

Title	既存の水道設備と大規模発電所を利用した簡易温水供給システムのLCA
Sub Title	
Author	疋田, 浩一 (Hikita, Koichi)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	1998
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』 (KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-4
JaLC DOI	
Abstract	概要給湯向けエネルギー消費の削減策として、大規模な新設設備の建設を極力控えて既存の供給源と供給システムを利用する方策の検討をおこなった。既存の水道水は冬場で5℃前後まで水温が低下するが、従来の水道供給では水温の調整まではしていないため、特に冬場は温水を作るために電気、ガス給湯機が用いられている。当面の対処療法的な方策として、従来からある水道管を用いて、一般家庭で使用するのに適当な水温で水道水を供給するというシステムを検討する。熱源としては、大量かつ低質な既存施設として、大規模火力発電所の廃熱を利用する事が有効であろうと考えられる。これによって、特に冬場の給湯向けエネルギーの削減が期待できる。このシステムには十分な廃熱源と需要の期待できる都市部が適当であると考えられるため、東京都における給水・給湯事情、既設の水道設備を調査し、新設する温水供給システムの各プロセスについて、圧力損失、熱拡散による温度降下、廃熱回収による発電効率の降下等特性の評価を行った。さらに年間の水温変化に従った運転シミュレーションを行い、エネルギー消費及びCO2排出削減量の推計を行った。その結果、平均水温程度まで増熱する場合でも1次エネルギー消費量の1%程度に相当する温水を供給できることが試算された。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000004-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

既存の水道設備と 大規模発電所を利用した 簡易温水供給システムのLCA

疋 田 浩 一

No.G-4

学振未来 WG2-2

既存の水道設備と大規模発電所を利用した 簡易温水供給システムの LCA

疋田浩一
1998 年 3 月

キーワード

水道設備、大規模発電所廃熱回収、温水供給システム、浄水場、送水管圧力損失、熱拡散
再熱ランキンサイクル効率、エネルギー収支、エネルギー原単位、CO₂ 排出原単位

概要

給湯向けエネルギー消費の削減策として、大規模な新設設備の建設を極力控えて既存の供給源と供給システムを利用する方策の検討をおこなった。既存の水道水は冬場で 5℃前後まで水温が低下するが、従来の水道供給では水温の調整まではしていないため、特に冬場は温水を作るために電気、ガス給湯機が用いられている。当面の対処療法的な方策として、従来からある水道管を用いて、一般家庭で使用するのに適当な水温で水道水を供給するというシステムを検討する。熱源としては、大量かつ低質な既存施設として、大規模火力発電所の廃熱を利用する事が有効であろうと考えられる。これによって、特に冬場の給湯向けエネルギーの削減が期待できる。このシステムには十分な廃熱源と需要の期待できる都市部が適当であると考えられるため、東京都における給水・給湯事情、既設の水道設備を調査し、新設する温水供給システムの各プロセスについて、圧力損失、熱拡散による温度降下、廃熱回収による発電効率の降下等特性の評価を行った。さらに年間の水温変化に従った運転シミュレーションを行い、エネルギー消費及び CO₂ 排出削減量の推計を行った。その結果、平均水温程度まで増熱する場合でも 1 次エネルギー消費量の 1%程度に相当する温水を供給できることが試算された。

既存の水道設備と大規模発電所を利用した

簡易温水供給システムの LCA*

疋田浩一†

1998 年 3 月

1. はじめに

近年のエネルギー消費の急速な拡大とこれに伴う環境問題の顕在化により、エネルギー資源の有効利用と環境負荷の削減を目的とした技術開発が促進されている。ここでは、給湯向けエネルギー消費の削減策として、大規模な新設設備の建設を極力控えて既存の供給源と供給システムを利用する方策を検討する。

既存の水道水は冬場で 5℃前後まで水温が低下するが、従来の水道供給では水温の調整まではしていないため、特に冬場は温水を作るために電気、ガス給湯機が用いられている。様々な廃熱源からの回収により温水を供給すれば、この給湯に要するエネルギーの節約が期待できる。温水・冷水の二重配管にするのが理想ではあるが、新たな配管の敷設には莫大なコストがかかることが予想され、あまり現実的とはいえない。ここでは当面の対処療法的な方策として、従来からある水道管を用いて、一般家庭で使用するのに適当な水温で水道水を供給するというシステムを検討する。熱源としては、大量かつ低質な既存施設として、大規模火力発電所の廃熱を利用する事が有効であろうと考えられる。これによって、特に冬場の給湯向けエネルギーの削減が期待できるであろう。このシステムには十分な廃熱源と需要の期待できる都市部が適当であると考えられるため、今回は東京都に設置する場合について推計を行う。

