

日本での節水による CO₂削減ポテンシャル

清水 康利

yasutoshi.shimizu@jp.toto.com

明治大学新給排水システム研究所客員研究員 (TOTO)

概要

家庭の水まわり住宅設備の使用時の CO₂排出は、日本の CO₂排出の 5%を占めるにも関わらず、これまで、削減シナリオ等が提示されて来なかった。一方、当該分野では、節水機器の開発が進んでいる。そこで、節水型社会を形成していくことでの CO₂削減の可能性を検討した。検討では、機器の各年度の出荷と、市場残存期間とから市場にある機器の平均性能を求め、機器普及率、機器使用のライフスタイルモデル等とあわせて水消費量の推移を推定した。さらに、水の CO₂排出係数を乗じることで、水まわり住宅設備由来の CO₂排出の推移を予測した。その結果、水まわり住宅設備由来 CO₂排出は、2020 年には、90 年比 25%削減、日本の総排出の 1%が削減可能との予測結果が得られた。CO₂削減への寄与は、機器の環境性能向上分が 73%、水・エネルギーの排出係数改善分が 25%、人口減少分が 2%と見積もられた。

キーワード

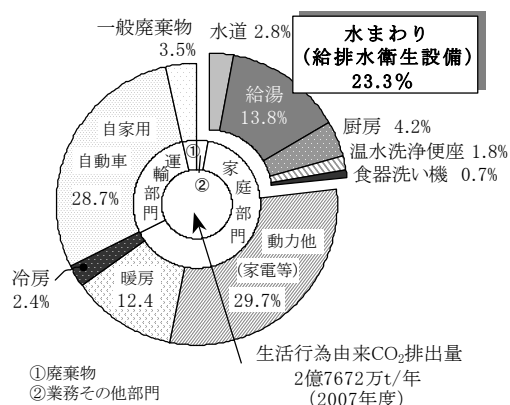
節水、温暖化対策、CO₂、予測手法

1. 緒言

環境省では、CO₂排出源を産業部門、運輸部門、業務その他部門等の「企業・公共部門関連」と家庭部門等の「家計関連」とに層別してCO₂の排出量管理をしている。家庭での電力使用に伴うCO₂排出は使用端計上とすることで家計関連に分類され、省エネ家電機器採用の環境貢献効果がCO₂削減量として試算、見える化できるようになっているが、生活行為での水使用に伴うCO₂排出分は、使用端計上ではなく、造水、水処理工程での発生として業務その他部門に一括計上されているため、家庭での節水の努力によるCO₂削減寄与は、家計関連の枠外となっている。国民運動として、CO₂削減を推進するには、削減寄与の見える化が必須となる。そこで、家庭での水消費に伴うCO₂排出も家計関連に組み込み、「生

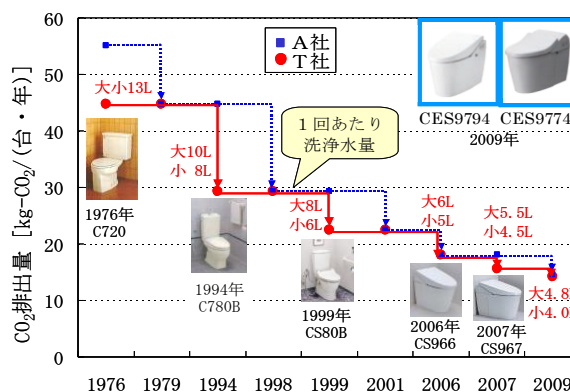
活行為由来」と表現し、再整理した。図1に示す。生活行為由来では、家電、自動車に次いで、水まわり住宅設備機器由来排出が多くを占め、その量は、日本の総排出の5%にも上ることがわかった。

