

平成 27 年度
卒業研究報告

研究題目

オイルパーティクルカウンタの
計数アルゴリズムの改良

指導教員 由井四海

富山高等専門学校
電子情報工学科

辻村悠

平成 28 年 2 月 24 日提出

目次

第1章	序章	3
1.1	はじめに	3
1.2	ISO4406 (International Organization for Standardization) (JISB9933)	3
1.3	NAS 等級(NAS1638)(National Aerospace Standard)	5
1.4	信号処理	6
1.3.1	ローパスフィルタ(LPF)	6
1.3.2	ハイパスフィルタ(HPF)	7
1.3.3	バタワースフィルタ	8
第2章	方法と装置	9
2.1	方法	9
2.2	装置	9
2.2.1	光学式パーティクルカウンタ	9
2.2.2	デジタルオシロスコープ	10
2.2.4	ステッピングモータ	10
第3章	実験内容	11
3.1	溶液	11
3.1.1	潤滑油について	11
3.1.2	粒子混入水	12
3.2	実験粒子について	12
3.3	実験手順	13
3.4	旧アルゴリズム	14
第4章	LabVIEW を用いた異物検出	15
4.1	新アルゴリズムフローチャート	15

4.2 異物検出について	16
4.3 異物の誤検出について	17
4.4 高域・低域カットオフ周波数について	19
4.5 ヒストグラム作成について	22
第5章 実験結果	22
5.1 4.0 μ m 検出実験結果	22
5.2 ビン幅を変えた実験	27
5.3 旧アルゴリズムとの比較	29
第6章 まとめ・考察	31
6.1 まとめ	31
6.2 考察	31
謝辞	34
参考文献	34

第1章 序章

1.1 はじめに

エンジンや発電機などには, 金属同士の摩耗を軽減するため潤滑油が用いられている. 機器の摩耗により潤滑油中に異物が発生する. 潤滑油中の異物が増えると, 潤滑油が汚染され, 機器の寿命低下につながる. このことから, 潤滑油を定期的に検査する必要がある. そこで, リアルタイムで直接潤滑油を監視することが出来るオイルパーティクルカウンタの品質向上が期待されている. 潤滑システムや燃料システムに影響を及ぼす汚染物質は, 通常 $4\mu\text{m}$ と ISO4406 : 1999 規格で決められている. しかし, 本研究室の光学式パーティクルカウンタでは $4.0\mu\text{m}$ 以下の異物の測定が難しい. 本研究では, 油中の $4.0\mu\text{m}$ の大きさの異物を検出するアルゴリズムの改良を行う.

1.2 ISO4406 (International Organization for Standardization) (JISB9933)

流体システムにおける固体汚染物質は, そのサイズ, 形状, 形態, および量が様々である. 潤滑システムや燃料システムに影響を及ぼす汚染物質は, 通常 $4\mu\text{m}$ である. そのため肉眼では確認できない. この肉眼では判定できない, 汚染物質の大きさと数を自動粒子計数法で計数して, ISO4406 で汚染度を評価する. 試料 1mL 当たりの粒子をカウント (数値は累積) することによって, 流体中の汚染物質分布状況を要約する汚染度コードの国際規格である. 各微粒子の粒径範囲に区分し, 1mL 中の粒子数から割り当てられるスケール番号 (0~28) を斜

線(/)によって区分し, 3桁表示する. コード番号の3桁の数字は, それぞれ 4 μ m, 6 μ m, 14 μ m の

粒子に対応している. 表 1 に ISO4406 のコード表を示す. [1]

表 1 ISO4406 コード表 (試料 1mL 当たりの粒子数)

25,000,000				
13,000,000				28
640,000				27
320,000				26
160,000				25
80,000				24
40,000				23
20,000				22
10,000				21
5,000				20
2,500				19
1,300				18
640				17
320				16
160				15
80				14
40				13
20				12
10				11
5				10
2.5				9
1.3				8
0.64				7
0.32				6
0.16				5
0.08				4
0.04				3
0.02				2
0.01				1
0.005				0

表示方法例 :

4 μ m 以上 = 1250 → 17 → 17

6 μ m 以上 = 294.9 → 15 → 15

14 μ m 以上 = 42.5 → 13 → 13

ISO Code 17/15/13

表 1 の場合, 4 μ m 以上が 1250, 6 μ m 以上が 294.9, 14 μ m 以上が 42.5 の時 ISO Code は 17/15/13

となる.

1.3 NAS 等級 (NAS1638) (National Aerospace Standard)

流体システムにおける固体汚染物質は、そのサイズ、形状、形態、および量が様々である。油圧システムで最も有害な汚染物質は、通常 6~14 μm である。そのため肉眼では確認できない。この肉眼では判定できない、汚染物質の大きさと数を自動粒子計数法で計数して、NAS1638 を清浄度で表す。NAS 規格の清浄度基準は、航空宇宙コンポーネント向けに米国で開発されたもので、工業や航空宇宙の流体動力用途で現在も広く利用されている。試料中の粒子数を、 $>5 \sim \leq 15$, $>15 \sim \leq 25$, $>25 \sim \leq 50$, $>50 \sim \leq 100$, $>100 \mu\text{m}$ と各微粒子の粒径範囲に区分し、100mL 中の粒子数から割り当てられる等級(00~12) を各粒径範囲毎に表示する。NAS 等級は、最も清浄な 00 級から最も汚れた 12 級までの 14 種類の等級で表す。表 2 に NAS 等級のコード表を示す。[2]

表 2 NAS 等級コード表(試料 1mL 当たりの粒子数)

NAS等級	5-15 μ	15-25	25-50	50-100	>100
"00"	125	22	4	1	0
"0"	250	44	8	2	0
"1"	500	89	16	3	1
"2"	1000	178	32	6	1
"3"	2000	356	63	11	2
"4"	4000	712	126	22	4
"5"	8000	1425	253	45	8
"6"	16000	2850	506	90	16
"7"	32000	5700	1012	180	32
"8"	64000	11400	2025	360	64
"9"	128000	22800	4050	720	128
"10"	256000	45600	8100	1440	256
"11"	512000	91200	16200	2880	521
"12"	1024000	182400	32400	5760	1024

1.4 信号処理

本研究は測定電圧に対して信号処理を行った。信号処理は光学式パーティクルで測定し得た遮断光に対して行う。図 1 にサンプル数 10,000 個で 10,000 μ s の測定電圧例を示す。

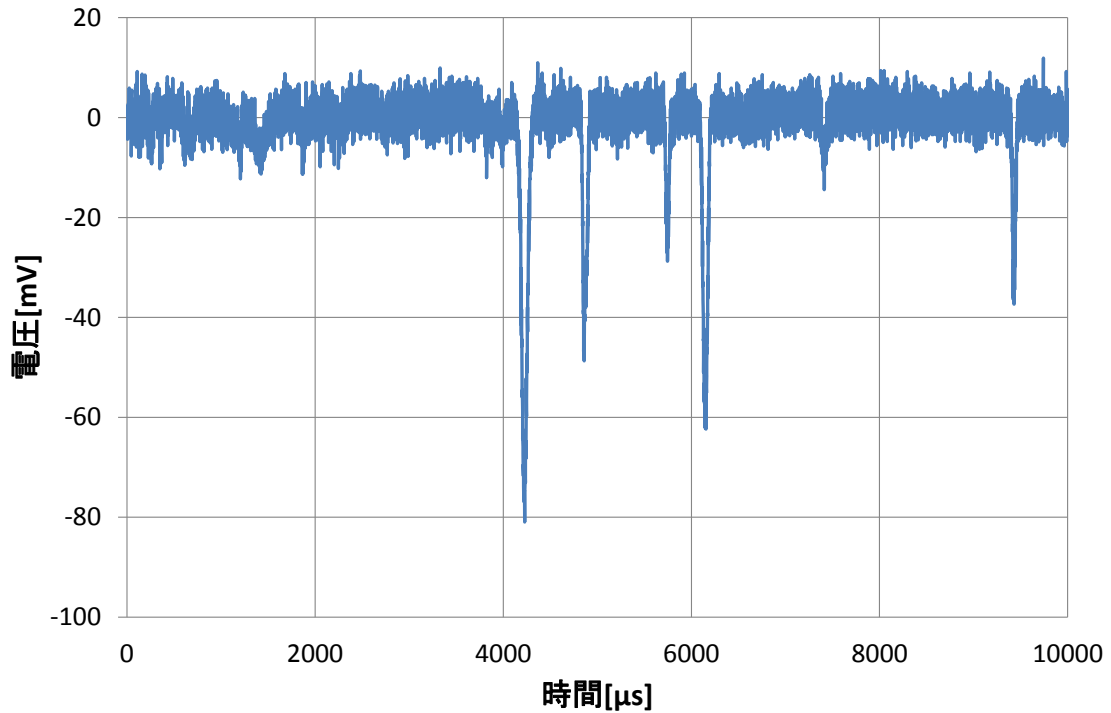


図 1 測定電圧例

1.3.1 ローパスフィルタ (LPF)

ローパスフィルタの式は(1.1)の通りである。

測定電圧 R に対して過去 t_L サンプル分の平均値をとる。

$$L_n = \begin{cases} \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n R_k, & \text{if } n \leq t_L \\ \frac{1}{t_L} \sum_{n-t_L}^n R_k, & \text{if } n > t_L \end{cases} \quad (1.1)$$

式(1.1)を用いると測定電圧が平滑化されノイズが少なくなった。図 1 の測定電圧を過去サンプル数 5 で LPF にかけた例を図 2 に示した。

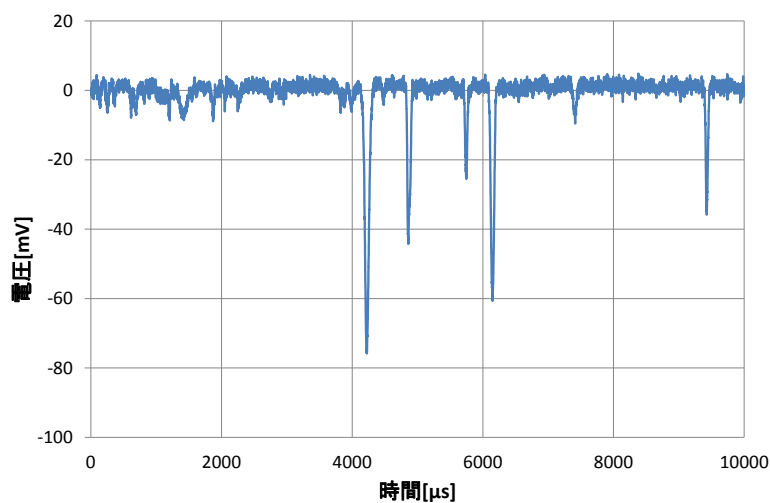


図 2 LPF 後の測定電圧

1.3.2 ハイパスフィルタ (HPF)

ハイパスフィルタの式は(1.2)の通りである.

