

一般財団法人 油脂工業会館

第53回表彰

油脂産業優秀論文

優 秀 賞

2050年温室効果ガス排出ゼロへの油脂産業の貢献

～藻類を活用した発電用アンモニア生成システムの提案～

花王株式会社

おおつか	かずとし
大塚	和俊
こばやし	けんじ
小林	賢司

<目次>

はじめに	1
第1章 温室効果ガス排出ゼロへの課題	
1-1. 日本の温室効果ガスの現状と取り組み	2
1-2. アンモニアを使った発電効果と課題	3
1-3. 藻類によるアンモニア生成の提案	6
第2章 既存ダムの有効利用による藻類の育成	
2-1. 国内ダム利用の現状と潜在ポテンシャル	7
2-2. ダム湖による藻類培養の課題と対応	8
第3章 藻類を活用した発電用アンモニア生成システムの提案	
3-1. アンモニア生成システムの全体構想	9
3-2. 藻類の培養と収穫方法	10
3-3. 藻類のオイル抽出と回収方法	12
第4章 アンモニア生成システムの効果と拡張性	
4-1. 藻類の培養量とオイル抽出量	13
4-2. システム導入に及ぼす電力量とCO ₂ 排出量	15
4-3. 拡張性と副次効果	17
おわりに	17
注釈・参考文献	19

はじめに

2018年に四国、中国地方に甚大な被害をもたらした西日本豪雨、2019年に過去最強クラスで関東に上陸し猛威を振るった台風15号など、過去「最強、最多」「数十年に一度」といった記録的な自然災害が毎年のように繰り返り起きている。大気中の温室効果ガス濃度の高まりによって地球の平均気温が上昇することで降雨パターンが変動し、このような異常気象の発生頻度が世界的に高まったとされている^{1) 2)}。

パリで開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）では、温室効果ガス削減に関する国際的取り決めが合意され、世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて1.5℃に抑える努力を追求する長期目標が掲げられた³⁾。

石炭・石油・天然ガス等の化石燃料によるエネルギーの大量消費から再生可能エネルギー^{*1}への転換などを進め、現在進行形で起きている人為的な温室効果ガス排出による気候変化を食い止めることが人類にとって急務となっている。

日本においても、2020年10月、臨時国会の所信表明演説において、菅総理大臣は「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体として実質ゼロにする」ことを宣言した⁴⁾。東日本大震災後、原子力発電に依存できない中、この高い数値目標を実現するには、約4割を占める発電、石油精製などのエネルギー転換部門のCO₂排出量をより高いレベルで削減していく必要がある（図1）^{5) 6)}。

そこで本論文では、油脂産業界でも大きな課題であるCO₂を削減するための技術と未来のエネルギー貢献を提案する。

古くから代替化石燃料として研究され、オイル生産性が高く、かつ、大気中のCO₂も吸収する「藻類^{*2}」から、次世代の発電エネルギー源として近年注目されている「アンモニア」を生成して温室効果ガスの排出削減を目指すと共に、社会全体の急激なデジタル化の進展による膨大な電力消費が予想される中でも安定した電力供給の一端を担えるというものである。

カーボンニュートラル^{*3}、脱炭素社会^{*4}の実現に向け、アンモニア供給によるエネルギー貢献も可能となる、既存インフラであるダムを有効利用した「藻類による発電用アンモニア生成システム」を油脂産業の新たな役割として提言する。

	1990年度 排出量 〔シェア〕	2005年度 排出量 〔シェア〕	2013年度 排出量 〔シェア〕	2018年度 排出量 〔シェア〕	2019年度			
					排出量 〔シェア〕	変化量 〔変化率〕		
						2005年度比	2013年度比	2018年度比
合計	1,164 〔100%〕	1,294 〔100%〕	1,318 〔100%〕	1,146 〔100%〕	1,108 〔100%〕	-185.7 〔-14.4%〕	-209.7 〔-15.9%〕	-37.6 〔-3.3%〕
エネルギー起源								
小計	1,068 〔91.8%〕	1,201 〔92.8%〕	1,235 〔93.8%〕	1,065 〔93.0%〕	1,029 〔92.9%〕	-171.7 〔-14.3%〕	-206.6 〔-16.7%〕	-36.6 〔-3.4%〕
産業部門 (工場等)	378 〔32.5%〕	366 〔28.3%〕	330 〔25.0%〕	287 〔25.1%〕	279 〔25.2%〕	-87.1 〔-23.8%〕	-50.4 〔-15.3%〕	-7.8 〔-2.7%〕
運輸部門 (自動車等)	202 〔17.3%〕	238 〔18.4%〕	215 〔16.3%〕	203 〔17.7%〕	199 〔17.9%〕	-39.0 〔-16.4%〕	-16.3 〔-11.5%〕	-4.2 〔-2.1%〕
業務その他部門 (商業・サービス・事業所等)	81.0 〔7.0%〕	102 〔7.9%〕	104 〔7.9%〕	68.2 〔6.0%〕	64.7 〔5.8%〕	-37.6 〔-36.7%〕	-39.6 〔-37.9%〕	-3.5 〔-5.2%〕
家庭部門	58.2 〔5.0%〕	70.4 〔5.4%〕	60.3 〔4.6%〕	52.2 〔4.6%〕	53.4 〔4.8%〕	-17.0 〔-24.2%〕	-7.0 〔-11.5%〕	+1.2 〔+2.3%〕
エネルギー転換部門 (発電所・製油所等)	348 〔29.9%〕	424 〔32.8%〕	526 〔39.9%〕	455 〔39.7%〕	433 〔39.1%〕	+9.0 〔+2.1%〕	-93.4 〔-17.7%〕	-22.2 〔-4.9%〕
非エネルギー起源								
小計	96.0 〔8.2%〕	93.1 〔7.2%〕	82.3 〔6.2%〕	80.2 〔7.0%〕	79.2 〔7.1%〕	-13.9 〔-15.0%〕	-3.1 〔-3.8%〕	-1.1 〔-1.3%〕
工業プロセス及び製品の使用	65.6 〔5.6%〕	56.5 〔4.4%〕	48.8 〔3.7%〕	46.3 〔4.0%〕	45.2 〔4.1%〕	-11.3 〔-20.0%〕	-3.6 〔-7.4%〕	-1.1 〔-2.4%〕
廃棄物(焼却等) ^(注2)	23.6 〔2.0%〕	32.0 〔2.5%〕	29.9 〔2.3%〕	30.8 〔2.7%〕	30.9 〔2.8%〕	-1.1 〔-3.5%〕	+0.97 〔+3.2%〕	+0.10 〔+0.3%〕
その他(間接CO ₂ ^(注3) 等)	6.7 〔0.6%〕	4.6 〔0.4%〕	3.6 〔0.3%〕	3.2 〔0.3%〕	3.1 〔0.3%〕	-1.5 〔-32.8%〕	-0.48 〔-13.3%〕	-0.06 〔-1.8%〕

(単位:百万トン)

図1 エネルギー転換部門のCO₂の排出量

(出典: 経済産業省 2019年度(令和元年度)の温室効果ガス排出量(確報値)より)

<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghgmv/emissions/results/material/honbun2019rev2.pdf>

第1章 温室効果ガス排出ゼロへの課題

1-1. 日本の温室効果ガスの現状と取り組み

日本はパリ協定の下、2030年度に2013年度比「26%減」の温室効果ガス排出削減を目標に進めている⁷⁾。日本の温室効果ガスは2019年度で約12億tの排出量であり、そのうち約4.3億tが火力発電によるもので、大きなウエイトを占めている。火力発電が電力に占める割合は76%と大きく、再生可能エネルギー由来の電力は18%、原子力が6%とわずかである⁶⁾。2013年度から再生可能エネルギー、原子力といった非化石燃料の比率は高めてきているが、いまだ大部分が化石燃料に頼った電力構成となっている。

