

LES を用いた領域分割法による室内の通風気流解析法に関する研究 (その1) 集合住宅の一室を対象とした基本検討

正会員 ○ Hoang Minh Hung^{*1} 同 小林知広^{*2} 同 山中俊夫^{*3}

4. 環境工学 - 12. 空気流動基礎 - c. 室内気流の数値流体 (CFD) 解析手法

CFD LES 通風 領域分割法 局所相似モデル

1. はじめに

計算機性能の向上により通風分野の研究でも Large Eddy Simulation (LES) の利用が近年見られる。しかし、通風解析は一般に建物内外を同時に解析する必要がある。LES は計算負荷が高いために様々な条件でケーススタディを実施するには膨大な時間を要し、精度を保ちながら計算負荷を抑える手法が必要である。そこで本研究では倉渕ら¹⁾が室内のみを計算領域として RANS で実施した「領域分割法」を LES で適用し、建物内外を同時に解析する「全域計算」の結果と比較する。本報では倉渕ら¹⁾の局所相似モデルによる流量係数補正の適用および流入風向のみ考慮することの有無をパラメータとし、nLDK 型の集合住宅の一室を想定した室を対象に検討を行った結果について報告する。

2. 解析概要

2.1 室内外同時計算（全域計算：Whole Domain）

本報の解析対象を図1に示す。当該モデルは丹原ら²⁾が室内通風気流性状を解析したモデルに基づいており、風洞実験を模擬して室モデル内外を同時に解析する CFD 解析を LES で行った（以降、全域計算）。解析領域は $1,800 \times 1,800 \times 5,430 \text{ mm}$ とし、解析対象は外寸 $384 \times 182 \times 384 \text{ mm}$ の矩形の建物モデルで、3 住戸 6 層の計 18 住戸が含まれる建物を想定した。本報では 5 層目の 1 室を対象とし、この室のみ開口を開放している状況とした。室モデルのリビングを想定する面には $30 \times 40 \text{ mm}$ の開口 1 と開口 2、対面には $20 \times 40 \text{ mm}$ の開口 3 を設けた。アプローチフロー風向はリビング面に対して 45° と

表 1 CFD 解析の概要

Analysis Method	Whole Domain	Domain Decomposition Technique (Method 1, Method 2, Method 3)
Turbulence Model	Large Eddy Simulation (Smagorinsky Model, $C_s = 0.1$)	
CFD Code	Fluent 17.0	
Algorithm	SIMPLE	
Discretization Scheme for Advection Term	Central Differencing	
Time Step	0.0005 [s]	
Transition Term	2,000 time step (=1.0 [s])	
Main Calculation Term	22,000 time step (=11.0 [s])	
Boundary Condition	Inlet	1/4.5 Power law (Smirnov's method)
	Outlet	Gauge Pressure : 0 [Pa]
	Walls	Two Layer Model of Linear-Log Law
Total Number of Cells	2,132,437	38,541
Calculation Time	About 216 [h]	About 28 [h]

