

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23246100

研究課題名(和文) 環境工学協働による地球環境対応型建築都市の評価手法・体系の構築

研究課題名(英文) Systematized study on urban planning based on environmental engineering in response to global climate change

研究代表者

佐土原 聡 (Sadohara, Satoru)

横浜国立大学・都市イノベーション研究院・教授

研究者番号：90178799

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,200,000円、(間接経費) 11,160,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化の緩和策、適応策両面からの総合的な都市づくりに資する環境評価体系、手法構築の第一歩の成果を得る目的で、建築環境工学の研究者11名が協働研究を行った。共通フィールドを設定し、エネルギー・熱の流れに着目して、各研究者が地圏、水圏、気圏、生物圏、人間圏の実態把握とメカニズム解明、対策検討に取り組み、研究協力者が提供する基盤データと研究者の成果をGISで共有する協働研究手法を考案、実践した。その結果、一部の研究者同士の協働が実現し、地中のヒートアイランド、生態系サービスなどに関する新規性の高い成果が創出され、本研究手法の有用性と、その発展が環境評価体系の構築につながる可能性を確認できた。

研究成果の概要(英文)：In order to obtain a method for environmental assessment of synthetic city planning for mitigation and adaption of global climate change, this study involved collaboration between eleven architectural environmental engineering professionals. Each researcher focused on their field of expertise, and mechanisms of actual conditions and measurements in the geosphere, hydrosphere, atmosphere, biosphere, and anthroposphere, with a specific focus on the flow of energy and heat, were analyzed in common study fields, sharing the base data and the research results using GIS. As a result of this study, collaboration between the researchers was realized, and important findings regarding subterranean heat islands, ecosystem services, and so on were made. Thus, the collaborative research method used in this study was verified. This method could be further developed upon to create a sound environmental assessment system for synthetic city planning in the future.

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：地球環境問題 緩和策・適応策 将来都市モデル 地理情報システム(GIS) 分野横断・連携研究 工
エネルギー消費 熱環境管理 生態系サービス

1. 研究開始当初の背景

人口減少超高齢社会を迎え、気候変動、生物多様性喪失などの地球環境問題が深刻化する中、それらが要求する多様で高い性能を満足させ、気候変動の緩和策のみならず適応策の面も含めて地球環境問題に総合的に対応できる都市の将来モデルが求められている。建築づくりをとおして直接エンドユーザーと関わる立場にある建築環境工学では、他の建築学、他の学問分野と連携して、人工環境と自然・生態環境、地球環境のつながりを把握し、総合的に環境負荷を低減し質を高める方向づけが可能な建築・都市の環境評価手法・体系の構築が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、他の学問分野とも連携し、建築環境工学の各分野が協働で、地球環境問題に総合的に対応した都市の将来モデルづくりに必要な、建築と都市とを連動・整合させ、多様な評価の視点・評価軸を構造的・有機的に関係づけ、指標間のトレードオフなどの相互関係も組み込んだ、建築・都市の環境評価「手法」と「体系」構築の第一歩となる成果をまとめる。

3. 研究の方法

都市の将来モデル構築に必要な全体像を整理する概念フレームを設定して、建築環境工学の各分野、他の学問分野の位置づけ、相互関係をだまかに整理する。次に、具体的な対象フィールドを設定し、GISを用いて、11名の建築環境工学の共同研究者が、他の学問分野の研究協力者の協力を得ながら、概念フレームに基づき、定量化された地域の環境情報を整理・格納・利用する「時空間情報基盤」で、基盤となるデータ(基盤データレイヤ)と研究成果を共有し、時間と空間を一致させて相互解析を行って、次第に相互関係を定量的に整理し、分野連携、協働の研究へと発展させる「手法」を考案、実践した。

