

科学研究費助成事業 (科学研究費補助金) 研究成果報告書

2013年6月14日現在

機関番号 : 51201
 研究種目 : 基盤研究 (C)
 研究期間 : 2010~2012
 課題番号 : 22500830
 研究課題名 (和文) : ハンドヘルドテクノロジー活用による新たな実践的工業技術者育成プログラムの開発
 研究課題名 (英文) : New Program Development for Nurturing Practical Engineers by Utilizing Handheld Technology
 研究代表者
 梅野 善雄 (UMENO YOSHIO)
 一関工業高等専門学校・一般教科自然科学系・教授
 研究者番号 : 30042211

研究成果の概要 (和文) : ハンドヘルドテクノロジーの一つである数式処理電卓を, 物質化学工学科の専門科目や工学実験で利用した. この機器にデータ収集器や多様なセンサーを接続することにより, 煩雑な実験手順の単純化, データ記録の自動化, 反応・プロセス変化の可視化, そしてデータ取得範囲の拡大などの効果がみられた. 学生自身に分析・計測機器を試作させることも可能になった. エンジニアリング・デザイン教育での活用も期待され, 化学工学実験の内容を大きく広げることができた.

研究成果の概要 (英文) : We conducted new chemical engineering experiments by using an algebraic calculator. Data collecting equipment and variety sensors can be connected to the calculator. The recording method of experimental data could be changed from manual to automatic by the calculator. As a result, the complicated experimental procedure became simple and the experimental data range was expanded. In addition, the students were able to make new analytical or measurement instruments by themselves, combining both the algebraic calculator and the sensors. The introduction of the algebraic calculator could expand the content of chemical engineering experiments.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
平成 23 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
平成 24 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総 計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野 : 総合領域 :

科研費の分科・細目 : 科学教育・教育工学

キーワード : 技術者教育, 工学実験, 化学工学, 数式処理電卓

1. 研究開始当初の背景

本経費による研究代表者の研究(課題番号16500566)によれば、数式処理電卓を学生に貸与して様々な回答の仕方があるオープンエンドの数学の問題を高専学生(1年)に課すと、成績の上下によらず、何らかの数学的性質についての発見がなされた。創造力の育成には、一つの問題を考え続けて「何かに気づく」ことが最初の出発点であるが、漠然とした問題から一般性のある性質を見いだすには多くの試行錯誤を伴う。数学的な計算が加わると学生の手には負えなくなるが、ハンドヘルドテクノロジーの1つである数式処理電卓を活用すれば、数学力に不安のある学生でもある程度の試行錯誤が可能になる。ハンドヘルドであるがゆえに、思い立ったときに「何時でも・何処でも」様々なことをすぐに確かめることができる。

さらに、この電卓は多様なセンサー(約50種類)と接続して実データを収集することもできるので、工学教育で活用すれば各種の実験のあり方を見直すことにも繋がるであろう。本校の物質化学工学科では、この電卓を入学生全員に購入させている。物質化学工学科の内容は機械工学や電気工学の内容も含み多岐にわたる。多くのセンサーが関連してくるので、この学科で工学教育への活用法を考えることは、工学教育への活用のモデルケースとして最適と判断される。

2. 研究の目的

本研究では、以下のことを目的とする。

- (1) 物質化学工学科の専門科目において、数式処理電卓の効果的な活用方法を開拓する。
- (2) 物質化学工学科で、この電卓を利用した新たな工学実験のモデルを構築する。
- (3) 数式処理機能を活用できる化学反応モデル式を収集して、この電卓のアプリケーションを開発する。
- (4) 数式処理機能を利用して、学生でも発見可能な化学関係の原理・公式等を収集する。
- (5) 電卓付属の選択式問題提示ツールを利用して、英語の選択式問題を作成する。

以上を通して、このような高度の数式処理機能を持つハンドヘルドテクノロジーを、工学教育の様々な場面で思考のツールとして積極活用する。それにより、創造力や思考力に優れた実践的工業技術者育成のための新たな教育モデルを構築する。

3. 研究の方法

物質化学工学科で新生に購入させている数式処理可能なグラフ電卓(TI-89titanium)を専門科目や工学実験でも活用すべく、以下の項目により研究を推し進める。

(1) 教授ノウハウに関する理解の共有

研究代表者は、数学教育の中で思考のツールとして活用させる実践研究を行ってきた。その研究事例を紹介することを通して、専門科目における活用のノウハウについて検討すると同時に、活用ノウハウについての理解を共有する。

