

余熱利用計画の検討について

1. はじめに

近年、ごみ焼却工場では、ごみの燃焼時に発生する熱を最大限に利用することが求められている。なかでもエネルギー回収型廃棄物処理施設の新設にあたっては、高効率エネルギー回収設備と災害対策設備の設置が求められている。

循環型社会形成推進交付金におけるエネルギー回収型廃棄物処理施設整備事業（交付率 1/2 対象施設）の交付要件のうちエネルギー回収率については、鶴見工場の処理能力 620 トン/日の場合、表 2-1 のとおり 24.0%以上である。現段階では、鶴見工場周辺に有効な熱利用を行う計画が無いため、高効率発電によりエネルギー回収率を満足させる必要がある。そのため、最新の技術の導入等について検討を行う。

表 2-1 エネルギー回収率の交付要件

施設規模 (トン/日)	エネルギー回収率 (%)
	循環型社会形成 推進交付金
100以下	17.0
100超、150以下	18.0
150超、200以下	19.0
200超、300以下	20.5
300超、450以下	22.0
450超、600以下	23.0
600超、800以下	24.0
800超、1000以下	25.0
1000超、1400以下	26.0
1400超、1800以下	27.0
1800超	28.0

※環境省「エネルギー回収型廃棄物処理施設整備マニュアル」より抜粋

2. 現在の鶴見工場の余熱利用状況について

現在の鶴見工場では、焼却炉の上部に設置したボイラーにて、ごみ焼却余熱を蒸気としてエネルギー回収し、その蒸気のエネルギーを用いて、蒸気タービン発電機を駆動し発電している。発生した蒸気は発電のほかに、工場内の給湯・暖房、燃烧空気の余熱や排ガスの再加熱等で使用している。蒸気タービン発電機により作られた電気は場内で使用するほか、余った電気は電力事業者へ売却している。

現在の鶴見工場では、竣工時期に開催された「国際花と緑の博覧会」に併せて鶴見緑地に電気の供給を行っていたが、ダイオキシン類対策設備の増設に伴う所内電力の増加により、鶴見緑地へ送電できる余剰電力が逼迫したことや、周辺地の地盤沈下に伴い送電線の絶縁不良が発生し交換が必要となったことから平成20年度より送電を停止している。また、併設されている大阪市環境局城北環境事業センターへ電気の供給のほか、給湯・暖房用として低圧の蒸気を供給していたが、供給配管の老朽化のため現在は停止し、電気のみを供給している。

本組合のごみ焼却工場におけるボイラー圧力および蒸気タービン発電機の定格出力を含む余熱の利用状況を表2-2に示す。

表2-2 本組合施設におけるボイラー圧力及び余熱利用状況

施設名	ボイラー					タービン				竣工年月	発電端効率(設計時)	余熱利用状況
	蒸発量 (t/h/缶)	最高使用		常用		定格			排気圧力 上(mmHg,ata) 下(kPa abs)			
		汽圧 上(kg/cm ²) 下(MPa)	汽温 (℃)	汽圧 上(kg/cm ²) 下(MPa)	汽温 (℃)	出力 (kW)	汽圧 上(kg/cm ²) 下(MPa)	汽温 (℃)				
(現)鶴見工場	49.9	28 2.74	300	22.5 2.21	290	12,000	22.5 2.21	265	650 14.6	平成2.3	15.9%	場内給湯・暖房 大阪市環境局城北環境事業センター(電気)
西淀工場	62	30 2.94	310	24 2.35	290	14,500	22 2.15	285	650 14.6	平成7.3	16.6%	場内給湯・暖房 大阪市環境局西北環境事業センター(電気) 西淀川屋内プール(電気・蒸気) 西淀川特別養護老人ホーム(蒸気)
八尾工場	60	27 2.64	300	22.5 2.21	290	14,500 ※1	21 2.05	285	0.25 24.5	平成7.3	16.6%	場内給湯・暖房 八尾市立衛生処理場(電気) 八尾市立屋内プール(蒸気)
舞洲工場	98	51 5.00	360	40.8 4.00	350	32,000	39.3 3.85	345	650 14.6	平成13.4	20.2% ※2	場内給湯・暖房 大阪市建設局舞洲スラッジセンター(蒸気)
平野工場	81.7	56.1 5.50	420	40.8 4.00	400	27,400	38.8 3.80	395	650 14.6	平成15.3	19.6%	場内給湯・暖房 大阪市環境局東南環境事業センター(電気)
東淀工場	36.99	- 5.00	420	- 4.00	400	10,000	- 3.85	395	- 15	平成22.3	20.4%	場内給湯・暖房
(新)住之江工場	33.22	- -	-	- 4.00	400	11,300	- 3.80	395	- 6.0	令和5.3 (予定)	23.0%	場内給湯・暖房

