

## 人類の近未来エネルギー 京都議定書発効にどう対処するか

松井正和\*

### 1. はじめに

京都議定書は2月16日難産のすえ発効した。第一約束期間（2008～12年）の温室効果ガス排出量を日本は1990年の基準から6%，2003年からは実に14%も削減する義務が生じた。この間、最大排出国の米国は2001年議定書から離脱した。一方、議定書の対象でない発展途上国、中でも中国の排出量は急増している。残念ながら、先進国が議定書による削減を順守しても、地球温暖化に対して殆んど効果は期待できない。しかし、これを温暖化防止の全世界が取り組む一里塚につなげる意義は大きい。

京都議定書発効を機に各マスメディアは一斉にこれをとりあげ、論評を加えているが、米中の参加を求める・環境税を新設する・消費者の意識改革をするなど抽象論ばかりで、具体的な手段・方法を欠いている。シラク仏大統領は2050年には温暖化ガスの排出量を現在の1/4に減らす目標を明らかにしているなどEU諸国は長期計画として大胆な削減を計画している。一方、今日までこれといった有効な手を打ってこなかった国に対して、石原都知事が痺れを切らして、「国は議論ばかりしていて、実行しない」と、国の意識改革を強く求めている（日経ビジネス、2005年2月14日）。国は発効後、議定書達成のために従来の削減計画を変更し、新しい枠組みを明らかにした（表1）。これについての評価は差し控えるが、排出量削減には王道はなく、効果の大きい方法から、可能な限り多く、強力に推し進める以外に手段はない。

ここでは京都議定書約定の発端となった地球温暖化と気候変動について簡単に説明する。次に、

温暖化の原因物質とされる温暖化ガスのうち、主役を演じるCO<sub>2</sub>の発生源の化石燃料の現状と問題点を述べる。なお、京都議定書に盛り込まれた京都メカニズム（先進国間の排出量取引、共同実施、先進国・途上国間のクリーン開発メカニズム）や森林吸収には触れない。省エネルギーについては、あまりにも項目が多く、多岐にわたるので、運輸と民生部門の主要なもののみ取り上げる。最後に原子力と水素社会についての筆者の考えを述べたい。なお、再生可能エネルギーについては紙面の関係から、ここでは省略する。

表1 主な部門の温暖化ガス排出削減計画と現状  
(単位%, 90年比, ▲は減)

部門	03年度の排出増減	現行目標	新目標
産 業	▲ 0.02	▲ 7	▲ 8.6
運 輸	19.5	17	15.1
民生(家庭・オフィス)	32.9	▲ 2	10.8
排出権取引など	—	—	▲ 1.6

### 2. 地球温暖化と気候変動

カリフォルニア大学スクリップス海洋研究所のC. D. Keelingが1957年ハワイ島マウナロア山頂近くで、大気中のCO<sub>2</sub>濃度の自動観測を始めた。当初315ppmであったCO<sub>2</sub>濃度が次第に増加し、2004年には380ppmに達した。この増分は化石燃料の燃焼に由来するだけではなく、森林破壊などによるものも含まれる。しかし、巨視的にみれば、化石燃料によるCO<sub>2</sub>の55%が大気中に残っている。

\*京都大学名誉教授

第176回京都化学者クラブ例会（2月5日）講演

因みに380ppmは2500万年前まで遡った大気中濃度である。

さらに、以前の地球の気候変化は、海底や湖底などの堆積物に含まれる有孔虫の殻や花粉から推し量ることができる[1]。また、南極やグリーンランドの水河に閉じ込められた空気から大気中のCO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>の濃度、同位体比から気候変動など、多くの情報が得られる[2,3,4]。これらによると、約10万年の周期で氷期-間氷期が生じており、また41,000年と23,000年の間隔でも気候変動が観測された。この周期性はミランコビッチ・サイクルと呼ばれ、地球の自転・公転の三要素の変化により太陽からのエネルギーが変わることにより生じ、これは前世紀初めから予測されていた。しかし、12,000年前の氷期から現在の後氷期になぜ急激に変化したかについては、まだ十分に解明されていない。

