

ごみ焼却発電の市場性とビジネスシナリオ

SCE・Net 神奈川研究会（KSクラブ） 松村 眞

2014年3月19日（予定）岐阜大学柳戸キャンパス

1. ごみ焼却発電の買い取り価格（主に清掃工場）
2. 清掃工場の種類と規模、エネルギー利用形態
3. ごみ焼却の発電方法と発電関連設備
4. ごみ焼却発電の発電効率向上策
5. ごみ焼却発電の発電効率の水準
6. ごみ焼却発電導入の市場性（未発電工場）
7. ごみ焼却発電効率向上の市場性（既発電工場）
8. ごみ焼却発電の導入と効率向上のビジネスシナリオ

1. 再生可能エネルギーの買い取り価格① 税別

太陽光	10kw以上	36円	20年
	10kw未満	36.2円	10年
風力	20kw以上	22円	20年
	20kw未満	55円	20年
水力	1000kw以上3万kw未満	24円	20年
	200kw以上千kw未満	29円	20年
地熱	15,000kw以上	26円	15年
	15,000kw未満	40円	15年
バイオマス	メタン発酵ガス化発電	39円	20年
	未利用木材燃焼発電	32円	20年
	一般木材燃焼発電	24円	20年
	廃棄物(非木材)燃焼発電	17円	20年
	リサイクル木材燃焼発電	13円	13円

表示年数は調達期間です。

200kw未満の水力は34円です(20年)。

廃棄物(非木材)燃焼発電は、従来、電気事業者が10円程度で買い取っていた(個別契約)。

2. 清掃工場の種類とエネルギー利用形態①

清掃工場の種類と能力規模

焼却方式	施設数	処理能力(トン/日)		
		平均	全体	比率(%)
全連続式	658 (54%)	249	163,574	87.8
准連続式	221 (18%)	72	15,889	8.5
バッチ式	332 (28%)	20	6,793	3.7
計	1,211 (100%)	154	186,256	100.0

