

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：32685

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760472

研究課題名(和文) 建築居室内を対象とした対流熱伝達率の分布・時間変動に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Study on Convective Heat Transfer Coefficient in a Room

研究代表者

小笠原 岳 (OGASAWARA, TAKESHI)

明星大学・理工学部・准教授

研究者番号：30516232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、建築居室内を対象とした対流熱伝達率の分布および時間変動を明らかにすることを目的としている。対流熱伝達率の算出方法確立を目指して実施した環境試験室における試験より、定常・非定常環境状態において自然対流場及び強制対流場の h_c が正しく測定できることが確認された。次に実施した人工気候室内の実験住宅および実住宅における測定に基づき、床暖房時・エアコン暖房時の部位別対流熱伝達率を算出した。

研究成果の概要(英文)：Convective heat transfer coefficient of building elements is an important parameter to evaluate indoor thermal environment and heat load in air-conditioned and ventilated buildings. In this study, we examined the indoor convective heat transfer coefficient using 2-point temperature measuring sensor situated in viscous sub-layer near wall. We have developed a technique that can be applied to measure both for steady-state and transient convective heat transfer coefficients. We found convective heat transfer coefficient in a room with floor heating system significantly smaller than with using air-conditioner for heating, due to the difference in air velocity near wall surface. We also found that convective heat transfer coefficient tended to increase as increasing temperature difference between wall surface and adjacent air.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：対流熱伝達率

1. 研究開始当初の背景

建築空間における空調設備設計においては省エネルギーの実現や、快適な温熱環境・良好な空気環境の実現が求められる。これらの要求を計画段階において把握し、設計に反映させるためには実大実験・模型実験・シミュレーションなどを行う必要があるが、コストや時間的な制約などから、シミュレーション技術が多く用いられている。シミュレーションを行う上で課題となるのは、その計算精度であるが、向上の余地が十分にあると考えられる。例えば、単純化のひとつの手法として、対流熱伝達率と放射熱伝達率の和で表せる総合熱伝達率の導入が挙げられる。対流熱伝達率と放射熱伝達率を分離して扱う場合においても、上向き熱流、下向き熱流、水平熱流ごとに対流熱伝達率を分けて使用すべきだとの指摘もある。

このように、種々のシミュレーションにおいて重要な係数である対流熱伝達率は、伝熱工学分野における風洞実験結果などが用いられてきたが、建築空間は気温や風速などが変動する非定常を有しているため、十分なデータとは言い難い。また建築空間を対象とした実験的研究も実施されているが、体系的な整理には至っていない。

2. 研究の目的

以上のような背景から、筆者は壁面の極近傍の空気温度を 0.1mm ピッチで精度良く自動計測できる装置を試作し、得られた壁面近傍空気温度分布の勾配から対流熱伝達率の算出を試みる。本技術が確立されれば、様々な建築室内空間を対象とした対流熱伝達率の分布や時間変動が直接測定できるため、体系的な整理を行うことが可能となり、各種シミュレーションの予測精度向上、計算負荷軽減の実現が期待できる。具体的には(1)局所対流熱伝達率の算出方法の確立、(2)現場測定に基づく局所対流熱伝達率の体系的整理の実施、の2点を本研究の目的とする。

3. 研究の方法

(1) 算出方法の確立

本研究では2組の熱電対を用いて閉回路とし、壁面近傍の2点における熱起電力を測定したのちに、温度差に換算する手法を用いる。熱電対は熱起電力の大きいE型熱電対とし、素線径は応答性が良く、放射熱授受の影響を受けにくい極細($\phi=0.025\text{mm}$)を使用する。本手法を用いることで、定常環境のみならず、これまで測定が難しいと考えられていた非定常環境での α_c を測定できると考えられる。定常環境では、2接点を粘性低層内に設置し、一方を固定、もう一方を1軸トラバース装置に固定し、一定時間間隔で0.1mmずつ移動させて熱起電力を測定する。得られたデータから回帰直線により温度勾配 $d\theta/dx$ を求める。これに対し非定常環境では、まず静穏環境・定常環境状態を設定して測定を行い、2点間

