

平成 21 年 5 月 18 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2006～2008
課題番号：18360273
研究課題名 (和文) バーチャル都市モデルによる持続可能な都市エネルギーシステム構築シナリオの策定
研究課題名 (英文) Scenario setting for sustainable urban energy system using virtual urban model.
研究代表者
下田 吉之 (SHIMODA YOSHIYUKI)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：20226278

研究成果の概要：都市のエネルギー消費および二酸化炭素排出量を高い精度で予測できるシミュレーションモデルを開発し、それを用いて具体的に将来の都市・国土の二酸化炭素削減シナリオを策定した。家庭部門については大阪市および大阪府豊中市、中国上海市についてモデル化を行い、また適用対象を我が国全体に拡大して 2025 年までの温室効果ガス削減シナリオを示した。また、業務部門については大阪市および豊中市を対象に削減シナリオを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2007年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

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：エネルギー最終需要、都市計画、長期シナリオ、地球温暖化緩和策、大阪市、上海市、豊中市

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球温暖化による気温上昇を 2℃程度にとどめることを許容範囲とし、そのため 2050 年頃までに温暖化ガスの排出量を現在の半分以下に削減することを京都議定書約束期間以降の政策目標とすることが国際的に合意されつつあり、我が国では大きな伸びを示している民生部門の二酸化炭素排出量の大幅な削減を達成するシナリオづくりが大きな課題であった。建築や都市のエネルギー消費・CO₂ 排出量を半減するためには、現在の省エネルギー対策の単なる延長線上にない、大胆な都市・建築の転換が必要である。

また、機器レベルから都市インフラレベルまでのエネルギーシステムの効率化やライフスタイルの転換など、様々な施策の組み合わせが必要不可欠であり、その際には各政策の相乗効果や相反関係の考慮できるシミュレーションツールが必要である。

(2) 本研究組織は、平成 15～17 年度科学研究費基盤研究(B)「情報化・世帯構成変化・機器効率・気象の影響を予測する都市エネルギー最終需要モデル」において都市民生部門最終需要モデル(住宅部門、業務部門)を開発し、都市や国土の温暖化対策シナリオを描く準備が整いつつあった。

2. 研究の目的

本研究では、都市民生部門エネルギー最終需要モデル（住宅部門、業務部門）をベースに、これらを更に高度化し、また地域熱供給や太陽光発電、各種新技術のモデル化をおこなうことで、我が国の大都市（大都市として大阪市、郊外都市として豊中市）において大幅な二酸化炭素排出量削減を達成する建築・都市のエネルギーシステム、ライフスタイル、建築ストックの状況を明らかにすると共に、そこへいたる今後数十年の具体的かつ網羅的なシナリオ（都市構造の変革、エネルギー需要技術・エネルギー変換技術の開発と普及、ライフスタイルの変革、建築基準など政策のありかた）を提示することを目的とする。

3. 研究の方法

住宅部門については、従来開発してきた民生家庭部門エネルギー最終需要モデルを更に高度化し、各種実測値との比較をおこなって精度を高めるとともに、太陽光発電、コージェネレーション、ヒートポンプ給湯器など近年登場した各種の高効率エネルギーシステムについてのモデル化をおこなった。

このモデルは都市・地域内における世帯を世帯人員・世帯構成・住宅形式・住宅規模・住宅熱性能の観点から詳細に類型化（図1の例では912区分）し、各類型の世帯に対する年間エネルギーシミュレーション結果を積み上げて都市での民生家庭部門エネルギー消費を推計するものである。また、主要家電製品の効率及び住宅の熱性能を対象に、毎年の製造製品平均性能の変化と出荷台数から、予測対象年における平均性能を推計するストックモデルを別途開発し、エンドユーザーモデルの入力条件として整備した。

モデルの計算フローについて、図1に示す。

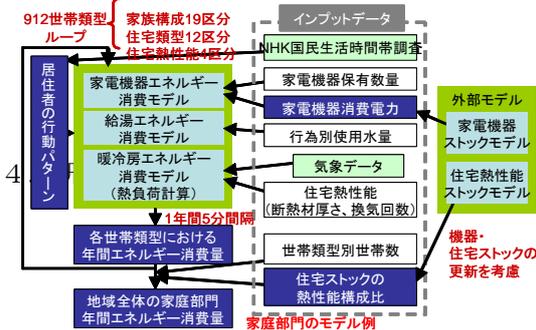


図1 家庭部門エネルギー最終需要モデル

業務部門については、2つのモデル化手法について検討した。一つは、都市内に存在する建物をその規模や用途によって詳細に区分し、それぞれの建物のエネルギー消費をシミュレーションにより計算して積み上げる