後氷期（完新世）に入り、温暖な気候が続くと、現世人は農耕を始めた。最近長江流域で12,000年前に稲作が始まったとの記事があったが、この稲作がヨーロッパの麦作より古いのは海流の関係で東アジアがヨーロッパより数百年早く温暖化が始まったためとされている。しかし、後氷期に入って1万年余りの間、温暖とはいえ小氷期や乾期などの気候変動があった。近年の地球温暖化はこのような自然変動の範囲内と考える人がいる。有史以来の気候変動は太陽の黒点数と極めて相関性が高いことが観察されている[5]。このため地球温暖化は黒点活動に起因すると主張する人もいる。事実、過去8000年間で最近の70年間が黒点の活動は最も高いという報告があった[6]。しかし、本論文の著者らは地球温暖化の主要因となるほどのエネルギーはないと黒点起因を否定している。自然現象は極めて複雑な系のため、地球温暖化はCO<sub>2</sub>などの温暖化ガスが原因であると断定できない。しかし、多くのデータから殆どどの研究者は、これが主因としている。最近、米カリフォルニア大ス

クリプス海洋研のT.バーネット教授らは、深さ700mまでの海水温の上昇と人為的な温暖化の影響のモデル計算とが95%以上の確率で一致したと報告した（日経2005年2月21日）。大気気温の変動より海水層の温度変化の方が保存性が良く、人為的温暖化に対して高い信頼性を与える。

### 3. 化石燃料

20世紀人類は化石燃料のうち石油資源を利用して豊富な商品を生産し、物質的に豊かな社会を作り上げてきた。その代償が今世紀に地球温暖化と資源の枯渇として訪れようとしている。昨年は中国など途上国の需要の急増、地政学的なリスク、生産余力の低下などで石油の市場価格が乱高下した。石油の需要は増加の一途をたどる一方、新しい油田の発見は急激に減少している[図1]。現在世界の石油確認埋蔵量は約1兆1500億バレルで可採年数は41年レベルしかない。地球上に存在する限界埋蔵量は地質学者により意見が分かれるが、

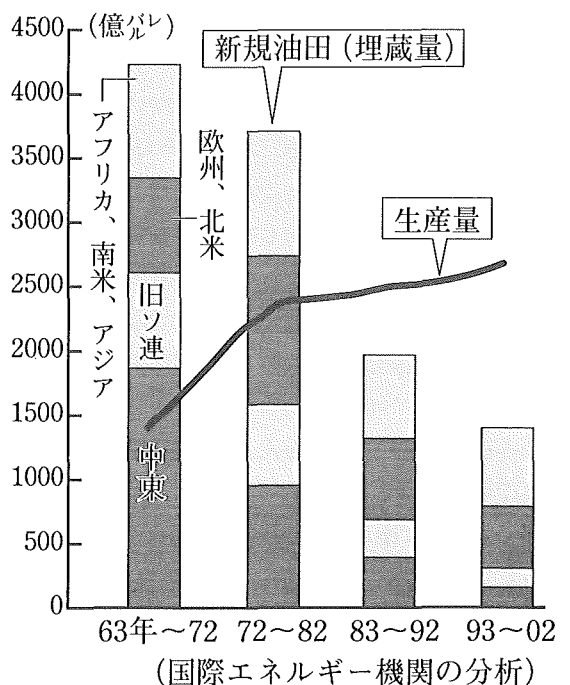


図1 油田の発見と原油生産量

大体2～3兆バレルであるから、完全に採掘しつくしたとしても最大に見積って80年に満たない。ポスト京都議定書について各国の主張をみると、協調して石油資源を温存するより枯渇が先に到来するかもしれない。

化石燃料の燃焼時に発生するCO<sub>2</sub>は石炭を100とした時、石油は約80、天然ガス（NG）は約60である。京都議定書が発効すると排出量は石炭より石油へ、石油から天然ガスに移行する方が有利である。世界の天然ガス埋蔵量の約4割は旧ソ連邦が占める。ロシアはサウジアラビアに匹敵する石油を産出し、ロシアの全輸出量の過半を占める。しかし、ロシアの石油可採年数は僅か22年であり、議定書発効は天然ガス産出の多いロシアの国益につながる。プーチン政権のガズプロム社を核にしたエネルギー資源の中央集権化戦略がみえてくる。世界の政治・経済はエネルギーを中心に動いているといっても過言ではない。因みに世界の天然ガスの可採年数も60年にすぎない。

