

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

2019年度 研究活動報告書

「河北潟干拓地のバイオマス賦存量」

石川工業高等専門学校 11月の雑草班

1. 背景（研究の動機、前年度までの成果）

近年地球温暖化の原因となるメタンガス増加が問題となっている。昨年度は、本校付近の河北潟干拓地で、枯死したチクゴスズメノヒエと、廃棄加賀レンコンの野積みの現況からメタンガス生成量を算出し、それらの削減活動がJクレジット登録できないかを考えた。Jクレジット登録に必要なデータとして、シリンジ実験によるメタンガス発生量を97日間観察した。

NEDOはバイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針を打ち出し、国は再生可能エネルギー導入を推進している。これによりバイオマスから電気を作り出すことは不可能ではないことが確認されている。

これらが河北潟干拓地の未利用バイオマスのエネルギー源としての可能性を検討しようと考えた背景である。

2. 目的

河北潟干拓地内のチクゴスズメノヒエやレンコンはバイオマス賦存量の一部であり、その他にも、雑草や廃棄物などがある。これらすべてを含めたメタンガス生成量を明らかにし、バイオマス発電による収益の算出を目指す。これによって、バイオマスエネルギー地域自立システムを構築し、バイオマスの好循環を目指したい。その生成量を求めるために、干拓地内の刈草などが生えている面積をMetashape（株式会社オーク）というソフト

を使って測定し、また昨年と同様シリンジ実験によって生成メタンガス量を調べ最終的に電気エネルギー換算につなげることを目的とする。

3. 活動の内容

3.1 出前講義

特になし

3.2 見学

日時：令和元年10月20日（日）

場所：湖南水辺公園(河北潟自然再生まつり)

見学の目的：規格外廃棄レンコンの商品化の可能性を模索するため。



図1 河北潟自然再生まつり

3.3 その他の活動

特になし

4. 研究の成果

未利用バイオマスの電気エネルギー換算を考
える前に、未利用バイオマスの有効利用の一環と
して廃棄加賀レンコンを本来の用途である食料と
して利用できる可能性がないかを検討した。具体
的には10月20日(日)の河北潟自然再生まつり
で廃棄加賀レンコンの商品化実験を行った。小麦
粉など加賀レンコン以外のものは一切使わず、レ
ンコンをすりおろしてレンコンの粘り気を利用し
たお好み焼きを販売し、利益になるか、また購入
者からの意見を募った。そこから廃棄加賀レンコ
ンは加工して食品として販売することで廃棄量削
減の上、レンコン農家の利益になることがわかっ
た。レンコン10kg プレーン100円、チーズ入り
150円で6時間の販売の結果、計70個8,000円の
売り上げが出た。このことから廃棄されるはずの
加賀レンコンも形が悪いだけで、加工してしまえ
ば味の美味しさには変わりなく販売でき、本来の
食料としての利用が可能であり廃棄物とした場合、
腐敗により放出されるメタンガスや二酸化炭素を
抑制し、利益へと変換できることがわかった。ま
た、11月3日(日)の紀友祭ではレンコンお好み
焼きに関する街頭調査を行った。

- ① 加賀レンコンを食べたことはありますか？
- ② このレンコンお好み焼きを食べてみたいと思
いますか？(星5評価で)
- ③ 普段料理をよくしますか？
- ④ 買い物(家族の付き添い可)によく行きます
か？
- ⑤ 年齢
- ⑥ レンコンお好み焼き(直径15cm程)をいくら
で買っていただけますか？
- ⑦ お好み焼きやお味噌汁など、どんな料理にでも
使える加賀レンコンの粉末が売っていたら、買
ってみたいと思いますか？

の7つの質問に回答していただいた。これらの結
果からクロス集計を行った。④と⑦の集計(図1)
から買い物に行く人ほど加賀レンコン粉末を値段
によっては買ってみたいという人が多いことが分
かる。このことから、主婦層向けにお店で販売す
る必要があると考えられる。