ローパス値から過去 t_H サンプル分のローパスの最頻値 (Mode) を引く.

$$H_n = \begin{cases} L_n - \text{Mode}(L_0 \cdots L_n), & \text{if } n \leq t_H \\ L_n - \text{Mode}(L_{n-t_H} \cdots L_n), & \text{if } n > t_H \end{cases} \quad (1.2)$$

ただし, 最頻値が複数ある場合は, 最頻値の平均を使う.

式(1.2)を用いるとデータの異物が判別を行いやすくなった. 図 2 の LPF 後の測定電圧を過去サンプル数 694 で HPF にかけた例を図 3 に示す.

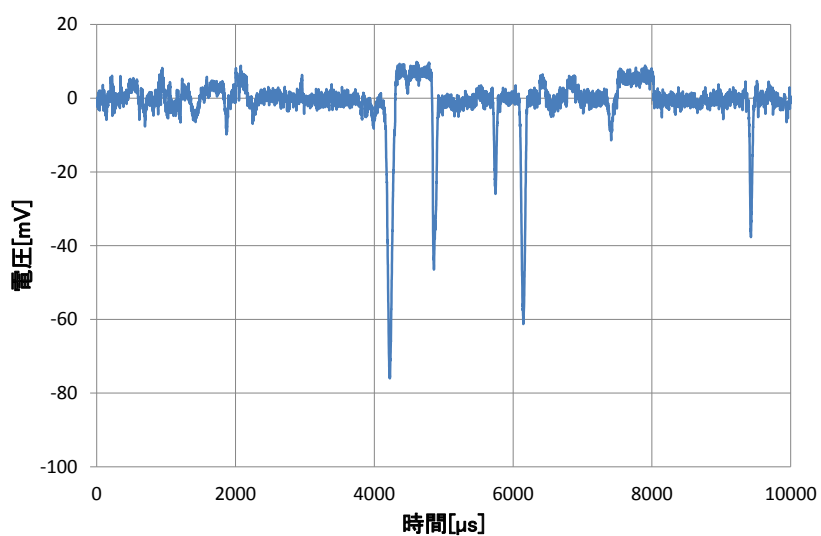


図 3 HPF 後の測定電圧

1.3.3 バタワースフィルタ

n 次バタワース・バンドパスフィルタを用いて異物検出のため信号処理を行った。バンドパスフィルタは、低周波数と高周波数をカットし、ある周波数区間の信号のみを通過させるフィルタである。バタワース型バンドパスフィルタの特性は通過域帯域が平坦である。2次バタワースパスフィルタの伝達関数 $H(s)$ を式(1.3)に示す。このバタワース多項式の複素数 s を置き換えると、ローパスフィルタ (LPF) , ハイパスフィルタ (HPF) , バンドパスフィルタ (BPF) , バンドストップフィルタ (BSF) の式となる。[3]

$$\text{(バタワース多項式)}H(s) = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1} \quad (1.3)$$

$$\text{(LPF)} \quad s \rightarrow \frac{s}{2\pi f_c} \quad (1.4)$$

$$\text{(HPF)} \quad s \rightarrow \frac{2\pi f_c}{s} \quad (1.5)$$

$$\text{(BPF)} \quad s \rightarrow \frac{s^2 + 2\pi^2 f_{c1} f_{c2}}{2\pi(f_{c2} - f_{c1})s} \quad (1.6)$$

$$\text{(BSF)} \quad s \rightarrow \frac{2\pi(f_{c2} - f_{c1})s}{s^2 + 2\pi^2 f_{c1} f_{c2}} \quad (1.7)$$

ここで、 f_c はカットオフ周波数、 f_{c1} は低域カットオフ周波数、 f_{c2} は高域カットオフ周波数である。

第2章 方法と装置

2.1 方法

本研究では光学式パーティクルカウンタを使用した。測定原理は、発光部からのレーザー光をセル内に流した水及び油に照射する。受光部のフォトダイオードで、レーザー光の強弱を測定する。受光部で測定した透過光強度の電圧の変化から異物の数と大きさを検出する。

図4に光学式パーティクルカウンタの測定原理を示す。

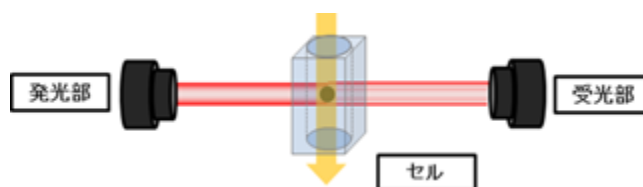


図4 実験構成図

2.2 装置

2.2.1 光学式パーティクルカウンタ

光学式パーティクルカウンタはトライボテックス製である。発光部は半導体レーザー、受光部はフォトダイオード、セルを使用した。表3に使用機器を示す。

表3 光学式パーティクルカウンタの使用機器

名前	型番	仕様	メーカー
Visible Laser Diode	ADL-65075TU-1	wavelength 655nm, Light output power 10mW, Beam diameter 5.6mm, FFP deviation angle -2~2deg	Arima
Si PINフォトダイオード セル	S5821-02	light receiving sensitivity 0.45 A/W 断面 (5mm×5mm)	浜松フォトニクス

2.2.2 デジタルオシロスコープ

Pico-scope4224 は Pico Technology 社の USB 接続のデジタルオシロスコープである。Pico-Scope4224 の仕様を表 4 に示す。

表 4 PicoScope4224 仕様

モデル	PicoScope 4224
入力チャンネル	2
帯域幅	20MHz
メモリ長	32 MS
垂直解像度	12 bits

2.2.4 ステッピングモータ

本研究では、溶液をセルに流すとき注射器を用いている。しかし手動で注射器を押しても流速は一定にならない。そこで流速を一定にするためステッピングモータで注射器を押すことにした。ステッピングモータを動かすための機器を表 5 に示す。ステッピングモータを動かすために使用した回路を図 5 に示す。ステッピングモータを動かすために作成したプログラムは、一定時間モータを正回転させた後、逆回転させるプログラムである。

表 5 使用実験機器

名称	型番	仕様	個数
ステッピングモータ	PK243A1-SG10	トルク 0.56N・m 基本ステップ角度 0.18°	1
FET	SUP85N15-21	ドレイン電流 85A ON抵抗 0.21Ω	4
電源	sunhayato DK-910series	出力電圧 1.5V,3V,3.3V,5V,6V,9V,12V,15V 出力電流 最大 0.8A	1
注射器	TERMO SS-20LZ		1
arduino	arduino uno		1