2. 大規模発電所廃熱利用温水供給システム

2-1 概要

既存の水道供給設備で集中的に増熱を行うには、いくつかの大規模浄水場と排熱源である発電所とを送配水管で繋いで温水の輸送を行うのが、新設する配管設備が少なくコスト的にも有利であろうと考えられる。本研究では最終的な需要家への配水は既設水道管を利用するので、新たな設備としては、上水場と排熱源間の新設パイプラインとコンプレッサー、排熱回収用パイプだけを検討すればよいことになる。

* この研究は慶応義塾大学産業研究所 吉岡完治、東京大学工学部 石谷久、松橋隆治、東海大学教養学部 菅幹雄、日本エネルギー経済研究所 長谷川秀夫諸氏の指導と貴重なコメントによって初めて可能になった。また、学術振興会 未来開拓技術研究推進事業「アジア地域の環境保全」Work Group2 における共同研究として行われた。なお、本論分に含まれ得るミスに関しては、執筆者の責任である。

† 東京大学工学部、慶応義塾大学産業研究所未来開拓事業

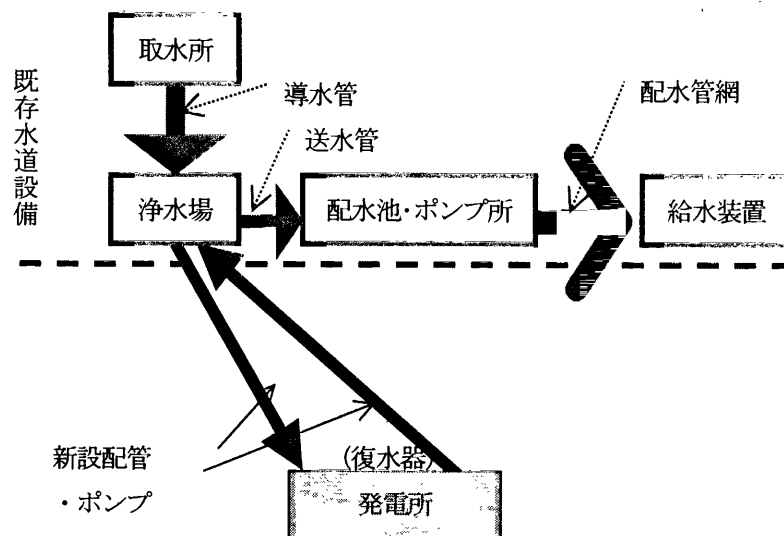


Fig.1 温水供給システムの概要 (参考 1,2)

2-2 給湯向けエネルギー消費量

現状の給湯向けのエネルギー消費量については、家庭部門の世帯当たり消費量と業務部門の延べ床面積当り消費量から、熱機器効率を考慮して有効熱量当りの 1 次エネルギー消費原単位、CO2 排出原単位を算定する。

Tab.1 基本数値

	全国	東京都
人口 [万人] (3)	12,557	1,177
世帯数[万世帯] (4)	4,411	500
業務用延床面積[10 ⁶ m ²] (5)	1,524 (5)	156 (6)

Tab.2 給湯機器熱効率

	機器効率
Electricity	64%
Gas	88%
Oil	88%
Coal	88%
Others	100%

○エネルギー原単位

エネルギー種別の各原単位については、文献 7,8 等を参考にしながら本研究室で独自に開発したデータベースより算出したものである。

ここで、

$$\text{エネルギー収支} = (\text{Output Energy}) / (\text{対象エネルギーの生産過程全体にわたる Input Energy})$$

…… (式1)

である。(エネルギー消費量/エネルギー収支) より、ライフサイクル 1 次エネルギー総消費量が算出される。

Tab.3 エネルギー種別原単位

	エネルギー収支	CO2原単位 [g-C/Mcal]	CO2原単位 [g-CO2/Mcal]
Electricity	0.328	121	441
Gas	0.836	74	272
Oil	0.905	89	325
Coal	0.948	109	400

(参考 7,8 他)

Tab.4 給湯向けエネルギー消費量

[Tcal/year]		エネルギー消費量			有効熱量	1次エネルギー消費量	CO2排出量 [kton-C/year]
		計	家庭部門	業務部門			
全国	Electricity	766,080	766	0	6 690	31 909	1,265
	Gas	219,200	190	29,413	116 089	157 718	9 769
	Oil	2,204,670	2,142	62,332	83 381	104 704	8,400
	Coal	404,430	398	6,553	6 698	8 031	831
	Others	41,190	36	5,334	14 508	0	0
	Total	3,635,570	3,532	103,632	227,367	302,361	20,265
東京都	Electricity	71,829	72	0	758	3 616	143
	Gas	20,552	18	3,015	12 876	17 493	1 084
	Oil	206,712	200	6,390	8 856	11 121	892
	Coal	37,920	37	672	697	835	86
	Others	3,862	3	547	1 587	0	0
	Total	340,875	330	10,624	24,774	33,066	2,206

(参考 5)