経済産業省が策定した2030年度のエネルギー需給構造の見通しによれば、徹底した省エネを行うことで電力需要は2013年度とほぼ同じレベルに抑えられるとしている。そのうえで温室効果ガスの26%削減を実現するために、2030年度の電源構成は、化石燃料を使う比率を56%と大幅に減少させる一方で、太陽光やバイオマス^{※5}などの再生可能エネルギー由来の電力を22~24%に大きく伸ばし、原子力

発電の比率は20～22%に高める計画である⁸⁾。

このような中、2021年4月の気候変動サミットにて菅総理大臣は2030年の削減目標を約7割引き上げて2013年度比で「46%削減」し、更に50%の高みに挑戦すると発表した⁹⁾。化石燃料起因の発電比率の更なる減少と再生可能エネルギー由来をベースとした電力供給能力の拡大を一層加速させ、その先にある2050年のカーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指していく必要がある(図2)⁶⁾。

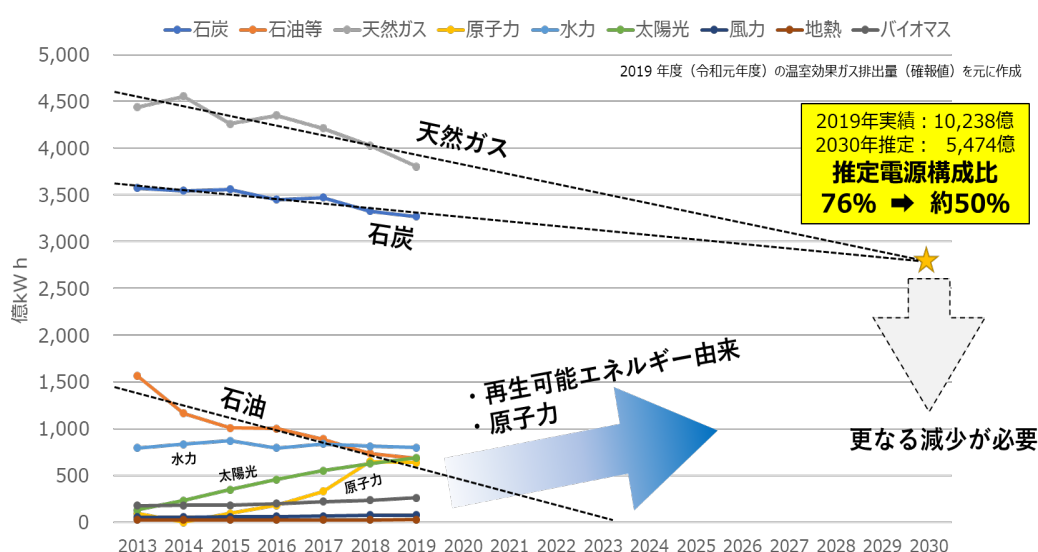


図2 2030年電源構成比予測

そのためには現状の技術とインフラでできることをまず最大限に進めていく必要があるが、国土面積が小さく、地震、台風、豪雨などの災害が多い日本では風力、太陽光の拡充は限界があると考えられ、原子力は福島原発事故後の安全性の観点から計画通りには再稼働させることが難しいと予想される。よって、CCU、CCUS^{*6)}といったCO₂の回収・利用・貯留する技術の実用化や¹⁰⁾、バイオマスなど再生可能エネルギーの活用、化石燃料に変わる、水素、アンモニアといった新しい次世代エネルギーによる発電システムを構築していく必要があると考える。

1-2. アンモニアを使った発電効果と課題

「アンモニア」といえば、「刺激臭のある有毒物質」というイメージで昔から肥料として利用されてきたことを思い浮かべる人も多いだろう。しかし、アンモニアは燃焼時にCO₂を排出しない(4NH₃+3O₂→2N₂+6H₂O)という特性から、C

O₂排出量削減に役立つ次世代エネルギーとして、石炭による火力発電の代替原料として注目されている。まずは石炭との混合による混焼化、最終的にはアンモニア単体での専焼化による発電が計画されている。アンモニアの混焼及び専焼化によるCO₂削減量は、アンモニアを20%混焼にすると石炭火力発電所1基で約100万t、国内の大手電力会社の保有する全ての石炭火力発電所に適用すると約4,000万tになるとされている。さらに専焼化することができれば、電力部門での排出量の半分に当たる約2億tのCO₂が削減できると見込まれている(図3)¹¹⁾。

ケース	20%混焼(※1)	50%混焼(※1)	専焼(※1)	(参考) 1基20%混焼
CO ₂ 排出削減量(※2)	約4,000万トン	約1億トン	約2億トン	約100万トン
アンモニア需要量	約2,000万トン	約5,000万トン	約1億トン	約50万トン

※1 国内の大手電力会社が保有する全石炭火力発電で、混焼/専焼を実施したケースで試算。
 ※2 日本の二酸化炭素排出量は約12億トン、うち電力部門は約4億トン。

図3 アンモニア混焼化及び専焼化によるCO₂削減効果

(出典: 経済産業省HP アンモニアが“燃料”になる?!より)

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_02.html

また、近年急速に注目されているグリーンエネルギー※⁷である水素よりも取り扱い性やコストの観点からアンモニアの利用が有利と試算されている(図4)。

	水素発電(2020年時点試算)	アンモニア発電(2018年時点試算)
製造	海外水素製造 (天然ガス+CO ₂ 販売(EOR用途)) 11.5円/Nm ³	海外水素製造 (天然ガス+CO ₂ 販売(EOR用途)) 11.5円/Nm ³ (=201ドル/トン) 海外アンモニア製造 4.3円/Nm ³ (=76ドル/トン)
輸送	水素輸入 (ローリー輸送+液化+積荷+海上輸送) 162円/Nm ³ *	アンモニア輸入 (積荷+海上輸送) 2.3円/Nm ³ (=40ドル/トン)
発電	水素発電機 7万~9万円/kW**	アンモニア専焼設備 46万円/kW (参考)アンモニア混焼設備 29万円/kW
発電コスト	専焼 97.3円/kWh*** (参考)10%混焼 20.9円/kWh***	専焼 23.5円/kWh (参考)20%混焼 12.9円/kWh

(出典)
 * 事業者ヒアリングに基づき試算
 ** 国土経済「2020年版水素利用市場の将来展望」水素ガスタービン発電
 *** 発電コスト検証WGより試算
 (出典)
 ・ アンモニア製造・輸送コスト: 日本エネルギー経済研究所 SIPCCS-EOR技術を軸としたCO₂フリーアンモニアの事業性評価」をもとに資源エネルギー庁試算
 ・ アンモニア混焼設備、発電コスト価格: 電源開発SIP「火力発電燃料としてのCO₂フリーアンモニアサプライチェーンの技術検証」
 ・ アンモニア専焼設備、発電コスト: 事業者へのヒアリング等をもとに資源エネルギー庁試算

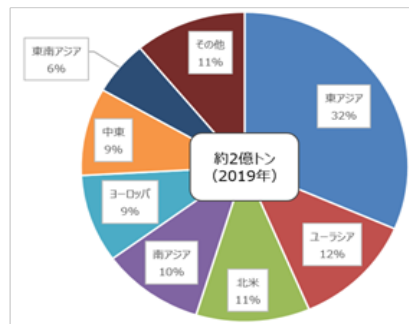
図4 アンモニアと水素コスト比較

(出典: 経済産業省HP アンモニアが“燃料”になる?!より)

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_02.html

しかし、石炭火力発電をすべてアンモニアの専焼化に置き換えるためには、以下の二つの大きな課題がある。一つ目は、アンモニアの供給量の課題である。専焼化に必要なアンモニア量は、年間1億tと試算されているが、その量は全世界でのアンモニア生産量の半分に当たる。しかし現時点で輸出入として市場で調達可能な量は、その1/10の2,000万tにすぎない。これは、各国で肥料用途や工業製品の1次原料として内