なお、研究対象フィールドは、都市環境、自然環境の多様な地域特性を有し、すでに研究代表者が環境情報の蓄積を持っているという理由から、おもに神奈川県秦野市とし、自治体の協力が得られる山梨県都留市も対象とした。また、地球環境問題に総合的に対応できる都市づくりに向けた評価には多様な軸が必要であるが、緩和策・適応策と関わりが深く、建築環境工学にとって最も重要と考えられる「エネルギー・熱の流れ」を軸として研究を進めた。

4. 研究成果

本研究の主な成果を以下に記す。

(1) 評価手法・体系の構築に向けた全体像の整理とエネルギー・熱の流れ

全体像整理のために設定した概念フレームが図1、その上に本研究の共同研究者が行

った研究のテーマを位置づけたものが図2である。概念フレームは地圏、水圏、気圏、生物圏、人間圏により構成されている。地圏の地質構造モデル、水圏、気圏のシミュレーション、生物圏の植生調査・森林林班調査は研究協力者が行った。

協働研究においては、エネルギー・熱の流れを軸とし、その包括的管理に向けた研究が重要と認識された。エネルギー・熱の流れを軸に全体像を整理すると次のようになる。われわれは人間圏の人工環境においてエネルギーを使って便益を得る一方、排熱やCO₂の排出によって環境に影響(負荷)を与えている。このことは地表面の人工的な改変と相まって熱環境やヒートアイランドの形成、気候変動(変化)をもたらす。それらは人の生活や活動のリスク増大要因なので、エネルギー・熱を効率的に利用、管理し、リスクを低減するための対策を講じることで、持続可能な建築・都市環境を実現しなければならない。以上の整理に基づき、共通の研究フィールドを設定して、建築環境工学分野の11名で協働研究を進め、本協働研究手法の有用性と、その発展が環境評価体系の構築につながる

