

施設園芸用液肥の排水量計測に関する研究

大分県産業科学技術センター 竹中智哉、水江宏

1. 排水環境と排水量計測装置の要求仕様

イチゴ高設栽培では、土耕栽培と異なり培地中水分の過不足が生じやすい。過剰な灌水は、根傷みによる収量減や施肥窒素の圃場外への流出による環境負荷およびコスト増加を招く。一方、過少な灌水は生育停滞を招くため、排水率 10～20%程度での適正灌水が必要である。

また、高設栽培では、固形肥料や液体肥料を培地に施肥するが、イチゴが吸収したり高設培地に吸着される成分以外は、余剰分として高設ベッドの排水口から圃場外に排出される。そのため高設栽培では肥効の過不足が生じやすい。高設栽培ベッド内肥効を判断するために様々な箇所を調査した結果、窒素成分量と排水中の窒素成分量の相関が高く、排水 EC の測定が必要である。以上が、排水量、排水 EC の計測が必要とされる理由である。

大分県農林水産研究指導センターおよび大分県内いちご農家からの情報により、排水環境と排水量センサに求められる要求仕様は表 A、表 B のようにまとめられる。

表 A. 高設栽培ベッドから排出される排水環境

排水流量	生育状況、季節、時刻によって変化 3.5mL/min.（1秒間に1回水滴が落下する程度）～20L/min.※ ※バルブを使用して最大流量を 4L/min.程度まで抑止することは可能。
排水温度	8～30℃
排水状態	水に窒素(N)、カリウム(K)、リン(P)を含む養液であり、藻が発生しやすい。

表 B. 排水量センサ 要求仕様

販売価格	Max.2 万円
製品寿命	2 年
保守	メンテナンスフリー or 容易
計測単位	L/日
計測誤差 (精度)	±5L/日 or ±3～5%程度 ※現状では±5L/日程度の精度で十分だが、将来的に高分解能が必要となる可能性あり。
計測流量	Max.240L/日
出力形態	メーカーを問わず FMS を接続可能

2. 排液量センサ 1 次試作機(TS1:test sample1)の開発

要求仕様を踏まえ、転倒ます型排液量センサの試作検討を行った。

本方式は、雨量計に用いられるシシオドシの原理を用いている。排液量計測手段の仕様を表 1 に、外観図を図 1 に、排液・各種信号の流れを図 2 に、フローチャートを図 4 に示す。

表 1. 排液量計測手段の仕様

項目	詳細
計測	常時、排液量を算出
監視・記録	<ul style="list-style-type: none"> ・ 15 秒周期で現在の排液量[L]、日時を LCD に表示。 ・ 監視用 PC からの要求で監視用 PC ブラウザに現在の日時、排液量[L、L/h]、昨日の排液量[L/日]、記録状況を表示(監視用 PC とは無線 LAN で接続) ・ 10 分周期で現在の排液量[L]を microSD に記録(日付名.csv) ・ 日単位で排液量累計値[L/日]を microSD に記録(result.csv) ・ 専用のアプリを使用して監視用 PC へ記録(日付名.csv、result.csv)を抽出。

排液を一方の升に設定量(本試作では約 200mL)まで溜めると、升が支点を基準に傾き、溜めた排液を排出する。そして他方の升に排液が溜まりはじめ、設定量に達すると升が支点を基準に傾き、溜めた排液を排出する。この動きを繰り返す。この升の傾き(動き)から、流量(排液量)を計測する。升の軸に磁石を取り付けており、升が傾く際に、リード SW 近傍を通過させてパルス信号を排液量計測手段に送る。排液量計測手段では、前回のパルス発生時から今回のパルス発生時までの時間をタイマーで計測する。また、累計パルス数をカウンタで求め、計測誤差の補正計算を行い、排液量[L/日]を求める。排液量計測手段は pic、arm(mbed)マイコンで構成している。

升ストッパは、L 字アングルを容器にネジで固定して構成している。升の傾きを停止する役割の他に、升の設定量を調整する役割がある。ネジで L 字アングルの高さを調整することで、升の最大傾き角を調整できる。(升の設定量を調整できる。)

