

1. 実証研究結果

1.1 実証研究概要

(1) 実証研究

1) 研究名称

メタン精製装置と吸蔵容器を用いた集約の実用化に関する技術実証研究

2) 実施者

JNC エンジニアリング(株)・吸着技術工業(株)・(株)九電工・シンコー(株)・山鹿都市ガス(株)・公立大学法人熊本県立大学・大津町・益城町・山鹿市
共同研究体

3) 実施期間

平成 27 年 8 月 25 日～平成 28 年 3 月 29 日

平成 29 年 1 月 12 日～平成 29 年 3 月 29 日

平成 29 年 8 月 1 日～平成 30 年 3 月 26 日

平成 30 年 6 月 30 日～平成 31 年 3 月 27 日

4) 実施場所

実証施設設置場所：

・大津町浄化センター（熊本県菊池郡大津町大字陣内 1523）

・益城町浄化センター（熊本県上益城郡益城町馬水 1194-2）

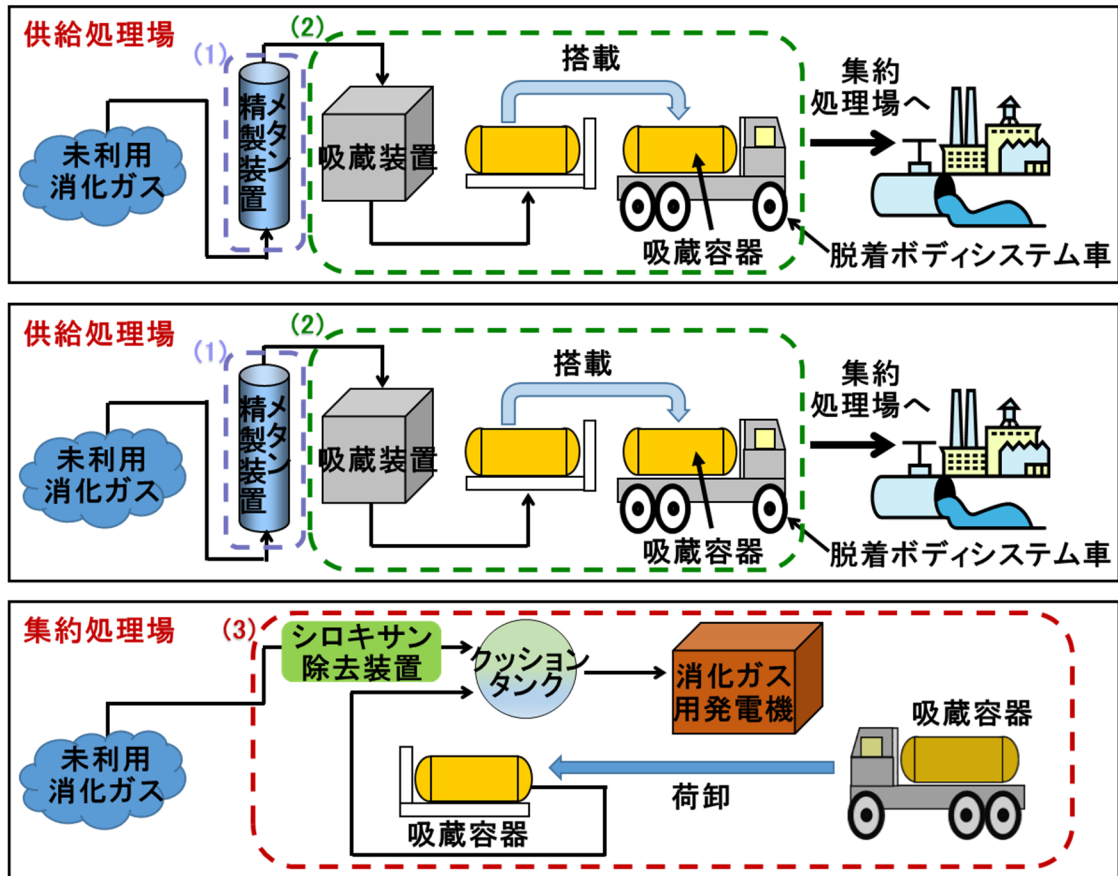
・山鹿浄水センター（熊本県山鹿市山鹿 2057）

5) 実証施設フロー

実証施設の概略フローを図資 1-1 に示す。

6) 実証項目

実証項目を表資 1-1 及び表資 1-2 に示す。



図資 1-1 実証施設の概略フロー

表資 1-1 実証項目

	実証項目	内 容	成果目標
①	メタン回収率向上確認試験	脱着工程初期のオフガスをリサイクルガスとして回収し、投入ガスと混合することにより、メタン回収率の上昇が図られることを確認する。	メタン回収率の目標値を達成する。リサイクルタイム等運転条件を調整することにより、メタンガス精製濃度 (90vol%) 及びメタン回収率 (90%) を達成する。
②	メタン精製装置定格運転	メタン精製装置を定格にて運転する。	定格運転において、メタンガス精製濃度 (90vol%) 及びメタン回収率 (90%) を達成する。
③	季節による条件変動確認試験	消化ガス発生量・ボイラ使用量・気象条件等の季節変化による影響の確認。	季節毎の原料ガス変動によるメタン精製装置性能、圧縮装置性能及び気象条件による吸蔵への影響が無いことを確認する。
④	長期間連続運転試験	長期間メタン精製から発電まで連続運転を行う。	安定してメタン精製・吸蔵・運搬・発電の運転を行うこと。運転スケジュールの確認・最適化。既設設備への影響が無いこと。
⑤	負荷変動試験	条件 (100%/80%/60%) を3ケース設定し、それぞれの負荷において装置の運転を行う。	性能確認及び消費電力の測定等、評価するに必要な項目別データを取得する。
⑥	吸蔵最適化試験	吸蔵ガス冷却部温度-10℃にて吸蔵操作を行い、圧力 (吸蔵量) と消費電力の関係を把握する	システム全体を見た上で総合的に最も経済的な吸蔵量を確認し、事業性評価に反映する。(必要な吸蔵容器の大きさ、運転スケジュール、消費電力等)
⑦	オフガス濃度変更試験	メタン精製装置オフガス濃度を 20vol%メタンとして運転する。	問題なく調整できること。精製ガス濃度が発電機要求仕様を満足すること。連続運転可能なこと。
⑧	発電機供給ガス濃度変更試験	集約処理場の精製ガスと供給処理場からの供給ガスのメタン濃度を変えて発電を行い、その影響を確認する。	メタン精製装置を導入しない場合、設定濃度への調整、発電機の安定性 (電圧、周波数等) を確認し、メタン精製装置の必要性を判断する。

表資 1-2 採算性向上のための実証項目

実証項目	内 容	成果目標	効 果
吸蔵容器 吸蔵剤改良	吸蔵剤の嵩密度を上げ、吸蔵量の測定をラボ試験にて行う。	現行品よりも吸蔵量の増加を目指す。	吸蔵容器自体の容量を小さくでき、その分容器にかかる費用が削減できる。
メタン精製方式 変更試験	VPSA(真 空 式 PSA) を PSA(常圧式)に変更し模擬ガスによる試験をラボ試験にて行い、データを取得する。	精製ガスメタン濃度 90vol%以上、且つ脱着ガスのメタン濃度が 20vol%程度となることを目指す。	メタン精製装置の小型化が見込め、装置自体のコストダウンができる。 また、精製ガス圧が高くなるので吸蔵が容易になり、吸蔵装置の費用の削減ができる。
吸蔵容器真空引き だし試験	ラボ試験にて、メタンを吸着させた後の吸蔵剤を真空ポンプを用いて大気圧から真空まで引き抜き、引き出せたメタンガス量を計測する。	大気圧から真空間での吸蔵量のデータを得る。	吸蔵容器自体の容量を小さくでき、その分容器にかかる費用が削減できる。

1.2 実証研究の成果

(1) 実証試験結果

1) メタン回収率向上確認試験(実証項目①)

各処理場においてメタン回収率向上確認試験を行った。

本試験において、オフガス（脱着初期のメタンリッチ状態）をリサイクルガスとして吸着塔に戻す操作を行い、メタンガスの回収率の向上を図った。メタン回収率向上試験結果を以下の表資 1-3 に示す。

益城町及び大津町の結果は、目標値である精製ガスのメタン濃度 90vol%以上かつメタン回収率 90%以上を達成した。なお、山鹿市のガスが達成できなかった理由は、山鹿市の消化ガス組成が特殊であったためであり、そのため山鹿市のデータは参考扱いとし、益城町及び大津町でのデータをもとに評価を行うこととした。精製ガスのシロキサン濃度については、益城町では検出下限値となっている。また大津町・山鹿市では入口に比べて 85%以上除去していることを確認した。

表資 1-3 メタン回収率向上試験結果

	各流量			各メタン濃度			回収率	消費電力	データ取得日
	入口	メタン精製	脱着	入口	メタン精製	脱着			
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	vol%	vol%	vol%			
益城町	27.8	21.3	6.4	72.4	90.9	11.1	96.4	4.0	2018/1/25
大津町	11.7	6.1	5.6	51.9	90.3	10.3	90.5	2.4	2017/10/13
山鹿市	8.2	7.3	0.8	81.7	86.8	36.8	95.4	2.4	2017/10/13

2) メタン精製装置定格運転(実証項目②)

各処理場においてメタン精製装置定格運転を行った。

本試験において、定格運転の定義を各処理場で発生する未利用消化ガスを、すべて1日で処理することを想定した場合の運転とし、各処理場における定格運転に相当する流量にてメタン精製装置運転を行った。メタン精製装置定格運転結果を以下の表資 1-4 に示す。

益城町及び大津町ともに定格運転においても、精製ガスのメタン濃度は目標値である 90vol%以上、かつメタン回収率 90%以上を達成した。

表資 1-4 メタン精製装置定格運転結果

	各流量			各メタン濃度			回収率	消費電力	データ取得日
	入口	メタン精製	脱着	入口	メタン精製	脱着			
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	vol%	vol%	vol%			
益城町	30.4	22.3	8.0	73.5	92.4	21.0	92.5	4.1	2018/1/26
大津町	13.2	7.1	6.1	53.0	91.5	8.5	92.6	2.6	2017/10/17
山鹿市	12.0	10.8	1.2	81.0	85.0	46.4	94.1	2.5	2017/10/19

3) 季節による条件変動確認試験(実証項目③)

4) 長時間連続運転試験(実証項目④)

大津町浄化センター及び益城町浄化センターにて季節による条件変動確認試験及び長時間連続運転試験を行った。本試験では1年を春夏秋冬の四季に分け各季節毎にメタン精製装置の性能を確認するとともに、発電機の発電量の計測を行った。春期冬期は気温の低下の影響を受け施設側からの消化ガス発生量が低下していたため処理流量が落ちているが四季を通してメタン精製装置の性能は良好な状態で維持されている。またシロキサンについても確実に除去がされていることが確認できた。

発電量も四季を通して問題なく発電が行われていることが確認できた。発電量にばらつきがあるのは、ガス発生量と発電機の容量のバランスが取れていなかったためであり、ガス量と容量があった春季がとりわけ良好な結果となっている。

春季に運転した場合は1台当たりのガス量が 3.6～4.9m³/h で、発電力量/ガス量比が 1.5～2.6、平均 2.3 に対し、夏季以降に運転した場合は1台当たりのガス量が 2.2～2.9m³/h で、発電力量/ガス量比が 1.5～2.1、平均 1.9 となった。このことより、発電機 BG30A の場合、発電効率を良くするためには1台当たり 3.6m³/h 以上のガス量が必要であると推測される。

結果を表資 1-5、1-6 に示す。

表資 1-5 季節による条件変動確認試験、長時間連続運転試験結果

		入口 ガスメタン 濃度	精製ガス メタン 濃度	回収率	入口 ガス量	精製 ガス量	シロキサン 濃度
		(vol%)	(vol%)	(%)	(m³/h)	(m³/h)	(ppm)
春期試験	大津町	35.9	89.3	14.0	6.38	0.35	<0.0012
	益城町	54.1	90.2	91.5	13.26	7.28	<0.0014
夏期試験	大津町	60.5	95.3	91.1	10.65	6.16	<0.0012
	益城町	53.4	93.7	95.5	21.42	11.65	<0.0012
秋期試験	大津町	58.9	92.4	90.0	10.48	6.01	<0.0012
	益城町	53.3	93.5	91.6	20.91	10.92	<0.0012
冬期試験	大津町	50.0	97.7	93.6	9.74	4.67	<0.0012
	益城町	56.2	96.6	97.5	14.83	8.41	<0.0012

表資 1-6 季節による条件変動確認試験、長時間連続運転試験結果

期	日付	延べ 発電時間 [h:m]	延べ 発電量 [kWh]	消費 ガス量 [m³]	期	日付	延べ 発電時間 [h:m]	延べ 発電量 [kWh]	消費 ガス量 [m³]
春	5/28	6:28	121	50.2	秋	10/29	-	-	-
	5/29	3:58	87	37.7		10/30	8:27	127	70.9
	5/30	4:26	94	43.2		10/31	7:03	95	50.3
	5/31	6:12	158	60.9		11/1	6:01	83	40.4
	6/1	6:21	151	58.1		11/2	8:23	116	71.0
	計	27:27	611	250.0		計	29:54	421	232.6
夏	8/27	3:18	59	23.8	冬	1/21	4:19	65	35.4
	8/28	6:52	86	56.4		1/22	4:17	68	34.6
	8/29	8:08	101	69.1		1/23	6:30	109	52.4
	8/30	8:42	124	75.1		1/24	5:51	82	38.3
	8/31	7:48	127	66.2		1/25	5:36	80	38.3
	計	34:50	497	290.7		計	26:33	404	160.7

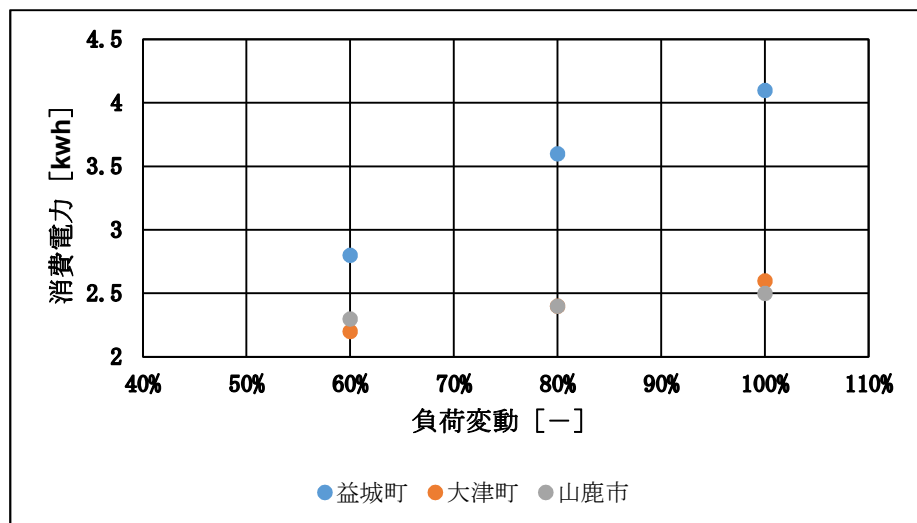
5) 負荷変動試験(実証項目⑤)

今回設置したメタン精製装置の入口流量を意図的に変動させて、負荷の変動に対する安定性の確認を行った。本試験において、1.2 2)に示したメタン精製装置定格運転試験の結果を 100%として、負荷条件を 3 ケース設定 (100%/80%/60%)し、それぞれの負荷(流量)において装置の運転を行った。負荷変動試験結果を以下の表資 1-7 に示す。負荷(流量)を変動させることで消費電力が変動した。消費電力と負荷変動率は図資 1-2 に示す通り相関性がみられ、負荷変動と消費電力には比例関係であることが確認できた。

試験により、精製ガスのメタン濃度 90vol%程度かつメタン回収率 90%程度を達成し、負荷変動(量的変動)に対する装置の安定性を確認できた。この結果をフィージビリティスタディ (FS) の消費電力の関係に使用する。

表資 1-7 負荷変動試験結果

		各流量			各メタン濃度			回収率 %	消費電力 kwh
		入口	メタン精製	脱着	入口	メタン精製	脱着		
		m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	vol%	vol%	vol%		
益城町	100%	30.4	22.3	8.0	73.5	92.4	21.0	92.5	4.1
	80%	23.8	17.3	6.5	73.9	90.1	30.7	88.7	3.6
	60%	16.3	11.8	4.5	73.9	91.7	27.3	89.8	2.8
大津町	100%	13.2	7.1	6.1	53.0	91.5	8.5	92.6	2.6
	80%	11.7	6.1	5.6	51.9	90.3	10.3	90.5	2.4
	60%	8.3	4.4	3.9	52.3	92.6	6.9	93.8	2.2
山鹿市	100%	12.0	10.8	1.2	81.0	85.0	46.4	94.1	2.5
	80%	8.2	7.3	0.8	81.7	86.8	36.8	95.4	2.4
	60%	6.5	6.1	0.5	80.1	85.0	17.2	98.4	2.3



