

研究論文

外食産業への節水機器導入のライフサイクル CO₂ 評価

板 明果・藤川 清史・任 文

Life Cycle CO₂ Emission for Water Economizing Equipment in Catering Industry

Sayaka ITA, Kiyoshi FUJIKAWA and Wen REN

Synopsis:

Objective. “Green Servicizing” is a business practice that does not sell goods as a product but sells only a function of goods while it could effectively reduce environmental burdens in taking the recycle process of goods into account. Incidentally, there are two types of water consumption in Catering Industry; water for drink or ingredient and water used for washing dishes or thawing frozen foods. For water consumed as the latter case, a service to economize water can be evaluated as an environment-friendly business practice. In other words, as long as the washing and thawing function is adequately served, the volume of water usage can be reduced and it lowers environmental damage through diminished water and sewage relating production. Pico-Ada Co. has introduced a water controller for commercial kitchens which effectively controls unnecessary flows of water. The main purpose of this paper is to evaluate life cycle CO₂ emissions of Catering Industry with and without the water economizing equipment.

Results and Discussion. Restaurants which actually install the water controller have reduced 22.6 percent of water usage in average. Because 63.2 percent of the saved water is supposed to be supplied as hot water, the water economizing equipment collaterally reduces 8 to 11 percent of water heating energy (city gas, LPG, fuel oil, etc.) usage. Considering the decrement in inputs for Catering Industry, the changes in input-output structural coefficients are transmitted across the economy and the changes in economic (production) activities affect the environment. WIO model can evaluate how much CO₂ emissions the water economizing service could reduce. When every restaurant of the Catering Industry in Japan installs the water controller, 1.1 million tons of CO₂ emission can be reduced annually with the consideration of increments of electric power to utilize water controllers. CO₂ emissions of producing the controllers are 0.58 million tons, and those of handling the waste disposal (landfilling of water controllers) are 400 tons. For 10 years durable period, the water controllers in Catering Industry can reduce CO₂ emissions by 10.0 million tons.

Conclusions. The water economizing equipment which is introduced to Catering Industry has effective impacts on environment. For the first year of the water controllers installed, Catering Industry can reduce CO₂ emissions in the amount greater than those caused by producing and disposing the water controllers.

Keywords: Catering Industry; LC-CO₂; Servicizing; Water Economizing Equipment; WIO model

板 明果／東北大学／〒 xxx-xxxx 仙台市青葉区片平 2-1-1 (素材工学棟)
藤川 清史／名古屋大学／〒 464-8601 名古屋市千種区不老町
任 文／株式会社 ピコエイダ／〒 xxx-xxxx 東京都港区海岸 2 丁目 6 番 31 号 6F
Sayaka ITA / Tohoku University / IMRAM 2-1-1 Katahira, Aoba-ku, Sendai xxx-xxxx
Kiyoshi FUJIKAWA / Nagoya University / Furo, Chikusa, Nagoya, Japan, 464-8601
Wen REN / PICO ADA Co., LTD. / 2-6-31 6F, Kaigan, Minato-ku, Tokyo xxx-xxxx

1. はじめに

「低炭素社会」への転換の第一歩は省エネの推進である¹⁾。給湯用エネルギーは有望な省エネ対象であり、家庭用には、ヒートポンプを利用した「エコキュート」や、燃料電池を利用した「エネファーム」などの設置が進みつつある¹⁾。このように、同量の水をいかに少ないエネルギーで加熱するかという重要な課題とともに、加熱される水量（水消費量そのもの）をいかに減らすか、という課題もある。水の消費量の抑制は、水資源の節約だけではなく、省エネの手段としても重要となっている。

水の消費には2つのタイプがある。「水」そのものを消費するタイプと、水のある機能を利用するために水を消費するタイプである。後者の場合、その使用量が節約できる場合がある。例えば、便器で利用される水消費は、便器の「衛生的な洗浄」という機能のための水消費であり、この洗浄機能が十分であれば、消費する水の量は問題とならない。INAXは、節水型便器の導入などで、十分な洗浄機能を維持しつつ水の使用量を削減するサービス³⁾を提供しており、これは「グリーン・サービサイジング」の一形態として知られている。

ここで、「サービサイジング」とは、「製品」を販売する代わりに、その製品の「機能」を販売するビジネスモデルである^{4,5)}。消費者の効用水準は、財の消費で決まるのではなく、自動車であれば「移動の手段」といった、その財の根源的な特性の消費で決まるとする消費理論⁶⁾もあり、サービサイジングはこうした消費理論を具現化させたビジネスモデルとみることでもできる。そもそもは、事業者間取引（B2B）であれ事業者と家計の取引（B2C）であれ、事業者の利潤最大化行動として始まったサービサイジングであるが、この機能本位型のビジネスモデルは、少ない資源やエネルギー投入で高い使用価値を提供できる⁷⁾ことが分かってきた。つまり、このモデルの導入により、製品の販売が利潤の拡大であった従来型経済構造から、製品の生産は費用とみなされ、製造・修理・廃棄の全工程をスリム化することが利潤の拡大になる新しい経済構造に転換する⁴⁾ことが期待される。経済産業省は、このようなサービサイジング事業の環境効率に着目し、特に環境負荷低減に貢献するサービサイジング事業を「グリーン・サービサイジング」と呼んでいる⁸⁾。本研究では、INAXの事例にも見られるように、水がある機能として使用され、また同時にその使用量が節約可能であるというもう一つの事例として外食産業に注目する。外食産業に導入されている株式会社ピコエイト製の節水機器を対象に、節水機器導入の節水効果やそれによるCO₂削減効果を試算する。

本稿の構成は次の通りである。まず、2節で外食産業での水の利用と節水機器に関する概要を示し、3節で外食産

業の節水機器導入にともなうCO₂排出量削減効果を推定する方法を示し、4節で事例店舗での節水効果と給湯エネルギー削減効果を示す。5節でCO₂削減効果の分析結果を示し、6節で本分析のまとめを示す。