以上より給湯熱のエネルギー収支比と CO2 排出原単位を計算すると、次表のような結果が得られた。

Tab.5 給湯熱原単位

	エネルギー収支	CO2原単位 [g-C/Mcal]
全国	0.752	89.1
東京都	0.749	89.0

2-3 温水輸送

ここでは送水管を設置、運用する際の諸条件について述べる。

2-3-1 浄水場

東京都の大規模な浄水場は10個所で、それぞれの一日当りの浄水処理量と水温は次のようになっている。この他に工業用浄水場があるが、冷却水として用いられることも多いので家庭、業務用の用水のみを対象とする。

Tab.6 各浄水場の浄水処理量と年間水温

施設名	一日平均浄水量 [m ³ /day]	水温 [°C]		
		最高	最低	平均
砧下	30,400	20.0	12.4	16.1
境	104,000	26.7	4.7	14.2
金町	921,600	30.9	4.8	16.2
砧上	43,900	20.8	12.2	16.6
長沢	194,500	24.1	6.5	14.5
東村山	877,400	27.4	3.7	14.2
朝霞	1,224,800	28.7	3.0	15.1
小作	192,300	23.6	3.6	12.9
三園	280,400	28.8	3.6	15.4
三郷	567,400	30.5	3.8	15.9

(出典 9)

2-3-2 送水管

・送水管の配置と路長

湾岸の大規模発電所とこれらの浄水場を地中埋設された鋼管で繋ぐが、水温が低いので特に保温材は用いないこととする。ここでは浄水場間の直線距離をそのまま送水管の路長としたが、実際は直線で配管できるわけではないので1～2割長くなるであろう。

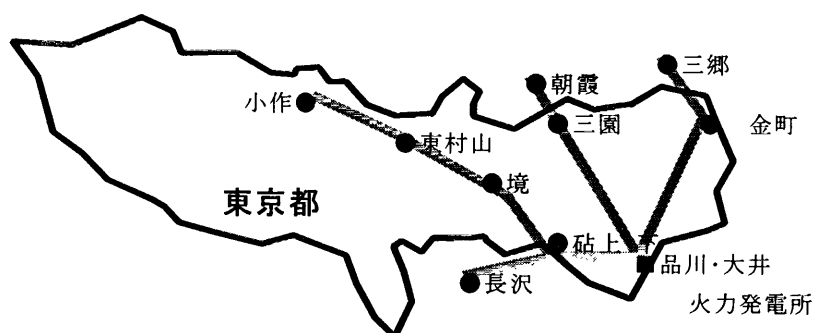


Fig.2 東京都の浄水場と新設する送水管 (参考 10,11)

Tab.7 新設する送水管の路長と送水量

	区間	路長 [km]	浄水量 [m ³ /day]	積算輸送水量 [m ³ /day]
送水路1	三郷－金町	8	567,400	567,400
	金町－品川	20	921,600	1,489,000
送水路2	朝霞－三園	6	1,224,800	1,224,800
	三園－品川	23	280,400	1,505,200
送水路3	小作－東村山	14	192,300	192,300
	東村山－境	10	877,400	1,069,700
	境－砧	11	104,000	1,173,700
	長沢－砧	4	194,500	194,500
	砧－砧下	2	43,900	1,412,100
	砧下－大井	14	30,400	1,442,500

・配管径

東京都における導水路と送配水管の配管径を調べてみると、導水路では山口貯水池の 3,800mm、送配水管では朝霞上井草線の 2,700mm が最大である（文献2）。このことから 3 m 程度のものでも敷設することが出来るといえるが、実際の長距離送配水管では 2 m 前後のものが多い。

ここでは、配管径の最大値を 2 m と 3 m に設定することとする。

・素材

配管はすべて鉄とし、素材量のみについて算定に加えた。耐用年数は 15 年とした。

Tab.8 配管の鉄の原単位

エネルギー原単位 [Gcal/ton]	CO2原単位 [g-C/g]	CO2原単位 [g-CO2/g]
6.287	0.573	2.099

2－3－3 圧力損失

管の圧力損失は次式によって算出する。

（参考文献 12,13）

Darcy - Weisbach の式

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots (式2)$$

γ : 流体密度 [kgf/m³]

l : パイプ全長 [m]

d : パイプ直径 [m]

v : 流速 [m/s]

g : 重力加速度 [m/s²]

f: 摩擦係数

乱流の場合のムーディー近似式

$$f = 0.0055 \left[1 + \left(20,000 \frac{k}{d} + \frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{1/3} \right] \quad \dots \text{(式3)}$$

k: 管内面粗さ[m]

Re: レイノルズ数

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu} \quad \dots\dots \text{(式4)}$$

ν : 流体の動粘度 [m²/s]

2-3-4 熱損失

出口温度は常温との温度差から次式によって温度の低下を算出する。(参考文献 12)

温水の温度降下

$$\Delta T = T_1 \left(1 - e^{\frac{-\pi \cdot d_i \cdot K_i \cdot L}{1,000W}} \right) \quad \dots\dots \text{(式5)}$$

