

中学校技術科における放射線測定と 記録装置を用いた計測・制御の教材開発

原田 信一・小椋 秀一*・平川 義宏**
谷垣 実***・安東 茂樹

Development of Learning Material for Measurement and Automatic Control Education Using
a Radiation Measurement and Recording System for Junior High School Technology Education

Shinichi HARADA, Shuichi OGURA*, Yoshihiro HIRAKAWA**,
Minoru TANIGAKI***, and Shigeki ANDO

Accepted August 20, 2014

抄録：中学校技術・家庭科の学習指導要領が2008年に改訂され、技術分野「D 情報に関する技術」の「(3) プログラミングによる計測・制御」が必修となり、すべての生徒に履修させることとなった。そのため、生徒に分かりやすく計測・制御を学ばせる教材の必要性が求められた。本研究では、生徒が移動することにより自然放射線を測定し、線量分布地図の基礎データである緯度経度とあわせて自動的に記録できる、測定に重点をおいた計測・制御教材（教育用 KURAMA）を開発した。

索引語：計測・制御，教材開発，放射線測定，計測記録，計測システム

Abstract : In 2008, the Japanese course of study for technology and homemaking education in junior high school was revised. In this way, all junior high school students in Japan must learn “(3) : The measurement and automatic control by programming.” of “D: Information Technology education” in the Technology of Japanese course of study. Therefore, learning materials that students learn measurement system and automatic control that use computer require understanding easily. We developed “KURAMA (Kyoto University RAdiation MApping system) for Learning” that is measurement system for learning material. It can record the measurements of the background radiation, latitude and longitude for map of radiation dose distribution automatically, and specializes in measurement education between measurement and automatic control education.

Key Words : Measurement and Automatic control, Learning material development, Radiation measurement, Measurement recording, Measurement system

* 広島市立観音中学校・江波中学校（兼務）非常勤講師（有限会社平川製作所取締役）

** 広島市立段原中学校非常勤講師（有限会社平川製作所代表取締役）

*** 京都大学原子炉実験所助教

1. はじめに

科学技術の発展により、今日の家庭電気製品は周りの状況を計測し、最適な動作をするように機器を制御している。現在、中学校技術・家庭科技術分野（以下、技術科）で使用されている3社の教科書では、計測・制御システム例として、エアコンや電子ジャー炊飯器等を取り上げており、例えば、エアコンは、人感センサにより人の有無を検知し、短時間の不在では温度設定を緩和し、長時間の不在では停止するような自動化を可能としたものに計測・制御技術があると説明している^{1) 2) 3)}。

2008年に学習指導要領が改訂され技術科において「プログラムによる計測・制御」が必修化された⁴⁾。従前では、この内容は選択であったために、ほとんどの学校で履修されていなかったという実態がある。しかし、新学習指導要領ではすべて必修化され学習内容が増加したにも関わらず、技術科の時間数は従前のままとなっている。

以上のことから、技術科の授業における計測・制御学習が分かりやすく、効率的に学習できる教材の必要性が求められている。

本研究では図1のように、広義の意味での「教材」を「計測・制御教材」と「カリキュラム」及び「指導法や評価」を包含するものと位置付けた。そして、技術科の「プログラムによる計測・制御」学習の指導に用いる、計測に視点を当てた教材を開発することを目的としている。

本稿では、これまでの計測・制御に関する先行研究と学習指導要領を検討し、計測・制御学習における現状と課題を明らかにする。次に、この結果から技術科教育における生徒の学びやねらいを明確にし、計測・制御学習における教材を開発し、具体的な指導計画を構築する。