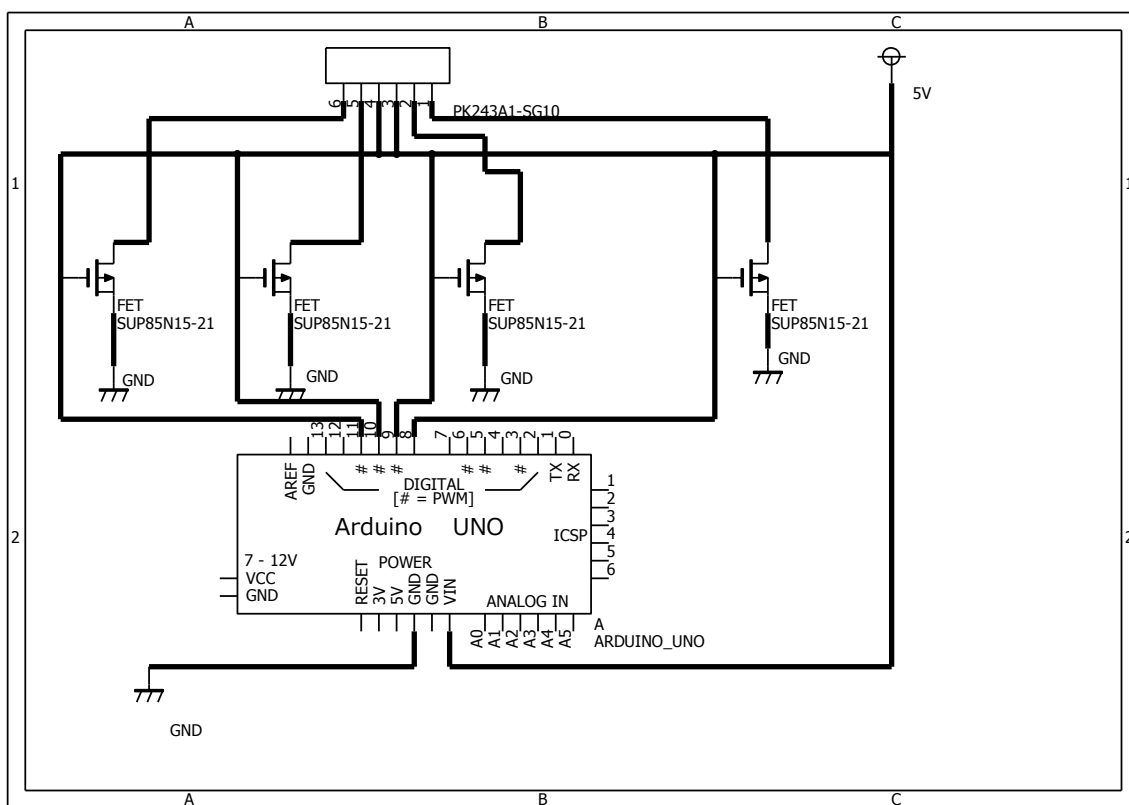


図 5 ステッピングモータ回路図

第3章 実験内容

3.1 溶液

本研究では、複数の溶液で実験を行った。用いた溶液は、粒子混入油、濾過油、粒子混入水、濾過水の4つである。

3.1.1 潤滑油について

潤滑油とは、機械の歯車などに潤滑剤として使われる油のことである。潤滑油は、船のエンジンや発電機などにも用いられている。本実験では、2種類の油を用いて測定を行った。NAS 等級 class3 に基づいた校正表を表 6 示す。NAS 等級は 100mL 粒子をそれぞれ次の 5

段階にわたる粒径範囲に分類し, 粒子サイズごとにその数量によって規定された等級で評価する. ISO4406 : 1999 に基づいた構成表を表 7 に示す.

表 6 きれいな油 (NAS 等級 class3)

作成日	No	粒径(μ m)	平均値(個/ml)
2015.06.03	5	5	1433.33
		15	33.33
		25	20
		50	0
		100	0

表 5 粒子混入油 (ISO CODE22/20/17)

作成日	校正液No	粒径(μ m)	平均値(個/ml)
2015.06.04	A	4	22209.89
		4.6	16584.54
		6	8329.24
		9.8	2217.29
		14	707.14
		21.2	161.39
		38	7.72
		68	0.12

3.1.2 粒子混入水

本研究は, 粒子混入水で異物検出実験を行った. 粒子混入水の作成手順を次に記述する. 水道水を粒径が $0.8\mu\text{m}$ 以上の粒子を通さないフィルタで濾過する. 濾過した水に任意の大きさの粒子を少量混入し, 粒子混入水を作成した. また, 粒子の大きさは $4.0\mu\text{m}$, $7.9\mu\text{m}$ の 2 種類である.

3.2 実験粒子について

$4.0\mu\text{m}$ 粒子は, Thermo Scientific 社の Duke Standards の 4204A を用いた. 仕様を表 8 に示す.

表 6 4204A 仕様

名称	4204A
成分	ポリスチレン
濃度	0.4%固体
直径(m)小片	4.000 ± 0.043μm
粒子密度	1.05g/cm ³
量	15mL
屈折率	589nm(25° C)で1.59
安定性	最低24カ月間

7.9μm 粒子は, Thermo Scientific 社の Copolymer Microsphere Suspensions の 7508A を用いた. 使用を表 9 に示す.

表 7 7508A 仕様

名称	7508A
成分	ポリスチレン
濃度	10%固体
直径(m)小片	7.9μ m
粒子密度	1.05g/cm ³
量	15mL
屈折率	589nm(25° C)で1.59
安定性	最低24カ月間

3.3 実験手順

粒子混入油の場合, 放置すると粒子が結合してしまうので容器を 10 分間振ることで粒子を分離させることにした. しかし, 容器を振ると油の中に気泡が出来てしまう. 気泡があるとレーザー光の透過光強度が変化するため, 正確な計測結果を得ることができない. そのため気泡がなくなるまで 20 分間待つ. この処理を行った油を用いて実験を行うことにした. また濾過油は, 粒子径が 0.8μm 以上の異物を通さないシリンジフィルタに通し作成した.

水の場合, 水道水の中には異物が入っている. 0.8μm 以上の異物を通さないシリンジフィルタに通し, 水を濾過する. 次に濾過した水で注射器の中を洗浄する. 再度粒子径が 0.8μm 以

上の異物を通さないシリンジフィルタに通し、濾過した水を用いて実験を行った。前の実験で油を使用した場合、光学式パーティクルのセル内に油が付着しているため 2-プロパノールで洗浄を行った。

3.4 旧アルゴリズム

旧アルゴリズムは、主に 6 つの手順で構成されている。以下に手順ごとの詳しい説明を示す。手順 1 で測定電圧を RAW データ (整数) に変換する。変換式(3.1)を用いた。

$$RAW = (A/D \text{ 分解能} - 1) \times \text{測定電圧 [mV]} / \text{フルレンジ電圧 [mV]} + A/D \text{ 分解能} / 2 \quad (3.1)$$

A/D 分解能は 4096 段階である。フルレンジ電圧は 400mV (-200 ~ +200mV) である。これらを代入すると RAW0 のとき -200mV, RAW2048 のとき 0mV, RAW4095 のとき 200mV となる。

手順 2 で RAW データを LPF (5 サンプル) にかける。式(1.1)を用いた。

手順 3 で RAW データを HPF (694 サンプル) にかける。式(1.2)を用いた。

手順 4 で一定幅以上の山の幅を検出する。連続で 10 点 0V を下回ったものを対象とした。

手順 5 でヒストグラムの生成を行う。

最後に手順 6 で RAW 値を電圧に戻した。式(3.2)を用いた。

$$\text{電圧} = (RAW - A/D \text{ 分解能}/2) * (\text{フルレンジ電圧} / (A/D \text{ 分解能})) \quad (3.2)$$

図 6 に旧アルゴリズムのフローチャートを示す。

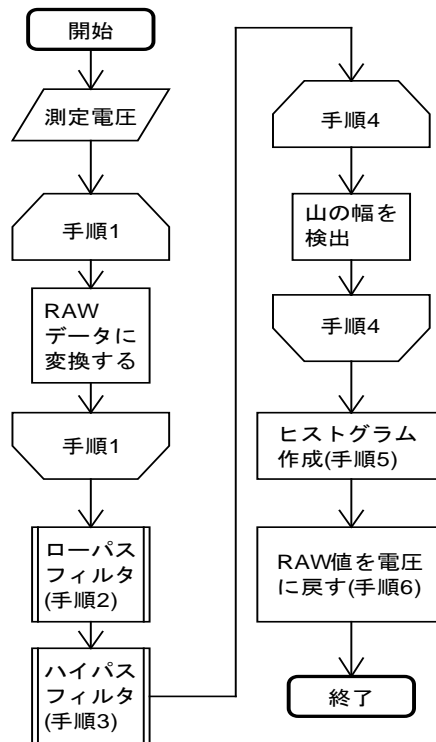


図6 旧アルゴリズムのフローチャート

第4章 LabVIEW を用いた異物検出

4.1 新アルゴリズムフローチャート

グラフィック型言語のシステム開発環境である LabVIEW2010 を用いて作成したプログラムで異物検出を行った。LabVIEW は主に計測用に用いられているグラフィック型言語の開発環境である。図7に新アルゴリズムのフローチャートを示す。実験手順通りに計測を行う。サンプリングレートは1 MS/s である。計測が始めると 1,000,000 個のデータ(1 秒間)でヒストグラムをリアルタイムで作成するプログラムである。また、入力した値は、ピークの山の大きさ(構成点数), BPF の高域カットオフ周波数と低域カットオフ周波数, ヒストグラムの最大値, 最小値, ヒストグラムの横軸の階級(ビン幅)である。

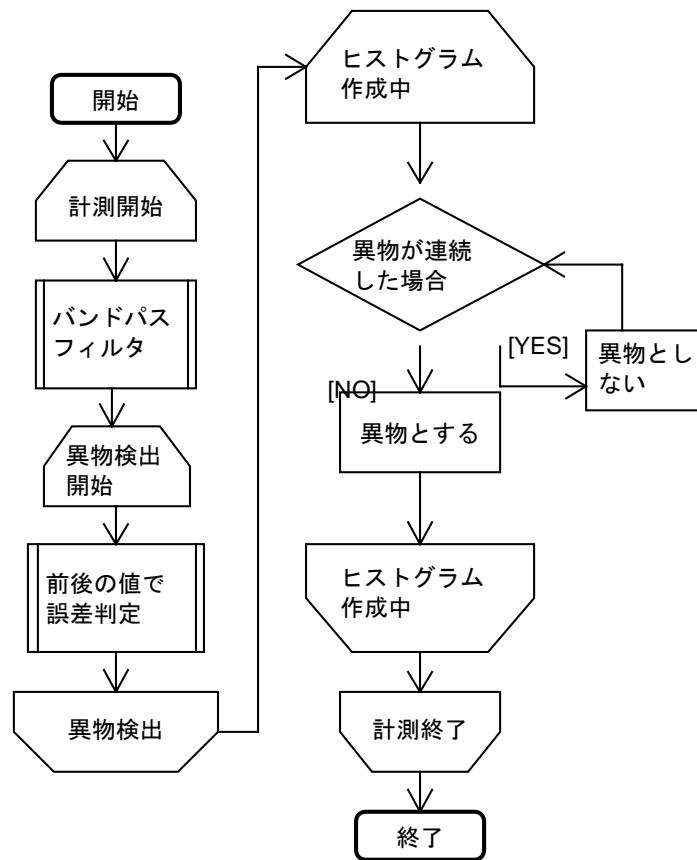


図7 異物検出アルゴリズム

4.2 異物検出について

実験で使用した異物検出アルゴリズムは、測定電圧 $v[i]$ の 1 つの点 (S1) を基準に前 20 区間 (S2) と後 20 区間 (S3) の合計の値が 5% 以内になった時に異物としてカウントすることにした。連続で異物としてカウントされた場合、1 番はじめにカウントしたデータを異物とし、他のデータは異物として処理しないこととした。図 8 に例を示す。

