

水耕栽培装置用液体肥料自動注入装置の開発

沖縄職業能力開発大学校 古元 克彦

Development of an Automatic Liquid Fertilizer Injection System for Hydroponics Apparatus

Katsuhiko FURUMOTO

要約 株式会社沖縄計測と共同で行っている水耕栽培装置の開発過程の一部である液体肥料の自動注入装置を開発した。水耕栽培において、栽培液を植物の育成に最適な状態に保つことは必要不可欠であり、その方法は、栽培液中の液体肥料の濃度を一定に保つための導電率 (EC) の管理と、栽培液の水質の成分状態を一定にするための水素イオン指数 (pH) の管理である。これらの管理方法は、この2つの値を測定し、基準値以下になった場合、液体肥料や pH アップ剤等の薬液を栽培液に追加して値を適正にする方法を用いている。これまで、この作業は人的に行ってきたが、作業員の負担軽減と人件費の節約の観点から、値の監視や注入作業の自動化が急務となった。要求される液体肥料の自動注入装置の仕様は、データの取得を目的とした Ethernet 規格によるパソコンとの通信機能、液体肥料の注入時間の調整、手動・自動操作の切替である。市販されている自動注入装置を検索したところ、仕様を満たす装置を確認できなかったため当該装置を開発した。この結果、栽培液の導電率と水素イオン指数の管理、液体肥料等の注入作業の負担の軽減と人件費の節約、さらにデータ記録が容易になった。

I はじめに

水耕栽培は、植物を屋内で栽培するため、温度や日照時間等の管理が容易である。また、露地栽培より計画的に栽培を行える等メリットが多い。このため、企業や研究機関、大学等でより生産性および効率の良い水耕栽培方法を確立するために様々な研究が行われている。

水耕栽培では液体肥料を水に混入することで養分を供給している。養分は植物に吸収されると、その濃度が低下していくため、放置すると発育が遅れる等の影響が生じる。なお養分吸収のタイミングや量はその成長過程において異なり、植物が成長するに従いその量も多くなる。また、水耕栽培は毎日、野菜を出荷することを前提としているので、棚や場所ごとに成長具合の異なるものを同時に栽培している。そのため、場所や棚全体の養分の濃度低下の予測が困難である。したがって、栽培液を循環させ養分濃度を常に監視し濃度の低下を防ぐ必要がある。なお液体肥料のすべてが根から吸収されることはなく、そのまま水に残留する肥

料もあり、この残留肥料の劣化により水の成分変化が発生し発育に影響が生じる。水の入替時の液体肥料の大量注入時にも水の成分変化が発生する。そこで水耕栽培では、養分濃度を導電率で、水の成分状態を水素イオン指数で監視している。

液体肥料等を注入して栽培液の水質を安定させる作業は、人的作業で行っている場合が多い。作業員による液体肥料等の注入は、装置が大きくなると濃度の均一化に時間が必要なこともあり数時間の作業時間を要すること、入れすぎによる大きな濃度上昇が発生すると更なる水の入替が必要になる等、大きな負担が発生する。

植物の養分吸収の状態を把握するため、経過時間に対する導電率の変化を測定・観察した。その結果、植物の養分吸収は昼・夜間問わず発生していることが確認できた。養分濃度や水の成分状態の監視は、従来は、約1時間間隔で作業員が導電率や水素イオン指数の測定を行っていたが、作業員が不在の夜間は値の測定を行っていなかった。その結果、肥料の注入が遅れ発育期間が長くなる等の影響が生じ、さらに植物が成長す

ると養分吸収量も多くなるため、想定していた出荷時期が数日程度延長されるなどの影響が発生していた。しかし、前述したように導電率や水素イオン指数の値を常時監視し、液体肥料等の補給を人的に行う作業は作業員の負担になる。

そこで本研究では、作業員が液体肥料を注入する作業や栽培液の導電率及び水素イオン指数の値の測定作業を自動化し、現在より精度が高い水質安定化を実現することと、取得した栽培液の2つの値をデータ通信機能を用いてPC 端末に取り込み、植物の育成と水質状態の関係を研究できることを目的とした液体肥料の自動注入装置を（株）沖縄計測と共同で開発した。

II 水耕栽培装置

本研究では、液体肥料の自動注入装置を導入する水耕栽培装置を4棚構成の育成装置とした。レタスなどの葉野菜を育成する場合、通常1棚あたり最大160株の栽培を目的とした水耕栽培装置である。図1に水耕栽培装置の外観及び、水耕栽培装置で使用する栽培液の基本データを示す。

