

持続可能な社会の建設（Ⅱ）

——LNG コンバインドサイクル発電——
——化石エネルギーから自然エネルギーへの移行の必然性——
——洋上太陽光発電基地——

*草 野 清 信

Construction of a sustainable society (Ⅱ)
- LNG combined cycle power generation -
- Inevitability of the shift to natural power sources from fossil energy -
- Ocean photovoltaic power generation base -

KUSANO Kiyonobu

Abstract

The author proposes construction of de-nuclear power generation and CO₂-free society based on an ocean photovoltaic power generation base. We can build this base for the period of 33.6 years and an amount of approximately 100 trillion yen. Because it takes a long period of 33.6 years, a technology that could reduce CO₂ and substitute nuclear power generation is necessary. It has made clear that LNG combined cycle generation takes the role. Even if the 25% reduction is possible with CO₂ by introduction of this LNG combined cycle power generation and energy-saving technology compared to 1990, the author showed that the 80% reduction could be never accomplished

Furthermore, the author propose Minami Torishima ocean photovoltaic power generation base. Based on a theory of solar diurnal motion, the author calculated the receiving light energy, generation electricity and multiplication electric energy of solar cell. It has made clear that we can serve generation facilities ability 282,000,000kW (2010) of Japan under the assumption that the base area is 12700km².

Key words : LNG コンバインドサイクル発電 (LNG combined cycle power generation)
持続可能な社会 (Sustainable society)
CO₂フリー社会 (CO₂ free society)
洋上太陽光発電基地 (Ocean photovoltaic power generation base)
南鳥島 (Minami-Torishima Island)

1. はじめに

あの3・11大震災から1年が経過した。地震と津波による人的被害は死者・行方不明者・関連死者数は2万名強に達した。経済的損失は16兆円～25兆円とされているが、それらには道路や鉄道、ライフライン等の公共イ

ンフラの毀損、福島原子力発電所事故やそれに伴う避難区域の設定に伴う損失、消費者心理の悪化や買い貯め、農業や漁業、工業、観光などの風評被害、計画停電や省エネによる経済活動の減少などは考慮されていない。我々日本国民は計り知れない損失を被った^{1), 2)}。

同時に発生した福島第一原子力発電所の過酷事故は

* 宮城教育大学技術教育講座

原発の「安全神話」を打ち砕き、脱原発の機運を国民の中に大きく醸成した。この機運を確かなものにするための技術的な方策が現在求められている。すなわち、原発の発電電力3,000万 kW を肩代わりし、かつ、CO₂等の温室効果ガス排出量を軽減できる方策である。

著者は太陽光発電が原子力発電に勝るとも劣らない発電方式であることを示した³⁾。そして日本の発電設備能力 2 億7,400万 kW (2005年) を賄う洋上太陽光発電基地の建設を提唱した。この基地は103兆円、33.6年をかけて建設できること、面積は 1 万2700km²を要すること、などを明らかにした。同時に、日本科学者会議第18総合学術研究集会(仙台)においても、これらの事実を報告している^{4)、5)}。この直後に2011年の3・11大震災が発生した。

洋上太陽光発電基地は原発に取って代わることでできる可能性のある構想であると、著者は考えている。ただ、その建設には33.6年を要するために、直ちに原発にとって代わることはできない。そのため経過的な方策が必要になる⁶⁾。本論文は、先ず、この点を検討する。次に、脱原発社会である未来社会に移る。その基盤となる南鳥島洋上太陽光発電基地の可能性を、太陽の運行を基礎にした理論に基づいて、明らかにする。

2. 「電気エネルギー」の現状

電気エネルギーの需要と設備能力の推移をみる。図1は2006年から2010年までの需要電力の変遷を示している。また、図2と図3には同時期の電気事業者の設備能力と自家発電の設備能力の変遷が書き込まれている。2010年度の日本の総発電設備能力は、表1の通り、

