

Title	既設水道設備と大規模発電所を利用した温水供給システムのライフサイクルアセスメント(2)
Sub Title	
Author	疋田, 浩一(Hikita, Koichi) 松橋, 隆治(Matsuhashi, Ryuji) 石谷, 久(Ishitani, Hisashi) 吉岡, 完治(Yoshioka, Kanji)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	1999
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-51
JaLC DOI	
Abstract	概要給湯向けエネルギー消費の削減策として、大規模な新設配管等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°C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、大量かつ低温の廃熱が得られる既存施設として、大規模火力発電所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大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低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、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、それに従いCO2排出量を1%程度削減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	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000051-0001">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000051-0001</a>

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.

既設水道設備と  
大規模発電所を利用した温水供給システムの  
ライフサイクルアセスメント（2）

疋 田 浩 一  
松 橋 隆 治  
石 谷 久  
吉 岡 完 治

No.G-51

学振未来 WG2-20

# 既設水道設備と大規模発電所を利用した

## 温水供給システムのライフサイクルアセスメント (2)

疋田 浩一、松橋 隆治、石谷 久、吉岡 完治

1999年6月

### 概要

給湯向けエネルギー消費の削減策として、大規模な新設配管等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°C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、大量かつ低温の廃熱が得られる既存施設として、大規模火力発電所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大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低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、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、それに従い CO2 排出量を 1%程度削減できることが試算された。

### キーワード

ライフサイクルアセスメント、廃熱利用、水道設備、大規模発電所、温水供給システム、  
1 次エネルギー消費、CO2 排出原単位

# 既設水道設備と大規模発電所を利用した

## 温水供給システムのライフサイクルアセスメント (2) \*

疋田 浩一<sup>†</sup>、松橋 隆治<sup>‡</sup>、石谷 久<sup>†</sup>、吉岡 完治<sup>‡</sup>

1999年6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。

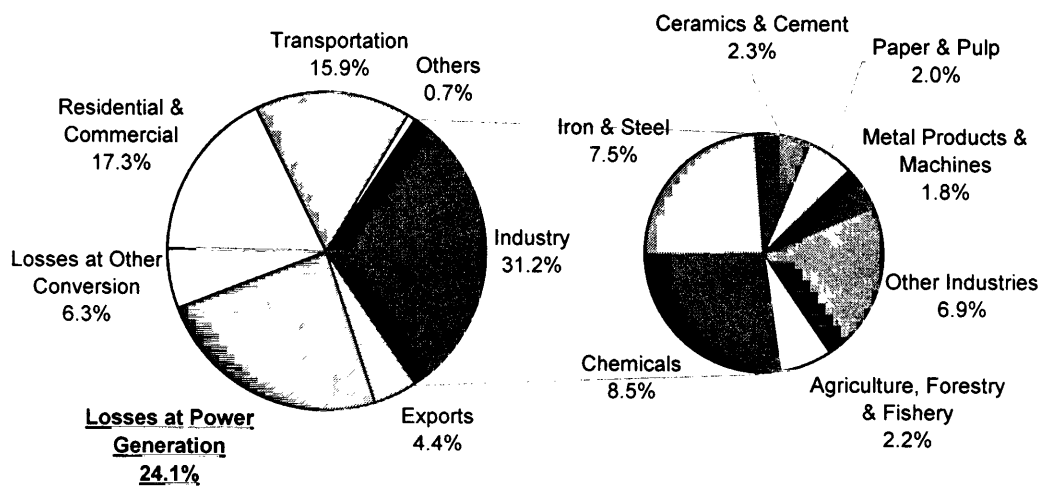
既存の水道水は冬場で 5°C前後まで水温が低下するが、従来の水道供給では水温の調整まではしていないため、特に冬場は温水を作るために電気、ガス給湯機が用いられている。様々な廃熱源からの回収により温水を供給すれば、この給湯に要するエネルギーの節約が期待できる。温水・冷水の二重配管にするのが理想ではあるが、新たな配管の敷設には莫大なコストがかかることが予想され、あまり現実的とはいえない。ここでは当面の対処療法的な方策として、従来からある水道管を用いて、一般家庭で使用するのに適当な水温で水道水を供給するというシステムを検討する。熱源としては、既存の大規模火力発電所の廃熱を利用する事が有効であろうと考えられる。我が国で消費される1次エネルギーの4分の1は電力転換時に失われるが、本システムでは低温かつ大量の廃熱を利用するため、通常海洋等に廃棄するほかなかったこの損失分を回収し有効利用することが可能となる。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、今回は東京都に設置する場合について推計を行う。

