

第 2 部目次

第 1 章	序論	1
1-1.	本研究の背景と目的.....	1
1-2.	本研究の構成.....	3
第 2 章	方法	4
2-1.	ガスセンサの概要と設置方法.....	4
2-1-1.	H 牧場.....	6
2-1-2.	W 牧場	7
2-1-3.	M 牧場	8
2-2.	データの集計と平均値・ベース値の導出.....	9
2-3.	ピーク値の設定とグラフ作成.....	13
2-4.	ピーク数の集計.....	14
第 3 章	結果	15
3-1.	センサ値平均の推移.....	15
3-2.	センサ値の推移とピーク	34
3-3.	ピーク数の総計と機種ごとの反応数.....	53
第 4 章	考察	54
4-1.	ベース値比較によるガスセンサ設置環境と機種ごとの特性について	54
4-2.	センサ値の感度特性に着目したガスセンサの比較	56
4-3.	年間のピーク数総計と機種ごとの特性について.....	57
第 5 章	結言	61

第1章 序論

1-1. 本研究の背景と目的

畜産における悪臭問題について、石黒ら¹⁾は以下のように説明している。都市開発や人口の増加により畜産経営の適地とされていた地域への住宅進出が起きている、つまり畜産農家の間近に住民の生活の場が広がっていることが原因としてあげられる。さらに畜産経営における主な悪臭の発生源は、家畜が排泄した糞尿である。近年では、農家の多頭羽化(牛・豚・鶏)により堆肥管理の対応がしきれていないため悪臭につながり事態は深刻化していることも原因としてあげられる。また、現在の畜産経営において、日本の環境保全に関する法的規制の強化や住民の農家に対する環境意識の高まりなどにより、周辺環境に与える問題は大きい。

次に、半田市と愛知県の土地利用状況に関するグラフを示す²⁾。

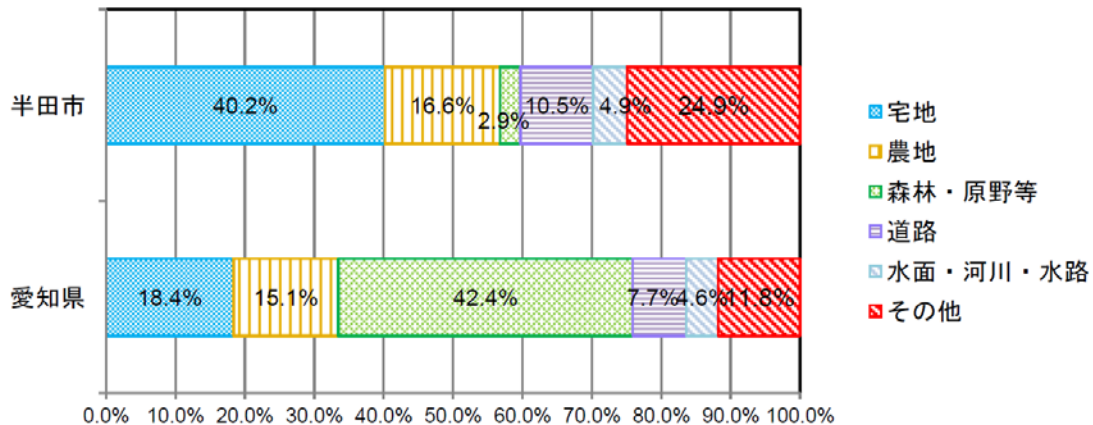


図 1-1 平成 25 年 土地利用状況²⁾

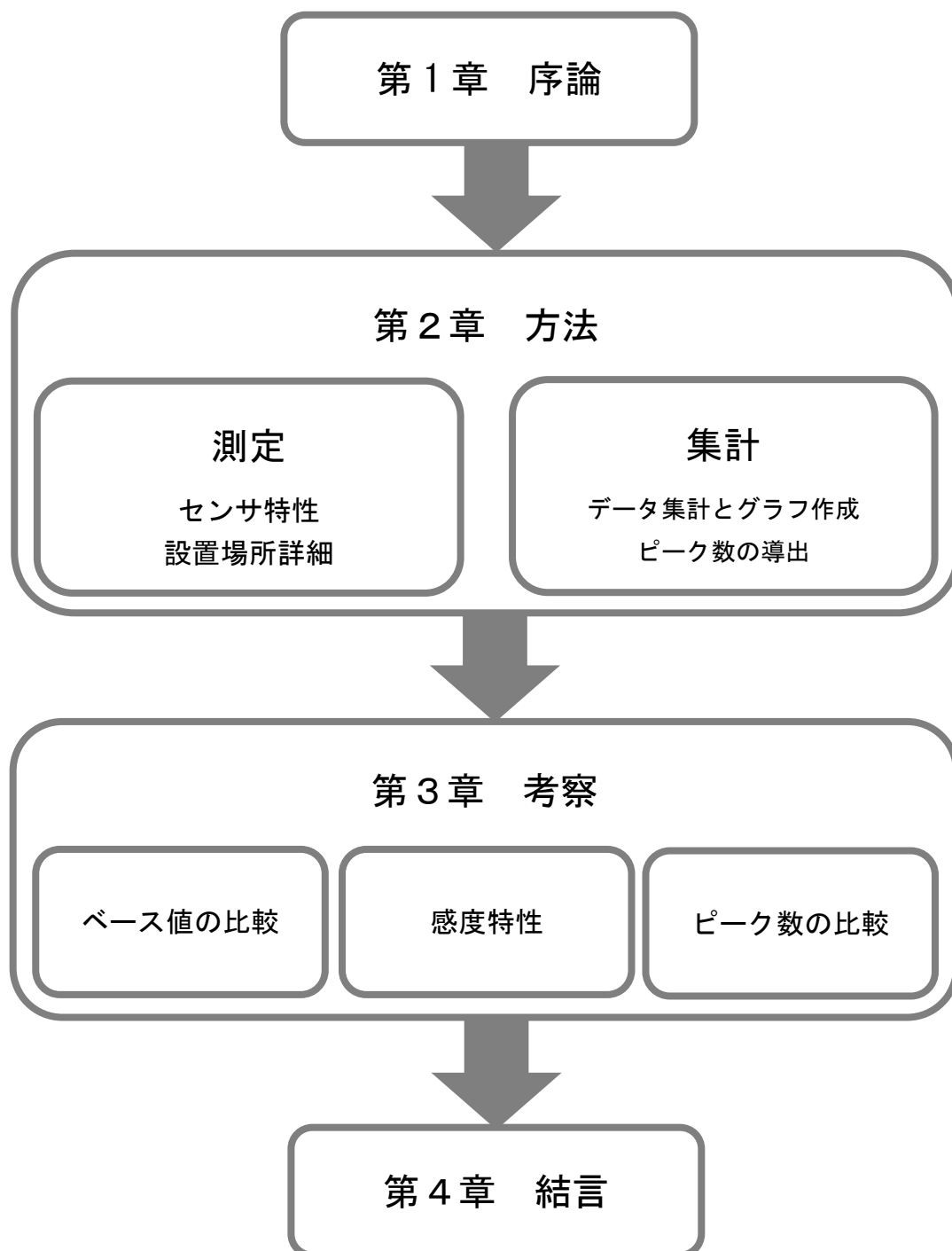
図 1-1 から、森林・原野等の割合は半田市が 2.9%なのに対し愛知県全体が 42.4%とかなり低い割合であることが分かる。対して宅地の割合は愛知県の 18.4%を大幅に上回る 40.2%となっており、半田市の宅地に対する森林・原野の割合がかなり低いことがわかる。森林・原野は、宅地と農地の隔たりの要因になりえることから、愛知県全体と農地の割合が変わらない半田市は、愛知県全体に比べ農地と宅地が近接していることが伺える。半田市には、乳牛及び肉牛の畜産農家が 30 軒あり、10,400 頭を飼育している²⁾。しかし、畜産農家と宅地の近接化によって、畜産に起因する臭気は住民生活に不快感を与えている。

稲垣ら³⁾の研究では、半田市で問題となっている畜産臭における 1 次処理施設及び住宅地での臭気調査、消臭効果材投入による臭気の変化を確認する実験を行った。その結果臭気濃度は梅雨期(7 月)、夏季(8 月)、冬季(12 月)の順で高く、固液分離で含水量を減らすことで臭気を抑えることができるとわかったとあるが、その結論に至るにあたり行った計測は季節ごとの臭気濃度測定は 6 回、消臭効果材投入による臭気の変化についての実

験は 3 回である。これにより大まかな傾向はつかめたものの、現地の畜舎ではより細かい変化や長期的な変化がある。そのため実際の悪臭問題の解決には、現在の畜産臭に対する問題への対策には精度に拘らず、まずは臭気強度が上昇するタイミングを知り、継続的にかつ定期的に現地の人たちが現状を数値的に見られるような環境を作ることが必須であると考えた。

そこで本研究では手軽に低濃度のガスを測定することが可能なガスセンサを用い、実際に畜舎で臭気のレベルや臭気物質量の変化を精度よく測定することを目標とし、その第 1 段階として、畜産臭の主な原因物質であるアンモニアや硫黄系物質の測定に適しているとされる、フィガロ技研の TGS2602、TGS2603、TGS2444(以下、“TGS” は省略)の 3 つのガスセンサを用い、発生する臭気物質や濃度に違いがあるとされる、肉牛と乳牛の割合の違う H 牧場、W 牧場、M 牧場の 3 か所の牧場で、1 年間におけるセンサ値の測定を行うとともに、ガスセンサを設置する環境について考察を行った。

1-2. 本研究の構成



第2章 方法

H 牧場、W 牧場、M 牧場の 3 つの牧場において 2602、2603、2444 のガスセンサ 3 つを設置し、2016/12/26~2017/12/10 の期間で 1 分おきに測定を行った。なお、H 牧場は 4/10~6/10,10/9~10/29、W 牧場は 1/9~6/4,10/23~10/29,11/6~11/12 の期間においてガスセンサ値のデータが測定出来ていないため、本研究ではその期間を除いたデータでの考察を行った。

2-1. ガスセンサの概要と設置方法

図 2-1・図 2-2・図 2-3 にセンサごとの感度特性図を示す⁴⁾⁵⁾⁶⁾。図中の $[R_s]$ は、各種濃度のガス中でのセンサ抵抗値であり、 $[R_0]$ は、清浄大気中でのセンサ抵抗値である。

感度特性図から、各センサの感度特性について、2603 はトリメチルアミンや硫化水素に対して、2602 は硫化水素やアンモニア、トルエンに対して、2444 はアンモニアに対して高感度であると言える⁷⁾。

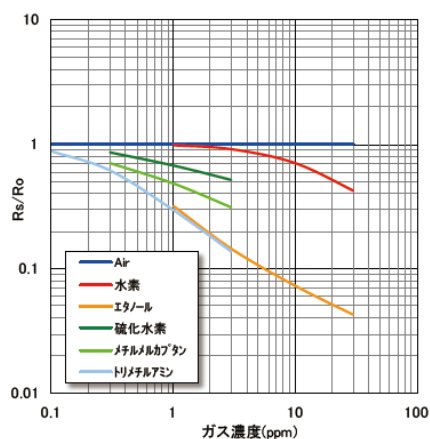


図 2-1 2603 の感度特性図⁴⁾

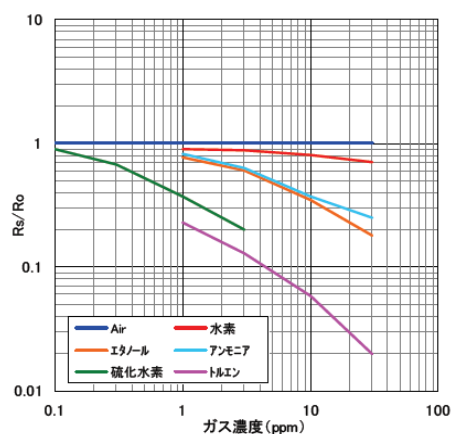


図 2-2 2602 の感度特性図⁵⁾

図 2-3 2444 の感度特性図⁶⁾

H 牧場の現地に設置したガスセンサの代表写真を写真 2-1・写真 2-2 に示し、現地に設置したガスセンサ設置方法について記す。



写真 2-1 ガスセンサ設置ボックス外観



写真 2-2 ガスセンサ設置ボックス内部

ガスセンサの設置は、3種類のガスセンサを1つの設置ボックスにまとめたものとした。設置ボックスの前面に開けた穴の部分に自然通気で空気が流れ、センサがにおい物質の濃度差をとらえ反応する。反応したセンサからの信号は電圧値（V：ボルト）としてコントローラのSDカードによるメモリーに蓄積される。これらの装置は100Vの電源が必要であるため、設置の際専門業者が電気工事を実施し、ボックスを取り付けたものである。

