

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：82101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24710178

研究課題名(和文)製品機能ベースの物質ストック・排出量と複合機能製品の普及による省資源化効果の評価

研究課題名(英文) Assessing the potential contribution of multifunctional products to dematerialization by estimating function-based material stocks of consumer durables

研究代表者

小口 正弘(Oguchi, Masahiro)

独立行政法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・研究員

研究者番号：20463630

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：複合機能製品の普及が物質使用量にもたらす影響を定量的に計測するため、製品機能に着目した機能ベースの物質ストック・排出量を推計する手法を開発し、いくつかの製品を事例に分析を行った。例えば、洗濯乾燥機は洗濯機と衣類乾燥機の大部分を代替しており、機能の複合化が省資源化に寄与していた。一方、スマートフォンは、携帯電話機能については従来型の携帯電話を代替していたが、音楽再生やデジタルカメラ機能については単機能製品をほとんど代替せず、機能の追加的保有に結びついていた。このように、複合機能製品の普及は必ずしも省資源化に寄与せず、社会全体としてはかえって物質使用量を増加させるケースも存在することを示した。

研究成果の概要(英文)：Multifunctional products, e.g. smartphones, may contribute to dematerialization by replacing more than one single-function products. Meanwhile, the spread of multifunctional products may also lead to an increase of material use in society by opening new markets. This study discussed the potential contribution of multifunctional products to dematerialization by estimating function-based material stocks of consumer durables. Case studies showed that washer-dryers have replaced in-use washing machines and a large part of in-use drying machines. The spread of smartphones also led to the decrease of in-use conventional mobile phones; however, it did not decrease in-use portable digital audio players and compact digital cameras, function of which can be replaced by smartphones. This suggests that there are cases where the spread of multifunctional products increases material use if the multifunctional products use more materials than the conventional single-function products.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：物質フロー・ストック分析 省資源化 製品機能 耐久消費財 電気電子機器

### 1. 研究開始当初の背景

企業間の競争やライフスタイルの変化に伴い、複数の機能を組み合わせたり従来の製品に新たな機能を追加したりした多くの複合機能製品が開発され、普及してきている。代表的な例として、古くはラジオカセットレコーダー、近年では洗濯乾燥機やテレビチューナー内蔵パソコン、音楽再生やインターネット接続が可能な携帯電話やスマートフォンなどの製品を挙げることができる。

これらの複合機能製品は1つの製品で複数の機能を発揮できることから、従来保有・使用されていた複数の単機能製品を置き換えることで社会全体の資源使用量の削減にも貢献できる可能性がある。一方で、複合機能製品の登場は、従来製品よりも多機能であることを付加価値として新たな市場を開拓することもあり、単純な単機能製品の代替ではなく製品の追加的な保有に結び付いている可能性もある。すなわち、複合機能製品の普及はある単位機能を有する製品の保有水準を上昇させる可能性があり、この場合には、複合機能製品が単機能製品に比べて製品単位のレベルで省資源を達成していたとしても、社会全体としてはかえって資源使用量を増加させることになる。

また、消費者はより多機能な製品を好んで購入するものの、実際の購入後には必ずしも全ての機能を使用する訳ではないことが指摘されている。使用しない機能や使用頻度の低い機能の搭載は不要な資源使用の原因となる可能性もあることから、複合機能製品の普及が必ずしも資源使用量の削減に貢献するものではないと考えられる。

したがって、製品機能を統合、追加した複合機能製品の普及による省資源化の効果を評価するためには、製品の機能に着目し、単位機能ごとにその機能を有する製品の社会全体での保有水準や物質ストック・排出量を定量的に把握すること、機能の利用度を考慮した評価を行うことが必要である。しかしながら、製品のストック・排出量を製品の機能に着目した推計はこれまでに報告がなく、推計手法の確立を含めた分析が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、複合機能製品の普及が資源使用量にもたらす効果を定量的に測定するため、電気電子製品などの耐久消費財について、複合機能製品の多機能性を考慮した機能ベースの物質ストック・排出量を推計する手法を開発した。さらに、開発した手法を適用して機能ベースの物質ストック・排出量推計のケーススタディを行い、複合機能製品の普及による資源使用量の推移と省資源化効果の考察を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 機能ベースの製品ストック・排出量の推計手法

本研究では、製品使用年数(寿命)分布を考慮して製品の出荷台数から保有・排出台数を動的に推計する手法を援用し、ある単位機能  $f$  を有する製品(複合機能製品と単機能製品の両方を含む)のストック・排出量を推計する手法を開発した。その詳細を下記に述べる。

