

第3章 ユビキタスシステムによる我が国のエネルギー起源 CO₂ 排出量への削減効果の試算

第1節 経済モデル分析の概要

ユビキタスネット社会では、ICT 機器・インフラの普及拡大によりそれらの運用に伴う電力消費量が増加する可能性がある。一方で、ユビキタスシステムにより、「(ICT 機器以外の)エネルギーの利用効率を改善する」「物の過剰な生産や消費を解消する」「人や物の移動が少なくても済むようにする」という CO₂ 削減効果や、ユビキタスネット産業の拡大によって我が国経済の産業構造のソフト化・サービス化が進展し、GDP あたりの CO₂ 排出量が減少する効果が生じると考えられる。このような環境へのプラス・マイナスの影響を総合して、ユビキタスネット社会の進展が我が国経済全体へ及ぼすマクロ的な影響をトータルで評価するために、経済モデル手法を利用した定量的な分析を行った。

・ 応用一般均衡モデル分析の特徴

地球温暖化対策の効果を分析した既存の研究²²では、産業連関分析をベースとした LCA²³ 分析や、マクロ計量分析、応用一般均衡モデル分析等の経済モデル分析手法が用いられてきた(図 13)。

- ・ 産業連関分析は、製品の LCA 評価に産業連関表のデータを適用して分析を精緻化する手法である。
- ・ マクロ計量分析は、GDP や雇用統計など各種マクロ統計指標の間関係に着目して環境影響を評価する手法である。
- ・ 応用一般均衡モデル分析は、産業連関表上で価格変化や技術革新の影響を与えてその波及効果の影響を見るもので、技術革新や経済政策等の一国経済全体への波及効果を捉えることに適しており、公共政策の経済効果の評価等に応用する試みが行われている。

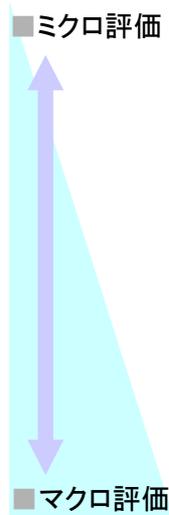
²² 産業連関分析等をベースに、各種 ICT システムの環境影響評価を行い、影響量を足し合わせて我が国のエネルギー需要に与える影響を評価した事例としては以下が挙げられる。

地球環境戦略研究機関「IT の地球環境問題に対する影響に関する調査研究 報告書」(2001 年 3 月)
エネルギー総合推進委員会「IT 化の進展にともなうエネルギー消費形態への影響評価 調査研究報告書」(2002 年 3 月)

マクロ計量分析に基づく評価事例としては以下が挙げられる。

湘南エコノメトリクス・地球産業文化研究所「『産業連関表などを用いた、IT 革命が地球環境問題に及ぼす影響』に関する調査研究報告書」(2002 年)

²³ LCA (Life Cycle Assessment) : 工業製品、建築物その他の製造・使用・廃棄に係わるすべての工程における資源の消費や廃棄物の量を計算し、環境への影響を評価する方法。



評価方法	評価レベル	主な評価モデル例
積上げ計算によるLCA評価	製品	各種LCA評価
技術選択モデル	各産業部門	■AIMエンドユースモデル (国立環境研究所)
産業連関分析	製品～産業部門	LCA等と併せて広く利用される
応用一般均衡モデル	国全体 (波及効果を含めて評価)	■KEOモデル (慶応大学、産構審で利用) ■AIMマテリアルモデル (国立環境研究所)
マクロ計量分析	国全体 (GDPの短期予測等 が対象)	■湘南エコノメトリクス
動学的最適化モデル	世界全体	■DICEモデル

図 13 経済モデル分析手法の比較

る²⁴。

地球温暖化対策推進大綱等で検討されている一般的なCO₂削減対策が、燃料や電力の使用を直接的に削減するものであるのとは対照的に、ユビキタスシステムのCO₂削減効果は、紙使用の抑制や生産の効率化による原材料利用の削減など、間接的・波及的にCO₂を削減するものであることが多い。こうした間接影響や波及効果を捉えるためには応用一般均衡モデル分析が最も適していると考えられ、本試算ではこの分析手法を採用した。

従来、CO₂削減効果の評価手法の多くは、個別の対策によって削減される燃料や電力の量にCO₂排出原単位を乗じてCO₂削減量とし、これを足し合わせる方法であるため、間接的・波及的な効果を捉えることは困難である。そのため、応用一般均衡モデル分析における評価結果とは、同じ条件で評価しても結果に差異が生じる可能性がある。

・ 応用一般均衡モデル分析の概要

応用一般均衡モデルを用いた分析手法の概要について例を挙げて説明する（図 14）。

産業連関表では、例えば産業 A で生産された製品が、生産に必要な原材料として産業 A 自身、産業 B、産業 C でどれだけ使用され、また消費や輸出にどれだけ振り向けられたかが示されている。応用一般均衡モデル分析では、産業連関表のデータをもとに、各産業部門の生産活動と家計の需要を方程式で記述する。

²⁴ 土木学会土木計画学研究委員会編『応用一般均衡モデルの公共投資評価への適用』（1998 年）

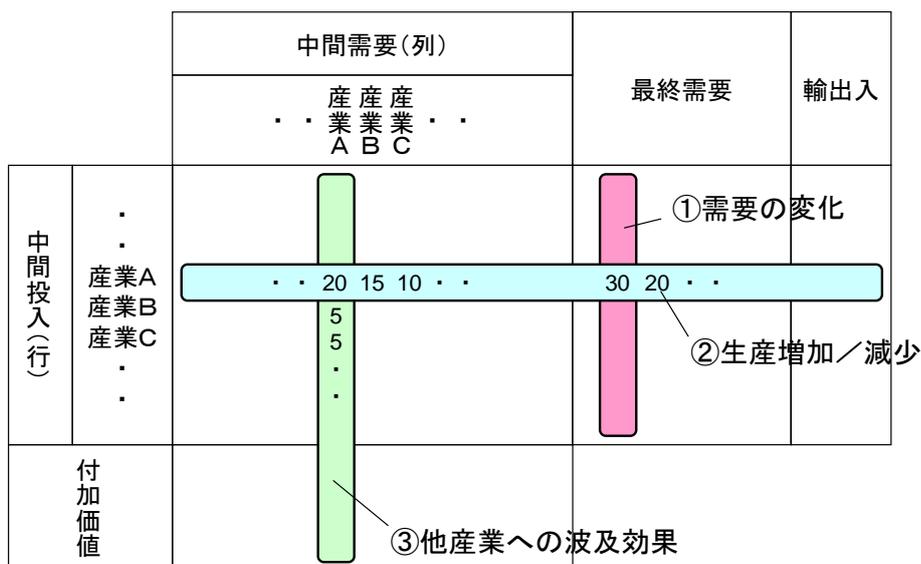


図 14 応用一般均衡モデルを用いた分析の例

ユビキタスシステムの効果によって需要量が増加したとすると(①)、それに対応して産業Aの生産量が増加する(②)。産業Aは産業Bや産業Cの製品を生産活動で使用しているので(③)、産業Bや産業Cへも波及効果が及ぶ。すると再び、産業Bや産業Cでも同様な変化が生じ、波及効果が経済全体に広がってゆく。このように個々の変化を出発点として、経済全体への影響を分析できるのが応用一般均衡モデルの特徴である。

