

技術科計測・制御学習におけるシステムの思考を支援する モジュールシステム教材の開発

Development of module system teaching materials
to support systematic thinking in measurement and control learning

湯田 絵美子*・高谷 治男**・上之園 哲也***
Emiko YUDA, Haruo TAKAYA, Tetsuya UENOSONO

要旨

本研究の目的は、中学校技術・家庭科技術分野のプログラムによる計測・制御に関する学習において、システムの思考を働かせることを支援するモジュールシステム教材を開発することである。計測・制御学習において活用し得る温度、湿度、光、水位、傾斜のセンサモジュールとDCモータ及びサーボモータ等のアクチュエータモジュール、それぞれを容易に選択、組み合わせするための使用説明書を含めたシステム教材を開発した。中学校2年生を対象に実践し評価した結果、開発した教材は、その汎用性や簡便性から、生徒の構想を広げることと寄与するとともに、生徒のシステムの思考を働かせることを支援するものと推察された。

1. はじめに

本研究の目的は、中学校技術・家庭科技術分野のプログラムによる計測・制御に関する学習において、システムの思考を働かせることを支援するモジュールシステム教材を開発することである。ここでいうシステムの思考とは、製品を一つのシステムの総体として捉え、機能を改善するために、その構成要素を取り出して評価・検討し、選択・活用・応用する思考と規定する。

現在の社会において、身の回りにある製品の多くは、その機能のほとんどがプログラムによって自動化されている。また、それらの製品は一つの要素だけで構成されることは少なく、個々の要素が組織的、複合的に組み合わさり、それぞれの要素が関連した一つのシステムとして成り立っている。製品に組み込まれている計測・制御システムは、センサが得た情報をコンピュータがプログラムによって処理し、アクチュエータを制御することにより、その機能が果たされている。このような計測・制御システムが普及し、簡単な操作のみで扱うことのできる製品が増え、それらの構造や仕組みを知る必要性は失われた。しかし、今後さらに進むと考えられる高度技術社会においては技術の仕組みや成り立ちについて理解し、身の回りの技術を適切に評価し、主体的に判断した上で使用することが求められよう。

2017年告示中学校学習指導要領においては、習得した知識・技能を、生活や社会における問題を解決するために活用することを通して、技術的素養の育成を目指す方向を示している¹⁾。日本産業技術教育学会は2012年に改訂した「21世紀の技術教育」の中で、技術的素養とは、技術と社会との関わりについて理解し、ものづくりを通して、技術に関する知識や技能を活用し、技術的課題を適切に解決する能力、および技術を公正に評価・活用する能力であると述べている²⁾。また、学習指導要領では、技術的な資質や能力の一つである「目的や条件に応じて設計したり、効率的な情報処理の手順を工夫したりする力の育成」を課題として指摘した上で、構想、設計したアイデアを実際に製作、活用し、自らの問題解決の過程を振り返り、評価することによって、技術的な見方・考え方を養うことを標榜している。以上のことから、技術的素養を育成す

* 教育開発出版株式会社 (2019年3月弘前大学教育学部技術専修卒業) Kyoiku Kaihatsu Shuppan Co. Ltd.

** 弘前大学教育学部附属中学校 Junior High School Attached to the Faculty of Education, Hirosaki University

*** 弘前大学教育学部技術教育講座 Department of Technology Education, Faculty of Education, Hirosaki University

るためには、技術科の学習内容において、技術的な見方・考え方を働かせた問題解決的な学習が重要であると考えられる。

一方、ある目的を達成するために使われる技術は一つの技術だけが活用されることは少なく、多くは複数の小さな技術が組織的、複合的、有機的に組み合わせり構成、活用されている。すなわち、ある機能を果す目的で使われる技術を大きなシステムとして捉えると、システムは自己完結した小さなシステムが相互に関連しながら、組織的に結びついて構成されているものと考えることができる。したがって、育成すべき技術の見方・考え方の中の一つとして、このような技術をシステムとして捉える見方・考え方を育成するための学習過程を設定することが重要であると考えられる。

また、「21世紀の技術教育」では、技術教育実践の役割として、具体的な日常生活場面に習得した技術の適用を促すだけでなく、これから直面する複雑な技術的課題を、知識・技能を駆使し、合理的、創造的、そして最適な解決に導くために必要な技術的素養を身に付けさせることが示されている。さらに、製作に関する目的物を取り上げる場合、幼児児童生徒の発達段階に応じて、自然の素材や少数の部品で構成される単純な機能から、仕組みや装置などを用いた複雑な機能、そして社会で活用される技術製品・システムへと発展させる必要があると示されている。これらのことから、目的とする機能をシステムとして捉え、必要な動作に応じて扱うセンサやアクチュエータを選択して構想、設計することや、意図した動作を実現させるアルゴリズムやプログラムについて考えることが可能な題材の設定や教材、すなわちシステム的な思考を促す題材や教材の開発が重要であると考えられる。

