

環境制御型農業における炭酸ガスの空間的な需給ポテンシャルの解析
-地域未利用資源由来の炭酸ガス施用に着目して-

和歌山大学大学院 谷 聡悟*

和歌山大学 中尾 彰文

和歌山大学 吉田 登

要旨

本研究では、食料生産で重要な役割を果たす施設園芸の複合環境制御におけるキーテクノロジーのひとつである炭酸ガス施用の実施に伴う将来の農業動向を見据え、地域に賦存する未利用資源を活用した環境制御型農業における炭酸ガスの空間的な需給バランスを解析し、導入適地を検討した。解析の結果、多くの都道府県において、清掃工場の供給ポテンシャルの方が木質バイオマス発電所の供給ポテンシャルよりも大きいこと、需要ポテンシャルが都道府県間で差があり将来の動向によってもそのポテンシャルの様相が大きく異なること、今後の農業動向を考慮すると導入適地は減少傾向となることが見込まれることが明らかとなった。生産基盤の脆弱化の観点から、そうした地域こそ重点的に支援することが求められる。また、既存の木質バイオマス発電所や清掃工場を中核に、未利用資源循環型園芸生産システムを構築する環境制御型農業の導入適地候補として、農用地区域の充足率が高い都道府県を抽出した。これらの成果は、食料生産で重要視される炭酸ガス施用に地域の未利用資源を活用することによる、強靱で持続可能なサプライチェーンの構築の一助となるものである。

Analysis of Spatial Supply and Demand Potential of Carbon Dioxide in Controlled Environment
Agriculture -Focusing on the application of carbon dioxide derived from unutilized local resources-

Wakayama University Graduate School Sogo Tani[✉]

Wakayama University Akifumi Nakao

Wakayama University Noboru Yoshida

Abstract

In this study, we analyzed the spatial supply-demand balance of carbon dioxide in environmentally controlled agriculture using local unutilized resources and examined suitable sites for its introduction in anticipation of future agricultural trends associated with CO₂ enrichment, one of the complex environmental control technologies in horticulture, which plays an important role in food production. The analysis showed that in many prefectures, the supply potential of waste treatment plants is larger than the supply potential of woody biomass power plants, that the demand potential varies among prefectures, and that the aspect of the potential varies greatly depending on future trends, and that the suitable land for introduction is expected to decrease in consideration of future agricultural trends. In consideration of future agricultural trends, it is clear that the potential of land suitable for introduction is expected to decrease. From the viewpoint of the fragility of the production base, such areas should be supported intensively. In addition, prefectures with high sufficiency of agricultural land area were selected as candidates for the introduction of environmentally controlled agriculture, in which a horticultural production system based on the recycling of unused resources is constructed around existing woody biomass power plants and waste treatment plants. These results will contribute to the establishment of a robust and sustainable supply chain by utilizing unused local resources for carbon dioxide application, which is an important factor in food production.

環境制御型農業における炭酸ガスの空間的な需給ポテンシャルの解析

-地域未利用資源由来の炭酸ガス施用に着目して-

和歌山大学大学院 谷 聡悟*

和歌山大学 中尾 彰文

和歌山大学 吉田 登

1. はじめに

1.1 研究背景

世界的な脱炭素化の機運を受け、日本政府は、2050年までに温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）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」の実現を目指す地球温暖化対策計画（2021年10月閣議決定）を策定した[1]。同計画では、さまざまな分野で削減目標が設定されており、農林水産分野では、施設園芸や農業機械の省エネルギー対策、農地土壌に関連するGHG排出削減対策などの削減目標を設定されている。農林水産省は、地球温暖化対策だけでなく生産者の減少などによる生産基盤の脆弱化などの政策課題に対応するため、「みどりの食料システム戦略」を策定し、イノベーションによる食料・農林水産業の生産性向上と持続性の両立を目指している[2]。戦略のなかでは、地域・未利用資源の一層の活用に向けた取り組みとして、地域内の工場などから排出されるCO₂や廃熱を活用した園芸生産システム（以後、本稿では「未利用資源循環型園芸生産システム」と呼称する）が取り上げられ、2050年までの研究開発・実用化・社会実装に向けた工程表が示されている[3]。この工程表によれば、2025年までの研究開発（技術の研究～開発段階）、2030年までの実証（普及に向けた調整段階）、2050年までの社会実装（社会に広く普及する段階）という段階が示されている。

