

11. 将来の車両・エネルギー技術進歩が 運輸部門CO₂排出量に与える影響の評価

山本 充洋^{1*}・加藤 博和¹・伊藤 圭¹

¹名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603名古屋千種区不老町C1-2(651))

* E-mail: myama@urban.env.nagoya-u.ac.jp

自動車・鉄道車両やエネルギー技術の今後の長期的な進歩とその普及が、運輸部門CO₂排出量に与える影響を評価するために、日本及び中国を対象として、技術進歩を考慮した運輸部門CO₂排出量推計手法を開発する。技術進歩の予測にあたっては、各個別技術の水準・普及の程度を既往調査研究から考え得る範囲で変化させた複数のシナリオを設定する。包括的な影響評価のため、走行時の排出のみならず、車両製造、燃料の採掘・精製時の排出も考慮に入れる。分析の結果、技術進歩の有無により、2050年時の日本におけるCO₂排出量に最大9000万t程度の差が、中国におけるCO₂排出量に最大7億t程度の差が生じることが明らかにされる。

Key Words : CO₂ emission, electric vehicle, energy technology, well to wheel analysis, life cycle assessment

1. はじめに

今後の運輸部門CO₂排出量は、特に途上国においてモータリゼーション進展に伴う急増が予想される。その削減策は大きく、a)車両・燃料に関する技術革新、b)交通行動を変化させる施策、の2つに分けられる。現在見込まれている削減策の大部分はa)、特にハイブリッド自動車(HV)や電気自動車(EV)、燃料電池自動車(FCV)といった低環境負荷自動車の普及である。しかし、長期的に大幅な削減が求められる中、a)だけでは不十分である可能性があるため、加えてb)の実施を検討する必要がある。その際、a)による削減量を把握しておくことが不可欠である。

また、a)による削減の基軸となるEVやFCVのCO₂排出量を推計する際には、エネルギーの精製・供給段階を考慮することが重要となる。EVの様に走行時にはCO₂を排出しない自動車も、エネルギー源となる電力を精製する際にはCO₂を排出している。この分についても、運輸部門のCO₂排出と考えるのが適当である。また、途上国は先進国に比べ火力発電の割合が大きく、同じEVでもCO₂排出原単位は大きく異なることが考えられる。よって、燃料・エネルギーの精製・供給段階を評価に含め、更にその技術進歩についても検討を行う必要がある。

そこで本研究では、車両・エネルギー技術の長期的な進歩が運輸部門CO₂排出量に与える影響を評価することを目的とする。対象地域は日本及び中国と

し、技術進歩の有無や普及の程度により生じる排出量の差を推計することで影響を評価する。

2. 車両・エネルギー技術に関する既往研究と本研究の位置づけ

自動車・鉄道車両の進歩を予測するにあたっては、関連する技術に関して予測を行い、それらを合わせて評価する必要がある。大聖ら¹⁾は、自動車の様々な燃費改善技術について将来水準を予測し、それらを統合することで、自動車による環境負荷の将来展望を示している。ただし、各技術についてどの程度の改善率が見込まれるかは明らかにされていない。また、電力供給構成の変化やエネルギー技術の進歩には触れておらず、車両技術に関する予測のみに留まっている。

個々の技術に関する進歩予測についての調査研究は多く存在している。例えば、車両軽量化技術の1つとして、国際鉄鋼協会を中心としたULSAB-AVCプロジェクト²⁾では、ハイテンと呼ばれる高強度鋼材を自動車に用いた場合の軽量化効果を評価している。また、EVの車両軽量化・航続距離延長の要となるバッテリーの技術進歩については、NEDO³⁾による「次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ2008」が詳しい。エネルギー技術の進歩についても様々な予測が行われおり、中でも発電技術について

は、第75回総合科学技術会議⁴⁾において、その高効率化の展望が詳しく示されている。

このように、各々の技術の進歩については予測されているものの、それらを自動車・鉄道車両分野、あるいは運輸部門CO₂排出量推計に活用できていないのが現状である。

また、技術進歩がCO₂排出量に与える影響の大小は、その技術の普及量に依存するところが大きい、それについても十分な吟味がなされているとは言い難い。例えば、中條ら⁵⁾は低環境負荷自動車の普及を考慮した乗用車起源CO₂排出量を推計しているが、普及量の設定値の幅が広く、結果として、推計値にも大きな差が生じている。国立環境研究所の進める脱温暖化2050プロジェクト⁶⁾においても同様の試算が行われているが、こちらも設定値の幅が広がっている。

