

研究論文

## 京都議定書目標達成への一施策

金 井 謙 二

### A Kyoto Protocol and Some Policies

Kenji KANAI

【要 約】地球温暖化問題に対処するため、二酸化炭素削減に向け自然エネルギー利用の一具体例として新しい太陽光発電が注目されている。経済活動と極めて密着した問題となる実施技術の可能性と一施策について、最近の進歩著しい蓄電技術との組み合わせ技術、さらに、複数家庭と連係運用等による地球温暖化問題への有力施策としての具体例を元に定量的検討を行った。この分野では全体システムの提言と施策が重要となる。

## 1. はじめに

米国前副大統領の地球温暖化問題に関する深刻な映像ドキュメンタリー映画で、この問題に世界が改めて大きく注目することになった<sup>1)</sup>。この地球温暖化問題に対処するための京都議定書<sup>2)</sup>が2005年2月16日に発効することになった<sup>3)</sup>。地球温暖化は経済活動の規模の拡大に伴う化石燃料の消費が増大し、その結果、大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度上昇に伴う温室効果に起因していると考えられるいろいろな科学的データが提示されてきている。1997年12月国連の気候変動枠組み条約に関する会議COP3で京都議定書が制定され、紆余曲折を経てやっと発効することになった。

日本はCO<sub>2</sub>排出量を2008～2012年の平均値として、1990年比で6%の削減義務が生じる。ところが、現状では、すでに8%の増加であり、今後14%の削減が必要となる<sup>4)</sup>。この目標達成には技術から政策にわたる多分野からの創意工夫が求められる。

産業界、エネルギー部門ではCO<sub>2</sub>削減努力の結果、さらなる努力は必要だが排出量は減少している。問題は運輸部門と民生部門といわれている。ここでは、民生、特に家庭でのCO<sub>2</sub>排出削減施策に関して研究し、提言するものである。

## 2. 地球温暖化問題

地球環境問題の中で最も重要なのは地球温暖化問題である。地球温暖化の原因は、温室効果ガスの大気中の増加が主因であり、その影響は実際に現われてきており、気候変動や異常気象が現われ始めているというのが、気候変動政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC))の見解である<sup>5)</sup>。

温室効果ガス低減に伴う影響として、経済発展にも大きく影響するので、政策的な検討も重要である。この温室効果ガスの約70%は二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)であり、このため、主に、CO<sub>2</sub>の排出低減および吸収に関する地球温暖化対策技術が、極めて重要な位置付けとなってきた。世界のエネルギー需要の9割を化石燃料に依存している状況下で、技術開発の促進、あらゆるエネルギー源の利用研究や、社会・経済システムの変革、さらには、各家庭でのエネルギー消費の実情認識と、この問題解決に積極的に貢献していくためにも、意識改革、システム改革などが必須である。

人類の経済的諸活動に必要なエネルギー源の大半が化石燃料に依存しており、その使用量は第2次世界大戦以降急激に増加してきている。エネルギーを得るために化石燃料を燃焼させると、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)が大気中に排気ガスとして放出される。このCO<sub>2</sub>が大気中に多く含まれると、太陽から地球に受けた熱エネルギーを、再び宇宙に放出する度合いが低減される。結果として、大気温度が上昇するためにCO<sub>2</sub>が温室効果ガス(Green House Gas)と呼ばれている。

エネルギー使用量を減らせないどころか、増加の一途を辿る現状では、対策技術の困難さと共に、地球環境問題の中でも、地球温暖化問題が最も重要といわれる所以である。最近の世界経済の動向を見ても、中国の高度経済成長が発表され、また、米国でも住宅建設ブームで経済活動が活発化し、化石燃料の消費量は益々増大し、温暖化現象が加速されることは自明となってきた。

### 3. 従来の研究と本研究の特徴

#### 3.1 地球温暖化問題への日本の対応策

CO<sub>2</sub>排出は、産業部門が全排出量の約 40 %を占め、運輸部門、発電部門、民生部門がこれに続く。地球温暖化対策技術としては、2010 年頃までに技術効果が期待できる各種高効率化技術、省エネルギー技術等の短期的対策技術と、それ以降、21 世紀を見据えた長期対策技術の具現化が求められている<sup>6)、7)</sup>。

