



Title	都市・産業システムの脱炭素化施策におけるトレードオフを考慮した環境影響評価に関する研究
Author(s)	今西, 正義
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/91943
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (今 西 正 義)

論文題名 都市・産業システムの脱炭素化施策におけるトレードオフを考慮した環境影響評価に関する研究

論文内容の要旨

カーボンニュートラルの達成に向けた産業部門の脱炭素化は急務であり、産業部門個社での個別取り組みの評価に留まらず、産業部門全体として地球容量に対する持続可能な施策の方向付けや意思決定に資する評価方法の確立が本研究の背景としてある。本論文は、都市・産業システムのエネルギー・物質代謝に関する持続可能性を評価するツールとして、3つの政策判断の階層（(a)都市地域、(b)エネルギーミックスの変化、(c)産業部門の脱炭素化施策）に対応する評価モデル・指標の構築を目的として、調査・研究をまとめたものである。

第1章では、都市・産業システムの地球環境容量の考えに基づく持続可能性評価方法を論じ、経済成長や人口増加に呼応してストックが形成され、交通移動や民生活動に伴うフロー財の消費が誘発される都市・産業システムの構造的特徴を示し、本論文で扱う対象を明確にするとともに各章の構成を記した。

第2章では、都市・産業活動のドライビングフォースとなる社会経済活動をもとに、エネルギー・物質代謝を推計するモデルの特性を示した。世界を対象に評価する際の汎用性を考慮してモデル評価では可能な限りデータ入手可能性が高い統計データを活用した推計方法を示し、合わせて限られたデータから推計する手法も示した。また、鉱物資源や化石燃料などの地下資源、木材や食糧、埋立処分地などの地表資源、CO₂や汚染物質の排出による大気環境への影響を包括的・総合的に評価するため、総物質需要量（Total Material Requirement; TMR）、エコロジカル・フットプリント（Ecological Footprint; EcoF）、CO₂排出量（CO₂）、およびケミカル・フットプリント（Chemical Footprint; ChF）の4つの指標を用いた持続可能性指標による評価体系と評価方法を示した。

第3章では、2007～2016年の日本と中国のエネルギー・物質代謝に関して、持続可能性指標による評価と各指標間のトレードオフを評価した。その結果、TMR、EcoFとCO₂は建設資材による負荷が支配的になるが、CO₂では建設資材の他に水消費による負荷が影響することがわかった。また、中国上海市に代表される経済成長段階にある都市では、建設構造物のストック財蓄積に伴う物質の直接投入と製造に伴う間接的な負荷が支配的かつ増加傾向にあることが明らかになった。一方、日本の様に高度経済成長を経て成熟した都市地域では比較的、新規の建設需要が少ないことから、持続可能性指標値は相対的に小さい傾向となった。特にChFが減少傾向にあり、自動車等の排出ガスに多く含まれるVOCsの低減で化学物質負荷の削減効果がみられた。

第4章では、日本の2050年に向けたエネルギーミックスシナリオに対して、再生可能エネルギーの新規建設に伴う直接的・間接的な環境影響を評価した。国立環境研究所による2050年での再生可能エネルギー発電量に関するシナリオをもとに持続可能性指標を用いて評価した結果、洋上風力発電設備に関する直接的・間接的な環境負荷が大きくなり、EcoFおよびCO₂では鉄鋼資源の新規投入による負荷が支配的になることがわかった。TMRおよびChFでは、洋上風力発電の電気ケーブルを主とした銅とアルミニウムの資材投入に伴って間接的な環境負荷が大部分を占めた。洋上風力発電の建設に伴う負荷を低減させる対策として電力ケーブル材料を銅からアルミニウムに変更する効果を検証したところ、TMRは0.3倍まで減少できたが、ChFは1.4倍の増加を示した。この結果から、資源負荷を捉えるTMRの観点からはアルミニウムへの代替は環境影響を低減させるが、化学物質負荷の側面からみると逆に地球環境負荷を増加させる可能性が示唆され、トレードオフ関係を明らかにすることができた。

第5章では、日本の産業部門での脱炭素化施策に対する持続可能性ポテンシャルを評価した。日本の産業部門からのCO₂排出量の約40%を占める鉄鋼業を対象として、脱炭素化施策のひとつである電気炉のシェア拡大による持続可能性指標への影響を評価した。その結果、脱炭素化施策の推進により2019年比で2030年には、TMR、EcoF、CO₂、ChFともに低減できることが明らかになった。さらに、電炉法のシェア拡大に伴う電力消費量の増加に対して、再生可能エネルギー比率の向上で、持続可能性指標値が低減可能なポテンシャルを定量的に明らかにした。