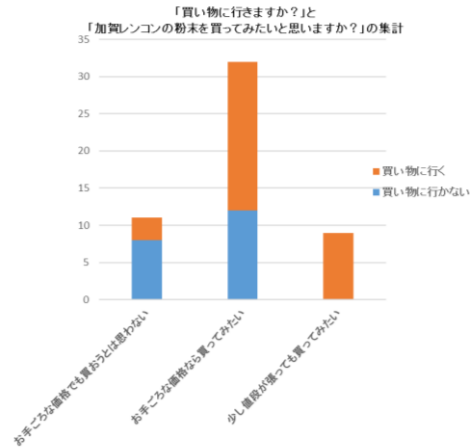


図1 ④と⑦の集計

②と⑥の集計(図2)から星の評価が高いほど高
価格でレンコンお好み焼きを買ってもらえそう
なことが読み取れる。このことから加工してお好
み焼きとして販売することにも需要があることが分
かる。

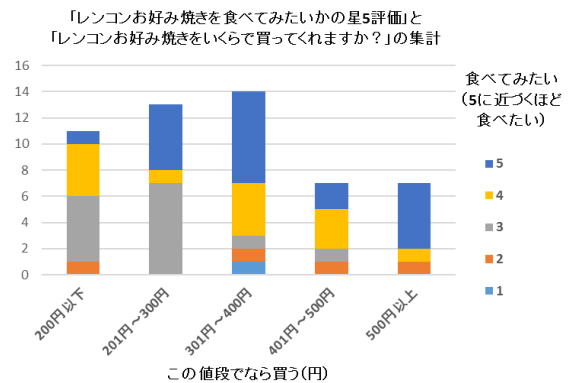


図2 ②と⑥の集計

②と⑤の集計(図3)から全体的にどの年代にも
お好み焼きの印象は良いと考えられる。10代への
印象も良いため文化祭などでの販売や、主婦層で
もお好み焼きに対する関心が高いためお店での販
売も需要が見込める。他にも廃棄レンコンのイメ
ージが悪いという意見が多く出たことは今後の販
売を進める上で重要な意見になると考える。
レンコン粉末を作るには、レンコンを粉末にする

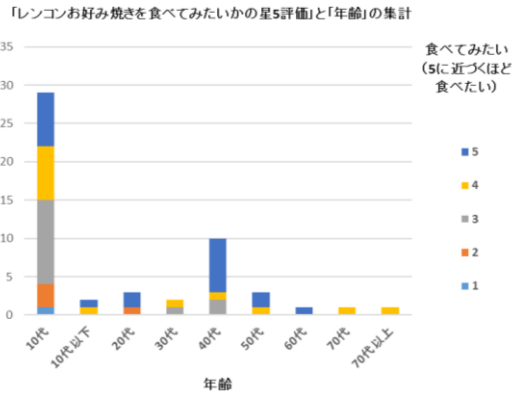


図3 ②と⑤の集計

ハイレンコン粉末を作るには、レンコンを粉末にするスピードミルと凍結乾燥機を使う。電力料金とレンコン本体の価格から粉末を販売する際のおおよその価格を求める。

凍結乾燥機はレンコン乾燥まで約 24 時間かかる。電力料金 27 円/kwh より $24h = \underline{129.60}$ 円

ハイスピードミル(ラボネクト株式会社 ハイスピードミル HS-15)は粉末状にできる機械のことである。容器容量 1.5L (素材によって投入できる量が異なるが、おおよそレンコンの場合スライスすると 300g 投入できる)

この機械は粉末にするのに 1 回約 1~2 分かかる。今回は 1 分 30 秒と考える。

$1.5kw \cdot 90s = 135kW$

1500W で 1 時間(60 分) 40.50 円

1 分 30 秒は 60 分の 40 分の 1

よって 1 回にかかる料金は $40.50 \div 40 = \underline{1.0125}$ 円

レンコン本体

河北潟干拓地で栽培されている加賀レンコン本体の値段は 1,000g あたり 1,800 円

一般のお好み焼粉は 500g 単位で売られている。

レンコンの含水率は約 80%より乾燥状態のレンコン 500g を作るには乾燥前のレンコン 2,500g が必要になる。2,500g のレンコンは 4,500 円になる。2500g を粉末にするには約 8 回ミルを回す必要がある。

結論として

凍結乾燥機+ハイスピードミル+レンコン本体 $= 129.60(\text{円}) + 1.01 \cdot 8(\text{円}) + 4,500(\text{円}) = \underline{4637.68(\text{円})}$