T1: 配管始点での管内温水と管外との温度差 [°C]

d_i: 管内径 [m]

W: 流量 [m³/h]

K_i: 管内面基準熱通過率 [kcal/m²・h・°C]

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{\alpha_i} + d_i \cdot \frac{1}{2\lambda_i} \log_e \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_i}{\alpha_o d_o} \quad \dots \text{(式6)}$$

α_o : 管外面側表面熱通過率 [kcal/m²・h・°C]

d_o: 管外径 [m]

λ_i : 管材の熱伝達率 [kcal/m・h・°C]

α_i : 管内面側表面熱通過率 [kcal/m²・h・°C]

十分発達した円管内乱流に対するディッタスらの式

$$\frac{\alpha_i \cdot d_i}{\lambda_w} = 0.023 (\text{Re})^{0.8} (\text{Pr})^{0.4} \quad \dots\dots \text{(式7)}$$

λ_w : 水の熱伝達率 [kcal/m・h・°C]

Pr: プラントル数

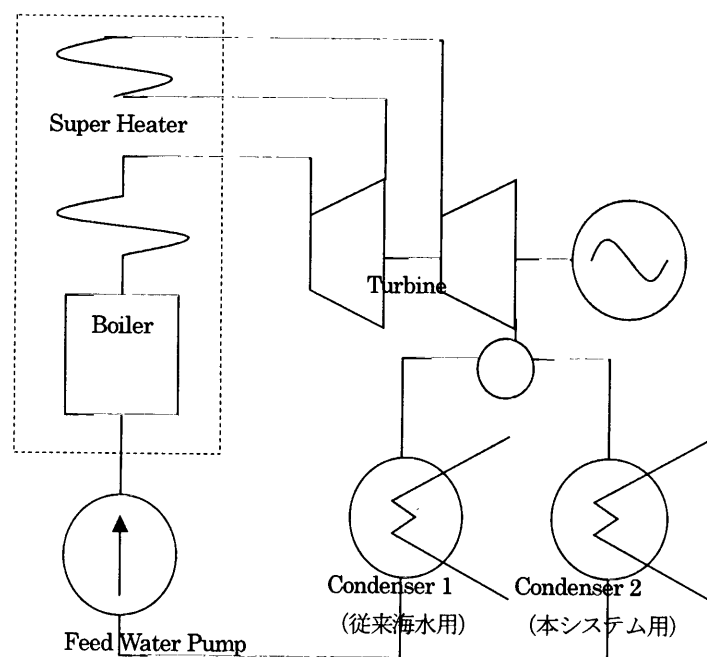
2-4 発電所

東京近郊の大規模発電所としては大井の石油火力、品川（建設中）、川崎、東扇島のLNG火力とがある。品川・大井と川崎・東扇島とは直線距離で12kmほど離れているが、ここでは第1次近似的な計算のために、品川・大井発電所の場所にこれらの規模の石油火力発電所が存在するとして試算を行う。

Tab.9 東京近郊大規模発電所の廃熱量推定

	大井 石油火力	品川 LNG火力	川崎 LNG火力	東扇島 LNG火力
発電規模 [MW]	1,050	1,140	1,050	2,000
発電効率	39%	50%	50%	50%
廃熱回収効率	55%	44%	44%	44%
所内率	6.1%	3.5%	3.5%	3.5%
送電端出力 [MW]	985	1,100	1,013	1,930
燃料消費量 [Gcal/hour]	2,315	1,961	1,806	3,440
廃熱量 [Gcal/hour]	1,273	863	795	1,514
[Gcal/day]	30,563	20,706	19,071	36,326

(参考文献 14)



Condenser1: 従来の海水による熱交換器

Condenser2: 供給温水用熱交換器

Fig.3 発電システムの基本構成

必要な熱量を持った温水を Condenser 2 より回収し、浄水場に戻す時点で冷水と混合して水温の調整を行う。夏季等熱需要の少ないときは Condenser1 により従来の海水による熱交換を行う。

タービン出口温度と熱効率及び廃熱回収効率との関係を調べるために、1 段再熱ランキンサイクルの基礎モデルを作成した。(参考文献 14,15,16,17)