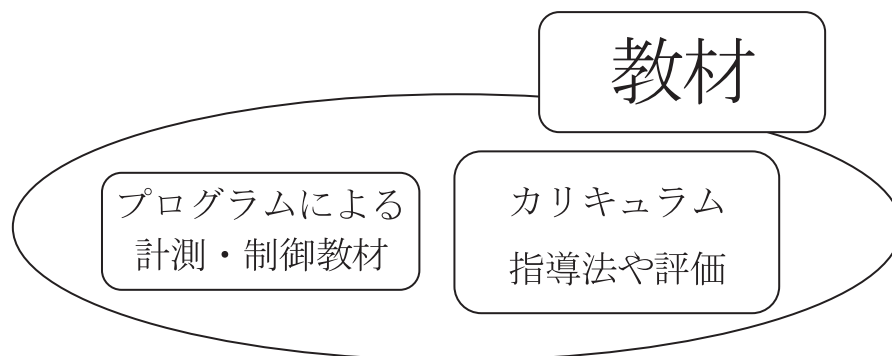


図1 計測・制御教材の位置付け

2. 技術科の計測・制御学習における現状と課題

(1) 計測・制御に関する直近の研究

技術科における計測・制御に関する直近の研究として、2013年8月の日本産業技術教育学会第56回全国大会の講演内容172件から「技術科における計測・制御」に関するものは20件であり、前年度の第55回全国大会の10件から倍増している^{5) 6)}。このことは、計測・制御の教材開発が、学校現場においていかに求められているかという現状が伺える。そして、これらの研究の多くは制御教材の開発及び改良に関するもので、その他には計測・制御学習の教育効果や指導方法の検討などであった。

さらに、2008年の学習指導要領の改訂後、5年間（2009年度～2013年度）における日本産業技術教育学会誌掲載の計測・制御に関する研究論文32編のうち20編は、ロボット等の制御教材の開発に関するものであった。プログラムによる計測・制御に関する研究を紹介すれば、次のとおりである。

川田らは、二足歩行型ロボットを用いた教材の開発と授業実践の工夫を通して、制御技術とプログラムの果たす役割を効果的に学習できる教育内容を開発している⁷⁾。菊地らは、計測・制御学習におけるPIC利用の有効性を議論するとともに、GUI環境を利用したPICプログラム環境の構築について検討している⁸⁾。紅林らは、中学生が製作し制御することが可能な、人型ロボット教材を開発している⁹⁾。江口らは、中学生の計測・制御学習を支援するために、インターネットを利用する遠隔ロボット教材を提案している¹⁰⁾。室伏らは、自律型ロボット教材のための動作確認シュミレーションソフトウェアを開発し、自律型ロボット教材を利用する学習を効率よく実施するための手段を提案しており、開発したソフトウェアの教育効果を検証及び考察している¹¹⁾。

前述の産業技術教育学会誌に掲載された研究を見る限り、計測・制御学習においてロボット等制御教材の開発が6割以上を占めており、計測に視点をあてた教材開発はほとんど行われていないことが分かった。もちろん中には、荻峯らのように、計測・制御学習における題材のタイプの違いを、興味・関心や学習意欲などの情意面や技術的な見方・考え方の育成等の観点で比較検討している研究もあるが、そうした研究は例外的である¹²⁾。したがって、生徒の生活に身近な計測・制御の学習として、測定させる活動を取り入れた計測・制御学修用の教材を開発すれば、より効果的な指導過程を構築することができるとともに、生徒が実践して学ぶことができると考えられる。さらに、このことにより技術科の備えている教育としての意義や本質についても生徒に理解させることができるように工夫したい。

東日本大震災から3年が経過した現在、学校現場においても、中学校校内及び学校周辺での自然放射線に関する放射線量の測定を行ったり、そこで得た値を比較検討したりする授業実践及び出前授業が行なわれている。そして、その計測を通じて放射線はどこにでも存在するということや、場所によって放射線量は異なることなどに関する学習が行なわれている。

そこで本研究では、移動しながら連続して空間線量率を計測し、面的な線量分布地図を作るためのシステムを開発し、それを活用した指導計画を作成した。

(2) 学習指導要領との関連

中学校学習指導要領解説技術・家庭編では、技術・家庭科の目標である「生活と技術とのかかわりについて理解を深め」とは、「人間が生活する様々な場面において、技術を適切に評価し活用できるようにするためには、生活と技術との関わりについて、一層の理解を深めることが重要である」と示している¹³⁾。そして、技術分野の目標である「技術と社会や環境とのかかわりについて理解を深め」とは、「技術と社会や環境とは相互に影響し合う関係にあり、このことへの理解を深めることが、技術を安全性や経済性だけではなく環境に対する負荷等の多様な視点から評価することの意義の理解や、技術を適切に活用しようとする意欲につながる」ことを示している¹⁴⁾。

学習指導要領では「D 情報に関する技術」のねらいとして、「情報に関する技術が社会や環境に果たす役割と影響について理解を深め」とし、この分野を指導するに当たっては「情報に関する技術の進展が、社会生活や家庭生活を大きく変化させてきた状況について理解させる必要がある」と述べている¹⁵⁾。さらに、「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知ること」について