(2) センサーの選定と実験手法に習熟するための研究会の開催

この電卓と接続できるセンサーは約50種類ある。どのようなセンサーが実際の工学実験で利用できるかを検討する。また、センサーを利用した実データの収集のノウハウを学ぶため、外部講師を招いた研究会を開催する。

(3) 学生向けマニュアルの作成

購入時の添付マニュアルは、その機能を辞書的に整理したものであり学生にとって分かりやすいとはいえない。そこで、新たに学生向けのマニュアルを作成する。

(4) 工学実験での試行的実践

既存の工学実験の内容の一部をセンサーと電卓を利用した実験に試行的に切り替える。そして、その教育効果を確認すると同時に工学実験への活用のあり方等について検討する。

(5) 専門科目で思考のツールとして提示可能な教材の収集

物質化学工学科の専門科目で、数式処理機能の利用により学生に考察させることが可能な教材を収集する。

(6) 物質化学工学科で現れる各種モデル式の収集とアプリケーション化

この電卓のアプリケーションには、機械工学や電気工学のモデル式を多数(700以上)収集したものがある。物質化学工学科の内容に関して同様のアプリケーションの作成が可能かどうかを検討する。

(7) 英語による選択式問題の作成

この電卓には、選択式問題の提示ツール「Study Card」が標準添付されており、提示する問題はパソコンで自作できる。難易度や選択肢数を自由に設定できるので、英語問題の提示ツールとして利用する。

以上のことを通して、ハンドヘルドテクノロジーを積極活用した実践的工業技術者育成のための新たな教育モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) CBL 利用のデータ収集研究会の開催

グラフ電卓 (TI-89titanium) とデータ収集器 (CBL2) を利用した実データの収集やデータ処理の方法を学び、センサーを利用した新たな学生実験のあり方について検討する研究会を一関高専を会場として 2 回開催した。

① 第 1 回研究会

期日：平成 22 年 9 月 14 日 (火)

講師：福井高専一般科目教室

長水壽寛教授・宮田一郎准教授

内容：外部講師による基調講演 / 本校の授業で想定されるセンサー利用の実験概要 (4 名) / 本校学生 (2~4 年 16 名) に対する実験指導 (外部講師)

② 第 2 回研究会

期日：平成 24 年 3 月 8 日 (木)

講師：北海道教育大学函館校

理科教育講座，松木貴司教授

内容：外部講師による基調講演 / 本校で実践したセンサー利用の工学実験の概要 (3 名) / 英語教育での利用例の紹介 / 数学教育での活用

(2) 学生用マニュアルの作成

低学年の学生でも理解できるようグラフ電卓の操作マニュアル (全 120 頁) を作成し、Web 上でも公開した (URL は 5.[その他] 参照)。以下に、各章のタイトルを記す。

第 I 部 基本操作

第 1 章 基本操作

第 2 章 方程式と式の変形

第 3 章 関数のグラフ

第 II 部 数学での利用

第 4 章 微分積分での利用

第 5 章 媒介変数表示と極座標のグラフ

第 6 章 線形代数での利用

第 III 部 専門科目での利用

第 7 章 微分方程式での利用

第 8 章 応用数学・応用物理での利用

第 9 章 実験データの整理

第 10 章 データの統計解析

第 IV 部 その他の利用

第 11 章 グラフアートの作成

第 12 章 プログラム機能

第 13 章 英語学習での利用

第 V 部 外部機器との接続

第 14 章 パソコンとのデータ交換

第 15 章 データ収集機 CBL2 の利用

第 16 章 他機器とのデータ交換

(3) 工学実験での試行的実践

グラフ電卓とセンサーを利用した実験を、複数の学年で実施した。使用したセンサーは 5 種類で、圧力、温度、塩素イオン、光、そして角度を測定するセンサーである。以下に、それぞれの実験の概要と教育効果等をまとめる。

