

S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案
手法の確立に関する総合研究プロジェクト

4. 温暖化対策のための、技術、ライフスタイル、社会システムの統合的対策の研究－IT社会のエコデザイナー－（ITの産業構造に与える影響に関する研究）

- （5）2050年IT社会におけるIT社会システムの環境負荷低減に関する研究（平成18年度）
産業構造に与えるITの影響に関する研究（平成19～20年度）

独立行政法人産業技術総合研究所

先進製造プロセス研究部門 エコ設計生産研究グループ 松本光崇・増井慶次郎・近藤伸亮

平成18～20年度合計予算額	6, 2 1 2 千円
（うち、平成20年度予算額	1, 8 0 5 千円）
※上記の合計予算額には、間接経費	1, 4 3 5 千円を含む

[要旨] 本研究ではIT化の進展がわが国のCO₂排出量に及ぼす影響について複数の視点からそれぞれに応じた方法を用いて分析を行った。第一は2020年を対象にしてフォアキャスト的に分析を実施した。既存の調査を参照するとともに本S-3-4内での検討内容を反映して分析した。その結果、IT化進展はIT機器・インフラの増加によってCO₂排出を2,000万t-CO₂増加させることが懸念される一方、ITシステムによる移動代替、脱物質化、各種効率化等の効果によって約8,000万t-CO₂の排出削減の可能性を持ち、合計で日本のCO₂排出を5%程度低減するポテンシャルを持つと推定された。第二は2050年を対象にしてバックキャスト的に低炭素型IT社会を描き出し、そうした社会における生活者由来のCO₂排出を推計した。推計はS-3-4内およびS-3-1の協力を得て実施した。今日比で家庭部門CO₂と個人旅客輸送CO₂が約7割減、購入物の生産に要するCO₂も併せたCO₂では約4割減の可能性が示唆された。こうした試算の結果を一般者向けに記述し、S-3-4で作成した書籍の中に盛り込み成果とした。第三はIT化が今後国内および世界の経済構造に及ぼす影響として、国際分業の深化の促進ということに着目し、IT化が国際分業に及ぼす影響の調査を行うとともに、国際分業の深化促進がCO₂排出に及ぼす影響の可能性について、過去の統計データ等をもとに検討を行った。その結果、国際分業の深化そのものは世界のCO₂排出を増加させる影響が小さいか、むしろ減少させる可能性が高いという示唆を得た。以上の検討に加えて、S-3全体で作成した「低炭素社会に向けた12の方策（以下「12の方策」）」の中で、特に「見える化によるCO₂削減」の施策の作成に協力した。

[キーワード] IT、低炭素社会、CO₂影響評価、国際分業、見える化

1. はじめに

情報技術（IT）の発展は、産業界では、電子商取引によるグローバルな視点での原材料の調達やサプライチェーン・マネジメント、企業業務のアウトソーシング化など産業構造に大きな変化をもたらしている。人々の生活では、携帯電話やPCを使ったオンライン注文やコミュニケーション形態など、生活スタイルを大きく変えた。S-3-4では、ドッグイヤーで進化するIT技術を、産業、交通、生活に適切に融合してCO₂排出低減に活用する「IT社会のエコデザイン」の可能性と方法を検討した。その中でS-3-4(2)では、（1）2020年におけるITのCO₂への影響の可能性評価、（2）S-3-4で描いた2050年のライフスタイルイメージにおけるCO₂量の評価、（3）ITが経済構造に及ぼす影響の検討とそのCO₂影響の評価、を実施した。またS-3で作成した「12の方策」において、S-3-4(2)では、「見える化」の促進、つまり消費者にCO₂やその低減法の情報を提供してCO₂低減行動を促すシステム(LCS(Low Carbon Society)システム)について検討を行った。

2. 研究目的

ITがCO₂排出に及ぼす影響にはプラスとマイナスの両面がある。マイナス面(CO₂排出の増加)は、IT機器・インフラの増加に伴うエネルギー消費の増加があり、またIT化により生み出される経済的・時間的余裕が新たな経済活動や人間活動を生み、資源やエネルギーの増加をもたらすというリバウンド効果の可能性がある。一方、IT化がもたらすプラスの効果としては、例えば紙媒体の書籍や書類が電子媒体に置き換わることにより、紙の生産に必要なエネルギーが不要になる「脱物質」の効果や、TV会議やテレワーク等による「移動代替」の効果、ITによる最適化や制御によってエネルギー使用の効率化を図る「各種の効率化」の効果、さらに環境やエネルギー使用に関わる情報を消費者に提示することによる「環境意識の向上支援」の効果等がある。こうしたプラスの効果をも、マイナス影響よりも大きなものにするのが「IT社会のエコデザイン」の目的であり、その可能性と方策を検討することが本研究の目的である。

3. 研究方法

第一の「2020年におけるITの日本のCO₂排出量への影響の可能性評価」については、既存の関連文献とS-3-4内でのITのCO₂削減効果に関する検討の内容を踏まえて、トータルでのCO₂削減効果の可能性について検討を行った。推計では過去のトレンド等を踏まえた予測というよりも、削減のポテンシャルを明らかにすることに重点を置いた。

第二の「2050年のライフスタイルにおけるCO₂量の評価」については、S-3-4内で描いた2050年のIT社会におけるモデル家族の生活シーンをもとに、そうした生活スタイルが生活由来のCO₂排出量をどの程度減らす可能性があるかを、S-3-1で開発されたスナップショットツールを用いて分析評価した。

