

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25年 6月 5日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560590

研究課題名（和文） 季節順応する意匠・構造・設備一体型サステナブル住宅の実証研究

研究課題名（英文） Experimental study on seasonal adaptable sustainable house integrated with design-structure-household equipment

研究代表者

田中 英紀（TANAKA HIDEKI）

中部大学・工学部・准教授

研究者番号：00303660

研究成果の概要（和文）：

本研究では、愛知県に所在する「気象順応型サステナブル住宅」に導入された、①建物ボイドスラブ基礎を利用したクール／ヒートチューブ涼房・換気システム、②ロールカーテンによる太陽熱換気・通風促進システム、③パネル裏面の通風促進に配慮した太陽光発電システムの挙動特性やエネルギー性能について実測データをもとに検討し、また、これらのシステムを含む建物全体のエネルギー性能や建物内の温熱快適性について評価した。

建物全体のエネルギー分析では、対象建物が一般世帯の年間一次エネルギー消費量に比べ71%の削減効果があり、このうち太陽光発電で53%、燃料電池CGSで約5%削減されることを確認した。また、クール／ヒートチューブシステムについては、数値熱特性解析モデルを開発し、この解析結果をもとにシステム設計・性能予測チャートを提案した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, characteristics and energy performance of the following systems applied to "seasonal adaptable sustainable house" located in Aichi were grasped and evaluated.

- 1) Void slab cool/heat tube ventilation system which used building foundations
- 2) Solar heat ventilation system which used a roll curtain
- 3) PV system which considered ventilation promotion of the panel back side

Energy performance of the whole building was a reduction effect of 71% compared with a general household on annual primary energy consumption. This reduction effect are made up of about 13% by a device of a building, about 53% by photovoltaic power generation and about 5% by fuel cell CGS.

In addition, a numerical heat characteristic analysis model was developed for the cool / heat tube ventilation system. And a system design / a performance prediction chart were proposed based on analysis result.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：サステナブル住宅・ダブルスキン・エネルギー消費実態・クール/ヒートチューブ・排熱換気・太陽光発電・家庭用燃料電池・自然エネルギー

### 1. 研究開始当初の背景

(1)近年、住宅建設分野に対しても地球温暖化対策への注目度が急速に高まっており、住宅に対する省エネ・エコ施策の動向も激しさを増している。

(2)上記に連動し、昨今の住宅メーカーや住宅事業建築主（建て売り住宅供給を大きく展開する工務店など）が供給する住宅は、この動向を大きく反映したものにはなっているが、単に高効率設備機器やエコ商品を単に導入するという視点で展開しており、建築の意匠（デザイン）・構造・設備にまたがる分野を一体と考えた、総合的な建物エコ計画への取り組みにまで至っているとは言い難い。

(3)ゼロ・エネルギー・ハウスや自立循環型住宅等に関する研究は、既存または市場投入され始めた省エネシステムを複数導入した場合の積み上げ効果の提示や既存のパッシブ技術に対する設計情報の整理が主題となっており、新たな技術提案の視点についてはやや乏しい感がある。

### 2. 研究の目的

(1)本研究では、「意匠・構造・設備一体型システム」による”気象順応型サステナブル住宅”の先導的モデルを提案するとともに、適用される各種要素技術の設計に関して一考察を与えることを目的としている。

(2)具体的には、実務上も実現性が高いと考えられる、以下3つの「意匠・構造・設備一体型システム」の実証試験を行い、その挙動特性や省エネルギー効果を明らかにする。

- ①建物ボイドスラブ基礎を利用したクール/ヒートチューブ涼房・換気システム
- ②ロールカーテンによる太陽熱換気・通風促進システム
- ③パネル裏面の通風促進に配慮した太陽光発電システム

(3)①については更に踏み込み、システム性能予測プログラムを開発し、実測結果をもとにその妥当性を検証した後、これを用いて提案システムの設計・性能予測手法を提案する。

(4)さらに、これらのシステムを含む建物全体のエネルギー性能や建物内の温熱快適性についても評価することを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1)愛知県に建つ「気象順応型サステナブル住宅」を対象に実測評価を行う。

(2)建物全体のエネルギー性能は、HEMSによる実測データやエネルギー課金データをもとに評価する。

(3)建物内の快適性は、室内温湿度の計測データにより評価する。

(4)建物ボイドスラブ基礎を利用したクール/ヒートチューブ涼房・換気システムに対しては、熱交換性能を評価するため、地中や基礎コンクリート、通気ダクト等に温度センサーを約80点挿入して実測を行う。