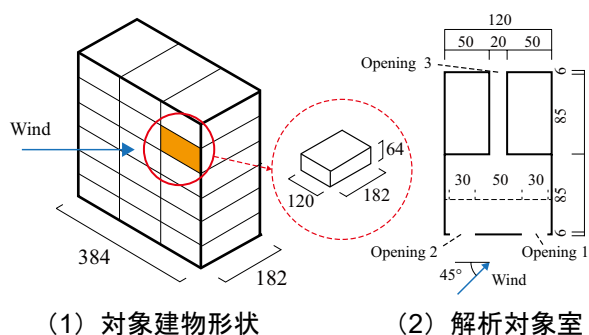


図 1 対象建物モデル

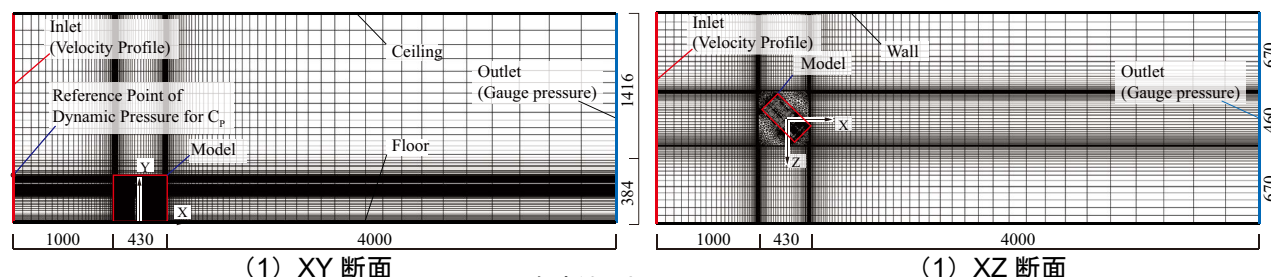


図 2 解析領域とメッシュ図

Analysis of Indoor Cross-Ventilation Flow using Domain Decomposition Technique by LES
(Part 1) Basic Investigation for a room in an Apartment Building

HOANG Minh Hung, KOBAYASHI Tomohiro, YAMANAKA Toshio

した。解析領域の概要を図2に、CFD解析手法を表1に示す。SST $k-\omega$ モデルの結果を初期条件としてLESの計算を開始した。計算時間間隔は1/2,000 s、計算開始後の2,000 time step (=1.0 s)をLESへの移行期間としてその後の11 sを本計算とした。LESの流入境界は図3に示す境界層流にSmirnovら³⁾の手法を適用して変動風を与えた。本計算の全time stepで開口面上の210点(図4)において瞬時風速3成分をモニターした。また、本研究の領域分割法による室内気流解析精度の検証のため、図5に示す室内45点でも同様に瞬時風速をモニターした。

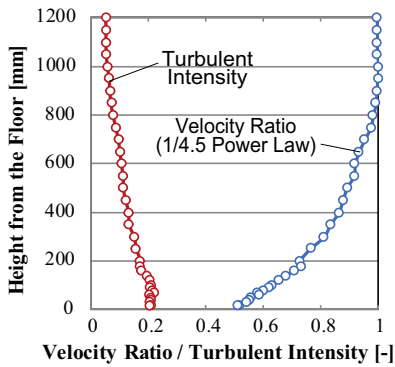


図3 アプローチフロー風速と乱れの強さの鉛直分布

STEP 1 : Sealed Building Model Analysis to obtain instantaneous value for P_w and P_t

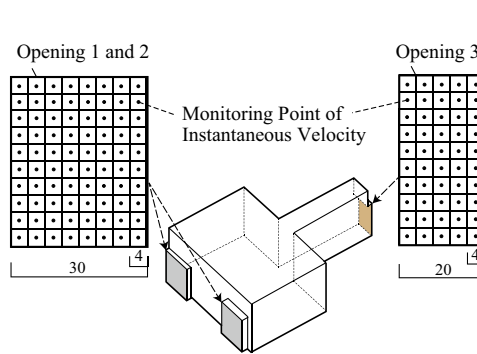
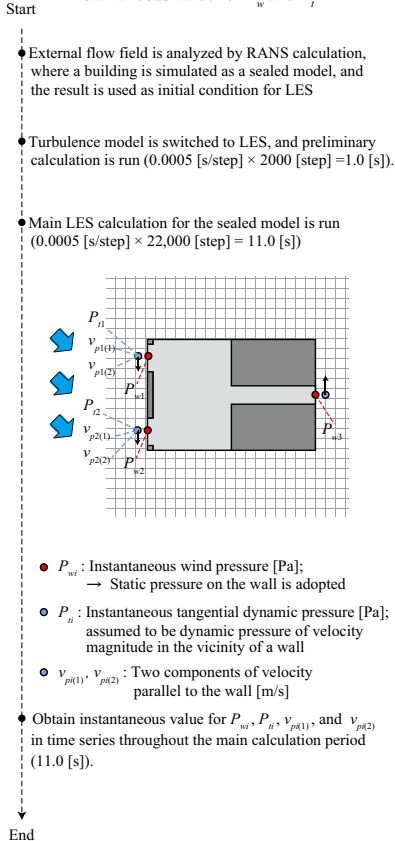


図4 全域計算における開口面上の瞬時風速のモニター点

STEP 2 : Calculation of Instantaneous Flow Rate of Opening using Local Dynamic Similarity Model (LDSM)