第三の「IT化による経済構造への変化影響の検討とそのCO₂影響の評価」については、IT化の進展が今日の世界の経済構造や産業構造に及ぼしている影響の内容について既存の文献を参照して検討した。特にIT化がもたらす国際分業の深化の影響について調査を行った。IT化が今後さらに促進するであろう国際分業の深化がCO₂排出に及ぼす影響を検討するために、Miozzoらの方法を参照して¹⁾、過去約40年の世界、特にOECD諸国の産業部門を対象にして、エネルギー消費量の推移を調査した。国際分業が進展した当期間のCO₂排出量の推移から国際分業とCO₂排出量の関係について

考察を行う。

第四の「LCSシステムの施策パッケージの検討」について、LCSシステムを対象にして、システムのイメージの作成、関連技術の整理、普及の早さの検討、普及の効果の検討、普及施策の検討、を行った。これに基づき「見える化」に関わる施策パッケージを作成した。

4. 結果・考察

以下、上記の第一から第四の項目についてそれぞれ記す。

(1) 2020年におけるITの日本のCO₂排出量への影響の可能性評価

ITの進展には環境負荷増加の要因がある一方で、環境負荷低減の可能性も持つ。例えば以前は全巻で十冊以上になる紙媒体の百科事典が多くの家庭にあったが、現在ではそれらは一枚のCD-ROMに収まるようになってきている。このような媒体の移行は紙の生産や書籍の輸送等のエネルギーを大きく節減する^{2) 3)}。またオンラインビジネスの展開は人の移動やモノの輸送を代替する可能性を持ち、移動や輸送の削減はエネルギー消費を大きく低減する可能性を持つ。わが国においては、電気通信審議会で先駆的にITが環境負荷低減に寄与する可能性について議論がなされた⁴⁾。その後日本ではいくつかの機関が2010年時点でのITの環境負荷低減の可能性について定量的な分析を実施してきている。これらの成果を表1にまとめる。表1からはおおよそでは2010年時点でITが日本のCO₂排出量を1%から3%程度低減する可能性が示唆されている。

表1. IT進展が環境負荷に及ぼす影響に関する既存研究

評価機関	対象地域/年	CO ₂ 増加影響	CO ₂ 低減効果	CO ₂ 影響合計
電気通信審議会 (1998)	日本2010	—	1.7%	—
NTT (2002) ⁵⁾	〃	+1.1%* ¹	3.6%	-2.5%* ⁴
湘南エコメトリクス (2004) ⁶⁾	〃	—	—	-1.9%
NEC (2005) ⁷⁾	〃	+0.4%* ²	0.7~3.2%	-0.5~-2.8%
総務省 (2005) ⁸⁾	〃	+0.4%* ³	2.0%	-1.6%
エネルギー総合推進委員会 (2002)	日本2020	—	—	-0.9%* ⁴
欧州委員会 (2004) ⁹⁾	EU 2020	—	—	+2%~-15%* ⁴

※論文等がない場合は機関の発行する報告書等を参照した。

※1 2010年時のITのエネルギー消費量の、1999年の日本のCO₂総排出量に対する比率

※2 2010年時のITのCO₂排出量の、2010年の基準ケースのCO₂総排出量に対する比率

※3 2010年時のITのCO₂排出量の、2000年の日本のCO₂総排出量に対する比率

※4 NTT、エネルギー総合推進委員会、欧州委員会は、CO₂排出量でなくエネルギー需要量による評価である。

例えば、総務省の「ユビキタスネット社会の進展と環境に関する調査研究会」の試算では(2005年)、CO₂増大影響について、2000年を基点として2010年までのIT関連の電力消費の増加が約600万t-CO₂のCO₂排出増加をもたらすと推計されている。その一方で11のITシステムについて、2010年時点のCO₂排出削減効果を見積もり、その結果が合計1,480万t-CO₂の削減効果と報告されている。さらに産業構造の転換によって1,770万t程度のCO₂削減の可能性があると報告されている。三

者を合計して2,650万t-CO₂の削減の可能性が示唆されている。2,650万t-CO₂は、2000年の日本のCO₂総排出の約2%に相当する。

既存の研究を踏まえて、新たに将来社会におけるITのCO₂削減効果の可能性について検討を行った。図1は、既存の研究からCO₂削減に寄与する可能性を持つITシステムを抽出して、それらを分類した結果である。ITによる環境負荷低減要因の第一として「脱物質化」を挙げることができる。例えば紙媒体の書籍や書類を電子媒体に置き換えることにより、紙の生産に必要なエネルギーが不用になる効果がある。音楽やソフトウェアも従来の媒体での販売からオンライン配信の割合が増加してきており、音楽のCD-ROM媒体での販売数は日本では1998年から2004年にかけて3分の2ほどに減少している。第二は「移動代替」である。TV会議やテレワーク、オンライン・ショッピングは移動を代替する効果を持つ。第三は「各種の効率化」である。ITによる最適化や制御によってエネルギー使用の効率化を図るものである。後の節で示すサプライチェーン・マネジメント・システムは、製品の生産において、需要と生産との適切な情報流通により、生産・販売段階で、無駄になる素材、部品、および完成品を削減する。第四は環境やエネルギー使用に関わる情報を消費者に提示することで消費者の「環境意識の向上支援（エコ・ライフスタイル・ナビゲーション）」を行うことの効果である。例えばHEMS（家庭用エネルギー管理システム）は、居住者の不在時に自動的に家の照明や空調を消すなどしてエネルギー使用を効率化するとともに、生活者に電力の使用状況などを知らせることで環境意識の向上を支援する。HEMSは後者の生活者の環境意識向上による省エネルギー効果の方が、前者の効率化制御の効果よりも大きいという報告もある¹⁰⁾。