2. 外食産業における水利用と節水可能性

外食産業にとって水の需要は2種類ある。一つは、調理に使うためあるいは顧客に供するための水である。これは水そのものが必要であり、その必要量もある程度決まっているため節約は難しい。もう一つは、食器等の洗浄や冷凍食材の解凍のための水（あるいは湯）である。これは実は水そのものの需要ではなく、洗浄や解凍という機能を得るための水需要であり、必要使用量が定まっているわけではない。水の機能を十分確保したうえで、必要以上に使用されている水を抑制することが可能である。株式会社ピコエイトはこうした点に着目し、タイマーやセンサー制御により蛇口開閉を自動制御する⁹⁾水量制御（節水）機器を開発した。この節水機器は次のような節水効果を見込んでいる。1) 冷凍食材解凍時等に、シンクへの水・湯張りをタイマー制御してオーバーフローを防止する、2) 食器洗浄時等は、吐水口の周辺に（洗浄作業をする）人体を感知したときのみ自動給水・給湯し、連続吐水を防止する。元来、調理の現場では省エネ・節水よりも作業効率が優先されるため、比較的短い時間であれば不必要時にも連続的に吐水することが多い。この節水機器は、こうした無駄を細かな自動制御で消滅し、総体的には大きな節水効果をもたらす。節水機器は蛇口に取り付けるので、技術的にはどのような外食店舗においても設置可能ではあるものの、節水対象の水源が集約して配置されている方が、節水機器の取り付けには好都合である。多くの調理現場では作業効率から、調理スペースと食材の洗浄や解凍などの準備スペースが分離している。ところが、小規模店舗ではそうならない場合があり、節水機器の節水効率は落ちてしまう。ただし本稿では、国内の全外食店舗において節水機器が導入され、事例店舗と同程度の節水効果が見込めると仮定して、節水効果の最大ポテンシャルを推計する。なお、蛇口開閉の自動制御などの技術的な側面からの節水に加え、節水機器付属モニターから水使用量の推移を確認することが可能であるため、啓蒙的な節水効果も期待できる。

次節以降では、節水機器を導入した外食店舗（16店舗：レストラン7店舗、ホテル内レストラン9店舗）を事例店舗とし、その事例店舗で確認された節水効果（水使用量削減量と、湯として使われた水量に対する給湯エネルギー削減量）を把握し、廃棄物産業連関（WIO）モデル^{10,11)}や環境負荷原単位²⁾を用いて、節水によるCO₂削減効果を評価する。

本稿で扱う外食産業での節水の例は、INAXの節水型便器とは異なり、元来は使っていない機器を新たに導入する必要がある。機器の製造や廃棄にともなう環境への影響があまりに大きいと、マクロでは節水効果を相殺してしまうかもしれない。そこで、節水機器の製造、使用、廃棄段階までを考慮したライフサイクル分析を応用することで、総合的に環境への影響を検証する。

3. 分析方法

本節では、WIOモデルを用いたライフサイクルCO₂評価の分析手順を、使用段階と製造段階・廃棄段階とに分けて説明する。なお、本稿の分析では、節水効果として実現した経費削減分の用途については考慮しない。節約された経費が、どのような消費・投資行動に結びつくかにより、節水以前と比べて環境負荷が高まる可能性も考え得るが、そのようなリバウンド効果を考慮したシナリオ分析は今後の研究の課題とする。

3.1 節水サービス使用段階

節水機器導入前の外食需要により直接・間接に排出される年間CO₂排出量を、WIOモデルを用いて以下の式から推定する。

$$CO_2 \text{ 排出量} = \mathbf{e} \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{S}_w \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、産業部門数は $n (= n^I + n^II)$: n^I は動脈部門数、 n^II は静脈部門数)、 n^w は廃棄物処理・処分部門数とし、 \mathbf{f} は $n^I \times 1$ の国内最終需要額ベクトル (外食需要は実績値、その他の需要額はゼロ)、 \mathbf{w} は $n^w \times 1$ の廃棄物純排出量ベクトル (使用段階では全ての要素はゼロ)、 \mathbf{S} は廃棄物純排出量に対応した配分行列 ($n^II \times n^w$)、とする。また、 $\mathbf{e} (= [e_1, e_2, \dots, e_n])$ は産業部門 $i (i = 1, 2, \dots, n)$ の最終需要により誘発される直接・間接のCO₂排出原単位 (1単位の生産・処理・処分を行う際のCO₂排出量)を表し、文献²⁾と同様に

$$\mathbf{e} = \mathbf{d}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (2)$$

から算出する。ただし、 $\mathbf{d} (= [d_1, d_2, \dots, d_n])$ は各部門の直接CO₂排出係数、 \mathbf{I} は n 次の単位行列、 \mathbf{A} は動脈・静脈部門の投入係数行列 ($n \times n$)、とする。

以下では、先行研究¹²⁾と同様に最終需要を変化させることなく、投入係数 (技術) が変化することで誘発されるCO₂排出量の変化を推定する。外食産業部門が節水機器を導入することで直接的な影響が及ぶ産業部門を表1に示す部門とし、これら部門の投入係数や直接CO₂排出量を変化させ、節水機器導入後の排出原単位 $\hat{\mathbf{e}}$ を以下の手順で新たに算出する。なお、給湯用エネルギーとしては、一般的には都市ガスや液化石油ガス (LPG) が挙げられるが、ホテル内レストランや大型施設内レストラン、外食チェーン店の下調理工場などでは、灯油や重油を燃料とするボイラーが利用されている場合がある。本稿では、都市ガスやLPG以外の原燃料種 (表1参照) も給湯用エネルギーと考える。