ユビキタスシステムのCO₂排出量への影響は、産業連関表に変化を与える前と与えた後との化石燃料の需要量を比較することで求められる。

第2節 評価対象システムの選定

CO₂削減効果の評価対象となるユビキタスシステムを以下の手順により選定した。

・システムの列挙

まず、電気通信審議会答申(平成10年5月)²⁵及び地球温暖化対策推進大綱(平成14年3月)に記載されているユビキタス技術を活用したシステムや、本調査研究会の会合において委員から紹介のあったユビキタスシステムの活用によるCO₂削減の事例等を参照し、CO₂

²⁵ 電気通信審議会答申「情報通信を活用した地球環境問題への対応」(平成10年5月)

削減効果を有すると考えられるシステムを列挙した。

本調査研究会には、個別技術やシステムを提供するベンダー企業、システムを個別の実際の事業に適用するユーザー企業など、多様な立場からの参加が得られたことから、視点の客観性は確保されたと考えられる。

列挙されたシステムは次の2軸により整理した。

- ・ システムの利用主体：地球温暖化対策推進大綱等における産業、運輸、民生業務、民生家庭の区分を参考として、「生産・流通・輸送」「事務所・店舗」「一般家庭」に区分した。
- ・ システムのCO₂削減効果：「ICT 機器以外（輸送機器、建物等）のエネルギー利用効率を改善する」「物の過剰な生産や消費を解消する」「人や物の移動が少なくても済むようにする」に区分した。

他に、ICT 機器自体のエネルギー利用効率を改善することによってCO₂削減に資するようなシステムもあげられたが、こうした効果はICT 機器・インフラの電力消費量の将来予測に織り込まれていることから、評価対象から除いた。また、環境情報のモニタリングによってCO₂削減に資するようなシステムについても、システム単独による効果ではないことから、評価対象から除いた。システムを整理した結果は表3の通りである。

システムの利用主体	CO ₂ 削減効果		
	エネルギーの利用効率を改善する	物の過剰な生産や消費を解消する	人や物の移動が少なくても済むようにする
生産・流通・輸送	輸送機器のエネルギー利用効率を改善する エコドライブシステム VICS 信号制御の高度化 路上駐車対策 ETC	生産・流通における廃棄を減らす SCM トレーサビリティシステム リサイクル管理システム リユースシステム 動脈・静脈物流	物流のための移動を減らす 物流・配送管理支援システム 求車求貨システム
事務所・店舗	事務所・店舗のエネルギー利用効率を改善する BEMS	業務における紙の消費を減らす ペーパーレスオフィス ビリングサービス 電子カルテ 電子行政システム 資材調達ネットワーク 電子マネー	通勤や業務のための移動を減らす テレワーク TV会議 ネット会議 eラーニング・リアルタイムeラーニング デジタルテストング 電子入札 コミュニティ・コラボレーション 自動販売機オンラインシステム 電子投票 遠隔医療
一般家庭	家屋のエネルギー利用効率を改善する HEMS	家庭における紙の消費を減らす 電子出版 電子カタログ ソフト販売サービス 音楽配信 映画配信 コンテンツ流通	買い物のための移動を減らす オンラインショッピング 旅券購入システム

ICT 機器自体のエネルギー利用効率を改善する	サーバの省電力化、Data Center Hosting Service、ユーティリティコンピューティング、シンククライアントシステム
環境情報をモニタリングする	センサーネットワーク、監視・計測のユビキタス化

表3 会合等により列挙されたユビキタスシステム

・システムの整理統合

表 3 のシステムには、一方が他方に包含されているものが混在している。また、産業連関表によるマクロレベルでの評価であるために CO₂ 削減効果を別個に評価することが困難な場合もある。そこで、既存の評価事例等を参考にして、表 3 のシステムを表 4 の通り整理統合したうえで、CO₂ 削減効果の評価対象とした。

表 4 のシステムを、CO₂ 削減効果が帰属する部門を基準として再分類すると表 5 の通りとなる。

システムの利用主体	CO ₂ 削減効果		
	エネルギーの利用効率を改善する	物の過剰な生産や消費を解消する	人や物の移動が少なくても済むようにする
生産・流通・輸送	エコドライブシステム ITS (VICS の普及による渋滞緩和効果)	SCM (サプライチェーンマネジメント) リユース支援システム (リサイクル・トレーサビリティを含む)	物流・配送管理支援システム
事務所・店舗	BEMS (ビルエネルギー管理システム)	ペーパーレス化 (電子行政システム、電子カルテ等を含む)	テレワーク/TV 会議 (遠隔医療、e ラーニング等を含む)
一般家庭	HEMS (家庭用エネルギー管理システム)	電子出版 (音楽・画像配信等、ユビキタスコンテンツ流通を含む)	オンラインショッピング

表 4 評価対象として選定したユビキタスシステム

CO ₂ 削減効果が帰属する部門	システム
産業部門	SCM、リユース支援システム、ペーパーレス化、電子出版
運輸部門	エコドライブシステム、ITS (VICS)、物流・配送管理支援システム、テレワーク/TV 会議、オンラインショッピング
民生業務部門	BEMS
民生家庭部門	HEMS