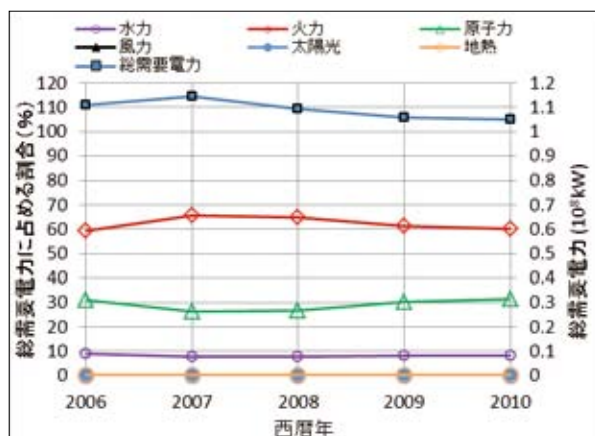


図1 総需要電力とそれに占める各発電方式の割合⁷⁾

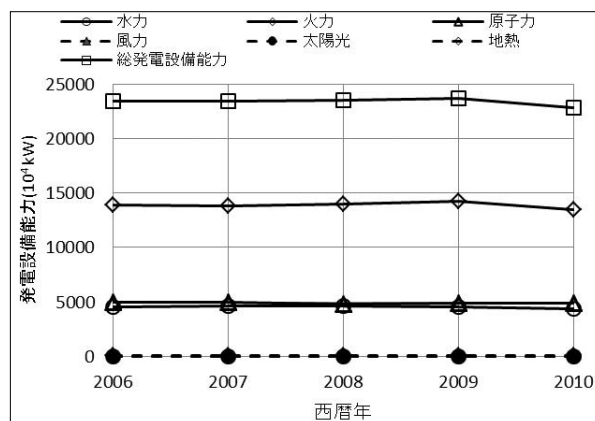


図2 電気事業者の発電設備能力⁷⁾

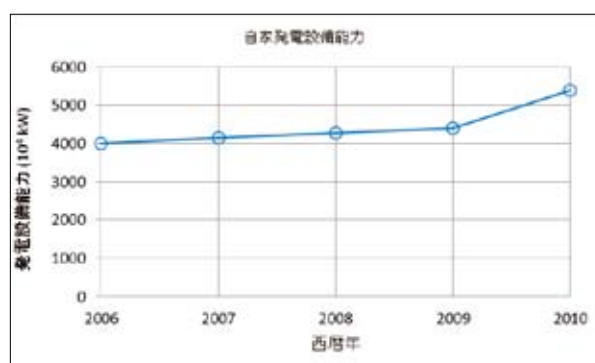


図3 自家発電の設備能力⁷⁾

表1 需要電力および設備能力の構成⁷⁾

種類	電気事業者に対する需要電力 (GW) 2010年度	電気事業者の設備能力 (GW) 2010年度
水力	8.467	43.85
火力	63.158	135.07
原子力	32.903	48.96
自然エネルギー	0.293	5.99
合計	104.822	233.87

2 億8772万 kW (自家発電を含む) である。うち、電力事業者が需要電力に対応して稼働している設備は 1 億482万 kW である。火力発電、原子力発電そして水力発電の占める割合は、それぞれ、60.25% (6315.8万 kW)、31.39% (3290.3kW) そして8.08% (846.7万 kW) である。残り0.28% (29.3万 kW) が自然エネルギーであるが、ほとんど地熱発電が占めている。

このほかに、自家発電として53.84 GW の設備容量がある。

3. 原発再稼働問題に対処する方策

政府・財界は、原発なしでは2012年の夏は乗り切れ

ないとの宣伝を強め、何としても再稼働にこぎつけたいようである。実際、それぞれ、7月1日と7月21日に大飯原発3号機と4号機を再稼働させた。ところが、表1の水力発電と火力発電の設備能力を見れば、そのような心配は無用のことのように思われる。もちろん、火力発電に頼らなければならなくなるので、CO₂の排出量が増加することは避けられない。そこで、この課題に対する当面の取り組みとして、次の3点を取り上げる。

