

修士学位論文

論文題目 畜産業に対する

センサネットワーク技術の導入

ふりがな 氏名 ばんざい なおひと
坂西 直人

専攻 機械工学専攻

指導教授 金丸 隆志 准教授

修了年月(西暦) 2016年3月

工学院大学大学院

論文要旨

農家で行われる農作業は、人が農地に出向き、目や皮膚等の感覚器を利用して農地についての情報を取得して管理運営しているのが現実である。ここにセンサネットワーク技術を適用することで、生産者の経験や感覚に頼るのではなく、現場の状況をセンサでデータ化し、ネットワークを介し、より効率的で生産性の高い管理運営を行うことが可能となる。

本研究では、畜産業に対してにおいセンサを用いたセンサネットワークを導入し、畜産農家が抱える悪臭問題を数値化することを目指す。そのための基礎研究として、複数のにおいセンサの特性を明らかにする調査を行った。その調査のために、大学と協力農家の養豚場で複数の実験を行った。その結果、センサによってにおいに応答する速度に違いがあることが分かった。また、同種のセンサ間には、個体差があることも分かった。そのため、個体差を小さくするための補正式を作成し、補正を試みた。最後に、各センサの性能の評価を行った。

目次

論文要旨	0
第 1 章 緒言	3
1.1 研究背景	3
1.2 企業の取り組みや先行研究.....	4
1.2.1 農業の IT 化.....	4
1.2.2 IT 農業への企業の取り組み.....	5
1.3 畜産業における環境問題の現状.....	9
1.4 目的	10
1.5 本論文の構成.....	11
第 2 章 構想	12
2.1 実地実験を行う養豚場.....	12
2.2 においセンサ.....	14
2.3 におい検出器.....	16
2.3.1 外観	16
2.3.2 Arduino Uno (R3)	17
2.3.3 回路の作製.....	18
2.3.4 Arduino による動作プログラム	20
第 3 章 事前実験	25
3.1 実験 A.....	26
3.1.1 目的	26
3.1.2 実験方法.....	26
3.1.3 結果と考察.....	26
3.1.4 実験 A まとめ.....	30
3.2 実験 B.....	31
3.2.1 目的	31
3.2.2 実験方法.....	31
3.2.3 結果と考察.....	32
3.2.4 実験 B まとめ.....	38
3.3 事前実験まとめ.....	39
第 4 章 実地実験	40
4.1 実験 A.....	41
4.1.1 目的	41
4.1.2 実験場所.....	41
4.1.3 実験方法.....	42

4.1.4	実験結果と考察.....	44
4.1.5	実験 A まとめ.....	47
4.2	実験 B.....	48
4.2.1	目的	48
4.2.2	実験方法.....	48
4.2.3	実験結果と考察.....	49
4.2.4	実験 B まとめ.....	55
4.3	実験 C.....	56
4.3.1	目的	56
4.3.2	実験場所.....	56
4.3.3	実験方法.....	57
4.3.4	実験結果と考察.....	58
4.3.5	実験 C まとめ.....	62
4.4	実験 D.....	63
4.4.1	目的	63
4.4.2	実験場所.....	63
4.4.3	実験方法.....	64
4.4.4	実験結果と考察.....	65
4.4.5	実験 D まとめ.....	66
4.5	実地実験まとめ.....	67
4.6	まとめ	68
第 5 章	補正式の作成と適用.....	69
5.1	式の作成	69
5.2	補正式適用結果.....	74
5.3	考察	74
第 6 章	結言	78
謝辞		80
参考文献		81
図表目次		83
付録① : Arduino	による動作プログラム	86

第1章 緒言

1.1 研究背景

農家で行われる農作業は、人が農地に出向き、目や皮膚等の感覚器を利用して農地についての情報を取得して管理運営しているのが現実である。地味なイメージと厳しい労働環境、生産者の高齢化によって日本の農業は将来に不安を抱えている状況にある。表 1-1 より、平成 27 年 2 月 1 日現在の農業経営体数は 137 万 5 千経営体となり、5 年前の 167 万 9 千経営体に比べて 18.1%減少していることがわかる[1]。

表 1-1 農林業経営体数（全国）[1]

単位:千経営体			
区 分	農林業経営体	農業経営体	林業経営体
平成17年	2,085	2,009	200
22	1,727	1,679	140
27	1,402	1,375	87
増減率(%)			
平成22年/17年	△ 17.2	△ 16.4	△ 30.0
平成27年/22年	△ 18.8	△ 18.1	△ 38.1

注：農業経営と林業経営を合わせて営んでいる経営体があるため、農業経営体数と林業経営体数の合計と農林業経営体数は一致しない。

1.2 企業の取り組みや先行研究

1.2.1 農業の IT 化

次の時代の農業の形を模索していく試みがされているなか、近年、情報工学分野の農業進出が見受けられるようになった。その取り組みは農業の IT 化や、IT 農業などと呼ばれる。IT 農業とは「IT 技術を駆使して、農作物の必要な情報を収集し、効率的に生産・流通させる技術」を指す[2]。

IT 農業の研究例としては、GPS を用いた農業機械の自動操縦や農作業自動化装置、パワーアシストスーツなどの農作業ロボット技術関連、農産物の流通の効率化を図る POS システム適用、地域全体の振興のために自治体で経営分析、情報の共有等をクラウド上で行うクラウドサービス関連等がある[2]。そして本研究で触れるセンサネットワーク技術の適用がある。一般にセンサネットワークとは、図 1.1 のようにセンサを搭載した複数のノードを対象の空間に分布させ、遠隔で情報収集を行う仕組みのことを指す。これを農場に適用することで生産者の経験や感覚によるものに頼るのではなく、現場の状況をセンサでデータ化し、ネットワークを介し蓄積および視覚化を行い、より効率的で生産性の高い管理運営を行うことが可能となる[3-5]。

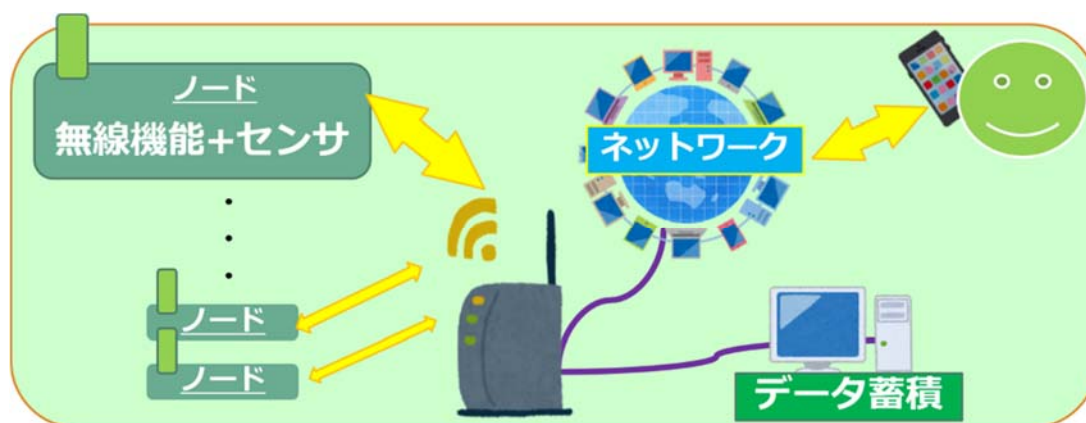


図 1.1 一般的なセンサネットワーク

深津らはセンサネットワークを農業に適用し、センサで農地の気温をはじめとする環境情報を蓄積させるだけでなく、農作物の状況をカメラで撮影し、遠くの地に居ながら農作物の観察・監視を可能にしている（図 1.2）。また、蓄積した環境情報を Web アプリケーションで参照可能にすることで、農家は離れた場所においても農地の状況を把握することが可能である[3-5]。

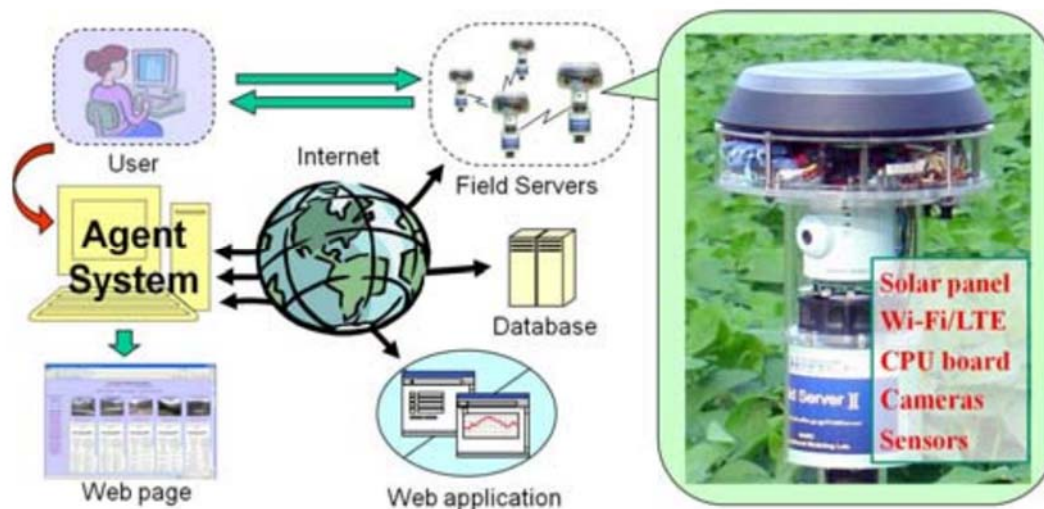


図 1.2 センサネットワークの農業への適用例[3-5]

1.2.2 IT 農業への企業の取り組み

政府が 2020 年までに農作物の輸出額を 1 兆円にまで増加させる目標を掲げたため、農業への企業の参入意欲が高まっている。そういった流れのため、IT 農業や農業ビジネス、アグリビジネスと呼ばれる市場は、2013 年には約 66 億円になり、2020 年には 600 億円近くの規模になるといわれている（図 1.3）[2]。

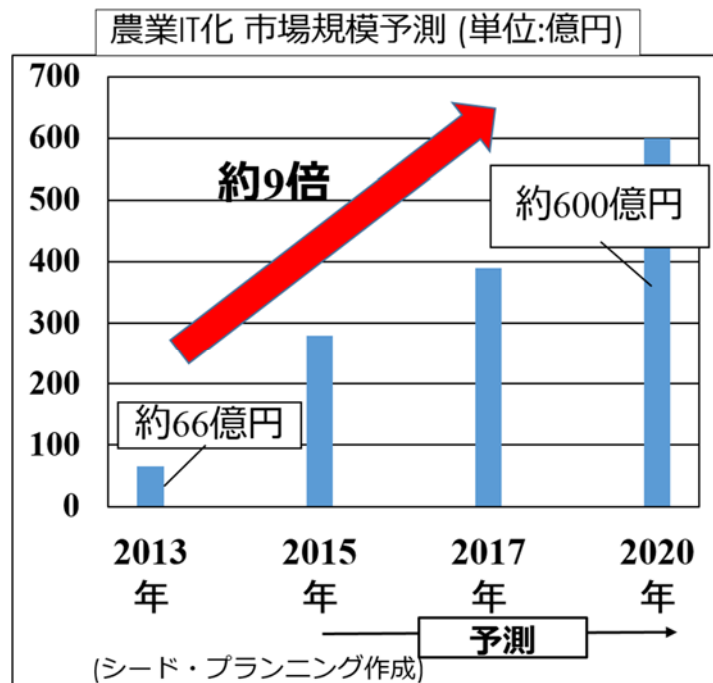


図 1.3 IT 農業 市場規模予測[2]

実際に製品として販売されているものの例としては、深津らが所属している中央農業研究センターのもつ技術ライセンスにより実用製品化させた eLAB experience 社の「フィールドサーバ」がある（図 1.4）。これはフィールド（現場）の環境や動植物のモニタリング、監視を行うセンシング機能と通信技術を一体化したモニタリングデバイスである[6]。



図 1.4 eLAB experience 社 フィールドサーバ[6]

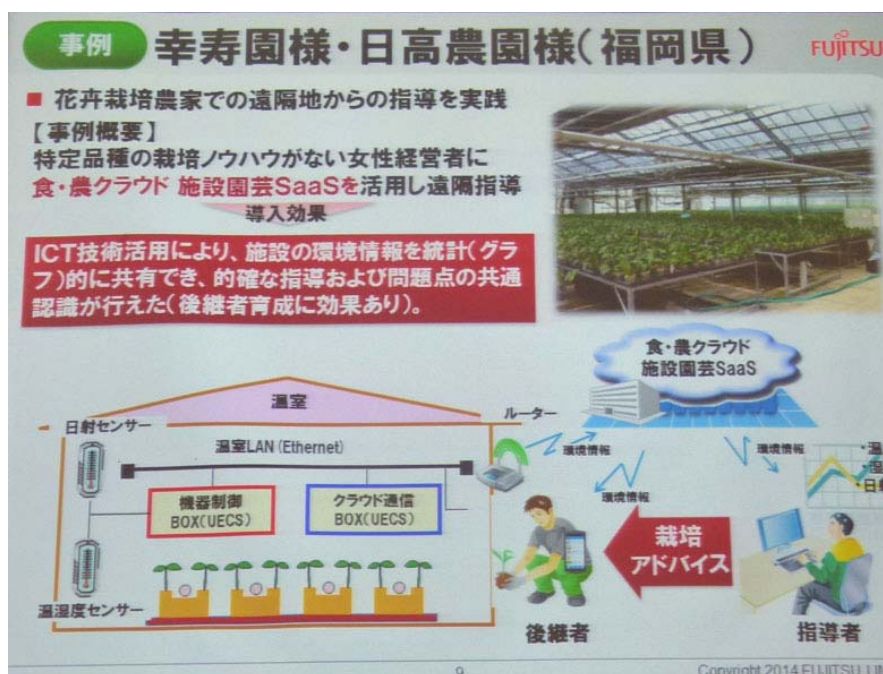
そのほかに住友精密工業株式会社の「eKo」では、一般的な気温や湿度のデータだけではなく、日照時間や降雨、風速風向、さらには土壌の水分量の情報を取得させている（図 1.5）[7]。



図 1.5 住友精密工業株式会社 「eKo」 [7]



また、福岡県の幸寿園では、富士通が開発した「Akisai」を利用している。跡を継いだばかりで、栽培ノウハウがない経営者に対し、温室環境情報を共有する他の農園指導者がクラウドサービスを利用して遠隔指導を行えるという（図 1.7）[9,11]。



7

製品を売るだけでなく、企業自ら農場を運営しているところもある。イオンアグリ創造株式会社は、イオングループ店舗に新鮮な野菜を提供するために 2009 年に設立され、全国 12 か所に直営農場「AEON 農場」（合計約 140 ヘクタール）を経営している。農業クラウドサービス内で全国の農場の生産データ（農法・従業員数・作業データ・天候・病虫害など）と店舗情報（POS データ・消費需要・店舗周辺気候情報など）および会計データの最適化分析を実施し、将来のリスク削除、回避に役立てている [9,12]。

このように、企業と農家の新しい取り組みが進んでいる。

1.3 畜産業における環境問題の現状

本研究では農業の中から範囲を絞り、畜産業に着目する。一般的なセンサネットワークの農業への適用例を調べると、田畑に適用を試みた例が多い、一方で、畜産などの家畜に適用した例が少ないように感じたためである。農林水産省の畜産環境・経営安定対策室の公表したデータをみると畜産経営に起因する苦情発生件数 2156 件のうち約 6 割が悪臭関連、次いで水質汚濁関連である（図 1.8）[13]。

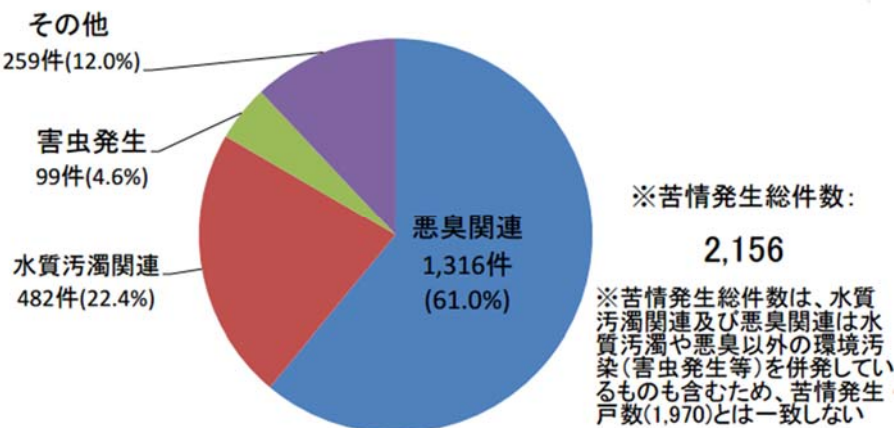


図 1.8 苦情の総件数と内訳（平成 25 年）[13]

また、畜産経営に起因する苦情の内容別発生状況をみると、主要 4 区分（乳用牛、肉用牛、豚、鶏）のすべてにおいて悪臭関連が苦情内容のトップである（図 1.9）[14]。

(単位：戸、(%))

区 分	悪 臭 関 連	水質汚濁関連	害虫発生	そ の 他	計
乳用牛	391 (29.7)	120 (24.9)	18 (18.2)	101 (39.0)	580 (29.4)
肉用牛	223 (16.9)	94 (19.5)	14 (14.1)	63 (24.3)	364 (18.5)
豚	406 (30.9)	204 (42.3)	12 (12.1)	46 (17.8)	587 (29.8)
鶏	242 (18.4)	50 (10.4)	51 (51.5)	24 (9.3)	348 (17.7)
その他	54 (4.1)	14 (2.9)	4 (4.0)	25 (9.7)	91 (4.6)
計	1,316 (100.0)	482 (100.0)	99 (100.0)	259 (100.0)	1,970 (100.0)
構成 (%)	61.0	22.4	4.6	12.0	100.0

資料：生産局畜産部調べ
 注 1：「水質汚濁関連」とは、水質汚濁に限らず、水質汚濁以外の環境汚染（悪臭、害虫発生等）を併発しているものも含む。
 また「悪臭関連」についても同様の趣旨による。従って、要因の合計は総数とは一致しない。
 2：その他は、ふん尿の流出、騒音等である。

図 1.9 畜産経営に起因する苦情の内容別発生状況（平成 25 年）[14]

このように畜産経営をしていくためには、にのいの問題に常に気を配る必要がある。

1.4 目的

1.3 で述べたように、本研究では畜産業へのセンサネットワークの導入を試みる。その際、取得するデータはにおい（アンモニア等）に絞った。理由は、1.3 でも述べたように、畜産場のにおいの不快感は田畑に比べて大きく、近隣住民からの苦情の原因となるからである。田畑でも、においが出る肥料資源を利用しているところもあるが、それらは適切な処理過程を踏んだものであるため、畜産場周辺のにおいに比べ弱い。また、畜産農家ではふん尿の処理が必ず必要になるが、その過程でもにおいの流出が起こる。

もし、これらの悪臭が近隣住民のほうへ流れ、短期間の間に苦情が挙げられれば、保健衛生所等から職員が派遣され、においの測定が行われる。度重なる改善勧告に対し、改善の傾向が見えなければ、罰則が発生する。それでも改善が見られなければ、規模縮小や最悪、業務停止もあり得る。このように、排出される大量のふん尿などによるにおいは畜産農家の抱える悩みであり、ここにセンサネットワーク技術を適用できると考えた。本研究では基礎研究として、においを捉えるセンサとして最適なものを調査することに主眼をおく。

1.5 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。第 2 章「構想」では、協力農家の養豚場やにおいセンサについてふれる。第 3 章「事前実験」では、大学で行った実験についてまとめる。第 4 章「実地実験」では、養豚場で行った実験についてまとめる。第 5 章「補正式の作成と適用」では、センサの個体差を減らすために作成した補正式についてふれる。第 6 章「結言」では、今回の研究で成し得たことをまとめる。

第2章 構想

畜産場でおおいを捉えるセンサとして最適なものを調査するために、まず始めに協力農家の養豚場が抱える悩みについて紹介する。その後、においセンサについて述べ、次章以降の実験用に作製したにおい検出器についてふれる。

2.1 実地実験を行う養豚場

調査対象である群馬県の養豚農家を図 2.1 に示した。敷地面積は約 4500 坪、畜舎 1 棟の長さは約 70m である。敷地周辺には防風林があり、一番近い住宅とは約 150m 離れているものの、近隣住民からにおいに関する苦情が寄せられることがあるため、においの流出状況を把握したいという要望がある（図 2.2）。

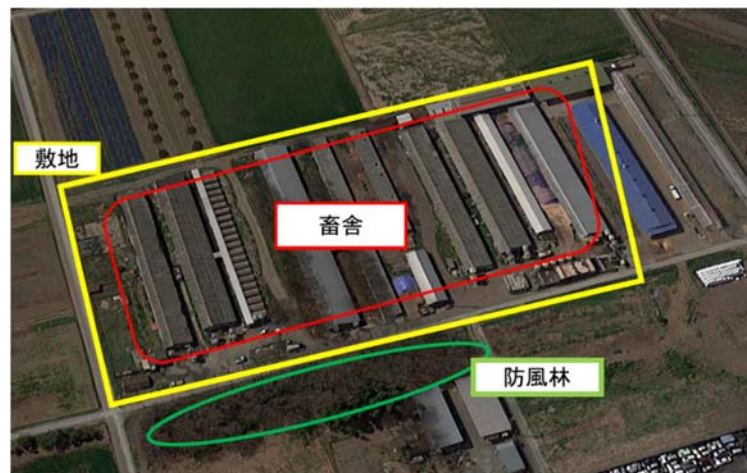


図 2.1 協力養豚農家の養豚場



図 2.2 養豚場周辺

農家の話に基づき、におい流出の原因について述べる。まず、一年を通して畜舎内の温度を下げるために窓の役目を果たすカーテンの開放を行う時があり、その間ににおいの流出が起こる。カーテン開放の頻度は夏に特に高くなる。また敷地内で堆肥を製造する過程でもにおいが発生する。これらの流出したにおいは気温や湿度によっては、風の弱い日でも近隣住宅までにおいが広がることもあるという。

これらのにおいを検出するために、においセンサを用いることとした。

2.2 においセンサ

においセンサは表 2-1 の 3 種類を選択した。悪臭と感じるにおいの代表であるアンモニアに反応し、かつ安価なもので FIGARO 社製の TGS2450 というセンサを始めに選択した。次にその上位機種種の TGS2602 を選択した。最後に HANWEI ELECTRONICS 社製であるメタンガスに反応する MQ-4 というセンサを選択した。メタンガスは、ふん尿が温かい畜舎の中で発酵した際によく発生し、畜舎の火事の原因にもなる。また、センサを多数配置するというセンサネットワークの性質上、価格も考慮する必要があり、その点では TGS2450 が最も安価である。図 2.3、図 2.4 はそれぞれセンサに回路用のピンを取り付けた様子である。

表 2-1 においセンサー一覧

メーカー	FIGARO	FIGARO	HANWEI ELECTRONICS
型番	TGS2450 [15] (図 2.3 左)	TGS2602 [16] (図 2.3 右)	MQ-4 [17] (図 2.4)
主な検知ガス	アンモニア 硫化水素 エタノール メチルメルカプタン	アンモニア 硫化水素 エタノール 水素 トルエン	メタン 水素 アルコール 一酸化炭素 LPG 煙
ヒーター消費電力	7[mW]	280[mW]	750[mW]未満
価格	300 円	3400 円	4.95 ドル (購入時約 700 円)

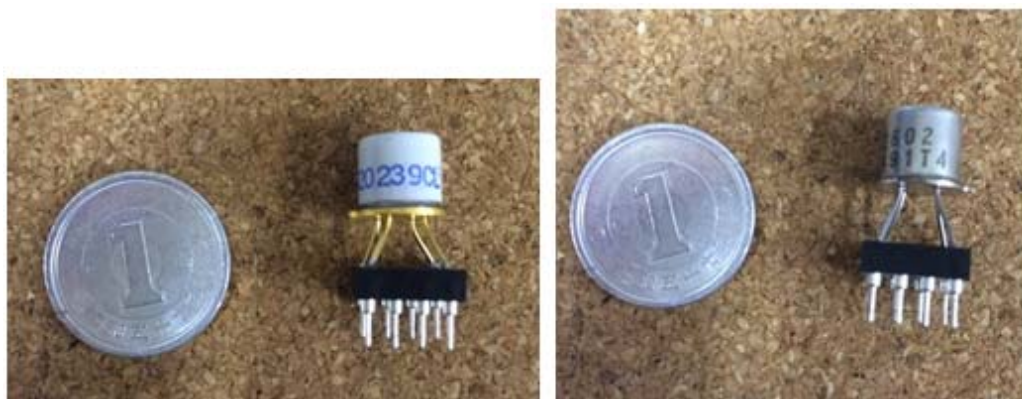


図 2.3 左 : TGS2450、右 : TGS2602



图 2.4 MQ-4

2.3 におい検出器

2.3.1 外観

図 2.5 のように 3 種のセンサを搭載したにおい検出器を作製した。一番下の段に Arduino Uno があり、においセンサからデータを取得し、その結果を SD カードに保存するために利用した。SD カードはその上の段のマイクロ SD シールドにセットされる。下から 3 段目にはセンサに必要な抵抗やトランジスタおよび書き込み開始・停止を行うためのタクトスイッチ等を載せた周辺回路がある。そして最上段には前節で述べた 3 種のセンサが配置されている。このにおい検出器を分解した様子が図 2.6 である。