の距離 Δx を推定する。その後、粘性底層内において壁表面から距離の異なる位置に熱電対の2接点を固定して連続測定を行い、予め測定した2点間距離 Δx を用いて温度勾配に換算する。定常環境・非定常環境ともに、求めた温度勾配にフーリエの法則を適用して対流熱伝達量を求め、表面温度と壁表面から10cm離れた参照温度との差温で除して α_c を算出する。

空気温度を一定に制御した環境試験室において、本手法を用い、表面温度・床面近傍風速をパラメータとした検証を行い、対流熱伝達率の算出を実施する。その際、比較として、熱流計による算出結果および熱工学分野における実験式による算出結果との比較を行う。

(2) 局所対流熱伝達率の体系的整理

(1)の検証の後、人工気候室内に設置された実験住宅や実住宅を対象とした現場測定を実施し、異なる2つの暖房方式(床暖房・エアコン暖房)における部位別の対流熱伝達率の整理を行う。

①実験住宅における測定

5°Cに設定された人工気候室内に設置された実験住宅において、測定を行った。実験住宅の測定対象居室は床暖房・エアコン暖房が可能であり、3面が5°Cに制御された外気に接している。実験住宅における測定位置を図1に示す。

②実住宅における測定

都内の戸建て住宅の一室を対象に、測定を行った。対象居室は床暖房とエアコンが併設されており、共に設定室温を22°Cとし、床面、壁面、窓面の測定を実施した。

4. 研究成果

(1) ①定常状態における算出結果

床面に着目すると、自然対流場では表面温度の上昇に伴って α_c も大きくなり、4.2-5.0W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)程度となった。強制対流場では約5-20W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)となった。壁面においても同様の傾向がみられたが、床面より大きな値となった。本研究で提案する手法(温度勾配)より求めた α_c は熱工学実験式による α_c より大きくなるものの、熱流計より求めた α_c とは良く対応しており、本手法により定常環境状態における自然対流場及び強制対流場の α_c が正しく測定できることが確認された。

②非定常状態における算出結果

定常環境測定と同様の実験室において、非定常環境における測定を行った。面状発熱体を最初の30分間20Vで加熱した後に加熱を停止して30分放置し、その後30分間20Vで再度加熱した。その結果、温度勾配から求めた対流熱伝達量 q_c と熱流計から算出した q_c は概ね一致し、 α_c も近い値となった。壁面における測定も同様に、温度勾配 α_c と熱流計 α_c が概ね等しい結果となった。このことより、非定常環境においても温度勾配から α_c を算

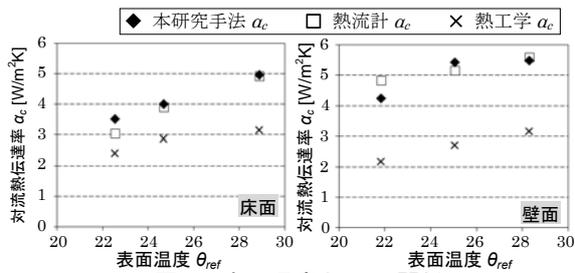


図2 表面温度と α_c の関係

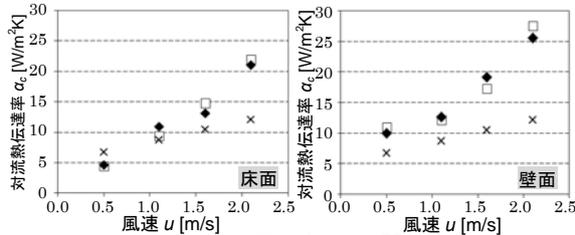


図3 近傍風速と α_c の関係

出する手法が妥当であることが確認できた。ただし、発熱体への電力投入を開始した直後では熱流計 α_c が過大に評価されている。これは熱流計の応答遅れが関係していると考えられる。つまり、熱流計の測定ではセンサー内での熱流が厚さ方向に一定であることが必要であるが、発熱条件が急変する時点ではこの条件が成立しないためと考えられる。本研究で採用した方法は、このような条件の急変時においても測定可能であり、有用性を示す結果となった。