しかし、これまでの技術科での計測・制御学習におけるシステム的な思考に関する研究や実践は管見の限り次の4件しか見当たらない。萩嶺ら³⁾は、計測・制御学習に関する概念モデルを作成し、中学生の計測・制御システムの概念構造を明らかにしているものの、計測・制御システムの概念を基にしたシステム的な思考を働かせるための学習過程の開発までは至っていないという問題が指摘できる。さらに萩嶺ら⁴⁾は、計測・制御学習によって形成される「技術的な見方・考え方」の因子構造に関する研究において「システム的な見方・考え方」因子を抽出するとともに計測・制御学習ではこの因子の形成は十分でないという実態を明らかにしている。その上で学習題材等の改善の必要性を指摘しているものの提案には至っていない。また内田ら⁵⁾は、技術科におけるシステム思考導入のためのカード型ツールを開発している。その上で「プログラム作成(設計・計画)」時の思考過程や改善場面に活用し、技術を評価し活用する能力の育成に対する影響を調査した。その結果、生徒の技術を活用する能力に関連した視点や視野を広げることを示唆している⁶⁾。しかし、この実践はシステム的な思考を働かせる対象がプログラムの範囲で留まっているため、センサやアクチュエータなどの具体物を含めたシステム的な思考を働かせることを支援するための学習教材とはなっていない。このように、技術科におけるシステム的な思考の導入は一定の教育効果が指摘されているものの、選択、組み合わせが容易で汎用性のあるセンサやアクチュエータの具体物を含む題材や教材の開発には至っていない。そこで、本研究では、計測・制御学習において生徒がシステム的な思考を働かせることに寄与し得る教材を開発し、実践を通して評価を得ることとした。

2. モジュールシステム教材のデザイン

2.1 開発のコンセプト

開発するモジュールシステム教材(以下、本教材)は、①安価で購入できること、②センサとアクチュエータの組み合わせが容易であること、③生徒が自力でセンサとアクチュエータを導入することができることの3点をコンセプトとした。

2.2 本教材の周辺環境

①制御用マイコンとソフトウェア

制御用マイコンにはIchigoJam[®] jig.jp(以下、IchigoJam)を採用した(図1)。このIchigoJamは、デジタル、アナログの入出力に対応しており、通常、デジタル入力ピン2つ、アナログ入力ピン1つ、デジタル出力ピン6つ、アナログ出力ピン4つを使用することができる。また、言語はIchigoJamに搭載されているBASIC

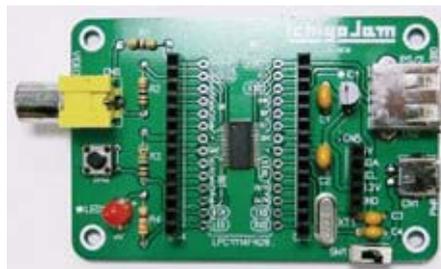


図1 制御用マイコン IchigoJam

言語を使用した。

2.3 題材の設定

本研究では、「オリジナル植物工場の製作」を題材として設定した（表1）。まず、第一段階として、生徒に試作型植物工場に必要なLED基板や筐体、LED照明の制御に必要なプログラムを製作、作成させ、LED植物工場で植物を育成するために必要な栽培環境など、植物育成の技術について学習させる。第二段階では、夏季休業中に栽培を行って生じた試作型植物工場の問題点について調べ学習を行わせた後、改善したい課題を整理させる。その後、授業の中で、課題の解決に活用可能と考えられるセンサ・アクチュエータを提示し、それらをそれぞれ1つ以上2つ以内で使用することを条件として、試作型植物工場の機能面での課題を解決するオリジナル植物工場について構想させる。第三段階では、筐体と共にセンサ・アクチュエータを組み込んだオリジナル植物工場を製作させる。その後、LED照明を制御するプログラムにセンサ・アクチュエータを動作させるために必要なプログラムを組み込ませ、オリジナル植物工場によって再び栽培を行う。本教材は第7次から第9次で活用することとした。

表1 オリジナル植物工場製作の指導計画

| 単元 | 内容 | 時間数 |
|-----|--------------------------|----------|
| | ガイダンス | 1 |
| 第1次 | LED照明の製作 | 3 |
| 第2次 | プログラミングの学習 | 5 |
| 第3次 | 植物栽培の基礎 | 1 |
| 第4次 | 試作型植物工場の製作 | 3 |
| 第5次 | 小松菜の栽培 | 夏季休業中の課題 |
| 第6次 | 試作型植物工場の課題整理 | 2 |
| 第7次 | センサ・アクチュエータモジュールの仕組みと活用法 | 4 |
| 第8次 | オリジナル植物工場の構想・設計 | 5 |
| 第9次 | オリジナル植物工場の製作 | 9 |

2.4 本教材の概要

本研究では、温度、湿度、光、水位、傾斜のセンサモジュールとDCモータのアクチュエータモジュールを開発し、授業では、サーボモータ、スピーカのアクチュエータモジュールを加えて提示した。これらのセンサ・アクチュエータモジュールを選択し、容易に組み合わせができるよう使用説明書（以下、説明書）を含めて教材をシステム化した。本教材の内、以下に温度センサ、湿度センサ、DCモータの各モジュールとそれらを生徒が活用するために作成した温度センサモジュールの使用説明書を例として示す。

2.4.1 センサモジュール

センサモジュールは、温度、湿度を計測する2種類のアナログセンサと、光、水位、傾斜を計測する3種類のデジタルセンサを開発した。価格を抑えるため、回路を必要とするモジュールの基板にはシナ合板、回路には銅箔テープを使用した。

①温度センサ（図2-1、2-2）

温度センサには、National SemiconductorのLM61CIZを採用した。LM61CIZは、室温で $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の精度が得られる高精度温度センサICであり、 $-30^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ の温度を300mVから1600mVの範囲で出力する。IchigoJamのアナログピンは0Vから3.3Vを0から1023の値に変換して取得する。温度センサモジュールは、このアナ

