

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：14701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25740053

研究課題名(和文)低炭素投資スキームを活用した設備更新による農業生産のグリーン化

研究課題名(英文)Greening agricultural production through facility replacement using carbon credit scheme

研究代表者

山本 祐吾 (YAMAMOTO, Yugo)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：30379127

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、(1)施設園芸農家の実態調査に基づいて、農作物生産におけるエネルギー・物質フローを解明した上で、LCAの手法を用いてGHG排出量を推計した。(2)栽培管理プロセスの加温機更新に関して7つの比較ケースを設定し、設備更新とバイオマス資源利用によるGHG削減効果を評価し、炭素クレジット創出ポテンシャルを明らかにした。(3)過去のCO2削減努力の違いが、炭素クレジット制度を活用してボイラを更新した際に得られる金銭メリットに与える影響を分析するため、過去の設備更新に関する4つのパターンと技術選択に関する5つのケースを設計した上で、CO2削減量とエネルギーコスト削減額、投資回収年数を比較した。

研究成果の概要(英文)：In this research, (1) the energy and material flows in the glasshouse horticulture of flowers and ornamental plants were identified based on the field and interview survey at a specific site located in Arida district of Wakayama Prefecture, Japan. In addition, a quantitative analysis was conducted to estimate the GHG emissions derived from each energy and material consumed in cultivation process, applying Life Cycle Assessment (LCA). (2) Seven alternative options of heating equipment used in glasshouse horticulture was developed and then evaluated GHG emissions reduction potential through introducing low-carbon equipments in substitution for conventional oil boiler and utilizing woody and waste biomass for fuel. (3) The effects of early action to reduce CO2 emissions in greenhouse horticulture on benefits from utilization of carbon credit scheme was evaluated.

研究分野：環境システム

キーワード：バイオマス 低炭素技術 施設園芸 LCA 炭素クレジット 温室効果ガス

1. 研究開始当初の背景

近年、原油や天然ガスなど輸入化石燃料の価格が高騰し、産業活動に深刻な影響を及ぼしている。加えて、そのコスト増分は製品価格に内部化される形で最終消費者に転嫁される。このことは、重油や軽油などにエネルギー源を依存する農業生産も例外ではない。農業生産の担い手の減少や高齢化が進むなか、こうした利益の圧迫は農業経営の存立基盤に関わる問題である。また、食料は日々の暮らしや生存に不可欠であるため、エネルギー供給不安に備えて農業生産におけるエネルギー安全保障を確保することは、健全な地域・都市生活を営む上でも重要な課題である。

一方、地球温暖化対策の面でも、第二次産業に比べると、第一次産業におけるエネルギー使用の合理化は必ずしも進んでいるとは言えない。この一因として、農業生産者にとって設備の初期費用が負担となることから、低炭素設備や省エネルギー技術の導入が十分に進んでいないことが挙げられる。新成長戦略において成長分野として掲げられている「グリーン・イノベーション」では、「低炭素社会型農林水産業システムの構築」が農林水産分野における主要推進項目の一つの柱と位置づけられているだけに、農業生産システムの低炭素化に寄与する技術選択と制度設計に関する科学的知見の充実が求められるよう。

現在、わが国では大企業が資金や技術などを提供し、中小企業等がおこなう温室効果ガス(GHG: Greenhouse Gas)排出削減の取り組みを支援して、その排出削減量を取り引きする「国内クレジット制度」(国内排出削減量認証制度)が運用開始されている。この制度では、設備導入・更新費用の3分の1ないし2分の1が、国や地方自治体からの補助金によって賄われている。そのため、継続的に低炭素投資を促進させるには、補助金に依存することなく、初期費用を支援する投資側にも設備を導入する生産者側にも便益が生じる、経済的自立性を伴ったスキームの設計・評価が肝要である。

2. 研究の目的

和歌山県を対象地域として、地域循環資源を活用して農業生産の低炭素化を図る地域グリーン・イノベーションの先導モデルを構築し、その促進を支える低炭素投資の制度的枠組みを設計・評価することを目的とする。そのために、まず申請者らによる先行研究で明らかにされた生産施設の基礎的なエネルギー・物質フローに基づいて、導入する設備・技術のオプションを設計する。ここでは、エネルギーの利用効率を高める省エネ技術に加えて、地域内に賦存するバイオマス資源を電力・重油等の代替として利用する技術システムを取り上げる。バイオマス資源の収集・転換プロセスを含めたシステム全体にLCA(Life Cycle Assessment)の手法を適用

