

吹き出し風洞の噴流速度分布シミュレーションと 実験結果の比較検討

静岡理工科大学 理工学部 機械工学科
桜木 俊一

【厳密な流れの解析とその応用】

【ナビエ・ストークス方程式 (N・S方程式) __非圧縮性流体】

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{F}$$

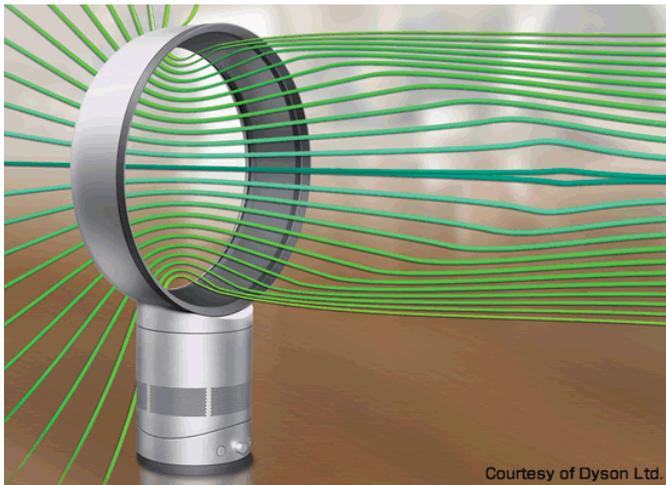
流体に生じる 加速度	圧力に よる力	粘性に よる力	外力 (重力など)
----------------------	------------	------------	--------------

3次元 N・S方程式

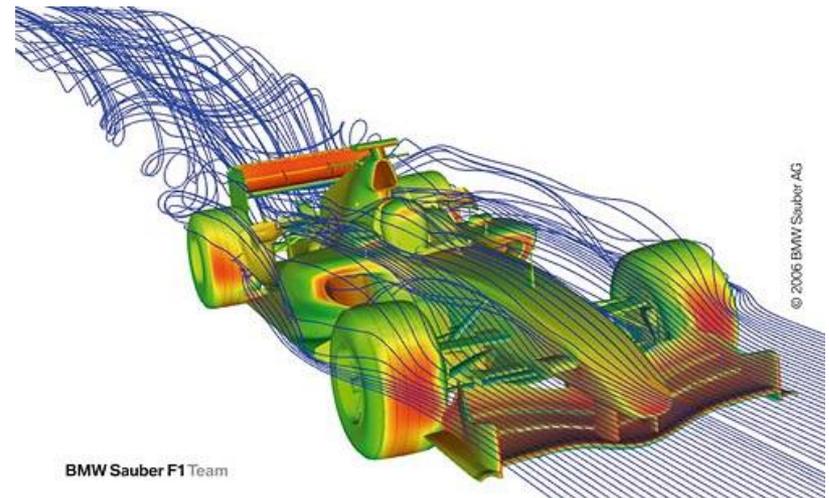


流体の流れを記述する
究極の高精度方程式

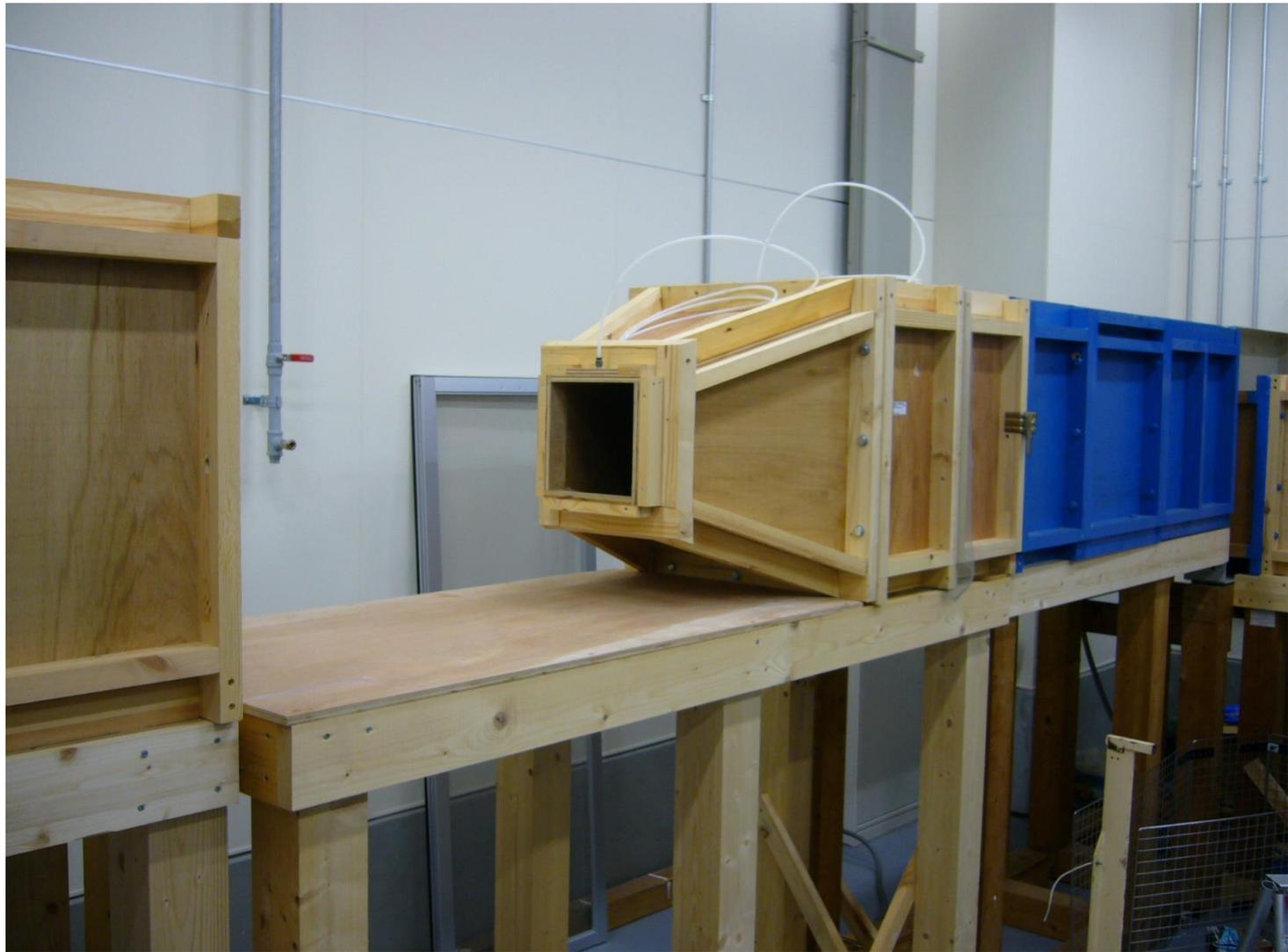
【コンピュータによるN・S方程式の解の例】



【ダイソン社のファンレス送風機流線】



【BMW車の気流流線と車体表面圧力】



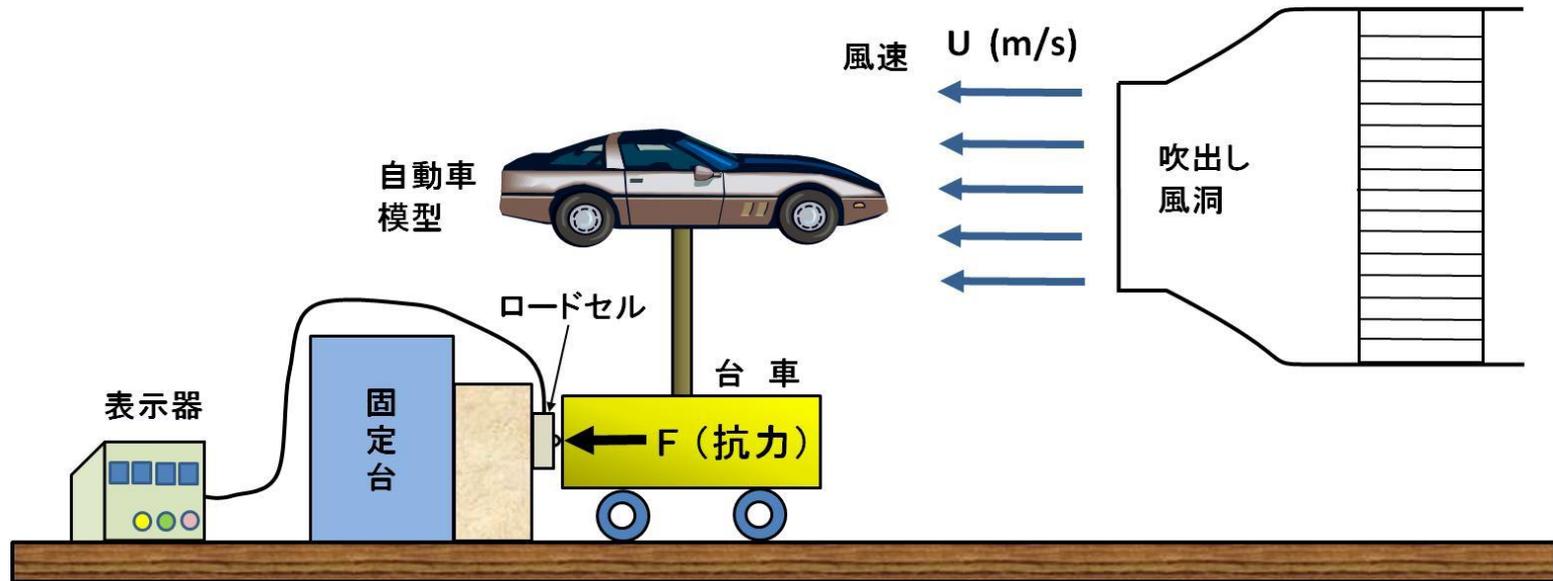
【静岡理工科大学 吹き出し風洞 全景】

(定格出力 3.8 kW)