(5)ロールカーテンによる太陽熱換気・通風促進システムの性能検証に対しては、システム稼働の有無に対して、各部位の温度や風速分布を計測して熱性状や換気量を求め、その効果を確認する。

(6)パネル裏面の通風促進に配慮した太陽光発電システムの性能検証に対しては、パネル裏通風の有無の条件に対して暴露試験を行い、裏面通風と発電効率の関係を確認する。

(7)建物基礎を利用したクール/ヒートチューブに対しては、熱伝達・熱伝導方程式を基礎式においた差分モデルにより、熱交換性能予測可能なシミュレーションモデルを作成する。また、この妥当性を実測結果との比較から確認し、パラメトリックスタディを基にシステム設計・性能予測チャートを作成する。

### 4. 研究成果

本研究で得られた研究成果の主要な結果の概要を以下にまとめる。

(1)建物全体のエネルギー性能を、課金データをもとに分析した。図1に、2011年度の課金データより求めた月別一次エネルギー消費量を示す。年間太陽光発電量(負側)44.4GJは、年間エネルギー使用量(正側)68.2GJの65%を賄っている。一般世帯の消費量83.1GJと比較すると、本建物は18%のエネルギー需要量低減、更に太陽光発電の電力供給量を加味すると削減率は71%となる。

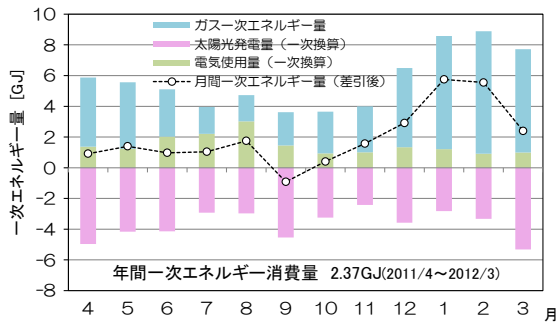


図1 年間一次エネルギー消費量の実績値

(2) HEMS による取得データをもとに、対象建物の用途別年間エネルギー使用割合を分析した。図2に、2011年度の結果を示す。年間消費量のうち給湯29%、床暖房20%、エアコン冷房3%、エアコン暖房2%、エアコン待機電力3%となった。

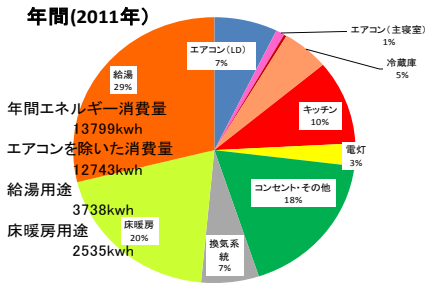


図2 用途別エネルギー消費量

(3) 先進的な住宅システムとして導入された燃料電池は、発電時の排熱で給湯・暖房を行う。運転実績から、燃料電池排熱による給湯依存率を算出した(図3)。また、燃料電池の導入効果を検証するため、最新のガス給湯器である潜熱回収式給湯器と比較した場合の省エネ性も試算した(図4)。

燃料電池排熱による給湯依存率は年平均で約80%、燃料電池導入による一次エネルギー削減率は年平均で約5%となった。

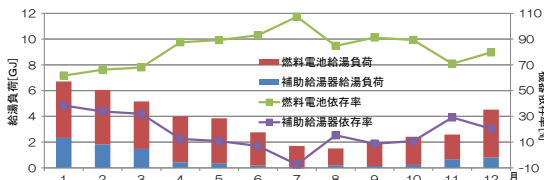


図3 燃料電池排熱による給湯依存率

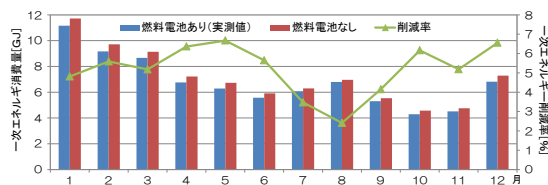


図4 燃料電池導入による一次エネルギー削減

(4) 環境工学的観点からの建築的工夫(南面の大窓における冬期の日射ダイレクトゲインの活用、庇等による夏期の日射遮蔽効果と風力・重力換気による通風促進、断熱強化およびクール/ヒートチューブによる涼房・外気負荷低減効果など)によって形成される室内温湿度環境を実測により確認した。