まず、(1)式および(2)式より、機能  $f$  を有する製品の保有台数  $N_{f,i,t}$  を品目  $i$  ごと(例えば携帯音楽再生機能であればスマートフォン、音楽再生機能付携帯電話、メモリ/HDDオーディオ、ポータブルCDプレーヤーなどの品目ごと)に推計する。ここで、 $S$  は国内出荷台数、 $x_f$  は当該品目の全出荷台数に対する機能  $f$  を搭載した製品の出荷割合、 $R(y)$  は各年度末における製品年齢  $y$  年の製品の残存割合、 $y$  は製品年齢、 $y_{av}$  は平均使用年数、 $b$  はワイブル分布で近似した残存率分布の形状母数、 $\Gamma$  はガンマ関数であり、添字の  $i$  は品目  $i$ 、 $t$  は  $t$  年度についての値であることを示す。

$$N_{f,i,t} = \sum_y \{ S_{i,t-y} \times x_{f,i,t-y} \times R_{i,t}(y) \} \quad (1)$$

$$R_{i,t}(y) = \exp[(y/y_{av,i})^b \times \{ (1+1/b) \}^b] \quad (2)$$

次に、(3)式のように  $N_{f,i,t}$  を品目  $i$  について総和することで、機能  $f$  についての機能ベースの製品保有台数  $N_{f,t}$  を推計する。

$$N_{f,t} = \sum_i (N_{f,i,t}) \quad (3)$$

(1)式において残存割合  $R_{i,t}(y)$  を  $t$  年度における製品年齢  $y$  年の製品の使用済み割合  $f_{i,t}(y)$  ( $= R_{i,t-1}(y-1) - R_{i,t}(y)$ , 残存割合の差分)に置き換えることで、機能ベースの排出台数  $E_{f,t}$  を求めることもできる。

また、(1)式において  $t-y$  年度に出荷された品目  $i$  の総物質使用量(製品重量)や特定の素材・物質の使用量(含有率)を乗じることによって、機能ベースの総物質や特定素材・物質ストック・排出量へ換算することができる。

#### (2) ケーススタディの実施

##### 分析対象

本研究では、いくつかの複合機能製品を例として、それぞれの有する代表的な機能を対象にケーススタディを行った。本報告書では洗濯乾燥機、スマートフォンの結果について述べる。具体的には、洗濯乾燥機については洗濯機能および乾燥機能、スマートフォンについては携帯電話機能、音楽再生機能、デジタルカメラ機能を例とし、各機能を有する従来型の単機能製品を含めた機能ベースのストック量を推計、分析した結果について述べる。

##### 使用データ

国内出荷台数 ( $S_{i,t-y}$ ) は関連業界団体の自主統計および市場調査レポートのデータよ

り入手，作成した。機能  $f$  を搭載した製品の出荷割合 ( $x_{f,i,t-y}$ ) は，機能  $f$  の搭載有無が機種によって異なる品目（フィーチャーフォン（従来型携帯電話）の音楽再生機能やカメラ機能など）についてはGfKマーケティングサービスジャパンによる店頭販売（POS）データの機種別販売台数および仕様データから求め，機能  $f$  が全機種に搭載または非搭載と考えられる品目についてはそれぞれ 1, 0 とした。これらに基づいて作成した機能ごとの出荷台数データはデータベースとして整備した。

平均使用年数 ( $y_{av,j}$ ) は，上位製品カテゴリ（具体的な対応を表 1 に示す）の値を基本として適用しつつ，市場調査等による品目ごとの保有状況（例えば携帯電話所有者全体に占めるスマートフォン保有者の割合など）にあわせて一部補正を行った。製品カテゴリ  $j$  の平均使用年数  $y_{av,j}$  は，各年度の国内出荷台数  $S_{j,t-y}$  および残存割合  $R_{j,t}(y)$  より (4) 式で推計される保有台数  $N_{j,t}$  が保有台数の統計値と一致するように (5) 式より推定した。この際，(5) 式の  $b$ （分布の形状母数）は過去の研究より電気電子機器の平均的な値である 2.4 とし，保有台数の統計データは消費動向調査（内閣府）または関連業界団体の自主統計の値を用いた。なお，これらの保有台数統計値には退職品を含まないことから，推定された平均使用年数は退職期間を含まない使用期間と定義される。したがって，本研究で推計された保有台数は退職品を含まない値（使用中の製品のみをカウントした値）であることに留意されたい。

$$N_{j,t} = \sum_y \{ S_{j,t-y} \times R_{j,t}(y) \} \quad (4)$$

$$R_{j,t}(y) = \exp[(y_j/y_{av,j})^b \times \{ (1 + 1/b) \}^b] \quad (5)$$

#### 4. 研究成果

##### (1) 洗濯乾燥機の普及による省資源化効果

洗濯乾燥機を事例とし，洗濯機能と乾燥機能に着目した機能ベースの製品保有台数を推計した結果を図 1 に示す。製品の主な保有単位が世帯であることを考慮し，結果は世帯あたりの保有台数として示した。世帯あたりの保有台数は，(1) 式による  $N_{f,i,t}$  の推計値を