しかし、当面の重要課題として、14 %程度の CO<sub>2</sub>削減のため、あらゆる可能性を追求していく必要がある。特に、エネルギー消費量の増大している家庭での対応策を考察し、提案するものである。

#### 3.2 衆知を集めるために

京都議定書で、初めて CO<sub>2</sub>削減の目標値が決められ、国連の履行約束条約として 2005 年 2 月 16 日に発効した。しかし、深刻な地球温暖化問題に対しどのように対応すべきか、原因物質である排出量の一番多い米国でも、経済活動との両立等が難しく、京都議定書の批准すら出来ていない。

現状では、人類の危機的対応が取れていないので、こうするのも良いのではという一施策毎にいろいろな関係する学術関係者、および、学際的關係者が提案し、それを広めていくことが必要な時である。特に、異分野の各研究者が、施策を出来るだけ多く提案していき、実施できそうなもの、作用効果の大きいものを模索する必要がある。

このようなアプローチは、従来の研究方法には殆どなく、これからどうすればよいか衆知を集める時である。それが、地球温暖化で「人類は 80 年で滅亡する」<sup>8)</sup>という警告への対応に繋げていく必要がある。

#### 3.3 家庭でのエネルギー消費

家庭レベルでの環境問題が議論される時、身近で重要な問題として、ごみの問題、分別廃品回収、リサイクルの問題、きめ細かな消灯による省エネルギーキャンペーン、ライフスタイルの見直し等のテーマが多く挙げられるのが通例であろう。

一方、家庭でのエネルギー消費という切り口から見ると、毎日の調理、洗濯、掃除、冷暖房、暖房機能付き快適風呂、大画面化するテレビ、照明等は、多少は省エネルギーのために気は掛けるであろうが、それ程不必要に使っているとは思われない。いろいろな技術の進歩により、例えば、日本の温水式トイレに代表されるように、清潔で、快適な生活を一度体験するとライフスタイルを変えろと言われても、中々、難しいのが現実である。多岐に亘る省エネルギーは、無論、大切だが、家庭で使われている主な家電製品の消費電力概算と CO<sub>2</sub> 排出量を見ても、表 1 に示すようになる。

表1の電力消費量とCO<sub>2</sub>排出濃度の計算方法例は、次の関係式から導出される。

- (1) 家電機器等の設備規模はkWで表示され、その使用時間hを乗算した値が電力消費量kWhとなる。例えば、1kWh = 860kcal
- (2) 一方、石油1リッターを燃焼した場合の発生熱量、発電効率を40%とした場合、1kg = 10,000kcal、石油の密度 = 0.9より、
- (3) 石油1リッターは約4kWhの電力エネルギーと等価という関係が得られ、家庭でのエネルギー消費と温暖化も対応できることになる。
- (4) 石油は殆どが炭化水素(CH<sub>2</sub>)で構成され、重量比で86%が炭素Cであり、燃焼してCO<sub>2</sub>が排出され、質量比(44/12)から石油の重量比約3.7倍のCO<sub>2</sub>が排出される<sup>9)</sup>。

表1 <主な家電製品の消費電力概算とCO<sub>2</sub>排出量>

種類	定格電力	使用時間	使用期間	年間消費電力	CO <sub>2</sub> 排出量
エアコン	0.8kW	8h/日	4ヶ月	780 kWh/年	328 kg-CO <sub>2</sub>
照明	0.4kW	5h/日	365日	780 kWh/年	328 kg-CO <sub>2</sub>
TV	0.5kW	4h/日	365日	750 kWh/年	315 kg-CO <sub>2</sub>
冷蔵庫	28kWh/月		12ヶ月	350 kWh/年	147 kg-CO <sub>2</sub>
電子レンジ	0.8kW	1h/日	365日	300 kWh/年	126 kg-CO <sub>2</sub>
洗濯機	0.5+1.3kW			“	”
アイロン	1.4kW			“	”
掃除機	1kW			“	”
炊飯器	1kW			“	”
電化調理	1.3kW			“	”
暖房機	1kW	6h/日	3ヶ月	540 kWh/年	227 kg-CO <sub>2</sub>
給湯機	200L*30°C		365日	3,000 kWh/年	1,260 kg-CO <sub>2</sub>

