

第6章 余熱利用計画

第1節 余熱利用計画

1 余熱利用方針

本計画においては、廃棄物発電と場内熱利用及び場外熱利用を行うことを基本方針とする。なお場外熱利用については、隣接して計画されている武豊町屋内温水プール（仮称）への熱供給を行うことを条件とする。

2 廃棄物発電

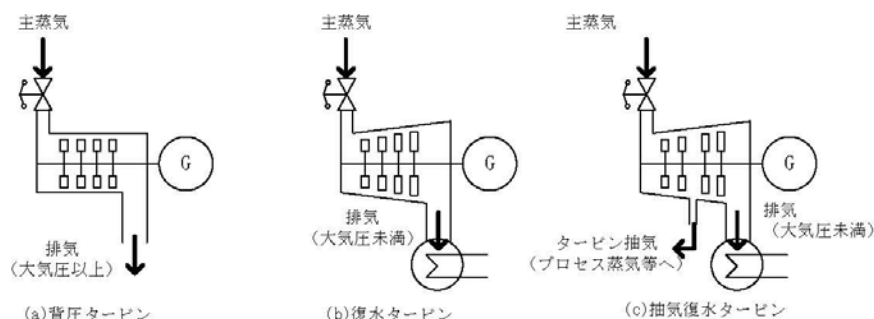
(1) 蒸気タービン形式の選定

背圧タービンは、蒸気タービン出口の圧力を大気圧以上で運転するもので蒸気温度が高いため、復水タービンよりは軸動力として得られるエネルギーは少ない。従来のごみ発電は自家消費分のみを賄うものとして計画されることが多かったことや、構造が比較的簡素でメンテナンスも容易であったことから採用されてきた。

復水タービンは、蒸気を復水器で冷却し水に戻す方式である。体積の大きな気体（蒸気）から液体（水）に戻すことにより真空域となるため、タービン排気を引き込む効果があり、軸動力として得られるエネルギーが大きくなる。構造が複雑で大型化することから、大規模なプラントに採用されることが多い。近年、ごみ発電の高効率化が進むにつれ、復水タービンが一般的となっている。

さらに、抽気復水タービンは、必要圧力が比較的低い脱気器加熱用や余熱利用設備用としてタービン中段から一部蒸気を抽気し利用する方式で、復水タービン方式よりもタービン主蒸気量を増大させることができるため、発電効率が増加する方式である（復水タービンは、ボイラ主蒸気から空気予熱用、脱気器加熱用、余熱利用設備用として蒸気を分岐する）。

近年では、復水タービンまたは抽気復水タービンによる発電が一般的となっており、本計画においても、積極的な発電を行うため、復水タービンまたは抽気復水タービンを計画する。