出典：日本の廃棄物処理、平成23年度版（環境省）

全連続式(24時間稼働)が全処理能力の88%で、工場数では54%

准連続式(16時間稼働)は全処理能力の9%で、工場数では18%

バッチ式(1日8時間以下の稼働)は全処理能力の4%で、工場数では28%

清掃工場には処理能力に大きな差異がある

小規模工場は廃炉と統合化の傾向

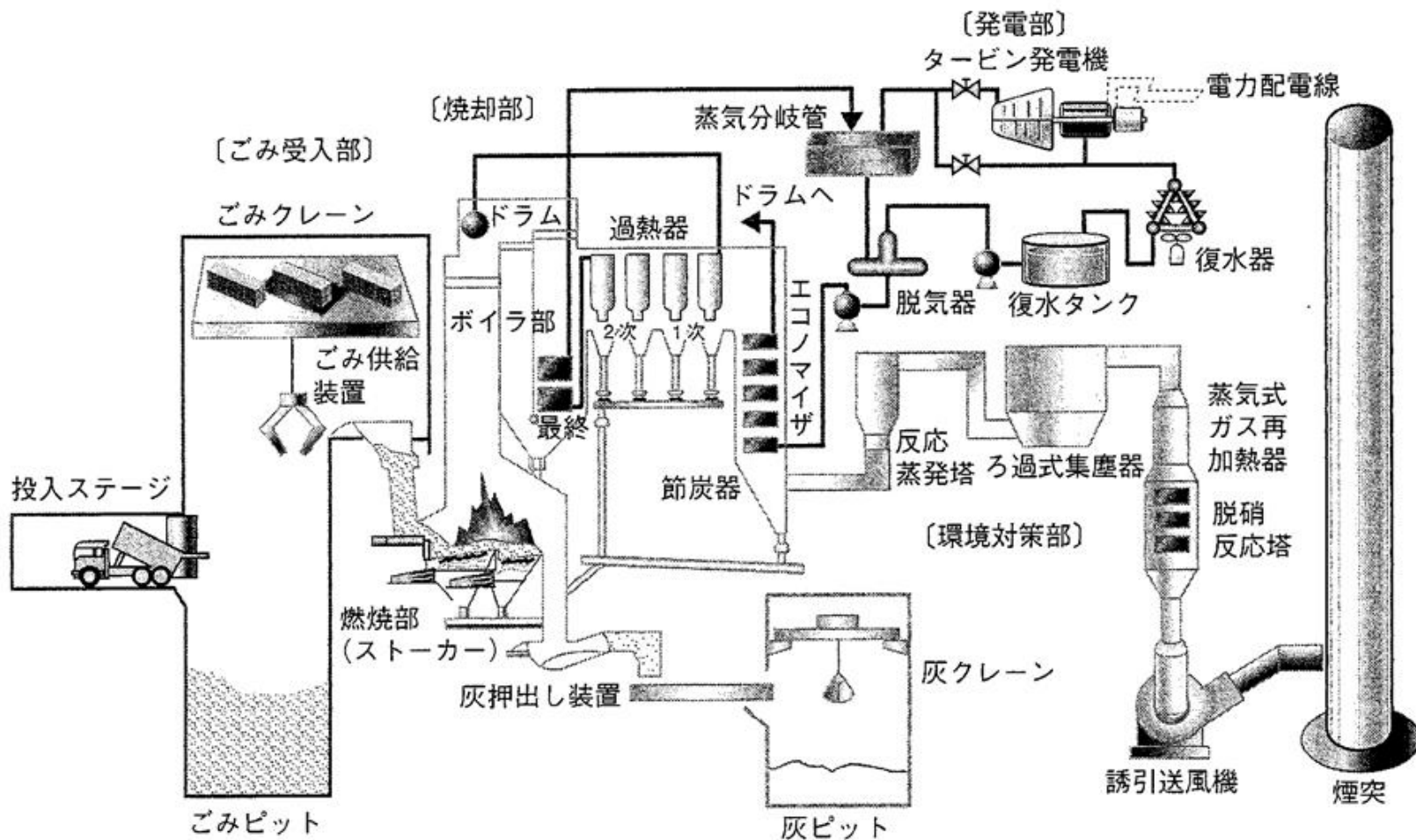
2. 清掃工場の種類とエネルギー利用形態②

全清掃工場		1211		<p>発電しているのは全連続658工場中の314工場とされている。電気事業者に売電しているのは189工場。</p> <p>残る125工場は自家消費専用発と推察される</p>
エネルギー利用なし		420 (35%)		
エネルギー利用あり		791 (65%)	(用途)	
工場内利用	温水	(720)	給湯・暖房	
	蒸気	(246)	給湯・冷暖房	
	電力	(312)	動力・照明	
工場外利用	温水	(233)	給湯・暖房	
	蒸気	(103)	給湯・冷暖房	
	電力	(189)	動力・照明	

注：同一工場の重複利用が含まれている。出典：環境省HP

3. ごみ焼却の発電方法と発電関連設備①

発電関連設備は、ボイラ・過熱器・タービン・発電機・蒸気復水器・冷水塔



4. ごみ焼却発電の発電効率向上策①

分野	課題	内容
ごみ成分改善	水分の低下	清掃工場で焼却しているごみ（一般廃棄物）には、水分が35%~40%含まれている。厨芥ごみをディスポージャーで処理し水分を減らす。
	産業廃棄物の混合焼却	清掃工場はオフィスやレストランなどの事業所から排出するごみも焼却しているが、一部の工場廃棄物（木くず、紙くずなど）も混合焼却する。
焼却設備改善	蒸気の高温化と高圧化	耐腐食性の強い過熱器伝熱管を採用する。最近の伝熱管は4MPa、400°Cまでは耐えられるが、さらに高温高圧を目指す。試験的には500°Cまで可。
	復水器の低温化と低圧化	既設の清掃工場は空冷復水器による復水が多いが、水冷式を採用して凝縮温度を下げ低圧化する。蒸気タービンの圧力落差を大きくする。
	排ガスからの熱回収増大	廃熱ボイラーを出た排ガスの下流に空気予熱器やボイラー給水予熱器を設置して熱回収率を高める。ばいじん対策と低温腐食対策が必要。