全体 約1万kWh/年・4,000万世帯 4,000億kWh/年

CO<sub>2</sub>排出量は実情に合わせ、実際の燃焼時、石油よりクリーンなLNGを使った火力発電で電力を得る場合として計算した。電力消費の大きな、主な家電製品であるエアコン、照明、テレビ、暖房機等の必要電力と1日当たりの平均使用時間、年間平均使用期間等を考慮して、1年間の消費電力とそれに見合う排出量を求めた結果である。大体消費電力の大きい順序は予想通りで、以下、冷蔵庫、電子レンジ、洗濯機、アイロン、掃除機、炊飯器、電化調理は、それぞれ似た消費電力である。日本の全世帯数約4,000万世帯が全部この程度使うとはいえないが、日本全体の家電製品消費電力の目安としては、風呂も電気を使用という仮定では約4,000億kWh/年近くになる。先進工業国で電力消費量が増加している所以である。

## 4 . 地球温暖化対策に対する研究

### 4.1 家庭での消費エネルギー低減策

従来の研究においては、統計的動向、社会的動向、傾向等を中心とした研究が多かったが、本研究では、最新技術の動向、可能性、経済性等を俯瞰しながら、エネルギー問題をどのように捉えていくべきかを研究していくことを特徴とするものである。

### 4.2 自然エネルギー利用

先進工業国、特に、わが国のように快適性、利便性をユーザー・メーカー共に期待する傾向のある中であっては、電力消費量は増加の一途である。これら消費電力の増加の多い中で、エネルギー消費量削減のために、且つ、地球温暖化問題対策としては、化石燃料以外のエネルギー源を増やすことが必須である。その一例として、自然エネルギー利用が考えられている。

日本では、欧米諸国比風力発電は普及率が低く、また、太陽光発電はまだこれからというところである。これら自然エネルギーの利用拡大は温暖化問題の解決策にも有力であり、大いに広げるべき課題である。しかし、現実には、中々拡大できない。その最も大きな課題はコスト問題と電力会社との売買電の連携に伴う問題がある。風力発電の場合、発電電力が季節変動、気候変動に大きく影響され、買電側の電力品質維持が難しくなり、電力会社側の負担が大きくなるため欧米のように順調に進んでいない。一方、太陽光発電は晴天率と日照時間の変動による発電量の変化はあるが、それ程大きな季節変動はない。家庭用太陽光発電総利用率 について検討してみる。

は

$$= \text{平均年間総消費電力} / \text{年間発電積分量} \quad (1)$$

のように表せる。コスト的にも、普及課題としても

$$< 1 \quad (2)$$

の条件下での工夫が必要であり、可及的に1に近い値で(2)式を満たす運用方法をシステム的に見出す提言が必要である。以上のような状況をまとめると、図1に示す様になる。

新技術、新方式の利用拡大で、いろいろな可能性も検討の価値があることを示している。

・ 風力発電	年間気候変動大：関係課題
・ 太陽光発電	
・ 関係システム	電力会社への負担増問題化
・ 非関係システム	通常買電+電力会社と非関係
・ 複数家庭と関係	新たな可能性
・ 新蓄電システムとの関係	新たな可能性

図1 <クリーン電力>の主な状況

消費電力の時間変化について考察すると、電気がエネルギー消費の約4割を占めると報告されている。電力の需要は季節や時間で大きく変化するが、電気は貯めておくことが出来ないのので、需要のピークに合わせて設備を作る必要がある。図2に示すように、昼前から夕方にかけて大きな需要曲線を呈している<sup>10)</sup>。この変化は図3に示すように、日照曲線にかなり近い<sup>11)</sup>。即ち太陽エネルギーを使えたら最も好都合と考えられる。その代表的なものとして、太陽光発電、太陽熱利用機器等が考えられる。ここでは、太陽光発電システムを例にとって考察する。

### 4.3 太陽光発電

#### (1) 膨大な太陽エネルギー

太陽は膨大なエネルギーを放射している。地表から80kmの地球大気の上端で、太陽エネルギーの強さは1m<sup>2</sup>当たり1,353Wである。そのうち地表に到達するまでに、約1/3が大気圏によって反射され散乱してしまい、また、大気圏のオゾン層、炭酸ガス、水蒸気、微粒子などによって吸収されてしまうので、実際地表に到達するのは、約70%程度である。