---

\* この研究は東海大学教養学部 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。

<sup>†</sup> 東京大学大学院工学系研究科 地球システム工学専攻

<sup>‡</sup> 慶應義塾大学産業研究所



Total Primary Energy Supply 5,439 Pcal/Year

Fig.1 Primary energy consumption in Japan (1995) <sup>1)</sup>

## 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加温を行うには、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と想定しているため、新たな設備としては、上水場と排熱源間の新たな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。

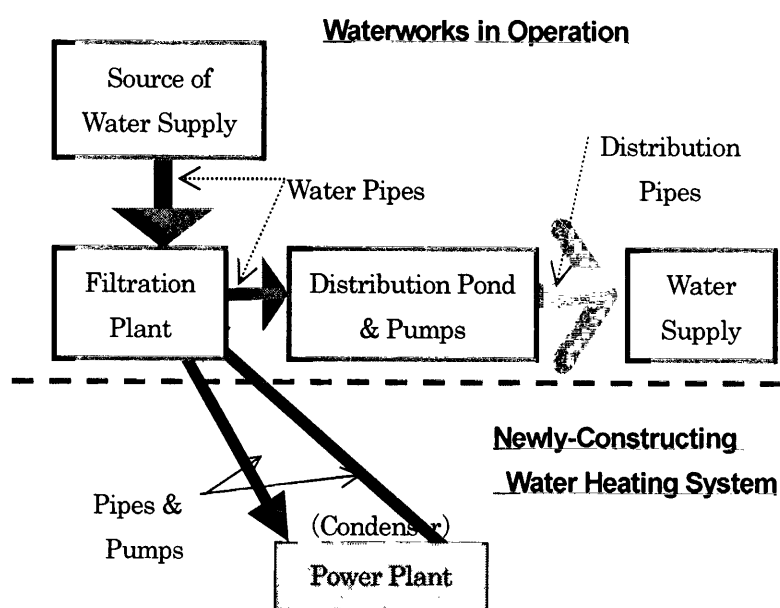


Fig.2 The outline of warm water supplying system <sup>2,3)</sup>

### 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、CO<sub>2</sub>排出原単位を算定する。(Tab.2)

Tab.1 Base data

	Japan	Tokyo
Population [10 <sup>4</sup> ] <sup>4)</sup>	12,557	1,177
Households [10 <sup>4</sup> ] <sup>5)</sup>	4,411	500
Floor Space in Commercial Sector [10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> ]	1,524 <sup>6)</sup>	156 <sup>7)</sup>

エネルギー種別のエネルギー原単位（エネルギー収支）と CO<sub>2</sub> 排出原単位各原単位については、本研究室で開発したデータベースより算出した数値を利用した<sup>8)</sup>。ここで、

$$\text{エネルギー収支} = \frac{\text{Output Energy}}{\text{対象エネルギーの生産過程全体にわたるInput Energy}} \dots\dots (\text{式1})$$

である。これにより、ライフサイクル 1 次エネルギー総消費量（＝「需要端におけるエネルギー消費量」／「エネルギー収支」）が算定できる(Tab.3)。同様に、CO<sub>2</sub> 排出原単位に関しては、

$$\text{CO}_2 \text{ 排出原単位} = \frac{\text{対象エネルギーの生産過程全体にわたるCO}_2 \text{ 排出量}}{\text{Output Energy}} \dots\dots (\text{式2})$$

であり、これを用いてライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量（＝「エネルギー消費量」×「CO<sub>2</sub> 排出原単位」）が算出できる。

Tab.2 Boiler efficiency, Energy output/input ratio, CO<sub>2</sub> emission<sup>8)</sup>

	Efficiency of Boiler	Energy Output/Input Ratio	CO <sub>2</sub> Emission	
			[g-C/Mcal]	[g-CO <sub>2</sub> /Mcal]
Electricity	64%	0.328	121	444
Gas	88%	0.836	74	272
Oil	88%	0.905	89	325
Coal	88%	0.948	109	400
Others	100%	—	—	—

Tab.3 Energy consumption as hot water<sup>6)</sup> [Tcal/year] , [kt-C/year]

		Energy consumption		Effective calorific value	Primary energy consumption	CO <sub>2</sub> emission
		Total	Hot water			
Japan	Electricity	766,080	10,454	6,690	31,909	1,265
	Gas	219,200	131,920	116,089	157,718	9,769
	Oil	2,204,670	94,751	83,381	104,704	8,400
	Coal	404,430	7,612	6,698	8,031	831
	Others	41,190	14,508	14,508	0	0
	Total	3,635,570	259,245	227,367	302,361	20,265
Tokyo	Electricity	71,829	1,185	758	3,616	143
	Gas	20,552	14,632	12,876	17,493	1,084
	Oil	206,712	10,064	8,856	11,121	892
	Coal	37,920	792	697	835	86
	Others	3,862	1,587	1,587	0	0
	Total	340,875	28,259	24,774	33,066	2,206