図1. ITによる環境負荷低減効果

2020年時点でのITのCO₂排出への影響を推計した。表2に2020年における推計結果を示す。表はITによるCO₂の増大影響と、CO₂の削減効果を持つ各種のITシステムについてその削減ポテンシャルを表す。表の中で、まずIT化によるCO₂増加の影響について、ここでは2000年から2020年にかけての電力消費増加量を考えた。IT機器がどの程度の電力を消費しているのかについての統計データは存在しないため、現時点の消費量も将来の消費量もともに推計に頼ることになるが、2005年に

出された総務省の研究会の報告書では2000年から2010年にかけてIT機器増加が約600万t-CO₂の排出増加をもたらすという推計値が示された。この推計値を参照して、2000年から2020年にかけては大まかに1,000万から2,000万t-CO₂の排出増加が見込まれると予想した。一方で、CO₂削減の効果を持つことが期待される各種ITシステムのCO₂削減効果を見積もった。表からは特に「各種の効率化」の効果の可能性が大きいことを読み取ることができる。例えばサプライチェーン・マネジメントは産業部門のCO₂削減の大きなポテンシャル（数千万t）と、運輸部門のCO₂削減にある程度のポテンシャル（数百万t）を持つ。「脱物質化」は、表からはCO₂削減効果は大きいとは言えないが、省資源化には大きな効果を持つ。

表より2020年時点で、IT機器の増加による最大2,000万t-CO₂程度のCO₂増加というマイナス面を考慮しても、トータルで約8,600万t-CO₂の排出削減の可能性を期待できる。不確実性を考慮して、2020年における削減効果は、2000年比約5%と判断した。

表2. 2020年のITのCO₂排出への影響の推計結果

	対象部門			CO ₂ 削減 ポテンシャル (万t-CO ₂)
	産業・業務	運輸	家庭	
環境負荷の増大				
IT機器増加による電力需要増	×	—	×	▼1,000~2,000
各種の効率化				
サプライチェーン・マネジメント	◎	○	—	~ 4,800
オンライン・ショッピング	◎	×	—	~ 900
物流の効率化	—	◎	—	~ 1,000
通勤のモーダルシフト支援	—	○	—	~ 200
BEMS (ビル用エネルギー管理システム)	◎	—	—	~ 1,600
移動の代替				
TV会議/テレワーク	—	◎	—	~ 1,000
脱物質化				
ペーパーレス化/電子出版	△	—	—	~ 100
音楽ソフト配信	△	△	—	~ 200
環境意識の向上支援				
HEMS (家庭用エネルギー管理システム)	—	—	○	~ 580
エコドライブシステム	—	○	—	~ 200

注：「◎」は削減ポテンシャルが1,000万t-CO₂以上、「○」は100~1,000万t-CO₂、「△」は100万t-CO₂以内、「×」はCO₂増加、を表す。

(2) 2050年のライフスタイルにおけるCO₂量の評価¹¹⁾

S-3-4では「人々が2050年の社会に何を求め望んでいるか」という調査を実施し、この結果に基づいて2050年のIT社会のあり様をモデル家族の生活シーンとして描いた。S-3-4(2)ではこうして描いた生活スタイルが、人々の生活由来のCO₂排出量をどの程度減らす可能性があるかを定量分析した。

ここでは生活に由来するCO₂排出を対象にした。生活に由来するCO₂は次の三種類のエネルギー消費から構成される。(1)家庭内エネルギー消費、(2)移動のエネルギー消費、(3)購入物の生産エネルギー、である。(1)の家庭内エネルギー消費は、家で消費される電気、ガス、暖房用の灯油などの使用である。(2)の移動のエネルギー消費は、自家用車のガソリンの使用や、バス、電車などの

利用によるエネルギー消費である。(3)の購入物の生産エネルギーは、人々が購入する食料品や衣類、電化製品、あるいは家屋なども含めて、これらを生産したり流通したりする過程で必要とされるエネルギーを指す。

S-3-4で描いた生活シーンのシナリオで、(1)、(2)、(3)に影響を及ぼすと思われる要因を抽出したのが表3である。例えば描いたシーンの中で家族や業務のコミュニケーションツールとして使われているバーチャルドアシステムは、通勤や買い物のための移動を減らすため、(2)の移動エネルギーの削減に寄与する。それと同時にバーチャルドアシステムは家庭内の電気を消費するので、(1)の家庭内エネルギー消費の増加に寄与する。

これらを総合した、2050年の人々の生活で消費されているエネルギーは、今日の我々の生活で消費しているエネルギーと比べてどれくらいの量になっているであろうか。本研究では今日の我々の生活で排出されているCO₂の量を見た上で、それがS-3-4で描いた生活が実現することによってどの程度減り得るかを計算した。描いた2050年の生活シーンでは、シティ地域とカントリー地域の生活を描写した。都市と地方という区分は生活のエネルギー消費を考える上でも有用な区分である。都市と地方では生活のエネルギー消費に違いがあるためである。例えば、移動によるエネルギーは、自家用車保有率の高い地方の方が大きい傾向にあり、また都市ではマンションなどの集合住宅が多く、地方では戸建住宅が相対的に多いが、戸建住宅の方が暖房のためのエネルギー消費が多いなどエネルギー消費の形態に違いが表れる。そこで都市集合住宅と、地方戸建住宅の二つのパターンでCO₂排出を見た。計算はS-3-1で開発されたスナップショットツールを利用した。