の具体例として「例えば、エアコンディショナなど、コンピュータによって環境の状況を計測し、機器の動きを制御している身の回りの機器を取り上げ、人間の目や耳の代わりに機器や環境の状態を計測している部分やどのように処理・判断しているのかをプログラムやインターフェースの役割とともに知ることができるようにすることが考えられる。」と示している。

以上のことから、計測・制御の学習では、技術の進展が私たちの暮らしを向上させてきたことを、生徒が日常生活の中で経験していることを踏まえながら、いろいろな体験を通して理解させる必要があると考える。

3. 本教材開発の方針

(1) KURAMA システムについて

本研究における教材開発のベースとなる Kyoto University RAdiation MApping system（本稿では、KURAMA¹⁶⁾ とする）とは、いわゆる、移動しながら連続して空間線量率を計測して迅速に面的な線量分布地図を作るためのシステムである。東日本大地震とそれに伴う大津波によって引き起こされた原子力発電所の大規模事故による放射性物質の拡散状況を一刻も早く把握するため、京都大学原子炉実験所で急遽、本来は目的外のありあわせの教育・研究用部材を組み合わせで開発、製作された KURAMA が被災地に投入された。

現在、KURAMA は回路系の信頼性を高めたものが継続監視用などの用途で業務用 KURAMA としてカスタム生産されている。

しかし本来、KURAMA を開発するのであれば、教育・研究用とすることがふさわしいものであることから、京都大学は教育用（教材）としての KURAMA の利用を提案した。

そこで京都大学原子炉実験所と筆者ら 3 名が共同で、安価な汎用部材でも構成可能な「教育用 KURAMA」を開発することにした¹⁷⁾。また、筆者ら 5 名で、中学校技術科の「プログラムと計測・制御」学習における指導に用いる教材として、教育用 KURAMA の提案をする。

(2) 業務用 KURAMA システムの原理

業務用 KURAMA のシステム構成を図 2 に示す。自動車などに搭載、あるいは人間が携行して移動しながら空間線量率を測定する測定器が、測定したデータの保存や可視化のための処理等を行うサーバとネットワークで結ばれている。その測定器の構成を図 3 に示す。

測定部は空間線量率を測定する放射線検出器、すなわちサーベイメータと、その出力をパーソナルコンピュータ（本稿では PC とする）用に変換するインターフェースボックス、（本稿では MAKUNOUCHI とする）、測位（位置計測）用 NMEA-0183 準拠 Global Positioning System 受信機（本稿では GPS とする）、データ処理またはネットワーク上のデータ共有用の PC、移動中のネットワークを提供する第 3 世代移動通信システム用モバイルルータ（本稿では 3G モバイルルータと称する）から構成される。PC はさらに、測定及びサーバで処理されたデータ閲覧用の PC（クライアントとする）と、測定データの蓄積や可視化のための処理を行う PC（サーバとする）があり、この 2 つを同一 PC にすることもできる。

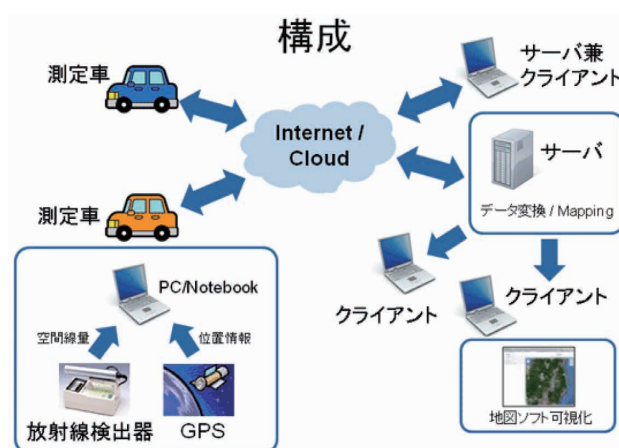


図2 業務用 KURAMA の構成図



図3 測定器の構成

空間線量率は市販の空間線量測定用サーベイメータで測定する。放射線計測，すなわち放射能検出器には方式の異なるものがあり，サーバイメータにもシンチレーション方式あるいは電離箱方式などの種類があつて，それぞれに適する用途が違ふ。後述の MAKUNOUCHI は，これら種類の異なるサーバイメータと PC との接続を容易にするためのものでもある。