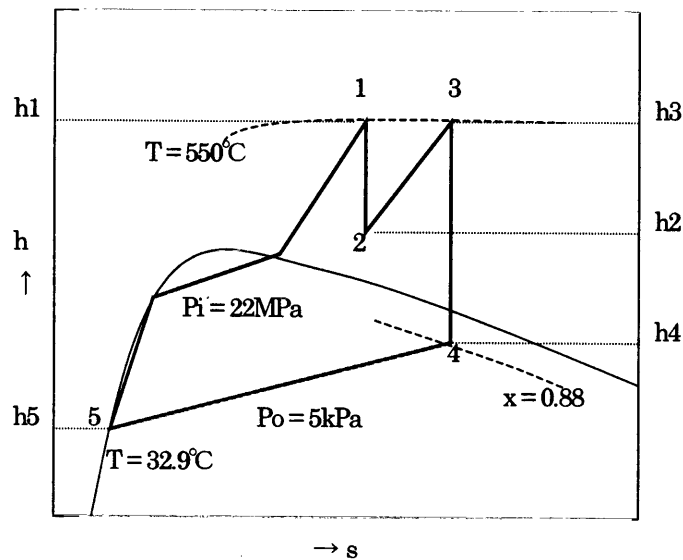


Fig. 4 段再熱ランキンサイクルのh-s線図

・基礎モデルの特性値

発電所規模	35 万 kW×3
ボイラー効率	$\eta_B = 0.95$
タービン出口蒸気湿き度	$x = 0.88$
タービン初段入口温度	550°C
タービン初段入口圧力	22MPa
タービン最終段出口圧力	5kPa～
タービン内部効率	$\eta_T = 0.90$
発電機効率	$\eta_G = 0.98$
復水器効率	$\eta_C = 0.95$
熱効率	$\eta_R = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_1 - h_5) + (h_3 - h_2)}$

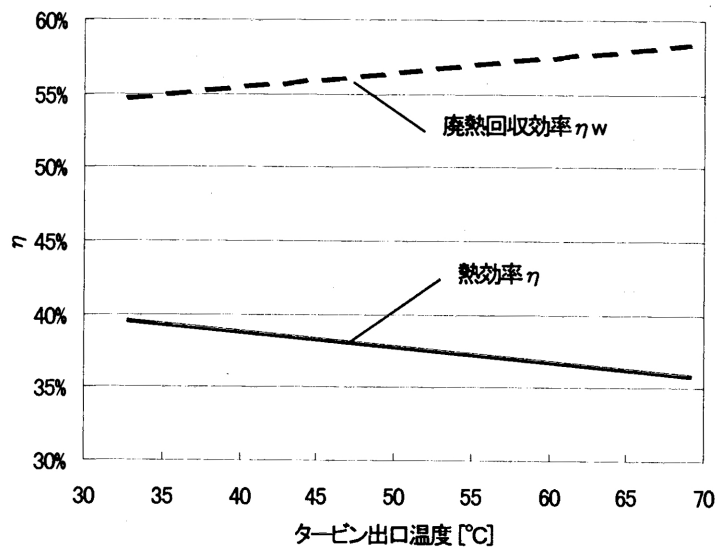


Fig.5 基礎モデルのタービン出口温度と
熱効率、廃熱回収効率

海水温は 15℃程度で、廃水温は現状で±7℃に規制されている。タービン出口水温が 32.9℃であるから約 10℃の温度差が必要と仮定する。この場合、輸送水温が 23℃程度を超えると発電ロスが生じることになる。

3. 温水供給システムのシミュレーション

3-1 前提条件

このシミュレーションで検討するのは、送水管での圧力損失と熱損失、発電所での効率低下の3項目である。これらのロスが最小になるように輸送水温と配管径を設定し、一年間でどれだけのエネルギー及びCO2 排出量の削減が期待できるかを調べる。

・水温の推定

各浄水場での水温データは年間の最高・最低・平均のみなので、これらをもとに一年間の水温を推定する。

一日の平均水温がサインカーブにしたがって推移すると仮定すると、

$$\text{水温 } T_w = \left(\frac{T_h + T_l}{2} \right) - \left(\frac{T_h - T_l}{2} \right) \cdot \cos\left(\frac{\text{Date}}{182} \pi \right)$$

T_h : 最高水温 [°C]

T_l : 最低水温 [°C]

Date: 経過日数 (最高水温の日 Date = 1)

とあらわせる。

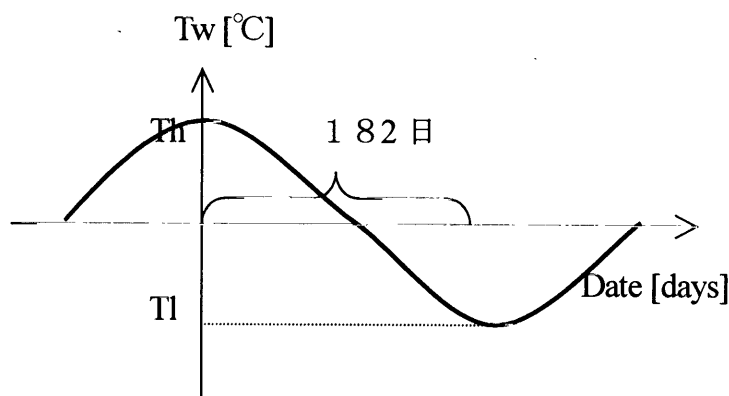


Fig.6 年間水温の推定

・地中温度の推定

小平において深度 2m で 12℃から 20℃であり、浄水水温と同様に推定を行った。(参考文献 18)

