

(42) 貯水槽水道の直結給水化に伴う 二酸化炭素排出量の削減効果に関する研究

増子敦^{1,2*}, 松澤峰矢², 芦田裕志², 田村聡志², 小泉明¹

¹ 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

² 東京都水道局 (〒190-0014 東京都立川市緑町 6-7)

*E-mail: masuko-atsushi@waterworks.metro.tokyo.jp

水道の給水過程で発生する二酸化炭素の量については、直結の蛇口までは水道事業者として把握が容易であるが、貯水槽水道における発生量については、規模やポンプ制御方式が様々でかつ件数も膨大なため把握が難しい。そこで、本研究では、貯水槽水道の実態調査をもとに、規模別、ポンプ制御方式別のモデルを設定し、貯水槽水道において水道水 1 m³を給水することにより発生する二酸化炭素の量を算定した。また、この結果を用いて、給水区域における貯水槽水道から発生する二酸化炭素の総量の算定方法について明確にした。さらに、貯水槽水道が直結給水方式に切り替わった場合の二酸化炭素の削減効果を推定した。この結果、地球温暖化防止対策としての直結給水方式の有効性を定量的に示すことが可能となった。

Key Words : greenhouse gas, prevention of global warming, water supply system with receiving tank, directly connected water supply system

1. はじめに

今日まで多くの都市域に立地している 3 階建て以上の建物においては、配水管の水圧が十分確保されていないなどの理由から、貯水槽に一旦水を貯めてポンプで各階へ給水する貯水槽水道方式が採られてきた。この方式は、貯水槽に水道水を貯留するので配水管内の配水圧力を貯水槽で解放せざるを得ない。そして、屋上などに設置された高置水槽まで、または直接各階へ圧送するので、給水には多くのエネルギーを消費する。このことから、貯水槽水道方式の建物における省エネルギー化、二酸化炭素（以下「CO₂」という）の排出量削減について改善が求められている。

貯水槽水道については、従前より衛生的観点から水槽内での滞留などによる水質悪化防止についての検討、対応策^{1)・2)}や水槽内の残留塩素の挙動についての研究³⁾が行われているほか、水質悪化防止対策として貯水槽を経由せずに配水管から直結した給水管による給水方式についての研究^{4)・5)・6)・7)}が発表されている。

また、給水方式の省エネルギー化、CO₂排出量削

減については、機器の省エネルギー化の観点からはモーターなどの省エネルギー化の動向、対策についての研究や給水方式の形式別に省エネルギーの比較検討を行った研究、建築物の給水の観点からは節水器具の設置による使用水量の抑制、環境負荷低減の効果についての研究^{8)・9)}が行われている。

しかし、貯水槽水道の実態を踏まえた CO₂排出量削減効果についての研究はまだ発表されていない。

本研究は、貯水槽水道の水供給システムに着目し、ポンプの制御方式、貯水槽の設置状況などから、消費電力を分析し、配水管内の配水圧力を利用する直結給水方式に切り替えを行った場合の CO₂削減効果を定量的に把握、算出する手法について提案するものである。

2. 貯水槽水道の実態調査

(1) 給水方式の種類

給水方式は、貯水槽水道方式と直結給水方式とに大別される。直結給水方式には、配水管の水圧のみで給水する直圧直結給水方式と、増圧給水設備を用

い配水管の水圧を増圧して中高層階まで給水する増圧直結給水方式がある。これらを図-1に示す。

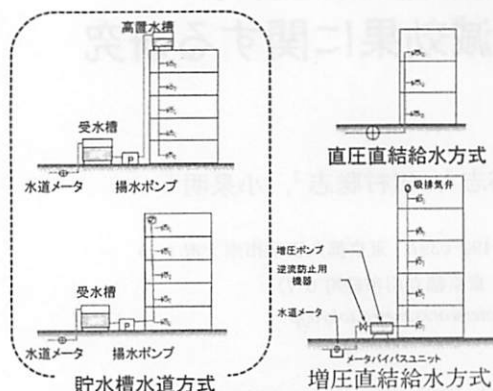


図-1 貯水槽水道方式と直圧・増圧直結給水方式

貯水槽水道は、貯水槽に一旦貯留した水をポンプにより中高層階まで給水する方式で、配水管の水圧を貯水槽で解放するためエネルギー効率面で直結給水方式よりも劣る。

(2) 貯水槽水道の実態調査

東京都水道局では、平成16～20年度に都内17万件の貯水槽水道の実態調査を実施した。

調査は、東京都内の貯水槽を持っている需要家すべてを対象に貯水槽の点検調査等を行い、その中から同意が得られた439件の方から、ポンプなど給水に関わる設備の状況について聞き取り調査を行った。これらの調査で得られた結果のうち、本研究に關係する給水方式別、ポンプ制御方式別割合を表-1に、貯水槽容量別の設置割合を表-2示す。なお、表-1の給水方式別割合は東京都水道局で公表している直結給水率¹⁰⁾から、ポンプ方式別割合は聞き取り調査から、また、表-2の貯水槽別の設置割合は貯水槽実態調査から算定した。

