

修士論文

中学校におけるカーボンニュートラルについての 授業実践とその分析

弘前大学大学院教育学研究科 学校教育専攻

教科実践コース 理科教育領域

18GP304 川村 梓

目次

第1章 序論.....	1
第2章 スイートソルガムの栽培.....	3
第1節 栽培の概要.....	3
2-1-1 2017年におけるスイートソルガムの栽培.....	3
2-1-2 2018年におけるスイートソルガムの栽培.....	4
2-1-3 2019年におけるスイートソルガムの栽培.....	4
第2節 花穂・分茎切除による糖度の検証.....	4
2-2-1 糖度の検証.....	4
2-2-2 花穂・分茎切除による原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果.....	5
2-2-3 花穂・分茎切除による原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の考察.....	6
第3節 教材化に適した栽培方法の再検討.....	6
2-3-1 栽培方法の再検討.....	6
2-3-2 栽培方法による原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果.....	7
2-3-3 栽培方法による原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の考察.....	8
第3章 授業実践.....	29
第1節 授業実践の概要.....	29
3-1-1 2017年の授業実践の概要.....	29
3-1-2 2018年の授業実践の概要.....	38
3-1-3 2019年の授業実践の概要.....	45
第4章 授業実践の効果.....	51
第1節 アンケート結果.....	51
4-1-1 2017年の事前アンケートと事後アンケートの比較.....	55
4-1-2 2016年の環境意識アンケートと2017年の環境意識アンケートの比較.....	62
4-1-3 2016年の事後アンケートと2017年の事後アンケート.....	69
4-1-4 2018年の事前アンケートと事後アンケート.....	75
4-1-5 2018年の環境意識アンケート.....	82
4-1-6 2017年と2018年の事後アンケート.....	89
4-1-7 2019年の事前アンケートと事後アンケート.....	95
4-1-8 2019年の環境意識アンケート.....	102
4-1-9 2018年と2019年の事後アンケート.....	109
第2節 アンケート考察.....	115
4-2-1 2017年の事前アンケートと事後アンケート.....	115
4-2-2 2016年と2017年の環境意識アンケート.....	115
4-2-3 2016年の事後アンケートと2017年の事後アンケート.....	116
4-2-4 2018年の事前アンケートと事後アンケート.....	117
4-2-5 2018年の環境意識アンケート.....	117
4-2-6 2017年の事後アンケートと2018年の事後アンケート.....	118

4-2-7	2019 年の事前アンケートと事後アンケート	118
4-2-8	2019 年の環境意識アンケート	119
4-2-9	2018 年の事後アンケートと 2019 年の事後アンケート	119
総括	121
参考文献	122
謝辞	123

第 1 章 序論

近年、地球温暖化が国際的な問題となっている。産業革命以降、人間活動は約 1.0°C の気温の上昇をもたらしており、現在でも 10 年に 0.2°C のペースで温暖化は進行している。このままのペースでいくと、2030～2050 年には地球温暖化は 1.5°C に達する可能性が高い¹⁾。一方で、2015 年には、パリ協定で「世界全体の平均気温の上昇を工業化以前よりも摂氏二度高い水準を十分に下回るものに抑えること並びに世界全体の平均気温の上昇を工業化以前よりも摂氏一五度高い水準までのものに制限するための努力を（中略）継続すること」²⁾という長期目標が掲げられた。地球の温度が上がっていく中で、気候変動を 1.5°C に抑えるためには、2030 年までに二酸化炭素の排出量を 2010 年比で 45%削減、2050 年頃には実質ゼロとする必要がある¹⁾。このような排出量減を実現させるためには、水素、持続可能なバイオ原料、生産物代替、及び炭素回収・利用・貯留などの新規及び既存技術や実践を組み合わせることが必要である¹⁾。その中でも、バイオ原料から生み出されるバイオマスエネルギーはカーボンニュートラルの観点から非常に期待されている³⁾。バイオマスエネルギーとは、トウモロコシやサトウキビ、生ゴミ、家畜の排出物などのバイオマス由来のエネルギーのことをいい、再生可能エネルギーの一種とされている。地下において固定された炭素を地上に持出し使用して二酸化炭素を排出する化石燃料とは異なり、バイオマス燃料を使用することによって排出される二酸化炭素は、そのバイオマスが吸収した二酸化炭素の量と同じと考えられるため、大気中の二酸化炭素量の増減が無いといえる。このことを「カーボンニュートラル」という。このような点でバイオマスエネルギーは地球温暖化対策のひとつとして期待されている。特に、サトウキビやトウモロコシを原料とするバイオエタノールはガソリンに混ぜることで自動車燃料にも使用することが出来る³⁾。しかし、バイオエタノールの原料に食料を使用することは、物価の上昇や食糧との競合のような食糧問題の原因につながる。そこで、今回は、本研究室の原田拓真氏が行った「スイートソルガム」を用いたバイオエタノール生成の研究を基に、作型や栽培方法の再検討を行った。

一方、学校教育においては、平成 29 年度告示の中学校学習指導要領理科によると、「第 1 分野 (7) 科学技術と人間 (イ) 自然環境の保全と科学技術の利用 ⑦自然環境の保全と科学技術の利用」では、科学技術の利用と自然環境の保全に関わる事例を取り上げ、科学的な根拠に基づいて意思決定する場面を設ける重要性について書かれている⁴⁾。つまり、学校教育における環境教育では、エネルギー

や環境についての知識を得るだけではなく、得た知識を生かし、自ら考え、意見を持つことが大切である。そのためには、前述の環境問題について実感できるような教材の開発が必要である。再生可能エネルギーについて、特に風力や太陽光発電などは実験し実感できる教材が種々開発されている一方で、バイオマスのカーボンニュートラルという概念を実感できる教材はほとんどない。バイオエタノールを用いた授業実践報告は、廃棄されるリンゴを用いたものが報告されているもの⁵⁾は報告されているが、スイートソルガムを原料としたバイオエタノールを用いた授業実践報告はまだない。そこで、本研究は、観察・実験を通してバイオエタノールやカーボンニュートラルについて学ぶ授業の考案、および実践とその効果を測ることを目的として行った。

本論文では、第2章でスイートソルガムの栽培方法の再検討、第3章でカーボンニュートラルについての授業実践の概要、第4章では授業実践の効果について述べる。

第2章 スイートソルガムの栽培

第1節 栽培の概要

2-1-1 2017年におけるスイートソルガムの栽培

2017年の原田拓真氏の修士論文によると、バイオエタノールの生成に適する品種は高糖分ソルゴー、最適な播種時期は5月である。また、収穫時期については、11月収穫の個体の糖度が高いことも分かっている⁶⁾。

2017は、畑による慣行栽培を行った。栽培場所は弘前大学教育学部中庭（以下、中庭）の畑である。まず、畑への播種は2017/5/19に行った。中庭内の畑の一角を借り、8か所×2列で計16か所に高糖分ソルゴーを播種した。土に人差し指の第1関節程度の深さの穴をつくり、種を4～5粒程度播き、上から土をかぶせた。その後、2017/5/30には、発芽したスイートソルガムが、1か所に付き1～2本になるよう間引きを行った。水やりや除草は適宜行い、施肥は緩効性化学肥料（N:P:K=15:15:15）（写真2-1）を規定量与えた。また、2017/8/23には、スイートソルガムの主茎への糖度の蓄積を高めるために、慣行栽培の個体14個体のうち7個体に対して花穂と分茎を切除する処理を行った（写真2-2, 2-3, 2-4）。処理を行う個体（以下、処理個体とする）と行わない個体（以下、無処理個体とする）は隣り合うように、交互に処理をした。2列のうち西側の1列は、南側から順に処理個体、無処理個体、処理個体、無処理個体、処理個体、無処理個体、処理個体、無処理個体とし、東側1列は南側から順に無処理個体、処理個体、無処理個体、処理個体、無処理個体、処理個体とした。収穫は11月に行った。

また、土のう袋による袋栽培も行った。2017/5/19に、教育学部ビニールハウス内で袋栽培用に高糖分ソルゴーの播種を行った。25穴セルトレイ2つに土を入れ、人差し指の第1関節程度の深さの穴をつくり、種を2～3粒程を播き、上から土をかぶせたものを作製した。その後、2017/5/30にセルトレイに発芽したスイートソルガムが、1か所に付き1～2本になるよう間引きを行った。セルトレイに播種したスイートソルガムの定植は2017/6/27に行った（写真2-5, 2-6）。千年農場（写真2-7）より土を土のう20袋に採取し、袋は中庭に置き、セルトレイで育苗した高糖分ソルゴーを定植した。このとき、1つの袋につき2株、計40株を定植した。水やりや除草は適宜行い、施肥は緩効性化学肥料（N:P:K=15:15:15）（写真2-1）を規定量与えた。収穫は11月に行った。

2-1-2 2018 年におけるスイートソルガムの栽培

土のう袋による袋栽培を行った。使用した品種は高糖分ソルゴー、栽培場所は中庭である。まず、2018/5/22 に、教育学部ビニールハウス内で袋栽培用に高糖分ソルゴーの播種を行った（写真 2-8）。40 穴セルトレイに土を入れ、人差し指の第 1 関節程度の深さの穴をつくり、種を 2～3 粒程を播き、上から土をかぶせたものを作製した。その後、セルトレイに発芽したスイートソルガムが、1 か所に付き 1～2 本になるよう間引きを行った。セルトレイに播種したスイートソルガムの定植は 2018/6/25 に行った（写真 2-9）。千年農場より土を土のう 20 袋に採取し、袋は中庭に置き、セルトレイで育苗した高糖分ソルゴーを定植した。このとき、1 つの袋につき 2 株、計 40 株を定植した。水やりや除草は適宜行い、施肥は緩効性化学肥料（N:P:K=15:15:15）（写真 2-1）を規定量与えた。収穫前に雪が積もったため、収穫及び搾汁は行わなかった。

2-1-3 2019 年におけるスイートソルガムの栽培

土のう袋による袋栽培を行った。使用した品種は高糖分ソルゴー、栽培場所は中庭である。まず、2019/5/31 に、教育学部ビニールハウス内で袋栽培用に高糖分ソルゴーの播種を行った。15 穴セルトレイ 2 つに土を入れ、人差し指の第 1 関節程度の深さの穴をつくり、種を 2～3 粒程を播き、上から土をかぶせたものを作製した。その後、セルトレイに発芽したスイートソルガムが、1 か所に付き 1～2 本になるよう間引きを行った。セルトレイに播種したスイートソルガムの定植は 2019/7/10 に行った（写真 2-10）。千年農場（写真 2-11）より土を土のう 14 袋に採取し、中庭に置き、セルトレイで育苗した高糖分ソルゴーを定植した。このとき、1 つの袋につき 2 株（1 袋のみ 1 株）、計 27 株を定植した。水やりや除草は適宜行い、施肥は緩効性化学肥料（N:P:K=15:15:15）（写真 2-1）を規定量与えた。収穫は 11 月に行った。

第 2 節 花穂・分茎切除による糖度の検証

2-2-1 糖度の検証

スイートソルガムを教材化には、(1) 実験を行うための十分な液量、(2) エタノール生成のための十分な搾汁液の糖度、を得られる品種が必要である。2016 年の原田氏の修士論文では、搾汁液の質

量、搾汁液の糖度の条件を満たす品種として、「高糖分ソルゴー」が最適であると示されている⁶⁾。また、糖度をさらに上げるためには、出穂期後に穂の切除を行うと Brix%が高まることも分かっている⁸⁾。そこで、2017 年は花穂の切除を行うことと茎の糖度の関係を検証することとした。

2017 年の検討には、5 月に播種し 11 月に収穫した慣行栽培の高糖分ソルゴーを用いた。慣行栽培の 14 個体のうち 7 個体は、最も成長している茎を選び、それ以外の茎を切除し主茎のみとし、その主茎の花穂を切除する処理を 2017/8/23 に行っている。収穫は 2017/11/22 を行い、処理個体 7 個体と無処理個体 7 個体の計 14 個体を収穫した。この際、無処理個体は、主茎を 1 本にしている処理個体と条件をそろえるため、いくつかの茎が生えている中から長さ・太さを比べてもっとも成長していると思われるもののみを収穫した。収穫した個体は教育学部ラボバス本部内の一角で 2 日保管し、2017/11/24 に搾汁を行った。搾汁はサトウキビの搾汁に用いられる搾汁器（図 2-12）で行った。処理個体は、個体ごとに草丈（cm）と生重量（g）を測定した後、剪定ばさみで花穂を切除し、葉を取り除いた状態（以下、原料茎とする）にする。そして、原料茎長（cm）と原料茎重（g）を測定してから搾汁器でしぼる。得られた搾汁液は 1.5 mL ペットボトルに集め、デジタル糖度計であるデジタル糖度計である Spitz IPR-101α ASONE（図 2-13）を用いて栽培方法ごとに搾汁液糖度（Brix%）を測定した。また、処理個体は生重量（g）を測定したのち、葉を取り除いて原料茎とする。原料茎は無処理個体と同様に原料茎長（cm）と原料茎重（g）を測定してから搾汁する。搾汁液は 1.5 mL ペットボトルに集め、デジタル糖度計であるデジタル糖度計である Spitz IPR-101α ASONE（図 2-13）を用いて栽培方法ごとに搾汁液糖度（Brix%）を測定した。搾汁液集めたペットボトルは処理個体で 1 本、無処理個体で 2 本となった。

2-2-2 花穂・分茎切除による原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果

2017 年 11 月に収穫した慣行栽培の各個体の草丈（cm）と生重量（g）、原料茎長（cm）と原料茎重（g）、搾汁液質量（g）と搾汁液糖度（Brix%）を表 2-1、2-2 に示す。花穂・分茎切除処理を行った際、処理の仕方を誤ったため、その個体と、その南側の隣の正常に成長していた無処理の個体は今回の測定に含めないこととした。その結果、無処理個体・処理個体ともに 7 個体の収穫となった。

まず、無処理個体と処理個体間での原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度を比較するた

め、各個体での原料茎長と原料茎の質量、原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の平均値に有意な差があるか Welch t-test を行った。

検定の結果、原料茎長は、無処理個体と処理個体に有意な差が認められた。 $(t=9.15, P=1.80 \times 10^{-06})$ 。原料茎の質量の間でも無処理個体と処理個体に有意な差が認められた $(t=3.04, P=0.0160)$ 。搾汁液の質量でも無処理個体と処理個体の間に有意な差が認められた $(t=3.48, P=0.00511)$ 。一方、搾汁液の糖度では無処理個体と処理個体の間に有意な差が認められなかった $(t=4.04, P=0.0561)$ 。

以上より、花穂・分茎の切除を行うと、処理を行った個体と行っていない個体の間では、原料茎長と原料茎重、搾汁液質量には変化が見られるが、搾汁液糖度はほとんど変わらないことがわかった。

2-2-3 花穂・分茎切除による原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の考察

慣行栽培での処理個体と無処理個体との間では、原料茎長、原料茎重、搾汁液の質量ともに有意な差が認められた。表 2-1 より、処理個体は無処理個体よりも小さいものが多くみられた。無処理個体と処理個体が交互に隣あっていたことから、花穂のある無処理個体が処理個体に覆いかぶさる形となり、処理個体の成長に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。また、糖度は処理個体の平均値の方がわずかに高かったが、有意な差が認められるほどではなかった。前述のように、無処理個体が処理個体の成長を妨げてしまったことで、処理個体が十分に成長できなかったことが原因と推測される。

第 3 節 教材化に適した栽培方法の再検討

2-3-1 栽培方法の再検討

2017 年の原田氏の修士論文によると、高糖分ソルゴーは、粗放栽培と袋栽培で同じ程度に成長することが示されている⁷⁾。そこで、2017 年と 2019 年は、その結果の再現性を確かめるために袋栽培を行った。

2017 年の検討には、5 月に播種し 11 月に収穫した袋栽培の高糖分ソルゴーを用いた。収穫は 2017/11/22 に行った。収穫した個体は教育学部ラボバス本部内の一角で 1 日保管し、2017/11/23 に搾汁を行った。搾汁はサトウキビの搾汁に用いられる搾汁器（図 2-12）で行った。この際、いくつ

かの茎が生えている中から長さ・太さを比べ、もっとも成長していると思われるものを用いた。また、他の茎のかげとなり、搾汁液を得るのに十分成長できなかったと思われる個体は除外した。その結果、35 個体となった。収穫した個体は、個体ごとに草丈 (cm) と生重量 (g) を測定した後、剪定ばさみで花穂を切除し、葉を取り除いた原料茎にする。そして、原料茎長 (cm) と原料茎重 (g) を測定してから搾汁器でしぼる。得られた搾汁液は 1.5 mL ペットボトルに集め、デジタル糖度計であるデジタル糖度計である Spittz IPR-101α ASONE (図 2-13) を用いて 3 回糖度 (Brix%) 測定した。搾汁液を集めたペットボトルは 3 本となった。

2019 年の検討にも、5 月に播種し 11 月に収穫した袋栽培の高糖分ソルゴーを用いた。収穫は 2019/11/20 に行った。収穫した個体は、サトウキビの搾汁に用いられる搾汁器 (図 2-12) で搾汁した、この際、2017 年と同様に、もっとも成長していると思われるものを用いた。また、他の茎のかげとなり、搾汁液を得るのに十分成長できなかったと思われる個体は除外した。その結果、25 個体となった。収穫した個体は、個体ごとに草丈 (cm) と生重量 (g) を測定した後、剪定ばさみで花穂を切除し、葉を取り除いた原料茎にする。そして、原料茎長 (cm) と原料茎重 (g) を測定してから搾汁器でしぼる。得られた搾汁液はデジタル糖度計である Spittz IPR-101α ASONE (図 2-13) を用いて糖度 (Brix%) 測定した。

2-3-2 栽培方法による原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果

2017 年の袋栽培と 2015 年の粗放栽培での原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果である。まず袋栽培と粗放栽培での比較に用いた個体の原料茎長と原料茎の質量、搾汁液の質量と搾汁液糖度を表 2-3、2-4、2-5 に示す。粗放栽培は、2015 年には原田氏が播種時期と収穫時期の検討に用いた 5 月播種 11 月収穫の高糖分ソルゴーの個体を用いた。袋栽培と粗放栽培での原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度を比較するため、統計解析を行った。原料茎長と原料茎質量、搾汁液質量と搾汁液糖度について、栽培方法による平均値の差を Welch t-test で求めた。その結果、原料茎長は袋栽培と粗放栽培との間に有意な差が認められなかった ($t=0.575$, $P=0.575$)。原料茎の質量でも袋栽培と粗放栽培との間に有意な差が認められなかった ($t=0.969$, $P=0.352$)。搾汁液の質量でも袋栽培と粗放栽培との間に有意な差が認められなかった ($t=0.0589$, $P=0.954$)。搾汁液

の糖度でも袋栽培と粗放栽培との間に有意な差が認められた ($t=12.3$, $P=6.05\times 10^{-7}$)。

次に、2019 年の袋栽培と 2015 年の粗放栽培での原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の結果である。まず袋栽培と粗放栽培での比較に用いた個体の原料茎長と原料茎の質量、搾汁液の質量と糖度を表 2-3、2-6 に示す。粗放栽培は、2015 年には原田氏が播種時期と収穫時期の検討に用いた 5 月播種 11 月収穫の高糖分ソルゴーの個体を用いた。袋栽培と粗放栽培での原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度を比較するため、統計解析を行った。原料茎長と原料茎質量、搾汁液質量と搾汁液糖度について、栽培方法による平均値の差を Welch t-test で求めた。その結果、原料茎長は袋栽培と粗放栽培との間に有意な差が認められなかった ($t=0.207$, $P=0.838$)。原料茎の質量でも袋栽培と粗放栽培との間に有意な差が認められなかった ($t=0.165$, $P=0.111$)。搾汁液の質量でも袋栽培と粗放栽培との間に有意な差が認められなかった ($t=1.82$, $P=0.0810$)。搾汁液の糖度では袋栽培と粗放栽培との間に有意な差が認められた ($t=8.45$, $P=1.22\times 10^{-6}$)。

以上より、高糖分ソルゴーでは、原料茎長と原料茎重、搾汁液質量について栽培方法による変化が無いことがわかった。一方で、搾汁液糖度は袋栽培の方が有意に高い値であるとわかった。

2-3-3 栽培方法による原料茎長と原料茎重、搾汁液質量と搾汁液糖度の比較の考察

まず、原料茎長と原料茎重、搾汁液質量について述べる。2015 年の粗放栽培と 2017 年の袋栽培、2019 年の袋栽培とをそれぞれ比較した結果より、有意な差は認められなかったことから、粗放栽培と袋栽培は同等に成長することが示され、2017 年の原田氏の修士論文の再現をすることができた。

次に搾汁液糖度について述べる。2015 年粗放栽培と 2017 年の袋栽培、2019 年の袋栽培とをそれぞれ比較した結果より、有意な差が認められた。これは、11 月の気温の違いが関係していると考えられる。2015 年の 11 月の平均気温は 11.6°C ⁹⁾であるのに対し、2017 年と 2019 年の 11 月の平均気温ではそれぞれ 6.1°C 、 6.0°C であった¹⁰⁾¹¹⁾。また、2015 年の初雪は 12 月だったのに対し、2017 年と 2019 年はそれぞれ収穫前に初雪が観測されている¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。雪が降ったことによる低温ストレスによる糖蓄積によって、2017 年と 2019 年での袋栽培の糖度の方が有意に高くなったのではないかと推測される。

以上より、糖度の違いはあったが、バイオエタノール生成に適したスイートソルガムは、土のう袋を用いた袋栽培でも栽培可能である。

表 2-1 2017 年に収穫した慣行栽培の各個体の草丈と生重量、原料茎長と原料茎重、搾汁液質量

	個体番号	草丈/cm	生重量/g	原料茎長/cm	原料茎重/g	質量/g
無 処 理 個 体	1	281	795	252	598	222
	2	292	875	268	699	206
	3	295	726	269	520	201
	4	294	869	264	685	197
	5	296	924	269	728	218
	6	305	840	280	678	162
	7	301	682	274	543	142
処 理 個 体	1	-	711	211	655	251
	2	-	464	220	419	127
	3	-	656	236	609	197
	4	-	340	225	283	81.8
	5	-	687	225	632	123
	6	-	356	216	326	75.7
	7	-	362	213	308	76.7

表 2-2 2017 年に収穫した慣行栽培各個体の搾汁液の糖度 (Brix%)

	糖度/Brix% (1 回目)	糖度/Brix% (2 回目)	糖度 Brix% (3 回目)
処理個体	21.8	21.7	22.0
無処理個体①	21.4	21.5	21.5
無処理個体②	21.4	21.5	21.5

表 2-3 2015 年に収穫した粗放栽培個体の原料茎長と原料茎重、搾汁量質量と搾汁液糖度

個体番号	原料茎長/cm	原料茎重/g	搾汁液質量/g	糖度/Brix%
1	195	205	35.0	9.50
2	253	380	106	11.7
3	199	233	73.7	11.4
4	210	278	78.5	11.3
5	217	273	74.6	12.2
6	286	535	146	13.4
7	258	513	171	13.2
8	237	373	123	13.2
9	182	653	236	14.1
10	198	253	74.1	16.6

表 2-4 2017 年に収穫した袋栽培個体の原料茎長と原料茎重、搾汁液質量

個体番号	原料茎長/cm	原料茎重/g	搾汁液質量/g
1	226	424	124
2	197	383	74.8
3	215	472	137
4	158	186	42.3
5	216	494	116
6	229	333	130
7	186	405	79.2
8	241	586	83.8
9	229	428	93.2
10	219	362	86.9
11	258	561	101
12	237	490	92.9
13	205	332	101
14	202	532	89.2
15	239	475	103
16	187	349	66.5
17	267	485	76.6
18	199	402	102
19	246	504	93.8
20	260	518	177
21	227	428	154
22	238	464	166
23	210	369	120
24	215	424	122
25	217	420	124
26	229	418	86.0
27	214	341	140
28	234	438	96.3
29	184	305	129
30	195	389	120
31	227	402	137
32	257	685	246
33	152	142	83.7
34	161	390	77.2
35	207	313	100

表 2-5 2017 年の袋栽培の搾汁糖度 (Brix%)

	糖度/Brix% (1 回目)	糖度/Brix% (2 回目)	糖度/Brix% (3 回目)
袋栽培個体①	20.1	19.8	20.2
袋栽培個体②	20.2	20.4	20.2
袋栽培個体③	20.3	20.3	20.3

表 2-6 2019 年に収穫した袋栽培個体の原料茎長と原料茎重、搾汁量質量と搾汁液糖度

個体番号	原料茎長/cm	原料茎重質量/g	搾汁液質量/g	糖度(Brix%)
1	290	900	321	18.9
2	303	900	332	17.5
3	292	640	226	16.7
4	177	220	60.0	19.9
5	169	240	69.0	20.0
6	170	260	81.0	19.7
7	202	420	121	20.7
8	171	220	54.0	19.4
9	166	320	103	19.1
10	192	320	88.0	19.0
11	166	200	43.0	18.9
12	196	260	69.0	19.9
13	196	380	110	18.0
14	197	280	90.0	18.3
15	216	360	119	15.2
16	191	340	102	20.3
17	188	300	97.0	16.0
18	221	400	142	18.8
19	211	480	147	18.8
20	172	300	92.0	19.0
21	262	720	232	17.2
22	290	740	263	16.6
23	317	900	322	18.2
24	310	740	275	17.5
25	275	660	241	16.8
26	288	700	228	17.2

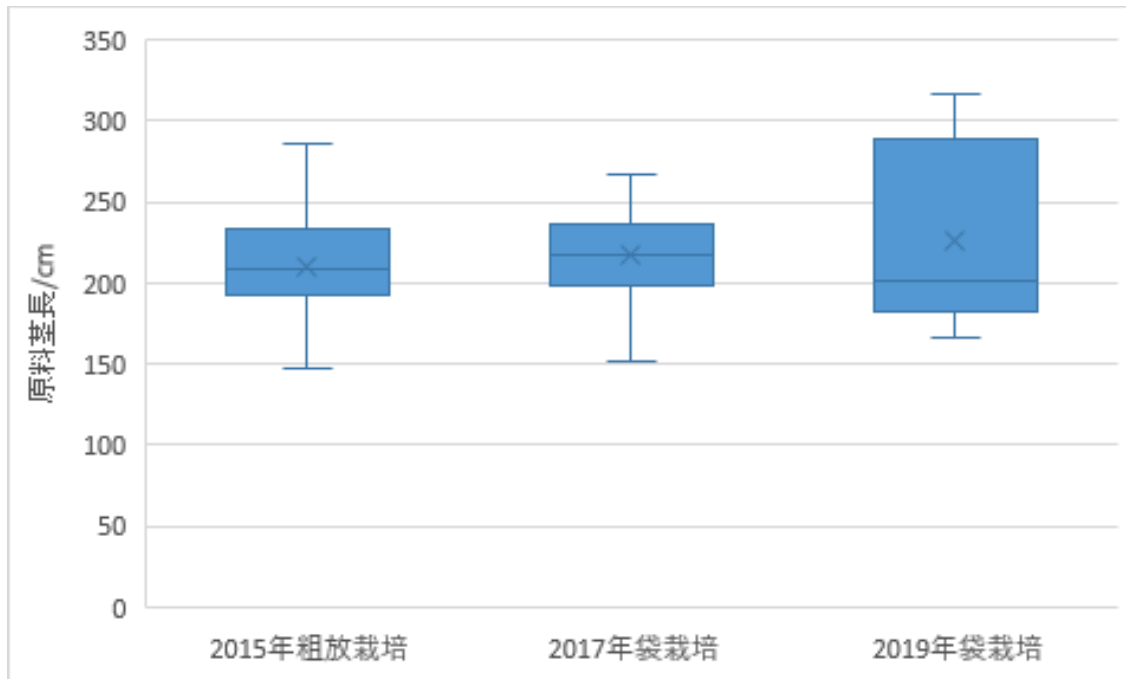


図 2-1 2015 年粗放栽培と 2017 年袋栽培と 2019 年袋栽培の原料茎長の箱ひげ図 (×は平均値)

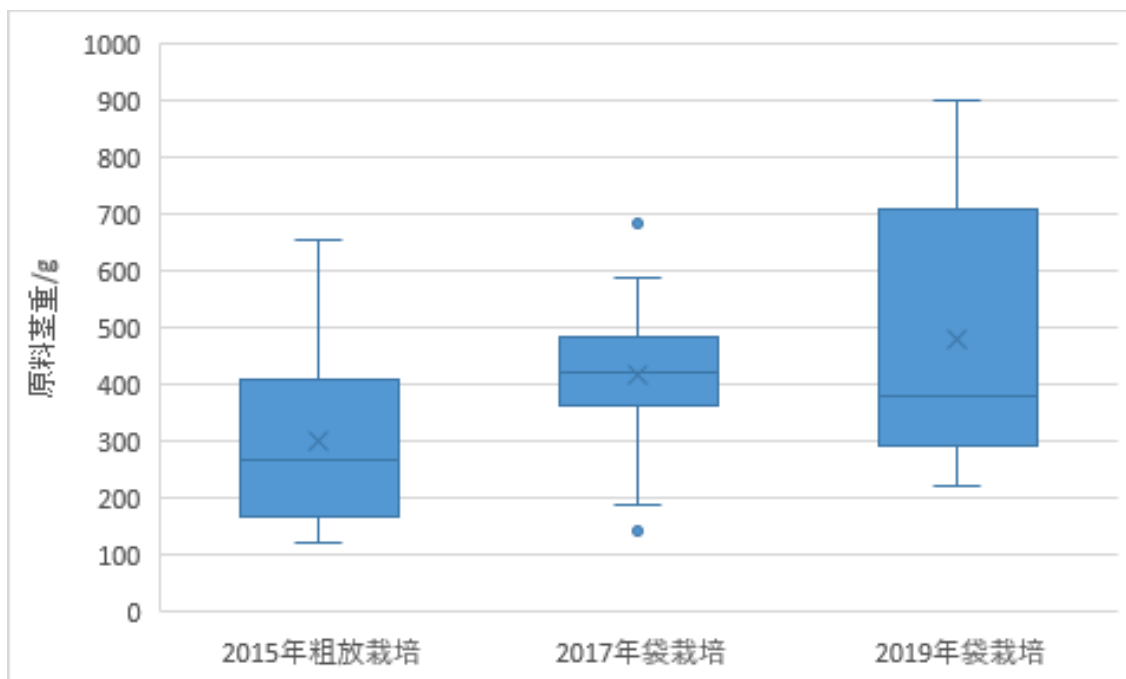


図 2-2 2015 年粗放栽培と 2017 年袋栽培と 2019 年袋栽培の原料重長の箱ひげ図 (×は平均値)

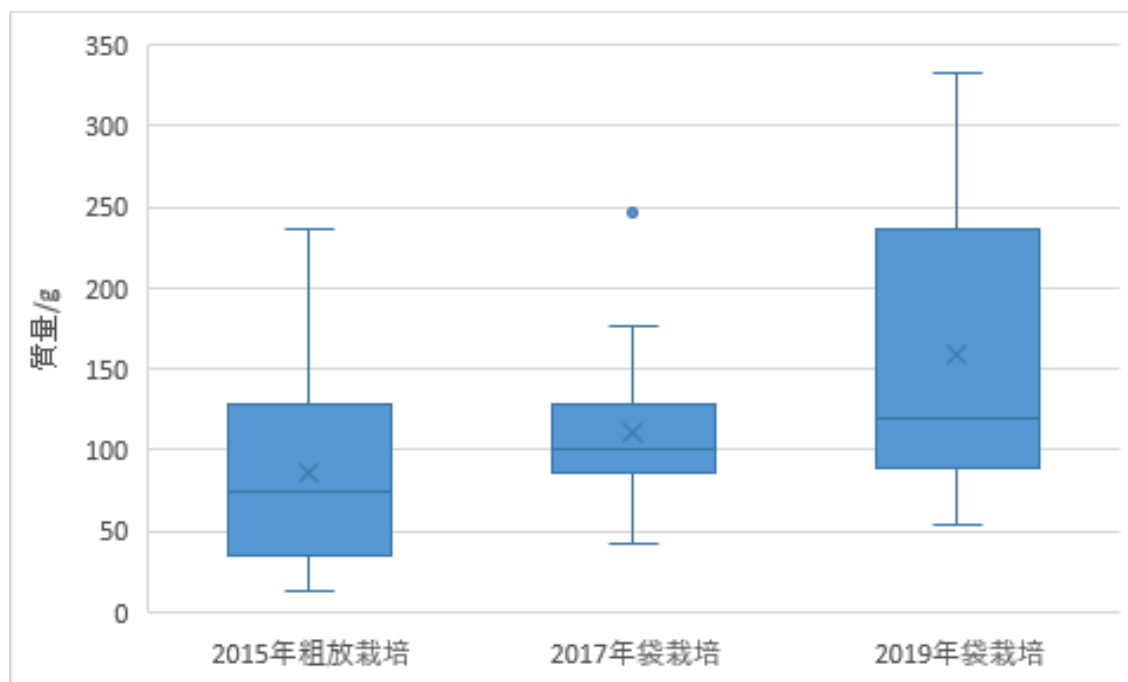


図 2-3 2015 年粗放栽培と 2017 年袋栽培と 2019 年袋栽培の搾汁液質量の箱ひげ図 (×は平均値)

