

# 京都市における温室効果ガス排出量の削減目標達成への道筋と進捗の定量的分析

越智 雄輝<sup>1</sup>・松岡 譲<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 株式会社E-konzal (〒532-0011 大阪市淀川区西中島3-8-15 EPO新大阪ビルディング1207)

E-mail:ochi.ekonzal@gmail.com

<sup>2</sup>正会員 工学博士 京都大学大学院工学研究科教授 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:matsuoka@env.kyoto-u.ac.jp

2011年に京都市は地球温暖化対策計画を策定し、2020年及び2030年の削減目標を定めたが、東日本大震災の発生によりその前提条件が変わった。本研究では、系統電力の電源構成や低炭素対策の実施強度の異なる複数のシナリオにおける京都市の温室効果ガス排出量を推計することにより、この削減目標を達成するにはどうすればよいかを検討した。すなわち計画進捗を評価する指標を設定し、現行の計画を分析することにより目標達成の実現可能性を解析した。その結果、原子力発電所への依存を減らしていくシナリオであっても、最大限の対策・施策の実施により両年の削減目標を達成し得ることが示された。また、進捗指標を用いたシナリオと実績値との比較から、住宅や建築物への再生可能エネルギー利用設備の導入を促進する施策の強化が特に重要であると考えられる。

**Key Words :** climate change, low carbon society, scenario approach, progress assesment

## 1. はじめに

産業革命以降の気温上昇を2℃未満に抑えるためには2050年までに世界の温室効果ガス（GHG）排出量を2010年に比べて40%～70%削減する必要がある<sup>1</sup>。2015年にはCOP21パリ会議に先立ち、各国が自国の削減目標をまとめた約束草案をUnited Nations Framework Convention on Climate Change（UNFCCC）事務局に提出した。一方で地方自治体においても独自の削減目標の設定、その達成に向けた計画の策定が進んでいる。英国ロンドン市はCO<sub>2</sub>排出量を2025年までに1990年比60%削減するという目標を<sup>2</sup>、米国カリフォルニア州はGHG排出量を2030年までに1990年比40%削減するという目標を<sup>3</sup>それぞれ掲げている。日本でも京都市が2011年に地球温暖化対策計画を策定し、温室効果ガス排出量を1990年度に比べて2020年度までに25%、2030年度までに40%削減することを目標に地球温暖化対策に取り組んでいる<sup>4</sup>。

しかし、2011年3月に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故以降、原子力発電所の稼働停止により電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が悪化し、京都市の地球温暖化対策計画の前提条件が変わってしまった。その後、経済産業省は、2015年7月に「長期エネルギー需給見通し」<sup>5</sup>を策定し、再生可能エネルギーの比率が22～24%、

原子力発電の比率が20%～22%という2030年度の電源構成を提示した。しかるに関西電力管内で高浜原子力発電所3号機及び4号機が大阪地方裁判所の仮処分決定により運転を停止するなど、依然として原子力発電の動向は不透明である。さらに2016年4月からは電力の小売りが全面的に自由化されるなど、地球温暖化対策を取り巻く状況は計画策定当初から大きく変わっている。京都市は地球温暖化対策推進委員会を設置し、これらの状況や対策の進捗を踏まえて現計画の改定を目下検討中である。

京都市を対象にしたGHG排出量の削減シナリオに関する研究は、既に五味ら<sup>6</sup>により行われ、2030年までに1990年比50%のGHG排出量の削減が可能であることが示されているが、昨今の原子力発電をめぐる動向を踏まえた将来推計や、削減目標に対する地球温暖化対策計画の進捗の評価は行われていない。そこで本研究では、複数の電源構成の可能性を踏まえた京都市の低炭素社会シナリオの構築により削減目標の実現可能性を検討するとともに、同市の地球温暖化対策計画の進捗を分析する。まず、系統電力の電源構成の想定や低炭素対策の実施強度などの異なる複数のシナリオを設定し、2020年及び2030年の京都市のGHG排出量を推計することにより、同市の削減目標を達成し得るシナリオを同定する。そして、GHG排出量の削減対策の進捗を評価する指標を設定し、

シナリオの推計結果と実績値との比較により現行の地球温暖化対策計画の進捗を分析する。

## 2. 低炭素社会シナリオの構築

### (1) 枠組みの設定

本研究では、京都市の削減目標に従い目標年を2030年、将来推計のもととなる基準年を2010年とした。基準年に関しては、推計に必要なデータの入手が可能な最新の年を選択した。推計に用いた基準年のデータを表-1に示す。また、対象とするGHGはCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、HFCs、PFCs、SF<sub>6</sub>とし、CO<sub>2</sub>に関してはさらに部門を家庭、業務、産業、旅客輸送、貨物輸送、エネルギー転換、廃棄物に区分した。

### (2) シナリオの設定

2030年時点の社会経済マクロフレーム、系統電力の電源構成、及び低炭素対策の導入について京都市及び日本全体のビジョンや計画などをもとに想定を行い、異なる想定を組み合わせた複数のシナリオを検討する。系統電力の電源構成の想定による4つのシナリオと低炭素対策の導入強度の想定による3つのシナリオを組み合わせ、合計12種類のシナリオを設定した。

#### a) 社会経済マクロフレーム

社会経済の変化に関しては全てのシナリオで共通の想定を行った。参考にした主な資料を、表-2に示す。人口については、国立社会保障・人口問題研究所の推計<sup>7)</sup>より、京都市の人口が2010年の147万人から2030年には138万人に減少すると設定した。また、経済については、内閣府<sup>8)</sup>や厚生労働省<sup>9)</sup>による報告を参考に、市内総生産（GDP）の年平均成長率を1.2%/年とした。移輸出、最終需要についても同様に成長し、過去の傾向から第三次産業への転換が進むと想定した。

#### b) 系統電力の電源構成

電源構成は、原子力発電所の稼働や再生可能エネルギーの普及拡大など国全体のエネルギー政策に依存する部分が大きく、地方自治体の政策の影響が及びにくいことから、“原発ゼロ”、“原発40年廃炉”、“原発60年廃炉”、“原発国発表”と4つのシナリオを想定した。シナリオごとの2020年及び2030年時点の電源構成を図-1に示す。

“原発ゼロ”においては、原子力発電所は再稼働せず2030年までに全て廃炉にすると想定し、電源構成に占める原子力発電の比率は0%とした。

次に、“原発40年廃炉”では、原子力発電所の稼働を再開するが、運転を始めた年から40年を経過した原子力発電所を順次廃炉にすると想定した。2030年時点で関西

表-1 基準年のデータとして利用した主な統計・資料

| 分野      | 統計・資料                                                                                                               |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 人口・世帯数  | 平成22年国勢調査                                                                                                           |
| 経済・産業   | 京都市統計書 平成26年版<br>平成22年度京都市民経済計算<br>平成22年工業統計調査<br>平成21年経済センサス<br>平成18年事業所・企業統計調査<br>平成17年京都府産業連関表<br>平成22年度京都府民経済計算 |
| 輸送      | 第5回（平成22年）近畿圏パーソントリップ調査<br>第9回全国貨物純流動調査（物流センサス）                                                                     |
| 建築物     | 京都市統計書 平成26年版                                                                                                       |
| エネルギー消費 | 京都市提供資料                                                                                                             |