#### 4. 省エネルギー

##### 4-1 運輸部門（自動車）

図2に国内の部門別CO<sub>2</sub>排出量を示す。図に示すように、工場（生産部門）の排出量は基準年に比べ、殆んど変わらないが、オフィスビルや家庭の民生部門、運輸部門の増加が著しい。

運輸部門の排出量はこのままでは2010年には、2億9369万トンにまで増加する。ガソリン乗用車において10・15モードの燃料平均値は約12.1（'96）から14.6km/l（'02）と改善されているが、台数、走行距離などによりガソリン消費は増加している。生半可な対策では運輸部門の消費は減少しない。

##### 1) モーダルシフト

人や物の輸送によりCO<sub>2</sub>や大気汚染の少ない手段に移すことをモーダルシフトと呼んでいる。例えば、1トンの貨物を1km輸送した時に排出するCO<sub>2</sub>の量（g-CO<sub>2</sub>/1km）はトラックでは174に対

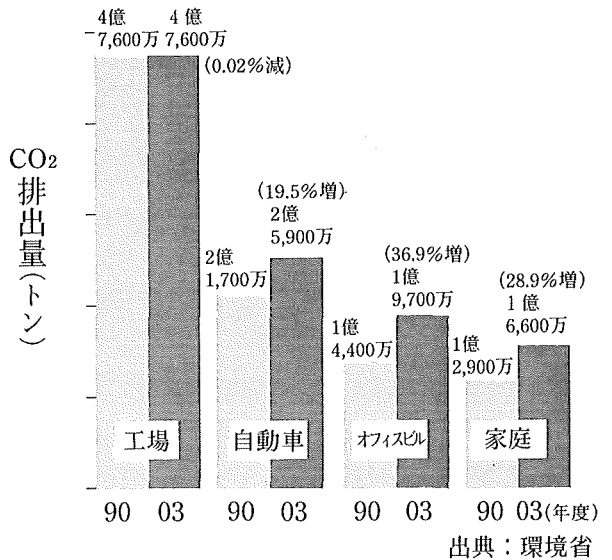


図2 国内の部門別二酸化炭素排出量

して内航海運では38、鉄道では21とそれぞれ1/4、1/8に減少する。人も乗用車の利用を減らし、バスや特に鉄道の利用を進めなければならない。宅配便など運輸会社や製造企業も鉄道部門への切り替えを進めているが、逆にモーダルシフト化率は年々減少している。なぜモーダルシフトは進まないのか。簡単にいえば物流の経費と時間の削減が伴わないためである。長期的視野からみればJRとくに貨物の拡充が不可欠である。低コストの新幹線のネットワーク化と貨物との相互利用、鉄道の物流ターミナルなどの整備である。

しかし、新幹線などのJRの整備には膨大な費用を要する。ここで財源のモーダルシフトを考えるべきである。詳細は省略するが、2005年の道路財源は国税（揮発油税、石油ガス税、自動車重量税）3兆5000億円余り、地方税（軽油取引税など）2兆2000億円、合計5兆7000億円を越える巨大さである。既得権益を巡って政治的には大騒動であろうが、道路財源のモーダルシフト化、さらに他の省エネルギー関連へのシフトは恐らく国民の多くの賛同を得られるに違いない。

## ii) ディーゼル車

ディーゼル乗用車といえば、国内では燃費はよいが、黒煙を排出し、振動がひどく、加速性が無いなどの悪いイメージを持つ人が多い。自動車販売店を訪れてもディーゼル車は殆んど目にしない。事実3.5t以上のトラックはディーゼル車が多くを占めるが、小型乗用車や貨物車は殆んどがガソリン車である。一方、EUでは新車登録台数のうちディーゼル車は1/2を占め、ガソリン車を追い越す勢いで増加している。最近のディーゼル車は燃費や耐久性に優れているだけでなく、トルク、馬力が高く、さらに低公害でクリーンになってきている。その推進役となっているのがコモンレールシステムである。燃料を1600気圧以上に加圧し、1/1000秒単位で制御することによってディーゼルの欠点を少なくした。始めに騒音を抑えるための予備的な噴射、次に主なる噴射、最後にPM、NO<sub>x</sub>を低く抑えるための噴射である。さらに次世代の高性能システムを目指して、より高压下での電子制御の研究が進められている。国内での乗用車のディーゼル車比率は0.3%にすぎない。