未利用資源循環型園芸生産システムとして、木質バイオマス発電所と生育環境（光、CO₂、温湿度、気流など）を制御する施設園芸（以後、「環境制御型農業」という）を併設させた木質バイオマス・トリジェネレーションシステム事業が岡山県笠岡市[4][5]、高知県長岡郡

本山町[6]などで稼働している。これらの事業では、木質バイオマス発電所で発電し、発生する熱とCO₂を環境制御農業に利用することで、農作物の収量増加や品質向上を図るとともに、地域の雇用を創出している。このシステムでは、木質バイオマス発電所にて木質燃料を燃焼させた際に発生するガス中の有害物質を排ガス浄化設備で浄化し、農作物に利用できる状態にして施用することで、環境制御型農業のポテンシャルを最大限に引き出し、高収量・高品質の両立が可能となっている。

また、佐賀県佐賀市[7][8][9]などの廃棄物バイオマスを焼却する清掃工場では、すでに技術が確立されている化学吸収法（石油精製工業、アンモニア工業、製鉄工業などで多くの導入実績がある）を用いたCO₂分離・回収をしており、新たな利用資源としてCO₂を位置づけている。このシステムでは、清掃工場で廃棄物焼却時に発生する焼却ガス中のCO₂を、モノエタノールアミン液などの水溶液に通して吸収させたあと、水溶液を加熱して気化させ、高濃度のCO₂として回収することができる。佐賀県佐賀市の廃棄物バイオマス・トリジェネレーションシステム事業は、すでに述べた岡山県笠岡市、高知県長岡郡本山町と同様に、未利用環境制御型農業を併設させた事業である。

未利用資源循環型園芸生産システムの社会実装が進むなか、すでに述べたようなシステム導入や実証実験の報告はあるが、社会実装に向けて導入条件が成立しやすい適地を検討した研究はない。社会実装の段階に向けた検討では、未利用資源循環型園芸生産システムの中核となる木質バイオマス発電所や廃棄物処理施設の立地条件、炭酸ガス施用技術の普及策の実施に伴う今後の農業動向を見据えた導入適地の検討の重要性が増すものと考えられる。

1.2 研究目的

本研究は、炭酸ガス施用技術の普及策の実施に伴う将来の農業動向を見据えたうえで、地域の未利用資源を利活用した環境制御型農業における炭酸ガスの空間的な需給ポテンシャルを解析することで、導入適地候補を検討することを目的とする。

2. 研究方法

2.1 研究手順

まず、未利用資源循環型園芸生産システムの中核となる木質バイオマス発電所や廃棄物処理施設の空間情報を、住所情報を地理座標に変換するプログラム(GAS: Google App Script, Class Geocoder)と地理情報システム(GIS: Geographic Information System)を用いてデータベース化し、それぞれの施設にCO₂分離・回収技術を導入した場合の炭酸ガス供給ポテンシャルを推計する。

次に、炭酸ガス施用技術の普及策の実施状況と将来の農業動向を踏まえ、都道府県別に炭酸ガスの需要ポテンシャルを推計する。地理空間情報のオープンデータ化は国および地方公共団体で進められているが、環境制御型農業など園芸施設などの位置情報データはまだ整備されていないため、ここでの炭酸ガスの需要ポテンシャルの空間スケールは都道府県単位の解像度である。

最後に、都道府県別に炭酸ガス供給ポテンシャルと炭酸ガス需要ポテンシャルの需給バランスを解析する。この解析では、土地利用基本計画に基づいて指定された、環境制御型農業が実践されている可能性の高い農業地域に着目し、これらの地域に立地する木質バイオマス発電所や廃棄物処理施設を導入適地の候補として抽出する。本研究では、便宜上、供給ポテンシャルが需要ポテンシャルを満たしていることを表現する値を充足率と定義する。充足率が高い地域は、この地域が未利用資源を利活用した環境制御型農業の導入適地として高い可能性の有していることを示している。