表-1 給水方式別、ポンプ方式別割合

項目	件数(件)	割合(%)
給水方式別割合	貯水槽水道方式	249万 36.4
	直結給水方式	434万 63.6
ポンプ制御方式別割合 (貯水槽水道)	ON/OFF制御 (高層貯水槽方式)	145 33.0
	非インバータ制御 (加圧給水方式)	202 46.0
	インバータ制御 (加圧給水方式)	92 21.0

表-2 貯水槽容量別の設置割合

貯水槽容量 (m ³)	1 以下	5 以下	10 以下	50 以下	100 以下	100 超	不明	計
設置数	46590	63754	23660	24212	2565	1900	7523	170204
設置割合	27%	37%	14%	14%	2%	1%	4%	100%

3. 水使用モデルの設定とポンプ消費電力量の算定

貯水槽水道における使用水量は時間毎に変動し、また、建物の規模や高さによって使用水量や揚程は異なる。このため、ポンプの消費電力量の算定に当たっては、これらの実際の水使用をできるだけ反映できるモデルを設定してこれにより求めることとした。

(1) 水使用モデルの設定と時間毎の使用水量の算定

本研究では、貯水槽水道及び増圧直結給水など給水方式別に使用されているポンプの消費電力量から換算してCO₂排出量を算出することとした。

貯水槽水道における消費電力量の算定には、揚程、使用水量、ポンプの運転時間等が要因となる。これらについては、表-3、表-4に示す条件を設定し算出した。なお、貯水槽水道を採用している建物には集合住宅のほか事務所ビルなどがあるが、本研究の主眼が主に集合住宅における直結給水化の削減効果に関するものであり、また、事務所ビルなどにおいては時間別使用水量のパターンは異なるものの貯水槽容量と揚程、使用水量との関係は基本的に集合住宅と変わらないため、本モデルでは集合住宅を対象とすることとした。

また、表-4建物の規模別水使用モデルについては、貯水槽の容量別の分布を決めたのち、それぞれの容量に見合う階数等(高さ、全揚程を含む)を設定した。具体的には、表-2貯水槽容量別の設置割合に示すように、容量が10m³以下の小規模の貯水槽の件数が多いこと、また、一般に小規模になるほどエネルギー効率が急激に落ちることから、容量が小さいほど区分が細くなるように設定した。一方、大規模については区分が極力均等になるように設定した。また、階数等については、規模に見合う一般的な値を設定したが、これらは規模におおむね比例するものの、ばらつきがあるのが実態であることから、規模が異なっても階数が同じ建物を設定するな

どばらつきを持たせた。

なお、貯水槽の容量は、設計上、一般的に日使用量の4割～6割程度とされ、多くの場合、日使用水量の半分（5割）とされることから、これに従い設定した^{11), 14)}。

表-3 電力算定条件

設定項目	設定値	設定根拠及び出典
配水圧力	0.31MPa	平成20年度の都内平均配水圧 (都内257カ所の配水圧力測定 点の平均値)
水使用 パターン	図-2参照	集合住宅の給水ポンプシス テム設計の基準変動パターン ¹²⁾
1人1日平 均使用水量	250L/人・日	空気調和・衛生学会便覧 ¹³⁾ 、 東京都 指定給水装置工事事 業者工事施行要領 ¹⁴⁾

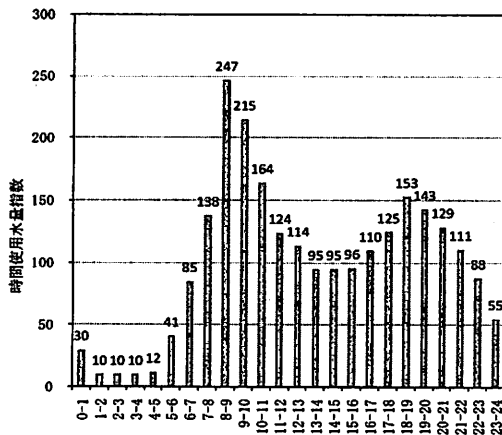


図-2 時間別使用水量パターン

注) 時間使用水量指数とは、日平均の時間使用水量を100とした場合の各時間毎の使用水量

表-4 建物の規模別水使用モデル

規模	口径 [mm]	階数 (高さ)	全揚程 [m]	給水戸数 [戸]	給水人口 [人]	使用水量 [m ³ /日]	貯水槽 [m ³]	瞬時最大使用水量 [L/min]
小規模	25	3階(9m)	19	2	6	1.5	0.75	50
	30	3階(9m)	22	6	24	6	3	82
	30	4階(11m)	25	8	32	8	4	91
	40	3階(11m)	25	10	40	10	5	98
	40	5階(14m)	28	20	80	20	10	151
大規模	50	7階(19m)	34	33	132	33	16.5	200
	50	8階(24m)	40	40	160	40	20	223
	75	10階(27m)	50	60	240	60	30	271
	75	10階(27m)	43	70	280	70	35	301
	75	13階(39m)	52	88	352	88	44	351
	75	13階(41m)	60	100	400	100	50	382

表-4 中の全揚程は一般に設備設計で用いられている次式を基本に、実態をも考慮して設定した。

$$\text{全揚程} = (\text{階高 } 2.7\text{m} \times (\text{階数} - 1) + 1\text{m}) \times 1.1 + 15\text{m}$$

