

平成18年10月30日

スーパーコンピュータによる地球環境研究発表会(第14回)

都市キャノピー内及び上空の 熱的機構に関する数値解析

一ノ瀬 俊明(国立環境研究所)

○ 足永靖信(独立行政法人建築研究所)

河野孝昭(同上)

東海林孝幸(同上)

Table. 1 Classification of numerical models for heat island

Model type	Resolution	Computational cost	Representation of buildings	Main input data
Meso-scale model	Course	Low	Flat surface with roughness	Physical parameters of land use (roughness, albedo, evaporation rate, thermal conductivity), anthropogenic heat
Urban canopy model	Medium	Medium	Bulk density and average height of buildings	Settings of buildings (building ratio, building height, air conditioning system, etc.) and surface covering (albedo, evaporation rate, thermal conductivity)
CFD model	Fine	High	Building shape and arrangement	Shape, arrangement of buildings, roads and trees and physical parameters(albedo, evaporation rate, thermal conductivity)

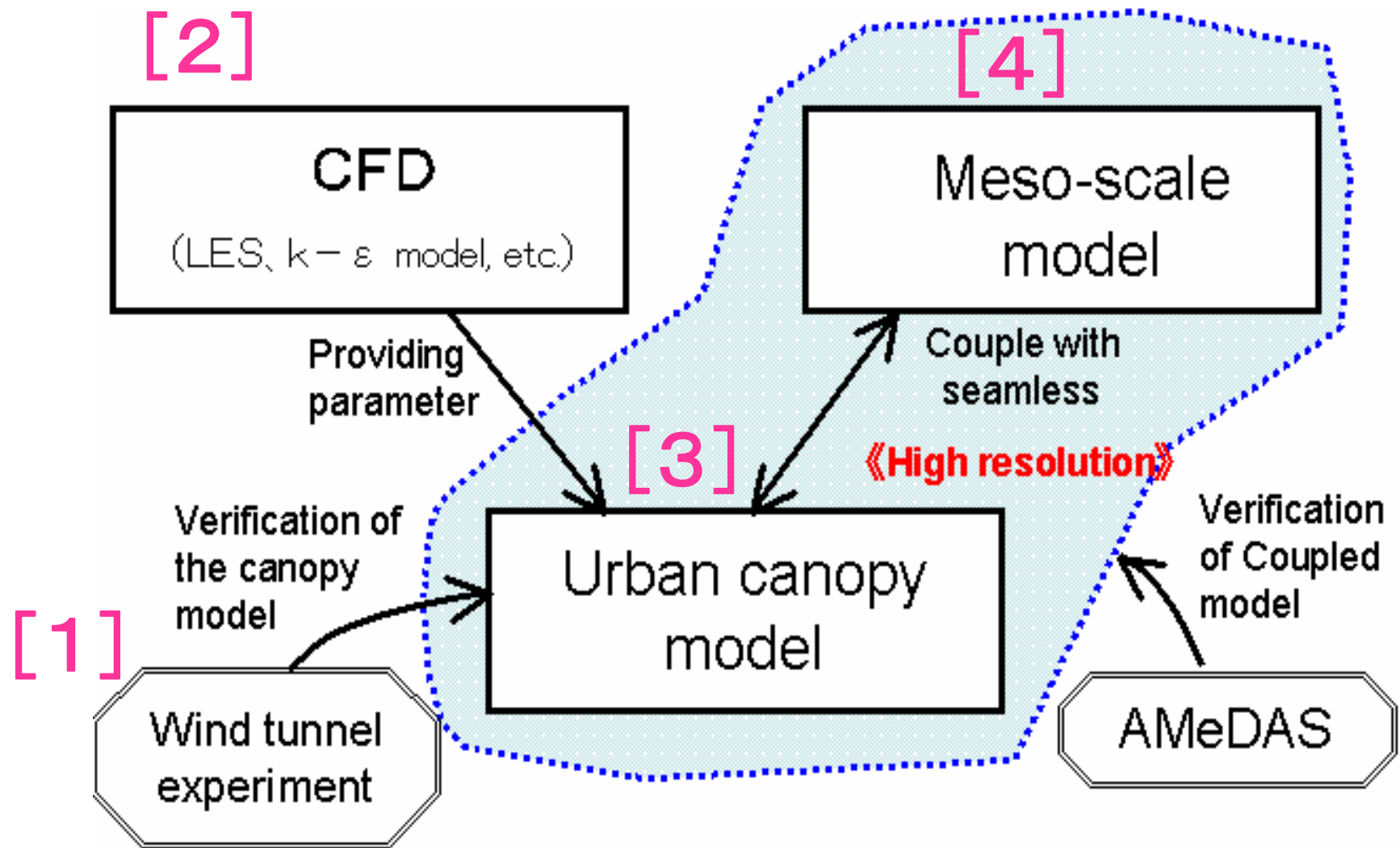
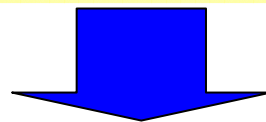
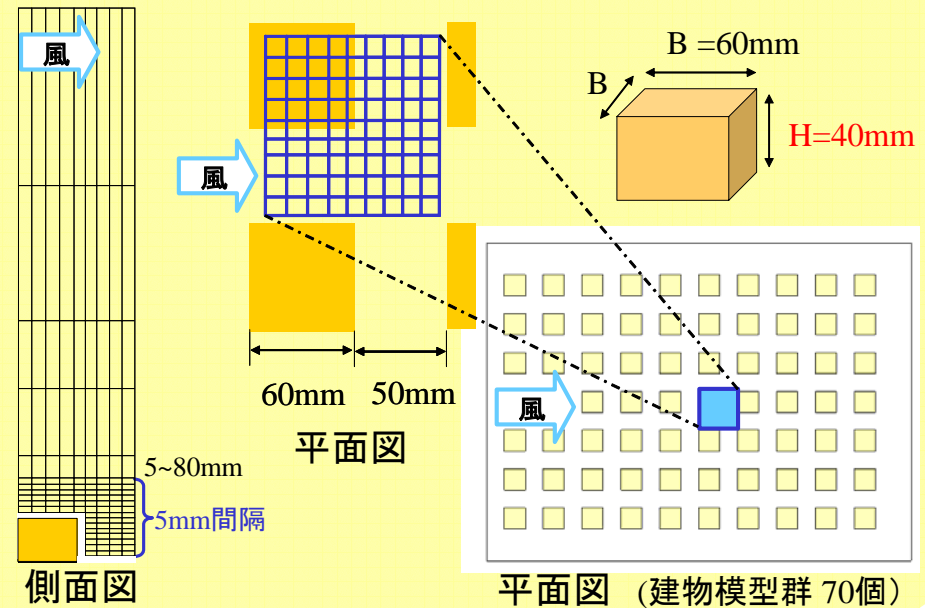
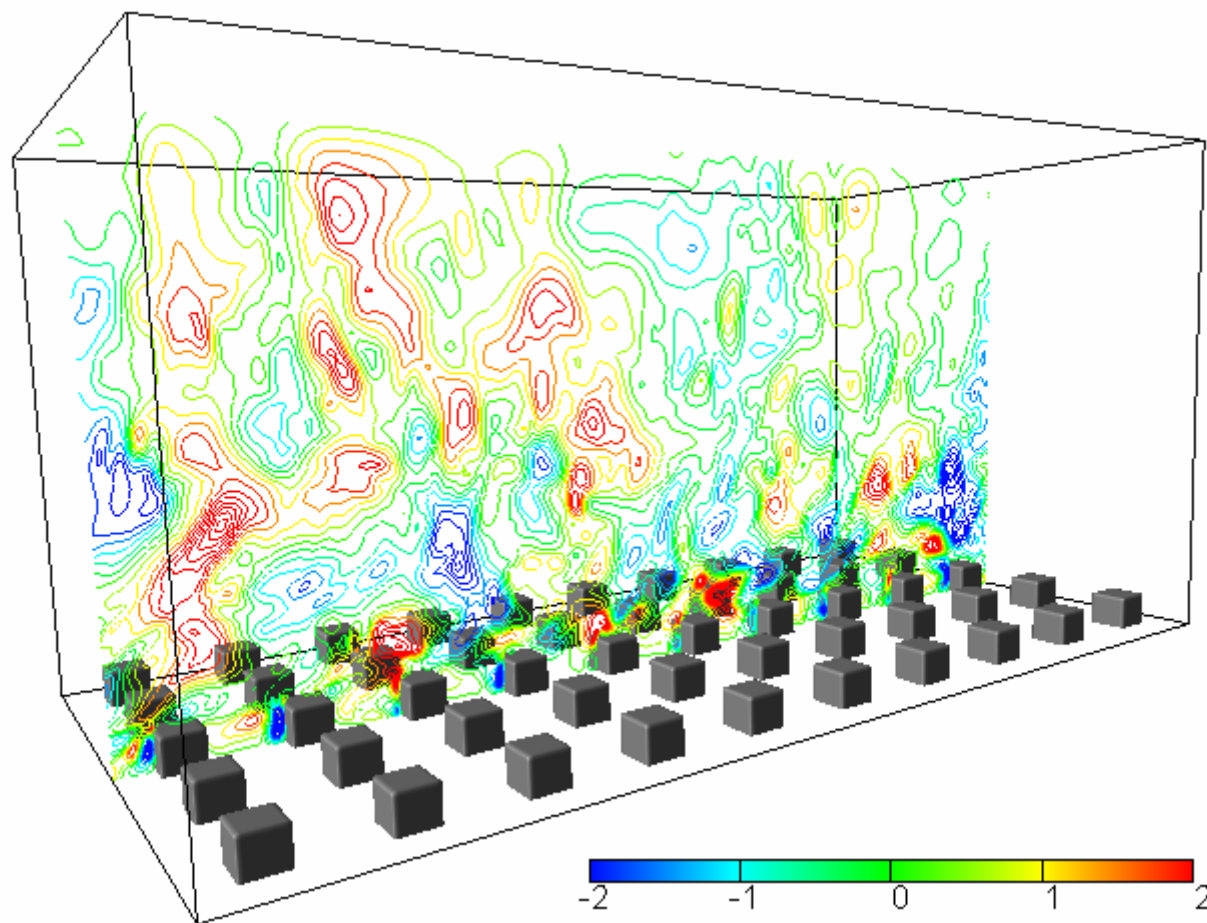


Figure 1 Research outline.