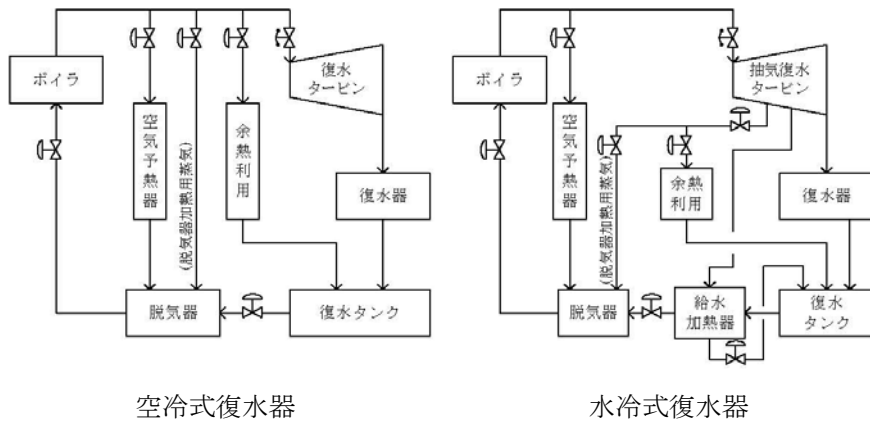
出典：高効率ごみ発電施設整備マニュアル（環境省 平成22年3月改訂）

図 6-1 蒸気タービンの分類

(2) 復水方式

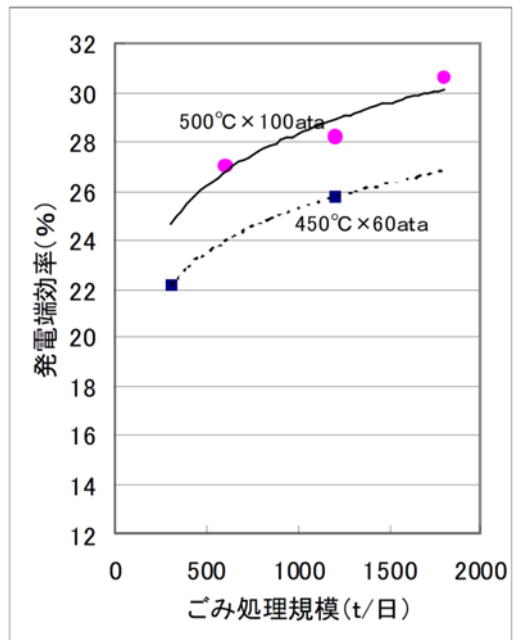
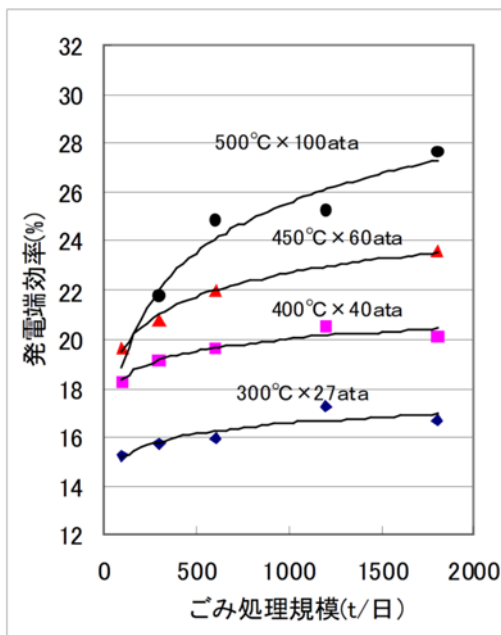
復水方式には、空冷式と水冷式がある。空冷式は気体である空気を利用するため、広い復水器設置スペースが必要となり、経済的な設計を行う場合、蒸気タービンの熱落差が水冷式よりも得られず、発電効率は劣る。

水冷式は、蒸気タービンにおける熱落差が大きくなることから、発電効率が高くなる方式であるが、冷却塔での蒸発水分を補給する必要があり、補給水量（工業用水）が多くなることや水質の維持管理が増える。また、冷却に使用した水を熱交換して熱を回収するため、低温の熱しか得られず、温水プールでシャワーや入浴施設を併設する場合、加温が必要になる可能性もある。本計画では、積極的な発電を目指す、一定の場外余熱利用も行うことや施設の water 管理・排水処理に係わる負担についても考慮し、方式については限定しない。



出典：高効率ごみ発電施設整備マニュアル（環境省 平成 22 年 3 月改訂）

図 6-2 空冷式復水器と水冷式復水器のフロー一例



空冷式復水器の発電効率

水冷式復水器の発電効率

出典：「高効率廃棄物発電技術開発」（従来型ストーカ炉発電等高効率化技術開発）
 事後評価報告書 平成 14 年 7 月 新エネルギー・産業技術総合開発機構
 技術評価委員会「高効率廃棄物発電技術開発」分科会

図 6-3 空冷式復水器と水冷式復水器における発電効率の違い

(3) エネルギー回収量

「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル」（平成 26 年 3 月：平成 28 年 3 月改訂：環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課）（以下「マニュアル」という）によるエネルギー回収型廃棄物処理施設（交付率 1/2）の交付要件では、施設の規模に応じて、要求されるエネルギー回収率が異なってくる。以下にその数値を示す。本施設は、200 t/日から 300 t/日に該当するため、エネルギー回収率 19%以上とする。

表 6-1 エネルギー回収型廃棄物処理施設（交付率 1/2）の交付要件

施設規模（t/日）	エネルギー回収率（%）	
	循環型社会形成推進 交付金	二酸化炭素排出抑制 対策事業交付金
100 以下	15.5	10.0
100 超、150 以下	16.5	12.5
150 超、200 以下	17.5	13.5
200 超、300 以下	19.0	15.0
300 超、450 以下	20.5	16.5
450 超、600 以下	21.5	17.5
600 超、800 以下	22.5	18.5
800 超、1000 以下	23.5	19.5
1000 超、1400 以下	24.5	20.5
1400 超、1800 以下	25.5	21.5
1800 超	26.5	22.5

