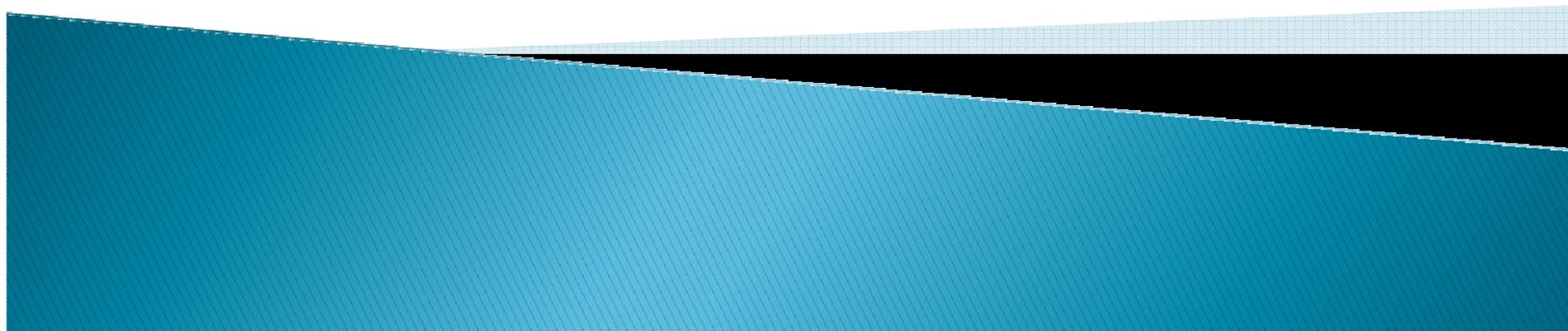


熱回収施設(ごみ焼却施設)における 余熱利用状況

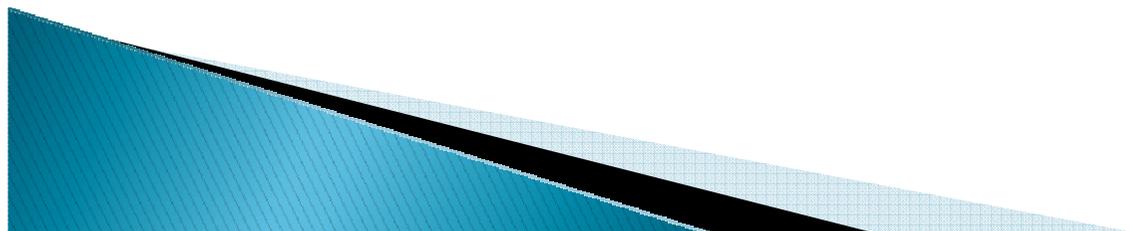
平成23年1月

(財)日本環境衛生センター 環境工学部
技術審議役 速水 章一

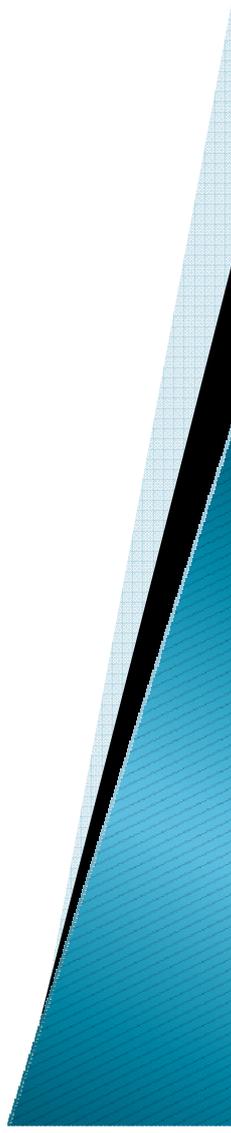


目次

1. 今日のごみ焼却施設の役割と課題
2. ごみ焼却熱の利用方法
3. ごみ発電
4. ごみ焼却熱を利用した熱供給
5. 欧州における回収熱利用の取組み
6. おわりに



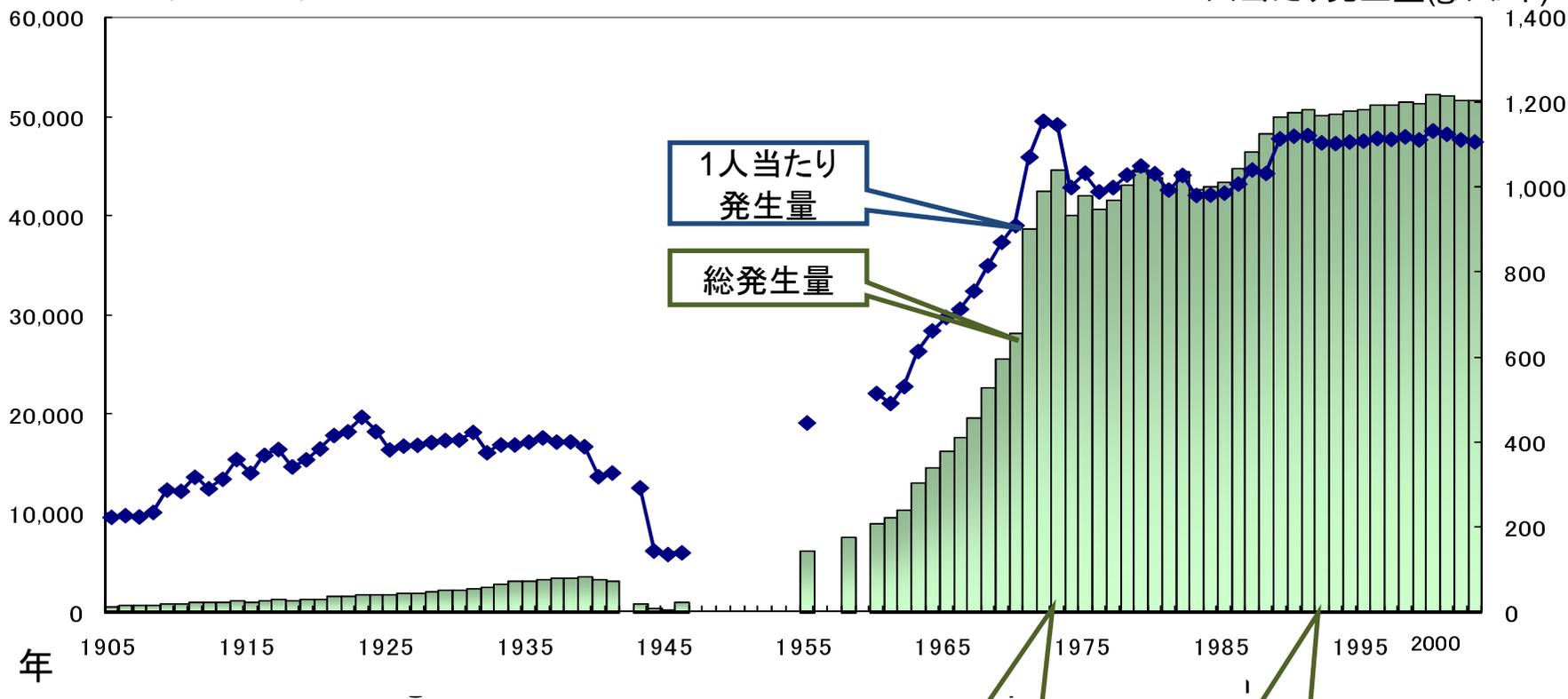
1. 今日のごみ焼却施設の役割と課題



一般廃棄物発生量の変遷

総発生量(千トン/年)

1人当たり発生量(g/人/年)



1人当たり発生量

総発生量

1972年成長の限界
(ローマクラブ)

1992年気候変動枠
組条約国連採択

廃棄物処理の課題

- 衛生の確保
- 環境の保全・快適な都市環境
- 天然資源の保全
- エネルギー利用の効率化(CO2低減)

ごみ焼却施設に求められる役割

社会的課題

求められる役割

社会の流れ

伝染病(コレラ、ペストなど)の蔓延

衛生的な生活環境

公害の深刻化

安全で快適な生活環境

大量廃棄に伴う埋立地の確保難

埋立地延命化のための容積減少

オイルショック、資源価格の高騰

分別収集、エネルギー回収

大量生産・消費・廃棄への反省(3R)
ダイオキシン類による社会不安

分別の高度化と資源化施設併設
更に高度化な公害防止

地球温暖化問題と排出枠の割り当て
低炭素社会実現への取り組み

焼却施設から熱回収施設へ
回収熱の利用による温室効果ガス削減

世界的に重要性を増しているごみの中間処理

- ・EU委員会は、「都市ごみの発生抑制、リサイクルを進め、なお発生した都市ごみの処理については、焼却処理、埋立ガスの採取、あるいは嫌気性消化による都市ごみを利用したクリーン・エネルギーの生産を積極的に推進すべきである。」という見解。
- ・埋立については、「EU埋立指令」(1999年)により、実質上未処理のごみの埋立禁止
- ・世界の多くの都市で未処理のごみが埋立続けられ、地球温暖化効果の高いメタンガス(温室効果:二酸化炭素の約21倍)が埋立地から発生

ごみを直接埋め立てることの弊害



フィリピン・マニラ市の例
弊害:衛生と安全の確保
水環境の汚染など

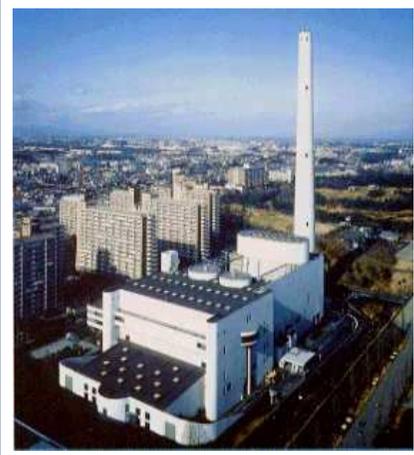
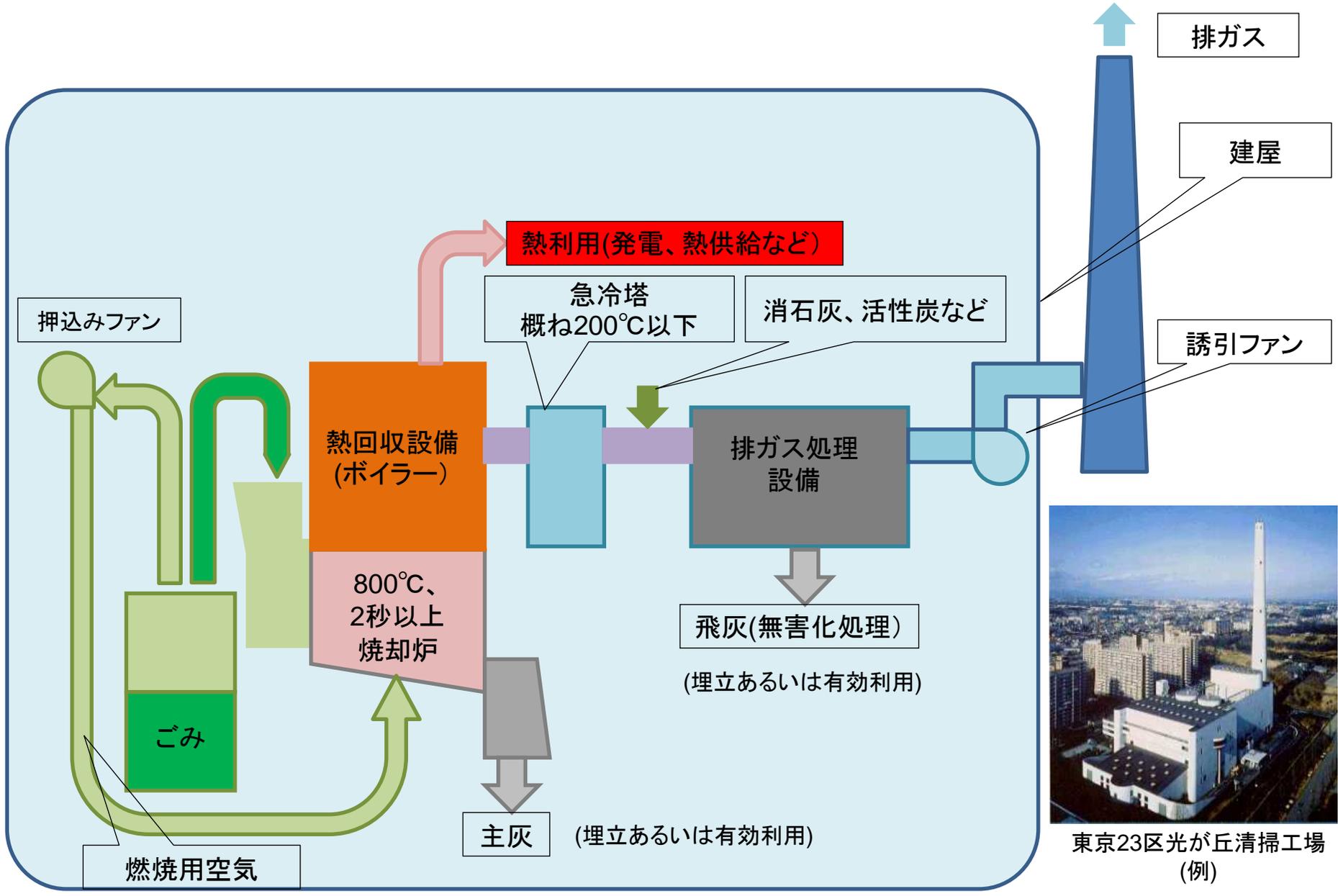