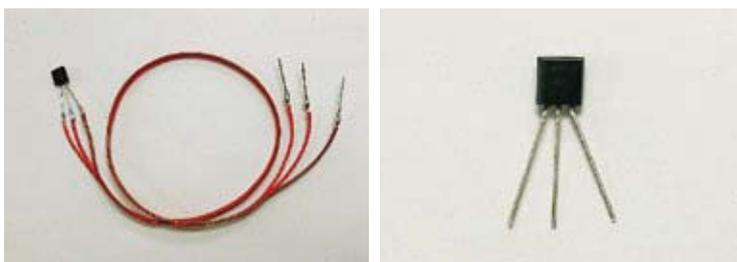


図2-1 温度センサモジュールとLM61CIZ

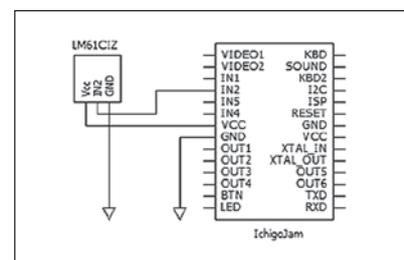


図2-2 モジュールの回路図

ログ値と温度を対応させ、温度を計測することとした。

②湿度センサ（図3-1, 3-2）

湿度センサには、Aosong Guangzhou ElectronicsのHR202Lを採用した。HR202Lは、交流の信号をかけて駆動させるセンサであるが、今回は複雑な回路を省くため、直流で検出した電圧をアナログ値として読み取り、湿度を計測することとした⁷⁾。

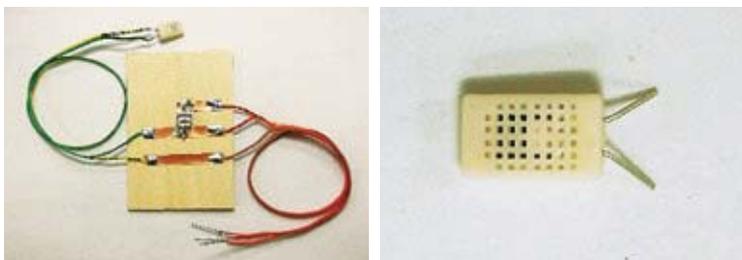


図3-1 湿度センサモジュールとHR202L

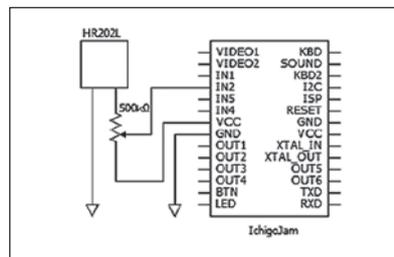


図3-2 モジュールの回路図

2.4.2 アクチュエータモジュール（図4-1, 4-2）

アクチュエータモジュールは、DCモータを開発した。サーボモータについては、既成のものを2種類用意し、説明書のみを作成した。DCモータには、マブチのDCモータを使用し、トランジスタのスイッチング作用を利用した回路を基に基盤を設計した。トランジスタはUNISONIC TECHNOLOGIES COの2SC2655L-Yを使用し、逆起電流とノイズ防止のため、PANJIT INTERNATIONALの整流用ショットキーダイオードとSupertech Electronicのセラミックコンデンサを使用した。

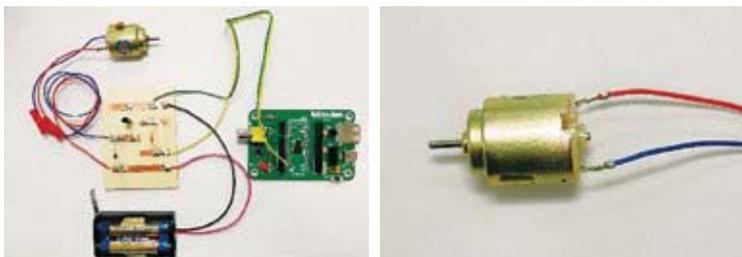


図4-1 DCモータモジュールとDCモータ

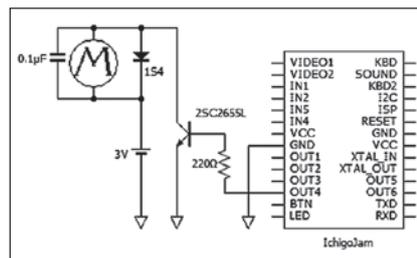


図4-2 モジュールの回路図

2.5 説明書（図5-1, 5-2）

生徒がセンサとアクチュエータのモジュールを簡便に導入することができるよう、説明書を作成した。説明書は、モジュール製作編とプログラム組み込み編の2編で構成し、記載する項目を統一して、センサ・アクチュエータをどのように組み合わせても組み込み、差し替えが容易になるよう工夫した。レイアウトは1つのモジュールにつき、A4の用紙に両面印刷された1枚とした。

2.5.1 モジュール製作編

モジュール製作編では、センサとアクチュエータの簡単な仕組みを理解できること、モジュールの製作が容易にできること、モジュールとIchigoJamとの接続が容易にできることの3点を目的として①センサ・アクチュエータの仕組み②モジュールに必要な部品③モジュールの作り方④IchigoJamとの接続の仕方の4項目で説明書を作成した。

