

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26701015

研究課題名（和文）低炭素社会と循環型社会の両立に向けたエネルギーシステムのシナリオシミュレーション

研究課題名（英文）Scenario Simulation for Sustainable Energy Systems Considering Low-carbon Society and Circular Society

研究代表者

木下 裕介（KISHITA, YUSUKE）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師

研究者番号：60617158

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、低炭素社会と循環型社会の両立に向けたエネルギーシステムの設計を支援するための方法論の開発を目的とした。特に、様々な省エネ・創エネ製品が将来の社会でどの程度普及しうるのか、さらに、その普及がエネルギーシステムにどのような影響を及ぼしうるのかを分析した。これらの課題に対して、本研究では起こりうる将来シナリオの作成を支援するためのシステムとして「物質・エネルギー連環シナリオシミュレータ」を開発した。ケーススタディでは、太陽光発電システム(PVシステム)を対象とした将来普及シナリオを作成し、開発したシステムの有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to develop a methodology for supporting the design of sustainable energy systems, taking into account low-carbon society and circular society. The research questions addressed here were: How a variety of energy-saving and -generating products will be disseminated in the future and how such dissemination will impact on the energy system? To answer these questions, this research developed a system called "Material-energy Nexus Scenario Simulator" to describe and analyze future scenarios. In a case study, future scenarios were described for photovoltaic (PV) panels to verify the effectiveness of the developed system.

研究分野：シナリオ設計、ライフサイクル工学、サステナビリティ・サイエンス

キーワード：シナリオ 製品普及 省エネ・創エネ製品 ライフサイクルシミュレータ

### 1. 研究開始当初の背景

低炭素社会の実現に向けて、太陽光発電パネルや電気自動車といった低炭素製品の普及が進んでいる。一般に、これらの製品の普及は様々な将来変化の影響を受ける。例えば、再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT) は太陽光発電 (特に、メガソーラ) の普及に大きく寄与した。既存研究では、低炭素製品の将来普及予測[1]や、製品のライフサイクル全体での環境負荷を推計するライフサイクルアセスメント (LCA) [2]が行われてきた。しかし、数十年単位の長期間で見たときの地域における低炭素製品の普及と、その普及がもたらす環境負荷の低減効果について統合的に分析した研究は少ない。

### 2. 研究の目的

本研究では、地域規模での低炭素製品の普及が環境負荷 (特に、CO<sub>2</sub>排出量) の削減効果に与える長期的な影響を分析するために、低炭素製品普及シナリオを作成することを目的とした。このシナリオでは、エネルギー政策、ライフスタイル、技術開発といった様々な将来の変化要因が、低炭素製品の普及と環境負荷に与える影響を分析した。ケーススタディでは、太陽光発電 (PV) パネルを対象としたシナリオを作成した。

### 3. 研究の方法

低炭素製品普及シナリオを定量的に評価するための手法として、本研究ではライフサイクルシミュレーション (LCS) [3]を用いた。LCSでは、時間変化に応じた製品個体の属性変化に着目した、製品ライフサイクルの動的な分析が可能である。

本研究では、2節の目的を達成するために、LCS上に製品普及ライフサイクルモデル (Product Diffusion Life Cycle Model) を構築した。このモデルでは、製品の市場への新規導入量を推計するための Bass モデル[4]、製品の買い替えと社会におけるストック量を推計するためのフロー・ストックモデル、製品ライフサイクル全体の環境負荷を評価するための製品ライフサイクルモデルの3つのサブモデルを統合化した。ケーススタディでは、2045年に向けた東京電力管区家庭部門を対象とした PV パネル普及シナリオを作成した。ここでは、ベースラインシナリオと、PV のシステム価格、系統電力価格、PV の製品寿命などを変化させた3つの派生シナリオを作成した。

### 4. 研究成果

本研究では、将来の様々な要因が低炭素製品の将来普及と環境負荷に与える影響を分析するために、低炭素製品普及シナリオの作成手法を提案した。これらのシナリオを作成および評価するために、LCSを用いて製品普及ライフサイクルモデルを構築した。本モデルにより、将来の社会状況に関する仮定に基