$$S1 = v[131] = -7.972\text{mV}$$

$$S2 = \sum_{i=110}^{20} v[i] = -98.080\text{mV}$$

$$S3 = \sum_{i=132}^{20} v[i] = -98.745\text{mV}$$

$$0.95 \times S2 < S3 < 1.05 \times S2$$

$$-93.176 < S3 < -103.515$$

S3 の値が 5%以内に収まっているので S1 は異物として検出した。

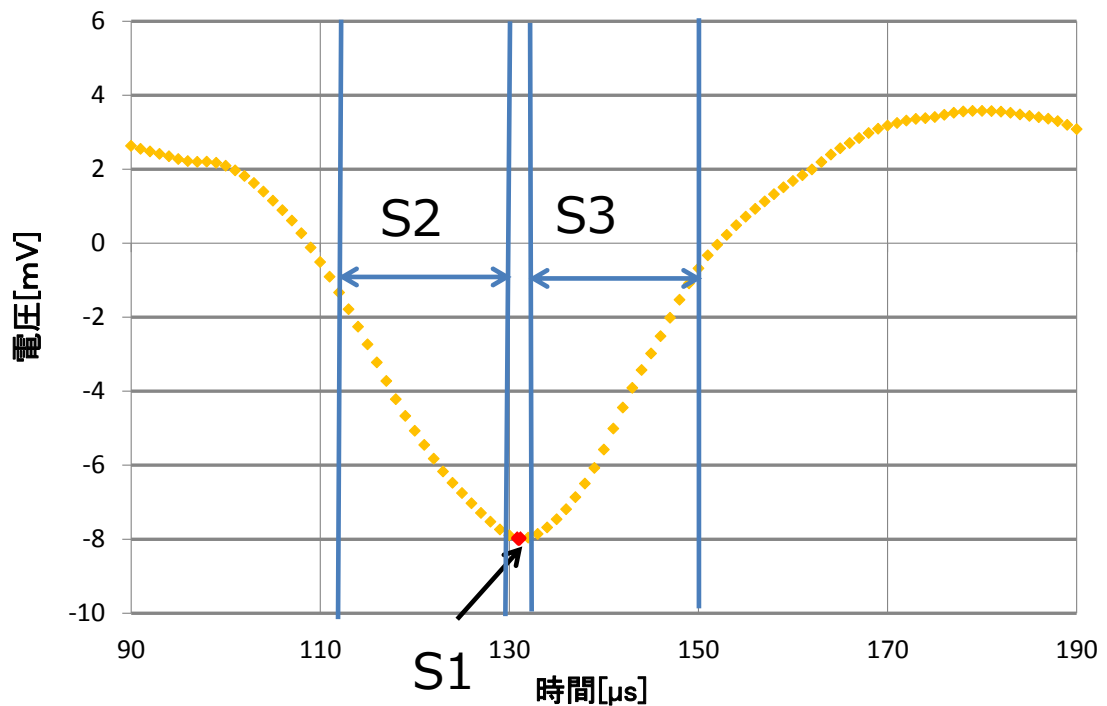


図 8 異物検出の例

4.3 異物の誤検出について

新アルゴリズムで実験を行い異物検出する際、測定電圧が小さいと誤検出が発生する場合があります。異物検出アルゴリズムは前 20 区間と後 20 区間を比較しており、電圧が小さいと値に差が生まれなくなる。したがって、測定電圧が小さいとき信号を誤検出してしまう。図 9 の誤検出の例を示す。

$$S1 = v[33] = -0.716\text{mV}$$

$$S2 = \sum_{i=12}^{20} v[i] = -9.833\text{mV}$$

$$S3 = \sum_{i=34}^{20} v[i] = -9.501\text{mV}$$

$$0.95 \times S2 < S3 < 1.05 \times S2$$

図9の例の時、S1を異物としているが実際のデータを見ると異物ではない。そこで何も異物が流れていない状態を二乗平均平方根(Root Mean Square, RMS)を式(4.1)で求めた。RMSが2.2mVであるので-1.5mVより高い電圧は誤信号として処理した。

$$\text{RMS}[x] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (x_i)^2} \quad (4.1)$$

$$= 2.2\text{mV}$$

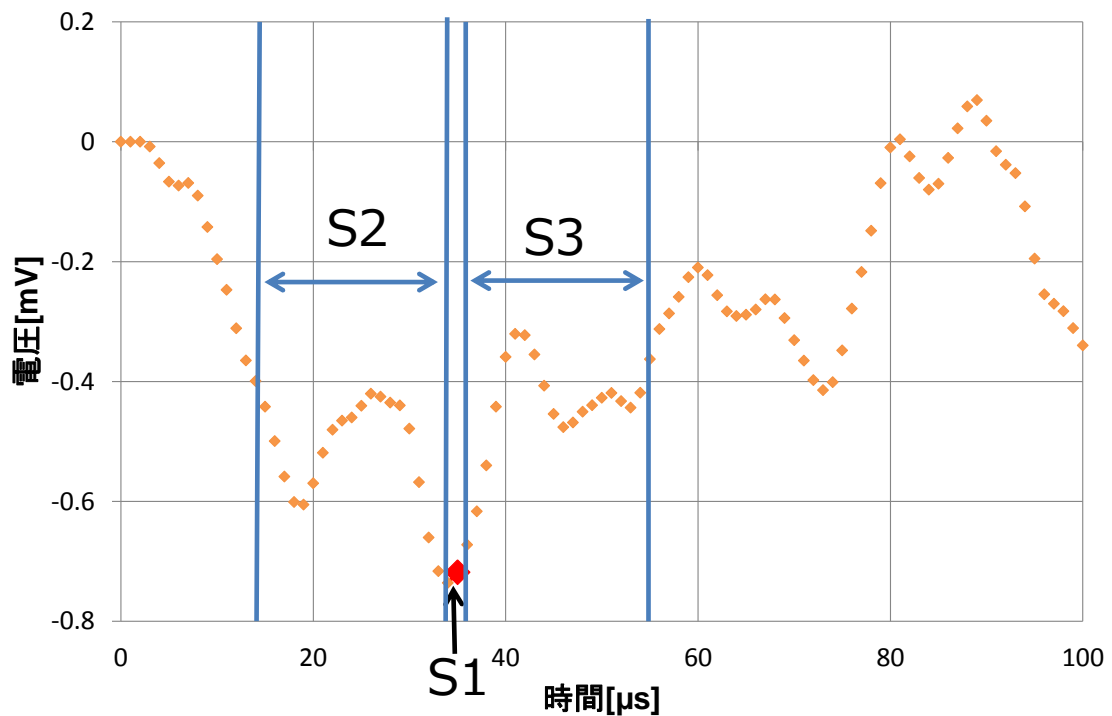


図9 誤検出の例

4.4 高域・低域カットオフ周波数について

本研究では, BPF を用いて信号の処理を行っている. BPF には高域カットオフ周波数, 低域カットオフ周波数を定める必要がある. 高域カットオフ周波数は信号の遮断周波数より低い周波数成分をカットし, 低域カットオフ周波数は信号の遮断周波数より高い周波数の周波数成分をカットする. 本研究で実際に与えた値は高域カットオフ周波数 20kHz, 低域カットオフ周波数 10Hz である. 図 10 に測定電圧の例, 図 11 に測定電圧を BPF にかけた例を示す.

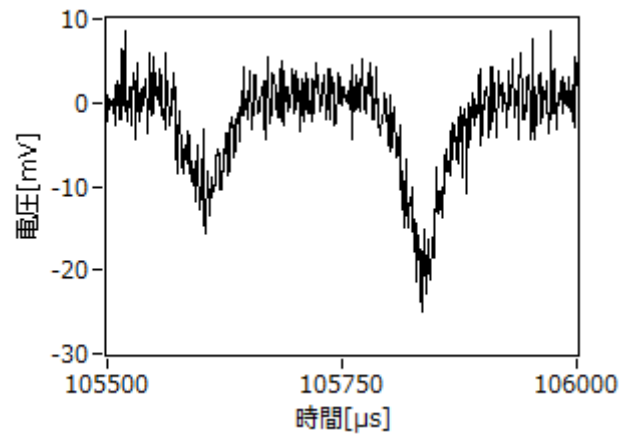


図 10 測定電圧の例

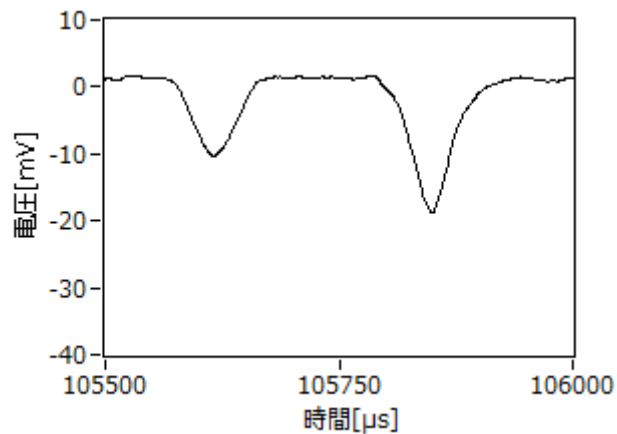


図 11 BPF 後(高域カットオフ周波数 20kHz, 低域カットオフ周波数 100Hz)

図 12, 図 13 に低域カットオフ周波数を変えず(100Hz), 高域カットオフ周波数を変化させた信号の例を示す.