・全世界でのアンモニア生産量



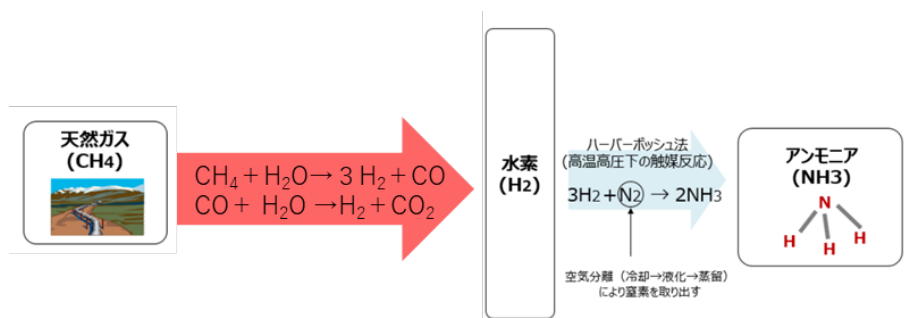
⇒輸入量は1/10の2000万トン
(ほとんどが国内需要：化学肥料)

図5 アンモニアの生産量

需されている為である (図5)。(出典：経済産業省HP アンモニアが“燃料”になる?!を参考に筆者作成 https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_02.html)

したがって、アンモニアによる専焼化を実現するには生産量を飛躍的に向上させるとともに、サプライチェーンを含め安定供給が可能な仕組みを作る必要がある。

二つ目の課題は、アンモニアの生成方法が上げられる。アンモニアは、水素と窒素を反応させ生成する。水素は、一般的には化石燃料（主に天然ガス）から取り出しており、その際CO₂が発生してしまう (図6)。



基本原料が天然ガス、H₂ 生成には
大量のエネルギーが必要かつCO₂が発生してしまう

図6 アンモニア生成の課題

(出典：経済産業省HP アンモニアが“燃料”になる?!を参考に筆者作成

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_02.html)

以上のことから、CO₂排出実質ゼロを実現するには化石燃料に頼らないアンモニア（水素）の生成方法が必要となる。

これらの課題はあるものの温室効果ガス排出実質ゼロに向けて、2050年に国内導入量3,000万tを目標にアンモニアを燃料として活用していくロードマップが経済産業省より掲げられ、課題解決へ向け日本産業界全体で取り組んで行く計画となっている（図7）¹²⁾。

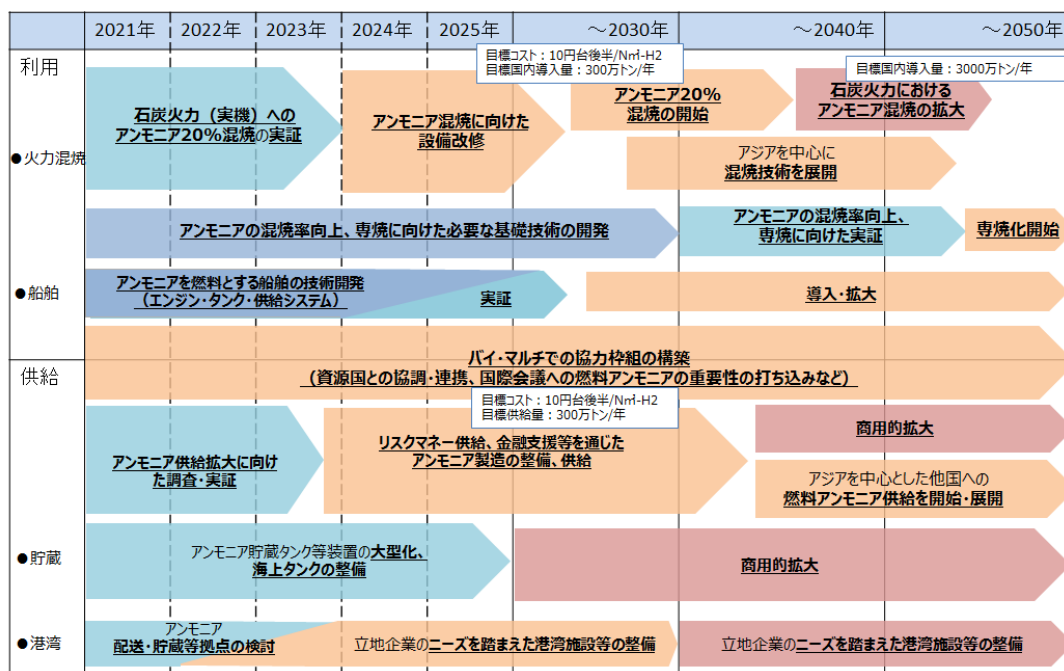


図7 アンモニアの社会実装ロードマップ

（出典：経済産業省 燃料アンモニア導入官民協議会中間とりまとめ）

我々、油脂産業界としても培ってきた技術や知見を活用し、化石燃料に頼らない真の意味でのカーボンニュートラルなアンモニア生成の実現に貢献すべきである。

1-3. 藻類によるアンモニア生成の提案

藻類を利用した化石燃料代替の研究は、古くから行われており、その高い生産性は注目されてきた。現在、主にバイオマス原料として利用されているトウモロコシの数百倍、油脂産業界で利用されているパーム[※]の数十倍のオイル生産性があるとされている（図8）。

アメリカの輸送用燃料の半分
(約2億6500万kl)を生産するには

原材料名	オイル生産量 (リットル/ha)	必要耕作面積 (100万ha)
コーン	172	1,540
大豆	446	594
キャノーラ	1,190	223
ヤトロファ	1,892	140
ココナッツ	2,689	99
パーム	5,950	45
微細藻類 a:炭化水素含有率 70%	136,900	2
微細藻類 b:炭化水素含有率 30%	58,700	4.5

図8 各種バイオマスの生産量の比較

(出典:Y. Chisti, Biodiesel from Microalgae, Biotechnology Advances, Vol. 25, 2007, P.294-306)

数ある藻類の中には、軽油に近い高次炭化水素類^{※9}(C12~C20)を生成するものが報告されている。その一つであるシュードコリスチスを用いた研究が盛んに行われ、遺伝子改良による生産性の向上や屋外での大量培養に目途が立ち、新バイオマス原料として社会実装されつつある^{13) 14)}。

一方、高次炭化水素から水素を製造する研究も進んでいる^{15) 16) 17)}。これら二つの技術を融合することで、藻類から水素製造を経て、アンモニアを生成するルートができる。藻類を使うことで化石燃料に依存せず、しかも水素製造時に発生するCO₂を藻類で回収すれば、実質CO₂排出ゼロでアンモニア生成が可能であると言える。

ここで、大きな課題となるのが大量の藻類を低コストで培養しオイルを抽出する方法である。圧倒的なオイル生産性を持つものにも関わらず、藻類が既存バイオマス原料と置き換わらない最大の理由がここにある。本論文では、それらを解決するための画期的なアイデアを提案する。

第2章 既存ダムの有効利用による藻類の育成

2-1. 国内ダム利用の現状と潜在ポテンシャル

ダムとは、河川を横断して流水を貯留するために設置された構造物で高さ15m以上のもの言う。日本列島はその7割が山地であり、海外と比べて川も急流で海までの距離も短いことから水量が調整し易く、日本はダム建設に適した環境を保有している

と言われている¹⁸⁾。ダム役割は①洪水調節(治水)、②水資源の確保(水道用水、工業用水、農業用水など利水)、③発電、④河川環境の保全(流水の正常な機能維持)の4つであり、最近では国土交通省で民間ツアー会社と連携し、ダム現場を案内するダムツーリズムを推進するなどの観光資源としても活用されている¹⁹⁾。