2-1-1. H 牧場

図 2-4 H 牧場 1 次処理施設外観見取り図を示す。図 2-5 H 牧場 1 次処理施設見取り図を示す。写真 2-3 H 牧場 1 次処理施設内観①を示す。

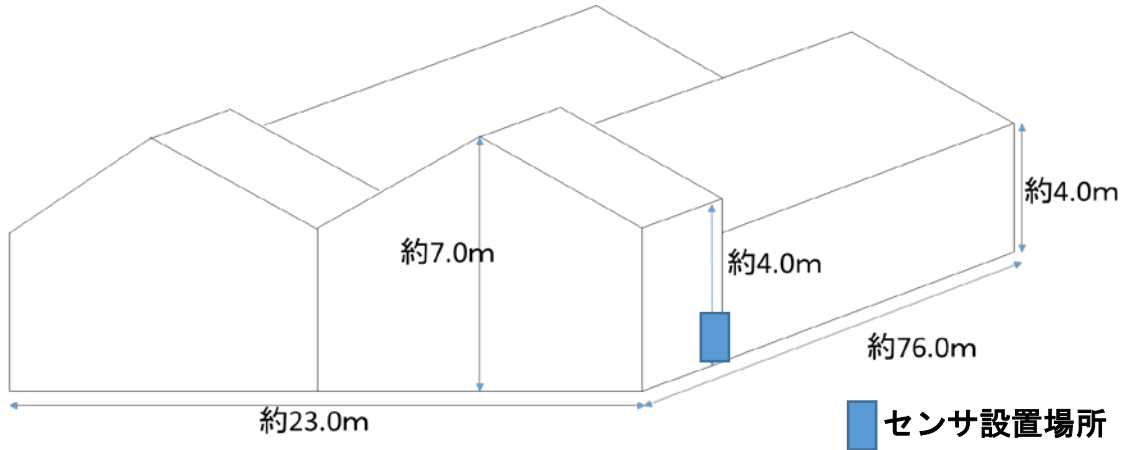


図 2-4 H 牧場 1 次処理施設外観見取り図



写真 2-3 H 牧場 1 次処理施設内観①



写真 2-2 H 牧場 1 次処理施設内観②

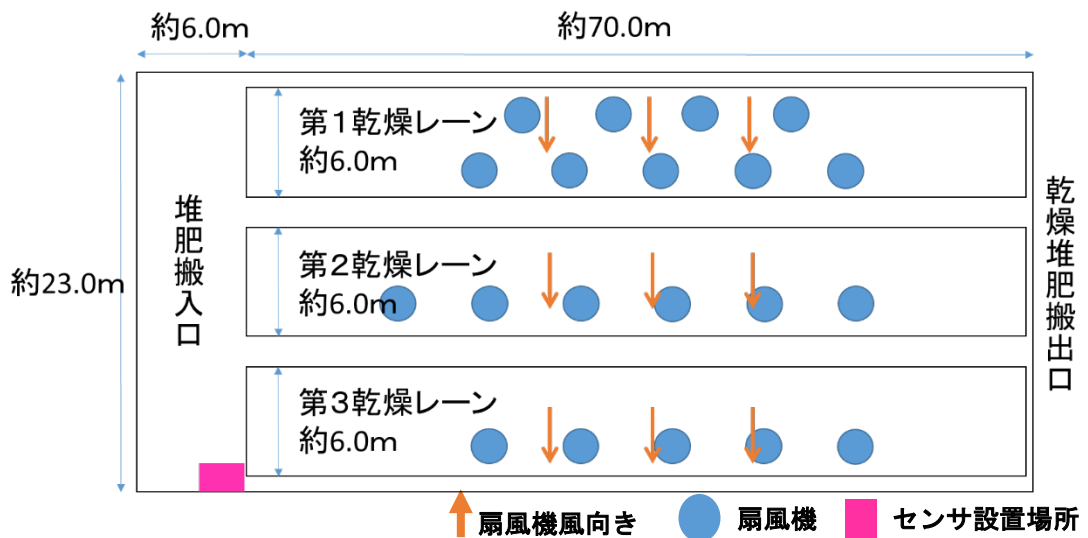


図 2-5 H 牧場 1 次処理施設見取り図

2-1-2. W 牧場

図 2-4 H 牧場 1 次処理施設外観見取り図を示す。図 2-5 H 牧場 1 次処理施設見取り図を示す。写真 2-3 H 牧場 1 次処理施設内観①を示す。

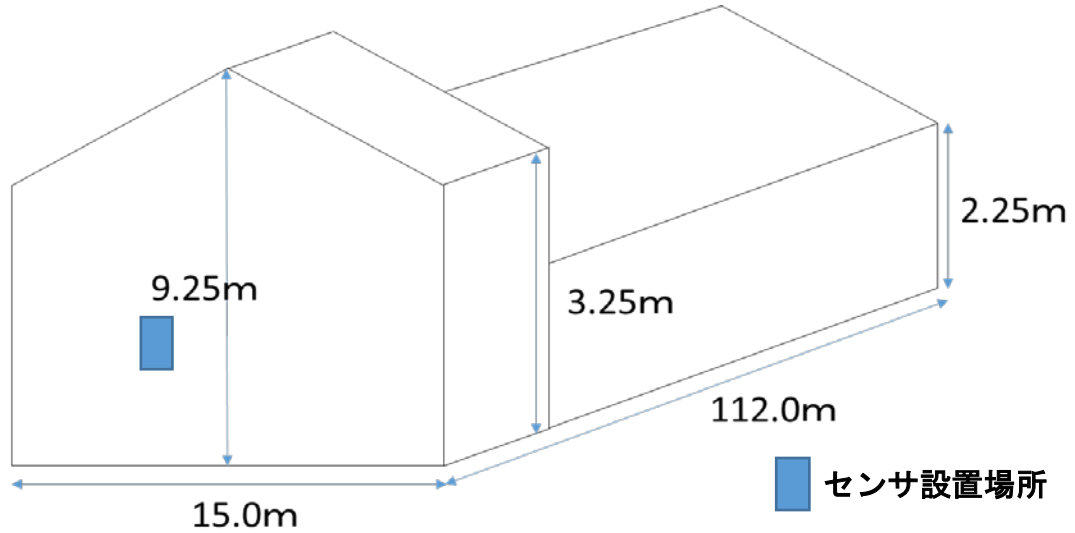


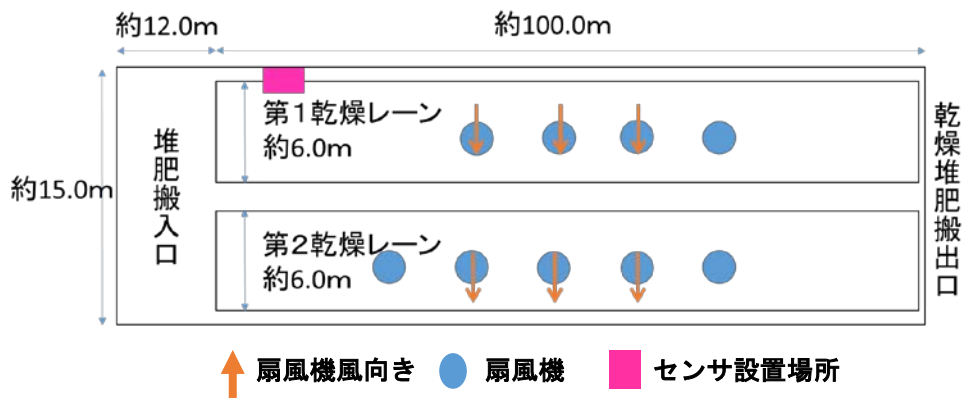
図 2-6 W 牧場 1 次処理施設外観見取り図



写真 2-4 W 牧場 1 次処理施設内観①



写真 2-5 W 牧場 1 次処理施設内観②



↑ 扇風機風向き ● 扇風機 ■ センサ設置場所

図 2-7 W 牧場 1 次処理施設見取り図

2-1-3. M 牧場

図 2-4 H 牧場 1 次処理施設外観見取り図を示す。図 2-5 H 牧場 1 次処理施設見取り図を示す。写真 2-3 H 牧場 1 次処理施設内観①を示す。

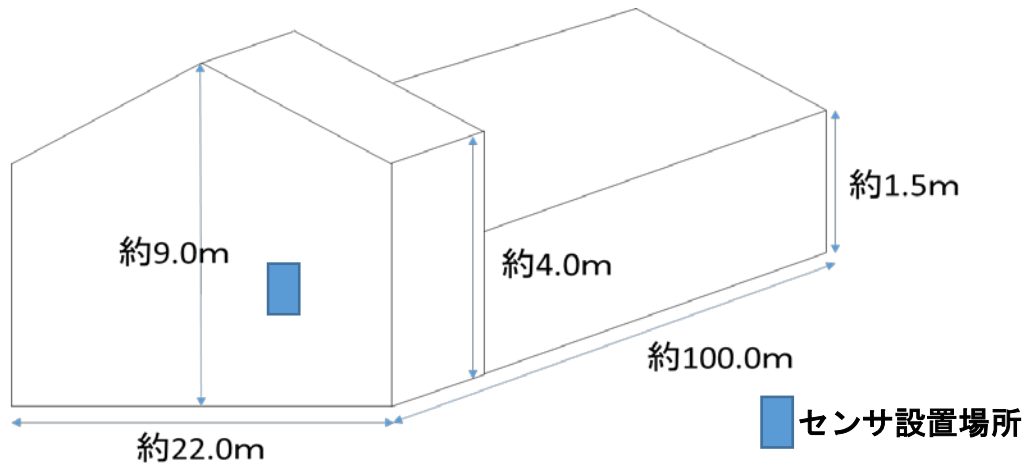


図 2-8 M 牧場 1 次処理施設外観見取り図



写真 2-6 M 牧場 1 次処理施設内観①



写真 2-7 M 牧場 1 次処理施設内観②

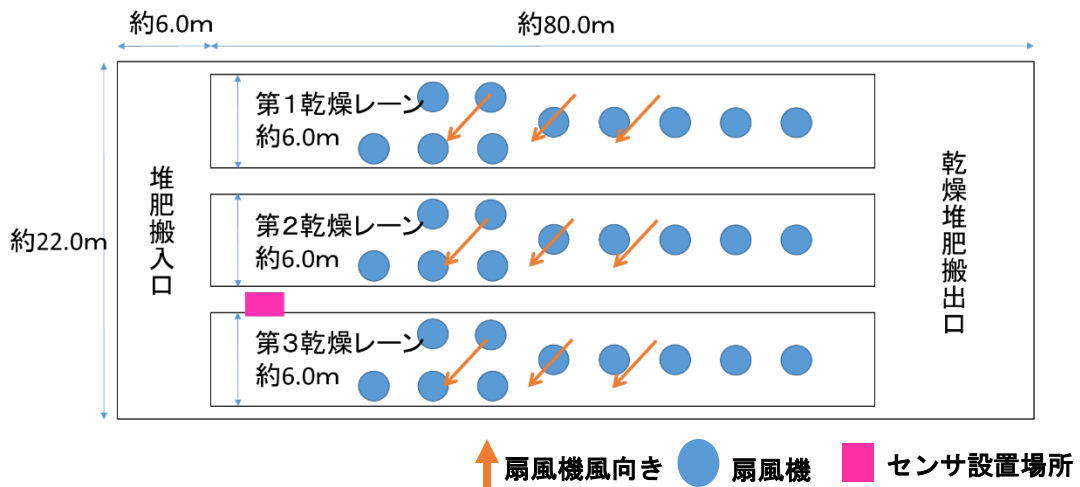


図 2-9 M 牧場 1 次処理施設見取り図

2-2. データの集計と平均値・ベース値の導出

測定されたガスセンサのデータをパソコンに CSV ファイルとして取り込み、その後 XLS ファイルに変換した。その後の作業はすべて Microsoft Excel 2013 上で行った。

一週間ごとのセンサ値の変動に規則性があるように見受けられたので、測定されたデータを月曜日から日曜日の一週間ごとに区切り、その中で時間ごとの変動を見るために、4 時間ごとのデータについて平均値を求めた。方法として、あらかじめ 4 時間分(60 分×4)の 240 個ごとのセルに、朝昼夜に対応するそれぞれ 2 色ずつの 6 色に色付けを行った“抽出用”セルを、フィルター機能を用い、色ごとに選択することで 1 日を 4 時間ごとに区切ったデータを抽出した。そして TRIMMEAN 関数を用い、割合を 0.3 とすることで、ピーク値の上下 15%をカットした 4 時間ごとの平均値を求めた。図 2-10 に、その作業の様子を示す。フィルター機能を用い、一週間ごとのデータから日付を選択し、平均値を求める作業を 7 日分繰り返した。

同時にセンサ値の短時間での大きな変動について傾向をつかむため、一週間ごとのデータをグラフ化し、平均値のグラフに挿入し比較した。なお、グラフ作成の際データ数が多く処理に時間がかかること、図 2-11・図 2-13 から変更後も必要な情報は得られると判断したため、ガスセンサのデータを 10 分おきに 1 データを抽出し、作業を行った。図 2-12 に、その作業の様子を示す。

なお、平均値を求める際に 4 時間ごとにした理由としては、あらかじめ図 2-14 のように 1 日を 8 時間ごとに区切って平均を求めたところ、1 日のセンサ値の変動を見るには適していると考えた。だが今回の研究の目的である感度のいいセンサについての考察にあたっては、センサ値の瞬間的で大きな変動を見ることを重要視したことから、図 2-15 のように 4 時間ごとの平均値での比較の方が適していると考えたからである。

牧場の長期的な臭気レベルを機種ごとで比較するため、平均値のグラフからベース値を目視で考察した。なお、ベース値は平均値の変動で低い値が継続されている箇所とした。

なお、上記の作業は H 牧場・W 牧場は測定期間すべてについておこない、M 牧場は 2016/12/26～2017/1/22 と、2017/6/5～6/11 の期間内のデータのみおこなった。

図 2-10 平均値の算出作業

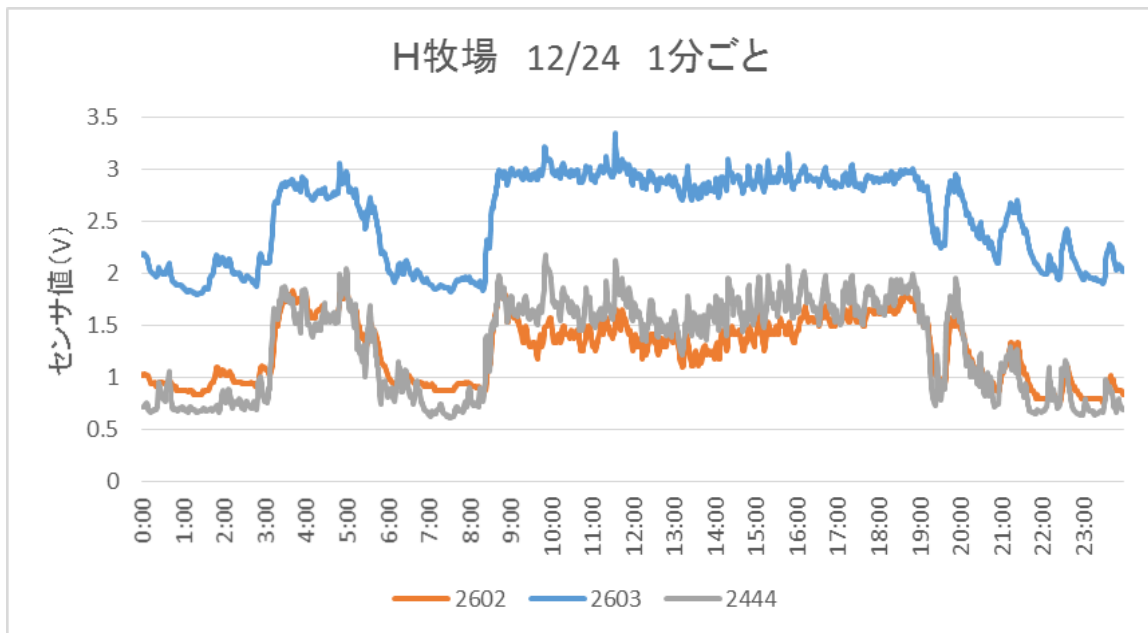


図 2-101 1分ごとのデータによるグラフ

抽出用	日付/時間	CH1	CH3	CH4
	Time	V	V	V
1	2017/12/4 0:00	1.104	2.511	0.696
11	2017/12/4 0:10	1.066	2.483	0.661
21	2017/12/4 0:20	1.026	2.44	0.585
31	2017/12/4 0:30	1.065	2.46	0.682
41	2017/12/4 0:40	1.065	2.545	1.106
51	2017/12/4 0:50	1.026	2.478	0.893
1	2017/12/4 1:00	1.065	2.554	1.101
11	2017/12/4 1:10	1.065	2.519	0.977
21	2017/12/4 1:20	1.103	2.561	0.967
31	2017/12/4 1:30	1.101	2.526	0.861
41	2017/12/4 1:40	1.103	2.608	0.998
51	2017/12/4 1:50	1.1	2.508	0.726
1	2017/12/4 2:00	1.026	2.475	0.763
11	2017/12/4 2:10	1.022	2.46	0.714
21	2017/12/4 2:20	1.023	2.466	0.74
31	2017/12/4 2:30	1.022	2.449	0.682
41	2017/12/4 2:40	1.061	2.487	0.982
51	2017/12/4 2:50	1.104	2.614	1.156
1	2017/12/4 3:00	1.098	2.494	0.894
11	2017/12/4 3:10	1.104	2.586	1.092
21	2017/12/4 3:20	1.098	2.535	0.932
31	2017/12/4 3:30	1.177	2.639	1.078
41	2017/12/4 3:40	1.182	2.644	0.999
51	2017/12/4 3:50	1.176	2.633	0.948
1	2017/12/4 4:00	1.139	2.575	0.803
11	2017/12/4 4:10	1.103	2.566	0.795
21	2017/12/4 4:20	1.022	2.451	0.631
31	2017/12/4 4:30	0.949	2.367	0.602
41	2017/12/4 4:40	0.944	2.314	0.562
51	2017/12/4 4:50	0.982	2.533	1.184
1	2017/12/4 5:00	0.949	2.422	0.994
11	2017/12/4 5:10	0.949	2.452	1.035

図 2-11 10分毎のデータ抽出作業

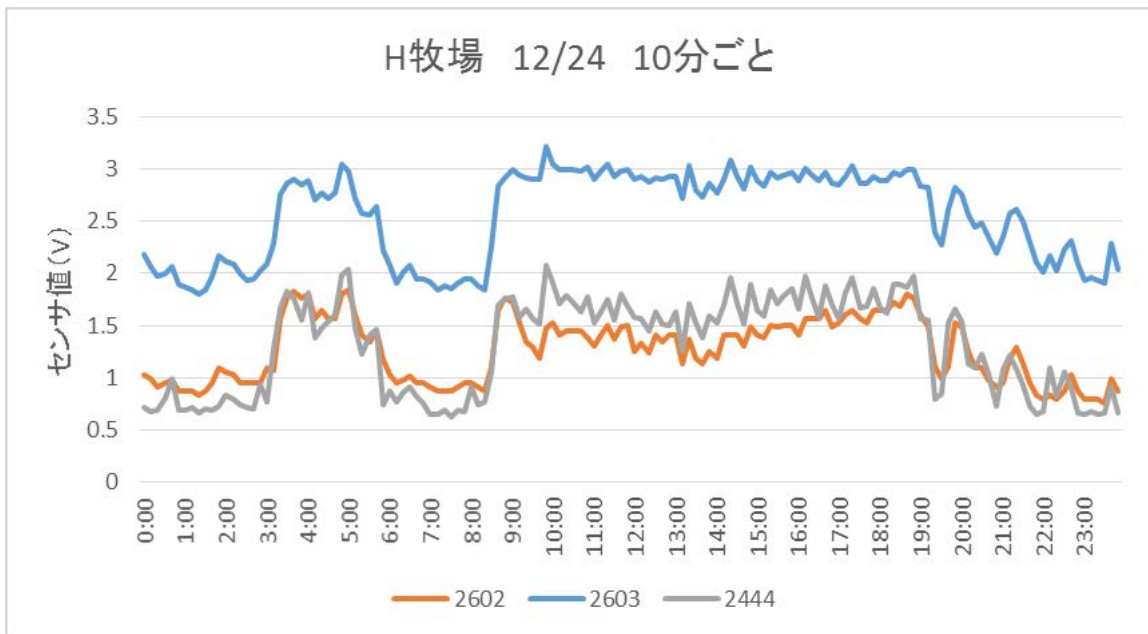


図 2-12 10分ごとのデータによるグラフ

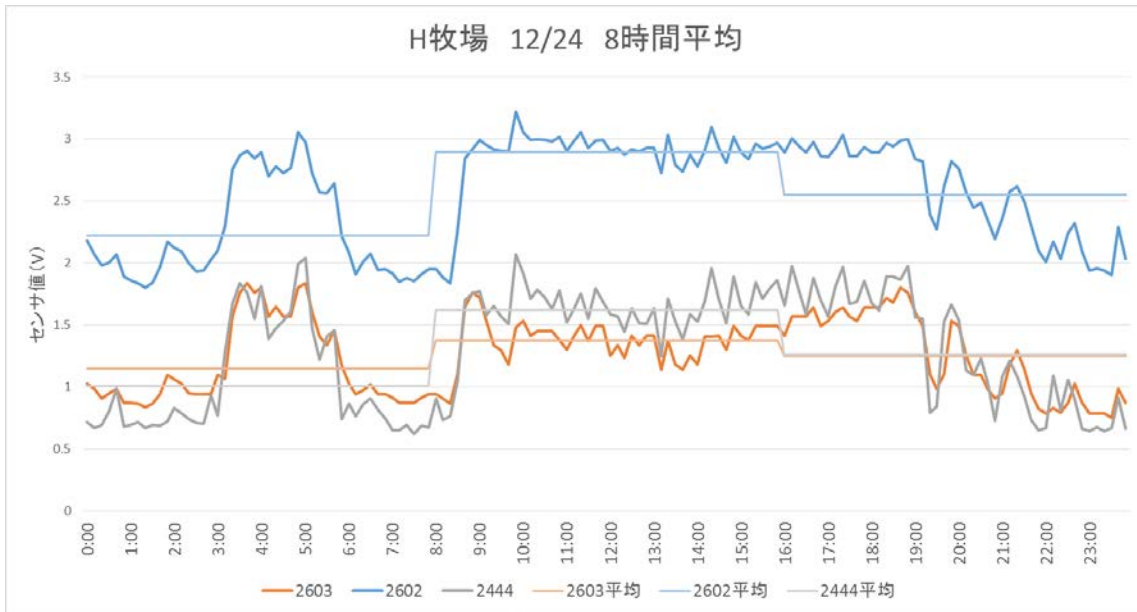


図 2-14 8時間平均のグラフ

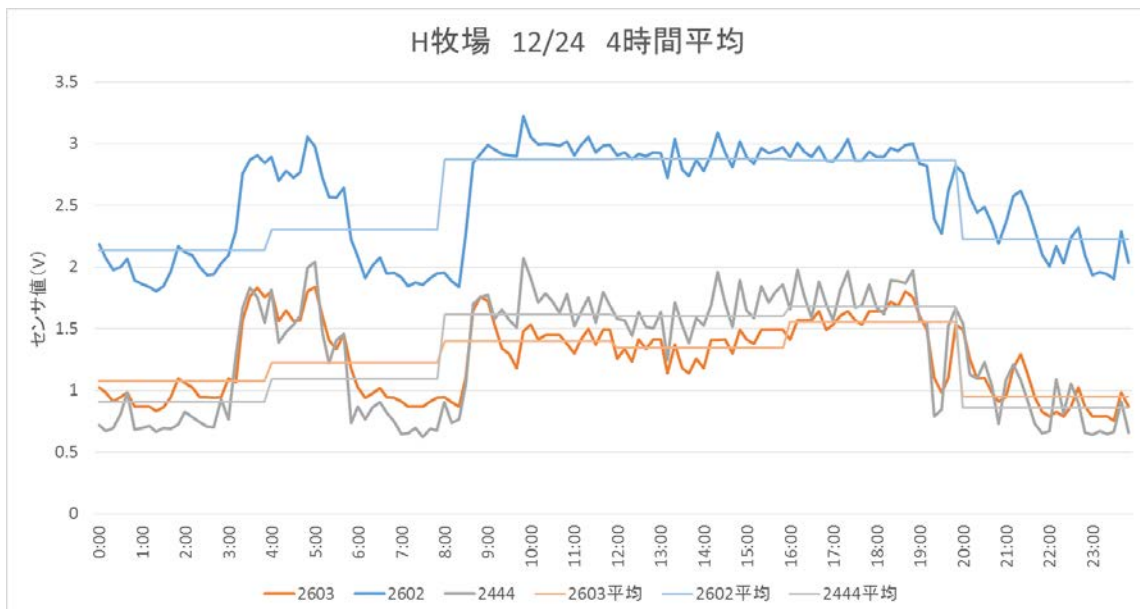


図 2-15 4時間平均のグラフ

2-3. ピーク値の設定とグラフ作成

センサの感度特性を考察するため、センサ値の変動とピーク箇所の比較を行った。

2-2.で作成したグラフから、センサ値の変動が大きく多いと判断した H 牧場と W 牧場において、ガスセンサ値と平均値との差を求め、 $\pm 0.5V$ 以上であった地点をピークとした。ピークと、ピークを検知したガスセンサとの組み合わせを、表 2-1 のように定めた。なお、M 牧場は変動が小さく、ピークが十分に得られなかったため、実施しなかった。

