

第35回 廃棄物資源循環学会 研究発表会

廃棄物焼却研究部会 『脱炭素社会に向けた一般廃棄物焼却施設のあり方』

2024年9月11日

2050年カーボンニュートラルに向けた、 段階的なCO₂削減目標の設定

廃棄物資源循環学会 廃棄物焼却研究部会

掃部宏文 ((株)プランテック)

目次

1. 一般廃棄物焼却施設からのCO₂排出
2. エネルギー分野のCO₂排出係数
3. ケーススタディの前提条件

1. 一般廃棄物焼却施設からの CO₂排出

本研究におけるCO₂排出量算定の 対象範囲

中長期シナリオと本研究のCO₂排出量算定の対象範囲

- ✓ 環境省の中央環境審議会循環型社会部会において、2021年8月5日に「廃棄物・資源循環分野における2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)」について議論。**廃棄物・資源循環分野全体**を対象とし、2050年カーボンニュートラルに向けた検討を行っている。
- ✓ 本研究においてはより具体的な検討を行うため、**一般廃棄物の中間処理(焼却)**を対象として、CO₂排出量削減について検討する。

廃棄物の種類



廃棄物処理過程



一般廃棄物焼却施設におけるCO₂排出量算定の対象範囲

本研究では一般廃棄物焼却施設におけるCO₂排出量（削減対象とする量）、およびCO₂削減量は以下を対象として検討する。

CO₂排出量

ごみ焼却
(バイオマス由来)

ごみ焼却
(非バイオマス由来)

燃料

電気

- ✓ ごみ焼却（非バイオマス由来）に伴うCO₂排出量
- ✓ エネルギー消費（燃料・電気）に伴うCO₂排出量

CO₂削減量

(外部施設の化石燃料
削減分もカウント)

電力供給

熱供給

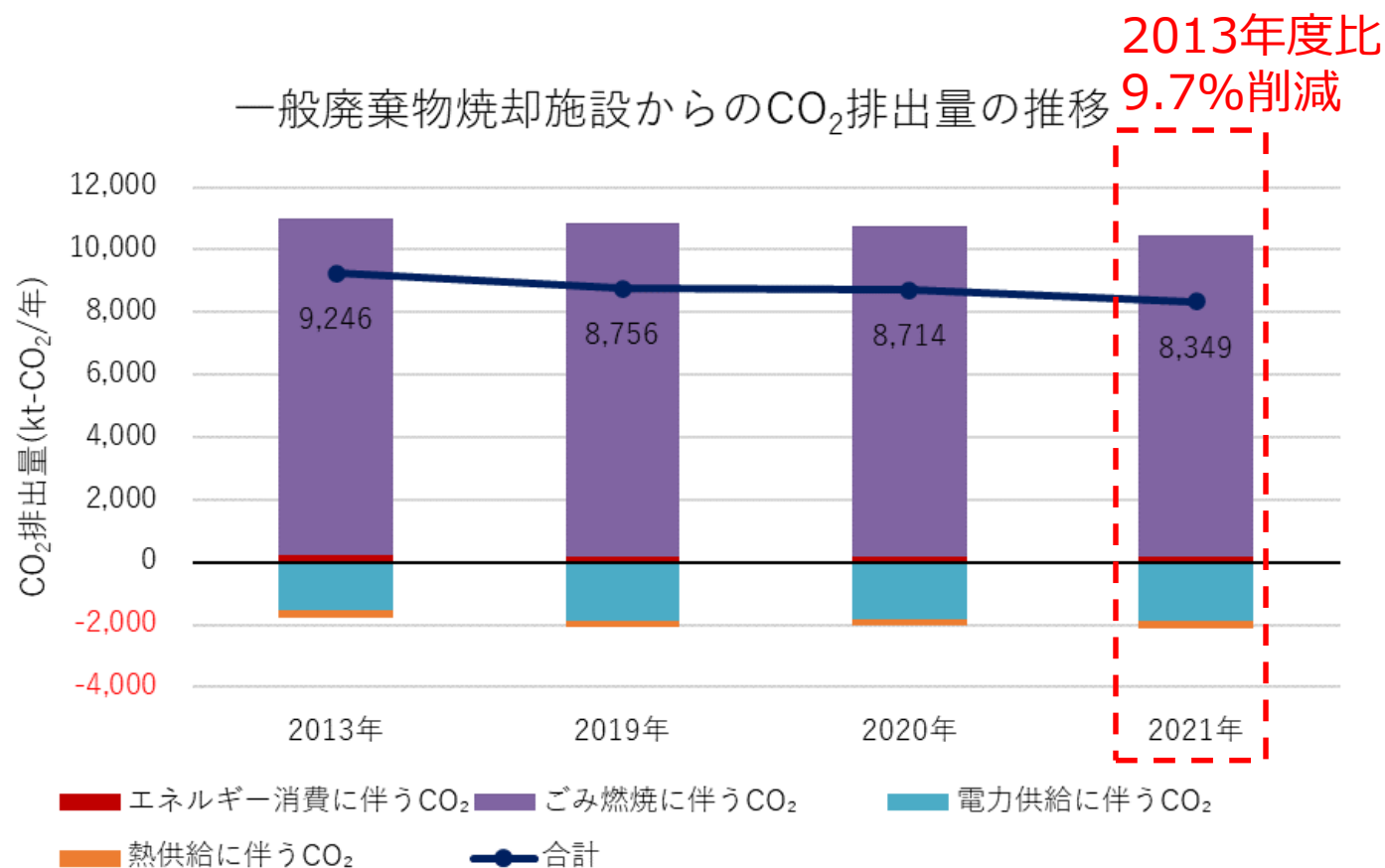
CO₂回収

- ✓ 外部施設への電力供給(売電)に伴うCO₂削減量
- ✓ 外部施設への熱供給に伴うCO₂削減量
- ✓ 排ガスからのCO₂回収(CCUS)に伴うCO₂削減量

