

財団法人 油脂工業会館
第 54 回 油脂産業論文

2050 年油脂産業界展望
リサイクルリンを栄養源とした雑藻バイオ燃料生産の提案

第一工業製薬株式会社
エレクセル開発部 霞研究グループ
ヤマモト ミカ
山本 美伽

目次

はじめに	1
第1章 日本の燃料事情	
1-1 化石燃料とエネルギー消費量の増加	1
1-2 日本の燃料自給率	1
1-3 カーボンニュートラル	2
第2章 バイオ燃料の種類	
2-1 穀物系バイオ燃料	3
2-2 藻類バイオ燃料	3
2-3 雑藻を用いたバイオ燃料	4
第3章 リサイクルリンを利用した雑藻の生産	
3-1 下水を利用した雑藻の生産	6
3-1-1 下水処理の仕組み	
3-1-2 生産方法	
3-1-3 雑藻の燃料化	
3-1-4 バイオ燃料生産性	
3-2 製鋼スラグを利用した雑藻の生産	8
3-2-1 鉄鋼スラグについて	
3-2-2 生産方法	
3-2-3 バイオ燃料生産性	
3-3 豚尿を利用した雑藻の生産	10
3-3-1 豚尿について	
3-3-2 生産方法	
3-3-3 バイオ燃料生産性	
3-4 課題	11
おわりに	12
参考文献	13

はじめに

エネルギーなくして人類の発展は起こらない。50 万年以上前、人類は火を使うようになり食生活が改善することで脳が大きくなった。その後、風力を利用した帆船で長距離を移動するようになり、人類の活動範囲が拡大した。さらに水車や風車などを使うようになり、農耕が大きく発達した。18 世紀に入り石炭をエネルギー源とする蒸気機関車が動力源として利用され、産業革命が起こった。このように、エネルギーは常に人類の発展を支えてきた。しかし、エネルギーの利用は人類を発展させるだけではなく、深刻な環境破壊も引き起こした。環境破壊を止めるためにはエネルギーを使わなければよいだろう。しかし、エネルギーを使わないと人類は発展するどころか現状維持すら難しい。

本論文では、日本のさらなる発展のために安定的なエネルギー供給が可能、かつそのエネルギーが環境に悪影響を与えない、雑藻を使用したバイオ燃料を提案する。

第 1 章 日本の燃料事情

1-1 化石燃料とエネルギー消費量の増加

近年、発展途上国を中心とした経済成長と人口増加により、化石燃料消費量の大幅増加が見込まれている。しかし、化石燃料は有限であり、2020 年時点の可採年数は石油 54 年、天然ガス 49 年、石炭 139 年と言われている[1]。化石燃料とは、地質時代にかけて堆積した動植物などの死骸が地中に堆積し、地圧・地熱などにより数千年から数億年かけて燃えやすい物質に変化したものである。長い年月をかけて作られるため、エネルギーの大量消費により支えられた社会を永久的に支えることは不可能である。そのため、限りある資源をめぐって資源獲得競争の激化が懸念される。

1-2 日本の燃料自給率

日本の燃料自給率は 12.1%と極めて低く、石油、天然ガスのほぼ全量を輸入に依存している。石油の多くは中東諸国からの輸入に依存しており、36%を占めるサウジアラビアをはじめ、アラブ首長国連邦、カタール、クウェート、イラン、イラクと、85%が中東の産油国から輸入されたものである[2]。そのため、中東諸国の情勢は日本のエネルギー事情に多大な影響を与える。その代表的な事例が、1970年代に起こった2度にわたって起こった「オイルショック」である。天然ガスに関しても23%を中東諸国から輸入しており、同様に影響を受けやすい[3]。そのため、安定的に燃料を獲得するためには、日本で燃料を自給する必要がある。