表-2 シナリオの設定の参考にした主な資料

| 分野     | 資料                                                                                                                                                                                   |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 人口・世帯数 | 国立社会保障・人口問題研究所（2013年）、日本の地域別将来推計人口                                                                                                                                                   |
| 経済・産業  | 内閣府（2014年）、中長期の経済財政に関する試算<br>厚生労働省（2014年）、平成26年財政検証結果レポート                                                                                                                            |
| 輸送     | 京都市（2010年）、「歩くまち・京都」総合交通戦略                                                                                                                                                           |
| 建築物    | 資源エネルギー庁（2015年）、長期エネルギー需給見通し骨子（案）関連資料                                                                                                                                                |
| 電源構成   | 経済産業省（2015年）、長期エネルギー需給見通し<br>国立環境研究所AIMプロジェクトチーム（2012年）、対策導入量等の根拠資料                                                                                                                  |
| 低炭素対策  | 国立環境研究所AIMプロジェクトチーム（2012年）、対策導入量等の根拠資料<br>資源エネルギー庁（2015年）、各部門における省エネルギー対策と省エネ量の暫定試算について（事務局案）<br>京都市（2013年）、京都市エネルギー政策推進のための戦略<br>京都市（2011年）、京都市「緑の分権改革」推進事業<br>クリーンエネルギー活用可能量等調査報告書 |

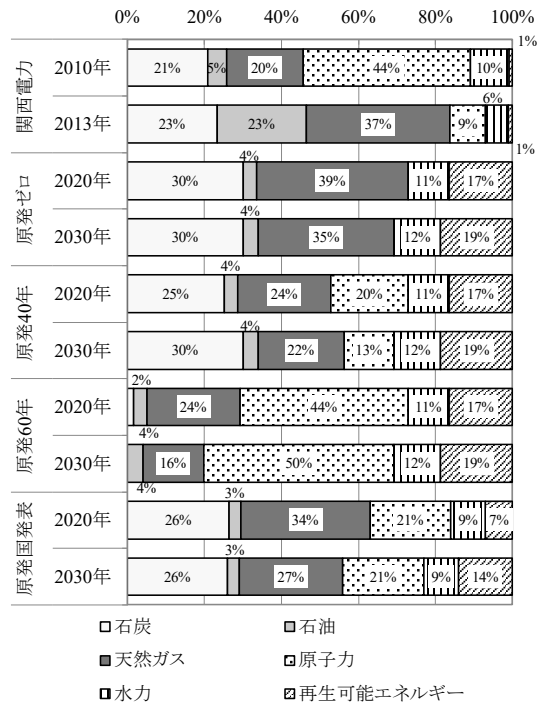


図-1 2020年及び2030年の発電電力量の電源構成比率の設定

電力管内の原子力発電所は11基中2基が稼働し、電源構成に占める原子力発電の比率は13%となる。

そして、“原発60年廃炉”では、原子力発電所の稼働を再開し、運転を始めた年から40年を経過した原子力発電所を全て60年まで延長して運転すると想定した。2030年時点で関西電力管内の原子力発電所は11基中9基が稼働し、電源構成に占める原子力発電の比率は50%となる。

最後に、“原発国発表”では、「長期エネルギー需給見通し」で発表された電源構成をもとに、電源構成に占める原子力発電の比率を21%とした。

原子力発電以外の石炭、石油、天然ガス、及び再生可能エネルギーによる発電の構成に関しては、長期エネルギー需給見通し<sup>9)</sup>の発表値と各シナリオの原子力発電の比率の想定を参考に設定した。

### c) 低炭素対策の導入

エネルギー需要側の低炭素対策の導入に関して、その実施強度に応じて“現状取組”、“国想定取組”、“最大限取組”の3つのシナリオの想定を行った。

まず、“現状取組”では、国立環境研究所AIMプロジェクトチーム<sup>10)</sup>による国の削減シナリオの対策低位ケース及び「京都市エネルギー政策推進のための戦略」<sup>11)</sup>を参考に設定した。既に実施・想定されている対策・施策を継続することを想定している。続いて“国想定取組”では、資源エネルギー庁が2015年に提案した省エネルギー対策<sup>12)</sup>と京都市の同戦略を参考に、低炭素対策の導入強度を想定した。そして、“最大限取組”シナリオにおいては、AIMプロジェクトチームの対策高位ケース<sup>10)</sup>、京都市の同戦略<sup>11)</sup>、及び京都市の再生可能エネルギーの活用可能性<sup>13)</sup>を参考に設定した。導入可能な最大限の対策を見込み、それを推進する施策が実施されることを想定している。設定した低炭素対策の一覧を表-3に示す。

### (3) 推計ツールによるシナリオの定量化

五味ら<sup>14)</sup>により開発された推計モデルExtend Snapshot Tool (ExSS) を用いて各シナリオにおけるGHG排出量を推計する。ExSSは、都市や地域の将来における人口やGDP、輸送需要量などの社会経済指標、エネルギー需要量、エネルギー利用技術及びGHG排出量を統合的に定量化し、地域のGHG排出削減目標を達成し得るシナリオを同定する推計ツールである。ExSSの構造を図-2に示し、主要な推計式を式(1)から式(4)に示す。活動量  $ESDF_{eds,esv}$  については部門ごとに設定し、家庭部門は世帯数、業務部門は建物床面積、産業部門は生産額、旅客輸送部門は旅客輸送需要量（人・km）、貨物輸送部門は貨物輸送需要量（トン・km）とした。

$$ED_{eds}^e = \sum_{esv} \frac{ESDF_{eds,esv} \cdot \overline{ESVG}_{eds,esv} \cdot \overline{ES}_{eds,esv}^e}{EE_{eds,esv}^e} \quad (1)$$

$$TEF_{eds}^{e,ele} = \overline{EF}^e \quad (2)$$

$$TEF_{eds}^{e,ele} = \frac{\left( ED_{eds}^{e,ele} - \sum_e DPG_{eds}^e \right) \cdot \overline{CPEF} + \sum_e \left( DPG_{eds}^e \cdot \overline{DPEF}^e \right)}{ED_{eds}^{e,ele}} \quad (3)$$

