

情報に関する技術におけるデジタル／アナログ学習用教材 の開発と授業実践の検討

宮 本 賢 治*, 堀 田 和 正**

(キーワード：中学校技術，プログラムにおける計測制御)

1. はじめに

アナログとデジタルについて聞いたことがある中学生は多数を占めているが，アナログとデジタルに関してきちんと理解しているとは言い難い。更に，中学校技術・家庭の技術分野学習指導要領「D 情報に関する技術」において「(3) プログラムによる計測・制御について，次の事項を指導する。」の「ア コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みをすること。」から，該当項目のねらいとして「センサから入力される信号や，アクチュエータに出力される信号はいずれもアナログ信号であり，コンピュータが記憶・演算できる情報はデジタル信号であることから，計測・制御システムの各要素において異なる電気信号（アナログ信号とデジタル信号）を変換し，各要素間で情報の伝達が行えるようにするためにインタフェースが必要であることも知ることができるようにすること。」と明記されており，このように計測・制御システムにおいてアナログ・デジタル信号の変換について指導するように挙げられている¹⁾。しかしながら，中学校技術教育における教科書の中でも該当ページが極端に少なく，アナログ・デジタル信号の変換に係る箇所も説明が省略されていることが多い²⁾。また，市販されている技術の教材カタログや教師を対象とした学習指導書等に目を通していてもアナログ・デジタル信号を学習できる教材のパンフレットは非常に少なく，教材面でも不足しがちと言える^{3),4)}。

また，私たちの生活には身の回りに様々なデジタル製品が溢れており，児童たちも普段から家庭や学校にあるデジタル数値で表記された電化製品を使用することに慣れ親しんでいる。このような生活環境の中で，例えばアナログ時計とデジタル時計の二つを用意した場合，デジタル時計のほうが正確な時間だと誤解している生徒も少なくなく，一般的なアナログとデジタルの基本的な概念について理解をしているとは言い難い。

このような背景をもとに，新しいデジタルアナログ教材の可能性の一つとしてアナログ信号とデジタル信号の違いを視覚的に学習することのできる教材装置の開発を行った。そして教材装置を通してアナログ信号とデジタル信号の違いを「納得できる」中学校での情報教育を行うこと，子供たちに正しいアナログ・デジタルの知識を身につけることが狙いである。

2. 作成した教材装置の概要

図1に開発した教材装置の全体写真を示す。円筒形の亚克力容器の中に薄い円盤状の発泡スチロールを入れ，下から空気ポンプで圧力を送り発泡スチロール円盤を上下動させることで，デジタルの離散的な動きとアナログの連続的な動きを表現する仕組みになっている。亚克力容器には等間隔で分割された目盛りを設けており，亚克力上部には測距モジュール（位置センサ）を取り付けている。発泡スチロール円盤が上下動する際の位置を測距モジュールが感知し，出力された電圧に合わせて目盛りに対応するLEDがそれぞれ点灯する。このLEDの点灯がデジタルの離散的な動きを表す。それに対応する亚克力容器内での発泡スチロール円盤の上下動はアナログの連続的な動きを表す（図2）。アナログの連続的な動きとデジタルの離散的な動きの間に生じる誤差を量子化誤差と呼び，図2においては発泡スチロール円盤上面の位置と点灯しているLEDの位置との差が