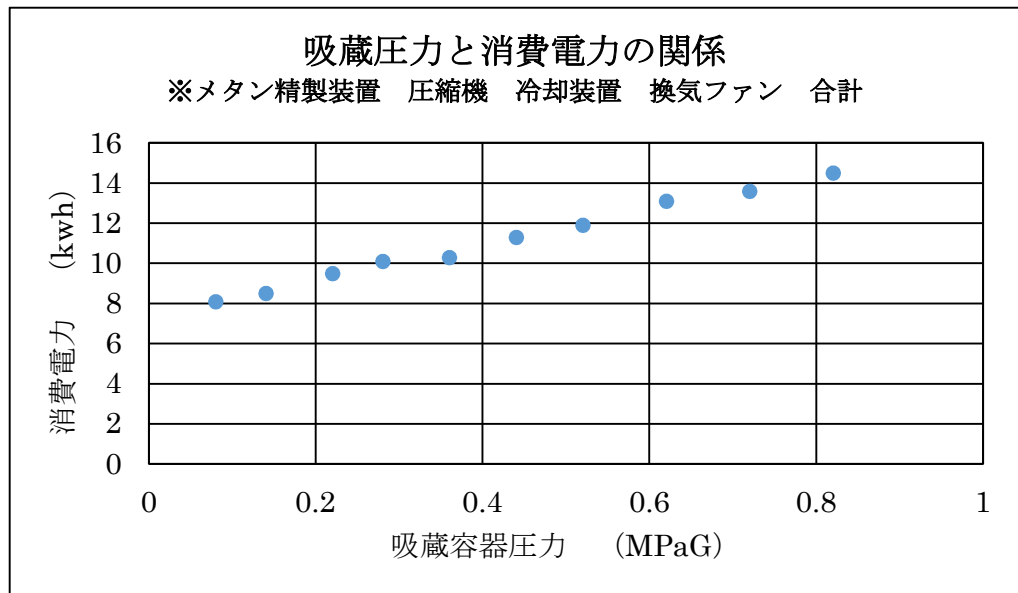
図資 1-2 負荷変動と消費電力の関係

6) 吸蔵最適化試験(実証項目⑥)

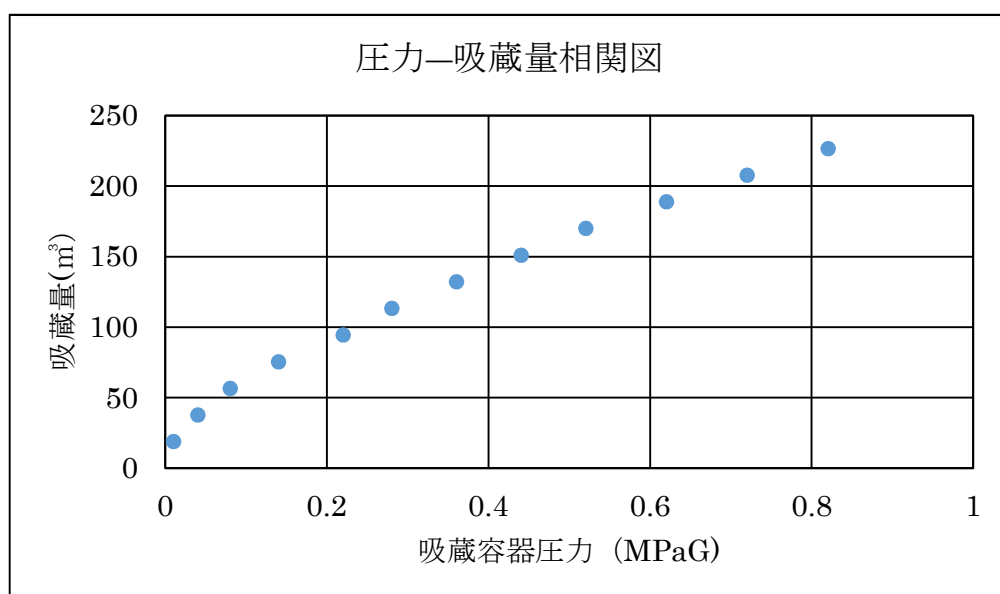
益城町浄化センターにて吸蔵最適化試験を行った。

本試験において、吸蔵ガス冷却部温度-10℃にて吸蔵容器に満充填まで吸蔵操作を行い、圧力（吸蔵量）と消費電力の経時変化データを取得し、経時変化より算出した推定吸蔵量より圧力と吸蔵量の相関図を得た。吸蔵最適化試験結果を以下の図資 1-3, 1-4, 1-5 に示す。

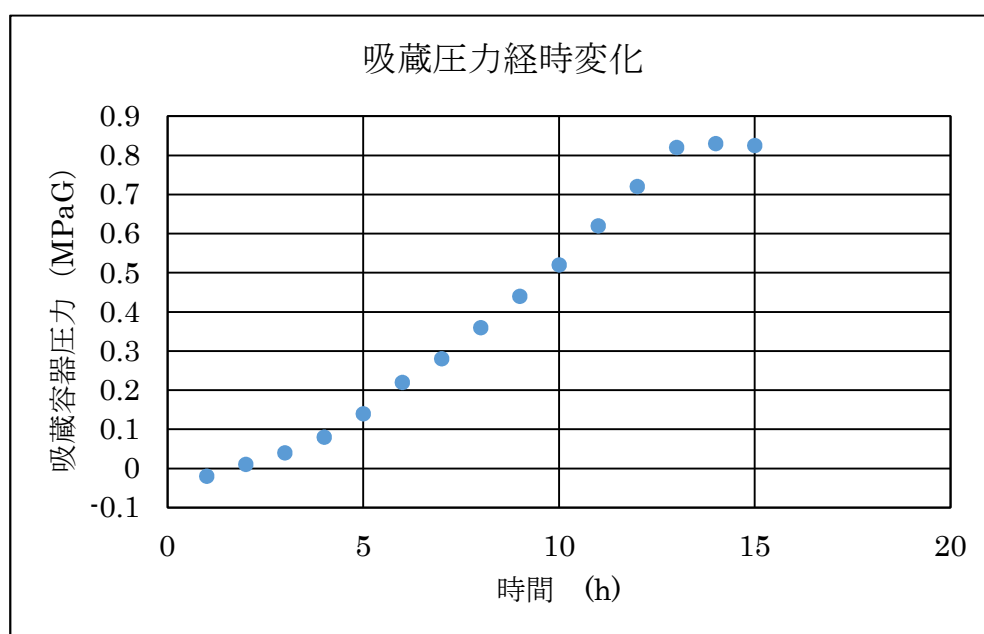
圧力の変動に急激な変化もなく、消費電力についても緩やかな変動であった。充填量に対する充填のコスト（消費電力）に大きな差がみられないため、満充填まで吸蔵する場合が最も経済性が良いことを確認できた。



図資 1-3 吸蔵圧力と消費電力の関係



図資 1-4 圧力-吸蔵量相関図



図資 1-5 吸蔵圧力経時変化

7) オフガス濃度変更試験(実証項目⑦)

各処理場においてオフガス濃度変更試験を行った。

本試験において、リターン操作時間を意図的に制限しオフガス中のメタン濃度を 20vol%程度になるように調整し、試験を行った。装置は問題なく稼働し、精製ガスのメタン濃度は目標値である 90vol%以上を達成した。オフガス濃度変更試験結果を以下の表資 1-8 に示す。

オフガス中のメタン濃度を 20vol%程度に変更しても、精製ガスメタン濃度及びメタン回収率が共に 90%を維持することができることを確認した。これにより、後述するフィージビリティスタディにおけるケース 3、4 の場合でも本装置が対応可能であることが確認された。

表資 1-8 オフガス濃度変更試験結果

	各流量			各メタン濃度			回収率	消費電力	データ取得日
	入口	メタン精製	脱着	入口	メタン精製	脱着			
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	vol%	vol%	vol%	%	kwh	
益城町	29.7	21.5	8.3	73.3	91.7	25.6	90.3	3.6	2018/1/26
大津町	14.1	6.6	7.5	54.4	90.6	22.3	78.3	2.6	2017/10/17
山鹿市	12.0	10.8	1.2	81.0	85.0	46.4	94.1	2.5	2017/10/19

8) 発電機供給ガス濃度変更試験

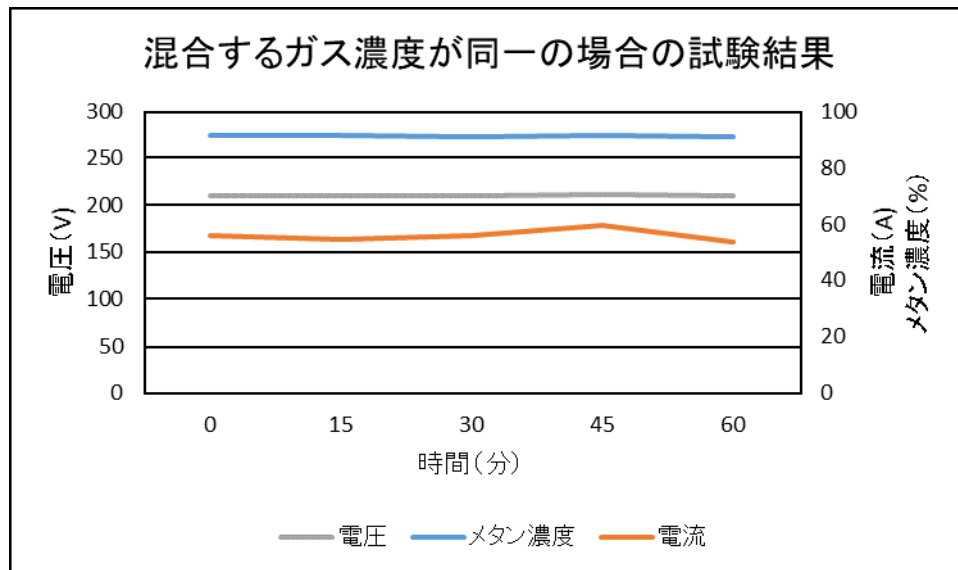
大津町浄化センターにて発電機供給ガス濃度変更試験を行った。大津町の消化ガスは、処理場内で脱硫されたものを別途用意したシロキサン製の簡易除去塔を通して処理して用いた。容積比 1:1 で混合するよう精製ガスの導入量をマスフローコントローラで制御した。

発電機へのガス導入には発電機の付帯設備であるコンプレッサを用いた。

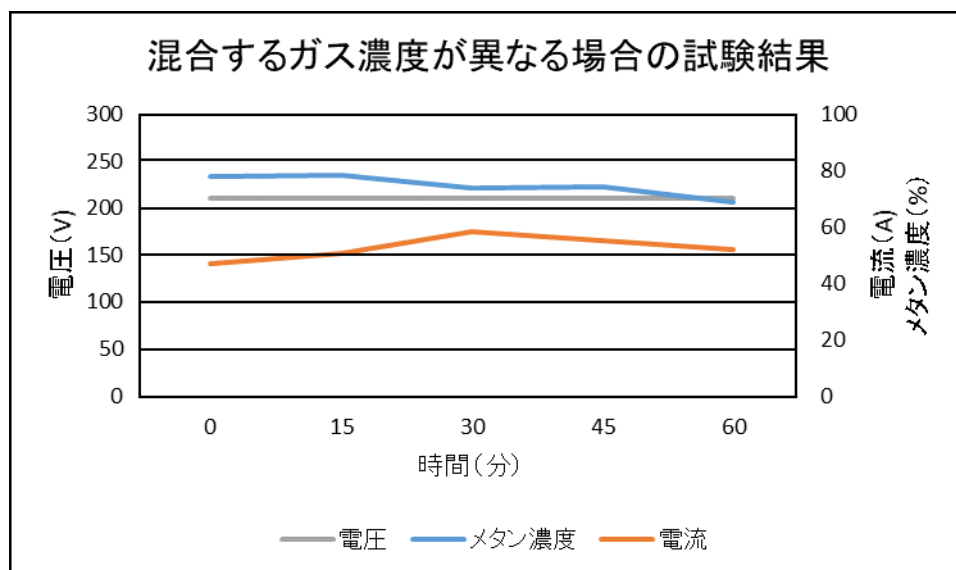
混合するガスのメタン濃度が同一の場合の発電結果を図資 1-6 に、また混合するガスのメタン濃度が異なる場合の発電結果を図資 1-7 に、結果のまとめを表資 1-9 に示す。

混合するガスのメタン濃度が同一の場合は、メタン濃度が約 90%程度で安定し、混合ガスの濃度が異なる場合は、平均して約 72%程度で安定した。二つのグラフを比較した結果、混合ガスの濃度が異なる場合の発電機の動作は、混合ガスの濃度が同一の場合と比較しても遜色はなく、1 時間安定して 25kwh の発電が確認でき、電圧も低下しないことが確認できた。

これにより集約処理場での発電は、メタン精製装置の代わりに硫化水素及びシロキサンの除去塔を設置し、発電機の設定を再調整することにより発電可能であることが判った。



図資 1-6 混合するガス濃度が同一の場合の試験結果



図資 1-7 混合するガス濃度が異なる場合の試験結果

表資 1-9 発電機供給ガス濃度変更試験結果

混合ガス濃度	項目	単位	0 分	15 分	30 分	45 分	60 分
同一	メタン濃度	Vol%	91.2	91.4	91.1	91.2	91.1
	電圧	V	210.4	210.0	210.5	210.8	210.5
	電流	A	55.9	54.7	55.8	59.3	53.7
異なる	メタン濃度	Vol%	77.9	78.5	73.9	74.4	68.9
	電圧	V	210.1	210.4	211.0	210.8	210.6
	電流	A	46.8	50.4	58.2	55.3	52.0

(2) 採算性向上のための実証試験結果

1) 吸蔵容器吸蔵剤改良

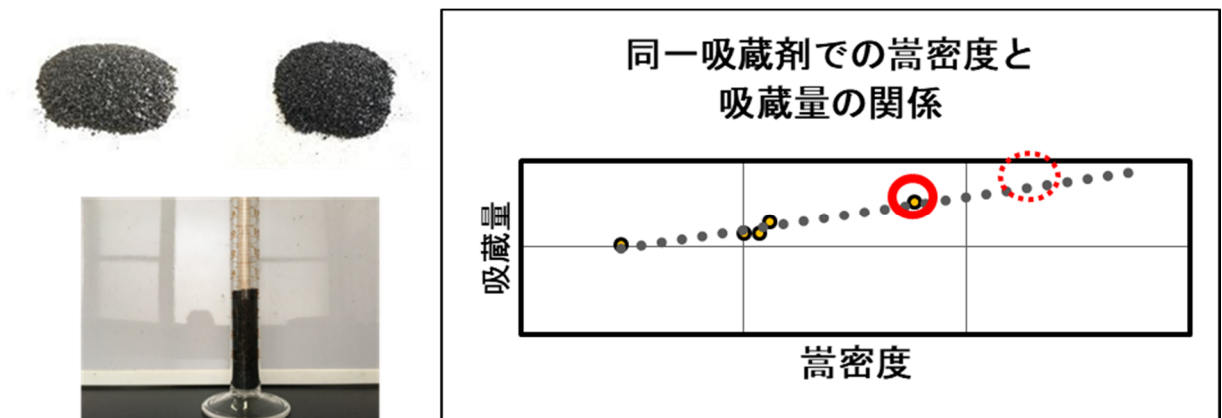
① 実証内容

同一の吸蔵剤における嵩密度と吸蔵量の関係を図資 1-8 に示す。嵩密度が高くなれば実質の吸蔵剤量が増加するため、図に示したように嵩密度の増加に伴い同じ吸蔵剤でも吸蔵できるガス量が増加する傾向がある。

現行の吸蔵剤のブレンド比や粒径サイズを変えることで現行品よりも嵩密度の高いサンプルを作成し、このサンプルを用いた吸蔵量の測定を行い、嵩密度増加による吸蔵量への影響を確認する必要がある。吸蔵量の増加が見込めれば吸蔵容器の容量を小さく出来るため、機器費の低減が期待できる。