づき、製品普及量と製品ライフサイクル全体の CO<sub>2</sub> 排出量の動的な分析が可能となった。

ケーススタディの結果、2045年の東京電力管区における PV パネルの導入量は 9.4-14.5 GW、PV パネルによる 2016年から 2045年にかけての CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の合計は 128-173 Mt-CO<sub>2</sub> と推計することができた。とりわけ、製品価格が普及量に大きく影響を与えること、ならびに、製品寿命が延びることでリユースが促進されることが明らかになった。

本研究の特色は、ライフサイクルシミュレーションという技法を用いることで、将来的な社会変化、製品の普及量、製品ライフサイクル全体の CO<sub>2</sub> 排出量の関係を統合的に評価できるモデルを開発した点にある。このモデルによって、将来的なエネルギー・環境政策等の立案を支援できることが期待される。

### <引用文献>

- [1] Kishita, Y., Umeda, Y. (2017) Development of Japan's photovoltaic deployment scenarios in 2030, *Int. J. of Automation Technology*, 11, 583-591.
- [2] Wender, B.A. et al. (2014) Illustrating anticipatory life cycle assessment for emerging photovoltaic technology, *Environmental Science and Technology*, 48, 10531-10538.
- [3] Umeda, Y., Nonomura, A., Tomiyama, T. (2000) Study on life-cycle design for the post mass production paradigm, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 14, 149-161.
- [4] Bass, F.M. (1969) A new product growth model for consumer durables, *Management Science*, 15, 215-227.

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

1. Yusuke Kishita, Yasushi Umeda, "Development of Japan's Photovoltaic Deployment Scenarios in 2030," *International Journal of Automation Technology*, Vol. 11, No. 4, (2017), pp. 583-591, doi:10.20965/ijat.2017.p0583.
2. Yusuke Kishita, Benjamin C. McLellan, Damien Giurco, Kazumasu Aoki, Go Yoshizawa, Itsuki C. Handoh, "Designing Backcasting Scenarios for Resilient Energy Futures," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 124, November 2017, (2017), pp. 114-125, doi:10.1016/j.techfore.2017.02.001.
3. Yusuke Kishita, Noriaki Nakatsuka, Fumiteru Akamatsu, "Scenario