① 温度と蒸気圧との関係を見る実験

この実験は、3 年の物理化学実験で行われた。一般に、蒸気圧 (P) と温度 (t) との関係はアントワン式と呼ばれ

$$\log_{10} P = A - \frac{B}{t + C}$$

で表される。 A, B, C はアントワン定数と呼ばれ、物質により異なる値をとる。

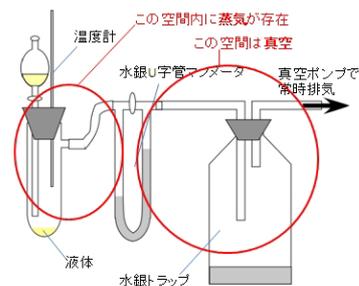


図 1 蒸気圧測定に関する従来の実験装置

この実験を、従来は、上部を閉じた比較的大型の瓶を直接加熱して蒸気を発生させ、その蒸気圧を水銀を封入した U 字管マンオメータで目視観測してきた (図 1)。この方式は、瓶全体を均一に加熱することが難しく、測定した圧力がアントワン式の圧力よりも低くなる傾向があった。また、水銀マンオメータの長さの関係上、40°C 程度までのデータしか取ることができず、その温度を超えると圧力が大きくなって水銀が U 字管からトラップに流出するなどの問題があった。

そこで、棒状温度計を温度センサーに、U 字管マンオメータを圧力センサーに置き換えて実験を行った (図 2)。実験は、小型のガラス瓶内をポンプを用いて真空状態にし、そこにエタノールまたはメタノールの液を入れてドライヤーで加熱する。そして、温度とガラス瓶内の蒸気圧をセンサーを用いて測定した。センサーの利用により実験装置が小型化され、平衡状態までの過

渡状態の変化もグラフで見ることができる。水銀流出の心配をする必要がないので加熱できる温度範囲が広がり、アントワン式へのあてはまりも良くなった。

図3は、メタノールとエタノールについての実験である。アントワン式によくあてはまっており、センサー利用により加熱できる範囲が広げられた。□記号は、エタノールに関して従来型の実験方法で得たデータである。曲線ではなく直線的なデータになっている。

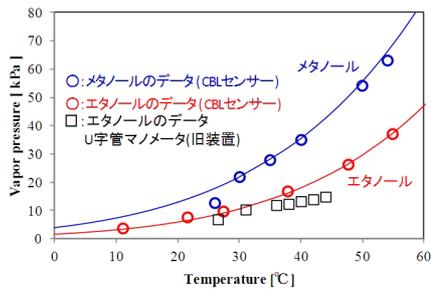


図3 センサー利用による測定結果

② 連続攪拌槽の残余濃度の測定

この実験は、5年の物質化学プロセス工学実験で行われ、完全混合流れについて理解させようとする実験である。

実験では、透明アクリル樹脂製の容器3槽をチューブで直列に連結し、同一濃度のチオ硫酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 水溶液で満たす。そして、図4の左端のヘッドタンク(定水位槽)から一定流量の水道水を供給するとき、右端の槽から出るチオ硫酸ナトリウム水溶液の濃度低下を測定する。

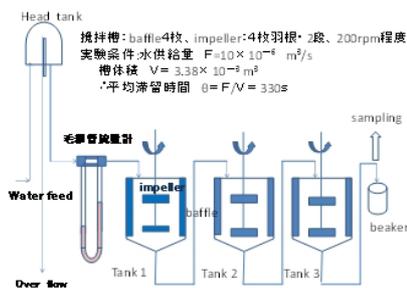
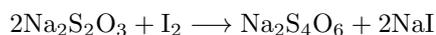


図4 連続攪拌槽の残余濃度実験装置

従来は、右端の槽から流出する水溶液をホールピペットを用いて5cc採取し、それにヨウ素溶液を滴下して反応式



の完結に要するヨウ素の滴定量をデンプン指示薬の呈色の変化から読み取るという操作を2分

間隔で行い、滴定量が最初の1/20になるまで繰り返して濃度の変化を求めていた。煩雑で時間を要する実験であり、授業時間内には終わらない場合もあった。

そこで、溶液を食塩に変え、水道水の代わりにイオン交換水を供給し、塩素イオンセンサーを利用して濃度を自動測定する形に変更した。食塩は安価であり、水に溶解すると濃度によらずほぼ100%電離して塩素イオンを生成する。毒物であるヨウ素を使わなくて済むのもメリットである。

測定データは電卓に自動的に転送され、液晶画面にリアルタイムでグラフ表示される。

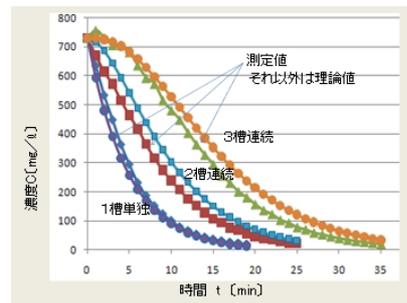


図5 センサーによる残余濃度の測定値と解析解

図5は、測定結果を理論値と比較したものである。測定値は比較的よく理論値と一致し、従来の測定方法と比較しても変わらない精度である。また、槽の数が増えると、最初はほぼ初期濃度と同じ時間帯を生じ、濃度低下もゆったりするという特徴的な変化も測定できている。2分間隔でサンプリングして滴定する作業も不要になり、2日にわたる実験が1日で済むようになった。また、空いた時間を利用して、流量や攪拌の仕方を変えてみるなどの自由な実験を行うことができるようになった。このような測定の自動化は、もの作りの現場における計測・制御を疑似体験にもなる。