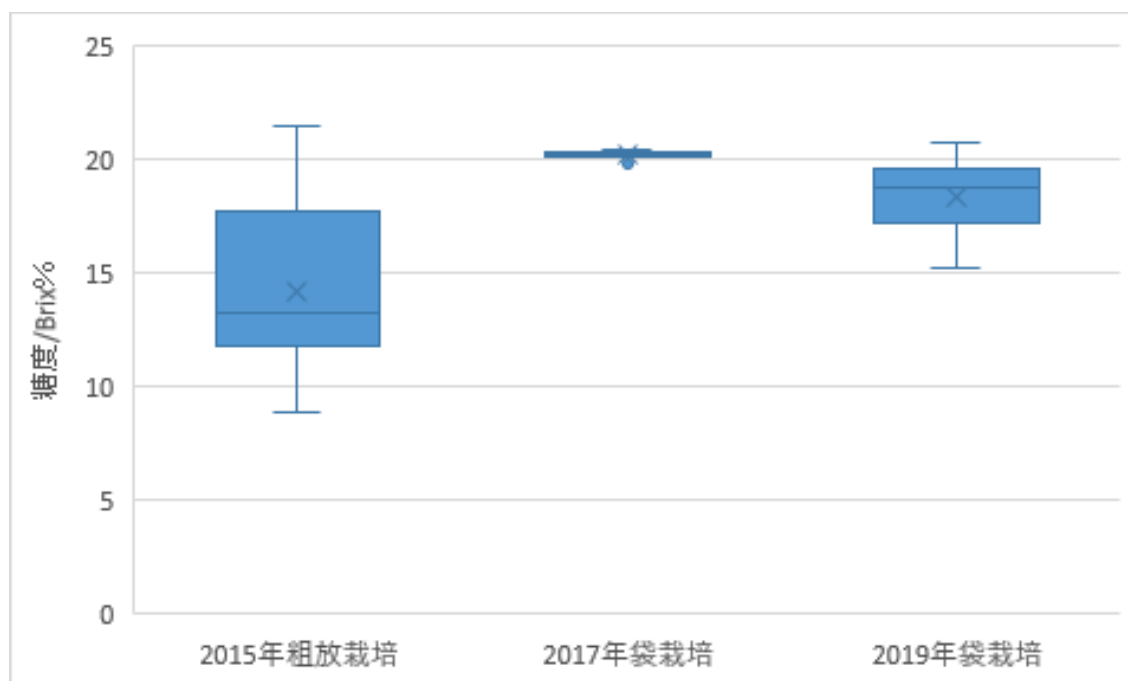


図 2-4 2015 年粗放栽培と 2017 年袋栽培と 2019 年袋栽培の搾汁液糖度の箱ひげ図 (×は平均値)

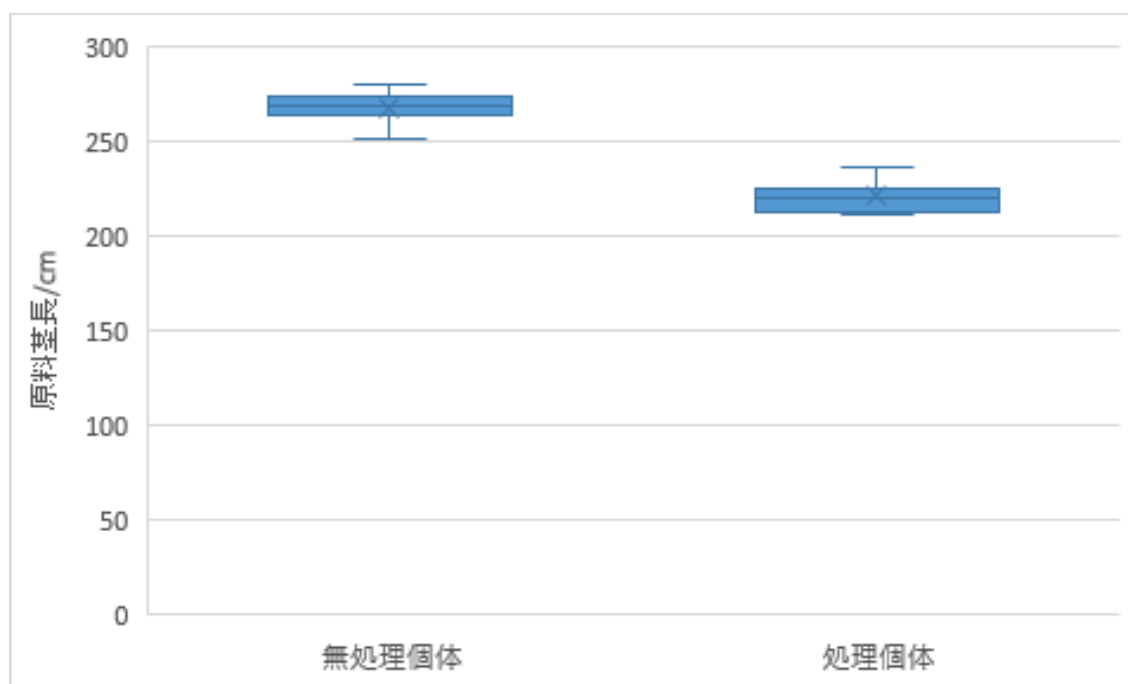


図 2-5 2017 年慣行栽培の無処理個体と処理個体の原料茎長の箱ヒゲ図 (×は平均値)

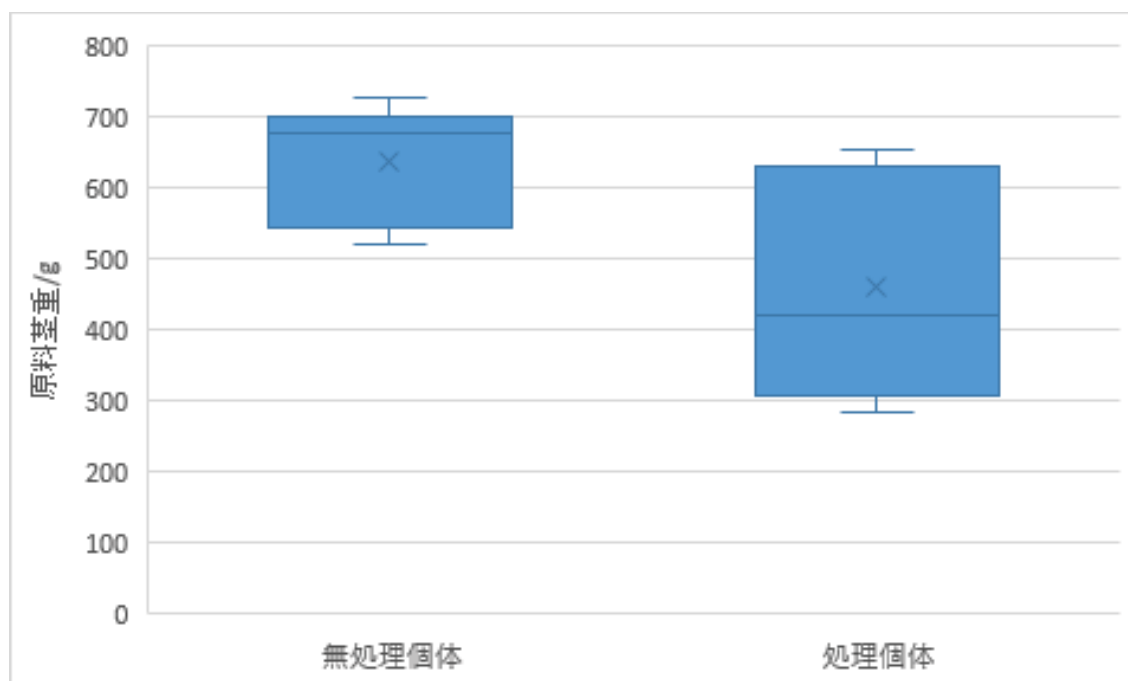


図 2-6 2017 年慣行栽培の無処理個体と処理個体の原料茎重の箱ヒゲ図 (×は平均値)

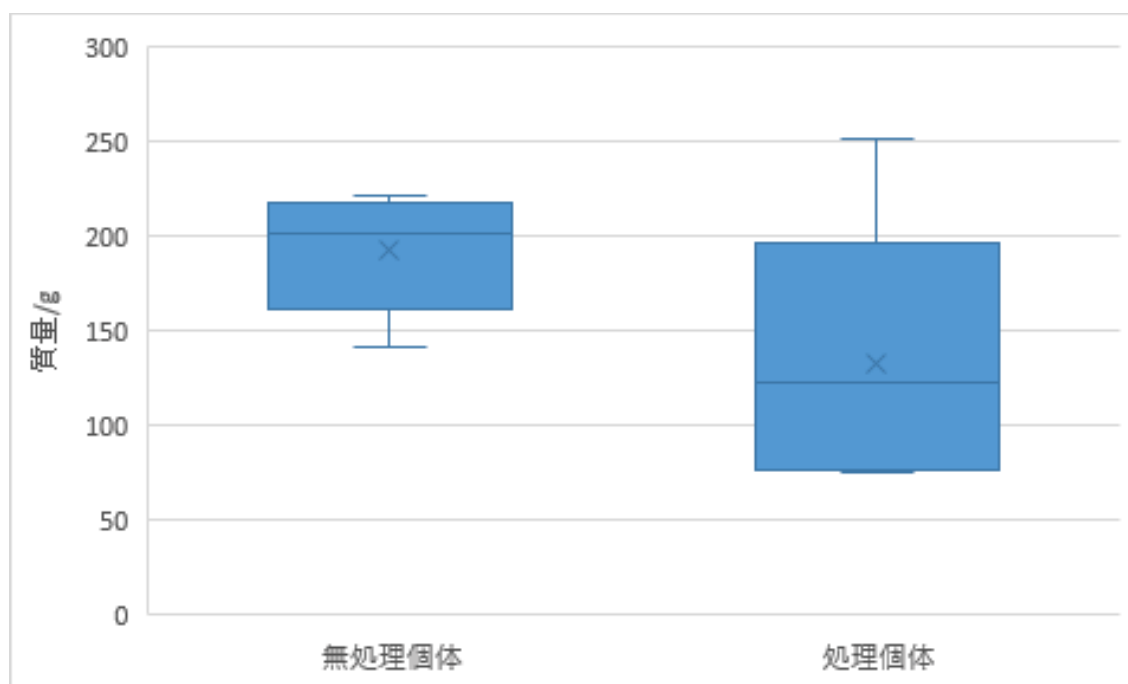


図 2-7 2017 年慣行栽培の無処理個体と処理個体の搾汁液質量の箱ひげ図（×は平均値）

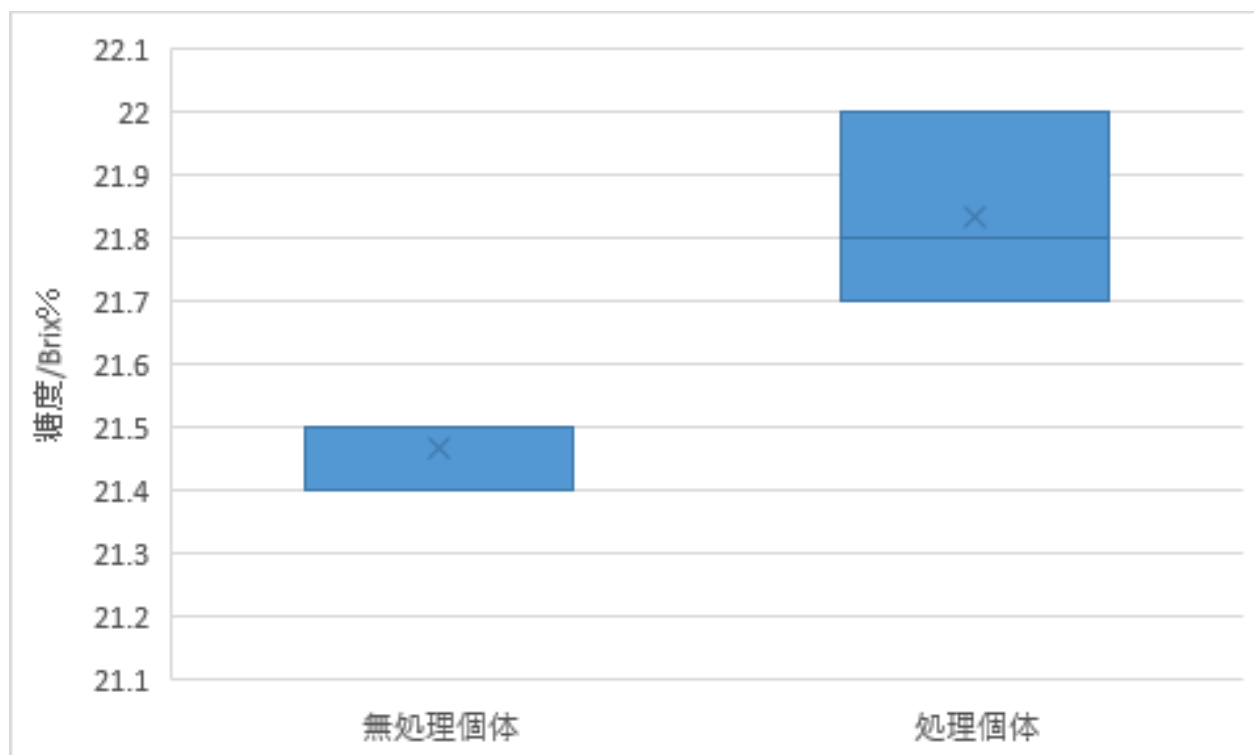


図 2-8 2017 年慣行栽培の無処理個体と処理個体の搾汁液糖度の箱ヒゲ図（×は平均値）



写真 2-1 使用した肥料



写真 2-2 2017 年栽培 花穂切断処理をした後の様子



写真 2-3 2017 年栽培 分茎を処理した個体（右）としていない個体（左）



写真 2-4 2017 年栽培 花穂を切除した個体



写真 2-5 2017 年栽培 高糖分ソルゴーを播種したセルプレート



写真 2-6 2017 年栽培 袋栽培定植後の様子(6 月)



写真 2-7 2017 年栽培 千年農場の様子



写真 2-8 2018 年栽培 高糖分ソルゴーを播種したセルプレート



写真 2-9 2018 年栽培 袋栽培定植後の様子 (6 月)



写真 2-10 2019 年栽培 袋栽培定植後の様子



写真 2-11 2019 年栽培 千年農場の様子

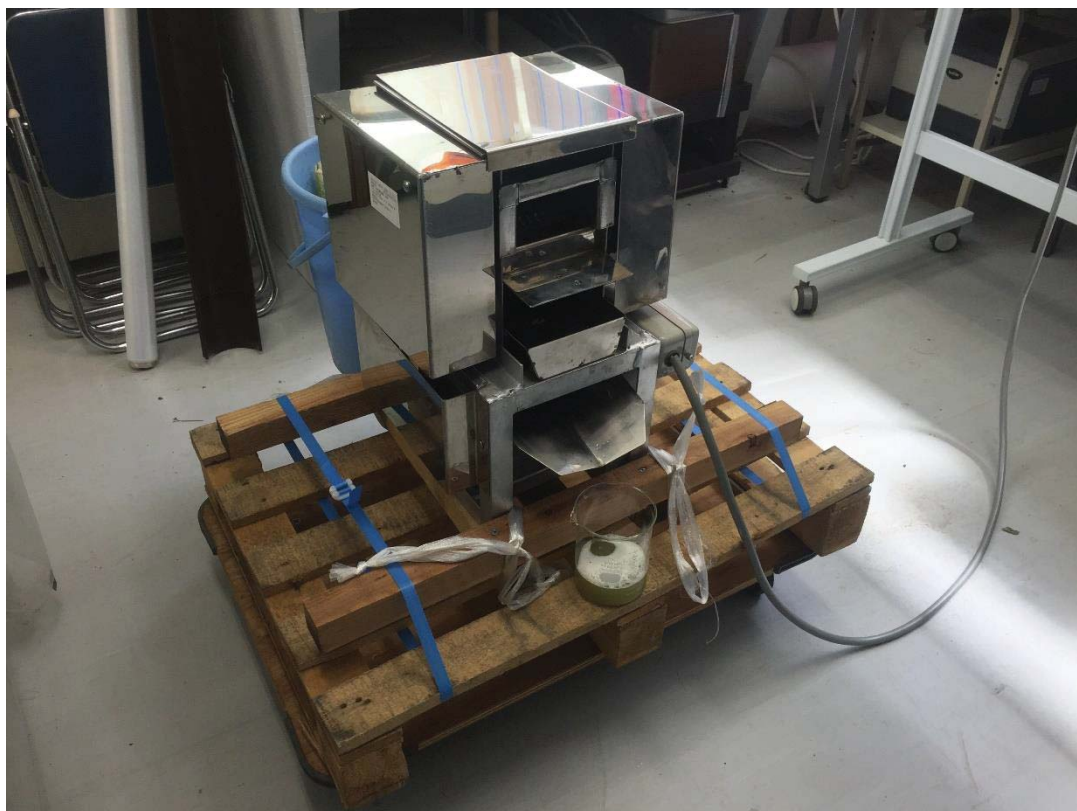


写真 2-12 搾汁に使用した搾汁器



写真 2-13 搾汁液の糖度測定に用いた糖度計 (Spittz IPR-101α ASONE)



写真 2-14 2017 年栽培 慣行栽培の様子(6 月)



写真 2-15 2017 年栽培 慣行栽培の様子(8 月)



写真 2-16 2017 年栽培 袋栽培の様子(8 月)



写真 2-17 2018 年栽培 袋栽培の様子（8 月）



写真 2-18 2019 年栽培 袋栽培の様子 (9 月)

第3章 授業実践

スイートソルガムでのバイオエタノール生成を題材とした教材を用いて中学生を対象に授業実践を2017～2019年にかけて行った。

第1節 授業実践の概要

3-1-1 2017年の授業実践の概要

授業実践の対象校、対象生徒、実施日、及び評価方法は以下の通りである。

【対象】 青森県八戸市立白山台中学校 中学2年生3クラス 108名

【日時】 2017年11月29日(水)

【授業時数】 1時間/クラス

【授業の進め方】

プリントと板書を中心とした講義とエタノールの合成と分離の実験を行う。

【評価方法】

事前アンケート、事後アンケート、環境意識に関するアンケートによる調査

環境意識に関するアンケートについては、全クラスを対象として授業実践前に実施した。授業実践に使用した指導案及び板書計画、授業で使用したプリントを掲載する。

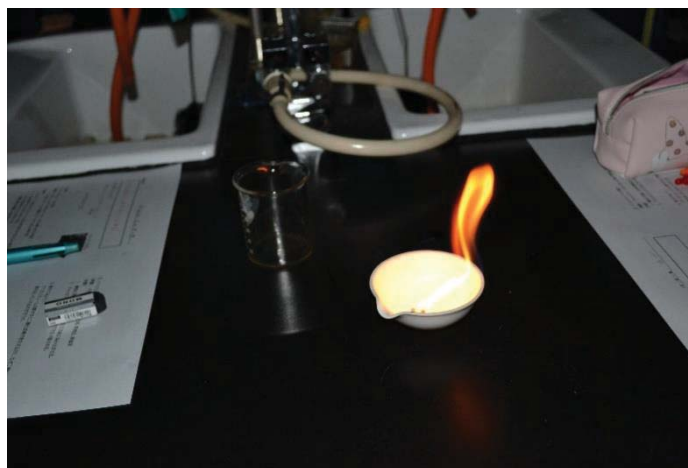
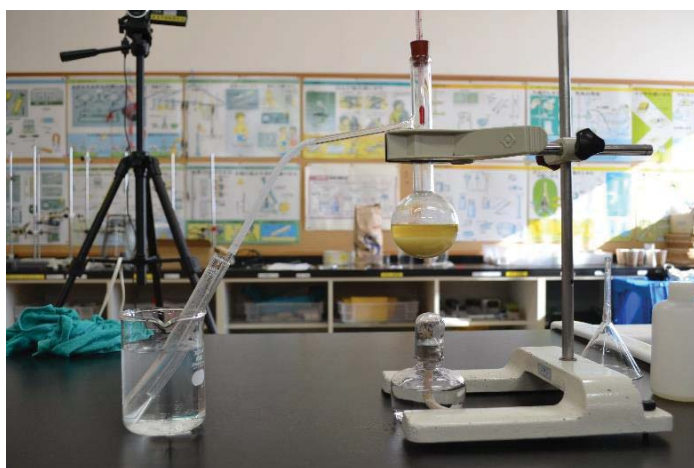
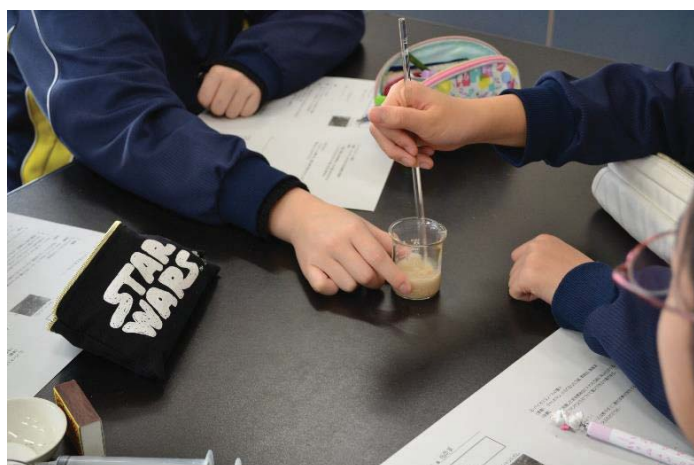


写真 3-1 授業の様子

第2学年 理科指導案

日 時：平成29年11月29日（水）

対 象：2年生（29名）

指導者：川村 梓

（1）題材名

なぜ、バイオエタノールを燃やしても空気中の二酸化炭素の量は増えないのだろうか

（2）教材観

本教材は、中学校指導要領理科編での第1分野目標（4）「物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を行い、これらの活動を通して科学技術の発展と人間生活とのかかわりについて認識を深め、科学的に考える態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようにする。」と内容（7）「科学技術と人間」ウ「自然環境の保全と科学技術の利用」（ア）自然環境の保全と科学技術の利用「自然環境の保全と科学技術の利用の在りかたについて科学的に考察し、持続可能な社会をつくることが重要であることを認識すること。」を受けて設定したものである。

地球温暖化を生徒が実感することは難しく、地球温暖化解決に大きく関与する機会もなかなかない。また、教科書においては地球温暖化の原因を二酸化炭素の増加と記載しており、二酸化炭素の排出量を削減するために有効な科学技術を紹介している。しかし、紹介されている科学技術は再生可能エネルギーとされる発電方法が主であり、その発電方法によって地球温暖化がどのように改善されるかが生徒にとってイメージしにくい。そのため生徒は地球温暖化の解決を考えるにあたって、漠然と二酸化炭素の排出量を抑える必要があるという認識にとどまるのではないかと考える。二酸化炭素の排出量をどの程度抑えるべきか、また二酸化炭素の排出量を削減するためにはどのような考え方が必要かを生徒に教える教材の必要性を感じ、本教材を開発した。排出量と吸収量を同じにするというカーボンニュートラルの概念が重要であり地球温暖化の解決につながるということを見出し、生徒には二酸化炭素の排出量をどの程度抑えることが地球温暖化解決につながるかを考えられる力を身につけさせたい。

本時では、スイートソルガムを素材としたバイオエタノールの生成し、燃焼させる実験を行う。実験を通してバイオエタノールは燃焼させると二酸化炭素は発生するが、光合成により植物が二酸化炭素を吸収することで空気全体としては二酸化炭素の量が変化しないことに気付き、自分の言葉で説明できるようになることをねらいとする。また、カーボンニュートラルについての知識の獲得も目指す。

（3）ねらい

バイオエタノールを生成して燃焼させる実験を通して、二酸化炭素が循環することで空気中の二酸化炭素の量は変化しないことに気付き、説明できるようになる。

(4) 評価の規準

評価規準	A のキーワード・具体例	C の生徒への手立て
[自然現象についての思考・表現] バイオエタノールを燃やしても 空気中の二酸化炭素の量が増え ない理由を説明できる。	バイオエタノールの燃焼によっ て生じた二酸化炭素が、植物の 光合成に使用されることを指摘 している。	バイオエタノール、二酸化炭素、 植物の絵を書き、3 つの関係を 視覚化する。

(5) 本時の展開

	教師の働きかけ	予想される生徒の反応	留意点
導 入 10 分	<p>1. 地球温暖化について確認する。 「地球温暖化は、私たちや地球にど のような影響をもたらすか」</p> <p>「地球温暖化はなぜ起きるのか」</p> <p>「地球温暖化がこれ以上進まないよ うにするにはどうすればよいか」</p> <p>2. 二酸化炭素について考える。 「二酸化炭素はどこで発生している だろうか」</p> <p>「二酸化炭素を減らすにはどのよう なことをすればよいか」</p> <p>3. 燃やしても空気中の二酸化炭素の 量が増えないバイオエタノールとい う燃料があることを教える。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・南極の氷が解ける ・海面が上昇する ・植物が育たなくなる ・島が沈む ・地球の温度が上がるから ・二酸化炭素が増えるから ・温室効果ガスが発生するから ・温室効果ガスを減らす ・二酸化炭素を出さないように する ・呼吸した息 ・石灰石と塩酸を混ぜる ・ものを燃やしたとき ・ゴミ処理場 ・火力発電 ・息を止める ・植物をたくさん植える ・光合成をする ・発電量を減らす ・節電する 	<ul style="list-style-type: none"> ・二酸化炭素が原因 となっていること にふれる。

展 開 30 分	4. 課題提示		
	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> なぜ、バイオエタノールを燃やしても空気中の 二酸化炭素の量は増えないのだろうか。 </div>		
	5. 「バイオエタノール」について説明する。	【バイオエタノール】 植物から作られたエタノール	
	6. 植物からバイオエタノールを作り、燃やすまでの流れを確認する。 「バイオエタノールを燃やすとどうなるだろうか」	・何も発生しない ・酸素が発生する ・エタノールは有機物だから、二酸化炭素が発生する	・エタノールを燃やすと二酸化炭素が発生することは1年生で学習済み
	7. 実験	<div style="border: 1px dashed black; padding: 10px;"> <p>・バイオエタノールの生成</p> <p>時間の関係からエタノールの生成までを行い、蒸留は演示実験をする。 着火は事前に作成し持参したエタノールを使って確認する。</p> <p>①バイオエタノールの生成</p> <p>〔準備〕（生徒実験）</p> <p>（全体）50℃のお湯：3L 程度 深さが25cm以上の容器：3個</p> <p>（各班）50mL シリンジ、100mL ビーカー×2、さじ、 10%ドライイースト水溶液：約25mL スイートソルガムの搾汁液：約25mL</p> <p>〔事前準備〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・搾汁液とドライイースト水溶液はペットボトルに保存しておく。 ・授業が始まる前に、搾汁液とドライイースト水溶液のそれぞれ50mLのビーカーに25mL入れておく。 <p>〔手順〕</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ドライイースト液25mLにスイートソルガム搾汁液25mLを入れよく混ぜる。 2. 混合液をシリンジに30mLを入れる。 3. 50℃のお湯をいれた容器にシリンジを入れる。 4. 気泡がでることを確認し、発酵の様子を5分程度観察する。 </div>	

<p>②バイオエタノールの蒸留（演示実験）</p> <p>〔準備〕（実験 1 組分）</p> <p>ビーカー100mL×2 つ、100mL 枝つきフラスコ、ゴムチューブ、ガラス管、試験管、ゴム栓、温度計、沸騰石、アルコールランプ</p> <p>〔手順〕</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 容器からシリンジを取り出す。シリンジ内の発酵液をビーカーに移す。 2. ビーカー内液を枝つきフラスコの 1/3 程度入れる。沸騰石も入れる。 3. フラスコにゴム栓をし、ゴム栓に温度計をさす。温度計の先はフラスコの枝の部分に来るようにする。 4. フラスコの枝の先にゴムチューブを付け、ゴムチューブにガラス管をつけ、ガラス管を試験管に入れる。ガラス管は水を入れたビーカーに入れる。 5. フラスコをガスバーナーで熱し、温度計が 80℃を超えないようにする。 6. 温度計が 80℃になったところで火を止める。 		
<p>③バイオエタノールの着火（生徒実験）</p> <p>〔準備〕（実験 1 組分）</p> <p>チャッカマン、小さく切ったろ紙、燃焼皿、蒸留液</p> <p>〔手順〕</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 事前に用意した液を燃焼皿に入れたろ紙に染み込ませる。 2. チャッカマンの火を近づけて着火できるか確かめる。 		
<p>9. バイオエタノールを燃やすと二酸化炭素が発生することを確認する。</p> <p>10. バイオエタノールは燃えるのに、二酸化炭素の量が増えない理由を考察する。</p> <p>「バイオエタノールは燃やすと二酸化炭素が発生するのに、なぜ二酸化炭素が増えないといえるのだろうか。」</p> <p>11. カーボンニュートラルを説明する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・エタノールは無機物だった ・燃焼によって発生した二酸化炭素は植物が吸収した ・植物が光合成をした ・光合成した植物がまたバイオエタノールになる ・二酸化炭素は吸収されたり放出されたりする。 <p>【カーボンニュートラル】</p> <p>二酸化炭素が循環することで、空気全体の二酸化炭素の量は変化しないこと。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・エタノールは有機物である ・黒板に植物、エタノール、二酸化炭素の絵を書き、流れを視覚化する。 ・植物は光合成をすることは、1 年生で学習済み。

ま と め 10 分	12.まとめ		
	<div> <p>バイオエタノールを燃やすと二酸化炭素が発生する。</p> <p>しかし、燃料になる前の植物が光合成で二酸化炭素を吸収するため、 空気全体の二酸化炭素の量は変化しない。</p> </div>		

学習課題

--

1. バイオエタノールって？

スイートソルガム



2. 実験

① バイオエタノールの生成

〔準備〕 50mL シリンジ、100mL ビーカー、ガラス棒、50℃のお湯
10%ドライイースト水溶液、スイートソルガムの搾汁液

〔手順〕

1. ドライイースト液 25mL にスイートソルガム搾汁液 25mL を入れよく混ぜる。
2. 1. の混合液をシリンジに 30mL いれる。
3. 50℃のお湯の中にシリンジを入れる。
4. 発酵の様子を確認し、気泡が出ることを確認する。

② バイオエタノールの蒸留（演示実験）

〔手順〕

1. シリンジ内の溶液をビーカーに移し、枝つきフラスコの 1/3 程度入れる。
2. フラスコにゴム栓をし、ゴム栓に温度計をさす。
温度計の先はフラスコの枝の部分に来るようにする。
3. フラスコの枝の先にゴムチューブを付け、ゴムチューブにガラス管をつけ、ガラス管を試験管に入れる。ガラス管は水を入れたビーカーに入れる。
4. フラスコをガスバーナーで熱する。
5. 温度計が 80℃になったところで火を止める。

③ バイオエタノールの着火

〔準備〕 チャッカマン、小さく切ったろ紙、燃焼皿、蒸留液

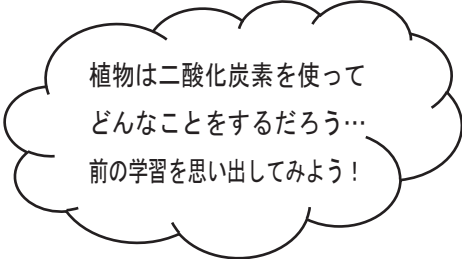
〔手順〕

1. 事前に用意した液を燃焼皿に入れたろ紙に染み込ませる。
2. チャッカマンの火を近づけて着火できるか確かめる。

3. 考えてみよう！

バイオエタノールは燃やすと二酸化炭素が発生するのに、なぜ二酸化炭素が増えないといえるのだろうか。

◎ _____ ...