まず、外食産業 (表1のG1に分類された部門) が節水機器を導入し、水 (G2) 使用量が $\gamma\%$ 削減され、給湯用エネルギー (G3) 使用量が $\varphi\%$ 削減されるとき、産業 j の部門 i への投入 (投入係数 a_{ij} when $j \in G1, i \in G2, G3$) がそれぞれ $(1 - \gamma)$ 倍 ($i \in G2$ の時)、 $(1 - \varphi)$ 倍 ($i \in G3$ の時) と変化する。このように節水機器は水量や給湯エネルギーを削減する一方で、機器の稼動に際して電力を消費する。機器の稼動に要する電力消費量が節水機器一台当たり C kWh/年とすると、G1の各部門の推定設置機器数 W_{G1} 台を乗じた $CW_{G1}P_{G4}$ (ただし P_{G4} はG4の単位 (1kWh) 当たり価格) を部門 j の生産額 y_j で除した係数を稼動エネルギー部門 (G4) の投入係数に加える必要がある。外食産業 (G1) の部門G2、G3、G4への投入額の変化を考慮して、節水機器導入後の投入係数行列 $\hat{\mathbf{A}}$ を次式のように算出する。

$$\hat{\mathbf{A}} = \mathbf{A} \odot (\mathbf{I} - \mathbf{\Gamma} - \mathbf{\Phi} + \mathbf{\Delta}) \quad (3)$$

表1 分析対象の産業部門一覧

分類	産業連関表基本分類コード (行コード)
G1 外食産業	8612-011 一般飲食店 (除喫茶店)
	8612-021 喫茶店
	8612-031 遊興飲食店
G2 事業対象 (節水) 部門	5211-011 上水道・簡易水道
	5211-031 下水道★★
G3 給湯用エネルギー部門	0711-011 石炭
G4 節水機器の稼動エネルギー	2111-013 灯油
	2111-014 軽油
	2111-015 A重油
	2111-018 液化石油ガス
	2121-011 コークス
	5121-011 都市ガス
	5111-001 事業用電力

ただし、 $\mathbf{1}$ は全ての要素が1の n 次行ベクトル、 \odot はアダマール積（要素ごとの積）を表す。また、 Γ 、 Φ 、 Δ は n 次正方行列で、

$$\Gamma_{i,j} = \gamma \quad \text{if } i \in G2, j \in G1 \\ = 0 \quad \text{otherwise} \quad (4)$$

$$\Phi_{i,j} = \varphi \quad \text{if } i \in G3, j \in G1 \\ = 0 \quad \text{otherwise} \quad (5)$$

$$\Delta_{i,j} = \frac{CW_j P_{G4}}{y_j} \quad \text{if } i \in G4, j \in G1 \\ = 0 \quad \text{otherwise} \quad (6)$$

とする。このように、節水機器の導入により、上水道や下水道部門、給湯用エネルギーや電力の外食部門への投入量が増加することで、最終需要額が一定のもとでも各産業に節水効果による影響が波及し、国内の生産活動にインパクトを与える。節水事業による影響は、生産活動の変化を通じて各産業の環境への負荷（CO₂排出量）にも影響を与えることから、CO₂排出原単位 \mathbf{e} も変化する。

さらに、節水機器が外食部門で導入されるとき、給湯用エネルギーとして使用されている都市ガスやボイラー用燃料の使用量が削減されることから、ガスや燃料の燃焼時に排出されるCO₂排出量が給湯用エネルギー削減量に応じて変化する。その結果、外食部門の直接CO₂排出係数 \mathbf{d} も変化する。 \mathbf{d} は各部門が投入する原燃料種使用量（物量）に物量単位当たり発熱量とCO₂排出係数を乗じて算出される²⁾。そこで、外食部門G1が節水機器を導入することにより変化する直接CO₂排出係数を $\hat{\mathbf{d}} (= [\hat{d}_1, \hat{d}_2, \dots, \hat{d}_n])$ として、

$$\hat{d}_j = d_j - \frac{\varphi V_{G3,j} h_{G3} \epsilon_{G3}}{y_j} \quad \text{if } j \in G1 \\ = d_j \quad \text{otherwise} \quad (7)$$

から推定する。ただし、 $V_{G3,j}$ は j 部門の原燃料種G3の使用量（物量）、 h_{G3} は原燃料種G3の物量単位当たり発熱量、 ϵ_{G3} は原燃料種G3のCO₂排出係数とする。節水機器導入による影響を考慮した新たなCO₂排出原単位を、

$$\hat{\mathbf{e}} = \hat{\mathbf{d}}(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}})^{-1} \quad (8)$$

から推定する。節水機器導入前の1年間のCO₂排出量は(1)式の $\mathbf{e}[\mathbf{f} \quad \mathbf{Sw}]'$ から推定し、導入後の使用段階での年間CO₂排出量は(8)式を用い $\hat{\mathbf{e}}[\mathbf{f} \quad \mathbf{Sw}]'$ から推定する。ただし、記号「 $'$ 」は転置記号とする。節水機器の耐用年数を本稿では10年と仮定し、使用段階10年間のCO₂排出量を推定する。なお、本稿では、節水機器導入による直接的な環境負荷削減効果を、部門別に

$$\text{diag}(\mathbf{d})(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{Sw} \end{bmatrix} - \text{diag}(\hat{\mathbf{d}})(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}})^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{Sw} \end{bmatrix} \quad (9)$$

から推定する。また、間接的な環境負荷削減効果を、全削減効果から直接的削減効果を除いたものとし、

$$\text{diag}(\hat{\mathbf{d}})(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{Sw} \end{bmatrix} - \text{diag}(\hat{\mathbf{d}})(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}})^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{Sw} \end{bmatrix} \quad (10)$$

から推定する。

3.2 節水機器の製造・廃棄段階

製造段階は節水機器製造元における詳細な製造工程データ（フォアグラウンドデータ）を収集・利用することが望ましいものの、全ての工程データを入手することは困難である。本稿では機器の構成素材に関しては機器製造元へのヒアリング調査結果を利用可能な範囲で利用し、製造エネルギーやその他の投入（事務や管理など）、廃棄物純排出に関しては「電気計測器（産業連関表基本分類・列コード：3332-01）」の投入額表を利用して、以下のように推定する。