【風洞測定部】

【ロードセルを用いた抗力の測定】

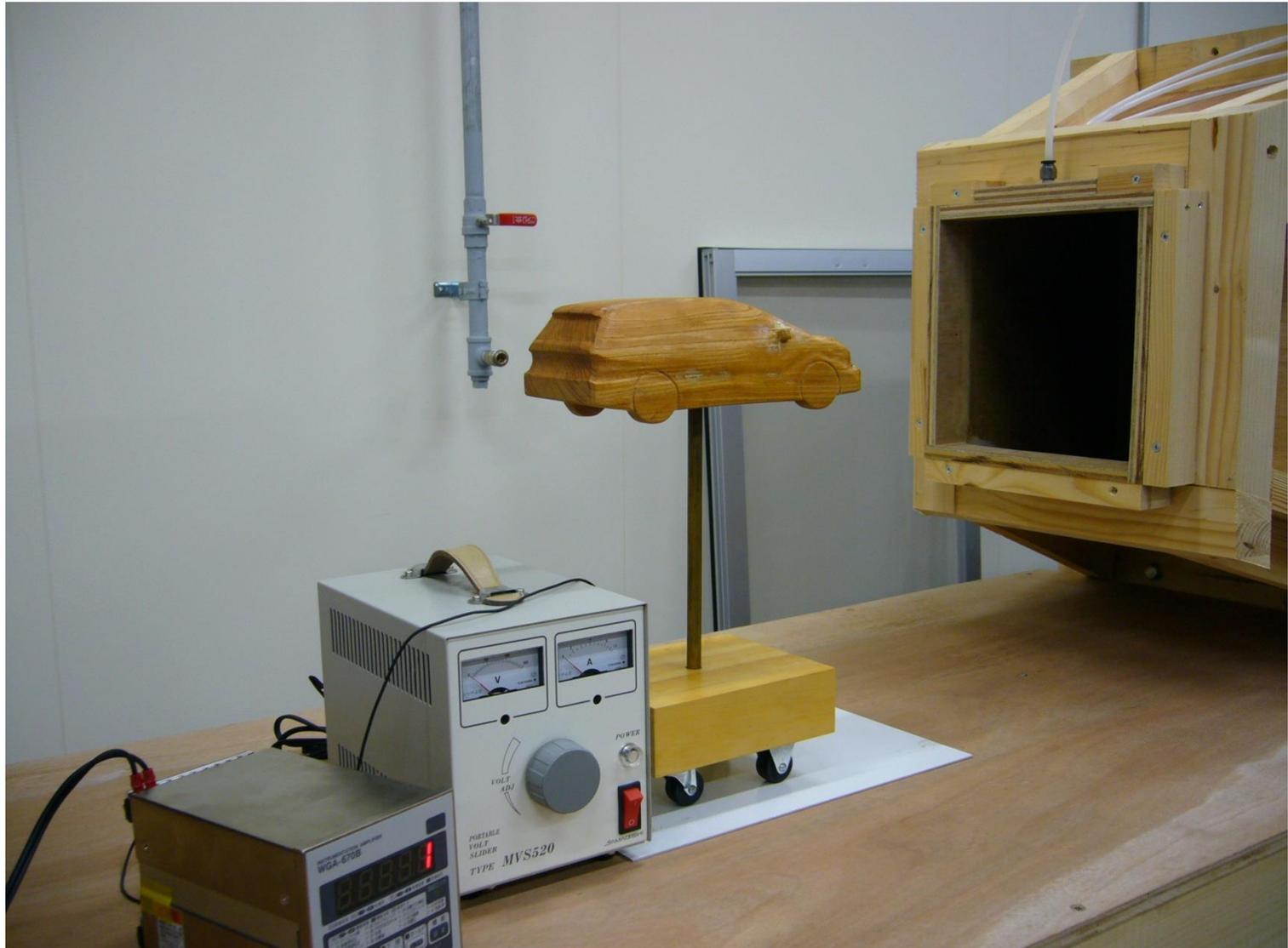


自動車模型の抗力係数 (C_D 値) の測定

流れの中に置かれた物体に作用する力 F は次式によって表される。
 $F = C_D (1/2) \rho U^2 \cdot S$ 、したがって C_D 値は次式によって求められる。

$$C_D = \frac{F}{(1/2) \rho U^2 S}$$

ここで、 S は流れの方向から見た物体の投影面積である。



【吹き出し風洞による自動車模型の C_D 値測定実験】

データシート 2

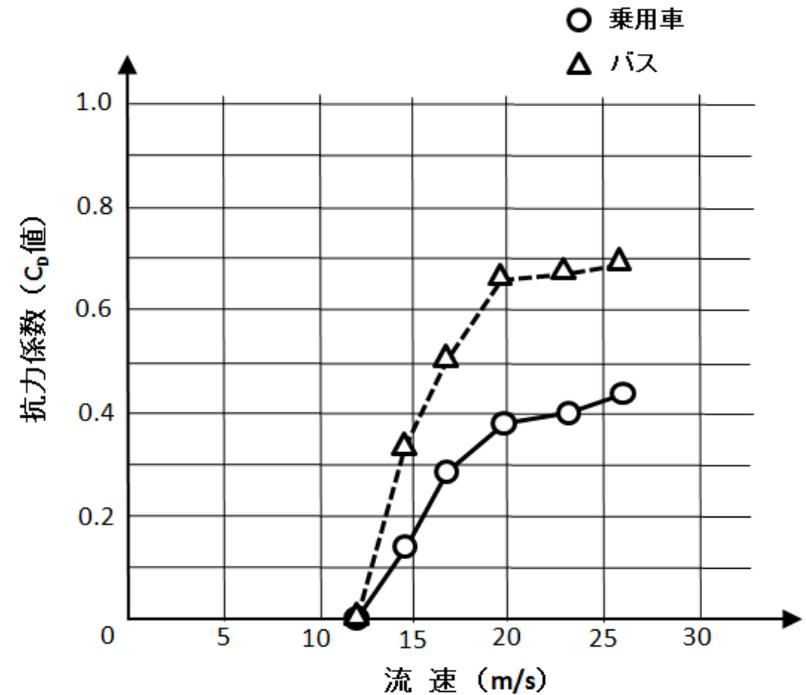
(参考値: 本学学生による実験値)

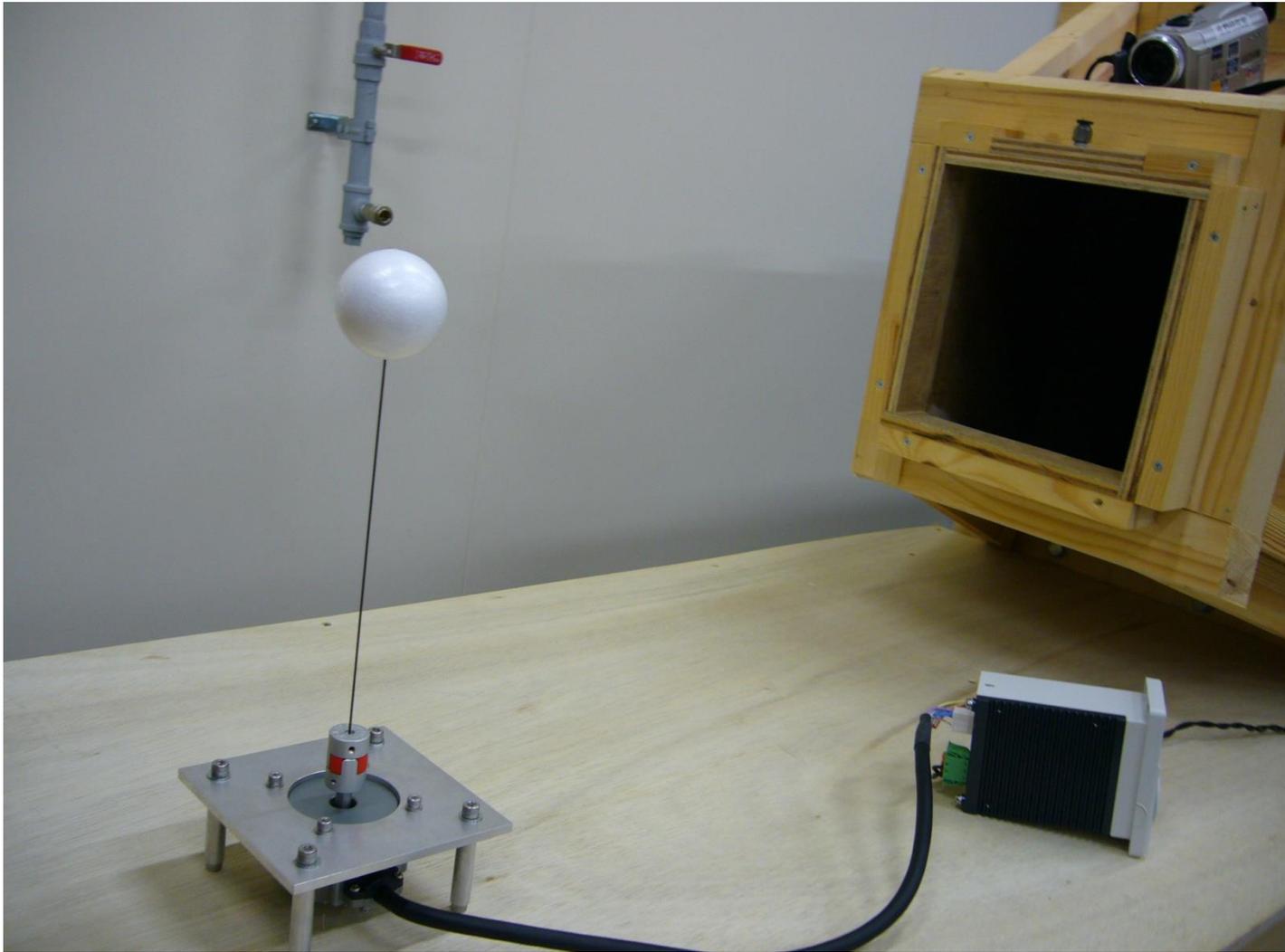
●自動車模型1(乗用車) 投影面積 $S=55.61 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 全長 $L=0.226 \text{ m}$

インバータ周波数(Hz)	表示器指示値	抗力 F (N) = 指示値 × (5/2000)	流速 U (m/s)	$(1/2)\rho U^2 \cdot S$ (N)	C_D 値
20	1	0.0025	12.11	0.491	0.005
25	40	0.1	14.55	0.709	0.141
30	114	0.285	17.12	0.982	0.290
35	200	0.5	19.77	1.310	0.382
40	290	0.725	23.18	1.800	0.403
45	400	1	25.84	2.237	0.447