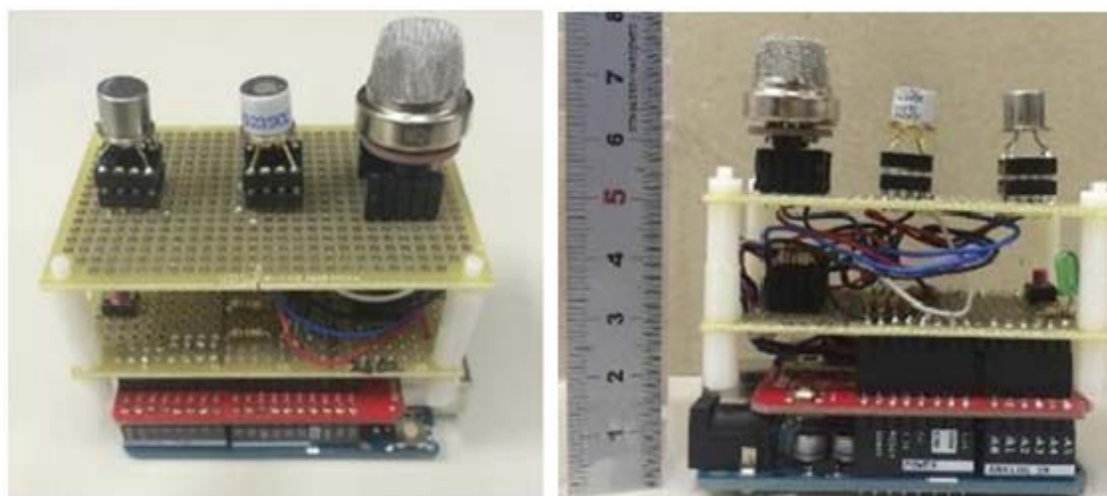


図 2.5 作製したにおい検出器

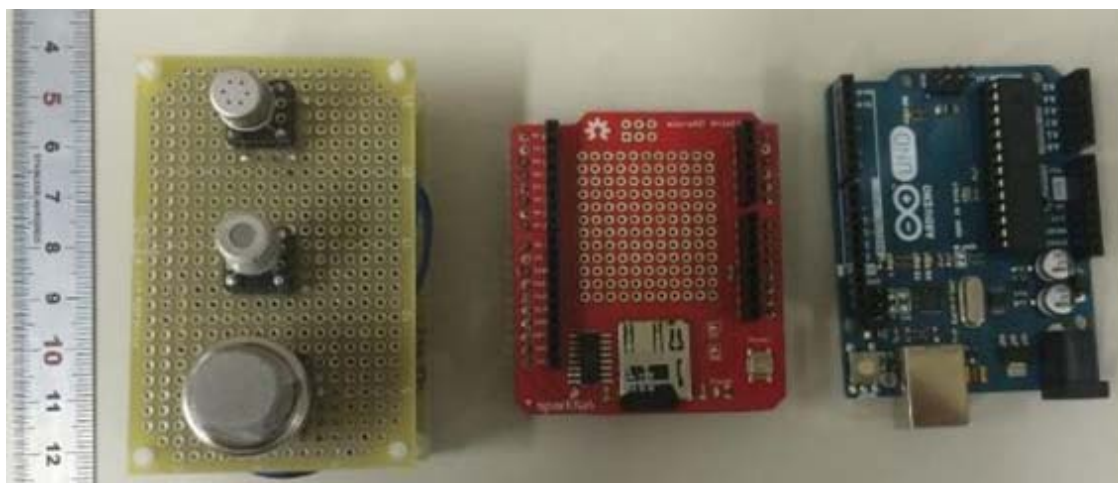


図 2.6 主要部品

2.3.2 Arduino Uno (R3)

Arduino Uno は AVR マイコン、C 言語風の Arduino 言語による総合開発環境、入出力(I/O)ポートを備えた基板であり、初心者であっても簡単に扱えるマイコンボードである。また、Arduino 用に開発されたシールドと呼ばれる GPS 等の機能を追加できる基板が数多く発売されているため、追加機能の組み込みが非常に容易である。本研究では前節で述べたようにマイクロ SD シールドを用いてマイクロ SD カードを利用する。

表 2-2 主な仕様

マイコン	ATmega328
動作電圧	5V
入力電源電圧(推奨範囲)	7~12V
入力電源電圧(最大範囲)	6~20V
デジタルI/Oピン	14本(うち6本はPWMとして使用可能)
アナログ入力ピン	6本
I/Oピンの最大DC電流	40mA
3.3Vピンの最大DC電流	50mA
フラッシュメモリー	32KB(ATmega328)、その内0.5 KBがbootloaderに使われる。
SRAM	2KB(ATmega328)
EEPROM	1KB(ATmega328)
クロック周波数	16MHz

2.3.3 回路の作製

前節 2.2 のにおいセンサと前項の Arduino Uno 等を用いて作製した検出器の回路を図 2.7 ～図 2.9 に示す。マイクロ SD シールドは Arduino Uno に取り付けられているため、回路図上では括弧で表記した。センサごとに回路図を示しているが、Arduino の 5V ピンと GND はすべて共通である。

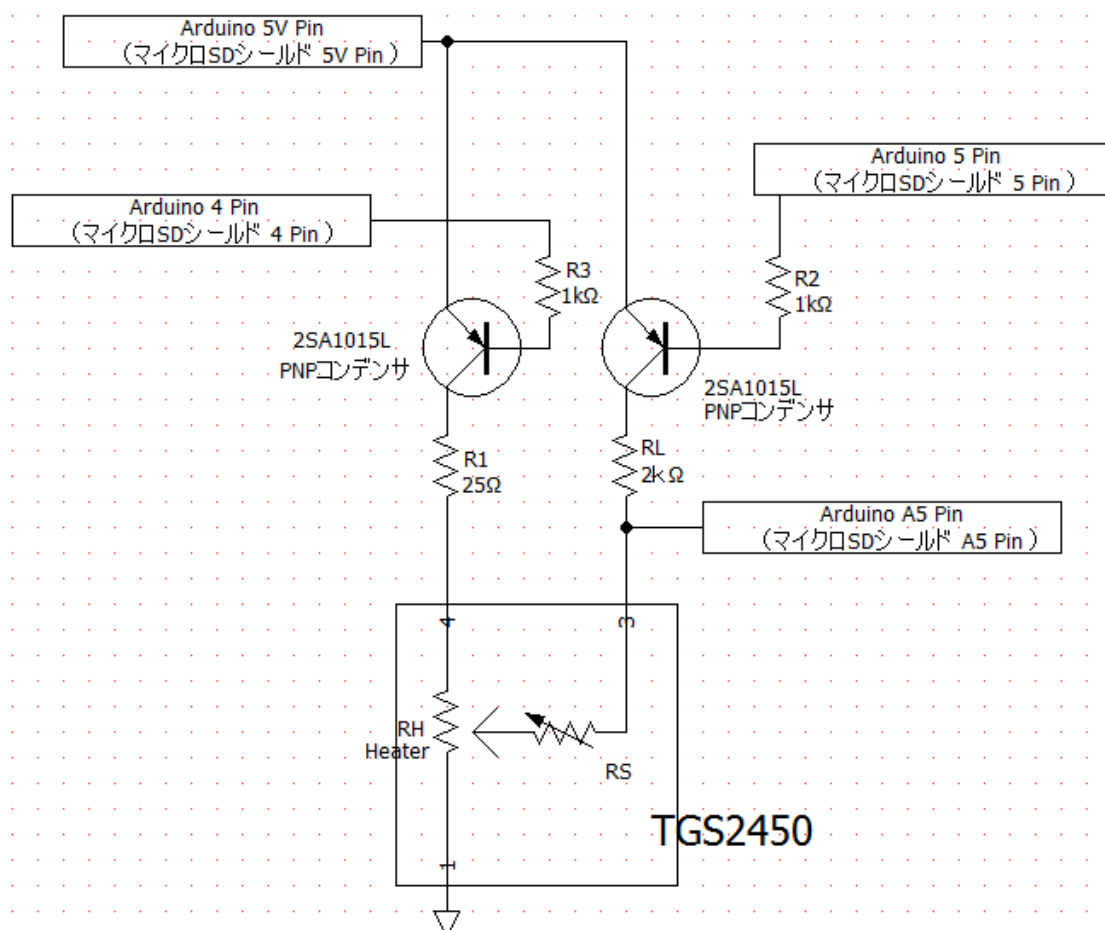


図 2.7 TGS2450 回路図

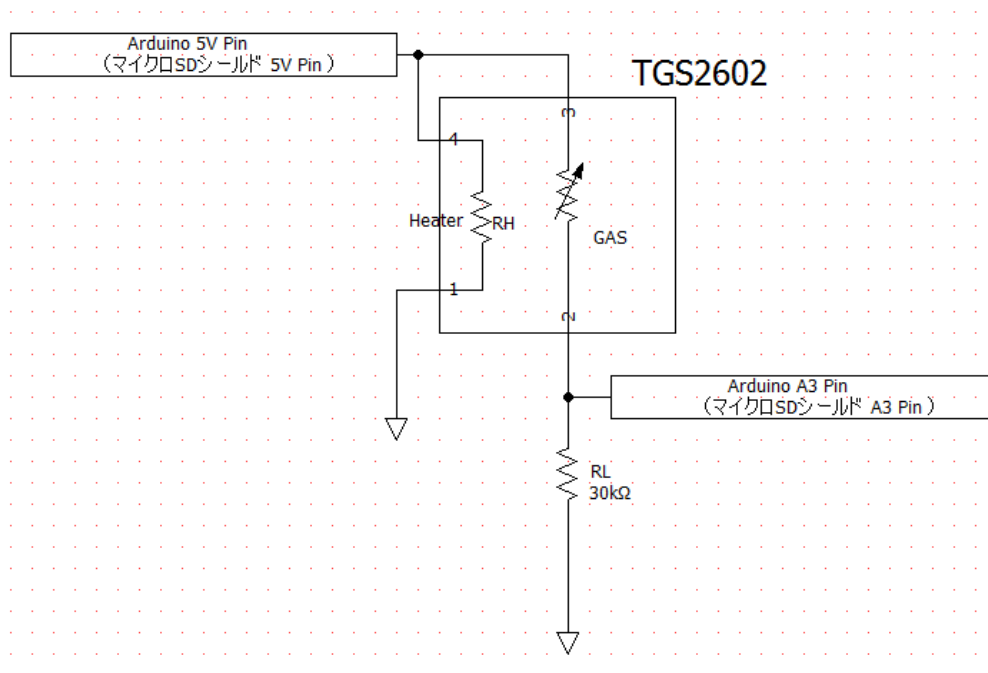


図 2.8 TGS2602 の回路図

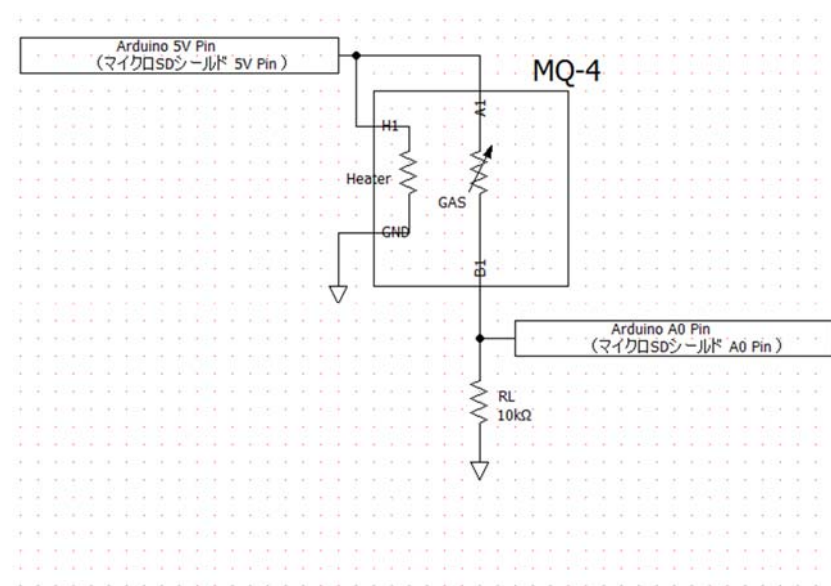


図 2.9 MQ-4 回路図

2.3.4 Arduino による動作プログラム

ここから 3 つのにおいセンサから値を取得し、SD カードに保存するプログラムの解説を行う。始めにプログラム上で前項の図 2.7～図 2.9 上の各センサに必要なピン番号を以下のように定義した。

```
#define TGS2450HeaterOutPin 4
#define TGS2450SensorOutPin 5
#define TGS2450ReadPin      A5
#define TGS2602ReadPin      A3
#define MQ4ReadPin          A0
```

図 2.10 プログラム上でのピンの定義

プログラム内では、図 2.11 のような各センサのデータを読み込む命令が loop 関数内に記述されており、約 250[ms]ごとに実行される。

```
MQ4AnalogValue = analogRead(MQ4ReadPin); //アナログ値を読み込み
TGS2602AnalogValue = analogRead(TGS2602ReadPin); //アナログ値を読み込み
TGS2450Action();
```

図 2.11 センサのアナログ値を読み込む命令 1

MQ-4 と TGS2602 は、Arduino の AD 変換命令により値を取得できるが、TGS2450 は値の取得方法が複雑なため、TGS2450Action()という関数を作成して呼び出すようにしている。TGS2450Action()の内部は図 2.12 のようになっている。この関数の実行自体には、約 250[ms]の時間がかかるが、そのうち 8[ms]だけヒーターに電圧を印加して加熱している。また、センサの値の読み取りは、センサ内抵抗に電圧を印加している間に取得する。

```

void TGS2450Action()
{
    // <- 0ms
    digitalWrite(TGS2450HeaterOutPin, ON_HEATER);
    delay(8); // <- 8ms
    digitalWrite(TGS2450HeaterOutPin, OFF_HEATER);
    delay(231); // <- 239ms
    digitalWrite(TGS2450SensorOutPin, ON_VOUT);
    delay(10); // <- 249ms
    TGS2450AnalogValue = analogRead(TGS2450ReadPin); //アナログ値を読み込み
    digitalWrite(TGS2450SensorOutPin, OFF_VOUT);
    delay(1); // <-合計 250ms
}

```

図 2.12 センサのアナログ値を読み込む命令 2

次にデータの書きこみ開始・停止のプログラムについて説明する。2.3.1 で述べた書き込み開始・停止の切り替えはタクトスイッチが押されることで行われる。そのために用いられる変数の宣言と初期値は図 2.13 に示されている。ledState は保存の ON/OFF の状態を知するために取りつけた LED の点灯状態を示す変数である。

```

int oldSwitchState = HIGH;
int switchState = HIGH;
int ledState = LOW; //LED ランプは消灯中

```

図 2.13 初期設定 1（一部抜粋）

また用いるピンの初期設定が図 2.14 である。

```

void tactileSwitchLedSetUp()
{
    pinMode(LedOutputPin,OUTPUT);
    pinMode(switchReadPin,INPUT_PULLUP);
    //switchReadPin は平常状態で HIGH（5[V]）となる
}

```

図 2.14 初期設定 2

タクトスイッチの状態は、図 2.15 のように loop 関数内で約 250[ms]ごとに取得される。switchState は通常 HIGH で、押された状態が LOW である。なお switchState の 1 つ前の状態が oldSwitchState という変数に格納されている。

```
switchState = digitalRead(switchReadPin);
```

図 2.15 書き込み開始と停止の切り替えプログラム 1 (一部抜粋)

タクトスイッチが押されると、すなわち、switchState が HIGH から LOW に切り換わると、図 2.16 のように ledState の状態を ON/OFF で切り換え、それに対応して実際に LED を点灯/消灯させる。

LED の点灯直後、および消灯直後の動作を次に解説する。

```
if(switchState == LOW && oldSwitchState == HIGH)
{
    ledState = !ledState;//逆転
    if(ledState == ON)
    {
        digitalWrite(LedOutputPin, ON);

        LED が点灯した直後の動作

    }
    else
    {
        digitalWrite(LedOutputPin, OFF);

        LED が消灯した直後の動作

    }
}
```

図 2.16 書き込み開始と停止の切り替えプログラム 2 (一部抜粋)

図 2.16 の「LED が点灯した直後の動作」では、図 2.17 のように SD カードに DataLog.txt というファイルを作成し、そのファイル内に、各センサの値名を書き込んでいる。もし、同名のファイルがある場合は、ファイルの末尾から書き込み処理が行われる。

```

DataFile = SD.open("DataLog.txt",FILE_WRITE);
DataFile.print(KataBan);
DataFile.print(":Number");
DataFile.print(",");
MQ4DataAnalogValue = "MQ-4 Analog Value, ";
DataFile.print(MQ4DataAnalogValue);//書き込み動作
TGS2450DataAnalogValue = "TGS2450 Analog Value, ";
DataFile.print(TGS2450DataAnalogValue);//書き込み動作
TGS2602DataAnalogValue = "TGS2602 Analog Value, ";
DataFile.print(TGS2602DataAnalogValue);//書き込み動作

```

図 2.17 LED が点灯した直後の動作（一部抜粋）

一方で、図 2.16 の「LED が消灯した直後の動作」では、図 2.18 のようにファイルへの書き込みを止め、保存を行う。

```

DataFile.close();//ファイルへの書き込みを止め、保存を行う

```

図 2.18 LED が消灯した直後の動作

また、loop 関数内で ledState が ON の時は図 2.18 のようにデータの書き込みが 1 秒間に 1 回行われ、図 2.17 で開いたファイルにデータが蓄積されていく。

```

if(ledState == ON)
{
    if(count%4 == 0){        //250[ms]で count が 1 増加する
        DataFile.print(Number);
        DataFile.print(String (","));
        MQ4DataAnalogValue = String(MQ4AnalogValue);
        MQ4DataAnalogValue += ",";
        TGS2450DataAnalogValue = String(TGS2450AnalogValue);
        TGS2450DataAnalogValue += ",";
        TGS2602DataAnalogValue = String(TGS2602AnalogValue);
        DataFile.print(MQ4DataAnalogValue);
        DataFile.print(TGS2450DataAnalogValue);
        DataFile.print(TGS2602DataAnalogValue);
        Number += 1;
    }else{
    }
}

```

図 2.19 LED が点灯中の動作（一部抜粋）

なお、SD カードライブラリの仕様により DataFile への実際のデータの書き込みは、ある程度のデータが貯まってからしか行われない。そのままでは回路が途中で停止した際にデータがほとんど消失してしまうので、図 2.20 のように約 60 秒に一回、明示的に SD カードにデータを書き込むこととした。

```

if(count%(4*60) == 0)//count は 250[ms]で 1 増加する。
{
    DataFile.flush();//保存を行う
}

```

図 2.20 保存保障動作

第3章 事前実験

本章では前章で作製したにおい検出器を用いて大学で行った事前実験の結果を解説する。この事前実験は、表 3-1 にまとめた目的のために行う。本章で解説する実験 A と実験 B ではにおい（アンモニア）への反応とにおいの距離依存性を調べる実験を行い、各センサの特性を比較する。表で示した実地実験については、第 4 章で解説する。

表 3-1 実験一覧

実験	目的	事前実験 (本章)	実地実験 (4 章)
実験 A	センサの反応の特性の調査	○	○
実験 B	距離依存性の調査	○	○
実験 C	敷地境界における センサの反応の特性の調査	×	○
実験 D	強いにおいへのセンサの 反応の最大値の調査	×	○

3.1 実験 A

3.1.1 目的

におい（アンモニア）への反応を調べ、各センサの特性を調査し、実験の結果と比較する。

3.1.2 実験方法

図 3.1 のように検出器に向かってアンモニアの液体から発せられるにおいを扇風機で送り、センサの反応を見る。検出器はアンモニアと扇風機の延長上に 1 台のみ設置した。

始めに検出器を起動させ 10 分間放置する。次に扇風機のスイッチを ON にし、1 分間風を送る。その次に、扇風機のスイッチを OFF にし、2 分間放置する。ON/OFF を 1 セットとして、合計 5 セット行った。

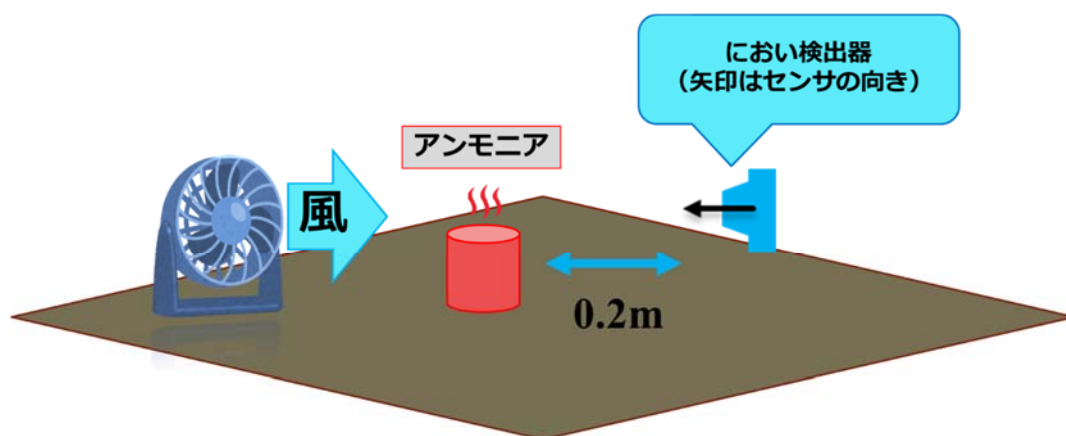


図 3.1 事前実験 A 模式図

3.1.3 結果と考察

Arduino で 1 秒間に 1 回センサ電圧を 0~1023 の整数値で取得し、マイクロ SD に保存させた。その後、取得した整数値をエクセル上で電圧値に変換した。変換は以下のように行った。

変換電圧値[V]

$$= \text{取得値} \div 1023 (\text{変換段階数}) \times \text{基準電圧 } 5[\text{V}]$$

i) TGS2450

図 3.2 はアンモニアに TGS2450 の結果である。グラフの縦軸に示された電圧はにおいの強さに相当し、においが強いほど大きくなる。電圧は 0~5[V]の範囲である。今回の回路では、TGS2450 はにおいに反応すると値が小さくなるが、3.1.3 の計算式の取得値から 1023 を引き、絶対値をとった。以後、すべての結果に適用される。グラフの横軸は時間で単位は分である。扇風機の電源を ON にしている時間帯を赤矢印、扇風機を OFF にしている時間帯を灰色の矢印で表した。

11.5 分に扇風機を ON にした時刻より、センサが反応し、約 0.6[V]程度電圧が上昇してることがわかる。12.5 分に扇風機を OFF にしたが、先ほどの電圧の上昇の速さと比べ、電圧の減少が遅いことが分かる。そのため、以後の扇風機の ON/OFF によるにおいの変化に追従できていない。