2.5.2 プログラム組み込み編

プログラム組み込み編では、製作したモジュールの動作確認が簡便にできること、メインプログラムに組み込むサブルーチンを理解できること、センサとアクチュエータの組み換えを自由に行えることの3点を目的として①動作確認のプログラム②センサのサブルーチン③センサとアクチュエータの組み合わせ方の3項目で説明書を作成した。



図 5-1 モジュール製作編の例

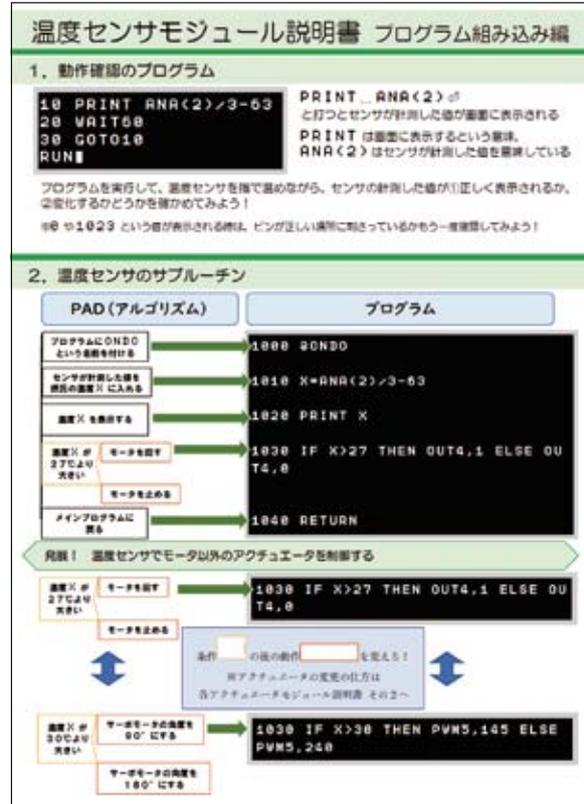


図 5-2 プログラム組み込み編の例

3 本教材を用いた実践内容と評価の方法

3.1 実践の内容

まず、単元の第7次で、センサ・アクチュエータのモジュールを用いた計測・制御の学習を行った。具体的には、身の回りの計測・制御システムが用いられている機器を例に、5種類のセンサと3種類のアクチュエータについて組み合わせの例を示した。その後2人1組となって実際にセンサとアクチュエータのアルゴリズムやプログラムを考え、動作させる活動をした。第8次では、第7次で扱ったモジュールシステム教材の活用法を基に、第6次で整理した課題を実現させるためのセンサとアクチュエータを選択させた。センサとアクチュエータはそれぞれ2つ以内で使用するよう条件を設定し、構想のワークシートを用いて構想と設計の活動を行った。第9次では、設計したオリジナル植物工場の筐体と選択したセンサとアクチュエータのモジュールを製作した。ここで、センサとアクチュエータモジュールの説明書を使用した。

3.2 実践の対象と評価の方法

2018年10月から12月にかけて、A県中学校2年生165名、5クラスを対象に実践した。評価は、第8次で使用した構想・設計のワークシートと第9次におけるモジュールの製作終了後に質問紙によるアンケート調査を実施し、それらの分析を基に行うこととした。具体的には、ワークシートを生徒が試作型植物工場のどのような問題の解決のために何を課題として設定し、どのモジュールを使ってどのような解決策を構想したかが読み取れる構成とした。回収後、生徒が発見した問題と解決すべき課題、またそこで用いたモジュールの種類で分類整理し、各モジュールの組み合わせ状況から本教材が多様に組み合わせられ、システム的に活用されたかを評価することとした。また、質問紙によるアンケート調査においては、「今回、センサやアクチュエータのモジュールを使って製作をした感想や意見を自由に書いてください。」という質問で得た自由記述による回答を帰納的に分類し、本研究で規定したシステム的な思考に即して評価することとした。

4 結果と考察

4.1 ワークシートの分析

ワークシートは158名分が回収された。回収率は95.8%となった。また、アンケート調査はワークシートが回収できた生徒の回答のみを採用したため回答率は同様の95.8%となった。回収したワークシートの内、記述やイラストから選択したセンサ・アクチュエータの組み合わせとその活用の仕方について読み取ることができたのは74名だった。以後、それらのワークシートを対象に分析した。ワークシートの例を図6に示す。

名前

改良版オリジナル植物工場の構想をまとめよう

1 まずは、センサとアクチュエータを利用して問題点を解決する方法を考えよう

菅原先生の授業では、試作版植物工場の問題点を洗い出し、課題を整理し、解決策を検討しましたね
 湯田先生、宮下先生、高谷の授業では、様々なセンサとアクチュエータを知り、それを動かすためのプログラムについても学習しました。さあ、具体的に何をどのように使って解決するか考えよう。

～まずは植物工場の問題点をもう一度確認しよう～

- 高さを調節しづらい → 輪ゴムを2個使う リフトが水に浸らないように必要
- 作中の水が溢れる → 容器を2つ使う 0
- 湿度がこもる
- イチゴが腐ってしまう → 袋の中に入れて
- アオコが発生してしまう (気温、水温が高すぎる・水があたりにあふれる・袋の中の湿度が高い)

2 解決したい問題を設定しよう！全部解決するのは難しいので、優先順位を考えよう

ここで問題を設定するときのポイントを紹介しよう。
 『問題』と思っていた現象が、どのように変化すれば『解決』なのか？
 それを判断・評価する条件・基準を具体的に考えてみよう。
 なぜ？
 評価するときの指標がないと、その問題がどのくらい解決できているかわからないでしょ？