上に述べた A,B,B',C,C',D,D'に対応するように色・柄を指定した。それをまとめた表を、表 2-2 に示す。その後 2-2.で作成したグラフのピーク箇所に、表 2-2 の通り印付けを行った。印を付ける箇所の確認として、エクセル上で平均値とセンサ値の差を求め、ピークを認められたタイミングをグラフと照らし合わせて行った。

その印付けをしたグラフで、週ごと・日時ごとの比較やセンサ個体の差について考察を行った。

表 2-1 反応センサごとの記号の振り分け

	A	B	B'	C	C'	D	D'
反応センサ	全て	2603のみ	2444・2602のみ	2444のみ	2603・2602のみ	2602のみ	2603・2444のみ

表 2-2 印付け時の色・柄指定

記号	色・柄	分類
A	緑	すべてのセンサでそれぞれの平均値と比較し0.5V以上の差
B	青	TGS2603のみ0.5V以上の差
B'	青柄	TGS2603のみ差が0.5V未満(TGS2602,2444は反応)
C	ピンク	TGS2444のみ0.5V以上の差
C'	ピンク柄	TGS2444のみ差が0.5V未満(TGS2602,2603は反応)
D	黄	TGS2602のみ0.5V以上の差
D'	黄柄	TGS2602のみ差が0.5V未満(TGS2603,2444は反応)

2-4. ピーク数の集計

センサとピーク数の関係性について、ピーク箇所での反応を示したセンサごとに次のようにまとめた。Aを「全て」Bを「2603のみ」B'を「2444・2602のみ」Cを「2444のみ」C'を「2603・2602のみ」Dを「2602のみ」D'を「2603・2444のみ」A+B+C'+D'を「2603」A+B'+C'+D'を「2444」A+B'+C'+Dを「2602」とし、それぞれの合計を求めた。これをまとめた表を、表 2-3 に示す。

その後3つのガスセンサの、全反応数、単独反応数、単独反応割合、単独未反応数を表 2-4 のように求めた。なお、全反応数とは3つのガスセンサそれぞれのピーク数の総計である。単独反応割合とは、そのセンサが示すピークのうち、他2つのセンサがどちらもピークを示さなかった箇所の割合であり、高いと感度がいいと言える。なお、他のセンサがわずかな反応も示していない場合においては、水蒸気などの測定対象でない物質を検知している可能性があるということから、臭気レベルを示す値としては信頼性が低いと言える。単独反応数とは、他2つのセンサはどちらもピークを示し、自身はピークを示さなかった箇所のことであり、多いとその牧場で発生する臭気物質に対し感度が悪いと言える。

表 2-3 反応センサと各記号の関係性

	A+B+C'+D'	A+B'+C'+D'	A+B'+C'+D	A+B'	A+C'	A+D'
反応センサ	2603	2444	2602	2444・2602	2603・2602	2603・2444

表 2-4 反応数の集計方法

センサ名	TGS2603	TGS2444	TGS2602
全反応数	A+B+C'+D'	A+B'+C'+D'	A+B'+C'+D
単独反応数	B	C	D
単独反応割合	B/全反応数*100	C/全反応数*100	D/全反応数*100
単独未反応数	B'	C'	D'
単独未反応割合	B'/測定日*100	C'/測定日*100	D'/測定日*100

