

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

ゼロカーボン社会に向かう
産業構造の変化例

－拡張型産業連関表の適用－

令和 2 年 3 月

Changes of Industrial Structure towards Zero Carbon Society:
Application of Extended Input-output Table

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2019-PP-14

概要

ゼロカーボン社会では、再生可能エネルギーが導入され、電気自動車が広く普及するなど多くの変化が起こる。低炭素社会戦略センターが行った再生可能エネルギー評価の結果を活用して、産業連関分析により、これらの変化が社会経済と環境負荷に与える影響を定量的に分析する手法を開発した。まず公表されている産業連関表に再生可能エネルギーを新たに追加した拡張型産業連関表を作成し、産業部門別の CO₂ 排出量を拡張型産業連関表に関連付けた CO₂ 排出係数表を作成した。次いで低炭素社会戦略センターが評価した再生可能エネルギーの発電コストと材料使用量に基づいたゼロカーボン電源システムの計算結果を含め、将来起こると考えられる変化を与えて産業連関分析を行った。その結果から国内総生産 GDP と CO₂ 排出量を計算した。

本手法によって GDP の成長と CO₂ 排出 80%削減が両立するという計算結果例が得られた。本手法を用いれば、様々な変化を与えて産業連関分析を行うことにより明るく豊かなゼロカーボン社会実現のシナリオを示すことができる。

Summary

Many changes will occur in a zero-carbon society, such as the introduction of renewable energy and the widespread of electric vehicles. Utilizing the evaluation results of renewable energy conducted by Center for Low Carbon Society Strategy, the method was developed to quantitatively analyze the impact of these changes on the economy and environment through input-output analysis. First, the extended input-output table was created by adding renewable energy to the published input-output table, and a CO₂ emission factor table was created by associating CO₂ emissions by industrial sector with the extended input-output table. Next, the input-output analysis was conducted by giving changes including the results of the zero-carbon power supply system based on the power generation cost and the materials of renewable energy evaluated by Center for Low Carbon Society Strategy. From the results, Gross Domestic Product GDP and CO₂ emissions were calculated.

The calculation result was obtained in which both GDP growth and 80% reduction of CO₂ emission were compatible by this method. It is possible to show a scenario of realizing a bright zero-carbon society by conducting input-output analysis with various changes.

目次

概要

1. はじめに 1

 1.1 ゼロカーボンに向かう定量的社会像 1

 1.2 産業連関分析を用いた手法 1

2. 計算手順 1

 2.1 拡張型産業連関表 1

 2.2 CO₂排出係数 2

 2.3 産業構造の変化 3

 2.4 GDP と CO₂排出量 3

3. 計算例 3

 3.1 変化の概要 3

 3.2 計算結果 5

4. まとめ 6

5. 政策立案のための提案 6

参考文献 7

1. はじめに

1.1 ゼロカーボンに向かう定量的社会像

地球環境活動の目標が、低炭素から脱炭素へ移っているのが世界の趨勢であり、本提案書でも“低炭素社会”に替わり“ゼロカーボン（以下、ZC）社会”の実現を目標とする。

ZC 社会でのエネルギー源は大部分が ZC 電源になる。その変化の下で、明るく豊かな ZC 社会に向かう道筋を明らかにすることが重要である。そのために、2050 年での産業構造変化、GDP、CO₂ 排出量の関係を明らかにすることを目的に、低炭素社会戦略センター（以下、LCS）で得られている ZC 電源の供給可能量と経済性データなどを用い、産業連関分析による新しい手法を開発する。

1.2 産業連関分析を用いた手法

LCS はプロセス設計に基づいて様々な再生可能エネルギーの発電コストと材料使用量などを評価した[1-7]。加えて、再生可能エネルギーの発電コストの LCS 評価結果を用いて 2050 年低炭素電源システムを計算した[8]。