CO₂排出量の現状と目標値

一般廃棄物焼却由来のCO₂排出量の実績値

CO₂排出量削減目標の基準年である2013年と、直近の2019年・2020年・2021年におけるCO₂排出量実績値は以下の通り。

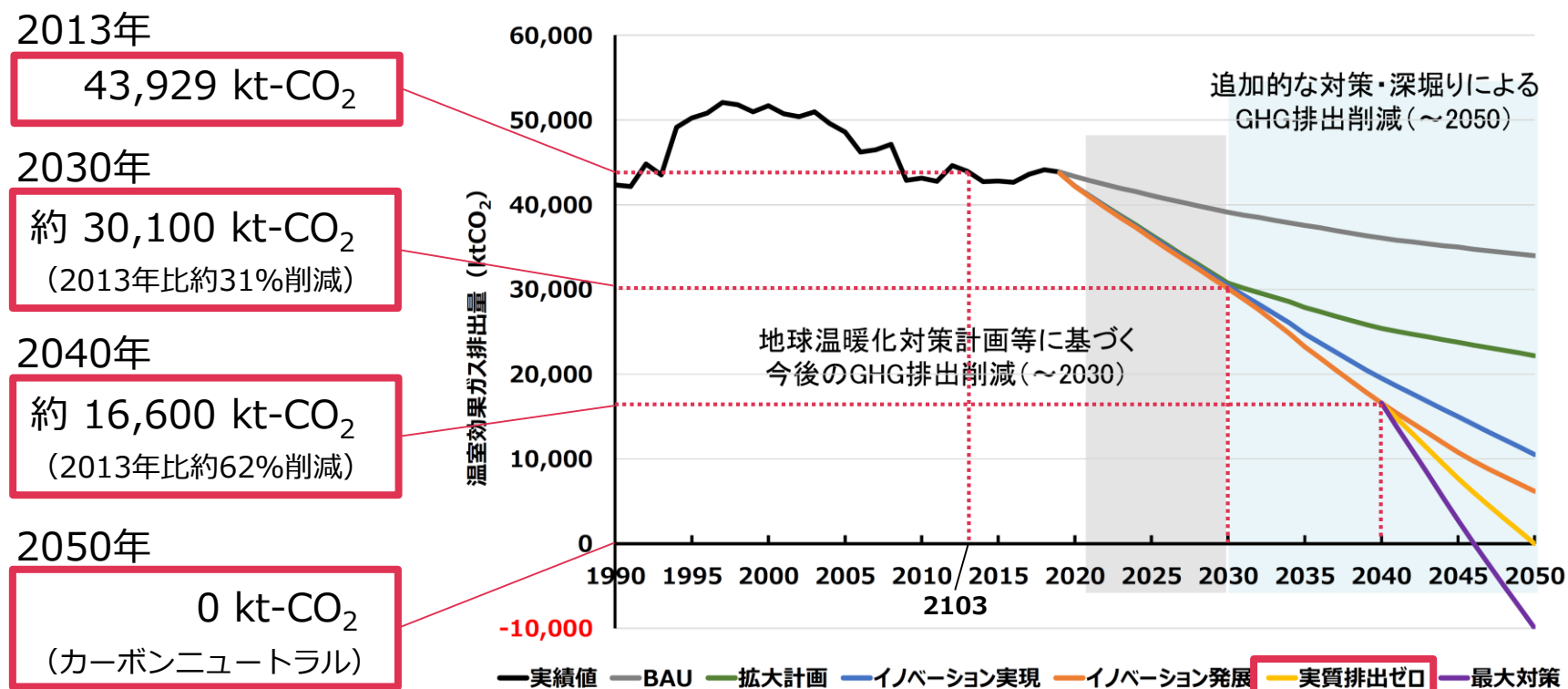


※1 国立環境研究所『日本国温室効果ガスインベントリ』、環境省『一般廃棄物処理実態調査結果』をもとに作成

※2 エネルギー消費に伴うCO₂は、同上のインベントリや実態調査結果からデータが無いため推定値

中長期シナリオにおけるCO₂排出量検討値

中長期シナリオの中の実質排出ゼロシナリオ（2050年カーボンニュートラル達成）において、CO₂排出量の検討値は、2030年が2013年比で約31%削減、2040年が2013年比で約62%削減となっている。



シナリオ別の廃棄物・資源循環分野の実質排出ゼロ化に向けた経路の試算結果

一般廃棄物焼却由来のCO₂排出量の目標値

本研究における一般廃棄物焼却由来のCO₂排出量削減目標割合は、2030年は日本全体の目標同様に2013年比で**46%削減**、2040年は2030年と2050年の平均値として**73%削減**、2050年は100%削減とする。