$$CO2_{eds} = \sum_e \left( ED_{eds}^e \cdot TEF_{eds}^e \right) \quad (4)$$

$ED_{eds}^e$  : エネルギー需要量

$ESDF_{eds,esv}$  : 活動量

$\overline{ESVG}_{eds,esv}$  : エネルギーサービス需要原単位

$\overline{ES}_{eds,esv}^e$  : 燃料シェア

$\overline{EE}_{eds,esv}^e$  : エネルギー効率

$TEF_{eds}^e$  : 分散発電を考慮したCO<sub>2</sub>排出原単位

$\overline{EF}^e$  : 燃料別のCO<sub>2</sub>排出原単位

$\overline{DPG}_{eds}^e$  : 分散発電による発電量

$\overline{CPEF}$  : 系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位

$\overline{DPEF}^e$  : 分散発電のCO<sub>2</sub>排出原単位

$CO2_{eds}$  : CO<sub>2</sub>排出量

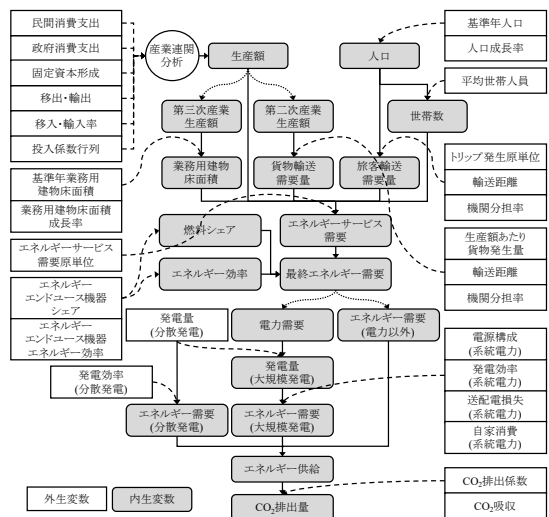


図-2 ExSSの構造<sup>14)</sup>

表-3 導入を想定した低炭素対策の一覧

| 部門               | 低炭素対策・技術           |                            |                          | 指標              | エネルギー効率 |               |                |                | 技術シェア・転換率・導入量 |               |                |                |         |
|------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|---------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------|
|                  |                    |                            |                          |                 | 2010年   | 2030年<br>現状取組 | 2030年<br>国想定取組 | 2030年<br>最大限取組 | 2010年         | 2030年<br>現状取組 | 2030年<br>国想定取組 | 2030年<br>最大限取組 |         |
| 家庭               | 冷房                 | 電力                         | エアコン                     | COP             | 3.72    | 6.25          | 6.25           | 6.25           | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         | 100.0%         |         |
|                  |                    | 石油                         | 灯油暖房                     | 熱効率             | 0.95    | 0.95          | 0.95           | 0.95           | 29.4%         | 22.1%         | 16.9%          | 16.1%          |         |
|                  |                    | ガス                         | ガス暖房                     | 熱効率             | 0.95    | 0.95          | 0.95           | 0.95           | 35.1%         | 26.4%         | 20.2%          | 19.2%          |         |
|                  | 給湯                 | 電力                         | エアコン                     | COP             | 2.90    | 4.30          | 4.30           | 4.30           | 35.5%         | 51.5%         | 63.0%          | 64.7%          |         |
|                  |                    | 石油                         | 石油給湯器・潜熱回収型給湯器           | 熱効率             | 0.83    | 0.91          | 0.92           | 0.91           | 6.8%          | 3.9%          | 3.7%           | 2.4%           |         |
|                  |                    | ガス                         | ガス給湯器・潜熱回収型給湯器           | 熱効率             | 0.82    | 0.90          | 0.92           | 0.90           | 80.0%         | 45.8%         | 43.9%          | 27.7%          |         |
|                  | 厨房                 | 熱                          | 燃料電池コジェネレーションシステム        |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 9.7%          | 9.7%           | 9.7%           |         |
|                  |                    | 太陽熱                        | 太陽熱温水器                   |                 |         |               |                |                | 0.5%          | 10.8%         | 14.7%          | 18.2%          |         |
|                  |                    | 電力                         | 電気温水器・ヒートポンプ給湯器          | COP             | 1.12    | 2.35          | 3.47           | 3.47           | 12.7%         | 29.8%         | 28.0%          | 42.0%          |         |
|                  |                    | 石油                         | LPG用コンロ                  | 2010年=1         | 1.00    | 1.04          | 1.04           | 1.04           | 2.6%          | 2.3%          | 2.3%           | 1.8%           |         |
|                  |                    | ガス                         | 都市ガス用コンロ                 | 2010年=1         | 1.00    | 1.04          | 1.04           | 1.04           | 77.9%         | 69.2%         | 69.2%          | 55.4%          |         |
|                  |                    | 電力                         | 電気調理器・IH調理器              | 2010年=1         | 1.05    | 1.12          | 1.12           | 1.24           | 19.6%         | 28.5%         | 28.5%          | 42.8%          |         |
|                  |                    | 照明                         | 照明                       | 2010年=1         | 1.00    | 2.51          | 2.51           | 2.51           | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         | 100.0%         |         |
|                  |                    | その他家電                      | その他家電                    | 2010年=1         | 1.00    | 1.25          | 1.42           | 1.50           | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         | 100.0%         |         |
|                  |                    | HEMS、住宅の断熱                 | エネルギーサービス需要原単位の変換率       |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
|                  |                    | 冷房                         |                          |                 |         |               |                |                | 107.0%        | 102.6%        | 102.1%         |                |         |
|                  | 暖房                 |                            |                          |                 |         |               |                | 75.0%          | 70.5%         | 69.5%         |                |                |         |
| 照明               |                    |                            |                          |                 |         |               | 97.8%          | 93.5%          | 92.9%         |               |                |                |         |
| その他家電            |                    |                            |                          |                 |         |               | 97.8%          | 93.5%          | 92.9%         |               |                |                |         |
| 太陽光発電            | 自家消費量(GJ)          |                            |                          |                 |         |               |                | 16,020         | 281,880       | 281,880       | 583,200        |                |         |
| コジェネレーションによる発電   | 発電量(GJ)            |                            |                          |                 |         |               |                | 682,201        | 682,201       | 682,201       |                |                |         |
| 業務               | 冷房                 | 石油                         | 吸収式冷水水器・LPGヒートポンプ        | COP             | 1.22    | 1.30          | 1.33           | 1.49           | 1.2%          | 6.6%          | 5.5%           | 4.7%           |         |
|                  |                    | ガス                         | 吸収式冷水水器・ガスヒートポンプ         | COP             | 1.22    | 1.30          | 1.33           | 1.49           | 32.2%         | 34.6%         | 51.2%          | 43.9%          |         |
|                  | 暖房                 | 電力                         | 中央式空調システム・個別式エアコン        | COP             | 3.84    | 4.70          | 4.55           | 5.54           | 66.6%         | 58.8%         | 43.2%          | 51.5%          |         |
|                  |                    | 石油                         | 石油ボイラー・吸収式冷水水器・LPGヒートポンプ | 熱効率             | 0.80    | 0.81          | 0.85           | 0.90           | 36.7%         | 36.7%         | 21.0%          | 17.8%          |         |
|                  |                    | ガス                         | ガスボイラー・吸収式冷水水器・ガスヒートポンプ  | 熱効率             | 0.97    | 0.99          | 1.00           | 1.04           | 36.6%         | 20.8%         | 34.1%          | 29.3%          |         |
|                  |                    | バイオマス                      | バイオマスボイラー                | 熱効率             | 0.80    | 0.80          | 0.80           | 0.80           | 0.1%          | 1.0%          | 1.0%           | 2.0%           |         |
|                  | 給湯                 | 電力                         | 中央式空調システム・個別式エアコン        | COP             | 2.56    | 3.13          | 3.03           | 3.70           | 26.5%         | 41.5%         | 43.9%          | 50.8%          |         |
|                  |                    | 石炭                         | 石炭給湯器・ボイラー               | 熱効率             | 0.80    | 0.80          | 0.80           | 0.80           | 0.2%          | 0.2%          | 0.2%           | 0.2%           |         |
|                  |                    | 石油                         | 石油給湯器・ボイラー               | 熱効率             | 0.80    | 0.82          | 0.81           | 0.87           | 25.9%         | 16.3%         | 5.4%           | 2.9%           |         |
|                  |                    | ガス                         | ガス給湯器・ボイラー               | 熱効率             | 0.80    | 0.83          | 0.82           | 0.92           | 66.6%         | 42.3%         | 22.6%          | 11.8%          |         |
|                  |                    | 熱                          | 燃料電池コジェネレーションシステム        |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 21.2%         | 21.5%          | 21.5%          |         |
|                  |                    | 太陽熱                        | 太陽熱温水器                   |                 |         |               |                |                | 1.1%          | 0.5%          | 1.1%           | 2.2%           |         |
|                  | バイオマス              | 電力                         | バイオマスボイラー                | 熱効率             | 0.80    | 0.80          | 0.80           | 0.80           | 0.3%          | 1.0%          | 1.0%           | 2.0%           |         |
|                  |                    | 電力                         | 電気温水器・ヒートポンプ給湯器          | COP             | 0.90    | 1.95          | 1.19           | 2.66           | 5.8%          | 18.5%         | 48.3%          | 59.3%          |         |
|                  | 厨房                 | 石炭                         | 石炭コンロ                    | 2010年=1         | 1.00    | 1.00          | 1.00           | 1.00           | 0.1%          | 0.1%          | 0.1%           | 0.1%           |         |
|                  |                    | ガス                         | 都市ガス用コンロ                 | 2010年=1         | 1.00    | 1.03          | 1.02           | 1.03           | 91.6%         | 91.6%         | 91.6%          | 63.9%          |         |
|                  | 照明                 | 電力                         | 電気調理器・IH調理器              | 2010年=1         | 0.97    | 0.97          | 0.97           | 1.39           | 8.4%          | 8.4%          | 8.4%           | 36.0%          |         |
|                  |                    | 電力                         | 照明                       | 2010年=1         | 1.00    | 1.95          | 1.76           | 1.91           | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         | 100.0%         |         |
|                  | その他機器              | 電力                         | その他機器                    | 2010年=1         | 1.00    | 1.14          | 1.14           | 1.21           | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         | 100.0%         |         |
|                  |                    | BEMS、建物の断熱                 | エネルギーサービス需要原単位の変換率       |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
|                  |                    | 冷房・暖房                      |                          |                 |         |               |                |                |               | 86.8%         | 85.8%          | 75.8%          |         |
|                  |                    |                            | 給湯                       |                 |         |               |                |                |               | 97.2%         | 97.3%          | 95.8%          |         |
|                  |                    |                            | 照明                       |                 |         |               |                |                |               | 89.4%         | 80.2%          | 70.4%          |         |
|                  |                    |                            | その他機器                    |                 |         |               |                |                |               | 98.1%         | 98.1%          | 97.1%          |         |
|                  |                    | 太陽光発電                      | 自家消費量(GJ)                |                 |         |               |                |                |               | 11,826        | 281,880        | 281,880        | 583,200 |