[1] 温度成層風洞によるビル群を模擬した都市キャンピー内外の気温、風データの取得

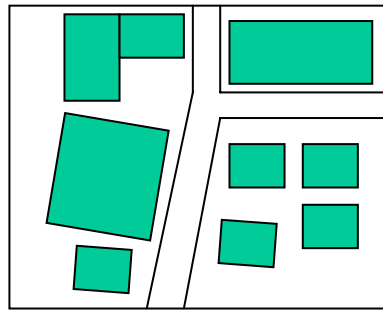


数値モデルの検証やパラメータ同定に活用

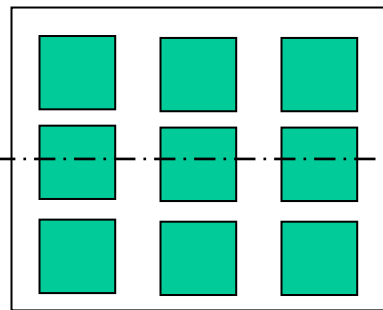


無次元風速鉛直成分(上空主流無次元風速を20とする)

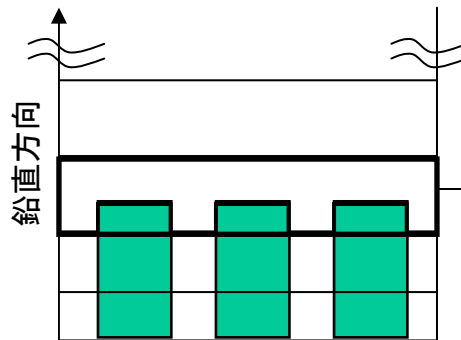
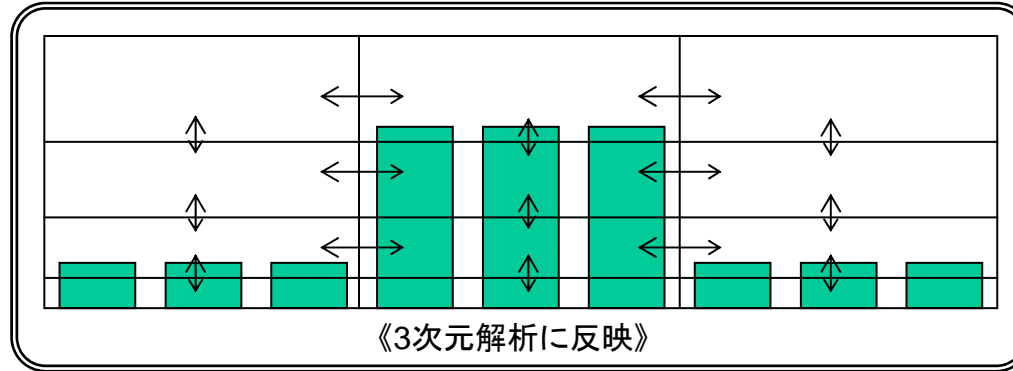
[2] LESによる都市キャノピー内外の詳細な
風メカニズムの把握(検討中)