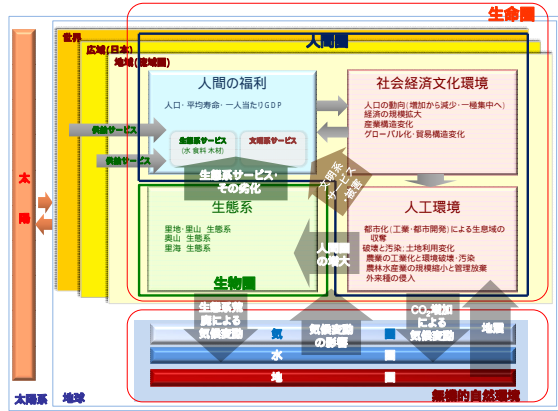


図1 全体像整理のための概念フレーム

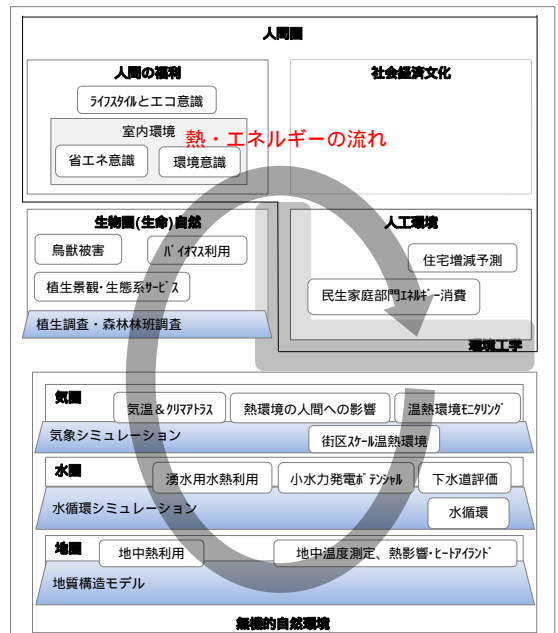


図2 本研究を構成する各分野の研究の位置づけ

可能性を確認できた。

(2)時空間情報基盤の構築

図1の概念フレームに基づいて、対象地域の「時空間情報基盤」の構築を進めた。本情報基盤は建築環境工学の分野間、および関連する他分野との協働研究、評価手法開発のツールとなる。協働研究を進める上で、関連する理学分野等の知見に基づく基盤データレイヤが重要な役割を果たすことが明らかになった。基盤データレイヤは多分野に共通に利用されるもので、各分野の調査結果や研究成果のレイヤをこれに重ね合わせることで新たな知見の創出につながる、分野を超えた連携研究の基盤となる。地圏に関しては「地質構造モデル」がそれに相当するが、本研究では研究協力者が約1000本のボーリングデータを用いて、秦野市の地質構造モデルを構築し、地盤の微動観測により精査、修正を行った。水圏に関しては「河川・用水ネットワーク図」を、生態系に関しては「植生景観図」を基盤データレイヤとして構築した。

これらの基盤データレイヤをはじめ、研究を進めるための基礎データ、研究成果の時空間情報をWebにより共有、活用できるGISサーバーシステムに「時空間情報基盤」を格納した。

(3)地圏の熱利用、熱環境管理に関する研究

地圏は地中熱利用の面からはヒートソース、あるいはヒートシンクであるとともに、人為的な影響によって熱環境が形成される場でもある。本研究では、秦野市を対象に地中熱利用、熱環境管理に関する研究を行った。

地中熱利用に関しては、本研究の基盤データレイヤとして構築した地質構造モデル(地質、深さ、厚さ)および地下水位データから、地点ごとに25m、50m、75m、100m深の地中熱交換井を想定して、熱交換性能に影響を与える「平均有効熱伝導率」および「地下水流速」を算出し、対象とする秦野市域内の地中熱利用ポテンシャルマップを作成した。その結果、盆地中央を流れる水無川周辺は地下浅層に礫の割合が大きく、かつ地下水流速が大きい(1.0m/日以上)ことから地中熱利用ポテンシャルが大きいことが明らかになった。

熱環境管理に関しては、まず34本設置されている観測井戸において、詳細に地中温度測定を行った。深度8~74mまでの測定の結果、深度が大きくなるほど温度が下がる現象が見られ、一般に地下数十mで一定になるといわれる現象が確認できず、地上のヒートアイランド現象が地下にも及んでいることが推測された。そこで、それを数値シミュレーションにより実証するために、典型的な温度プロファイルを示した1本の観測井戸の結果を用いて、大気温度の変化、地被構成の違い、水分蒸発の有無が地中温度に及ぼす影響を大気・植栽・土壌連成系の熱・水分・空気複

合移動モデルを使用して分析した。その結果、

数値計算は、年変動の著しい浅層部から恒温状態に近い深層部まで、通年に亘る地中温度分布を精度よく再現できること、

深度20m~40m付近では年間を通して約0.1/mの温度勾配(深度が浅いほど温度が高く、常に地中への蓄熱状態にある)

を生じ、都市化の影響は地中深層部にまで及んでいることが裏づけられた(図3)。

本研究は地下の恒温層にまでヒートアイランドの影響が及んでいることを詳細な測定データによって明らかにし、それをシミュレーションで裏つけた先導的な研究成果である。今後は、以上の成果を活かして、地中からの採熱利用が、地球温暖化の緩和策となる省エネルギー、適応策としてのヒートアイランド軽減の両面の対策となる可能性を明らかにする研究へと発展させる予定である。

(4)水圏のエネルギー利用に関する研究

水圏では水の流れ、熱容量がエネルギーとして利用可能であるとともに、熱環境の形成要因にもなる。本研究では、河川、および湧水起源の水が市内の用水路を網の目のように流れる都留市を対象に、水圏の多面的なエネルギー利用に向けて小水力発電、ヒートポンプによる熱利用のポテンシャル把握手法の研究を行った。そのために不可欠な、水圏の基盤データレイヤである河川・用水ネットワーク図を新規に提案・作成した。作成したネットワーク図の例(「夏狩十日市場」地区)を図4に示す。対象地域を流れる河川・用水全てのルート、流向を踏査により把握し、主な地点の流量、水温・水質を測定し、その結果が格納されている。