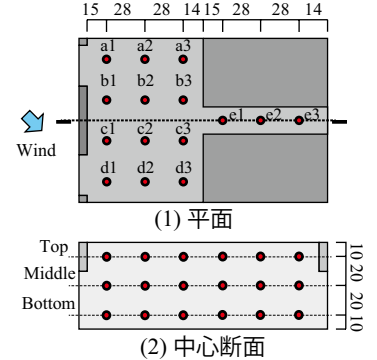
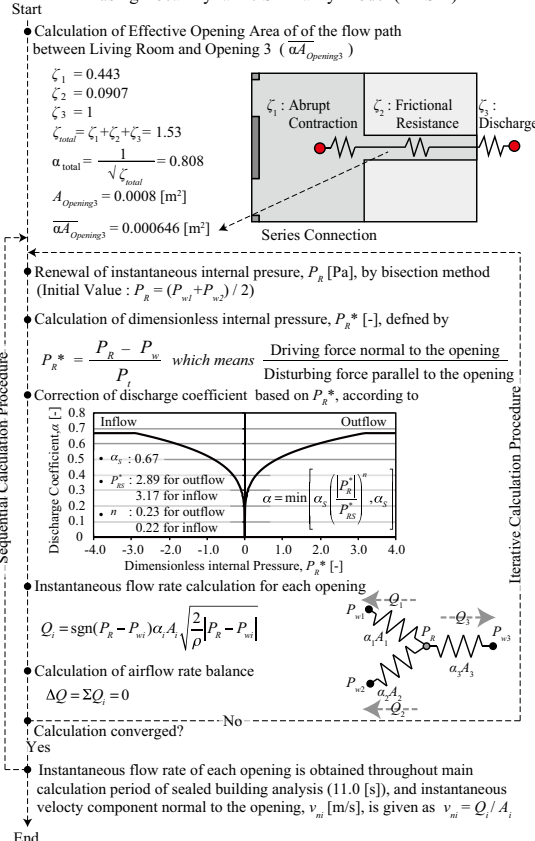


図5 室内の風速モニター点

STEP 3 : Indoor Flow Analysis using LES with Domain Decomposition Technique

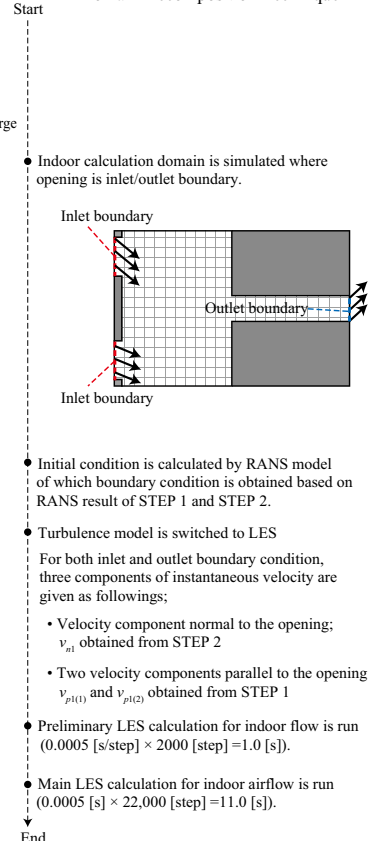


図6 局所相似モデルと領域分割法を用いた非定常計算プロセス

2.2 局所相似モデルを用いた領域分割法 (Method 1)

倉瀬ら¹⁾の領域分割法をLESに適用した計算(Method 1)の手順を図6に示す。まず図1の解析領域でシールモデルで屋外気流解析を行い、開口想定位置の瞬時壁面静圧、開口中心から外側に5 mmの位置の壁面接線方向の瞬時風速2成分を取得した(STEP 1)。これを用いて開口1, 2では局所相似モデルにより流量係数を算出し、リビングから開口3までの流路の有効開口面積はダクトの急縮小と摩擦損失係数 ($\lambda=0.032$) と開口3からの流出を考慮した固定値を用いて各time stepの開口ごとの瞬時

通風量を算出した (STEP 2)。次に、算出した通風量を開口面積で除した開口面法線方向瞬時風速と、STEP 1 の接線方向の瞬時風速 2 成分を各 time step 流入境界として室内気流を解析した (STEP 3)。初期条件は SST $k-\omega$ モデルの結果とし、計算時間間隔、計算ステップ数は前節の全域計算と同様とした。