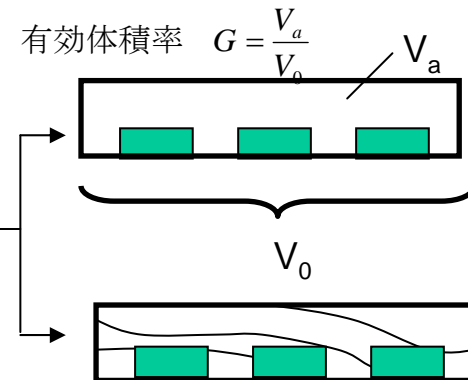
実際の建物道路配置



均一な建物配置・土地利用

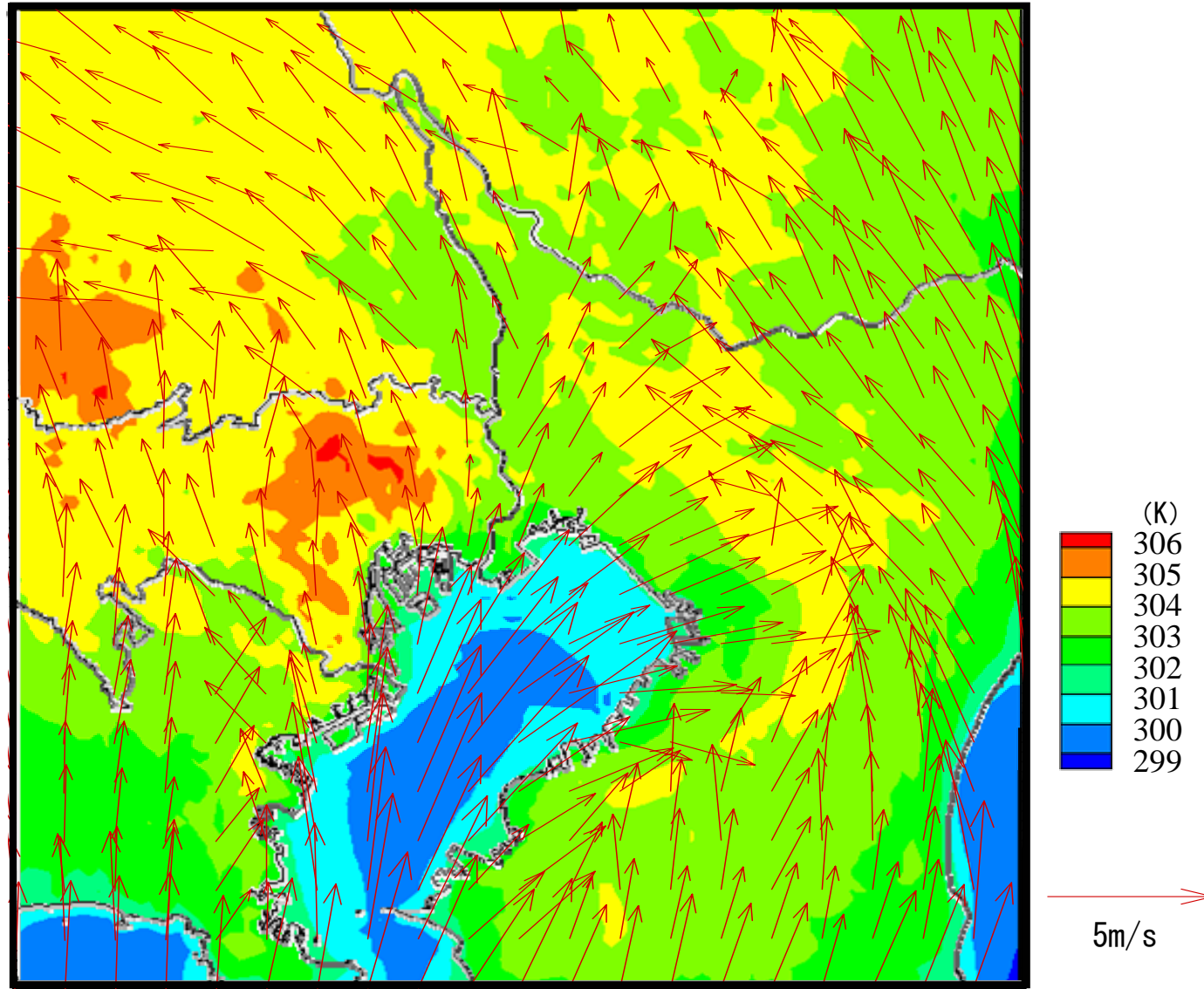


鉛直方向にメッシュ分割



関数 f の分布 → 空間平均化

[3] 空間平均処理を施した3次元都市キャンピーモデル

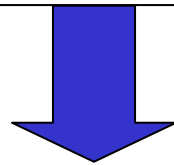


[4] メソスケールモデルへ展開(予定)

○今年度の検討内容

レイノルズ平均モデルによる都市キャノピー内及び上空の熱的機構に関する検討

空間平均操作に伴う気温、風速の空間偏差の相関項を抽出



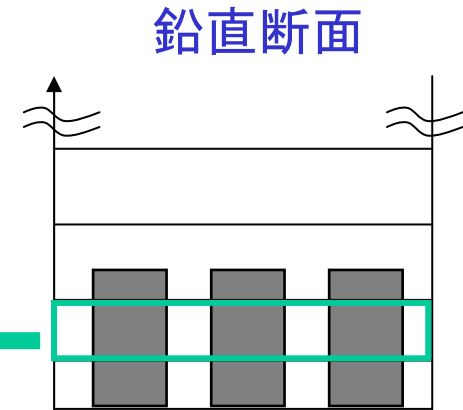
空間平均モデルへの反映を検討

□空間平均化の概念

➤空間平均操作

Box filter (グリッドスケールとサブグリッドスケールへの分離)

$$\begin{aligned} \langle f(\mathbf{x}, t) \rangle &= \frac{1}{V_a(\mathbf{x}, t)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} H(\mathbf{x}' - \mathbf{x}) f(\mathbf{x}', t) d\mathbf{x}' \\ &= \frac{1}{V_a(\mathbf{x}, t)} \iiint_{V_a} f(\mathbf{x}, t) dV \end{aligned}$$



V_0 : 格子の体積



建築物

f : 物理量

V_a : 空気の体積

➤空間微分の空間平均操作

$$\left\langle \frac{\partial f(\mathbf{x}, t)}{\partial x_i} \right\rangle = \frac{1}{G(\mathbf{x})} \frac{\partial G(\mathbf{x}) \langle f(\mathbf{x}, t) \rangle}{\partial x_i} + \frac{1}{V_a(\mathbf{x}, t)} \int_S H(\mathbf{x}' - \mathbf{x}) f(\mathbf{x}', t) n_j(\mathbf{x}', t) dS$$

$G(\mathbf{x}) = V_a(\mathbf{x}, t) / V_0$: 有効体積率

□空間平均・レイノルズ平均された熱輸送方程式

➤各項のオーダー比較

レイノルズ平均熱輸送方程式

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{T} \bar{u}_j}{\partial x_j} = \lambda \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \overline{T' u'_j}}{\partial x_j} + \frac{\bar{H}_a}{C_p \rho_a}$$

空間平均操作

$$f = \langle f \rangle + f''$$

$$\frac{\partial \langle \bar{T} \rangle}{\partial t} + \frac{1}{G} \frac{\partial G \langle \bar{T} \rangle \langle \bar{u}_j \rangle}{\partial x_j} = - \frac{1}{G} \frac{\partial G \langle \overline{T' u'_j} \rangle}{\partial x_j} - \frac{1}{G} \frac{\partial G \langle (\bar{T})'' (\bar{u}_j)'' \rangle}{\partial x_j} + \frac{\langle \bar{H}_a \rangle}{C_p \rho_a} \quad \text{eq.(1)}$$