まず、節水機器1台分の重量を B kgとし、産業連関物量表¹³⁾の「電気計測器」の列から、計測器の構成素材と考えられる部門^{脚注1)}の投入量（物量）の総計を b kgとする。電気計測器部門の各部門への投入額と廃棄物純排出量に b/B を乗じ、節水機器一台当たりの投入額、廃棄物純排出量を算出する。実際の一単位当たり投入量（生産者価格評価）を把握できた部門に関しては、この実績値を置き換える。こうして得られる電気計測器の各部門への投入額や廃棄物純排出量を基に、本来は投入係数行列 \mathbf{A} に節水機器製造部門を加え $(n+1) \times (n+1)$ 行列としたうえで節水機器への投資額（生産者価格評価）を \mathbf{f} に加えて算出する。しかし、本稿では簡略化のため、節水機器製造部門の投入額列を $\tilde{\mathbf{f}}$ 、廃棄物純排出量列を $\tilde{\mathbf{w}}$ として、節水機器製造段階のCO₂排出量を、

$$\mathbf{e}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{f}} \\ \mathbf{S} \tilde{\mathbf{w}} \end{bmatrix} W_{G1} \quad (11)$$

から算出する。なお、生産段階で各部門から排出される廃棄物の処理に起因するCO₂排出量に関しては、静脈部門を含む投入係数 \mathbf{A} により(11)式により考慮されている。廃棄段階のCO₂排出量は、節水機器の推定設置台数を一台当たりの機器重量で乗じて得られる値 (BW_{G1})分の廃棄物純排出量があるとして推定する。実際にはリサイクルされる部品・素材などもあると考えられるが、節水機器のリサイクルに関する情報の蓄積がない。本稿では100%埋立られると仮定し、廃棄段階のCO₂排出量を、

脚注1) 本稿では、「電気計測器」の構成素材として、産業連関表(物量表)の2612-011(行コード、以下同様)鉄屑、2621-012普通鋼鋼板、2621-013普通鋼鋼帯、2621-014普通鋼小棒、2621-015その他の普通鋼熱間延鋼材、2623-011普通鋼冷間仕上鋼材、2623-012特殊鋼冷間仕上鋼材、2623-021めっき鋼材、2631-011鍛鋼、2631-012鋳鋼、2631-031鋳鉄品、2722-021アルミ圧延製品の12部門とする(構成素材になり得る部門でも、実際に投入がない部門の記述は省略した)。ただし、本稿では歩留り率などは考慮していない。より精緻な素材・製造情報の反映は今後の課題である。

$$\hat{\mathbf{e}}(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}})^{-1} \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \overset{\text{埋立}}{BW_{G1}} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^T \quad (12)$$

から算出する。

4. データと事例店舗での節水効果

WIOモデルの基礎データには、平成20年廃棄物産業連関表^{14, 15)}を用いた。動脈部門 n^I は396部門、静脈部門 n^{II} は13部門、廃棄物処理・処分部門 n^W は家庭系・事業系一般廃棄物に産業廃棄物を合わせた79部門となっている。

次に、事例店舗の節水機器導入前と導入後の水使用量 (m^3) から機器の節水効果を推定する。まず、節水機器を導入した店舗のうち一般的な飲食店16店舗（レストラン7店舗、ホテル内レストラン9店舗）を抽出し、機器導入後の1～2ヶ月間の平均水道使用量と導入前（過去1年間の平均使用量もしくは前年同月使用量）の推移をみる^{脚注2)}。このとき、ホテル内レストランでは来客数が安定的に推移せず、大きく変化する傾向がみられることから、需要量の変化による水道使用量への影響が懸念される。そこで、ホテル内レストランの機器導入前水使用量に関しては来客数を用いて稼働率修正を行った後のデータが提供されている。その他の事例店舗に関しては来客数など前年同月比で大きな変化が見られないため、稼働率修正を行わずに実績値の提供を受けた。

図1に水道使用量の節水機器導入効果を示した。比較的規模の小さい店舗などで、削減率が50%を超える店舗があることが確認できる。規模の小さい店舗では、節水効果の傾向が明確ではなく、メニュー（茹で・煮込み調理などの「水」を多く使用するメニューが多いか否かなど）や使用食材（解凍のための水や湯を多く要する冷凍食材の使用が多いか否か）などに依存して、節水効果が大きく異なる

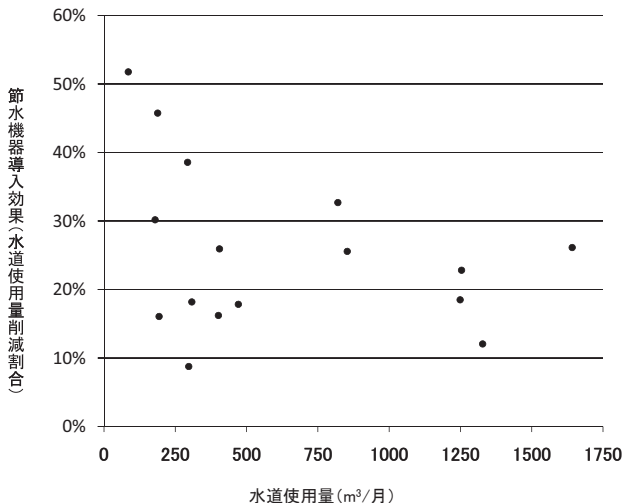


図1 節水機器導入による水使用量削減効果

結果であることが考えられる。また、食器洗浄での作業状況に節水効果が依存する可能性も考えられる。というのは、使用済み食器の下洗い・本洗いは、水や湯を流水しつつ行う。ところが、店内が混雑する昼夜の時間帯などには、食器を洗浄するための人員が側にいないときでも水・湯を流水したままの状態にしてしまうほど、混雑時に厨房内の人員が不足するためである。節水機器は、このような無駄な流水を制御し、作業員が側で作業をしている時のみ流水するように設定されることから、厨房内の人員が不足しがちな比較的小さな店舗ほど機器導入による節水効果が顕著に現れると考えられる。