*鳴門教育大学生活・健康系コース（技術・工業・情報）

**鳴門教育大学大学院学校教育研究科

この量子化誤差に相当する。

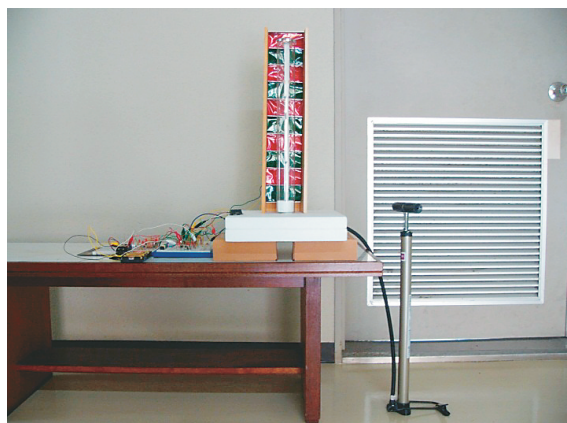


図1 教材装置

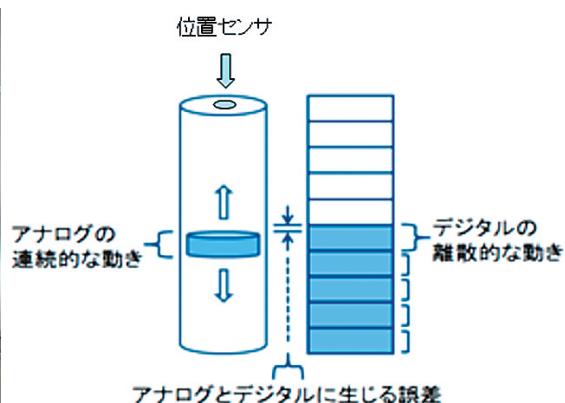


図2 教材装置の模式図

本装置では目盛りを等間隔に8等分した。8等分にすることで3ビットの数値を表現できるようになる。目盛りの全長を L とすると8等分にしたことで1目盛が $L/8$ の長さになる。この $L/8$ の長さ = 1ビットを1LSBと呼び、一定の間隔で区切られたデジタルデータの最下位ビットに相当する。3ビットにおけるデジタル出力値と対応する目盛りの長さを表1に示す。本装置では $L/8$ 以下のビット数が存在しないためこの1LSBがそのままアナログデータとのずれを表す量子化誤差になる。この目盛りを8分割から16分割にすると1目盛 = 1LSBが $L/16$ となり、より量子化誤差が小さくなる。

表1 3ビットにおけるデジタル出力値と対応する目盛りの長さ

3ビット	目盛りの長さ
000	$L/8$
001	$2L/8$
010	$3L/8$
011	$4L/8$
100	$5L/8$
101	$6L/8$
110	$7L/8$
111	$8L/8$

3. 学習装置の回路図要

教材装置はコンパレータ，測距モジュール（位置センサ），トランジスタ，LEDを回路に組み込みそれぞれ配線した（図3）。図中の※印のついた注釈部は測距モジュールからの出力を調整するために追加した回路部分であり，これについては後述する。

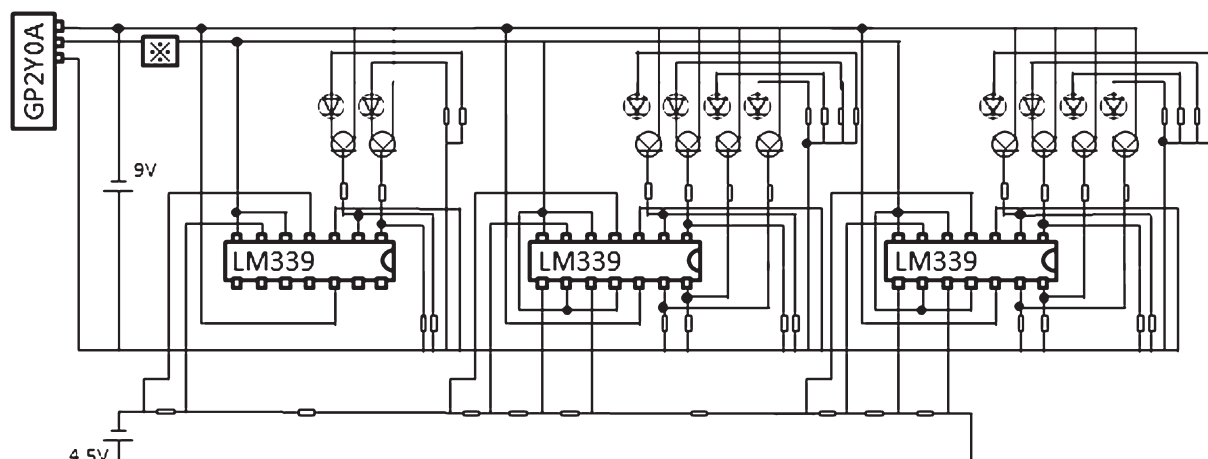


図3 教材装置の回路図

コンパレータとは回路素子の一種で、二つの電圧の大きさを比較しその結果によって異なる値を出力する素子である。コンパレータには二つの入力端子が備わっており、それぞれにアナログ電圧を与えると入力された電圧のどちらが大きいかによって出力の値が High か Low に切り替わる。本コンパレータには4個のオペアンプが内蔵されており、各々のオペアンプはわずかな電圧差でも High か Low の出力電圧を出力する⁵⁾ (図4)。