植物は二酸化炭素を使って
どんなことをするだろう…
前の学習を思い出してみよう！

4. まとめ

--

ありがとうございました！

3-1-2 2018 年の授業実践の概要

授業実践の対象校、対象生徒、実施日、及び評価方法は以下の通りである。

【対象】 青森県八戸市立白山台中学校 中学 3 年生 2 クラス 68 名（男子 36 名 女子 32 名）

【日時】 2018 年 9 月 13 日(木)

【授業時数】 1 時間/クラス

【授業の進め方】

プリントと板書を中心とした講義と燃料電池の実験を行う。

【評価方法】

事前アンケート、事後アンケート、環境意識に関するアンケートによる調査

環境意識に関するアンケートについては、全クラスを対象として授業実践後に実施した。授業実践に使用した指導案及び板書計画、授業で使用したプリントを掲載する。

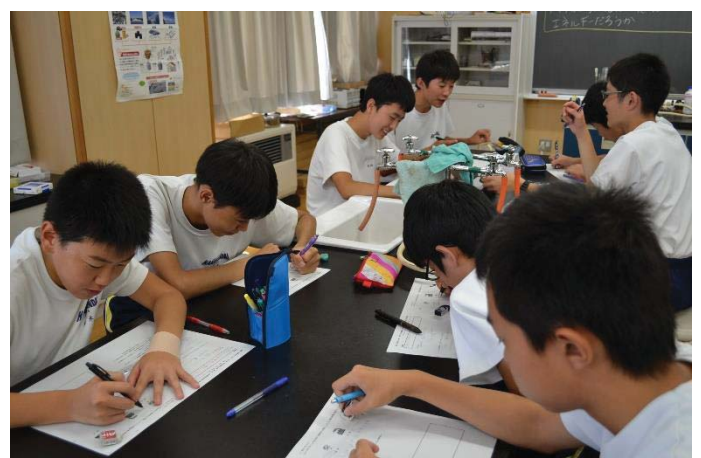
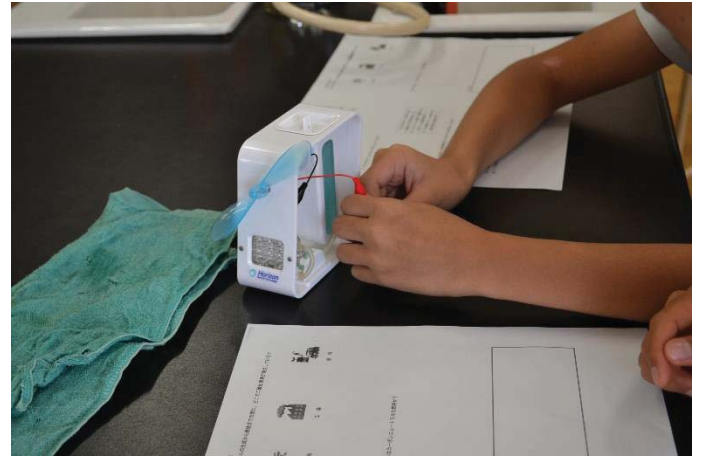
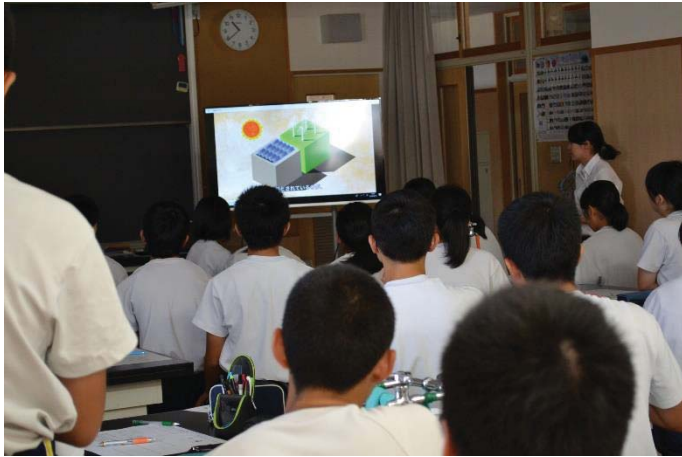


写真 4-2 2018 年 授業の様子

第3学年 理科指導案

日 時：平成30年9月13日（木）

対 象：3年生

授 業 者：川村梓

(1) 題材名 「バイオエタノールは環境に優しいエネルギーだろうか」

(2) 教材観

本教材は、中学校指導要領理科編での第1分野目標（4）「物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を行い、これらの活動を通して科学技術の発展と人間生活とのかかわりについて認識を深め、科学的に考える態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようになる。」と内容（7）「科学技術と人間」ウ「自然環境の保全と科学技術の利用」(ア) 自然環境の保全と科学技術の利用「自然環境の保全と科学技術の利用の在りかたについて科学的に考察し、持続可能な社会をつくることが重要であることを認識すること。」を受けて設定したものである。

本時では、エタノールを素材として燃料電池から電気エネルギーを取り出す実験を行う。また、バイオエタノールの生成の過程を確認し、バイオエタノールが生成されるときに多くの二酸化炭素が発生していることを知る。そこから、ライフサイクルアセスメントという新しい視点でバイオエタノールについて考え、バイオエタノールは環境に優しいエネルギーかどうか立場を明らかにして自分の言葉で説明できるようになることをねらいとする。

(3) ねらい

バイオエタノールが生成される過程から、バイオエタノールをライフサイクルアセスメントの視点で評価する。

(4) 評価基準

評価基準	Aのキーワード・具体例	Cの生徒への手立て
〔科学的な思考・表現〕 バイオエタノールをライフサイクルアセスメントの視点で評価することができる。	バイオエタノール生成時の二酸化炭素の排出にふれながら、バイオエタノールが環境に優しいエネルギーかどうかを述べている。	バイオエタノールの生成の過程における二酸化炭素が排出される場面を図の中に書きださせる。

(5) 展開

	教師の働きかけ	生徒の反応	留意点
導入	1. 燃料電池車の動画を見る	〔燃料電池〕 ・水素と酸素を反応させて電気エネルギーを取り出す装置	
(8)	2. 燃料電池について確認する		

	3. エタノール（バイオエタノール）から水素を取り出し、それを燃料電池で利用できることを教える	<ul style="list-style-type: none"> 水素と酸素を供給すれば継続的に電気エネルギーを取り出すことができる 	
展開 (30)	4. 課題提示	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> バイオエタノールは環境に優しいエネルギーだろうか </div>	
	5. バイオエタノールとカーボンニュートラルについて確認する	[バイオエタノール] <ul style="list-style-type: none"> 植物から作られたエタノール [カーボンニュートラル] <ul style="list-style-type: none"> 二酸化炭素が循環することで、大気全体での二酸化炭素の量は変化しないこと 	
	6. 実験を行う	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>【エタノールを使った燃料電池からエネルギーを取り出してみよう】</p> <p>[準備] エタノール、水、バイオエネルギーキット</p> <p>[事前準備] <ul style="list-style-type: none"> 実験キットを箱から出しておく。 カップにエタノールを 6mL 入れておく。 </p> <p>[手順] (1) 実験にファンを付けて、パージバブルを開ける（エタノール容器側にスイッチを動かす）。 (2) カップの 60 の目盛りまで水を加え、10%エタノール溶液をつくる。 (3) (2)の溶液をエタノール容器に入れ、フタをする。 (4) 溶液がチューブから流れ出したら、パージバブルを閉じる（ファン側にスイッチを動かす）。 (5) クリップを電極につなぎ、ファンの回転を確認する。 (6) ファンが回るのを確認出来たら、クリップを(4)とは逆の電極につなぎ、回転を確認する。 ※ファンが止まった時は、パージバブルを開けて古い溶液を排水する。 </p> </div>	

	<p>7. バイオエタノールの生成から燃焼において、どこで二酸化炭素が発生しているかを矢印で書きこむ</p> <p>8. 7.で書いた矢印から、バイオエタノールがカーボンニュートラルな燃料であるかを考える</p> <p>9. 8.の意見を班の中で交換し合う</p> <p>10. ライフサイクルアセスメントについて説明する</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・植物を育てるときの機械 ・植物を運ぶためのトラック ・混合液を温めるとき ・植物を処分するとき <p>[カーボンニュートラルである]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光合成でたくさん CO₂ を吸収していると思う。 <p>[カーボンニュートラルでない]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バイオエタノールをつくるときに多くの CO₂ が発生している ・光合成で吸収する CO₂ 量だけでは、排出される CO₂ の量を補えないと思う。 <p>[ライフサイクルアセスメント]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ある製品について、原料の入手から製造、輸送、使用、廃棄までのすべての過程における環境への影響を評価する方法 	<p>・教科書 P.280</p>
まとめ (12)	<p>11. まとめ</p> <p>9.10.をうけて、バイオエタノールをライフサイクルアセスメントの視点（環境に優しいか）で評価する</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・生成の過程にも多くの CO₂ を出しているため、環境によいエネルギーとは言えない。 ・カーボンニュートラルではないが、化石燃料のみを燃やすよりは環境に優しいと思う。 ・光合成で吸収する CO₂ が生成過程で排出される CO₂ を上回ることができれば環境に優れると思う。 ・ほかのもっと環境に優しいエネルギーを使えばいいと思う。 	

使用する動画 <https://www.youtube.com/watch?v=k9Wbg7YT1nQ> (3分21秒頃まで)

学習課題

--

1. はじめに…

2. バイオエタノール？カーボンニュートラル？

○バイオエタノールの作り方○

- (1) 植物をしぼり搾汁液をつくる。
- (2) (1)とイーストを混ぜて発酵させる。
(50℃くらいの温度が必要！！)
- (3) (2)を蒸留しエタノールを取り出す。
(溶液を温める必要がある！！)

3. 実験 ～エタノールを使った燃料電池からエネルギーを取り出してみよう～

〔準備〕エタノール、水、バイオエネルギーキット

〔手順〕

- (1) キットにファンを付けてパージバブルを開ける（水色の容器側にスイッチを動かす）。
 - (2) カップの60の目盛りまで水を加え、10%エタノール溶液をつくる。
 - (3) (2)の溶液をエタノール容器に入れ、フタをする。
 - (4) 溶液がチューブから流れたらパージバブルを閉じる（ファン側にスイッチを動かす）。
 - (5) クリップを電極につなぎ、ファンの回転を確認する。
 - (6) ファンが回るのを確認したら、クリップを(4)と逆の電極につなぎ、回転を確認する。
- ※ファンが止まった時は、パージバブルを開けて古い溶液を排水する。

4. 考えてみよう！

○バイオエタノールの生成から燃焼までの間に、どこで二酸化炭素が発生している？



植 物



工 場



燃 料

○バイオエタノールはカーボンニュートラルな燃料か？

5. まとめ

--

3-1-3 2019 年の授業実践の概要

授業実践の対象校、対象生徒、実施日、及び評価方法は以下の通りである。

【対象】 青森県八戸市立白山台中学校 中学 3 年生 2 クラス 75 名（男子 38 名 女子 37 名）

【日時】 2019 年 10 月 2 日(水)

【授業時数】 1 時間/クラス

【授業の進め方】

プリントと板書を中心とした講義と燃料電池の実験を行う。

【評価方法】

事前アンケート、事後アンケート、環境意識に関するアンケートによる調査

環境意識に関するアンケートについては、全クラスを対象として授業実践後に実施した。授業実践に使用した指導案及び板書計画、授業で使用したプリントを掲載する。

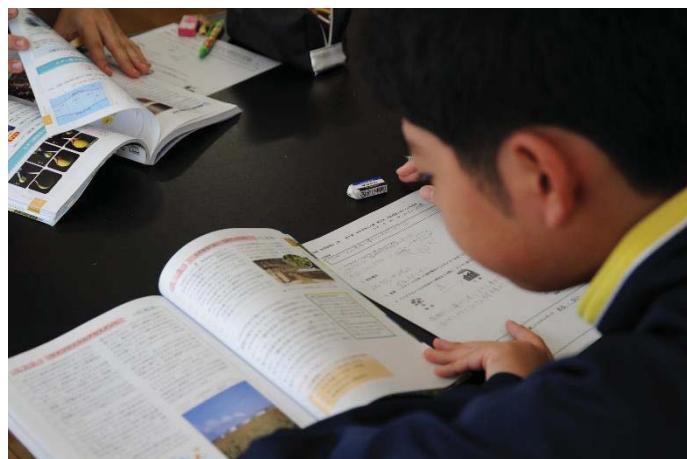


写真 3-3 2019 年 授業の様子

第3学年 理科指導案

日 時：令和元年10月2日（水）

対 象：3年生

授 業 者：川村 梓

(1) 題材名 「バイオエタノールは環境に優しいエネルギーだろうか」

(2) 教材観

本教材は、中学校指導要領理科編での第1分野目標（4）「物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を行い、これらの活動を通して科学技術の発展と人間生活とのかかわりについて認識を深め、科学的に考える態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようにする。」と内容（7）「科学技術と人間」ウ「自然環境の保全と科学技術の利用」（ア）自然環境の保全と科学技術の利用「自然環境の保全と科学技術の利用の在りかたについて科学的に考察し、持続可能な社会をつくることが重要であることを認識すること。」を受けて設定したものである。

本時では、エタノールを素材として燃料電池から電気エネルギーを取り出す実験を行う。また、バイオエタノールの生成の過程を確認し、バイオエタノールが生成されるときに多くの二酸化炭素が発生していることを知る。そこから、ライフサイクルアセスメントという新しい視点でバイオエタノールについて考え、バイオエタノールは環境に優しいエネルギーかどうか立場を明らかにして自分の言葉で説明できるようになることをねらいとする。

(3) ねらい

バイオエタノールの生成過程から、バイオエタノールをライフサイクルアセスメントの視点で評価する。

(4) 評価基準

	Aのキーワード・具体例	Cの生徒への手立て
〔科学的な思考・表現〕 バイオエタノールをライフサイクルアセスメントの視点で評価することができる。	バイオエタノール生成時の二酸化炭素の排出にふれながら、バイオエタノールが環境に優しいエネルギーかどうかを述べている。	バイオエタノールの生成の過程における二酸化炭素が排出される場面を図の中に書きださせる。

(5) 展開

	教師の働きかけ	生徒の反応	留意点
	1. バイオエタノールとカー	〔バイオエタノール〕	

<p>導入 (12)</p>	<p>ボンニュートラルについて説明する。</p> <p>2. 燃料電池車の動画を見る。</p> <p>3. 燃料電池について確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 植物から作られたエタノール 〔カーボンニュートラル〕 二酸化炭素が循環することで、大気全体での二酸化炭素の量は変化しないこと <p>〔燃料電池〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 水素と酸素を反応させて電気エネルギーを取り出す装置 	<ul style="list-style-type: none"> エタノールを用いて燃料電池を動かせることに触れる。
<p>展開 (28)</p>	<p>4. 課題提示</p> <div data-bbox="260 954 1147 1034" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>バイオエタノールは環境に優しいエネルギーだろうか</p> </div> <p>5. 実験を行う。</p> <div data-bbox="260 1115 1195 1998" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>【エタノールを使った燃料電池からエネルギーを取り出してみよう】</p> <p>〔準備〕</p> <p>エタノール、水、バイオエネルギーキット</p> <p>〔事前準備〕</p> <ul style="list-style-type: none"> 実験キットを箱から出しておく。 カップにエタノールを 6mL 入れておく。 <p>〔手順〕</p> <ol style="list-style-type: none"> 実験にファンを付けて、パージバブルを開ける（エタノール容器側にスイッチを動かす）。 カップの 60 の目盛りまで水を加え、10%エタノール溶液をつくる。 (2)の溶液をエタノール容器に入れ、フタをする。 溶液がチューブから流れ出したら、パージバブルを閉じる（ファン側にスイッチを動かす。） クリップを電極につなぎ、ファンの回転を確認する。 ファンが回るのを確認出来たら、クリップを(4)とは逆の電極につなぎ、回転を確認する。 <p>※ファンが止まった時は、バブルを開けて古い溶液を排水する。</p> </div>		

	<p>6. バイオエタノールの生成から燃焼において、どこで二酸化炭素が発生しているかを書きこむ。</p> <p>7. ライフサイクルアセスメントについて説明する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・植物を育てるときの機械 ・植物を運ぶためのトラック ・混合液を温めるとき ・植物を処分するとき <p>〔ライフサイクルアセスメント〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ある製品について、原料の入手から製造、輸送、使用、廃棄までのすべての過程における環境への影響を評価する方法 	<p>・教科書 P.280</p>
まとめ (10)	<p>8. まとめ</p> <p>バイオエタノールをライフサイクルアセスメントの視点（環境に優しいか）で考える。</p> <p>9. 後片付けをする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・生成の過程にも多くの CO₂ を出しているため、環境によいエネルギーとは言えない。 ・カーボンニュートラルではないが、化石燃料のみを燃やすよりは環境に優しいと思う。 ・光合成で吸収する CO₂ が生成過程で排出される CO₂ を上回ることができれば環境に優しくなると思う。 ・ほかのもっと環境に優しいエネルギーを使えばいいと思う。 	

使用する動画 <https://www.youtube.com/watch?v=k9Wbg7YT1nQ> (3分21秒頃まで)

学習課題

1. バイオエタノールとカーボンニュートラル

2. 燃料電池

3. 実験 ～エタノールを使って燃料電池からエネルギーを取り出してみよう～

4. バイオエタノールの生成から燃焼までの間に、どこで二酸化炭素が発生している？



植 物



工 場



燃 料

○バイオエタノールの作り方○

- (1) 植物をしぼる。
- (2) (1)とイーストを混ぜて発酵させる。
(50℃くらいの温度が必要！！)
- (3) (2)を蒸留しエタノールを取り出す。
(溶液を温める必要がある！！)

バイオエタノールは環境に優しいエネルギーで ある ・ ない

第4章 授業実践の効果

第1節 アンケート結果

実施授業前と実施授業後にアンケート調査をした。なお、事前アンケートと事後アンケートの①～⑤は対応しており、授業前後での生徒の意識の変化を見出せると考えた。

また実施授業の前後に、授業実施クラスとそれ以外のクラスで環境に関する意識に違いがあるかを調べるため、環境意識に関するアンケートを第学年の全クラスでアンケート調査した。

使用したアンケートについては、次ページ以降に掲載する。

事前アンケート

組 番 (去年のクラス)

このアンケートは、みなさんの今回行う授業内容の認知度を調べるものです。
アンケートの結果はコンピューターで処理・分析されますが、個人を特定したりすることはありません。回答は当てはまる部分に○をして答えてください。

5 : そう思う 4 : 少しそう思う 3 : どちらでもない 2 : あまりそう思わない 1 : 思わない

① 地球温暖化を説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

② 地球温暖化は解決すべきだと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

③ カーボンニュートラルを説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

④ カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑤ カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑥ 地球温暖化について知っていることを自由に書いてください。

⑦ カーボンニュートラルについて知っていることを自由に書いてください。

知らない場合は、知らないと書いてください。

ご協力ありがとうございます。

事後アンケート

___組___番___ (去年のクラス ___)

このアンケートは、みなさんの授業後の認知度を調べるものです。
アンケートの結果はコンピューターで処理・分析されますが、個人を特定したりすることはありません。回答は当てはまる部分に○をして答えてください。

5 : そう思う 4 : 少しそう思う 3 : どちらでもない 2 : あまりそう思わない 1 : 思わない

①地球温暖化を説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

③カーボンニュートラルを説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑥今回の授業はよくわかりましたか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑦今回の授業は楽しかったですか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑧今回の授業の内容に興味をもてましたか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑨今回の授業の内容はこれからの自分に役に立ちそうですか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

授業の感想を自由に書いてください。

ご協力ありがとうございます。

環境意識アンケート

組番 (去年のクラス)

このアンケートは、みなさんの環境に対する意識を調べるものです。
アンケートの結果はコンピューターで処理・分析されますが、個人を特定したりすることはありません。回答は当てはまる部分に○をして答えてください。

5 : そう思う 4 : 少しそう思う 3 : どちらでもない 2 : あまりそう思わない 1 : 思わない

①地球温暖化を説明できますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

③環境問題は自分と関係があると思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。

5 . . . 4 . . . 3 . . . 2 . . . 1

ご協力ありがとうございます。

4-1-1 2017 年の事前アンケートと事後アンケートの比較

事前アンケートと事後アンケートの結果を示す（図 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 表 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5）。また、事後アンケートの質問⑥～⑨の授業評価の項目についての結果も示す（図 4-6 表 4-6）。アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑤について行い、事前アンケートと事後アンケートの間で有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは事前アンケートと事後アンケートの両方を回収できた 96 組を用いた。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=7.62, P=2.06 \times 10^{-12}$)。「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=2.09, P=0.0378$)。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=20.1, P=2.40 \times 10^{-47}$)。「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=14.3, P=1.17 \times 10^{-29}$)。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=10.8, P=1.46 \times 10^{-21}$)。

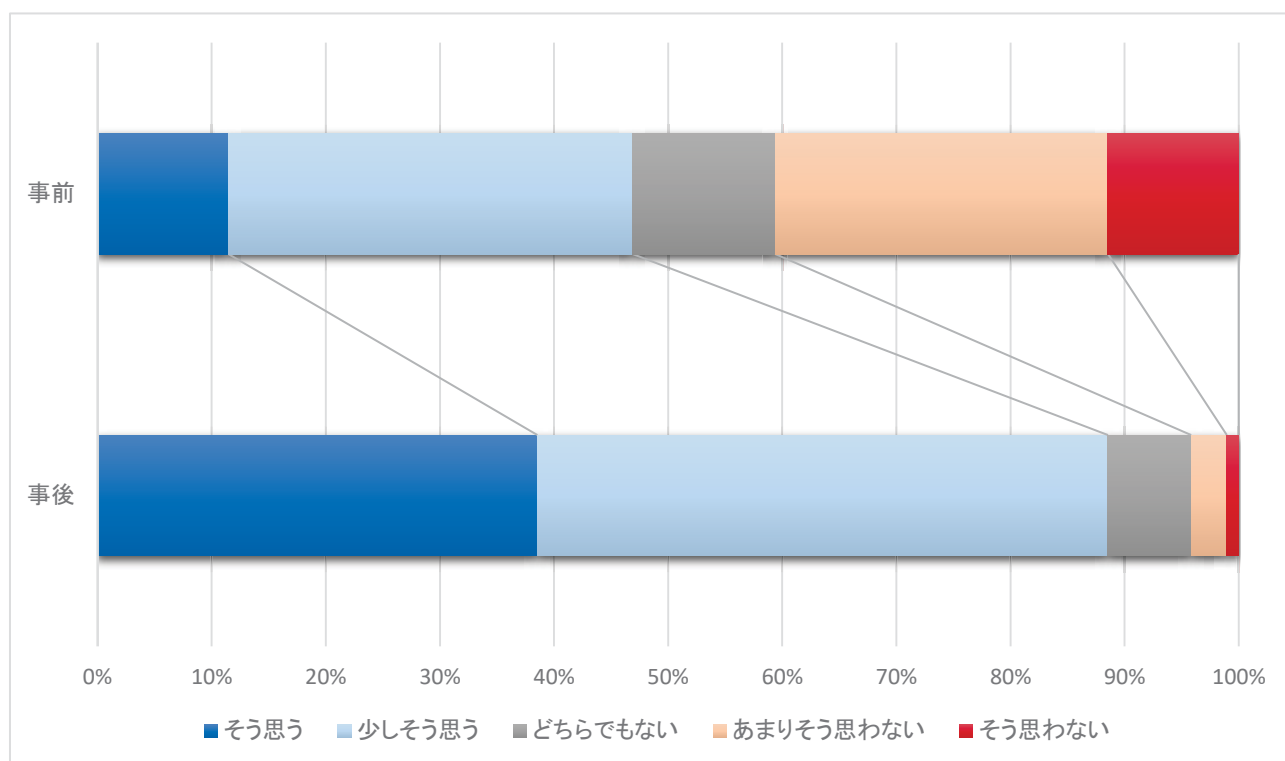


図 4-1 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-1 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少し思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事前アンケート	11	34	12	28	11
2017 年 事後アンケート	37	48	7	3	1

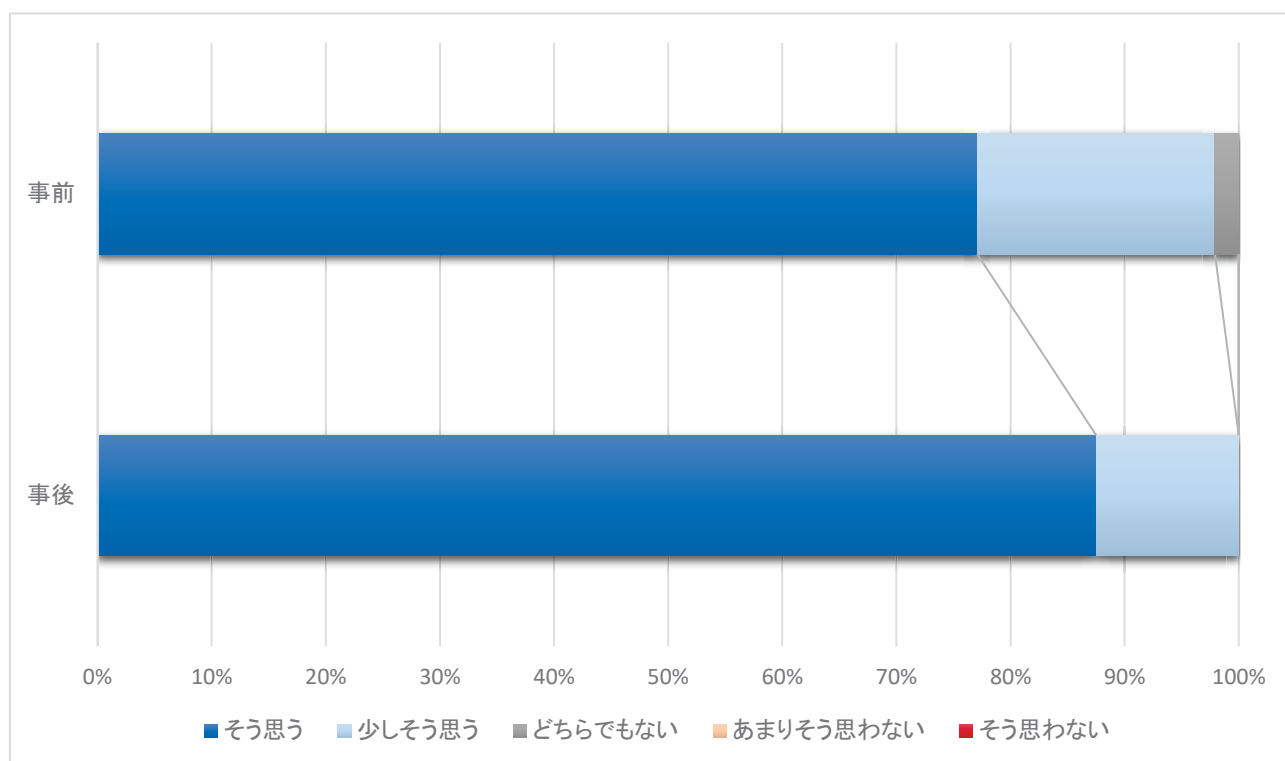


図 4-2 「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-2 「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事前アンケート	74	20	2	0	0
2017 年 事後アンケート	84	12	0	0	0

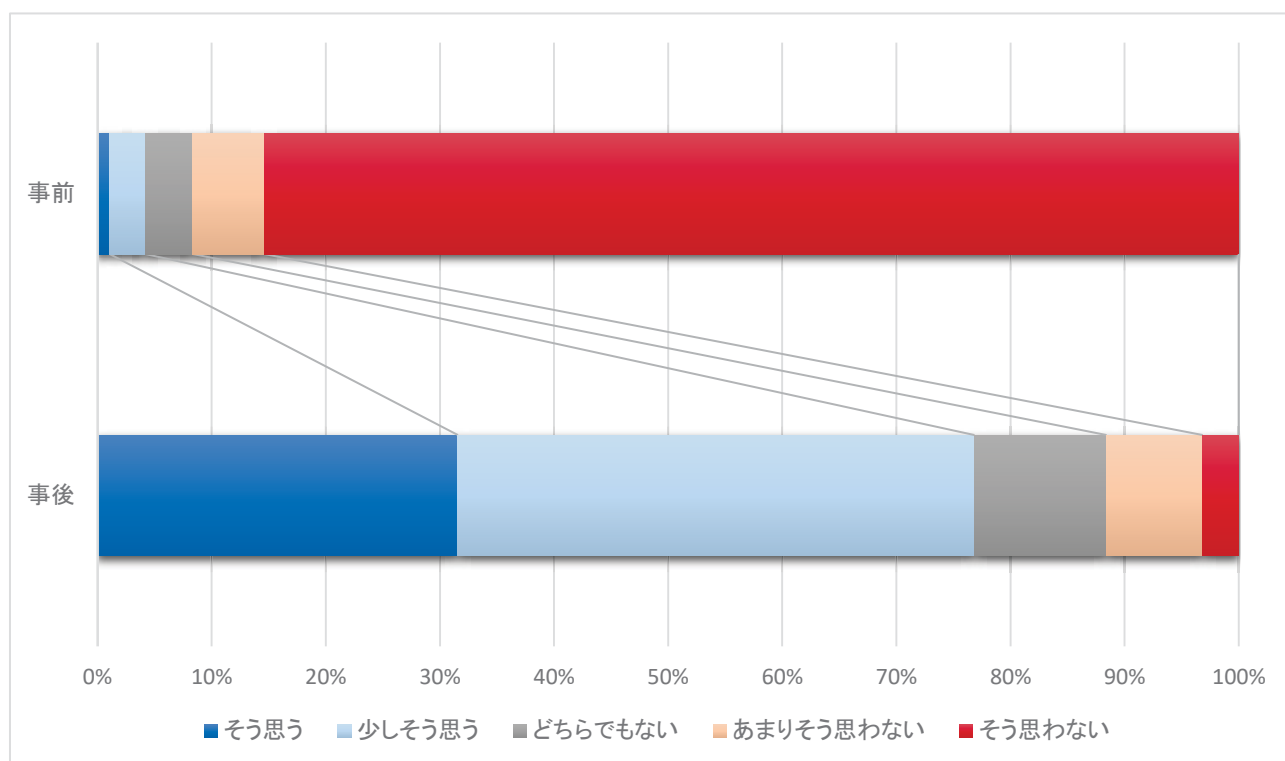


図 4-3 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-3 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事前アンケート	1	3	4	6	82
2017 年 事後アンケート	30	43	11	8	3

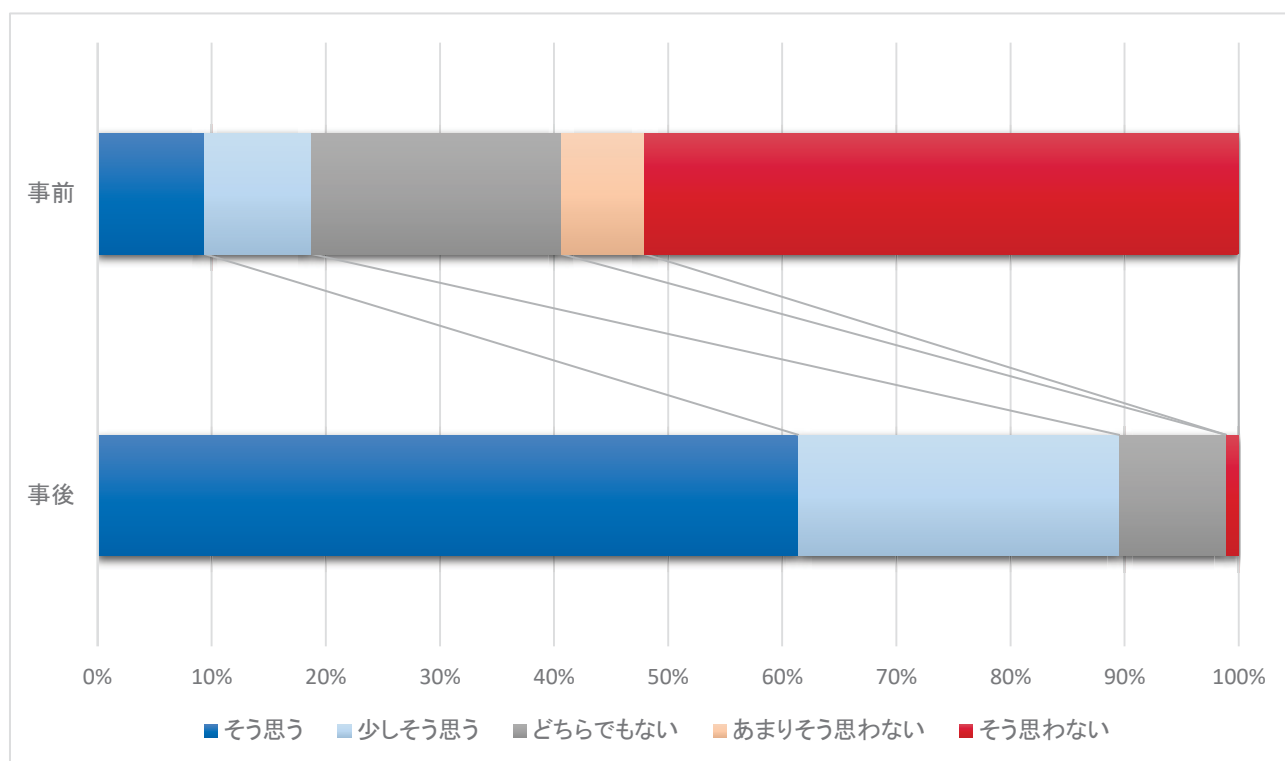


図 4-4 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-4 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事前アンケート	9	9	21	7	50
2017 年 事後アンケート	59	27	9	0	1

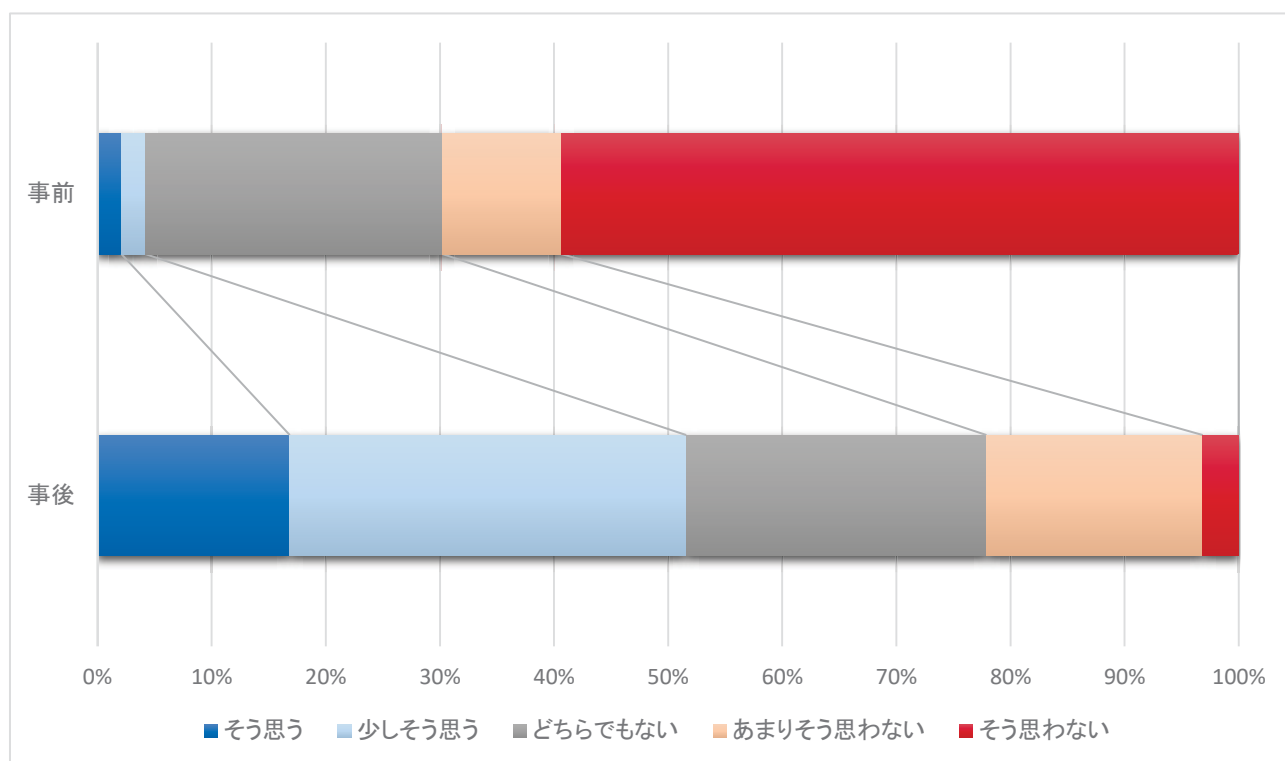


図 4-5 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果
グラフ

表 4-5 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果
集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事前アンケート	2	2	25	10	57
2017 年 事後アンケート	16	33	25	18	3