このように、店舗の事業規模や混雑時の厨房内人員の充足度合いなどによりその削減効果が異なる可能性が窺える。事業規模による効果の違いを考慮し、節水効果 γ (水使用量削減率、%) は水使用量を用いた加重平均から算出した結果、22.6%の削減効果があるとの結果を得た (表2)。つぎに、給湯エネルギーの削減効果の把握には、どの程度の水量が給湯向けとして使用されたかを把握する必要がある。ホテル内レストランなどでは、給水と給湯を分けて管理しているケースもあり、給湯向けの水道使用削減量を観測することができる。給水・給湯を分けて管理していない店舗においては、節水機器設置前に給水・給湯割合を独自測定し、その割合を節水機器設置後も一定とする。事例店舗のうち3店舗については、給湯・給水の吐水口が混合水栓であるなど、その給湯割合を把握できない。このような店舗については、給水：給湯 = 4：6と仮定して推定した。これは、給湯割合の把握が困難な店舗に対し、機器導入前の節水診断の際にも使用する仮定値であり、節水サービス提供側の経験値として得られた数値である。実際、16の事例店舗の平均給湯割合は63.2%との結果を得た。水道使用量には、文献¹⁶⁾の2000年年間有収水量 (Q_{m^3}) を用いる。給湯エネルギー削減効果は、外食部門の給湯向けの水使用量を、給湯設定温度と水道水の平均温度との差分だけ加熱することから、以下のように推定する。まず、 $1m^3$ の水の加熱に必要なエネルギー (G_3) 量を、

$$\frac{\text{上昇温度} \times 1^\circ\text{Cの水温上昇に必要なエネルギー量}}{\text{燃料 (G3) 物量単位当たり発熱量} \times \text{システム効率}}$$

とする。このうち、 $1m^3$ の水を 1°C 上昇させるのに必要なエネルギー量は $1,000\text{kcal}$ 、システム効率は機器メーカー

脚注2) 節水機器の販売・リースの際、機器設置後の1～2ヶ月間の水道使用量のみデータ収集している。同一機器がESCOサービス事業として提供されていた際には、サービス保証契約期間（通常5年間）の水道使用量を把握し節水効果の検証を行ってきた。機器設置の直後とそれ以降の省エネ効果には、大きな違いは見られないことから、設置後1～2ヶ月の限定的な期間であっても、その効果を検証するには十分と言える。

などからのヒアリングをもとに70%と仮定する。燃料の物質量単位当たり発熱量は文献値¹⁷⁾に準じる。給水設定温度は、店舗や節水機器設置の際の技術者の裁量により若干の差は生じるものの、本稿ではホテル内レストランの設定温度は60℃、その他の店舗は40℃とする。平均水道水温度は15℃とする。事例店舗の平均設定温度は55.1℃となることから、外食産業 j ($j \in G1$) の給湯エネルギー $G3$ の削減効果 $\phi_{G3,j}$ は、都市ガス(1m³当たり発熱量9,818kcal)の場合、

$$Q \times \text{外食産業}(G1) \text{への給水割合} \times 0.226 \times 0.632 \times R_{\text{都市ガス},j} \times \frac{(55.1-15.0) \times 1,000}{9,818 \times 0.7} / V_{\text{都市ガス},j} \quad (13)$$

から推定する。ただし、 $R_{G3,j}$ は外食産業 j の原燃料種 $G3$ から算出される発熱量に応じたエネルギー比率($\sum_{i \in G3} R_{i,j} = 1 \text{ for } \forall j$)とする。外食産業のうち、一般飲食店は11.0%、喫茶店は8.3%、遊興飲食店は10.6%の給湯用エネルギーが削減される結果を得た。節水機器の推定設置台数は、事業所統計¹⁸⁾から一般飲食店(産業中分類コード70)と遊興飲食店(同71)の2001年実績値(全国)を用いて79万台とする。

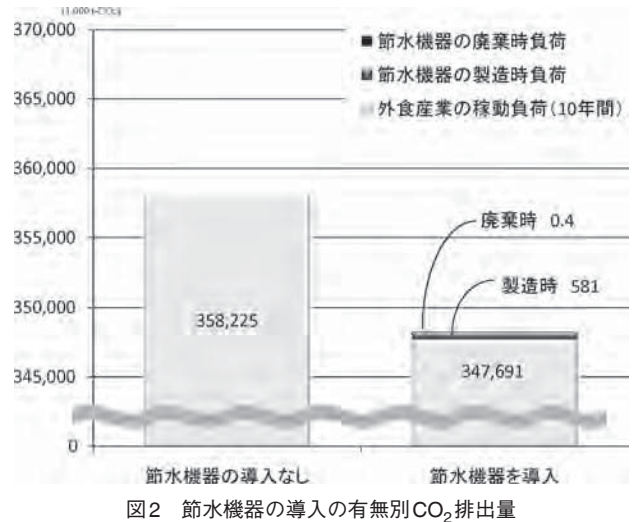
次節では、表2に示された事例店舗での削減効果の値を用い、(8)式をもちいてCO₂排出削減ポテンシャル量の推定結果を示す。

5. 分析結果

3.2節で述べたように、本稿では節水機器の部品や素材はリサイクルされずに100%埋立てられると仮定した。実際にはリサイクルされる部品・素材があるであろうことを考えると、廃棄段階の推定には多くの課題が残されている。リサイクルが実現する場合、廃棄物処理に係る環境負荷の減少が見込める一方、リサイクル工程での環境負荷の増加が予想される。機器のリサイクル実現による環境負荷へのインパクトに関して考慮していないことに注意が必要であるが、全ての外食店舗で、前節で示した事例店舗と同程度の節水効果が見込めると仮定し、外食部門の最終需要量が10年間一定とするとき、CO₂排出量は図2に示されるよう

