

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820416

研究課題名(和文)多様な資源と技術及びエネルギー形態を考慮したバイオマス利活用システムの最適設計

研究課題名(英文)Optimal design of the biomass energy system consideing various resource and technologies

研究代表者

古林 敬顕 (Furubayashi, Takaaki)

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：40551528

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：バイオマス資源、前処理技術及びエネルギー変換技術に関する基盤データベースと、対象地域の地理情報データベースを作成して、地域特性を考慮したレイヤーモデルを構築した。構築したレイヤーを用いてバイオマスエネルギーの技術ポテンシャルを明らかにする。さらに、エネルギー形態毎の需要分布を考慮したバイオマス利活用システムの最適設計手法の構築した。東北地方や各県、市町村等の多様な空間スケールを対象としたケーススタディを行い、各地域に最適なバイオマス供給システムを設計した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the study is to design a woody biomass energy system, and to evaluate the system considering the three dimensions of energy, economic, and environmental impact. First, the database of biomass resource and preprocessing technologies such as bio-fuel production technologies are were developed. Second, the developed database is combined with the geographical information system (GIS), and the biomass potential map is drawn. Further, the heat and electricity demand is also estimated and combined with GIS. Based on the biomass potential map and the energy demand map, the optimal biomass energy system is designed on each spatial scale such as Tohoku area, each prefecture, and each towns and villages.

研究分野：エネルギーシステム学

キーワード：バイオマス エネルギーシステム サプライチェーン 最適化 再生可能エネルギー 低炭素社会

1. 研究開始当初の背景

バイオマス資源のエネルギー利用システムの研究は、ライフサイクルアセスメントや産業連関分析等の手法を用いて行われている。海外では Rozaki ら (Energy Policy, 1996) が、クレタ島南部を対象として、バイオマスと他の再生可能エネルギーを組み合わせたエネルギーシステムを解析した。近年では、Sebasitian (Energy, 2011)、Reno (Energy, 2011)、Tonini (Applied Energy, 2012) 等が、様々な地域、資源、技術を対象としたシステムを解析した。国内を対象とした事例として、國光 (農業技術, 2007)、多田 (日本エネルギー学会誌, 2009)、大下 (日本エネルギー学会誌, 2011) らがバイオマス資源をエネルギー利用した場合の影響を評価している。

しかし、従来の研究は、特定のバイオマス資源、前処理及びエネルギー変換の技術、または需要のエネルギー形態を対象として評価しているため、対象地域に賦存するバイオマス資源をエネルギー利用するための最適なシステム的设计手法は未だ構築されていない。

2. 研究の目的

本研究では、国内に賦存するバイオマス資源のエネルギー利用に向けて、資源、前処理、エネルギー変換、需要、廃棄物処理の5つのプロセスを考慮した、バイオマス利活用システムの最適設計手法を構築することを目的とする。多様なバイオマス資源、前処理技術、エネルギー変換技術をデータベース化して、地理情報データベースと組み合わせることで、バイオマスエネルギーの技術ポテンシャルを明らかにするレイヤーモデルを構築する。構築したモデルに、対象地域の熱、電力、輸送用燃料の需要分布を考慮することで、地域特性を考慮したバイオマス利活用システムの最適設計手法を構築する。ケーススタディを通じて、対象地域におけるバイオマスの最適な利用方法が明らかとなり、地域社会の低炭素化、エネルギーレジリエンスの向上及び経済波及効果に資することが期待される。

3. 研究の方法

本研究では、多様な資源、技術、需要を考慮したバイオマス利活用システムの最適設計手法を構築することを目的とする。バイオマス資源、前処理技術、エネルギー変換技術は、図1に示されるような階層構造になっており、それぞれに関する投入エネルギー量や変換効率、エクセルギー効率等のエネルギー指標、設備の建設費や運転維持費、スケールファクター等の経済性を基盤データベースとしてまとめる。また、対象地域の道路網や人口分布、建築物の有無等を地理情報データベースとしてまとめる。作成した基盤データベース

と地理情報データベースと組み合わせ、レイヤーモデルを構築する。構築したモデルを用いて、多様な資源と技術の組み合わせからバイオマスエネルギーの技術ポテンシャルを明らかにする。さらに、熱、電力、輸送用燃料の各エネルギー形態の需要量及び分布を考慮した、エネルギーバランス、経済性、環境性の定量評価に基づく、バイオマス利活用システムの最適設計手法を構築する。また、ケーススタディとして、市町村スケール及び東北地方を対象としたシステムを設計する。

4. 研究成果

①木材加工における残材量の推計に基づく木材フロー図の作成

本研究では、木材利活用システムを設計するための基礎となる、木材利用の現状を可視化することを目的として、定量分析に基づく日本の木材フロー図を作図した。具体的には、木材製品の生産量、残材の発生量及び用途別利用量を、丸太や林地残材の供給量及び解体材・廃材の発生量に基づいて推計した。また、作成した木材フロー図を、欧州の事例と比較することで、日本の特徴及び課題を示して、解決策を考察した。さらに、木材自給率が向上することを想定した将来の木材フロー図を推計、作図することで、国産材の利用促進が木材需給構造に与える効果を明らかにした。

各工程の供給量、需要量、残材の発生量の推計結果に基づいて作成した木材フロー図 (Fig. 1) と、オーストリアの例 (Austrian Energy Agency, 2012) と比較すると、エネルギー利用を目的とする丸太が国産丸太の供給量に占める割合が、日本の7%程度に対してオーストリアは27%と非常に大きいことが示された。日本でエネルギー利用される木質バイオマスは、おもに工場残材や解体材・廃材であり、木材加工に大きく依存しているが、残材の多くはパルプ用チップ等に利用されている。エネルギー利用量を増加するためには、オーストリアのように、エネルギー利用を目的とした丸太の供給が求められることが明らかとなった。

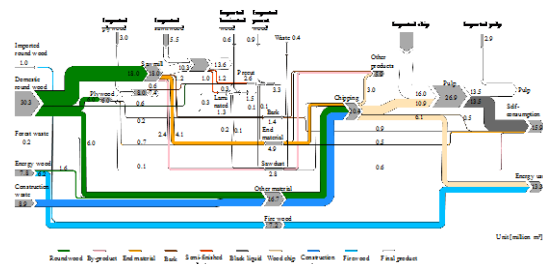


Fig. 1 日本の木材フロー (2014)

②地域資源・経済循環を考慮する持続可能エネルギーシステム的设计

本研究では電力と熱を対象としてエネルギーシステムを設計し、経済波及効果など複数の評価指標を用いて、システムを多様な観点から評価した。また、持続可能な地域社会の実現に向けて、低炭素かつ地域経済を活性化させるエネルギーシステムの設計を目的とした。東日本大震災以降、再生可能エネルギーを利用した新たな社会づくりを推進する機運が高まっている福島県を対象として、Fig. 2 に示す構成要素からなるシステムを最適設計した。再生可能エネルギーを利用することによって、新たな産業が県内の経済に与える波及効果を分析した。

資源賦存量及びエネルギー需要量を推計した結果、福島県内には業務部門及び家庭部門の熱及び電力需要を十分に満たす再生可能エネルギーが賦存していることがわかった。2012 年度比の CO₂ 削減率が 75% 程度の際に経済循環、エネルギー効率、資源の多様性についての評価に優れ、持続可能なシステムだといえる。

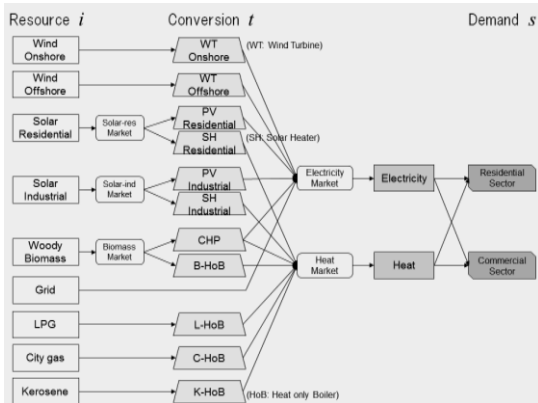


Fig. 2 エネルギーシステムの構成要素

③資源有効利用を考慮したバイオマスエネルギーシステムの定量評価

本研究は、マテリアルフロー及びエネルギーフローに基づいて、資源の有効利用を考慮したバイオマスエネルギーシステムの評価指標を構築した。システムの構成要素は、資源の栽培・収集、前処理（バイオ燃料製造）、エネルギー変換、廃棄物処理の 4 つとして、資源及び燃料はバイオマス資源、バイオ燃料、化石燃料を対象とした。従来の評価指標であるエネルギー収支比(EROI)は、単位量あたりの化石燃料を消費して得られるバイオ燃料のエネルギー量で定義され、バイオ燃料を製造するために消費したバイオマス資源の量を考慮していない。

マテリアルフローを考慮して、バイオマス資源のエネルギー量を基準として、バイオマス資源を加工して得られるバイオ燃料のエネルギー量と、バイオマス利用の過程で消費される化石燃料のエネルギー量の差を、資源

有効利用率と定義した (Fig. 3)。また、エネルギー変換の影響を考慮して、バイオマス資源をエネルギー利用することに伴い代替される化石燃料の量を、化石燃料代替係数と定義した。木質バイオマスを対象としたケーススタディを行い、マテリアルフローに基づいて評価、比較した結果、EROI と、資源有効利用率及び化石燃料の削減量は、傾向が異なる場合があることを明らかにした。

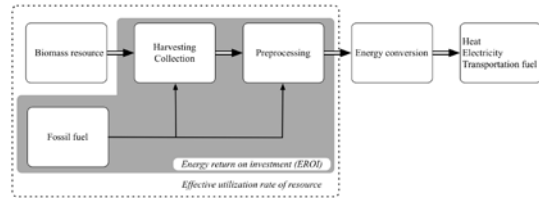


Fig. 3 資源有効利用率及び EROI が対象とするシステム境界

④バイオマス資源と熱需要分布を考慮した中山間地域熱供給システムの設計

本研究は、中山間地域の民生部門を対象に、熱需要分布を可視化する (Fig. 4)。つぎに、需要分布に基づいて、バイオマス資源の収集から需要家への温水供給に至る、一連のサプライチェーンを考慮した地域熱供給システムを設計する。さらに、各要素の投入エネルギー量と熱損失を定量的に把握し、中山間地域における木質バイオマス地域熱供給システムのエネルギー収支とコスト構造を明らかにする。

地理情報システムを利用し、熱需要分布を可視化した (Fig. 5)。また、熱需要マップの応用手法として、需要分布を考慮したバイオマス地域熱供給システムを設計し、資源調達から熱供給までのサプライチェーンを考慮した、低需要密度地域におけるバイオマス地域熱供給システムのエネルギーフローとコスト構造を明らかにした。

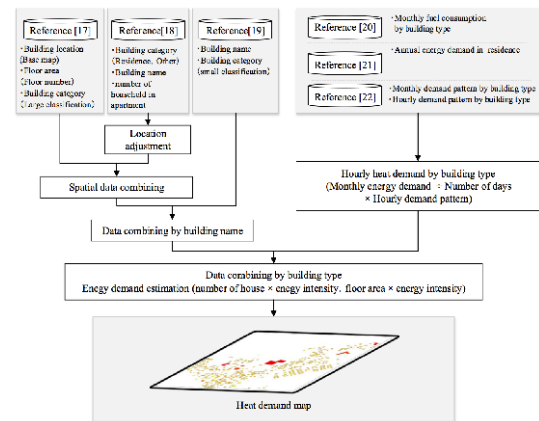


Fig. 4 熱需要分布のマッピング手法

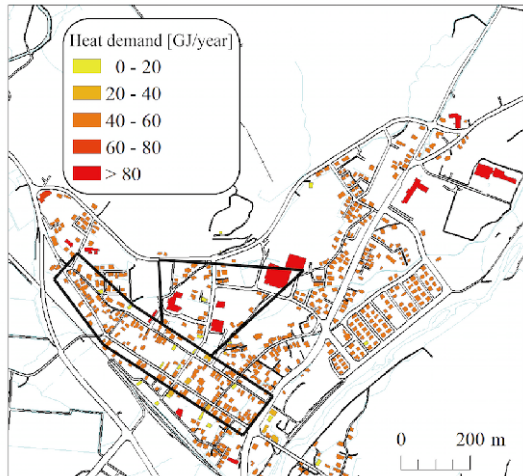


Fig. 5 対象地域の熱需要マップ

⑤大規模収集を考慮した木質バイオマスのエネルギー利用システム設計と混焼への応用

本研究は、資源の伐採からエネルギー変換までを対象範囲として、複数の国内資源を考慮した木質バイオマスのエネルギー利用システムを設計することを目的とする。また、東北地方を対象としたケーススタディを通して、システム性能をエネルギー収支、経済性、CO₂排出量の3指標にもとづいて定量評価する。システムの構成要素として、(a) 資源の収集、(b) 前処理（乾燥、チップ化、ペレット化）、(c) エネルギー変換の3つを考慮する (Fig. 6)。また、各工程は、資源発生地点（伐採、集積）、前処理施設（乾燥及び燃料製造）、需要地点（エネルギー変換）の3地点で行われるとして、(d1) (d2) 各地点間における資源及び木質燃料の輸送を考慮する。

