

IV. 消費状況と環境問題間のトレードオフを考慮した

長期使用 / 早期買替の環境負荷評価

15章 エネルギー消費型耐久消費財の長期使用・早期買替の評価

15.1. はじめに

家電製品等のエネルギー消費型耐久消費財については、新機種の方が省エネ性能が良く、長期使用するよりも早期買替の方がエネルギー消費を削減できるが、廃棄処理に伴う各種の環境負荷を考慮すると、全体の環境負荷が低減できる場合がどのような場合かは定かではない。これまでに、製品の早期買替検討した研究はあるが、特定の買替条件において LCA 評価などを行ったもの^{1)~4)}や評価項目がエネルギー消費もしくは地球温暖化ガス排出量だけに着目したもの^{5)~6)}が多く、消費者がおかれている様々な状況で早期買替が好ましいのか長期使用が好ましいかを容易には判断できなかった。加えて、一般消費者向けの買替判断ツール^{7)~9)}も提供されてきているが、同様の課題を残しており、社会的にもこのようなツールを提供することが望まれると考えられる。さらに、2009年5月15日から2011年3月31日にかけて、緊急経済対策として省エネ家電の買替を促進させる家電エコポイント制度¹²⁾が実施され、買替に対する社会の関心も高まっている。

そこで本研究では、同一種類の省エネ製品への買替だけでなく、大型製品への買替などの状況においても、一般消費者が買い替えすべきかどうかを容易に判断できる意思決定手法を確立することとした。また、複数の環境負荷を考慮した場合の評価ならびに買替を先延ばしすべきかを判断する場合の評価手法についても検討を行った。

15.2. 方法

15.2.1. 方法論の枠組み：prescriptive LCA

シナリオを設定して最も好ましいシナリオを選択するという従来的な LCA アプローチでは消費者が直面する様々な意思決定条件に対応できないことから、新たなアプローチとして「prescriptive LCA」と称したアプローチを前年度に考案した。prescriptive LCA では、1)買替時期や買替する製品のエネルギー消費改善率などといった意思決定条件を変数として与え、早期買替をする場合とそうでない場合の環境負荷が同じとなる等環境負荷線を描き、意思決定領域を求める、2)その線図に、対象製品の LCI データを用いて買替条件をプロットし、プロットが属する意思決定領域から消費者が買替の意思決定を行う、という手順で評価を行う。LCA では、複数のシナリオ・条件を設定してその比較を行うというように、評価

条件を確定させてから評価・比較を実施することが多いが、それでは消費者が直面する様々な意思決定条件に対応できないと考えられる。これに対し、このアプローチは次の点で有用と考えられる。

- A)消費者の買替における規範的な行動指針を提供できる。
- B)消費者が直面する様々な買替状況で、具体的な買替判断を行える。(例：あまり使わない製品、大型化)
- C)製造者の製品設計における目標を提供できる。

15.2.2. 早期買替の評価範囲

図 15.1 に早期買替をする/しない場合の製品ライフステージを示す。右上と右下に示した緑色部の製品が同一製品（省エネ性能の改善がない場合）であれば、点線で囲った評価範囲よりも右側の年あたりの環境負荷は同一であり、評価範囲から省くことができる。今回は、本研究第一段階の検討ということで、このような単純化のもと、四角枠で示した範囲を評価範囲とした。省エネ性能改善の将来見込みが最も悲観的なケースであるため、将来の改善の見込みがある場合には、以下に述べる計算は補正される必要がある。この点については、買替を先延ばしする場合として 15.6 節で検討する。

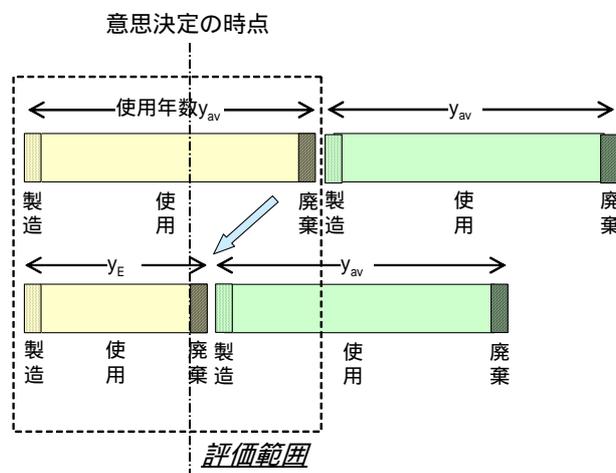


図 15.1 早期買替しない場合（上）と早期買替する場合（下）の評価範囲

15.2.3. エネルギー消費のみを考慮した場合の環境負荷量の比較式

早期買替しない場合と早期買替する場合の環境負荷量 E_L 、 E_E はそれぞれ(1)式と(2)式で表すことができる。

$$E_L = C_M^O + C_U^{O*} \cdot y_{av} + C_W^O \quad (1)$$

$$E_E = C_M^O + C_U^{O*} \cdot y_E + C_W^O + C_M^N \cdot \frac{(y_{av} - y_E)}{y_{av}}$$

$$+ C_U^{N*} \cdot (y_{av} - y_E) + C_W^N \cdot \frac{(y_{av} - y_E)}{y_{av}} \quad (2)$$

ここで、 C はエネルギー消費負荷、 y_{av} は当該製品の標準的な使用年数、 y_E は早期買替する時点における現保有製品の使用年数、右肩の O は現保有製品、 N は新製品、 $*$ は年あたりの値をそれぞれ示し、下付の M は製造過程、 U は使用過程、 W は廃棄過程を意味する。

このとき、 $E_L - E_E = 0$ であれば、早期買替の方が望ましいことになる。式変形すると、(3)式が得られる。なお、同種の製品の場合には γ に大きな変化はないと考えられるので、 γ のデータ利用可能性をふまえ、実際の計算にはこれを 1 とみなすことが多いと考えられる。

$$1 - \varepsilon \cdot \gamma \cdot \phi > 0 \quad (3)$$

ここで、 $\varepsilon = C_U^{N*} / C_U^{O*}$ 、 $\gamma = \frac{C_M^O + C_W^O}{C_U^{O*} \cdot y_{av}}$ 、 $\phi = \frac{C_M^N + C_W^N}{C_M^O + C_W^O}$ で、 ϕ は現保有製品に対する新製品の使用時エネルギー消費量の比（改善率）、 γ は非使用時（製造と廃棄等）のエネルギー消費量の改善率、 ε は現保有製品における非使用時と使用時とのエネルギー消費量の比である。

(3)式を描いた線図が図 15.2 である。よって、図 15.2 において、買替条件が灰色の領域にあれば、「早期買替する」（リユースしない）ことが望ましいと判定される。また、使用時のエネルギー消費の寄与が大きい製品種ほど（ ε が小さいほど）、また、製品の省エネ性能が向上していればいるほど（ ϕ が小さいほど）、早期買替が望ましいことがこの図から理解できる。また、製造時のエネルギー消費が減少しているほど（ γ が小さいほど）グレーの早期買替すべき領域が大きくなり、早期買替が望ましいケースが多いことも理解できる。

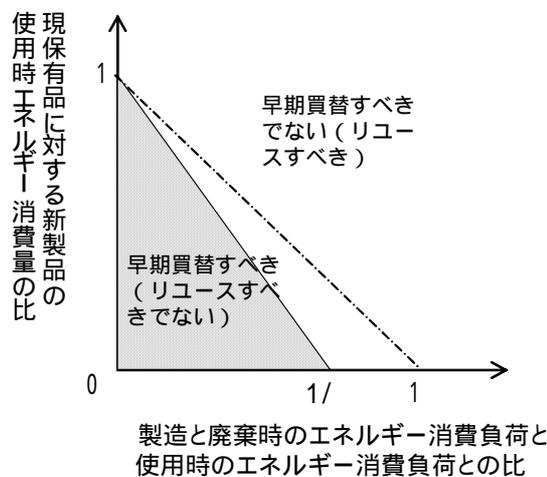


図 15.2 早期買替する場合とそうでない場合との等環境負荷線（エネルギー消費のみを考慮）

15.2.4. 資源消費などの主に製造・廃棄時に発生する環境負荷を考慮した場合の環境負荷量の比較式

次に、資源消費を考慮に加えた場合の検討を行う。基本的には、前述した式のエネルギー消費負荷 C の代わりにある統一尺度に統合化（等価換算）した環境負荷量（後述の(13)式）を用いて同様の計算を行えばよいが、ここでは、資源消費などの主に製造・廃棄時に発生する環境負荷が計算結果にどのような結果を及ぼすかを理解するために、資源消費量 R を導入した検討を行った。

資源消費量をエネルギー消費量に等価換算する係数を w_R とすると、早期買替しない場合と早期買替する場合の環境負荷量 E_L 、 E_E はそれぞれ(6)式と(7)式で表すことができる。

$$E_L = C_M^O + C_U^{O*} \cdot y_{av} + C_W^O + w_R \cdot (R_M^O + R_U^{O*} \cdot y_{av} + R_W^O) \quad (6)$$

$$E_E = C_M^O + C_U^{O*} \cdot y_E + C_W^O + C_M^N \cdot \frac{(y_{av} - y_E)}{y_{av}} + C_U^{N*} \cdot (y_{av} - y_E) + C_W^N \cdot \frac{(y_{av} - y_E)}{y_{av}} + w_R \cdot \{R_M^O + R_U^{O*} \cdot y_E + R_W^O + R_M^N \cdot \frac{(y_{av} - y_E)}{y_{av}} + R_U^{N*} \cdot (y_{av} - y_E) + R_W^N \cdot \frac{(y_{av} - y_E)}{y_{av}}\} \quad (7)$$

同様に式変形すると、(4)式の代わりに(8)式が、(5)式の代わりに(9)式が得られる。ただし、このとき、使用時の資源消費（補修用部品の資源消費）の変化量 ($R_U^{O*} - R_U^{N*}$) は小さく、0 とみなしている。

$$\varepsilon \leq 1 - \phi \cdot \gamma - w_R \cdot \frac{R_M^N + R_W^N}{C_U^{O*} \cdot y_{av}} \leq 1 - \phi \cdot \gamma - w_R \cdot \frac{C_M^N + C_W^N}{C_U^{O*} \cdot y_{av}} \cdot \frac{R_M^N + R_W^N}{C_M^N + C_W^N} \quad (8)$$

$$\varepsilon \leq 1 - \phi \cdot \gamma \cdot (1 + \beta_R) \quad (9)$$

$$\text{ここで、 } \beta_R = w_R \cdot \frac{R_M^N + R_W^N}{C_M^N + C_W^N}$$

したがって、(5)式を新製品の使用時以外の資源消費とエネルギー消費の等価換算値の比 β_R で補正することで、エネルギー消費以外の環境負荷にも拡張できることになる。