第3章 結果

3-1. センサ値平均の推移

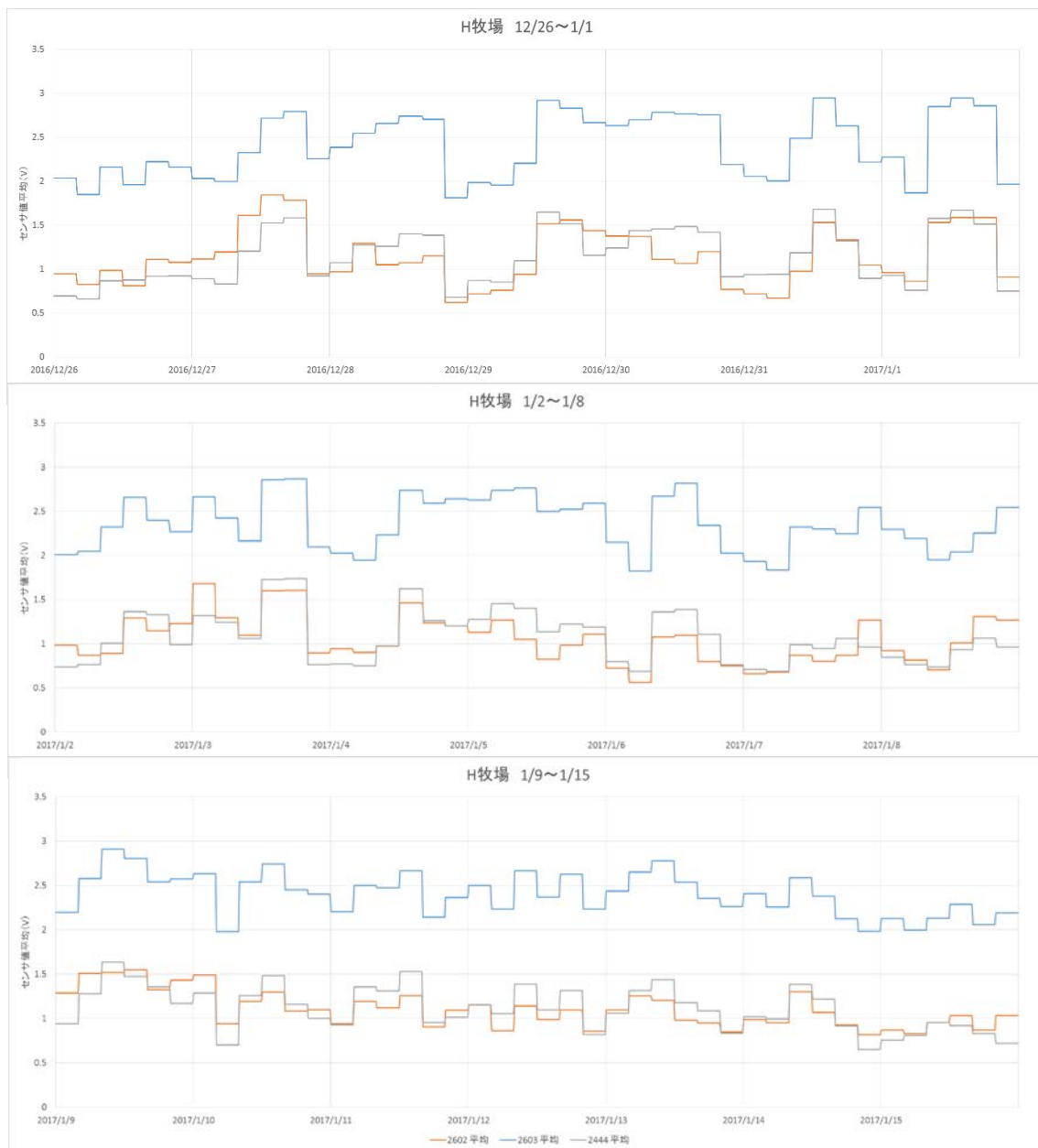


図 3-1 H 牧场 12/26~1/15 平均值推移



図 3-2 H 牧场 1/16~2/12 平均值推移



図 3-3 H 牧场 2/13~3/12 平均值推移

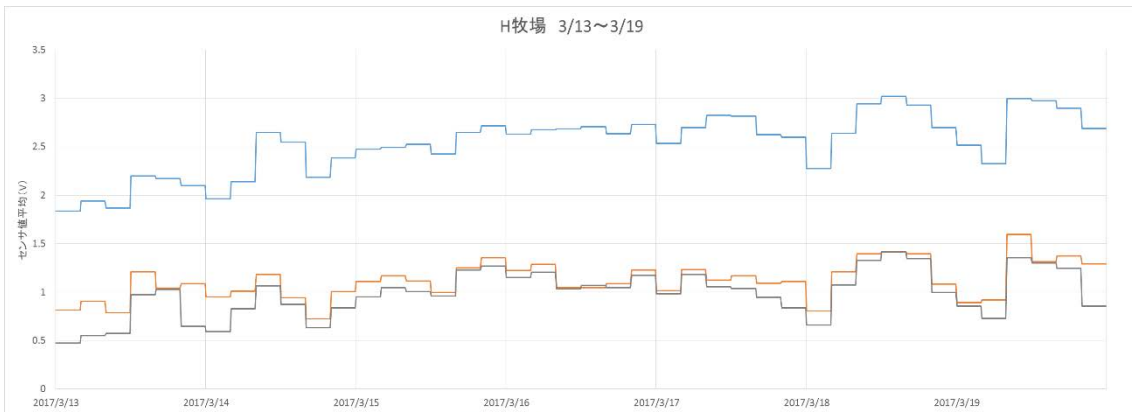


図 3-4 H 牧場 3/13~4/2 平均値推移

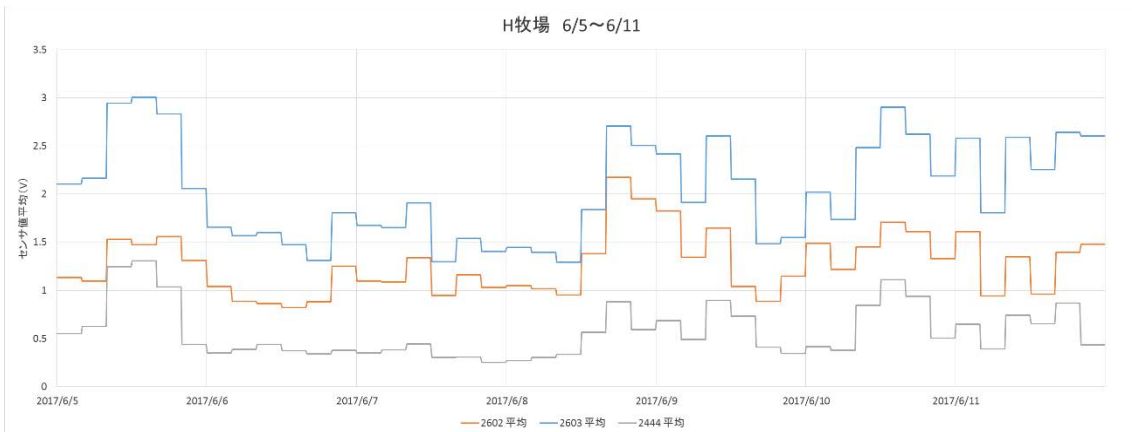


図 3-5 H 牧場 6/5~6/11 平均値推移

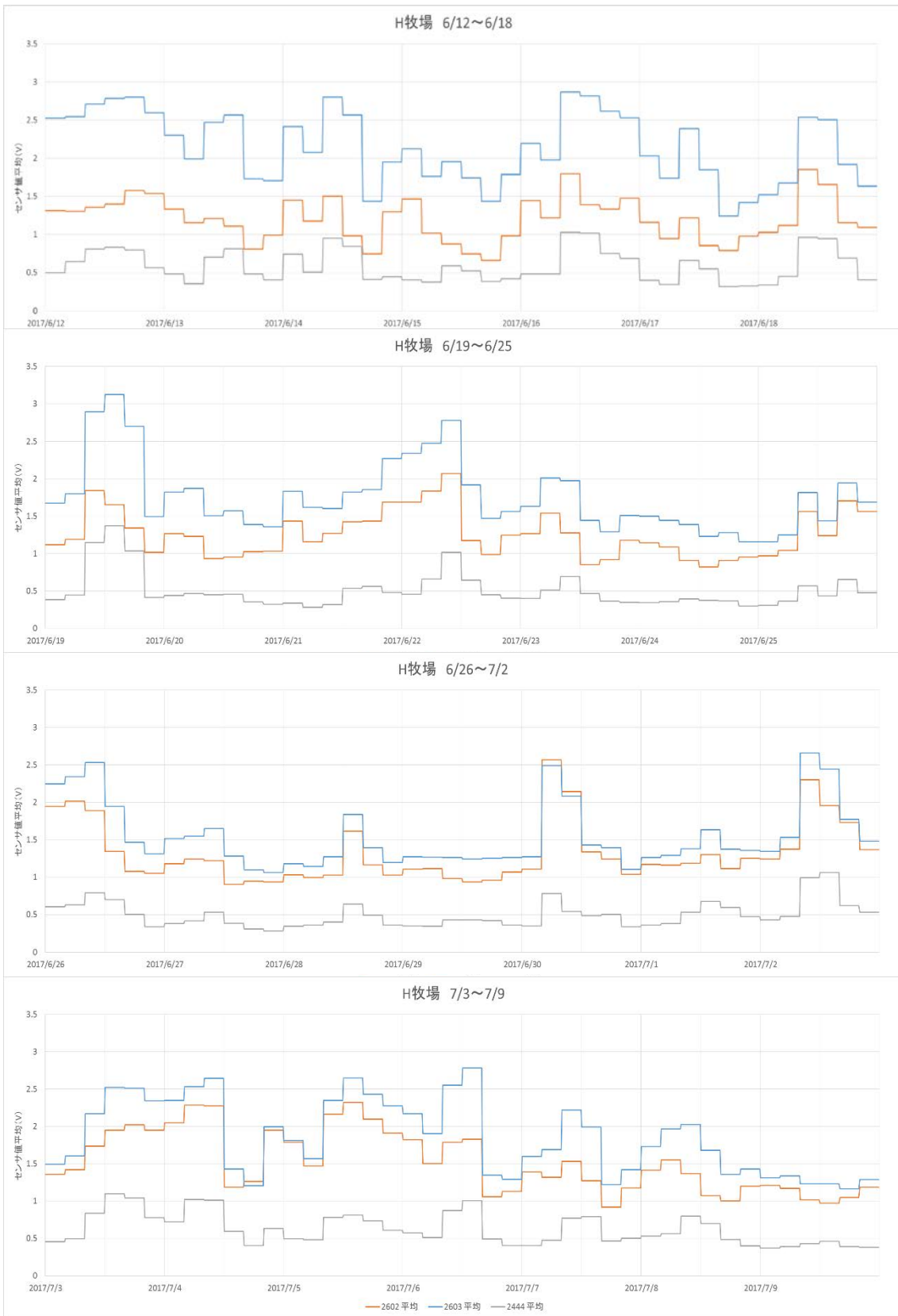


図 3-6 H 牧场 6/12~7/9 平均值推移



図 3-7 H 牧场 7/10~8/6 平均值推移



図 3-8 H 牧场 8/7~9/3 平均值推移



図 3-9 H 牧场 9/4~10/1 平均值推移

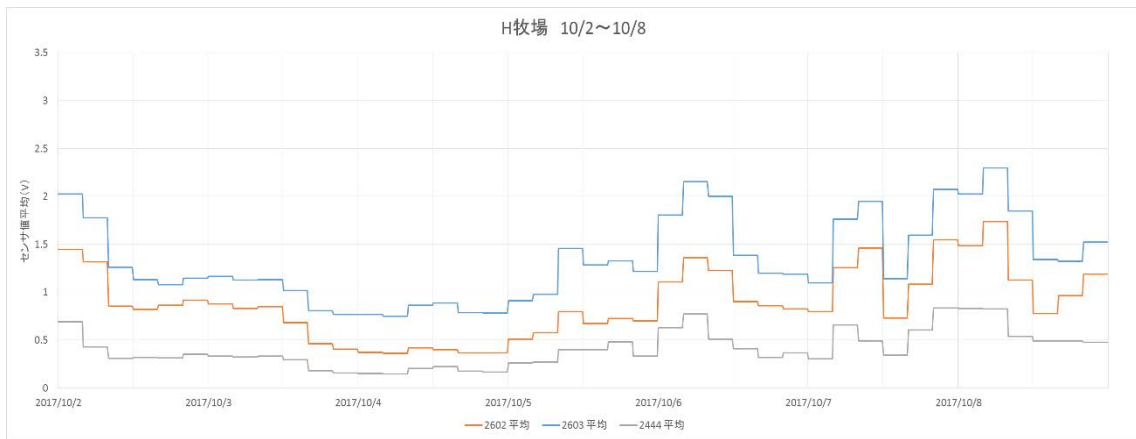


図 3-10 H牧場 10/2~10/8 平均値推移

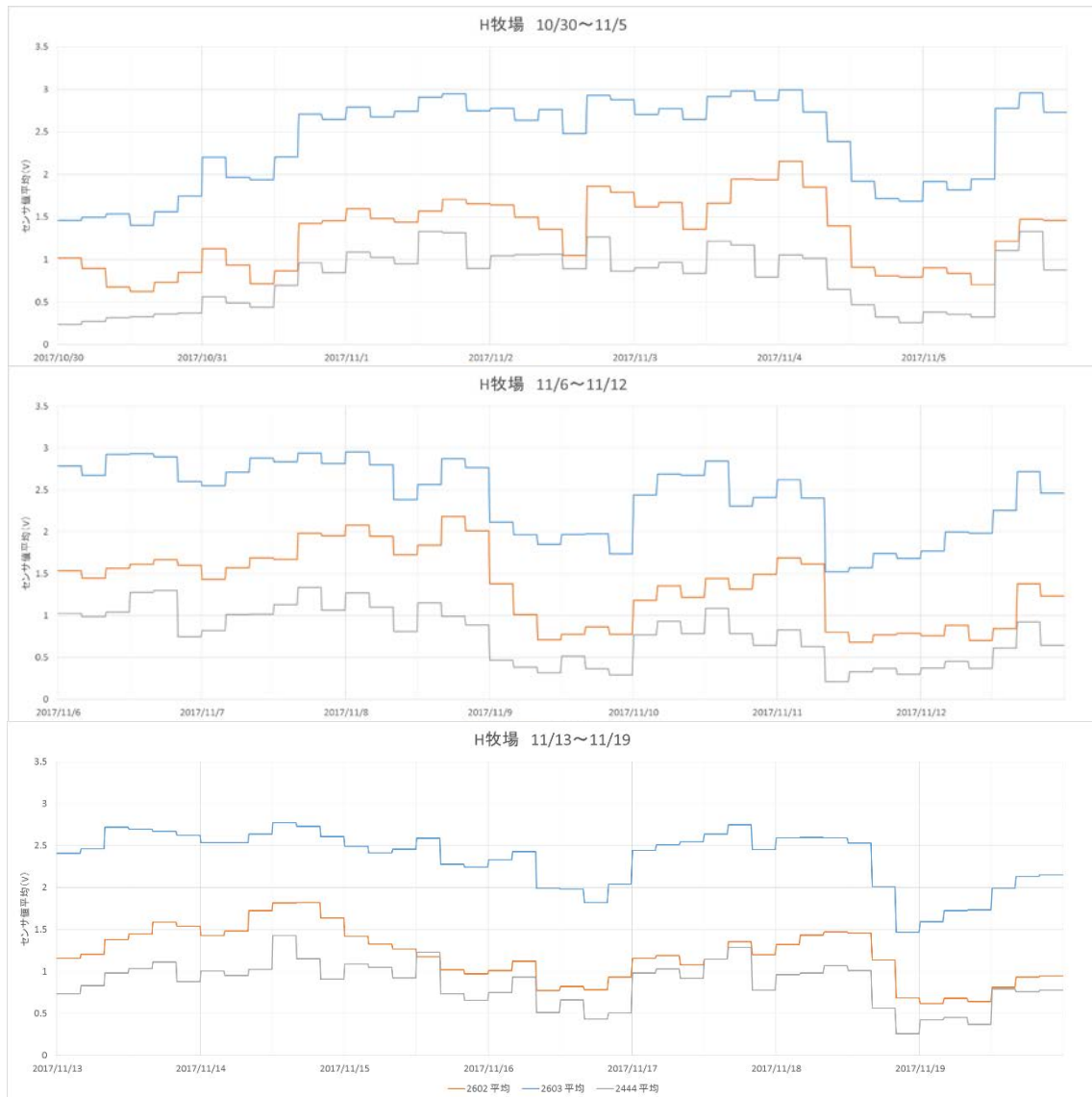


図 3-11 H牧場 10/30~11/19 平均値推移

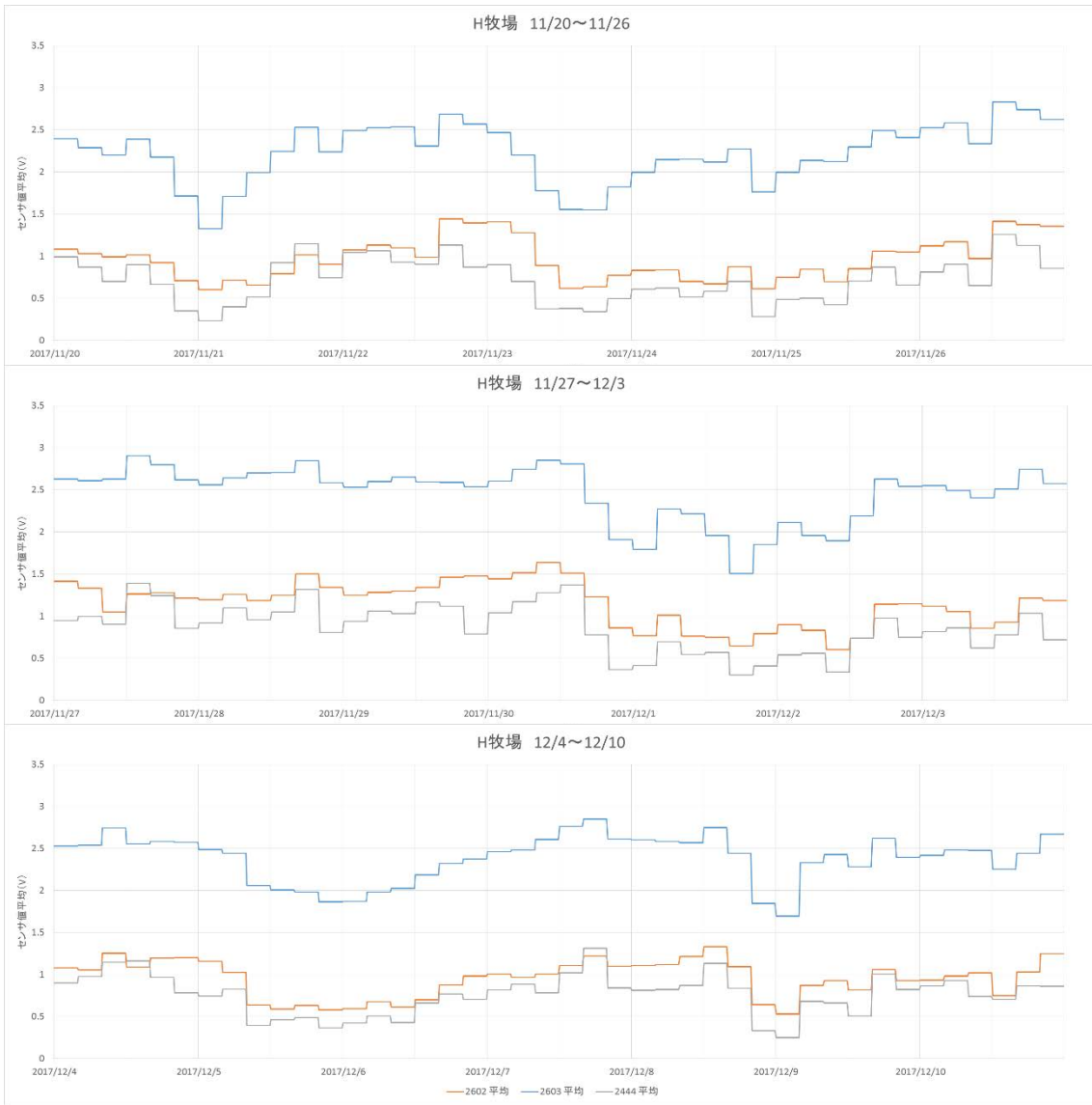


図 3-12 H 牧场 11/20~12/10 平均值推移

図 3-13～図 3-20 に、W 牧場でのセンサ値平均のグラフを示す。

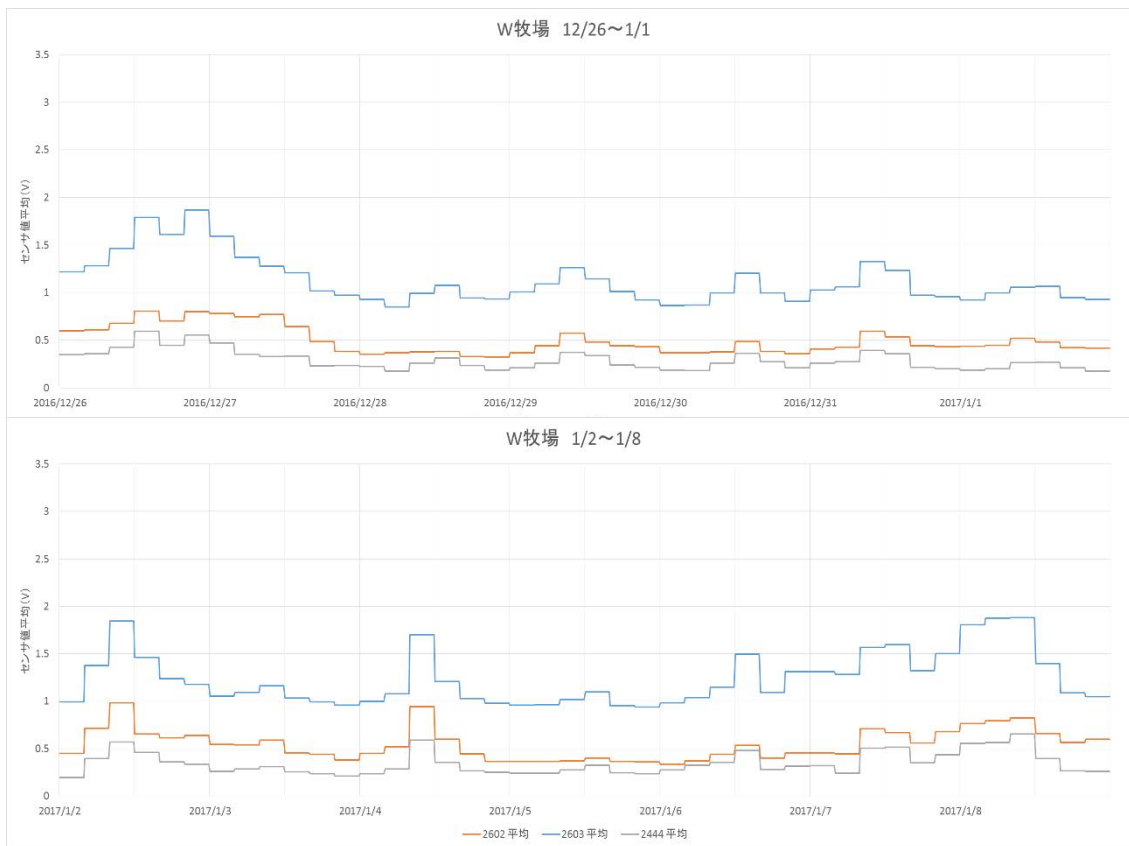


図 3-13 W 牧場 12/26～1/8 平均値推移

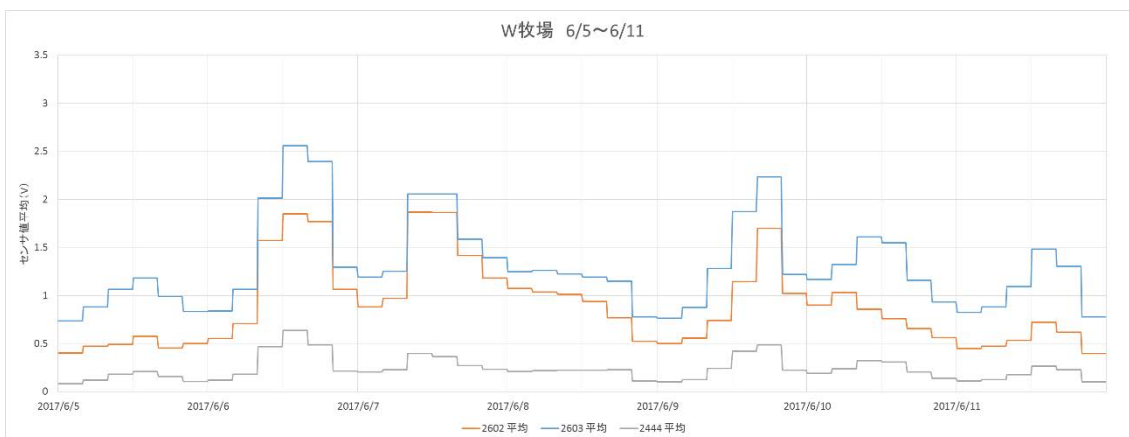


図 3-14 W 牧場 6/5～6/11 平均値推移



図 3-15 W 牧场 7/3~7/9 平均值推移

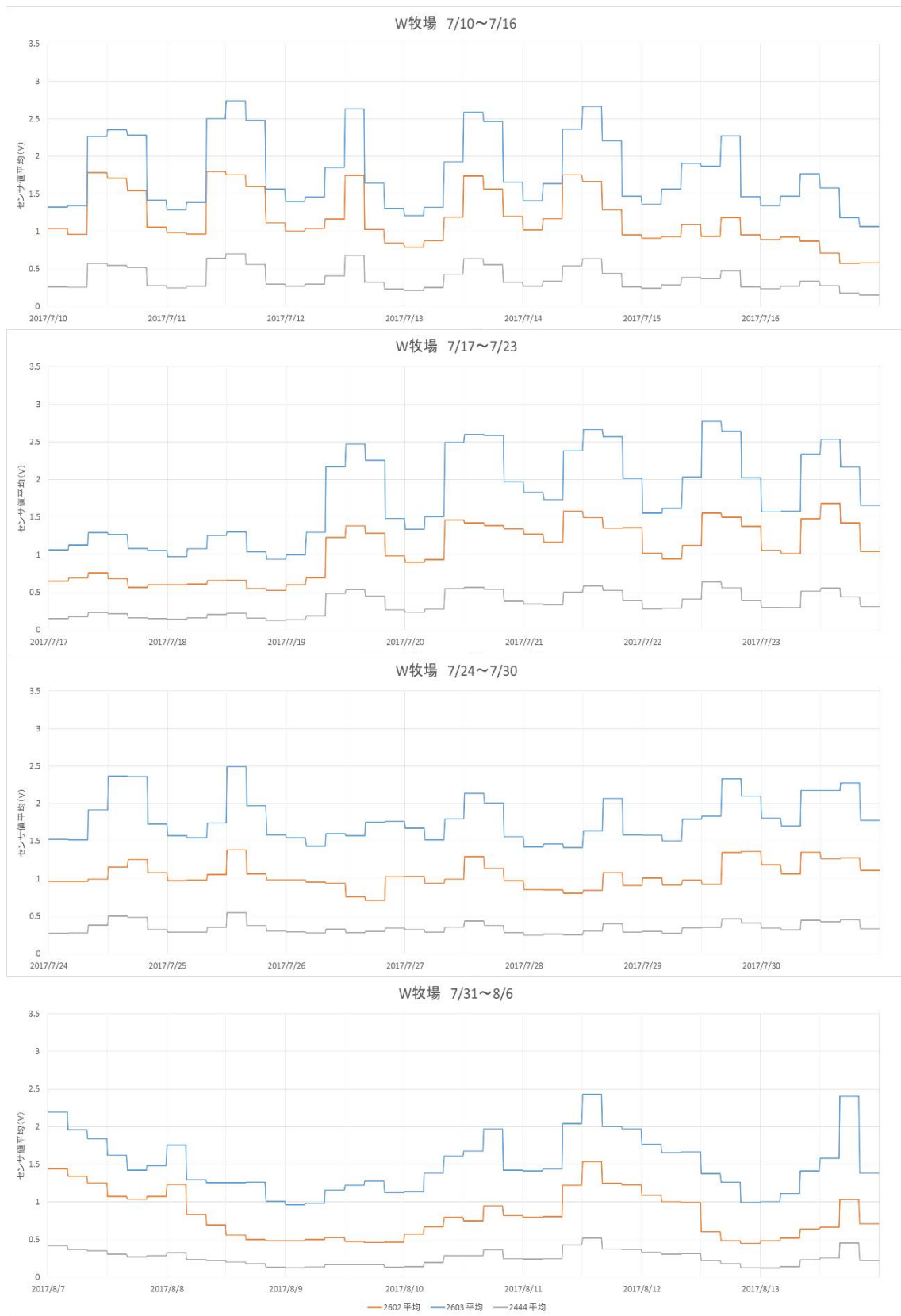


図 3-16 W牧場 7/10~8/6 平均値推移



図 3-17 W牧場 8/7~9/3 平均值推移



図 3-18 W 牧场 9/4~10/1 平均值推移



図 3-19 W 牧場 10/2~11/5 平均値推移



図 3-20 W 牧場 11/13~12/10 平均值推移

図 3-21～図 3-22 に、M 牧場でのセンサ値平均のグラフを示す。

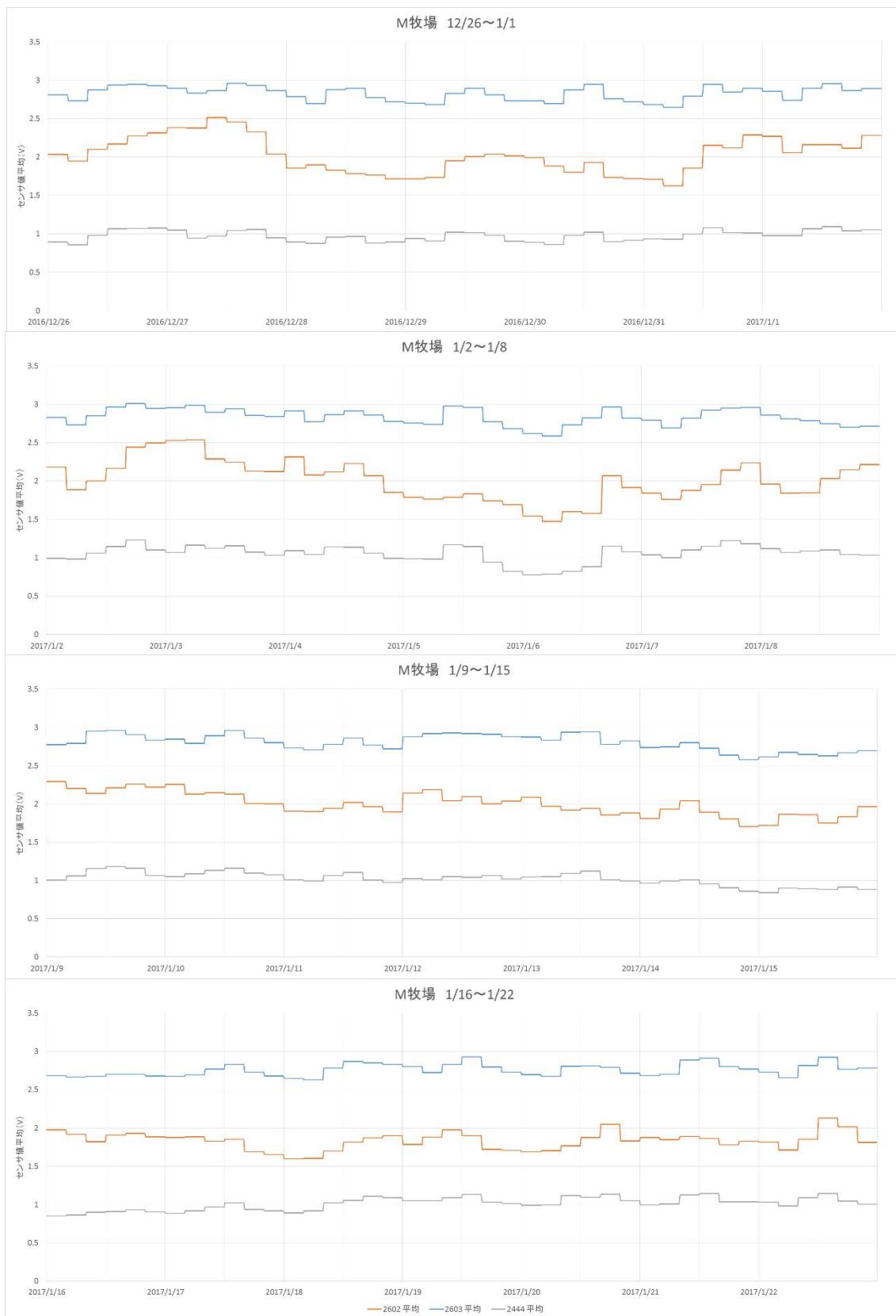


図 3-21 M 牧場 12/26～1/22 平均値推移



図 3-22 M 牧場 6/5~6/11 平均值推移

3-2. センサ値の推移とピーク

図 3-23～図 3-34 に、H 牧場でのセンサ値グラフに印付けを行った図を示す。

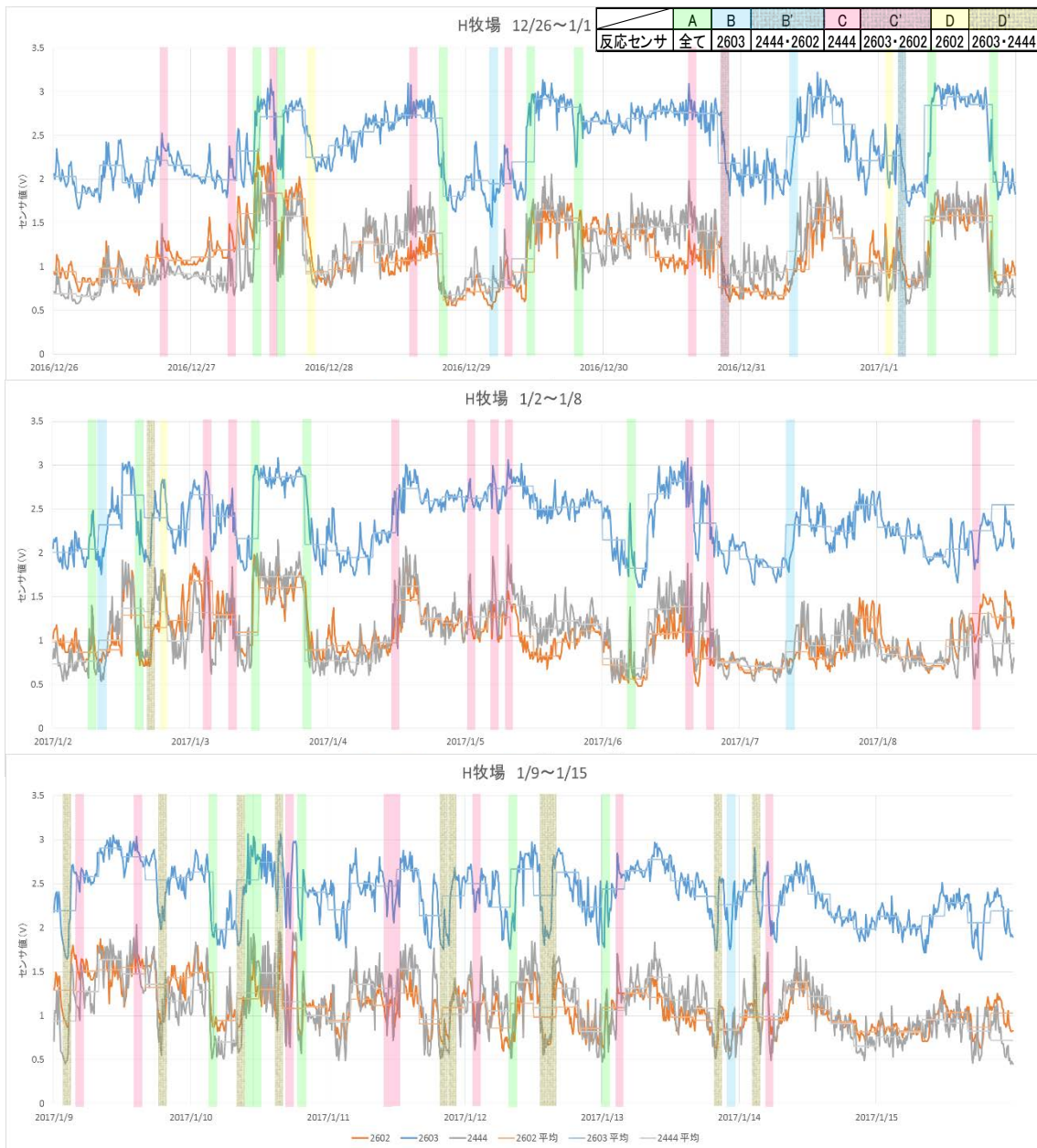


図 3-23 H 牧場 12/26~1/15 のセンサ値

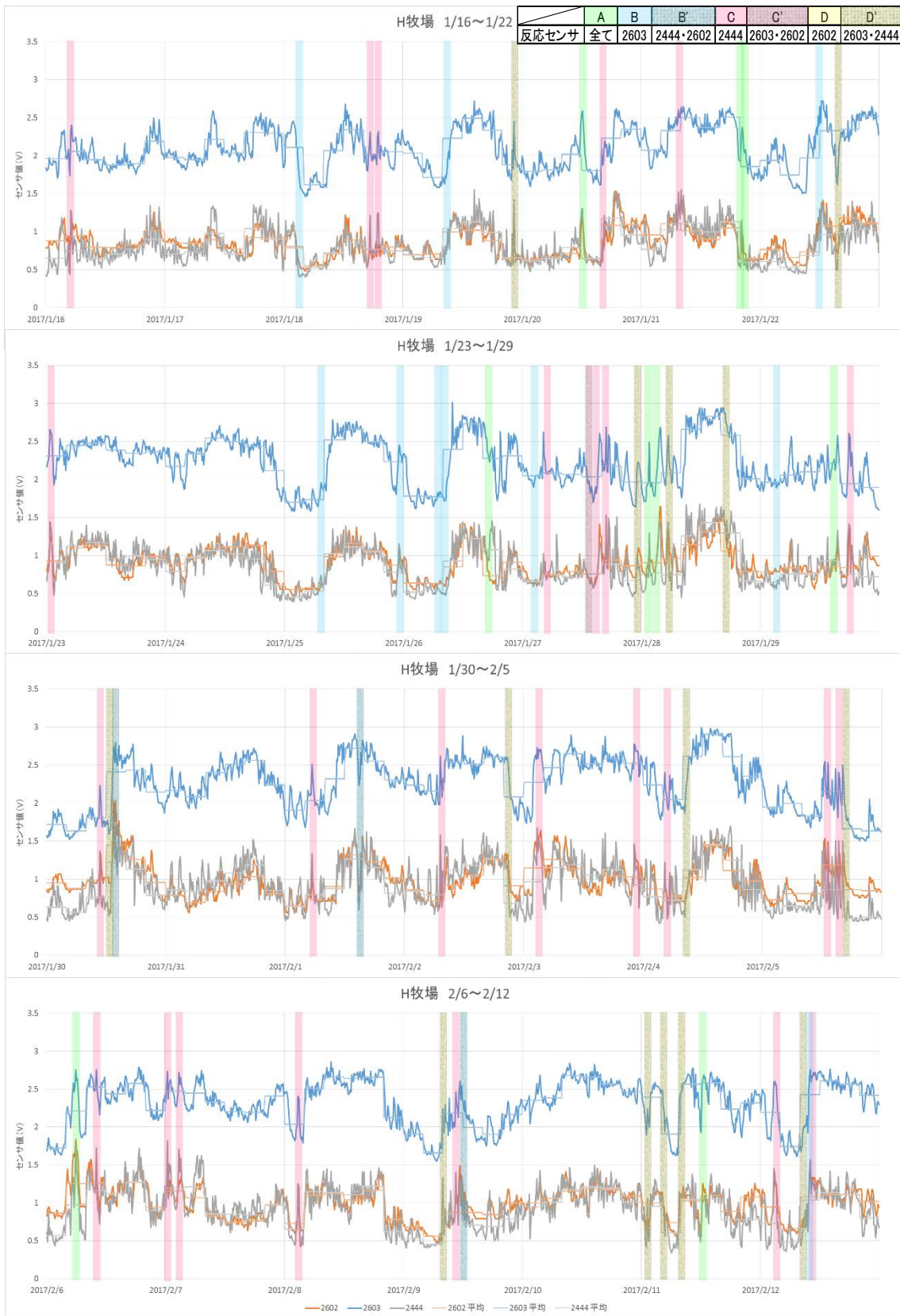


図 3-24 H 牧场 1/16~2/12 のセンサ値

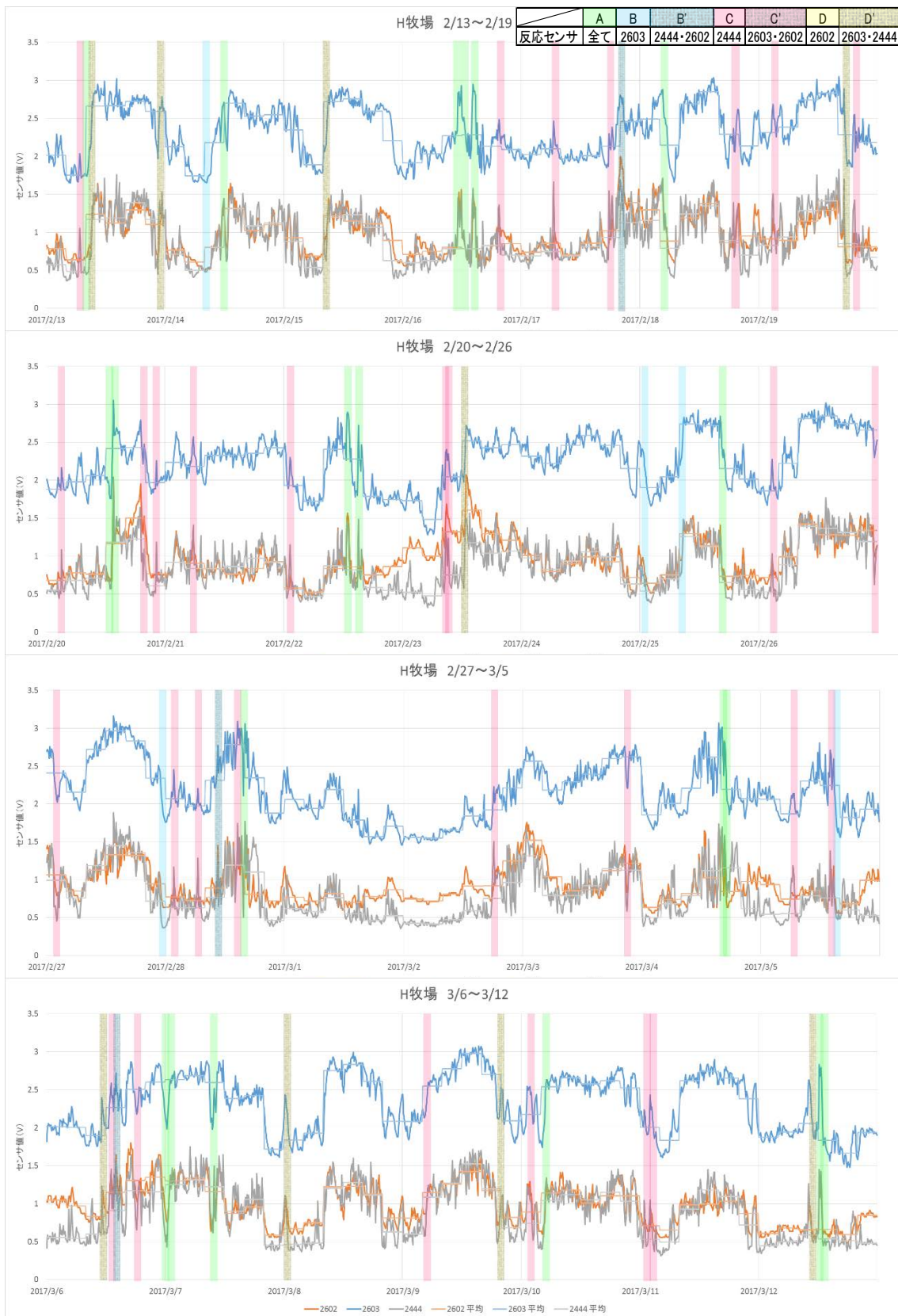


図 3-25 H 牧场 2/13~3/12 のセンサ値