通常，サーバイメータには日立アロカメディカル社の TCS-171/172 を使用しており，この機種では，NaI（ヨウ化ナトリウム）シンチレーション放射線検出器を使用して適切なエネルギー補償を行うことで，1cm 周辺線量当量を測定する事ができる。測定値はサーバイメータの設定に基づき，時定数 3 秒あるいはそれ以上で平滑化されており，本体のアナログメータ及び液晶によるデジタル表示だけでなくペンレコーダ等との併用を想定した出力端子からもアナログ電圧信号として出力される。これを MAKUNOUCHI によりアナログ電圧の信号レベル変換後，瞬時にアナログ・デジタル変換して PC へ送り込む。

KURAMA はこの「瞬間計測値と測位情報を同時に，とりこぼしなく記録する」点で新しい。そもそもサーバイメータは，放射性物質の漏えい状況などを把握するためのものであつても，厳重管理された放射線管理区域の概ね数平方メートルの範囲内で，詳細な汚染状況を把握することを想定してい

る。よって、数万平方キロメートルあるいはそれ以上の範囲での、迅速な汚染状況把握を想定した設計とはされていない。このため、既存のサーベイメータを使用する限り、サーベイメータからの出力をこれに適したものに変換する必要がある。そこで、サーベイメータの瞬間計測値をとりこぼしなくデジタル信号に変換するインターフェース (MAKUNOUCHI) を新規に開発した。なお、MAKUNOUCHI という名称は、筆者の 1 人を含む京都大学原子炉実験所の KURAMA 開発者グループが命名したものである。

クライアント PC にはこの MAKUNOUCHI と GPS モジュールが接続されている。この PC にはハードウェアの動作を視覚的にプログラミングに取り込める LabVIEW で開発されたソフトウェアをインストールしており、MAKUNOUCHI からの線量データと GPS の測位情報などをテキストファイルに記録する。記録間隔はサーベイメータの時定数を考慮し 3 秒としている。PC は 3G モバイルルータにより接続されたネットワークを介してクラウドにより遠隔地のサーバとテキストファイルを共有しているため、PC 上でのデータ追記がほぼ同時に遠隔地のサーバ上に反映される。

サーバ PC には Apache, PHP をインストールしており、外部からのリクエストに応じて PHP のスクリプトが動的に KML ファイルを生成する機能を有している。生成される KML ファイルでは、各測定点は線量に応じた色調の○ (マル) として記述され、閲覧ソフト (例えば Google Earth) でその○ (マル) をクリックすると測定点データの詳細が判るようになっている。また、サーバは過去のデータも保持しており、必要に応じて KML 形式ないしテキスト形式でデータを読み出すことができる。

サーバによって処理されたデータを閲覧するためのクライアント PC は、Google Earth がインストールされている普通の PC を使用する。図 4 に示すように、Google Earth はサーバへのアクセス方法を