まとめると、TGS2450 はアンモニアに反応するが、においへの応答速度が遅いと言える。

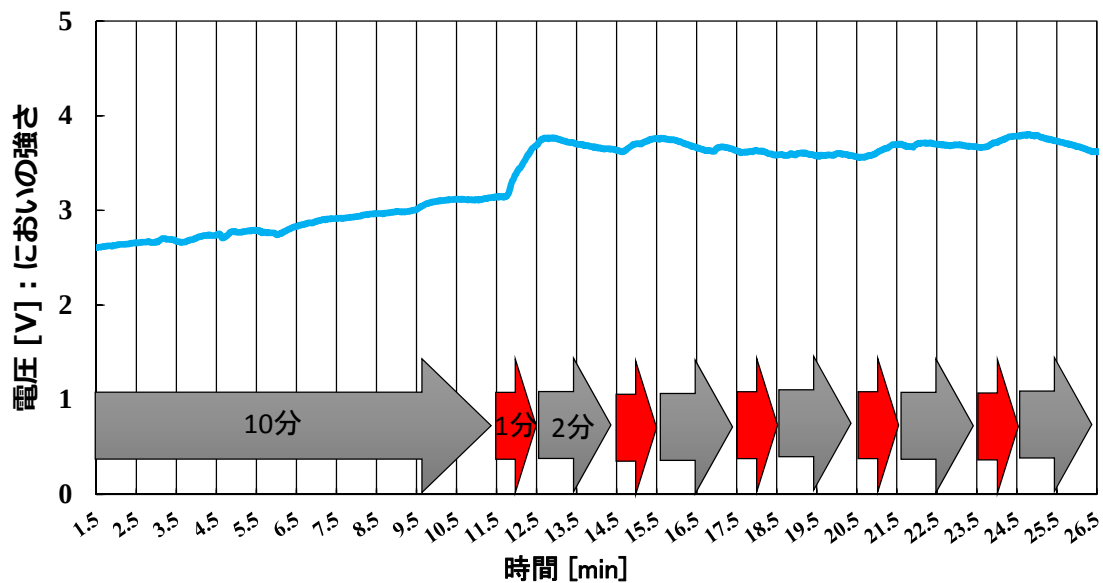


図 3.2 においへの応答 結果：TGS2450

ii) TGS2602

図 3.3 は TGS2602 の結果である。矢印の意味は先ほどの TGS2450 と同様である。先ほどの TGS2450 と比べ、ON/OFF を切り換えたタイミングと波形の形が一定の相関を持ちながら変化していることが分かる。それぞれの赤矢印のタイミングを見ると、3.2[V]付近まではっきりと上昇していることが分かる。同様に、それぞれの灰色の矢印のタイミングの時をみても、2.4[V]付近まではっきりと減少していることが分かる。

まとめると、TGS2602 はアンモニアに良好に反応し、かつ、においへの応答速度も速いと言える。また、振幅に関しても、ON/OFF 時の波形の変化が大きく、においの変化を良く捉えていることが分かる。

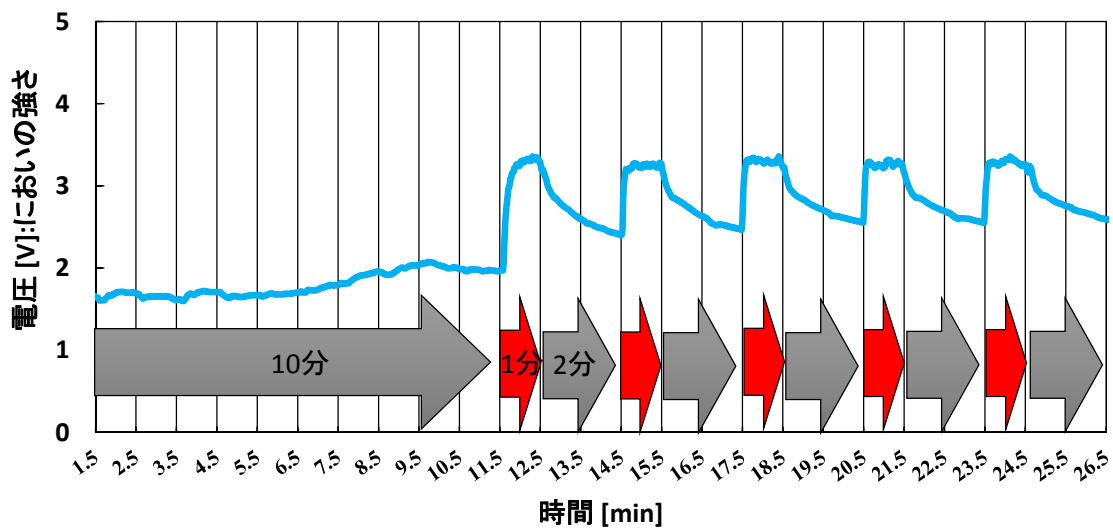


図 3.3 においへの応答 結果：TGS2602

iii) MQ-4

図 3.4 は MQ-4 の結果である。矢印の意味は先ほどと同様である。先ほどの TGS2602 と同様に、ON/OFF を切り換えたタイミングと波形の形が一定の相関を持ちながら反応を示しているが、それぞれの赤矢印のタイミングの電圧上昇が小さいことが分かる。さらに、図 3.4 のグラフの縦軸は、先ほどの 2 つのセンサのグラフとは範囲が異なり、0~1.5[V]であることを加味すると、反応時の上昇は非常に小さいといえ、上昇も 0.05[V]程度である。しかしながら、ON/OFF 時には、素早く反応していることが分かる。

まとめると、MQ-4 はアンモニアへの応答速度は速いが、反応は非常に小さいと言える。また、振幅に関しては、ON/OFF 時にごとにほぼ一定な振幅を示せているが、反応自体は非常に小さく、0.05[V]程度しかないことが分かった。

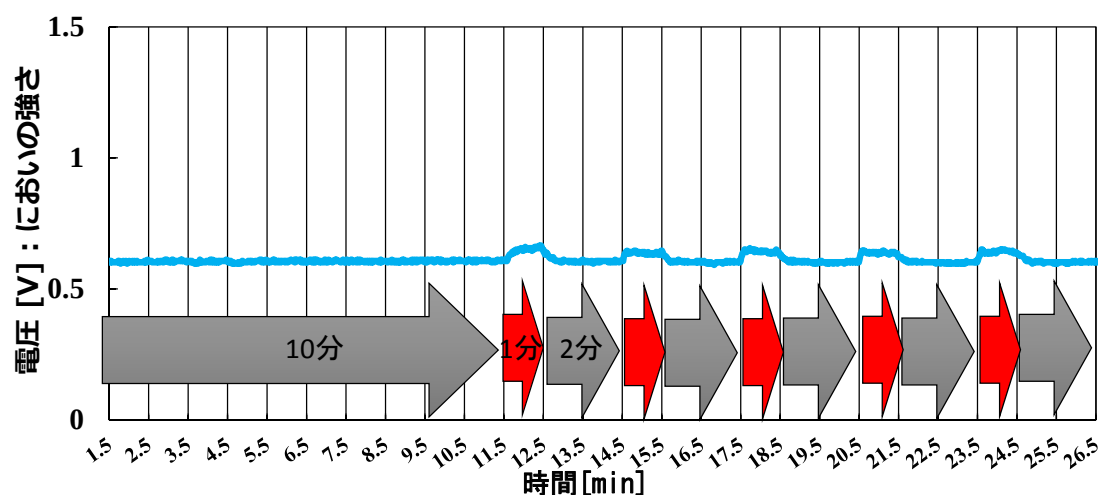


図 3.4 においへの応答 結果：MQ-4

3.1.4 実験 A まとめ

実験 A の事前実験は、におい（アンモニア）への反応を調べ、各センサのもつ特性を調査するものであるであった。TGS2450 はセンサのもつにおいへの応答速度が遅いことが分かった。TGS2602 と MQ-4 はにおいへの応答速度が速いが、MQ-4 のにおいへの反応は非常に弱いことが分かった。

3.2 実験 B

3.2.1 目的

各センサでにおいの距離依存性を捉える。

3.2.2 実験方法

図 3.5 のように検出器に向かってアンモニアの液体から発せられるにおいを扇風機で送り、センサの反応を見る。検出器はアンモニアと扇風機の延長上に 10 台設置した。なお、TGS2602 は予算の都合により、10 台すべてにではなく、最も近い距離のものから 3 台目までのみに搭載されている。

始めに検出器を起動させ 10 分間放置する。次に扇風機のスイッチを ON にし、1 分間風を送る。その次に、扇風機のスイッチを OFF にし、2 分間放置する。ON/OFF を 1 セットとして、合計 5 セット行った。

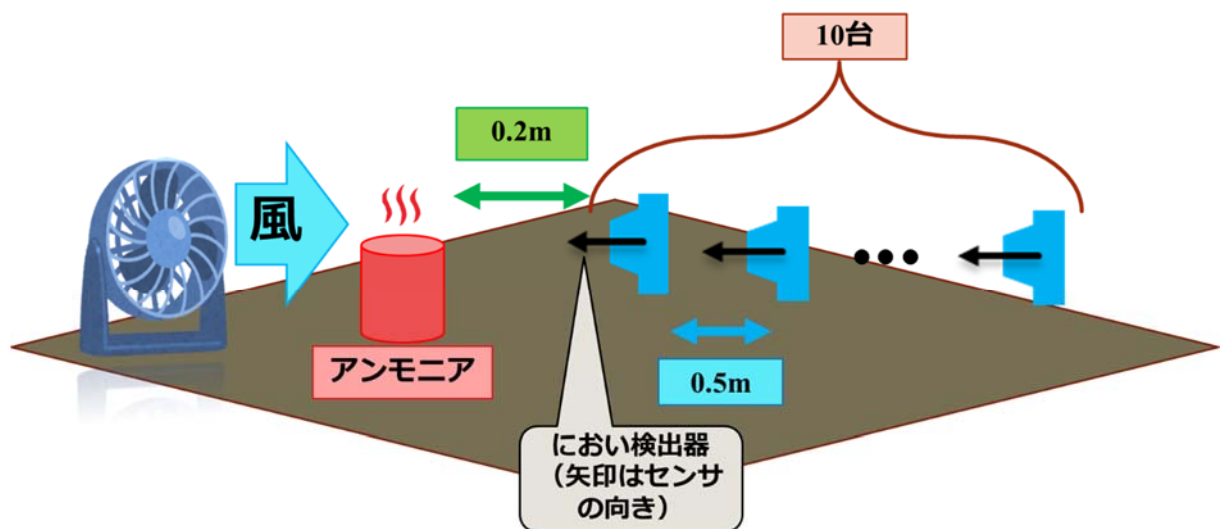


図 3.5 事前実験 B 模式図

3.2.3 結果と考察

i)TGS2450

図 3.6 は TGS2450 の結果である。縦軸は先ほどと同様、においの強さを表す。横軸にはアンモニアに近い検出器を左から順に並べている。奥行き方向は時間で単位は分である。距離依存性を確認しやすいように前半の 10 分間をカットし、扇風機を ON/OFF させる後半 15 分間のみを等高線図で示した。等高線図の色は 0.5[V]毎に変化し、0[V]付近は青く、5[V]に近くなるにつれてオレンジ色になる。

まず、縦軸のにおいの強さと奥行き方向の時間の関係に着目する。実験 A より TGS2450 は最も近い 0.2[m]の位置のセンサであっても、ON/OFF の反応をはっきりと検出できていないが、1.2m と 1.7m の位置に設置した No.3、No.4 の反応を時間軸に平行に見ていくと、ON/OFF 時のタイミングでグラフが波打っていることが分かる。これは、全データを表示した図 3.7 からも分かる。

次に、縦軸のにおいの強さと横軸の距離の関係に着目すると、一見、においに反応しているように見えるが、これはセンサの個体差によるものであることが分かった。図 3.7 をみると、始めの 10 分間の時点で、アンモニアからの距離と無相関に電圧が 2[V]程度の範囲でばらついていることが分かる。

また、図 3.6 の等高線図では確認し難かった緑色の No.3 や黄色の No.4 の ON/OFF への追従も図 3.7 では良く応答していることが分かる。このことから、においへの応答速度にも個体差があると予想される。

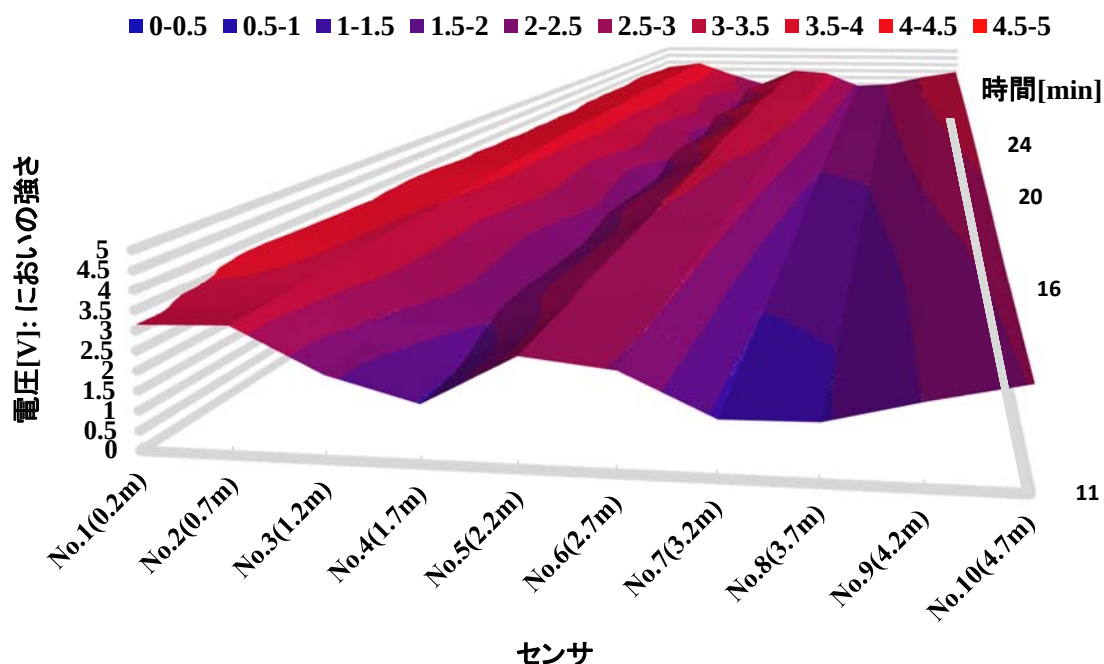


図 3.6 距離依存性 結果 : TGS2450 (等高線図)

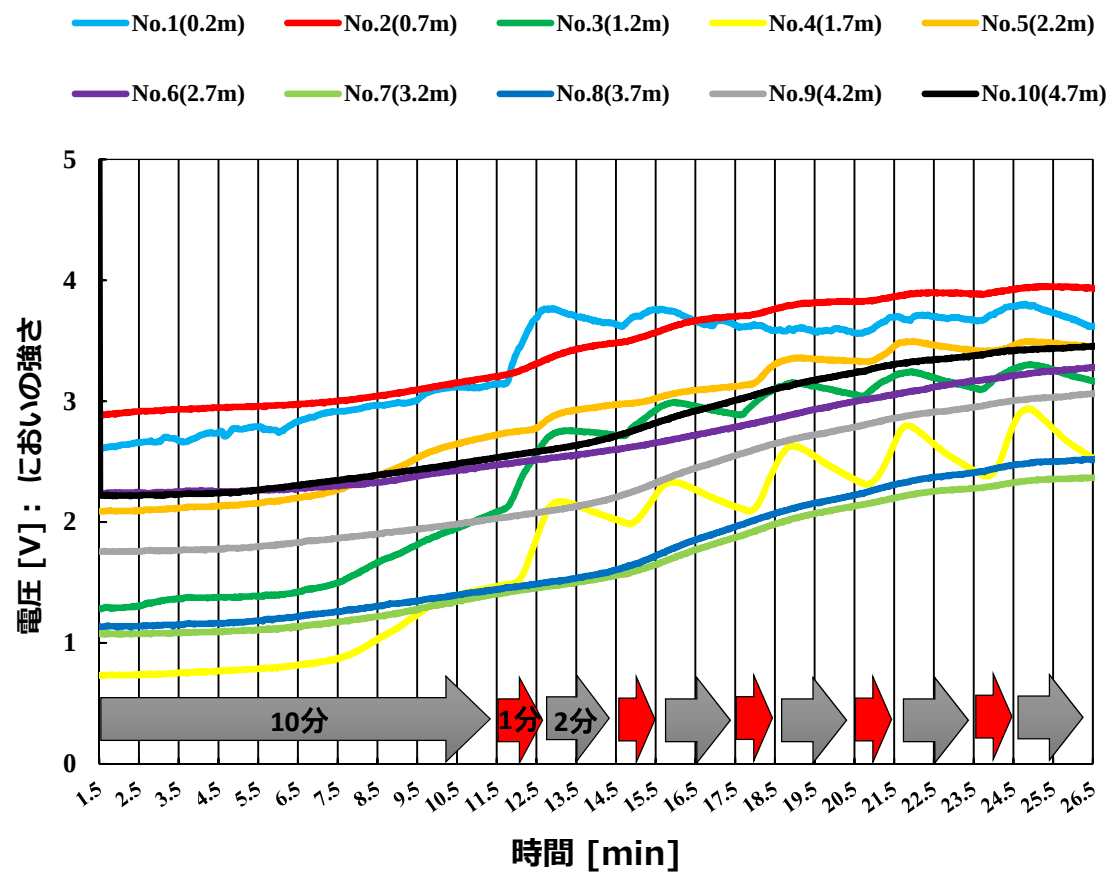


図 3.7 距離依存性 結果 : TGS2450

ii) TGS2602

図 3.8 は TGS2602 の結果である。縦軸のにおいの強さと奥行き方向の時間の関係に着目すると、先ほどの TGS2450 の結果と比べ、ON/OFF 時のそれぞれの応答がはっきりと見られることが分かる。また、アンモニアから離れたセンサの結果を見たときも、最も近いセンサと同様に、ON/OFF 時の応答が良く見られる。これを図 3.9 でより詳しく見ると、アンモニアからの距離が離れるほど応答が小さくなっていることが分かる。

また、先ほどの TGS2450 の各センサの個体差は最大約 2[V]であるのに対し、図 3.9 をみると TGS2602 は、最大約 0.3[V]と低いことも分かる。

■ 0-0.5 ■ 0.5-1 ■ 1-1.5 ■ 1.5-2 ■ 2-2.5 ■ 2.5-3 ■ 3-3.5 ■ 3.5-4 ■ 4-4.5 ■ 4.5-5

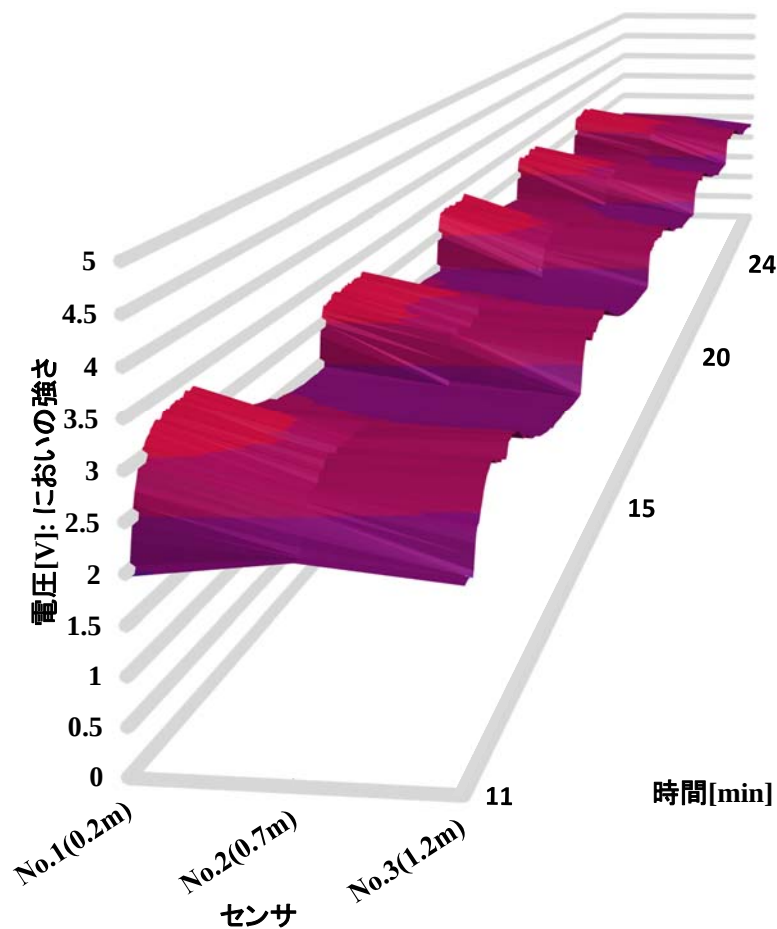


図 3.8 距離依存性 結果 TGS2602 (等高線図)

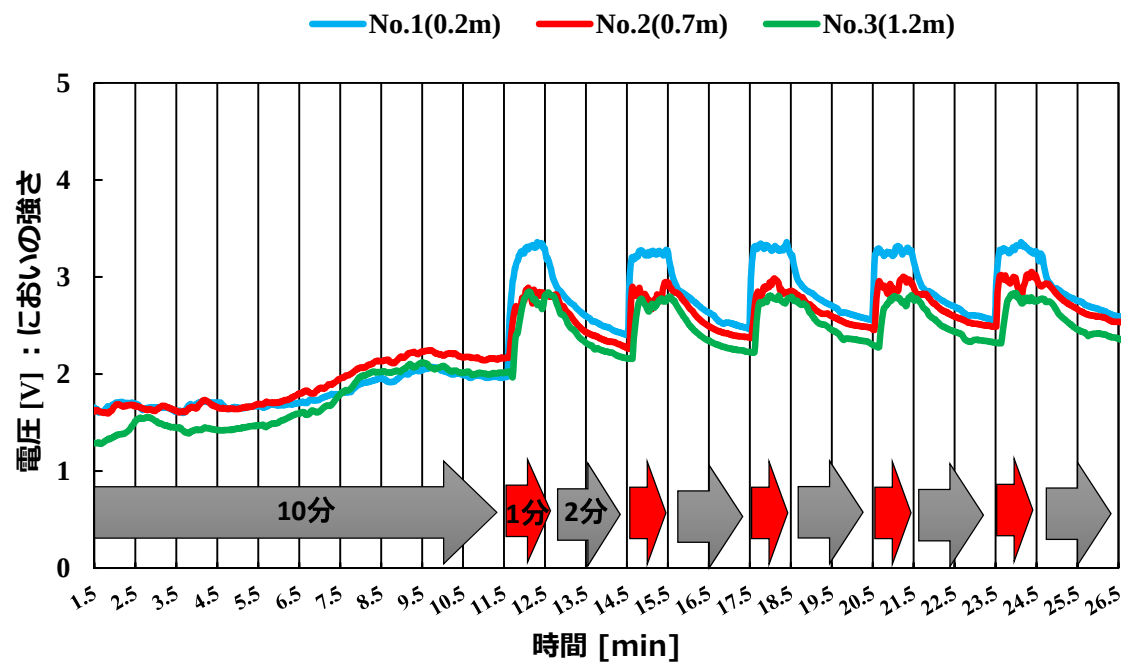


図 3.9 距離依存性 結果 : TGS2602

iii) MQ-4

図 3.10 は MQ-4 の結果である。まず、縦軸のにおいの強さと奥行き方向の時間の関係に着目する。実験 A の結果から、MQ-4 はアンモニアに対しての反応が非常に小さいことが分かっている。そのため、各距離に設置された反応の波形を見たとき、反応がほぼつぶれてしまっていることが分かる。これは全データを表示した図 3.11 から分かる。

次に、縦軸のにおいの強さと横軸の距離に着目する。一見、距離依存性があるように見えるが、これはセンサの個体差であろうと判断した。個体差は図 3.11 を見ると、約 0.5[V] の範囲で分布し、においに対する応答に対して大きいと言える。

まとめると、MQ-4 は反応の上昇量が小さいがために今回の実験では距離依存性を見出すことは出来なかった。

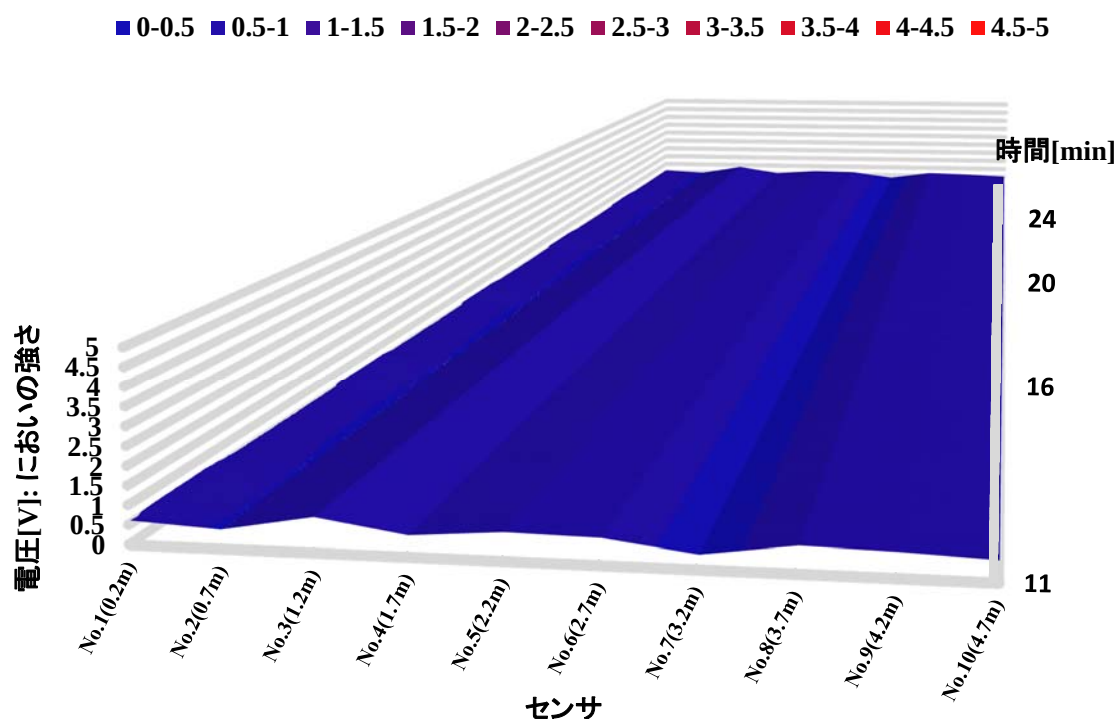


図 3.10 距離依存性 結果 : MQ-4 (等高線図)