以上を踏まえ、本研究では、a)車両・エネルギー技術に関連する様々な技術進歩に関する既往の予測結果を統合することで、自動車・鉄道車両のCO₂排出原単位の長期的な変化を推計すること、b)EVやFCVの普及を予測できるモデルを構築し、低環境負荷車両の普及量を推計すること、の2点を踏まえ、運輸部門CO₂排出量を推計する。

3. CO₂排出量推計手法

(1) 対象輸送機関と推計手法

2000年から2050年まで10年刻みで年間CO₂排出量を推計する。対象輸送機関は、乗用車、旅客輸送機関(バス・タクシー・旅客鉄道)、貨物輸送機関(貨物自動車・貨物鉄道)とする。ただし、中国については旅客輸送機関、貨物輸送機関のデータが十分に得られなかったため、乗用車のみを対象とする。

a) 乗用車

乗用車による年間CO₂排出量は、1台あたりの年間平均走行距離に、車両保有台数及び車種別のCO₂排出原単位を乗じることにより推計する。日本においては、車両保有台数は、人口減少や少子高齢化等の影響を受け、今後大きく変化することが予想される。その状態を考慮するため、森田ら⁷⁾の推計モデルを用いて予測を行う。

b) 旅客輸送機関・貨物輸送機関

旅客輸送機関・貨物輸送機関の年間CO₂排出量は、全車両の年間輸送人km(トンkm)に対して、輸送機関別のCO₂排出原単位を乗じることにより推計する。貨物自動車の輸送トンkmは、国土交通省⁸⁾による将

来予測値を用いる。

(2) CO₂排出原単位の定義

運輸部門CO₂排出量の技術進歩による変化を考慮するにあたって、車両走行時の排出量のみを対象とするのは適切ではない。なぜなら、車両製造、あるいは一次エネルギーの採掘・加工・輸送時にもCO₂は発生し、これらと走行時CO₂排出との間にトレードオフの関係がある可能性が考えられるからである。よって、これらのCO₂排出量を車両走行1kmあたりに換算し、走行時CO₂排出量に加える。つまり、CO₂排出原単位は以下のように定義される。

$$e = r + w + p \quad (1)$$

e : CO₂ 排出原単位[t-CO₂/km], r : 走行時 CO₂ 排出原単位[t-CO₂/km], w : 一次エネルギー採掘・加工・輸送による CO₂ 排出原単位[t-CO₂/km], p : 車両の製造による CO₂ 排出原単位[t-CO₂/km]

旅客輸送機関については人km、貨物輸送機関についてはトンkmあたりの排出原単位を求める。

4. エネルギー技術進歩・普及予測

(1) エネルギー技術進歩予測

石炭、石油、天然ガス、原子力、太陽光、水力、風力、地熱、廃棄物の9種類の発電技術に加え、炭素回収・貯留システム(CCS)を検討対象とする。発電技術は車両技術同様、タービン技術、冷却技術、新材料の開発等、様々な技術を集約したものであるため、各技術の進歩を統合し、エネルギー効率の改善という形で評価する。

図-1に2000年及び2050年の各発電方法によるCO₂排出原単位を示す。CCSについては、NEDO⁹⁾の海外レポートを参考に、設置した発電所におけるCO₂排出量を85%削減できると設定する。