表 5 ユビキタスシステムの CO₂ 削減効果の部門分類

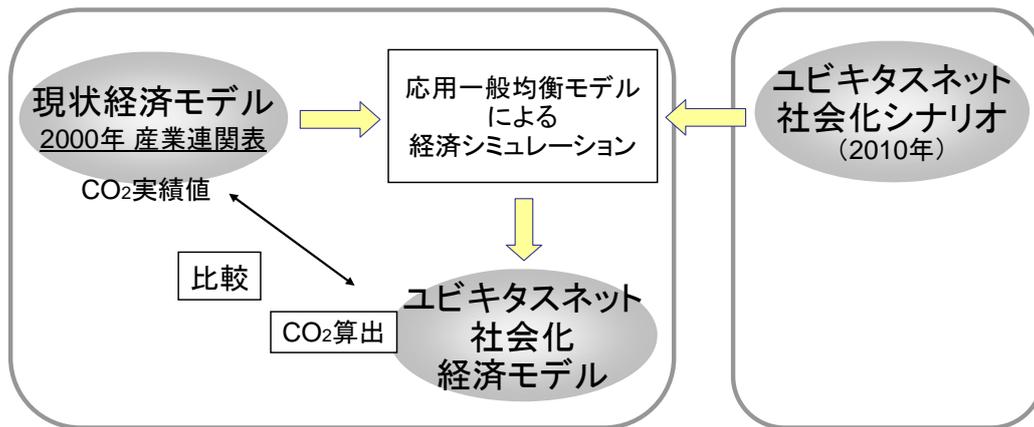


図 15 本試算の分析の流れ

第3節 経済モデル分析

1 分析の流れ

応用一般均衡モデル分析の枠組みを用いた本試算の分析の流れを図 15 に示す。

1. 現状経済モデルの作成

- ・ 現在公表されている最新の産業関連表である 2000 年産業関連表²⁶をもとにして、2000 年の我が国の経済に対応する経済モデルを作成した。この経済モデルを「現状経済モデル」と呼び、本試算における基準の経済モデルとした。

2. ユビキタスネット社会化シナリオの想定

- ・ 2010 年におけるユビキタスシステムの普及予測、各システムによる CO₂ 削減効果及びユビキタスネット関連市場の拡大を想定した。この想定を「ユビキタスネット社会化シナリオ」と呼ぶ。
- ・ 本試算では、ユビキタスシステムの普及拡大による CO₂ 削減効果に着目するため、マクロフレーム（経済規模（GDP）やエネルギー原単位等）を 2000 年レベルで一定（GDP を固定）とした。

3. ユビキタスネット社会化経済モデルの算出

- ・ 現状経済モデルにユビキタスネット社会化シナリオを組み込んで新たな経済モデルを算出する。これを「ユビキタスネット社会化経済モデル」と呼ぶ。

4. CO₂ 排出量の比較

²⁶ 総務省統計局「平成 12 年（2000 年）産業関連表」基本取引表（平成 16 年 3 月）

- ・ 現状（2000年）のエネルギー起源 CO₂ 排出量の実績値と、ユビキタスネット社会化経済モデルから計算される CO₂ 排出量とを比較することで、ユビキタスネット社会化シナリオが我が国の温室効果ガス排出量に及ぼす影響を算出した。

2 現状経済モデルの作成

まず、現在公表されている最新の産業連関表である 2000 年産業連関表をもとにして、2000 年の我が国の経済に対応する経済モデルを作成した。この経済モデルを「現状経済モデル」と呼び、本試算における基準の経済モデルとした。

現状経済モデルの作成のためには 2 つの設定が必要となる。第一は産業連関表の部門と財の統合である。第二は生産関数と需要関数の設定である。現状経済モデルは、応用一般均衡モデルの枠組みにより、統合された産業連関表を、設定された関数を用いて、方程式体系で記述したものである。

(1) 産業連関表の部門と財の統合

応用一般均衡モデル分析では、計算負荷を軽減するために部門統合を行うことが一般的である。本試算では 405 部門 517 財で構成される 2000 年産業連関表をもとに、部門や財をまとめ、39 部門 40 財の産業連関表とした。本試算で設定した 39 部門は表 6 の通りである。40 の財については、部門の中で「原油」部門が、「原油」財と「天然ガス」財の 2 財に分割した以外は、部門と財は一対一に対応している。

(2) 生産関数と需要関数の設定²⁷

応用一般均衡モデル分析では、各部門の生産活動を生産関数でモデル化する。生産関数は一般的に用いられる CES（Constant Elasticity of Substitution）型関数を採用した。CES 型関数ではパラメータとして代替弾力性を設定する。生産関数は全ての生産部門で共通であるとして、以下のように代替弾力性を設定した。エネルギー財以外の中間投入財の間の代替弾力性を 0 とし、エネルギー関連財については、石油、石炭等の 6 つの化石燃料財の間の代替弾力性を 1、6 つの化石燃料財と電力の間の代替弾力性を 0.3 とした。生産要素（労働力、資本）の間の代替弾力性を 1 とした。

需要部門は最終消費部門と投資部門の 2 部門として、需要関数でモデル化した。両者の間の代替弾力性を 0 とし、消費部門の代替弾力性を 1（コブダグラスの需要関数）、投資部門の代替弾力性を 0 とした。

²⁷ 増井利彦，松岡謙，森田恒幸「環境と経済を統合した応用一般均衡モデルによる環境政策の効果分析」，土木学会環境システム研究論文集，Vol.28，pp.467-475（2000）

<ul style="list-style-type: none"> ・農林水産業 ・鉱業 ・石炭 ・原油 ・軽工業 ・紙 ・新聞 ・印刷・出版 ・化学製品 ・石油製品 ・石炭製品 ・窯業・土石製品 ・鉄鋼・非鉄金属・金属製品 	<ul style="list-style-type: none"> ・電子計算機・同付属装置 ・通信機械 ・機械（その他） ・情報記録物 ・建設 ・非住宅建築 ・電気通信施設建設 ・電力 ・都市ガス ・熱供給業 ・水道 ・廃棄物処理 ・卸売 	<ul style="list-style-type: none"> ・小売 ・金融・保険 ・不動産 ・バス・タクシー ・自家用道路旅客輸送 ・道路貨物輸送 ・その他輸送 ・倉庫 ・国内電気通信（除移動通信） ・郵便・放送・その他通信サービス ・移動通信 ・情報サービス ・サービス（その他）
--	--	---

表6 本試算で用いた産業連関表の部門分類

3 ユビキタスネット社会化シナリオの想定

次に、ユビキタスネット社会化シナリオを想定した。これは、2010年のユビキタスシステムの普及予測、各システムによるCO₂削減効果及びユビキタスネット関連市場の拡大を想定し、その直接的な影響によって産業連関表のどの部分にどの程度の変化がもたらされるかという形で数値により表現したものである。

シナリオの想定では以下の3つの項目を考慮した。

1. ICT機器・インフラの拡大に伴う電力消費量増加
2. ユビキタスシステムの導入効果と普及率
3. ユビキタスネット産業の拡大による産業構造の転換

(1) ICT機器・インフラの拡大に伴う電力消費量増加

本試算では、ユビキタスシステム等のICT機器、通信ネットワーク等のインフラにおける電力消費量について、「参考資料2 ICT機器・インフラの電力消費量の予測」で示した各種調査研究事例及び本調査研究会における委員からの意見等を基に、以下のとおり設定した。

試算に当たっては、個々のユビキタスシステムの電力消費量を検討・予測するのではなく、ユビキタスネット社会を構成するパソコン、サーバ等のICT機器の普及数、加入電話・ブロードバンド等のネットワーク利用者数の予測等に基づき、ICT機器・インフラ全体の電力消費量として、ひとくくりにして検討した。