これにより、フィージビリティスタディにおける採算性の向上につながる可能性があると考えた。

実証方法は、吸蔵剤のブレンド比やブレンドに用いる粒径サイズを変えるなどして、現行品よりも嵩密度の高いサンプルを作成し、吸蔵量の測定をラボ試験にて行った。



図資 1-8 同一吸蔵剤量での嵩密度と吸蔵量の関係

② 試験結果

試験結果を表資 1-10 に示す。

2 粒子径では現行の嵩密度を超えるものがなかった。

さらにもう一つ異なる粒子径を混ぜ、3 粒子径の混合を行うと現行品よりも嵩密度が高いものが見つかった。しかし、吸蔵量は、現行品を超えることができなかった。

この結果から、現行品が最良であると判断し、現行品を使用することとした。

表資 1-10 吸蔵容器吸蔵剤改良試験結果

	嵩密度	メタン吸蔵量	補 足
	g/ml	Nml/ml	
現行品	0.57577	48.88	現行品と同じブレンド
サンプル 混合①	0.57897	46.90	違う粒径を加えて 3 粒子径でブレンド
サンプル 混合②	0.57936	47.76	

2) メタン精製方式の変更

① 実証内容

メタン精製方式を現行の VPSA 方式から PSA 方式に変更することで、図資 1-9 のとおり、小型化・建設費低減及び安価な吸着剤利用によるコスト低減ができる可能性がある。

PSA と VPSA の違いは第 2 章 第 1 節の表 2-2 及び表資 1-11 に詳細を記載したように、一般的に VPSA 方式に比べ PSA 方式は回収率が低くなるほか、運転圧力が高くなるため圧縮機の消費電力が高くなるといったデメリットがある。

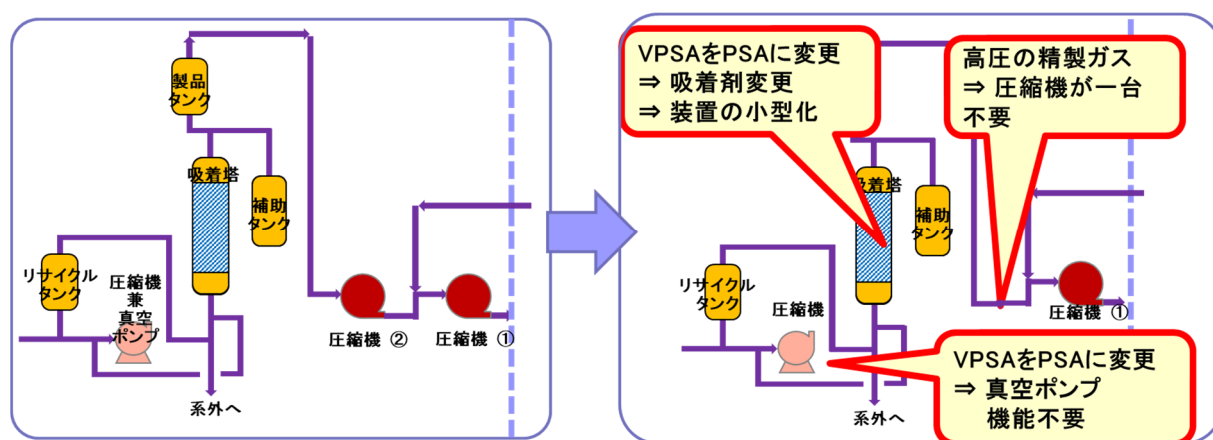
このため、PSA 方式ではメタン回収率 90%を達成することは難しいが、後述するフィージビリティスタディ (FS) において、低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置を設置するケース 3, 4 でのメタン回収率は 85%程度であることから、メタン回収率 85%程度を達成できれば PSA 方式を適用できる可能性がある。

また、PSA 方式では VPSA 方式に比べて精製ガスの圧力が高くなるが、後段の吸蔵装置の一次圧が高くなるため、吸蔵装置に設置している圧縮機の一台中を不要にできる可能性がある。

さらに、PSA 方式は VPSA 方式に比べ脱着（再生）時間が短く、一定時間当たりの吸着時間を長く取ることができるため、同一処理量に対して、VPSA の場合より吸着塔が小さくなり装置を小型化できる可能性がある。また、PSA 方式であれば吸着剤を活性炭ベースの低価格のものに変更できる可能性がある。これらが可能であればコストダウンにつながる等、装置自体の低価格化が実現できる可能性があり、これによる採算性への効果が期待できる。

これらの効果を確認するために、PSA 方式での回収率および消費電力等の測定、最適な吸着剤の選定、吸蔵装置の圧縮機削減可否など総合的に検討を行い、採算性への効果を判断する必要があると考えた。

実証方法は、模擬ガスによるラボ試験で実施した。



図資 1-9 メタン精製方式変更による効果

表資 1-11 PSA 方式のメリット・デメリット

○	吸着剤の選択の幅が広がり、より安価な吸着剤への変更が期待できる。
○	脱着時間が短くできるので処理流量が増え、装置の小型化が期待できる。
○	精製ガス圧力が高いため、吸蔵装置の圧縮機②が1台不要となり、吸蔵装置の費用削減が期待できる。
×	高圧吸着になるため、加圧する分、消費電力が増加してしまう。
×	脱着時の排気量が増えるため、回収率が低くなってしまう。
×	脱着時の騒音や、圧縮機の価格が問題になる可能性がある。

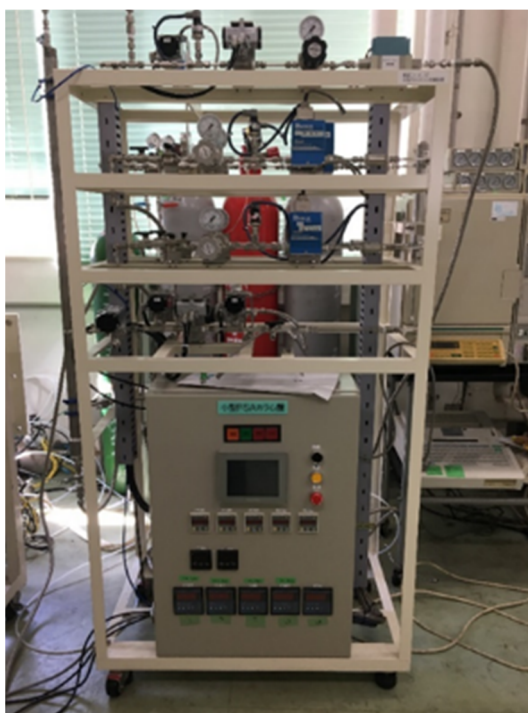
② 試験結果

試験結果を表資 1-12 に示す。

メタン/二酸化炭素混合の模擬ガス試験を行った結果、PSA 方式で活性炭吸着剤を用いた場合でも、精製ガスのメタン濃度 90vol%以上かつ、メタン回収率 70%以上を達成できることが分かり、FS 試算ケース 4 に PSA 方式も適応できることが分かった。今後 VPSA 方式で活性炭吸着剤を用いたラボ試験を実施し、最適方法にて現地試験を行う予定である。

表資 1-12 メタン精製方式の変更試験結果

メタン 精製方式	吸着剤	精製ガス メタン濃度	メタン 回収率
VPSA (現行機)	ゼオライト	>90 %	>90 %
PSA	ゼオライト	92.1 %	73.9 %
	活性炭①	82.7 %	47.3 %
	活性炭②	91.1 %	77.1 %
	活性炭① +ゼオライト	85.1 %	55.3 %



図資 1-10 試験装置

3) 吸蔵容器真空引きだし試験

① 実証内容

現行の吸蔵容器は、大気圧から 0.9MPaG の範囲で吸蔵・放出を行っているが、真空から大気圧の範囲にも吸蔵されているガスが存在する。真空ポンプ等でこのガスを引き出すことにより、利用するガス量を増やすことができる可能性がある。輸送できるガス量が増加できれば、機器費の低減が期待でき、採算性向上につながる可能性がある。

そのために、吸蔵容器の真空域の吸蔵ガス量を測定し、また事業化に向けた問題点等の整理を行って真空域の吸蔵ガス利用の可否を検討する必要がある。

実証内容は、ラボ試験にて、メタンを吸着させた後の吸蔵剤を、真空ポンプを用いて大気圧から真空まで引き抜き、引き出せたメタンガス量を計測した。

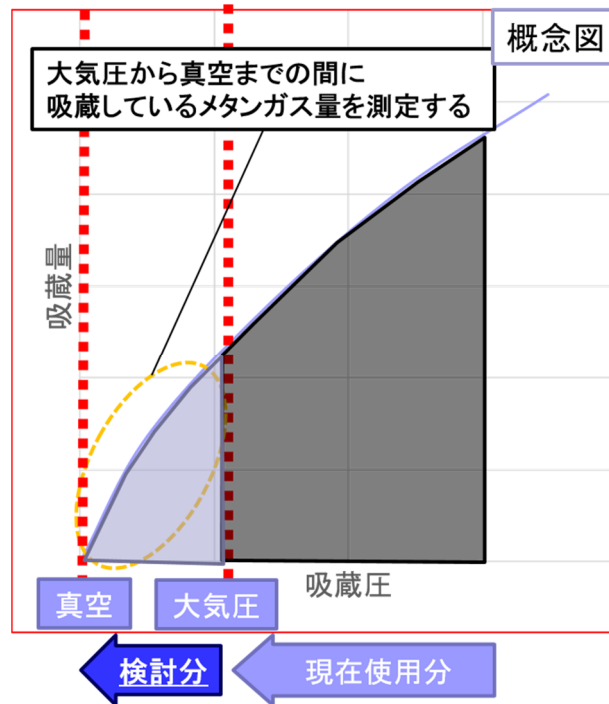


図 1-11 吸蔵圧と吸蔵量の関係



図 1-12 試験装置

② 試験結果

試験結果を表資 1-13 に示す。

真空引き出し試験によって、大気圧～真空の間に吸蔵容器の容積の約 10 倍以上のガスが保持されていることが分かった。しかし、真空ポンプなどのコスト面を考えると、10 倍程度の吸蔵量増加では見合わない判断できる。

表資 1-13 吸蔵容器真空引きだし試験結果

	開始圧力	終了圧力	拔出総量(メタン)
	MPaG	MPaG	L
Run1	0	-0.1	13.7
Run2	0	-0.1	14.5
Run3	0	-0.1	13.8
平均	-	-	14.0



小型吸蔵容器容積
1.2 L

図資 1-13 試験装置

2. ケーススタディ

2.1 ケーススタディ実施目的

第2章 第2節 §12 の導入シナリオ例で示した2ケースを導き出すために、以下に示すケーススタディを実施した。

2.2 モデル処理場におけるフィージビリティスタディ

2.2.1 処理場モデルの設定

本技術導入の検討を行うにあたり、処理場条件を設定した。

設定した条件は、各処理場間の距離、月ごとの消化ガス発生量と加温用ボイラでの消化ガス使用量、およびこれらから算出した未利用消化ガス量である。

2.2.1.1 平均消化ガス発生量の設定

供給処理場は、処理量が少ないため消化ガスを利用した発電などによる事業性が困難と思われる小規模処理場を想定し、消化ガス発生量を設定した。一方で、集約処理場は供給処理場からの距離が概ね 15km 圏内にあり、本技術による事業性を考慮した消化ガス発生量を設定した。なお、表資 2-1 に示すガス量は、最も費用回収年が良くなるケースにおいて、15 年を下回るような量を設定した。また、消化槽の加温方式は、集約処理場には発電機を設置するため、発電機からの排熱を利用することを想定し、供給処理場ではボイラによる加温を想定した。

表資 2-1 モデル処理場の条件

	平均消化ガス発生量 [Nm ³ /日]	集約処理場からの距離 [km]	消化槽加温方式
集約処理場	3,000	－	発電機排熱利用
供給処理場 1	719	15	ボイラ加温
供給処理場 2	719	15	ボイラ加温

2.2.1.2 月ごとの消化ガス発生量の設定

下水処理場における消化ガス発生量は季節によって変動する。この季節による変動については、下水汚泥エネルギー化ガイドライン改訂版（平成 27 年 3 月：国土交通省水管理・国土保全局）に掲載されている消化ガス発生量の変動係数を用いて、表資 2-2 のとおり設定した。

表資 2-2 消化ガス発生量の季節変動の設定

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	年平均
変動係数 [%]	106	106	104	102	98	94	94	94	98	101	100	102	
集約処理場 [Nm ³ /日]	3,195	3,172	3,128	3,061	2,947	2,822	2,815	2,822	2,940	3,023	3,013	3,063	3,000
供給処理場 1 [Nm ³ /日]	766	760	750	734	706	676	675	676	705	724	722	734	719
供給処理場 2 [Nm ³ /日]	766	760	750	734	706	676	675	676	705	724	722	734	719

2.2.1.3 消化槽加温用ボイラでの消化ガス使用量の設定

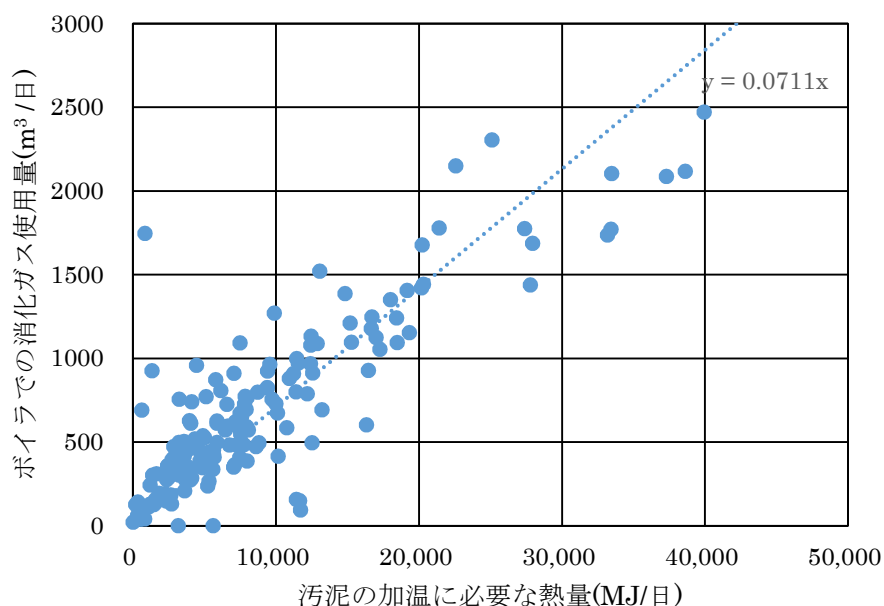
消化槽の加温に必要な熱量は、汚泥の加温に必要な熱量と汚泥消化槽などからの放熱量から成り、加温に必要とされる熱量からボイラでの消化ガス使用量を決定した。なお、必要な熱量としては、投入汚泥の温度から消化温度まで消化槽内液を直接加温することに必要な熱量の他に、気温や消化槽の形状等放熱量に影響する要因やボイラ効率などが影響を与えると考えられるが、これらの因子は一般化ならびにデータの取得が困難なため、汚泥温度と消化温度をボイラでの消化ガス使用量に影響を与える主要因と考え、一般化を行った。

平成 25 年度下水道統計に記載されている処理場の流入水温、消化温度、消化槽投入汚泥量のデータから、下式より投入汚泥量と汚泥の加温に必要な熱量を算出した。

$$\begin{aligned} \text{汚泥の加温に必要な熱量}[\text{MJ}/\text{日}] &= (\text{消化温度}[\text{℃}] - \text{流入水温}[\text{℃}]) \cdot \\ &\quad \text{汚泥比熱}[\text{MJ}/\text{kg} \cdot \text{℃}] \cdot \text{投入汚泥量}[\text{kg}/\text{日}] \\ &\quad \cdot \cdot \cdot (\text{資 2.1}) \end{aligned}$$

※汚泥比熱は、水と近似して $4.18 \times 10^{-3} [\text{MJ}/\text{kg} \cdot \text{℃}]$ とした。

下水道統計から、ボイラで消化ガスを使用している処理場について上式より汚泥の加温に必要な熱量と、ボイラでの消化ガス使用量について関係図（図資 2-1）を作成し、その近似曲線から比例定数 0.0711 を得た。



図資 2-1 汚泥の加温に必要な熱量とボイラでの消化ガス使用量の関係

今回設定したモデル処理場における一般的な汚泥量として、表資 2-3 のように検討して算出した。

表資 2-3 モデル処理場における汚泥量

	項目	集約	供給 1	供給 2	引用根拠
①	平均ガス発生量[m³/日]	3,000	719	719	モデル設定より
②	投入 VS 当たりのガス発生量 [m³/t-VS]	543	543	543	※
③	投入 VS 量[t-VS]	5.5	1.3	1.3	①/②
④	混合汚泥有機物[%TS]	84	84	84	下水道統計より
⑤	混合汚泥固形物量[t-TS]	6.5	1.6	1.6	※
⑥	濃縮汚泥 TS[%wt]	3.3	3.3	3.3	下水道統計より
⑦	濃縮汚泥量[m³/日]	198.4	47.5	47.5	⑤/⑥

※ エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセスの評価に関する報告書

この投入汚泥量のモデル処理場について、上述した比例関数を用いて、月ごとの加温用ボイラでの消化ガス使用量を算出した。なお、モデル処理場における流入水温は、平成 26 年管路内設置型熱回収技術を用いた下水熱利用導入ガイドラインに記載のある東京における年間の下水温度を用い、消化温度は中温消化の一般的な温度である 37℃を用いた。

このようにして得た月ごとの加温用ボイラでの消化ガス使用量を表資 2-4 に示す。なお、集約処理場は消化槽の加温に発電機排熱を使用するものとして、加温用ボイラで消化ガスを使用しないものとした。

表資 2-4 モデル処理場における月ごとのボイラでの消化ガス使用量

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	年平均
流入水温 [℃]	20	22	23	25	28	28	25	21	20	16	15	15	21.5
集約処理場 [Nm ³ /日]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
供給処理場 1 [Nm ³ /日]	240	212	198	170	127	127	170	226	240	297	311	311	219
供給処理場 2 [Nm ³ /日]	240	212	198	170	127	127	170	226	240	297	311	311	219

2. 2. 1. 4 未利用消化ガス量の設定

表資 2-2 の各処理場の消化ガス発生量と、表資 2-4 の加温用ボイラで使用する消化ガス量の差し引きにより、未利用消化ガスを算出できる。

月ごとの各処理場の未利用消化ガス量を表資 2-5 に示す。

表資 2-5 モデル処理場における月ごとの未利用消化ガス量

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	年平均
集約処理場 [Nm ³ /日]	3,195	3,172	3,128	3,061	2,947	2,822	2,815	2,822	2,940	3,023	3,013	3,063	3,000
供給処理場 1 [Nm ³ /日]	525	548	552	564	579	549	505	450	464	427	411	423	500
供給処理場 2 [Nm ³ /日]	525	548	552	564	579	549	505	450	464	427	411	423	500

2.2.2 検討ケースの設定

費用回収年に影響の大きいと予想される以下の2点について、各2ケース合計4ケースについてフィージビリティスタディを行った。さらに、参考として本技術を導入しない場合として、供給処理場の生ガスをタンクに圧縮充填し、1箇所に集約して発電を行うケース、処理場単独で発電機を設置して発電を行うケースについてもフィージビリティスタディを行った。

以下に検討ケースの考え方を記載するが、本文中の導入シナリオ例（§12）で示した評価は、ケース2、ケース4に相当する。

1) 検討ケースの考え方

① 集約処理場でのメタン精製装置の有無

消化ガスのメタン精製によって、消化ガス中のCO₂を除去し、メタンを濃縮し、運搬するガス容量を減少させることで、運搬コストを削減できる効果がある。この観点からは、集約処理場ではメタン精製装置の設置は不要と言えるが、実証では発電機の運転管理上、集約処理場からの発電機に供給するガスのメタン濃度と供給処理場から運搬されるメタン精製された消化ガスのメタン濃度を一致させる必要があったため、集約処理場でもメタン精製装置を設置した。

実際のフィージビリティスタディにおいては、事業採算性向上の観点から、集約処理場にメタン精製装置を設定しないケースについてもフィージビリティスタディを行った。（集約処理場にメタン精製装置を設置する場合：ケース1、設置しない場合：ケース2）

② 低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置の新設の有無

メタン精製装置による消化ガスのメタン精製の結果排出されるオフガスは、既設のガスホルダに返送して、既設余剰ガス燃焼装置により焼却処分される。メタン濃度が低いオフガスがガスホルダに返送されることにより、既設ガスホルダのメタン濃度が低下する。実証では、実証サイトにおける余剰ガス燃焼装置の燃焼実績より、余剰ガス燃焼装置へ供給するガスのメタン濃度が50vol%以下とならないように、メタン精製装置への消化ガス量を調整した。そのため、未利用消化ガスの全量をメタン精製・発電に供することができていない。一方、市場調査の結果、メタン濃度20vol%程度の低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置が存在することがわかった。したがって、メタン精製装置から発生するオフガスをメタン濃度20vol%程度になるように調整し、この低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置でオフガスを処理すれば、オフガス返送によるガスホルダ濃度低下の懸念がなくなり、結果として未利用

消化ガスを全量メタン精製装置に供給でき、この精製ガスを発電に利用できる。低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置を設置するための導入コストが必要になるものの、発電利用できる未利用消化ガス量が増えるため、本技術の導入判断指標のひとつであるエネルギー創出量、GHG 排出削減量の増加が見込める。この考えのもと、前述したケース 1 ベースで、供給処理場に低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置を導入した場合（ケース 3）と、ケース 2 ベースで供給処理場に低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置を導入した場合（ケース 4）をケース設定した。

③ 今実証での技術を導入しない場合

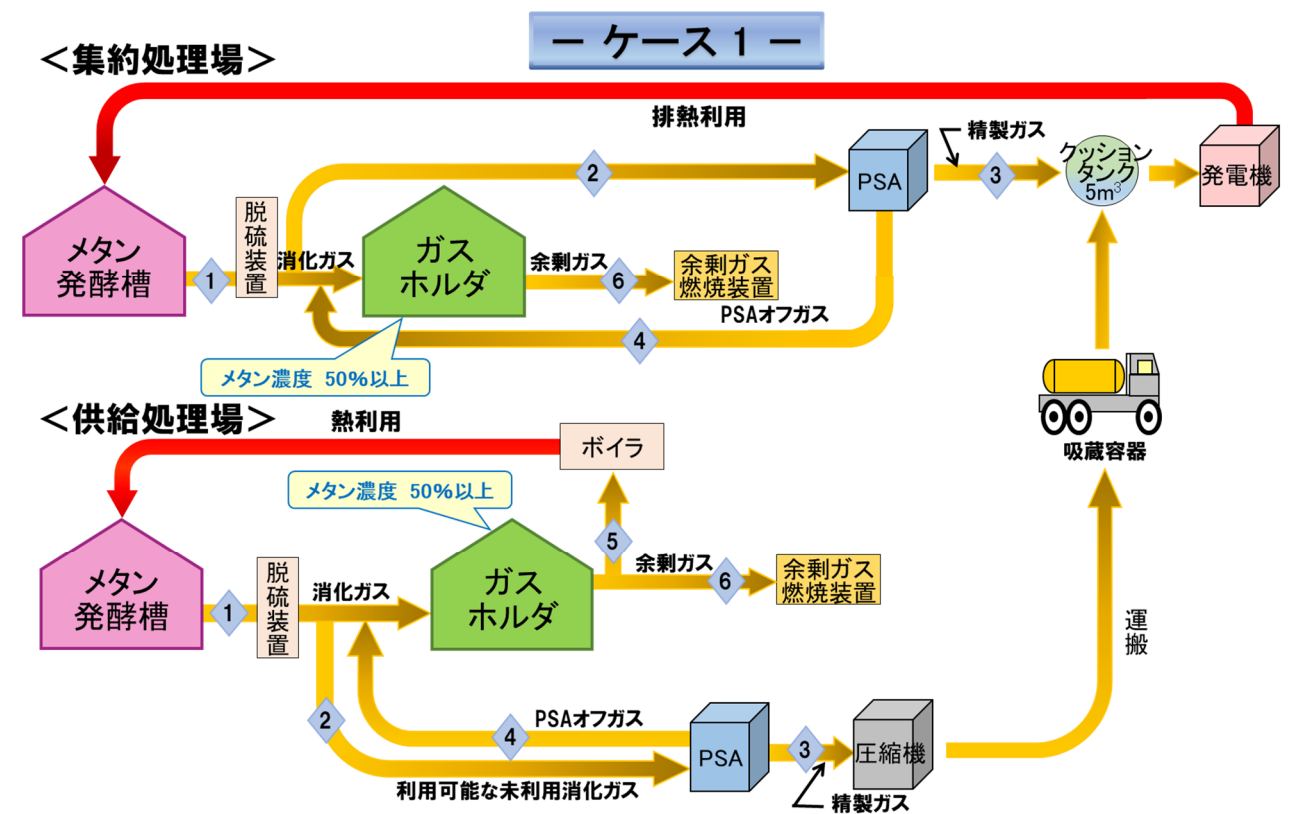
参考のケースとして、本技術を導入しない場合についてもフィージビリティスタディを行った。本技術を導入しない場合として、以下のケースを設定した。

- a) 容器などに未利用消化ガスを圧縮充填し、集約処理場に輸送・発電利用する場合（ケース 5）
- b) 処理場単独で発電機を設置し、未利用消化ガスによる発電利用する場合（ケース 6）

2) 各ケースのフローシートおよび物質収支

① ケース 1

実証ベースのケース。集約処理場・供給処理場にメタン精製装置を設置する。メタン精製装置のオフガスは、既設ガスホルダに返送するため、余剰ガス燃焼装置およびボイラの運転可能メタン濃度下限（50vol%と設定した）を下回らないように、利用可能な未利用消化ガス量を設定して、メタン精製装置への消化ガス投入量を制限した。

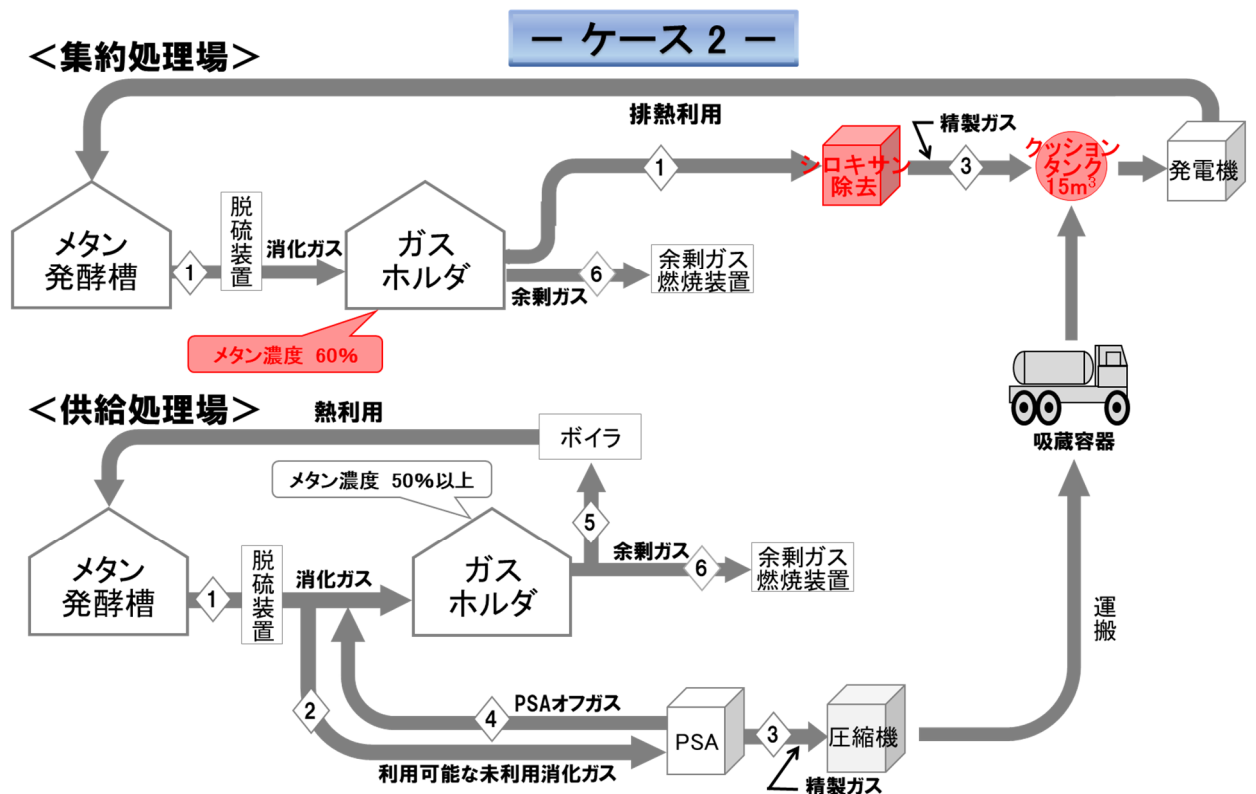


ストリーム ナンバー	1				2		3		4		5		6		7
流体名	消化ガス		未利用 消化ガス		利用可能な 未利用消化 ガス		精製ガス		メタン 精製装置 オフガス		ボイラ 使用量		余剰ガス 燃焼量		発電量
単位	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	kW
集約	3,000	60	3,000	60	1,250	60	750	90	500	15	0	50	2,250	50	147
供給	719	60	500	60	300	60	180	90	120	15	263	50	276	50	
供給	719	60	500	60	300	60	180	90	120	15	263	50	276	50	

図資 2-2 ケース 1 のフローと物質収支

② ケース 2

集約処理場にメタン精製装置を設置せず、発電機の阻害成分であるシロキサン除去装置を設置する。集約処理場では、メタン精製装置を設置しないため、余剰消化ガスを全量利用できる。一方で、供給処理場では、ケース 1 と同様に利用可能な未利用消化ガス量を設定して、メタン精製装置への未利用消化ガス投入量に制限をかけている。

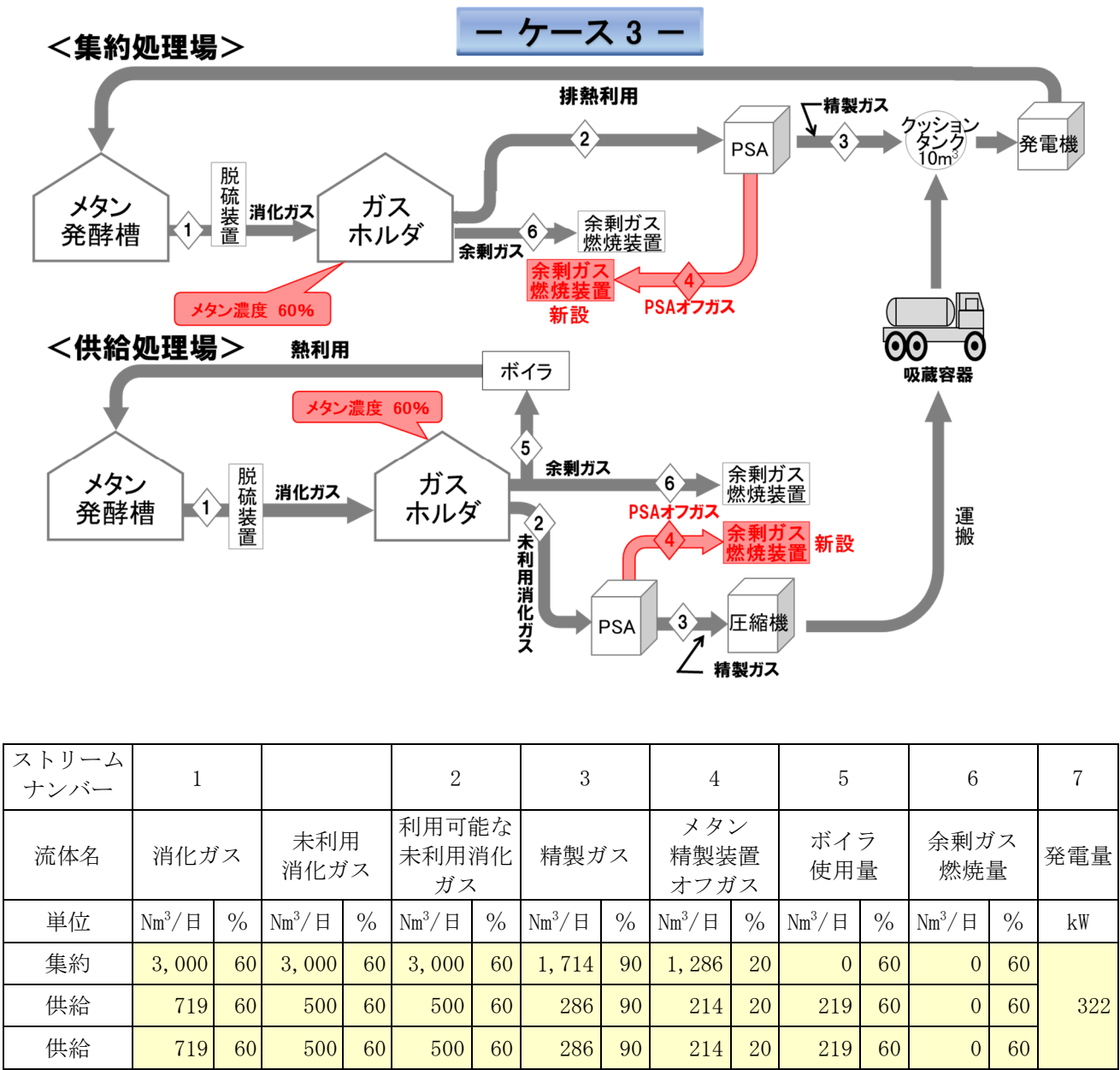


ストリーム ナンバー	1				2		3		4		5		6		7
流体名	消化ガス		未利用 消化ガス		利用可能な 未利用消化 ガス		精製ガス		メタン 精製装置 オフガス		ボイラ 使用量		余剰ガス 燃焼量		発電量
単位	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	kW
集約	3,000	60	3,000	60	3,000	60	3,000	60	－	－	0	50	0	60	334
供給	719	60	500	60	300	60	180	90	120	15	263	50	276	50	
供給	719	60	500	60	300	60	180	90	120	15	263	50	276	50	

