

乾式メタン発酵施設における バイオガス発生および運転特性の解析

平成 25 年 3 月

北海道大学大学院工学研究院環境創生工学部門

廃棄物処分工学研究室

目次

1章 はじめに.....	4
1.1 研究の背景.....	4
1.2 研究の目的.....	4
2章 バイオガス発生バッチ試験データ分析.....	5
2.1 バッチ試験の概要.....	5
2.1.1 バッチ試験の方法.....	5
2.1.2 バッチ試験の試料.....	5
2.2 データ分析の準備.....	8
2.2.1 実験のばらつき.....	8
2.2.2 指標.....	9
2.2.3 サンプルのグループ化.....	10
2.3 サンプル種類別のガス発生量.....	12
2.3.1 VSあたりの7日間ガス発生量.....	12
2.3.2 前処理による影響.....	14
2.3.3 種類別の特性.....	16
2.4 サンプルの種類別特性.....	19
2.4.1 種類別特性の指標.....	19
2.4.2 種類別特性の分析.....	20
3章 運転データ分析.....	25
3.1 運転データ分析の概要.....	25
3.1.1 施設の概要.....	25
3.1.2 運転データの項目.....	25
3.1.3 運転データの整備.....	25
3.2 週単位合計データの分析.....	27
3.2.1 分析方法.....	27
3.2.2 分析結果.....	28
3.3 日データ分析.....	30
3.3.1 データの抽出.....	30
3.3.2 日データを用いたモデル化の方法.....	31
3.3.3 モデル化の結果.....	32
3.4 時間データ分析.....	36
3.4.1 分析データの抽出.....	36
3.4.2 時間データを用いたモデル化の方法.....	36
3.4.3 モデル化の結果.....	36
4章 今後の運転に向けて.....	38
4.1 バッチ試験.....	39

4.2 モデル化	39
4.3 試験運転	40
参考文献	42
付図	42

1章 はじめに

1.1 研究の背景

メタン発酵は廃棄物処理においてエネルギー回収をできる技術として注目されており、このうち乾式メタン発酵は固形物濃度がきわめて高く、紙ごみや剪定枝も処理できる。また消化液の水処理が不要といった特徴がある。図 1-1 は乾式メタン発酵施設のフローである。

この乾式メタン発酵に関して、長野県穂高広域施設組合において実証実験が行われた。施設は 2007 年から 5 年間稼働し(現在は運転が終了)、処理規模は 7t/日、投入対象物は生ごみ、紙ごみ、チップである。また、運転を開始した 2007 年からの施設の運転データがある。

そこで、運転を担当している栗田工業株式会社と共同研究を行い、併せて栗田工業が行っているバイオガス発生バッチ試験のデータを提供してもらい、研究を行うこととなった。

1.2 研究の目的

まず第 1 の目的として、バイオガス発生バッチ試験データから、様々な有機物のガス発生量や分解時間などの様々なガス発生特性を分析する。乾式メタン発酵施設では処理する有機物の種類は様々であるので、多くのサンプルのデータがあるバイオガス発生バッチ試験のデータ分析を使用し、分析を行う必要がある。

第 2 の目的として、施設の運転データから、乾式メタン発酵施設のガス発生特性を分析し、ガス発生を予測するモデルを作成する。施設の運転データはデータ数、データの種類ともに十分あるので、必要なデータを抜き出しながら、分析を行う。

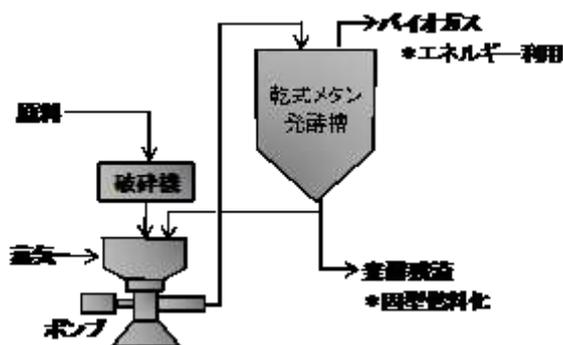


図 1-1 乾式メタン発酵施設フロー

2章 バイオガス発生バッチ試験データ分析

2.1 バッチ試験の概要

2.1.1 バッチ試験の方法

図 2-1 に実験装置を示す。発生したバイオガス中の二酸化炭素が、水槽中に溶け込むことを防止するため、ガスホルダーの内部にはパラフィンオイルを入れ(約 1cm)、水槽内の水は、二酸化炭素の溶解を防止するために、硫酸を用いて pH3 以下に調整している。実験時の温度は 52~55°C をたもち、測定期間は 7 日間である。

測定項目は、原料性状(TS、VS、T-C など)、汚泥性状(汚泥量、TS、VS)、試験条件(投入量)、ガス発生特性(7 日間までのガス発生量、メタン濃度)である。

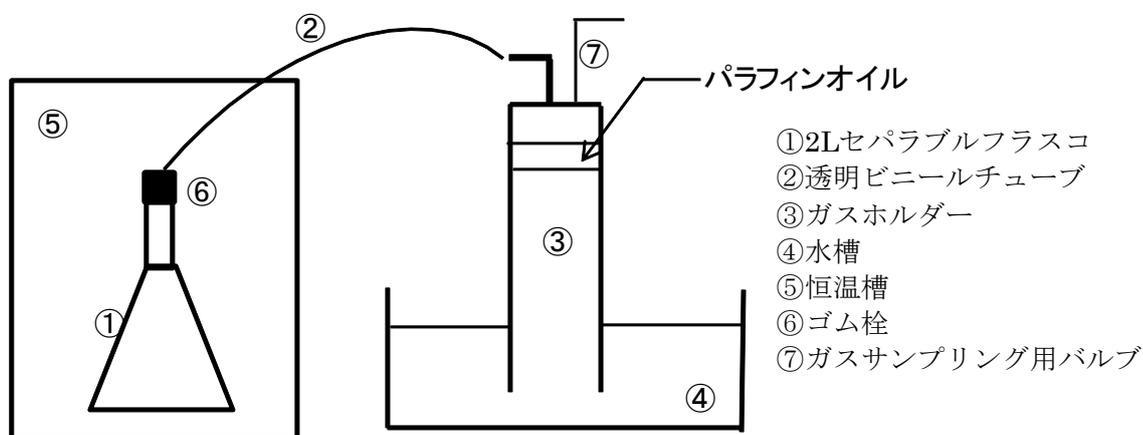


図 2-1 実験装置図

2.1.2 バッチ試験の試料

分析に用いるバッチ試験データが入っているデータファイルがあり、その数は 98 であり、それぞれのデータファイルに名称が付いている。データファイルの中にはバッチ試験を行った試料のサンプルが 3~6 個入っており、サンプルの総数は 263 である。データファイル中のサンプルの詳細を、表 2-1 の各データファイルとサンプル一覧に載せた。また、データファイルには 1~98 の ID 番号を付けた。番号は、バッチ試験が行われた日にちの古い順に並んでいる。バッチ試験は、2003 年から 2006 年の 3 年間に渡って行われた。

表 2-1 データファイルとサンプル一覧 (1/2)

ID	データファイル名	サンプル名					
		セルローズ	Y町古紙	Y町スラリー	Y町生ごみ		
1	Y町(古紙、スラリー、生ごみ)	セルローズ	Y町古紙	Y町スラリー	Y町生ごみ		
2	K県乳牛ふん、肉牛ふん、グリセリン	セルローズ	S町 液のみ	SS町 固、液	K村 混合	K大 グレリン	
3	ティッシュ、ガム、飴	セルローズ	ティッシュ	ガム	飴		
4	コーヒーかす、茶がら	セルローズ	コーヒーかす	茶がら			
5	飴MKS社(粉末)	セルローズ	M社製飴	K社製飴	S社製飴		
6	飴MKS社(丸形)	セルローズ	M社製飴	K社製飴	S社製飴		
7	きのご糞菌床、J社菌床	セルローズ	J社 きのご菌床	J社菌床 未使用	J社菌床 1回使用	J社菌床 2回使用	
8	豚ふん、古紙、生ごみ(bVS定量投入)	セルローズ	豚ふん	可燃ごみ(古紙)	生ごみ		
9	パン(bVS定量投入)	セルローズ	パン(VS25g)	パン(VS15g)			
10	マンガ雑誌、カタログ紙、プリンター写真紙	セルローズ	マンガ雑誌	カラーカタログ紙	プリンター写真紙		
11	竹破砕物、竹串(加熱)	セルローズ	竹破砕物	竹破砕物(加圧加熱処理)	竹串	竹串(加圧加熱処理)	
12	摺紙ブロック、ダストパルプ	セルローズ	摺紙ブロック	ダストブロック			
13	竹混合物菌床(えりんぎ、しいたけ、はなびら)	セルローズ	エリンギ	シイタケ	ハナビラタケ		
14	ソウふん、シマウマふん	セルローズ	ソウふん	シマウマふん			
15	竹混合物菌床 試験2週目(えりんぎ、しいたけ、はなびら)	セルローズ	竹、エリンギ菌床混合物	竹、シイタケ菌床混合物	竹、ハナビラタケ菌床混合物	J社 菌床	
16	紙コップ、合成生ごみ	セルローズ	紙コップ	生ごみ			
17	竹混合物菌床 4週目(えりんぎ、しいたけ、はなびら)	セルローズ	竹、エリンギ菌床混合物	竹、シイタケ菌床混合物	竹、ハナビラタケ菌床混合物	合成生ごみ	
18	J社菌床(事セン汚泥、セルローズ)	セルローズ	J社菌床				
19	ジャガイモ	セルローズ	ジャガイモ(メークイン)	ジャガイモ(男爵)			
20	鶏ふん、堆肥化物、古紙(自然耕房向け)	セルローズ	古紙	鶏ふん堆肥	鶏ふん		
21	T大 ジャガイモ、グレープフルーツ他	セルローズ	ジャガイモ180°C 10min 1.0Mpa	グレープフルーツ 180°C10min 1.0Mpa	パイナップル皮180°C 10min 1.0Mpa	パイナップル葉180°C 10min 1.0Mpa	
22	J社菌床、屋久混合物(スラリー、段ボール、生ごみ)	セルローズ	J社菌床	スラリー：段ボール：生ごみ(6:3:1)			
23	もみ殻	セルローズ	もみ殻				
24	J社菌床、屋久混合物(スラリー、段ボール、生ごみ)、もみ殻	セルローズ	J社菌床	スラリー：段ボール：生ごみ(6:3:1)	もみ殻		
25	オゾン反応25、50、97竹粉	セルローズ	オゾン反応時間25分竹粉	オゾン反応時間50分竹粉	オゾン反応時間97分竹粉		
26	オゾン反応竹粉	セルローズ	未処理竹粉(含水率45%)	オゾン反応時間25分竹粉	オゾン反応時間50分竹粉	オゾン反応時間97分竹粉	オゾン反応時間120分竹粉
27	オゾン反応120、未反応竹粉	セルローズ	オゾン反応時間120分竹粉	未処理竹粉(含水率45%)			
28	T大 ジャガイモ、グレープ、パイナップル	セルローズ	ジャガイモ50g+水200ml(未処理)	グレープフルーツ果皮50g+水200ml(未処理)	パイナップル果皮50g+水200ml(未処理)		
29	T大ジャガイモ蒸煮処理、蒸煮爆砕処理	セルローズ	ジャガイモ蒸煮爆砕処理物(220°C、10min)	ジャガイモ蒸煮処理物(220°C、10min)	ジャガイモ(生)		
30	日本工営生ごみ	セルローズ	日本工営 生ごみ				
31	A放牧場 育成牛敷料ふん、K市豚ふん	セルローズ	A放牧場 育成牛(3日)敷料混合ふん	A放牧場 育成牛(10日)敷料混合ふん	K市 豚ふん 毛が多い物	K市 豚ふん 二段目 凝集剤あり	
32	K市豚ふん(2回目採集)	セルローズ	K市 豚ふん 毛が多い物	K市 豚ふん 二段目 凝集剤あり			
33	K市豚ふん(3回目採集)	セルローズ	K市 豚ふん 毛が多い物	K市 豚ふん 二段目 凝集剤あり			
34	K市豚ふん、長期(3回目採集)	セルローズ	K市 豚ふん 毛が多い物	K市 豚ふん 二段目 凝集剤あり			
35	オゾン処理杉粉	セルローズ	未処理杉粉	オゾン処理時間30分杉粉	オゾン処理時間60分杉粉	オゾン処理時間120分杉粉	
36	段ボール	セルローズ	2004/2/10				
37	メタン標準物質(汚泥500g)	セルローズ	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーあり)	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーなし)			
38	メタン標準物質(汚泥1000g)	セルローズ	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーあり)	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーなし)			
39	メタン標準物質(汚泥200g)	セルローズ	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーあり)	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーなし)			
40	メタン標準物質(汚泥300g)	セルローズ	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーあり)	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーなし)			
41	メタン標準物質(汚泥300g)2回目	セルローズ	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーあり)	セルローズ(呼吸速度計、CO2スクラパーなし)			
42	A県 プナおがくず、杉おがくず	セルローズ	プナおがくず	杉おがくず			
43	A県 プナおがくず、杉おがくず(爆砕処理)	セルローズ	Run1杉チップ約3分200°C	Run2杉(210°C約10分)チップ			
44	A県 針葉樹おがくず2、4、6分	セルローズ	針葉樹おがくず2分	針葉樹おがくず4分	針葉樹おがくず6分		
45	A県 針葉樹おがくず2、4、6分+針おがくず	針葉樹おがくず	針葉樹おがくず2分	針葉樹おがくず4分	針葉樹おがくず6分		

表 2-1 データファイルとサンプル一覧 (2/2)

46	A県 針葉樹チップ6、9分	セルロース	針葉樹チップ6分	針葉樹チップ9分		
47	A県 針葉樹チップ6、9分+3分、おがくず	針葉樹おがくず	針葉樹チップ3分	針葉樹チップ6分	針葉樹チップ9分	
48	A県 広葉樹チップ1、2、3分	セルロース	広葉樹チップ1分	広葉樹チップ2分	広葉樹チップ3分	
49	A県 広葉樹チップ1、2、3分+おがくず	広葉樹おがくず	広葉樹チップ1分	広葉樹チップ2分	広葉樹チップ3分	
50	A県 広葉樹おがくず2分、針葉樹チップ3分	セルロース	広葉樹おがくず2分	針葉樹チップ3分		
51	A県 広葉樹おがくず2分+おがくず	広葉樹おがくず	広葉樹おがくず2分			
52	A県 針葉樹おがくず2分、広葉樹おがくず2、3分	セルロース	針葉樹おがくず2分	広葉樹チップ2分	広葉樹チップ3分	
53	K社 オゾン処理バガス15、30、60分	セルロース	オゾン処理15分バガス	オゾン処理30分バガス	オゾン処理60分バガス	未処理バガス(含水率42.7%)
54	K社 オゾン処理サトウキビ15、30、60分	セルロース	オゾン処理15分サトウキビ鞘頭部	オゾン処理30分サトウキビ鞘頭部	オゾン処理60分サトウキビ鞘頭部	未処理サトウキビ鞘頭部(含水率41.5%)
55	メタン標準物質(汚泥200g、3rd)	セルロース	セルロース(呼吸速度計、CO2スクラバーあり)	セルロース(呼吸速度計、CO2スクラバーなし)		
56	K市 豚ふん一段、二段	セルロース	K市 豚ふん 第一段脱水残査	K市 豚ふん 第二段脱水残査		
57	J社 廃菌床、オカラ、ビール粕	セルロース	J社 廃菌床	J社 オカラ	J社 ビール粕	
58	K市 豚ふん1段、2段	セルロース	K市 豚ふん 第1段	K市 豚ふん 第2段	K市 豚ふん(第1段:第2段:サラダ油=10:10:2、湿重)	
59	爆砕物220、240、250℃	セルロース	爆砕物220℃	爆砕物240℃	爆砕物250℃	
60	K市 油	セルロース	事セン油			
61	K市 油(12day)	セルロース	事セン油			
62	K社 モクモウオゾン処理	セルロース	K社 モクモウ 未処理	K社 モクモウ 30分	K社 モクモウ 60分	K社 モクモウ 120分
63	K社 ギンネムオゾン処理	セルロース	K社 ギンネム 未処理			
64	K社 ギンネムオゾン処理その2	セルロース	K社 ギンネム 30分	K社 ギンネム 60分	K社 ギンネム 120分	
65	K社 アダンオゾン処理	セルロース	K社 アダン 60分			
66	K社 アダンオゾン処理その2	セルロース	K社 アダン 未処理	K社 アダン 15分	K社 アダン 30分	
67	サラダ油、加温	セルロース	サラダ油 未処理	サラダ油 30分180℃加温		
68	赤土	セルロース	赤土			
69	T大 スギ爆砕処理220、245、270℃	セルロース	T大 スギ爆砕処理220℃ 5分	T大 スギ爆砕処理245℃ 5分	T大 スギ爆砕処理270℃ 5分	
70	メタン連続試験bVS2(バッチ) Run1、2、4.5(1氏より)	セルロース	Run1 bVS2.0	Run2 bVS2.0	Run4 bVS2.0	Run5 bVS2.0
71	K市連続試験の配合、汚泥	セルロース	K市連続試験の配合	K市 汚泥		
72	JA-N、なめこ、えのき	セルロース	JA-N やまびこしめじ	JA-N なめこ	JA-N えのき茸	
73	K市 豚ふん1段、2段	セルロース	K市 第一段 脱水豚ふん	K市 第二段 脱水豚ふん		
74	ティッシュ、生ごみ	セルロース	ティッシュ	生ごみ9月	生ごみ6月	
75	爆砕チップ1分、おがくず1分	セルロース	広葉樹チップ1分	半乾燥広葉樹チップ1分	広葉樹おがくず1分	半乾燥広葉樹おがくず1分
76	K市 豚ふん1段、2段	セルロース	K市 第一段 脱水豚ふん	K市 第二段 脱水豚ふん	K市メタン発酵汚泥	
77	爆砕木チップ3分	セルロース	広葉樹チップ3分	半乾燥広葉樹チップ3分		
78	生ごみ10月作成	セルロース	生ごみ			
79	TC依頼	セルロース	牛ふん	豚ふん	し尿汚泥	生ごみ
80	グリセリン	セルロース	廃グリセリン	中和グリセリン	グリセリン(日本薬局方)	セルロース(日本薬局方の標準)
81	生ごみ11月作成、鶏ふん	セルロース	生ごみ11月	鶏ふん		
82	KN市、爆砕杉、40atm3min、45atm3min	セルロース	爆砕杉 40atm3分	爆砕杉 45atm3分		
83	グリセリン(NYK方)	セルロース	グリセリン(日本薬局方)			
84	KN爆砕杉25atm3min、25atm5min	セルロース	爆砕杉 25atm3分	爆砕杉 25atm5分	爆砕杉 35atm3分	爆砕杉 35atm6分
85	KN爆砕杉35atm9min	セルロース	爆砕杉 35atm9分			
86	Y市1	セルロース	Y市生ごみ			
87	Y市(図3-1-bVS)	セルロース	Y市生ごみ(一般)	選別ごみ(060116)		
88	Y市S-bVS(横2S)	セルロース	Y市生ごみ(一般)	Y市生ごみ(スクリュープレス)		
89	Y市(図3-2-bVS)	セルロース	N町 ごみ袋	紙ごみ袋(コーティングあり)	Y市選別ごみ	選別ごみ(060130)
90	Y市S-bVS(横2+紙袋2)	セルロース	N町 ごみ袋	紙ごみ袋(コーティングあり)	Y市選別ごみ	Y市脱水ごみ
91	Y市S-bVS(紙ごみ袋報告書用)	セルロース	紙ごみ袋(コーティングなし)	紙ごみ袋(コーティングあり)	Y市選別ごみ	Y市脱水ごみ
92	Y市(図3-3-bVS)	セルロース	Y市破碎ごみ(選別なしごみ)	Y市選別ごみ	選別ごみ(060213)	
93	Y市S-bVS(横3)	セルロース	Y市破碎ごみ(選別なしごみ)	Y市選別ごみ	Y市脱水ごみ	
94	Y市(図3-4-bVS)	セルロース	Y市破碎ごみ(風選別なしごみ)	Y市選別ごみ	選別ごみ(060227)	
95	Y市S-bVS(横3)	セルロース	Y市破碎ごみ(風選別なしごみ)	Y市選別ごみ	Y市脱水ごみ	
96	Y市S-bVS(横3終)	セルロース	Y市破碎ごみ(風選別なしごみ)	Y市選別ごみ	Y市脱水ごみ	
97	Y市(図3-5-bVS)	セルロース	選別ごみ(060313)	3/23Y市風選前ごみ	3/23Y市選別ごみ	3/23Y市脱水ごみ
98	Y市(図3-6-bVS)	セルロース	3/13Y市脱水ごみ	3/23Y市風選前ごみ	3/23Y市選別ごみ	選別ごみ(060323)

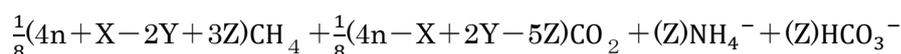
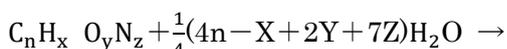
2.2 データ分析の準備

2.2.1 実験のばらつき

バッチ試験では、標準物質にセルロースを使用し、各実験においてセルロースの測定も一緒に行っている。表 1 からわかるように、各データファイルにはセルロースがほぼ全てに入っている。各実験におけるセルロースの分解率を求めることによって、各実験の微生物分解のばらつきがわかる。セルロースの分解率の求め方は、

- ① 測定結果から、セルロースの VS あたりのガス発生量を計算する
- ② セルロース ($C_6H_{10}O_5$, 分子量 162 グラム) 1mol から発生するガス(CH_4 と CO_2)は、セルロースの組成より、C が 6 つであるので、ガスは 6mol 発生する。よってガスは、 6×22.4 (L) =133.4 (L) 発生。これをセルロースの分子量 162 で割って、1(g-VS)あたり 0.8296(L/g-VS)となる
- ③ セルロースから発生するガスの割合は、Buswell の式¹⁾より $CH_4 : CO_2 = 1 : 1$ となる
よって、メタンガスの発生量は②の半分の、0.415 (L- CH_4 /g-VS)

Buswell の式



- ④ ガス発生量 (VS あたり) ×メタン濃度=実験におけるメタンガス発生量を求める
- ⑤ ④÷③でセルロースの分解率を求める (実験値÷理論値)
- ⑥ セルロースの分解率の標準を 80 とすると、⑤<80 ならば分解率が低いと考える

また、セルロースの分解率の標準を 80%とし、図 2-2 の分布について 80%との誤差を考える。セルロースのサンプル総数は 94 であるが、データ不備のサンプルが 3 つあったので、図 2-2 のサンプル総数は 91 である。

図 2-2 からわかるように、誤差±10%の範囲にサンプル数が多く、その個数は 77 個である。誤差を-20%まで広げると、個数は 89 個となる。誤差 20%以内に入らなかったサンプルは 2 個であるが、どちらも分解率が 62%であり、誤差は-22.5%である。