(9)式を描いた線図が図 15.3 である。等環境負荷線の傾きは $1 + \beta_R$ となり、早期買替すべき条件が厳しくなることが分かる。また、資源消費がより重要であればあるほど、この直線は左によりシフトすることが分かる。さらに、 β_R が $1/(1 + \beta_R)$

以上の場合には、新製品のエネルギー消費の改善の程度にかかわらず早期買替すべきでないということが分かる。

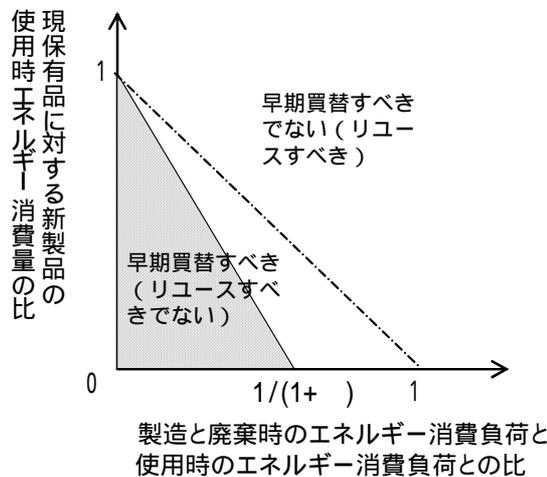


図 15.3 早期買替する場合とそうでない場合との等環境負荷線
(製造・廃棄時の資源消費等の環境負荷も考慮、 $\gamma=1$ の場合)

さらに、その他の環境負荷 X 、 Y ・・・を考慮すると(10)式のようになるので、多くの種類の環境負荷を想定すればするほど早期買替すべき条件が少なくなることが分かる。つまり、エネルギーだけに着目して早期買替が不適とされた場合には、わざわざ物質利用に伴う資源消費負荷や廃棄物処理などに伴う環境負荷を考慮しなくとも早期買替すべきでないと判断できることになる。このことは簡便かつ迅速な意思決定には重要な知見である。

$$\varepsilon \leq 1 - \phi \cdot \gamma \cdot (1 + \beta_R + \beta_X + \beta_Y + \dots) \quad (10)$$

ただし、(10)式は、前述したように使用時の環境負荷の変化量が小さく無視できる場合の式であり、自動車のように買い替えることによって、排ガス性能が向上するような場合、すなわち、使用時のエネルギー消費以外の環境負荷の変化が無視できない場合には適用できないので、注意が必要である。

15.2.5. 全ての段階での環境負荷の変化を考慮した場合の環境負荷量の比較式

そこで最後に、前項で無視した使用時の環境負荷の変化を考慮した場合を考える。この場合は(6)式と(7)式から(11)式を導出できる。したがって、(10)式は(12)式で表すことができる。

$$\varepsilon \leq 1 - \phi \cdot \gamma \cdot (1 + \beta_R) + \alpha_R \quad (11)$$

$$\text{ここで、 } \alpha_R = w_R \cdot \frac{R_U^{O*}}{C_U^{O*}} \cdot \left(1 - \frac{R_U^{N*}}{R_U^{O*}}\right)$$

$$\varepsilon \leq 1 - \phi \cdot \gamma \cdot (1 + \beta_R + \beta_X + \beta_Y + \dots) + \alpha_R + \alpha_R + \alpha_R + \dots \quad (12)$$

簡単な場合として(11)式を吟味してみる。図 15.4 に示すように、 R の分だけ等環境負荷線がシフトし、早期買替すべき領域が変化する。このときのシフトする幅は、 R の定義式から、使用時におけるエネルギー消費に対してここで想定している環境負荷量が多いほど、また、使用時の当該環境負荷の改善率が多いほど幅が大きくなる。さらに R の定義式から、新製品の使用時のエネルギー以外の環境負荷が現保有製品と比べて減少すると、 R は正の値をとり、早期買替の領域が拡大することが分かる。一方、新製品の使用時のエネルギー以外の環境負荷が現保有製品と比べて増加すると、 R は負の値をとり、早期買替の領域が縮小する。

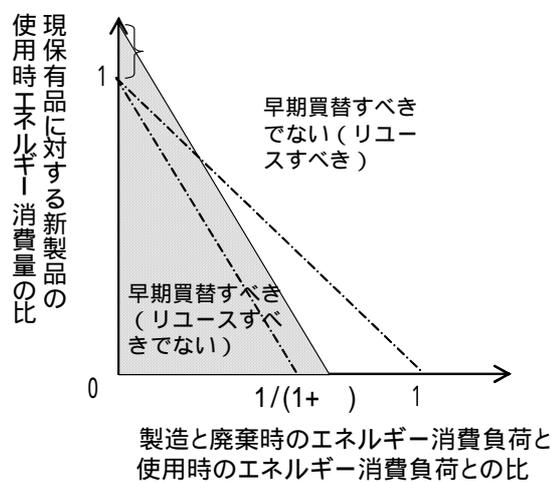


図 15.4 早期買替する場合とそうでない場合との等環境負荷線
(全ての環境負荷を考慮)

ところで、(10)式、(12)式は、追加的に環境負荷を考えていった場合に意思決定領域がどのように変化するかを判断するには有用であるが、実際の計算はやや手間がかかるうえ、 R は製品によって異なるため、1枚のグラフから様々な製品について比較を行うことはできない。そこで、全ての考慮する環境負荷を統合化係数などを用いて等価換算を行った場合の式を提示する。この場合は(13)式が得られる。

$$E_{new} = 1 - E_{prod} \cdot E_{use} \quad (13)$$

このときの E_{new} は等価換算を行った全ての環境負荷量の総和についての現保有製品に対する新製品の比であり、 E_{prod} は製造・廃棄時におけるその環境負荷量の新製品と現保有製品の比、 E_{use} は現保有製品におけるその環境負荷量の製造・廃棄時と使用時との比である。等環境負荷線は図 15.2 と同じ位置に描かれる。その結果、 E_{new} が 1 以上の場合は、早期買替が望ましいという領域は存在せず、このような製品については、できるだけ長く使用した方がよいということになる。

15.3. 様々な買替条件の調査・推計

15.3.1. 家電製品電力消費量データの収集と整備

まず、製品の年間電力消費量は、機能・サイズによる区分ごとの詳細なデータが「省エネ性能カタログ」に掲載・公表されており、このデータを収集・整理した。データ収集の対象と整理における扱いの詳細は以下のとおりである。

【共通】

- ・ 1997年～2009年(夏)までの期間のテレビ、エアコン、冷蔵庫のデータ。
- ・ 1997年、1998年は年一回のデータ。1999年以降は(夏)、(冬)の年二回のデータ。

【テレビ】

- ・ 2006年(冬)以降の“ブラウン管”、“液晶”、“プラズマ”の区分は“タイプ”欄を設けて記載した。2006年(夏)以前はブラウン管のみのデータ。
- ・ 1999(夏)～2000(冬)までは、“スタンダード”、“ワイド”、“ハイビジョン”、それ以外は、“スタンダード”、“ワイド”のデータ。

【エアコン】

- ・ “冷房時/暖房時消費電力量”として、1997～2006年(夏)について1月あたりの消費電力量(kWh/月)のデータを用いた。2006年(冬)以降については、冷房期間：3.5ヶ月、暖房期間5.5ヶ月として算出した。
- ・ “冷房期間/暖房期間消費電力量”として、2006年(冬)以降の期間あたり消費電力量のデータを用いた。1997～2006年(夏)までについては、冷房期間：3.5ヶ月、暖房期間5.5ヶ月として算出した。

【冷蔵庫】

- ・ “旧JIS年間消費電力量(kWh/年)”として、2005年(冬)までのデータを整理。
- ・ “新JIS年間消費電力量(kWh/年)”として、2006年(夏)以降のデータを整理した。
- ・ 2005年(冬)以前の“新JIS年間消費電力量(kWh/年)”データについては、電力消費量に大きな影響があるインバータ機器と非インバータ機器とに分けて補正を行った。補正は、新旧両方の測定値がある機種について相関式を求めて行った。相関式はインバータ機器： $y=0.0008x^2+0.6978x$ ($r^2=0.47$ 、 $n=28$)、非インバータ機器： $y=0.0017x^2+0.3548x$ ($r^2=0.89$ 、 $n=11$)で、 x は旧法の値、 y は旧法の値から新法の値へ補正する際の加算量である。

以上で整備した製品データを用いて、様々な買替条件での を求めた。テレビの買替における の算出結果を図15.5に示す。ここでは、現保有製品が何年製であったかを横軸にとり、大型機種への買替やトップランナー機種への買替をふま

え、6つのケースを想定して、2008年6月製品への買替における を算出した。

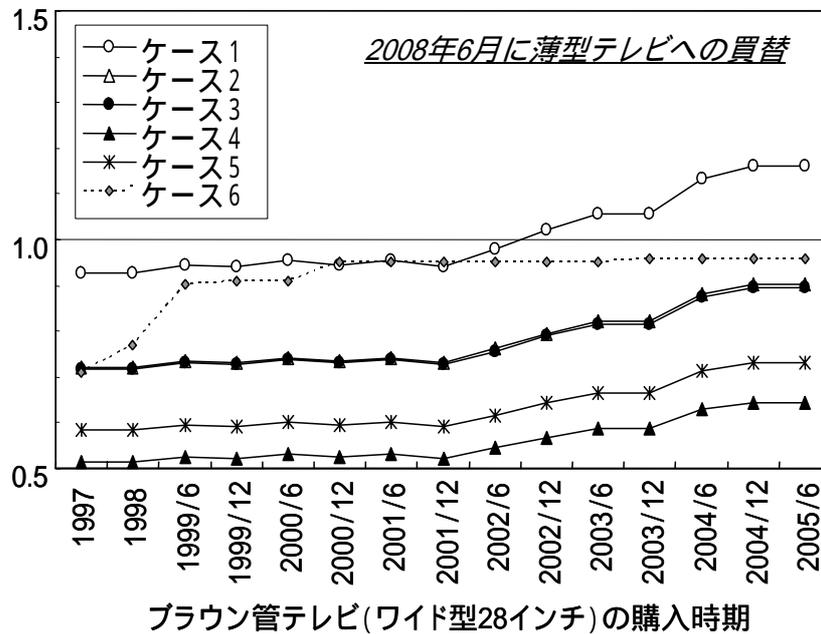


図 15.5 テレビの買替における の値(現保有製品がワイド型 28 インチの場合)
 ケース 1：平均機種から 10 インチ上の平均機種への買替
 ケース 2：平均機種から 5 インチ上の平均機種への買替
 ケース 3：平均機種から 10 インチ上のトップランナー機種への買替
 ケース 4：平均機種から 5 インチ上のトップランナー機種への買替
 ケース 5：平均機種から同サイズの平均機種への買替
 ケース 6：トップランナー機種から同サイズのトップランナー機種への買替