家電機器では、省エネ法のトップランナー方式により機器の省エネ性能向上が義務づけられ、業界全体として省エネ性能は年々向上をみている。水まわり住宅設備機器では、法律等による誘導はないものの、機器開発企業の環境性能向上努力により、業界全体で環境性能向上指向が共有化され、自助努力が進んでおり、今後も継続向上が期待できる。便器での節水性能向上の変遷を図2に示す。環境性能の高い機器の普及効果については、省エネ家電、高効率給湯機の普及や住宅断熱性能向上によるCO₂削減量予測事例はあるが⁴⁾、水まわりにおける、中でもエネルギー消費側機器の考察については、給湯使用行為頻度、機器効率向上による変化予測はなされているものの⁵⁾、各機器の性能、使用モデルを設定した詳細分析は行われていない。そこで、本研究では、水まわり住宅設備機器の環境性能予測に基づいた積み上げ試算を実施し、機器普及による日本のCO₂排出総量への削減寄与を予測した。



注 2007年度温室効果ガス排出量（環境省）を元に作成。「家庭からのCO₂排出量」の「動力他」のうち、「家庭における機器毎の電気使用量（2005年想定値）」記載の温水洗浄便座、食器洗い機の割合を給排水衛生設備として計上。

図1 生活行為由来 CO₂ 排出割合 1)-3)



注 日本衛生設備機器工業会 HP (2010.2) を元に作成。
(<http://www.sanitary-net.com/trend/transition.htm>)

図2 便器洗浄水使用量の推移

2. 予測手法

水まわり住宅設備機器由来 CO₂ 排出のこれまでの推移と、今後の予測に関する試算方法を式（1）に示す。

n 年度の日本全体での水まわり住宅設備機器由来 CO₂ 排出量

$$= \Sigma (k_n \times PP_n \times Um) \times Po_n \times Cf \times 365 \text{ 日} \quad \dots (1)$$

k_n : n 年における電力・水・給湯エネルギーの CO₂ 排出係数

PP_n : n 年における市場商品群の環境性能平均値
(1 回使用あたりのエネルギー・水消費量)

Um : 機器使用モデル
(1 人 1 日あたりの製品使用回数)

Po_n : n 年における人口

Cf : 国立環境研究所報告値 (CO₂ 排出総量) からの補正係数

2.1 CO₂ 排出係数

電力排出係数は、電気事業連合会公表の発電端係数の実績値および日本経済団体連合会による予測値を使用した。水の排出係数は、上水造水、下水処理でのエネルギー消費由来の排出係数として、環境省公開値⁶⁾を使用した。給湯エネルギーは、家庭給湯用のエネルギー構成比の推移既報値⁷⁾に基づき、将来構成比推移を予測し、エネルギー源別 CO₂ 排出量原単位 (表 1) を乗じて給湯時 CO₂ 排出係数として算出した。なお、給湯用電力については、前述の電力排出係数実績値および予測値を使用した。

表 1 エネルギー源別 CO₂ 排出量原単位

エネルギー源	発熱量	CO ₂ 排出量原単位
原油	38.2 MJ/L	69.0 g-CO ₂ /MJ
ガソリン	34.6 MJ/L	68.8 g-CO ₂ /MJ
灯油	36.7 MJ/L	68.5 g-CO ₂ /MJ
軽油	38.2 MJ/L	69.2 g-CO ₂ /MJ
A 重油	39.1 MJ/L	71.6 g-CO ₂ /MJ
C 重油	41.7 MJ/L	71.6 g-CO ₂ /MJ
液化石油ガス (LPG)	50.2 MJ/kg	58.6 g-CO ₂ /MJ
都市ガス (天然ガス)	41.1 MJ/m ³	51.3 g-CO ₂ /MJ

注 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：
エネルギー源別 CO₂ 排出量原単位, (2010.2)
<http://www.nedo.go.jp/nedata/17fy/14/e/0014e001.html>

