

持続可能社会の実現に向けた環境対応技術

Environment-oriented Technology for Sustainable Society

原田 泰志 Yasushi Harada



図1 持続可能社会と環境対応技術の関係

持続可能社会を形成・維持・発展させていくため、地球温暖化や大気汚染など生態系へのさまざまな阻害要因に対応した技術が必要となる。

世界の環境負荷増大と研究開発の方向性

世界人口の増加に伴い、地球温暖化、大気汚染、水質汚濁などの問題が顕在化しつつあるが、日立製作所は、これらに対応してさまざまな環境対応技術を開発している。その代表例として、化石燃料を用いて高効率で発電する技術、風力などの再生可能エネルギーを利用する技術、オゾン層破壊物質をできるだけ使わなくても済むようにする技術、自動車の燃費をよくする技術、河川流域を網羅的に監視する技術、および、製品含有化学物質を管理する技術などがある(図1参照)。

18世紀末の産業革命以来、化石燃料の消費量が増加し、20世紀半ば以降、CO₂(二酸化炭素)排出量が急増した¹⁾²⁾。CO₂は温室効果ガス^(a)の一つであり、過去100年で世界の平均気温は約0.8 上昇した³⁾

(図2参照)。今後、世界の平均気温はさらに上昇し、1900年から2100年の200年間で1.4～5.8 上昇することになると予測されている³⁾。地球においては過去40万年の間に氷河時代の氷期が4回あったが、その氷期でさえ南極の気温は現在より約8 低いに過ぎなかったことを考えると、最近の地球温暖化がいかに深刻であるかがわかる⁴⁾。温室効果ガスとしてはCO₂のほか、CH₄(メタン)やN₂O(一酸化二窒素)などもあるが、そのうち地球温暖化に対する影響度はCO₂が60.1%という大きな部分を占めることから³⁾、地球温暖化を防止するにはCO₂排出量を抑制するのが効果的と考えられる。

世界の人口は、20世紀半ばから急激に増加し始め、2006年に65億人となり、2050年には90億人に達すると見込まれている²⁾⁵⁾⁶⁾。また、一人当たりのCO₂排出量も同様の傾向を示し、2000年には0.8 t/年を超えた(図3参照)。すなわち、20世紀半ば以降、CO₂排

(a) 温室効果ガス

大気中において、地表から放出された赤外線の一部吸収することにより、地表を暖める働きを持つ気体。近年、それらの排出量の急激な増加によって、地球規模での温暖化が進んでいることから、排出量の削減が課題となっている。京都議定書における排出量削減対象は、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)、パーフルオロカーボン(PFC)、ハイドロフルオロカーボン(HFC)、六フッ化硫黄(SF₆)の6種類である。

