

EVF.

Environmental Veterans Firm

環境ベテランズファーム Webセミナー (2021年3月)

**プラスチック容器包装のリサイクルは
「物」ではなく電力に**

講師: 松村 真様
環境企画 主宰

講師略歴: 1962年: 日揮株式会社入社、石油精製などエネルギー関連設備設計

1965年: 東京大学工学部化学工学科助手、プロセスシステム工学研究

1967年: 日揮株式会社再入社後、環境関連設備の計画・設計・建設や環境調査・アセスメント、化学プラント省エネルギー技術開発、設備改善設計、情報・通信システムの計画立案と整備、環境関連技術の整備と体系化、国内外の環境調査と対策提案を担当

1998年: 日揮株式会社退社、環境調査と対策のコンサルティング事業開始

* 発表論文は、化学工学分野、環境保全分野、省エネ分野、情報処理分野他、約150件*

EVFセミナー プラスチック容器包装のリサイクル

プラスチック容器包装のリサイクルは 「物」ではなく電力に

2021年3月25日(木)

環境企画 主宰：松村 眞

目次

1. プラスチックのマテリアルフロー
2. 一般廃棄物のプラスチックリサイクル状況
3. プラスチックリサイクル方法の評価
4. 清掃工場の発電効率
5. ヒートポンプによる電力の熱変換利用
6. プラスチック容器包装リサイクルは電力に

1. プラスチックのマテリアルフロー（2018：全量）



２．一般廃棄物のプラスチックリサイクル状況

排出量（＝投入量）：429万トン／年

種類		利用方法	排出量	割合	収集形態
プラスチック容器包装	PETボトル 発泡スチロール	再生利用 (マテリアルリサイクル)	71万	16.7%	分別回収
	混合プラスチック 食品パッケージ 袋、箱、ボトル	高炉微粉炭代替	約3万	3方法 合計で 6.8%	資源ごみ
		コークス炉原料代替	約19万		
		ガス化・化学原料代替	約4万		
	混合収集ごみ プラスチック混入 ・容器包装プラ ・非容器包装プラ 食器、洗面用具 玩具、文具、繊維 シート、トレイ	セメント原・燃料化	不明	6.1%	混合収集 焼却ごみ
		固形燃料化	約10万		
		焼却電力利用	207万	45.5%	
		焼却熱利用	21万	6.1%	
		焼却のみ(未利用)	52万	13.8%	
		埋立て(未利用)	26万	4.9%	

注：プラスチック容器包装：リサイクルマークのあるプラスチック容器包装

3. プラスチックリサイクル方法の評価①評価項目と指標

指標	負担と有用性	役割と負担の水準。有用性は市場価値と歩留まり。
大 中 小	排出者	ルールに従う分別・該当識別・洗浄・袋詰め。負担の 大中小は、求められる分別と識別の厳格性の差異。
	収集者	排出源からの収集。負担の大中小は、必要な車両 台数と収集作業の工数。収集・輸送効率の差異。
	収集後の選別者 (資源化施設)	異物除去、選別、洗浄、梱包、出荷。負担の大中小 は、資源化施設に必要な工数と厳格性の差異。
	再生原料化者 再生燃料化者	役割はリサイクルの方法で異なる。一般的には開梱、 選別、異物除去、洗浄、粉碎、乾燥、再成形、焼却 熱利用、焼却発電など。負担の大中小はその経費。
有 用 性 高 低	再生品の市場性	市場性の高中低は、販売単価の差異
	再生品化率 (歩留まり)	高中低は投入量に対する再生化率

3. プラスチックリサイクル方法の評価② 再生利用

対象：大部分がPETボトル・一部が発泡スチロール（分別収集）

	負担と有用性		役割	備考
負担	排出者	中	選別・洗浄・袋詰め	排出者の選別は困難ではない。収集車の効率 は低い。資源化施設の 異物除去は厳格で人出 を要す。 再生品は主にPET樹脂で 売価は約50円/kg。損 失少なく歩留まり高い。
	収集者	大	分別収集	
	収集後の選別者	大	洗浄・異物除去・梱包	
	再生原料化者	中	フレーク化（PET） 溶融・再成形 （スチロール）	
有用性	再生品の市場性	高	プラスチック原料	再生原料化以降の費用 はほぼ回収
	再生品化率 （歩留まり）	高	95%	