「有効熱量（＝エネルギー種別の消費量×機器効率）」とは、実質的に給湯向けに利用できた熱量であり、

これより「給湯熱」のエネルギー収支比(=有効熱量/1次エネルギー消費量)とCO<sub>2</sub>排出原単位(=CO<sub>2</sub>排出量/有効熱量)を算定した。エネルギー収支は全国平均で0.752、東京都で0.749、CO<sub>2</sub>排出原単位は全国平均で89.1 g-C/Mcal、東京都で89.0 g-C/Mcalとなった。

## 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をTab.4に示す。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.4 Quantity of water-purifying and temperature at filtration plants around Tokyo<sup>9)</sup>

Filtration plant	Quantity of water-purifying per day [m <sup>3</sup> /day]	Water temperature [°C]		
		Max.	Min.	Ave.
Misato	567,400	30.5	3.8	15.9
Kanamachi	921,600	30.9	4.8	16.2
Asaka	1,224,800	28.7	3.0	15.1
Misono	280,400	28.8	3.6	15.4
Ozaku	192,300	23.6	3.6	12.9
Higashimurayama	877,400	27.4	3.7	14.2
Sakai	104,000	26.7	4.7	14.2
Nagasawa	194,500	24.1	6.5	14.5
Kinuta-Ue	43,900	20.8	12.2	16.6
Kinuta-Shita	30,400	20.0	12.4	16.1

### 2. 3. 2 送水管

まず、想定した送水管の配置と路長をFig.3及びTab.5に示す。湾岸の大規模発電所と各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断熱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.3 Filtration plants around Tokyo and newly-constructing water pipes <sup>10,11)</sup>

Tab.5 The length of newly-constructing water pipe

Water Pipes	Section	Length [km]
No.1	Misato – Kanamachi	8
	Kanamachi – Shinagawa	20
No.2	Asaka – Misono	6
	Misono – Shinagawa	23
No.3	Ozaku – Higashimurayama	14
	Higashimurayama – Sakai	10
	Sakai – Kinuta Ue	11
	Nagawawa – Kinuta Ue	4
	Kinuta Ue – Kinuta Shita	2
	Kinuta Shita – Ohi	14

次に、配管径について検討を行った。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<sup>9)</sup>。このことから3m程度のもので敷設することが出来ると考えられるが、実際の長距離送配水管では2m前後のものが多。ここでは、配管径の最大値を2mと3mに設定することとする。

配管の建設に関しては、素材量についてのみ算定に加えた。配管素材はすべて鉄とし（日本における鉄のエネルギー原単位は6.287 Gcal/ton、CO<sub>2</sub>排出原単位は0.573 g-C/g-鉄とした<sup>8)</sup>）、耐用年数は15年とした。

### 2. 3. 3 圧力損失

管の圧力損失は次式によって算出する<sup>12,13)</sup>。

Darcy - Weisbach の式

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots (式3)$$

$\gamma$  : 流体密度 [kgf/m<sup>3</sup>],  $l$ : 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/s<sup>2</sup>],  $f$ : 摩擦係数

ここで  $f$  は、乱流の場合のムーディー近似式より

$$f = 0.0055 \left[ 1 + \left( 20,000 \frac{k}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right] \quad \dots\dots (式4)$$

$k$ : 管内面粗さ[m],

$Re$ : レイノルズ数

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad \dots\dots (式5)$$

$\nu$  : 流体の動粘度 [m<sup>2</sup>/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<sup>12)</sup>。

温水の温度降下

$$\Delta T = T_1 \left( 1 - e^{\frac{-\pi d_i K_i l}{1,000W}} \right) \quad \dots\dots (式6)$$

$T_1$ : 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 [m<sup>3</sup>/h]

$K_i$ : 管内面基準熱通過率 [kcal/m<sup>2</sup>・h・°C]

ここで  $K_i$  について、

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{\alpha_i} + d_i \cdot \frac{1}{2\lambda_i} \log_e \frac{d_o}{d_i} + \frac{d_i}{\alpha_o d_o} \quad \dots\dots (式7)$$

$\alpha_o$ : 管外面側表面熱通過率 [kcal/m<sup>2</sup>・h・°C],  $d_o$ : 管外径 [m]

$\lambda_i$ : 管材の熱伝達率 [kcal/m・h・°C],

$\alpha_i$ : 管内面側表面熱通過率 [kcal/m<sup>2</sup>・h・°C]