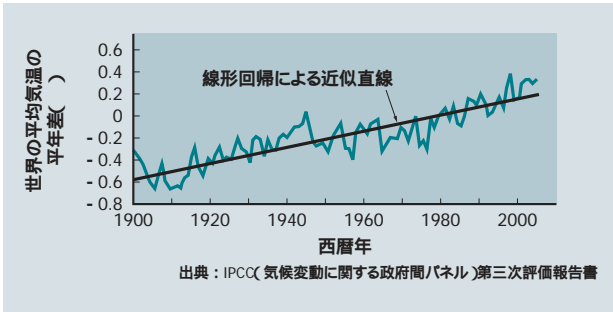


図2 世界の平均気温の推移
世界の平均気温は過去100年で約0.8 上昇した。

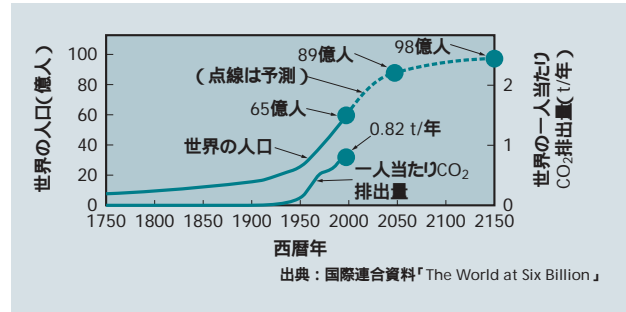


図3 世界の人口と一人当たりCO₂排出量の推移
世界の人口と一人当たりのCO₂排出量はともに上昇傾向にある。

出量が急激に増加した理由は、世界人口の増加と一人当たりCO₂排出量の増加に起因していると言える^{13,6)}。一人当たりのGDP (国内総生産) と一人当たりのCO₂排出量の関係を図4に示す^{13,7)}。米国、カナダのように一人当たりCO₂排出量と一人当たりGDPがともに大きい国・地域が存在する一方、中国やインドでは、今後、人口増加と経済成長が同時に加速すると見込まれる^{2,3,6)}。このような状況の中で持続可能社会を形成するには、経済活動を維持しつつ環境負荷を抑制する技術と、環境負荷を増やさずに経済成長を実現する技術を開発する必要がある。

末の実用化以来、蒸気の高温・高圧化や大容量化により、発電効率が改善されてきた。特に「水主火従」から「火主水従」への移行直前の1950年代後半、材料技術の進展により、熱効率は大幅に向上した。その後、1960～1970年代には蒸気条件の伸びはいったん緩やかになったが、1980年代に入り、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクル発電が実用化され、それ以来、熱効率は加速的に向上してきた。最新のコンバインドサイクル発電プラントでは、熱効率(HHV: Higher Heating Value)は50%を超えている。今後、コンバインドサイクル発電のさらなる効率向上のためには、単機容量の増大とガスタービン入口温度の向上が課題である¹¹⁾。そのほかの高効率発電方式として、マイクロガスタービン^{b)}と固体酸化物形燃料電池^{c)}を組み合わせたハイブリッドシステムが考案されており、これが完成すれば将来の発電方式の選択肢となる¹¹⁾。

(b) マイクロガスタービン

Micro Gas Turbine (MGT) 発電出力が200 kW以下と小さく、高速発電機を備えた超小型ガスタービン。産業用ガスタービンや自動車ターボチャージャーなどの技術を小規模用途に応用したもので、発電とともに排熱を利用するコージェネレーションシステムに利用される。発電効率と総合熱効率が高く、環境特性に優れた新しい分散型電源技術である。

(c) 固体酸化物形燃料電池

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) 空気極で生成した酸化物イオンが、電解質を透過し、燃料極で水素と反応することにより、電気を発生する。燃料電池の中でも発電効率が高く、メタノールなどから水素を取り出す改質器を簡素化できるといったメリットがあり、分散型電源として家庭用などの小型のものも開発されている。

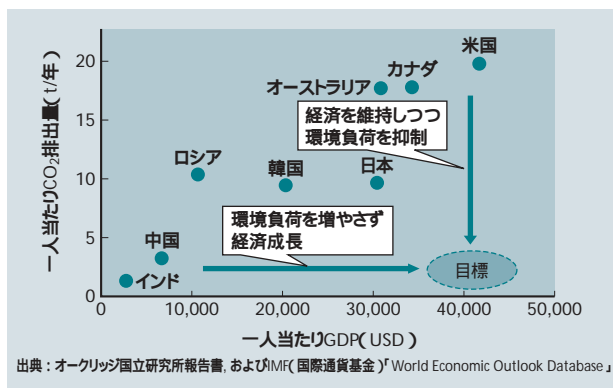
地球温暖化の防止に向けたさまざまな技術開発

発電効率の向上

わが国においては、発電所からのCO₂排出量が全体の30%という大きな部分を占めるため、火力発電の効率向上はCO₂排出量削減に有効である⁹⁾。火力発電は19世紀

再生可能エネルギーの利用

CO₂を排出しない発電方式として、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーが注目されている。わが国の風力発電設備導入量は、10年前から着実に伸びている¹²⁾。ただし、世界の風力発電設備容量におけるわが国のそれが占める割合は、まだ2%に過ぎない¹³⁾。風力発電は、風の強弱によって発電出力が左右される点において、火力発電と比べて有利とは言えないが、これを補完する方法として、電力系統連系時の電圧変動抑制技術¹⁴⁾や、蓄電池との組み合わせによる出力安定化技術¹⁵⁾の研究開発が行われている。