図資 2-3 ケース 2 のフローと物質収支

③ ケース 3

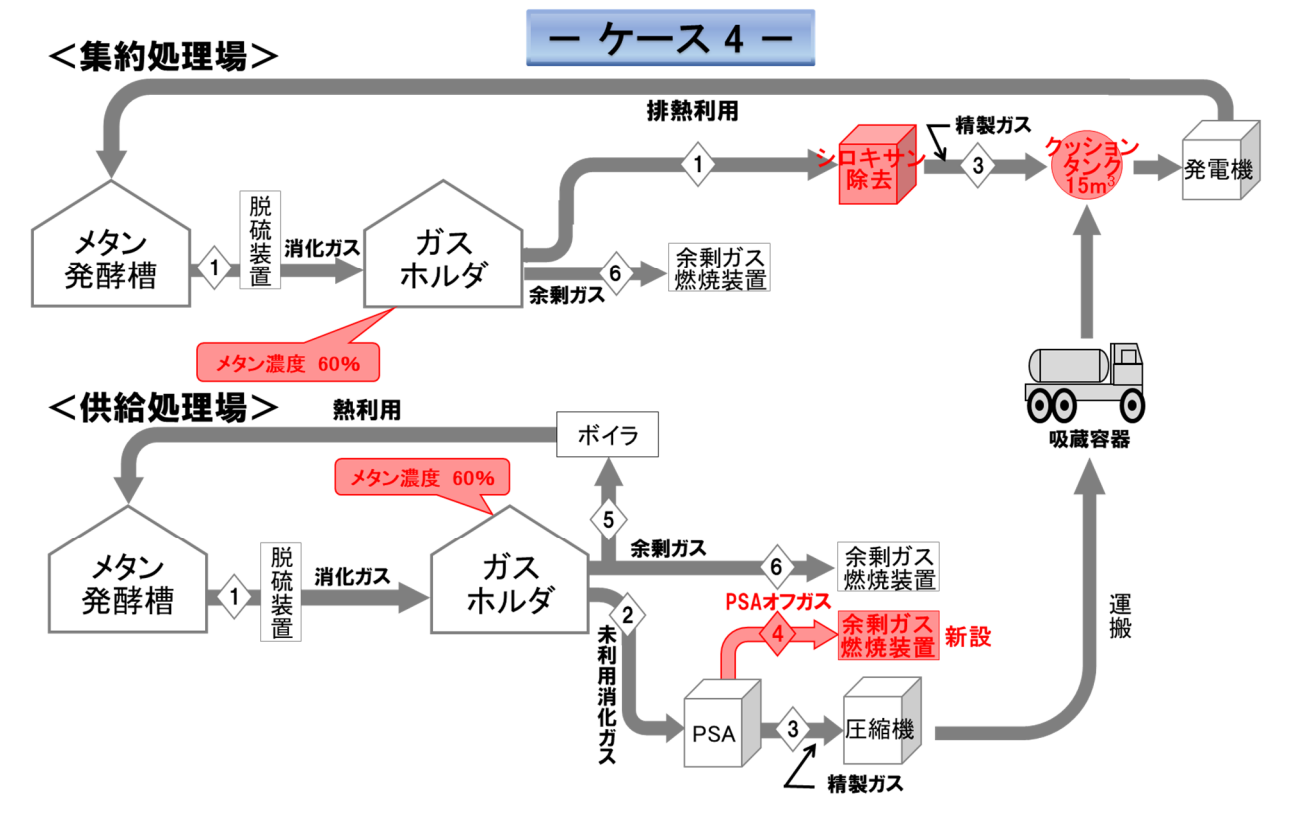
メタン精製装置のオフガス処理用として、低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置を設置する。これにより、メタン精製装置へ投入する未利用消化ガス量は、オフガスによる制限をうけずに全量投入できる。ケース 3 は、ケース 1 をベースとして低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置を設置した場合となる。



図資 2-4 ケース 3 のフローと物質収支

④ ケース 4

ケース 3 と同様に、メタン精製装置オフガス処理用として、低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置を設置する。ケース 4 は、ケース 2 をベースとして低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置を設定した場合となる。

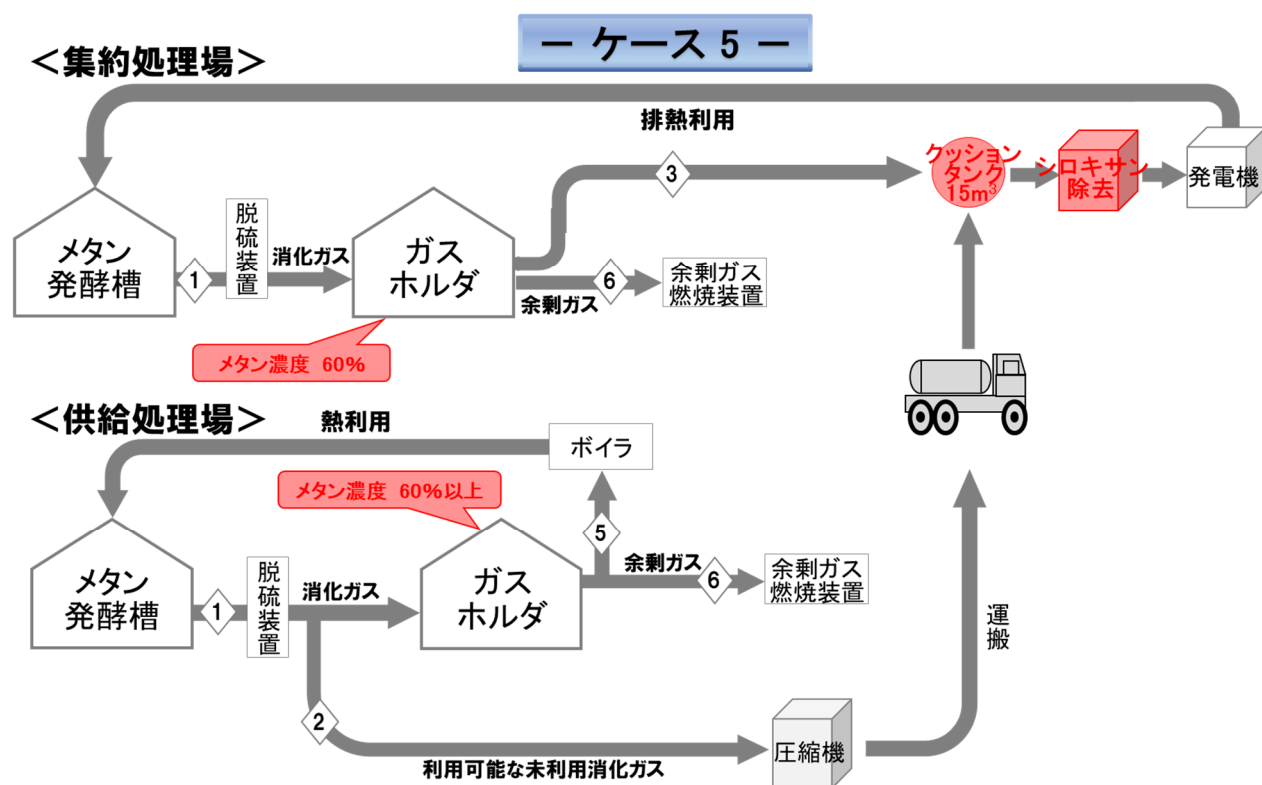


ストリーム ナンバー	1				2		3		4		5		6		7
流体名	消化ガス		未利用 消化ガス		利用可能な 未利用消化 ガス		精製ガス		メタン 精製装置 オフガス		ボイラ 使用量		余剰ガス 燃焼量		発電量
単位	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	kW
集約	3,000	60	3,000	60	3,000	60	3,000	60	-	-	0	60	0	60	366
供給	719	60	500	60	500	60	286	90	214	20	219	60	0	60	
供給	719	60	500	60	500	60	286	90	214	20	219	60	0	60	

図資 2-5 ケース 4 のフローと物質収支

⑤ ケース 5

参考ケースとして、供給処理場の未利用消化ガスを、圧縮機を用いて容器に充填し、集約処理場に運搬して発電利用する場合として設定した。他ケースと比較するため、充填容器の大きさは、トラック積載可能な 15m^3 とし、高压ガス保安法に抵触しない 1MPaG 未満の充填圧力とした。なお、不純物を除去していない生の消化ガスを利用するため、発電機に対する阻害成分であるシロキサンを、シロキサン除去装置を設置し除去する。

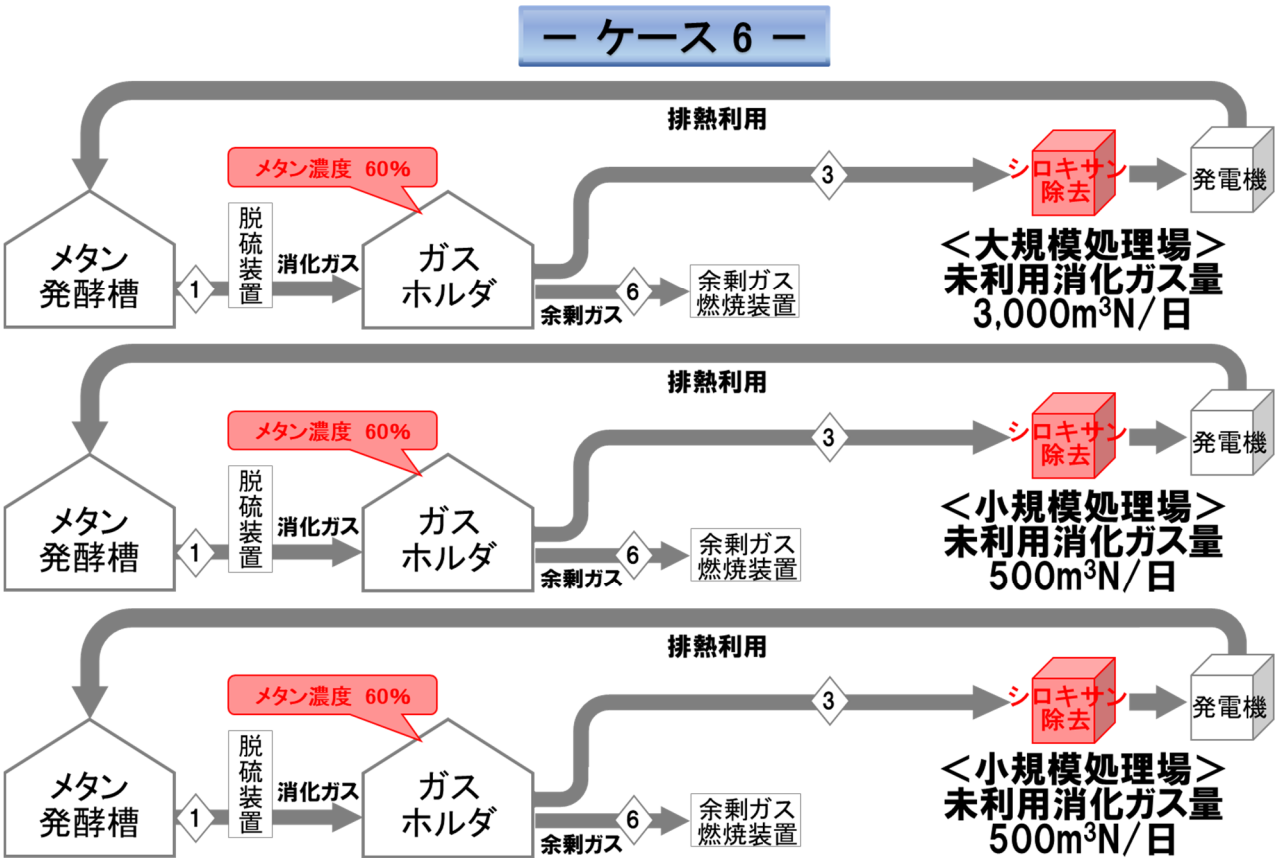


ストリーム ナンバー	1				2		3		4		5		6		7
流体名	消化ガス		未利用 消化ガス		利用可能な 未利用消化 ガス		精製ガス		メタン 精製装置 オフガス		ボイラ 使用量		余剰ガス 燃焼量		発電量
単位	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	Nm³/日	%	kW
集約	3,000	60	3,000	60	3,000	60	—	—	—	—	0	60	0	60	309
供給	719	60	500	60	148	60	—	—	—	—	219	60	352	60	
供給	719	60	500	60	148	60	—	—	—	—	219	60	352	60	

図資 2-6 ケース 5 のフローと物質収支

⑥ ケース 6

処理場単独で未利用消化ガスを発電利用する場合として設定した。処理場に発電機およびシロキサン除去装置を設置する。



ストリーム ナンバー	1				2		3		4		5		6		7
流体名	消化ガス		未利用 消化ガス		利用可能な 未利用消化 ガス		精製ガス		メタン 精製装置 オフガス		ボイラ 使用量		余剰ガス 燃焼量		発電量
単位	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	Nm ³ /日	%	kW
大規模処理場	3,000	60	3,000	60	－	－	3,000	60	－	－	0	60	0	60	279
小規模処理場	500	60	500	60	－	－	500	60	－	－	0	60	0	60	42
小規模処理場	500	60	500	60	－	－	500	60	－	－	0	60	0	60	42

図資 2-7 ケース 6 のフローと物質収支

2.2.3 装置仕様の設定

2.2.3.1 装置構成

2.2.2 のケース設定の考え方に沿って、各ケースにおける必要な装置の構成を表資 2-6 に示す。

表資 2-6 各ケースの装置構成

ケース		1	2	3	4	5	6
供給処理場	メタン精製装置	○	○	○	○	×	×
	吸蔵装置	○	○	○	○	○	×
	低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置	×	×	○	○	×	×
集約処理場	発電機	○	○	○	○	○	○
	シロキサン除去装置	×	○	×	○	○	○
	クッションタンク	○	○	○	○	○	×
	メタン精製装置	○	×	○	×	×	×
	低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置	×	×	○	×	×	×
共通	トラック	○	○	○	○	○	×
	吸蔵容器	○	○	○	○	容器のみ	×

2.2.3.2 装置仕様の設定

第 4 章 § 23 に記載した装置仕様の決定方法に従って、各装置の仕様を設定した。なお、装置仕様の検討をする際には、各月ごとに設定した未利用消化ガス量が最大となる流量で仕様を設定した。ただし、定格、消費電力および発電量の設定では、年間の平均値にて設定する必要があるので、年間の平均流量にて設定した。

また、トラック及び吸蔵容器的装置仕様設定については、3. の運転スケジュールの検討を行った上で設定した。

2.2.3.3 運転スケジュールの検討

ケースによってメタン精製装置へのガス投入量が異なるため、発電に利用する精製ガス量も異なる。§ 23 および前項までの装置仕様検討によって、メタン精製装置の仕様から精製ガス量を決定した。この精製ガス量を集約処理場に運搬するための、吸蔵容器の容量および基数、運搬方法（吸蔵時間、往復回数など）などを、装置費用・人件費・燃料費など総合的な観点から最適な運転スケジュールを検討することにより設定した。

1) 前提条件

運転スケジュールを検討するにあたり、表資 2-7 のように前提条件を設定した。

表資 2-7 運転スケジュール検討の前提条件

項目	条件
供給処理場－集約処理場間距離	・ 15km とする。
供給処理場－集約処理場間移動時間	・ 片道 30 分とする。 (平均時速 30km/hr と仮定)
吸蔵容器の積荷・荷卸作業時間	・ 実証の実績より、15 分とする。
人件費	・ 3 千円/時間ベースとし、夜間（22 時～翌 5 時）に作業する場合は、労働基準法に従い、深夜割増料金（25%）を含む。
吸蔵容器	・ 吸蔵剤は、45[Nm ³ -消化ガス/m ³ -吸蔵剤]の吸蔵能力があるものとし、吸蔵剤量＝吸蔵容器容量とする。
吸蔵時間	・ 吸蔵時間＝発電時間とする。
吸蔵容器の最大容量	・ トラック積載を考慮し、15m ³ とする

2) 吸蔵容器の容量、基数

吸蔵容器の容量は、§ 23 の式 (4. 27) で表される。ただし、トラック積載の関係で、容量は 15m³ 以下となるように検討し、吸蔵容器の容量を表資 2-8 のように設定した。