3. プラスチックリサイクル方法の評価③

高炉微粉炭代替、コークス炉原料代替、ガス化・化学原料代替

対象：再生利用を除くプラスチック容器包装（分別収集）

	負担と有用性		役割	備考
負担	排出者	大	該当性識別（マークの有無）・洗浄・袋詰め	排出者の該当性識別は負担大。結果的に不適合混入大。収集車の効率は低い。資源化施設の異物除去は厳格でない。再生段階は専用設備と工数の負担が大。再生品は化石燃料相当。歩留まり高い。再生原料化以降の費用は、約45円/kg。リサイクルマークの企業負担。
	収集者	大	分別収集	
	収集後の選別者	中	洗浄・選別・梱包	
	再生原料化者 （燃料化・化学原料化）	大	異物除去・粉碎・成形化 （製鉄所と化学工場）	
有用性	再生品の市場性	中	石炭・石油・ガス相当	
	再生品化率 （歩留まり）	高	93%	

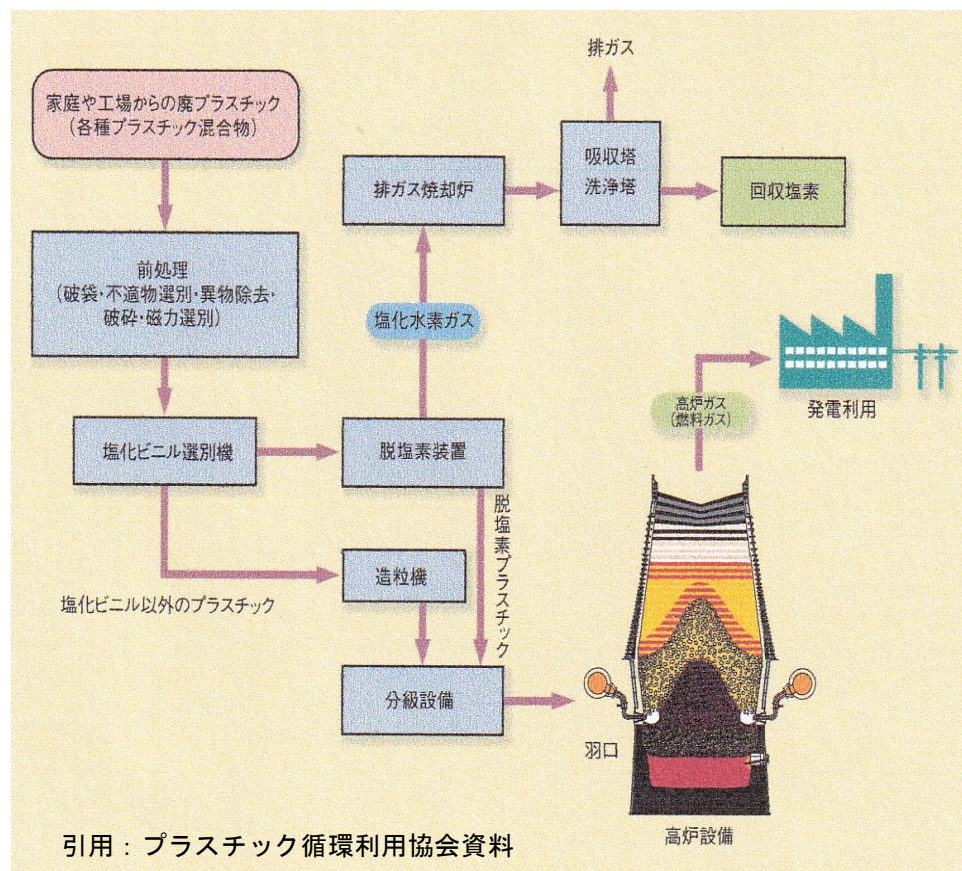
3. プラスチックリサイクル方法の評価④

高炉微粉炭代替

対象：再生利用を除くプラスチック容器包装（分別収集）