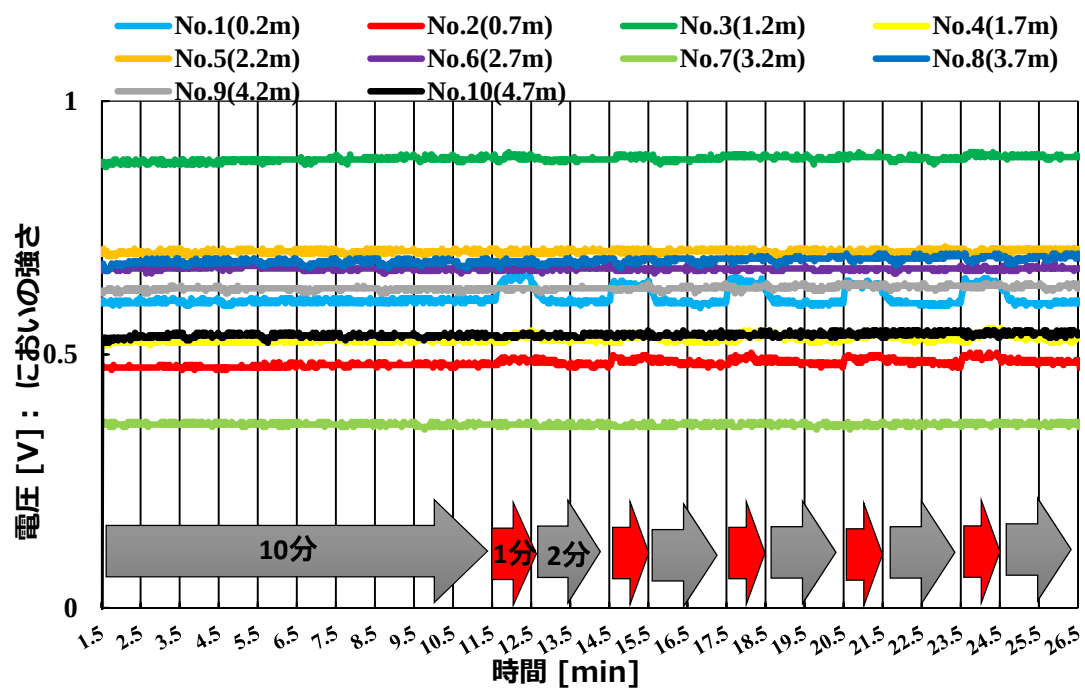


図 3.11 距離依存性 結果 : MQ-4

3.2.4 実験 B まとめ

実験 B の事前実験では、各センサでにおいの距離依存性を捉えることを目的とした。TGS2602 は、においの距離依存性を捉えることができたが、ほか 2 つのセンサは見出すことは出来なかった。この理由は、TGS2450、MQ-4 とともに個体差が大きいことが原因であると判断した。また、TGS2450 は応答速度にも個体差がある可能性がある。

3.3 事前実験まとめ

表 3-2 は事前実験の結果をまとめたものである。実験 A にはセンサの応答速度に関する結果をまとめた。応答速度は TGS2602 と MQ-4 にはおおいへのセンサの応答速度が速いのに対し、TGS2450 はほかに比べ遅いことが分かった。実験 B からはおおいの距離依存性を調べる実験の結果を記載した。距離依存性を見出せたのは TGS2602 のみであった。TGS2450 は個体差が大きすぎる点、MQ-4 は反応が非常に小さい点のために、距離依存性を見出すことは出来なかった。

このデータを元に次章で実地実験を行う。

表 3-2 事前実験まとめ

実験	センサ	事前実験		
		応答速度	距離依存性	個体差
実験 A	TGS2450	遅い		
	TGS2602	速い		
	MQ-4	速い		
実験 B	TGS2450	遅い	×	大
	TGS2602	速い	○	小
	MQ-4	速い	×	大

第4章 実地実験

本章では 3 章の大学で行った事前実験の結果をもとに、協力農家の養豚場で実地実験を行う。この実地実験は、表 4-1 は 3 章の表 3-1 の再掲である。本章で解説する実地実験は A、B、C、D の 4 つである。

表 4-1 実験一覧

実験	目的	事前実験(3章)	実地実験(本章)
実験 A	センサの反応の特性の調査	○	○
実験 B	距離依存性の調査	○	○
実験 C	敷地境界における センサの反応の特性の調査	×	○
実験 D	強いにおいへのセンサの 反応の最大値の調査	×	○

4.1 実験 A

4.1.1 目的

実験 A の実地実験では、意図的な換気扇の ON/OFF 操作によるにおいの変化をセンサによって捉え、実地におけるセンサの反応の特性を調査する。

4.1.2 実験場所

本実験で使用した場所は、図 4.1 にある畜舎の 1 つを利用した。畜舎は円柱を横に倒したような構造になっており、部屋の床には格子状の板が設置されている。畜舎内部には図 4.2 のように仔豚が 15 頭前後いる。



図 4.1 実験 A：畜舎外観



図 4.2 実験 A：畜舎内部

4.1.3 実験方法

図 4.3 は畜舎の断面を示している。畜舎の正面側には換気扇と開閉可能な窓がある。この換気扇は内から外へ空気を排出する方向に動作する。また、背面にも開閉可能な窓がある。これらの寸法を図 4.4 に示した。

窓
(開閉可)

換気扇口

格子状の網の床

窓
(開閉可)

Diagram illustrating the dimensions and components of the measurement setup:

- Overall width: 5000
- Overall height: 2500
- Window width: 700
- Wall thickness: 50
- Distance from window to detector: 900
- Detector height: 1600
- Components: 屋根 (Roof), 検出器 (Detector), 足場 (Scaffold), 地面 (Ground)
- Unit: 単位はすべてミリメートル[mm]

窓
(常に開放状態)

換気扇
(ON3分間/OFF3分間)

空気
(流入)

断面図

ふん、尿

屋根

空気
(排出)

検出器

塀

足場

地面

①

畜舎の換気扇正面に検出器を設置

43

4.1.4 実験結果と考察

i) TGS2450

図 4.6 は TGS2450 の結果である。3 章の実験結果と同様、グラフの縦軸に示された電圧はにおいの強さに相当し、においが強くなるほど大きくなる。電圧は 0~5[V] の範囲である。グラフの横軸は時間で単位は分である。換気扇の電源を ON にしている時間帯を赤矢印、換気扇を OFF にしている時間帯を灰色の矢印で表した。

グラフを見ると換気扇を ON にした時刻よりセンサが反応し、0.3[V] 程度電圧が上昇しているが、センサの応答速度が遅いため、すべての時間帯を通して ON/OFF によるにおいの変化に追従できていないことが分かる。これは、3.1.3 の事前実験の結果と一致する。

まとめると、TGS2450 は実地においても、事前実験同様、においに反応はするが、においの応答速度が遅いと言える。

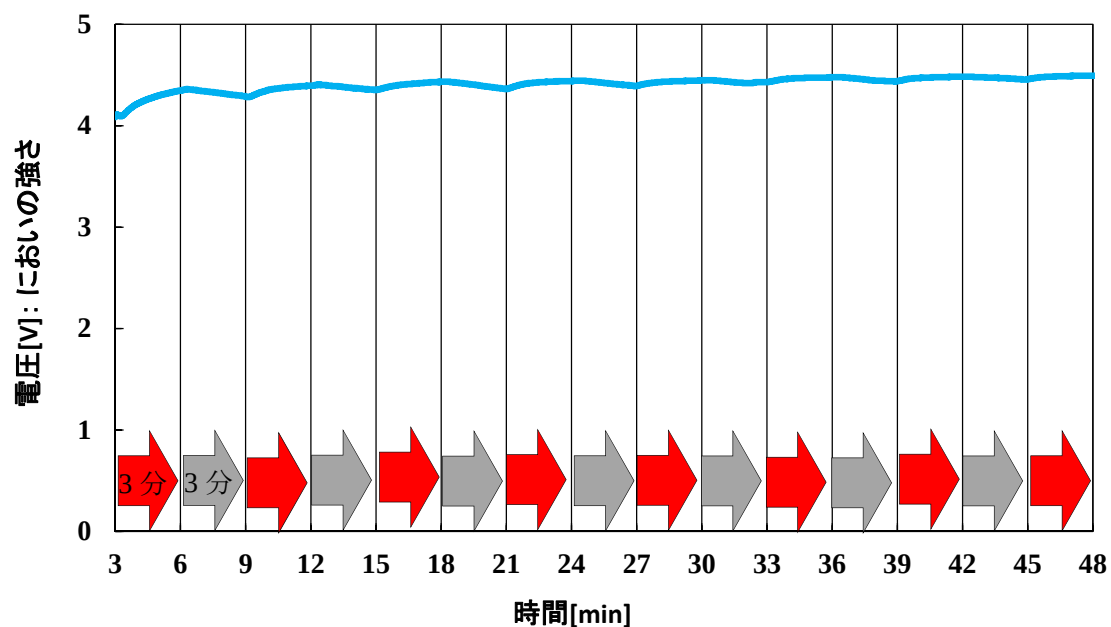


図 4.6 においへの応答 結果 : TGS2450

ii) TGS2602

図 4.7 は TGS2602 の結果である。矢印の意味は先ほどの TGS2450 と同様である。グラフを見ると、ON/OFF を切り換えたタイミングと波形の形が一定の相関を持ちながら変化していることが分かる。それぞれの赤矢印のタイミングを見ると、3.4[V]付近まではっきりと上昇していることが分かる。同様に、それぞれの灰色の矢印のタイミングを見ても、2.3[V]付近まではっきりと減少している。これらは、3.1.3 の事前実験の結果と一致している。

まとめると、TGS2602 は事前実験の結果同様、においに良好に反応し、かつ、応答速度も速いと言える。また、振幅に関しても、事前実験同様、ON/OFF 時の変化が大きく、においの変化を良く捉えていることが分かる。

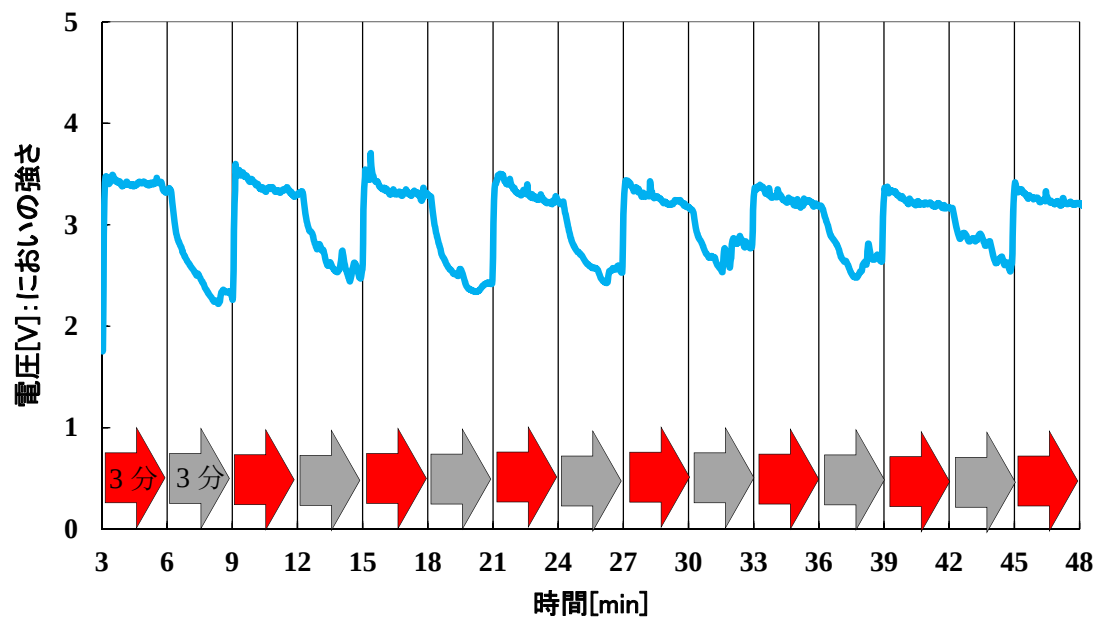


図 4.7 においへの応答 結果：TGS2602

iii) MQ-4

図 4.8 は MQ-4 の結果である。矢印の意味は先ほどと同様である。また、縦軸の範囲は 0~1.5[V]である。先ほどの TGS2602 と同様に、ON/OFF を切り換えたタイミングと波形の形に一定の相関を持ちながら反応を示している。さらに、1 回目の換気扇の電源を ON にしたタイミングを見ると、1[V]まで電圧が上昇し、その後の赤矢印のタイミングを見ても、毎回 0.8[V]付近まで上昇している。また、それぞれの灰色の矢印のタイミングを見ると、0.3[V]付近まではっきりと減少している。これらは 3.1.3 の事前実験の結果とは異なる。この違いの理由は、事前実験で使用したにおいの物質はアンモニアであったために、うまく反応が取れなかったことと、実地では畜舎内のおいに含まれる物質にメタンガスが含まれていたため、反応が良くなったのであろうと考えられる。

まとめると、MQ-4 は事前実験の結果同様、においへの応答速度が速く、また、事前実験の結果と異なり、メタンに対する反応が大きく現れた。

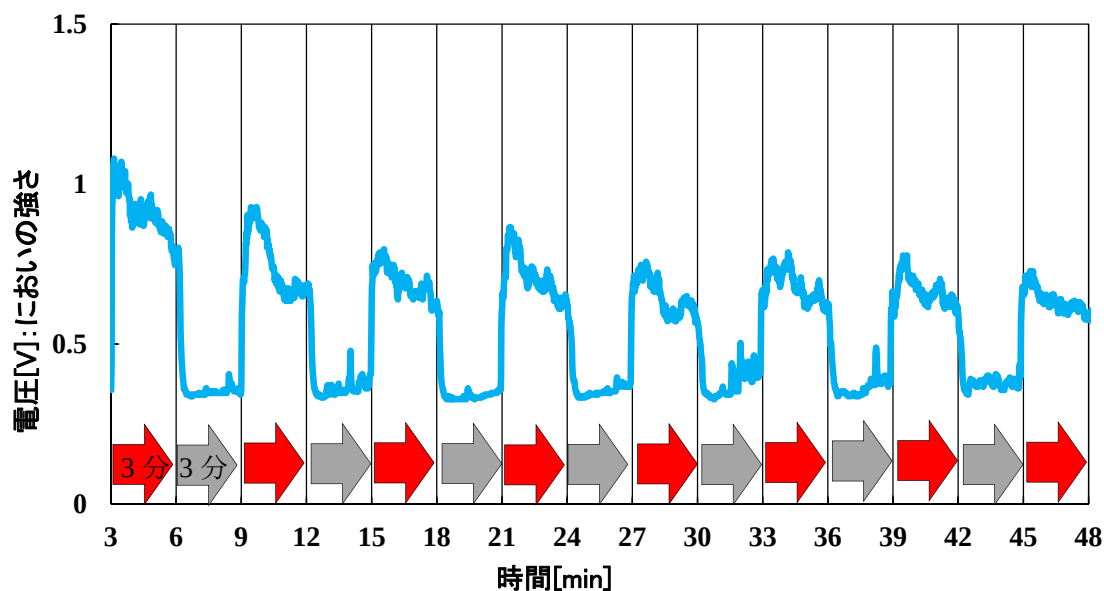


図 4.8 においへの応答 結果：MQ-4

4.1.5 実験 A まとめ

実験 A の実地実験は、においの変化をセンサによって捉え、各センサのもつ特性を調査するものであった。TGS2450 は事前実験の結果同様に、センサのもつにおいへの応答速度が遅いことが分かった。TGS2602 も事前実験の結果同様に、においの応答速度が速い。しかしながら、MQ-4 は、応答速度が速いのは事前実験同様であったが、実地実験では、反応が良くなった。これは実地の畜舎にメタンガスが含まれていたためと判断した。

4.2 実験 B

4.2.1 目的

実験 B の実地実験は、においの距離依存性を各センサで捉えることが目的である。事前実験の実験 B では扇風機の ON/OFF でにおいをセンサに送ったが、この実地実験では、より通常的环境に近づけるため、畜舎の窓から自然に流出入するにおいを対象とする。

4.2.2 実験方法

本実験では、図 4.9 のように検出器を畜舎の窓の正面に設置する。窓は開放状態にしておき、自然に流出入するにおいを検出器で捉える。また、検出器は、接続ケーブルの長さの都合上、8 台のみの設置となっている。なお、TGS2602 はこれまでと同様、窓に近い検出器から 3 台目までのみに搭載されている。

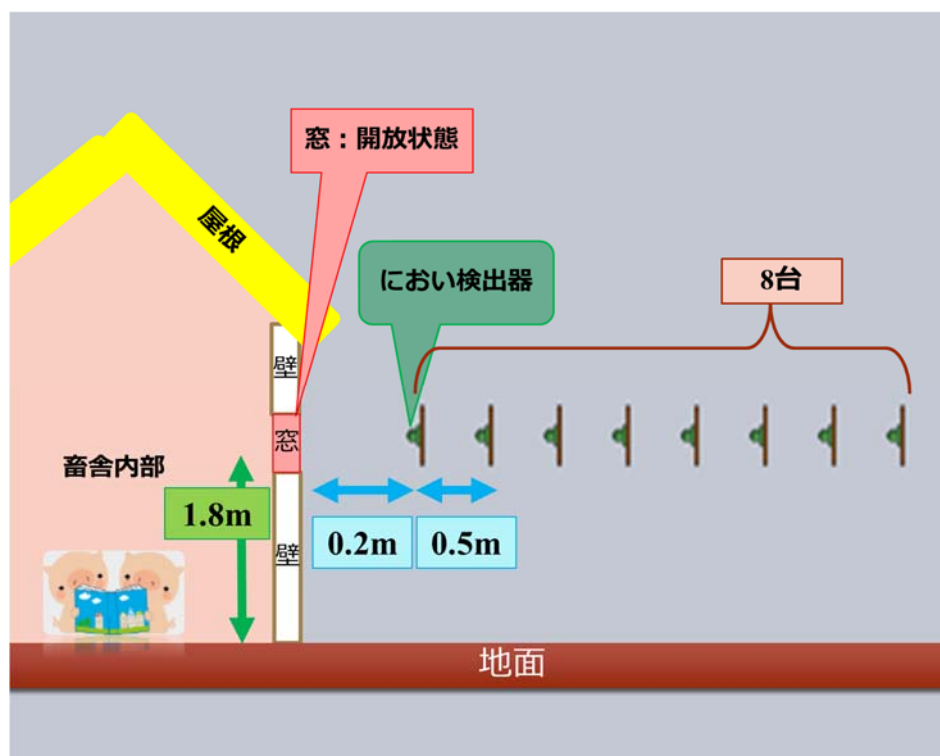


図 4.9 実験 B 模式図

4.2.3 実験結果と考察

i) TGS2450

図 4.10 は TS2450 の結果である。縦軸はこれまでと同様、においの強さに対応する。横軸には畜舎に近い検出器を左から順に並べている。奥行き方向は時間で単位は分である。等高線図の色は、0.5[V]毎に変化し、0[V]付近は青く、5[V]に近くなるにつれてオレンジ色になる。

まずにおいの強さと時間の関係に着目する。76 分付近で、全体的にグラフの色が変化していることがわかる。これを図 4.11 でより詳しく見ると、73 分付近からすべてのセンサが反応を示し、0.3[V]程度電圧が上昇していることが分かる。この時間においが通過したと考えられる。同様に 63 分付近、78 分付近にも反応による電圧の上昇がみられる。また、事前実験の結果と同様、応答速度が遅い特徴を示していることも分かる。

次ににおいの強さと距離の関係に着目する。事前実験では、センサの個体差によってにおいの距離依存性を見出すことができなかったが、図 4.10 の実地実験の結果も同様の結果を示していると言える。

■ 0.0-0.5 ■ 0.5-1.0 ■ 1.0-1.5 ■ 1.5-2.0 ■ 2.0-2.5 ■ 2.5-3.0 ■ 3.0-3.5 ■ 3.5-4.0 ■ 4.0-4.5 ■ 4.5-5.0

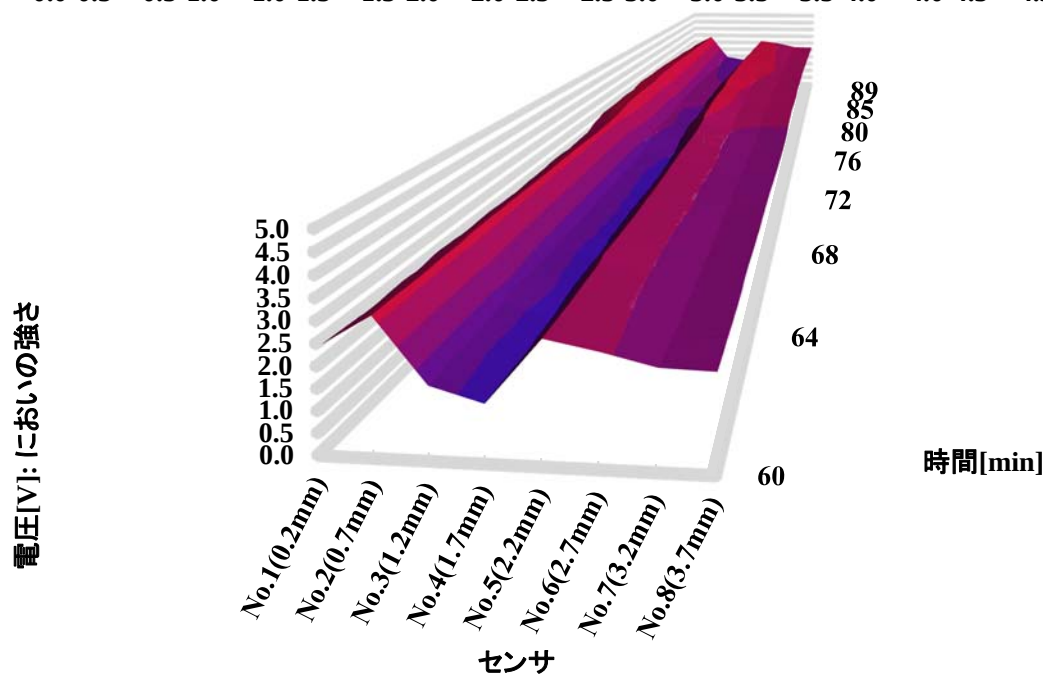


図 4.10 距離依存性 結果：TGS2450（等高線図）

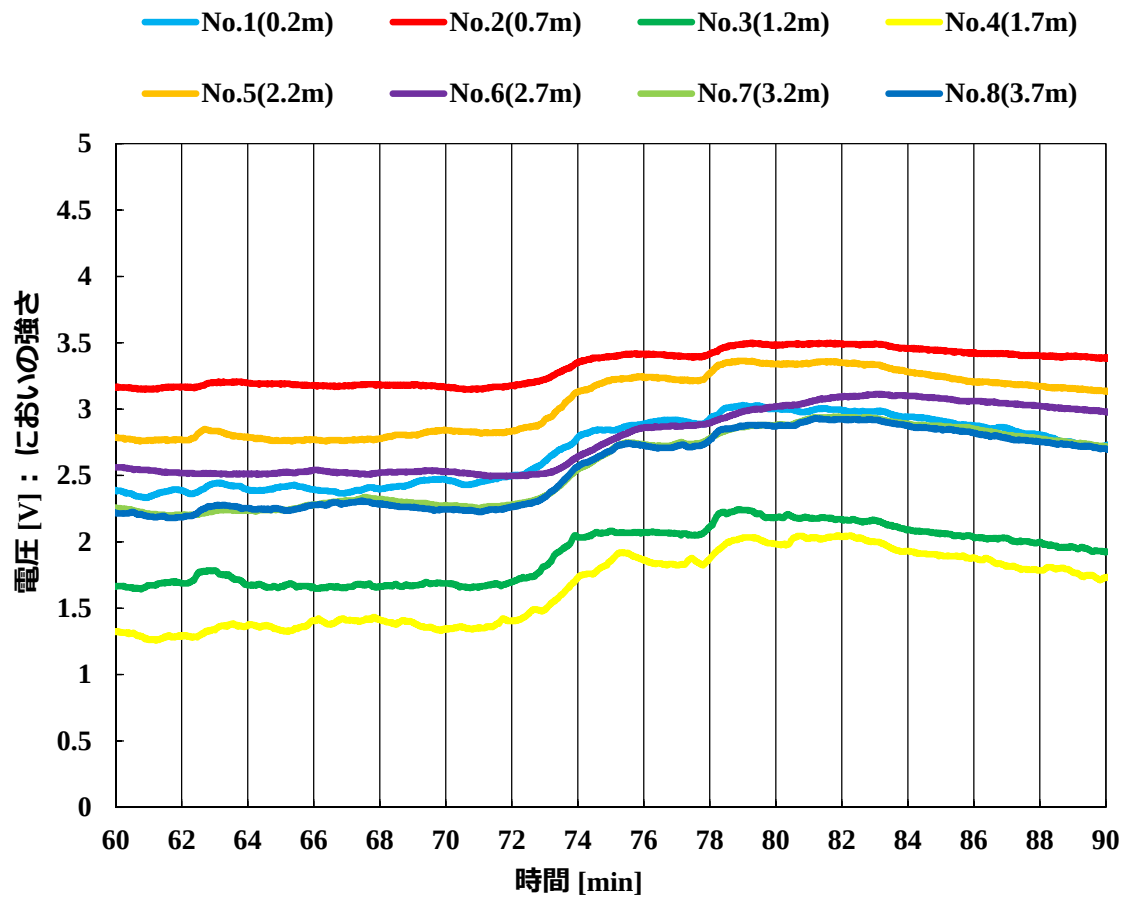


図 4.11 距離依存性 結果：TGS2450

ii) TGS2602

図 4.12 は TGS2602 の結果である。まず、縦軸のにおいの強さと奥行き方向の時間の関係に着目する。グラフ全体を見たとき、反応による色の変化があることが分かる。これを図 4.13 でより詳しく見ると、先ほどの TGS2450 と同様に 63 分、73 分、78 分付近に各センサが反応していることが分かる。ただし、TGS2450 では反応にも個体差があるので、図 4.11 ではすべてのセンサが反応しているわけではなかった。しかし、図 4.13 の TGS2602 はすべてのセンサが反応しており、このセンサの性能の高さがうかがえる。