表3. 描いた生活シーンシナリオにおけるエネルギー消費影響要因

項目	シナリオ
(1) 家庭内 エネルギー消費	<ul style="list-style-type: none"> ・バーチャルドアシステムの普及に伴い電力消費量増加 ・ポータブル表示機の普及に伴い電力消費量増加 ・カプセルバス/リラクゼーションバスの普及に伴い電力消費量増加 ・カプセルバス/リラクゼーションバスの普及に伴い給湯需要減少 ・家事介助補助ロボットの普及に伴い電力消費量増加 ・冷暖房や照明の制御により電力消費量減少 ・セカンドスキンの普及に伴い冷暖房需要減少 ・常温保存食材の普及に伴い冷蔵庫需要減少 ・常温保存食材の普及に伴い燃焼系厨房から電気系厨房へのシフト
(2) 移動の エネルギー消費	<ul style="list-style-type: none"> ・バーチャルドアの普及に伴い通勤、業務、観光等の移動減少 ・常温保存食材の普及に伴い買い物のための移動減少
(3) 購入物の 生産エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・常温保存食材の普及により無駄な買い物が減少 ・常温保存材の普及により炊事用の水道代が減少 ・カプセルバス/リラクゼーションバスの普及により水道代が減少 ・カーシェアリングの普及により一帯当たりの自動車購入額が減少 ・通信費用の増加 ・セカンドスキンの普及により衣服の生産額当たりのエネルギー消費量が増加 ・電子書籍の普及により書籍と新聞の生産額当たりのエネルギー消費量が減少 ・ITの環境情報提供効果により製品の長期使用が進み、耐久消費財の消費額が減少

家庭内のエネルギーの用途は、暖房、冷房、給湯、厨房（料理）、照明、冷蔵庫、テレビなどの使用であり、いわゆる家電製品の使用である。描いた生活シーンでは、バーチャルドアシステムやリラクゼーションバスなど、今日の我々の周りにはない家電製品が使用されていたため、新しい家電製品による電力の消費量の増加の影響がある。一方、例えば生活シーンの中ではセカンドスキンと名づけた保温性の高い衣類が普及しているため、それによって家の中の冷暖房が削減されている。家庭内エネルギー消費の減少の可能性は二種類に分類できる。一つは家電製品のエネルギー効率の向上、もう一つはエネルギー需要そのものの減少である。エネルギー効率の向上は、エアコンの効率向上が例である。エネルギー需要そのものの減少は、上の例のようにセカンドスキン衣類の普及によって冷暖房の必要性そのものが減少することである。2050年にはバーチャルドアシステムや家事・介護補助機器などの登場によるCO₂排出の増加があるが、それらの増分を考慮してもなお削減効果が大きく、都市の集合住宅では2000年の世帯平均3.1tから2050年シナリオでは1.5tに51%削減、地方の戸建住宅では2000年の4.1tから2050年シナリオでは1.7tに58%の削減と計算された。

移動のエネルギー消費についても同様の考え方で計算をした。自動車の燃費改善など移動手段の効率向上を設定し、バーチャルドアシステムなどによる移動の減少を長距離トリップ数、短距離トリップ数の変化として設定した。公共交通の利便性向上などによる移動手段率の変化も表のとおり設定している。都市での移動のCO₂排出量は2000年の世帯平均3.3tから2050年シナリオでは0.66tに80%の削減になっており、地方では4.0tから2050年シナリオでは0.77tに81%の削減になった。

購入物の生産エネルギーについては、生活者の消費支出の変化と、消費支出あたりのエネルギー消費量の変化から考慮した。その結果、世帯当たり2000年の7.1tから6.6tへと8%の削減になると計算された。食料品や輸送機器（自動車）などの寄与が減少する一方で、通信や衣服の生産エネルギーは増加した。

以上により、S-3-4で描いた2050年のIT社会における生活シーンのライフスタイルが、生活由来のCO₂排出量をどの程度減らす可能性があるかを推測した。生活に由来するCO₂を、1) 家庭内エネルギー消費、2) 移動のエネルギー消費、3) 購入物の生産エネルギー、の三種類に分類し、生活シーンからエネルギー消費に関係する要因を抽出して、その大きさ推定してCO₂削減効果を見積もった結果の合計が図2のとおりである。都市における集合住宅では、世帯当たり2000年の13.5tに対して、2050年シナリオでは8.8tと35%の低減、地方における戸建住宅では、世帯当たり2000年の15.2tに対して、9.1tと40%の低減となった。これに我が国の世帯数をかけて国全体での削減量を概算すると、2000年に比較して20～30%が削減される計算となる。