高炉微粉炭代替の工程

選別機によるフィルム類とパッケージやボトル類の分離。フィルム類は破碎、比重差を利用して塩化ビニルを分離。塩化ビニルは約350℃に加熱、塩素を塩化水素にして分離。脱塩された塩化ビニルは、粒状にして分級機へ送る。パッケージやボトル類は、破碎して分級機へ送る。分級機に送られたプラスチックは粒度が調整され、微粉炭とともに高炉に吹き込まれる。



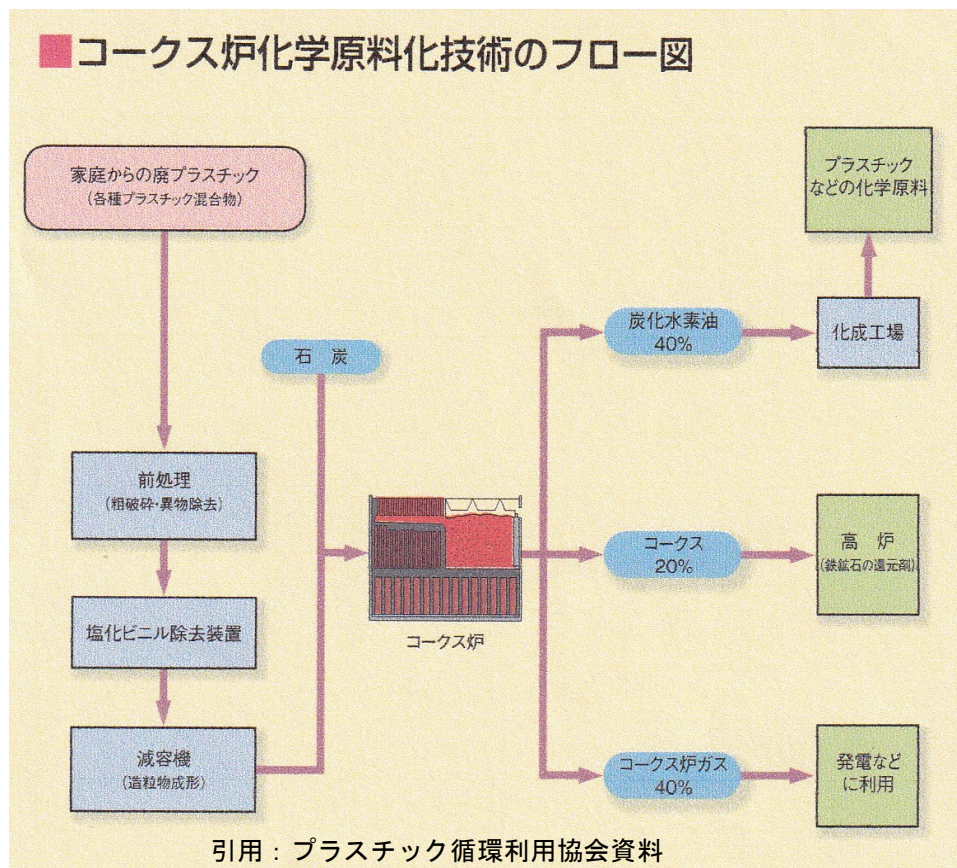
3. プラスチックリサイクル方法の評価⑤

コークス炉原料代替

対象：再生利用を除くプラスチック容器包装（分別収集）

コークス炉原料代替の工程

初めに破碎し比重差で塩化ビニルを除去する。次にコークス炉内の炭化室で約1200℃に加熱すると、熱分解してガス化する。このガスから炭化水素油（軽質油とタール分）とコークス炉ガス（水素、メタンなど）を除去し、残された炭素分(約2割)をコークスとして利用する。炭化水素油は、化成工場で燃料または化学原料として利用され、コークス炉ガスは製鉄所の燃料や発電燃料に利用する。