|                  |                    | 風力発電                       | 自家消費量(GJ)                |                 |         |               |                |                |               | 10            | 10             | 10             | 10      |
|                  |                    | 小水力発電                      | 自家消費量(GJ)                |                 |         |               |                |                |               | 649           | 3,000          | 3,000          | 3,000   |
| バイオマス発電          |                    | 自家消費量(GJ)                  |                          |                 |         |               |                |                | 264,277       | 291,451       | 291,451        | 291,451        |         |
| コジェネレーションによる発電   |                    | 発電量(GJ)                    |                          |                 |         |               |                |                | 602,593       | 602,593       | 602,593        |                |         |
| 産業               |                    | 製造業                        |                          |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
|                  |                    | 工業炉                        | 石油・ガス                    | 工業炉             | 2010年=1 | 1.00          | 1.10           | 1.16           | 1.10          |               |                |                |         |
|                  |                    | ボイラ                        | 石油・ガス・電力                 | ボイラ             | 2010年=1 | 1.00          | 1.14           | 1.19           | 1.14          |               |                |                |         |
|                  |                    | 産業用ヒートポンプの普及率              |                          |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
|                  |                    | 食料品                        |                          |                 |         |               |                |                |               | 0.0%          | 22.4%          | 22.4%          | 22.4%   |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                |               | 0.0%          | 16.2%          | 16.2%          | 16.2%   |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                |               | 0.0%          | 5.2%           | 5.2%           | 5.2%    |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                |               | 0.0%          | 13.8%          | 13.8%          | 13.8%   |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 6.9%          | 6.9%           | 6.9%           |         |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 0.0%          | 0.0%           | 0.0%           |         |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 25.2%         | 25.2%          | 25.2%          |         |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 25.2%         | 25.2%          | 25.2%          |         |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 25.2%         | 25.2%          | 25.2%          |         |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 25.2%         | 25.2%          | 25.2%          |         |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 25.2%         | 25.2%          | 25.2%          |         |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 25.2%         | 25.2%          | 25.2%          |         |
|                  |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 16.2%         | 16.2%          | 16.2%          |         |
| 電力使用設備           | 電力                 |                            | 空調・照明・モーター・工業炉(電力)       | 2010年=1         | 1.00    | 1.08          | 1.18           | 1.50           |               |               |                |                |         |
| 農林水産業            |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
| 農業機器             | 石油                 |                            | 2010年=1                  | 1.00            | 0.84    | 0.92          | 1.52           | 100.0%         | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         |                |         |
| 建設業              |                    |                            |                          |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
| 建築機器             | 石油                 |                            | 2010年=1                  | 1.00            | 1.11    | 1.04          | 1.11           | 100.0%         | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         |                |         |
| 運用の改善、FEMS       | エネルギーサービス需要原単位の変換率 |                            |                          |                 |         |               |                | 90.5%          | 81.8%         | 73.9%         |                |                |         |
| 太陽光発電            | 自家消費量(GJ)          |                            |                          |                 |         |               |                | 140,940        | 140,940       | 291,600       |                |                |         |
| 旅客輸送             | 鉄道                 |                            |                          |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
|                  | 電力                 | 鉄道                         | 燃費(百万人km/ktce)           | 269.85          | 277.38  | 282.32        | 299.53         | 100.0%         | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         |                |         |
|                  | 石油                 | ディーゼルバス・ハイブリッドバス           | 燃費(百万人km/ktce)           | 46.46           | 52.71   | 52.80         | 55.62          | 95.0%          | 84.3%         | 84.3%         | 80.6%          |                |         |
|                  | ガス                 | CNGバス                      | 燃費(百万人km/ktce)           |                 | 53.20   | 53.32         | 55.27          | 0.0%           | 7.5%          | 7.5%          | 10.2%          |                |         |
|                  | バイオマス              | ディーゼルバス・ハイブリッドバス[バイオ燃料]    | 燃費(百万人km/ktce)           | 46.46           | 52.71   | 52.80         | 55.62          | 5.0%           | 6.0%          | 6.0%          | 6.0%           |                |         |
|                  | 電力                 | 電気バス                       | 燃費(百万人km/ktce)           |                 | 280.47  | 252.35        | 290.42         | 0.0%           | 2.2%          | 2.2%          | 3.3%           |                |         |
|                  | 乗用車                | 石油                         | ガソリン車・ハイブリッド車            | 燃費(百万人km/ktce)  | 16.76   | 19.93         | 20.32          | 21.42          | 100.0%        | 77.8%         | 77.2%          | 73.1%          |         |
|                  |                    | 水素                         | 燃料電池車                    | 燃費(百万人km/ktce)  |         | 41.55         | 38.39          | 42.69          | 0.0%          | 1.4%          | 2.0%           | 2.0%           |         |
|                  | バイオマス              | ガソリン車・ハイブリッド車[バイオ燃料]       | 燃費(百万人km/ktce)           |                 | 19.93   | 20.32         | 21.42          | 0.0%           | 0.3%          | 0.3%          | 0.3%           |                |         |
|                  |                    | 電力                         | 電気自動車                    | 燃費(百万人km/ktce)  | 117.50  | 115.78        | 120.62         | 0.0%           | 20.6%         | 20.6%         | 24.7%          |                |         |
|                  | バイク                | 石油                         | バイク                      | 燃費(百万人km/ktce)  | 16.76   | 19.93         | 20.32          | 21.42          | 100.0%        | 100.0%        | 100.0%         | 100.0%         |         |
|                  | モーダルシフト            | 市内の交通                      | 自動車からの転換率                |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
|                  |                    |                            | 鉄道へ                      |                 |         |               |                |                |               | 8.0%          | 10.0%          | 25.0%          |         |
|                  |                    | バスへ                        |                          |                 |         |               |                |                |               | 12.0%         | 15.0%          | 35.0%          |         |
|                  |                    |                            | 自転車へ                     |                 |         |               |                |                |               | 4.0%          | 5.0%           | 10.0%          |         |
|                  | 市外への交通             | 自動車からの転換率                  |                          |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
|                  | 鉄道へ                |                            |                          |                 |         |               |                |                | 16.0%         | 20.0%         | 50.0%          |                |         |
| 市外への移動から市内移動への転換 | 転換率                |                            |                          |                 |         |               |                | 0.0%           | 5.0%          | 10.0%         |                |                |         |
| 貨物輸送             | 小型貨物車              |                            |                          |                 |         |               |                |                |               |               |                |                |         |
|                  | 石油                 | ガソリンディーゼル/ハイブリッド貨物車        | 燃費(百万トンkm/ktce)          | 4.02            | 4.54    | 4.53          | 4.72           | 100.0%         | 87.7%         | 85.9%         | 81.2%          |                |         |
|                  | ガス                 | 天然ガス貨物車                    | 燃費(百万トンkm/ktce)          |                 | 4.60    | 4.61          | 4.78           | 0.0%           | 5.7%          | 5.7%          | 7.7%           |                |         |
|                  | 水素                 | 燃料電池貨物車                    | 燃費(百万トンkm/ktce)          |                 | 8.21    | 7.76          | 8.50           | 0.0%           | 0.2%          | 0.2%          | 0.7%           |                |         |
|                  | バイオマス              | ガソリンディーゼル/ハイブリッド貨物車[バイオ燃料] | 燃費(百万トンkm/ktce)          |                 | 4.54    | 4.53          | 4.72           | 0.0%           | 0.3%          | 0.3%          | 0.3%           |                |         |
|                  | 電力                 | 電気貨物車                      | 燃費(百万トンkm/ktce)          |                 | 25.00   | 22.48         | 25.94          | 0.0%           | 6.2%          | 8.0%          | 10.3%          |                |         |
|                  | 普通貨物車              | 石油                         | ディーゼル貨物車・ハイブリッド貨物車       | 燃費(百万トンkm/ktce) | 20.77   | 23.46         | 23.51          | 24.76          | 100.0%        | 89.6%         | 89.6%          | 84.7%          |         |
|                  |                    | ガス                         | 天然ガス貨物車                  | 燃費(百万トンkm/ktce) |         | 23.79         | 23.84          | 24.73          | 0.0%          | 7.7%          | 7.7%           | 10.9%          |         |
|                  | 水素                 | 燃料電池貨物車                    | 燃費(百万トンkm/ktce)          |                 | 42.43   | 40.14         | 43.97          | 0.0%           | 0.2%          | 0.2%          | 0.9%           |                |         |
|                  | バイオマス              | ディーゼル貨物車・ハイブリッド貨物車[バイオ燃料]  | 燃費(百万トンkm/ktce)          |                 | 23.46   | 23.51         | 24.76          | 0.0%           | 0.3%          | 0.3%          | 0.3%           |                |         |
|                  | 電力                 | 電気貨物車                      | 燃費(百万トンkm/ktce)          |                 | 125.36  | 112.79        | 129.81         | 0.0%           | 2.2%          | 2.2%          | 3.3%           |                |         |
|                  | 貨物鉄道               | 石油                         | ディーゼル機関車                 | 燃費(百万トンkm/ktce) | 27.61   | 28.36         | 28.86          | 30.62          | 29.2%         | 29.2%         | 29.2%          | 29.2%          |         |
|                  |                    | 電力                         | 電気機関車                    | 燃費(百万トンkm/ktce) | 27.61   | 28.36         | 28.86          | 30.62          | 70.8%         | 70.8%         | 70.8%          | 70.8%          |         |
|                  | 効率化による輸送距離の削減      | 輸送距離の削減率                   |                          |                 |         |               |                |                | 0.0%          | 5.0%          | 10.0%          |                |         |