表 1 品目と製品カテゴリの対応

品目 ( $i$ )	適用した平均使用年数の製品カテゴリ ( $j$ )
洗濯乾燥機	洗濯機（洗濯乾燥機含む）
洗濯機	
衣類乾燥機	衣類乾燥機（洗濯乾燥機除く）
スマートフォン	携帯電話（スマートフォン，フィーチャーフォンの両方を含む）
フィーチャーフォン（従来型携帯電話）	
メモリ/HDDオーディオプレーヤー	携帯型音楽プレーヤー
携帯型カセットプレーヤー/CDプレーヤー/MDプレーヤー	
コンパクトデジタルカメラ	デジタルカメラ（コンパクト型以外含む）

各年（10月1日時点）の世帯数（国立社会保障・人口問題研究所，5年ごとのデータを曲線近似）で除して求めたものである。

図より，洗濯乾燥機はほぼ完全に単機能洗濯機の代替として普及していることがわかる。また，乾燥機能に着目した場合，一部の洗濯乾燥機は乾燥機能の追加的な保有に結びついているものの，多くは単機能乾燥機の代替として普及が進んだことが見てとれる。例えば，2000年度以前のトレンドの外挿による衣類乾燥機の保有台数（洗濯乾燥機がなかった場合の衣類乾燥機の保有シナリオ）をベースとすれば 2012 年度末における洗濯乾燥機の保有台数のうち 7 割が従来の衣類乾燥機の代替分，3 割が乾燥機能の追加的な保有分である。

図 1 の結果に洗濯乾燥機，洗濯機，衣類乾燥機の 1 台あたり重量データ（製品カタログより機種ごとのデータを収集し，中央値を算出）を乗じて物質量に換算した結果を図 2 に示す。洗濯乾燥機の製品重量は単機能の洗濯機よりもやや重く，総物質量としてはより多くの物質を使用しているものの，洗濯乾燥機が洗濯機と衣類乾燥機の両方を代替するこ

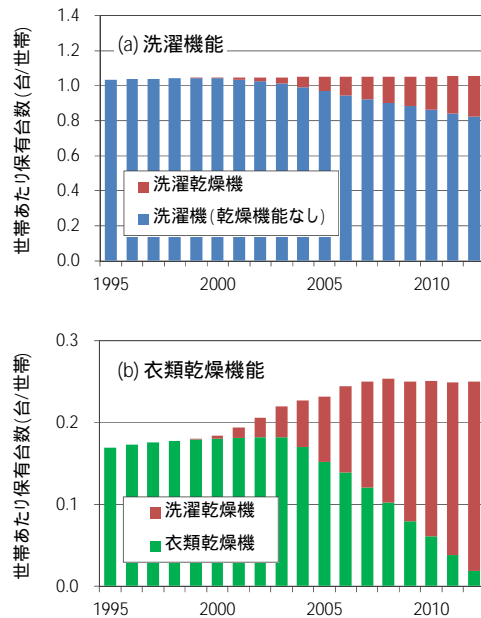


図 1 洗濯・乾燥機能を有する製品の保有台数の推移

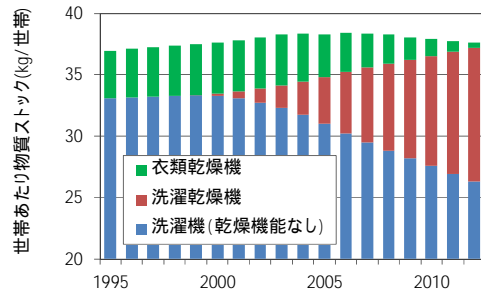


図 2 洗濯・乾燥機能を有する製品の物質ストック量の推移

とによる物質量の削減効果がそれを上回っている。このため、乾燥機能の追加的な保有分を考慮しても、洗濯と乾燥機能を持つ製品の社会全体の物質ストック量は減少している。このように、洗濯乾燥機という複合機能製品は、1台で衣類の洗濯と乾燥という2つの機能を発揮することで、社会全体の物質使用量の削減にも貢献しているものと考えられた。

