

研究課題	バイオマスエネルギーシステム開発による「山形産マンゴー」栽培への挑戦
副題	～ICT を利用した共同研究から SDGs を考える教科横断型の取組み～
キーワード	SDGs、IoT、マンゴー、バイオディーゼル、台湾 スマート農業
学校/団体名	山形県立山形工業高等学校 山工元気プロジェクトII
所在地	〒990-0041 山形県山形市緑町1-5-9
ホームページ	<a href="https://www.yamako.ed.jp/">https://www.yamako.ed.jp/</a>

## 1. 研究の背景

本校は、「歴史と文化が薫るものづくりを重視する科学技術系工業高校」を目指し、経験や勘を磨き習得する技能に加えて最新の科学に裏付けされた技術を身に付け、ものづくりの実践に重きを置いた工業教育を行っている。機械系2学科（機械科、電子機械科）、電気情報系2学科（電気電子科、情報技術科）、建設環境系2学科（建築科、土木・化学科）の計6学科、720名の生徒が「日本一の芋煮会」で知られる馬見ヶ崎川河川敷近くの山形市緑町で勉学に励んでいる。

今年度、本校は創立100周年を迎えた。この節目の年に、次の100年を見据えて全6学科が横断的に協力し、一つの目標に向かって新たなものづくりにチャレンジしたいと考えた。今後の100年の間に本県で考えられる課題として、労働人口減少、ICTの進歩による社会経済のグローバル化、環境問題の深刻化などが考えられる。本校は山形県の産業界の発展を担う人材育成の中心的な役割を担った工業高校であり、グローバル化や情報化社会の急速な進展に対応できる力や社会の変化に対応し、自立できる人材の育成が求められている。そこで、今後考えられるそれらの課題に対しICTやIoTを効果的に活用しSDGs（持続可能な開発目標）を題材とした授業実践ができないかを考えた。

## 2. 研究の目的

この研究はSDGs（持続可能な開発目標）実現のために、生徒会を中心としたプロジェクトにより、各専門学科が課題研究として取り組んできた。「今、私たちにできる事」をテーマに地域が抱える課題解決に焦点をおき、姉妹校である台湾の特産品として「山形産マンゴー」の栽培を通して労働人口減少問題、エネルギー・環境問題の解決策の教材として本校から次の100年を見据えた持続可能な未来を創造する。

### (1) バイオマスエネルギーによる持続可能な地域の活性化

バイオマスエネルギーを活用する研究として廃食油からBDF（バイオディーゼル燃料）を生成する。廃食油は地域より回収し、エネルギーを再利用する循環モデル「緑町エコシステム」を確立する。同時に緑化によるCO<sub>2</sub>削減を実現するために、ひまわりを用いたカーボンニュートラルの確立を目指す。

### (2) 人口減少問題解決に向けIoTを用いたスマート植物工場の実現

IoTを用いた完全自動の「スマート植物工場」を実現し「マンゴー」の栽培を行う。雪国の山形で南国の果物である「マンゴー栽培」を実現する事で、ほかの作物への応用可能な技術として、労働人口減少解決の糸口としたい。また新たな特産品「山形産マンゴー」として地域創生に貢献し「魅力ある山形」を目指しローカルSDGsを実現する。

(3) ICT 機器を用いた国際交流による多様な価値観を身に着けたエンジニアの育成

姉妹校の台湾の新竹高級工業職業学校との交流から、グローバルな視点で多様な価値観と異文化を理解しようとする心を育て、マルチカルチャリズムを身に着けたエンジニアを育成する。

3. 研究の経過

生徒会を中心として、「台湾交流」・「スマート工場建設」・「スマート工場制御」・「バイオディーゼル」・「企画」の5つのグループに分かれ6学科がそれぞれ得意な分野を担当した。