この式中、1m は給水栓高さ、1.1 は圧力損失を含めた係数、15m は給水栓における吐出圧である。

一方、給水ポンプの消費電力を算定するには、まず、時間毎の使用水量を算定する必要がある¹⁵⁾。

建物の1日の水使用状況を考慮した時間毎の給水量は、建物の1日の総使用水量と、時間毎の使用水量割合との関係から、(1)式で表される。

$$Q_t = q \times \lambda \quad \dots (1)$$

Q_t : 建物の1日の使用状況を考慮した時間毎の給水量(m³/h)

q : 建物の1日の総使用水量(m³/日)

λ : 時間毎の使用水量の割合(時間使用水量指数/2400)

(図-2 参照)

(2) 一日あたりのポンプ電力量の算出

前述した(1)式で求めた Q_t を(2)式に代入して、ポンプの時間毎の出力電力量 P_h を算出する。

$$P_h = \left\{ (g \times \gamma \times Q_t \times H / 3600) \div \eta_p \right\} \times (1 + a) \times t \quad \dots (2)$$

P_h : ポンプの時間毎の出力電力量(kwh)

g : 重力加速度(m/s²)

γ : 液体の単位当たりの質量(kg/L)

Q_t : ポンプの時間毎の給水量(m³/h)

H : ポンプの全揚程(m)

η_p : 給水ポンプの効率(%)

a : 余裕率

h : ポンプの単位運転時間(1h)

1日あたりのポンプ消費電力量は、(2)式により求めた P_h を、電動機効率¹⁶⁾(電動機出力、電動機極数、電動機負荷特性により決まる値)で除して、時間毎の消費電力量を求め、(3)式により24時間合計して算出する。

$$P_i = \sum_{h=1}^{24} (P_h / \theta) \quad \dots (3)$$

P_i : 1日あたりのポンプ消費電力量(kwh)

P_h : ポンプの時間毎の出力電力量(kwh)

θ : 電動機効率

(3) ポンプ制御方式別のポンプ消費電力量の特徴
 ポンプは、ポンプ特性曲線を用い、最大の使用水量が発生した場合に最も効率良く稼働するポンプを選定するが、その制御方式によってポンプ消費電力量は大きく異なる。ポンプ制御方式別の消費電力量の特徴は次の通りである。

高置水槽の場合は、小流量は高置水槽で調整されるため、ポンプは ON/OFF 制御となって吐出量は時間によらずほぼ一定となり、常にポンプが最高効率点付近で運転されることから効率が良い。このため、貯水槽水道方式の中で最も消費電力量が小さい方式である。しかし、高置水槽の設置及び維持管理にコストがかかり衛生管理等の不安もあることから近年新設での採用例は少ない。

加圧給水方式にはインバータ制御と非インバータ制御がある。インバータ制御のポンプとは吐出量にあわせてポンプの回転数を制御できるものである。一方、非インバータ制御のポンプは回転数を制御できないので吐出量が少なくてもフル運転状態となる。

したがって、加圧給水方式で非インバータ制御の場合には、ピーク時間帯は効率がよいが、それ以外の時間帯は効率が落ちるため、全体として消費電力量は最も大きくなる。このため、この方式は既存の貯水槽水道では設置割合が最も多いものの、新設での採用の例は少ない。

一方、加圧給水方式でインバータ制御の場合には、ピーク時間帯以外も回転数制御により効率が比較的落ちないため、消費電力量は非インバータ方式より少ないが、高置水槽方式よりは多い。この方式は、新設の貯水槽水道での主流を占めている。

増圧直結方式においては、このインバータ制御のポンプを用いており、しかも配水圧を有効利用することから、上記 3 方式と比べて最も消費電力量が少ない方式である。受水槽の設置及び管理が不要なこともあり、現在の中高層建物ではこの方式が採用されることが多い。

4. CO₂ 排出原単位算定式の提案

これまでに示した消費電力量の結果等を用い、以下の計算により、貯水槽容量別の CO₂ 排出原単位を求めた。なお、CO₂ 排出係数については、東京圏内では主として、東京電力(株)から電力を供給されているので、2008 年度に東京電力㈱が用いている単位電力消費の CO₂ 換算値 0.332(kg-CO₂/kwh)を用いた。¹⁷⁾

1m³ を給水する場合の CO₂ 排出量は(4) 式により給水方式別、ポンプ制御方式別に算出する。

$$C_m = \frac{0.332 \times P_i}{W_d} \quad \dots (4)$$

C_m : 水 1 m³ 給水するための CO₂ 排出原単位 (kg-CO₂/m³)

P_i : 1 日あたりのポンプ消費電力量 (kwh)

W_d : 貯水槽水道での 1 日使用水量 (m³/日)

0.332 : CO₂ 換算値 (kg-CO₂/kwh)

この CO₂ 排出原単位を目的変数として給水方式別、ポンプ制御方式別に回帰分析を行う。原単位のデータ ((4) 式による算定結果) を表-5 に、また CO₂ 排出原単位の回帰式を (5) 式～(8) 式、分析結果を図-3～6 に示す。なお、表-5 において小規模の増圧直結給水については、一般に直圧直結給水を適用する規模であることから、排出原単位を「0.000」とした。