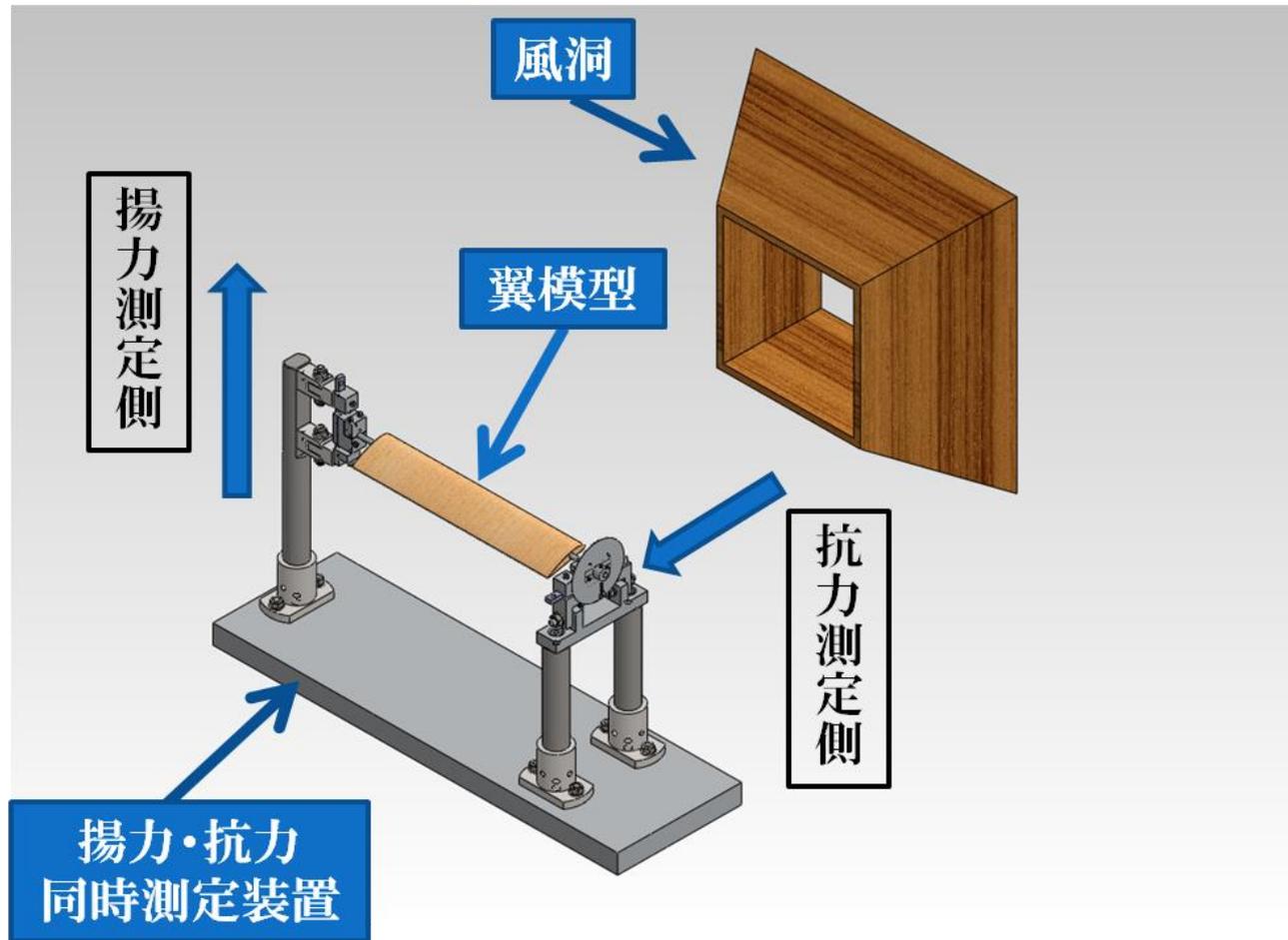
●自動車模型2(バス) 投影面積 $S=53.59 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 全長 $L=0.226 \text{ m}$

インバータ周波数(Hz)	表示器指示値	抗力 F (N) = 指示値 × (5/2000)	流速 U (m/s)	$(1/2)\rho U^2 \cdot S$ (N)	C_D 値
20	2	0.005	12.11	0.474	0.011
25	90	0.225	14.55	0.684	0.329
30	194	0.485	17.12	0.946	0.513
35	333	0.833	19.77	1.262	0.660
40	470	1.175	23.18	1.735	0.677
45	597	1.493	25.84	2.156	0.692



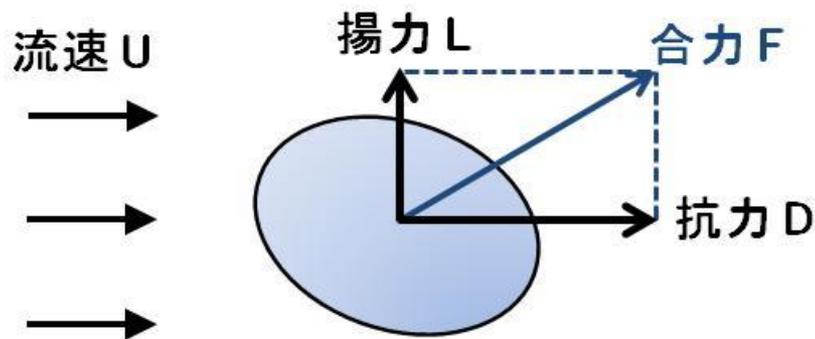


【吹き出し風洞による回転球に作用するマグナス効果の実験】



【吹き出し風洞による翼模型の揚力、抗力測定実験】

【流れの中に置かれた物体が受ける力】



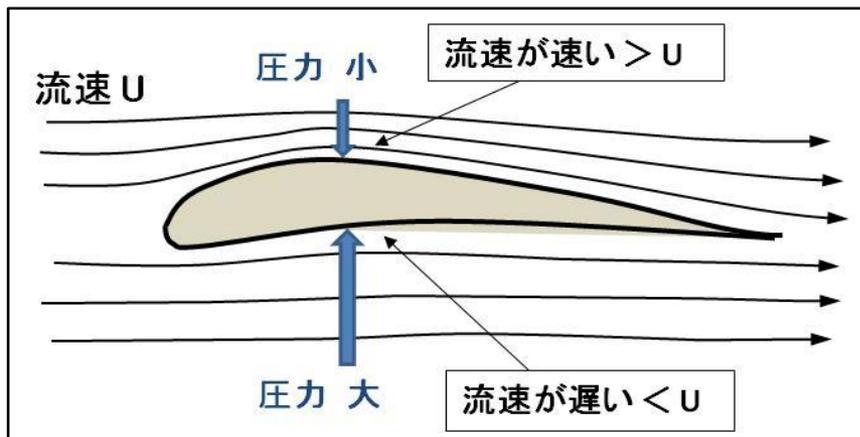
【流体中の物体に働く力】

$$D = C_D \frac{\rho U^2}{2} S$$

抗力係数 動圧 面積

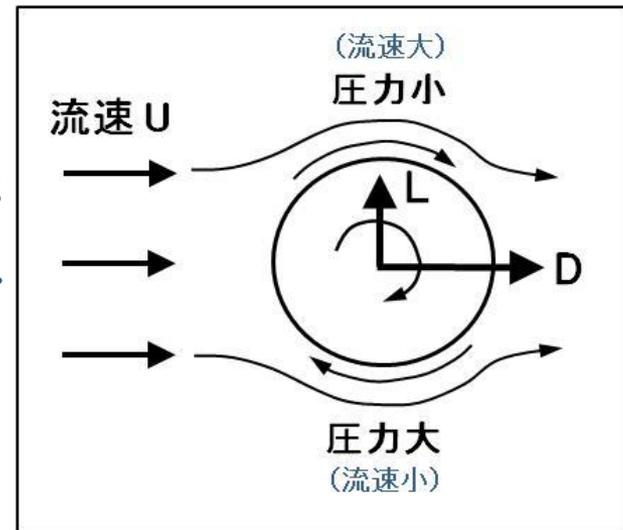
$$L = C_L \frac{\rho U^2}{2} S$$

揚力係数



【翼に働く揚力】

数学的に
等価



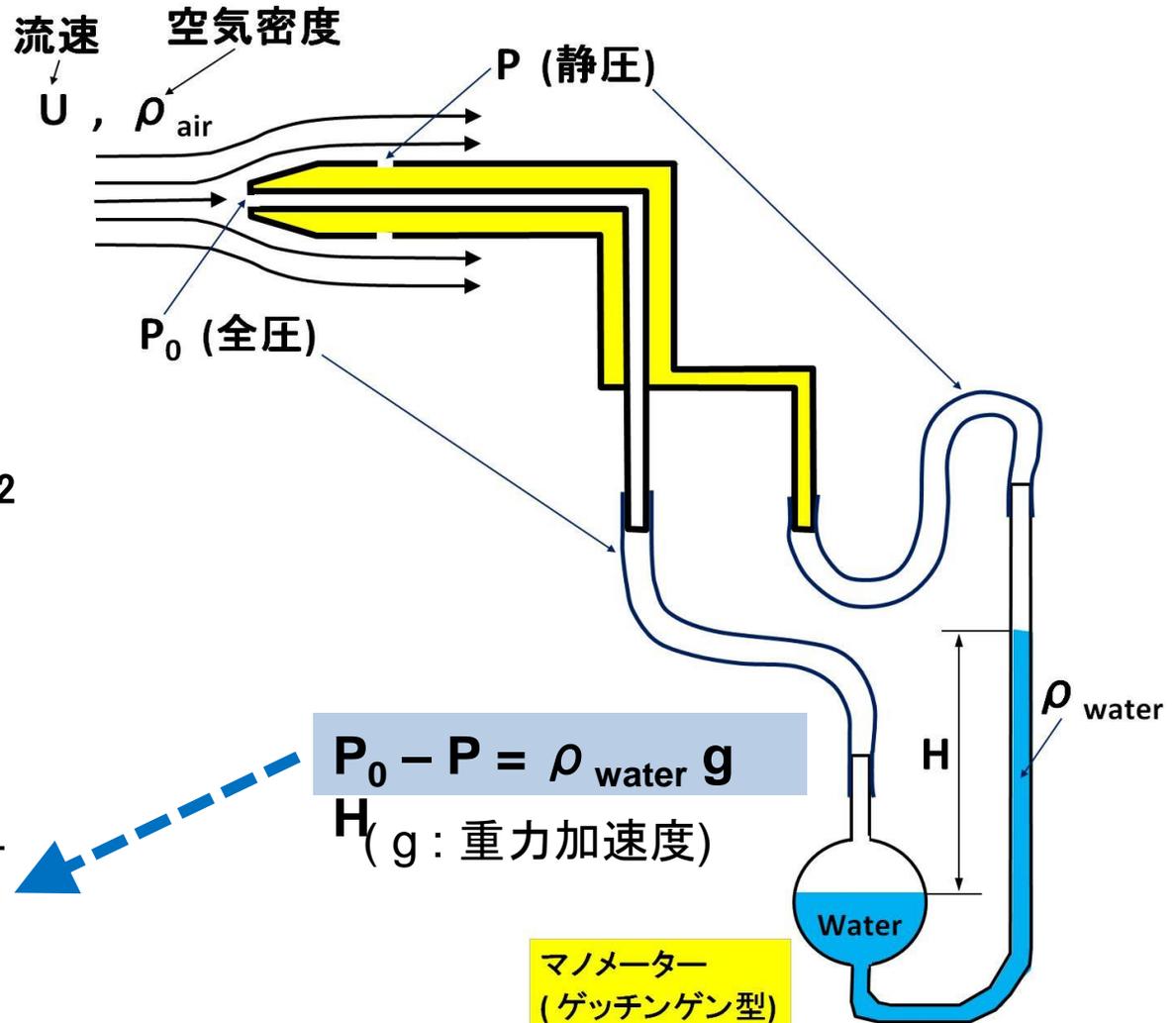
【回転円柱に働く揚力】
(マグナス効果)