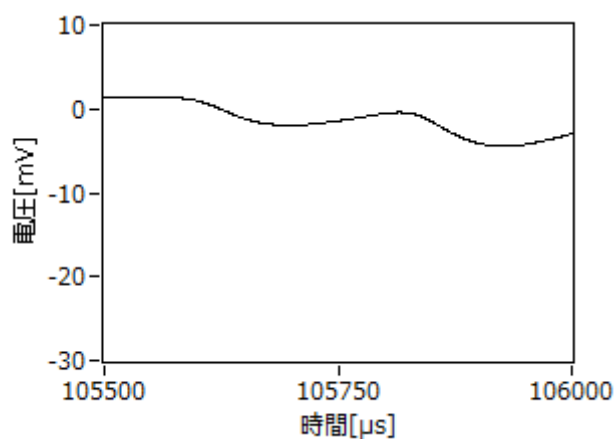


図 12 高域カットオフ周波数を小さくした場合 (2kHz)

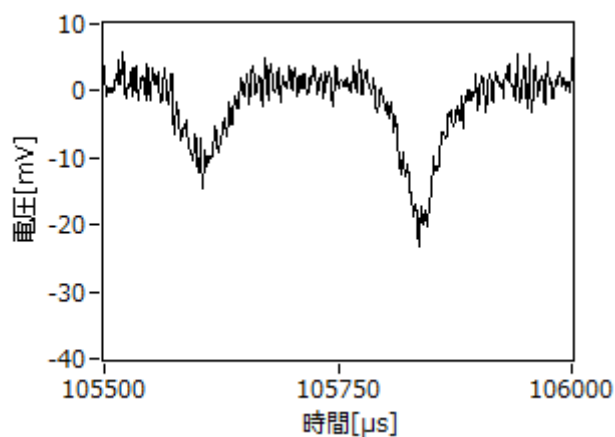


図 13 高域カットオフ周波数を大きくした場合 (200kHz)

高域カットオフ周波数を変化させた結果, 図 12, 図 13 になった. 高域カットオフ周波数を小さくした場合, 信号が小さくなり, 異物が検出できなくなった. また, 検出できた場合も, 信号強度が小さくなる. 高域カットオフ周波数を大きくした場合, 低い周波数成分がカットしきれなくなり, 異物を検出できなくなる. 次に低域カットオフ周波数を変えて実験を行った.

図 14, 図 15 に高域カットオフ周波数を変えず(20kHz), 低域カットオフ周波数を変化させた信号の例を示す.

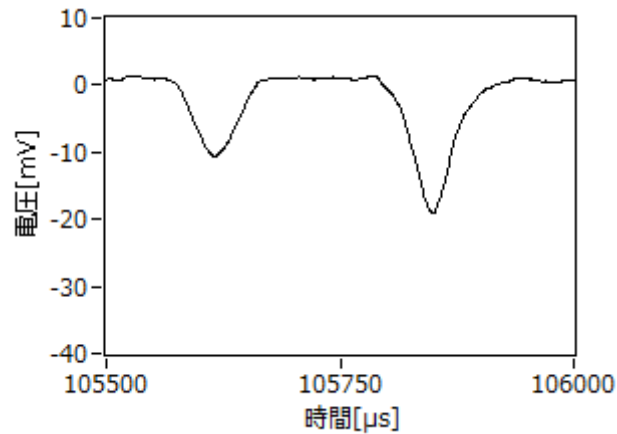


図 14 低域カットオフ周波数を小さくした場合(1Hz)

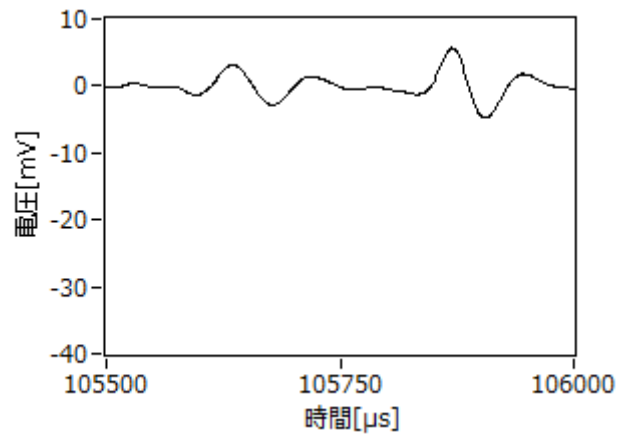


図 15 低域カットオフ周波数を大きくした場合(10kHz)

低域カットオフ周波数を変化させた結果, 図 14, 図 15 になった. 低域カットオフ周波数を小さくした場合, ある一定値から信号に変化がなくなる. 低域カットオフ周波数を大きくした場合, 信号が平滑化され変化するため, 異物を検出できなくなる. これらの結果から本研究では高域カットオフ周波数 20kHz, 低域カットオフ周波数 100Hz で信号の処理を行った.

4.5 ヒストグラム作成について

ヒストグラムの作成には, LabVIEW2010 のヒストグラムグラフを使用した. ヒストグラムを作成するときに用いた値は最大値, 最小値, ビン幅である. ビン幅の定め方はスタージェスの公式(式 4. 1)やスコットの選択(式 4. 2) [4]などあるが, 本研究では信号と誤信号を分けるためビン幅を 0. 05mV とした.

k : ビン幅, h : ビン数, n : データ数, σ : 標準偏差

$$k = \lceil \log_2 n + 1 \rceil \quad (4.1)$$

$$h = \frac{3.5\sigma}{n^{\frac{1}{3}}} \quad (4.2)$$

$$h = \frac{\text{最大値} - \text{最小値}}{k} \quad (4.3)$$

第5章 実験結果

5.1 4. 0 μ m 検出実験結果

新アルゴリズムを使用して, 実験を行った. 実験には 3 種類の水の溶液と 2 種類の油の溶液を用意した. 実験装置で透過光強度の測定を行うと電圧が得られる. 以下に 4. 0 μ m 粒子混入水の測定データ例を示す. 以下の図は, 横軸が時間, 縦軸が電圧である. サンプル数 1, 000, 000 個, サンプリングレート 1 MS/s, 測定電圧のレンジ-200~+200mV, 何も流れていない状態の RMS2. 2mV である. 図 16 はデータ数 1000 (0. 001 秒) の例である.

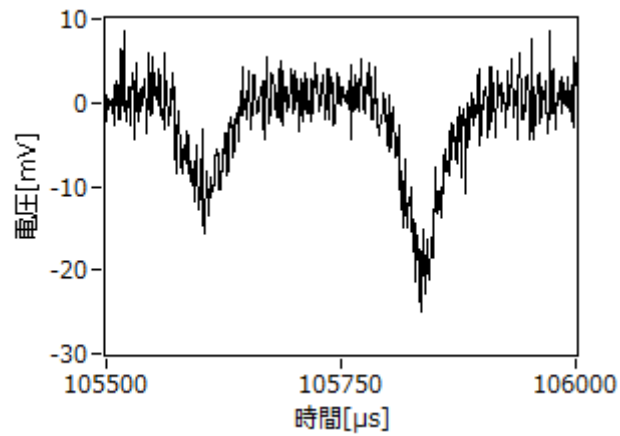


図 16 4.0 μm の粒子混入水を実際に測定したデータ例

次に測定電圧を 2 章に示したバターース型バンドパスフィルタを用いて一定の周波数区間のみ通過する処理を行った. 図 17 に図 16 の測定電圧をバターース型バンドパスフィルタで処理したデータを示す.

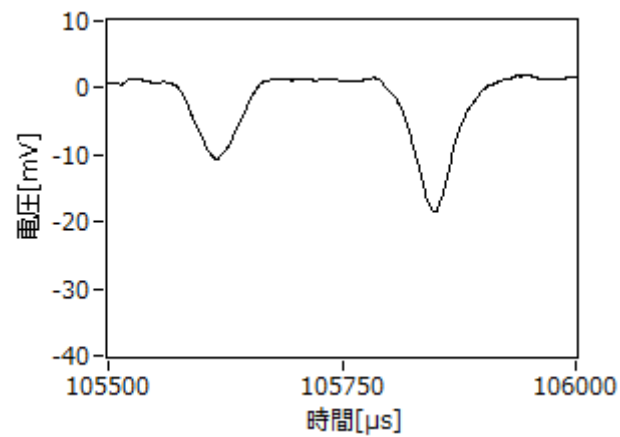


図 17 測定電圧をバンドパスフィルタに通したデータ例

次に BPF を行ったデータでヒストグラムを作成した. 図 18 に 4.0 μm の粒子を用いた場合の, 1 秒間の電圧のヒストグラムを示す.

