大気汚染拡散の予測

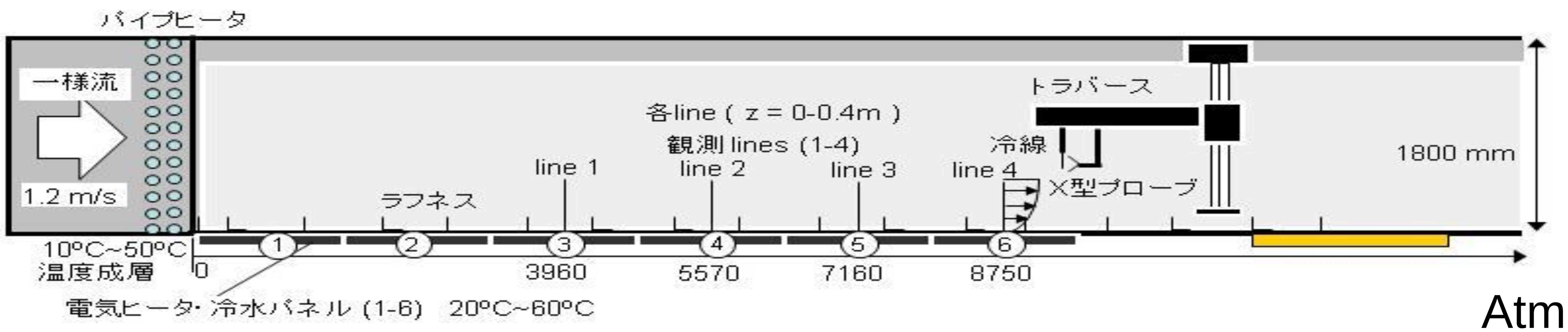
大気境界層の拡散性状は、大気安定度によって強い影響を受けるため

大気境界層の拡散性状の把握が不可欠

CFDと風洞実験の併用による
様々な大気安定度条件下での大気境界層の発達過程を検討

数値的に安定かつ簡便で様々な大気安定度条件下で利用可能なk-εモデルの提案

Outline of experiment



Wind tunnel

X型熱線風速計
I型冷線温度計による
同時計測（計測時間120秒）
（サンプリング周波数1kHz）

測定時間：120秒
鉛直方向測定点数:
床上 5mm, 10mm～400mm
（間隔　10mmごと）合計41点

Atmospheric stability

Case	Air flow temperature	Ground temperature	Ground temperature	Bulk Richardson number
Case 1 (Neutral)	20 °C	20 °C	1.22 m/s	0
Case 2 (Strong stable)	48 °C	20 °C	1.20 m/s	0.23
Case 3 (Weak stable)	33 °C	20 °C	1.20 m/s	0.12
Case 4 (Unstable)	12 °C	60 °C	1.18 m/s	-0.47

Bulk Richardson number $gZ_{400}(T_{400}-T_S) / ((T+273.15)(U_{400}^2))$

Outline of CFD analysis

Turbulence model	Standard k-ε model, Proposed k-ε model		
Momentum transport equation	First order upwind scheme	Convection term	
	Second order central difference scheme	Other terms	
Analysis domain	16.47 m (x), 1.8 m (y) and 1.8 m (z)		
Number of mesh	120 (x) × 40 (y) × 60 (z)		
Size of mesh	0.01 m (Near the ground)		
Boundary condition	Momentum	Turbulent kinetic energy	Temperature
Top	u, v free slip w = 0	Free slip	Adiabatic
Side	u, w free slip v = 0	Free slip	Adiabatic
Inlet	Uniform flow	Turbulent intensity：3 % Turbulent length scale：0.36 m	Constant temperature
Outlet	Free slip		Free slip
Ground	Z_0 logarithmic law Roughness height (3.0×10^{-4} m)	Free slip	Z_0 logarithmic law Roughness height (4.1×10^{-5} m)
Analysis algorithm	SIMPLE		