表-5 給水方式別、ポンプ制御方式別の CO₂ 排出原単位
 (単位 : kg-CO₂/m³)

貯水槽容量[m ³]	0.75	3	4	5	10	17	20	30	35	44	50
使用水量[m ³ /日]	1.5	6	8	10	20	33	40	60	70	88	100
高置水槽方式	0.110	0.068	0.069	0.086	0.081	0.087	0.088	0.118	0.101	0.110	0.095
インバータ制御	0.391	0.232	0.273	0.289	0.196	0.160	0.172	0.155	0.123	0.133	0.132
非インバータ制御	0.682	0.465	0.498	0.498	0.301	0.333	0.276	0.248	0.249	0.231	0.234
増圧直結方式	0.000	0.000	0.000	0.011	0.056	0.089	0.058	0.076	0.073	0.090	0.087

なお、(5) 式～(8) 式は、直線回帰式または対数回帰式について検討し、最小二乗法により決定係数 R^2 が最大値をとる回帰式を採用した。

また、ここではパラメータを貯水槽容量としているが、これは一般に貯水槽容量の方が日使用水量よりも把握しやすいとの判断に基づくものである。なお、日使用水量が把握可能であれば、実際の貯水槽容量ではなく、日使用量の半量 (通常、この値が貯水槽容量の設計にそのまま用いられる) を貯水槽容量に代えて用いるのが適当である。

(1) 高置水槽方式での CO₂ 排出原単位

CO₂ 排出量の分析結果を (5) 式並びに図-3 に示す。

$$Y_{\text{high-tank}} = 0.0004x + 0.0866 \quad \dots (5)$$

$Y_{\text{high-tank}}$: 高置水槽方式における CO₂ 排出原単位 (kg-CO₂/m³)

x : 貯水槽容量 (m³)

決定係数 R^2 : 0.243

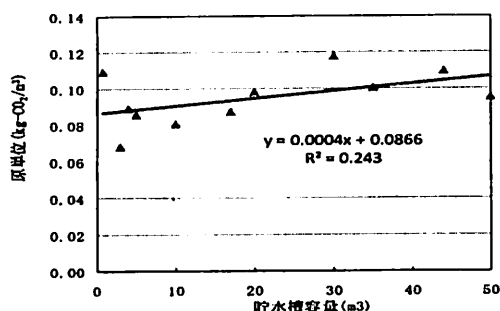


図-3 高圧水槽方式のCO₂排出原単位

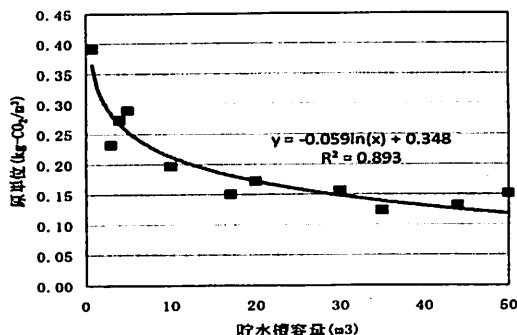


図-5 インバータ制御ポンプのCO₂排出原単位

(2) 加圧給水方式における非インバータ制御ポンプのCO₂排出原単位

回帰分析結果を(6)式並びに図-4に示す。

$$Y_{not-inv} = -0.096 \ln(x) + 0.616 \quad \dots (6)$$

$Y_{not-inv}$: 非インバータ制御ポンプにおけるCO₂排出原単位 (kg-CO₂/m³)

x : 貯水槽容量 (m³)

決定係数 R^2 : 0.882

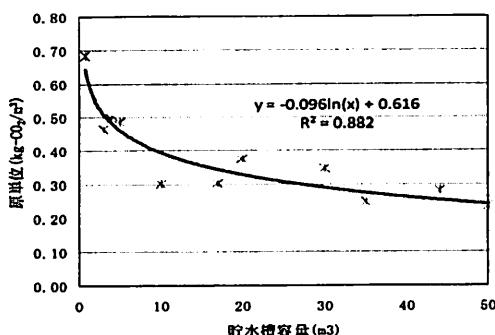


図-4 非インバータ制御ポンプのCO₂排出原単位

(3) 加圧給水方式におけるインバータ制御ポンプのCO₂排出原単位

回帰分析結果を(7)式並びに図-5に示す。

$$Y_{inv} = -0.059 \ln(x) + 0.348 \quad \dots (7)$$

Y_{inv} : インバータ制御ポンプにおけるCO₂排出原単位 (kg-CO₂/m³)

x : 貯水槽容量 (m³)

決定係数 R^2 : 0.893

(4) 増圧直結給水方式におけるインバータ制御ポンプのCO₂排出原単位

回帰分析結果を(8)式並びに図-6に示す。

なお、増圧直結給水においては貯水槽がないため、貯水槽容量を用いて算出するのは適当な記述でないが、他の方式と比較しやすいようにここでは仮定の貯水槽容量（日使用量の半量）を用いた。

$$Y_{boost} = 0.027 \ln(x) - 0.014 \quad \dots (8)$$

Y_{boost} : 増圧直結給水方式におけるインバータ制御ポンプのCO₂排出原単位 (kg-CO₂/m³)

x : 貯水槽容量 (m³)