$$P_0 = P + (1/2)\rho U^2 = \text{一定}$$

全圧 静圧 動圧

【流れの速度と圧力の関係】

ピトー管による流速の測定



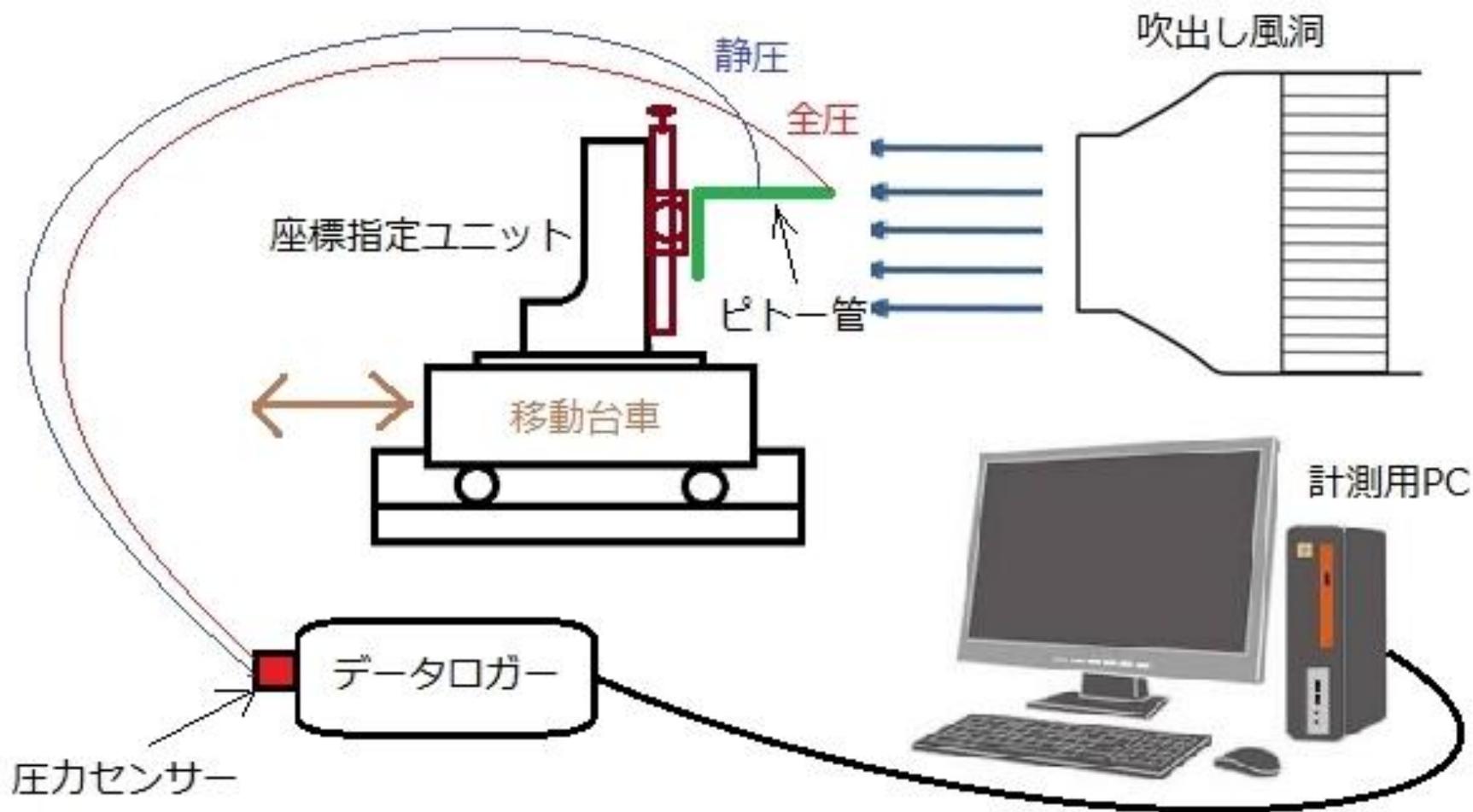
ベルヌーイの定理

$$P_0 = P + (1/2) \rho_{\text{air}} U^2$$

$$U = \sqrt{\frac{2(P_0 - P)}{\rho_{\text{air}}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \rho_{\text{water}} g H}{\rho_{\text{air}}}}$$