4. ごみ焼却発電の発電効率向上策②

<p>焼却設備改善</p>	<p>白煙対策の抑制</p>	<p>清掃工場は煙突から出る水蒸気を見えなくするために、排ガスを灯油や水蒸気を使って再加熱している。視覚的な対策に過ぎないので止める。</p>
<p>優遇施策</p>	<p>焼却発電の義務化</p>	<p>24時間連続稼働の清掃工場には、一定効率以上の焼却発電を義務化する。ドイツを含めて数ヶ国がエネルギー回収の最低基準を規定している。</p>
	<p>電力の購入義務化</p>	<p>電力会社によるごみ発電の購入義務と、購入価格の基準設定。ヨーロッパでは数ヶ国が購入を義務化。また数ヶ国が購入価格の最低基準を設定。 2012年7月から、日本も電気事業者がkW時あたり17円（税別）で買取ることとなった。ただし、プラスチックの寄与分は除く。 従来はプラスチック寄与分も含めて昼間が約11円、夜間は6円程度だった。買取価格が大幅に引き上げられた。</p>

4. ごみ焼却発電の発電効率向上策③

運営体制	ESCO方式の導入	既存の清掃工場を改善する場合は、設備工事事業者が発電効率向上の工事費を負担し、得られる売電増収益で工事費を回収する。工事費はリース会社の提供が多い。 オフィスビルや業務用施設に適用事例が多い。
	PFI（民営）の導入	清掃工場の運営が民間に移管されれば収益インセンティブが強化され、廃棄物発電の拡大が促進される。 アメリカは民営。ドイツは独立採算制。

注1. ESCO : Energy Service Companyの略

注2. PFI : Private Finance Initiative の略

5. ごみ焼却発電の発電効率の水準① 日本と欧米

発電効率別の清掃工場数(日本)

発電効率	清掃工場数
20%以上	15
15%～20%	71
10%～15%	106
5%～10%	84
5%以下	27
平均	11.7

日本で発電効率の低い要因

- ① 公共施設なので売電による収益貢献の意欲が低かった。
- ② 売電単価が安かった。
- ③ 設備費を安くしたかった。

欧州の清掃工場例

発電効率	清掃工場
25%	アムステルダム旧炉 700トン/日×4
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

注1：タービン入り口蒸気温度と圧力
410℃～420℃ 4.2 MP

注2：アメリカも25%以上が多い。

日本も発電効率25%実現可能

6. ごみ焼却発電導入の市場性① 前提条件

1. 全連続式 を対象とし、准連続式と8時間バッチ式は除外する。
2. 発電効率は25%を達成できるものとする。
3. 電力の外販価格は、kWhあたり16円とする。
固定価格は17円だが、一般廃棄物にはプラスチックが約10%混入している。このエネルギー寄与分に相当する約20%には、kWhあたり約12円の電気事業者との契約単価が適用されるからである。
4. 外販可能電力量は、所内需要を除かないごみ発電量の全量とする。
余剰電力だけが外販対象になる可能性があるが、電力会社からの購入単価が、売電単価（16円/kWh）と同等だからである。
5. ごみ発熱量は各工場の開示データを使用。不明の場合は8,800kJ/kg。
6. 清掃工場の潜在発電能力（kW）能力基準は、処理能力（トン／日）を基準に推計する。
7. 潜在発電量（MWh／年）能力基準は、処理能力（トン／日）に対して稼働率を70%として推計する。バッチ式を含む全清掃工場の平均的な稼働率は、現時点で約50%。

6. ごみ焼却発電導入の市場性② 未発電工場

発電設備のない清掃工場に焼却発電を導入する場合の発電量と経済効果

清掃工場の区分	平均処理能力 (t/日)	平均潜在総発電能力/工場 (kW)	潜在総発電量 (MWh/年)	外販期待収入 (千円/年)	
				全体	工場平均
4炉清掃工場 (2)	420.0	10,696	131,167	2,098,675	1,049,338
3炉清掃工 (45)	322.6	8,215	2,266,771	36,268,344	805,963
2炉清掃工 (261)	143.4	3,652	5,843,887	93,502,197	358,246
1炉清掃工 (55)	81.8	2,083	702,369	11,237,902	204,326
合計 (363工場)	157.8	4,018	8,944,194	143,107,118	394,235

