

2009 年度修士論文

最適電源構成を考慮したプラグイン
ハイブリッド車と電気自動車の導入評価

Evaluation of penetration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles and
Electric Vehicles considering optimal power generation mix

指導教官

山地 憲治 教授

2010 年 2 月 9 日提出

東京大学大学院工学系研究科

電気系工学専攻

学籍番号 86504

中上 聡

内容梗概

現在温室効果ガス排出による地球温暖化が問題視されており、その対策が急務となっている。日本のCO₂排出量のうち、運輸部門が約20%を占め、その90%が自動車由来である。また、運輸部門は石油依存度が高いため、地球温暖化だけでなく、エネルギーの多様化(脱石油)等の将来に向けた対応が不可欠の課題である。したがって、今後低公害車の更なる普及が、温室効果ガス排出削減に大きく寄与するものと期待されている。

そこで、石油依存度を低下し、CO₂排出量を低減する現時点で最も実現可能な低公害車として、プラグインハイブリッド自動車(Plug-in Hybrid Electric Vehicle : PHEV)が注目を集めている。これは、現行のハイブリッド車(HEV)の電池容量が増加され、外部からの充電ができ、電気のみでも走行が可能なHEVである。また、今後自動車搭載蓄電池の性能向上と価格低減が実現すれば、電気自動車(Electric Vehicle: EV)の普及が考えられる。この場合、電気のための走行が可能になり、PHEV以上の石油消費削減や環境負荷の低減が期待できる。

そこで、本研究ではPHEVやEVの日本での普及の仕方と、その際の環境負荷低減効果を、最適電源構成を考慮した上で評価し、PHEV・EVの導入効果を検討する。そのために、日本全国の自動車の利用パターンを車種別で詳細化する事で、自動車の耐用年数における資本費と燃料費を考慮した経済性評価を行った。そして、消費者の観点からの経済性を考慮したうえで、普及パターンを求め、各年毎の運輸部門からの電力需要を計算した。得られた電力需要を一日の負荷曲線に加えて電源構成モデルのシミュレーションを行い、PHEVやEV普及時の電源構成への影響と環境及び経済便益について評価した。

本論文は第1章～第5章からなり、第1章は序論、第2章～第4章は本文、第5章で結論と今後の課題を述べるものとする。

第1章では、研究の序論として現状を取り巻く背景を概観した後、本研究の意義を明確にした。

第2章では国土交通省の全国起終点調査を用いて日本全国の自動車の詳細な利用パターンを車種別で作成し、得られたデータの検証を行った。

第3章ではPHEV、EVの車両価格と走行コストを設定し、買い替え時に自動車毎の総コストを比較して最も経済的な車両を選択すると仮定した際のPHEVやEVの普及パターンを算出した。そして、PHEVやEVが普及した場合の運輸部門からの電力需要を求めた。

第4章では、PHEV・EV普及時の電力需要増加が電源構成にどのような影響を与えるかをPHEVやEVの充電パターンを考慮した上で、分析した。このとき、原子力上限制約が、どの程度PHEV・EV普及時の環境負荷低減効果に影響を与えるかについて検討した。

最後に第5章において、本研究で得られた知見と今後の展望を述べている。

目次

内容梗概	1
第 1 章	4
1.1 研究の背景	4
1.2 PHEV・EV の説明	5
1.3 本研究目的	6
1.4 本研究の新規性と手法	7
1.5 本研究の構成	8
第 2 章 車種別利用パターンの作成	9
2.1 はじめに	9
2.2 対象車両	9
2.3 全国起終点調査	10
2.4 手法の説明	12
2.4.1 トリップ種類の分類	12
2.4.2 出勤車・業務車の分類	14
2.4.3 娯楽系に利用される車	16
2.4.4 娯楽系と業務系の日トリップ数	16
2.5 利用パターンのまとめ	19
2.5.1 走行距離分布	19
2.5.2 燃料消費量と電気走行可能距離	21
第 3 章 自動車の普及予測と充電パターン	24
3.1 EV の想定	24
3.2 試算条件	26
3.2.1 ICV と HEV の燃費	26
3.2.1.1 燃費固定ケース	26
3.2.1.2 燃費向上ケース	29
3.2.2 EV 延伸ケースの航続距離	30
3.2.3 車両価格と電池の寿命	31
3.2.4 電池単価の推移	32
3.3 選択基準の設定	33
3.4 普及シナリオ	33

3.4.1	PHEV の普及シナリオ	33
3.4.1.1	燃費固定ケース	33
3.4.1.2	燃費向上ケース	37
3.4.2	EV・PHEV の普及シナリオ	42
3.4.2.1	燃費固定ケース	42
3.4.2.2	燃費向上ケース	44
3.5	充電パターン	46
3.5.1	PHEV の充電	46
3.5.2	EV と PHEV の充電	48
第 4 章	電源構成モデル	49
4.1	概略	49
4.2	系統需要の変化	49
4.2.1	電源計画	49
4.2.2	PHEV 普及時の電力需要	49
4.2.3	EV・PHEV 普及時の電力需要	50
4.3	最適電源構成モデル	51
4.4	EV・PHEV 普及シナリオの検討	57
4.5	シミュレーション結果	58
4.5.1	基準ケース計算結果	58
4.5.2	PHEV 普及時の結果	59
4.5.2.1	燃費固定ケース	59
4.5.2.2	燃費向上ケース	69
4.5.3	EV と PHEV 普及時の結果	71
4.5.3.1	燃費固定ケース	71
4.5.3.2	燃費向上ケース	78
4.6	原子力容量について	79
第 5 章	結論と今後の課題	81
付 録	83
謝 辞	88
参考文献	89
発表実績	91

第1章 序論

1.1 研究の背景

近年地球温暖化が話題となっており、その原因とされる温室効果ガス排出を抑制することが世界的に急務となっている。2008年より、先進国に温室効果ガス排出削減義務を課す京都議定書の第一約束期間に入った。1990年に比べて温室効果ガス排出量を6%削減することが、日本に課せられた目標である。しかしながら、2007年度の温室効果ガスの総排出量は、13億7,100万トン（二酸化炭素換算）であり、京都議定書の規定による基準年（1990年）を8.7%上回っている。また、前年度と比べると2.3%の増加となっている。そして、2013年以降の「ポスト京都議定書」の国際的な枠組み作りにおいて、日本は先の洞爺湖サミットで、「2050年までに地球温暖化の原因となる温室効果ガスの半減」という目標を掲げた。

温暖化の原因となる温室効果ガスの構成は、二酸化炭素95.1%、一酸化二窒素1.9%、メタン1.8%、その他1.2%となっており、二酸化炭素の占める割合が支配的である。また、部門別に見ると、図1-1から運輸部門は全体の2割ほどである2億4千万トンの二酸化炭素を排出している[1]。

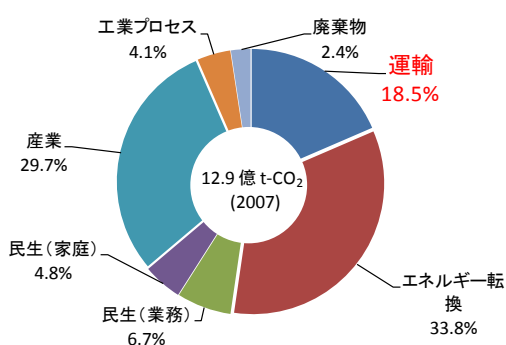


図 1-1 部門別の二酸化炭素排出量

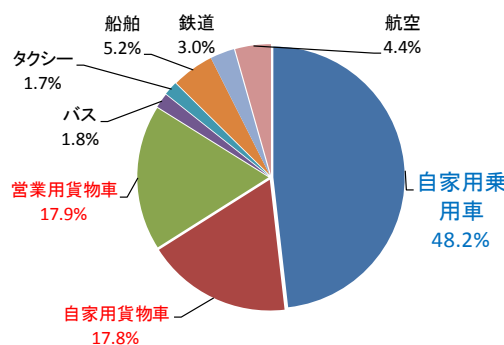


図 1-2 2007年度の運輸部門のCO2排出の内訳

部門の中で3番目に排出量の多い運輸部門の中で、約90パーセントが自動車由来であることが図1-2からわかる。現在日本が保有している自動車は全体で約8000万台ある。乗用車だけだと約5700万台であり、自家用乗用車だけでも運輸部門全体の二酸化炭素排出量のおよそ5割に達している。一方、貨物車に関しては、保有台数は乗用車と比較して少ないが、走行距離が長いために全排出量に占める割合は全体の約36%に及ぶ。自動車の販売台数は年々減少傾向にある。しかしながら、乗用車保有台数は2020年まで上昇し、2020年以降は減少し、現在より下回るのは2050年以降と考えられている。また、貨物車の保有台数は、軽貨物の場合、今後減少すると推計されているが、普通貨物（小型貨物含む）では今後も現在と同水準で変化しないと考えられている[2]。そのため、貨物車も含めた自動車からの二酸化炭素排出の問題を解決することが、温暖化防止に大きな役割を果たすことは明らかである。したがって、今後低公害車の更なる普及が、運輸部門における温室効果ガス排出削減に大きく寄与するものと期待されている。

また、現在消費エネルギーのほぼ 100%を石油に依存している運輸部門に対し、経済産業省は 2006 年 5 月に発表した「新国家エネルギー戦略」[3]で、エネルギー市場の変動に柔軟に対応し高効率な運輸インフラを整備するため、「2030 年に向け、運輸部門の石油依存度が 80%程度となる事を目指し、必要な環境整備を行う」事を提言した。

そして、温暖化対策のため、各自動車会社もまた CO₂の削減・大気汚染の防止・エネルギーの多様性への対応を課題に低公害車の研究・開発を行っている。低公害車として、天然ガス車、燃料電池車、電気自動車、バイオ燃料対応車など、現在のガソリン車よりも効率が良く、二酸化炭素排出の少ない様々な低公害車の開発が進められている。

しかし、低公害車が普及するためには技術的な課題もさる事ながら、インフラ整備の問題もあり普及に時間がかかるものが多い。特に、燃料電池車は、水素をエネルギー源とし、排気ガスが水蒸気のみであるため、究極のエコカーと期待されている。しかし、燃料電池自体の技術の問題、水素インフラの問題が壁になり、普及は困難な状況にある。

そこで、既存のインフラのみを使用し現在の技術の応用で実現可能な低公害車として、プラグインハイブリッド自動車 (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: 以下 PHEV) が注目を集めている。日本の企業もまたハイブリッド自動車の次に来る低公害車として開発を進めている。また、電気自動車 (Electric Vehicle:以下 EV) は急速充電装置により短時間充電が可能になったことと従来のニッケル水素電池と比較して高エネルギー密度であるリチウムイオン電池が登場したことで昨今再び期待が高まっている。近年では、三菱自動車などが電気自動車を発表している。

次に現在販売されているハイブリッド自動車 (Hybrid Electric Vehicle:以下 HEV) と今後普及が考えられる PHEV・EV について説明する。

1.2 PHEV・EV の説明

電気自動車には様々な種類がある。それらについて説明していく。

HEV は、異なる 2 つ以上の動力源 (エンジンとモータ等) を合わせて、状況に応じて動力源を同時に、または個々に作動させて走行する自動車である。トヨタ自動車のプリウスに代表されるように、市場に出てから 10 年以上経った現在、実用性と経済性が社会全体に認識され、普及が広まっている。2008 年度において、新車販売の 1/8 は HEV になっている。

EV は、モーターと制御装置を搭載し、ガソリンの代わりにバッテリーに蓄えた電気を使ってモーターを介して走行する自動車である。燃料を燃やして動力にする必要がないため、走行中排出ガスを全く出さない。EV 開発の歴史は古く 110 年前に及び、高性能自動車で有名なドイツのポルシェ博士によって開発された。しかし、現在と同様にガソリン車と比較し、航続距離やコストといった面に難題を抱えていた。日本における EV 開発も 1930 年当時におき、戦争勃発直前のガソリン不足を補うために開発が進められた。その後も、1970 年代の第一次石油危機や大気汚染の問題に直面したときにも開発熱が高まったが、やはりガソリン車の利便性と経済性の前に普及には至らなかった。それは、高速充電可能なリチウムイオン電池を搭載した三菱自動車の電気自動車 i-MiEV の電池価格が車両価格の半分を要することからも理解できる。また、EV 用リチウムイオ

ン電池のエネルギー密度は現状 130Wh/kg 程度が実用値であり、ガソリン車の約 14000Wh/kg に比べて2桁以上の大幅な差異が見受けられることも一因である。その他にも、充電時間が長いことや、急速充電などのインフラ整備が整っていないことが考えられる。

そこで、現在 EV よりも早く実現される可能性が出てきた HEV 車に次ぐ低公害車として、PHEV が特にアメリカで注目されている。これは、HEV のバッテリー容量を増加して、外部からの充電ができ、電気だけの走行を可能にしたハイブリッド車であり、図 1-3 のように HEV と EV の中間に位置するものである。

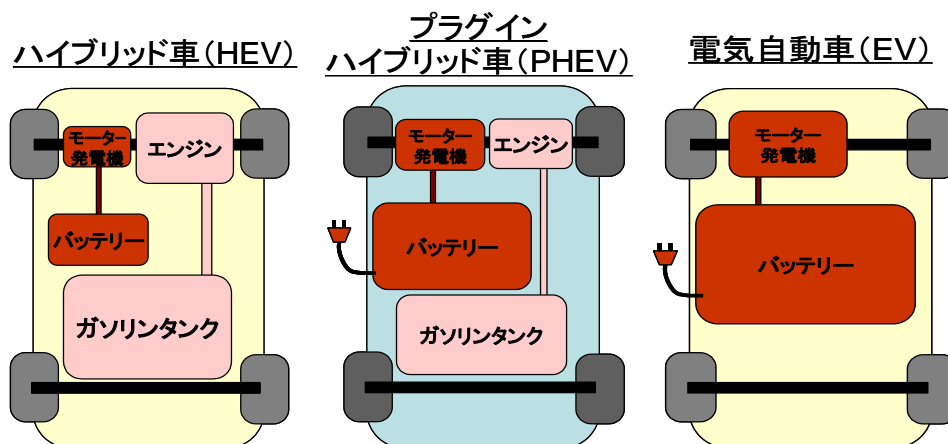


図 1-3 ハイブリッド車，プラグインハイブリッド車，電気自動車の比較

PHEV の特徴としては、短い距離の走行だけなら電気だけの走行が可能であり、長距離で充電電力が無くなってもハイブリッド車としての走行が可能である。また、バッテリーの充電をガソリンスタンド等のインフラ設備からではなく家庭で行う事が出来る。

そこで、他の自動車にない PHEV の利点を以下に挙げる[4]。

- ・電気とガソリンを併用するため、電気走行による航続距離の短さが問題とならない。
- ・急速充電用電源設備等の新規インフラが必ずしも必要ない。
- ・系統電力の電気で走行するため、ガソリン消費量と燃料費の削減が可能である。
- ・電気走行するため、車両からの CO₂ 等の排出ガス削減も期待できる。

2011 年末から、トヨタは家庭用電源で充電できる PHEV を一般向けに販売すると発表した。それに先駆けて、タクシーや営業用として PHEV を導入する動きが出始めている。EV には電池の性能やコスト、インフラの整備などでまだ問題が残されている。家庭用電源で充電できてバッテリーも EV ほど必要としない PHEV が普及することによって、電池の開発が進み、EV の普及に一歩近づく事が予想される。

1.3 本研究目的

現在、PHEV は開発が始まってまもなく、まだ搭載電池容量(電気走行可能距離)等の仕様や、PHEV がどのくらいの環境負荷低減効果を生み出すかに対する評価方法も確立されていないのが

現状であり、また実際に PHEV が販売された際にどれくらいのシェアを占めるかについても検討が必要である。そして EV についても同様の事が言える。

環境負荷低減効果についても、PHEV や EV が普及した場合、ガソリン消費量は削減されるが今度は電力需要の増加がもたらされ、電源構成からの CO₂ 排出量が増加する。CO₂ 排出量が少ない電力を有効利用することで運輸部門からの CO₂ 削減、省エネルギー・エネルギー転換(脱石油)、大気環境負荷低減というエネルギー政策上の課題をある程度同時に解決する効果が期待できるが、どのような電源構成で発電がなされるかによってその効果の度合いは変わってくる。

そこで、本研究では、今後の普及が予想される PHEV や EV について 2050 年までの将来の普及パターン、及び普及時の CO₂ 排出削減効果を電源構成からの排出も考慮して検討する。その中で、日本の自動車の利用パターンを車種別で構築することで PHEV に搭載する適切な電池容量についても検討する。

次に、具体的な研究の手法を説明する。

1.4 本研究の新規性と手法

これまでの PHEV の評価研究の代表例としては、文献 4)5)6)が挙げられる。文献 5)では米国の走行パターンを参考に、PHEV の電気走行可能距離を 2 種類仮定して、PHEV の経済性・省エネルギー性能等をガソリン車 (Internal Combustion Engine Vehicles : ICV) , HEV と比較・評価した。文献 4)は文献 5)の手法をわが国に適用し、わが国の走行パターンを考慮して、電力需要増加および CO₂ の削減効果を定量的に求めた。

文献 6)は、わが国の乗用車の平均年間走行距離[7]などを基に、乗用車を 33 グループに分類した上で、各グループの日走行距離を、H11 年度の自動車起終点調査 (Origin and Destination : OD 調査) [8]を基にした 1 日のトリップ長データと、日走行距離がガンマ関数に従うとの仮定から設定した。本研究では、OD 調査を基にすることは同じであるが、規則的な出勤系トリップと非規則的な娯楽系・業務系トリップという、トリップの特徴まで考慮して日利用パターンを作成することに特徴がある。また、文献 6)では、乗用車の関連コストと電源構成コストの合計を最小化するという手法で、PHEV の普及パターンを求めた。これに対して、本研究では、消費者の総コスト最小化の観点から自動車の普及パターンを求めた後に、追加的な電力需要を加えた電源構成コストを最小化するという手法を用いる。また、乗用車だけでなく貨物車 (普通貨物車は除く) も考慮した。

本研究の特徴を以下に示す。

- ・日本の貨物車 (普通貨物車は除く) と乗用車を対象に、国土交通省による H17 年度の OD 調査 [9]を基に、年間走行距離分布と日平均実働距離分布を作成する。これらは、H17 年度の OD 調査[9]及び全乗用車の年間走行距離[10]と整合性のとれたものとする。
- ・日平均実働距離分布から、PHEV の電気走行可能距離を設定する。
- ・日平均実働距離分布を考慮して、乗用車の設備コストと燃料コストを合計した総コストを考慮して、PHEV・EV の普及と PHEV・EV 普及による石油削減効果、普及時の追加電力需要を計算する。

・PHEV・EV 普及による CO₂ 排出量削減効果を、運輸部門の石油削減に起因するものだけでなく、電力需要増加分を加味して総合的に評価する。

1.5 本研究の構成

本研究の構成は以下の通りである（図 1-4）。

研究の手法としては、まず、第 2 章で日本における自動車の使用法について分析し、個々の自動車の 1 日の利用パターンを車種別でグループ化する。その利用パターンから、PHEV に適した電気走行可能距離（搭載電池容量）を車種別で決定する。

次に第 3 章で、燃料費や将来の電池の価格等を踏まえ、経済的な観点から見た PHEV や EV の普及の割合を決定する。次に、PHEV や EV が普及した時の電力需要の増加と充電パターンを作成し、一日の充電時間や充電量を算出する。

第 4 章では運輸部門からの電力需要の増加分を日本の電源構成モデルに組み込み、PHEV や EV 普及時の電源構成の変化と、それによる CO₂ 排出量の変化について評価する。前述のように、PHEV や EV が普及した場合、自動車から直接排出する CO₂ は削減されるものの電力部門からの CO₂ は増加する。したがって PHEV や EV 導入による CO₂ 削減効果を正しく分析するために、発電による CO₂ 排出量を含めて検討する。

そして第 5 章で本研究の結果をまとめる。

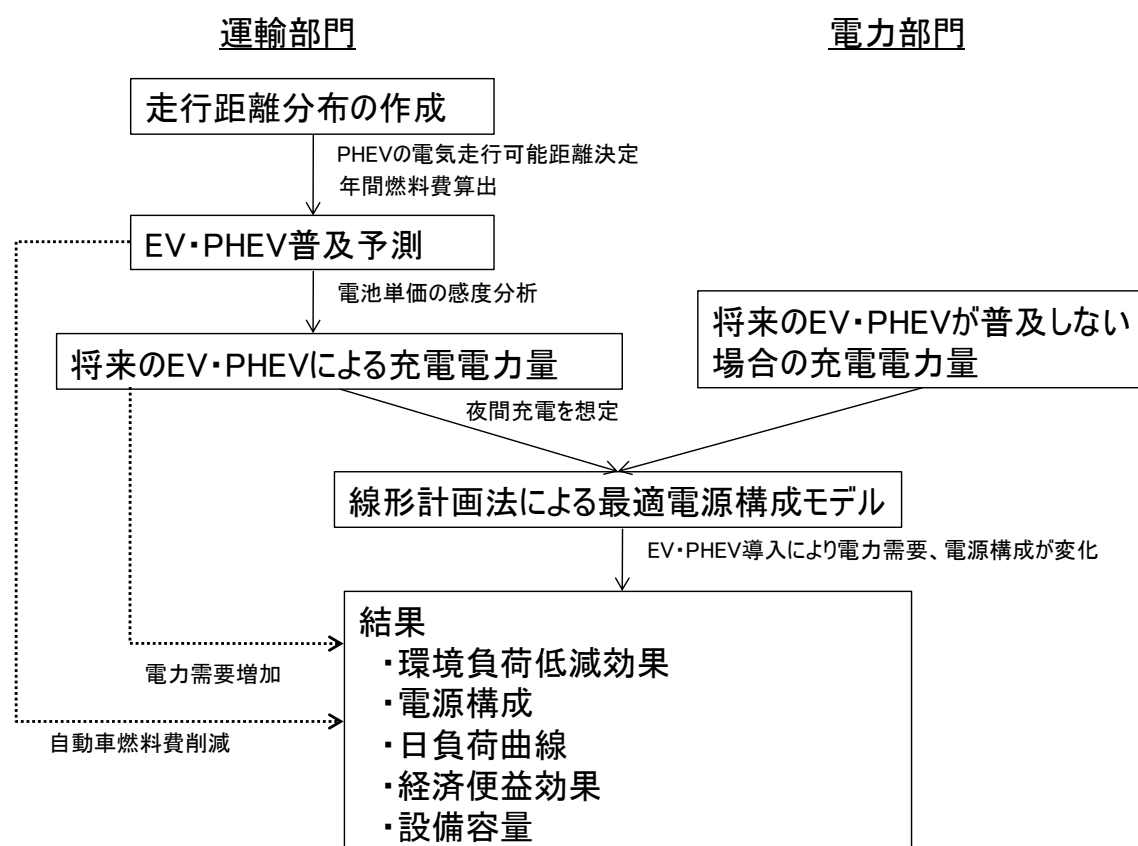


図 1-4 全体の流れ

第2章 車種別利用パターンの作成

2.1 はじめに

PHEVの搭載蓄電池容量を設定する際、日走行距離に応じて電気走行距離や充電量が決定されるので、日利用パターンが重要である。しかし、日走行距離分布は一部地域で調査[11][12]されているのみで、全国レベルでは調査されていない。そこで、国土交通省によるH17年度のOD調査[9]のトリップ長データを基に、自動車輸送統計調査年報[10]の年間総走行距離及び日平均実働距離と整合した日平均実働距離分布を作成する。このとき、使用目的別(2.3参照)に詳細な日利用パターンを設定することにより、トリップ長データから年間利用パターンを作成し、その後、年間走行距離分布を算出する。すなわち、実態に近い走行距離分布の作成には、平日休日別・時刻別・目的別のトリップ長データの詳細化が不可欠である。

本研究では、H17年度のOD調査データ[9]を用い、商用電源で夜間に充電可能な自家用乗用車、自家用軽乗用車、小型貨物車、軽貨物車を対象に、利用パターンの詳細化を行った。この利用パターンを詳細化する目的は、日平均実働距離分布を作成し、そこからPHEVの搭載蓄電池容量を推定するためである。また、これはPHEVやEVの電気走行可能距離から燃料費を算出し、その後、自動車の資本費を含めた経済性評価からPHEV・EVの普及割合を算出するためでもある。本論文では、わが国の2005年度の貨物車(普通貨物車は除く)と乗用車の合計7091万台を1万台ずつ7091ユニットに分類する。以下にパターン設定の詳細を説明する。

2.2 対象車両

本研究では、我が国の自動車のうち、PHEVの普及が見込める自家用普通乗用車(4247万台)、自家用軽乗用車(1435万台)、小型貨物車(454万台)、軽貨物車(955万台)の4車種合計7091万台を対象車両とする(図2-1)。本研究の対象車両は日本の全保有台数の約95%に及ぶ。ここで、小型貨物車は現在主に商用車として用いられ、その大半は普通乗用車のような車体の大きさを有する。車種がナンバープレートで表2-1のように分類されるが、小型貨物車は普通乗用車の後部座席部分を倒し、荷台スペースを座席スペースより広く確保すれば、貨物車扱いになるため、普通乗用車と同様にPHEVやEVが普及すると見込まれる。しかし、小型貨物車はディーゼル車も含まれる点が普通乗用車と異なる。一般的に貨物車として認識されている普通貨物車は、PHEVやEVとして普及する場合、航続距離や充電時間などを勘案して困難であると判断し、本研究の対象外とした。また、貨物車のうち特殊用途車も対象外とした。

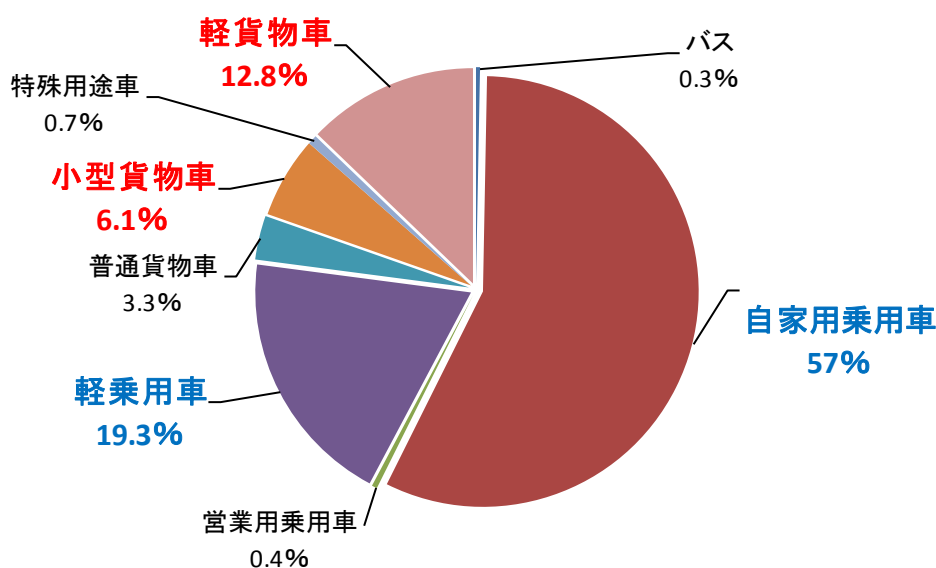


図 2-1 日本の自動車保有台数割合 (色付き：研究対象車)

表 2-1 車種の分類

	車種	ナンバー
旅客車	軽乗用車	5:黄地に黒 3, 8:小型プレート
	乗用車	3, 5, 7
	バス	2
貨物車	軽貨物車	4, 6
	小型貨物車	4, 6のうちライトバン
	普通貨物車	1
	特殊車	8

2.3 全国起終点調査

道路交通センサス（全国道路・街路交通情勢調査）[9]とは、国土交通省が道路の計画立案のために道路及び道路利用の状況を調査しているものである。調査内容としては交通量・旅行速度などの実測を行う「一般交通量調査」、アンケート調査等により自動車の動きを把握する「自動車起終点調査」に大別される。

今回使用した OD 調査は、路上やフェリーで行き来する自動車の運転者からのアンケート調査（路側OD調査）と、無作為に選定された自動車の所有者に対するアンケート調査（オーナーインタビューOD調査）からなるデータで、路側OD調査については平日の1日、オーナーインタビューOD調査については平日・休日のそれぞれ1日を対象に、車の一日の動き（利用目的、目的地、駐車場所等）についてアンケートにより実施されるものである。実施時期は、一年の平均的な利用状況を把握するために秋季に実施される。

アンケート結果によって、車種別・時間帯別・運行目的別の発生交通量を全国各地で平日と休日に分けて把握することが出来る。自動車の使用目的を出勤、登校、家事・買物、社交・娯楽、

観光・行楽，レジャー送迎，業務 A(運搬を伴わない)，業務 B(運搬を伴う)，不明の 11 種類にわけてそれぞれどの目的でどの時間帯に使われているかが調べられている。平日と休日それぞれの自動車全体の、時刻別・目的別トリップ数データが存在する。時刻別・目的別トリップ数データを乗用車・貨物車別に図 2-2 に示す。また、トリップ長データも平日・休日に分かれて目的別に存在する。このとき、乗用車類は自家用を考慮しているため、営業を含まない。図 2-3 に OD 調査の平日のオリジナルトリップ長データを車種別で示す。本研究では、2005 年度の OD 調査を用いて前述の対象車両 7091 万台についての利用パターンの詳細化を行った。

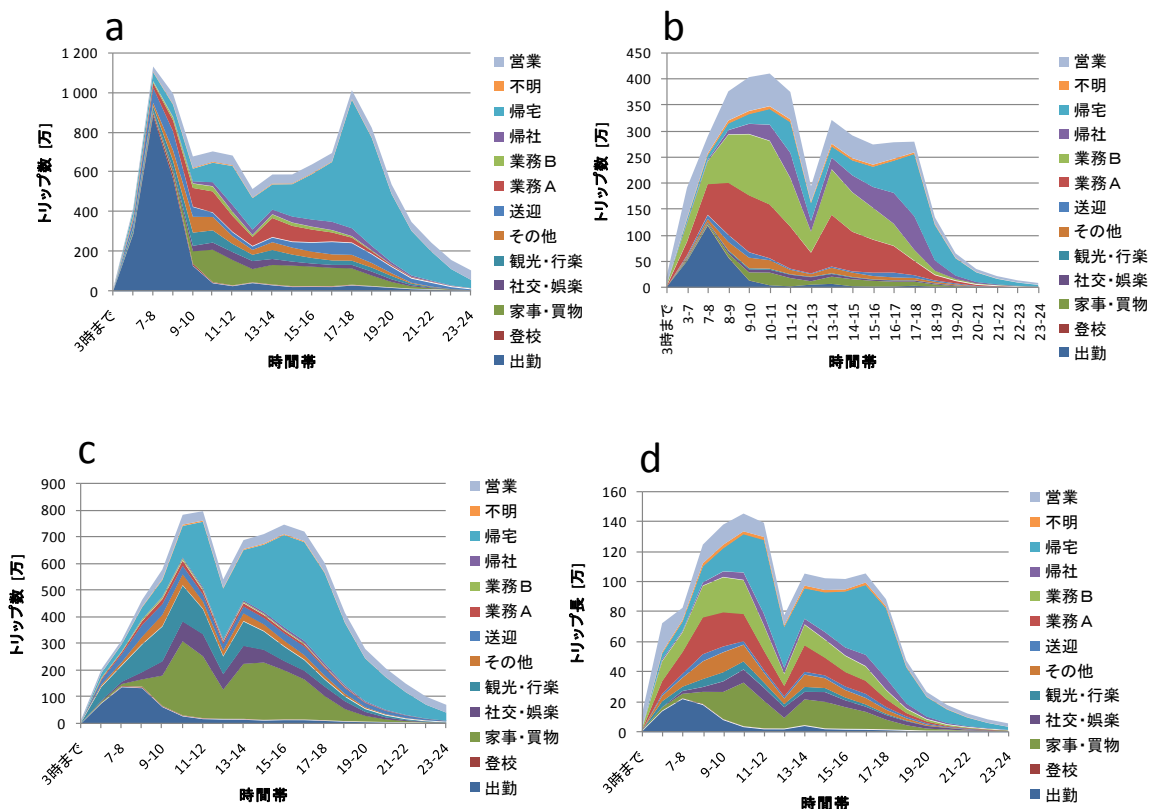


図 2-2 一日の時刻毎のトリップ数

(a : 平日乗用車, b : 平日貨物車, c : 休日乗用車, d : 休日貨物車)

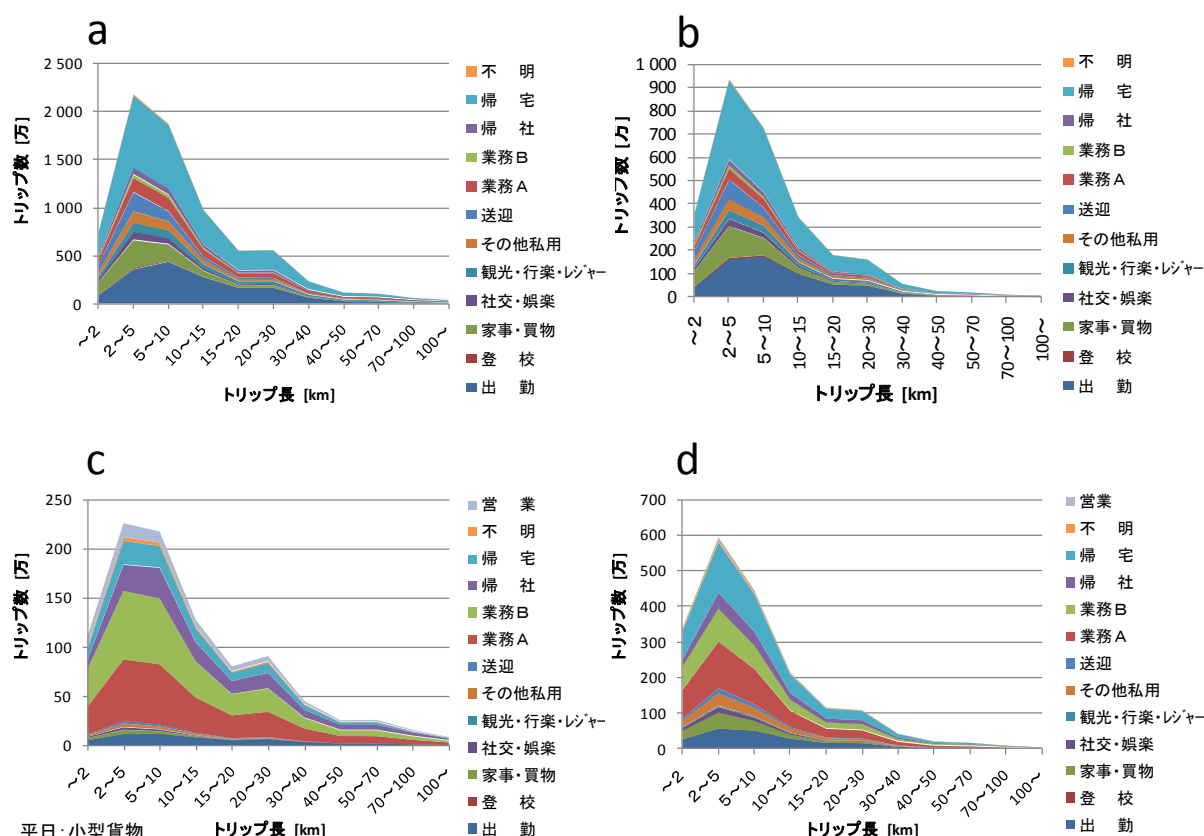


図 2-3 トリップ長データ

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

2.4 手法の説明

2.4.1 トリップ種類の分類

まず、OD 調査の 11 種類（貨物車類は 12 種類）の目的の内、関係のある目的同士を一つにまとめる。乗用車類の場合、規則性の強い出勤系（出勤、登校）、規則性の弱い娯楽系（家事・買物、社交・娯楽、観光・行楽、レジャー送迎、不明）、業務系（業務 A、業務 B、帰社）に分類する。このとき、帰宅は出勤系と娯楽系に分配する。貨物車類の場合、一日の業務系の役割が年間を通して定まっているとし、業務系は規則性が強いと設定する。また、営業は業務系に属する。分類後の平日・休日別トリップ長データを図 2-4、2-5 に示す。図 2-4 より平日では、乗用車は業務系を行う割合が少なく、貨物車では、特に小型貨物ではその大半が業務系を行うことがわかる。一方、休日では、図 2-5 より全車種で平日より娯楽系に使用される割合が増大する。このとき、貨物車でも娯楽系としてある程度使用されていることがわかる。これは、小型貨物車であっても、前述のように商用車として使用され、普通乗用車と同じく休日は娯楽系を行うことを意味する。

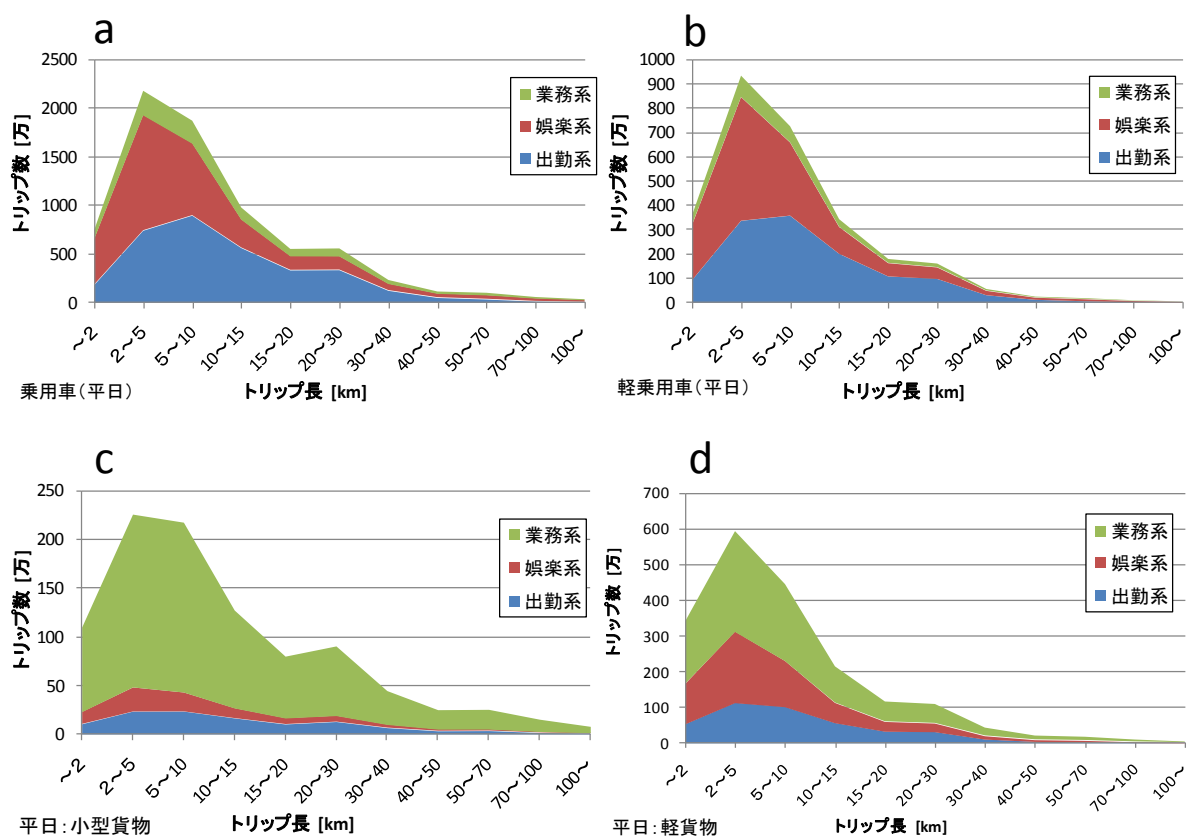


図 2-4 分類後の平日トリップ長データ

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

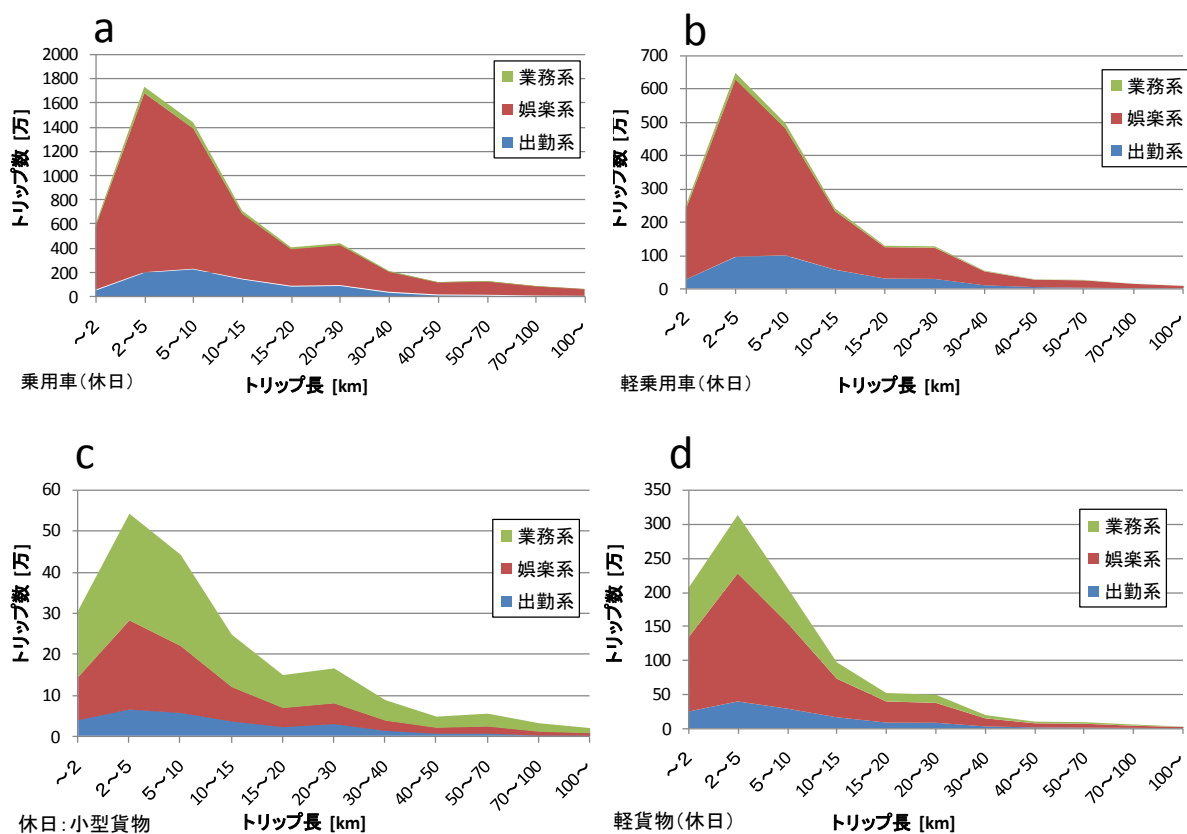


図 2-5 分類後の休日トリップ長データ

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

OD 調査に基づく乗用車の全国の1日のトリップ数の内訳を表 2-2 に示す。表中の1トリップとは、「ある地点からある目的地までの移動」と OD 調査で定義されている。ただし、1日に複数トリップを行う乗用車が存在するため、総トリップ数が全国の乗用車台数(4247万台)以上になっている。他の車種についても、乗用車と同様に日トリップ数を3形態(出勤系・娯楽系・業務系)に分類する。