出典：エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル

ここで、マニュアルに基づくエネルギー回収率（発電効率＋熱利用率）は、以下の式より算出される。

$$\text{発電効率 (\%)} = \frac{\text{発電出力} \times 100 (\%)}{\text{投入エネルギー (ごみ+外部燃料)}} \\ = \frac{\text{発電出力 (kW)} \times 3600 (\text{kJ/kWh}) \times 100 (\%)}{\text{ごみ発熱量 (kJ/kg)} \times \text{施設規模 (t/日)} \div 24 (\text{h}) \times 1000 (\text{kg/t}) + \text{外部燃料発熱量 (kJ/kg)} \times \text{外部燃料投入量 (kg/h)}}$$

$$\text{熱利用率 (\%)} = \frac{\text{有効熱量} \times 0.46 \times 100 (\%)}{\text{投入エネルギー (ごみ+外部燃料)}} \\ = \frac{\text{有効熱量 (MJ/h)} \times 1,000 (\text{kJ/MJ}) \times 0.46 \times 100 (\%)}{\text{ごみ発熱量 (kJ/kg)} \times \text{施設規模 (t/日)} \div 24 (\text{h}) \times 1000 (\text{kg/t}) + \text{外部燃料発熱量 (kJ/kg)} \times \text{外部燃料投入量 (kg/h)}}$$

出典：エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル

上記の式より、外部燃料を使用しないものとして、計画ごみ質から基準ごみの低位発熱量を 10,670 kJ/kg とし、エネルギー回収率を 19% として、温水プールでの必要熱量を後述する参考値より 7,000 MJ/h とした場合、場外熱利用量は以下のとおり計算され、外部熱利用率は 2.6% となる。

- ・投入エネルギー＝10,670kJ×283 t/d÷24h×1,000kg/t＝125,817,083 kJ/h
- ・外部熱利用量＝7,000 MJ/h×1,000 kJ/MJ×0.46＝3220,000 kJ/h

これより

- ・外部熱利用率＝3220,000 kJ/h÷125,817,083 kJ/h×100＝2.6%

トータルでのエネルギー回収率は 19% であるため、発電効率は 16.4% 以上必要となる。

(4) 常用発電システム

近年、廃棄物処理施設では、非常用発電設備を兼ねて、都市ガスや灯油等を利用した常用発電を採用し、ごみ発電における売電量の増大化や災害用電源とした地域における防災機能の強化、エネルギーの安定供給を目指す事例が見られるようになった。また、マニュアルにおいても非常用電源を常用として活用することも差し支えないことが示されているため、常用発電の可能性について整理する。

■始動用電源

商用電源が遮断した状態でも、1 炉立ち上げることができる発電機を設置する。始動用電源は、浸水対策及び津波対策が講じられた場所に設置するものとする。

なお、本発電機は、非常用に整備するものであるが、常用としても活用することは差し支えない。

出典：エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル

1) 常用発電の方法

常用発電は、利用する燃料と発電機の種類によって区分される。既存資料によれば、以下のとおりに分類されている。

表 6-2 燃料による分類

天然ガス	石油	LP ガス	燃料電池
<ul style="list-style-type: none">・コジェネの総発電容量の約 49%を占める。・10～100kW 程度の小型ガスエンジン(小規模業務用)、200～1,000kW 程度の中型ガスエンジン(病院、ショッピングセンター等)、1,000～7,000kW 程度の大型のガスエンジン・ガスタービン(産業用、大規模業務用等)等幅広く流通。	<ul style="list-style-type: none">・コジェネの総発電容量の約 36%を占める。・1,000～2,000kW 程度のディーゼルエンジン(中規模な産業・業務用、病院等)等が主流。	<ul style="list-style-type: none">・コジェネの総発電容量の約 5%を占める。・近年は10～100kW 程度の小型ガスエンジン(小規模業務用)が主流。	<ul style="list-style-type: none">・都市ガスやLP ガスを改質して水素を取り出し、燃料電池により高効率に電気と熱を発生させるコジェネレーションシステム。