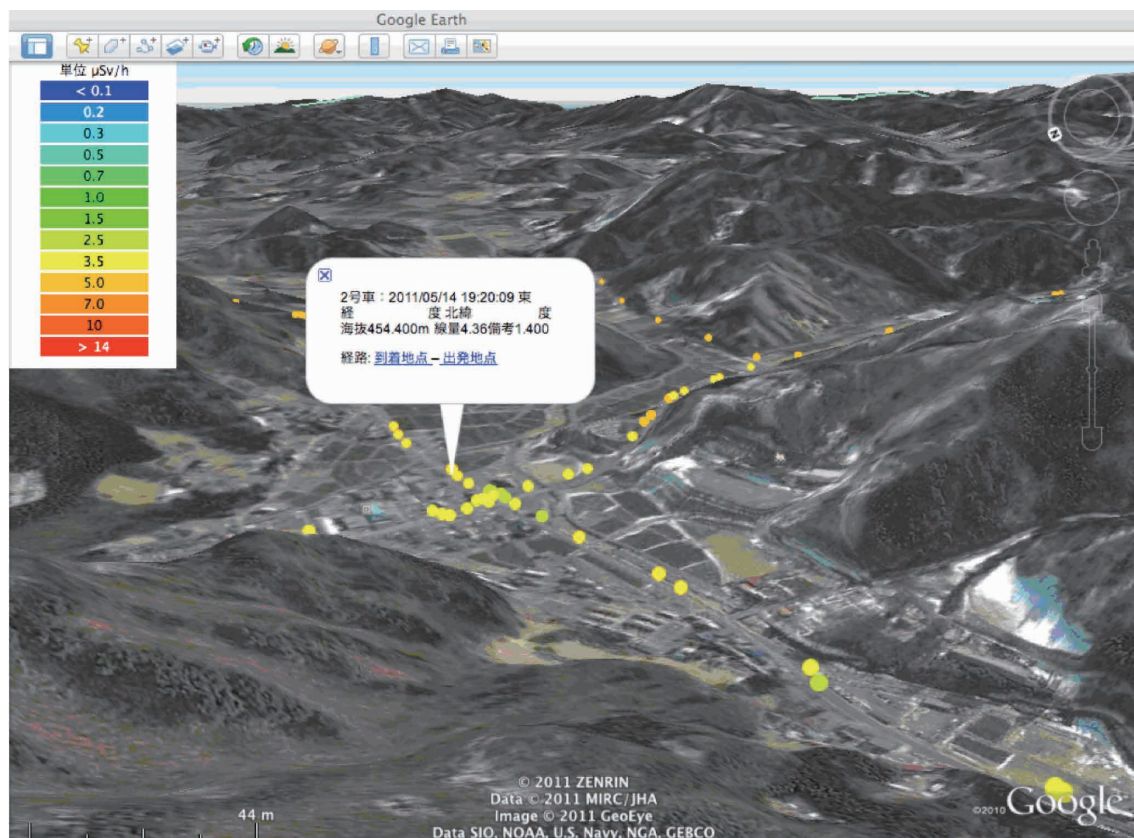


図 4 クライアントでの表示例

定義した KML ファイルにしたがってサーバへアクセスし、動的に生成される KML ファイルを受け取って表示する。このクライアントサーバ方式をとることで、生データを共有していない PC からでも特段の設定無しに測定状況の監視ができる。

(3) 業務用 KURAMA を用いた授業実践

教育用 KURAMA の開発及び試作を行うにあたり、2013 年 3 月に広島市立 F 中学校 1 年生 2 クラス（計 64 名）で各 1 時間ずつ、計測・制御学習として自然放射線測定に関する授業実践を行った。

生徒から、「何の機械なのかわからない」「コンピュータだからインターネットでできるのでは?」「測定器自身についているメーターが頻繁に振れるので読めない」「室内で値を読むのが精一杯で、外へ出て交代で見ることが出来る状態にない」との反応が返ってきた。しかしながら、ちょうど東日本大震災から 2 年を迎えようとしていた時期であったことや、被爆地広島の中学生であるということもあり、放射線の単位の話で「あ、シーベルトって単位、知っている!」という生徒もあり、「これで放射線を計れるの?すごい!」と興味を示す生徒もいた。

(4) 教育用 KURAMA への要望調査と仕様決定

教育用 KURAMA に対する学校の意見を収集するため、平川製作所のホームページに「放射線測定教材」として 2013 年 6 月より一般公開し、全国の教員の意見を収集した¹⁷⁾。

KURAMA は原子力発電所事故対策用品として被災地に投入され、報道などで大きく取り上げられたこともあり、公開直後より多くの学校から問い合わせがあった。

そして、問い合わせのあった学校を校種別に見ると、小学校 1 校、中学校 97 校、高等学校 2 校、その他、大学、専門学校など 1 校（2013 年 11 月末現在）であり、中学校からの問い合わせが多いという結果となった。その中学校からの問い合わせの内訳を見ると、総数は 97 校（公立 73 校、国立 13 校、私立 11 校）、技術科担当教師が 9 割で理科担当教師が 1 割であった。

そこで平川製作所では、中学校技術科「プログラムと計測・制御」用教材としての詳細な要求仕様調査を、問い合わせてきた中学校の技術科教員の全員に対して電話により実施した。技術科教員が希望する使用はほぼ同じ方向に集約できるものだったので、その仕様調査の結果を著者の判断でまとめれば、表 1 のようになる。