表2 節水機器の導入効果

γ	節水削減効果	22.6%
ϕ	給湯エネルギー削減効果	
	一般飲食店(除喫茶店)	11.0%
	喫茶店 遊興飲食店	8.3% 10.6%
C	節水機器の電力消費量(kWh/年/台)	228
IT	節水機器の推定設置台数(台)	794,748



に節水機器導入の有無で995万t-CO₂程度の差が生じる。この結果からは、節水機器の製造・廃棄段階を考慮してもなお、節水機器導入によりCO₂排出量の抑制効果が期待できる。節水機器導入の有無別CO₂排出量の乖差をとり、節水機器導入効果をみると、10年間の機器使用中に1,053万t-CO₂のCO₂排出量削減効果があることがわかる。1年間に105万t-CO₂の削減効果が期待できることから、節水機器の製造・廃棄に係るCO₂排出量58万t-CO₂を考慮しても、節水機器導入後1年間で機器の製造・廃棄による負荷を上回るだけの排出削減効果が見込まれる。ただし、本分析では設備投資などの固定資本形成による環境負荷を考慮していない。比較的短期間に推定設置台数79万台を製造する場合には、十分な規模の生産設備を整える必要があり、この設備投資による環境負荷量の程度が懸念される。その一方で、まだ建設されていない生産工場建設に係る環境負荷量を算定することは困難であるため、他業種ではあるものの、節水機器79万台分の重量を上回る物量(9,672t、2006年実績値)のOA機器・電子電気機器などの金属複合材リサイクル工場の工場建設に係るCO₂排出量¹⁹⁾を参照した。建設工事、建設資材、導入設備の3項目の総CO₂排出量は4,607t-CO₂とされており、設備投資を考慮してもなお製造時負荷は58.5万t-CO₂にとどまり、節水機器による環境負荷削減効果を見込める。

図3には節水機器導入による使用段階での年間CO₂排出削減ポテンシャル量を34部門ごとに示した。CO₂排出削減量の8割程度は、外食産業の給湯用エネルギー削減により、ガス等の燃焼時に排出されるCO₂が削減されたことによる効果であることが分かる。また、1割強程度は電力・ガス・熱供給部門と水道の削減による。このことから、外食産業に節水機器が導入されるとき、水使用量が削減されることによるCO₂排出削減効果以上に、給湯エネルギー量が削減されることによる効果大きいことが窺える。そこでCO₂

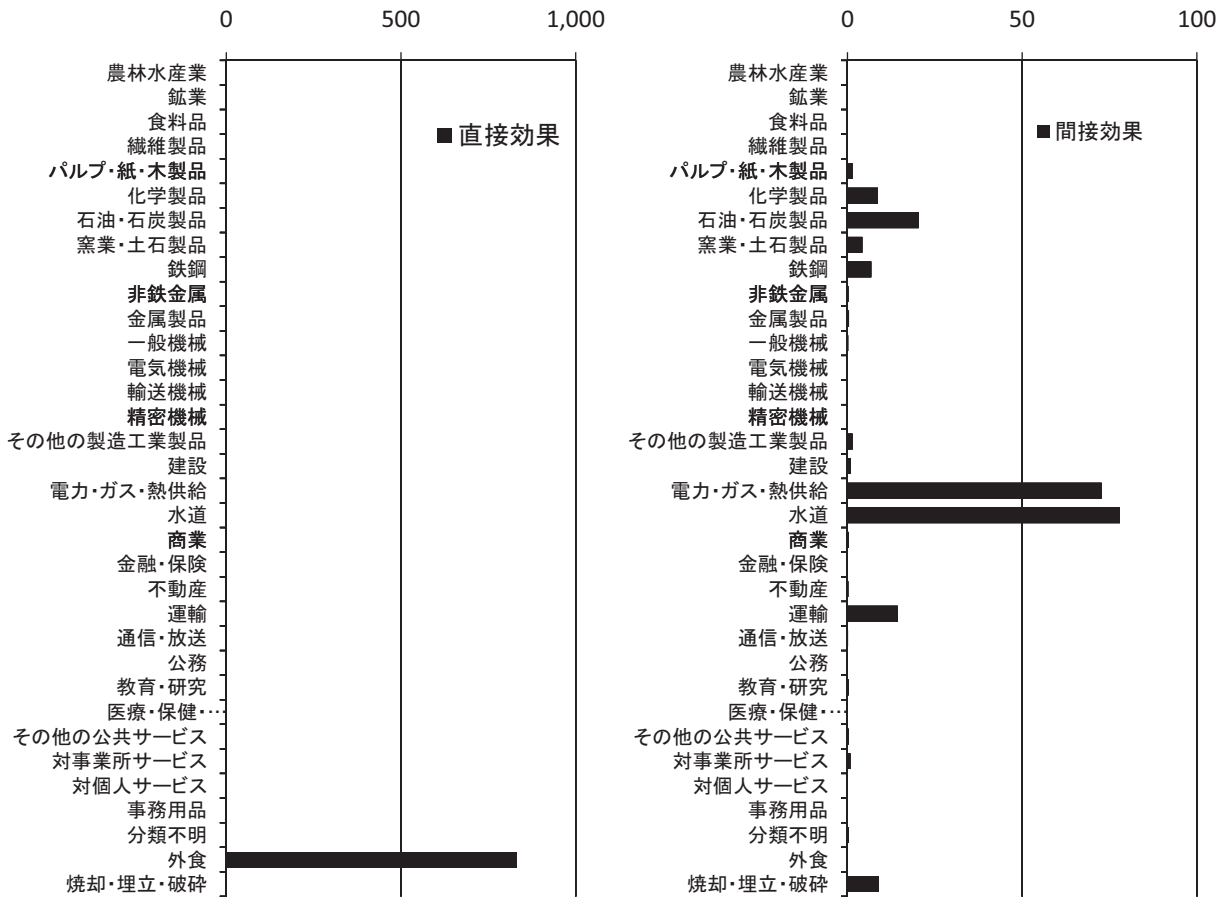


図3 節水機器導入後の部門別(年間) CO₂排出削減ポテンシャル量

排出削減効果を、水使用量削減による効果、給湯用エネルギー削減による効果、節水機器稼働のための電力消費量増加による効果、の3つの効果に分離する。

ただし、ここでは簡素化のため(14)式を水使用量の削減による効果、(15)式を節水機器稼働エネルギー増加による効果、(8)式を用いた $(e - \hat{e})[f \ Sw]'$ から(14)式と(15)式を引いたものを給湯用エネルギー削減による効果として算出し、効果別のCO₂排出削減量を図4に示した。