図 3-26 H 牧场 3/13~4/9 のセンサ値



図 3-27 H 牧场 6/5~7/2 のセンサ値



図 3-28 H 牧场 7/24~7/30 のセンサ値



図 3-29 H 牧场 7/31~8/27 のセンサ値



図 3-30 H 牧场 8/28~9/18 のセンサ値

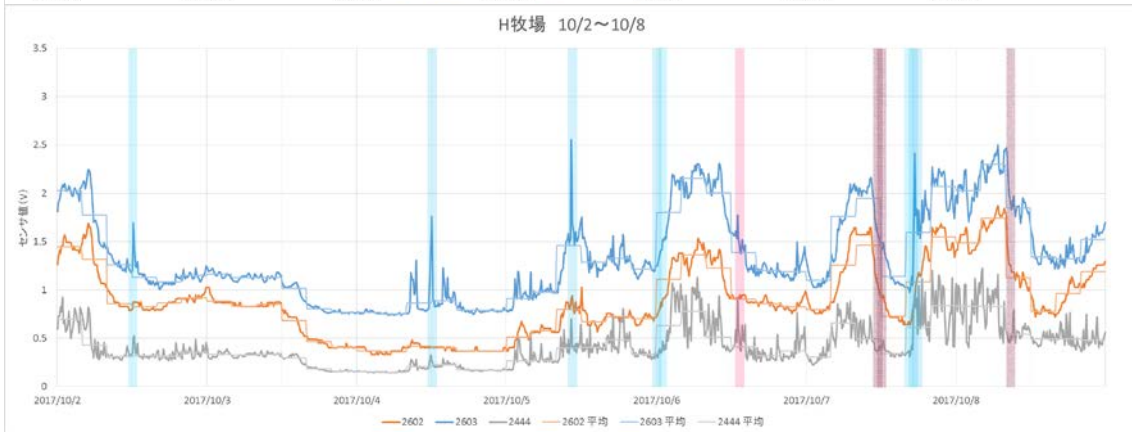


図 3-31 H 牧場 9/25~10/8 のセンサ値

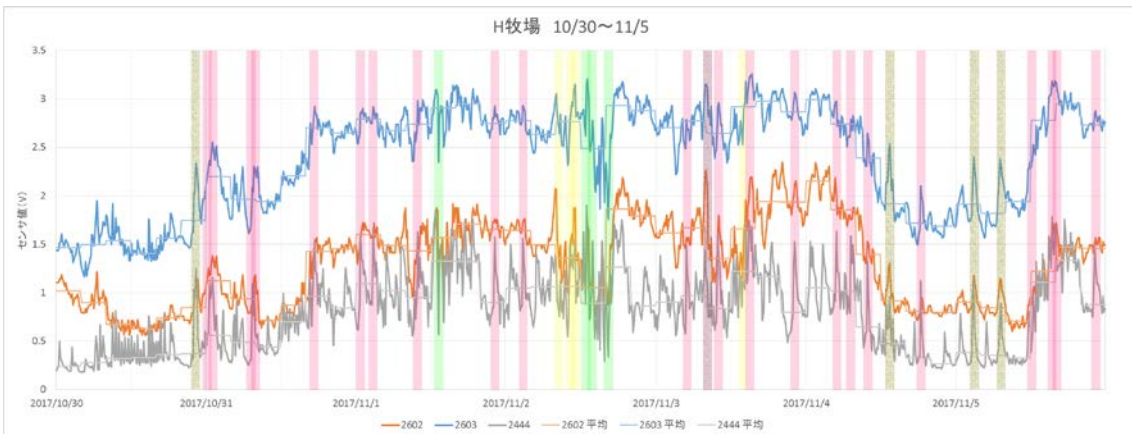


図 3-32 H 牧場 10/30~11/5 のセンサ値

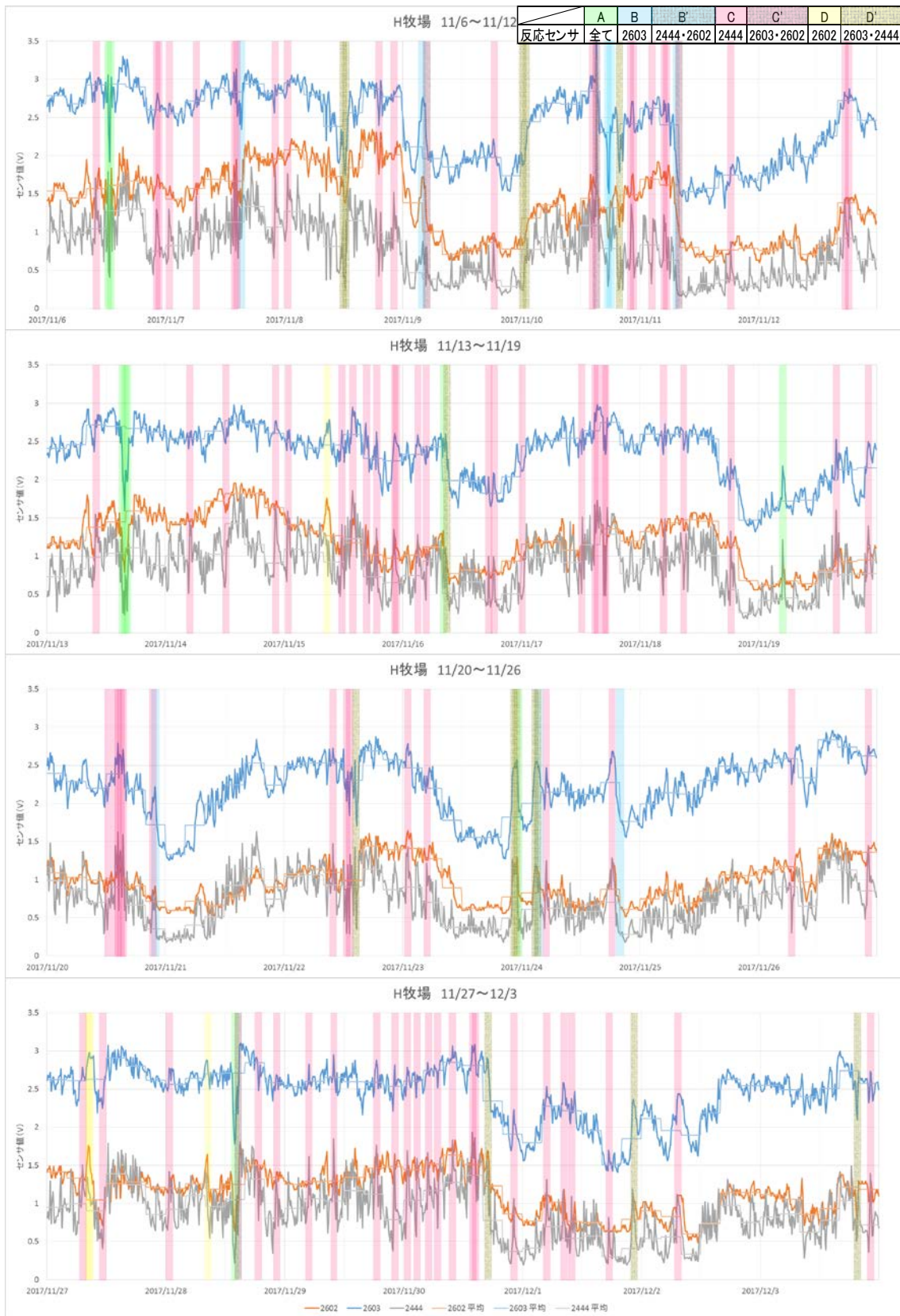


図 3-33 H 牧场 11/6~12/3 のセンサ値

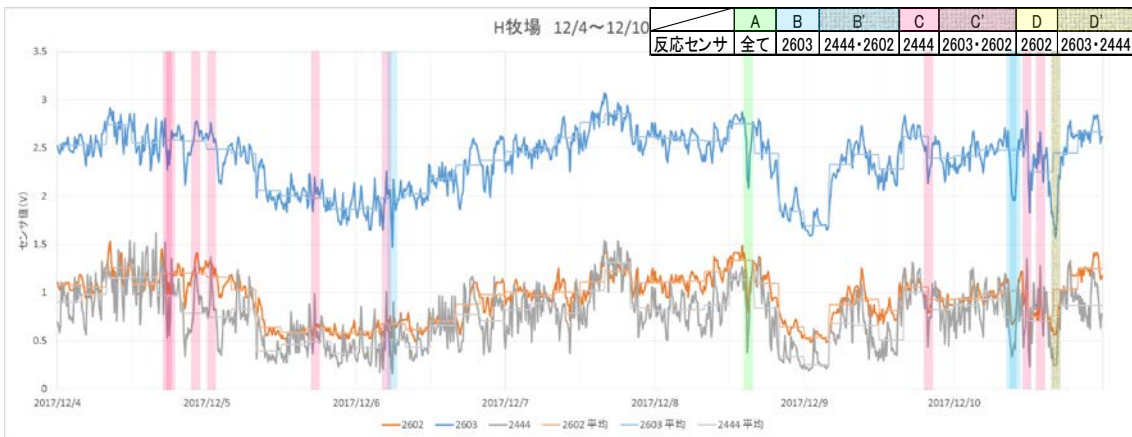


図 3-34 H 牧場 12/4~12/10 のセンサ値

図 3-35~図 3-43 に、W 牧場でのセンサ値グラフに印付けを行った図を示す。

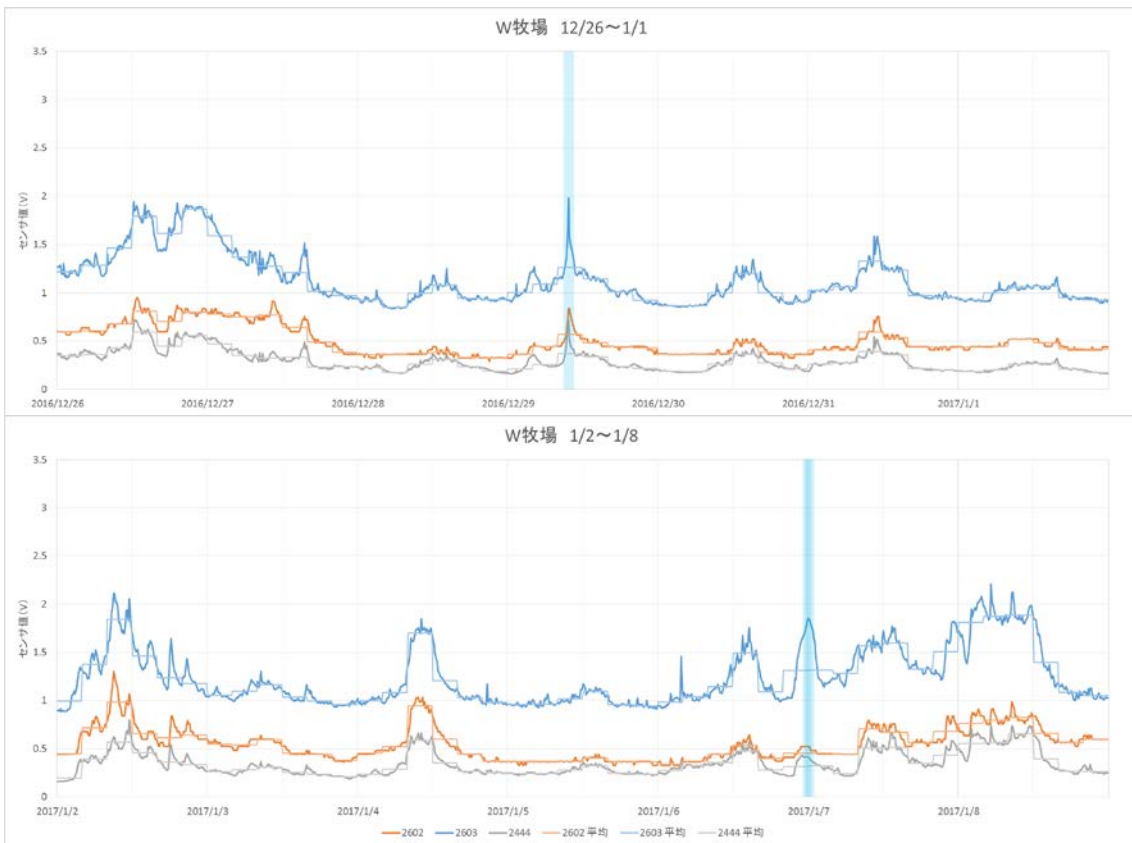


図 3-35 W 牧場 12/26~1/8 のセンサ値

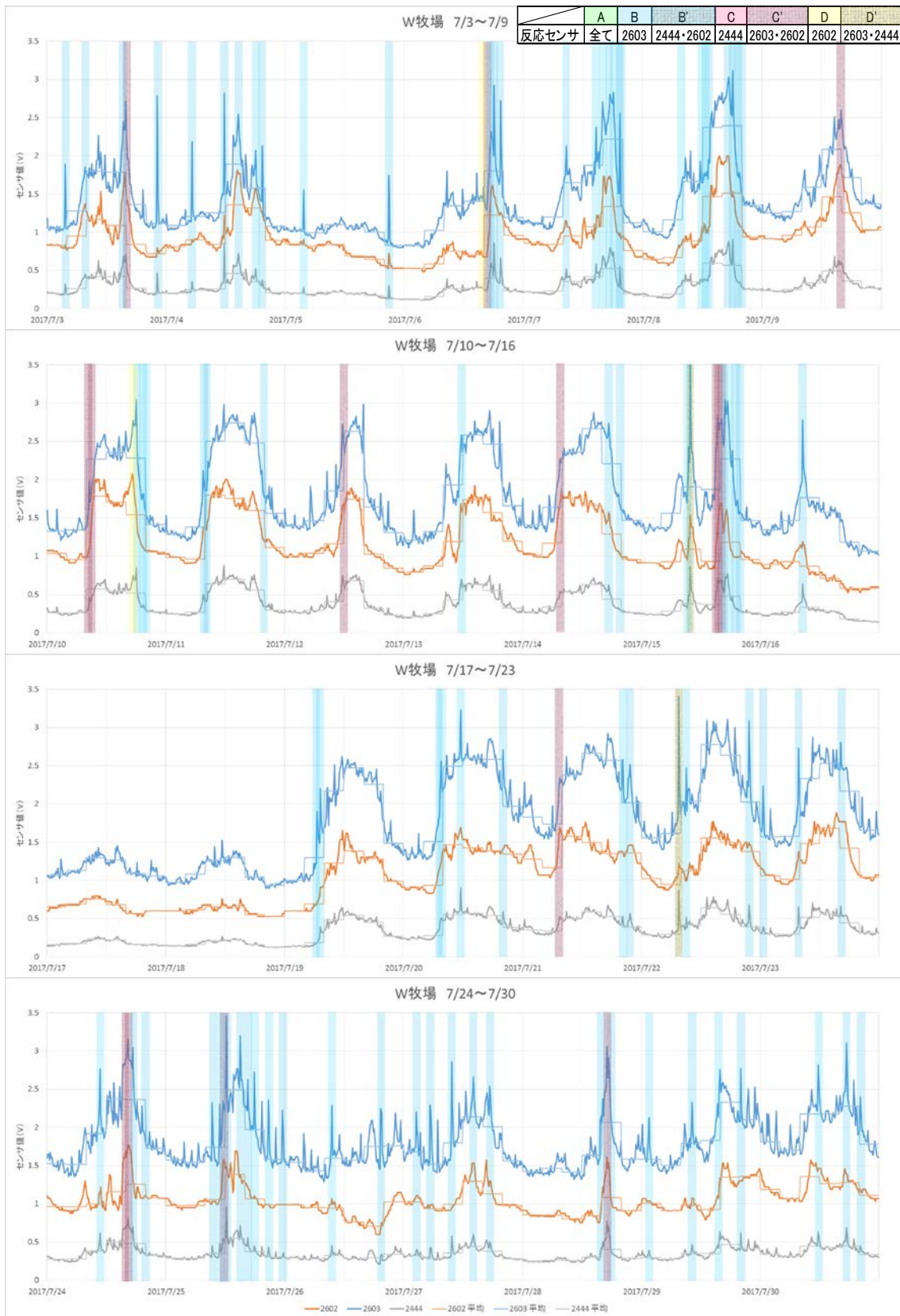


図 3-37 W 牧場 7/24~7/30 センサ値

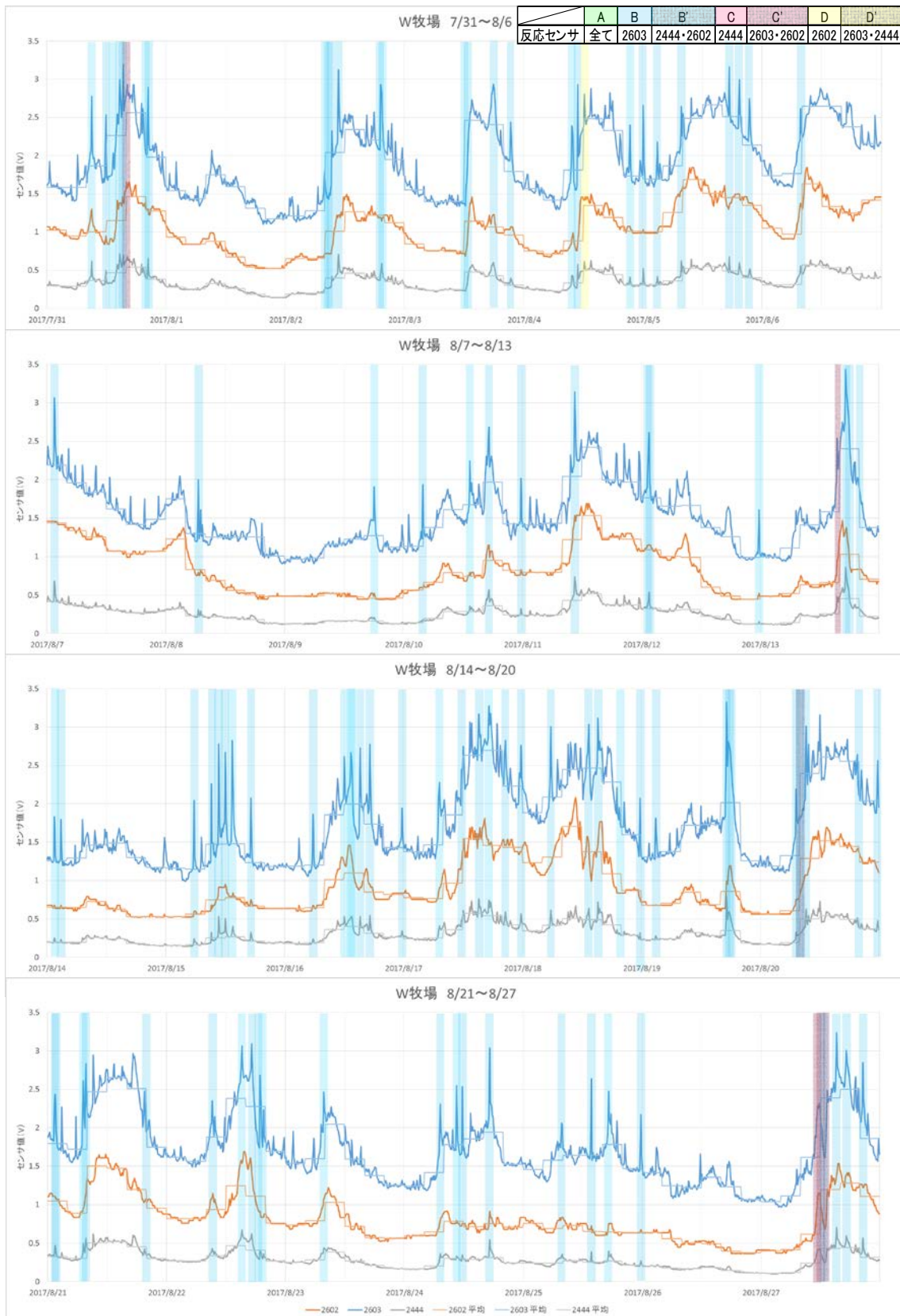


図 3-38 W牧场 7/31~8/27 のセンサ値

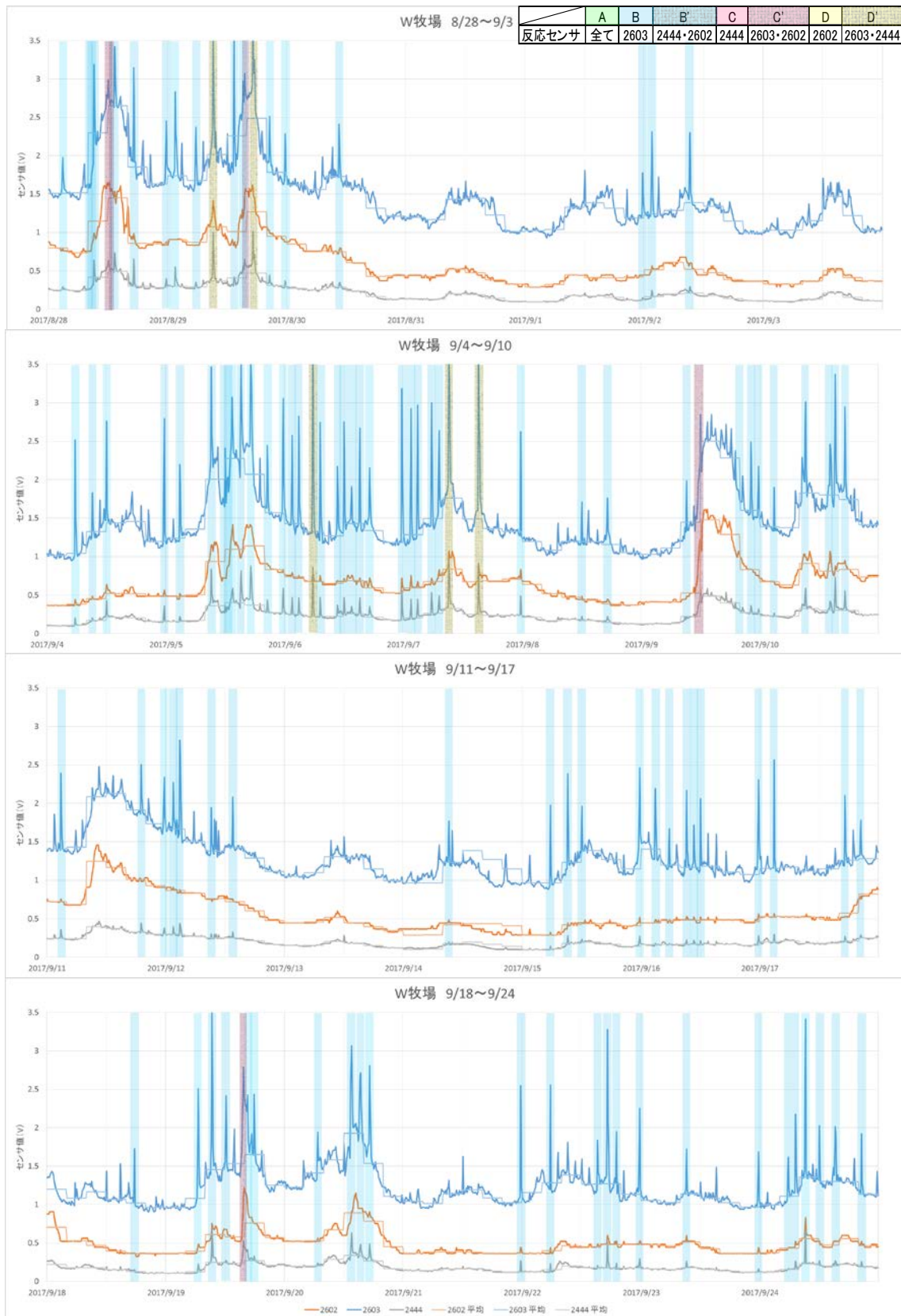


図 3-39 W牧場 8/28~9/24 センサ値

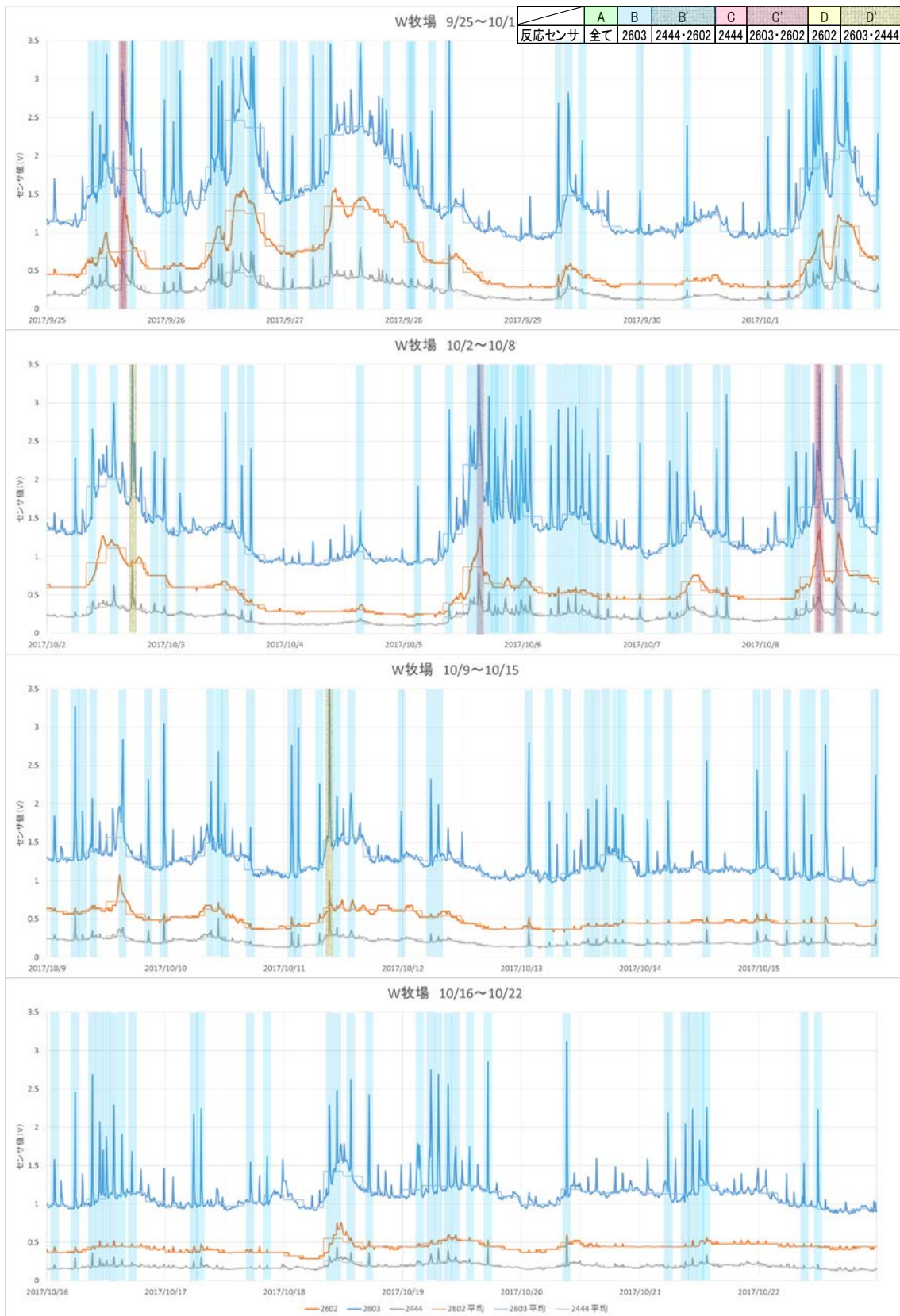


図 3-40 W 牧場 9/25~10/22 のセンサ値

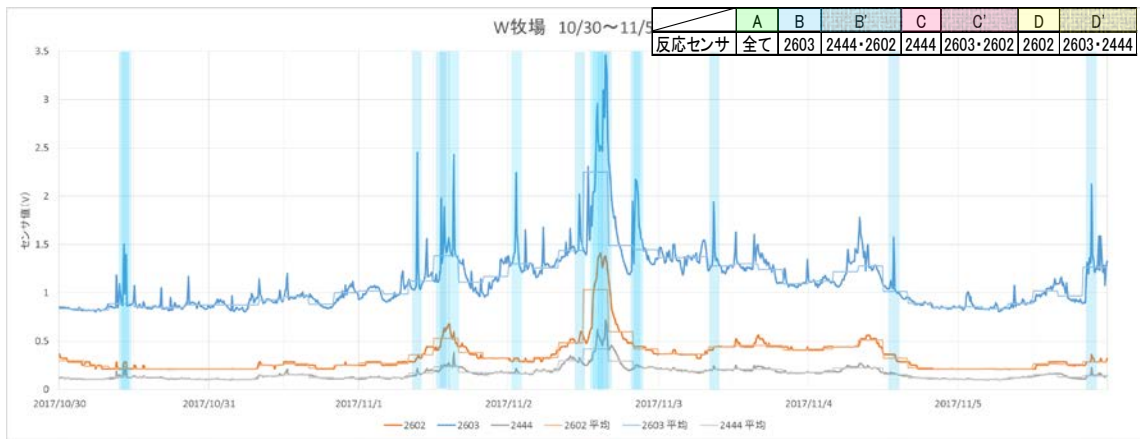


図 3-41 W 牧場 10/30~11/5 のセンサ値

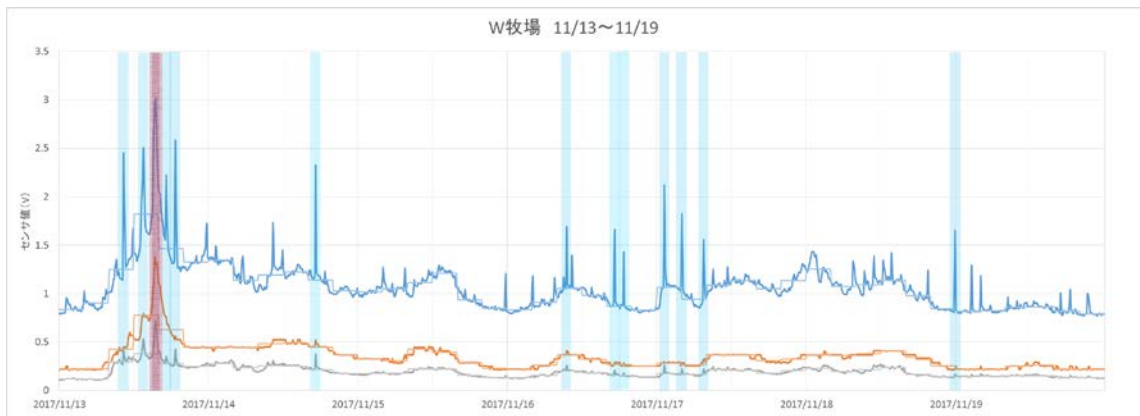


図 3-42 W 牧場 11/13~11/26 のセンサ値

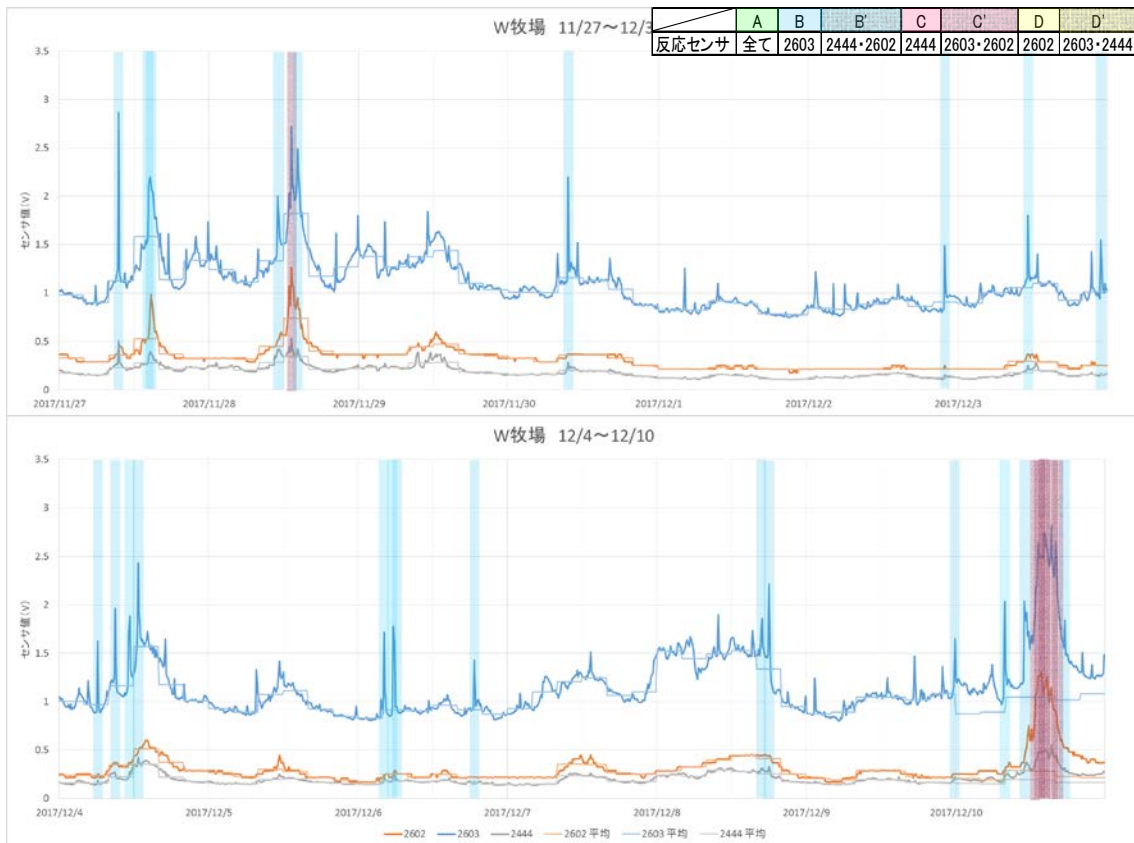


図 3-43 W 牧場 11/27~12/10 のセンサ値

図 3-44~図 3-45 に、M 牧場でのセンサ値グラフに印付けを行った図を示す。

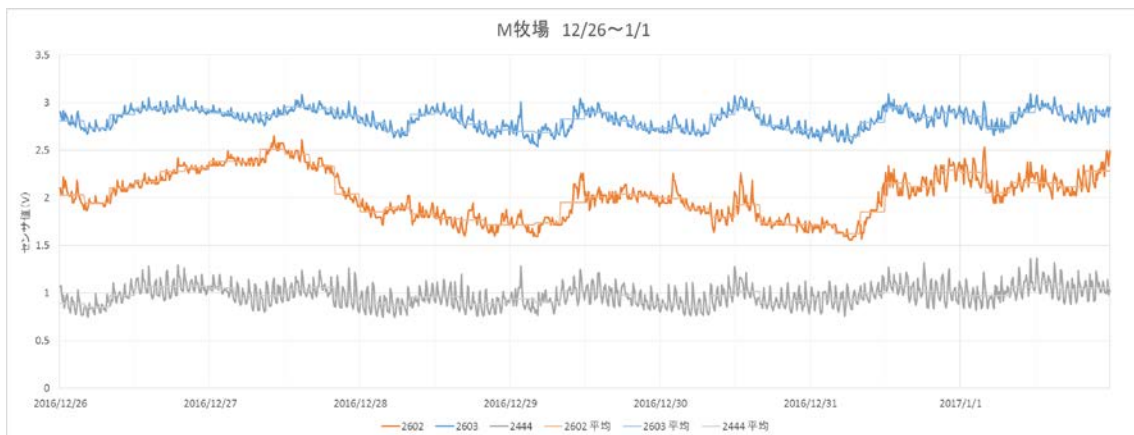


図 3-44 M 牧場 12/26~1/1 のセンサ値

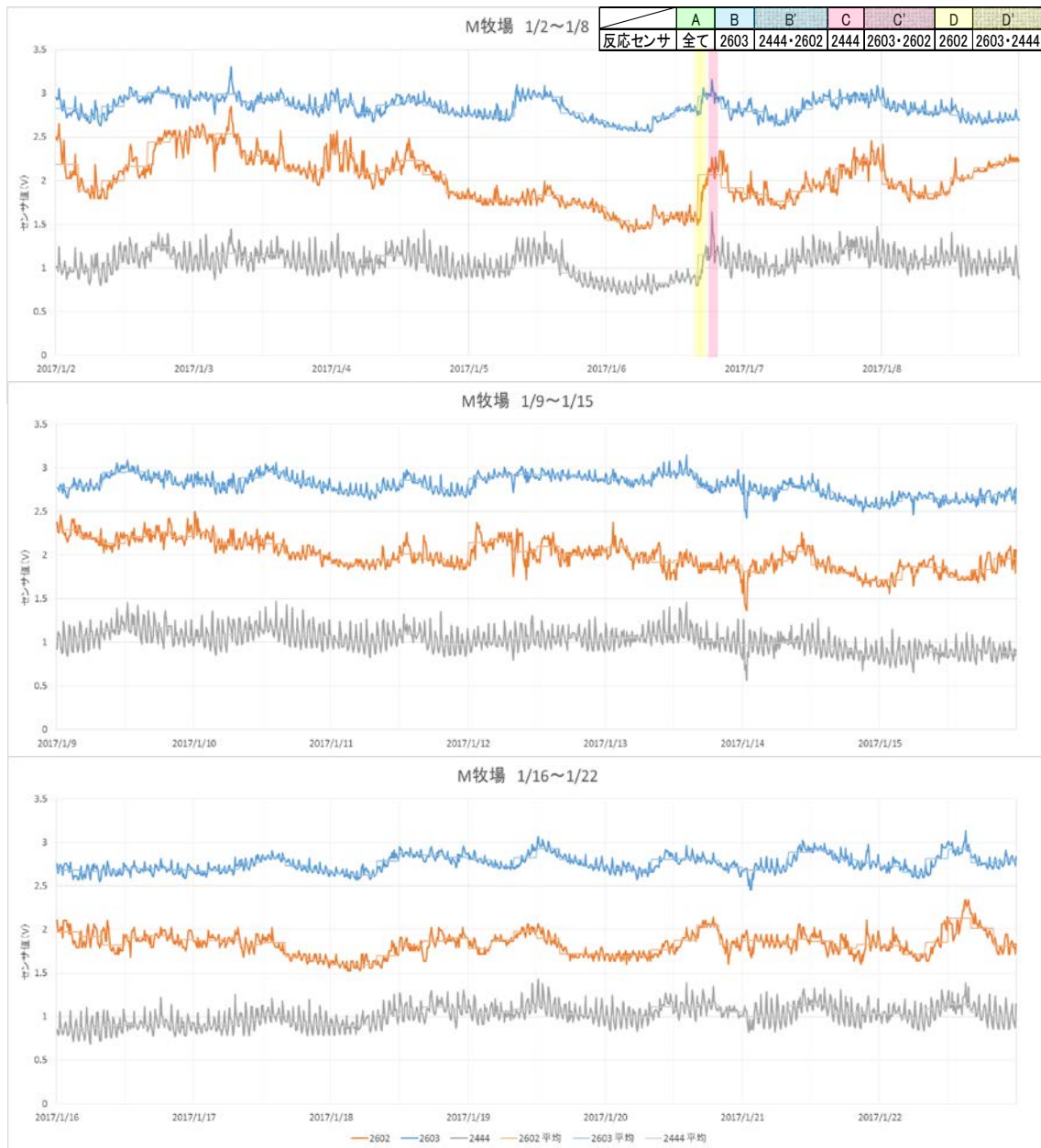


図 3-45 M 牧場 1/2~1/22 のセンサ値

3-3. ピーク数の総計と機種ごとの反応数

表 3-1～表 3-3 に、H 牧場でのピーク数の集計結果を示す。

表 3-1 H 牧場ピーク数総計 (測定期間 294 日)

	A	B	B'	C	C'	D	D'
反応センサ	全て	2603のみ	2444・2602のみ	2444のみ	2603・2602のみ	2602のみ	2603・2444のみ
合計	107	97	10	294	75	21	77

表 3-2 H 牧場反応センサ組み合わせ (測定期間 294 日)