	本研究目標削減割合	本研究目標値 (一般廃棄物焼却)	参考値 (廃棄物物分野全体で同様の削減割合とした場合)	備考
2013年	(基準年)	9,306 kt-CO ₂ /年	43,929 kt-CO ₂ /年※	実績値
2030年	46%減	5,025 kt-CO ₂ /年	23,722 kt-CO ₂ /年	日本全体の目標と同様に2013年比で46%減とした。
2040年	73%減	2,513 kt-CO ₂ /年	11,861 kt-CO ₂ /年	2030年と2050年の平均値とした。
2050年	100%減 (CN達成)	0 kt-CO ₂ /年	0 kt-CO ₂ /年	2050年カーボンニュートラル達成とした。

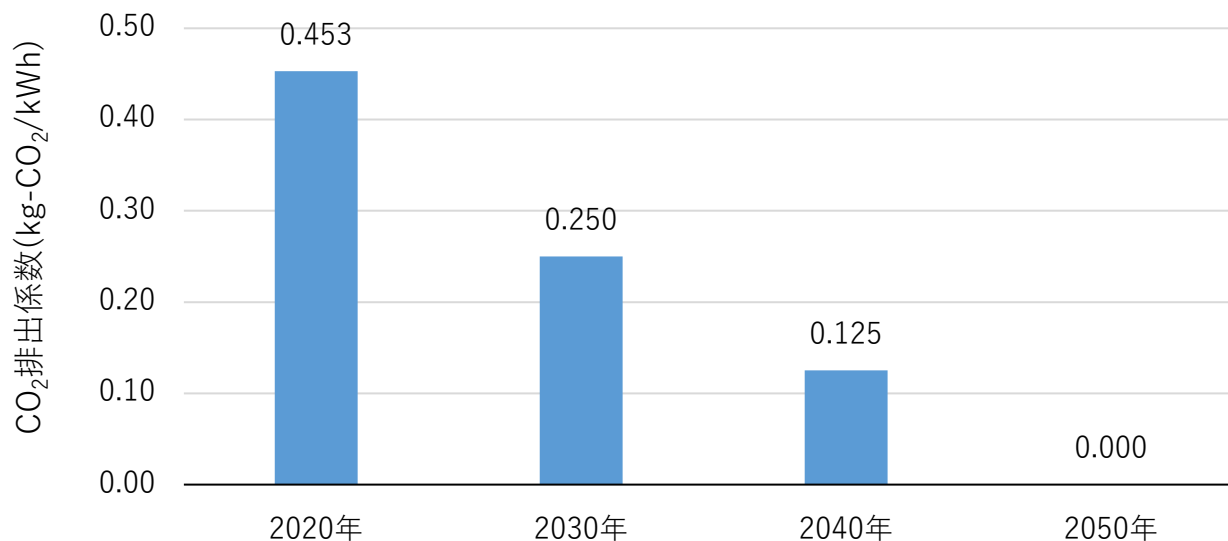
2. エネルギー分野のCO₂排出係数

将来の電力のCO₂排出係数

将来の電力のCO₂排出係数を以下のように想定。

- ✓ 2020年：電気事業低炭素社会協議会発表の現状値
- ✓ 2030年：電気事業低炭素社会協議会の目標値※
- ✓ 2040年：2030年と2050年の平均値と想定
- ✓ 2050年：CN化率100%達成と想定

電力のCO₂排出係数の推移(想定値)



2030年までにおよそ半減、その後2050年に向けて減少

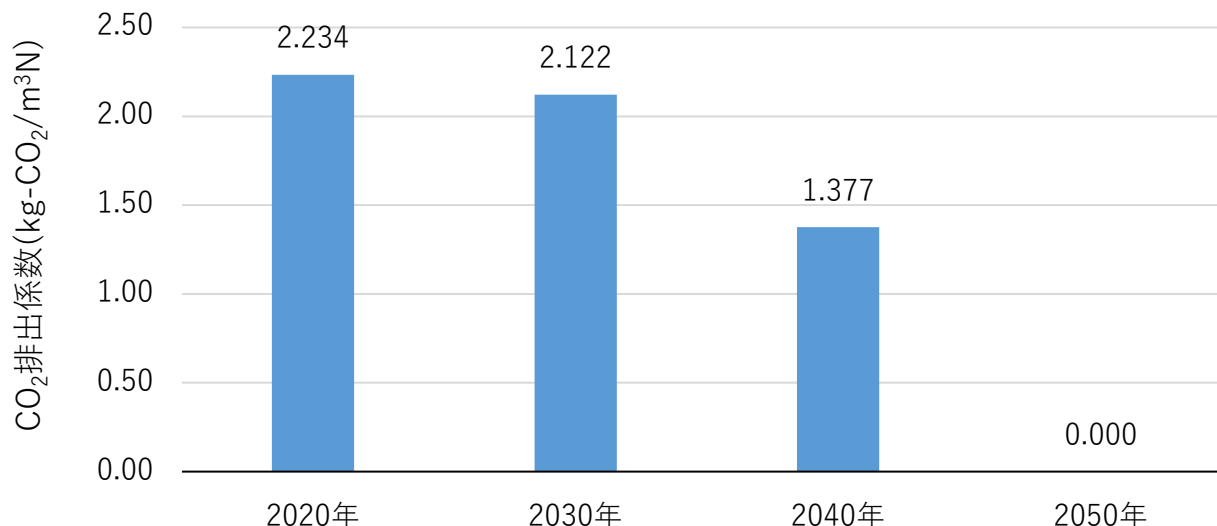
将来の熱供給のCO₂排出係数 (1/2)

