

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00997

研究課題名(和文) 材料分析の装置作りにつなげる数学・物理・工学の融合教育教材

研究課題名(英文) Preparation teaching materials by fusing of mathematics, physics, and engineering to aid in the production of material analysis equipment

研究代表者

山田 健二 (YAMADA, KENJI)

石川工業高等専門学校・電子情報工学科・教授

研究者番号：50249778

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、先端材料分析装置を用いた測定に終わることなく、分析装置作りにつながる教育展開を数学・物理・工学の融合教材を用いて試みる。小学生、中学生、高校生、高専生、そして大学生と広い分野で利用できる教材を準備する。4年間の研究期間でこの目標を達成することができた。小学生向け教材としては、「分析」にテーマを絞り、ミックスジュースの成分分析を実施できた。高専・大学生向け教材として、膜厚計測や超伝導体製作などの材料分析分野の教材を準備できた。最終的に小型電子エネルギーアナライザの製作教材を準備することで実際の装置作りに関わる教材を準備できた。これらの教材を用いて今後の教育展開を推進していく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

装置作りの視点を取り入れた教材開発に本研究の特色がある。本校で実施された教育プロジェクトの成果を利活用することで、独創的なアイデアを形にできる点が新しい。初歩的なものづくりや実験は小学生児童にも対応するものだが、実際の分析機器の製作は、装置作りに初めてチャレンジする研究室学生に貴重な資料となる。ブラックボックス化されたままの装置からは真の研究成果は生まれにくい。装置の詳しい実験原理は専門性が高いため理解するまでには困難が予想されるが、本教材を利用することで、数学・物理・情報処理の知識と関係づけられて理解にいたる。

研究成果の概要(英文)：This study attempts to promote educational development for fabricating material analysis equipment. Teaching material that incorporates mathematics, physics, and engineering is prepared, which can aid in the production of material analyzers. We prepared teaching material that can be used by students of different academic levels. The objective of the study was achieved in a period of four years. For elementary school students, the extent of the term "analysis" was narrowed down, and teaching material for the component analysis of mixed juice was prepared. For students of technical colleges and universities, teaching material for material analysis such as measurement of film thickness and production of superconductors was prepared. Finally, for the field of production, teaching material related to the actual construction of a small electronic energy analyzer was prepared. We hope to advance future educational development by implementing the prepared teaching materials.

研究分野：科学教育関連

キーワード：教育教材 分析装置作り 物理現象 X線光電子分光法 ものづくり

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 研究開発型技術者育成のため、工業高等専門学校（高専）において先端材料分析装置の導入が行われてきたが、測定が中心となり装置について学ぶ機会が少ない。実験装置作りにつながる教育展開を試みる。装置の原理は物理現象を応用したものが多く、測定原理の理解から広がるものづくり教育は真に実践教育となる。アクティブラーニング手法を用いた教育改革を進める上でも、学習者がいかに主体的に学ぶことのできる教材かどうか重要な点となる。

(2) 高専には「ものづくりへのチャレンジ精神」を育む土台があり、それを実現するための実験装置や工作機械が整備され、実験・実習のカリキュラムが充実している。ところが、学生にいきなり実験装置をつくれという課題は困難であるため各段階を踏んだアプローチが必要となる。実験装置の原理は物理現象を応用したものが多く、その仕組みを理解することで物理現象を実践的に学ぶことができる。取り扱い方法はビデオ映像を見て学ばせることが効果的である。物理現象は数式で表現されるので、その部分を取り出せば物理数学として学ぶことができる。現在、ほとんどの実験装置はコンピュータ制御であり、データのグラフ表示や波形処理は情報処理によって実行されている。つまり分析装置は、物理数学、応用物理、情報処理の内容が構成要因の一つとなっている。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究は、先端材料分析装置を用いた実験や測定に終わることなく、分析装置作りにつながる教育展開を試みるものである。科学や工学の分野における新たな発明には、独創的な装置作りによってもたらされることが多い。小学生、中学生、高校生、高専生、そして大学生と幅広い学習対象を想定し、利用できる教材を準備し実践することを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) 開発する教育教材には、装置作りの視点を取り入れる。ただし装置の詳しい実験原理は専門性が高いため理解するまでには困難が予想される。その基本的な考え方や動作原理については、学生個々の数学・物理・情報処理の知識と関係づけられる。本研究で開発する教材は、サイエンス・テクノロジー・エンジニアリング・数学の融合教材（STEM教材）としても位置付けられる。