2.2 供給ポテンシャルの推計方法

供給ポテンシャルは、既存の木質バイオマス発電所や清掃工場を活用し、未利用資源循環型園芸生産シ

テムを構築したケースを想定する。

木質バイオマス発電所の空間情報は株式会社森のエネルギー研究所[10]やそれぞれの会社のホームページなどから、廃棄物処理施設の空間情報は環境省の一般廃棄物処理実態調査[11]から取得し、GASのClass Geocoderを用いて地理座標を取得した。そして、CO₂分離・回収技術を導入し未利用資源循環型園芸生産システムを導入する施設を抽出した。具体的には、CO₂分離・回収装置の運転時に要するエネルギーを自給可能な施設規模を想定し、想定規模に該当する施設のみを対象とした。木質バイオマス発電所は、持続可能な木質バイオマス発電の観点から国産燃料を使用するものに限定し、発電能力1,000[kW]以上で蒸気タービン発電設備を有するものを対象とした。清掃工場は、参考文献[7][12]でエネルギー自給可能な施設規模が確認できる300[t/日]以上の施設規模に限定し、蒸気タービン発電設備を有するものを対象とした。そのあと、推計で用いる属性情報をデータベース化し、属性情報から燃焼ガス量または焼却ガス量とガス中のCO₂濃度を推計したのちに、それぞれのCO₂分離・回収装置の効率を乗じて炭酸ガス供給ポテンシャルを求めた。

2.2 需要ポテンシャルの推計方法

まず、農林水産省の園芸用施設の設置等の状況[13]から都道府県ごとの園芸施設設置実面積(①:園芸施設の設置面積, ②:①のうち加温設備のあるもの, ③:②のうち炭酸ガス発生装置のあるもの)を取得する。

次に、単回帰分析を用いて将来の園芸施設設置実面積を推計する。推計期間は2020年~2030年までとする。2030年は、みどりの食料システム戦略の2050年までの研究開発・実用化・社会実装に向けた工程表における実証段階(普及に向けた調整段階)に合致する。

最後に、取得した都道府県ごとの園芸用施設の設置実面積に、参考文献[14][15]に基づいて設定した施設面積10[a]における1日あたりの炭酸ガス施用量と施用日数を乗じて炭酸ガス需要ポテンシャルを推計する。具体的には、炭酸ガス施用が導入されている代表品目のトマトを想定し、1日あたりの炭酸ガス施用量を15[kg-CO₂/10a・日]、施用日数は150[日/年]とする。

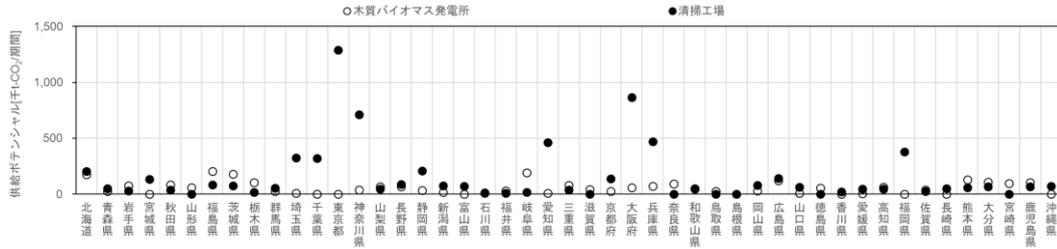


図-1 都道府県別の炭酸ガス供給ポテンシャルの推計結果

2.3 需給バランスの評価方法

ここでは、空間解像度の制約から都道府県単位の解像度都道府県別に炭酸ガス供給ポテンシャルと炭酸ガス需要ポテンシャルを比較する。需要ポテンシャルは、炭酸ガス施用技術の普及策の実施状況と将来の農業動向を踏まえて、現状：2020年（最新統計データの年次）と将来：2030年（2030年までの実証：普及に向けた調整段階）の2つのケースを想定する。