	A+B+C'+D'	A+B'+C+D'	A+B'+C'+D	A+B'	A+C'	A+D'
反応センサ	2603	2444	2602	2444・2602	2603・2602	2603・2444
合計	356	488	213	117	182	184

表 3-3 H 牧場センサごと反応数 (測定期間 294 日)

センサ名	TGS2603	TGS2444	TGS2602
全反応数	356	488	213
単独反応数	97	294	21
単独反応割合	27.2%	60.2%	9.9%
単独未反応数	10	75	77
単独未反応割合	1.5%	11.0%	11.3%

表 3-4～表 3-6 に、H 牧場でのピーク数の集計結果を示す。

表 3-4 W 牧場ピーク数総計 (測定期間 210 日)

	A	B	B'	C	C'	D	D'
反応センサ	全て	2603のみ	2444・2602のみ	2444のみ	2603・2602のみ	2602のみ	2603・2444のみ
合計	0	560	0	0	80	5	9

表 3-5 W 牧場反応センサ組み合わせ (測定期間 210 日)

	A+B+C'+D'	A+B'+C+D'	A+B'+C'+D	A+B'	A+C'	A+D'
反応センサ	2603	2444	2602	2444・2602	2603・2602	2603・2444
合計	649	9	85	0	80	9

表 3-6 W 牧場センサごと反応数 (測定期間 210 日)

センサ名	TGS2603	TGS2444	TGS2602
全反応数	649	9	85
単独反応	560	0	5
単独反応割合	86.3%	0.0%	5.9%
単独未反応	0	80	9
単独未反応割合	0.0%	12.2%	1.4%

第4章 考察

4-1. ベース値比較によるガスセンサ設置環境と機種ごとの特性について

図 3-1～図 3-22 の牧場ごとのセンサ値平均のグラフから、それぞれのセンサのベース値は次のように言える。H 牧場では 2603 は 2.0V 程度、2602 が 1.0V 程度、2444 は 0.5V～1.0V 程度。W 牧場では 2603 が 1.0V 程度、2602 が 0.5～1V 程度、2444 が 0.25V 程度。M 牧場では 2603 が 2.5V～3.0V 程度、2602 が 2.0V 程度、2444 が 1.0V 程度であった。

このことから、全体的に M 牧場では H 牧場・W 牧場に比べ、多くのガスが検出されているということが分かる。その要因として、稲垣ら³⁾は H 牧場・W 牧場に対し M 牧場の方が乳牛の割合が多く臭気濃度が高いと述べており、実際に M 牧場は臭気物質が多く発生していると考えられる。その他の要因として、M 牧場ではガスセンサの設置環境に他 2 つの牧場とは大きな違いがあったため、次に設置環境が結果に影響を与える要因を考察する。

H 牧場・W 牧場は写真 2-4、写真 2-6 のように、ガスセンサの設置箱がレーンの端にあるのに対し、M 牧場では写真 2-8 のように、レーンの間にガスセンサ設置箱があることから、堆肥から発生する臭気物質を直接受けやすいこと、ハウス外の空気と混ざりにくく、臭気が希釈されにくいことが挙げられる。次に、H 牧場・W 牧場ではハウス内に設置されている扇風機が、堆肥乾燥レーンに対し真上から風を当てているのに対し、M 牧場では扇風機が堆肥乾燥レーンに対し斜め上から風を当てており、その風下側にガスセンサ設置箱がある。このことから H 牧場・W 牧場では、堆肥に触れた風がガスセンサの方面に向かってくることは、天候的な風向きによるものでないと起こりにくいものに対して、M 牧場では、常に堆肥に触れた風がガスセンサの方面に向かってくるため、常にセンサ値が高くなりやすいと考えられる。