移流項 乱流拡散項 今回抽出する項

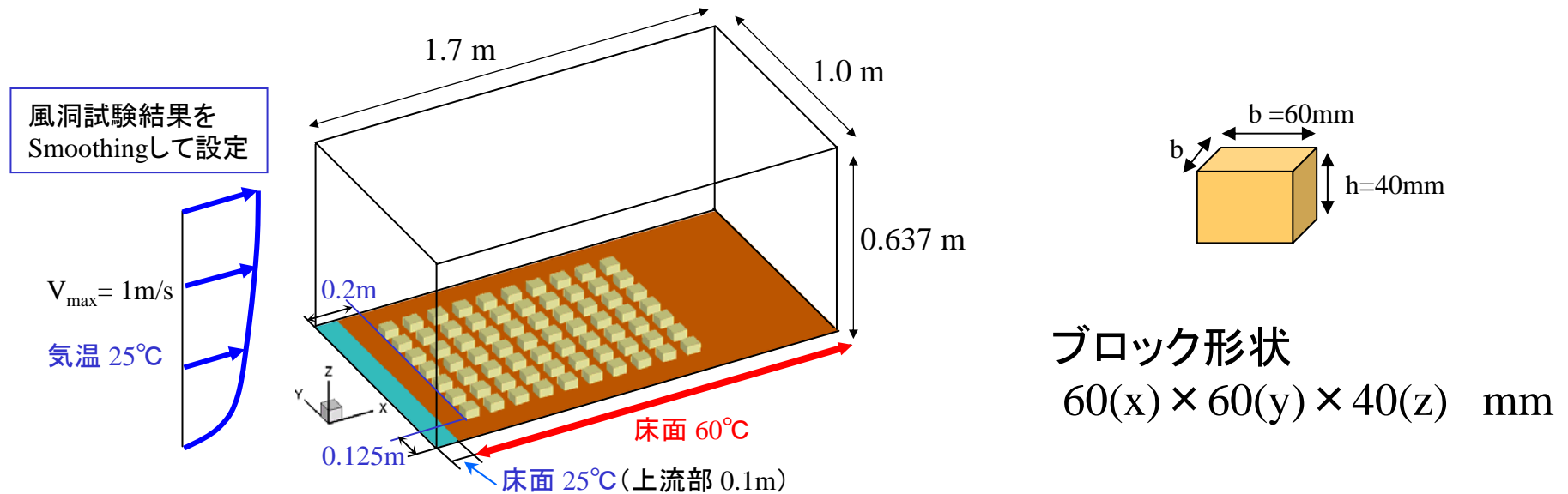
既往のモデルでは、この項を非常に小さいと見なし、直接取り扱うことは行われていない

f'' は空間平均からの偏差を表す

風洞床面を加熱した規則配列の建物群を対象にしたCFD解析(標準k-εモデルによる)

解析領域

- ・形状: $1,700(x) \times 1,000(y) \times 637(z)$ mm
- ・格子点数: $340(x) \times 200(y) \times 43(z) = 2,924,000$
- ・格子幅: 水平方向 $\Delta x, \Delta y = 5.0\text{mm} = b/12$
鉛直方向 $\Delta z_{\min} \doteq 1.39\text{mm} \doteq 0.035h$



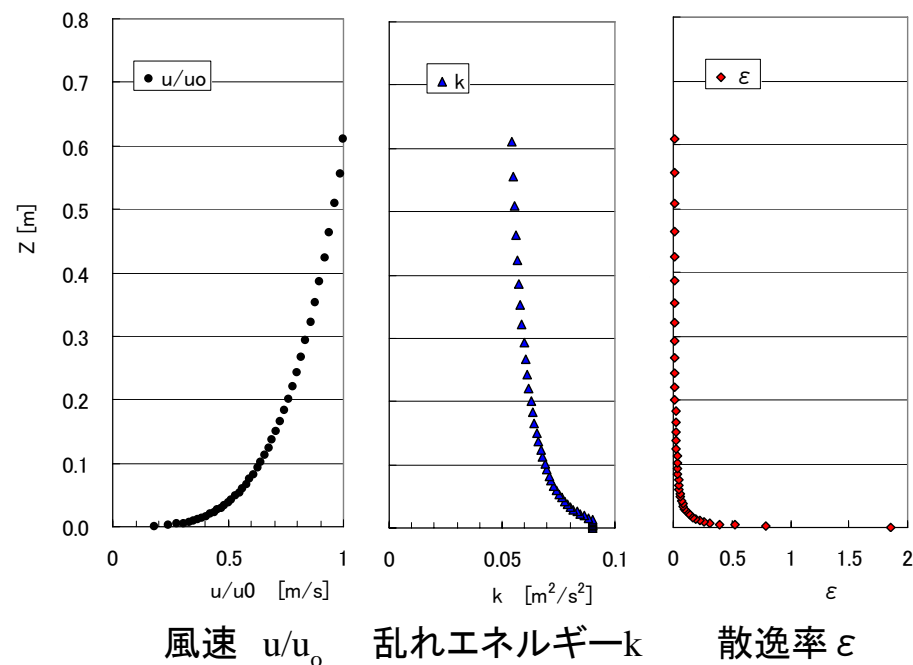
境界条件

項目	設定	速度	温度
流入面	u,kは風洞試験結果を補間 εは次式(下)により算出 (流入気温 $\theta_0=25^\circ\text{C}$)		
上空	対称境界条件		
側面	固体壁扱	一般化 対数則	Neumann
流出面	各諸量にNeumann		
床面	固体壁扱	一般化 対数則	熱伝達 $\theta_f=60^\circ\text{C}$
ブロック面	固体壁扱	一般化 対数則	Neumann

$$\varepsilon = C_\mu^{1/2} k (du/dz) \quad (C_\mu=0.09)$$

移流項: 一次精度風上差分
時間積分: 陰解法
反復回数: 3000回 (クーラン数5)