小水力発電の利用可能ポテンシャルを把握するために、国土交通省提供のレーザーブ

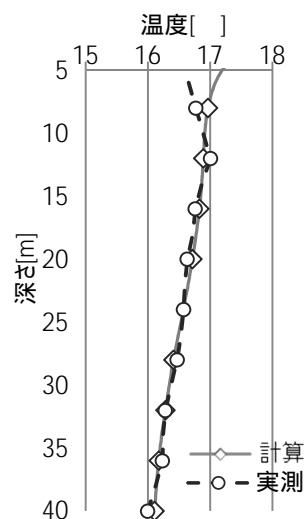


図3 地中温度の実測値・計算値の比較

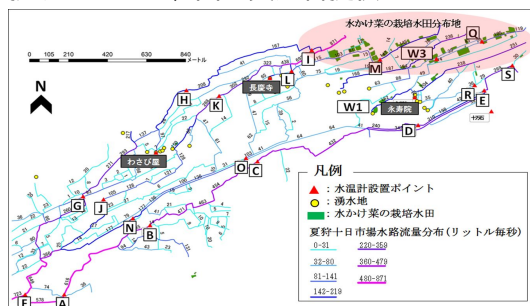


図4 河川・用水ネットワーク図の例

ロファイラーのデータで 1m メッシュの高さ情報を用水ルートのデータと重ねて、各ルートの 1m 毎のポイントに高さ情報を付与する。その結果に基づく高低差に流量をかけあわせ理論水力を算出し、それをエネルギー賦存量とした。さらにこの理論水力とすでに稼働中の 3 台の小水力発電の実際の発電量とを比較検討し、全域に当てはめて、利用可能ポテンシャルを算出した。

熱利用に関しては、湧水、用水が比較的豊富な「夏狩十日市場」地区において、流量が十分あり、用水に近接している建物を抽出し、空気熱源（エアコン）と水熱源の冷暖房システムを導入した場合のエネルギー消費量を算定し、その差を湧水・用水利用ヒートポンプ導入による省エネルギー量とした。その際、同ネットワーク図を活用して、熱利用による温度変化の熱利用効率低下の影響も考慮に入れた詳細な検討を行った。

本研究では水圏の基盤データレイヤの提案・構築と、地球環境問題の緩和策としての用水の小水力発電、熱利用という多面的なエネルギー利用に向けた分析手法の開発を行った点で意義がある。

(5) 気圏の温熱、風環境に関する研究

秦野市を対象に、メソスケール、街区スケールで温熱、風環境の実態把握とその影響要因、対策に関する研究を行った。

メソスケールに関しては、夏季の気温多点同時観測の結果を用いて数値シミュレーションを実施し、気温分布や風向風速分布の再現を行った。これらのデータを利用し、夏季日中は周辺の風通し環境（建物遮蔽率で指標化）、夏季夜間は緑被率、人工排熱、冷気流がそれぞれ、気温に影響を及ぼしていることを示した。それらの分析結果をもとに、対象地内の各エリアに対する対策を示したクリマアトラス（都市環境気候地図）の作成を行った。なお、冬季についても同様の分析を行った。

街区スケールに関しては、まず CAD（建築・都市等の図面）、GIS と CFD（数値流体力学）ソフトのデータの連係方法を検討し、地形や建物形状のデータを効率的に共有する方法を開発した。これによって、GIS の有する建物情報から遮蔽率を算出して都市の風通しを簡易的に予測し、また複雑な市街地形状から効率的に解析メッシュを作成できることを確認した。解析メッシュの生成に関しては、精度の高いヘキサメッシュを効率的に配置しながら、複雑な形状をモデル化する手法を考案して、実際に秦野市の市街地に適用してその有効性を示した。さらに温熱環境の解析手法として、従来行われてきた CFD に基づく風と気温の空間分布の予測に、非定常な放射伝熱解析や水蒸気の輸送モデルを付加することによって、多様な土地利用を有する市街地の温熱空気環境を高精度に予測する手法を開発した。それを秦野市の湧水地を有する