表 6-3 発電設備による分類

ガスタービン	ガスエンジン	ディーゼルエンジン	燃料電池
<ul style="list-style-type: none"> ・燃料の燃焼により生成した高温の気体燃料でタービンを回し、その力で発電機を回すことで発電する方式。 ・熱を価値の高い高温の蒸気として回収できるため、廃熱の利用に比較的優れる。 ・燃料は、天然ガスやLP ガス等の気体燃料や液体燃料を使用。その切替も可能で幅広く対応できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・気体燃料の燃焼により、ピストンエンジンを動かすことで発電する方式。 ・発電効率が高く、電気の利用に比較的優れる。廃熱については、蒸気+温水又は全て温水として回収する。 ・燃料は、天然ガス・LP ガス等が使用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ピストンで空気を圧縮し、高温高压となった空気に軽油等の液体燃料を噴射し、自然着火させて膨張させることにより、エンジンを動かすことで発電する方式。 ・燃料は、重油等、液体燃料のみ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・内燃機関とは異なり、水素と空気中の酸素との化学反応により、直接電力に変換する方式(水の電気分解の逆反応)。 ・天然ガス・LP ガス等から水素を生成し、燃料とする。

出典：熱電併給（コジェネ）推進室：資料集：平成 24 年 9 月：資源エネルギー庁より抜粋

http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/other/cogeneration/pdf/1-1.pdf

2) 検討対象とする常用発電方式

本計画では、計画施設における処理に要する電力のうち 1 炉分を、常用発電の発電で賄うものと仮定して、発電機の出力を想定する。

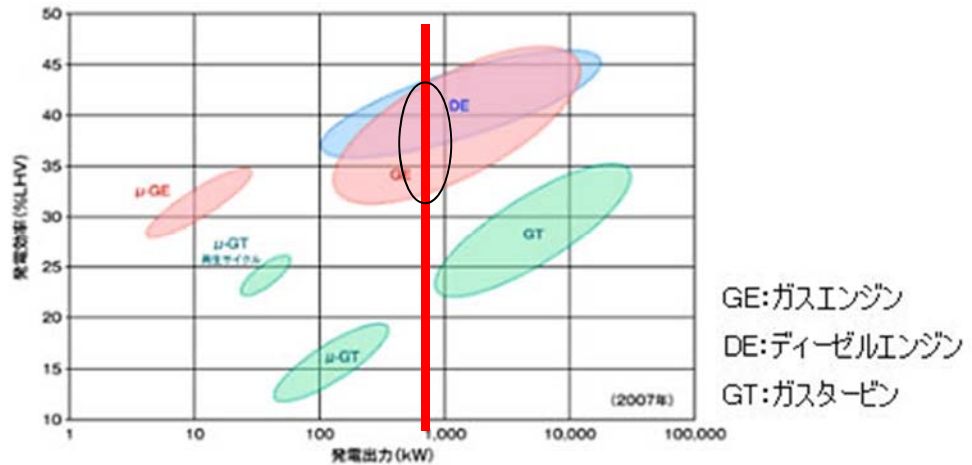
ストーカ式焼却施設におけるごみ焼却量 1 t あたりの消費電力量については、既存文献（※1）から、概ね 150kw/ t と推定し、発電設備の発電出力は、概ね 900 kw（※2）となる。

※1「ごみ量やごみ質の変化が清掃工場における電力消費に及ぼす影響の分析」（吉田登、長岡耕平、金子泰純、山本秀一、瀬古成哉）

※2：283 t / d ÷ 24h × 150kwh / t ÷ 2 炉 = 884.5 ⇒ 900 kw

この出力の場合、発電効率を考えると、下図に示すとおり、ディーゼルエンジンまたはガスエンジンが他の発電方法よりも高く、優位性がある。

燃料については、ディーゼルエンジンは使用燃料が液体燃料である重油、軽油、灯油、ガスエンジンの使用燃料は、主に都市ガス（天然ガス）と LPG が想定される。本計画においては、事業予定地が都市ガスの中圧供給エリアであり、ガスエンジンを検討対象とする。



出典：国立環境研究所 Web サイト

<http://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=8>

(財)天然ガス導入促進センター：エネルギー高度利用促進本部（旧：日本コージェネレーションセンター）「コージェネレーションシステム導入のメリット」に加筆

図 6-4 発電効率の比較

① 前提条件

ガスエンジンの燃料使用量を以下に示す。

表 6-4 発電における燃料使用量

	単位	ガスエンジン (都市ガス)
燃料発熱量(※1)	MJ/Nm ³ (L)	44.8
発電出力	kw	900
発電効率(※2)	%	40
時間当たり熱量	kJ/sec	2,250
	kJ/h	8,100,000
	kJ/d	194,400,000
燃料使用量	Nm ³ (L) / d	4,339
	Nm ³ (L) /h	181