表2 評価対象と機器使用モデル

	評価対象	使用モデル ⁹⁾
共通	—	使用人数：4人（男2人，女2人） 年間使用日数：365日 湯の昇温条件：15℃の水を42℃に昇温
トイレ	便器 温水洗浄便座 手洗器用水栓金具	使用回数：大1回/(人・日)，小3回/(人・日) おしり洗浄回数：1回/(人・日) ビデ洗浄回数（女性のみ）：4回/(人・日) 手洗い回数：4回/(人・日)
浴室	浴槽 シャワー金具 照明	入浴回数：1回/(人・日) シャワー回数：1回/(人・日) 追いだし回数：1回/(世帯・日) 湯量：浴槽満水容量の80% 照明使用時間：2.0時間/(世帯・日)
キッチン	キッチン用水栓金具 食器洗い乾燥機 ガスコンロ 換気扇 照明	食器手洗い ^{†1)} ：71L/回，2回/(世帯・日) 換気扇使用時間 ^{†2)} ：6.6時間/(世帯・日) ガスコンロ ^{†3)} ：大口4.8kw、小口2.69kw の場合10,313kJ/(世帯・日) 照明使用時間 ^{†4)} ：4.37時間/(世帯・日)
洗面	洗面所用水栓金具 曇り止め（化粧鏡） 照明	使用回数：1回/(人・日) 水栓使用時間：2ハンドル：1分30秒/回 シングルレバー：1分05秒/回 曇り止め使用時間：20分/回 照明使用時間：20分/回

注^{†1)} 日本電機工業会（JEMA）自主基準による

^{†2)} JIS C9921-2「換気扇の設計上の標準使用期間を設定するための標準使用条件」による

^{†3)} (財)省エネルギーセンター「食生活に伴う直接的・間接的エネルギー消費実態調査報告書」(H17年1月)による

^{†4)} (社)照明学会：「エネルギーの有効利用からみた照明」による

2.2 市場商品群の環境性能平均値

水まわり住宅設備機器の使用期間（市場残存期間）は、20年前後とされている⁷⁾。そこで、市場ストックの1/20が新品に毎年更新されていくものと仮定し、過去からの新品販売履歴、今後の発売予測に基づき、各年度の市場ストック商品群の平均環境性能を算定した。

環境性能は、トイレ、浴室、キッチン、洗面の各水まわり空間の生活行為での機器使用に伴う水、エネルギー消費量とした。各空間の評価対象商品を表2に示した。

対象商品のうち、便器の普及率は環境省「日本の廃棄物処理」の水洗化率実績値を採用し、2020年の水洗化率を95%と仮定して、2008年度以降を予測した。温水洗浄便座、食器洗い乾燥機については、内閣府景気統計部「消費動向調査年報」の実績値を採用し、自社の市場状況調査から2008年度以降を予測した。食器洗い乾燥機の1990年から2003年までの普及率については、同年報に記載が無い場合、既報値⁸⁾と2004年以降の実績値を元に予測した。他の商品は生活行為で使用が必須なことから、普及率は全年度100%とした。

毎年の市場ストック更新時には、最も環境性能の高い商品（トップランナー）と、一世代前の商品が普及化して各々採用されるとした。市場ストック更新率1/20のうち、トップランナー採用率をパラメータとし、CO₂排出総量への影響を評価した。

2.3 機器使用モデル

機器の使用回数等のモデルは、2005年に経済産業省により設立された「省エネ・防犯住宅推進委員会」で検討され⁹⁾、以降の環境ラベル（(社)産業環境管理協会：エコリーフ）基準に引き継がれている。本研究でも当該基準に準じ、表2に示した1人あたりの使用モデルを採用した。

2.4 人口・補正係数

人口推移は、国勢調査、人口推計年報および国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成18年12月推計）」に準じ、世帯数も同様に推計した。

これらの試算より、日本の水まわり住宅設備機器からのCO₂排出総量が算出される。一方、国立環境研究所では、日本の家庭からのCO₂排出量（生活行為由来）を公表しており、水まわり住宅設備機器での水、熱利用由来CO₂排出部分が抽出できる。そこで、国立環境研究所報告値と、今回試算のうち、水、熱利用由来CO₂試算部分とで差異を比較し、これを補正係数（式（1）の C_f ）として見込んだ。