次ににおいの強さと距離の関係に着目する。事前実験では、においから距離が離れるほどセンサの応答が小さくなる結果を示したが、図 4.12 と図 4.13 を見ると、距離依存性を見出せているとは言い難い。これは反応したにおいの強さが弱く、個体差を上回らなかったためと考えられる。

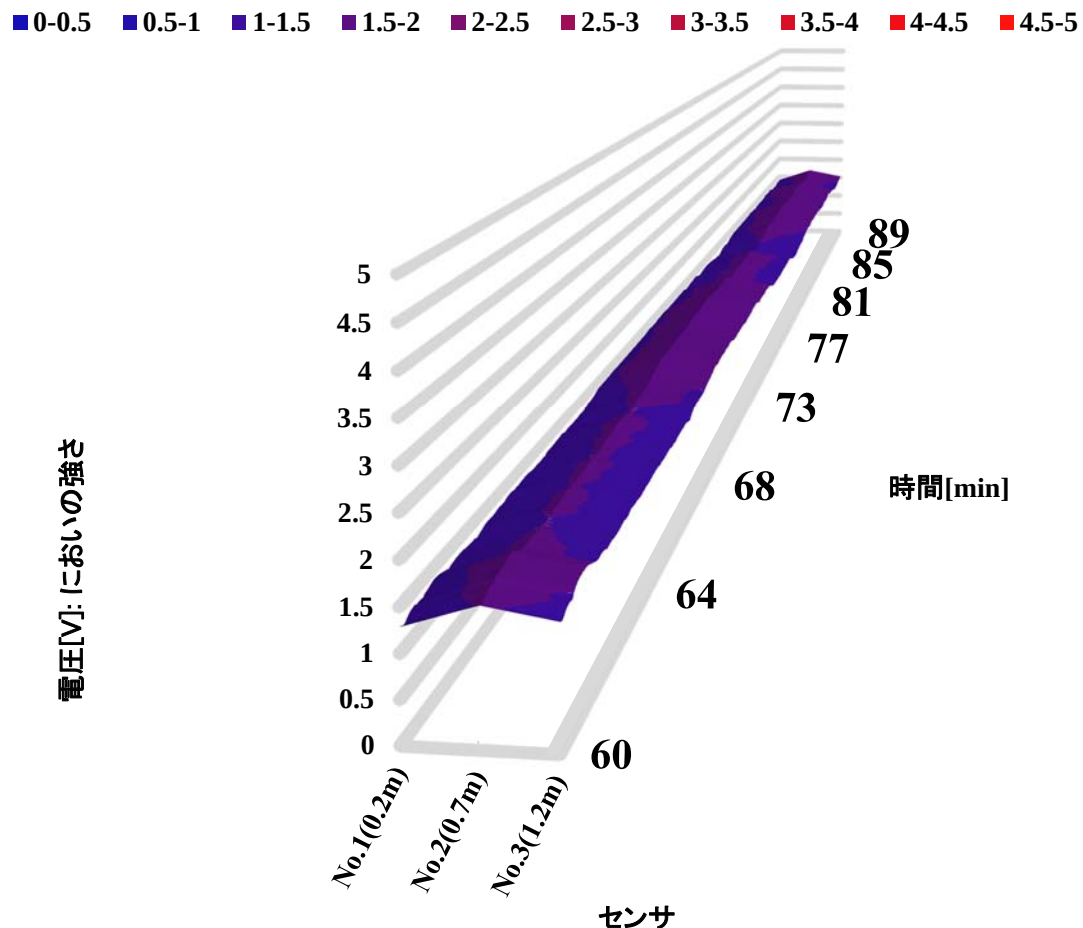


図 4.12 距離依存性 結果 : TGS2602 (等高線図)

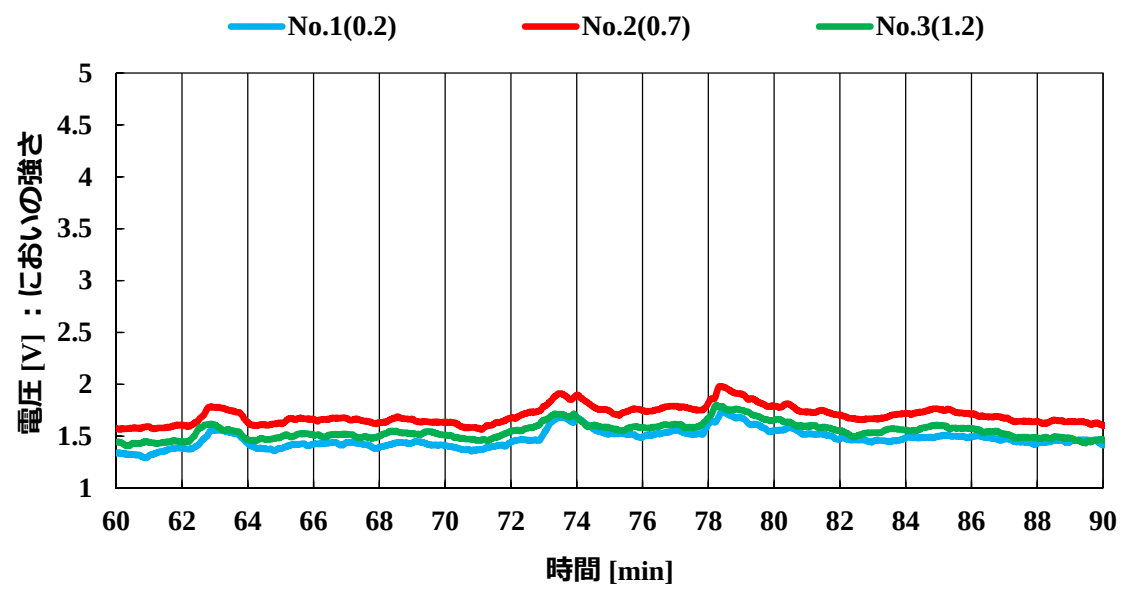


図 4.13 距離依存性 結果：TGS2602

iii) MQ-4

図 4.14 は MQ-4 の結果である。まず、においの強さと時間の関係に着目する。設置された各センサの反応のグラフを見たとき、3.2.3 の事前実験の結果同様、反応をはっきりと見ることができない。図 4.15 でより詳しく見ると、TGS2602 や TGS2450 が反応していた 63 分、73 分、78 分付近には、反応が見られない。センサが反応するほどのメタンガスが含まれていなかったためと考えられる。また、66 分付近に 3.2[m] に設置した No.7 等の複数のセンサがなだらか反応を示していることが分かるが、反応は非常に弱い。

次に、においの強さと距離に着目していくが、3.2.3 の事前実験の結果同様に、センサの個体差が現れているのだと判断している。図 4.15 を見ると、個体差は、事前実験同様、約 0.5[V] の範囲に分布している。これはにおいに対する応答に対して大きいと言える。

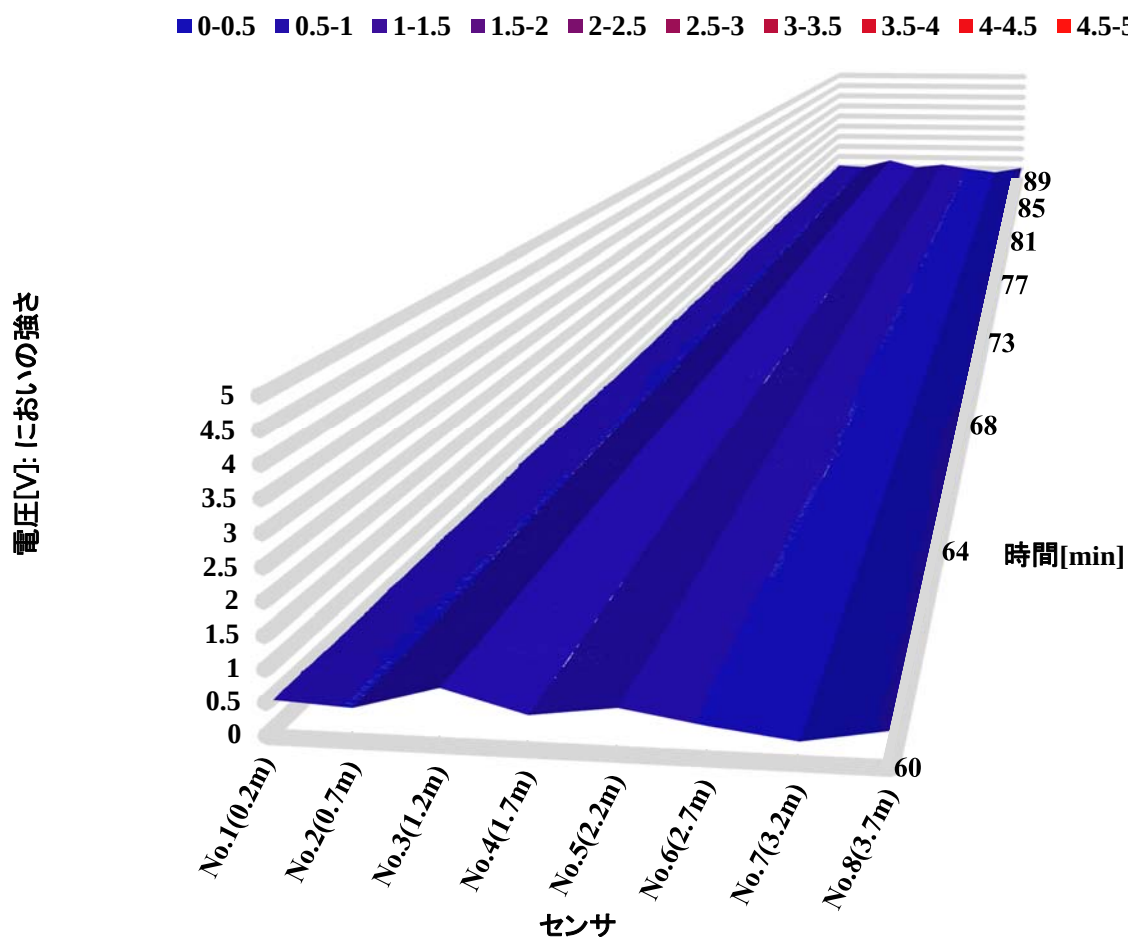


図 4.14 距離依存性 結果 : MQ-4 (等高線図)

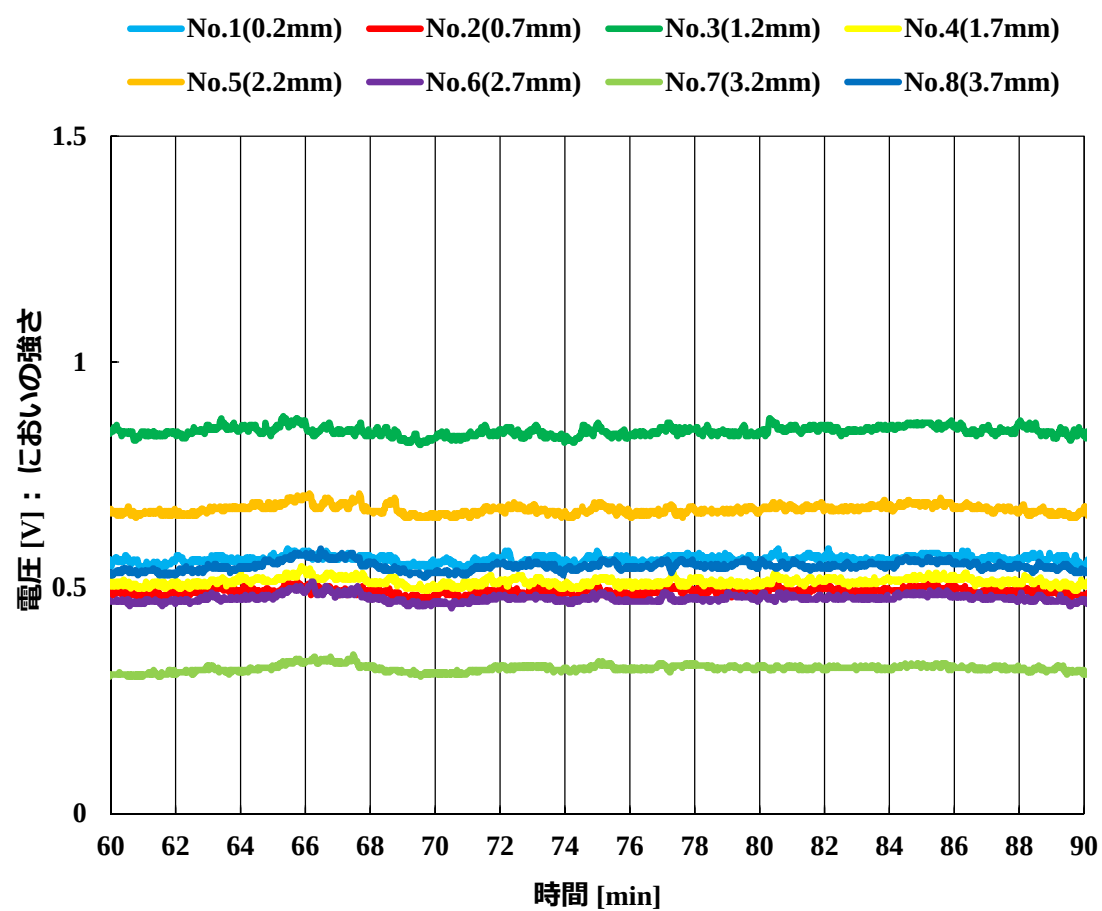


図 4.15 距離依存性 結果 : MQ-4

4.2.4 実験 B まとめ

実験 B の実地実験では、においの距離依存性を各センサで捉えることを目的としたが、3つのセンサ共に距離依存性を見出すことは出来なかった。この理由は、TGS2450 と MQ-4 は個体差が大きいこと、TGS2602 は反応が弱く個体差を上回らなかったことが原因であると判断した。

4.3 実験 C

4.3.1 目的

実験 C の実地実験では、養豚場の敷地の境界上に検出器を設置し、養豚場から自然に流れ出たにおいが捉えられるかを調査する。

4.3.2 実験場所

本実験で使用した場所は、図 4.16 の養豚場の敷地の境界上の赤線付近である。

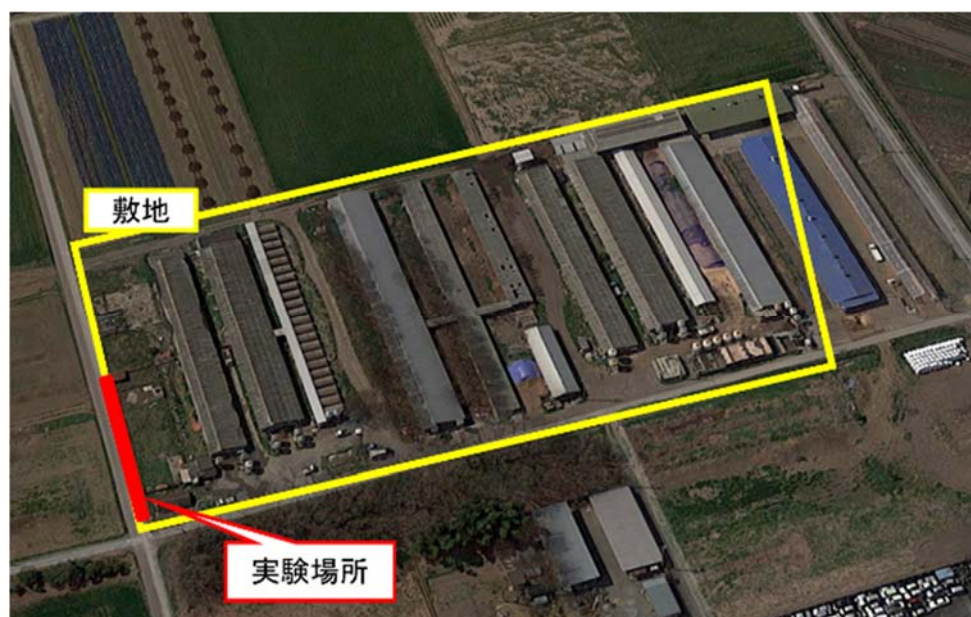


図 4.16 実験 C : 実験場所

4.3.3 実験方法

先ほどの赤線付近に、図 4.17 および図 4.18 のように検出器を養豚場側に向けながら、2.5[m]間隔で設置した。検出器には No.1 から No.10 までの名称を付ける。検出器の設置高さは 1.6[m]、畜舎までの距離は約 15[m]である。なお、TGS2602 は、ほかの実験同様、No.1 から No.3 までの 3 台にしか搭載していない。



図 4.17 実験 C

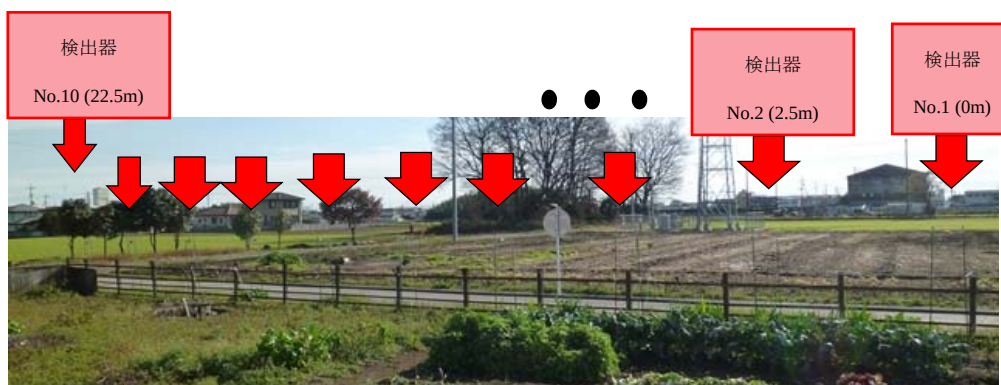


図 4.18 実験 C：全体

4.3.4 実験結果と考察

i) TGS2450

図 4.19 は TGS2450 の結果である。縦軸はこれまでと同様、においの強さに
おいが強くなるほど大きくなる。電圧は 0~5[V]の範囲である。グラフの横軸は時間を表し、1
時間単位である。

グラフを見ると、1.1 時間を過ぎたあたりで、いくつかのセンサが反応していることが分
かる。また、2.7 時間付近にも複数のセンサが反応していることも分かる。複数のセンサが
同時に反応していることから、センサの誤作動ではなく、においが通過による反応である
と考えられる。ただし、1.1 時間においては No.5~10 のセンサが反応しており、位置による
相関があるものの、2.7 時間においては No.1~3 及び 9 のセンサが反応しており、必ずしも
位置による相関があるとは言えない。また、事前実験により、このセンサはにおいへの反
応性にも個体差があることがわかっている。そのため、この結果だけでは図 4.19 の反応が
においの通過を捉えたものだと断言できない。

また、他の実験同様、個体差がおおきく発生しており、この実験では 2.5[V]の範囲でばら
ついていることが分かる

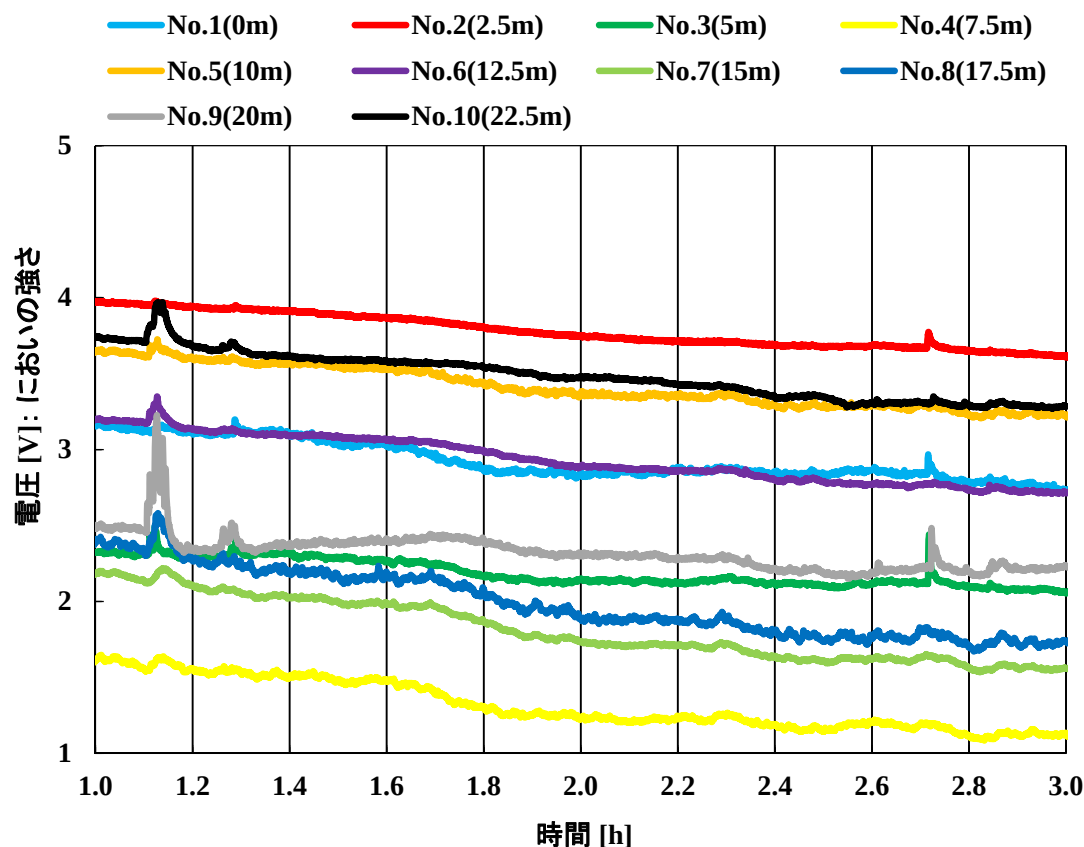


図 4.19 敷地境界 結果 : TGS2450

ii) TGS2602

図 4.20 は TGS2602 の結果である。縦軸、横軸はこれまでと同様である。電圧の範囲は 0~2.5[V]である。

グラフを見ると、一見、ノイズが多く見えるが、これは TGS2602 が流れてくるにおいの変化に機敏に反応している結果である。それにも関わらず、TGS2450 で反応があった 1.1 時間と 2.7 時間にそれらしい反応は見られない。そのため、TGS2450 と TGS2602 の結果のどちらを信用すべきか判断できない結果となった。