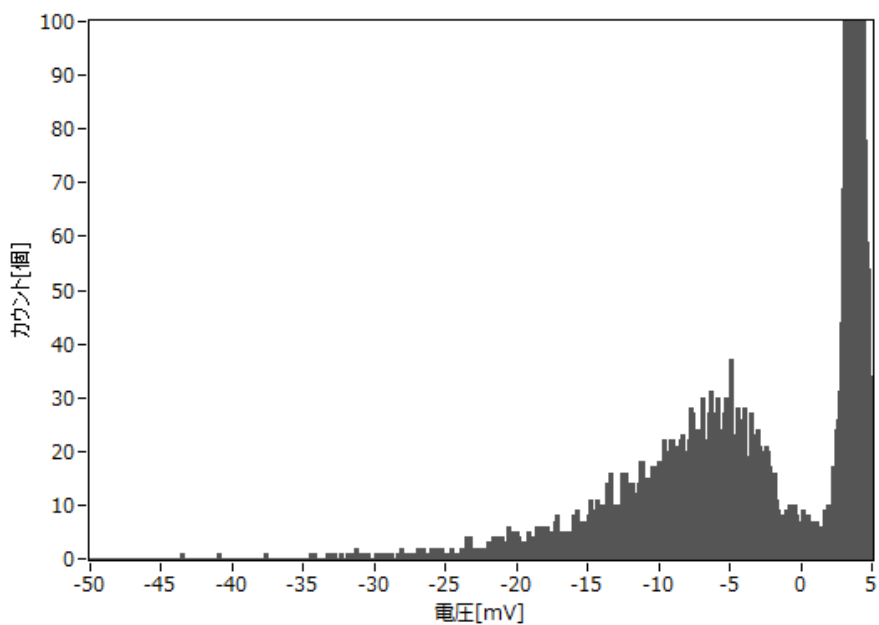


図 18 4.0 μm の粒子混入水の電圧ヒストグラム

4.0 μm 粒子混入水のヒストグラムを見ると、山型の分布が2つできている。ヒストグラムを作成するとき4章で定義した誤検出をカットする必要がある。そこで何も流れていない時のRMSが2.2mVと4章で求めたので-1.5mVより高い電圧をカットすることにした。図19に誤検出をカットしたヒストグラムを示す。

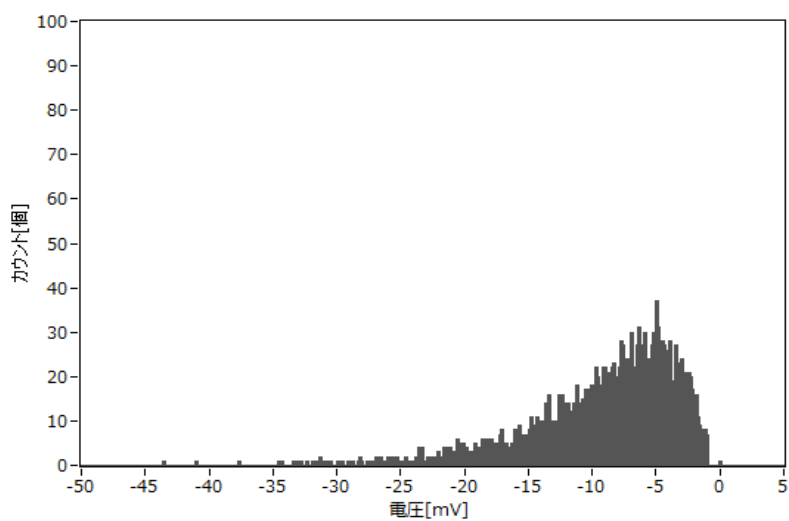


図 19 誤信号カット後の電圧ヒストグラム

図 20 に誤信号のヒストグラムを示す.

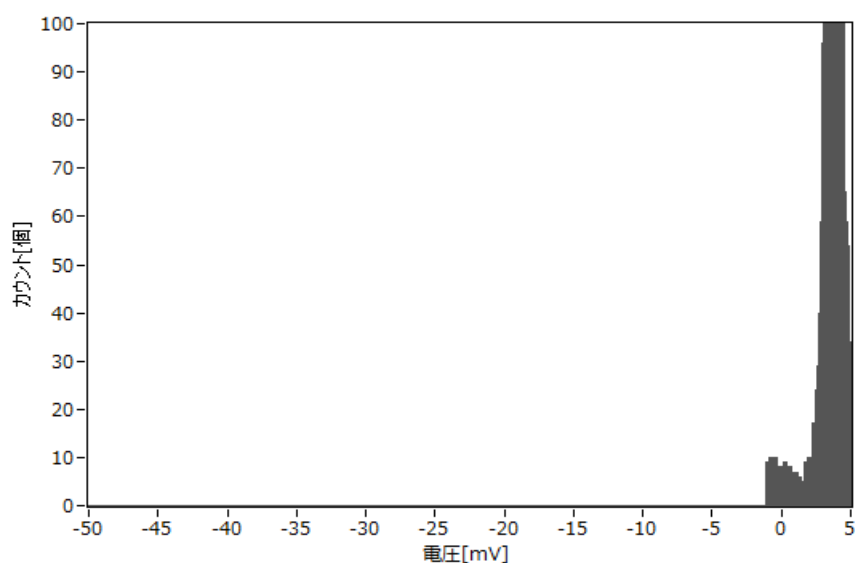


図 20 誤信号としてカットした電圧ヒストグラム

図 20 は信号の部分もカットしているように見える. これは水が流れていない状態の RMS が±1.1mV だったのでノイズとして処理を行ったからである.

次に 4.0 μ m の粒子が実際に検出できているかを検証する. 比較には濾過水を用いて実験を行った. 図 21 に濾過水を用いて測定したデータで作成したヒストグラムを示す.

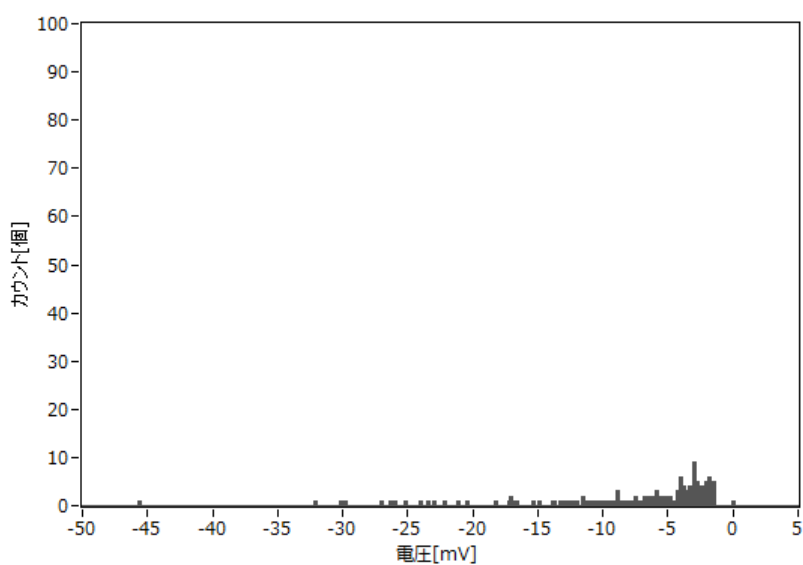


図 21 濾過水の電圧ヒストグラム

このヒストグラムをみると 4.0 μm 粒子混入水のヒストグラムと測定電圧の分布がことなることがわかる. これは 0.8 μm のシリンジフィルタで, 水中の検出できる大きさの異物をほとんど除去出来たからだと考えられる. 結果として信号数が少ないヒストグラムが出来たのだと考えられる.

次に 4.0 μm 以外の粒子を用いて実験を行った. 用いた粒子の大きさは 7.9 μm である. 図 22 に 7.9 μm の粒子で計測したデータで作成したヒストグラムを示す.

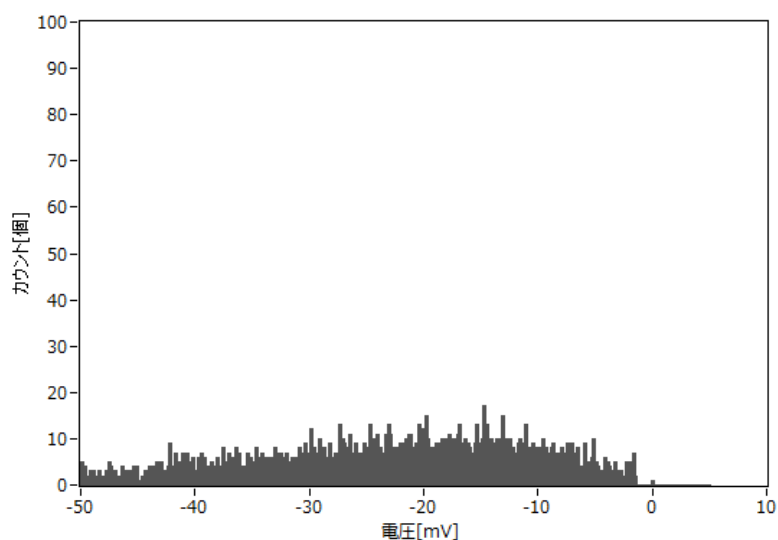


図 22 7.9 μm の粒子混入水の電圧ヒストグラム

このヒストグラムをみると 4.0 μm 粒子混入水のヒストグラムと測定電圧の分布と異なることがわかる. これは, 粒子の大きさが異なるからだと考えられる. 4.0 μm の粒子ヒストグラムより電圧強度が大きくなった原因は, セルに流れる粒子の粒子径が大きくなり受光部で受光する光強度が弱まったからだと考えられる.

