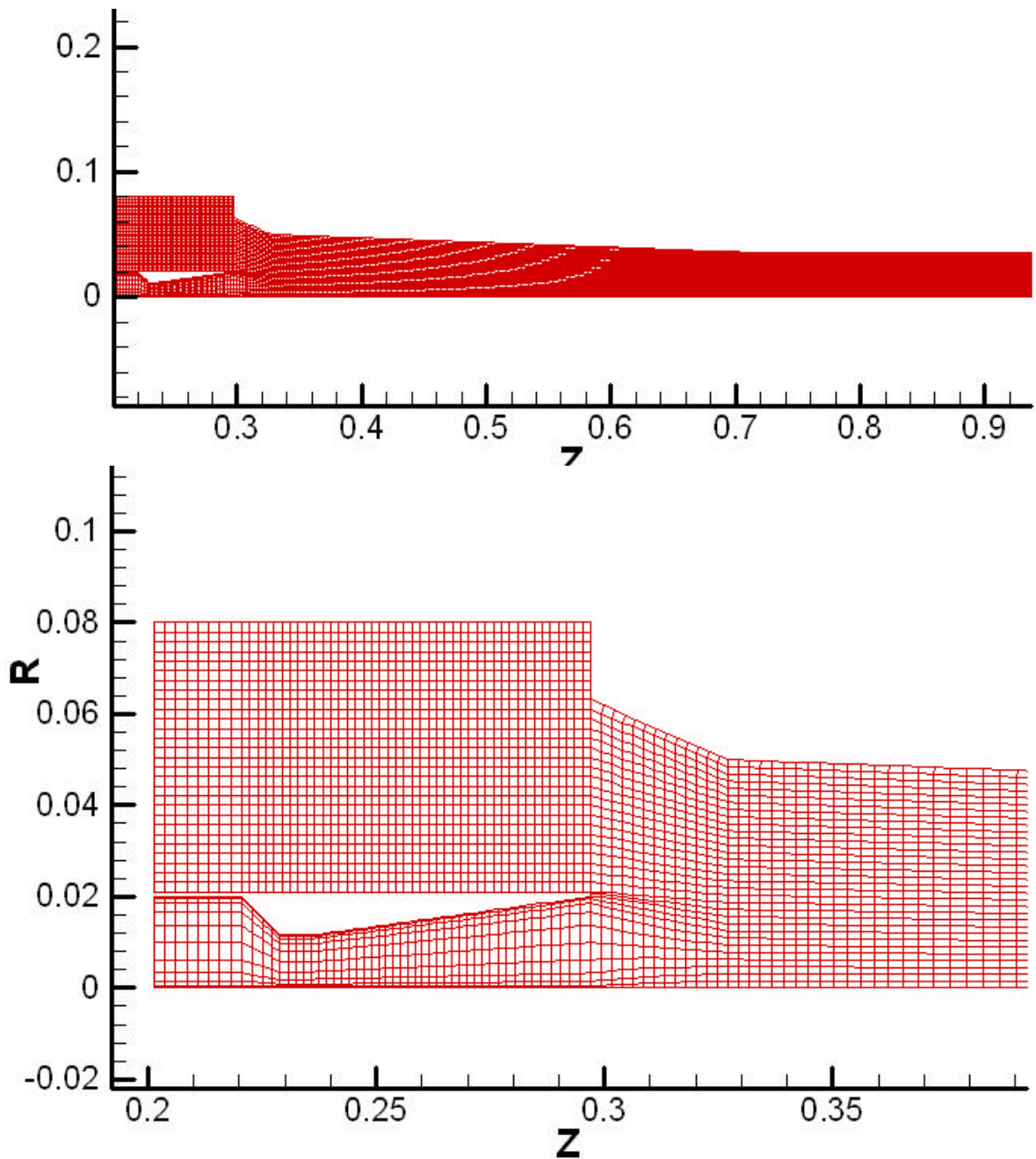


図 1.1 計算格子

d2 解析条件

d2.1 物性関係

- 状態方程式：理想気体
- 成分：分子量 28 の物質 (N_2)0.76 質量分率と分子量 32 の物質 (O_2)0.24 質量分率
- 比熱：実際の気体の測定値(上記成分 (N_2 , O_2))を想定。温度に依存して変化する)
- 粘性係数：実際の気体の測定値(上記成分 (N_2 , O_2))を想定。温度に依存して変化する)。Smagorinsky 粘性を考慮。

d2.2 境界条件

	駆動側流入口	被駆動側流入口	流出口
圧力 [Pa]	1.946e5	free -> 0.3e5 (*2)	0.3e5
温度 [K]	568.7	294.8	free
密度 [kg/m ³]	EOS(*1)	free	free
速度 (vz) [m/s]	120.0	>0.0 -> 5.0(*3)	>0.0
速度 (vr) [m/s]	0.0	0.0	free