6. ごみ焼却発電導入の市場性③ 未発電工場

候補工場	処理能力 (t/日)	炉数	使用開始年度	ごみ発熱量 (kJ/kg)	焼却量 (t/年)	稼働率
①	480	4	1982	7350	96,000	55
②	360	4	1974	7007	38,000	29
③	900	3	1968	11236	164,000	50
④	600	3	1975	11485	65,000	30
⑤	450	3	1976	7085	75,520	46
⑥	450	3	1986	9380	62,000	38
⑦	450	3	1973	6045	80,890	49
⑧	450	3	1973	7977	99,168	60
⑨	450	3	1980		30,240	18
⑩	300	3	1983			
⑪	300	3	1984	9043	39,173	36

6. ごみ焼却発電導入の市場性④ 未発電工場

候補工場	処理能力 (t/日)	炉数	潜在発電 能力 (kW)	潜在発電量 (MWh/年)	外販期待収入 千円/年	現電力購入量 (MWh/年)
①	480	4	12,223	74,953	1,199,242	15,564
②	360	4	9,167	56,214	899,432	7,380
③	900	3	22,919	140,536	2,248,580	19,268
④	600	3	15,279	93,691	1,499,053	6,324
⑤	450	3	11,459	70,268	1,124,290	6,065
⑥	450	3	11,459	70,268	1,124,290	9,344
⑦	450	3	11,459	70,268	1,124,290	8,153
⑧	450	3	11,459	70,268	1,124,290	9,849
⑨	450	3	11,459	70,268	1,124,290	7,913
⑩	300	3	7,640	46,845	749,526	
⑪	300	3	7,640	46,845	749,526	4,630

6. ごみ焼却発電導入の市場性⑤ 未発電工場

未発電清掃工場に焼却発電を導入した場合のまとめ

- ① 稼働率が70%でごみ発熱量が8,800 (kJ/kg) なら、処理能力トン/日あたり年間250万円の収入が得られる。
- ② 焼却量から逆算すると実稼働率は設計時よりかなり低い。このため、今後も焼却量が現状通りなら、実稼働率に比例した修正評価が必要である。
- ③ ごみの発熱量は各工場によって異なるので、稼働率による修正に加えて、各工場のごみ発熱量に比例した修正評価が必要。
- ④ 各工場の期待収入は、300トン/日の処理量で年間約7.5億円。したがって、ごみ焼却発電の設備資金を約7年で回収するとすれば、約50億円程度の設備投資が可能である。

7. ごみ焼却発電導入の市場性① 既発電工場

発電設備保有工場と発電設備非保有工場の処理能力の違い

発電設備保有工場		発電設備非保有工場（参考）	
清掃工場の区分	平均処理能力	清掃工場の区分	平均処理能力
4炉清掃工場（2）	638	4炉清掃工場（2）	420
3炉清掃工場（121）	455	3炉清掃工場（45）	323
2炉清掃工場（155）	302	2炉清掃工場（261）	143
1炉清掃工場（25）	206	1炉清掃工場（55）	82
合計（303工場）	361	合計（363工場）	158

7. ごみ焼却発電導入の市場性② 既発電工場

実績基準の増加発電量と増加外販期待収入額
 (発電効率が現状から25%に向上した場合)

清掃工場の区分	増加発電量 (MWh/年)	増加外販 期待収入 (千円/年)	増加外販 期待収入 (千円/年/工場)
4炉清掃工場 (2)	66,160	1,058,569	529,285
3炉清掃工場 (121)	3,615,139	57,842,231	478,035
2炉清掃工場 (155)	3,381,402	54,102,432	349,048
1炉清掃工場 (25)	374,030	5,984,484	239,379
合計 (303工場)	7,370,571	118,987,716	395,709

7. ごみ焼却発電導入の市場性③ 既発電工場

能力基準の増加発電量と増加外販期待収入額
 (発電効率が現状から25%に向上した場合)