※1 温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 Web サイトより抜粋

<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran2015.pdf>

※2 発電機の発電効率は、40%と設定

② 燃料の供給の安定性

都市ガスについては、前述したとおり事業予定地は供給エリア内にあることから、導管を通じて調達が可能である。都市ガスの導管は、高圧、中圧、低圧の3種類(※)に大別されるが、事業予定地は中圧の導管となる。

供給の安定性という観点から考えると、震災等の災害時には、ガス漏れによる二

次災害防止の観点から途中のガバナでガスの供給をストップするため、一定範囲のブロック供給停止区域が発生する。しかし、これらは主に低圧の導管が引かれる地域であり、事業予定地は、ブロック供給停止区域外となっているため、供給の安定性は高いと考えられる。

また、既存文献によれば、中圧供給地域における震災の被害状況は下表のとおりとなっており、東日本大震災での被害は、「約 20 か所の被害が発生したものの、大半がフランジ継手部（ガス導管とバルブ等をボルトで締結した継手部）における軽微な漏れであり、改めて高中圧導管の耐震性の高さが立証された」としている。（なお、阪神・淡路大震災についての具体的な表現はない。）

さらに、マニュアルにおいても、都市ガスの中圧導管が耐震性を強化していることから、燃料保管設備の一つとして示されている。

表 6-5 都市ガス導管の地震被害状況

圧力・管種別※		阪神・淡路大震災	東日本大震災
高压導管		被害無し	被害無し
中圧本支管	被害箇所数	106 か所	22 か所
	被害率	2 か所/km	0.2 か所/km
低圧本支管	被害箇所数	5,223 か所	773 か所
	被害率	14 か所/百km	0.9 か所/百km

出典：東日本大震災における都市ガスの被害・復旧状況と地震対策の課題より抜粋
 ※管種別の定義（ガス事業法施行規則）
 高压：1.0MPa 以上の圧力をいう。
 中圧：0.1MPa 以上で 1.0MPa 未満の圧力をいう。
 低圧：0.1MPa 未満の圧力をいう。

③ 環境性

(i) 法令の適用

常用発電機のうち重油換算※で 1 時間あたり 50L 以上の燃料燃焼能力のある設備や、ガス機関において重油換算で 1 時間あたり 35L の燃焼能力がある設備は、大気汚染防止法上のばい煙発生施設に該当する。先に計算した燃料使用量より、ガスエンジンの場合は 1 時間あたり 200 L 程度（※）となるため、いずれにしても大気汚染防止法に基づくばい煙発生施設となる。

※重油換算：液体燃料 10 L、ガス燃料 16 m³、固体燃料 16kg を重油 10 L に換算することをいう。ただし、気体を燃料とするガス機関については重油の発熱量（40186.08kJ/L）で換算したものをいう。

$$\begin{aligned} \text{重油換算量 (L/h)} &= \text{燃焼能力 (Nm}^3\text{/h)} \times \text{燃料発熱量 (kJ/ Nm}^3\text{)} \div 40,186.08 \\ &\rightarrow 180.79 \text{ Nm}^3\text{/h} \times 44,800 \text{ kJ/ Nm}^3 \div 40,186.08 = 202 \text{ L} \end{aligned}$$

(ii) 規制基準

ばい煙発生施設に係る、大防法及び県条例による規制基準を次頁の表に示す。表に示すとおり、熱回収施設とは別に排ガス規制が適用される。ただし、ディーゼルエンジンよりもガスエンジンの方が、ばいじん及び窒素酸化物の規制が厳しい数値になっており、同じ常用発電の中においては環境性は高いと言える。

表 6-6 ばい煙発生施設に係る規制基準等

規制物質	エンジン区分	大気汚染防止法		指導指針	備考
		排出基準	その他の基準		
硫黄酸化物	ディーゼル	K 値=1.75	燃料使用基準 硫黄含有率 0.8%以下	-	53号地域 衣浦 区域
	ガス				
ばいじん	ディーゼル	0.10 g /Nm ³	-	-	残存酸素濃度 13%
	ガス	0.05 g /Nm ³	-	-	残存酸素濃度 0%
窒素酸化物	ディーゼル	1,200ppm	-	200ppm	シリンダー内径 400mm 以上、県条例は 指導目標値
	ディーゼル	950ppm	-		シリンダー内径 400mm 未満、県条例は 指導目標値
	ガス	600ppm	-	200ppm	県条例は指導目 標値