いわゆる「建物類型モデル」であり、もう一つは本研究で独自に開発した、都市をおよそ500m四方のメッシュで表現される「地区」で分類し、その地区毎のエネルギー消費をモデル化して都市全体に積み上げる「地区類型モデル」である。地区類型モデルにより、地域冷暖房のような建物の連携によっておこなわれる対策を表現したり、地区の特性を根本から変えるような大胆な土地利用転換シナリオの評価が可能となった。

図2に、地区類型モデルのフローを、図3に、両モデルのベースとなる都市・建築シミュレーションモデルのフローを示す。

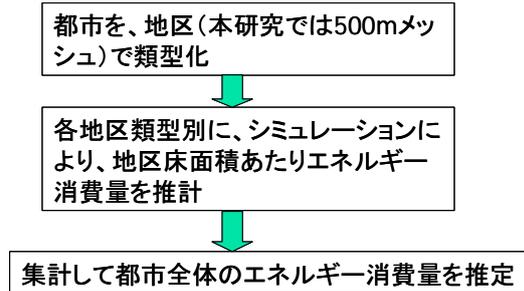


図2 地区類型モデルのフロー

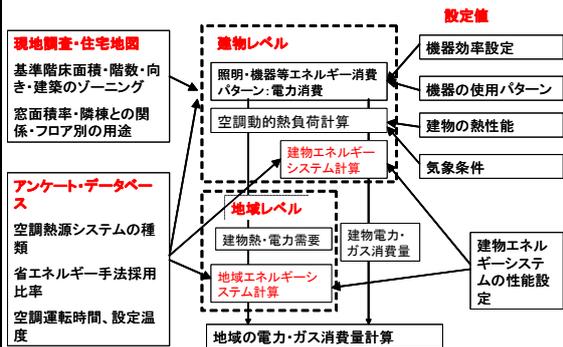


図3 業務部門シミュレーターのフロー

なお、業務部門についてはその温暖化対策の重要な技術である地域冷暖房について、そのエネルギー効率・温室効果ガス削減効果を将来にわたって評価することを目的に、現在の地域冷暖房システムをモデル化し、その建物個別のシステムに対する省エネルギー性能の定量的な評価と、地域の熱需要によるエネルギー性能への影響、高効率冷凍機や高効率のコージェネレーション等将来利用可能となる技術の導入による更なるエネルギー消費効率の向上についてシミュレーションによる検討を行った。

4. 研究成果

(1) 大阪市を対象とした住宅部門評価

大阪市の住宅部門を対象として、各種の温暖化対策評価をおこなった事例を図4に示す。

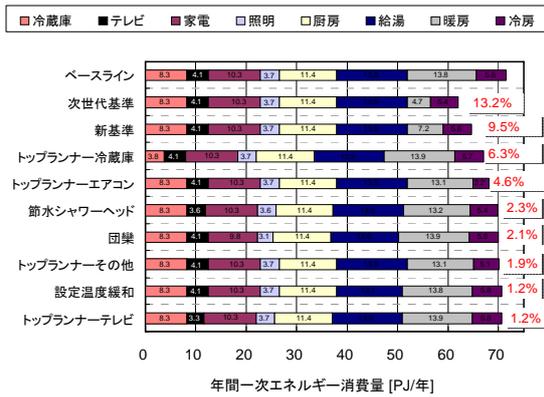


図4 大阪市家庭部門の評価例

この事例ではエネルギー消費ベースの評価に止まっているが、住宅・機器・ライフスタイルにわたる多量の対策の評価がシームレスにおこなない得たことが特筆される。

(2) 大阪市を対象とした業務部門評価

大阪市の業務部門を対象として、機器や建物の省エネルギー対策を進める省エネルギーシナリオ、ある程度エネルギー消費密度の高い地区を対象に地域冷暖房など高効率エネルギーシステムを導入する CEM (Community Energy Management) シナリオ、各地区の土地利用を転換し、できるだけ業務地区を集積化する集積シナリオの3種についてその効果を評価した。図5に2050年頃の各シナリオによるCO₂削減効果の評価例を示す。