注: 略語説明 USD(US Dollar)

図4 一人当たりGDPと一人当たりCO₂排出量の関係
一人当たりGDPと同CO₂排出量は正の相関がある。経済成長と環境保全を両立するには、目標領域をめざした技術開発が必要である。

道路交通のエネルギー削減

わが国における運輸部門のCO₂排出量(2004年度)は2億5,400万tであり、産業、業務部門を含めた全CO₂排出量の20%に相当する⁹⁾。運輸部門のCO₂排出量のうち、自動車¹⁰⁾が90%を占めることから、自動車のCO₂対策は重要である。このための取り組みとして、制御系を含めたエンジン性能向上の研究¹⁶⁾や、ハイブリッド車¹⁴⁾をはじめとする革新的構造の駆動系の開発¹⁷⁾などがある。ところで、わが国の自動車全体で消費されている燃料のうち、11%が渋滞時にむだに消費されているとの試算がある¹⁸⁾。これを解決する方法として、現在実験中の**プローブ交通情報システム**^(e)を活用して道路の渋滞状況を把握し、渋滞緩和に役立てることも考えられる¹⁹⁾。

民生部門のエネルギー効率改善

わが国における民生部門のCO₂排出量(2004年度)は1億7,100万tで、全体の13%に相当し、1990年度比で21.6%も増加した⁹⁾。民生部門のCO₂排出量のうち、約50%は空調に起因することから²⁰⁾、空調のCOP(Coefficient of Performance:エネルギー消費効率)を高めることが重要である。例えば、冷房能力2.8kWクラスのルームエアコンについて言えば、1980年代半ばから約10年間、COP値は3前後にとどまっていたが、その後スクロール圧縮機やPAM(Pulse Amplitude Modulation)制御、すなわちパルス電圧振幅波形制御などの技術革新²¹⁾により、COP値はどんどん改善され、2004年には6.24(日立グループ製品の場合)に達した²²⁾。これは、COP値が3の場合と比べ、半分以上のエネルギー消費で同じ冷暖房性能を得られるよ

うになったことを意味する。

オゾン層の保護への取り組み

地球の上空15 km以上の成層圏にはオゾン層があり、人間を含む地上の生物を有害な紫外線から守っている。南極上空にはオゾンホールが存在するが、その面積が1980年ごろから拡大している⁹⁾(図5参照)。この一因として、カーエアコンや冷蔵庫の冷媒として用いられてきたCFC(Chlorofluorocarbon:クロロフルオロカーボン)の影響が挙げられる。CFCは成層圏に達すると太陽からの紫外線で分解され、塩素原子や臭素原子を放出し、これらの原子が触媒となり、オゾン分解反応が連鎖的に起こる⁹⁾。そのため、1987年のモントリオール議定書にて、CFCを1995年までに全廃することが決定された。これに対応し、カーエアコンや冷蔵庫の冷媒は、HCFC(Hydrochlorofluorocarbon:ハイドロクロロフルオロカーボン)やHFC(Hydrofluorocarbon:ハイドロフルオロカーボン)といった代替フロンへの切り替えが進んでいる。ただし、表1に示すように²³⁾²⁴⁾、HCFCにもわずかながらオゾン破壊効果があるため、同議定書により、2019年までに全廃されることになっている⁹⁾。一方、HFCは、オゾン破壊効果はないものの、地球温暖化効果が大きいという問題のため、1997年の京都議定書で排出削減対象ガスに指定された。以上のように、オゾン破壊と地球温暖化の両方の効果が小さい冷媒の開発が必要となっている。家電分野では、インブタンを冷媒として使用したノンフロン冷蔵庫が商品化されている²⁴⁾²⁵⁾。

(d) ハイブリッド車

ガソリンエンジンあるいはディーゼルエンジンに、二次電池や電気モーターから成る動力を組み合わせることで、燃料消費量の低減などを可能にした自動車。従来からのインフラや自動車技術を利用しながら、環境負荷を大きく低減できる技術として、普及が進みつつある。