1-3 カーボンニュートラル

エネルギー消費量の増加により、二酸化炭素排出量が増えている。二酸化炭素が増えることで地球温暖化、気候変動が引き起こされる。地球温暖化で気温が高くなり、陸上の氷河や氷床に貯蔵されていた氷が溶け出し海面が上昇する。海面が上昇すると、台風や高潮の脅威がさらに増す。さらに、海拔の低い島国では、すでに高潮の被害が大きくなっており、他国へ移住する人たちも出てきている。さらに地球温暖化は異常気象の一因ともなる。気温が高くなると海から蒸発する水分量が増える。水蒸気量が増えると、雨量も増加し、豪雨の発生につながる。他にも、農作物の不作や疫病の発生につながる可能性がある。このように、二酸化炭素排出量が増え、地球が温暖化することで、さまざまな問題が生じるのである。

そこで、2015年、地球温暖化の解決に向けてパリ協定が採択された。世界共通の長期的な目標として「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保つとともに、1.5°Cに抑える努力をすること」「21世紀後半には、温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収量のバランスをとること」を掲げた[4]。この実現に向けて、2020年10月、菅内閣総理大臣は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「2050年カーボンニュートラル」を目指すことを宣言した。カーボンニュートラル

を達成するためには、温室効果ガスの排出量の削減および吸収作用の強化をする必要がある[5]。そこで、カーボンニュートラルな燃料として、バイオ燃料が注目されている。

第 2 章 バイオ燃料の種類

2-1 穀物系バイオ燃料

代表的なバイオ燃料として、トウモロコシやサトウキビなどの穀物を用いたバイオエタノールが挙げられる。バイオエタノールは、トウモロコシやサトウキビに含まれる糖を発酵させることで得られる。バイオエタノールを燃やすと二酸化炭素が発生する、これは植物が成長中に吸収した二酸化炭素の再放出であり、大気中の二酸化炭素は増加しないため温室効果ガスとは見なされない。つまり、バイオエタノールを導入することで地球温暖化防止になる[6]。しかし、トウモロコシやサトウキビを利用したバイオエタノールには、食糧不足を誘引させるという大きな問題がある。

サトウキビの最大生産国であるブラジルでは、主産地での 2022 年 4 月から 6 月で、サトウキビからエタノールを作る比率が前年同期から 4%増加し、砂糖の生産比率が低下した。これにより、砂糖の国際価格が 2 年で 1.5 倍になった[7]。このようにバイオエタノールの需要が増加すると、食料価格が高騰し発展途上国が買い負け、食糧不足に陥る懸念がある。そのため、非穀物系バイオ燃料として藻類が注目されている。

2-2 藻類バイオ燃料

藻類は、光合成を行う生物のうち、コケ植物、シダ植物、種子植物を除いたものの総称である[8]。藻類は食糧ではないため食糧不足問題が生じない。さらに、藻類の油脂生産力は、陸生の油脂植物の数十倍から数百倍高い。また、藻類は、藻全体が油脂源となり数時間～数日で分裂・増殖する。さらに、藻類に寿命はない。比較としてパームオイルの原料植物のパ

ームヤシを挙げると、定植からオイルの含まれる果実が収穫できるまでに約3年かかり、数カ月～1年に一度の収穫しかできない。また、パームヤシは25～30年で植え替えなければならない[9]。このように、藻類は油脂生産力が高く、短期間で増殖し、寿命がないという利点がある。さらに、藻類を用いたバイオ燃料ではトウモロコシを用いたバイオ燃料と比べて、世界の年間石油需要量をまかなうのに必要な耕作面積は約800分の1と、広い耕作地を必要としない[10]。このように、藻類は、食糧と競合せず、高い油脂生産力を持つバイオ燃料として注目されている。