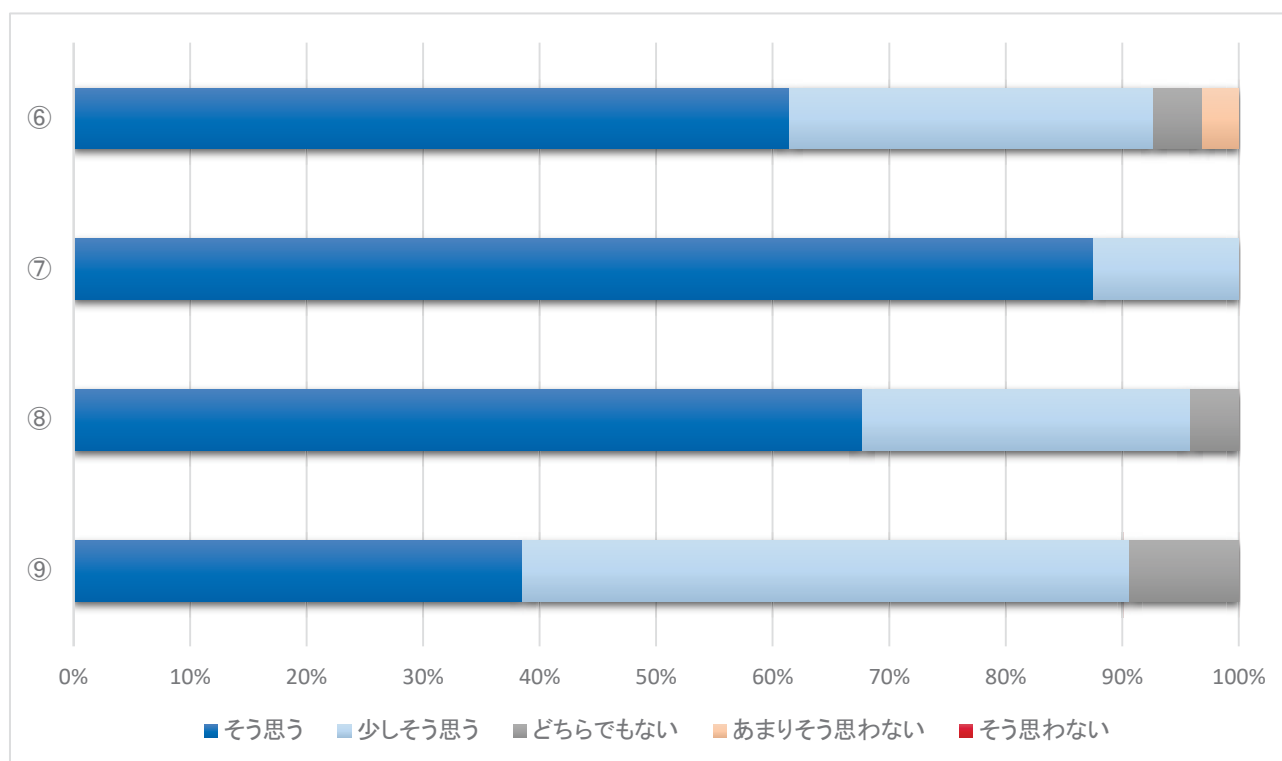


図 4-6 授業評価についてのアンケート結果グラフ

「⑥授業はよくわかりましたか。」

「⑦授業は楽しかったですか。」

「⑧授業の内容に興味は持てましたか。」

「⑨授業の内容は役に立ちそうですか。」

表 4-6 授業評価についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
⑥	59	30	4	3	0
⑦	84	12	0	0	0
⑧	65	27	4	0	0
⑨	37	50	9	0	0

4-1-2 2016 年の環境意識アンケートと 2017 年の環境意識アンケートの比較

2016 年に原田氏が授業実践を行った際の環境意識アンケートと 2017 年の環境意識アンケートの結果を示す（図 4-7, 4-8, 4-9, 4-10, 4-11, 4-12 表 4-7, 4-8, 4-9, 4-10, 4-11, 4-12）。アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑥について行い、2016 年の授業実施後と 2017 年の授業実施前で有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは、全項目に回答している 168 組を用いた。

「①地球温暖化を説明できますか。」で、2016 年の環境意識アンケートと 2017 年の環境意識アンケートの間に有意な差が認められた ($t=4.69$, $P=4.08 \times 10^{-6}$)。「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」では、2 つのアンケートの間に有意な差は認められなかった ($t=0.957$, $P=0.339$)。「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」では、2 つのアンケートの間に有意な差が認められた ($t=3.84$, $P=0.000149$)。「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」では、2 つのアンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=1.18$, $P=0.239$)。「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」では、2 つのアンケートの間に有意な差が認められた ($t=6.72$, $P=8.08 \times 10^{-11}$)。「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」では、2 つのアンケートの間に有意な差が認められた ($t=4.65$, $P=4.77 \times 10^{-6}$)。

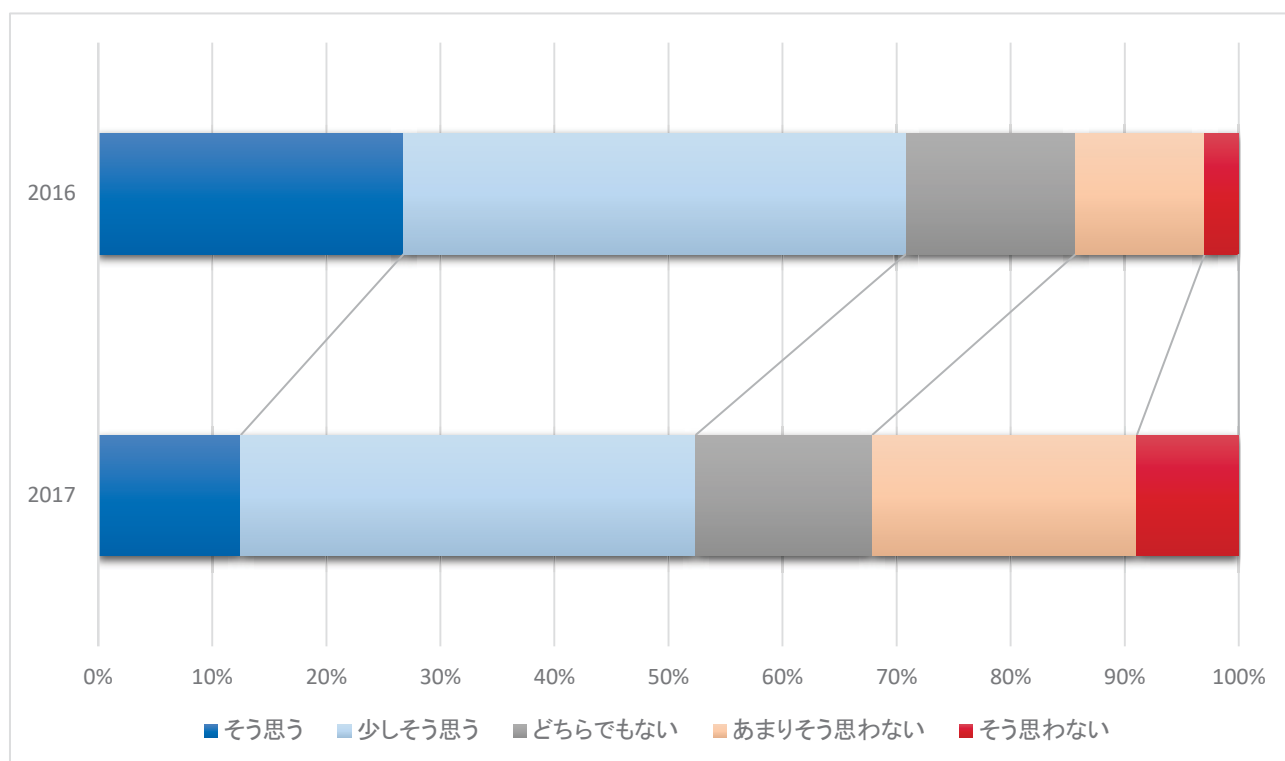


図 4-7 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-7 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年実施	45	74	25	19	5
2017 年実施	21	67	26	39	15

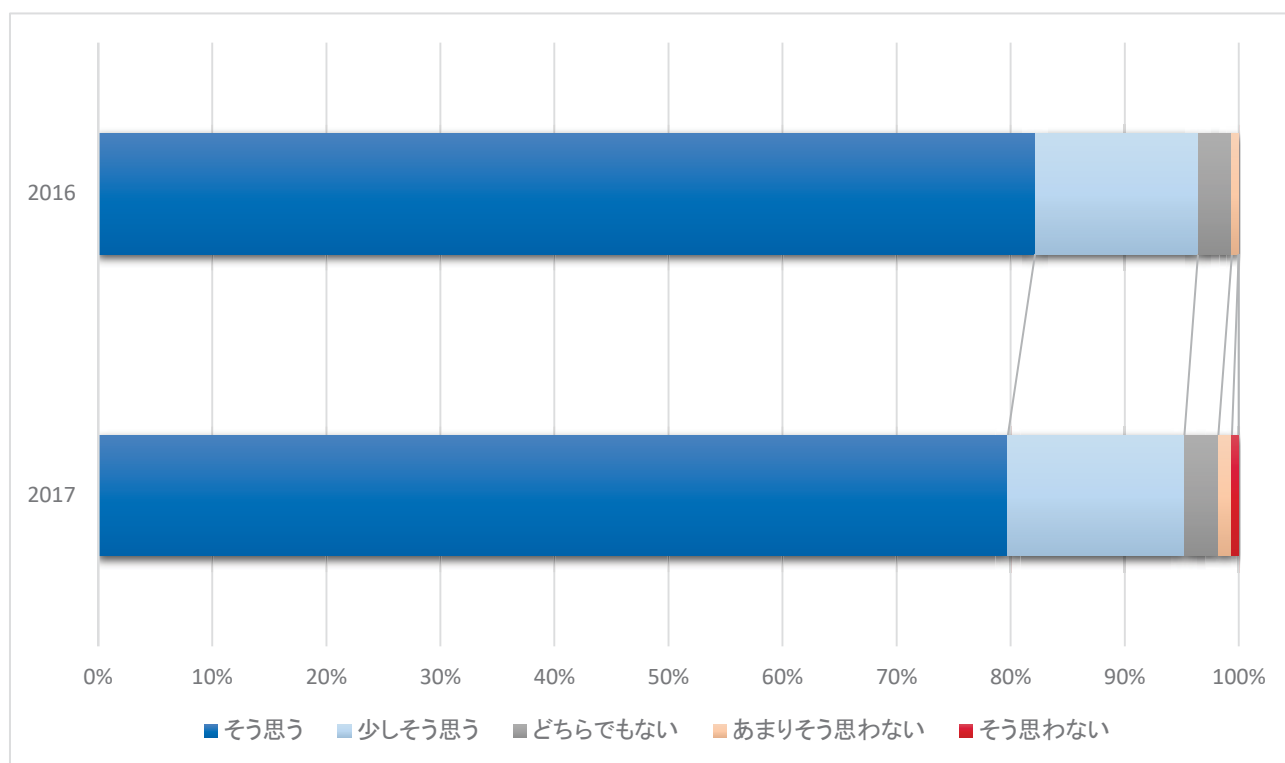


図 4-8 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-8 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少し思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年実施	138	24	5	1	0
2017 年実施	134	26	5	2	1

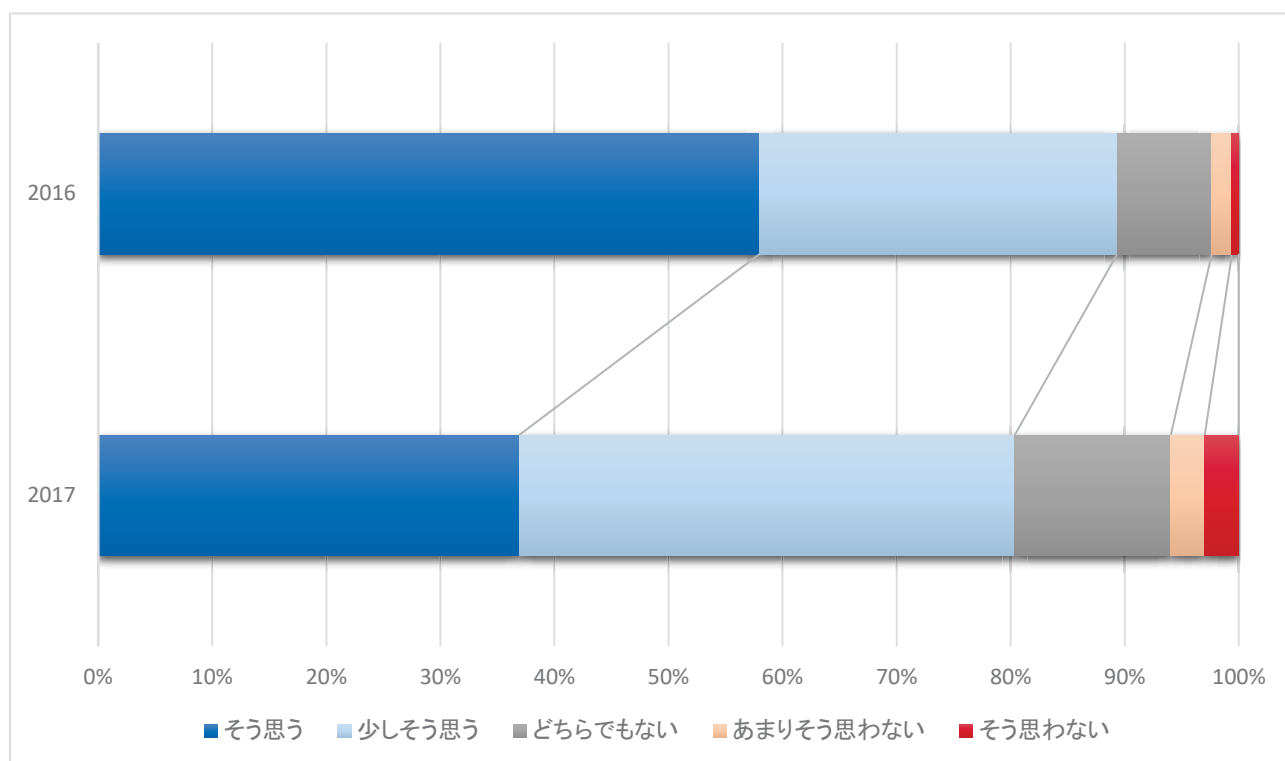


図 4-9 「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-9 「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年実施	98	53	14	3	1
2017 年実施	62	73	23	5	5

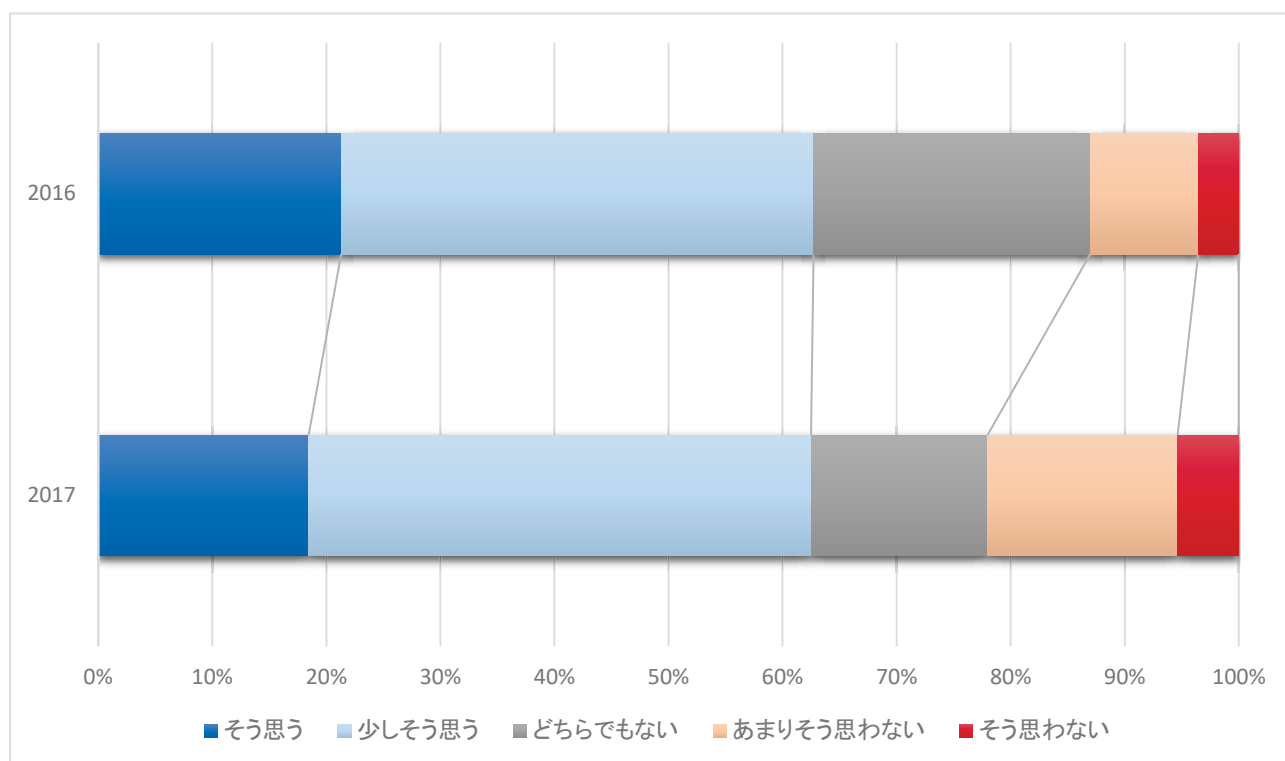


図 4-10 「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-10 「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年実施	36	70	41	16	6
2017 年実施	31	74	26	28	9

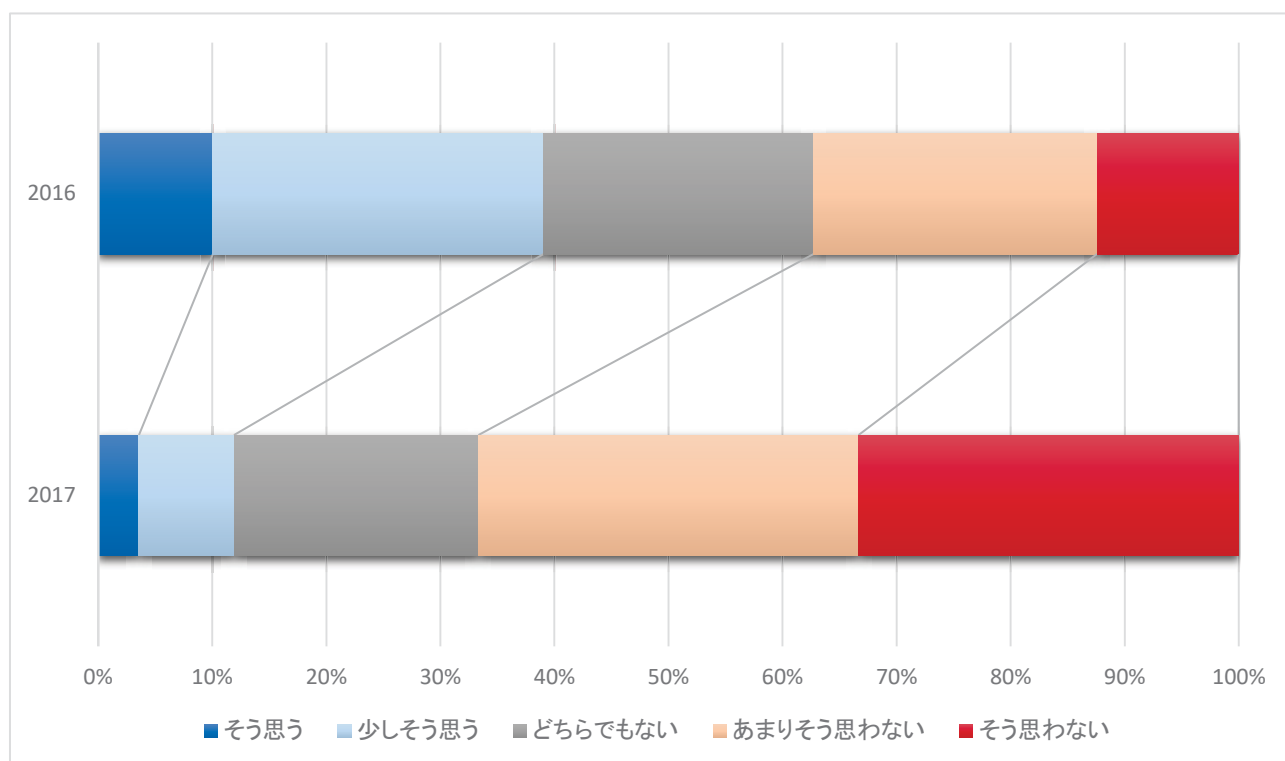


図 4-11 「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-11 「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年実施	17	49	40	42	21
2017 年実施	6	14	36	56	56

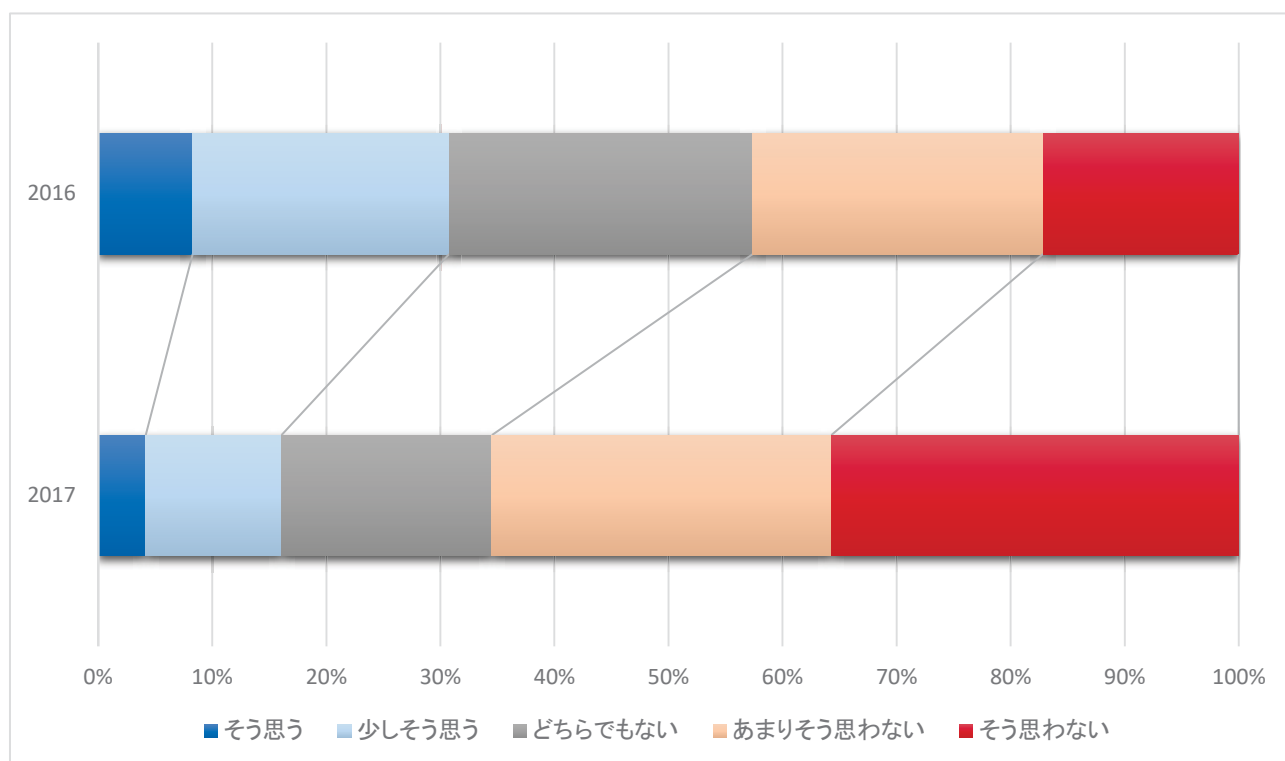


図 4-12 「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-12 「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年実施	14	38	45	43	29
2017 年実施	7	20	31	50	60

4-1-3 2016 年の事後アンケートと 2017 年の事後アンケート

2016 年に原田氏が授業実践を行った際の事後アンケートと 2017 年の事後アンケートの結果を示す。(図 4-13, 4-14, 4-15, 4-16, 4-17 表 4-13, 4-14, 4-15, 4-16, 4-17) アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑤について行い、2016 年の事後アンケートと 2017 年の事後アンケートの間に有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは、2016 年は 55 組、2017 年は 102 組を用いた。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、2016 年の事後アンケートと 2017 年の事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=0.727$, $P=0.470$)。「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」で、2016 年の事後アンケートと 2017 年の事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=0.0820$, $P=0.935$)。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」で、2016 年の事後アンケートと 2017 年の事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=2.06$, $P=0.0452$)。

「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」で、2016 年の事後アンケートと 2017 年の事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=0.500$, $P=0.619$)。

「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」で、2016 年の事後アンケートと 2017 年の事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=0.736$, $P=0.465$)。

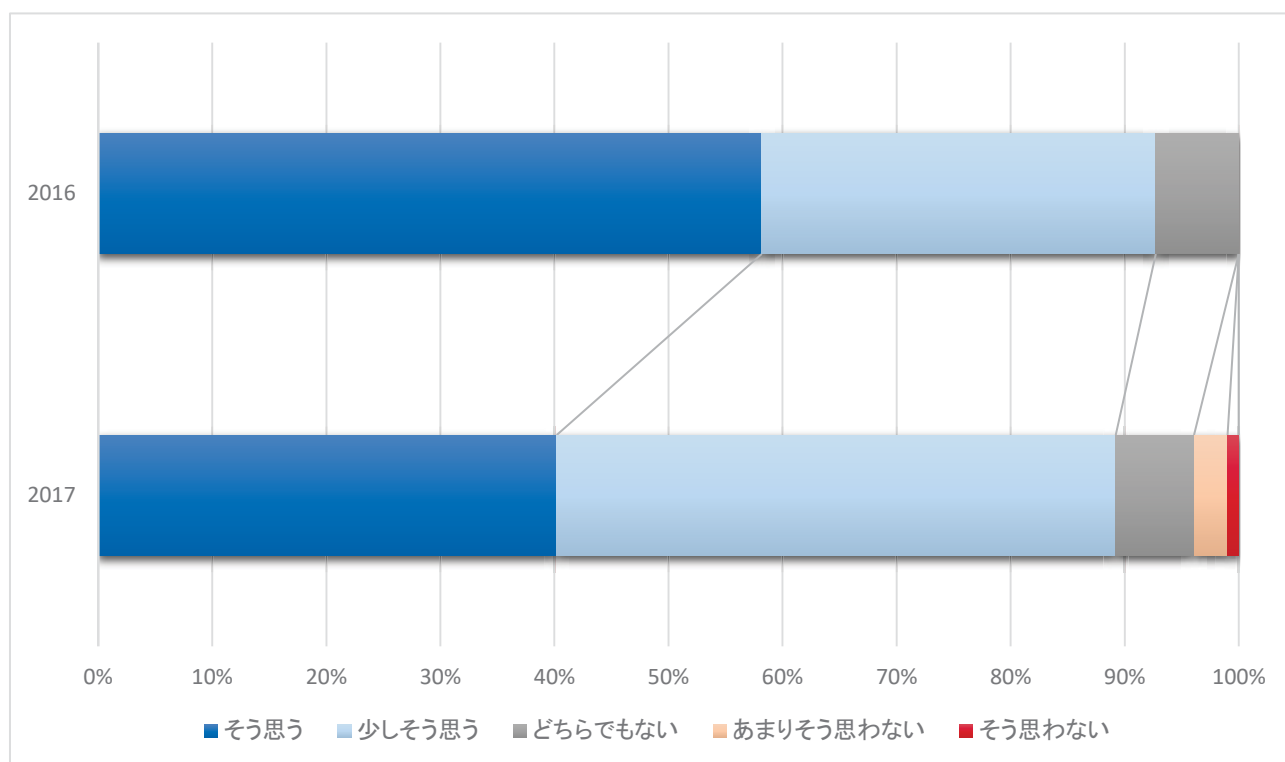


図 4-13 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-13 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年 事後アンケート	32	19	4	0	0
2017 年 事後アンケート	41	50	7	3	1

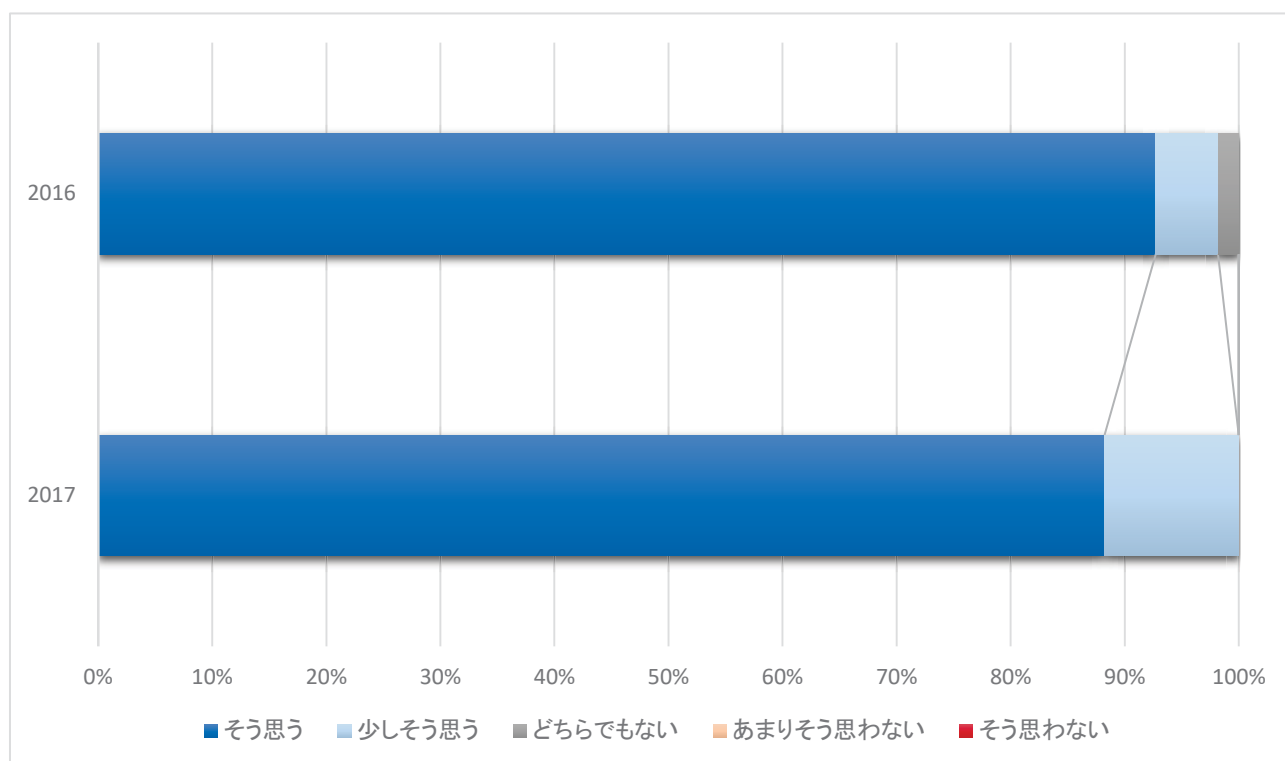


図 4-14 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-14 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4.少し思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年 事後アンケート	51	3	1	0	0
2017 年 事後アンケート	90	12	0	0	0

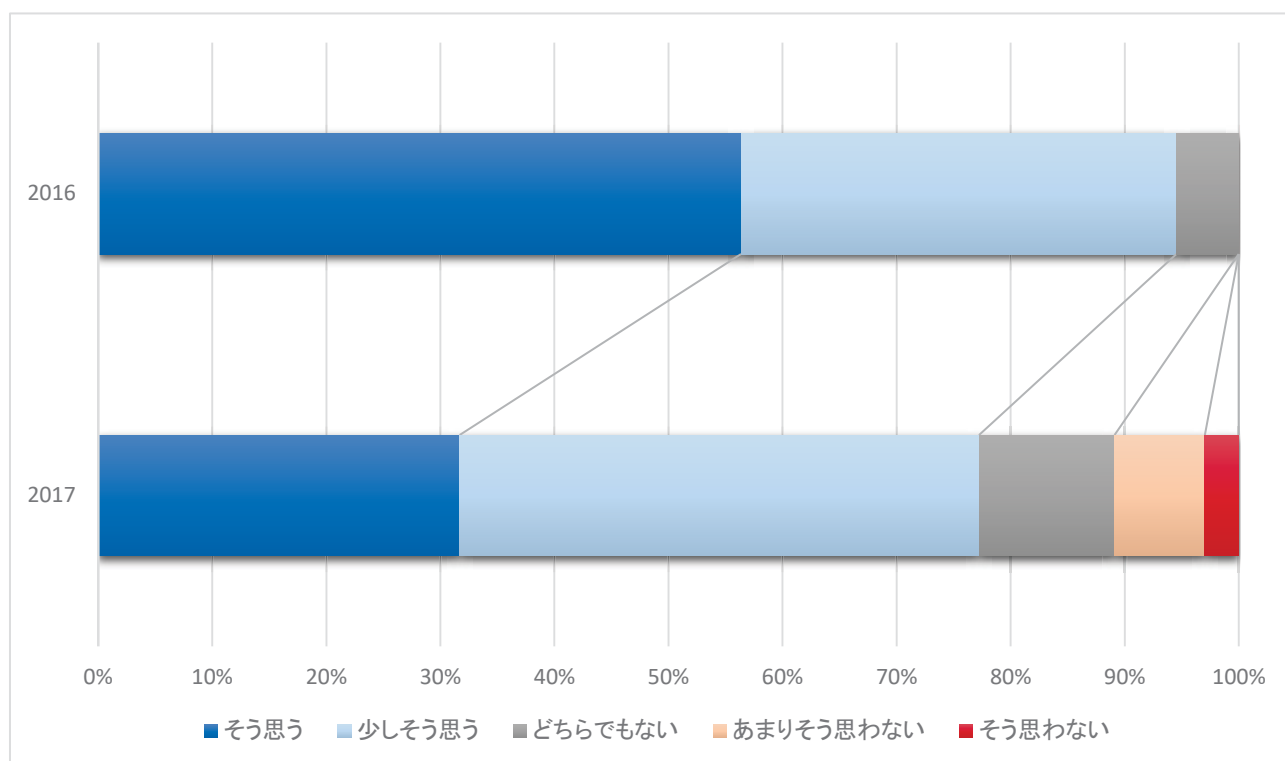


図 4-15 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-15 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年 事後アンケート	31	21	3	0	0
2017 年 事後アンケート	32	46	12	8	3