～『自分が』解決したい問題を設定！優先順位どおりに書いてみよう～

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 アオコが繁殖してしまふ</p> <p>2 湿度がこもる</p> <p>3 健康に育たない (かえる、臭い、汁が出る)</p> <p style="text-align: center;">→ 快適な環境にする</p> | <p>1. 植物に適切な水をやる</p> <p>2. 袋の中の湿度を25℃以下に保つ</p> <p>3. アオコを減らす</p> | <p>基準 袋の中の湿度が25℃以上にはならない</p> <p>基準 袋の閉じりに水滴がつかないようにする</p> <p>基準 育つてきたアオコが葉がまてけるようにする</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

3 解決に必要なセンサとアクチュエータを選択しよう！

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>センサ群</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">温度センサ</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">湿度センサ</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">光センサ</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">傾斜センサ</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">水位センサ</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">傾斜センサ</div> </div> | + | <p>アクチュエータ群</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">モータ</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">プザー</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">サーボモータ (180°回転)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">サーボモータ (360°回転)</div> </div> |
| <p>センサから2つまで・アクチュエータから2つまで・制限あり</p> | | |

注意！代金がかかります！
コメント！

～『自分の』解決策を言葉やイラストでまとめてみよう～

解決策

- ・ 1. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9.
- ・ 2. 1. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9.
- ・ 3. 1. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9.
- ・ 4. 1. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9.
- ・ 5. 1. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9.

センサとアクチュエータ

- ・ 温度センサが25℃になったら、19.9. 19.9. 19.9.
- ・ 湿度センサが25℃になったら、19.9. 19.9. 19.9.
- ・ 19.9. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9.
- ・ 19.9. 19.9. 19.9. 19.9. 19.9.

図6 生徒が記述した構想ワークシートの例

この生徒は、「アオコが発生する」という問題を発見し、アオコが発生しやすい環境を作らないために、植物工場の袋の中の「温度を一定に保つ」という課題を設定し、「温度センサ」と「DCモータ」を組み合わせ、「温度が25℃になったらプロペラをまわす」という計測・制御システムを構想している。

表2 問題に対するセンサ・アクチュエータの組み合わせ

| 発見された問題 | 解決すべき課題 | センサ | アクチュエータ | 解決策例 | 件数 | |
|-----------------|-------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|---|
| 温度に関するもの | 温度が高くなりすぎる | 空気を入れ替える | DCモータ | 温度が上がればモータでファンを回して換気する | 8 | |
| | | | サーボモータ | 温度が高くなったらサーボモータで筐体の袋カバーを開ける | 1 | |
| | | | スピーカ | 温度が上がったらスピーカで人に知らせる | 5 | |
| | 温度の変化が分からない | 温度の変化を人に知らせる | 温度センサ | サーボモータ | 温度が一定の基準を超えたらサーボモータで視覚的に知らせる | 1 |
| | | | スピーカ | 温度が下がったらスピーカで人に知らせる | 4 | |
| | | | DCモータ | 温度が上がればモータでファンを回して換気する | 10 | |
| アオコが発生する | 温度を一定に保つ | DCモータ | 温度が上がればモータでファンを回して換気する | 8 | | |
| 気温の調節ができない | 温度を一定に保つ | DCモータ | 温度が上がればモータでファンを回して換気する | 7 | | |
| 湿度に関するもの | 湿度が高くなりすぎる | 空気を入れ替える | DCモータ | 湿度が高くなったらモータで換気する | 3 | |
| | | | 湿度センサ | 湿度が高くなったらスピーカで人に知らせる | 7 | |
| | | | スピーカ | 湿度が高くなったらスピーカで人に知らせる | 3 | |
| 養液に関するもの | 養液の不足 | 養液を足す | ローテーションサーボ | 湿度センサをスポンジの中に入れ、湿度が低くなったらローテーションサーボで養液を足す | 1 | |
| | | | サーボモータ | 水が少なくなったら、サーボモータで養液を足す | 2 | |
| | | | ローテーションサーボ | 水位が下がったらポンプで養液を足す | 10 | |
| | | 水位センサ | サーボモータ | 水が少なくなったら、サーボモータで視覚的に知らせる | 1 | |
| | | | スピーカ | 水位が下がったらスピーカで知らせる | 10 | |
| | | | スピーカ | 水を入れすぎたらスピーカで知らせる | 2 | |
| 光に関するもの | 光が当たりすぎる | 光をさえぎる | サーボモータ | 光が当たりすぎているときにサーボモータでさえぎる | 1 | |
| | | | LED | 光が強すぎたらLEDを消灯させる | 1 | |
| | | | スピーカ | 光が強すぎたらスピーカで知らせる | 1 | |
| | 水にアオコが発生する | 光を植物に均等に当てる | 光センサ | サーボモータ | 光量が多すぎたらサーボモータでさえぎる | 1 |
| | | | ローテーションサーボ | 光が当たっていないとき、ローテーションサーボを回転させる | 1 | |
| | | | スピーカ | 光が当たなくなったらスピーカで知らせる | 2 | |
| LEDの切り替わる時間がずれる | LEDの点灯を明るさによって変える | LED | 明るいときは赤色のLED、暗いときは青色のLEDを点灯させる | 8 | | |
| 植物に関するもの | 植物が傾いている | 植物をまっすぐにする | 傾斜センサ | サーボモータ | 植物が傾いたらサーボモータでまっすぐにする | 1 |
| | | | スピーカ | LEDに傾斜センサをつけ、植物がLEDに当たったらスピーカで知らせる | 1 | |
| | | | DCモータ | 温度が上がればモータでファンを回して換気する | 3 | |
| 筐体に関するもの | LEDが傾いている | LEDの傾きを人に知らせる | 傾斜センサ | スピーカ | LEDが傾いたらスピーカで知らせる | 1 |
| | | | DCモータ | 温度と湿度が高かったらDCモータを回す | 4 | |
| 温度と湿度に関するもの | 温度と湿度が高くなりすぎる | 空気を入れ替える | 温度湿度センサ | DCモータ | 温度と湿度が高かったらDCモータを回す | 1 |
| | | | スピーカ | 温度と湿度が高かったらスピーカで知らせる | 1 | |