市街地の温熱環境予測に適用し、実測結果と比較することによってその精度を検証した。

本研究では、気圏に関する、建築と都市の連動に向けた異なるスケールでの基礎的な検討を行った点、シミュレーションの精度を高めた点、GIS データをシミュレーションソフトに連動させる手法を開発した点で、スケールを超えた今後の研究展開のための有意義な成果を挙げた。

(6) 生物圏の生態系サービスに関する研究

生物圏は生態系サービスを介して人間圏と関わる。本研究は、生物圏との関係をふまえた建築・都市づくりに向けた、生態系サービスを有効に活用する緑地の保全・創出をねらいとした。秦野市を対象とし、生態系の調整サービス、供給サービスを取り上げた。

調整サービスに関しては、緑の質を考慮した保全、創出の指針地図をまとめた。そのために、生態系の基盤データレイヤである「植生景観図」を作成、活用した。まず 2012 年秋に秦野市内 63 箇所を対象に現地調査を実施し、対象地において 11 の植生景観区分が存在することを明らかにした。次に、GIS を活用し、これら各植生景観区分の立地環境（土地利用、標高、傾斜角、地形分類）の特性分析を行い、その結果をもとに対象地全域の植生景観図を作成した。そして各植生景観区分が、生態系の調整サービスである微気象緩和機能、土砂災害防止機能、河川流量調整機能、水質保全機能、鳥獣被害防止機能に与える影響の分析を行い、その結果をもとに緑地保全・創出の指針地図を作成した。

供給サービスに関しては、森林バイオマスの利用ポテンシャルを明らかにした。具体的には、神奈川県「林政情報システム」データ（森林計画図）から、広葉/針葉樹別、森林蓄積量を算出し、地形図および道路図を用いて、傾斜度、林道からの距離の点から利用可能性を評価し、間伐周期を考慮した経年別の森林蓄積量と利用ポテンシャル量を算出した。そして、公共施設を対象にどの程度の熱需要を賄えるかを明らかにした。

このように本研究では生物圏と人間圏とを関係づける基盤データレイヤ「植生景観図」を作成、活用し、建築・都市と生態系の分野を横断した研究成果を挙げた点で新規性がある。今回は調整サービスとの関係を分析したが、供給サービスなど他のサービスとの関係分析も進める予定である。今後、都市域の「すきま」の増大が見込まれる中で、生態系を回復し、生態系サービスを楽しむ都市モデルの構築へと本研究を発展させる予定である。

(7) 人間圏のエネルギー消費に関する研究

熱・エネルギーの流れの大きな発生要因であるエネルギー消費に関して、秦野市を対象に、2030 年までの家庭用エネルギー消費量の

将来予測を行い、実効的な省エネルギー対策について検討した。また、GISを用いてエネルギー需要マップを作成してその分布を可視化するとともに、エネルギー消費量が気温上昇に影響していることを示した。

エネルギー需要予測に当たっては、別途、シミュレーションと実態調査を比較することにより、その計算精度が高いことを定量的に確認している。そして、戸建住宅については断熱水準・世帯人数別に、集合住宅についてはそれに加えて構造別・住戸位置別に世帯数の推移を予測し、都市における戸建住宅および集合住宅の家庭用エネルギー消費量を算出した。その結果、2010年以降、次世代省エネルギー基準住宅の普及にともない暖房エネルギー消費量は徐々に減少していくが、世帯数の増加による給湯、照明・家電エネルギー消費量の増加により、機器性能が現状のまま推移した場合は、家庭用エネルギー消費量は増加することを示した。しかし、建築性能の向上と同時に、設備機器の高効率化とライフスタイルの改善が図られると、1990年と比べて35%以上の省エネルギーが可能であることを明らかにした(図5)。