1 次試作機(TS1)の原材料費は、約 1 万 7 千円(追加工費や組立費は含まず)である。Web やホームセンターで入手可能な資材のみで構成している。資材調達方法、組立・加工方法、販売方法を工夫することで、製品販売価格を目標の 2 万円以下にできる可能性がある。

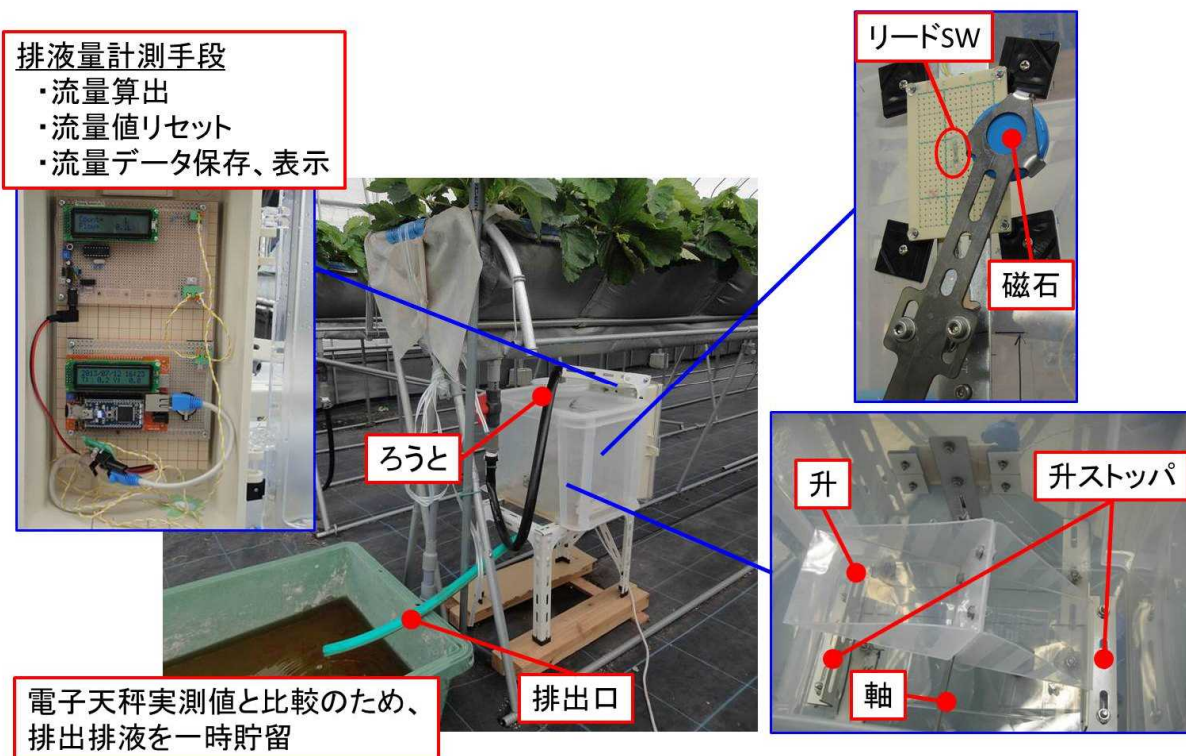
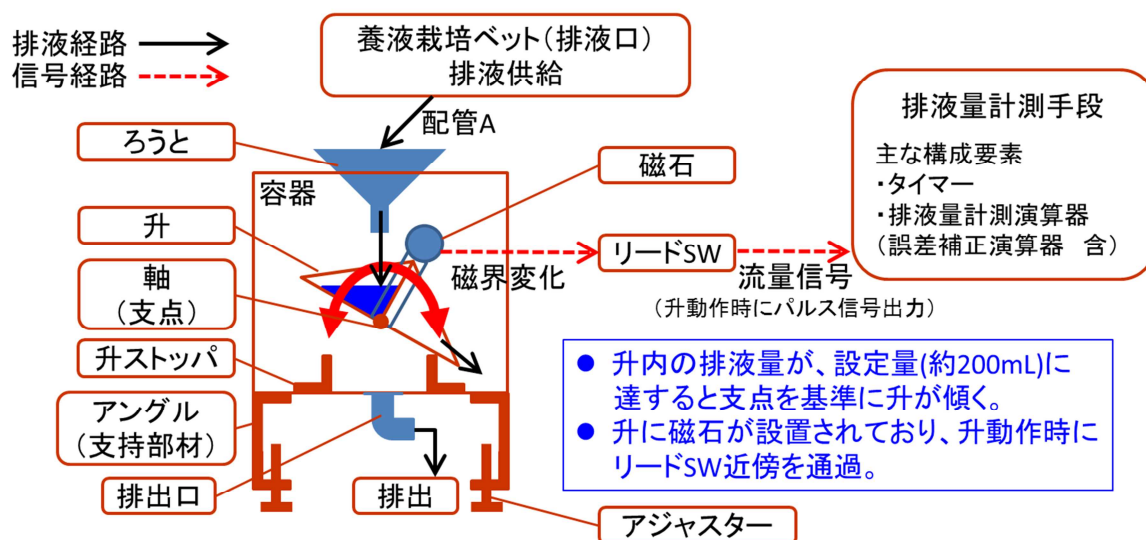