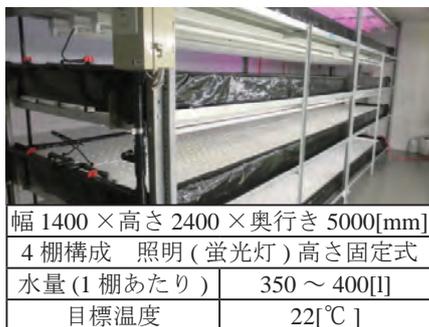


図1 水耕栽培装置の外観及び栽培液の基本データ

水耕栽培装置の4棚の栽培液の循環は、図2に示す自給式循環水用ポンプ1台を使用して行っている。図3の栽培液の循環方式に示すように、液体肥料供給ポンプの排出口を自給式ポンプの給水部横に設置し、栽培液に液体肥料を混入させ、栽培液の自給式ポンプによって、4棚全体に液体肥料が浸透するようにした。表1に自給式循環水ポンプの容量を示す。



図2 自給式循環水用ポンプ

表1 自給式循環水ポンプの容量

ポンプ容量	98 [l/min]
吸い上げ高さ	5 [m]
使用電力	60[Hz] 440[W]

図1に示したように、4棚全ての栽培液の水量を400[l] × 4 = 1600[l]とした。水耕栽培装置の吸い上げ高さは最大で2[m]程度のため、ポンプ容量を100[l/min]とし、全体の最短循環時間を16分とした。図4に水耕栽培装置の給排水状況を示す。

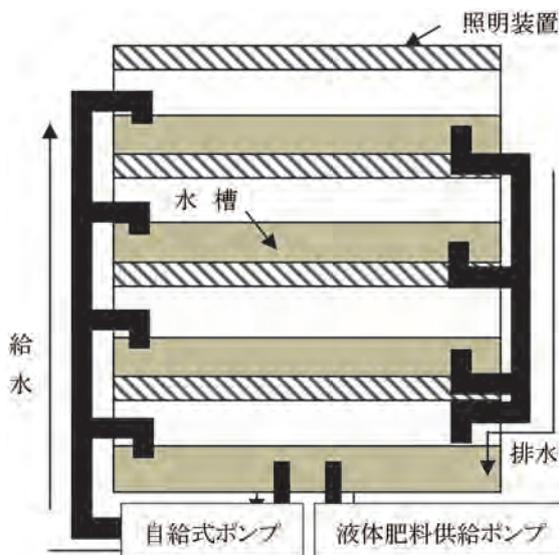


図3 栽培液の循環方式



図4 給排水状況

III 水耕栽培における水質の状態

1 液体肥料の値の確認と目標値

栽培液への液体肥料の注入状況の確認は、液体肥料を水道水に注入することで上昇する導電率を確認する手法が主流である。

水耕栽培で使用する栽培液は、水道水を利用している場合が多い。製作した水耕栽培装置も栽培液の原水

は水道水である。しかし、水道水のままでは水耕栽培に必要な養分が不足するため発育が遅れてしまう問題がある。そのため、定期的に導電率を測定し水質状態を確認し、液体肥料の注入が必要な場合は液体肥料を注入し、植物が育成するのに適した水質を維持する必要がある。

純水は電気を流さないため、導電率は“0”である。これに対して水道水は飲料水として使用できるように様々な成分が混入されている。そのため、不純物の濃度が高くなり導電率が上昇する。表2に平成24年度沖縄県中南部地区に水道水を供給する那覇市上下水道局が検査した水道水の導電率を示す⁴⁾。

表2 平成24年度沖縄県中南部地区の水道水の導電率

最高値	0.371 [mS/cm]
最低値	0.284 [mS/cm]
平均値	0.322 [mS/cm]
測定回数	12回

これに対し水耕栽培で葉野菜を栽培する際に適した導電率の適正值は1.2～3.0 [mS/cm]とされている。

植物が水と同時に吸収する養分として必要なものには多量元素と呼ばれる窒素やリン等および微量元素と呼ばれる鉄や銅、マンガン等がある。これらの養分を効果的に植物に供給するものが肥料である。育成に必要な養分量は栽培する植物の種類や成長の度合いにより異なるため、栽培する植物に適した肥料を選定する必要がある。

本研究では、レタス等の葉野菜を栽培対象の植物とした。栽培対象に合わせて、2種類の粉末肥料を水溶した液体肥料を使用した。表3に使用した肥料の成分表、表4に液体肥料の使用条件を示す。

表3 肥料成分表

	成分	含有量 [%]
肥料①	アンモニア性窒素	1.5
	硝酸性窒素	8.5
	水溶性リン酸	8.0
	水溶性加里	28.0
	水溶性苦土	4.0
	水溶性マンガン	0.1
	水溶性ホウ素	0.1
肥料②	硝酸性窒素	11.0
	硝酸石灰 [カルシウム]	16.4

