様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成２７年　５月２５日現在

機関番号：１１３０１
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2013～2014
課題番号：２５６３０４３５

研究課題名（和文）地域再生のためのスマートコミュニティ設計の学理と社会実装

研究課題名（英文）Design principle of a smary community for local revitalization and its implementation

研究代表者

中田　俊彦（Nakata, Toshihiko）

東北大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：２０２６０４１６

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　3,000,000円

研究成果の概要（和文）：　試行が続くスマートコミュニティ構想の円滑な実現に向けて、スマートコミュニティ設計のための学理の策定、つまり基本概念の定義と具体的なシステム設計手法を開発した。そのために必要な地域データベースの構築、たとえばエネルギー需給データの空間分布を表すエネルギー密度マップ作成と、データ情報に基づき最適性を担保するエネルギー供給ラインの空間配置のルーティング手法を構築した。上記で得た客観性、論理性を有する設計手法を東北の被災地域に実際に適用して、現在東北各地で取り組みが進むスマートコミュニティ構想に参画して、地域コミュニティへの実装を進めた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to design the smart community system based on energy flow and energy map in Tohoku area that was damaged by the Great East Japan Earthquake. Energy flow shows the quantities of primary energy supply of each fuel, energy conversion efficiencies of each technology, and energy consumptions of each sector. Energy map consists of the layers such as resource distribution, road network, and demand distribution.
As case studies, the district heating systems (DHS) using local resources in Mogami town, Miyako city, Ofunato city, and Hirosaki city are designed based on the energy map of heat demand. The heat transportation network and the plant location are optimized with cost minimization by solving mixed integer linear programming. As a result, DHS is installed in central area of each city even if the heat density is less than 4.2TJ/ha that is conventional baseline of DHS in Japan. Obtained results are cited in the reports of smart community framework in each city.

研究分野：エネルギーシステム工学

キーワード：エネルギーシステム　地域熱供給　再生可能エネルギー　地域特性　スマートコミュニティ　スマートシティ　被災地　熱エネルギー

１．研究開始当初の背景

スマートコミュニティとは、持続可能性に根ざす地域づくりのコンセプトを指す。国際社会では Sustainable city (GE)、Smarter city (IBM)、Google green (Google)など要素技術から面的に拡がる地域空間の先鋭的ビジネスモデルとして、アラブ首長国連邦アブダビの Masdar city 市等への導入が進んでいる。国内では、電力系統高機能化であるスマートグリッドの延長として近年注目を集めている。被災地へ導入するにあたっては、大都市部では 50 年以上も前に電気・都市ガスの地域 ネットワークが完結しているのに対し、東北の地方部では電力以外は LPG シリンダと灯油タンクといった、非近代性を伴う孤立型エネルギー供給形態の特徴を有する。中田は、震災前から東北地方各自治体が参画するエネルギービジョン策定に携わるなかで、非効率なエネルギー利用の実態に着目して、電力・ガス・石油などエネルギー資源の融合と需要家再度での創意工夫を取り入れるスマートエネルギーシステムを提唱し、その理解と普及に努めてきた。

２．研究の目的

東日本大震災からの復興を支援すべく、地域コミュニティの再生をエネルギー学の視点から取り組む。試行が続くスマートコミュニティ構想の円滑な実現に向けて、1)スマートコミュニティ設計のための学理の策定、つまり基本概念の定義と具体的なシステム設計手法を開発する。2)そのために必要な地域データベースの構築、たとえばエネルギー需給データの空間分布を表すエネルギー密度マップの作成と、データ情報に基づき最適性を担保するエネルギー供給ラインの空間配 置のルーティング。3)上記で得た客観性、論理性を有する設計手法を東北の被災地域に実際に適用して、現在東北各地で取り組みが進むスマートコミュニティ構想に参画して、地域コミュニティへの実装を進めていく。