(e) プローブ交通情報システム

移動体通信技術を用いて自動車の位置情報を収集し、それを基に道路の混雑状況や所要時間を計算し、利用者に提供するシステム。自動車自体をセンサのように利用して交通情報を集めるため、少ないインフラ投資で広範囲の情報をリアルタイムに収集できる。

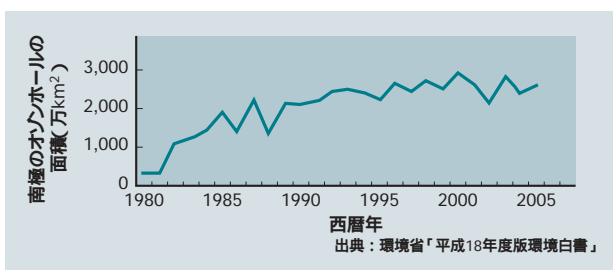


図5 南極のオゾンホール面積の推移

南極のオゾンホールは拡大傾向にあり、現状では縮小の兆しは見えない。

表1 CO₂、フロン類およびノンフロンの特性一覧

CO₂に比べてフロン類は地球温暖化係数が極端に高い。インブタンは、地球温暖化係数はあまり高くなく、オゾン破壊効果もない。

物質	地球温暖化係数	オゾン破壊係数
CO ₂	1	0
CFC	4,600 ~ 14,000	0.6 ~ 1
HCFC	120 ~ 2,400	0.001 ~ 0.52
HFC	140 ~ 11,700	0
インブタン	3	0

出典: 環境省「平成12年度オゾン層などの監視結果に関する年次報告書」と社団法人日本電機工業会資料

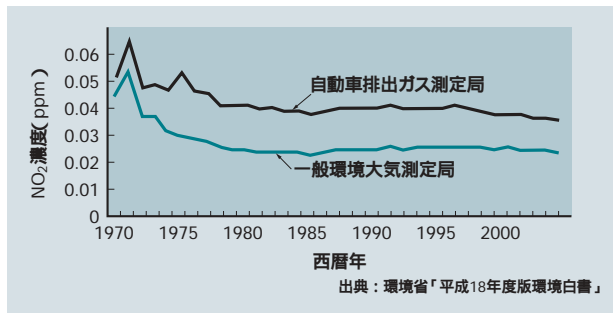


図6 NO_x(二酸化窒素)濃度の推移
わが国のNO_x濃度は着実に改善されてきた。

表2 世界のNO_x排出量およびSO_x排出量
わが国のNO_x排出量とSO_x排出量は低く抑えられている。

国・地域	NO _x 排出量(g/kWh)	SO _x 排出量(g/kWh)
米国	1.7	3.7
フランス	1.9	1.9
ドイツ	0.6	0.7
日本	0.3	0.2

出典:東京電力株式会社「サステナビリティレポート」

注1:略語説明 SO_x(硫黄酸化物)

注2:NO_x,SO_xとも単位発電量当たりの火力発電所平均排出量。日本は2003年のデータ,日本以外は2002年のデータ

大気汚染を防止する技術

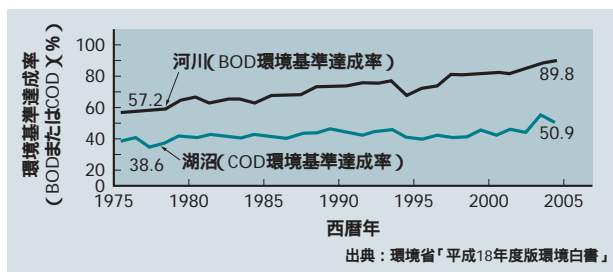
NO_x(窒素酸化物)やSO_x(硫黄酸化物)は光化学オキシダントや浮遊粒子状物質の原因となり,目,のど,および呼吸器に好ましくない影響をもたらすおそれがある⁹⁾。わが国では,1973年以降,大気汚染防止法による規制が逐次強化される一方,火力発電所の排煙脱硝技術や低NO_x燃焼技術の急速な進歩とも相まって¹¹⁾,大気中のNO_x濃度はこの30年で大きく改善された(図6参照)。わが国の単位火力発電量当たりのNO_x排出量およびSO_x排出量は,表2に示すように国際的に見て低く抑えられている²⁶⁾。ただし,NO_x(二酸化窒素)の環境基準達成率は,2004年度では一般環境大気測定