将来の熱供給のCO₂排出係数について目標値の情報が確認できなかったため、**参考として都市ガスのCO₂排出係数について確認**、以下のように想定。

(熱供給事業における使用燃料は、熱量ベースで都市ガスが全体の約7割を占める※1)

- ✓ 2020年：CO₂排出量算定報告マニュアルの現状値
- ✓ 2030年：日本ガス協会の目標値※2
- ✓ 2040年：2020・2030・2050年の値から二次曲線で想定
- ✓ 2050年：CN化率100%達成と想定※2

都市ガスのCO₂排出係数の推移(想定値)



2030年までの減少幅は僅か、その後2050年に向けて減少

※1 経済産業省：第14回 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 ガスシステム改革小委員会 資料6 (2014年9月24日) より

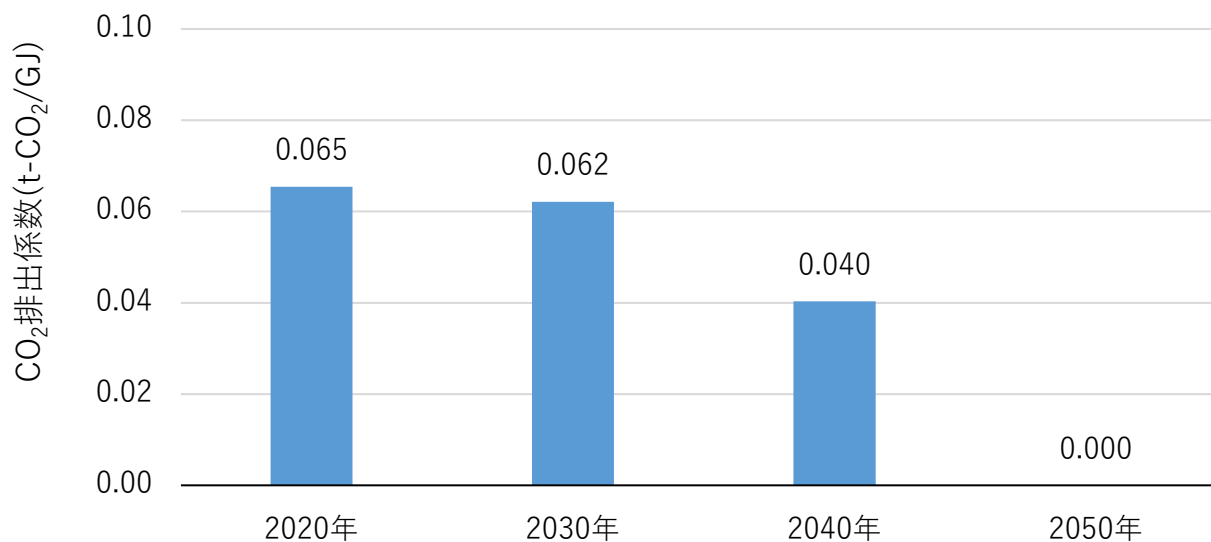
※2 日本ガス協会：カーボンニュートラルチャレンジ2050 <https://www.gas.or.jp/gastainable/> より

将来の熱供給のCO₂排出係数 (2/2)

将来の熱供給のCO₂排出係数について、「燃料」という大きな枠組みでとらえ、都市ガスと同様の傾向で減少するものとして、以下のように想定。

- ✓ 2020年：CO₂排出量算定報告マニュアルの現状値
- ✓ 2030年：都市ガス同様の減少割合として想定
- ✓ 2040年：都市ガス同様の減少割合として想定
- ✓ 2050年：CN化率100%達成と想定

熱供給のCO₂排出係数の推移(想定値)



2030年までの減少幅は僅か、その後2050年に向けて減少

2. ケーススタディの前提条件

中長期シナリオの概要

本研究におけるケーススタディの前提条件について、一部は中長期シナリオの中の実質排出ゼロシナリオにおける前提条件をベースとする。

実質排出ゼロシナリオの前提条件

ごみ量・ごみ質

- 人口減少、ごみ発生量の削減、リサイクルの促進などにより2050年の一般廃棄物量は、**現状から半減**する。
- プラスチック使用量削減や、プラスチックリサイクルの促進などにより、ごみの**発熱量は6,000kJ/kg程度まで下がる**。
 - ✓ 廃プラスチックの発生量25%抑制
 - ✓ 循環型CR(ケミカルリサイクル)収率90%
 - ✓ バイオマスプラスチック250万t導入 (全量バイオマスプラスチック)