清掃工場の区分	増加発電量 (MWh/年)	増加外販 期待収入 (千円/年)	増加外販 期待収入 (千円/年/工場)
4炉清掃工場 (2)	73,347	1,173,566	586,783
3炉清掃工場 (121)	4,479,913	71,678,608	592,386
2炉清掃工場 (155)	3,854,672	61,674,765	397,902
1炉清掃工場 (25)	443,647	7,098,358	283,934
合計 (303工場)	8,851,579	141,625,297	472,084

7. ごみ焼却発電導入の市場性④ 既発電工場

総発電可能量、総外販期待収入額/年、増加発電能力（発電効率25%）
 現状の発電量を含む**潜在発電ポテンシャル（処理能力基準）**

清掃工場の区分	総発電能力 (kW)	総発電 可能量 (MWh/年)	総外販 期待収入 (千円/年)	総外販 期待収入 (千円/年/工場)
4炉清掃工場 (2)	36,128	221,542	3,544,674	1,772,337
3炉清掃工場 (121)	1,488,920	9,130,059	146,080,949	1,207,280
2炉清掃工場 (155)	1,243,429	7,624,706	121,995,304	787,066
1炉清掃工場 (25)	142,099	871,349	13,941,587	557,663
合計 (303工場)	2,910,576	17,847,656	285,562,514	951,875

現状の発電状況は、発電ポテンシャルの約50%から70%（能力基準）
 発電効率が25%になれば、年間で約1400億円の収入増加を期待できる。

7. ごみ焼却発電導入の市場性⑤ 既発電工場 事例

候補工場	処理能力	炉数	使用開始年度	焼却量 トン/年	稼働率	現在の発電状況			
						発電効率 %	発電能力 kW	発電量 MWh/年	場外供給 電力量 MWh/年
①	1800	3	1998	353,845	54	12.0	50,000	150,026	87,142
②	600	2	1981	163,000	74	3.2	3,500	17,476	
③	300	3	1993	87,000	79	4.0	3,600	20,536	3,101
④	435	3	1992	97,000	61	2.7	1,500	10,020	
⑤	1200	3	1995	255,108	58	14.0	22,000	105,758	73367
⑥	900	3	1995	180,000	55	9.0	12,500	39,222	20,863
⑦	1200	3	1984	151,225	34	14.0	12,000	88,111	63,274
⑧	600	2	1980	110,000	50	5.5	3,000	18,942	
⑨	450	3	1982	104,000	63	3.9	1,450	12,145	1,581
⑩	280	2	1992	78,000	76	8.1	4,960	30,480	14,794

7. ごみ焼却発電導入の市場性⑥ 既発電工場 事例

候補工場	能力基準					実績基準	
	総発電可能量 MWh/年	総外販期待収入額 千円/年	増加量			増加量	
			発電効率%	発電量 MWh/年	外販期待収入： 千円/年	発電量 MWh/年	外販期待収入： 千円/年
①	383,344	6,133,512	13.0	199,339	3,189,426	162,528	2,600,451
②	129,996	2,079,936	21.8	113,252	1,812,040	118,207	1,891,316
③	50,752	812,043	21.0	42,632	682,116	107,814	1,725,024
④	76,802	1,228,840	22.3	68,661	1,098,583	84,508	1,352,133
⑤	203,927	3,262,826	11.0	89,728	1,435,643	83,096	1,329,529
⑥	140,536	2,248,580	16.0	89,943	1,439,091	69,728	1,115,648
⑦	208,249	3,331,987	11.0	91,630	1,466,074	69,230	1,107,681
⑧	99,387	1,590,189	19.5	77,681	1,242,892	67,789	1,084,620
⑨	70,268	1,124,290	21.1	59,306	948,901	65,709	1,051,338
⑩	41,412	662,593	16.9	27,994	447,913	63,594	1,017,505