表4 液体肥料の使用条件 (原液)

	必要水量 [l]	肥料 [g]
肥料①	1000	1500
肥料②	1000	1000

表4の液体肥料の使用条件を参考に、肥料①では水道水20[l]に対して30[g]、肥料②では水道水20[l]に対して20[g]の粉末肥料を溶かして原液を生成し、これをすべて1000[l]の栽培液に混入したところ、導電率が0.2～1.2[mS/cm]程度上昇することが肥料メーカーの資料⁵⁾や実験結果から確認できている。そこで、各粉末肥料を20[l]の水道水に溶解し原液を生成し、この原液を導電率が1.4 [mS/cm]以下まで低下した場合に栽培液へ注入し、1.5[mS/cm]まで上昇させる仕様とした。なお、この設定値はプログラマブル・ロジック・コントローラ (以下 PLC) や導電率計用パネル変換器で変更することができるようにした。図5に使用した導電率計用パネル変換器の外観を、表5に導電率検出器及び変換器の仕様を示す。



図5 導電率計用パネル変換器

表5 導電率検出器及び変換器の仕様

測定範囲	0～2.0 [mS/cm] (設定後)
セル定数	10 [cm ⁻¹]
接点出力	C接点出力2点 (上限、下限警報) ・AC240[V] 3[A] 抵抗負荷
アナログ出力	4～20 [mA] DC600 [Ω] 以下

図6に導電率計用パネル変換器から出力されるアナログ電流と導電率値との関係を示したグラフを示す。制御目標値を1.4～1.5[mS/cm]に設定しているため、0.2～1.8[mS/cm]の範囲でアナログ電流が導電率値と比例して出力される設定とした。

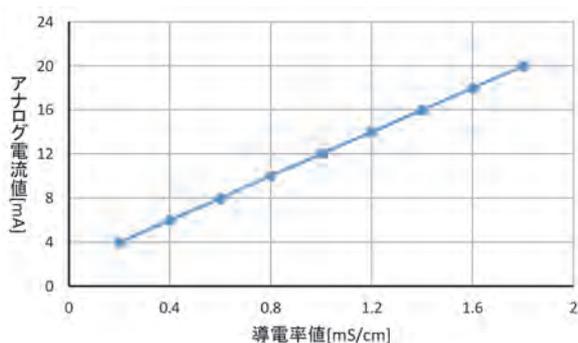


図6 アナログ電流と導電率値との関係

2 水素イオン指数 (pH) の濃度と目標値

導電率の他に、水耕栽培の栽培液で管理を行うものが水素イオン指数である。水素イオン指数は、水の成分を示す指標として使われ、pH0～14の数値で示される。pH7で中性、pH7未満で酸性、pH7を超えるとアルカリ性となる。表6には平成24年度の沖縄県中南部地区に水道水を供給する那覇市上下水道局が検査した水道水の水素イオン指数を示す⁽⁴⁾。

表6 平成24年度沖縄県中南部地区の水道水の水素イオン指数

最高値	pH7.6
最低値	pH7.1
平均値	pH7.4
測定回数	12回

水耕栽培の最適な水素イオン指数はpH5.5～6.5とされ、値が高いと植物が液体肥料の養分の一部、主に鉄分を吸収する能力が減少し、病気などの原因となる。そのため、水道水のみで水耕栽培を行うと、水素イオン指数が高いため発育に悪影響を及ぼす場合が多い。

水素イオン指数を管理する上で、特に栽培液の入れ替え時に注意する必要がある。栽培液は循環させて使用しているが、肥料の継ぎ足しにより長期間栽培する場合、栽培液中の各成分の過剰、不足がおこり生長が阻害される。このため、水耕栽培では栽培液の定期的な入れ替えを行う。この時、水道水を大量に注入することになるが、水道水の導電率は前述したように大変低い値であるため、大量の液体肥料を注入する必要がある。しかし液体肥料は栽培液の水素イオン指数を低下させる性質があるため、水素イオン指数の大幅な低下が起こる。そこで、水素イオン指数を上昇させるためにpHアップ剤を注入することになる。

pHアップ剤成分表を表7に、表8にpHアップ剤の使用条件を示す。

表7 pHアップ剤成分表

成分	含有量[%]
アンモニア性窒素	6.0
水溶性マンガ	1.0
水溶性加里	9.0
水溶性ホウ素	1.0

表8 pHアップ剤の使用条件

必要水量 [l]	肥料 [ml]
1000	50

表8の使用条件を参考に、50[ml]のpHアップ剤を1000[l]の栽培液に供給したところ、水素イオン指数がpH0.5～1.0程度上昇することが肥料メーカーの資料⁽⁵⁾や実験結果から確認できている。