日本のダム建設は明治時代に始まり、その当時のものも含めると現在、約2,800基ものダムが日本には存在する。貯水面積は東京ドームの約4万倍の20万ha²⁰⁾にも及び、日本には藻類の大量培養に格好の人工池が既に多数存在していたのである。しかもダムはオールコンクリート構造体でビルなどの建築物にみられる鉄筋が全く使用されておらず錆びないため老朽化の心配がない。壁の厚さもなんと100m近くあり、基礎が岩盤と一体化しているので、阪神・淡路大震災、東日本大震災といった震度6~7クラスの激しい地震でもダム本体が壊れた報告はされていない。ダムは半永久的に壊れない非常に高い安全性を持った水を貯める構造体なのである。もちろん発電能力としても高いポテンシャルを秘めている。エネルギー発生率は原子力に次いで実は2位とのことである¹⁸⁾。

そこで我々は、高い安全性と自給エネルギーを兼ね備えるダム湖をアンモニア燃料用の藻類培養プールのインフラとして有効利用することを考えた。

2-2. ダム湖による藻類培養の課題と対応

ダム湖を藻類の培養プールとして有効利用するうえで、課題および参考となるのが「アオコ」である。アオコは、富栄養化^{*10)}により藍藻類が異常増殖し、水面を一面緑色に染める現象である。アオコが発生すると取水口の詰まりや異臭の原因となるため、アオコの抑制は古くから取り組まれてきた。アオコ抑制の方法は、数多くの研究がなされ一般的には湖面の富栄養化を防ぐため、湖面付近を取水する方法や湖底と循環させるなどの方法が用いられている²¹⁾。

最新の研究では湖面と湖底の電位差を無くすことで湖底からの栄養素流失を無くすと同時に、この電位差を利用し発電するといった画期的な研究も行われており²²⁾ 現在もアオコ発生抑制の研究は活発に行われている。一方で、発生してしまったアオコをエネルギーとして、利用できないかについても研究が行われているなど²³⁾ ダム湖を有用な資源と捉え積極的に活用しようという潮流は存在する。

我々は、これらの研究を逆手に取り、積極的にダム湖の湖面で藻類を効率的に培養

できると考えている。例えば、狙った場所と期間で湖面を富栄養化させ、そこに目的の藻類を培養し管理する。昨今、急激に発達している精密な天気予測やIoT^{*11}、AI^{*12}を組み合わせれば育成のコントロールが可能であろう。先行事例として、牡蠣の養殖の効率化を図るため各種センサーとドローンを組み合わせ、潮流、天候、水質変化や幼生発生状況などを検出、AIで管理して生産量の向上と安定化を試みる「スマート牡蠣養殖」などの実績もある(図9)²⁴⁾。



図9 スマート牡蠣養殖

(出典: スマート牡蠣養殖プラットフォーム事業)

<https://local-iot-lab.ipa.go.jp/public/uploads/201912/a2894bed7afbd8b38bc732fa7e9b7a5156636922.pdf>

第3章 藻類を活用した発電用アンモニア生成システムの提案

3-1. アンモニア生成システムの全体構想

藻類の培養をより効率化するため広大なダム湖に藻類養殖用の筏を複数浮遊させ、その筏をダム湖内で周回させながら培養していく。そして前述した先端のデジタル技術を使って、外部環境に応じて培養条件(水質、水温など)をコントロールしながらCO₂の吸収、光合成によって藻類を増殖させる。収穫した藻類は抽出プラントにて濃縮・脱水工程と乾燥工程を経て、藻類シートとしてロール化させる。その後、藻類シートを搬送加工しながら溶剤抽出法で効率よく高次炭化水素燃料(オイル)を抽出する。得られた高次炭化水素燃料から触媒^{*13}を使った水蒸気改質²⁵⁾^{*14}などによって水素を製造し、最後に水素と空気中の窒素を化学反応させてアンモニアを合成する(図10)。

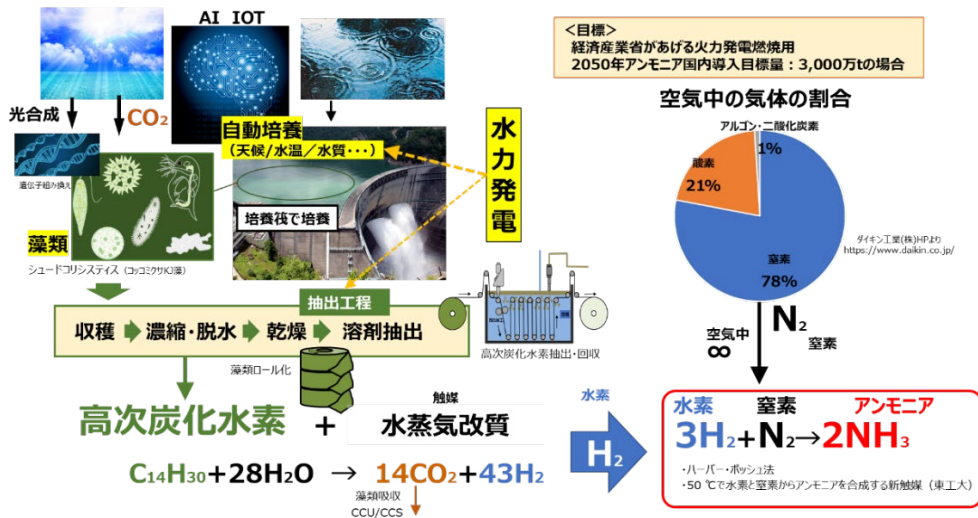


図10 藻類を活用した発電用アンモニア生成システム全体構想

アンモニアの合成法として窒素と水素を鉄系触媒で反応させるハーバー・ボッシュ法²⁶⁾が知られている。20世紀初頭にドイツで発明され、現在もアンモニア合成の方法として主流だが、課題として高温(400~600℃)、高压という条件が必要で、電力で高温を生み出すのにかなりのエネルギーが必要になる。昨今、50℃未満という常温かつ低圧で水素と窒素からアンモニアを合成できる高性能な新触媒の開発が進んでおり²⁷⁾、将来、小型設備での製造が可能となると期待されている。我々の構想にもこの新たなアンモニア合成法を取り込んでいく。

3-2. 藻類の培養と収穫方法

ここでは、ダムでの藻類の培養及び収穫方法を、具体例を交えながら説明する。

藻類の培養は、複数の養殖筏を連結し、最盛期の期間(春~秋)ダム湖を周回させながら行う。使用する養殖筏は、矩形の深さ約50cmの枠で形成され、上下は開口形状となっている。筏は湖面に浮かべられ、複数の筏がワイヤーロープで連結され約1週間かけてダム湖を周回する。なお、培養の元となる藻類は、培養藻類仕込みエリアで筏内に流し込み、筏内に浮遊させる。筏の四方は区切られているため、元となる藻類の流出はなく、他の藻類の流入もない。周回中に栄養素と太陽光にて、藻類を培養するが、周回箇所いくつかのポイントに上流の河川等から流れ込む栄養素を循環させ、養殖筏下部から筏内に流れ込む様にコントロールし藻類の培養を促すシステムを構築する。

ダムでの栄養素の循環システムには、アオコ抑制で研究されてきたシステムを活用できる。また、意図的に栄養素を筏内の藻類へ供給するため、筏外へは栄養素が供給されにくく、筏外の場所でアオコが発生しにくくなるといった利点も出てくる。基本的に筏は藻類の培養周期である1週間以上で周回させるが、AIやIoTを駆使して育成状態を予測、計測し、必要に応じその周回速度を変化させることができる(図11)。