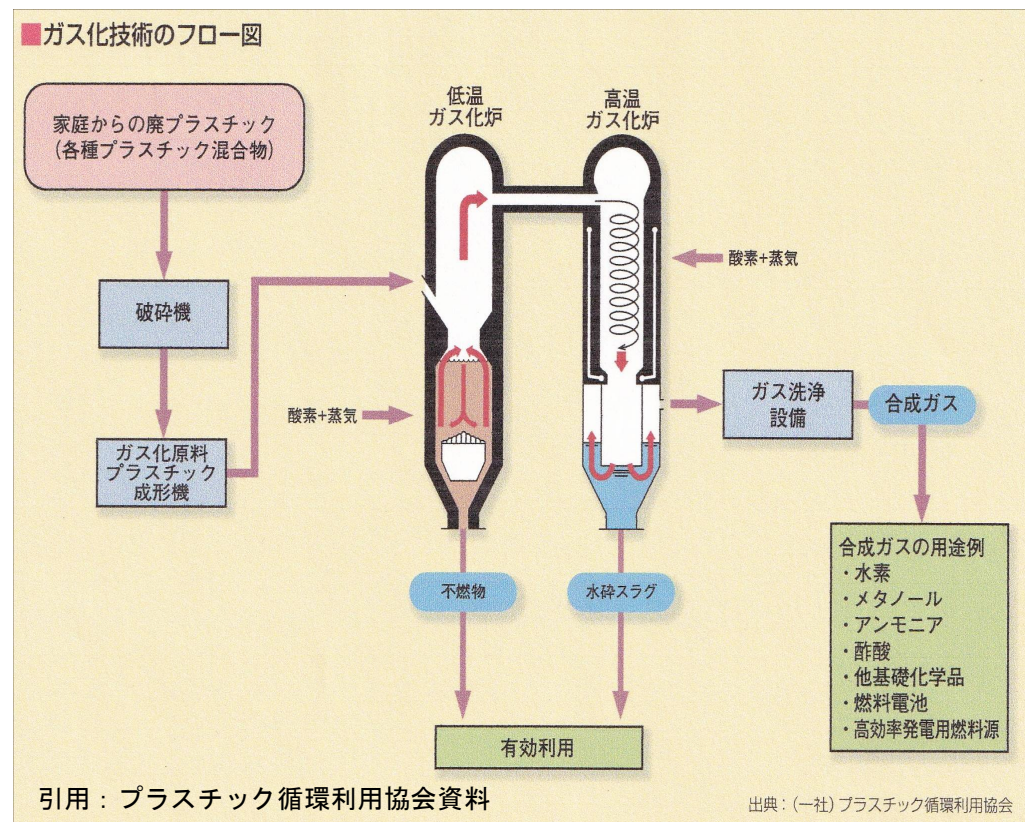
3. プラスチックリサイクル方法の評価⑥

ガス化・化学原料代替

対象：再生利用を除くプラスチック容器包装（分別収集）

ガス化・化学原料代替の工程

破碎して磁力選別で鉄分を除去。ペレット状に成形し、低温ガス化炉で酸素と水蒸気を加えると、炭化水素、一酸化炭素、水素、チャー（粉状炭化物）が生成。続く高温ガス化炉で水蒸気と反応させ、一酸化炭素と水素が主体のガスにする。生成ガスは洗浄設備で塩化水素を中和処理。最終再生品は水素と一酸化炭素を主成分とする合成ガス。メタノール、アンモニア、酢酸などの原料になる。現在は主にアンモニア原料に利用。