#### (4) 推計結果

##### a) 社会経済指標

主要な社会経済指標の推計結果を表-4に示す。2010年から2030年に掛けて人口は減少するものの、世帯規模の縮小により世帯数は2010年の68万世帯から1%増加し69万世帯となる。産業別のGDP、生産額に関しては第三次産業の成長率が最も大きく、年平均成長率は1.2%/年となった。2030年の業務用建物床面積は2010年から3%増加の2,618万㎡となる。輸送需要量については、低炭素対策の影響を受けるためシナリオによって異なる結果となっている。人口減少と高齢化によりトリップ数が減り、旅客輸送需要量は10%～15%減少する。一方、貨物輸送需要量は産業の成長に伴い9%～21%の増加となった。

表-4 主要な社会経済指標の推計結果

|                  | 2010年  | 2030年  | 2030年<br>/2010年 | 年平均<br>変化率 |
|------------------|--------|--------|-----------------|------------|
| 人口(千人)           | 1,474  | 1,382  | 0.94            | -0.3%      |
| 世帯数(千世帯)         | 682    | 691    | 1.01            | 0.1%       |
| 1人当たりGDP(千円/人)   | 3,865  | 5,250  | 1.36            | 1.5%       |
| GDP(十億円)         | 5,698  | 7,257  | 1.27            | 1.2%       |
| 生産額(十億円)         | 9,703  | 12,299 | 1.27            | 1.2%       |
| 第一次産業            | 19     | 21     | 1.08            | 0.4%       |
| 第二次産業            | 2,649  | 3,277  | 1.24            | 1.1%       |
| 第三次産業            | 7,034  | 9,001  | 1.28            | 1.2%       |
| 業務用建物床面積(千㎡)     | 25,322 | 26,176 | 1.03            | 0.2%       |
| 旅客輸送需要量(百万人・km)  |        |        |                 |            |
| 現状取組             | 17,639 | 15,954 | 0.90            | -0.5%      |
| 国想定取組            |        | 15,473 | 0.88            | -0.7%      |
| 最大限取組            |        | 14,992 | 0.85            | -0.8%      |
| 貨物輸送需要量(百万トン・km) |        |        |                 |            |
| 現状取組             | 2,584  | 3,115  | 1.21            | 0.9%       |
| 国想定取組            |        | 2,961  | 1.15            | 0.7%       |
| 最大限取組            |        | 2,808  | 1.09            | 0.4%       |