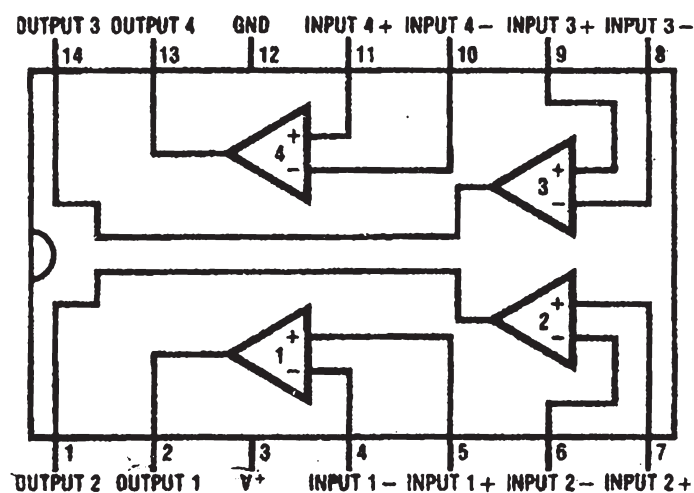


図4 コンパレータの回路図

測距モジュール（位置センサ）とは赤外線 LED と PSD (position sensitive detector) を使用して、非接触で距離を検出することができるセンサである。反射物体までの距離が近くなる程、曲線を描きながら出力される電圧が上昇する。しかし、5 cm 以内に反射物体が近づくと出力電圧が極端に下がる特性を持っている。反射物体から 5 cm 以内の出力値は今回の教材装置では使用しない⁶⁾ (図5)。

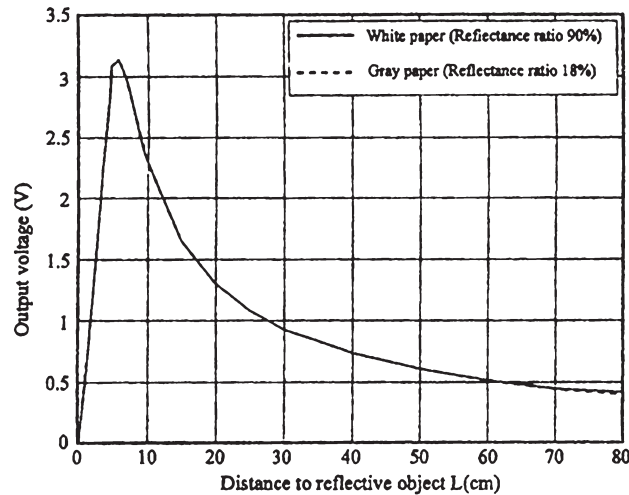


図5 測距モジュールの出力グラフ

発泡スチロール円盤上面の位置に対応させてLEDを点灯させるために、測距モジュールからの出力電圧と8等分した目盛りに相当するLEDを点灯するための基準電圧（8個分）とをコンパレータで比較している。4.5V（単三電池3本）の電源電圧を抵抗によって10分割することで、これらの基準電圧を与えている。抵抗によって8分割ではなく10分割している理由は、後述するように分割数を10個に増やした場合の方がより高い直線性の出力を得ることができ、測距モジュールの出力値を理想的な値に調整しやすいからである。

測距モジュールによって取り入れられた電圧と電源電圧とをコンパレータで比較しているが、測距モジュールと対象物の距離が近づくほど測距モジュールから取り出される出力電圧が高くなる。コンパレータの出力端子の先に分圧して接続されていたLEDはコンパレータからの出力電圧に対応してそれぞれ点灯する。測距モジュールからの出力電圧の増減によってLEDの点灯個数も増減する仕組みである。

4. 測距モジュール出力値の調整

本学習装置ではアクリル容器内での発泡スチロール円盤の上下動に連動して目盛りに対応するLEDをそれぞれ点灯させるため、図5のような曲線軌跡を描いている測距モジュールの出力値を利用しやすいよう直線に直す必要がある。そこで測距モジュールの出力端子の先に対数変換回路を接続して、直線的な出力値が得られるよう調整した（図6）。

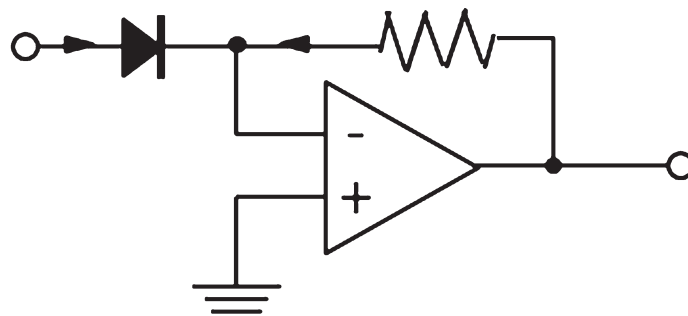


図6 対数変換回路

対数変換回路の特徴として正に入力電圧のみに使用することができ、出力電圧は負となる。図7に回路を用いた実験結果を示す。グラフの縦軸は出力電圧、横軸は測距モジュールからの距離を表している。 R^2 とは相関係数の二乗を意味し、この値が1に近いほど二つの変数の間は直線関係に近い傾向にある。結果は非常に1に近い値が得られており非線形な出力値を直線的な出力値に変換することができた。