3. プラスチックリサイクル方法の評価⑦ 固形燃料化

対象：燃えるごみと混合収集されるプラスチック容器包装（混合収集）

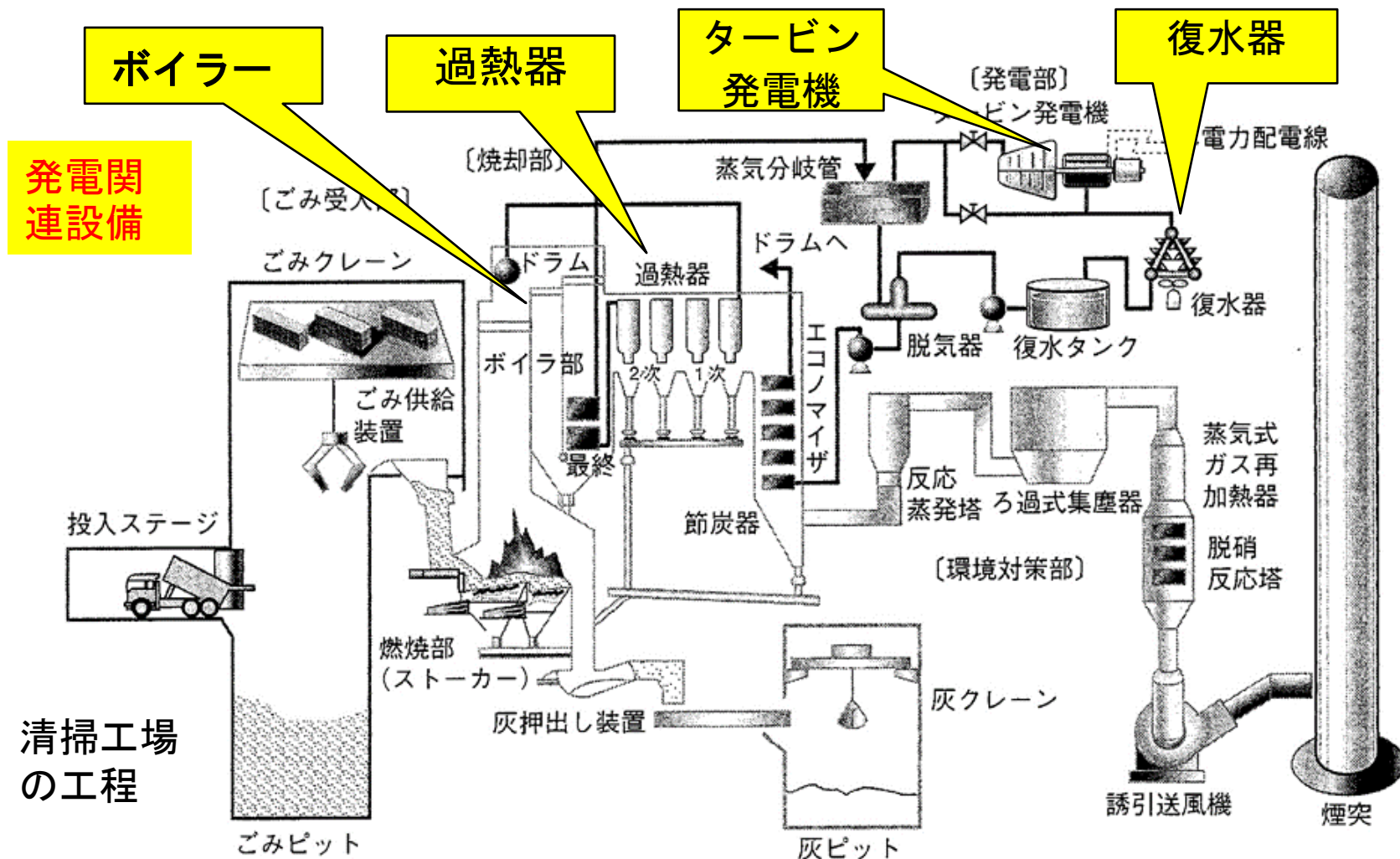
	負担と有用性		役割	備考
負担	排出者	小	袋詰めのみ	排出者の該当性識別不要。収集車の効率は混合圧縮輸送で高い。収集後の選別はない。固形燃料化は、乾燥・粉碎・成形化の 燃料と電力消費量大 。製品は低質燃料で市場価値なし。 現状は発電事業者か、廃棄物処理事業者による有償引き取り。撤退が続き設備の新設はない。
	収集者	小	混合収集	
	収集後の選別者	小	なし	
	再生原料化(燃料化)者	非常に大	乾燥・粉碎・石灰混入・圧縮成形化（太さ約3センチ・長さ約10数センチ）	
有用性	再生品の市場性	低	低質燃料、市場性がないので販売不可	
	再生品化率（歩留まり）	高	市場価値マイナスで高歩留まりは無意味	