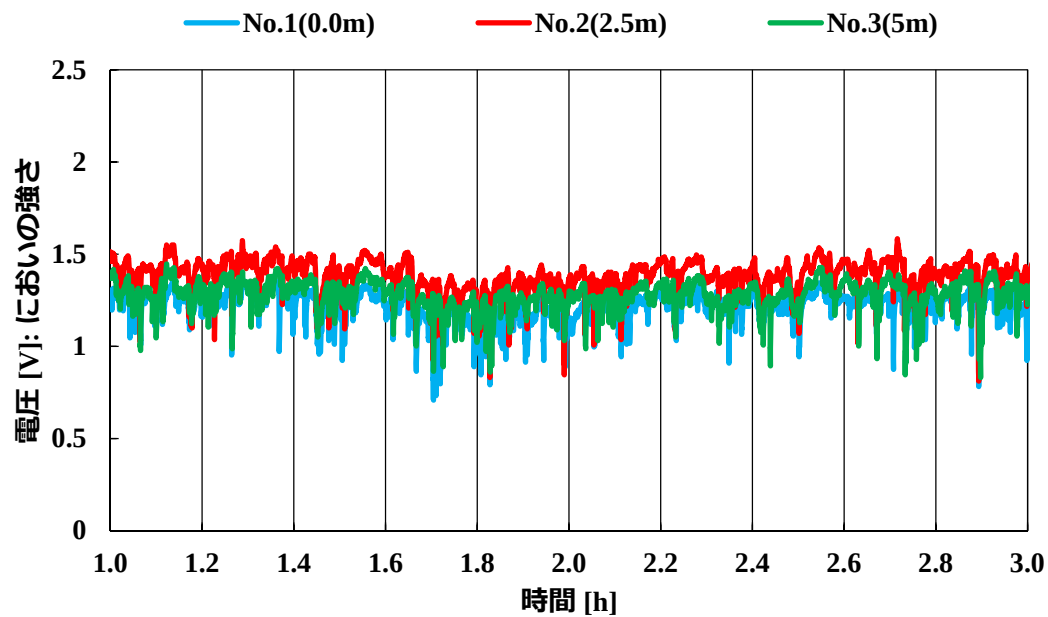


図 4.20 敷地境界 結果 : TGS2602

iii) MQ-4

図 4.21 は MQ-4 の結果である。先ほどの TGS2602 よりもセンサの数が多いため、グラフが非常にわかりにくい。よって、TGS2450 に反応があった 1.1 時間および 2.7 時間付近を図 4.22、図 4.23 に拡大した。これらを見ても図 4.19 のような強い反応は見られなかった。

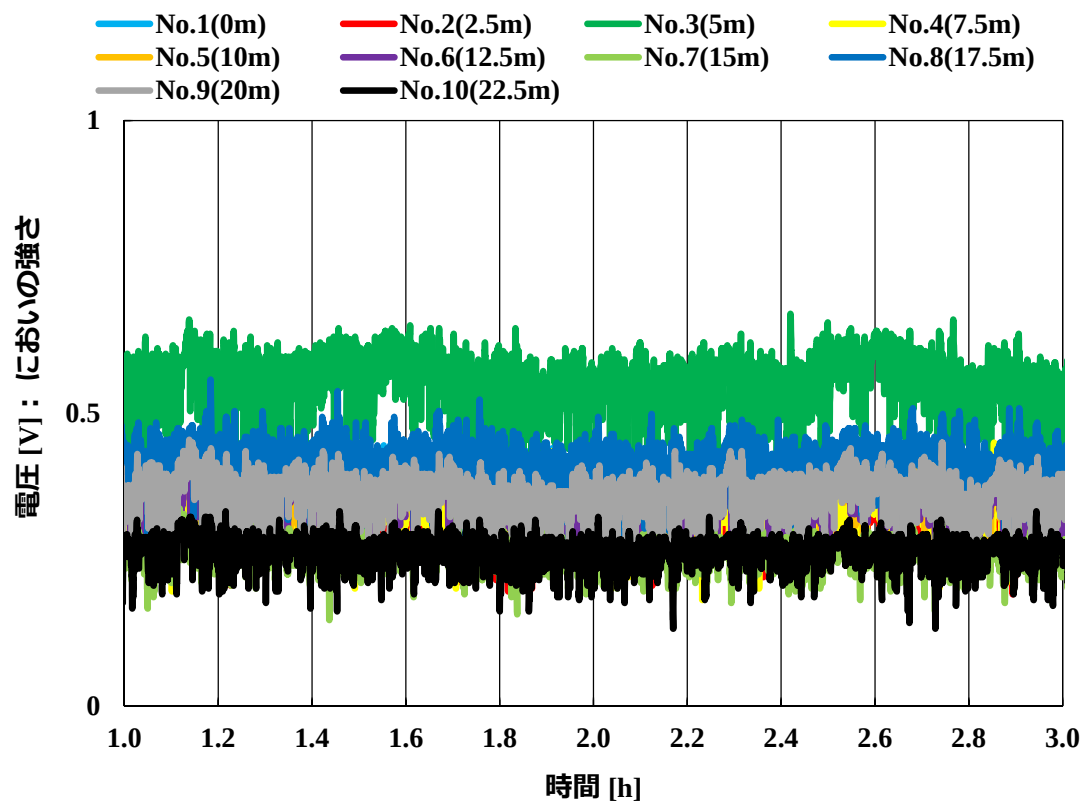


図 4.21 敷地境界 結果 : MQ-4 (1)

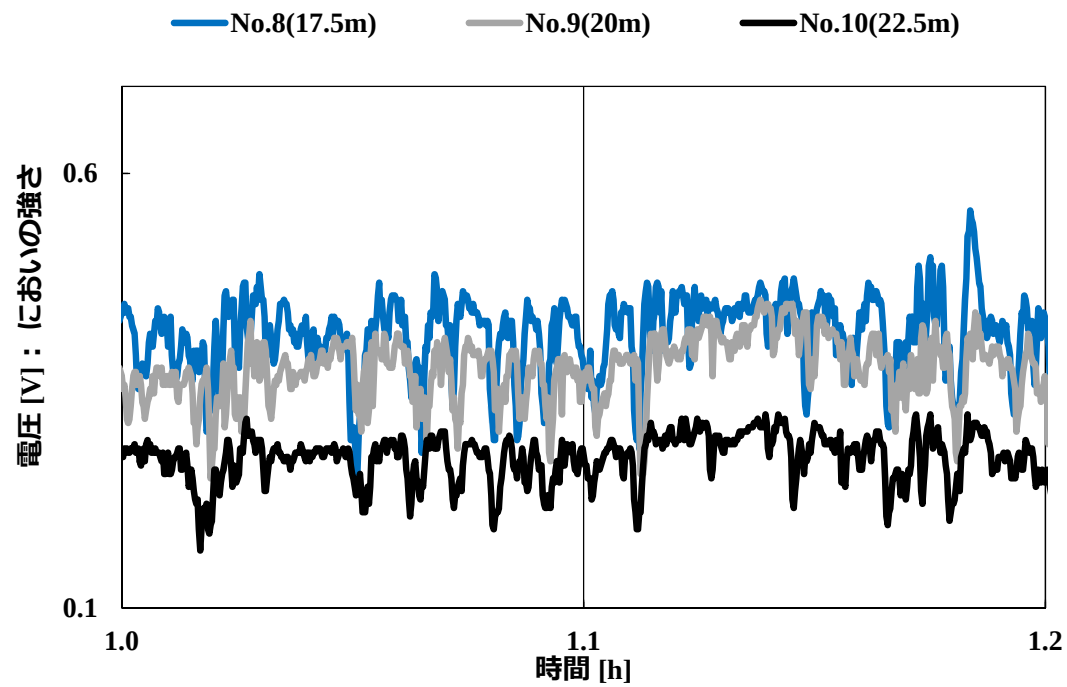


図 4.22 敷地境界 結果 : MQ-4 (2)

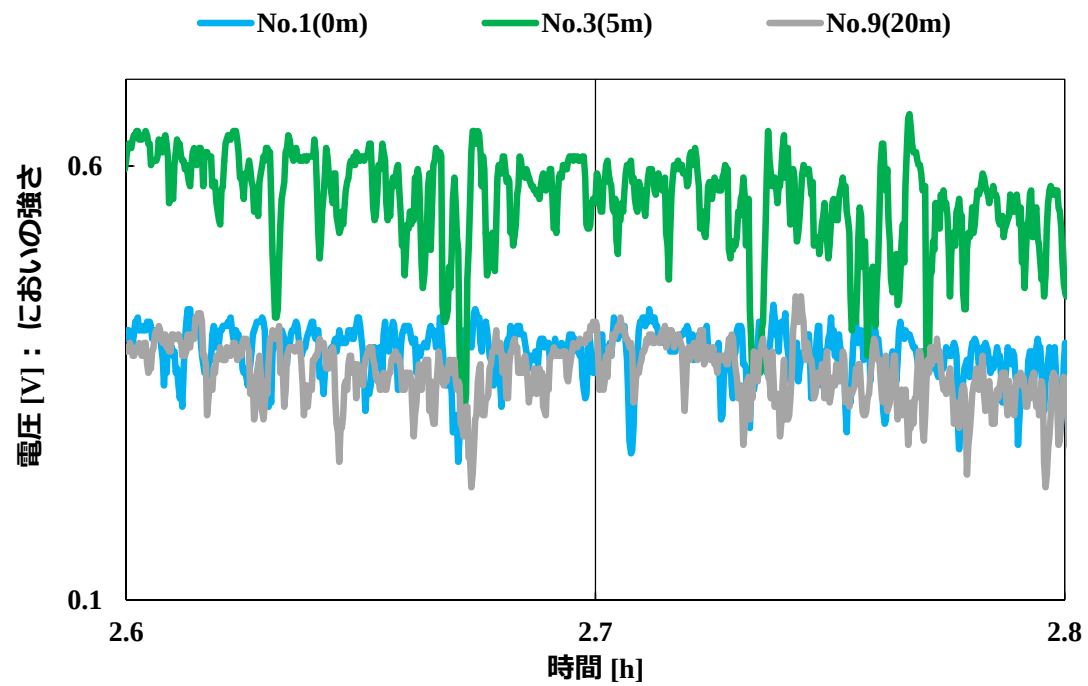


図 4.23 敷地境界 結果 : MQ-4 (3)

4.3.5 実験 C まとめ

実験 C の実地実験では、養豚場から自然に流れ出たにおいが捉えられるかを調査したが、3 つのセンサがそれぞれで異なる結果を示したため、どの結果を信用すべきか判断できない結果となった。そのため、この実験の結果は、3 つのセンサの優劣の評価には組み込まないこととする。

4.4 実験 D

4.4.1 目的

人が感じる最もにおいの強い畜舎における各センサの最大値の調査を行う。

4.4.2 実験場所

本実験は図 4.24 のような畜舎で実験を行った。この畜舎では、成豚が 60 日間過ごすため、従業員曰く、この養豚場で最もにおう畜舎という話である。



図 4.24 実験 D：実験場所

4.4.3 実験方法

図 4.25 は畜舎を上から見たものを模式図にしたものである。畜舎には入口と通路、豚の飼育エリアがあり、窓は締切りにしておく。検出器は 1 台のみ使用し、人通りの最も少ない入口と対角のエリアの高さ 1.6[m]位置に下向きに設置した。

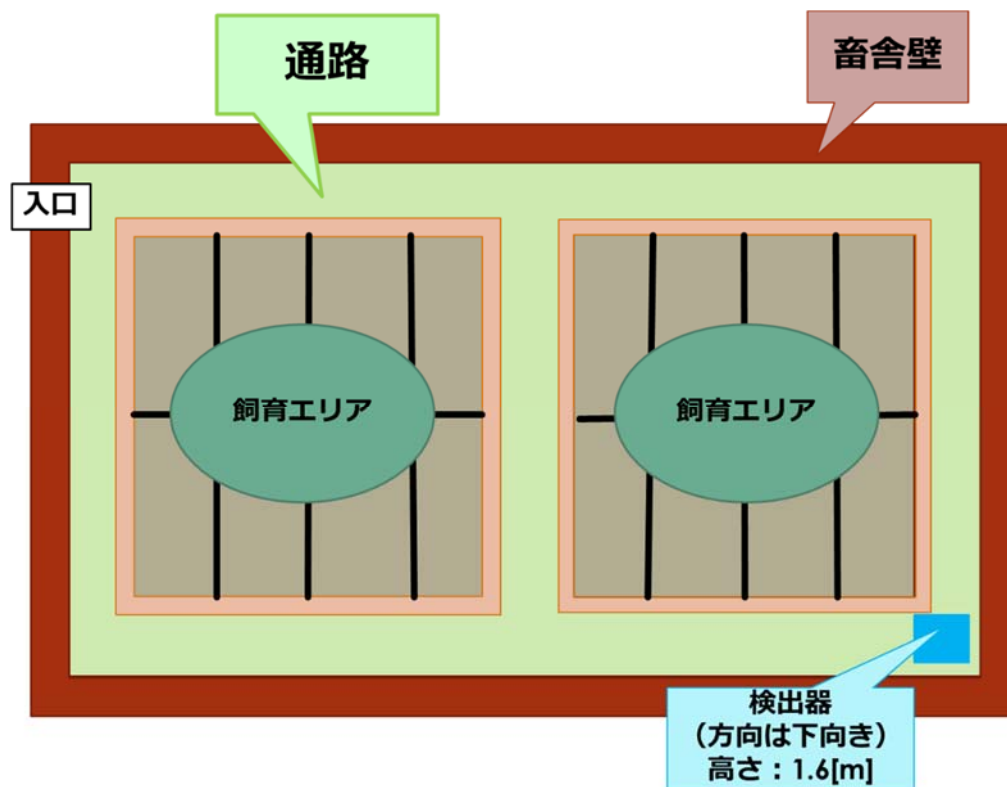


図 4.25 実験 D 模式図（上面図）

4.4.4 実験結果と考察

図 4.26 は 3 つのセンサの結果である。縦軸にこれまでと同様、においの強さに
においが強くなるほど大きくなる。電圧は、0~5[V]の範囲である。グラフの横軸は時間
を表し、1 時間単位である。

まず、TGS2450 は応答速度が遅いため、ほかのセンサよりも変化の少ないグラフを示し
ており、平均値は 4.36[V]であった。

次に TGS2602 は、TGS2450 よりは変化があるものの、ほぼ一定の約 3.15[V]を示している。

最後に MQ-4 は、3 つのセンサの中で最も変化があるものの、ほかのセンサ同様ほぼ一定
の 1.3[V]を示している。

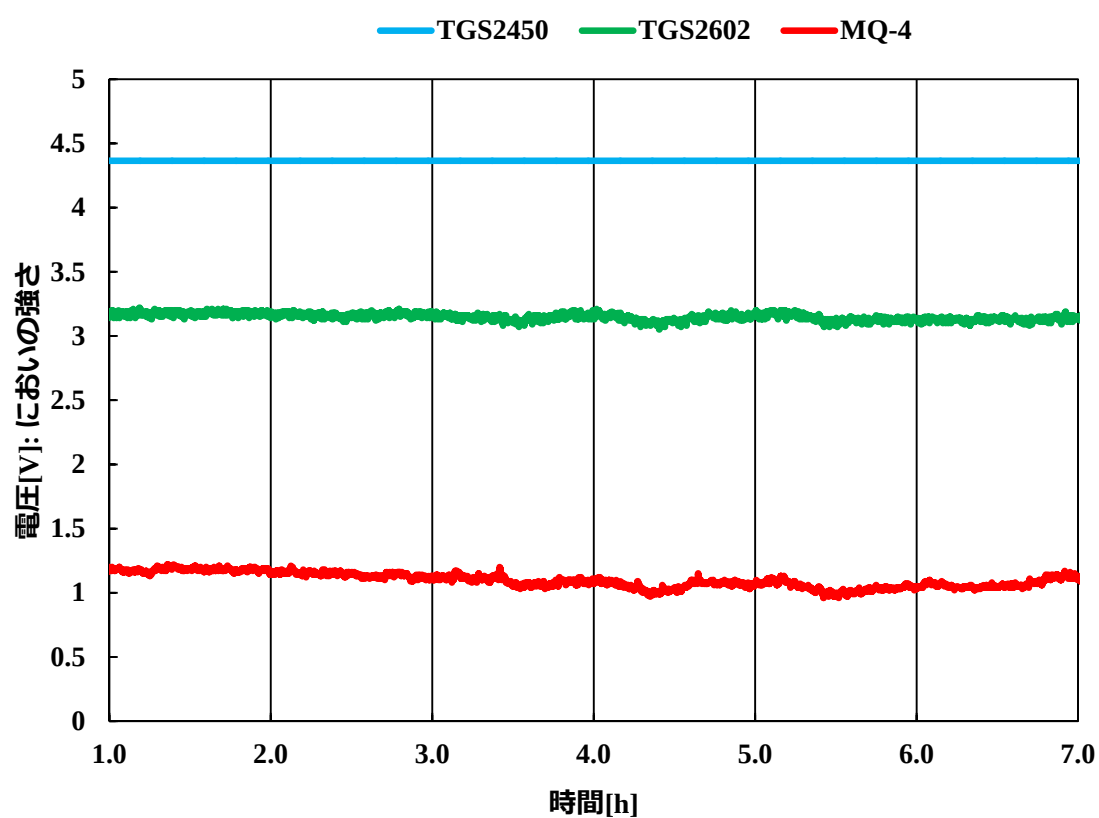


図 4.26 反応の最大値 結果

4.4.5 実験 D まとめ

実験 D の実地実験は、強いにおいに対する各センサの最大値の調査のために行った。3つのセンサはそれぞれほぼ一定の値を示した。TGS2450 は約 4.36[V]、TGS2602 は約 3.15[V]、MA-4 は 1.3[V]であったが、TGS2450、MQ-4 は個体による差が大きいため、評価には組み込まないこととする。

4.5 実地実験まとめ

表 4-2 は実地試験の結果をまとめたものである。実験 A からはセンサの応答速度に関する結果をまとめた。応答速度は TGS2602 と MQ-4 が速いのに対し、TGS2450 は他に比べ遅いことが分かった。また、MQ-4 は畜舎のにおいに含まれていたメタンガスに良い反応を示した。実験 B では距離依存性を捉えようとしたが、どのセンサも見出すことは出来なかった。実験 C では、敷地境界に流れるにおいをセンサで捉えさせたが、各センサが異なる結果を示したため、どのデータが正しいかの判断ができなかった。実験 D では、反応の最大値を調査したが、TGS2602 以外は個体差があるため、参考データとして扱った。

表 4-2 実地試験まとめ

実験	センサ	実地実験					
		応答速度	距離依存性	個体差	敷地境界	反応最大値	補足
実験 A	TGS2450	遅い					-
	TGS2602	速い					-
	MQ-4	速い					メタンガスへの反応○
実験 B	TGS2450	遅い	×	大			-
	TGS2602	速い	×	小			-
	MQ-4	速い	×	大			-
実験 C	TGS2450	遅い		大	判断つかず		-
	TGS2602	速い		小	判断つかず		-
	MQ-4	速い		大	判断つかず		-
実験 D	TGS2450					4.36[V] (参考)	個体差大のため参考データ
	TGS2602					3.15[V]	
	MQ-4					1.3[V] (参考)	個体差大のため参考データ

4.6 まとめ

各センサの仕様、事前、実地実験の結果をまとめたものが表 4-3 である。

TGS2450 と TGS2602 はアンモニアのにおいに反応し、特に TGS2602 の方は応答速度も速い。MQ-4 はアンモニアへの反応は弱い、メタンガスに良く反応し、また応答速度も速い。また、3つのセンサ共に実地実験でにおいの距離依存性を見出すことはできなかったが、事前実験で唯一 TGS2602 のみが捉えることができた。TGS2450 と TGS2602 が距離依存性を見出すことが出来なかった理由は、個体の差が大きいことによるものだと判断した。

まとめると、TGS2450 は応答速度が遅く、個体差が大きいため評価は低い、価格は安い点である。TGS2602 は応答速度が速く、個体差も小さく、事前実験で唯一、においの距離依存性を捉えた性能の高いセンサであるが、価格が非常に高い点である。MQ-4 はアンモニアへの反応が弱く、個体差も大きい、メタンガスには良く反応し、応答速度も速い。

表 4-3 まとめ

センサ	検知ガス	応答速度	距離依存性	個体差	価格
TGS2450	アンモニア	遅い	×	大	◎
TGS2602	アンモニア	速い	△	小	×
MQ-4	メタンガス (アンモニア×)	速い	×	大	○

第5章 補正式の作成と適用

3、4 章の実験結果から、同種のセンサ同士でも個体差があることがわかった。その個体差を小さくするための補正式を作成して、適用することを本章で試みる。

5.1 式の作成

「通常環境」と「アンモニア臭に満ちた環境」にそれぞれに 3 種のセンサを配置し、各センサで反応を取った。TGS2450 と MQ-4 は No.1~10、TGS2602 は No.1~3 のセンサがある。それぞれの種類のセンサは、すべて同一環境にあるので、理想的には同じ値を示さなければならない。しかし、個体差によりバラバラな値を示してしまう。そこで、No.1 以外のセンサの値を No.1 のセンサの値に近づけるような補正式を作成する。補正式は TGS2450 と MQ-4 は No.2~No.10 用のそれぞれ 9 式、TGS2602 は No.2~3 用の 2 式できることになる。

例) TGS2450

ここでは No.1 と No.2 のセンサを用いて解説を行う。これらのセンサの値を「通常環境」及び「アンモニア臭に満ちた環境」とで取得する。「通常環境」のデータが図 5.1、「アンモニア臭に満ちた環境」のデータが図 5.2 である。図のように「通常環境」では、センサの個体差が大きいことが分かる。においの有無に関わらず、この 2 つのセンサが同一の値を示すような変換式を導入したい。そこで、図 5.3 のように、No.2 のデータを横軸に、No.1 のデータを縦軸にプロットし、最小二乗法で近似式を作成した。これを以後「補正式」と呼ぶ。図 5.1 の No.2 のデータに補正式を適用したものが図 5.4 である。図を見ると、補正した No.2 の値が No.1 に近づき、個体差が減っていることが分かる。他のナンバーのセンサでも補正式を作成し適用したグラフが図 5.6、図 5.7 である。