ここで  $\alpha_i$  について、十分発達した円管内乱流に対するディッタスらの式より

$$\frac{\alpha_i \cdot d_i}{\lambda_w} = 0.023 (Re)^{0.8} (Pr)^{0.4} \quad \dots\dots (式8)$$

$\lambda_w$ : 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。各発電所の熱収支を Tab.6 に示す。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.6 Heat balance in electric power plant around Tokyo <sup>14)</sup>

	Ohji Oil Power Plant	Shinagawa LNG Power Plant	Kawasaki LNG Power Plant	Higashi-Ohgishima LNG Power Plant
Scale [MW]	1,050	1,140	1,050	2,000
Efficiency	39%	50%	50%	50%
Loss at Thermal Cycle	55%	44%	44%	44%
Own Use & Other Losses	6.1%	3.5%	3.5%	3.5%
Power Output [MW]	985	1,100	1,013	1,930
Fuel Consumption [Gcal/hour]	2,315	1,961	1,806	3,440
Quantity of Waste Heat [Gcal/hour]	1,273	863	795	1,514
[Gcal/day]	30,563	20,706	19,071	36,326

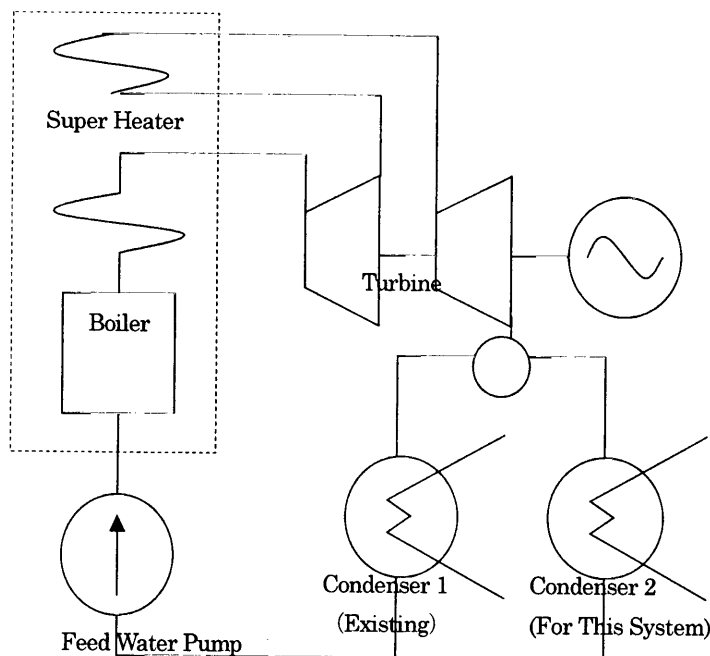


Fig.4 The system diagram of power generation model

Fig.4 に想定した発電システムの基本構成を示す。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。<sup>14,15,16,17)</sup>

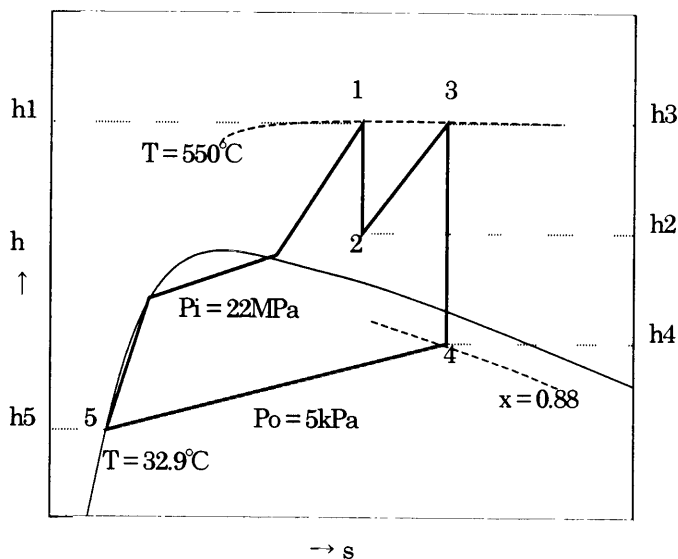


Fig. 5 The Reheating Rankine Cycle on h-s diagram

基礎モデルの特性値は次の通りである。

- 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             $\eta_C = 0.95$

$$\text{熱効率} \quad \eta_R = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_1 - h_5) + (h_3 - h_2)} \times \eta_B \times \eta_G \quad \dots\dots \text{(式9)}$$

排熱回収効率 
$$\eta_w = \frac{h_4 - h_5}{(h_1 - h_5) + (h_3 - h_2)} \times \eta_c \quad \dots\dots (式10)$$