エネルギー利用

- 新規施設は蒸気条件の**高温高圧化(6MPa, 450℃)**により高効率発電

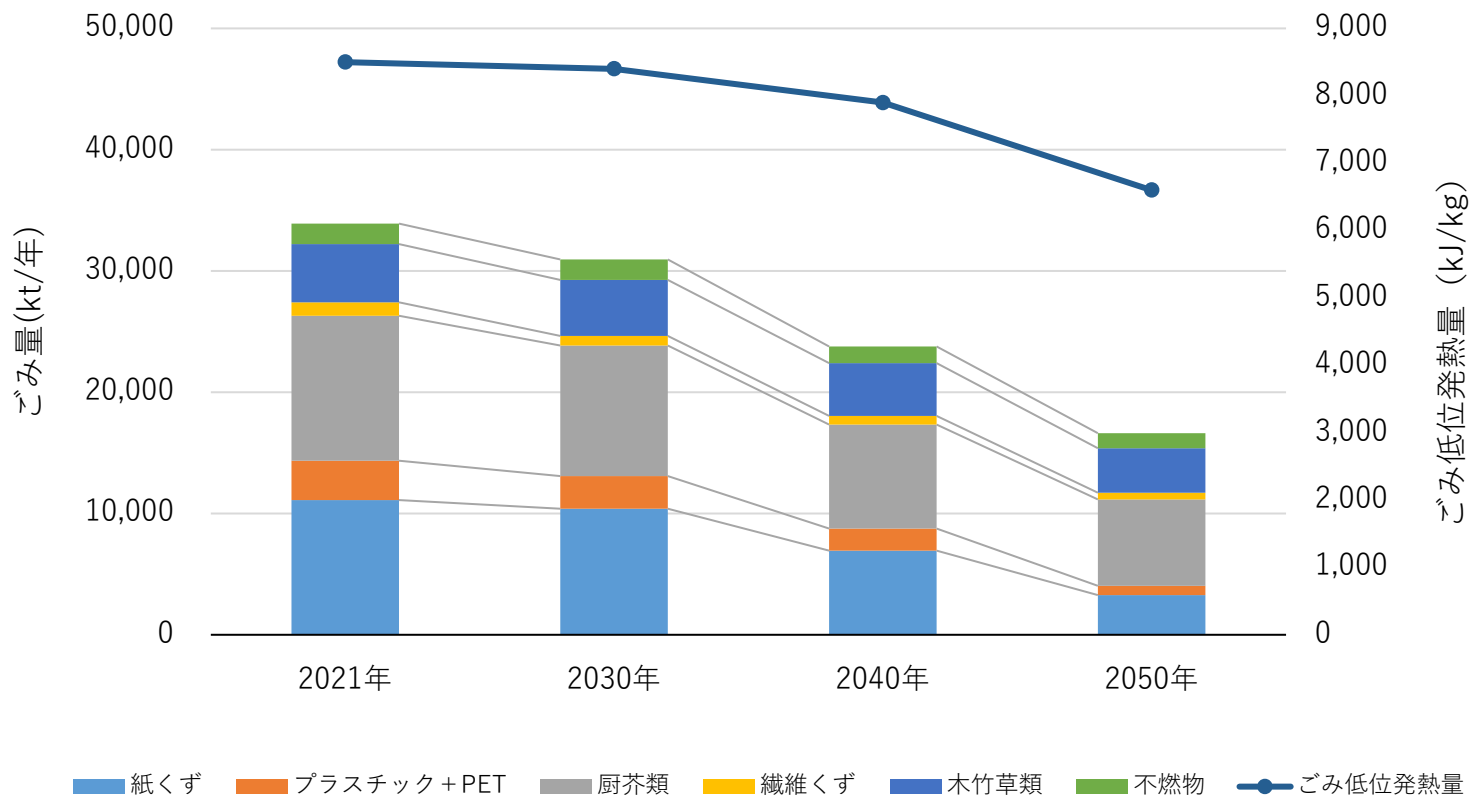
燃料

- 一般廃棄物処理施設で使用する**燃料はすべてバイオマス由来燃料**

ごみ量・ごみ質の現状と将来推定 (中長期シナリオベース)

将来のごみ量・ごみ質の推移（グラフ）

中長期シナリオの実質排出ゼロシナリオにおけるグラフをもとに、将来のごみ量・組成を以下のグラフの通り設定。



プラスチックの消費量削減やリサイクル推進により、ごみ組成におけるプラスチック+PETの割合が、現状10%程度から段階的に減少。

将来のごみ量・ごみ質の推移 (数値表)

項目	単位	2021年	2030年	2040年	2050年
ごみ量	kt/年	33,900	31,000	23,800	16,600
ごみ低位発熱量	kJ/kg	8,500	8,400	7,900	6,600
ごみ組成(割合・湿重量)					
紙くず	%	33%	34%	29%	20%
プラスチック+PET	%	10%	9%	8%	5%
厨芥類	%	35%	34%	36%	42%
繊維くず	%	3%	3%	3%	3%
木竹草類	%	14%	15%	18%	22%
不燃物	%	5%	5%	6%	8%

各年のごみ低位発熱量は、ごみ組成(割合・湿重量)と各組成別の発熱量(右表)をもとに算出。

項目	低位発熱量※
紙くず	11,099 kJ/kg
プラスチック+PET	25,230 kJ/kg
厨芥類	2,251 kJ/kg
繊維くず	17,101 kJ/kg
木竹草類	7,510 kJ/kg
不燃物	0 kJ/kg