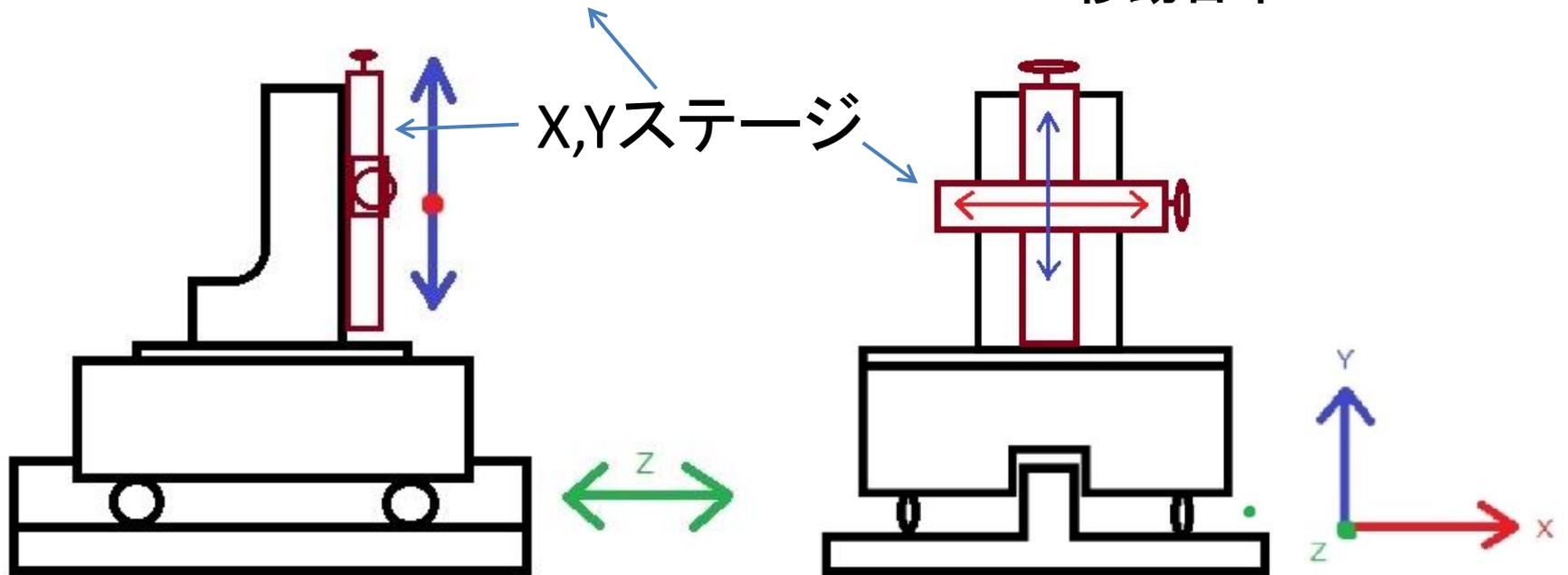
実験装置レイアウト



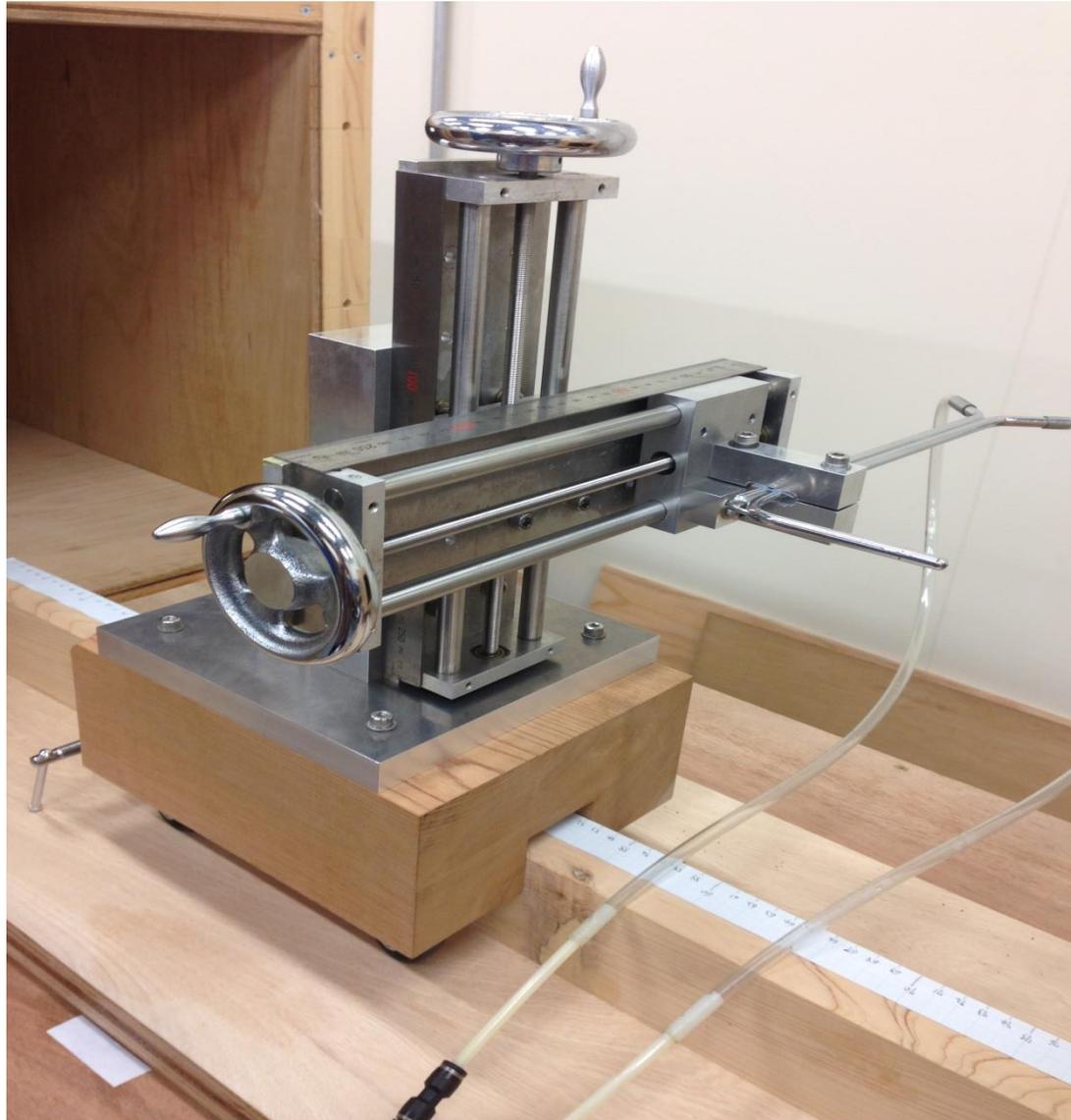
ピトー管駆動装置



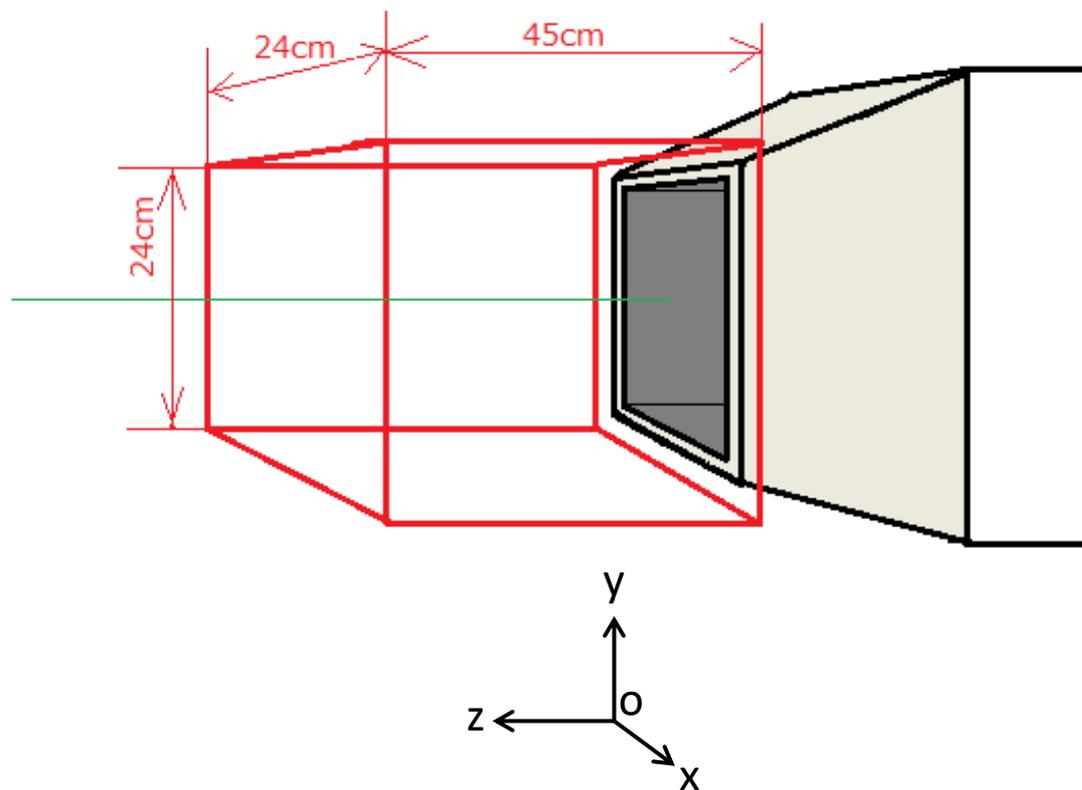
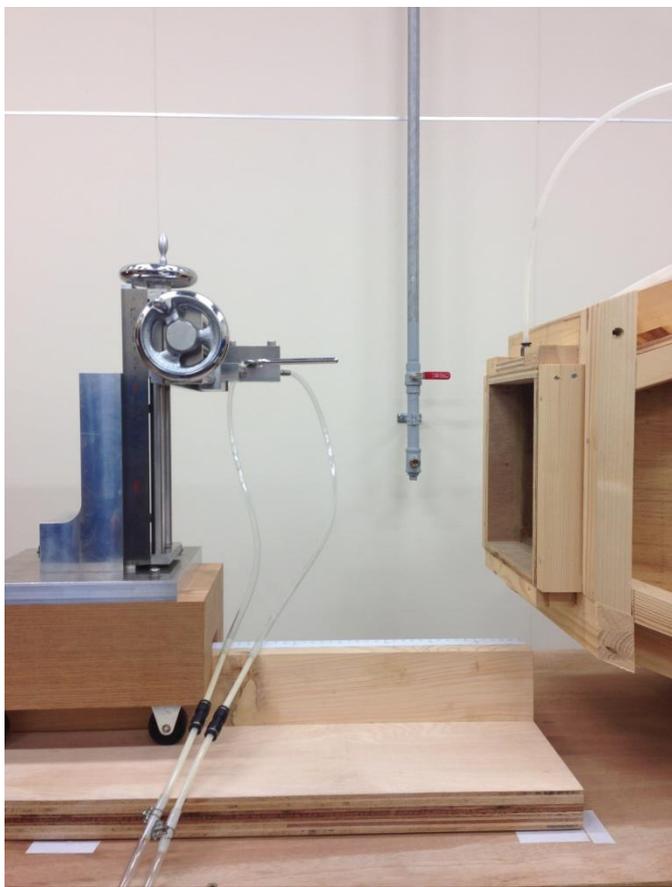
移動台車



駆動装置設置状態



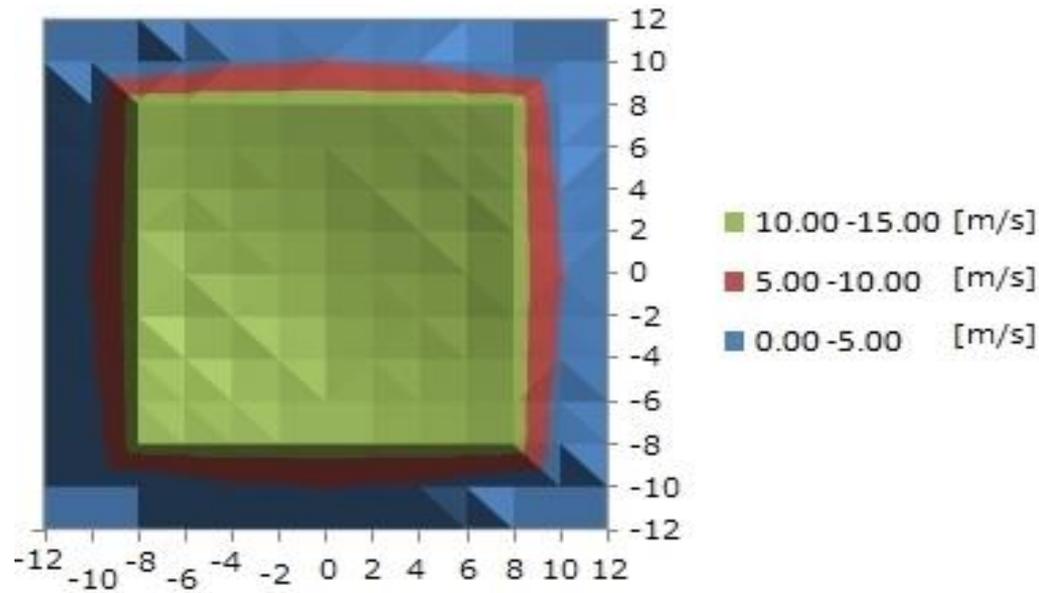
流速分布測定範圍



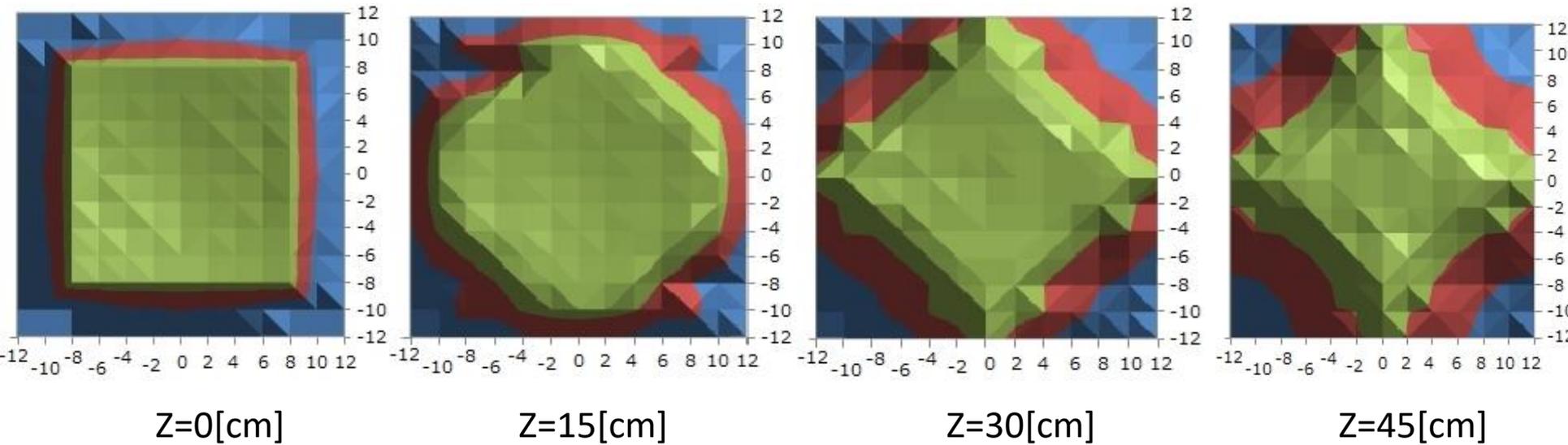
20Hz* 実験結果 (z=0 出口面)

*: ファンモータの
回転速度制御用
インバータ周波数

V _x												
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	2.20	4.24	4.60	5.26	4.60	4.24	2.20	0.00	0.00	0.00
0.00	2.20	12.65	12.46	12.39	12.32	12.32	12.32	12.39	12.46	12.65	2.20	0.00
0.00	2.86	12.46	12.19	12.06	11.92	11.92	11.92	12.06	12.19	12.46	2.86	0.00
0.00	4.24	12.32	11.99	11.71	11.64	11.50	11.64	11.71	11.99	12.32	4.24	0.00
0.00	4.60	12.32	11.78	11.54	11.36	11.22	11.36	11.54	11.78	12.32	4.60	0.00
0.00	5.26	12.32	11.85	11.50	11.28	11.14	11.28	11.50	11.85	12.32	5.26	0.00
0.00	4.60	12.32	11.78	11.54	11.36	11.22	11.36	11.54	11.78	12.32	4.60	0.00
0.00	4.24	12.32	11.99	11.71	11.64	11.50	11.64	11.71	11.99	12.32	4.24	0.00
0.00	2.86	12.46	12.19	12.06	11.92	11.92	11.92	12.06	12.19	12.46	2.86	0.00
0.00	2.20	12.65	12.46	12.39	12.32	12.32	12.32	12.39	12.46	12.65	2.20	0.00
0.00	0.00	0.00	2.20	4.24	4.60	5.26	4.60	4.24	2.20	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