2.3 流入風向のみを考慮した領域分割法 (Method 2)

簡易な領域分割法として全ての開口の流量係数を固定値とし、流入出風向のみ屋外解析の接線方向風速に基づいて与える手法でも解析を行った (Method 2)。ここでは開口 1 と開口 2 の流量係数は 0.65 として瞬時風圧とオリフィス式から瞬時風量を算出し、開口面法線方向の瞬時風速を与えた。その他の計算手順は前節の Method 1 と同様とした。

2.4 開口法線方向に流入する領域分割法 (Method 3)

最も簡易な領域分割法として、屋外解析の瞬時風圧とオリフィス式による瞬時風量に基づき開口面法線方向の瞬時風速のみを境界条件とする解析も行った (Method 3)。なお、流量係数が固定のために瞬時流入出風量は Method 2 と完全に一致する。

3. 結果と考察

全域計算と 3 種の領域分割法の計 4 種の手法で、通風量、室内スカラー風速とその標準偏差を比較する。全域計算の通風量については、図 4 の開口面上のモニター点風速から得られる瞬時流入風量合計と流出風量合計を全 time step で求め、その絶対値の平均値を時間平均することで通風量 (AFR)⁴⁾ として算出した。領域分割法の通風量は図 6 の STEP 2 で換気計算から得られた値とする。

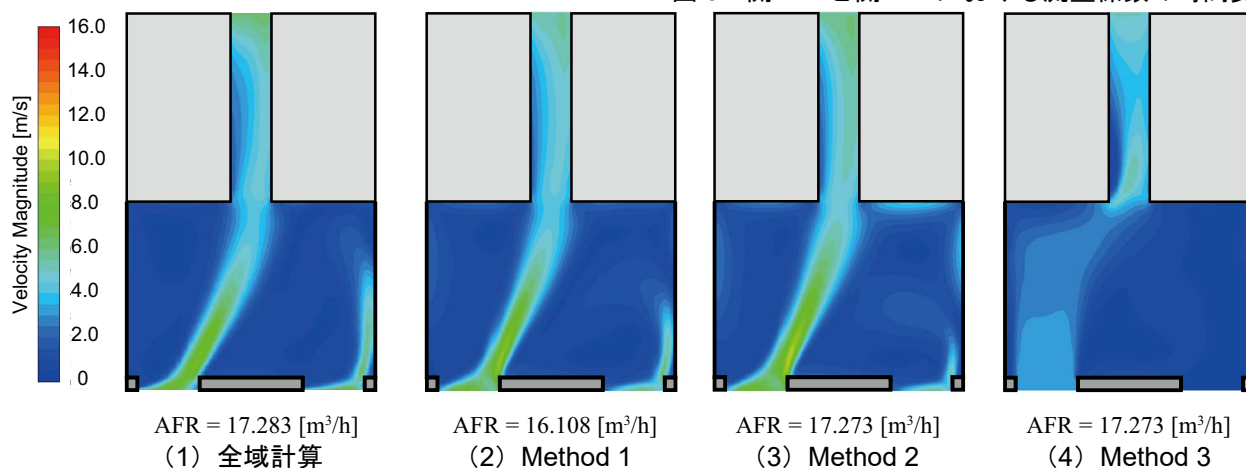


図 7 床上 20 mm におけるスカラー風速の平面分布

図 7 に各手法でのスカラー風速の時間平均値の分布を通風量 (AFR) とともに示す。風速分布から、Method 1 と Method 2 の結果は定性的に全域計算の結果と良く一致し、Method 3 は流入角を再現しないため気流性状が大きく異なる。通風量に着目すると、Method 1 では流量係数を補正しているために Method 2, 3 より小さくなり、全域計算と比較しても小さいが、これは流入風向だけでなく室内での動圧残存⁵⁾の影響もあると思われる。図 8 と図 9 に Method 1 の流量係数と、屋外解析から得られた各開口部の風圧係数の時間変化を示す。開口 1 では流量係数と風圧係数がともに小さく、建物端部付近で接線方向動圧が大きいことの影響が出ている。