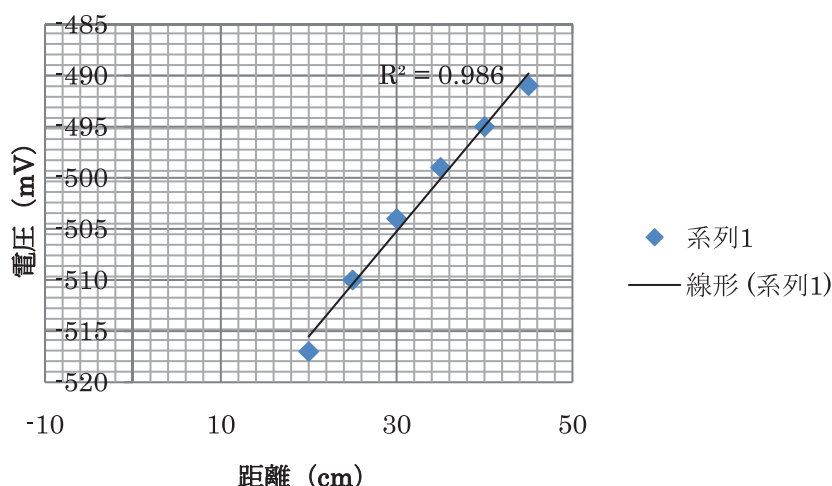


図7 対数変換回路を用いた出力グラフ

図7より直線的な負の出力電圧を得ることができた。さらに、この出力電圧を以下の特性を有する電圧へと変換する必要がある。

- 1) 負の出力電圧を正の出力電圧へ変換する。
- 2) 距離が近いほど出力電圧が高くなるようにする。
- 3) 30～40cm 程度離れた位置での出力電圧をほぼ0Vになるようオフセット調整する。

これらの条件を満たすために更に加算回路を追加した (図8)。

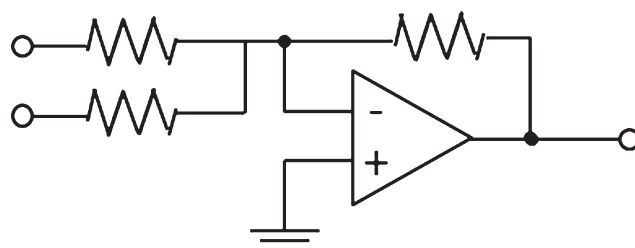


図8 加算回路

加算回路は反転増幅回路の入力数が増えたもので、反転増幅回路と同様に単に電圧値を増減するだけではなく、正負が反転する特性を持っている。この特性を利用して測距モジュールの出力値と同様に距離が近づくほど値が高くなる正の電圧を取り出すために、測距モジュールの出力端子の先に対数変換回路の入力端子を、対数変換回路の出力端子の先に加算回路を接続し、加算回路の出力端子をLEDのアノード端子に繋げた回路を作成した (図9)。