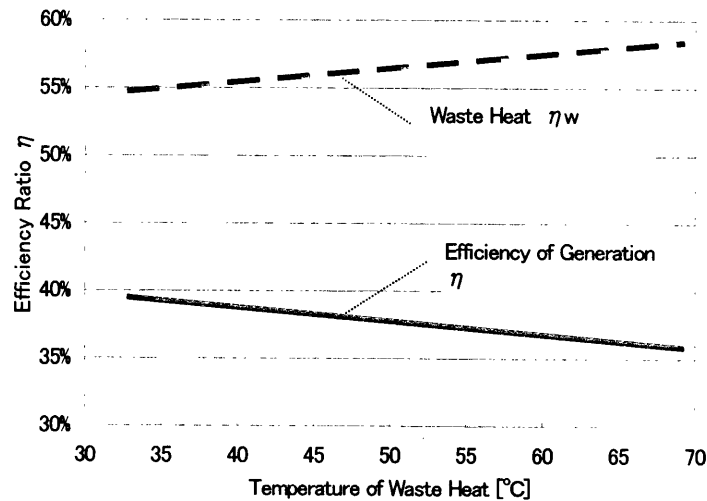


Fig.6 Efficiency ratio of generation and waste heat  
in different temperature of waste heat

海水温は 15°C程度で、廃水温は現状で 15°C±7°Cに規制されている。タービン出口水温が 32.9°Cであるから、現状の復水器の性能を考慮して熱交換には約 10°Cの温度差が必要と仮定する。この場合、輸送水温が 23°C程度を超えると復水器における凶器の背圧が高くなり、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CO<sub>2</sub>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、

$$\text{水温 } T_w = \left( \frac{T_h + T_l}{2} \right) - \left( \frac{T_h - T_l}{2} \right) \cdot \cos\left( \frac{\text{Date}}{182} \pi \right) \quad \dots\dots \text{(式 11)}$$

$T_h$ : 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。

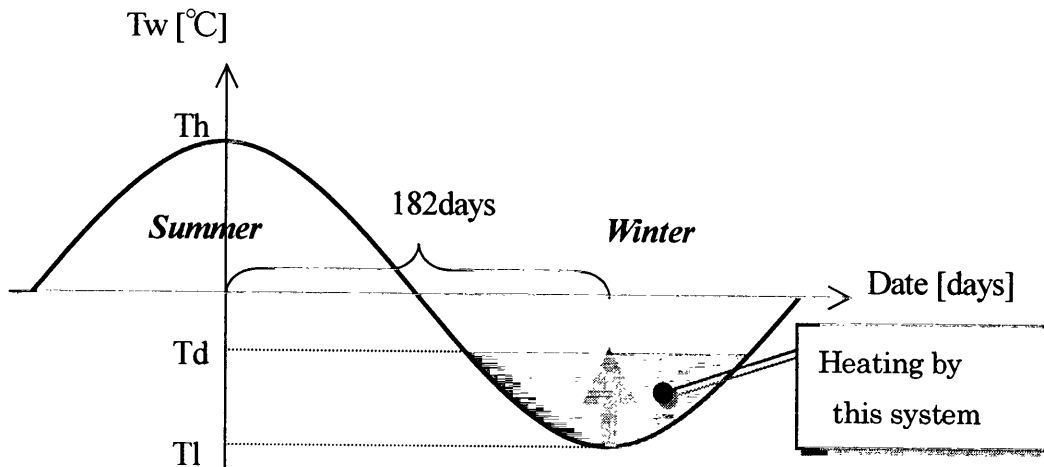


Fig.7 Fluctuations in water temperature

・地中温度の推定

小平において深度 2m で 12°C から 20°C であり、浄水水温と同様に推定を行った<sup>18)</sup>。

・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

浄水場での加温後の供給水温  $T_d$  は 15°C, 22°C, 28°C の 3 ケースを想定する。15°C というのは年間の平均水温程度で、28°C は最高水温近く、22°C はその中間という意味である。年間を通じて、浄水場の水温がこの供給目標水温  $T_d$  より低くなるとときに必要な熱量分だけ廃熱輸送を行う。

浄水場毎の熱需要は次のように計算できる。

回収廃熱需要:  $Q = C_p \times \rho \times W \times (T_d - T_w)$  …… (式 12)

$Q$ : 浄水場熱需要量 [Mcal / day],  $C_p$ : 温水平定比熱 [kcal/(kg·°C)]

$\rho$  : 密度[ton/ m<sup>3</sup>],  $W$  : 浄水量[m<sup>3</sup>/ day],  $T_d$ : 供給目標水温