し、低炭素設備の導入に伴うGHG排出削減ポテンシャルを定量的に明らかにする。あわせて、これら低炭素設備への投資の直接費用および便益を算定する。

次に、農業生産の低炭素化がもたらす便益の拡大、すなわち排出削減や森林吸収に伴う炭素クレジットの取引や、農産物市場での価格プレミアム支払いの増加機会などを組み込みながら、費用便益面から低炭素投資スキームの成立可能性を評価する。また、国や自治体からの補助金投入を最小化し、投資側と生産者側の双方に経済的なメリットが生じる要件を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 低炭素設備ごとのGHG削減ポテンシャル評価

調査対象地は、和歌山県の有田川流域(二級河川)を含むJAありだ管内の有田市、有田川町、湯浅町、広川町の1市3町とした。JAありだ管内の耕地面積の約9割で柑橘類が栽培されており、温州ミカンが主要品目となっている。また、有田川流域の平坦地ではハウスミカンの栽培も盛んであり、柑橘類の周年出荷・供給が可能となっている。花卉類は、全国屈指のスプレーギクを始め、スイートピー、トルコキキョウ、カーネーションなどが栽培されている。JAありだ管内のハウスミカンやスプレーギクなどは施設園芸により栽培されるため、露地栽培に比べてエネルギー投入量が大きい。また、この地域には園芸用ガラス室、ハウス等が多数存在する。これらの理由から、本研究課題では地域内の施設園芸(品目:スプレーギク)を対象とした。

研究協力農家の施設の現地調査をおこない、エネルギー消費設備の種類や数、仕様、稼働実績などを把握した。さらに、必要に応じてインタビュー調査や根拠資料の査閲も実施した。以上に基づいて、農作物生産におけるエネルギー・物質収支を明らかにし、現地調査で得られたプロセスごとの投入量に、単位あたりのエネルギー消費およびGHG排出原単位を乗じ、施設園芸におけるGHG排出量を推計した。その上で、加温機更新による栽培管理プロセスの低炭素化に関して次の技術への更新ケースを設定し、GHG削減ポテンシャルを評価した。

- ケース1: 従来型重油焚きボイラ
- ケース2: 高効率重油焚きボイラ
- ケース3: ヒートポンプ
- ケース4: 従来型重油焚きボイラとヒートポンプのハイブリッド型
- ケース5: 木質チップ焚きボイラ
- ケース6: 木質ペレット焚きボイラ
- ケース7: バイオオイル焚きボイラ

(2) 低炭素投資スキームの成立可能性評価

低炭素型設備への投資に対する公的補助金の有無や、(1)から算出される設備更新プロジェクトによる炭素クレジットの売却益

を加味し、各ケースの費用便益を算定した。その上で、投資判断の一つの基準となる法定耐用年数：15年を上回るケースに着目して、補助率やクレジット単価の違いに対する投資回収年数の変化を分析することを通じて、投資回収年数が15年以下となる条件を明らかにした。

(3)過去のCO₂削減努力が炭素クレジット制度活用時の便益に及ぼす影響の分析

早期実施者に配慮した制度設計の基礎的知見を得るために、過去の自主的なCO₂削減努力の違いが、クレジット制度を活用して設備を更新した際に得られる経済的なメリットに及ぼす影響を定量化した。具体的には、まず過去のCO₂削減の取り組み方として、1965～1995年の期間における重油焚きボイラへの更新パターンを複数作成した(表-1)。その上で、(1)のモデル施設で必要となる熱量と燃料消費量に基づいて、2009年までの累積CO₂排出量を推計した。次に、すべてのパターンが2010年にクレジット制度を活用して設備更新をおこなうものとし、その際の技術選択に関する更新ケースとして高効率重油焚きボイラ(更新ケース1)、ヒートポンプ(ケース2)、既設ボイラとヒートポンプの併用(ケース3)、木質チップボイラ(ケース4)、木質ペレットボイラ(ケース5)の5種類を設定し、それぞれのCO₂削減量、エネルギーコスト削減額、投資回収年数を算定した。以上から、過去のCO₂削減努力の違いによる影響を比較評価した。

表-1 更新パターンの分類

更新パターン	1965年	1980年	1995年
長期使用型	導入	更新なし	更新なし
定期更新型	導入	更新あり	更新あり
劣化更新型	導入	更新あり	更新なし
劣化更新型	導入	更新なし	更新あり

4. 研究成果

(1)低炭素設備ごとのGHG削減ポテンシャル評価

ケース別のGHG排出量の算定結果を図-1に示す。設備導入によりGHG排出量が最も削減できるケースは木質チップ焚きであり、次いでヒートポンプとなる。木質チップ焚きについては、木質バイオマスで従来燃料を代替するため、燃焼に伴うGHG排出量はカーボン・ニュートラルによって計上されない。その結果、ケース1の栽培管理プロセス総GHG排出量に対して64%の大幅な排出削減を実現しうる。また、木質バイオマスのなかでも、チップ焚きとペレット焚きで排出量に差が生じている。これは、木質チップ製造工程に比べ、木質ペレット製造工程は多くのエネルギー投入を必要とすることによる。

ヒートポンプについては、消費電力の数倍の熱を暖房に利用可能となる。このため、他ケースでは熱効率が80%程度であるが、ヒートポンプは450%以上と効率に優れ、ケース1に対して削減率55%となる。また、下水汚泥由来のバイオオイルを使用するケース7は、高効率重油焚きと同じく削減率13%となった。この一因としては、バイオオイルの発熱量が重油に比べて低いため、投入量が増加してしまうことが挙げられる。

(2)低炭素投資スキームの成立可能性評価

炭素クレジットの創出ポテンシャルは、カーボン・ニュートラルとなるバイオマスの木質チップ焚き、木質ペレット焚き、バイオオイル焚きの削減量が大きく、24.1 t-CO₂/yとなった。続いて、ヒートポンプが17.3 t-CO₂/y、ヒートポンプハイブリット型が8.3 t-CO₂/yという結果が得られた。高効率重油焚きは1.2 t-CO₂/yと最も少ない削減量となった。

木質チップ焚き、木質ペレット焚き、バイオオイル焚きの炭素クレジット売却益は、最大でそれぞれ36,080円/y(1,500円/t-CO₂)、72,160円/y(3,000円/t-CO₂)、96,213円/y(4,000円/t-CO₂)となることが明らかにな

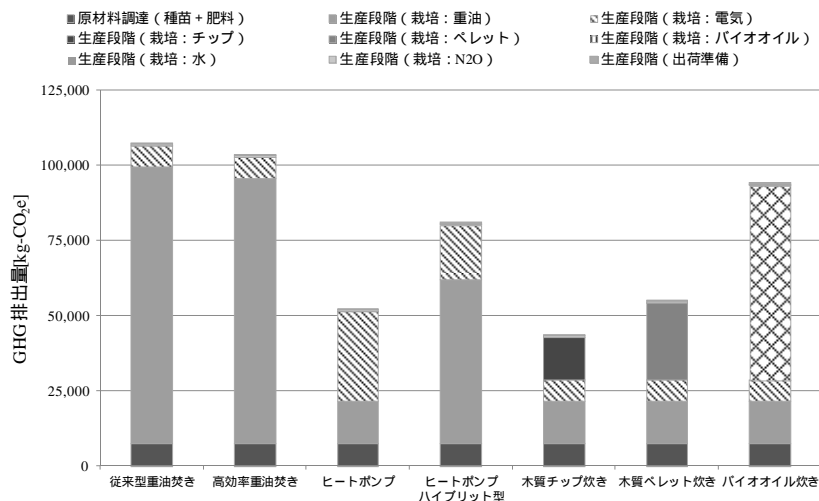


図-1 更新ケース別のGHG排出量

った。

投資回収年数ではヒートポンプが最も短く、補助なしで7年、補助金（補助率：1/2）および炭素クレジット売却益（単価：4,000円/t-CO₂）を加味すると3年となることがわかった。一方、ヒートポンプ以外の技術は、補助金なしという条件下では投資回収年数が15年を超えてしまう。

図-2は、木質ペレット焚きを例に、補助率と炭素クレジット売却単価の違いによる投資回収年数の変化を分析した結果である。補助なしで84年、補助金（補助率：1/2）と炭素クレジット売却益（単価：4,000円/t-CO₂）を考慮すると19年となることがわかった。また、投資回収年数が15年以下となる条件は、補助率：1/2かつ炭素クレジット売却単価：6,000円/t-CO₂以上であることが明らかになった。

(3)過去のCO₂削減努力が炭素クレジット制度活用時の便益に及ぼす影響の分析

CO₂削減量の推計結果を図-3に示す。技術選択に関する更新ケースを比較すると、すべての更新パターンでバイオマスボイラ、ヒートポンプ、ハイブリット型、高効率の順に削減量が大きくなった。バイオマスボイラを除くと、熱効率の高い代替技術の順になっている。

更新パターン間の比較では、削減量はどのケースでも長期使用型が最も多く、1995年に設備を置き換えた定期更新型と劣化更新型で最小となる。つまり、2010年の設備更新

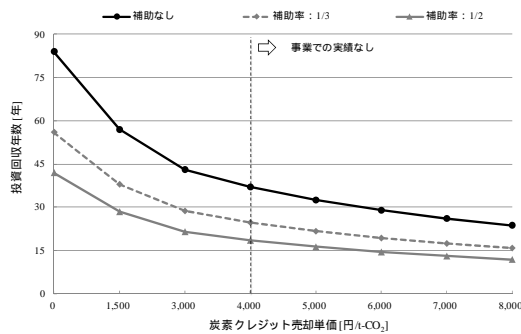


図-2 炭素クレジット売却単価に対する投資回収年数（木質ペレット焚きの場合）

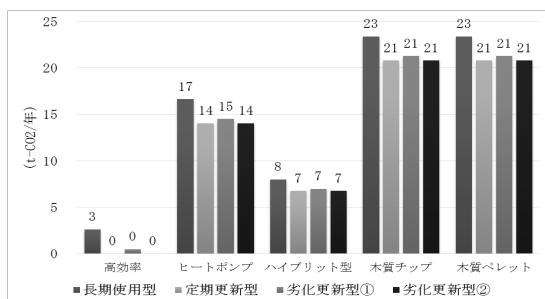


図-3 更新パターン・ケース別CO₂削減量

時に性能の低いボイラを使用しているパターンほど、多くのクレジット認証量を得られることになる。過去の設備更新の頻度や時期によって、クレジット制度活用時の効果に差が生じることがわかる。ヒートポンプを例にとると、その差は最大で20 t-CO₂/年であり、単価を1,000円/t-CO₂としたときのクレジット認証量に換算すると、2万円/年となる。

次に、エネルギーコスト削減額を図5に示す。削減額は、すべての更新パターンでヒートポンプ、ハイブリット型、高効率、木質チップ、木質ペレットの順に大きくなった。木質ペレットボイラでは、従来の重油以上に燃料代がかかること becoming a factor, all update patterns resulted in increased energy costs. The maximum energy cost reduction was for heat pumps, with a difference of up to 340,000 yen/year between update patterns.