また、あとで記述するように、ガス発生量のばらつきは大きく、10~20%の分解率の誤差は傾向に影響しない。従って、結果から、サンプル総数の 85%が誤差 10%以内であり、ほぼ全てのサンプルが誤差 20%以内にあるので、誤差は考慮せずに分析を行うことにする。

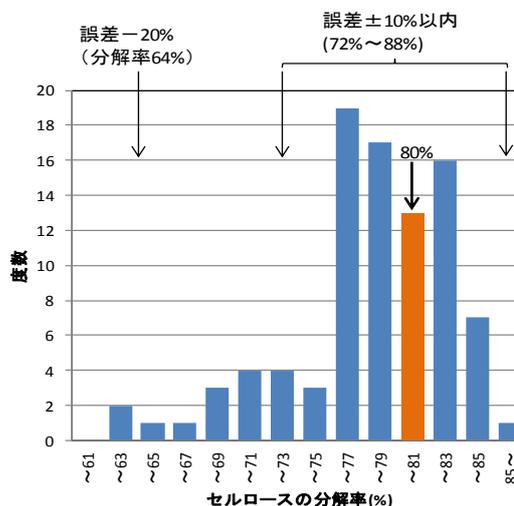


図 2-2 セルロース分解率の分布

2.2.2 指標

各サンプルの単独の指標として、図 2-3 に示すような有機物の組成における TS、VS、T-C といった特性を指標とする。

次に、図 2-4 はランダムに選んだ 4 つのサンプルのガス発生量の時間ごとの推移を表した図である。グラフからわかるように、サンプルによって変化の形は様々であり、ガス発生における特性はそれぞれ異なる。このことから、サンプルのガス発生特性を測るものとして、VS あたりの 7 日間ガス発生量、1 日間/7 日間ガス発生量、3 日間/7 日間ガス発生量を指標とする。

また、サンプルの分解特性を測るものとして、炭素のガス化率(分解率)を指標とする。炭素のガス化率(分解率)の求め方は、まず、サンプルの T-C が完全に分解した時に発生するガス量は、 $T-C(g)/12 \times 22.4(L)$ で求められ、この値は TS あたりであるので、VS あたりに換算する。この値が VS あたりのガス発生量の理論値となる。そして、測定値である VS あたり 7 日間ガス発生量を VS あたりのガス発生量の理論値で割り、炭素のガス化率(分解率)を求める。



図 2-3 有機物の組成

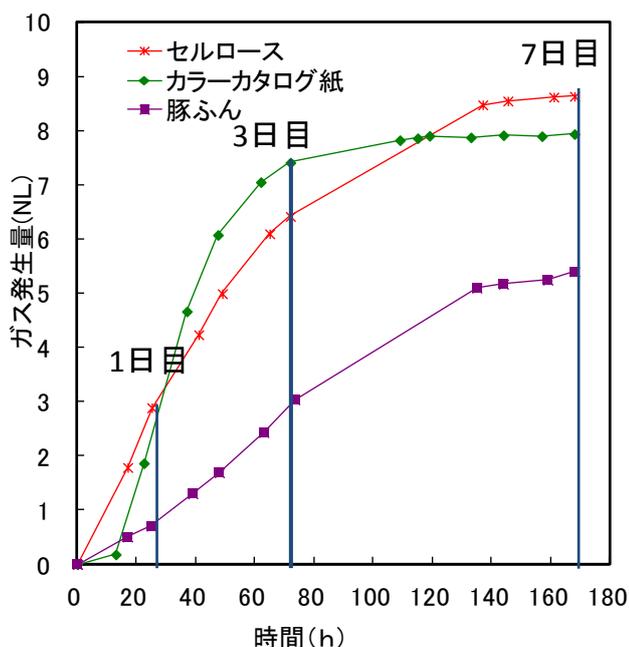


図 2-4 ガス発生量の時間ごとの推移

2.2.3 サンプルのグループ化

まず標準物質であるセルロースを除く 263 のサンプルをグループ分けし、グループごとに特徴を分析することにした。分析を行うにあたって、263 のサンプルのうち、データ不備や混合物という理由で 27 のサンプルはグループ分けせずに除外した。よって、グループ分けし、分析に使用するサンプルの総数は 236 となった。また、表 2-2 がグループ分けのまとめであり、表 2-3 がグループごとのサンプルの詳細である。

サンプルのグループ化の方法は、まずサンプル名から同じ種類と思われるサンプルごとにグループ分けし、その後、植物、食品類はグループ内でさらに細かく種類ごとに分けた。この時点で、グループは表 2-2、表 2-3 と同じ(a)~(f)の 6 つのグループに分けていた。その後、栗田工業の担当の方に確認してもらい、名称だけではどこに分類したら良いかわからなかったサンプルを再分類をする、ごみのグループ内で生ごみと選別ごみに分ける、その他のグループを内で細かく種類ごとに分けるといった修正をもらった。

また、表 2-2 から分かるように、植物のサンプルが最も多く、内訳数も多い。食品類は植物ほどサンプル数は多くないが、5 つ内訳に分けられた。動物ふんはいくつかの種類の動物のふんのサンプルがあったが、サンプル数があまり多くないサンプルがあったのでまずはひとつのグループにした。ごみは先程述べたように、生ごみと選別ごみに分けた。紙類はグループ内で分けるものはなかった。その他はグループ内で 5 つに分けられた。

また、表 2-3 の番号欄にあるように、全てのサンプルに番号をつけた。番号の付け方は、表 2-1 のデータファイルとサンプル一覧より、例として ID=1 のデータファイル（屋久(古紙、スラリー、生ごみ)）では、標準物質であるセルロースは S1-0 とし、屋久古紙は S1-1、スラリーは S1-2、屋久生ごみは S1-3 とした。同様に、ID=3 のデータファイル（ティッシュ、ガム、飴）では、標準物質であるセルロースが S3-0、ティッシュが S3-1、ガムが S3-2、飴が S3-3 とした。このように、

$$S - (\text{ID の数字}) - \begin{cases} (\text{セルロースなら } 0) \\ (\text{セルロース以外なら、} 1 \sim) \end{cases}$$

という番号付けを行った。

表 2-2 サンプルのグループ分けまとめ

	内訳	サンプル数
(a)植物	オゾン処理	23
	針葉樹爆砕処理	13
	広葉樹爆砕処理	14
	スギ爆砕処理	12
	竹キノコ廃菌床	6
	廃菌床	9
	木未処理	14
(b)食品類	キノコ	6
	野菜・果物	7
	野菜爆砕処理	6
	野菜オゾン処理	3
	食品	14
(c)動物ふん		31
(d)ごみ類	生ごみ	14
	選別ごみ	30
(e)紙類		18
(f)その他	食用油	4
	汚泥	3
	グリセリン	5
	その他	3
	セルロース	1

表 2-3 グループ化したサンプル

原料名		番号	原料名		番号	原料名		番号			
a	植物	木(未処理)	オゾン反応時間25分竹粉	S25-1	竹破砕物	S11-1	Y町生ごみ	S1-3			
			オゾン反応時間50分竹粉	S25-2	竹串	S11-3	生ごみ	S8-3			
			オゾン反応時間97分竹粉	S25-3	未処理竹粉(含水率45%)	S26-1	生ごみ	S16-2			
			オゾン反応時間25分竹粉	S26-2	未処理竹粉(含水率45%)	S27-2	合成生ごみ	S17-4			
			オゾン反応時間50分竹粉	S26-3	未処理杉粉	S35-1	日本工営 生ごみ	S30-1			
			オゾン反応時間97分竹粉	S26-4	フナおがくず	S42-1	生ごみ9月	S74-2			
			オゾン反応時間120分竹粉	S26-5	杉おがくず	S42-2	生ごみ6月	S74-3			
			オゾン反応時間120分竹粉	S27-1	針葉樹おがくず	S47-1	生ごみ	S78-1			
			オゾン処理時間30分杉粉	S35-2	広葉樹おがくず	S49-1	生ごみ	S79-4			
			オゾン処理時間60分杉粉	S35-3	広葉樹おがくず	S51-1	生ごみ11月	S81-1			
			オゾン処理時間120分杉粉	S35-4	K社 モクモウ 未処理	S62-1	Y市生ごみ	S86-1			
			オゾン処理15分バガス	S53-1	K社 アダン 未処理	S66-1	Y市生ごみ(一般)	S87-1			
			オゾン処理30分バガス	S53-2	針葉樹おがくず	S45-1	Y市生ごみ(一般)	S88-1			
			オゾン処理60分バガス	S53-3	K社 ギンネム 未処理	S63-1	Y市生ごみ(スクリュース)	S88-2			
			a	植物	キノコ	K社 モクモウ 30分	S62-2	エリンギ	S13-1	選別ごみ(060116)	S87-2
K社 モクモウ 120分	S62-4	ハナビラタケ				S13-3	Y市選別ごみ	S89-3			
K社 ギンネム 30分	S64-1	JA-N やまびこしめじ				S72-1	選別ごみ(060130)	S89-4			
K社 ギンネム 60分	S64-2	JA-N なめこ				S72-2	Y市選別ごみ	S90-3			
K社 ギンネム 120分	S64-3	JA-N えのき茸				S72-3	Y市脱水ごみ	S90-4			
K社 アダン 60分	S65-1	ジャガイモ(メークイン)				S19-1	Y市脱水ごみ	S91-3			
K社 アダン 15分	S66-2	ジャガイモ(男爵)				S19-2	Y市脱水ごみ	S91-4			
K社 アダン 30分	S66-3	ジャガイモ50g+水200ml(未処理)				S28-1	Y市破砕ごみ(選別なしごみ)	S92-1			
針葉樹おがくず2分	S44-1	グレープフルーツ果皮50g+水200ml(未処理)				S28-2	Y市選別ごみ	S92-2			
針葉樹おがくず4分	S44-2	パイナップル果皮50g+水200ml(未処理)				S28-3	選別ごみ(060213)	S93-3			
針葉樹おがくず6分	S44-3	ジャガイモ(生)				S29-3	Y市破砕ごみ(選別なしごみ)	S92-3			
針葉樹おがくず2分	S45-2	未処理サトウキビ鞘頭部(含水率41.5%)				S54-4	Y市選別ごみ	S93-2			
針葉樹おがくず4分	S45-3	ジャガイモ 180℃ 10min 1.0Mpa				S21-1	Y市脱水ごみ	S93-3			
針葉樹おがくず6分	S45-4	グレープフルーツ 180℃ 10min 1.0Mpa				S21-2	Y市破砕ごみ(風選別なしごみ)	S94-1			
b	食品類	野菜・果物				針葉樹チップ6分	S46-1	パイナップル皮 180℃ 10min 1.0Mpa	S21-3	Y市選別ごみ	S94-2
			針葉樹チップ9分	S46-2	パイナップル葉 180℃ 10min 1.0Mpa	S21-4	選別ごみ(060227)	S94-3			
			針葉樹チップ3分	S47-2	ジャガイモ蒸気燻蒸破砕処理物(220℃、10min)	S29-1	Y市破砕ごみ(風選別なしごみ)	S95-1			
			針葉樹チップ6分	S47-3	ジャガイモ蒸気燻蒸処理物(220℃、10min)	S29-2	Y市選別ごみ	S95-2			
			針葉樹チップ9分	S47-4	オゾン処理15分サトウキビ鞘頭部	S54-1	Y市脱水ごみ	S95-3			
			針葉樹チップ3分	S50-2	オゾン処理30分サトウキビ鞘頭部	S54-2	Y市破砕ごみ(風選別なしごみ)	S96-1			
			針葉樹チップ6分	S47-3	オゾン処理60分サトウキビ鞘頭部	S54-3	Y市選別ごみ	S96-2			
			針葉樹チップ9分	S47-4	ガム	S3-2	Y市脱水ごみ	S96-3			
			針葉樹チップ3分	S50-2	飴	S3-3	選別ごみ(060313)	S97-1			
			針葉樹おがくず2分	S52-1	コーヒーかす	S4-1	3/23Y市風選前ごみ	S97-2			
			広葉樹チップ1分	S48-1	茶がら	S4-2	3/23Y市選別ごみ	S97-3			
			広葉樹チップ2分	S48-2	M社製飴	S5-1	3/23Y市脱水ごみ	S97-4			
			広葉樹チップ3分	S48-3	K社製飴	S5-2	3/13Y市脱水ごみ	S98-1			
			広葉樹チップ3分	S49-2	S社製飴	S5-3	3/23Y市風選前ごみ	S98-2			
			広葉樹おがくず2分	S50-1	M社製飴	S6-1	3/23Y市選別ごみ	S98-3			
広葉樹おがくず2分	S51-2	K社製飴	S6-2	選別ごみ(060323)	S98-4						
広葉樹チップ2分	S52-2	S社製飴	S6-3	Y町古紙	S1-1						
広葉樹チップ3分	S52-3	パン(VS 25g)	S9-1	ティッシュ	S3-1						
広葉樹チップ1分	S75-1	パン(VS 15g)	S9-2	可燃ごみ(古紙)	S8-2						
半乾燥広葉樹チップ1分	S75-2	J社 オカラ	S7-2	マンガ雑誌	S10-1						
広葉樹おがくず1分	S75-3	J社 ビール粕	S7-3	カラーカタログ紙	S10-2						
半乾燥広葉樹おがくず1分	S75-4	Y町スラリー	S1-2	プリンター写真紙	S10-3						
a	植物	野菜・果物	Run1杉チップ約3分200℃	S43-1	S町 液のみ	S2-1	損紙ブロック	S12-1			
			Run2杉(210℃約10分)チップ	S43-2	SS町 固、液	S2-2	ダストブロック	S12-2			
			T大 スギ燻蒸処理220℃ 5分	S69-1	豚ふん	S8-1	紙コップ	S16-1			
			T大 スギ燻蒸処理245℃ 5分	S69-2	ソウふん	S14-1	古紙	S20-1			
			T大 スギ燻蒸処理270℃ 5分	S69-3	シマウマふん	S14-2	事セン段ボール	S36-1			
			燻蒸杉 40atm3分	S82-1	鶏ふん堆肥	S20-2	ティッシュ	S74-1			
			燻蒸杉 45atm3分	S82-2	鶏ふん	S20-3	N町 ごみ袋	S89-1			
			燻蒸杉 25atm3分	S84-1	A放牧場 育成牛(3日)敷料混合ふん	S31-1	紙ごみ袋(コーティングあり)	S89-2			
			燻蒸杉 25atm5分	S84-2	A放牧場 育成牛(10日)敷料混合ふん	S31-2	N町 ごみ袋	S90-1			
			燻蒸杉 35atm3分	S84-3	K市 豚ふん 毛が多い物	S31-3	紙ごみ袋(コーティングあり)	S90-2			
			燻蒸杉 35atm6分	S84-4	K市 豚ふん 二段目 凝集剤あり	S31-4	紙ごみ袋(コーティングなし)	S91-1			
			燻蒸杉 35atm9分	S85-1	K市 豚ふん 毛が多い物	S32-1	紙ごみ袋(コーティングあり)	S91-2			
			竹、エリンギ廃菌床混合物	S15-1	K市 豚ふん 二段目 凝集剤あり	S32-2	事セン油	S60-1			
			竹、シイタケ廃菌床混合物	S15-2	K市 豚ふん 毛が多い物	S33-1	事セン油	S61-1			
			竹、ハナビラタケ廃菌床混合物	S15-3	K市 豚ふん 二段目 凝集剤あり	S33-2	サラダ油 未処理	S67-1			
竹、エリンギ廃菌床混合物	S17-1	K市 豚ふん 毛が多い物	S34-1	サラダ油 30分 180℃加温	S67-2						
竹、シイタケ廃菌床混合物	S17-2	K市 豚ふん 二段目 凝集剤あり	S34-2	K市 汚泥	S71-2						
竹、ハナビラタケ廃菌床混合物	S17-3	K市豚ふん 第一段脱水残査	S56-1	K市メタン発酵汚泥	S76-3						
a	植物	食品	J社 きのこ菌床	S7-1	K市豚ふん 第二段脱水残査	S56-2	し尿汚泥	S79-3			
			J社菌床 未使用	S7-2	K市 豚ふん 第1段	S58-1	K大 グリセリン	S2-4			
			J社菌床 1回使用	S7-3	K市 豚ふん 第2段	S58-2	廃グリセリン	S80-1			
			J社菌床 2回使用	S7-4	K市 豚ふん(第1段:第2段:サラダ油=10:10:2、湿量)	S58-3	中和グリセリン	S80-2			
			J社 廃菌床	S15-4	K市連続試験の配合	S71-1	グリセリン(日本薬局方)	S80-3			
			J社 廃菌床	S18-1	鹿屋第二段 脱水豚ふん	S76-2	グリセリン(日本薬局方)	S83-1			
			J社 廃菌床	S22-1	牛ふん	S79-1	もみ殻	S23-1			
			J社 廃菌床	S24-1	豚ふん	S79-2	もみ殻	S24-3			
			J社 廃菌床	S57-1	鶏ふん	S81-2	赤土	S68-1			
			a	植物	食品	J社 きのこ菌床	S7-1	セルロース(日本薬局方の標準)	S80-4		

2.3 サンプル種類別のガス発生量

2.3.1 VS あたりの 7 日間ガス発生量

表 2-2、表 2-3 に示した(a)~(f)のグループごとにまとめた VS あたり 7 日間ガス発生量[NL/kg-VS]を図 2-5 に示す。グラフには、(f)その他のグループにバッチ試験で標準物質として用いたセルロースを 1 つ加えた。図 2-5 は、横棒グラフがそれぞれのサンプルの VS あたり 7 日間ガス発生量である。

図 2-5 より、(a)の植物においてグラフの色が 7 つに分かれているが、これはグループ内の内訳をそれぞれ色分けしているものであり、上からオゾン処理、針葉樹(爆砕処理)、広葉樹(爆砕処理)、スギ(爆砕処理)、竹キノコ廃菌床、廃菌床、木(未処理)の順に色分けして示している。同様に、グループ内に複数の内訳がある、(b)食品類、(d)ごみ類、(f)その他について、内訳ごとに色分けして示した。

また、図 2-5 以外の指標についても、2.2.2 で述べた VS あたり 1 日/7 日間ガス発生量比[-]、VS あたり 3 日間/7 日間ガス発生量比[-]、T-C[-]、分解率(炭素のガス化率) [-]、TS[g/kg-wet]、VS/TS[-]の 6 つについて、巻末に付図 1-1~1-6 として示す。

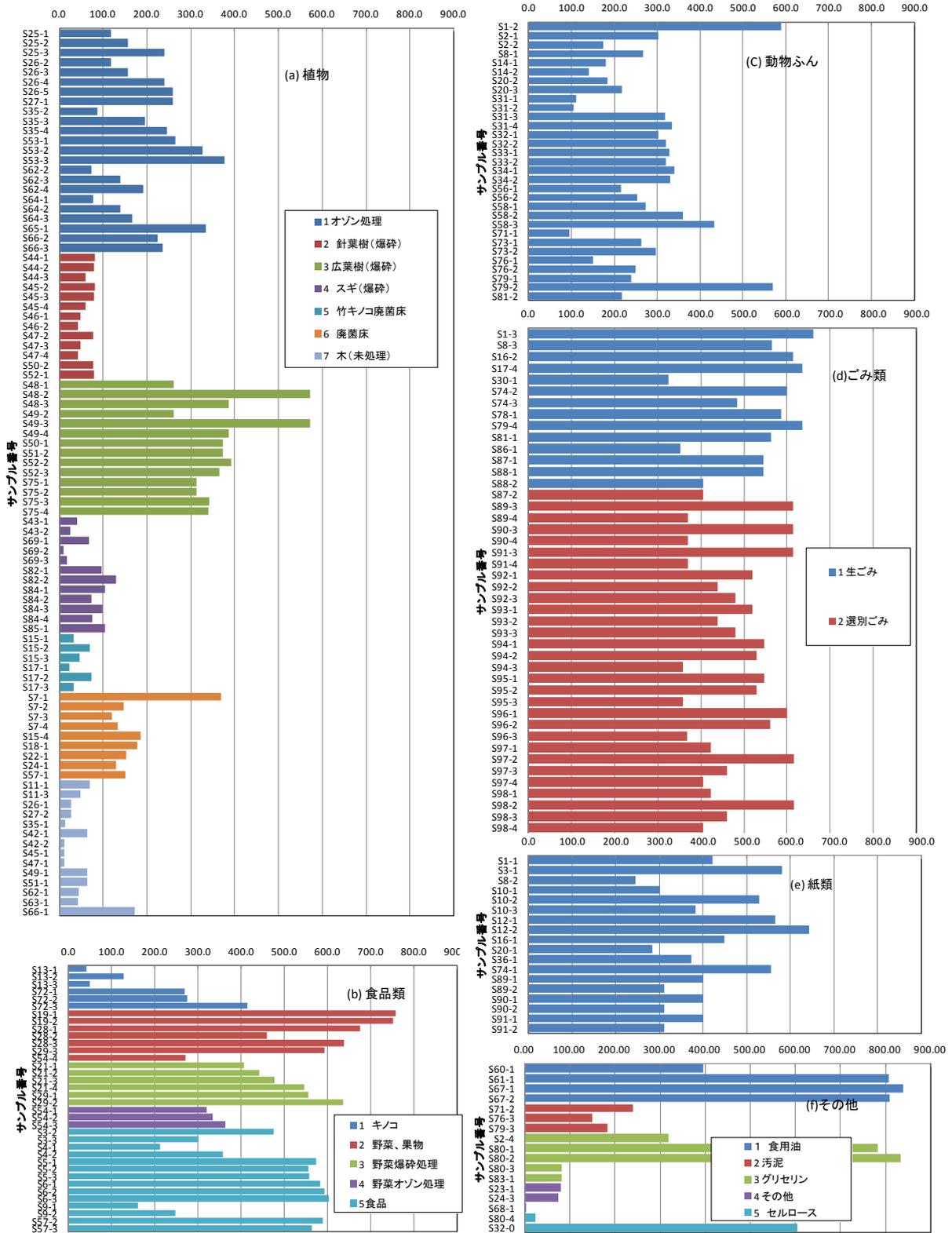


図 2-5 VSあたりの7日間ガス発生量[NL/kg-VS]

2.3.2 前処理による影響

(1) オゾン処理

オゾン処理を行ったサンプルである、竹粉、杉粉は微粉末のものを使用した。バガスとは、サトウキビの搾汁後の残渣である。また、文献²⁾³⁾より、モクモウとはモクマオウ科で、正式名称はトキワギョリュウ、別名モクマオウ。オーストラリア原産で、上向または散開する雌雄異株の高木で、高さ20mに達する。ギンネムとはマメ科で熱帯アメリカ原産であり、世界の熱帯、亜熱帯に広く栽培され、また帰化し、日本では、琉球と小笠原諸島に帰化した落葉小高木である。

まれに高さ10m、幹の径25cmになる。アダンとは、タコノキ科で熱帯アジアから台湾、さらに熱帯、亜熱帯の太平洋諸国の海岸近くや崖に広く分布する常緑の高木である。バガス、モクモウ。ギンネム、アダンのサンプルは1cm角にカットしたものをを使用した。