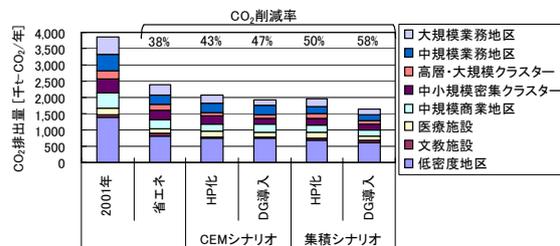


図5 大阪市業務地区に対する評価結果

また、業務建築における温暖化対策の評価の高度化を目的として建築ストックの集積状況、省エネルギー手法の採用実態を調査するとともに、建築仕様、省エネルギー手法、熱源システムなどの設備仕様、建築の使われ方といった建築のエネルギー需要に大きな影響を及ぼす要素の分布を反映し、都市スケールでエネルギー需要を推計するモデルの構築をおこない、関連データベースを整備した。

(3) 豊中市を対象としたシナリオ評価

大阪府豊中市は大阪市の北西部に隣接した人口38万人の都市である。郊外住宅都市における温暖化対策長期シナリオの策定例を示すことを目的に、豊中市民生部門の温暖

化防止シナリオを、同市の建築ストック状況などを詳細に評価することによりおこなった。図6に民生家庭部門、図7に民生業務部門について機器の効率向上 (Step1) および建物性能の向上 (Step2) の追加対策を実施した場合の2050年のシナリオ評価結果を示す。

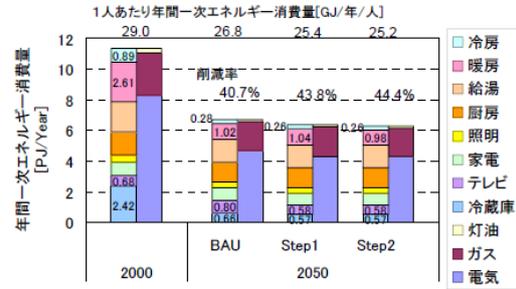


図6 豊中市エネルギー削減シナリオ(家庭)

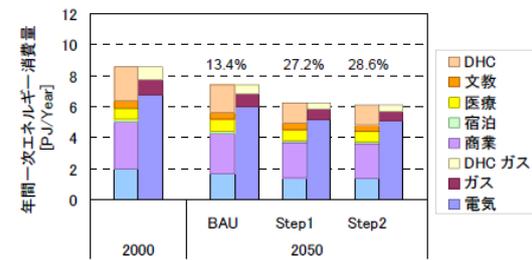


図7 豊中市エネルギー削減シナリオ(業務)

豊中市はニュータウン整備により業務建物がセンター地区に集積しており、地域冷暖房システム1カ所の高効率化が豊中市業務部門全体の3%のエネルギー消費削減に寄与することが示された。

また、豊中市については、街区レベルでの具体的な建物の転換による温暖化対策の実現性を評価するため、木造戸建て密集地を対象に、住宅・住民の現実的な動態を考慮した温室効果ガス排出量変遷の予測シナリオを評価した。

(4) 日本全体を対象とした家庭部門シナリオ
家庭部門を対象としたモデルを拡張し、我が国のいろいろな都市の評価をおこなうことを目標として、我が国の家庭部門エネルギー消費に関する各種データベースの構築をおこなった。

主要都市について、そのエネルギー消費原単位をシミュレーションにより推計した結果を図8に示す。

また、これらを用いて、我が国家庭部門全体のエネルギー消費およびCO₂排出量の2025年までの変化を予測し、追加的対策の効果に対する評価をおこなった。結果を図9に示す。2025年には1990年比7.1%排出量が減少する。また、1990年から2005年、2005年から2025年までのCO₂排出量変化に対する各要因の影響を見たところ、1990年から2005年までは

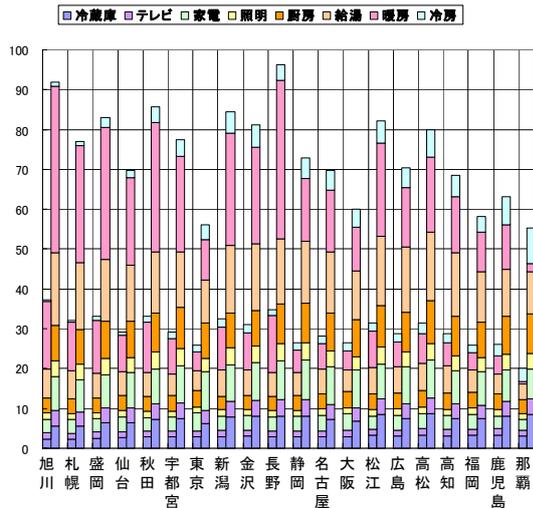


図 8 全国 20 都市用途別エネルギー消費原単位 [GJ] (左：1人あたり、右：世帯あたり)

