

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23530

研究課題名（和文）未利用熱を中心とした広域熱交換ネットワークの空間計画と評価

研究課題名（英文）Spatial Planning and Assessment for Waste-energy-based Regional Heat Exchange Networks

研究代表者

竇 毅（DOU, Yi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・特任研究員

研究者番号：10851107

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：工業団地だけでなく、都市圏においても豊富な未利用熱を賦存している。しかし、現状では排熱の需給分布や温度条件等地理空間情報が不足な一方、熱導管の初期投資やリスク分担等を含む制度づくりも遅れることで、欧米諸国や韓国に比べて日本では熱交換事業の進捗が非常に遅い。本研究は東京都市圏を対象に、産業排熱を中心とした熱需要分布を地図上に見える化した上で、導管ネットワークの設計、熱輸送計算、需給マッチングプロセスと経済環境性評価モデルを統合し、都市圏の広域に熱交換事業のポテンシャルをなるべく現実的に評価した。それに、情報公開制度、ビジネスモデル及び投融資政策等を含め、最適な制度づくりの提案を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

工業団地を中心に排熱の利活用を検討する既往研究が多かったが、都市圏の広域を対象とした現実的にポテンシャルの推計と政策影響の評価を包括的に行ったことが少ない。本研究は精確な施設立地データを用い、地理情報システムに基づいた需給マッチングと環境経済影響評価モデルを統合したことで、ネットワークの設計まで精度高く排熱交換の可能性を評価し、地図上に見える化できた。この成果は並行している東京都市圏内のスマートヒートサプライ事業の展開に参考を提供し、国が検討中の排熱発生状況と熱利用量の年度報告制度を支持している。また、開発された統合モデルは各国に共通で、論文公開により世界中の排熱交換事業の推進に貢献する。

研究成果の概要（英文）：Not only in the industrial parks, but also there are various unused heat sources in metropolitan areas. However, currently data are lacked in terms of heat demand/supply distribution and temperature conditions, meanwhile policy making for initial investment and risk sharing in Japan is very late comparing to European countries and America. Thus, heat exchange projects are far away from popularization in Japan. This study uses Tokyo Metropolitan Area as a case area, firstly visualizes the heat demand and supply distribution focusing on industrial unused heat, then integrates models including heat transmission network design, hydraulic analysis, demand/supply matching, environmental and economic assessment into a framework, to search the opportunities of utilizing unused heat and simulate realistically. According to the simulation, this study also discusses making appropriate policy packages such as open data, business model, and investment management to support heat exchange projects.

研究分野：土木環境システム工学

キーワード：未利用熱 地域熱供給 省エネルギー 地域計画 産業共生 脱炭素社会

### 1. 研究開始当初の背景

日本に消費されているエネルギーでは、最終的に半分以上が未利用熱の形で逸失してしまった。この未利用熱を利活用できれば、エネルギー供給の物理的効率や経済的利益を向上する同時に、化石燃料の使用がもたらした CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果も大きい。排熱交換はもっとも一般的な利活用法として、デンマークのカルンボーエコタウン、韓国のウルサンエコタウン、日本の川崎エコタウンなどすでに多くの熱交換事業が成功したが、ほとんどが工業団地内の地理的範囲に限られ、巨大な都市圏において広域的熱交換を行う事例がまだ少ない。ここで、広域熱交換事業の推進を阻害する主な原因は、排熱発生量と品質及び熱需要量の情報の不足、人口密集地に導管コストの割高、時間的に熱需給スケジュール調整の困難、投融資の政策優遇の少ない等が挙げられる。一体、都市圏においては、どれほど排熱が利活用可能か、そして排熱を最大限に利活用するために、どのような制度づくりが望ましいか、現実的に評価しなければならない。