※1 八尾工場のタービン定格出力は設計時点のもの

※2 舞洲工場の発電端効率はリバーン(天然ガス吹込み)をしない場合

3. 新鶴見工場におけるエネルギー回収技術について

環境省の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（令和2年4月改訂）によると、発電効率向上に係る技術的要素・施策として以下に示す技術が紹介されている。

第5章 発電効率及び熱効率向上に係る技術的要素・施策

5-1 発電効率向上技術

高効率ごみ発電施設整備マニュアルでは、発電効率向上に係る技術的要素・施策として、以下の技術の概要と施設計画に当たっての留意点を示している。

1) より多くの熱を蒸気として回収するための技術（熱回収能力の強化）

- ① 低温エコノマイザ
- ② 低空気比燃焼

2) より蒸気タービンへ供給する蒸気を増やすための技術・施策（蒸気の効率的利用）

- ① 低温触媒脱硝
- ② 高効率乾式排ガス処理
- ③ 白煙防止条件の設定なし、あるいは、白煙防止装置の運用停止
- ④ 排水クローズドシステムの導入なし

3) より効率良く電気に変換するための技術（蒸気タービンシステムの効率向上）

- ① 高温高圧ボイラ
- ② 抽気復水タービン
- ③ 水冷式復水器

（表記については原文のまま）

このほか、発電効率向上に係る技術的要素に関して、本委員会で導入の方向で検討している技術として、圧力波式スートブロワの導入がある。

これらの発電効率向上に係る技術的要素・施策に関しては図2-1のとおりである。

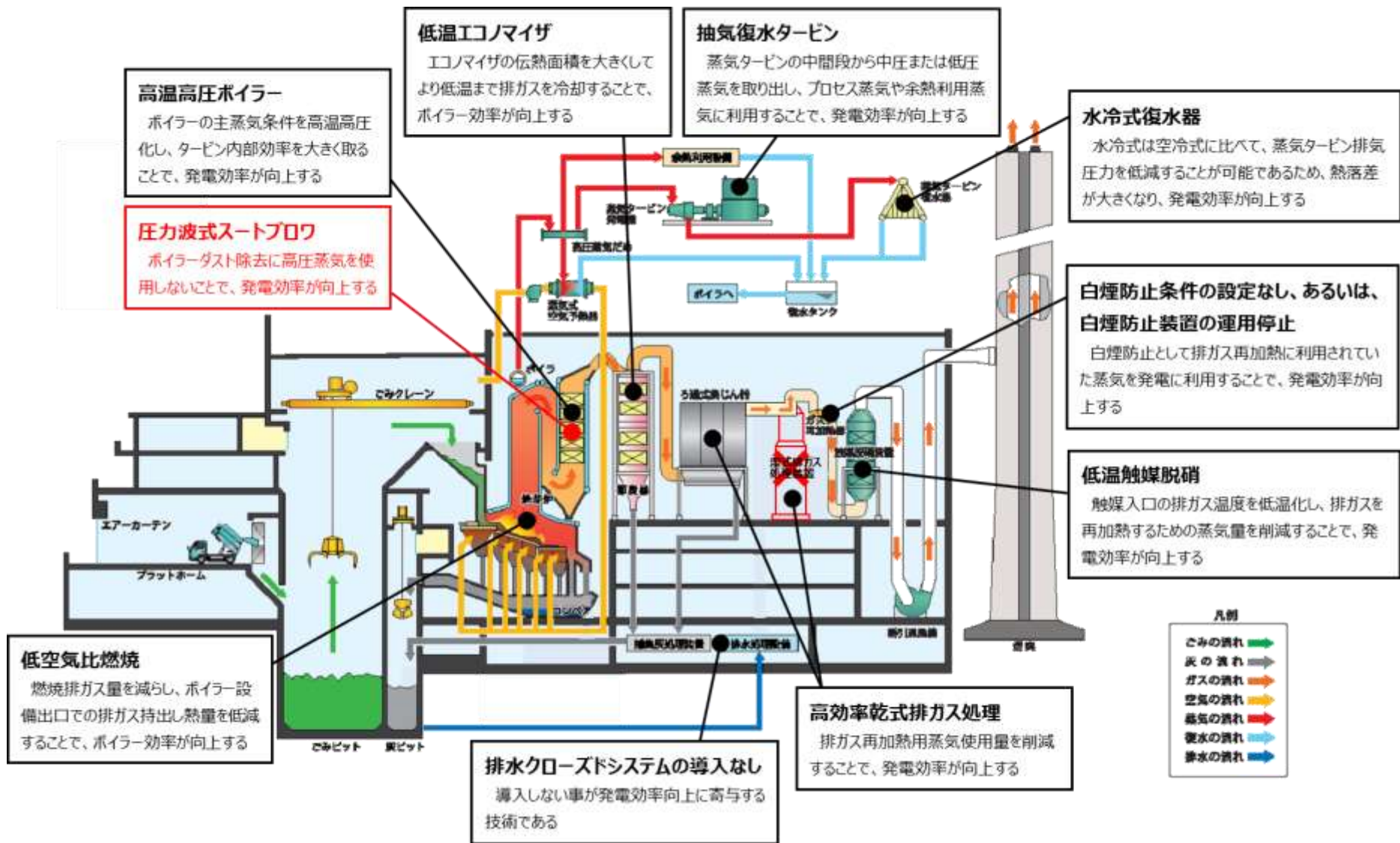


図 2-1 発電効率向上に係る技術的要素・施策

これらの発電効率向上に係る技術的要素・施策に関して、本組合が取り組んできた導入事例や検討内容は表2-3のとおりである。

表2-3 発電効率向上に係る技術的要素・施策の導入事例や検討内容