同様の手順を TGS2602 と MQ-4 でも行い、補正式を作成した。

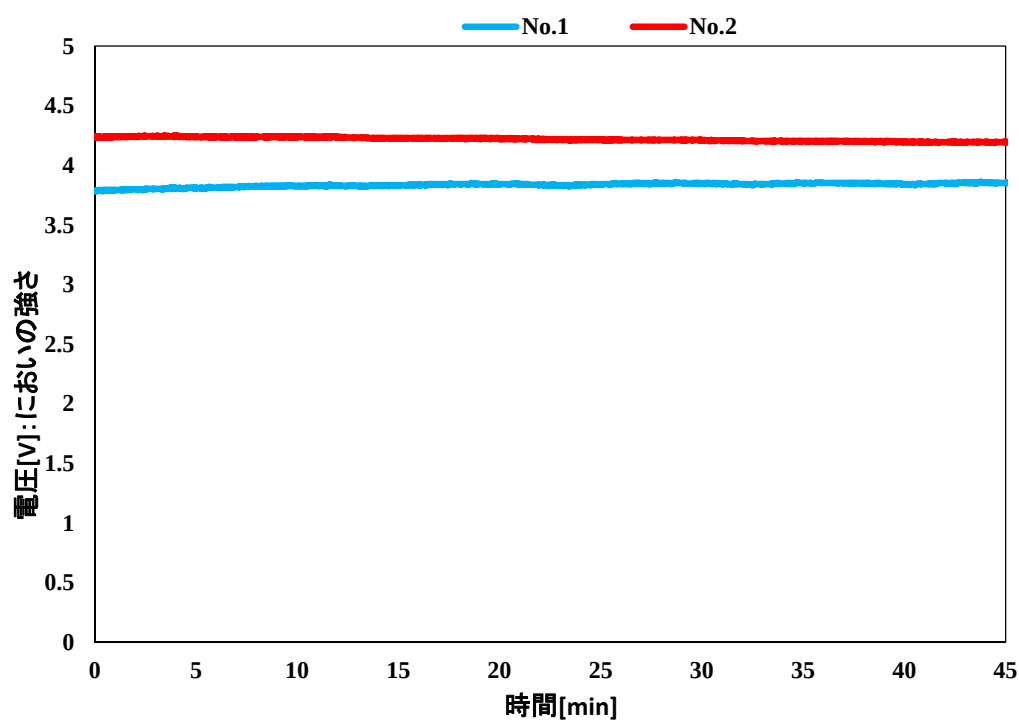


図 5.1 通常環境 No.1 と No.2 補正前

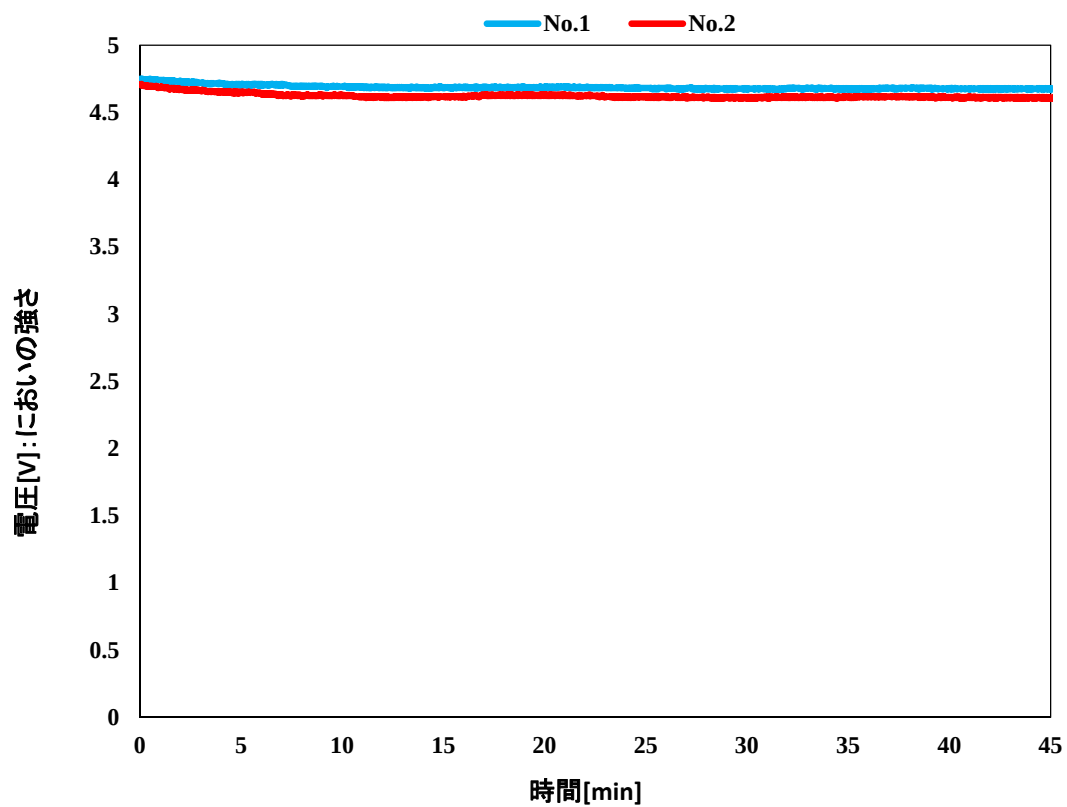


図 5.2 アンモニア臭に満ちた環境 No.1 と No.2 補正前

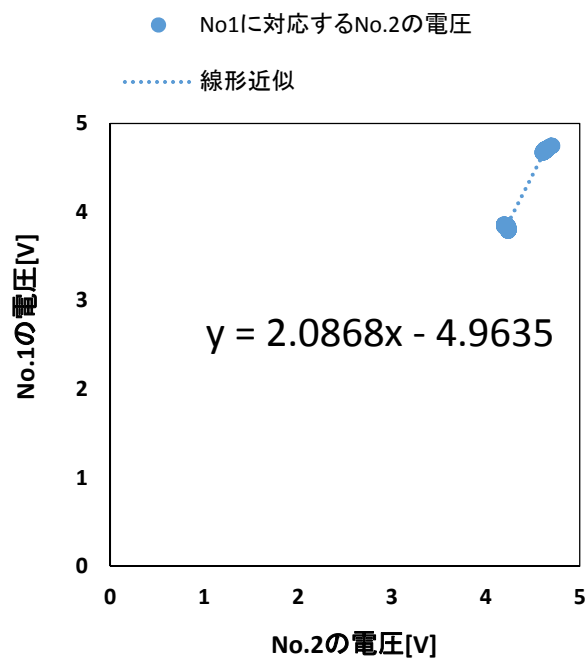


図 5.3 補正式

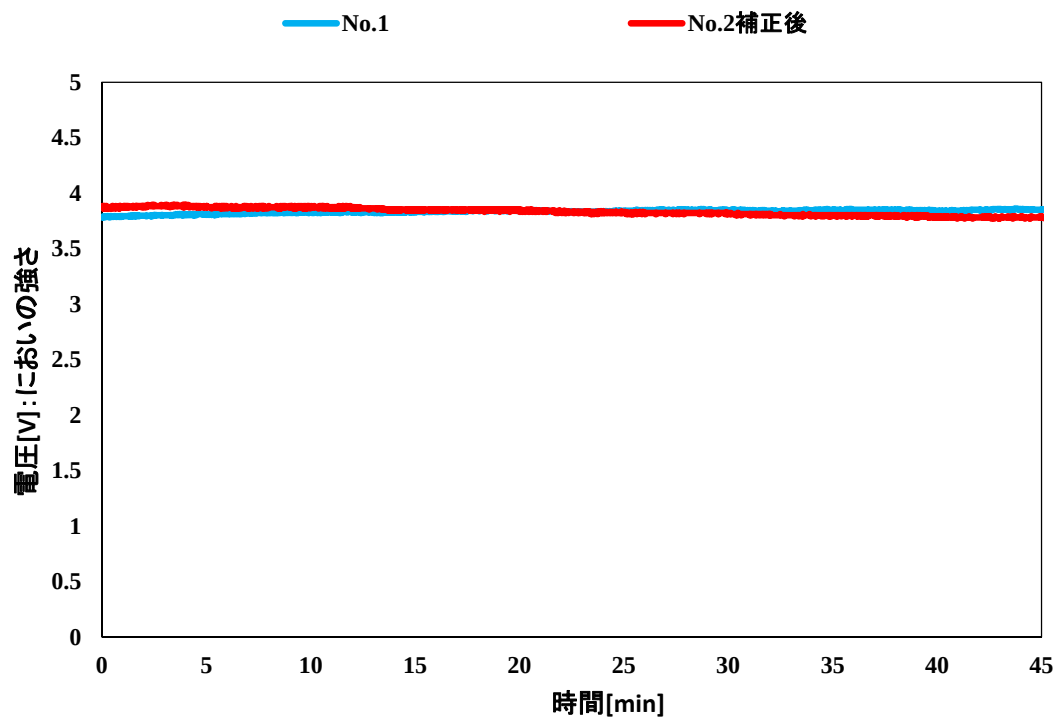


図 5.4 通常環境 補正後

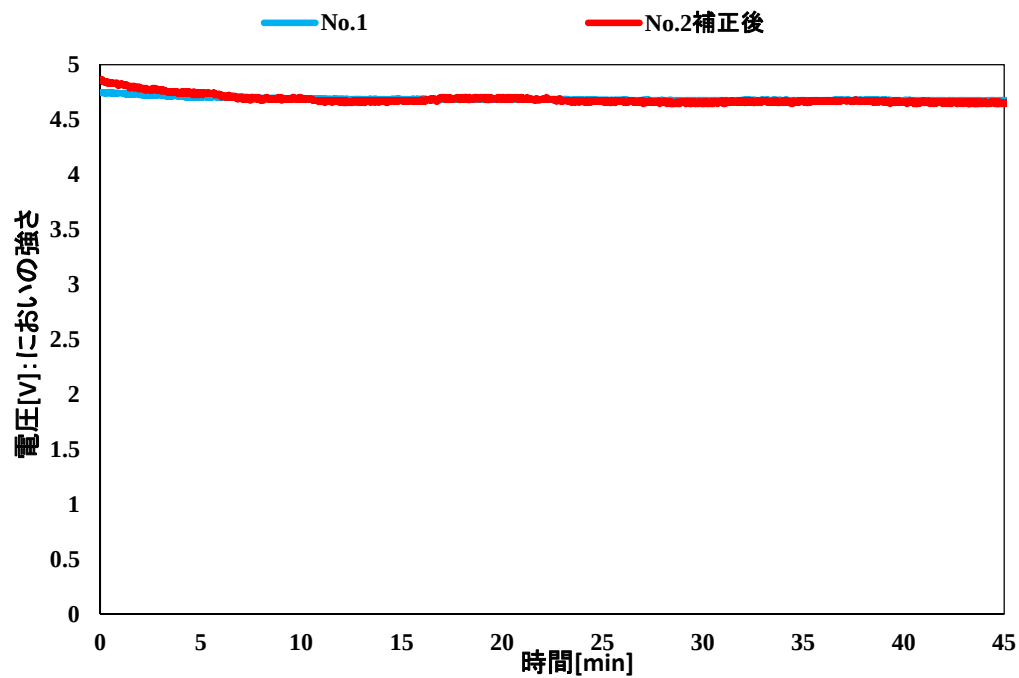


図 5.5 アンモニア臭に満ちた環境 補正後

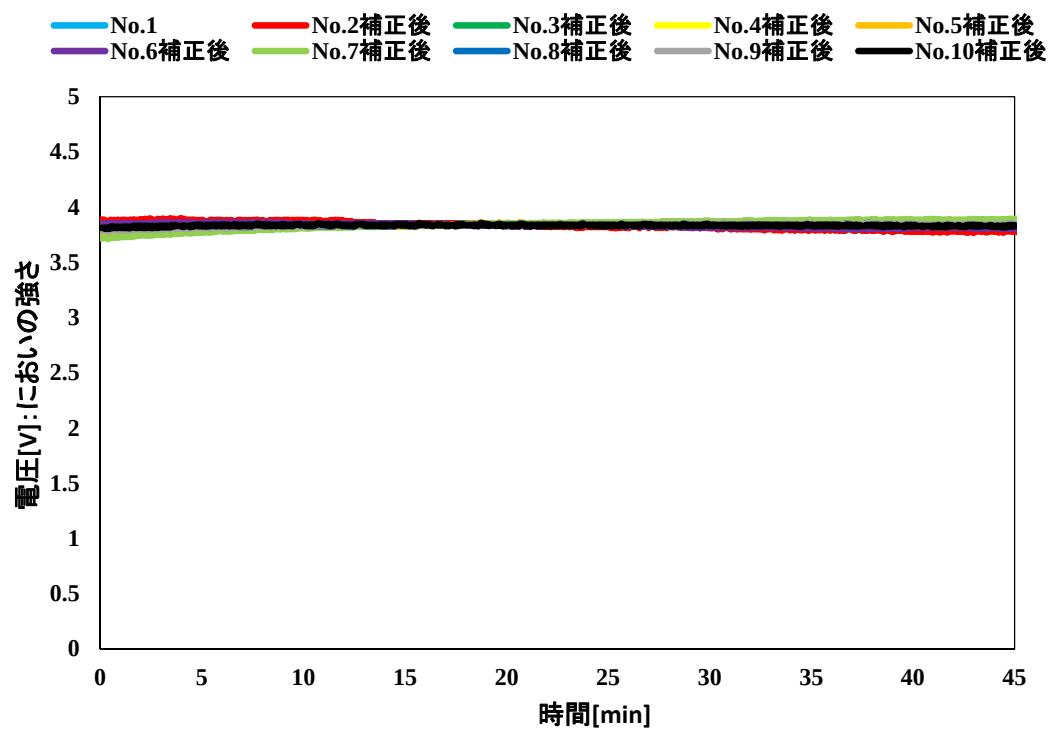


図 5.6 通常環境 No.1~10 補正後

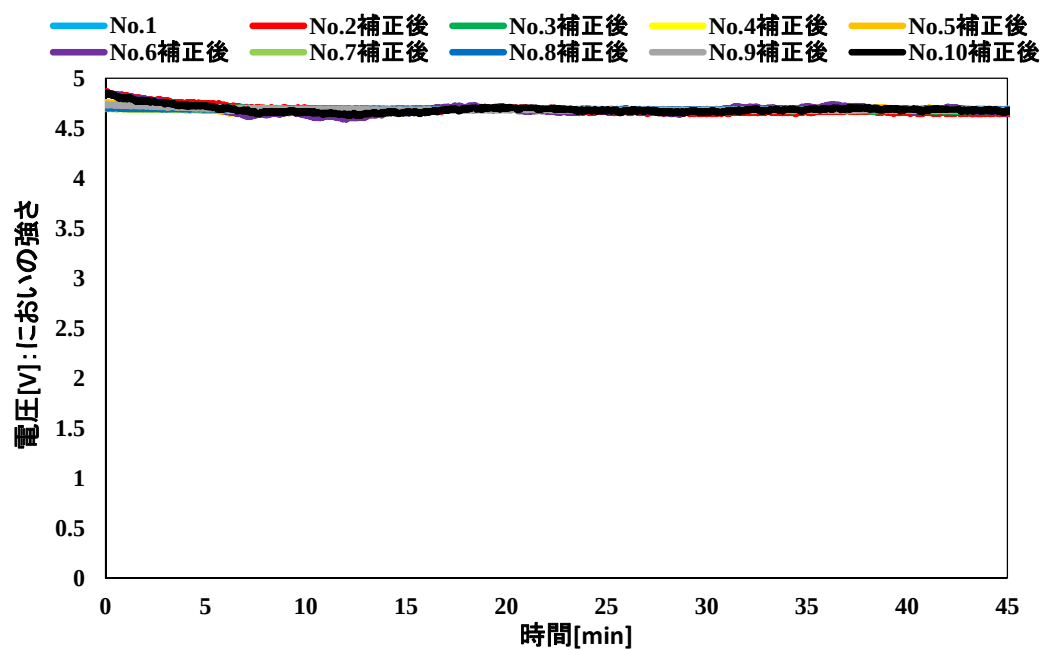


図 5.7 アンモニア臭に満ちた環境 No.1~10 補正後

5.2 補正式適用結果

前節で作成した補正式を、事前実験 B の結果に適用したものが図 5.9、図 5.11、図 5.13 である。

TGS2450 では、11.5 分後からは個体差が減少したものの、それ以前では、補正の効果は薄いと言える。

TGS2602 では、補正前後で大きな変化は見られない。これは、もともと個体差が小さいため、補正量も小さく、グラフへの影響が少ないためである。

MQ-4 では、全体的に個体差が小さくなったが、未だに反応の大きさよりも個体差の方が大きい、補正の効果は十分ではないことが分かる。

以上、今回作成した補正式では、個体差の大きい TGS2450 と MQ-4 の一部分の個体差を小さくすることができたものの、未だ不完全であり、実用するにはさらなる改良が必要なが分かった。

5.3 考察

TGS2450 において、補正がうまくいかなかった理由を考察する。まず、図 5.1 の「通常環境」と図 5.2 の「アンモニア臭に満ちた環境」のグラフを見ると、どちらも図 5.8 のセンサの値に比べて大きな値をとっている。すなわち、作成した補正式は図 5.3 からわかるように、電圧 4[V]以上の値に対する補正式となっており、図 5.8 のように 1[V]から 4[V]の範囲の電圧には適さなかったと言える。

このようなことが起こった理由を以下で解説する。実は TGS2450 は長時間動作させると値がじわじわと大きくなる性質がある。図 5.1 や図 5.2 は電源投入から長時間経過した後に実験を行なったデータであるため、値が 4[V]以上と大きくなっている。その結果、電源投入直後に実験した図 5.8 のデータに適さないものになってしまった。

そのため、補正式を作成するための図 5.1 や図 5.2 のデータを電源直後のものに変更すれば、図 5.8 に適した補正式を作成できる可能性がある。しかし、「電源投入からの時間によって値が大きく異なる」という TGS2450 の性質はセンサネットワークを構築するために望ましいものとは言えないだろう。

