

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25550088

研究課題名(和文)低炭素化社会と経済成長の両立のための革新的アプローチ：製品の経済的寿命からの解決

研究課題名(英文)An innovative approach for co-existing of the low carbon society and the economic growth society: solution from the economical life cycle of a product

研究代表者

長平 彰夫(Nagahira, Akio)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10323122

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：主要家電製品であるルームエアコンを用いて、低炭素化社会と経済効果の両立を産業連関分析を用いてシミュレーションした。既存機種を使い続けた場合のエネルギー消費量と、省エネ性能が優れた機種に買い替えた場合のライフサイクル全体のエネルギー消費量が等しくなるものとし、パラメーターとして、ルームエアコンの消費電力、製品価格、マーケットライフサイクル(MLC)を用いた。エアコンの価格を2万円刻み、マーケットライフサイクルを1年刻みで変化させて必要省エネルギー性能上昇値を求め、その結果、省エネルギー効果は、低価格の環境負荷の大きな製品に比べて、高価格の環境負荷の小さな製品の方が大きかった。

研究成果の概要(英文)：Compatible of the energy saving effect and the economic effect were simulated by using Input-Output Analysis in case of the room air-conditioning which belonged to a main home electronics. It is assumed that the energy consumption in case of using the existence model and replacing it with the excellent model the energy conservation performance becomes equivalent in the energy consumption of the whole life cycle. The power consumption, price and market life cycle (MLC) of the room air-conditioning were employed as parameters. The necessary energy saving performance was calculated based on 20,000 yen to 20,000 yen basis and on one year to one year basis of a market life cycle of the air conditioner. As a result, the product of high-price and environmentally-friendly had a lot of energy saving effects compared with the product of low-price and high environmental load.

研究分野：新製品開発マネジメント

キーワード：低炭素化社会 省エネルギー 経済成長 環境負荷 ライフサイクルアセスメント(LCA) 産業連関分析
ルームエアコン 自動車

1. 研究開始当初の背景

現在、異常気象や海面上昇などの要因として、地球温暖化が世界的に問題視されている。その防止策のひとつとして、地球温暖化の原因となるCO₂をはじめとする温室効果ガスの削減が求められており、1997年に京都議定書によって温室効果ガスの排出・削減目標を定め、それを目標として先進国を中心に温室効果ガスの削減が進められてきた。このように環境負荷低減は重要な課題となっている。日本においては、環境負荷を低減するための行動指針として3Rという言葉が浸透するなど、人々の環境に対する意識が強まってきている。しかし、環境に対する意識がいくら高まろうとも、環境問題の解決を第一に考えることは難しい。環境問題の解決を最優先にするとすれば経済的な豊かさを捨てて生活スタイルを変えていかなければならないが、一度手に入れた豊かさを捨てることはなかなかできない。そのような状況に対し、環境問題の解決と経済的豊かさを両立させるための指標が必要となってくる。

2. 研究の目的

日本において、環境負荷を低減するための行動指針として3Rという言葉が使われ始めた。Reduce(削減)、Reuse(再使用)、Recycle(再利用)の三つの単語の頭文字をとったものである。この中でも特に環境負荷を抑えられるのはReuseであり、新規に物を作らずに使い続ければエネルギーを消費することはなくなりCO₂を排出することはなくなる。実際には、繰り返し使用できる製品ばかりではなく同じものを使い続けることが難しい製品もあり、それらは可能な限り長く使い、廃棄する前に資源をできるだけ多く再利用(Recycle)し、最終的な廃棄物を減らす(Reduce)ことによって環境負荷の低減をおこなっている。それに反し、消費者が新機能やデザイン性などの経済的な豊かさを求めるために、製品の買替のサイクルがますます短くなっている傾向がある。家電製品などにおいては、使用時の消費電力削減のために省エネルギー効果のある製品へ買い替える場合が想定される。その際、使用時の省エネルギー効果のみが注目されている傾向がみられるが、実際は、製品が消費者のもとに届くまでの製造や流通、リサイクル、廃棄の過程においてもエネルギーが消費され、その部分についても考慮に入れなければ真に省エネルギー効果があるとは言えない。それに加え、その製品がどの程度の期間使用されるかによっても、環境負荷は大きく変わってしまう。その期間を本研究では経済的寿命(Market Life Cycle:MLC,マーケットライフサイクル)と呼ぶ。図1のように、同期間に同じ製品を使い続ける場合、MLCの長短に関わらず使用時のエネルギー消費量は変わらないが、MLCが短いほどその分買替の回数が増えるために製造等でより多くのエネルギー

が消費されてしまう。その反面、MLCが短ければその分製品が多く売れるため、企業にとっては都合が良い。このことから、省エネルギー効果と経済効果はトレードオフの関係があるといえる。

本研究では、まず、エネルギー多消費家電製品である家庭用ルームエアコンをケースとして、省エネルギー効果と経済効果について分析モデルを構築し、シミュレーションを行った。次に、構築したモデルに基づいて、他の製品である携帯電話、自動車について、同様のシミュレーションを行い、省エネルギー効果と経済効果を両立させるための指標を得ることを目的とした。

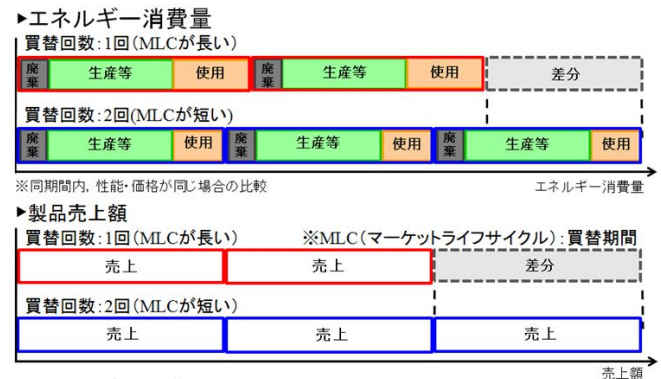


図1 省エネルギー効果と経済効果のトレードオフ

3. 研究の方法

(1)本研究では真に省エネルギー効果が得られているかどうかを評価するために製品のライフサイクル全体のエネルギー消費量を求める必要がある。製品のライフサイクルとは図2のように、ある製品について、製品に使用される資源の採取から、製品がリサイクル・廃棄されるまでの過程全体を指す。製品は、使用時に電気をはじめとするエネルギーを使用し、CO₂を排出する。しかし、実際には消費者に製品が届く過程においてもエネルギーが消費されCO₂が排出されている。ある製品をつくる過程においては、その製品の製造時だけでなく、製品に作られる部品の製造時、さらにはその部品を作る部品や原材料の製造時にもエネルギーは消費されており、波及していく生産におけるエネルギー消費も考慮しなければならない。このようにライフサイクル全体のエネルギー消費量を算出するために、本研究では産業連関表を用いる。

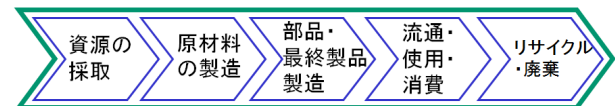


図2 製品のライフサイクル

産業連関表とは、総務省により提供されている経済波及効果分析や各種経済指標の基準改定を行うための基礎資料のことである。

この産業連関表について、ある行に着目した場合、その産業において生産された財・サービスが各産業または最終需要にどの程度の金額分を販売したかが示されている。また、ある列に着目した場合、その産業において財・サービスの生産にあたって投入された原材料を各産業からどの程度の金額分を購入したか、財・サービスの粗付加価値がどの程度かが示されている。この行列を使うことによって生産波及の大きさを計算することが可能となる。

(2) (1)で産業連関表を用いることによって、生産時の波及効果も考慮したエネルギー消費量の計算方法を示した。しかし、この方法で計算されるエネルギー消費量はライフサイクル中において消費者が製品を購入するまでに消費するエネルギー量であるためそれ以降のエネルギー消費量は別途計算する必要がある。それを考慮した場合のライフサイクル全体でのエネルギー消費量を求める式を以下に示す。

$$E_t = E_p + E_u + E_r + E_d \quad \dots(1)式$$

E_t :ライフサイクル全体でのエネルギー消費量

E_p :生産時のエネルギー消費量

E_u :使用時のエネルギー消費量

E_r :リサイクル時のエネルギー消費量

E_d :廃棄時のエネルギー消費量

生産時のエネルギー消費量 E_p の算出式は、次のように表す。

$$E_p = iU[I - (I - \hat{M})A^{-1}]f(i)$$

(参考文献)中野・早見・中村・鈴木(2008)

ただし、

i :要素が全て1であるベクトル

U :CO₂排出量原単位

$[I - (I - \hat{M})A^{-1}]$:産業連関表より得られる

逆行列係数

$f(i)$:対象製品の最終需要行列

使用時のエネルギー消費量 E_u の算出式は次のように表す。

$$E_u = cpt$$

ただし、

C :エネルギー消費量係数

P :対象製品の消費電力

T :使用時間

事例対象の製品の消費電力と想定される使用時間の積、もしくは製品カタログ等に記載されている期間消費電力量によって消費電

力量を求め、それとエネルギー消費量係数 c の積がエネルギー消費量 E_u となる。エネルギー消費量係数 c は環境省によって公表されているものを使用する。

リサイクル時のエネルギー消費量 E_r の算出式は、次のように表す。

$$E_r = iU[I - (I - \hat{M})A^{-1}]f_r(i)$$

ただし、

$f_r(i)$:対象製品のリサイクル需要行列

廃棄時のエネルギー消費量 E_d の算出式は、次のように表す。

$$E_d = iU[I - (I - \hat{M})A^{-1}]f_d(i)$$

ただし、

$f_d(i)$:対象製品の廃棄需要行列

E_t の算出に使用する逆行列係数は、リサイクル・廃棄時のエネルギー消費量の算出のために、再資源回収・加工処理、廃棄物処理の部門があり、現時点で最新版である平成17年産業連関表を基にした108部門逆行列係数表を総務省ホームページより入手して使用する。また、それに合わせてエネルギー消費量原単位 U は、国立環境研究所地球環境センターホームページより平成17年403部門環境負荷原単位を入手し、108部門に統合して使用した。

4. 研究成果

(1)本研究では、省エネルギー効果が期待される製品の置き換えによって、真に省エネルギー効果が得られるかどうかを明らかにしたいため、対象事例としては省エネルギー性能の向上が著しく、また十分に普及しているものが望ましいと考えられる。それを踏まえると、日常生活に欠かせない身近な家電が適切と思われる。特にテレビや冷蔵庫、エアコンは、年々省エネルギー性能が向上しており、2001年より施行された家電リサイクル法によってリサイクルが義務付けられているために、省エネルギー効果への影響は大きく、統計データ等も豊富にあると考えられるため、対象事例に適している。その中でも全体の消費電力量に対する割合の大きい家庭用ルームエアコンを対象事例とした。

「3」で示した、省エネルギー効果算出式を用いてシミュレーションを行った。価格 v を10万円から30万円まで2万円刻み、MLCを1年から15年まで1年刻みで変えていったときの必要省エネルギー性能上昇値 d_n を求めた。その結果をまとめたグラフが図3である。データ面は、100上昇するごとに色分けして表示した。このグラフの曲面が、省エネルギー効果が得られるか得られないかの境界面となり、買替の条件を当てはめたときに、省エネルギー性能上昇値がこの面より上にあれば、省エネルギー効果が得られること

が期待できると判断する。このように、図 3 は省エネルギー効果を評価するためのひとつの指標となる。

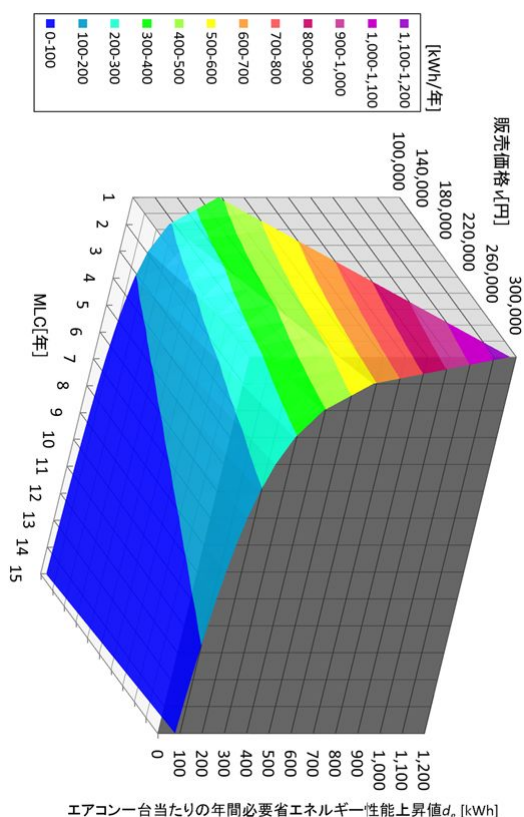


図 3 必要省エネルギー性能上昇値 d_n

このシミュレーション結果で示した買替の際に必要な省エネルギー性能上昇値は、製品を製造する企業側、製品を使用する消費者、両方の視点から活用することが出来ると考えられる。まず企業側の視点から見た場合について述べる。消費者のニーズを把握することによって想定されるマーケットライフサイクル(MLC)と企業の省エネルギー技術から、買替による省エネルギー性能上昇値を予想することで、省エネルギー効果が得られる価格の範囲がわかる。仮に、省エネルギー性能上昇値を大きくすることが可能な製品を製造できるとすると、製品価格が高くなってしまったとしても省エネルギー効果が得られることになる。そのため、快適性を高めるなどの付加価値をつけた高価格なモデルを販売することで省エネルギー効果が十分得られる上で、企業の売り上げも大きくすることが出来るのである。

次に、消費者の視点から見た場合について述べる。環境志向の強い消費者であれば、省エネルギー効果が得られるかどうかは商品選びの際の大きな判断基準となると考えられる。それに対し、それまでに使用していた製品の消費電力量と買替の頻度(MLC)を考慮することで、真に省エネルギー効果が得られることが期待できる製品が簡単にわかるようになる。

このように、本研究で得られた結果によって、企業側・消費者側双方に持続可能社会へのアプローチのしかたを提供できると考えられる。

(2)そこで、このシミュレーションモデルを使用して実際の二つの最新型ルームエアコン製品の省エネルギー効果について評価した。その結果として、どちらも真に省エネルギー効果が得られることが期待できるとの結論に至った。しかし、省エネルギー効果の大きさには大きな違いが出た。中村・近藤(2005)の研究でも述べられているように、低価格の環境負荷の大きな製品に比べて、高価格の環境負荷の小さな製品の方が環境負荷が小さいという結果となった。消費電力に着目して分析結果をみても、10年前の機種と比べると期間消費電力量が 100kWh 小さくなっている。図 3 において、必要省エネルギー性能上昇値 100kWh までの範囲が大部分を占めている。つまり現在の省エネルギー技術であれば省エネルギー効果を得ることは特に難しいことではないと言えるのである。しかし、今後省エネルギー技術の発展速度が落ちてしまえば、想定される買替による省エネルギー性能上昇値は徐々に小さくなっていき、省エネルギー効果を得ることが難しくなっていってしまうと考えられる。したがって、省エネルギー技術のますますの発展が必要となってくると言える。

本研究で得られた省エネルギー効果の評価指標は、価格・MLC・省エネルギー性能という三つの要素によって、一つの機種に対してではなく、様々な機種に対して省エネルギー効果について評価することができる。また、実際に評価するために難しいことはなく、消費者にとっても使いやすい指標になっていると思われる。これらのことから、本研究で得られた指標は十分有用性があると考えられる。

次に、本研究においては、ルームエアコンを対象として行った事例分析を、他の製品に同様の手法で行った場合、どのような結果が得られるかを、携帯電話、自動車の二つの事例について試みた。

(3)近年、スマートフォンが急速に普及し総務省(2012)の統計では、世帯保有率は約 50%にもなっている。今後も普及が進んでいくことを考えれば、スマートフォンの環境負荷をどうすれば低減できるかというのは重要になると考えられる。しかし、それに反して、スマートフォンは急速な進歩がみられるために経済的な陳腐化が早く、MLC が短くなることによって環境負荷が大きくなっていくのではないかと考えられる。加えて、ディスプレイの巨大化、多機能化によって価格、消費電力ともに上昇してしまっているために、生産時、使用時、ともにエネルギー消費量は増加してしまっているものと考えられ