出典：ディーゼル機関、ガスタービン、ガス機関及びガソリン機関設置指導指針

④ 経済性

ガスエンジンを使った常用発電の経済的メリットは、常用発電を行わない施設運営と比較して、常用発電に係わる追加費用よりも常用発電の導入による費用削減（収入増加）が大きい場合に発揮される。経済的メリットが生じるかについては、天然ガス（LNG）の輸入価格・都市ガスの契約内容はもとより、常用発電設備の仕様（出力数や基数）、運転管理方法（運転時間等）、買電料金の契約内容、売電契約内容（非バイオマス分の売電単価含む）など、多岐の要因により変動するものであり、予め一意の評価を行うことは困難である。

表 6-7 常用発電に係わる追加費用と費用削減（概要）

常用発電の導入による費用削減				常用発電に係わる追加費用			
廃熱有効利用分	廃棄物発電の売電料金増額分	電力従量料金削減分	電力基本料金削減分	建設費	設備の維持管理費	公害防止測定費	用役費（都市ガス料金等）
←費用削減				追加費用→			

※各費用の大きさは実際の大きさを表したものではない。また、これ以外の費用項目・削減項目がないことを示すものではない。

⑤ 非常用発電設備

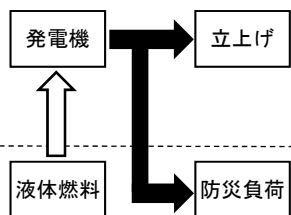
ごみ焼却施設では、従前より消防法上の非常電源とは別に故障時等を想定して保安用電源としてディーゼル発電機等を用いるケースが見られた。また、マニュアルでは、災害対応として商用電源が遮断した状態でも始動用電源として、1 炉立ち上げが可能な発電機の設置が謳われている。

都市ガス燃料を用いた常用発電設備については、耐震性等の認定を受けることができれば、常用発電設備のほか、消防法上の非常用発電設備としての位置づけも可能となる（常用防災兼用ガス専焼発電）（非常用発電設備の液体予備燃料の備蓄が不要）。ただし、事業予定地までに都市ガス導管が添架されている箇所があり、認定を受けられるかについては不明な状況である。ここで、マニュアルでの始動用電源の位置づけを鑑みると、始動用電源は非常時にも信頼性をもって稼働することが求められるものであり、都市ガス導管が添架されている橋の健全性が保てない可能性がある状況においては（都市ガスを用いた常用防災兼用ガス発電とならない場合）、都市ガスを用いた発電機は、液体予備燃料との兼用により立上げ負荷への電力供給用とするか、平常時の立上げ負荷のみの電力供給用とする（次頁図参照）ことが考えられる。なお、従来通り、液体予備燃料による発電機から立上げ負荷+消防負荷に電力供給することも可能である。