7. ごみ焼却発電導入の市場性⑦ 既発電工場 事例

既発電清掃工場に焼却発電を導入した場合のまとめ

- ①実績基準で、303工場のうち10工場が年間10億円を超える収入の増加を期待できる。したがって、必要な改造資金を7年で回収するとすれば、10工場は70億円程度の設備投資が可能である。
- ②実績基準で、303工場のうち90工場が年間5億円を超える収入の増加を期待できる。したがって、必要な改造資金を7年で回収するとすれば、90工場は35億円程度の設備投資が可能である。
- ③現在の排熱利用形態をみると、近隣の施設に温水や蒸気を供給している場合が多く、そのために発電を抑制している可能性がある。地域熱供給は排熱を市場商品と考えず、通常は市場価格が採用されていない。地域熱供給よりも、発電量を最大化して売電する方が収益性に優れている。需要の季節変動がなく市場価格で販売できるからである。

8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ① F/S-1

フイージビリティスタディ(F/S)の実施

Step. 1

清掃工場
の選定

新たに発電設備を導入する場合の優先配慮事項

- ・ 現在のごみ焼却量、および将来の焼却量が多い。
- ・ 保有焼却炉の炉数が多い。
- ・ 焼却炉を含む設備の残存耐用年数が長い。
- ・ 近い将来の統配合の可能性が低い。
- ・ 海に近い（海水を冷却水に使える可能性が大きい）。
- ・ 清掃工場の排熱利用を前提とする近隣施設が少ない。

既に発電設備を保有している場合の優先事項

- ・ 現在の発電効率が低い。
- ・ 他の配慮事項は新規導入と同じ。

8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ② F/S-2

<p>Step. 2</p> <p>現状の 確認</p>	<p><u>新たに発電設備を導入する場合の確認事項</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ごみ焼却量（年間）、ごみ熱量（季節変動を含む）。 ・ 工場内および工場外の排熱利用状況（用途と使用量）。 <p><u>既に発電設備を保有している場合の確認事項</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 発電量および発電効率（年間）。 ・ 発電電力の工場内利用状況（用途・使用量）。 ・ 発電電力の外部売電状況（売電価格、売電量） ・ 新たに発電設備を導入する場合と同じ事項。 <p><u>設備の状況</u> : 発電設備の導入、または発電効率向上の工事費積算に必要な現状調査（焼却炉、ボイラー、過熱器、排ガス処理設備、蒸気関連設備、冷却水関連設備など）</p>
----------------------------------	---

8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ③ F/S-3

<p>Step. 3</p> <p>発電量の予測と 工事費の積算</p>	<p><u>発電量の予測</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・新たに発電設備を導入する場合も、既に発電設備を保有している場合も、設備の現状から目標発電効率を設定。 ・25%を含む複数の目標設定が望ましい。 <p><u>工事費の見積もり</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・設定した発電効率の達成に必要な設備改善設計を行い、工事費を見積もる。
<p>Step. 4</p> <p>費用対効果の算定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・新たに発電設備を導入する場合は得られる発電量、既に発電設備を保有している場合は、発電効率の向上で得られる増加発電量から増収益を推計する。 ・この増収益と必要な工事費から、費用対効果やキャッシュフローを算定し、採用する発電効率の目標と工事内容を確定させる。

8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ④ ファイナンス1

ESCOスキーム：ESCO（Energy Service Company）事業

- ① エネルギー診断にもとづく省エネルギー対策の提案。
- ② 提案実現のための省エネルギー対策工事に必要な設計と施工。
- ③ 導入設備の保守、運転管理。
- ④ 設備と工事の資金提供調整。
- ⑥ 省エネルギー効果の保証。
- ⑦ 省エネルギー効果の計測と検証。
- ⑧ 計測と検証にもとづく改善提案。

ESCO事業の特徴は、省エネルギー対策工事に必要なすべての費用（設備工事費、金利、経費など）を、省エネルギー改修で得られる契約期間中の光熱水費の節減分で賄うことにある。契約期間終了後の節減分は顧客の利益になる。顧客への利益保証は、計画、設計、施工、運転、維持管理まで、すべての工程をESCO事業者が責任をもって請負うことで実現する。