3. プラスチックリサイクル方法の評価⑧ 焼却電力回収

対象：燃えるごみと混合収集されるプラスチック容器包装（混合収集）

	負担と有用性		役割	備考
負担	排出者	小	袋詰めのみ	排出者の該当性識別不要。収集車の効率は混合圧縮輸送で高い。収集後の選別はない。再生電力化には関連設備投資が必要。再生品は電力だから市場価値は高い。熱量基準で燃料の4倍～5倍。歩留まりは発電効率で、清掃工場により大きく異なる。
	収集者	小	混合収集	
	収集後の選別者	小	なし	
	再生原料化(燃料化)者	中	焼却・熱回収・蒸気発生・タービン発電	
有用性	再生品の市場性	高	電力、市場性大	
	再生品化率(歩留まり)	不特定	清掃工場の発電効率に依存 (0%～25%)	

3. プラスチックリサイクル方法の評価⑨ 焼却電力回収



3. プラスチックリサイクル方法の評価⑩ 焼却熱回収

対象：燃えるごみと混合収集されるプラスチック容器包装（混合収集）

	負担と有用性		役割	備考
負担	排出者	小	袋詰めのみ	排出者の該当性識別不要。収集車の効率は混合圧縮輸送で高い。収集後の選別はない。再生熱の外部供給には温水配管が必要なので近隣施設に限定。再生品は熱だから工場内需要には過大。外部供給は時間的な需給のミスマッチ大。市場価値は燃料以下。
	収集者	小	混合収集	
	収集後の選別者	小	なし	
	再生原料化(燃料化)者	中	焼却・熱回収・蒸気発生・熱供給	
有用性	再生品の市場性	中	熱。外部供給は給湯需要だけだから、市場性は化石燃料以下	
	再生品化率(歩留まり)	低	清掃工場の熱利用形態に依存。	

3. プラスチックリサイクル方法の評価⑪ 選択肢

リサイクルの評価②③⑦⑧⑩から、再生利用（PET）を除く選択肢は下の2案

	負担と有用性	高炉微粉炭、コークス炉原料、 ガス化・化学原料代替		焼却電力回収	
負担	排出者	大	該当性識別・洗浄・ 袋詰め	小	袋詰めのみ
	収集者	大	分別収集	小	混合収集
	収集後の選別者	中	洗浄・選別・梱包	小	なし
	再生原料化(燃料化)者	大	異物除去・粉碎・成形化	中	焼却・熱回収・蒸気発生・タービン発電
有用性	再生品の市場性	中	石炭・石油・ガス相当	高	電力、市場性大
	再生品化率 (歩留まり)	高	93%	不特定	清掃工場の発電効率に依存 (0%～25%)

4. 清掃工場の発電効率① 日本と欧米諸国

	効率(%)	工場数	備考
日本	20以上	45	全清掃工場 1082(H30) 24時間連続稼働(発電可能):686工場 このうち発電しているのは366工場 発電工場の平均発電効率:13.6%
	15～20	105	
	10～15	133	
	5～10	60	
	5以下	23	
欧州 (例)	25	アムステルダム旧炉 700トン/日×4	タービン入り口 蒸気温度: 410℃～420℃ 入り口蒸気圧 力:4.2 MP
	33	アムステルダム新炉 800トン/日×2	
	21(3 炉計)	ブルツブルグ(独) 192トン/日×2 300トン/日×1	
北米	25以上	一般的に25%以上	