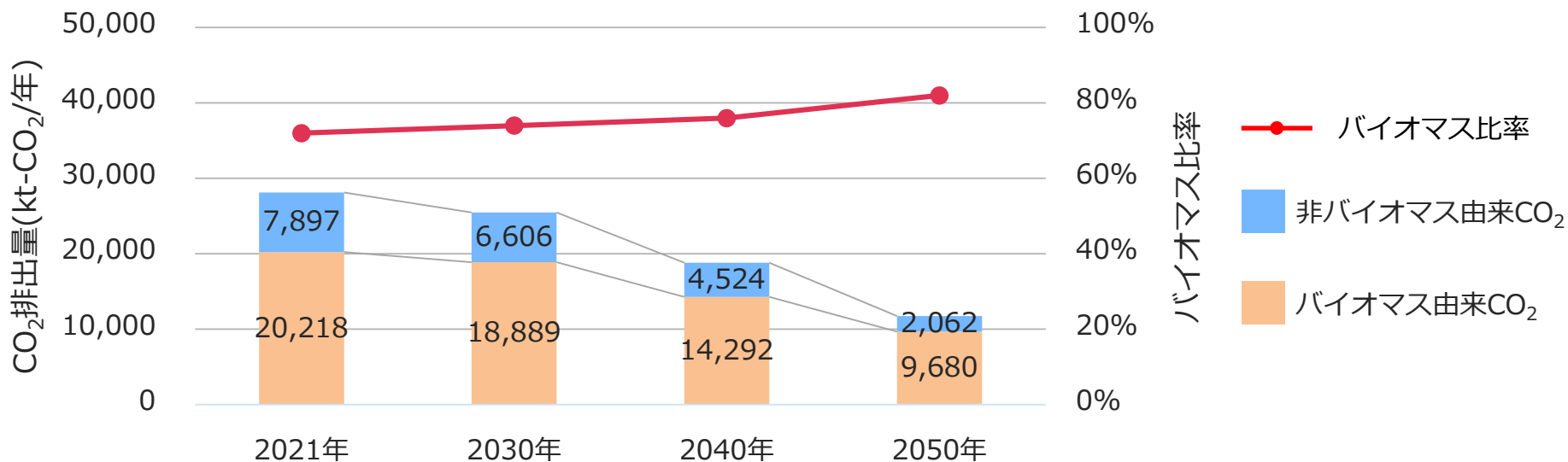
ごみ中のバイオマス炭素割合(バイオマス比率)

- ✓ 各項目のバイオマス炭素割合をもとに、ごみ全体のバイオマス炭素割合(バイオマス比率)を算出。代表例として2050年のバイオ比率は以下の通り。(令和4年度 春の研究討論会「一般廃棄物焼却施設におけるカーボンニュートラルの可能性」より)
- ✓ バイオマスプラスチックの普及により「プラスチック+PET」の炭素分の一部もバイオマスとしてカウントできる可能性はあるが、ここでは「プラスチック+PET」は全て非バイオマスとしている。

項目	割合(湿重量)	焼却炭素量 (t-C/ごみt) ※	バイオマス炭素 割合(%) ※	バイオマス炭素 量(t-C/ごみt)
紙くず	20%	0.0502	94.3%	0.0473
プラスチック+PET	5%	0.0278	0.0%	0.0000
厨芥類	42%	0.0500	100.0%	0.0500
繊維くず	3%	0.0133	75.6%	0.0100
木竹草類	22%	0.0517	100.0%	0.0517
不燃物	8%	0.0000	—	—
合計	—	0.1929	82%	0.159

将来のバイオマス比率・CO₂排出量の推移

前ページに示した方法で各年のバイオマス比率および焼却に伴うCO₂排出量を算出すると下図・下表の通りとなる。



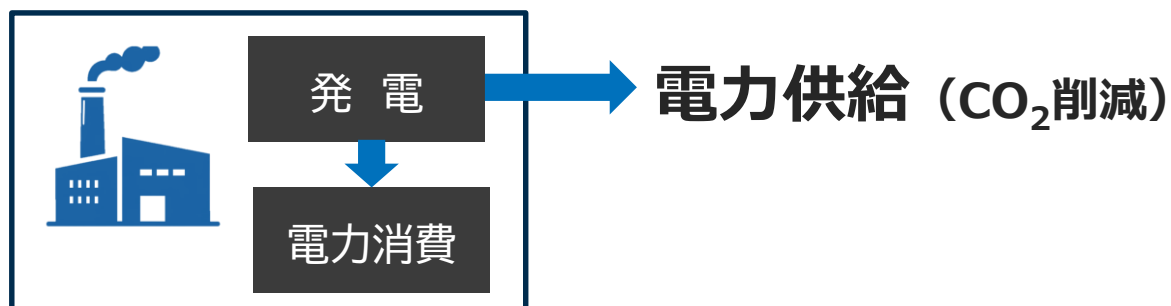
項目	単位	2021年	2030年	2040年	2050年
バイオマス比率	%	72	74	76	82
バイオマス由来	t-CO ₂ /ごみ-t	0.596	0.609	0.601	0.583
非バイオマス由来	t-CO ₂ /ごみ-t	0.233	0.213	0.190	0.124
合計	t-CO ₂ /ごみ-t	0.829	0.822	0.791	0.707