8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ⑤ ファイナンス2

ESCO事業の契約形態

項目	契約方式 ギャランティード・セイビングス契約	契約方式 シェアード・セイビングス契約
資金フロー	<p>The diagram for GSC shows three entities: Customer (顧客), ESCO, and Financial Institution (金融機関). <ul style="list-style-type: none"> Customer pays 'Energy Payment' (エネルギー料金) to ESCO. ESCO pays 'Savings' (節約) to Customer. Customer provides 'Financing' (融資) to ESCO. ESCO provides 'Leasing' (リース) to Customer. Customer repays 'Debt' (債務返済) to the Financial Institution. The Financial Institution provides 'Financing/Leasing' (融資・リース) to the Customer. </p>	<p>The diagram for SSC shows three entities: Customer (顧客), ESCO, and Financial Institution (金融機関). <ul style="list-style-type: none"> Customer pays 'Energy Payment' (エネルギー料金) to ESCO. ESCO pays 'Savings' (節約) to Customer. Customer provides 'Financing' (融資) to ESCO. ESCO provides 'Leasing' (リース) to Customer. Customer repays 'Debt' (債務返済) to the Financial Institution. The Financial Institution provides 'Financing/Leasing' (融資・リース) to the Customer. ESCO provides 'Share of Savings' (節約分) to the Financial Institution. </p>
省エネルギー改修工事の資金調達者	顧客	ESCO事業者
省エネルギー設備の所有者	顧客 (リースの場合は金融機関)	ESCO事業者 (リースの場合は金融機関)

出典：ESCO事業推進協議会資料

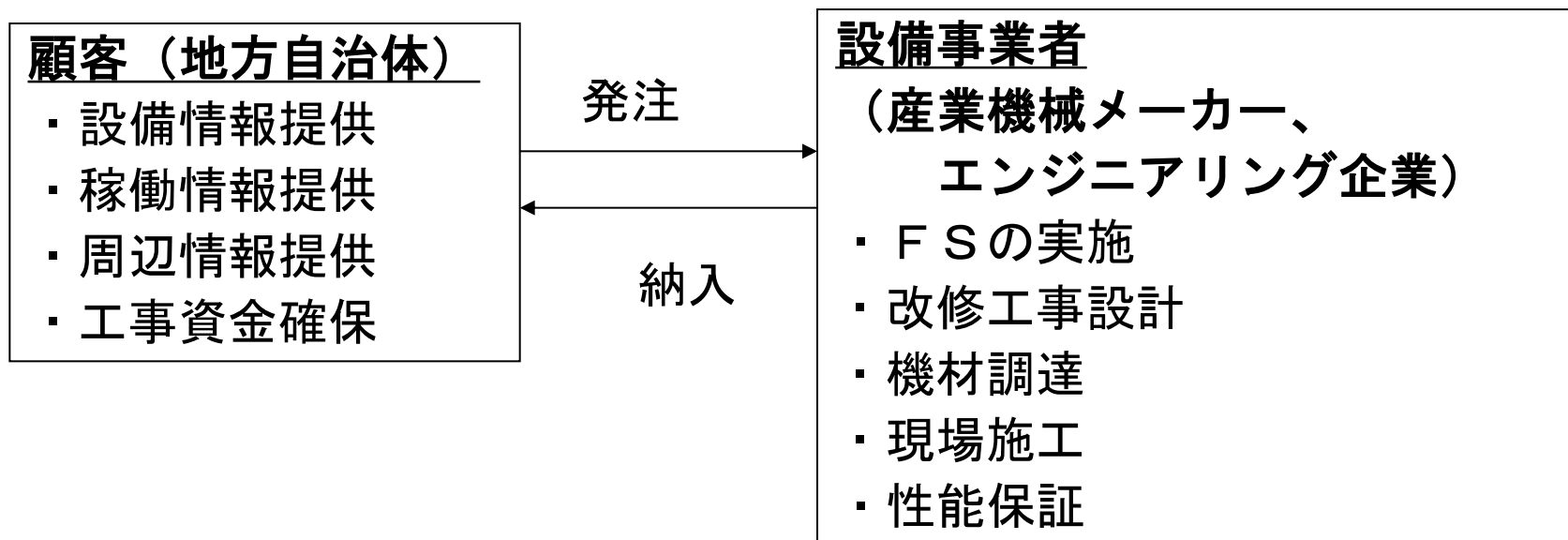
8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ⑥ファイナンス-3