表1 主な研究経過

時期	取り組み内容	実施状況
4月～	マンゴー栽培について基本調査	生徒会・機械科の生徒を中心にSDGs及びマンゴー栽培について調査（自宅学習）
5月～	バイオディーゼル運用計画	土木・化学科の課題研究班にてBDF運用計画および実験開始
	スマート工場基礎設計	建築科・土木化学科の生徒を中心に植物工場建屋の計画
	廃食用油回収計画策定	土木化学科・生徒会による廃油回収
5月21日	ひまわり栽培開始	土木・化学研究会による地元農園でのひまわりの栽培
6月～	廃油精製運用開始	土木・化学科課題研究班による取り組み。町内会との連携
	マンゴー栽培開始	生徒会・情報技術科生徒
8月～	スマート工場工事計画	各科合同チームによる建設開始
9月18日	スマート工場建設開始	土木化学科課題研究班・建築科課題研究班による植物工場本体の工事開始
9月上旬～	台湾新竹高級工業職業学校との交流（zoom）	英語科及び生徒会によるリモートでの打ち合わせ
	工場設備打ち合わせ（zoom）	関係生徒・企業による設備打ち合わせ
10月2日	ひまわり栽培収穫	土木・化学研究会・生徒会
10月3日	スマート工場完成	
10月6日	台湾新竹高級工業職業学校姉妹校締結（zoom）	全校生徒
10月16日	工場内ペレットストーブ設置	企業・機械系生徒
10月24日	エコカップやまがた2020出場	代表生徒2名による発表
11月21日	山工元気プロジェクト活動報告会	本プロジェクト支援者を対象にした生徒会による報告会の実施
11月27日	東北大学大学院農学研究科研究施設視察（葛尾村）	職員研修（職員5名参加）

11月30日	県高等学校教育研究会工業部会	職員2名による研究発表
12月5日	イオンエコワンカップ出場 (zoom)	代表生徒2名による発表
1月20日	全校課題研究発表会	代表生徒2名による発表 (全校生徒)
2月16日	マンゴー開花第一号	生徒アンケート実施
3月18日	東北大学大学院農学研究科へ報告	事業報告 (職員2名)

#### 4. 代表的な実践

##### (1) バイオマスエネルギーによる持続可能な地域の活性化

東北の地で温暖な気候で生育するマンゴー栽培に挑戦することの最大の課題は、冬期間の暖房となる。環境問題も考慮し、熱源には可能な限りバイオマスエネルギーを取り入れた。暖房設備は、農業用の灯油暖房機とペレットストーブである。

##### ① BDF (バイオディーゼル燃料)

竹チップによる発酵熱ではマンゴー栽培までの熱量が発生できないため、今回は使用済の天ぷら油 (廃食油) からバイオディーゼル燃料 (BDF) を精製し、冬季間の暖房の燃料やディーゼル発電機の燃料とすることを考えた。廃食油は地域の施設や飲食店、町内会より回収することとした。放課後の時間に廃食油を回収したり、学校近くの神社を会場に毎月第2土曜日の9時に廃食油を持ち寄ってもらったりすることで、生徒と地域の関係を持たせ、廃食油を回収した。

今年度、集めた廃食油は約500ℓであった。本校の土木・化学科のプラント実習室で廃食油からBDFを精製した。反応釜の容量から、1回の製造に使用できる廃食油は90ℓである。廃食油にメタノールとアルカリ触媒のカセイソーダ (NaOH) を加えエステル化させるものである。廃食油からエステル化するまでに要する時間は5時間ほどであるが、生徒は興味を持って取り組んだ。

##### ② ひまわり油

バイオマス燃料の一部として、ひまわり油を使用することにした。ひまわりは学校近くの市民農園での栽培と鉢植えとした。入手可能なひまわりは数種類あったが、種の収穫量と二酸化炭素の吸収量を期待して特に大きくなるタイタンとモンゴリアンジャイアントという種類を選んだ。このプロジェクトではカーボンニュートラルの構想も含まれるため、葉面積が大きい品種が二酸化炭素の吸収量が多くなると考えた。



図1 廃食油を回収する生徒



図2 BDFを生成する生徒



図3 栽培したひまわり

市民農園では、地域の農家の方と連携し 20m程の畝を 6本作り、約 90 本のひまわりを育てた。担当の生徒は、草取りや水やりの管理の際に、畑作業している地域の方々と交流を重ねた。慣れない手つきの生徒をご指導いただいたり、鍬や草刈鎌を貸していただいたり、収穫したトマトやキュウリまでいただいた。それが