*1 状態方程式によって計算した値を設定

*2 空気みの解析においては、最初圧力を free にして、流入量が発生するように、後に圧力を 0.3e5[Pa]とした。

*3 混合気の解析においては、最初の水平流速を非負とし、後に流入水平速度を 5.0[m/sec]とした。

d2.3 初期条件

	値
圧力 [Pa]	1.0e5
温度 [K]	284.4
密度 [kg/m ³] (***)	1.22
速度 (vx) [m/s]	0.0
速度 (vy) [m/s]	0.0

d3 解析結果：時間経過に伴う各変数分布

いくつかの時刻における速度分布を「空気のみ」の場合、速度分布および水蒸気濃度分布を「混合気」の場合について等値線と流線を用いて図化したものを以下に示す。

速度分布については、瞬間分布と時間平均分布の両方を示した。図から以下のように解釈することができる。

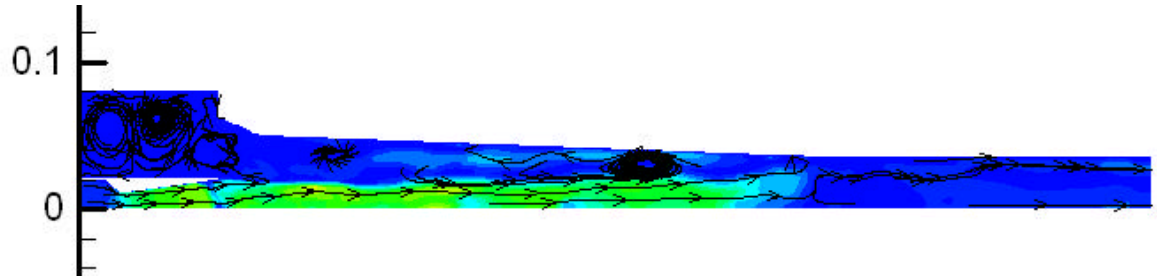
- (1) 各時刻においては非定常状態でも時間平均をとると、「準定常状態」とみなすことができそうである。
- (2) 被駆動側からの流入がない条件では、合流部から被駆動側の流入口までは、流れがほとんどない状態となる（図 3.1.1.1、図 3.2.1.1）。
- (3) (2) の状態で被駆動側からの圧力（図 3.1.1.2）または速度条件（図 3.2.1.2）を与えることで、流入が生じる。混合気の場合、被駆動側からの流入がないと蒸気が合流部から被駆動側に流れ込み（図 3.2.2.4）そのまま計算を続けると発散しやすくなる。
- (4) 混合気の場合、被駆動側からの流入があると、蒸気は合流部から流出口のみに存在し、解は安定するようである（図 3.2.2.5）。
- (5) Smagorinsky 粘性を考慮することにより安定性が得られることが期待できる。ただし、より厳しい条件については改めて検討する必要があると思われる。