以上、トレードオフを評価し得る持続可能性指標体系を構築し、都市地域、電源構成、産業部門の脱炭素化に向けた環境的持続可能性の評価手法、地球環境容量に対してトレードオフを加味した負荷低減の方策を示すことができた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (今 西 正 義)			
論文審査担当者	(職)		
	氏 名		
	主 査	教 授	東海 明宏
	副 査	教 授	池 道彦
	副 査	教 授	近藤 明

論文審査の結果の要旨

カーボンニュートラルの達成に向けた産業部門の脱炭素化は急務であり、本論文は、都市・産業システムのエネルギー・物質代謝に関する持続可能性を評価するモデル・指標の構築を目的としている。

第1章では、都市・産業システムの構造的特徴を示し、本論文で扱う対象を明確にしている。

第2章では、都市・産業活動のドライビングフォースとなる社会経済活動をもとに、エネルギー・物質代謝を推計するモデルの特性を示すとともに、その適用方法を示している。また、鉱物資源や化石燃料などの地下資源、木材や食糧、埋立処分地などの地表資源、CO₂や汚染物質の排出による大気環境への影響を包括的・総合的に評価するため、総物質需要量 (Total Material Requirement; TMR)、エコロジカル・フットプリント (Ecological Footprint; EcoF)、CO₂排出量 (CO₂)、およびケミカル・フットプリント (Chemical Footprint; ChF) の4つの指標を用いた持続可能性指標による評価体系と評価方法を示している。

第3章では、2007～2016年の日本と中国のエネルギー・物質代謝に関して、持続可能性指標による評価と各指標間のトレードオフを評価している。その結果、TMR、EcoFとCO₂は建設資材による負荷が支配的になるが、CO₂では建設資材の他に水消費による負荷が影響することを示している。また、中国上海市に代表される経済成長段階にある都市では、建設構造物のストック財蓄積に伴う物質の直接投入と製造に伴う間接的な負荷が支配的かつ増加傾向にあることを明らかにしている。一方、日本のように高度経済成長を経て成熟した都市地域では比較的、新規の建設需要が少ないことから、持続可能性指標値は相対的に小さい傾向となる結果を得ている。特にChFが減少傾向にあり、自動車等の排出ガスに多く含まれるVOCsの低減で化学物質負荷の削減効果が出ていることを示している。

第4章では、日本の2050年に向けたエネルギーミックスシナリオに対して、再生可能エネルギーの新規建設に伴う直接的・間接的な環境影響を、国立環境研究所による2050年での再生可能エネルギー発電量に関するシナリオをもとに持続可能性指標を用いて評価した結果、洋上風力発電設備に関する直接的・間接的な環境負荷が大きくなり、EcoFおよびCO₂では鉄鋼資源の新規投入による負荷が支配的になることを示している。TMRおよびChFでは、洋上風力発電の電気ケーブルを主とした銅とアルミニウムの資材投入に伴って間接的な環境負荷が大部分を占めることを明らかにしている。洋上風力発電の建設に伴う負荷を低減させる対策として電力ケーブル材料を銅からアルミニウムに変更する効果を検証しており、TMRは0.3倍まで減少できたが、ChFは1.4倍の増加となることを示している。この結果から、資源負荷を捉えるTMRの観点からはアルミニウムへの代替は環境影響を低減させるが、化学物質負荷の側面からみると逆に地球環境負荷を増加させる可能性が示唆され、トレードオフ関係の存在を明らかにしている。

第5章では、日本の産業部門での脱炭素化施策に対する持続可能性ポテンシャルを評価している。日本の産業部門からのCO₂排出量の約40%を占める鉄鋼業を対象として、脱炭素化施策のひとつである電気炉のシェア拡大による持続可能性指標への影響を通じて、2019年比で2030年には、TMR、EcoF、CO₂は0.63～0.67まで低減の一方で、ChFは2019年とほぼ変化しないことを示している。電炉法のシェア拡大に伴う電力消費量の増加に対して、再生可能エネルギー比率の向上で、持続可能性指標値の低減を定量的に明らかにしている。

以上のように、本論文は産業領域中でも鉄鋼業を対象に脱炭素方策を導入し対策の効果を多面的な評価することで有用な知見を提供している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。