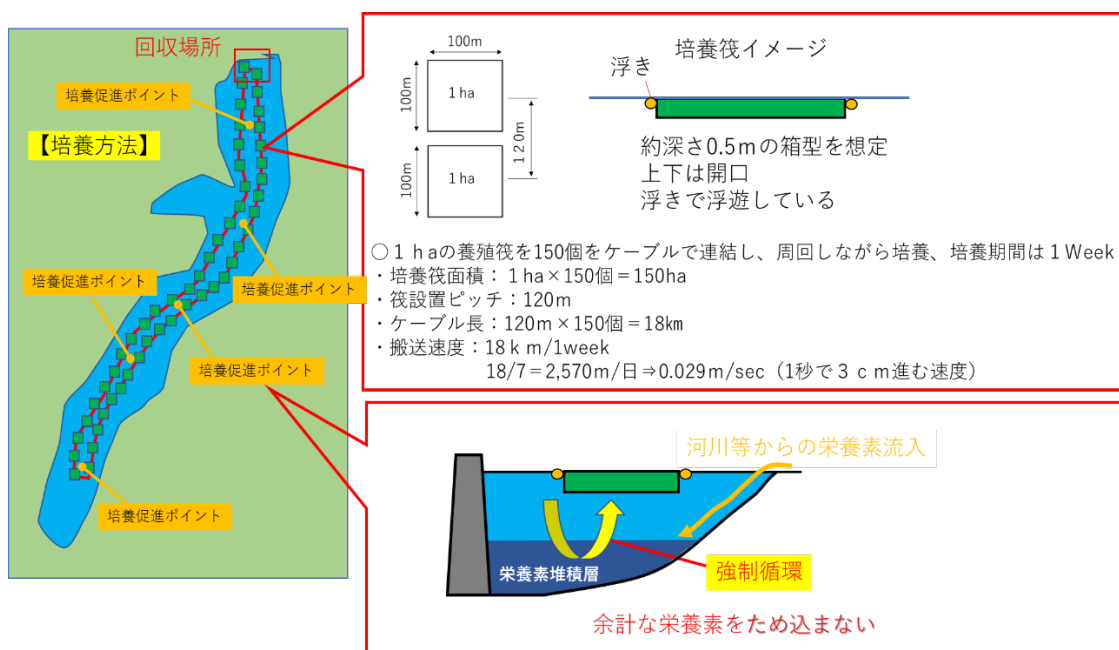


図11 藻類の培養方法

次に収穫方法だが藻類の収穫は、ダム内に収穫水路を設置して行う。収穫水路に筏を引き込み、収穫室まで筏を引き込んだら、筏前後の水路を閉じ、収穫室下部のハッチを開き筏内の水ごと藻類を収穫する。収穫後、収穫室に再び水を引き入れ、空になった筏を浮上させ、培養藻類仕込みエリアまで移動し、培養する藻類を流し込んだ後、ダム湖に戻し再び周回に入る(図12)。なお、筏を牽引するエネルギーや収穫に関わるエネルギーはダムから得られる水力発電で賄うため、自給自足で運用できる。

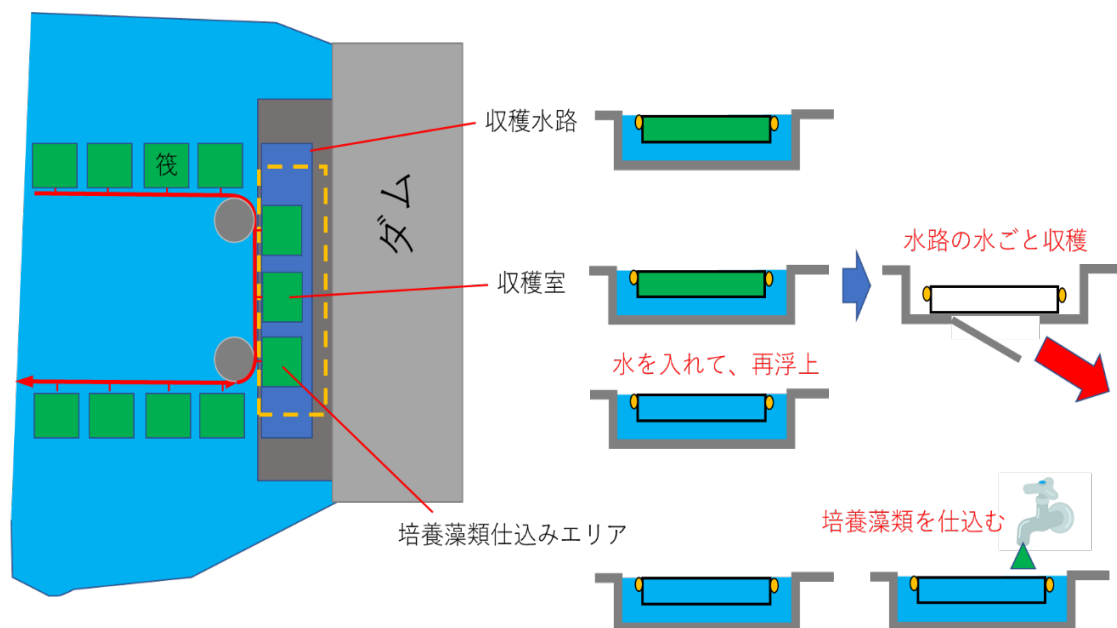


図12 藻類の収穫方法

3-3. 藻類のオイル抽出と回収方法

収穫した藻類の濃縮・脱水、乾燥からオイル抽出・回収までの工程をより具体的に説明する。低コストでオイルを回収するため、各工程には高い処理能力と省エネルギー化が求められる。培養した藻類は多量の水分を含んでおり、低エネルギーで水分と藻体を分離し乾燥させる技術が必要である。さらに藻類細胞膜内のオイルを効率よく抽出する技術が望まれる。

そこで、我々は日本人としても馴染み深い食用藻類である海苔に着目し、その製造方法を利用して藻類をシート化する方法を考えた。日本には収穫された海苔を四角い形状に漉き、脱水を行い乾燥させて板海苔(乾海苔)を全自動で製造する技術がある。

²⁸⁾ ²⁹⁾ これを目的の藻類に見立てればシート化が十分実現できると考える。

さらに、多量に水分を含むパルプ(木材)を高速下で脱水、乾燥させてトイレットペーパー、ティッシュなどを加工する紙の製造技術を応用すれば³⁰⁾ ³¹⁾、藻類の連続シート化による高速製造や、巻取り技術によるロール化も可能となる。ロール化により運搬・保管も容易になり、生産マネジメントが向上するメリットも出てくる。

こうして出来た藻類ロールは次のオイル回収工程へと移る。回収工程では藻類ロールを回転させシートを繰り出し、有機溶剤を満たしたプール槽中に連続供給する。シートの搬送途中で事前に、藻類の細胞膜を超音波振動^{*15)}で丁寧に連続破壊させ外部

へのオイル露出性を高め、一對のギヤ形状ロールによってシートに圧力を加えながら凹凸状にシートを変形させ表面積を増やしておく。このように2次加工された藻類シートをプール槽中で複数回、往復搬送して抽出時間を稼ぎ、抽出されたオイルは吸引ノズルによって分離槽に供給し、オイルのみを回収する（図13）。