中央環境審議会は2月22日に2009年から販売する新型ディーゼル車を対象に粒子状物質とNO<sub>x</sub>の排出量をガソリン車並の水準PM、0.01g/kmh、NO<sub>x</sub>、0.7g/kmhに抑える答申案を提出した。経済産業省も昨年総合エネルギー調査会でやっとディーゼル乗用車の普及に取り組むと報告している。単純にガソリン車をディーゼル車に移行させるだけで燃費が3割よくなる。軽油はガソリンより安価であり、過給器との相性もよく、耐久性も高い。国もメーカーもユーザーも、もっと真剣に取り組む必要があろう。

## iii) ハイブリッド車

日米では、日本から発信されたガソリンエンジンと電気モーターを併用するハイブリッド車が注目されている。減速時にブレーキで熱エネルギーとして放散されるのを二次電池に充電し、動力と

して再利用して燃費効率を高めている。2003年9月発売の2代目プリウスが大きく進化した。日本では昨年5月にベストテン入りの販売台数を示したが、その後、減少している。現在は米での人気が高く、日米メーカーも巻き返しをはかっている。07年には50万台、10年には300万台に成長すると考えられている。しかし、ハイブリッド仕様の車は、かなり割高となるのが気掛かりである。既に量産化に成功しているプリウスでも若干値が高く、また利益率は他の車種に比べ低いと思われる。

一方、生産台数の低いトラックやバスのハイブリッド車は相当高い価格で市販されている。また、二次電池にニッケル水素電池を用いているが、まだ価格と耐久性に問題が残る。将来、低コストで高容量と高出力の二次電池または電気二重層コンデンサーが開発されると、ハイブリッド車は近距離には家庭で簡単に充電できる電気エネルギーで走行し、長距離はガソリン（または軽油）を利用して走るといったように使い分けると、かなりの省エネルギーとなるであろう。

## 4-2 民生部門（家庭および業務）

前述したように、自動車を除く家庭でのCO<sub>2</sub>排出量は電化製品の大型化、多様化に伴い、基準年に比べて3割近い増加となっている。

一般家庭は用途別では給湯36%、照明やコンセントからの利用が29%、暖房24%、厨房9%、冷房2%でエネルギー別では電気36%、都市ガス30%、灯油19%、プロパンガス15%の割合で消費している[7]。一方、オフィスビルや百貨店、ホテルなどの第三次産業の業務部門は対基準年で排出量は37%増加している。業務部門におけるエネルギー使用量は動力が40%を占め、ついで給湯(22%)、暖房(21%)、冷房(9%)、厨房(8%)の順となる。いずれも給湯、冷暖房が過半数を占める。

直ちに実施できる省エネルギー対策で最も注目されるのがヒートポンプである。ヒートポンプの

効率はCOP (coefficient of performance) で表し、冷暖房 (給湯) 能力 (KW) / ヒートポンプの消費電力 (KW) である。現在のトップランナー値はCOP 6 であるが、これは、それぞれの給湯、冷暖房に対して僅か 1/6 しか電力を消費しないことを示す。

10年前はCOP 2 ~ 3 程度であったから、最新のものでは消費電力は 1/2 に減少したことになる。民生に使用される冷蔵庫、冷暖房器具、給湯器などについて、ライフサイクルを通してエネルギー消費を考えるべきであり、家庭では古い冷蔵庫、エアコンは買い換えた方が多い場合が多い。家庭冷暖房でも都市ガスや灯油より最新のエアコンの方がCO<sub>2</sub> 排出量では極めて有利となる。電力会社の計算によると、全家庭、事務部門の冷暖房、給湯を最新のヒートポンプに切り替えた場合CO<sub>2</sub> 削減量は1億トンに達し、全体の削減目標値に到達する程の省エネルギーになるという。

一方で、化石燃料を燃焼させて発電し、その排熱を利用して暖房や給湯に利用するコジェネレーション (熱電併給) システムがある。ガスエンジンや定置型燃料電池などで発電し、他を熱として利用して総合効率を80%レベル近くに上げるシステムである。一般に、ホテル、病院、コンビニなどでは熱利用が多く、このシステムも有効である。熱利用の多い製造業でも設置されている。しかし、家庭用には熱利用の季節変動が大きく、独立住宅より集合住宅の方が効率が良い。その他、多くの省エネルギー対策があるが、ここでは省略する。