環境制御型農業が実践されている可能性の高い農業地域として土地利用基本計画に基づいて指定された農業地域、つまり、農業振興地域の整備に関する法律第6条により農業振興地域として指定されることが相当な地域を取り上げ、その地域に立地する木質バイオマス発電所や廃棄物処理施設を導入適地の候補として抽出する。具体的には、都道府県が指定する長期にわたり総合的に農業振興を図る農業振興地域と、その地域のなかでも市町村の農業振興地域整備計画で設定される農業上の利用を図るべき土地の区域として、原則農地転用禁止の地域である農用地区域と2段階に分けて抽出する。なお、農用地区域は、生産性の高い優良農地として、農地転用が原則不許可ではあるものの、「地域農業の振興に資する施設」と位置付けられた施設の用地は例外的に農用地区域から除外することが可能とされ（27号計画）、その例外規定を適用した事例としてすでに述べた岡山県笠岡市[4] [5]があることを申し添える。

抽出された施設対象における炭酸ガスの充足率を都道府県別に解析する。

3. 解析結果

3.1 供給ポテンシャルの推計結果

都道府県別の炭酸ガス供給ポテンシャルの推計結果

を図-1に示す。清掃工場の供給ポテンシャルが木質バイオマス発電所より大きい都道府県は25地域であり、その逆は22地域となった。木質バイオマス発電所の供給ポテンシャルは、福島県、岐阜県、茨城県、北海道、熊本県、広島県、大分県、鹿児島県、栃木県で100[千-tCO₂/期間]を超えている。清掃工場では、東京都、大阪府、兵庫県、愛知県、福岡県、北海道が200[千-tCO₂/期間]以上の供給ポテンシャルを有していた。なかでも、東京都の供給ポテンシャルは1,292[千-tCO₂/期間]と、そのほかの都道府県より1桁高い。また、供給ポテンシャルが見込めない都道府県は、木質バイオマス発電所が9都県（宮城県、千葉県、東京都、富山県、島根県、香川県、福岡県、長崎県、沖縄県）、清掃工場が7県（山形県、滋賀県、奈良県、鳥取県、島根県、徳島県、宮崎県）である。

3.2 需要ポテンシャルの推計結果

地方区域別の炭酸ガス需要ポテンシャルの推計結果を図-2に示す。地方区域によって傾向は異なるが、過去の推移から推計すると、①園芸施設の設置面積、②加温設備のあるものは減少傾向にあり、③炭酸ガス発生装置のあるものは増加傾向にある。一般的に炭酸ガス施用は、CO₂濃度を管理する環境制御技術の一種であり、加温による温度管理と併用することで、農作物の増収効果が得られることから、本稿では、炭酸ガス需要のポテンシャルとしては、炭酸ガス施用技術の普及策が加速することを想定し、加温設備を有する園芸施設に限定して考える。