また、式 (4. 27) より設定した吸蔵時間をもとに、運転スケジュールを検討した。このスケジュールの運営のために必要な吸蔵容器の基数および運転員の拘束時間を設定した。

設定した吸蔵容器の基数、運転員の拘束時間もあわせて表資 2-8 に示す。

運転スケジュールは、運搬に必要な人件費、各処理場間の移動距離等総合的に検討し、設定した。今回検討した運転スケジュールを表資 3-1 に示す。

表資 2-8 各ケースの吸蔵容器容量

ケース	精製ガス量 [Nm ³ /hr(max)]	吸蔵時間 [hr]	吸蔵容器		往復回数 (※1)	拘束時間[hr/日] 昼+夜(※2)
			容量[m ³]	基数(※1)		
1	8.0	24	4.3	3+3	1+1	3.5+0
2	8.0	24	4.3	3+3	1+1	3.5+0
3	13.8	24	7.4	3+3	1+1	3.5+0
4	13.8	24	7.4	3+3	1+1	3.5+0
5	6.2	24	15	3+3	1+1	3.5+0
6	—	—	—	—	—	

※1： 供給処理場 1+供給処理場 2

※2： 拘束時間 昼（5時～22時）、夜（22時～翌5時）

2.2.4 フィージビリティスタディ

2.2.4.1 コスト積算

§ 24 の算出式により各コストを積算した。

積算に用いた前提として設定した数値を表資 2-9 に示す。

表資 2-9 コスト積算の前提として設定した数値

項目	設定値	備考
人件費	3,000 円/時間	深夜（22 時～翌 5 時）は 25%増し
トラック燃料費	102 円/ℓ	軽油価格として
トラック燃費	4.25km/ℓ	メーカーヒアリングより
補助燃料費用	320 円/Nm ³	
買電価格	15 円/kWh	
売電価格	15 円/kWh	

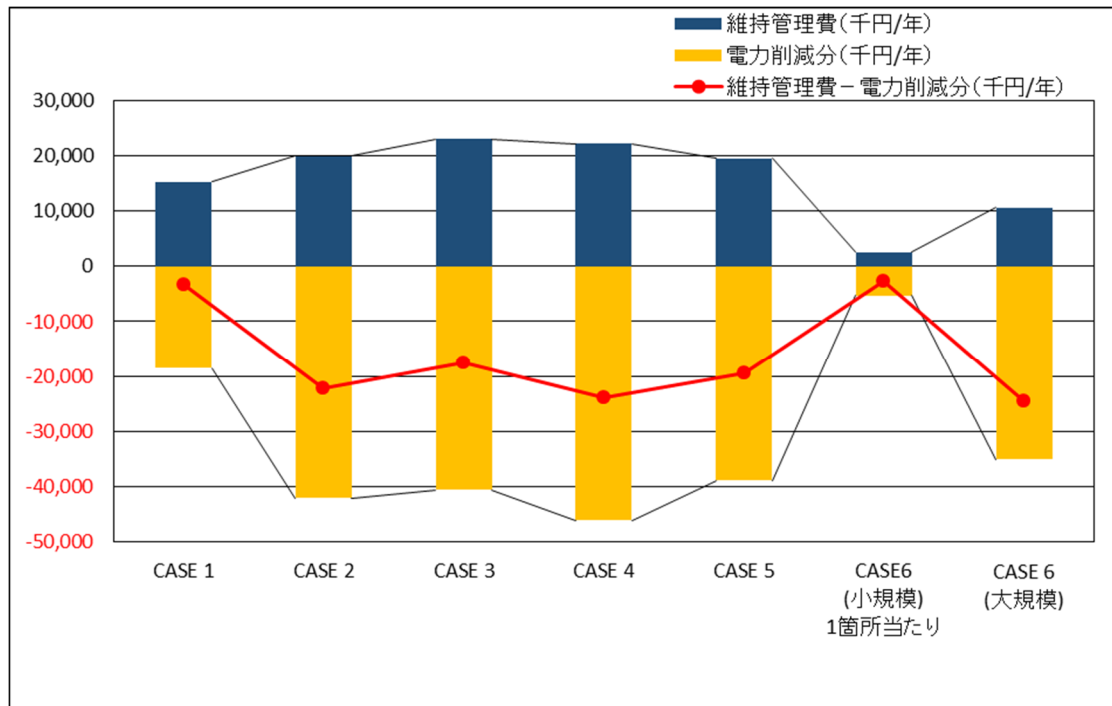
2.2.4.2 試算結果

各ケースにおいて、前項で積算したコストをもとに、費用回収年、エネルギー創出量、温室効果ガス GHG 排出削減量について、§ 25 の算出式を用い、試算した結果を表資 2-10 に示す。

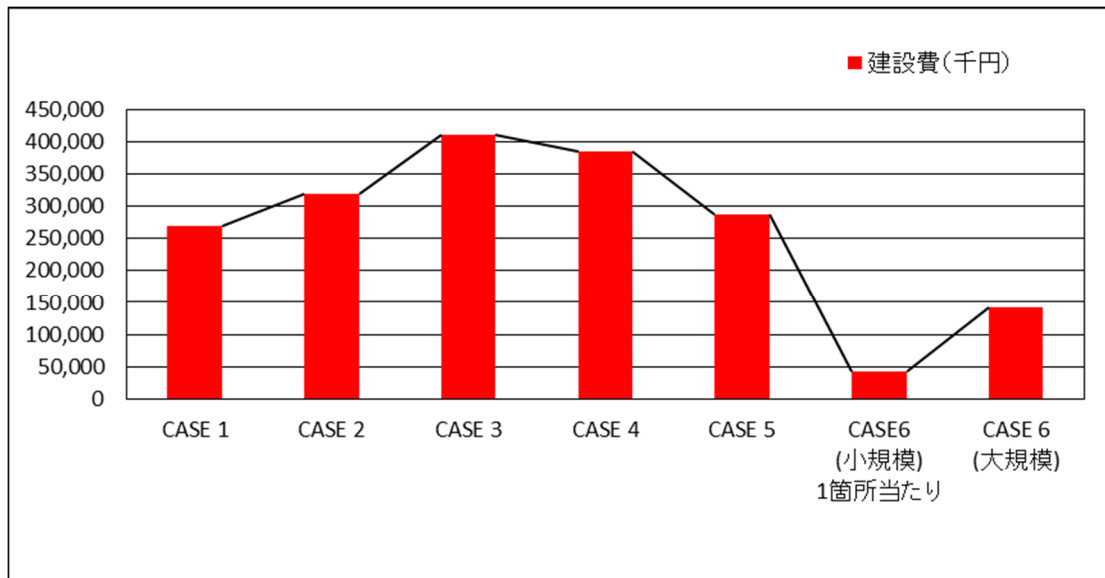
表資 2-10 コスト構成・費用回収年の試算結果

項 目	細 目		費 用						
			ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6 (小規模) 注 1	ケース 6 (大規模)
建設費 (A) [千円]	① メタン精製装置		45,140	19,340	71,000	28,300	0	0	0
	② 吸蔵装置		5,200	5,200	10,200	10,200	4,800	0	0
	③ シロキサン除去装置		0	12,800	0	12,800	13,700	2,800	12,800
	④ 余剰ガス燃焼装置		0	0	11,000	6,000	0	0	0
	⑤ 吸蔵容器		67,200	67,200	96,000	96,000	60,000	0	0
	⑥ 発電機+クッションタンク		61,300	120,500	116,500	129,500	113,200	19,000	97,600
	⑦ トラック		28,500	28,500	33,000	33,000	33,000	0	0
	⑧ 工事費		62,920	67,010	74,300	69,580	63,430	21,360	31,460
	合計 (①～⑧)		270,260	320,550	412,000	385,380	288,130	43,160	141,860
維持管理費 (B) [千円/年]	人件費	① 装置全般	864	864	864	864	864	288	288
		② 運転手	3,675	3,675	3,675	3,675	3,675	0	0
	③ 運搬燃料費		504	504	504	504	504	0	0
	④ 消耗品費		304	94	1,386	654	0	0	0
	⑤ 修繕費		8,528	13,904	14,196	15,194	13,912	2,290	10,320
	⑥ 消費電力		1,399	857	2,369	1,260	529	0	0
	合計 (①～⑥)		15,274	19,898	22,993	22,151	19,484	2,578	10,608
発電量[kW]	()内は供給処理場からの ガスによる発電分		148(48)	334(51)	323(81)	367(82)	309(28)	42	279
電力削減分 (C) [千円/年]	発電量×買電価格		18,526	42,039	40,635	46,156	38,889	5,252	35,117
費用回収年 (D) [年]	$(D)=(A) / ((C)-(B))$		83.1	14.5	23.4	16.1	14.8	16.1	5.8
エネルギー 創出量 [GJ/年]	①: 発電による創出(GJ/年)		11,713	26,580	25,692	29,183	24,588	3,321	22,204
	②: 電力の消費(GJ/年)		884	542	1,498	797	335	0	0
	③: 燃焼の消費(GJ/年)		188	188	188	188	188	0	0
	④: 種火による消費(GJ/年)		0	0	206	138	0	0	0
	①-②-③-④: エネルギー創出量(GJ/年)		10,641	25,850	23,800	28,061	24,066	3,321	22,204
GHG 排出削減量 [t-CO2/年]	①: 発電による創出(t-CO2/年)		632	1,435	1,387	1,575	1,327	179	1,199
	②: 電力使用による排出 (t-CO2/年)		48	29	81	43	18	0	0
	③: 燃料使用による排出 (t-CO2/年)		13	13	13	13	13	0	0
	④: 種火による排出 (t-CO2/年)		0	0	12	8	0	0	0
	①-②-③-④: GHG 排出削減量(t-CO2/年)		572	1,393	1,281	1,511	1,297	179	1,199

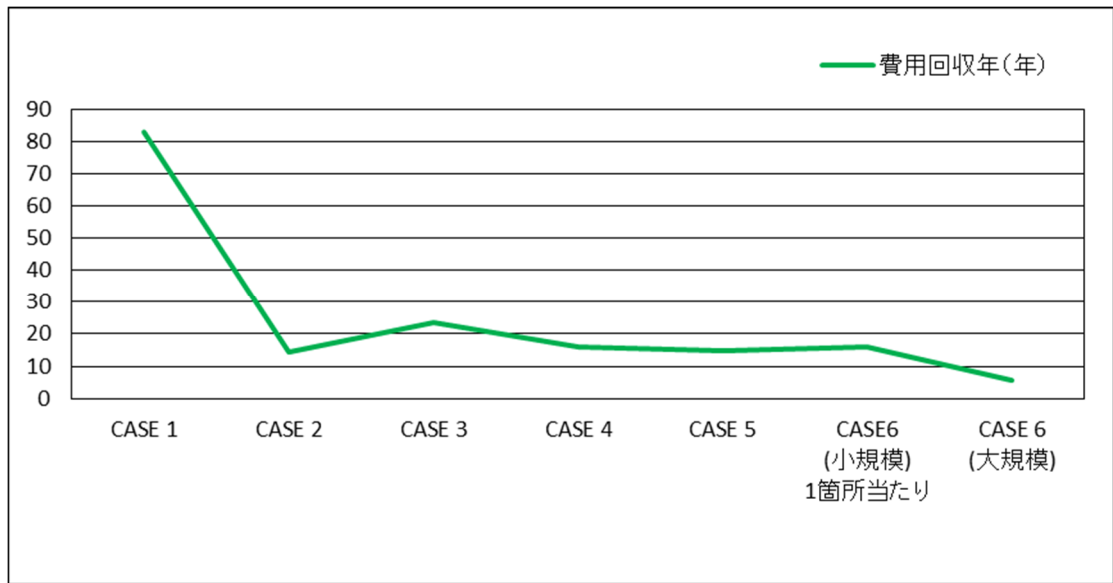
注 1: 小規模処理場 1 箇所当たり



図資 2-8 維持管理費・電力削減分

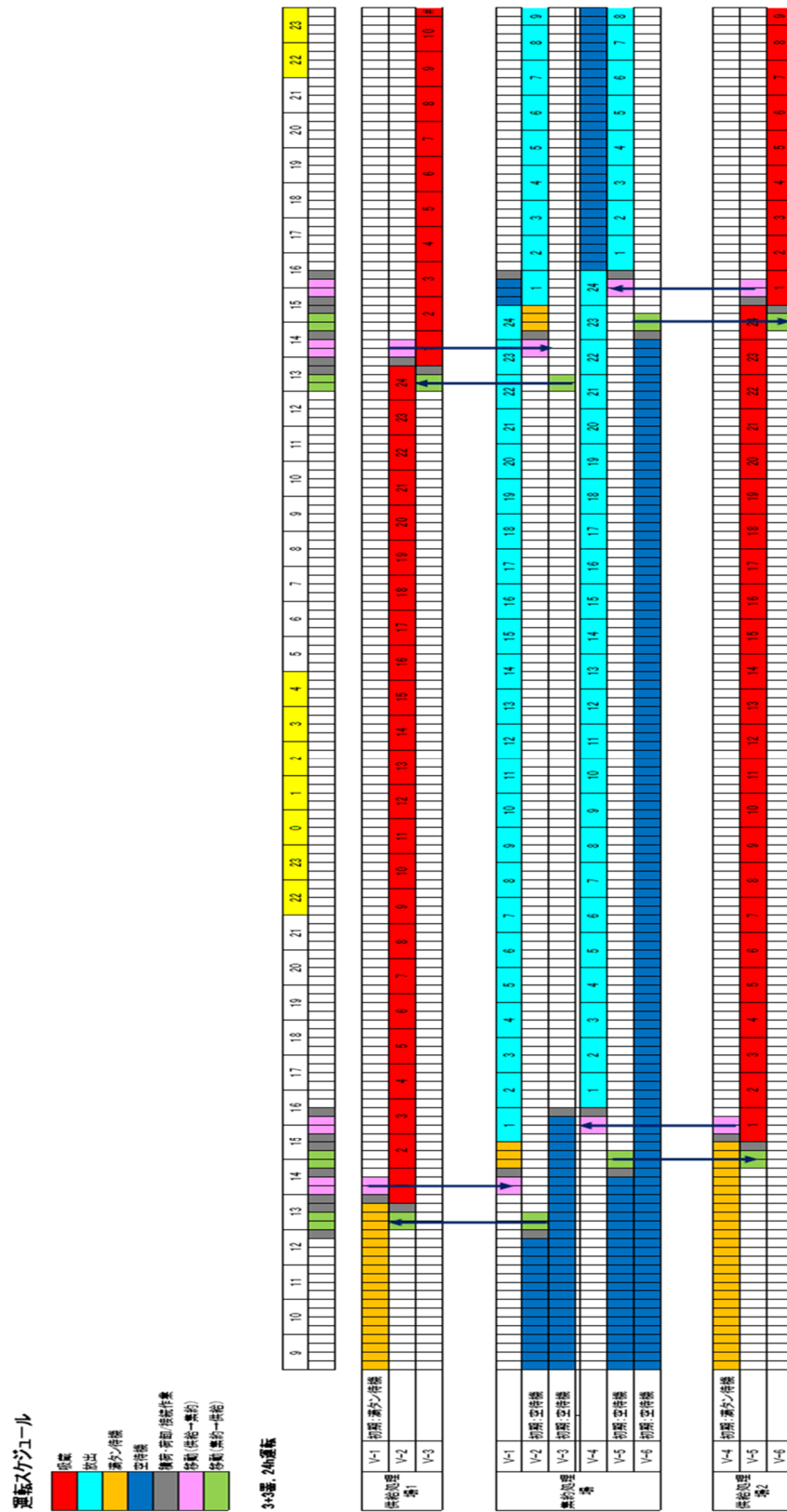


図資 2-9 建設費



図資 2-10 費用回収年

3. 運転スケジュール例



表資 3-1 運転スケジュール例

4. 実証によって得られた課題とその対応

本実証によって得られた課題とその対応について、以下に示す。

表資 4-1 実証によって得られた課題とその対応

実証中に得られた課題	課題に対する工夫	該当箇所
吸蔵装置の凍結閉塞 事例) 吸蔵装置による吸蔵容器へ吸蔵作業中に吸蔵ガスの流量低下によって吸蔵装置が停止することが頻発した。	発生原因：精製ガスに含まれている微量の水分が冷却によって徐々に結露・凍結していき熱交換部でつまり閉塞させていた。 対策：一度、冷却部を常温に戻したのち、メンテナンスモードによる手動運転にて冷却部を通気し、凍結・閉塞の除害を確認した後、以後の吸蔵運転にて、-30°Cで行っていた冷却を-10°Cほどに抑えた。 対策後：対策以後、凍結閉塞による、装置停止はなくなった。	
余剰ガス燃焼装置の失火 事例) メタン精製装置運転時に余剰ガス燃焼装置の失火警報が頻発した。	発生原因：メタン濃度の低いオフガスを返送したことによるガスホルダ内のメタン濃度低下。 対策：消化ガスとメタン精製装置の精製ガス、オフガスのそれぞれの濃度量から余剰ガス燃焼装置の許容濃度以下にならないよう流量を計算して決めた。また、消化ガスの発生量が低下している際は、メタン精製装置の処理量を抑えることとした。 追加対策1：余剰ガス燃焼装置にプロパンによる助燃ガスを供給する機構を追加して、失火が頻発する際は、プロパンガスを追加供給することとした。	