図 1. 転倒ます型排水量センサ TS1 外観



◆ 流量計測の精度を向上させる工夫

- ・ 升の設定量誤差を小さくするため、アジャスターを調整して容器を水平に配置。
- ・ 脈動する排水流量による計測誤差を小さくするため、排水量計測手段で補正演算を行う。

図 2. 転倒ます型排水量センサ TS1 における排水・各種信号の流れ

以下に、流量計測の精度を向上させる工夫をまとめる。

流量計測の精度を向上させるには、升の設定量誤差を小さくするために容器を水平に配置しなければならない。また、脈動する排液流量(3.5mL/min.～4L/min.)による計測誤差を小さくするため、升から排出された液体体積[L]を求める補正演算を行わなければならない。これについて解説する。升を区別するために現在排液を溜めている升を計測升とする。計測升が設定量に達すると傾きはじめるが、升ストッパにあたって傾きが停止するまでに時間がかかるため、本来他方の升に溜まるべき排液が、計測升に流入する。つまり、設定量以上の排液が計測升に流入してしまう。この流入量は、脈動する排液流量により当然異なるため、補正演算を行う必要がある。以下に補正式の導出過程を示す。現在の平均排液流量を V [L/min.]、1 升の容量（左右 2 升の平均値）を B [L]、1 カウントあたりの平均計測誤差（液体体積誤差）とカウントの時間間隔をそれぞれ E [L/count]、 T [sec./count] とすると、 V と E の関係は式(1)で表される。

$$V = \frac{60(B + E)}{T} \quad (1)$$

また、排液を水道水で模擬し、図 5 の実験系により計測した V と E ($E = O/1000$) の関係を図 3 に示す。 V と E は正比例（比例係数： 7.6×10^{-3} ）の関係にあり、線形近似を行うと、式(2)で表される。

$$V = \frac{E}{7.6 \times 10^{-3}} \quad (2)$$

式(2)を式(1)に代入すると、式(3)で表される。

$$E = \frac{0.456B}{T - 0.456} \quad (3)$$

1 升の容量 B は設計によって決まる固定値であるため、式(3)により、1 カウントあたりの平均周期から排出された平均計測誤差を算出できる。この式(3)を補正式として用いている。