本研究は、断熱水準や構造など、建物や家族の特性を詳細に反映した、精度の高い家庭用エネルギー消費量の将来予測手法を開発した点で意義がある。その手法を今後ますます重要となるコンパクトな都市づくりに適用する予定である。

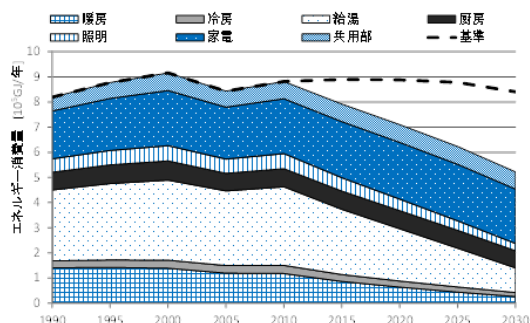


図5 省エネ対策を実施した場合の秦野市のエネルギー消費量の推移(集合住宅)

(8)人間の福利に関する研究

エネルギーの使い手、形成される熱環境の受け手、評価主体である人間主体に関する研究である。具体的には、人の行動や意識に関するもの、高齢化の進展と求められる室内環境、高温化が人間に与える影響である。

人の行動や意識に関する調査研究として、東日本大震災後半年に1回、空調・給湯・照明に対する行動、その行動に対する印象・環境意識に関するインターネット調査を、秦野市、および比較のために横浜市において行い、分散構造分析の他母集団同時解析(配置不変モデル)を行った。その結果、経年変化はほとんどないこと、省エネ積極派/消極派の節電意識の持続性の違い、暑さよりも寒さを我慢する方が厳しいことなどが明らかにな

った。

ライフスタイルとエコ意識、エコ行動の関係に関する調査研究として、秦野市の4地域を対象にアンケート調査を実施し、クラスター分析を行った。その結果、若年層の多い現役世代、多趣味・積極派、地域密着型、食の楽しみやこだわり重視の余裕ある者、の4つのクラスターに分類され、これらのクラスターとエコ意識、行動の関係について検討して、今後の省エネ対策に活かす知見を得た。

高齢化の進展にともなう室内環境の課題を明らかにするために、秦野市内の高齢者入所施設の屋内環境実測調査、意識調査を実施、分析した。調査の結果、施設管理者の屋内環境に対する意識はどの施設も非常に高いこと、施設の屋内環境のバリアフリー化が進んでいない実態が明らかとなった。

高温化という熱環境の変化が人間に与える影響について、秦野市を対象に検討を行った。1980年代から90年代前半にかけて気温上昇が特に顕著であり、熱帯夜数は4倍程度、真夏日数は2倍程度に増加している。市域外縁を基準として市内の気温上昇による損失を「疲労」、「睡眠」、「熱中症」、「電力消費」についてLIMEにより評価した結果、夏季1日あたり約140万円、1980年代初めから現在にかけての市内の気温上昇による損失は、夏季1日あたり約480万円と見積もられることなどがわかった。

今後、地球環境問題の緩和策、適応策を有効に講じていく上で、その主体である人の意識、ライフスタイル、要求、気候変化に伴う影響の定量的把握がエンドユーザーのための建築・都市づくり、評価の基盤となることから、それらを明らかにしている本研究の意義は大きい。

(9)成果のまとめ、今後の展望

本研究では、エネルギー・熱の流れを軸として、地圏、水圏、気圏、生物圏、人間圏に関わる建築環境工学の各分野が共通の対象フィールドを設定して、各分野の視点から研究に取り組み、その成果をGISで共有することで、分野を相互に関連づけて協働研究を促進する手法を考案、実践した。分野同士の十分な連携、協働の実現には至らなかったが、本研究手法の有用性と、その発展が地球環境問題に総合的に対応できる都市の将来モデルづくりに向けた環境評価体系の構築につながる可能性が確認でき、第一段階の成果を得ることができた。今後、それを発展させ、分野同士の連携をさらに推進し、評価手法、体系を構築する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