本提案書では、明るく豊かな ZC 社会を実現するシナリオの定量的指標として国内総生産 GDP と CO₂ 排出量を取り上げる。公表されている産業連関表に再生可能エネルギーを新たに追加した拡張型産業連関表を作成し、再生可能エネルギーに関する LCS 評価結果から、新設される再生可能エネルギーの投入係数を与える。拡張型産業連関表に関連付けて CO₂ 排出量を求め、部門別、財サービス別の CO₂ 排出係数を計算する。2050 年低炭素電源システムの発電量の計算結果を用いた ZC 電源を含め、将来起こると考えられる変化を与えて産業連関分析を行うことにより、産業連関分析の計算結果および CO₂ 排出係数から、将来社会の GDP と CO₂ 排出量を計算することができる。

2. 計算手順

2.1 拡張型産業連関表

CO₂ 排出削減目標 80% は 2013 年を基準としているので、産業連関表として 2013 年延長産業連関表（経済産業省）[9]を用いた。

2013 年延長産業連関表では、事業用電力は 1 財、発電部門は原子力発電、火力発電、水力発電他の 3 部門だけであるが、ZC 電源システムを適用した産業連関分析を行うため、発電部門として太陽光発電、風力発電（陸上）、地熱発電、木質バイオマス発電、蓄電システム発電、および関連部門として太陽光モジュール、蓄電システム、電気自動車を新たに加え、全 138 部門とする拡張型産業連関表を作成した。なお 2013 年延長産業連関表には社会資本等減耗分が控除されているため、2011 年産業連関表（総務省）[10]を参考に補正を行った。

具体的には、図 1 に示すように表計算ソフトで稼働する VBA プログラム 1 を作成し、2013 年延長産業連関表から 2013 年投入表を生成する。次に産業部門を 138 とする部門表を作成する。この 138 部門表と 2013 年投入表を用い、VBA プログラム 2 を作成して 2013 年 138 部門拡張型産業連関表を作成する。

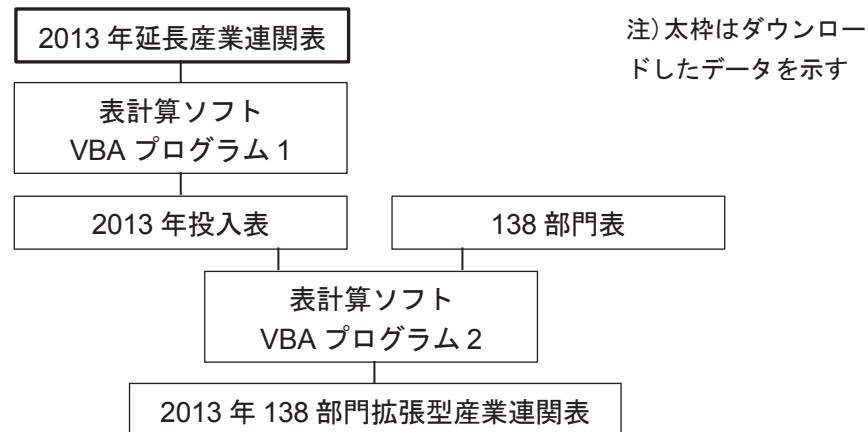


図1 2013 年 138 部門拡張型産業連関表の作成フロー図

2.2 CO₂ 排出係数

産業部門別 CO₂ 排出量データについては LCS 提案書[11]に手順が提案されているが、ここでは産業連関表の産業部門に合わせて CO₂ 排出量データがまとめられている環境負荷原単位データブック (2011 年)[12]を用いることとした。

環境負荷原単位データブックに示された産業部門を 138 に集約し、エネルギー起源と非エネルギー起源の CO₂ 排出量 (t-CO₂) を集計した。並行して 2011 年産業連関表の投入表 (総務省) から 138 部門拡張型産業連関表 (百万円) を作成した。この 2 表から財・サービスに対応する産業部門と家計の CO₂ 排出係数表 (t-CO₂/百万円) を求めた。

実際には、図 2 のように表計算ソフトで稼働する VBA プログラム 3 を作成し、環境負荷原単位データブックから 2011 年 CO₂ 排出量表 (投入表に相当) を生成し、138 部門表を用いて 2011 年 138 部門 CO₂ 排出量表を作成する。2011 年投入表と 138 部門表から 2011 年 138 部門拡張型産業連関表を作成する。この 2 表から 2011 年 138 部門拡張型 CO₂ 排出係数表を求める。CO₂ 排出係数は将来も変わらないものと仮定している。