$$e \begin{bmatrix} f \\ Sw \end{bmatrix} - d(I - \hat{A}^a)^{-1} \begin{bmatrix} f \\ Sw \end{bmatrix},$$

$$\hat{A}^a \equiv A \odot (t' t - \Gamma) \tag{14}$$

$$e \begin{bmatrix} f \\ Sw \end{bmatrix} - d(I - \hat{A}^b)^{-1} \begin{bmatrix} f \\ Sw \end{bmatrix},$$

$$\hat{A}^b \equiv A \odot (t' t + \Delta) \tag{15}$$

図4に示されるように、水使用量が削減されたことによるCO₂削減効果は削減量全体の3割にも満たない一方で、給湯用エネルギーが削減されたことによる効果は全体の8割強と最も大きい。節水機器の稼働エネルギー(電力)増加による効果は、(削減効果が負値であることから「負の削減量=排出量増」となり)CO₂排出量を増やすが、その増加量は限定的である。CO₂排出削減ポテンシャル量を34産業部門ごとに図5に示した。図5の水使用量削減効果を

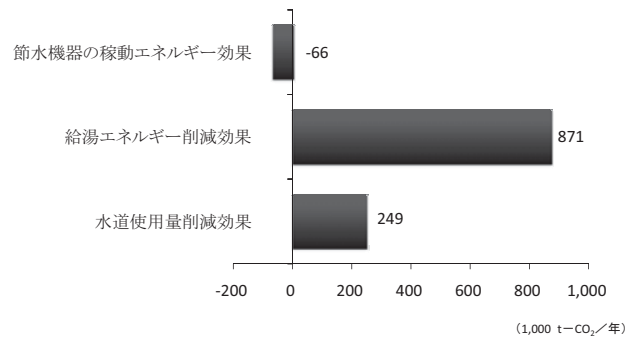


図4 節水機器導入後の効果別(年間) CO₂排出削減ポテンシャル量

みると、削減された水道部門以上に電力・ガス・熱供給部門がCO₂削減に貢献している。さらに、限定的ではあるが化学製品や鉄鋼部門にもその影響が及ぶことが分かる。図5の給湯エネルギー削減効果(1)をみると、外食産業での給湯エネルギー使用量が削減されることで、外食産業から直接排出されるCO₂排出量が大幅に削減されることが分かる。外食産業からの直接排出量の削減量の特出しているため、給湯エネルギー削減効果(2)に外食産業部門を除いた動脈部門32部門の効果を示した。鉄鋼、運輸部門などにまでCO₂削減効果が波及している。