表 1 教育用 KURAMA に求められる仕様

機 能	内 容
高速測定機能	時刻、緯度、経度、線量を画面にリアルタイム表示するとともに、測定終了後、データとして出力できること。出力は CSV ファイルなど、プリントアウトできるものであること。
外部出力機能	ユーザーが任意設定した γ 線量を越える γ 線を検出したとき、また検出し続けている間は TTL 出力が得られること。

地図展開表示については約 70% の中学校が、プリントアウトされたデータから紙の地図に手作業で書き込むことができれば良いと回答した。これは「緯度・経度の数字から地点を特定させること」

が社会科（地理分野）学習指導要領にあり，社会科と有機的に関連を図った学習をさせることが目的である。また，教育用 KURAMA そのものに対する評価は，すべての学校から「良い」と回答を得ることができた。

4. 教育用 KURAMA の構成

(1) ハードウェア

図 5 に示すように，ハードウェアは業務用 KURAMA の中心部分とほぼ同じ構成で，サーベイメータ, MAKUNOUCHI, PC, GPS で構成される。サーベイメータから MAKUNOUCHI さらに PC は, 各々, センサ, インターフェース, コンピュータ（兼, アクチュエータ）と大きく分けることができ, 計測器からのデータ取得に必要な要素を一目で俯瞰することができる。また, PC1 台のみの構成であるため, 全体像がわかりやすい。MAKUNOUCHI と PC 間及び GPS と PC 間は USB インターフェースを使用しているため, これらがマウスなどと同じ「入力デバイス」であることと, USB が文字通り「汎用（Universal）シリアルバス」であるということも指導できる。



図 5 教育用 KURAMA のハードウェア構成図

教育用 KURAMA の試作に当たっては，サーベイメータは業務用 KURAMA と同じ，日立アロカメディカル社の TCS-172B を採用した。これは，中学校・高等学校理科の学習用教材として，花崗岩などから出る自然放射線計測用に全国配備が進められているものであり，学校現場での利便性を考えた（そもそも日本では法規制により，微弱な放射線を精確に測定できる，すなわち理科の学習に使用できる国産サーベイメータの機種はごく限られており，医療機関あるいは原子力発電所などで使用されているものと同じものが学校でも広く使われる）。また，教育用 KURAMA では，低レベルの自然放射線を計測できるものであればよいことから，可能な限り廉価な民生用部品を使用した。

教育用 KURAMA では，MAKUNOUCHI の製作が中心になる。教育用の MAKUNOUCHI も業務用

のものと機能・電氣的な点での差異はないが、最も難しい回路信頼性について特に考慮しなくてもよいところが違う。後述 PC からの 5 V 電源供給，内部電圧最大 12V，ミリワットの消費電力であることから，その設計製作，安全性の検討については，技術科教材用電池式ラジオに代表されるような弱電の電子工作と同等のレベルである。ただし，高精度を得るためには金属筐体中への収納，プリント基板の作成，しっかりしたコネクタの使用など，最低限の配慮は必要である。その外観と内部を図 6，図 7 に示す。

GPS については，汎用の CANMORE ELECTRONICS 社製 GT-740FL を採用した。PC は，教育用 KURAMA の場合，USB ポート 2 つ以上と，GPS を接続できる端子（USB または RS-232C）があり，Windows Vista または 7（Microsoft 社）に対応しているものであればよく，今回は Panasonic 社製 Let'sNote CF-T5 を使用した。



図 6 高速信号変換器（MAKUNOUCHI）の外観

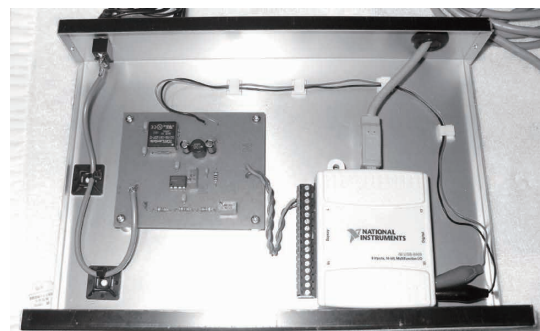


図 7 MAKUNOUCHI の基板面

(2) ソフトウェア

業務用 KURAMA のソフトウェアをベースに，教材用 KURAMA へのカスタマイズを行った。業務用 KURAMA には自動的に地域ごとの線量を地図にまとめる機能があるが，3. (4)「教育用 KURAMA への要望調査と使用決定」の結果より，広域な地図表示を内包せず，地図ソフトで読むことのできるデータを出力するものに簡略化している。その画面を図 8 に示す。



(注) 2次元マ＝2次元マップ，線量率チャ＝線量率チャート。

The screenshot shows the '設定1' (Settings 1) tab of the KURAMA software. The 'サンプリング周期' (Sampling Period) is set to 10. The 'アラーム鳴動線量' (Alarm Sounding Dose) is set to 0. The '校正定数' (Correction Constant) is set to 0. The 'アラーム停止線量' (Alarm Stop Dose) is set to 0. The '名前または絶対パス' (Name or Absolute Path) field contains 'pass'. The 'C:Users:KURAMA:Desktop' field is highlighted. The 'ADC' field is empty. The '警告表' (Warning Table) field is empty. The '入力電圧' (Input Voltage) is set to 0.00 V. The '計測画面へ' (To Measurement Screen) button is visible.

図8 教育用 KURAMA のソフトウェア画面

5. 試作の結果

広島市内の2箇所で空間放射線量を計測した結果、それぞれ、 $0.08 (\mu\text{Sv/h})$ 程度・ $0.14 (\mu\text{Sv/h})$ 程度の値を継続して示した。また、この際、筆者が同時にサーベイメータの計測値を記録し、教育用 KURAMA の記録値と比較したところ、誤差 5% 以内に収まっており、計測値の取りこぼしも見られなかった。さらに、記録したデータを地図ソフト (ZENRIN 電子地図帳 Zi16) で確認したところ、実際の測定地点から 10 (m) 以内の誤差で、色分けされた線量が地図に表示された。

6. 本実習教材を使用した指導計画例

以下に本実習教材を使用した指導計画例を示す。

表 2 指導計画例

時 数	学習内容	学習活動	評価の観点				評価方法
			関	工	技	知	
1	情報社会の技術を見てみよう (A (1) ア) (D (3) ア)	身近な計測制御の実例を考えることで、生活の中の制御を振り返るとともに、情報社会の技術について考える。	○			○	ワークシート、 観察
2	情報に関する技術とわたしたち、社会・環境とのかかわり (D (1) エ)	教育用 KURAMA を通して、情報に関する技術と社会・環境とのかかわりを知る。	○			○	ワークシート、 定期テスト
3	計測・制御システム (D (3) ア)	センサの信号を処理し、アクチュエータに信号を送ることで、多様な制御ができるようになることを知る。（「照明用自動スイッチ*」などを使用しても良い。）	○			○	ワークシート、 定期テスト、 観察
4	コンピュータの構成 (D (1) ア)	インターフェースが何かを知った後、コンピュータの構造について知る。（「オープンモデル PC**」などを使用しても良い。）	○			○	ワークシート、 定期テスト、 観察
5 6	デジタル化の方法 情報を処理するしくみ デジタル化した情報の量と保存 (D (1) ア)	ON・OFF の状態 2 つを数に見立てて 2 進数の計算することで電子計算機が成立することを知る。 （「リレー式半加算器***」などを使用しても良い。） さらに、2 進数の概念により大きな数も扱うことができることを理解し、それを保存できることと、その情報の量の単位（ビット・バイトなど）を知る。	○		○	○	ワークシート、 定期テスト、 観察
7 8	処理の手順とプログラム (D (3) イ)	教育用 KURAMA のプログラムを通して、基本的なプログラムの流れ（順次処理型・条件くり返し型、条件分岐型）を知り、定期的にセンサの値を確認するにはどうすればいいか理解する。理解度に応じて、割り込み処理についても知る。		○		○	ワークシート、 定期テスト
9 10 11	計測・制御教材による実習 (D (3) イ)	教育用 KURAMA を実際に動かし、センサからのデータ取り込みの様子、コンピュータでのデータ処理の様子を知る。必要に応じて、計測機器での測定方法も知る。			○	○	実習レポート、 観察
12	計測制御についてのまとめ (D (3) ア) (D (3) イ)	これまでの活動を振り返り、まとめを行う。	○	○			ワークシート、 観察