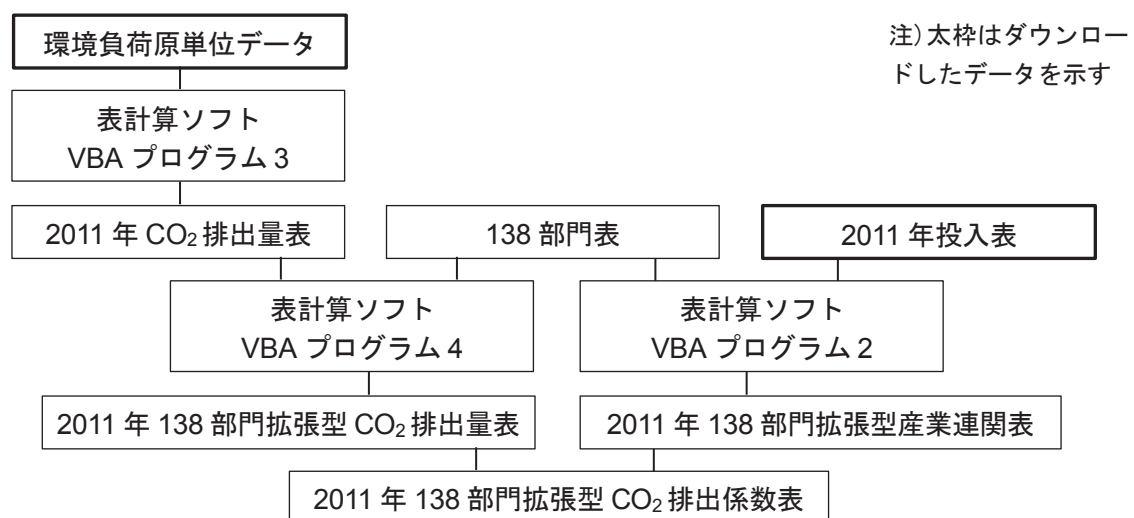


図2 2011 年 138 部門拡張型 CO₂ 排出係数表の作成フロー図

2.3 産業構造の変化

作成した 2013 年 138 部門拡張型産業連関表に様々な変化を与え産業連関分析を行った。2050 年の ZC 社会に向けて考えられる変化例を表 1 に示した。

表 1 産業連関分析に与える変化の例

記号	項目
a	ZC 電源システム(電力需要は 2013 年と同じ、発電部門の CO ₂ 排出ゼロ)
b	電化による都市ガスの削減
c	電化による灯油、LP ガスの削減
d	電気自動車 (EV) 100% 普及、ライドシェア (RS) 50% 普及
e	リサイクル材の活用により鉄鉄と転炉粗鋼の生産 50% 減、電炉粗鋼の生産 50% 増
f	リサイクルにより化学製品の生産 50% 減
g	セメント物性の向上によりセメント製品の生産 70% 減
h	汎用機械、産業機械の輸出 2 倍
i	訪日旅行者により宿泊サービス 10 兆円増、飲食サービス 6 兆円増、医療費 30 兆円増
j	情報サービス産業の生産 20 兆円増、家計の教育需要 10 兆円増

2.4 GDP と CO₂ 排出量

表計算ソフトの関数を利用して、(1)式に示す行列により、国内最終需要、輸出、投入係数、輸入係数に表 1 の変化を与え、国内生産額と中間投入額を計算する。

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \mathbf{M})\mathbf{A})^{-1}((\mathbf{I} - \mathbf{M})\mathbf{F} + \mathbf{E}) \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{X}$ ：国内生産額、 $\mathbf{I}$ ：単位行列、 $\mathbf{M}$ ：輸入係数の対角行列、 $\mathbf{A}$ ：投入係数行列、 $\mathbf{F}$ ：国内最終需要額、 $\mathbf{E}$ ：輸出額である。