・配管径の設定

直径 100mm から 100mm 刻みで、最大 2,000mm と 3,000mm の 2 ケースを想定する。

・供給水温の設定

浄水場での増熱後の供給水温 Td は 15,22,28℃の 3 ケースを想定する。15℃というのはほぼ平均水温程度で、28℃は最高水温近く、22℃はその中間という意味である。

$$\text{回収廃熱需要 } Q = C_p \times \rho \times W \times (T_d - T_w)$$

Q: 輸送熱量 [Mcal / day]

Cp: 温水定圧比熱 [kcal/(kg・℃)]

ρ : 密度[ton/m³]

W: 流量[m³ / day]

Td: 供給目標水温

輸送水温、最大管径のケースごとに算出されたエネルギー量から、2 章で述べたエネルギー原単位を用いて 1 次エネルギー量に換算し、

$$\text{エネルギー損失率} = \frac{\text{圧損} + \text{熱損} + \text{発電ロス}}{\text{回収廃熱量}} \text{を最小にする条件を求める。}$$

定性的特性を考えると、圧損は輸送水量が多く管径が小さくなるほど大きくなり、熱損及び発電ロスは輸送水温が高くなるほど大きくなる。輸送熱量は輸送水温と輸送水量にほぼ比例するので、圧損と（熱損＋発電ロス）との間にトレードオフが生じることが予想される。

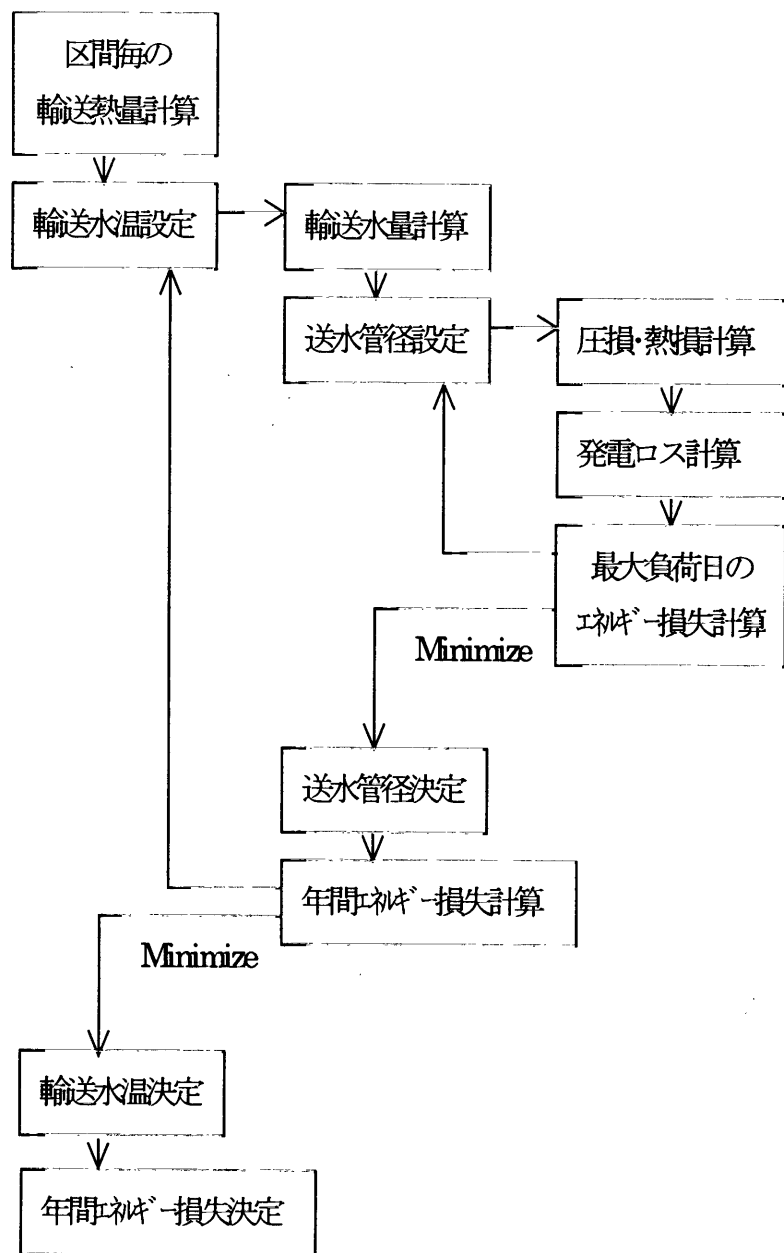


Fig.7 エネルギー損失率の計算フロー

3-2 結果

シミュレーションの結果をみると、予想したとおり各配管径、供給水温条件ごとに輸送水温の最適値が求められる。選択された配管径にはあまり大差がないが、流量が増加する分だけエネルギーのロスが増大している。