都道府県別の炭酸ガス需要ポテンシャルの推計結果（2020年）を図-3に示す。もっとも需要ポテンシャルが大きい都道府県は熊本県の42[千-tCO₂/期間]で、愛知

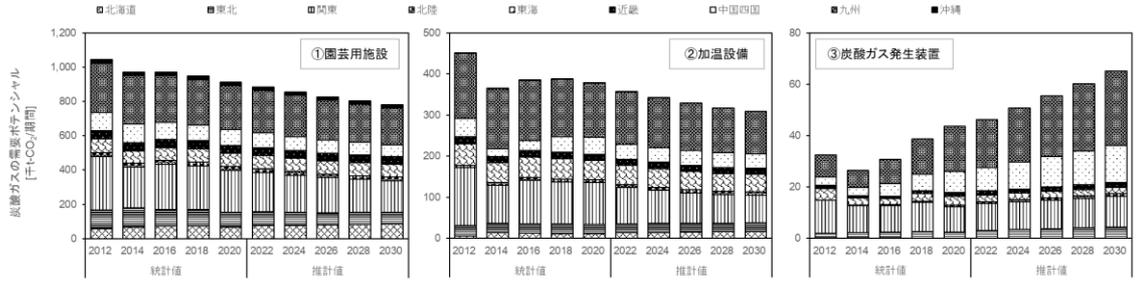


図-2 地方区別の将来の炭酸ガス需要ポテンシャルの推計結果

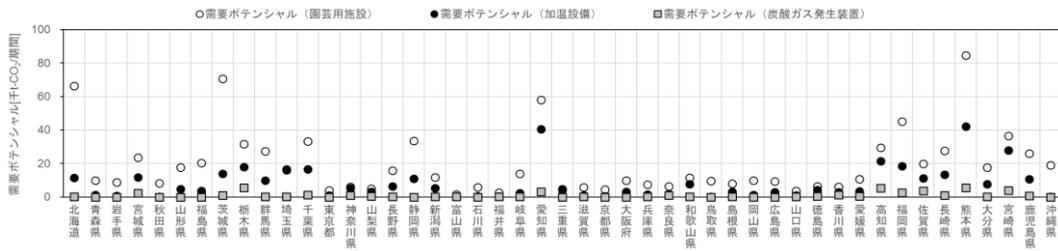


図-3 都道府県別の炭酸ガス需要ポテンシャルの推計結果（2020年）

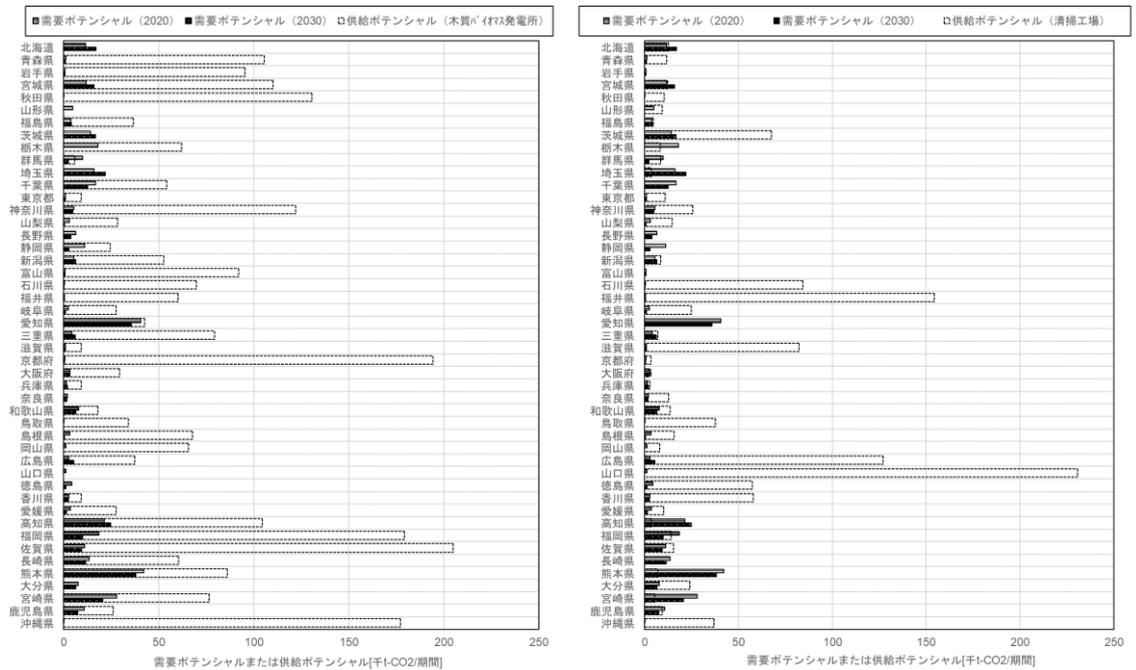
県、宮崎県、高知県の順でそれぞれが21[千-tCO₂/期間]を超えている。

需給バランスの比較結果を図-4に示す。供給ポテンシャルが需要ポテンシャル（2020）を上回るのは、木質バイオマス発電所で36都道府県、清掃工場で40都道府県である。将来の農業動向を見据えた需要ポテンシャル（2030）では、木質バイオマス発電所は30都道府県、清掃工場は35都道府県となるため、現在よりも導入適