(f) BOD

Biochemical Oxygen Demandの略。生物化学的酸素要求量。好気性バクテリアが水中の有機物を酸化分解するのに必要な酸素量で,河川の水質の指標に用いられる。通常,20において5日間に消費する量をppmまたはmg/Lで示す。

(g) COD

Chemical Oxygen Demandの略。化学的酸素要求量。水中の被酸化性物質を酸化するために必要な酸素量で,水質の指標とされ,海域と湖沼の環境基準に用いられている。30分程度で測定でき,単位はppmまたはmg/Lで示される。



注:略語説明 BOD(Biochemical Oxygen Demand)
COD(Chemical Oxygen Demand)

図7 河川および湖沼の環境基準達成率の推移
河川の環境基準達成率は約60~90%への改善が見られるが,湖沼については約40~50%のレベルにとどまっている。

局は100%に到達しているのに対し,自動車排出ガス測定局は89.2%にとどまっている⁹⁾。今後,自動車排出ガスに対する環境規制は強化されていく方向であり,それに対応する技術へのニーズはますます高まっていくものと予想される。

河川・湖沼の水質保全への対策

河川や湖沼は,水道用水のほか,農業用水や工業用水にも利用されることから,利水目的や必要な浄水操作レベルに応じ,水域ごとに環境基準が設けられている。河川の有機汚濁の指標BOD^(f)の達成率は,1975年の57.2%から2004年の89.8%へと改善されている(図7参照)。これは,水質汚濁防止法による,工場・事業場の排水処理施設や下水道の汚水処理施設の普及率向上が一因となっている。一方,湖沼の指標COD^(g)の達成率は40~50%程度にとどまっている。この原因の一つとして,面源あるいはノンポイントソースによる汚濁があると考えられている。面源汚濁とは山林,農地,市街地などからの降雨流入などによる汚濁であるが,汚染源を特定できないために対応が難しい²⁷⁾。面源汚濁の課題は湖沼だけでなく河川についても共通である。今後,流域モニタリング技術を活用するといった方法で基礎データを蓄積し,汚染メカニズムを特定するなどの対策が必要である²⁸⁾。

有害化学物質の排除

EU(European Union)のRoHS(Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment)指令では,2006年7月から市場投入される電気・電子機器製品について,一部の例外を除き,鉛,水銀など6物質の使用が禁止されている²⁹⁾。

一般に,組立製品の製作では部品や半製品を他社から調達する場合があるが,同指令に対応するには調達品一つ一つの含有物質を正確に把握する必要がある。しかし,1製品当たりの部品点数は,例えば洗

濯機では1,000点、自動車では1万点オーダーの膨大な数であり²⁹⁾、しかも調達先はその先の調達先とつながっているといった連鎖構造が存在する場合がありますため、人手ですべての部品を管理するには限界がある。この課題を解決するため、部品と含有物質に関連する情報を一元管理し、かつ、調達先との連携も実現する環境情報システムが開発されている³⁰⁾。日立グループでも、このシステムを導入し、2006年3月時点で1万4,000人のユーザー登録と、16万点の部品登録を完了している³⁰⁾。

持続可能社会の実現をめざして

世界の環境負荷は人口増加と経済発展により、ますます厳しさを増している。それに伴い、CO₂など温室効果ガスによる地球温暖化やフロン類によるオゾンホール拡大などが顕在化しつつある。これらの課題に対応

し、日立製作所は、発電や交通などの社会インフラからエアコンなどの生活家電に至るまで、あらゆる分野においてエネルギー効率向上をめざし、CO₂排出量削減のための技術開発を推進している。また、オゾン層を保護するため、冷蔵庫などに用いるノンフロン冷媒の開発にも注力している。

一方、わが国においては、NO_xやSO_xによる大気汚染や工場廃水などによる水質汚濁の状況は、1970年代以降、改善傾向にある。これは、大気汚染防止法や水質汚濁防止法などの規制強化と、クリーン発電や水質管理などの技術開発の両輪があつてこそ可能となったものであり、環境問題を科学技術で解決した成功事例であると考えられる。