粘性項を計算。熱伝導項、拡散項を計算。
k、εの拡散項を計算。



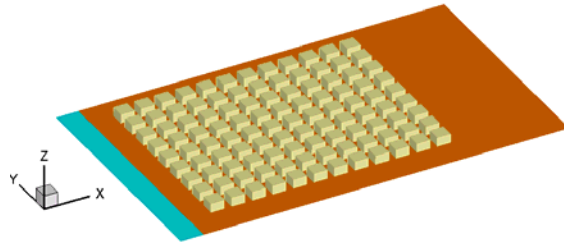
流入境界条件

ユーザー時間: 3000回反復(1CPU, CFL=5)で約92時間

解析ケース

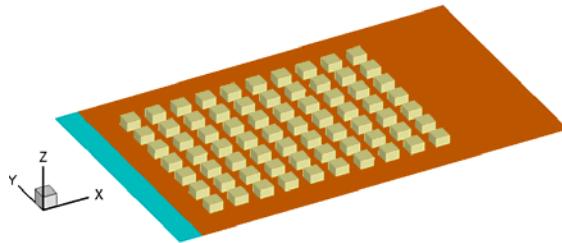
ケース1

・配置間隔 L: 30mm (108個 = 12個(X) × 9個(Y))



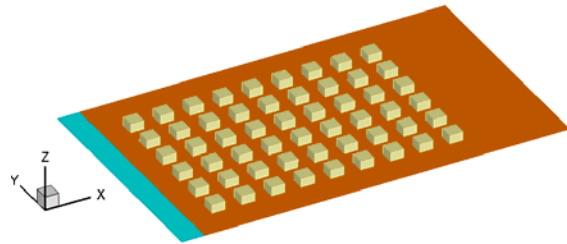
ケース2

・配置間隔 L: 50mm (70個 = 10個(X) × 7個(Y))



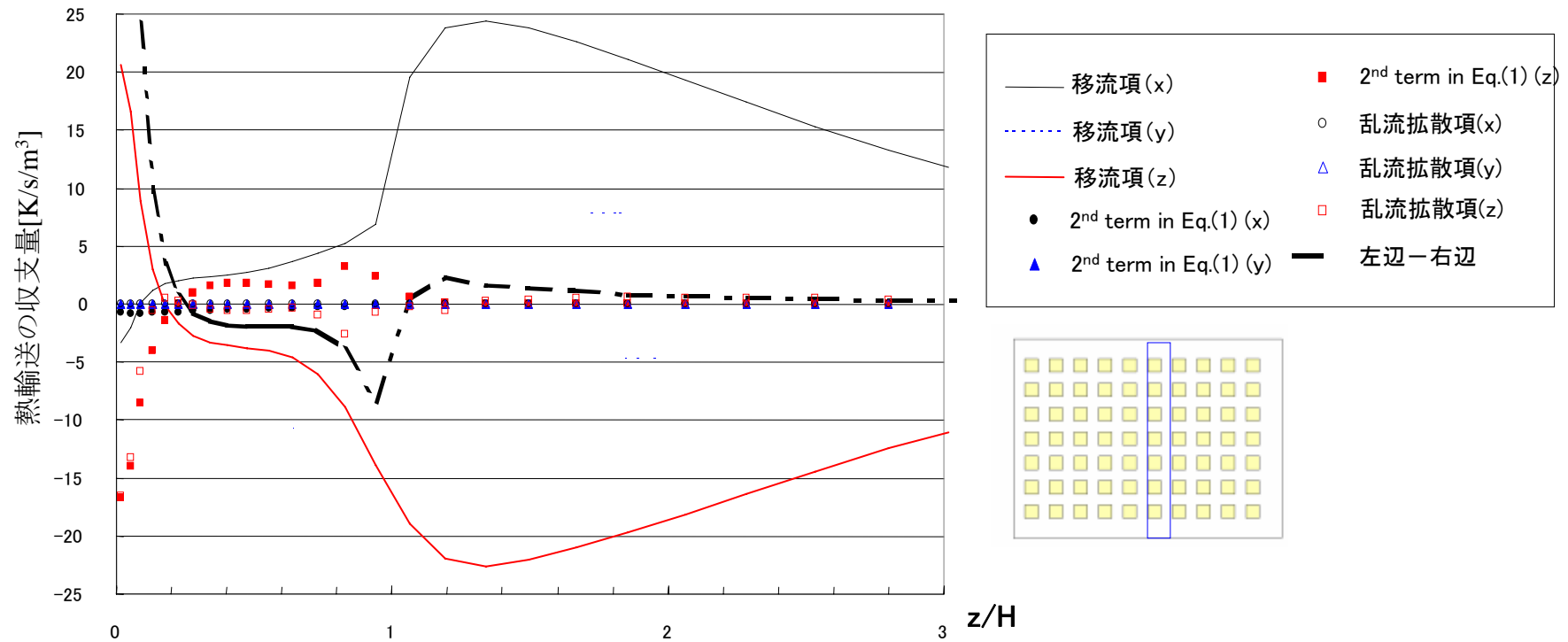
ケース3

・配置間隔 L: 70mm (54個 = 9個(X) × 6個(Y))