## 5. 原子力

原子力は発電量の約36%、総エネルギーの13%を占めている。さらにライフサイクルからみた日本の電源別CO<sub>2</sub> 排出量は太陽光や風力発電より少なく、石炭火力の1/44に過ぎない。少なくとも、再生可能なエネルギーによって代替される迄、原子力の利用は必要と考える。しかし、原子力には

多くの難題を抱えている。中でも使用済み核燃料から分離されるプルトニウムである。NPT (核不拡散条約) における核保有国以外の国への核拡散が国際的に緊張を生んでいる。テロ組織への流出の可能性もある。この問題を考慮しないで原子力を論じることはできない。昨年8月末、国際的な監視機関であるIAEA (International Atomic Energy Agency) のエルバラダイ事務局長はウラン濃縮やプルトニウム再処理施設の5年間凍結と多国間管理を提案した。引き続き来る5月に開かれるNPT再検討会議で議論される予定である。しかし、各国の利害の不一致が大きく、まだ機が熟していないと考えられている。

電力会社の原子力発電所の事故が相次ぐなか、昨年核燃料サイクル政策についての再検討が行われたが、結局予定通り、国の原子力委員会は同政策の続行を決めた。そして、昨年12月21日より日本原燃の使用済み核燃料再処理工場 (青森県六ヶ所村) でウラン試験を開始し、今年末のアクティブ試験に向けて進捗中である。

核燃料サイクルは使用済み核燃料から生成したプルトニウムと燃え残りのウラニウムを再処理工場で分離し、これを混合して燃料 (MOX) を作り再利用する方法である。この燃料を既存の軽水炉型原子炉で利用すると、加圧水型軽水炉 (PWR) で濃縮度4.1%の場合、最大約1/4の燃料が供給できるに過ぎない。これでは2兆円を上回る再処理施設や総額18兆8000億を要すると称するバックエンド経費をかける意味がない。高速中性子を用いてプルトニウムへの転換率の高い高速増殖炉 (FBR) の安全で低コストの利用があって初めて本来の核燃料サイクルは意味を持つ。しかし、FBRは仏を最後に、技術的な理由から各国とも断念している。

国内ではFBR原型炉「もんじゅ」は95年にナトリウム漏れの事故を起こし、10年近く運転を停止したままで、名古屋高裁の設置許可無効の判決

が下ったままである。このような状況の中で「もんじゅ」の改造工事の認可と予算がつき、進められることになった。今後毎年200億円の維持、運転経費、数千億円にのぼる総経費を要することを考慮すべきである。

周知のように、プルトニウムから核兵器が製造できるため、高濃縮ウランと共に核拡散が危惧される物質である。核燃料処理の国際管理問題は今後、益々議論されるであろう。その中で核保有国以外で日本のみが核燃料処理を進める不平等について、非核保有国の不満がつのるのは必然である。電力の自由化の中、電力会社にとり、FBR開発は巨額の費用がかかり、安全性も保障されていないので、若干腰がひけている。当面は既設の軽水炉を利用するプルサーマル発電を対象にしている。筆者もこれに賛同している。既に40tものプルトニウムを保有し、さらに増加を続ける中、軽水炉をプルトニウム燃焼炉として利用し、国際的立場からもプルトニウムを消費せねばならない。なお、六ヶ所村の再処理はHNO<sub>3</sub>-TBP溶媒抽出を基本とするPurex法（湿式処理法）を用いるため、極めて大型施設となっている。そのため、各国で溶融塩—溶融金属間で電解精錬する乾式法が検討されているが、まだ分離が不十分のため実用段階には到達していない。使用済み核燃料を使い捨て（ワンスルー）にすると廃棄量が多く、経費がかかるとの意見がある。現在不純物の多い乾式処理法では核兵器への流用も不能となり、処理量削減のための手段として、将来有効かも知れない。最近核燃料サイクル開発機構は使用済み核燃料を揮発性核分裂生成物のみを除去し、プルトニウム、ウラン、アクチニドを分離しないまま、燃料として加工して高速炉炉心再装荷すれば4回ほど繰り返し使えたと報告している。