	2000 年	2010 年（予測）
加入電話	5,170	500
ISDN	989	0
DSL	10	1,000
FTTH	10	4,000
CATV	28	500
FWA	0	200
従来型移動体携帯（PDC）	6,292	1,100
第3世代移動体携帯（次世代）	0	7,000
サーバ（ハイエンド）	4	20
サーバ（ミドルエンド）	13	80
ルータ	160	1,492

表7 加入者数（利用者増）の予測について（単位：万加入、サーバ・ルータは万台）

① ネットワーク利用者数を予測

加入電話、携帯電話、ブロードバンド（DSL、FTTH等）の加入者数について設定した（表7）。

② SI系機器の数を予測

サーバ・ルータ等、ブロードバンドネットワークを構成するSI（System Integrator）系機器の数を設定した（表7）。

③ 端末等の数を予測

PC、情報端末等、端末について、2000年及び2010年の普及数を予測した（表9）。

①～③の予測数及び「参考資料2 ICT機器・インフラの電力消費量の予測」のとおりICT機器・インフラの電力消費量を設定した。現状（2000年）の電力消費量は2000年度推計値の296億kWh、ユビキタスネット社会化シナリオの電力消費量は2010年度予測値の454億kWhとした。この値は、端末・サーバーの増加やインターネット利用の増加、及び機器の省電力化の効果を含めた予測値である。また、ネットワーク関連の電力消費量については、機器を冷却するための空調設備の電力消費量についても各実績値等を参照し、ネットワーク機器の電力消費量の約43%が消費されると設定し、当該数値を加えて試算している。

	2000年	2010年(予測)
PC(家庭)	2,096	4,865
PC(業務)	2,411	9,762
ミドルレンジコンピュータ	100	200
メインフレーム	1.63	1.38
ハブ	189	1,728
携帯情報端末	4,968	21,100
TVを活用したインターネット接続システム等	70	6,300
通信機能付きTVゲーム機等	645	6,100
車載用端末(VICS等)	174	1,090
電話	4,600	4,600
FAX	1,300	2,200

表8 端末の予測(単位:万台)

電力消費量のCO₂排出量への換算については、現状(2000年)とユビキタスネット社会化シナリオの双方とも、電気事業連合会(以下、電事連という。)が公表した2000年度の使用端CO₂排出原単位(0.379 kg-CO₂/kWh)を採用した²⁸。なお電事連は、「2010年度における使用端CO₂排出原単位を1990年度から20%程度低減(0.34 kg-CO₂/kWh程度にまで低減)するよう努める」との目標を掲げている²⁹。以上を表9にまとめる。

	現状(2000年)	ユビキタスネット社会化シナリオ
ICT機器・インフラの電力消費量	296億 kWh	454億 kWh
使用端CO ₂ 排出原単位	0.378 kg-CO ₂ /kWh	0.378 kg-CO ₂ /kWh
CO ₂ 排出量	1,120万 t-CO ₂	1,720万 t-CO ₂
CO ₂ 排出量の増加量	—	+600万 t-CO ₂

表9 ICT機器・インフラの電力消費によるCO₂排出量

²⁸ 電気事業連合会「電気事業における環境行動計画」(2003年9月19日)

²⁹ この原単位にはIPP(独立発電事業者)、自家発などからの購入電力分を含む。なお総合資源エネルギー調査会「今後のエネルギー政策について」(2001年7月)では、電気事業者(IPP及び自家発電を含まない)の発電端CO₂排出原単位について、1990年度実績の0.374 kg-CO₂/kWhに対して、2010年度には現行対策ケースで0.301 kg-CO₂/kWh、目標ケースで0.270 kg-CO₂/kWhになるとの見通しを示している。

(2) ユビキタスシステムの導入効果と普及率

ユビキタスシステムによるCO₂削減効果は、第一にシステムの導入効果、第二にシステムの普及率によって左右される。ユビキタスシステムの導入効果は、「第3章第2節 評価対象システムの選定」で選定したシステムについて、本調査研究会において報告された事例や、既存の評価を参照して想定した。導入効果の想定過程の概要を表10に示す。

システムの導入によって、各種の間接的・波及的なCO₂削減効果や、逆に、例えば交通の効率が向上することによって交通が快適となり交通需要が増加するといった「リバウンド効果」が生じると考えられるが、本試算では、システム導入と効果との因果連関が明確な範囲のみを考慮した。

なお、ペーパーレス化と電子出版など、一見、導入効果が類似しているケースもあるが、効果が複数のシステムで重複計上されているケースはない。これについては表11で補足する。

ユビキタスシステムの現状（2000年）の普及率については各種資料を参照した。2010年時点の普及率については、本調査研究会委員からの意見を基に、既存の評価事例があるもの（ITS、エコドライブシステム（一般車用）、SCM、テレワーク／TV会議、BEMS、HEMS、電子出版、オンラインショッピング）は既存評価事例における普及予測を参照し、既存の評価事例が見られないもの（エコドライブシステム（業務用）、物流・配送管理支援システム、ペーパーレス化）は過去数年の普及率の推移に基づく他、当該システムを実際に運用している委員からの事例を参照して想定した。

導入効果と普及率の想定過程の詳細は「参考資料3 ユビキタスシステムのCO₂削減効果の評価」で示す。表12に導入効果と普及率の想定を総括を示す。これをもとに各システムの影響を産業連関表上の変化分として設定した。

ITS (VICS)	自動車交通の平均速度の向上率想定値をもとに燃費の改善率に換算した。
エコドライブシステム	一般用（個人乗用車等）については、環境省モデル事業の結果である燃費改善率を用いた。業務用については、本調査研究会において報告のあった運行管理システムの事例を参照した。
物流・配送管理支援システム	物流 EDI 標準化の成果の一例が共同配送の進展であると考え、本調査研究会において報告のあった共同配送の導入事例を参照した。
SCM	SCM によって返品率が削減されるという効果を想定し、化学、機械、繊維等の製造業部門の返品率をベースとした評価を行った。
リユース支援システム	リース製品の一部が ICT 活用によって使用後にリユース市場に回り、新規生産を一部代替する効果が得られると想定して、リース市場の市場規模をベースにした評価を行った。
テレワーク/TV 会議	通勤交通用と業務交通用のガソリン・軽油の需要が減少するとした。
ペーパーレス化	情報用紙の需要が削減されるとした。情報用紙の国内生産量は 1990 年代後半以降減少に転じている。この傾向が継続するとした。
BEMS	ビルにおける導入効果は地球温暖化対策推進大綱で想定されている省エネ率を引用した。工場については NEDO の実証実験に基づく試算を参照した。
HEMS	地球温暖化対策推進大綱で想定されている省エネ率を引用した。
電子出版	電子化により印刷用紙の使用量が削減されるとした。
オンラインショッピング	買物交通、宅配輸送、包装の影響を想定した。

表 10 導入効果の想定過程の概要

SCM と 物流・配送管理支援システム	前者の効果には無駄な生産が削減されることによる輸送の減少も含まれる。後者はある量の物流ニーズがあるときにその物流が効率化される効果である。前者は物流需要の減少で、後者は物流効率化であるため両者に重複はない。
テレワーク/TV 会議と オンラインショッピング	前者には通勤・業務用の交通が削減される効果があり、後者には買物のための交通が削減される効果がある。利用した統計 ³⁰ では、通勤と買物を兼ねた交通が通勤と買物の双方に含まれることはないため、交通削減の効果を重複して計上していることはない。
ペーパーレス化と電子出版	前者は情報用紙の削減であり、後者は出版部門における印刷用紙の削減である。したがって両者の重複はない。

表 11 導入効果の重複計上について

³⁰ 国土交通省「平成 11 年度道路交通センサス」

	効果	普及率 現状(2000年)	普及率 2010年
ITS (VICS)	燃費 2%改善	自動車交通の 4% (VICS 搭載率)	自動車交通の 20% (VICS 搭載率)
エコドライブシステム	一般用 燃費 5.8%改善 業務用 燃費 10%改善	なし	一般用 0.5% 業務用 12%
物流・配送管理支援システム	効率 6%向上	道路貨物輸送の 3%	道路貨物輸送の 8%
SCM	返品率が現状の約 3%から半減する	製造業の 19% (効果も異なる)	製造業の 30%
リユース支援システム	機械製品生産の 3.6%がリユース製品利用で代替	機械製造業の 5%	機械製造業の 40%
テレワーク/TV会議	通勤移動と業務移動の削減	就業者の 3.8% 週平均 2 日 (勤務日数の 40%) のテレワーク	就業者の 25% 週平均 2 日 (勤務日数の 40%) のテレワーク
ペーパーレス化	情報用紙の削減	情報用紙の 6%	情報用紙の 28%
BEMS	ビルにおける省エネ率 空調 12.5%、照明 33.0%、給湯 7.5% 工場における省電力率 4%	なし	業務部門(ビル)の 30% 工場の 10%
HEMS	省エネ率 エアコン 14%、その他家電機器 10%	なし	全世帯の 17%
電子出版	印刷用紙 100%減	出版の 0%	出版の 10%
オンラインショッピング	買物交通 普及分の 50%削減 配送交通 普及分だけ増加 包装用紙 普及分だけ増加	小売の 0.5%	小売の 5%

表 12 導入効果と普及率の想定 の 総括

(3) ユビキタスネット産業の拡大による産業構造の転換

ユビキタスネット社会では、コンテンツや情報サービスなどユビキタスネット産業が拡大し、我が国経済の産業構造もソフト化・サービス化が進展する。ユビキタスネット産業は、従来型の産業と比較すると生産高あたりの CO₂ 排出量が少ない (図 16)。従って、このような産業構造の転換によって、GDP あたりの CO₂ 排出量は減少する。

ユビキタスネット産業の拡大は、我が国の経済規模 (GDP) を拡大させる効果と、経済資源をシフトして産業構造を転換させる効果の双方を生じさせる。本試算では、ユビキタスシステムの普及拡大による CO₂ 削減効果に着目するため、マクロフレーム (経済規模 (GDP) やエネルギー原単位等) を 2000 年レベルで一定 (GDP を固定) とし、産業構造を転換させる効果のみが生じると仮定した場合に、経済全体の CO₂ 排出量がどの程度増減するかを算出

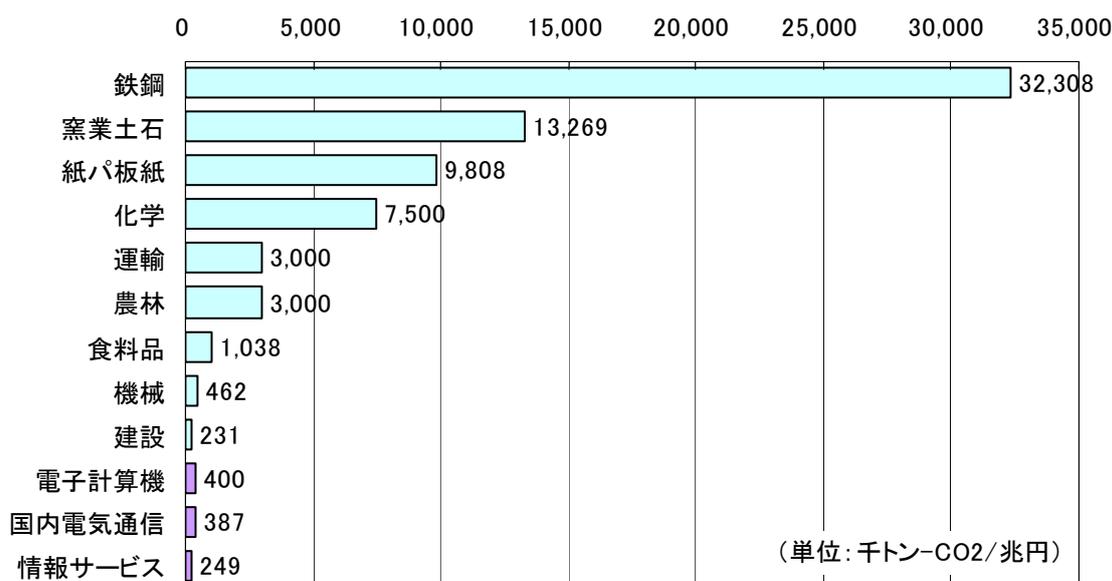


図 16 主要産業の GDP あたり CO₂ 排出量

(出典) 各産業の GDP は産業連関表 (2000 年)。CO₂ 排出量は温室効果ガスインベントリ報告書 (2001 年度)。ただし電子計算機、国内電気通信、情報サービスの CO₂ 排出量は産業連関表から概算した。

した。

ユビキタスネット関連市場の定義を表 14 に示す。市場規模は 2003 年の 28.7 兆円から 2010 年には 87.6 兆円に拡大すると予測されている (表 15)³¹。2000 年の市場規模は、2003 年から 2010 年までの推移推定を指数関数により外挿して 19.0 兆円と推定し、2000 年から 2010 年の間の拡大幅を 68.7 兆円と想定した。

ユビキタスネット関連市場は、試算で用いた産業連関表では、電子計算機、通信機器、機械 (その他)、電気通信施設建設、国内電気通信、移動通信、情報サービスの 7 財が関連する。試算では全産業部門および最終消費部門で、これらの 7 財の投入および消費が増加することを設定して、その影響評価を行った。7 財の合計の国内需要額は「現状経済モデル (2000 年産業連関表)」では約 135 兆円である。この需要が 68.7 兆円増加することで、全産業部門および最終消費部門でこれら 7 財の投入と需要が 51% (=68.7 兆円/135 兆円) 増加すると設定した。産業構造の転換に関連する産業連関表上の変化設定は表 13 のとおりである。

³¹ 総務省「IT の経済分析に関する調査 報告書」(平成 16 年 3 月)

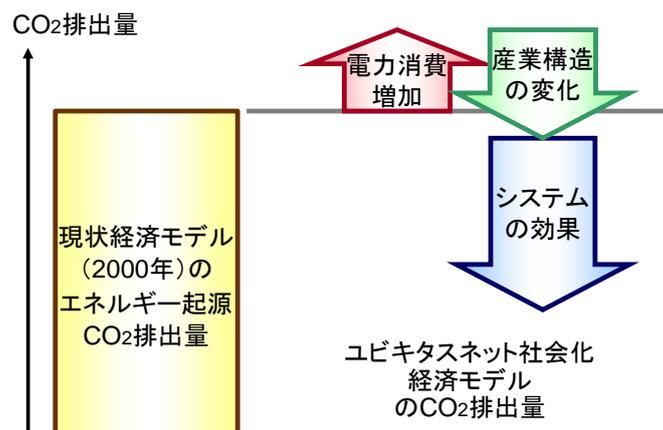


図 17 試算結果のイメージ図

部門	財	変化率
全産業部門 および最終需要	電子計算機、通信機器、機械（その他）、電気通信施設建設、国内電気通信、移動通信、情報サービス	+ 51% (=68.7 兆円/135 兆円)
最終需要	全財 合計	一定 (=GDP 固定)

表 13 産業構造の転換に関連する産業連関表上の変化設定

図 17 に試算結果のイメージを示す。左の棒グラフは現状経済モデル（2000 年）のエネルギー起源 CO₂ 排出量、上向きの矢印は ICT 機器・インフラの電力消費量増加による CO₂ 増加、下向きの矢印は産業構造の転換の影響（後述）と、システムによる CO₂ 削減効果を表す。

4 ユビキタスネット社会化経済モデルの算出

次に、ユビキタスネット社会化シナリオを現状経済モデルに組み込んだ。ただし機械的に両者を足し合わせて組み込むだけでは、整合的でない産業連関表が導出される。すなわち一般均衡が成立しない経済モデルとなる。そこで応用一般均衡モデルの計算によって均衡後の産業連関表を算出した。このようにして求められた経済モデルがユビキタスネット社会化経済モデルである。

ユビキタスネット社会化経済モデルは、2010 年レベルのユビキタスネット社会化の影響を含んでいるものの、マクロフレーム（経済規模（GDP）やエネルギー原単位等）については

2000年の経済モデルと同一となっている。

5 CO₂排出量の比較

最後に、ユビキタスネット社会化経済モデルのCO₂排出量を算出し、現状（2000年）のエネルギー起源CO₂排出量と比較して、ユビキタスネット社会化シナリオが我が国の温室効果ガス排出量に及ぼす影響を算出した。

現状（2000年）のCO₂排出量は2000年度の実績値を用いた。ユビキタスネット社会化経済モデルのCO₂排出量は、2000年産業連関表と2000年度のCO₂排出量の統計データ³²から求めた原油、石油製品、石炭、石炭製品、天然ガス、都市ガスの排出原単位（取引金額あたりのCO₂排出量）を、ユビキタスネット社会化経済モデルでの各財の取引額に掛け合わせることで算出した。ただし、ICT機器・インフラの電力消費によるCO₂排出量については、電事連が公表した2000年度の使用端CO₂排出原単位を用いて換算した。

³² 国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス

市場	財・サービス	算入部分
①ネットワーク ⇒広帯域有線・無線通信、IP 利用による先進的ネットワークサービス	<ul style="list-style-type: none"> ・固定ネットワーク系（DSL、FTTH、CATV インターネット） ・無線ネットワーク系（3G 以上の携帯電話、公衆無線 LAN） ・IP 電話系（対個人、対企業） ・企業ネットワーク系（広域イーサネット、IP-VPN、専用回線） 	利用料 〃 〃 〃
②アプライアンス ⇒高度情報通信ネットワーク環境を活用するにあたり基盤となる機器・端末	<ul style="list-style-type: none"> ・PC 系（電子計算機本体、表示装置、外部記憶装置） ・ネットワーク・インフラ系（ネットワーク接続機器、交換機、放送装置） ・ネットワーク固定端末系（その他の入出力装置） ・ネットワーク・モバイル端末系（3G 以上の携帯電話、ネットワーク対応電気音響機器） ・ホームネットワーク系（地上デジタル放送対応テレビジョン受信機、ゲーム機器、DVD ビデオ、デジタルカメラ、ビデオカメラ、ネットワーク対応冷蔵庫、洗濯機、エアコンディショナ（除カーエアコン）、電子レンジ） ・車載系（ETC 車載機、カーナビゲーションシステム） ・IC カード・IC タグ（IC カード、IC タグ） 	購入者価格 〃 〃 〃 〃 〃
③プラットフォーム ⇒高度情報通信ネットワーク環境を活用するにあたり、共通基盤的に提供されるサービス	<ul style="list-style-type: none"> ・電子認証（個人認証、法人認証、サーバ認証、クライアント認証） ・電子公証（文書作成時刻証明を基本とした電子公証サービス） ・マーケットプレイス（マーケットプレイスをネット上に設置し、出店舗を支援するサービス） ・電子決済（電子マネー、クレジットカード、ネットバンキング、ISP などによる BtoC の決済、非接触型 IC カードを介した電子マネーによる実店舗による決済） ・iDC（ハウジング、コロケーション、付加サービス） ・ASP（ネットによるアプリケーション利用サービス） ・セキュリティ関連（不正アクセス／ウィルス監視、FW 運用代行、トラフィック監視、データバックアップ、システム運用監視、セキュア IDC 提供、セキュリティ保険、IDS 関連ログ解析サービス等、ソフトウェア） ・CDN（効率的コンテンツ配信支援サービス） ・インターネット広告（インターネット広告、モバイル広告） ・インターネット金融（ネットワークバンキング（上記の電子決済分は除く）、株式取引・投資信託） 	利用料 手数料 利用料 手数料 利用料 利用料 利用料金、購入者価格 手数料 作成費、媒体費 手数料
④サービス・コンテンツ ⇒高度情報通信ネットワーク環境を活用して利用されるサービス・コンテンツ	<ul style="list-style-type: none"> ・デジタルコンテンツ（パッケージ系、ネットワーク系、携帯電話系） ・デジタル放送（地上デジタル放送、BS デジタル放送、CS デジタル放送、CATV デジタル放送、ブロードバンド放送） ・遠隔健康管理サービス（遠隔健康管理、在宅医療支援サービス） ・高齢者向け遠隔モニタリング（要介護者・高齢者の遠隔安否確認・緊急通報サービス） ・位置情報サービス（徘徊高齢者捜索、盗難車位置検索、子供・ペット、モノ等の位置確認、その場情報の提供） ・ホームセキュリティサービス ・e-ラーニング（初等中等教育、高等教育、企業内教育、生涯教育） 	購入者価格 利用料 利用料 〃 〃 〃 〃

	<ul style="list-style-type: none"> ・センシング・コントロール（IP 通信技術を利用したオフィスビル、集合住宅などの日常機器監視・制御サービス） ・ネットワークを介した公営競技・宝くじ等（競馬、競輪、競艇、オートレース、宝くじ、TOTO） 	<p>”</p> <p>”</p>
<p>コマース</p> <p>⇒消費者向け電子商取引及び電子タグや非接触型 IC カードを用いてキャッシュレス決済される商取引市場</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・オンライン（BtoC）、非接触型 IC カード・電子タグを利用した実店舗における決済、非接触型 IC カードを活用した交通機関・有料道路の決済 	販売額
<p>インフラ</p> <p>⇒高度情報通信ネットワークを活用したサービスを提供・活用するに当たっての、企業等の設備投資額（ソフト・ハード（機器・端末市場を除く））</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ネットワーク関連：通信・放送業の設備投資で、上表のアプライアンスで計上した機器以外のデジタル化関連の設備投資。 ・アプライアンス関連：各種アプライアンス製造のための設備投資（リースを含む）及びソフトウェア支出。 ・プラットフォーム関連：プラットフォーム形成のためのソフトウェア支出。 ・サービス・コンテンツ関連：サービス及びコンテンツの生産のためのソフトウェア支出。 ・コマース関連：BtoC あるいは非接触型 IC カードなどで実店舗で販売するための設備投資（リースを含む）及びソフトウェア支出。 ・ITS 関連：ITS 関連施設整備や ITS の推進に関する国の予算。 ・その他：上記以外のソフトウェア支出。 	<p>設備投資額 （土地代を除く）</p> <p>”</p> <p>”</p> <p>”</p> <p>”</p> <p>”</p> <p>外注費、購入費</p>

表 14 ユビキタスネット関連市場の範囲

（出典）総務省「IT の経済分析に関する調査 報告書」（平成 16 年 3 月）

(単位：10 億円)		2003 年	2005 年	2007 年	2010 年
I	コア市場	17,758	24,116	31,479	39,836
1	ネットワーク	2,929	5,770	8,466	9,693
	①固定ネットワーク系	533	1,146	1,441	1,695
	②無線ネットワーク	1,281	3,398	5,515	5,930
	③IP 電話系	96	307	626	1,069
	④企業ネットワーク系	1,019	919	883	999
2	アプライアンス	10,720	12,569	15,338	18,056
	①PC 系	6,916	6,729	6,462	6,061
	②ネットワーク・インフラ系	807	718	705	711
	③ネットワーク固定端末系	185	193	206	236
	④ネットワーク・モバイル端末系	397	1,240	2,360	3,288
	⑤ホームネットワーク系	2,003	3,189	5,010	7,001
	⑥車載系	361	440	521	621
	⑦IC カード・IC タグ	51	60	75	137
3	プラットフォーム	1,212	1,814	2,481	3,590
	①電子認証、電子公証（タイムスタンプ）	16	33	66	106
	②iDC、ASP	297	378	458	634
	③セキュリティ関連	425	535	638	944
	④ネット金融	300	583	882	1,130
	⑤その他のプラットフォーム市場	173	285	436	776
4	サービス・コンテンツ	2,898	3,963	5,195	8,498
	①デジタルコンテンツ	2,135	2,426	2,625	2,867
	②デジタル放送	225	433	1,028	3,453
	③その他サービス市場	538	1,104	1,542	2,177
II	関連市場	10,918	17,028	27,837	47,807
1	コマース	5,133	9,317	15,104	28,070
2	インフラ	5,785	7,711	12,733	19,738
市場合計（I+II）		28,675	41,144	59,316	87,644

表 15 ユビキタスネット関連市場の市場規模

(出典) 総務省「IT の経済分析に関する調査 報告書」(平成 16 年 3 月)

第4節 分析結果

経済モデル分析の結果を以下に示す。表 16 は分析結果の一覧、図 18 は分析結果の図示である。

- ・ 現状（2000 年）では ICT 機器・インフラの電力消費によって 1,120 万 t-CO₂ の CO₂ が排出されている。
- ・ また、ユビキタスシステムの CO₂ 削減効果によって、現状（2000 年）でも -110 万 t-CO₂ の CO₂ 削減が生じている。

	現状 (2000 年)	ユビキタスネット社会化経済モデル	
	CO ₂ 排出量 (百万 t-CO ₂)	CO ₂ 排出量の増 減(百万 t-CO ₂)	基準年（1990 年） の温室効果ガス 総排出量に占め る割合
ICT 機器・インフラの電力消費量増加 による CO ₂ 増加 (下段は電事連目標（2010 年）を用 いた参考値)	11.2	+6.0 +4.2	+0.49 % +0.34 %
ITS (VICS)	-0.2	-0.8	
エコドライブシステム	0	-0.8	
物流・配送管理支援システム	-0.1	-0.2	
SCM	-0.1	-0.8	
リユース支援システム	-0.1	-0.9	
テレワーク/TV 会議	-0.6	-3.3	
ペーパーレス化	-0.0	-0.2	
BEMS	0	-6.1	
HEMS	0	-1.2	
電子出版	0	-0.4	
オンラインショッピング	-0.0	-0.1	
ユビキタスシステムの CO ₂ 削減効果	-1.1	-14.8	-1.20 %
産業構造の転換による影響		-17.7	-1.43 %
CO ₂ 排出量の増減の合計		-26.5	-2.14 %

表 16 経済モデル分析結果

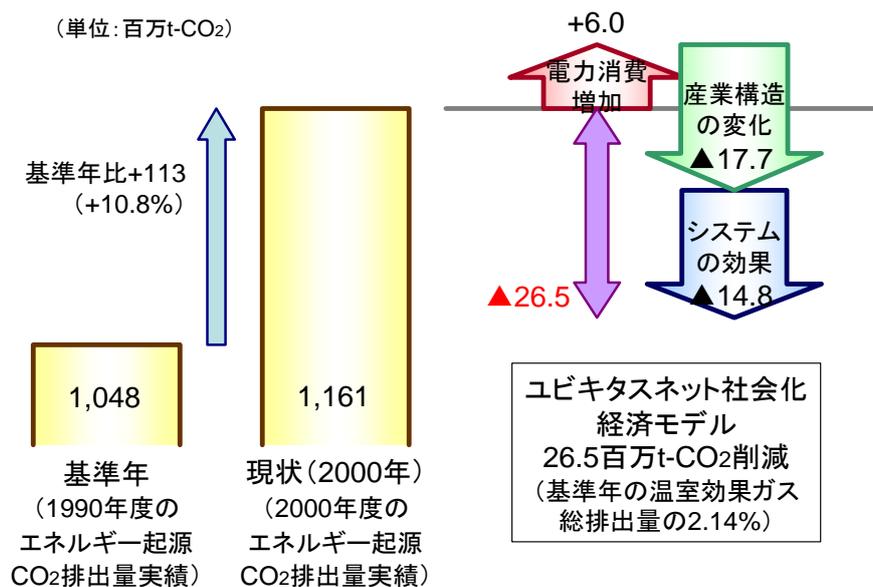


図 18 経済モデル分析結果

- ・ ユビキタスネット社会化経済モデルでは、ICT 機器・インフラの電力消費量の増加に伴って、現状（2000年）と比べて+600万 t-CO₂の CO₂増加がもたらされる。
- ・ 一方、ユビキタスシステムの CO₂削減効果によって、現状（2000年）と比べて-1,480万 t-CO₂の CO₂削減が得られる。
- ・ また、産業構造の転換の影響によって、電子計算機等の7部門の生産が増加して、これらの部門で CO₂は増加するが、ユビキタスネット社会化経済モデルを2000年の経済規模（GDP 固定）としたことから、これら以外の産業の生産は減少することとなり、わが国経済全体の CO₂は減少する。この影響で CO₂排出量は-1,770万 t-CO₂減少すると試算する。
- ・ 以上を合計すると、ユビキタスシステムによる CO₂排出量は-2,650万 t-CO₂の削減となり、2002年の我が国の温室効果ガス排出量 133,100万 t に対する削減目標量 16,822万 t の 15.8%を占め、本研究会における現状とした2000年の温室効果ガス排出量 133,700万 t に対しては、2.0%の量を占める。
- ・ この2,650万 t-CO₂を、京都議定書の基準年（1990年度）における我が国の温室効果ガス排出量 104,800万 t と比較すると-2.14%の削減となる。

(1) 部門別の CO₂削減効果

ユビキタスシステムの CO₂削減効果を、表5の分類に従って帰属する部門でみると、CO₂削減効果はそれぞれ、産業部門で-230万 t-CO₂、運輸部門で-520万 t-CO₂、民生業務部門

で-610万 t-CO₂、民生家庭部門で-120万 t-CO₂となる。このように、ユビキタスシステムは目下 CO₂ 排出量が増加傾向にある民生・運輸部門を中心に CO₂ 削減効果を発揮すると期待される。

(2) 地球温暖化対策推進大綱を前提とした追加対策としての評価

地球温暖化対策推進大綱（平成 14 年 3 月 19 日地球温暖化対策推進本部決定）では、表 16 のユビキタスシステムのうち ITS、テレワーク／TV 会議、BEMS、HEMS の CO₂ 削減効果と、エネルギー供給側の対策として電力の CO₂ 排出原単位の改善が想定されている。一方、ICT 機器・インフラの電力消費量増加と、上記以外のシステム（エコドライブシステム、物流・配送管理支援システム、SCM、リユース支援システム、ペーパーレス化、電子出版、オンラインショッピング）の効果については、明示的には想定されていない。

これら、これまで大綱等で想定されてこなかった効果は、大綱での前提を踏まえた上での追加対策としてとらえられる。大綱を前提とした場合、ICT 機器・インフラの電力消費量増加による CO₂ の増加は原単位の改善により+420万 t-CO₂に抑制されるものの、一部のシステムの CO₂ 削減効果が想定済みであるため追加対策には算入されないため、CO₂ 排出量は-1,690万 t-CO₂の削減となる。

(3) 「産業構造の転換」の解釈

本試算で示した「産業構造の転換」とは、ユビキタスシステムの普及拡大による CO₂ 削減効果に着目するため、2010 年想定 of 技術水準およびユビキタスネット関連市場（情報通信機器、情報通信サービス等）の拡大を、2000 年の経済規模と産業連関表に適用して比較試算した結果である。

現実には、経済規模は年によって変化するが、試算結果は我が国産業が今後目指すべき方向を示していると解釈できる。すなわち、CO₂ 排出量の相対的に少ないユビキタスネット産業が成長することによって、京都議定書を履行しつつ経済を活性化するという環境と経済の両立がより容易に達成できる。

(4) 相乗効果への期待

ユビキタスシステムの CO₂ 削減効果は使い方や導入の仕方に依存する。使い方が適切でなければ CO₂ 排出量が増加する恐れがある。例えば HEMS の実証試験では、導入効果にはばらつきがあり、エネルギー使用量が増加したケースも報告された。また本試算では想定しなかったリバウンド効果（効率が向上しても需要自体が増加する効果）の可能性も、特に民生家庭部門のエネルギー使用や自家用車の利用では指摘されることが多い。

しかし使い方によっては相乗効果が発揮される可能性もある。一つの例として、VICS 対応車載機とエコドライブシステムの双方が装着されている場合に、VICS 対応車載機が道路交通

情報を受信し、エコドライブシステムがこの情報をもとにした運転指示を行えば、両者が連携しない場合よりも燃費向上の効果が大きくなる可能性がある。また、SCM の CO₂ 削減効果は、オンラインショッピングが普及して生産者と販売者の情報共有が容易になればさらに高まると考えられる。

本試算ではユビキタスシステム間の相乗効果を想定していないが、相乗効果を引き出す形でシステムや制度を設計していくことも必要である。

(5) ユビキタスネット社会への期待

ユビキタスネット社会には、一方で、ICT の利活用の高度化に伴う電力消費量の増大が懸念されるが、以上の分析結果から、活用の方法次第では環境負荷の低減に資することが明確化された。また、ユビキタスネット関連市場の拡大といった経済の持続的発展の実現に資することから、ユビキタスネット社会の早期実現に向け、各種施策を推進することが期待される。

今回は、11 のユビキタスシステムに限定して CO₂ 削減効果を試算したため、遠隔医療、遠隔教育（e-ラーニング）等、他にも環境負荷低減に資するユビキタスシステムが存在すること、普及率についても 2010 年の現実的な値を用いたことから、普及推進策の実施による普及加速化と、環境負荷低減効果を有するユビキタス技術の開発を通じ、更なる環境負荷低減効果が期待される。