図5,図7に、夏期のクールチューブ吹出空気と外気温・室温の比較を示す。盛夏期の吹出空気温度は25°C前後となり、吹出口付近で涼房効果が得られた。また、図6の外気温と室内気温、図8の冬期ヒートチューブ吹出空気から、冬期の暖房は早朝の1,2時間と夜間に床暖房を用いるのみであるが、降雪があっても15°C程度、晴天時日中は室内が26°C程度となった。ヒートチューブ吹出空気は、厳冬期を通じて約15°Cを維持していた。

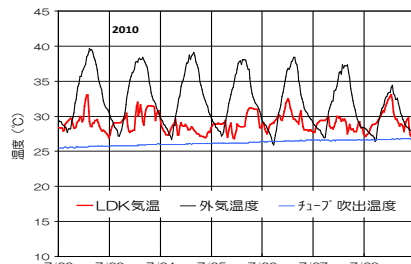


図5 夏期のクールチューブ吹出温と室温

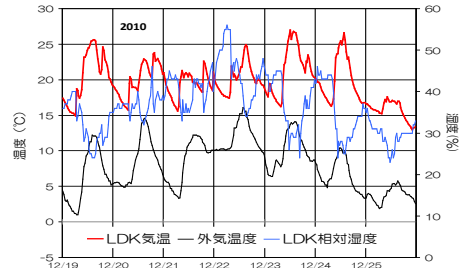


図6 冬期の外気温と室温変化

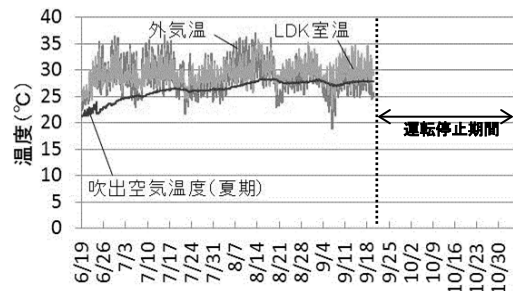


図7 夏期のクールチューブ吹出空気温

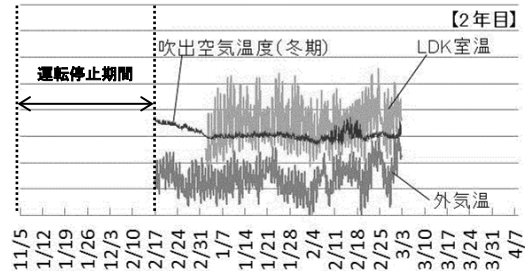


図8 冬期のクールチューブ吹出空気温

(5) 吹き抜けリビングの大きな南窓面は、複層ガラスとロールスクリーンによる簡易ダブルスキン構造とし、スクリーン上部には空気の流通口(36穴:0.22㎡)を設けて(図9)、日射遮蔽時に窓開け換気の促進と入射日射熱の排熱を自然換気によって行った。

秋期・晴天日(11月2日)に、ロールスクリーンを降して窓を全閉とした場合と、北面窓とハイサイド窓を開け排熱換気を行った場合のリビング吹き抜け空間の垂直温度分布を図10(実測値)に示す。窓全閉条件では、居住域空間の気温が約30℃に達しているが、排熱換気を行うことで26℃程度に低下した。窓ガラスとスクリーン間の通風量は、窓全閉時:262CMH、排熱換気時:523CMHと倍増しており、この構造が排熱換気の駆動力として有効に作用したことを裏付けている。