d3.1 空気のみの場合

d3.1.1 速度分布

(1) 被駆動側の流入量=0 : pl t90

t=0.325 秒



t=0.320 ~ 0.325 秒の平均

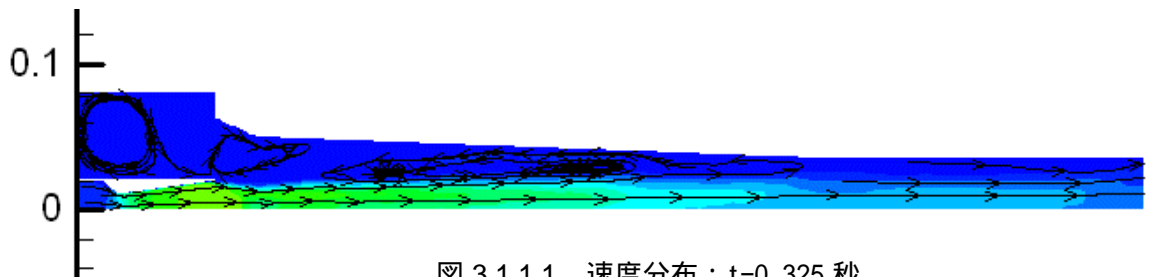
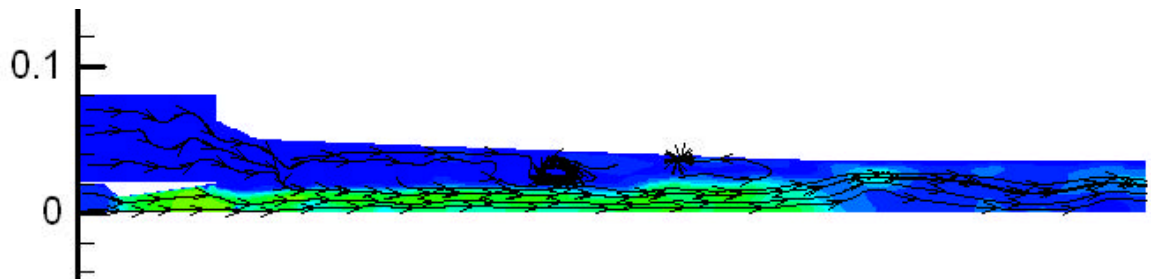