3. 日本でのCO₂削減ポテンシャル

3.1 エネルギー、水のCO₂排出係数推移

トイレ、浴室等の水まわり住宅設備機器では、機器使用時のエネルギー、水消費に伴う環境負荷（CO₂）を発生させる。エネルギー、水のCO₂排出係数の推移を図3に示す。

電力のCO₂排出係数は、原子力、水力等の発電源の構成比により変化する。特に、将来に向けて太陽光、風力発電等の再生可能エネルギーの導入比率向上が国策として推進されつつあることから、今後の大きな改善が見込まれている。なお、2008年の排出係数の大幅改善は、CDMによる寄与である。

水の排出係数は、上水造水、下水処理を総合した値としては、1996年に環境省から開示された値：0.59kg-CO₂/m³のみとなっており⁶⁾、以降は上水造水分の排出係数のみ公表されている。よって、本試算では水の排出係数は一定（0.59kg-CO₂/m³）とみなした。上下水処理でのエネルギー消費は電力に依存する割合が大きいため、電力の排出係数向上に伴い、水の排出係数も低減される可能性がある。今後、上下水処理を総合した排出係数の整備が望まれる。

給湯エネルギーは、家庭給湯用のエネルギー構成比推移既報値⁷⁾に基づき、将来構成比推移を表3のごとく設定した。当予測では、ヒートポンプ式の高効率給湯機の伸長を、郡部では灯油から電力へのシフト、都市部では、LPGから電力へのシフトとして折り込んだ。太陽熱、都市ガスは変化なしと仮定した。以上より、2020年のCO₂排出係数は、1990年比で電力が18%削減、給湯エネルギーが6%削減される結果となった。

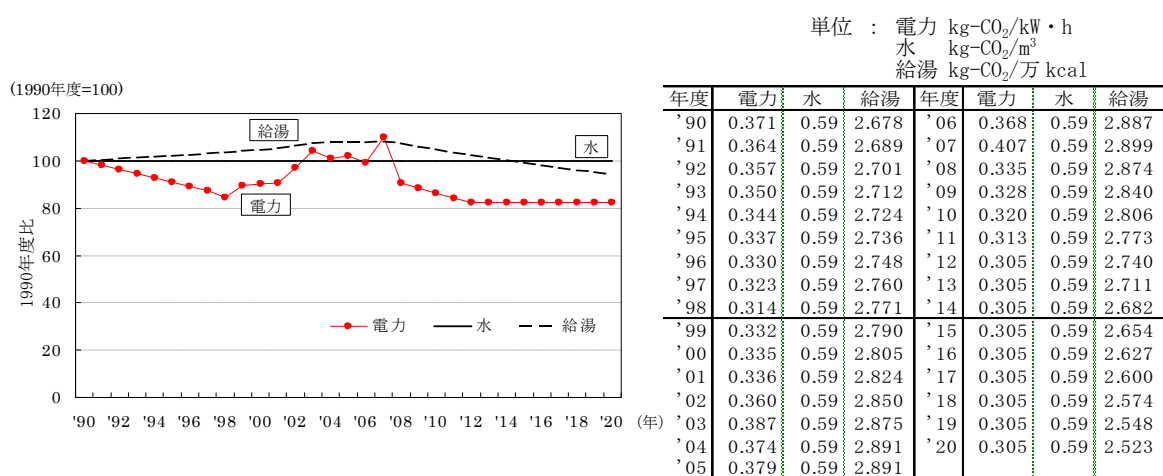


図3 エネルギー、水のCO₂排出係数推移

表3 家庭給湯用のエネルギー構成比推移 単位 [億 MJ/年]