##### b) エネルギー消費量

最終エネルギー消費量の推計結果を図-3に示す。最終エネルギー消費量は、2020年には2010年比で9%～17%減少、2030年には19～36%減少するという結果になった。特に最大限取組シナリオでは他のシナリオに比べてエネルギー源の電力への転換が進み、石油及び天然ガスの消費量の減少が著しく、石油消費量は2010年から2030年に掛けて半減するという結果になった。

##### c) GHG排出量

2020年のGHG排出量の推計結果を図-4に示す。2020年にGHG排出量が1990年に比べて削減目標である25%以上に

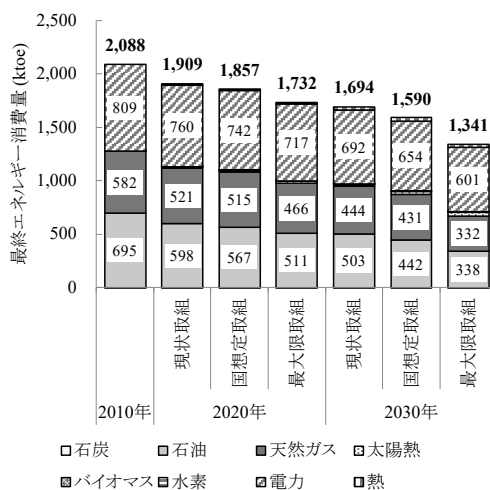


図-3 最終エネルギー消費量の推計結果

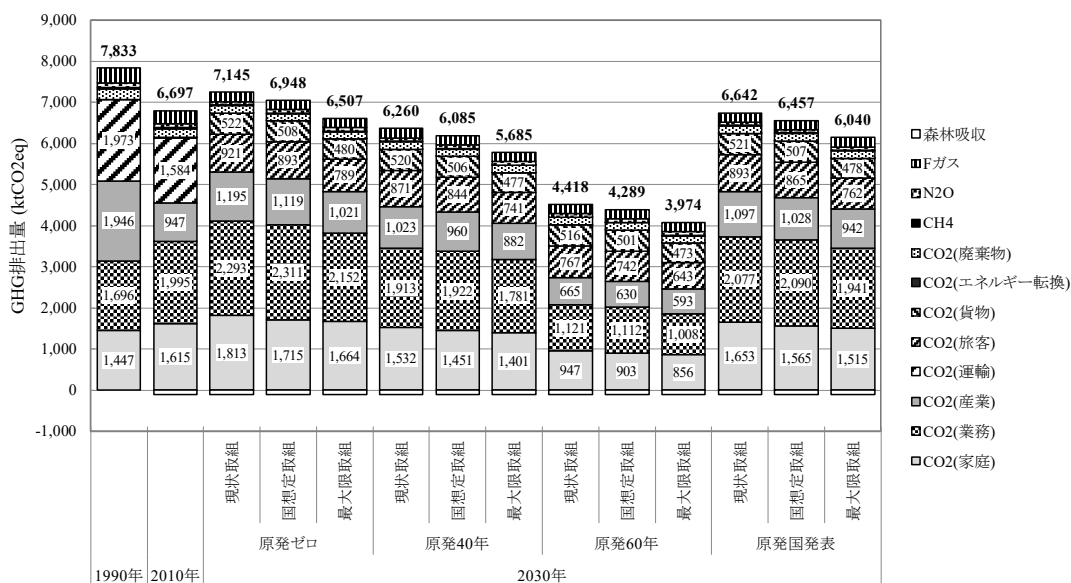


図-4 2020年のGHG排出量の推計結果

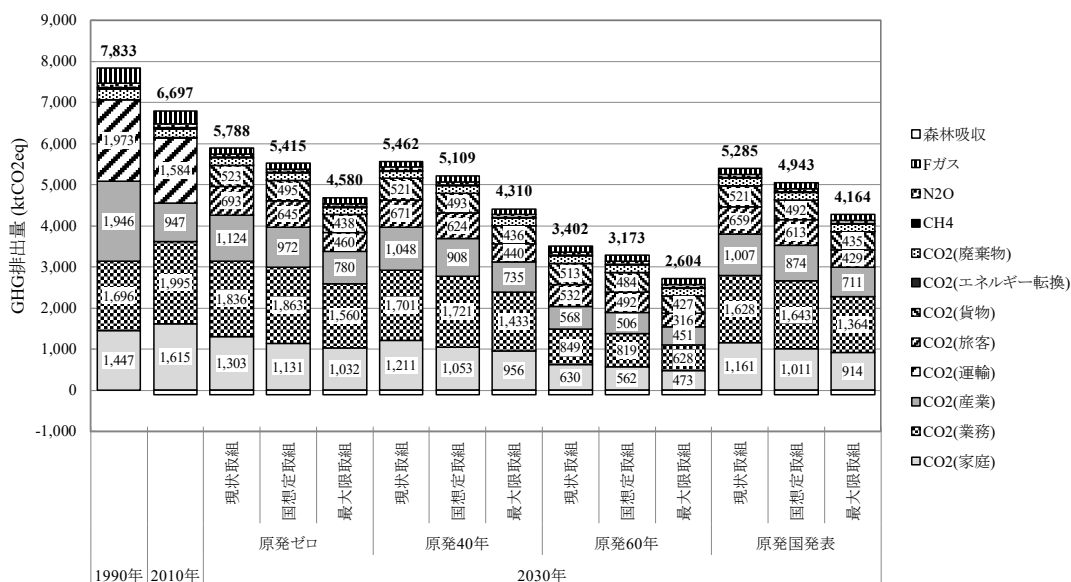


図-5 2030年のGHG排出量の推計結果

の削減となるシナリオは，“原発40年廃炉・最大限取組”，“原発60年廃炉・現状取組”，“原発60年廃炉・国想定取組”，“原発60年廃炉・最大限取組”の4つのシナリオという結果になった。次に，2030年のGHG排出量の推計結果を図-5に示す。2020年目標を満たす4つのシナリオに“原発ゼロ・最大限取組”と“原発国発表・最大限”を加えた6つのシナリオで，2030年のGHG排出量が1990年比40%以上の削減となった。表-5に示す通り，2020年と2030年の両方の削減目標を達成し得るのは“原発40年廃炉・最大限取組”，“原発60年廃炉・現状取組”，“原発60年廃炉・国想定取組”，“原発60年廃炉・最大限取組”の4つのシナリオであることが示された。

1990年以降のGHG排出量の実績値と2030年の削減目標の達成が可能な6つのシナリオのGHG排出量の推移を図-6に示す。系統電力の排出原単位を2013年値に固定した場合の排出量の推移も併記した。“原発ゼロ・最大限取組”では，2020年までの排出削減は緩やかで2020年の排出量は2010年よりも多くなっているが，その後削減が進み，2030年には40%目標に到達する。一方，“原発60年廃炉”の3つのシナリオでは，2020年までに排出量が大幅に減少し，2020年時点で1990年比40%以上の削減となる。“原発40年廃炉・最大限取組”でも，2020年には1990年比27.0%の削減，2030年には44.7%の削減となり，2020年及び2030年の両目標が達成可能となった。なお，2013年時点の系統電力の排出原単位で固定した場合には，原発ゼロ・最大限取組シナリオよりも高い排出量で推移する。

表-5 各シナリオにおける削減目標の実現可能性

|       | 原発ゼロ | 原発40年<br>廃炉 | 原発60年<br>廃炉 | 原発国発表 |
|-------|------|-------------|-------------|-------|
| 現状取組  | ×    | ×           | ○           | ×     |
| 国想定取組 | ×    | ×           | ○           | ×     |
| 最大限取組 | △    | ○           | ○           | △     |