これより、輸送熱量  $Q_t$  (経路毎の熱需要の積算値) を求め、輸送水温  $T_g$  (廃熱源出口温度) を適当に設定すれば輸送水量  $W_t$  (経路毎の輸送水量) は次のように計算できる。

$$\text{輸送水量: } W_T = \frac{Q_T}{C_p \times \rho \times (T_g - T_d)} \quad \dots\dots \text{(式 13)}$$

$W_T$ : 輸送水量[m<sup>3</sup>/ day],  $Q_T$ : 輸送熱量 [Mcal/ day],  $T_g$ : 輸送水温[°C]

供給目標水温  $T_d$ 、最大管径  $D$  の設定ケースごとに、輸送水温  $T_g$  (廃熱源出口温度) をパラメーターとして圧力損失、熱損失、発電ロスを算出する。これを 2 章で算定した給湯熱のエネルギー原単位を用いて 1 次エネルギー量に換算し、

$$\text{エネルギー損失率} = \frac{\text{圧損} + \text{熱損} + \text{発電ロス}}{\text{回収廃熱量}} \quad \dots\dots \text{(式 14)}$$

を最小にする条件を求める。

シミュレーションは次のような順序で行った (Fig.8)。

- ① 最大負荷日のエネルギー損失を最小にするように各経路毎の配管径  $D_i$  を決定する。
- ② 年間総計でエネルギー損失が最小になるように輸送水温  $T_g$  を決定する。
- ③ エネルギー損失率及び設備負荷分を算定する。

一般に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。一定の輸送熱量に対し、輸送水温と輸送水量にほぼ反比例するので、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。

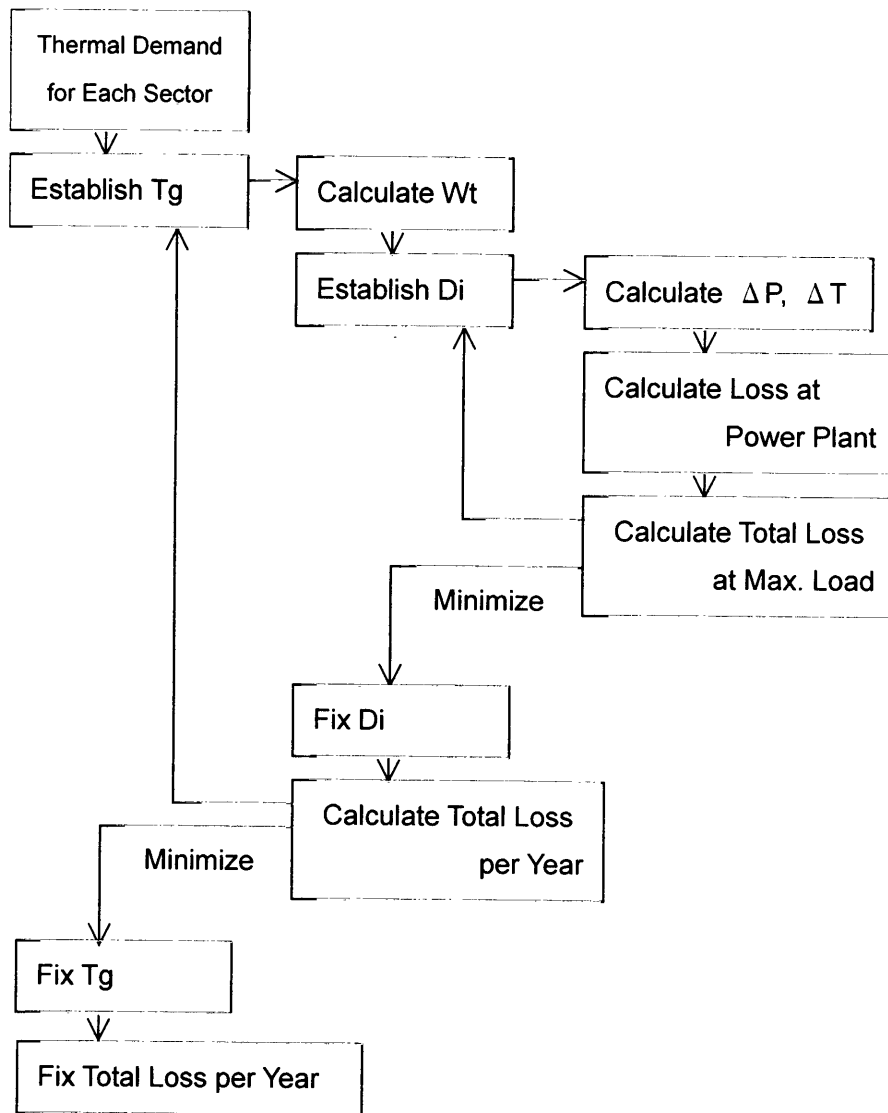


Fig.8 Flow chart of the simulation

### 3. 2 結果

Fig.9 に、供給目標水温  $T_d$ 、配管径  $D$  の設定条件毎に、輸送水温  $T_g$  に従ったエネルギー損失率の変化の様子を示す。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。このとき各区間で選択された配管径と輸送水温の最適値を Tab.7 に示す。供給水温の上昇に従い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する。