※ 評価の観点の、関：関心・意欲・態度、工：工夫・創造、技：技能、知：知識・理解を略して示す。

*：文献 18），**：文献 19），***：文献 20）

7. まとめ

本研究では、放射線測定器と記録装置を用いた、業務用 KURAMA にて 1 時間の授業実践を行なった。授業実践は非常に生徒の興味を引きつけたが、生徒の質問から、生徒が測定値を直読・記録することが難しいことが分かった。そこで「高速測定・記録機能」を中心に、より教育用に特化した KURAMA（教育用 KURAMA）の開発と、それを活用するための指導計画例を作成した。

本研究は、移動しながら空間線量率を測定することができ、面的な線量分布地図を作るためのシステムを開発し、教材としての位置付けを検討した。筆者らが先の研究で開発した照明用自動スイッチ¹⁸⁾が制御に重点を置いているのに対し、本教材は計測に重点をおくことで、技術科の「プログラムと計測・制御」学習における指導に用いる教材として位置付けた。今後は、これらを用いた授業実践を行い、その有効性を実証的に検討することを課題とする。

謝 辞

KURAMA の教材利用を快諾くださいました京都大学、KURAMA を使用した授業実践にご協力くださいました広島市立二葉中学校の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 間田泰弘ほか：技術・家庭，技術分野，開隆堂出版株式会社，pp. 218-221（2011）
- 2) 加藤幸一ほか：新しい技術・家庭，技術分野，東京書籍株式会社，pp. 222-225（2012）
- 3) 佐竹隆顕ほか：技術・家庭，技術分野，教育図書，pp. 224-226（2013）
- 4) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成 20 年 9 月）解説 ―技術・家庭編一，p. 14（2008）
- 5) 日本産業技術教育学会：日本産業技術教育学会第 56 回全国大会講演要旨集（2013）
- 6) 日本産業技術教育学会：日本産業技術教育学会第 55 回全国大会講演要旨集（2012）
- 7) 川田浩誉，伊藤陽介：中学校における二足歩行を題材としたロボット制御学習の構築と評価，日本産業技術教育学会誌，第 54 巻第 2 号，pp. 69-78（2012）
- 8) 菊地章，鎮革：プログラムによる計測・制御学習のための GUI プログラミング環境の構築，日本産業技術教育学会誌，第 54 巻第 2 号，pp. 59-68（2012）
- 9) 紅林秀治，高山大輝，樋口大輔，菱田亘，大村基将，江口啓：16 自由度人型ロボット教材の開発，日本産業技術教育学会誌，第 55 巻第 2 号，pp. 25-34（2013）
- 10) 江口啓，渡邊肇也，小林健太，紅林修治：中学生の授業外学習を支援する遠隔計測・制御教材の開発，日本産業技術教育学会誌，第 55 巻第 2 号，pp. 103-110（2013）
- 11) 室伏春樹，村岡信吾，紅林秀治：中学校技術科における自律型ロボット教材の動作確認シミュレーションソフトウェアの開発，日本産業技術教育学会誌，第 55 巻第 3 号，pp. 163-170（2013）
- 12) 萩嶺直孝，宮川洋一，森山潤：中学校技術科「プログラムによる計測・制御」の学習における題材タイプの違い，日本産業技術教育学会誌，第 55 巻第 3 号，pp. 181-190（2013）

- 13) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成 20 年 9 月）解説一技術・家庭編一，p. 12（2008）
- 14) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成 20 年 9 月）解説一技術・家庭編一，p. 15（2008）
- 15) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成 20 年 9 月）解説一技術・家庭編一，p. 32（2008）
- 16) M. Tanigaki, R. Okumura, K. Takamiya, N. Sato, H. Yoshino, H. Yamana: Development of a car-borne γ -ray survey system, KURAMA, Nucl. Instr. Meth. A 726, pp. 162-168. (2013)
- 17) 平川製作所：教育用 KURAMA (<http://www.hirakawa.com/kurama.html>) (2014.4.7 閲覧)
- 18) 原田信一，平川義宏，小椋秀一，安東茂樹：量子型光学センサを用いた計測・制御の題材開発，京都教育大学研究紀要 第 122 号，pp. 73-86（2013）
- 19) 平川製作所：動くパソコンモデル，有限会社平川製作所教材のご案内 (<http://www.hirakawa.com/kyouzai.html>) (2014.3.23 閲覧)
- 20) 小椋秀一，平川義宏：電気・情報指導用「リレー式」半加算器の試作と実践，有限会社平川製作所 (<http://www.hirakawa.com/rika.html>) (2013)