2-3 雑藻を用いたバイオ燃料

バイオ燃料として研究されている代表的な藻類としてボツリオコッカスが挙げられる。しかし、ボツリオコッカスは日本で安定的に供給可能な燃料になることが難しい。日本と日本より日射量の高い東南アジアで行った、ボツリオコッカスの培養研究によると[11]、年間を通じたボツリオコッカスの油脂生産性は、日本より東南アジアで高くなったとのことだ。これは、日本と比べ東南アジアでは、1年間の日射量と気温が安定するためである。つまり、1年を通して気温の高低差が大きい日本では、1種類の藻類のみを用いたバイオ燃料の生産には向いていないことが示唆された。

そこで日本の寒暖差をクリアする藻類として雑藻に着目した。藻類は、ほとんどすべての地球環境に生息しており、水たまりや湖沼には自然と多様な藻類が発生する。この多様な藻類を雑藻と呼ぶ。雑藻をバイオ燃料として適用するメリットについて、福島県南相馬市の「福島プロジェクト」を例に説明する[12]。福島プロジェクトでは1年間、雑藻のバイオマス生産性を観測している、冬季の気温は氷点下5度近くになり、ビニールハウス内でも0℃近くまで低下していた。しかし、雑藻の増殖速度はやや低下したものの十分に増殖した。夏季も十分に増殖し、一年を通して十分なバイオマス生産性を示した。以上より、雑藻は季節ごとに増殖する藻類が異なり、環境が変動しても全滅しない。日本は1年を通して気温の高低差が大きい、それぞれの気温を得意とする藻類がいれば問題ない。さらに、雑

藻はコスト面でもメリットがある。藻類の培養装置は開放型と閉鎖型の2種類ある。開放型はコストが低いが、雨や他の生物の侵入（コンタミ）の恐れがある。侵入した藻類の増殖が早ければ藻類が入れ替わってしまう可能性があるため、単一の藻類を生産するためには、コンタミは非常に大きな問題となる。一方で、雑藻に関しては、すでに様々な藻類が混ざっているためコンタミが問題にならない。そのため、雑藻培養にはコストの低い開放系の培養装置が利用可能である。このように、雑藻を用いたバイオ燃料には、日本の寒暖差に対応可能、開放型の培養装置が利用可能なためコストが低い、といったメリットがある。

また、藻類には、窒素やリンを用いて光合成をすることで増殖する独立栄養藻類と、光合成をせずに有機物を得て増殖する従属栄養藻類と、どちらも行う混合栄養藻類に大別される。光合成を行う独立栄養藻類のみだと、太陽光が届くことが重要な条件となるため、深さの浅い培養器が必要となる。浅い培養器で安定的なエネルギー供給可能な量の藻類を培養するためには広い土地が必要となるため、国土の狭い日本での培養には向いていない。そこで、日本における藻類生産には、光合成だけでなく有機物を得ることで増殖する混合栄養藻類が最適である。以上より、安定的に供給可能かつカーボンニュートラルな燃料として、混合栄養型の雑藻を用いたバイオ燃料を提案する。

第3章 リサイクルリンを利用した雑藻の生産

藻類は、リンを栄養源として光合成により増殖する。そのため、雑藻の生産にはリンが必要不可欠である。しかし、リンはいくらでも使える材料ではない。リンの大半は鉱石由来であり、中国、モロッコ、アメリカで世界全体の産出量の74%を占めている[13]。日本のリン自給率は0%で、全量を中国や南アフリカ、ヨルダン、モロッコなどからの輸入に依存している。日本で燃料を自給するために雑藻を用いたバイオ燃料を提案しているが、雑藻を培養するための肥料であるリンを全量輸入に依存しているようでは、安定したエネルギー供給ができない。さらに、リン酸鉱石は2060年

までに枯渇するとされており[14]、このままでは雑藻を安定的に供給可能なバイオ燃料として適用することは難しい。そこで、第3章では、国内でリサイクルにより得られたリンを栄養源とした雑藻の生産を提案する。