現保有製品がワイド型 28 インチの場合、多くの場合で が 1 以下となり、使用時の電力消費量を削減できる、ことが分かる(ただし、1 以下であっても製造時等のエネルギーがあるので、買替がよいとは限らない)。しかし、10 インチ上の平均機種へ買替した場合、2002 年以降、すなわち 6 年を経過していないテレビを買替する場合には「増エネ」となることが分かる。

一方、現保有製品が標準型 21 インチの場合、増エネとなるケースが多かった(図 15.6)。5 インチ上の平均機種を購入する場合は、10 年を経過していない製品を買い替えることは増エネとなり、同サイズの製品もしくはトップランナー機種への買替が求められる。しかし、すでに当時のトップランナー機種を購入していた場合は増エネとなることが示された。

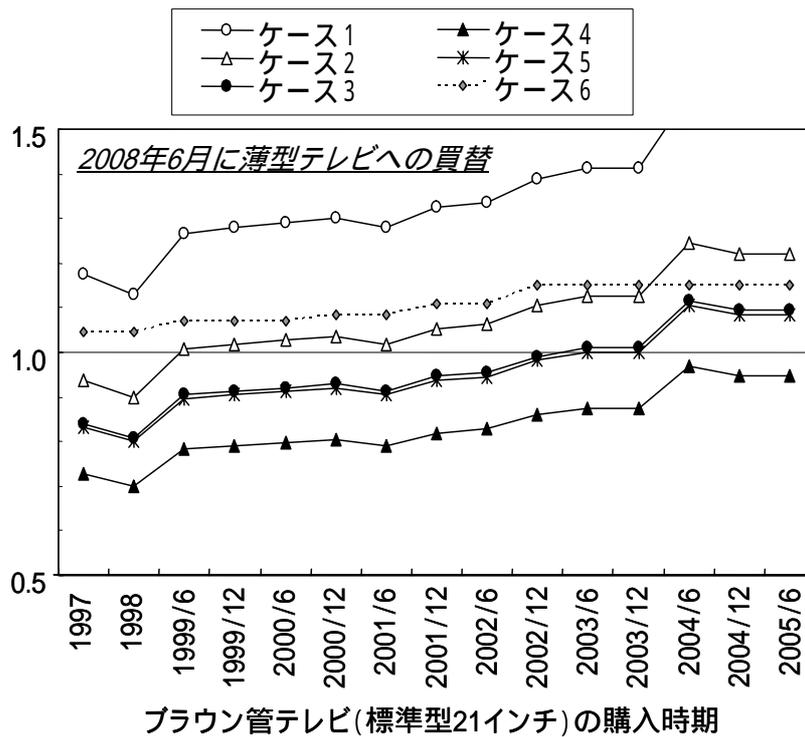


図 15.6 テレビの買替における の値（現保有製品が標準型 21 インチの場合）

ケース 1：平均機種から 10 インチ上の平均機種への買替

ケース 2：平均機種から 5 インチ上の平均機種への買替

ケース 3：平均機種から 10 インチ上のトップランナー機種への買替

ケース 4：平均機種から 5 インチ上のトップランナー機種への買替

ケース 5：平均機種から同サイズの平均機種への買替

ケース 6：トップランナー機種から同サイズのトップランナー機種への買替

エアコンならびに冷蔵庫の買替における の算出結果を図 15.7 と図 15.8 に示す。

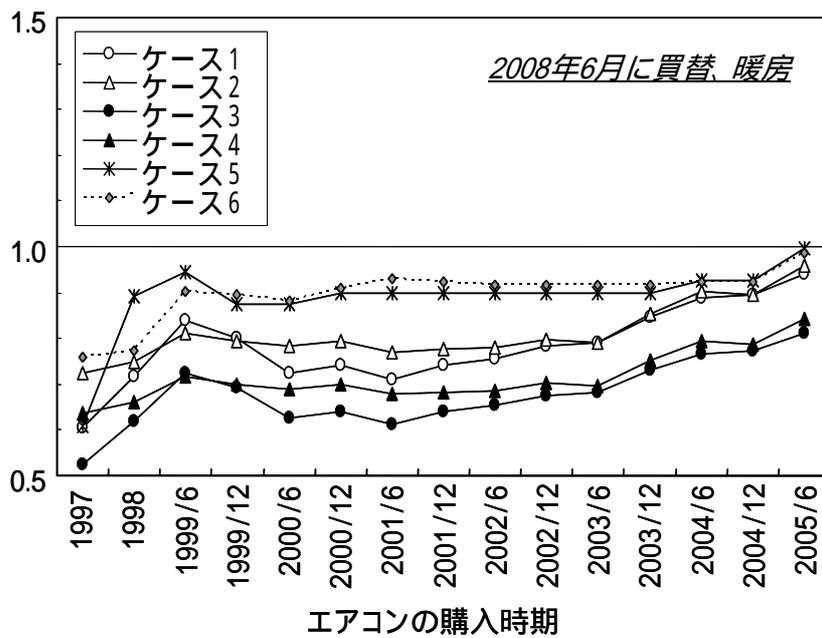
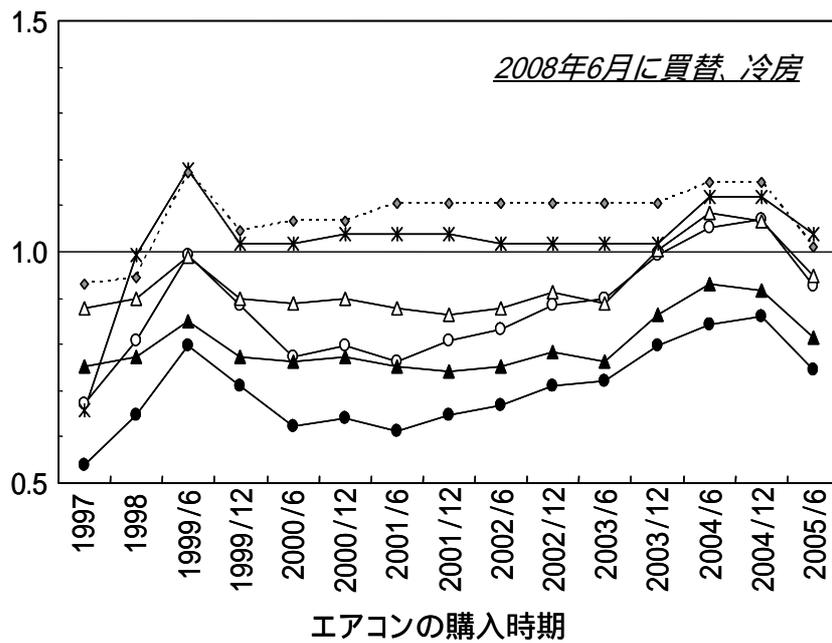


図 15.7 エアコンの買替における の値

ケース 1 : 2.2kW、平均機種から平均機種への買替
 ケース 2 : 2.8kW、平均機種から平均機種への買替
 ケース 3 : 2.2kW、平均機種からトップランナー機種への買替
 ケース 4 : 2.8kW、平均機種からトップランナー機種への買替
 ケース 5 : 2.2kW、トップランナー機種からトップランナー機種への買替
 ケース 6 : 2.8kW、トップランナー機種からトップランナー機種への買替

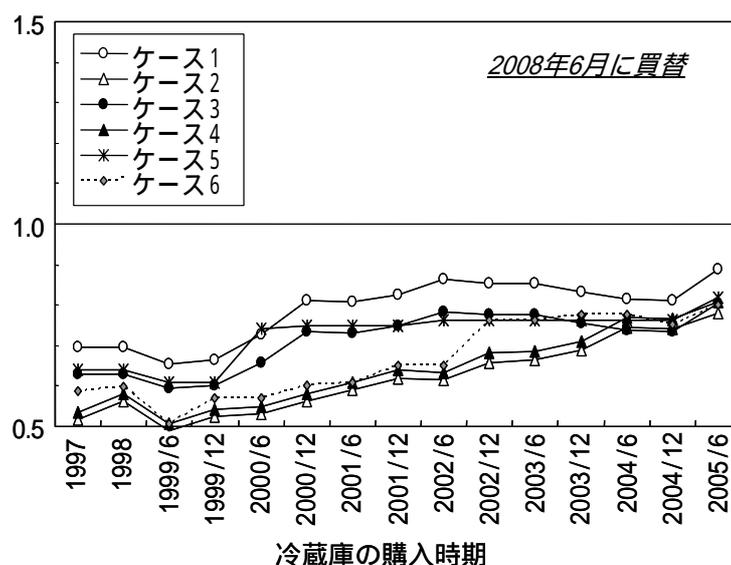


図 15.8 冷蔵庫の買替における の値

ケース 1 : 251 ~ 300L 平均機種から平均機種への買替

ケース 2 : 351 ~ 400L 平均機種から平均機種への買替

ケース 3 : 251 ~ 300L 平均機種から 100L アップの平均機種への買替

ケース 4 : 351 ~ 400L 平均機種から 100L アップの平均機種への買替

ケース 5 : 251 ~ 300L のトップランナー機種から 100L アップのトップランナー機種への買替

ケース 6 : 351 ~ 400L のトップランナー機種から 100L アップのトップランナー機種への買替

15.3.2. 家電買替による電力消費量比グラフ作成プログラムの作成

15.3.1 で整備した家電製品使用時の電力消費量データ(1997 ~ 2009 年製造製品)をもとに、異サイズの製品に買替を行った場合の新製品と旧製品との電力消費量比 のグラフを自動作成するプログラムをエクセルで作成した。プログラムにおいては、電力消費量データが更新された場合、新しいデータを読みこむ機能も追加した。作成したプログラムの動作画面の例を図 15.9 に示す。