③ 粉末の粒度分布の測定

この実験は、物質化学工学専攻の専攻科1年生(4名)の特別実験として行われた。与えられた実験テーマに対して、その目的を達成するにはどのような実験を行うべきかを検討させ、具体的な実験装置の組立てから考察させて実験が行われた。

与えたテーマは、粉末の粒度分布に関する簡便な測定方法の考案である。従来、粉末の粒度分布は、それを水などの溶媒に分散させてレー

ザーを照射する。粒子に光を照射すると粒子径により散乱光量やパターンが異なり、それを測定して粒度の大きさを推定する方式が一般的である。

しかし、この方法では水に溶ける粉末は測定できないので、粉末のまま情報を取得する方法を開発することを実験目標とした。その際、簡易なレーザー光としてレーザーポインターが使用でき、センサーとしては光センサーと角度センサーが利用できることを伝えた。

学生達は、文献調査により、レーザーを照射すると、粒子径が大きいほど全周方向に散乱強度が強くなり前方への散乱強度が強いこと、粒子径が小さくなるにつれ全体的に散乱強度が弱まり前方散乱光も弱まることを確認した。



図6 学生達が作製した装置

以上を踏まえた上で、学生達は図6のような装置を考案した。右側がレーザーポインターであり、中央に試料を置いて回転させる。散乱光量は左側に固定された光センサーで検出する。下部には角度センサーがあり、回転角を検知する。この装置で、角度と散乱光量の2つのデータが同時に取得され、データ取得後は描画範囲が自動的に最適化されて2つのデータの関連性がグラフ表示される。

試料としては砂粒とカニキチン粉末を使用した。砂粒は篩にかけてサイズ別に4種類に分級し、キチン粉末はコンバージミル(800rpm)で粉砕して20min粉砕と120min粉砕の2種類のサイズを用意した。

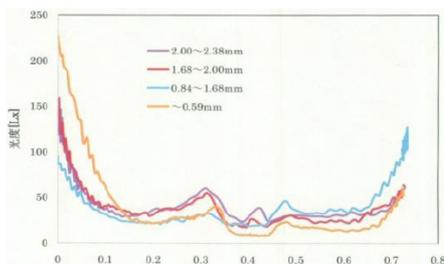


図7 砂粒の散乱光強度の角度依存性

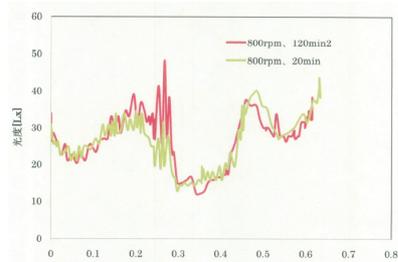


図8 キチン粉末の散乱光強度の角度依存性

図7と図8に、その測定結果を示す。砂粒とキチン粉末について明らかな差異がみられる。同種試料の粒度別のグループ間の差異が明瞭に判別できたとはいえないが、粒度が大きいほど前方散乱強度が増大する傾向、あるいはその逆の傾向が見られることは確認される。粒子を1層とするなどの工夫を加えれば、さらなる可能性が示唆される。

(4) 英語の選択式問題の作成

この電卓には、選択式問題の提示ツールである”StudyCards”というアプリケーションソフトが付属している。そこで、英語の選択式問題を作成して、この電卓の所持の有無や使用の頻度で成績に差が出るかどうかを他学科の学生と比較して調べたが、所持群が”StudyCards”の使用に習熟していないため、十分な結果を得ることはできなかった。しかし、使用に習熟すれば、英語や工業英語などの学習等に十分利用できることは確認できた。

(5) 技術者教育における今後の可能性

本研究では、グラフ電卓とセンサーを利用した学生実験を試行した。センサーの利用による効果として、以下のことがあげられる。

- 煩雑で単純な実験作業の省力化
- 短時間でのデータ採取が可能
- データの取得範囲の拡大
- 水銀などの有害物の不使用
- 実際の工場と類似した形のデータ採取

グラフ電卓とセンサーの利用は、単に従来の測定機器をセンサーに置き換えただけの効果ではない。化学系の実験教育において、これらの機器の利用には以下のような大きな可能性が秘められている。

① 反応・プロセス変化の可視化

これまで目視に頼っていた反応やプロセスの時間的変化を数値で見ることができ、変化の「見える化」に有効である。時間変化による記録が残るので、事後に詳しく分析することも可能になる。

- ② 「実験づくり」での利用
多様なセンサーを活用させることで、学生の自由な発想による実験づくりが可能になる。条件を変えながら試行錯誤的に実験することで、学生が自ら何らかの基本原理への気づきを得る可能性もある。

- ③ 分析・測定機器の試作と小型化
グラフ電卓と多様なセンサーを組み合わせることで、いろいろな分析・測定機器の試作や小型化が可能になると考えられる。

- ④ エンジニアリング・デザイン教育
創造性のあるものを作り上げるには、自由な発想をいかにして具現化するかが重要である。グラフ電卓とセンサーの利用は、エンジニアリング・デザイン教育において、その具現化の敷居を大きく引き下げる働きをすると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 梅野善雄, 貝原巳樹雄, 福村卓也, 梁川甲午, 長田光正: ハンドヘルドテクノロジーとセンサーを活用した高専における化学工学実験, 工学教育, 査読有, (未刊: 掲載決定済)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 梅野善雄: 物質化学工学科の「反応工学」で使用される数学の内容, 数学教育の会 (2013 年冬の集会), 2013.1, お茶の水女子大学理学部
- ② 貝原巳樹雄, 梅野善雄: 数式処理電卓を用いた工学教育の可能性, 平成 24 年度全国高専教育フォーラム教育研究発表会, 2012.8, 国立オリンピック記念青少年総合センター
- ③ 梁川甲午, 横田真実, 梅野善雄: 化学工学実験へのグラフ電卓と塩素イオンセンサーの導入—連続攪拌槽の残余濃度の測定—, 平成 24 年度全国高専教育フォーラム教育研究発表会, 2012.8, 国立オリンピック記念青少年総合センター
- ④ 梅野善雄, 貝原巳樹雄, 梁川甲午, 福村卓也: グラフ電卓とセンサーを利用した高専における工学実験, 第 13 回グラフ電卓研究会, 2012.7, 福井工業高等専門学校

[発表予定 (申込受理済)] (計 2 件)

- ① 梅野善雄: 反応工学で使用される数学の内容について, 日本数学教育学会第 95 回算数・数学教育研究 (山梨) 大会高専・大学部会,

2013.8, 山梨大学甲府キャンパス

- ② 福村卓也, 梁川甲午, 貝原巳樹雄, 佐藤和久, 照井教文, 梅野善雄: 多機能グラフ電卓を活用した新たな化学工学教育の展開, 第 61 回工学教育研究講演会, 2013.8, 新潟大学五十嵐キャンパス

[その他]

ホームページ「数ナビの部屋」

<http://www.ichinoseki.ac.jp/>

[gene/mathnavi/](http://www.ichinoseki.ac.jp/gene/mathnavi/)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅野 善雄 (YOSHIO UMENO)
一関高専・一般教科自然科学系・教授
研究者番号: 30042211

(2) 研究分担者

初年度は 8 名の研究分担者で研究をスタートさせ、以後、連携研究者に移行した。

① 2012 年度は連携研究者

貝原 巳樹雄 (MIKIO KAIHARA)
一関高専・物質科学工学科・教授
研究者番号: 20290687

福村 卓也 (TAKUYA FUKUMURA)
一関高専・物質化学工学科・准教授
研究者番号: 50360326

梁川 甲午 (KOUGO YANAGAWA)
一関高専・物質化学工学科・准教授
研究者番号: 20042210

千葉 圭 (KEI CHIBA)
一関高専・一般教科人文系・准教授
研究者番号: 00236811

② 2011～2012 年度は連携研究者

長田 光正 (MITSUMASA OSADA)
一関高専・物質化学工学科・准教授
研究者番号: 70435402

佐藤 和久 (KAZUHISA SATOU)
一関高専・物質化学工学科・教授
研究者番号: 30215769

照井 教文 (NORIFUMI TERUI)
一関高専・物質化学工学科・准教授
研究者番号: 20374639

③ 2011 年度に他機関に転出

埜上 洋 (HIROSHI NOGAMI)
一関高専・物質化学工学科・准教授
研究者番号: 50241584