表8にpHアップ剤の使用条件を示したが、液体肥料の使用条件を示した表4と比較すると、pHアップ剤は少量で大きく水素イオン指数を上昇させてしまう。そのため、栽培液の水素イオン指数の上昇速度を緩やかにするための工夫が必要となる。

製作した自動注入装置では水素イオン指数がpH5.5以下になるとpHアップ剤を注入しpH6.0～6.5まで上昇させる仕様とした。なお、この設定値は液体肥料注入時の導電率値の設定と同様に、PLCやpH計用パネル変換器で変更することができるようになっている。図7に水素イオン指数を測定するpH計用パネル変換器、表9にpH検出器及び変換器の仕様を示す。



図7 pH計用パネル変換器

表9 pH検出器及び変換器の仕様

測定範囲	pH1.0～pH15.0
接点出力	C接点出力2点(上限、下限警報) ・AC240[V] 3[A] 抵抗負荷
アナログ出力	4～20 [mA] DC 600 [Ω] 以下 ・pH1～pH15の範囲内で設定 ・最小変換幅 pH2

図 8 にパネル変換器において設定した変換器から出力されるアナログ電流と水素イオン指数との関係を示したグラフを示す。制御目標値を pH6.0 ~ 6.5 で設定しているため、pH2.0 ~ 10.0 の範囲でアナログ電流が水素イオン指数と比例して出力される設定とした。

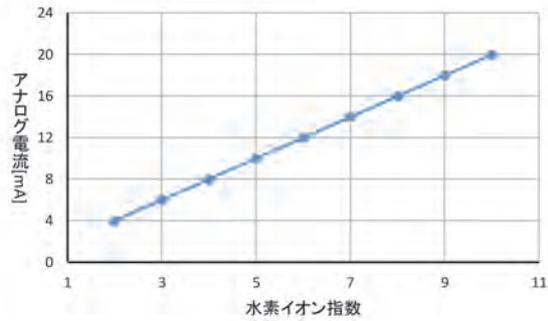


図 8 アナログ電流と水素イオン指数との関係

なお、pH アップ剤の注入による導電率への影響に関してはあまり考慮していない。この理由は育成実験結果から導電率の低下による液体肥料の注入はおおよそ 2 日に 1 回程度発生しているのに対して、水素イオン指数の低下による pH アップ剤の注入は 2 ~ 3 ヶ月に 1 回程度の割合でしか実行されていないからである。

IV 自動注入装置

1 外観とシステム構成

自動注入装置は、「自動運転」、「手動運転」、「異常診断」、「異常リセット処理」の各機能を有する。図 9 に制御盤の外観を、表 10 にスイッチおよび表示灯の分類を示す。



図 9 制御盤の外観

表 10 スイッチおよび表示灯の分類

機器名	機能	備考
スイッチ	自動運転	3 極切換スイッチ
	手動運転	
	停止	
	液体肥料ポンプ 駆動・停止 (手動)	押しボタンスイッチ
	pH アップ剤 ポンプ駆動・停止 (手動)	押しボタンスイッチ
	異常リセット	押しボタンスイッチ
表示灯	自動運転	緑
	手動運転	緑
	液体肥料ポンプ 駆動	緑
	pH アップ剤 ポンプ駆動	緑
	異常検出	黄

自動注入装置の運転時は液体肥料の注入動作と pH アップ剤の注入動作を同時に実行できない構造とした。また、先に指示された処理が完了次第、次に指示された処理が実行される機能とした。これは各処理を確実に完了させるためである。

次に各動作の概略と使用した制御装置について説明する。「自動運転」では液体肥料や水素イオン指数をモニタしている測定器の値を監視し、設定値以下になると接点入力のアラーム信号を受け取り、各ポンプを駆動し必要な薬剤を注入する。これに対し、「手動運転」は制御盤面の押しボタンスイッチにより各ポンプを駆動し、停止スイッチで停止する。

なお、制御装置としては、水耕栽培の環境が水気や湿度の高い場所であること、制御内容がシーケンス制御である等の理由から PLC を採用した。図 10 に PLC の外観とユニット構成、図 11 に制御盤内部の写真を示す。



図 10 PLC の外観とユニット構成



図 11 制御盤内部

導電率計及び pH 計は栽培液が十分に循環した際の値を検出するため、水耕栽培装置の注入口直近の下部 1 段目ではなく、下部 2 段目の排水口付近に設置した。

また、栽培液の導電率や水素イオン指数の値は 1 秒毎に PLC がアナログ信号を読み取り、この値を基に制御を行っている。この間隔は PLC のプログラムを調整することで変更が可能である。さらに、これらの値は 30 分毎に PC 端末へ送信され、各項目の数値をパソコンの表計算ソフトで確認可能とした。同時に各ポンプの駆動状態や正・異常の状態も確認可能とした。