オゾン処理は、空気中でオゾンを当てる処理であり、この処理は栗田工業が行っているわけではないため、処理条件などは不明である。

まず、処理時間とガス発生量の関係は、図2-6のようになった。処理時間ゼロでは、ガス発生量が非常に低いことがわかる。オゾン処理を行った植物は6種類あり、処理時間に比例して増加しており、オゾン処理の効果が見られる。

また、表2-4は図2-5のグラフに用いたサンプルと処理時間、ガス発生量の一覧である。処理時間とガス発生量から図2-5のプロットがどのサンプルのものなのかわかるようにした。

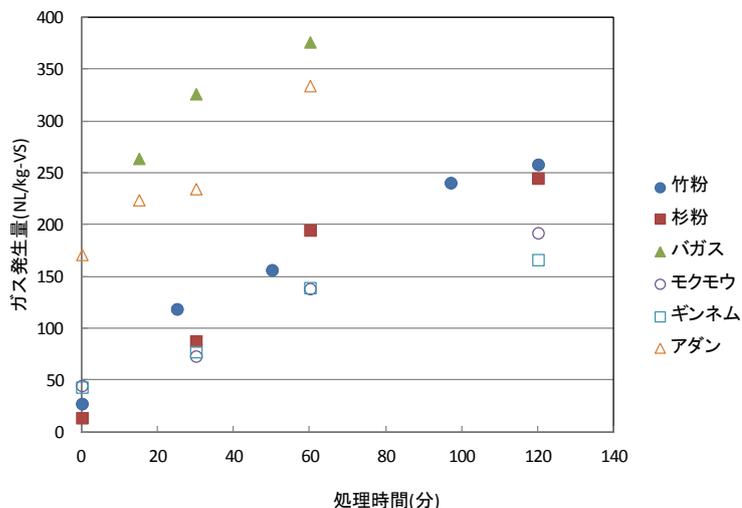


図 2-6 オゾン処理の処理時間とガス発生量

表 2-4 図 2-5 のグラフに用いたサンプル一覧

サンプル番号	サンプル	処理時間	ガス発生量 (NL/kg-VS)
S26-1	竹粉	0分	27
S27-2	竹粉	0分	27
S25-1	竹粉	25分	119
S26-2	竹粉	25分	119
S25-2	竹粉	50分	156
S26-3	竹粉	50分	156
S25-3	竹粉	97分	241
S26-4	竹粉	97分	241
S26-5	竹粉	120分	258
S27-1	竹粉	120分	258
S35-1	杉粉	0分	14
S35-2	杉粉	30分	88
S35-3	杉粉	60分	195
S35-4	杉粉	120分	245
S53-1	バガス	15分	264
S53-2	バガス	30分	326
S53-3	バガス	60分	376
S62-1	モクモウ	0分	45
S62-2	モクモウ	30分	73
S62-3	モクモウ	60分	138
S62-4	モクモウ	120分	192
S63-1	ギンネム	0分	43
S64-1	ギンネム	30分	77
S64-2	ギンネム	60分	139
S64-3	ギンネム	120分	166
S66-1	アダン	0分	171
S66-2	アダン	15分	224
S66-3	アダン	30分	235
S65-1	アダン	60分	334

(2) 爆砕処理

爆砕処理は、圧力容器に対象物質を充填し、水蒸気存在の条件下で高温高压条件（約 2.8MPa、220°C付近）である時間保持した後、一気に常圧に開放することにより対象物質の組織を分解する技術である。爆砕処理は木質系の改質に使用される技術で、主にセルロースを包んでいるリグニンを分解しセルロースの分解を促進しようとするものである。爆砕処理を行った針葉樹チップ、広葉樹チップは 40×50mm で、厚さは 3～5mm のものを使用した。針葉樹おがくず、広葉樹おがくずについては、粒度は不明であるが粗引きのものを使用している。他のサンプルについては、データが残っていないため、細かい性状などは不明である。

図 2-7 と図 2-8 に、針葉樹と広葉樹の処理時間とガス発生量の関係を示す。データは表 2-5 に示す。

一般に針葉樹のリグニン組織のほうが広葉樹の組織よりも固く何重にもなっているため、爆砕技術を利用する際にも広葉樹の場合よりも圧力を高くしたり、反応時間を長くする傾向がある。爆砕処理を施された対象物は砕けた原料(固体)と液体(水+分解溶出物)との混合物として容器から排出されるが、爆砕処理の時間が長いほど、有機物の液への溶出が多くなる。そのため、固形物の有機物が少なくなり、図 2-7,8 に示すように、ガス発生量も低くなってしまったと推測される。

爆砕処理をした試験は、固体と液体の混合物を対象にして試験を行う必要があったと考えられる。

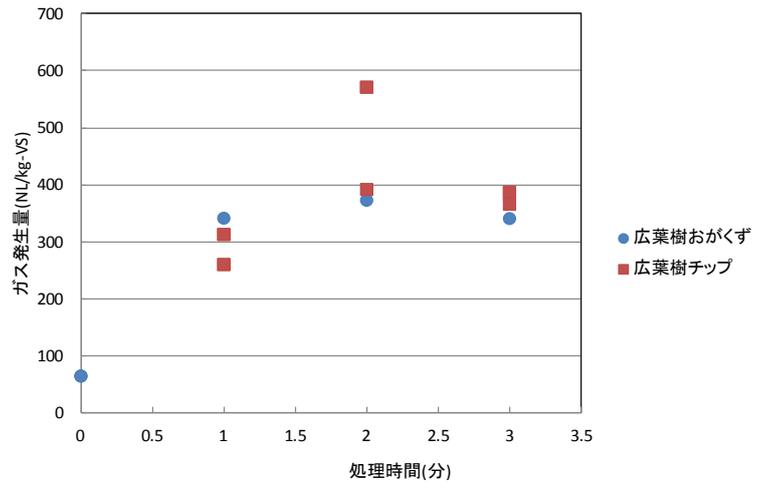


図 2-7 爆砕処理の処理時間とガス発生量(広葉樹)

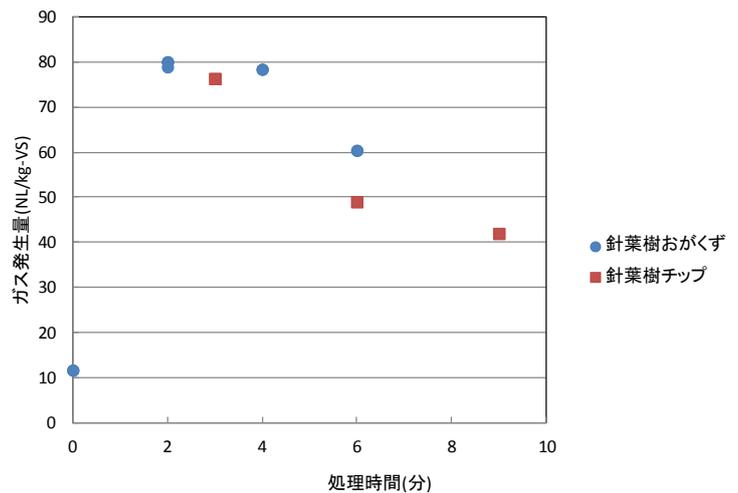


図 2-8 爆砕処理の処理時間とガス発生量(針葉樹)

表 2-5 図 2-6、2-7 のグラフに用いたサンプル一覧

サンプル 番号	サンプル	処理時間	ガス 発生量 (NL/kg- VS)	サンプル 番号	サンプル	処理時間	ガス 発生量 (NL/kg- VS)
S45-1	針葉樹おがくず	0分	12	S49-1	広葉樹おがくず	0分	64
S47-1	針葉樹おがくず	0分	12	S51-1	広葉樹おがくず	0分	64
S44-1	針葉樹おがくず	2分	80	S75-3	広葉樹おがくず	1分	342
S52-1	針葉樹おがくず	2分	79	S75-4	半乾燥広葉樹おがくず	1分	341
S45-2	針葉樹おがくず	2分	80	S50-1	広葉樹おがくず	2分	373
S44-2	針葉樹おがくず	4分	78	S51-2	広葉樹おがくず	2分	373
S45-3	針葉樹おがくず	4分	78	S48-1	広葉樹チップ	1分	260
S44-3	針葉樹おがくず	6分	60	S49-2	広葉樹チップ	1分	260
S45-4	針葉樹おがくず	6分	60	S75-1	広葉樹チップ	1分	313
S47-2	針葉樹チップ	3分	76	S75-2	半乾燥広葉樹チップ	1分	313
S50-2	針葉樹チップ	3分	76	S48-2	広葉樹チップ	2分	571
S46-1	針葉樹チップ	6分	49	S49-3	広葉樹チップ	2分	571
S47-3	針葉樹チップ	6分	49	S52-2	広葉樹チップ	2分	392
S46-2	針葉樹チップ	9分	42	S48-3	広葉樹チップ	3分	387
S47-4	針葉樹チップ	9分	42	S49-4	広葉樹チップ	3分	387
				S52-3	広葉樹チップ	3分	366

2.3.3 種類別の特性

(1) 植物

植物のサンプルで前処理を行っていない、竹キノコ廃菌床、廃菌床、木(未処理)の中では、廃菌床が一番ガス発生量が高い。竹キノコ廃菌床と木(未処理)は、100[NL/kg-VS]に満たないものが多い。全サンプル中でも前処理を行っていない植物のサンプルは最もガス発生量が低く、これは植物のリグニン組織によるものと考えられる。

(2) 食品類

図 2-9 は食品類のサンプル名と VS あたり 7 日間ガス発生量である。食品類は種類によってガス発生量にばらつきがみられる。野菜・果物が特にガス発生量が高い。

文献 1)によると、食品残渣のガス発生量は TS あたりであるが、470(NL/kg-TS)であり、食品系の生ごみは 454.9~624.1(NL/kg-VS)であり、バッチ試験の結果に類似している。

また、食品類のサンプルで食品成分表 4)に載っていたものについて表 2-6 に成分割合を載せた。また、タンパク質、脂質、炭水化物の T-C[%]と各成分割合から、それぞれのサンプルのガス発生量の理論値を求め、実際のガス発生量と比べた。野菜・果物において、グレープフルーツ、パイナップルは皮のサンプルだったので、食品成分表には載っていなかった。一方、ジャガイモは中身のサンプルだったので、食品成分表に載っていたものとした。表 2-6 より、各サンプルの成分割合によるガス発生量の理論値と、測定値はかけ離れているものが多い。特に、キノコ類は理論値よりもはるかに少ないことがわかる。理論値と測定値が一番近いサンプルはジャガイモであった。

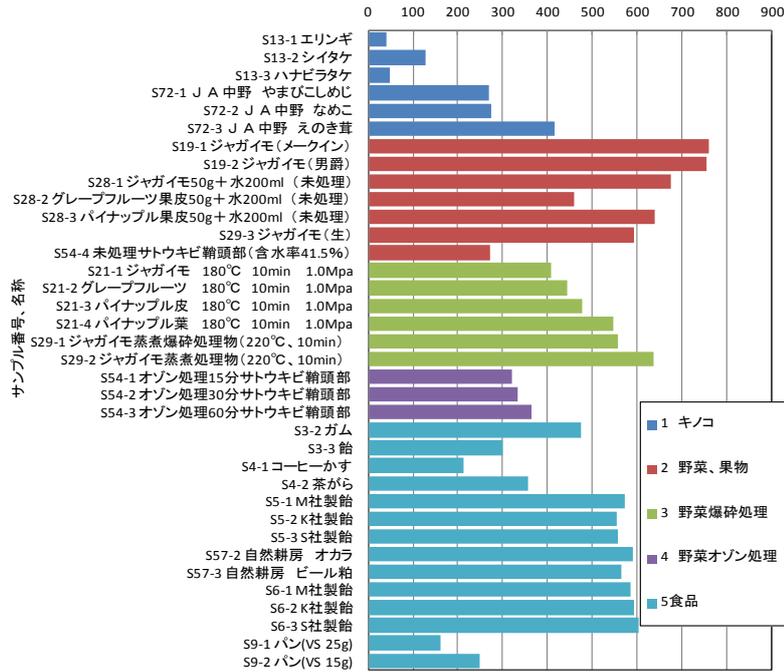


図 2-9 食品類の VS あたり 7 日間ガス発生量[NL/kg-VS]

表 2-6 食品サンプルの成分

	g				
	水分	タンパク質	脂質	炭水化物	灰分
エリンギ	87.5	3.6	0.5	7.4	1
シイタケ	91	3	0.4	4.9	0.7
シメジ	90.8	2.7	0.6	5	0.9
ナメコ	92.4	1.7	0.2	5.2	0.5
エノキダケ	88.6	2.7	0.2	7.6	0.9
ジャガイモ(生)	79.8	1.6	0.1	17.6	0.9
飴	2.5	0	0	97.5	微量
おから	75.5	6.1	3.6	13.8	1

	分子式	T-C[%]
タンパク質	C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄	55
脂質	C ₅₀ H ₉₀ O ₅	78
炭水化物	C ₆ H ₁₀ O ₅	44

サンプル名	VS[%](wetベース)	成分割合(VS中)[%]			サンプル100g中のC(VSあたり)		ガス発生量測定値[NL/kg-VS]
		タンパク質	脂質	炭水化物	[g]	ガス発生量理論値[NL/kg-VS]	
エリンギ	11.5	31.3	4.3	64.3	5.6	913	42
シイタケ	8.3	36.1	4.8	59.0	4.1	926	127
シメジ	8.3	32.5	7.2	60.2	4.2	934	269
ナメコ	7.1	23.9	2.8	73.2	3.4	888	275
エノキダケ	10.5	25.7	1.9	72.4	5.0	886	415
ジャガイモ(生)	19.3	8.3	0.5	91.2	8.7	842	702
飴	97.5	0.0	0.0	100.0	42.9	821	538
おから	23.5	26.0	15.3	58.7	12.2	972	589

(3) 紙類

同じ紙類の中でも、サンプルによってガス発生量にばらつきが見られる。そこで、ガス発生量が少ないものからサンプルを並べ替えると、図 2-10 のようになった。紙にコーティングなどの処理を施したものがガス発生量が少なく、処理を施していないものがガス発生量が高くなっている。

また、文献値¹⁾によると、紙のガス発生量は 546(NL/kg-VS)であり、処理していない紙類と同程度のガス発生量である。さらに、Busswell の式から求められる紙ごみ(C₂₆₆H₄₃₄O₂₁₀)の理論値が 832(NL/kg-VS)となっており、バッチ試験の結果よりもはるかに高い。

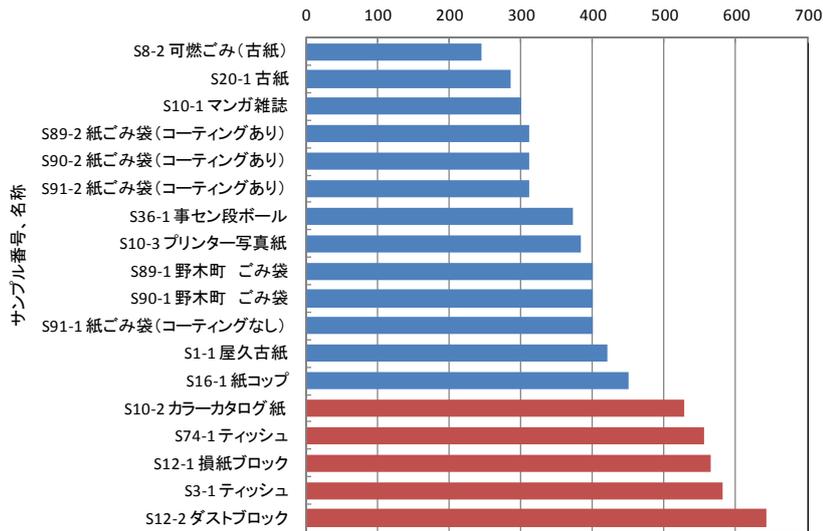


図 2-10 紙類のガス発生量[NL/kg-VS]が少ないものからの並べ替え

(4) ごみ類

ごみ類の中で、選別ごみとは、ごみ焼却施設に搬入された分別されていないごみを機械的に破碎し、不燃物を除去し、生ごみ、紙ごみからなるごみのことである。選別方法は、ビニールの除去、ふるいわけ、風選、磁除である。この機械的な選別方法は紙類が除去されるため、選別ごみの中には生ごみが主体で後は紙(約 10~20%)とプラスチック(5~15%)が入っている。

グラフから、生ごみ、選別ごみともにガス発生量にばらつきが見られる。この理由として、食品類と紙類では主に食品類の方がガス発生量が高いものが多いため、食品類が多いごみの時はガス発生量は高くなり、紙類が多いごみの時はガス発生量は低くなったと考えられる。

また、文献¹⁾より Busswell の式から求められる生ごみ(C₄₆H₇₃O₃₁N)の理論値は、887(NL/kg-VS)であり、バッチ試験結果よりもはるかに多い。

(5) 動物ふん

動物ふんはサンプルごとにばらつきが見られる。特に、スラリー、豚ふんはガス発生量が高く、鶏ふん、牛ふん、ゾウふん、シマウマふんはガス発生量が低いという結果になった。

また、文献¹⁾より豚排泄物、牛排泄物のガス発生量の値を載せた。その一覧が表 2-7 である。文献値によると、豚ふんが牛ふんよりもガス発生量が高いという点ではバッチ試験の結果と同じであった。

以上のことから、バッチ試験の結果、文献より、動物ふんの中でも動物の種類によって VS あたりガス発生量に差があるということがわかった。

表 2-7 動物ふんガス発生量文献値まとめ

	NL/kg-wet	NL/kg-VS
豚排泄物	20	
牛排泄物	14.5	
高濃度の牛排泄物	14.7	180
	19.6	240
	25.7	315
豚排泄物の汚水	24.3	640
高濃度の乳牛排泄物		153
		229
		259
		283

(6) その他

その他では、油とグリセリンのガス発生量が高いということがわかった。特に油は 800[NL/kg-VS]を超えているものもあり、全サンプルの中でも最もガス発生量が高いといえる。グリセリンは 5 つのサンプルがあるが、日本薬局方と書いてあるものは低い。

また、Buswell の式から導き出されるセルロース($C_6H_{10}O_5$)のガス発生量の理論値は 830(NL/kg-VS)であり、バッチテストにおける比較物質のセルロースのガス発生量は 604(NL/kg-VS)である。理論値がセルロースの 100%分解値であるので、比較物質のセルロースは理論値の 73%分解していることになる。

2.4 サンプルの種類別特性

2.4.1 種類別特性の指標

2.3.2 で述べたように、オゾン処理、爆砕処理の前処理を行ったサンプルがあるが、これらを除く前処理を行っていないサンプルについて、(a)VS あたりガス発生量[NL/kg-VS]、(b) バイオガス 7 日間発生量の 10%となるまでの時間[h]、(c)バイオガス 7 日間発生量の 90%となるまでの時間[h]、(d) 3 日間/7 日間ガス発生量比[-]、(e) T-C/VVS[-]、(f)TS[g/kg-wet]、(g) VS/TS[-]の 7 つの指標でグラフを作成した。グラフには、それぞれの指標における、前処理を行っていないサンプルのグループごとの 25%値と 75%値のレンジ、平均、メジアン値の値を載せた。それらの値を表 2-8 にまとめ、図 2-12 に示した。

また、指標であるバイオガス 7 日間発生量の 90%となるまでの時間の算出方法は、図 2-11 のように 7 日目ガス発生量を 1 とし、0.9 を含む区間内の直線補間によって求めた。10%となる時間も同様である。

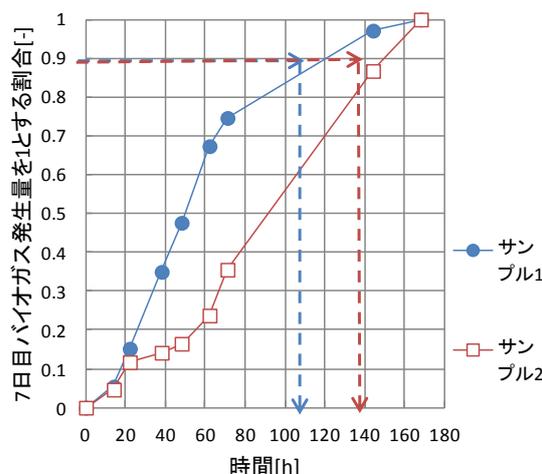


図 2-11 バイオガス 7 日目発生量を 1 とした時の割合とその時間

2.4.2 種類別特性の分析

(1) VS あたりガス発生量

図 2-12(a)から、ガス発生量の高い順に、油とグリセリン、野菜・植物と食品、生ごみと選別ごみと紙類となっている。また、生ごみ、選別ごみ、紙類の 3 つのグループにおいて、ガス発生量が高い順に、生ごみ>選別ごみ>紙類と並んでおり、食品類が多く含まれる生ごみが高く、選別ごみでは紙類も含まれるため、生ごみより低くなっていると考えられる。動物ふんのグループでは、ガス発生量が高い順に、豚ふん>鶏ふん>牛ふんとなっている。動物ふんで最も高い豚ふんでも 300[NL/kg-VS]であり、生ごみ、選別ごみ、紙類のグループには及ばない。

(2) 分解時間

図 2-12(b)~(d)にサンプルの分解における時間の関係を示した。(b)より、油だけ極端に時間がかかっており 10%に至るまで 3 日ほどかかっているが、ほとんどのグループは 1 日程度で 10%に至っている。また、(c)より、ほとんどのグループが 5 日で 90%に至っているが、油は 7 日近くまでかかっていることがわかる。(d)より、7 日間のガス発生量に対する 3 日間の発生量は、生ごみ、選別ごみ、紙類といった似た種類のグループ同士では似た値となっている。他にも植物類のグループ(竹キノコ廃菌床、廃菌床、植物・木)、動物ふん(豚ふん、鶏ふん、牛ふん)といったグループ同士で似た値である。しかし、全体的にみるとばらつきが見られる。油、グリセリンは、これらのグループの中で 3 日間の発生量が少ない。

よって、多くのグループが 1 日で立ち上がり、その後の分解にはそれぞればらつきがあるが、5 日でほぼ分解が終了するということがわかった。

(3) 特性値

図 2-12(e)のグラフより、T-C はどのグループもほとんど同じであり、0.5 である。TS、TS/VS は、それぞれのグループで違いがみられる。野菜・果物は水分が多いので、TS が極端に低い。TS/VS は、0.7~1.0 の間に全てのグループが入っている。