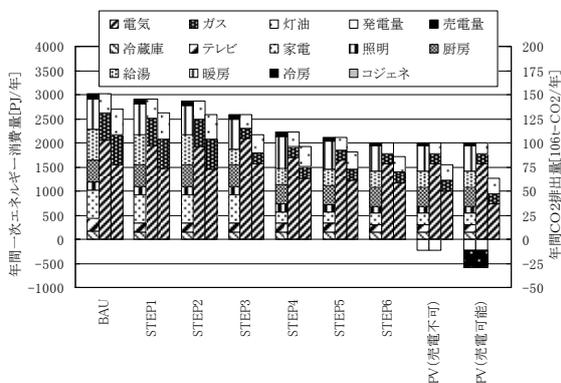


図 9 各種追加的対策による 2025 年の一次エネルギー消費(左：用途別・中：エネルギー別)・CO₂ 排出量(右)の変化

主として世帯数の増加、機器普及率の増加が CO₂ 排出量を増大させ、2000 年から 2025 年までは、電力 CO₂ 排出原単位の他、住宅の熱性能の向上と人口減少、家電機器効率の向上が CO₂ 排出量の低下に寄与することが明らかとなった。次に、(Step1)家電機器トップランナー基準の強化、(Step2)新築住宅の省エネルギー基準義務化、(Step3)高効率給湯器の導入、(Step4)待機電力・保温電力の削減、(Step5)集合住宅化の促進、(Step6)ライフスタイルの改善、(Step7)太陽光発電の大量導入の 7 つの追加的対策が 2025 年の CO₂ 排出量に及ぼす影響を検討した。結果として、図 1 に示すように太陽光発電以外では高効率給湯器の導入(1990 年比 14%の削減)、待機電力・保温電力の削減(同 9%の削減)が大きな効果を及ぼし、これら 6 種の対策で 2025 年には 1990 年比 41%削減が可能であること、太陽光発電の大量導入を追加することにより、売電が可能な状況では 1990 年比 56%の削減が可能となることを明らかとした。

(5) 中国上海市への適用

本モデルの展開として、上海市の民生家庭部門のエネルギー需要予測モデルを開発し、現在から 2030 年までのエネルギー需要の予測を行うとともに、断熱強化や家電製品、給湯器の高効率化、太陽熱温水器の利用など複数の技術とその組み合わせについて、技術の普及によってもたらされるに省エネルギー効果、CO₂ 排出量削減効果を推計した。さらに、省エネルギー技術の選択を通じた家庭部門における低炭素型ストックの形成が将来のエネルギー需要に与える影響を予測・推計した。この結果、建物の断熱強化策、家電製品の高効率化、給湯器の置き換えなどの対策を個別に実施した場合、エネルギー消費量の削減効果は限定的であり、エネルギー消費の増加を抑えるためには、各種手法を総合的に普及させる必要があること、また、所得水準に変化がなければエネルギー消費パターンに変化がないことを前提とした場合、2030 年までにエネルギー消費量は人口の増加によって 2006 年の水準から 30%から 40%増加するのに対して、トップランナーエアコン、次世代基準断熱、HP 給湯器の普及によりその 20%程度(2006 年比で 30%程度)の CO₂ 排出量が削減されることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

- ① 山口容平, 下田吉之, 水野稔: 建築・設備ストックの集積状況を考慮した大阪市の民生業務部門エネルギー需要モデルの開発と温暖化対策の評価, 日本建築学会環境系論文集, 641, 2009、査読有
- ② 下田吉之, 山口幸男, 岡村朋, 谷口綾子, 山口容平: 家庭用エネルギーエンドユースモデルを用いた我が国民生家庭部門の温室効果ガス削減ポテンシャル予測, エネルギー・資源, 175(2009-5), (電子ジャーナル)
- ③ 谷口綾子, 下田吉之, 旭貴弘, 山口幸男, 日本の住宅エネルギー最終需要のモデル化と住宅熱性能改善の影響評価 世帯詳細区分型都市住宅エネルギーエンドユースモデルの開発と応用 (3), 日本建築学会環境系論文集, 632, 1217-1224, 2008、査読有
- ④ Pui Wah Wong, Yoshiyuki Shimoda, Mio Nonaka, Miwo Inoue, Minoru Mizuno, Semi-transparent PV: Thermal, power generation, daylighting modeling and energy saving potential in residential application, Renewable Energy, 33, 1024-1036, 2008、査読有