図 12 に水耕栽培装置と自動注入装置等で構成された水耕栽培の栽培液循環システムの構成、図 13 に液体肥料および pH アップ剤を注入する薬液注入ポンプの外観、表 11 にこれら薬液注入ポンプの容量を示す。

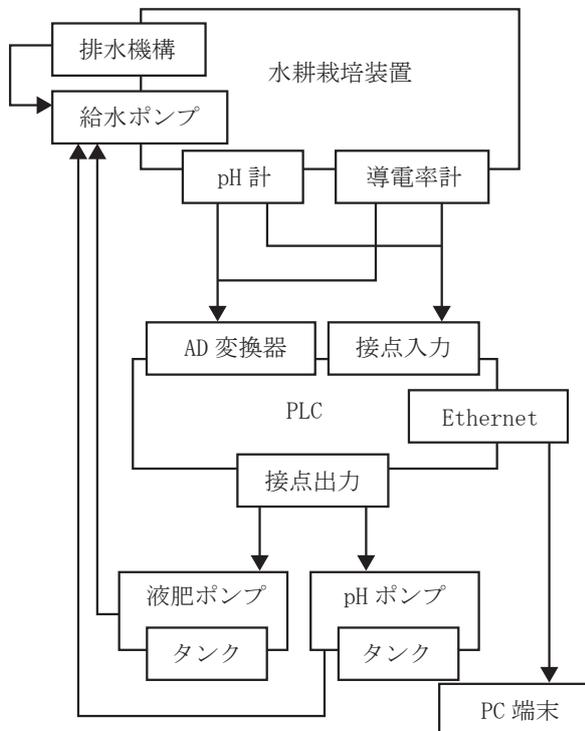


図 12 栽培液循環システムの構成



図 13 薬液注入ポンプの外観

表 11 薬液注入ポンプの容量

薬剤	容量 [ml/min]
pH アップ剤	4.8
液肥 1 号	52
液肥 2 号	52

次項に薬剤の注入方法の概要を示す。なお、「手動運転」については、制御が簡易的なため説明は省略する。

2 液体肥料の注入方法

「自動運転」では、導電率が 1.4 [mS/cm] 未満になると液体肥料を注入し、1.5[mS/cm] を超えると停止する仕様とした。具体的には、図 12 に示すように、導電率計用パネル変換器から出力された接点信号が PLC へ出力され、PLC は液体肥料の注入用ポンプと循環水ポンプの両方を駆動し、水道水に溶解された液体肥料の原液を注入する。注入された液体肥料は循環水と混合され、循環水ポンプにより循環する。

図 14 に液体肥料の注入工程の概要を示す。ここで、注入ポンプを停止させる条件として 1.5[mS/cm] を超えることを目標としているが、循環時間が短い場合、循環水内部の液体肥料の濃淡の度合いに差ができる可能性がある。そのため、5 秒間隔で導電率を測定し、1.5[mS/cm] を超える状態を 5 回検出した場合に、ポンプを停止させる。液体肥料や後に述べる pH アップ剤の注入について、最も注意すべき事項は注入しすぎないことである。そのため、上昇率に対して比較的短い 5 秒という時間間隔を設定し、数ヶ月の稼働実験を行った結果、注入しすぎによる異常な上昇は発生しなかったため、この時間間隔とした。これは pH アップ剤の注入方法でも同様の手法を用いた。

液体肥料の注入後は最大で 1.0[mS/cm] 程度の液体肥料の濃淡が生じた。これは薬液注入ポンプに 54[ml/min] の小型のペローズ型ポンプを使用したため、薬液が注入された場所とそうでない場所の差が大きくなったためと考えられる。また、栽培液の循環は、最

短で 16 分間必要であることから、確実に液体肥料を循環させるために注入ポンプ停止後、さらに循環水ポンプを 20 分間動作させる仕様とした。この結果、循環水ポンプ 20 分間の動作により、濃淡差が 0.1[mS/cm] 以下となった。