3.3 需給バランスの評価結果

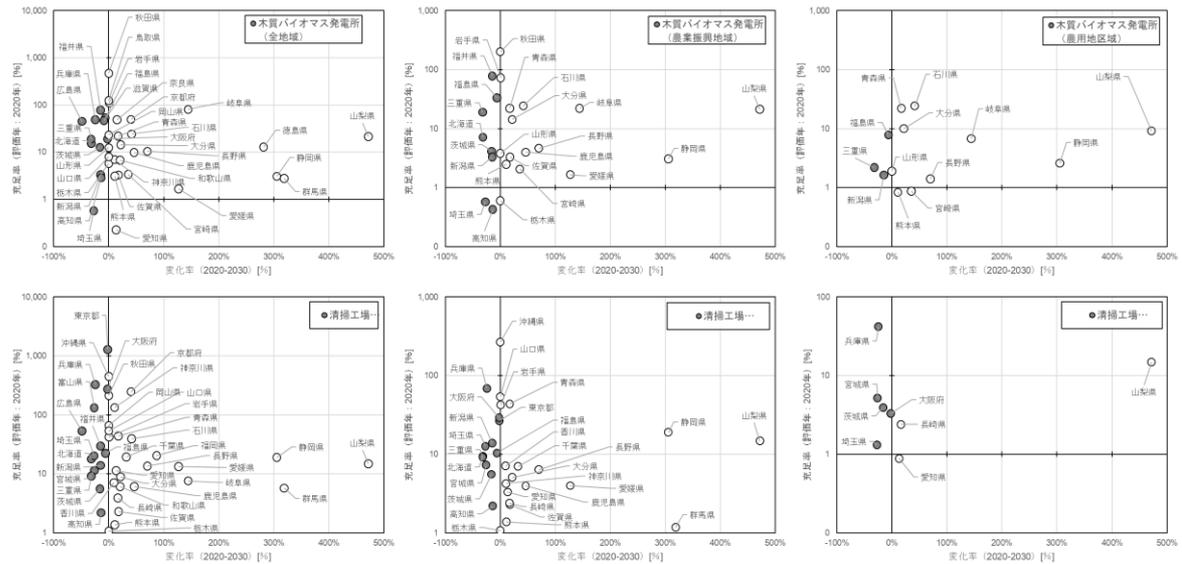
3.3.1 需給バランスの比較結果

炭酸ガスの需要ポテンシャルと需給ポテンシャルの



（左図：木質バイオマス発電所 / 右図：清掃工場）

図-4 炭酸ガスの需給バランスの比較結果



*マーカーが黒塗りの箇所は、需要ポテンシャルが増加傾向の都道府県を示す。
 マーカーが白抜き箇所は、需要ポテンシャルが減少傾向の都道府県を示す。

図-5 炭酸ガスの充足率の推計結果

地候補が減少することが確認された。

3.3.2 充足率の推計結果

炭酸ガスの充足率の推計結果を図-5 に示す。縦軸は需要ポテンシャル (2020) を基本として求めた充足率を示す。横軸は、その充足率に対する需要ポテンシャル (2030) を基本として求めた充足率の変化率を示す。変化率が正の値であれば、将来的に充足率が上昇することを示すが、供給ポテンシャルは増減することなく一定値を与えているため、需要ポテンシャルが減少傾向にある都道府県であることを示している。

環境制御型農業が実践されている可能性の高い農業地域に着目して、それらの地域に位置する木質バイオマス発電所と清掃工場を抽出すると、充足率 100%となる都道府県は減少する。具体的には、木質バイオマス発電所の場合、全域で 36 都道府県が、農業振興地域で 21 都道府県、農用地区域で 11 都道府県となる。清掃工場の場合には、全域で 40 都道府県が、農業振興地域で 30 都道府県、農用地区域で 7 都道府県となる。

4. まとめ

本研究は、炭酸ガス施用技術の普及策の実施に伴う将来の農業動向を見据えたうえで、地域の未利用資源を利活用した環境制御型農業における炭酸ガスの空間

的な需給ポテンシャルを解析し、導入適地候補を検討した。

都道府県単位の空間スケールでみると、多くの都道府県で、清掃工場の供給ポテンシャルの方が木質バイオマス発電所の供給ポテンシャルよりも大きい。需要ポテンシャルでは、都道府県間で大きな差が見られ、将来の需要動向の様相も大きく異なっている。需給バランスの比較においては、将来の農業動向を考慮すると導入適地は減少していることが予測され、生産基盤の脆弱化の観点からも、そうした地域こそ重点的に支援していくことが望ましい。既存の木質バイオマス発電所や清掃工場を中核に、未利用資源循環型園芸生産システムを構築する環境制御型農業の導入適地候補として、農用地区域の充足率が高い都道府県を絞り込むことができた。