インド・コルカタ市の例
弊害:自然環境の破壊
水環境の汚染など



エジプト・タンタ市の例
弊害:大気環境、臭気
水環境の汚染など

今日のごみ焼却施設1(公害防止対策と回収熱の利用)



東京23区光が丘清掃工場 (例)

今日のごみ焼却施設2(周辺環境との調和)

① 今日、ごみ焼却施設をはじめとするごみ処理施設の建設に取り

組む自治体は、その建設にあたって、公害防止に万全を尽くすのはもちろんのこと、街並みとの調和に工夫をこらしている。

② ごみの焼却処理課程で回収して得た熱や電気を近隣の公共施設において積極的に利用し、低炭素社会にふさわしい街づくりと公共施設の運営経費低減に取り組んでいる。

ごみの成分の殆どはバイオマスであり、ごみから回収したエネルギーのうちバイオマス分については再生可能エネルギーとして扱われる。

③ ごみ焼却施設を市民との対話を通じて建設することにより、敷地内の緑地が市民の憩いの場として定着するなど、市民に親しまれる施設となっている事例も数多く見られる。



① 建物デザインの街並みとの調和
(東京23区中央清掃工場)



② 清掃工場から熱供給を受けている公共施設



③市民の憩いの場となっている敷地内の緑地

求められる温室効果ガス削減の取組み

- 1992年 気候変動に関する国際連合枠組み条約(気候変動枠組み条約)採択
- 1994年 気候変動枠組み条約発効
- 1997年 京都議定書採択

対象となる温室効果ガス

- ①二酸化炭素(CO₂)
- ②メタン(CH₄)
- ③一酸化二窒素(N₂O)
- ④ハイドロフルオロカーボン(HFC)
- ⑤パーフルオロカーボン(PFC)
- ⑥六フッ化硫黄(SF₆)

吸収源(シンク)の取り扱い

1990年以降の新規の植林や土地利用の変化に伴うCO₂の吸収排出を考慮する。

削減目標

- ①基準年は1990年(HFC,PFC, SF₆は1995年とすることも可)
- ②目標期間:2008年から2012年までの5年間
- ③削減目標
日本 ▲6%
米国 ▲7%
EU ▲8%
先進国(旧ソ連、東欧を含む)全体で▲5.2%)

柔軟的措置

(国際的な協力・協調によって削減目標を達成するための手段)

排出量取引

協働実施

クリーン開発メカニズム

国の施策；高効率発電に向けての取組み奨励

- 近年、地球温暖化問題に向けた対策が強く求められており、『廃棄物処理施設整備計画』（平成20年3月に閣議決定）においても、地球温暖化防止にも配慮した廃棄物処理施設の整備を推進することとされている。
- ごみ焼却施設で回収されるエネルギーは、熱として供給される事例もあるが、立地条件に左右されるため、汎用性が高く、輸送効率の高い電気に変換することで、供給先の選定や輸送設備の整備などの負担を最小限に抑えることができる。
- 廃棄物処理施設整備計画においても、ごみ焼却施設の総発電能力について、現状の約1,630MW(平成19年度見込み)から平成24年度には約2,500MWにまで大幅に増強する目標が新たに設定されている。
- 従来、ごみの適正処理に重きが置かれ、発電は副次的に取り組まれてきたのが一般的であったが、今後はごみの持つエネルギーを可能な限り取り出すことが可能となる施設の整備に取り組むよう、ごみの適正な処理を確保しつつ発電についても主たる目的として取り組む場合、一定の要件の下、財政的支援を拡大することとした。
- こうしたことからこのたび、高効率発電が達成可能な場合について、交付率1/2とするメニューが追加された。

必要な温暖化対策と廃棄物処理分野の現況

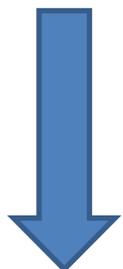
地球温暖化対策基本法案

温室効果ガス排出量を2020年までに1990年比25%削減、
2050年までに1990年比80%削減

廃棄物処理分野の現況

廃棄物の焼却処理等により排出される温室効果ガス排出量(非エネルギー起源CO₂、メタン及び一酸化二窒素)
約3400万トン(日本の総排出量の約3%、2008年)

処理施設の稼働、廃棄物の収集・運搬に伴うエネルギー起源のCO₂等排出も含めた廃棄物処理分野全体
約5000万トン(2008年)

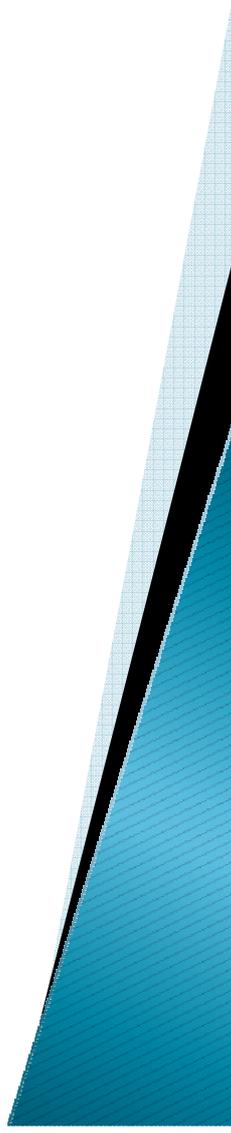


対策

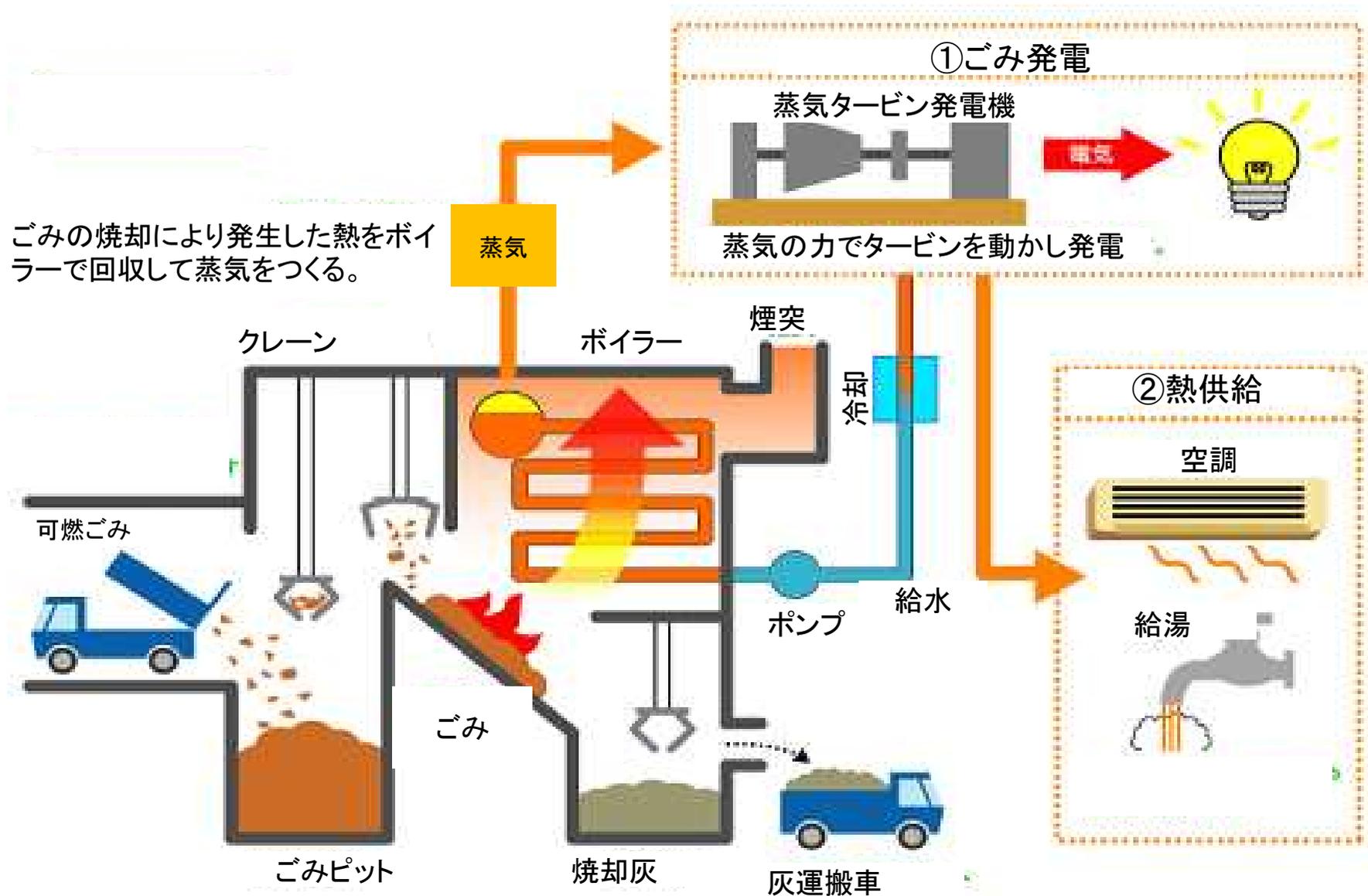
- ・エネルギー回収能力増強のための施設整備マニュアル
- ・メタンガス化施設整備マニュアル
- ・高効率ごみ発電施設整備マニュアル

削減目標を見据えると更なる対策が必要となっている。

2. ごみの焼却熱の利用方法

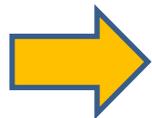


(1) ごみの焼却熱の利用形態 - ごみ発電と熱供給



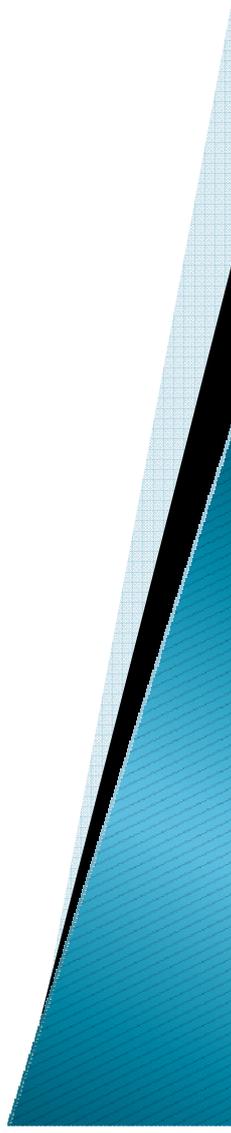
(2) 熱の利用形態の特長

熱の利用形態	特長
ごみ発電	<ul style="list-style-type: none">・ 製造するエネルギー(電気)の汎用性が高い。・ 電力ケーブルを用いて遠くまで搬送が可能である。・ 発電した電力で所内動力を賄うことにより、施設の運営経費の低減を図り、余剰の電力については売却可能である。・ ボイラー、タービン、発電機、復水器などの設備の設置が必要となる。・ 発電効率(ごみの持つエネルギーが電気エネルギーに変わる割合)は一般的に20%程度である。
熱供給	<ul style="list-style-type: none">・ 熱の搬送媒体の温度が80℃以上であれば冷房なども可能である。・ 熱供給することのできる距離は一般的に2キロメートル程度である。・ 施設内で必要とする設備は、熱交換器、貯留槽で簡易であるが、熱供給先までの配管敷設が必要となる。・ 季節、時間帯により熱の需要量の変動が大きい。・ 熱の利用課程でエネルギーの形態の変化がないので利用効率が高い。