同様に他の73名のワークシートから読み取り、分類整理した結果を表2に示す。生徒が発見した問題は、温度、養液、湿度、光、筐体、植物、温度と湿度に関する7つの項目に分類された。また、センサとアクチュエータによる解決策は全部で25種類となった。例えば、光に関する項目では、光が当たりすぎるという問題に対して、「光をさえぎる」、「光の当たりすぎを人に知らせる」、「LEDの点灯を明るさによって変える」という課題が設定されているように、一つの問題に対して多様な課題が設定されていることが分かった。また、養液の不足という問題に対して、水位センサとローテーションサーボモータやサーボモータの組み合わせによって、自動的に養液を補充するという解決策やスピーカを鳴らして人に知らせ、養液の補充は人が行うという解決策が構想されており、1つのセンサに対してアクチュエータの組み合わせと使用方法には複数の種類が見られた。

以上のように1つの課題に対して、いくつかの解決策が構想されていること、1つのセンサに組み合わせているアクチュエータの種類と活用法が多様であることから、本教材には汎用性があり、生徒は多くの組み合わせを考えることができたことと推察された。

4.2 アンケートの自由記述の分析

得られた158コメントの内、「楽しかった」や「面白かった」など学習や本教材に対する情意的な反応だけに留まるものなどを省き、思考過程や学習に対する考え方、学習を行ったことによる技術的な見方・考え方の変化などについて書かれたコメントを残した結果、43コメントとなった。その後、これらを帰納的に分類した(表3)。例えば、「それぞれのセンサやアクチュエータの特徴を生かして植物工場を作れるようにしたい」や「センサやアクチュエータなどには、様々な種類がありそれぞれできることがちがうためそのセンサやアクチュエータに合った運用の仕方をしなければならない」という記述はセンサとアクチュエータの特徴や働きを理解した上で、その組み合わせを選択していると考えられることから「各センサとアクチュエータの働きを生かした組み合わせ」という項目に分類した。また、「センサやアクチュエータの組み合わせ次第で、できることが無限に広がることが分かった」や「センサやアクチュエータをいくつか組み合わせることで様々な問題が解決でき、より良いものができることが分かった」などの記述はセンサ・アクチュエータの組み合わせ次第で解決策が多様に広がることに気づいていると考えられることから「センサ・アクチュエータの組み合わせを工夫することによる解決策の広がり」という項目に分類した。同様にすべてのコメントを分類した結果、全部で11項目となった。