3-1 下水を利用した雑藻の生産

3-1-1 下水処理の仕組み

現在、下水道では年間東京ドーム約12,000杯分(約147億 m^3)の下水を処理しており、多量のエネルギーを使用している。さらに、下水道では、全国の電力消費量の約0.7%(約75億 kWh)の電力を消費し、日本の温室効果ガスの約0.5%(約596万 t-CO_2)を排出している[15]。そのため、2050年カーボンニュートラル宣言を達成する上で、下水処理により発生する温室効果ガス削減は重要である。

ここで、下水処理の仕組みを説明する(図1)[16]。まず、処理場に運ばれた下水は、沈砂池と呼ばれる池に入り、大きなごみや石、砂を取り除かれる。大きなごみや石、砂を取り除かれた下水は、最初沈殿池に入り、細かい汚れを沈殿させ取り除かれる。続いて、最初沈殿池を通った下水は反応タンクに入る。反応タンクでは、下水に微生物の入った汚泥を混ぜて、空気を送り込む。下水中の汚れは微生物が分解し浄化する。最後に、反応タンクでできた汚泥を沈殿させ、処理水と汚泥に分離し、処理水を消毒して川や海に流す。

2050年カーボンニュートラル宣言を達成するため、下水処理場では、水処理・汚泥処理のプロセスごとに、省エネ型機器の導入や運転管理方法の見直しによる省エネ対策を推進してきた。下水処理において最も電力を消費する工程は、反応タンク中で空気を送り込む工程(ブロー)であり[16]、ブローの電力消費量を削減することが重要である。

また、下水にはリンが多く含まれている。下水に含まれるリンは年間55,000tと、化学肥料用に輸入している量の約14%に相当する[17]。そのため、下水に含まれるリンを利用することが必要である。

混合栄養型の雑藻は、窒素やリンなどを栄養源とした光合成と、他の生物がつくった有機物を取り込むことによって増殖する。そのため、リンや窒素、有機物が多く含まれる下水は、雑藻培養に最適な栄養源である。さらに、混合栄養藻類は、大気中の二酸化炭素と下水中の有機炭素の両方を炭素源として利用できる。以上より、下水処理と雑藻生産を統合することで、ブローアの電力消費量削減による温室効果ガスの削減、リンのリサイクルが可能であると考えられる。そこで、下水を利用した雑藻の生産の具体案を提案する。

3-1-2 生産方法

まず、培養タンクについて考える。培養タンクには、光合成ができるよう透明の蓋を付けた閉鎖系と、蓋のない開放系が考えられる。閉鎖系はコンタミの危険性が少ないがコストが高い、開放系ではコストは低いがコンタミの危険性が高いといった特徴がある。単一の藻類を培養する際はコンタミを防ぐ必要があるが、雑藻ではコンタミが問題とならない。そこで今回は、開放系の培養タンクを使用する。研究により[18]、雑藻の十分な増殖を確認できた水深 1.4m で培養を実施する。培養液には、最初沈殿池から出た一次処理水を利用する。一次処理水中のリンや窒素、有機物によって雑藻は増殖し、一次処理水は浄化される。続いて、雑藻の回収方法について考える。藻類のサイズは 10 μ m 前後の場合が多く、大量の培養液中から雑藻をいかにするかは大きな課題である。回収方法としては主に金属または合成繊維の微細網による濾過、遠心分離、凝集剤を用いた凝集沈澱などがあげられる[19]。今回は凝集沈澱により雑藻を回収する。凝集剤にはキトサンを用いる。キトサンは、ポリ- β 1 \rightarrow 4-グルコサミンという多糖類で、カニやエビなどの甲殻類の外骨格に含まれるキチンを脱アセチル化することで得られる。原料が天然由来であるため安全性が高い。雑藻をキトサンにより凝集沈澱させ、濾過する事で回収する。