３．研究の方法

本研究では、1)地域再生のためのスマートコミュニティ設計手法の開発を目的とする。そのために必要な、2)地域エネルギー密度マップ等のデータベースを作成する。多層の GIS 空間情報に基づいて、3)地域で概念設計が進むスマートコミュニティ構想に参画して、本研究成果を実装する。地域コミュニティに主軸を置いて、地方部に広く薄く賦存する多様な再生可能エネルギーと、 従来型の大規模なエネルギー供給ネットワークを接続可能で、かつ地域コミュニティとして相互接続の利点を享受可能なエネルギーシステムの設計手法を構築する。研究方法として、多様な地域に共通する横断型設計要因と、地域類型型の設計要因に分けたモジュール構に分けて開発し、 それらの統合を通じて、本手法の汎用性が向上し、他地域に応用し実装することが可能となる。

４．研究成果

(1) 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発電への応用

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（Fig. 1）．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，CO_2 排出量の 3 指標にもとづいて定量評価した．

地理情報システム (GIS) を用いて, 各市町村で発生する林地残材，未利用間伐材，製材残材，建築廃材，果樹剪定枝のポテンシャルマップを作成した．チップ及びペレットを製造，輸送するシステムを設計して，各工程のエネルギー消費量から，システム全体のエネルギーフローを明らかにした（Fig. 2）. また，インベントリ分析を用いて，木質バイオマス供給コスト，CO_2 排出量を明らかにした．

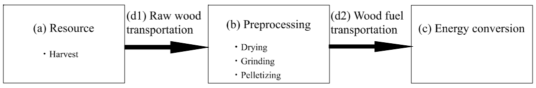

Fig.1 システム構成要素

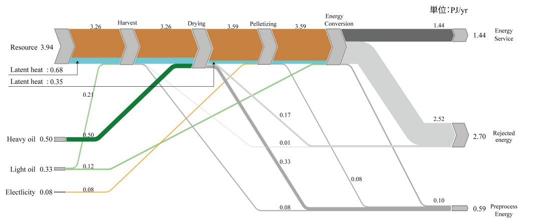

Fig. 2 ペレット混焼のエネルギーフロー

(2) Development of an energy-economic model with endogenous technological progress and feasibility study of CCS systems

本研究では、技術進歩の効果を取り入れて、地球温暖化緩和のための技術を定量的に評価可能な手法の開発を目的とする。二因子習熟曲線(Two-factor learning curve)にもとづいて技術進歩をモデル化し、これをエネルギー経済モデルに内生化する。対象技術として、火力発電に伴う二酸化炭素排出の大幅な削減が可能な CCS システムを考える。経験による学習と研究開発の成果が、CCS システムの導入可能性に及ぼす影響を明らかにした。

本研究の応用として、CO_2 排出量の削減目標を前提として、それに見合う経済的な導入設備規模を論じる展開が考えられる。2007 年

までは、研究開発投資はおもに太陽光発電を対象としている（Fig. 3）。温室効果ガス削減目標を達成するためには、今後の研究開発投資の対象技術、波及効果、投資のタイミングと適正規模などを、モデル解析によって事前に複数のシナリオから選択することが重要となる。そのために、費用効果を高めるアプローチ手法は、今後ますますその役割の発揮が期待できる。

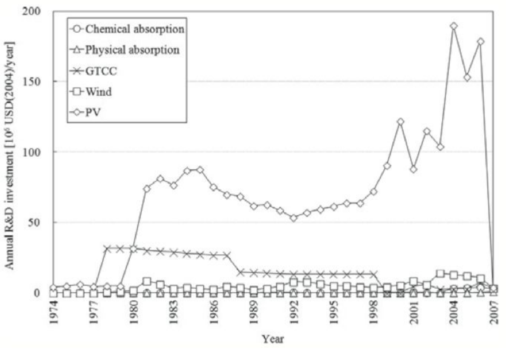

Fig. 3 日本の公的な研究開発投資額

(3) A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECO (specific exergy cost) method,