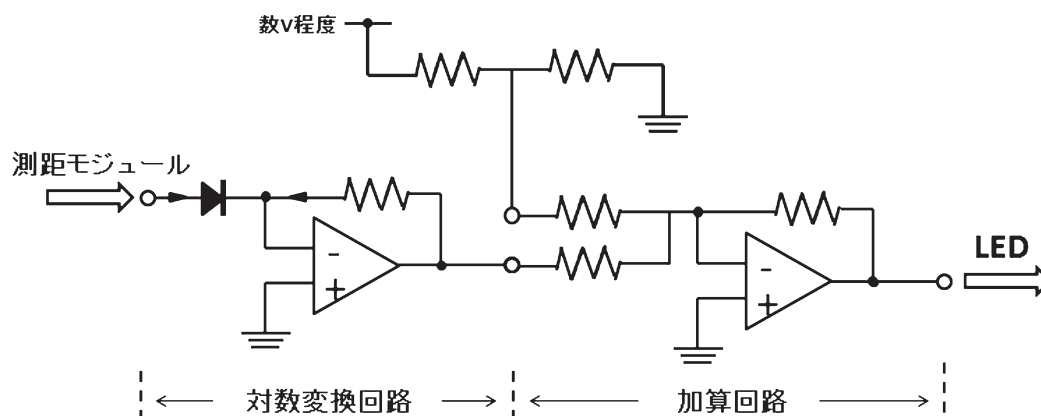


図9 測距モジュールの出力電圧を調整するための回路図

動作確認実験として、学習装置の亚克力パイプ内の発泡スチロール円盤を上下動させ、LED が点灯した瞬間の距離の値を調べた。7 番目まではほぼ等間隔の距離で LED が点灯していくが、8 番目の LED の発光するタイミングに誤差が生じた（図10左）。理由の一つに測距モジュールの距離が近づくと出力電圧が急激に高くなる出力特性が影響していると考えられる。そこで 8 番目の LED が点灯する距離を測距モジュールから少し遠ざけるために、更に教材装置に LED を 2 個接続して合計10個の LED を用意した。そしてその中の 8 個目までを使用し同様の実験を行った（図10右）。図10のグラフの比較より、LED の個数を増やした場合の方がより高い直線性の出力を得ることができ、測距モジュールの出力値を理想の利用しやすい値に調整することができた。