テレビ	エアコン	冷蔵庫	照明
-----	------	-----	----

現保有品のサイズ(型)
 現保有品の種類
 現保有品の購入当時の省エネ性能
 新規購入品の種類
 新規購入品の製造年
 新規購入品の省エネ性能

25~29
ブラウン管
平均
液晶
2009
平均

グラフ生成

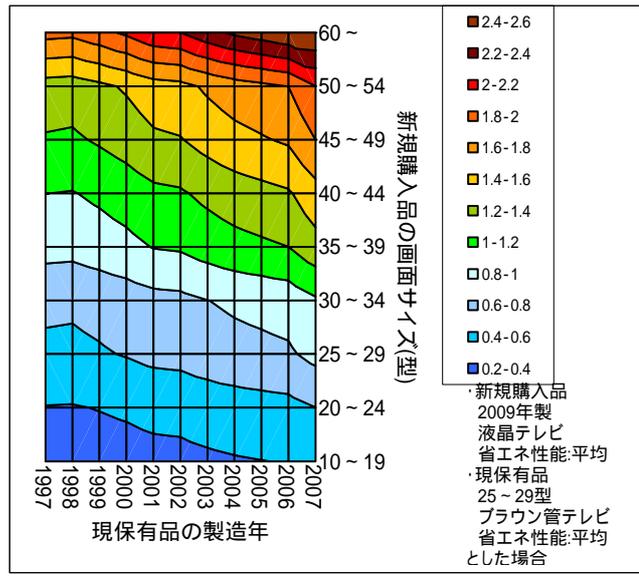


図 15.9 家電買替による電力消費量比グラフ作成プログラムの画面例

本プログラムで設定できる買替条件は以下のとおりである。

テレビ (設定範囲・選択肢)

現保有品のサイズ(型) 「10~19」 ~ 「60~」

現保有品の種類 液晶、プラズマ、ブラウン管

現保有品の購入当時の省エネ性能 平均、最高、最低

新規購入品の種類 液晶、プラズマ、ブラウン管

新規購入品の製造年 「2001」 ~ 「2009」

新規購入品の省エネ性能 平均、最高、最低

エアコン (設定範囲・選択肢)

現保有品の冷房能力(kW) 「~2.2」 ~ 「7.1」

現保有品の購入当時の省エネ性能 平均、最高、最低

新規購入品の製造年 「2001」 ~ 「2009」

新規購入品の省エネ性能 平均、最高、最低

冷蔵庫

(設定範囲・選択肢)

現保有製品の内容積(リットル)

「140以下」～「501以上」

現保有製品の購入当時の省エネ性能

平均、最高、最低

買い替え対象機種種の製造年

「2001」～「2009」

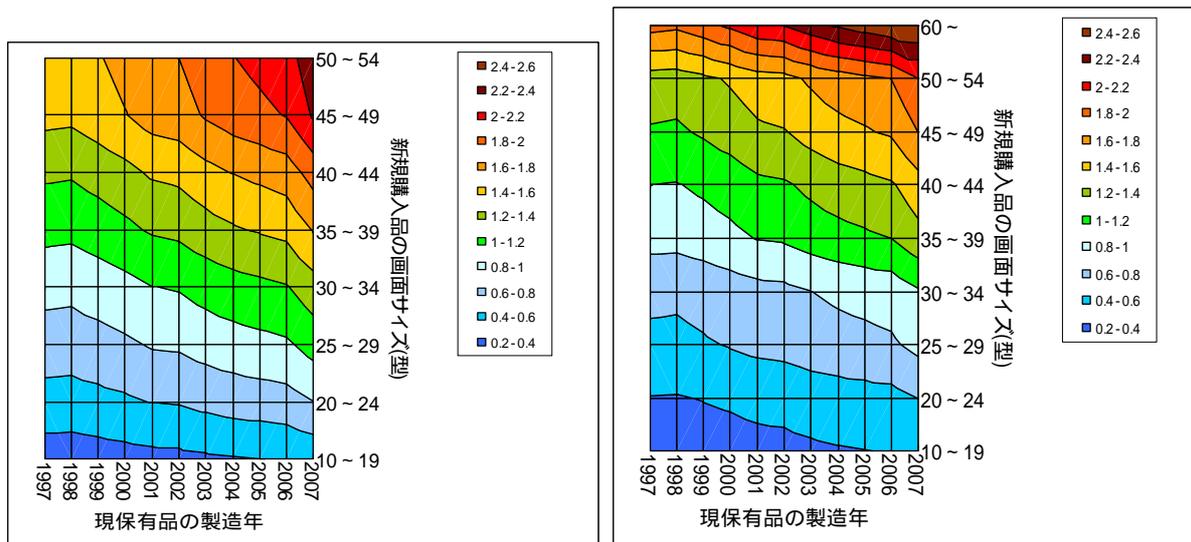
買い替え対象機種種の省エネ性能

平均、最高、最低

本プログラムを用いていくつかの買替条件における を算出した結果を以下に示す。

1) テレビ

図 15.10 に示すように、2006 年製品よりも 2009 年製品を購入した方が一般的に が小さくなり、電力消費削減効果が高い。現保有品が 1997 年製である場合、2006 年製の 35～39 インチ製品に買い替えると消費電力量は増となるが、2009 年製ではより大型の 40～44 インチ製品で同等となる。



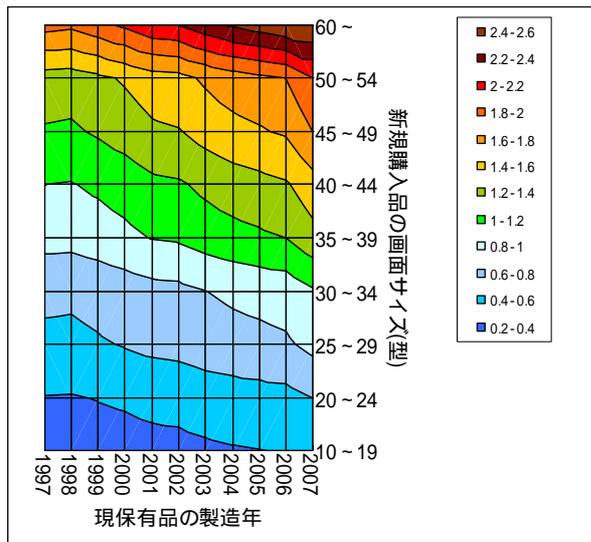
2006 年製品に買替する場合

2009 年製品に買替する場合

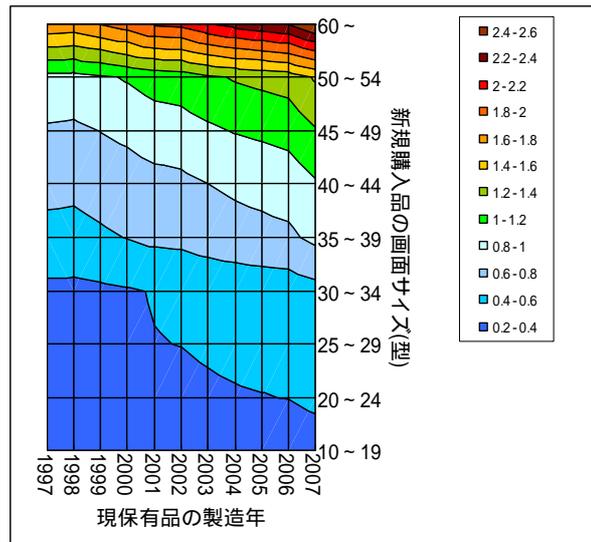
図 15.10 テレビ買替による電力消費量比グラフの作成結果

(現保有品: 25～29 型ブラウン管(省エネ性能: 平均)とした場合、新製品を 2006 年製品と 2009 年製品とした場合)

また図 15.11 に示すように新製品が平均機種である場合とトップランナー機種である場合を比較すると、トップランナー機種への買替の方が を大幅に小さくできる。例えば 1997 年製の製品を買替する場合、平均機種では 40～44 インチで消費電力量が同じであるが、最高性能機種の場合は 50～54 インチで同じとなる。図 15.10 と図 15.11 から、テレビのこれらの買替条件においては製造年よりはトップランナー機種かどうかの方が電力消費削減に大きな影響を及ぼすことになる。



平均機種に買替する場合

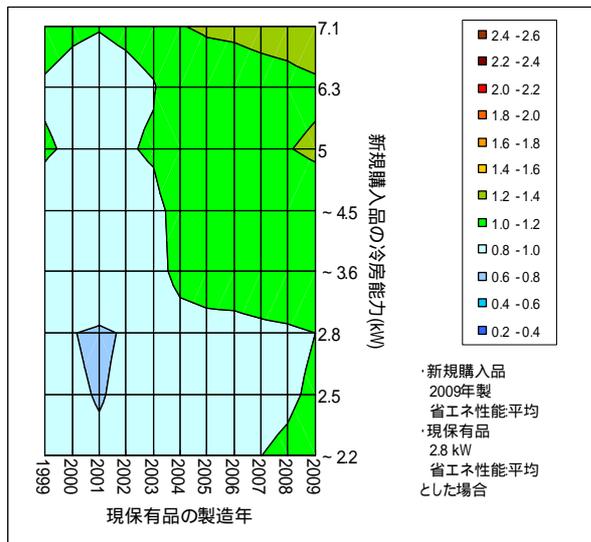


トップランナー機種に買替する場合

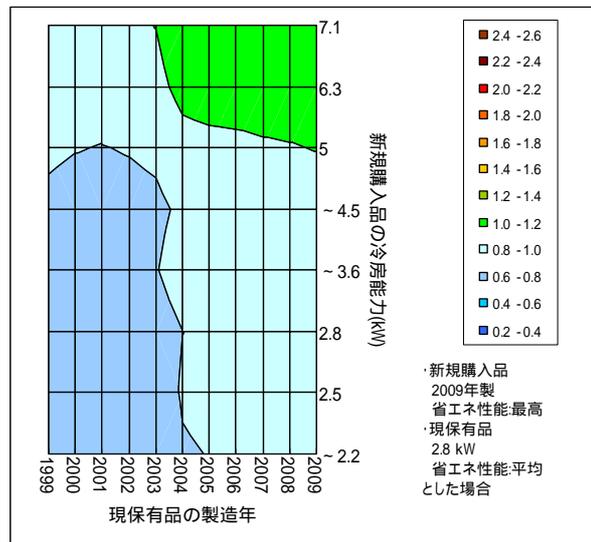
図 15.11 テレビ買替による電力消費量比グラフの作成結果
 (現保有品：25～29型ブラウン管(省エネ性能：平均)とした場合、新製品を2009年製品の平均機種とトップランナー機種とした場合)