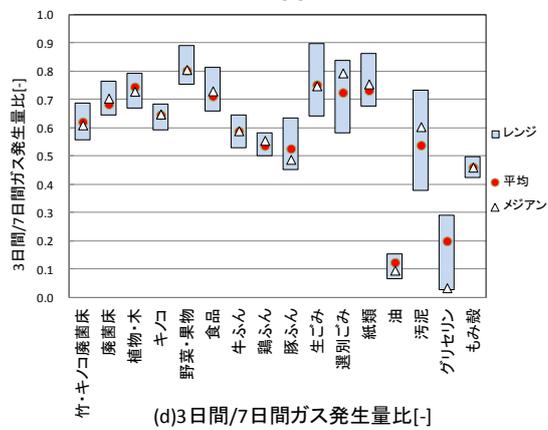
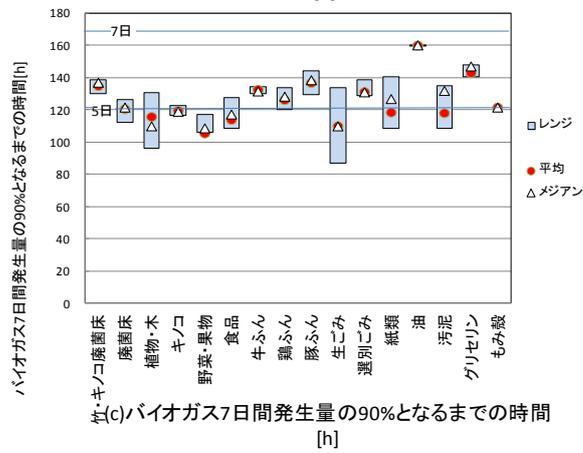
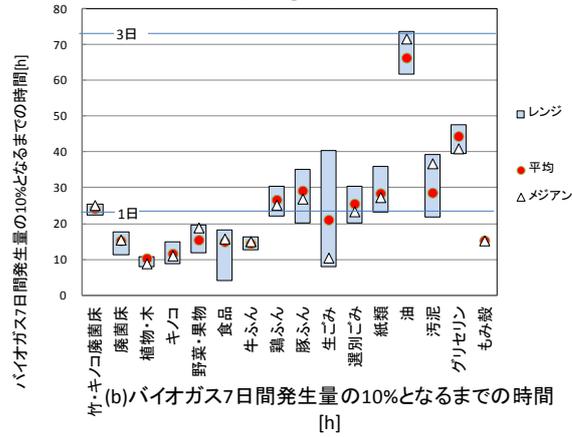
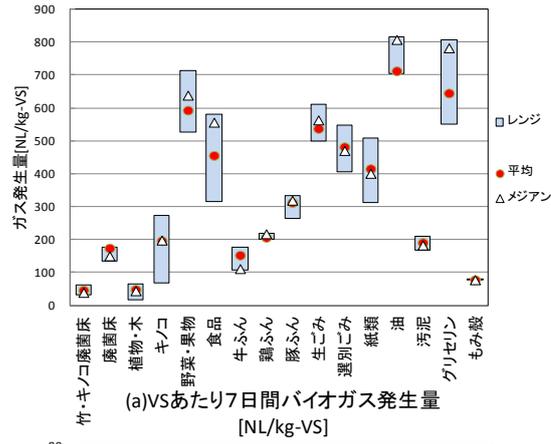


図 2-12 指標ごとのグラフ(1/2)
21

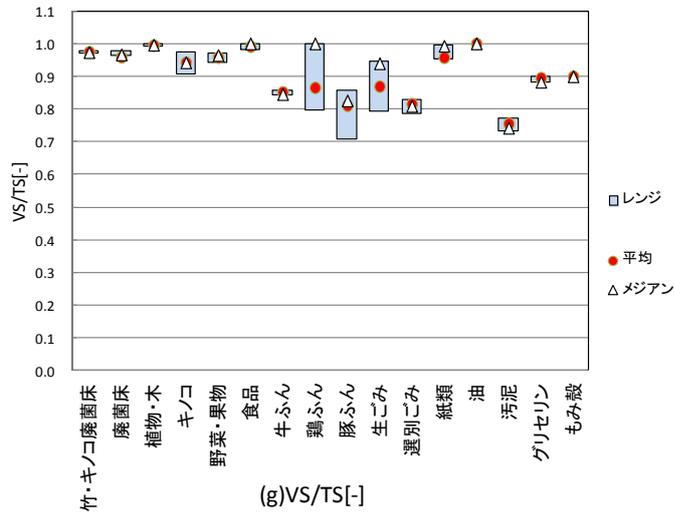
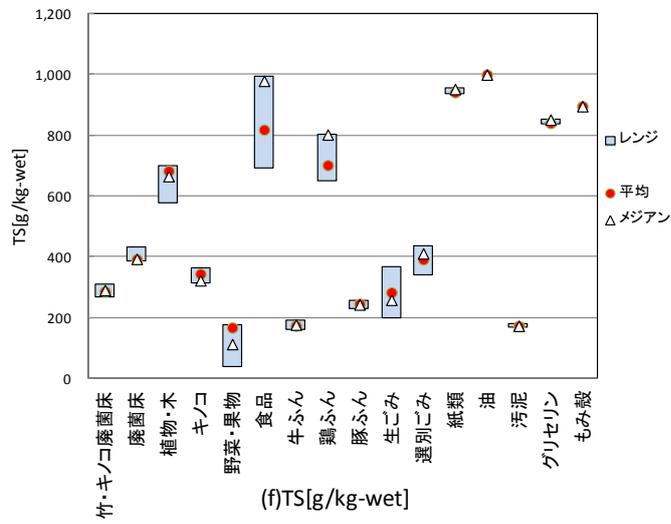
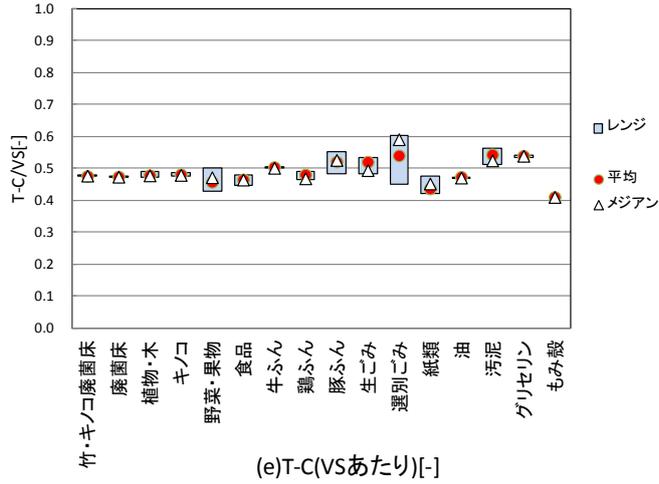


図 2-12 指標ごとのグラフ(2/2)

表 2-8 指標の値まとめ(1/2)

(a) VSあたり7日間バイオガス発生量[NL/kg-VS]

	n	25%値	75%値	平均	メジアン
竹・キノコ廃菌床	6	31.9	63.0	45.7	38.9
廃菌床	9	132.8	177.6	173.6	150.0
植物・木	14	17.0	64.5	48.1	44.0
キノコ	6	68.5	273.5	196.1	197.9
野菜・果物	7	526.4	713.8	592.8	638.4
食品	14	314.3	581.2	455.3	556.3
牛ふん	3	108.4	175.7	152.3	111.2
鶏ふん	3	200.8	217.4	206.4	217.1
豚ふん	19	265.2	332.8	312.1	319.1
生ごみ	14	499.1	611.0	537.1	563.2
選別ごみ	30	405.0	547.6	481.3	470.3
紙類	18	312.0	508.6	415.0	400.8
油	4	703.9	816.0	712.3	807.6
汚泥	3	166.0	211.1	190.5	182.9
グリセリン	3	550.1	808.2	644.8	782.1
もみ殻	2	75.9	78.8	77.3	77.3

(b) バイオガス7日間発生量の10%となるまでの時間[h]

	n	25%値	75%値	平均	メジアン
竹・キノコ廃菌床	6	22.5	25.5	24.1	25.1
廃菌床	9	11.4	17.8	15.2	15.5
植物・木	9	8.0	10.7	10.3	8.8
キノコ	6	8.8	14.9	11.6	11.0
野菜・果物	7	11.9	19.6	15.4	18.8
食品	14	4.0	18.2	14.9	15.8
牛ふん	3	12.8	16.2	14.4	15.0
鶏ふん	3	22.1	30.4	26.6	25.2
豚ふん	19	20.0	35.2	29.2	26.9
生ごみ	14	7.9	40.5	21.0	10.4
選別ごみ	30	20.0	30.4	25.5	23.3
紙類	18	23.1	36.0	28.4	27.3
油	3	61.7	73.5	66.2	71.6
汚泥	3	21.9	39.4	28.6	36.8
グリセリン	3	39.5	47.5	44.4	40.9
もみ殻	1	15.2	15.2	15.2	15.2

(c) バイオガス7日間発生量の90%となるまでの時間[h]

	n	25%値	75%値	平均	メジアン
竹・キノコ廃菌床	6	129.9	138.5	134.9	137.0
廃菌床	9	112.0	126.0	120.6	121.6
植物・木	9	96.2	130.8	115.8	110.0
キノコ	6	116.2	122.6	119.6	119.0
野菜・果物	7	105.8	117.1	105.5	108.7
食品	14	108.7	127.4	114.0	117.3
牛ふん	3	130.2	134.4	132.6	131.6
鶏ふん	3	119.9	133.6	126.2	128.3
豚ふん	19	129.7	144.4	136.8	138.5
生ごみ	14	87.2	133.9	110.0	109.9
選別ごみ	30	128.7	138.6	131.2	131.1
紙類	18	108.3	140.2	118.5	126.9
油	3	159.8	160.4	160.0	160.2
汚泥	3	108.4	134.7	118.1	131.9
グリセリン	3	140.1	147.9	143.0	147.1
もみ殻	1	121.6	121.6	121.6	121.6

(d) 3日間/7日間ガス発生量比[-]

	n	25%値	75%値	平均	メジアン
竹・キノコ廃菌床	6	0.56	0.69	0.62	0.61
廃菌床	9	0.64	0.76	0.68	0.70
植物・木	14	0.67	0.79	0.74	0.73
キノコ	6	0.59	0.68	0.65	0.65
野菜・果物	7	0.75	0.89	0.80	0.81
食品	14	0.66	0.81	0.71	0.73
牛ふん	3	0.53	0.65	0.59	0.59
鶏ふん	3	0.50	0.58	0.54	0.55
豚ふん	19	0.45	0.63	0.53	0.49
生ごみ	14	0.64	0.90	0.75	0.75
選別ごみ	30	0.58	0.84	0.72	0.79
紙類	18	0.67	0.86	0.73	0.75
油	4	0.06	0.15	0.12	0.10
汚泥	3	0.38	0.73	0.54	0.60
グリセリン	3	0.03	0.29	0.20	0.03
もみ殻	2	0.42	0.50	0.46	0.46

表 2-8 指標の値まとめ(2/2)

(e) TS[g/kg-wet]

	n	25%値	75%値	平均	メジアン
竹・キノコ廃菌床	6	269	309	287	292
廃菌床	9	387	431	393	394
植物・木	14	579	700	683	666
キノコ	6	316	365	345	324
野菜・果物	7	38	177	168	114
食品	14	692	993	819	980
牛ふん	3	160	191	175	178
鶏ふん	3	651	805	702	803
豚ふん	19	229	257	247	244
生ごみ	14	199	369	284	260
選別ごみ	30	340	436	393	412
紙類	18	936	954	942	953
油	4	1000	1000	1000	1000
汚泥	3	167	180	173	174
グリセリン	3	836	852	841	852
もみ殻	2	896	896	896	896

(f) VS/TS[-]

	n	25%値	75%値	平均	メジアン
竹・キノコ廃菌床	6	0.97	0.98	0.97	0.97
廃菌床	9	0.97	0.98	0.96	0.97
植物・木	14	0.99	1.00	0.99	1.00
キノコ	6	0.91	0.97	0.94	0.94
野菜・果物	7	0.94	0.97	0.96	0.96
食品	14	0.98	1.00	0.99	1.00
牛ふん	3	0.84	0.86	0.85	0.85
鶏ふん	3	0.80	1.00	0.87	1.00
豚ふん	19	0.71	0.86	0.81	0.83
生ごみ	14	0.79	0.95	0.87	0.94
選別ごみ	30	0.79	0.83	0.82	0.81
紙類	18	0.95	1.00	0.96	0.99
油	4	1.00	1.00	1.00	1.00
汚泥	3	0.73	0.77	0.76	0.74
グリセリン	3	0.88	0.90	0.90	0.88
もみ殻	2	0.90	0.90	0.90	0.90

(g) T-C(VSあたり)[-]

	n	25%値	75%値	平均	メジアン
竹・キノコ廃菌床	6	0.47	0.48	0.48	0.48
廃菌床	5	0.47	0.47	0.47	0.47
植物・木	14	0.47	0.49	0.48	0.48
キノコ	6	0.47	0.49	0.48	0.48
野菜・果物	5	0.43	0.50	0.46	0.47
食品	4	0.45	0.48	0.46	0.46
牛ふん	3	0.50	0.50	0.50	0.50
鶏ふん	3	0.46	0.49	0.48	0.47
豚ふん	19	0.48	0.55	0.52	0.53
生ごみ	13	0.48	0.53	0.52	0.49
選別ごみ	30	0.45	0.60	0.54	0.59
紙類	16	0.42	0.48	0.44	0.45
油	4	0.47	0.47	0.47	0.47
汚泥	3	0.51	0.56	0.54	0.52
グリセリン	2	0.54	0.54	0.54	0.54
もみ殻	2	0.41	0.41	0.41	0.41

3章 運転データ分析

3.1 運転データ分析の概要

3.1.1 施設の概要

投入ごみの種類は、生ごみ、紙ごみ、チップである。投入比率は、施設の週ごとのデータより、湿ベースで生ごみの方が紙ごみより多い。チップは比率0が多く、多くても20%である。槽内汚泥量は週ごとにばらつきが見られ150~350[t]、汚泥循環量も週ごとにばらつきがあるが350~700[t/週]となっている。投入日数は、ほとんどが週6日であり、投入時間は、1日4~5時間が多い。VS投入量は投入日あたり0.5~2.5 t-VS/日、平均1.4 t-VS/日であるが、週平均とすると、0.8~1.2 t-VS/日、平均0.91t-VS/日である。有機物負荷は、槽内汚泥量を上記幅の平均をとって250 t とすると、3.2~4.8kg-VS/m³日である。

平均メタン濃度は、55~60[%]である。運転状態は、通常運転、立ち上げ運転、高負荷運転、小負荷運転、3~4日投入運転、通常停止がある。蒸気添加量は、1000~3000[kg/週]である。

3.1.2 運転データの項目

運転データは施設が運転を開始した2007年から269週分ある。運転データは、時間測定、日測定のデータがあり、さらにそれらを週単位で合計したデータがある。運転データの測定項目は非常に多く、3.1.1で述べたデータのほかに、ガス発生量、投入量、電力使用量、発電量、乾燥汚泥量などがある。ここで、投入量の測定方法は、1日ごと家庭系ごみ、事業系ごみ、チップの重量を測定し、家庭系ごみの生ごみ比率はおよそ8割で一定とし、事業系の生ごみ比率はバーコードシステムにより1日ごとの比率が出るのでその値を使用する。生ごみ重量は家庭系ごみと事業系ごみの合計値とし、紙ごみ重量も同様にして求める。チップ重量はあらかじめ1週間の投入量を決め、投入日数に応じて1日当たりのチップ投入量を求める。

また、分析に使用するデータは、ガス発生に関わるデータとし、投入量、投入量比(生ごみ、紙ごみ、チップ)、ガス発生量、投入日数、槽内汚泥量を使用する。

3.1.3 運転データの整備

(1) 投入量比チップ割合の分析からの除外

チップは投入割合が小さいものも多く、ガス発生が非常に低いと考えられる。週単位合計のデータにおいて、チップ割合が最大の時の比率(VSあたり)を表3-1の左に載せた。ただし、データとしてある投入量比は湿ベースあたりであったので、VS値は以下(2)で計算しているものを使用した。表3-1中段は、バッチ試験における生ごみ、紙類、チップのガス発生量である。メジアンを使い、投入量比からそれぞれのガス発生量を算出すると、チップからのガスは全体の6%であった。表3-1はチップ割合が最大なので、他の投入量比データではこの値よりも低いことになる。よって、チップは分析から除いても問題ないと考え、投入量比は生ごみと紙ごみだけとし、分析を行う。

表 3-1 生ごみ、紙類、チップのガス発生量の割合

	投入量比[-]	バッチ試験におけるガス発生量[NL/kg-VS]			ガス発生量[NL/kg-VS]	ガス発生量割合[-]
		25%値	75%値	メジアン		
生ごみ	0.14	499	611	563	78.82	0.34
紙類	0.35	312	508	401	140.35	0.60
木	0.51	12.6	64.5	27.2	13.872	0.06

(2) 湿ベースのデータから VS あたりのデータへの変換

運転データの投入量、投入量比は湿ベースである。分析では分解するものだけで行う必要があるため、VS あたりのデータにする必要がある。

データを VS 値に直すために、文献 5) の値を参考にする。この文献において、生ごみはごみ袋の中から水分が流出しないよう生ごみのみを入れたプラスチック袋を選んで、計 31 袋をサンプリングしている。その後、乾燥させ、紙やプラスチック類等の異物を除去し、破碎し分析試料としている。その結果、生ごみの水分は 82.1%、乾燥ベースで灰分が 12.9%、固定炭素が 10.2%、揮発分が 77%となった。よって、含水率 82.1%、VS/TS 値として 87.1%を使用する。よって、湿ベースでは VS 値は、15.7[%]となった。

また、紙類も生ごみと同様の文献の値を参考にする。文献において、雑がみ収集で排出された、汚れていない紙類を組成分析し、種類別に分析している。表 3-2 に種類別の分析値を載せた。この表の値から、含水率と VS/TS 値の重みづけ平均を算出した。その結果、含水率が 6.3%、VS/TS 値が 89%となり、湿ベースで 83.7[%]となった。

表 3-2 紙類の分析値

	サンプリング量[kg]	水分[%]	灰分(乾ベース)[%]	乾重量[kg]	灰分[kg]
新聞紙	0.48	6.2	8.4	0.450	0.038
雑誌・週刊誌等(カタログ)	0.38	3.1	24.4	0.368	0.090
ノート	0.36	4.5	5.5	0.344	0.019
カレンダー	0.18	6.8	9.7	0.168	0.016
冊子状PR誌(光沢あり)	0.92	5.6	15.8	0.868	0.137
冊子状PR誌(光沢なし)	0.26	7	7.5	0.242	0.018
折り込み広告(光沢なし)	0.26	7.2	10.4	0.241	0.025
折り込み広告(光沢ある)	0.8	5.3	20.3	0.758	0.154
封筒	0.1	7.6	5.3	0.092	0.005
DM(中身含む)	0.16	7.6	4.9	0.148	0.007
シール、台紙	0.02	3.9	11.5	0.019	0.002
写真	0.01	5.6	11.9	0.009	0.001
ハガキ	0.02	7.8	13.8	0.018	0.003
折り紙	0.1	7.3	10.3	0.093	0.010
情報印刷紙	0.56	5.3	6.2	0.530	0.033
紙パック(アルミコーティング)	0.1	9.9	4.9	0.090	0.004
紙パック(アルミコーティング・プラ栓)	0.32	5.8	0.7	0.301	0.002
紙パック(アルミコーティングなし)	1.36	4.4	0.5	1.300	0.007
ダンボール	1.72	7.7	9.3	1.588	0.148
ダンボール(色つき)	0.82	6	11.3	0.771	0.087
食料品小箱(茶色地)	3.52	5.1	13.2	3.340	0.441
食料品小箱(白色地)	0.54	6.3	22.1	0.506	0.112
厚手の箱(食品)	0.22	6.5	16.3	0.206	0.034
日用品小箱(薬・化粧品)	0.28	5.7	12.6	0.264	0.033
日用品小箱(洗濯石鹼)	0.32	5.6	13.7	0.302	0.041
日用品小箱(たばこ・マッチ)	0.38	6	8.6	0.357	0.031
日用品小箱(ゴミ取りなど)	0.38	6.4	15.3	0.356	0.054
日用品小箱(ティッシュペーパー)	0.98	5	15	0.931	0.140
厚手の箱(食品以外)(表層茶)	0.44	7.4	13.2	0.407	0.054
厚手の箱(食品以外)(表層白)	0.84	5.9	12.5	0.790	0.099
包装紙	0.26	8.1	5.8	0.239	0.014
デパート・商店の手提げ袋	0.44	7.1	4.8	0.409	0.020
紙袋(手提げ以外)	0.16	9.4	0.9	0.145	0.001
紙筒、紙芯	0.56	7.6	8.3	0.517	0.043
紙製緩衝材(クッション・型物)	0.5	6	7.3	0.470	0.034
紙コップ・カップ	0.4	6.8	5.5	0.373	0.021
食料品の袋	0.06	7.4	3.7	0.056	0.002
アルミコーティング食品袋(茶漬け)	0.08	4	15.2	0.077	0.012
びんの紙ラベル	0.02	6	19.3	0.019	0.004
カップふた	0.02	3	5.9	0.019	0.001
紙袋(割りばしの袋)	0.02	10.3	5.8	0.018	0.001
ボール紙	0.14	7.7	13.1	0.129	0.017
レシート	0.1	7.5	13.9	0.093	0.013

3.2 週単位合計データの分析

3.2.1 分析方法

週単位合計データにおいて、VS あたりのガス発生量の分析を行う。生ごみ割合、投入日数がガス発生量の影響を調べるため、生ごみ割合と日数をいくつかのカテゴリーに分けた。生ごみ割合は、チップを除き、VS としての割合である。投入日数分布、生ごみ分布は図 3-1 のようになり、日数は①～5 日、②6 日～の 2 つのカテゴリーに分け、生ごみ割合は①～20%、②21～25%、③26～30%、④31～35%、⑤36%～の 5 つのカテゴリーに分けた。

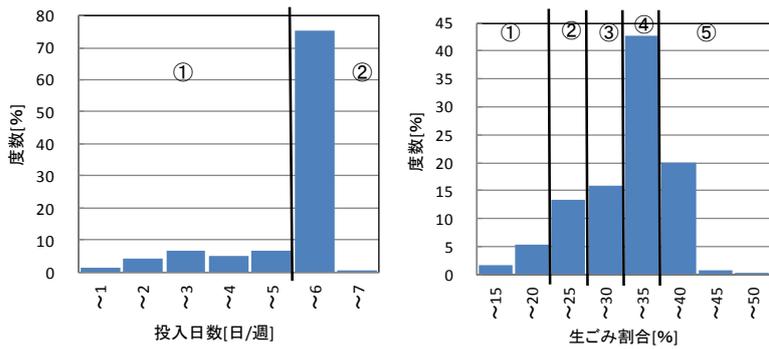


図 3-1 投入日数、生ごみ割合の度数分布 (VS)

3.2.2 分析結果

(1) 生ごみ割合の違いによる分析

図 3-2 に投入負荷に対するガス発生量の関係を示す。横軸は下水工学における BOD 負荷に倣って、投入量/槽内汚泥量[kg-VS/t]とした。また、3.2.1 に記載したカテゴリーごとにグラフ上の記号を変え、生ごみ割合の違いがわかるようにした。生ごみ割合におけるガス発生量への影響はあまり見られないという結果になった。特に生ごみ割合 26~30%の分布はかなりばらつきが見られる。