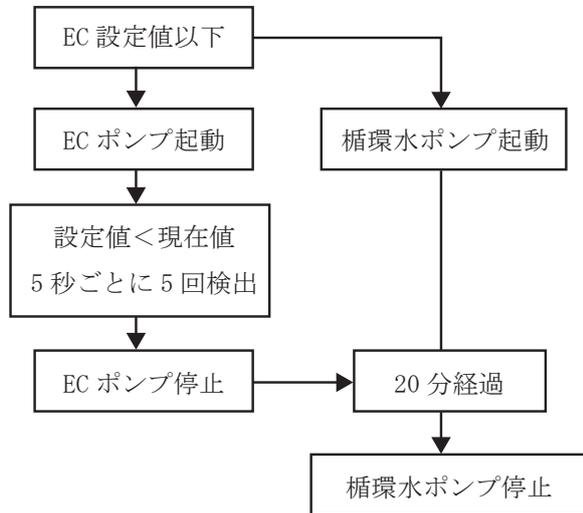


図 14 液体肥料の注入行程の概要

3 pH アップ剤の注入方法

pH アップ剤の注入行程も液体肥料の注入行程と同様である。図 15 に pH アップ剤の注入行程の概要を示す。

水素イオン指数が pH5.5 未満になると、図 12 栽培液循環システムの構成に示した様に、pH 計のパネル変換器から出力された接点信号を PLC へ出力し、PLC は pH アップ剤の注入用ポンプと循環水ポンプを駆動し、pH アップ剤を注入する。注入された pH アップ剤は循環水と混合され、循環水ポンプにより循環する。注入ポンプを停止させる条件も循環水内部の水素イオン指数の濃淡の度合いを考慮して、5 秒間隔で水素イオン指数を測定し、pH5.5 を超える状態を 5 回検出した場合に、ポンプを停止させる。

なお、水素イオン指数は液体肥料の注入量と比較すると少量で急激に上昇する。そのため、急激な上昇を抑制するために、注入容量の小さいポンプを使用しているが、さらに注入ポンプの動作を 1 分間注入後は 30 秒間停止させる行程を繰り返す。

しかし、実際に水耕栽培装置において pH アップ剤を自動注入する実験を行ってみると、注入量が少ないことから、循環し、測定器で水素イオン指数の上昇を検出するまでの時間が予測よりも長くかかることが判明した。この検出遅れを放置すると、遅れている間も

pH アップ剤が注入され続けることから、後に大幅な水素イオン指数の上昇が発生し、植物の育成に障害となる。

この検出遅れの原因は pH アップ剤の注入口と pH 計の位置が異なっていることが最大の要因であり、位置を直近にすれば解決できる問題ではある。しかし、連続的な培養液本来の値の検出が困難になるため、この方法は行わなかった。そこで pH 計の検出遅れの対策として、pH5.5 を超えていない場合でも、20 分後に注入ポンプを停止させる仕様を追加した。また、循環水ポンプは pH アップ剤の循環後の値の反映が、液体肥料と比較して時間を費やすと想定したため、ポンプ停止後 30 分動作させる仕様とした。

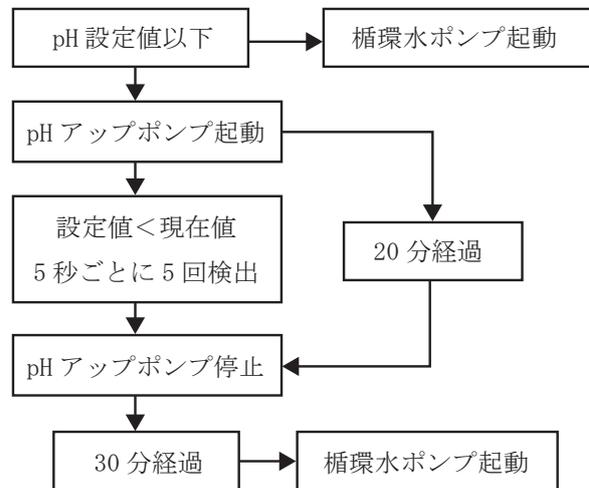


図 15 pH アップ剤の注入行程の概要

4 異常検出とリセット処理

「自動運転」や「手動運転」において、液体肥料や pH アップ剤のタンク内が低位、ポンプが故障する等の異常が発生した場合、薬剤の注入は行われない。そこでこれらの異常を検出した場合、制御盤面の異常表示灯を点灯させ、データロガーへ表示する構造とした。次項に各ポンプの異常検出方法の概要を示す。

4-1 液体肥料注入時の異常検出

2 種類の液体肥料の原液は、表 4 の液体肥料の使用条件を基に、肥料①は 30[g]、肥料②は 20[g] の粉末をそれぞれ 20[l] の水道水に溶解させたものである。前述したように、この原液を 1000[l] の栽培液に混入させると導電率が 0.2～1.2[mS/cm] 上昇する。そこで、本研究ではこの値を変化の平均をとって 0.7[mS/cm] とし、20 分後の導電率の上昇値を予測した。