- ⑤ Tomoji Nagota, Yoshiyuki Shimoda, Minoru Mizuno, Verification of the energy-saving effect of the district heating and cooling system simulation of an electric-driven heat pump system, Energy and Buildings, 40, 732-741, 2008, 査読有
- ⑥ Yoshiyuki Shimoda, Tomoji Nagota, Naoaki Isayama, Minoru Mizuno, Verification of Energy Efficiency of District Heating and Cooling System by Simulation Considering Design and Operation Parameters, Building and Environment, 43, 569-577, 2008, 査読有
- ⑦ 名古田知志, 下田吉之, 水野稔: 吸収ボイラ方式地域冷暖房における熱負荷集約効果に関する検討 - 需要要素と熱源機器分割がエネルギー効率に与える影響, 空気調和・衛生工学会論文集, 124(2007-7) pp. 47-56, 査読有
- ⑧ Yoshiyuki Shimoda, Takahiro Asahi, Ayako Taniguchi, Minoru Mizuno: Evaluation of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model, Energy, 32-9(2007), pp. 1617-1633, 査読有
- ⑨ Tomoji Nagota, Yoshiyuki Shimoda, Minoru Mizuno: Verification of the energy-saving effect of the district heating and cooling system simulation of an electric-driven heat pump system, Energy and Buildings, 40(2008-5), pp. 732-741, 査読有
- ⑩ Pui Wah Wong, Yoshiyuki Shimoda, Mio Nonaka, Miwo Inoue, Minoru Mizuno: Semi-transparent PV: Thermal, power generation, daylighting modeling and energy saving potential in residential application, Renewable Energy, 33(2008-5), pp. 1024-1036, 査読有
- ⑪ Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda, Minoru Mizuno: Proposal of a modeling approach for evaluation of city level energy management considering urban form, Energy and Buildings, 39-5(2007), pp. 580-592, 査読有
- ⑫ 名古田知志, 下田吉之, 水野稔: 地域熱供給システムの省エネルギー性評価に関する研究 全国123プラントのデータを基にした要因分析とCGS評価手法の検討, 日本建築学会環境系論文集, 613(2007-3), pp. 87-93, 査読有
- ⑬ 名古田知志, 下田吉之, 水野稔: 地域冷暖房の個別熱源システムに対する省エネルギー性の検証 コージェネレーションシステムを利用した吸収ボイラ方式システムのシミュレーション評価, 空気調和・衛生工学会論文集, 118号(2007-1), pp. 37-47, 査読有
- ⑭ 下田吉之, 山口容平, 浅井崇志, 水野稔: 地区を基本単位とした都市エネルギー需要のモデル化と将来シナリオに関する研究, 都市計画論文集, 41-3(2006-10), pp. 833-838, 査読有
- [学会発表] (計 28 件)
- ① Chihiro Kishi, Sustainability Evaluation of City by Energy Flow Analysis, The Eighth International Conference on Eco Balance2008, 2008-12-11, Tokyo, Japan
- ② Takehiro Arishiro, Evaluation of Global Warming Mitigation Measures in The Residential and Non-residential Sectors of a Suburban City in Japan, Proceedings of the World Conference SB08, 2008-9-25, Melbourne, Australia
- ③ Yohei Yamaguchi, Understanding the Socio-Technical System and Transition of Building Stock and Supporting infrastructure to Achieve Sustainability, Proceedings of the World Conference SB08, 2008-9-24, Melbourne, Australia
- ④ Yukio Yamaguchi, Evaluation of Energy Saving Measures in Long-Term Scenario in Japanese Residential Sector, Proceedings of the World Conference SB08, 2008-9-22, Melbourne, Australia
- ⑤ 有城丈博, 豊中市民生部門を対象とした2050年のCO2排出削減ポテンシャルの推計, 空気調和・衛生工学会大会, 2008-8-29, 立命館大学
- ⑥ 東真太郎, シミュレーションに基づく地区単位の業務建築ストック集積特性とエネルギー需要の関係, 空気調和・衛生工学会大会, 2008-8-27, 立命館大学
- ⑦ 山口容平, 地区単位の業務建築ストックエネルギー効率指標開発の初期的検討, 空気調和・衛生工学会大会, 2008-8-27, 立命館大学
- ⑧ 山口幸男, 都市家庭用エネルギーエンドユースモデルの全国への応用(8), 第27回エネルギー・資源学会研究発表会, 2008-6-6, 大阪国際交流センター
- ⑨ 岡村朋, 都市家庭用エネルギーエンドユースモデルの全国への応用(7), 第27回エネルギー・資源学会研究発表会, 2008-6-6, 大阪国際交流センター