○: 2020年目標、2030年目標共に達成 △: 2030年目標のみ達成  
×: 2020年目標、2030年目標共に未達成

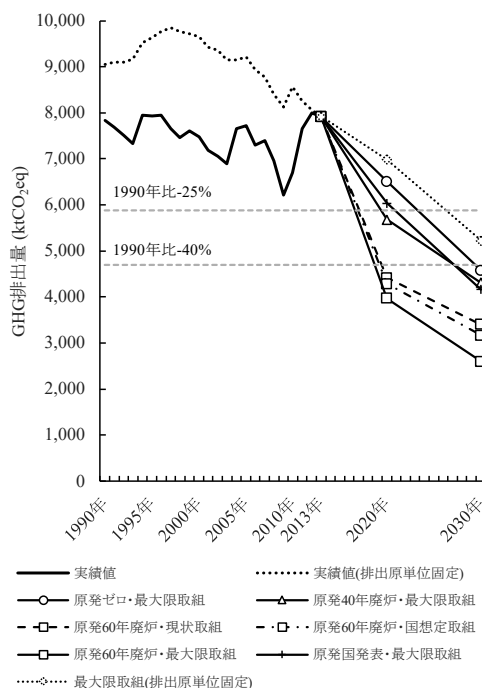


図-6 GHG排出量の推移

### 3. 地球温暖化対策計画の進捗分析

#### (1) 進捗指標の設定

削減目標を達成し得る低炭素社会シナリオに対して既存の計画の進捗が十分か否かを評価し、十分でない場合にどこを強化すべきかを検討するために、計画の進捗指標を設定する。CO<sub>2</sub>排出量 $C$ を式(5)のように活動量 $A$ 、活動量 $A$ 当たりエネルギー消費量 $E$ （以下、エネルギー集約度 $EI$ ）、エネルギー消費量 $E$ 当たりCO<sub>2</sub>排出量 $C$ （以下、CO<sub>2</sub>排出原単位 $CI$ ）の3つの要素に分解する。

$$C = A \times \frac{E}{A} \times \frac{C}{E} = A \times EI \times CI \quad (5)$$

$C$ : CO<sub>2</sub>排出量

$A$ : 活動量

$E$ : 最終エネルギー消費量

$EI$ : エネルギー集約度

$CI$ : CO<sub>2</sub>排出原単位

3つの要素のうち、活動量については温暖化対策の範囲外、あるいは寄与が限定的と考えられるため、エネルギー集約度 $EI$ とCO<sub>2</sub>排出原単位 $CI$ を計画の進捗指標とする。エネルギー集約度は機器のエネルギー効率の改善や建築物の断熱性能の向上などの対策の進捗を測る指標となる。一方、CO<sub>2</sub>排出原単位により、石油から天然ガスへの燃料転換や再生可能エネルギーの利用などの対策が十分であるかどうかを評価することができる。但しCO<sub>2</sub>排出原単位において、系統電力の排出原単位には都市の政策の影響が与え得る影響は小さいと考えられるため、式(6)により、系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位 $CI'$ を用いる。

$$CI' = \frac{C - C_{cp}}{E - E_{cp}} \quad (6)$$

$CI'$ : 系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位

$C_{cp}$ : 系統電力の消費によるCO<sub>2</sub>排出量

$E_{cp}$ : 系統電力の消費量

#### (2) 京都市への適用

京都市の地球温暖化対策計画の計画期間は2011年度から2020年度であり、2015年3月時点で2013年度までのGHG排出量が報告されている。エネルギー集約度 $EI$ 及び系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位 $CI'$ の2010年度から2013年度までの実績値と2030年の推計値を図-7に示す。2030年値に関しては、2030年の削減目標を達成可能と推計された“最大限取組”シナリオを用いた。全体的には

エネルギー集約度の改善はシナリオよりも早いペースで進んでおり、系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位は2010年以降ほとんど変化していない。

家庭部門及び業務部門の進捗指標の推移をそれぞれ図-8、図-9に示す。両部門において、エネルギー集約度の実績値はシナリオとほぼ同様の变化率で推移しており、家電・機器の更新によるエネルギー効率の改善や住宅・建築物の断熱性能の向上によるエネルギー需要の低減、

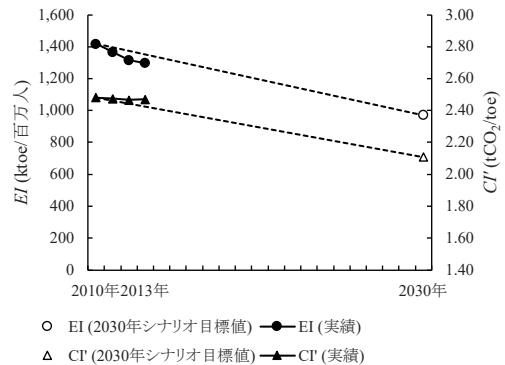


図-7 進捗指標の推移（全体）

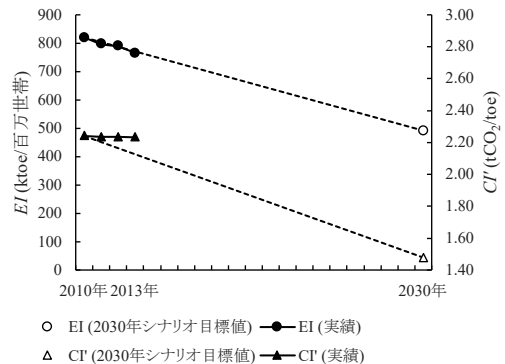


図-8 進捗指標の推移（家庭部門）

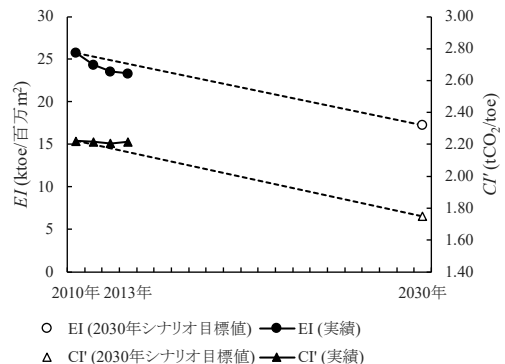


図-9 進捗指標の推移（業務部門）

省エネ行動の推進といった対策が順調に進んでいるといえる。一方、系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位の実績値は両部門ともに2010年からほぼ一定の値となっており、住宅や建築物への太陽光発電の導入や太陽熱温水器の利用などの対策の進捗はシナリオの想定に比べて不十分と考えられる。

図-10に産業部門の進捗指標の推移を示す。エネルギー集約度は2012年から2013年に掛けて増加しているものの、2010年以降、通しでみるとシナリオよりも早いペースで改善している。系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位についてもシナリオに沿って実績値が推移しており、石油から天然ガスへの燃料転換などが進んでいるとみられる。

旅客輸送部門における進捗指標の推移を図-11に示す。エネルギー集約度の改善と系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位については、実績値が共にシナリオと同様の推移を示しており、エコカーへの転換や公共交通機関の利用といった施策がシナリオの想定通りに進んでいると評価できる。