3-1-3 雑藻の燃料化

続いて、雑藻をバイオ燃料に変換する。一般的に、藻類をバイオ燃料化する場合は、回収した藻類培養液を濃縮後、脱水乾燥し、有機溶媒により燃料となる脂質を抽出することが多い。しかし、乾燥には多くのエネルギーが必要となるため、乾燥せずにバイオ燃料化可能な水熱液化処理を利用する。水熱液化処理は研究[20]を参考にする。収率良くバイオ燃料を得るためには、凝集沈澱により回収した雑藻を 20wt%まで濃縮する必要がある。そこで、ドラム脱水により濃縮する(図 2)。まず、回収した雑藻を減圧ろ過し、その後ステンレスドラムにろ過ケーキを転写し、スクレーパーでかき取ることで 20wt%の雑藻濃縮物が得られる。続いて水熱液化処理を行う。水熱液化は温度 280~370°C、圧力 10~25MPa の亜臨界水条件下でオイル化する方法である。この条件下では、水は水素イオンや水酸化物イオン濃度が増加し、加水分解作用が高くなるとみなせる。亜臨界水で雑藻を分解し、雑藻から酸素を二酸化炭素として除去し、酸素含有量を減らし炭化水素主成分のバイオ燃料が得られる。

3-1-4 バイオ燃料生産性

研究によると[18]、一次処理水を用いた雑藻生産では、水深 1.4m のタンクで培養すると 1 年間の藻類生産量は 46kg/m²だった。また、水熱液化処理によるバイオ燃料収率は約 50%である[20]。そこで、全国の下水処理場の総面積の 3 割を使って雑藻を生産すると、2021 年の原油輸入量 1.5 億 kL[21]に匹敵するバイオ燃料が生産可能である。

3-2 製鋼スラグを利用した雑藻の生産

3-2-1 鉄鋼スラグについて

鉄鉱石には不純物として約 0.05%のリンが含まれる。しかし、リンを含むと鉄は脆くなってしまう。そのため、リンは製錬する過程で製鋼スラグと

して濃縮され取り除かれる[22]。製鋼スラグとして出てくるリンの量は年間10万トンにもものぼる。これは、1年間に輸入しているリンの約80%に相当する。そのため、製鋼スラグ中のリンを雑藻生産の栄養源とすることで、雑藻生産が可能であると考ええる。また、鉄鋼業の二酸化炭素排出量は、日本の二酸化炭素排出量の14%を占める。鉄鉱石から酸素を取り除く際、一酸化炭素と酸素が結びつくため大量の二酸化炭素が発生する。この二酸化炭素を利用することで、バイオ燃料の生産と同時に、2050年カーボンニュートラルも同時に達成できる。そこで、製鋼時に発生する二酸化炭素を雑藻の二酸化炭素供給源とすることで、効率的な雑藻生産が可能であると考えた。さらに、冬季は寒さにより藻類の成長速度が低下するため、製鋼時の廃熱を利用することで安定した雑藻生産が可能であると考えた。また、研究によると[23]、有機物供給源として、水熱液化の副産物である廃有機酸を利用することで藻類の生産性が向上することが確認されている。以上より、製鋼スラグ中のリンと製鋼時に発生する二酸化炭素、廃熱、水熱液化の廃有機酸を利用した、効率的な雑藻生産を提案する。

3-2-2 生産方法

深さ1.4mの開放型タンクで培養する。製鋼スラグからリンを回収する方法は、論文を参考にする[24]。製鋼スラグは、脱リンスラグ、脱炭スラグ、脱ケイスラグに分類され、今回は脱リンスラグを利用する。脱リンスラグはリン濃縮層とリンを含まない層の2種類から構成されている。そこで、磁気によって二層を分離しリンを回収する。このリンを培養液に添加することで、雑藻は光合成し増殖する。二酸化炭素は高炉からパイプを伝って培養タンクに供給する。

さらに、水熱液化の副産物である有機酸を添加することで、有機物による増殖も可能である。また、タンクの周りは温水パイプで囲う。温水は高炉から発生する廃熱により、水を温水に変換することで作製する。基本的には、気温が15℃を下回る日に廃熱を使用することとする。初めの1年間に気温と雑藻生産量のデータを取り、2年目からはこのデータをもとに廃熱