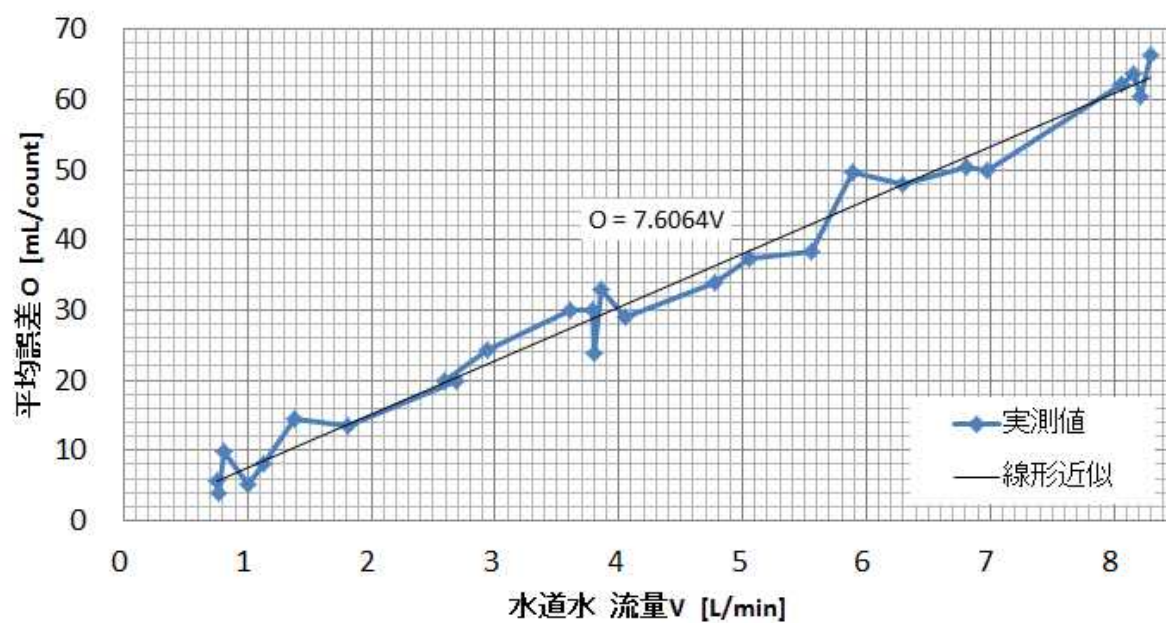
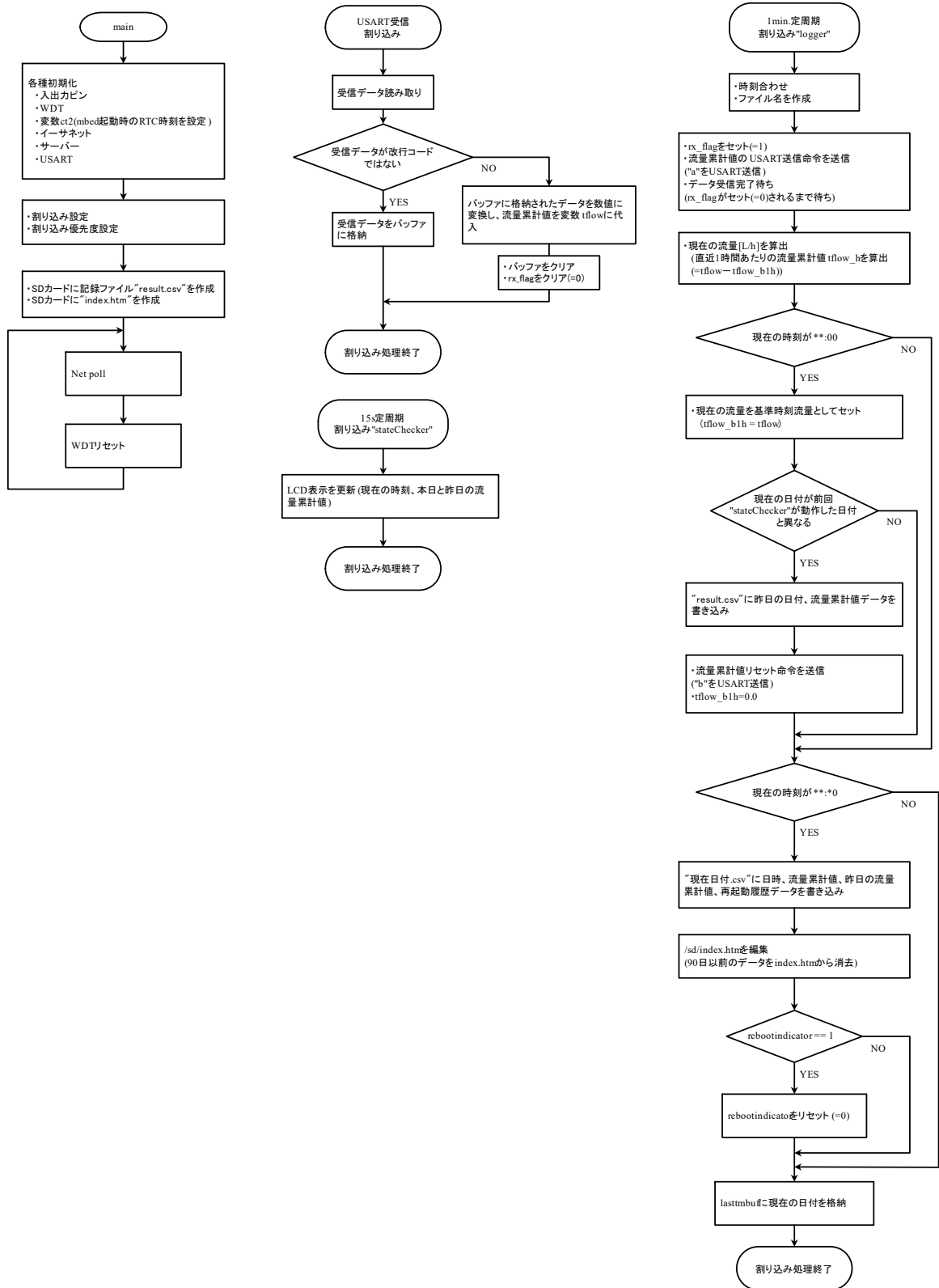
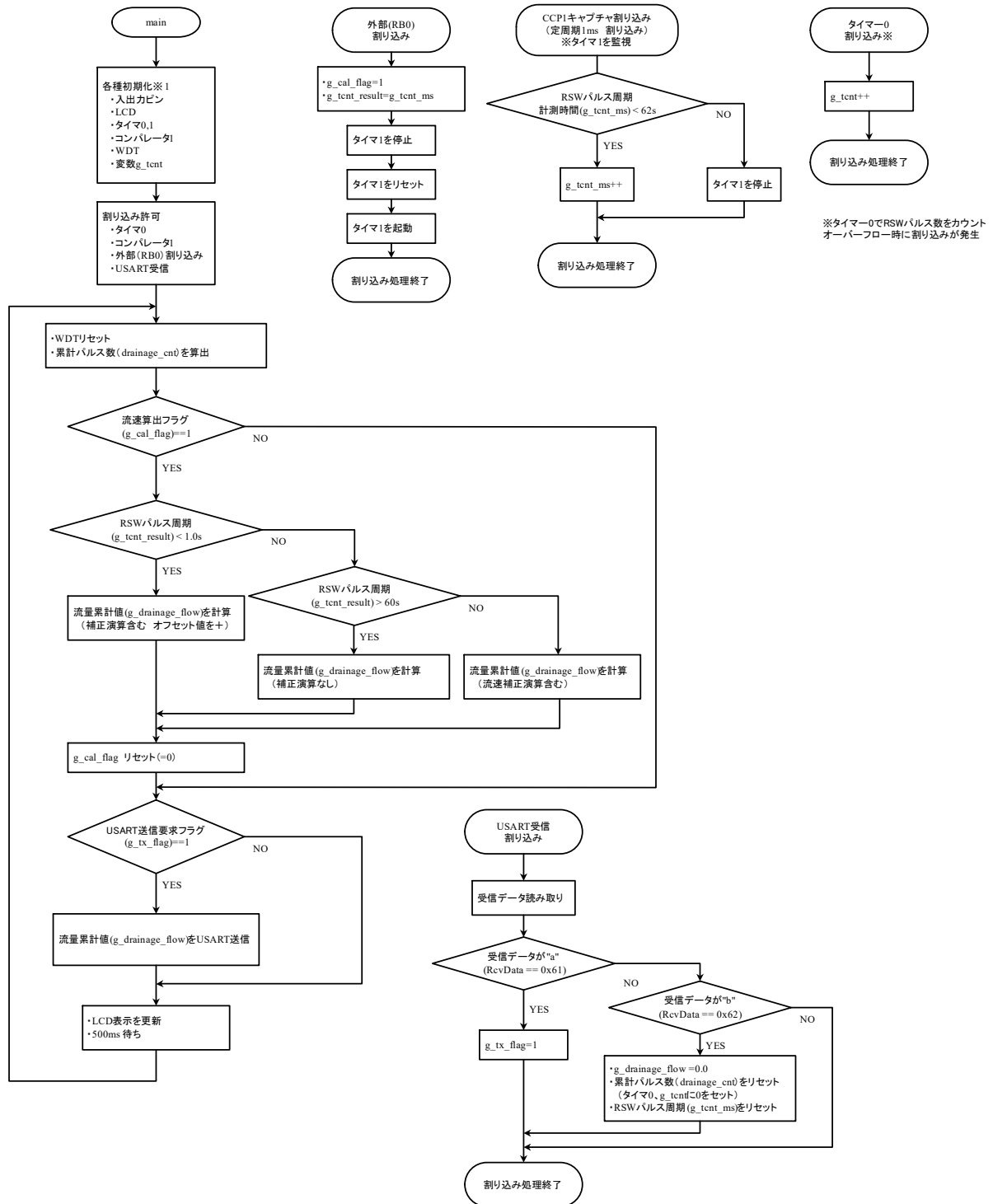


図 3. 転倒ます型排液量センサ TS1 における水道水流量と平均誤差の関係



(a)mbed 部



(b)PIC 部

図 4. 転倒ます式 TS1 マイコンフローチャート

3. 排水量センサ TS1 の実験結果

排水量計測装置 TS1 の実験結果を示す。

3.1 水道水での実験

水道水で行った予備実験の実験系を図 5 に示す。水道蛇口から一定流量の水道水を供給し、TS1 から排出された水道水を電子天秤にて実測した。平均流量は水道水の供給開始から供給停止までの時間と電子天秤実測値から求めた。

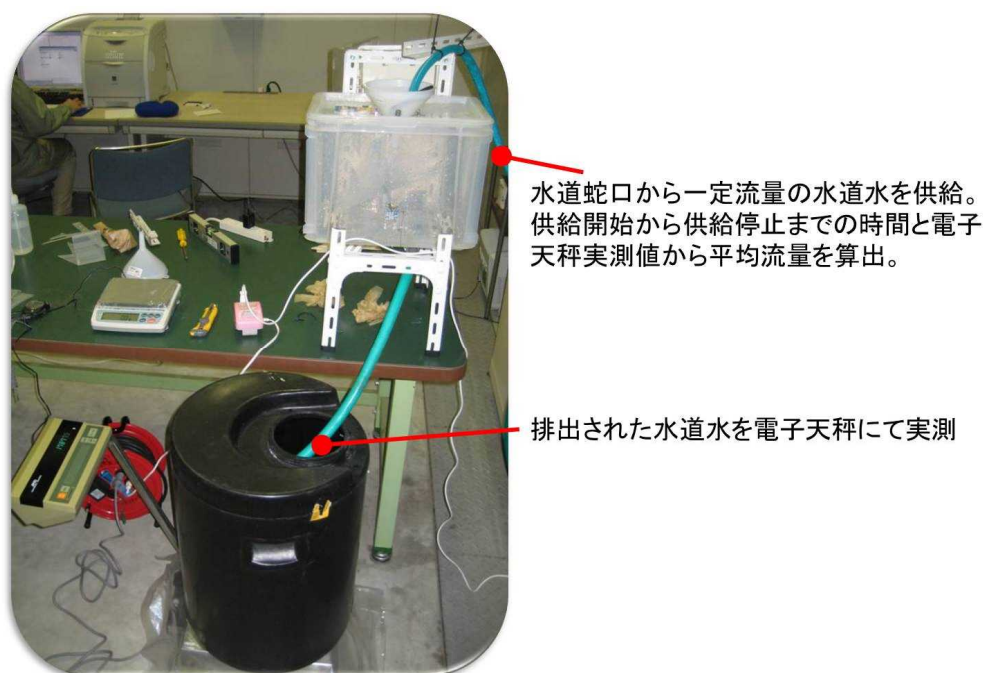


図 5. 転倒ます型排水量センサ TS1 の水道水での実験系

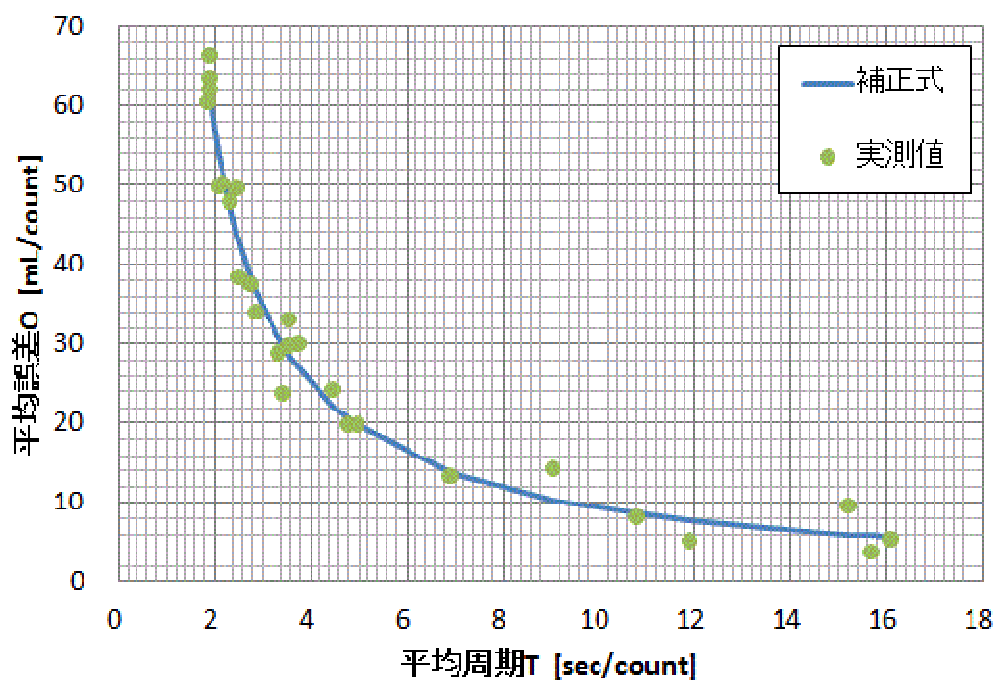
0.81～8.15L/min.の流量における TS1 計測値と電子天秤実測値を比較した実験結果を表 2 に示す。TS1 計測値と電子天秤による実測値の誤差は±3%未満で、要求仕様を満たす精度となった。

表 2. 転倒ます式 TS1 計測値と電子天秤実測値との比較

水道水 流量	排水量		誤差	
	TS1 計測値	電子天秤 実測値		
L/min.	L	L(=kg)	L	%
0.81	19.8	20.26	-0.46	-2.27
1.38	19.9	20.303	-0.40	-1.98
3.79	20.3	20.467	-0.17	-0.82
5.55	21.3	21.001	0.30	1.42
8.15	21	21.2	-0.20	-0.94

脈動する排水流量による計測誤差を小さくするために用いた補正演算の精度を検証するために、0.75～8.3L/min.の流量における 1 カウントあたりの平均周期と平均計測誤差の関係を実測した。結果を図 6 に示す。緑の点が実測値を、青線が補正演算により求めた計算値を示す。緑の点が青線の近傍に分布しており、補正演算の精度が高いことが確認できた。