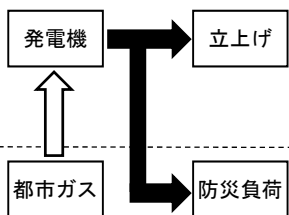
⑥ 常用発電の評価

重要な選定要因となる経済性については、影響因子が多岐にわたるため、評価が困難であり、本計画においては、常用発電システムの適用については限定しない。

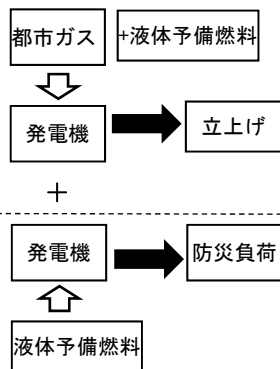
①発電機（液体燃料）から立上げ
 負荷+防災負荷への電力供給の
 場合



②発電機（都市ガス）から立上げ
 負荷+防災負荷への電力供給
 （液体予備燃料なし）の場合
 【常用防災兼用ガス専焼発電】



③発電機（都市ガス）+液体予備燃
 料から立上げ負荷への電力供給、
 防災負荷へは自家発電設備（液体
 燃料）から電力供給の場合



④発電機（都市ガス）から平常時立上用
 に電力供給し、防災負荷+非常時1 炉立
 上負荷へは自家発電設備（液体燃料）か
 ら電力供給の場合

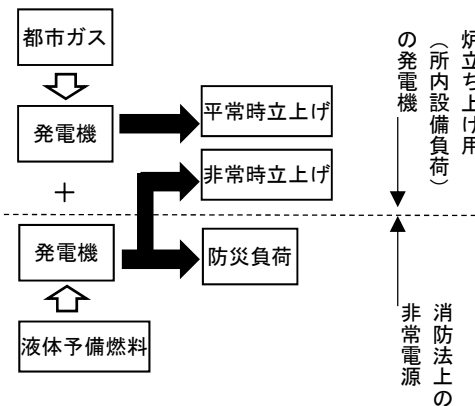


図 6-5 始動用電源と非常用電源の組合せ（例）

3 場外熱利用

場外熱利用として、計画地に隣接して武豊町が建設を計画する温水プールへの余熱の熱供給について検討を行う。

(1) 武豊町屋内温水プール計画の概要（想定）

「武豊町屋内温水プール基本構想報告書」（平成 27 年 1 月：武豊町屋内温水プール建設検討委員会（以下「プール基本構想」という））にある、温水プール計画の概要は、次のとおりである。ただし、現段階では想定であるため、整備内容については、変更になる場合がある。

1) 温水プールの施設整備内容

プール基本構想における施設整備内容のうち、熱が必要になると考えられる施設は、プール（遊泳用プール、歩行用プール、低学年用プール、幼児用プール、ジャグジースパ、機械式水流プール）と老人福祉センター機能（浴室部分）がある。これらのうち、ジャグジースパ及び浴場については、遊泳プールよりも高温の熱が必要となる。

2) 温水プールの規模（必要熱量）

プール基本構想においては、遊泳プールについては、水深 1.1～1.3m 程度、レーン数は、8～10 レーン程度としており、レーン幅を 2.0m と仮定すると、下記より 600m³ の温水が必要となる。これ以外のプール等への熱供給も含め、最大 7GJ/h の熱供給を行うものとする。

$$\text{水深 } 1.2\text{m} \times \text{レーン幅 } 2\text{m} \times 10 \text{レーン} \times \text{長さ } 25\text{m} = 600\text{m}^3$$

(2) 熱供給の方法

1) 温水プールの立地条件

温水プールの建設予定地は以下のとおりである。



出典：武豊町屋内温水プール基本構想報告書 P14 より抜粋

図 6-6 温水プールの建設予定地

上図より、事業予定地と温水プールの間には、臨港道路武豊美浜線があり、これを横断して熱供給を行う必要がある。また、一部高圧ケーブルの埋設部となっており、地上への構築物は不可となっている。

2) 熱供給の方法

余熱の熱供給は、下図に示すとおり、地下配管や地上配管（トレンチ含む）による場合と架空配管による場合の3ケースが考えられる。

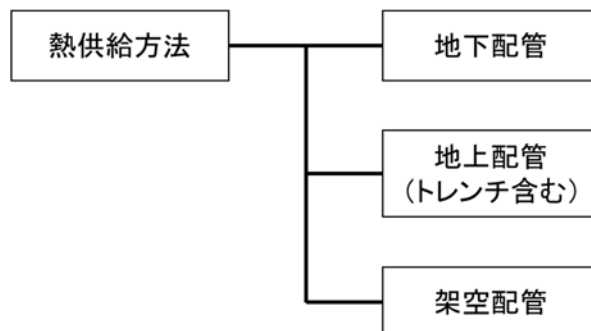


図 6-7 熱供給の方法

上図のうち、メンテナンスを考慮すると地上配管が有利と考えられるものの、前述の立地条件より、臨港道路武豊美浜線の横断、高圧ケーブルの埋設部の建築制限といった条件があり、関係機関との調整を要する。

現時点においては、これらの詳細は未定であることから、今後、供給方法等については、武豊町をはじめとする関係機関と協議を行う。なお、工事の所掌としては、環境センターの敷地境界線までは本工事の所掌とし、環境センター敷地境界外の配管等の敷設工事については「武豊町屋内温水プール事業」の所掌である。

これに係る費用負担は、組合の定める建屋外責任分界点の先に必要な施設建設費用及び供給に要する費用は武豊町の負担とする。