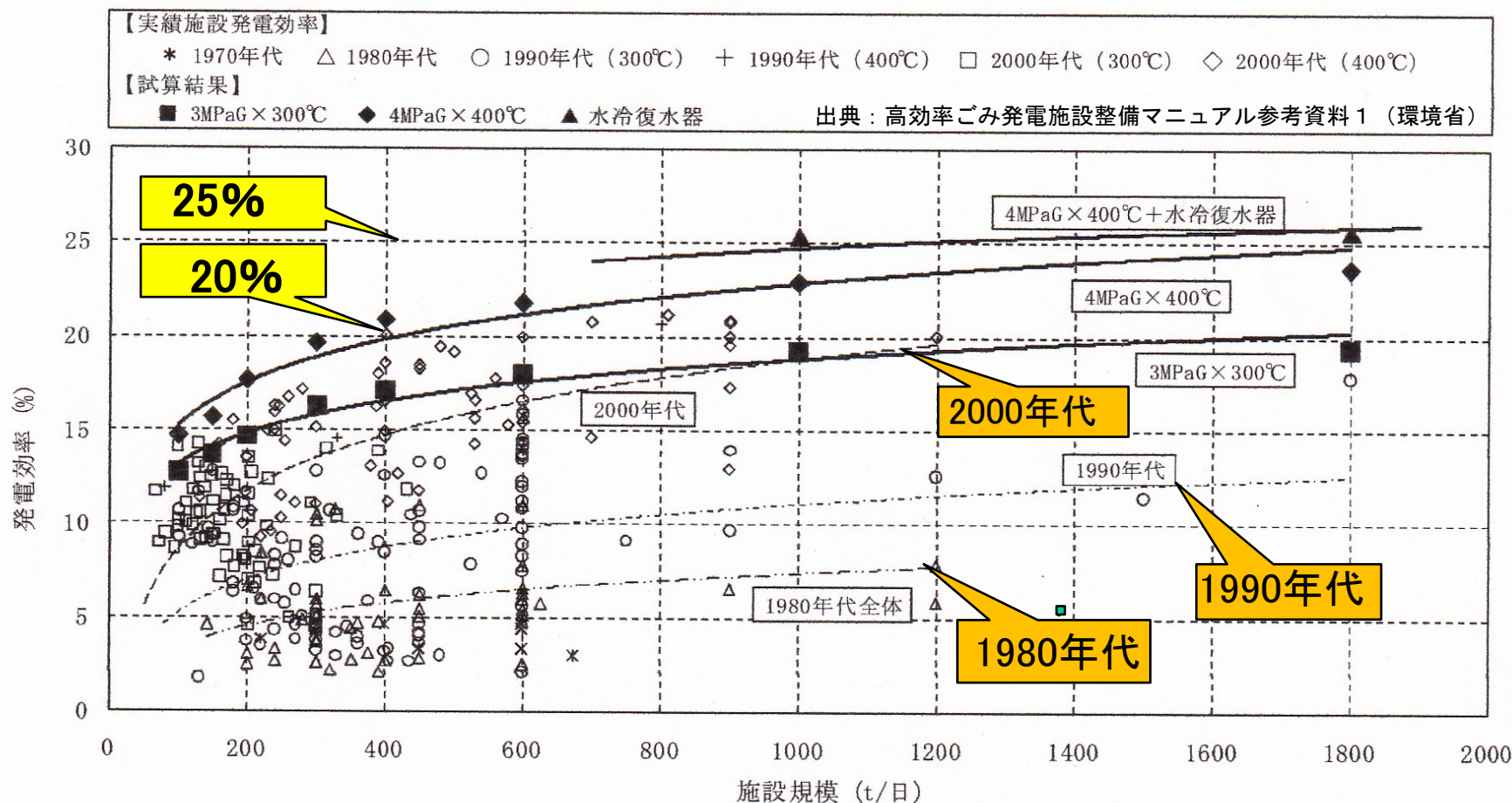
4. 清掃工場の発電効率② 日本の清掃工場の特性

日本で清掃工場の発電効率が低かった理由と今後の展望

- ①1980年代までは、清掃工場の拡充が発電設備投資より優先した。
- ②発電しても不安定電源なので、電力会社の買取り価格が低かった。
- ③このため、発電しても工場内需要を賄う程度にしていた(5%以下)。
- ④1990年以降は省エネが重視されるようになり、発電効率が向上した。
- ⑤既設の清掃工場も、更新を契機に発電設備を導入・改善するようになった。
- ⑥電力会社の買取り価格が上昇した(kWhあたり10円近辺から15円程度に)。
- ⑦技術的にはボイラー蒸気の圧力上昇など既存技術の適用で可能。
- ⑧近い将来、欧米水準の発電効率20%～25%程度に改善される見込み。

参考:アメリカは民営事業なので売電収入を重視。高発電効率を採用してきた。
欧州は第3セクターの運営が多いが、独立採算制でごみ処理費は住民の直接負担。このため売電収入を増やし費用を低減する要求が強い。

4. 清掃工場の発電効率③ 発電効率の推移(日本)



4. 清掃工場の発電効率④ 発電効率向上の方法

(参考) 発電効率の概略差異

発電効率影響要因	影響	参考
エコマイザー 低温／高温	1%	日本:低温 欧米:高温
排ガス処理 乾式／湿式	3 %	日本:半乾式多 欧米:乾式
白煙防止 無／有	0.4 %	日本:採用多 欧米:無
排水処理 放流／クローズド	1%	日本:クローズド(蒸発)多 欧米:放流
ボイラー蒸気温度と圧力 (発電タービン入り口)	1.5%～2%	日本:250℃～300℃が多い 蒸気圧力:3MP以下が多い 欧米:410℃～420℃以上 蒸気圧力:4.2 MP以上
復水 水冷式／空冷式	2.5%	日本:空冷 欧米:水冷