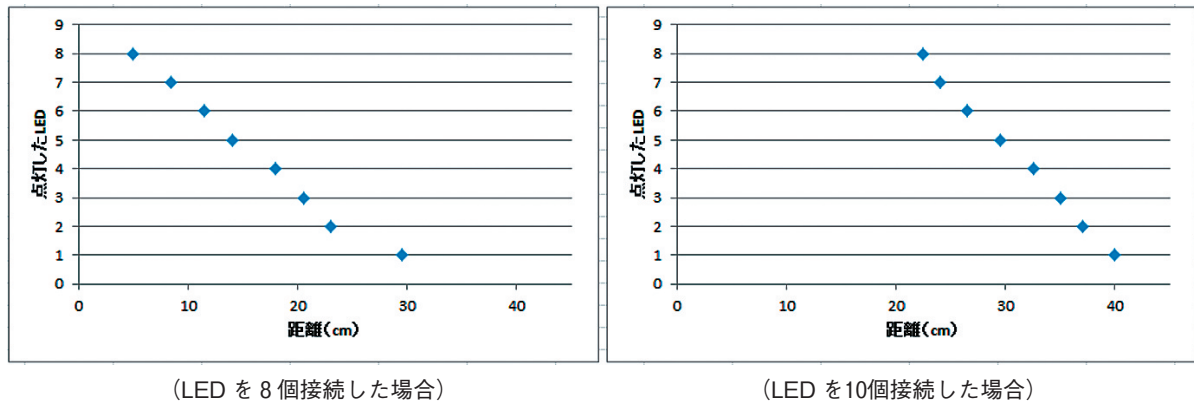


図10 各 LED が点灯した際の発泡スチロール円盤と測距モジュールとの距離

5. 学習装置の動作の様子

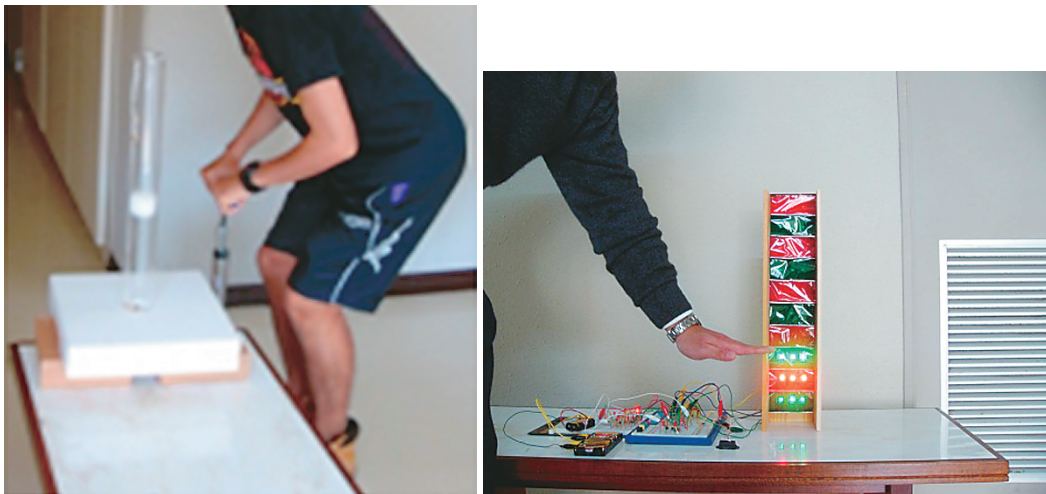


図11 教材装置の動作の様子

図11は教材装置を用いて、実際に発泡スチロール円盤の上下動に合わせて連続的な動きを示すアナログ部分が正常に動作するかを実験、確認している様子である。同様に、図の回路と木枠の目盛りを接続し、位置センサに手を近づけたり遠ざけたりすることで発泡スチロール円盤の上下動の動きに見立て、回路が正常に動作するかどうかを実験している。内部の LED が発泡スチロール円盤の上下動に合わせて点灯し離散的な動きを示すデジタル部分が正常に動作することを確認できた。

6. 学習装置を利用した指導案の検討

開発した教材装置を実際に学校現場で利用するため、具体的な授業実践例を作成した。今回は分野「D 情報に関する技術」において「(3) プログラムによる計測・制御について、次の事項を指導する。」の「A コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みをすること」から、導入部分として1時間の指導案を作成した。

内容の展開として1時間目はアナログとデジタルの基本的な概念について学習し、それぞれの違いを整理する。
2. 3時間目をまとめとし、コンピュータには変換されたデジタル信号が利用されているアナログ・デジタル信号の変換の基本的な仕組みについて知る。デジタルの数値をアナログに近付けるためにはどのようにすればいいか考え、デジタル化された情報を適切に生活に活用できるような力を育成する。

以下に学習指導案を示す。

(中学校) 技術科学学習指導案

平成24年〇月〇日

3年1組

堀田 和正 印

1. 単元名：「コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組み」

2. 単元の目標

- ・アナログとデジタルの基本的な概念を理解できる。
- ・アナログとデジタルの違いについて理解できる。
- ・アナログ信号とデジタル信号の変換の仕組みを知ることができる。

3. 単元設定の理由

① 教材観

新学習指導要領には「D 情報に関する技術」において「(3) プログラムによる計測・制御について、次の事項を指導する。」の「ア コンピュータを利用した計測・制御の基本的な仕組みをすること。」と示されている。近年の情報のデジタル化に伴い、デジタルについて具体的・専門的な勉強を行う重要性が増している。デジタルについて理解を深めていくためにも対の存在であるアナログの知識を単元の導入段階で学習することは必要不可欠である。

そこで課題としてアナログ信号とデジタル信号の二つには関連性があること、デジタル信号はアナログ信号を変換したものであることを学習し、理解を深めるために本単元を計画した。二種類の温度計を使って水温上昇の表示の仕方に違いがあることからアナログ表示とデジタル表示の関連性と違いに気づかせる。また、教材装置を用いてアナログ表示とデジタル表示の誤差に気づかせ、どうして誤差が生まれたのか、誤差を無くすことは可能なのか等、生徒間で活発な意見交換ができるよう発問を行っていく。

② 生徒観

私たちの生活の身の回りには様々なデジタル製品が溢れている。そして現在デジタルという言葉は、デジタルカメラやデジタルビデオ、地上デジタル放送など日常の様々な場面で多く使われている。センサから入力される信号やアクチュエータに出力される信号はアナログ信号によって動作しているが、コンピュータは全てデジタル信号で動いていると勘違いしている生徒も少なくない。

アナログというと歯車やからくり仕掛けの昔ながらの機械を想像し、デジタルというと電池や電気で作動するコンピュータや電気製品をイメージする等、生徒の中ではアナログとデジタルとの間の関連性がない。

③ 指導観

観察実験や教材装置の提示によって生徒にアナログとデジタルに対して抱いた直観的なイメージを大切にしたい。特にアナログ温度計の計測の際に感じる「読み取りづらい」という発表は単元のまとめでコンピュータがアナログ信号をデジタル信号に変換して扱っている理由としても生徒が納得できる解説として大事に扱う。

単元全体を通して、生徒が見通しを持って主体的に活動できるように、毎時間の初めは学習する内容を予め提示していきたい。また、本時の楽しい活動を後で実施できることを伝え、授業全体に意欲を持たせるようにし指導を工夫していく。

4. 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断	技能・表現	知識・理解
意欲的に発問に対して考え、発言することができる。	意欲的に演習に取り組み、アナログとデジタルの違いを考察することができる。	アナログとデジタルの違いについて発表することができる。	アナログとデジタルを区別することができる。

5. 指導計画

第1時 アナログとデジタルの基本的な概念。(1時間) <本時>

第2時 アナログ信号とデジタル信号の変換の仕組み。(2時間)