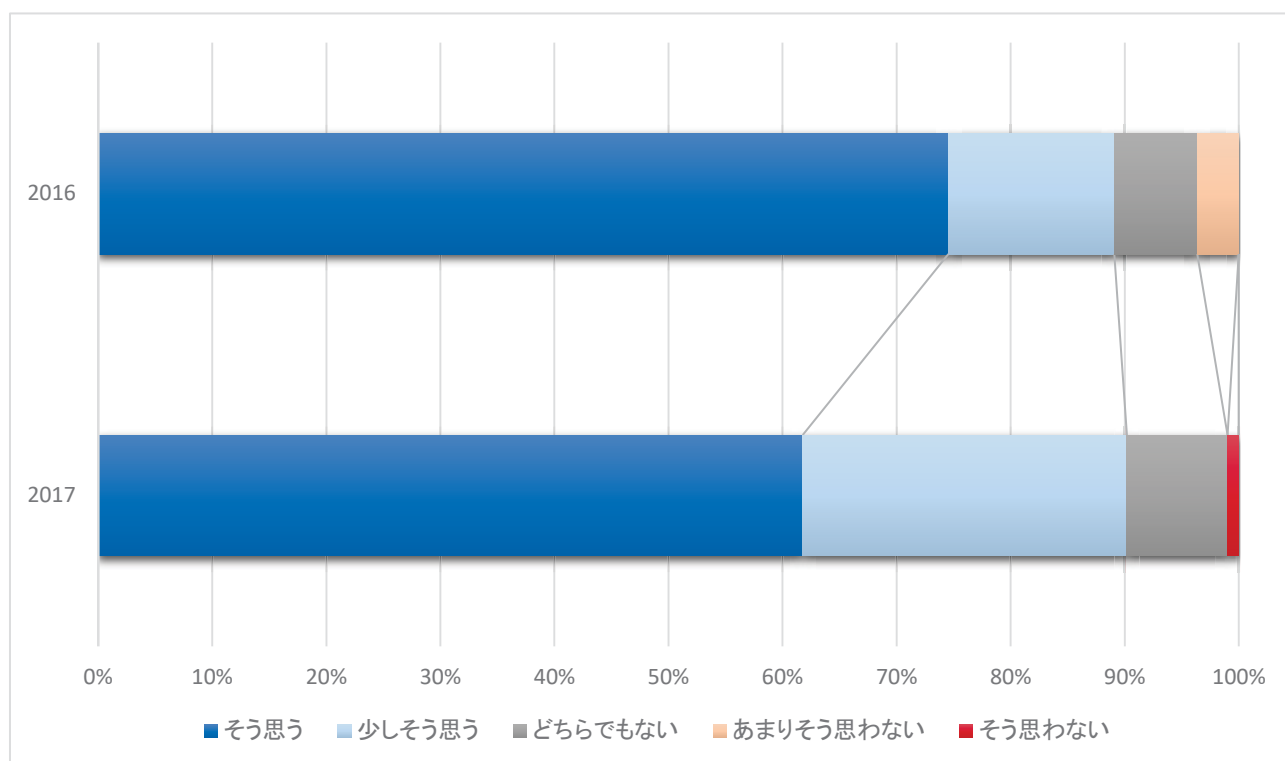


図 4-16 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-16 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少し思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年 事後アンケート	41	8	4	2	0
2017 年 事後アンケート	63	29	9	0	1

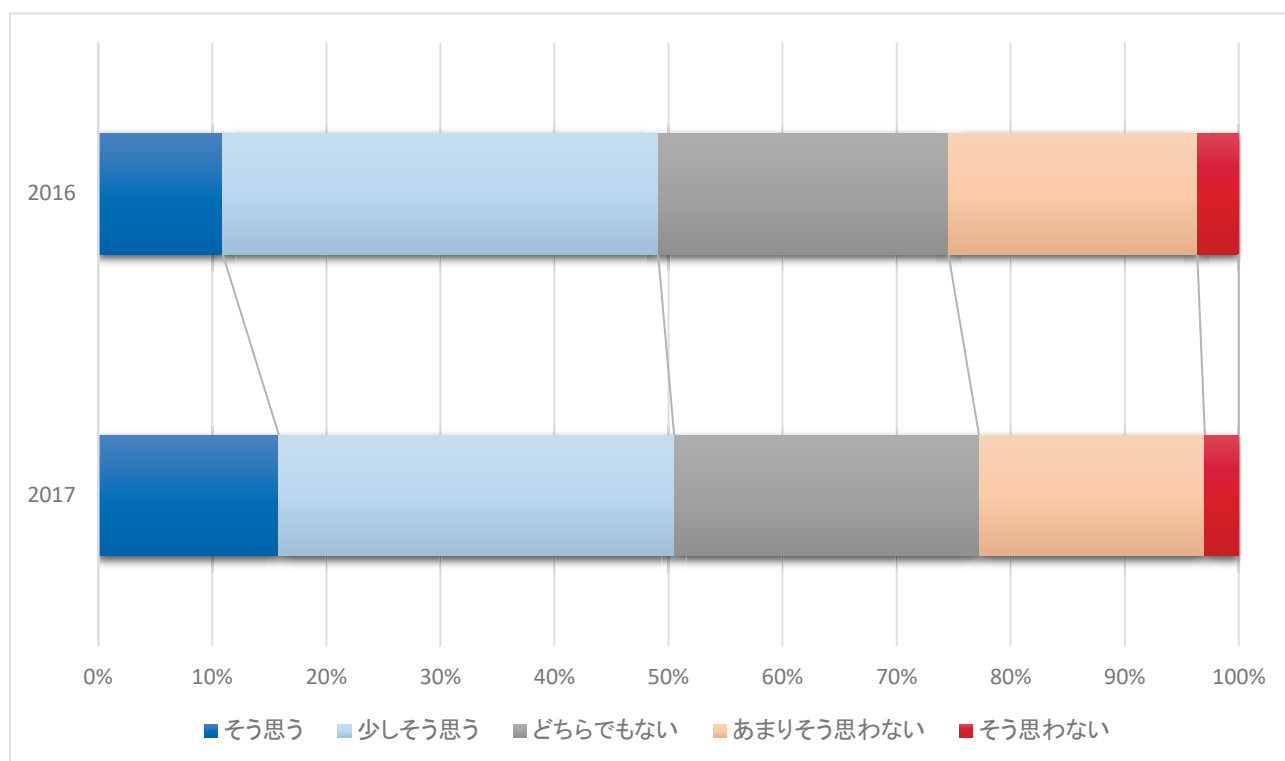


図 4-17 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-17 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2016 年 事後アンケート	6	21	14	12	2
2017 年 事後アンケート	16	35	27	20	3

4-1-4 2018 年の事前アンケートと事後アンケート

2018 年の事前アンケートと事後アンケートの結果を示す（図 4-18, 4-19, 4-20, 4-21, 4-22 表 4-18, 4-19, 4-20, 4-21, 4-22）。また、事後アンケートの質問⑥～⑨の授業評価の項目についての結果も示す（図 4-23 表 4-23）。アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑤について行い、2018 年の事前アンケートと事後アンケートの間で有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは事前アンケートと事後アンケートの両方を回収できた 96 組を用いた。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=4.00$, $P=9.39 \times 10^{-5}$)。「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=0.470$, $P=0.639$)。

「③カーボンニュートラルを説明できますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=5.94$, $P=1.56 \times 10^{-8}$)。「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=4.38$, $P=1.97 \times 10^{-5}$)。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=0.970$, $P=0.333$)。

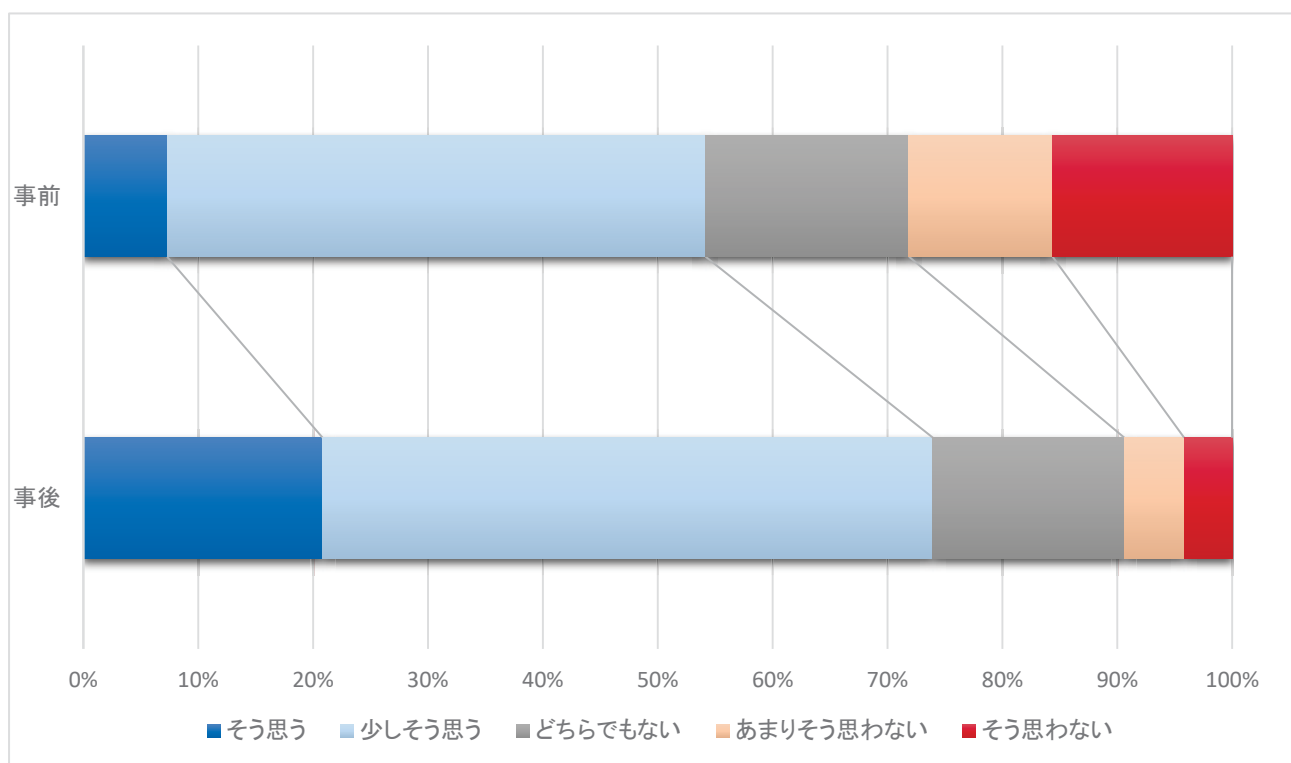


図 4-18 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-18 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事前アンケート	7	45	17	12	15
2018 年 事後アンケート	20	51	16	5	4

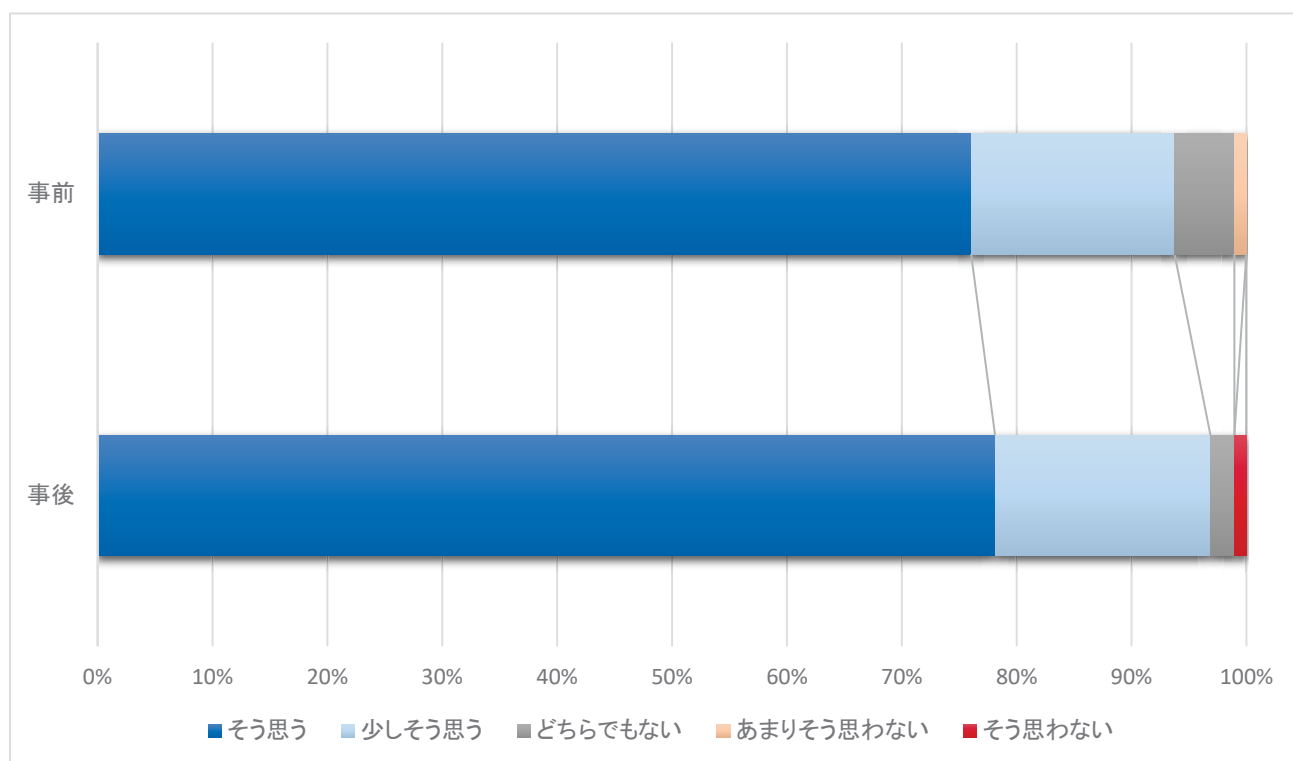


図 4-19 「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-19 「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事前アンケート	73	17	5	1	0
2018 年 事後アンケート	75	18	2	0	1

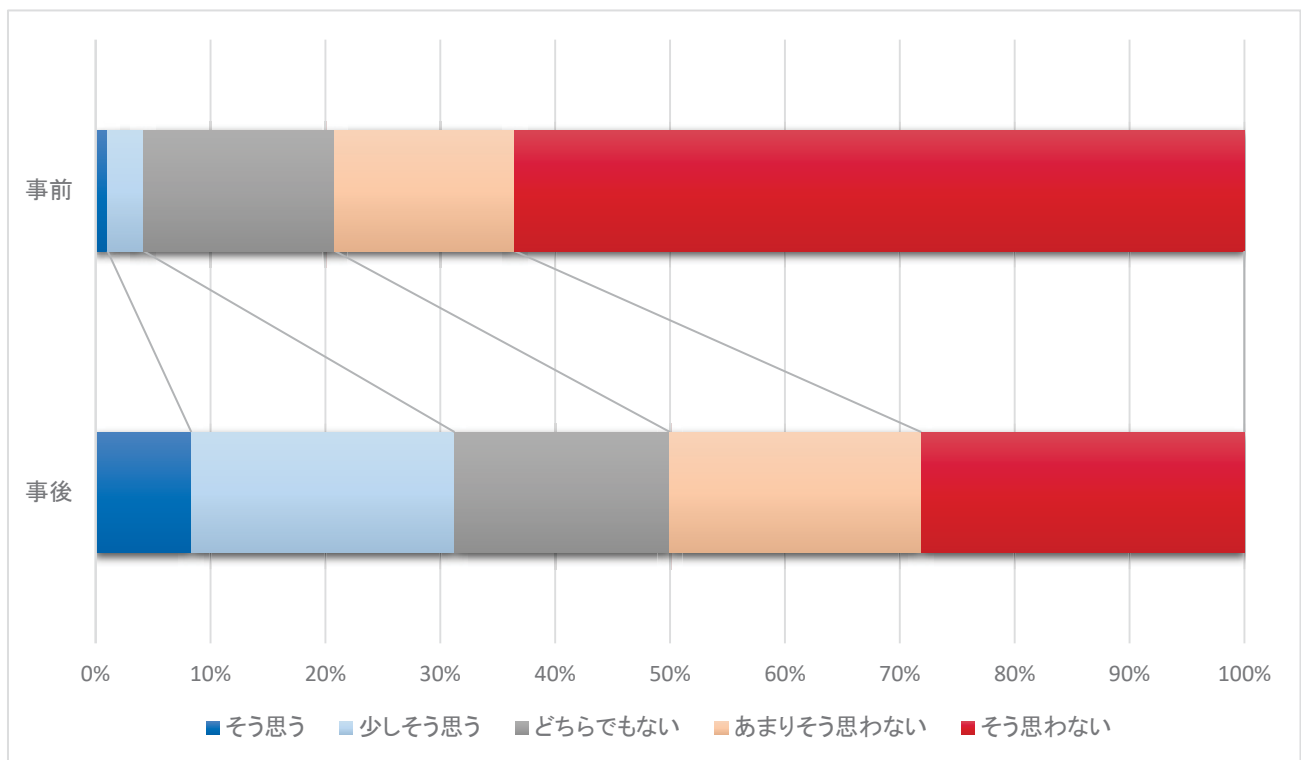


図 4-20 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-20 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事前アンケート	1	3	16	15	61
2018 年 事後アンケート	8	22	18	21	27

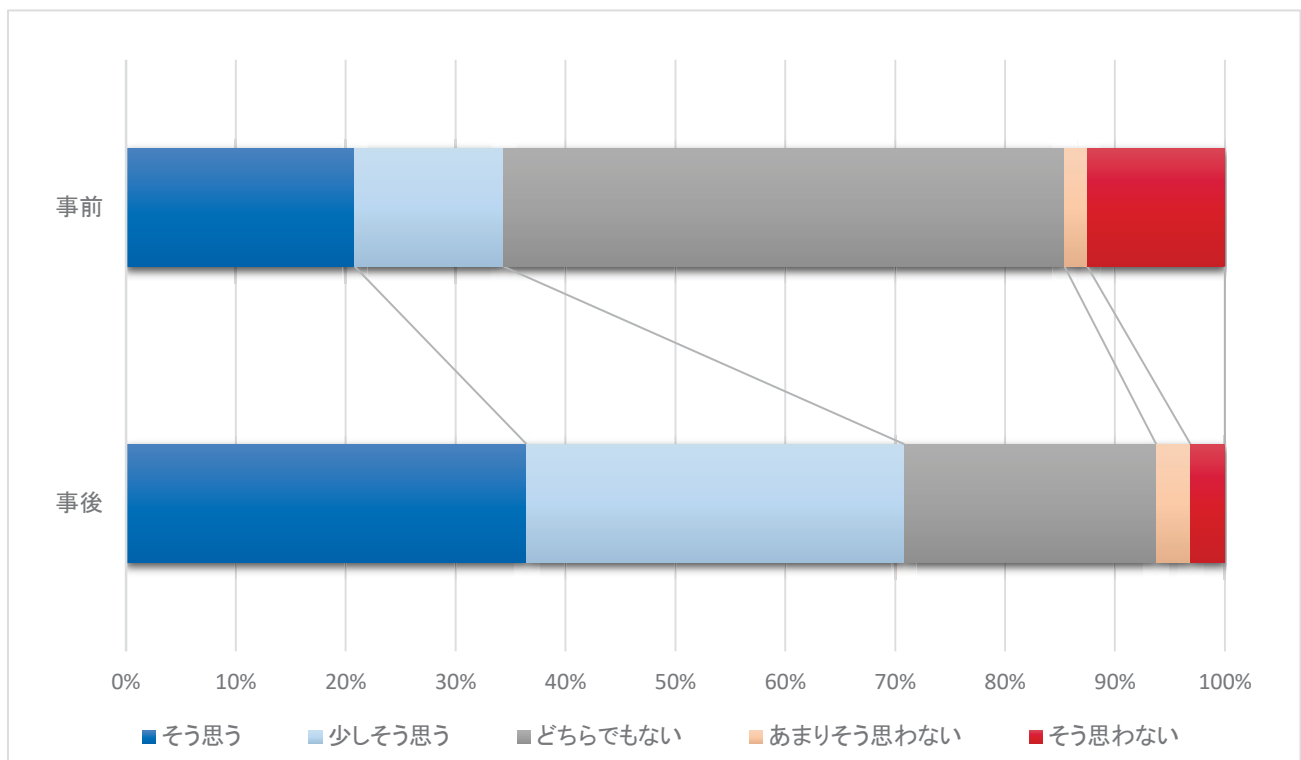


図 4-21 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-21 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事前アンケート	20	13	49	2	12
2018 年 事後アンケート	35	33	22	3	3

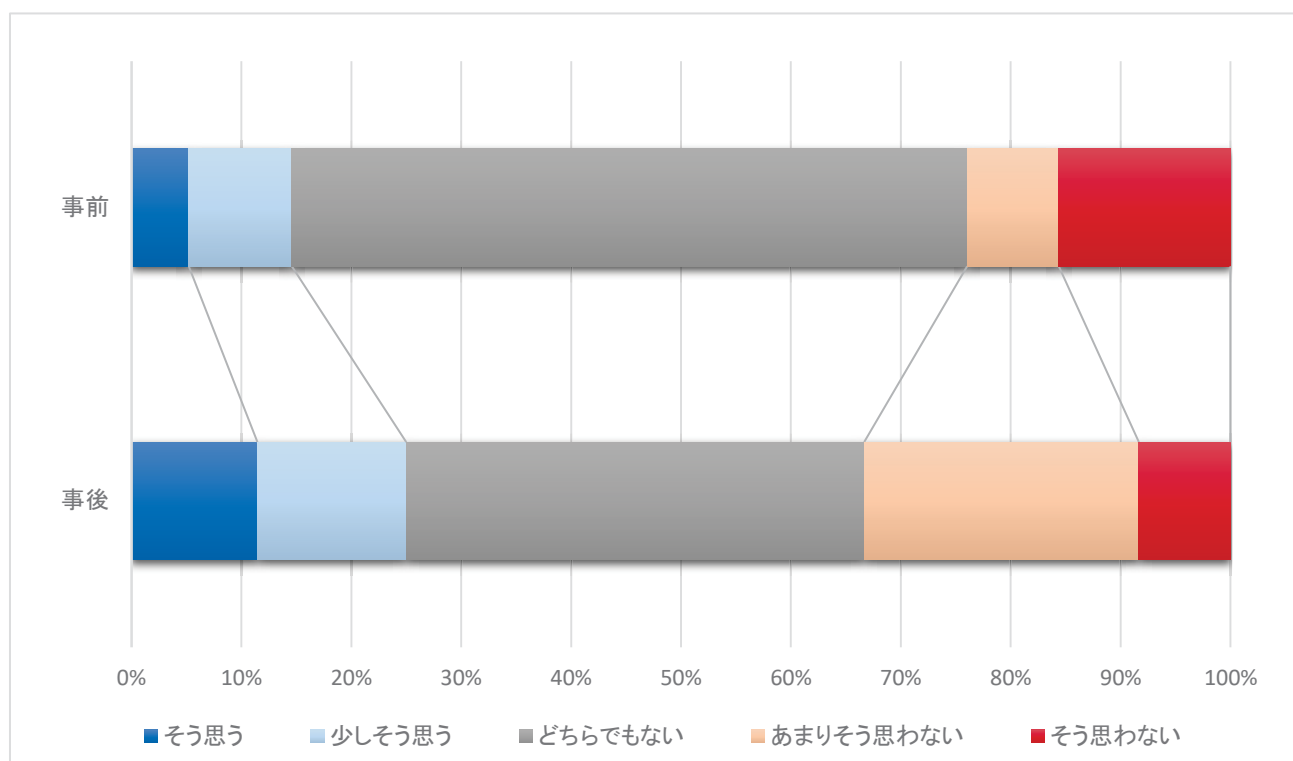


図 4-22 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-22 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事前アンケート	5	9	59	8	15
2018 年 事後アンケート	11	13	40	24	8

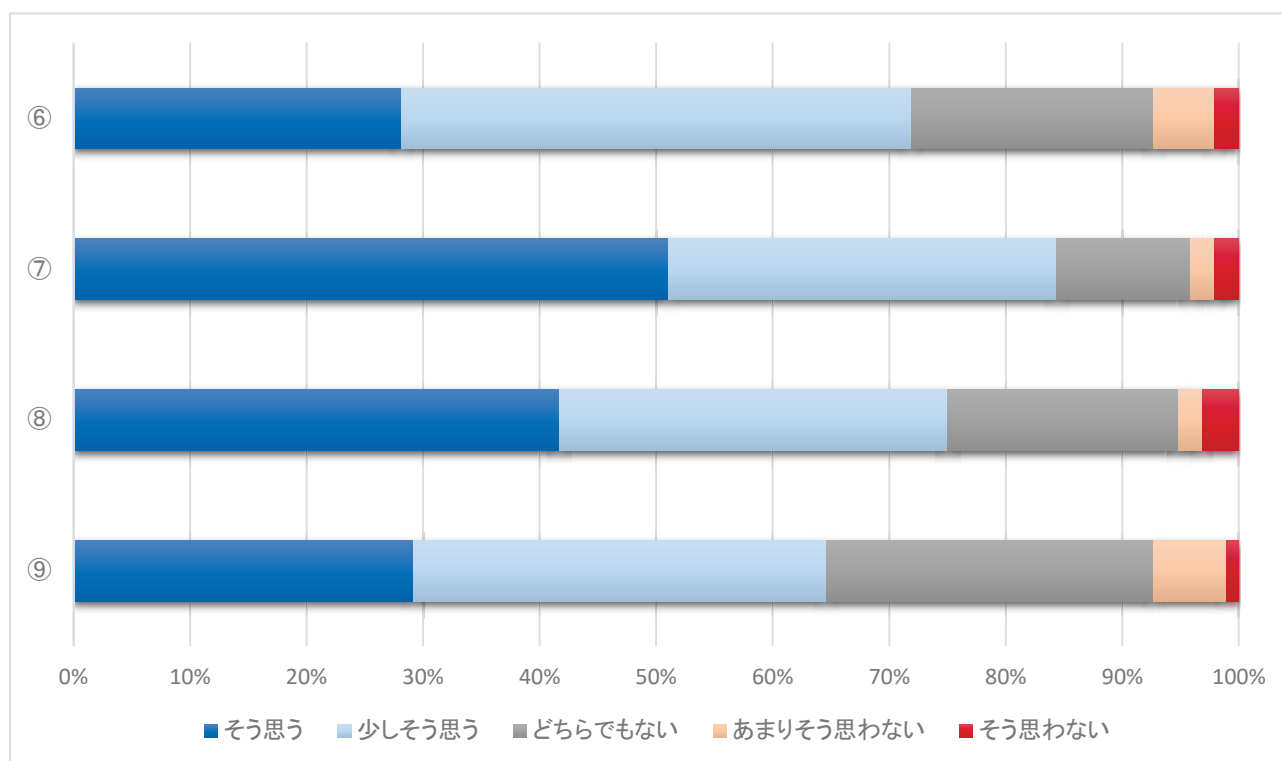


図 4-23 授業評価についてのアンケート結果グラフ

「⑥授業はよくわかりましたか。」

「⑦授業は楽しかったですか。」

「⑧授業の内容に興味は持てましたか。」

「⑨授業の内容は役に立ちそうですか。」

表 4-23 授業評価についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
⑥	27	42	20	5	2
⑦	49	32	11	2	2
⑧	40	32	19	2	3
⑨	28	34	27	6	1

4-1-5 2018 年の環境意識アンケート

2018 年の環境意識アンケートの結果を示す。(図 4-24, 4-25, 4-26, 4-27, 4-28, 4-29 表 4-24, 4-25, 4-26, 4-27, 4-28, 4-29) アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑥について行い、授業実践を行ったクラスと行っていないクラスとの間で有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは、授業を実施したクラスは 100 人、実施していないクラスは 66 人である。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスの間には有意な差が認められなかった ($t=1.33$, $P=0.184$)。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスの間には有意な差が認められた ($t=2.31$, $P=0.0234$)。「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスの間には有意な差が認められた ($t=1.72$, $P=0.0442$)。「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスの間には有意な差が認められなかった ($t=1.10$, $P=0.272$)。「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスの間には有意な差が認められた ($t=1.64$, $P=0.0103$)。「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスの間には有意な差が認められなかった ($t=1.06$, $P=0.292$)。

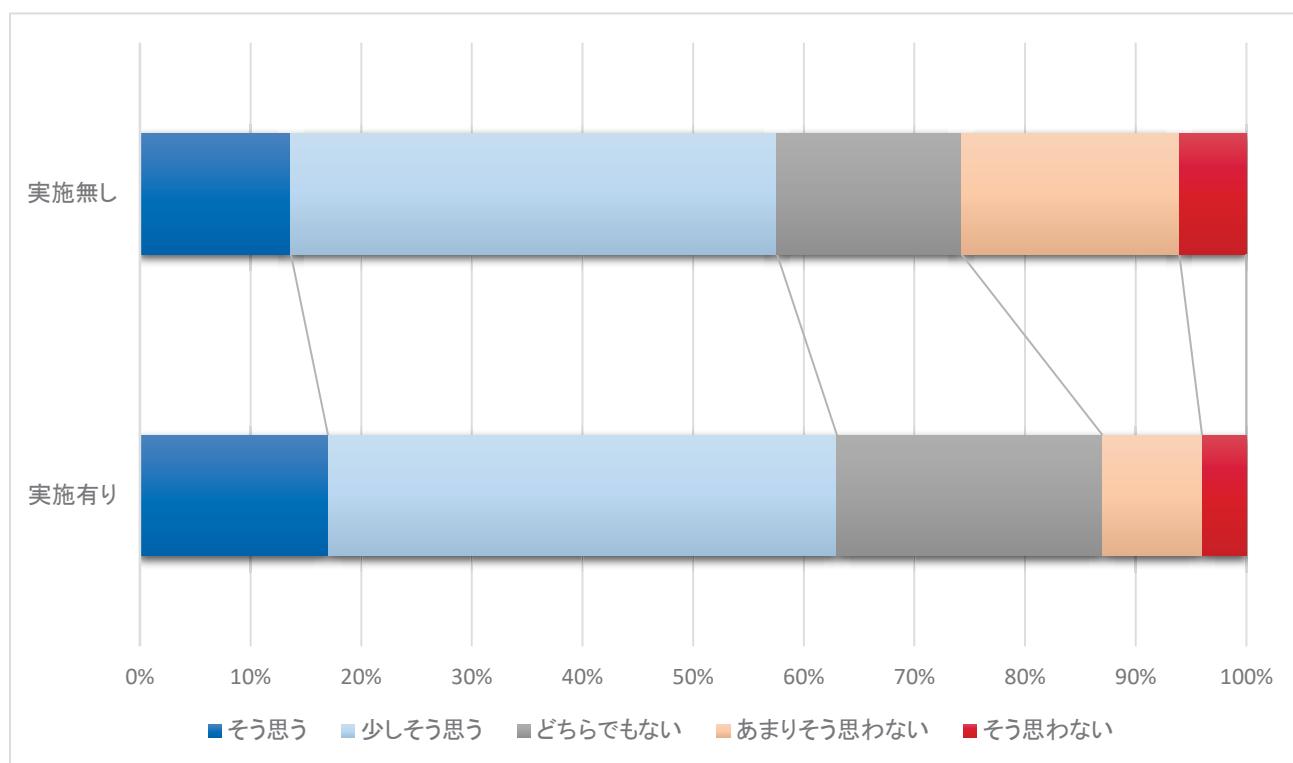


図 4-24 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-24 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 授業実施無し	9	29	11	13	4
2018 年 授業実施有り	17	46	24	9	4

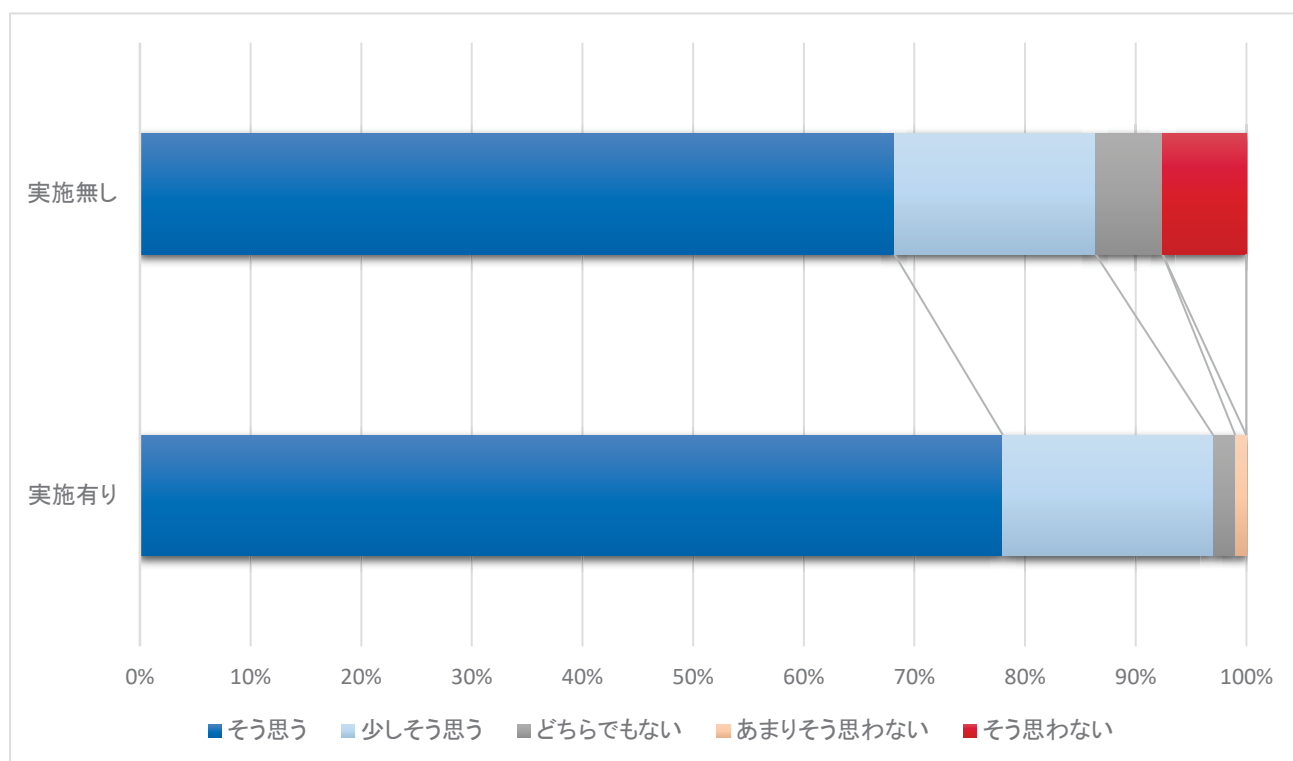


図 4-25 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-25 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少し思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 授業実施無し	45	12	4	0	5
2018 年 授業実施有り	78	19	2	1	0