場所、時間により異なるので地上における太陽エネルギーの強度は一定ではないが、晴天時でおよそ1m<sup>2</sup>あたり、1kWと見てよい。地球の半径は6,370kmであるから、その断面積は約1億2,700万k平方メートルで、地上に到達する太陽エネルギーは1時間で127兆kWhという膨大な量になる<sup>9)</sup>。

#### (2) 太陽電池

太陽光のエネルギーを直接電気に変える太陽光発電システムの心臓部を構成するのが太陽電池である。太陽電池には使用材料によりいろいろな種類があるが、現在最も開発が進み、使用されているのが結晶シリコン太陽電池である。

同じシリコンを原料としても、薄膜非晶質(アモルファス)シリコンからも太陽電池ができる。アモルファスシリコンは光の吸収率が高いので、厚さは単結晶に比べ二桁以上小さい1μ以下でよく、原材料の所要量が格段に少なくてすむ。変換効率は結晶シリコンよりも劣るが、量産化と性能向上が進めば低コストの太陽電池が期待できる。参考までに、太陽光発電システムを作るためのCO<sub>2</sub>排出量に関する基礎数値をみってみる。太陽光発電システムのCO<sub>2</sub>削減効果試算の前提条件として、規模、屋根形状、形態により変わるが、例えば、規模10MW、屋根設置型の場合、多結晶シリコンで；72 CO<sub>2</sub>排出原単位(g-CO<sub>2</sub>/kWh)、アモルファスシリコンで；59 CO<sub>2</sub>排出原単位(g-CO<sub>2</sub>/kWh)程度と報告されている<sup>12)</sup>。

