

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04463

研究課題名(和文)循環とエクセルギー地産地消を可能にするバイオマス活用の研究

研究課題名(英文) Study on realization of biomass circulation and both supply and consumption of biomass exergy within local area

研究代表者

高橋 達 (Takahashi, Itaru)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：50341475

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：バイオマス資源の地産地消と循環が熱力学的に成立する条件について検討した。その結果、バイオマス循環は、それよりも大きなエントロピー流値をもつ水循環が機能することで成り立っていること、藁を暖房燃料とした中国の伝統的暖房システムでは、藁の輸送距離を100km以下にすればエクセルギー消費特性に大きな差がなく地産地消が成立すること、木質バイオマス循環における作動物質の質量は一定であるのに対してエントロピー値はバイオマスで小さく、水などの無機物になると大きくなることが明らかになり、バイオマスの拡散性の低さが用材・燃料として利用用途をもたらすことが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

二酸化炭素排出量やリサイクル率の評価が学・業界、行政で一般に行われているが、これらはいずれも資源投入側の評価になっており、廃物・廃熱の廃棄側の評価にはなっていない。そのため、エントロピー理論を用いた本研究成果はカーボンニュートラル推進の対象外である「廃棄側の建築環境問題」の解決につながる。再生エネルギー利用の分野でよく言われる「エネルギーの地産地消」はエネルギーの不生不滅を定義するエネルギー保存の法則に反し、概念の健全な進展を阻んでいる。本研究では消費を表す概念であるエクセルギーをバイオマス資源の地産地消に適用することで矛盾の解消に成功し、バイオマス資源の「地産地消」の理論基盤を与えている。

研究成果の概要(英文)：The author has studied requirements derived from thermodynamic analyses in biomass circulation and material use and thermal use in building sector. Followings were found. If transportation distance of rice straw as fuel for Chinese traditional space heating is less than 100 km, there is little difference in the characteristics in exergy consumption process and both supply and consumption of renewable resource in local area are realized without waste of resource. Biomass circulation can work in case water circulation whose entropy flux value is larger than that in biomass circulation sufficiently function. On one hand, there is no difference in flux values in mass balance through biomass circulation. On the other hand, flux values in entropy balance differ from each other.

研究分野：建築環境設備学

キーワード：バイオマス 循環 地産地消 エクセルギー エントロピー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

木質などのバイオマスは、我が国でほとんど廃棄物扱いされてきた生物由来の有機物であるが、近年ではエネルギー源としての活用が注目されており、地域内のエネルギー源確保の観点から「エネルギーの地産地消」モデルとして木質熱利用などが推奨されている。

しかしながら、バイオマス活用に対する従来の研究アプローチでは、エネルギー・物質の利用可能量やCO₂排出量による活用・循環の評価が行なわれており、エネルギー・物質の低質化メカニズムそのものがとらえられることはなかった。

熱力学の第1法則によれば、エネルギーは不生不滅のため決して消費されることはないので、エネルギーを地産地消することはできない。熱力学の第1法則と第2法則、さらに外気温などの環境に関する熱力学的状態量の三者を統合することによって導出されるエクセルギーは、仮に系の状態に経時変化がなくても、環境の状態変化によって生成と消費を、言い換えると地産地消を繰り返す物理量である。すなわち「エネルギーの地産地消」で表現したかった物理量は、実は地域で生まれては消えるエクセルギーとすることができる。

他方、ごみ処分場の残余容量不足と物質資源の枯渇を背景としたリサイクル論は、その成立可否の評価指標をリサイクル率や二酸化炭素排出量としてきた。しかしながら、これらは資源と捨て場の枯渇を回避するという現実問題への即応的対処として有効ではあるが、質量保存則・エネルギー保存則以外の理論的基盤をもたないことから、システムの活動メカニズムに基づく新たな問題解決方法を導き難い。これに対して熱力学における循環過程は、資源物理学により、内部の物質循環がシステムのエントロピー廃棄を可能とするという理論的枠組みが与えられているので有用であるが、その具体的、定量的適用はこれまでまったく行なわれていないため、熱力学的に望ましいリサイクルシステムの成立条件だけでなく、その解明方法そのものもまた検討されたことがない。

2. 研究の目的

質量・エネルギーの保存則やCO₂評価理論の代替でなく補間する理論的枠組みとして、エクセルギーの地産地消理論と、物質循環によるエントロピー廃棄理論に基づき、地域内におけるバイオマスの活用・循環の成立条件の解明を研究目的とした。

3. 研究の方法

建築用材利用、都市公園剪定枝バイオマスの熱利用を対象にして、まず実測データなどから物質流・エネルギー流を算出し、それらにもとづきエクセルギー流・エントロピー流値を計算するようにした。有機物の物エントロピーと化学エクセルギーの計算は成果論文1)の方法に基づき、無機物の物エントロピーは純粋分離状態を基準にし、純粋分離状態から環境への気体拡散のエントロピーを絶対エントロピーに加えたものとした。環境である大気の組成は、O₂、CO₂の濃度がそれぞれ21%、0.03%、絶対湿度が11.8g/kg、樹木の蒸散用水量は光合成用水量の100倍と仮定した。木質バイオマス循環は、成果論文1)に準じてバイオマスの完全な合成・分解が行なわれるモデルを想定した。

エネルギー流などの実績値は、公園作業によるガスメーター・熱量メーターの目視、台費による剪定枝湿質量の計量、日射計による日射量測定などから把握した。天然ガスと、電力の源である原油は、その採掘などに伴う物質流・エネルギー流を推定した。

他方、中国のバイオマス燃料利用の伝統的放射暖房システムの解析では、バイオマスから熱などへのエネルギーの形態変化を定量的に評価するために、床付けカン暖房と、持ち上げカン暖房、バイオマス発電利用エアコン暖房の3つの暖房システムを比較するエクセルギー解析を行うようにした。

エネルギー流や各種温度のシミュレーション値を汎用室温変動計算ソフト AE-Sim/heat ((株)建築環境ソリューションズ)により、上記の3暖房システムについて日中(7時~23時)のPMVが-0.5から0.5の範囲に80%の時間帯で収まるように、カンの内部発熱スケジュールを設定した。外気温と数値シミュレーションで得た暖房熱負荷を代入し使用電力を推定した。

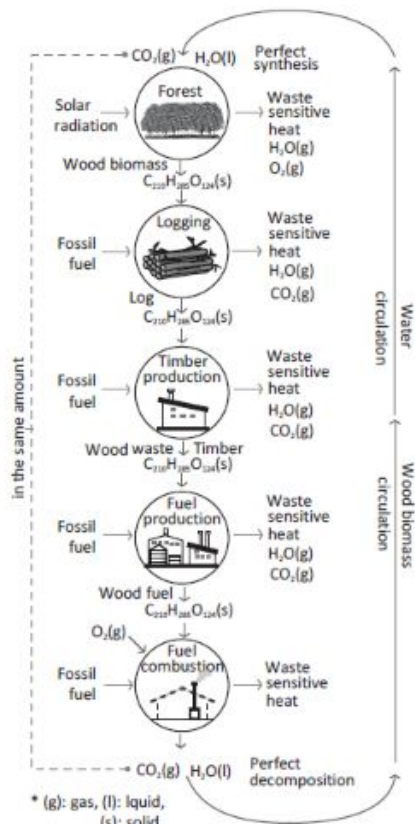


図1 用材・燃料利用の伴うバイオマス循環モデル

4. 研究成果

建築用材利用・熱利用に伴うバイオマス循環のエントロピー解析では、同じ場所で木質バイオマスの分解と再合成との双方が行われるかは問わず、林地サブシステムでの光合成における物質収支と同量の物質収支となる燃焼分解が木質燃料燃焼サブシステムで生じると想定する完全分解型木質バイオマス循環モデル - 閉鎖循環モデル - を考案した。このモデルを用いることにより閉じた管路における化学反応を起こす作動物質の循環と同様にとらえることが可能になった。質量・エネルギーという保存量が量のバランスを表すのに対して、エントロピーは循環物質の拡散と再生という循環過程をその増減により表現できることがわかった。

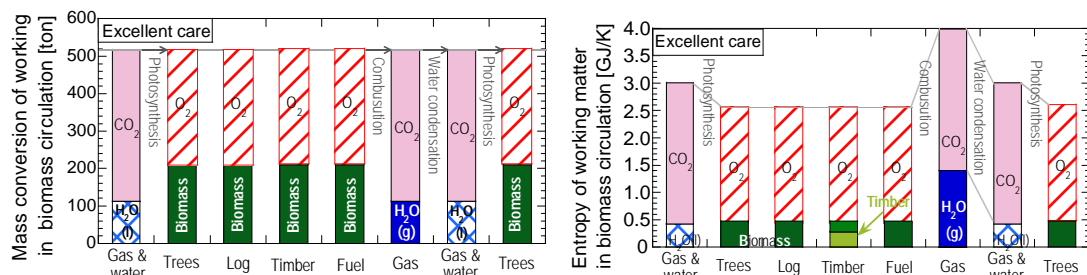


図2 建築に関する木質バイオマス循環の変化(左)とエントロピー変化(右)。物質(保存)量のバランスを表すのに対して、生成量であるエントロピーは増減を繰り返すことで循環を表す。

都市公園剪定枝バイオマスの熱利用にともなうバイオマス循環のエントロピー解析では、剪定枝利用のサイト内熱供給によって、ガスボイラー使用に対して、ボイラーからの物エントロピー廃棄量は13.5%に、総エントロピー廃棄量は35.3%に縮小されること、さらに、バイオマス循環がそれよりエントロピー流の大きな水循環に支えられることによって成立することが定量的に明らかになった。

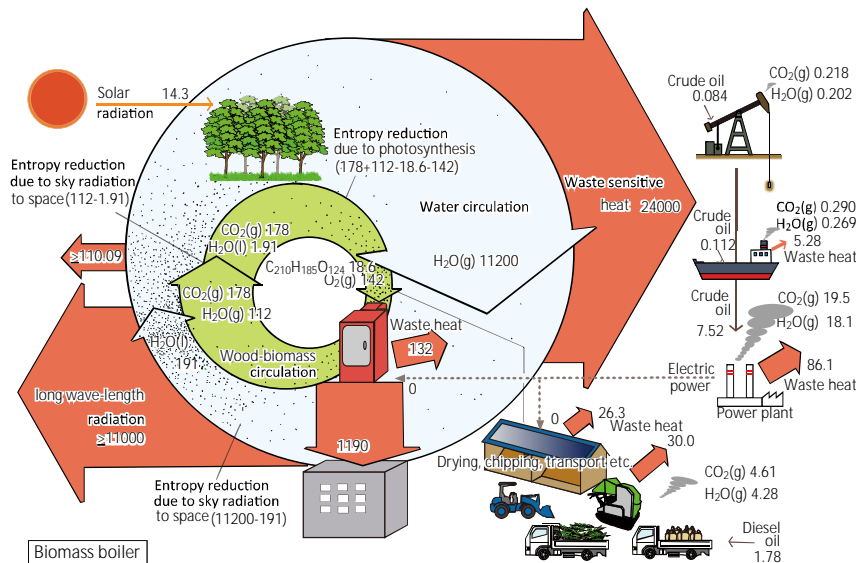


図3 バイオマス熱利用に伴うエントロピー流(研究業績4)。バイオマス循環のエントロピー流は、それよりもはるかに大きなエントロピー流である水循環に支えられることによって成立している(循環の入れ子構造)

中国のバイオマス利用伝統的放射暖房システムのエクセルギー解析では以下のことが明らかになった。ワラの輸送距離におけるエクセルギー消費量は輸送距離を100kmから500kmに伸ばすと、エアコンから室内に供給される熱エネルギーとほぼ同量の0.4GJ/weekに増加する。このエクセルギーを軽油で走るトラックでの輸送ではなく軽油ストーブ暖房に用いれば室内よりも小さい部屋がもう一部屋の暖房が可能と予想される。他方、ワラの輸送距離が100km以下ではエクセルギー消費特性に差異は生じなかった。以上のことからバイオマスエクセルギーの地産地消における資源輸送の範囲は距離100km以下と考えられる。

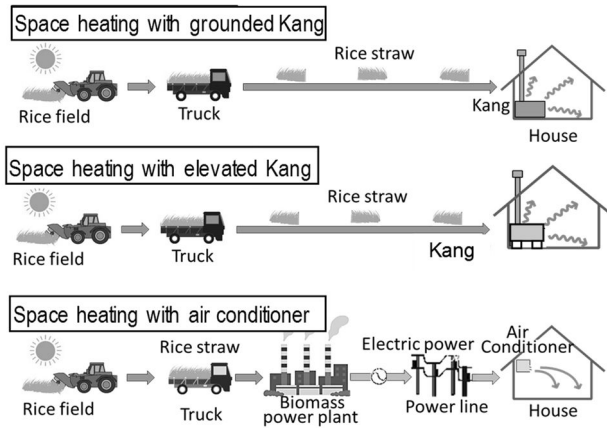


図4 エクセルギー解析対象のワラを投入燃料とした床上カン(上段)・持ち上げカン(中段)・バイオマス発電+エアコン(下段)(カン:中国東北地方の伝統的放射暖房システム)