電力および燃料の現状と将来推定

電力および燃料のCO₂削減量・排出量の考え方

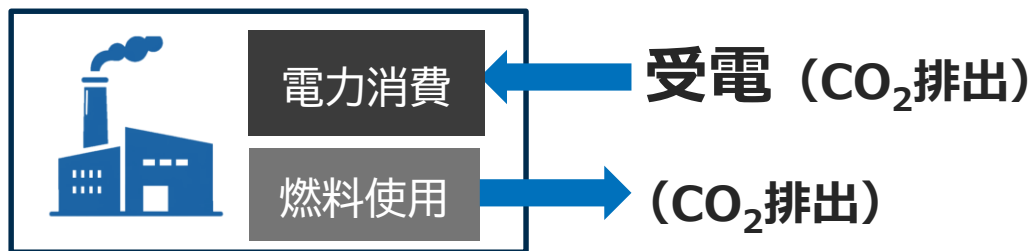
電力供給に伴うCO₂削減量

- ✓ 施設運転時の、電力供給（売電）に伴うCO₂削減量を計上する
- ✓ 電力供給量（売電量） = 発電量 - 消費電力 として計算する



エネルギー消費に伴うCO₂排出量

- ✓ 休炉時等の、受電に伴うCO₂排出量を計上する
- ✓ 燃料使用に伴うCO₂排出量を計上する



発電量・消費電力・電力供給量原単位の現状と将来推定

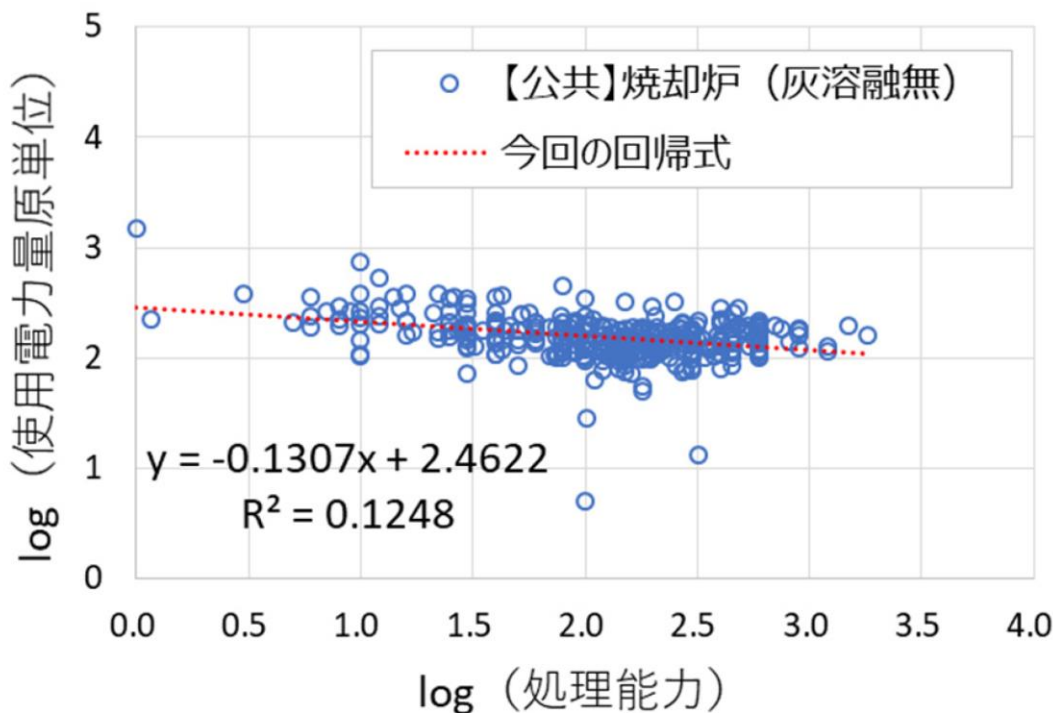
- ✓ 発電効率・消費電力・売電量の**全国平均値**（発電無し施設含む全施設平均）について、施設集約化・大規模化、発電効率の向上が進む前提で以下のように設定。
（具体的な施設更新計画は未検討）
- ✓ 発電効率は、**2050年に向けて直線的に向上**していくと想定。2050年の発電効率は、エネルギー回収率の交付要件（300t/日～450t/日）相当（22%）をベースとして、年間平均の発電効率となるよう1%下げた数値とした。
- ✓ 消費電力原単位は、2030年時点では現状と大きく変わらないと想定。2050年に向けて建屋を無くす等の効果で100kWh/ごみ-tまで下がることを想定。

	発電効率 (%)	発電量原単位 (kWh/ごみ-t)	消費電力原単位 (kWh/ごみ-t)	電力供給量原単位 (kWh/ごみ-t)
2020年	11.6	306	138	122
2030年	15.0	350	135	215
2040年	18.0	395	118	278
2050年	21.0	385	100※	285

電力供給量原単位 = 発電量原単位 - 消費電力原単位（2020年の電力供給量のみ実績値）

消費電力量原単位について

2020年の消費電力原単位は、中長期シナリオで用いられている下のグラフの相関に基づき、代表値として300t/日規模における消費電力原単位を算出し、138kWh/t-ごみを採用。



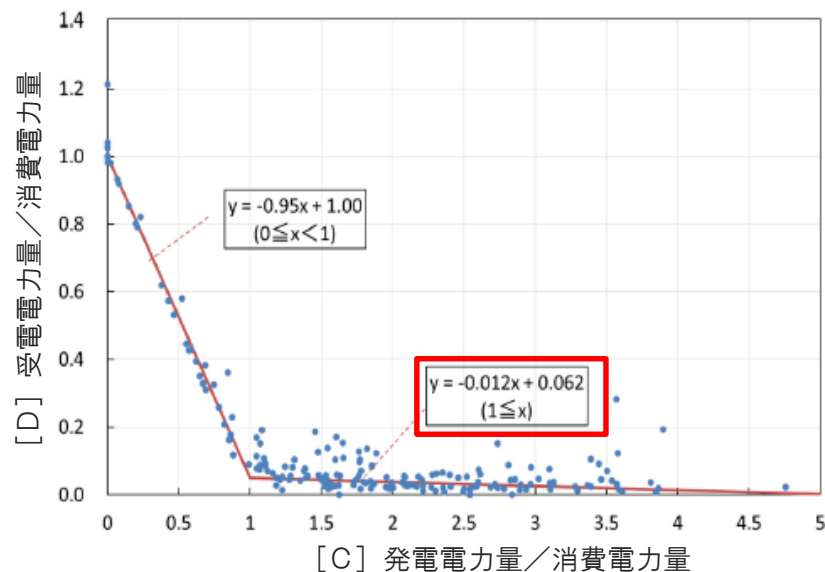
【公共】焼却炉 (灰溶融無)