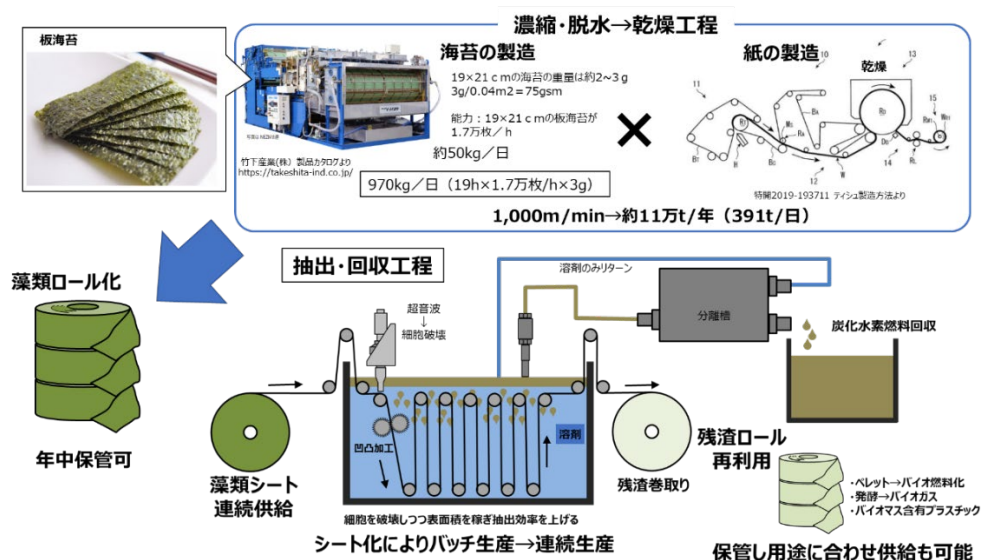


図13 藻類のロール化工程とオイル抽出工程

したがって、オイル回収工程は一般的なバッチ回収方式^{※16}ではなく、シート搬送による連続回収方式となっているため製造効率が高められる。製造に使用する電力は水力発電で作った電力の一部を使って自給自足で賄うことができる。なお、オイルを抽出した後の残渣は機械を止めることなく一連の工程の中で残渣ロールとして回収される。ここで出来た残渣ロールは藻類ロール同様保管も可能であり、用途、目的に応じた残渣の再利用ビジネスに活用可能である。

第4章 アンモニア生成システムの効果と拡張性

4-1. 藻類の培養量とオイル抽出量

藻類として、「シュードコリスチス」の遺伝子改良藻（コッコミクサKJ藻）を想定し本システムで培養可能な藻類量、オイル抽出量、およびアンモニア生成量を概算する。

研究によるとシュードコリスチスは1週間で20mの培養槽1本から約3kgの藻類が収穫でき、そこから約1kgのオイルが抽出できる³²⁾。遺伝子改良によりオイ

ル蓄積能力を1.7倍に高め、藻類濃度や水温、日射量をコントロールして培養量を3倍に増やし、早ければ2023年までに年間25t/haのオイル抽出量の実現を目指している³³⁾。藻類のオイル蓄積率を70%として藻類量に換算すると、年間でha当たり約36tとなる。

各ダム湖の貯水面積のうちの7割を藻類の培養に利用すると仮定し、その培養面積が100ha以上となるダム湖を数えると、日本のダム約2,800基中に213基が存在した(図14)。

そしてこのとき培養に利用できる貯水面積の総計は50,642haとなった。

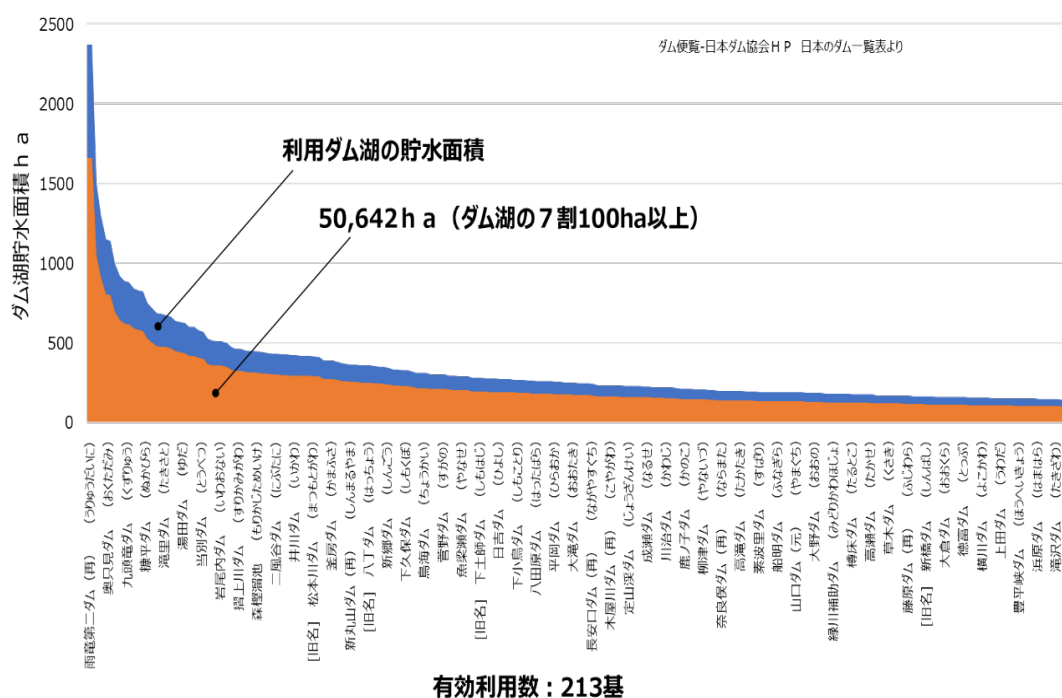


図14 有効利用ダム基数

それゆえ年間に培養できる藻類量と抽出できるオイル量はそれぞれ約182万t(≒50,642ha×36t)および約127万t(≒50,642ha×25t)となる。但し、冬場の湖面凍結等の影響は無視する。

図10の反応式より、1モルのオイルC₁₄H₃₀から43×2/3モルのアンモニアを合成できるから、上記の結果より、アンモニアの年間生成量を推定すると約313万tとなる。これは経済産業省があげる2050年アンモニア国内導入手量¹²⁾の約10%に相当する。これに加えて約55万t分の残渣ロールが生成される。

上記アンモニア生成に必要な藻類ロール製造設備の規模を見積もってみる。海苔製造専門メーカーによると1枚当たり約3gの板海苔を約50kg/hで製造できる能力がある³⁴⁾。これに紙の製造技術を融合すれば、少なくともシート速度を1,000m/minまで高めることができ、約11万t/年のロール化処理が可能となる(図13)。同じシート供給速度でプール槽中でのオイル回収が可能とすれば、ダム213基の年間藻類量を約18ラインで処理できる。これは十分実現可能な規模である。

4-2. システム導入に及ぼす電力量とCO₂排出量

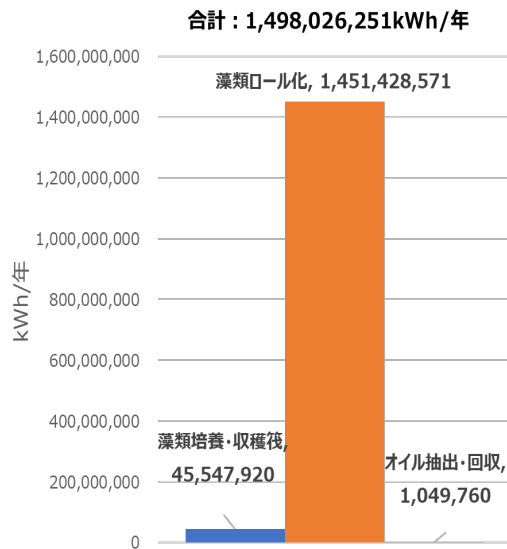
本システムにおける年間使用電力量は藻類の筏による培養と収穫工程が4,600万kWh、藻類シートのロール化工程が14億5,100万kWh、オイル回収工程が105万kWhと見積もれる。利用ダム213基と製造装置18ライン分の総電力使用量は年間で約15億kWhとなり、日本の水力発電の年間可能発電量942億kWh³⁵⁾の1.6%にすぎない(図15)。本システムではわずかな電力消費の見返りに、大きな電力をアンモニア発電によって生むことができる。