計算された産業連関表から(2)式により GDP を計算した。

$$\text{GDP} = \text{国内最終需要} + \text{輸出} - \text{輸入} \quad (2)$$

2.2 項で求めた 2011 年 138 部門拡張型 CO₂ 排出係数を乗じて CO₂ 排出量を計算した。

3. 計算例

2050 年の経済社会に与える影響を産業連関分析で計算するには、どのような変化を与えるかが重要である。例として、社会経済と環境負荷に大きな影響を与えられとされる 10 項目の具体的な変化を需要部門と投入係数表に分けて示し、最後に産業連関分析の結果を示す。

3.1 変化の概要

a ZC 電源システム

再生可能エネルギーの発電コストの LCS 評価結果を用いて、“電力需要は 2013 年と同じ、発電部門の CO₂ 排出量ゼロ、慣性力 25% 以上”という条件で計算された ZC 電源システムの結果を産業連関分析に与える変化とした。

新設する再生可能エネルギーの投入係数は水本ら[13]の方法を参考とした。まず類似部門を選定した。例えば太陽光発電は燃料不要であるので水力発電を類似部門とした。次いで素材、中間財、エネルギーについては LCS 評価結果によって求めた。サービス財と付加価値については、類似部門の素材、中間財、エネルギーの投入額に対するサービス財、付加価値の投入額の比から求めた。このようにして再生可能エネルギーの投入係数を新たに導入した。需要部門では、家計消費と家計外消費の電力需要額を ZC 電源システム計算結果に従って変更した。電力価格は LCS 発

電コストの1.1倍とした。

b 都市ガス

電化が進み、都市ガス需要がゼロとなり、その代替として電力需要が増加するものとした。

2013年の都市ガス需要は、家計453PJ、産業部門1,082PJである[14]。都市ガスの熱効率を50%として電力需要を計算し、10%省エネが行われるとした。需要部門と投入係数表で、都市ガスの供給をゼロとし、電力需要を増加させた。

c 灯油、LP ガス

電化が進み、灯油需要がゼロ、家計のLP ガス需要もゼロとなり、その代替として電力需要が増加するものとした。

2013年の国内全体の灯油需要量は $17.695 \times 10^9 \text{L}$ である[14]。灯油発熱量を36.5MJ/Lとし、家計と産業部門の灯油需要は、灯油需要額に比例すると仮定して、家計302PJ、産業部門344PJとした。灯油の熱効率を50%として電力需要を計算した。併せて10%省エネが行われるとした。

2013年の家計のLP ガス需要量は6,631ktである[14]。LP ガス発熱量を50.2MJ/kgとし、LP ガスの熱効率を50%として電力需要を計算した。併せて10%省エネが行われるとした。

d 電気自動車100%普及、ライドシェア50%普及

ガソリン車に替わって電気自動車(EV)が100%普及し、シェアリングエコノミーとしてライドシェア(RS)が50%普及するとした。

需要部門の家計支出においては、ガソリン車の需要額をゼロとし、RS50%普及のためEV車の需要額をガソリン車の1/2とした。石油製品の需要額からガソリンと軽油の需要額を差し引き、電力需要を増加させた。2013年の自家用車エネルギー消費は1,770PJである[14]。ガソリンエンジン効率を20%、EV車蓄電池ロス10%、モーター効率を80%として電力需要を計算した。

輸出では、乗用車(ガソリン)の輸出額8.014兆円を0兆円とし、乗用車(EV)の輸出額を0兆円から8.014兆円に増加させた。輸入では、乗用車(ガソリン)の輸入係数0.144を0とし、乗用車(EV)の輸入係数を0から0.144とした。国内資本形成についても同様の变化を与えた。

投入係数表では、各産業部門の石油製品供給分からガソリンと軽油の供給分を差し引き、電力需要を増加させた。

e 鉄鋼リサイクル

鋼材のリサイクルが進み、粗鋼(電炉)の生産は増加するが、銑鉄と粗鋼(転炉)の生産、および鋼材の輸出は減少するものとした。

投入係数表で、銑鉄と粗鋼(転炉)の供給を50%減少させ、粗鋼(電炉)の供給を50%増加させた。省エネにより粗鋼(電炉)の電力需要を10%減少させた。需要部門で、鋼材の輸出額を50%減少させた。

f 化学製品

リサイクルが進むものとし、投入係数表で化学製品の供給を50%減少させた。また省エネにより化学製品の電力需要を30%減少させた。

g セメント製品

ポルトランドセメントより高強度なセメントが開発され、セメント製品の供給量が減少するものとし、投入係数表でセメント製品の供給を70%減少させた。

h 汎用機械と産業用機械の輸出

発展途上国向けに汎用機械と産業用機械の輸出が増加するものとし、需要部門で汎用機械と産業用機械の輸出額を2倍とした。省エネが行われ、投入係数表でそれぞれの電力需要を20%減少させた。

i 訪日旅行者、医療費の増加

訪日外国人旅行者の増加により、宿泊サービスと飲食サービスの輸出、および外国人の健康検査受診が増加するものとした。高齢化に伴い医療費が増加するものとした。

需要部門で、宿泊サービスの輸出額を10兆円、飲食サービスの輸出額を6兆円、医療の輸出額を2兆円増加させた。また、家計と政府の医療支出額をそれぞれ6兆円、24兆円増加させた。

投入係数表で、省エネにより宿泊、飲食、医療の電力需要を20%減少させた。

j 情報サービス産業

情報サービス産業のソフトウェア売上げと電子計算機売上げが増加し、家計の教育支出が増加するものとし、需要部門で情報サービスと電子計算機の国内資本形成額を、それぞれ20兆円、2兆円増加させ、家計の教育需要額を10兆円増加させた。

情報サービス製品の供給と情報サービス産業の電力需要が増加するものとし、投入係数表で情報サービスの供給を3倍とし、情報サービス産業の電力需要を5倍とした。

3.2 計算結果

a～jの10項目の変化を与えて産業連関分析を行った結果を表2に示す。

表2 産業連関分析の計算結果

ケース	項目 記号は表1参照	GDP (兆円)	GDP 基準差 (兆円)	輸出 (兆円)	輸入 (兆円)	CO ₂ 排出量 (Mt-CO ₂)	CO ₂ 基準差 (Mt-CO ₂)	CO ₂ 削減率 (%)	電力 需要 (TWh)
0	2013(基準)	503	0	77	92	1,311	0	0	982
1	a ZC 電源	510	7	77	84	733	-578	44	1,018
2	a+b 都市ガス	511	8	77	82	653	-658	50	1,216
3	a+c 灯油 LPG	511	8	77	83	688	-623	48	1,149
4	a+d EV 車, RS	513	10	77	76	482	-829	63	1,295
5	a+e 鉄鋼	510	6	76	83	668	-643	49	1,013
6	a+f 化学製品	510	7	75	80	720	-591	45	997
7	a+g セメント	510	7	77	84	677	-634	48	1,012
8	a+h 機械	517	13	85	85	745	-566	43	1,026
9	a+i 訪日旅行者	554	51	95	89	785	-526	40	1,063
10	a+j 情報	538	35	77	88	732	-579	44	1,064
11	統合(a～j)	595	92	99	74	242	-1,069	82	1,752

表2に示すケース0は基準とする2013年の値である。したがってGDPとCO₂排出量の基準との差はゼロである。ケース1はZC電源システムの計算結果であり、ケース2～10はZC電源と各項目を組み合わせた計算結果を示す。ケース11は表1に挙げた全ての変化を組み合わせた計算結果であり、GDPは595兆円、CO₂削減率は82%となった。

GDPの増大には、h 汎用機械と産業用機械の輸出、i 訪日旅行者と医療費、j 情報サービス産業が寄与し、CO₂削減には、b 都市ガス、d 電気自動車、e 鉄鋼、g セメントが寄与することが分かった。都市ガス、灯油、ガソリンなどの代替として電力需要は増加し、1,752TWhとなった。この量は現在の電力需要の約1.8倍であり、この程度の供給は可能である [15]。

4. まとめ

LCSによる再生可能エネルギーの発電コストと材料使用量の評価結果を用いて、公表されている産業連関表に再生可能エネルギーを追加した拡張型産業連関表を作成した。LCSによるZC電源システム[8]の発電量の計算結果を用いて産業連関分析を行い、GDPとCO₂排出量を計算した。この手法により将来のZC社会に向けた定量的なシナリオを示すことができた。

計算例（表2、ケース11）に示すように、GDP600兆円とCO₂削減率80%は両立できることが分かった。一方で、都市ガス、灯油、ガソリンなどの代替のための電力需要は1,750TWh程度まで増加した。産業構造の変化により、この電力需要量がさらに増大する可能性があるため、その抑制が必要になるであろう。

本計算例では、蓄電系に蓄電池を組み入れたが、慣性力電源として重要な揚水式水力発電や水素（アンモニア）ガスタービンも組み入れておらず、今後、拡張型産業連関表の部門細分化が必要である。再生可能エネルギーに関するLCS技術評価の更新に伴い産業部門の投入係数を修正すること、および新技術による産業構造の変化を取り込むことを継続する必要がある。

本手法を用いることにより、将来の産業構造変化のケーススタディができるとともに、明るく豊かなZC社会の実現への道筋を描くことができる。

5. 政策立案のための提案

ZC社会の実現のため、現在CO₂排出量の約50%を占める電力部門において再生可能エネルギーの導入を推し進め、ZC電源システムを構築する必要がある。

ZC電源システムの導入が社会経済、環境負荷に与える影響を明らかにするために、本手法を用いてZC社会実現に向けたシナリオを示す必要がある。

再生可能エネルギーのポテンシャル拡大のため、太陽光発電と風力発電だけでなくその他の再生可能エネルギーのポテンシャルを増加させることを目的とした調査と規制緩和が必要である。

参考文献

- [1] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “太陽光発電システム (Vol.4) – 定量的技術シナリオに基づく太陽電池モジュールの製造コスト低下要因分析–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2017年3月.
- [2] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “蓄電池システム (Vol.6) – リチウムイオン電池のエネルギー密度向上の可能性と研究課題–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2019年2月.
- [3] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “風力発電システム (Vol.1) – 陸上風力発電システムの経済性評価–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2018年1月.
- [4] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “中小水力発電 (Vol.2) – 開発可能な発電量電力量と発電原価、設備利用率との関係–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2015年3月.
- [5] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “地熱発電 (Vol.1) – 発電量拡大に向けた設計・評価–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2015年3月.
- [6] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “木質バイオマスエネルギーポテンシャルの地域分布 (Vol.2) – 不均一に分布する人工林の伐採作業のコスト–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2019年2月.
- [7] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “アンモニア直接燃焼によるガスタービンシステムの提言”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2018年12月.
- [8] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術開発編, “低炭素電源システムの安定化と技術・経済性評価 (Vol.3) – 2050年の低炭素電源システムの技術開発課題–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2019年3月.
- [9] 経済産業省, https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result/base_h23/h23_h25uio01n.xlsx, アクセス2019年12月20日.
- [10] 総務省, <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000030137963&fileKind=0>, アクセス2019年12月20日.
- [11] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, 技術普及編, “エネルギー・環境分析に資する産業部門別エネルギー消費・CO₂排出量データの作成”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2018年3月.
- [12] 南斉規介, 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID), 国立研究開発法人国立環境研究所, <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index.html>, アクセス2019年12月20日.
- [13] 水本祐樹, 内山洋司, 岡島敬一, “ハイブリッド産業連関表を用いた太陽光発電システム導入の経済・環境分析”, *Journal of Japan Society of Energy and Resources*, Vol.34, No.5, 2013.
- [14] 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット, “EDMC/エネルギー・経済統計要覧”, 2015.
- [15] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “ゼロカーボン電源システムの安定化と技術・経済性評価 (Vol.1) – 安定的かつ経済的なゼロカーボン電力供給のための技術開発課題–”, 2020年3月.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

ゼロカーボン社会に向かう産業構造の変化例 －拡張型産業連関表の適用－

令和2年3月

Changes of Industrial Structure towards Zero Carbon Society: Application of Extended Input-output Table

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2020.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 主任研究員 石川 環 (ISHIKAWA Tamaki)
上席研究員 西川 浩 (NISHIKAWA Hiroshi)
主任研究員 浅田 龍造 (ASADA Ryuzo)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2020 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