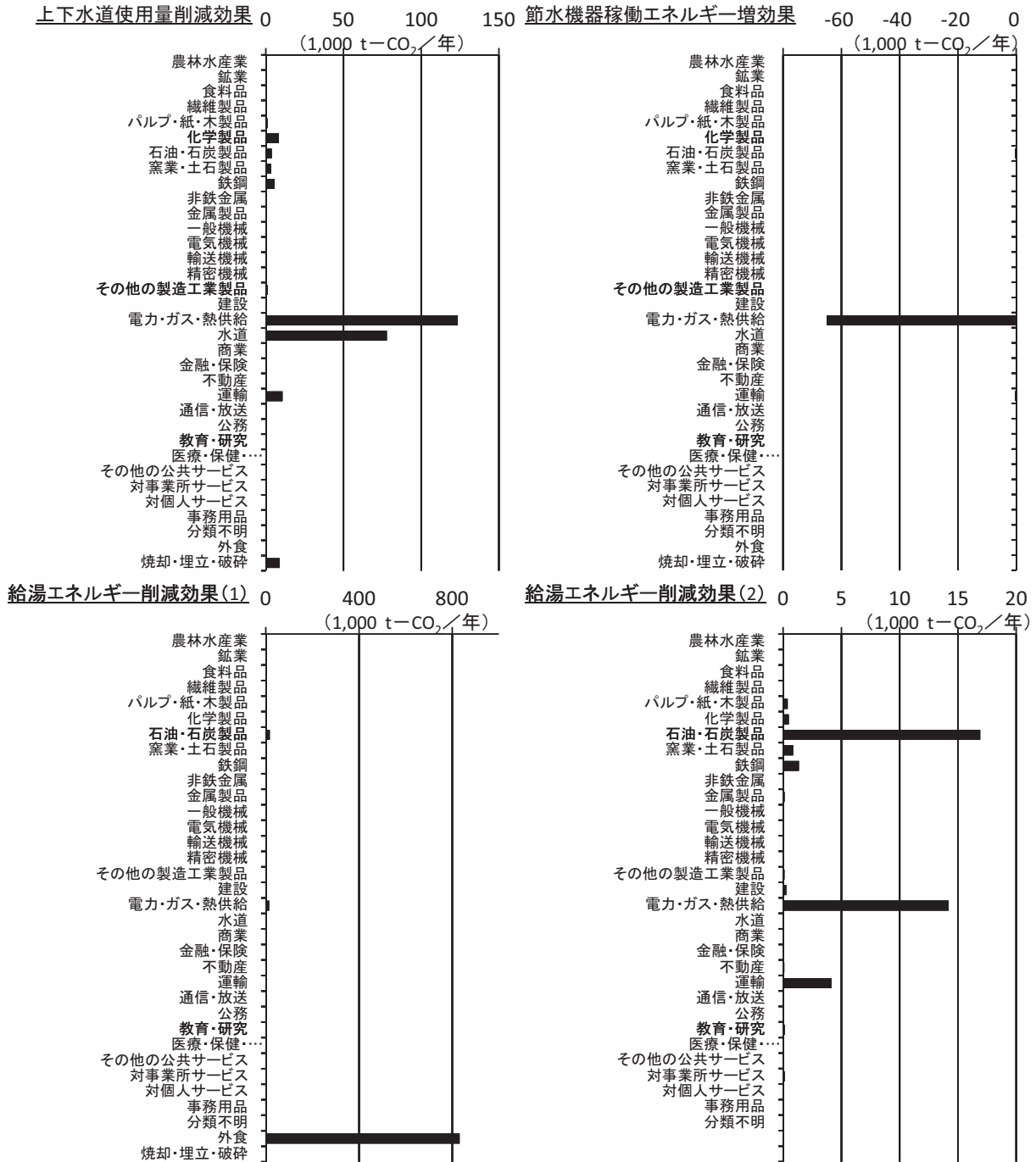


図5 節水機器導入後の産業別・効果別の年間CO₂削減ポテンシャル量

6. さいごに

外食産業への節水機器の導入は、食器の洗浄や冷凍食材の解凍という水の機能を十分確保したうえで、水使用量は22.6%削減し、給湯用エネルギーは8～11%削減させる効果があることが事例店舗から示された。水の機能を十分に保ったうえで、水や給湯エネルギー使用量をそれぞれ1～2割程度も削減することが可能との結果から、外食産業への節水機器の導入は、「水」を機能として販売することで節水・省エネにつながるグリーン・サービサイジングであると位置付けられる。さらに、水やエネルギー使用の削減

は、環境負荷の低減にもつながる。本研究で事例店舗から得られた水・エネルギーの削減効果が全ての外食店舗でも当てはまり、また日本の全外食店舗に節水機器が導入されるとき、我が国のCO₂排出量は年間105万t-CO₂(2000年総排出量の0.08%)程度削減されることが分かった。また、CO₂排出削減量の半分以上は水使用量の削減にともなう給湯用エネルギーの削減に起因するとの結果を得た。こうした水・エネルギー使用量の削減にともなう環境負荷低減効果は非常に高く、機器の製造・廃棄段階でのCO₂排出総量を、節水機器導入後1年間で上回ると見込めることが分

かった。本分析モデルは、省エネ型製品・サービスの導入による投入係数の変化や各部門の直接排出量の変化を把握できる時に応用することが可能である。

さいごに、低炭素化社会への転換のためにも、外食産業への節水機器の普及が望まれる。また、節水機器の導入により外食産業の環境負荷原単位 ($e_{\text{外食}}$) が低減する結果を得たことから、家計の食のスタイルのあり方にも影響する。先行研究では環境配慮的な食生活は内食(家庭調理)、外食、中食(弁当、総菜等)の順であるとの結果を得ている²⁰⁾が、内食と外食にCO₂排出量の面からは大差がないことから、節水機器の外食部門への導入が進展すれば、内食と外食で環境配慮の順位が逆転する可能性もある。

参考文献

- 1) 環境省(各年版): 環境白書
- 2) 南齋規介, 森口祐一, 東野達(2002), “産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)~LCAのインベントリデータとして~, 国立環境研究所地球環境研究センターホームページ, 入手先 <<http://www-cger.nies.go.jp/publication/D031/D031.pdf>> (参照日付 2008-06-11)
- 3) 松本新(2008): 資源環境対策, 44(1), 105-108
- 4) White, A. L., Stoughton, M., Feng, L. (1999): “Servicizing: The Quiet Transition to Extended Product Responsibility”, Tellus Institute, Boston, USA, 34
- 5) 倉坂秀史(2002): “環境は守るほど経済は発展する”, 朝日新聞社, 東京, 247
- 6) Lancaster K. J. (1966): J. of Political Economy, 74(2), 132-157
- 7) Stahel W. (1997): The Industrial Green Game: Implications for Environmental Design and Management, National Academy Press, Washington D.C., USA, 91-100
- 8) 経済産業省(2007): グリーン・サービサイジング・ビジネス—環境にやさしい「機能提供型のビジネス」が開く新たな社会—, 経済産業省ホームページ, 入手先 <http://www.meti.go.jp/policy/eco_business/servicizing/html/download/others/g_s_manual.pdf> (参照日付 2008-08-26)
- 9) 辻毅一郎, 堀宣, 堀直人(2006): 第22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, エネルギー・資源学会, 東京, 423-426
- 10) 中村慎一郎(2000): 廃棄物学会論文誌, 11(2), 84-93
- 11) Nakamura S., Kondo Y. (2002): J of Industrial Ecology, 6(1), 39-64
- 12) 稲田義久, 藤川清史, 室田弘壽, 足立直己(1997): 経済分析, 154, 9-86
- 13) 総務省統計局(2000): 平成12年産業連関表
- 14) 早稲田大学政治経済学術院中村慎一郎研究室(2006): 2000年廃棄物産業連関表(WIO2000) version 0.04a
- 15) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(2005): 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業/製品等ライフサイクル二酸化炭素排出評価実証等技術開発/製品等に係るLCA及び静脈系に係るLCAの研究開発(平成16年度成果報告書)
- 16) 厚生労働省(2008): 水道統計
- 17) 資源エネルギー庁(2002): “エネルギー源別標準発熱量表の改定について”, 119-145
- 18) 総務省(2005): 平成16年事業所・企業統計調査報告.
- 19) 中島彰良(2008): LCA日本フォーラムニュース, 45, 4-12, LCA日本フォーラムホームページ, 入手先 <<http://www.jemai.or.jp/lcaforum/forumnews.cfm>>, (参照日付 2009-06-23)
- 20) 板明果, 高瀬浩二, 近藤康之, 鷲津明由(2009): 廃棄物学会誌, 20(2), 21-34