実証中に得られた課題	課題に対する工夫	該当箇所
	追加対策2：余剰ガス燃焼装置が本件要因のほかにも、実証中に消化ガス自体の濃度異常などによって失火した事例があり、その際、メタン精製装置の運転を行うとオフガスの返送によりガスホルダ内部のメタン濃度がさらに下がり、状況を悪化させる可能性が懸念された。そこで追加対策として、失火発生時にはメタン精製装置を停止する処置を行った。夜間運転時に発生した場合、対策が取れない場合も加味して実証では失火発生時に信号をいただくようにして、異常検知による緊急停止を行う機構を組み込んだ。 対策後：ガス性状異常による失火は発生しなくなった。	
計装用圧縮機の水抜き 事例) 故障等のトラブルではないが、夏季（特に梅雨時期）をピークとして計装用の圧縮機の水抜き量が異常に増える。	発生原因：圧縮による外気中の水分の結露。 対策：ガス運搬の担当者の水抜き作業について水抜きの頻度を上げ1日1回を基準として、夏季は朝夕の2回に増やすなどにして対策した。 推奨対策：水抜き作業は、ガス運搬担当者には余分な作業である。計装用の圧縮機は装置にそれぞれ設置していたため、上記の対策となってしまうが、処理場内に共用の圧縮機があるのであれば、そちらから供給する形を推奨する。	
メタン精製装置および吸蔵装置メンテナンス性	発生原因：コンテナ内に設置し、かつ防音・断熱を考慮してコンテナ内部にウレタンフォームを張り巡らせたため、コンテ	

実証中に得られた課題	課題に対する工夫	該当箇所
事例) コンテナ内部に装置を設置しており、調整バルブの開度変更などの際、作業を行うために人が入り込めるスペースが狭すぎて作業性が非常に悪い。	ナ内が狭く、メタン精製装置の調製やメンテナンスの作業性が非常に悪い。 対策: 回転機器を囲い防音対策、制御盤、吸着塔などは保温加工を加えるなどして、全体で囲うのではなく、機器個別で対策を行うこととして、屋外設置型で検討することを推奨する。	
吸蔵容器 ガス残量について 事例) 吸蔵容器のガス残量は同圧力でも温度によってガスの残量が違うため、ガス残量が分かりにくい。	基本的には余裕を持った設計になるため、スケジュールが安定した運転中は問題ない。しかし、消化ガスの発生量が低下した場合などは、スケジュール変更が必要な場合などには残量が必要になる。 対策1: 吸蔵容器には吸蔵された分しか放出できないため、吸蔵量と放出量(ガス使用量)を計測して記録しておき残量を概算しておく。 対策2: 圧力・温度から概算できる計算式を検討した。 (参考式) 圧力換算式 (25℃基準) $A = -10.853 \times P^2 + 46.912 \times P + 2.816$ A: 25℃でのガス吸蔵容積 (比) P: 圧力 (MPaG) 温度補正式 $B = 9.0063 \times \exp(-0.007 \times K)$ B: ガス吸蔵容積 温度補正 (比) K: 絶対温度 (K) ガス残量 (0.0MPaG 25℃で 残量 0 とした場合) $V = V_0 \times A \times B$	5章 §30 本技術の運転管理

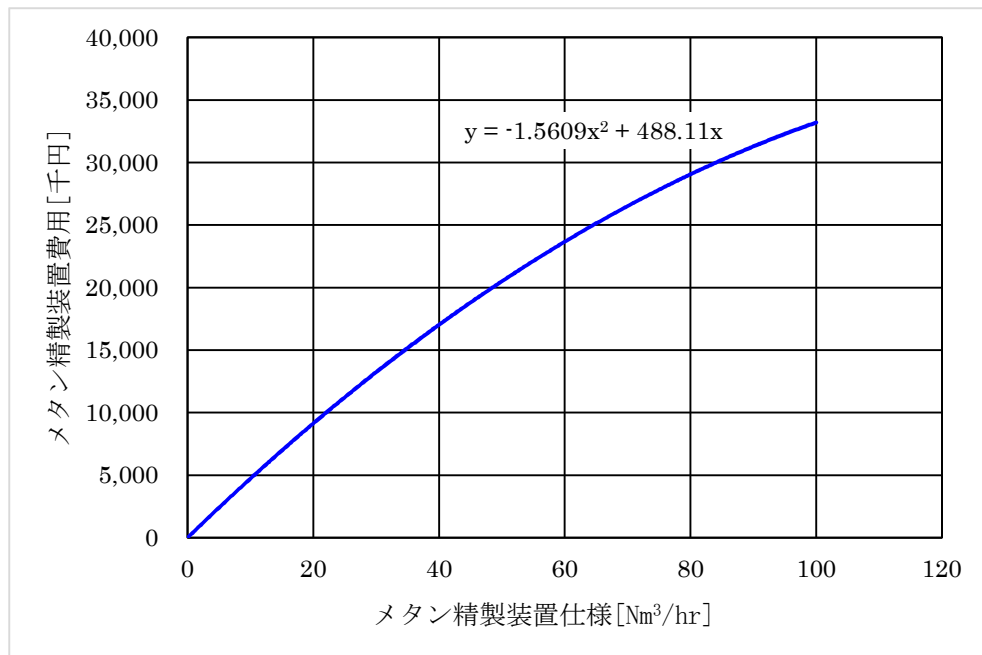
実証中に得られた課題	課題に対する工夫	該当箇所
	V : ガス残量 V0 : 吸蔵容器容積 (m3) 対策後：概算の残量は確認できた。概算計算式については大体合うことが分かっているが、精度がまだ甘いため、検討が必要。	
消化槽が減圧され、消化槽に外気混入 事例) 消化ガス発生量が低下した際、メタン精製装置によって消化槽内が減圧された。異常等は発生しなかったが、場合によっては消化槽内部に外気が混入する可能性があった。	原因：ガスの取得場所からガスホルダの間のガス配管に洗浄槽などによって逆止構造となっている処理場において、消化ガス発生量よりもメタン精製装置の引き込み量が多い場合に発生。 一時的な対策：消化ガス発生量以上の流量でガスを引き込まないように、発生量を毎日、一定時間ごとに確認し、流量低下時にはメタン精製装置の処理流量を調整した。 推奨対策：ガスの取得場所をガスホルダ直近とし、逆止による問題発生を避ける。	供給処理場 消化槽

5. 費用関数の根拠

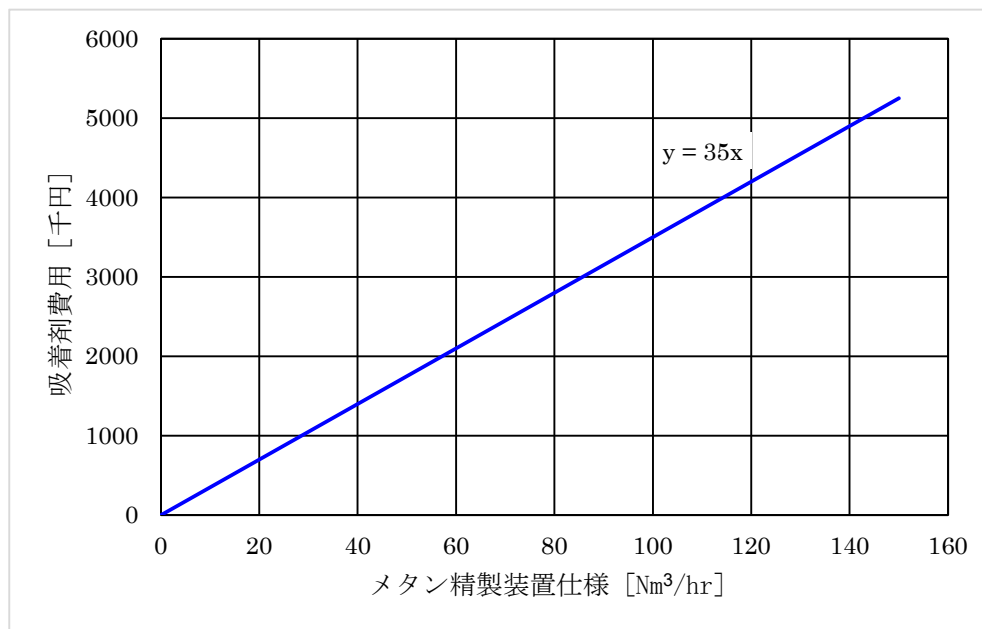
§ 24 の費用関数について、関数作成に使用したデータを表資 5-1 に示す。また関数のグラフを図資 5-1～5-12 に示す。

表資 5-1 費用関数作成に使用したデータ

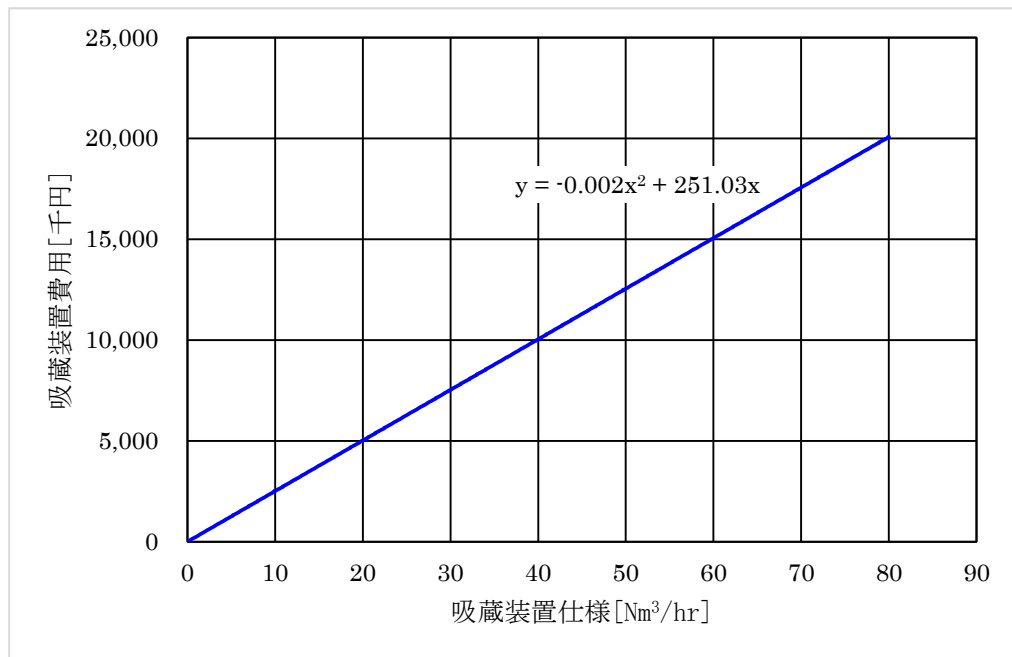
装置費用	式	使用したデータ	図
メタン精製装置費用	式 (4. 33)	流量を変えたメーカー見積から	図資 5-1
吸着剤費用	式 (4. 34)	流量を変えたメーカー見積から	図資 5-2
吸蔵装置費用	式 (4. 35)	流量を変えたメーカー見積から	図資 5-3
低濃度メタン対応型 余剰ガス燃焼装置費用	式 (4. 36)	流量を変えたメーカー見積から	図資 5-4
工事費	式 (4. 37, 38)	実証時の工事費用をベースに、流量 を変えた時の工事費用を見積取得	図資 5-5, 5-6
	式 (4. 43, 44)		図資 5-7, 5-8
発電機費用	式 (4. 40)	発電機出力を変えたメーカー見積 から	図資 5-9
シロキサン除去装置 費用	式 (4. 41)	流量を変えたメーカー見積から	図資 5-10
クッションタンク費用	式 (4. 42)	容量を変えたメーカー見積から	
吸蔵容器費用	式 (4. 45)	容量を変えたメーカー見積から	
発電機修繕費	式 (4. 46)	発電機出力を変えたメーカー見積 から	図資 5-11
シロキサン除去装置 修繕費	式 (4. 47)	流量を変えたメーカー見積から	図資 5-12