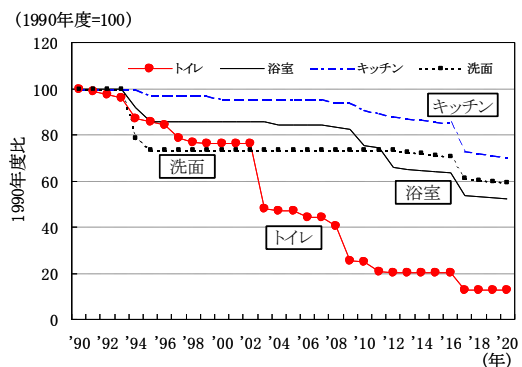
熱源	1990		2000		2004		2008		2012		2016		2020	
	絶対値	割合	絶対値	割合	絶対値	割合	絶対値	割合	絶対値	割合	絶対値	割合	絶対値	割合
太陽熱	1,004	9%	661	6%	426	4%	304	3%	285	3%	271	3%	254	3%
灯油	2,454	22%	2,862	26%	2,767	26%	2,533	25%	2,282	24%	2,081	23%	1,865	22%
LPG	3,124	28%	3,192	29%	3,405	32%	3,142	31%	2,852	30%	2,623	29%	2,373	28%
都市ガス	3,570	32%	3,633	33%	3,512	33%	3,446	34%	3,233	34%	3,076	34%	2,882	34%
電力	893	8%	661	6%	532	5%	709	7%	856	9%	995	11%	1,102	13%
計	11,045	100%	11,009	100%	10,642	100%	10,134	100%	9,508	100%	9,046	100%	8,476	100%

3.2 機器の環境性能向上と市場商品群の環境負荷推移

これまで発売された水まわり住宅設備機器の環境性能向上の推移データに基づき、2020年までに発売される機器の環境性能モデルを設定した。図4に示す。当該モデルでは、2020年までに使用時CO₂排出量を1990年比1/2（CO₂排出係数改善効果を見込んだ場合）にすることを目標として設定した。当該目標は、「チャレンジ25」国民運動等によって、市場の環境配慮機器購買指向が高まり、これを受けて業界全体に環境配慮設計が共有化されるとした。市場供給される設備機器の環境性能の順次向上により、市場ストックからのCO₂排出も軽減されていく。市場ストックの1/20が毎年更新されていくとした場合の市場ストックの環境性能平均値推移を図5に示す。当該予測では、各年度の市場ストックの更新率1/20のうち、トップランナー採用率を30%とし、残り70%は一世代前の機器が普及品化して採用されるとした。

また、今後、住宅エコポイント等の高環境性能機器への普及促進政策、米国のエネルギー

一政策法（The Energy Policy Act）のごとき，節水・省エネ機器採用義務等の施策が施行された場合の効果として，トップランナー採用率を 50%，80%とした試算も追記した。これらの結果により，2020 年のストック水まわり住宅設備の CO₂ 排出量削減性能は，90 年比の 83%程度まで改善されることがわかった。なお，評価に使用した便器，温水洗浄便座，食器洗い乾燥機の普及率推移予測を図 6 に示した。



単位[kg-CO₂/(人・年)]

年	トイレ	浴室	キッチン	洗面	合計
'90	44.5	341.5	241.4	77.5	704.8
'20	6.0	197.5	169.7	46.0	419.1