決定係数 R^2 : 0.803

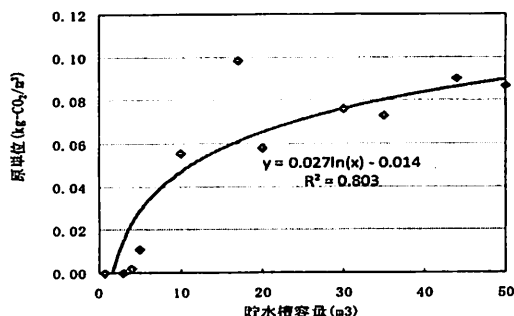


図-6 増圧直結給水におけるインバータ制御ポンプのCO₂排出原単位

5. 直結給水化に伴うCO₂削減効果の算定

(5)式～(8)式を用いて、貯水槽水道を増圧直結給水に切り替えた場合のCO₂削減率を算出することが可能となる。節減できる電力量の割合もこれにより算出することができる。

また、同じく(5)式～(8)式を用いて、貯水槽水道全体での平均CO₂排出原単位や、東京都全体での貯水槽水道におけるCO₂排出量の推定、直結給水におけるCO₂排出原単位との比較などを行うこととする。

(1) 高置水槽から切替える場合

高置水槽方式を増圧直結給水に切替えた場合のCO₂の削減状況を、削減率（CO₂の発生量がどの程度縮減できるかを示す指標）を用いて表す。削減率の算出式を(9)式に、結果を図-7に示す。

$$1 - Y_{boost} / Y_{high-tank} = 1 - \frac{\{0.027 \ln(x) - 0.014\}}{\{0.0004x + 0.0866\}} \dots (9)$$

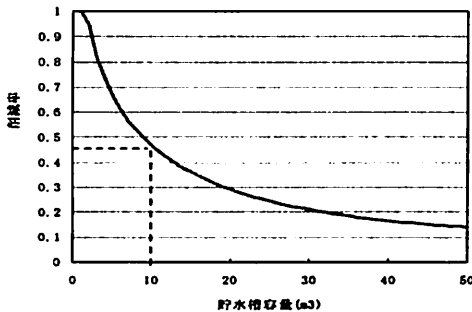


図-7 高置水槽からの切替えによるCO₂削減率

この結果、高置水槽方式を増圧直結給水に切替えることにより、10 m³以下の小規模な貯水槽（これは件数で8割を占める）を設置している場合には、CO₂排出量を5割程度削減できることがわかる。一方、高置水槽方式は貯水槽方式の中で最も省エネであり、規模が大きいくほどそれが顕著なため、貯水槽容量が30 m³を超えると削減率は2割程度以下になることがわかる。

(2) 非インバータ制御ポンプから切替える場合

削減率の算出式を(10)式に、結果を図-8に示す。

$$1 - Y_{boost} / Y_{not-inv} = 1 - \frac{\{0.027 \ln(x) - 0.014\}}{\{-0.096 \ln(x) + 0.616\}} \dots (10)$$

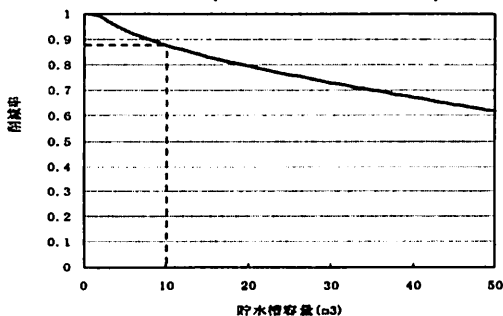


図-8 非インバータ制御ポンプからの切替えによるCO₂削減率

非インバータ制御ポンプから増圧直結給水に切替えた場合には、CO₂の削減効果は極めて大きく、10

m³以下の小規模な貯水槽では9割、50 m³程度の大規模なものでも6割以上の削減効果があることがわかる。

(3) インバータ制御ポンプから切替える場合

削減率の算出式を(11)式に、結果を図-9に示す。

$$1 - Y_{boost} / Y_{inv} = 1 - \frac{\{0.027 \ln(x) - 0.014\}}{\{-0.059 \ln(x) + 0.348\}} \dots (11)$$

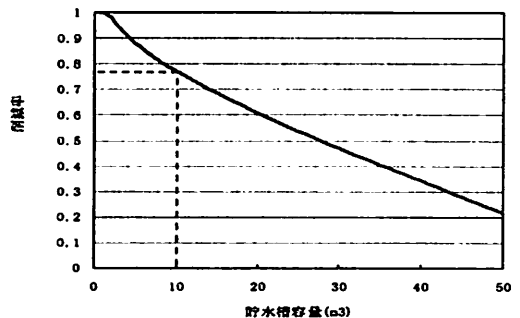


図-9 インバータ制御ポンプからの切替えによるCO₂削減率

インバータ制御のポンプから増圧直結給水に切替えた場合は、非インバータ制御のポンプから切替える場合よりは効果が低減するものの、10 m³以下の小規模貯水槽の場合は、8割程度の削減が見込める。