Proposed k-ε model

従来のk-εモデルの延長上に比較的簡易で安定かつ精度の高い大気安定度を考慮した新しいモデルの開発をめざす。

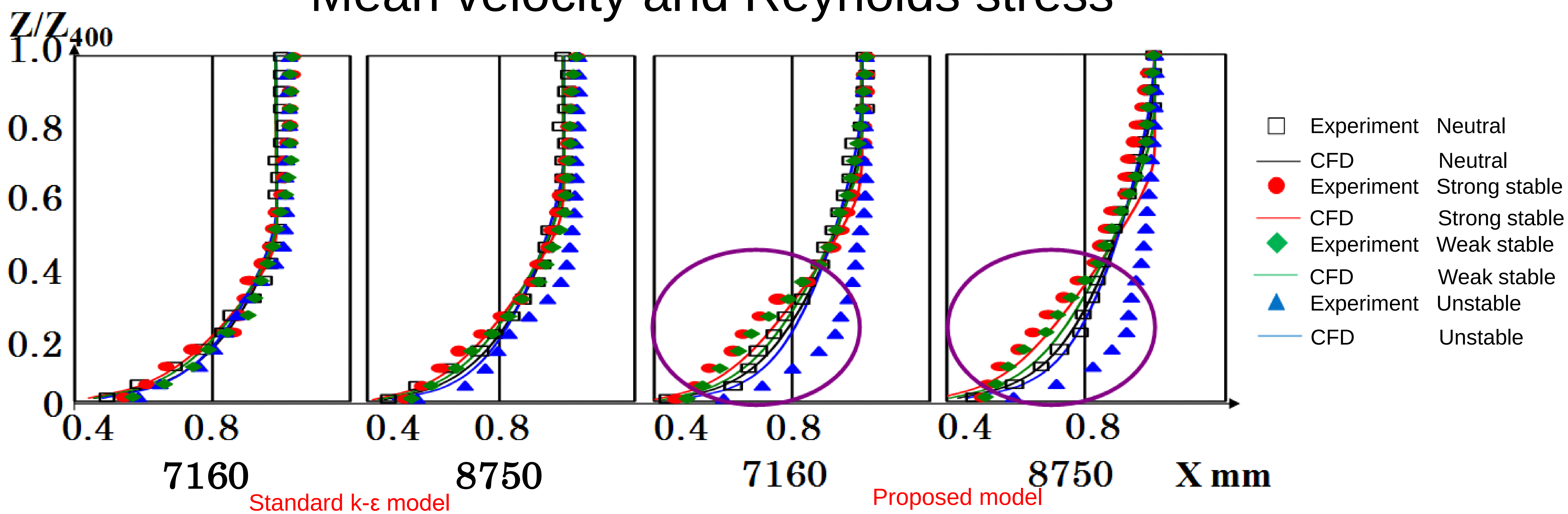
WETモデルのコンセプトに基づき、レイノルズストレスの表現は以下のようにモデル化した。

$$\overline{u_i u_j} = -\left(1 + G_k / P_k\right) \nu_t \left(\partial U_i / \partial X_j + \partial U_j / \partial X_i\right) + 2/3 k \delta_{ij}$$