表3 アンケートの自由記述の分類

| 項目 | 自由記述の内容 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 各センサとアクチュエータの働きを生かした組み合わせ | 今まで習ったプログラムやアクチュエータのことを生かして、植物工場の案を出したり設計することができたので良かった。それぞれのセンサやアクチュエータの特徴を生かして、植物工場を作れるようにしたいと思った。 |
| | センサモジュールやアクチュエータモジュールの性質を組み合わせた、工夫して使用することによって、あらゆる植物工場の問題点を解決したり、より植物工場を便利なものにするのが可能になったと思った。 |
| | 夏休みにつくった植物工場はシンプルなものだったが、今回つくるものはセンサやモジュールを使うことによってより良いもののできる構想ができた。植物工場を良いものにするには絶対必要なセンサやモジュールのそれぞれの特徴を最大限に生かし、使いたいと思う。 |
| | センサやアクチュエータなどには、様々な種類がありそれぞれできることがちがうためそのセンサやアクチュエータに合った運用のしかたをしなければならぬ。 |
| | 構想(他人からの意見や構想を参考として取り入れて工夫したもの)となったと思う。使用するセンサ・アクチュエータの良い所を自分なりに取り入れることができた。 |
| | 自分は、水位センサを使って、常に水の調整を自動でおこなうように考えたが、どのような仕組みで水を足せばいいのかわからないことに悩んだ。また、他の人とは違う問題を解決して、個別で、どうすればより良い植物工場になるのか考えることが楽しかった。また、センサやアクチュエータの組み合わせを工夫して、できることが無限に広がるのがわかった。 |
| | 水位センサを使ってオリジナル植物工場を製作するのはむずかしかった。自分の課題を解決できるように少し木を使って工夫し、水位センサをどこにつけるかを考えてじゃまにならないようにしました。また、プザーを鳴らすか、光をつけるかで迷いましたが、プザーの方が気付きやすいと思ってプザーを使うことにしました。センサはいろいろな機能があって便利だけれど、自分の課題にそって使うことでもっと便利なものになることが分かりました。 |
| | 組み合わせによってはいろんなことができるということがわかり、構想を練るのが楽しかった。 |
| | センサモジュールは、最初問題だったことを、プザーなどを使って制ぎょしてくれることがとても便利だということがわかった。いろいろなセンサを見ると、ほとんど使い方がわからないものもあったが、いろいろなセンサと組み合わせることにより、たくさんの使い方があり(ひろがる)とても広いと思った。あと人と意見交換をしたとき、たくさんの意見があった。センサと組み合わせることで、改善策見つけた。 |
| | センサやアクチュエータを使うことで夏休みで分かった問題点を工夫して解決できるように作った。一つ一つのセンサやアクチュエータの作り方や説明などがわかれているプリントが分かりやすかった。センサやアクチュエータをいくつか合わせることで様々な問題が解決でき、より良いものができることが分かった。 |
| 植物工場をつくるには、たくさんの改善しないといけない点があって、それを解決するために、センサモジュールやアクチュエータモジュールをどう使うかを考えて構想しました。 | |
| センサやアクチュエータモジュールを使えば問題点が改善できるか、どのアクチュエータモジュールを使えばもっと効率的にやることができるか(どう工夫できるか)考えることができてよかった。 | |
| す。 | |
| センサはいろいろな種類があり、そのセンサに対応するアクチュエータモジュールを考えるのが難しかったです。(アクチュエータを動かすことで、どのような効果があるかとか)様々なセンサモジュールやアクチュエータモジュールを使って自分のやりたい事があった。植物工場の構想を立てられた。センサモジュールを組み合わせで応用することができた。 | |
| 問題→改善策を考える→植物工場のつくりを考える。この流れがとても楽しかった。「こういう組み合わせはどうか、現実的か、自分にできるか」これらのことを考えながら設計図をつくることができた。また製作途中で上手くつくっていききたい。ありがとうございました。 | |
| 夏休みで見つけた課題を解決するために色々なセンサで解決方法を考えられた。1つのやつで色々方法を考えるのは難しいけれど思いついたときはおっつなっていた。 | |
| 同じセンサやアクチュエータを使っても、全然違う植物工場が構想されていたことも楽しかった。 | |
| センサモジュールやアクチュエータモジュールを使うことで、問題点を解決することができるため、便利で多様なある植物工場を構想することができた。プログラムをつくるのが難しく、製作する際に、つくれるか心配な部分もあるが、学習してきたことを生かし、頑張って製作しようと思った。 | |
| 以前の反省を生かして作ったので、なかなか思いどおりにはいかなかったが、なんとかオリジナルの植物工場を考えることができた。色々なセンサを紹介してもらって、視野が広がった。 | |
| 最初は何を使えばいいかわからなかったが、センサを一つ一つ知ることで、考えが広まった。また、オリジナルだからわからないところとかを直すのは少し難しくなるけど、より良いものを作りたいとがんばれそう。また、センサとかは扱ってないがしっかりと間違えないようにしたいと思う。 | |
| 動力を付加することで、多くの選択肢が生まれた。また、その動力の応用に関しては、型にはまらない新たな着想を得た。たとえば、モーターであればただ回すだけでなく、回す動力も水を利用できるように変換するなどの選択肢ができた。センシングを通して、人間では計れないより正確な値を使用することで、より高度な設計ができた。現代において多方面において求められるAutoflow、この立役者となる今回のセンサ・アクチュエータモジュールについて学びを深められたことはとても貴重な経験となった。モジュールによって視野がより広くなり、多くの動作が可能になる。大きく発想を飛躍させていきたい。今回は植物工場という舞台だが、今後は他分野にもどんどん応用していきたい。 | |
| 自分で自由に作れるから、不要なものはない、必要なものは取り入れ、ムダのない工場ができると思う。よって、省エネにつとめることができる。 | |
| 〇はこうだから△△とつけてみたらどうだろう?□は△△と必要じゃないかというところまで構想することが出来ました。また、センサとアクチュエータの働きを学習したことで、いろいろなアイデアが生まれました。 | |
| センサにはいろいろな種類があることが分かり、自分の植物工場の問題にあったものを選んで簡単に取り付けられたので便利だな習ってよかったなと思った。先生の授業分りやすくて楽しかったです。 | |
| 「こうしたらどうかな」とかというのを想像したり、考えながら構想、製作していくのが面白い。完成までに色々便利なものを付け足して、完全オリジナルのものをつくりたい。 | |
| プログラムをしなければセンサモジュールやアクチュエータモジュールを使えないのが大変だと思った。しかし、プログラムを使えば自分で自由に条件を変えられるのでいいなと思った。 | |
| 植物工場にセンサをつけるときに、自分の解決したい問題がありすぎて、どれにしようか迷ったけれど、優先順位をつけたり、自分でどのような機能を備わせたいのかを考えたことにより、何をすべきかが分かり、植物工場の構想が決まりました。センサは工夫して使うことによって、それと関係しないような問題の解決策になり、アクチュエータと結び付けるともっと良いものができると思った。 | |
| たくさんのセンサがあって便利だなと思ったけど、それを自分の課題にどう生かしていくかを考えるのが大変だった。でも、今回の勉強をして、身の回りの道具に使われているセンサなどにも興味をもった。日常生活から、自分の植物工場に使えるアイデアを探していきたい。 | |
| 構想して楽しかった。もっといろいろなセンサはないか、興味があった。 | |
| 構想して楽しかった。また、便利なセンサやアクチュエータを目にすることができて、自分で物をつくる時の可能性が広がったと思う。その他にも身近な機械についているセンサやアクチュエータについて考えるきっかけになった。 | |
| 今回は、水を自動でやることのできるというのをまねただけだったが、センサやアクチュエータはいろいろな物に使われていることがわかった。 | |
| できることをいろいろと探るのが楽しかった。これを別のものにも使ってみようと思った。 | |
| たくさん便利なセンサやアクチュエータがあると知ることができた。電化製品もこんなたくさんセンサとかが使われて、複雑なプログラムが組まれていると思うと、すごいと思った。オリジナルで作ると使えるものが限られてくるけど、機械があったらいろいろな今回使わないものも使ってみよう。 | |
| 植物工場の自動化をとるか、少し手がかかっても、環境にいいものにしていくか選ぶのは大変だったが、僕は2目に決め、そのためのセンサやアクチュエータを使おうとしています。自分なりの考えやアイデアで、よい環境で植物を育てたいです。 | |
| 水を入れて育てるという問題になってたけど、水位センサをつけられれば、大丈夫!などとの問題に何を活用するのかわかるのがすごく楽しかったです。 | |
| 試作品の問題点が様々なセンサモジュール・アクチュエータモジュールで解決の光が見えたので、すごいなと思いました。あまり使わなそうなモジュールでも、問題点をうまく利用して解決できることが分かりました。話し合いを通して、自分では思い浮かばなかった使い方や、解決策が分かりました。 | |
| 試作で不便だ...面倒だ...と思ったことを生かし、新しい学びをオリジナルにつぎこもうと思っています。自分が思う大きいいくつかの問題点を解決できる道具(モジュール・アクチュエータ)が結構あるので改善されそうで、良かったです。 | |
| 最初の試作品は問題がたかさんあったけど、センサなどを使ってその問題を解決できそうなので良かったです。 | |
| どういうセンサモジュールやアクチュエータモジュールを使おうかすごく迷ったが、自分がこの問題だと思った部分を改善するためにどのようなセンサが必要かなどを一番考えて構想した。 | |
| 自分なりの植物工場を作るのに、センサやアクチュエータモジュールを自分の課題にあわせて、取りつける優先順位をつけるのが一番楽しかった。 | |
| 人生でなかなか体験することができないことだったので、とても楽しかった。センサ、アクチュエータは便利だと思った。センサ・アクチュエータをつかった人は一体誰なのだろう...とても気になる。1つのセンサに複雑な作業(プログラムなど)があって大変だが、できたときのスッキリした感じがとても好きだ | |
| センサモジュールやアクチュエータモジュールはたくさんあっておもしろいけど、それと同時に1つ1つの動作やプログラムがあって大変だと思った。しかし、それを考えたり、覚えたりして、また利用するのもおもしろそうだった。 | |