アンモニア生成に至るまでに発生するCO₂排出量を水素製造の反応式、水力発電のLC-CO₂排出量³⁶⁾、藻類のCO₂固定値³⁷⁾から算出すると、水素製造(水蒸気改質)による排出量が395万t-CO₂、藻類の培養とオイル回収に使用する水力発電での排出量が1.6万t-CO₂であるのに対し、藻類によるCO₂固定量が435万t-CO₂となる。水素製造時の水蒸気改質法によるCO₂の排出量は大きいですが、それを上回る形で藻類が成長過程でCO₂を吸収するため、本システムのCO₂排出量は実質ゼロ(マイナス)という結果となる(図16)。

よって、火力発電用として化石燃料からアンモニア燃料に代替をした分だけCO₂排出量に貢献でき、その効果は年間約626万t-CO₂の削減となる。

水力発電の年間可能発電量

94,229,659,000kWh/年



藻類培養・収穫

動力kW = $T \times n / 9,549$
 T (トルク N·m) n (回転数 rpm)
 $kW = 558,809 \times 0.039 / 9549 = \text{約} 22kW$

【必要電力試算】

$22kW \times 24h \times 30日 \times 9ヶ月 = 142,560kWh$
 余裕見て約1.5倍とすると、 $213,840kWh \times 213基$

藻類ロー化

Alibaba.com H P 中国PP不織布工場記載の不織布生産ライン仕様より
 総平均消費電力 800kWh/t
 1ライン当たりの藻類の処理量 100,794t

【必要電力試算】

$800 \times 100,794 = 80,634,921kW \times 18ライン$

オイル抽出・回収

サーボ4台：60 A / プロア1台：30 A / 超音波20台：100A = 190A
 効率30%で考え57A

【必要電力試算】

$57A \times 200V = 11.4kW$ $11.4kW \times 19h \times 30日 \times 9ヶ月 = 58,482kW \times 18ライン$

図15 システム電力量収支



図16 システムCO₂収支

4-3. 拡張性と副次効果

本システムのアンモニア生成能力はダムのおおきな拡張工事によって容易に向上させることが可能である。既に一部のダムで取り組まれているが、ダムを嵩上げすることでその貯水量を増やし、治水能力や発電量を増加させることが可能であると報告されている。ダムを単純な円錐と仮定し、300haクラスのダムを10%嵩上げした場合、貯水量は1.3倍以上、貯水面積が約1.2倍以上となり、20%嵩上げした場合には貯水量は1.7倍以上、貯水面積は1.4倍となる。今回の提案のシステムにおいても、新たなダムを建設することなくオイル生産量を増加させることができる。

また、本システムは海外展開も容易であると考えられる。例えば、アメリカにあるフーバーダムは日本全体のダムを合わせた貯水量を上回る巨大ダムであり、その貯水面積は、琵琶湖と同等（約6.8万ha）と言われており、巨大な培養設備の建設が可能である。

副次的な効果としてオイルあるいはアンモニアの生成とは別に残渣の再利用も見逃せない。従来の残渣形態よりも取り扱いが容易なロール形状であるため、再利用するための施設への運搬や加工時のハンドリング、用途に合わせた2次加工もしやすい。残渣はバイオプラスチック^{*17}の原料として使うことができると考えており^{38) 39)}、環境省が掲げる3R+Renewable^{*18}（再生可能資源への代替）を基本原則とした「プラスチック資源循環戦略」⁴⁰⁾のバイオプラスチックの導入（2030年200万t）に大きく貢献できる。なお、本システムを導入した際には、約55万tの残渣が発生すると試算している。年間回収されているPETボトルとほぼ同等の量である。将来、日本のPETボトルがすべて残渣ボトルに置き換わるかもしれない。

おわりに

ヨーロッパやアメリカでは、治水目的の大規模ダム建設は、数十年前にほぼ完了し、1万年に一度の大雨にも耐えられるとされている。一方、日本においてはダムによる治水効果は限定的で低く、生態系に与える影響が大きい等の理由で次々と建設中止や中断が相次ぎ、国全体としての治水事業は中途半端な状態となっているのが現状であった。しかし、近年、毎年のように異常気象による河川の氾濫、土砂崩れによる甚大な被害が次々と発生しており、無駄な公共事業といわれてきた「ダム」が再注目され、再建設の動きやよりダムを積極的に運用し治水に役立てる動きが加速している。

今回、既存インフラであるダムを有効利用し、ダムの一般的な利用概念を打ち破る画期的な藻類の培養とオイル回収システムを提案することで、水力発電とは別に新たなエネルギーを作り出し、異常気象発生の原因の一つであるとされている温室効果ガス排出の低減とCO₂回収に貢献できる可能性を示した。本提案は、今まで以上にダムを積極的かつ効率的に活用すること、そして従来の治水や利水に関する考え方を変えることを促しており、この考え方はグローバルに展開してこそ真の価値を発揮する。先述した通り、欧米や中国などには、日本よりも巨大なダムが点在し、同様のシステムを導入することで、地球規模での温室効果ガス排出の低減とCO₂回収に貢献し、地球温暖化に歯止めがかけられるはずである。

我々油脂産業界は、化石資源や天然油脂等を使うことで、大きく成長してきた。そろそろ、我々は地球に恩返しするべきである。資源の節約、リサイクルは当然のことながら、資源を「使う」から「創る」側へ大きくチェンジさせることができるのは、我々だけである。本提案がその変化に大きく貢献することを期待してやまない。

<注釈>

※1【再生可能エネルギー】「絶えず資源が補充されて枯渇することのないエネルギー」、「利用する以上の速度で自然に再生するエネルギー」という意味の用語。例としては、太陽光、太陽熱、水力、風力、地熱、波力、温度差、バイオマスなどが挙げられる。

※2【藻類】一般的な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。

※3【カーボンニュートラル】「植物や植物由来の燃料を燃焼してCO₂が発生しても、その植物は成長過程でCO₂を吸収しており、ライフサイクル全体（始めから終わりまで）でみると大気中のCO₂を増加させず、CO₂排出量の収支は実質ゼロになる」という考え方

※4【脱炭素社会】地球温暖化の要因となる、温室効果ガスの実質的な排出量ゼロを実現する社会。

※5【バイオマス】生物資源 (bio) の量 (mass) を表す概念で、一般的には「再生可能な生物由来の有機物資源で、化石資源を除いた物」を示す。

※6【CCU/CCUS】CCSとは、「Carbon dioxide Capture and Storage」の略で、「二酸化炭素回収・貯留」技術と呼ばれる。CCUSは、「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage」の略で、分離・貯留したCO₂を利用しようというもの。

※7【グリーンエネルギー】地球温暖化の原因であるとされる二酸化炭素(CO₂)や、大気汚染の原因となる硫黄酸化物(SO_x)などを排出しないエネルギー。

※8【パーム】植物のヤシを示す。油脂業界ではアブラヤシのことであり、高いオイル生産性があり種子からパーム油が得られる。油脂の原料として用いられている。

※9【高次炭化水素類】炭素原子と水素原子だけでできた化合物の総称。おおよそ炭素数が4以下の炭化水素(C1~C4)は常温常圧で気体であり、炭素数が5以上、十数以下の炭化水素(C5~C10 - 18)は液体である。本書では、C10~C18を高次炭化水素と表現している。

※10【富栄養化】海、湖沼、川の水に含まれる栄養分が自然の状態より増えすぎてしまうこと。

※11【IoT】「Internet of Things」の略で、日本語では「モノのインターネット」と訳されている。現実世界の物理的なモノに通信機能を搭載して、インターネットに接続・連携させる技術。

※12【AI】人工知能のこと。人間の知的ふるまいの一部をソフトウェアを用いて人工的に再現したもの。経験から学び、新たな入力に順応することで、人間が行うように柔軟にタスクが実行できる技術。