- ① 水力発電の活用、
- ② 省エネ活動と省エネ技術の開発と普及
- ③ 火力発電の効率向上

3-1 水力発電の活用

2010年度の水力発電の設備能力は表1のとおり4385万kWであるが、揚水発電を差し引くと正味の設備能力は2073万kWである。そのうち、846.7万kWが稼働したことを表1は示している。稼働率は40.84%（=846.7/2073）となる。このように、現在の水力発電の稼働率は40%程度とされている。ところが、図4のように、1950年代の稼働率は64%を誇っていたのである。水力発電の稼働率をここまで引き上げれば、2073×（0.64-0.4084）=480.1万kWの増力が可能である。

なお、図4の別の見方であるが、1971年度までは沖縄復帰前であるので9電力会社体制であること、そして、2011年3月に水素爆発を起こした東京電力福島第一原子力発電所1号機が1971年3月に運転開始したことなど、その後の歴史的な展開が重なって思い起こされる。

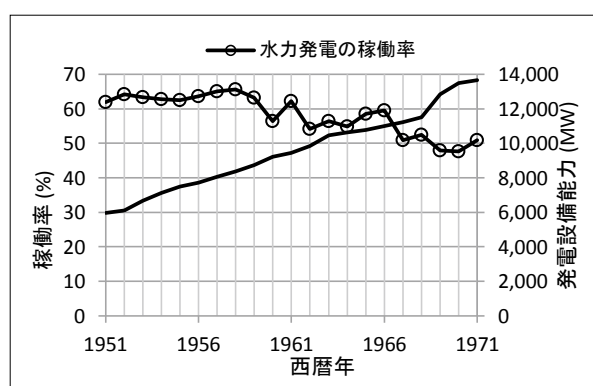


図4 9電力会社の1950年から1960年代にかけての水力発電の稼働率⁸⁾

3-2 省エネ活動と省エネ技術の開発と普及

東京電力は2011年9月26日のプレスリリース⁹⁾で「今夏の電力需給状況について」を発表した。

それによると、最大電力は最高気温が36.1度であった8月18日（木）に記録し、4922万kWであった。前年度実績（7月23日（金）、最高気温35.7度、最大電力5999万kW）を1077万kW下回った。東京電力管内の様々な部門の様々な省エネの取り組みの成果である。その内訳は大口需要家600万kW、小口需要家400万kWそして家庭需要家100万kWと分析している。

この1077万kWを10電力会社管内で分担して、日本の省エネ目標値と設定することはそれほど無理のないことと考える。このようにすれば、日本の発電電力としては9405万kW（=10482.2-1077）を確保すればよいことになる。

3-1節で述べた水力発電の増力480万kWを加えれば、火力と原子力での合計分担電力は9606万kW（=6315.8+3290.3）から8049.1万kW（=104.822-10.77-（8.467+4.801+0.293）GW）に減少する。この数値に対して火力発電の設備能力は1億3507万kWであるから、電力不足の懸念は全くない。

実際、何のトラブルもなく2ヶ月間続いた数値目標付き節電要請は2012年9月14日に解除された。しかも、2010年比で10%以上の節電に成功している。

ただ、火力による増力であるから、CO₂の排出量の増加は避けられない。この点の解決策を第4節と第5節で検討する。

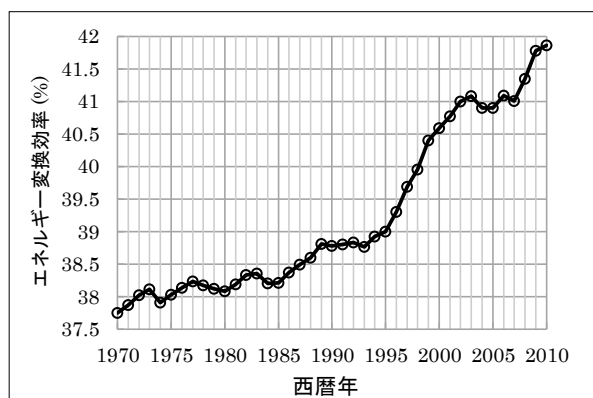
3-3 火力発電の効率向上

広く採用されている火力発電（石炭、石油、LNG）ではエネルギー変換効率は40%前後とされている。その年次推移は図5に示すとおりである。これは、多くの技術者たちのたゆまぬ努力がエネルギー変換効率を着実に押し上げてきたことを、物語っている。