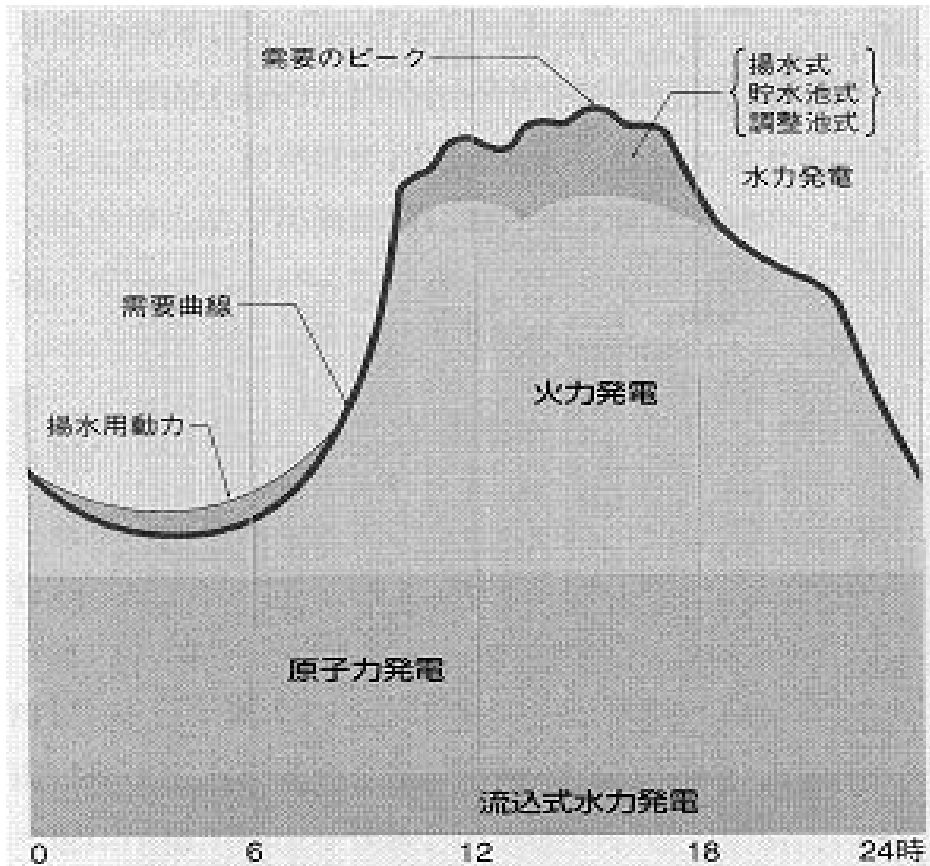


図2 電力の需要と供給の関係<sup>10)</sup>

### (3) 系統連係型システム

現在、我が国で家庭用に普及しつつある太陽発電システムは、系統連係型といわれるものである。電力会社の配電網と接続して、配電網との間で電力の出し入れを行えるようにしたシステムである。昼間太陽光発電システムが発電した電気を需要者が使い切れなときには、余剰の電力を系統に流して、他で使ってもらい、逆に夜間など太陽光発電電力がないか、発電量が少なく需要量に満たないときは系統から受電するという方式である。いわば、電力会社の配電網が蓄電装置の代役を務めていると見ることができる。我が国の電力会社は世界に先駆けて、太陽光発電システムについては売電と同率の価格で買い取ることにしたことから、急速にこの方式が普及しつつある。

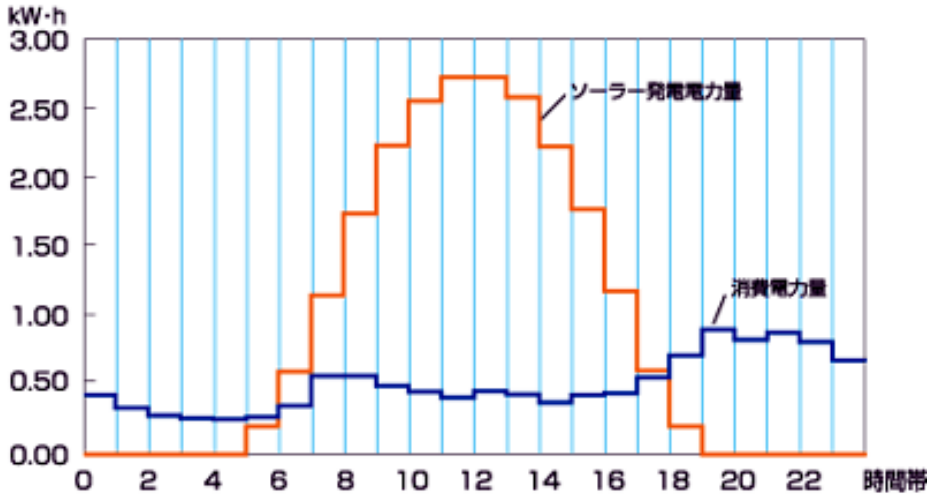


図3 太陽光発電の発電電力と家庭での消費電力量の推移(晴れた日、東京、5月)<sup>11)</sup>

電力消費量の年間変化、1日の時間変化を見ると、夏季、午後3時前後に消費電力最高値に達し、このピーク時の電力を太陽電池でカバーできるのは発電設備利用率向上からも、極めて有効である。

#### (4) 蓄電技術との組み合わせ

太陽光は夜ゼロになる上に、曇りや雨の日はモジュールに入ってくる太陽エネルギーは晴天時に比べて当然少なくなる。すなわち、太陽光発電システムの電気出力は時間と天候に左右される。電気の使用がお天気任せでは大変不便なので、使いたいときに使えるようにするには電気をためておく蓄電装置が必要である。太陽光発電の発電時間帯は、当然日射時間帯であり、先述の夏季、午後3時前後に消費電力最高値に発電されるのは好都合だが、他の季節は、平均的に夕方から夜間にかけての消費電力が多くなる。このため、日射時間帯に発電された電力を蓄電効率、経済効率ともに良好な蓄電ができれば、配電の効率性からも好都合なものになる可能性が期待できる。特に最近の蓄電技術の進歩には注目に値するものがある。

従来の蓄電技術は鉛蓄電池やニッケルカドミウム(NiCd)蓄電池が用いられてきたが、これらの利用できる充放電の回数が500回程度と意外と少なく、これがコスト的にも問題となっていた。ところが、最近、電気二重層コンデンサーの原理による蓄電技術が飛躍的に向上し、充放電回数は化学反応を伴わないため原理的に無制限となり、また、充放電時の制限もないため寿命的にも実用上問題ないレベルに達してきた。太陽電池とこの新しい蓄電技術の組み合わせにより、地球温暖化問題への有力な対応技術の一つになる可能性が出てきた<sup>13)</sup>。