一般のお好み焼き粉 500g = 429 円 に対し 1000

円を超えると購入してくれる人が少ないため 1000 円で販売しようと考え、乾燥前の状態で 540g のレンコンが必要となる。

540g のレンコンは乾燥させると約 108g となるため $100g = 1,000$ 円になる。

実際に売っているレンコンの粉を調べた結果

100 g = 約 1000 円が多いためこの値段で販売するのが妥当だということが証明された。

レンコン粉末には 5 大パワー(①病予予防、②ビタミン C が豊富なため肌荒れ、ストレスに効果的、③食物繊維による便秘改善、④むくみに効果的、⑤止血に効果的)があったり、レンコンそのものを食べるよりも、粉末にしたほうがレンコンを何本も食べるよりも簡単に同じだけの栄養を少ない量で取り入れることができたりする。このことを PR していけばレンコン粉末の需要も上がると考えられる。

さらに本研究の主目的であるバイオマス発電へのエネルギー源としての可能性を模索した。今年度の研究は昨年の研究を踏まえて河北潟干拓地全体のバイオマス賦存量を測定する。河北潟干拓地にはチクゴスズメノヒエだけでなく他にも様々な雑草、また枯死してメタンガスを発生させる植物が多数生息している現状である。それらが生息している面積を Metashape (株式会社オーク) というソフトウェアから算出する。Metashape の信憑性を確かめるため河北潟干拓地の面積を測定する。河北潟干拓地の面積は県のホームページより 1356ha であった。Metashape で計測した結果(図 5 で囲んだ面積)、Metashape の計算結果も同じく 1356ha になった。これにより Metashape の信憑性が確かめられた。

2007 年 10 月 24 日の河北潟干拓地の空中写真(国土地理院地図・空中写真閲覧サービスより)を Metashape により組み合わせたものが図 4 になる。河北潟干拓地内で雑草が生えている場所は、大まかに、西部承水路(図 4 の赤線)、西部承水路の外側(図 4 の赤線の外側)、中央幹線排水路(図 4 の黄線)、東部承水路(図 4 の青線)の河北潟干拓地を囲む水路付近である。この 4 箇所から雑草の生息面積を計測した。この航空写真は 2007 年のものであり、2016 年に中央幹線道路の裏に約 3.7ha の面積に太陽光パネルが設置されたためこ

こには植物は生えていないと考えられる。これを考慮して計算した結果、河北潟干拓地全体の面積約 1,356ha に対し、雑草の生息面積は合計約 76ha という結果になった。これは河北潟干拓地全体の面積の約 5.6%を占めている。内訳として、西部承水路約 15ha、西部承水路の外側約 4ha、中央幹線排水路約 13ha、東部承水路約 44ha であった。これを河北潟干拓地で栽培されているレンコン

(2010 年度)と比較する。レンコンの作付面積は 48.1ha である。この作付面積の約 2 倍の面積が雑草の生息面積である。そこから河北潟干拓地には雑草だけでもこれだけの量が存在するということがわかり、それらを刈り取り多大なメタンガスへと変換できると考えられる。



図 4 河北潟干拓地航空写真 図 5 河北潟干拓地各水路

<実験方法>

この面積に植生している雑草からのガス排出量を求めるため、シリンジ実験を行った。120mL のプラスチック製シリンジ(JMS 製)を発酵層に見立て試料 0.75g と汚泥量 8.5g を詰め、シリンジ内の空気を抜き、シリコンチューブと粘着テープで密閉した。今回試料として、河北潟干拓地に植生している雑草の中で主な面積を占めているギシギシ、ヨシの葉、茎、エノコログサの葉、茎、メヒシバ、セイタカアワダチソウの花、葉、茎を用いた。また、比較対象として汚泥のみのガス発生量についても調べた。各試料について 3 本ずつシリンジを作り、それらを恒温室で 55℃で管理し、発酵させた。これにより発生したガス量を経時的にシリンジの目盛から読み取った。発生したガスは、ガスクロマトグラフィ(SIMADZU 製 GC-8A, カラム Activated Charcoal 60-80F-1174)を使用して組成分析を行った。キャリアガスとしてヘリウムガス(日本ヘリウム株式会社製)を用いた。得られた値については、各試料における 3 本のシリンジの

