

Title	太陽光発電のユーザーコストとCO ₂ 削減効果： 大学におけるヒューマンセキュリティへの具体的取組みに向けて
Sub Title	
Author	山本, 悠介(Yamamoto, Yūsuke) 中野, 諭(Nakano, Satoshi) 小島, 朋之(Kojima, Tomoyuki) 吉岡, 完治(Yoshioka, Kanji)
Publisher	慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
Publication year	2004
Jtitle	総合政策学ワーキングペーパーシリーズ (Policy and governance working paper series). No.24
JaLC DOI	
Abstract	研究・教育集団としての大学は、ヒューマンセキュリティについても研究成果の具体的実践の先導拠点にならなければならない。本報告はこうした観点から、環境汚染の原因の1つであるCO ₂ 排出の削減の具体的なモデルとして、太陽電池の導入に向けた基礎データを整理し、モデル作成の準備を試みる。具体的には、慶應義塾大学キャンパスのデータを用いた屋根置き型太陽電池導入効果分析を行った。分析はユーザーコストの理論を用いた費用分析と、環境分析用産業連関表を用いたCO ₂ 排出削減効果分析の2つを行っている。この結果、現時点では太陽電池導入の費用は大きいですが、屋根の7割の面積に太陽電池を設置した場合で、既存発電に比べ6.7%のCO ₂ 削減効果を持つことが分かった。
Notes	21世紀COEプログラム「日本・アジアにおける総合政策学先導拠点」
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=BA76859882-00000024-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

太陽光発電のユーザーコストと CO₂ 削減効果： 大学におけるヒューマンセキュリティへの具体的取組みに向けて

山本悠介*・中野諭*・小島朋之**・吉岡完治***

2004年3月

21世紀COEプログラム

「日本・アジアにおける総合政策学先導拠点」

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

* 慶應義塾大学大学院 商学研究科後期博士課程 (yu-ske@mtj.biglobe.ne.jp)

** 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科／総合政策学部 (tomoyuki@sfc.keio.ac.jp)

*** 慶應義塾大学産業研究所

太陽光発電のユーザーコストと CO₂ 削減効果：
大学におけるヒューマンセキュリティへの具体的取組みに向けて

山本悠介・中野諭・小島朋之・吉岡完治

【概要】

研究・教育集団としての大学は、ヒューマンセキュリティについても研究成果の具体的実践の先導拠点にならなければならない。本報告はこうした観点から、環境汚染の原因の1つである CO₂ 排出の削減の具体的モデルとして、太陽電池の導入に向けた基礎データを整理し、モデル作成の準備を試みる。具体的には、慶應義塾大学キャンパスのデータを用いた屋根置き型太陽電池導入効果分析を行った。分析はユーザーコストの理論を用いた費用分析と、環境分析用産業連関表を用いた CO₂ 排出削減効果分析の2つを行っている。この結果、現時点では太陽電池導入の費用は大きいですが、屋根の7割の面積に太陽電池を設置した場合で、既存発電に比べ6.7%の CO₂ 削減効果を持つことが分かった。

キーワード：ヒューマンセキュリティ、太陽電池、CO₂ 削減、環境分析用産業連関表

1 はじめに

温暖化ガスに関する京都会議以来、CO₂削減が強く求められてきている。日本政府は議定書発効のために各国に働きかけるとともに柔軟化措置等を通じたCO₂削減を模索しており、また一方、産業界では経団連を中心に自主行動計画を打ち出して省エネ、代替エネルギー利用等を通じたCO₂削減を目指している。

我々研究者は、これらの計画が1990年比6%という数値目標を達成できるのかどうかという問題等について活発に議論している。しかし、我々自身の研究活動が引き起こすCO₂排出に関してはあまりにも無関心過ぎるのではないだろうか。研究活動もCO₂を排出しているのだから、自らの活動を改善しCO₂排出を抑えるということも忘れてはならない。そして研究活動から生じるCO₂排出の削減について、実現が容易なアクションプランに通じる方策を模索すべきであろう。こうした姿勢は、ヒューマンセキュリティを中心課題に掲げて、効果的な問題解決のガバナンス構築をめざす本COEの「総合政策学先導拠点」が共有しているところである。本研究は、ここに端を発している。

たとえば、我々が属している慶應義塾大学では、平成14年度に74.9GWhの電力を消費した。発電には多くの化石燃料の燃焼を伴うので慶應義塾大学の活動から生じるCO₂排出量も大きいといえる。このCO₂排出を削減するための方法を考えると、最も簡単で実現可能性が高いものとして、太陽光発電を利用する方法が考えられる。これまでも太陽光発電に関しては普及や効率等の研究が行われてきた。しかし、研究者は自分達自身の研究活動に必要な発電を太陽電池で行うためにはどの程度の規模が必要であるか、太陽電池を導入した場合にはどの程度のCO₂削減効果があるのかというようなことは考えてこなかった。そこで、ここでは身近で分かりやすい例として、慶應義塾大学キャンパスを事例として取り上げ、屋根置き型太陽電池導入の分析を行う。

太陽電池の導入は進んできているとはいえ、いまだ大規模な普及には至っていない。その原因はやはり費用の問題であろう。費用の問題を考える上では、これまでに研究されてきた資本のユーザーコストの理論を応用することができる。そこで以下ではユーザーコスト理論を応用した太陽電池導入の費用分析及び実際に太陽電池が導入された場合のCO₂削減効果分析を行う。

また、本研究では慶應義塾大学キャンパスのデータを用いた分析を踏まえたうえで、これを拡張し、日本の研究、教育機関全体、そして病院等の医療機関というCO₂排出削減に対して積極的な努力目標を持たない分野に関しての電力消費量、CO₂排出量及び太陽電池の導入の分析を行う。太陽電池の導入によってCO₂の排出削減が期待できるが、さらに研究、教育機関等の屋上はあまり有効利用されことなく放置されている現状を考えると、屋根置き型の太陽電池を導入することは資源の有効活用の面から見ても好ましいと考えられる。

以下第2章ではユーザーコストに関する理論の整理を行い、第3章では、実際に慶應義塾大学キャンパスのデータを用いたユーザーコストの推計及び電力購入の場合との費用比較を行う。また、第4章ではCO₂排出量推計のモデルを説明し、第5章では慶應義塾大学キャンパスデータを用いた、太陽電池導入のCO₂排出削減効果の推計を行う。次の第6章では、日本の教育・研究・医療機関に

おける電力消費量及びその発電から生じる CO₂ 排出量を概観し、太陽電池導入の CO₂ 排出削減効果の推計を行う。

図1 慶應義塾大学三田キャンパス校舎の屋上



2 投資財価格とユーザーコスト

本章では、以下で行うユーザーコスト推計の基礎となる理論の整理を行う。

Hall & Jorgenson (1967) の研究で示されたユーザーコストの導出は以下のとおりである。まず、t 期における投資財価格 $q(t)$ は以下の式で表される。

$$q(t) = \int_t^{\infty} e^{-r(s-t)} c(s) e^{-\delta(s-t)} ds \quad (1)$$

ここで、 r は時間割引率、 $c(s)$ は s 期のユーザーコスト、 δ は減価償却率である。これは、「投資財の価格」が「将来の収益を割り引いた価値」と一致するということを示している。これを t で微分すると以下の式が導かれる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial q(t)}{\partial t} &= -e^{-r(t-t)} c(t) e^{-\delta(t-t)} + r \int_t^{\infty} e^{-r(s-t)} c(s) e^{-\delta(s-t)} ds + \delta \int_t^{\infty} e^{-r(s-t)} c(s) e^{-\delta(s-t)} ds \\ &= -c(t) + q(t)(r + \delta) = \dot{q} \end{aligned} \quad (2)$$

これより、t 期における資本のユーザーコスト $c(t)$ は以下の式で表される。

$$c(t) = q(t) \left(r + \delta - \frac{\dot{q}}{q} \right) \quad (3)$$

また、吉川（1984）、吉岡（1989）では、 $q(t)$ 円の借入れを行って投資財を購入する場合を想定し、1 期後の収益と返済額が等しいという条件からユーザーコストが導かれるという説明がなされている。なぜなら、この条件が満たれないならば、利潤機会ないし損失が生じて裁定行動が起こるからである。たとえば、1 単位の投資財を価格 $q(t)$ 円で購入してレンタル市場に出し、 h 時間経過した後売却したとしよう。レンタル収入を $\rho(t)$ とすると、 h 期後の収益は $\rho(t) + (1 - \delta)q(t+h)$ であり、かかった元利支払いは $(1+r)q(t)$ なので、競争市場均衡においては

$$\rho(t) + (1 - \delta)q(t+h) = (1+r)q(t) \quad (4)$$

が成り立つ。ここで、 h がきわめてゼロに接近するケースを考えれば

$$\rho(t) = q(t) \left(r + \delta + \frac{\dot{q}}{q} \right) \quad (5)$$

となる。完全競争市場ではユーザーコストがこの収益と一致するので、(3) が導かれる。

3 太陽電池のユーザーコストの推計

t 期における資本のユーザーコスト $c(t)$ は (3) 式で表される。ここで $q(t)$ を 1kW 規模あたりの太陽電池価格、 $c(t)$ を電力 1kWh あたりのユーザーコストであるとすると、ユーザーコスト $c(t)$ が 1kWh の電力を購入した場合の費用 $R(t)$ を下回れば、太陽電池を用いて発電を行う費用の方が小さくなる。そこで、ここでは実際のデータと想定値をもとに太陽電池のユーザーコストの計算を行い、電力購入の場合との費用比較を行う。

まず、1kWh あたりのコストを計算するためには、太陽電池が年間に何 kWh の発電を行うことができるのかを考える必要がある。1kW の発電容量の太陽電池を最適傾斜角度¹⁾に置くと想定すると、日吉（横浜）における年間発電量は 1015.0kWh となる²⁾。これと同様の計算を日吉以外のキャンパ

1) ここでいう最適傾斜角度とは、太陽電池の角度を固定して設置した場合に年間で最大の発電量を達成できる角度のことを指している。

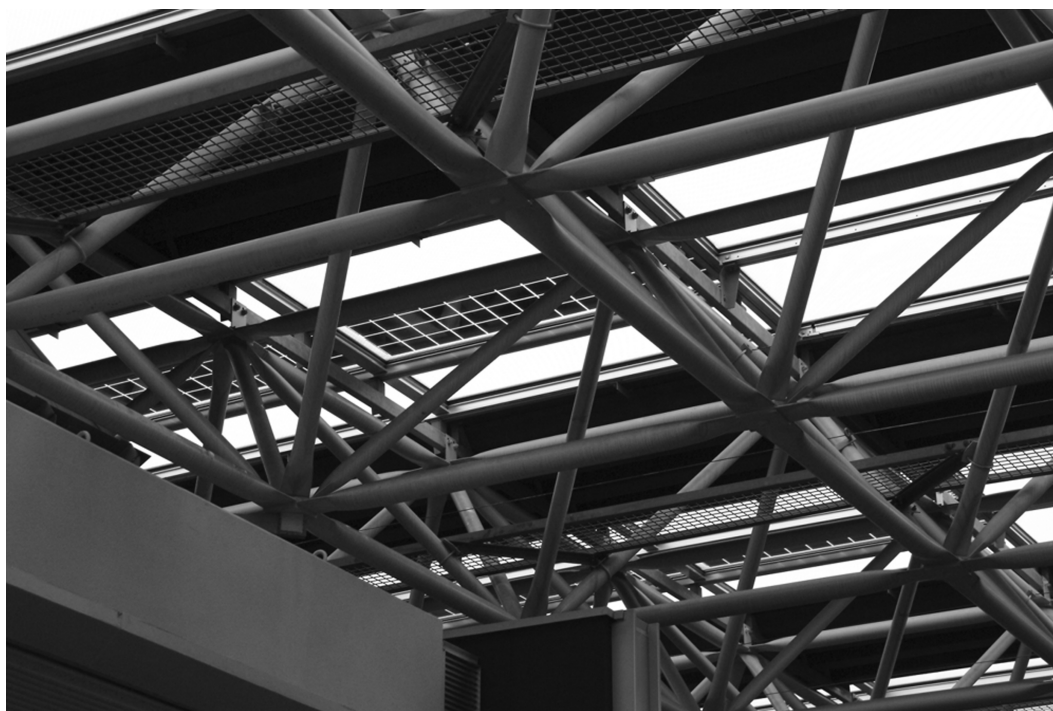
2) 慶應義塾大学日吉キャンパスには 10kW の容量を持つ太陽電池が設置してある。ここでは、この太陽電池の発電量について清水建設株式会社が行ったシミュレーションをもとに、使用するデータを変更して同様の計算を行っている。シミュレーションでは各月の発電量を以下の式で推計している。

$$\text{月間推計発電量 (kWh)} = \text{太陽電池容量 (kW)} \times \text{一日の合計日射量 (kWh/m}^2 \cdot \text{日)} \times \text{月の日数} \times \text{温度補正係数} \times \text{インバーター効率} \times \text{汚れ、配線抵抗等の損失補正係数}$$

ただし、ここでの太陽電池容量は「単位面積あたりの電池容量」、「発電効率」、「面積」を乗じた値である。また、各係数は以下のとおりである。温度補正係数は 3～5 月と 9～11 月が 0.85、6～8 月が 0.8、12～2 月が 0.9、インバーター効率は 0.9、汚れ、配線抵抗等の損失補正係数は 0.93 である。日射量（太陽電池を水平に設置した場合）は「全国日射関連データマップ」（新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO））のデータを用いている。推計の結果は発電容量 10kW で年間発電量は 9,031.82kWh となっている。

スについても行った。ただし、日吉キャンパス及び矢上、藤沢キャンパスは横浜の日射量で計算しているが、三田、信濃町キャンパスに関しては東京の日射量を用いた。推計結果は発電容量 1kW で 970.5kWh となる。各キャンパスの年間発電量を各キャンパスの平成 14 年度電力消費量をウェイトとして加重平均すると 990.1kWh となる。これより慶應義塾大学キャンパスでは平均で、太陽電池の容量 1kW あたり年間 990.1kWh の発電を行うと想定した。よって上記の $c(t)$ を 990.1 で除すことで、1kWh あたりのユーザーコストを計算することができる。

図 2 慶應義塾大学日吉キャンパスに設置されている太陽電池



その他の数値については以下の想定で計算を行った³⁾。

表 1：ユーザーコスト計算の想定条件

太陽電池価格(円/kW)	$q(t)$	640,000
割引率	r	0.01
減価償却率	δ	0.07
価格変化率	\dot{q}/q	-0.2

* 出展：三菱電機ホームページ、NEDO ホームページ

3) $q(t)$ は三菱電機ホームページ (<http://www.mitsubishielectric.co.jp/>) 記載の公証最大出力 100W の太陽電池価格 64,000 円より 1kW あたりに換算した値である。また、価格変化率は NEDO 太陽・風力技術開発室ホームページ (<http://www.nedo.go.jp/>) より得た『3kW 住宅用太陽光発電システムの価格推移』のデータをもとに計算している。

減価償却率 δ に関しては、耐用年数を 30 年とした場合の double-declining balance 型の減価償却を想定とした⁴⁾。

投資財価格変化率については、1993 年から 2000 年までの価格変化率を求め、その標本平均を使用した。数式は以下のとおりである。

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \ln \frac{q(t+1)}{q(t)} \quad (6)$$

以上の想定とデータをもとに計算を行うとユーザーコスト $c(t)$ は

$$c(t) = 640,000 \cdot (0.01 + 0.07 + 0.2) / 990.1 = 181.4 \quad (7)$$

となる。

また、1kWh の電力を購入した場合の費用 $R(t)$ については平成 14 年度の電力料金を電力消費量で除して⁵⁾

$$R(t) = \frac{1,087,546,450(\text{円})}{74,915,763(\text{kWh})} = 14.5 \quad (8)$$

と計算された。これより $R(t) < c(t)$ となり、太陽電池導入の費用の方が圧倒的に大きいことが分かる。しかし、もし太陽電池の価格が変化しない状況になれば、つまり \dot{q}/q がゼロになれば、ユーザーコストは電力購入の費用より大きいものの 51.7 円とかなり小さくなる。

次に、太陽電池購入費用の方が安くなる場合の投資財価格を計算すると

$$\rho(t) \leq \frac{R(t)}{(r + \delta + \frac{\dot{q}}{q}) / 990.1} = \frac{14.5}{(0.01 + 0.07 + 0.2) / 990.1} = 51,218.5 \quad (9)$$

となる。よって 1kW あたりの太陽電池価格が 51,219 円まで下がれば、太陽電池を導入する方が良い。

ここで、年率の価格変化率が -0.2 の一定率で毎年下落を続けると想定すると太陽電池の価格は図 3 のようになる。ただし、計算における他の係数も変化しないと仮定している。図の水平線は太陽電池導入の方が費用が小さくなる場合の太陽電池価格（導入可能価格）51,219 円を示している。これより 12 年後に導入すれば太陽電池導入の方が費用が小さいことが分かる⁶⁾。

しかし、10 年以上も価格変化を続けるというのは現実的でないかもしれない。例えば、2010 年までは -0.2 の一定率で毎年価格が下落するが、2010 年時点では定常状態となり、太陽電池価格はほとんど変化しないと想定すると、ユーザーコストは 10.8 円となり、電力購入よりも費用が安くなる。

4) 減価償却に関する議論を扱ったものとしては Hulten & Wykoff (1981) 等がある。Hulten & Wykoff (1981) では、 δ を定率の減価償却率とすると $\delta = \frac{R}{T}$ と書くことができると述べられている。ただし、 T は資産の平均寿命、 R は declining balance rate である。この式は R が 2 のとき double-declining balance 型となる。

5) これは慶應義塾大学の日吉、三田、矢上、信濃町キャンパスの合計である。

6) 何年後に太陽電池を導入するほうが費用が小さくなるかは

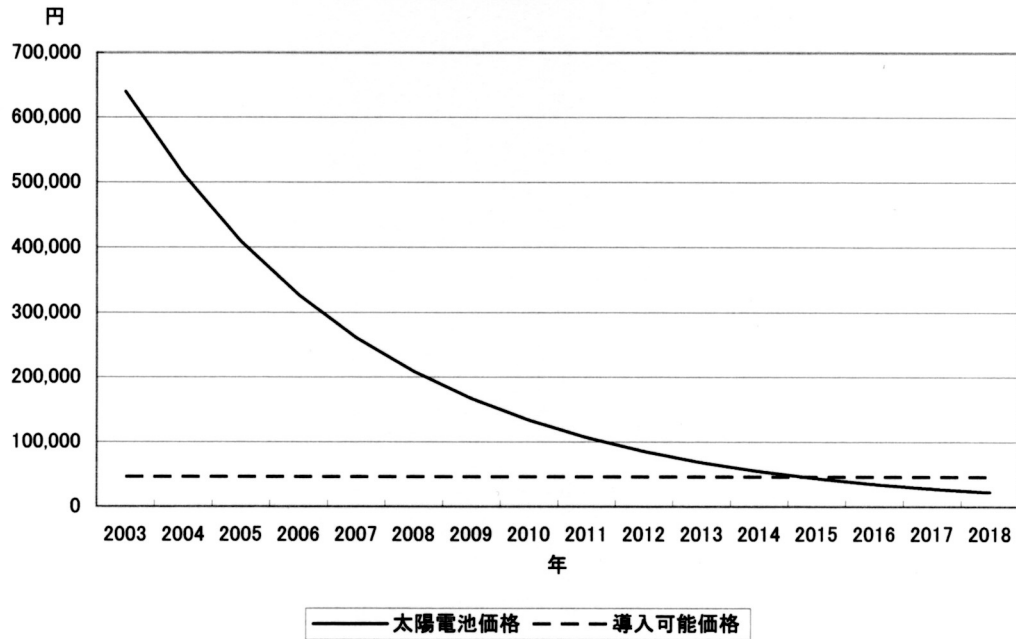
$$640,000 \cdot (1 - 0.2)^x = 51,218.5$$

の x をとけば良い。これより

$$x = \ln(51,218.5 / 640,000) / \ln(1 - 0.2) = 11.3$$

となり、12 年後に導入すれば良いことが分かる。

図3 太陽電池価格の予測



* 価格変化率は NEDO 太陽・風力技術開発室ホームページより得た『3kW 住宅用太陽光発電システムの価格推移』のデータをもとに計算している。

4 CO₂ 排出量推計のためのモデル

ここでは以下で行う CO₂ 排出量推計に用いるモデルについての説明を行う。推計に使用するデータは 1995 年の環境分析用産業連関表であり、推計モデルは産業連関オープンモデルの応用である。式は以下のとおりである

$$C = c^p (I - (I - \hat{M})A)^{-1} f \quad (10)$$

ただし、

- C** : 誘発CO₂排出量ベクトル
- I** : 単位行列
- \hat{M}** : 輸入係数 (各部門の輸入額/各部門の国内需要額) を対角化した行列
- A** : 投入係数行列
- c^p** : 各部門の生産額単位あたりCO₂排出量を対角化した行列
- f** : 最終需要ベクトル

である。

このモデルの f に電力消費額 (電力消費量×単価) を与えれば、その発電によって直接間接に誘発される CO₂ 排出量を求めることができる。また、f に太陽電池生産に必要な投資額を与えることで、その生産によって直接間接に誘発される CO₂ 排出量を求めることができる。

オープンモデルには誘発された生産を全て国内で行なうと想定するものもあるが、ここでは国産品の太陽電池を国内で生産すると想定するので(10)式のモデルを使用する。電力についても同様である。

5 慶應義塾大学キャンパスにおける太陽電池導入の効果

ここでは、慶應義塾大学キャンパスに屋根置き型太陽電池を導入する場合、どの程度のCO₂削減効果があるのかを推計する。以下では、まず既存の発電設備を使用した場合に慶應義塾大学キャンパスの電力消費からどの程度のCO₂が誘発されるのかを推計し、次にその電力分を発電できる規模の太陽電池生産からどの程度のCO₂は排出されるかを推計する。そして最後に両者を比較して太陽電池導入のCO₂削減効果を求める。

ただし、ここで考えなければいけないのは慶應義塾大学キャンパスにおける建築物の屋上面積である。全キャンパスの建築物の屋上面積は68,146m²であるが、たとえばこの7割の面積に設置可能であると想定して計算すると屋上に設置できる太陽電池の発電容量は5,565kWとなる⁷⁾。

しかし、慶應義塾大学全キャンパスの電力消費量74.9GWh分の発電を行うためには75,706kWの発電容量が必要である。つまり、屋上の7割の面積に太陽電池を設置可能であると想定すると、建築物の屋上を利用した太陽電池発電では全電力消費量の7.35%分の発電しか行うことが出来ない。以下では屋上の7割の面積に太陽電池を設置可能だと想定して推計を行っている。

5.1 慶應義塾大学キャンパスの電力消費より生じるCO₂排出量

上述のように、平成14年度において慶應義塾大学全キャンパスでは合計で74.9GWhの電力を消費した。ここでは、この消費電力分の発電を「既存の発電設備を用いて発電した場合」にどの程度のCO₂が排出されるのかを推計し、次にそのうち太陽電池でまかなえる分(屋上に設置できる分)の発電によるCO₂排出量を推計する。

まず、産業連関表を用いた推計を行うためには電力消費量を金額に変換する必要がある。この際使用した単価は1995年産業連関表「部門別品目別国内生産額表」記載の20.9983(円/kWh)である。推計の結果、74.9GWh分の発電から排出されるCO₂は36,721t-CO₂と推計された。これは1995年の日本のCO₂排出量の約13億2千万t-CO₂の0.003%程度大きさである。

また、屋上の7割の面積に太陽電池を設置する場合を考えると、その太陽電池の発電容量5,565kWでは年間の発電量は5.56GWhとなる⁸⁾。この発電量分のみの発電から排出されるCO₂を推計すると2,725t-CO₂となった。

7) この計算では3章で用いた三菱電機ホームページ記載のデータより発電容量1kWの太陽電池の面積は8.57m²として計算している。以下で太陽電池の発電容量を計算している場合も同様の方法で計算を行っている。

8) ここでは3章と同様に日吉、矢上、藤沢キャンパスでは太陽電池の発電容量1kWあたり年間970.5kWh、三田、信濃町キャンパスでは発電容量1kWあたり年間1015.1kWhの発電を行うと想定して計算している。

5.2 慶應義塾大学キャンパスに設置する太陽電池生産より生じる CO₂ 排出量

ここでは、上述した屋上に設置できる規模の太陽電池を生産する場合を考える。この太陽電池生産によって日本全国で直接間接を含めてどの程度の CO₂ が排出されるのかを推計した⁹⁾。

推計の結果、屋上の7割の面積に太陽電池を設置した場合を想定すると、誘発 CO₂ 排出量は 284t-CO₂ となった。

さらに建築物の屋上には設置しきれないが、全キャンパスの消費電力分を発電できる規模の太陽電池を設置する場合を考えると、太陽電池生産による誘発 CO₂ 排出量は 3,869t-CO₂ となった¹⁰⁾。

5.3 慶應義塾大学キャンパスにおける太陽電池導入による CO₂ 排出削減量

太陽電池を導入すれば、その分既存の発電設備を用いた発電が不必要になり、CO₂ 排出は抑制されるが、太陽電池を生産する際にも CO₂ は排出される。したがって、「既存設備を用いた発電より生じる CO₂ 排出量」から「太陽電池生産より生じる CO₂ 排出量（耐用年数を考慮）」を減じることで、太陽電池を導入した場合にどの程度 CO₂ 排出量が削減されるのかという純効果を計算することができる。

前節、前々節の結果より、慶應義塾大学キャンパスに太陽電池を導入する場合の CO₂ 削減効果は以下の表2のようになる。

表2：慶應義塾大学キャンパスにおける太陽電池導入の CO₂ 削減効果

	既存発電 によるCO ₂ 排出量 (a)	太陽電池導入 によるCO ₂ 排出減少量 (b)	太陽電池導入 によるCO ₂ 排出増加量 (c)	太陽電池導入 による純 CO ₂ 削減量 (d) =(b)-(c)	太陽電池 導入後の CO ₂ 排出量 (e) =(a)-(d)
ケース	t-CO ₂	t-CO ₂	t-CO ₂	t-CO ₂	t-CO ₂
屋上の7割の面積に 太陽電池を設置した場合	36,721	2,725	223	2,501	34,219
全消費電力を発電可能な規模 の太陽電池を設置した場合	36,721	36,721	3,869	32,852	3,869

1 列目が既存発電による CO₂ 排出量、2 列目が既存発電による CO₂ 排出量のうち太陽電池で代替できる分、つまり太陽電池導入によって減少する CO₂ の量である。また、3 列目は太陽電池生産による CO₂ 排出量、つまり太陽電池導入によって増加する CO₂ の量¹¹⁾ である。4 列目は 2 列目から 3 列目の値を減じた値、つまり太陽電池を導入することで減少する分から太陽電池導入のために増加する分を除いた純 CO₂ 排出削減量であり、5 列目は現在の（既存設備での）CO₂ 排出量から純 CO₂ 排

9) 使用したデータは『化学工学会 CO₂ 研究会：太陽光発電技術の評価Ⅱ』（1994）より得ている。投資額は 10MW 規模のデータであり、シリコンウェハ製造、セル化、モジュール化に分かれている。元データは 10MW 規模なので、投資額はこの比例倍で求めた。なお、耐用年数は上述のとおり 30 年としているので投資額を 30 で除している。

10) この規模の太陽電池を設置するには 648,987m² の面積が必要である。これは全キャンパスの建築物の屋上面積の約 10 倍の広さである。

11) ただし、前述のように耐用年数を考慮している。

出削減量を減じた値、つまり太陽電池を導入した場合の慶應義塾大学における年間 CO₂ 排出量である¹²⁾。

建築物の屋上の7割の面積に太陽電池を設置した場合の太陽電池導入の純 CO₂ 排出削減量は 2,440t-CO₂ であり、これは既存設備を用いた発電による CO₂ 排出量の 6.7%に当たる。

また、慶應義塾大学キャンパスの全消費電力を発電可能な規模の太陽電池を設置したとすると、その純 CO₂ 排出削減量は 32,852t-CO₂ であり、これは既存設備を用いた発電による CO₂ 排出量の 89.5%に相当する非常に大きな値である。

6 教育・研究・医療部門の電力消費量及び発電による誘発 CO₂ 排出量

これまでは、ケーススタディとして慶應義塾大学キャンパスを取り上げて検討してきたが、こうした分析及び CO₂ 削減の努力は日本全国の教育・研究機関等で行われるべきものであろう。そこで、ここでは CO₂ 削減の自主行動計画を持たない教育・研究機関及び医療機関に関して、それぞれの活動がどの程度の電力を消費し、その結果どの程度の CO₂ 排出を誘発しているのかを推計する。そして次に、太陽電池導入がどの程度の CO₂ 排出削減効果を持つのかを推計する。

6.1 教育・研究・医療部門の電力消費量及び発電による誘発 CO₂ 排出量

ここで教育・研究・医療関連部門として取り上げたのは産業連関表の基本分類のうち表3の表側に示した15部門である。ここでは「学校教育（国公立）」部門から「その他の教育訓練機関（産業）」までを「教育部門」、「自然科学研究機関（国公立）」部門から「人文科学研究機関（産業）」までを「研究部門」、「医療（国公立）」部門から「医療（医療法人等）」までを「医療部門」と分類している。

表3の第1列目に示したのは事業用電力消費量¹³⁾である。これをみると教育関連部門で1万3千GWh、研究関連部門で2千GWh、医療関連部門1万8千GWhの電力を消費しており、合計すると3万3千GWhとなる。これは1995年の最終需要を含む全部門の電力消費量合計（輸入を除く）76万6千GWhの4.34%にあたり、無視できない割合を占めていることが分かる。

表3の第2列目に示したのは第1列目に示した電力分を既存の発電設備で発電した場合に誘発される CO₂ 排出量である。第2列目をみると、教育関連部門で660万 t-CO₂、研究関連部門で105万 t-CO₂、医療関連部門で865万 t-CO₂ の CO₂ 排出を誘発しており、これらを合計すると1,631万 t-CO₂ となる。これは1995年の日本の CO₂ 排出量の約13億2千万 t-CO₂ の1.24%にあたる大きさである。

12) ここで考えているのは電力消費が誘発する CO₂ 排出量のみであり、他の要因による排出を含んだ年間 CO₂ 排出量という意味ではない。

13) これは『平成7年産業連関表』の物量表における教育・研究・医療部門の事業用電力消費量である。

表3：教育・研究・医療部門の電力消費量及び発電による誘発 CO₂ 排出量

	事業用電力消費量	電力による誘発CO ₂ 排出量
部門名	GWh	1000t-CO ₂
学校教育(国公立)	8,350	4,093
学校教育(私立)	2,047	1,003
社会教育(国公立)	1,818	891
社会教育(非営利)	314	154
その他の教育訓練機関(国公立)	635	311
その他の教育訓練機関(産業)	302	148
自然科学研究機関(国公立)	1,191	584
人文科学研究機関(国公立)	3	1
自然科学研究機関(非営利)	3	1
人文科学研究機関(非営利)	0	0
自然科学研究機関(産業)	938	460
人文科学研究機関(産業)	11	5
医療(国公立)	3,103	1,521
医療(公益法人等)	3,882	1,903
医療(医療法人等)	10,670	5,230
教育部門合計	13,466	6,600
研究部門合計	2,146	1,052
医療部門合計	17,655	8,654
総合計	33,267	16,306

* 出展：1995年産業関連表

6.2 教育・研究・医療部門に導入する太陽電池生産より生じる CO₂ 排出量

ここでは、前節でみた教育・研究・医療部門における電力消費量を満たす規模の太陽電池を生産する場合に、日本全国で直接間接を含めてどの程度の CO₂ が排出されるのかを推計した。全教育・研究・医療部門における建築物の屋上面積のデータは得られなかったため、全電力消費量をまかなう規模の太陽電池を設置するとして推計を行っている¹⁴⁾。

各部門の電力消費量を満たす規模の太陽電池生産による CO₂ 排出量は、教育部門では 71 万 t-CO₂、研究部門では 11 万 t-CO₂、医療部門では 93 万 t-CO₂ であり、これらを合計すると 175 万 t-CO₂ となる。

6.3 教育・研究・医療部門に導入する太陽電池生産より生じる CO₂ 排出量

以上の結果より、教育・研究・医療部門に太陽電池を導入する場合の CO₂ 削減効果は以下の表 4 のようになる。計算方法は 5.3 節と同じく、「既存設備を用いた発電による CO₂ 排出量」から「太陽

14) 使用したデータは 5.2 節と同じく『化学工学会 CO₂ 研究会：太陽光発電技術の評価Ⅱ』（1994）より得たものである。発電に関しては、東京の日射量を用いて計算を行っている。つまり、1kW の設備で 1 年間に 970.5kWh の発電を行うと想定して必要な投資規模を求め、10MW 規模に対する比例倍で投資額を求めた。なお、耐用年数は上述のとおり 30 年としているので投資額を 30 で除している。

電池生産による CO₂ 排出量（耐用年数を考慮）」を減じることで、太陽電池を導入した場合にどの程度 CO₂ 排出量が削減されるのかという純効果を計算している。推計結果は部門別にまとめた。なお、ここでは既存設備を用いた発電分全てを太陽電池で代替する場合を考えているので、太陽電池導入後の CO₂ 排出量は太陽電池導入によって増加する CO₂ 排出量（2 列目の値）と一致する。

表 4：教育・研究・医療部門における太陽電池導入の CO₂ 削減効果

	太陽電池導入 によるCO ₂ 排出減少量 (a)	太陽電池導入 によるCO ₂ 排出増加量 (b)	太陽電池導入 による純 CO ₂ 削減量 (c)
部門名	1000t-CO ₂	1000t-CO ₂	1000t-CO ₂
教育部門	6,600	709	5,891
研究部門	1,052	113	939
医療部門	8,654	930	7,724
3部門合計	16,306	1,752	14,554

太陽電池導入の純 CO₂ 排出削減量は 3 部門合計で 1,455 万 t-CO₂ となる。これは既存設備を用いた発電による CO₂ 排出量の 89.3% という非常に大きい割合を占めている。また、1995 年の日本の CO₂ 排出量の約 13 億 2 千万 t-CO₂ と比較してみると、約 11% の割合にあたり、太陽電池導入は非常に大きい効果を持つことが分かる。ただし、上述のようにこの推計では太陽電池を設置する面積を考慮していない点に注意が必要である。これだけの規模の太陽電池を設置するには 293.9km² の面積が必要である。

7 おわりに

本研究では、環境問題の研究者自身の環境負荷削減活動の効果分析の一例として、慶應義塾大学キャンパスのデータを使った太陽電池の導入費用及び CO₂ 削減効果の分析を行った。その結果分かったのは、現時点では太陽電池導入の費用は依然として高く、広範にわたる普及にいたるには 10 年以上かかるであろうということである。ただし、太陽電池の値下がり率が太陽電池導入のユーザーコストの大きな部分を占めているので、太陽電池の価格が横ばいとなればユーザーコストはかなり小さくなる。また、今回の推計では太陽電池の生産による CO₂ 排出量はかなり小さく、慶應義塾大学キャンパスに太陽電池導入を導入することで年間約 2 千 5 百 t-CO₂ の排出削減が見込まれる。また、建築物の屋上面積だけでは設置しきれないが、全キャンパスの電力消費量を発電できる規模の太陽電池を導入できたとするならば年間 3 万 7 千 t-CO₂ の排出削減効果が見込まれる。

また、本研究では、上述の慶應義塾大学キャンパスのケーススタディーの結果を拡張し、教育・研究・医療部門における太陽電池導入効果の推計も行った。精緻な推計ではないが、全国で東京とほぼ

同様の発電効率が得られるとし、太陽電池を設置するのに十分な面積があると想定すると、教育・研究・医療部門合計で年間約1千5百万t-CO₂の排出削減効果があると推計された。これは1995年の日本のCO₂排出量の約13億2千万t-CO₂の約1.1%にあたる非常に大きい値である。今後はさらに小さい面積で多くの発電を行うことができる太陽電池の開発が望まれよう。

ここでは太陽電池に注目し分析を行ったが、他にも教育・研究・医療部門で導入可能なCO₂排出削減技術は燃料電池等いろいろと考えられる。さらにこういった他の技術の分析を広く行うことが今後の課題である。

参考文献

- 化学工学会 CO₂ 研究会 (1994) 『太陽光発電技術の評価Ⅱ』。
- 慶應義塾大学産業研究所環境問題分析グループ (1996) 『環境分析用産業連関表』 Keio Economic Observatory Monograph Series no.7、慶應義塾大学産業研究所。
- 慶應義塾大学産業研究所環境問題分析グループ (2001) 『環境分析用産業連関表』慶應義塾大学出版会。
- 総務庁 (1999) 『平成7年産業連関表』財団法人全国統計協会連合会。
- 吉岡完治 (1989) 『日本の製造業・金融業の生産性分析』東洋経済新報社。
- 吉川洋 (1984) 『マクロ経済学研究』東京大学出版会。
- Hulten, C.R., Wykoff, F.C. (1981) 『The Measurement of Economic Depreciation』
Depreciation Inflation & The Taxation of Income from Capital, The Urban Institute Press, pp.81-125.
- Jorgenson, D.W. (1963) 『Capital Theory and Investment Behavior』 The American Economic Review, Vol.LIII, May, pp.247-259.

既刊「総合政策学ワーキングペーパー」一覧*

番号	著者	論文タイトル	刊行年月
1	小島朋之 岡部光明	総合政策学とは何か	2003年11月
2	Michio Umegaki	Human Security: Some Conceptual Issues for Policy Research	November 2003
3	藤井多希子 大江守之	東京圏郊外における高齢化と世代交代 —高齢者の安定居住に関する基礎的研究—	2003年11月
4	森平爽一郎	イベントリスクに対するデリバティブズ契約	2003年11月
5	香川敏幸 市川 顕	自然災害と地方政府のガバナンス ～1997年オーデル川大洪水の事例～	2003年12月
6	巖 網林 松崎 彩 嶋原美可子	地域エコシステムのマッピングとエコシステム サービスの評価 —地域環境ガバナンスのための GIS ツールの適用—	2003年12月
7	早見 均 和気洋子 吉岡完治 小島朋之	瀋陽市康平県における CDM (クリーン・デベロ プメント・メカニズム) の可能性と実践: ヒュー マンセキュリティに向けた日中政策協調の試み	2003年12月
8	白井早由里	欧州の通貨統合と金融・財政政策の収斂 —ヒューマンセキュリティと政策対応—	2003年12月
9	岡部光明	金融市場の世界的統合と政策運営 —総合政策学の視点から—	2003年12月
10	駒井正晶	PFI 事業の事業者選定における価格と質の評価方 法への総合政策学的接近	2003年12月
11	小暮厚之	生命表とノンパラメトリック回帰分析 —我が国生保標準生命表における補整の考察—	2004年1月
12	Lynn Thiesmeyer	Human Insecurity and Development Policy in Asia: Land, Food, Work and HIV in Rural Communities in Thailand	January 2004
13	中野 諭 鄭 雨宗 王 雪萍	北東アジアにおけるヒューマンセキュリティを めぐる多国間政策協調の試み: 日中韓三国間の CDM プロジェクトの可能性	2004年1月

* 各ワーキングペーパーは、当 COE プログラムのウェブサイトに掲載されており、そこから PDF 形式で全文ダウンロード可能である (但し一部の例外を除く)。ワーキングペーパー冊子版の入手を希望される場合は、電子メールで当プログラムに連絡されたい (coe2-sec@sfc.keio.ac.jp)。また当プログラムに様々なかたちで関係する研究者は、その研究成果を積極的に投稿されんことを期待する (原稿ファイルの送信先: coe2-wp@sfc.keio.ac.jp)。なお、論文の執筆ならびに投稿の要領は、当プログラムのウェブサイトに掲載されている。
当プログラムのウェブサイト <<http://coe21-policy.sfc.keio.ac.jp/>>

14	吉岡完治 小島朋之 中野 諭 早見 均 桜本 光 和氣洋子	瀋陽市康平県における植林活動の実践： ヒューマンセキュリティの日中政策協調	2004年2月
15	Yoshika Sekine, Zhi-Ming YANG and Xue-Ping WANG	Air Quality Watch in Inland China for Human Security	February 2004
16	Patcharawalai Wongboonsin	Human Security and Transnational Migration: The Case in Thailand	February 2004
17	Mitsuaki Okabe	The Financial System and Corporate Governance in Japan	February 2004
18	Isao Yanagimachi	Chaebol Reform and Corporate Governance in Korea	February 2004
19	小川美香子 梅嶋真樹 國領二郎	コンシューマー・エンパワーメント技術 としての RFID —日本におけるその展開—	2004年2月
20	林 幹人 國領二郎	オープンソース・ソフトウェアの開発メカニズム —基幹技術開示によるヒューマンセキュリティー—	2004年2月
21	杉原 亨 國領二郎	学生能力を可視化させる新しい指標開発 —経過報告—	2004年2月
22	秋山美紀	診療情報の電子化、情報共有と個人情報保護に ついての考察—ヒューマンセキュリティーを実現 する制度設計に向けて—	2004年3月
23	飯盛義徳	地域活性化におけるエージェントの役割 —B2B システムによる関係仲介とヒューマン セキュリティー—	2004年3月
24	山本悠介 中野 諭 小島朋之 吉岡完治	太陽光発電のユーザーコストと CO ₂ 削減効果： 大学におけるヒューマンセキュリティーへの具体的 取組みに向けて—	2004年3月
25	Jae Edmonds	Implications of a Technology Strategy to Address Climate Change for the Evolution of Global Trade and Investment	March 2004
26	Bernd Meyer Christian Lutz Marc Ingo Wolter	Economic Growth of the EU and Asia. A First Forecast with the Global Econometric Model GINFORS	March 2004
27	Wei Zhihong	Economic Development and Energy Issues in China	March 2004
28	Yoginder K. Alagh	Common Futures and Policies	March 2004

投稿要領

2004年2月25日改訂

1. (シリーズの目的) 当ワーキングペーパーシリーズは、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「日本・アジアにおける総合政策学先導拠点—ヒューマンセキュリティの基盤的研究を通して」の趣旨に沿って行われた研究成果をタイミングよく一般に公開するとともに、それに対して幅広くコメントを求め、議論を深めていくことにあります。このため編集委員会は、同プログラム事業推進担当者 29 名（以下 COE 推進メンバーという。当 COE ウェブページに氏名を掲載）またはその共同研究者等（下記の 4 を参照）による積極的な投稿を期待しています。なお、当 COE の研究領域や研究内容等はウェブページ（本稿末尾）をご参照ください。
2. (集録論文の性格) シリーズに集録する論文は、原則として日本語、英語、または中国語で書かれた論文とします。集録対象は、単に未発表論文だけでなく、学会報告済み論文、投稿予定論文、研究の中間報告的な論文、当 COE 主催ワークショップ等における報告論文、シリーズの趣旨に合致する既発表論文（リプリント）など、幅広いものとします。集録論文のテーマは比較的広く設定しますが、上記趣旨に鑑み、原則として総合政策学ないしその方法論、あるいはヒューマンセキュリティに関連するものとします。このため、論文主題ないし副題、あるいは論文概要においてそれに関連する旨が何らかのかたちで記載されている方がより望ましいと考えます。
3. (投稿の方法) 投稿は、論文の文書ファイル（図表等が含まれる場合はそれらも含めて一つのファイルにしたもの）を電子メールによって下記にあてて送信してください。文書ファイルは、原則として MS-Word または LaTeX で書かれたものとします。後者による場合には、既刊ワーキングペーパーの様式に準じて作成していただき、そのまま印刷できる様式のもの（camera-ready manuscript）をご提出ください。なお、投稿の締切り期限は特に設けず、随時受け付けます。
4. (投稿資格) 当 COE 推進メンバーおよび慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの専任教員は直接投稿できるものとしますが、それ以外の共同研究者あるいは当 COE リサーチアシスタント等は必ず当 COE 推進メンバーを経由して投稿してください。この場合、経由者となる COE 推進メンバーは、論文の内容や形式等を十分に点検するとともに必要な修正を行い、責任が持てる論文にしたうえで提出してください。なお、投稿論文は共同研究者として修士課程学生や学部学生を含む共著論文であってもかまいません（ただし学部学生は第一著者にはなれません）。いずれの場合でも、投稿論文の著者（複数著者の場合はそのうち少なくとも 1 名）は博士課程在籍中の学生またはそれ以上の研究歴を持つ研究者（当 COE 推進メンバーおよび慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの専任教員はこれに含まれる）であることを条件とします。
5. (論文査読の有無) シリーズの趣旨に鑑み、一般の学術専門誌のような論文査読は行わず、できるだけ幅広く集録してゆく方針です。ただし、シリーズの趣旨に合致する論文とはいいがたいと編集委員会が判断する場合には、当該論文の採録を見送る場合があります。また編集委員会は、掲載するうえで必要な改訂（体裁その他の点）をお願いすることがあります。編集委員会が投稿原稿を受理した場合、通常 10 日以内に必要改訂の有無を執筆者に電子メールで直接ご連絡します。なお、集録が決定した場合、鮮明な印刷原紙作成のために図表等の原データ（たとえば Photoshop EPS など）の提出をお願いする場合があります。
6. (投稿料・原稿執筆料) 投稿料は不要です。一方、原稿執筆料は支払われません。集録論文の著者に

は当該ワーキングペーパーを原則として20部進呈いたします（それ以上の場合も相談に応じます）。

7. (著作権) ワーキングペーパーの著作権は、当該論文の執筆者に帰属します。

8. (公開方法) 本シリーズに含まれる論文は、編集委員会が統一的な様式に変換したうえで冊子体に印刷して公開します（既刊論文をご参照。なお提出原稿にカラー図表等が含まれていても構いませんが、それらは冊子印刷に際しては全てモノクロとなります）。またウェブ上においても、原則としてすべての論文をPDFファイル形式でダウンロード可能なかたちで掲載し、公開します。

9. (原稿執筆要領) 提出原稿の作成にあたっては、次の点に留意してください。

1) A4版、横書き、各ページ1列組み（2列組みは不可）。

2) 活字サイズは、日本語または中国語の場合10.5～11ポイント、英語の場合11～12ポイントとする。1ページあたりの分量は、日本語または中国語の場合1ページ40字30行、英語の場合1ページ30行をそれぞれ目安とする。（これら3つの言語以外の言語による場合は適宜読み替える。以下同様。）

3) タイトルページ（1枚目）には、論題、著者名、著者の所属と肩書き（大学院生に場合には修士課程在学中か博士課程在学中かを明記のこと）、著者の電子メールアドレスのほか、必要に応じて論文の性格（学会発表の経緯など）や謝辞を記載。「COEの研究成果である」といえる場合には必ずその旨を記載する。なお、日本語論文の場合は、論題（メインタイトルおよびサブタイトル）ならびに著者名の英語表示もページ下方に適宜記載する（当該論文には印刷しないが、英文ワーキングペーパー末尾に付ける既刊一覧表で必要となるため）。

4) その次のページ（2枚目）には、論題、著者名、概要、キーワード（4～6つ程度）を記載。概要は必須とし、一つの段落で記載する。その長さは7～12行（日本語論文または中国語論文の場合は250字～400字程度、英文論文の場合は150語程度）を目安とし、単に論文の構成を記述するのではなく分析手法や主な結論など内容面での要約も必ず記述する。なお、中国語論文の場合の概要は、中国語に加え、英語または日本語でも付けること。

5) 本文は、その次のページ（3枚目）から始める。

6) タイトルページを第1ページとし、論文全体に通しページ（下方中央）を付ける。

7) 注は、論文全体として通し番号をつけ、該当ページの下方に記載する（論文の最後にまとめて記載するのではなく）。

8) 図と表は区別し、それぞれ必ずタイトルをつける。またそれぞれ通し番号をつける。それぞれの挿入箇所を明示する（図表自体は論文末尾に一括添付する）か、あるいは本文中に直接はめ込むか、いずれでもよい。

9) 引用文献は、本文の最後にまとめて記載する。その場合、日本語文献、外国語文献の順。日本語文献は「あいうえお」順、外国語文献は「アルファベット」順。

10) 文献リストには、引用した文献のみを記載し、引用しなかった文献は記載しない。

11) 論文の長さは、特に制約を設けないが、最も一般的な長さと考えられるもの（本文が10～30ページ程度）を目安とする。

10. (投稿要領の改訂) 投稿要領の最新時点のものは、随時、当COEのウェブページに掲載します。

論文の投稿先：coe2-wp@sfc.keio.ac.jp

論文冊子の入手その他：coe2-sec@sfc.keio.ac.jp

論文のPDF版（COEウェブページ）：<http://coe21-policy.sfc.keio.ac.jp/>

ワーキングペーパーシリーズ編集委員：岡部光明（編集幹事）、梅垣理郎、駒井正晶