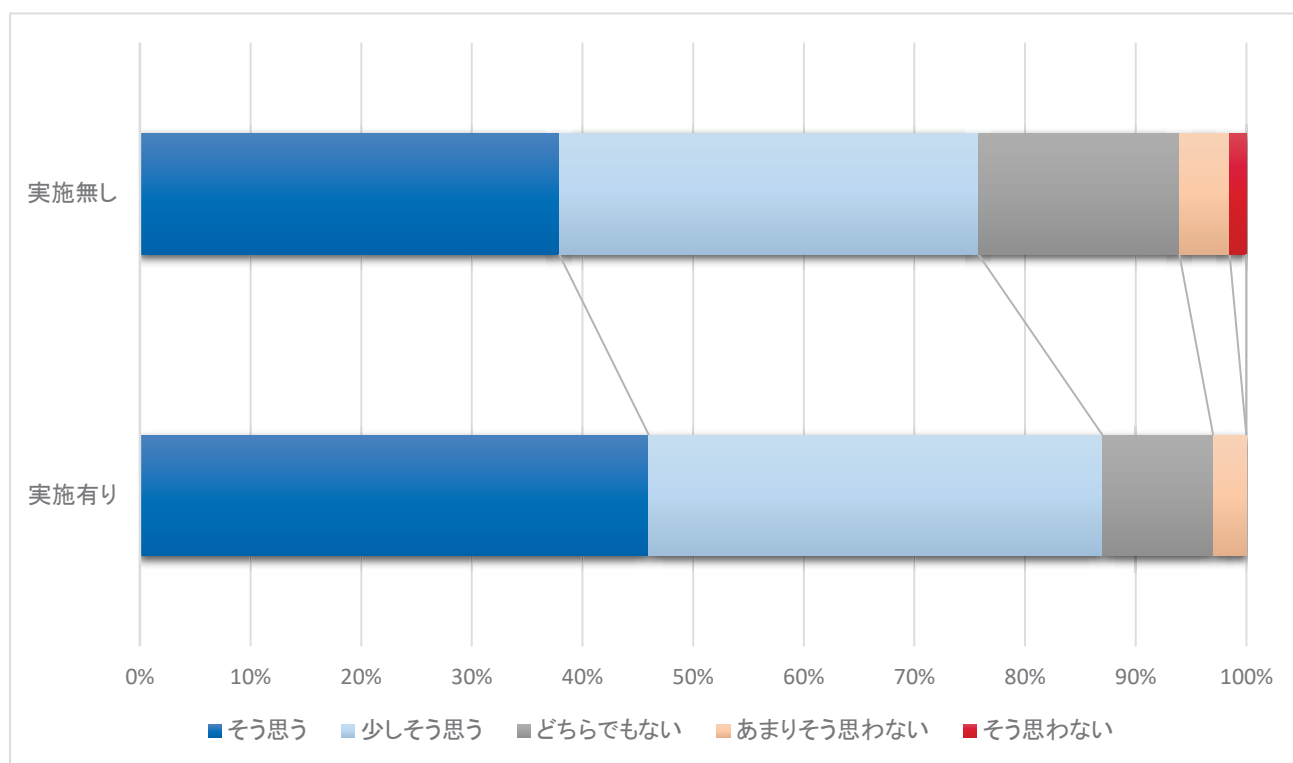


図 4-26 「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-26 「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 授業実施無し	25	25	12	3	1
2018 年 授業実施有り	46	41	10	3	0

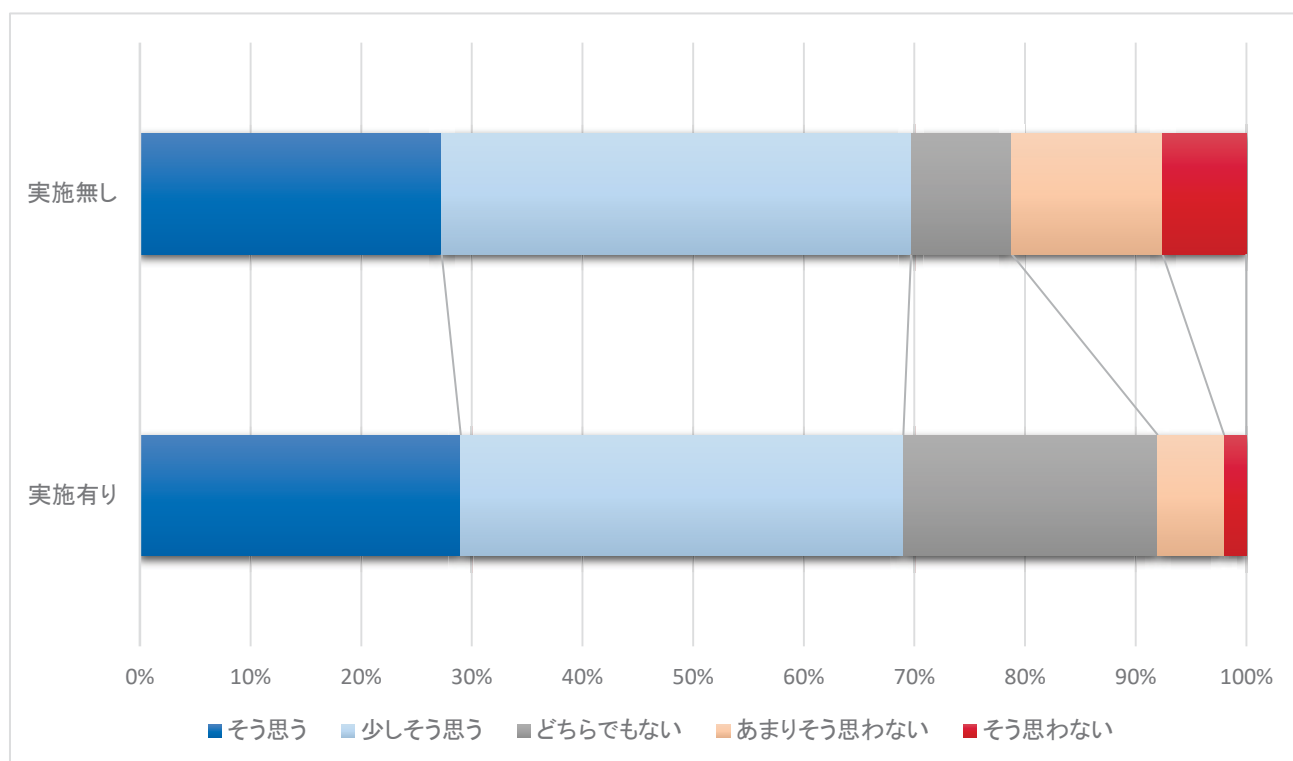


図 4-27 「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-27 「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 授業実施無し	18	28	6	9	5
2018 年 授業実施有り	29	40	23	6	2

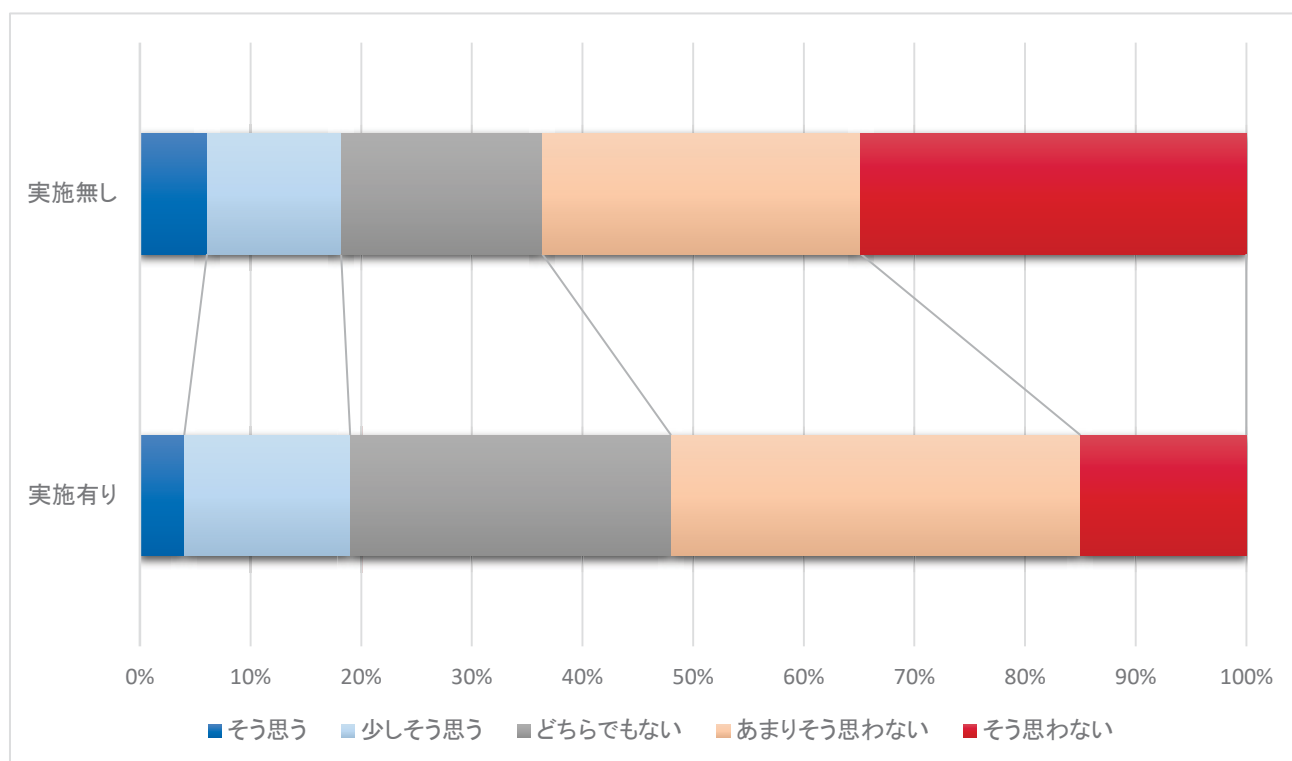


図 4-28 「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-28 「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 授業実施無し	4	8	12	19	23
2018 年 授業実施有り	4	15	29	37	15

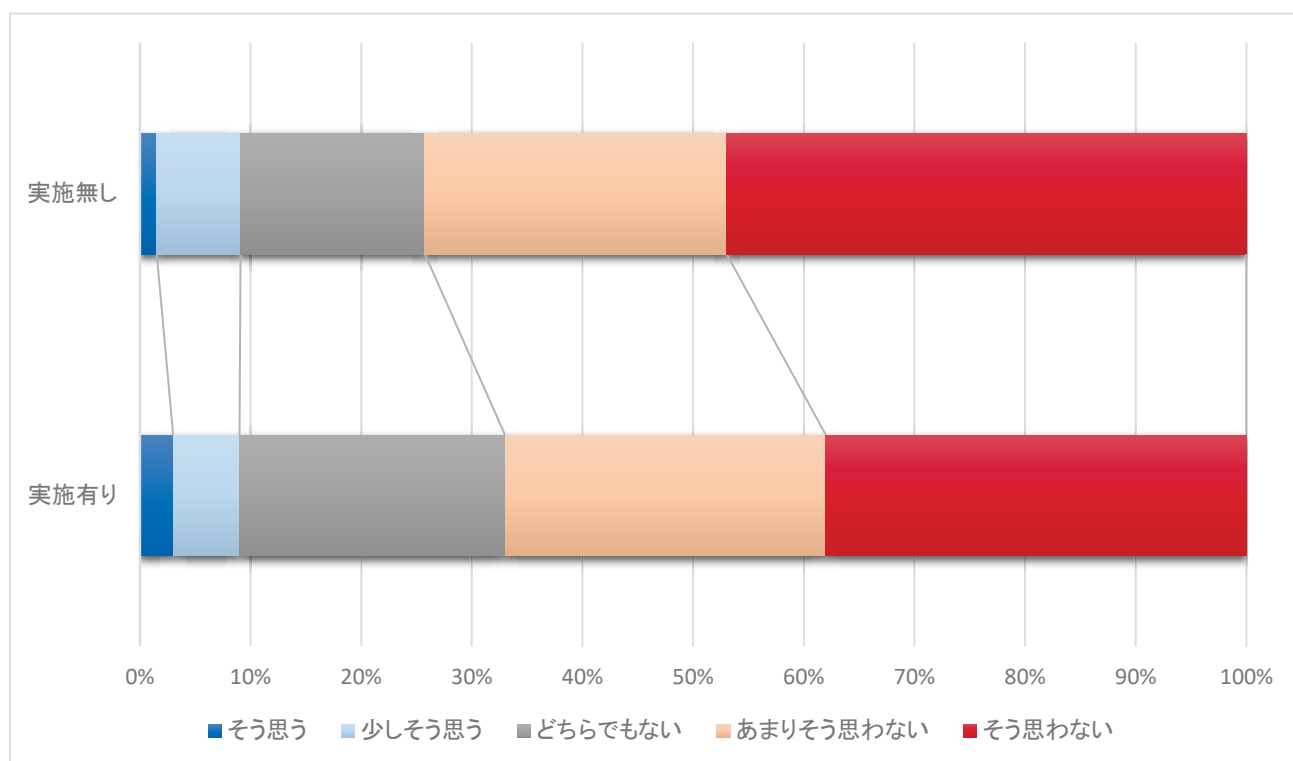


図 4-29 「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-29 「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 授業実施無し	1	5	11	18	31
2018 年 授業実施有り	3	6	24	29	38

4-1-6 2017 年と 2018 年の事後アンケート

2017 年の事後アンケートと 2018 年の事後アンケートの結果を示す。(図 4-30, 4-31, 4-32, 4-33, 4-34 表 4-30, 4-31, 4-32, 4-33, 4-34) アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑤について行い、2017 年の事後アンケートと 2018 年の事後アンケートの間に有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは、2017 年は 96 人、2018 年は 97 人を用いた。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、2017 年と 2018 年の事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=3.09$, $P=0.00233$)。「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」で、2017 年と 2018 年の事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=2.04$, $P=0.0430$)。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」で、2017 年と 2018 年の事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=7.68$, $P=1.02 \times 10^{-12}$)。「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」で、2017 年と 2018 年の事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=4.01$, $P=9.08 \times 10^{-5}$)。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」で、2017 年と 2018 年の事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=3.20$, $P=0.00160$)。

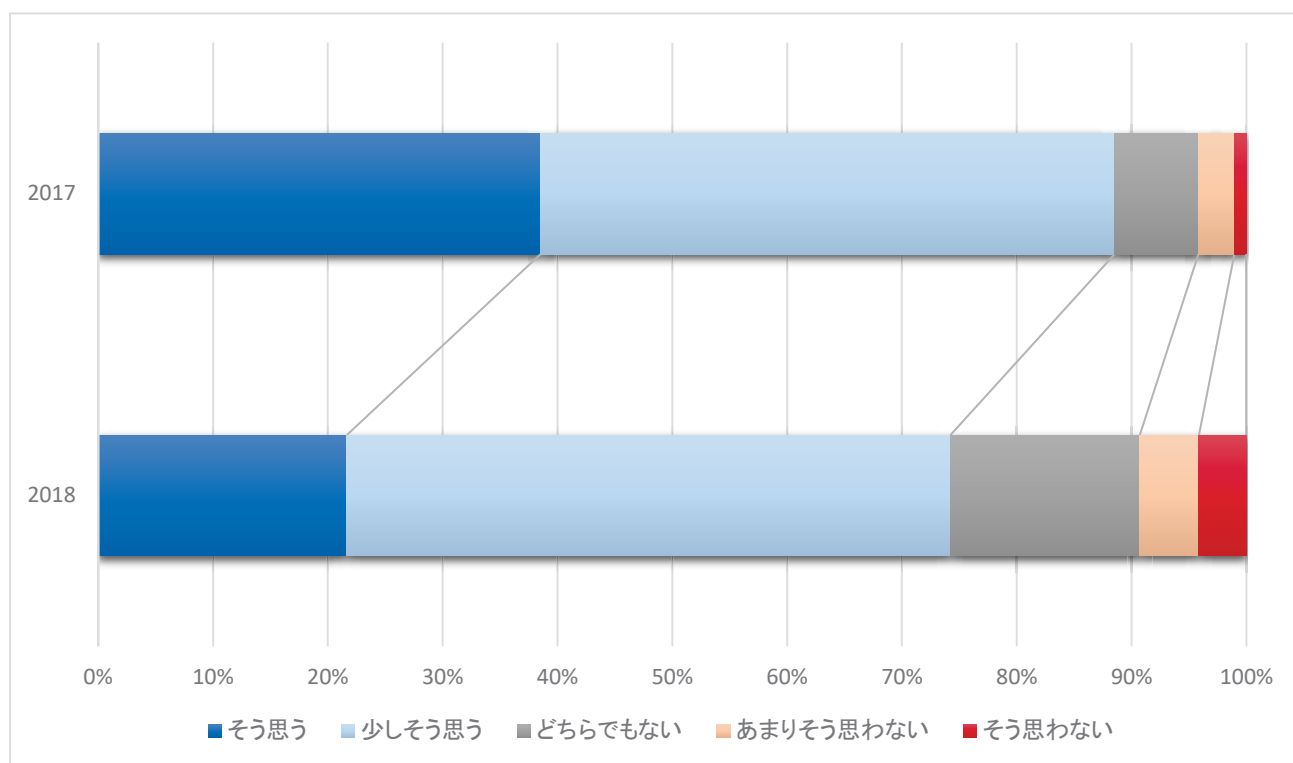


図 4-30 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-30 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事後アンケート	32	19	4	0	0
2018 年 事後アンケート	16	13	0	2	0

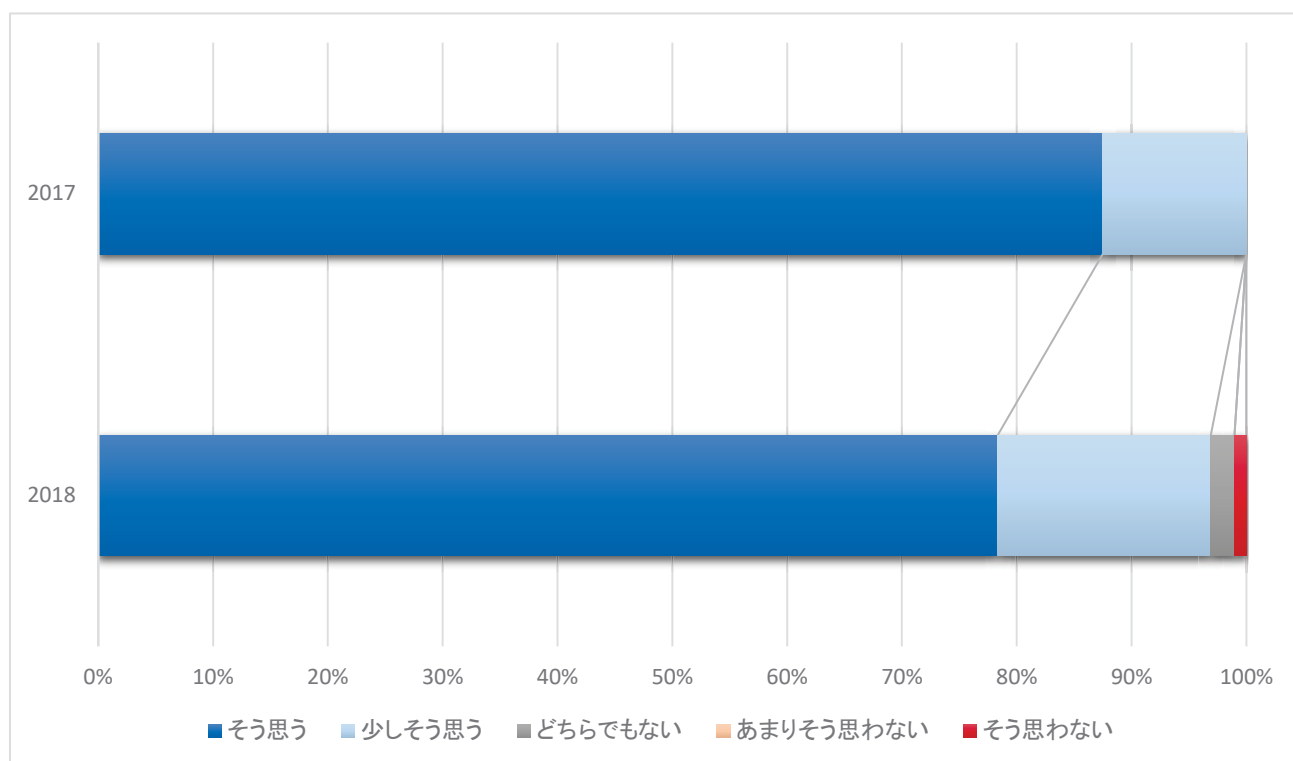


図 4-31 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-31 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事後アンケート	84	12	0	0	0
2018 年 事後アンケート	76	18	2	0	1

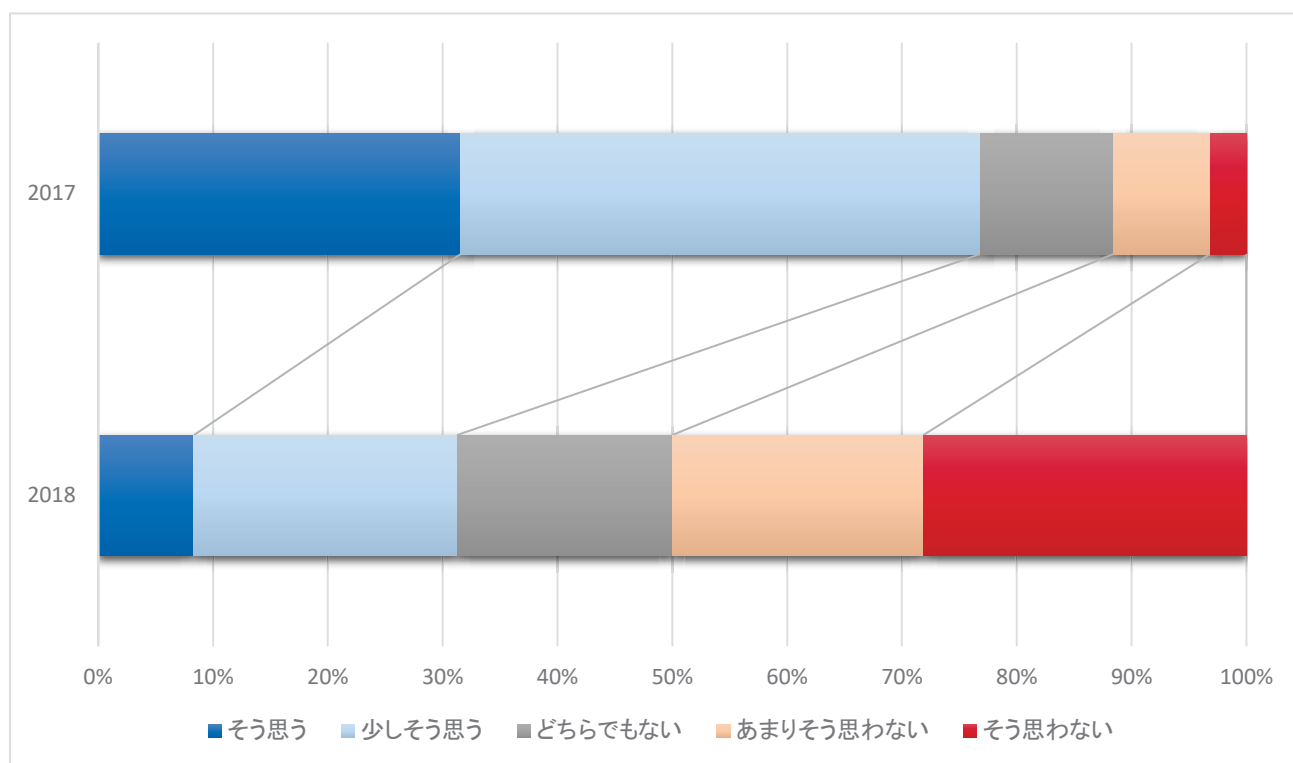


図 4-32 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-32 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事後アンケート	30	43	11	8	3
2018 年 事後アンケート	8	22	18	21	27

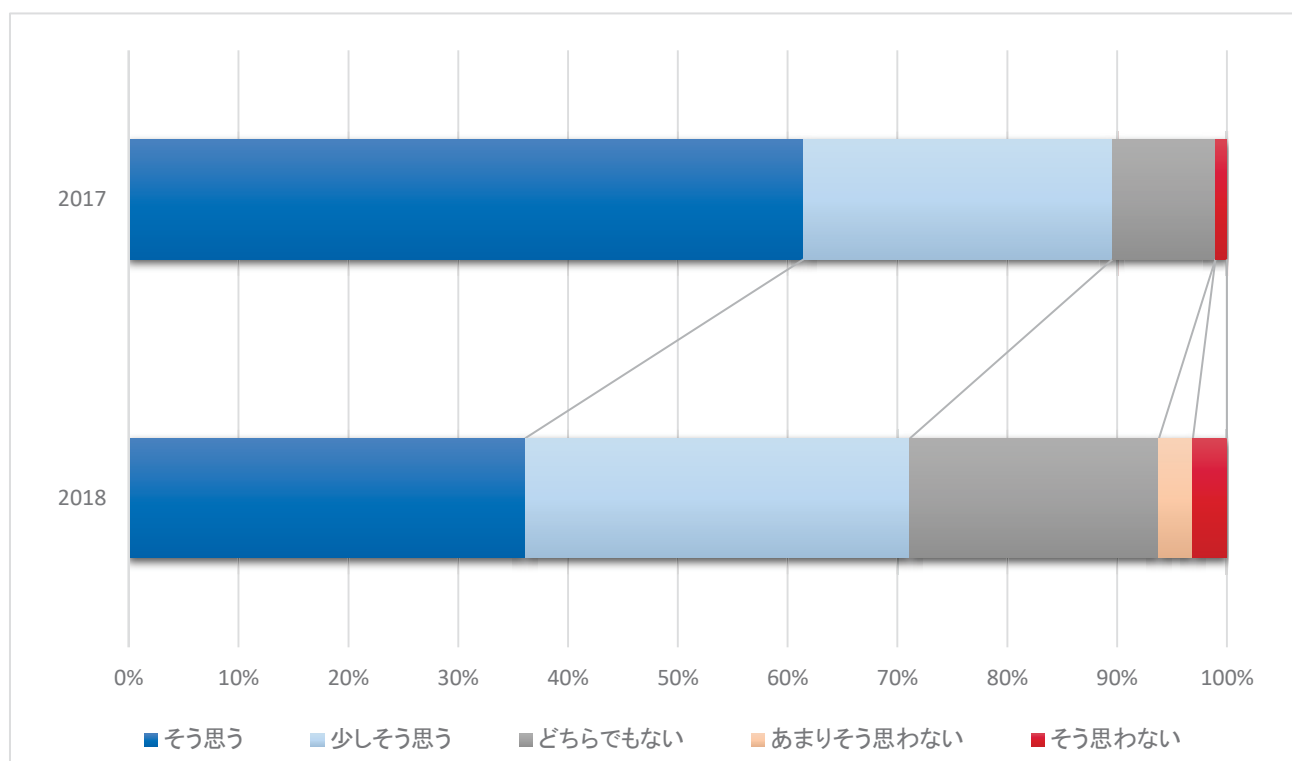


図 4-33 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-33 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少し思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事後アンケート	59	27	9	0	1
2018 年 事後アンケート	35	34	22	3	3

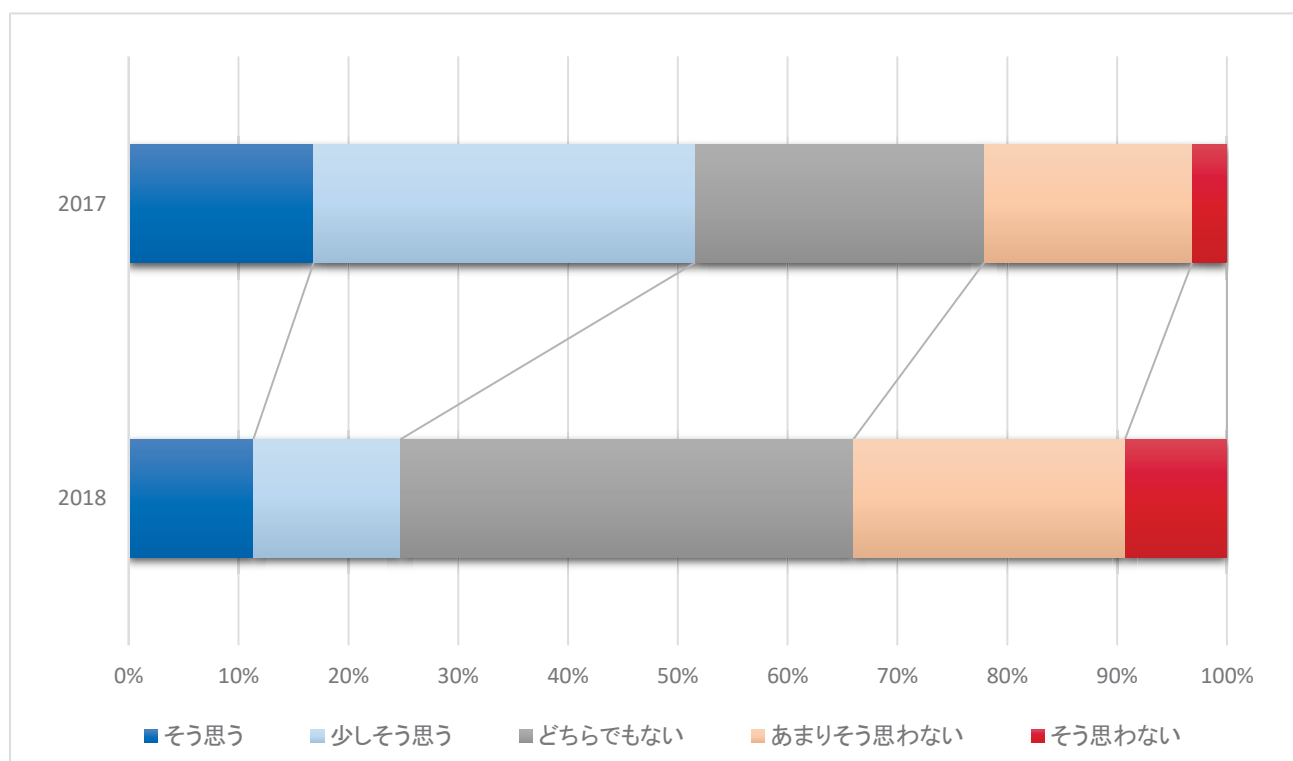


図 4-34 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-34 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2017 年 事後アンケート	16	33	25	18	3
2018 年 事後アンケート	11	13	40	24	9

4-1-7 2019 年の事前アンケートと事後アンケート

2019 年の事前アンケートと事後アンケートの結果を示す（図 4-35, 4-36, 4-37, 4-38, 4-39 表 4-35, 4-36, 4-37, 4-38, 4-39）。また、事後アンケートの質問⑥～⑨の授業評価の項目についての結果も示す（図 4-40 表 4-40）。アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑤について行い、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは事前アンケートと事後アンケートの両方を回収できた 71 組を用いた。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=3.75$, $P=2.69 \times 10^{-14}$)。「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=1.78$, $P=0.0780$)。

「③カーボンニュートラルを説明できますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=9.31$, $P=5.93 \times 10^{-15}$)。「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するためが必要だと思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=5.86$, $P=3.30 \times 10^{-8}$)。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」で、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=0.0255$, $P=0.980$)。

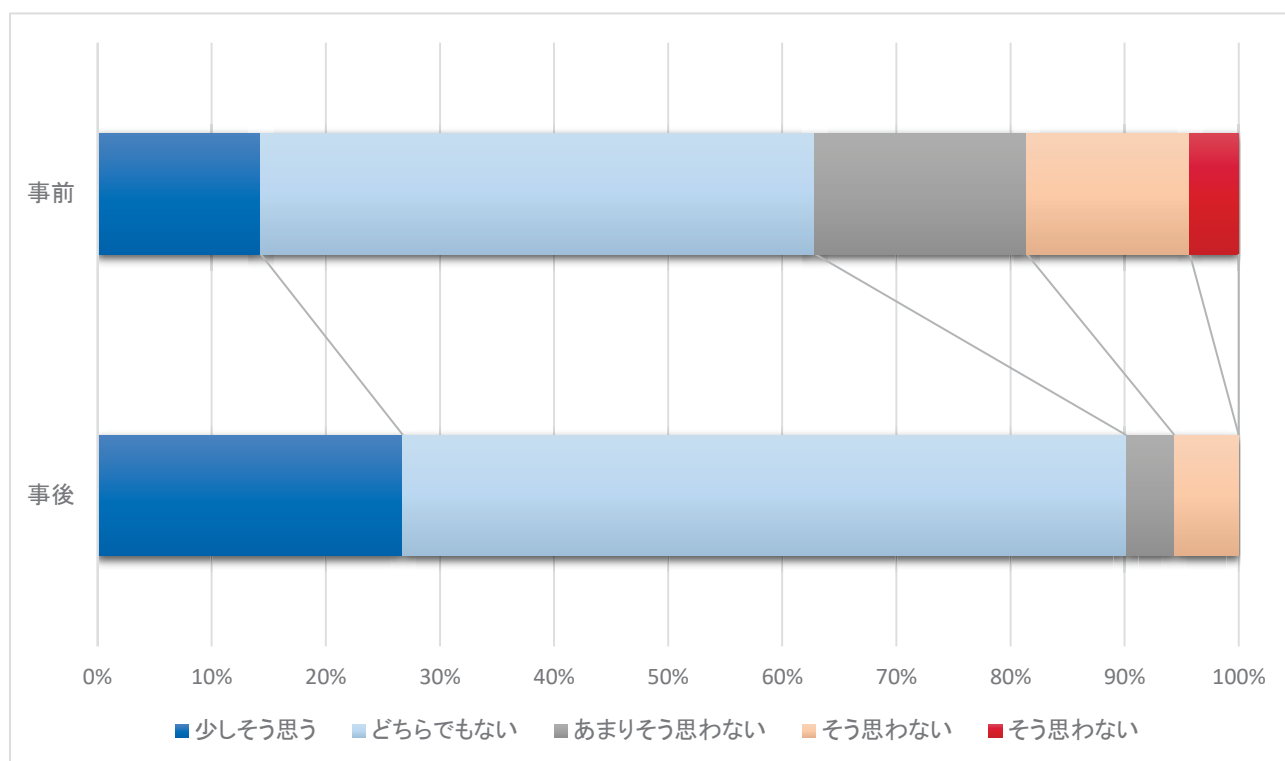


図 4-35 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-35 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 事前アンケート	10	34	13	10	3
2019 年 事後アンケート	19	45	3	4	0