このように、直結給水化によるCO₂削減率を定量的に把握することにより、需要家に対してCO₂削減効果や省エネ効果をわかりやすく示すことが可能となる。

(4) 貯水槽容量別の平均のCO₂排出原単位算定式

貯水槽水道は前述のとおりポンプ制御方式によって3種類に分けられ、それぞれの実単位は(5)式～(7)式によって得られた。それらの全体の設置割合は表-1に示すとおりであるが、規模の大小によって必ずしも一律のものではない。しかし、ここではそれらが一律のものと仮定して、全体の貯水槽水道について平均の実単位の傾向を把握することとする。そこで、それらを全体の設置割合によって加重平均することにより、貯水槽容量別の平均のCO₂排出原単位を(12)式で試算した。

$$C_a = (5) \text{式} \times 0.33 + (6) \text{式} \times 0.46 + (7) \text{式} \times 0.21 \\ = 0.000132x - 0.0566 \ln(x) + 0.3564 \dots (12)$$

C_a : 貯水槽容量別の平均のCO₂排出原単位（ポンプ制御方式別のCO₂排出原単位の加重平均

値) (kg-CO₂/m³)

x: 貯水槽容量(m³)

この結果を表-6、図-10 に示す。これにより、貯水槽水道方式における容量別の排出原単位について大まかな傾向を把握することができる。具体的には、小規模な貯水槽水道では原単位が高く、規模が大きいほど原単位が低くなるという傾向が示された。

表-6 貯水槽容量別の平均のCO₂排出原単位

(単位: kg-CO ₂ /m ³)												
貯水槽容量[m ³]	0.75	3	4	5	10	17	20	30	35	44	50	
使用水量[m ³ /日]	1.5	6	8	10	20	33	40	60	70	88	100	
貯水槽水道	0.376	0.298	0.281	0.269	0.230	0.201	0.193	0.171	0.163	0.151	0.145	
増圧直結給水	0.000	0.000	0.002	0.029	0.048	0.062	0.067	0.078	0.082	0.083	0.092	

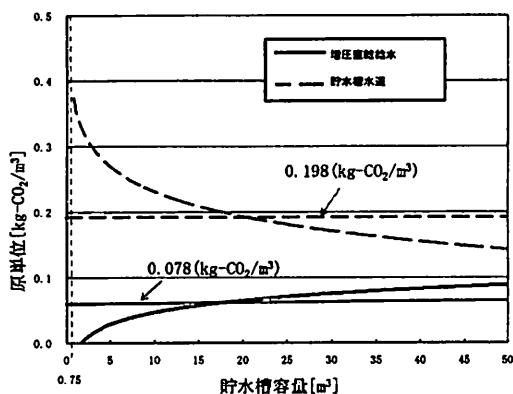


図-10 給水方式別CO₂排出原単位

(5) 貯水槽水道における平均のCO₂排出原単位

給水区域内の全ての貯水槽水道の平均排出原単位は、(4)の(12)式を用いて容量別排出原単位を算出し、容量別設置数を考慮して表-7 により算出する。

具体的には、表-7 において、表-2 の貯水槽設置割合に示す区分を用い、貯水槽容量別に、容量の代表値を設定した。代表値は貯水槽容量の区分の中央値とし、100 m³超については200 m³と設定した。それらの容量を2倍して、日使用水量を算出し、表-2 の貯水槽設置数を乗じて総合計使用水量を算出した。

一方、(12)式を用いて容量代表値別にCO₂排出原単位を算定し、それに総合計使用水量を乗じてCO₂排出量を算出し、それらの合計値Bを、先に求めた総合計使用水量の合計値Aで除して、平均のCO₂排出原単位とした。

$$B/A=668.634/3382=0.198\cdots(13)$$

表-7 貯水槽水道における平均CO₂排出原単位の算出

貯水槽容量	貯水槽容量代表値(m ³)	日使用水量(m ³ /日)	貯水槽設置数(件)	総合計使用水量(千m ³ /日)	CO ₂ 排出原単位(kg-CO ₂ /m ³)	二酸化炭素排出量(ton-CO ₂ /日)
1m ³ 以下	0.5	1	48,590	47	0.424	19.767
5m ³ 以下	3	6	63,758	383	0.293	123.675
10m ³ 以下	7.5	15	23,660	355	0.272	96.556
50m ³ 以下	30	60	24,212	1453	0.197	285.663
100m ³ 以下	75	150	2,565	385	0.151	58.006
100m ³ 超	200	400	1,900	760	0.112	84.947
合計			182,656A=	3382		668.634B=

よって貯水槽水道におけるCO₂排出原単位(東京都の平均値)は、0.198(kg-CO₂/m³)となる。この値は、東京都における貯水槽水道では、規模やポンプ制御方式に関わりなく、全体として1 m³あたりどのくらいのCO₂を排出しているかを示すものである。