平均値を用いた。



図 6 シリンジを使ったガス生成実験

<実験結果>

図 7 に 11 月 6 日から 12 月 9 日までのガス生成実験結果を示す。このグラフは各試料 3 本の平均の値を示すものとする。この結果からヨシ葉、ヨシ茎、エノコログサ茎からの発生量が多いことが確認できる。

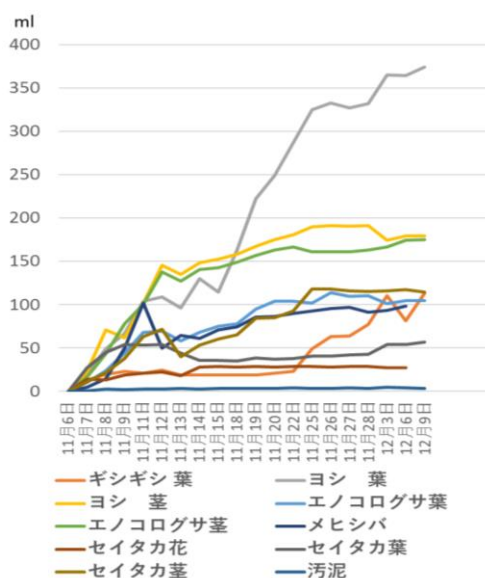


図 7 各雑草のガス発生量

汚泥からの発生量はほとんど変化することなくほぼ 0 であり、ガス発生は雑草試料がもたらした結果であると考察される。さらにこれらの結果から、ヨシを除きエノコログサ、セイタカアワダチソウでは葉よりも茎からの方が、発生量が多いことがわかった。野内²⁾はメタン発酵については糖から酢酸が得られ、これが脱メチル化するプロセスと二酸化炭素の水素による還元反応の 2 つの経路によってメタンガスが発生すると報告している。このことから私たちは含まれる糖の種類や量によって酢酸に変換される量が異なり、メタンガスの発生量が植物の種類や部位によって変わったものと考えた。

発生したガスの組成分析の結果を表したものが図8になる。窒素、メタンガス、二酸化炭素が検出され、水素は検出されなかった。どの試料においても最も多く生成したのはメタンガスであった。

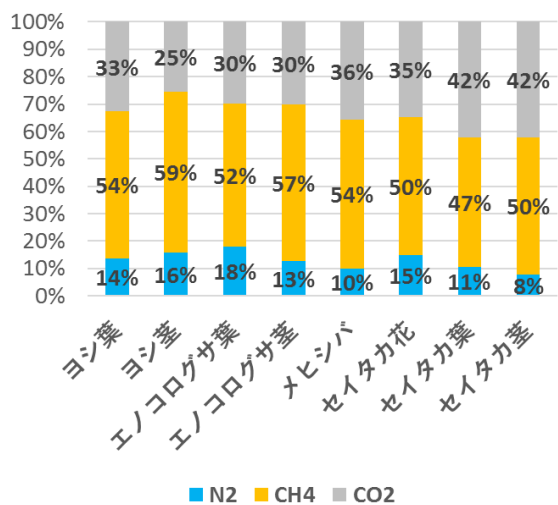


図8 組成分析結果

それぞれの試料の標準状態におけるメタンガスの発生量を次式にて算出した。

標準状態のメタンガス発生量 (mL CH₄/g dry) = [ガス発生量]*[メタン含有率]*[273/(273+55)]
これにより算出した値を表1に示す。

表1 各植物のメタンガス発生量

植物の種類	CH ₄	最終ガス発生量 (mL)	標準状態 (ml CH ₄ /g)
ヨシ葉	54%	374	222
ヨシ茎	59%	179	117
エノコログサ葉	52%	105	61
エノコログサ茎	57%	175	111
メヒシバ	54%	97	59
セイタカ花	50%	25	14
セイタカ葉	47%	57	30
セイタカ茎	50%	114	64