ウラン鉱物資源の残余年数は70年余りである。ウランの需要が予測より少なく、これまでウラン資源の開発があまり進められなかったため、実際

の埋蔵量はかなり多いと考えられている。前述の未処理MOXで燃焼度は5倍程度に高まるので、これを利用すればウラン資源は湿式再処理しなくても数百年は枯渇しない。核燃料サイクルは、核拡散、資源の枯渇、発電コストなどからみて進める理由が見当たらない。

## 6. 水素エネルギー社会

2003年10月水素エネルギー社会実現に向けた取り組みを、明文化した「エネルギー基本計画」が閣議決定された。勿論、脱石油とCO<sub>2</sub>削減を意図している。化石燃料に代わり水素エネルギーへの熱い期待が込められている。ここでは、これに対する筆者の考えを紹介する。

燃料電池（FC）はH<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>で発電するため、排出するのは水のみであり、究極のクリーンなエネルギーとして注目されている。FCは化石燃料を大量に消費している自動車や家庭用電源、またモバイル機器用電源への応用を目指して、全世界の企業で開発にしのぎを削っている。一般にモバイル用が初めに普及し、家庭用の定置型がつづき、自動車用が最後になると予測している。FCには用いる電解質によって数種に分類されるが、上記の実用化には殆んど固体高分子型燃料電池（PEFC）を対象にしている。PEFCは陽イオン交換膜を用い、作動温度が低く（80℃）、出力密度が高い特長を持つ。普及の最大の壁はFCのコストが高いことである。これらFCの普及には大変大きな困難が待っている。

### i) モバイル機器用燃料電池

ノートパソコンや携帯電話用は完成が近いといわれている。カートリッジに入れたメタノールを燃料とする方式（DMFC）が有力で、従来の二次電池に比べ長時間使用でき、さらにカートリッジを交換するのみで補充でき、従来の二次電池の長時間充電は不要となる。現在モバイル用二次電池にはリチウムイオン電池が用いられているが、電

気容量（エネルギー密度）が不足しており、充放電の速度（出力密度）も低い。しかし、実験段階ではあるが、リチウムイオン電池や有機ラジカル電池で1～2分で充電できる出力密度をもつ二次電池が開発されている。さらにエネルギー密度もまだ改良される余地がある。一般に、殆んど無料と考えている家庭用電源を用い1～2分で充電できる場合と、カートリッジを予め買い交換する方式とを比較した時、ユーザーは恐らく前者を選ぶに違いない。

#### ii) 家庭用燃料電池（定置型FC）

現在開発中の家庭用（定置型）FCは都市ガス（メタン）、LPG（プロパン、ブタン）、灯油の炭化水素を改質してH<sub>2</sub>を作り、これをPEFCにより発電する。この際、発生する熱を給湯として利用（コジェネレーション、熱電併給）するため、発電効率32～33%、総合効率は70%を超える。同じ燃料で火力発電し、送電ロスを勘案すると、その省エネルギーの効率は極めて大きいというのが推進側の主張である。FCを家庭に導入すれば、CO<sub>2</sub>の40%削減につながるとのことである。しかし、最大の問題は家庭用燃料電池のコストが極めて高いのである。現在低く見積もっても1kW型1台で1000万円かかる。05年度国が600万円の補助を出す、あとは事業体の負担になる。数倍の熱効率で得られるヒートポンプ給湯器に対抗するには、1台50万円が限度とされる。一般家庭では夏と冬では熱需要に大差があり、夜と昼とでも変動する。熱は貯湯ユニットで保存できるので、それに応じて発電を調節することになる。

現状ではガス会社に益を与える都市ガス改質FCで生じた余剰電力を太陽電池のように電力会社が買い取ることは考えられない。もし将来法的規制により認めたとしても、このような不安定電源が増加すれば、これに基づく系統連系の乱れが生じる。太陽電池の増大と同様に系統連系問題が生まれ、その整備に多くの経費がかかるのである。

家庭用熱利用のうちヒートポンプ関連は60%である。NGの発電所における発電効率は50%を超える。送電ロスが5%強であるから家庭には47～8%の効率で送電される。ヒートポンプのCOPを3とすると85%、2としても57%となり、残りの40%を加えると、COP=3で105%、COP=2でも80%に近い。一方、NGからH<sub>2</sub>改質過程のエネルギー効率の低下については残念ながら知らない。しかし、定置型FCがヒートポンプと用いた熱利用の方より効率が良いとはいえない。