#### (5) 複数家庭との関係

太陽光発電を広げる更なる方法として、発電装置を持っている近隣の家庭同士で電力を融通しあうことが報告されている。一家庭では不足してしまう電力を近隣の家庭から補うことで、発電装置のさらなる小規模化、低コスト化の可能性が出てくる。即ち、余剰電力を複数の家庭で使い合うことで発電装置の稼働率を高められる。このような電力の相互融通は、電力系統に接続せずに独立システムとして使用できる可能性がある。30世帯程度で消費電力が平準化され、平均消費電力が1kW以下になることが報告されている<sup>14)</sup>。今までのように、一家庭でも余った電力はヒーターで蓄湯槽の水を加熱して熱エネルギーとしてエネルギーを貯めることもできる。表1に示すように、家庭でのエネルギー消費は単体では風呂が最も大きいため、すべて太陽エネルギーでまかなう場合には一方法ともいえる。今、日本では自然エネルギーの一般家庭からの売電制度が見直される可能性があり、太陽電池などが今までのように売電を続けた場合、電力系統への影響が懸念されている。電力系統への周波数などが不安定になるほか、売電による電力会社への負担が大きくなり、経営的に厳しくなる。電力会社にとっては、今後の経営課題になるといわれている<sup>14)</sup>。

太陽エネルギーは拡散しているため十分な電力を得ようとすると大面積が必要である。太陽光が照射されている4,000万世帯全ての屋根、壁面に平均1kWの設備を設置できれば、また、各世帯での発電を適当なブロック毎に連携することにより、日本の年間の総電力消費量約9,000億kWhの約23%を効率的に賄え、日本のCO<sub>2</sub>排出量を約10%削減できることになる。もし、設置設備が3kW程度の規模なら、1/3の世帯で設置できれば良いことになり、地球温暖化問題に貢献できる一施策となる。

## 5. 結論

地球温暖化に起因する気候変化に関する意思決定枠組みは、地球規模レベルから企業や個人のようなマイクロレベルに至り意思決定者の多種多様性、そして排出の複合性とその結果が世界全体に及ぶということが全員受け入れ可能な管理戦略に達することを難しくしている。

現状では、深刻な地球温暖化問題に対し、人類の危機的対応が取れていないので、可及的に良いと思われる施策毎にいろいろな関連する学術関係者、および、学際的關係者が提案し、それを広めていくことが必要な時である。特に、異分野の各研究者が、施策を出来るだけ多く提案していき、実施できそうなもの、作用効果の大きいものを模索する必要がある。

最近の高性能太陽光発電の低価格化、薄膜化による利用形態の自由度拡大、および、新技術による画期的な蓄電技術との組み合わせや、複数家庭との関係等により、自然エネルギーの一つである太陽光発電の利用拡大も期待できそうである。これらの状況の推移から、地球温暖化問題に貢献できる一施策と定量的な寄与を検討した。

## 参考文献

- 1) 「不都合な真実」 Al Gore United International Pictures (2007年1月)
- 2) Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change: 1997年12月
- 3) 朝日新聞 2005年2月16日
- 4) (財)地球産業文化研究所編:「地球環境 '98 - '99」、ミオシン出版、1998年4月
- 5) IPCC 地球温暖化 第三次レポート、編: IPCC、監修: 気象庁・環境省・経済産業省、中央法規出版社、2002年7月20日
- 6) (財)地球環境産業技術研究機構:「RITE NOW」、1991年8月以降続刊
- 7) 金井謙二:「技術による地球温暖化防止への挑戦」、月刊 keidanren、経団連、1998年3月 56 - 57 ページ
- 8) 「人類は80年で滅亡する」前東北大学学長・西澤潤一 東洋経済新報社 2000年2月17日
- 9) 理科年表 第79冊(平成18年) 国立天文台 / 丸善 2005/11 出版
- 10) 「原子力 2005」経済産業省資源エネルギー庁 電力、ガス事業部、原子力政策課 2005年10月
- 11) 京セラ技術資料 2005.7
- 12) NEDO 成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」、太陽光発電技術研究組合、2000年3月
- 13) Kensetsu Denki Gijutsu vol.146 2004.6 38 - 39 ページ
- 14) 「日経エレクトロニクス」2005年7月18日号 90 - 97 ページ