図-5は、投資回収年数の算定結果である。数値がマイナスになっているのは、投資回収

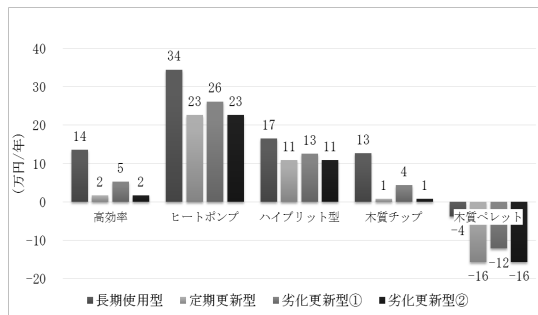


図-4 更新パターン・ケース別コスト削減額

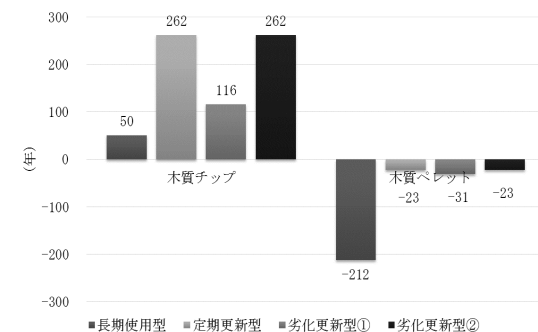
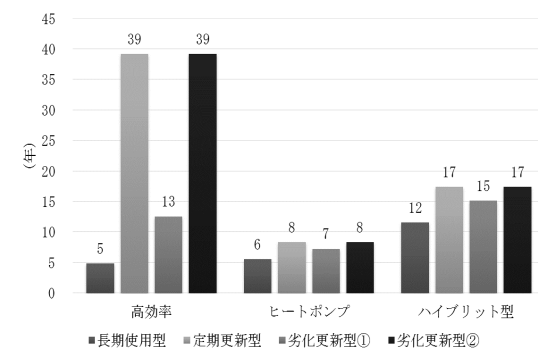


図-5 更新パターン・ケース別投資回収年数

できないことを意味している。更新パターンごとに見ると、長期使用型では高効率、ヒートポンプ、ハイブリット型、木質チップ、木質ペレットの順に、定期更新型と劣化更新型ではヒートポンプ、ハイブリット型、高効率、木質チップ、木質ペレットの順に、劣化更新型ではヒートポンプ、高効率、ハイブリット型、木質チップ、木質ペレットの順に投資回収年数が短くなることが明らかになった。高効率ボイラは他の更新ケースと比べて初期費用が小さいため、エネルギーコスト削減額が小さくても投資回収年数が短くなることもわかった。

更新ケース間で投資回収年数を比較すると、すべてのケースで1965～2009年の累積CO₂排出量が最も多い長期使用型が有利となり、それに劣化更新型、定期更新型・劣化更新型が続く結果となった。しかも、長期使用型のパターンでは、更新ケースの中でCO₂削減効果が最小である高効率ボイラへの更新が、最も早く投資回収できることが明らかになった。つまり、過去のCO₂削減努力に配慮しない制度では、設備更新を自主的・積極的に行ってこなかった事業者が経済的に有利になるばかりでなく、その事業者がクレジット制度活用時に経済合理的に判断を下せば、最も低炭素効果の小さい技術が選択されることになる。過去に最もCO₂削減に努めてきた定期更新型と、最も消極的であった長期使用型の投資回収年数を比較すると、ヒートポンプへの更新の場合は2年の差だが、高効率ボイラだと34年もの差が生じる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

谷佑亮, 中尾彰文, 山本祐吾, 吉田登: 施設園芸農家による過去のCO₂削減努力が炭素クレジット制度活用時の便益に及ぼす影響の分析, 環境共生, 査読有, Vol.26, pp.9-20, 2015年

中尾彰文, 山本祐吾, 松井孝典, 志賀俊成, 吉田登: 施設園芸での設備更新とバイオマス燃料利用による炭素クレジット創出ポテンシャルの評価, 土木学会論文集G(環境), 査読有, Vol.69, No.6, pp.11_371-11_382, 2013年

志賀俊成, 松井孝典, 町村尚, 中尾彰文, 山本祐吾: 施設園芸栽培管理におけるバイオマス生産とGHG削減の相乗便益モデルの開発, 土木学会論文集G(環境), 査読有, Vol.69, No.6, pp.11_189-11_197, 2013年

[学会発表](計3件)

谷佑亮, 中尾彰文, 山本祐吾, 吉田登: 施設園芸農家による過去のCO₂削減努力

が炭素クレジット制度活用時の便益に及ぼす影響の分析, 日本環境共生学会第17回学術大会, 2014年9月28日, 徳島大学(徳島県徳島市)

Y. Yamamoto, A. Nakao, T. Matsui, T. Shiga, N. Yoshida: Analysis of material flow and GHG reduction potential in greenhouse cultivation for regional low-carbon development: Case study of Arida district in Wakayama, Japan, *The 23rd Pacific Conference of the Regional Science Association International and the 4th Indonesian Regional Science Association*, 03 July, 2013, Bandung (Indonesia)

T. Shiga, T. Matsui, T. Machimura, A. Nakao, Y. Yamamoto: Co-benefit Approach between Biomass Provisioning Ecosystem Services and GHG Emissions Reduction in Greenhouse Horticulture Plant, *The 23rd Pacific Conference of the Regional Science Association International and the 4th Indonesian Regional Science Association*, 03 July, 2013, Bandung (Indonesia)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 祐吾 (YAMAMOTO, Yugo)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号: 30379127