(2) ものづくりをベースとして、装置作りにつながる教材として、分析について学ぶ教材、物理計測のための教材、実際の分析装置作りの教材を中心に開発する。

### 4. 研究成果

(1) 小学生向け教材として、ミックスジュースの成分分析と実践を行った。X線光電子分光装置は材料表面から放出された電子の結合エネルギーを分離して、個々の元素分析ができる。これと似たようなことを小学生に体験してもらうためにミックスジュースの成分を児童が試飲して当てる内容の教材を準備し、実践した。図1は学生が模擬練習している様子で、図2は実際に近隣の小学校で実施した様子である。



図1 模擬練習の様子



図2 本番当日の様子

(2) 中学生向け教材として、匂いセンサーを用いた香り値測定を行った。金属 PC ケースを檜木材で作製し、PC 内部の廃熱を利用して檜の香りを放出させるものづくり教材である。作るだけでなく、放出される檜の香りを数値化できた。図 3 は香り値の変化をグラフに示したものである。

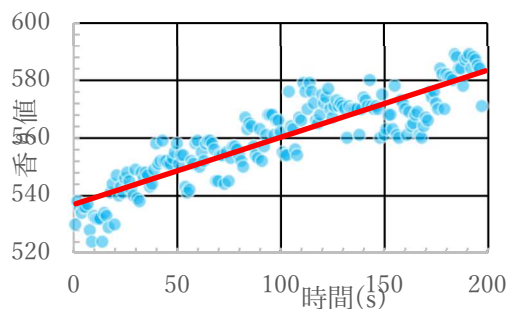


図 3 檜の PC ケース内の香り値変化

(3) 高専・大学生向け教材として、膜厚計を学ぶ教材を製作した。物理の振動現象、拡散方式、sauerbrey の式を利用した教材内容となっている。実際の膜厚計測ではアルカリ金属 (Cs) の蒸着膜厚を計測し、物理現象として水晶振動子の共振周波数を測定する内容である。実験にはブレッドボードを用いた電子回路実験および回路シミュレータを用いる。図 4 に水晶振動子取付に関する説明スライドを示す。図 5 に一定条件で膜厚が増加する結果を示す。



図 4 水晶振動子の説明スライド

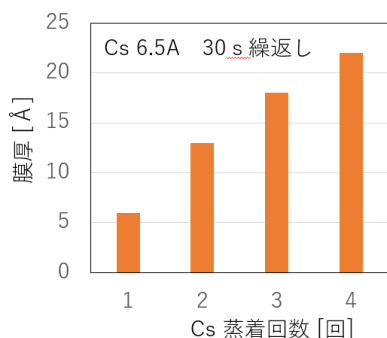


図 5 Cs 蒸着回数に対する膜厚変化

(4) その他の成果として、「超伝導体の簡便な作製」として Bi 系超伝導体を短時間で製作してマイスナー効果を検証できる教材を製作した。「半導体デバイスのしくみ」ではダイオードに使われている半導体材料のエネルギーギャップを概算する教材で英語表現のものを準備できた。台湾国立嘉義大学理工学院電子物理学科の蘇教授との国際共同教育として、「ダイオードの電流電圧特性」を測定できる「IoT 教材」や、「プランク定数の算出」のできる教材を実際の本校専攻科生に対して実施することができた。この活動は国際交流の促進にもつながった。「電子アナライザーの製作」の教材を準備できた。製作したアナライザー本体の写真を図 6 に示すこれより実際の装置作りにつなげる最終目標が達成できた。実際の材料分析装置を学ぶ教材例として「DLC 膜の分析」を行った。