また、バッチ試験における生ごみ、紙類の投入量/槽内汚泥量[kg-VS/t]とガス発生量[Nm³/kg-VS]の結果を図 3-2 上に載せた。投入量/槽内汚泥量は各グループのメジアンを使用し、ガス発生量は各 25%値と 75%値の幅を載せた。表 3-3 にサンプル名とデータをまとめた。バッチ試験のガス発生量よりも、運転データのガス発生量の方が高いという結果になった。

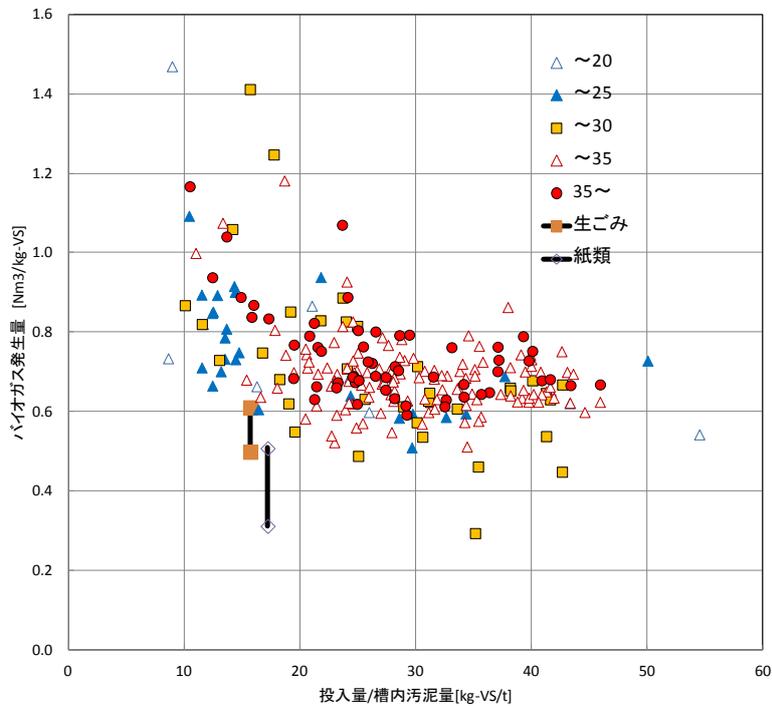


図 3-2 投入負荷に対するガス発生量(生ごみ割合)

表 3-3 バッチ試験データ

サンプル		VS量/汚泥量 [kg/t]	7日間ガス発生量 [Nm ³ /kg-VS]	サンプル	VS量/汚泥量 [kg/t]	7日間ガス発生量 [Nm ³ /kg-VS]	
生ごみ	屋久生ごみ	18.6	0.66	紙	屋久古紙	15.8	0.42
	生ごみ	15.0	0.56		ティッシュ	19.2	0.58
	生ごみ	15.0	0.61		可燃ごみ(古紙)	15.0	0.25
	合成生ごみ	14.2	0.64		マンガ雑誌	15.0	0.30
	日本工営 生ごみ	19.8	0.33		カラーカタログ紙	15.0	0.53
	生ごみ9月	22.8	0.60		プリンター写真紙	15.0	0.38
	生ごみ6月	25.0	0.48		損紙ブロック	15.0	0.57
	生ごみ	18.1	0.59		ダストブロック	15.0	0.64
	生ごみ	14.9	0.64		紙コップ	15.0	0.45
	生ごみ11月	15.4	0.56		古紙	18.7	0.29
	横須賀生ごみ	19.0	0.35		事セン段ボール	16.9	0.37
	横須賀生ごみ(一般)	12.0	0.55		ティッシュ	17.4	0.55
	横須賀生ごみ(一般)	12.0	0.55		野木町 ごみ袋	18.9	0.40
	横須賀生ごみ(スクリュープレス)	16.0	0.41		紙ごみ袋(コーティングあり)	19.0	0.31
					野木町 ごみ袋	18.9	0.40
			紙ごみ袋(コーティングあり)	19.0	0.31		
			紙ごみ袋(コーティングなし)	18.9	0.40		
			紙ごみ袋(コーティングあり)	19.0	0.31		

また、生ごみ割合の違いによる影響をより細かく調べるため、図 3-2 において横軸が 20 kg/t 以上のデータについて、生ごみ割合のカテゴリーごとに 25%値、50%値、75%値を出した。それらをグラフ化したのが図 3-3 である。

図 3-3 より、21~25%、26~30%で一度低くなっているが、生ごみ割合が多い方がガス発生量が若干高くなっている。よって、生ごみ割合はガス発生量に全く影響していないというわけではないと考える。

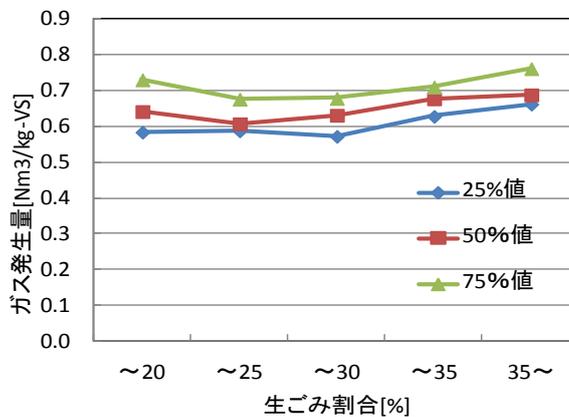


図 3-3 生ごみ割合とガス発生量の関係

(2) 投入日数の違いによる分析

(1)の場合と同様に、投入日数の違いによるガス発生量の影響を調べた。6日間未満と6日間で記号を変え、図 3-4 に示す。この結果、日数の違いによる大きな違いは見られない。投入日数が6日未満、6日の場合の両方で、ガス発生量にばらつきが見られる。

よって、投入日数の違いによるガス発生量への影響はないと考える。

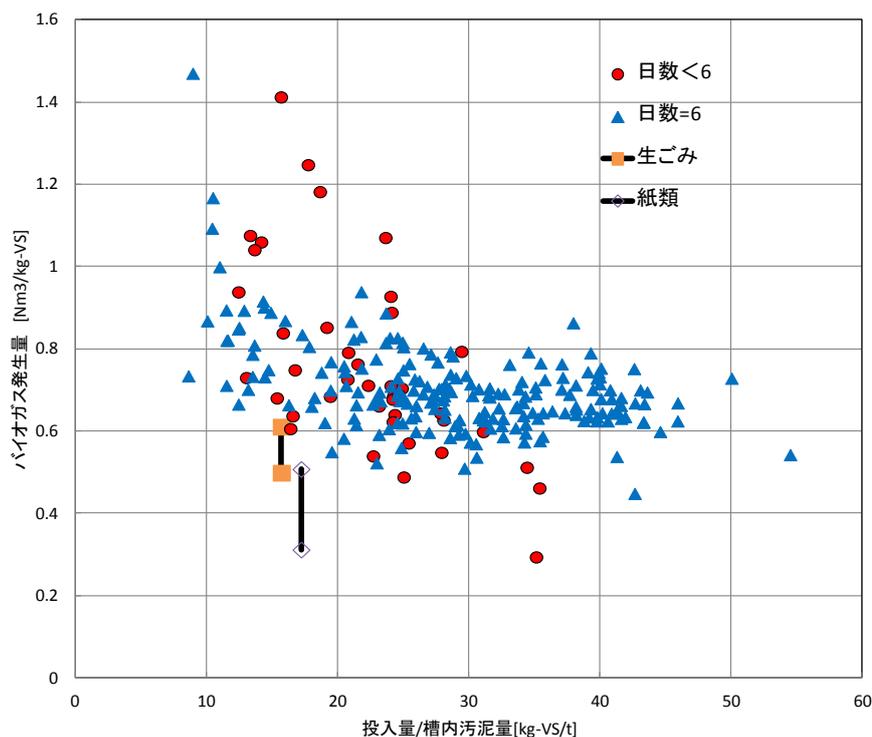


図 3-4 投入負荷に対するガス発生量(投入日数)

(3) 負荷量の違いによる分析

図 3-3、3-4 において、負荷が小さい方がガス発生量が高いように見える。しかし、負荷が小さいと思われる横軸が 10~20[kg-VS/t]の部分では、ガス発生量のばらつきが大きい。

よって、負荷量の違いによるガス発生量への影響はないと考える。

3.3 日データ分析

3.3.1 データの抽出

日データのガス発生量、投入量の全データを付図 2-1~2-4 のようにまとめた。週単位での投入日数の週における投入量変化により、ガス発生の変化パターンは異なっている。この図より、10~15 週の単位で典型的なパターンを抽出した。

図 3-5 が抽出したガス発生パターンのグラフの 4 週分である。(a)~(c)が週 6 日投入のパターンであり、(d)~(f)が週 6 日未満投入のパターンである。(a)~(c)は同じ週 6 日投入であるが、ガス発生のグラフの形において、(a)は大きい山と小さい山を繰り返し、(b)は大きな山のみを繰り返し、(c)では右上がりを繰り返している。投入の仕方では、(a)では毎日同じ投入量、(b)では 6 日間のうち 4~5 日目が多い、(c)では徐々に投入量を増やしており、このような違いがガス発生の形に影響している。また、(d)は週 3 日投入、(e)は週 4 日投入、(f)は投入無しの週を含んでいる。

この抽出したデータをもとに、日データの分析を行う。

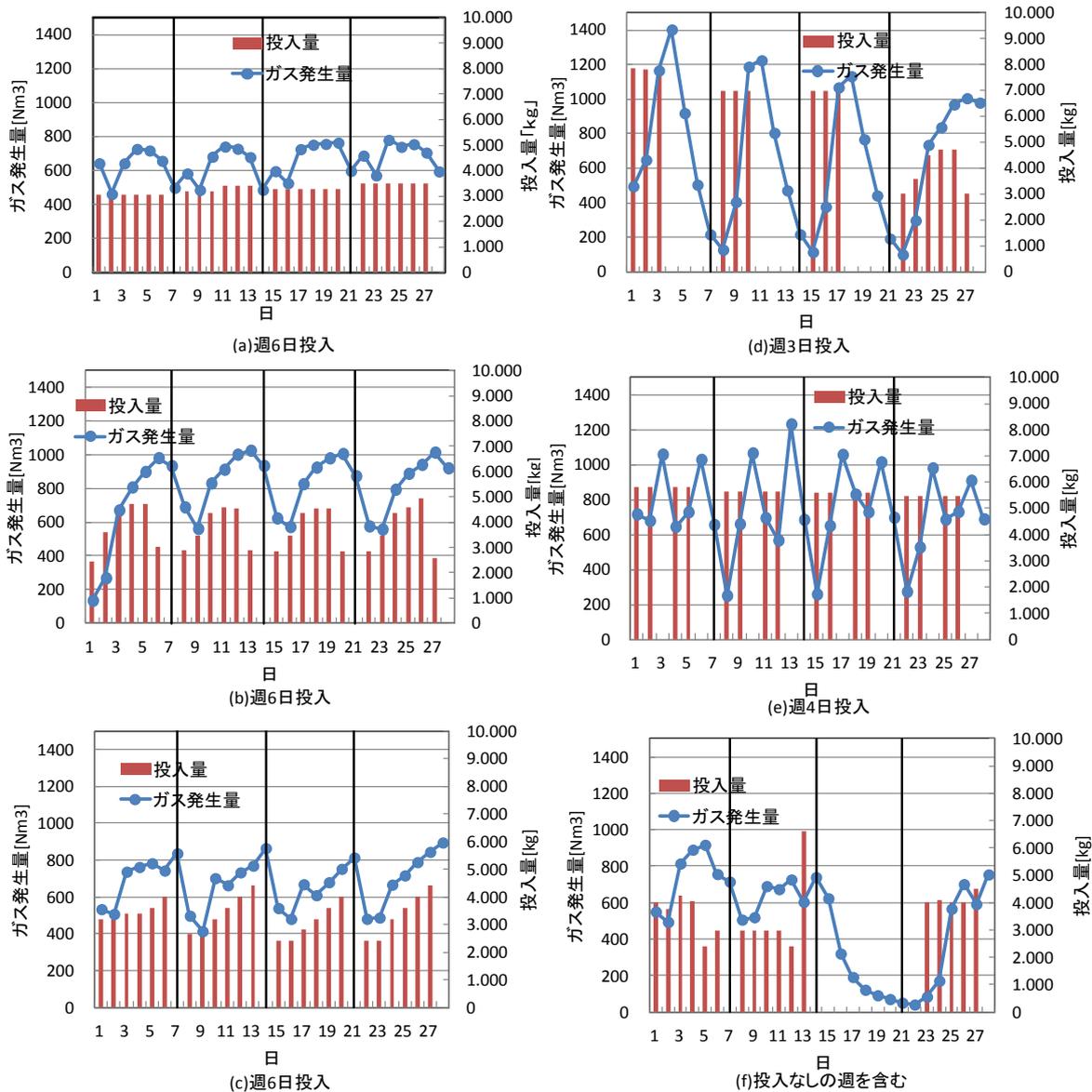


図 3-5 典型的なガス発生パターン

3.3.2 日データを用いたモデル化の方法

(1) 生ごみ、紙ごみそれぞれから発生する VS あたりのガス発生量の算出

まず、日データにおける生ごみ、紙ごみの全投入量データを合計する。これらの合計に、3.1.3 (2) で求めた生ごみ、紙ごみの VS 値より、それぞれ VS あたりの投入量とする。その結果、生ごみの全投入量合計は 525006[kg-VS]、紙ごみの全投入量の合計は 1463234[kg-VS]となった。また、同様に日データにおける全ガス発生量データを合計し、その結果 1197297[Nm³]となった。

ガス発生量の合計を生ごみと紙ごみの合計投入量で割った値が 0.602[Nm³/kg-VS]となり、これが VS 投入量あたりのガス発生量となる。ここで、バッチ試験分析の結果より、生ごみの方が紙ごみよりもガス発生量が高いということがわかっているので、生ごみを 0.602[Nm³/kg-VS]よりも高く設定する必要

がある。また、ガス発生量が測定値の合計と一致するよう、両者の VS あたりガス発生量を調整し、生ごみは 0.63[Nm³/kg-VS]、紙ごみは 0.593[Nm³/kg-VS]とした。また湿重量あたりの VS を、生ごみ 0.157[kg-VS/kg-wet]、紙ごみ 0.837[kg-VS/kg-wet]とした。

(2) ガス発生モデル化

ガス発生を 1 次反応モデルで表す。ガス発生量の変化は

$$\eta = 1/\tau \times \exp(-t/\tau) \quad (\tau \text{ は時定数})$$

で表され、 $t=0 \sim \infty$ の積分値は 1 である (図 3-6)。また遅れ時間を考え、投入翌日からガスが発生する場合、遅れは 1 日となる。

生ごみ、紙ごみそれぞれからの日ガス発生量は、以下のように計算する。第 i 日の投入量 VS を $x(i)$ 、図 3-6 のガス発生率を $\eta(t)(t=0 \sim \infty)$ とすると、ガス発生量は

$$\text{当日投入の発生量} \quad x(i) \times \eta(0)$$

$$\text{1 日前投入} \quad x(i-1) \times \eta(1)$$

$$\text{2 日前投入} \quad x(i-2) \times \eta(2)$$

の合計、すなわち

$$\sum_{k=0}^{\infty} x(i-k) \times \eta(k)$$

で計算できる。生ごみ、紙ごみそれぞれについての計算値を合計し、ガス発生量を算出した。計算する際に、 τ 、遅れ時間を決めなければならない。3.3.1 で抽出したパターンにおけるガス発生量実測値と一致するような τ と遅れ時間を調べるために、これらを変化させながら、ガス発生量の実測値と計算値を比べる。

3.3.3 モデル化の結果

実測値と計算値が一致するように、 τ 、遅れ時間を変化させて計算した。その結果、生ごみ、紙ごみともに $\tau=2$ 、遅れが 1 日のとき最も一致した (図 3-7)。参考のため、 τ 、遅れ時間を変えた結果を図 3-8、9 に載せた。図 3-8 は生ごみ、紙ごみともに $\tau=5$ 、遅れが 1 日の場合、図 3-9 は生ごみ、紙ごみともに $\tau=2$ 、遅れが 0 日の時である。図 3-8 は図 3-7 よりも実測値と計算値の縦軸の値のずれが大きい。図 3-9 は実測値よりも計算値がちょうど 1 日早い形になっていることがわかる。

よって、図 3-7 と図 3-8、9 を比べても、図 3-7 の時が最も一致していると考えられる。このように、運転データからガス発生をモデル化ができた。

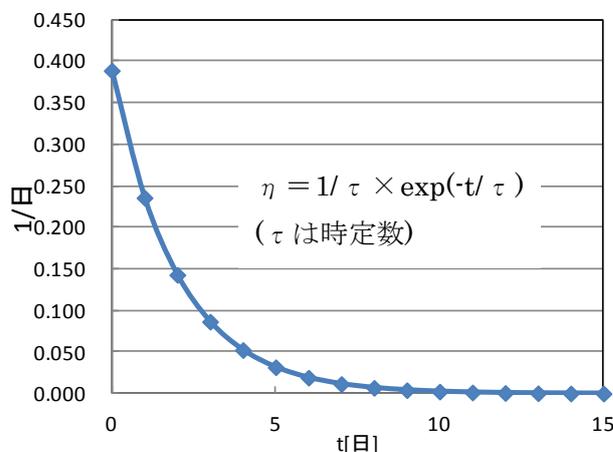


図 3-6 1 次反応モデルの分解率

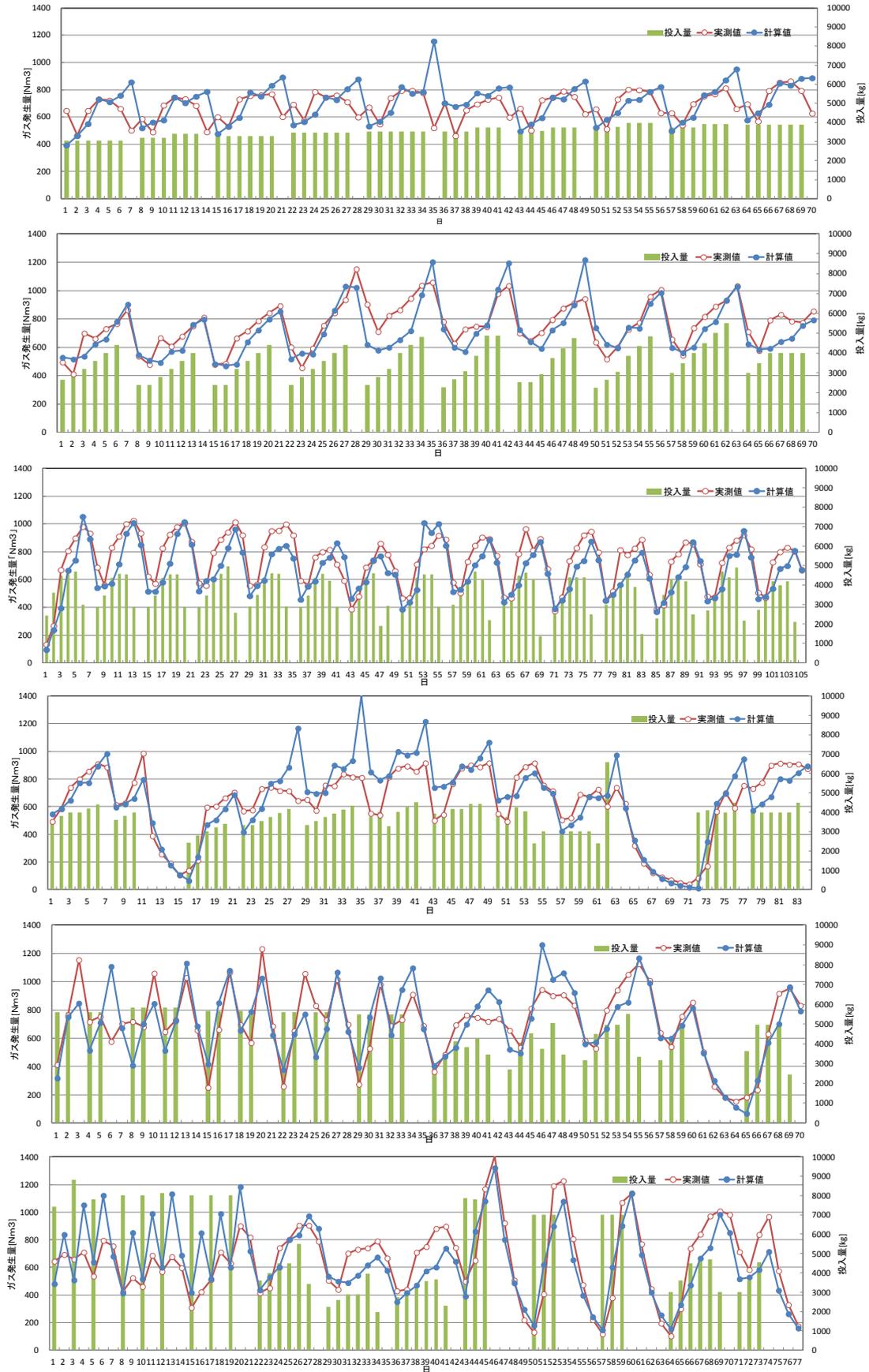


図 3-7 最も一致した計算結果(生ごみ、紙ごみともに $\tau=2$ 、遅れ 1 日)