野口翔平・田中貴宏・佐藤裕一・佐土原 聡、盆地都市における夏季気温分布の形成要因に関する研究、日本建築学会技術

報告集、査読有、Vol.20 No.46、2014、
掲載決定

尾崎明仁・井上玄規・尾崎由美・李明香、
民生家庭部門エネルギー消費量の将来予
測 - 秦野市を事例とした省エネルギーの
シナリオ、日本建築学会環境系論文集、
査読有、Vol.79、No.700、2014、掲載決
定

宮本慧・田中貴宏・大野啓一・佐藤裕一・
佐土原聡、都市域における植生景観の立
地特性に関する研究 - 都市生態系の保
全・創出計画策定支援を目的とした植生
景観図に関する研究 その1 -、日本建築
学会環境系論文集、査読有、Vol.79
No.697、pp.281-287、2014

Y. Tominaga, Visualization of City
Breathability Based on CFD Technique:
Case Study for Urban Blocks in Niigata
City, Journal of Visualization, 査読
有, vol. 15, issue 3, pp.269-276, 2012

〔学会発表〕(計68件)

川瀬誠、数値シミュレーションによる地
中温暖化の要因解析 空気調和・衛生工学
学会近畿支部、2014年3月11日

佐土原聡、環境工学協働による地球環境
対応型都市づくりに関する体系的研
究 その11 成果の全体概要と今後の展開、
日本建築学会、2013年9月1日

古市隼斗、環境工学協働による地球環境
対応型都市づくりに関する体系的研
究 その20 秦野市における木質バイオマス
エネルギーの導入可能性に関する研究、
日本建築学会、2013年9月1日、

角川篤史、環境工学協働による地球環境
対応型都市づくりに関する体系的研
究 その22 東日本大震災後における神奈川
県2地区を対象とした夏期の省エネ意識
の経年変化、日本建築学会大会、2013年
9月1日

合掌颯、居住者のライフスタイルとエコ
意識・行動の関係 - 神奈川県秦野市を対
象として -、第37回人間・生活環境系シ
ンポジウム報告集、2013年12月1日

鏡俊、環境工学協働による地球環境対応
型都市づくりに関する体系的研
究 その4 CFDを用いた街区スケールの温熱・風
環境解析、日本建築学会、2012年9月14
日

佐藤裕一、環境工学協働による地球環境
対応型都市づくりに関する体系的研
究 その7 三次元地質モデルと地下水シミュ
レーションを活用した地中温度測定結果
に関する考察、日本建築学会、2012年9
月14日

〔図書〕(計1件)

佐土原聡 他、創森社、里山創生 神奈川・横
浜の挑戦、2011、255

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐土原 聡 (SADOHARA Satoru)
横浜国立大学・大学院都市イノベーション
研究院・教授
研究者番号：90178799

(2) 研究分担者

久野 覚 (KUNO Satoru)
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授
研究者番号：70153319

田中 貴宏 (TANAKA Takahiro)
広島大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：30379490

富永 禎秀 (TOMINAGA Yoshihide)
新潟工科大学・工学部・教授
研究者番号：00278079

小瀬 博之 (KOSE Hiroyuki)
東洋大学・総合情報学部・教授
研究者番号：20302961

尾崎 明仁 (OZAKI Akihito)
九州大学・大学院人間環境学研究院・教授
研究者番号：90221853

鳴海 大典 (NARUMI Daisuke)
横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准
教授
研究者番号：80314368

中山 哲士 (NAKAYAMA Satoshi)
岡山理科大学・工学部・准教授
研究者番号：90264598

吉田 聡 (YOSHIDA Satoshi)
横浜国立大学・大学院都市イノベーション
研究院・准教授
研究者番号：80323939

合掌 颯 (GASSHO Akira)
岐阜大学・地域科学部・准教授
研究者番号：40303490

安部 信行 (ABE Nobuyuki)
八戸工業大学・感性デザイン学部・講師
研究者番号：30433478