- ⑬ 山口幸男、都市家庭用エネルギーエンドユースモデルの全国への応用(5), 第24回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 2008-1-31, 虎ノ門パストラル
- ⑭ 谷口綾子、都市家庭用エネルギーエンドユースモデルの全国への応用(6), 第24回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 2008-1-31, 虎ノ門パストラル
- ⑮ Daisuke Narumi, impact of the Temperature Affect Upon The Residential Energy Consumption for Air-Conditioning, The 6th International Conferenfce on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings, 2007-10-29, SENDAI, JAPAN
- ⑯ Ayako Taniguchi, Effectiveness of Energy Conservation Measures in Residential Sector of Japanese Cities, Tenth International IBPSA Conference, (2007-9), Beijing China
- ⑰ Yohei Yamaguchi, Yoshiyuki Shimoda, Minoru Mizuno: Simulation Support for Designing Transformation of Building Stock and Energy Infrastructure, Tenth International IBPSA Conference, (2007-9), Beijing China
- ⑱ Yoshiyuki Shimoda, Effect of Telecommuting on Energy Consumption in Residential and Non-Residential Sectors, Tenth International IBPSA Conference, 2007-9-3, Beijing China
- ⑲ Reiko Kubara, Prediction about Progress in Performance of District Heating and Cooling System Using Combined Heat and Power, Tenth International IBPSA Conference, 2007-9-3, Beijing China
- ⑳ Saki Hashimoto, Multi-Purpose Evaluation of Urban Energy System by the Simulation Model, Tenth International IBPSA Conference, 2007-9-3, Beijing China
- ㉑ 山口容平、民生業務部門における温暖化対策のデザイン 第2報 省エネルギーポテンシャルの推計, 日本建築学会大会, 2007-8-30, 福岡大学
- ㉒ 下田吉之、民生業務部門における温暖化対策のデザイン 第1報 建築ストックの集積および省エネルギー手法採用状況の調査, 日本建築学会大会, 2007-8-30, 福岡大学
- ㉓ 有城丈博、地方自治体における民生部門地球温暖化対策の評価～大阪府豊中市におけるケーススタディ～, 日本建築学会大会, 2007-8-30, 福岡大学
- 21 谷口綾子、地域住宅エネルギー最終需要の

- 詳細予測に関する研究(7)～家庭用エネルギー最終需要モデルを用いた全国20都市における省エネルギー政策評価～, 日本建築学会大会, 2007-8-30, 福岡大学
- 22 山口幸男、地域住宅エネルギー最終需要の詳細予測に関する研究(6)～全国20都市における家庭用エネルギー消費量の変動要因の解析～, 日本建築学会大会, 2007-8-30, 福岡大学
- 23 谷口綾子、都市家庭用エネルギーエンドユースモデルの全国への応用(3), 第26回エネルギー・資源学会研究発表会 2007-6-14, 虎ノ門パストラル
- 24 山口幸男、都市家庭用エネルギーエンドユースモデルの全国への応用(4), 第26回エネルギー・資源学会研究発表会, 2007-6-14, 虎ノ門パストラル
- 25 旭貴弘、都市家庭用エネルギーエンドユースモデルの全国への応用(1), 第23回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2007-1-25, 虎ノ門パストラル
- 26 谷口綾子、都市家庭用エネルギーエンドユースモデルの全国への応用(2), 第23回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2007-1-25, 虎ノ門パストラル
- 27 石垣泰、地区類型に基づく民生業務部門のエネルギー消費のモデル化, 日本建築学会大会, 2006-9-7, 神奈川大学
- 28 谷口綾子、地域住宅エネルギー最終需要の詳細予測に関する研究(5) 家庭用エネルギー最終需要モデルの感度解析を用いたベースラインの決定, 日本建築学会大会, 2006-9-7, 神奈川大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下田 吉之 (SHIMODA YOSHIYUKI)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 20226278

(2) 研究分担者

水野 稔 (MIZUNO MINORU)
大阪大学・名誉教授
研究者番号: 30029269

鳴海 大典 (NARUMI DAISUKE)
大阪大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号: 80314368

山口 容平 (YAMAGUCHI YOHEI)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 40448098