

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月1日現在

機関番号：10102
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500821
 研究課題名（和文） 遠隔制御型植物育成システムを利用した理科実験プログラムの開発とその実践
 研究課題名（英文） Development on science teaching program and teaching materials by using the "Aiterrarium" via the internet
 研究代表者
 安藤 秀俊（ANDOH HIDETOSHI）
 北海道教育大学・教育学部・教授
 研究者番号：70432820

研究成果の概要（和文）：

離れた場所から遠隔操作ができるインターネット制御型植物育成システム（アイテラリウム）を利用して、初等・中等理科教育における理科実験教材の開発とその指導プログラムを考案した。ファストプランツの要素欠除試験、アサガオの短日栽培、光合成のデンプン生成におけるヨウ素デンプン反応の量的可視化、キアゲハの生育などの教材化を行い、そのうち、要素欠除試験については高校生にアンケートを行い、植物の長期栽培における生徒の意識を構造方程式モデリングで表わし、その教育的効果を検証した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to verify hydroponic culture test under nutrient deficiency of Fast plants (*Brassica rapa*) to make students understand nutrient necessary for plants, and whether experiment using "Aiterrarium" can be executed at high school. The remote-controlled Aiterrarium is an indoor gardening system in which the fluorescent lighting, temperature, humidity, soil water content, and water supply is all controlled via the internet.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
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

キーワード：自然科学教育，科学教育，植物，教育工学

1. 研究開始当初の背景

平成20年の新学習指導要領、理科の改善の基本方針では、「持続可能な社会の構築が求められている状況に鑑み、理科についても、環境教育の充実を図る方向で改善する」ことが示された。今回の改訂では具体的に「・・・

今後、環境への負荷がなるべく小さいエネルギー資源の開発と利用が課題であることを認識させるとともに、太陽光、風力、地熱、バイオマスなどのエネルギー資源の利用、燃料電池や新たなエネルギーの開発の現状や課題についても触れる」と記載され、ESDの

視点が強調されている。

ところで、地球上のすべての生物の生命は、植物が生産したバイオマスに依存している。本研究は、植物によってもたらされるバイオマスの活用に関わる実験の開発とともに、遠隔制御型植物育成システムを利用した理科実験プログラムを開発することで、植物と人間との関わりの重要性を生徒に認識させる指導方法の開発とその効果の検証を行うことが目的である。

本研究では携帯端末として、今まで試みられたことのない遠隔制御型植物育成システムを理科学習に利用することであるが、生徒が携帯端末を利用することは、家庭における山口ら(2006)の例、水族館における石塚ら(2007)の例がある程度で、直接に、学校教育の中で、理科の実験操作を行うことは今までに例がない。また近年、佐々木ら(2004)が指摘しているように、栽培学習が中学・高校においても見直され、総合的な学習の時間をはじめとして、全国の教育現場で体験的な栽培学習を取り入れる学校が増加している。しかし、植物栽培は長期間にわたることが多く、休日の給水ができずに枯らしてしまう等、その管理に難がある。その点、本研究では生徒に遠隔操作で栽培を管理させ、生育条件などを模索する中で探究的に学習を行わせるという点が特色である。以上が研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の3点である。

- (1) 植物との関わりを重視しESDの視点を取り入れた栽培教育を普及させる。
- (2) インターネット遠隔制御型植物育成システムを利用して、植物の栽培や植物に関する実験を手軽に行うことができる理科実験プログラムを作成する。
- (3) 作成した実験指導プログラムを使用して、中学校や高校で授業実践を行い、その教育的効果を検証する。

3. 研究の方法

(1) アイテラリウムを利用した生物に関する理科実験の検討

アイテラリウム(Aiterrarium)は、パソコンや携帯電話から環境のコントロール、環境監視、データ収集、加工を制御できる植物育成システムで、この1、2年農学の分野で開発された新進の機器である。温度、湿度、照度、土壤水分などが離れた端末機器から遠隔操作ができ、ネットワークカメラが設置されていることから、静止画、動画でのモニタリングも可能である。本機器はこのように非常に高性能かつ機能的であり、圃場がない場所でも容易に大型の植物栽培が可能であることから、農学の専門研究以外にも用途が可