貨物輸送部門における進捗指標の推移を図-12に示す。エネルギー集約度の実績値は2012年まで大幅に減少した後、2013年に増加しシナリオと同程度の値になっている。系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位の実績値はシナリオよりもやや大きい値を示しており、天然ガス自動車など排出原単位の小さい燃料への転換がシナリオに比べて少し遅れていると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究では、2011年の東日本大震災以降の原子力発電等の動向の不確実性を考慮し、複数のシナリオにおける京都市の2020年及び2030年のGHG排出量を推計し、同市の削減目標を達成し得る低炭素社会シナリオを同定した。そして削減目標の達成に向けた進捗を測る指標を設定し、シナリオと現行の地球温暖化対策計画とを比較することにより、既存計画の進捗を評価した。

- 1) “原発ゼロ・最大限取組”，“原発40年廃炉・最大限取組”，“原発60年廃炉・現状取組”，“原発60年廃炉・国想定取組”，“原発60年廃炉・最大限取組”，“原発国発表・最大限取組”の6つのシナリオにおいて、2030年のGHG排出量が削減目標である1990年比40%以上の削減となった。
- 2) さらに，“原発40年廃炉・最大限取組”，“原発60年廃炉・現状取組”，“原発60年廃炉・国想定取組”，“原発60年廃炉・最大限取組”の4つのシナリオでは、2020年のGHG排出量が1990年比25%以上の削減となり、両年の削減目標を達成可能であるという結果が得られた。原子力発電所を40年で廃炉に

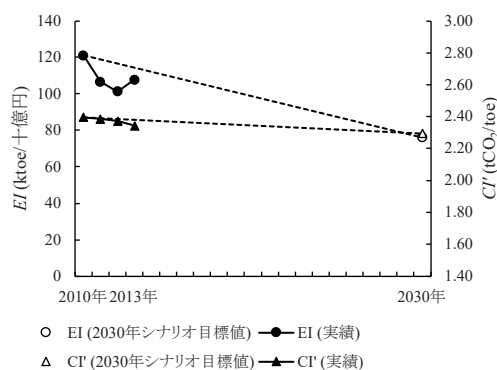


図-10 進捗指標の推移（産業部門）

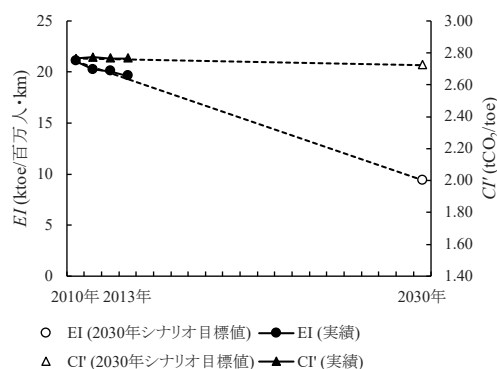


図-11 進捗指標の推移（旅客輸送部門）

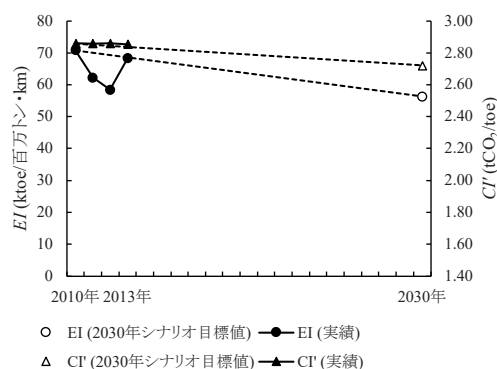


図-12 進捗指標の推移（貨物輸送部門）

して依存を減らしていくシナリオであっても、再生可能エネルギーによる発電設備の導入が加速し、最大限の対策・施策が実施されれば2020年と2030年の両方の削減目標を達成し得ることが示された。

- 3) 京都市の地球温暖化対策計画の2013年度までの進捗をエネルギー集約度及び系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位の2つの指標により評価したところ、産業部

門では両指標ともにシナリオを上回る変化率で削減が進んでいる。一方、家庭部門及び業務部門の系統電力を除いたCO<sub>2</sub>排出原単位の改善がシナリオに対して全く進んでおらず、削減目標の達成に向けて、住宅や建築物への太陽光発電設備や太陽熱温水器の導入など再生可能エネルギーの利用を促進する施策の強化が必要と考えられる。また、貨物輸送部門のエネルギー集約度がシナリオに比べて若干大きい値を示しており、天然ガス自動車などのエコカーの普及を促進する施策が求められる。

**謝辞：**本研究にあたり、京都市環境政策局地球温暖化対策室、滋賀県琵琶湖環境科学研究センターの内藤正明先生、NPO法人気候ネットワークの田浦健朗様、NPO法人木野環境の宇高史昭様、NPO法人循環共生社会システム研究所の岩川貴志様、京のアジェンダ21フォーラムの井上和彦様にご協力をいただいた。ここに記し感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change - Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014.
- 2) Greater London Authority: The London Plan, 2015.
- 3) Brown, E. G., Jr., Rodriquez, M., Nichols, M. D. and Corey, R. W.: First Update to the Climate Change Scoping Plan, 2014.
- 4) 京都市: 京都市地球温暖化対策計画<2011～2020>, 2011.
- 5) 経済産業省: 長期エネルギー需給見通し, 2015.
- 6) Gomi, K., Shimada, K. and Matsuoka, Y.: A low-carbon scenario creation method for a local-scale economy and its application in Kyoto city, Energy Policy, Vol.38, No.9, pp.4783-4796, 2010.
- 7) 国立社会保障・人口問題研究所: 日本の地域別将来推計人口, 2013.
- 8) 内閣府: 中長期の経済財政に関する試算, 2014.
- 9) 厚生労働省: 平成 26 年財政検証結果レポート, 2014.
- 10) 国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム: 対策導入量等の根拠資料, 2012.
- 11) 京都市: 京都市エネルギー政策推進のための戦略, 2013.
- 12) 京都市: 京都市「緑の分権改革」推進事業 クリーンエネルギー活用可能量等調査報告書, 2011.
- 13) 五味馨, 島田幸司, 松岡譲: 地方自治体における統合環境負荷推計ツール開発と滋賀県への適用, 環境システム研究, Vol.35, pp.255-264, 2007.
- 14) 五味馨, 仲座方伯, 松岡譲: 地域経済の開放性を考慮した低炭素社会シナリオ構築手法の開発と京都市への適用, 環境システム研究, Vol.36, pp.1-9, 2008.

(2016.8.26 受付)

## QUANTITATIVE ANALYSIS OF PATHWAY AND PROGRESS TOWARD THE REDUCTION TARGETS OF GREENHOUSE GASES EMISSION IN KYOTO CITY

Yuki OCHI and Yuzuru MATSUOKA

In 2011, Kyoto City developed Kyoto City Program of Global Warming Countermeasure and set reduction targets of its GHG emission for 2020 and 2030. However, the Great East Japan Earthquake has changed preconditions of the program. In this study, we considered how to achieve the reduction targets of Kyoto City by estimating GHG emissions in several scenarios where energy mix and degree of low carbon measures are different. That is to say, we set indicators to evaluate progress of the program and analyzed feasibility of the targets. As a result, it is indicated that reduction targets for both 2020 and 2030 are achievable by full implementation of possible measures even in a scenario in which nuclear power plants are gradually decommissioned. Besides, it is significant to enhance measures to promote introduction of photovoltaic power systems and solar water heaters for the sake of realization of the scenario.