6. 本時

(1) 目標

アナログ情報とデジタル情報の違いを学習することができる。

(2) 展開

時間	児童の学習活動	教師の支援
10分	・身の回りの機器を取り上げてそれらが扱っている情報(信号)がアナログ信号かデジタル信号かを区別する。 C: テレビ, コンピュータ。	・教室内を観察することで身の回りにある機器を発見させる。 ・今日のめあてを提示する。 ・区別させる前にアナログ信号とデジタル信号について生徒が知っていることを発表させる。
5分	・アナログ信号とデジタル信号に分けた時の区別の仕方について考える。 C: 「地上波デジタル」と言っているからテレビはデジタルだと思う。 C: テレビは電気で動くからデジタルには電気が流れている。 C: アナログには何が流れているの? C: そもそもデジタルとアナログって何だろう?	・アナログ信号とデジタル信号のどこに特徴があるのかを考えさせることで2つの信号の間には違いがあることを気付かせる。
10分	・班ごとにアナログ温度計とデジタル温度計を使って、温度上昇の仕方についてそれぞれ違いを調べる。 ・水を入れたビーカーに2つの温度計を設置し観察する。	・2つの温度計の数値の上昇の仕方に注目させて調べさせる。 ・本時のワークシートを配布する。 「これからアナログ温度計とデジタル温度計で温度を計測するためのワークシートを配ります。」 ・温度計の正しい使い方を理科の学習等を用いて振り返らせる。
10分	・気づいたことを班ごとに発表する。 C: アナログ温度計は中の水銀がゆっくり上昇していった。 C: デジタル温度計は数字の表示が0.1ずつ変わっていった(上昇していった)。 C: 2つの温度計で同じ水を計ったのに違う数値が計測された。 C: デジタル温度計のほうが計りやすかった。 C: アナログ温度計は水温がデジタル温度計に比べて計りにくい。 C: アナログ温度計は水銀がゆらゆらしているので計るタイミングがわかりにくい。目盛りの間で揺れているときは目を凝らさないと何℃かわからない。 C: デジタル温度計は数字で表示してくれるので温度が読みやすい。 C: デジタル温度計は0.1ずつしか変化しないか	・2つの温度計で誤差が出た場合、どうして誤差が出たのか問いかけを行う。 「同じ水を計ったなら同じ水温が出てくるはずだよな? どうして数値が変わってしまったのかな?」 「温度計を観察しやすかったのはどちらかな?」 ・なぜ計りにくいと感じたのかその根拠について生徒の感じた理由をはっきりさせる。 「なぜ読みやすいと感じたのかな?」 ・デジタル表示のほうが読みやすいというポイントに着目し、数値の変動に一定の法則性があるこ

<p>10分</p>	<p>ら。</p> <p>C：温度計が読みやすい、読みにくいと感じたのは目盛りの上昇の仕方が違ったからだ。</p> <p>・実際に量子化誤差の起きる様子を教材装置によって体験する。</p> <p>・開発教材の動きから気づいたことを発表する。</p> <p>C：発泡スチロール円盤の動きに合わせてLEDが点灯している。</p> <p>C：LEDが発泡スチロール円盤と同じ高さになる前に点灯しているような気がする。</p> <p>C：よくわからなかったからゆっくりよく見せて欲しい。</p> <p>C：本当だ！よく見るとLEDのほうが少し早いタイミングで点灯している。</p> <p>C：LEDの仕切りを超えた瞬間に点灯している。</p> <p>C：発泡スチロール円盤が仕切りを超えた時以外はLEDと同じ高さにならずにずれてしまう。</p> <p>C：仕切りの間の高さを発泡スチロール円盤が移動している間はずっと一緒のLEDが点灯し続けている。</p> <p>C：仕切りをいっぱい増やす。</p> <p>C：たくさん増やしてもやっぱりズレが小さくなるだけだと思う。</p> <p>C：仕切りと発泡スチロール円盤が一緒の高さでしか同じ数値にならない。</p>	<p>とを気づかせる。</p> <p>・アナログとデジタルの数値表現の仕方に違いがあることを気付かせる。</p> <p>・教材装置の説明をする。</p> <p>「これから皆さんに見てもらおう装置は先ほどの実験で2つの温度計の目盛りを読むときに感じた誤差をより分かりやすく体感してもらおう装置です。」</p> <p>・LEDが発泡スチロール円盤と同じ高さになる前に点灯する様子が見えるようにゆっくり上昇させる。</p> <p>・どのタイミングでLEDが点灯しているのか観察させ気づかせる。</p> <p>・量子化誤差を視覚的に捉えさせる。</p>
<p>5分</p>	<p>・本時のまとめをする。</p> <p>・ワークシートに気づいたことを記入する。</p> <p>C：アナログとデジタルの値は違う。</p> <p>C：デジタルのほうが読みやすい。</p> <p>C：アナログとデジタルにはズレがあった。</p>	<p>「高さのズレを無くすにはどうすればいいかな？」</p> <p>・ズレの差を減らすことはできるがズレ自体をなくすことはできない。このことからアナログとデジタルの表示数値は違いがあることを理解させる。</p> <p>・アナログとデジタルで表現される2つ数値が全く同じではないことを理解させる。</p> <p>「アナログとデジタルの数値には実は小さなズレがあり、2つの数値表現の間には違いがあることがわかりました。またデジタルの数値をどれだけアナログに近づけても全く一緒の数値になることはあり得ません。しかし、デジタル温度計は数字が見やすいと温度計観察での発表もあったように、この「読みやすさ」によって便利になっている部分も実はたくさんあります。次回の授業はコンピュータや身の回りの電気製品ではどうしてデジタル信号が広く用いられているのかという理由から学習していきたいと思います。」</p>