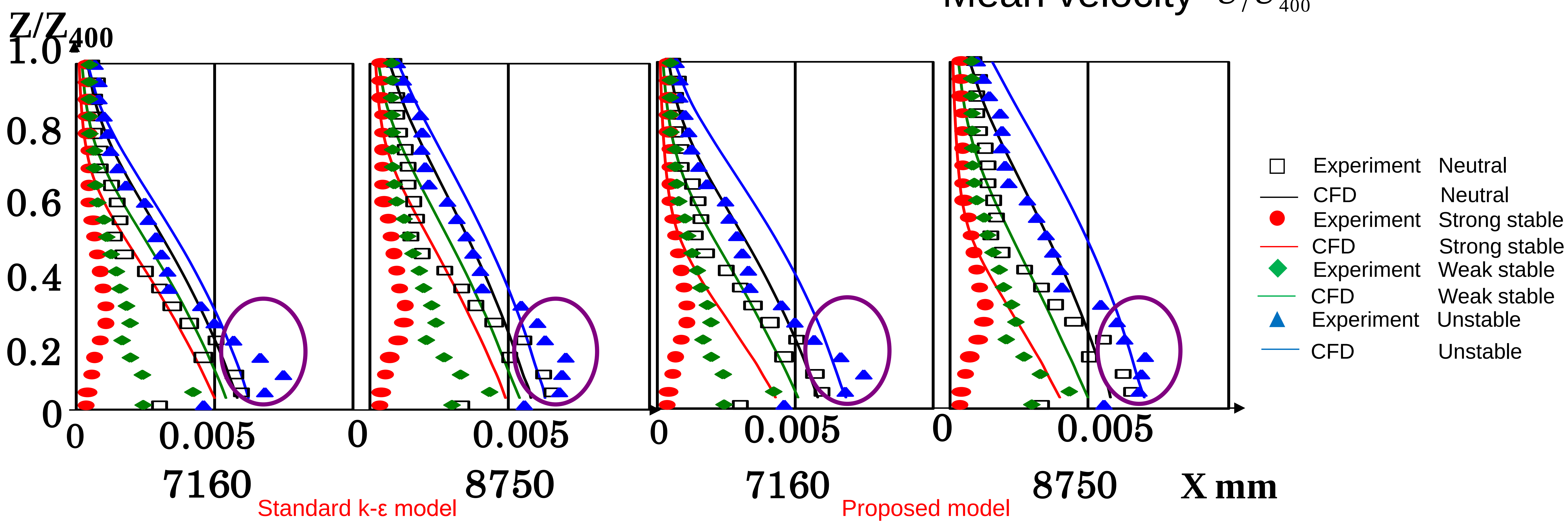
但し、数値不安定を避けるために、暫定的に$0.1 < (1.0 + G_k/P_k) < 6.0$の制約