図4 緑町カーボンニュートラル構想

楽しく、生徒は毎日のように畑に通った。ここでの収穫量は乾燥した種が 8kg 程度であった。この種を搾りろ過することで、ひまわり油が約 1ℓ となった。また、鉢植えのひまわりは、近隣の幼児園に置かせてもらい、水やり等の管理は生徒が行った。ひまわりの傍には、マンゴーを栽培していることと、ひまわりの種から油を搾り暖房の燃料にすることを記載したポスターを掲示した。このことで幼児や保護者への環境問題の啓発活動となった。

廃食油から BDF を生成しそのエネルギーを利用して「マンゴー栽培」を行い、排出される CO<sub>2</sub> は「ひまわり」の栽培によって吸収される。今後、本校近隣地区でのカーボンニュートラル構想を実現の糸口になると考えられる。地域と工業高校の協働による「山形産マンゴー」が実現すれば新たな価値として地域の活力に成り得るのではないかと考える。

(1) 人口減少問題解決に向け IoT を用いたスマート植物工場の実現

人手のいらない全自動の植物工場（スマート工場）はビニールハウスをベースとした。製作にあたり、厳寒な福島県葛尾村の温室を参考にした。この温室は東北大学大学院農学研究科の加藤一幾准教授の研究室で管理している。ここではマンゴー栽培の他にバナナやコーヒーが栽培されている。加藤准教授からは、遮光・保温シートの配置、地盤面下の断熱層や効果的な灌水ポンプ、ドライミストの設置についてご教授いただいた。



図5 スマート植物工場建設

植物工場の設置場所の測量や基盤面の整地、断熱層の敷設は土木・化学科の生徒が行った。作業前の安全指導や重機での作業は、卒業生の有資格者が支援。世代を超えたコラボレーションと

なった。また、工場内の「見える化システム」は、情報技術科の生徒が地元企業と連携し開発した。企業にサーバーを借りていただき、そのサーバーに Wi-Fi を利用しデータを送信している。システムの中核はシングルボードコンピュータである RaspberryPi を使用し、温度、湿度センサ値をマイコンボードである Arduino で読

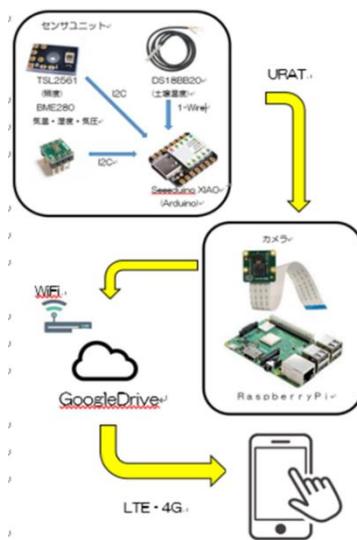


図6 スマート化概要

み込み(収集)、RaspberryPi に転送、データクラウドとして GoogleDrive を利用しデータの蓄積、分析を行っている。8時と16時のハウス内の画像撮影は Web カメラで行い Wi-Fi 容量の関係で静止画としている。動画配信については今後の課題である。この蓄積、加工したデータは上の QR コードで GoogleDrive により見ることが出来る。スマートフォンを利用することにより、どこにいても常時ハウス内の状況が把握できるようになった。なお、ハウスに付随する電気工事、電気配線は電気電子科の生徒が行った。なお、2月現在で、マンゴーの花が開花し上手くいけば春先から夏前にはマンゴーの収穫が見込めると考えられる。また同時に実験を行っている「雷キノコ」の育成環境もこの植物工場で兼ねる事ができないか今後の検証が必要である。

今日のハウス内データ 2020/11/14

項目	最新データ	AVE	MAX	MIN
時間	11:33:03			
気温(°C)	26.5	15.87	35.42	10.09
気圧(hpa)	1011.41	1010.64	1012.77	1008.53
湿度(%)	22	53.69	74	15
照度(lx)	27540	3187.54	27944	0
土壌温度(°C)	21.44	12.16	21.44	10.38

### (3) 新竹高級工業職業学校との姉妹校締結

平成 30 年度に新竹高級工業職業学校 (台湾) が修学旅行で来校し、実習の見学や文化交流を行ったことをきっかけとして、ICT を活用し、オンラインミーティング (Skype や zoom を使用) で交流を深めてきた。そして、今年度、本来は、本校の 2 学年が修学旅行で新竹高級工業職業学校を訪問し、姉妹校締結式を実施する予定であったが、コロナ禍に影響で取り止めにあったため ICT 機器を用いて締結式を行った。締結調印式は、来賓に国連世界観光機関駐日事務所代表 本保芳明 氏を迎え、互いの全校生徒が参加したオンラインミーティングで行われた。1月22日に行われた本校の全校課題研究発表会では、新竹より