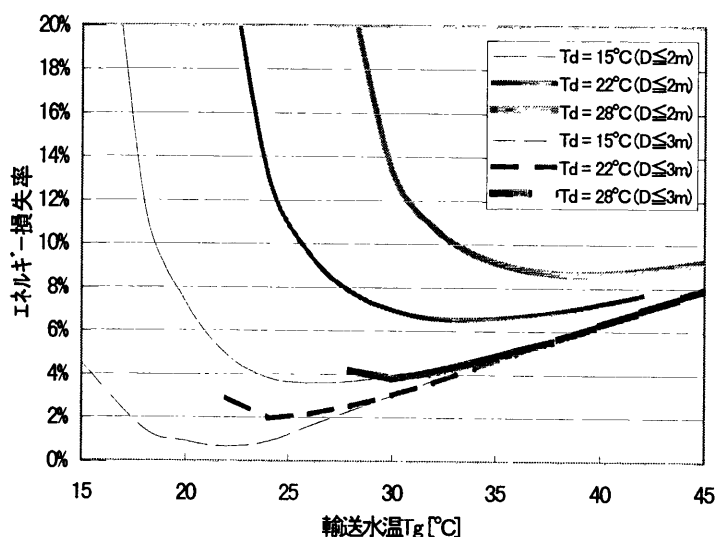


Fig.8 送水管輸送水温に対するエネルギー損失率

Tab.10 エネルギー損失を最小にする各送水区間の管径[m]

管径 [m]	D ≤ 2m			D ≤ 3m		
供給水温 Td	15°C	22°C	28°C	15°C	22°C	28°C
三郷一金町	1.8	1.8	1.8	2.1	2.4	2.3
金町一品川	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
朝霞一三園	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
三園一品川	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
小作一東村山	1.0	1.0	1.1	1.2	1.4	1.3
東村山一境	2.0	2.0	2.0	2.8	3.0	3.0
境一砦	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
長沢一砦	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4	1.3
砦一砦下	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
砦下一大井	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0

Tab.11 エネルギー損失を最小にする輸送水温 Tg[°C]

	供給水温 Td = 15°C	Td = 22°C	Td = 28°C
管径 D ≤ 2m	26	34	40
管径 D ≤ 3m	22	24	30

シミュレーションの結果から、各設定条件毎の有効回収熱量（＝回収廃熱量－温度降下熱損失）に対する比率を求めた。管径 $D \leq 3\text{m}$ の場合よりも管径 $D \leq 2\text{m}$ の場合のほうが供給目標水温の上昇に対するエネルギーロスの増加が大きい。これは、管径を絞ると圧損が大きくなるだけでなく、輸送水温の上昇による発電所の発電効率が大きく下がるためである。従って、配管径は出来るだけ大きくとることが、廃熱源のためにも重要であるといえる。しかし、適当な配管径というのは本分析で割愛した設備の製造、建設に要する素材量のライフサイクル的評価及びコスト評価との兼ね合いで決まるものであるから、それらの算定も今後必要である。

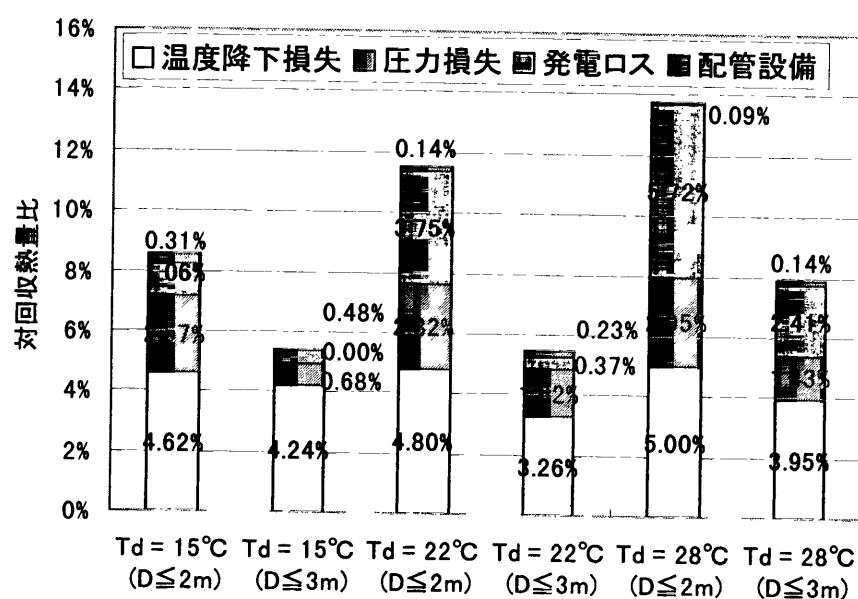


Fig.9 有効回収熱量に対するエネルギー損失と内訳

東京都のエネルギー消費量を全国の総消費量から人口比で推計すると次表のようになり、これを 2 章で述べたエネルギー・CO2 原単位で換算して総 1 次エネルギー消費量と CO2 排出量を算定する。これに対して有効回収熱量を同様に 1 次エネルギー量と CO2 排出量に等価換算し、それぞれの削減期待値を算定した。