その他、現在では耐久性などにまだ問題が残る、少なくとも京都議定書の一次約束期間に間に合わない。

#### iii) 燃料電池車

2002年にトヨタ、ホンダ両者がFC車をリース販売で発売し、日産も2004年に追随した。FC車の性能は確実に進化をとげており、海外のメーカーを含めて主導権争いが激しくなっている。水素は水素吸蔵物質でなく、高圧タンクに貯蔵する方式が主流となっていて、水素を供給するインフラ（水素ステーション）の整備が急務といわれる。目下高圧水素タンクは350気圧のものを使用し、1回の充填で300～350km走行できる。ガソリン並の走行距離を得るため、700気圧を目指してタンクの開発が進んでいる。FC車は今世紀の水素エネルギー社会の基幹をなすものと期待されているが、次の二点が大きな障害になると考える。第一は価格がとんでもなく高価である。いかに少量生産といっても優に1億円を超えるコストである。これをガソリン車で150万円、ハイブリッド車で200万円程度と競争するにはPEFC 1kW当たり5000円に抑える必要がある。それでもトヨタのFC車は90kWであるから45万円要する。因みに目下1kW当たり100万円を超えている。

第二はエネルギーの総合効率はハイブリッド車の方が有利である。トヨタの資料によれば、プリウスは燃料効率（燃料を採掘してから製品化する

までの効率)が88%, 車両効率(燃料が動力に変換するときの効率)が37%であるから, 総合効率は32%になる. 一方高圧水素燃料電池車(トヨタ)はそれぞれ58%(天然ガスから作る場合), 50%(PEFCでは普通31~33%のはずでかなり高い値)で総合効率は29%となり, 既にハイブリッド車の方がエネルギー効率が高い. ディーゼラーハイブリッドとなるとさらに差が生じる. 前述したように, ハイブリッド車は二次電池の性能(エネルギー密度と出力密度)が向上すれば, 走行距離のかかりの割合が電気自動車としての利用が可能で, さらに有利になる.

#### iv) 固体酸化物型燃料電池(SOFC)

F C車や定置型F Cにみられるように, 殆んどPEFCを対象に研究開発されてきた. しかし, 最近になってSOFCが見直されてきている. SOFCの最大の特長は発電効率が40~65%と高いことである. SOFCは電解質がイットリア安定化ジルコニア( $ZrO_2+Y_2O_3$ )といったセラミックスで作動温度が700~1000°Cと高く, イオン伝導種は $H^+$ ではなく $O^{2-}$ となる. 電解質が高温のため起動には若干時間がかかるが, 燃料の内部改質が可能になる. 燃料(マイナス)極で $O^{2-}$ と反応する物質ならば, 原理的には $H_2$ でなくても他の燃料でもよい. ただし, 起動・停止をPEFCのように容易にできず, このため, ガスエンジン-コジェネのように業務用に向いている. しかし, まだまだコストが高く,

競争機種である小型ガスエンジンの発電効率も改良されてきており, 耐久性や管理の容易さを考えるとSOFCがガスエンジンを追い抜くのも楽ではない.

#### 7. おわりに

太陽光発電, 風力発電, 廃棄物発電などの再生可能エネルギーについては京都議定書の第一約束期間にはあまり寄与できない. EUでは2020年までに先進国は1990年に比べ15~30%, 2050年までに60~80%の削減を目指している. このような長期計画では再生可能エネルギーが主役を務めることになるが, ここでは省略したい.

#### 参考文献

- [1] C. Emiliani et al., *Science*, **183**, 511 (1974).
- [2] J. R. Petit et al., *Nature*, **399**, 429 (1999).
- [3] EPICA community members, *Nature*, **429**, 623 (2004).
- [4] North Greenland Ice Core Project members, *Nature*, **431**, 147 (2004).
- [5] 伊藤公紀, 地球温暖化, 日本評論社, 2003.
- [6] S. K. Solanki et al., *Nature*, **431**, 1084 (2004).
- [7] 住環境計画研究所, 家庭用エネルギー統計年報2002年.