※13【触媒】化学反応の前後でそれ自身は変化しないが、反応の速度を変化させる物質。水素と酸素から水を生じさせる際の白金黒(はっきんこく)など。

※14【水蒸気改質】炭化水素や石炭から水蒸気を用いて水素を製造する方法

※15【超音波振動】超音波振動とは、周波数が20 kHz以上の音波のこと。通信分野や様々な加工分野で用いられている。

※16【バッチ回収方式】特定の時間に一括処理で回収する方法。対義語は、連続回収方式

※17【バイオプラスチック】微生物によって生分解される「生分解性プラスチック」及びバイオマスを原料に製造される「プラスチック」の総称。

※18 【3R+Renewable】 Reduce=ごみの発生を減らすこと、Reuse=くり返し使うこと、Recycle=資源として再生利用することの3Rに加え、Renewable=再生可能な資源に替えることを追加した考え方。

<参考文献>

- (1) 気象庁 気候変動監視レポート 2020
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2020/pdf/ccmr2020_all.pdf
(2021年6月18日参照)
- (2) 株式会社アピステHP アピステコラムより
<https://www.apiste.co.jp/column/detail/id=4495> (2021年6月18日参照)
- (3) 環境省 国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)及び京都議定書第11回締約国会合(COP/MOP11)の結果について
<http://www.env.go.jp/earth/cop/cop21/> (2021年6月18日参照)
- (4) 首相官邸HP
https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html
(2021年7月4日参照)
- (5) 経済産業省 温室効果ガス排出の現状等
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanaka_wg/pdf/003_03_00.pdf (2021年6月18日参照)
- (6) 環境省 2019年度(令和元年度)の温室効果ガス排出量(確報値)について
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/116118.pdf>
(2021年6月18日参照)
- (7) 環境省 地球環境局 2030年目標に向けた検討
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/039/039_005.pdf (2021年6月18日参照)
- (8) 経済産業省 長期エネルギー需給見通し
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/pdf/report_01.pdf (2021年6月18日参照)
- (9) 外務省HP 菅総理大臣の米国主催気候サミットへの出席について(結果概要)
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page6_000548.html (2021年7月4日参照)

(10) 経済産業省 資源エネルギー庁HP 知っておきたいエネルギーの基礎用語
～CO2を集めて埋めて役立つ「CCUS」

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ccus.html>

(2021年6月18日参照)

(11) 経済産業省 HP アンモニアが“燃料”になる?!より

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/ammonia_02.html

(12) 燃料アンモニア導入官民協議会中間とりまとめより

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/nenryo_anmonia/20200208_report.html (2021年7月4日参照)

(13) デンソーGlobal 藻類開発の目的開発状況より

<https://www.denso.com/jp/ja/-/media/global/business/innovation/review/22/22-doc-paper-21-ja.pdf> (2021年7月4日参照)

(14) MONOist バイオ燃料の安定大量生産へ、デンソーとユーグレナが微細藻類を
持ち寄るより <https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1902/22/news056.html>

(2021年7月4日参照)

(15) 篠木俊雄ら、「高次炭化水素燃料を用いた水蒸気改質器による水素製造」

日本機械学会論文集 (B 編) 77 巻 776 号 (2011-4)

(16) 平田 勝哉ら、「水蒸気改質器による高次炭化水素からの水素製造」

日本機械学会論文集 (B 編) 79 巻 808 号 (2013-12)

(17) 産総研HP 水素製造用触媒 予備改質不要の炭化水素改質触媒より

https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/aistinfo/aist_today/vol10_05/vol10_05_p09.pdf (2021年7月4日参照)

(18) 竹村公太郎『水力発電が日本を救う』 東洋経済新聞社 2016年

(19) 国土交通省HP ダムツーリズム

https://www.mlit.go.jp/river/dam/dam_tourism.html (2021年6月18日参照)

(20) ダム便覧2020HP

<http://damnet.or.jp/Dambinran/binran/TopIndex.html> (2021年4月26日参照)

(21) 九州環境管理協会 アオコ原因生物の生態と対策技術の現状より

https://keea.or.jp/pdf/knakyokanri/44/vol_44_11.pdf (2021年7月4日参照)

- (22) 岡山大学HP アオコ繁殖を抑えるバイオ燃料電池の開発研究より
https://www.okayama-u.ac.jp/upload_files/press29/press-180216-3.pdf
(2021年7月4日参照)
- (23) (株)電力中央研究所HP アオコから『緑の原油』の抽出に成功より
https://criepi.denken.or.jp/press/pressrelease/2010/03_17dme.pdf
(2021年7月4日参照)
- (24) スマート牡蠣養殖プラットフォーム事業より
<https://local-iot-lab.ipa.go.jp/public/uploads/201912/a2894bed7afbd8b38bc732fa7e9b7a5156636922.pdf> (2021年7月4日参照)
- (25) コトバンクHP 水蒸気改質
<https://kotobank.jp/word/%E6%B0%B4%E8%92%B8%E6%B0%97%E6%94%B9%E8%B3%AA%E6%B3%95-1550826> (2021年7月4日参照)
- (26) なにかの知識HP ハーバー・ボッシュ法とは?わかりやすく5分で解説
<https://dictionary.hatenadiary.jp/entry/2018/09/29/000000>
(2021年7月4日参照)
- (27) 東京工業大学HP 東工大ニュース 50℃で水素と窒素からアンモニアを合成する新触媒 <https://www.titech.ac.jp/news/2020/046682>
(2021年6月18日参照)
- (28) 福岡県中小企業家同友会 事務局ブログ 20.08.31投稿
「海苔製造機械シェア50%を誇る業界ナンバーワン企業 竹下産業(株)」
<https://www.fukuoka.doyu.jp/blog41/> (2021年7月4日参照)
- (29) 竹下産業株式会社HP <https://takeshita-ind.co.jp/>
(2021年7月4日参照)
- (30) エリエールペーパー株式会社HP
<https://elleair-paper.co.jp/process01.html> (2021年7月4日参照)
- (31) 川之江造機株式会社 <https://www.kawanoe.co.jp/>
(2021年7月4日参照)

(32) 藻類研究の目的と開発状況 渥美 欣也

[22-doc-paper-21-ja.pdf \(denso.com\)](#) (2021年7月4日参照)

(33) アイティメディア株式会社HP 工場排水で育てた藻からバイオ燃料を生産、デンソーが2020年をめどに開発

<https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1311/28/news041.html>

(2021年7月4日参照)

(34) 竹下産業株式会社 全自動乾海苔製造装置トライスター 総合カタログ

<https://takeshita-ind.co.jp/wp-content/themes/takeshita/items/catalog.pdf>

(2021年6月18日参照)

(35) 経済産業省 資源エネルギー庁HP 日本の水力エネルギー量

https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/database/energy_japan001/ (2021年7月4日参照)

(36) 経済産業省 資源エネルギー庁HP 各種発電技術のライフサイクルCO2排出量より

https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/support_living/merit002/ (2021年7月4日参照)

(37) 経済産業省HP 次世代火力発電協議会(第3回会合) 参考資料2 CO2有効利用技術の特徴

https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/jisedai_karyoku/pdf/003_s02_00.pdf (2021年7月4日参照)

(38) 拡張産業連関表による微細藻類バイオ燃料 生産の経済・環境への波及効果分析 2015年11月 文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター 鷺津 明由 中野 諭 新井 園枝 古川 貴雄 白川 展之 林 和弘

<https://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-DP126-FullJ.pdf>

(2021年7月4日参照)

(39) ユーグレナHP ニュースリリース 2020.08.06

<https://www.euglena.jp/news/20200806-2/> (2021年7月4日参照)

(40) 環境省HP プラスチック資源戦略より

<https://www.env.go.jp/press/files/jp/111747.pdf>

(2021年7月20日参照)

令和4年2月21日

〒103-0027 東京都中央区日本橋三丁目13番11号

一般財団法人 **油脂工業会館**

☎東京03(3271)4307 (代表)

<https://www.yushikaikan.or.jp/>