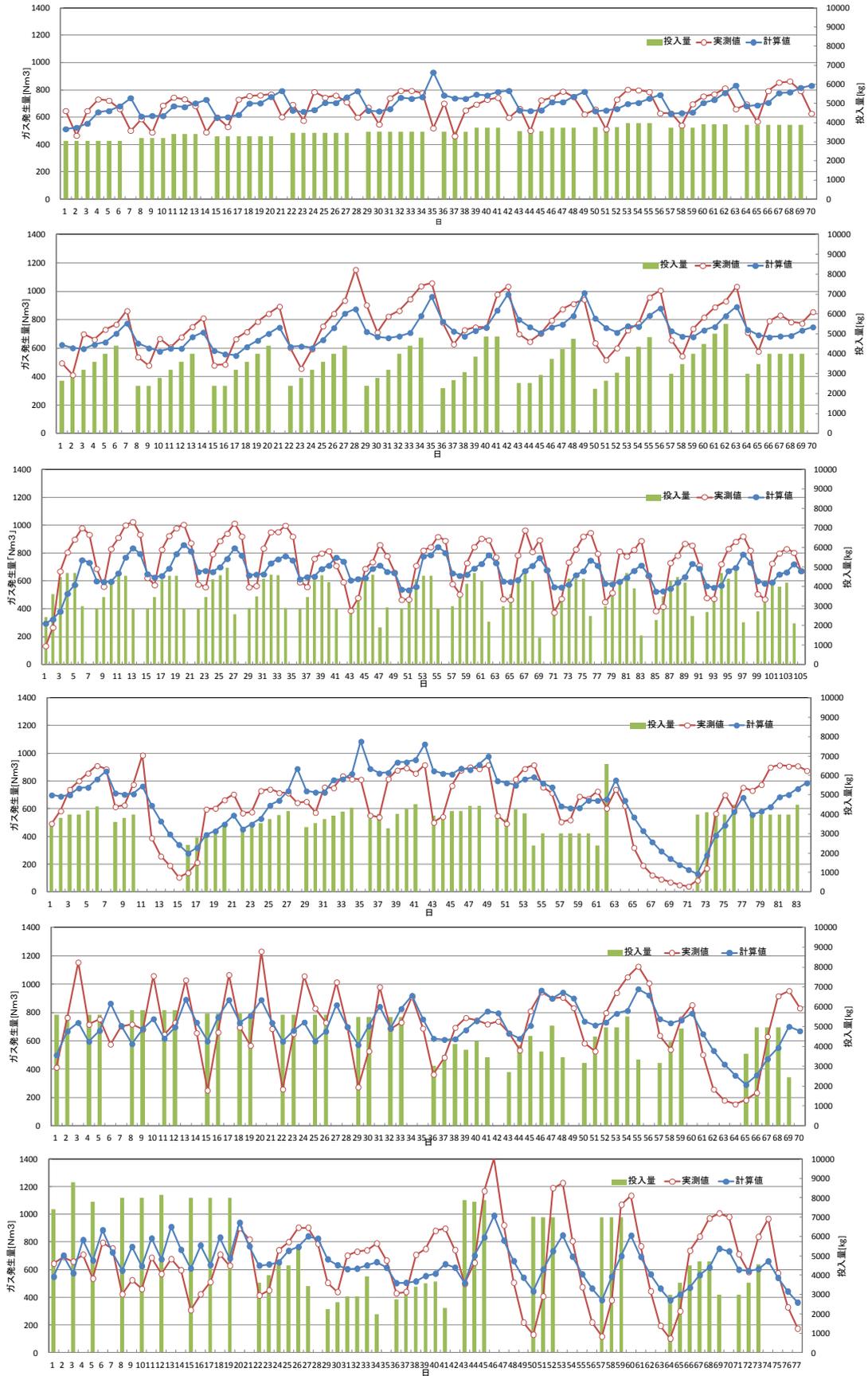


図 3-8 生ごみ、紙ごみともに $\tau = 5$ 、遅れ 1 日の時の計算結果

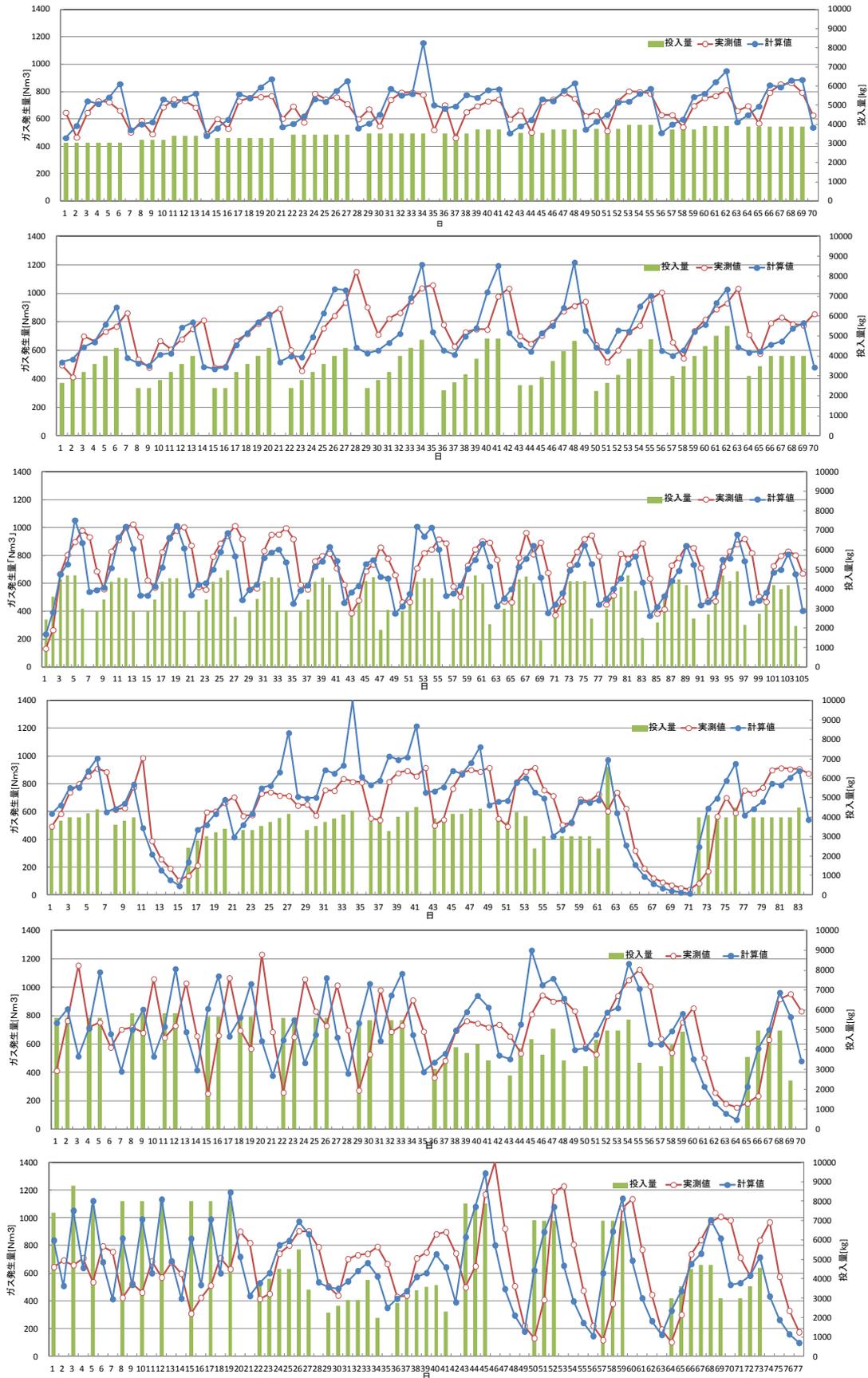


図 3-9 生ごみ、紙ごみともに $\tau = 2$ 、遅れ 0 日の時の計算結果

3.4 時間データ分析

3.4.1 分析データの抽出

時間別のデータとしては、開始時刻、1日の投入時間[h/日]、1日の投入量[t/日]、時間当たり投入量[t/h]、ガス発生量[Nm³/h]である。これらのデータでは、1日4~5時間投入が最も多かった。モデル化を行うにあたって、投入時間の異なる週をいくつか抽出する。そこで、最も多い4~5時間投入の日を含む週において、週6日投入の週と週3~4日投入の週をそれぞれ1週抽出し、7~8時間投入の日を含む週、10時間投入を含む週を1つずつ抽出した。それぞれの投入時間は、1日の20%、30%、40%となる。

3.4.2 時間データを用いたモデル化の方法

時間データのモデル化を行うにあたって、日データのモデル化の際に算出した、生ごみからのVSあたりガス発生量、湿重量あたりVSは3.3.2と同じ数値を使用する。

図3-10に、分析結果を示す。時定数は30時間程度でデータに一致したが、計算値には鋭いピークが生じる。そこで、次の2次遅れモデルを用いることとした。2次遅れとは、時定数の異なる完全混合モデルを直列に2つつなげたもので、インパルス応答は次式で表される。

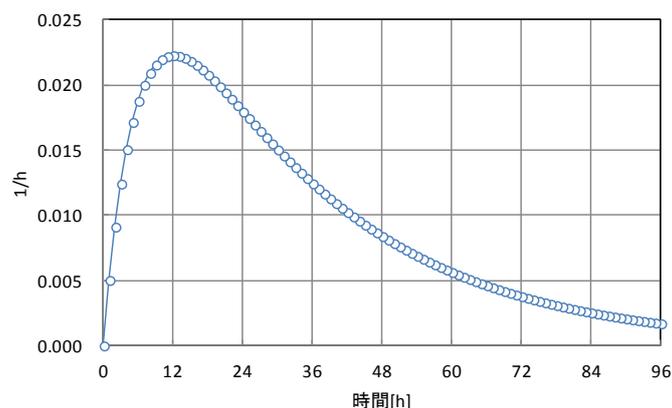


図3-11 2次遅れモデルのインパルス応答

$$g(t) = \frac{1}{T_1 - T_2} \left[\exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) - \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right]$$

ここで T_1 、 T_2 は時定数、 $T_1 > T_2$ である。

3.4.3 モデル化の結果

3.4.1で抽出した4つのパターンの週について実測値と計算値が一致するように、 T_1 、 T_2 を変化させて計算した。図3-12に、最も一致した結果を示す。生ごみ、紙ごみともに $T_1=30$ 、 $T_2=6$ であった。

よって、このように日データのモデル化と同様に、時間データにおいてもガス発生モデル化をすることができた。

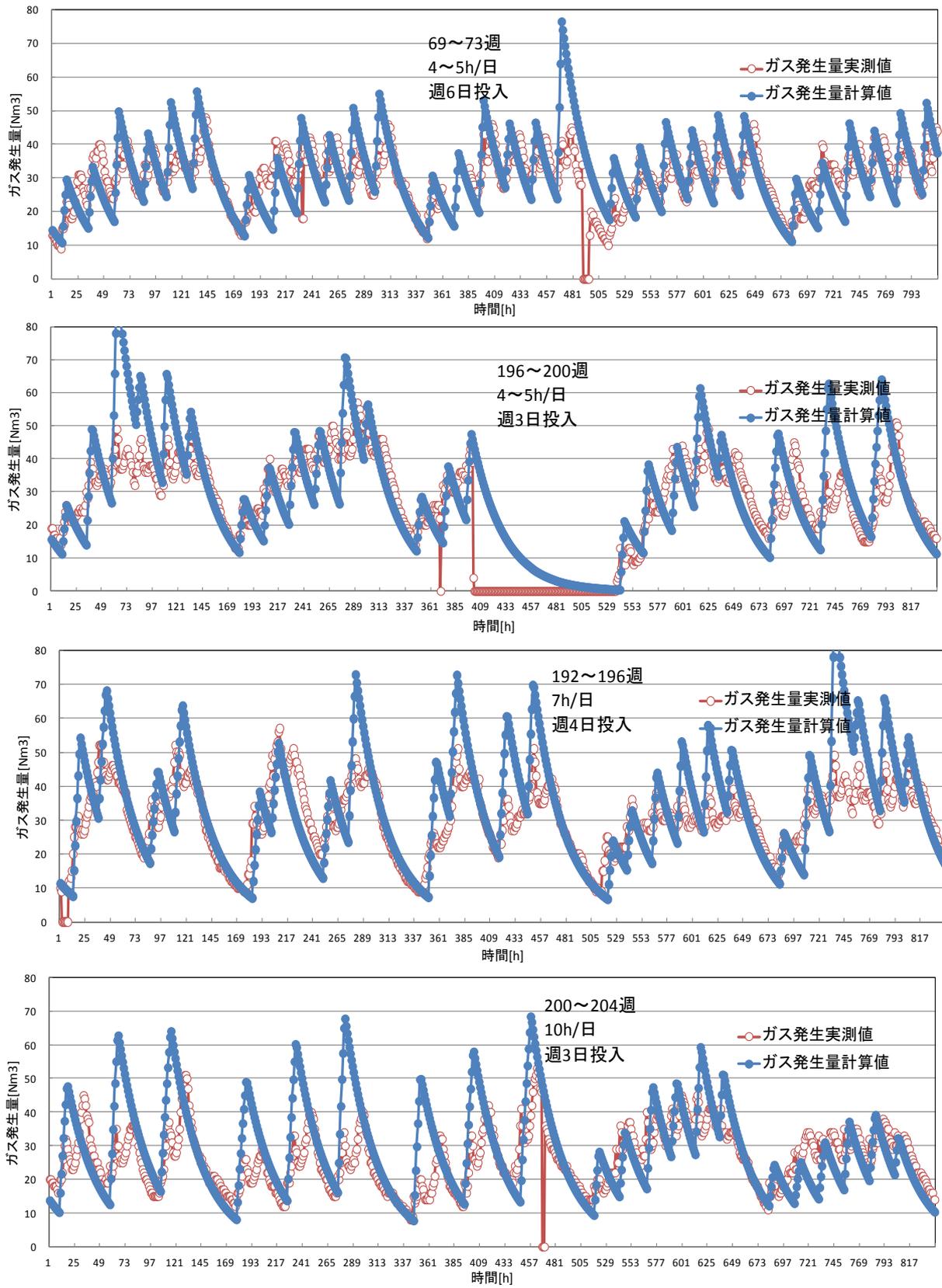


図 3-10 1次遅れ ($\tau = 30$ の場合)

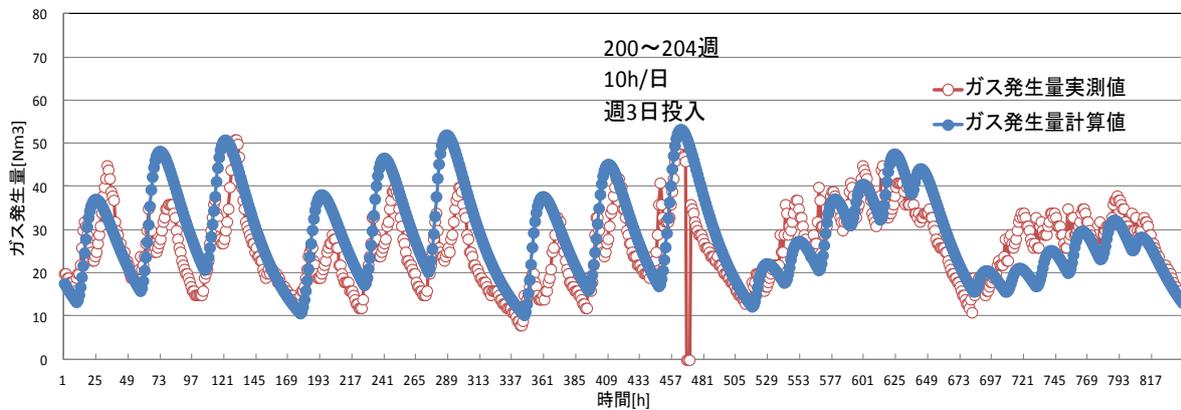
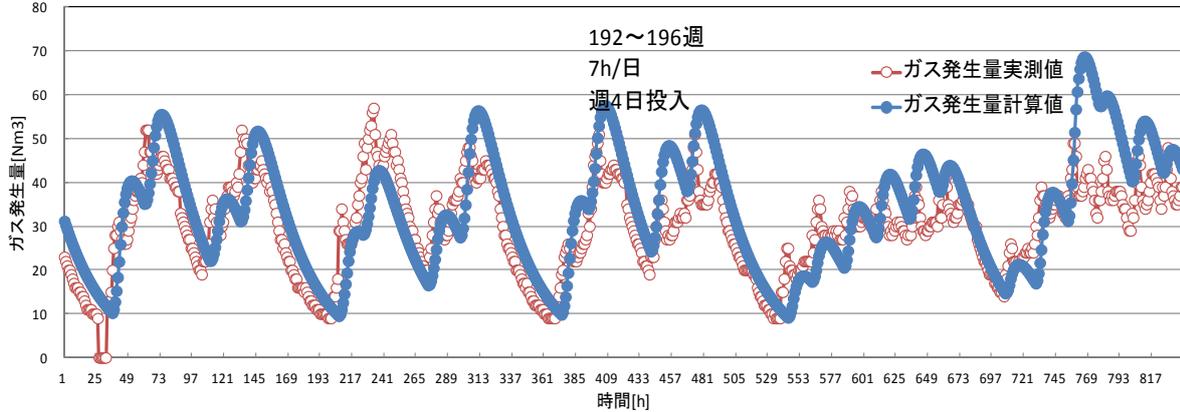
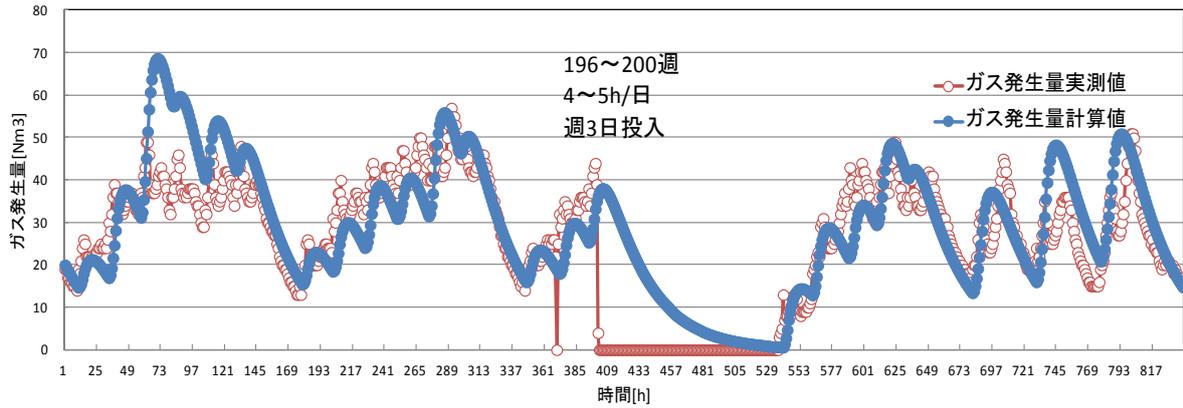
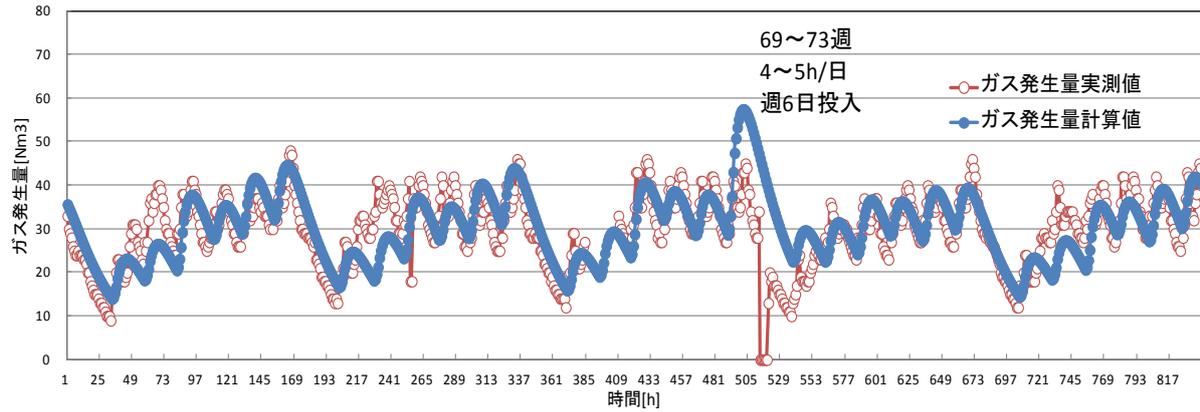


図 3-12 T1=30、T2=6 の場合

4章 今後の運転に向けて

2章のバッチ試験, 3章の施設運転データ分析の結果, 今後の乾式メタン発酵施設の運転管理に関する提言をまとめると, 以下のようになる。[1]などの数値は, 表 4-1 に示す文献番号である。

4.1 バッチ試験

1)炭素ベースの分解率は低い(50%程度)。Neves ら(2007) [1]はバッチ試験を行い, 分解が2段階であり, 第一段階は3~5日で50%, 第二段階は25~30日で85%の分解としている(理論値はCOD基準, ただし脂質は遅い)。これとも一致する。

2)収集ごみの代表サンプルを採取することは, 難しい。実施設の対象ごみは不均質であるため, 均質物質と同様には扱えない。

この2つの理由から, バッチ試験は施設運転に有用な情報とはならない。

①バッチ試験を行い, 今回得られた穂高/バッチの比から推定する

②バッチ試験は行わず, 施設運転のデータを参考とする。

かどちらかとなるが, 生ごみも地域により異なる可能性があるため, ②を基礎データとするのがよいと考えられる。対象地域が決定したのち, 実ごみで試験運転を行い, 発生特性を把握することが望ましい。

4.2 モデル化

メタン発酵のモデル化は, 多くの文献において検討されている。ほとんどは, hydrolysis (加水分解), acidogenesis (酸生成), methanogenesis (メタン生成) の段階を経るダイナミックスを表現している。

- X.Qu ら(2009) [2]1.1Lのリアクターを用いたバッチ試験。菌体増殖から始まり, 多くのパラメータを持つモデルである。
- L.A.Fdez-Guelfo ら (2012) [10] 5Lの半連続リアクターを用い, 汚泥循環はない。微生物増殖から始まるモデル。SRT=HRTを20~8日に変化させて実験している。
- N.Deveci ら (2001) [7]バッチ試験。難分解性有機廃水(パン酵母)のモデルであり, 反応速度はacidogenesisが最も小さい。
- G.Esposit ら (2011) [12] BMP(Biomethane potential)によるバッチ試験。IWAの嫌気性消化モデルNo.1を用いている。
- V.A.Vavilin ら (2008) [6]加水分解のモデル化。固体を有する場合は, hydrolysis が律速となることから。有機物種類ごとの反応速度をレビューしている。生ごみは 0.55day^{-1} (時定数が2日)であり, パイロット実験に近い。しかし紙はその10分の1である。

半連続, 連続の場合, パラメータはHRT(滞留時間)とOLR(organic loading rate, 有機物負荷)である。該当する文献は, 5, 10, 14, 15, 18であり, 18のみが汚泥を循環している。また, 14以外は, TS20~30%のドライタイプである。(ただし15は, 消化液を引き抜かないものをdryと呼んでいる。)

バッチ, パイロット実験ともに, 紙の分解速度は生ごみと同程度であった。一般には紙の分解速度が遅いと報告されている。有機物負荷を変化させた文献では3~8kg-VS/m³日であるが, 本パイロット実験では3.2~4.8 kg-VS/m³日(3.1.1参照, 週当たり平均)であり, 小さいとは言えず, 理由は不明であ

る。(ただし、日単位の有機物負荷はもっと大きい。また正しくは、汚泥量の変化を考慮して有機物負荷を算出しなければならない。)

4.3 試験運転

施設を建設し、試験運転を行う際に必要と思われることを、以下にまとめる。まずガス発生特性を把握するために必要なことは、

1)投入物の種類と計量(入力条件)

2)投入量、ガス発生量の時間データ

である。日合計、週合計は時間データ分析から推定が容易であり、その逆は困難である。物質収支を把握するために、1)2)の時間データを取得する必要がある。

運転方法としては、

① 1日 4~5時間連続を週 5日続け、2日空ける。

2日空けることで、ガス発生が減衰がわかる(時定数を把握できる)。

各投入から 19~20時間空くことで、立ち上がりの早さがわかる。

一日の投入量は、均等とする(時間変化させない。単純な方がよい)。

② 上記①は、単一の投入物(よく混合し均質化する)で行う。

(まず、単独物質の分解特性を把握する必要がある)

以上を、3~4週間行えば、施設のガス発生特性がわかる。さらに

③ 投入物の三成分を分析する。(水分、灰分、VS)

ガス発生量は、VSあたりで表現しなければならない。

④ 混合物投入

②の足し合わせができることを確認する。

⑤ 投入負荷の影響

①を、考えうる投入負荷の最大、最小で行う。これによって、装置がどれだけ小さくできるかが明らかとなる。

投入時間を変化させ、時間当たり負荷を変化させる。(4時間→10時間)