i) TGS2450

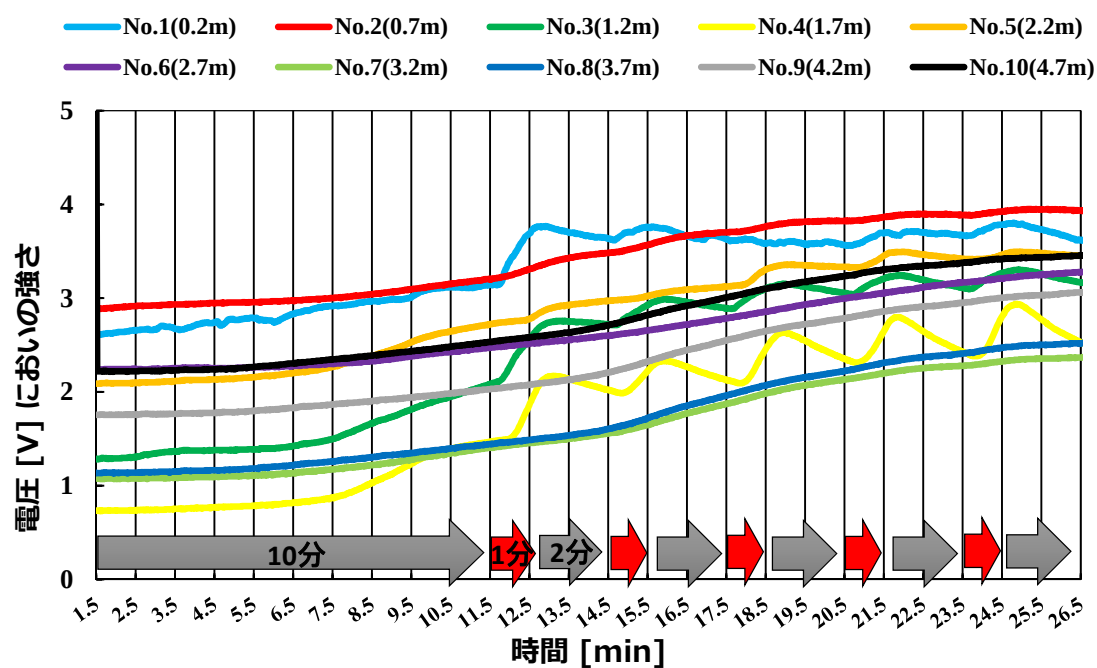


図 5.8 実験 B 結果 : TGS2450

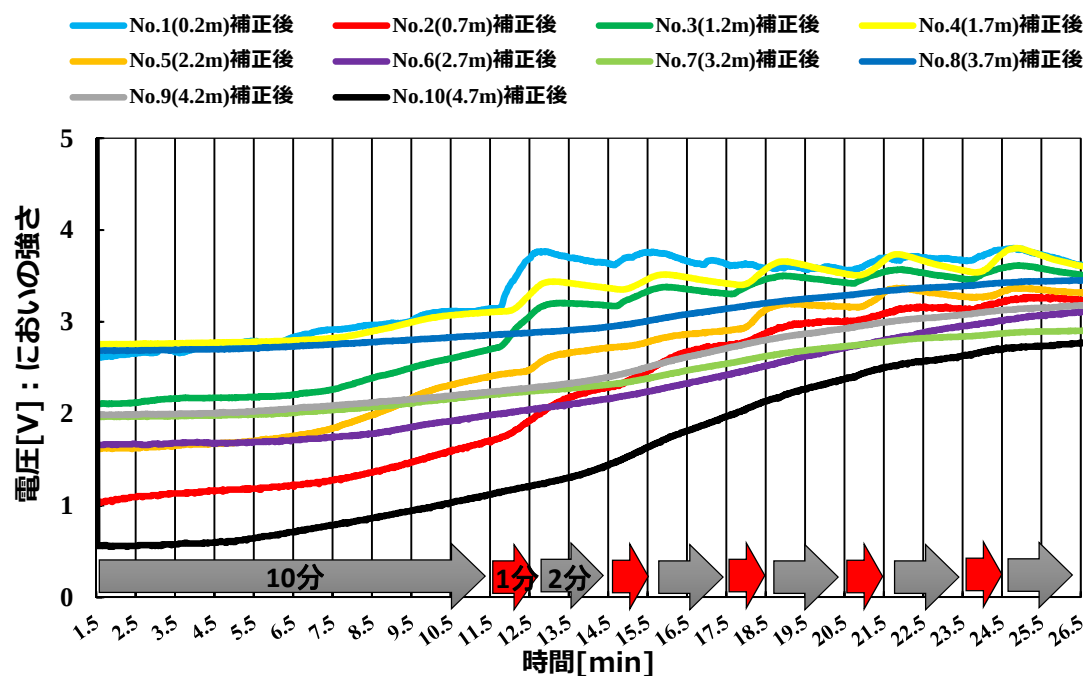


図 5.9 TGS2450 補正後

ii) TGS2602

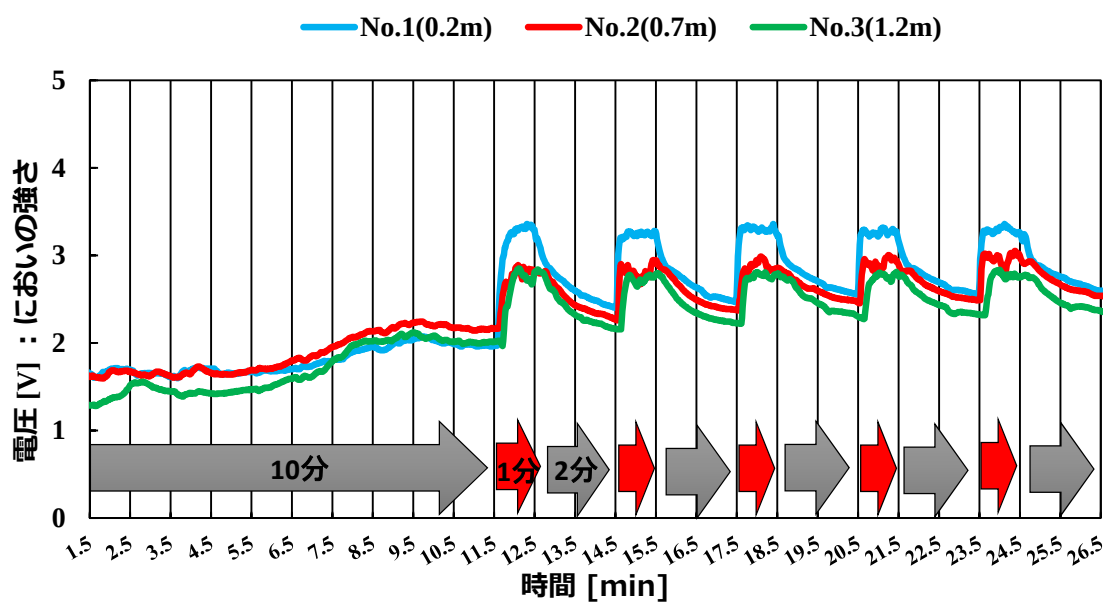


図 5.10 実験 B 結果 : TGS2602

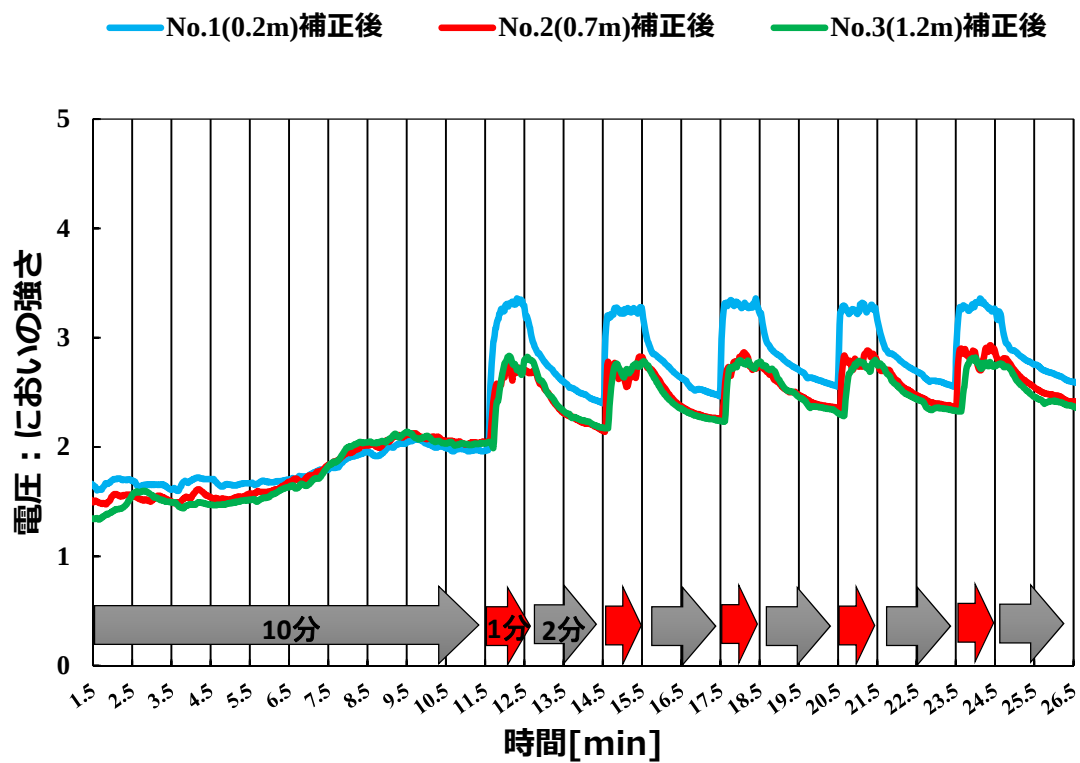


図 5.11 TGS2602 補正後

iii) MQ-4

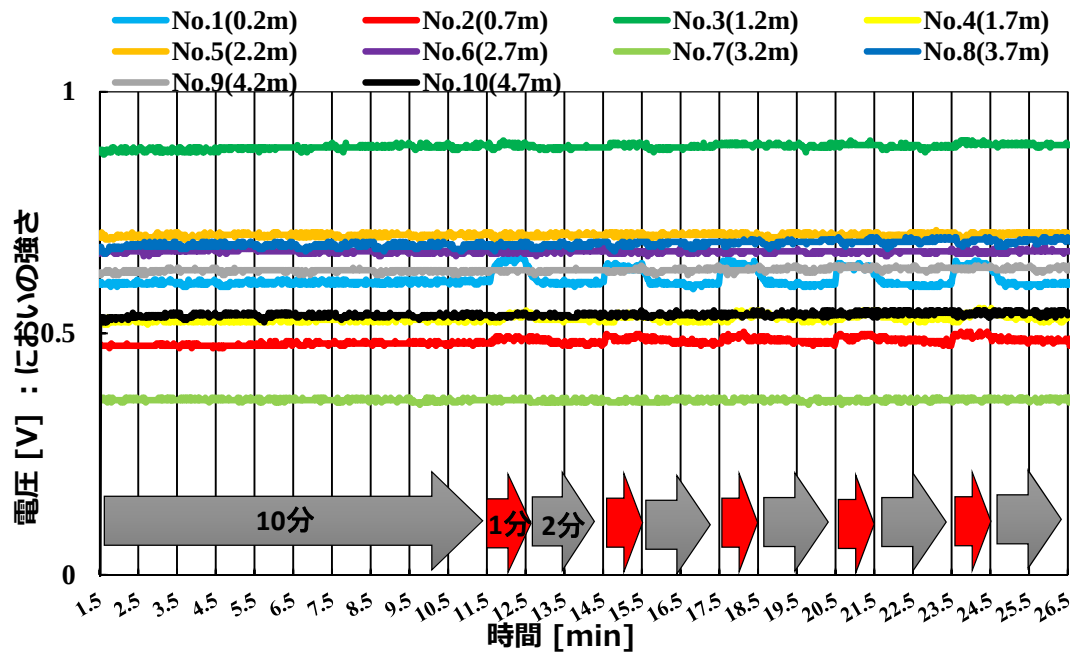


図 5.12 実験 B 結果 : MQ-4

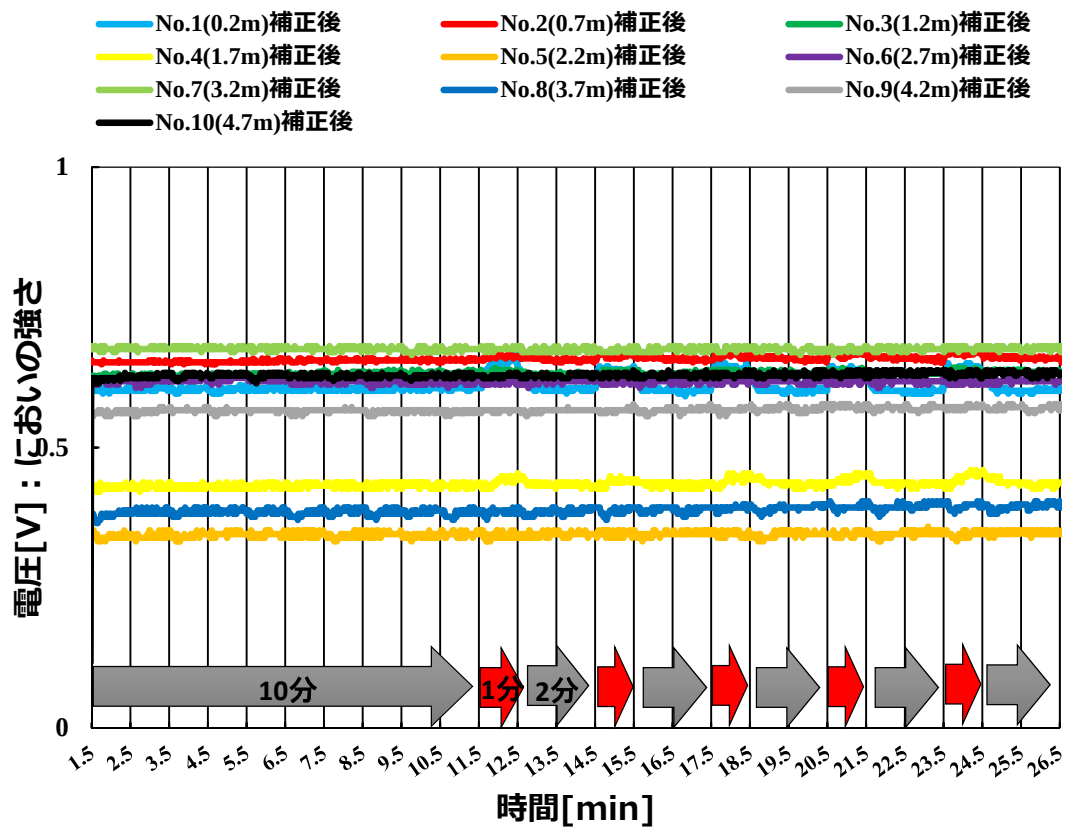


図 5.13 MQ-4 補正後

第6章 結言

本研究では、畜産業に対してにおいセンサを用いたセンサネットワークを導入し、畜産農家の抱える悪臭問題を数値化することを目指した。そのための基礎研究として、複数のおいセンサの特性を明らかにする調査を行った。

2章では、用いるセンサの選定を行った。まず、アンモニア等のおいに反応するセンサとして、安価である TGS2450 と高価な TGS2602 の2つを選択した。そしてメタンガスに反応する比較的安価なセンサとして MQ-4 においセンサを選択した。そして、これら3種のセンサを搭載できる検出器を作製した。センサの値の取得と保存には Arduino を用いた。検出器は TGS2450 と MQ-4 が搭載されたものを10台作製し、TGS2602 は予算の都合上その10台のうち3台のみに搭載した。

3章では、2章で作製したにおい検出器を用いて各センサの反応の特性を調べる実験を大学で行った。まず、センサがにおいに応答する速度に違いがあることが明らかになった。TGS2602 と MQ-4 は応答速度が速く、においに機敏に反応した、一方で TGS2450 は他と比べ応答がゆっくりしていることが明らかになった。また、MQ-4 は他のセンサと比べ、におい（アンモニア）への反応が弱いことも分かった。

次に、においの伝播の距離依存性を捉える実験を同じく大学で行った。アンモニアから発生するにおいを検出器10台に向けて扇風機で送った結果、TGS2602 のみが距離依存性を捉えることができた。その理由は、TGS2450 と MQ-4 はともにセンサの個体差が大きいことが原因であると判断した。

4章では、3章の大学で行った実験の結果をもとに、協力農家の養豚場で4つの実地実験を行った。

1つ目の実験は、畜舎に設置してある換気扇の電源の ON/OFF を操作し、排出されるにおいをセンサで捉える実験である。この実験は、大学での事前実験の1つ目に対応している。その結果、TGS2450 と TGS2602 は事前実験とほぼ同等の結果が得られた。しかし、MQ-4 は、応答速度が速いのは事前実験同様であったが、事前実験よりも反応が良いという結果が得られた。これは、実地の畜舎にメタンガスが多く、MQ-4 がそれに反応したためと判断した。

2つの実験では、畜舎の窓から自然に流出入するにおいを複数のセンサで捉え、距離依存性を見出すことを試みた。この実験は大学での事前実験の2つ目に対応している。その結果、残念ながら3種のセンサすべてで距離依存性を見出すことは出来なかった。この理由として、TGS2450 と MQ-4 は個体差が大きいこと、TGS2602 はにおいへの反応が小さく、個体差を上回らなかったことが原因であると判断した。

3つ目の実験は、養豚場の敷地の境界上に複数のセンサを設置し、養豚場から自然に流れ出たにおいを捉える実験である。その結果、3種のセンサはそれぞれ異なる結果を示し、どれの結果を信用すべきか判断ができないため、この実験の結果は評価には含めないことと

した。

4つ目の実験は、最もにおいの強いと感じられる畜舎において、各センサの値の最大値を調べる実験である。その結果、3種のセンサはそれぞれほぼ一定の値を示した。しかしながら、この実験はセンサの個体差の影響を受けるため、この結果は評価には組み込まないこととした。

5章では、3、4章の実験結果から明らかになった、同種のセンサ間の個体差を小さくするための補正式を作成したが、十分な効果は得られなかった。

以上の結果をまとめたものが表 6-1 である。TGS2450 は応答速度が遅く、個体差が大きい、価格が安価である点はセンサネットワークに適している。TGS2602 はにおいへの応答速度が速く、個体差も小さく、事前実験では唯一、においの距離依存性を捉えた性能の高いセンサであるが、価格が非常に高価である点が欠点である。MQ-4 はアンモニアへの反応が弱く、個体差も大きい、メタンガスによく反応し、応答速度も速いことが分かった。

このように、性能の高いセンサを求めると価格が上がる傾向があり、低価格なセンサを多数必要とするセンサネットワークを構築するには課題が大きいことが分かった。それを解消させる第一歩になると考えたのが、補正式を用いて個体差を減少させる方法である。しかし、今回の作成した補正式では未だ不完全であり、実用するにはさらなる改良が必要である。これは今後の課題である。

表 6-1 まとめ

センサ	検知ガス	応答速度	距離依存性	個体差	価格
TGS2450	アンモニア	遅い	×	大	◎
TGS2602	アンモニア	速い	△	小	×
MQ-4	メタンガス (アンモニア×)	速い	×	大	○

謝辞

本研究をまとめるにあたり、多くの方々にご助力いただきましたことを心より感謝申し上げます。なかでも、研究に対する姿勢や論文の書き方についてご指導くださった金丸隆志准教授には深く感謝致します。私自身の至らなさを実感することができたことは今後の努力の糧になるものであります。また、研究の助言や考えのご指摘をくださった疋田光孝教授、塩見誠規教授、また、研究の場を提供してくださった養豚農家様に心より厚く御礼申し上げます。

また、自分と学び、時に遊び、大学生活を充実したものにしてくれた知能機械研究室の同輩、後輩、大学院の仲間たちにこの場で感謝の意を表します。

最後に、至らない自分に大学、大学院と貴重な学ぶ機会を与えてくれた偉大な父と優しき母に感謝申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 農林水産省 大臣官房統計部. (平成 27 年 11 月 27 日公表). 2015 年農林業センサス結果の概要(概数値). 農林水産統計, 1-2:
http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2015/pdf/census_20151127.pdf
- [2] シード・プランニング. (2014 年 1 月 9 日発表). プレスリリース. 参照先: 市場調査とコンサルティングのシード・プランニング:
<https://www.seedplanning.co.jp/press/2014/2014010901.html>
- [3] 平藤雅之. (2009 年). 農業におけるセンサネットワークの応用事例. 第 3 回 TMS 研究会講演会公園資料.
- [4] 深津時広. (2014 年). 農業分野におけるセンサネットワーク技術の利用と課題. 参照先: Field Server Monitoring Agent:
<http://fsds.dc.affrc.go.jp/data1/fukatsu/paper/IEICE2014.pdf>
- [5] 深津時広. (平成 26 年 8 月 1 日発行). 農業分野におけるセンサネットワーク技術の利用と課題. 信学誌、電子情報通信学会会誌 Vol.97、No.8, pp.688-694.
- [6] 株式会社イーラボ・エクスペリエンス. フィールドサーバ. 参照先: eLAB experience:
<http://www.elab-experience.com/fieldserver>
- [7] 住友精密工業株式会社. 屋外・農業用 無線ネットワーク「エコ」. 参照先: neoMOTE:
<http://www.xbow.jp/eKo.html>
- [8] NEC. (2012 年 9 月 28 日). 事例紹介[ちばみどり農協組合]. 参照先: NEC:
<http://www.nec.co.jp/library/jirei/ja-chibamidori/contents.html>
- [9] クラウド Watch. (2014 年 1 月 23 日). ニュース「農業 ICT もここまできた！ 富士通の「Akisai」導入事例を多数紹介」. 参照先: クラウド Watch:
http://cloud.watch.impress.co.jp/docs/news/20140123_631955.html
- [10] 農業法人株式会社 GRA. 先端施設園芸の研究. 参照先: 株式会社 GRA:
<http://www.gra-inc.jp/tour/index.html>
- [11] FUJITSU. FUJITSU クラウド 職・農クラウド Akisai(秋彩). 参照先: FUJITSU:
<http://jp.fujitsu.com/solutions/cloud/agri/>
- [12] イオンアグリ創造株式会社. 農場紹介. 参照先: イオン創造株式会社:
<http://www.aeon.jp/agricreate/farm/index.html>
- [13] 農林水産省. (平成 26 年年 7 月). 食料・農業・農村政策審議会畜産部会 平成 26 年度第 4 回部会 配付資料 資料 4 畜産環境をめぐる課題. 参照先: 農林水産省:
http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/tikusan/bukai/h2604/pdf/04_data4.pdf
- [14] 農林水産省. (平成 26 年 3 月). 畜産環境問題とは 畜産経営に起因する苦情発生状況. 参照先: 農林水産省:
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujou_2603.pdf

- [15] FIGARO TGS2450: <http://www8.plala.or.jp/InHisTime/PIC-027/TGS2450.pdf>
- [16] FIGARO TGS2602: http://www.figaro.co.jp/product/docs/tgs2602_product%20information%28jp%29_rev03.pdf
- [17] HANWEI ELECTRONICS MQ-4: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>

図表目次

図 1.1	一般的なセンサネットワーク	4
図 1.2	センサネットワークの農業への適用例[3,4]	5
図 1.3	IT 農業 市場規模予測[2]	5
図 1.4	eLAB experience 社 フィールドサーバ[6]	6
図 1.5	住友精密工業株式会社 「eKo」 [7]	6
図 1.6	NEC 事例紹介 「ちばみどり農業組合」 [8]	7
図 1.7	Akisai 導入例：幸寿園[9,11]	7
図 1.8	苦情の総件数と内訳（平成 25 年） [13]	9
図 1.9	畜産経営に起因する苦情の内容別発生状況（平成 25 年） [14]	9
図 2.1	協力養豚農家の養豚場	12
図 2.2	養豚場周辺	12
図 2.3	左：TGS2450、右：TGS2602	14
図 2.4	MQ-4	15
図 2.5	作製したにおい検出器	16
図 2.6	主要部品	16
図 2.7	TGS2450 回路図	18
図 2.8	TGS2602 の回路図	19
図 2.9	MQ-4 回路図	19
図 2.10	プログラム上でのピンの定義	20
図 2.11	センサのアナログ値を読み込む命令 1	20
図 2.12	センサのアナログ値を読み込む命令 2	21
図 2.13	初期設定 1（一部抜粋）	21
図 2.14	初期設定 2	21
図 2.15	書き込み開始と停止の切り替えプログラム 1（一部抜粋）	22
図 2.16	書き込み開始と停止の切り替えプログラム 3（一部抜粋）	22
図 2.17	LED が点灯した直後の動作（一部抜粋）	23
図 2.18	LED が消灯した直後の動作	23
図 2.19	LED が点灯中の動作（一部抜粋）	24
図 2.20	保存保障動作	24
図 3.1	事前実験 A 模式図	26
図 3.2	においへの応答 結果：TGS2450	27
図 3.3	においへの応答 結果：TGS2602	28
図 3.4	においへの応答 結果：MQ-4	29
図 3.5	事前実験 B 模式図	31

図 3.6 距離依存性 結果：TGS2450（等高線図）	32
図 3.7 距離依存性 結果：TGS2450	33
図 3.8 距離依存性 結果 TGS2602（等高線図）	34
図 3.9 距離依存性 結果：TGS2602	35
図 3.10 距離依存性 結果：MQ-4（等高線図）	36
図 3.11 距離依存性 結果：MQ-4	37
図 4.1 実験 A：畜舎外観	41
図 4.2 実験 A：畜舎内部	41
図 4.3 実験部屋 断面図	43
図 4.4 畜舎の寸法	43
図 4.5 実験 A 模式図	43
図 4.6 においへの応答 結果：TGS2450	44
図 4.7 においへの応答 結果：TGS2602	45
図 4.8 においへの応答 結果：MQ-4	46
図 4.9 実験 B 模式図	48
図 4.10 距離依存性 結果：TGS2450（等高線図）	49
図 4.11 距離依存性 結果：TGS2450	50
図 4.12 距離依存性 結果：TGS2602（等高線図）	51
図 4.13 距離依存性 結果：TGS2602	52
図 4.14 距離依存性 結果：MQ-4（等高線図）	53
図 4.15 距離依存性 結果：MQ-4	54
図 4.16 実験 C：実験場所	56
図 4.17 実験 C	57
図 4.18 実験 C：全体	57
図 4.19 敷地境界 結果：TGS2450	58
図 4.20 敷地境界 結果：TGS2602	59
図 4.21 敷地境界 結果：MQ-4（1）	60
図 4.22 敷地境界 結果：MQ-4（2）	61
図 4.23 敷地境界 結果：MQ-4（3）	61
図 4.24 実験 D：実験場所	63
図 4.25 実験 D 模式図（上面図）	64
図 4.26 反応の最大値 結果	65
図 5.1 通常環境 No.1 と No.2 補正前	70
図 5.2 アンモニア臭に満ちた環境 No.1 と No.2 補正前	71
図 5.3 補正式	71
図 5.4 通常環境 補正後	72

図 5.5	アンモニア臭に満ちた環境 補正後	72
図 5.6	通常環境 No.1~10 補正後	73
図 5.7	アンモニア臭に満ちた環境 No.1~10 補正後	73
図 5.8	実験 B 結果 : TGS2450	75
図 5.9	TGS2450 補正後	75
図 5.10	実験 B 結果 : TGS2602	76
図 5.11	TGS2602 補正後	76
図 5.12	実験 B 結果 : MQ-4	77
図 5.13	MQ-4 補正後	77
表 1-1	農林業経営体数（全国） [1]	3
表 2-1	においセンサー一覧	14
表 2-2	主な仕様	17
表 3-1	実験一覧	25
表 3-2	事前実験まとめ	39
表 4-1	実験一覧	40
表 4-2	実地試験まとめ	67
表 4-3	まとめ	68
表 6-1	まとめ	79

付録①：Arduino による動作プログラム

```
//SD カード関係
#include <SD.h>
#define ChipSelect      8
#define Exists true
String MQ4DataAnalogValue = "";
String TGS2602DataAnalogValue = "";
String TGS2450DataAnalogValue = "";
char KataBan[4] = "01";//
File DataFile;
boolean FileExists;
long count =          0;
long Number =         1;

//tactileSwitch 関係
#define LedOutputPin    7
#define switchReadPin   6
#define ON HIGH
#define OFF LOW
int oldSwitchState = HIGH;
int switchState = HIGH;
int ledState = LOW;
//MQ4 関係
#define MQ4ReadPin      A0
int MQ4AnalogValue =    0;
//TGS2602 関係
#define TGS2602ReadPin  A3
int TGS2602AnalogValue = 0;
//TGS2450 関係
// For PNP transistors
#define ON_HEATER 0
#define OFF_HEATER 1
#define ON_VOUT 0
#define OFF_VOUT 1
#define TGS2450ReadPin A5
```

```

#define TGS2450SensorOutPin  5
#define TGS2450HeaterOutPin  4
int TGS2450AnalogValue = 0;

void tactileSwitchLedSetup()
{
  pinMode(LedOutputPin,OUTPUT);
  pinMode(switchReadPin,INPUT_PULLUP);
}

void SDCardSetup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.print(KataBan);
  Serial.print(":Initializing SD card...");
  pinMode(ChipSelect,OUTPUT);
  if(!SD.begin(ChipSelect))
  {
    Serial.println("Card failed,or not present");//SD カード読み取りエラーのメッセ
  }else{
    Serial.println("Card initialized.");//SD カード読み取れた時のメッセ
  }
  if(SD.exists("DataLog.txt"))//ファイルの存在をチェック
  {
    Serial.println("DataLog.txt exists.");//ファイルがある場合
  }else{
    Serial.println("DataLog.txt doesn't exist.");//ファイルがない場合
  }
}

void TGS2450Setup()
{
  pinMode(TGS2450SensorOutPin, OUTPUT);
  pinMode(TGS2450HeaterOutPin, OUTPUT);
}

```

```

void TGS2450Action()
{ // <- 0ms.
    digitalWrite(TGS2450HeaterOutPin, ON_HEATER);
    delay(8); // <- 8ms.
    digitalWrite(TGS2450HeaterOutPin, OFF_HEATER);
    delay(231); // <- 239ms.
    digitalWrite(TGS2450SensorOutPin, ON_VOUT);
    delay(10); // <- 249ms.
    TGS2450AnalogValue = analogRead(TGS2450ReadPin);
    digitalWrite(TGS2450SensorOutPin, OFF_VOUT);
    delay(1); // <- 250ms.
}

void setup()
{
    tactileSwitchLedSetUp();
    SDCardSetUp();
    TGS2450SetUp();
}

void loop()
{
    switchState = digitalRead(switchReadPin);
    MQ4AnalogValue = analogRead(MQ4ReadPin);

    TGS2602AnalogValue = analogRead(TGS2602ReadPin);
    TGS2450Action();
}

```

```

if(switchState == LOW && oldSwitchState == HIGH)
{
    ledState = !ledState;
    if(ledState == ON)
    {
        digitalWrite(LedOutputPin, ON);
        DataFile = SD.open("DataLog.txt",FILE_WRITE);
        DataFile.print(KataBan);
        DataFile.print(":Number");
        DataFile.print(",");
        MQ4DataAnalogValue = "MQ-4 Analog Value, ";
        DataFile.print(MQ4DataAnalogValue);
        TGS2450DataAnalogValue = "TGS2450 Analog Value, ";
        DataFile.print(TGS2450DataAnalogValue);
        TGS2602DataAnalogValue = "TGS2602 Analog Value, ";
        DataFile.print(TGS2602DataAnalogValue);
        Serial.print(KataBan);
        Serial.print(":Number, ");
        Serial.print("MQ-4_AV, " );
        Serial.print("TGS2450_AV, ");
        Serial.print("TGS2602_AV, ");
        if(DataFile == false)
        {
            FileExists = false;
        }else{
            FileExists = true;
        }
    }
}
else
{
    digitalWrite(LedOutputPin,OFF);
    DataFile.close();//ここで閉じる
    FileExists = false;
    Number = 1;
}
}

```

```

oldSwitchState = switchState;

if(ledState == ON)
{
    if(FileExists == true)//保存先が存在する時
    {
        if(count%4 == 0)
        {

            DataFile.print(Number);
            DataFile.print(String(", "));

            MQ4DataAnalogValue = String(MQ4AnalogValue);
            MQ4DataAnalogValue += ",";
            TGS2450DataAnalogValue = String(TGS2450AnalogValue);
            TGS2450DataAnalogValue += ",";
            TGS2602DataAnalogValue = String(TGS2602AnalogValue);

            DataFile.print(MQ4DataAnalogValue);
            DataFile.print(TGS2450DataAnalogValue);
            DataFile.print(TGS2602DataAnalogValue);

            Serial.print(Number);
            Serial.print(",");
            Serial.print(MQ4AnalogValue);
            Serial.print(",");
            Serial.print(TGS2450AnalogValue);
            Serial.print(",");
            Serial.println(TGS2602AnalogValue);

            Number += 1;
        }
    }
    else
    {

```



```
        if(count%(4*60) == 0)
        {
            DataFile.flush();
        }
    }
    else
    { //保存先が存在しない時
        if(count%20 == 0)
        {
            Serial.println("Error opening DataLog.txt");
        }
        else
        { //何もしない
        }
    }
}

count += 1;
}
```