これら11項目の内、「技術のトレードオフ」、「センサ・アクチュエータを知ったことによる考え・視野の広がり」、「センサとアクチュエータの組み合わせを工夫することによる解決策の広がり」の項目は、本研究で規定したシステムの思考の中の「構成要素の評価・検討」に、また、「各センサとアクチュエータの働きを生かした組み合わせ」、「必要最低限なセンサとアクチュエータの選択」の項目は、「構成要素の選択・活用・応用」に当てはまり、いずれも本研究で規定したシステムの思考に関連する項目であると考えられることから、本教材が生徒のシステムの思考活動を促したと推察された。

以上、ワークシートとアンケートの分析結果から、本教材は技術科の計測制御学習において、その汎用性や簡便さから、本研究で設定された題材のように問題解決的な場面を含む学習過程において、生徒の構想を広げることに寄与し得るとともに、生徒のシステムの思考を動かせることを支援するものと考えられる。

5 まとめと今後の課題

以上、本研究では、体系的な思考を働かせることを支援し得るモジュールシステム教材を開発し、題材「オリジナル植物工場の製作」において中学校2年生を対象に実践し評価した。その結果、開発した教材は、汎用性や簡便性が発揮され、生徒の構想を広げることに寄与するとともに、生徒の体系的な思考を働かせることに一定の効果をもたらすものと推察された。しかし、本研究では評価の方法が質的な分析に留まっている。本教材の効果をより精密に評価するためには、得られた結果を補完するための量的な分析が必要であろう。また、そのためには体系的な思考の活用状況をより簡便に計測し得る尺度の開発が求められる。以上、これらの2点を本研究の追試とともに今後の課題とする。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領解説技術・家庭編，開隆堂出版，pp.18-21，2017
- 2) 日本産業技術教育学会：21世紀の技術教育（改訂），日本産業技術教育学会誌，第54巻，4号別冊，pp.1，2012
- 3) 荻嶺直孝・島田和典・森山潤：概念地図法を用いた計測・制御システムに対する中学生の既有概念の類型化，日本産業技術教育学会誌，第53巻，pp.263-271，2011
- 4) 荻嶺直孝・森山潤：中学校技術科「プログラムによる計測・制御」の学習において形成される「技術的な見方・考え方」の実態把握，教育システム情報学会誌，第31巻，pp.239-244，2014
- 5) 内田有亮・西本彰文・田口浩継：技術科教育における，思考力・判断力・表現力等の育成のためのシステム思考の導入について，日本産業技術教育学会九州支部論文集，第21巻，pp.15-22，2014
- 6) 内田有亮・西本彰文・田口浩継：計測・制御学習におけるシステム思考ヒントカードの導入について，日本産業技術教育学会九州支部論文集，第21巻，pp.23-30，2014
- 7) 電波新聞社：電子工作マガジン8月号，pp.53-54，2016