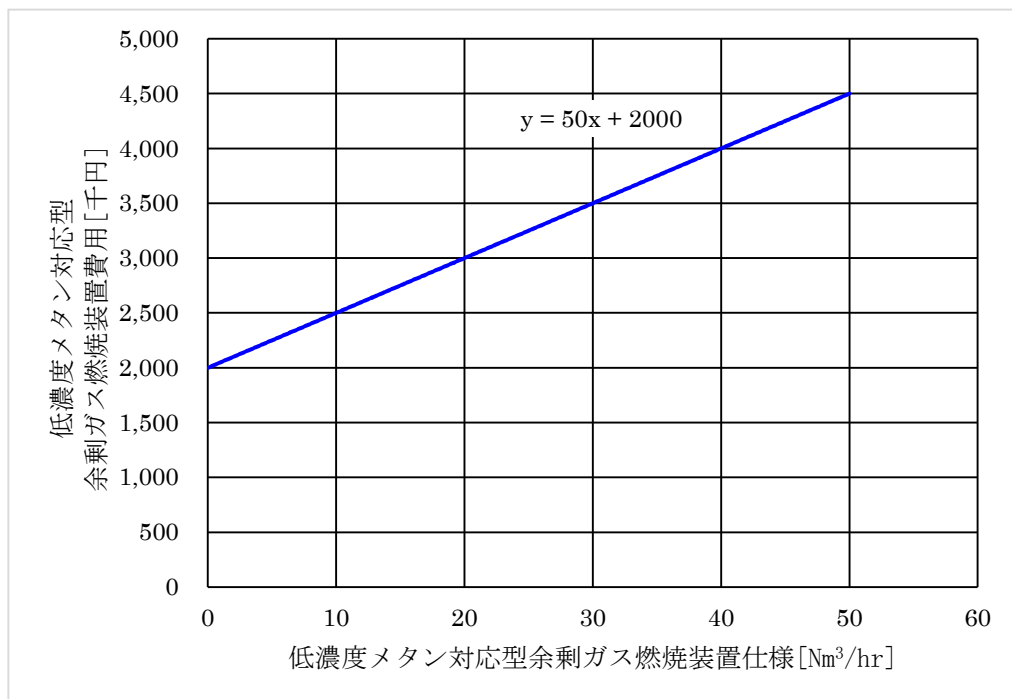
図資 5-1 メタン精製装置費用



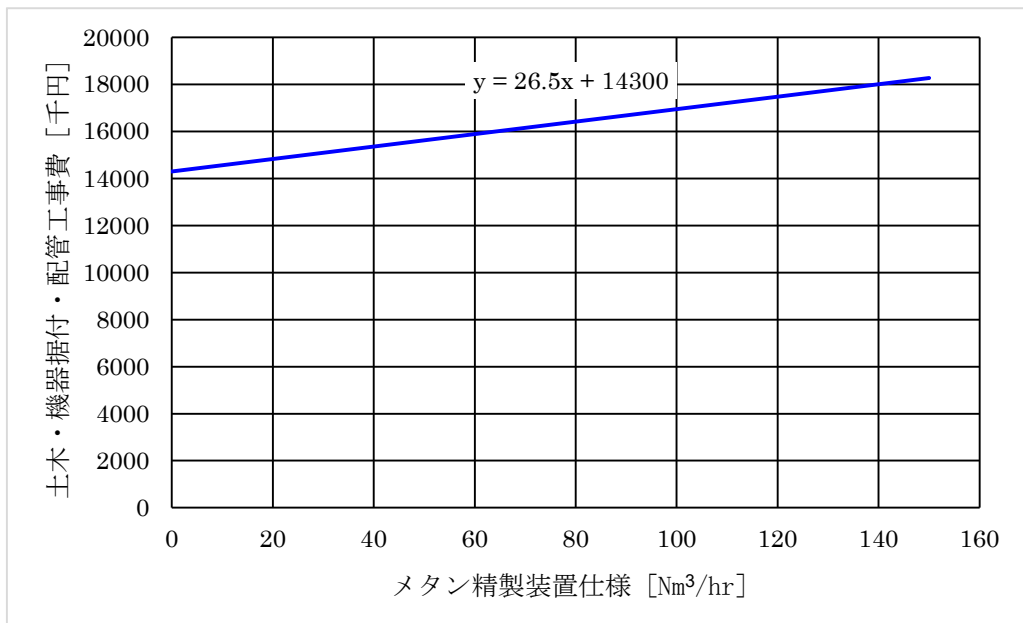
図資 5-2 吸着剤費用



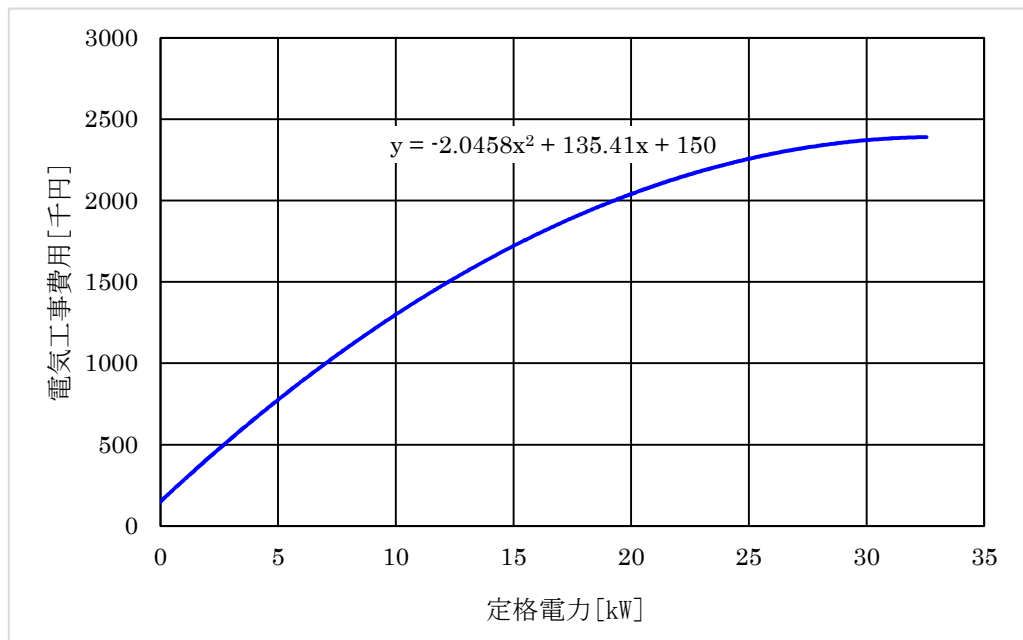
図資 5-3 吸蔵装置費用



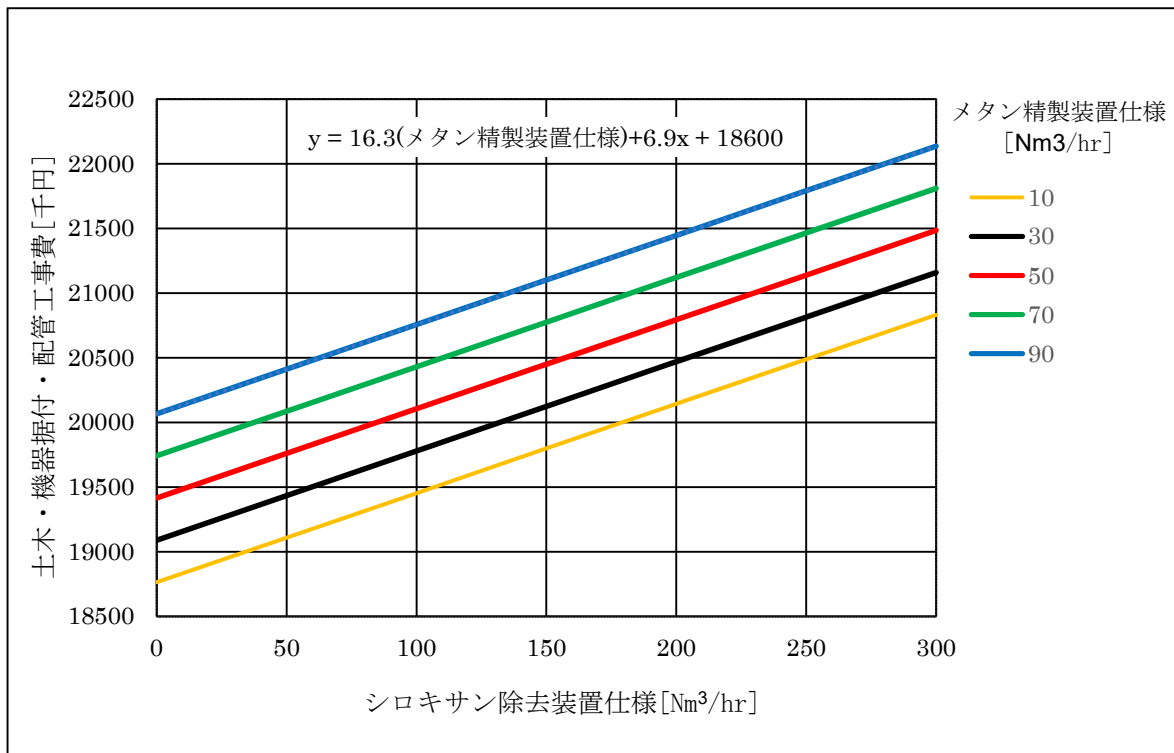
図資 5-4 低濃度メタン対応型余剰ガス燃焼装置費用



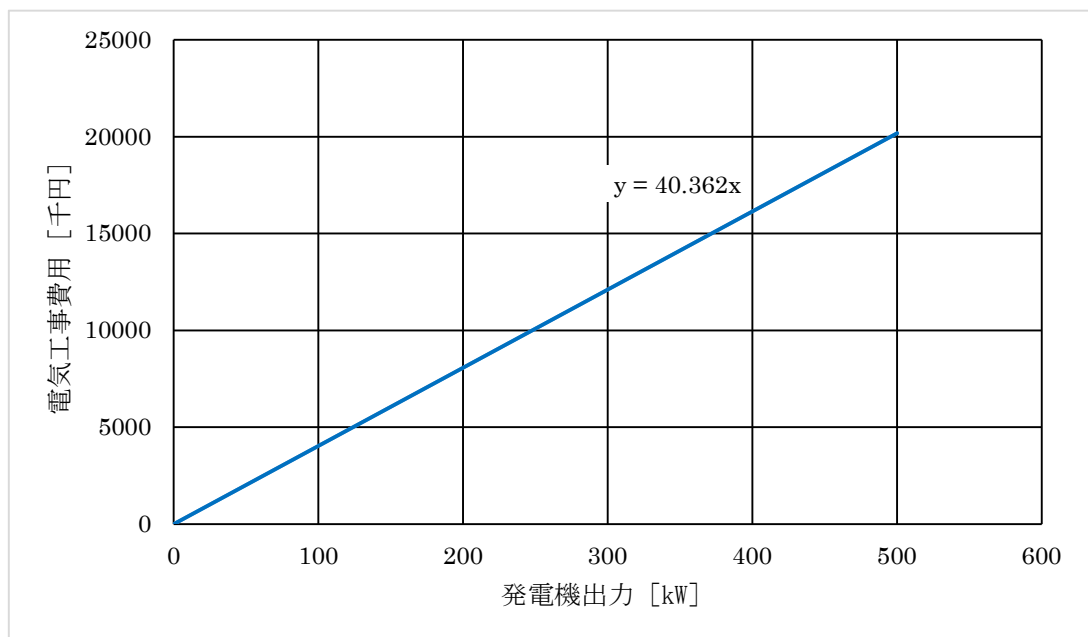
図資 5-5 土木・機器据付・配管工事費（供給処理場）



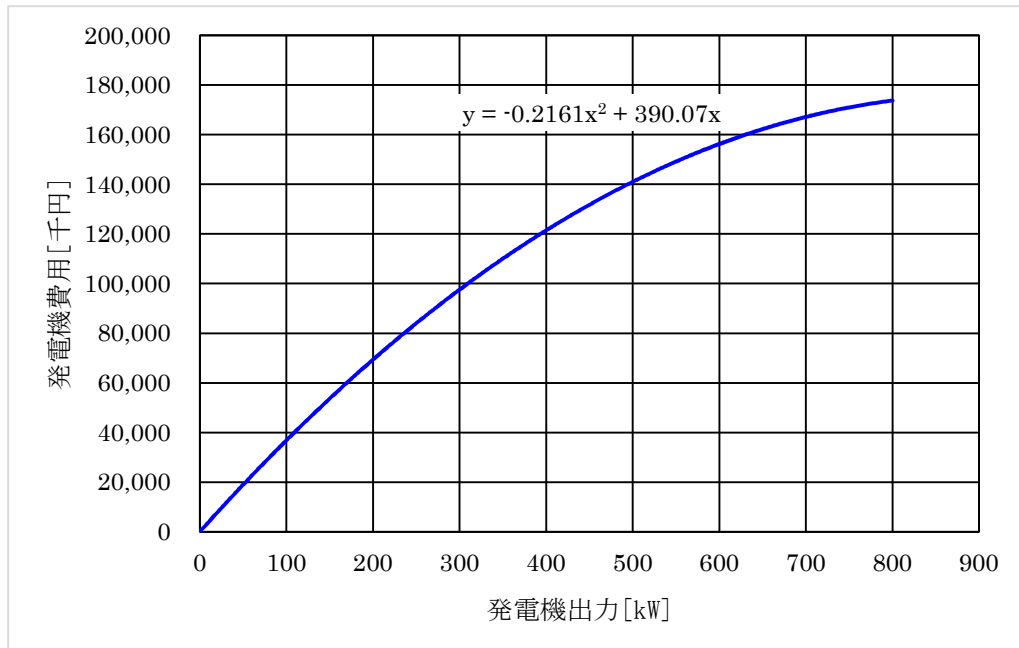
図資 5-6 電気工事費用（供給処理場）



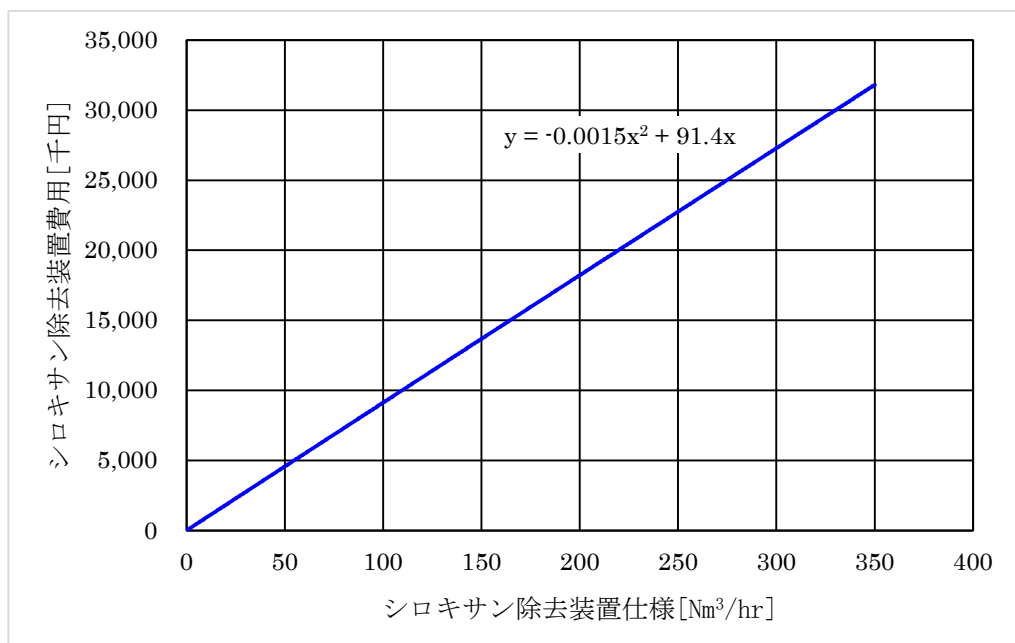
図資 5-7 土木・機器据付・配管工事費（集約処理場）



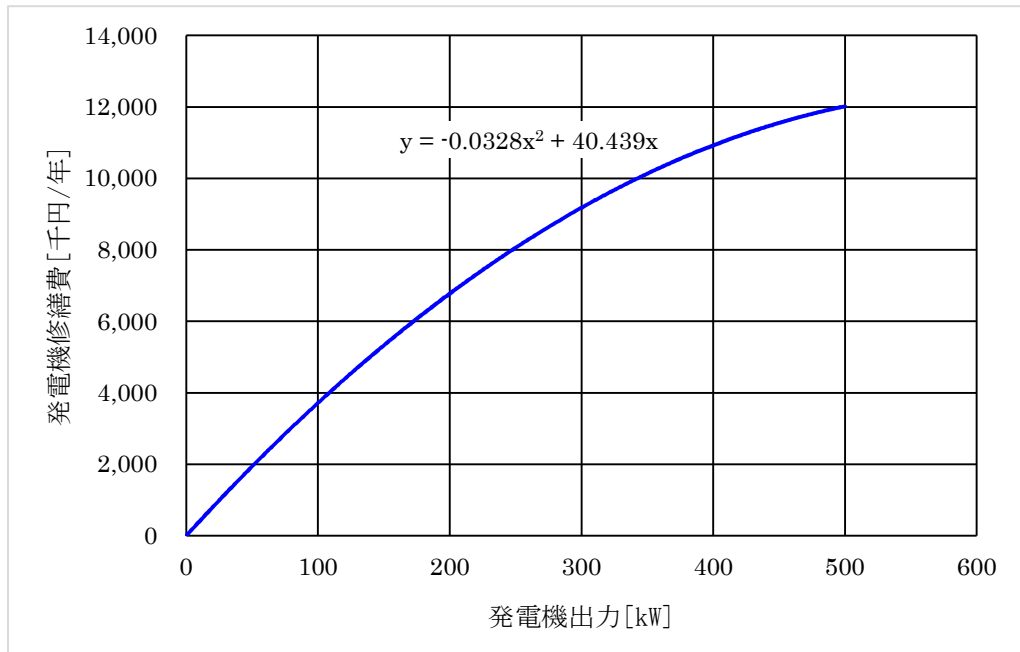
図資 5-8 電気工事費用（集約処理場）



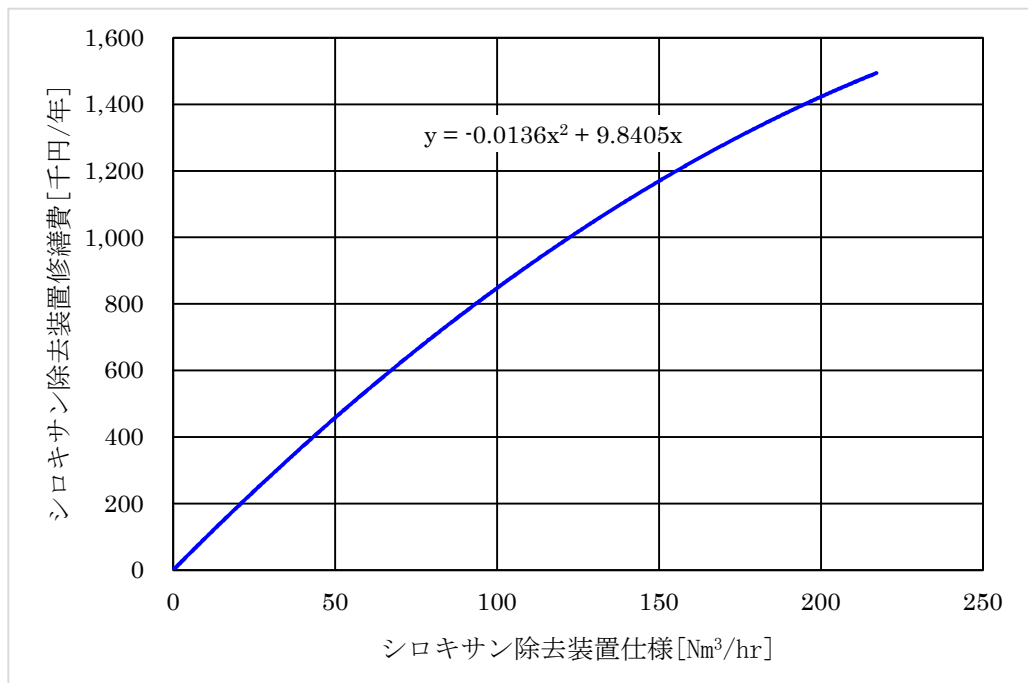
図資 5-9 発電機費用



図資 5-10 シロキサン除去装置費用



図資 5-11 発電機修繕費



図資 5-12 シロキサン除去装置修繕費

6. 参考資料

- 下水道施設計画・設計指針と解説（2009 年版）、社団法人日本下水道協会
- 下水道用語集（2000 年版）、社団法人日本下水道協会
- 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン（案）、平成 23 年 3 月、国土交通省
- 下水道統計（平成 28 年版）、公益社団法人日本下水道協会