⑥ 無負荷期間の影響

投入を1週間程度停止し、立ち上げ時のガス発生量を計測する。

(運転休止期間が想定される場合)

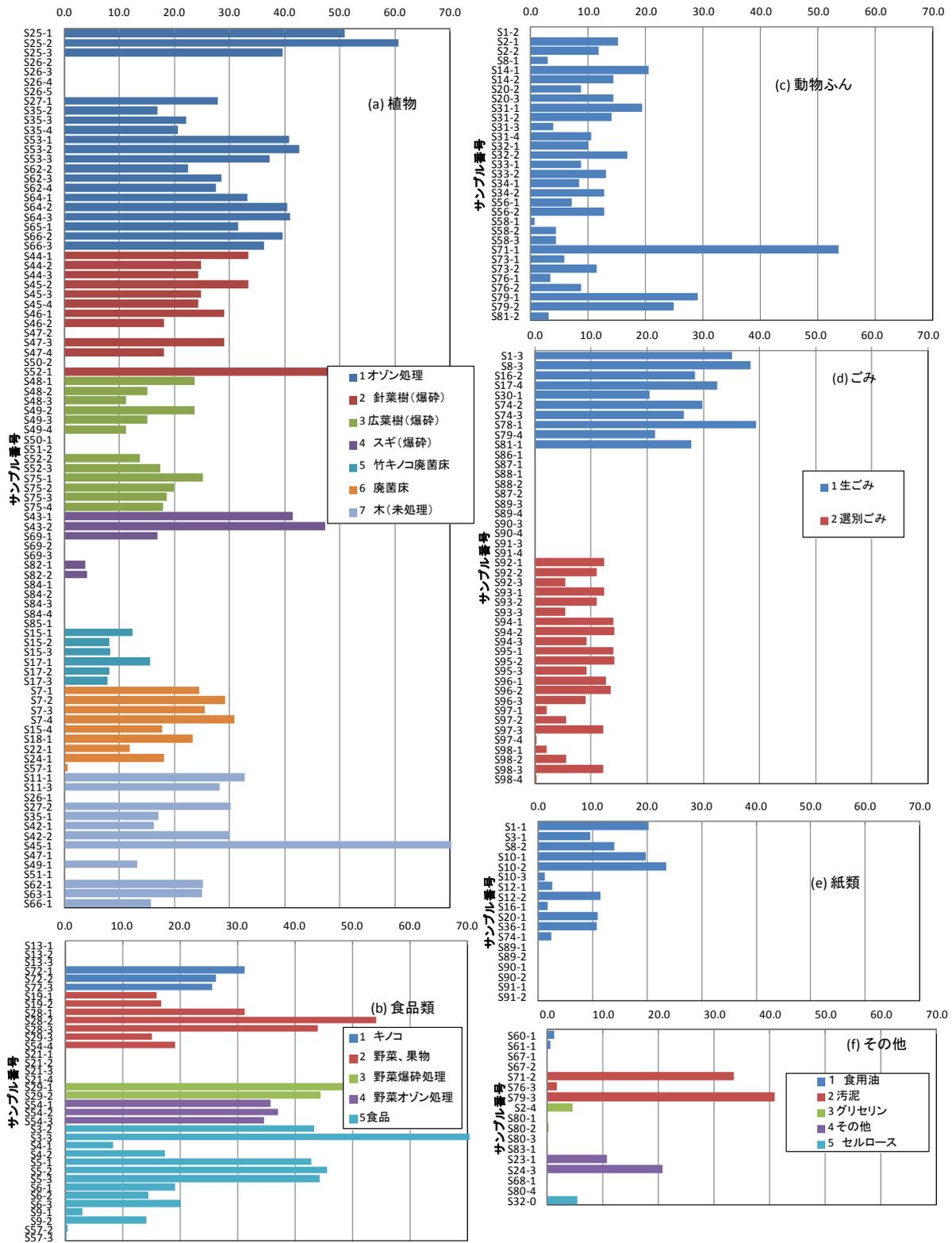
表 4-1 メタン発酵の反応速度等に関する文献

				対象物	実験方法	目的
1	L.Neves, E.Goncalo, R.Oliveira, M.M.Alves	Influence of composition on the biomethanation potential of restaurant waste at mesophilic temperatures	Waste Management 28 (2007) 965-972	レストランのごみ。セルロース、たんぱく、脂質、炭水化物の量を変化させた	バッチ, 37°C, 攪拌	有機物組成の影響
2	X.Qu, V.A.Vavilin, L.Mazeas, M.Lemunier, C.Duquennoi, P.J.He, T.Bouchez	Anaerobic biodegradation of cellulosic material: Batch experiments and modeling based on isotopic data and focusing on acetoclastic and non-acetoclastic methanogenesis	Waste Management 29 (2009) 1828-2837	オフィス紙, 段ボール	1.1Lバッチ。35°Cと55°C。	セルロース分解のモデル
4	M.Eiroa, J.C.Costa, M.M.Alves, C.Kennes, M.C.Veiga	Evaluation of the biomethane potential of solid fish waste	Waste Management 32(2012)1347-1352	魚の缶詰残さ (マグロ, ニシンなど)	ガラスフラスコ, 37°C。TSを1%から5%として実験	ガス発生ポテンシャル
5	B.Montero, J.L.Garcia-Morales, D.Sales, R.Solera	Analysis of methanogenic activity in a thermophilic-dry anaerobic reactor: Use of fluorescent in situ hybridization	Waste Management 29 (2009) 1144-1151	人工のOFMSW (TS90%)	TS20~30のDryリアクター。ラボスケールの連続実験。4.5リットル, 55°C。RT40~25日, OLR (有機物負荷) を変化。	メタン菌の活性
6	V.A.Vavilin, B.Fernandes, J.Palatsi, X.Floutats	Hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material: An overview	Waste Management 28(2007) 939-951		レビュー	加水分解の反応速度 kinetics。さまざまなモデルを紹介
7	N.Deveci, G.Ciftci	A mathematical model of the anaerobic treatment of Baker's yeast effluents	Waste Management 21(2001) 99-103	難分解性のパン酵母廃液	バッチ	加水分解~メタン生成の反応速度
9	A.Nopharatana, P.C.Pullammanappallil, W.P.Clarke	Kinetics and dynamic modelling of batch anaerobic digestion of municipal solid waste in a stirred reactor	Waste Management 27(2007)595-603	MSWを破砕し, 洗浄液, 洗浄後のMSW	バッチ220L, かくはん, 38°C	反応速度を, 可溶性分, 非可溶性分について測定。Hydrolysisが律速かを確かめる
10	L.A.Fdez-Guelfo, A.Alvarez-Gallego, D.Sales, L.I.Romero Garcia	Dry-thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste: Methane production modeling	Waste Management 32(2012) 392-388		TS30%, 55°C。5 Lの半連続リアクター。汚泥循環はなし	メタン発生のモデル化。式は複雑
12	G.Esposito, L.Frunzo, A.Panico, F.Pirozzi	Model calibration and validation for OFMSW and sewage sludge co-digestion reactors,	Waste Management 31(2011) 2527-2536	OFMSWとスラッジの混合処理	BMPテスト	IWAの嫌気性消化モデル
13	A.Khalid, M.Arshad, M.Anjum, T.Mahmood, L.Dawson	The anaerobic digestion of solid organic waste	Waste Management 31(1022) 1737-1744		レビュー	混合処理の効果
14	X.liu, W.Wang, Y.Shi, L.Zheng, X.Gao, W.Qiao, Y.Zhou	Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste and waste activated sludge in China: Effect of organic loading rate	Waste Management 32(2012) 2056-2060		2m3の連続式リアクター, 35°C, 混合。一日一回投入。汚泥は循環せず?	OLR (有機物負荷) の影響
15	Y.Zhang, C.J.Banks	Impact of different particle size distributions on anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste	Waste Management 33 (2013) 297-307	OFMSW。破砕あり, なして, 粒径の影響	半連続, 36°C。消化液を除くwetと, 消化液を抜かないdry。OLRを変化させる	
18	D.H Kim, S.E Oh	Continuous high-solids anaerobic co-digestion of organic solid wastes under mesophilic conditions	Waste Management 31(2011)1943-1948	OFMSWと脱水汚泥の混合処理。PW紙, FW生ごみ, LW畜産廃棄物の混合	横型の円筒状リアクタ, 60L, 攪拌あり。汚泥は循環	TS30%のHigh solid

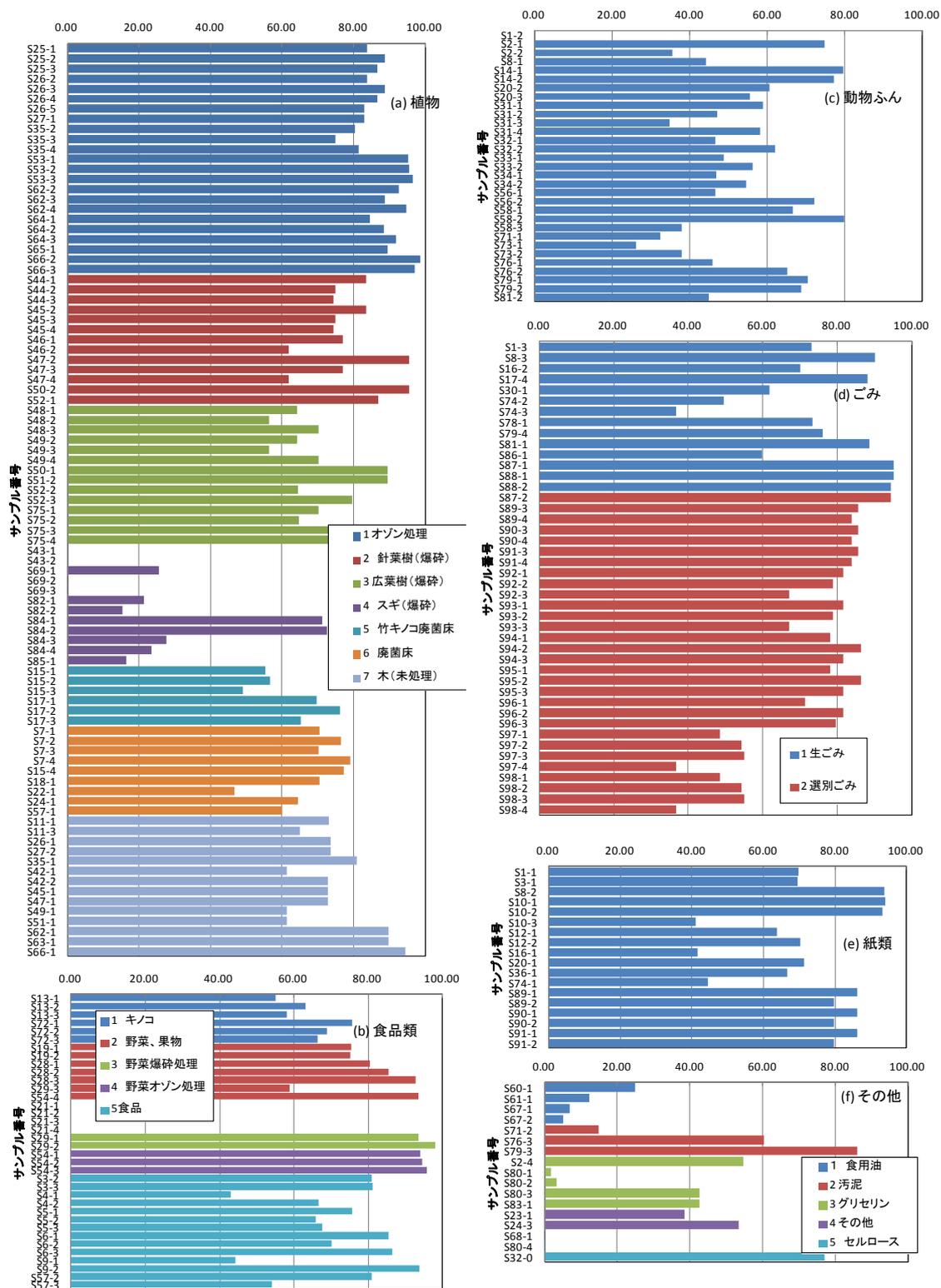
参考文献

- 1) 野池達也：メタン発酵、p20、143、146、152（2009）、技報堂出版
- 2) 牧野富太郎：新訂牧野新日本植物図鑑、p312、987（2000）、北隆館
- 3) 初島佳彦、中島邦雄：琉球の植物、p193（1979）、講談社
- 4) 香川芳子：五訂増補食品成分表 2008、p48、62、130-132、236（2007）女子栄養大学出版
- 5) 松藤敏彦、石井翔太：家庭系ごみ中の可燃性成分の特性値データベース作成とその利用法に関する研究、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol22、No.6、pp.382-395(2011)

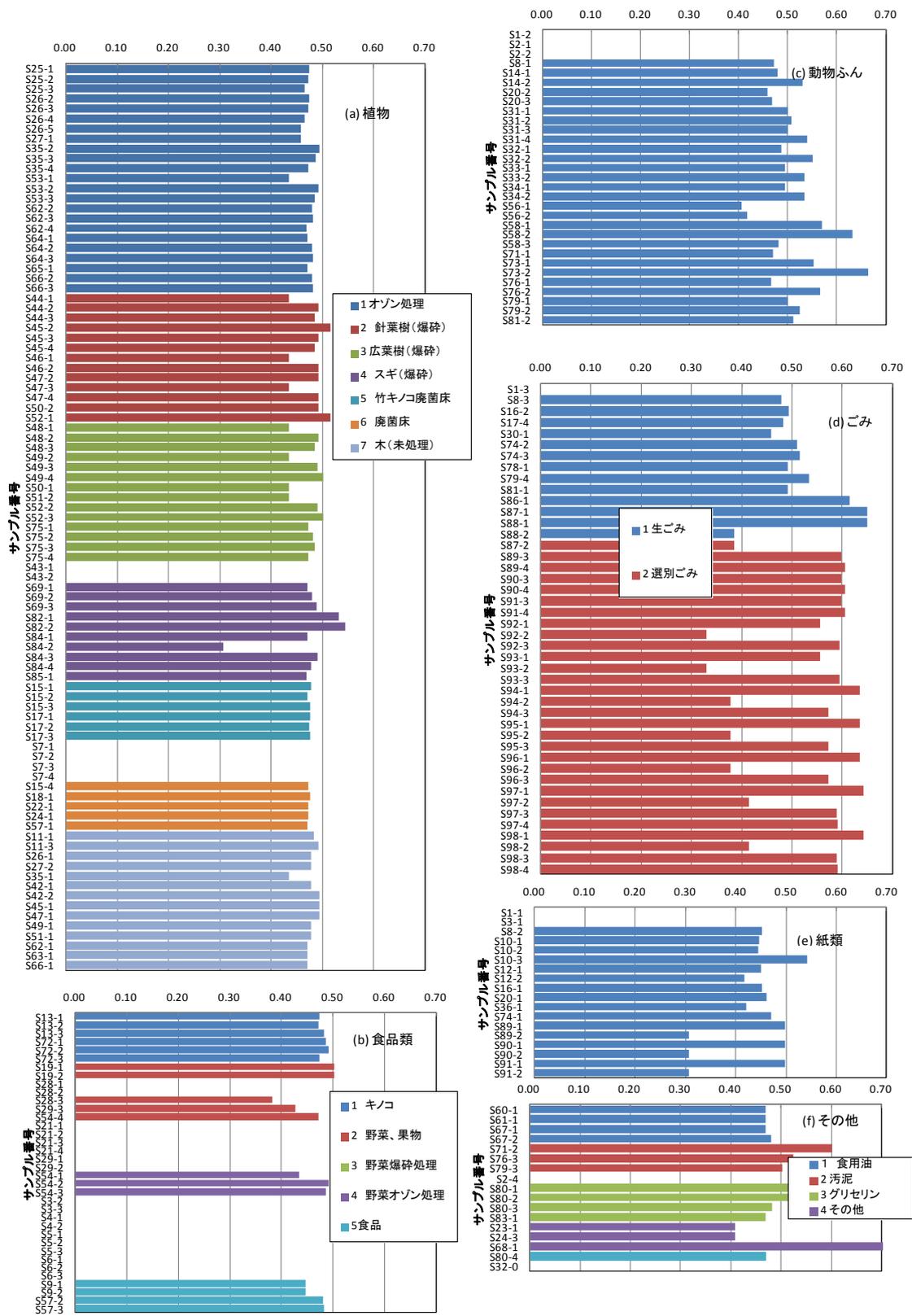
付図



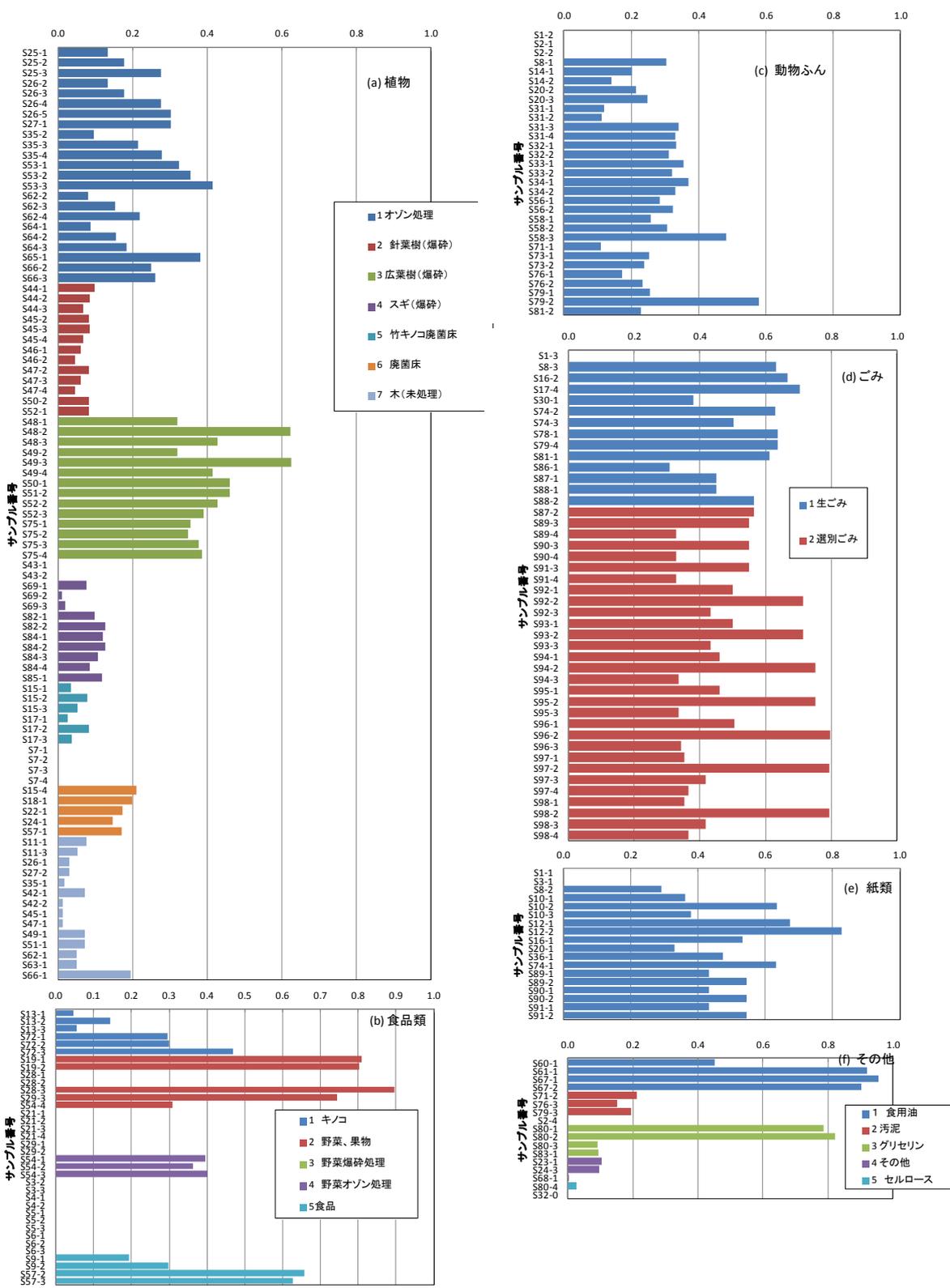
付図 1-1 VSあたりの1日間/7日間ガス発生量比[-]



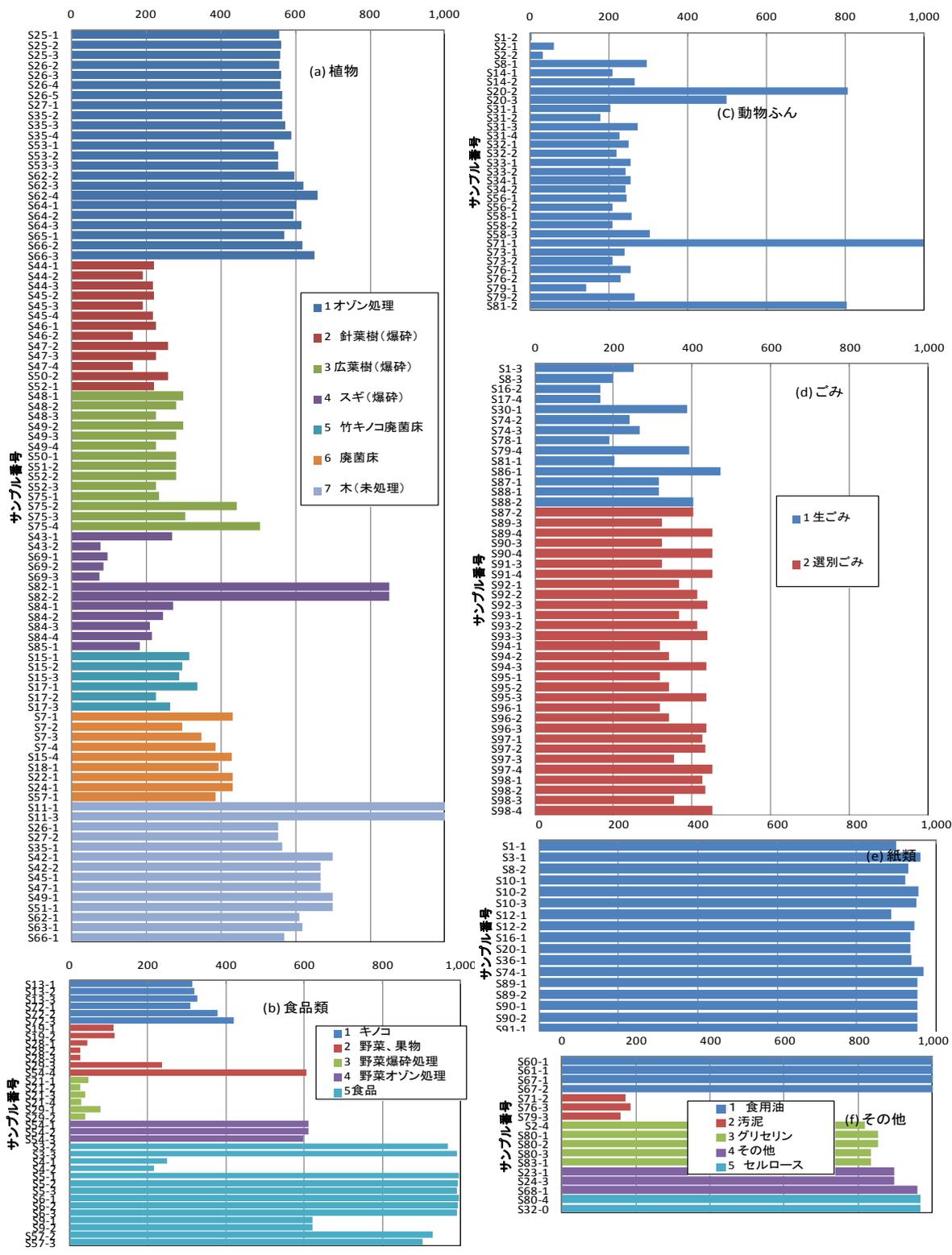
付図 1-2 VS あたりの 3 日間/7 日間ガス発生量比[-]