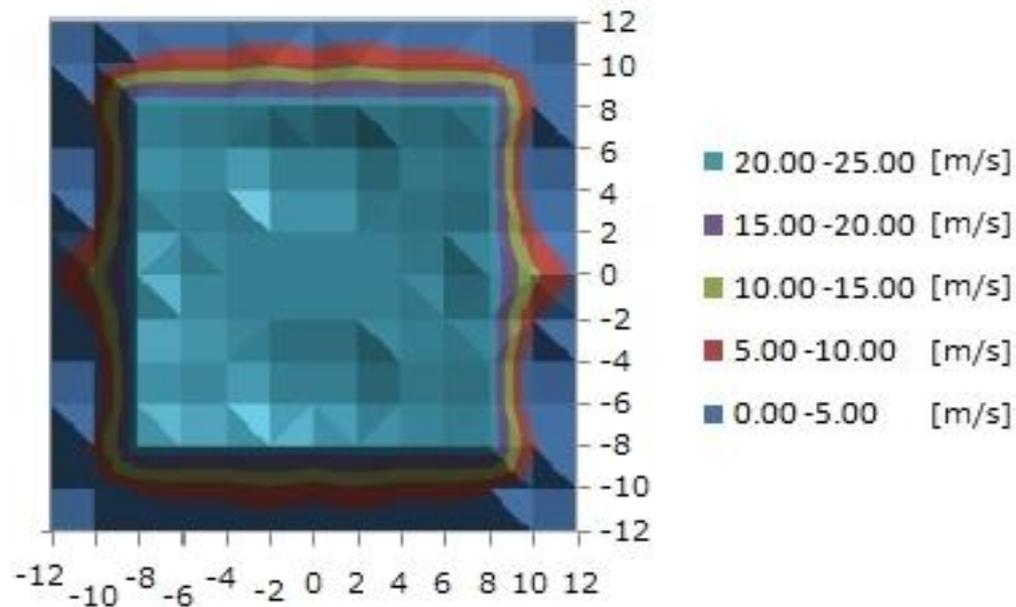


20Hz実験結果

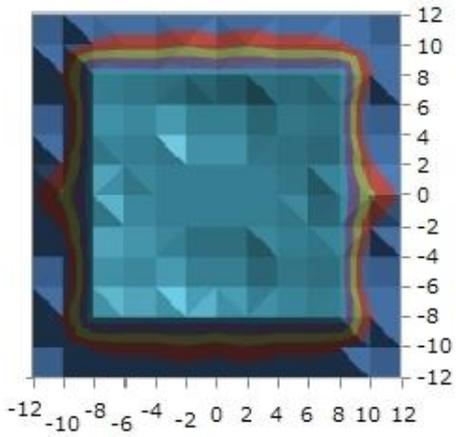


40Hz 実験結果 (z=0 出口面)

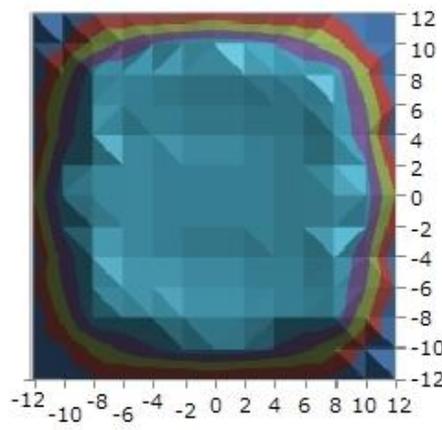
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	5.72	7.00	7.00	9.04	7.00	9.04	7.00	7.00	5.72	0.00	0.00
0.00	5.72	23.91	23.57	23.22	23.22	22.86	23.22	23.22	23.57	23.91	5.72	0.00
0.00	0.00	23.57	22.86	22.50	21.39	21.39	21.39	22.50	22.86	23.57	0.00	0.00
0.00	0.00	23.57	22.86	22.50	21.39	21.39	21.39	22.50	22.86	23.57	0.00	0.00
0.00	5.72	22.86	22.50	22.14	22.14	22.14	22.14	22.14	22.50	22.86	5.72	0.00
4.04	11.43	23.57	22.14	22.14	22.14	22.14	22.14	22.14	22.14	23.57	11.43	4.04
0.00	5.72	22.86	22.50	22.14	22.14	22.14	22.14	22.14	22.50	22.86	5.72	0.00
0.00	0.00	23.57	22.86	22.50	21.39	21.39	21.39	22.50	22.86	23.57	0.00	0.00
0.00	0.00	23.57	22.86	22.50	21.39	21.39	21.39	22.50	22.86	23.57	0.00	0.00
0.00	5.72	23.91	23.57	23.22	23.22	22.86	23.22	23.22	23.57	23.91	5.72	0.00
0.00	0.00	5.72	7.00	7.00	9.04	7.00	9.04	7.00	7.00	5.72	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



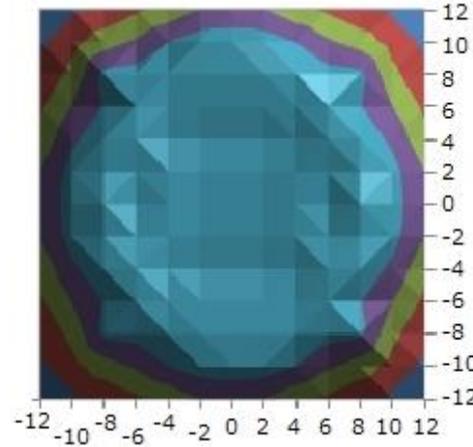
40Hz実験結果



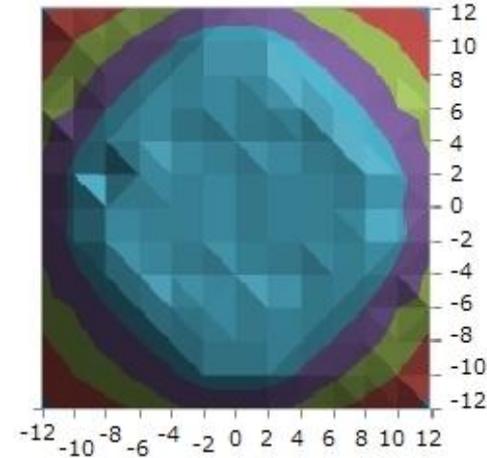
Z=0[cm]



Z=15[cm]

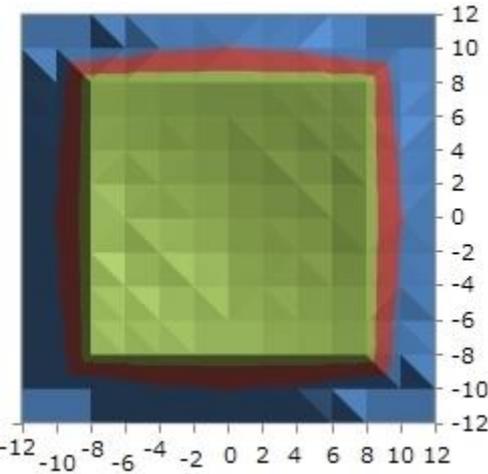


Z=30[cm]

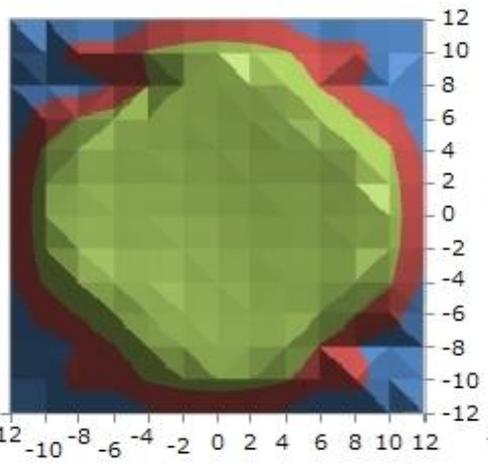


Z=45[cm]

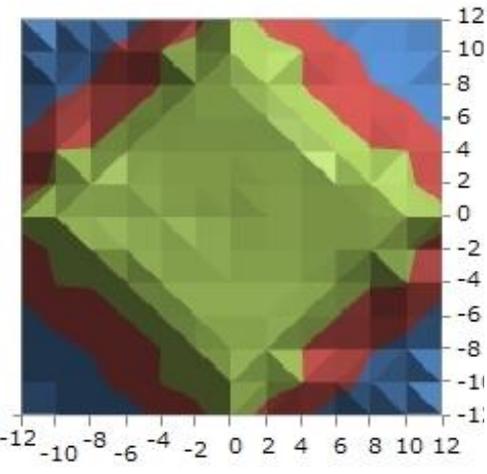
実験結果のまとめ



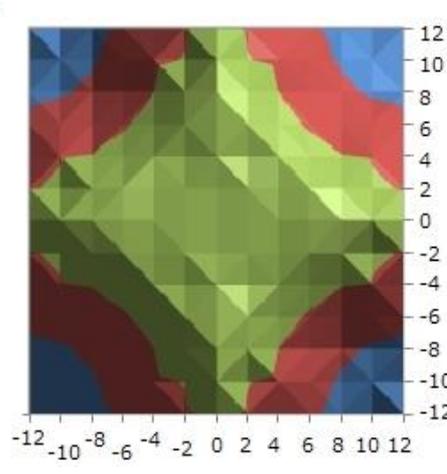
20Hz Z=0[cm]



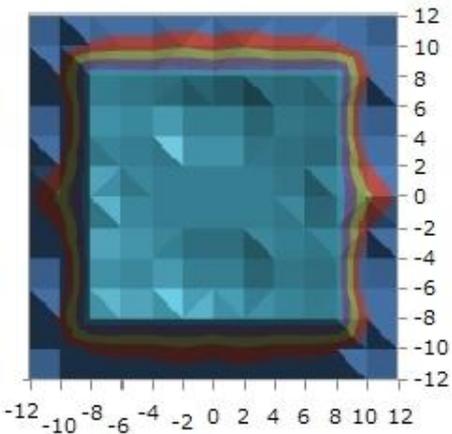
Z=15[cm]



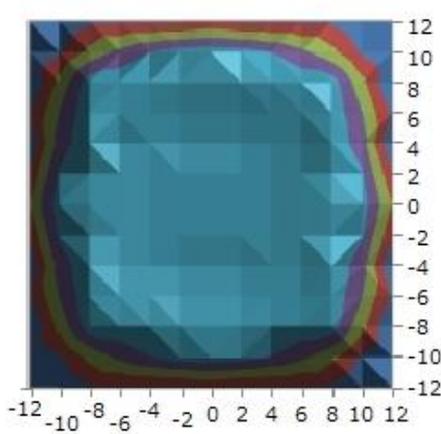
Z=30[cm]



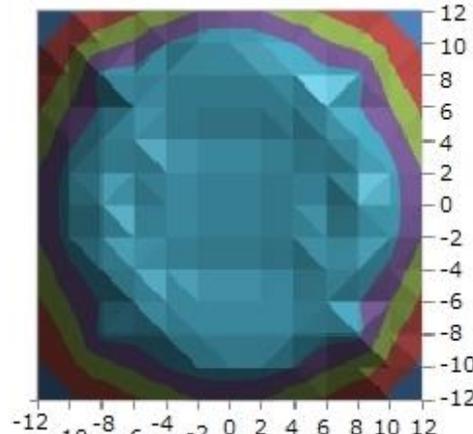
Z=45[cm]



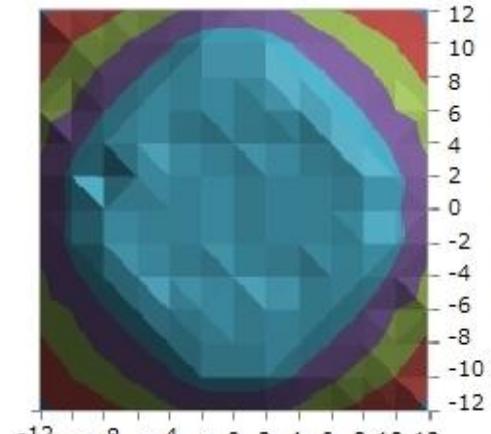
40Hz Z=0[cm]



Z=15[cm]