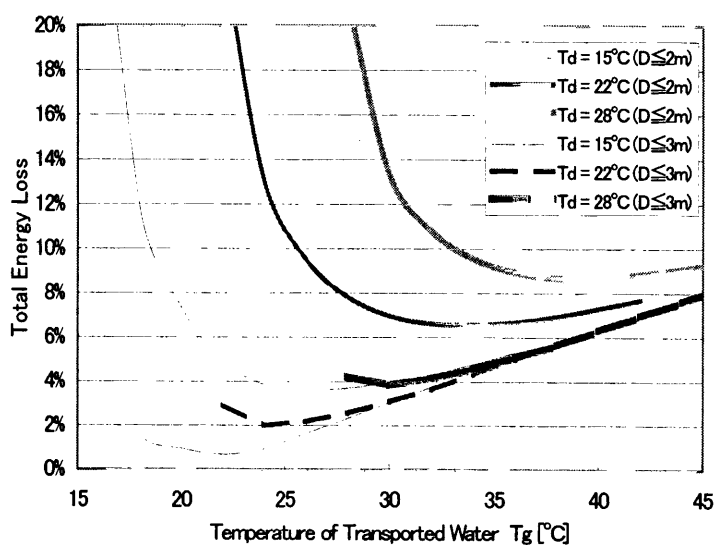


Fig.9 Energy losses in different temperature of transported water Tg

Tab.7 The optimum condition of diameter of pipes [m] and temperature of transported water Tg[°C]

Max. Diameter of Pipes D [m]	≤2			≤3		
	15	22	28	15	22	28
Temperature of Distributed Water Td [°C]	15	22	28	15	22	28
Misato – Kanamachi	1.8	1.8	1.8	2.1	2.4	2.3
Kanamachi – Shinagawa	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Asaka – Misono	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Misono – Shinagawa	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Ozaku – Higashimurayama	1.0	1.0	1.1	1.2	1.4	1.3
Higashimurayama – Sakai	2.0	2.0	2.0	2.8	3.0	3.0
Sakai – Kinuta Ue	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Nagawawa – Kinuta Ue	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4	1.3
Kinuta Ue – Kinuta Shita	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Kinuta Shita – Ohi	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Temperature of Transported Water Tg [°C]	26	34	40	22	24	30

次に、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) に対する各種損失 (温度熱損失、圧力損失、発電所ロス、配管設備) の比率を求めた(Fig.10)。管径 D ≤ 3m の場合よりも管径 D ≤ 2m 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り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。

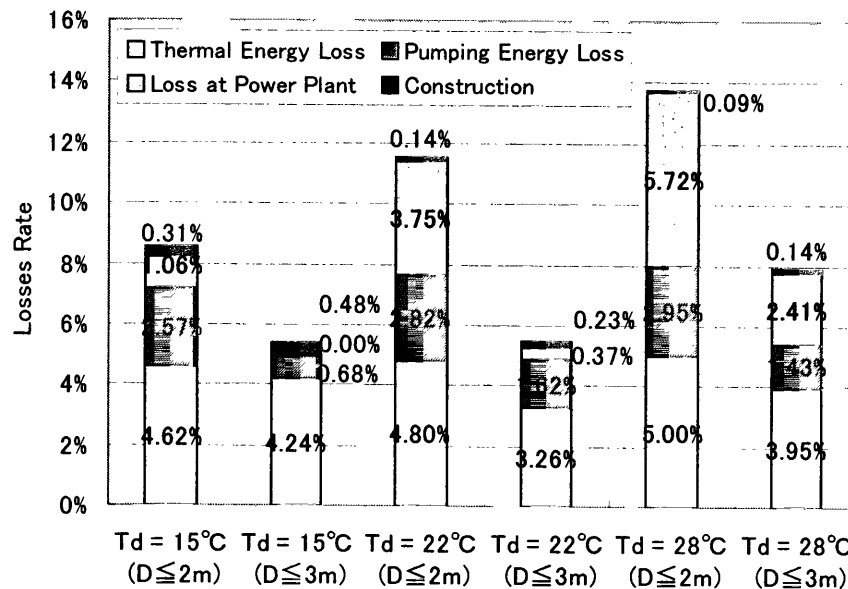


Fig.10 Losses ratio in different condition with temperature of distributed water (Td) and maximum diameter of pipes (D)