グラフ

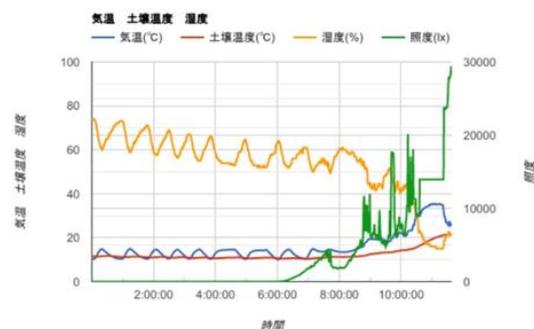


図7 モニタリングしたデータ

1月22日に行われた本校の全校課題研究発表会では、新竹より

「染染上升・咖啡巧克綠勝過多多綠」と題した研究報告をしていただいた。本校には昨年度、台湾へ留学した生徒がおり、姉妹校締結調印式と同様に生徒が通訳をした。生徒同士は基本的には英語でコミュニケーションをとっており、今後は台湾を代表する果物のマンゴー栽培方法についても共同で研究をする計画である。

## 5. 研究の成果

学校内で、各専門学科の領域を超え、生産活動における環境負荷の低減と労働人口の減少問題に対する植物工場の実現という目標に向かって行った活動は、地域の方々や地元企業、教育連携先の上級学校の他、卒業生や台湾の高校生との協働事業となった。これらのことはSDGsの17の目標の中の7、9、11、12、13、16、17に相当するとして、令和2年7月22日に一般社団法人日本SDGs協会より国内の学校では初となる事業認定を受けた。この事業認定はSDGsに対する生徒全体の意識レベルを高める事ができた。生徒を対象としたプロジェクト開始時と現時点を比較したアンケート(4段階)の結果の中で、特に変化が大きい項目を見ても

- ・活動を通して「SDGs」に取り組む意識が高まったと思う(1.3ポイント増)
- ・活動を通して「地域とのかかわり」が強まったと思う(1.2ポイント増)
- ・台湾交流事業で英語を活用し「主体性・積極性」が身についた(1.2ポイント増)

となっており、この活動を通して特に持続可能な地域づくりについて興味関心や、地域の課題に対しての問題意識を育成する事ができた。また、学校外部関係者の評価の中には「町内会や近所の幼稚園との連携で、地域に活力を与えてくれている」等の前向きな意見をいただき、学校と地域の「つながり」による持続可能な地域づくりに一歩近づく事ができた。

## 6. 今後の課題・展望

今後、教育連携をしている大学や地元企業とともに、「山形産マンゴー」を特産物としての企画や製品の加工に必要な機器や装置の開発・製作、製品の梱包する箱や包装のデザインについても検討しプロジェクトを発展させていきたい。また新竹高級工業職業学校との交流を定期的に行えるよう時期や時間的制約を克服する必要がある。交流を通して協働して持続可能な社会を実現するための教育活動を実施したい。

## 7. おわりに

このような活動が、計画から実施までを単年度で行うことができた背景には、ご支援を頂いた関係の皆様のおかげによる大きい。皆様に感謝するとともに、このプロジェクトが成功といえるまで継続し、熱意を持って生徒、地域とともにある「歴史と文化が薫るものづくりを重視する科学技術系工業高校」を目指していきたい。最後にこのような研究の機会をいただいた貴財団に心より感謝申し上げる。なお、この「山工元気プロジェクト」は今後も発展継続する計画である。経過は本校のホームページと「黒野ゆり」(本校公式キャラクター) Facebookで公開しているので、是非ご覧いただきたい。

## 8. 参考文献

- ・米本仁巳・くまあやこ(2009)「そだててあそぼうマンゴーの絵本」社団法人農山漁村文化協会
- ・米本仁巳(2008)「新特産シリーズ マンゴー 完熟栽培の実際」社団法人農山漁村文化協会