(3) 評価及び指導の例

<p>「十分満足できる」と判断される状況</p>	<p>情報を正しく伝えるための細かな観察眼と描写する際のわかりやすい表現技法を身につけることができる。</p>
<p>「おおむね満足できる」状況を実現するための具体的な指導</p>	<p>アナログ信号とデジタル信号の微妙な量子化誤差の違いに気づかせるために、温度計や開発教材を用いて数値変化の仕方に着目させる。また、観察する際の着眼点を問いかけや個別指導によって育み違いに気づかせる。</p>

7. おわりに

円筒形の亚克力と空気ポンプによって上下する発泡スチロール円盤の動きとLEDを使ったデジタルアナログ装置を試作し、正常に動作することを確認した。また、教材装置を実際の学校現場で用いることを想定した中学校技術科の授業実践例を作成した。今後の計画として教材装置の細かな修正をしていきたい。また、実際に中

学校生徒や本校の学生を相手に授業実践例を元にした模擬授業を行い、実際に教材装置を使用することでどのような学習効果が得られたかをデータ収集・分析する。そして、今後の教材装置や授業実践の改善点として取り入れる予定である。

文 献

- 1) 文部科学省, 中学校指導要領解説技術・家庭編, 平成20年7月.
- 2) 飯島真里, 川崎直哉, 菊地章, 本郷健, 他3名, 技術・家庭学習指導書, 開隆堂, 2002.
- 3) 2012年度トップマン技術教材カタログ, (株)矢部幸文堂, 2012.
- 4) 技術分野 実習教材・備品総合カタログ51号, 山崎教育システム株式会社, 2012.
- 5) National Semiconductor LM 3394回路入り低消費電流クワットコンパレータ.
- 6) SHARP GP2Y0A21YK0F PSD, 赤外LED, 信号処理回路一体化測距センサユニット.

Development of Analog/Digital Teaching Material and Investigation of its Application to the Information Technology Education in Junior High Schools

MIYAMOTO Kenji* and HOTTA Kazumasa**

Although digital products such as a smartphone, a digital TV, and so on, are prevailing in nowadays, most of junior high school students don't fully understand the characteristics of analog/digital signals. On the background of the recent progress in information technology, it becomes compulsory to teach the subject of measurement and control using a program in junior high schools. For this requirement of the information technology education in junior high schools, we develop the teaching material for analog/digital study.

This teaching material mainly consists of a cylindrical container, a wooden frame with graduations, and an electrical circuit. The cylindrical container is hollow, and a thin disk inside the container can move up and down continuously in this hollow part. The real motion of the thin disk corresponds to an "analog signal". On the other hand, the position of the thin disk is measured with a sensor, which is equipped at the top of the cylindrical container. There are 8 graduations in the frame. Three LEDs are installed on each graduation. The LEDs on graduations can be gleamed discretely followed by the output voltage from the sensor, which corresponds to a "digital signal".

In parallel to the development of the teaching material, the method of its application to the classes in information technology is also investigated. The analog/digital study is essential for the subject of measurement and control using a program. Therefore, it is considered that the characteristics of analog/digital signals should be firstly taught as a basis of this subject. The preliminary guidance plan for teaching the characteristic of analog/digital is reported in this article.

*Naruto University of Education

**Graduate School of Education, Naruto University of Education