本研究では、東京都市圏を対象に、現在入手できる精度の最も高い工場立地データとエネルギー調査結果を用い、なるべく現実的に排熱交換事業の導入ポテンシャル及び政策的影響を評価できる、統合的な需給マッチングモデルの開発を行った。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、東京都市圏の広域に立地している火力発電所、焼却施設、大規模な製造工場、地域熱供給事業等の立地情報を収集し、潜在的な需給マッチングパートナーの間に物理・経済・環境の3方面共に成立できる熱供給事業を選別することで、排熱利用を中心とした広域熱交換ネットワークの設計を行う。それに、熱のキャスケード利用法、情報公開制度、投融資政策等の導入が熱交換事業の全体に与えられる影響を追加のシナリオ分析で究明する。分析結果は、広域熱交換事業を推進するための最適な政策パッケージの設計に根拠を提供できる。

### 3. 研究の方法

なるべく現実的、かつ自動的に広域熱交換ネットワークを設計するために、図1が示しているように、本研究は1) 産業施設等の立地情報に基づき、空間分析ツールによって熱源 (Origin) と需要先 (Destination) をマッチングするマトリックスを作成し、距離を測る；2) 蒸気・温水での熱輸送モデルを開発し、マトリックスの中に熱供給が物理的に成立する熱供給事業の候補を抽出する；3) 熱供給の環境性、経済性、投資回収年数等を事業成立条件として、熱供給事業の候補をさらに絞る；4) 熱のキャスケード利用、情報公開制度、投融資政策等への配慮を事業マッチングプロセスに反映し、優先度の高い事業候補から低い順で、実施可能な熱供給事業を最終的に選出する。

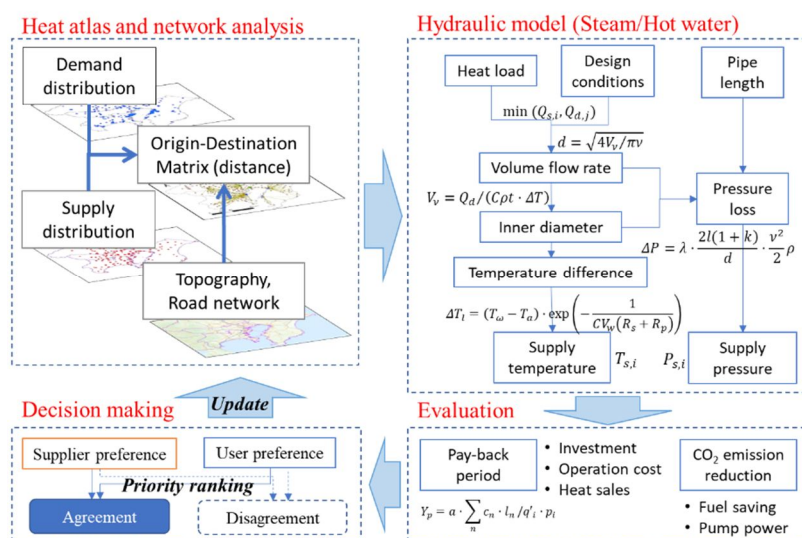


図1 施設立地情報に基づいた熱需給マッチングのプロセス設計

### 4. 研究成果

#### 1) 排熱発生状況と熱需要分布

東京都市圏（一都三県）において、23カ所の火力発電所、約300カ所の大規模製造工場、168カ所の焼却施設及び77カ所の地域熱供給に対して排熱発生量と熱需要を推計した結果、年間排熱発生量が300PJ程度で、年間熱需要量の200PJより上回っている。空間上、半分以上の熱需要