$$y = -0.1307x + 2.4622$$

施設規模と消費電力量の関係（【公共】焼却炉（灰溶融無））※

受電電力原単位について

- ✓ 中長期シナリオで用いられている右グラフの相関に基づいて、発電量原単位および消費電力原単位から、受電電力原単位を算出。
- ✓ 発電量原単位／消費電力原単位の値 [C] が1より大きいいため、赤枠の式を採用。



発電電力量／消費電力量および受電電力量／消費電力量の関係※

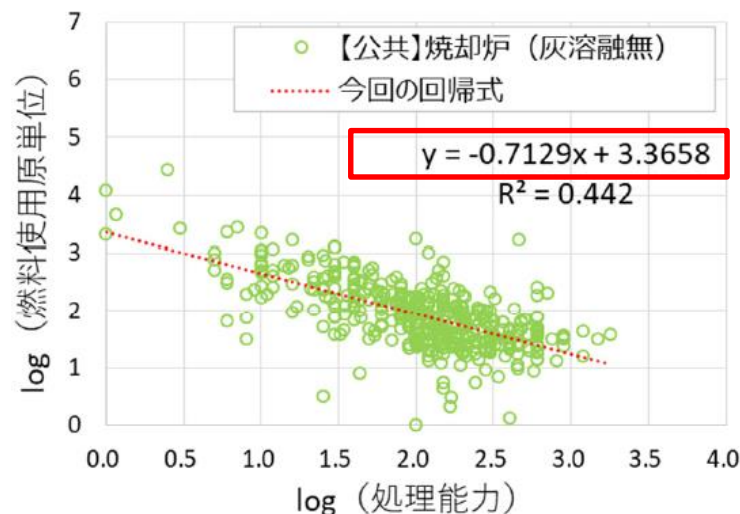
	[A]発電量 原単位 (kWh /ごみ-t)	[B]消費電力 原単位 (kWh /ごみ-t)	[C]発電電力量 /消費電力量	[D]受電電力量 /消費電力量	[E]受電電力 原単位 (kWh /ごみ-t)
2020年	306	138	2.22	0.04	4.89
2030年	350	135	2.59	0.03	4.17
2040年	395	118	3.36	0.02	2.55
2050年	385	100	3.85	0.02	1.58

$$[C] = [A] / [B], [D] = [E] / [B], [E] = (-0.012 * [C] + 0.062) * [B]$$

燃料使用量原単位について

中長期シナリオで用いられている下のグラフの相関に基づき、下表で設定した施設規模から、全国平均としての燃料使用量原単位を算出。

施設規模区分	平均施設規模※ (t/日)	合計規模※ (t/日)	燃料使用量原単位 (MJ/ごみ-t)	
			平均施設規模毎	合計規模割合案分
30t/日以下	10	93	450	2.4
30-50t/日	39	425	170	4.1
50-100t/日	74	1,700	108	10.4
100-300t/日	162	7,474	61.7	26.2
300-600t/日	394	5,515	32.8	10.3
600t/日以上	600	2,400	24.3	3.3
合計	-	17,607	-	56.7



【公共】焼却炉（灰溶融無）
 $y = -0.7129x + 3.3658$

燃料使用量原単位を算出するための推計式※

燃料使用量原単位 = 10^y

$y = -0.7129 * \log(\text{平均施設規模}) + 3.3658$

ケーススタディの前提条件まとめ

ケーススタディの前提条件まとめ

CO₂排出量・削減量を算出するための各設定値をまとめると下表の通りとなる。ケーススタディにおけるベースシナリオは本数値が条件となる。

項目	単位	2013年	2020年	2030年	2040年	2050年
CO₂排出量・削減量算出における共通設定値						
ごみ量	kt/年	34,804	33,269	31,000	23,800	16,600
電力のCO ₂ 排出係数	kg-CO ₂ /kWh	0.587	0.453	0.250	0.125	0.000
CO₂排出量算出における設定値						
ごみ燃焼に伴うCO ₂ 排出係数	t-CO ₂ /ごみ-t	0.310	0.317 (実績値)	0.213	0.190	0.124
受電電力量原単位	kWh/ごみ-t	4.89		4.17	2.55	1.58
燃料使用量原単位	MJ/ごみ-t			56.7		
燃料のCO ₂ 排出係数	t-CO ₂ /GJ	0.063		0.060	0.039	0.000
CO₂削減量算出における設定値						
電力供給量原単位	kWh/ごみ-t	75	122 (実績値)	215	278	285
熱供給量※	GJ/年	3,370,644	2,819,322 (実績値)	3,360,337	3,401,291	3,524,152
熱供給に伴うCO ₂ 排出係数	t-CO ₂ /GJ	0.065		0.062	0.040	0.000

※ 熱供給量について、2050年は2020年実績値の1.25倍に向上、2030・2040年は2050年に向け直線的に向上するものと想定した。