図 3.1.1.1 速度分布 : t=0.325 秒

(2) 被駆動側の入流口圧力=0.3e5Pa : pl t105

t= 0.405 秒



t=0.400 ~ 0.405 秒の平均

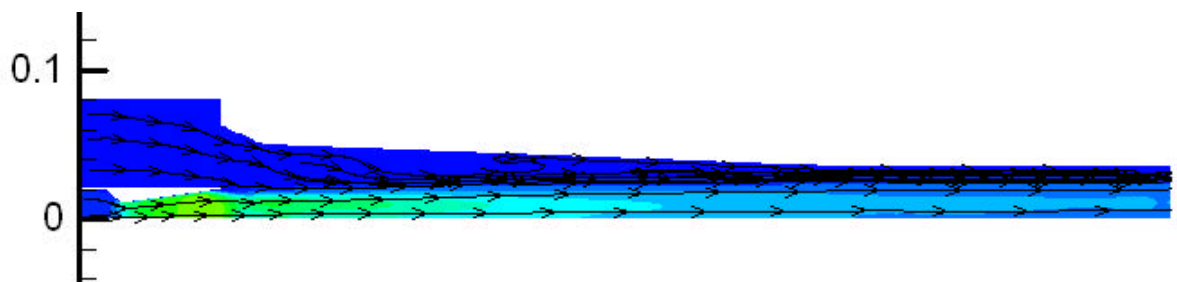


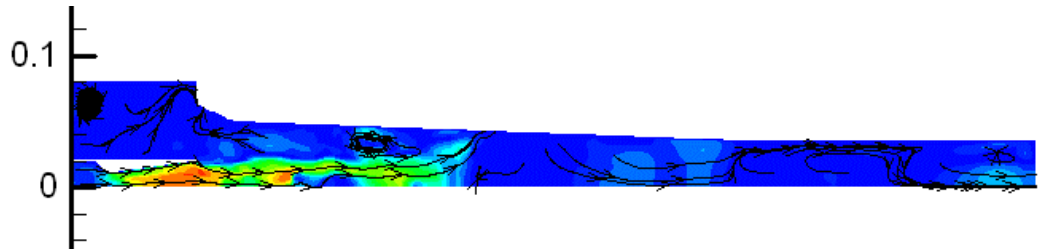
図 3.1.1.2 速度分布 : t=0.405 秒

d3.2 混合気の場合

d3.2.1 速度分布

(1) 被駆動側の流入量=0 : PI t56

t=0.160 秒



t=0.155 ~ 0.160 秒の平均

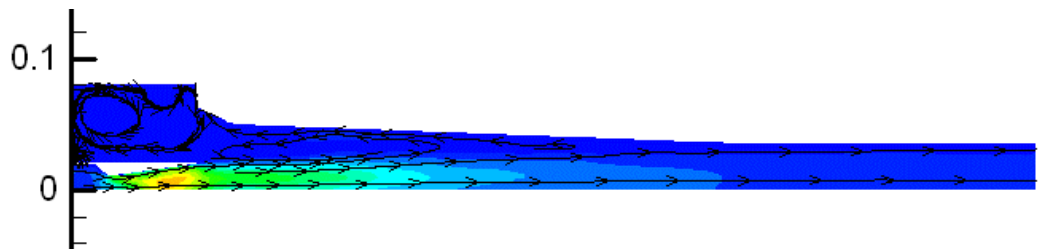
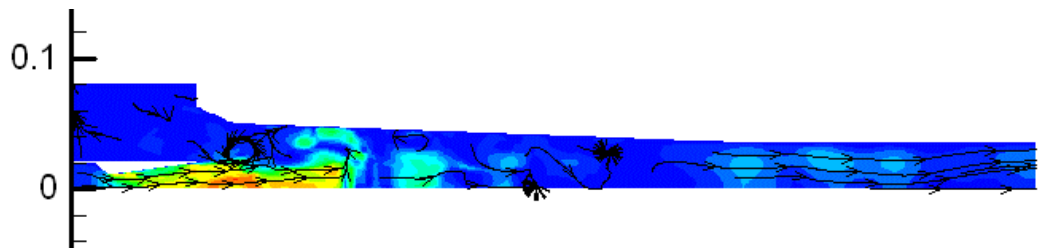