M 牧場では畜舎から 1 次処理施設に糞尿を運搬する際、トラックによる搬送ではなく移送ポンプを使用し配管を通じて畜舎から直に 1 次処理施設へ送られる。目視でも糞尿中の水分が他の牧場と比較し多く流動した糞尿である。このことから乾燥工程であっても通気性が低いと嫌気性細菌が活発になりやすく、硫化水素や低級脂肪酸類などの悪臭物質が発生しやすい傾向にあるのではないかと考えられる^{*3)}。稲垣ら³⁾によると、H 牧場では乳牛の比率は多いものの M 牧場に比べれば少なく、かつコーヒーのカスを投入することで糞尿の水分を調整していることから比較的臭気が抑えられていた。このことから M 牧場では H 牧場に対し多くの硫化水素などが発生していると考えられる。H 牧場では 2602 と 2444 のセンサ値のベースがほぼ同じであるのに対して M 牧場では 2602 の方が 2444 よりセンサ値が 1V 近く高い傾向がある。このことから、2602 は M 牧場において、2444 が感知しているガスとは別のガスを感知し値が上昇している。言い換えれば H 牧場ではあまり発生していないガスが M 牧場では多く発生しており、その M 牧場で多く発生しているガスを、2602 は感度よく検出することができ、2444 はあまり感知できていないということが分かる。前に述べたように、アンモニアと硫化水素が M 牧場では多く発生していると考えられるこ

とから、2602 が強く感知でき、2444 があまり感知できていないガスは、アンモニアまたは硫化水素、あるいは両方であるのではないかと考えた。図 2-3 の 2444 の感度特性表から見ても硫化水素に対し感度が悪いと言えることから、2444 があまり感知できていないガスは硫化水素であると考えられる。

測定データから平均値を求めたところ、H 牧場では 2603 が 2.13V、2602 が 1.15V、2444 が 0.75V であった。W 牧場では 2603 が 1.25V、2602 が 0.52V、2444 が 0.25V であり、M 牧場では 2603 が 2.81V、2602 が 1.90V、2444 が 0.95V であった。ベース値と比較するとほぼ差がないことから、センサ値の大きな変動は一時的なものが少なく、緩やかに変動をしていることが考えられる。ベース値と全期間の平均値を比較では、機種ごとの特徴は認められなかった。

4-2. センサ値の感度特性に着目したガスセンサの比較

3-2のセンサ値のグラフから、3つの牧場のセンサ値のグラフを比較すると、M牧場のみ値の変動が細かく、ピークが少ないことが分かる。2444のふり幅が大きく、その他2つのセンサのふり幅は少ないことから、2444の感度特性(図2-3より、アンモニアの感度がいい)より、アンモニアの臭気レベルの変動が多いのではないかと考えた。M牧場において1/3や1/14の2602と2603が平均値から0.3~0.4V程度の反応を示している時、2444も反応は示しているが、2602と2603の方が大きく値が変動していた。このタイミングにおいてはアンモニアではなく、別の物質が発生しており、それをセンサが感知していたと考えられる。