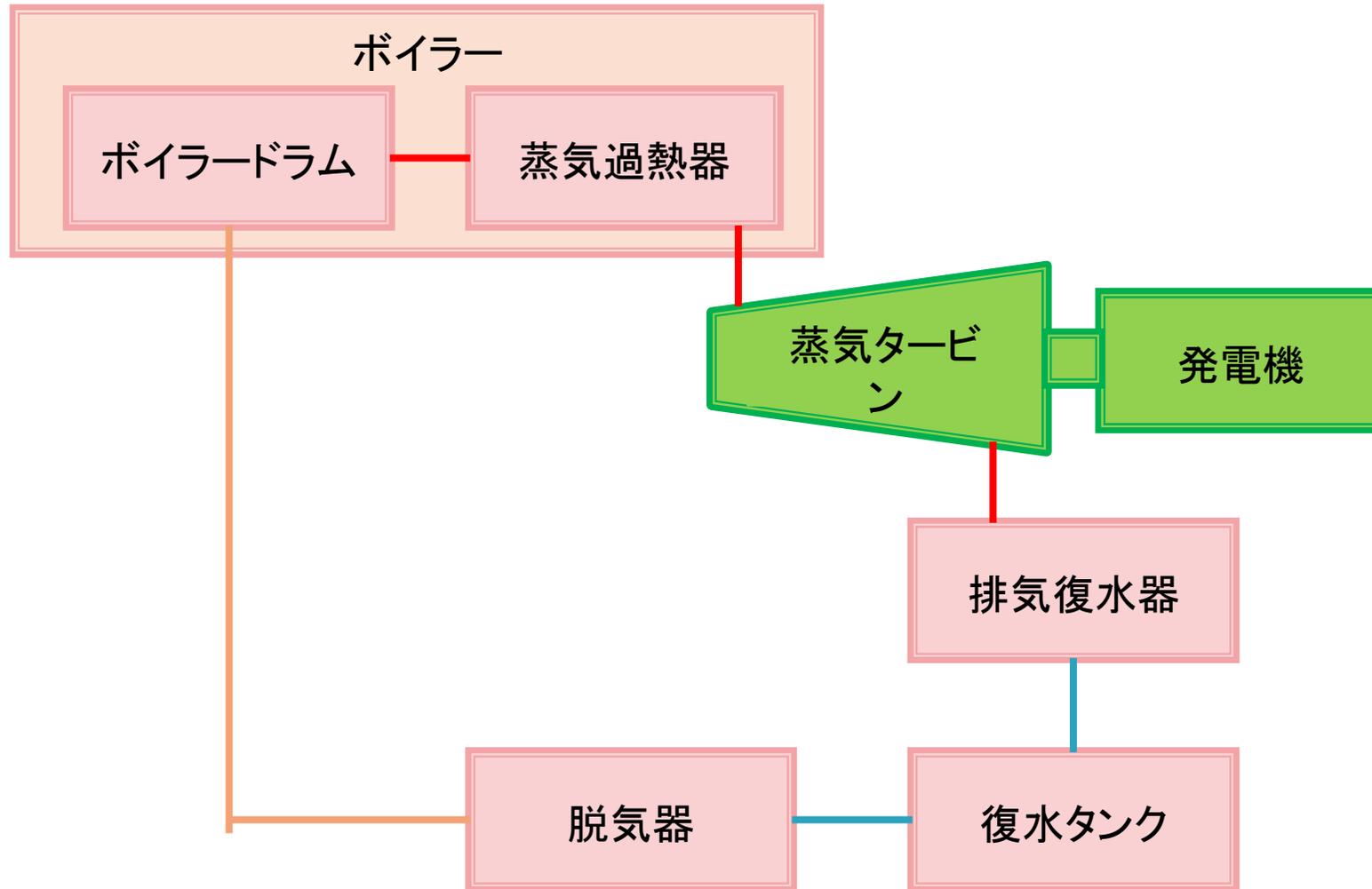


施設全体として、回収したエネルギーを効率良く利用するためには、発電と熱供給を組み合わせる(コージェネレーション; 熱電併給)ことが望まれる。

3. ごみ発電



(1) 発電のしくみ



— 蒸気 — 復水 — 熱水

(2) わが国におけるごみ発電の変遷

昭和14年東京都深川塵芥処理場においてごみ発電の実験を試みるも戦争で中断

第一世代(黎明期)

昭和40年大阪市西淀清掃工場(200トン/日×2基)で2700kWの発電設備を設置(自家消費のみに利用)



第二世代

昭和48年、53年のオイルショックを経て、ごみ発電が認知され、昭和51年から電力の販売を開始(少量の売電)



第三世代

ごみ発電が「リサイクル型エネルギー」としての位置を得て、売却可能となり、大規模発電が浸透



第四世代

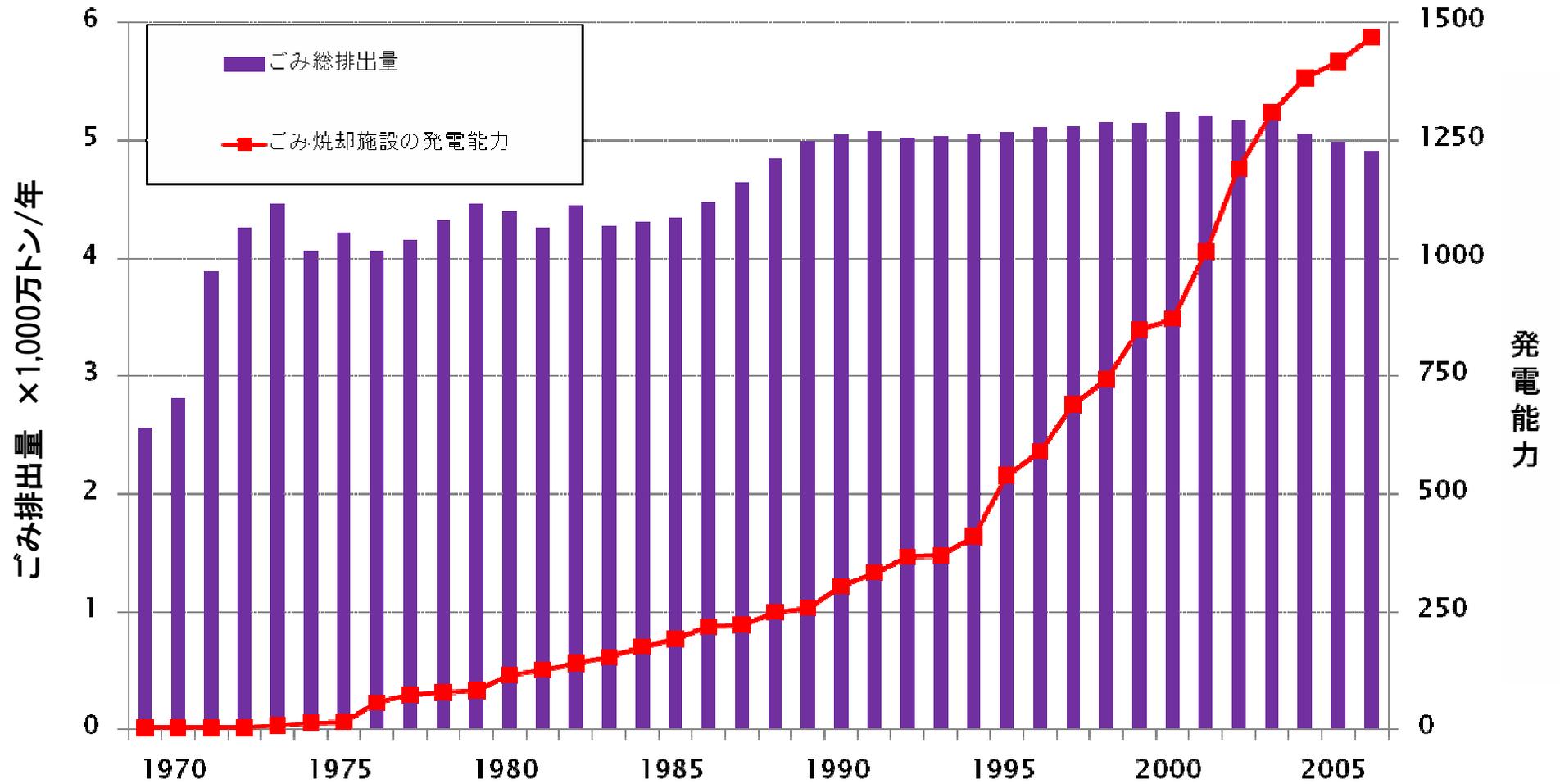
高効率発電が追求され、スーパーごみ発電を導入した堺市クリーンセンターが平成9年に、4MPa,400°Cの主蒸気条件を採用した東京23区中央清掃工場が平成13年に稼働開始



第五世代

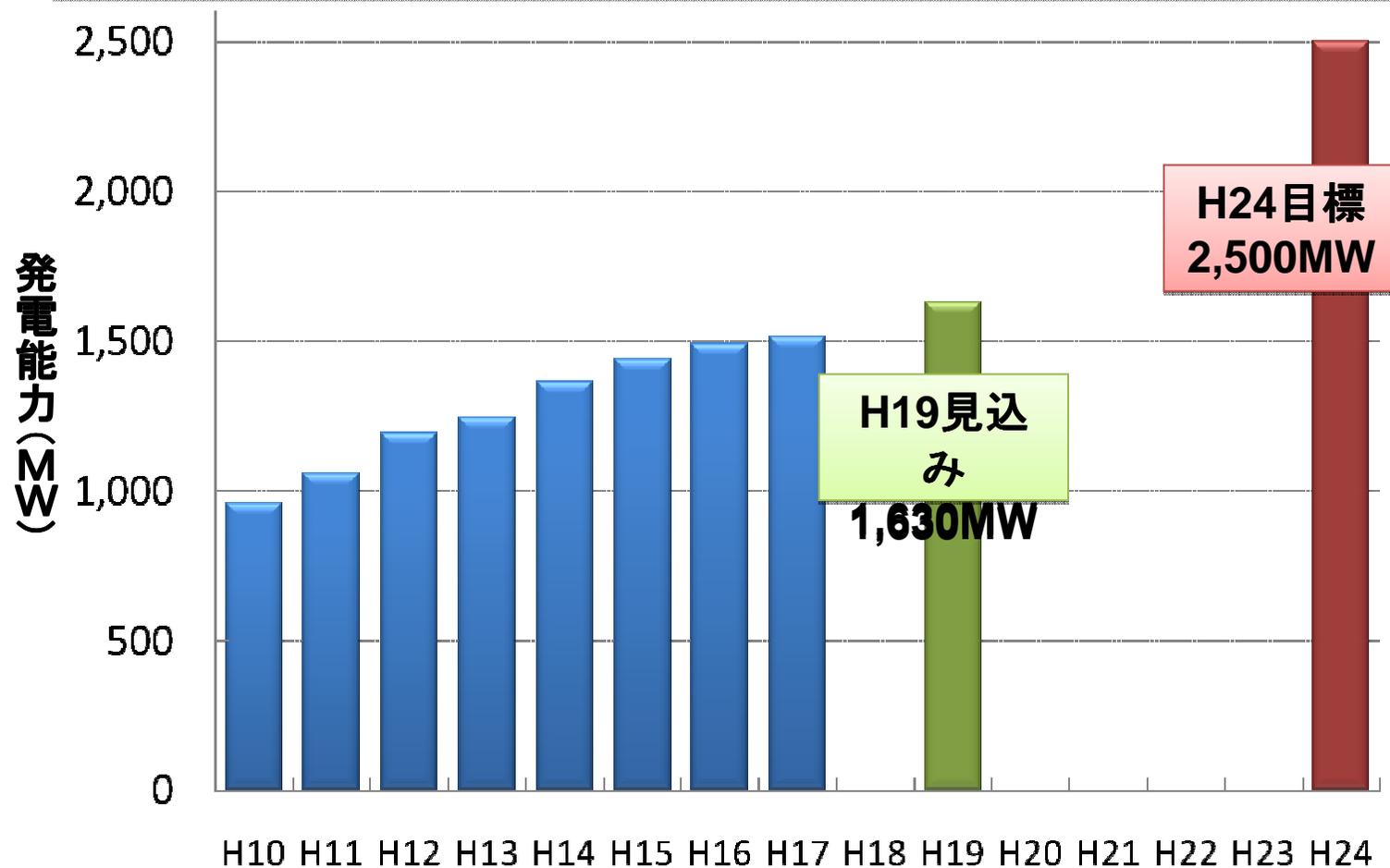
低炭素社会構築に貢献する高度熱回収・利用型の清掃工場

(3) わが国におけるごみ発電量の推移



(4) 廃棄物処理施設整備計画でのごみ焼却施設総発電能力目標

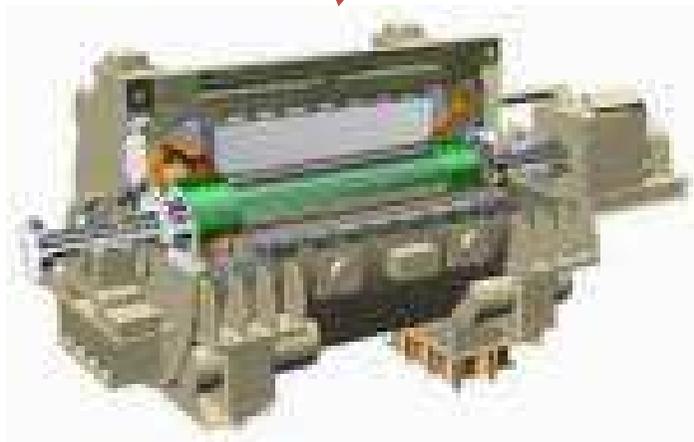
ごみ焼却施設における発電能力は年々増加傾向
今後、RPS法による高効率な廃棄物発電の実施
→ 平成24年度における発電能力:2,500MW



(5) 蒸気タービン発電機の外観と内部構造



蒸気タービン発電機の外観



発電機の内部構造



蒸気タービンの内部構造

(6)ごみの焼却施設で用いられる蒸気タービンの種類

背圧タービン

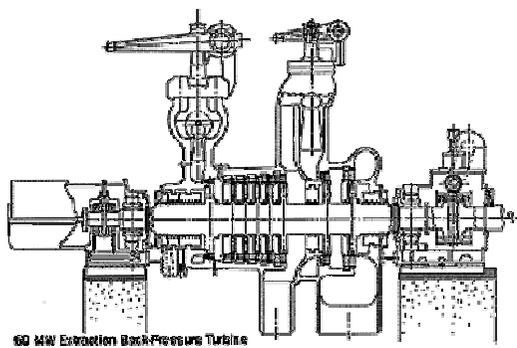
蒸気タービンの出口圧力は正圧(プラス圧)であり、高い発電効率は得られないが、所内で他の目的で蒸気を利用することが出来る。また、設備が他のタービンと比較して簡易である。

復水タービン

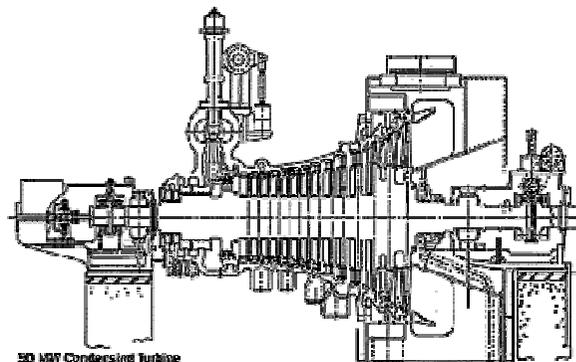
蒸気タービンの出口圧力は負圧(マイナス圧)であり、他のタービンと比較して高い発電効率が得られるので、大規模で安定した発電を行う場合に採用される。設備がやや複雑となる。

抽気タービン

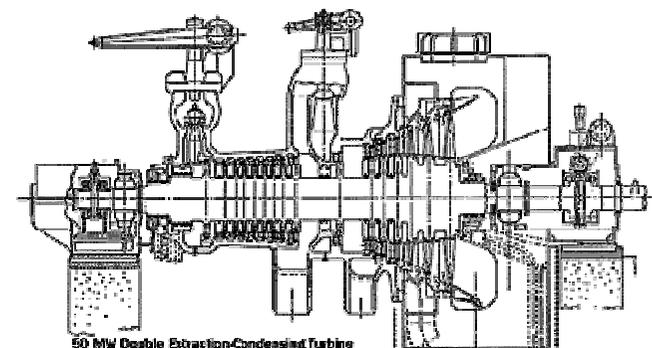
復水タービンにおいて一部の蒸気が抜き出される構造となっている。抽気された蒸気は地域熱供給など発電以外の目的に利用される。



背圧タービン



復水タービン



抽気タービン

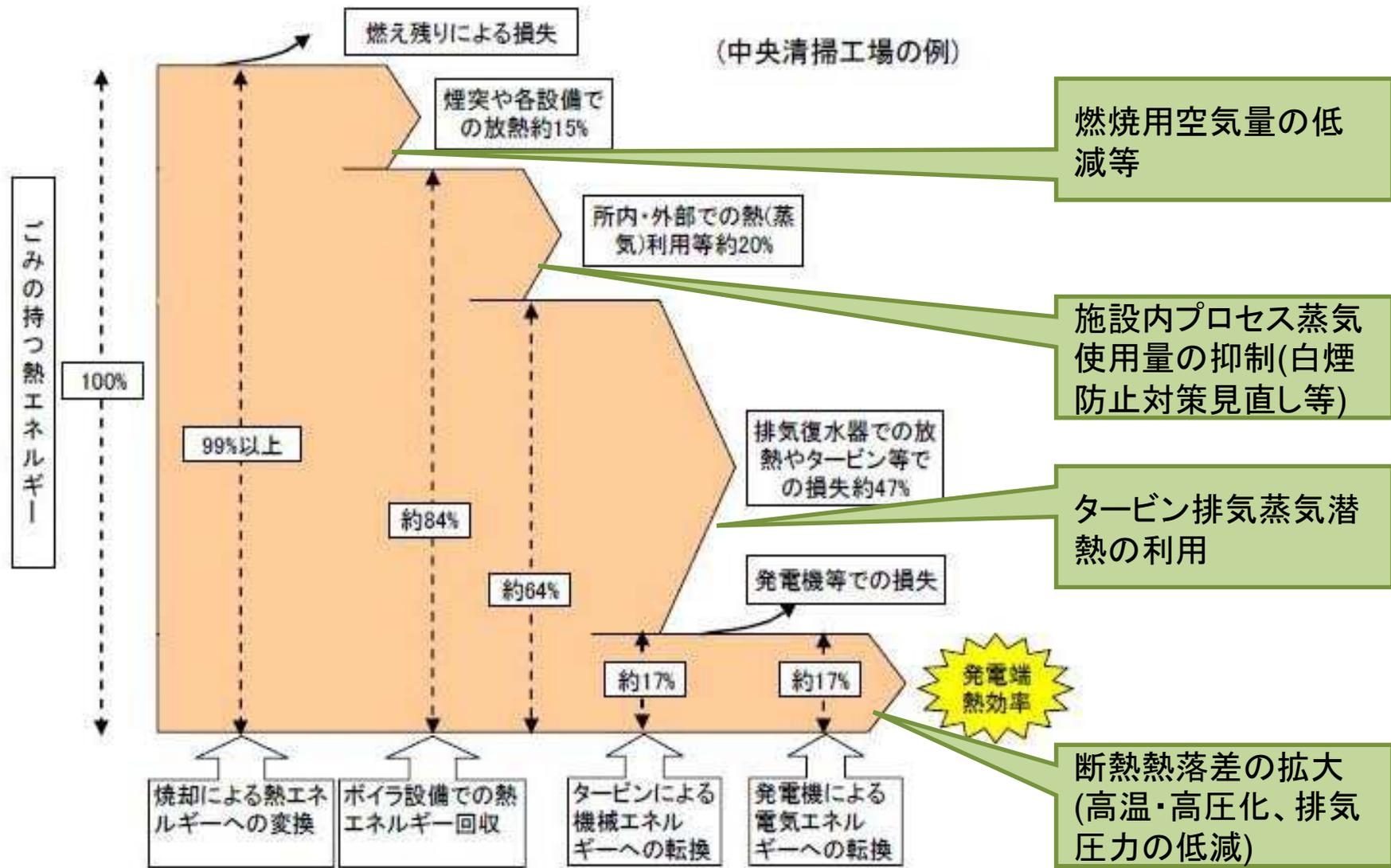
(7)発電効率の定義

発電効率は、タービン発電機定格出力を設定した時の「ごみ発熱量」と「外部燃料投入量」を用いて以下の式で計算する。

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

※ただし、ごみからエネルギーを可能な限り取り出すという観点から、外部燃料は極力少ないことが望ましく、安定燃焼や安定溶融を維持するために必要なものに限定し、投入エネルギー全体の30%を上限とする。なお、ここでいう外部燃料とは化石燃料を指し、廃プラスチック、RDF、木くず等は含まないものとする。

(8) 清掃工場の熱利用状況(例)と効率向上対策



(9) 発電効率の影響要因

施設規模(焼却能力)

100トン/日以下の小規模な施設では発電設備を設置することは一般的には効果的ではない。施設規模が大きくなるに従って発電効率が高くなる。

ボイラー効率

発電効率は発生した蒸気量に比例する。

タービン入口蒸気温度・圧力

発電量は発生した蒸気がより高温・高圧になるに従って増加する。発電量増加を目的として蒸気過熱器が設置される。

タービン出口蒸気圧力

タービン出口圧力が低くなるに従って発電量は増加する。火力発電所等においてはこの目的で海水や河川水を利用しての水冷復水器が設置されている。

(10) ごみ焼却施設における発電効率の推移

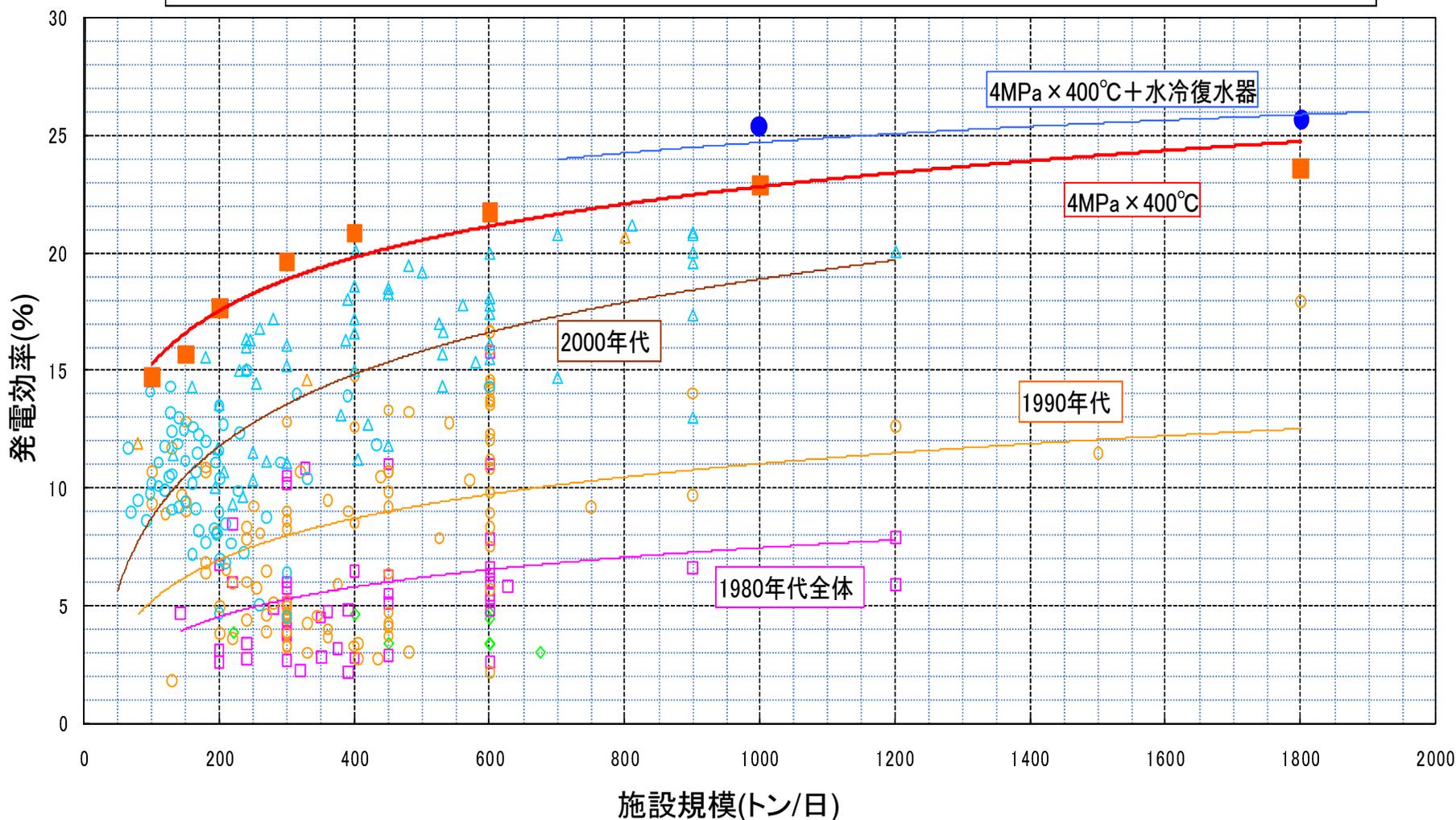
ごみ焼却施設の発電効率実績と試算結果

【実績施設発電効率】

◇ 1970年代 □ 1980年代 ○ 1990年代(300℃) △ 1990年代(400℃) ○ 2000年代(300℃) △ 2000年代(400℃)

【試算結果】

■ 4MPa×400℃ ● 水冷復水器



(11) 施設規模に応じた発電効率と補助金の交付要件

施設規模 (t/日)	発電効率 (%)
100未満	12
100超・150以下	14
150超・200以下	15.5
200超・300以下	17
300超・450以下	18.5
450超・600以下	20
600超・800以下	21
800超・1,000以下	22
1,000超・1,400以下	23
1,400超・1,800以下	24
1,800超	25

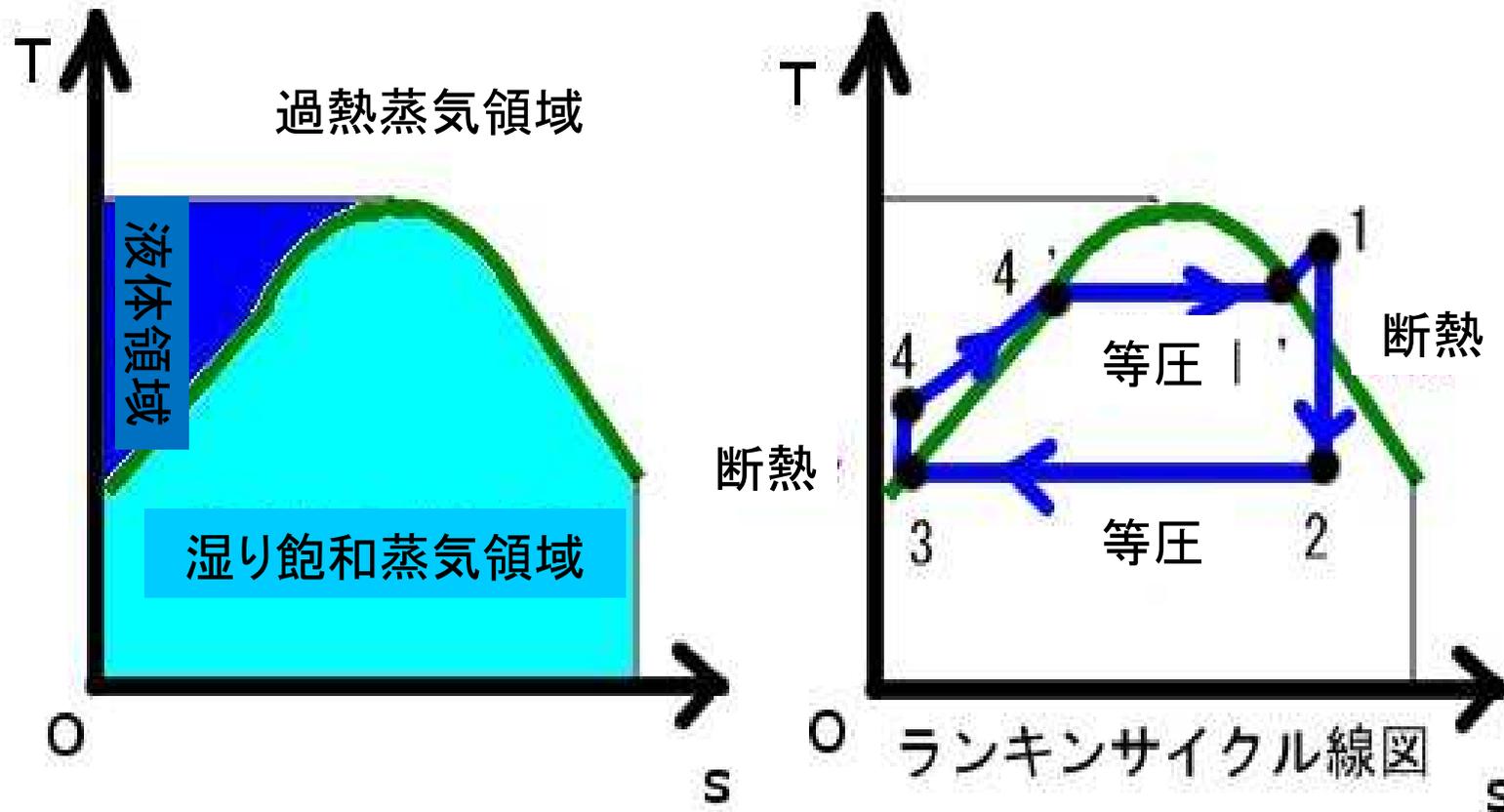
前提条件

ごみの低位発熱量: 8800KJ/kg
 燃焼空気比 : 1.4~1.5
 蒸気条件 : 400°C、4MP
 復水器形式 : 空冷式
 排ガス処理 : 乾式
 触媒再加熱 : なし
 (185°C程度の低温触媒採用)
 白煙防止 : なし

※その他の効率向上に資する新技術と組み合わせることにより左記発電効率以上の効率を達成することができれば、上記の設備諸元を必ずしも全て満たしている必要はない。

(12) 発電の熱サイクル(ランキンサイクル)

T-s (温度-エントロピー)線図



- 1→2 タービン内断熱変化
- 2→3 蒸気復水
- 3→4 ポンプによる圧縮
- 4→4' ボイラーでの加熱
- 4→1' ボイラ内での液体から蒸気への変化
- 1'→1 蒸気過熱器内での過熱

(13)ごみ発電高効率化の制約条件

高温腐食

蒸気温度が400℃を超えると排ガス中の塩素等の影響により、蒸気過熱器の腐食が急激に進むようになり、高温腐食と呼ばれている。このため、高温高圧化が図られたボイラーでは蒸気過熱器に腐食性の高い特殊な合金材料が用いられている。

現段階では、ごみ焼却施設では蒸気過熱器に特殊な合金をボイラーの蒸気温度は450℃程度に留められている。

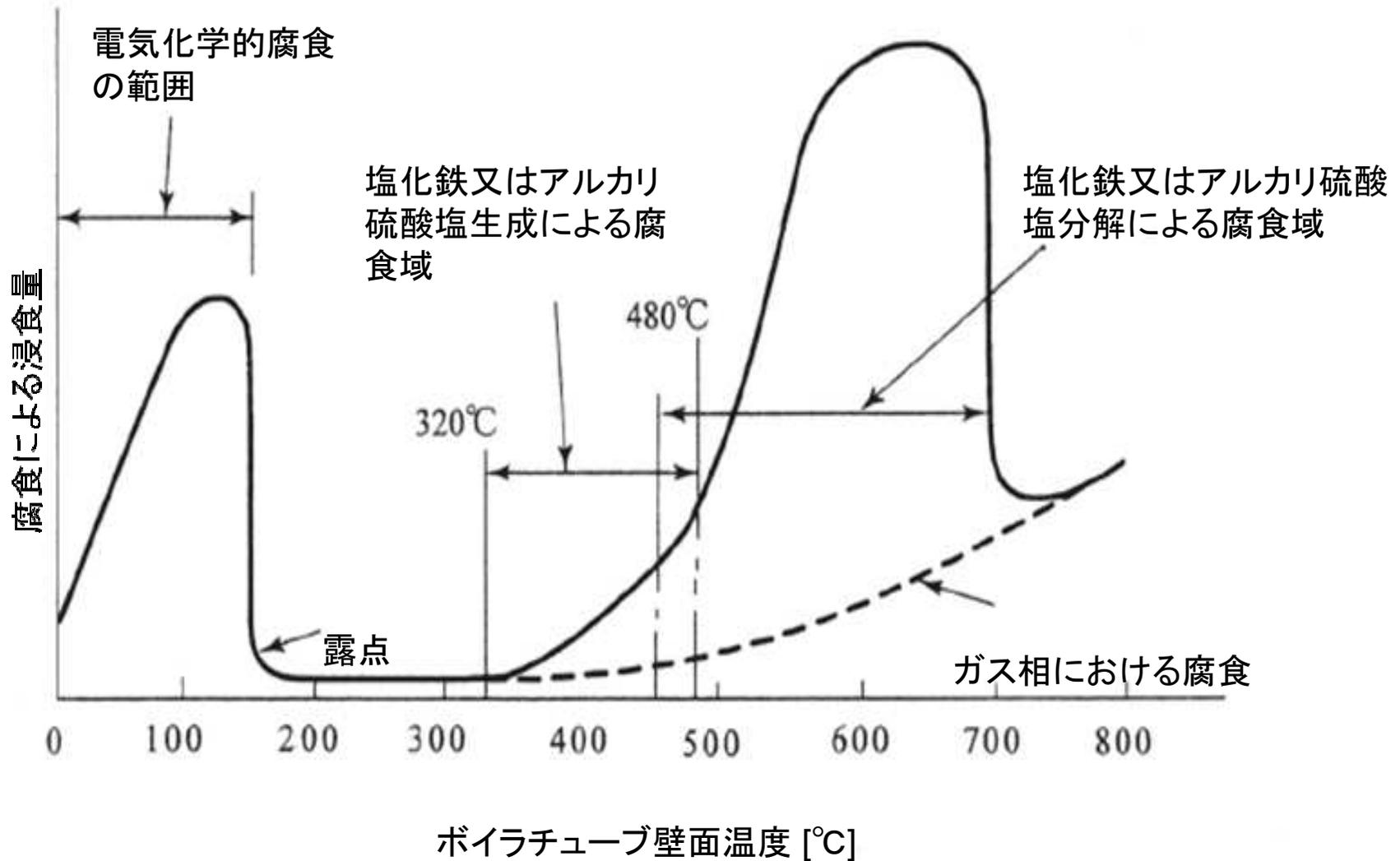
低温腐食

ごみ焼却施設の排ガス温度が160℃を下回ると排ガス中のいおう酸化物が結露して排ガスダクトや交換器を急激に腐食する。排ガス温度が110℃以下になると塩化水素が結露するようになり、さらに急激な金属腐食をもたらす。このため、低い排ガス温度まで熱を回収してボイラーの効率を高くすることは技術的に限界がある。

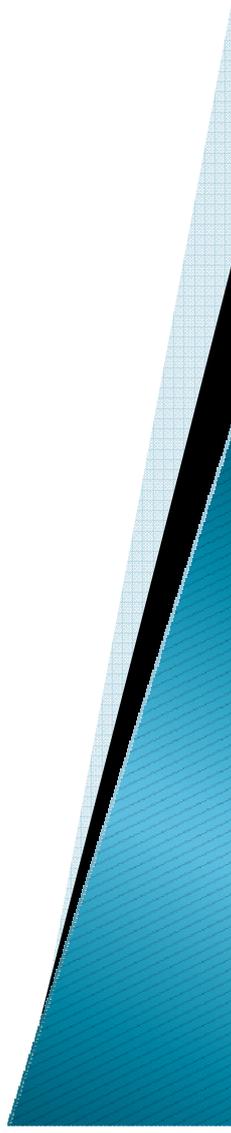
その他の制約条件

その他、ごみ焼却施設の立地によって敷設されている電力ケーブルの制約条件によって大容量の発電を行えない、あるいは電力会社との系統連係に係る協議等によりごみ発電に制約が加わることもある。

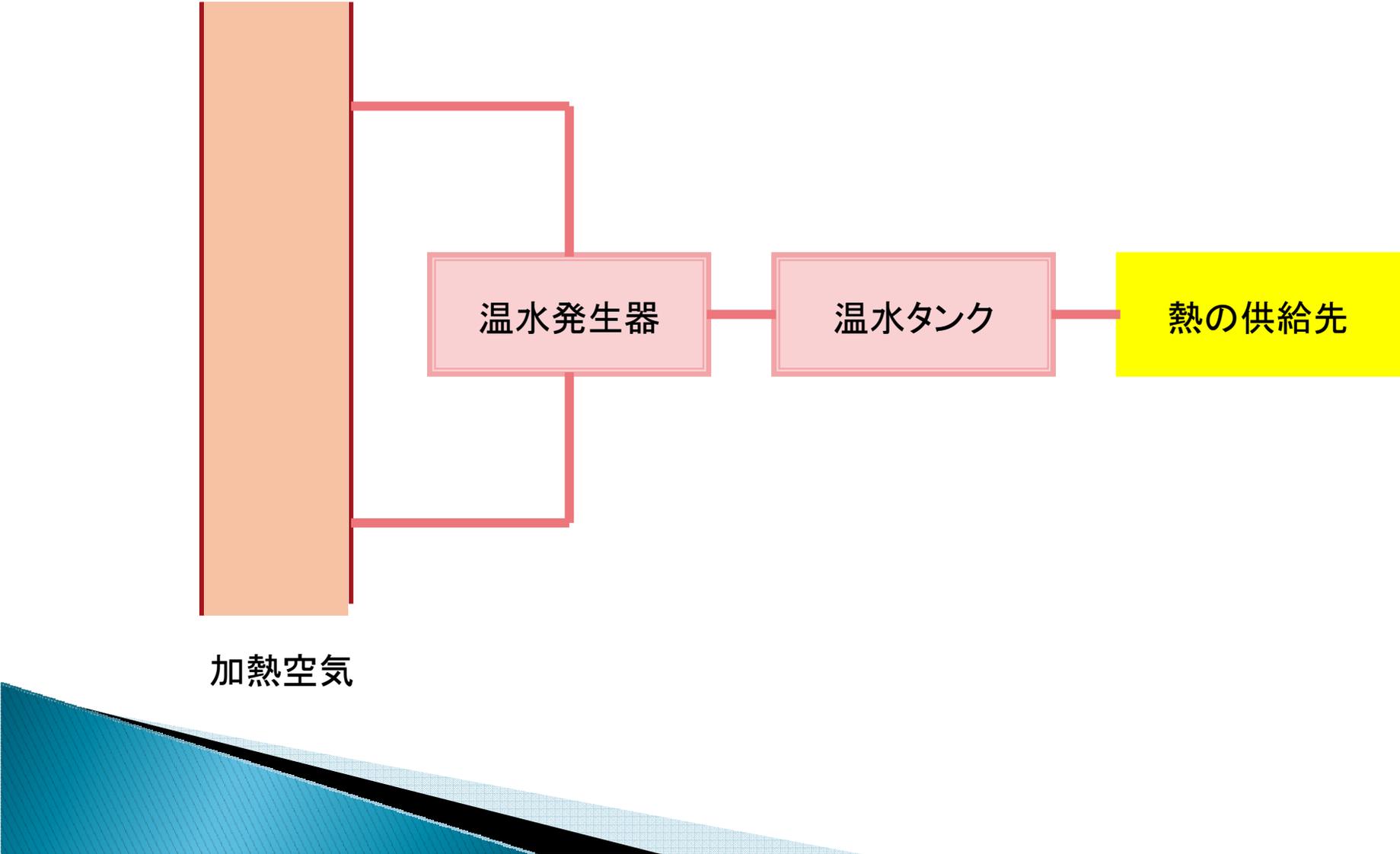
(14)炭素鋼鋼管の管壁温度と腐食速度の関係



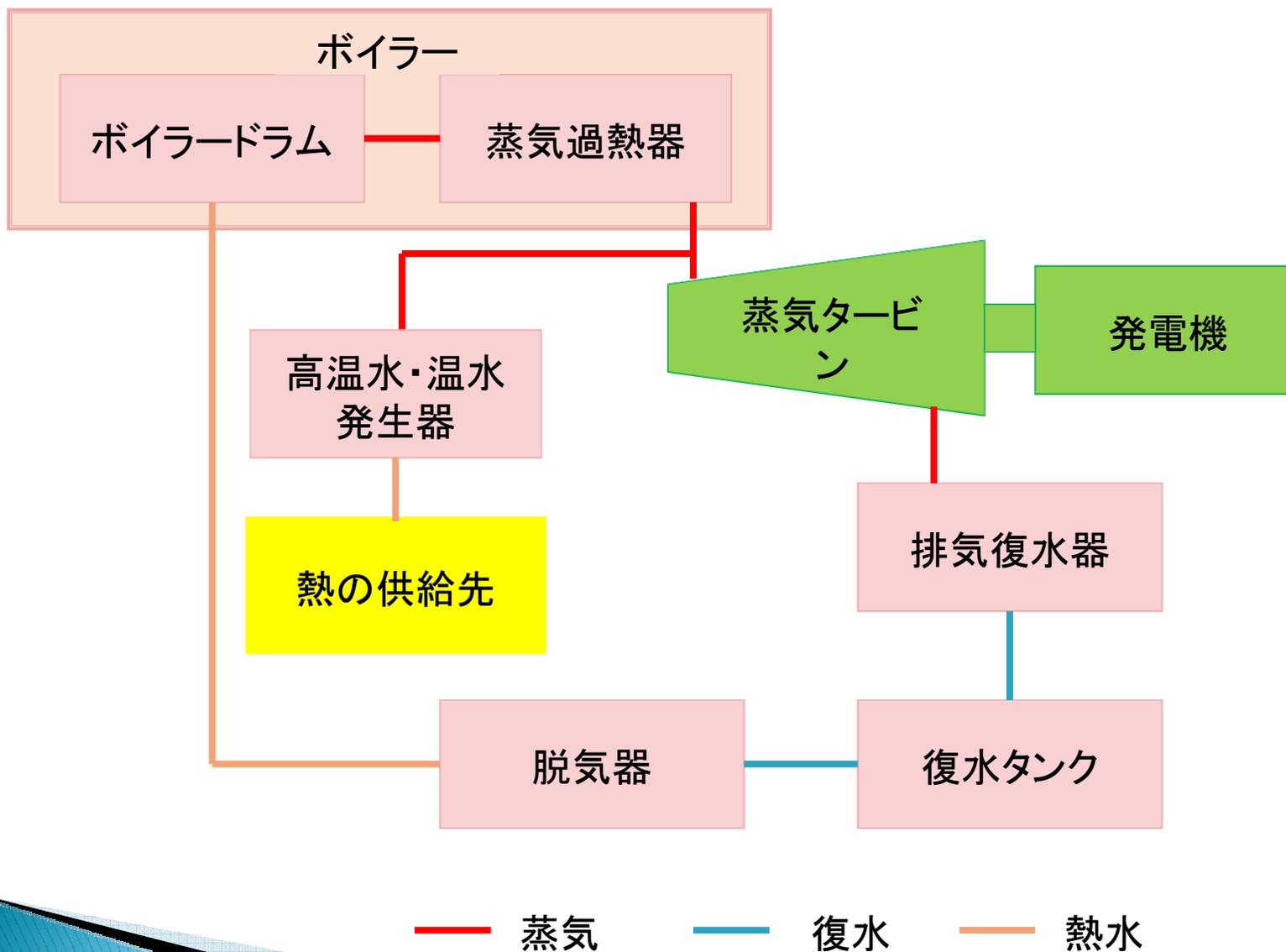
4. ごみの焼却熱を利用した熱供給



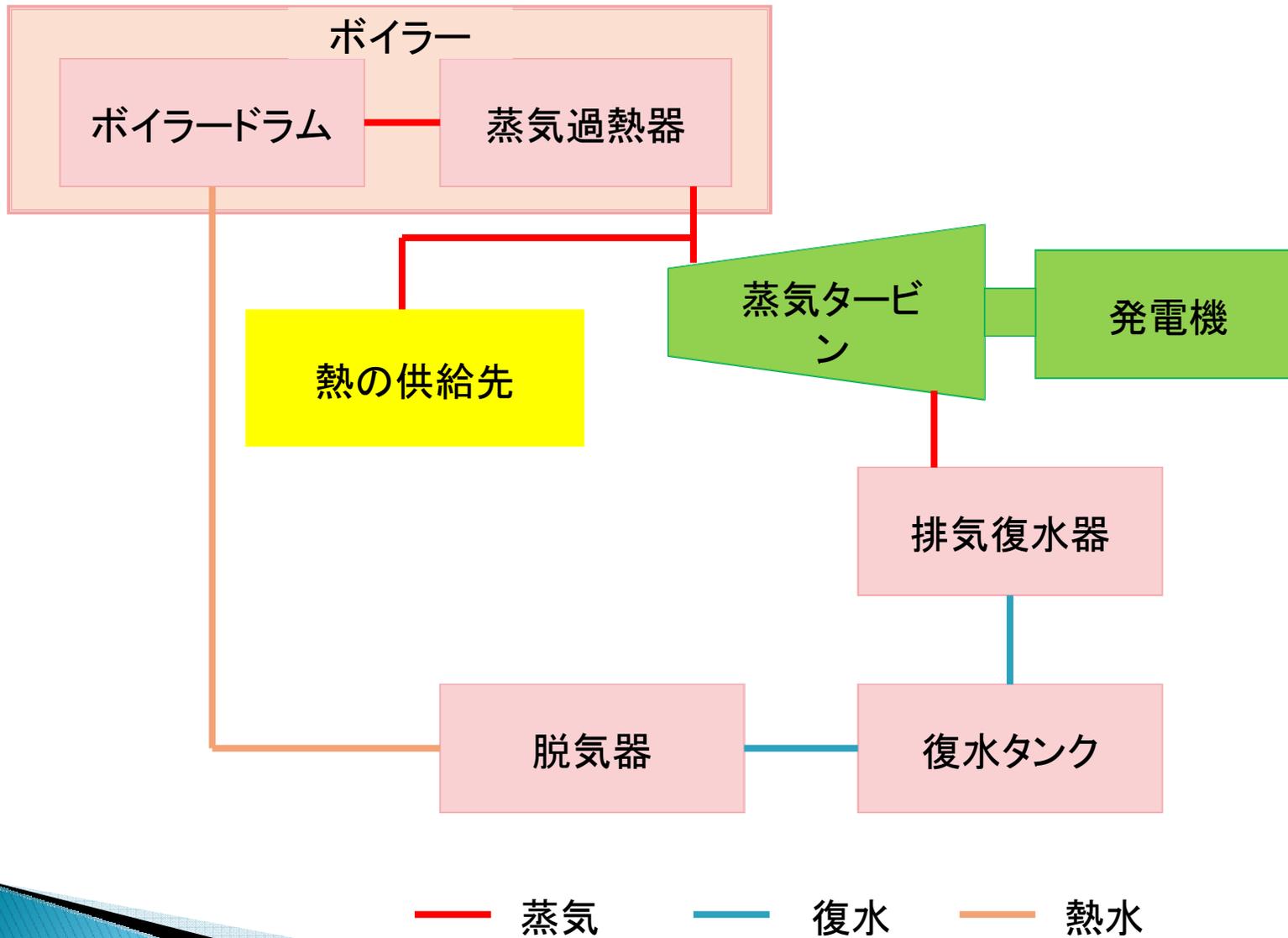
(1) 熱供給のしくみ1 (温水による熱供給-ボイラー無し)



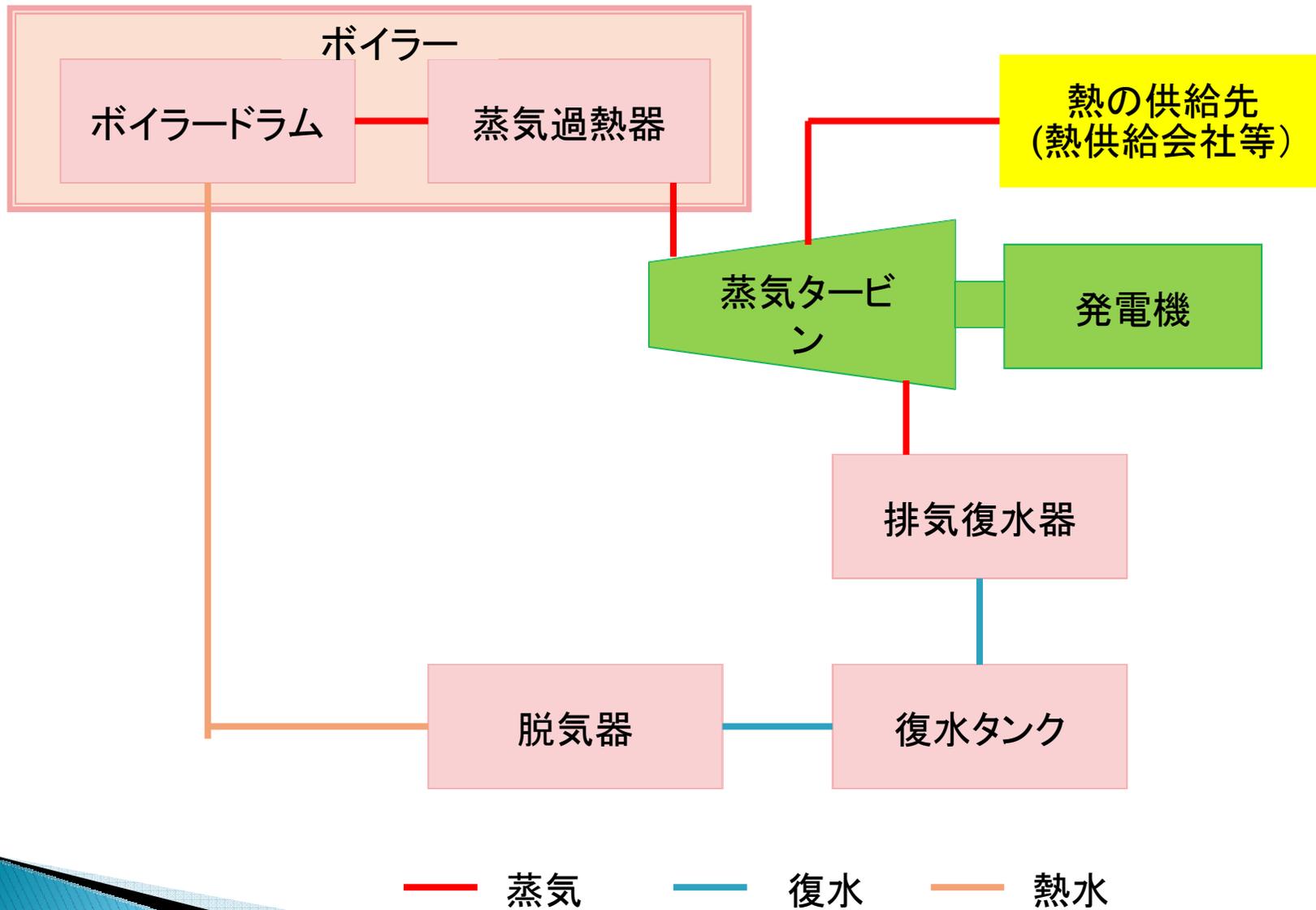
(2) 熱供給のしくみ2 (高温水又は温水による熱供給-ボイラー付き)



(3) 熱供給のしくみ3 (蒸気による熱供給)



(4) 熱供給のしくみ4 (蒸気による熱供給-抽気タービン)



(5) 熱供給における熱媒体の種類と特長

熱媒体の種類	温度・搬送可能距離	主な特長
温水	<ul style="list-style-type: none">・ 温度： 100℃以下(通常40～80℃)・ 搬送可能距離： 長距離搬送による熱損失は他の熱媒体よりも小さいが、2km以内が望ましい)	<ul style="list-style-type: none">・ 清掃工場側の設備が簡易である。・ 熱媒体の重量当たりの熱の搬送量が小さいので、熱需要量が大きくなると設備が大型となる。・ 温度が低いので未利用の排熱利用が可能な場合もある。
高温水	<ul style="list-style-type: none">・ 温度： 一般的に130℃程度(加圧により100℃以上に高めたもの)・ 搬送可能距離 2km程度	<ul style="list-style-type: none">・ 清掃工場側の設備として高温水タンク、加圧装置、薬液注入装置が必要となる。・ 熱の搬送量が大きいため装置が温水の場合よりも小型となる。・ 熱の利用者側の設備も小型となり、熱吸収冷凍機を用いて冷水の製造も可能である。
蒸気	<ul style="list-style-type: none">・ 温度 100℃以上(通常130℃程度)・ 搬送可能距離 2～3km程度	<ul style="list-style-type: none">・ 清掃工場側の設備は高温水の場合よりも簡易であり、高層の建物でも低い圧力で熱を送ることが出来る。・ 冷水の製造等利用者側の利便性が高い。・ 配管中のドレンの処理をする必要がある。・ 清掃工場に戻る蒸気が汚れないよう、利用者側の熱交換器の材質に注意が必要。

(6) 地域への熱供給(東京23区の例)

品川清掃工場



高温水(約130℃)



八潮パークタウン

光が丘清掃工場



温水(約55℃)



光が丘パークタウン

有明清掃工場



蒸気(約135℃)



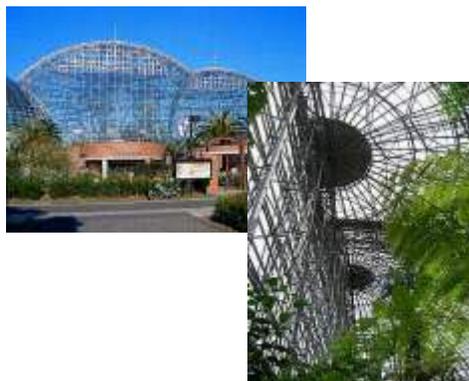
東京臨海副都心

熱供給会社への熱の卸売りにより熱を売却している。
いずれも行政関与の強い地域開発において実現している。

(7)近隣施設への熱供給(東京23区の例)

ごみ処理施設は住民には迷惑施設と受け止められる。

近隣に関連施設をごみ処理施設と併せて整備し、積極的に快適な都市環境の実現に努める取組みが展開されている。



熱帯植物園の例



図書館の例



温水プールの例

熱を供給する対象施設は清掃工場の建設に併せて整備されることも多く、地域のニーズに合った熱利用とすることが大切である。地域によっては農業での利用や融雪のための利用も考えられる。

(8) 温水(80°C以上)を利用した冷熱の製造・発電

吸収式冷凍機を用いた冷熱の製造

付加的なメリット

- ・地域での安定した熱利用
- ・熱供給事業の財政基盤安定化



低沸点の熱媒体を用いたバイナリー発電

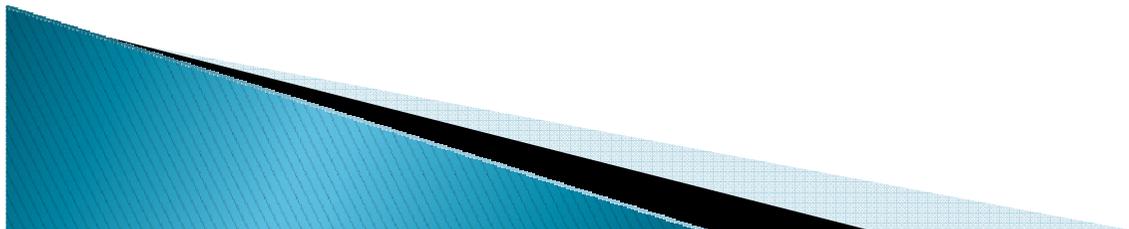
付加的なメリット

- ・低温の熱での発電
- ・小規模施設での発電実施
- ・電力販売及び電力基本料金低減による自治体財政改善への寄与



5. 欧州における回収熱利用の取組み

- ▶ * (本節は、環境エネルギーフォーラム2010(環境施設No122)及びオランダWE社副社長マーク・カプティン氏の「清掃工場の熱利用効率向上に係る共同研究会」向け講演資料からの抜粋)

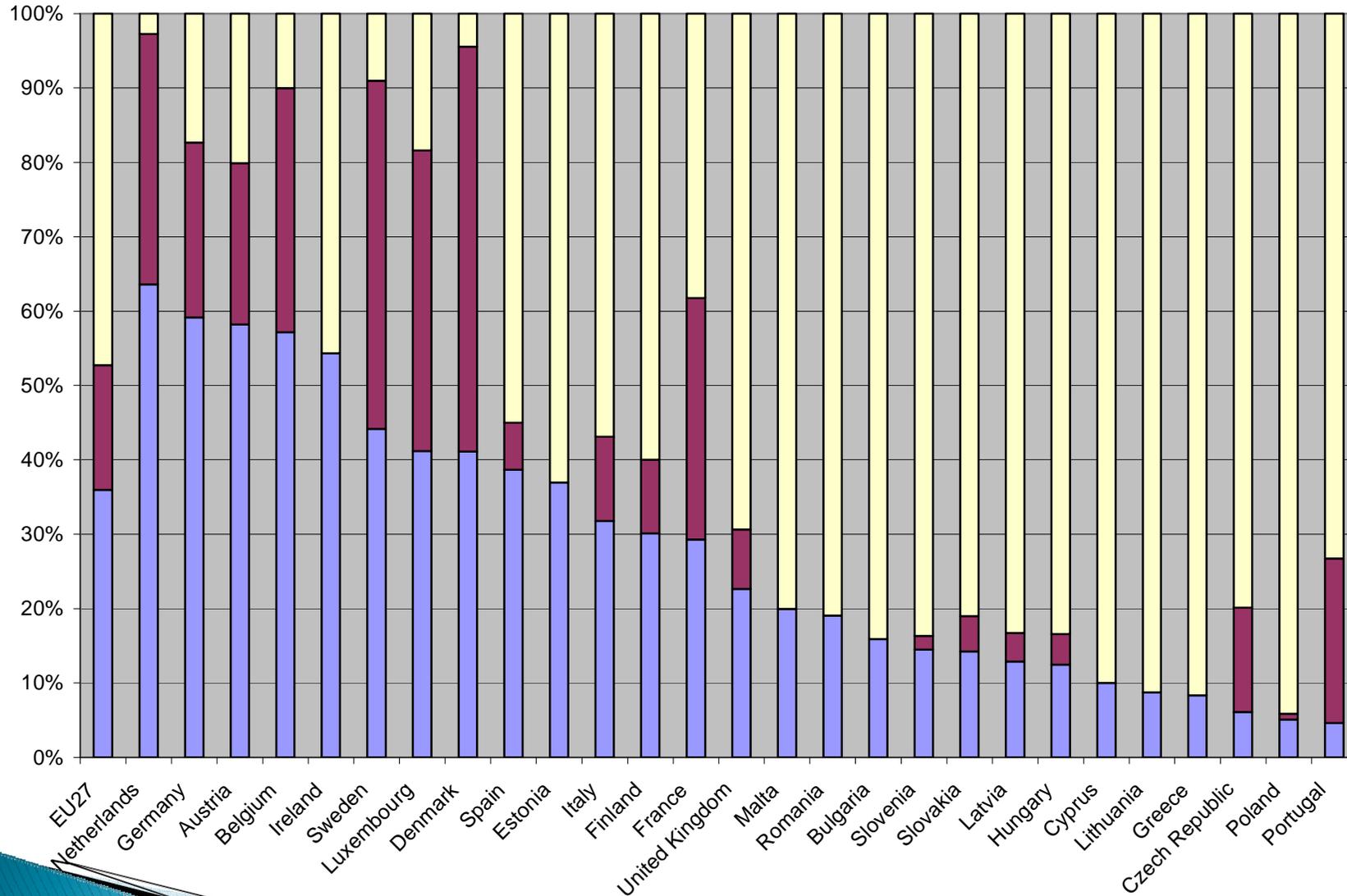


(1) 日本と欧州のごみ焼却・熱回収/利用に係る比較

項目	日本	欧州
ごみ焼却に対する見方	害悪視する傾向が強い。	全体としては害悪視する傾向は薄い。
ごみ焼却の意義	気温・湿度が高いため衛生的処理が優先された。	気温・湿度が低いため燃料的価値を認めてきた。
ごみ焼却施設の規模	小さい。	大きい。
エネルギー回収	発電主体であり、しかも効率はあまり高くない。	高効率の発電と熱供給を重視している。
温暖化対策におけるごみ焼却の位置付け	対立的な見方	対策促進策としての認識
エネルギーに対する認識	エネルギー資源の輸入に支障がなく、危機感があまり高くない。	エネルギーに対する危機感が非常に強い。

(2) EUの廃棄物処理に係る概況

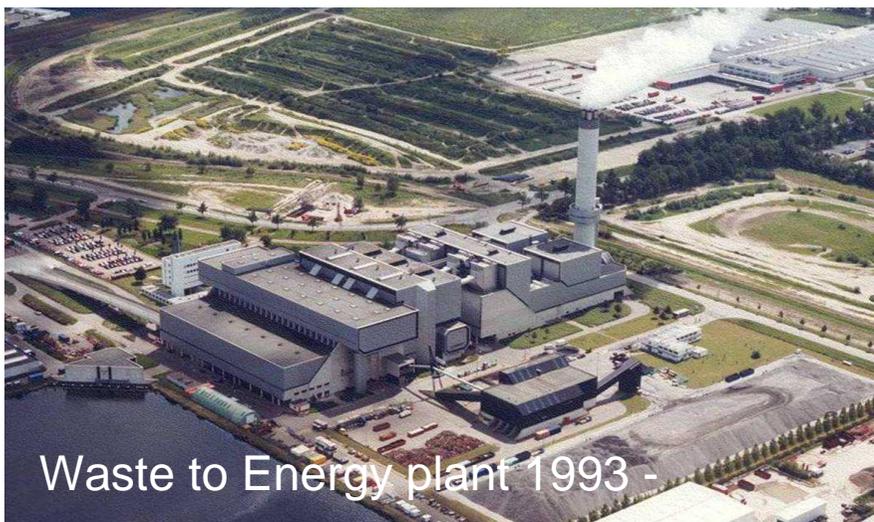
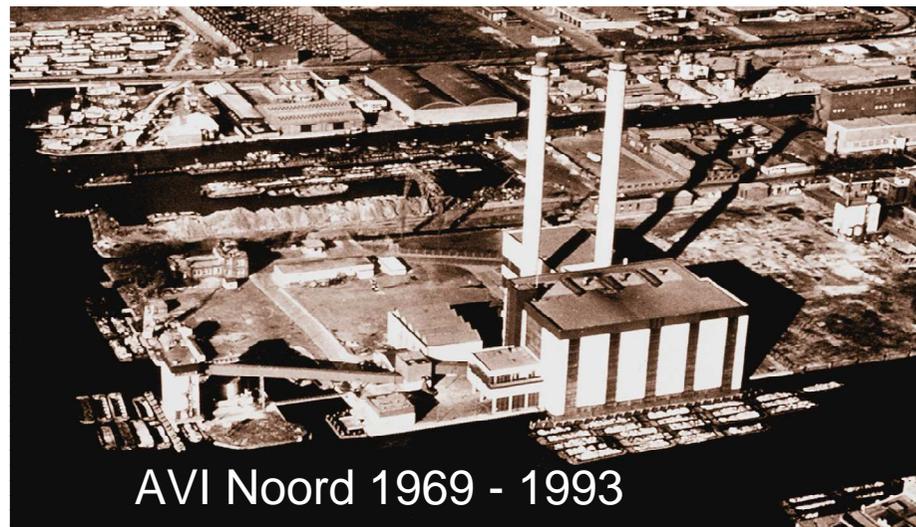
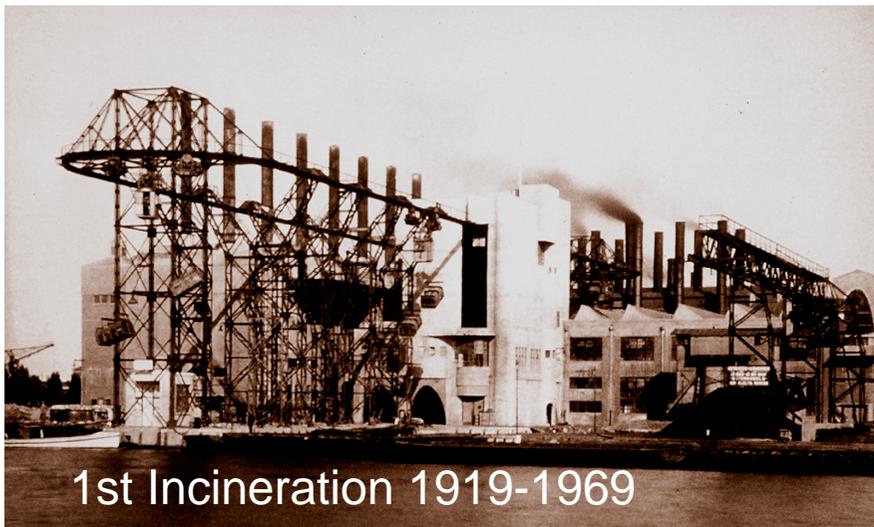
一口にEUといっても国により状況は多様



オランダに着目

■ : リサイクル
 ■ : 焼却
 ■ : 埋立

(3) オランダ アムステルダム市WE社の概要



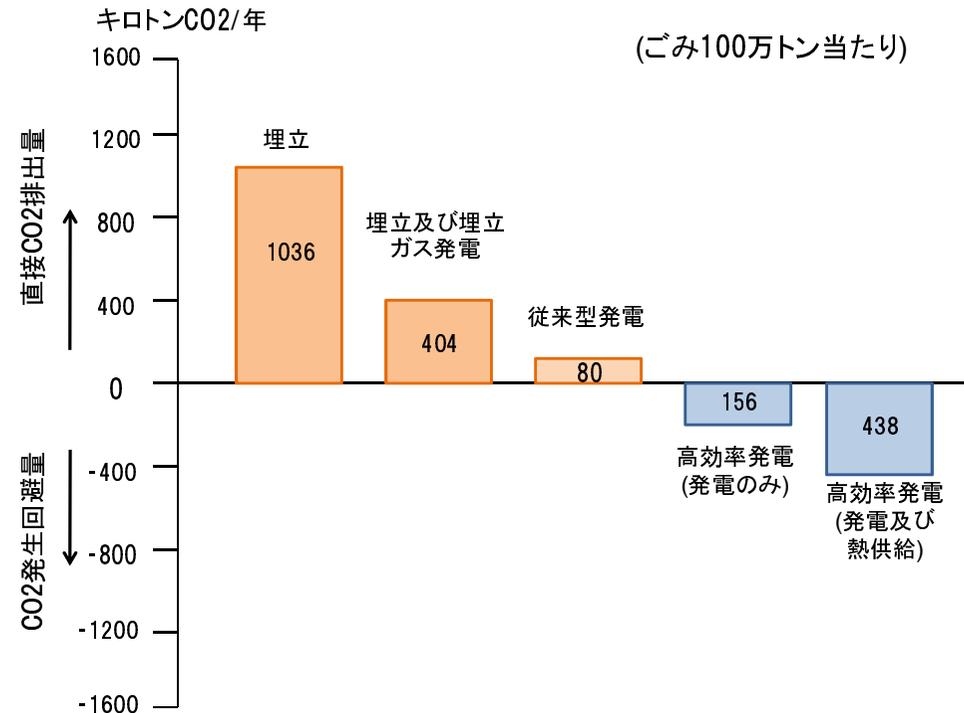
100%アムステルダム市出資の株式会社による事業運営
熱利用効率を含めて持続的な経営効率の改善