は東京湾岸部の工業団地に集中しており、郊外では窯業製造業は熱需要が大きいと分かった。

### 2) 広域熱交換事業の導入ポテンシャル

約 70000 個の潜在的熱需給パートナーにおいて、熱のキャスケット利用を考慮して物理面・経済面・環境面ともに成立条件に満たせる潜在的熱交換事業を選び出した結果、図 3 の Scenario 3 が示しているように、133 個の熱交換パートナーが選出され、約 110PJ の排熱が利活用できる見込み。具体的に、都市計画のゾーニングの影響で、工場排熱は距離減衰より地域熱供給への供給が不可能である一方、焼却施設から地域熱供給への熱供給もポテンシャルが相対的に低く、投資回収年数が長いことが明らかにした。最もポテンシャルの大きく、期待される熱交換事業は焼却施設から工場への熱供給であり、半分以上は投資回収年数を 10 年以内に抑えることが可能だと分かった。

### 3) 広域熱交換事業を推進するための制度づくり

工場立地と熱需給に関する情報開示、投融資の限度額、投資回収年数への選好等配慮をシナリオ分析に入れた結果、図 2 が示しているように、工場立地情報及び熱需給量の開示制度が最も影響の大きい支援策である。重要情報が開示されれば、地域全体の熱交換ネットワークの最適化により、距離が長いが、投資回収年数の短い事業が発見されたことで、事業性のある熱交換パートナーは 77 個から 130 個以上に増え、利活用される排熱も 40PJ から 110PJ まで増加できる (Scenario 1 対 Scenario 2,3)。一方、初期投資額を制限せず、投資回収年数の少ない事業を優先に実施すれば、事業性のある熱交換パートナーの数が減るが、排熱の利活用可能量と CO<sub>2</sub> 排出の削減量が少し増える同時に、平均投資回収年数が短くなる (Scenario 2 対 Scenario 3)。ここで、仮に 5 兆円の公共融資を、投資回収年数の少ない事業の導管コストに使い切れれば、約 1 年程度で投資が回収される (事業申請、導管設計、工事期間、人口密集地の導管コスト増などを考慮すれば、投資回収年数が増える)。