循環水の総量を、1 棚 400[l] × 4 の 1600[l] とし、

これに対する導電率を 0.7[mS/cm] 上昇させる注入量は 32[l] である。これに対し、液体肥料の注入ポンプの容量は 52[ml/min] であるため、20 分後の注入量は 1.04[l] となる。したがって、20 分後の上昇値は次のようになる。

$$\text{上昇値} = \frac{0.7 \times 1.04}{32} = 0.023[\text{mS/cm}]$$

そこで、本研究は 20 分後の導電率の上昇値が 0.02[mS/cm] 未満であった場合、異常と検出することとした。図 16 に液体肥料注入時の異常診断と検出工程を示す。

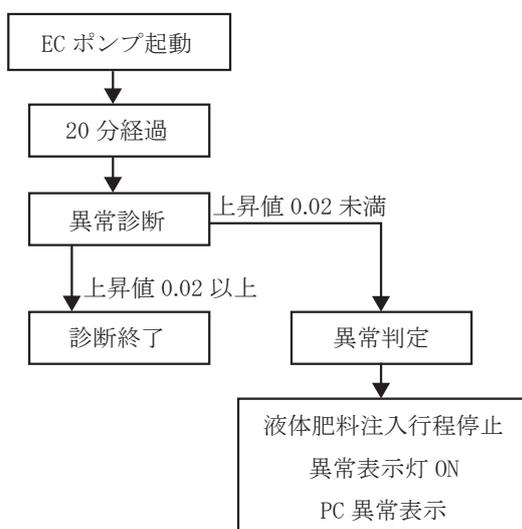


図 16 液体肥料注入時の異常診断と検出工程

4-2 pH アップ剤注入時の異常検出

pH アップ剤注入時の異常検出は、pH アップ剤の注入と循環水ポンプの駆動が停止する最長時間の 50 分後と設定し、この時点での水素イオン指数の上昇値を予測した。

なお、水素イオン指数の上昇値は 1000[l] の栽培液に pH アップ剤の原液を 50[l] 注入すると、pH0.5 ~ 1.0 上昇する。そこで、この上昇値を変化の平均をとって pH0.75 とした。

循環水の総量 1600[l] の水素イオン指数を pH0.75 上昇させる注入量は 80[ml] である。これに対し、pH アップ剤の注入ポンプの容量は 4.8[ml/min] である。これを最長 20 分間駆動する場合、ポンプは注入仕様で説明した通り、1 分駆動、30 秒停止を繰り返しているため、実際に駆動している時間は 13 分 20 秒程度である。そのため 20 分後の注入量は約 64[ml] となる。よって、50 分後に測定した上昇値は次のようになる。

$$\text{上昇値} = \frac{0.75 \times 64}{80} = 0.6$$

pH アップ剤の供給は pH5.5 未満で発生するので、理論的には pH6.1 まで上昇する。今回の水素イオン指数の制御目標値が pH6.0 ~ 6.5 であるため、妥当な値であると考えられる。

しかし、実際の水耕栽培装置では測定器の検出遅れが発生する可能性がある。このため 50 分後の水素イオン指数の上昇値を pH0.04 で設定し、異常検出値とした。この値は実際の育成実験により定めた値である。図 17 に pH アップ剤注入時の異常診断と検出工程を示す。

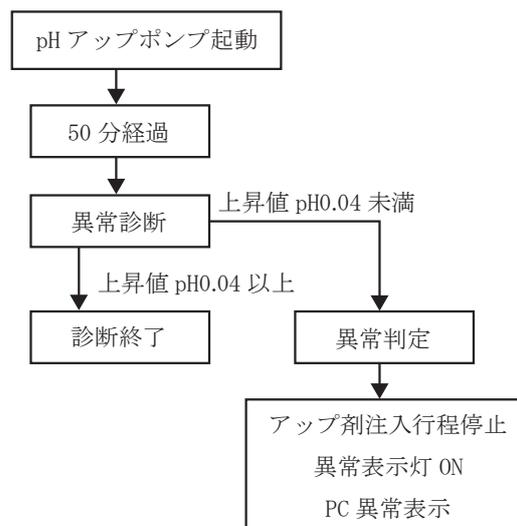


図 17 pH アップ剤注入時の異常診断と検出工程

4-3 異常状態のリセット

自動注入機は異常状態を検出すると、要因が改善されるまで、異常状態をリセットする信号以外の入力を受け付けない。リセットは全ての状態を初期化し、その後、10 分間自動運転と異常表示の表示灯を点滅させ、通常状態へ復帰する仕様とした。これは異常状態を修正するための時間を考慮した結果である。異常状態の修正はリセット指示の前に行うことを想定していたが、リセット指示後に追加の修正を行う可能性も考慮して 10 分間とした。図 18 に異常リセット処理の工程を示す。