図 3.2.1.1 速度分布 : t=0.160 秒

(2) 被駆動側 水平流速=5.0[m/s] : PI t120

t=0.480 秒



t=0.475 ~ 0.480 秒の平均

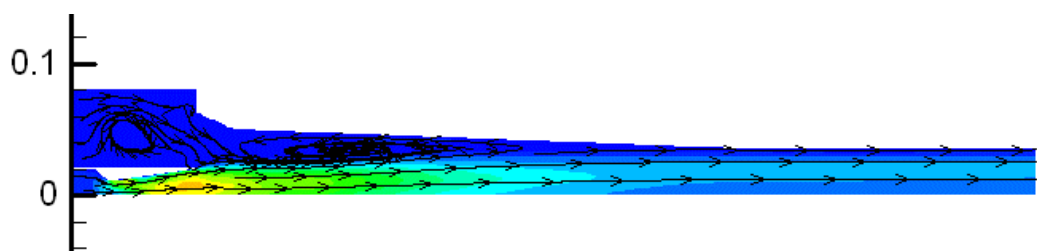


図 3.2.1.2 速度分布 : t=0.480 秒

d3.2.2 蒸気 (H₂O) 分布

(1) 被駆動側の流入量=0 : PI t20

t=0.006 秒

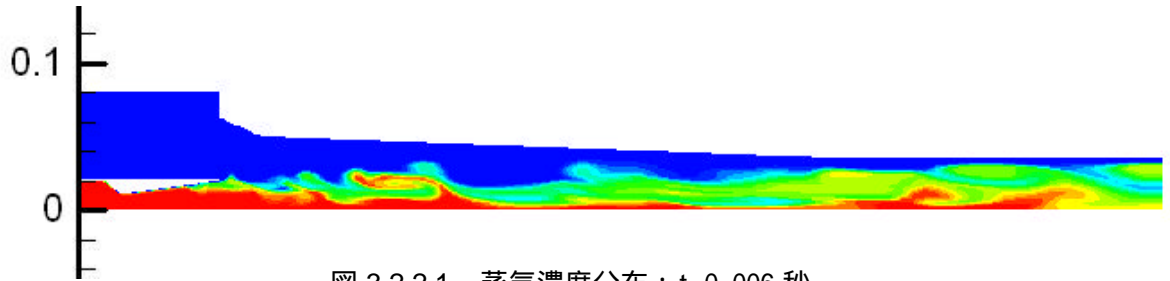


図 3.2.2.1 蒸気濃度分布 : t=0.006 秒

(2) 被駆動側の流入量=0 : PI t25

t=0.015 秒

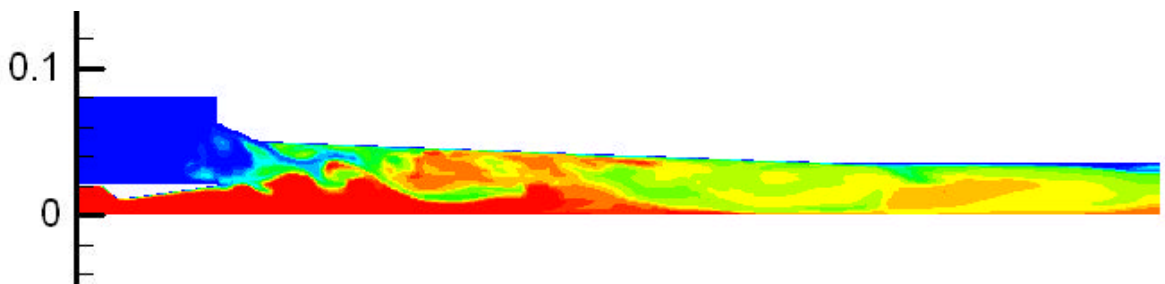


図 3.2.2.2 蒸気濃度分布 : t=0.015 秒

(3) 被駆動側の流入量=0 : PI t32

t=0.050 秒

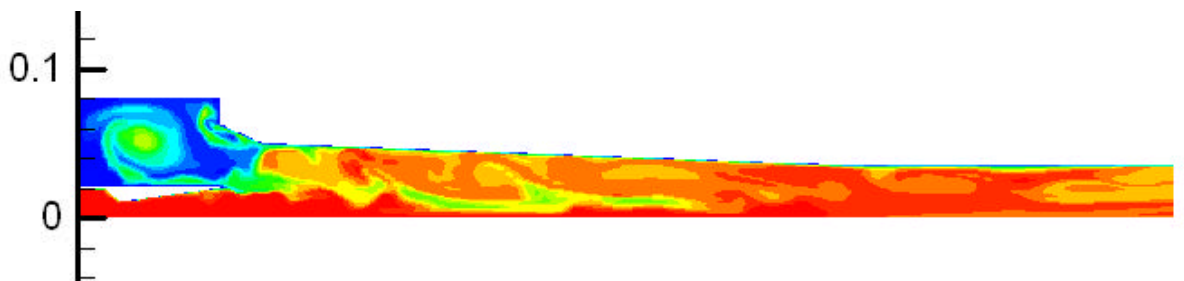


図 3.2.2.3 蒸気濃度分布 : t=0.050 秒

(4) 被駆動側の流入量=0 : PI t56

t=0.160 秒

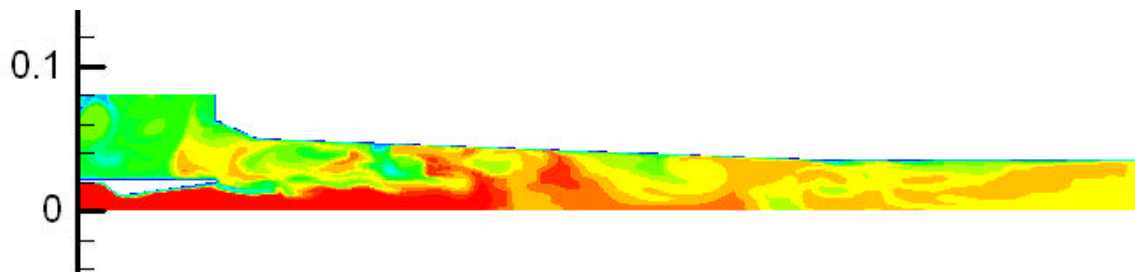


図 3.2.2.4 蒸気濃度分布 : t=0.160 秒