弘前市を対象地域として，現在の熱エネルギーフローに基づき（Fig. 4），エクセルギー指標に基づく熱効率及び経済性の定量評価を目的として、地域熱供給システムを設計した（Fig. 5）。地域熱供給システムの燃料として、都市ガスと廃棄物系バイオマスを考慮した。このとき、廃棄物系バイオマスの資源賦存量は、熱需要量の 21%となった。得られた結果から、地域熱供給システムは、既存のシステムに比べて熱効率は低くなるが、エクセルギーコストは安価となった。

地域熱供給システムは、80 度程度の温水を熱媒体とするため、温度が低い排熱等、エクセルギーが低い資源を有効利用することができる。そのため、含水率が高いバイオマス資源や、工場及びコージェネレーションの排熱を利用することで、地域熱供給システムの熱効率を向上することができると考えられる。

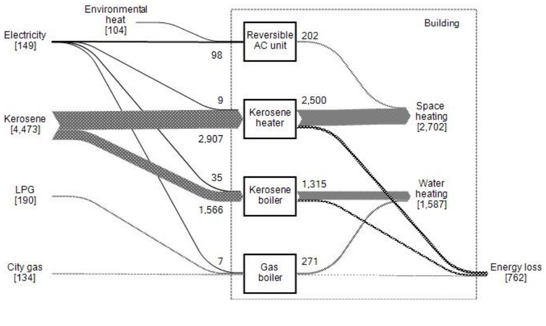

Fig. 4 弘前市の熱エネルギーフロー

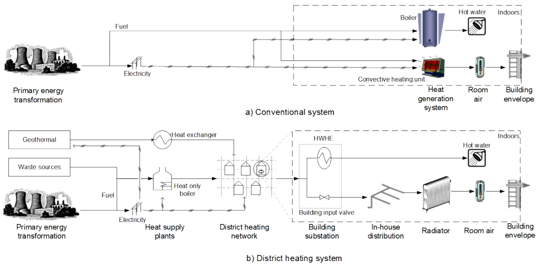

Fig. 5 熱エネルギーフローの構成要素

(4) 混合整数計画法を用いた自動車用バイオエタノールのサプライチェーンの設計

日本の遊休農地を利用した，自動車用バイオエタノールのサプライチェーンを設計した。原料の栽培、収集及び輸送、バイオエタノール製造、バイオエタノールの需要地への輸送をシステムの構成要素とした。原料およびバイオエタノールの輸送は、地理情報システムの道路ネットワークデータとダイクストラ法を用いて、輸送時間を最小化した。栽培するバイオマス資源の種類、バイオエタノール製造プラントの規模と配置、原料およびバイオエタノールを含めたシステム全体のマテリアルフローを、コスト最小化を目的関数とした混合整数計画法を用いて明らかにした。得られた結果から、サプライチェーン全体のエネルギー収支、温室効果ガス排出量、経済性を定量的に評価して、システム全体のエネルギーフローを明らかにした（Fig. 6）。

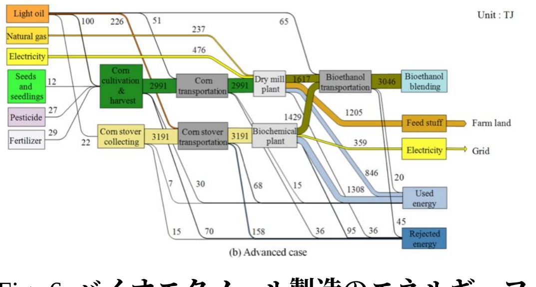

Fig. 6 バイオエタノール製造のエネルギーフロー

(5) Feasibilitiy assessment of energy transition from a fossil fuel to local resource based heating system using thermoeconomic analysis,