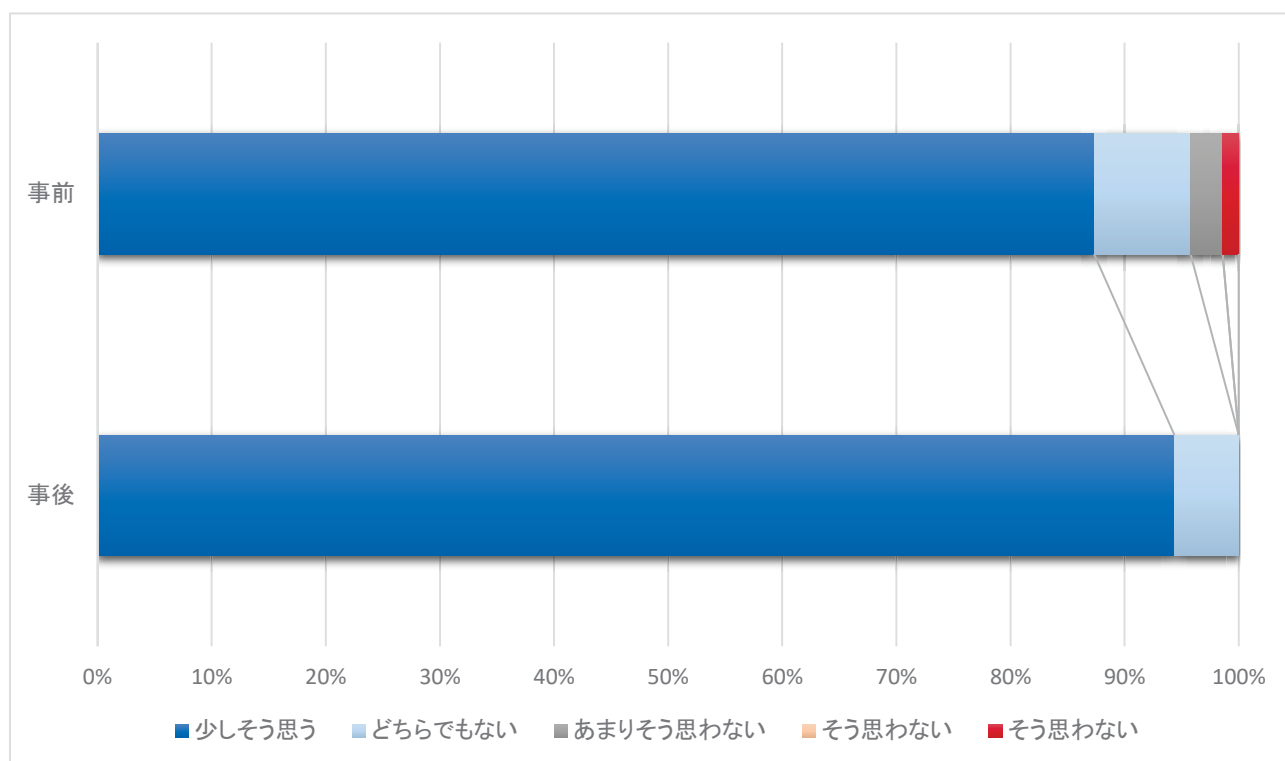


図 4-36 「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-36 「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 事前アンケート	62	7	2	0	1
2019 年 事後アンケート	67	4	0	0	0

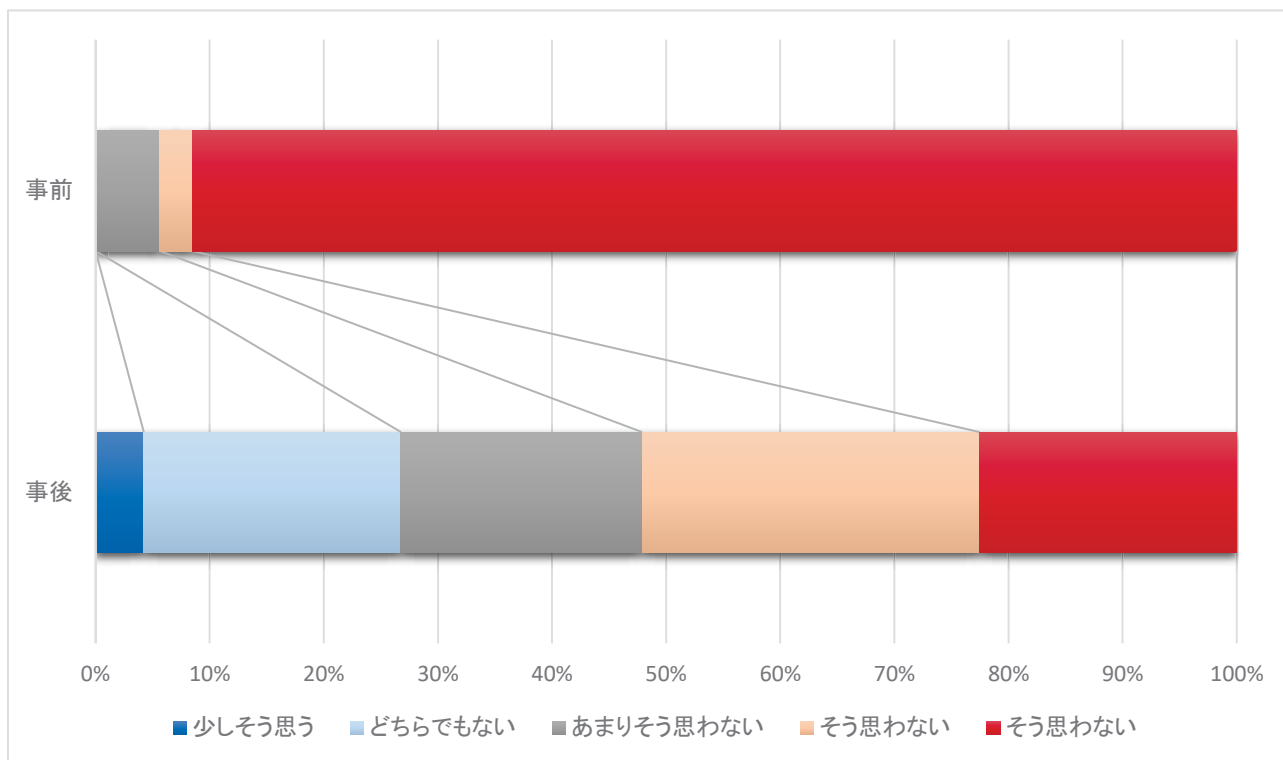


図 4-37 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-37 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 事前アンケート	0	0	4	2	65
2019 年 事後アンケート	3	16	15	21	16

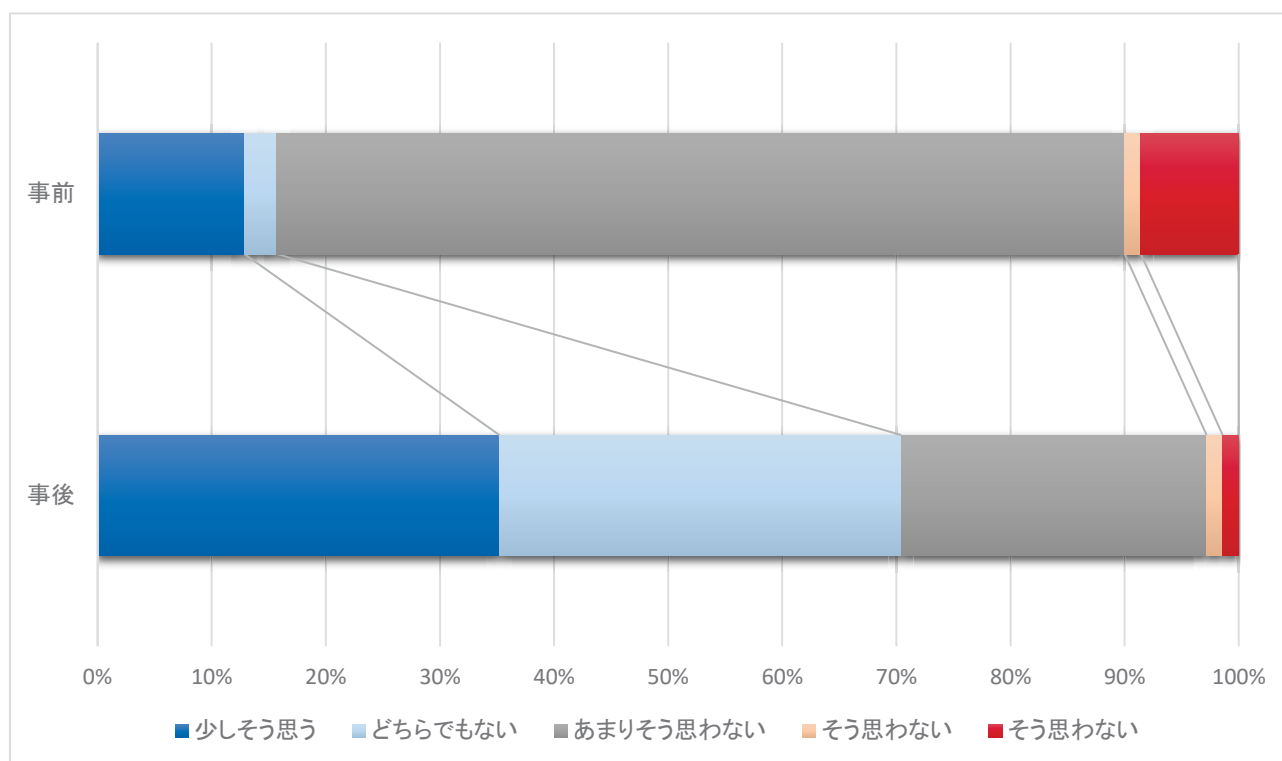


図 4-38 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-38 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 事前アンケート	9	2	52	1	6
2019 年 事後アンケート	25	26	19	1	1

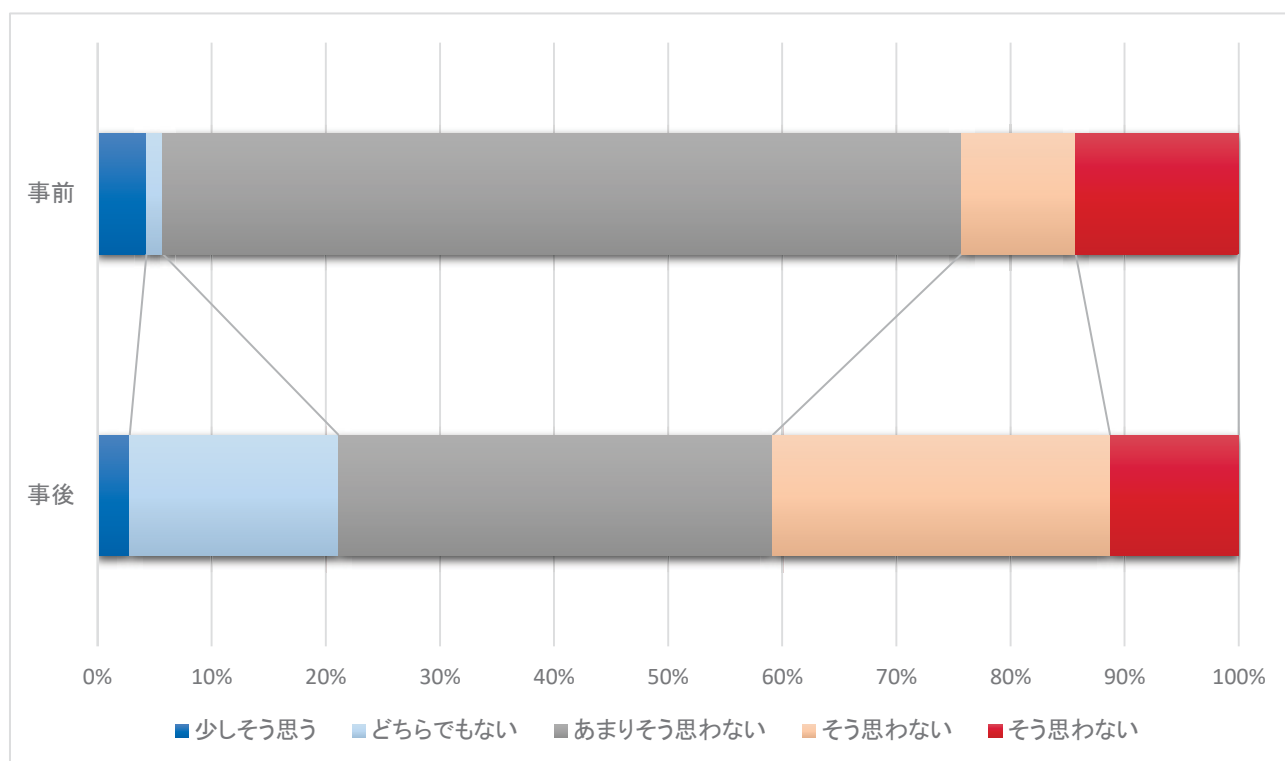


図 4-39 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果
グラフ

表 4-39 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果
集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 事前アンケート	3	1	49	7	10
2019 年 事後アンケート	2	13	27	21	8

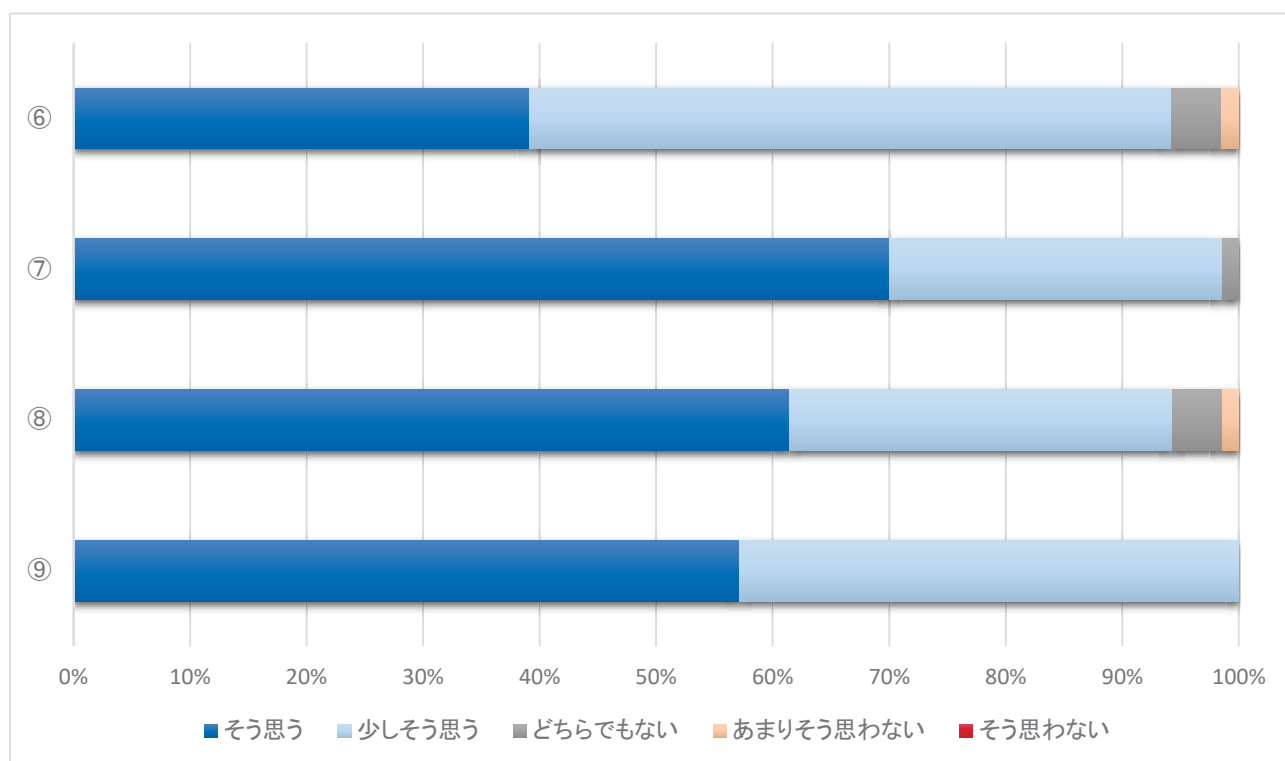


図 4-40 授業評価についてのアンケート結果グラフ

「⑥授業はよくわかりましたか。」

「⑦授業は楽しかったですか。」

「⑧授業の内容に興味は持てましたか。」

「⑨授業の内容は役に立ちそうですか。」

表 4-40 授業評価についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
⑥	27	38	3	1	0
⑦	49	20	1	0	0
⑧	43	23	3	1	0
⑨	40	30	0	0	0

4-1-8 2019 年の環境意識アンケート

2019 年の環境意識アンケートの結果を示す。(図 4-41, 4-42, 4-43, 4-44, 4-45, 4-46 表 4-41, 4-42, 4-43, 4-44, 4-45, 4-46) アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑥について行い、授業実践を行ったクラスと行っていないクラスとの間で有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは、授業を実施したクラスは 70 人、実施していないクラスは 74 人である。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスとの間に有意な差が認められた ($t=2.61, P=0.00997$)。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスとの間に有意な差が認められなかった ($t=2.86, P=0.00518$)。「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスとの間に有意な差が認められなかった ($t=1.03, P=0.307$)。「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスとの間に有意な差が認められなかった ($t=1.68, P=0.959$)。「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスとの間に有意な差が認められた ($t=1.09, P=0.0278$)。「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」で、授業実施クラスと実施していないクラスとの間に有意な差が認められなかった ($t=1.13, P=0.260$)。

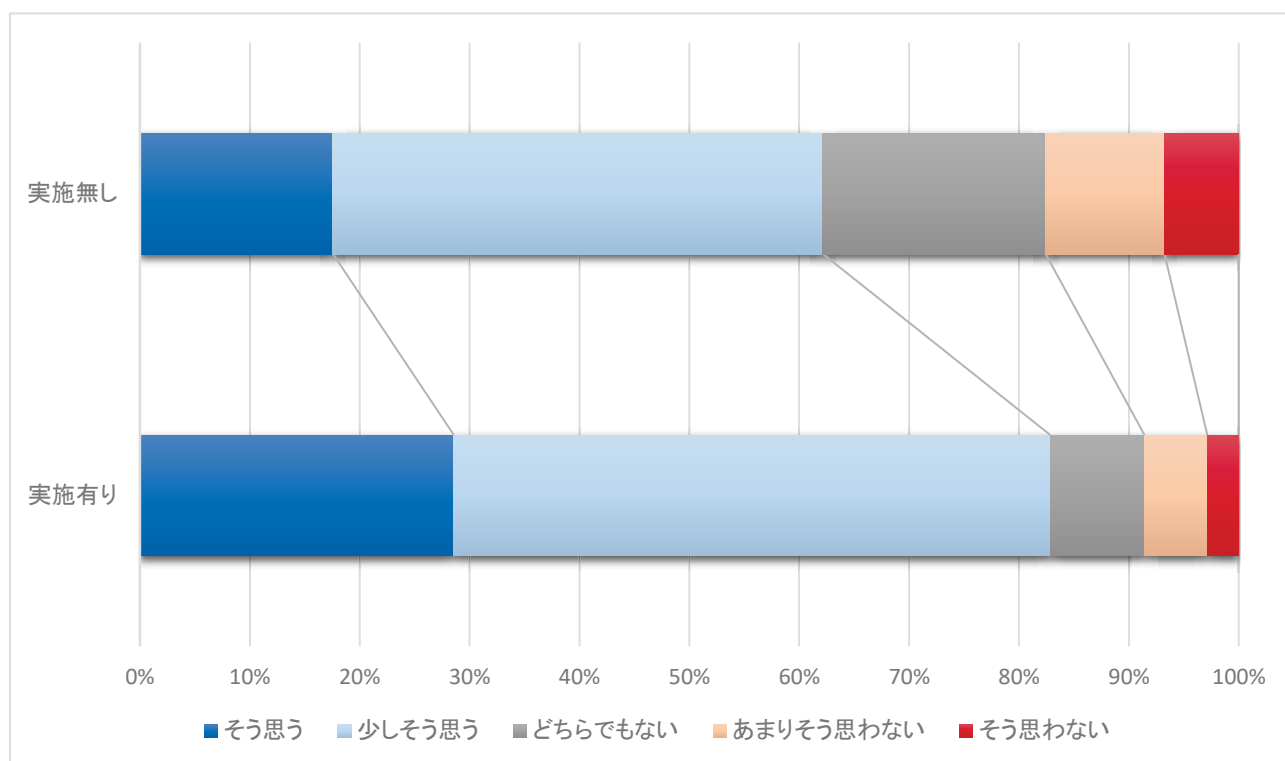


図 4-41 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-41 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 授業実施無し	13	33	15	8	5
2019 年 授業実施有り	20	38	6	4	2

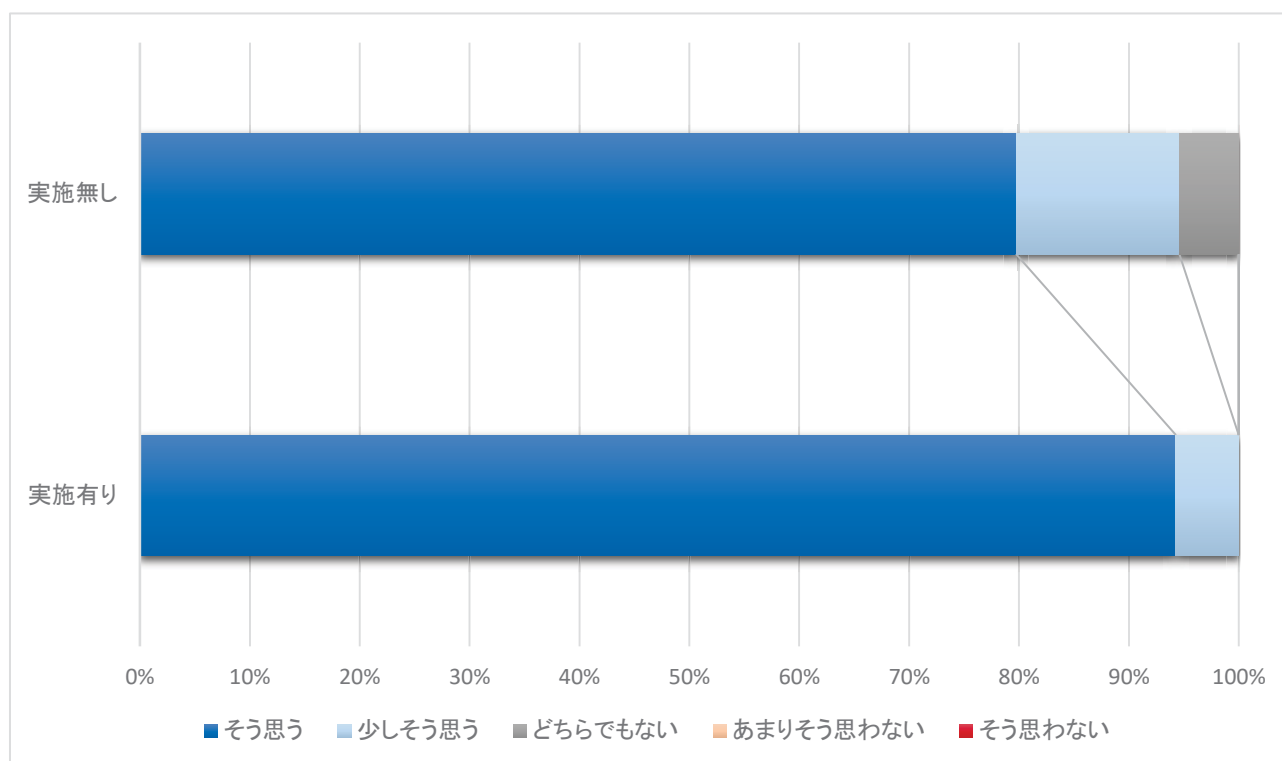


図 4-42 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」 についてのアンケート結果グラフ

表 4-42 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」 についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 授業実施無し	59	11	4	0	0
2019 年 授業実施有り	66	4	0	0	0

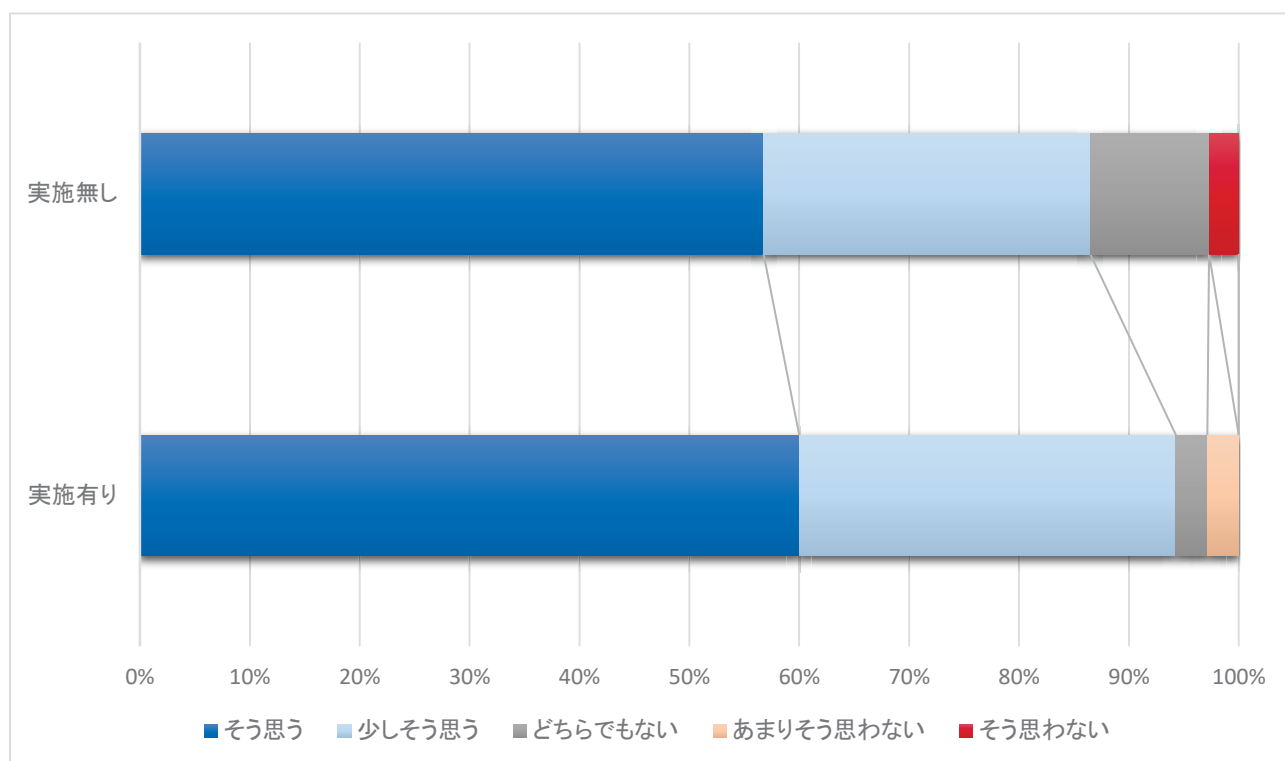


図 4-43 「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-43 「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 授業実施無し	42	22	8	0	2
2019 年 授業実施有り	42	24	2	2	0

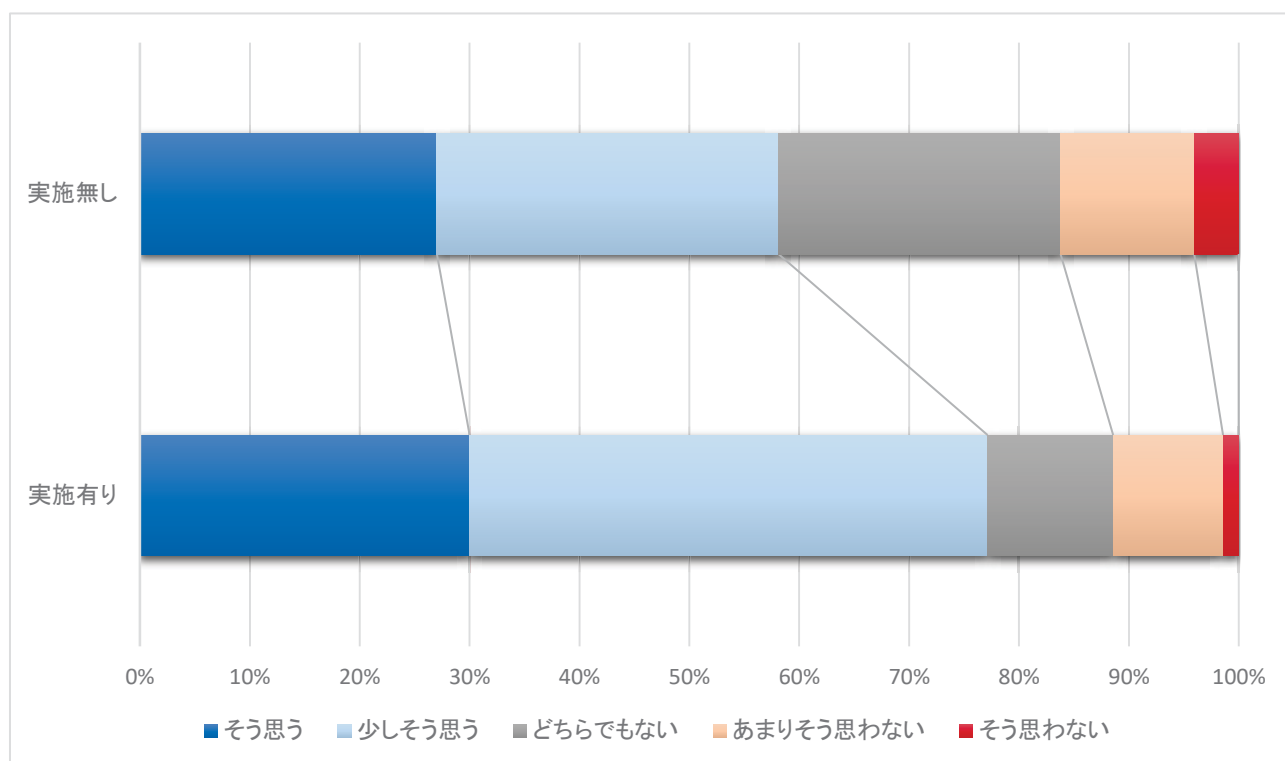


図 4-44 「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-44 「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 授業実施無し	20	23	19	9	3
2019 年 授業実施有り	21	33	8	7	1

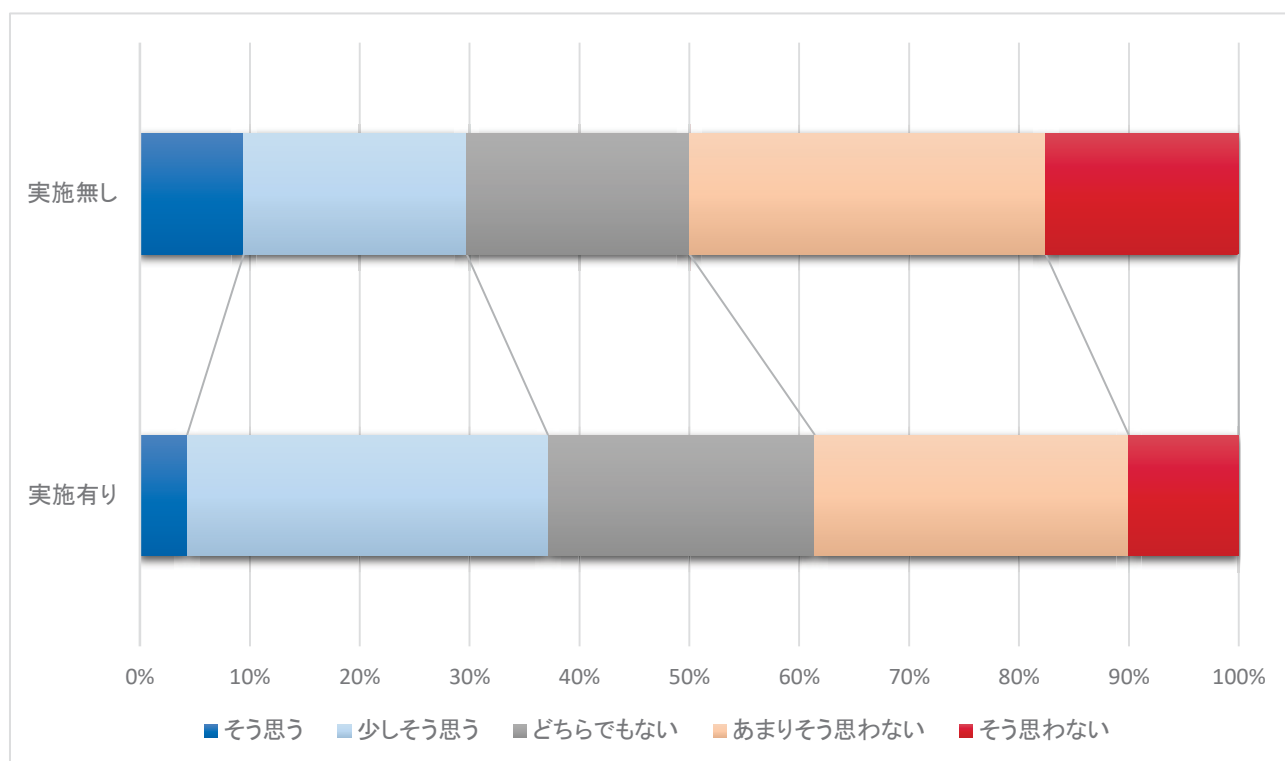


図 4-45 「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-45 「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 授業実施無し	7	15	15	24	13
2019 年 授業実施有り	3	23	17	20	7