- Analysis for Sustainable Woody Biomass Energy Businesses: The Case Study of a Japanese Rural Community,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 142, 20 January 2017, (2017), pp. 1471-1485, doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.161.
4. Yusuke Kishita, Yuji Ohishi, Michinori Uwasu, Masashi Kuroda, Hiroyuki Takeda, Keishiro Hara, “Evaluating the Life Cycle CO2 Emissions and Costs of Thermoelectric Generators for Passenger Automobiles: A Scenario Analysis,” *Journal of Cleaner Production*, Vol. 126, 10 July 2016, (2016), pp. 607-619, doi:10.1016/j.jclepro.2016.02.121.
  5. Yusuke Kishita, Yohei Yamaguchi, Yasushi Umeda, Yoshiyuki Shimoda, Minako Hara, Atsushi Sakurai, Hiroki Oka, Yuriko Tanaka, “Describing Long-term Electricity Demand Scenarios in the Telecommunications Industry: A Case Study of Japan,” *Sustainability*, Vol. 8, No. 1, (2016), p. 52 (16 pages), doi:10.3390/su8010052.
  6. Yusuke Kishita, Keishiro Hara, Michinori Uwasu, Yasushi Umeda, “Research Needs and Challenges Faced in Supporting Scenario Design in Sustainability Science: A Literature Review,” *Sustainability Science*, Vol. 11, No. 2, (2016), pp. 331-347, doi:10.1007/s11625-015-0340-6.
- [学会発表] (計 20 件)
1. Kohei Saiki, Yusuke Kishita, Yasushi Umeda, “Describing Diffusion Scenarios for Low-Carbon Products Using Life Cycle Simulation,” *Proc. of EcoDesign 2017: 10th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, D4-1, Tainan, Taiwan, Nov 29-Dec 1, (2017). [Best Paper Award]
  2. Yusuke Kishita, Shogo Kuroyama, Mitsutaka Matsumoto, Michikazu Kojima, Yasushi Umeda, “Creating Visions of Asian Sustainable Consumption and Production in 2050,” *Proc. of EcoDesign 2017: 10th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, E6-1, Tainan, Taiwan, Nov 29-Dec 1, (2017).
  3. 木下裕介, 本元俊行, 上須道徳, 野間口大, 原圭史郎, 「市民ワークショップを通じた地域エネルギービジョンの作成～大阪府吹田市のケーススタディ」, 第 27 回日本機械学会設計工学・システム部門講演会, 1406, 下関, 9 月 13 日-15 日, (2017).
  4. 木下裕介, 増田拓真, 中村秀規, 青木一益, 「富山市における市民参加型バックキャストイングシナリオ作成」, 日本公共政策学会第 21 回研究大会, 富山, 6 月 17 日-18 日, (2017).
  5. Yusuke Kishita, Yasushi Umeda, “Designing Future Scenarios of Photovoltaic Deployment: A Japanese Case Study,” *Proc. of Asia Design Engineering Workshop (A-DEWS) 2016*, December 12-13, 2016, Osaka, Japan, (2016), Paper No 12, 7 pages. [Best Presentation Award]
  6. Yusuke Kishita, Yuji Mizuno, Yasushi Umeda, “Scenario Design Approach to Envisioning Sustainable Manufacturing Industries to 2050,” *Procedia CIRP*, Vol. 48, (2016), pp. 407-412.
  7. Yusuke Kishita, Noriaki Nakatsuka, Tatsuya Kurafuchi and Fumiteru Akamatsu, “Scenario Analysis for Technology Choices in Woody Biomass Energy Businesses,” *Abstract Book of EcoBalance 2016*, 2-C1:4, Kyoto, Japan, Oct 3-6, (2016), p. 99.
  8. Yusuke Kishita, “Analysis of Photovoltaic Deployment Scenarios for Low-carbon Futures,” *Proc. of Electronics Goes Green 2016+*, A7-2, Berlin, Germany, September 7-9, (2016), 7 pages.
  9. 木下裕介, 梅田靖, 「設計研究におけるシナリオの役割と今後の展開」, *Design シンポジウム 2016*, 1106, 大阪, 12 月 13 日-15 日, (2016).
  10. 木下裕介, 増田拓真, 中村秀規, 青木一益, 「持続可能性に向けた市民参加型バックキャストイングシナリオの作成」, *エコデザイン・プロダクト&サービス シンポジウム 2016 (EcoDePS 2016) Proceedings*, 東京, 12 月 7 日, (2016), pp. 174-177.
  11. 木下裕介, 中塚記章, 藏淵竜也, 赤松史光, 「木質バイオマスを用いたエネルギービジネスのシナリオ分析: 岡山県真庭市を対象としたケーススタディ」, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, A2-16, 東京, 2016 年 3 月 2 日-4 日, (2016), pp. 148-149.
  12. Yusuke Kishita, Yuji Mizuno, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda, Yohei Yamaguchi, Takashi Ikegami, Yumiko Iwafune, Kazuhiko Ogimoto, Yoshiyuki Shimoda, “Describing Electricity Demand Scenarios Focusing on the