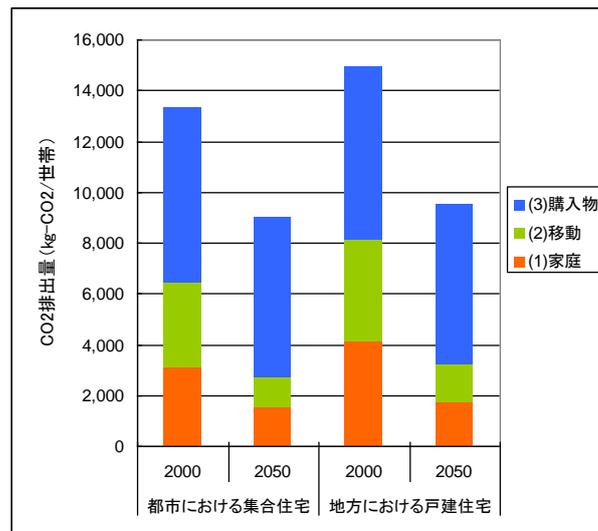


図2. 新しい生活スタイルのCO₂削減効果の試算結果

(3) IT化による経済構造への変化影響の検討とそのCO₂影響の評価

ITが経済構造に及ぼす影響の検討とそのCO₂影響の評価を実施した。IT化は今日また今後数十年間にわたり、世界経済に構造的な変化をもたらすと言われている。その本質は国際分業の構造的な変化であると言ってよい。IT化、特に通信の発達は、1989年以降の冷戦の終結による市場経済の拡大と相俟って、海外アウトソーシングやオフショア化の浸透を加速している。具体的には、ソフトウェア開発がアメリカからインドにアウトソースされたり、コールセンター業務がアイルランドにアウトソースされたり、経理業務が日本から中国にアウトソースされるといった現象である。表4にそうしたアウトソーシングの例を示す。

表4. IT化の進展が可能にしたアウトソーシングの例（出典：文献¹²⁾をもとに作成）

- ・コールセンターの海外アウトソーシング（米国→インド、欧州→アイスランド、東欧）
- ・ソフトウェア開発（米国→インド）
- ・税制申告書作成（会計士の仕事）のソフトウェア開発（米国→インド）
- ・個人経営医師のCTスキャン・レントゲンの写真の解析（米国→豪州、インド）
- ・手書きの建築図面の電子化（日本→中国）
- ・単純なデータ入力作業（米国→インド、フィリピン）
- ・家庭教師（米国の小学生がインドの大学院生に教わる）
- ・米国の航空機設計技術者が不足。ロシアの技術者と共同作業
→ ボーイング社のエアバス社に対する競争力アップ
- ・航空券の電話予約サービス（米国の主婦）
- ・マックのドライブスルーの対応のアウトソーシング（米国内）

こうした業務は従来各国の国内で行われていた業務であり、ITの発達によって海外アウトソースが可能になった。つまり従来は「モノは輸出入が可能であるがサービスは輸出入できない」と言われていた経済学的前提がIT化によって崩れつつある。アメリカでは Forrester Research社が2000年代前半に報告書を発表し、アウトソーシングやオフショア化によって2015年までにアメリカのサービス部門で330万人分の職が海外に移転すると報告した。また2003年に Berkeley と マッキンゼーはアメリカの職の11%が海外移転の可能性があるとして報告している¹³⁾。

こうした国際分業の深化がCO₂排出量に及ぼす影響について検討を行った。先行研究として Miozzoらの研究が挙げられる¹⁾。Miozzoらは米国、西欧、中国の1970年代以降の繊維産業と化学産業の生産額およびCO₂排出量の推移を集計し、国際分業の変化とCO₂排出量の関連を議論した。彼らは統計上の不確実性等もあって国際分業とCO₂排出量の関係について明確な結論を表明していないが、繊維産業と化学産業ではともに米国と西欧から中国への生産の移転が生産額統計で見られ、移転元と移転先との双方で生産額あたりのCO₂排出量の減少(効率の向上)が見られるとしている。本研究では当論文の手法も踏襲して、分業や移転が進んだ1990年代のエレクトロニクス産業と自動車産業等を対象にして日本、米国、韓国、中国と東南アジア数国の生産額とCO₂排出量の推移を集計した。産業部門の定義が変更されるなどの統計上の不整合があり、傾向をつかむことが難しかったが、産業部門全体というくくりでエネルギー需要量の長期推移を見た結果を下図に示す。