注 電力，給湯の CO₂ 排出係数改善効果は考慮していない。

図 4 新規に発売される水まわり住宅設備機器の環境性能推移予測

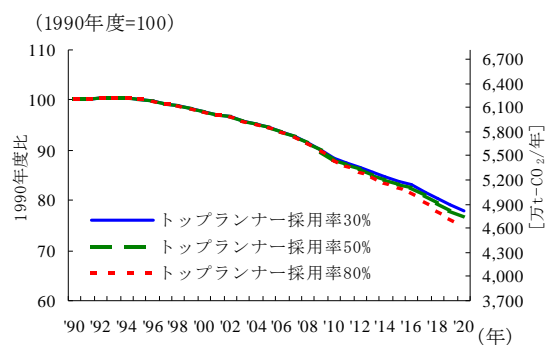


図 5 市場ストックの水まわり住宅設備機器の環境性能予測

3.3 水まわり住宅設備機器由来 CO₂ 排出の将来予測

上記の CO₂ 排出係数予測，市場ストックの水まわり住宅設備機器の環境性能予測に人口予測を考慮して，水まわり住宅設備機器由来 CO₂ 排出量推移を算出した。図 8 に示す。当試算では，国立環境研究所による 1990 年から 2007 年の水まわり住宅設備中の水，熱利用由来 CO₂ 排出量データと，本予測の同一部分との差異を補正係数として折り込んだ。本研究での試算値は，国立環境研究所報告より全年度にわたって 3 割程度大きい結果となった。

本試算値が国立環境研究所報告値より大きい要因として，機器使用モデルの実態からの乖離が想定される。本研究では，機器性能評価のための業界標準モデル（表 2）を採用したが，年間使用日数（365 日）や各機器の使用時間等，CO₂ 排出量が過剰見積もりとなる要素が考えられる。現段階でモデルの全項目を検証，改訂するのは困難であるため，本研究の試算値と国立環境研究所報告値の差異を検証した。

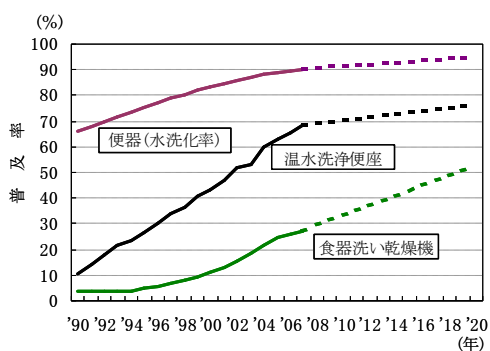


図6 便器・温水洗浄便座・食器洗い乾燥機の普及率推移予測

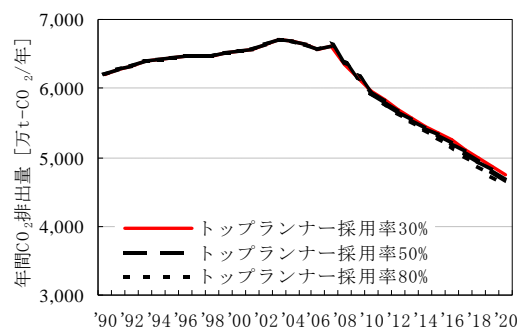


図7 水まわり住宅設備機器由来CO₂排出量の将来予測

モデルの過剰見積りの影響はCO₂排出量算出値に1次比例で影響するが、本試算値と国立環境研究所報告値との差異が各年度ではほぼ一定であったことから、この差異をモデルの過剰見積り分と仮定し、差異分を補正することで、機器の環境性能向上、機器普及率変化、電力等の排出係数改善、人口変化等を総合した、水まわり住宅設備機器由来CO₂排出量推移の概略の予測は可能と判断した。そこで、本研究の試算値と国立環境研究所報告値と整合させるべく、直近の2007年の差異値（補正係数：0.74）をもって、本研究の試算値を補正した。

予測の精度向上のためには、今後、各機器の使用時間、使用日数、年齢や世帯人数の影響等を調査し、実態に即した使用モデルを構築する必要がある。

なお、市場ストックの水まわり住宅設備機器の環境性能予測では、モデルの過剰見積り分を補正した排出量を図5に合わせて記載した。本試算では、エネルギーのCO₂排出係数改善寄与分を層別するため、1990年の排出係数に固定して表現した。