2) エアコン

図 15.12 に示すように新製品が平均機種である場合とトップランナー機種である場合を比較すると、平均機種では2.5～2.8kW機種が性能が高いこと、トップラ



平均機種に買替する場合

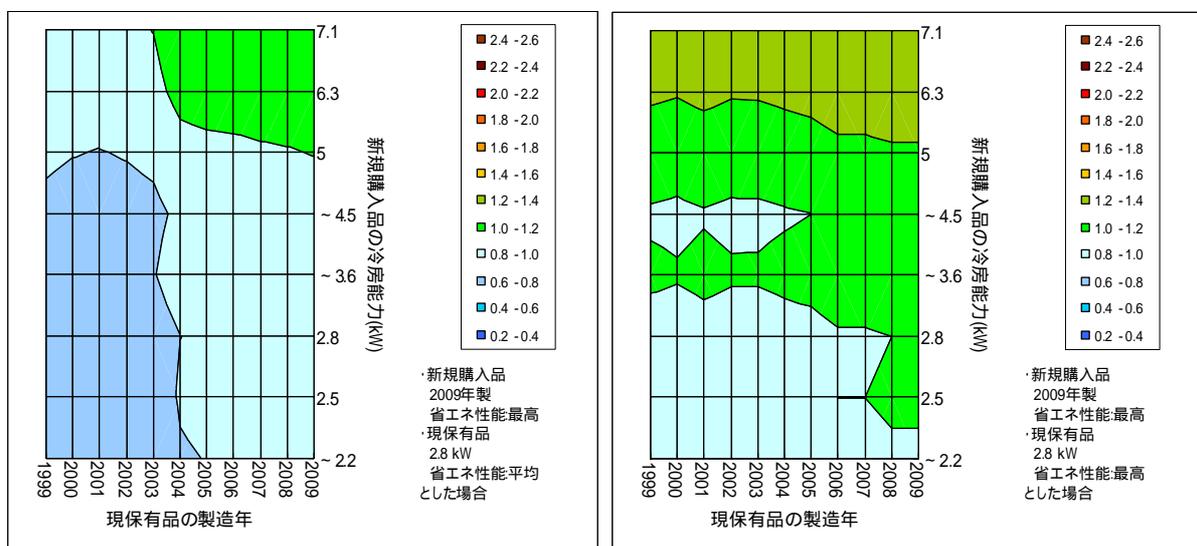


トップランナー機種に買替する場合

図 15.12 エアコン買替による電力消費量比グラフの作成結果
 (現保有品：2.8 kW (省エネ性能：平均)とした場合、新製品を2009年製品の平均機種とトップランナー機種とした場合)

ンナー機種では 4.5kW 以下の性能がよく、 を小さくできている。例えば、1999 年製の機種を買い替える場合、平均機種では消費電力量の削減率は 2 割以内であるが、最高性能機種に買い替える場合は 2~4 割を達成できる。

また、図 15.13 に示すように現保有品が平均機種である場合とトップランナー機種である場合を比較すると、トップランナー機種から買替する場合には が大きくなってしまふことが分かる。2.8kW より大きいクラスへの買替で、現保有品が 1999 年以降の製品である場合には、ほとんどの場合でかえってエネルギー消費が増大してしまふことが分かる。また、2.8kW 以下のクラスに買替する場合でも、電力消費量の削減率は 2 割以内に留まる。



平均機種から買替する場合

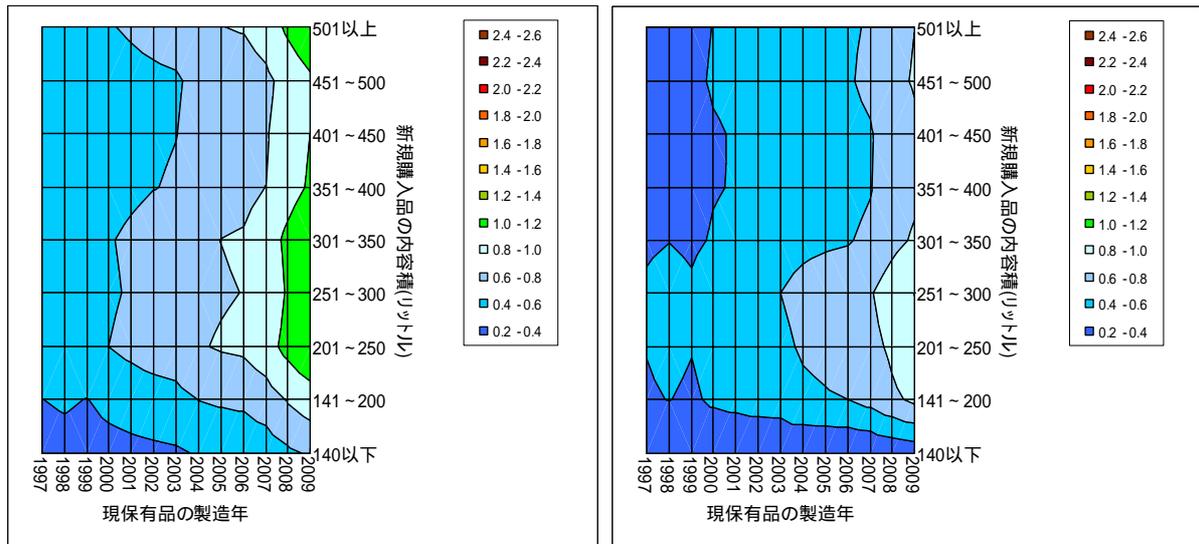
トップランナー機種から買替する場合

図 15.13 エアコン買替による電力消費量比グラフの作成結果

(現保有品 : 2.8 kW とした場合、新製品を 2009 年製品のトップランナー機種とした場合)

3) 冷蔵庫

図 15.14 に示すように新製品が平均機種である場合とトップランナー機種である場合を比較すると、いずれも小さな 、すなわち大幅な電力消費量の削減率を達成できることが分かる。例えば 1997 年製品を保有している場合、平均機種に買替する場合でも消費電力量は 4~6 割減少となり、ほぼ半減する。トップランナー機種に買替する場合でも、300 リットル以上に買替する場合には 6 割以上の削減を達成できる。



平均機種に買替する場合

トップランナー機種に買替する場合

図 15.14 冷蔵庫買替による電力消費量比グラフの作成結果
 (現保有品：401～450 リットル(省エネ性能：平均)とした場合、新製品を 2009 年製品の平均機種とトップランナー機種とした場合)

15.3.3. 製品利用データの収集と整備

続いて、テレビとエアコンの使用時間分布を文献調査・推計した。方法と結果は後述する。得られた分布は、正規分布よりも対数正規分布にフィットしたので、対数正規分布の平均値 (μ) と標準偏差 (σ) を算出し、($\mu + 2\sigma$) 値を「よく使う人」、($\mu - 2\sigma$) 値を「あまりよく使わない人」とした。この範囲に消費者の約 68% が該当する。また、極端な使用をしている消費者として、($\mu \pm 2\sigma$) 値も求めた (この範囲に約 95% の消費者が該当)。この時間を用いて前年度報告書の値 (表 15.1) を補正して、様々な使用時間での σ を算出した。

表 15.1 エネルギー消費型製品の σ の計算値

(i)2008 年頃の日本における平均使用年数を想定した場合

		使用年数	算出に用いた文献
エアコン	0.03	15	梅田 (2002)
冷蔵庫	0.08	12	JLCA-DB (2004)、 梅田 (2002)
テレビ	0.12	11	上野他 (1998)、 梅田 (2002)
自動車	0.22	11	梅田 (2002)
ノートPC	3.52	7	稲葉 (2005)

表 15.1 エネルギー消費型製品の の計算値(つづき)
(ii)単純化した平均使用年数を想定した場合

		使用年数	算出に用いた文献
エアコン	0.04	10	梅田(2002)
冷蔵庫	0.10	10	JLCA-DB(2004)、 梅田(2002)
テレビ	0.13	10	上野他(1998)、 梅田(2002)
自動車	0.24	10	梅田(2002)
ノートPC	4.93	5	稲葉(2005)

テレビの使用時間については、平成 20 年度の経済産業省委託事業で、平日と休日に分けてアンケートの結果を整理している(n=3,088、web 調査、2005 年度国勢調査の地域別人口分布(エリアを 4 つに分類)を目標として回収)¹⁰⁾。平日と休日のヒストグラムのそれぞれの級の値に 5 日と 2 日をかけて合計して、全日の平均的な分布を概算した結果が図 15.15 である。

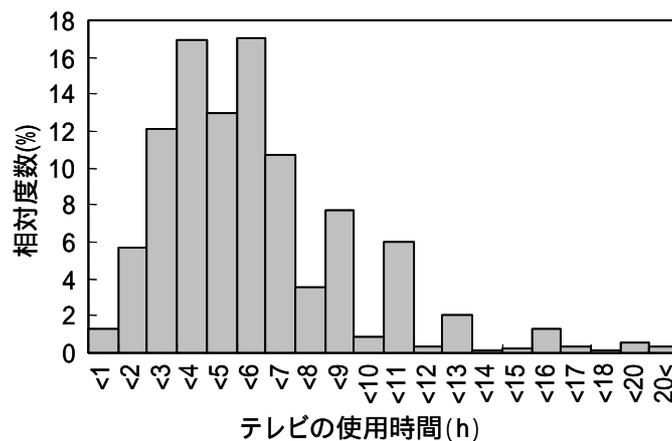


図 15.15 テレビの使用時間の分布

(対数正規分布として場合の平均値 = 4.8、- 値 = 2.6、+ 値 = 8.7)

同調査¹⁰⁾では、エアコンの冷房と暖房の使用時間も調査しており、同様に平日と休日の分布が得られている。テレビと同様にして全日の平均的な分布を求めたのが図 15.16 である(居間・リビングに設置されたものについて。冷房は n=3,082、暖房は n=2,269)。