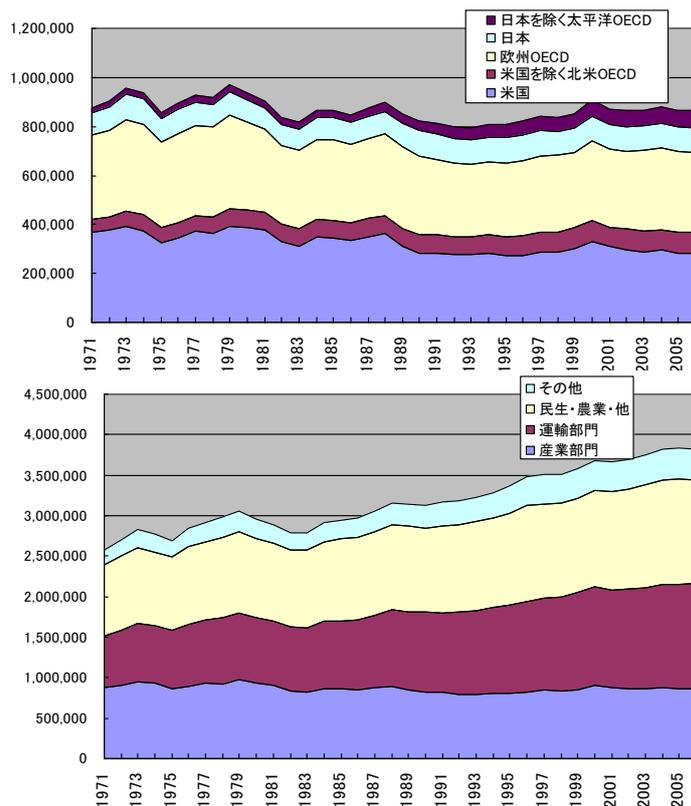


図3. 上図：OECD国の産業部門全体のエネルギー需要の推移（1971-2006年）

下図：OECD国の全体のエネルギー需要の推移（1971-2006年）

縦軸の単位は共に石油換算千t

出典：IEA「Energy Balances of OECD Countries」に基づく集計

図3の上図より、OECD国の産業部門のエネルギー消費量は1970年以降減少か横ばいの傾向にある。正確には2006年の消費量は1971年比で1%減、ピークが1973年にあり2006年は1973年比で9%減である。この間実質GDPは3倍近くに増加したにも関わらず産業部門のエネルギー消費量に増加は見られない。またこの間生産の移転はOECD内でも大きくあり、エネルギー消費量の増減も国によって大きく異なる。日本は1973年にピークがあって2006年にはその3%減であるが、米国や英国などではその減少率はさらに大きく、米国は同期間に30%減、英国は40%減であった。一方、韓国やメキシコ等はこの間産業が発展して生産の転入もあり、エネルギー消費も大きく増加している。韓国では同期間に産業部門のエネルギー消費は6倍強に増加した。こうした傾向より、今後IT化の進展が国際分業をさらに大きく深化させ、先進国から途上国への生産の移転があってCO₂排出の地理分布が変化するとしても、そのことによってCO₂排出が増加するという可能性は低いのではないかと、むしろ減少する可能性が高いのではないかとというのが、大まかではあるが図3の上図から得られる示唆である。

一方、図3の下図は産業部門を含むトータルのエネルギー消費の推移であるが、OECD全体では35年間に48%増加している。GDPの増加率よりはるかに小さいが、産業部門が減少傾向にあることと対照的である。これより今後世界でのエネルギー消費は、生産活動よりも、消費形態やライフスタイルの変化による家庭部門や運輸部門における増加が懸念される。IT化の進展を、生活や輸送のエネルギー消費の向上や需要の減少に活用することを検討することが重要であると考えられる。次の項目の環境情報の見える化による消費者の環境意識喚起はそうしたITの活用の方法である。

(4) LCSシステムの施策パッケージの検討

1) LCSシステムのイメージ

LCSシステムは、消費者にエネルギー消費の状況を知らせ(「見える化」)、省エネの制御をしたり省エネ施策の情報を提供することで消費者の省エネ行動を促すシステムである。例えば家庭の電力使用を対象としたLCSシステムでは、家庭の空調機・照明にアダプタを設置し自動的に省エネ効果のある「制御」を行うと同時に、電力の使用料を測定し料金換算して「表示」することにより省エネマインドを喚起させる。

個別のLCSシステムとしては、①家庭内のエネルギー使用、②家庭内のエネルギー生産、③自動車のエネルギー消費、④住居のエネルギー効率、に関わる情報提示システムが考えられる。次段階ではこれらの個別システムを統合したものとして、⑤移動全般のエネルギー消費、⑥購入物の生産のエネルギー消費、⑦個人・世帯のエネルギー消費、⑧電力消費の自動管理、⑨電力のピーク管理のための家庭の電力消費制御、のシステムが想定される。さらにライフスタイル全般に関わるものとして、⑩省エネ製品の普及促進、⑪CO₂排出抑制のインセンティブ制度(例えば個人・世帯単位の排出量取引)、⑫安全・安心、セキュリティ・システムとの統合、等の発展形が考えられる。

2) 関連技術

関連する既存技術を以下に挙げる。

- 国内の電力会社が情報家電のモデルルームで家全体の電力使用状況が見られるシステムを作っている。

- 省エネナビ機能を内蔵したカラー電力モニタが開発されている。
- 燃費メータは業務用のトラックなどには普及が進んでいる。一般用の燃費メータも対応車種に対しては2～4万円程度で販売されている。
- 駅スパートで電車のCO₂排出量が表示される。
- イギリス（テスコ）やオランダ（アダム）などでカーボンラベリングが実施されている。東京都などでも導入に向けた動きがある。
- 欧米における電力マネジメントは自動検針（AMR: Automatic meter reading）自動制御に始まり、電力量の「見える化」による省エネルギー効果が期待されている。すでにイタリアでは、2005年に2,700万世帯にAMRが普及しており、また米国ではニューヨーク州にて2008年度を初年度とするAMI（Automatic Metering Infrastructure）化実施計画が進んでいる（100万世帯規模）。米国電気業界の認識として、この先に分散型発電に対応したSmart Grid（次世代網）の構想がある。
- 東京水道局、東京電力および東京ガスの3事業者による自動検針の共同実施の実証実験が行われた（平成12年4月～平成14年3月：東京都内の約160世帯を対象）
- HEMS（Home energy management system）やBEMSの実証実験がある。実用化段階に入った事例としては、店舗の冷設機器や照明設備の制御を対象にした三洋電機のエコストアシステムや、ビルの空調を制御するダイキン工業の省エネ当番があり、これらは2008年のエコプロダクツ大賞（エコサービス部門）を受賞した。家庭用では三菱電機のエアコンのムーブアイなども相当する。
- Panasonic電工（株）の「エミット・ホームシステム」（携帯電話やパソコンと建物内の電気機器をインターネットで結び、状態確認や遠隔制御を可能とするシステムで、住宅のセキュリティ向上に関する機能もある。）を応用した「ライフニティ・ECOマネシステム」（部屋単位や機器別の電気使用量・料金・CO₂排出量の表示機能と、目標設定や様々な時間単位での比較機能があり、省エネアドバイスやピークカット機能もある。）東京ガス（株）とNTT（株）の「リモートプラス（Remote +）」（上記のエミット・ホームシステムと類似しているが、電気機器だけでなく給湯機器やガスの制御に関してもIT機器を通じて状態確認や遠隔制御を行うシステムで、やはりセキュリティ向上に配慮した機能も提供している。）
- イギリスで Personal carbon allowance の実施の試みがある。