5. ヒートポンプエアコンによる電力の熱変換利用

拙宅のヒートポンプエアコン（中級機）

購入時期	成績係数		備考
	冷房	暖房	
1997	2.5	2.9	1997年には、暖房に使うと電気代がガス代より高かったから、暖房には使用せず。2011年になると成績係数が大幅に向上し、電気代の方がガス代より安くなった。このため、暖房もエアコンに切り替え。2019年では電力のエネルギーを5.8倍の熱に変換できるようになった。
2011	4.3	4.6	
2019	5.8（APF） 20年で2倍以上の効率向上		

成績係数：(冷・暖房能力(kW)／冷・暖房消費電力(kW))

(APF): 通年エネルギー消費効率。成績係数の通年化。

冷・暖房表示をAPFに代えたのは、通年使用者が増えたから。

ヒートポンプエアコンの普及率：91%

エアコンの効率：寒冷地は室外機の霜取り頻度が多く暖房効率低下傾向

6. プラスチック容器包装リサイクルは電力に: 総括

- ① プラスチック容器包装の原料は石油。
- ② 清掃工場は、焼却発電で熱量の20%～25%を電力で回収可。
- ③ 需要側はヒートポンプエアコンで電力を5倍以上の熱に変換できるから、元の石油エネルギーを全量回収できる。
- ④ ヒートポンプエアコンは暖房にも使うから、従来から暖房に使っていたガスや石油の消費が減り、温室効果ガスの排出も減る。
- ⑤ 混合収集だから、高炉微粉炭代替、コークス炉原料代替、ガス化・化学原料代替より、排出者・収集者・収集後の選別者・再生原料化者の負担が少ない。再生品の市場価値は燃料相当で同水準。
- ⑥ 発電効率の高い清掃工場の市町村から切り代えたらどうか。
- ⑦ リサイクルが電力になると、コーヒーショップやコンビニのごみ箱から「プラスチック」がなくなり、分ける手間も不要になる。