Comparison between standard k-ε model and proposed model

Mean velocity and Reynolds stress



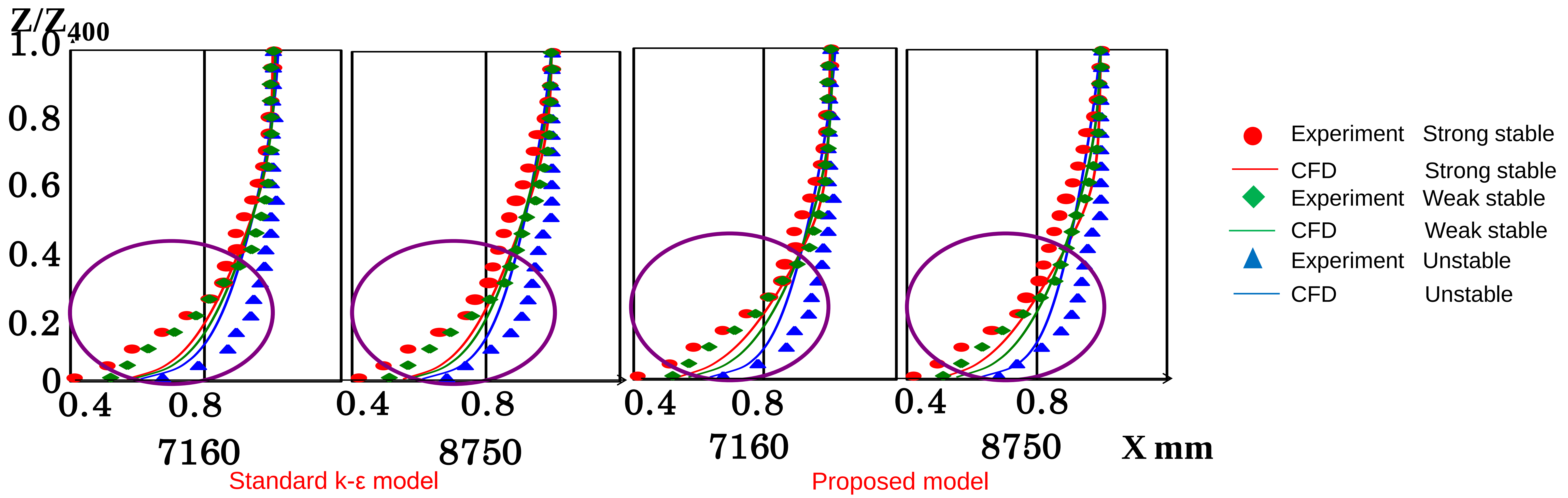
Mean velocity U/U_{400}



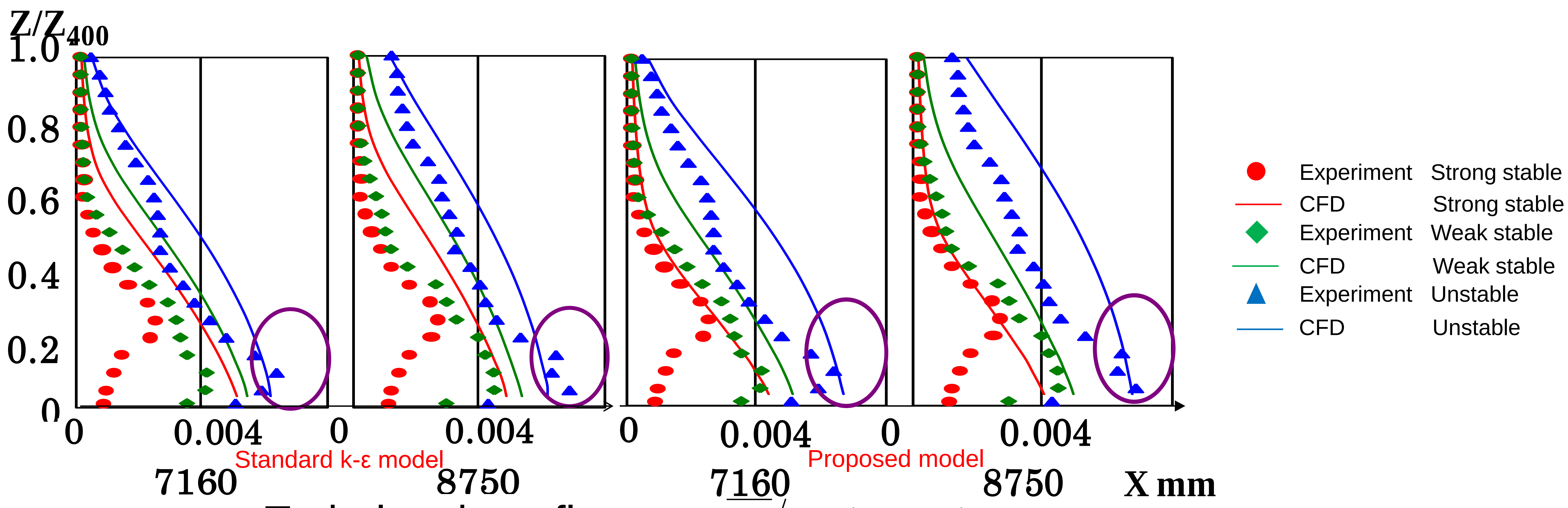
Reynolds stress $-\overline{u'w'}/U_{400}^{2}$

Comparison between standard k-ε model and proposed model

Mean temperature and turbulent heat flux



Mean temperature $(T-T_S)/(T_{400}-T_S)$



Turbulent heat flux $-\overline{w't'}/U_{400}(T_{400}-T_s)$