表 2-2 全国乗用車の1日の総トリップ数

1日の総トリップ数		平日	休日
出勤系	出勤	16,050,000	4,190,000
	登校	410,000	140,000
娯楽系	家事・買物	7,280,000	12,800,000
	社交・娯楽	2,350,000	4,630,000
	観光・行楽・レジャー	3,820,000	7,900,000
	送迎	4,540,000	3,360,000
	その他の私用	3,640,000	2,350,000
	不明	1,020,000	760,000
出勤系・娯楽系	帰宅	26,560,000	22,610,000
業務系	業務A	6,170,000	1,140,000
	業務B	1,370,000	380,000
	帰社	2,600,000	610,000

業務A: 物の運搬を伴わない業務
業務B: 物の運搬を伴う業務

2.4.2 出勤車・業務車の分類

本研究では、以下の仮定を置いて、自動車进行分类する。

1. 出勤系・業務系に利用される車(出勤車・業務車)は、一週間のうち、5日間出勤・業務に利用される。
2. 平日出勤・業務に利用される車は、平日5日間利用される。休日出勤・業務に利用される車は、週末の2日間と平日の3日間の計5日間利用される。
3. 帰宅・帰社は、1日に1回のみとする。帰宅・帰社後の同日中には再度使用されない。
4. 帰宅トリップは、出勤系と娯楽系に対応する。帰社トリップは業務系に対応する。
5. 出勤車・業務車は、出勤系・業務系に使用されない日には、娯楽系として利用可能である。

これらの仮定から、乗用車類と貨物車類を平日のみ出勤車、平日も休日も出勤車、平日のみ業務車、平日も休日も業務車、非出勤・非業務車の5種類(グループA~E)に分類する。これらの手続きをフローチャートに示すと図 2-6, 2-7 のようになる。以下で図 2-6 の乗用車の分類手順について説明する。

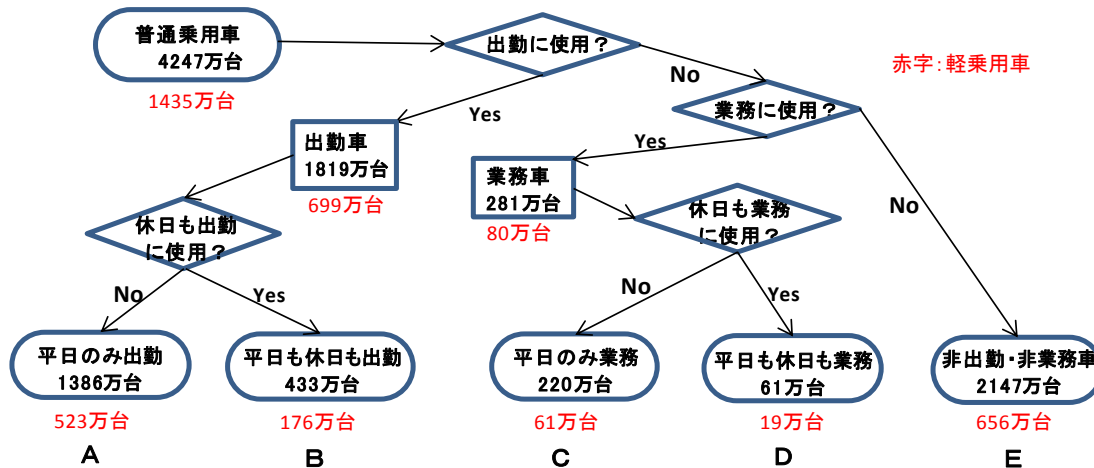


図 2-6 全国の乗用車類のフローチャート

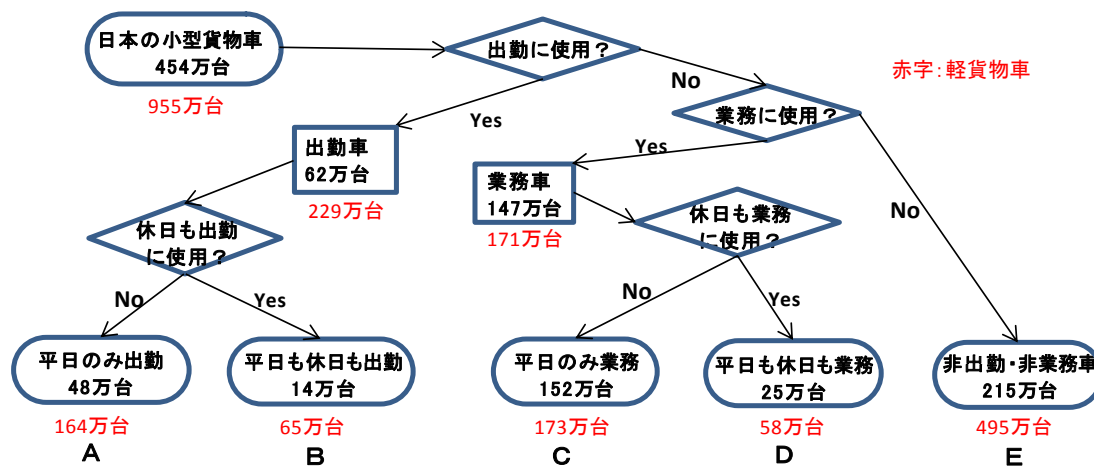


図 2-7 全国の貨物車類のフローチャート

ここでは、乗用車の分類手順について以下で述べる。

(1)出勤系

出勤車は、出勤日には規則的な出勤系トリップに使用されると仮定した。上記の仮定3より出勤日には、1日に出勤を1回、帰宅を1回、合計1日2トリップとする。

- ・平日も休日も出勤車（グループB）：休日出勤車台数＝419（出勤）＋14（登校）＝433万台（表2-1参照）とする。
 - ・平日出勤車台数＝平日出勤系トリップ数＝1605（出勤）＋41（登校）＝1646万台（表2-1参照）
- 仮定2より、平日も休日も出勤車（グループB）は、平日の3日間出勤しているので、平日出勤車の数に含まれると考える。その台数は $433 \text{ 万} \times 3/5 = 260 \text{ 万台}$ である。
- ・平日のみ出勤車（グループA）：平日出勤車台数－（グループB） $\times 3/5 = 1646 \text{ 万台} - 260 \text{ 万台} = 1386 \text{ 万台}$
 - ・出勤車(合計)：グループA＋グループB＝1386万台＋433万台＝1819万台

(2)業務系

仮定3より、業務車は、業務日には1日1回帰社するので、帰社トリップ数を用いて業務車の台数を設定する。具体的には、出勤系の出勤系トリップ数の代わりに、帰社トリップ数を用いて、

出勤系と同様の手続きで台数を求める（図 2-6）。その結果、業務車(合計)は 281 万台となる。出勤車および業務車以外の、非出勤・非業務車（グループ E）は 4247 万台－1819 万台－281 万台＝2147 万台となる。貨物車類の場合、業務系台数に営業が加算される。

2.4.3 娯楽系に利用される車

平日娯楽トリップの対象車は、グループ B,D,E である。休日娯楽トリップ対象車はグループ A,C,E である。娯楽系に利用される台数は、2.4.2 節の仮定 3 と 4 より、

平日娯楽系に利用される台数

＝帰宅トリップ数－平日出勤車台数

で求める。休日娯楽系に利用される台数も同様に求める。

平日娯楽系に利用される確率

＝平日娯楽系に利用される台数

／（グループ B＋グループ D＋グループ E）

とした。前述の様に、各グループは 1 ユニット（1 万台）から構成される。平日娯楽系に利用される確率は各ユニット同一とした。規則性の弱い娯楽系トリップは、各ユニットに対して日間の相関はないと仮定した。休日娯楽系も同様に設定した。

2.4.4 娯楽系と業務系の日トリップ数

乗用車類の場合、規則性の強い出勤系のトリップは、各ユニット（1 万台）の毎日の走行距離及び帰宅時刻の両方が年間を通じて一定と仮定して出勤パターンを作成した。貨物車類の場合、業務系も規則性が強いと設定し、出勤系と同様に毎日の走行距離及び帰宅時刻の両方が年間を通じて一定と仮定して業務パターンを作成した。各ユニットのトリップ長と帰宅時刻は、出勤系トリップの距離分布（図 2-4、2-5 参照）から求められる確率密度と、OD 調査[9]におけるトリップ数時系列データから求められるトリップ発生時刻の確率密度を用いて作成した。各ユニットの出勤トリップ長と帰宅トリップ長は同一と仮定して、帰宅トリップ長を設定した。

娯楽系と業務系の日トリップ数に関しては、以下のように設定した（図 2-8～2-11）。トリップ長別の利用台数は、娯楽系は（出勤系を除いた）帰宅トリップ数と一致し、業務系は帰社トリップ数と一致する（2.4.2 参照）。トリップ長別の利用台数あたりのトリップ数は（トリップ数）／（利用台数）で求め、1 日 2 回を上回っている（図 2-8～2-11）。ここで、利用される車は、同一長のトリップをトリップ数だけ実施して、帰宅すると仮定した。トリップ数は、小数点以下の値を含むが、利用パターン作成のための各ユニット（1 万台）の平均値と考える。また、トリップ長は 2～5km など範囲で示されるので、トリップ長ごとのトリップ距離はその中間距離で代表した（図 2-8）。100km 以上のトリップ長に関しては、全体に占める割合が非常に少ないことから一律 125km と設定した。

次に、乗用車類の娯楽系と業務系、貨物車類の娯楽系に関しては、各ユニットのトリップ長及び帰宅時刻に毎日の規則性がないと仮定した。具体的には、トリップ長分布（図 2-4、2-5）とトリップ長ごとのトリップ数及び OD 調査[9]における発生時刻の確率密度を基に、ユニットごとの日トリップ長と帰宅時刻を推計した。

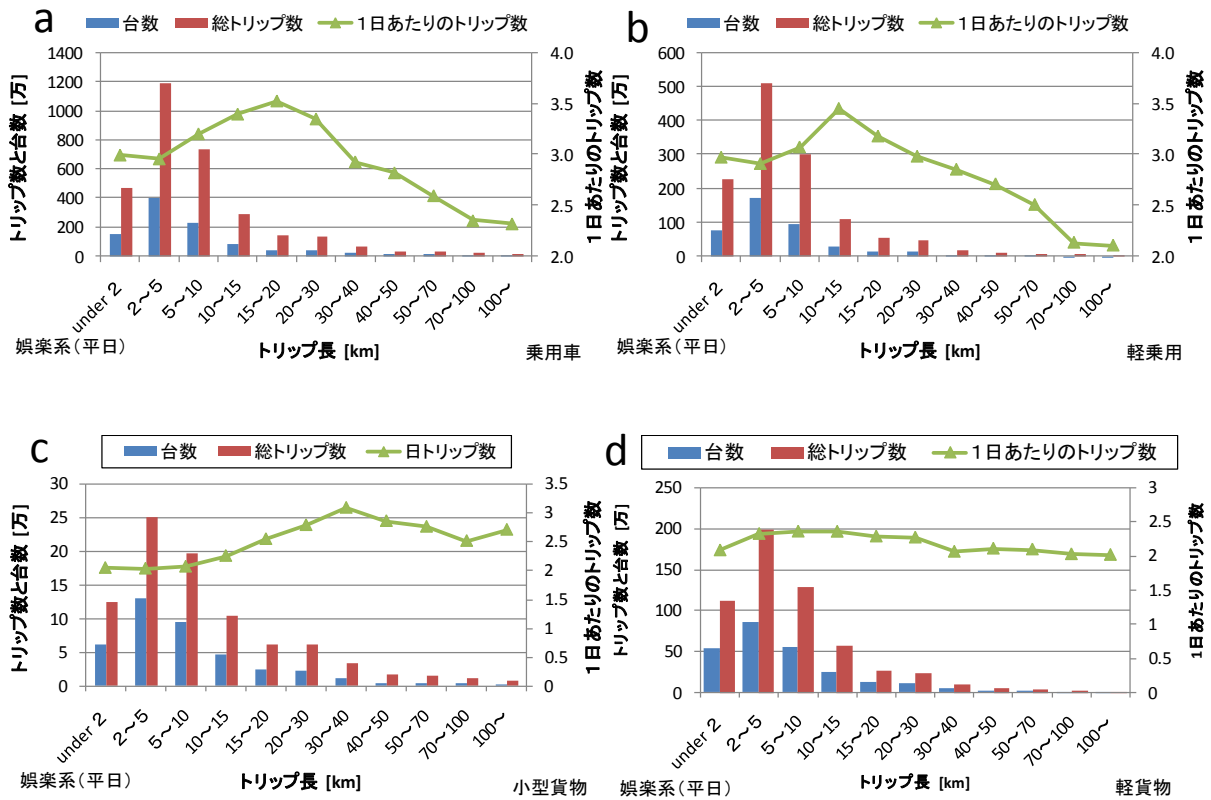


図 2-8 平日娯楽系の日トリップ数

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

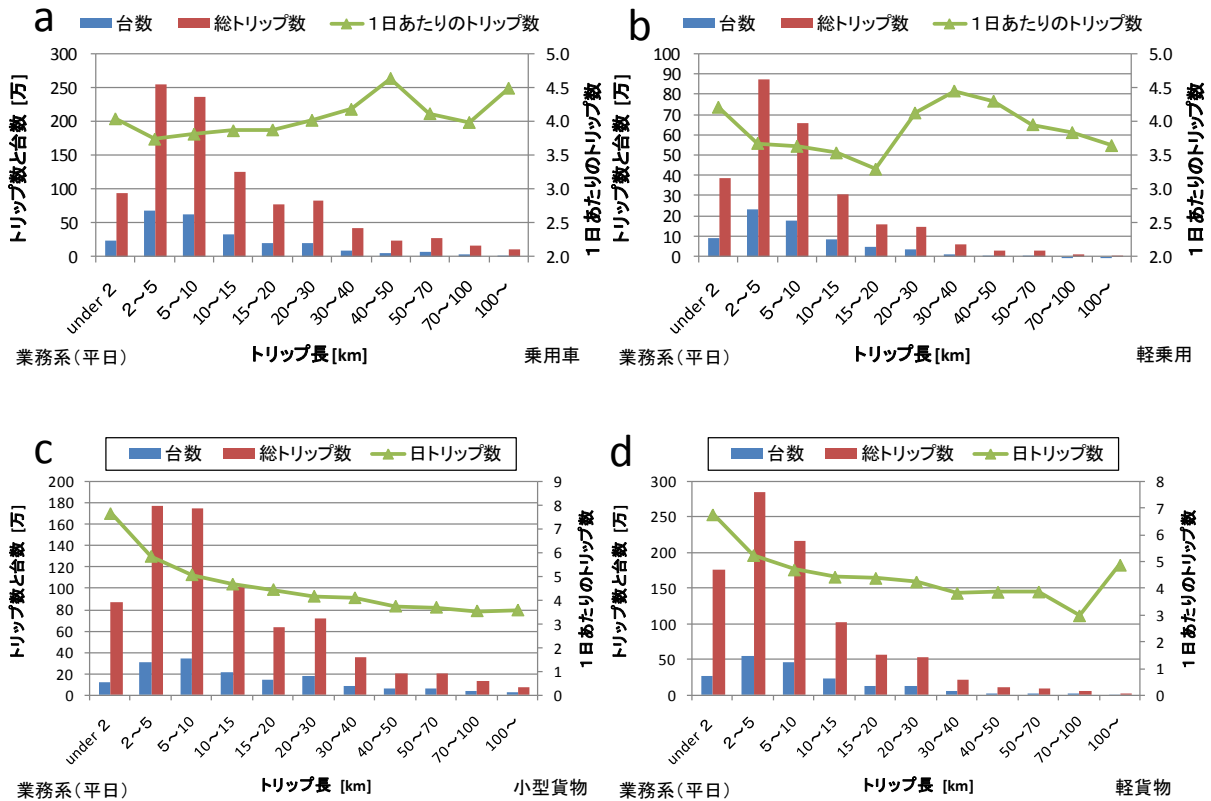


図 2-9 平日業務系の日トリップ数

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

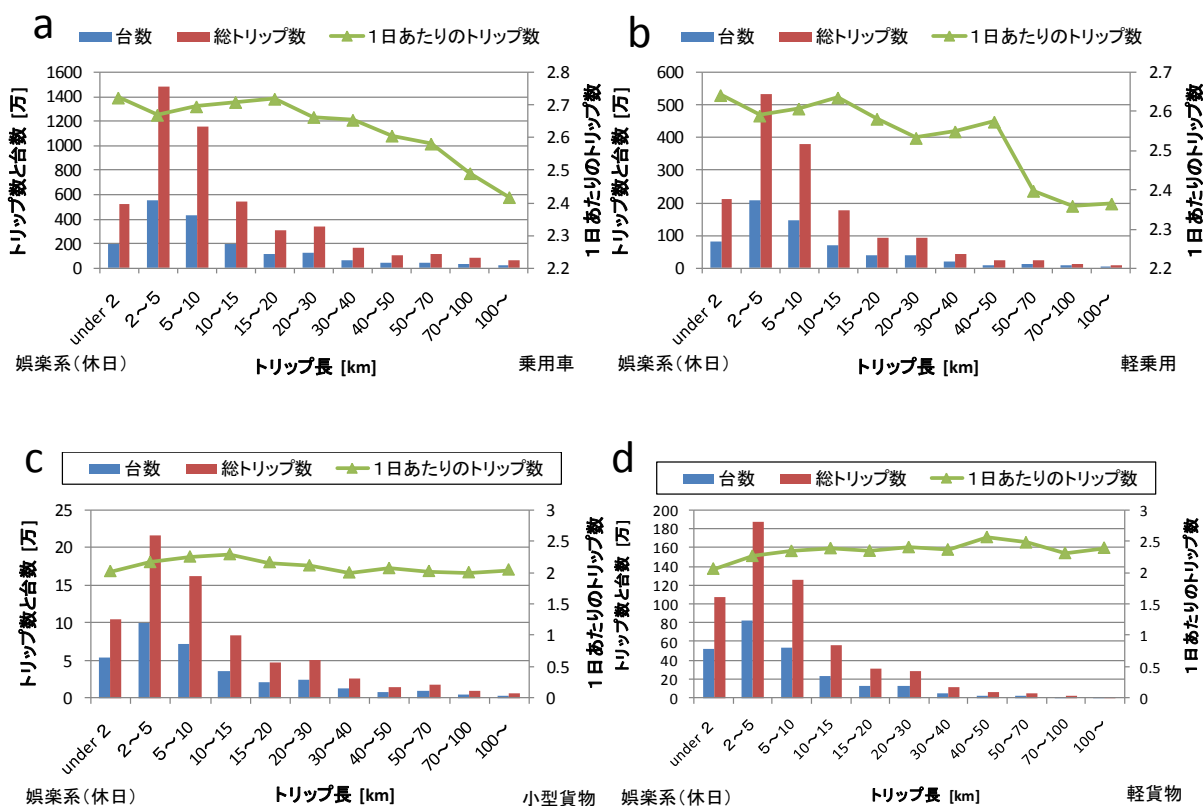
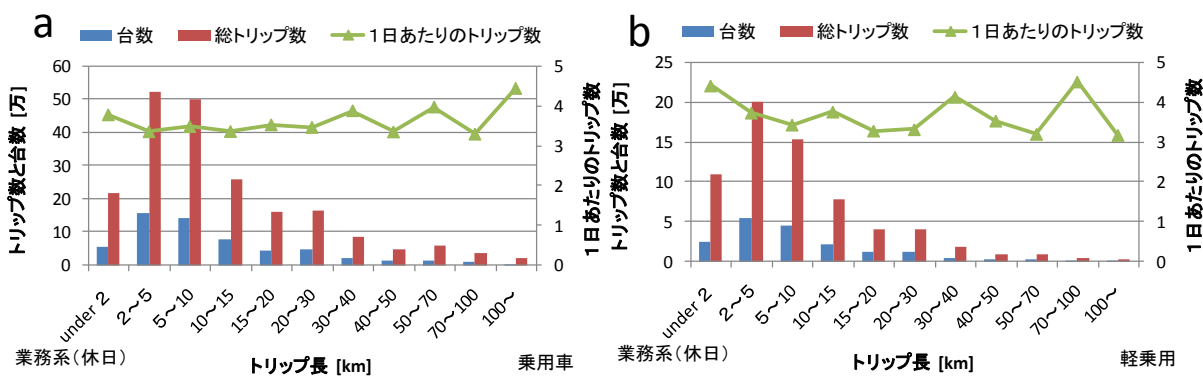


図 2-10 休日娛樂系の日トリップ数

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)



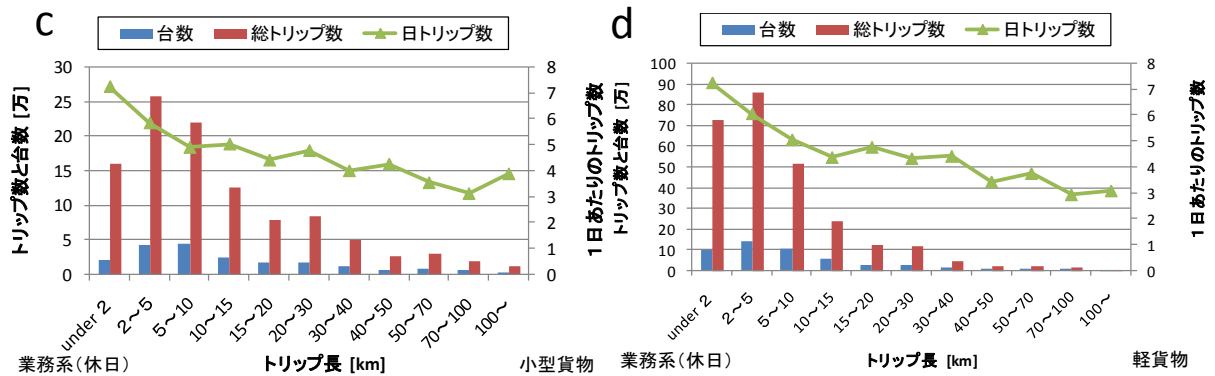


図 2-11 休日業務系の日トリップ数

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

上述の出勤系・業務系・娯楽系各々の日トリップ長等の取り決めを勘案し、構築した 7091 ユニットの利用パターンの一部を表 2-3 に示す。例えば、表 2-3 中のユニット No.273 は初めの週の平日は出勤系に使用（帰宅時刻が 18 時、日走行距離が 7km）され、土曜日は娯楽系に使用（帰宅時刻が 22 時、日走行距離が 75km）されることを示す。

表 2-3 利用パターンの一部

ユニット No.	形態	day																											
		1(月)		2(火)		3(水)		4(木)		5(金)		6(土)		7(日)		8(月)		9(火)		10(水)		11(木)		12(金)		13(土)		14(日)	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
273	出勤	18	7	18	7	18	7	18	7	18	7	22	75	0	0	18	7	18	7	18	7	18	7	18	7	18	7	0	0
274	娯楽	0	0	0	0	0	0	15	17.5	0	0	0	0	0	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	0	0	
275	出勤	17	25	17	25	17	25	17	25	17	25	0	0	0	17	25	17	25	17	25	17	25	17	25	17	25	0	0	
276	娯楽	18	14	16	15	19	14	0	0	0	0	23	100	0	17	22.5	16	37.5	23	22.5	0	19	2	15	3	18	70	0	
277	業務	0	0	0	0	14	14	15	10.5	18	22.5	13	50	19	15	12	7	0	17	37.5	19	30	0	17	37.5	18	14	0	
278	娯楽	0	0	12	10.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
279	娯楽	22	17.5	0	0	0	0	17	37.5	0	0	22	180	11	7	0	0	0	16	15	0	16	15	0	12	15	0	0	
280	娯楽	19	35	0	0	0	16	22.5	20	4	0	0	18	25	0	0	0	15	15	0	15	3	16	15	15	10.5	0	0	
281	出勤	16	15	16	15	16	15	16	15	16	15	0	19	35	16	15	16	15	16	15	16	15	16	15	16	15	0	21	37.5
282	業務	20	62.5	0	10	14	0	12	17.5	17	30	18	70	0	19	50	0	17	50	20	14	18	10.5	19	25	0	0	0	
283	娯楽	17	22.5	0	0	0	0	0	0	18	52.5	0	0	0	0	0	0	18	14	15	22.5	16	14	15	10.5	0	0	0	
284	出勤	16	35	0	16	35	0	16	35	16	35	16	35	16	35	16	35	0	16	35	0	16	35	16	35	16	35	0	0
285	業務	18	35	17	15	15	7	16	30	18	37.5	0	0	18	22.5	19	2	22	10.5	20	22.5	18	37.5	0	0	0	0	0	
286	娯楽	0	16	14	0	17	7	0	0	13	22.5	0	0	0	0	0	0	17	37.5	0	0	0	22	22.5	0	0	0	0	
287	出勤	19	25	19	25	0	0	19	25	19	25	19	25	19	25	19	25	19	25	0	0	19	25	19	25	19	25	19	25

A: 帰宅or帰社時刻 (h)
B: 走行距離 (km)

このようにして、乗用車類と貨物車類合計の 7091 ユニットの出勤系・娯楽系・業務系パターンを定めて、1年 365 日 24 時間 (8760 時間) 別の利用パターンを車種別で作成した。本研究では、この 7091 ユニットの利用パターンが将来も一定と仮定して分析を行っていく。

2.5 利用パターンのまとめ

2.5.1 走行距離分布

本研究の対象車の車種別総トリップ数は、H17 年度 OD 調査のものと一致する。2.2 節の手法で求めた年間走行距離分布と、自動車を利用した日の日平均実動距離分布は車種別で図 2-12, 2-13 のようになった。

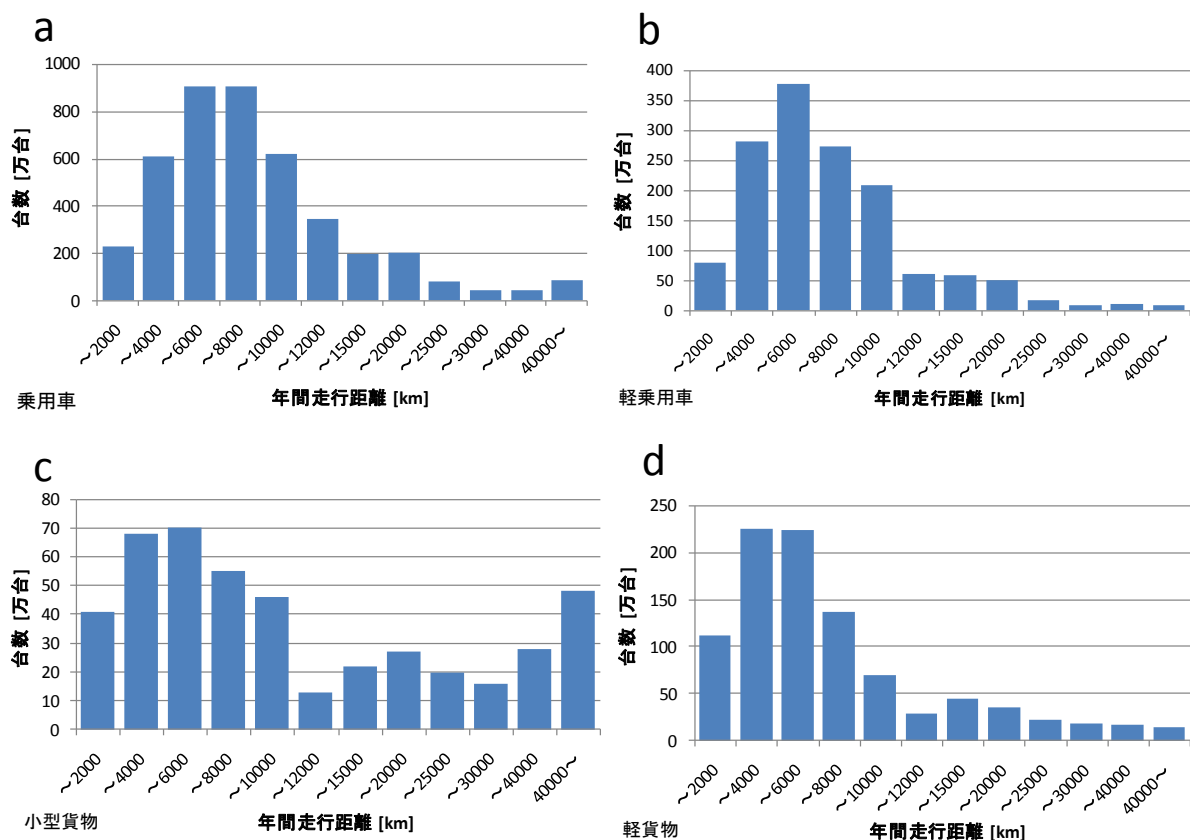


図 2-12 年間走行距離分布

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

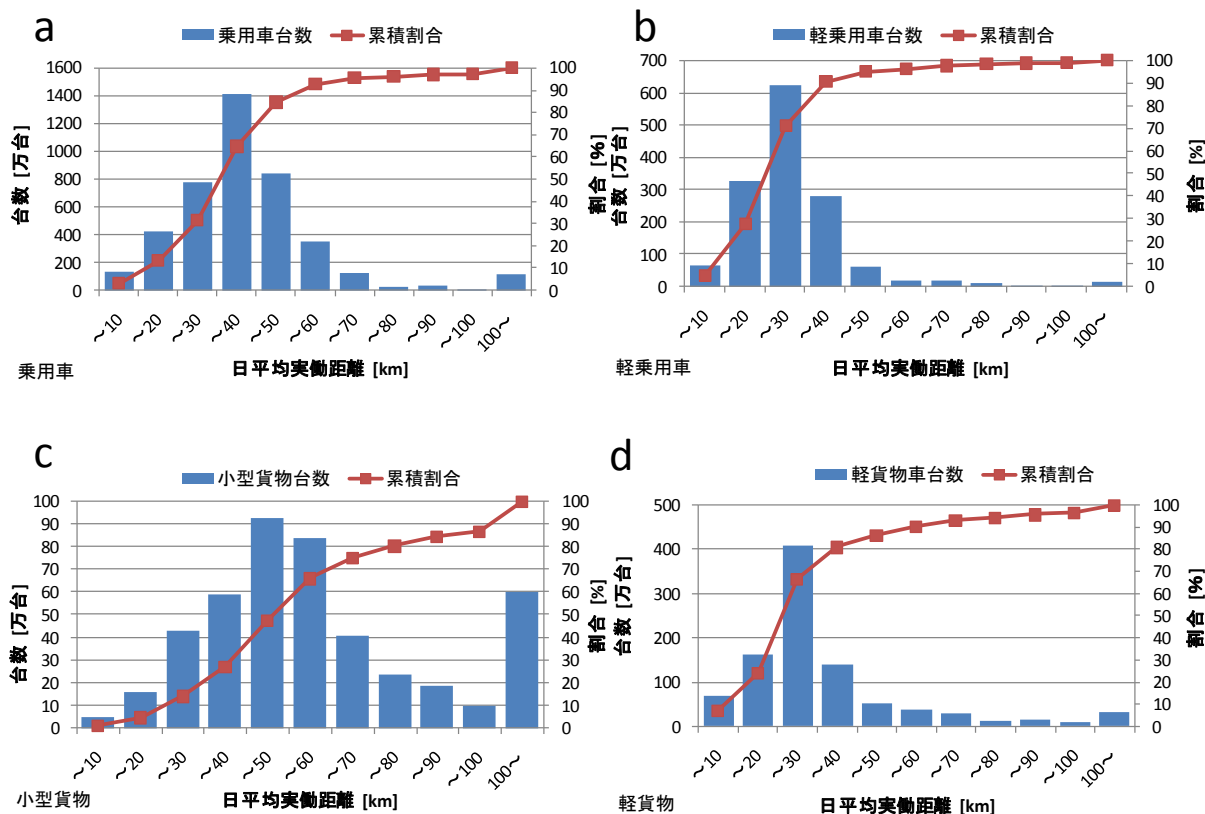


図 2-13 日平均実動距離分布

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

車種別で作成した年間総走行距離と年間平均実動距離の結果と H17 年度の自動車輸送統計調査年報[10]との差異を比較した (表 2-4)。

表 2-4 シミュレーション結果と年報[10]との差異

	旅客車		貨物車	
	乗用車	軽自動車	小型自動車	軽自動車
実動1日1車当り 走行距離	38.7km (▼1.4%)	27.6km (▼0.4%)	69.3km (▼1.5%)	31.5km (▼1.5%)
実働率	63.7% (▼1.7%)	71% (▼1.8%)	52.3% (▼5%)	59.1% (▼4%)
年間走行距離	3860億km (▼1.0%)	1020億km (▼1.0%)	661億km (▼3.1%)	713億km (▼3.4%)
年間燃料消費量	3900万kℓ (▼3%)	892万kℓ (▼0.3%)	712万kℓ (▼2.9%)	643万kℓ (▼2.7%)

※▼…シミュレーション結果が自動車輸送統計調査年報より下回ることを示す

作成した年間総走行距離や日平均実動距離、実働率は H17 年度の自動車輸送統計調査年報[10]よりも下回る傾向が顕著に見られる。ここで、実働率とは 365 日のうちの実働日数をさす。この誤差理由として、OD 調査では 600km までトリップ長データがあるが、100km 以上のトリップ長に関しては、全体に占める割合が少ないために一律 125km と設定したことが多少影響を与えていると考えられる。また、乗用車類のシミュレーション結果は年報[10]とほぼ合致していて比較的誤差が小さいのに対して、貨物車類では特に実働率や年間総走行距離の誤差が乗用車類と比較して大きい。実働率の誤差の影響が年間走行距離や年間燃料消費量に影響を与えているのは明白である。従って、貨物車類も乗用車類と同様に 3 形態 (出勤系・娯楽系・業務系) に分類しているが、異なった分類などが必要であると思われる。この点については、今後の課題である。しかし、誤差が最大 5% であることから許容範囲とする。

図 2-13 において、乗用車利用日の走行距離が 30~40km にピークを持ち、日平均実働距離が 40km までの乗用車が全乗用車の 7 割ほどを占める。また、軽乗用車の場合、日平均実働距離は 20~30km にピークを持ち、日平均実働距離が 30km までの軽乗用車が全軽乗用車の 7 割ほどを占めることがわかる。また、出勤車や業務車は年間走行距離が長く日平均実働距離が比較的短い傾向にあり、娯楽車はその逆であるといえる。

2.5.2 燃料消費量と電気走行可能距離

次に、電池容量を変えることによる燃料消費量の差を、先の利用パターンを用い、HEV と比較した。全ての自動車が HEV (電気走行可能距離 0km の PHEV) とした場合のガソリン消費割合を 100% とし、全ての自動車が PHEV のみの時のガソリン消費割合と電力需要の増加を車種別で求めた。(図 2-14)。

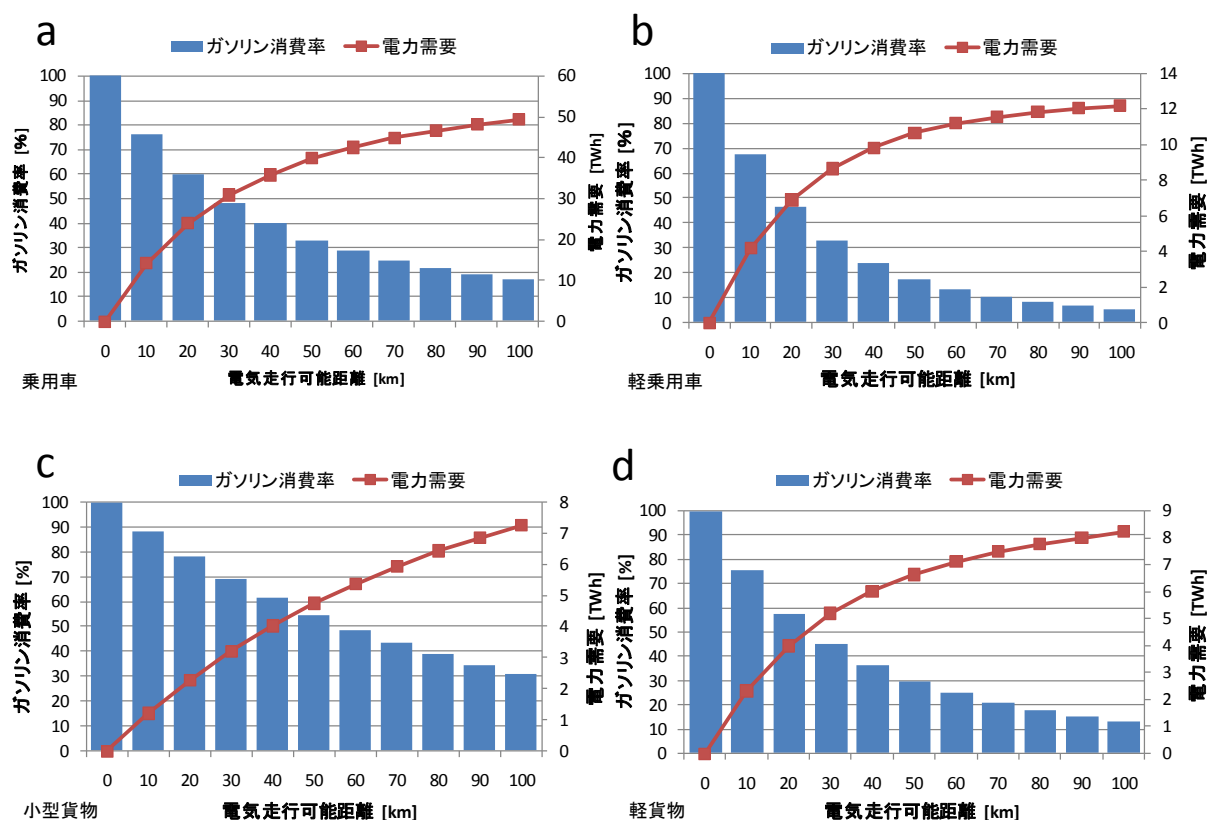


図 2-14 HEV に対する PHEV のガソリン消費量と電力需要 (100% : すべて HEV)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

電気走行可能距離によって積む電池の重量は異なり、燃費に影響を与えると考えられるが、今回はそれを考えないとした。実際には現状のリチウムイオン電池の重量密度は 0.1kWh/kg であり、電気走行可能距離が 10km だと電池が 10kg, 100km だと 100kg の電池を搭載しなければならない。

PHEV は毎日の走行開始から電気走行し、所定の電気走行可能距離を越えた後はハイブリッド走行すると仮定する。そして、帰宅後に使用した電気量を全て充電するので、使用される時は毎回フル充電されている。すべての乗用車が電気走行可能距離 40km の PHEV (PHEV40) になると、すべて HEV に比べて、ガソリン消費割合が約 40% になり、60% の削減が見込まれる。このとき、電力需要が年間約 36TWh (全電力需要の約 4% に相当) 増加する。また、すべての軽乗用車が電気走行可能距離 30km の PHEV (PHEV30) になると、すべて HEV に比べて、ガソリン消費割合が約 32% になり、68% の削減が見込まれる。このように、電気走行可能距離が長くなるにつれて、ガソリン消費率は減少するが電力需要は増加する。しかし、電気走行可能距離を伸ばしてもガソリン消費率の減りは横ばいになっていく。これは、一日の走行距離が電気走行可能距離を下回っている場合、それ以上走れる電池を搭載していても使われる事はないので、ガソリン消費量削減効果は薄れていく。また、小型貨物車を除く車種については、少ない電池容量をもつ PHEV でもかなりのガソリン消費削減が見込める。これは、小型貨物は日平均実動距離が図 2-14 に見られるように長いので、ある程度の電気走行可能距離を確保しなければ、ガソリン消費削減効果がない。

これらの分析から、本研究では車種別で電気走行可能距離を設定する。図 2-13 の日平均実動距離分布のピーク領域と累積割合から車種別の電気走行可能距離は、乗用車は 40km、軽乗用車は 30km、小型貨物車は 60km、軽貨物車は 30km とし、これらの PHEV について評価を行う。このとき、すべての自動車が生産車種別で上記の電気走行可能距離をもつ PHEV になると、運輸部門からの年間電力需要は全電力需要の約 5.7%に相当する約 55TWh 増加することになる。EV の航続距離である電気走行可能距離については後述する（3.1 節参照）。

次に、PHEV や EV が将来どのように普及していくのかについて、経済的観点から検討していく。

第3章 自動車の普及予測と充電パターン

3.1 EVの想定

現在販売されている電気自動車に富士重工業のステラや三菱自動車の i-MiEV がある。その他に、日産自動車が電気自動車リーフを 2010 年後半に北米、日本だけでなく欧州へも投入する予定である。ここで、i-MiEV とリーフのスペックについて表 3-1 に示す。三菱自動車の i-MiEV では車両価格約 400 万円の半分がリチウムイオン電池のコストである。従って、電気自動車の普及は電池の価格に依るところが大きい。現存する電池の中で、エネルギー密度や出力密度などの電池スペックを勘案して、EV 用追加搭載電池として本研究では、リチウムイオン電池 (Lithium-ion secondary battery: LIB) を考慮した。電池の値段が目標通りに下がっていった場合、EV のコストが下がり、新車市場に EV が入ってくる状況が考えられる。また、電池スペックの目標も、EV の普及を想定しているので、HEV, PHEV だけでなく EV も新車市場に導入された場合の、2050 年までの普及の仕方について検討する。ここで、現状の電池性能と 2030 年の目標性能値を表 3-2 に示す[13]。

EV に積む電池容量によって電気走行可能距離は変化する。電池のエネルギー密度や出力密度の性能が向上すれば、それだけコンパクト化でき体積や重量も小さくできることから、燃費の向上と自動車設計の自由度が高まり、電気走行可能距離を延伸できる。次世代自動車・燃料イニシアティブ[14]によると、経済産業省は 2010 年で 130km, 2020 年で 200km, 2030 年で 500km という戦略を考えている(図 3-1)。また、一般ユーザーの意見では、1 回の充電でガソリン車並みに 400~500km 走る性能が求められている。

表 3-1 日産と三菱自動車の電気自動車


	日産(リーフ)	三菱(i MieV)
		
電池容量 [kWh]	24	16
航続距離 [km] (10・15モード)	160	160
家庭用電源	200V・15A/8時間	200V・15A/7時間
急速充電	200V・50kW/30分で 150km走行可能	200V・50kW/30分で 80%
バッテリー種類	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池
重量エネルギー密度 [Wh/kg]	120	80
重量出力密度 [W/kg]	450	250
電池コスト [万円/kWh]	—	12
バッテリー重量 [kg]	200(全重量の12.5%)	200(全重量の20%)
回生有無	有	無
その他	充電時間指定可能	半分が電池コスト
搭載場所	座席下	座席下
電池スペース [L] (推測)	140	95

表 3-2 電池の体積エネルギー密度と将来目標[13]

			現状	革新フェーズ
用途			EV用Li-ion	本格的EV用
目標年次				2030年～
単セル レベル	重量 エネルギー密度	Wh/kg	125	900
	重量出力密度	W/kg	500	1200
	体積 エネルギー密度	Wh/L	250	1800
	体積出力密度	W/L	1000	2400
パック レベル	重量 エネルギー密度	Wh/kg	100	700
	重量出力密度	W/kg	400	1000
	体積 エネルギー密度	Wh/L	120	900
	体積出力密度	W/L	480	1200
	充放電効率	%	95%	95%以上
	カレンダー寿命	年	～10年	15年以上



図 3-1 次世代自動車・燃料イニシアティブ[13]より

EV用の電池性能において、現状よりも重量エネルギー密度は7倍、体積エネルギー密度も7倍以上の値を目標としている。また、カレンダー寿命も15年以上としている(表3-2)。また表3-1から日産、三菱自動車ともに航続距離である電気走行可能距離を160kmとしている。これは、世界中のドライバーの70%以上の日常の運転距離は、この160kmという航続距離の範囲内であるという結果に由来すると思われる。これより、本研究ではEVの電気走行可能距離を車種に拘わらず、以下の2種類を考慮する。

1. 電気走行可能距離を160km (EV160) で一定とするケース (以下、EV固定ケース)。
2. 電気走行可能距離を電池の搭載スペースが許す限り延伸するケース。(以下、EV延伸ケース)

ケース2については、現在販売が予定されている表3-1の2つの電気自動車の航続距離が160kmであるが、ガソリン車のような利便性を考慮して今後図3-1の目標値のようにガソリン車並みに航続距離を延伸させることを考える。そこで、電池の搭載スペースに関しては、現在最良の容量エネルギー密度が170Wh/kgであることと表3-1の2つの電気自動車の電池容量を勘案して、リーフに代表される普通車(普通乗用車と小型貨物車)には搭載電池容量上限を140Lと設定し、i-MiEVに代表される軽自動車(軽乗用車と軽貨物車)では95Lと厳しく設定した。また、航続距離の上限を500kmと設定した。

3.2 試算条件

3.2.1 ICVとHEVの燃費

3.2.1.1 燃費固定ケース

本研究では、現在普及しているICVとHEVの走行燃費が現状のまま向上せずに一定であるケースと技術進歩などにより燃費が向上する2ケースを考慮する。ここでは、まず前者の燃費固定ケースについて述べる。

自動車の走行燃費は、走行方法と自動車の各スペックや走行時の抵抗に影響を受ける。実際の走行燃費はカタログ値の7割ほどであると言われている。これは、現在の燃費基準である10・15モードが完全暖機状態のホットスタートであり、搭載電気機器やエアコンはOFF状態で測定され

ていることが要因であると考えられる。また、乗用車や軽乗用車は表 3-1 から燃費が推測されるが貨物車類に関しては、現在開発の用途は立っておらず、燃費の推測は困難である。そこで、燃費を次式で計算する。また、乗用車と軽乗用車の EV での電気走行時の電費は各々表 3-1 のカタログ値のおよそ 7 割である 5km/kWh と 7km/kWh と設定した。今後電池の性能向上によって、車体重量が軽量化されるため、PHEV の電費は向上するものと想定されるが、本研究では EV の電費と同一と設定した。

$$battery = P \times \frac{1}{\eta_e} \times \frac{1}{\eta_c} \times \frac{Emile}{Dmile}$$

$$mileage = \frac{Emile}{battery} \times \lambda_c$$

$$P = \frac{vR}{3.6 \times 10^6}$$

$$R = (Rroll + Rair + Raccel) \times \frac{1}{\lambda_g}$$

$$Rroll = \mu_r W g$$

$$Rair = \frac{\rho}{2} C_d A v^2$$

$$Raccel = (1 + \sigma) W \alpha$$

R : 全走行抵抗 [N]

$Rroll$: 転がり抵抗 [N]

$Rair$: 空気抵抗 [N]

$Raccel$: 加速抵抗 [N]

μ_r : 転がり抵抗係数 (= 0.01)

W : 車両重量 [kg]

g : 重力加速度 [$m \cdot s^{-2}$] (= 9.8)

ρ : 空気抵抗 [$N \cdot s^2 \cdot m^{-4}$] (= 1.225)

C_d : 空気抵抗係数

A : 車体の前面投影面積 [m^2]

v : 速度 [$m \cdot s^{-1}$]

σ : 回転部分相当質量係数

α : 加速度 [$m \cdot s^{-2}$]

P : 走行所要動力 [kWh]

$battery$: 搭載蓄電池容量 [kWh]

$mileage$: 燃費 [km/kWh]

η_e : 電気出力効率 (= 0.8)

η_c : 充電効率 (= 0.9)

λ_g : 勾配抵抗係数 (= 0.95)

λ_c : エアコン作動時の燃費減少率 (= 0.95)

E_{mile} : 電気走行可能距離 [km]

D_{mile} : 走行モードの走行距離 [km]

ガソリン 1L=8.4Mcal = 35.16MJ

1kWh = 3.6×10^6 J

$J = N \cdot m = kg \cdot m \cdot s^{-2}$

なお、走行モードについては、今後新たに発売される自動車は、2009年10月1日以降JC08モードの表示が義務付けられることになっているが、2012年までは10・15モード燃費の表示が可能なため、より良い数字をアピールできる10・15モード燃費の数値も当面は併記されると思われる。

普通自動車の燃費は10・15モード燃費により測定されているが、加速にかける時間が極めて長くなっており、また測定するスピードが一般的な公道よりも低いなど実際の使用条件と離れており、カタログでの数字と実際の使用下での数字の差が大きくなりがちであることを指摘されていた。これに対しJC08モードでは、より実際の走行パターンに近い測定法を実施し、測定時間も倍近く長くなるほか、平均時速も高められ、最高速度も70km/hから80km/hに引き上げられる。図3-2に10・15モードとJC08モードの燃費基準の違いを示す。10・15モードよりもJC08モードの方が燃費は悪い値を示すことから、本研究では、将来的に使用が義務化されているJC08モードを用いて計算を行う。

上記の燃費式で用いる諸パラメータを表3-3、3-4に示す。

表 3-3 燃費式で用いるパラメータ

	旅客車		貨物車	
	軽乗用	乗用	軽貨物	小型貨物
W [kg]	1000	1300	1000	1800
C_d	0.3	0.4	0.4	0.5
σ	0.25	0.35	0.25	0.35
A [m ²]	2.3	2.6	2.8	3.36
	旅客車		貨物車	
	軽乗用	乗用	軽貨物	小型貨物
エンジン価格 [万円]	20	20	20	20
エンジン重量 [kg]	180	200	180	200

先ほどの燃費式を用いて、車種別の電費を算出した(表3-4)。その結果、乗用車と軽乗用車の電費は5km/kWhと7km/kWhとなり、設定した値と一致している。また、ICVやHEVの走行燃費は、論文やデータなどから実燃費を用いた[10,15-17]。PHEVの場合、ハイブリッド走行時にはHEVと同じ燃費とした。また、小型貨物車のディーゼル車はEVやPHEVの電気走行時の燃費はガソリン車と同一とした。車種別の燃費または電費を表3-4に示す。

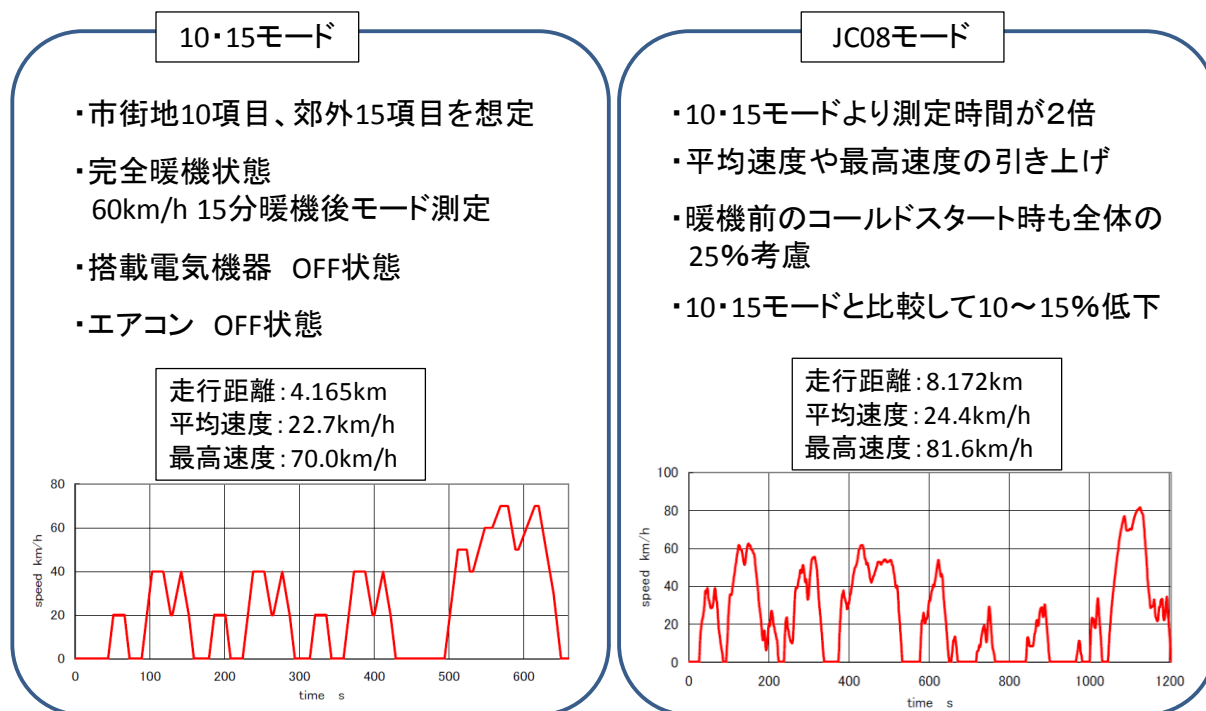


図 3-2 10・15モードとJC08モードの燃費基準の違い

表 3-4 車種別燃費

	旅客車					
	乗用車			軽乗用車		
	ICV	HEV	PHEV・EV	ICV	HEV	PHEV・EV
燃費 [km/L] or 電費 [km/kWh]	9.3	19.0	5.0	11.6	23.7	7.0

※()内はディーゼル車の燃費 ※PHEVは電費を表示	貨物車					
	小型貨物車			軽貨物車		
	ICV	HEV	PHEV・EV	ICV	HEV	PHEV・EV
	9.0(10.4)	13.5(15.6)	3.5(3.5)	11.2	16.8	6.3

ディーゼルエンジンは、ピストンによって空気を圧縮し、シリンダー内の高温空気に燃料を噴射することで自然着火させるしくみであり、熱エネルギーを機械的エネルギーに変換する。ガソリンエンジンは、燃料（ガソリン）と空気の混合気をシリンダー中に吸入し、この混合気をピストンで圧縮したあと点火、燃焼・膨張させて（予混合燃焼）ピストンを往復運動させる内燃機関である。ディーゼルエンジンは、低回転トルクが元々大きく出足をモーターでアシストする必要が無い場合、高出力で熱効率（燃費）が良い。従って、表 3-4 に見られるように、ディーゼル車はガソリン車よりも燃費が良い。

3.2.1.2 燃費向上ケース

次に、燃費が向上するケースについて述べる。現在、自動車の燃費は着実に改善されている[18]。そのため、今後もまだ改善の余地があるものと思われる。従って、ガソリンエンジン（内燃機関）を主体的に使用する ICV と HEV の燃費向上が PHEV や EV 普及にどのように影響を及ぼすのかを検証する。PHEV や EV の電気走行時の電費はまだ開発段階であるため、3.2.1.1 節で述べた各々の電費で一定とする。文献 19)では新燃費基準 JC08 モードを用いて、目標年度である 2015 年度の

燃費改善目標値を貨物車と乗用車別で設定した。この目標値を参考にして、乗用車類の燃費は2015年度までに年平均1.9%の向上、2030年までにその半分の年平均0.95%向上し、2030年以降は2030年時の燃費で一定とする。また、貨物車類の燃費は2015年度までに年平均1.1%の向上、2030年までにその半分の年平均0.55%向上し、2030年以降は2030年時の燃費で一定とする。なお、2005年度のICVとHEVの車種別燃費は表3-4の燃費とする。2050年までのICVとHEVの車種別燃費の推移を図3-3に示す。

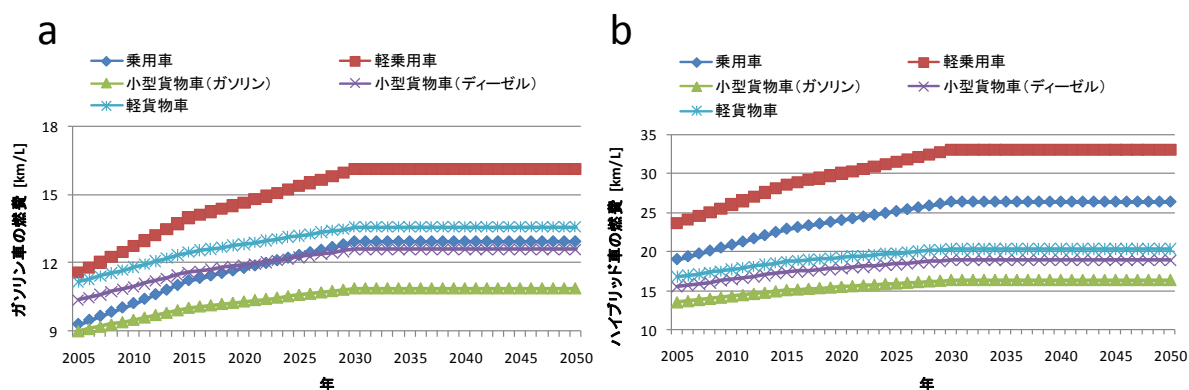


図 3-3 2050 年までの燃費の推移 (a: ガソリン車, b: ハイブリッド車)

3.2.2 EV 延伸ケースの航続距離

先ほどのEV延伸ケース(3.1節参照)の航続距離について走行燃費式から算出した。このとき、表3-2の電池性能の向上を考慮した。普通乗用車と小型貨物車の2050年までの航続距離を図3-4に示す。

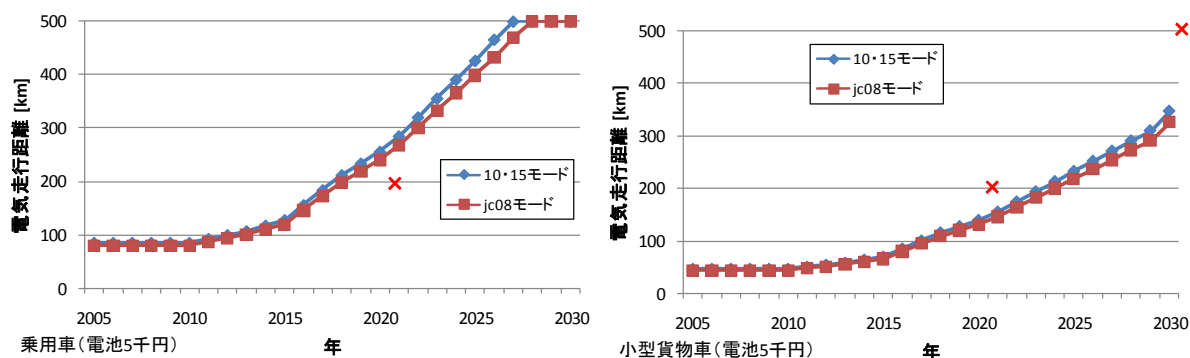


図 3-4 EV 延伸ケースにおける航続距離 (左: 乗用車, 右: 小型貨物車)

図3-4から、10・15モードに比べてJC08モードは厳しい燃費基準であるため、JC08モードの航続距離は10・15モードより減少することがわかる。電池のスペックが表3-2のように向上すれば、乗用車は次世代自動車・燃料イニシアティブ[13]の目標値である2020年に航続距離200km、2050年に500kmを達成している。これは、軽乗用車や軽貨物車にも同様に言える。一方、小型貨物車の場合、2020年と2050年共に目標値を下回る。これは、車体重量が燃費に影響し、航続距離が伸びないためである。今後、図3-4で示す航続距離(電気走行可能距離)を用いてEV延伸ケースの評価を行う。

3.2.3 車両価格と電池の寿命

PHEVには、EVとして電池だけで走行する「EV走行」と、エンジンの出力だけでは足りない出力を補助する「HEV走行」の両方が必要になる。そのため、電池の充電状態が30%程度になるまではEV走行し、その後は充電状態が20~50%の間でHEV走行を求められる(図3-5)。このような走行モードは電池にとっては非常に厳しい要求となる。LIBの放電深度とサイクル寿命には相関関係がある。サイクル寿命には、負荷サイクル寿命とカレンダー寿命に大別される。前者はLIBの充電時および放電時の電気化学的、物理的変化に起因する劣化モードであり、後者はLIBが継続的に一定の充電状態にさらされていることによる電気化学的変化に起因する劣化モードである。広義で保存寿命もこれに分類される。放電深度が大きいとこの負荷サイクル寿命に影響を及ぼす。LIBでは、充電状態が低いほど出力密度が低下する。長寿命を達成するためには、バッテリーの最大放電深度を減少させることが望まれる。従って、PHEVの追加搭載蓄電池容量は2.5節で設定した車種別の電気走行可能距離から放電深度70%を考慮して設定した[20]。

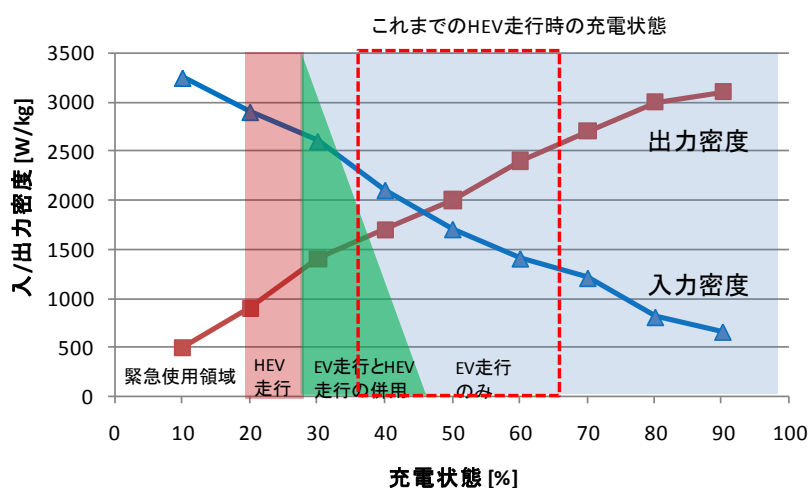


図 3-5 PHEV と EV に要求される電池特性

PHEVの追加搭載電池容量は上記の電池の放電深度を考慮して決定する。各自動車の車両価格については表3-5のように設定した[16,17,21]。ただし、EVの追加搭載電池コストは電気走行可能距離が160km (EV160)である場合を示している。

表 3-5 各自動車の車両価格の設定

	ICV			HEV				
	ガソリン車		ディーゼル車	ガソリン車				ディーゼル車
	軽自動車	乗用(小型)車	(小型貨物)	軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物	車
ベース価格	120万円	170万円	220万円	120万円	170万円	120万円	170万円	220万円
その他のコスト※A				(20万+ 1.5x)円	(20万+ 1.5x)円	(30万+ 1.5x)円	(30万+ 1.5x)円	(40万+ 1.5x)円
追加電池コスト※B								

PHEV					EV160				
ガソリン車				ディーゼル車	ガソリン車				ディーゼル車
軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物	車	軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物	車
120万円	170万円	120万円	170万円	220万円	120万円	170万円	120万円	170万円	220万円
(20万+ 1.5x)円	(20万+ 1.5x)円	(30万+ 1.5x)円	(30万+ 1.5x)円	(40万+ 1.5x)円	(20万+ 1.5x)円	(20万+ 1.5x)円	(30万+ 1.5x)円	(30万+ 1.5x)円	(40万+ 1.5x)円
6.1×x円	11.4×x円	6.8×x円	24.5×x円	24.5×x円	32.3×x円	46.3×x円	36.1×x円	65.8×x円	65.8×x円

※x: 電池単価 [円/kWh]
 ※A: 制御系等とハイブリッド走行に必要な電池(1.5kWh)
 ※B: 電気走行用の搭載電池の価格

ディーゼルエンジンは燃料噴射装置や排ガス処理装置がガソリンエンジンより高いため、小型貨物車のディーゼル車はガソリン車よりも車体のベース価格が高い。また、ディーゼルハイブリッドは燃料噴射制御とモーター出力制御の統合が、ガソリンハイブリッドより難しいので、ディーゼル車の制御系のコストはガソリン車よりも高価となる。

3.2.4 電池単価の推移

本研究では、PHEV や EV の搭載電池として、リチウムイオン電池を想定しているが、電池価格は1kWhあたりの価格をx円として、2005年の20万円/kWhから技術進歩等により低下すると仮定した。将来の価格は文献13)の予測目標値に低下するケースの他に2010年から2030年まで指数的に減少する3ケースを考え、2030年に各々1kWhあたり0.5万円,1万円,3万円,5万円まで低減する(図3-6)。これら4ケースの電池価格は2030年以降一定とした。以下では、これらのケースを各々0.5万円/kWhケース、1万円/kWhケース、3万円/kWhケース、5万円/kWhケースとする。

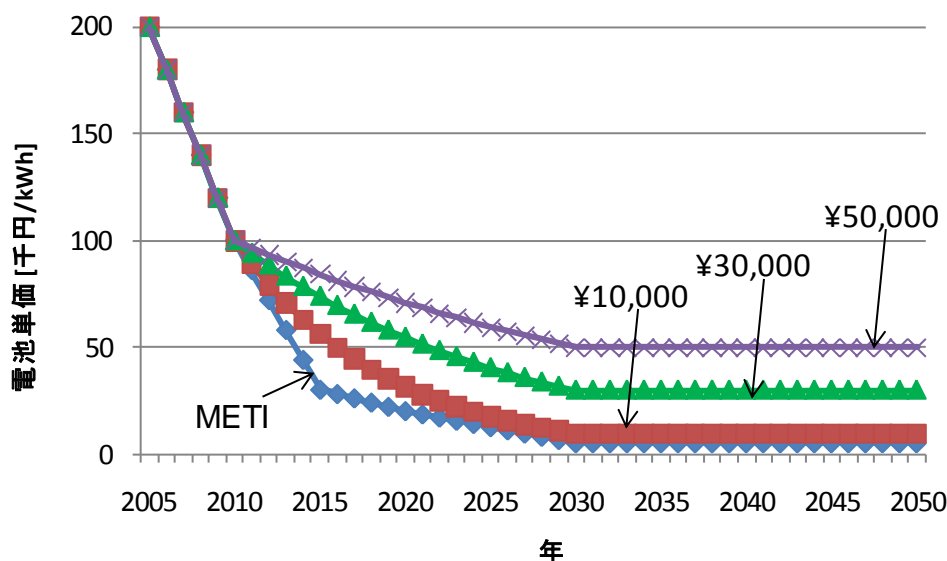


図 3-6 将来の電池価格予測[13]

その他の経費として、電気料金については、深夜に家庭用電源で充電した場合を仮定して、東京電力[22]の深夜電気料金と同じ 7.35 円/kWh とした。ガソリン価格については、原油価格の変動が大きいことから将来価格の予想が困難なため、本研究では小売価格での 130 円/l で一定とした [23]。ガソリン価格や電気料金については将来も変化しないと仮定した。

3.3 選択基準の設定

自動車購入時の総コストを車両価格と年間の燃料費から計算する。自動車の使用年数と割引率から、次式によって決定する。

$$C = V + \sum_{i=1}^Y \frac{A}{(1+\alpha)^i}$$

C:総コスト

V:車両価格

A:年間燃料費

α :割引率(=0.05)

Y:自動車の使用年数 (=12) [24]

上式によって求められる総コストが最小の車両を購入するとする。現在、電池の耐久性については課題が残っているが、本研究では将来の電池の耐久性の向上を想定して、電池の耐用年数を自動車の使用年数と同一の 12 年と仮定した。

3.4 普及シナリオ

3.4.1 PHEV の普及シナリオ

3.4.1.1 燃費固定ケース

ここでは、ICV 及び HEV の燃費を固定した場合 (3.2.1.1 節参照) の PHEV 普及パターンを解析する。まず、日本全国の対象車両のうち、一年間で買い替える台数 (新車販売台数) を車種別で保有台数/自動車使用年数と仮定した。さらに、買い換える際に、ICV, HEV, PHEV の三種類の中で最も総コスト (車両価格+割引した燃料費) が小さい自動車を選択すると仮定する。このとき、2030 年に電池単価が 0.5 万円/kWh ケースにおける新車販売に関する PHEV, HEV, ICV の割合を図 3-7 に図示する。

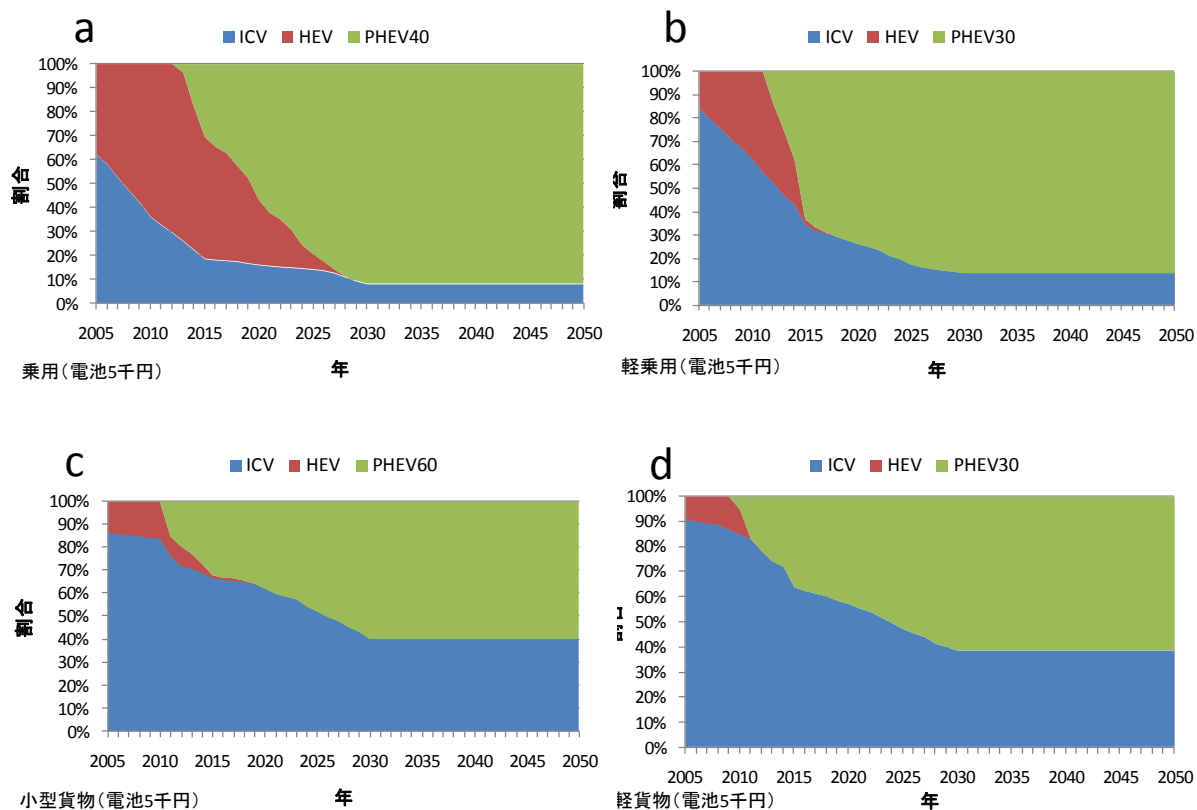
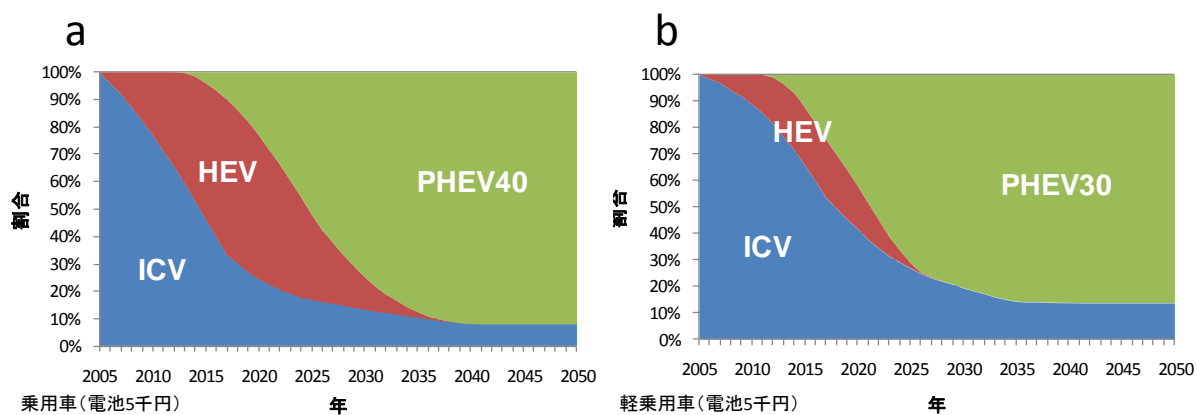


図 3-7 新車販売に関する PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (0.5 万円/kWh ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

どの車種も初期にはガソリン車と HEV だけだが、2010 年(電池単価が 10 万円/kWh)から PHEV の導入が始まる。普通乗用車以外は 2015 年 (電池単価が 3 万円/kWh) 以降には HEV のシェアはほぼ無くなり、PHEV がシェアを伸ばしていく。普通乗用車は 2030 年 (電池単価が 0.5 万円/kWh) あたりまで HEV のシェアが残る。図 3-7 より、貨物車類よりも乗用車類の方に PHEV 代替によるコストメリットがあることがわかる。次に、電池単価が 0.5 万円/kWh ケースにおける自動車ストックに関する PHEV, HEV, ICV の割合を図 3-8 に図示する。



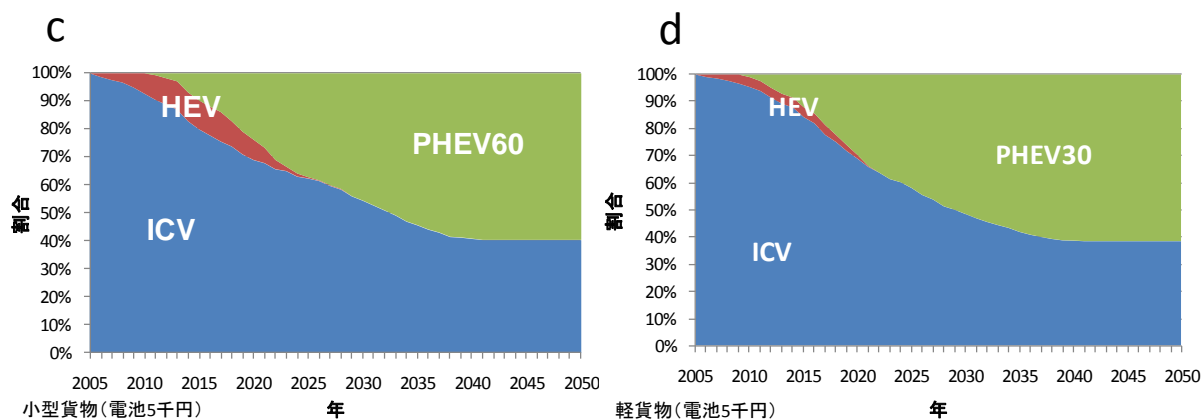
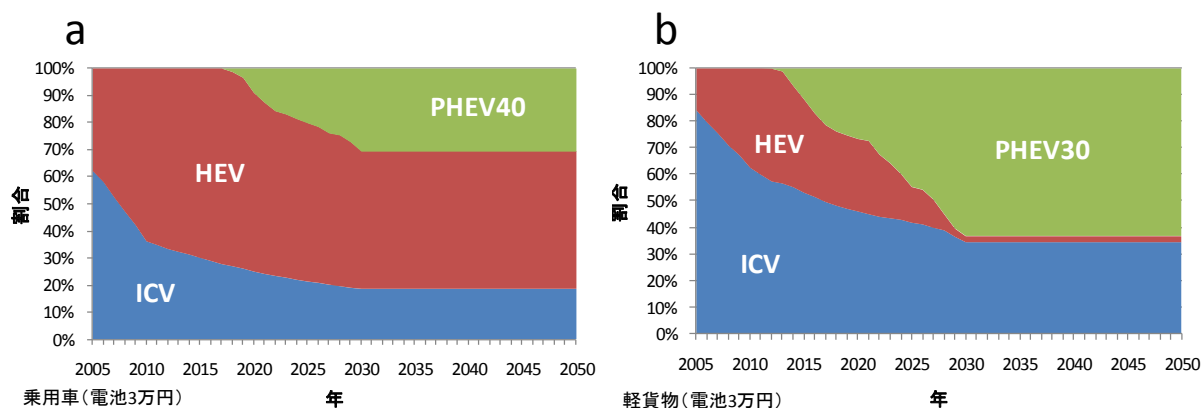


図 3-8 自動車ストックに関する PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (0.5 万円/kWh ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

まず、2010 年以前では長距離走行する出勤車が、PHEV ではなく HEV に買い換える。電池の価格が 10 万円/kWh 以下になると、徐々に PHEV の普及が始まる。電池価格が 0.5 万円/kWh となる 2040 年に、乗用車の場合、PHEV の普及率は 90% に達する。このとき、2030 年には出勤系と業務系の 90% を PHEV が占めるが、娯楽系は 60% にとどまる。一方、貨物車類の場合、2010 年以降に普及が始まるが、2040 年以降も PHEV 普及率は 6 割に留まる。いずれの場合も、2050 年においてもガソリン車がある程度選択されることがわかった。これは、走行距離が短く、燃料費自体が少ない自動車（主に娯楽車）は、HEV のモーターや制御系等のコストを燃料費削減で回収できないためである。また、貨物車類は乗用車類ほど PHEV が普及しないことがわかる。これは、貨物車類は比較的走行距離が長いために PHEV 代替によるコストメリットがあると考えられるが、HEV のモーターや制御系などのイニシャルコスト増分を燃料費削減で回収できないからである。また、図 3-8 より HEV は乗用車向けに一番メリットがあることがわかる。逆に、PHEV が貨物車類に普及すれば、HEV の経済性の勝算はほとんど無い。同様に、電池単価の推移のうち最も有力視されている電池単価が 3 万円/kWh ケースにおける新車販売と自動車ストックに関する PHEV, HEV, ICV の割合を図 3-9, 3-10 に図示する。



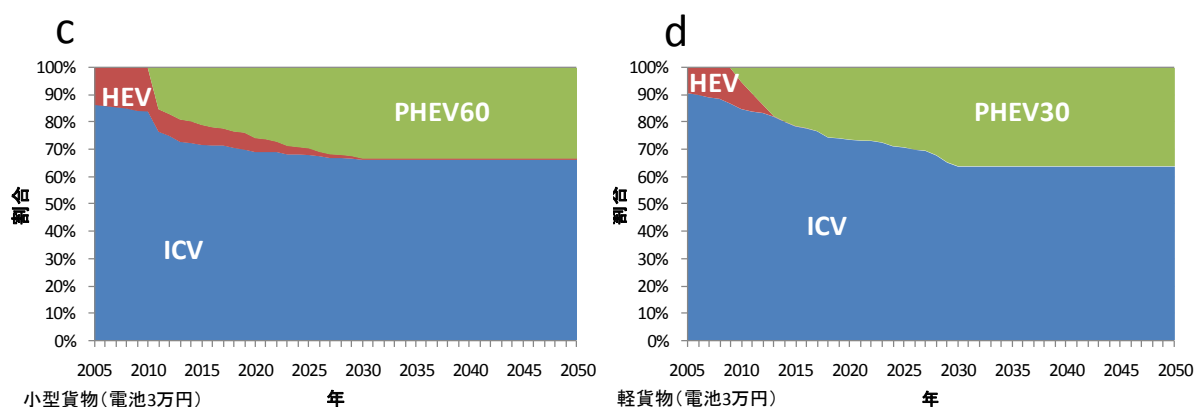


図 3-9 新車販売に関する PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (3 万円/kWh ケース)

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

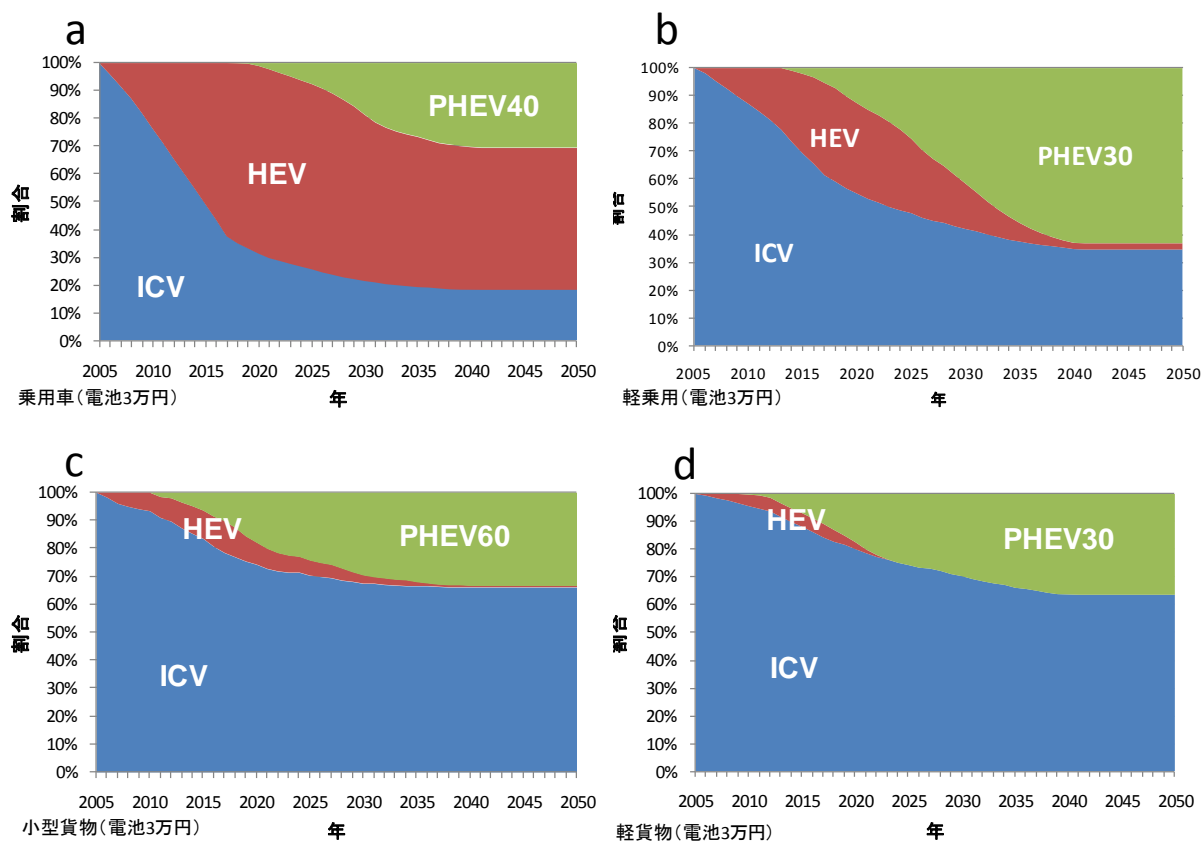


図 3-10 自動車ストックに関する PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (3 万円/kWh ケース)

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

電池単価 0.5 万円/kWh ケースと比較して、電池単価が 2030 年に 3 万円/kWh となるケースでは、PHEV のシェアが減りガソリン車のシェアが増大していることがどの車種においてもいえる。また、2030 年でも HEV がある程度シェアを占めており、特に普通乗用車では PHEV よりも HEV のシェアの方が多くなっていることがわかる (図 3-10)。電池単価が 2030 年に 3 万円/kWh となるケースでは、2030 年に出勤系と業務系の 70% を PHEV が占めるが、娯楽系は 10% にとどまる。

つまり、年間走行距離が長く日平均実働距離が比較的短い出勤車や業務車に PHEV ヘシフトするメリットがある。次に、電池単価の違いによる自動車ストックの割合の違いを図 3-11 に図示する。

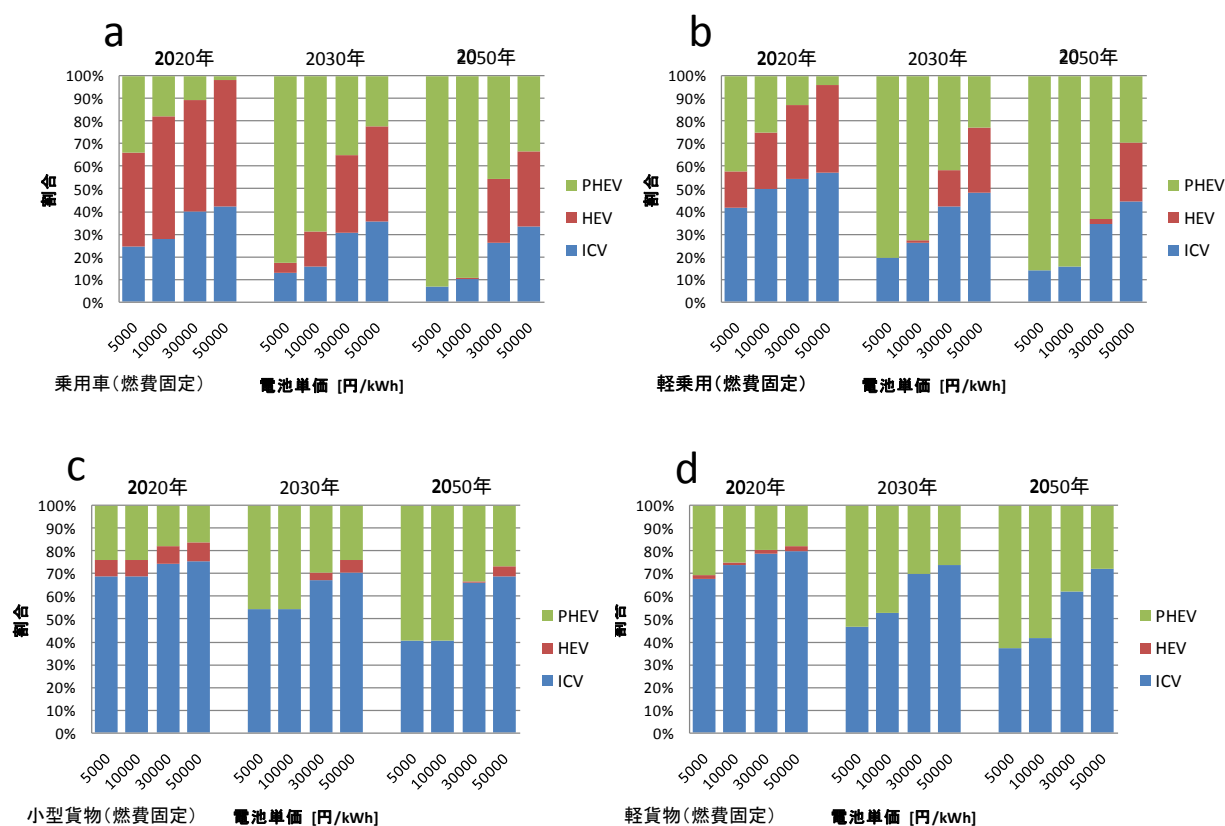


図 3-11 電池単価の違いによる自動車ストックの割合 (燃費固定ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

電池単価の推移の違いで PHEV の普及率が大きく変動することがわかる。このことより、PHEV 普及には今後の電池単価の推移が多大な影響を及ぼすことがいえる。しかし、2030 年に電池単価が 5 万円/kWh となる場合でも、PHEV がどの車種においてもある程度普及することがわかる (図 3-11)。小型貨物車を除く車種については、少ない電池容量をもつ PHEV でもかなりのガソリン消費削減が見込める (2.5.2 節参照) ことから、電池単価 5 万円/kWh ケースでも経済性の観点から、環境負荷低減効果が期待できる。また、概して貨物車類は HEV が普及しないといえる (図 3-11)。ICV や HEV の燃費が現状のまま改善されない場合、各車種にとってどれだけ電池単価を低減すれば PHEV 代替による経済性が見込まれ普及が促進されるかをまとめると、乗用車は 62000 円/kWh、軽乗用車は 85000 円/kWh、小型貨物車と軽貨物車は 95000 円/kWh となる。

3.4.1.2 燃費向上ケース

続いて、ICV 及び HEV の燃費が向上した場合 (3.2.1.2 節参照) の PHEV 普及パターンを解析する。自動車のトータルコストから経済性を評価して PHEV 普及割合を算出する点は燃費固定ケースと同じである。2030 年に電池単価が 0.5 万円/kWh ケースにおける新車販売に関する PHEV, HEV, ICV の割合を図 3-12 に図示する。

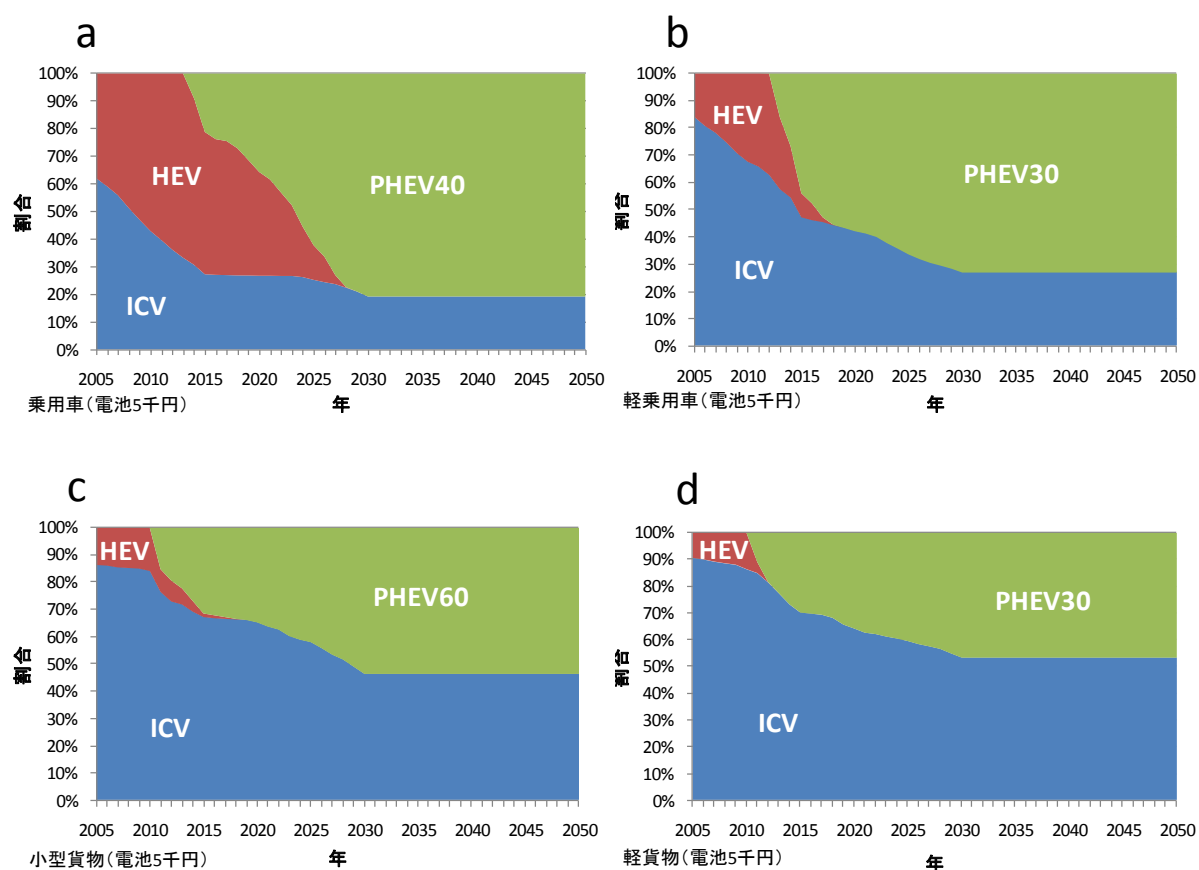
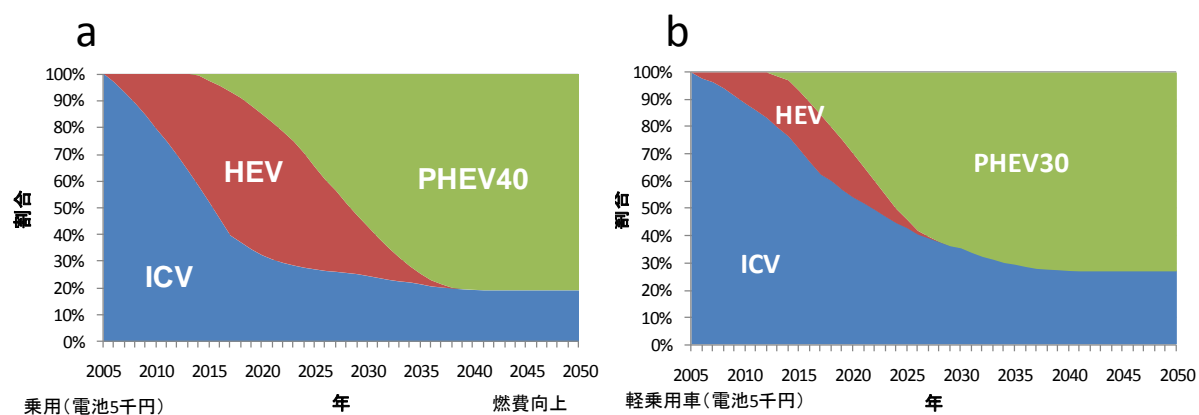


図 3-12 新車販売に関する PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (0.5 万円/kWh ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

ICV と HEV の燃費が向上することにより, PHEV 代替によるコストメリットが低減されるため, どの車種においても燃費固定ケースの場合 (図 3-7) と比較して PHEV 普及割合が減少する。次に, 電池単価が 0.5 万円/kWh ケースにおける自動車ストックに関する PHEV, HEV, ICV の割合を図 3-13 に図示する。



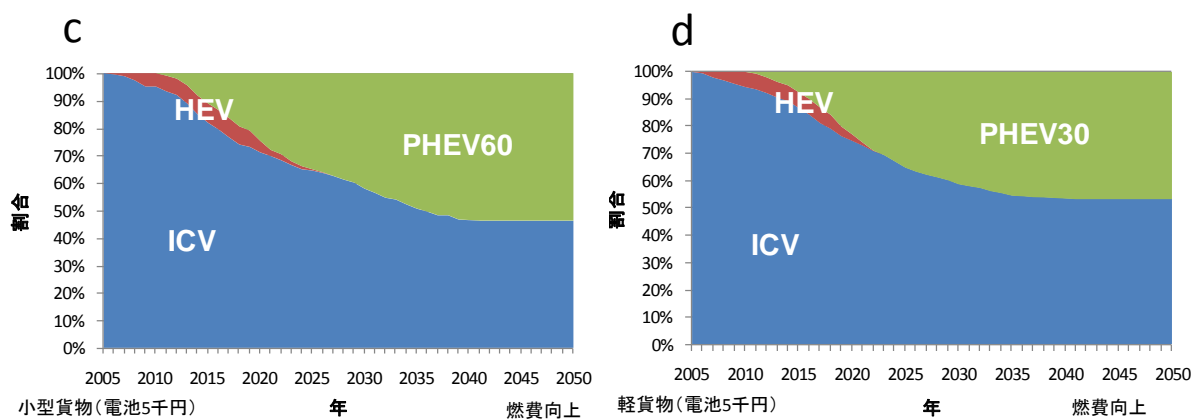
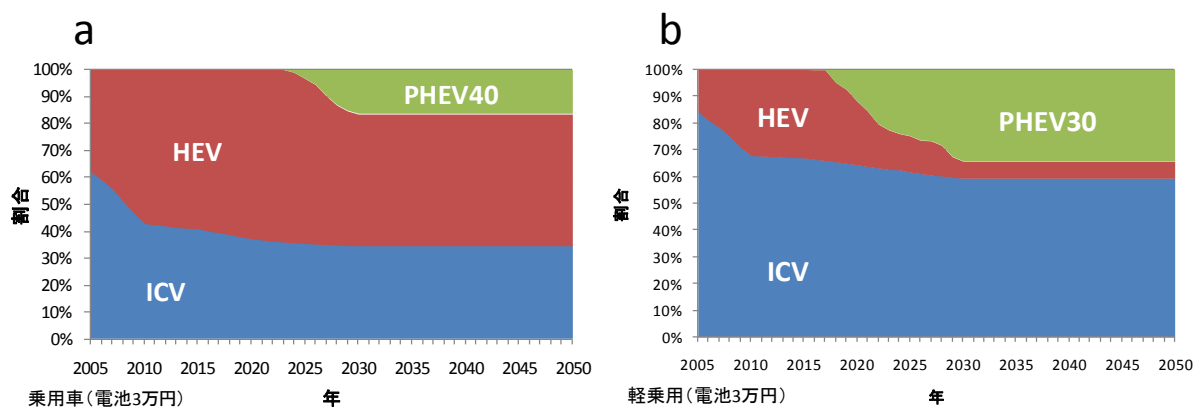


図 3-13 自動車ストックに関する PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (0.5 万円/kWh ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

新車販売と連動して、燃費固定ケース (図 3-8) よりも PHEV が普及しないことがわかる。しかし、それでも乗用車の場合、電池の価格が 10 万円/kWh 以下になる 2010 年以降に、徐々に PHEV の普及が始まり、電池価格が 0.5 万円/kWh となる 2040 年には、PHEV の普及率は 80% に達する。貨物車類に関しても 2010 年以降に普及が始まり、2030 年には PHEV が 40% のシェアを占める。従って、現在普及している ICV や HEV の燃費が向上しても、電池単価が 2030 年の目標値通り低減すると、PHEV は十分普及する可能性があるといえる。同様に、電池単価の推移のうち最も有力視されている電池単価が 3 万円/kWh ケースにおける新車販売と自動車ストックに関する PHEV, HEV, ICV の割合を図 3-14, 3-15 に図示する。また、燃費向上ケースにおける電池単価の違いによる自動車ストックの割合の違いを図 3-16 に図示する。



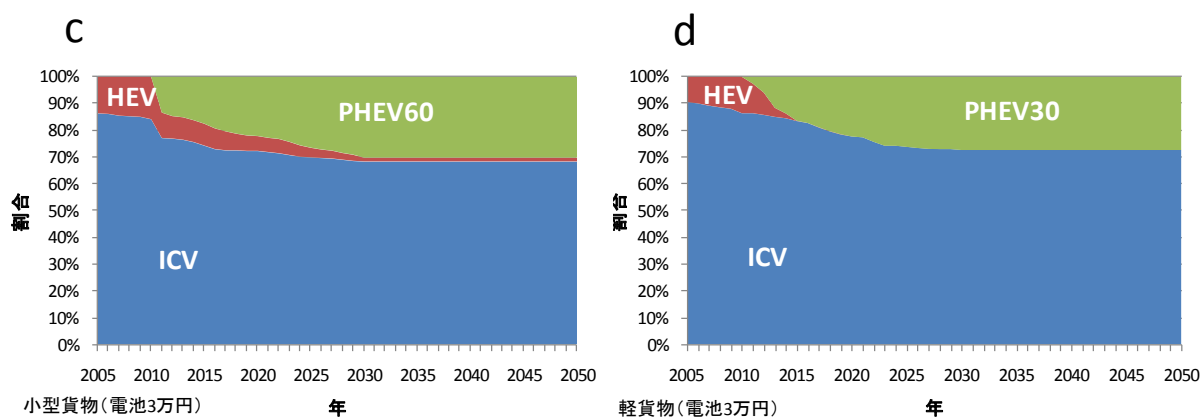


図 3-14 新車販売に関する PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (3 万円/kWh ケース)
 (a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

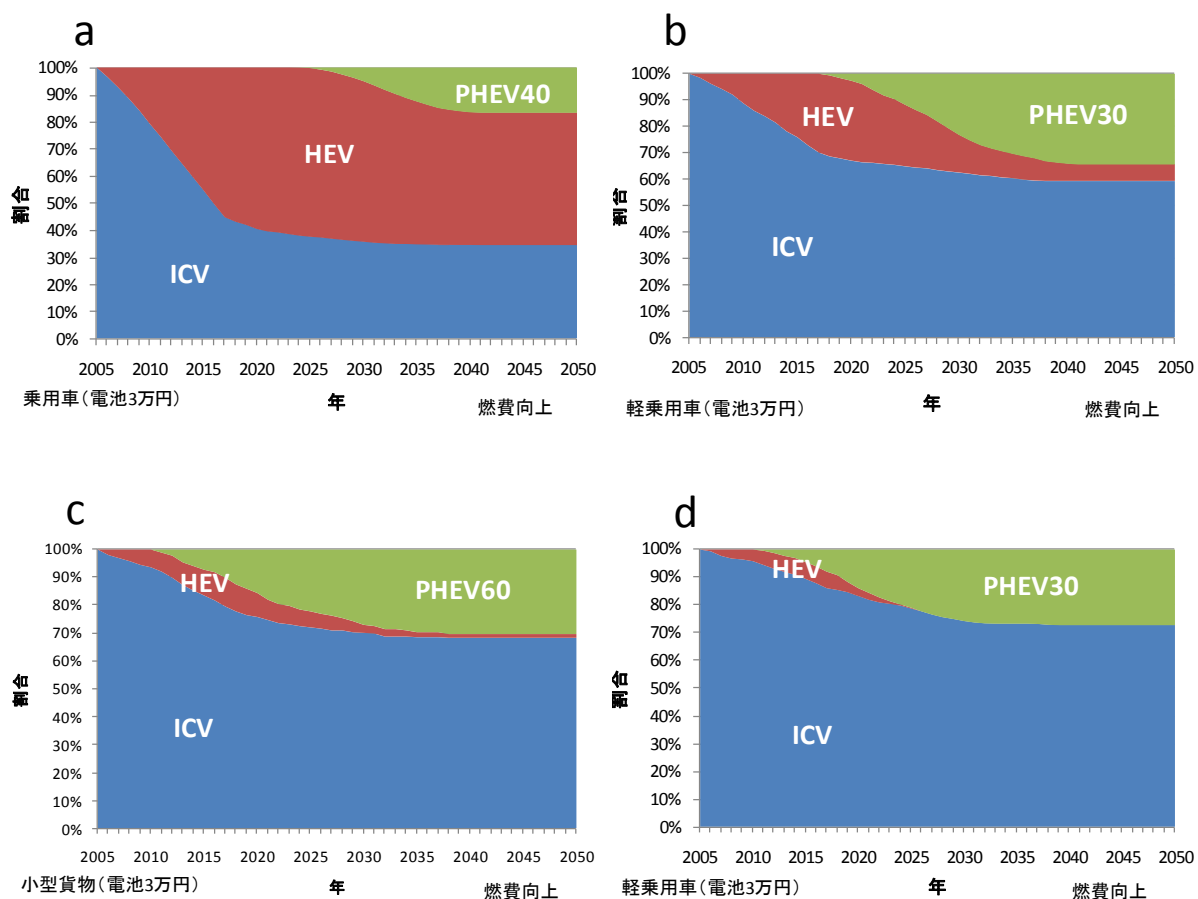


図 3-15 自動車ストックに関する PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (3 万円/kWh ケース)
 (a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

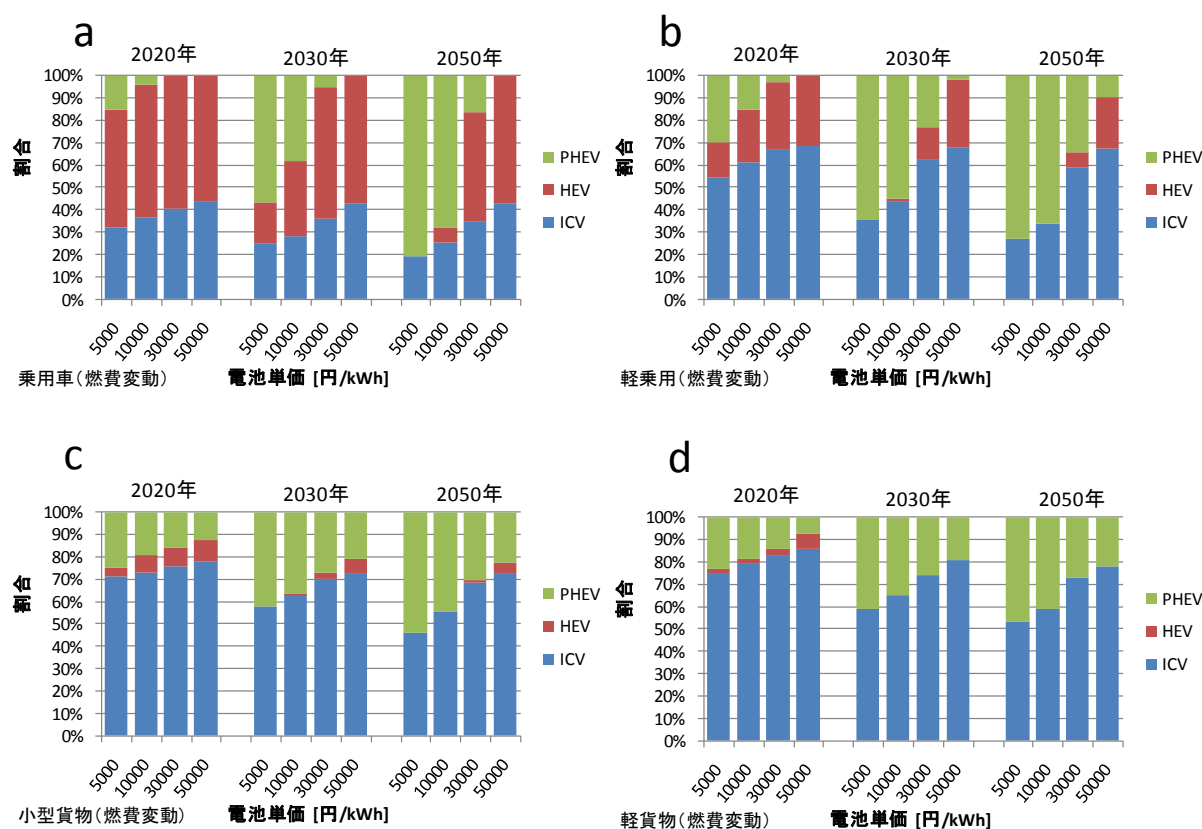


図 3-16 電池単価の違いによる自動車ストックの割合 (燃費向上ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

燃費固定ケース (図 3-11) に比べて、PHEV が普及しないことがいえる。普通乗用車の場合、ICV や HEV の燃費が今後目標通りに向上すれば、電池単価が 5 万円/kWh ケースのとき、PHEV は完全に普及しないことになる。このことから、燃費向上ケースの場合、普通乗用車に PHEV を普及させるためには、電池単価が 2030 年までに 3 万円/kWh 程度まで低減する必要がある。貨物車類では、電池単価が 2030 年に 5 万円/kWh までしか低減しなくても、PHEV の普及がある程度見込まれる。これは、貨物車類の場合、乗用車類よりも走行距離が長いために、PHEV 代替によるコストメリットが長距離走行車両に発生すると考えられる。また、乗用車類では貨物車類に比べて、電池単価の違いによる PHEV 普及割合の変動が激しいことから、乗用車類は電池単価に敏感であるといえる。これは燃費固定ケースの場合にも当てはまる。ICV や HEV の燃費が向上する場合、各車種にとってどれだけ電池単価を低減すれば PHEV 代替による経済性が見込まれ普及が促進されるかをまとめると、乗用車は 43000 円/kWh、軽乗用車は 65000 円/kWh、小型貨物車と軽貨物車は 95000 円/kWh となる。従って、ICV や HEV の燃費が向上すれば、乗用車類はその分より電池単価を低減しなければ、経済性が見込めないことになる。一方、貨物車類の場合、ICV や HEV の燃費向上の有無に関係なく電池単価が 95000 円/kWh まで低減すれば、普及が進むことになる。

次に、EV も含めた普及シナリオについて検討していく。

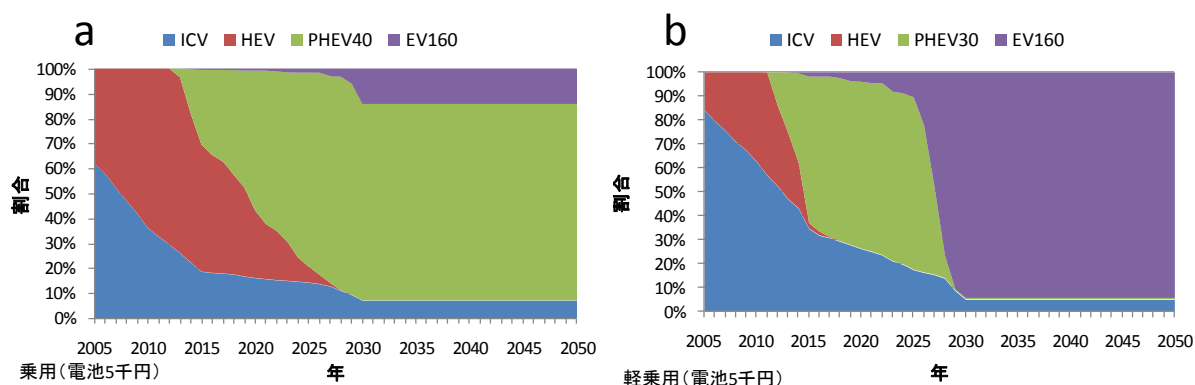
3.4.2 EV・PHEVの普及シナリオ

3.4.2.1 燃費固定ケース

ここでは、ICV及びHEVの燃費を固定した場合（3.2.1.1節参照）のPHEVだけでなくEVも含めた自動車の普及パターンを解析する。PHEVの場合は電気走行可能距離を越えた距離を走ってもその後はガソリンによる走行が可能であるため、航続距離は問題にならない。しかし、EVの場合、電気走行可能距離を超えるまでに充電を必要とするため、長距離を走行するためにはインフラの整備が必要となる。しかし、実際にどのようにインフラの整備が進んでいくのか、またインフラが完全に整備されるのはいつになるのかについては現段階では決定していない。そこで、インフラの整備を考慮しなくても済むように、本研究ではPHEVとEVの両方が普及する場合を検討する際には、インフラが整備されなかった場合について検討する。

まず、インフラが整備されない場合、2章で決定した利用パターンを用いて、1年間の内1日でも電気走行可能距離以上走る日がある人はEVを購入する事がないとする。そして、家に帰ってきてから商用電源を用いて充電を行うとする。この場合、深夜電力による充電が可能なので、電力料金は深夜料金を用いて計算を行う。また、EVを商用電源で充電するためには電力の契約アンペアの変更などの投資が必要と考えられるが、今回は充電時に電気料金以外のコストはかからないとして計算を行っている。

そして、日本全国の対象車両のうち、先ほどのPHEV普及の場合と同様に、一年間で買い替える台数（新車販売台数）を車種別で保有台数/自動車使用年数と仮定した。さらに、買い換える際に、ICV、HEV、PHEV、EVの4種類の中で最も総コスト（車両価格+割引した燃料費）が小さい自動車を選択すると仮定する。ここでは、EVの電気走行可能距離が160km（EV160）の場合について分析する。2030年に電池単価が0.5万円/kWhケースにおける新車販売に関するEV160、PHEV、HEV、ICVの割合を図3-17に図示する。



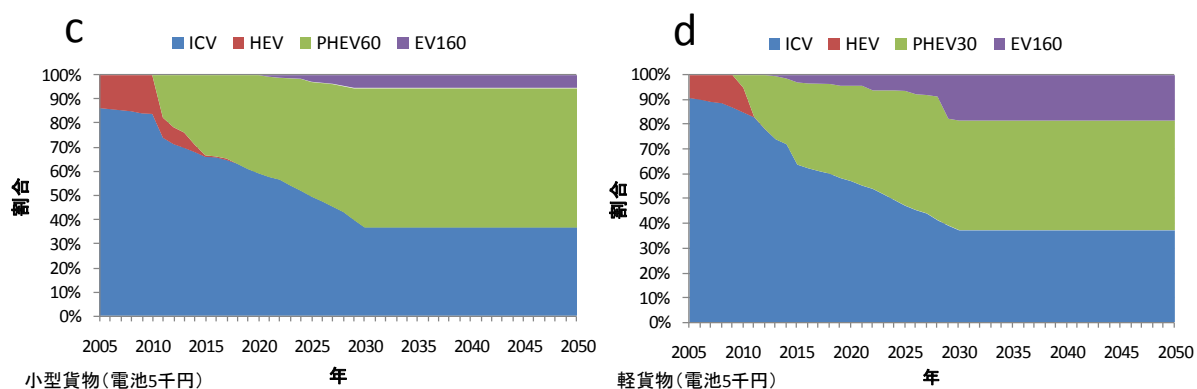


図 3-17 新車販売に関する EV160, PHEV, HEV, ICV の割合 (0.5 万円/kWh ケース)

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

軽乗用車以外は PHEV のシェアは 2050 年まで続いている。軽乗用車は PHEV よりも電気走行可能距離 160km の EV (EV160) の方が経済性があることがわかる。しかし、その他の車種は、EV 代替によるコストメリットは PHEV より下回る結果となった。そして、自動車ストックの割合は図 3-18 のようになる。

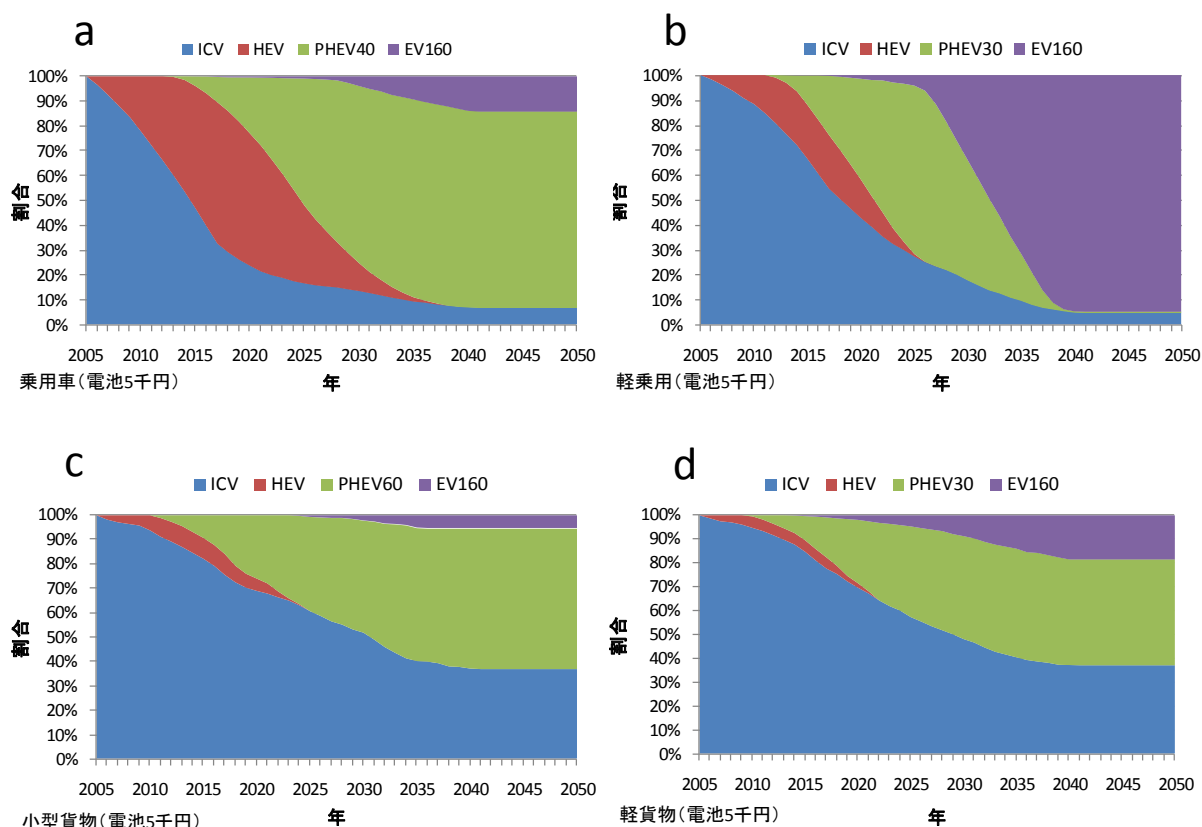


図 3-18 自動車ストックに関する EV160, PHEV, HEV, ICV の割合 (0.5 万円/kWh ケース)

(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

1日に走行可能距離以上走る日がある車は選ばない、つまりインフラが整備されなかった場合、2030年までに電池単価が0.5万円/kWhまで低減すれば、軽乗用車の9割以上は電気走行可能距離が160kmのEVが普及する結果となった。一方、他の車種では2030年以降にEVの普及は進むが、一番シェアを占めているのは2050年までPHEVということになった。同様に、電池単価の推移のうち最も有力視されている電池単価が3万円/kWhケースにおける自動車ストックに関するPHEV、HEV、ICVの割合を分析した。その結果、PHEV、HEV、ICVの割合は図3-10とほぼ等しくなり、軽乗用車を含めてEVはほとんど普及しなかった。このことから、航続距離が160kmの電気自動車が普及するためには2030年に電池単価が3万円/kWh以下まで低減させることが必須条件となる。ICVやHEVの燃費が現状のまま改善されない場合、各車種にとってどれだけ電池単価を低減すればEV160代替による経済性が見込まれ普及が促進されるかをまとめると、乗用車は7000円/kWh、軽乗用車は10000円/kWh、小型貨物車は5000円/kWh、軽貨物車は7000円/kWhとなる。特に、軽乗用車の場合、電池単価が10000円/kWhまで低減すれば、EV160の普及が加速する。

3.4.2.2 燃費向上ケース

ここでは、ICV及びHEVの燃費が向上した場合（3.2.1.2節参照）のPHEVだけでなくEVも含めた自動車の普及パターンを解析する。ここでは、EVの電気走行可能距離が160km（EV160）の場合と電気走行可能距離（航続距離）が500kmまで延伸する場合の2ケースについて分析する。まず、EVの電気走行可能距離が160km（EV160）の場合について、2030年に電池単価が0.5万円/kWhケースにおける新車販売と自動車ストックに関するEV160、PHEV、HEV、ICVの割合を図3-19、3-20に図示する。

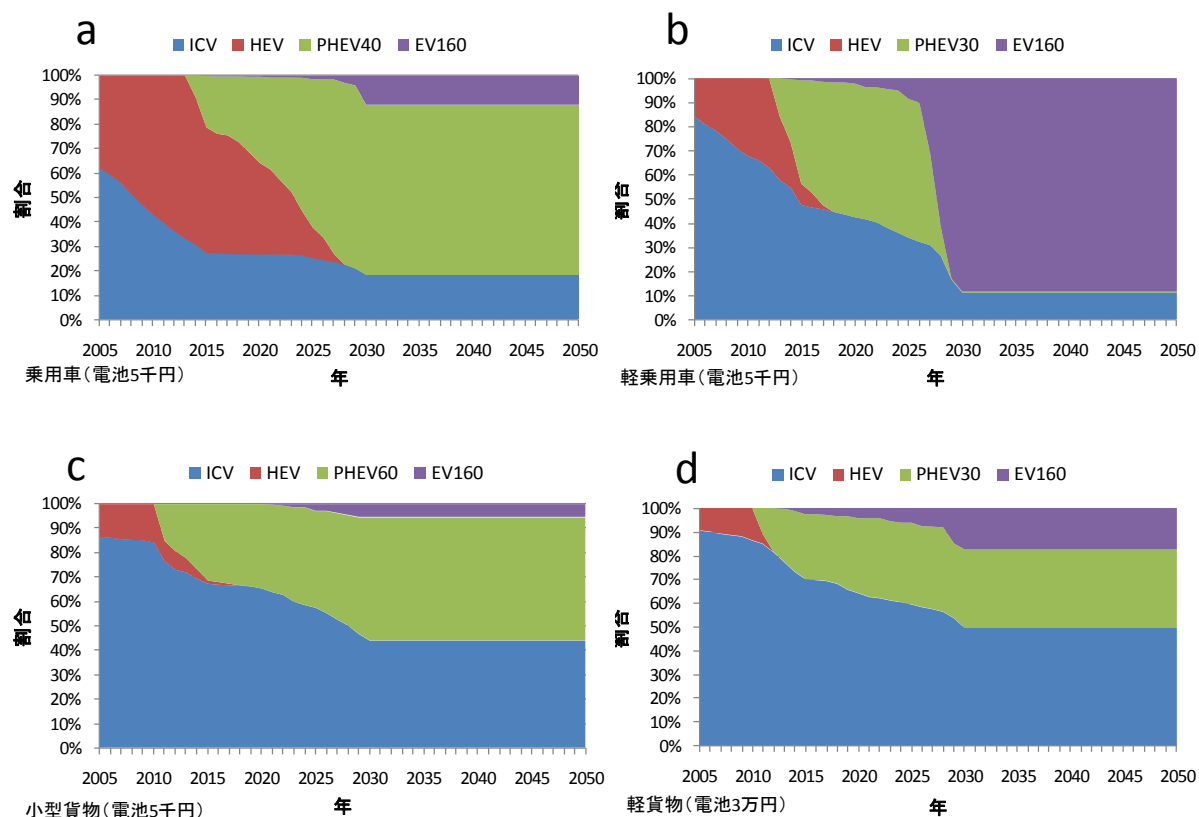


図 3-19 新車販売に関する EV160, PHEV, HEV, ICV の割合 (0.5 万円/kWh ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

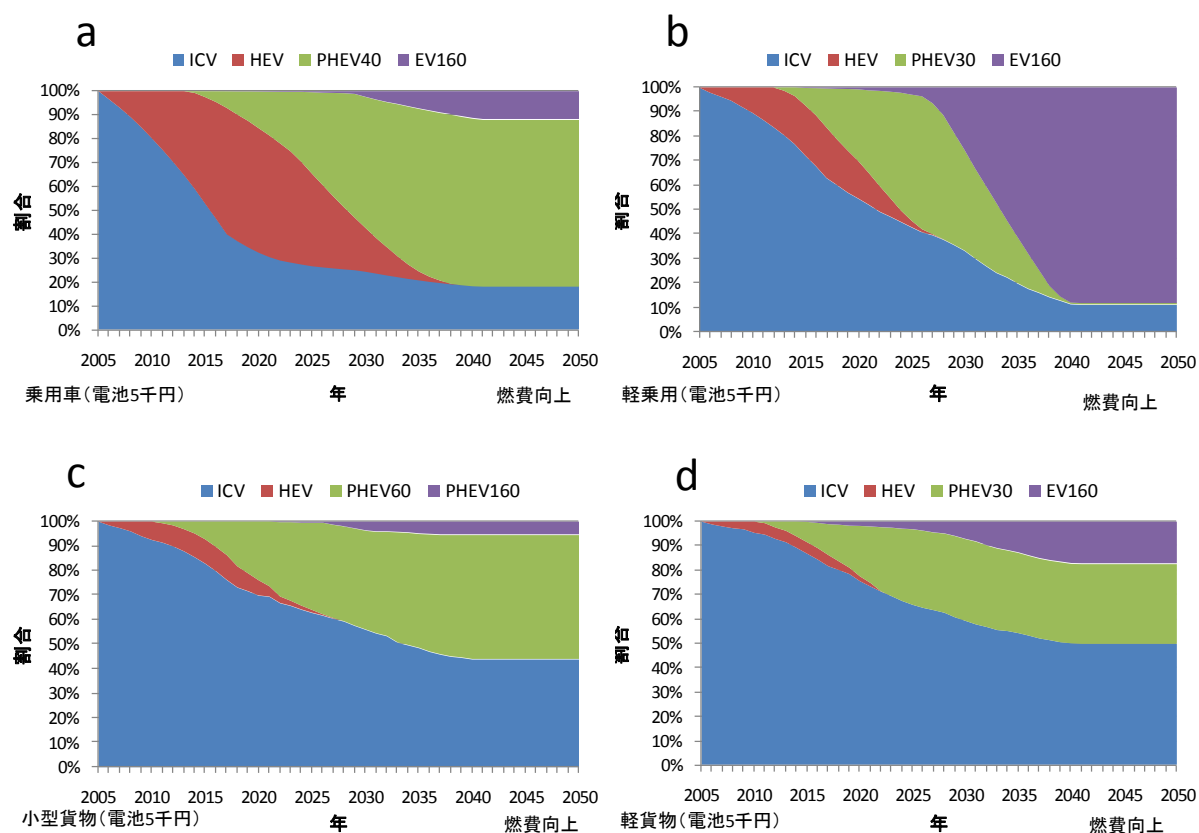


図 3-20 自動車ストックに関する EV160, PHEV, HEV, ICV の割合 (0.5 万円/kWh ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

ICV や HEV の燃費が向上するため、PHEV や EV の普及割合は減少する。それでも燃費固定ケースと同様に電池単価が 2030 年までに 0.5 万円/kWh まで低減すれば、軽乗用車以外はある程度 EV の普及が見込める。それでも、EV は PHEV ほど普及しない結果となった。一方、軽乗用車の場合、電池単価が 0.5 万円/kWh まで低減すれば、初期投資の増分を燃料費削減で大いに回収できるため、ICV や HEV の燃費が向上しても PHEV よりも EV が 8 割以上普及する結果となった。同様に、電池単価の推移のうち最も有力視されている電池単価が 3 万円/kWh ケースにおける自動車ストックに関する PHEV, HEV, ICV の割合を分析した。その結果、PHEV, HEV, ICV の割合は図 3-15 とほぼ等しくなり、軽乗用車を含めて EV はほとんど普及しなかった。これより、特に軽乗用車は EV 普及にあたって、今後の電池単価の推移に一番影響を受けやすいことになる。ICV や HEV の燃費が向上する場合、各車種にとってどれだけ電池単価を低減すれば EV160 代替による経済性が見込まれ普及が促進されるかを分析すると、燃費固定ケースと同じ結果となった。

次に、電気走行可能距離（航続距離）が 500km まで延伸する場合について、2030 年に電池単価が 0.5 万円/kWh ケースにおける自動車ストックに関する EV, PHEV, HEV, ICV の割合を図 3-21 に図示する。

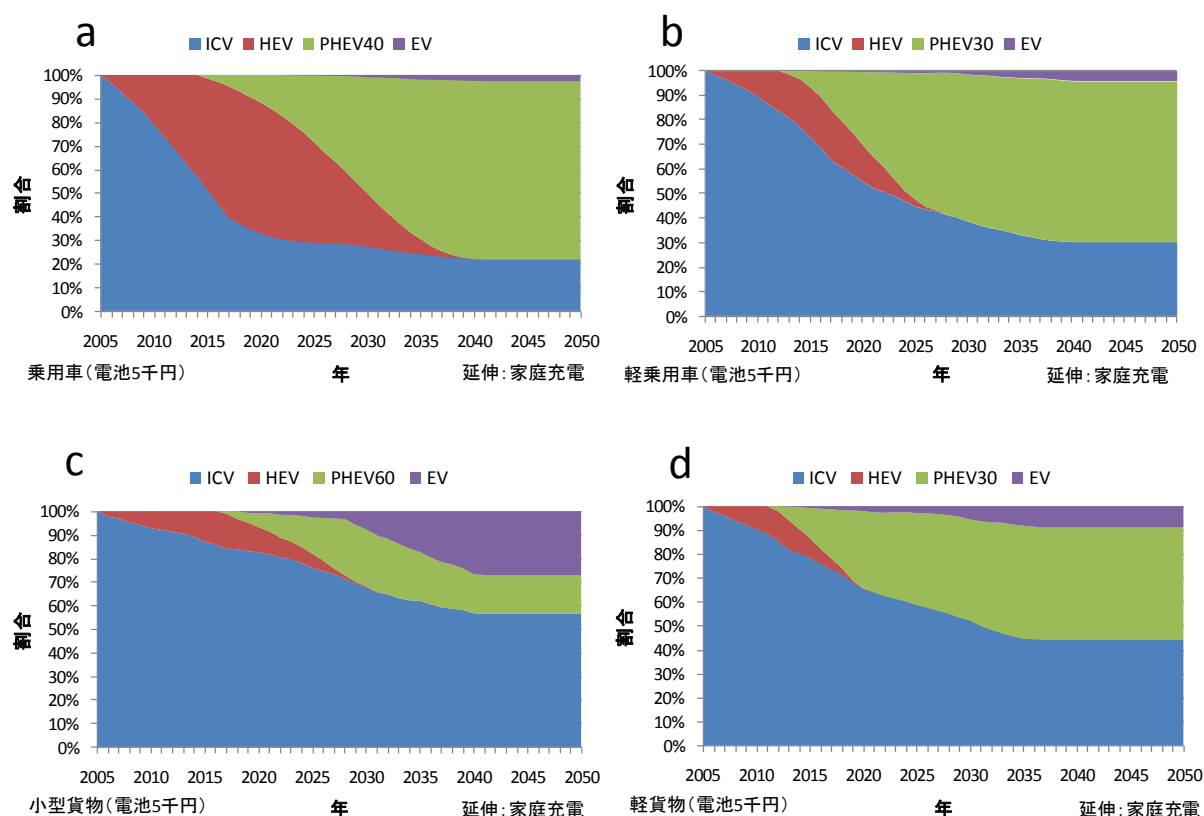


図 3-21 自動車ストックに関する EV, PHEV, HEV, ICV の割合 (0.5 万円/kWh ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

EV の航続距離を搭載電池スペースが可能な限り延伸するケース (3.1 参照) では, 将来電池の性能が向上し, 重量エネルギー密度や容量エネルギー密度が向上するため, コンパクト化が可能であり, その分搭載電池容量が増大し航続距離も延伸するが, 2030 年に電池単価が 0.5 万円/kWh まで低減しても EV の普及は PHEV ほど普及しない。このことから, 軽乗用車で EV を市場へ投入する場合, EV の航続距離を延伸させるのではなく, 現状の 160km のままにした方が EV の普及は促進されるという結果となった。小型貨物車では, ある程度 EV が普及する結果となった。これは, 航続距離を延伸すれば, それだけ EV による燃料費削減効果が大きくなるためであると解釈できる。

しかし, 実際にどのように EV の航続距離が延伸していくのか現段階では明らかではない。そこで, 本研究では PHEV と EV の両方が普及する場合を検討する際には, 現状の航続距離である 160km 電気走行可能な EV160 について検討し, その場合の環境影響について評価する。

3.5 充電パターン

3.5.1 PHEV の充電

PHEV の充電による時系列充電電力量を先の年間利用パターンから算出した。このとき, 一日の充電負荷は平日休日別で年間充電負荷の平均値を用い, 年間を通して一定としている。充電パター

ンの違いがどのように電源構成に影響を与えるかについて検討するため、以下の3種類を考慮する。

1. 帰宅後に即充電(タイマー制御なし)
2. 安価な深夜電力を使用するために午後11時から翌朝7時までの間で充電(タイマー充電)
3. 最も電力需要の少ない時間帯から充電(ボトム充電)

各充電パターンでのPHEVによる平日・休日別の充電電力量を図3-8に対応した2050年で比較した(図3-22)。

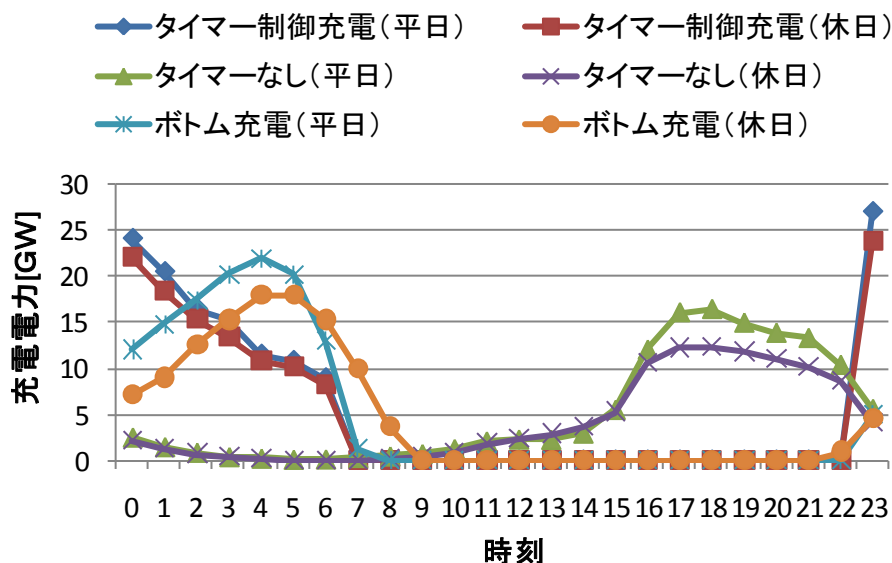


図3-22 PHEVによる1日の充電電力量

帰宅時刻が午後6時前後に偏っていることから、タイマー制御なしの場合、午後6時前後の電力需要が最大になり、深夜電力の利用はほぼ不可能である。このため、本稿では、安価な深夜電力を利用するタイマー充電と、ボトム充電を評価する。ボトム充電は電力日負荷曲線の平準化が最も期待される。また、PHEVが今後普及すると、現在電力会社で各地域の翌日の電力需要を予測している様に、PHEV充電電力量を予測できると思われる。そのため、現在開発中の15分刻みで電力需要を測定できるスマートメーターを用いて、消費者によるPHEVの充電を最も電力需要の少ない時間帯から充電制御できるものと本研究では想定する。しかし、この場合、電力測定機器の追加コストが必要であると思われるが、1ユニット1~2万円程度なので検討結果に影響がないとし、本研究では考慮しないものとする。また、タイマー充電の場合、PHEVは毎日、走行距離に応じた消費電力を商用電源を用いて、各車種8時間以内で充電が完了する電力で満充電まで充電するとする。つまり、普通乗用車は1000W、軽乗用車は540W、軽貨物車は600W、小型貨物車は2150Wで充電する。また、充電効率を9割とし、充電時に10%の損失が生じるとした。図3-22に示した平日のPHEV充電電力量の車種ごとの内訳を図3-23に図示する。

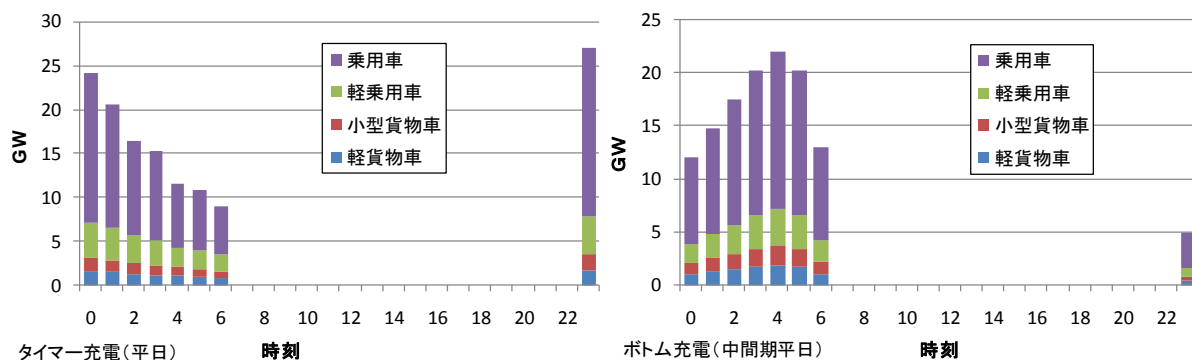


図 3-23 PHEV による平日 1 日の充電電力量 (左：タイマー充電，右：ボトム充電)

3.5.2 EV と PHEV の充電

EV と PHEV の充電による時系列充電電力量を先の年間利用パターンから算出した。このとき、タイマー充電の場合、PHEV 普及時と同様に、各車種 8 時間以内で充電が完了する電力で満充電まで充電するとする。つまり、普通乗用車は 4000W，軽乗用車は 2860W，軽貨物車は 3180W，小型貨物車は 5720W で充電する。このように、EV を家庭用電源で充電を行う場合、電力の契約アンペアの変更などの投資が必要であると考えられるが、今回は急速充電器を含めて充電時に電気料金以外の追加コストはかからないとして計算を行っている。各充電パターンでの EV と PHEV による平日の充電電力量を図 3-18 に対応した 2050 年で比較した(図 3-24)。

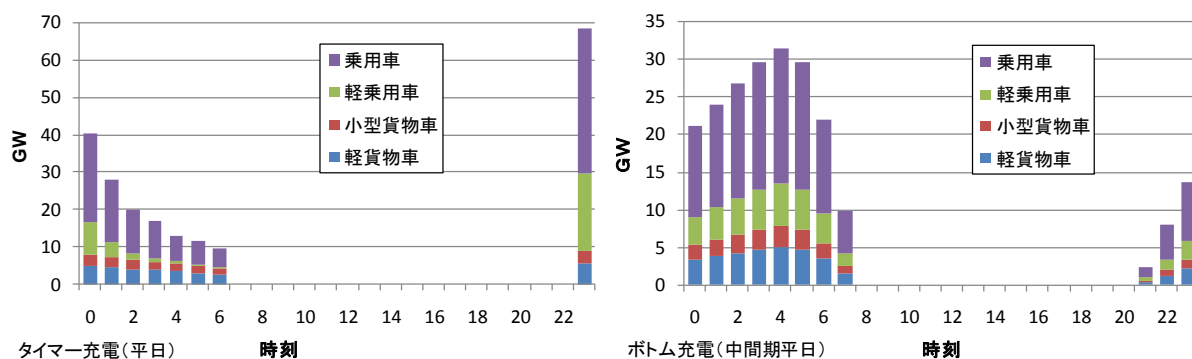


図 3-24 EV・PHEV による平日 1 日の充電電力量 (左：タイマー充電，右：ボトム充電)

PHEV と EV が普及するとき、ボトム充電の場合、現行の深夜時間帯 (午後 11 時から翌朝 7 時) に充電が完了しないことがわかる。しかし、EV・PHEV 普及時の電力料金体制が現状不明であることから、深夜時間帯外でも深夜料金で充電を行うと設定した。これを燃費向上ケースについても同様に算出した。

次の章で、PHEV や EV が普及した場合、2050 年までの電源構成と、運輸部門から CO₂ 排出量がどのように変化するかについて評価していく。

第4章 電源構成モデル

4.1 概略

全国にPHEV・EVが普及したとき、系統電力需要の変化が起こり、将来的に大規模に普及した時には系統運用にも影響を及ぼしうる。そこで、2050年までのPHEV・EVの普及パターン及び充電パターンを考慮した上で電力需要がどう変化するか検討し、検討した系統需要を用いて2050年までの最適電源構成を求める。

4.2 系統需要の変化

4.2.1 電源計画

ICVのみ普及（以下、基準ケース）またはICVとHEVだけが普及（以下、ICV+HEVケース）し、EVやPHEV普及を考慮しない場合の日本全体の電力需要の将来的な伸び予想は、文献[25]を参考に、2020年まで年0.5%の増加、2030年までは年0.1%減衰し、2030年以降は一定と仮定する。このとき、EVやPHEV普及を考慮しない場合（基準ケース）の2050年の電力需要を図4-1に図示する。

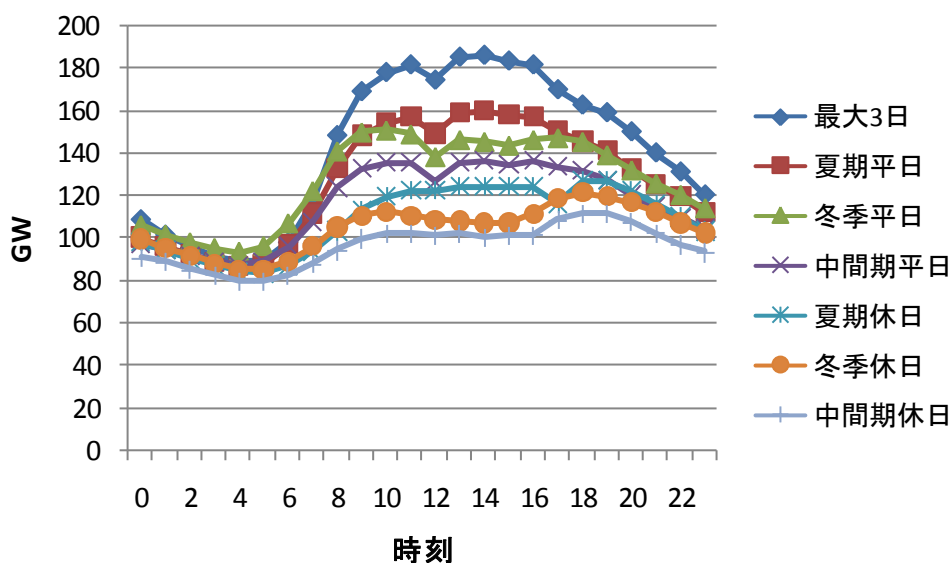


図 4-1 2050 年基準ケースの電力需要

4.2.2 PHEV 普及時の電力需要

仮定したシナリオを基に、最適電源構成モデルに使う需要を作成する。産業や家庭といった他部門の需要は前述の電力需要の伸び率以外には変化しないものとし、PHEVやEVが全く導入されない場合の需要に、図3-23に示した運輸部門からの需要の変化分を加えた。日本全国の2050年のPHEV普及時の電力需要を充電パターン別で図4-2、4-3に図示する。

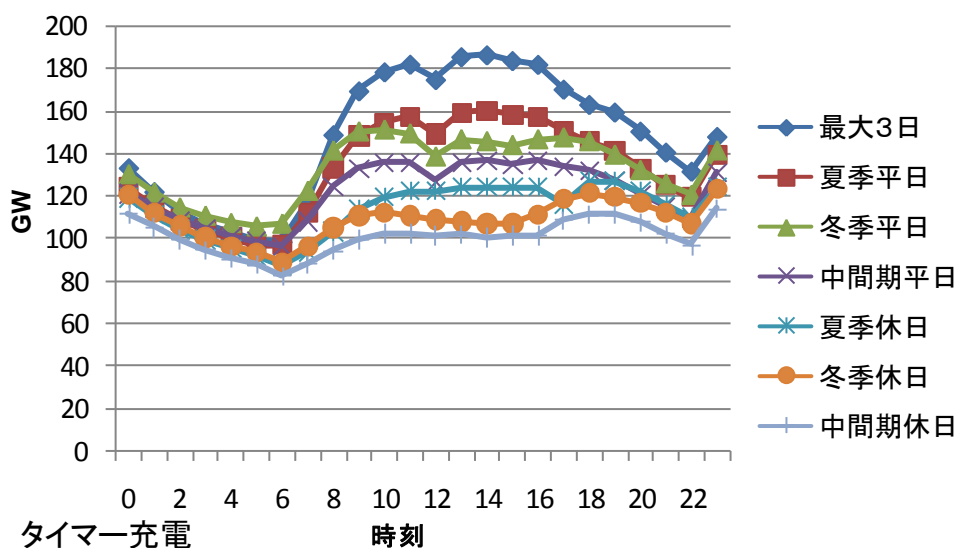


図 4-2 2050 年 PHEV 普及時の電力需要 (タイマー充電)

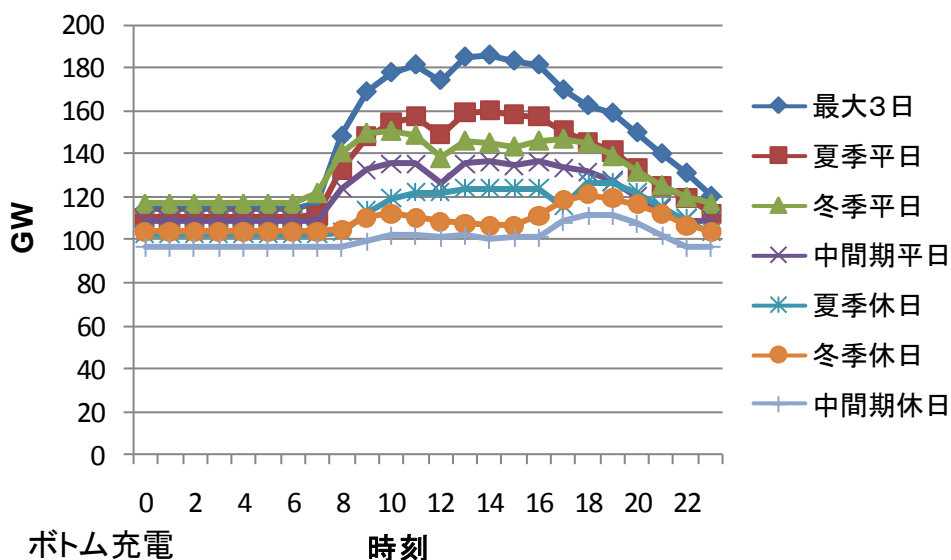


図 4-3 2050 年 PHEV 普及時の電力需要 (ボトム充電)

4.2.3 EV・PHEV 普及時の電力需要

PHEV や EV が全く導入されない場合の需要に、図 3-24 に示した EV・PHEV 普及時の運輸部門からの需要の変化分を加えた。日本全国の 2050 年の EV・PHEV 普及時の電力需要を充電パターン別で図 4-4、4-5 に図示する。

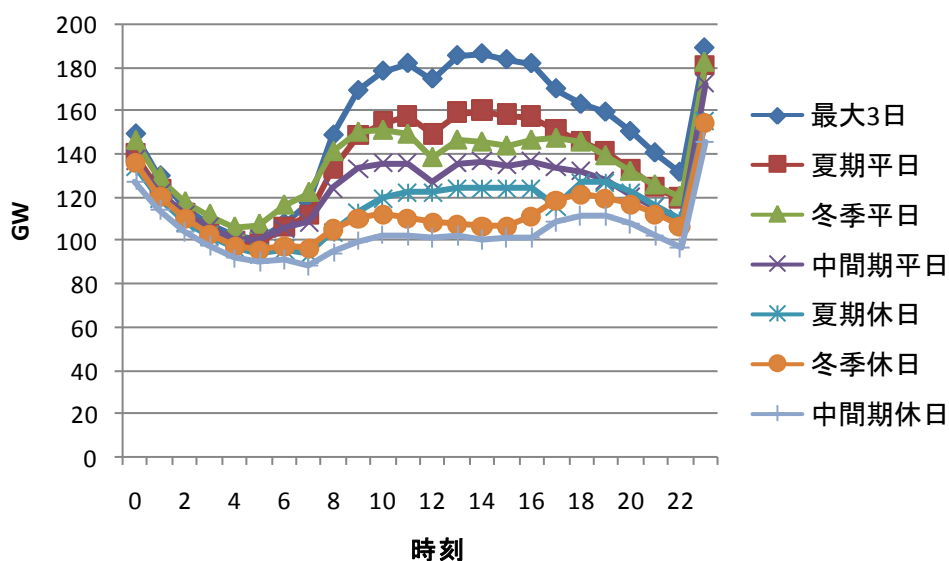


図 4-4 2050 年 EV・PHEV 普及時の電力需要（タイマー充電）

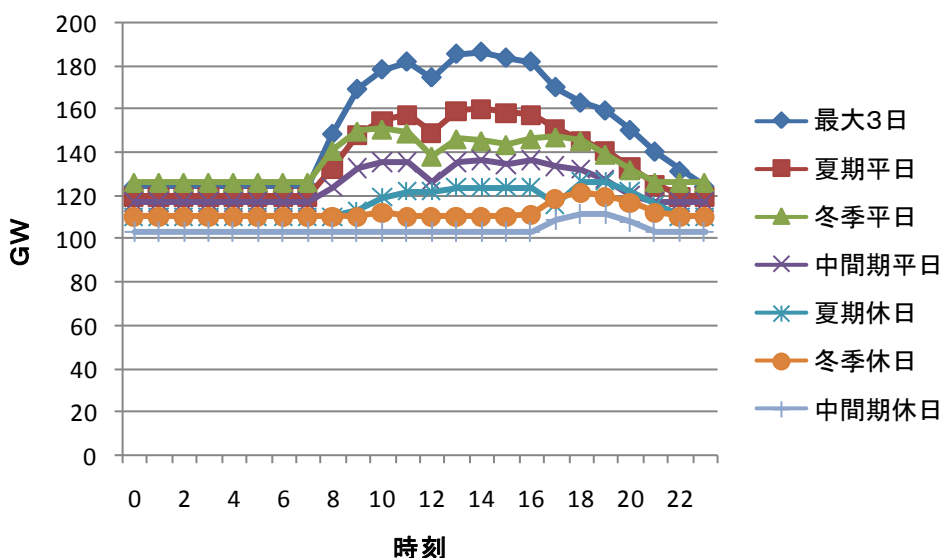


図 4-5 2050 年 EV・PHEV 普及時の電力需要（ボトム充電）

EV と PHEV 普及ケースでタイマー充電の場合（図 4-4），充電開始時刻の 23 時にピーク需要を超える。そのため，変圧器の定格容量を増やすなどの配電システムの追加コストが必要になってくると思われるが，本研究では消費者の自動車関連の総コスト最小化の観点から自動車の普及パターンを求めているため，考慮しないものとする。

4.3 最適電源構成モデル

電源構成モデル[26]は，2005 年から 2050 年まで 5 年おきに計算する多時点モデルであり，原子力，石炭，IGCC(石炭ガス化複合)，LNG，LNG 複合（コンバインドサイクル発電），石油，揚水

の7つを対象電源とし、一般水力を外生値として与える。また、電力需給制約、供給予備力制約、負荷追従制約、原子力・揚水発電設備容量の上限制約などの各種技術的制約条件を設ける。これらの各種の技術的条件下で、外生的に与えられた将来にわたる需要を満たす電気事業者の総発電費用(電源設備の設備費と燃料費の和)の計画期間内の最小化を通じて、電源設備量や設備の運用を決定する(割引率は5%で現在価値換算)。総発電費用としては、沖縄を除く電気事業者の総費用とする。

計画期間内のコスト最小化を行うことは、電気事業者が各年にコストが最小化されるように電源計画を行うのではなく、ある程度の将来を見通して電気事業者が現在から将来までのコストを最小化するように電源計画を策定することに相当する。

このモデルを用いれば、電力需要シナリオ、燃料価格シナリオなどを与えれば、計画期間における電源構成、運用パターン、コスト、CO₂排出量を決定することが可能である。

以下、各種制約式を載せる。

目的関数

$$TC = \sum_t^{nt} disc \sum_i^{plt} (Fix_{t,r,i} + Fuel_{t,r,i}) \quad (4.3.1)$$

発電設備固定費

$$Fix_{t,r,i} = a_i \sum_r^R \gamma_i \cdot YSUM_{r,i,t} \quad (4.3.2)$$

発電設備可変費

$$Fuel_{t,r,i} = b_{i,t} \sum_s^{pm} days_s \sum_r^R \sum_h^{hr} X_{t,r,i,s,h} \quad (4.3.3)$$

需給バランス

$$\sum_i^{plt} X_{t,r,i,s,h} - ST_{t,r,s,h} + \sum_k^R EX_{t,k,r,pm,hr} - \sum_k^R EX_{t,r,k,s,h} = D_{t,r,s,h} \quad (4.3.4)$$

発電設備容量変化

$$YSUM_{t,r,i} = YSUM_{t-1,r,i} + YN_{t,r,i} + YPLAN_{r,i,t} - YN_{t-1L,r,i} \quad (4.3.5)$$

供給予備力制約

$$\sum_r^R \sum_i^{plt} FAC_{i,s} \cdot (1 - \alpha_i) \cdot YSUM_{t,r,i} \geq (1 + \delta) \sum_r^R D_{t,r,s,h} \quad (4.3.6)$$

負荷追従制約

$$EX_{t,r,i,s,h+1} \leq (1 + fup_i) EX_{t,r,i,s,h} \quad (4.3.7)$$

$$EX_{t,r,i,s,h+1} \geq (1 - fdown_i) EX_{t,r,i,s,h} \quad (4.3.8)$$

天然ガス使用量上限

$$\sum_s^{pm} days_s \sum_r^R \sum_h^{hr} (\beta_{LNG} \cdot X_{t,r,i=4,s,h} + \beta_{LNGCC} \cdot X_{t,r,i=5,s,h}) \leq LNGMAX_t \quad (4.3.9)$$

揚水発電所の電力貯蔵制約

$$ST_{t,r,s,h} \leq \sum_{i \neq 7}^{plt} X_{t,r,i,s,h} \quad (4.3.10)$$

揚水発電所の電力貯蔵バランス

$$\sum_h^{hr} X_{t,r,i=7,s,h} = \eta_{pump} \sum_h^{hr} ST_{t,r,s,h} \quad (4.3.11)$$

原子力発電所設備容量上限

$$\sum_r^R YSUM_{t,r,i=1} \leq NUCUP \quad (4.3.12)$$

揚水発電所設備容量上限

$$\sum_r^R YSUM_{t,r,i=7} \leq PUMPCUP \quad (4.3.13)$$

石油火力発電所

$$\sum_r^R YSUM_{t,r,i=6} \leq \sum_r^R YSUM_{t=1,r,i=6} \quad (4.3.14)$$

発電所二酸化炭素排出量

$$ECO_{2r,t,i} = \sum_s^{pm} \sum_h^{hr} X_{t,r,i,s,h} \cdot carb_i \cdot days_s \div cff_i \div eff_i \div (1 - \alpha_i) \quad (4.3.15)$$

二酸化炭素排出量制約

$$\sum_i^{plt} \sum_r^R ECO_{2r,t,i} = CO_2Limit_t \quad (4.3.16)$$

さらに変数・定数の説明を以下に載せる。

表 4-1 モデルの大きさ

	説明
T	一期間の年数(=5)
n_T	シミュレーション期間数(=11)
plt	発電所の種類(=7)(1:原子力 2:石炭 3:IGCC 4:LNG 5:LNG複合 6:石油 7:揚水)
ptn	季節(=7)(1:夏最大三日 2:夏平日 3:冬平日 4:中間平日 5:夏休日 6:冬休日 7:中間休日)
hr	一日の時間(=24)
R	地域(=1)(日本全国)

表 4-2 定数とその説明

disc	割引率	$FAC_{ptn,plt}$	電源利用率
δ	供給予備力	$YPLAN_{R,nt}$	建設予定設備容量
NUCUP	原子力発電所設備容量上限	TL_{plt}	発電所の寿命
PUMPCUR	揚水発電所設備容量上限	α_{plt}	所内率
η_{pump}	揚水ポンプ効率	γ_{plt}	年経費率
efup	送電に関する負荷追従下限	cff_{plt}	燃料発熱量
efdown	送電に関する負荷追従上限	eff_{plt}	発電端熱効率
a_{plt}	建設費	$carb_{plt}$	二酸化炭素排出原単位
$b_{nt,plt}$	燃料費	CO_2Limit_t	二酸化炭素排出量制約
$days_{ptn}$	季節内日数	β_{LNG}	キロワットあたりLNG消費量
$d_{nt,R,hr,ptn}$	電力需要	β_{LNGCC}	キロワットあたりLNG消費量
$fdown_{plt}$	電力負荷追従下限制約率	$LNGMAX_t$	天然ガス使用量上限
fup_{plt}	電力負荷追従上限制約率		

表 4-3 変数とその説明

t	シミュレーション期間
i	発電所の種類
s	季節
h	一日の時間
r	地域
$X_{t,r,i,s,h}$	t期間のr地域のi発電所の季節s・時刻hでの発電量
$ST_{t,r,i,s,h}$	t期間のr地域の揚水発電所の季節s・時刻hでの発電量
$YSUM_{t,r,i}$	t期間のr地域のi発電所での設備容量
$YN_{t,r,i}$	t期間のr地域のi発電所での新設設備容量

以下、使用したデータを載せる[25,27,28]。

表 4-4 発電設備に関する諸データ

	原子力	石炭	IGCC	LNG	LNG複合	石油	揚水
建設単価 [円/kW]	279,000	272,000	272,000	164,000	164,000	269,000	240,000
年経費率 [%]	9.09	9.05	9.05	9.05	9.05	9.05	5.14
償却期間 [年]	16	15	15	15	15	15	40
耐用年数 [年]	60	40	40	40	40	40	50
発電端効率 [%]	100	41.8	48.4	39.6	46.5	39.4	100
所内率 [%]	4.5	7	7	4.5	3	5	0.5
運転維持費 [円/kWh]	1.9	1.5	1.5	1.1	1.1	1.5	2.0
負荷追従率上限 [%/h]	100	120	110	130	130	130	∞
負荷追従率下限 [%/h]	100	80	90	70	70	70	0
燃料発熱量		6354 [kcal/kg]	6354 [kcal/kg]	13019 [kcal/kg]	13019 [kcal/kg]	9126 [kcal/l]	
CO ₂ 排出原単位		2.264 [kg-CO ₂ /kg]	2.264 [kg-CO ₂ /kg]	2.736 [kg-CO ₂ /kg]	2.736 [kg-CO ₂ /kg]	2.889 [kg-CO ₂ /l]	

割引率	0.05
供給予備率	0.1
揚水発電所設備容量上限 [GW]	45
揚水ポンプ効率	0.86
送電に関する負荷追従下限	0.95
送電に関する負荷追従上限	1.05
新設設備容量上限 [GW/期]	25

表 4-5 各電源の設備利用率

発電設備利用率	原子力	石炭	IGCC	LNG	LNG複合	石油	揚水
夏季最大三日	1	0.857	0.931	0.916	0.931	0.901	0.951
夏季平日	0.937	0.79	0.872	0.891	0.872	0.871	0.871
冬季平日	0.932	0.845	0.809	0.803	0.809	0.782	0.782
中間期平日	0.833	0.633	0.811	0.713	0.811	0.715	0.715
夏季休日	0.949	0.8	0.884	0.893	0.884	0.876	0.876
冬季休日	0.916	0.857	0.796	0.913	0.796	0.791	0.791
中間期休日	0.825	0.619	0.817	0.704	0.817	0.714	0.714

表 4-6 燃料費

燃料費	原子力 [円/kWh]	石炭 [円/kg]	IGCC [円/kg]	LNG [円/kg]	LNG複合 [円/kg]	石油 [円/l]
2005	1.58	7.27	7.27	37.26	37.26	39.29
2010	1.58	7.27	7.27	41.36	41.36	42.04
2015	1.58	7.83	7.83	45.25	45.25	44.57
2020	1.58	8.44	8.44	49.50	49.50	47.24
2025	1.58	9.10	9.10	54.16	54.16	50.07
2030	1.58	9.81	9.81	59.25	59.25	53.08
2035	1.58	10.58	10.58	64.82	64.82	56.26
2040	1.58	11.40	11.40	70.91	70.91	59.64
2045	1.58	12.29	12.29	77.58	77.58	63.22
2050	1.58	13.25	13.25	84.87	84.87	67.01
2055	1.58	14.29	14.29	92.85	92.85	71.03

キロワットアワーあたりの燃料費[JPY/kWh]については、化石系燃料を用いる発電所は、表 4-6 に示す燃料単価、燃料発熱量、発電効率(表 4-4 参照)から次式によって算出した(表 4-7) [27]。

$$C_{kWh-i} = \frac{k_{cal}}{eff_i \times HHV_i} \times C_{fuel-i} \quad (4.3.17)$$

C_{kWh-i} : 電源*i*の kWh あたりの燃料費[JPY/kWh]

eff_i : 電源*i*の発電効率

HHV_i : 電源*i*の燃料発熱量[kcal/kg]

k_{cal} : 単位発電量あたりの熱量換算係数 860[kcal/kWh]

C_{fuel-i} : 電源*i*の単位重量あたりの燃料費[JPY/kg]

表 4-7 キロワットアワーあたりの燃料費

燃料費 [円/kWh]	原子力	石炭	IGCC	LNG	LNG複合	石油
2005	1.58	2.35	2.03	6.22	5.29	9.40
2010	1.58	2.35	2.03	6.90	5.88	10.06
2015	1.58	2.54	2.19	7.55	6.43	10.66
2020	1.58	2.73	2.36	8.26	7.03	11.30
2025	1.58	2.95	2.55	9.03	7.69	11.98
2030	1.58	3.18	2.74	9.88	8.42	12.70
2035	1.58	3.43	2.96	10.81	9.21	13.46
2040	1.58	3.69	3.19	11.83	10.07	14.26
2045	1.58	3.98	3.44	12.94	11.02	15.12
2050	1.58	4.29	3.71	14.16	12.06	16.03
2055	1.58	4.63	3.99	15.49	13.19	16.99

表 4-8 設備容量

既設電源容量[千kW]	原子力	石炭	IGCC	LNG	LNG複合	石油	揚水
1950	0	0	0	0	0	0	2.34
1955	0	0	0	0	0	0	0
1960	0	0	0	0	0	265	29.2
1965	0	1116	0	4392	0	1990	485
1970	697	1775	0	6840	0	4934	2833.5
1975	4415	1256	0	6350	0	21036	2500
1980	9674	1175	0	7375	0	6549.15	2574
1985	9569	3625	0	2600	1090	6876.6	3625
1990	6959	2700	0	4000	2585	2450	1800
1995	9711	7000	0	3982	3039	290	5680
2000	3892	9402	0	1959	13504	980.818	4532
2005	825	6553	0	665.8	2960	580	0
計	45742	34602	0	38163.8	23178	45951.57	24061.04

表 4-9 建設計画済み設備容量

計画済み容量[千kW]	原子力	石炭	IGCC	LNG	LNG複合	石油	揚水
2005	2480	2000	0	0	805	0	0
2010	2829.2	2350	0	0	3285	0	4680
2015	12180	2000	0	0	8203	5400	2340
2020	2758	1000	0	7.7	2960	0	0
2025	0		0	400	1440	0	1300
計	20247.2	7350	0	407.7	16693	5400	8320

一般水力に関しては先行研究を参考に、2010年までは0.87%で、2010年以降は0.5%で成長するものとした。今回のシミュレーションでは、2050年までの結果を得るために、11期間、2055年まで計算を行い、終端効果を除いている。

次に、普及シナリオを検討する。

4.4 EV・PHEV 普及シナリオの検討

2050年までのEV・PHEVの普及シナリオによる電力需要の変化を検討し、そこから導き出される系統需要を用いて最適電源構成を求めて、CO₂排出増減量を評価する。まず、EVやPHEVが普及しない場合の電源構成モデルの結果を求める。そして、PHEVやEVがどれだけ電源構成に影響を与えるのかを分析するために、EVやPHEVが普及しない場合の結果と普及する場合とで比較する。

前述の将来の電力需要の伸び予測から（4.2.1節参照）、既存の建設計画が実現される2030年において、原子力の設備容量が64GWとなる。ここで、原子力上限制約として2つのケースを考える。1つ目は、既存の設備計画が実現される2030年以降も、2030年時と同じ64GWで原子力設備容量が一定となるケース（以下、上限64GWケース）。2つ目は、2030年時に原子力容量（64GW）が最も電力需要が少ない時間帯（中間期休日の早朝）の電力需要の80%に当たるため、2030年以降も、この割合（80%）が継続するケース（以下、上限80%ケース）。この場合、系統の負荷周波数制御（LFC）容量および瞬動予備力確保の観点から、電力需要の最も少ない時点の80%に原子力設備容量を制約することは妥当であると考えられる[29]。ただし、上限80%ケースでPHEVによる追加電力需要が無い場合（ICV+HEVケース）、2030年以降の原子力設備容量は64GWであり、電源構成からのCO₂排出量は上限64GWケースと同一である。

このように、ICVとHEVの燃費向上の有無やEV・PHEVの充電パターンの違いだけでなく、原子力上限制約の違いによって、EVやPHEV普及時の電源構成やCO₂排出量にどのように影響を与えるかを評価した。本研究でシミュレーションを行う種類は以下の表4-10のようになる。

表 4-10 シミュレーション種類

		原子力設備制約		合計
		上限64GWケース	上限80%ケース	
普及しない		1種類		1種類
燃費固定	PHEV普及	タイマー充電とボトム充電の2種類	タイマー充電とボトム充電の2種類	4種類
	EV・PHEV普及	タイマー充電とボトム充電の2種類	タイマー充電とボトム充電の2種類	4種類
燃費向上	PHEV普及	タイマー充電とボトム充電の2種類	タイマー充電とボトム充電の2種類	4種類
	EV・PHEV普及	タイマー充電とボトム充電の2種類	タイマー充電とボトム充電の2種類	4種類

その他にEVやPHEVが普及するケースについては、電池単価の低減推移の違いについても検討している。次節で、本研究で行ったシミュレーション結果について述べる。

4.5 シミュレーション結果

4.5.1 基準ケース計算結果

もしも PHEV や EV が普及しなかった場合の 2050 年までの電源構成と CO₂ 排出量について本モデルを用いて計算した。それらの結果の中で、総発電電力量と発電設備容量の変化、二酸化炭素排出量は図 4-6～図 4-8 のようになった。

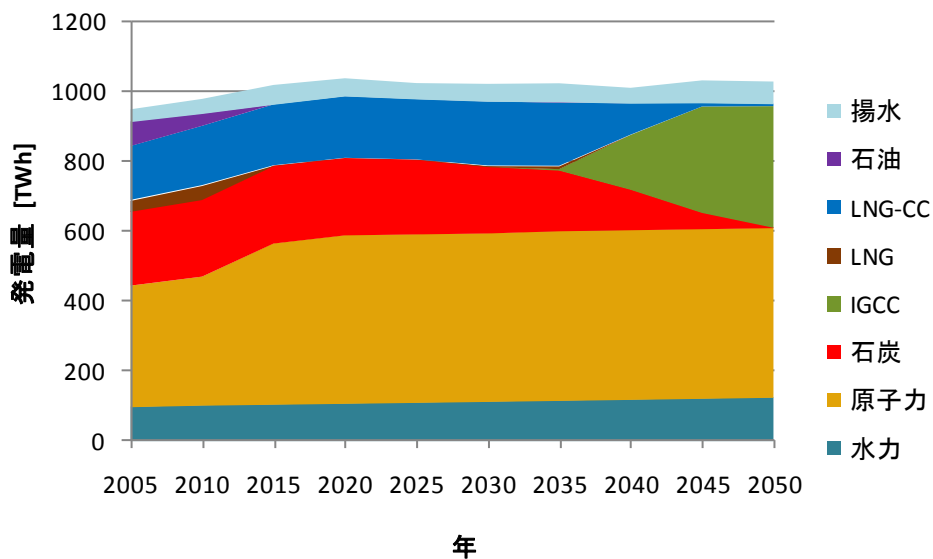


図 4-6 総発電電力量

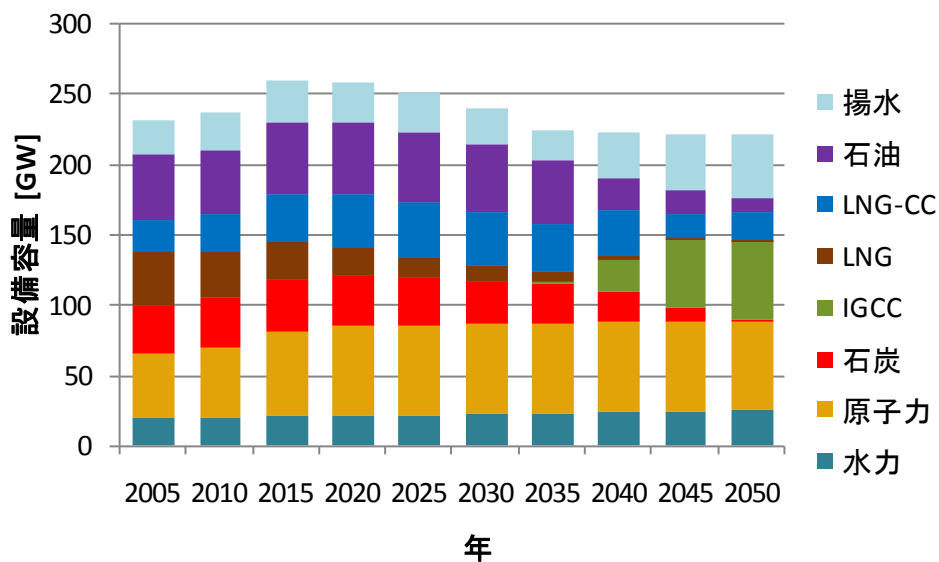


図 4-7 発電設備容量の変化

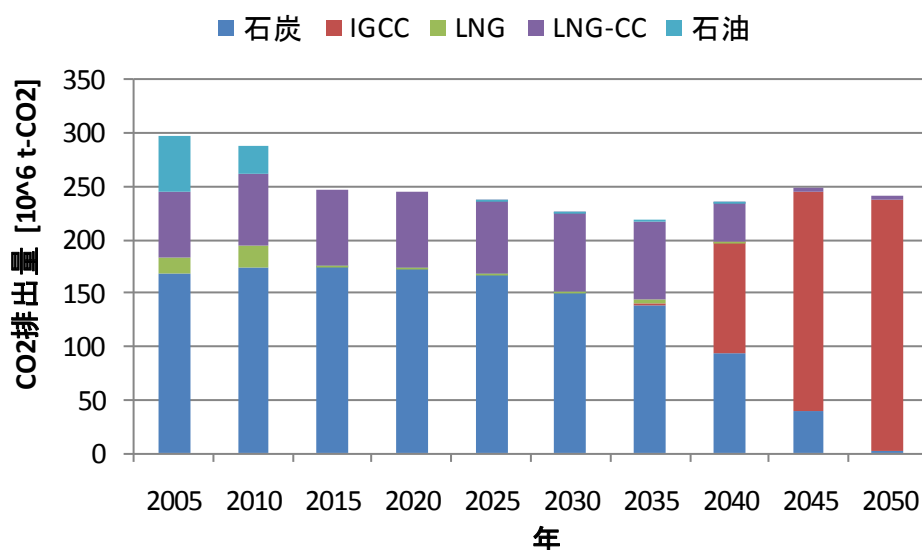


図 4-8 CO₂排出量の推移

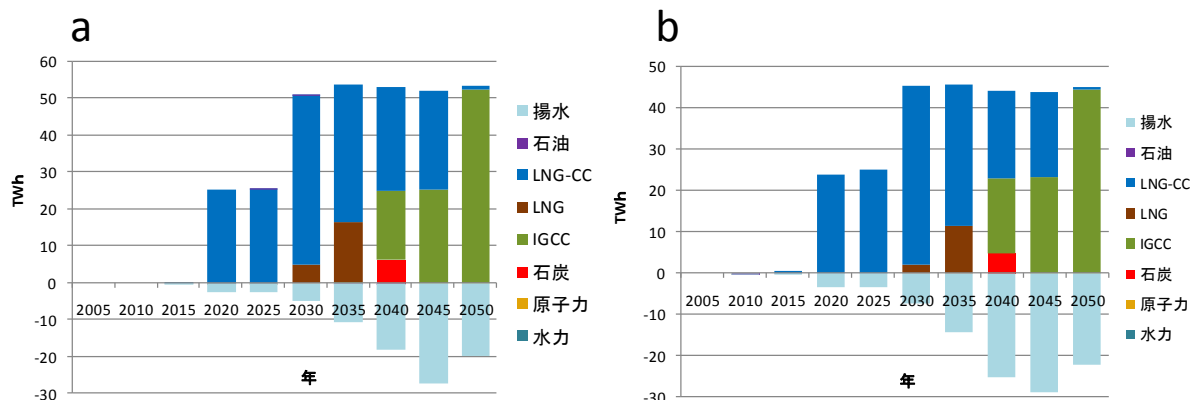
2035年までの火力発電ではLNG複合と石炭による発電が多いが、それ以降LNG複合や石炭による発電は減っていく。その代替りとしてIGCCによる発電が増大する。これは、2030年までの設備計画のため、2030年まではLNG複合による発電量がある程度確保されるが、それ以降は燃料費の安価なIGCCが導入されるためである。CO₂排出量については変動があるものの、2050年の排出量は現状より15%ほど削減される結果になった。

次から、この結果を踏まえてEVやPHEVが普及したときの電源構成の変化やCO₂排出量の増減について評価していく。

4.5.2 PHEV 普及時の結果

4.5.2.1 燃費固定ケース

PHEVのみが普及した場合（EVは販売がされなかった場合）についての2050年までの電源構成とCO₂排出量について本モデルを用いて計算した。それらの結果の中で、まず、ICVやHEVの燃費が固定の場合の総発電電力量の基準ケースとの比較を原子力上限制約と充電パターン別に図4-9に図示する。ただし、ここでは電池単価0.5万円/kWhケースについてのみ言及する。



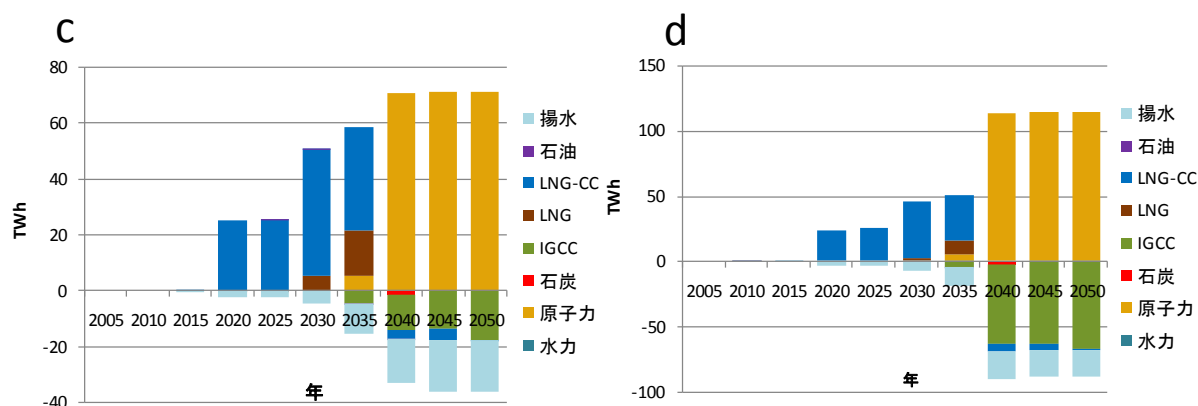
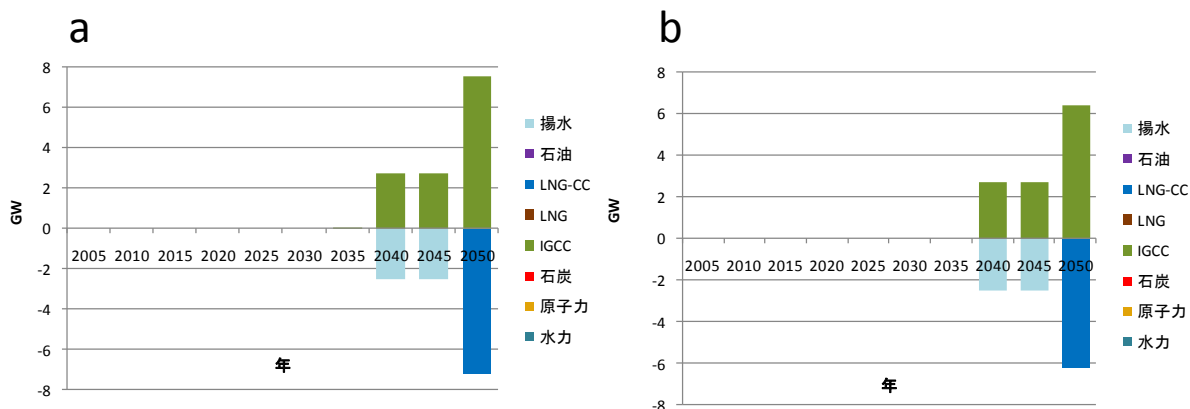


図 4-9 PHEV 普及時の基準ケースとの総発電電力量の比較
(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

図 4-9 より、上限 64GW ケースの場合、両充電パターン共に PHEV 普及に伴う電力需要増加分は至近年では主に LNG および LNG 複合によって賄われ、徐々に IGCC にシフトする。一方、上限 80% ケースの場合、2030 年以降原子力発電量が増加し、その代わりとして、タイマー充電およびボトム充電共に、IGCC が減少した。また、ボトム充電の方がタイマー充電よりも原子力導入量が増大する。これは、ボトム充電の場合、PHEV 普及に伴い、ボトム需要が増加し、原子力導入制約が緩和されるためである。なお、既存の設備計画実現される 2030 年以降に原子力の上限を 80% にしているにも拘わらず、2030 年から原子力が増大しない理由は、既存の設備計画において火力発電（主に LNG 複合）の設備増設計画があるために原子力を新た建設するよりも、既設の火力発電所の設備利用率を向上させる方が全発電事業総費用は抑えられるためである。また、揚水発電が減少する理由は、PHEV 普及に伴い夜間電力需要が増大するため、現在まで負荷率上昇の役目を担っていた揚水発電の動力を PHEV の充電電力需要が代替するためであると考えられる。しかし、それでも揚水発電はある程度昼間のピーク需要を賄う。次に、設備容量の基準ケースとの比較を原子力の上限制約と充電パターン別に図 4-10 に図示する。



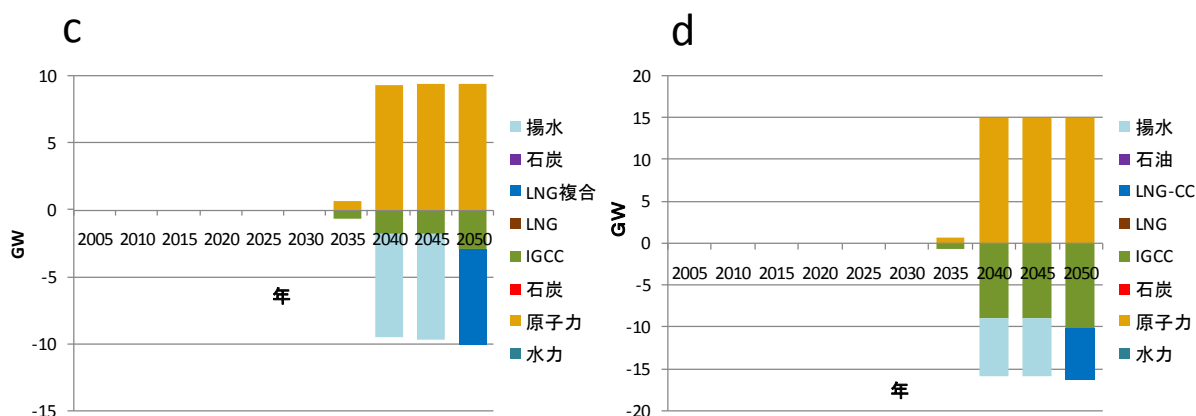
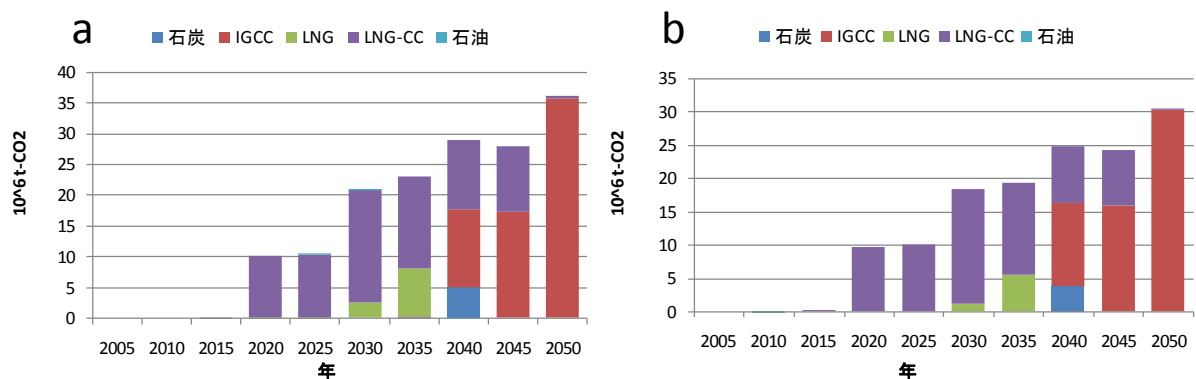


図 4-10 PHEV 普及時の基準ケースとの発電設備容量の比較
(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

2030 年までは既存の設備計画通り発電設備が建設されると設定しているため、2030 年までは PHEV 普及に伴う電力需要増加は設備計画で増設される設備で賄われるため、設備計画以外の新設はどのケースにおいても無い。また、図 4-10 より発電電力量と連動して原子力上限 64GW ケースの場合は 2040 年以降に IGCC が増設され、上限 80% ケースの場合は原子力が増設される。このとき、タイマー充電よりもボトム充電の方が原子力の発電電力量が大幅に増大するため、その分原子力発電所が新設される。2050 年の上限 80% ケースにおける PHEV をタイマー充電した場合の原子力設備容量は約 73GW であり、ボトム充電の場合は約 79GW となる。そして、全ケースにおいて揚水発電は減少することがわかる。次に、CO₂ 排出量の基準ケースとの比較を原子力の上限制約と充電パターン別に図 4-11 に図示する。



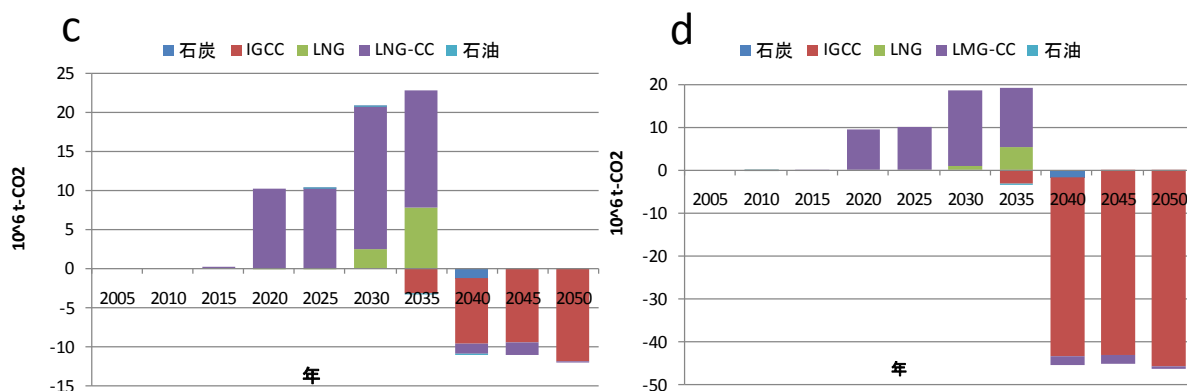


図 4-11 PHEV 普及時の基準ケースとの CO₂ 排出量の比較
(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

原子力上限が 64GW の場合、発電量と連動して、PHEV 普及に伴い至近年では LNG や LNG 複合からの CO₂ 排出量が増加し、徐々に IGCC へとシフトすることがわかる。一方、原子力上限を年間ボトム需要の 80% とする場合、2040 年以降に原子力が増大することもあり、PHEV が普及しても電源からの CO₂ 排出量は大幅に削減されるといえる。次に、PHEV が普及した場合の、2050 年までの自動車による CO₂ 排出量の推移を PHEV が普及した場合としなかった場合で比較した。その結果を図 4-1 に図示する。

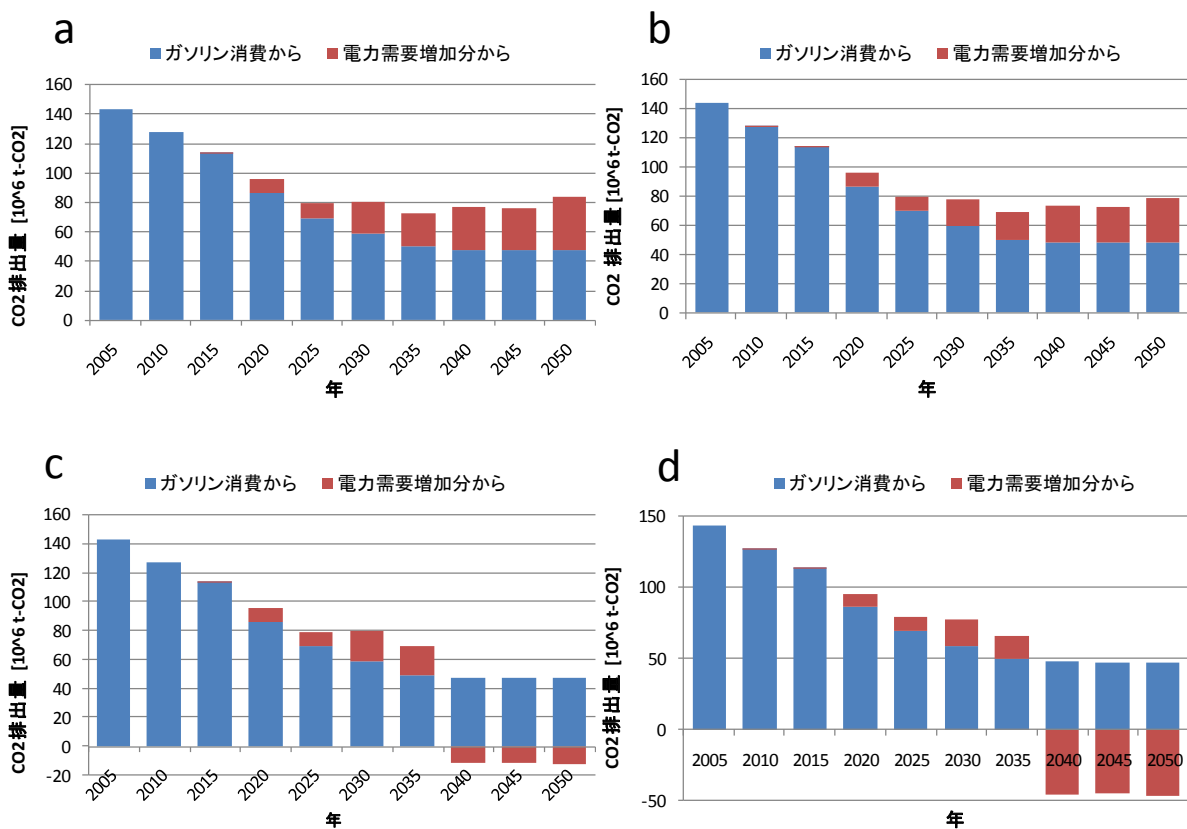


図 4-12 PHEV 導入による正味の CO₂ 排出削減効果

(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

走行動力源である化石燃料からのCO₂排出量はPHEV代替によって図4-12のように年々減少する。次に、2050年のCO₂排出量の比較として、全ての車がガソリン車(ICV)だった場合のCO₂排出量と、3章と同じ方法で総コスト最小化の車両選択を考慮して、ICVとHEVの2種類のみが普及する場合のCO₂排出量とで比較した。その結果を図4-13に図示する。

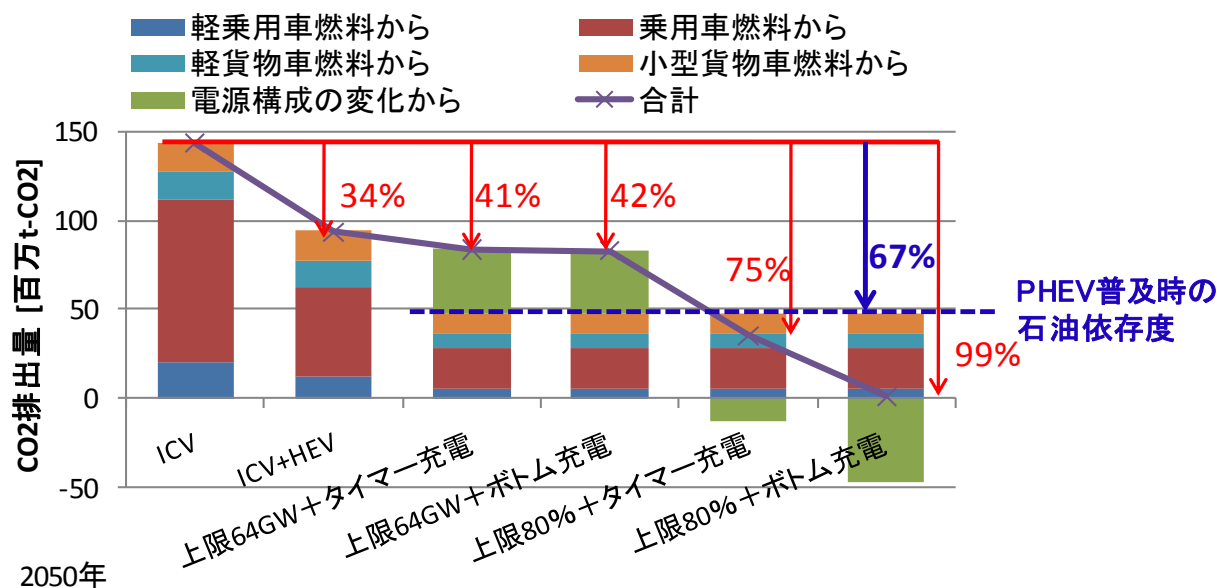


図 4-13 2050 年の PHEV 導入による正味の CO₂ 排出削減効果 (燃費固定ケース)

2050年のCO₂排出量に関して、上限 64GW ケースの場合、タイマー充電およびボトム充電の両方で、自動車からのCO₂排出量は計 3600 万 t-CO₂ が電源構成から追加的に排出される。これは、ICVのみが普及していると想定した2005年度運輸部門からのCO₂排出量(およそ 145Mt-CO₂/yr)の25%に当たる。上限 80%ケースの場合、タイマー充電では、PHEVによる負荷平準化の効果により、電源構成からのCO₂排出量は1200万 t-CO₂(2005年度運輸部門の8%)削減される(図4-11)。このとき、原子力発電の設備容量は2050年に73GWまで達する。一方、ボトム充電の場合、PHEV普及に伴って原子力の導入が加速し、電源構成からのCO₂排出量は約4600万 t-CO₂(2005年度運輸部門の32%)削減できる(図4-11)。このとき、原子力発電の設備容量は2050年に79GWまで達する。

2050年の燃料消費量とCO₂排出量をまとめる。PHEVの普及の無いICV+HEVケースでは、自動車の燃料消費量は4200万kl、燃料からのCO₂排出量は9570万t-CO₂で、それぞれ運輸部門から2005年度比34%削減される(図4-13)。それに対して、上限64GWケースでタイマー充電の場合は、自動車の燃料消費量は2080万klで、2005年度運輸部門と比較して67%削減(ICV+HEVケース比50%削減)される。CO₂排出量は、燃料から4780万t-CO₂、基準電源構成から3600万t-CO₂で、トータル8380万t-CO₂の排出となる。これは2005年度運輸部門と比較して41%削減(ICV+HEVケース比9%削減)となる。上限80%ケースでボトム充電の場合には、自動車の燃料消費

量は 2080 万 kℓで上限 64GW ケースと同一である。CO₂排出量は、2005 年度と比較して、自動車の燃料から 9710 万 t-CO₂の削減（上限 64GW ケースと同一）、基準電源構成から 4600 万 t-CO₂削減で、全体で 2005 年度運輸部門と比較して 14310 万 t-CO₂の削減になる。これは、2005 年度運輸部門と比較して 99%削減（ICV+HEV ケース比 98%削減）となり、運輸部門の大幅な CO₂削減が行われる（図 4-13）。

次に、EV や PHEV が普及していない基準ケースにおける日本全国の発電の様子を示す。図 4-14、4-15 は 2030 年時と 2050 年時の夏期平日と中間期休日の発電の様子を示す。2030 年時では、主に原子力・石炭・一般水力がベース電源を賄い、LNG や LNG 複合、揚水でピーク需要を賄っている。2050 年時では、LNG に代わり燃料費の安価な IGCC が導入され、2030 年までの発電設備建設計画実現後であり、発電事業費最小化の観点から IGCC が導入されるという結果（図 4-6 参照）が反映されている。

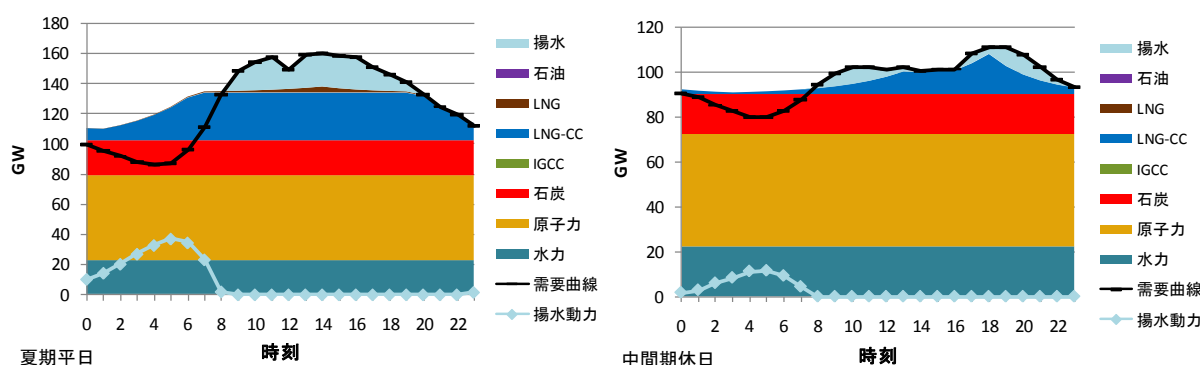


図 4-14 2030 年の基準ケースにおける発電の様子（左：夏期平日，右：中間期休日）

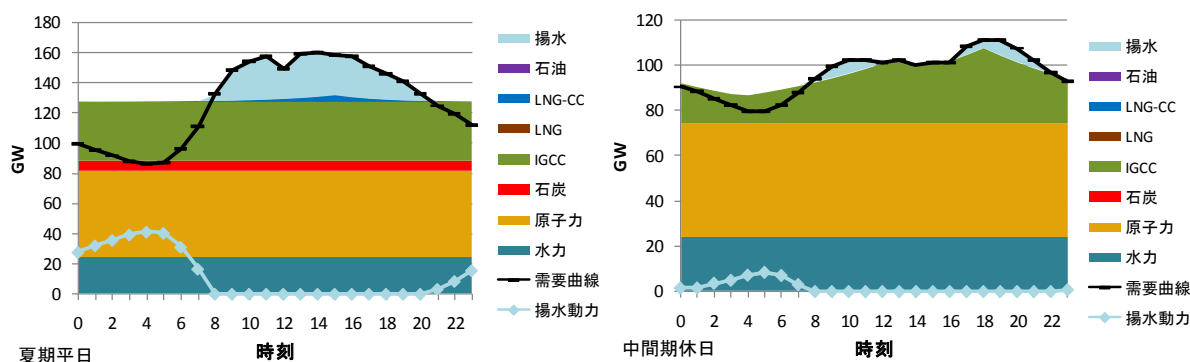


図 4-15 2050 年の基準ケースにおける発電の様子（左：夏期平日，右：中間期休日）

次に、PHEV 普及時の日本全国の発電の様子を示す。図 4-16～4-18 は 2030 年時と 2050 年時の夏期平日と中間期休日の発電の様子を原子力の上限制約別・充電パターン別で示す。

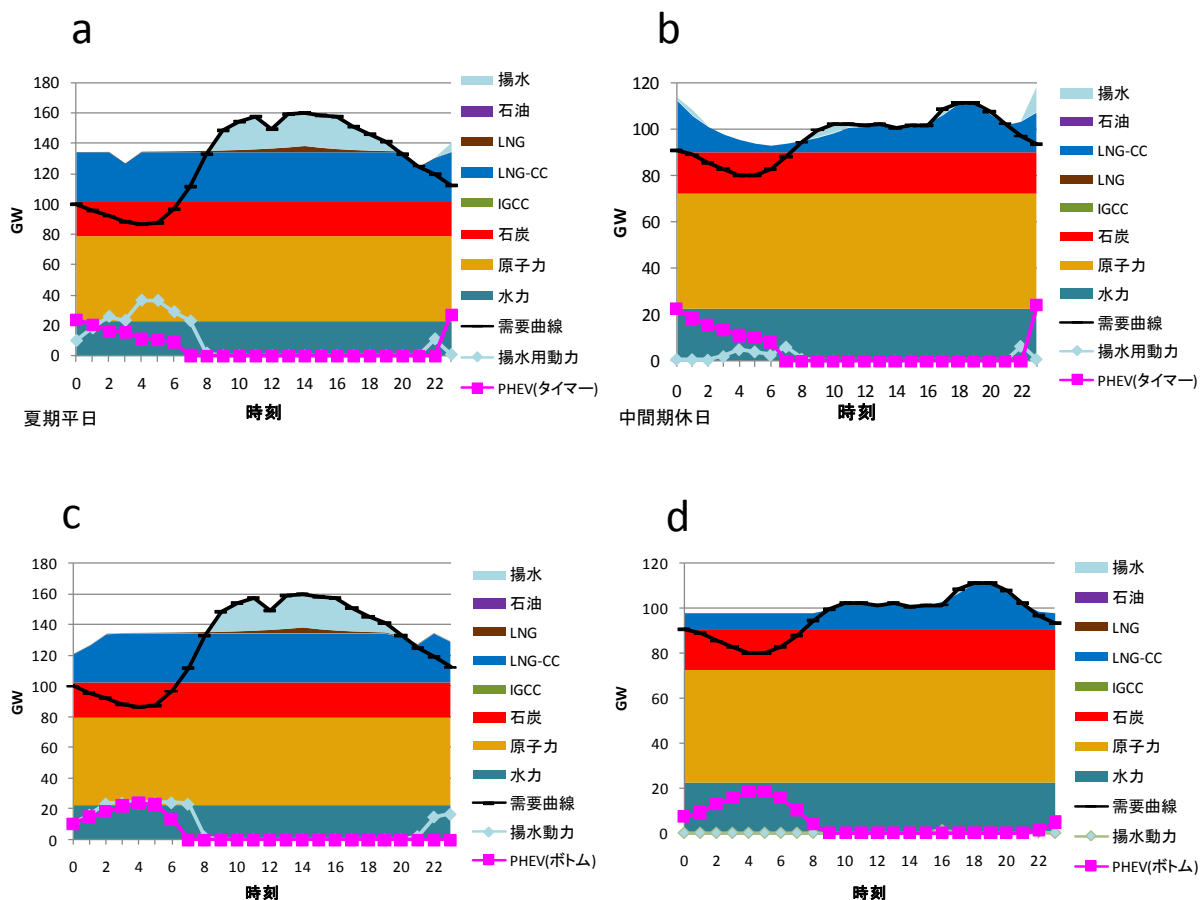
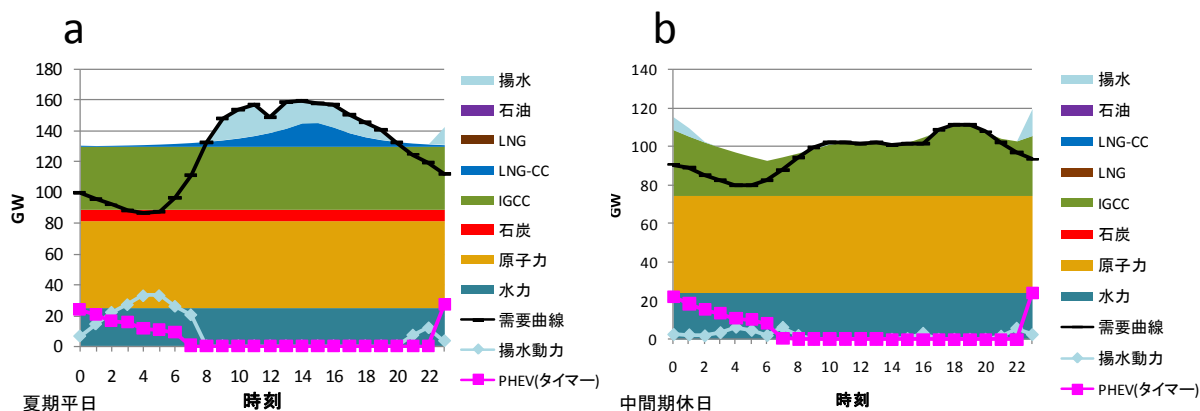


図 4-16 2030 年の PHEV 普及時の発電の様子
(a: タイマー充電の夏期平日, b: タイマー充電の中間期休日,
c: ボトム充電の夏期平日, d: ボトム充電の中間期休日)



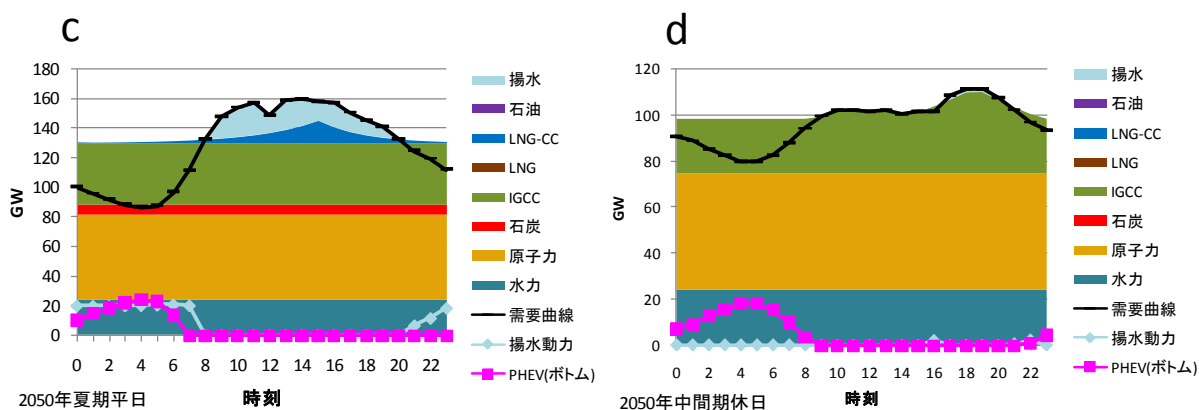


図 4-17 2050 年の PHEV 普及時の上限 64GW ケースにおける発電の様子
(a：タイマー充電の夏期平日，b：タイマー充電の中間期休日，
c：ボトム充電の夏期平日，d：ボトム充電の中間期休日)

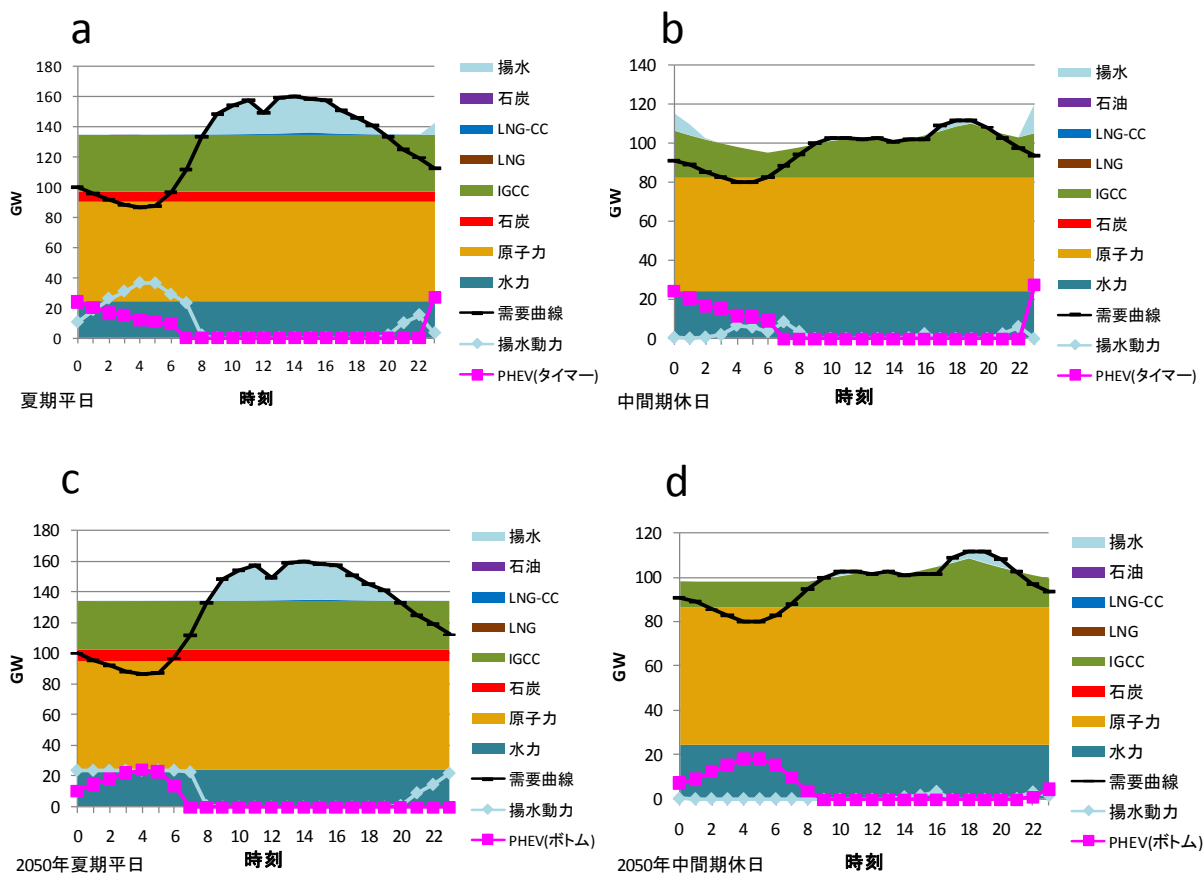


図 4-18 2050 年の PHEV 普及時の上限 80% ケースにおける発電の様子
(a：タイマー充電の夏期平日，b：タイマー充電の中間期休日，
c：ボトム充電の夏期平日，d：ボトム充電の中間期休日)

PHEV が普及する場合の発電の様子（図 4-16）と基準ケース（図 4-14）の比較から 2030 年の PHEV 普及時の電力需要増加分は主に LNG 複合によって賄われることがわかる。また，上限 80%

ケースの場合、PHEV 普及に伴いボトム需要が増加するため、原子力の導入制約緩和により原子力が増大することがわかる（図 4-17、4-18）。また、原子力上限 80%の場合、タイマー充電よりもボトム充電の方が原子力の発電量が増大していることがわかる（図 4-18）。ボトム充電の場合、中間期休日では負荷率を上げる揚水の役割をほぼ PHEV の充電電力量が代替しているといえる。

次に、上限 80%ケースで両充電パターンにおける電力部門と運輸部門の追加費用を ICV+HEV ケースと比較した（図 4-19）。ここで、運輸部門の追加費用は、ガソリン車（ICV）や HEV から PHEV 代替による燃料費削減や PHEV 充電による電気料金（深夜料金）、PHEV 代替による資本費増分を考慮している。ただし、PHEV の充電電力料金は電力部門と運輸部門とで重複するので、合計ではその分を差し引いている。

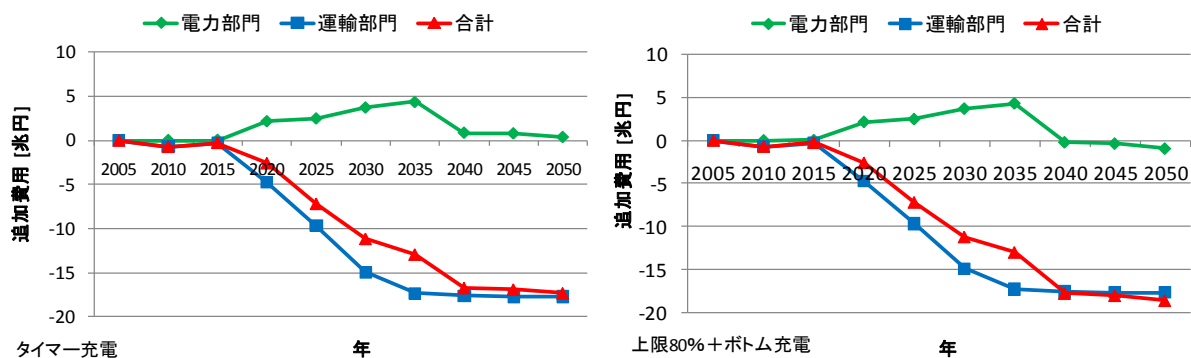


図 4-19 上限 80%ケースにおける電力部門と運輸部門の追加費用
(左：タイマー充電，右：ボトム充電)

運輸部門における追加費用はタイマー充電とボトム充電共に同一である。図 4-19 より、電力部門と比較して運輸部門からの追加費用は大幅にマイナスとなる。これは、車体価格やモーター、制御装置などのコスト増分よりも燃料費削減効果が大きいためである。また、電力部門において、2040 年以降に追加費用が減少する理由は、原子力の導入量が増大し、燃料費が削減されるためであり、ボトム充電の方が原子力の導入量と連動して追加費用は減少している（図 4-9 参照）。これらのことから、PHEV 普及に伴う追加費用がマイナスとなるため、CO₂ 平均削減費用はマイナス値をとる。従って、PHEV 普及により先ほどの環境便益だけでなく経済便益も創出される。また、図 4-19 から、PHEV 普及により ICV+HEV ケースと比較してもおよそ 18 兆円の削減となり、その大半が燃料費削減に由来するものであるため、石油産業に多大な影響を及ぼすことは必至であると考えられる。

次に、電池単価の推移の違いによる 2050 年の CO₂ 排出量や石油依存度、追加費用について分析した。まず、2050 年の CO₂ 排出量と石油依存度の結果について図 4-20 に図示する。

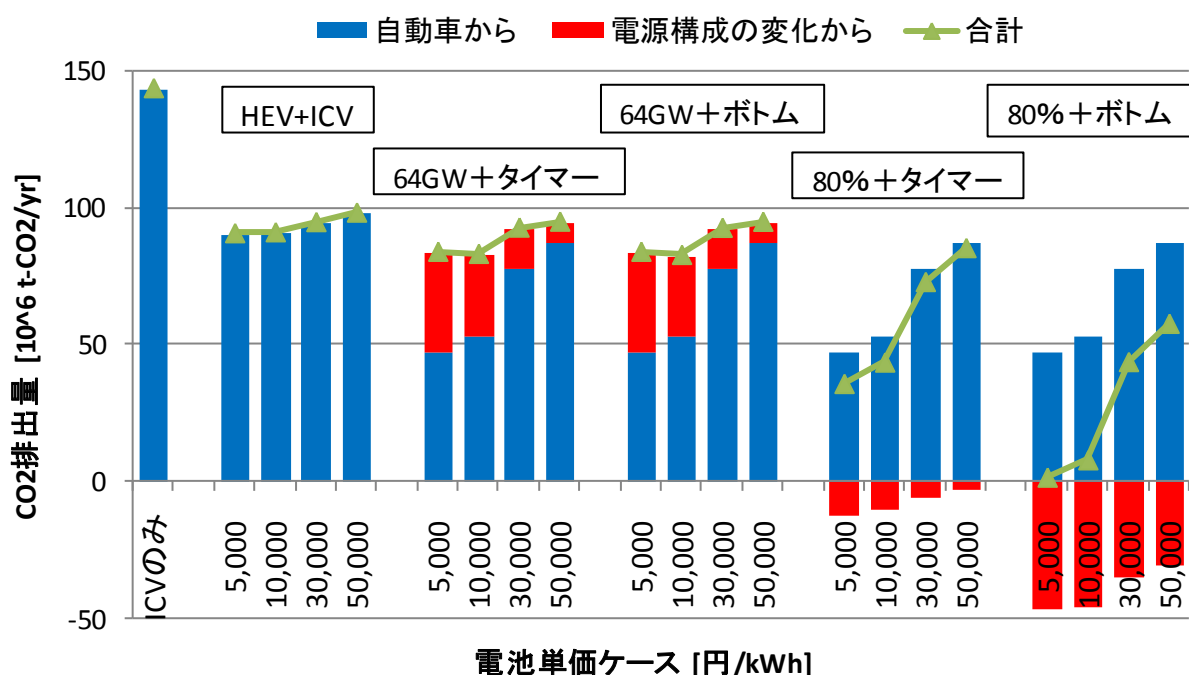


図 4-20 電池単価の推移の違いによる 2050 年の CO₂ 排出量と石油依存度

電池単価の低下に従い CO₂ 排出量と石油依存度は低減する。CO₂ 排出量に関しては、上限 64GW ケースで電池単価が 5 万円/kWh の場合、両充電方式共に 2005 年度運輸部門から 34%削減される。それに対して、電池単価が 0.5 万円/kWh のとき、42%削減される。図 4-33 より、電池単価が 2030 年に 3 万円/kWh までしか低減しなければ、HEV と ICV のみが普及する場合と同等レベルまでしか CO₂ 排出量を削減することができないことがいえる。一方、上限 80%ケースでタイマー充電および電池単価が 5 万円/kWh の場合、2005 年度運輸部門から 41%削減される。それに対して、電池単価が 0.5 万円/kWh のとき、75%削減される。一方、上限 80%ケースでボトム充電および電池単価が 5 万円/kWh の場合、2005 年度運輸部門から 60%削減される。それに対して、電池単価が 0.5 万円/kWh のとき、99%削減される。石油依存度に関しては、PHEV 普及に伴い、電池単価が 5 万円/kWh の場合、運輸部門で 2005 年度比 39%低減する。それに対して、電池単価が 0.5 万円/kWh のとき、67%低減する。このように、PHEV の普及の無い HEV+ICV ケースでは、電池単価の違いによる CO₂ 排出量と石油依存度の差異はそれほど大きくない（図 4-20）。一方、PHEV が普及する場合では、電池単価の違いが CO₂ 排出量と石油依存度に大きく影響を与える（図 4-20）。

続いて、電池単価の推移の違いによる PHEV 普及に伴う追加費用を ICV+HEV ケースと比較した結果を図 4-21 に図示する。ただし、ここでは、PHEV 普及ケースについて、原子力上限 64GW ケースの場合について言及する。また、タイマー充電とボトム充電共にほぼ同じ結果となったのでタイマー充電のみを図示する。

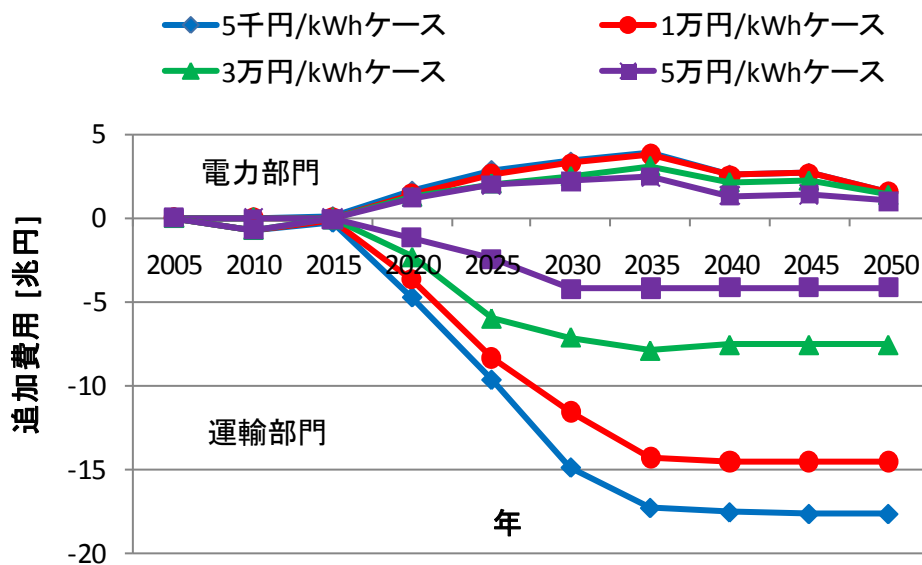
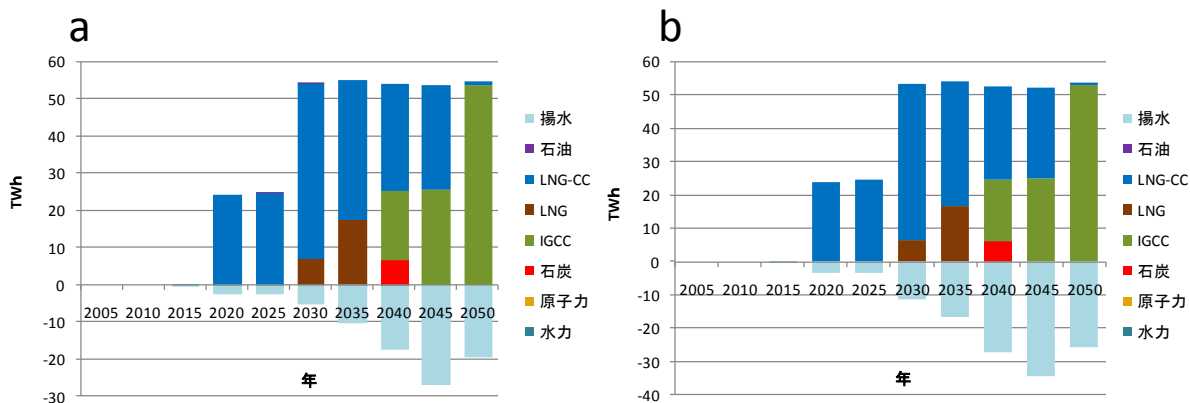


図 4-21 電池単価の推移の違いによる PHEV 普及に伴う追加費用

運輸部門における電池単価の推移 0.5 万円/kWh ケースの結果は図 4-19 と同一である。図 4-21 より、電池単価の推移によって運輸部門や電力部門の追加費用は変動するが、いずれのケースにおいても、PHEV 普及に伴う追加費用がマイナスとなるため、CO₂ 平均削減費用はマイナス値をとる。従って、電池単価の推移に関係なく、PHEV 普及により経済便益が創出される。

4.5.2.2 燃費向上ケース

燃費固定ケースと同様に、ICV や HEV の燃費が向上する場合 (3.2.1.2 節参照) の総発電電力量と 2050 年までの自動車による CO₂ 排出量の推移の基準ケースとの比較を原子力上限制約と充電パターン別に図 4-22, 4-23 に図示する。ただし、ここでは電池単価 0.5 万円/kWh ケースについてのみ言及する。



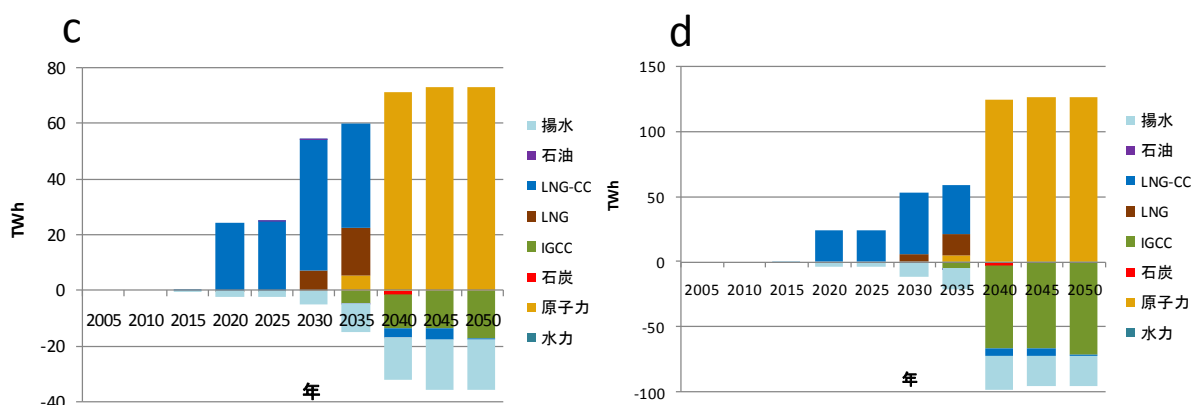


図 4-22 PHEV 普及時の基準ケースとの総発電電力量の比較
(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

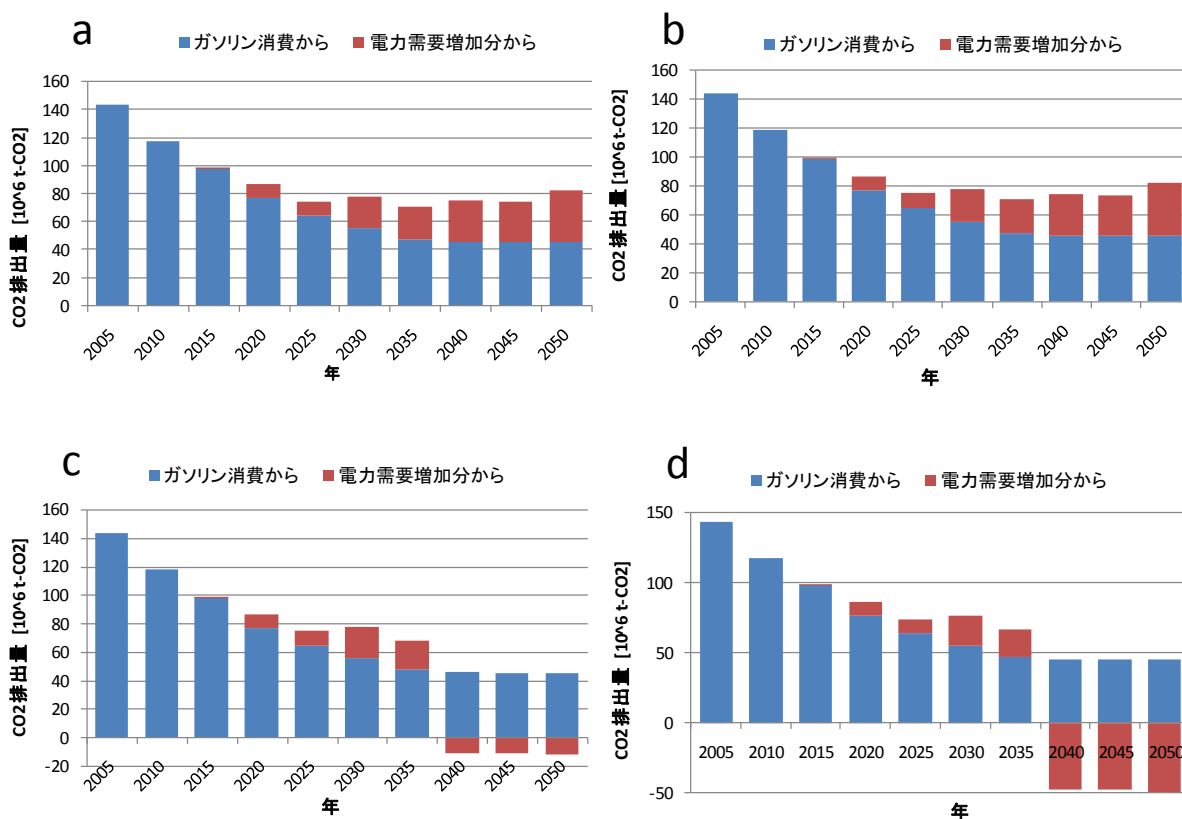


図 4-23 PHEV 導入による正味の CO₂ 排出削減効果
(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

PHEV 導入による正味の CO₂ 排出量のうち、ガソリン消費量からの排出はガソリン車 (ICV) や HEV の燃費が向上している分、燃費が固定である場合よりも削減される。次に、2050 年の CO₂ 排出量の比較として、全ての車がガソリン車 (ICV) だった場合の CO₂ 排出量と、3 章と同じ方

法で総コスト最小化の車両選択を考慮して、ICV と HEV の 2 種類のみが普及する場合の CO₂ 排出量とで比較した。その結果を図 4-124 に図示する。

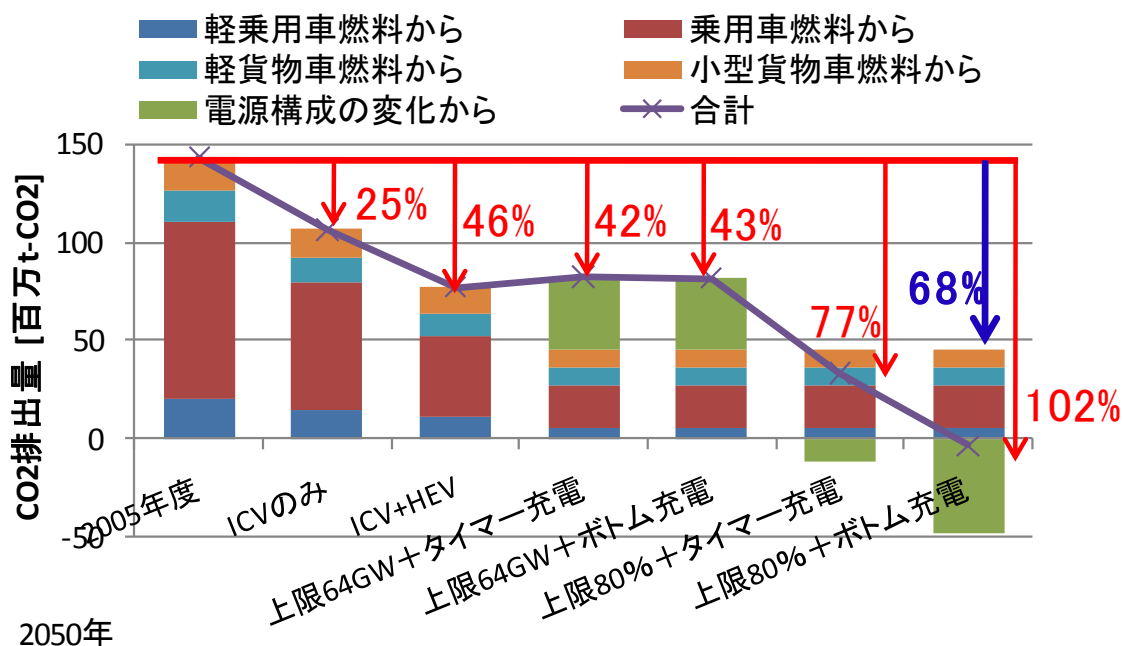


図 4-24 2050 年の PHEV 導入による正味の CO₂ 排出削減効果 (燃費向上ケース)

燃費固定ケースと異なる点は、2050 年にガソリン車のみが普及しているときでも、燃費が向上する分、現状 (2005 年度運輸部門) よりも 25%削減されることである (図 4-24)。また、ICV+HEV ケースでは 2005 年度運輸部門よりも 46%削減され、燃費固定ケース (図 4-13) より ICV と HEV の燃費向上分が削減される。一方、PHEV が普及する場合で上限 64GW ケースでは、電源構成の変化からの排出量を加味すると、燃費固定ケースより微減するが、ICV+HEV ケースよりも排出量が多くなる。従って、これは、ICV と HEV の燃費が現状よりも改善されると PHEV が普及する場合、2030 年までの設備建設計画を実現後に原子力発電所の新設計画がなければ、ICV と HEV が普及した場合よりも環境便益が無いことを意味する。そのため、PHEV は低公害車としての付加価値が無くなる。これより、ICV や HEV の燃費が向上する場合、上限 80%ケースの実現が望ましい。また、石油依存度は ICV と HEV の燃費向上のため、微減する。

4.5.3 EV と PHEV 普及時の結果

4.5.3.1 燃費固定ケース

次に、PHEV と EV の両方が普及した場合についての 2050 年までの電源構成と CO₂ 排出量について本モデルを用いて計算した。それらの結果の中で、まず、ICV や HEV の燃費が固定の場合の総発電電力量や設備容量、CO₂ 排出量の基準ケースとの比較を原子力上限制約と充電パターン別に図 4-25～4-27 に図示する。ただし、ここでは電池単価 0.5 万円/kWh ケースについてのみ言及する。

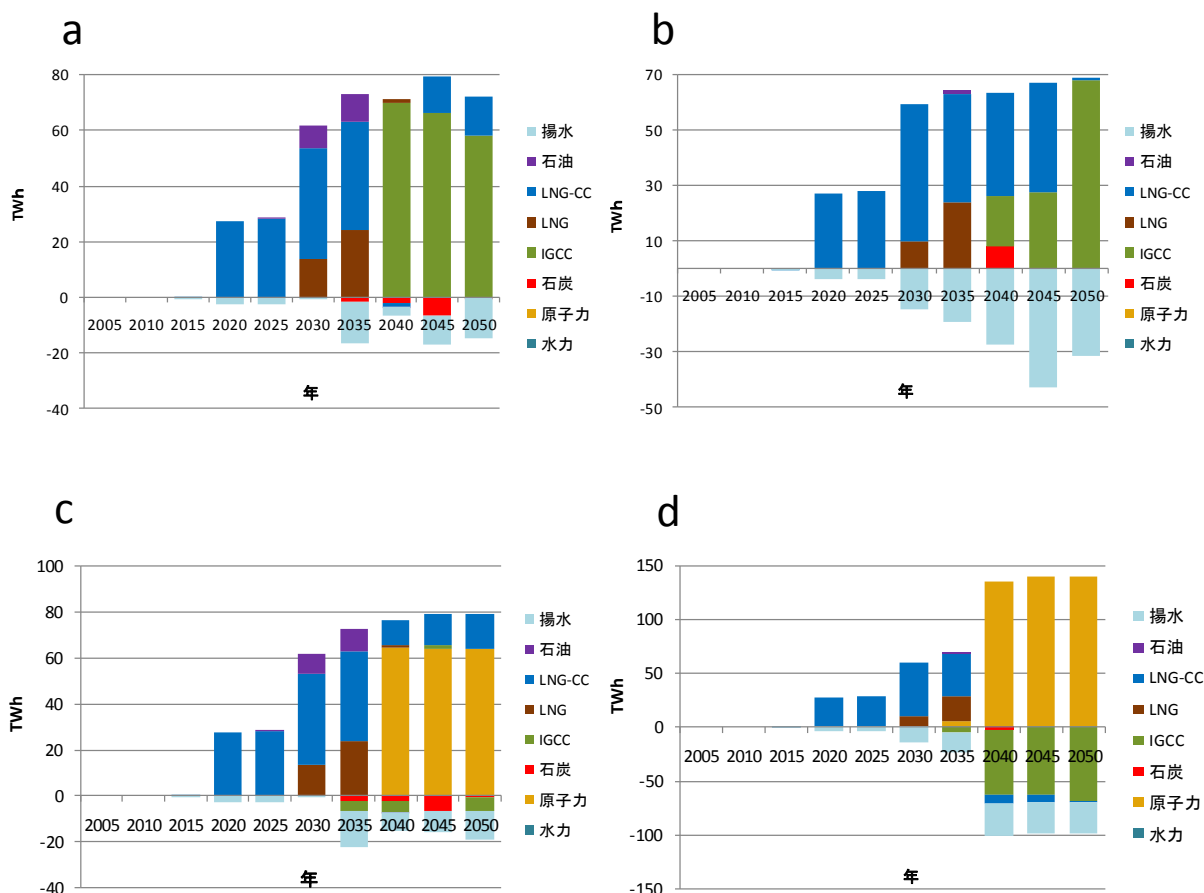
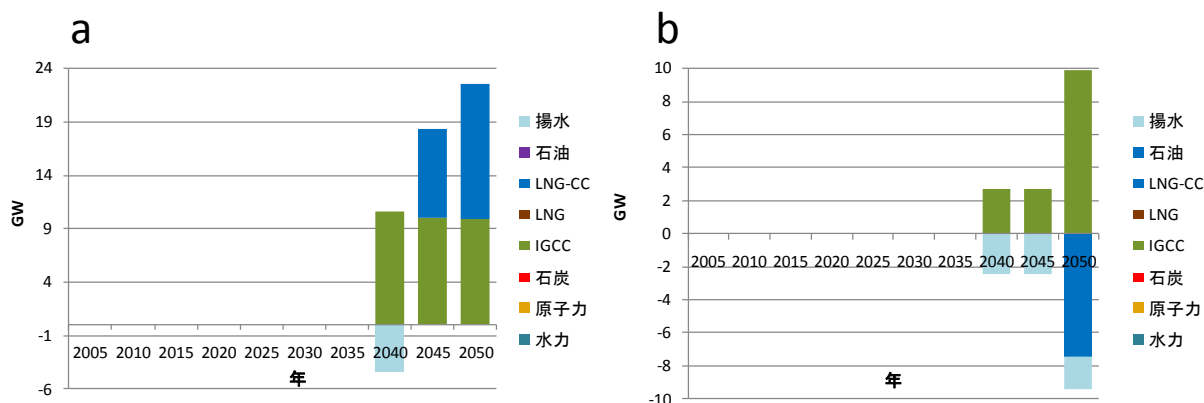


図 4-25 EV・PHEV 普及時の基準ケースとの総発電電力量の比較
(a : 上限 64GW + タイマー充電, b : 上限 64GW + ボトム充電,
c : 上限 80% + タイマー充電, d : 上限 80% + ボトム充電)



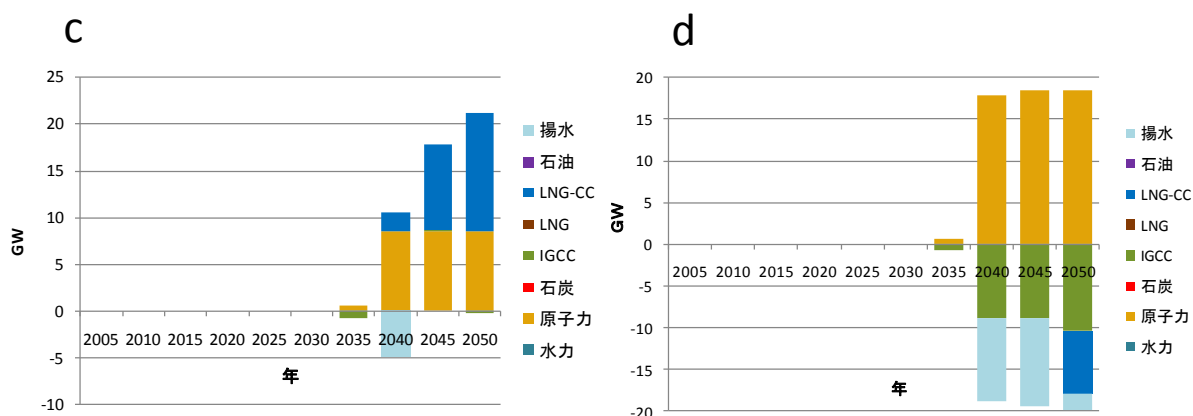


図 4-26 EV・PHEV 普及時の基準ケースとの発電設備容量の比較

(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,

c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

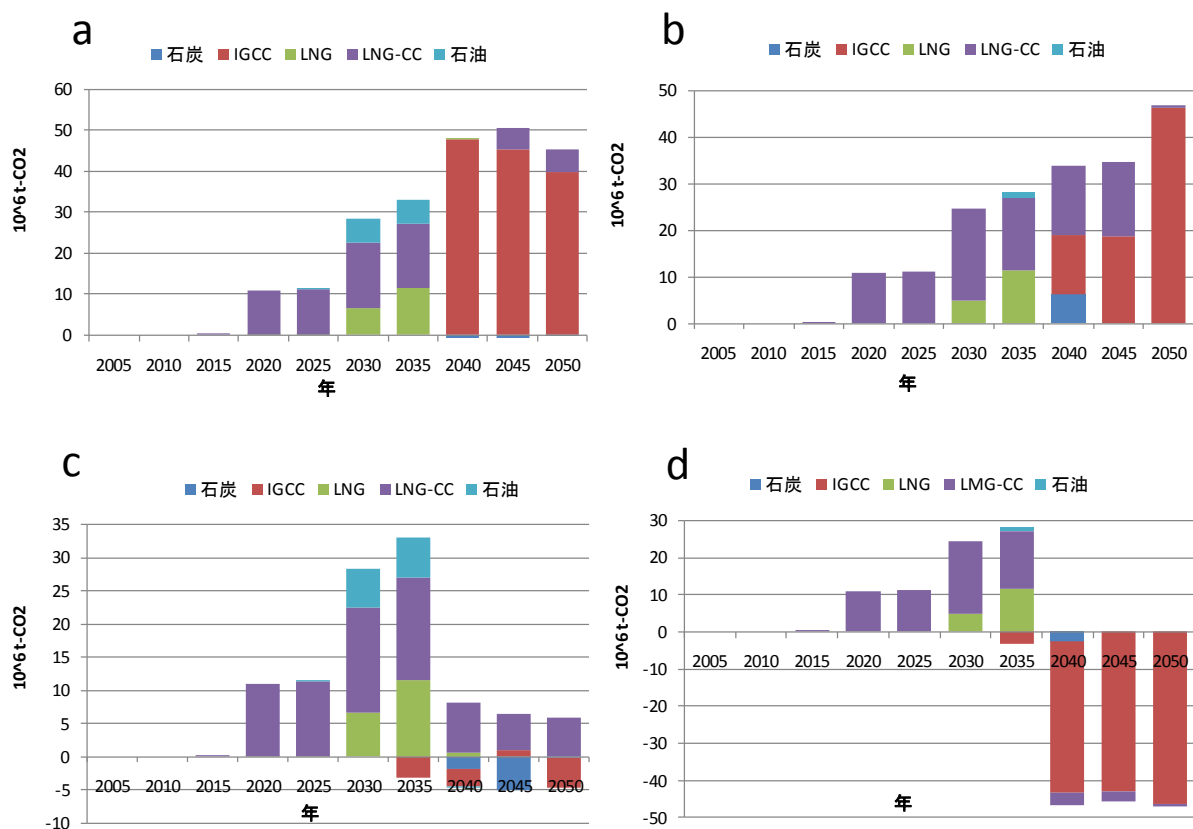


図 4-27 EV・PHEV 普及時の基準ケースとの CO₂ 排出量の比較

(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,

c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

上限 64GW ケースでは両充電パターン共に同じような動きをしていたが、EV と PHEV が普及するとタイマー充電の場合、夜 23 時からの充電電力量が突発的に増大し (図 4-4) , それに対応する必要があるため、タイマー充電とボトム充電で明白な違いが生じる。また、上限 80% ケース

でタイマー充電する場合、ボトムアップどころか夜 23 時からの充電電力量が突発的に増大し、その分を LNG 複合で賄うため、PHEV 普及ケースよりも CO₂ 排出量は削減されない。次に、EV と PHEV が普及した場合の、2050 年までの自動車による CO₂ 排出量の推移を EV と PHEV が普及した場合としなかった場合で比較した。その結果を図 4-128 に図示する。

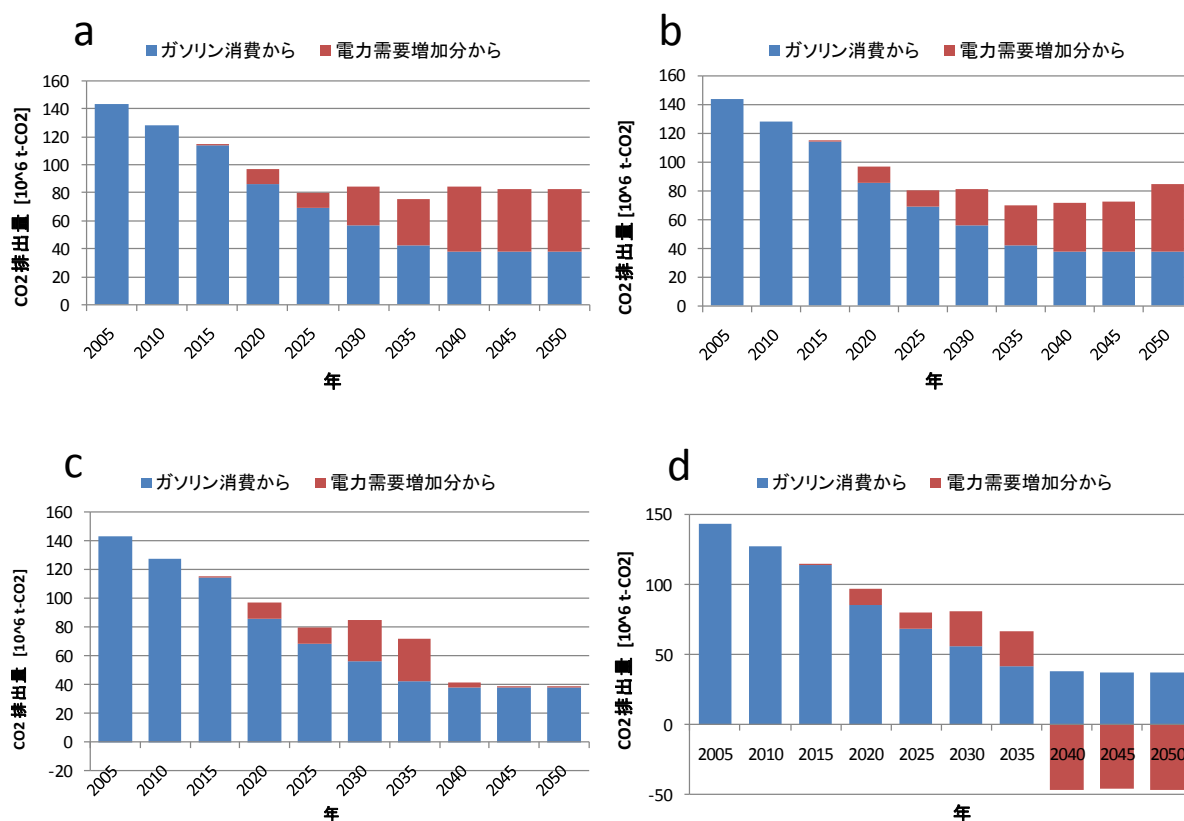


図 4-28 EV・PHEV 導入による正味の CO₂ 排出削減効果
(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

EV と PHEV の両方が普及すると PHEV が普及する場合と比較してガソリン消費からの CO₂ 排出量は減少するが、その分電力需要増加により電源構成の変化からの CO₂ 排出量は増加する。しかし、上限 80% ケースで EV や PHEV をボトム充電する場合、ボトム需要が増加し、原子力の導入制約が緩和され、その分原子力が増大するため、PHEV が普及する場合と同じく電源構成の変化からの CO₂ 排出量を加味すると、大幅に削減される。次に、2050 年の EV・PHEV 普及時の CO₂ 排出量の比較として、全ての車がガソリン車 (ICV) だった場合の CO₂ 排出量と、ICV と HEV の 2 種類のみが普及する場合の CO₂ 排出量とで比較した。その結果を図 4-129 に図示する。

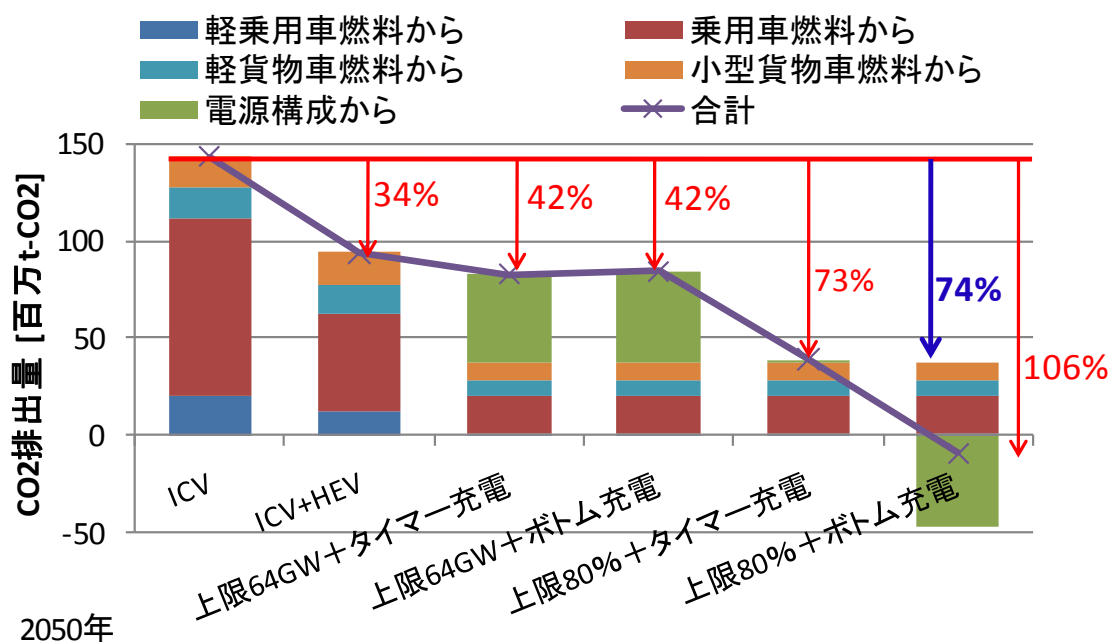


図 4-29 2050 年の EV・PHEV 導入による正味の CO₂ 排出削減効果 (燃費固定ケース)

2050 年の CO₂ 排出量に関して、上限 64GW ケースの場合、タイマー充電およびボトム充電の両方で、自動車からの CO₂ 排出量はおよそ 4700 万 t-CO₂ が電源構成から追加的に排出される。これは、ICV のみが普及していると想定した 2005 年度運輸部門からの CO₂ 排出量 (およそ 145Mt-CO₂/yr) の 33% に当たる。上限 80% ケースの場合、タイマー充電では、EV・PHEV による負荷平準化の効果により、電源構成からの CO₂ 排出量は 150 万 t-CO₂ (2005 年度運輸部門の 1%) に抑えられる (図 4-29)。このとき、原子力発電の設備容量は 2050 年に 73GW まで達する。一方、ボトム充電の場合、EV・PHEV 普及に伴って原子力の導入が加速し、電源構成からの CO₂ 排出量は約 4600 万 t-CO₂ (2005 年度運輸部門の 32%) 削減できる (図 4-29)。このとき、原子力発電の設備容量は 2050 年に 82GW まで達する。

2050 年の燃料消費量と CO₂ 排出量をまとめる。上限 64GW ケースでタイマー充電の場合は、自動車の燃料消費量は 1640 万 kℓ で、2005 年度運輸部門と比較して 74% 削減 (ICV+HEV ケース比 60% 削減) される。従って、PHEV 普及ケースよりも 7% ほど石油依存度は低減できる。CO₂ 排出量は、燃料から 3770 万 t-CO₂、基準電源構成から 4700 万 t-CO₂ で、トータル 8470 万 t-CO₂ の排出となる。これは 2005 年度運輸部門と比較して 42% 削減 (ICV+HEV ケース比 10% 削減) となる。この場合、EV と PHEV の両方が普及すると PHEV が普及する場合と比較してガソリン消費からの CO₂ 排出量は減少するが、その分電力需要増加により電源構成の変化からの CO₂ 排出量は増加するため、合計で PHEV が普及する場合とほぼ同じになり、EV 導入による環境負荷低減効果が見られない。上限 80% ケースでボトム充電の場合には、自動車の燃料消費量は 1640 万 kℓ で上限 64GW ケースと同一である。CO₂ 排出量は、2005 年度と比較して、自動車の燃料から 10730 万 t-CO₂ の削減 (上限 64GW ケースと同一)、基準電源構成から 4600 万 t-CO₂ 削減で、全体で 2005 年度運輸部門と比較して 15330 万 t-CO₂ の削減になる。これは、2005 年度運輸部門と比較して 106%

削減となり、PHEV 普及ケースと比較して CO₂ 排出量をさらに削減できる（図 4-29）。したがって、原子力が導入されなければ、EV 普及に伴う更なる CO₂ 削減効果が期待できない。

次に、EV・PHEV 普及時の日本全国の発電の様子を示す。図 4-30 は EV・PHEV 普及時の 2030 年における夏期平日の発電の様子を示す。

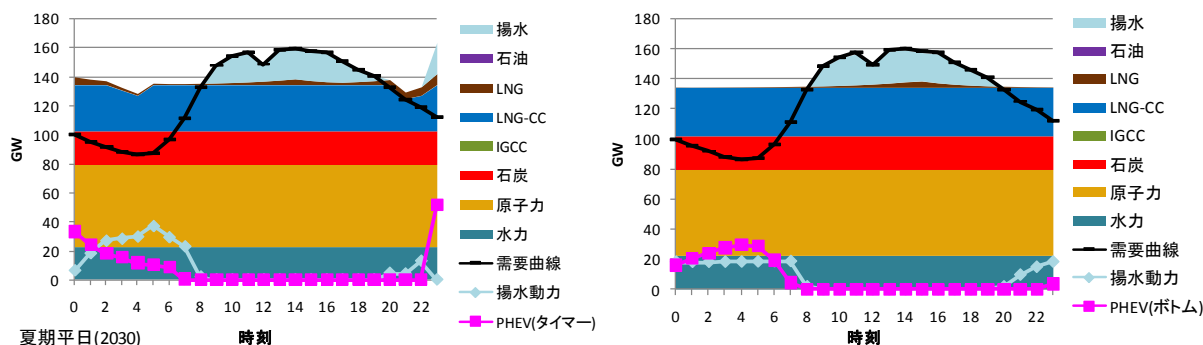


図 4-30 2030 年の EV・PHEV 普及時の発電の様子（左：タイマー充電，右：ボトム充電）

EV・PHEV 普及時は PHEV が普及する場合と比べて、タイマー充電では 23 時からの EV・PHEV の充電電力量が増大するため、その分を LNG と LNG 複合、揚水で賄われる。このため、23 時からの充電電力のために、夜間に揚水用動力を稼働させる必要がある。一方、ボトム充電の場合、充電電力量は LNG 複合によって賄われ、出力一定で運転する。次に、EV・PHEV 普及時の 2050 年における夏期平日の発電の様子を原子力上限制約別で図 4-31、4-32 示す。

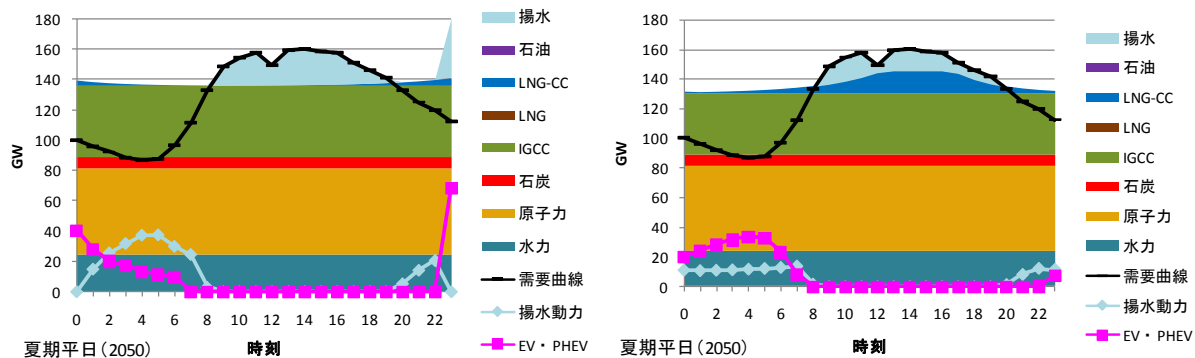


図 4-31 2050 年の EV・PHEV 普及時の原子力上限 64GW ケースにおける発電の様子
（左：タイマー充電，右：ボトム充電）

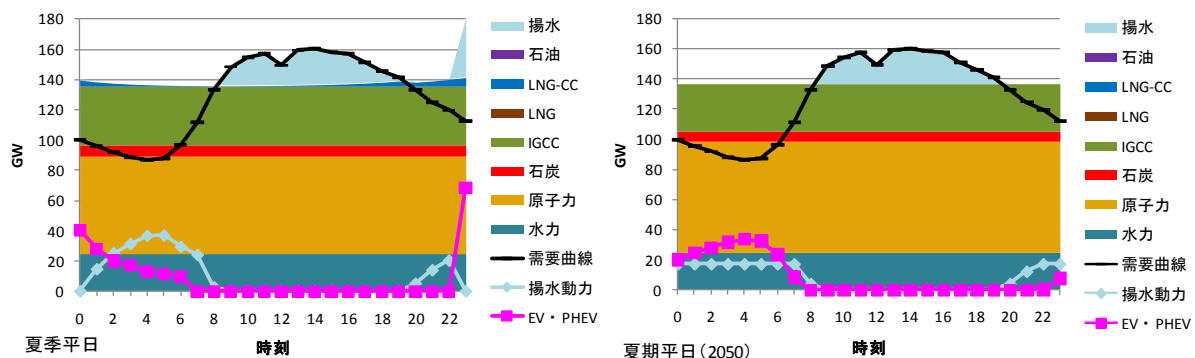


図 4-32 2050 年の EV・PHEV 普及時の原子力上限 80% ケースにおける発電の様子
(左：タイマー充電, 右：ボトム充電)

2050 年時でも 23 時からの EV・PHEV の充電電力は揚水によって賄われる。このため、揚水発電はピーク需要だけでなく、23 時からの充電電力にも備える必要がある。また、原子力上限制限 80% の場合、EV・PHEV の充電電力によってボトム需要が増加し、原子力導入制約緩和のために原子力が増大する。このため、ピーク需要のために LNG 複合を稼働させる必要がないことから、発電事業削減と環境負荷低減効果につながると考えられる。また、充電パターンの違いによって、原子力導入量の違いが明白に生じることがわかる (図 4-32)。

次に、EV・PHEV 普及ケースにおける電池単価の推移の違いによる 2050 年の CO₂ 排出量や石油依存度について分析した。その結果について図 4-33 に図示する。

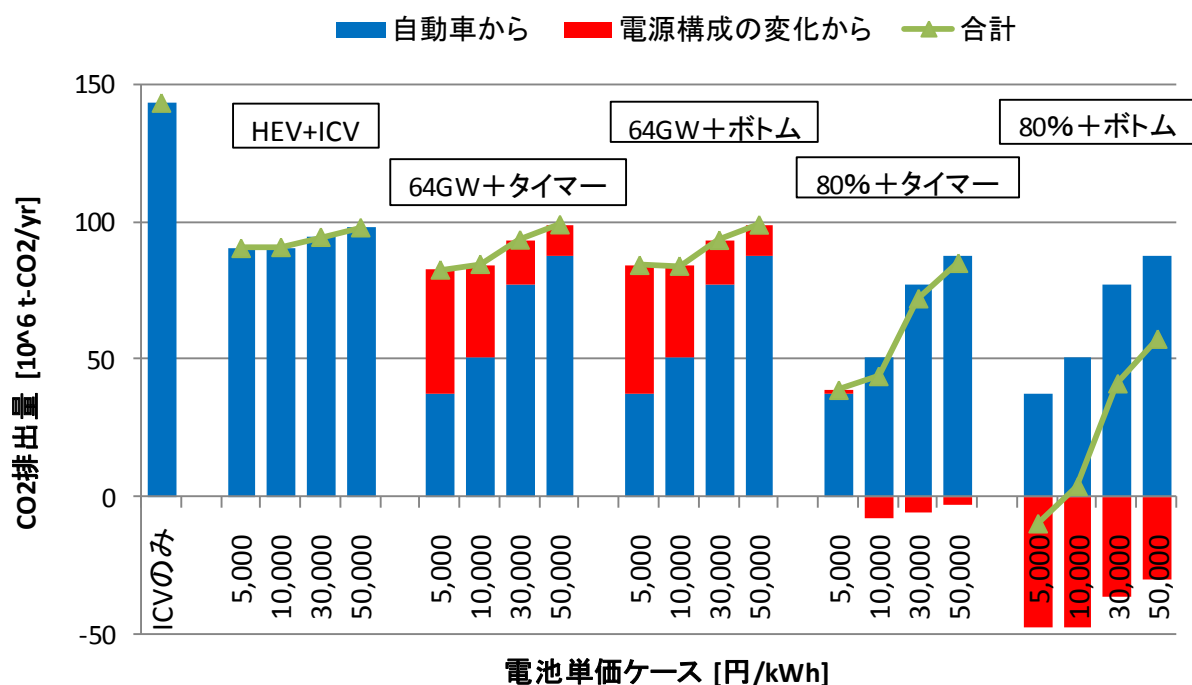


図 4-33 電池単価の推移の違いによる 2050 年の CO₂ 排出量と石油依存度

電池単価の低下に従い CO₂ 排出量と石油依存度は低減する。CO₂ 排出量に関しては、上限 64GW ケースで電池単価が 5 万円/kWh の場合、両充電方式共に 2005 年度運輸部門から 30% 削減される。それに対して、電池単価が 0.5 万円/kWh のとき、42% 削減される。従って、図 4-33 より、電池単価が 2030 年に 3 万円/kWh までしか低減しなければ、HEV に続く更なる低公害車として謳われている EV や PHEV が普及しても HEV と ICV のみが普及する場合と同等レベルまでしか CO₂ 排出量を削減することができない。一方、上限 80% ケースでタイマー充電および電池単価が 5 万円/kWh の場合、2005 年度運輸部門から 41% 削減される。それに対して、電池単価が 0.5 万円/kWh のとき、73% 削減される。一方、上限 80% ケースでボトム充電および電池単価が 5 万円/kWh の場合、2005 年度運輸部門から 60% 削減される。それに対して、電池単価が 0.5 万円/kWh のとき、106%

削減される。石油依存度に関しては、EV と PHEV 普及に伴い、電池単価が 5 万円/kWh の場合、運輸部門で 2005 年度比 39%低減する。それに対して、電池単価が 0.5 万円/kWh のとき、74%低減する。

4.5.3.2 燃費向上ケース

燃費固定ケースと同様に、ICV や HEV の燃費が向上する場合（3.2.1.2 節参照）の EV ・ PHEV 普及時の総発電電力量の基準ケースとの比較を原子力上限制約と充電パターン別に図 4-34 に図示する。ただし、ここでは電池単価 0.5 万円/kWh ケースについてのみ言及する。

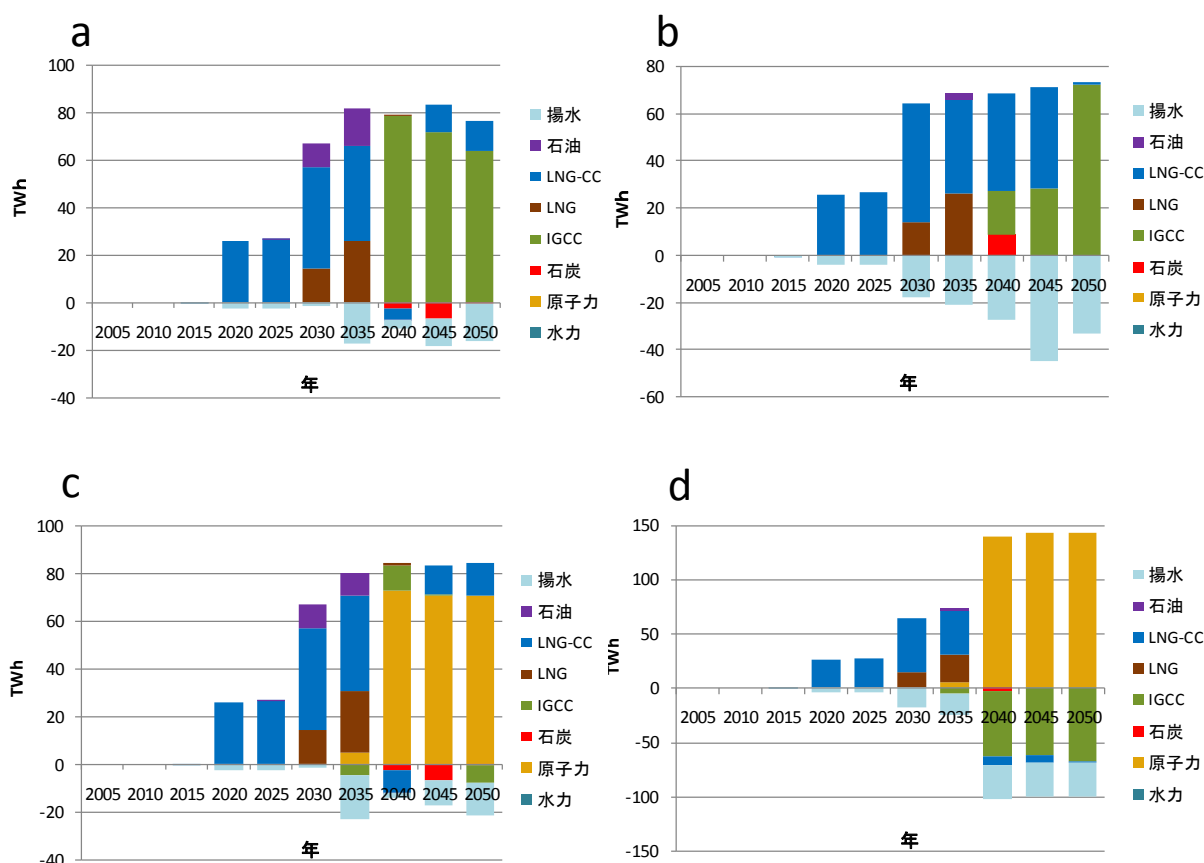


図 4-34 EV ・ PHEV 普及時の基準ケースとの総発電電力量の比較

(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

次に、2050 年の CO₂ 排出量の比較として、全ての車がガソリン車 (ICV) だった場合の CO₂ 排出量と ICV と HEV の 2 種類のみが普及する場合の CO₂ 排出量とを比較した。その結果を図 4-135 に図示する。

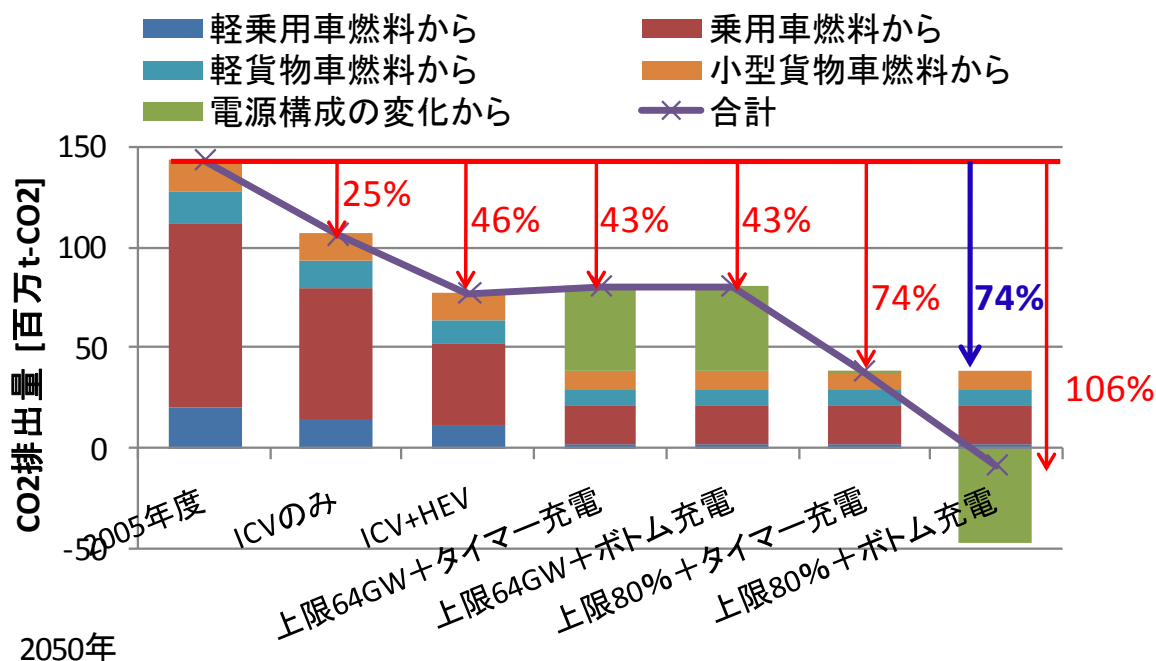


図 4-35 2050 年の EV・PHEV 導入による正味の CO₂ 排出削減効果 (燃費向上ケース)

EV・PHEV 導入による正味の CO₂ 排出量のうち、ガソリン消費量からの排出はガソリン車(ICV)や HEV の燃費が向上している分、燃費が固定である場合よりも削減される。ICV と HEV の燃費が向上するため、ICV や HEV のシェアは増加するが燃費向上と電源からの排出量を加味すると EV・PHEV 普及時の燃費向上の有無は影響しない結果となった。EV と PHEV が普及する場合で上限 64GW ケースでは、電源構成の変化からの排出量を加味すると、燃費固定ケースより微減するが、PHEV 普及ケースと同様に ICV+HEV ケースよりも排出量が多くなる。従って、これは、ICV と HEV の燃費が現状よりも改善されると EV と PHEV が普及する場合、2030 年までの設備建設計画を実現後に原子力発電所の新設計画がなければ、ICV と HEV が普及した場合よりも環境便益が無いことを意味する。これより、ICV や HEV の燃費が向上する場合、PHEV 普及ケースと同様に上限 80% ケースの実現が望ましい。また、石油依存度は ICV や HEV の燃費向上の有無に拘わらない。

4.6 原子力容量について

ここでは、PHEV や EV・PHEV 普及時の上限 80% ケースにおける原子力の設備容量の違いについて比較した。その結果を図 4-36 に図示する。

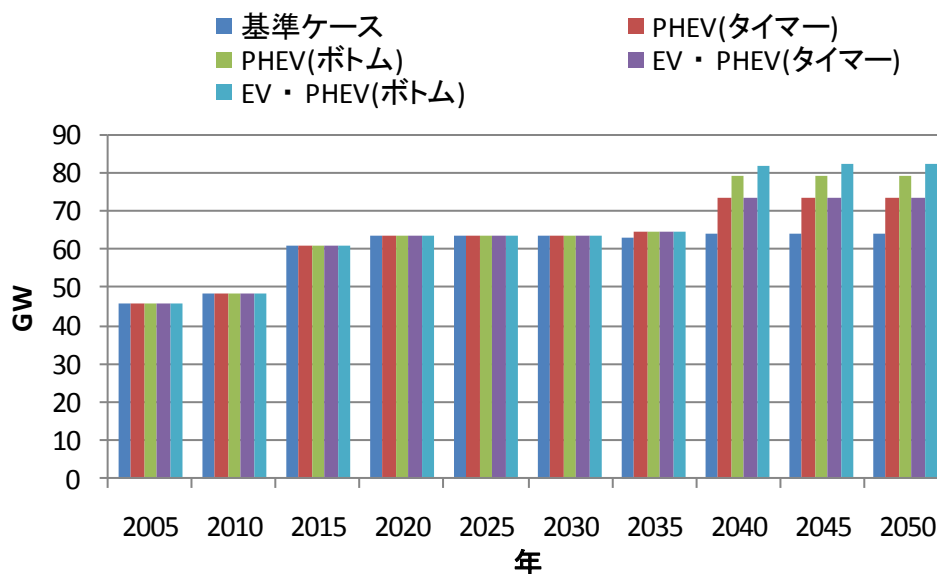


図 4-36 原子力上限 80%ケースにおける原子力容量の違い

PHEV や EV が普及しない基準ケースでは 2030 年以降 64GW で一定である (4.4 節参照)。PHEV が普及するケースでは、タイマー充電のとき原子力容量は 73GW、ボトム充電のときは 79GW に達する。一方、EV と PHEV が普及する場合は、タイマー充電のとき原子力容量は 73GW、ボトム充電のときは 82GW に達する。このように、EV や PHEV をボトム充電する場合、原子力上限制限が緩和されることもあり、原子力の設備容量は 2030 年までの既存の設備計画以降大幅に増大する。そのため、CO₂ 排出量の大幅な削減が期待できるが、このケースの実現には EV や PHEV の普及だけでなく、原子力発電所の新規立地についても大きな課題となりうる。

第5章 結論と今後の課題

5.1 本論文の結果

本研究では、国土交通省の自動車起終点調査データを詳細化して得られた利用パターンから PHEV に適した搭載電池容量を車種別で検討し、消費者の総コスト最小化の観点から経済性評価を行った。そして、PHEV だけでなく EV についても検討を加えることで、2050 年までを見越した PHEV と EV の普及予測を行った。そして、そこから得られた充電電力量から PHEV と EV が普及した際の最適電源構成を考慮した上での環境及び経済便益について検討した。

また、充電パターンや原子力発電制約の違いがどのように CO₂ 削減効果に影響を及ぼすのかについても分析した。

本研究により得られた知見は以下の通りである。

- (1) 乗用車の利用パターンを考慮すると、追加搭載電池量が 11.4kWh（電気走行可能距離 40km）の PHEV が 100%普及する場合、HEV 100%と比べて、乗用車のガソリン消費量を 40%に削減できる。また、貨物車は乗用車ほど PHEV が普及しない。
- (2) 電池単価が 2030 年に 0.5 万円/kWh となるケースにおいて、総コスト（車両代+割引された燃料費）の最小化で車両選択を行うと、乗用車の場合、PHEV は 2010 年（電池単価 10 万円/kWh）から普及が始まり、2020 年（電池単価 1 万円/kWh）に約 2 割のシェア、2030 年以降（電池単価 0.5 万円/kWh）には 8 割以上のシェアを占める。また、電池単価が 2030 年で 3 万円/kWh 以上となるケースでは、2030 年でも HEV がある程度シェアを占める。
- (3) EV の航続距離を搭載電池スペースが可能な限り延伸させる場合、将来電池の性能が向上しコンパクト化が可能である分搭載電池容量が増大し航続距離も延伸するが、2030 年に電池単価が 0.5 万円/kWh まで低減してもほとんど EV は普及しない。一方、電気走行可能距離を 160km で今後も一定とすると、特に軽乗用車で 2040 年以降に EV が 8 割以上のシェアを占める。
- (4) PHEV 普及時の原子力容量制約 64GW の場合は、追加的な電力は主に火力発電で供給される。HEV と ICV の燃費向上を考慮しない場合、PHEV 普及時の 2050 年の CO₂ 排出量は、PHEV 普及に伴う電力需要増加分による電源構成からの排出量を加味しても、2005 年度運輸部門と比較して 41%の削減（ICV+HEV ケース比 9%削減）となる。EV・PHEV 普及時の 2050 年の CO₂ 排出量は PHEV 普及時と変わらないが、石油依存度は低減される。一方、HEV と ICV の燃費向上を考慮する場合、PHEV や EV 普及時の 2050 年の CO₂ 排出量は、ICV と HEV のみが普及している場合よりも多くなる。
- (5) 原子力制約をボトム需要の 80%とするとき、PHEV 用の追加電力需要を電力負荷のボトム充電で賄う場合は、2050 年の原子力発電の設備容量は 79GW に増加する。2050 年の CO₂ 排出量は、PHEV 普及に伴う電力需要増加分による電源構成からの排出を考慮すると、2005 年度運輸部門と比較して 99%削減（ICV+HEV ケース比 98%削減）となる。

EV・PHEV 普及時の 2050 年の CO₂ 排出量は、2005 年度運輸部門と比較して 106%削減となり、運輸部門の大幅な CO₂ 削減が行われる。ただし、このケースの実現のためには、EV や PHEV の普及だけでなく、原子力発電の新規立地についても大きな課題となる。また、原子力が導入されなければ、EV 普及に伴う更なる CO₂ 削減効果が期待できない。

- (6) PHEV が普及する場合、CO₂ 平均削減費用がマイナスとなり、PHEV 普及により環境便益だけでなく経済便益も創出される。EV・PHEV 普及ケースについても同様のことがいえる。

5.2 今後の課題

今後の課題として、以下の点が考えられる。

- 車種別利用パターンを作成する際、貨物車類の走行距離は国土交通省の自動車統計調査年報と少しのずれが生じている。これは乗用車類と同じ運行形態に分類して考えたためであり、貨物車類では乗用車類とは異なる、業務主体の分類を考慮する必要があると思われる。また、保有車両や日平均実動距離は昨今減少傾向にあるため、2050 年までの推移を考慮する必要がある。
- 本研究では、消費者の総コスト最小化の観点から経済性評価から EV や PHEV の普及予測を行ったが、実際の普及には、燃料価格の変動やエコカー減税などの国の諸政策、環境意識の高まりなどが要素として含まれる。本研究では EV でも家庭で充電を行い、インフラ整備に関しては考慮していないが、消費者の精神面を考慮するとインフラ整備も EV 普及に関与するものと思われる。この点は、ロジスティック曲線などから消費者選好も加味したモデルを構築して EV・PHEV の普及予測を分析することが考えられる。
- 本研究では CCS（二酸化炭素回収・貯留：Carbon Dioxide Capture and Storage）といった系統側の新技術や燃料電池 CGS や太陽電池のような分散電源を考慮していない。特に太陽電池と組み合わせることで余剰電力を走行していない PHEV や EV の搭載電池を蓄電池として活用することでより一層の負荷平準化効果と環境負荷低減効果が期待できる。また、昼間充電もある程度可能であると考えられる。
- 負荷平準化効果を期待して EV や PHEV を夜間充電する場合、必ずしも現行の深夜料金体制を維持するとは限らない。そのため、昼間充電と同様の経済性評価も必要であると思われる。また、特に EV・PHEV をボトム充電する場合、充電時間は深夜料金時間帯を超過する。本研究では、充電電力は深夜料金を用いて計算を行っているが、EV・PHEV 普及時の料金体制についても解析する必要があると考える。

付 録

第3章、第4章において実施した計算結果で本項にて示せなかったものを以下に示す。

A 第3章詳細結果

本節では、第3章で実施した消費者の観点から車両価格と燃料費のトータルコスト最小化の車両を選択するという経済性評価結果について、ICVとHEVのみが普及している場合の自動車ストックに関する普及割合を図A-1～A-4まで図示する。このとき、ICVとHEVの燃費向上の有無と電池単価が0.5万円/kWhケース及び3万円/kWhケースの結果を示す。

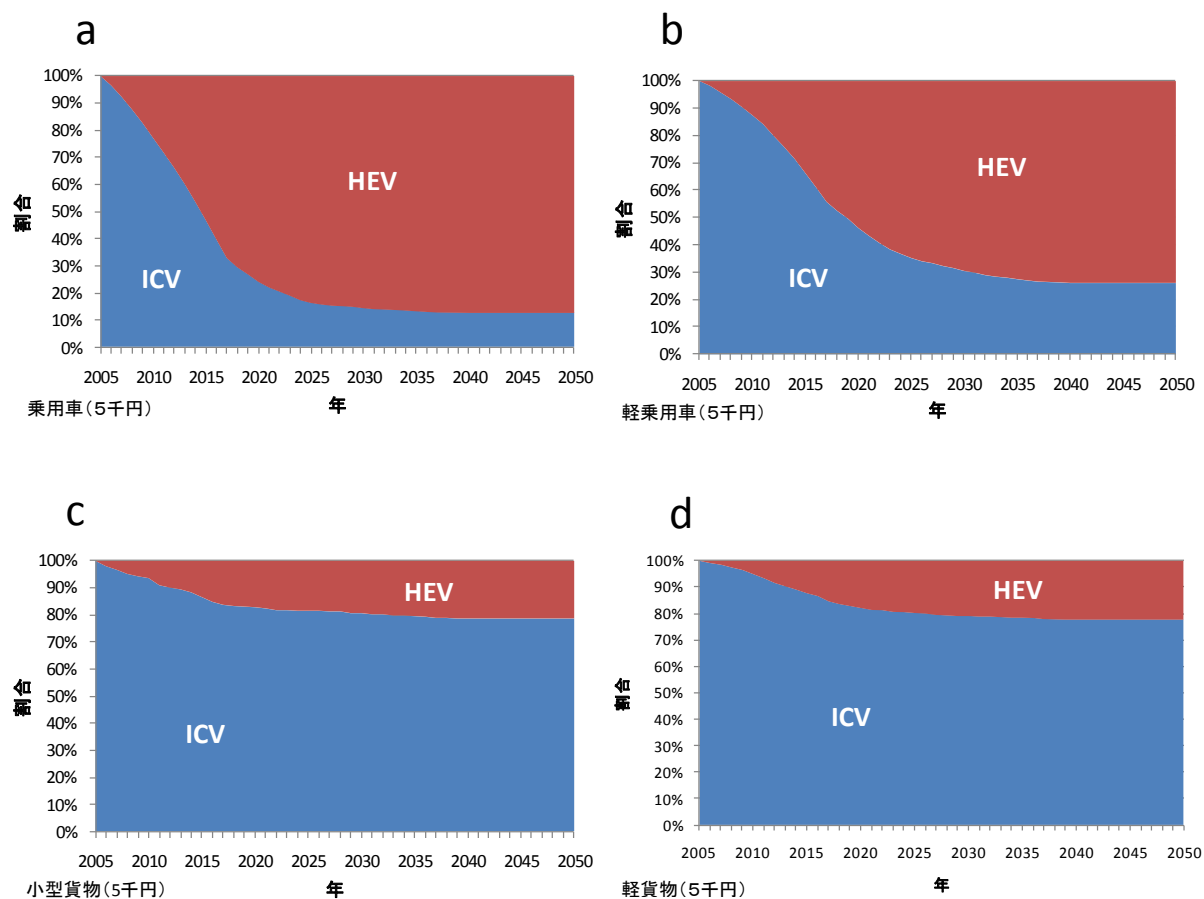


図 A-1 自動車ストックに関する HEV、ガソリン車の割合 (0.5 万円/kWh ケース、燃費固定)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

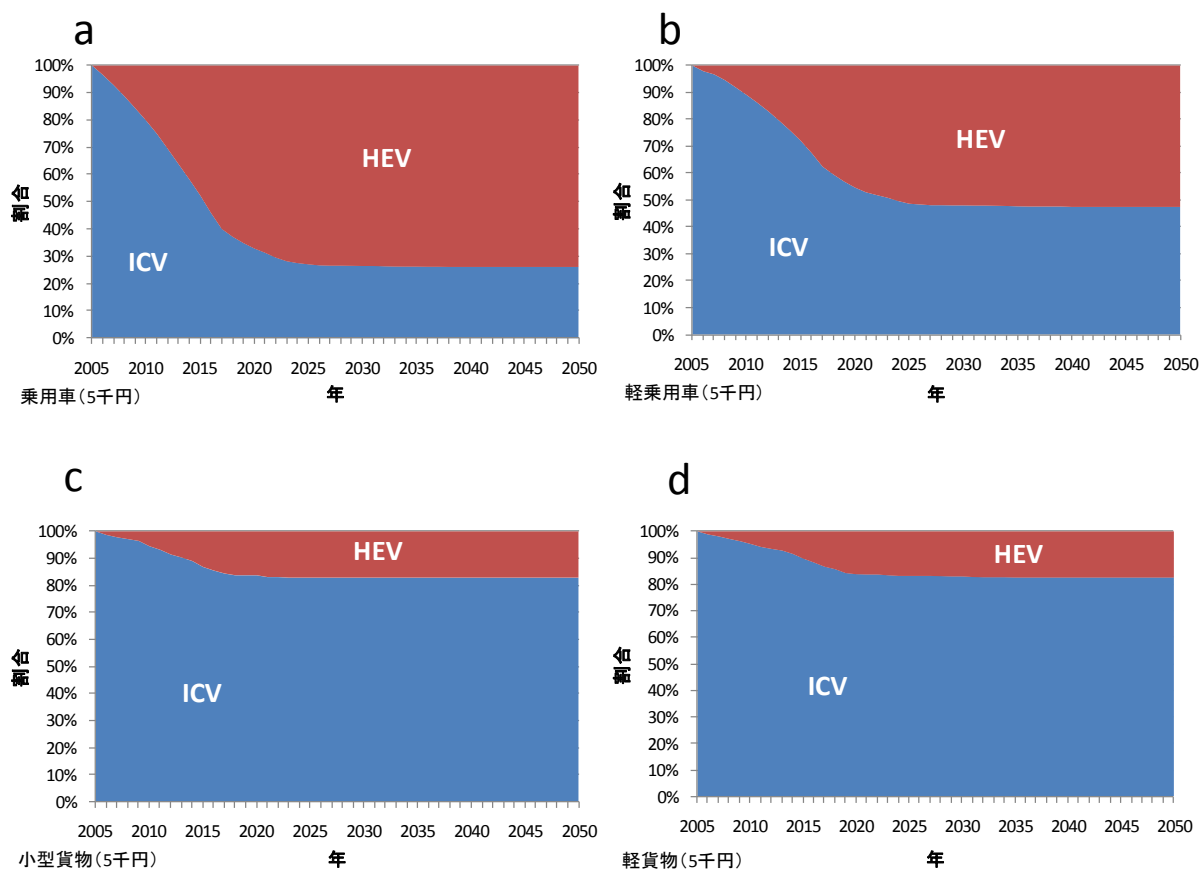
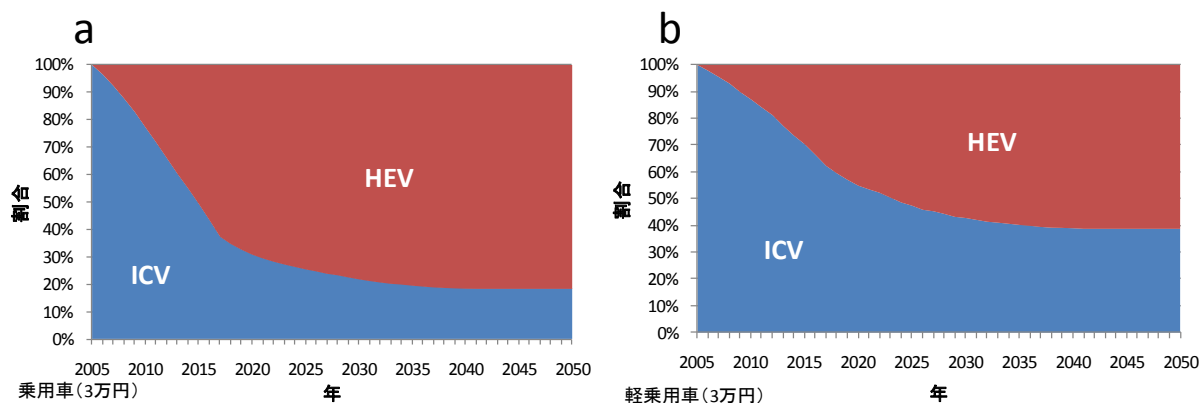


図 A-2 自動車ストックに関する HEV, ガソリン車の割合 (0.5 万円/kWh ケース, 燃費向上)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)



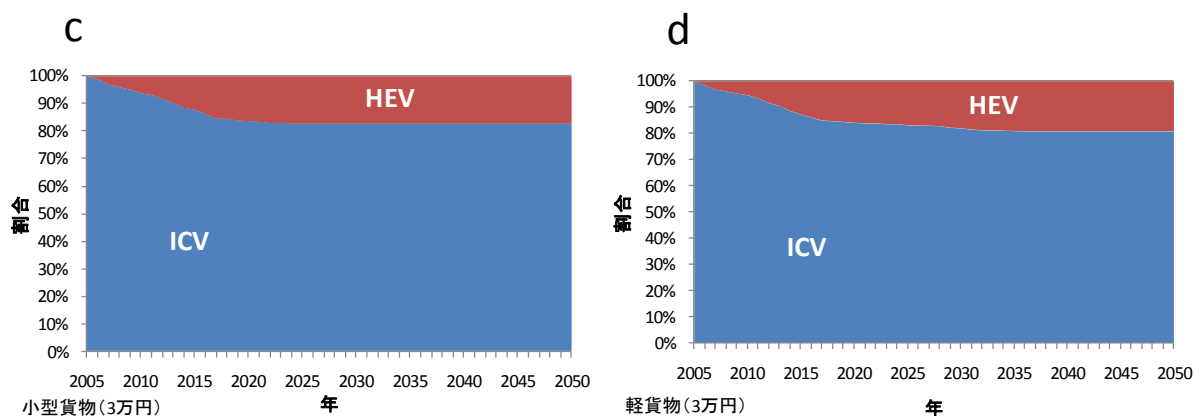


図 A-3 自動車ストックに関する HEV, ガソリン車の割合 (3 万円/kWh ケース, 燃費固定)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

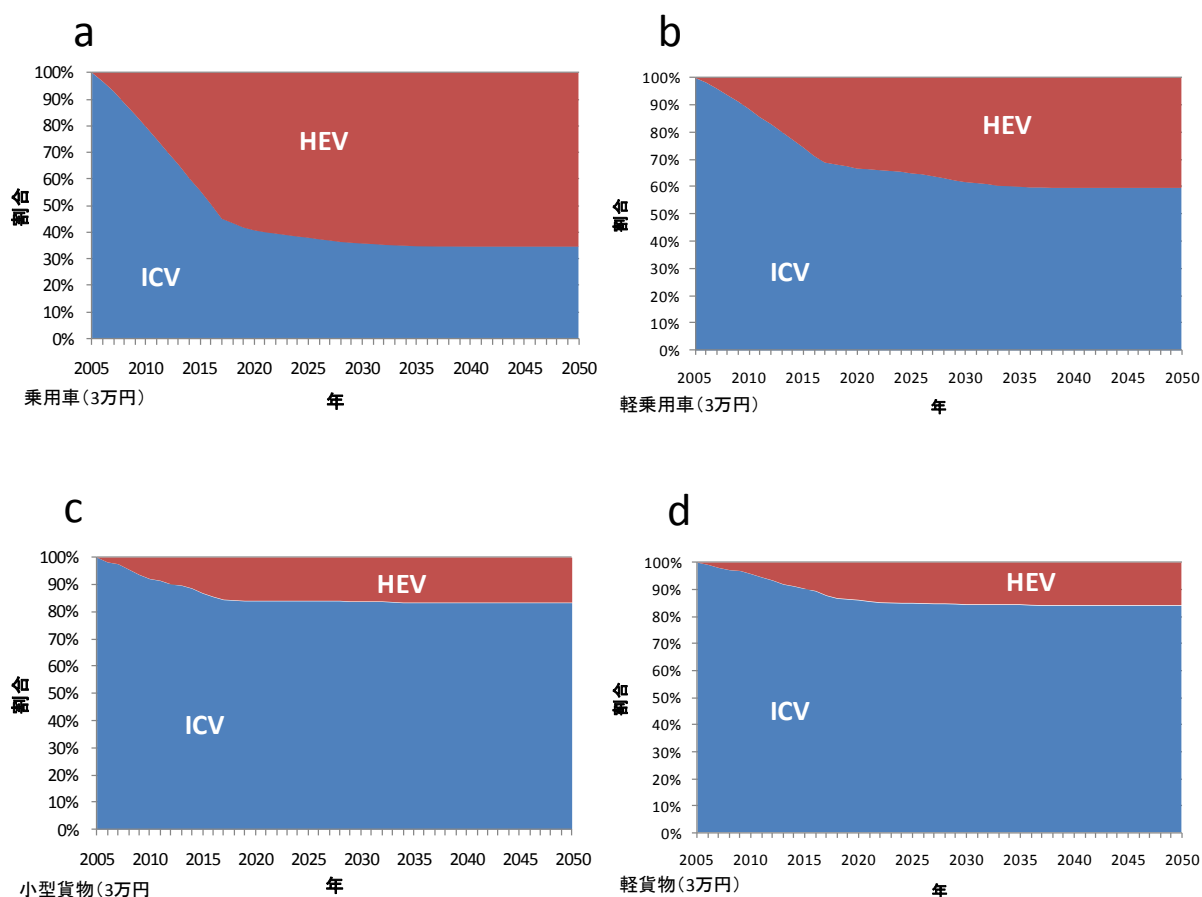


図 A-4 自動車ストックに関する HEV, ガソリン車の割合 (3 万円/kWh ケース, 燃費向上)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

次に、本文 3.4.2.1 節において、示せなかった ICV と HEV の燃費固定で電池単価 3 万円/kWh ケースにおける EV も含めた普及割合を図 A-5 に図示する。

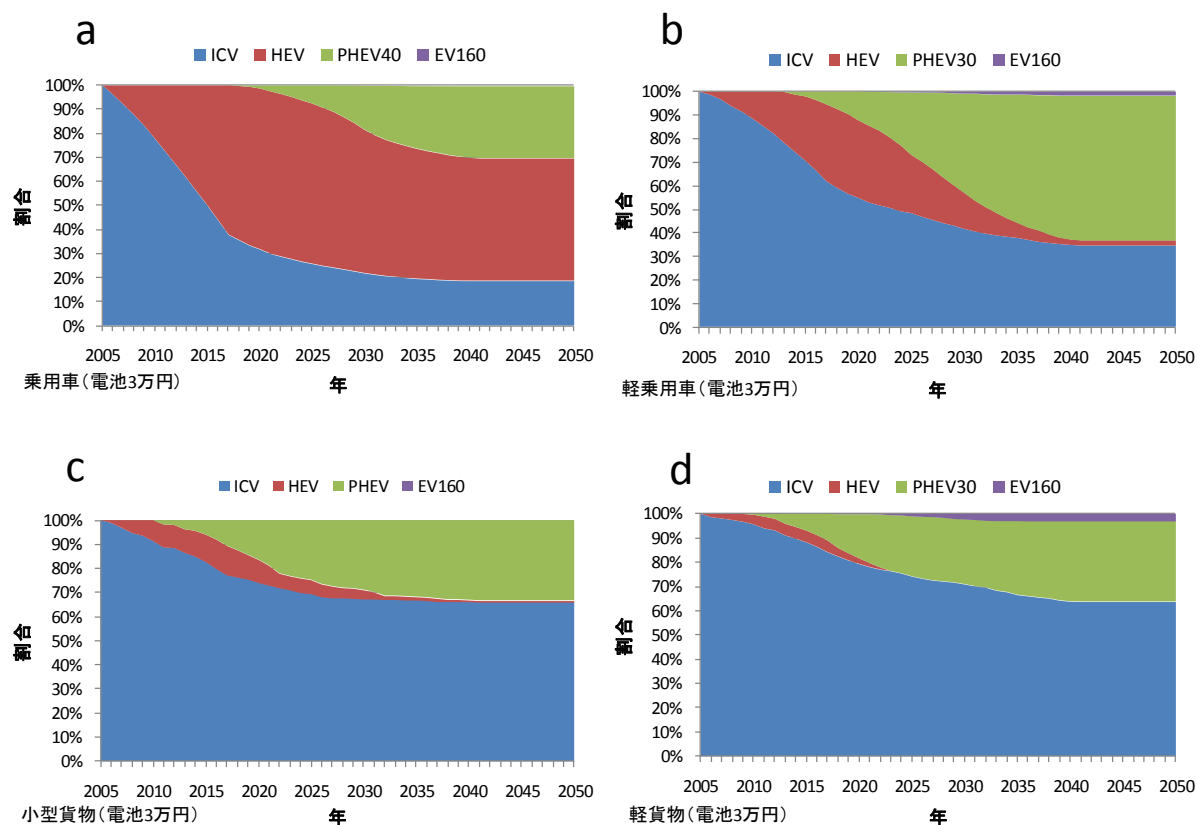
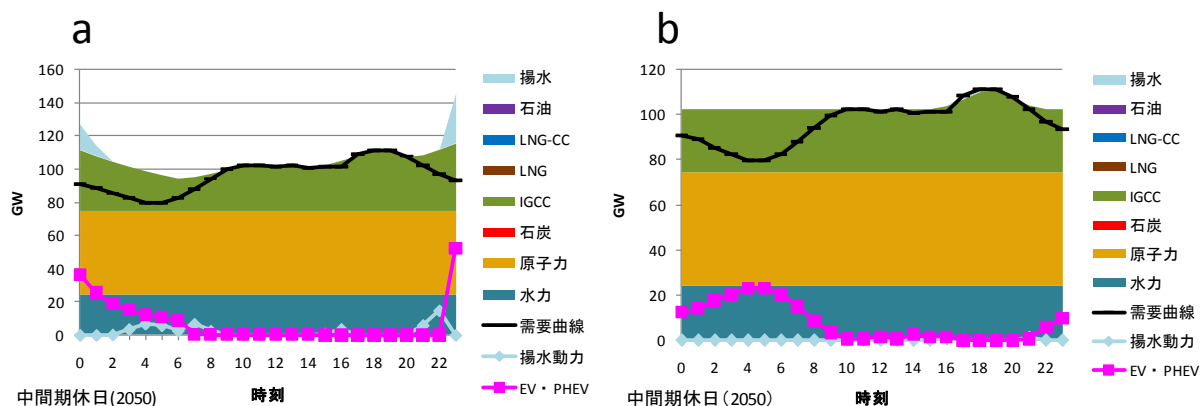


図 A-5 自動車ストックに関する EV, PHEV, HEV, ガソリン車の割合 (3 万円/kWh ケース)
(a : 普通乗用車, b : 軽乗用車, c : 小型貨物車, d : 軽貨物車)

図 A-5 より 2030 年に電池単価が 3 万円/kWh までしか低減しなければ、どの車種においても EV は普及しないといえる。

B 第 4 章詳細結果

本節では、本文 4.5.3.1 節で示せなかった EV・PHEV 普及時の 2050 年における中間期休日の発電の様子を原子力上限制約別・充電パターン別で図 B-1 示す。



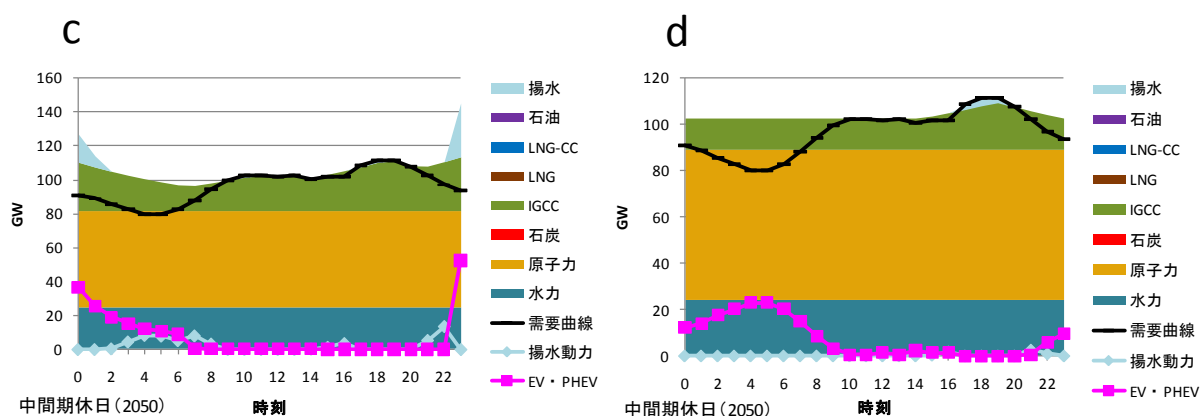


図 B-1 2050 年の EV・PHEV 普及時の中間期休日の発電の様子
(a : 上限 64GW+タイマー充電, b : 上限 64GW+ボトム充電,
c : 上限 80%+タイマー充電, d : 上限 80%+ボトム充電)

タイマー充電では、23 時からの EV・PHEV の充電電力は揚水によって賄われる。このため、揚水発電はピーク需要だけでなく、23 時からの充電電力にも備える必要がある。ボトム充電の場合、負荷率をあげる役割を担う揚水動力がほとんど無いため、EV や PHEV の充電電力がその役割を代替していることがわかる。また、原子力上限制約 80% の場合、EV・PHEV の充電電力によってボトム需要が増加し、原子力導入制約緩和のために原子力が増大する。

謝 辞

本研究は、東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻 山地 憲治教授および東京大学 大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 ((財)電力中央研究所 上席研究員) 山本 博巳 客員准教授の御指導のもとに遂行されたものであり、終始懇切な御教示と御鞭撻を賜り、ここに深甚なる感謝の意を表す次第です。

また、数多くの方々から多くの御助言を賜りました。心より感謝申し上げます。

荻本 和彦特任教授には、打合せの度に研究を行ううえでの確かな御示唆・御助言を賜る事が出来ました。心より御礼申し上げます。

岩船 由美子講師には、研究を進めるにあたって非常に具体的で適切なアドバイスを頂きました。心より御礼申し上げます。

共同研究としてお世話になり、毎回貴重な御意見・御助言をして下さった電力中央研究所、岡野 邦彦様、日渡 良爾様、池谷 知彦様にも心より感謝申し上げます。

松方恵美様、岩本留美子様の秘書の御二方には私の研究および学生生活を事務の面からサポートして頂きました。深く感謝致します。

研究生活においては、同専攻の先輩で多くの時間を共にした高木 雅昭さんと準博士研究員であった永井 雄宇さんには研究の方向性や日常生活も含めた様々なご助言を頂き、非常に有益な研究室生活を送ることができました。心より感謝申し上げます。

同輩の鯉江 康弘君には、学生生活を通して時に楽しく、時に苦しさを分かち合いながら、切磋琢磨してきた仲であったと、心から感謝しております。

岩船研究室修士1年生の井上 敬君、学部4年生の魏 啓為君、チョン イェウンさん、山田 智之君には、様々な角度から学生生活をサポートしていただきました。本当にありがとうございました。

最後に、充実した学生生活、ならびに研究活動に打ち込める環境を与えて頂き、温かく見守ってくれた両親に心から感謝します。本論文を両親に捧げるものとし、謝辞を結びます。

2010年2月

中上 聡

参考文献

- [1]環境省資料 「平成 19 年版 環境白書」 (2007)
- [2]国土交通省 交通需要推計検討資料 「保有台数の推計結果」
- [3]経済産業省 資源エネルギー庁 「新・国家エネルギー戦略」(2006)
- [4]日渡良爾, 岡野邦彦, 山本博巳, 高崎昌洋, 藤井康正 「プラグインハイブリッド車導入が日本の電力需要へ及ぼす影響」 電力中央研究所 L05008 (2006)
- [5] EPRI 「Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options」
EPRI report 1000349 EPRI Palo Alto CA (2001)
- [6]篠田幸男, 田中秀雄, 秋澤淳, 柏木孝夫 「系統電源構成を考慮したプラグインハイブリッド自動車の導入評価」 電気学会論文誌 B 部門 128(6) pp. 827-835 (2008)
- [7]国土交通省 「自動車輸送統計調査年報平成 16 年度分」(2004)
- [8]国土交通省 「平成 11 年度道路交通センサス OD 調査」(1999)
- [9]国土交通省 「平成 17 年度道路交通センサス OD 調査」(2005)
- [10]国土交通省 「自動車輸送統計調査年報平成 17 年度分」(2005)
- [11]朝倉吉隆 「HV, EV, PHV の開発動向と展望」 エネルギー・資源学会 研究資料 No. 81
pp. 29-38 (2009)
- [12]小林敏雄 第 6 回日本水素エネルギー産業会議 資料集 pp. 5-22 (2007)
- [13]経済産業省 「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」(2006)
- [14]経済産業省 「次世代自動車・燃料イニシアティブ」(2007)
- [15]プリウス実燃費
<http://www.pupukids.com/jp/profile/car/prius/nenpi.htm>
- [16]トヨタエースホームページ
<http://toyota.jp/toyoace/>
- [17]ダイハツハイゼットホームページ
<http://www.daihatsu.co.jp/lineup/truck/index.htm>
- [18]国土交通省 「ガソリン乗用車の 10・15 モード燃費平均値の推移」(2009)
- [19]国土交通省・経済産業省 「乗用車等の新しい燃費基準に関する最終取りまとめ」(2007)
- [20]日経エレクトロニクス他 「次世代電池 2007/2008」 日経 BP 社
- [21]ディーゼルハイブリッドホームページ
<http://www.kunisawa.net/column/archievs/000582.html>
- [22]東京電力 <http://www.tepco.co.jp/>
- [23]財団法人日本エネルギー経済研究所石油情報センター価格情報
<http://oil-info.iej.or.jp/index.html>
- [24]自動車検査登録協会 「わが国の自動車保有動向」(2009)
- [25]経済産業省 総合資源エネルギー調査会需給部会 「長期エネルギー需給部会」(2008)

-
- [26] 戸張智貴 「家庭用C G S・給湯用H Pの大規模導入が日本のエネルギー需給・CO₂排出量に及ぼす影響の評価」 東京大学大学院 工学系研究科修士論文 (2006)
- [27] 電気事業連合会 「モデル試算による各電源の発電コスト比較」 (2004)
- [28] 経済産業省 資源エネルギー庁電力・ガス事業部会編 「平成 19 年度電源開発の概要」
- [29] 浅野浩志, 高橋雅仁, 西尾健一郎 「電源構成モデルを用いた分散型電源およびヒートポンプ給湯器普及影響の分析」 Y05014 電力中央研究所 (2006)

発表実績

1. 中上 聡, 橋本 篤樹, 高木 雅昭, 山本 博巳, 山地 憲治 「走行パターンを考慮したプラグインハイブリッド車の電力需要の検討」, 平成 21 年電気学会全国大会 (2009 年 3 月)
2. 中上 聡, 橋本 篤樹, 高木 雅昭, 山本 博巳, 山地 憲治, 日渡 良爾, 岡野 邦彦, 池谷 知彦 「走行パターン見直しによるプラグインハイブリッド車の導入評価」, 第 28 回エネルギー・資源学会研究発表 (2009 年 6 月)
3. 中上 聡, 山本 博巳, 山地 憲治, 日渡 良爾, 岡野 邦彦, 池谷 知彦 「充電パターンを考慮したプラグインハイブリッド車の導入評価」, 第 18 回 日本エネルギー学会研究発表 (2009 年 7 月)
4. Satoshi Nakaue, Hiromi Yamamoto, Kenji Yamaji, Masaaki Takagi, and Atsuki Hashimoto “Evaluation of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Considering Driving Pattern and Optimal Power Generation Mix” 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems, Sept. 30, 2009
5. 中上 聡, 山本 博巳, 山地 憲治, 高木 雅昭, 岩船 由美子, 日渡 良爾, 岡野 邦彦, 池谷 知彦 「車種別利用パターンを考慮したプラグインハイブリッド車の経済及び環境便益の分析」 第 26 回 エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (2010 年 1 月)
6. 中上 聡, 山本 博巳, 山地 憲治, 高木 雅昭, 橋本 篤樹, 日渡 良爾, 岡野 邦彦, 池谷 知彦 「利用パターンと電源構成を考慮したプラグインハイブリッド車導入と CO₂ 排出量の評価」, 日本エネルギー学会誌, (2010 年 3 月掲載予定)
7. S.Nakaue, H.Yamamoto, K.Yamaji, and M.Takagi, “A study on economic and environmental benefits of plug-in hybrid electric vehicle considering driving pattern and optimal power generation mix”, the *Journal of Energy*, (査読中)