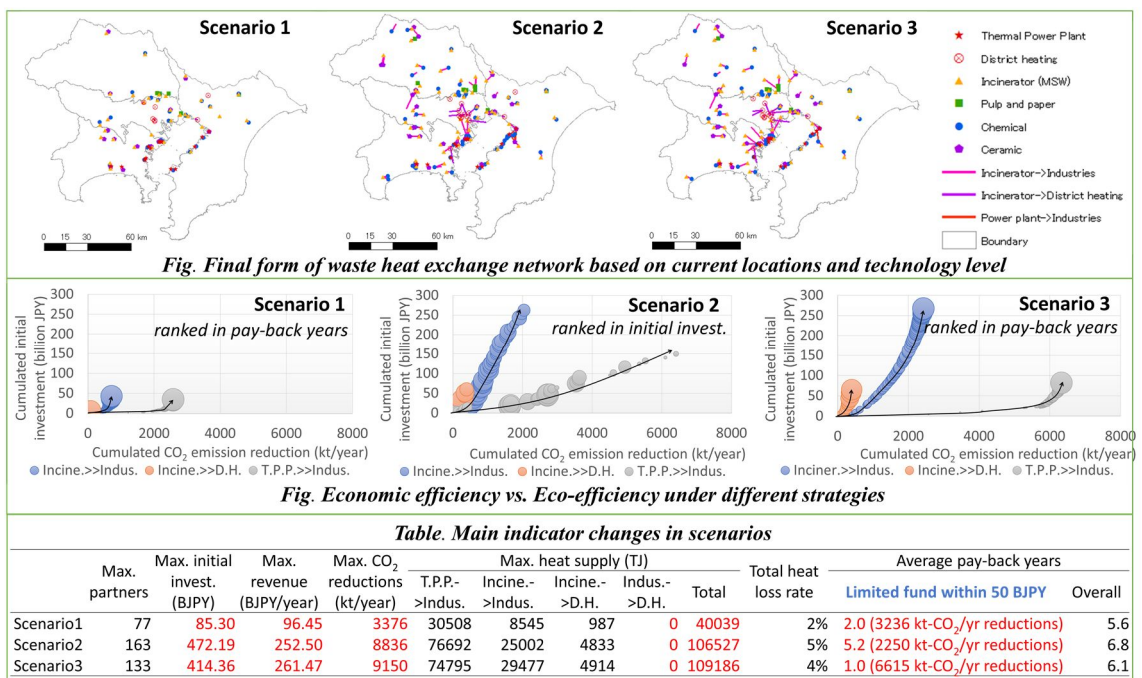


図2 事業支援制度づくりに関するシナリオ分析の結果

注：排熱発生量と熱需要分布は推計値であり、推計方法により需給マッチングの最終結果が異なることがある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yunsheng Xie, Peng Wang, Yi Dou, Lei Yang, Songyan Ren, Daiqing Zhao	4. 巻 15
2. 論文標題 Assessment on the Cost Synergies and Impacts among Measures on Energy Conservation, Decarbonization, and Air Pollutant Reductions Using an MCEE Model: A Case of Guangzhou, China	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 1258-1286
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/en15041258	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 該当する

1. 著者名 Ruixi Zhao, Lu Sun, Xiaolong Zou, Yi Dou	4. 巻 14
2. 論文標題 Greenhouse Gas Emissions Analysis Working toward Zero-Waste and Its Indication to Low Carbon City Development	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 6644-6658
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/en14206644	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 該当する

1. 著者名 竇毅, 兵法彩, 諏訪出, 兼松祐一郎, 菊池康紀	4. 巻 17
2. 論文標題 地域への社会実装に向けた新興技術のライフサイクルアセスメント	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本LCA学会誌	6. 最初と最後の頁 167-173
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3370/lca.17.167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 7件／うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Yi Dou
2. 発表標題 Impact Assessment on Location Optimization Plans using 4d-GIS Approach: Case of Kitakyushu City, Japan
3. 学会等名 The 20th and 21st Joint CICTP Conference（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yi Dou
2. 発表標題 Japan's Roadmap and the Cities' Strategy towards a Carbon Neutral Society
3. 学会等名 Tianjin Forum 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yi Dou
2. 発表標題 Japan's Energy Transition Strategy towards a Carbon Neutral Society
3. 学会等名 The 3rd Energy Internet Innovation and Entrepreneurship Summit (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yi Dou, Minoru Fuji, Yasunori Kikuchi, Satoshi Ohnishi, Yuichiro Kanematsu, Lu Sun
2. 発表標題 Factors influencing the utilization of industrial waste heat in mega-cities: GIS-based simulation of mega-city Tokyo
3. 学会等名 2021 International Conference on Resource Sustainability (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yi Dou
2. 発表標題 Opportunities and challenges in sustainable stock management for realizing Zero-Waste Cities
3. 学会等名 The 16th International Conference on Waste Management and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yi Dou, Aya Heiho, Izuru Suwa, Yasunori Kikuchi
2. 発表標題 Potential of Resources Recycling from Spent Li-ion Batteries in Japan: A Future Perspective
3. 学会等名 The 14th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yi Dou
2. 発表標題 Concept and practice of eco-industrial development and urban-industrial symbiosis in Japan
3. 学会等名 The 15th International Conference on Waste Management and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 實毅
2. 発表標題 日本におけるエコタウン事業の取組と最近の動向
3. 学会等名 中日韓グリーン製造協力検討会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Dou
2. 発表標題 Promotion of Circular Economy Towards a Regional Circular and Ecological Society: Historical Experience and Policy Trend in Japan
3. 学会等名 1st International Bay Area Circular Economy Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yi Dou, Lu Sun, Minoru Fujii, Yasunori Kikuchi, Yuichiro Kanematsu, Jingzheng Ren(Editor)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Academic Press	5. 総ページ数 636
3. 書名 Renewable-Energy-Driven Future: Technologies, Modelling, Applications, Sustainability and Policies	

〔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
---------	---------