能で、教育現場でもさまざまな活用が期待できる。特に植物の栽培・管理は長期間にわたることが多くその育成が大変であるが、理科室などにアイテラリウムを設置することで、生徒が下校後の夜間や休日等に自宅から植物を観察、制御することができるので、例えば理科の自由研究や課題研究など今までにない展開が可能で、斬新な教育方法としてその試みは価値が高いと考えられる。

①植物の要素欠除試験の実施

中学校2年「植物の体の作りと働き」等の単元に関連し、ミニトマトなどを材料に、N, P, K, Ca, Mg, Feなどを欠いた培養液を用いて植物を水耕栽培し、養分の有無によって、植物体にどのような症状が現れるのかを遠隔操作によって経時的に観察し、記録を取る。本研究で構築したアイテラリウムに関するシステムネットワーク図を1に示す。

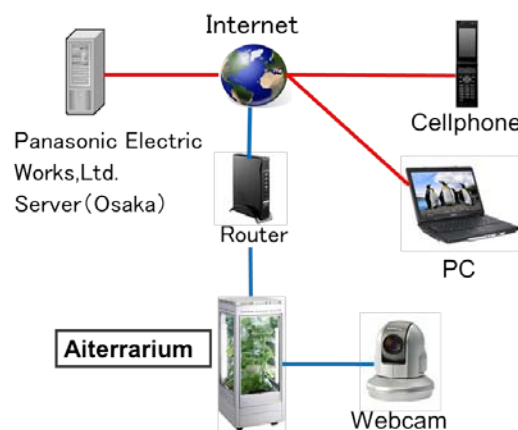


図1 アイテラリウムのネットワーク

②アサガオの光周性に関する教材開発

高等学校の生物には、植物の短日処理、長日処理による花芽形成の実験が必ず掲載されている。しかしながら、高等学校の理科室でこのような実験を行うことは極めて困難であり、そうした高等学校における実践例も見られない。そこで、日長や温度管理が容易で、長期栽培を遠隔操作できるアイテラリウムを利用することによって、植物の光周性に関する教材事例の開発を目指した。アサガオは長日植物であるが、アイテラリウムによって人工的に短日条件で生育させ、開花までのようすを長日処理と比較し、その様子を記録した。

③光合成における同化デンプンの視覚化

小・中学校において植物の葉における同化デンプン生成の検証実験であるヨウ素デンプン反応を視覚的にかつ量的に示す方法を模索する。その際、アイテラリウムを利用して植物の光条件を統一し、ヨウ素デンプン反応で青紫色に呈色した面積をグラフィック処理してデンプン生成を量的に示す。

④キアゲハの生育の教材化

小学校では教科書に、モンシロチョウを用いた昆虫の飼育が取り上げられているが、幼虫の大きさや糞の処理、また北海道という地域性から見ると、モンシロチョウよりキアゲハの方が都合が良い。そこで、キアゲハを卵から幼虫、蛹、羽化、交尾、産卵に至るまでアイテラリウム内で長期飼育を試みて、学校現場での利用の可能性を検討する。

(2) 理科実験プログラムの中・高等学校における実践

①アイテラリウムを利用した指導プログラムの作成

初年度の生物に関する理科実験の検討をもとに、中・高校で実践可能な植物に関する理科実験指導プログラムをより具体的に考案する。

②高校での授業実践

①で考案した指導プログラムをもとに、高校にアイテラリウムを設置し、大学に設置済みのアイテラリウムと連携して、授業実践を行い、その効果を検証する。

③効果の検証

高校での授業実践に際して、授業実践の前後でアンケートを実施し、授業を実施したことに対する意識の変容を調査し、その効果を検討する。更に意識調査の回答をもとに統計ソフトで因子分析を行い、どのような意識の変容が見られたかについて構造方程式モデリングを行う。

4. 研究成果

(1) アイテラリウムを利用した生物に関する理科実験の検討

①植物の要素欠除試験の実施

アイテラリウムを用いたファストプランツの要素欠除試験による生育に伴う最長茎長、葉数の推移を図 2、3 に示す。発芽後数日経つと各培養区で生育の違いが見られるが、播種後 2 週間ほどでその差異が顕著になった。最長茎長は、最終的には完全区>-Fe 区>-Mg 区>-N 区>-P 区>-Ca 区>-K 区の順となり (図 2)、葉数においてもほぼ同様の傾向を示した (図 3)。形態に見られる特徴として、-N 区では植物体の成長はみられるが、葉が極めて矮小となり、-P 区では極端に矮性化したまま開花するなどの症状を呈した。-K 区は著しく成長が阻害され、古い下葉から黄化・枯死し、新たに展開した新葉は暗緑色が目立ち、葉は矮性化していた。N, P, K は、三大肥料として植物の生育には不可欠な養分であるが、これらを欠除させた処理区では完全区に比べ生育が大きく抑制されることが確認できた。-Ca 区では成長が悪く、葉は濃い色を呈した。-Mg 区では葉の周りから網目状に黄化するクロロシスが顕著に見ら