このメタンガス発生量を河北潟干拓地内の雑草の生息面積約 76ha に換算する。各雑草は無造作に 3m² の面積内から採取した。そのほとんどの面積をセイタカアワダチソウが占めていたので今回はセイタカアワダチソウのみ面積に対するメタンガス発生量を求めた。(表2)セイタカアワダチソウは葉、茎、花の3種類に分けて実験を行ったが、セイタカアワダチソウ1本の重量に対して花の重量は1割にも満たないため葉と茎のみで割り出した。葉の割合は52%、茎は48.1%になる。³⁾河北潟干拓地から発生するすべての雑草からのCメタンガス発生量を求められたわけではないがこの結果により河北潟干拓地の雑草面積76haの内、セイタカアワダチソウ59.6haからだけでも12,690kgのメタンガスが発生することがわかった。

メタンガスの発熱量は35.8MJ/m³である。(注3)12,690kgをm³に変換すると17,766m³になるため17,766m³あたりのメタンガス発熱量は636,022.8MJつまり176,673kwhである。このメタンガスを電気として変換すると、経済産業省FIT価格より1kwhあたりのバイオマスの価格は2017年から2019年まで39円で一定である。よって

176,673kwh*39円=6,890,247円になる。

表2 各植物の面積換算

	3m ² 当たりの その他以外の 面積割合	河北潟干拓地 76haに 換算した面積	葉と茎 の内訳	雑草一本の全体に 対する葉と茎の 重さの割合	河北潟干拓地 76haに 換算した面積	各雑草の g/3m ²	各雑草の g/m ²	それぞれの雑草の 河北潟干拓地 バイオマス賦存量 kg/ha	kg/河北潟干拓地 76haに換算した 面積(ha)当たりの CH ₄ 発生量
エノコログサ	6.6%	5.0ha				330.3g	110.1g	1101kg	
メヒシバ	5.5%	4.2ha				278.4g	92.8g	928kg	
ギンギン	1.6%	1.2ha				78.9g	26.3g	263kg	
ヨシ	7.4%	5.7ha				373.5g	124.5g	1245kg	
セイタカ	78.4%	59.6ha	葉	52.0%	31.0ha	2043.6g	681.2g	6812kg	4489kg
			茎	48.1%	28.6ha	1890.2g	630.1g	6301kg	8201kg
合計	99.6%	76.0ha				5017.1g	1672.4g	16724kg	12690kg

5. 研究成果の発表

日時：令和元年 11 月 2 日（土）、3 日（日）

発表の場：石川高専文化祭（紀友祭）（予定）

発表題目：「加賀レンコンお好み焼きの価格、購入に関する来場者の意識調査」

発表形態：口頭発表 ポスター発表
その他（ ）

発表者名：深見こころ、吉田千倅、萬澤芽生、
酒井姫和、高口倭子、御手洗友哉



図 9 紀友祭発表の様子

6. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

近年地球温暖化が進んでいることに私たちは目を向けたが、地球は他にも様々な問題を抱えている。すべてを一気に解決することは難しいので私たちはまずは自分たちの身の回りからできることとしてこの研究を続けてきた。この研究によって食物が廃棄されている現状、枯死してメタンガスが排出されること、そのガスを利用して様々な取り組みがあることを知った。この研究を進めていかなかったら知ることは今後なかったと思う。環境安全、私たちの研究でいうと、食物を廃棄しないこと、枯死させないように草を除去すること、そのガスを電気に変換することにあたるだろう。これらは全て人の力が必要となってくる。廃棄しないようにするには農家さんの、除去するには駆除に協力してくれる人たちの助けが必要となってくる。またエネルギーに変換しようと思ったとき、機構や国に対して様々な資料が必要となってくる。人の力はリスクに値しないかもしれないが、それでも何かの事業に取り組もうと思ったとき確実に

誰かの力を借りることになり、その活動にはお金が生じるとは限らない。そしてまた電気料金は不安定なものであり確実な収入がもらえるわけではなく、活動に取り組むにはリスクが伴う。そう考えたとき、私たちが目標としているエネルギー変換するという考えは、収入がなくとも誰かを動かす研究結果が必要となってくると考える。これだけのガスが発生していること、そのガスが与える影響、そのガスは電気に変えることができ、さらに収入があること、様々なことを伝える必要がある。環境安全に取り組もうと思ったとき、口だけではなく、まずは動くことが重要になってくる。今の私たちはまだ高校生という立場なので、まずはできること、それはこの研究結果を多くの人に知ってもらいその人々の環境に対する考え方に少しでも多くの疑問や提案を持ってもらうことである。知ってもらうことで様々な環境事業に多くの人で参加していくことができる。収入もなく、得することは少ないのかもしれないが、その中でも人々を動かせるだけの研究をしたいと思う。今をどうするかで未来の在り方が決まる、今私たちができることは確かな結果を導くことだと考える。