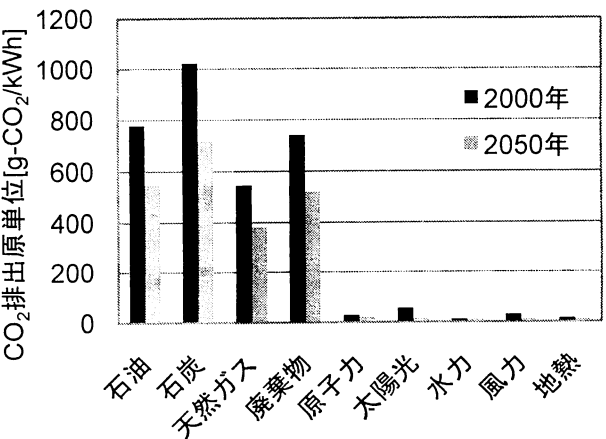


図-1 発電方法別 CO₂ 排出原単位

(2) エネルギー技術普及予測

エネルギー技術の普及量は、電力供給構成の変化及びCCSの導入量で表す。技術水準自体は経過年に対して線形的に上昇していくと仮定する。

日本の電力供給構成については、脱化石燃料の観点から、今後は火力発電の割合が減少し、再生可能エネルギー利用発電、あるいは原子力発電の占める割合が増加することが予想される。本研究では、火力発電の減少については三菱総合研究所¹⁰⁾による予測を抜粋し、再生可能エネルギー利用発電割合の増加については各発電に関する既往研究^{11)~15)}から導入量を定め、残りを原子力発電で補完する形で電力供給構成を決定する。図-2に日本の電力供給構成の推移を示す。

中国の電力供給構成は、現在火力発電が約80%を占めている。急激な経済発展の影響で電力需要は急増しており、今後も火力発電依存から脱却できる望みは薄い。そこで電力供給構成は現状維持を仮定し、CCSの導入のみを考慮する。

CCSの導入については、三菱総合研究所¹¹⁾による予測を参考に、2050年時における導入量を火力発電の50%と設定した。以上の設定を用いて推計した日本及び中国の発電時CO₂排出原単位の推移を図-3に示す。図中の破線は、CCS導入時の推計値を表す。

(3) 車両技術進歩予測

車両技術は、エネルギー効率の改善及び車両の軽量化に関して評価する。ただし、長期的な技術進歩の正確な予測は困難であること、車両技術はエネルギー技術よりCO₂排出量への影響が大きいことの2点から、各年度の車両技術の水準について幅を持たせた設定を行う。理想的な技術水準を上限値、上限値と2000年時の値の中央値を下限値とし、それぞれについて推計を行う。

エネルギー効率は、Well to Tank(WtT)効率、Tank to Wheel(TtW)効率に分けて評価を行う。WtT効率は、ガソリン及び軽油・電力・水素の4種類のエネルギー源について評価し、TtW効率はガソリン車(GV)、EV、FCV、鉄道について評価する。水素は、脱化石燃料の観点から水の電気分解によって製造されると仮定する。求めたWtT、TtW効率を掛け合わせることでWtW効率を求め、各年度のWtW効率及び車両重量からCO₂排出原単位を求める。図-4に、以上から求めた日本の乗用車のCO₂排出原単位の推移を示す。

(3) 車両普及予測

低環境負荷車両の普及量を予測する。発電同様、

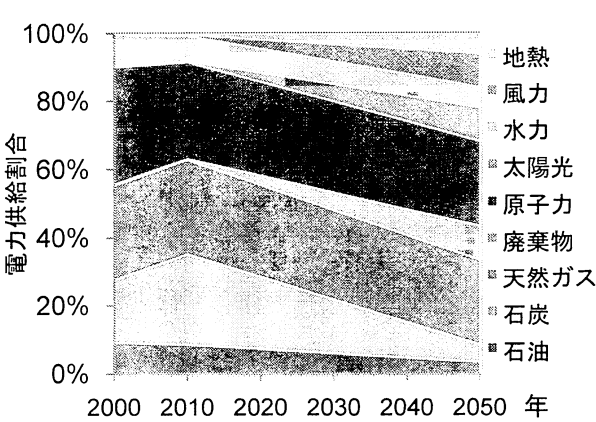


図-2 日本における電力供給構成の推移

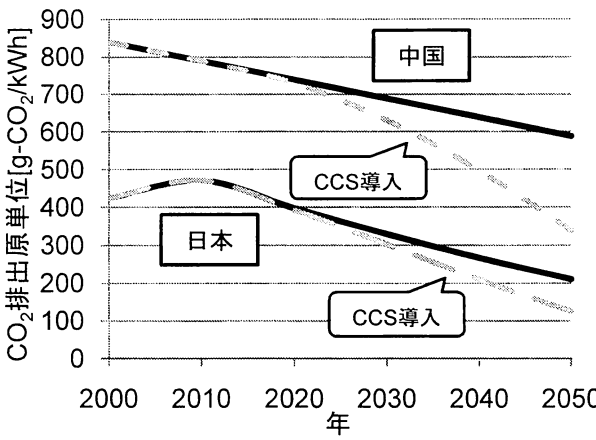


図-3 発電時CO₂排出原単位の推移

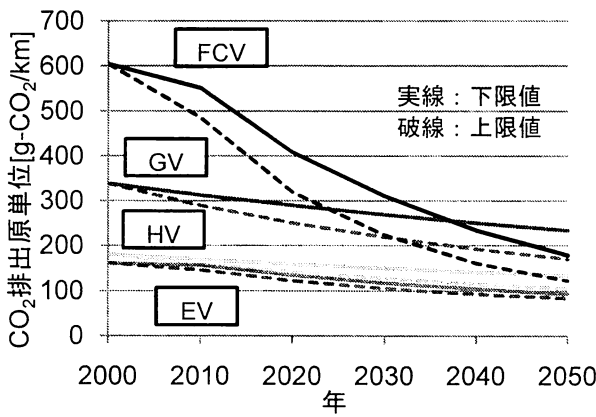


図-4 技術水準別乗用車のCO₂排出原単位

技術水準自体は経過年に対して線形的に上昇していくと仮定する。

予測にあたって、Bass の普及モデルの拡張を行う。Bass の普及モデルは、対象製品の普及がある程度進んでいる、あるいは過去に極めて類似した条件で普及した製品がある場合にのみ妥当な予測が可能であり、低環境負荷自動車の様にまだ普及が進んでいない製品への適用においては慎重な検討が必要である。そこで、電気自動車に関するアンケート

16) 17)を基にした消費者選好傾向を予測に取り入れることで、普及が進んでいない製品についてもある程度妥当な推計が行えるようモデルの拡張を行った。式(2)～(5)に推計式を示す。

$$N(t) = \sum_{k=1}^t (p(t) + q(t)) \quad (2)$$

$$p(t+1) = b(t+1) \cdot s(t+1) \cdot \left(1 - \frac{N(t)}{M(t+1)}\right) \quad (3)$$

$$q(t+1) = q \cdot \frac{N(t)}{M(t+1)} (M(t+1) - N(t)) \quad (4)$$

$$b(t) = \gamma_1 \cdot \left(\frac{c(t)}{c_a}\right)^{\gamma_2} \quad (5)$$

$N(t)$: t 期における総販売数, $p(t)$: t 期における革新者への販売数, $q(t)$: t 期における模倣者への販売数, $b(t)$: t 期において同種製品中から対象製品を選好する革新者の割合, $s(t)$: t 期における同種製品の総販売数, $M(t)$: t 期における対象製品の飽和普及量, $c(t)$: t 期における対象製品の価格, c_a : 同種製品の平均価格, γ_1, γ_2 : パラメータ

EVとFCVのどちらが主流になるかはよく議論になるが、技術革新の予測がままならないため、どちらとも言えないのが現状である。しかし、図-4に示したCO₂排出原単位の比較から分かるように、将来的にはEVとFCVのCO₂排出原単位はほぼ等しくなる。よって、普及する車種の違いが運輸部門CO₂排出量に与える影響は少ないと考え、本研究ではHV、EVの普及のみを考える。

日本における初期価格及び普及開始時期を、HVは205万円・2010年、EVは400万円・2020年、EV(軽自動車)は200万円・2015年と設定する。価格は普及に伴って下落すると考え、松本ら¹⁸⁾による「同型ガソリン車との価格差分が、累積販売台数が40万台から2倍増加するごとに90%に低下していく」という仮定を用いる。価格については、政策的に補助金を導入して普及を促進させることも考えられるため、初期価格を30万円低下させたものについても推計し、比較する。

推計した、日本における低環境負荷車両(乗用車)の普及量の推移を図-5に示す。旅客輸送機関、貨物輸送機関(軽貨物車を除く)については、航続距離、車両重量から見てEVの普及は進みにくいと考え、HVの普及のみ考慮する。普及割合は乗用車と等しいと仮定する。

中国については、今後の経済発展や経済格差を考慮することが困難であるため、日本と同じ割合で低環境負荷車両の普及が進むと仮定し、補助金の導入

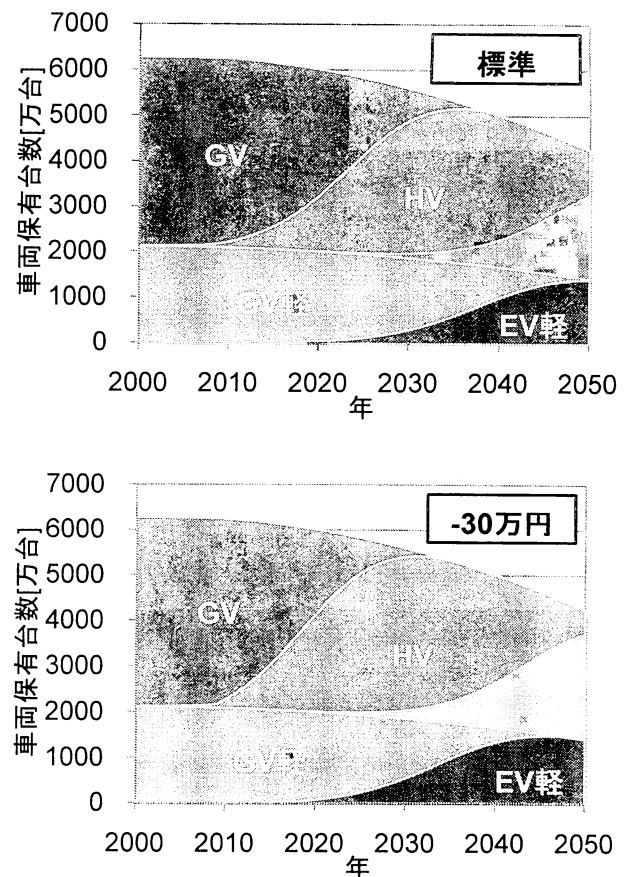


図-5 日本における低環境負荷車普及量の推移(乗用車)

も考慮しない。また、発電時CO₂排出原単位の高さからEVの普及にCO₂削減効果が無いため、普及する低環境負荷車両はHV、EV(軽自動車)のみとし、EV(軽自動車)の普及はCCS導入とセットで検討する。なお、中国における自動車保有台数の推移は、沈ら¹⁹⁾による推計値を用いる。

5. 運輸部門CO₂排出量予測結果

(1) 日本の運輸部門CO₂排出量予測結果

図-6, 7に、予測された日本の運輸部門CO₂排出量の推移を示す。図-6ではCCS導入による影響を、図-7では低環境負荷車両の普及量による影響を比較する。

図-6より、技術進歩を考慮しない場合でも、人口減少及び低環境負荷車両の普及によって、2050年には2000年比で45%程度削減されることが分かる。技術進歩を考慮することで更に15~25%程度削減量が増加し、技術進歩を考慮することの重要性が示された。また、CCS導入が運輸部門CO₂に与える影響は微小である。これはEVのCO₂排出原単位の大部分を製造時のCO₂排出が占めていることが原因と考えられる。

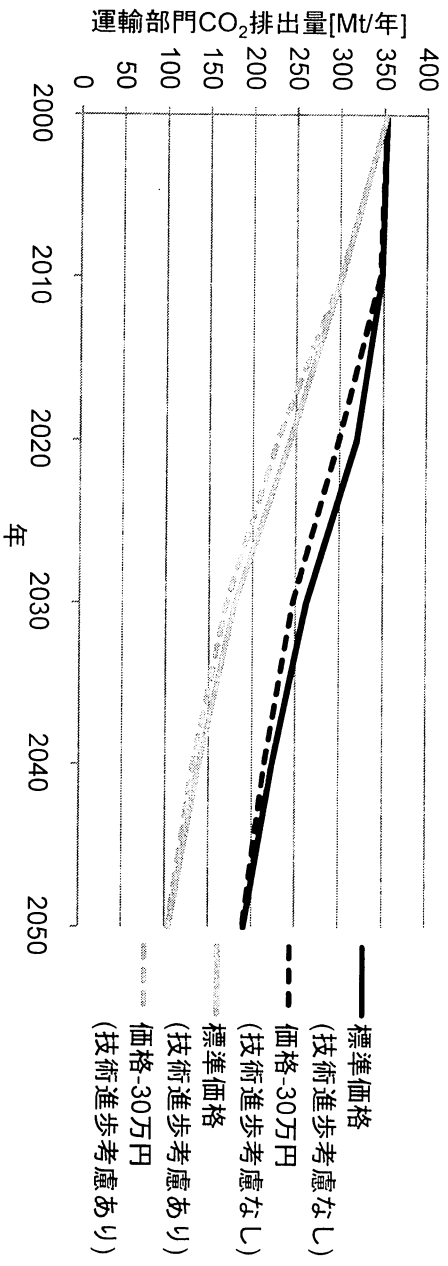
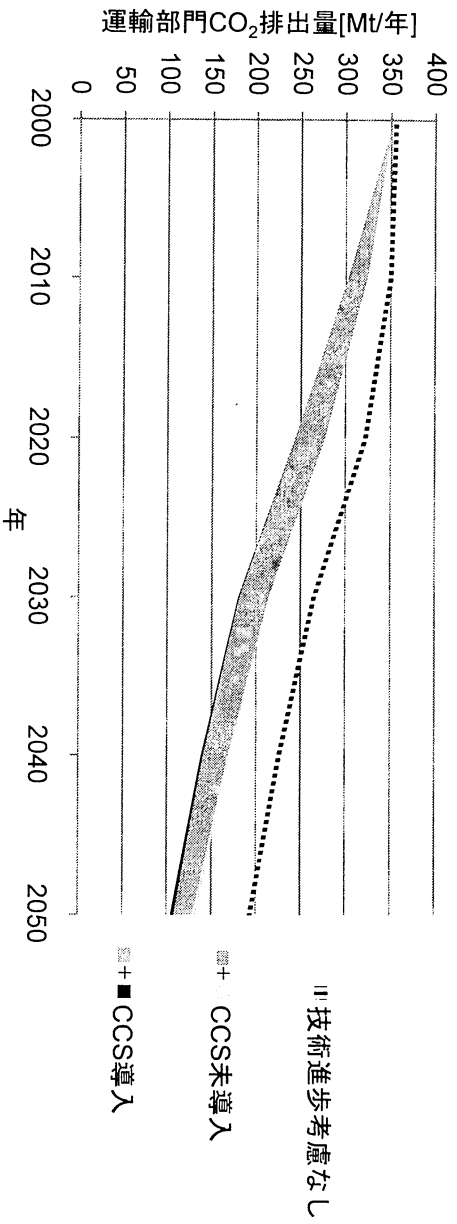


図-7 日本の運輸部門 CO₂排出量の推移(低環境負荷車普及量比較)

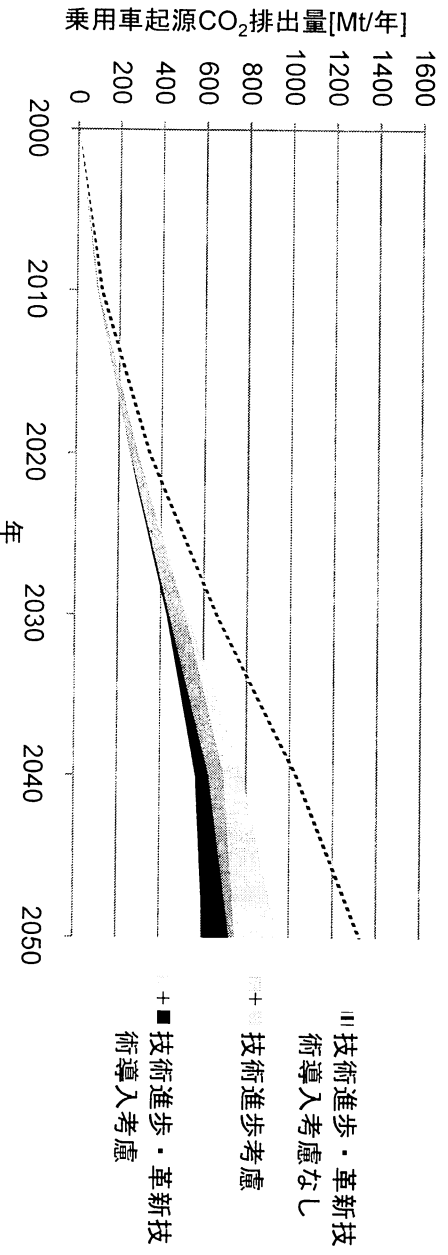


図-7より，補助金等によって低環境負荷車両の価格が低下した場合，2020~2030年頃のCO₂削減量は増加するものの，2050年には価格が低下しない場合と比べほぼ等しくなっている．これは将来的にHVとEVのCO₂排出原単位がほぼ等しくなることが原因であり，HVに代替してEVが普及してもCO₂削減効果は小さいことが分かる．HVはいずれの価格設定でも2040年には全てのGVに代替しているため，低

環境負荷車両への補助金の導入は，短期目標達成には有効だが，長期的にはあまり効果がない可能性が高い．

(2) 中国の乗用車起源CO₂排出量予測結果

図-8に中国の乗用車起源CO₂排出量の推移を示す．技術進歩を考慮することで，最大6億t年程度のCO₂排出量の差が生じる．これは日本の2000年時運輸部

門CO₂排出量の約1.7倍という膨大な量であり、技術進歩の考慮は必須と言える。EV(軽自動車)普及によるCO₂削減効果も大きく、最大1億t/年程度のCO₂削減効果がある。しかし最も削減できる場合でも、2050年時乗用車起源CO₂排出量は2010年比で約6倍程度と激増している。

6. 結論

本研究では、車両・エネルギー技術進歩を考慮した日本及び中国の運輸部門CO₂排出量の推計を行った。その結果、技術進歩が運輸部門CO₂に与える影響の大きさ、また、CO₂削減効果が特に大きい技術を把握することができた。

課題として、普及モデルの精緻化や、スマートグリッド等の都市エネルギーマネジメント技術とのコラボレーションの考慮が考えられる。

謝辞：本稿は、環境省・環境研究総合推進費(S-6-5)「アジアにおける低炭素交通システム実現方策に関する研究」の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 大聖泰弘：自動車の環境・エネルギー技術に関わる将来展望, IATSS Review, Vol.33, No.3, pp.269-274, 2008.
- 2) 新日本製鐵株式会社：スチール製超軽量車プロジェクトの開発成果, 2002.
- 3) NEDO：次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ, 2008.
- 4) 内閣府：第75回総合科学技術会議, 配布資料, 2008.
- 5) 中條将史・森本貴志・森田紘圭・加藤博和：技術革新を考慮した地域特性別乗用車 CO₂ 中長期削減シナリオの検討, 第14回土木学会地球環境シンポジウム講演論文集, pp.83-90, 2006.
- 6) 脱温暖化 2050 プロジェクト：日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス 70%削減可能性検討, 2008.
- 7) 森田紘圭・森本貴志・加藤博和・林良嗣：技術革新と都市空間構造改変を考慮した運輸部門での CO₂ 削減シナリオに関する検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.34, CD-ROM, 2006.
- 8) 国土交通省：交通需要推計検討資料, 2002.
- 9) NEDO：CO₂回収・地中貯留(CCS)技術の現状と展望(世界), NEDO 海外レポート, No.1020, 2008.
- 10) 三菱総研：2050年エネルギー環境ビジョン, 2009.
- 11) NEDO：太陽光発電ロードマップ (PV2030+) 概要版, 2009.
- 12) 日本風力発電協会：2050年風力発電導入目標値の試算(概要版), 2008.
- 13) NEDO：マイクロ水力発電導入ガイドブック, 2003.
- 14) 日本地熱学会：2050年地熱エネルギービジョンとその政策, 2008.
- 15) NEDO：廃棄物発電導入マニュアル(改訂版), 2002.
- 16) 岡山県：「電気自動車に関するアンケート調査」の結果について, 2009.
- 17) 神奈川県：電気自動車についてのアンケート実施結果について, 2007.
- 18) 松本光崇・近藤伸亮・藤本淳・梅田靖・槌屋治紀・増井慶次郎・李賢映：クリーンエネルギー自動車の普及評価モデルの構築, エネルギー・資源学会論文誌, Vol.29, No.3, pp.49-55, 2008.
- 19) 沈中元：所得分布曲線を利用した中国のモータリゼーションの予測, IEEJ, Vol.32, No.3, pp.20-30, 2006.