項目	施設名	(現)鶴見工場	東淀工場	(新)住之江工場	(新)鶴見工場
1)	①低温エコマイザ	—	○	○	○
	②低空気比燃焼	—	○	○	○
2)	①低温触媒脱硝	—	—	○	○
	②高効率乾式排ガス処理	—	—	—	○
	③白煙防止条件の設定なし、 あるいは、 白煙防止装置の運用停止	—	—	—	○ ※1
	④排水クローズドシステムの 導入なし ※2	○	○	○	○
3)	①高温高圧ボイラー ※3	—	○	○	○
	②抽気復水タービン	○	○	○	○
	③水冷式復水器	—	—	○	— ※4
	圧力波式ストブロワ	—	—	—	○

※1 「白煙防止条件の設定なし、あるいは、白煙防止装置の運用停止」は、第2回委員会で湿式排ガス処理を導入しない決定をしたことにより、白煙防止を目的とした排ガス再加熱を取り止めた。

※2 「排水クローズドシステム」は、本組合のすべてのごみ焼却工場では、下水道が整備されているため、導入しない。

※3 「高温高圧ボイラー」は、平野工場、東淀工場、住之江工場において、蒸気条件4.0MPa×400℃として採用している。

※4 「水冷式復水器」は、住之江工場では河川に隣接していることから水冷式復水器の採用が可能であったが、新鶴見工場では大量の冷却水を確保することが困難なため採用しない。

このように本組合では、発電効率向上に係る技術的要素・施策に関して、既に取り組んできた経過もあることから、新鶴見工場では、エネルギー回収率を向上させるため「さらなるボイラーの高温高圧化」に関して他自治体の導入事例等を参考に検討する。

4. ボイラーの高温高圧化に関する検討

(1) 本組合施設の発電効率の推移

昭和 63 年竣工した旧住之江工場以降、これまでに本組合で稼働しているごみ焼却工場では、施設整備時点での最新技術を導入することにより高効率のエネルギー回収を実施してきた。図 2-2 に本組合施設の発電効率の推移を示す。

現在更新工事中の住之江工場では、東淀工場で採用した技術に加えて、さらなる低空気比燃焼、低温触媒脱硝、水冷式復水器などの技術の採用により、発電効率 23.0% を目標とする高効率発電を実現する仕様となっている。住之江工場は、河川に隣接していることから水冷式復水器の採用が可能であったが、新鶴見工場では立地場所の関係から大量の冷却水を確保することが困難なため、水冷式復水器は採用しない。しかし、前述のとおり、循環型社会形成推進交付金（エネルギー回収型廃棄物処理施設整備事業の交付率 1/2 対象施設）に係る交付要件によりエネルギー回収率 24.0% 以上を求められている。

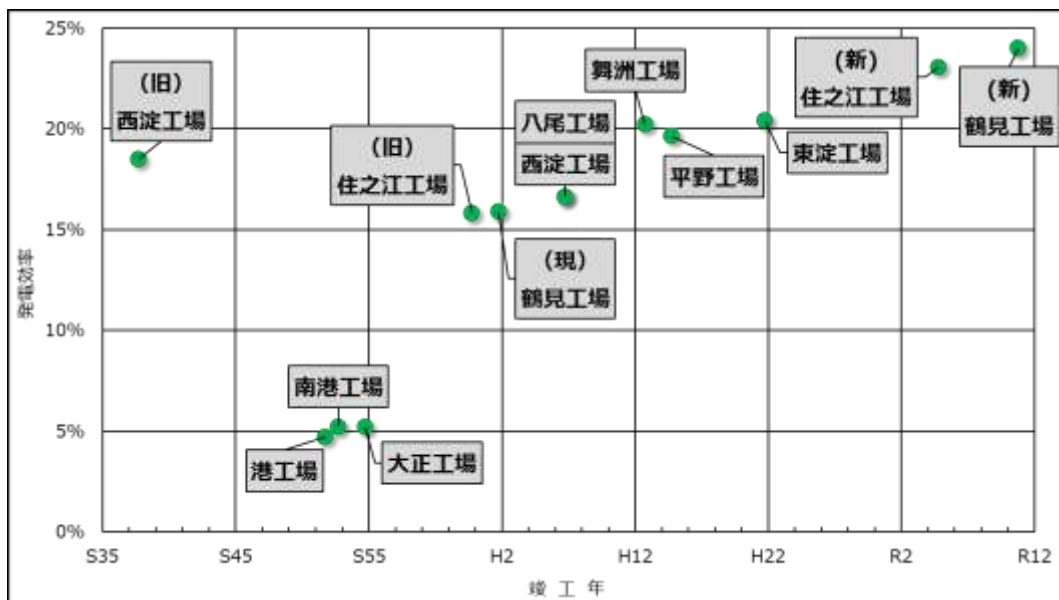


図 2-2 本組合施設の発電効率の推移

(2) 他自治体の導入事例

住之江工場更新の際に開催した建設等委員会以降に契約した他自治体のストーカ式炉の導入事例を表 2-4 に示す。

新しい施設の建設を検討した自治体が設定した要求水準書の余熱利用設備に係る記載内容は、おおむね環境省の交付金要件を満たすものとなっていた。一部、蒸気条件を明確に記載している自治体もあるが、蒸気条件 4.0MPa×400℃を超える記載をしている自治体はない。しかし、近年では蒸気条件 4.0MPa×400℃を超える技術提案がなされ、蒸気条件 6.0MPa×450℃の施設が令和元年 12 月から稼働している。蒸気条件としては、図 2-3 のとおりさらなる高温高圧化に向かっている。

表 2-4 他自治体の導入事例および要求水準書に係る余熱利用条件

契約年度	稼働中	要求水準書	蒸気条件	処理能力
H26	○	-	4.0MPa × 400℃	60トン/日 × 2 炉
H26	○	-	4.0MPa × 400℃	62.5トン/日 × 2 炉
H26	○	発電効率14%以上	4.0MPa × 400℃	63.5トン/日 × 2 炉
H26	○	発電効率14%以上	4.0MPa × 400℃	67トン/日 × 2 炉
H26	○	4.0MPa×400℃基本 発電効率15.5%以上	5.0MPa × 420℃	85トン/日 × 2 炉
H26	○	発電効率15.5%以上	4.0MPa × 400℃	100トン/日 × 2 炉
H26	○	発電効率18.5%以上	4.0MPa × 400℃	120トン/日 × 3 炉
H27	○	3.0MPa×300℃基本	4.0MPa × 400℃	47.5トン/日 × 2 炉
H27	○	4.0MPa×400℃基本	4.0MPa × 400℃	55トン/日 × 2 炉
H27	○	-	4.2MPa × 420℃	80トン/日 × 2 炉
H27	○	発電効率17%以上	4.0MPa × 400℃	122.5トン/日 × 2 炉
H27	○	4.0MPa×400℃以上	5.0MPa × 420℃	110トン/日 × 3 炉
H27	○	4.0MPa×400℃程度	5.0MPa × 420℃	135トン/日 × 3 炉
H28	○	発電効率15.5%以上	5.0MPa × 400℃	87.5トン/日 × 2 炉
H28	○	3.7MPa×370℃基本 発電効率17%以上	5.0MPa × 400℃	114トン/日 × 2 炉
H28	○	-	4.7MPa × 420℃	125トン/日 × 2 炉
H28		発電効率15.5%以上	5.0MPa × 400℃	87.5トン/日 × 2 炉
H28		エネルギー回収率19%以上	5.0MPa × 420℃	129トン/日 × 2 炉
H28		-	4.0MPa × 400℃	150トン/日 × 2 炉
H29	○	エネルギー回収率17.5%以上	6.0MPa × 450℃	87トン/日 × 2 炉
H29		4.0MPa×400℃以上	4.7MPa × 420℃	110トン/日 × 2 炉
H29		4.0MPa×400℃以上	5.0MPa × 430℃	165トン/日 × 2 炉
H30		3.0MPa×300℃以上	6.0MPa × 450℃	60トン/日 × 2 炉
H30		4.0MPa×400℃以上	6.0MPa × 450℃	100トン/日 × 2 炉
H30		-	4.7MPa × 420℃	141.5トン/日 × 2 炉



※ () 内は施設数

図 2-3 他自治体の導入事例

(3) 過熱器管材料及び設備費用について

蒸気条件を高温高圧化した場合、高温の排ガスに過熱器管が曝されることとなるため、高温腐食が発生する。そのため、高温での耐腐食性に優れた材質が選定されている。ここでは、平成14年に新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「高効率廃棄物発電等高効率化技術開発」で報告された、SUS310系について検討した。同実験での試験材の挿入位置は、メタル温度と蒸気温度共に450℃付近となる場所で検証している。そのため、周囲ガス温度に応じ適切に過熱器管を配置することにより、定期的な過熱器管の交換が必要であるが、蒸気温度450℃は対応可能であると考えられる。また、プラントメーカーに対して行ったアンケートにおいても、「(蒸気式スートブロワ付近などの) 特に腐食が激しいと思われる部分にNCF625 (alloy625) を使用」とされており、圧力波式スートブロワを導入する新鶴見工場では高級な耐熱耐腐食合金の使用量を抑えることができると考えている。

なお、SUS310系の過熱器管については、本組合では舞洲工場、平野工場、東淀工場において、最も高温となる過熱器管として採用している。

表2-5 過熱器管の蒸気温度と腐食速度

材 料	基本成分	メタル温度	腐食速度
		蒸気温度	
SUS310J1 (2次SH入口部)	25Cr-20Ni-0.2Nb-Fe	451℃	0.6mm/2年
		450℃	

※新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「高効率廃棄物発電等高効率化技術開発」より抜粋
(SHはスーパーヒーターの略で過熱器管を表す)

(4) 蒸気条件によるシミュレーション

新鶴見工場で採用する蒸気条件を検討するにあたり、他自治体の導入事例からボイラーの高温高圧化については、蒸気条件6.0MPa×450℃の施設が稼働し始めていることから、技術的に対応可能となったことを鑑み、蒸気条件6.0MPa×450℃について、本組合の導入実績がある蒸気条件4.0MPa×400℃との比較を行ったところ次のとおりとなった。

設備費用の増加分について、ボイラーを高温高圧化する場合、温度や圧力の上昇に伴い伝熱面積が増加するため設置コストが増大する。本組合施設のこれまでの伝熱面積の実績から、処理規模及び温度、圧力の上昇分を考慮した設置コストは約10億円増加することとなる。

また、表2-5に示されている蒸気温度450℃でのSUS310系の腐食速度から定期的な過熱器管の交換に係る費用を試算した。試算の結果、最も高温となる部分の耐用年数は約11年となり、交換にかかる費用は約8億円となった。

一方、本組合の導入実績がある蒸気条件 4.0MPa×400℃からの発電量や売電収入の増加分を試算したところ表 2-6 のとおりとなった。

表 2-6 蒸気条件による発電収入比較

項目		ボイラー-蒸気条件	
		4.0MPa×400℃	6.0MPa×450℃
発電出力〔kW〕		※1 18,600	19,900
増加分	〔kW〕	—	1,300
	〔%〕	—	7.0
発電収入増加分 ※2 〔千円/年〕		—	135,567

※1 発電出力は、新鶴見工場の基準ごみ質×1.1倍の発熱量、計画処理量に交付要件の熱回収効率 24.0%を掛けて算出した。

※2 売電単価は第2回委員会で検討に使用した 14.63 円/kWh とした。

これらの試算結果より、設置コストが 10 億円増加し、11 年ごとに 8 億円かけて更新したとしても、発電収入の増加分で回収可能であることが確認できた。

5. 新鶴見工場建替計画におけるエネルギー対策について

令和 2 年 10 月、国は「2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現をめざす」との宣言をし、令和 2 年 12 月には「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、今後様々な取組みが進められる。また大阪市では、2050 年までに温室効果ガス排出量を実質ゼロとする「ゼロカーボンおおさか」をめざす姿に掲げ、大阪の成長につながる脱炭素社会の実現をめざすこととしている。

鶴見工場では、2050 年の温室効果ガス排出量実質ゼロという社会的背景を踏まえ、創蓄省エネルギー対策として次のような工夫を検討し、現在の鶴見工場に比べ所内負荷を 10%程度低減することを目標として取り組むこととする。

(1) 創・蓄エネルギー対策

- ・ボイラーの高温高压化による高度なエネルギー回収技術の導入
- ・太陽光発電設備の設置
- ・マイクロ水力発電、バイナリー発電の検討
- ・受電時のピークカット制御を目的とした大容量蓄電池の検討

(2) 省エネルギー対策

- ・トップランナーモータの採用
- ・AI 技術を活用した適切な運転制御の検討
- ・LED 照明と人感センサー、照度センサーの設置
- ・トップライト、光ダクトによる採光の採用
- ・日射熱遮蔽複層ガラスの採用
- ・季節に応じた自然換気の活用

(3) その他

- ・屋上緑化の実施
- ・国産木質系材料の使用
- ・電気自動車用充電スタンドの設置
- ・燃料電池自動車用水素充填スタンド設置の検討
- ・節水型衛生器具の採用
- ・雨水有効利用

6. まとめ

- ・これまで建替えや設備更新を行ってきた経験から高効率なエネルギー回収には、低温エコノマイザ、低空気比燃焼、低温触媒脱硝の技術は必須であるほか、第2回委員会で決定した乾式排ガス処理、圧力波式スートブロウについても導入しエネルギー回収を行う。
- ・ボイラーの高温高压化については、他自治体の導入事例を調査したところ蒸気圧力 6.0MPa、蒸気温度 450℃の施設が稼働し始めていることから、技術的に対応可能な蒸気条件となったことを鑑み、蒸気圧力 6.0MPa、蒸気温度 450℃を基本とする。
- ・エネルギー回収率については、循環型社会形成推進交付金（エネルギー回収型廃棄物処理施設整備事業の交付率 1/2 対象施設）の交付要件を満たすものとする。
- ・創蓄省エネルギー対策に取組み、現在の鶴見工場に比べて所内負荷が 10%程度低減することを目標とする。