以上の結果より、市場ストックの水まわり住宅設備機器由来CO₂は、住宅設備機器供給企業の環境配慮設計の進化が継続された場合、2020年までに90年比23%削減され、より環境性能の高い機器の採用を促す仕組みが導入された場合（トップランナー採用率80%）、削減は26%まで進むことがわかった。当該削減量は1990年基準の日本の総排出量に対して、1%（トップランナー採用率30%時）と試算された。削減への寄与は、機器の環境性能向上分が73%、エネルギー、水供給時の排出係数改善分が25%、人口減少分が2%であった。我が国では、90年比CO₂排出25%削減が目標に掲げられ、家庭部門での削減が重点分野とされており、次世代自動車、断熱住宅、太陽光発電、高効率給湯機導入による将来予測はA I Mモデルとして提言されているが、水まわり住宅設備機器由来CO₂排出削減の未来像に関する研究提言はこれまでなかった。本研究により、水まわり住宅設備機器のCO₂削減寄与は大きいことが明らかとなった。水まわり住宅設備機器は、20年前後使われるものであることから、住宅新築、改修のタイミングに環境配慮機器を選定しないと、以降の20年間のCO₂排出が高止まりしてしまう。そのためにも、環境性能の高い機器が採用され

る仕組みの導入が重要で、本研究の試算でも、より環境性能の高い新商品の採用を促す仕組みがあると、CO₂削減寄与を大きく設定できる。

当予測では、住宅での太陽光発電、スマートグリッド、燃料電池等のエネルギー供給側の改善効果は、当該予測に必要なデータが公開されていないため、評価に折り込まなかった。図7のCO₂排出予測を見ても、電力の排出係数悪化が大きくなった2002年から2007年に市場ストックCO₂排出量が増加しているなど、エネルギー供給側のCO₂排出係数推移の影響も大きいことから、エネルギー供給側のロードマップが公開された段階では、予測改訂が必要となる。

4. おわりに

2020年までの市場ストック水まわり住宅設備機器由来CO₂排出のこれまでと、今後の推移を予測する手法を提案した。その結果、水のCO₂排出係数、機器使用モデルの設定が古い等により、予測精度の面では課題が残るが、水まわり住宅設備機器由来CO₂排出削減の大枠の方向性を把握することができた。現在、予測精度を向上させるべく、水のCO₂排出係数、機器使用モデルの精査研究を推進中である。

また、当該研究で、節水とCO₂削減の関係性を明確に出来たことにより、国内クレジット、二国間クレジットスキームでの節水機器普及による住宅でのCO₂削減検討も始動している。節水型社会形成による、温暖化対策寄与が、グローバルに広がることを期待する。

5. 参考文献

- 1) 清水康利，豊貞佳奈子：節水便器への改修の環境負荷削減・経済性評価，空気調和・衛生工学会論文集，No.152，pp.9-14，(2009.11)
- 2) 豊貞佳奈子，清水康利：節水・省エネ浴室への改修の環境負荷削減・経済性評価，空気調和・衛生工学会論文集，No.155，pp.29-34，(2010.2)
- 3) 清水康利，豊貞佳奈子：水まわり生活文化の創造と低炭素社会—住宅設備企業の環境貢献，月刊「省エネルギー」，Vol.62，No.1，pp.40-44，(2010.1)
- 4) 松村秀弦：都市再生と環境共生のあり方に関する調査について（家庭部門），都市再生機構調査研究期報，No.148，pp.48-53，(2009)
- 5) 伊香賀俊治ほか：住宅内のエネルギー消費量の都道府県別将来推計に関する研究（その6）住宅の省エネルギー対策によるCO₂削減量の2020年までの予測，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），pp.313-314，(2005.9)
- 6) 環境省：環境家計簿，(1996)
- 7) 日本建築設備診断機構：実践ノウハウ・建築設備の診断・リニューアル，オーム社
- 8) 角谷勝彦：家電製品の最近の動向—食器洗浄乾燥機①「大容量・節水タイプ」卓上型食器洗い乾燥機の開発，電機，pp.38-41，(2004.4)

9) 省エネ・防犯住宅推進委員会：省エネ・防犯住宅推進アプローチブック，(2006.10)

6. 著者紹介

TOTO 株式会社 ESG 推進部・次長。明治大学新給排水システム研究所客員研究員。独立行政法人建築研究所客員研究員。日本建築学会、空気調和・衛生工学会会員。工学博士。