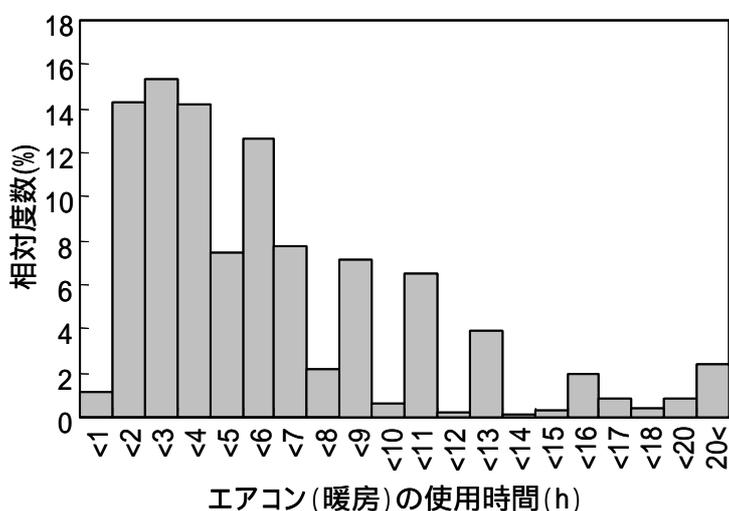
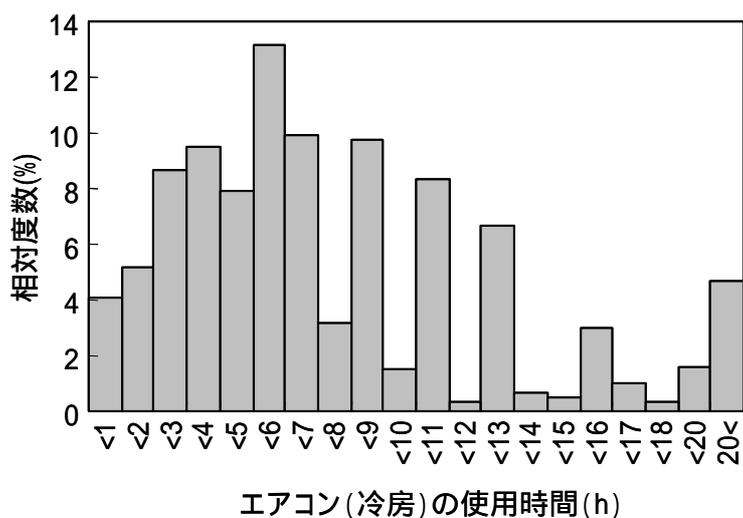


図 15.16 エアコンの使用時間の分布 (対数正規分布として場合の冷房：平均値 = 6.0、- 値 = 2.7、+ 値 = 13.5、暖房：平均値 = 4.7、- 値 = 2.2、+ 値 = 11.0)

エアコンについては、冷房や暖房にエアコンを使用する期間も考慮する必要があるので、次に、平成 14 年度から 15 年度にかけて全国約 4,000 戸を対象に行われたインターネットでのアンケート調査から得られた冷房期間と暖房期間のグラフ¹¹⁾(全国 10 ブロックでの結果があるがここでは全国の値を用いた)から戸建住宅と集合住宅のそれぞれの平均値を読みとった(冷房は戸建住宅と集合住宅ともに 1.7 ヶ月、暖房は戸建住宅が 4.2 ヶ月、集合住宅が 3.3 ヶ月であった)。これらを先ほどの分布に乗じて、エアコンの年間冷房使用時間と年間暖房使用時間の分布を求め、戸建住宅と集合住宅の平均値より、住宅全般の平均年間冷房時間と平均年間暖房時間の分布とした。

15.4. 等環境負荷線の算出と様々な買替条件における買い替え判断

最後に、15.3 節で得た様々な買替条件のデータを用いて、prescriptive LCA を家庭用の耐久消費財に適用したケーススタディを実施した。対象製品は、テレビ、エアコン、冷蔵庫とし、エネルギー消費のみを考慮した検討を行った。

テレビについて等環境負荷線の線図にプロット・図示したものが図 15.17 である。実際の買替で判断が迷うと思われた 8~10 年経過した製品を買替する場合(8~10 年の平均値を利用)の結果を示した(は 8~10 年経過製品の平均値とした(CV は最大でも 11%))。なお、図 15.17 は現保有製品がワイド型 28 インチの場合である。

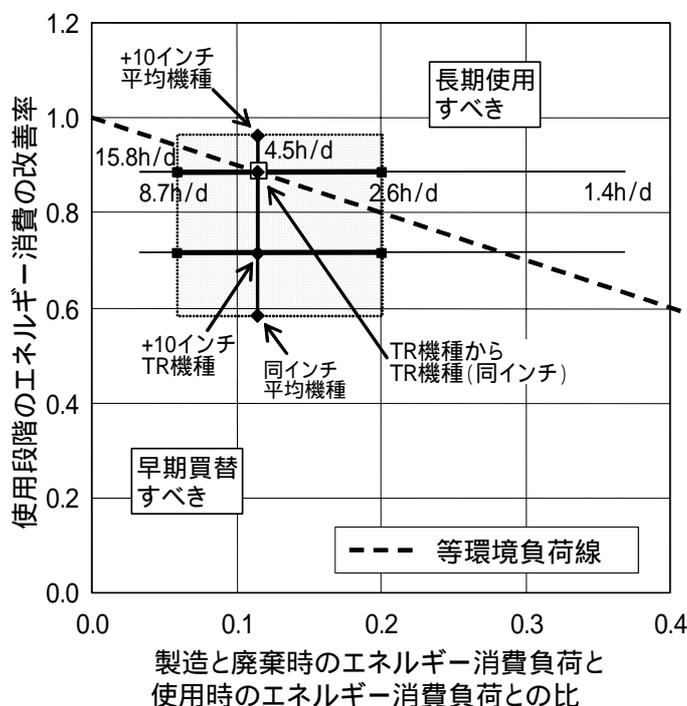


図 15.17 テレビを 8~10 年経過後に買替する場合とそうでない場合の等環境負荷線(エネルギー消費のみを考慮、 $=1$ の場合、横方向は ± 2 値を図示)

カタログ値が用いている 1 日の標準使用時間 4.5 時間のケースを縦方向にみると、トップランナー機種もしくは同サイズのテレビへの買替は行うべきだが、10 インチ上の平均クラスへの買替は避けるべきと判断できる。すでにトップランナー機種を保有している場合の買替はどちらともいえない(ほぼ等環境負荷線に位置する)結果になった。また、よく使う人(1 日平均 8.7 時間)とあまり使わない人(1 日平均 2.6 時間)の範囲を示した太線の範囲を見ると、あまり使用しない場合は買替すべきでないと判断されるケースも多く存在することが分かる。例えば、すでにトップランナー機種を保有している場合、平均よりも使わない場合

は買替すべきではない。また、10インチ上の平均機種への買替の場合は、よく使う場合でも買替を避けるべきと判断できる。10インチ上のトップランナー機種への買替の場合は、1日平均1.4時間といった非常に使わない場合は買替すべきでないが、あまり使わない程度であれば買替すべきことが分かる。同インチの平均機種の場合、使用時間は気にせずに買替してよいことが分かる。なお、8~10年経過した標準型21インチのテレビを買替する場合は、前述のケース1,2,6(η が0.98以上)は使用時間によらずに買替すべきでなく、ケース3と5(η が0.87程度)は平均よりも使わない場合は買替すべきでなく、ケース4(η =0.76)は非常に使わない場合を除き買替すべきとされた。

同様に、8~10年経過したエアコンについて等環境負荷線の線図にプロット・図示したものが図15.18である。

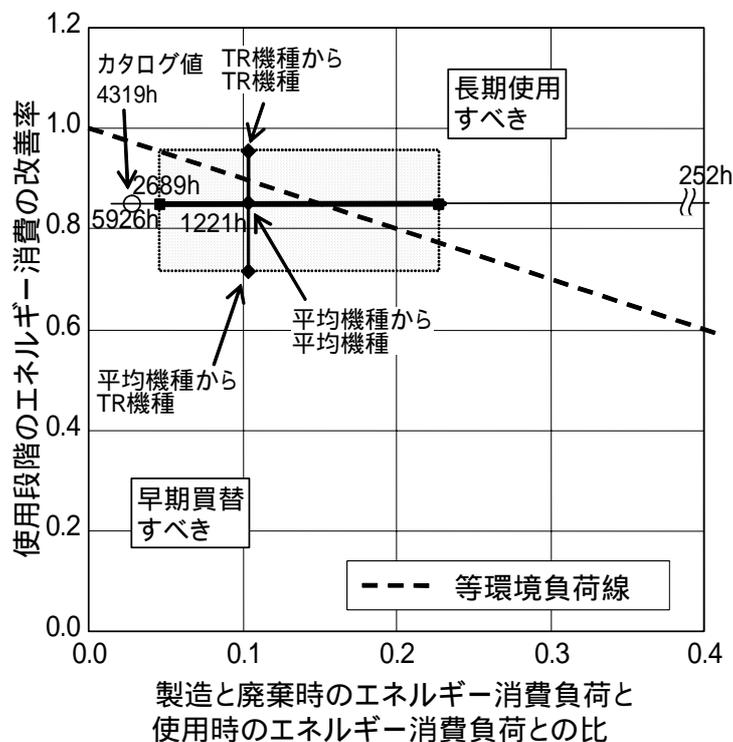


図 15.18 エアコン (2.8kW) を 8~10 年経過後に買替する場合とそうでない場合の等環境負荷線 (エネルギー消費のみを考慮、 η =1 の場合)

エアコンは、平均機種からトップランナー機種に買替する場合は、あまり使わないケースであってもよほど極端に使用時間が短くない限り、買替すべき結果となった。平均機種から平均機種に買替する場合は、あまり使わないケースは買替すべきでないと判断され、当時のトップランナー機種から現在のトップランナー機種に買替する場合はよく使うのもであっても買替すべきでないと判断された。このように、エアコンは使用時間が少ない場合や既に当時のトップランナー機種

を保有している場合に買替すべきでないとは判断されることがある。

同様に、8～10年経過した冷蔵庫について等環境負荷線の線図にプロット・図示したものが図 15.19 である。冷蔵庫は、サイズが 100L アップしたとしても、トップランナー機種からトップランナー機種への買替でも買替すべきと判断され、前述の 6 つの条件全てで買替すべきという結果となった。

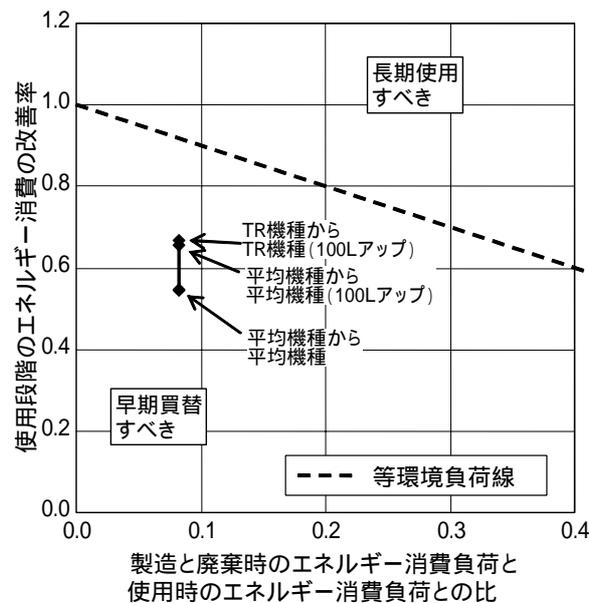


図 15.19 冷蔵庫を 8～10 年経過後に買替する場合とそうでない場合の等環境負荷線(エネルギー消費のみを考慮、 $\alpha=1$ の場合、新しい製品が 351～400L の場合)

15.5. 複数の環境影響を統合化した場合の買替評価

さて、エネルギー消費効率が高い新機種への早期買替ではエネルギー消費を抑制できる可能性がある一方で、製品本体の製造に伴う鉱物資源消費量の増加や廃棄物処分に伴う処分場消費への影響のように複数の環境問題間でトレードオフが生じる可能性がある。本節では、複数の環境問題間でのトレードオフを考慮した早期買替の評価を行った。

冷蔵庫、テレビを 1998 年製の製品から 2008 年製の製品に買い替えた場合を対象として、複数の環境影響の統合化を行った。環境負荷物質の排出量については、使用時以外については製造事業者からの協力を得て評価対象となるクラスの代表的な製品について、素材・部品・エネルギー投入量にそれぞれの生産時の環境負荷排出原単位を乗じたデータを入手した。なお廃棄時については、家電重量からリサイクルによる樹脂、金属回収量を差し引いたものを廃棄物発生量として計上した。使用時については、1998 年から 2008 年に製造された製品についての年間電力消費量(カタログ値)を調査し、1998・2008 年製の製品の年間電力消費量の平均値に電力 1kWh あたりの環境負荷原単位を乗じて環境負荷量を算出した。複

数の環境影響の統合化においては、ライフサイクルアセスメントで用いられる代表的な3つの手法（LIME、EPS、Eco-indicator'99）を採用し、各製品の環境負荷排出量に各手法の影響評価係数を乗じることで環境影響の統合化結果を得た。図15.20には、エネルギー消費のみでの評価および3つの統合化手法をそれぞれ用いた場合の、冷蔵庫（容量451～500L）、テレビ（25型CRT 32型液晶）について1998年製の製品から2008年製の製品に買い替えた場合の使用時環境影響の改善率、製造・廃棄時の環境影響割合をプロットしている。

冷蔵庫のように使用時のエネルギー消費量が大きく、使用時間も長い製品では環境負荷物質の排出、鉱物資源消費および廃棄物処分場消費などの影響を統合化してもエネルギー消費のみで評価した場合と大きく結論が変わらず、基本的に早期買い替えが好ましい。一方、テレビのように使用時間が短い製品では使用時エネルギー消費の改善効果に比べて旧製品の廃棄や新製品の製造に伴う環境影響が大きくなるため、早期買い替えすべきではない（図15.20では等環境負荷線より右にプロット）という結果となる。今回採用した3つの統合化手法については採用する影響評価モデルや評価対象地域などに違いがあるが、いずれの手法を用いた場合でも上記の結論は同様であった。

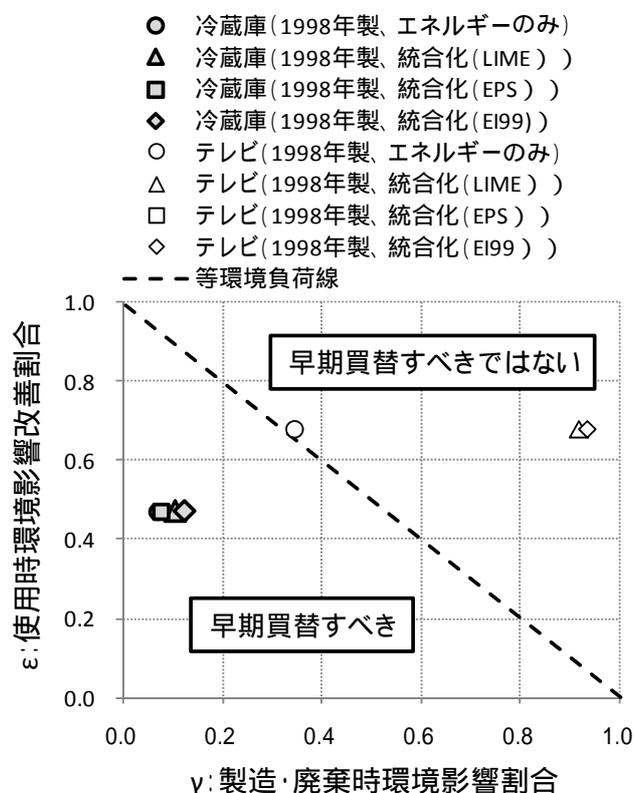


図 15.20 冷蔵庫、テレビを10年経過後に買替する場合の使用時環境影響改善率と製造・廃棄時の環境影響割合（等環境負荷線より下であれば買替すべき）

また、エネルギー消費以外の環境影響を考慮した場合にどのような環境問題が重要となるかについて、冷蔵庫（容量 451～500L）の環境影響統合化結果（LIME と Eco-indicator'99）における各環境影響領域の内訳を図 15.21 に示す。

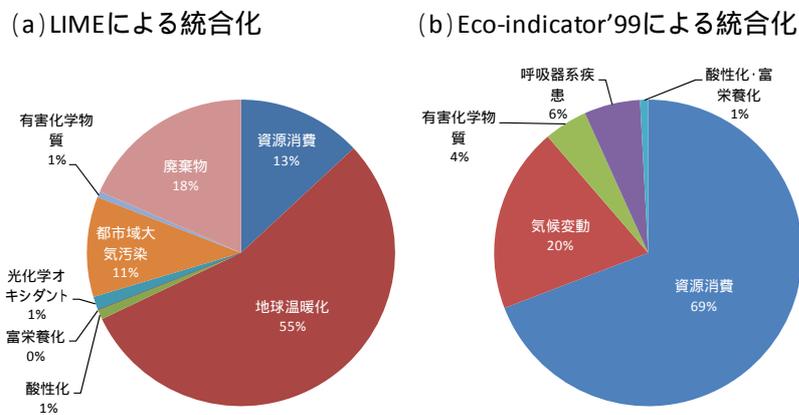


図 15.21 冷蔵庫の環境影響統合化結果における各環境影響領域の寄与

どちらの手法を用いた場合についても、地球温暖化（気候変動）、資源消費（エネルギー消費含む）が大部分をしめているが、廃棄物、都市域大気汚染、呼吸器系疾患や有害化学物質などの地域性のある環境影響領域も一定程度の影響がみられることが分かる。

環境影響の統合化手法はそれぞれ特徴を有している。今回の評価においても廃棄物処分場消費による影響が比較的大きいなど、地域性のある環境影響領域が重要な部分を占めていることから、評価対象地域に適した手法を用いることが重要である。対象地域に適した統合化手法を用いた評価結果において、早期買替が適していない場合はリデュース・リユースの観点から買替を推奨するべきではなく、早期買替が適している場合でも複数の統合化手法から得られる結論が同様であることを前提とした上で早期買替を推奨することが望ましい。

15.6. 買替を先延ばしすべきかの判断

一部の消費者ならびに本研究費のアドバイザー委員からは、買替判断において買替の先延ばしをすべきか、すなわち例えば来年度に買替をすべきかを判断したいという意見があった。そこで本項では、そのような場合の判断手法を検討した。なお、方法論の確立を目的としているため、評価の事例検討は最も単純なエネルギー消費のみを考慮した場合について行った。

15.6.1. 判断式

早期買替を先延ばしする場合には、図 15.22 に示すように、早期買替をする場合と早期買替を y_d 年延長する場合とを比較することになる。

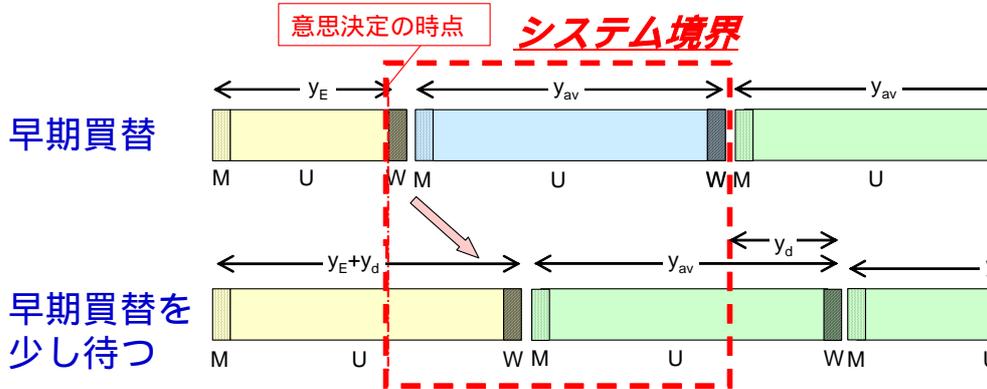


図 15.22 早期買替する場合（上）と早期買替を y_d 年延長する場合（下）の評価範囲

つまり、これまでは(1)式と(2)式を比較していたが、この場合は次の(14)式と(15)式とを比較して $E_E - E_{Ed} < 0$ であれば、買替判断の時点で即座に買替する方が望ましいと考える。このとき、 y_d 年後にさらに y_d の消費段階におけるエネルギー消費の改善が実現しそうと判断することができる。この即座に買い替えすべき条件は(14)式と(15)式を式変形をして(16)式で表すことができる。

$$E_E = [C_M^{N*} + C_U^{N*} + C_W^{N*}] \cdot y_{av} \quad (14)$$

$$E_{Ed} = C_U^{O*} \cdot y_d + [C_M^{ND*} + C_U^{ND*} + C_W^{ND*}] \cdot (y_{av} - y_d) \quad (15)$$

$$\varepsilon \cdot \left(\varepsilon_d + \frac{1 - \varepsilon_d}{y_d / y_{av}} \right) \leq 1 - \phi \cdot \gamma \quad (16)$$