(5) 被駆動側 水平流速 $u=5.0$ [m/s] : PI t120

t=0.480 秒

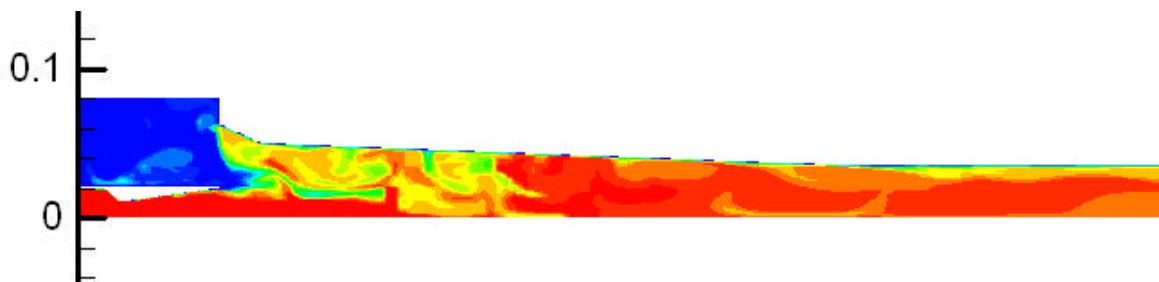


図 3.2.2.5 蒸気濃度分布 : t=0.480 秒

d4 解析結果：ノズル出口断面および流出口断面における分布（流速・温度・水蒸気）

ノズル出口の合流部および下流の流出口断面における流速・温度・蒸気の分布を比較した。ただし、蒸気の分布図は混合気の場合のみである。

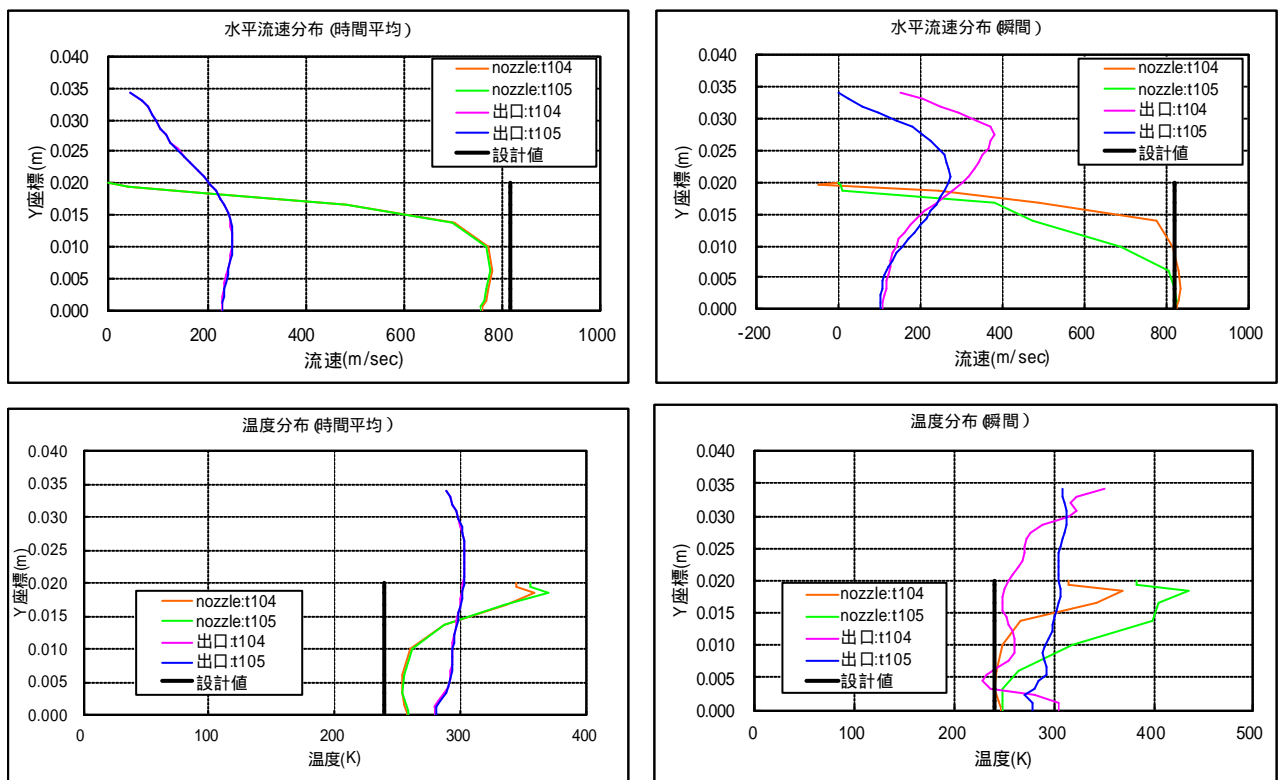
右図は、ある2つの時刻における瞬間の分布であり、左図はその時刻付近の時間平均値を图示した。グラフにはノズル出口と流出口の2箇所の分布を重ねてある。

また、黒の太線は、設計値である（報告書2の表1.1表および1.2参照）。空気の場合も混合気の場合も、以下のことわかる。

- (1) 瞬間分布は定常にならないが、時間平均分布は定常状態を示す。
- (2) ノズル出口において設計値とかなりよい一致を示す。違いが生じる原因として、壁の影響、合流部での被駆動側の影響、乱流粘性・渦粘性の考慮等が考えられる。

蒸気分布については、時間平均分布を求めていないが、時間平均分布を求めれば、速度・温度と同様に定常状態を示すと予想される。密度・圧力も同様に定常状態を示すことを確認している。