図 10 に各モニター点での平均風速と標準偏差を示す。Method 3 では全域計算の傾向を再現できていない一方で、Method 1 と 2 は概ね全域計算と同様の傾向が得られた。このため領域分割法でも比較的良く室内気流を予測できると言えるが、b2 と b3 点については風速を過大評価している。これらは通風輪道内に位置しており、流入風向のわずかな差と風量自体の予測精度が原因と思われる。

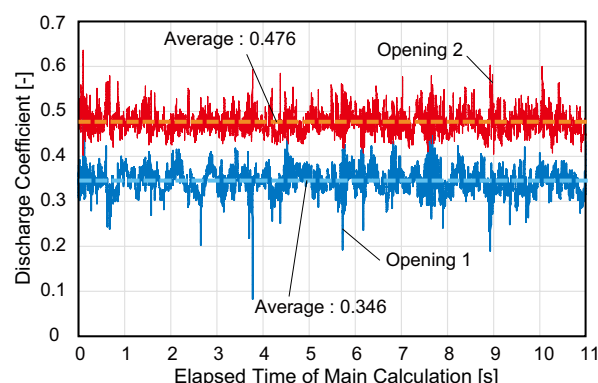


図 8 開口 1 と開口 2 における流量係数の時間変化

5. まとめ

本報では簡易な集合住宅モデルを対象に領域分割法を適用した LES 計算を実施し、全域計算との比較を行った。結果として、流入風向を考慮する領域分割法で比較的精度良く予測することができた。今後は異なる風向と建物条件でも検討を行う。

[謝辞]

本研究の推進にあたって多大なるご尽力を賜った堂本浩規氏(研究当時大阪市立大学大学院生)に感謝の意を表します。

[参考文献]

1) 河内悠磨, 倉渕隆, 大場正昭ら: 領域分割法を用いた数値シミュレーションによる通風室内気流予測に関する研究(第1報), 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, D-21, pp1043-1046, 2009.9

2) 丹原千里, 甲谷寿史, 山中俊夫ら: 集合住宅の nLDK 型住戸における通風量予測に関する研究(その3)PIV 測定と CFD 解析による室内気流性状の比較, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第4巻, pp.105-108, 2014.9

3) A. Smirnov, S. Shi, I. Celik: Random Flow Generation Technique for Large Eddy Simulations and Particle-Dynamics Modeling, Journal of Fluids Engineering, Vol.123, Issue2, pp359-371, 2001.6

4) 堂本浩規, 小林知広, 梅宮典子: LES による領域分割法を用いた室内通風気流解析法に関する研究(その1)2 開口を有する単室モデルを対象とした検証, 空気調和・衛生工学会近畿支部, 学術研究発表会論文集, 2020.3 (投稿中)