る。その結果として、省エネルギー効果を得ることは難しく、可能な限り長く使用することによって環境負荷を大きくしてしまうことを防ぐしかないといえる。しかし、スマートフォンが生み出す環境負荷は、それだけにとどまらず、今後も普及が進めば、各種コンテンツ・クラウドサービスの充実化に伴い、通信料の増加や、通信設備の増設や消費電力の増加による消費エネルギーの肥大化が起こることが予想される。結果として、スマートフォンに関連した環境負荷を低減することは極めて難しいことといえる。

(4)経済産業省の統計データによると、最終エネルギー消費に対する運輸部門の割合は2011年時点で23.3%となっており、1973年に比べ1.9倍の大きさとなっている。運輸部門の中でも特に身近で消費者に普及していることから、環境負荷低減効果を得るための指標を得ることができれば、その効果は大きなものになると予想される。自動車はハイブリッドカーや電気自動車の登場によって、省エネルギー性能が急速に向上しているといわれている製品のひとつであり、今後も省エネルギー性能の向上が期待されている。この自動車において真に省エネルギー効果を得るための条件をシミュレーションによって探索した。使用した数値データは国土交通省より入手した。走行距離は、国土交通省の統計データから得られるガソリン燃料を使用する自家用旅客乗用車の平均的な年間走行距離8,895kmとした。使用時に発生する部品交換

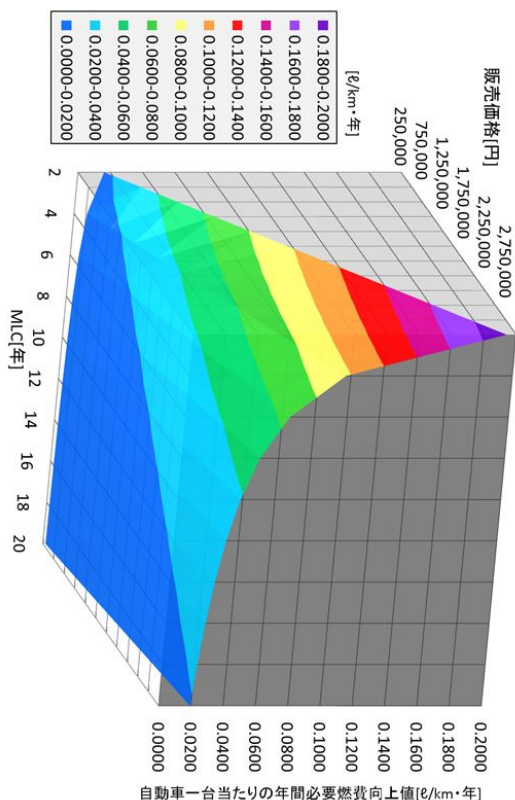


図4 必要燃費向上値

やメンテナンス時の消費エネルギーについては、詳細なデータを得ることが困難であったため、省略して行うこととした。価格 v を25万円から300万円まで25万円刻み、MLCを2年から20年まで2年刻みで変えていったときの必要燃費向上値を求めた。その結果をまとめたグラフが図4である。データ面は、0.02上昇するごとに色分けして表示した。このグラフの曲面が、省エネルギー効果が得られるか得られないかの境界面となり、買替の条件を当てはめたときに、燃費向上値がこの面より上であれば、省エネルギー効果が得られることが期待できると判断する。

<引用文献>

中村・近藤(2005):中村慎一郎・近藤康之,「廃棄物産業連関表を用いたエアコンのLCAとLCC」,『第1回日本LCA学会研究発表会講演要旨集(2005年12月)-web版-』, pp.32-33

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計1件)

長平 彰夫・田中雄大「低炭素化社会と経済成長両立のための新アプローチ」、研究・技術計画学会、政策研究大学院大学、東京都港区六本木7-22-1、日本、2013年11月3日

6. 研究組織

(1)研究代表者

長平 彰夫 (NAGAHIRA, Akio)
 東北大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号: 10323122