図 6 電子エネルギーアナライザーの外観

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kenji Yamada, Toru Harigai, Hirofumi Takikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 XPS analysis of DLC thin films and oxidized DLC thin films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 15th International Symposium on Sputtering & Plasma Processes (ISSP2019)	6. 最初と最後の頁 50-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kenji Yamada, Chiung-Wu Su	4. 巻 -
2. 論文標題 International Joint Education for Student Interaction in the Field of Electronics and Information Technology	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of ACEE2019 International Conference	6. 最初と最後の頁 152-166
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 山田 健二	4. 巻 -
2. 論文標題 工学分野の国際共同教育を目指した海外研修旅行における学生交流	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019年度工学教育研究講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 444-445
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田健二	4. 巻 52
2. 論文標題 電子情報技術分野の学生交流における国際共同教育	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 石川高専紀要	6. 最初と最後の頁 15-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kenji Yamada, Toru Harigai, Hirofumi Takikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 XPS spectrum of DLC thin films changed by argon ion sputtering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 188th THE International Conference (ICAPM2018, International Conference on Applied Physics and Mathematics)	6. 最初と最後の頁 15-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kenji Yamada, Chiung-Wu Su	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of STEM educational material for semiconductor engineering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of ISERD International Conference	6. 最初と最後の頁 2-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 山田健二	4. 巻 51
2. 論文標題 STEM教材の試作と試行	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 石川工業高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 15-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kenji Yamada, Atsuto Takeda, Takahiro Imai, Yushi Iijima, Toru Harigai, Yoshiyuki Suda, Hirofumi Takikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Analysis of DLC thin films obtained by XPS spectrum separation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 14th International Symposium on Sputtering & Plasma Processes (ISSP2017)	6. 最初と最後の頁 70-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kenji Yamada, Yushi Iijima, Toru Harigai, Hirofumi Takikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 XPS spectral changes of DLC thin films obtained by argon ion etching	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 11th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '17 (ALC'17)	6. 最初と最後の頁 154-157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kenji Yamada, Scholastica Dumat, Hirofumi Takikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Production of STEM educational materials leading to estimation of semiconductor energy gap	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 ACENS Asian Conference on Engineering and Natural Sciences	6. 最初と最後の頁 628-635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Kenji Yamada, Toru Harigai, Hirofumi Takikawa
2. 発表標題 XPS analysis of DLC thin films and oxidized DLC thin films
3. 学会等名 15th International Symposium on Sputtering & Plasma Processes (ISSP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Yamada, Chiung-Wu Su
2. 発表標題 International Joint Education for Student Interaction in the Field of Electronics and Information Technology
3. 学会等名 8th ASIAN CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION (ACEE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 健二
2. 発表標題 国際交流にSTEM教育教材を試行した事例報告
3. 学会等名 2019高専フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土場 優雅, 針谷 達, 滝川 浩史, 山田健二
2. 発表標題 DLC薄膜のアルゴンスパッタリングによるXPSスペクトル変化