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し、エネルギー・CO<sub>2</sub>原単位 (Tab.2) で換算して総1次エネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量を算定した。これに対して有効回収熱量 (本システムにより供給された熱量) を2.2節で算定した給湯熱原単位を用いて1次エネルギー量とCO<sub>2</sub>排出量に換算し、それぞれの削減期待量を算定した。

実際の水道水の使用目的を考えると、冬季でも特に過熱せずに10°C以下の冷水として利用されている部分もあり、一律に加温した分だけエネルギーの削減ができるとはいえない (Tab.8)。そこで、本システムにより供給された熱量のうちどれだけが有効に利用されたかを次の3ケースに設定して、CO<sub>2</sub>排出量の削減効果を評価した (Fig.11)。

実質的な削減効果の仮定条件

Case1	: 家庭部門 (風呂)	11.1%
Case2	: 家庭部門 (炊事+風呂)	24.9%
Case3	: Case2 + 業務 / 2	48.4%

Tab.8 Estimated share of use in distributed water in Tokyo<sup>19)</sup>

Sector	Use	Quantity [1,000m <sup>3</sup> ]	Share
Residential	Cooking	252,993	13.8%
	Washing	233,532	12.7%
	W.C.	204,340	11.1%
	Bath	204,340	11.1%
	Others	77,844	4.2%
	Subtotal	973,050	53.0%
Commercial		863,425	47.0%
Total		1,836,475	

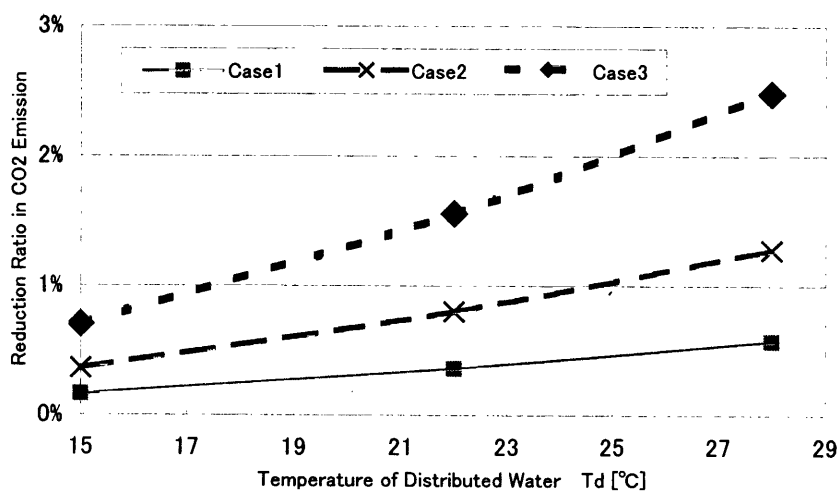


Fig.11 Reduction ratio in CO2 emission in different temperature of distributed water (Td)

(Maximum diameter of pipes :  $D \leq 3m$ )

従来の水道水をそのまま加温するという本システムでは、実質的な効果の評価にはかなり幅がある。しかしながら、家庭用の風呂に対する効果だけでも、0.2~0.6%程度の削減に相当し、その他諸々の効果を加味すれば1%程度の削減率が期待できるであろう。

#### 4. おわりに

研究の成果を以下に述べる。

- ① 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。

- ② 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CO<sub>2</sub>排出削減量の推計を行った。  
その結果、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、それに従いCO<sub>2</sub>排出量を1%程度削減できることが試算された。

今後の検討課題を次に述べる。

- ① 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。
- ② 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ため、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。
- ③ 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。

## 文献

- 1) 資源エネルギー庁, 総合エネルギー統計, 1997
- 2) 東京都水道局ホームページ, <http://www.tokyo-teleport.co.jp/tokyo-suido/>
- 3) 東京都水道局, 水質年報, 平成8年度
- 4) 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>
- 5) 朝日新聞社, 民力, 1997
- 6) 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
- 7) 東京都統計協会, 第47回東京都統計年鑑, 平成7年
- 8) 疋田浩一、石谷久、松橋隆治、吉田芳邦, プロセス連関分析による電力・ガスシステムのLCA, 電気学会・電子情報システム部門誌9月号 Vol.118-9
- 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
- 19) 国土庁, 水資源協会, '89 水資源便覧, 山海堂, 1989