今後は、このような先進的な技術をわが国から世界へ発信するとともに、他の環境上の課題を解決するための技術開発に取り組んでいく。

参考文献など

- 1) G. Marland, et al.: A compendium of data on global change National Fossil-Fuel CO₂ Emissions, Oak Ridge National Laboratory(2004)
- 2) 佐藤:エネルギー消費と環境問題, 電気学会誌, 126巻, 4号, pp.198-201(2006)
- 3) 気候変動に関する政府間パネルIPCC第三次評価報告書(2001)
- 4) 気象庁 20世紀の日本の気候, <http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/20th/box3.htm>
- 5) 国連人口基金:世界人口白書(2006)
- 6) The World at Six Billion, Population Division, United Nations (1999)
- 7) World Economic Outlook Database, International Monetary Fund(2006)
- 8) 株式会社日立総合計画研究所 政策経済グループ:中期経済予測(2005)
- 9) 環境省編:平成18年版環境白書, pp.55-107, ぎょうせい(2006)
- 10) 三巻:火力発電所の熱効率向上 第1章, 火力原子力発電, Vol.54, No.10, p.18(2003)
- 11) 小豆畑:高効率発電技術, 日立評論, 87, 5, 475~482(2005.5)
- 12) NEDOデータベース 日本における風力発電システム導入量の推移, <http://www.nedo.go.jp/nedata/16fy/03/b/0003b002.html>
- 13) 山本:クリーン発電がよくわかる本, 東京書籍, pp.91-99(2005)
- 14) 中山, 外:風力発電用連系インバータの無効電力制御による電圧変動抑制手法, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会資料, pp.71-76, PE-06-109(2006)
- 15) 菊池, 外:離島向け風力発電システムの開発, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会資料, pp.41-46, PE-04-7(2004)
- 16) 永野, 外:環境規制に対応したポート噴射エンジン制御システム, 日立評論, 86, 5, 362~365(2004.5)
- 17) 野木:環境と安全に向けたエレクトリックパワートレインの開発, 日立評論, 87, 5, 495~498(2005.5)
- 18) 財団法人省エネルギーセンター, ITSによる省エネルギー施策と効果(1997)
- 19) 横田, 外:プローブカー情報を基にした道路交通情報の生成, 日立評論, 88, 8, 628~633(2006.8)
- 20) 財団法人省エネルギーセンター, エネルギー需要面から見た課題とその克服のための技術の方向性, <http://www.eccj.or.jp/strategy/3-matter.html>
- 21) 日立アプライアンス株式会社, エアコンヒストリー, <http://kadenfan.hitachi.co.jp/ra/history/index.html>
- 22) 社団法人日本電機工業会, 家庭用エアコンデータベース, <http://www.jema-net.or.jp/Japanese/kaden/kankyo/eakon-db.htm>
- 23) 佐藤:地球環境2004-05, エネルギーフォーラム, pp.46-59, pp.252-267(2004)
- 24) 社団法人日本電機工業会, 炭化水素系冷媒使用の家庭用電気冷蔵庫について, <http://www.jema-net.or.jp/Japanese/kaden/reizou/ka-rei6.htm>
- 25) 日立アプライアンス株式会社, 冷蔵庫, <http://kadenfan.hitachi.co.jp/reil/>
- 26) 東京電力株式会社, サステナビリティレポート, p.28(2005)
- 27) 竹田:水と水質環境の基礎知識, pp.75-166, オーム社(2001)
- 28) 依田, 外:流域管理のためのモニタリングソリューション, 日立評論, 87, 4, 321~324(2005.4)
- 29) 市川:新たな規制をビジネスチャンスに変える環境経営戦略 第1章, 第7章, 中央法規(2004)
- 30) 南, 外:電気・電子機器の環境規制物質管理プロセスを構築する「Eco&PLMプロジェクト」, 日立評論, 86, 8, 591~596(2004.8)

執筆者紹介



原田 泰志
1989年日立製作所入社, 日立研究所 企画室 所属
現在, 研究開発の企画運営に従事
工学博士
電気学会会員, IEEE会員