の運用を行う。以上より、効率的な雑藻培養が可能であると考え。雑藻の回収方法は、3-1と同様にキトサンによる凝集沈澱を利用する。雑藻からのバイオ燃料への変換方法も3-1と同様に水熱液化で実施する。

3-2-3 バイオ燃料生産性

スラグ中のリンと製鋼時に発生する二酸化炭素、廃熱、水熱液化の廃有機酸を利用した雑藻生産に関する研究は発表されていない。そこで、水深1.4mでリン+有機物供給の1年間の雑藻生産量 $46\text{kg}/\text{m}^2$ であったことを参考に、本提案の1年間の雑藻生産量を見積もる。本提案では、二酸化炭素供給による光合成の促進と廃熱利用による冬季の生産性向上が見込まれる。研究によると[25]、最も雑藻生産量が多い8月は、最も生産量の低い1月と比べ、約2.5倍生産量が多い。さらに、水深0.2mの実験であるが、二酸化炭素供給は、有機物供給と同等の雑藻生産量向上効果を確認されている[26]。以上より、製鋼スラグ中のリンと製鋼時に発生する二酸化炭素、廃熱、水熱液化の廃有機酸を利用した1年間の雑藻生産量は $70\text{kg}/\text{m}^2$ と見積もる。国の銑鋼一貫製鉄所の総面積の1割を使って雑藻培養をしていただくとすると、約120万kLのバイオ燃料が生産可能である。

3-3 豚尿を利用した雑藻の生産

3-3-1 豚尿について

日本における牛、豚、鶏などの家畜の排せつ物発生量は、1年間に8013万トンと推測されている[27]。家畜のし尿は家畜排せつ物法により、処理または肥料としての再利用が求められている。しかし、尿は臭気が強く、しかも水分が多すぎるため直接肥料として利用することは難しい。そのため、尿は浄化槽で処理し河川へ放流されることが多い。中でも豚は、糞に対する尿の量が多く、牛が糞：尿=1：0.4であるのに対し、豚では糞：尿=1：2である。そのため、豚の尿の再利用が求められている。日本では929

万頭の豚が飼育されており[28]、1日1頭当たりの尿量を3.8kgとすると[29]。約1289万トンの尿が排泄されている。豚の尿にはリンが約400mg/L含まれており[30]、1年間に豚の尿として排泄される総リン量は約5000トンである。これは、1年間に輸入しているリンの約4%に相当する。さらに、豚尿量には有機物が多く含まれるため、有機物を利用した従属栄養型の増殖も可能である。また、養豚で発生する温室効果ガスのほとんどは、豚のふん尿処理で発生し、日本の温室効果ガス排出量の0.1%を占める[31]。そこで、豚尿を雑藻の培養に利用することで、バイオ燃料の生産だけでなく、温室効果ガスの削減も同時に達成できると考える。以上より、豚尿中のリンと有機物を利用した、雑藻生産方法を提案する。

3-3-2 生産方法

まず、豚の尿回収方法を考える。豚舎は全面スノコを敷く。豚の糞尿はスノコの隙間から穴に落ちる。この穴は傾斜があり、尿のみが中心の管を通して貯められる。得られた豚尿は深さ1.4mの開放型タンクに添加することで、雑藻は光合成し増殖する。さらに、尿中の有機物も炭素源とすることも増殖する。雑藻の回収方法は3-1と同様にキトサンによる凝集沈澱を利用する。雑藻からのバイオ燃料への変換方法も3-1と同様に水熱液化で実施する。

3-3-3 バイオ燃料生産性

研究によると、水深1.4mでリン+有機物供給による1年間の藻類生産量は46kg/m²だった。日本の養豚場の3割で雑藻培養をしていただくと、年間約10万kLのバイオ燃料が生産可能である。

3-4 課題

3章では、下水、鉄鋼スラグ、豚尿に含まれるリンを利用した雑藻生産プ

プロセスを提案した。下水、鉄鋼スラグ、豚尿は輸入不要な国内で自給可能なリン資源である。そのため、リサイクルリンを栄養源とした雑藻バイオ燃料を生産することで、日本のエネルギー自給率が大幅に向上するだろう。さらに、雑藻バイオ燃料は燃やしても地球上の二酸化炭素の増減に影響を与えない。そのため、2050年カーボンニュートラルを実現可能なカーボンニュートラルな燃料である。以上より、リサイクルリンを栄養源とした雑藻バイオ燃料は、日本のさらなる発展のために安定的に供給可能かつ、環境破壊を引き起こさないカーボンニュートラルな燃料である。

しかし、雑藻バイオ燃料には大きな課題が2つある。1つ目が、施設の大きな協力が必要ということだ。下水や鉄鋼スラグ、豚尿を処理するために今まで以上のコストがかかるならば、雑藻バイオ燃料を生産していただけないだろう。そこで、設備導入コストは国に補助していただきたい。2つ目は、バイオ燃料は原油と比べて価格が高いということだ。そのため生産コストの削減が必要不可欠である。

おわりに

人類の発展を支えてきた化石燃料は、動物や植物が長い年月をかけて変化してできたものである。それを人類はわずか数百年で使い果たす勢いで消費し、同時に地下に固定していた炭素を二酸化炭素として大量に放出し、地球温暖化と異常気象を引き起こしている。

さらに現在、新興国の目覚ましい発展を背景に資源獲得競争が激化している。エネルギー自給率の低い日本が発展し続けるためには、国内で生産可能なエネルギーの獲得が急務である。

本論文では、カーボンニュートラルかつ国内で安定的に生産可能なエネルギーとして、リサイクルリンを栄養源とした雑藻バイオ燃料を提案した。雑藻バイオ燃料を利用することにより、環境問題と日本のさらなる経済成長への貢献が可能と考える。

油脂産業界は、多くの化石燃料を使うことで発展してきた。今後は油脂産業界が、人類の発展を支えることのできる新たなエネルギー生産を牽引

していく必要があるだろう。

参考文献

[1] 原子力・エネルギー図面集 “世界のエネルギー資源確認埋蔵量”

<https://www.ene100.jp/zumen/1-1-6>

[2] 経済産業省 “2050年カーボンニュートラルに向けた資源・燃料政策の検討の方向性”

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/pdf/030_02_00.pdf

[3] 経済産業省資源エネルギー庁 “日本のエネルギーと中東諸国～安定供給に向けた国際的な取り組み”

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/anzenhosho/middleeast.html>

[4] 経済産業省 資源エネルギー庁, ”今さら聞けない「パリ協定」～何が決まったのか？私たちは何をすべきか？”

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/ondankashoene/pariskyotei.html>

[5] 環境省 脱炭素ポータル, ”カーボンニュートラルとは”

https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/

[6] ハイテク情報普及会 “よくある質問 - 未来編”

<https://cbijapan.com/faq/industry/31/>

[7] 日経新聞 2022年7月14日 “植物油、食用・燃料で争奪”

[8] 一般社団法人 さが藻類バイオマス協議会 “藻類って何？”

<https://www.saga-abc.jp/main/388.html>

[9] 藻ディア “脂質分野における藻類の利用 -バイオ燃料への可能性- “

https://modia.chitose-bio.com/articles/algae_and_oil/

[10] 渡邊信 “藻類バイオマス利用の研究開発”

https://eeeforum.sec.tsukuba.ac.jp/taskforce/pdf/ws20121105_01.pdf

[11] 松澤克明 ” ボツリオコッカスを使ったジェット燃料生産技術の開発”

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jieenermix/96/1/96_34/_pdf/-char/ja

[12] 出水幹英 “福島県南相馬市における「土着藻類」バイオマス生産

[13] 鉱物マテリアルフロー 2018 “33. リン(P)”

https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2019/03/material_flow2018_P.pdf

[14] 一般社団法人リン循環産業振興機構 “繰り返されるリン危機”

<PID0seminar2022119.pdf>

[15] 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部 “2050年カーボンニュートラル実現に向けた最近の動向と下水道事業における取組”

<001408215.pdf> (mlit.go.jp)

[16] 日本下水道協会 “下水処理の仕組み”

<https://www.jswa.jp/sewage/operation-public/>

[17] 津野洋 “下水道におけるリン回収技術の動向と展望”

<https://www.jiwet.or.jp/quarterly/n008/pdf/n008-004.pdf>

[18] 渡邊信 “藻類バイオ原油生産と利用と商用化”

[19] 水浄化フォーラム -科学と技術- “バイオ燃料 -微細藻類と油脂生産”

<http://water-solutions.jp/energy/algal-oil/>

[20] 中嶋光敏他 “藻類培養液の濃縮と水熱液化による燃料生産の試み”

[21] 石油連盟 Fuel “原油国別・油種別輸入”

[22] 国立環境研究所 “リン資源の隠れた国際フロー”

<https://www-cycle.nies.go.jp/magazine/mame/201510.html>

[23] 宮下修 “福島雑藻プロジェクトから見えてきた燃料生産シナリオ”

[24] 久保裕也 “強磁場を用いた脱リンスラグの再資源化プロセスに関する研究”

[25] 渡邊信 “藻類バイオ原油生産と利用と商用化”

[26] 増田正夫, 他 “藻類培養への排ガス CO₂利用の研究”

[27] 農林水産省 家畜の排せつ物の発生と管理の状況

https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/02_kanri/

[28] 農林水産省 畜産統計 2021 年

https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/tiku_toukei/r3/index.html

[29] 宮城県 家畜排せつ物発生量等記録表の記入について

<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/tikusanka/0433-ryuujikou.html>

[30] 公益社団法人石川県畜産協会 家畜ふん尿の処理方法について

<http://ishikawa.lin.gr.jp/kankyo/02.html>

[31] 羽賀清典 “豚ふん尿処理の現状と温室効果ガスの発生・制御”



図 1 下水処理の仕組み

出典：日本下水道協会 “下水処理の仕組み”

<https://www.jswa.jp/sewage/operation-public/>

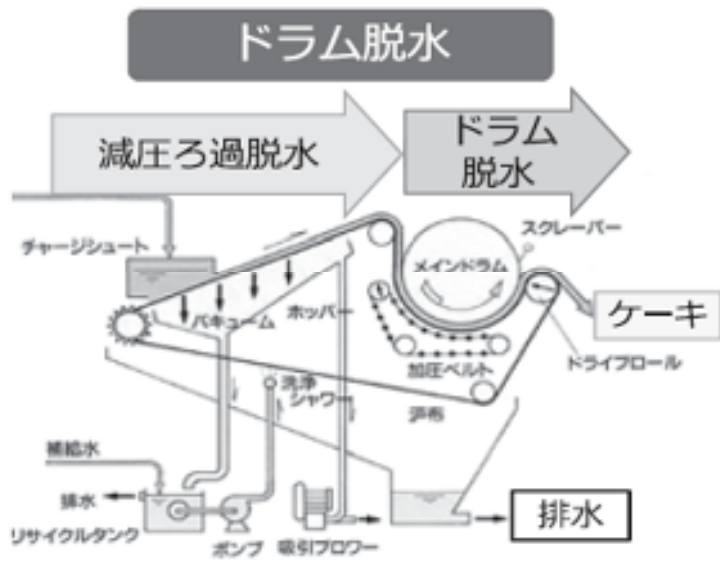


図 2 ドラム脱水