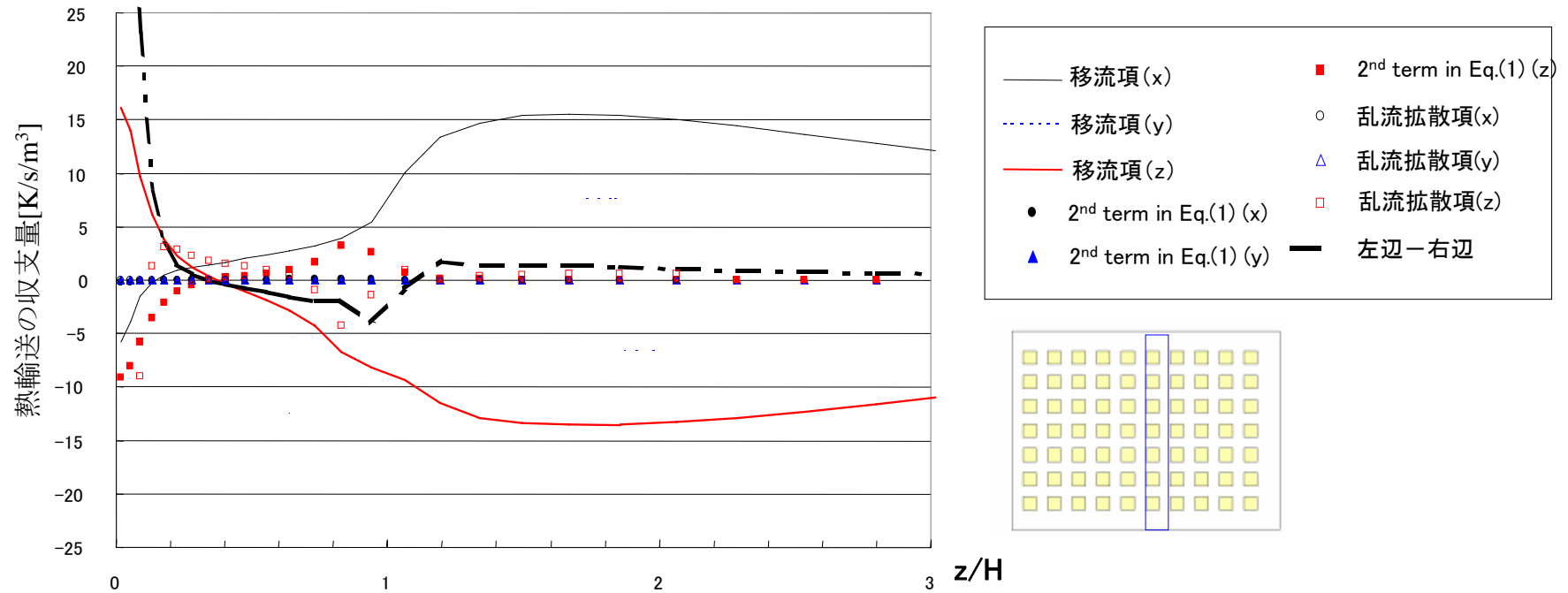
上図の数値は、各ケース共通

熱輸送方程式のオーダー比較 (L=30mmの場合)