3) 普及の早さに関する検討

LCSシステムの普及の早さを検討する参考材料として、HEMS(家庭エネルギー管理システム)の普及予測が挙げられる。HEMSが2010年に全世帯の17%に普及するとした推定がある（総合資源エネルギー調査会需給部会 第10回資料）。また地球温暖化対策推進大綱(2002.3)では30%の導入が目標とされた。これらの推定や目標は楽観的過ぎるという見方もあるが、過去の様々な製品の普及推移と照らし合わせると、LCSシステムが比較的早く普及浸透する可能性もある。我々の検討で、LCSシステムが比較的早く普及する条件を検討した。条件の第一は、LCSシステムが大掛かりな設備ではなく、手軽で安価なアプリであることである。給湯器や太陽光発電のような設備は普及に年数を要するが、例えばETCや携帯電話のような手軽なものは比較的早い普及が可能である（ETCの普及推移は図1を参照）。第二は、LCSシステムが何かの買い替え時に普及するのではなく、新規購入で普及することである。例えばハイブリッド車や地デジ対応TVは車、TVの買い替えを待たねば

ならず普及に年数を要するが（関連でオートマチック車の普及推移を図4に記載）、上記のETCや携帯電話の急速な普及は新規購入であったことが一要因である。第三は、LCSシステムが単に情報提示や制御をするシステムなのではなく、利便性やエンターテインメント性が付加されることである。こうした要件が満たされれば10年程度での急速な普及の可能性があると考えられる。また政府の補助等を要さずに民間主導での普及が可能であると考えられる。

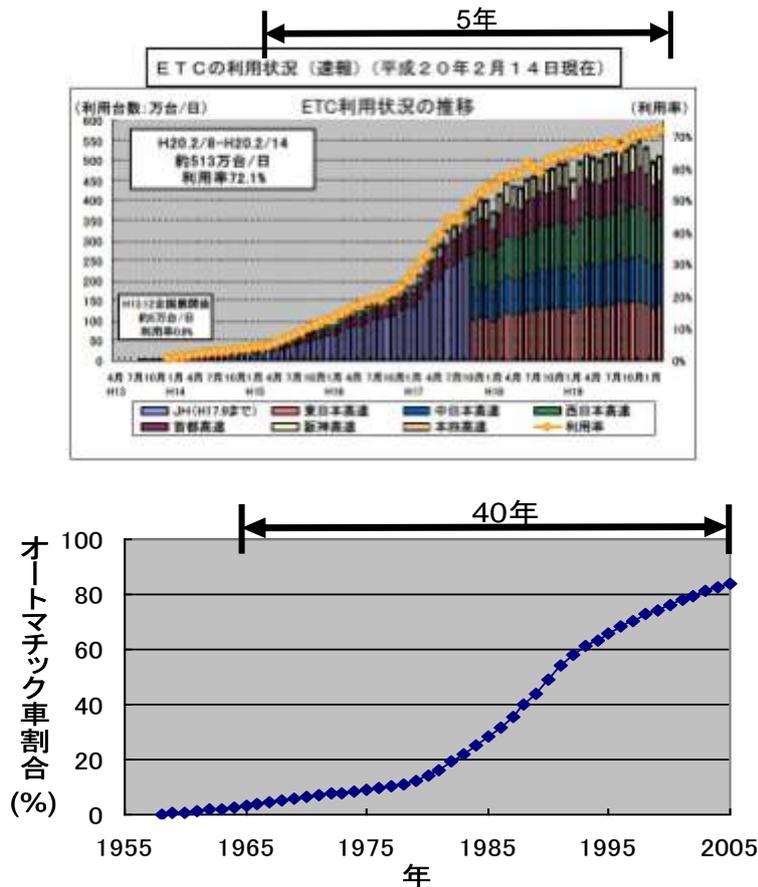


図4. 上図：ETC利用率の推移 出典：出典：道路システム高度化推進機構
急速な普及の事例であり、普及推進策の例でもある。

下図：乗用車(軽を除く)に占めるオートマチック車の割合推移 出典：S-3-4(2)で推計。
自動車の買い替え周期が長い(約10年)ことも、普及浸透には年月を要した。

4) 普及の効果

LCSシステムの普及によるCO₂削減の効果について、地球温暖化対策推進大綱(2002.3)ではHEMSの普及の効果は、2010年で30%の世帯への普及達成により290万t-CO₂の削減とされている。これに基づけば、電力消費のみを対象とした場合にはその削減効果は数百万t-CO₂の水準と予想される。一方、乗用車利用や省エネ家電の購入支援などが統合されれば、その効果はさらに大きくなることが期待される。