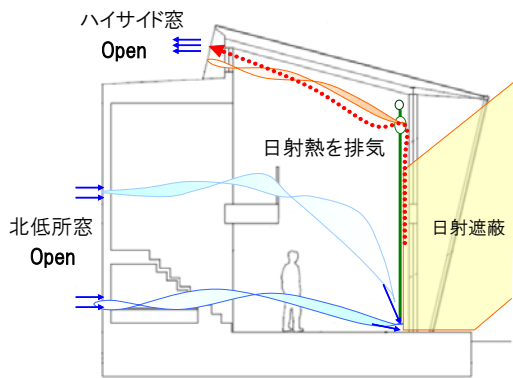


図9 簡易ダブルスキンの排熱換気ルート

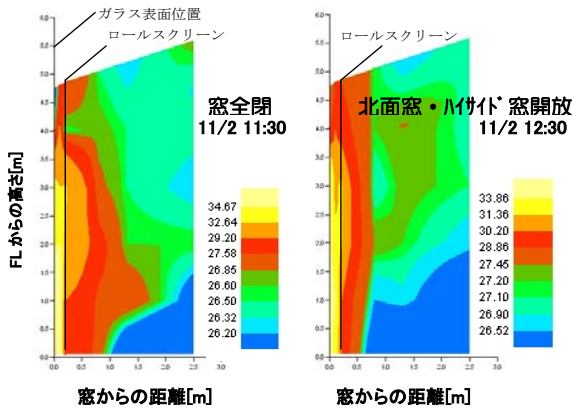


図10 リビングの垂直温度分布(晴天日)

(6) リビング南窓面下部は、ガラス窓・ブラインド・ロールスクリーンの三重構造であり、窓面の断熱性が向上しているため、冬期の窓面コールドドラフト抑止や窓面放射の緩和、冷暖房効率の向上に効果を発揮する。

図11は、冬期のリビング南窓面の熱画像である。外気温度3.9℃に対して、金属製のブラインドのみを降した場合の開口面放射温度16℃以下に対し、スクリーンを更に降ろすことで17℃以上に緩和されている。

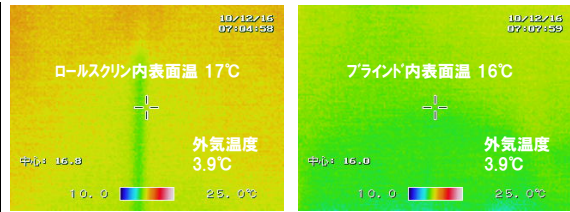


図11 窓面三重構造による表面温度緩和

(7) HEMSにより記録される発電量と傾斜面日射量から発電効率が求めた。分析結果より、年間平均のシステム発電効率は10%程度であり、外気温度1℃上昇に対し0.05%の効率低下を示すことを確認した(図12)。

また、パネル裏面通気の効果検証を行うため、通風閉鎖条件で実測を行い、気象条件が類似した閉鎖時8/18、通風時8/30で効率比較を行った。外気温度に対する閉鎖日と通風日の発電効率の比較を図13に示す。図より、通風条件の方が閉鎖条件に比べて発電効率が1%程度上回る結果を得た。パネル裏面通気の促進により、発電効率を僅かながら高く維持することができることを確認した。

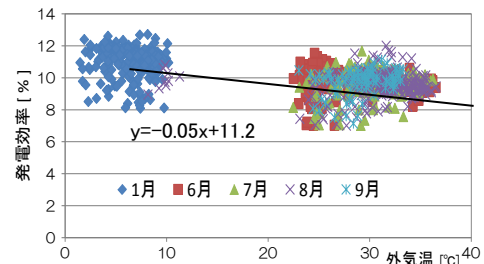


図12 外気温度と発電効率の相関関係

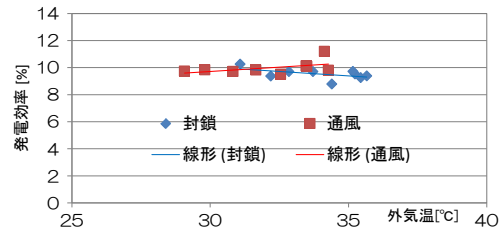


図13 外気温に対する閉鎖・通風日発電効率

(8) 建物ボイドスラブ基礎を利用したクール/ヒートチューブ換気システムにおける、チューブ通過空気温度予測式を下式に、図14にシステム計算対象領域を示す。

$$C_a \rho_a \frac{\partial T_a}{\partial t} = -C_a \rho_a v \frac{\partial T_a}{\partial x} + \alpha \frac{\pi(D+W)}{4DW} (T_{s1} - T_a) + \alpha \frac{\pi(D+W)}{4DW} (T_{s2} - T_a)$$