5.2 ビン幅を変えた実験

次にビン幅によるヒストグラムの変化を検証した。ビン幅とはヒストグラムの幅のことである。本実験では、ビン幅 0.05mV で実験を行った。理由として分解能 12bit で電圧を測定しておりフルレンジが 400mV であるからである。図 23 にビン幅 0.05mV (ビン数) で作成した電圧のヒストグラムを示す。

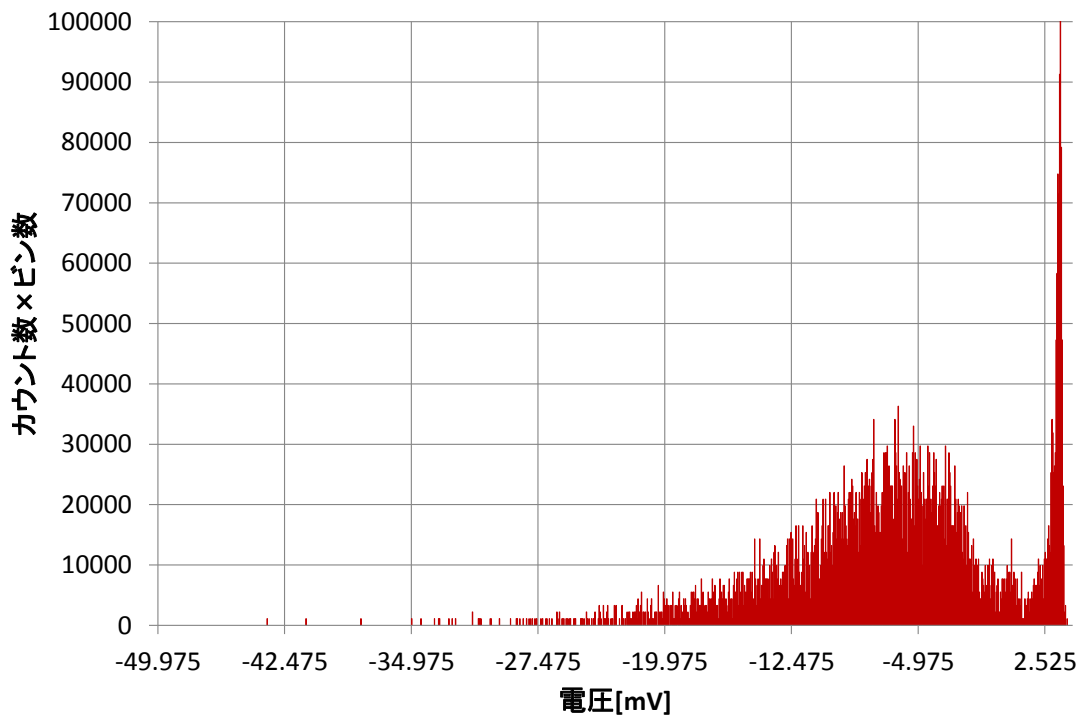


図 23 ビン幅 0.05mV

図 23 と同じ測定データを使い、ヒストグラムのビン幅を広くしたヒストグラム(ビン幅 5mV, ビン数 11)を図 24 に示す。ビン数を変えた場合、カウント数が変化する。したがって、カウント数×ビン数を縦軸とした。

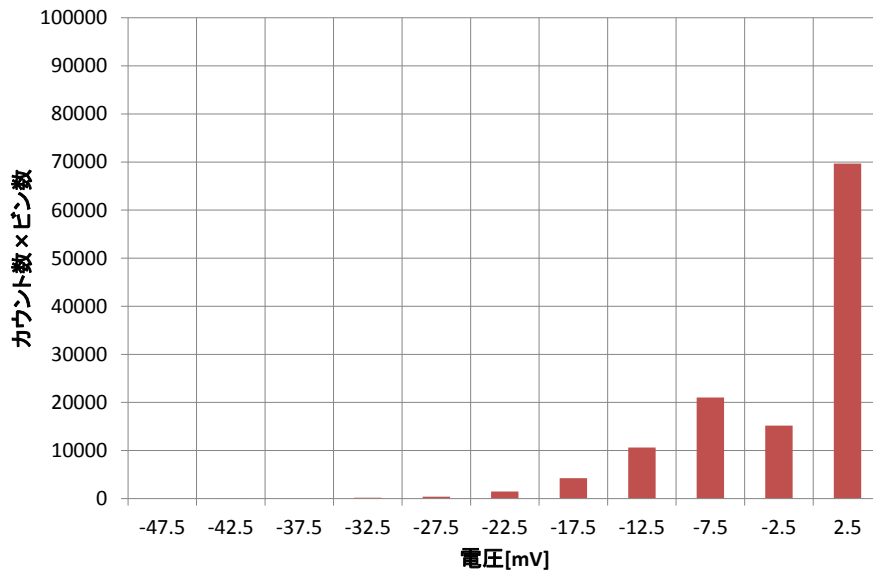


図 24 ビン幅 5mV

図 23 と同じ測定データを使い、ヒストグラムのビン幅を狭くしたヒストグラム(ビン幅

0.0005mV, ビン数 1100000)を図 25 に示す.

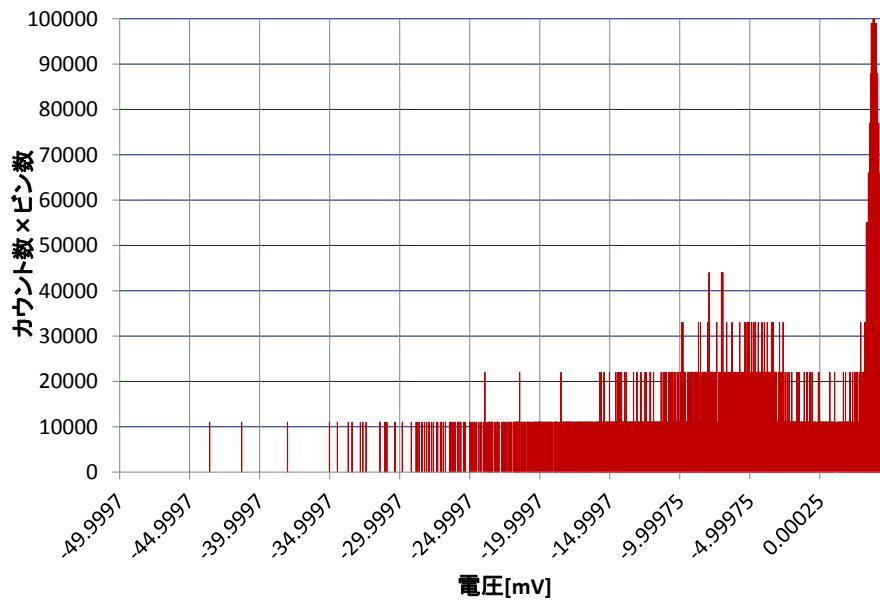


図 25 ビン幅 0.0005mV

ビン幅を変化させた結果から、ビン幅を狭くしても、広げても信号と誤信号の区別が付き

づらくなる。従って、信号と誤信号が区別できるように適切なビン幅を定める必要がある。

5.3 旧アルゴリズムとの比較

次に旧アルゴリズムと新アルゴリズムを比較し、その違いについて検討を行う。図 26 に同じデータで新アルゴリズムと旧アルゴリズムで作成したヒストグラムを示す。

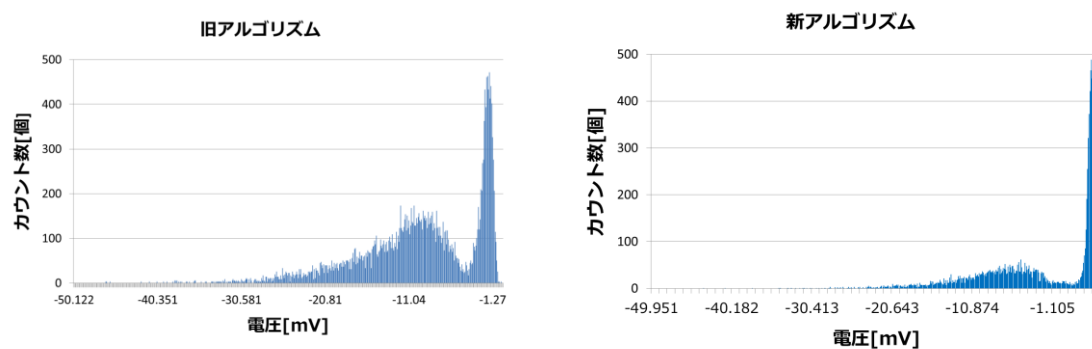


図 26 新旧アルゴリズムの比較

旧アルゴリズムは新アルゴリズムより、総カウント数が多くなった。これは同じ異物を複数回カウントしているからだと考えられる。さらに旧アルゴリズムではリアルタイム測定が出来ていなかったが新アルゴリズムではLabVIEWを使用することでリアルタイム測定が可能になった。

次に粒子混入油を用いて実験を行った。図 27 に計測したデータで作成した電圧のヒストグラムを示す。

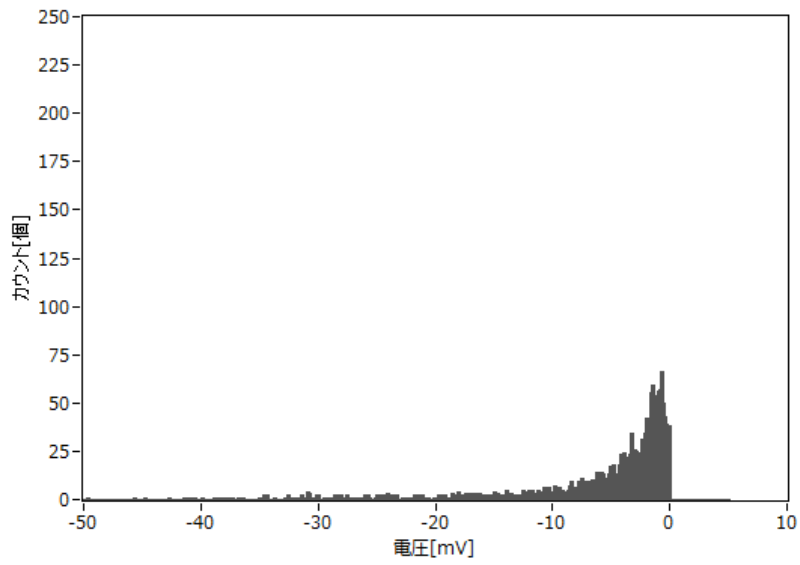


図 27 粒子混入油のヒストグラム

このヒストグラムは粒子混入水の分布とピーク電圧の強度が異なった. また, この結果を検証するため濾過油で比較を行った. 図 28 に濾過油のヒストグラムを示す.