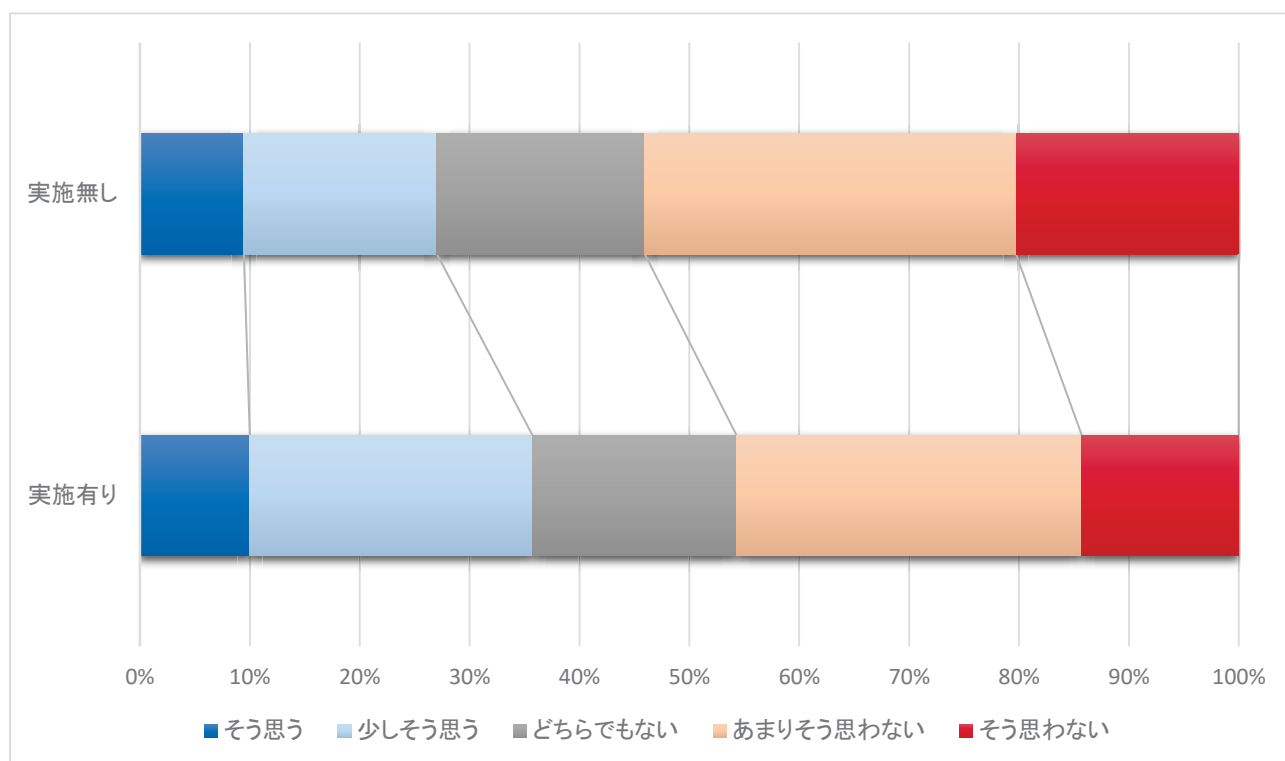


図 4-46 「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-46 「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2019 年 授業実施無し	7	13	14	25	15
2019 年 授業実施有	7	18	13	22	10

4-1-9 2018 年と 2019 年の事後アンケート

2018 年と 2019 年の事後アンケートの結果を示す。(図 4-47, 4-48, 4-49, 4-50, 4-51 表 4-47, 4-48, 4-49, 4-50, 4-51) アンケート分析には Excel を用いた。解析は、質問①～⑤について行い、2018 年と 2019 年の事後アンケートの間に有意な差があるのかを Welch t-test で求めた。使用したデータは 2018 年の事後アンケートは 97 人、2019 年の事後アンケートは 72 人を用いた。

統計解析の結果、「①地球温暖化を説明できますか。」で、2018 年と 2019 年の事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=1.69$, $P=0.0935$)。「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」で、2018 年と 2019 年の事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=3.17$, $P=0.00192$)。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」で、2018 年と 2019 年の事後アンケートの間に有意な差が認められた ($t=0.303$, $P=0.00762$)。「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」で、2018 年と 2019 年の事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=0.236$, $P=0.814$)。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」で、2018 年と 2019 年の事後アンケートの間に有意な差が認められなかった ($t=1.36$, $P=0.175$)。

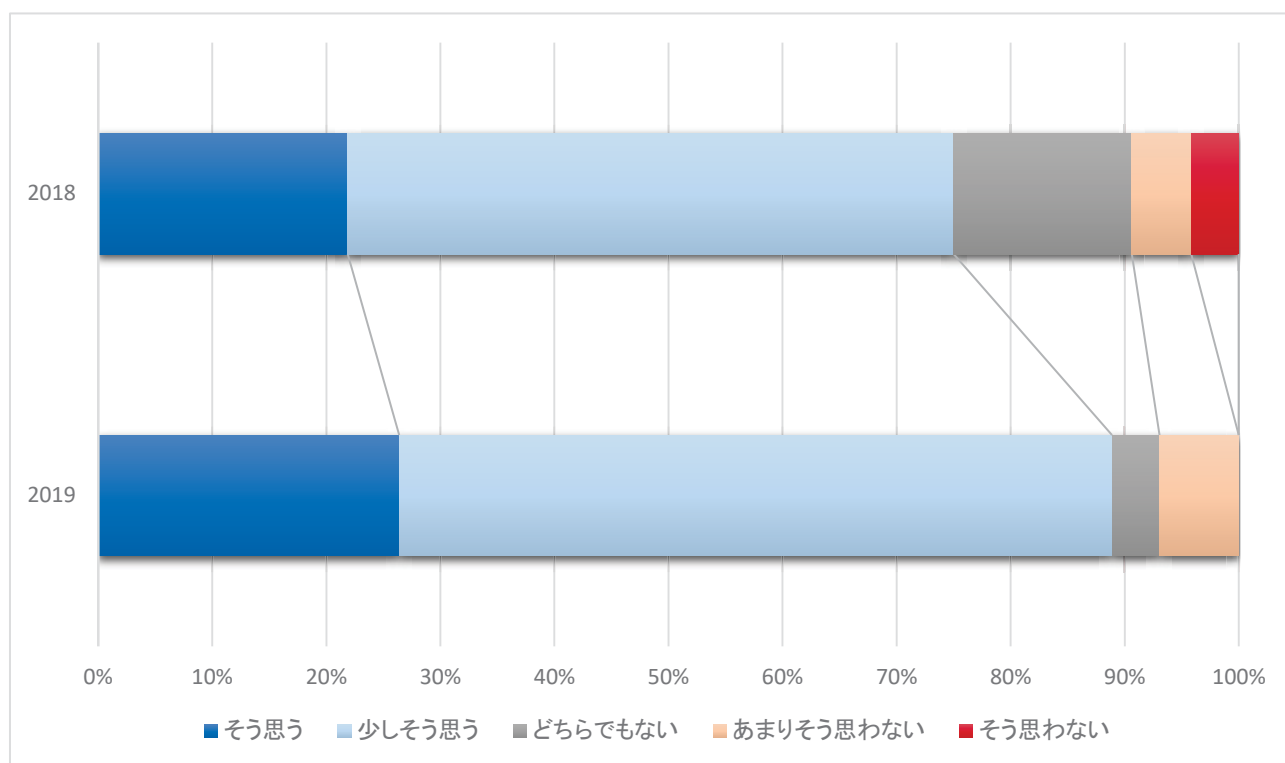


図 4-47 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-47 「①地球温暖化を説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事後アンケート	21	51	15	5	4
2019 年 事後アンケート	19	45	3	5	0

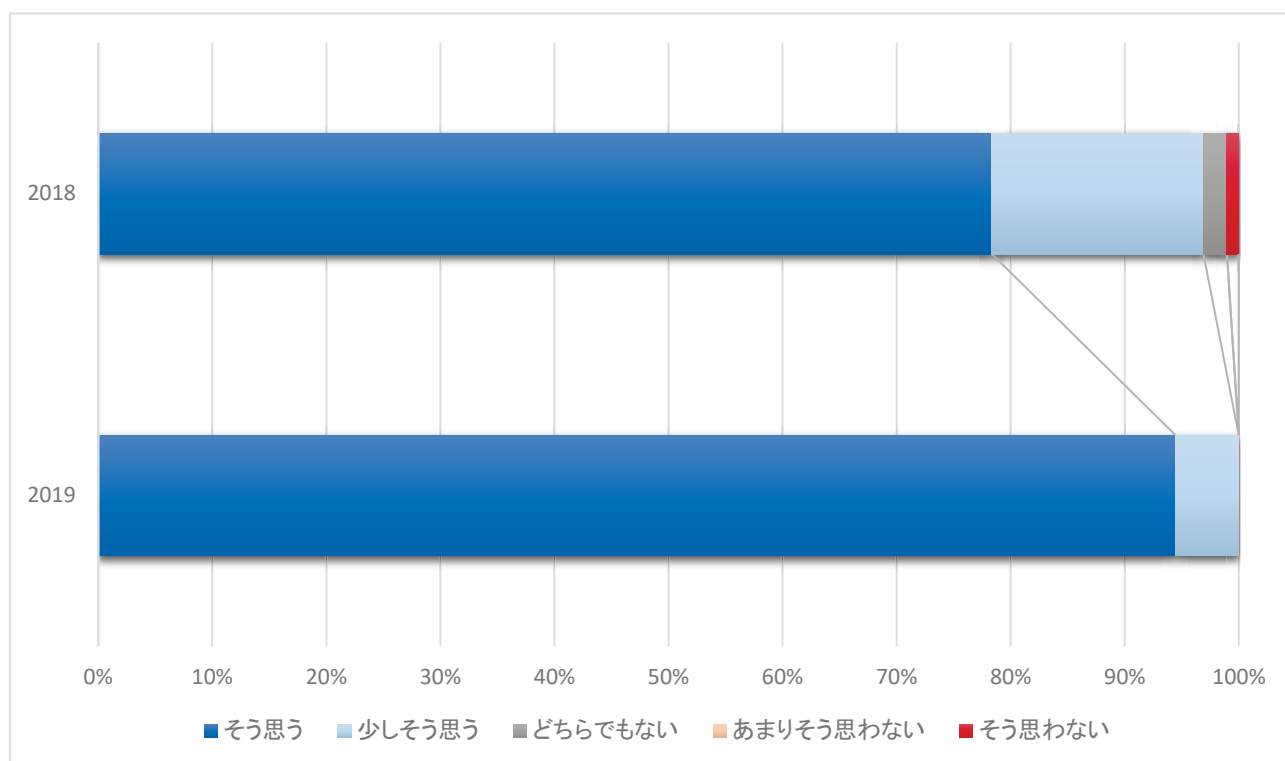


図 4-48 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-48 「②地球温暖化は解決すべきと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事後アンケート	76	18	2	0	1
2019 年 事後アンケート	68	4	0	0	0

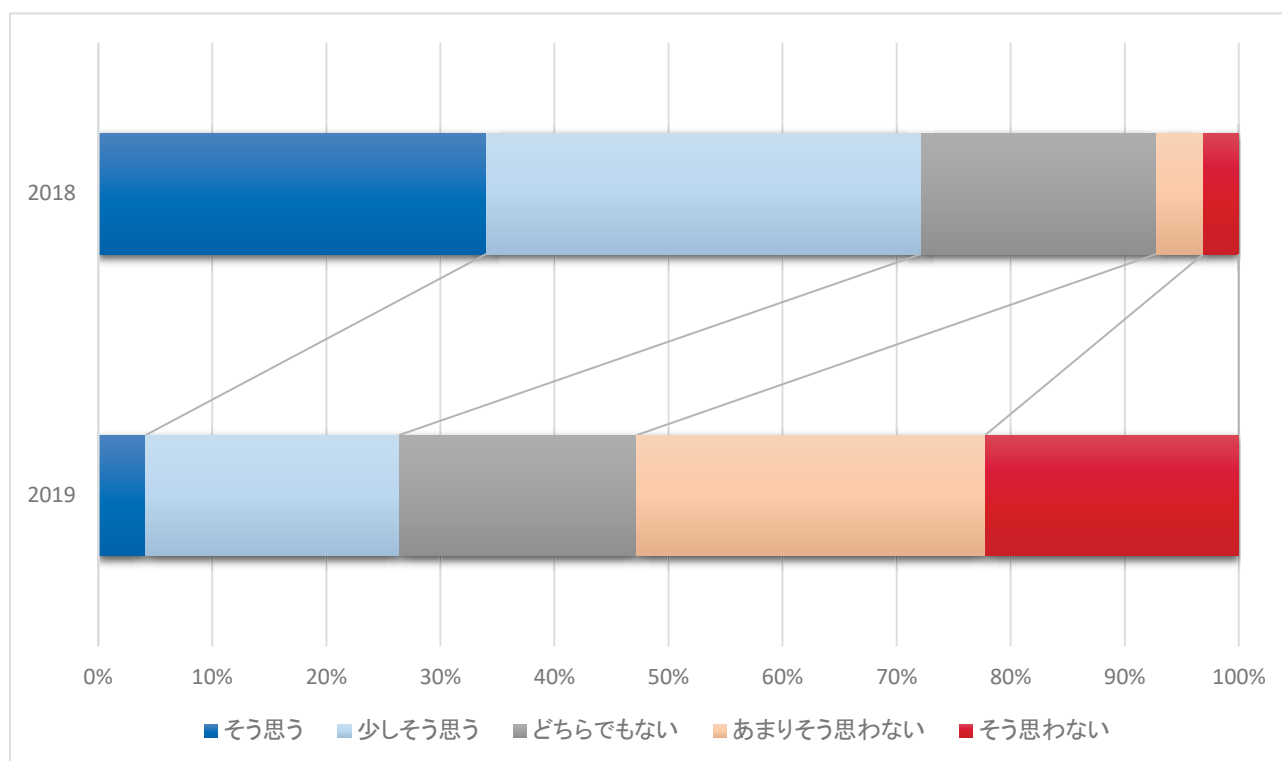


図 4-49 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-49 「③カーボンニュートラルを説明できますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少し思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事後アンケート	33	37	20	4	3
2019 年 事後アンケート	3	16	15	22	16

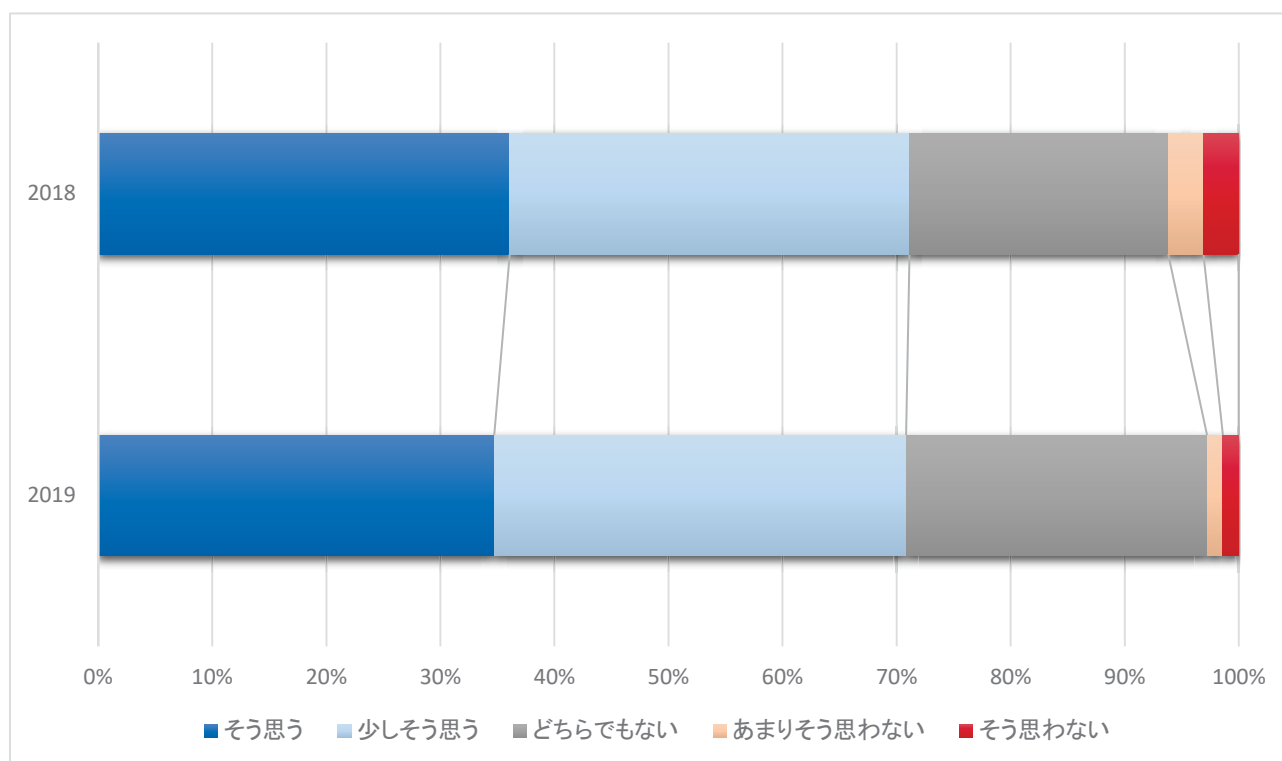


図 4-50 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-50 「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少し思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事後アンケート	35	34	22	3	3
2019 年 事後アンケート	25	26	19	1	1

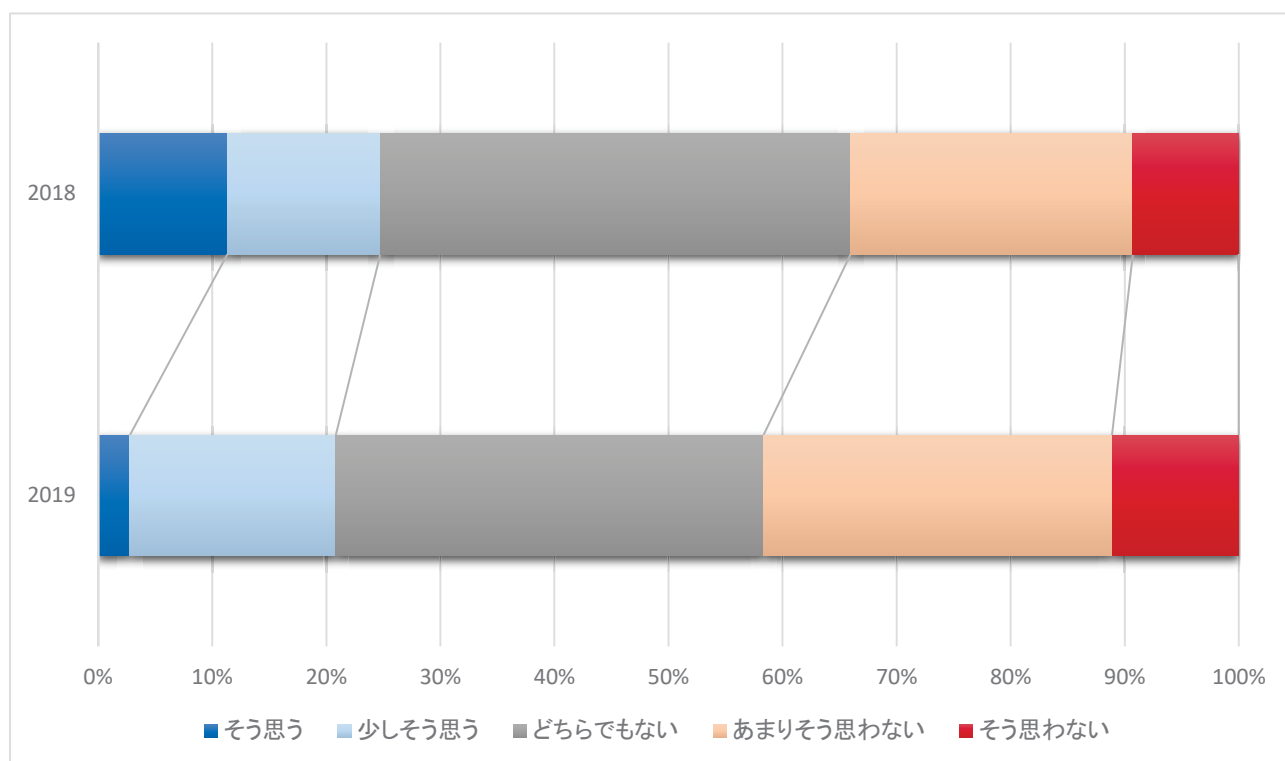


図 4-51 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果グラフ

表 4-51 「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」についてのアンケート結果集計表

	5. そう思う	4. 少しそう思う	3. どちらでもない	2. あまりそう思わない	1. 思わない
2018 年 事後アンケート	11	13	40	24	9
2019 年 事後アンケート	2	13	27	22	8

第2節 アンケート考察

4-2-1 2017年の事前アンケートと事後アンケート

事前アンケートと事後アンケートの①～⑤の項目において、有意な差があり、アンケート結果のグラフ（図4-1～4-5）から授業前より授業後で「そう思う」「少しそう思う」を選んだ生徒が増えていることがわかった。「①地球温暖化を説明できますか。」では、事前アンケートと比べると否定的に答えた生徒が減少した（図4-1）。これは、授業の中で地球温暖化を授業で扱ったことや、地球温暖化に関するビデオを見たことで地球温暖化について知った、あるいは自分の知識が喚起されたのではないかと考えられる。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」は、事前と事後の間に有意な差が見られたが、事前アンケートから高い値を示していた（図4-2）。このため、普段から地球温暖化は解決すべき問題であるという意識はあることがうかがえる。また、昨年と今年の事前アンケートを比較すると、今年は肯定的に答えている生徒がほとんどであった（昨年は、そう思う37、少しそう思う6、どちらでもない3、あまり思わない1、思わない8）。前回授業を受けたときからの約1年の間に、理科や他の授業で環境問題について学習する機会があった可能性や、学年が上がるにつれて科学的知識がついてきていることがうかがえる。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」と「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」では、事前アンケートの段階で過半数の生徒が「思わない」「あまりそう思わない」「どちらでもない」を選択していた（図4-4）。これは生徒たちがカーボンニュートラルというものを知らないことを示している。また、昨年授業を受けた元2・5組の生徒も同じような傾向があったことから、1年前の授業内容を忘れてしまっていることがうかがえる。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」では、実施前後で大きな差が見られた（図4-5）。これは、多くの生徒が新しく「カーボンニュートラル」という概念を獲得したこと、カーボンニュートラルについて考える活動を行ったことが要因となつていと考えられる。一方で、植物を使わなければいけないこと、発酵液を温めるにもエネルギーを使用することなどを指摘する生徒もみられた。

4-2-2 2016年と2017年の環境意識アンケート

次に環境意識に関するアンケートについて考察する。まず「②地球温暖化は解決すべきだと思います

か。」については有意差がなかった。このことから、生徒達は、地球温暖化は解決すべき問題であるという意識を持ち、授業実施等によらないことがわかる。一方で「①地球温暖化を説明できますか。」という項目については、2016年の授業実施後に比べて2017年実施前は「あまりそう思わない」「そう思わない」と回答した生徒が多いことが図4-7からわかった。これより、地球温暖化については知っているものの、自分の言葉で説明する力がついていないことがわかる。「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」では、2016年実施後では「そう思う」「少しそう思う」が多いのに対して、2017年実施前は「少しそう思う」「どちらでもない」が多いことが図4-9から読み取れる。このことから、生徒達は環境問題が自分たちに関係していることは漠然と感じていること、環境問題に関する授業などを受けることで、環境問題への考え方を改められることがわかった。「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」では有意差が見られなかった。図4-10より、2016年実施後に比べて2017年実施前は「どちらでもない」と回答している生徒が少ないことがわかる。このことから、前回の授業から今回の授業の間に理科の授業などで環境問題と科学の関係について学ぶ機会があったのではないかと推測できる。「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」についても2017年のほうが肯定的に答えている生徒が少なく（図4-11）、有意差みられた。環境問題に関する意識を持っていたとしても、考える機会がなかったり、科学的思考を働かせる機会が少なかったりすることがうかがえる。「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」では有意差がみられ、否定的な答えの生徒が多かった。

4-2-3 2016年の事後アンケートと2017年の事後アンケート

2016年の事後アンケートと2017年の事後アンケートについて考察する。2016年と2017年では有意な差がみられるものが少なかった。しかし、「③カーボンニュートラルを説明できますか。」という項目では、有意差が見られた。2016年の授業では、カーボンニュートラルを教師側から説明する形で授業を行ったが、2017年は「バイオエタノールはなぜカーボンニュートラルなのか」を考えて説明することに重きをおいた授業であった。そのため、カーボンニュートラルについてはあまり詳しく説明を行わなかったため、このことで、カーボンニュートラルについて理解しきれなかった生徒がいたのではないかと推測される。

4-2-4 2018 年の事前アンケートと事後アンケート

事前アンケートと事後アンケートの間では、「①地球温暖化を説明できますか」、「③カーボンニュートラルを説明できますか」、「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」の項目において、有意な差が見られた。「①地球温暖化を説明できますか。」では、授業実施後で「思う」と答えた生徒の割合が増加した（図 4-13）。これは、授業の中で地球温暖化を授業で扱ったことで、自分の知識が喚起されたのではないかと考えられる。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」では、事前アンケートで肯定的に答えている生徒はほとんどいなかったが、事後アンケートでは 30%程度に増えていた（図 4-15）。これは、授業によって「カーボンニュートラル」という概念を知ったことが理由であると考えられる。また、「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」もカーボンニュートラルを知ったことで、事後アンケートで肯定的に答えた生徒が増えたと考えられる。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」の項目では、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が見られなかった。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」は、事前アンケートからほとんどの生徒が肯定的な回答していたことが理由であると考えられる。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」の項目は有意差が見られなかったが、授業によって「どちらでもない」と回答する生徒が減り、自分の意見を持てるようになったことが図 4-17 から分かる。

4-2-5 2018 年の環境意識アンケート

授業実施クラスとしていないクラスの間で、有意差が見られた項目は少なかった。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」の項目では唯一有意差が見られたが、授業実施クラスもそうでないクラスもほとんどの生徒は肯定的に答えていたため、授業の有無にかかわらず地球温暖化への問題意識は持っているといえる。

4-2-6 2017 年の事後アンケートと 2018 年の事後アンケート

2017 年と 2018 年の事後アンケートでは、①～⑤すべての項目で有意差が見られた。「①地球温暖化を説明できますか」、「③カーボンニュートラルを説明できますか」の項目は、2017 年は授業のねらいが「カーボンニュートラルを自分の言葉で説明する」であったこと、地球温暖化について詳しく説明する時間を多くとっていたことが理由であると考えられる。「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」については、生成過程で二酸化炭素が発生するバイオエタノールの問題点や、カーボンニュートラルは二酸化炭素を増やさないことはできても、減らすことができないことを気づいたことで、2018 年は 2017 年よりもバイオエタノールを高く評価した生徒が減ったと考えられる。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」の項目は、授業を通してカーボンニュートラルを簡単には実現できないことに気づいた生徒が増えたことが考えられる。

4-2-7 2019 年の事前アンケートと事後アンケート

事前アンケートと事後アンケートの間では、「①地球温暖化を説明できますか」、「③カーボンニュートラルを説明できますか」、「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」の項目において、有意な差が見られた。「①地球温暖化を説明できますか。」では、授業実施後で「そう思う」と答えた生徒の割合が増加した（図 4-35）。これは、授業の中で地球温暖化を授業で扱ったことで、地球温暖化についての知識を再確認できたのではないかと考えられる。「③カーボンニュートラルを説明できますか。」では、事前アンケートで肯定的に答えている生徒は少なかったが、事後アンケートでは 30% 程度に増えていた。これは、授業によって「カーボンニュートラル」という概念を知ったことが理由であると考えられる。また、「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」もカーボンニュートラルを知ったことで、事後アンケートで肯定的に答えた生徒が増えたと考えられる。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」の項目では、事前アンケートと事後アンケートの間に有意な差が見られなかった。「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」は、事前アンケートからほとんどの生徒が肯定的な回答していたことが理由であると考えられる。「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」の項目は有意

差が見られなかったが、授業によって「どちらでもない」と回答する生徒がへり、自分の意見を持てるようになったことが分かる。

4-2-8 2019 年の環境意識アンケート

次に 2019 年に行った環境意識に関するアンケートについて考察する。「①地球温暖化を説明できますか。」「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」の項目では、授業実施クラスが有意差に高かった。このことから、今回の授業が地球温暖化について改めて学ぶ機会や、意識する機会になったといえる。しかし、「②地球温暖化は解決すべきだと思いますか。」では、授業を実施していないクラスでも否定的に答えている生徒はいなかったため（図 4-42）、地球温暖化は解決すべき問題であると多くの生徒が思っていることがわかる。一方で、「③環境問題は自分と関係があると思いますか。」という項目については、有意差が見られなかった。図 4-43 より、授業実施の有無にかかわらず多くの生徒が環境問題と自分との関係を捉えていること、授業実施クラスの方が「どちらでもない」と答えた生徒が少ないことがわかる。このことから、生徒達は環境問題が自分たちに関係していることは漠然と感じていること、環境問題に関する授業などを受けることで、環境問題への考え方を改められることがわかった。「④科学の力で環境問題が解決すると思いますか。」では有意差が見られなかったが、授業実施クラスでは、「どちらでもない」と回答している生徒が少ないため、授業によって科学が環境問題を解決する手段の一つであることに気付けた生徒がいたのではないかとはいえる。「⑤環境問題について聞かれた時、科学的理由を基に自分の意見を言えますか。」「⑥環境問題について自分から本を読んだり調べたりしますか。」では有意差が見られなかった。今回の授業が、環境問題についての知識を増やただけであり、環境問題についてより考えようと意欲を喚起するものではなかったといえる。

4-2-9 2018 年の事後アンケートと 2019 年の事後アンケート

2018 年の事後アンケートと 2019 年の事後アンケートについて考察する。2018 年の対象生徒は、3 年間を通してカーボンニュートラルについての授業を受けている。一方で、2019 年の対象生徒は

3 年生の 1 度のみカーボンニュートラルについての授業を受けている 2018 年の事後アンケート 2019 年の事後アンケートの間では、有意な差がみられるものが少なかった。「①地球温暖化を説明できますか」は有意差が見られず、「②地球温暖化を解決すべきだと思いますか」は有意差が見られたが、図 4-47、4-48 より、3 年間授業を受けた 2018 年の生徒よりも、一度だけ授業を受けた 2019 年の生徒の方が肯定的な回答がほとんどであり、否定的な回答が見られない。地球温暖化に関する知識や意識は、授業実践によらないことが推測される。「③カーボンニュートラルを説明できますか」の項目は、2018 年の方が肯定的に答えた生徒が多く、有意差が見られた。3 年間かけて様々な単元においてカーボンニュートラルについて学ぶことで、知識が定着することが推測される。「④カーボンニュートラルは地球温暖化を解決するために必要だと思いますか。」「⑤カーボンニュートラルは簡単に再現できると思いますか。」については有意な差が見られなかった。カーボンニュートラルについての授業を初めて受ける生徒にも何度か受けた生徒どちらにも、カーボンニュートラルについての自分の意見を持つ機会となったと考えられる。

総括

まず、スイートソルガムの栽培について述べる。スイートソルガムが出穂した際、花穂や分茎を切除する処理を行うと、わずかに糖度が上昇した。しかし、糖度の上昇と花穂切除する処理の関係性が今回の実験では分からなかったため、生育環境の改善や、栽培方法などに更なる検討が必要である。また、先行研究で示されていた、粗放栽培と袋栽培が同等に育成することの再現性を確かめた。その結果、原料茎長と原料茎重、搾汁液の質量については 2015 年の粗放栽培は 2017 年の袋栽培、2019 年の袋栽培と同等に成長することが分かった。一方で、搾汁液の糖度は 2017 年、2019 年ともに袋栽培のほうが粗放栽培より高くなった。これは、11 月の気温の違いにより、2017 年、2019 年に栽培したスイートソルガムの糖度が高くなったと考えられる。糖度に違いはあったが、粗放栽培の個体も袋栽培の個体もバイオエタノールの生成に十分な糖度であるため、袋栽培個体でもバイオエタノールは生成できると考えた。

次に、授業実践について述べる。バイオエタノールやカーボンニュートラルについての授業実践の結果、事前事後アンケートの比較と事後アンケートの生徒の感想より、おおよその生徒はカーボンニュートラルについて理解したと推測される。また、3 年間にわたる継続的な調査により、授業実践を複数回、視点を変えながら行うことで、生徒の考え方の変化や、意識の変化などを確認することができた。授業実践を 3 年受けることで、知識をより定着させることができることも分かった。ただ、授業実践を 1 度しか行わなかった学年の生徒達も、授業後のアンケートではカーボンニュートラルについて理解していた様子があったので、1 回の授業でも、カーボンニュートラルについて学ぶことができることが分かった。一方で、授業実践は知識を得たり、自分の考えを持ったりするきっかけとはなったが、授業外での環境問題に対する意欲という面にはつながらなかったのではないかと思う。

参考文献

- 1) 環境省, IPCC「1.5℃特別報告」の概要
http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/ar6_sr1.5_overview_presentation.pdf (2019/1/29 確認)
- 2) 外務省, パリ協定 (和訳)
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000197312.pdf> (2019/1/29 確認)
- 3) 坂西欣也 他 (2008) . トコトンやさしいバイオエタノールの本, 日刊工業新聞社
- 4) 文部科学省 (2017) . 中学校理科学習指導要領解説理科編, 東洋出版
- 5) 澤内大樹 (2011) . 新規材料によるバイオエタノール合成および教材化への応用, 岩手大学大学院教育学研究科修士論文
- 6) 原田拓真 (2016) . スイートソルガムを原料としたエタノール生成を題材としたカーボンニューとアラルの教材化に関する研究. 弘前大学大学院教育学研究科修士論文, pp23, pp26
- 7) 原田拓真 (2016) . スイートソルガムを原料としたエタノール生成を題材としたカーボンニューとアラルの教材化に関する研究. 弘前大学大学院教育学研究科修士論文, pp28
- 8) 荻野耕司, 関村栄, 太田顕, 目黒良平 (1987) . 寒冷地におけるスイートソルガムの出穂期及び糖度 (Brix%) の推移. 東北農業研究 第 40 号, pp197-198
- 9) 気象庁ホームページ
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=31&block_no=0166&year=2015&month=11&day=&view=p1 (2020 年 1 月 26 日確認)
- 10) 気象庁ホームページ
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=31&block_no=0166&year=2017&month=11&day=&view=p1 (2020 年 1 月 26 日確認)
- 11) 気象庁ホームページ
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=31&block_no=0166&year=2019&month=11&day=&view=p1 (2020 年 1 月 26 日確認)
- 12) 気象庁ホームページ
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=31&block_no=0166&year=2015&month=11&day=&view=p1 (2020 年 1 月 26 日確認)
- 13) 気象庁ホームページ
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=31&block_no=0166&year=2017&month=11&day=&view=p1
- 14) 気象庁ホームページ
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_a1.php?prec_no=31&block_no=0166&year=2019&month=11&day=&view=p1 (2020 年 1 月 26 日確認)

謝辞

本研究は弘前大学教育学部長南幸安教授のもとで行われました。本稿の作成ならびに研究を行う際の指導、実験にわたりご指導賜りました。心より感謝の意を表します。

弘前大学教育学部勝川健三准教授には、スイートソルガムの栽培から収穫において終始ご指導ならびに研究を行う際の適切なご助言をいただきました。

八戸市立白山台中学校畠山洋一教諭には、授業実践の指導案の添削ならびに指導案改善に向けて適切なご助言をいただきました。

弘前大学大学院教育学研究科修了生原田拓真氏には数多くの貴重なデータを残していただき、本研究を行うきっかけをいただきました。

以上の各位に対して、心から感謝の意を表します。