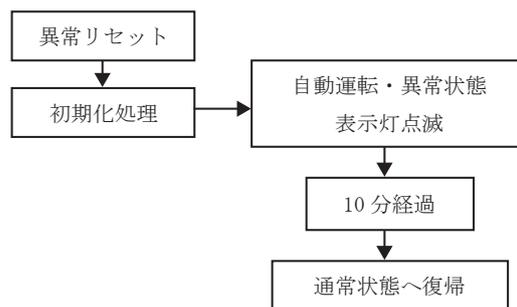


図 18 異常リセット処理の工程

5 データロガー用ソフトウェア

PLC で取り込んだ導電率と水素イオン指数を Ethernet 通信により PC 端末に取り込み、30 分毎に表示するソフトウェアを ExcelVBA を使用して作成した。また、生成したデータファイルは 1 日単位で保存・更新され確認が可能である。画面表示は表とグラフで構成され、各測定器で検出した値の他、各ポンプの駆動状況や、異常検出等が表示される。図 19 に生成されたデータファイル画面を、図 20 に導電率計測結果、及び図 21 に水素イオン濃度計測結果を示す。

なお、ここで示した導電率や水素イオン濃度の値は、その時刻での値であり、さらにポンプ駆動状態は前回の測定時間である 30 分前から現在までにポンプが稼働したかどうかを示したものである。

月日	時刻	pH	導電率	pHポンプ状態	ECポンプ状態	状態
2013/1/23	13:30:00	5.52	1.61	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	14:00:00	5.51	1.65	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	14:30:00	5.51	1.60	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	15:00:00	5.49	1.59	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	15:30:00	5.49	1.63	ポンプ駆動中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	16:00:00	5.75	1.57	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	16:30:00	5.71	1.55	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	17:00:00	5.69	1.60	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	17:30:00	5.71	1.55	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	18:00:00	5.71	1.55	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	18:30:00	5.69	1.60	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	19:00:00	5.69	1.55	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	19:30:00	5.66	1.55	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	20:00:00	5.67	1.59	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	20:30:00	5.66	1.53	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	21:00:00	5.65	1.51	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	21:30:00	5.62	1.55	ポンプ停止中	ポンプ駆動中	正常運転
2013/1/23	22:00:00	5.59	1.57	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転
2013/1/23	22:30:00	5.59	1.57	ポンプ停止中	ポンプ停止中	正常運転

図 19 生成されたデータファイル画面

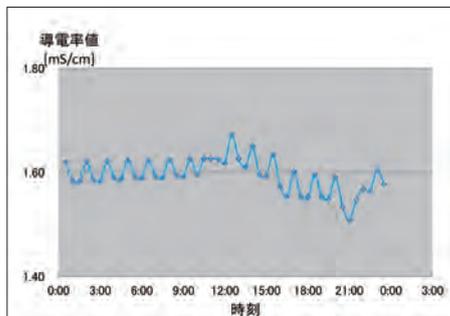


図 20 導電率計測結果

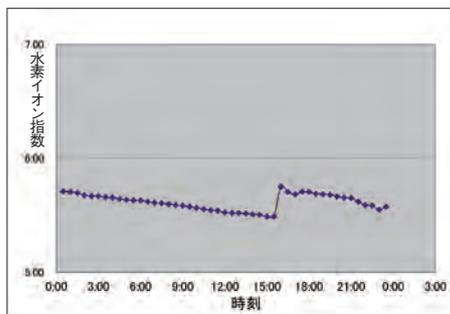


図 21 水素イオン濃度計測結果

V おわりに

自動注入装置は、試作・改良を繰り返し、現在の仕様になった。この自動注入装置を用いた結果、栽培液の導電率および水素イオン指数の管理や液体肥料や pH アップ剤の注入が自動化され、作業員の負担は軽減した。図 22 に自動注入装置を使用して成長したリーフレタスの栽培状況、図 23 に収穫後のリーフレタスの状態を示す。



図 22 リーフレタスの栽培状況



図 23 収穫後のリーフレタスの状態

(左図はフリルアイス、右図はカットマン)

動作する自動注入装置は完成した。しかし、現時点での機器の製造コストが高い現状がある。そのため、コストダウンのための仕様および機器選定の見直しが必要である。また、各棚を独自で制御する仕様や視覚的に判断しやすいソフトウェアの作成など、改善点も多い。今後、改良を重ねる必要がある。

また、今後は、さらなる省エネルギー環境を構築することも考えている。

[参考文献]

- (1) 那覇市上下水道局ホームページ
(<http://www.water.naha.okinawa.jp/site1/index.htm>)
- (2) 大塚アグリテクノ株式会社ホームページ
(<http://www.agritechno.jp/>)