7. 今後の課題

今回の実験では、河北潟干拓地に植生している雑草からのメタンガスを調べた。だが、河北潟干拓地内からのメタンガスが多く発生されるものとして稲や麦、レンコンのつる、農産物の可食部以外などがあげられる。今後はこれらもエネルギー源として活用していきたい。また電気として変換する際は様々な手続きが必要となるため、その手続きに必要なデータが何なのかを調べたい。今回は電気に変換することを目的としたが他にもどんな有効利用ができるのか、メタンガスを削減する方法があるのかについても追々調べていきたいと考える。

8. まとめ

- ・廃棄レンコンは食品として加工することで味に変わりなく販売することができる。
- ・クロス集計によってレンコンお好み焼き、レンコン粉末の販売の重要が確認された。
- ・電気料金、レンコン本体の値段からレンコン粉末を販売する際は 100g あたり 1000 円で売るのが

妥当だという結果が出た。この結果は農家さんが販売を行う際には参考にしていただける情報になると考えられる。

・Metashapeにより河北潟干拓地の雑草の植生面積を求めた。河北潟干拓地全体の面積約 1,356ha に対し、雑草の生息面積は合計約 76ha という結果になった。これは河北潟干拓地全体の面積の約 5.6%を占めている。内訳として、西部承水路約 15ha、西部承水路の外側約 4ha、中央幹線排水路約 13ha、東部承水路約 44ha であった。

・シリンジ実験により、ギシギシ、ヨシの葉と茎、エノコログサの葉と茎、メヒシバ、セイタカアワダチソウの花と葉と茎、それぞれのガス発生量を調べた。汚泥からの発生量がほぼ 0 という結果により、ガス発生は各試料そのものがもたらしたものだ と考察される。

・ヨシを除きエノコログサ、セイタカアワダチソウは葉よりも茎からのほうがガス発生が多かった。メタン発酵については糖から酢酸が得られ、これが脱メチル化するプロセスと二酸化炭素の水素による還元反応の 2 つの経路によってメタンガスが発生すると報告されている。このことから私たちは含まれる糖の種類や量によって酢酸に変換される量が異なり、メタンガスの発生量が植物の種類や部位によって変わったものと考えた。

・またそのガスの組成分析を行った。水素は検出されず、多い順にメタンガス、二酸化炭素、窒素が検出された。

・採取を行った 3m³内のほとんどをセイタカアワダチソウが占めていたためセイタカアワダチソウのみ面積に対するメタンガス発生量を求めた。セイタカアワダチソウ 1 本の重量に対して花の重量は 1 割にも満たないため、茎と葉からのガス発生量から割り出す。その結果、河北潟干拓地の雑草面積 76ha の内、セイタカアワダチソウが植生していると考えられる 59.6ha からだけでも 12,690kg のメタンガスが発生することがわかった。

・今回はセイタカアワダチソウはだけしか求められなかったが、すべての雑草でメタンガス発生量を求めるともっと多くのメタンガスが発生すると考えられる。

・経済産業省 FIT 価格より 1kwh あたりの価格バイオマスは 2017 年から 2019 年まで 39 円で一定

である。メタンガス 12,690kg つまり 17,766m³からの発熱量は 636,022.8MJ つまり 176,673kwh である。よって 176,673kwh は 6,890,247 円の収益になると考えられる。

参考文献

1)ダ・ヴィンチニュース「肌荒れ、ストレスにも効果的！ 1 日大さじ 1 杯の「れんこんパウダー」で今年の冬は風邪知らず」（2016）

<https://ddnavi.com/news/332890/a/>

2) 野口勇, 湿地・水田から大気への水生植物によるメタン放出機構, 大気環境学会誌, 36,A15-A25 (2001)

3) 前村美怜, 葉の老化その 2 生きるために自ら枯らす!? (2016)

4) 浅野義彦, バイオマスエネルギーの有効利用技術, 学会誌「EICA」(2002)