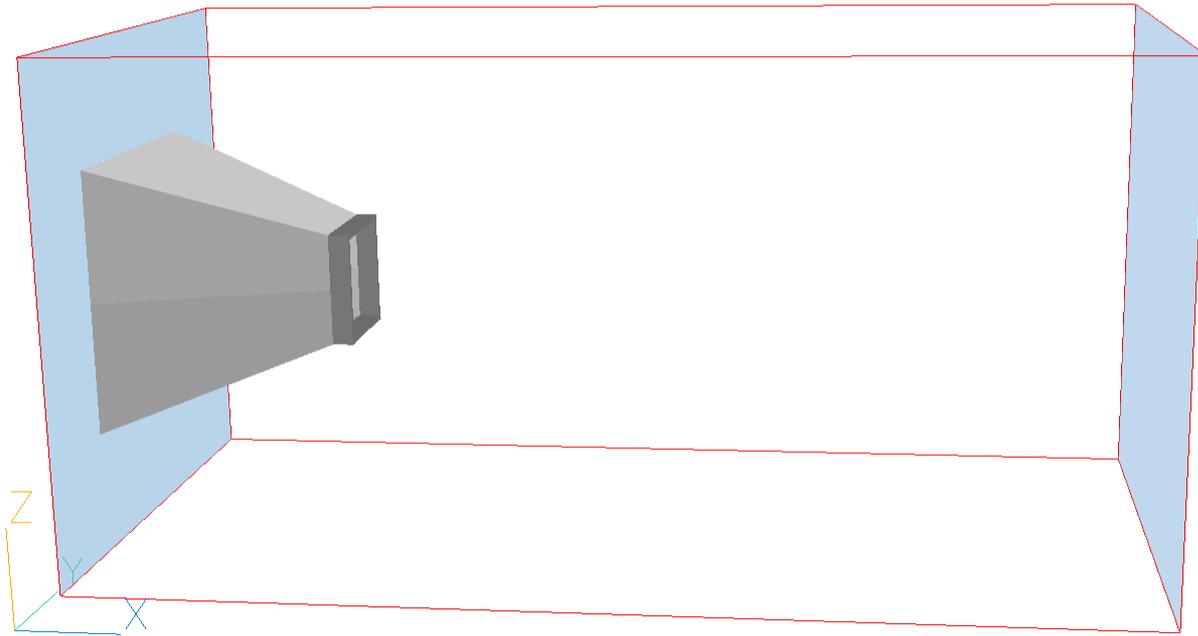


Z=30[cm]



Z=45[cm]

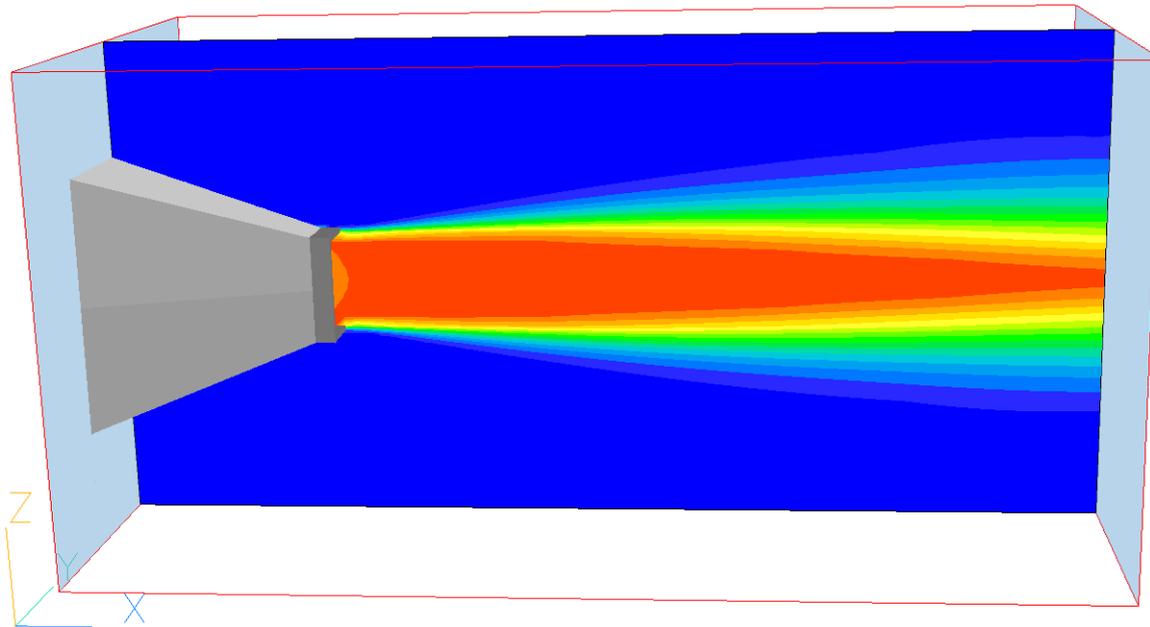
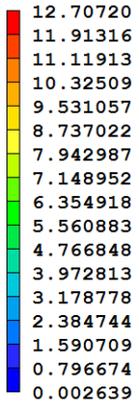
シミュレーション領域



No title has been set for this run.

20Hz z-y 断面流速分布

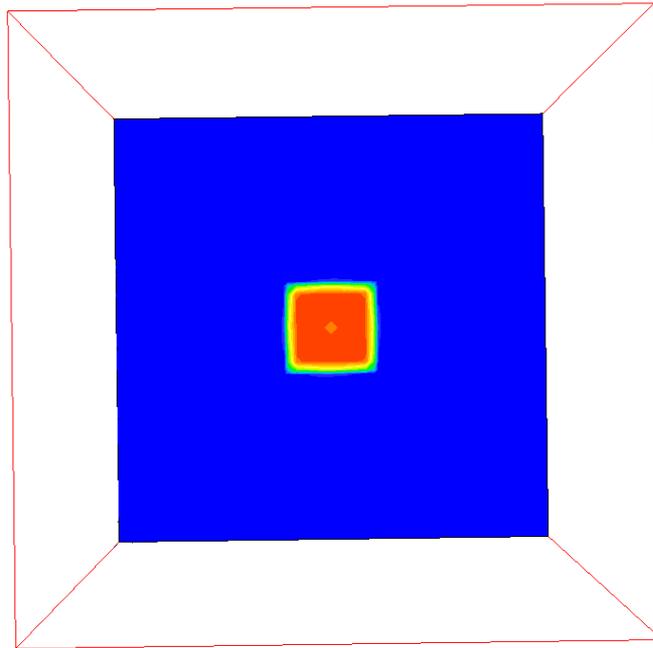
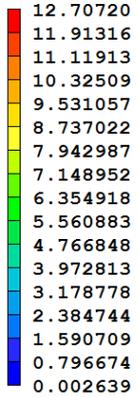
Velocity, m/s



No title has been set for this run.

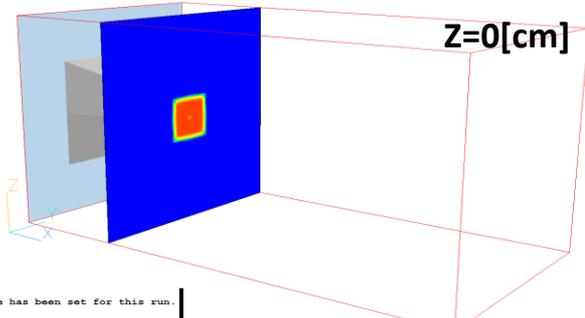
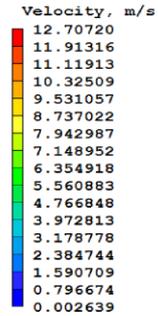
20Hz 出口断面 (z=0)

Velocity, m/s

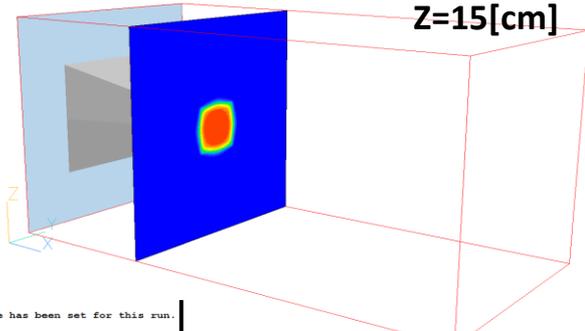
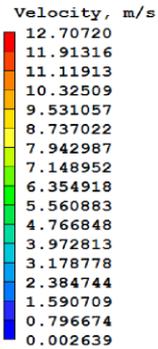


No title has been set for this run.

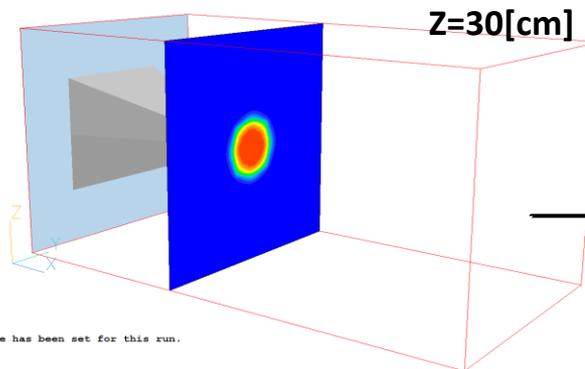
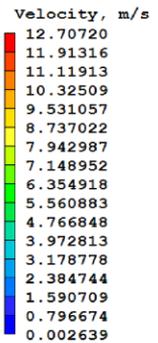
Z軸断面流速分布 20Hz



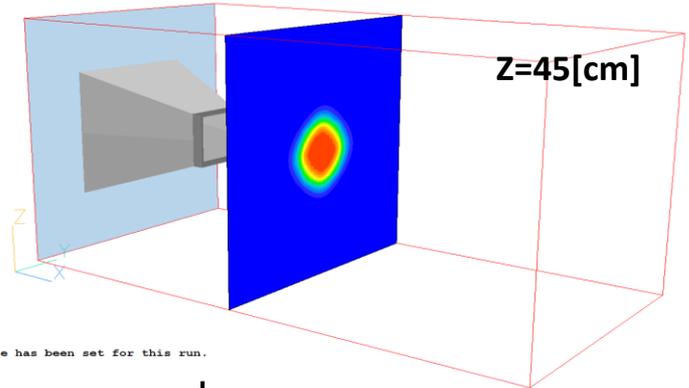
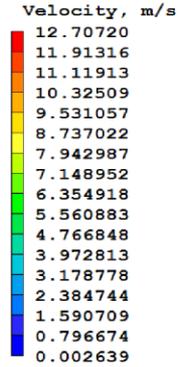
No title has been set for this run.