レベニュー債

- ・ 国や地方自治体などの資金調達方法の一つ。
- ・ 事業の目的別に発行。浄水場を整備する資金なら浄水場債が発行され、市立病院なら市立病院債が発行される。
- ・ 資金の用途が特定化され、償還原資も同時に特定化される。
- ・ 公営事業でも自治体に債務保証がないので、事業の成否見通しに投資家の厳しいチェックがある。
- ・ アメリカでは普及、日本の地方債制度では認められていない。
- ・ 今後の動向として、近い将来に利用可能なファイナンススキームになる可能性がある。

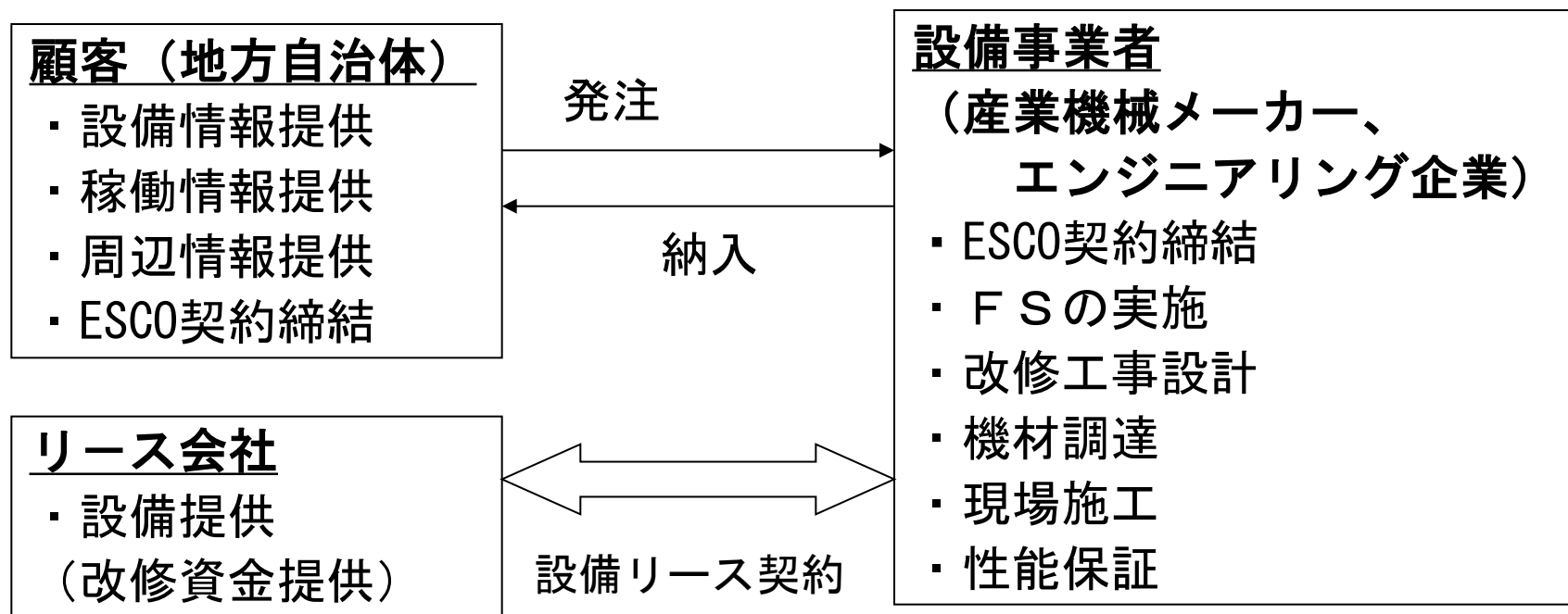
8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ⑦ シナリオ1

シナリオ1：設備事業者が顧客から直接受注する形態



8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ⑧ シナリオ2

シナリオ2：設備事業者がESCO事業者になり、シェアード・セイビング契約のESCOスキームで改造工事を受注する形態



8. ごみ焼却発電のビジネスシナリオ⑨ シナリオ3

シナリオ3：ESCO事業者が顧客から受注し、必要な工事を別の設備事業者が発注する方式。