なお、1台あたりの製品重量(中央値)を見てみると、洗濯乾燥機1台あたりの製品重量47kg/台に対して洗濯機1台と衣類乾燥機1台の合計は55kg/台(洗濯機32kg/台、衣類乾燥機23kg/台)となっている。製品レベルで見ても洗濯乾燥機は省資源化を達成しており、社会全体と製品レベルでの省資源化傾向が一致していることもわかった。

## (2) 多機能携帯電話(スマートフォン等)の普及による省資源化効果

スマートフォンを事例とし、携帯電話機能、音楽再生機能、デジタルカメラ機能に着目した機能ベースの製品保有台数の推計結果を図3に示す。製品の主な保有単位が個人であることを考慮し、結果は人口あたりの保有台数として示した。人口あたりの保有台数は、(1)式による $N_{f,i,t}$ の推計値を各年(10月1日時点)の人口(総務省)で除して求めたものである。

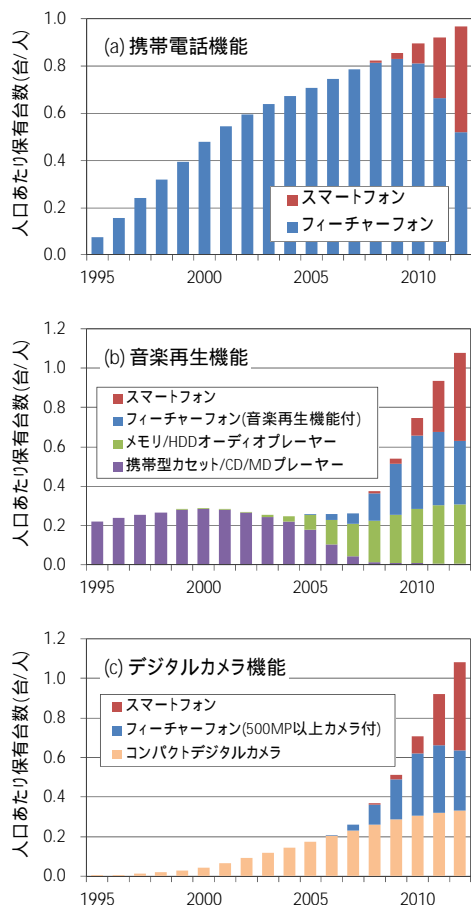


図3 携帯電話・音楽再生・デジタルカメラ機能を有する製品の保有台数の推移

図より、スマートフォンはほぼ完全にフィーチャーフォンの代替として普及していることがわかる。一方、携帯音楽再生機能やカメラ機能に着目すれば、各種の携帯型音楽プレーヤーやコンパクトデジタルカメラといった従来型の単機能製品を全くと言ってよいほど代替しておらず、これらの機能の追加的な保有に結びついていることがわかる。また、一部のフィーチャーフォンは音楽再生機能やカメラ機能を有しているが、これらもスマートフォンと同様に機能の保有水準を押し上げている。

音楽再生機能やカメラ機能を有するスマートフォンやフィーチャーフォンの普及によってこれらの機能の保有水準は急激に上昇しており、2012年にはそれぞれ1人あたり1台以上に達している。このことは、より多くの人にとってこれらの機能が身近になったという点で消費者にとって新たな価値を創出したと捉えることもできる。しかし、追加的に保有されることになったこれらの機能が果たして消費者に必要とされたものなのかどうかも同時に考えておく必要がある。

そこで、この点を考察するための1つのデータとして携帯電話の持つ各機能の利用実態を見てみる。スマートフォンおよびフィーチャーフォンユーザーを対象としたアンケート調査((一社)情報通信ネットワーク産業協会、2012年度携帯電話の利用実態調査)によれば、スマートフォンユーザーの30%が音楽再生機能を使用しておらず、17%がカメラ機能を使用していないという結果が得られている。この割合はフィーチャーフォンユーザーではそれぞれ72%、26%とさらに高くなっている。この調査結果は、一部のスマートフォンやフィーチャーフォンに搭載されている音楽再生機能やカメラ機能が全く利用されていない、すなわち不要な機能が提供されているにすぎないことを示唆している。

図2の結果から、主たる機能である携帯電話機能に着目すれば、スマートフォンは従来型の単機能製品(フィーチャーフォン)をほぼ完全に代替している。したがって、スマートフォンがフィーチャーフォンと同量またはそれ以下の物質しか使用していなければ、他の機能が利用されていなくても社会全体として物質使用量が増加することはなく、問題とはならない。しかし、もしスマートフォンがより多くの物質を使用していれば、不要な機能の搭載によって社会全体の物質使用量を増加させていることもありうる。