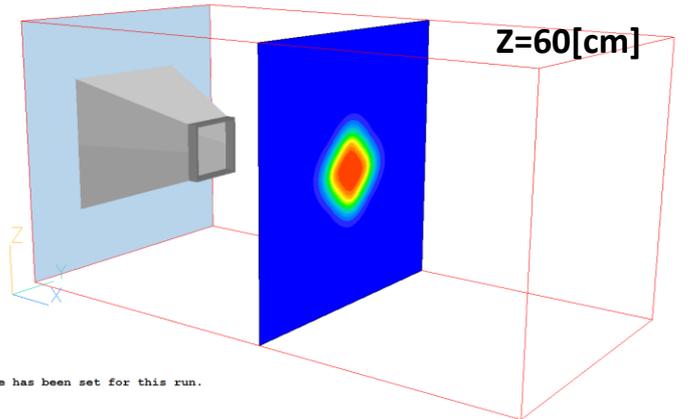
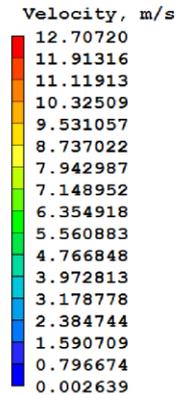
No title has been set for this run.



No title has been set for this run.



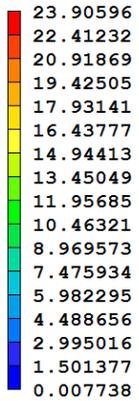
No title has been set for this run.



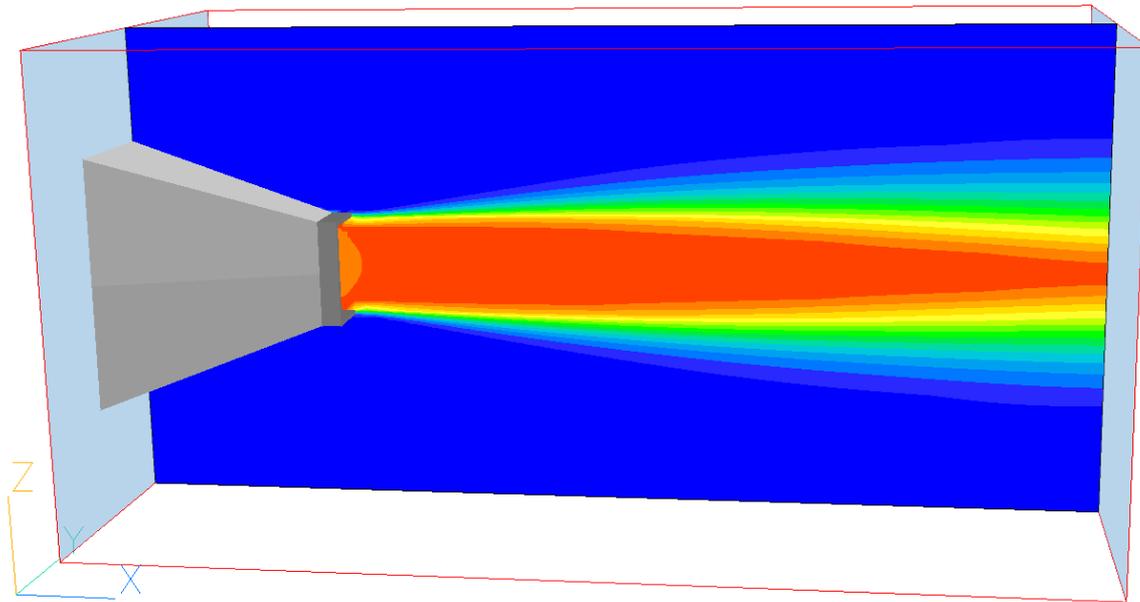
No title has been set for this run.

40Hz z-y 断面流速分布

Velocity, m/s



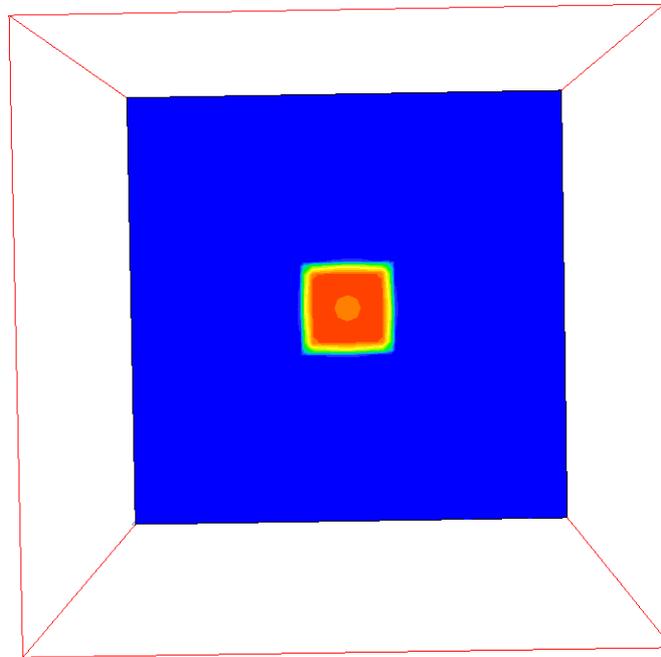
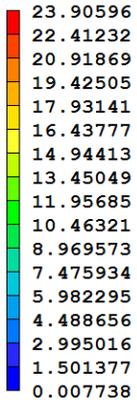
Sweep 622
Probe value
21.68503
Average value
5.344802



No title has been set for this run.

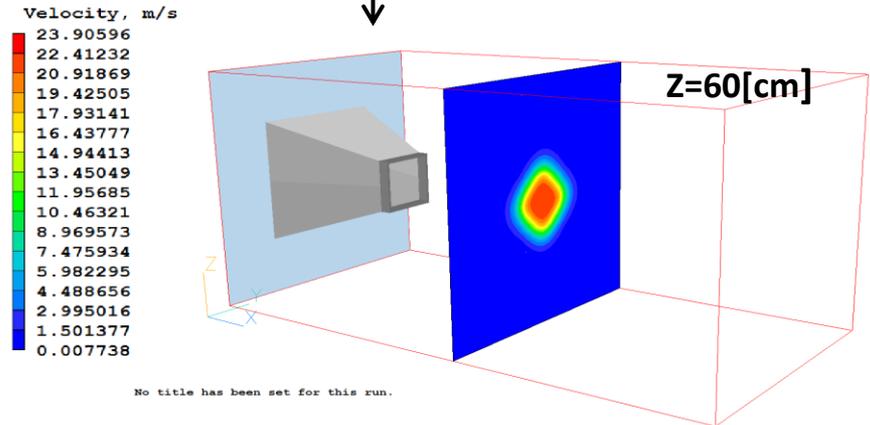
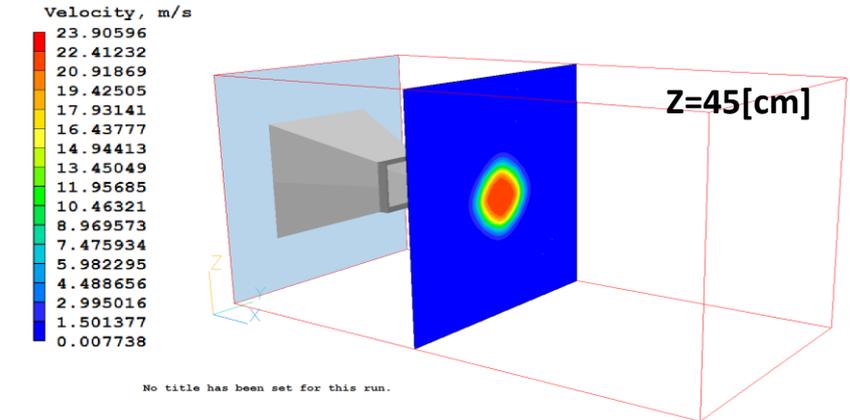
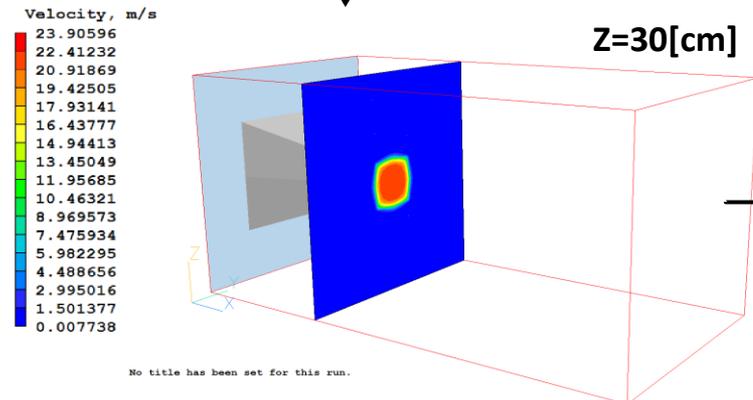
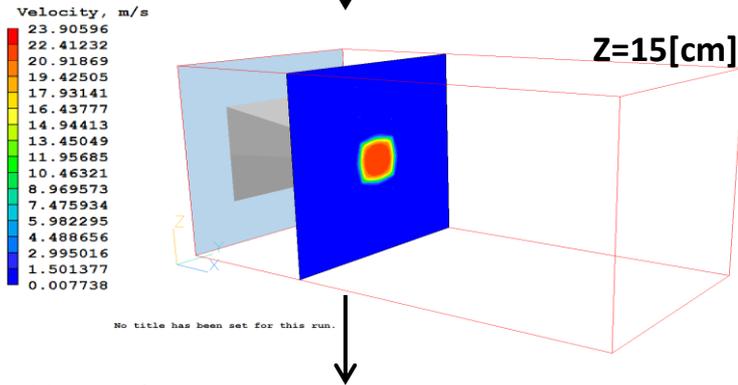
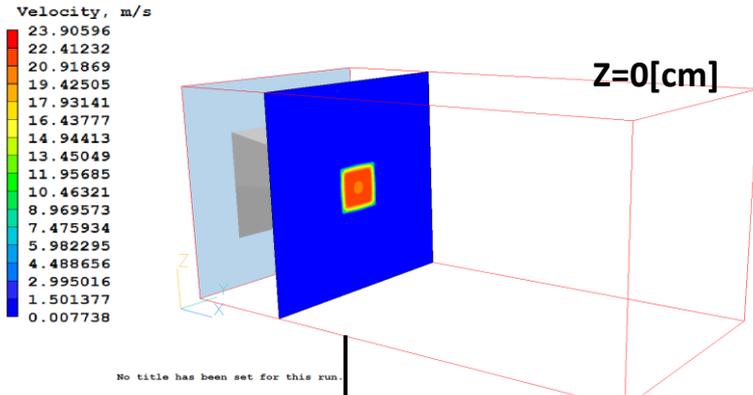
40Hz 出口断面 (z=0)

Velocity, m/s



No title has been set for this run.

Z軸断面流速分布 40Hz



まとめ

- 今回の研究から、噴流の中心部では距離に関係なく安定した一様流速の結果を確認することが出来た。
- 噴流の断面形状は、軸方向距離の伸長に伴って正方形形状から円形形状を経て、出口面形状を45°回転させたひし形形状へと変化していく過程が実験とシミュレーションの両方において確認された。これは、吹き出しノズル形状に起因すると考えられ、ノズル内部の四つのコーナー部での顕著な粘性損失による運動エネルギーの低下により発生する噴流断面形状の特徴と考えられる。