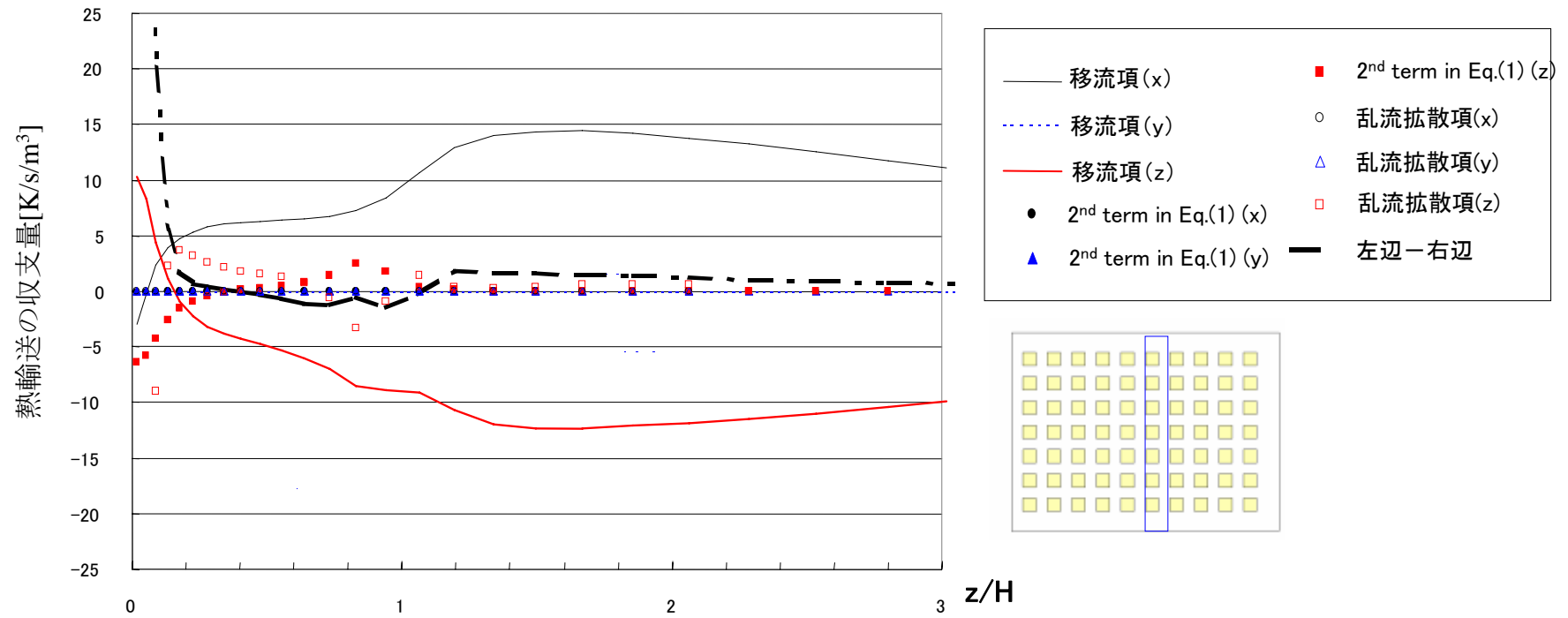
注) 床面近傍の3点は誤差大きいため参考値

熱輸送方程式のオーダー比較 (L=50mmの場合)



注) 床面近傍の3点は
誤差大きいため参考値

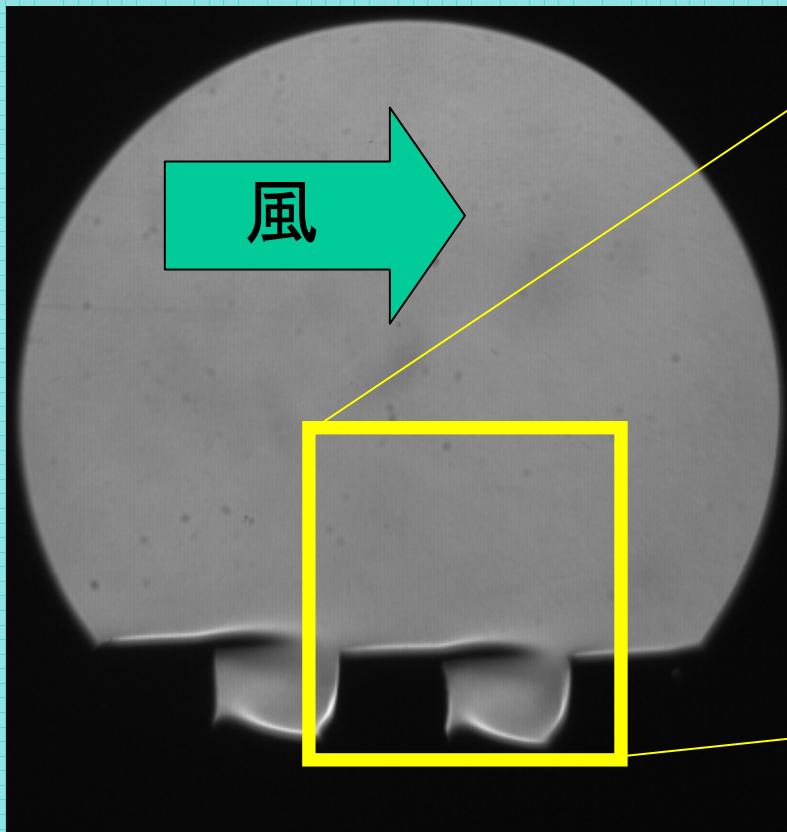
熱輸送方程式のオーダー比較 (L=70mmの場合)



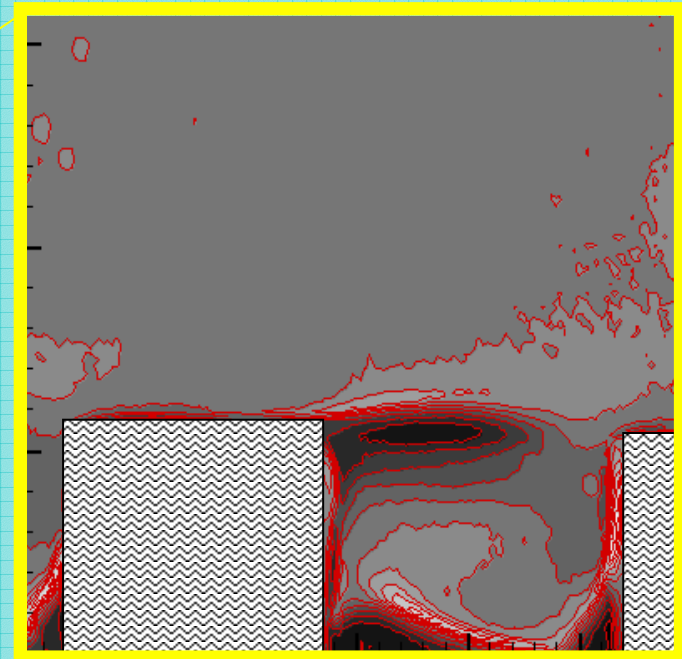
注) 床面近傍の3点は誤差大きいため参考値

温度成層風洞実験におけるシュリーレン画像による都市キャノピー層の熱拡散場の可視化

シュリーレン画像(時間平均)



シュリーレン画像から明度を数値化



濃色は温度勾配が大きいことを表す

まとめ

- 1 レイノルズ平均モデルによる都市キャンピーを対象にしたCFD解析を実施し、空間平均操作が気温、風速の空間偏差の相関に及ぼす影響を調べた。
- 2 熱輸送方程式における気温、風速の空間偏差の相関項は、都市キャンピーの内側では無視し得ない値を示すが、都市キャンピーの外側では影響が小さいことが分かった。
- 3 今後引き続き、都市キャンピー層の熱拡散場の検討を行い、空間平均モデルの高度化を図る必要がある。