スマートフォンとフィーチャーフォンの製品重量データ(前述のPOSデータに基づいて2002~2012年に販売された機種種のデータを整理)を見てみると、中央値でスマートフォンが135g/台、フィーチャーフォン(音楽再生機能と500万画素以上のカメラ機能のいずれかまたは両方を搭載した機種)が125g/台、フィーチャーフォン(音楽再生機能およびカメラ機能無し)が90g/台となっており、

スマートフォン（や多機能フィーチャーフォン）は単機能フィーチャーフォンよりも多くの物質を使用していることがわかる。これより、スマートフォンや一部の多機能フィーチャーフォンの普及は社会全体の物質ストック量を増加させる方向に寄与している可能性が示唆された。ただし、この製品重量の増加が機能の複合化によるものかはさらなる調査が必要ではある。

### (3) 成果の位置づけと今後の展望

本研究では、製品機能に着目した機能ベースの製品ストック量・排出量の推計および物質質量への換算のための手法を提示し、製品機能の統合・追加と社会の脱物質化の関係を定量的に計測することを可能とした。また、いくつかの製品を事例としたケーススタディによって複合機能製品の普及が単機能製品の代替を含む物質使用量の削減に寄与したか否かを考察した。

ケーススタディの結果より、洗濯乾燥機の普及は社会全体の省資源化にも寄与したと考えられた。一方で、スマートフォンの普及は必ずしも省資源化に寄与せず、社会全体としてはかえって物質使用量の増加に結び付いている可能性があることを示した。これは、スマートフォンが複数の単機能製品を代替し得るものであっても、実際には従来の単機能製品の保有を代替せず、機能の追加的な保有に結びついているためであった。

このように、複合機能製品が製品レベルで省資源化を達成していても、社会全体としてはかえって物質使用量を増加させることもあり得ることがわかった。このことは、物質利用の状況を製品レベルだけでなく社会全体でも評価することが重要であることを示している。また、本研究の成果から、複合機能製品の普及による物質利用量変化のパターンは品目によって異なっていると考えられた。提示した手法を他の製品にも同様に適用して事例を蓄積し、どのような機能の統合・追加が社会全体の省資源化に寄与し得るかを整理することが重要である。

なお、総物質量の視点だけでなく、希少金属等の個別の物質レベルでの物質質量への換算によっても資源利用の側面において有用な情報が得られる。本報告書では結果を示していないが、本研究で提示した手法による推計に製品の素材構成データや金属含有量データを組み合わせることで、複合機能製品の普及による各種素材や希少金属等の個別物質の利用量削減効果も評価することが可能である。同様に、LCA 手法の援用による製品のライフサイクルを通じた物質使用量の変化や、関与物質総量（TMR）を用いた隠れたフローの評価を行うことも可能である。

一方、機能の追加・統合により追加的な物質利用が生じたとしても、機能の保有水準の上昇は社会に新たな価値を付加したと捉え、物質の利用効率は向上したと評価すること

も可能である。ただし、先にも述べたように、消費者は製品の全ての機能を必ずしも使用する訳ではないこと、製品の価値は性能値や機能の数と必ずしも線形関係にはない（すなわち必ずしも性能値や機能数が増えれば製品価値が高くなる訳ではない）ことにも注意が必要である。機能の利用度や製品機能に対する満足度、機能の複合化による付加価値を取り込んだ製品価値の定量化を行い、本研究で提示した手法で推計できる製品の物質ストック・排出量を物質利用効率の形で評価することで、脱物質化社会に向けた物質利用と製品機能の在り方の議論に発展することができると思われる。

## 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3件）

Masahiro Oguchi, Tomohiro Tasaki, Do multifunctional products contribute to dematerialization?: A function-based stock estimation of consumer durables, The 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management (3RINCs), 2014年3月11日, 京都

小口正弘, 田崎智宏, 製品機能ベースの耐久消費財ストック推計～多機能製品の普及は省資源化に寄与したか～, 第24回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2013年11月2日, 札幌

Masahiro Oguchi, Tomohiro Tasaki, Function-based material stocks of consumer durables in modern society: Did multifunctional products reduce material use?, The 7th International Society for Industrial Ecology Biennial Conference (ISIE2013), 2013年6月25日, 蔚山（韓国）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小口 正弘（OGUCHI, Masahiro）

独立行政法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・研究員

研究者番号：20463630