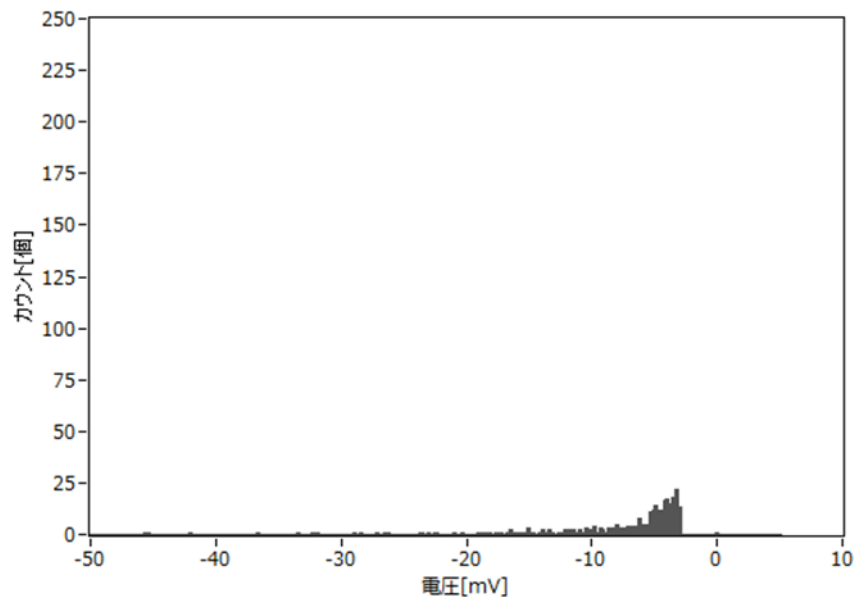


図 28 濾過油の電圧ヒストグラム

第6章まとめ・考察

6.1 まとめ

4.0 μm の大きさの粒子を検出するためアルゴリズムの改良を行った。光学式パーティクルカウンタで測定を行い、改良を行ったアルゴリズムで電圧のヒストグラムを作成した。ヒストグラムを作成する時、適切なビン幅を定める必要がある。そこでヒストグラムのビン幅を変えて実験を行った結果、ビン幅の定め方で信号と誤信号の判別ができることが分かった。また、粒子の大きさを変えてヒストグラムを作成した結果、粒子が大きくなればなるほど信号強度が大きくなることが観測された。

6.2 考察

実験結果から油と水では、電圧ヒストグラムの粒子カウント数が異なった。これはステップモータを使用して注射器を押した場合、1秒間に流れる液体の量が異なるからだと考えられる。油の場合、1秒間に0.071mL流れる。しかし水の場合、0.111mL流れる。1秒間に流れる量が異なると流速も異なる。したがって同じ大きさの粒子でも測定電圧の構成点数の数に差ができてしまう。例を図29に示す。

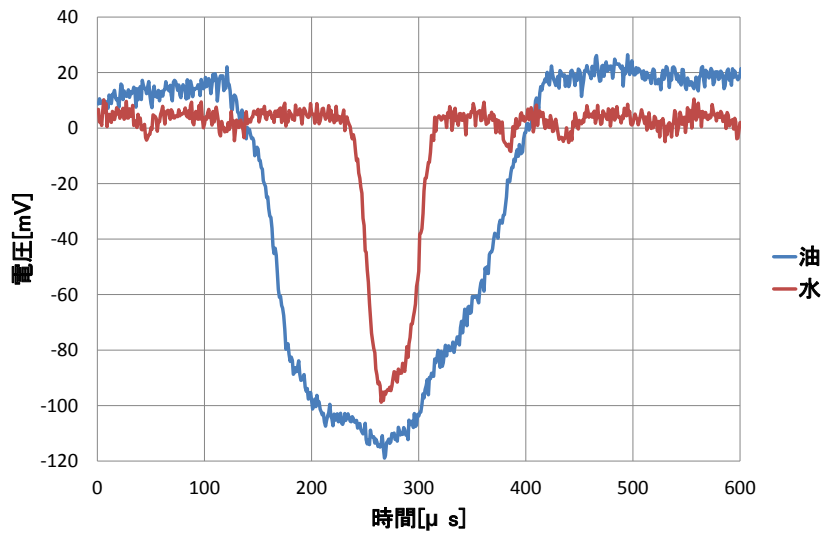


図 29 流速変化時の測定電圧の構成点数

信号と誤信号を区別した -1.5mV を $0\mu\text{m}$ の粒子レベルと考え、ピーク電圧を $4.0\mu\text{m}$ とした場合のヒストグラムを作成した. 図 30 に粒子混入油, 図 31 に粒子混入水の粒子径のヒストグラムを示す.

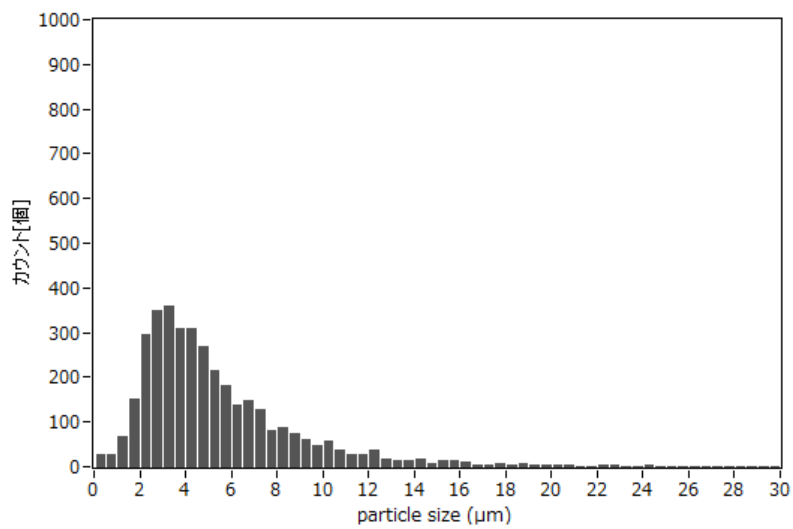


図 30 粒子油の粒子径のヒストグラム

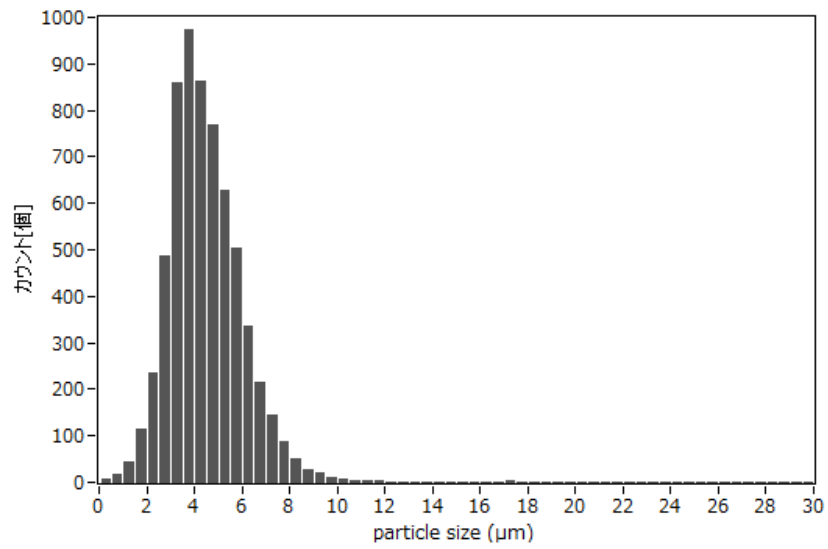


図 31 4.0μm 粒子混入水の粒子径のヒストグラム

粒子径のヒストグラムを見ると 4.0μm の粒子が一番多くなっていることがわかる。しかし、4.0μm の大きさの粒子を測定するためには、それ以下の粒子が測定できている必要がある。

謝辞

本研究を通して1年間ご指導ならびに様々な経験をする機会を与えていただきました。国立富山高等専門学校, 由井四海准教授に尽きせぬ深謝の念を捧げます。

参考文献

- [1] インテクノス・ジャパン, <http://intechno.co.jp/index.html>, (2016年2月3日閲覧)
- [2] ルーブリサーチ, <http://www.lube-research.com/>, (2016年2月3日閲覧)
- [3] 樋口龍雄(1989) 『自動制御理論』(電気工学入門シリーズ14) 森北出版
- [4] Rob J Hyndman(1995) 「The problem with Sturges' rule for constructing histograms」
[online]<http://robjhyndman.com/papers/sturges.pdf>