Tab.12 東京都のエネルギー総消費量の推計

[Tcal/year]	エネルギー消費量
Electricity	71,8289
Gas	20,552
Oil	206,712
Coal	37,920
Others	3,862
Total	340,875

(参考 5),1996

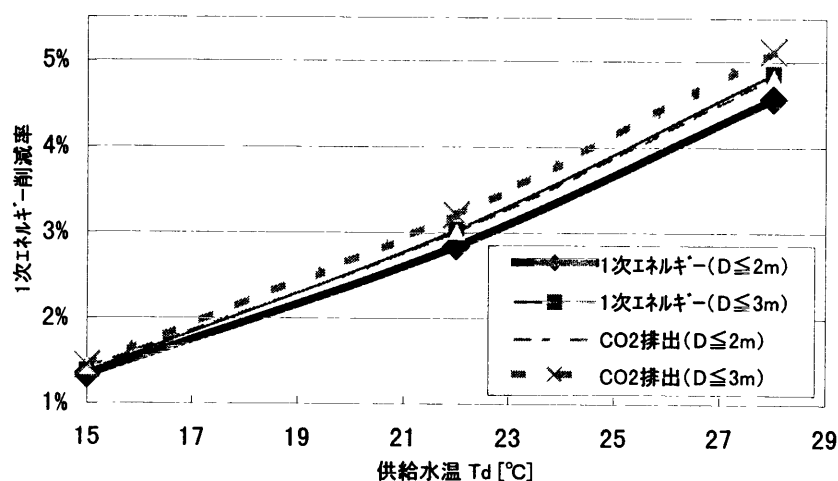


Fig.10 検討システムによる1次エネルギー消費量及びCO2排出量の削減期待率

実際には冬季でも特に過熱せずに 10℃以下の冷水として利用されている部分もあり、一律に増熱した分だけエネルギーの削減ができるとはいえないが、一応の目安としては平均水温程度に増熱する場合でも 1%程度の削減率に相当し、その効果は大きいと期待出来るであろう。

4. あとがき

研究の成果

- ・東京都における給水・給湯事情、既設の水道設備を調査し、新設する温水供給システムの各プロセスについて、特性の評価を行った。
- ・検討システムの運転シミュレーションを行い、エネルギー消費及び CO2 排出削減量の推計を行った。その結果、平均水温程度まで増熱する場合でも 1 次エネルギー消費量の 1%程度に相当する温水を供給できることが試算された。

今後の課題

- ・本分析では供給対象を東京都、廃熱源を大規模発電所に限定したが、製鉄・ゴミ焼却等他にも様々な熱源があり、関東圏全体の温水供給システムを考えるには熱源確保のためにもそれらとのネットワークを検討する必要がある。
- ・本分析では 1 日の負荷変動を考慮していないが、排熱源である火力発電所も給湯需要も大きく変動しているので、これらを考慮したより詳細なシミュレーションが必要である。
- ・さらに設備の製造建設の負荷、コストを検討する必要がある。

最後に、本研究をまとめるにあたり日本エネルギー経済研究所の長谷川秀夫様に貴重なご指導を賜りました。ここにお礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) 東京都水道局ホームページ
<http://www.tokyo-teleport.co.jp/tokyo-suido/>
- 2) 東京都水道局「水質年報」、平成8年度
- 3) 総務庁統計局統計センターホームページ「国勢調査」, 1995, <http://www.stat.go.jp/051.htm>
- 4) 朝日新聞社「民力」, 1997
- 5) 日本エネルギー経済研究所「98'EDMC エネルギー経済統計要覧」, 省エネルギーセンター
- 6) 東京都統計協会「第47回東京都統計年鑑」, 平成7年
- 7) 電力中央研究所「発電プラントのエネルギー収支分析」, 1991/11
- 8) 電力中央研究所報告書「温室効果からみた化石燃料の比較」, p6, 平成2年8月
- 9) 厚生省生活衛生局水道環境部水道整備課「水道統計」, 平成7年度
- 10) 東京都水道局「水質年報」, 平成8年度
- 11) 水道産業新聞社編「水道年鑑」, 1997
- 12) 千葉孝男著「蒸気・高温水システム」, 省エネルギーセンター編
- 13) 東京大学工学部 長谷川秀夫、石谷久、松橋隆治「熱輸送媒体に着目した各種熱輸送システムの分析に関する研究」, 東京大学大学院修士論文, 1996
- 14) 資源エネルギー庁公益事業課編「電源開発の概要」, 平成8年度
- 15) 谷下市松監修、北方直方著「熱力学の学び方」, オーム社
- 16) 東京大学工学部 吉岡理文、石谷久、松橋隆治「発電所の配置を考慮した廃熱利用による省エネルギー可能性の検討」, 第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集
- 17) 日本機会学会「1980SI 蒸気表」
- 18) 建設産業調査会「地下水ハンドブック」