5) 石原正雄: 建築換気設計, 朝倉書店, 1969

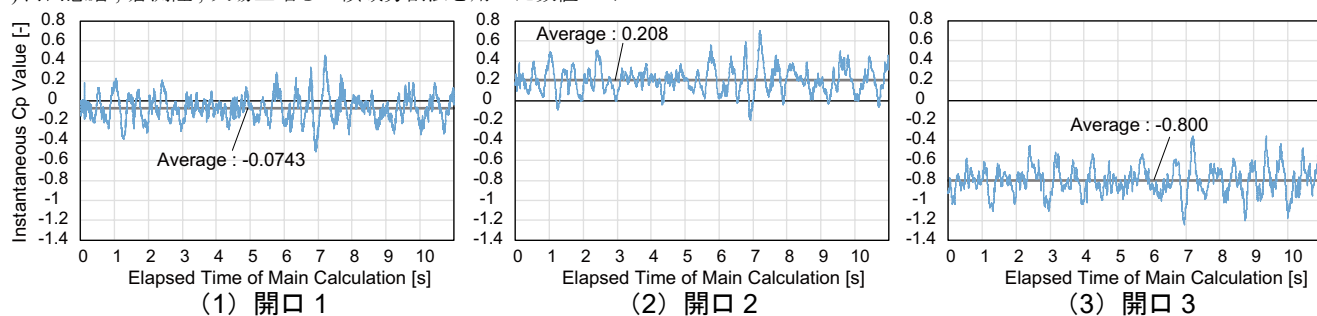


図9 各開口の風圧係数の時間変化

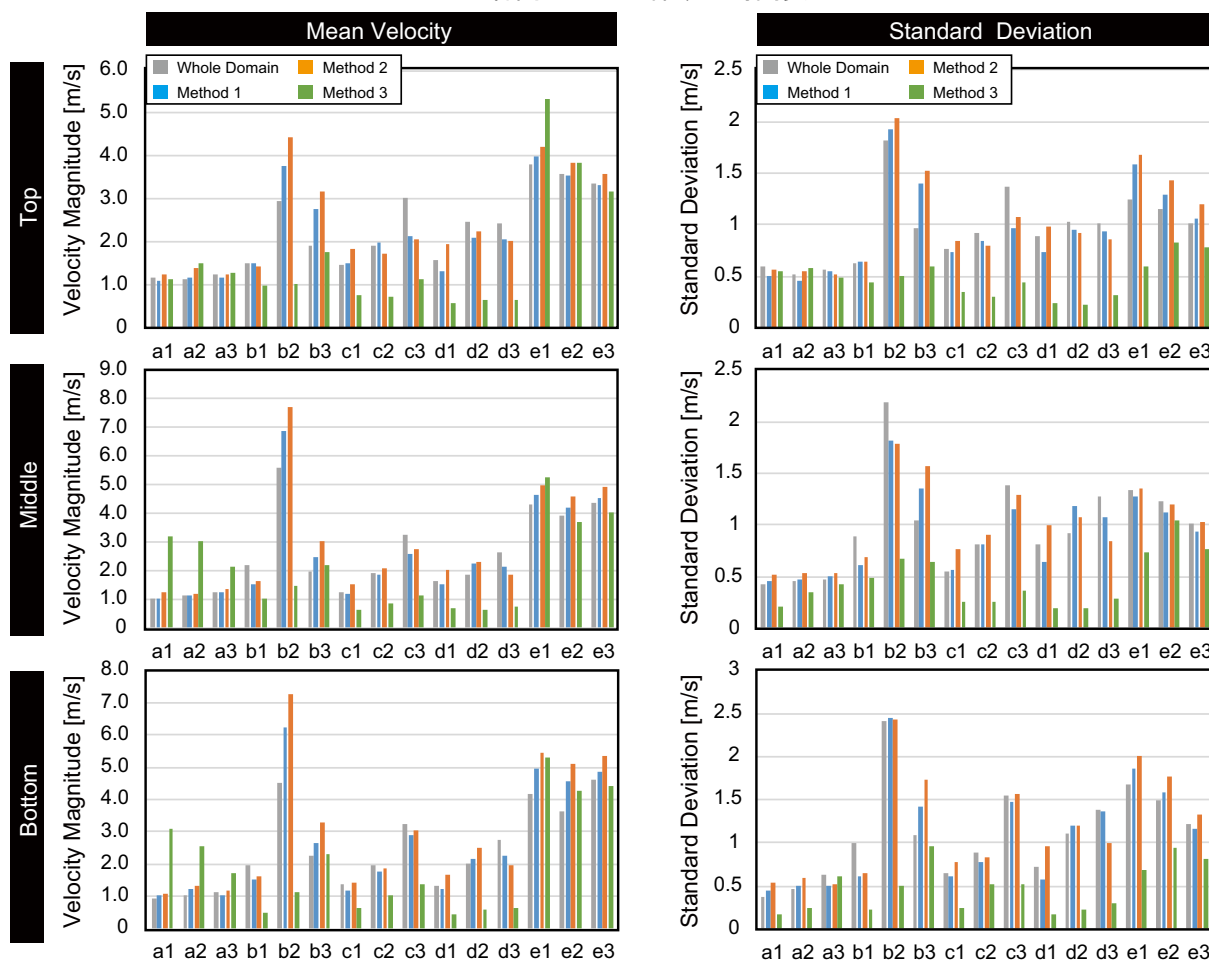


図10 各モニター点における瞬時風速の時間平均と標準偏差

* 1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 博士前期課程

* 2 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 准教授 博士(工学)

* 3 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 教授 博士(工学)

Graduate Student, Division of Global Architecture, Graduate School of Eng., Osaka University

Associate Professor, Division of Global Architecture, Graduate School of Eng., Osaka University, Dr.Eng.

Professor, Division of Global Architecture, Graduate School of Eng., Osaka University, Dr.Eng.