本検討は、空間解像度の制約から都道府県単位の解析にとどまることから、市町村単位や街区単位などの解像度での導入適地の抽出が今後期待される。また、想定システムの技術的・制度的な課題の検討も必要だと思われる。以上のことは今後の課題としたい。

謝辞

本研究は JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2003 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 首相官邸『地球温暖化対策計画，2021年（令和3年）10月22日閣議決定』，https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai48/pdf/keikaku_honbun.pdf，（2023.7.18 アクセス）。
- [2] 農林水産省『みどりの食料システム戦略～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～，2021年（令和3年）5月12日みどりの食料システム戦略本部決定』，<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-10.pdf>，（2023.7.18 アクセス）。
- [3] 農林水産省『農林水産省地球温暖化対策計画 2017年（平成29年）3月14日決定 / 2021年（令和3年）10月27日改定 農林水産省地球温暖化対策推進本部決定』，<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/taisaku/attach/pdf/top-17.pdf>，（2023.7.18 アクセス）。
- [4] 日本機械工業連合会『日本機械工業連合会会長賞 バイオマス発電施設 CO₂供給設備（t-Carve）株式会社タクマ 兵庫県尼崎市』，http://www.jmf.or.jp/content/files/syoene/2020nen/2020syoun_10.pdf，（2023.7.18 アクセス）。
- [5] 内山慎也，藤川宗治，谷口哲也”燃焼ガス浄化設備によるバイオマス燃焼中 CO₂の有効利用“『タクマ技報』 Vol.30, No.2, pp.58～pp.63, 2022年。
- [6] 環境省『四国地方における地域脱炭素創生に資する取組事例集 中国四国地方環境事務所 四国事務所，2023年』，<https://www.amron.co.jp/archives/002/202304/%E5%9B%9B%E5%9B%BD%E5%9C%B0%E6%96%B9%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B%E8%84%B1%E7%82%AD%E7%B4%A0%E5%89%B5%E7%94%9F%E3%81%AB%E8%B3%87%E3%81%99%E3%82%8B%E5%8F%96%E7%B5%84%E4%BA%8B%E4%B E%8B%E9%9B%86.pdf>，（2023.7.18 アクセス）。
- [7] 田中朝都，小野義広，横山唯史，塚本輝彰”廃棄物焼却施設における CCUS への取り組み“『廃棄物資源循環学会誌』 Vol.33, No.1, pp.54～pp.61, 2022年。
- [8] 川原田格，前田修二，江島英文”地域循環共生圏を支える循環技術——佐賀市の取り組み——“『廃棄物資源循環学会誌』 Vol.32, No.3, pp.204～pp.213, 2021年。
- [9] 大出浩睦『カーボンリサイクル農業による地域産業の変革 株式会社誠和 2023年（令和5年）3月20日 関東経済産業局，独立行政法人中小企業基盤整備機構主催』，https://www.kanto.meti.go.jp/seisaku/ene_koho/ondanka/cn_seminar_omnibus3.html，（2023.7.18 アクセス）。
- [10] 株式会社 森のエネルギー研究所『全国木質バイオマス発電所一覧地図，2022年』，<https://www.mori-energy.jp/power-plant-map/>，（2023.1.29 アクセス）。
- [11] 環境省『一般廃棄物処理実態調査，2022年』，https://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/，（2023.1.29 アクセス）。
- [12] 環境省 環境再生・資源循環局『廃棄物・資源循環分野における 2050年温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)，2021年』，https://www.env.go.jp/council/content/i_03/000048390.pdf，（2023.7.18 アクセス）。
- [13] 農林水産省『園芸用施設の設置等の状況，2012年，2014年，2016年，2018年，2020年』，<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/index.html>，（2023.7.18 アクセス）。
- [14] 磯崎真英『CO₂制御の実際，日本施設園芸協会，大規模施設園芸・植物工場 共通テキスト，2018年』，https://jgha.com/wp-content/uploads/2020/03/TM04-2-text4_7.pdf，（2023.7.18 アクセス）。
- [15] 千葉県・千葉県農林水産技術会議”トマト・キュウリにおける炭酸ガス施用の技術指導マニュアル“，『農林水産技術会議 技術指導資料 2019年（平成31年）3月』，pp.1-pp.4, 2019年。