5) 普及施策

LCSシステムの普及施策を三つの時期に分けて検討した。第一の時期は、個々の見える化・ナビゲーションシステムの普及浸透期と呼ぶこととし、時期は今後10年程度を想定する。この間の普及施策は、企業の技術開発と販売戦略推進（製品の機能向上、価格低下、エンターテインメント性付加などの製品販売努力等）、政府による普及促進等である。第二期は、システムの統合化期であり、10年から15年後を想定する。この間は、制度的な整備、具体的には、電力計のデジタル化、製品の環境情報の規格化、エネルギー消費情報の認証方法の整備、エネルギー消費情報のプライバシー保護等が必要である。第三期は、統合システムを活用したインセンティブ制度の導入期と呼ぶこととし、時期は15年から25年後を想定する。この間は、統合システムを活用した企業や政府による個人・事業者の環境負荷低減のインセンティブ制度の導入等が期待される。

6) 結論

人々に環境情報を提示することで省エネ行動を促すLCSシステムの開発と普及を実現するにあたっては、技術的には障壁は小さいことが予想される。つまり既存技術と技術開発で実現が可能である。一方、普及を実現するには、価格の低下、適用の手軽さ、利便性・エンターテインメント性の付加等が要件になると考えられる。以上を満たせば、10年程度の期間での比較的早い普及の可能性があると考えられる。その場合には民間主導で、最小限の政府費用負担での普及実現が可能と考えられる。普及促進のためには、環境情報の規格化・認証法確立、電力計のデジタル化、情報セキュリティ確立、等の制度的整備が必要である。また家庭部門でもインセンティブ制度の導入が有効と考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

IT化の進展が社会のCO₂排出量にもたらす影響について既存のLCA評価や経済モデル評価の成果も取り入れて算定し、今後2020年までに、IT機器の増加による排出増加影響を含めても、IT化による各種の効率化によるCO₂削減効果が増加影響を上回り、5%の削減効果の可能性あることを示した。

(2) 地球環境政策への貢献

IT化の進展がエネルギー消費の増加をもたらす懸念がある一方で、ITの活用によるCO₂削減の可能性あることを示し、国のCO₂対策の中でのITの重要性を国内外で示すことができたと考える。

「12の施策」の中で「見える化」の施策パッケージの作成に寄与した。今後本研究の成果、特にS-3-4で作成した書籍¹¹⁾の内容さらに発展させ、さらに成果普及をしていくことを目指す。

6. 引用文献

- 1) M. Miozzo, P. Dewick and K. Green, "Globalisation and the environment: the long-term effects of technology on the international division of labour and energy demand", *Futures*, Vol. 5, pp. 521-546.
- 2) K. W. Roth, 2005: The Potential to Reduce Information and Communication Technology (ICT) Energy Consumption
- 3) 榎屋治紀, 1998: 情報化による省エネルギー, 電気学会誌, 118, 226~229.

- 4) 電気通信審議会答申, 1998: 情報通信を活用した地球環境問題への対応.
- 5) 中村公雄, 西史郎他, 2002: IT進展とエネルギー消費に関する分析, 第18回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 391~396.
- 6) K.Takase, Y.Murota, 2004: The impact of IT investment on energy: Japan and US comparison in 2010, Energy Policy, 32, 1291~1301.
- 7) 松本光崇, 浜野絢子, 田村徹也, 井口浩人, 2005: ユビキタス化が日本のエネルギー需要にもたらす影響の分析, 電気学会論文誌C, 125, 10, 1544~1551.
- 8) 総務省, 2005: ユビキタスネット社会の進展と環境に関する調査研究会報告書.
- 9) C.Rodriguez, C.Wunnik, L.Sancho, J.Burgelman, P.Desruell (eds.), 2004: The Future Impact of ICTs on Environmental Sustainability, European Commission Technical Report EUR 21384 EN.
- 10) 上野剛, 稲田亮, 佐伯修, 辻毅一郎, 2005: 住宅用エネルギー消費情報提供システムによる省エネルギー — 世帯全体のエネルギー消費に対する効果, エネルギー・資源, 26-2, 139~145.
- 11) 東京大学 RCAST 脱温暖化IT社会チーム、電通 消費者研究センター 編、2007: 2050年脱温暖化社会のライフスタイル—IT社会のエコデザイナー、電通出版
- 12) トーマス・フリードマン、2006: フラット化する世界、日本経済新聞社
- 13) A. Blinder, 2006: Offshoring: the next industrial revolution?, Foreign Affairs, 85, 2, 113-128.

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

なし

<その他誌上発表 (査読なし)>

- 1) 東京大学RCAST脱温暖化IT社会チーム, 電通 消費者研究センター編: 2050年脱温暖化社会のライフスタイル — IT社会のエコデザイン、電通出版、(2007)
「第5章 脱温暖化ライフスタイルのCO₂削減量 (執筆担当: 松本光崇)」
- 2) 西岡秀三編著: 日本低炭素社会のシナリオ — 二酸化炭素70%削減の道筋、日刊工業新聞社, (2008)
「第8章 情報化は低炭素社会の潤滑油 (共同執筆担当: 松本光崇)」

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) M.Matsumoto and J.Fujimoto, “A study on the potential of ICT on realizing environmentally sustainable society”, The 4th Asialics International Conference, Kuala Lumpur. Malaysia, 2007

- 2) M. Matsumoto and Y. Takahashi : Electronics Goes Green 2008+, Berlin, Germany, 2008
"The long term effects of ICT on international division of labor and CO₂ emissions"
- 3) 松本光崇、高橋裕香里, 「ITがもたらす産業構造の変化とそれに伴うエネルギー需要影響の検討」, エコデザイン2008ジャパンシンポジウム (2008)

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし