３章　環境負荷削減技術による CO2 削減効果とヒートアイランド緩和効果

本章では、以下に示す地球温暖化対策技術について、技術の普及がヒートアイランド現象に及ぼす影響や CO2 排出削減に寄与する効果に関し、知見を整理する。知見の整理にあたっては、文献や公的機関のホームページ、有識者やメーカーへのヒアリング等を実施した。

・電気自動車等の次世代自動車
・太陽光発電
・　ヒートポンプ給湯器
・太陽熱給湯システム
・家庭用燃料電池等の家庭用コージェネレーションシステム

３．１　調査結果のまとめ

１）次世代自動車（３．２参照）

地球温暖化対策効果では、最も効果が高いのが電気自動車で、ガソリン自動車に対して、CO2 排出削減では 75%、また燃料電池自動車では 70%の削減が見込まれる。また、ヒートアイランド緩和に寄与する排熱削減量で評価すると、電気自動車はガソリン自動車に対して８割以上もの削減が期待される。既存研究から電気自動車による気温低減の効果をみると、東京 23 区及びその周辺域を対象として自動車の全走行量の約９割が電気自動車に転換した場合に、気温低下量は午前8時に最大となり、都心エリア内(大手町・霞ヶ関などを含む業務地域16k㎡)平均で0.40℃、東京23区内平均で0.29℃であった。

表 3-1　次世代自動車の地球温暖化対策効果とヒートアイランド緩和効果

	地球温暖化対策効果		ヒートアイランド緩和効果		
	1km 走行当り CO2 排出量 (g-CO2/km)	対ガソリン車 CO2 削減率	1km 走行時消費エネルギー (MJ/km)	対ガソリン車 排熱削減率	気温低減効果
ガソリン自動車	193	0.0%	2.23	0.0%	－
ガソリン ハイブリッド	123	36.3%	1.42	36.3%	－
ディーゼル ハイブリッド	89	53.7%	1.11	50.2%	－
CNG	148	23.3%	2.23	0.0%	－
燃料電池自動車	58	69.8%	0.78	65.0%	－
電気自動車	49	74.6%	0.4	82.1%	最大 0.4℃ (8:00) 平均 0.1 度 (14:00) (注)

（注）東京 23 区を対象に乗用車およびバス、小型貨物車の全ての自動車が電気自動車に転換した場合の気温低減効果を求めている。

２）太陽光発電（３．３参照）

太陽光発電を一般家庭に設置する場合、オール電化システムと一体で導入する事例が多いことから、電力とガスを併用する一般住宅、オール電化住宅、オール電化住宅に太陽光発電を導入した場合の３つに分けて CO2 削減効果を推計した。一般住宅に対し、オール電化住宅では 16%の CO2 排出削減になり、太陽光発電（出力 3kW）を導入することで、一般住宅比で 57%もの削減が見込まれる。

CO2 排出量の大幅な削減が見込まれる一方で、太陽電池パネルの日中の表面温度が上昇することで通常の屋上面よりも顕熱量が 100W/㎡程度大きくなる可能性が指摘されている。しかし夜間には逆に太陽光パネルよりも屋上面が温かく、大気の安定する夜間にはヒートアイランド緩和効果があるとされる。

日中に高温となる太陽光パネルに対して散水による冷却を実施した研究事例では、エネルギー効率の向上と表面温度低下によるヒートアイランド緩和効果の両面に効果が認められたと報告されている。

表 3-2　太陽光発電の地球温暖化対策効果とヒートアイランド緩和効果

	地球温暖化対策効果		ヒートアイランド緩和効果
	世帯当り年間 CO2 排出量 (kg-CO2/世帯･年)	対一般住宅 CO2 削減率	気温低減効果 (熱負荷の変化)
一般住宅	3,480	0.0%	－
オール電化住宅	2,924	16.0%	－
オール電化住宅 ＋ 太陽光発電	1,496	57.0%	太陽光パネルの設置面積当り、 日中は 100W/㎡の増加 夜間は 60～70W/㎡の減少

（注）一般住宅からの CO2 排出量には、暖房、冷房、給湯、厨房、照明・動力他のみを含めている。

３）太陽熱給湯システム（３．４参照）

1980 年代に年間 40 万台を超えて普及した太陽熱利用給湯であるが、現在は年間 3～4 万台程度と横ばいの状態である。ただし、太陽熱利用給湯のエネルギー効率は高く 40%程度とされる。都市ガスを用いた給湯に比べて、CO2 排出量で 12%程度の削減が見込まれる。

ヒートアイランド緩和に及ぼす効果については、既存の文献等で扱ったものは見られず、太陽熱利用温水器のパネル等の表面温度の測定データも現状では入手できず、詳細な検討には実測調査などが必要となる。

表 3-3　太陽熱利用給湯の地球温暖化対策効果とヒートアイランド緩和効果

比較エネルギー	地球温暖化対策効果		ヒートアイランド緩和効果
	世帯当り年間 CO2 排出量 (kg-CO2/世帯･年)	対一般住宅 CO2 削減率	―
一般住宅	3,480	0.0%	―
太陽熱温水器導入住宅	3,060	12.1%	―

（注）一般住宅における給湯方式を都市ガスを用いた給湯器とした。

４）ヒートポンプ給湯器（３．５参照）

標準的なヒートポンプ給湯器（エコキュート）1 台あたりの年間 CO2 削減量は、約 500kg-CO2 とされており、一般住宅にヒートポンプ給湯器を導入した場合の CO2 排出量は約 15%削減される。また、ヒートアイランド緩和効果については、ヒートポンプ給湯器が室外機で熱交換を行う際に大気から熱を奪うため、特に夏季にはヒートポンプ給湯器が稼動する夜間の屋外気温を低下させる効果を有する。その効果を研究した事例では、明け方の 5～6 時ころに最大で 0.7～1℃程度の気温低下が期待できるとしている。

表 3-4　ヒートポンプ給湯器の地球温暖化対策効果とヒートアイランド緩和効果

	地球温暖化対策効果		ヒートアイランド緩和効果
	世帯当り年間 CO2 排出量 (kg-CO2/世帯･年)	対一般住宅 CO2 削減率	気温低減効果 (熱負荷の変化)
一般住宅	3,480	0.0%	―
ヒートポンプ給湯器 導入住宅	2,964	14.8%	明け方の 5～6 時ころに最大で 0.7～1℃程度の気温低下

（注）一般住宅にヒートポンプ式給湯のみを導入した場合として算定した。

５）家庭用燃料電池（３．６参照）

コージェネレーションシステムは、これまでの集中型の発電システムに比べるとエネルギー効率が大幅に改善し、CO2 排出削減に寄与する。家庭用燃料電池の CO2 排出量は、買電（LNG 火力発電と仮定）とボイラにてまかなう場合に比べ 33%の削減となる。

ただし、現状の電力系統で捨てられている熱の多くが都市から離れているところで海水や大気中に排出されているのに対し、家庭用燃料電池を導入することで、総合的な CO2 排熱量は少な

くなるものの都市内で排出されることになり、ヒートアイランド現象に影響を及ぼすことが考えられる。東京 23 区の全住宅に家庭用燃料電池を導入した場合の気温に及ぼす影響を研究した事例では、住宅地区で朝夕に 0.1℃未満の上昇、23 区平均では 0.02℃の気温上昇が見込まれている。

表 3-5　家庭用燃料電池の地球温暖化対策効果とヒートアイランド緩和効果

	地球温暖化対策効果		ヒートアイランド緩和効果
	世帯当り年間 CO2 排出量 (kg-CO2/世帯･年)	対一般住宅 CO2 削減率	気温低減効果 (熱負荷の変化)
一般住宅	3,480	0%	―
家庭用燃料電池 導入住宅	2,332	33%	住宅地区で朝夕に 0.1℃未満の上昇、23 区平均では 0.02℃の気温上昇

３．２　電気自動車等の次世代自動車

１）自動車によるヒートアイランド現象への寄与

自動車などからの人工排熱はヒートアイランド現象の主要な原因の１つである。東京 23 区の人工排熱を調査した結果[1]では、交通による排熱は人工排熱全体の約 30%を占めている（図 3-1）。

その詳細を見ると（表 3-6）、交通による排熱全体（584.1TJ/day）のうち約９割（529.7TJ/day）を自動車が占めている。また、大気を直接に暖める要因となる顕熱は 505.8TJ/day となっており、顕熱全体（1574.3TJ/day）の 32%を占めており、自動車によるヒートアイランド現象への寄与が高いことが分かる。

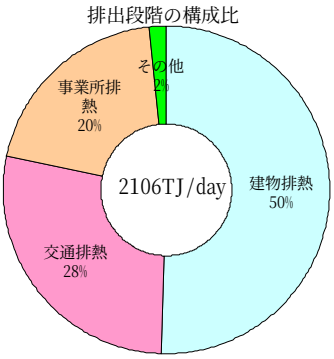


図 3-1　東京 23 区における人工排熱[1]

表 3-6　東京 23 区における人工排熱量　資料）報告書[1]より

熱源の種別				環境への排熱量（TJ／Day） 顕熱	潜熱	排水等	合計	（構成比）
建物排熱	業務ビル	事務所（工場建屋も含む）、商業施設、ホテル、学校、その他		469.6	190.2	22.6	682.4	32.4%
	地域冷暖房			20.2	71.7	3.3	95.1	4.5%
	地下施設			—	—	—	—	—
	住宅	戸建住宅		118.1	-26.6	83.7	175.3	8.3%
		集合建住宅		101.8	-19.9	32.9	114.7	5.4%
	計			709.7	215.4	142.5	1067.5	50.7%
	（構成比）			66%	20%	13%	100%	—
交通排熱	自動車		（走行）	505.8	23.9	0.0	529.7	25.1%
			道路施設	—	—	—	—	—
	鉄道	地上	（走行）	20.9	0.0	0.0	20.9	1.0%
			駅舎	—	—	—	—	—
		地下	（走行）	11.4	0.0	0.0	11.4	0.5%
			駆体（トンネル、駅、コンコース）	5.7	0.0	0.0	5.7	0.3%
	船舶		（停泊、港内航行）	5.2	0.6	0.0	5.8	0.3%
			港湾保安施設	—	—	—	—	—
	航空機		（アイドル、離着陸）	10.1	0.5	0.0	10.6	0.5%
			航空保安施設	—	—	—	—	—
	計			559.1	25.0	0.0	584.1	27.7%
	（構成比）			96%	4%	0%	100%	—
事業所排熱	工場	（生産）		109.8	13.1	0.0	122.9	5.8%
	清掃工場	（焼却）		137.2	28.3	0.0	165.5	7.9%
	火力発電所	（発電）		27.3	15.1	90.9	133.3	6.3%
	下水処理施設	（分解、処理、焼却）		—	—	—	—	—
	計			274.3	56.5	90.9	421.7	20.0%
	（構成比）			65%	13%	22%	100%	—
その他	建設工事	（建設機械）		31.2	1.9	0.0	33.1	1.6%
	廃棄物埋立処分場	（分解）		—	—	—	—	—
	計			31.2	1.9	0.0	33.1	1.6%
	（構成比）			94%	6%	0%	100%	—
合計				1574.3	298.8	233.4	2106.5	100%
（構成比）				75%	14%	11%	100%	—

[1]（社）環境情報科学センター、平成 15 年度都市における人工排熱抑制によるヒートアイランド対策調査報告書，平成 16 年３月

２）自動車による CO2 排出量

日本の CO2 排出量は 2007 年度で約 13 億トンとなっており、運輸部門はそのうちの 19%を占める主要な排出源で、自動車からの排出量は運輸部門の約 9 割を占める。2007 年度の全体の排出量は、京都議定書の基準年より 13%の増加となっている。運輸部門も基準年と比較すると約 15%の増加となっているが、ここ数年は微減が続いている。

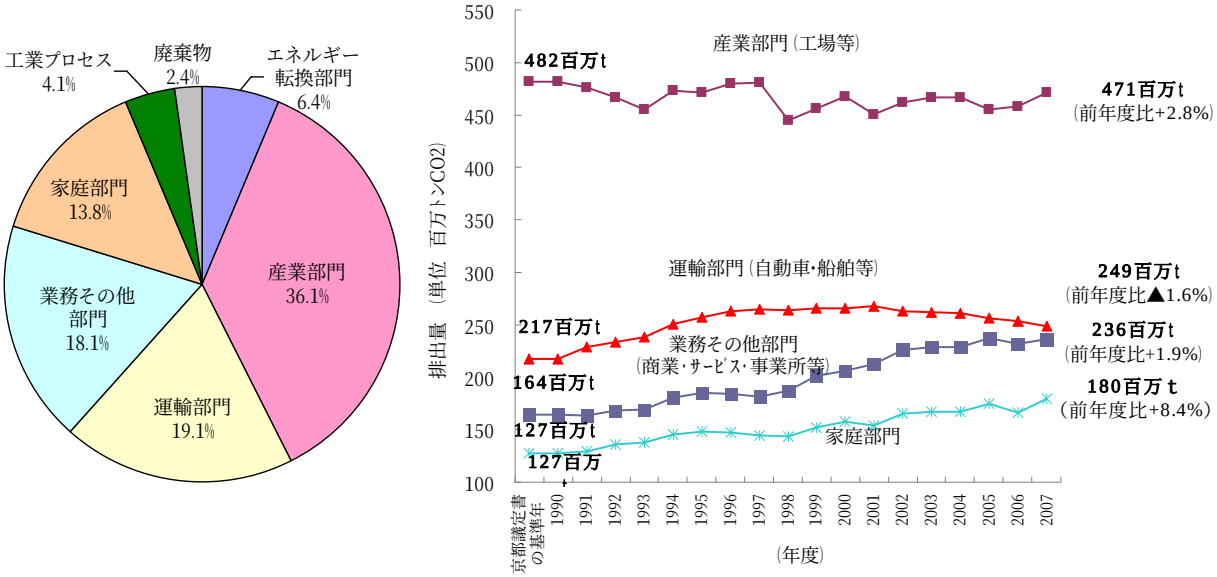


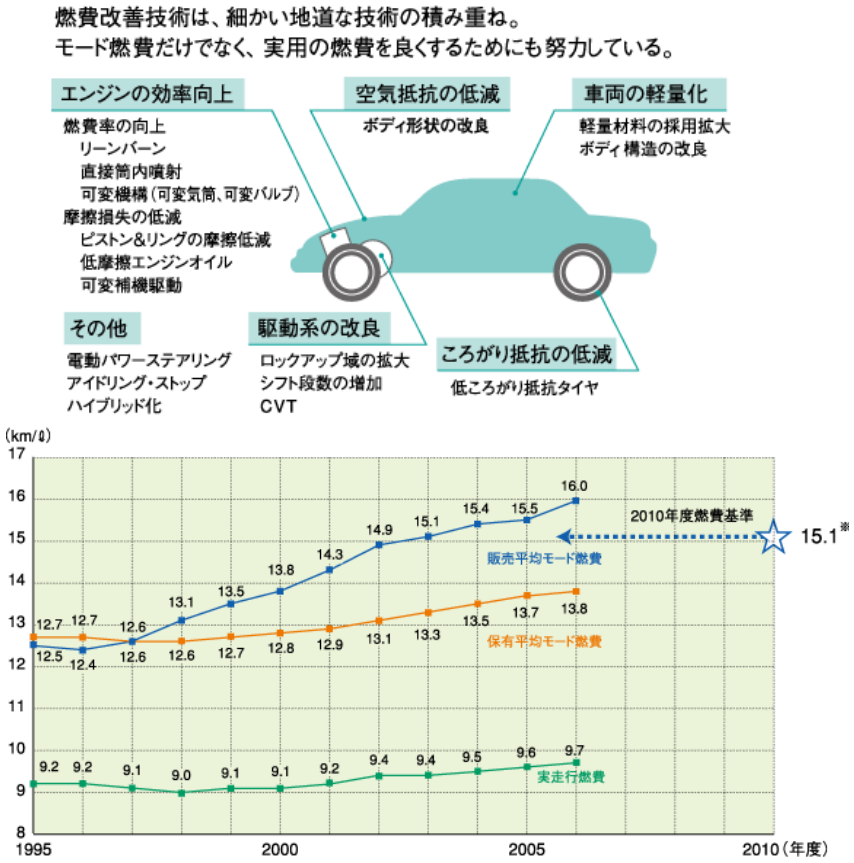
図 3-2　部門別 CO2 排出割合（2007）と主要 4 部門の排出量推移[2]

[2] 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスのデータをもとに作成

３）自動車の開発動向

（１）ガソリン車等の既存技術の開発動向

現在の主流であるガソリン自動車やディーゼル自動車においてもエンジンの効率向上が図られており、その他にも空気抵抗や車両の軽量化など様々な対策技術が開発、採用され、燃費は年々改善されている。ガソリン車の販売自動車のモード燃費は、2010 年度基準達成相当の 15.1km/L を 2004 年時点で達成しており、その後も燃費は改善されつつある。



（出典）自動車工業会

図 3-3　主な燃費向上技術と燃費の推移

（２）次世代自動車の概要

自動車の開発は、こうした既存技術の改善のみでなく、電力や新たな燃料を活用する次世代自動車の開発が積極的に進められており、既に実用化・普及されているものも見られる。環境省の「次世代自動車普及戦略（平成 21 年 5 月）」では、こうした次世代自動車を表 3-7 のように区分している。

表 3-7　次世代自動車の区分

実用化普及段階	電気自動車（EV）
	ハイブリッド自動車（HV）
	天然ガス自動車（NGV）
	ディーゼル代替 LPG 自動車
	ジメチルエーテル（DME）自動車
	クリーンディゼル自動車
	バイオマス由来燃料自動車
商品化開発段階	燃料電池自動車（FCV）
	水素自動車

（出典）環境省「次世代自動車普及戦略」

このうち、実用化普及段階にある次世代自動車はかなりのペースで普及が進んでいるものもあり、中でもハイブリッド自動車は 2006 年度で 35 万台を越えている。

表 3-8　次世代自動車の保有台数推移

単位:台

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
電気自動車	2,500	2,400	2,600	3,800	4,700	5,600	7,700	8,500	9,900	9,400
ハイブリッド自動車	3,700	22,500	37,400	50,400	74,600	91,000	132,500	196,800	256,600	356,300
天然ガス自動車	2,093	3,640	5,252	7,811	12,012	16,561	20,638	24,263	27,605	31,462
メタノール自動車	300	279	222	157	135	114	62	60	60	60
ディーゼル代替LPG自動車	8,888	9,950	10,955	12,602	14,962	17,054	19,483	20,670	21,868	23,007
合計	17,481	38,769	56,429	74,770	106,409	130,329	180,383	250,293	316,033	420,299

(出典)日本自動車研究所、日本ガス協会、自動車検査登録情報協会、運輸低公害車普及機構

（引用）環境省「次世代自動車普及戦略」

表 3-9 に各技術の概要を示す。

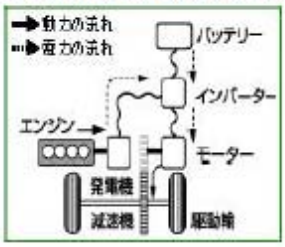
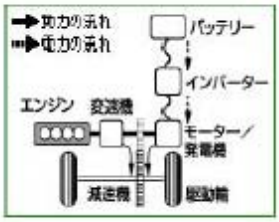
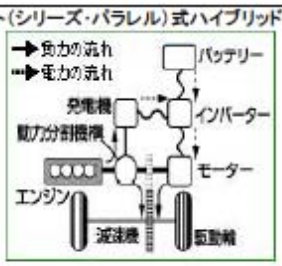
電気自動車はバッテリーに系統電力を蓄電してモーターにより駆動する自動車である。1 回の充電で走行可能な距離がガソリン自動車に比べて短く、現在の最も大きな課題は大容量大出力の 2 次電池の開発である。

ハイブリッド自動車はモーターとエンジンを併用して走る自動車であるが、その併用の方法によって複数のシステムが開発されている。次世代自動車の中では現在最も普及している技術である。また、家庭用電源で充電可能なプラグインハイブリッドは、充電頻度を高め、効率の良い電力駆動による走行比率を高めることでさらなる省エネが期待できる。

液化石油ガス（LPG）や天然ガス、ジメチルエーテルなどの燃料を用いる自動車も開発されており、LPG は既にタクシーや軽貨物など実用化が進んでいる。

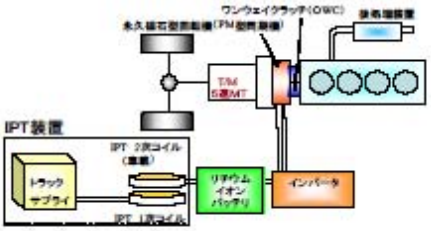
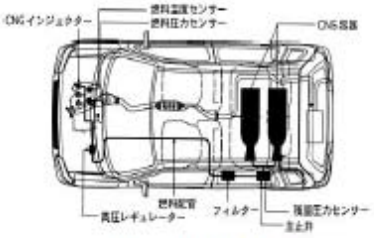
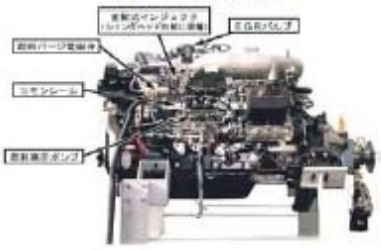
開発段階にある燃料電池自動車（FCV）は、高い環境性能と長い航続距離などから今後の商品化が期待されている。現在は水素を自動車のタンクに直接高圧補給する方式が検討されているが、水素の供給体制の構築などの課題が残されている。

表 3-9　次世代自動車技術の概要（１／３）

名称		技術の内容・機能・効果	システム例等
電気自動車(EV)		○電力によりモーターを回し、推進力を得る自動車。 ・走行中に有害な排出ガスを一切出さない、ゼロエミッションを実現。使用する電気量を発電所で発生するCO2量に換算しても、ガソリンエンジン車の約1/3程度。 ・振動や騒音が少ない。 ・充電に長時間を要することと、1回の充電による航続距離が短いことがネックとなっていたが、現在はリチウムイオン電池等の高密度バッテリーの開発により一回の充電で航続距離200km、200V電源を利用した急速充電器による15分程度の充電で航続距離60kmを実現している。	電気自動車の主な特徴
ハイブリッド自動車（ＨＶ）	マイクロ式	○自動アイドルストップ＋回生エネルギー回収 ・停車時自動でアイドリングを停止し、発進時自動でセルスタートしエンジンを始動させる。 ・減速時回生ブレーキにより発電し、エネルギーを蓄える。	
	シリーズ（直列）式	○エンジンで発電した電力を使って電気モーターを駆動するハイブリッドシステム。 ・モーターにより車輪を駆動するため、出力制御が容易に行なえる。 ・減速時のエネルギーを蓄える回生ブレーキが利用できる。 ・通常より排気量や出力の小さいエンジンを使用できる。 ・エンジンのみで駆動するクルマに比べて燃料消費量が少ないため、CO2排出量が削減できる。 エンジンを発電のみに利用するため、ガスタービンなどの出力調整が難しいが熱効率に優れたエンジンを使用することもできる。	シリーズ式（直列）ハイブリッドシステム 
	パラレル（並列、又は、マイルド）式	○エンジンとモーターを状況に応じて使い分けるハイブリッドシステム。 ・減速時のエネルギーを蓄える回生ブレーキが利用できる。 ・通常より排気量や出力の小さいエンジンを使用することができる。 ・エンジンのみで駆動するクルマに比べて燃料消費量が少ないため、CO2排出量が削減できる。 ・排出ガスの発生量が多い発進や加速時にモーターが補助するため、環境性能が向上する。 ・	パラレル（並列）式ハイブリッドシステム 
	スプリット（又は、フル、シリーズ・パラレル、ストロング）式	○シリーズ式とパラレル式の特徴を合わせもつ方式。 ・発進時はモーターで、加速時など駆動力が必要なときはエンジンとモーターを併用し、一定速度走行時はエンジンで走りながら余力の動力は充電するなどして、排出ガス低減と燃費効率を大幅に向上することができる。 ・エンジンのみで駆動するクルマに比べて燃料消費量が少ないため、CO2排出量が削減できる。	スプリット（シリーズ・パラレル）式ハイブリッドシステム 

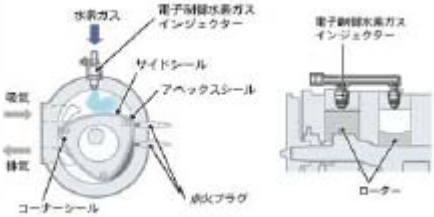
（出典）環境省「次世代自動車普及戦略」

表 3-9　次世代自動車技術の概要（２／３）

名称		技術の内容・機能・効果	システム例
ハイブリッド自動車（充電式）	プラグインハイブリッド自動車(PHV)	○コンセントにプラグを接続し、駐車時にバッテリーを充電することができるハイブリッド自動車。 ・短距離走行の際は電気自動車として、長距離走行ではハイブリッド車として使用できる。 ・市街地のような短距離走行の際は、ガソリンを消費しないEV走行機会の増大が可能。 ・深夜電力の使用により、電気代も含めたトータルの燃料代が安くなる。 ・EV走行可能距離の拡大により、排出ガスやCO2排出量を削減できる。	プラグインハイブリッドの仕組み
	高速充電ハイブリッド自動車(IPTHV)	○IPT(Inductive Power Transfer：非接触給電システム)により短時間駐車の際にバッテリーに充電できるハイブリッド自動車。 ・路線バスでは、ターミナルにて充電することで、指定の路線を全て電気で走行する。・インフラが必要となるが、電気バスにする場合の、バッテリー重量増加を避ける事ができる。 ・エンジンは、エマージェンシーとして充電設備のない場所を走行する際や、システム故障の際に使用。	IPTの仕組み 
ディーゼル代替LPG自動車		○ディーゼル代替LPG自動車は、LPG(液化石油ガス)を燃料とした自動車であり、基本的なエンジン構造はガソリン自動車と同じである。 ・LPGは2～8気圧の低圧で液化するため、貯蔵が容易で、航続距離が長く、燃料の価格も安く設定されている。 ・ガソリンエンジンと同様の排気ガス対策が適用できるため、環境性能が高く、黒煙を出さず、NOxやPM、CO、HC等の排出量が少ない。 ・燃料の経済性から、タクシー等の乗用車に多く使われてきたが、加えて高い環境性により、貨物車等のディーゼル自動車代替としての役割が注目されている。	
天然ガス自動車(NGV)		○天然ガスを燃料とした自動車。 ・燃料の貯蔵方式の違いにより、圧縮天然ガス(CNG・気体のまま容器に保存)と液化天然ガス(LNG・液化して超低温容器で保存)、吸着天然ガス(ANG・ガス容器内の吸着材に吸着させて貯蔵)に分類される。 ・航続距離が短いため用途は限定されるが、環境性能は高い。ディーゼル車との比較では黒煙を出さず、NOxやPMが少ない。また、ガソリンとの比較では、CO2の排出量が2割程度少ない。 ・CNGでは気体のため軽く、低床化が進む路線バスでは重心のバランスを損なうことなくルーフへのタンク搭載を可能としている。	CNG車の構造図 
ジメチルエーテルDME自動車		○DMEを燃料とする自動車、セタン価が高いことから貨物車等のディーゼル代替として使用。 ・排気黒煙が発生しない。 ・着火性が良く静粛な運転ができる。 ・同一シリンダー内圧で20～30%のNOxの低減効果が得られる。 ・実走行において軽油と同等の走行性能を有する。 ・セタン価が高く、黒鉛が少ないという特性から、主にディーゼル重量車に用いられる。	DMEエンジンの外観 

（出典）環境省「次世代自動車普及戦略」

表 3-9　次世代自動車技術の概要（３／３）

名称	技術の内容・機能・効果	システム例
クリーンディーゼル自動車	○排出ガス浄化性能に優れたディーゼルエンジン自動車。 ・これまでディーゼルエンジンはガソリンエンジンに比べて黒煙やNOxの排出量が多いというイメージが強かったが、排出ガス規制が年々強化され、最新規制に対応したディーゼルエンジンは、高い排出ガス浄化性能を実現している。 ・現状のガソリン乗用車代替とした場合、排出ガスエミッションはガソリン乗用車以下とはならない。同クラスのガソリンエンジンより熱効率が高いが、エンジンブロック等の強度アップが必要となり、ガソリンエンジンに比べ重量増やコストアップとなる。軽油1リッター当たりのCO2排出係数がガソリンよりも1割程度高いため、CO2削減効果を得るためには同クラスガソリン車に対し1割以上の燃費差が必要になる。 ・現状のディーゼル重量車代替とした場合は、排気ガス浄化性能は極めて優位であり、燃費についても同等が見込まれていることから、環境に配慮された自動車といえる。	クリーンディーゼルエンジンの構造
バイオマス由来燃料自動車	○バイオエタノール混合ガソリン、バイオディーゼル混合軽油等を燃料とする自動車。 ・基本的な構造は、一般自動車と変わらないが、エタノール混合燃料の場合、燃料系統で耐エタノール腐食部品の交換などの改造が必要になる。 ・エタノールの空燃比等がガソリンと多少異なるため制御系の改造も必要になる。 ・エタノール混合ガソリンを燃料として使用することができる自動車は既に多くの国で販売されている。 ・バイオディーゼル混合軽油は、バイオディーゼルの物性が原料となる植物油の種類によって異なるため、使用する場合には各々のバイオディーゼルの物性にあった排気ガス制御、燃焼制御等の調整を行わなければならない。また、酸化安定性についても問題が生じる場合もある。 ・米国やブラジルでは、任意のエタノール混合濃度のガソリンで運転可能な自動車としてFFV(フレキシブルフューエルビークル)が、既に市販され、普及している。 ・FFVは、日本の多くの自動車メーカーが輸出用として開発、販売を行っている。	
燃料電池自動車	○動力源として燃料電池を用い、そこから発生する電力によってモーターを回し、駆動力とする自動車。 ・燃料電池は、水素と酸素の化学反応によって電力を取り出す(水の電気分解の逆の反応)ため、排出されるのは無害な水のみ。 ・水素を燃料とするため充電の必要がない。 ・通常の発電機を介したエネルギー変換のように機械的な損失がなく、熱として無駄になるエネルギーを最小に抑えることができる。	燃料電池自動車の構造図
水素自動車	○水素を燃料として走行する自動車。 ・水素は炭素を含まないため、燃焼してもCO2、CO、HCなどが発生しない。 ・エンジンや車両の変更がわずかなため、低コストで開発が可能。	水素ロータリーエンジンの構造 

（出典）環境省「次世代自動車普及戦略」

4）次世代自動車のエネルギー効率

経済産業省が実施する JHFC プロジェクト（水素・燃料電池実証プロジェクト（Japan Hydrogen ＆ Fuel Cell Demonstration Project））において、各種高効率低公害乗用車の総合効率が比較検討されている[3]。検討では、Well to Tank 効率（各種燃料の製造、輸送段階のエネルギー効率）と Tank to Wheel 効率（自動車に供給された燃料の走行段階のエネルギー効率）を既存の文献等をもとに検討したのち、総合効率として Well to Wheel 効率を算定している。

検討の結果を図 3-4（1km 走行当り一次エネルギー量投入量）と図 3-5（1km 走行当り CO2 総排出量）に示す。エネルギー投入量では最も効率の良い電気自動車（BEV：battery electric vehicle）がガソリン自動車に対して 65%（1－(0.94/2.7)）もの省エネ化、CO2 排出削減では 75%（1－(49/193)）もの削減が達成されるとしている。

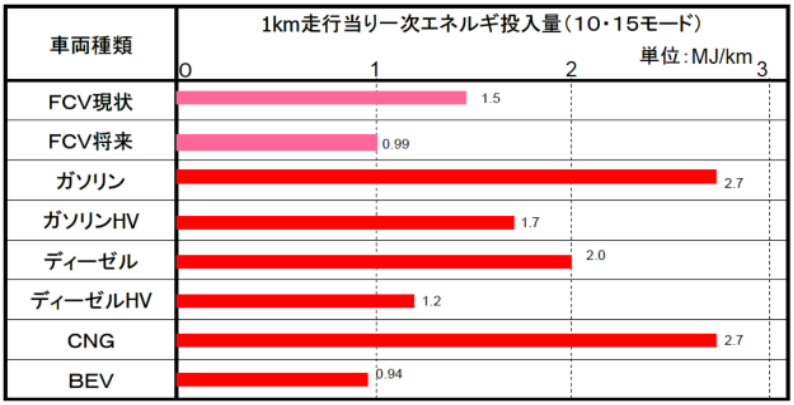


図 3-4　Well to Wheel エネルギー投入量計算結果[3]

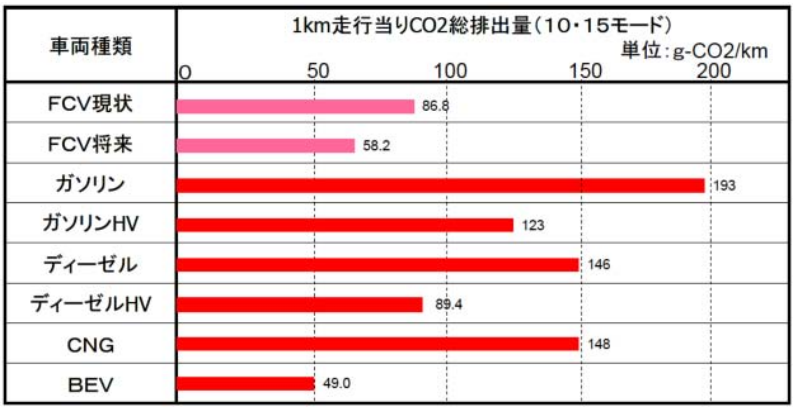


図 3-5　Well to Wheel CO2 総排出量計算結果[3]

また、ヒートアイランド現象に直接的に影響を及ぼすのは、都市における排熱量であるが、この場合燃料の精製・輸送過程などを考慮せずに自動車単体の効率、すなわち Tank to Wheel で排熱量を把握することが重要である。図 3-6 に Tank to Wheel での 1km 走行時燃料消費エネルギーを示す。ただし、この場合の FCV（燃料電池自動車）の効率は高圧水素を直接タンクに導入し

[3] JHFC 総合効率検討特別委員会、（財）日本自動車研究所「JHFC 総合効率検討結果報告書」平成 18 年 3 月

た場合の数値であり、ガソリンなどの燃料を改質して使用する場合の効率ではないことに注意が必要である（(社）自動車研究所 西尾氏)。

都市における走行による排熱量の削減という視点で見ると、電気自動車（0.4MJ/km）はガソリン自動車（2.23MJ/km）に対し、走行当りの排熱が 82%も削減されることが分かる。

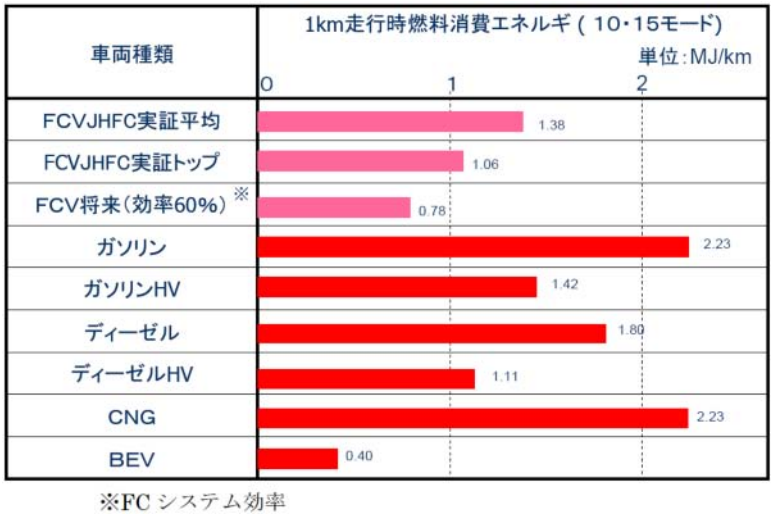


図 3-6　Tank to Wheel エネルギー投入量計算結果[3]

なお、JHFC 総合効率検討は現在も進められており、来年度（H22）に結果の改訂を予定しているとのことである（(社）自動車研究所 西尾氏)。

ただし電気自動車は、電化により集中型にシフトすることでエネルギーを高効率に利用し、CO2 排出を抑制できるとされるものの、2 次電池の寿命が短いとライフサイクル評価では CO2 削減効果が小さくなることが懸念されている[4]。

[4] 池谷和彦、紀平庸男、田村英寿、佐藤歩「自動車の電化と 2 次電池の課題」エネルギーフォーラム、653 号、2009 年 5 月

５）次世代自動車によるヒートアイランド緩和効果

既往文献による研究事例を収集し、その成果をまとめた。

次世代自動車の中でも、都市における走行中の排熱が最も少なくなる電気自動車を扱った研究事例が見られる。

池谷らの研究[5]によると、自動車の電化による環境負荷削減のポテンシャルについて東京 23 区を対象として、表 3-10 のケースについて計算した。

表 3-10　計算ケースの概要

ケース	ケースの概要	全走行量に対する割合
現状	電気自動車が全く普及していない場合	0%
ケース１	軽自動車の乗用車およびバス･小型貨物車の全てが電気自動車に置き換わった場合	22%
ケース２	乗用車およびバス､小型貨物車の全てが電気自動車に置き換わった場合	88%

各ケースにおける自動車排熱の削減率は、東京 23 区内日平均でケース１が 13.1%、ケース 2 が 53.1%となった。

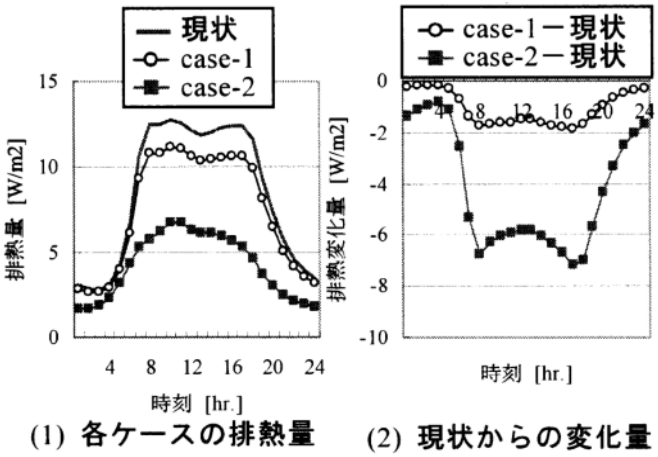


図 3-7　東京 23 区時間排熱量の時間変化（顕熱）[5]

東京 23 区及びその周辺域を含む 35km 四方を 500m メッシュに区切り、3 次元数値シミュレーションで計算したところ､気温低下量は午前 8 時に最大となり､ケース２では都心エリア内（大手町･霞ヶ関などを含む業務地域 16k ㎡）平均で 0.40℃､東京 23 区内平均で 0.29℃であった（図

[5] 池谷和彦、佐藤歩、田村英寿、馬場健司、田頭直人「電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価」電力中央研究所　研究報告書 Q08030、2009 年 7 月

3-8)。午前 8 時に効果が最も多く表れた理由として、この時間帯の自動車排熱削減量が既に日中並みに大きかったことに加え、日中と比べて風が弱く対流拡散も弱いため、排熱の影響が地上に大きく現れたものと考察している。

また、日中の最高気温時（14 時）の気温低下量は約 0.1℃であったが、気温感応度（30～40 万 kW/℃）から気温低下によるピーク電力の削減量を推計すると、一般家庭のピーク電力を約 1 万世帯分削減できる効果が期待できるとしている。

この研究で留意すべき点として、電気自動車では充電の過程でエネルギーロス（約 14%）が発生し、その分を都市排熱として考慮する必要があること、ガソリンの燃焼時に水分が発生するがその潜熱（全排熱量の 5%程度）を考慮して計算することが挙げられている。

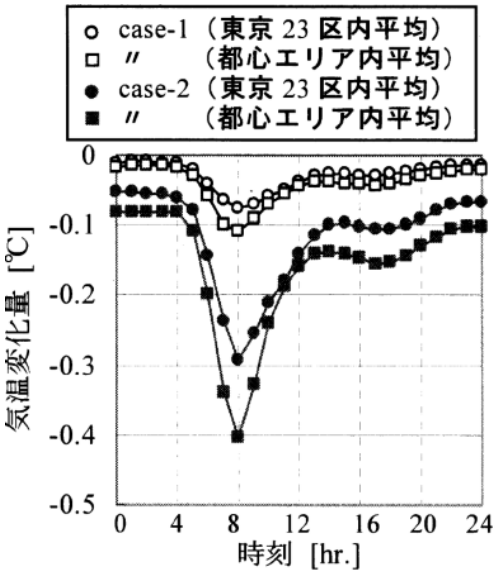


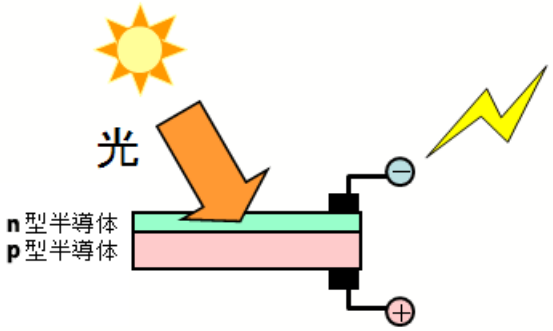
図 3-8　現状からの地上気温変化量[5]

また、本研究では東京 23 区の計算対象領域を 1～4km メッシュに分割し、各地域の平均的な温熱環境を計算・評価している。しかし、現在の自動車からの排熱状況を詳細に検討すると、交差点部などで加速、減速、アイドリングなど多くのエネルギーが使われ熱が排出されていると考えられる。また、交差点付近は歩行者への影響も大きく、特に改善が望まれる場所のひとつである。こうした問題点についても電気自動車の普及により、減速の際には回生ブレーキによりエネルギー損失を抑制したり、アイドリングによる排熱も削減可能である。こうした都市の詳細な熱環境の評価につては今後の課題と考えているとのことである（(財) 電力中央研究所地球工学研究所　田村氏)。

３．３　太陽光発電

１）太陽光発電の概要

太陽電池は電子に光エネルギーを吸収させて、エネルギーを持った電子を外部に取り出すことで電気を発生させる。エネルギーを持った電子を取り出す仕掛けには、「半導体」が使われ、太陽電池に太陽の光が当たると、電子（－）と正孔（＋）が発生し、正孔は p 型半導体へ、電子は n 型半導体側へ引き寄せられることで電界が生じる。

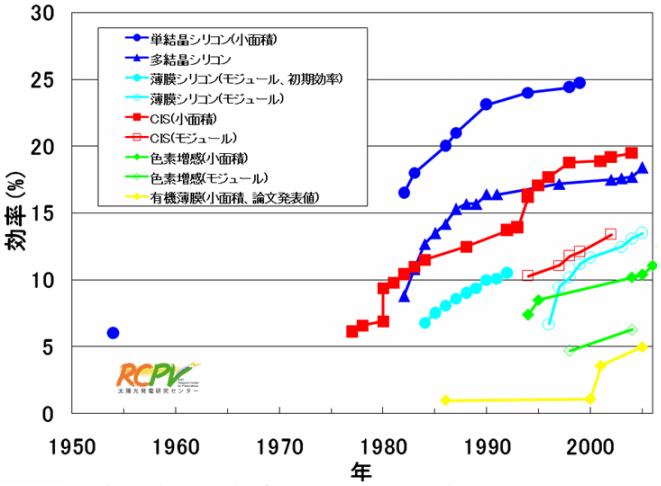


（出典）産業総合研究所 太陽光発電研究センター

図 3-9　太陽光発電の構造と原理

太陽電池は、使われる半導体によって様々な種類がある（表 3-11 参照）。大きくはシリコン系と化合物系他に分けられ、現在の主流はシリコン系である。さらに、シリコン系の半導体には、結晶系と薄膜系があり、結晶系はシリコンを溶かして固めた後、スライスした基板を用いて作るが、薄膜系はガラスなどの上にプラズマなどを利用して非常に薄いシリコンの膜を成膜して作る。薄膜系は大きな面積のものを大量に作ることができるが、変換効率や信頼性の面で、現状では結晶系シリコンに劣っている。

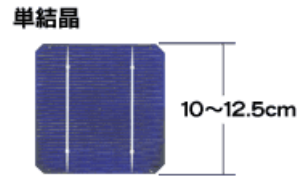
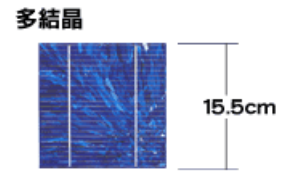
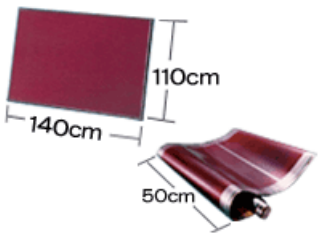
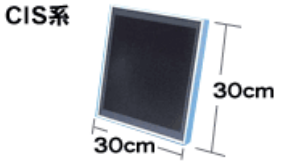
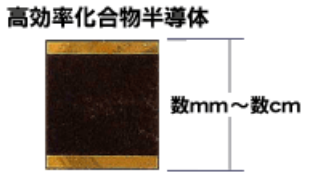
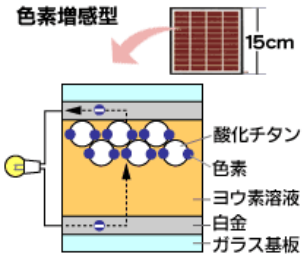
照射された太陽光のエネルギーのうち、何％を電力に変換できるかを「変換効率」で表す。この変換効率は太陽電池の種類によって大きく異なり、いずれの太陽電池も技術開発等により年々効率が高くなっている。現在市場で多く流通しているものは変換効率が 10～20％程度となっている（図 3-10）。



（出典）産業総合研究所 太陽光発電研究センター

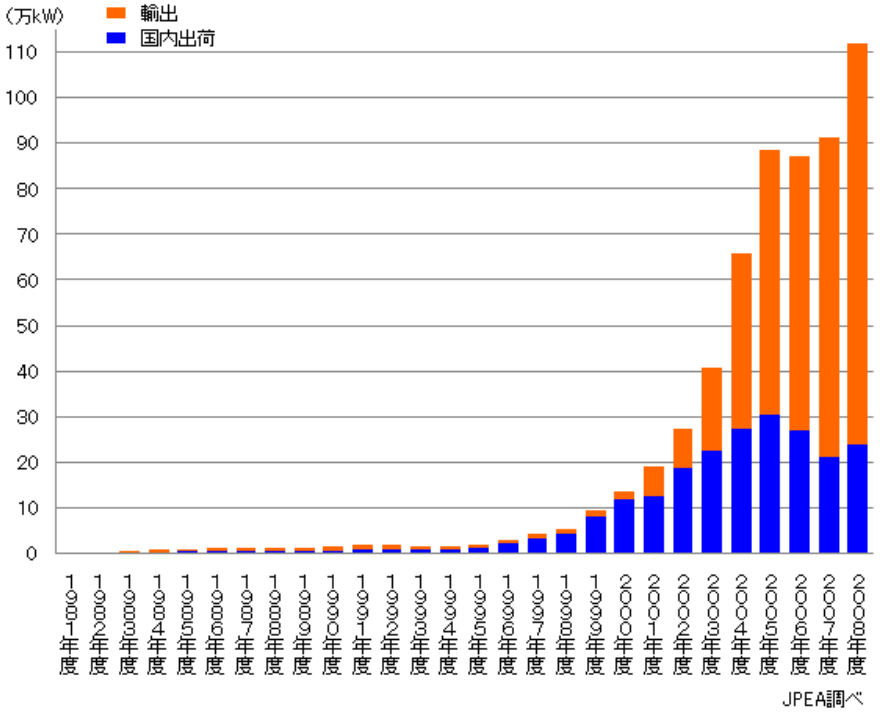
図 3-10　太陽電池の変換効率の推移

表 3-11　太陽電池の種類

シリコン系	結晶系シリコン		最も古い歴史があります。200μm～300μm の薄いシリコンの単結晶の板(基板)に太陽電池を作ります。基板の値段が高いのが欠点ですが、性能や信頼性に優れています。
			比較的小さな結晶が集まった多結晶でできている基板に太陽電池を作ったもので、単結晶より安価で、作りやすいことから現在の主流となっています。変換効率は、やや単結晶に劣ります。
	薄膜系シリコン		アモルファス(非晶質)シリコンや結晶シリコンをガラスなどの基板の上に 1μm 内外の非常に薄い膜を形成させて作った太陽電池です。大面積で量産ができるという特長がありますが、結晶系シリコンと比較して性能面に課題があります。
その他	化合物系		化合物半導体の一種で、銅とインジウムとセレン等を原料とした薄膜太陽電池です。製造工程が簡単で高性能が期待できることから技術開発が進んでいます。
			ガリウムヒ素など特別な化合物半導体の基板を使った超高性能(変換効率：30～40%)太陽電池です。現在は、コストが高く宇宙などの特殊用途ですが、将来は身近で使えるよう技術開発が行われています。
	有機物系		酸化チタンについた色素が、光を吸収して電子を放出することで発電する、新しいタイプの太陽電池です。簡単につくれ、応用範囲が広いため今後の発展が期待されます。

（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構　ホームページ

太陽光発電の出荷量は年間 100 万 kW を超えており、日本国内向けの出荷は 20 万～30 万 kW 程度となっている。日本国内向けの出荷量を住宅用の一般的な 3kW として設置件数を推計すると 7 万～10 万件程度に相当する。



（出典）太陽光発電協会

図 3-11　太陽光発電の総出荷量の推移

２）太陽光発電による CO2 削減効果

太陽光発電では、地域やパネルの設置角度によって発電量が異なるが、標準的な出力として太陽電池容量 1kW システム当たりの年間発電量は約 1,051kWh と推計される[6]。標準的な太陽光発電の出力を 3kW システムとすると、年間に 3,153kWh の電力を発生する。

太陽光発電を一般家庭に設置する場合、オール電化システムと一体で導入する事例が多いことから、電力とガスを併用する一般住宅、オール電化住宅、オール電化住宅に太陽光発電を導入した場合の３つに分けて CO2 削減効果を推計する。

一般住宅の CO2 排出量が 3,480kg-CO2 に対し、オール電化住宅では 2,924kg-CO2 と 16%の削減になる。

オール電化住宅に太陽光発電（出力 3kW）を導入する場合には、最終エネルギー消費で 3,153kWh 削減され、平成 19 年度一般電気事業者の電力 CO2 排出原単位 0.453kg-CO2/kWh[7]を

---

[6] 太陽電池アレイ 1（kW）×0.12（利用率）×365（日/年）×24（時間/日）＝1,051.2（kWh/年）
（出典）新エネルギー・産業技術総合開発機構

[7] 2007 年度（平成 19 年度）の温室効果ガス排出量（確定値）について、環境省、2009 年 4 月

用いると、1428kg-CO2 に相当し、約 51%の削減になる。

一般住宅にオール電化と太陽光発電を同時に導入した場合、CO2 排出量は 1,496kg-CO2 となり、一般住宅比で 57%もの削減が見込まれる。

表 3-12　一般住宅とオール電化住宅の CO2 排出量の比較（2007 年度）

	CO2 排出量（kg-CO2/世帯/年）	
	一般住宅	オール電化
暖房	665	357
冷房	128	128
給湯	737	396
厨房	225	318
照明・動力他	1,725	1,725
合計	3,480	2,924

（出典）家庭における CO2 排出量：国立環境研究所温室効ガスインベントリオフィスウェブページ

オール電化住宅における CO2 排出量算出は電力中央研究所資料[8]に基づき、以下のように算定

・暖房：ガスファンヒーターの機器効率=0.8、エアコンの COP=3.0
・ガス給湯器の機器効率＝0.8、エコキュートの COP＝3.0
・ガスコンロの機器効率＝0.56、IH 調理器の機器効率＝0.8

太陽光発電については、発電中に CO2 が発生しないものの、製造や廃棄などに伴う CO2 排出量を考慮したライフサイクル評価が行われている。CO2 排出量で元が取れるまでの期間を CO2 ペイバックタイム（CO2PT）と呼び、これが短いほど温暖化抑制効果が高いことになる。

産業総合研究所の太陽光発電研究センターによると、以下のように CO2PT が 0.77～2.2 年と推計されている。

CO2PT　= 想定寿命 * 電力量あたり排出量 / 電力量あたり削減量

= 30 * (17～48) / 660　=　0.77 ～ 2.2 (年)

表 3-13　現在の日本の電力の排出原単位

種類	温室効果ガス排出原単位
電力全体の平均	約 360g-CO2/kWh
化石燃料火力発電全体の平均(石油、石炭、天然ガスなど)	約 690g-CO2/kWh
太陽光発電の平均	約 17～48g-CO2/kWh

（出典）中央環境審議会　地球環境部会「目標達成シナリオ小委員会」資料、P.86

8 「オール電化住宅は地球温暖化防止に寄与するのか？」電力中央研究所、2007 年 10 月

３）地域や季節による太陽光発電の発電量の違い

太陽光発電の発電量は、地域の地形や季節ごとの太陽高度の違いなどによっても大きく影響を受ける。日本海側より太平洋側の日照時間が長く、冬季より夏季の日照時間が長くなる。ただし、太陽光発電の変換効率は太陽電池セルの表面温度が高くなると低下する性質があり、温度上昇10℃あたり、出力が 2～5%程度低下する[9]。そのため、夏季の日照量が多い時期より、５月ごろの比較的涼しい時期に発電量が多くなるケースも見られる。（図 3-12 右）

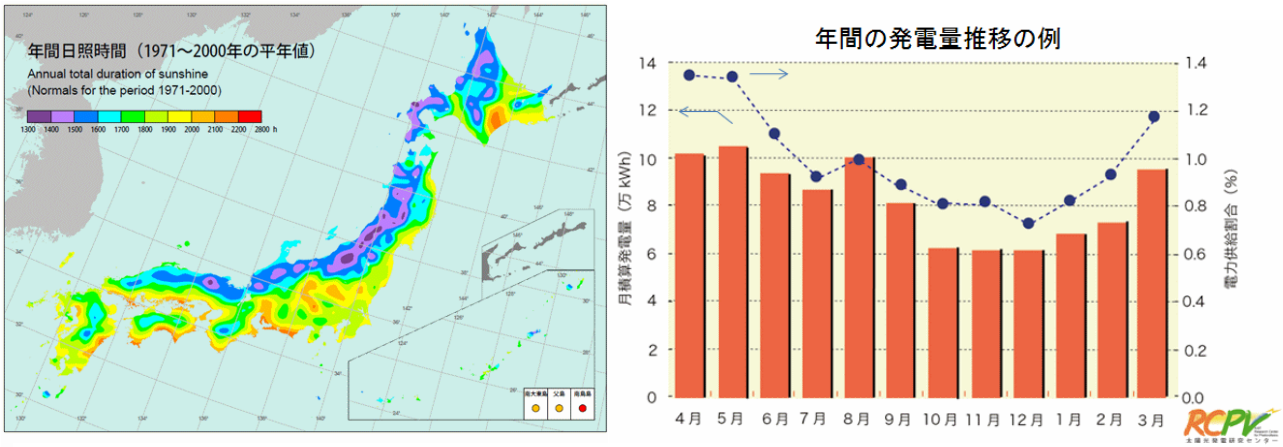


図 3-12　年間日照時間（左）と発電経月変化（右）
（出典）気象庁、産業総合研究所 太陽光発電研究センター

４）太陽光発電によるヒートアイランド緩和効果

既往文献による研究事例を収集・整理した。

太陽電池パネルを建物に取り付けた場合のパネルによる建物への日射遮蔽効果を研究した事例[10]では、屋上面より 870mm の高さに太陽光パネルを設置し、パネルの表裏温度やパネルと屋上面の間の空気温度を測定した。パネル表面温度は 64℃まで上昇しており、パネル裏面温度との差はほとんどなかった。パネル下の通気層温度はパネルより 435mm 離れたところでは外気温とほぼ同一であった。また、日没後は太陽光パネルの温度は急速に冷え、18 時ごろには外気温と等しい温度にまで低下し、朝まで外気温と同様の温度を保っている。

シミュレーションにより太陽光パネルによる日射遮蔽が建物への熱貫流を抑制する効果を計算したところ、冷房時は屋上や壁面などからの貫流熱量を約 15～35%低減する効果があることが分かった。また、日射遮蔽効果は日中の建物への蓄熱を抑制するため、夜間の建物内部への貫流熱量を低減する（20 時で屋上からの貫流熱量が約 9kJ/h･㎡（約 2.5W/㎡）低減）ことも分かった。

---

[9] 産業総合研究所 太陽光発電研究センター ホームページ
[10] 芳村恵司「太陽光発電システムによる空調負荷軽減効果についての研究」京都精華大学紀要、28 号、2005 年

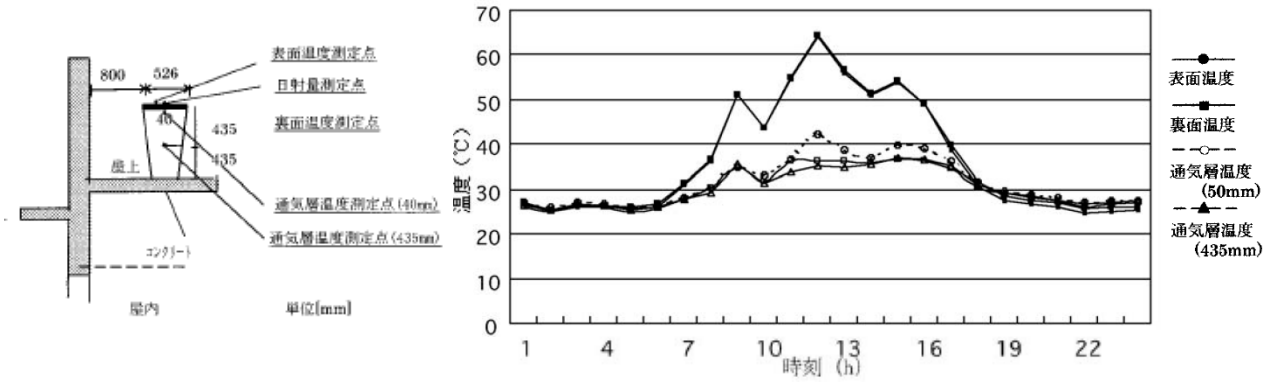


図 3-13　太陽光パネル付近の温度測定状況と測定結果（2001/8/17）[10]

太陽電池パネルが高温化することによるヒートアイランド現象に及ぼす影響を研究した事例[11]では、屋上に架台を置き 30 度の傾斜で太陽電池パネルを設置し、パネル面温度や屋上面の温度などを計測した。パネルの表面温度は正午過ぎに 60℃近くまで上昇しており、パネル下の屋上面は 40℃程度に温度上昇が抑制されている。一方パネルが設置されていない屋上面の表面温度はパネルと同様の 60℃程度まで上昇し、蓄熱の影響で長い時間高温を保っていた。

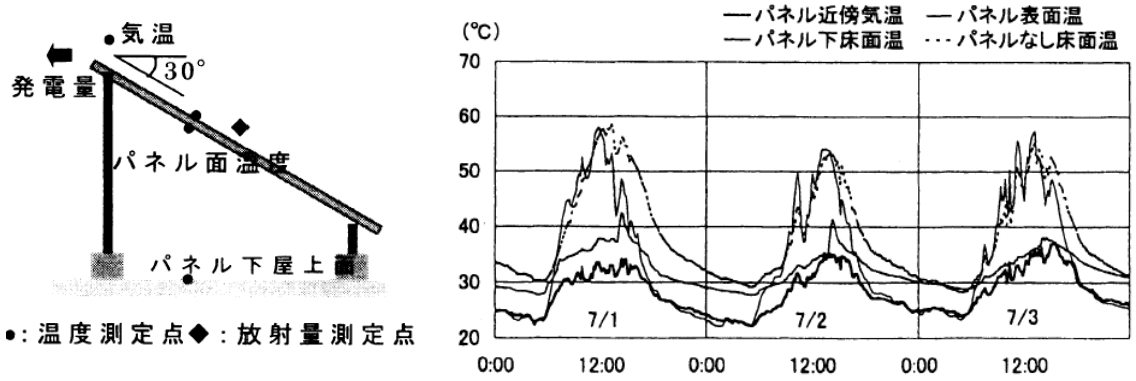


図 3-14　太陽電池パネル付近の温度測定状況と測定結果（2004 年 7 月）[11]

また、本研究では熱収支モデルを想定し、太陽電池パネルがある場合と無い場合の大気への顕熱量の違いを計算した。コンクリート屋上表面は 60℃程度まで上昇し、その後も蓄熱のため夜間まで熱を持ち越している。太陽電池パネルの日中の温度上昇はパネルの無い屋上面よりも低いが、表裏の両面があるため空気を暖める顕熱量としては屋上面よりも 100W/㎡程度大きくなっている。しかし夜間には逆に屋上面が 60～70W/㎡程度高くなっていた（図 3-15）。

太陽電池パネルは日中には顕熱量が大きくなるものの、大気の安定する夜間には逆にヒートアイランド緩和効果があることが重要と指摘している。

[11] 一谷匡陸、森山正和、竹林英樹、石動嘉信「太陽電池パネルのヒートアイランド緩和効果に関する研究」空気調和・衛生学会学術研究発表会論文集、2006 年 3 月

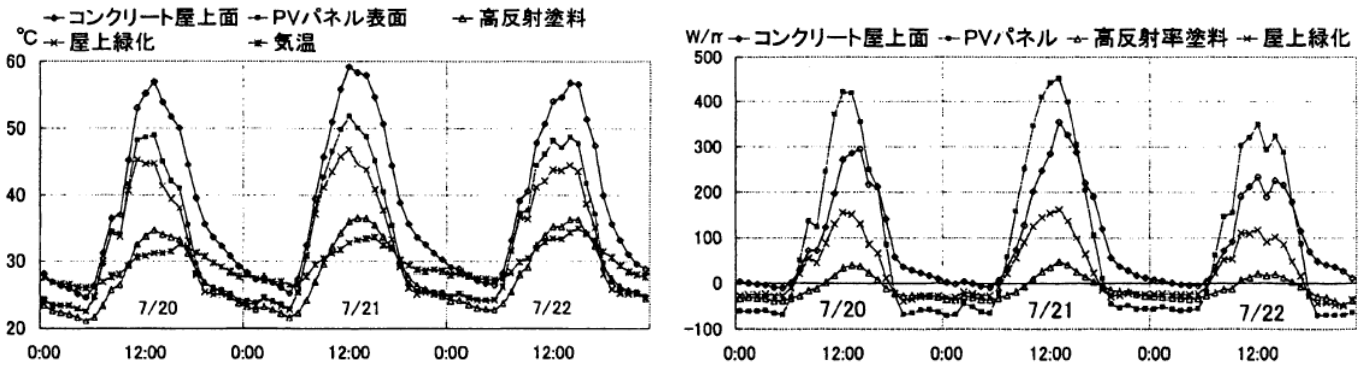


図 3-15　太陽電池パネルなど各種対策による表面温度（左）と顕熱量（右）[11]

上記のような日中に太陽電池パネルが高温化して大気を暖めてしまう問題に対処する技術として、太陽電池パネル面への散水が挙げられる。散水による表面温度の低下と発電効率の向上について測定した研究事例[12]では両方の効果が得られている。散水により表面温度が 30℃程度低減するとともに、発電量が 16%向上することが示されている。

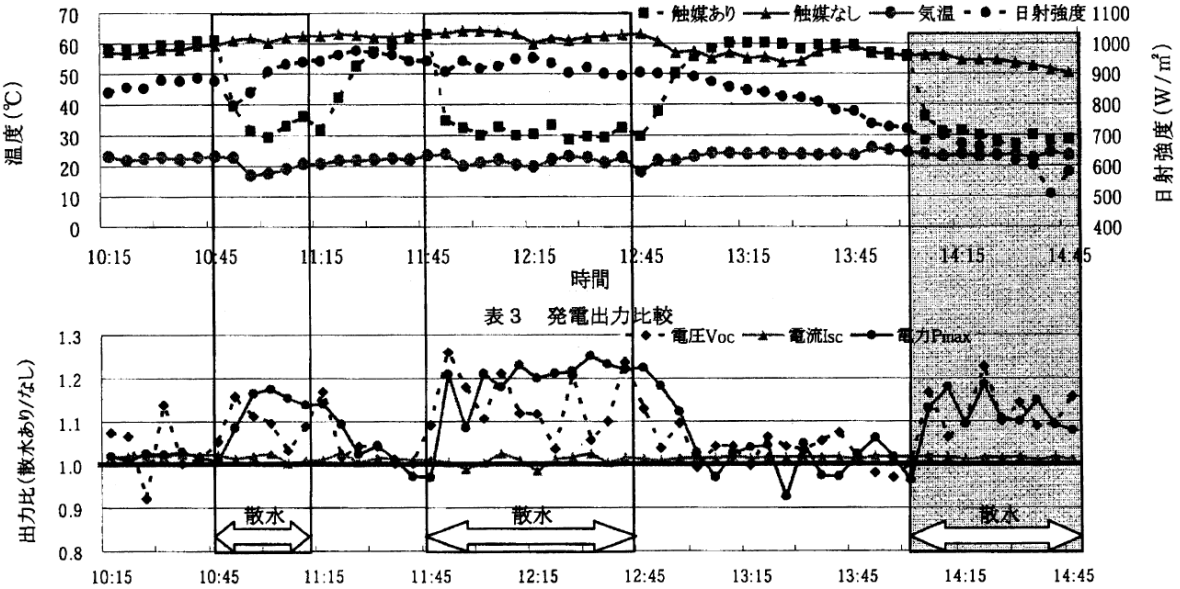


図 3-16　散水によるモジュール温度と発電出力比（2004 年 10 月 15 日）[12]

既存の研究では、いずれも太陽電池パネルを架台に設置したものを対象としている。しかし現在住宅などでは架台がなく屋根と一体型のものも見られ、日中に太陽電池パネルから屋根部への熱貫流が進む可能性がある。

[12] 坂本悠史、川瀬貴晴「太陽光発電モジュールの散水冷却による発電効率向上にかかわる実験」日本建築学会学術講演梗概集（近畿）、2005 年 9 月

以下に、太陽光パネルメーカーならびに太陽光発電システムを積極的に導入しているハウスメーカーにヒアリングした結果をまとめる。

主なヒアリング事項を以下に示す。

①太陽光パネル表面温度特性（夏季、冬季）

②太陽光パネルの温度特性が家屋に及ぼす温熱影響（架台型、一体型）

③太陽光パネルを冷やす技術の開発（風通し、散水等）

表 3-14　メーカー等へのヒアリング内容（太陽光発電）

	会社名等	ヒアリング内容
太陽光発電システムメーカー	A社	太陽光パネルの表面温度特性が家屋等に及ぼす温熱影響について、調査などは実施していない。 また、表面温度を冷やす技術の開発は行っておらず、技術開発としてはパネルが高温でも効率が落ちないような開発に向いている。
	B 社	太陽光パネルが屋根裏の温熱環境に及ぼす影響については調査していない。 一般的な話として、高温化を抑制する技術についてはこれまでにも検討されているものの、通風ではあまり効果がなく、水を使う技術については、システムが複雑になりコスト増になるなど、多くの問題がある。
ハウスメーカー	C 社	太陽電池パネルの表面温度特性やパネルを冷やす技術の開発については、話ができる事例や報告等はない。
	D 社	屋根裏については、基本的に断熱域の外側と考えているので、温熱環境についてはあまり考慮していない。そのため、温熱環境の調査などは実施していない。 また、太陽光パネルを冷やす技術については、実験的に試行したことはあるものの、実用化に向けた検討を行う段階ではない。実現可能性は低いと考えている。