れたが、これは Mg 欠乏症の典型的な症状である。-Fe 区では、本実験では特に目立った黄白色化はみられずに、成長も完全区に次いで大きく成長した。このように、大学で行ったファストプランツを用いた要素欠除試験では、養分の欠除による栄養生理障害が視覚的に容易に観察できたことから、植物に必要な養分を理解させる実験教材として、水耕栽培は極めて有効な方法であることが示唆された。

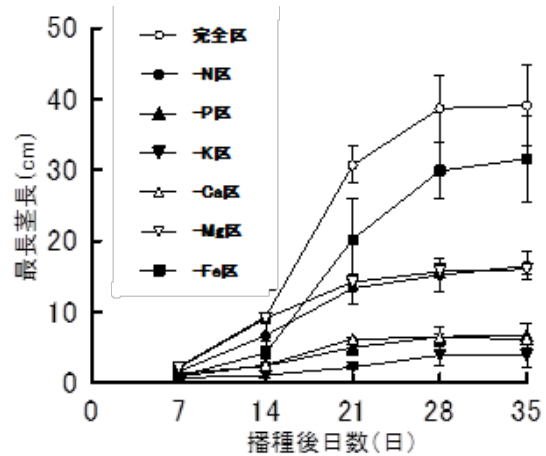


図 2 生育に伴う最長茎長の推移

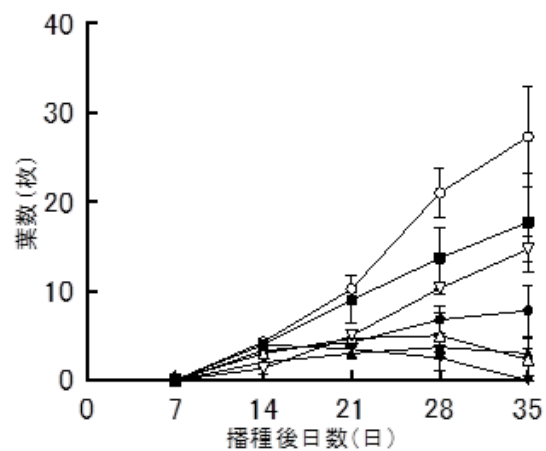


図 3 生育に伴う葉数の推移

また、アイテラリウムのウェブカメラを使用することで離れた場所からも栽培の様子を観察したり、栽培条件を制御できるので、教師の省力化という観点からも管理が極めて容易である (図 4)。

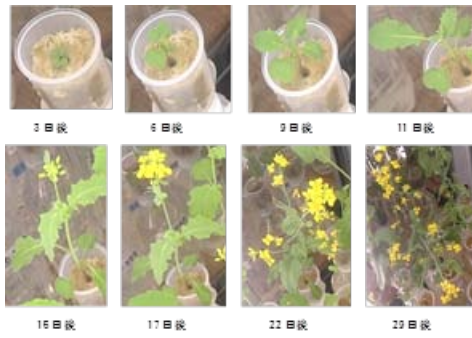


図4 ウェブカメラによる遠隔撮影

②アサガオの光周性に関する教材開発

アサガオは通常春に播種するが、アイテラリウムでは時期を選ばずに栽培できる。実験は10月下旬に播種し、通常(長日)、短日、光中断の3条件で栽培したところ、長日は12月10日、短日は11月25日、光中断は11月23日に開花した。特に短日処理では、アサガオの開花は早まり、草丈も大変小さいことが分かった(図5)。これは、高校の教科書や資料集に示されているものと変わらない結果が得られ、アイテラリウムの利用の成果と考えられる。



図5 短日処理により開花したアサガオ

③光合成における同化デンプンの視覚化

光合成におけるデンプン生成を調べる実験で、ヨウ素デンプン反応で青紫色に呈色した葉のうち、8:00~16:00の9枚を白黒画像に変換し図6に示した。照明を点けた8:00においては白いが、これは二日間光を遮断したことで、それまでに葉にできたデンプンが転流したことを示している。9:00、10:00においては徐々にデンプンができ始め、9:00、10:00の黒比率は79.9%、83.8%となった。11:00以降、時間でほぼ葉全体にデンプンができた。8:00~9:00の間に急激に約80%のヨウ素デンプン反応が見られたため、今後、より短期間に葉を採取し、実験していくことでより明確に推移を追っていくことができる。また、アイテラリウム内のライトが50000Lux程度であり、今回はトップライト・サイドライト両方で照射していたため、今後はトップライトのみ、サイドライトのみで実験することでより推移が明確になって

いくと思われた。

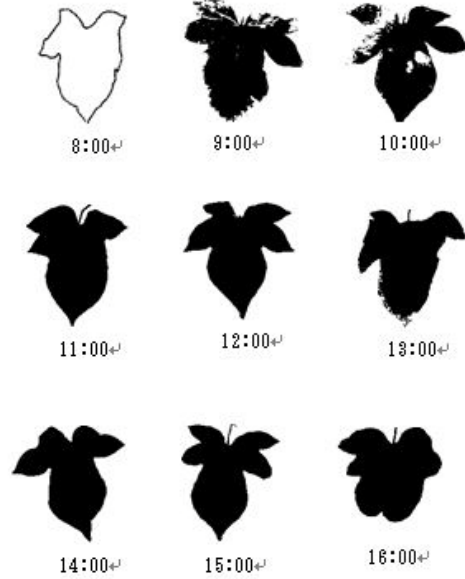


図6 ヨウ素デンプン反応を可視化

④キアゲハの生育の教材化

アイテラリウムで飼育したキアゲハの産卵から孵化までは、約1カ月で観察することができた(図7)。これは、従来から教材として使用されているモンシロチョウとほぼ同じ結果である。したがって、キアゲハの飼育を行っても飼育期間に大きな差はないと考えられ、モンシロチョウに代わる教材として十分活用できる。幼虫の時期における発育ステージの割合を図8に示す。これよりキアゲハの幼虫は、3齢で過ごす時期が最も長いことが分かる。また、全発育ステージにおいて色や形があまり変化しないモンシロチョウと異なり、キアゲハの幼虫は体色変化が顕著である。したがって、幼虫の体長増加と同時に発育ステージの変化も確認することができ、観察者の興味が持続しやすく、昆虫の生態に関する理解を促すことができると思われる。アイテラリウムを使用することで、北海道地方では年2化のキアゲハの飼育を通年行うことが可能であり、食草の栽培も含めて長期飼育が容易であると推察された。



図7 キアゲハの生育ステージ

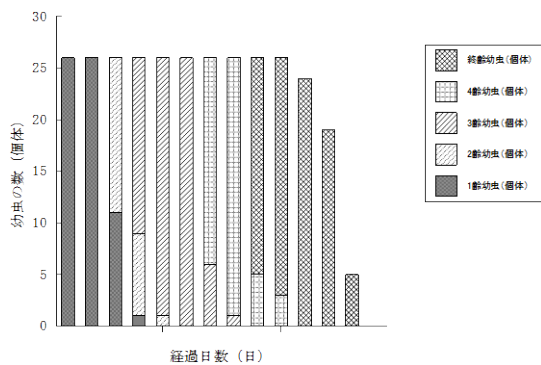


図8 幼虫の生育ステージの割合

(2) 理科実験プログラムの中・高等学校における実践

本実践においては、「植物の継続的な観察」を「アイテラリウム」を用いて行うことによる生徒たちの意識の変化を調査した。

まず、Varimax 回転後の最終的因子パターンと因子間相関を表1に示す。なお、回転前の6因子で25項目の全分散を説明する割合は57.6%であった。因子負荷量の絶対値が0.40以上の質問項目の内容とともに、各因子の意味を解釈した。第1因子は問13-10, 29, 13, 33, 21, 34, 24の7項目から構成され、「植物についての調査や研究をしてみたい」、「植物の継続的な観察を行うことで、科学的知識が得られると思う」といった、植物を学習することに対して好感を抱く内容に強い負荷量を示した。そのため、この因子を「植物学習への積極性」因子と命名した。第2因子は問13-28, 14の2項目から構成され、「植物を育てることで、責任感が育つと思う」といった、植物を栽培することによって自分自身の内面の成長をすることができるという内容に強い負荷量を示した。そのため、この因子を「自分自身の成長」因子と命名した。第3因子は問13-3, 4の2項目から構成され、「植物を育てることで、植物を大切にしようとする態度が育まれると思う」といった、植物を愛する心情に関する内容に強い負荷量を示した。そのため、この因子を「生命尊重」因子と命名した。第4因子は、問13-31, 32の2項目から構成され、「植物の世話をするのは面倒だと思う」といった、植物栽培を負担に感じている内容に強い負荷量を示した。そのため、この因子を「植物栽培への負担軽減」因子と命名した。第5因子は、問13-25, 35の2項目から構成され、「携帯電話は、学習にも積極的に導入していくべき学習ツールだと思う」といった、情報通信機器の利用を肯定する内容に強い負荷量を示した。そのため、この因子を「情報通信機器利用への積極性」因子と命名した。

第6因子は、問13-22, 23の2項目から構成され、「パソコンの操作方法について学習したいと思う」といった、知識の獲得を好む内

容に強い負荷量を示した。そのため、この因子を「知識獲得」因子と命名した。

次に事後アンケートの問5「観察を行ったことによる植物栽培への興味」と問6「アイテラリウムを観察に用いたことについて」を上位概念とし、問5を「植物栽培への興味」因子、問6を「アイテラリウムの活用」因子と命名し、これら2つの上位概念に上述した6つの因子がどのように影響を及ぼすのかを検討した。

まず、抽出された6つの因子と上位概念である「アイテラリウムの活用」因子（以下、因子7とする）と「植物栽培への興味」因子（以下、因子8とする）の相関を調べるため、Pearsonの相関係数を求めた。因子1と因子8、因子2と因子3、因子3と因子5、因子3と因子7、因子4と因子7との間で相関が見られた。また、それら8因子で重回帰分析を行った。因子1と因子8、因子2と因子7、因子3と因子7、因子4と因子7が影響を与えていることが読み取れた。これらの状況を考慮して因果モデルを作成し、共分散分析によりモデル適合を行った。その結果を図8に示す。モデルの適当さを判断する指標であるモデル適応度は、CFI (Comparative Fit Index)=0.806, RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)=0.095となった。また、要因構造を詳細に検討するため、情報通信機器を用いた植物栽培における、アイテラリウムの活用と、情報通信機器を用いた植物栽培における、植物栽培への興味の要因の直接効果、間接効果、総合効果をまとめた。「情報通信機器への積極性」因子、「植物学習への積極性」因子、「知識獲得」因子は相互に影響しあっていた。そのうち、「情報通信機器への積極性」因子と「植物学習への積極性」因子は、「植物栽培への興味」因子に対して影響を与えていた。また、「自分自身の成長」因子は、「知識獲得」因子、「生命尊重」因子と相互に関連しあい、「植物栽培への興味」因子に対して影響を与えていた。「生命尊重」因子は、「情報通信機器への積極性」因子と相互に関連しあい、「アイテラリウムの活用」因子に対して影響を与えていた。また、「植物栽培への負担軽減」因子は、「アイテラリウムの活用」因子に対して影響を与えていた。さらに、「アイテラリウムの活用」因子は、「植物栽培への興味」因子に対して影響を与えていた。これらのことから、植物への愛着や、栽培に手間をかけたくないといった思いが、アイテラリウムの活用を促した。しかし、遠隔操作が可能なアイテラリウムを用いることによって、植物栽培への興味が高まると考えられる。さらに、植物についての学習を行い、様々な知識を獲得した結果、植物の栽培への興味がわくことが示唆される。つまり、アイテラリウムを用いて植物栽培を行うこと

によって、生徒たちの植物栽培への興味関心が高まると考えられる。

表 1 因子分析の結果

質問項目	因子					共通性
	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	
13-08 植物についての調査を研究してみたい	0.779	0.156	-0.134	-0.128	-0.062	0.401
13-09 様々な植物を観察してみたい	0.762	0.192	0.117	-0.158	0.010	0.348
13-10 植物の観察的な観察を行うことで、科学的な知識を得られると思う	0.700	0.115	0.348	0.135	-0.046	0.149
13-11 植物を見て、花が咲いたり、実ができてきたらうれしい	0.680	0.033	-0.014	-0.179	0.349	-0.225
13-12 植物の生長は、観察や観察による成長が喜ばれると思う	0.656	0.034	0.062	-0.166	0.198	0.009
13-13 植物を育てる楽しみは、観察や観察による成長が喜ばれると思う	0.634	-0.040	-0.118	-0.007	0.129	-0.274
13-14 植物について学ぶより、育てる方が好き	0.621	0.275	-0.274	-0.185	-0.148	0.355
13-15 植物を育てることで、責任感が育つと思う	0.615	0.719	0.116	0.071	-0.008	-0.071
13-16 育てることで、心がなごむようになると思う	0.609	0.625	0.230	0.042	0.111	-0.242
13-17 植物を育てることで、植物を大切にしようとする態度が育まれると思う	-0.591	0.171	0.683	-0.028	0.172	-0.133
13-18 植物を育てることで、自分の心を開放しようとする態度が育まれると思う	0.585	0.209	0.583	0.281	-0.067	-0.113
13-19 植物の生長するの仕組みが面白いと思う	-0.583	-0.117	-0.041	0.200	-0.050	-0.002
13-20 植物の生長は観察や観察による成長が喜ばれると思う	-0.582	0.158	0.641	0.245	-0.001	0.070
13-21 観察や観察は、学習にも積極的に導入していきたいと思う	0.513	-0.027	0.280	0.405	0.037	0.057
13-22 理科の授業でインターネットを利用したいと思う	0.245	0.231	0.276	0.242	0.216	0.217
13-23 パソコンの操作手法について学習したいと思う	-0.016	-0.146	-0.069	-0.013	0.279	-0.709
13-24 植物の生長に学習するための土がなくていいと思う	0.273	-0.031	0.015	0.004	0.077	-0.629
累積説明率	21.10%	34.31%	42.71%	49.24%	53.96%	57.56%

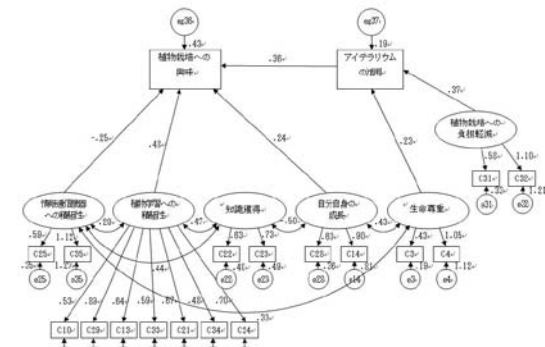


図 8 構造方程式モデリングの結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① 安藤秀俊・酒井麻衣子・馬場信悟，インターネット制御型生物育成システムを利用した植物の要素欠除試験，生物教育，日本生物教育学会，第 52 巻 2 号，1-9，2011，査読有り

〔学会発表〕 (計 5 件)

- ① 中村奈央・安藤秀俊，アイテラリウムを用いた生物教材の検討－光合成におけるデンプン生成を調べる実験について－，日本科学教育学会北海道・東北支部会，2012 年 12 月 8 日，北海道教育大学札幌駅前サテライト
- ② 安藤秀俊・酒井麻衣子・中村奈央，動植物の飼育・栽培を生徒の自宅から制御するシステム実用化の可能性－北海道教育大学理科プロジェクトの一環として－，日本科学教育学会第 36 回全国大会，2012 年 8 月 27 日，東京理科大学

- ③ 中村奈央，安藤秀俊，生物育成システムを用いた生物教材の利用，平成 23 年度北海道教育大学旭川実践教育学会研究大会，2011 年 12 月 3 日，北海道教育大学旭川校
- ④ 酒井麻衣子・安藤秀俊，アイテラリウムを用いたキアゲハの継続的な観察教材の検討と実践，日本生物教育学会第 89 回全国大会，2011 年 1 月 8 日，埼玉大学
- ⑤ 酒井麻衣子・安藤秀俊，遠隔制御型植物育成システムを使った植物の要素欠除実験の検討，日本理科教育学会第 60 回全国大会，2010 年 8 月 7 日，山梨大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安藤 秀俊 (ANDOH HIDETOSHI)
北海道教育大学・教育学部・教授
研究者番号：70432820

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし