

産業機械逆工場推進施策の評価のための 応用一般均衡モデルの構築

喜田昌¹ 吉田登² 盛岡通³

¹正会員 工修 大阪市建設局

²正会員 工博 和歌山大学システム工学部

³正会員 工博 大阪大学大学院工学研究科

産業革命以来、先進国は大量生産・大量消費・大量廃棄のワンウェイ型で物質に依存した社会を作り出してきた。しかし、近年になってこの大量生産・消費サイクルシステムが過度に大きくなりその影響が顕在化し始めている。そこで本研究では、産業社会を循環型・メンテナンス志向なものへ転換を促進するためにリサイクルとメンテナンスの2つの新たな機能を持った「逆工場」を提案した。そして、政府による逆工場推進施策によって逆工場を保護し成長させることが経済的に有効であることを応用一般均衡モデルのシミュレーションで検証するための理論的枠組みを提示し、プロトタイプモデルを構築し逆工場実験プラントにて収集したデータを用いてケーススタディーを行った。

*Key Words ; Industrial Ecology, Extended Producers Responsibility
Inverse Manufacturing, Applied General Equilibrium, Product Chain*

1. 本研究の背景となる概念及び位置づけ

(1) 「持続可能な発展」と産業エコロジー

1981年 Lester Brown の着想による「エコロジカルな持続可能性」というコンセプトが地球白書で提示された。これが、87年の国連環境開発委員会のブルント報告には持続可能な開発として取り入れられた。1992年ブラジルのリオデジャネイロにて行われた地球サミットで採択された Agenda21 では、これ以上貧困と不均衡を悪化させることのないように特に工業国における持続可能な消費と生産への変革の必要性をとき、先進国にそのイニシアティブをとることを求めた。この時期を境に WBCSD(World Business Council for Sustainable Development) が提唱したエコエフィシエンス(Eco-efficiency)や廃棄物を限りなくゼロに近づけていく国連大学のゼロエミッション構想(ZERI:Zero Emissions Reserch Initiative), 経済開発機構(OECD)の拡大生産者責任(EPR:Extended Producers Responsibility), 産業が地球の持続可能性を追求するために必要な具体的方法を提示する産業エコロジー(IE:Industrial Ecology), IHDP(International Human Demensions Programme on Global Environmental Change)の産業転換(IT:Industrial Transformation), 東京大

学を中心に通産省のプロジェクトとして行われているインバース・マニファクチャリング(IM:Inverse Manufacturing), アジア生産機構(APO)のグリーンプロダクティビティー(GP), 国連環境計画(UNEP)のクリーナー・プロダクション(CP),

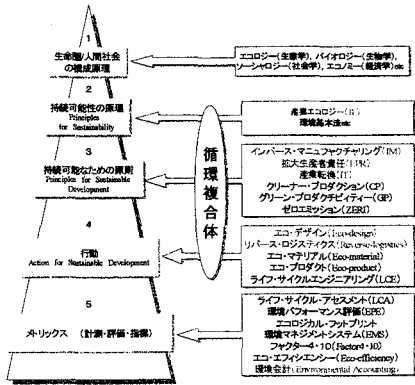


図1 持続可能な発展に関する概念・手法の整理¹

1996年ドイツで施行された循環経済・廃棄物法など、持続可能な産業社会のあり方の具体的なコンセプトが提示された。これらの持続可能な発展に関する手法を、環境NGO ナチュラステップのカール・ヘンリク・ローベル博士による階層構造を基にして整理したものを図1に示した。

(2) 本研究の位置づけ²

本研究は循環複合体研究プロジェクトの一環として行われたものであり、逆工場分析を行うための応用一般均衡モデルのプロトタイプによるケーススタディーをとりまとめたものである。そこで、本節では循環複合体の概念に沿って本研究の位置づけを行う。

1996年に開始された循環複合体研究(CCP:

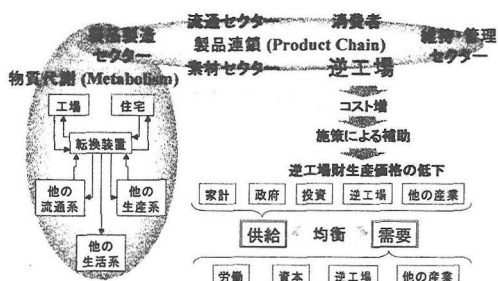


図2 産業工場循環研究における本研究の位置づけ

Recycle-Oriented Industrial Complex Project)では、産業工場・都心更新地区・都市農村連携フードシステムという3つの社会実験地での観察・調査・計測に基づいてこれらにおける環境効率の改善を目指す評価研究である。物質代謝と製品連鎖という2つの理性的評価をマネジメントすることにより達成しようとする戦略について評価を進めている。

本研究でとりあげる応用一般均衡モデル分析は、産業工場の製品連鎖研究に位置づけられ、易分解性設計を中心とする逆工場実験プラントでの調査計測をもとに、逆工場導入による製品連鎖での費用や効果をエコデザインの進展度合別にシナリオを設定、モデル化するという各企業主体毎に進める戦略を産業機械部門全体に拡大してこのような製品循環を国民経済レベルで展開する際に起こるバーゲン財と再資源化財との競合、製品製造部門の需要減に対してメンテナンスによるサービス需要増や家計の効用とのバランスなどに対応して、補助政策など逆工場導入を推進するための施策効果をマクロに評価するために必要なツールである。これらの概要についてまとめたものを図2として示した。

2. 一般均衡モデル構築のための枠組み

(1) モデル構築のための仮説

本研究は、現在の生産システムから循環型の生産システムへ転換するためのキーセクターとして逆工場を位置づけ、逆工場を推進し社会化していくことで産業転換が起こるという仮説を立てている。

そこで、逆工場が社会化していく初期段階では、直接介入型の政策による援助が要求されるが、逆工場が産業社会において完全に独立した部門として成長を遂げるためには、経済原則に則った生産システムが必要になる。本研究では、前者として逆工場への補助金や逆工場以外の部門への生産物税の追加課税などの直接効果として取り上げ、後者としてメンテナンス効果・リ

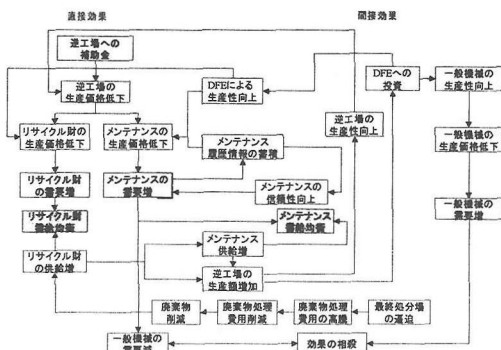


図3 モデル構築のための仮説(補助金導入の場合)

サイクル効果・生産効果の3つの間接効果を取り上げた。

そして、これらの効果の相互関係を図3のように仮説としてたて、それが表現可能なモデルである応用一般均衡モデルの構築を試みた。

(2) モデルの全体構造³

応用一般均衡モデルの考え方やモデルの基本構造、理論・手法は既存研究等に準じて行った。

つまり、産業部門は、通常の産業連関表を14部門に統合した内生部門を設定する。本研究では産業部門を、生産活動において自産業を含む各産業から中間財を購入し、雇用者所得、営業余剰、固定資本減耗、純間接税等の付加価値を生むものと定義している。さらに本研究では、産業部門内に逆工場部門(リサイクル部門・メンテナンス部門)を新たに設置し、生産台数から逆工場の回収

台数を推計し、それらを投入してリサイクル財を算出するという形態をとっている。

生産要素部門は、労働と資本からなりこれらは産業部門・逆工場部門に雇用されその寄与分は生産要素所得として分配される。資本に対しては営業余剰が報酬として与えられ、労働に対しては雇用者所得が支払われどちらも制度部門の家計に再分配される。

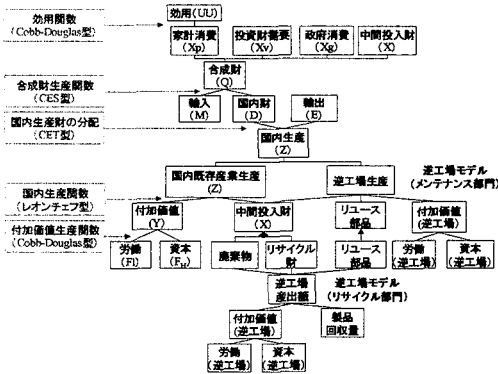


図4 モデルの階層構造

制度部門は所得を受け取りそれを支出する経済主体であり政府と家計に別れる。政府は家計からの直接税・生産税・関税を所得として受け取り、政府消費・政府貯蓄（投資）として支出する。家計には雇用者所得や営業余剰などの要素所得が分配され、それと海外からの経常移転によって所得を形成する。そして家計所得は最終消費及び政府への直接税として支出され、残りは家計貯蓄として投資される。

資本調達・資本形成部門は家計貯蓄・政府貯蓄・海外からの資本移転を原資として資本形成を行う主体であり各産業主体に配分される。なお、資本形成は各産業から財・サービスを購入する形でなされる。

逆工場部門はリサイクル部門とメンテナンス部門に分けられ、更新需要により産業部門から排出される産業機械・中間投入財・労働・資本を投入し、産業機械のリサイクル・メンテナンスを行うことによって新しい財サービスを提供する主体である。具体的には、リサイクル部門は、労働・資本・回収した製品を中間投入財として、リサイクル財（マテリアルリサイクル）・リユース財（リユース部品）・廃棄物を産出する構造を持つ。メンテナンス部門は、労働・資本・逆工場からのリユース部品・各産業主体からの新部品を中間投入財と

し、アップグレード製品、再生製品やサービスを産出する。

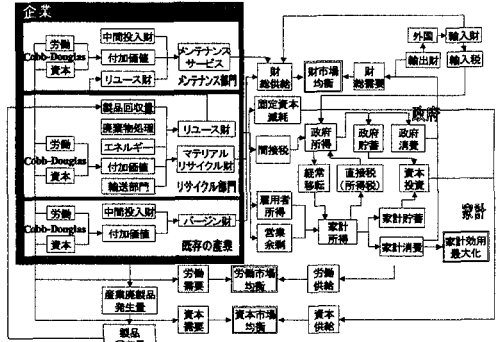


図5 モデルの全体構造³

（3）逆工場部門データ作成の枠組み

本研究では、逆工場部門としてリサイクル部門とメンテナンス部門の2つを設けている。リサイクル部門のデータの作成にはポンプの逆工場実験プラントから収集したデータを基に作成した。まず、リサイクル部門のデータ作成手順について概説する。機械統計年報を用いてポンプの販売台数を求め、その回収率を乗ずることでポンプの回収台数を算出する。その値にポンプの逆工場調査から算出したポンプ一台あたりのマテリアルリサイクル販売量・リユース部品販売量を乗ずる。ここで、ポンプ逆工場の産出額は、一般産業機械産出額をポンプの産出額で除したものに比例すると仮定し、逆工場調査から算出した値に乘ずることでそれぞれ逆工場から鉄鋼・非鉄金属部門とメンテナンス部門への産出額とする。簡略化するため、逆工場部門から直接産出が行われる部門はメンテナンス部門、鉄鋼・非鉄金属部門のみとし、その他の部門への産出はメンテナンス部門を介して行われるとする。以上を逆工場部門の産出（行部門）とする。

次に、前述の回収台数に逆工場調査からポンプ一台あたりの回収輸送費用・廃棄物処理費用・分解人件費（雇用者所得）を乗ずる。最後に、逆工場の輸送、分解人件費（雇用者所得）は、一般産業機械の輸送、廃棄物処理、分解人件費（雇用者所得）に比例すると仮定し、ポンプ部門の産出額で除した値を、逆工場調査から算出した回収輸送費用・廃棄物処理費用・分解人件費（雇用者所得）に乘ずる。この合計が逆工場の真の投入金額となる。しかし、この手法

は議論が飛躍している。しかし、大型機械である自動車修理・船舶修理・鉄道車両修理・航空機修理は含まれておらず、その物理的特徴・社会的特徴も類似していると仮定しそのずれは少ないとみなし、本研究においては代用することとする。これら、産出の一連の課程ををまとめたものが図6である。

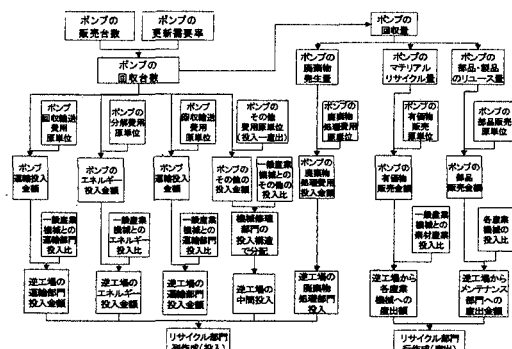


図6 逆工場データ作成フロー

次に、メンテナンス部門については、産業連関表における機械修理部門を代用する。機械修理部門とは、日本標準産業分類の小分類 781「機械修理業」の活動を範囲とし産業連関表のサービス業部門に属する部門である。具体的な品目を例示すると、一般機械修理、建設機械・鉱山機械修理、電気機械修理、産業用運搬車両修理、光学機械修理である。但し、自動車修理・船舶修理・鉄道車両修理・航空機修理は部門が独立しており、機械修理部門には含まれない。すなわち機械修理部門には電気機械・一部の輸送機械・精密機械の修理も含まれており、一般産業機械の逆工場のメンテナンス部門に拡張するに

(4) 社会会計行列の作成³⁾

応用一般均衡モデルを用いてシミュレーション分析を行うには、基準均衡となるデータベースの作成が必要となる。つまり、基準均衡のときのそれぞれの財の生産額、消費額、生産要素投入などを行列の形で表したものを作成する必要がある。この行列は、一般に社会会計行列と呼ばれ本研究では、以下のような手順で作成した。

まず、産業部門は産業連関表（平成7年度）より部門の統合または分離し逆工場部門（リサイクル部門・メンテナンス部門）を含めて14部門に分類を行った。分類に際しては、逆工場部門に関連の強い部門を分離、強くない部門を統合した。

また、前節の手法で作成したデータを逆工場部門に挿入することで逆工場リサイクル部門を作成する。表1の / の部分及び雇用者所得・営業余剰・生産物税・関税・資本形成については「95年度産業連関表」を、直接税・家計貯蓄・政府貯蓄については「国民経済計算年報」をもとに作成した上で、調整前と調整後の各値の差の二乗和が最少になるという制約条件のもとで行和と列和が一致するように行列調整を行った。

表1 本研究における社会会計行列の枠組み³⁾[illegible]

/ 産業連関表より

3. プロトモデルによるケーススタディー

(1) シミュレーションの枠組み

逆工場への補助金・逆工場以外の部門への生産物税

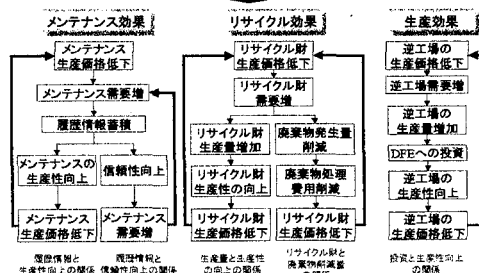


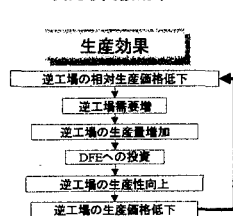
図7 本研究の仮説

前掲の図3にて表現した仮説を3つの間接効果に分けて記述すると以下の図7のようになる。本研究のシミュレーションではデータの制約からそのうち生産効果のみをアツかつた。(図8)

逆工場への補助金 逆工場以外の部門への生産物税

直接効果

逆工場財相対生産価格低下 1次的な間接効果



2次的な間接効果

但し、投資と生産性向上の関係は、外生的に与えた。

図8 逆工場施策が及ぼす

効果波及メカニズム

まず、政府による補助金政策(投資)による逆工場保護政策が逆工場の産出額と各産業に及ぼす影響について分析する。次に、補助金と性格の異なる、生産物税を逆工場部門以外に新たに課することで均衡状態が変化していく様子についても同様に分析を行う。さらに、補助金や他の産業部門への生産物税によって逆工場財の価格が相対的に低下し、価格競争力が向上することで1次的な間接効果として現れる産出額の変化を検討する。最後に、生産額の増加によって環境配慮設計(DFE)(以下ではエコデザインと表現した)に投資が行

われる様子を逆工場の労働と資本の生産性が向上する形で外生変数として与え、逆工場部門の産出額がさらに増加していく様子をシミュレーション分析にて明らかにする。

(2) シミュレーション結果と考察

a) 生産効果の分析

本研究では、エコデザインの進展度合により、3つのケースをシナリオとして設定した。エコデザインの進展という定性的な要素を、定量的に取り扱うため、図9に示す仮説を立てた。グラフの横軸は時間、縦軸はエコデザインが逆工場にもたらす効果(産出額の増加)を表す。そして、ある時点でエコデザインを施した製品の成果が主に現れるのは主としてその耐用年数を全うしてからであるという仮定のもと、時間遅れでその効果が現れることを示している。そして、エコデザインが進展していく様子をSTEP0からSTEP3まで段階的に表現している。

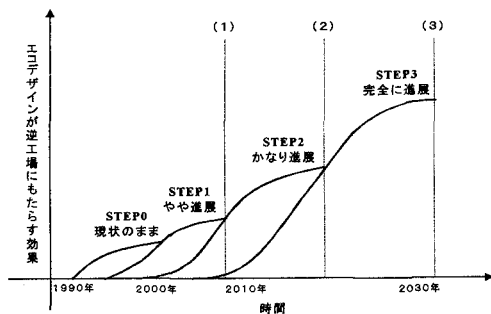


図9 エコデザインの進展が

時間遅れで逆工場にもたらす効果

以下のシナリオ(1)(2)(3)はそれぞれ、図9におけるSTEP1, STEP2, STEP3が最

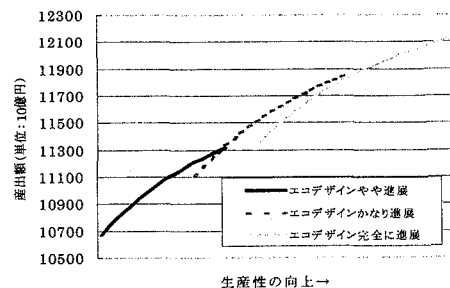


図10 生産要素の生産性の向上に伴う

逆工場産出額の推移

も効果的に作用している時点に対応している。

以上の仮説を用いた生産効果の分析からは、エコデザインの進展がなければ初期段階では生産性の向上によって逆工場の産出額は一時的には増加するが、やがてその効果は逓減していくため逆工場の社会化は望めないことが明かとなった。(図10)そこで、逆工場の社会化を促すためには労働や資本といった生産要素の生産性の向上に加えて、設計の段階からリサイクル・メンテナンスを考慮したエコデザインを行い逆工場の収益性を高めていくことも必要であることも明かになった。

b) 政策効果の分析

逆工場が社会化する初期段階では、補助金政策が有効である反面、逆工場が成熟し産出額が増加

し始めるとこの政策は直接効果に頼るところが大きいためその成長を維持するには多大な資金が必要となり現実的な政策ではなくなる。(図11-(1))一方で、生産物税政策は、逆工場が社会化する初期段階においては、その経済厚生を低下させたり他の産業への負の効果が大きいため実現可能性に乏しい。しかし、逆工場の産出額が増加し補助金による補助が困難になってくると、生産物課税は経済原理に則った政策であるため有効な手段であるといえる。(図11-(2))各産業への波及効果の分析からは、補助金政策と生産物税政策に関する産業間の公平性を比較することが出来る。公平性の観点から評価すると、産出額が大幅に変化している部門が少ない政策が好ましいといえる。つまり、補助金政策が各産業へ与える影響が少なく有

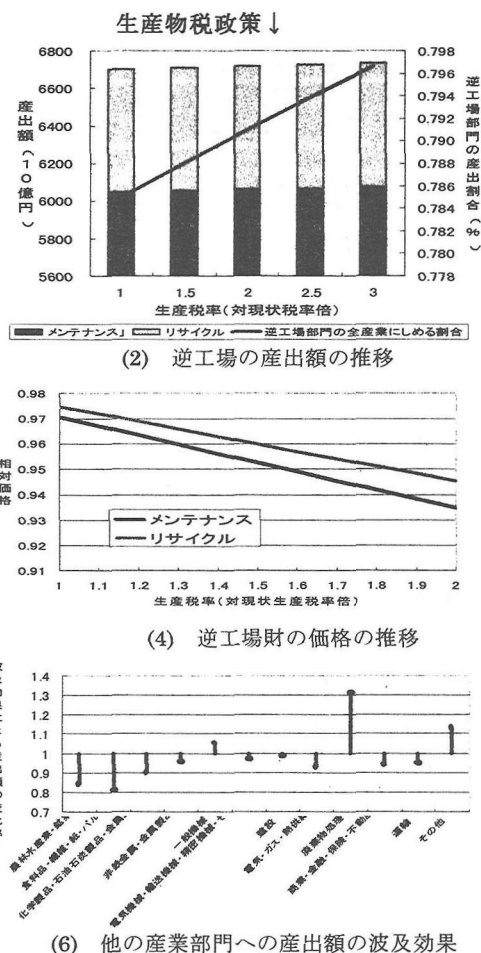
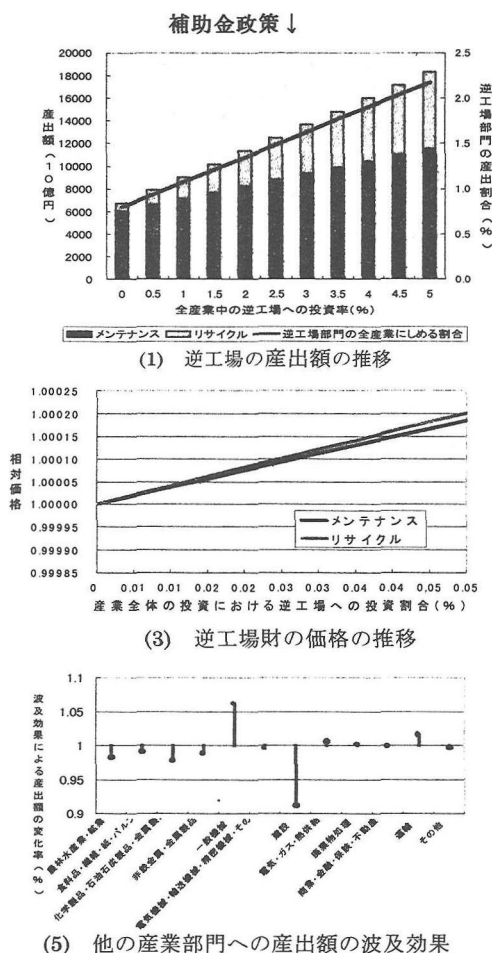


図11 補助金及び生産物税政策適用による逆工場産出額・価格・波及効果の比較

効であるといえる。(図 11-(5)) この様に公平性が担保された政策は、より実行可能性が高まる。

4. 今後の課題

本論文では、仮説で取り上げた3つの間接効果のうちデータの制約から生産効果の分析を行うにとどまった。その他の効果をモデル上で表現するには図7の残る4つの関係の関数化が必要である。また、廃棄物排出と生産・消費活動水準の間が単に線形関係であること、資本供給・雇用供給は、本モデルでは外生的に固定変数として与えており、労働市場・資本市場の均衡は厳密には議論できていないことが課題として挙げられる。

さらに、静学モデル分析の特性上短期間での評価となり逆工場の社会化といったドラステクな変化は望みにくいことや、投資の表現に限界があ

るため現実的なモデルとなっていない。

また、本研究では産業工場の社会実験地にて収集したデータの拡張の際、前述(2-(3))のようにその社会的特徴と物理的特徴が類似する狭義の産業機械(全産業に占める産出額割合3.18%)にとどめた。しかし、産業社会の逆工場化は、広義の産業機械(全産業に占める産出額割合約14%)も含めた議論をして始めてその社会的影響が明確になる。また、補助金政策と生産物課税政策を融合した生産物税の環境目的化政策も逆工場を社会化する上で有効な手段であると考えられる。しかし本論文では、そのような政策のシミュレーションを行うには至らなかった。

最後に本研究は政策の有効性のみの検討しか行われておらず、政策の公平性・実行可能性も含めた客観的な評価を行うには至らなかった。この点も、今後の課題といえる。

参考文献

- 1) 山本良一 :エコデザイン 1999 ダイアモンド社
- 2) 循環複合体 第5回全体会議産業工場循環研究グループ資料
- 3) 宮田譲 :廃棄物—経済会計行列とその応用に関する研究 平成8年3月

謝辞

本研究の仮説を検証するために用いた手法である一般均衡分析に関しては、そのプログラミングの手法を、政策大学院細江宣裕氏の授業資料を基に、その考え方を豊橋技術工科大学工学部人文・社会工学助教授宮田譲氏の研究報告書から取得しました。心から謝意を表します。

Evaluation of Policies to Enhance Inverse-Manufacturing of industrial Machinery

By Applied Computable General Equilibrium Model

Akira KIDA, Noboru YOSHIDA, Tohru MORIOKA

Recently, various concepts of cyclic industrial systems to cope with serious global environmental problems have been appeared, such as Industrial-Ecology, Inverse- Manufacturing, Industrial-Transformation and Extended Producers Responsibility (EPR) etc. The purpose of this study is to clear that environmental Policies to enhance Inverse-Manufacturing are effective on economy by using Applied Computable General Equilibrium Model(CGE). As a result of analysis, it is recognized that subsidy coin policy to Inverse-Manufacturing is effective at the initial stage in a process from the present industrial system to recycle-oriented one and eco-design takes an important role in order to enhance recycle-oriented-industry.