- Diffusion of Low-carbon Technologies in 2030,” Proc. of EcoDesign 2015: 9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, E7-4, Tokyo, Japan, Dec 2-4, (2015), pp. 899-905.
13. Yusuke Kishita, Yuji Mizuno, Yasushi Umeda, “Designing Sustainable Futures Using a Backcasting Approach,” Proc. of EcoDesign 2015: 9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, A6-1, Tokyo, Japan, Dec 2-4, (2015), pp. 95-100.
  14. 木下裕介, 高本仁志, 近藤伸亮, 増井慶次郎, 水野有智, 梅田靖, 「タイムアクシズデザインにおけるシナリオ設計の可能性」, 日本機械学会第 25 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 1204, 長野, 9 月 23 日-25 日, (2015).
  15. 木下裕介, 岩生直己, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 山口容平, 下田吉之, 「2030 年の関西地域を対象とした電力需給シナリオ解析: 第 1 報 省エネ・創エネ機器の普及と電力需要シナリオの作成」, 第 34 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, 9-1, 東京, 6 月 9 日-10 日, (2015), pp. 137-142.
  16. Yusuke Kishita, Yuji Ohishi, Michinori Uwasu, Masashi Kuroda, Hiroyuki Takeda, Keishiro Hara, “Assessing the Greenhouse Gas Emissions and Cost of Thermoelectric Generators for Passenger Automobiles: A Life Cycle Perspective,” Proc. of the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2014): 19th Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference (DFMLC), DETC2014-34483, Buffalo, New York, Aug 17-20, (2014), 9 pages.
  17. Yusuke Kishita, Yasuaki Nakamura, Akeshi Kegasa, Yoshinori Hisazumi, Tsukasa Hori, Shinichi Fukushige, Yasushi Umeda, “Scenario Analysis of the Diffusion of Fuel Cells in the Residential Sector,” Procedia CIRP, Vol. 15, (2014), pp. 294-299.
  18. Yusuke Kishita, Noriaki Nakatsuka, Yukari Fuchigami, Fumiteru Akamatsu, “Scenario Analysis of Renewable Energy Businesses: A Case Study of Woody Biomass in a Japanese Rural Community,” Proc. of the 13th International Design Conference - DESIGN 2014, Dubrovnik, Croatia, May 19-22, (2014), pp. 679-688.
  19. 木下裕介, 岩生直己, 水野有智, 福重真一, 梅田靖, 山口容平, 下田吉之, 「省エネ・創エネ製品の普及に基づく家庭部門電力需要のシナリオ分析」, 日本機械学会第 24 回設計工学・システム部門講演会講演論文集, 3108, 徳島, 9 月 17 日-19 日, (2014).
  20. 木下裕介, 倉橋直人, 岩生直己, 福重真一, 梅田靖, 山口容平, 下田吉之, 「2030 年の関西地域を対象とした系統電力網の将来シナリオ- 太陽光発電と電気自動車の普及による影響分析」, 第 33 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, 18-1, 大阪, 6 月 10 日-11 日, (2014), pp. 297-300.
- [図書] (計 4 件)
1. 大石佑治, 木下裕介, 「廃熱利用技術のイノベーションと社会実装」, 池道彦, 原圭史郎編著, 想創技術社会: サステイナビリティ実現に向けて, 大阪大学出版会, (2016), pp. 129-143.
  2. 木下裕介, 中塚記章, 赤松史光, 「木質バイオマスエネルギー事業のシナリオ分析」, 池道彦, 原圭史郎編著, 想創技術社会: サステイナビリティ実現に向けて, 大阪大学出版会, (2016), pp. 59-78.
  3. 木下裕介, 水野有智, 梅田靖, 「ビジョン構想とシナリオ・アプローチ」, 池道彦, 原圭史郎編著, 想創技術社会: サステイナビリティ実現に向けて, 大阪大学出版会, (2016), pp. 35-58.
  4. 木下裕介, 「長期的な将来社会ビジョン構想のためのバックキャストリング」, 西條辰義編著, フューチャー・デザイン, 勁草書房, (2015), pp. 59-85.
- [その他]  
ホームページ等  
<http://www.susdesign.t.u-tokyo.ac.jp/kishitalab/>
6. 研究組織
    - (1) 研究代表者  
木下 裕介 (Kishita, Yusuke)  
東京大学・大学院工学系研究科・講師  
研究者番号: 60617158
    - (2) 研究分担者  
無し
    - (3) 連携研究者  
無し
    - (4) 研究協力者  
梅田 靖 (Umeda, Yasushi)