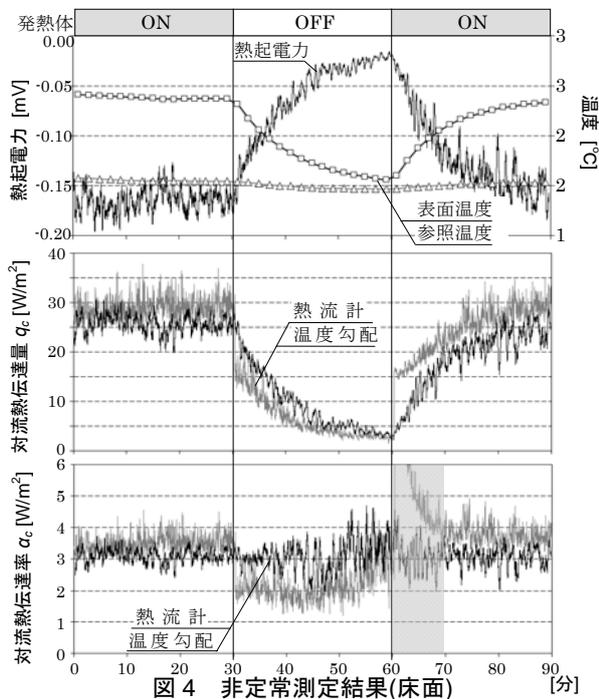


図4 非定常測定結果(床面)

(2)

①人工気候室内の模擬居室における測定
定常状態を想定し、床暖房・エアコン暖房時の α_c を計測した。測定結果を表1に示す。床暖房時において、床暖房敷設内の α_c は $6.61 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ となり、一般値 ($6.0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) に近い値となったが、敷設外は $3.06 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

(一般値 $2.1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)、天井面は、 $6.93 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ (一般値 $5.9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) となり、一般値とやや異なる結果となった。これは表面温度と参照温度の差が $1.1\sim 1.3^\circ\text{C}$ と小さかったことも影響していると考えられる。また、壁面では、 $3.17 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ となった。

エアコン暖房時において、床面では空気温度との差が小さかったため、明確な温度勾配が形成されず、温度勾配による α_c の算出には至らなかった。また、天井面は、 $3.00 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ となり、測定値が一般値 ($5.8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) と大きく異なった。窓面及び壁面では、温度差があったため、安定した結果が得られ、窓面が $3.86 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、壁面が $3.93 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ となった。

測定位置		対流熱伝達率 α_c [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]	
		床暖房	エアコン
床面	床暖房敷設内	6.61 (6.0)	—
	床暖房敷設外	3.06 (2.1)	
窓面		3.68 (3.6)	3.93 (3.6)
壁面		3.70 (3.8)	3.86 (3.8)
天井面		6.93 (5.9)	3.00 (5.8)

表1 模擬居室における測定結果

②実住宅における測定

エアコン暖房・床暖房を行う実住宅において、定常状態 (1分間)・非定常状態 (120分間)における部位別の α_c 測定を実施した。非定常法の結果と比較すると、窓面と壁面はエアコンの方が大きく (窓面 39.4% 、壁面 34.8% 増加)、床面は小さくなった (約 6.5% 減少)。窓面と壁面の α_c を比較すると、参照温度と表面温度の差が大きい条件である窓面の方が大きくなった。また、床面に関しては温度差が大きいため床暖房の方が大きな値となったが、床暖房時は $4.91 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、エアコン時は $4.59 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ とその差は小さかった。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 4件)

- ①山口さとみ、倉渕隆、小笠原岳、李時桓、大平昇、阿部加奈子、異なる暖房方式を用いた室内対流熱伝達率に関する実験的研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2013、pp.101-104
- ②山口さとみ、倉渕隆、李時桓、小笠原岳、大平昇、阿部加奈子、梶拓央、異なる暖房方式を用いた室内対流熱伝達率に関する実験的研究、日本建築学会学術講演梗概集 (D-2)、2013、pp.9-10
- ③小笠原岳、倉渕隆、大平昇、居室内における対流熱伝達率の測定手法に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集 (D-2)、2012、pp.9-10
- ④小笠原岳、倉渕隆、大平昇、室内側対流熱伝達率の測定方法に関する検討および実住宅における実測、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2012、pp.1077-1080

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小笠原 岳 (OGASAWARA, Takeshi)

明星大学・理工学部・総合理工学科・建築
学系・准教授

研究者番号：30516232