最もエネルギー消費量が少ないケースのエネルギーフロー (Fig. 7) から、含水率を低減するために、システム全体のエネルギー消費量の約55%に相当する、0.5GJの化石燃料を消費した。そのため、資源の性状のうち、かさ密度と含水率がシステムの性能に大きく影響することが明らかとなった。したがって、システム性能を向上させるためには、乾燥工程にて少ない化石燃料で含水率を減少させること、チップ化、ペレット化の燃料製造工程にてかさ密度を増加させることが重要である。

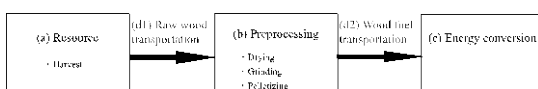


Fig. 6 バイオマス供給システムの構成要素

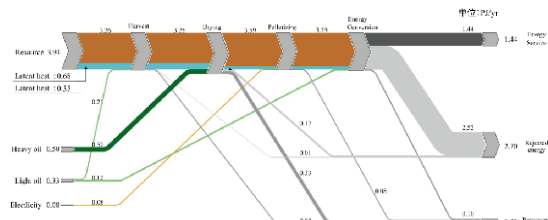


Fig. 7 ペレットを製造する場合のエネルギーフロー

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18件)

① 古林敬顕, 中田俊彦, 木材加工における残材量の推計に基づく木材フロー図の作成, 日本エネルギー学会誌, 査読有, 印刷中, 2017

② 菊池美南, 古林敬顕, 中田俊彦, 地域資源・経済循環を考慮する持続可能エネルギーシステムの設計, 土木学会論文集 G, 査読有, 72, 2016, 269-276

DOI: 10.2208/jscej.72.II_269

③ 古林敬顕, 中田俊彦, 資源有効利用を考慮したバイオマスエネルギーシステムの定量評価, 日本エネルギー学会誌, 査読有, 95, 2016, 111-122

DOI: 10.3775/jie.95.111

④ 住友雄太, 古林敬顕, 中田俊彦, バイオマス資源と熱需要分布を考慮した中山間地域熱供給システムの設計, エネルギー・資源, 査読有, 36, 2015, 1-11

⑤ 古林敬顕, 森上慶太, 中田俊彦, 大規模収集を考慮した木質バイオマスのエネルギー利用システム設計と混焼への応用, 日本機械学会論文集, 査読有, 81, 2015, 34-40

DOI: 10.1299/transjsme.14-00395

[学会発表] (計25件)

① Takaaki Furubayashi, Toshihiko Nakata, Woody Biomass Potential Estimation Based on the Wood Flow in Japan, 24th European Biomass Conference & Exhibition, 2016/6/7-2016/6/9, Rai Amsterdam Exhibition and Convention Center (Amsterdam, Netherlands)

② Ryosei Sai, Takaaki Furubayashi, Toshihiko Nakata, A Multi-objective Analysis for a Quantitative Evaluation of National Energy Security, 38th IAEE International Conference, 2015/5/25-27, Gloria Golf Resort (Antalya, Turkey)

③ 瀧田祐樹, 古林敬顕, 中田俊彦, エネルギー需給分布図の作成と地域エネルギー需給

構成の比較研究，第 32 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，2016 年 2 月 2-3 日，砂防会館（東京都千代田区）

④勝又遼太，古林敬顕，中田俊彦，空間情報を考慮したカーボンフリー水素のポテンシャル推計および経済性評価，第 32 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，2016 年 2 月 2-3 日，砂防会館（東京都千代田区）

⑤菊池美南，古林敬顕，中田俊彦，地域内の経済および資源の循環を考慮したエネルギーシステムの試設計，第 43 回環境システム研究論文発表会，2015 年 10 月 17-18 日，北海道大学（北海道札幌市）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eff.most.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古林 敬顕 (FURUBAYASHI, Takaaki)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40551528