【記号】 t:時間[h]、ρ:密度[kg/m<sup>3</sup>]、T:温度[°C]、c:比熱[J/kgK]、α:熱伝達率[W/m<sup>2</sup>·K]、q:熱流[W/m<sup>2</sup>]、x:長さ方向の座標[m]、y:深さ方向の座標[m]、z:奥行き方向の座標[m]、v:チューブ内風速[m/s]、r:チューブ半径[m]、D:チューブ高さ[m]、W:チューブの幅[m]、J:地面に吸収・放出される放射[W/m<sup>2</sup>] 【添字】 a:管内の空気、o:外気、i:床下、s:土壌、c:コンクリート、t:チューブ、p:ピット、sol:太陽、night:夜間



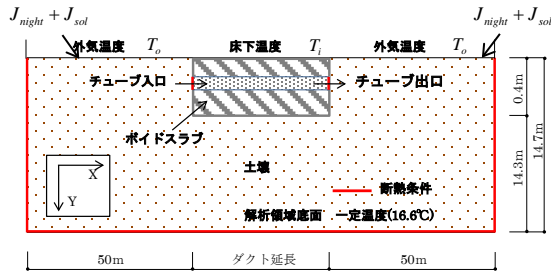
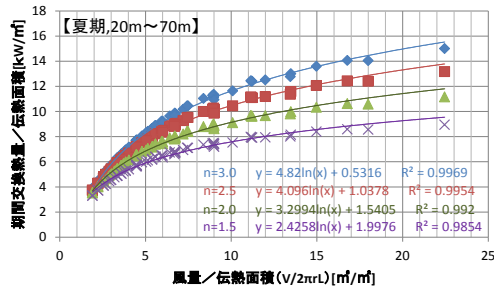


図 14 解析対象領域

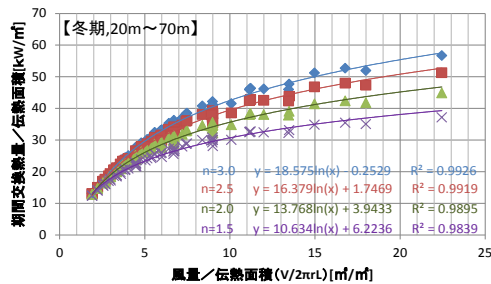
表 1 熱交換性能の影響要因・水準

要因	水準
ダクト管径 (φ) : 2r	100 150 200
管内風速 (m/s) : v	1.0 1.5 2.0 2.5
チューブ長さ (m) : L	20 30 40 50 60 70
埋設ピッチ : n	1.5 2.0 2.5 3.0

(9)本研究では、(8)で示した数値計算モデルを用いたパラメトリックスタディを基に、チューブ埋設ピッチ毎の期間交換熱量算出チャート、ピーク時交換熱量算出チャート、ピーク時温度差算出チャートを作成した。計算に用いた熱交換性能の影響要因・水準表を表1に、各算出チャートを図15~17に示す。尚、埋設ピッチは  $W_p = 2r \cdot n$  と定義している。



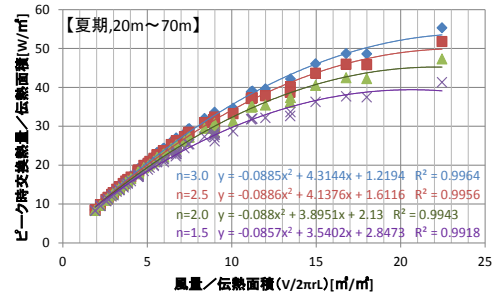
(a) 夏期・冷却時



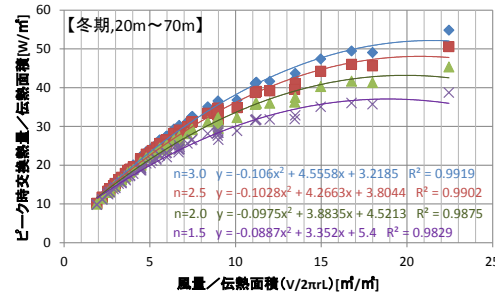
(b) 冬期・加熱時

図 15 埋設ピッチ毎の期間交換熱量チャート

(10)本研究では、“気象順応型サステナブル住宅”の先導的モデルを学術的知見に基づいて提案し、適用された要素技術の実性能を定量的に示したことの意義は非常に大きい。また、パッシブ・アクティブ手法による建物の熱性能とエネルギー性能評価を、体系的かつ詳細に行ったものは極めて少なく、貴重である。