(4) オランダ アムステルダム市WE社の温暖化に対する認識

ごみの成分の大部分はカーボンニュートラルであり、ごみ焼却施設の熱利用効率向上を安価で有効なCO2低減対策と位置付け

施設の概要

- ・処理能力 4,400トン/日
 - 旧炉 700トン/日 × 4炉(1993年～)
 - 新炉 800トン/日 × 2炉(2007年～)
- ・発電 100万MW/年
 - 蒸気条件 圧力 13Mbar
 - 温度 440°C
 - 発電端効率 旧炉 25%
 - 新炉 33%



高効率発電と熱供給による温室効果ガス抑制状況

ごみ100万トン当たりについて年間のCO2発生量を;

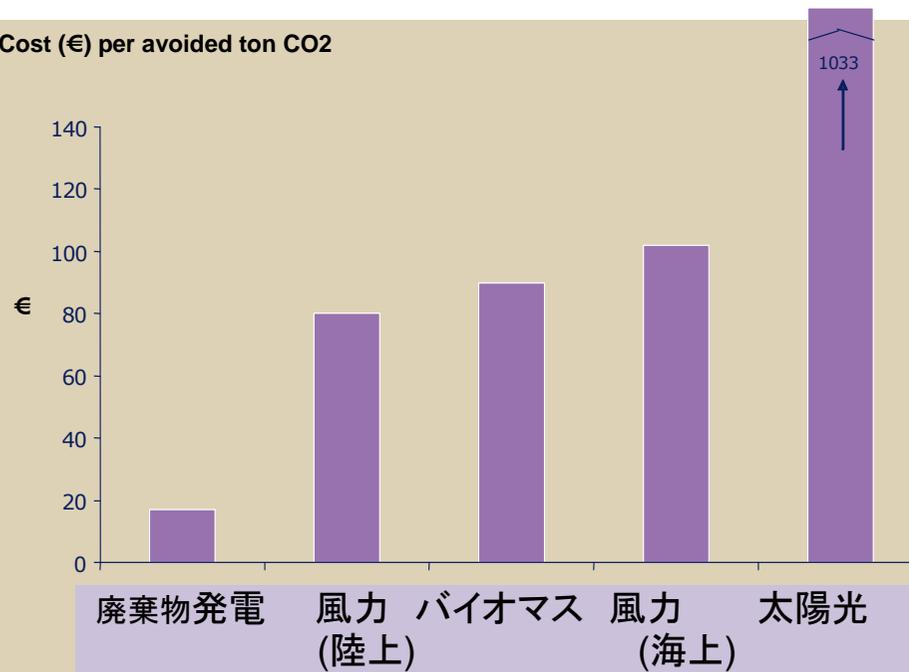
- ・ 30%の高効率発電を行うことにより156キロトン発生回避
- ・ 30%の高効率発電に加えて地域への熱供給を行うことにより438キロトン発生回避

(5) オランダ アムステルダム市WE社のごみの再生可能エネルギーとしての認識

廃棄物のエネルギー利用は他の再生可能エネルギーと比較して安価で信頼性に優れている。

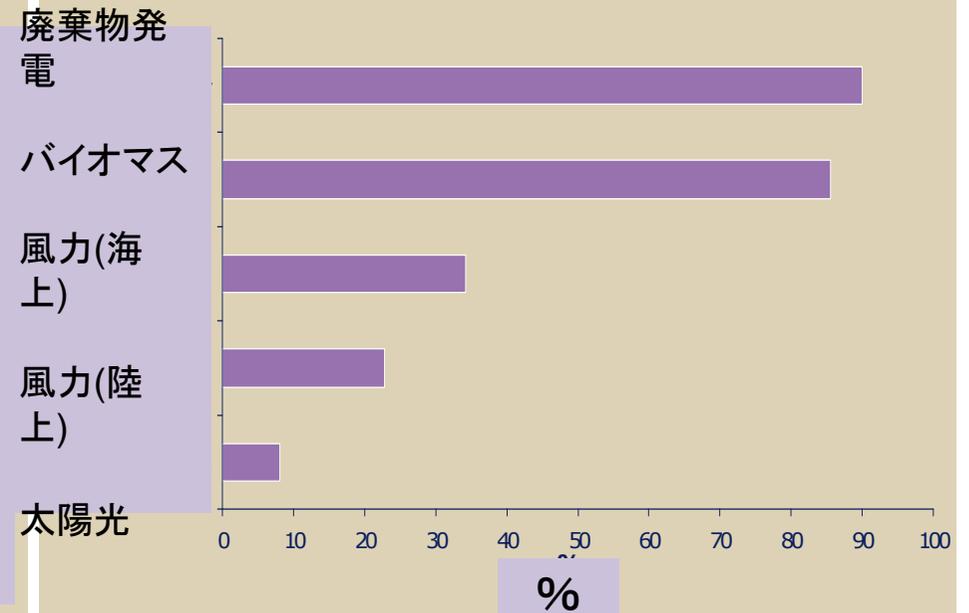
CO21トン当たり所要コスト(€)

Cost (€) per avoided ton CO2



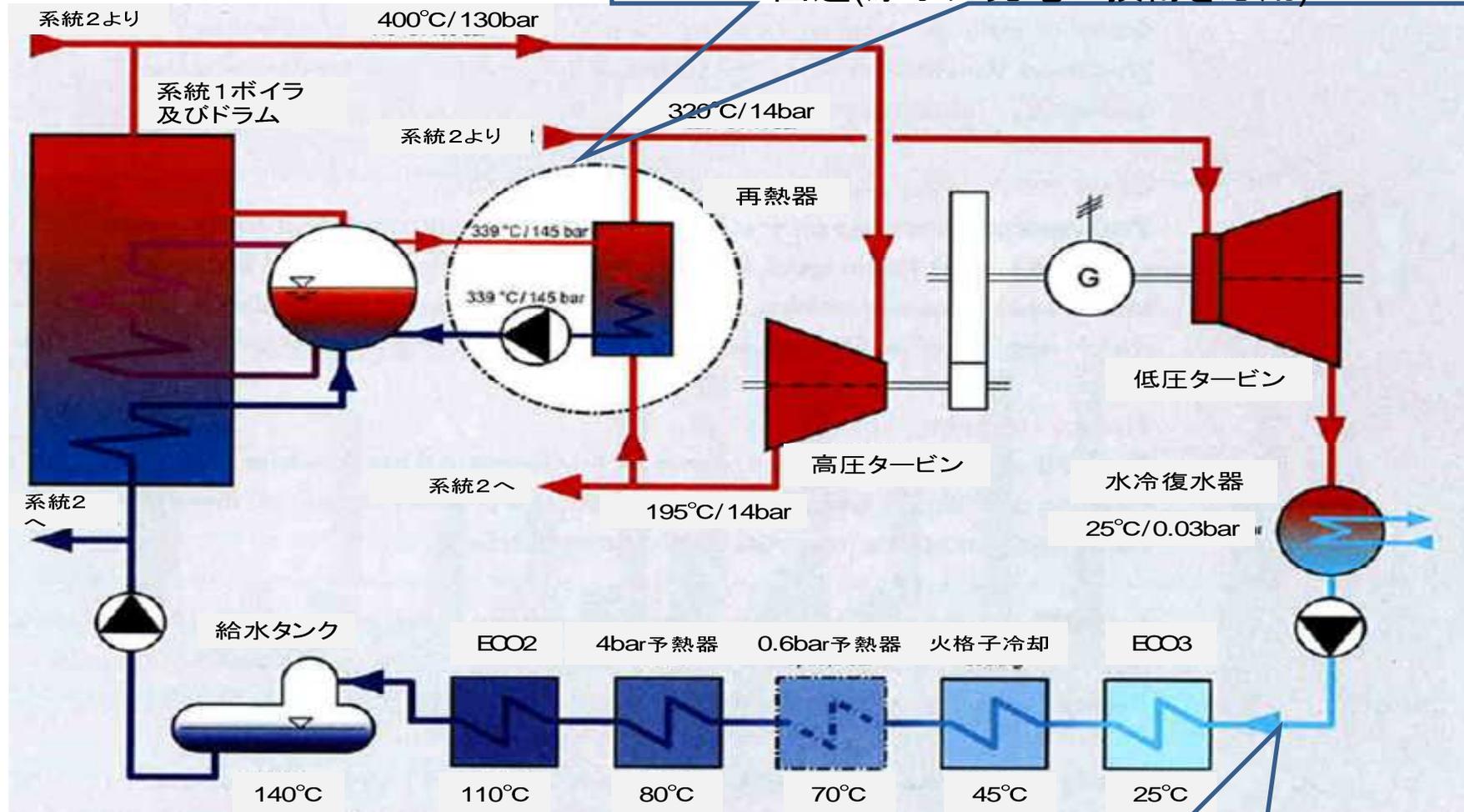
可能利用率(稼働時間/年(%))

Availability (%of time per year)



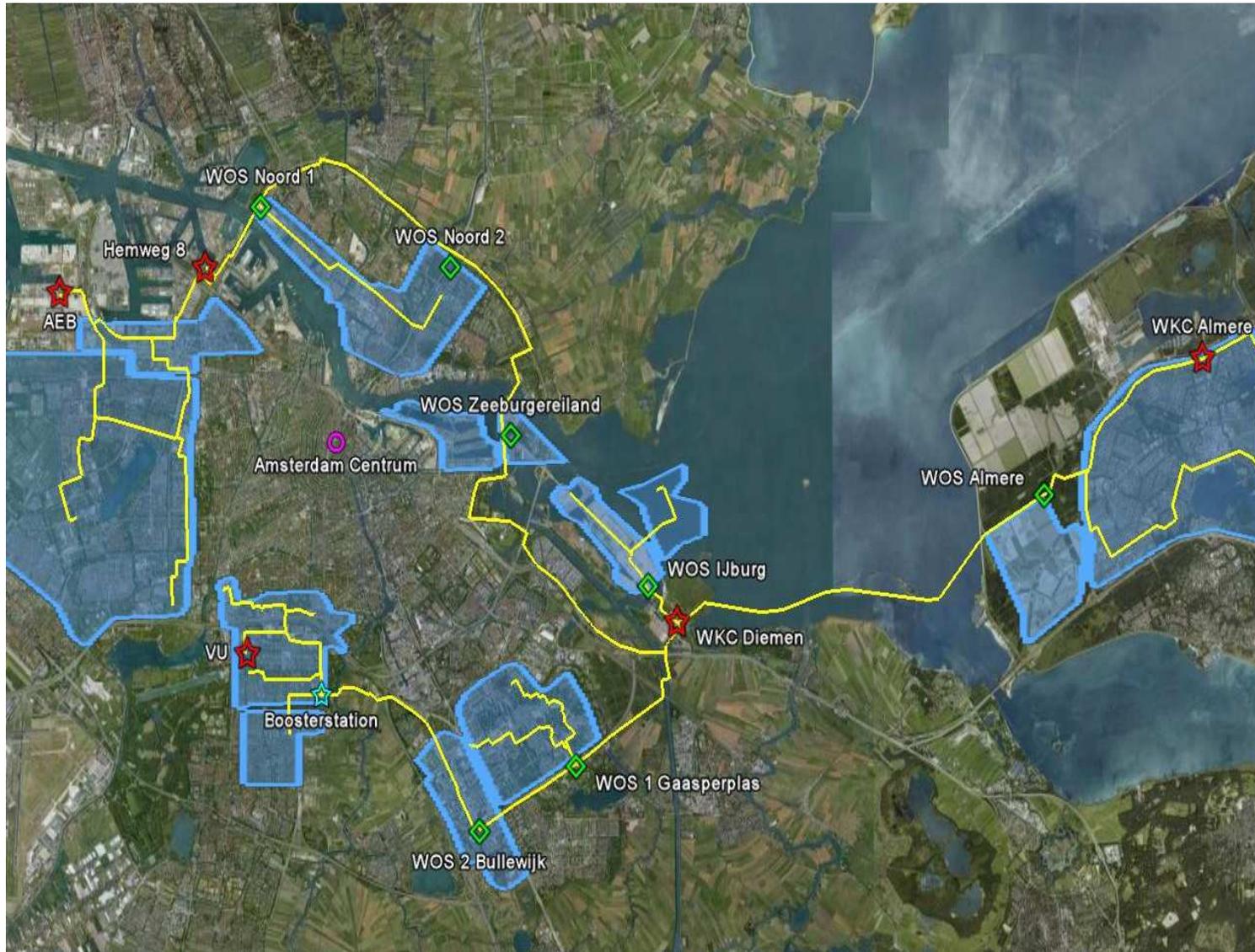
(6) オランダアムステルダム市WE社のごみ発電の効率向上技術

再熱サイクルの採用; 高圧化に伴うタービン内ドレンカの回避(原子力発電の技術を応用)



低温熱の回収・利用

(7) オランダアムステルダム市の熱供給事業に係る取組み 市内における熱供給配管ネットワークの整備



5. おわりに(取組みの方向性と課題)

- ごみ処理施設の整備は、地方自治体にとっては20～30年に1度の大事業であり、多大の労力、費用を必要とするので、将来を見据えた取組みが求められる。
- ごみ発電や熱供給設備の導入に当たっては、ごみ質、施設規模、周辺状況、選択する方式等に係る綿密な調査と検討、法定資格者の準備が必要となる。

ご静聴有難うございました。