日本の寒冷地を対象として，地域熱供給システムの導入可能性を評価した。熱需要として、暖房及び給湯を考慮する。化石燃料だけでなく、対象地域に賦存する木質バイオマス、

都市ゴミの焼却排熱、下水汚泥、地熱を考慮して、熱エネルギーを低炭素化する。その結果、ピーク需要の 17%を地域資源で供給することができた。地域資源が不足する分は，天然ガスとガスボイラーで供給することを想定した。得られた結果から、既存の分散型システムのエネルギー効率及びエクセルギー効率は、地域熱供給システムに比べて大きいことが示された（Fig. 7)。一方、地域熱供給システムの CO_2 排出量は、おもな燃料が軽油から天然ガスやバイオマスに転換されたため、地域資源既存のシステムの半分以下となった。

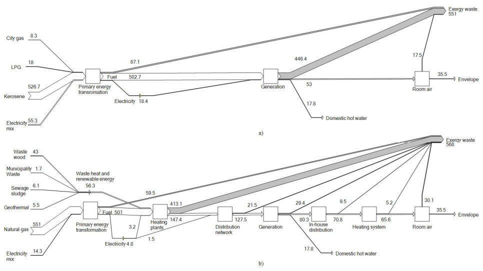

Fig. 7 既存のシステムと地域熱供給システムのエクセルギーフロー

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１５件）

①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発電への応用，日本機械学会論文集，査読有り，81, 2015, 1-17
DOI: 10.1299/transjsme.14-00395

②T. Nakata, T. Furubayashi, T. Kusunoki, T. Kusunoki, Development of an energy-economic model with endogenous technological progress and feasibility study of CCS systems, Heat Transfer - Asian Research, 査読有り，43, 2014, 332-351
DOI: 10.1002/htj.21078

③I. Baldvinsonn, T. Nakata, A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECO (specific exergy cost) method, Energy, 査読有り, 74, 2014, 537, 554
DOI: 10.1016/j.energy.2014.07.019

④依田和大，古林敬顕，中田俊彦，混合整数計画法を用いた自動車用バイオエタノールのサプライチェーンの設計，日本エネルギー学会誌，査読有り，92, 2013, 1173-1186
DOI: 10.3775/jie.92.1173

⑤I. Baldvinsonn, T. Furubayashi, T. Nakata, Feasibilitiy assessment of energy transition from a fossil fuel to local resource based heating system using thermoeconomic analysis, IAEE International Conference Proceedings, 査読有り, 321A, 2013, 1-21

〔学会発表〕（計３３件）

① イバル・バルドビンソン、古林敬顕、中田俊彦, A low exergy heating system design for a community, 第 31 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2015 年 1 月 27-28 日, 東京, 砂防会館

② 住友雄太, 古林敬顕, 中田俊彦, 熱需給の空間分布を考慮した地域エネルギーシステムの最適設計, 第 31 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2015 年 1 月 27-28 日, 東京, 砂防会館

③ 恩田英, 古林敬顕, 中田俊彦, 熱需要の空間情報に基づく地域熱供給システムの設計, 第 31 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 2015 年 1 月 27-28 日, 東京, 砂防会館

④ T. Furubayashi, T. Nakata, Design and evaluation of biomass energy system considering different resources and technologies, 2nd Asian Conference on Biomass Science, 2015/1/13, Tsukuba, Japan, 産業技術総合研究所

⑤ I. Baldvinsonn, T. Furubayashi, T. Nakata, Feasibilitiy assessment of energy transition from a fossil fuel to local resource based heating system using thermoeconomic analysis, 36th IAEE International Conference, 2013/6/17-19, Daegu, Korea

〔図書〕（計　　件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計　　件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計　　件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

６．研究組織
(1)研究代表者
　中田　俊彦（NAKATA, Toshihiko）
　東北大学・大学院工学研究所・教授
　研究者番号：20260416

(2)研究分担者
　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

(3)連携研究者
　　　　　　　（　　　）

　研究者番号：