(6) 増圧直結給水における平均のCO₂排出原単位

4. (4)の結果から、増圧直結給水において1 m³を給水するに当たって排出される平均のCO₂排出原単位を、(5)と同様の手法により、表-8 のD/Cにより算出する。

$$D/C=264.954/3382=0.078\cdots(14)$$

表-8 増圧直結給水における平均CO₂排出原単位の算出

貯水槽容量	貯水槽容量代表値(m ³)	日使用水量(m ³ /日)	貯水槽設置数(件)	総合計使用水量(千m ³ /日)	CO ₂ 排出原単位(kg-CO ₂ /m ³)	二酸化炭素排出量(ton-CO ₂ /日)
1m ³ 以下	0.5	1	48,590	47	0.000	0.000
5m ³ 以下	3	6	63,758	383	0.000	0.000
10m ³ 以下	7.5	15	23,660	355	0.040	14.328
50m ³ 以下	30	60	24,212	1453	0.078	113.069
100m ³ 以下	75	150	2,565	385	0.103	39.485
100m ³ 超	200	400	1,900	760	0.129	98.091
合計			182,656C=	3382		264.954D=

よって増圧直結給水における平均のCO₂排出原単位は、0.078(kg-CO₂/m³)となる。この値は、東京都における貯水槽水道がもし全て増圧直結給水になったら、増圧直結給水では全体として1 m³あたりどのくらいのCO₂を排出しているかを示すものである。

(13)式及び(14)式から、増圧直結給水は貯水槽水道に比較して、CO₂排出量が平均4割程度(0.078/0.198=0.39)となることがわかる。

(7) 貯水槽水道におけるCO₂排出量の算定並びに削減効果の推定

(5)及び(6)の結果を用いて、東京都全体の貯水槽水道におけるCO₂排出量を算定する。このためには、貯水槽水道における使用水量のデータが必要となる。

そこで、東京都水道局の水道料金徴収システムの

データを用いて、表-1 に示す 249 万件に及ぶ貯水槽水道方式の給水件数（メータ数）の使用水量を集計した結果、貯水槽水道における年間使用水量を 8.0 億 m^3 と算定した。なお、表-7 の総合計使用水量の合計値 A の 3382 千 m^3 /日に 365 日を掛けると 12.3 億 m^3 とこれより多くなる。これは貯水槽容量を設計する際には計画日使用水量の半量を用いてはいるものの、実際の日使用水量は節水の普及や世帯人員の減少などから、計画より少ない建物が多いため、貯水槽容量の分布から推定した年間使用水量は実際より多めに算出されることによる。したがって、合計値 A を 8 億 m^3 に見合う数値に補正して計算する方法もあるが、平均の CO_2 排出原単位については、合計値 B も A と同じ割合で実際より大きく算出されており、B/A で算出した(13)式の値は補正しても同じ値となるため、補正しないこととした、

一方、直結給水分を合わせた東京都全体の年間使用水量は 15.4 億 m^3 ¹⁰⁾であり、貯水槽水道分 (8.0 億 m^3) が約半量を占めている。これにより、東京都における貯水槽水道からの CO_2 排出量を、 $0.198(\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3) \times 8.0(\text{億}\text{m}^3/\text{年}) = \text{約 } 16 (\text{万 ton}-\text{CO}_2/\text{年})$ と推定した。

この CO_2 排出量 16 (万 ton) は、東京都水道局の水道事業による年間の CO_2 排出量約 31 (万 ton)¹⁹⁾ の約 1/2 に相当する。

また、原単位で比較すると、同じく東京都水道局の水道事業における水道水 1 m^3 あたりの CO_2 排出原単位は、 $0.201 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)$ (年間排出量 31 (万 ton) を年間使用水量 15.4 億 m^3 で割って算出) であるので、貯水槽水道における排出原単位 $0.198 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)$ はそれと同等と言える。

このことから、直結給水の水の原単位が $0.201 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)$ であるのに対し、貯水槽水道の水はこれを給水元としている (貯水槽に入る水の原単位はこの値である) ので、貯水槽水道の蛇口から出る水の原単位は、これに貯水槽水道における原単位 $0.198 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)$ が加わって $0.399 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)$ となり、直結給水の倍の原単位となるといえる。

なお、増圧直結給水においては、直結給水の原単位 $0.201 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)$ に、(14)式の増圧直結給水の原単位 $0.078 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)$ が加わることから、 $0.279 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)$ となり、1.4 倍の原単位となる。

次に、直結給水への切り替えによる CO_2 排出量削減効果を推定する。現在設置されている貯水槽水道全てを増圧直結給水に切り替えると仮定すると、

$$(0.198 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3) - 0.078 (\text{kg}-\text{CO}_2/\text{m}^3)) \times 8 \text{ 億}\text{m}^3$$

$$= 9 \text{ 万 } 6 \text{ 千 } (\text{ton}-\text{CO}_2/\text{年})$$

の CO_2 削減が見込めると推定される。これは年間排出量 31 (万 ton) の 3 割に相当する量である。

6. おわりに

本研究は、中高層建物での水使用に伴う CO_2 排出量について、貯水槽水道の実態調査をもとに、規模別、ポンプ制御方式別のモデルを設定し、その排出量と直結給水化による削減効果の算出手法を考案したものである。