3. 学会等名 2019年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古北 昂己, 角 浩貴, 山田 健二
2. 発表標題 超伝導体の簡便な作製条件に関する研究
3. 学会等名 2019年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 健二
2. 発表標題 工学分野の国際共同教育を目指した海外研修旅行における学生交流
3. 学会等名 日本工学教育協会 第67回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 健二, 古北 昂己, 土場 優雅, 山形 幸弥
2. 発表標題 半導体材料分析および計測装置作りの教材開発
3. 学会等名 セミコン・ジャパン2019 - THE高専@GAKKO出展-
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土場 優雅, 山田 健二, 針谷 達, 滝川 浩史
2. 発表標題 X線光電子分光法を用いた各種DLC表面の深さ方向分析に関する研究
3. 学会等名 令和元年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古北 昂己, 山田 健二
2. 発表標題 Bi系高温超伝導材料の簡便な製作条件に関する研究
3. 学会等名 令和元年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山形 幸弥, 山田 健二
2. 発表標題 ボードゲームを用いた教育教材に関する研究
3. 学会等名 令和元年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 英 良祐, 山田 健二
2. 発表標題 ヘリウムイオン源と電子エネルギーアナライザーの製作
3. 学会等名 令和元年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田 健二, 蘇 炯武, ラザックピンアリリ
2. 発表標題 材料分析装置作りにつなげる教育教材
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田健二
2. 発表標題 材料分析を学ぶための小学生向け教育教材の作成
3. 学会等名 平成30年度全国高専フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Yamada, Toru Harigai, Hirofumi Takikawa
2. 発表標題 XPS spectrum of DLC thin films changed by argon ion sputtering
3. 学会等名 188th THE International Conference (ICAPM2018, International Conference on Applied Physics and Mathematics) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田 健二, 針谷 達, 滝川浩史
2. 発表標題 テトラヒドラルアモルファスカーボン表面のXPSスペクトル
3. 学会等名 平成30年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Yamada, Chiung-Wu Su
2. 発表標題 Development of STEM educational material for semiconductor engineering
3. 学会等名 ISERD 508th International Conference on Education and E-Learning (ICEEL) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Yamada, Chiung-Wu Su
2. 発表標題 Construction of STEM educational materials for estimating energy gap of semiconductor materials
3. 学会等名 STEM conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柿澤 雄大, 山田健二
2. 発表標題 XPSを用いたDLC薄膜の表面分析の波形処理の評価に関する研究
3. 学会等名 平成30年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 角 浩貴, 山田健二
2. 発表標題 MRIに使われる超伝導に着目した教材開発
3. 学会等名 平成30年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 霞, 山田健二
2. 発表標題 Arduinoを用いた電子情報工学入門教材に関する研究
3. 学会等名 平成30年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 能村 天斗, 山田健二
2. 発表標題 オータメイト数学活用大事典システムを用いた専門科目学習支援教材の構築
3. 学会等名 平成30年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 健二, 蘇 炯武
2. 発表標題 Siバンドギャップを推定するSTEM教育教材と国際交流
3. 学会等名 平成30年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田健二
2. 発表標題 材料分析装置を説明する教育教材の製作 ~X線光電子分光装置を例として~
3. 学会等名 工学教育研究講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Yamada, Atsuto Takeda, Takahiro Imai, Yushi Iijima, Toru Harigai, Yoshiyuki Suda, Hirofumi Takikawa
2. 発表標題 Analysis of DLC thin films obtained by XPS spectrum separation
3. 学会等名 14th International Symposium on Sputtering & Plasma Processes (ISSP2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Yamada, Yushi Iijima, Toru Harigai, Hirofumi Takikawa
2. 発表標題 XPS spectral changes of DLC thin films obtained by argon ion etching
3. 学会等名 11th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '17 (ALC'17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Yamada, Scholastica Dumat, Hirofumi Takikawa
2. 発表標題 Production of STEM educational materials leading to estimation of semiconductor energy gap
3. 学会等名 2018 ACENS Asian Conference on Engineering and Natural Sciences (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宅間未空, Scholastica Dumat, 塩安佳樹, 山田健二
2. 発表標題 材料分析を学ぶための小学生向け教育教材の製作
3. 学会等名 平成29年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Scholastica Dumat, 宅間未空, 塩安佳樹, 山田健二
2. 発表標題 電子情報分野を学ぶ学生のためのSTEM型教材の製作
3. 学会等名 平成29年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩安佳樹, Scholastica Dumat, 宅間未空, 山田健二
2. 発表標題 波動方程式に着目した膜厚評価実験の応用物理教材
3. 学会等名 平成29年度北陸地区学生による研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------