H牧場ではほぼすべての週でA(すべてのセンサで反応)、B(2603のみ反応)、C(2444のみ反応)、D(2602のみ反応)の箇所があり、3つのセンサにそれぞれピークが認められた。Aの箇所が他の牧場に対して多く、H牧場で発生するガスは、それぞれのセンサが感度よく測定できる物質を含んでいると考えた。Aのタイミングでは2603、2602、2444の順でふり幅が大きいことが多いことから、アンモニアではない物質に反応していると考えた。

H牧場において、印付けを行った部分ではCの箇所がかなり多いことが分かる。2444がピークを示すとき、他の2つのガスセンサは、2444と同じ動きで平均値から0.25V~0.3Vほどの差があり、図2-3の感度特性表から2444の感度がいいと言えるアンモニアがH牧場では多く反応していると考えた。ここから他2つのセンサと比較して、2444はH牧場で発生するガスの測定において感度がいいと言える。だが同時に、図3-28などからC'(2444のみ未反応)の箇所も目視で多いと分かる程度にあることが分かる。そのとき2444も0.25Vほど平均値から差を示していたが、他2つのセンサの変動と比較すると不十分な変動幅であったと言える。このことから2444は一概にH牧場での臭気レベルの変動を測定するのにおいて、適しているセンサとは言えない結果となった。

W牧場ではBの箇所がかなり多く、次いでC'が多いことが分かる。だがW牧場で印付けを行ったのは大半がBの箇所であり、W牧場での反応はほとんどがBによるものであった。ここからW牧場では臭気の発生自体が少なく、2603は水蒸気などの測定対象ではない物質に対して反応しているのではないかと考えた。だがBの箇所において、ピークが認められなかった2444と2602は、2603と同じような動きで平均値から0.2V~0.25Vほどの差での変動があり、W牧場では実際に臭気が発生していたと考えられるとともに、2603はW牧場で発生する臭気の測定において感度がいいと言える。

W牧場において、C'の箇所がBの箇所に次いで多かったと述べたが、これにより2603と2602が反応しているタイミングで、2444のみがピークを認められなかったタイミングが多かったことが分かる。この時、2444もわずかではあるが他2つのセンサと同じように反応を示していたが、他2つのセンサの変動と比較すると不十分な変動幅であったと言える。

W牧場において、B'の箇所が全く見られず、他のセンサが反応しているタイミングでは

2603 もピークを検出していたことが分かる。まず、B 以外の印付け箇所が極端に少ないことから 2603 以外のセンサは、W 牧場で発生するガスを測定するには明らかに不十分である。強いて言えば 2603 が反応を示すタイミングで、2602 は全く反応を示していないときが 2603 のピーク数の半数近くあったため、わずかではあるが大半で反応を示していた 2444 の方が 2602 と比較すると W 牧場の臭気レベルの測定には適していると言える。ここから W 牧場で発生するガスに対し 2603 は最も感度がいいと考えられた。

H 牧場において 2603 は、B の箇所が C の箇所と比較して大幅に少ないが、A と C'、D' も含めて見ると多数反応を示していることが分かる。図 3-37 の 7/10~7/16 のグラフから、7/11~7/14 は 1 日ごとに B がそれぞれ 1 箇所ずつあるが、その時他 2 つのセンサも 0.25V~0.4V 程度平均値から差があり、臭気レベルの変化に反応を示していると言える。このことから 2603 は、H 牧場においても臭気レベルの測定に適したセンサであると言える。

2603 の懸念要素としては、H 牧場において、図 3-29 の 8/7~8/13 のグラフから、8/8 の A の箇所ではどのセンサも平均値とかなりの差があり、特に 2603 と 2444 はセンサ値が 3.5V を超えていた。だが、8/11 では 2603 が 8/8 と同じように 3.5V を超えていたのに対し、2444 も 2602 も全く反応を示していなかった。この時 2603 が何の物質に反応していたのかは不明であり、もし仮に臭気物質以外に反応していた場合、実際の臭気レベルには変動がなかったにも関わらずセンサ値の大きな変動と認められるため、臭気レベルの測定においては大きな不安要素であると言える。このことに関しては測定期間の約一年間のうち、この 1 箇所のみでしか起こらなかったため、今後の観察が必要だと考える。

4-3. 年間のピーク数総計と機種ごとの特性について-

図 4-1~図 4-6 に、ピーク数の集計結果から作成した棒グラフを示す。

なお、図 4-1 と図 4-4 の凡例は表 3-1 のように A,B,B',C,C',D,D'に対応している。

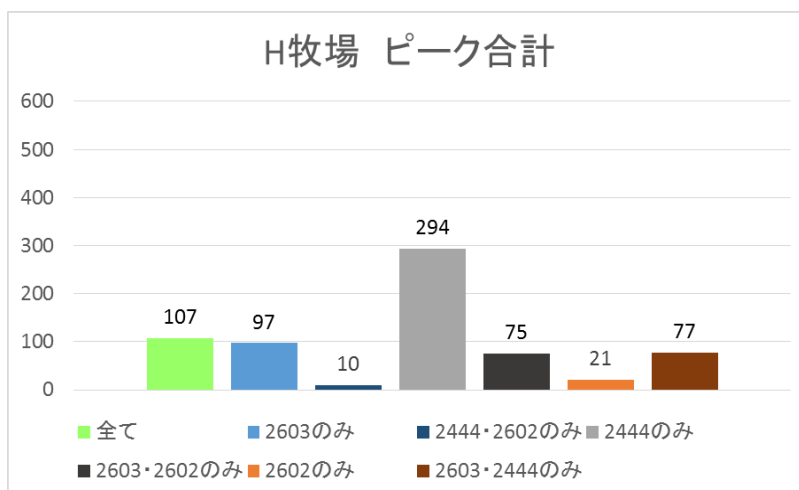


図 4-1 H 牧場ピーク

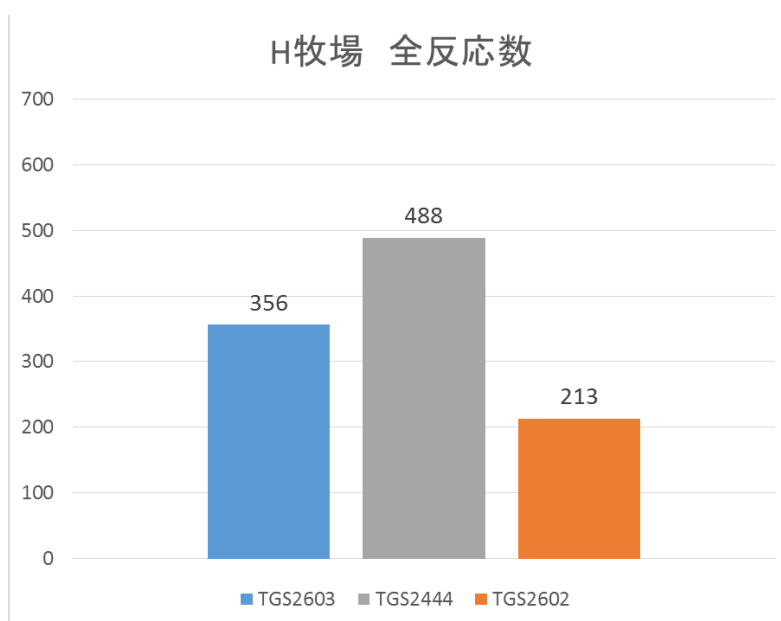


図 4-2 H 牧場 センサごと反応数

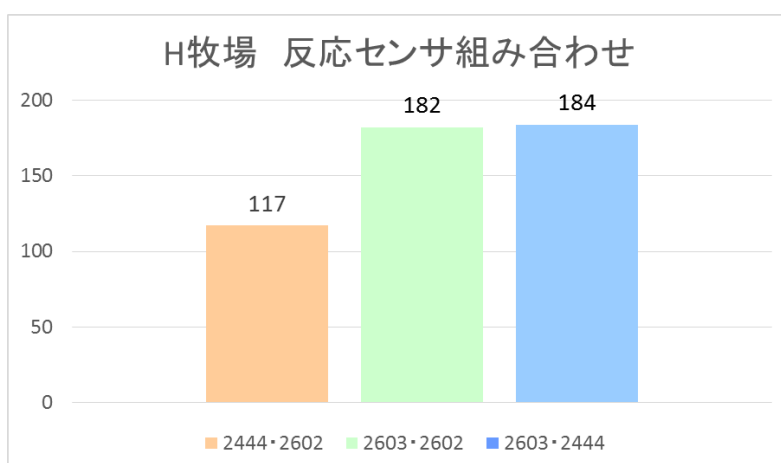


図 4-3 H 牧場反応センサ組み合わせ

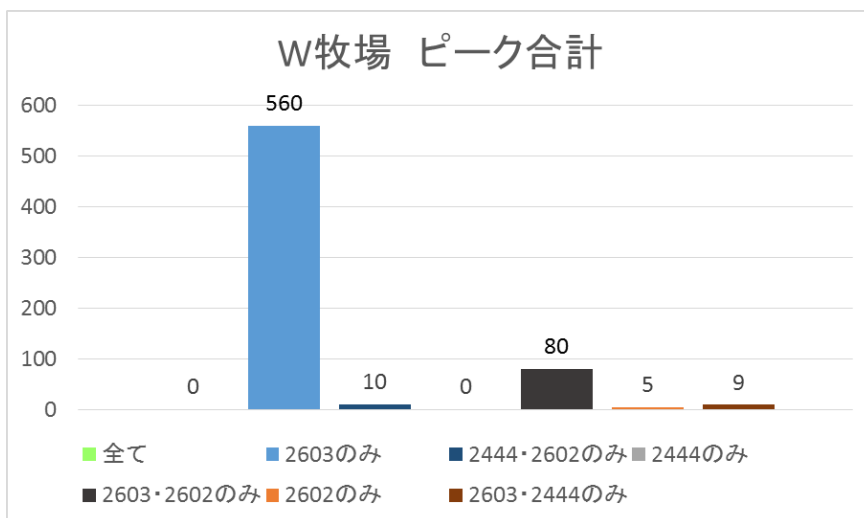


図 4-4 W 牧場ピーク

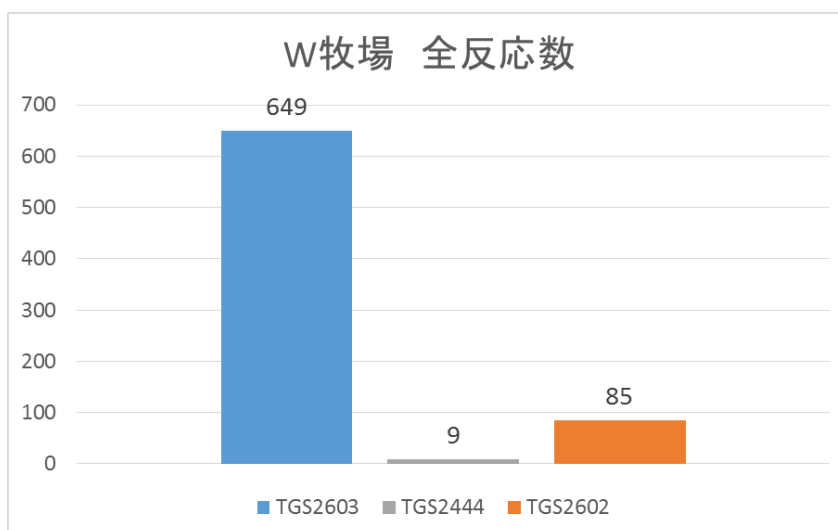


図 4-5 W 牧場 センサごと反応数

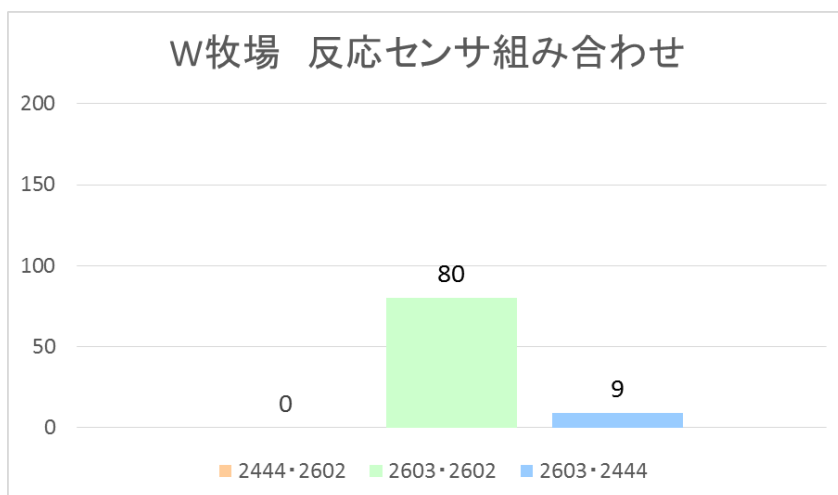


図 4-6 W 牧場反応センサ組み合わせ

第4章の4-2でH牧場では2444単独で反応した箇所と単独で反応しなかった箇所が多かったと述べた。表3-3から、単独反応割合は60.2%であり、他2つのセンサに比べかなり高かったが、単独未反応割合は11.0%であり、印付けグラフで見られるほど高くはなく、反応数の比較からは一概に2444の先述のような問題は見られなかった。

表3-3と図4-2から、2444はH牧場での反応数と単独反応割合が最も高かった。ここから感度がいいと推測したが、表3-3から、反応数が多いのに対し単独未反応数が多いことから、他のセンサは感知しており2444は感知できていない物質があると考えた。表3-6と図4-5から、2444はW牧場においても反応数自体が9と極端に少なく、2444はどちらの牧場の測定においても適したセンサとは言えないと考える。

表3-3と表3-6から、2602はH牧場・W牧場ともに単独反応割合が低く、2602がピークを示す時他のセンサも同時にピークを示すタイミングが多いことが分かる。ここから2602は測定対象である臭気物質を感知し、値が変化している可能性が高いと言える。だが同時に、反応数が2603に対し少ないことが問題点であると言える。

表3-6と図4-5から、2603はW牧場においてほぼ単独での反応であったため、単独反応割合での比較は適していないと考える。だが他2つのセンサは反応数が極端に少ないため、必然的にW牧場の測定においてこの3つのセンサの中で最も適しているのは2603であると言える。もっとも2603は単独未反応数がどちらの牧場でも最も少なかったことから、2603は測定対象である臭気物質を感知し値が変化している可能性が高いと言えること、反応数がH牧場で356、W牧場で649と比較的多く、先述の2つのセンサの問題点が当てはまらないということからも、どちらの牧場においても測定に適したセンサだと言える。

3つのセンサの反応の組み合わせに関して、W牧場では2603と2602の組み合わせが80回であり、2602のW牧場における全反応数が85回であったのに対し、かなりの割合で2603が反応を示していることが分かる。図2-1と図2-2の感度特性表から、この2つのセンサが共通して感度がいいと言える物質は硫化水素であると言える。そしてW牧場において反応数が極端に少ない2444は、感度特性表からアンモニアに感度がいいと言える。ここから2603と2602は、W牧場で発生している硫化水素に対し反応を示しており、2603のみが反応しているときは、硫化水素とアンモニア以外の物質が発生していたと考える。

H牧場において、反応したセンサの組み合わせは、図4-3から2603と2602の組み合わせ、2603と2444の組み合わせが同程度であり、2444と2602の組み合わせは60回程度少なかった。ここから2603は、2444が感度よく測定できる物質と、2602が感度よく測定できる物質のどちらにも感度よく測定が行えると言うことができる。なお、2602と2444がそれぞれ2603と反応した回数がほぼ同じであったのに対し、2602のH牧場における全反応数は2444の全反応数の半分程度であることから、2444より2602の方が2603と同時に反応するタイミングが多かったことになり、ここから2444より2602の方が、測定対象である臭気物質を感知し値が変化している可能性が高いと言え、畜産臭の臭気レベル測定には適していると言える。

第5章 結言

本研究により、TGS2603、TGS2444、TGS2602 の中で畜産臭の測定に最も適したセンサだと言えるのは、TGS2603 であると結論付ける。今回の研究では畜産臭の測定に適したセンサを定めることを目的に置いたが、その条件として次の 3 つを定めた。①畜舎間で発生する、臭気物質の差による影響を受けにくい(どの牧場でも測定が可能)。②わずかな臭気物質質量の変化にも反応できる(感度が良い)。③センサ値が臭気レベルを示す値として信頼できる(他のセンサも同じような値を示す)。この 3 つの条件に沿って考察を行ったが、唯一この条件をすべて満たしていたのは 2603 のみであった。ここから TGS2603 が畜産臭の臭気レベルを測定するのに最も適していると考えた。

研究の反省点や改善点として、ベース値の比較から風向きに関して考察を行ったが、ガスセンサは手軽に測定を行える分、測定環境が変化しやすく、その影響が少なからず値に反映されてしまうと考える。今回の測定では M 牧場の測定環境が他と差があり十分な考察が行えなかったことから、牧場間で測定環境を統一する必要があると考えた。

次にピーク数の集計において、畜舎間での測定日数の違いから、反応数のみの比較では誤解が生じてしまうと考えたため、単独反応数に関しては割合を用いた単独反応割合による比較を行った。単独未反応数に関しても初めは割合を用い、単独未反応割合による比較を試みた。だが、単独未反応割合はすべてのセンサのピーク数の合計を分母に求めたため、1つのセンサがピークを極端に検知した場合、その他のセンサの単独未反応割合が高くなってしまい、正確な比較を行えなかった。ここから、他のセンサの反応数に左右されない、かつ測定日数などの違いがあっても、牧場間での反応数の差について比較を行える方法を考える必要がある。

ガスセンサが感知しているのは必ずしも臭気物質というわけではない。ただ、ピークが見られるタイミングとして、牛糞の搬入や風向きなど何かしらの変化が起こっており、そこでは同時に臭気物質も発生し臭気も強くなっていることが考えられる。今回はこのことを踏まえ、ガスセンサによる畜産臭における臭気レベルの測定に関して研究を行った。

今回の研究では、臭気濃度の測定や機器分析などは行わず、ガスセンサの値のみで考察を行った。そのためガスセンサ値の信頼性に対して裏付けが取れず、結果に対し確証を得て考察を行うことが難しかったと感じる。実際にガスセンサの設置場所の空気を採取し、臭気物質質量や臭気濃度などの測定を行い、その値と同期間に測定を行ったセンサ値を比較することで、なお客観的な考察ができると考えた。より簡易的にするのであれば、アンモニアや硫化水素などの物質測定用の検知管による測定でも十分な裏付けになると考える。

参考・引用文献

1)フィガロ技研製品情報 TGS2603

http://www.figaro.co.jp/product/docs/tgs2603_productinfo_rev04.pdf

2)フィガロ技研製品情報 TGS2602

http://www.figaro.co.jp/product/docs/tgs2602_productinfo_rev03.pdf

6)FIGARO PRODUCT INFORMATION TGS2444

http://www.figaro.co.jp/en/product/docs/tgs2444_product_infomation_rev02.pdf