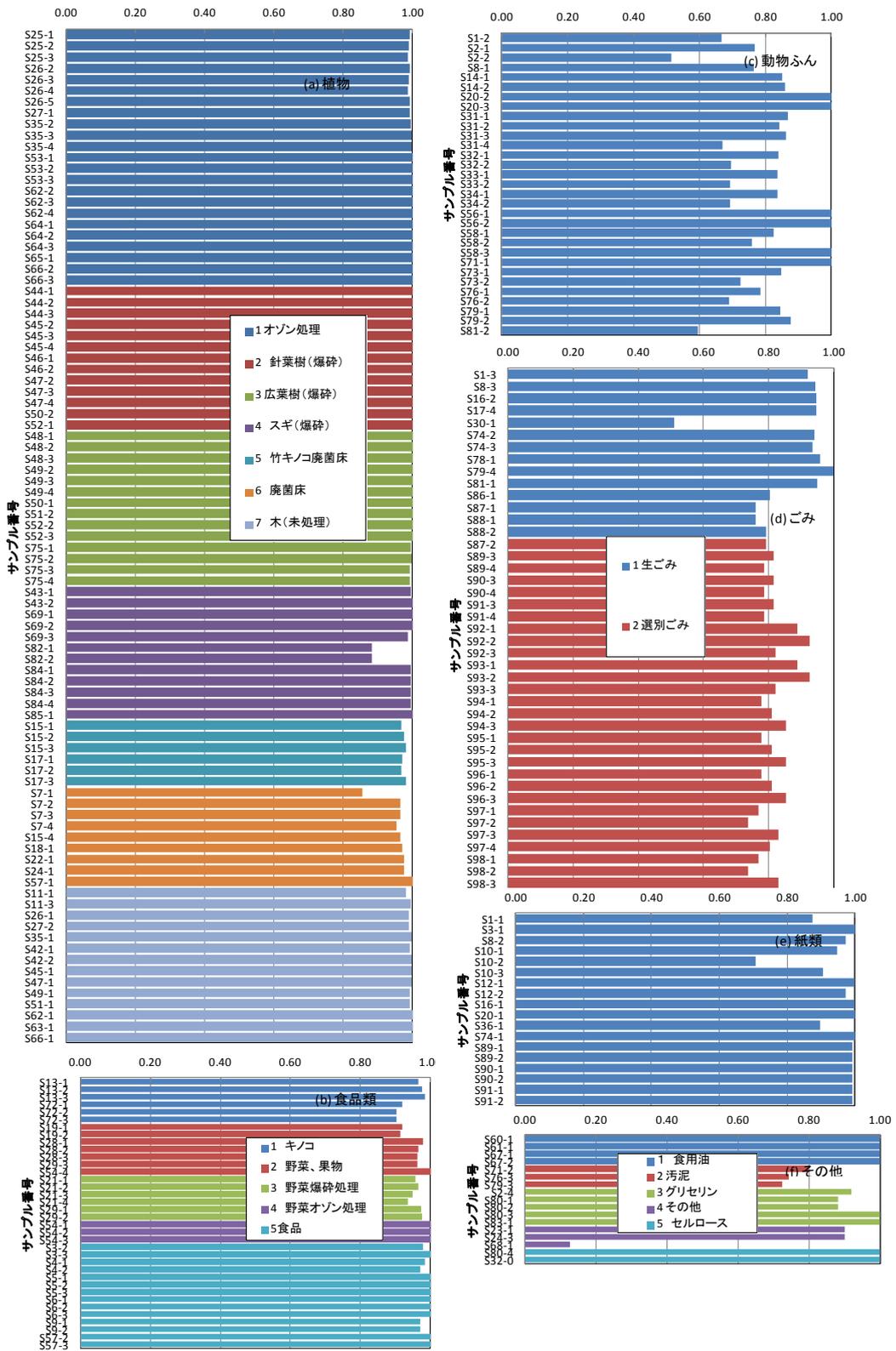
付図 1-3 VS あたり T-C [-]



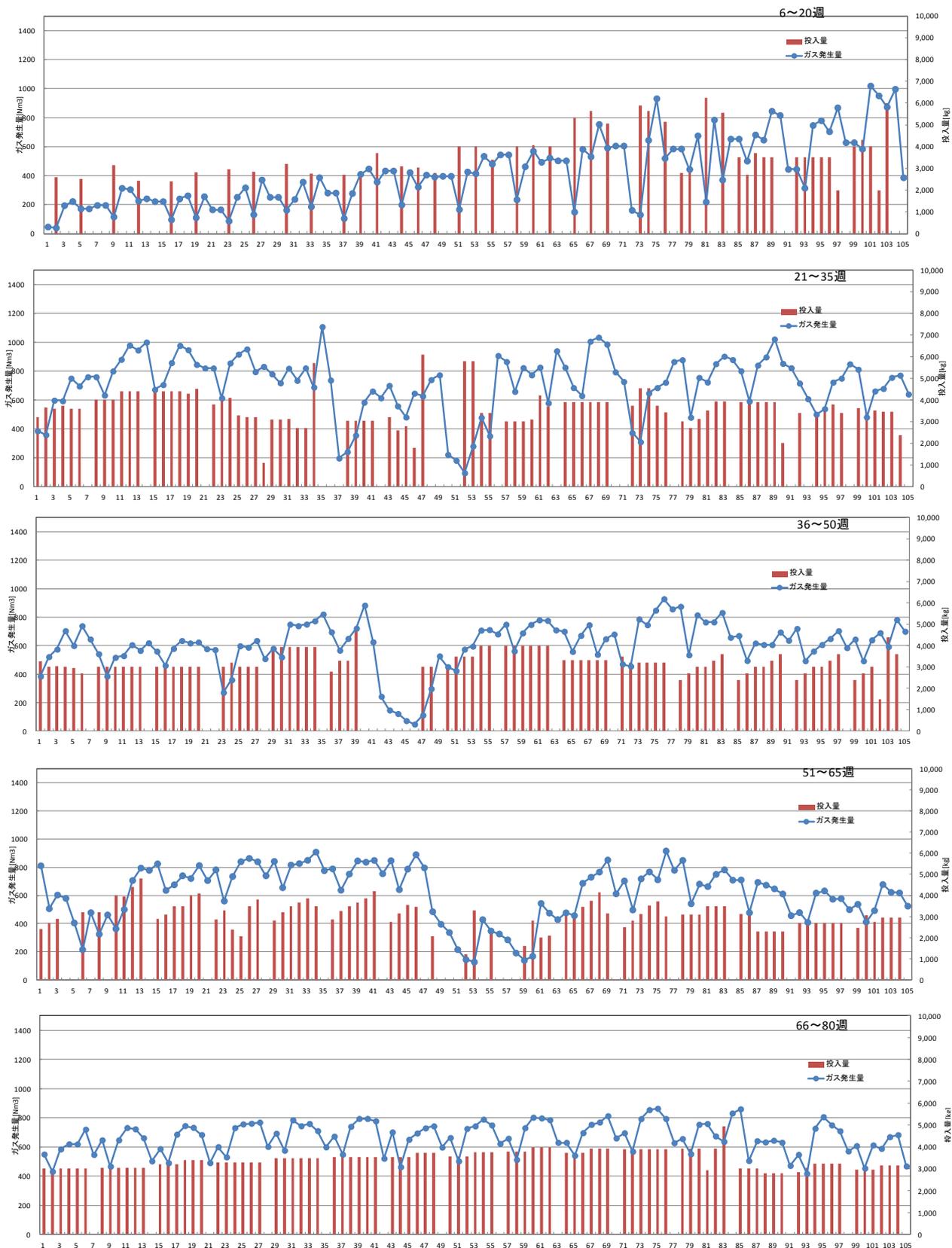
付図 1-4 分解率(炭素のガス化率)[-]



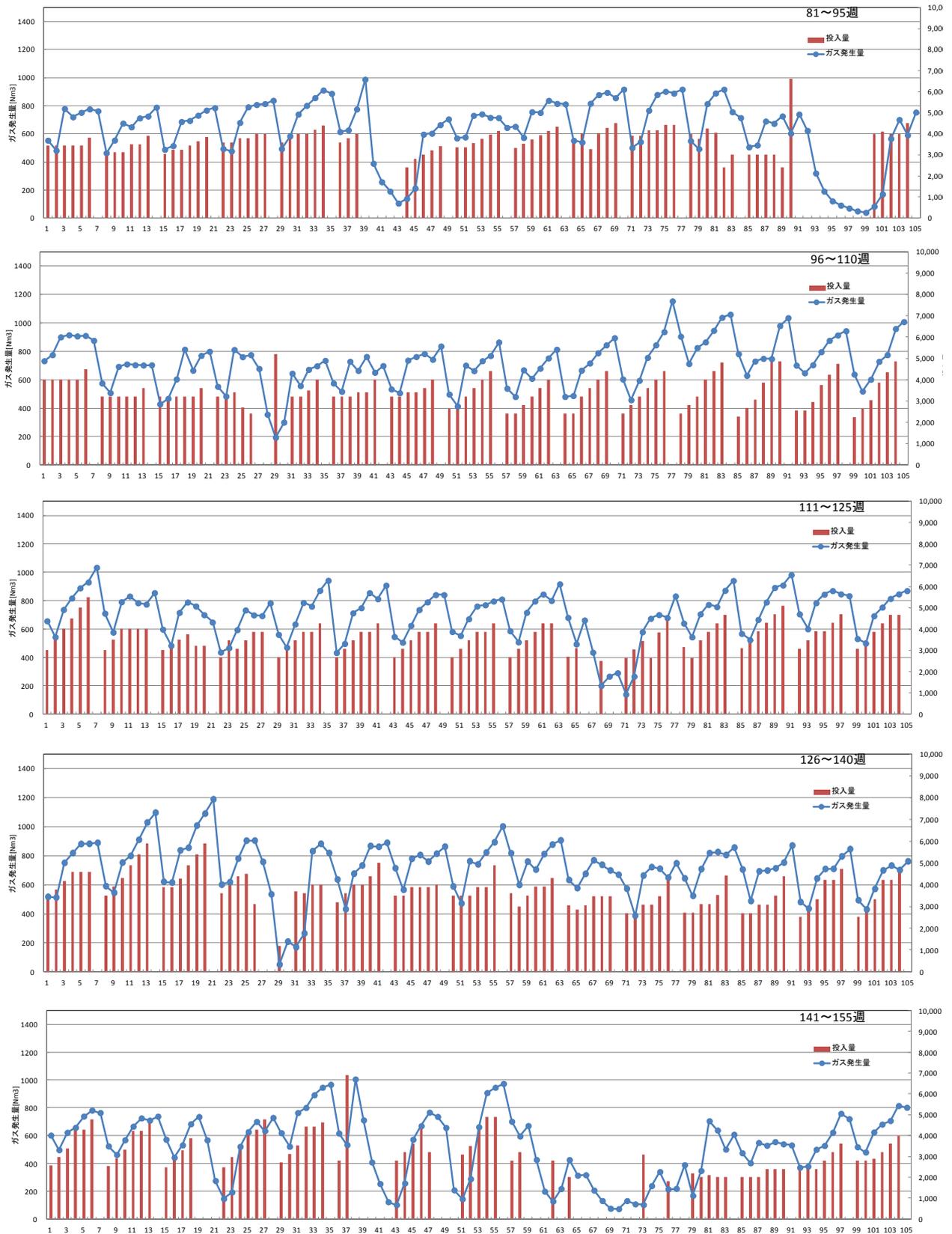
付図 1-5 TS[g/kg-wet]



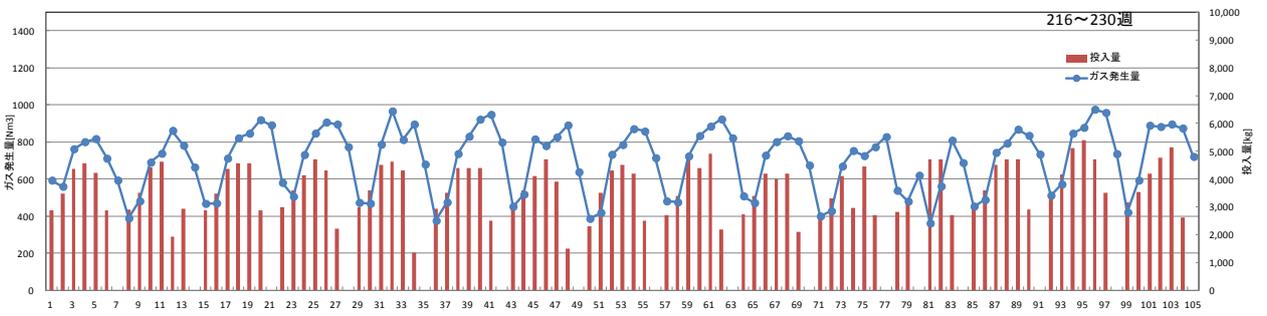
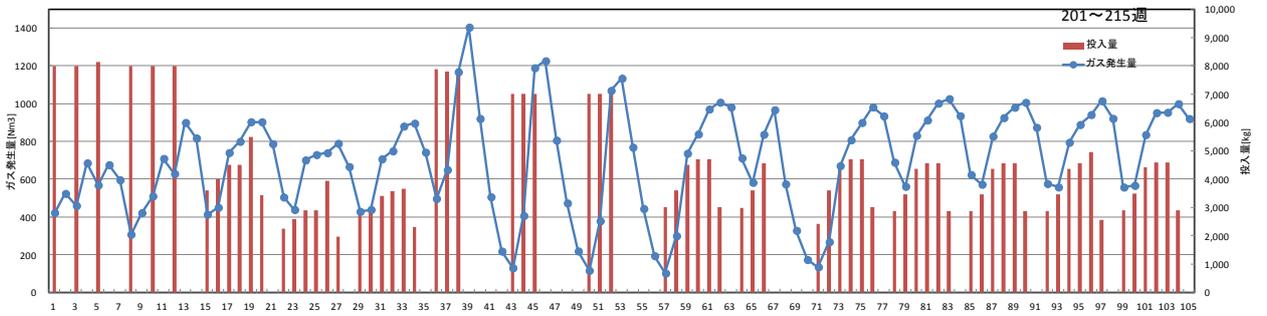
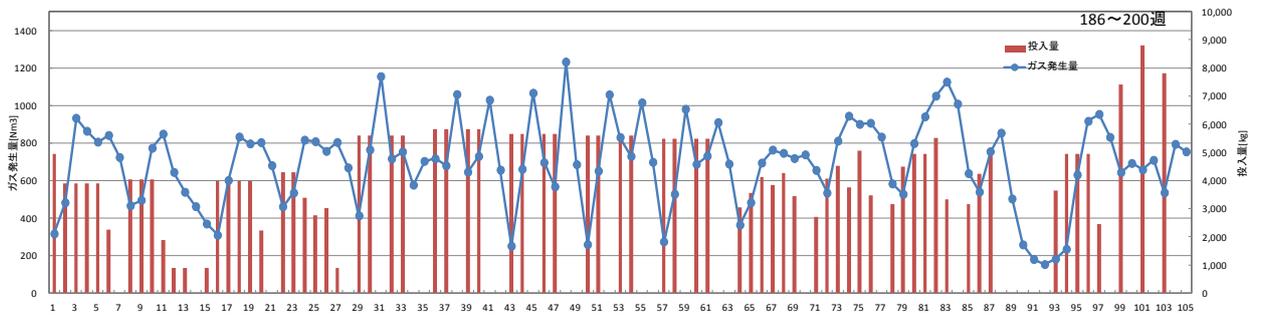
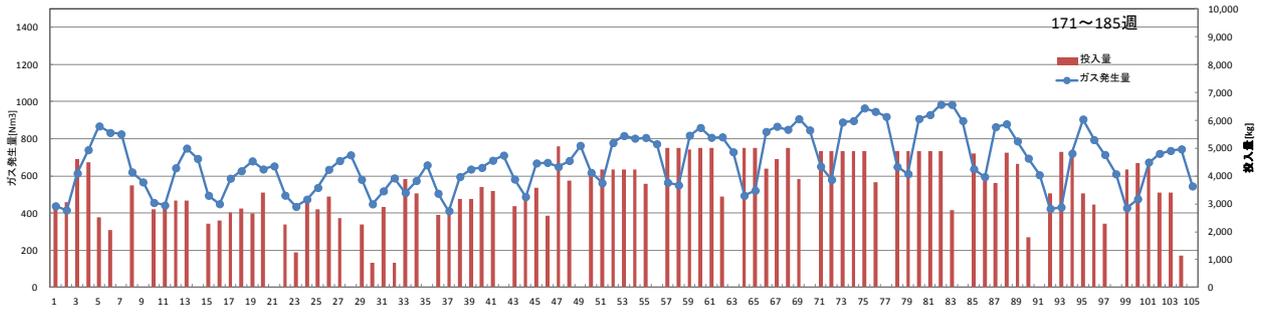
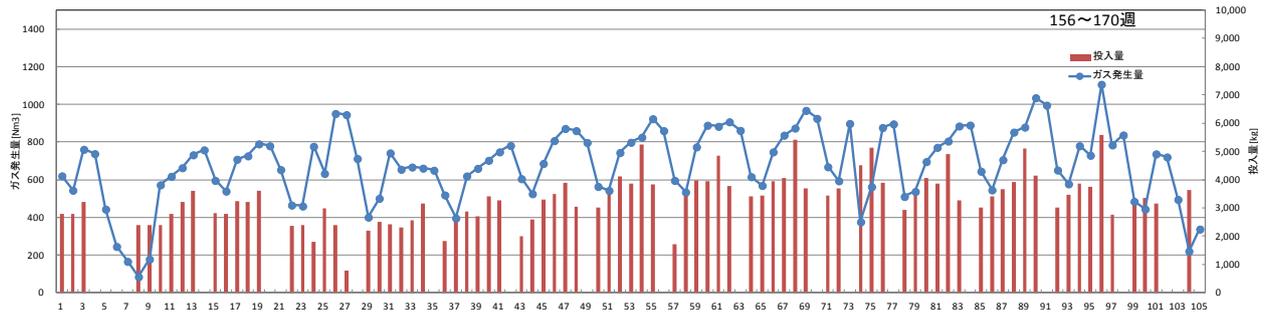
付図 1-6 VS/TS[-]



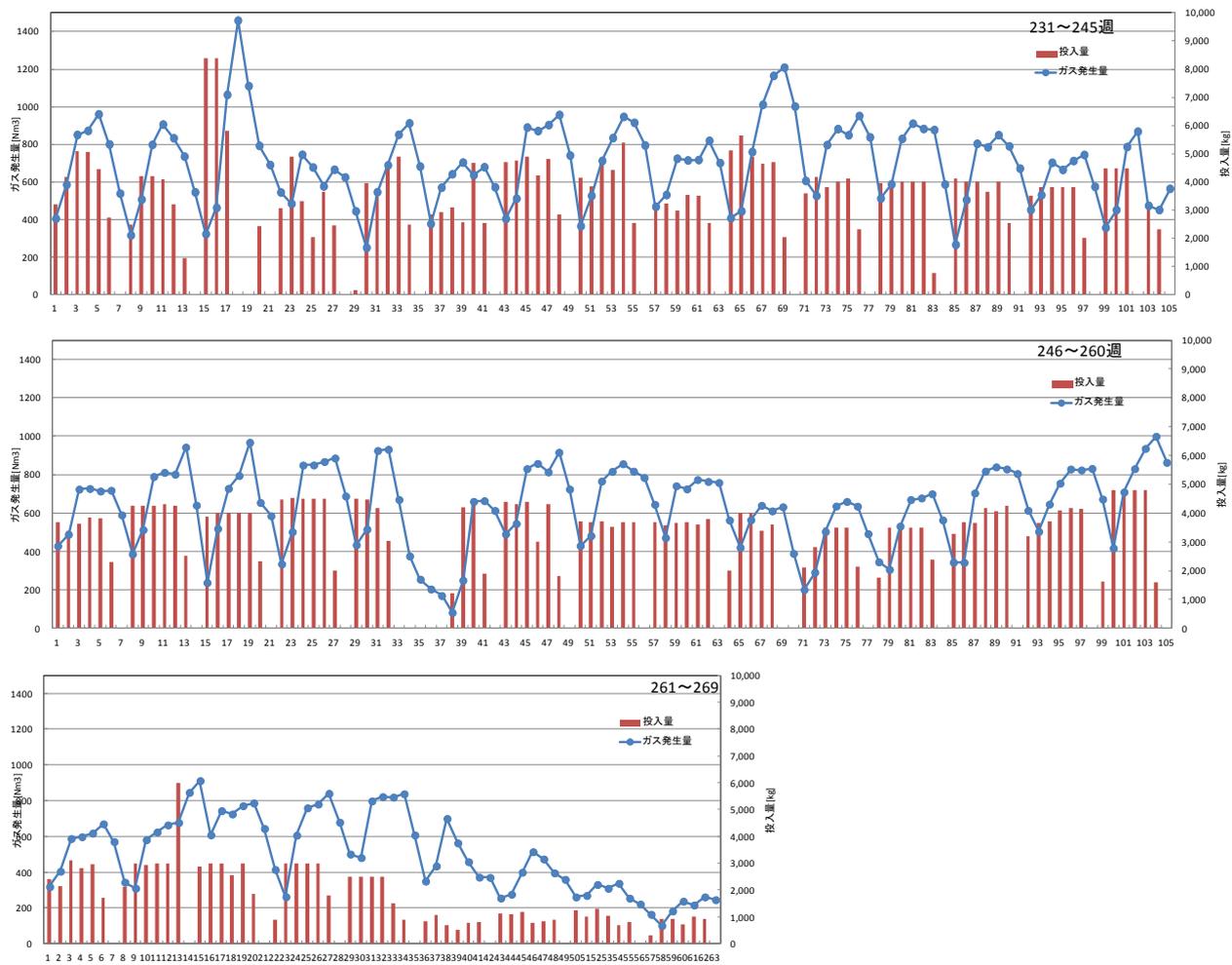
付図 2-1



付図 2-2



付図 2-3



付図 2-4