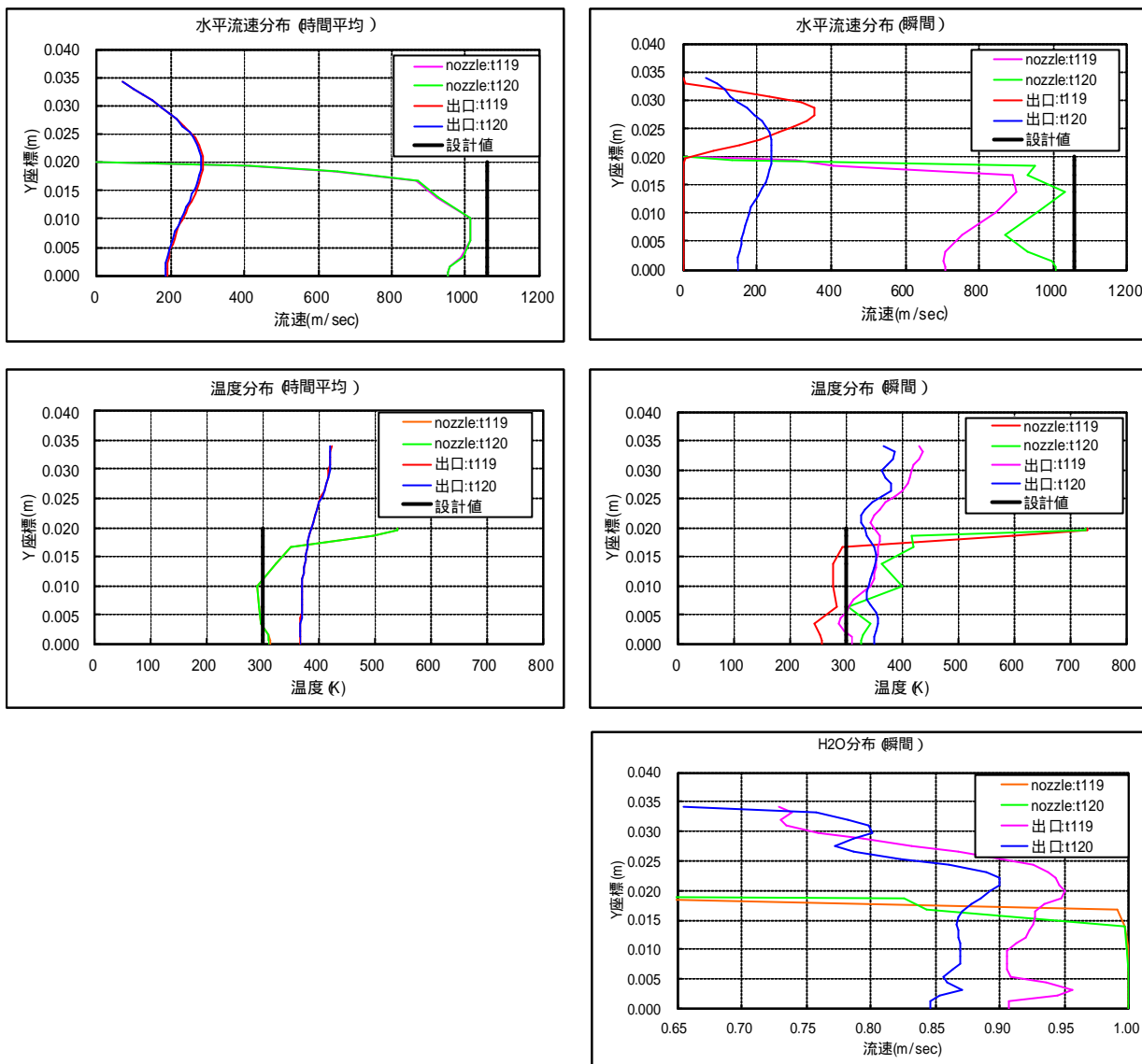
d4.1 空気の場合



(注) t104 : t = 0.395 秒 ~ t = 0.400 秒 t105 : t = 0.400 秒 ~ t = 0.405 秒

図 4.1 ノズル出口断面および流出口断面における分布（流速・温度）：空気の場合

d4.2 混合気の場合



(注) t119 : t = 0.470 秒 ~ t = 0.475 秒 t120 : t = 0.475 秒 ~ t = 0.480 秒

図 4.2 ノズル出口断面および流出口断面における分布 (流速・温度・蒸気): 混合気の場合