水道水 流量	平均周期 (実測値)	平均誤差 (実測値)	補正式による 補正值
L/min	sec/count	mL/count	mL/count
0.75	16.09	5.57	5.69
0.76	15.67	3.91	5.84
0.81	15.19	9.72	6.03
1.01	11.90	5.23	7.77
1.13	10.77	8.20	8.62
1.38	9.07	14.38	10.32
1.81	6.91	13.42	13.78
2.69	4.79	19.99	20.51
2.59	4.97	19.83	19.70
2.94	4.48	24.27	22.10
3.60	3.75	30.01	27.01
3.79	3.56	29.99	28.63
3.81	3.45	23.78	29.72
3.86	3.54	33.05	28.78
4.06	3.31	29.01	31.12
4.77	2.88	34.04	36.68
5.06	2.76	37.49	38.65
5.55	2.52	38.42	43.02
5.88	2.49	49.63	43.61
6.30	2.31	47.92	47.84
6.80	2.16	50.35	52.08
6.98	2.10	49.92	53.91
8.06	1.91	62.20	60.94
8.15	1.90	63.60	61.45
8.21	1.87	60.54	62.97
8.30	1.89	66.30	62.03



※補正式では、 $B=0.194925[L]$ としている。TS1の左右2升から平均升容量を実測。

図 6. TS1 における 1 カウントあたりの平均周期と平均誤差の関係

3.2 フィールド試験（農林水産研究指導センター圃場）

農林水産研究指導センター（三重町）のイチゴ圃場で、フィールド試験を行った。異なる養液栽培ベッドに1台ずつ計2台の試験機（転倒ます型排水量センサ TS1）を設置した。実験系は図1のとおりである。TS1 から排出された排水を貯留槽に溜めて、排水量を電子天秤にて実測し、TS1 計測値と比較した。実験結果を表3に示す。

TS1 計測値と電子天秤による実測値との誤差は最大で5%程度となり、要求仕様を満たす精度となった。TS1 の構造上、TS1 に供給された排水の一部が容器底部に溜まる。しかし、今回は転倒ます容器底部が空の状態での計測を開始したため、No.1 圃場設置の翌日である10/18は誤差が大きくなったと考えられる。電子天秤実測値との比較を行う場合には、計測を開始する前に予め転倒ます容器底部に水溜りを作っておけば計測開始日から精度の高い結果を得られると考えられる。No.1 の10/21の誤差要因は不明であるが、巡回監視のない土日を含んだ月曜日の計測結果であり、電子天秤で実測するために貯留槽に溜めた排水の蒸発等による実測値の誤差が関係している可能性が高い。No.1 の10/21の結果を除けばTS1 計測値と電子天秤による実測値との誤差は5%未満で、高精度な結果が得られている。No.1 はH25/10/18に設置以降、No.2 はH25/11/18に設置以降、現在まで動作試験を継続中である。H26/7/11まで月に1回程度の頻度で電子天秤実測値との比較を続けたが、同程度の精度で計測ができた。

表3. TS1 計測値と電子天秤実測値との比較（24時間連続稼働試験）

■No.1 2013年10月18日設置～2014年7月11日					■No.2 2013年11月18日設置～2014年7月11日			
測定日	TS1 測定値 [L]	実測値 [L]	誤差 [%]	備考	測定日	TS1 測定値 [L]	実測値 [L]	誤差 [%]
10月18日	34.0	32.7	4.10	設置翌日	11月27日	11.4	11.7	-2.56
10月21日	11.5	10.88	5.70		11月28日	11.5	11.8	-2.54
10月23日	23.9	23.9	0.00		11月29日	27	28	-3.57
10月24日	37.6	37.4	0.53		2月13日	11.7	12.06	-2.99
10月25日	40.8	40.4	0.99		7月5日	7.5	7.5	0.00
11月6日	13.5	13.36	1.05		7月8日	15.3	15.2	0.66
11月11日	18.4	18.3	0.55		7月10日	13.1	12.5	4.80
2月18日	14.9	14.61	1.98		7月11日	13.28	13	2.15
7月5日	8.88	9.1	-2.42					
7月8日	11.16	11.5	-2.96					
7月10日	10.34	10.1	2.38					
7月11日	13.28	13.1	1.37					