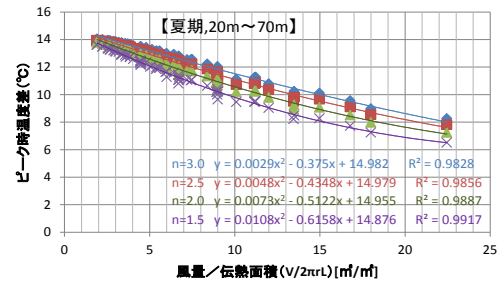


(a) 夏期・冷却時

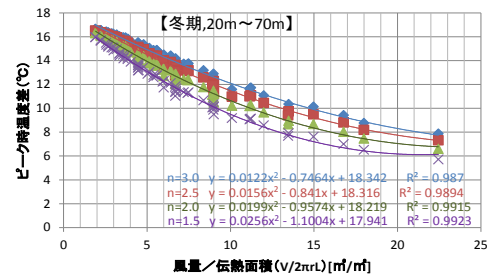


(b) 冬期・加熱時

図 16 埋設ピッチ毎のピーク時交換熱量チャート



(a) 夏期・冷却時



(b) 冬期・加熱時

図 17 埋設ピッチ毎のピーク時温度差チャート

(11) 本研究で対象とした、意匠・構造・設備を一体として捉えた新しい手法を導入するとともに、パッシブとアクティブのデザイン手法を融合させて構築したサステナブル住宅は、国内外でも先駆的かつ現実的な次世代普及住宅である。本研究で具現化されたシステムや、実施された性能検証の手法とその結果、さらに一般性のあるシステム設計・性能予測手法は、今後のこの分野の技術発展と技術普及に大きく貢献すると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

- ①一木翔, 吉岡沙野, 尹奎英, 田中英紀, ボイドスラブ基礎によるクール/ヒートチューブ換気システムの性能に関する研究, (第2報) シミュレーションモデルの構築とモデル妥当性の検証, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 査読無, 2012, pp. 237-240
- ②一木翔, 田中英紀, 住宅基礎を用いたクール/ヒートチューブ換気システムの性能に関する研究, その1 秋期の運用方法に関する実性能の比較評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, D-2, 2012, pp. 589-590
- ③田中英紀, 季節順応型サステナブル住宅の継続性能検証に関する研究, その1 建物のエネルギー消費実態とシステム性能の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, D-2, 2012, pp. 491-492
- ④井上弘晶, 北里泰知, 田中英紀, 気象順応型サステナブル住宅のエネルギー性能に関する研究, その3 エネルギー消費実態とシステム効率の分析, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 査読無, 第13号, 2012, pp. 51-54
- ⑤一木翔, 田中英紀, ボイドスラブ基礎によるクール/ヒートチューブ換気システムの性能に関する研究, その1 住宅に採用されたシステムの初年度運転実績の解析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 査読無, 2012, pp. 181-184
- ⑥一木翔, 田中英紀, ロールスクリーンを利用した簡易ダブルスキンの熱的特性に関する研究, その1 秋期の排熱換気性能に対する実測評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, D-2, 2011, pp. 191-192
- ⑦伊奈龍輝, 一木翔, 田中英紀, ボイドスラブ基礎を利用したクール/ヒートチューブ換気システムの性能に関する研究, その1 初年度運転実績の解析, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 査読無, 第12号, 2011, pp. 95-98
- ⑧一木翔, 伊奈龍輝, 田中英紀, ロールスクリーンによる簡易ダブルスキンの熱的特性に関する研究, その1 秋期の排熱換気性能と冬期の断熱性に対する実測評価, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 査読無, 第12号, 2011, pp. 87-90

⑨大蔵一步, 山森真, 田中英紀, 気象順応型サステナブル住宅のエネルギー性能に関する研究, その2 初年度エネルギー消費実態とシステム効率の分析, 空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集, 査読無, 第12号, 2011, pp. 83-86

〔学会発表〕(計1件)

①田中英紀, 季節順応型サステナブル住宅の性能評価, 日本建築学会環境工学委員会伝熱小委員会, 2011.09.10, 建築会館・会議室

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 英紀 (TANAKA HIDEKI)  
中部大学・工学部・准教授  
研究者番号: 00303660

### (2) 研究分担者

尹 奎英 (YOON Gyuyoung)  
名古屋市立大学・芸術工学研究科・准教授  
研究者番号: 80437079