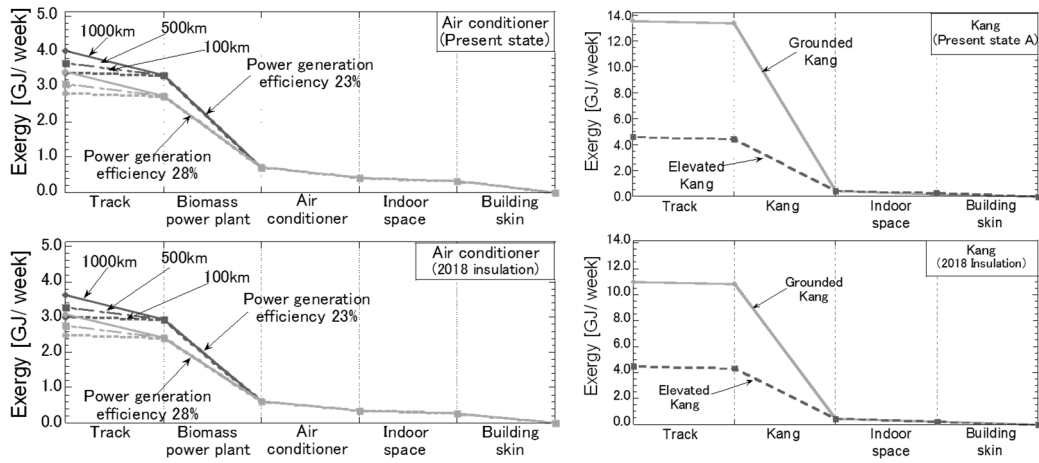


図5 バイオマス発電 + エアコン (左) とカン (右) におけるエクセルギー消費過程

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 板橋春子・深田悠平・高橋達	4. 巻 86
2. 論文標題 中国東北地方における伝統的放射暖房システム「床付けカン」に関する実測調査とそのエクセルギー解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会環境系論文集	6. 最初と最後の頁 86-89
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aije.86.89	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 高橋 達, 宮澤 沙也加	4. 巻 85
2. 論文標題 建築に関わる木質バイオマス循環のエントロピー評価の試み - バイオマスのエントロピー計算方法と閉鎖循環モデルの適用を中心にして -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会環境系論文集	6. 最初と最後の頁 79-88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aije.85.79	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Itaru Takahashi, Charlotte Marguerite and Ralf-Roman Schmidt
2. 発表標題 An Exergy Evaluation on Micro-District Heating with Industrial Waste Heat in Vienna
3. 学会等名 PROCEEDINGS OF ECOS 2020 - THE 33RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS JUNE 29-JULY 3, 2020, OSAKA, JAPAN (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Itaru Takahashi, Yuhei Fukada and Takeshi Onishi
2. 発表標題 An entropy-exergy evaluation upon on-site heat supply utilizing pruned branches and its wood biomass circulation in a seaside park of Tokyo
3. 学会等名 PROCEEDINGS OF ECOS 2019 - THE 32ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 達、板橋春子
2. 発表標題 中国東北地方の伝統的放射暖房システム「床付けカン」に関する実測調査とエクセルギー評価（その1. 実測調査と解析方法の概要）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板橋春子、高橋 達
2. 発表標題 中国東北地方における伝統的放射暖房システム「床付けカン」の実測調査とエクセルギー評価（その2. 結果と考察）
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深田悠平
2. 発表標題 都市公園における剪定枝熱利用とバイオマス循環のエクセルギー・エントロピー解析（その1. 対象システムの概要とエネルギー収支）
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋達
2. 発表標題 都市公園における剪定枝熱利用とバイオマス循環のエクセルギー・エントロピー解析（その2. エクセルギー収支・エントロピー収支）
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋達
2. 発表標題 都市の公園における剪定枝バイオマスを利用した熱供給とそのエントロピー解析 木質熱利用のエクセルギー評価と循環のエントロピー評価
3. 学会等名 JSES/JWEA Joint Conference (2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深田悠平
2. 発表標題 バイオマス発電利用床下エアコンとペレットヒーター利用温風床暖房 とのエクセルギー消費過程の比較
3. 学会等名 JSES/JWEA Joint Conference (2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 板橋春子
2. 発表標題 中国東北部における伝統的放射暖房 ' ' 床上 Kang ' ' に関する実測調査
3. 学会等名 JSES/JWEA Joint Conference (2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------