ここで、 y_{av} は当該製品の標準的な使用年数、 $\varepsilon = C_U^{N*} / C_U^{O*}$ 、 $\gamma = \frac{C_M^O + C_W^O}{C_U^{O*} \cdot y_{av}}$ 、 $\phi = \frac{C_M^N + C_W^N}{C_M^O + C_W^O}$ で、

ε は現保有製品に対する新製品の使用時エネルギー消費量の比（改善率）、 ε_d は非使用時（製造と廃棄等）のエネルギー消費量の改善率、 ϕ は現保有製品における非使用時と使用時とのエネルギー消費量の比であり、 C はエネルギー消費負荷、右肩の O は現保有製品、N は新製品、*は年あたりの値をそれぞれ示し、下付の M は製造過程、U は使用過程、W は廃棄過程を意味する。

(16)式と(3)式の違いから、等環境負荷線は買い替えを先延ばししない場合よりずれることが分かる。また、(16)式より、以下の3点を理解することができる。

- ・ 同じエネルギー消費量（消費段階）の改善率 ε_d であれば、その達成の見込みが早いほど、早期買替を待つべき。

- ・ 同じ年であれば、将来の改善率の見込みが高い（ が小さい）ほど、早期買替を待つべき。
- ・ 同じ改善率の達成レートであれば、達成の時期が早いほど、早期買替を待つと判断される領域が大きい。

15.6.2. 判断事例

(16)式ならびにテレビ、エアコン、冷蔵庫の買替条件をプロットした場合を図 15.23 に示す（プロットのパラメータは前年度報告書を参照）。なお、(16)式の直線は製品の平均的な買替年数 y_d により位置が異なるが、図 15.23 では製品によらずこれを 10 年とした場合を表示してある。

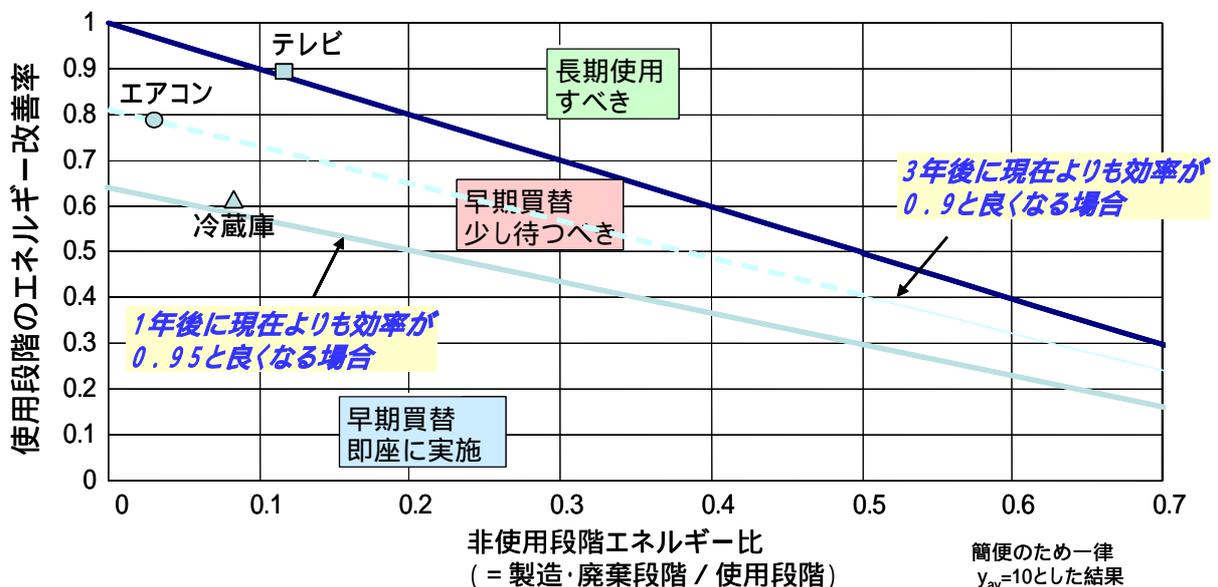


図 15.23 買替を先延ばしする場合の等環境負荷線

この結果より、買替判断時点の 1 年後に製品の使用段階の省エネ性能が 5% ($d = 0.95$) 改善すると予見される場合には、エアコン、冷蔵庫ともに、買替を先延ばしをした方がよいことが分かる。一方、買替判断時点の 3 年後に製品の使用段階の省エネ性能が 10% ($d = 0.90$ 、1 年あたりで見れば平均 3.3%) 改善すると予見される場合には、エアコンは買替を先延ばしをした方がよいが、冷蔵庫は先延ばしをせずにその時点で買替した方がよいことが分かる。なお、テレビについては、元々、長期使用の領域に含まれることから、社会全体で現在使用されている使用年数を無理に早める（環境に配慮して早期に買い替える）必要はない。

使用段階の省エネ性能がどの程度改善するかの見込みは、技術進展のその時点時点によって異なるとともに、専門家でも同じ見込みを持っているとは限らない。

このような不確定な要因を判断者が最後に判断することができるようにすることで評価の客観性と判断の柔軟性を確保しようとしているところに本アプローチの特徴がある。

では、前述の年あたり 5%や 3.3%の改善率は、どの程度起こりそうなのであるうか。不連続な技術変化については、個別の技術に対する専門知識が必要となるが、比較的連続な技術変化については、過去のトレンドが参考になる。平均的なこれらの製品のトレンドを示したのが図 15.24 と表 15.2 である。

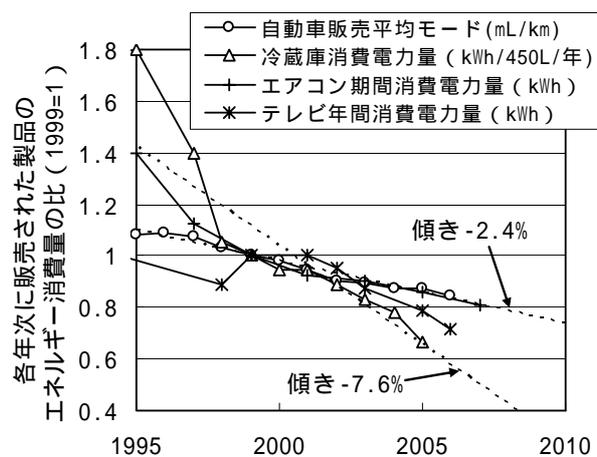


図 15.24 エネルギー消費型製品の使用時のエネルギー消費改善率

表 15.2 対象製品の使用時エネルギー消費改善率

	1995 年以降のエネルギー消費量の平均変化量の近似直線の傾き
エアコン	-4.3%
冷蔵庫	-7.7%
テレビ	-2.1%

これより、1995 年以降のトレンドでみると、エアコンは年 3.3%以上の改善率を達成できている。このトレンドが継続するのであれば、図 15.23 中のプロットが買替を先延ばしすべき領域に位置することから、エアコンは買替を先延ばしした方がよいことになる。冷蔵庫も同様に、年 5%以上の改善率を達成できており、図 15.23 中のプロットが買替を先延ばしすべき領域に位置している。このトレンドが継続するのであれば、冷蔵庫も買替を先延ばしした方がよいことになる。ただし、前年度の検討で示したように、買い替える製品のサイズ等によってプロットの位置が大きく変化するため、この点もふまえる必要がある。

15.7. 本章のまとめ

本研究では、prescriptive LCA という評価アプローチを提案するとともに、文献調査等で得られたデータを用いて、エネルギー消費型製品の早期買替の判断評価のケーススタディを実施した。これにより、prescriptive LCA を用いることで買替判断における規範的指針を示すことができるようになるとともに、消費者が直面する様々な買替条件に対応できることが確認できた。また、エネルギー消費以外の環境負荷を考慮する場合や買替を先延ばしする場合の買替判断を含め、買替における判断を支援する方法論ならびに結果を提示することができた。

【参考文献】

- 1) 城戸由能、細井由彦、山本啓文、山根絹代：耐久消費財の買い替えに伴う環境負荷削減効果の評価、環境システム研究 (1997) 25, pp.367-372
- 2) 上野貴由、椎野徹、大西宏：テレビにおける省エネ機種切替え効果の LCA による見積もり、第 3 回エコバランス国際会議講演集 (1998) pp.239-242
- 3) 安井至：どちらが環境負荷が低いか - 冷蔵庫買い替え編、(1999)
<http://www.ne.jp/asahi/ecodb/yasui/RefUseOrBuy.htm>
- 4) みずほ情報総研株式会社：平成 17 年度廃棄物等処理再資源化推進（特定家庭用機器等再商品化調査）「使用済家電 4 品目の経過年数等調査」（2006）pp.94-125
- 5) 梅田靖、石田智利、増井慶次郎、山際康之、小林英樹、藤本淳：迅速循環による地球温暖化防止の可能性の検討 第 2 報 最適更新年数のモデル化、EcoDesign 2002 Japan Symposium (2002) pp.272-275
- 6) 三島知行、松本亨：省エネ家電への買替促進による温室効果ガス削減効果の推計、第 2 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 (2007), pp. 174-175
- 7) トヨタ、エコ替えのページ、<http://ecogae.jp/>
- 8) 京都地球温暖化防止府民会議、省エネ家電普及診断プログラムのページ、<http://www.kcfca.or.jp/center/kaden/>
- 9) 環境省、省エネ製品買換ナビゲーション「しんきゅうさん」、<http://shinkyusan.com>
- 10) 三菱総合研究所「平成 20 年度規制対象製品の技術基準の策定等調査（長期使用製品の安全に関する制度の対象となる電気用品の標準的な使用の実態に係る調査）」(2008 年)、経済産業省委託事業
- 11) 井上隆（建築学会住宅用エネルギー消費と温暖化対策検討委員会）、アンケート調査から見た温暖化対策の可能性、第 4 回住宅エネルギーシンポジウム：住宅用エネルギー消費と温暖化対策、2005.6.2、
(<http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/sympo4/inoue.pdf>)

12) グリーン家電普及促進事業エコポイントホームページ
(<http://eco-points.jp/EP/index.html>)