以下に得られた結果を述べる。

- (1) 1m^3 を給水する場合において、給水方式別に貯水槽容量をパラメータとした CO_2 排出原単位の算定式を構築した。
- (2) 1m^3 を給水する場合において、貯水槽水道を増圧直結給水に切り替えた場合の CO_2 削減率算定式を導出した。
- (3) この CO_2 削減率の算定結果から貯水槽容量の小さい貯水槽水道ほど直結給水に切り替えた場合に CO_2 削減効果が高くなる傾向が示された。
- (4) CO_2 排出原単位算定式及び貯水槽水道におけるポンプ制御方式別割合、貯水槽容量別設置割合を用いて、貯水槽水道における平均の CO_2 排出原単位を算出した。
- (5) 平均の CO_2 排出原単位を用いて、貯水槽水道を直結給水に切り替えた場合の CO_2 排出削減量の推定が可能となった。

本研究では、一般的かつ簡易な方法により収集したデータを用いて、 CO_2 排出原単位の算定手法を提案した。この結果、全国の水道事業体においても直結給水への切替えに伴う CO_2 排出量の低減効果の試算が可能となり、直結給水の利点を具体的に示せるものと考え、今後の直結給水方式の普及促進の一助になればと思っている。

なお、今後の課題としては、ポンプの消費電力データの蓄積などを進め、 CO_2 削減量算定の精度を高め、算定手法の信頼性を向上させることが考えられる。また、今回は水道使用時の CO_2 排出量などを検討の対象としたが、直結給水化に伴う貯水槽の撤去処分や増圧直結給水設備設置に伴う CO_2 排出量の増加など水道使用以外の部分についても検討を加えていく必要があると考える。

参考文献

- 1) 小林康彦：小規模専用水道および受水槽水道の水質管理のあり方，pp. 254-259，資源環境対策第 37 巻 3 号，

2001

- 2) 山本正弘：水道法の改正に向けて，pp. 237-241，資源環境対策第 37 巻 3 号，2001
- 3) 岡田誠之，金子岳夫：給水タンク内に起因した残留塩素の消失に関する研究，pp. 29-35，空気調和・衛生工学会論文集第 98 巻，2005
- 4) 加藤茂，栗原茂：横浜市における貯水槽水道への取り組みについて，pp. 44-46，水道協会雑誌第 76 巻 6 号，2007
- 5) 宇井利見：安全でおいしい水プロジェクトの推進と高度浄水処理の導入，pp. 317-322，用水と廃水第 48 巻 4 号，2006
- 6) 滝沢優憲：水道の新たな取組み 貯水槽水道対策の推進—直結給水の普及・拡大，pp. 27-29，都政研究第 37 巻 3 号，2004
- 7) 松澤峰矢：直結方式 東京都の直結給水方式への取り組み，pp. 181-186，空気調和・衛生工学第 83 巻 7 号，2009
- 8) 山内大助ほか：資源循環型住宅システムの開発研究 その 4，pp. 521-522，日本建築学会大会学術講演梗概集，2005
- 9) 山内大助ほか：資源循環型住宅システムの開発研究その 7，pp. 471-472，日本建築学会大会学術講演梗概集，2005
- 10) 東京都水道局：東京水道経営プラン 2010，p. 70，2010
- 11) 水道施設設計指針 2000 日本水道協会
- 12) 財団法人ベターリビング，優良住宅部品認定基準給水ポンプシステム，2009
- 13) 空気調和・衛生工学会，空気調和・衛生工学会便覧第 13 版，2003
- 14) 東京都水道局 指定給水装置工事業者工事施工要領，2008
- 15) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修，建築設備設計基準平成 21 年版，2009
- 16) JIS C 4210 一般用低圧三相かご形誘導電動機
- 17) 東京電力：東京電力ウェブサイト
<http://www.tepco.co.jp/eco/report/>，2008 年
- 18) 東京都水道局：事業概要平成 21 年度版，p. 24
- 19) 東京都水道局：環境報告書 2009，p. 14

(2010. 5. 21 受付)

Study on the Reduction of CO₂ Emission by Replacing Receiving Tank System to Directly Connected Water Supply System

Atsushi MASUKO^{1,2}, Mineya MATSUZAWA², Hiroshi ASHIDA², Satoshi TAMURA²
and Akira KOIZUMI¹

¹ Dept. of Civil and Environmental Engineering, Tokyo Metropolitan University

² Tokyo Metropolitan Government, Bureau of Waterworks

Abstract

In Japan, the water supply system with receiving tank is broadly used. Various sizes of the tanks and types of the pump control systems are adopted in this system. Because of these varieties, it is very difficult for the water supplier to estimate the amount of CO₂ emission in this system.

We established CO₂ emission models according to the sizes of the tanks and the types of the pump control systems, based on the measurement of the amount of the CO₂ emissions in the water supply system with receiving tank. By this model, we calculate the total amount of emission in the whole water service area.

In addition, we estimate the amount of emission by the water supply system directly connected with a water main in the area and obtain that this amount is smaller than the former result.

Hence, the study clearly shows that the water supply system directly connected with a water main has effectiveness in preventing global warming, compared to the receiving tank system.