近年、LNGコンバインドサイクル発電（天然ガス複合発電）が注目を集めている。58%という高いエネルギー変換効率のためである。火力発電をすべてこのLNGコンバインドサイクル発電に改修したと仮定しよう。表1に示す火力発電6315.8万kWの燃料を使えば、次の電力を生みだすことができる。

$$6315.8 \times (58/41.8) = 8763.6 \text{ 万 kW}$$

ただし、火力発電のエネルギー変換効率を、図5に

図5 火力発電のエネルギー変換効率の年次推移¹⁰⁾

示すとおり、41.8%（2010年度）とした。

この8763.6万kWは第3-2節で示した火力と原子力での合計分担電力8049.1万kWを714.5万kWを超えており、原子力発電を抜きにして、火力発電だけで日本の電力需要を賄えることを意味している。しかも、燃料は現在の消費量の91.8%（=8049.1/8763.6）だけで済む。

このように、水力発電と火力発電そして省エネ努力を組み合わせれば、原子力発電を抜きにして当面のエネルギー問題をクリアできる。この間、自然エネルギーの開発に努めるならば、将来は火力発電の占める割合を縮小していくことができる。

なお、原子力発電抜きに電力の安定供給が可能であるとの試算や見通しが各方面からなされている^{11) -15)}。

4. LNG コンバインドサイクル発電¹⁶⁾

本節では前節で取り上げたLNGコンバインドサイクル発電を紹介する。

4.1 LNG コンバインドサイクル発電はエネルギー変換効率が高い

この発電方式はガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた発電である。その構成は図6に示すとおりである。ガスタービンはジェット機のエンジンと同じものである。高温（1,500℃～1,700℃）の燃焼ガスを直接タービンに吹きつけこれを回転させ、これに連結する発電機を回して電気を起こす。600℃程度の排ガスは空气中に捨てられていたが、この排熱を用いて水蒸気を作り、蒸気タービンを回して発電を行う。蒸気タービンによる発電だけ効率が向上する。

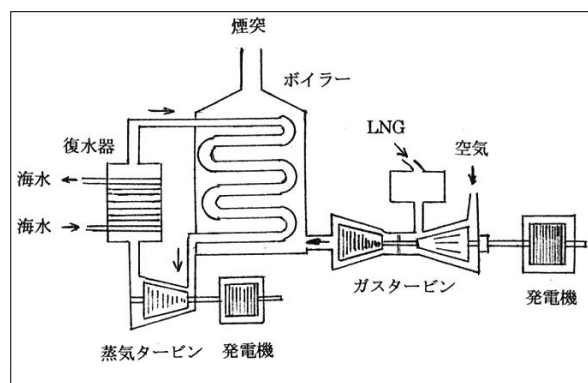


図6 LNG コンバインドサイクル発電機

ガスタービン部によるエネルギー回収率40%、蒸気タービン部によるそれは20%というところである。

4.2 LNG コンバインドサイクル発電は建設費が少なくて済む

東京ガスと日鉱日石エネルギーの共同出資会社である川崎LNGコンバインドサイクル発電所の出力42万kW一基の建設費用（LNGコンバインド化設備更新）は250億円である。一方、九州電力玄海原子力発電所3号機（平成6年3月に運転開始。118万kW）の建設費用は3993億円であるが、立地交付金437億円（=500×118/135）を加えると4,430億円となる。

原発一基で17.72基（=4430/250）のLNG発電所がコンバインド化できることになる。その合計の発電電力は744万kW（=42×17.72、柏崎刈羽原発821万kWに匹敵）である。それは玄海原発の6.31倍（=744/118）の発電能力である。

原発の設備能力は表1のとおり4,950万kWであったから、この数値は上述744万kWの6.65倍である。したがって、原発の設備能力をすべてLNGコンバインドサイクル発電に置き換えるための費用は2兆9,470億円（=4430×6.65）ということになる。

原発をLNGコンバインドサイクル発電に置き換えるための費用は2兆9,470億円であった。しかし、これはすべての火力発電をLNGコンバインドサイクル化のための費用ではない。全火力設備能力は1億3,507万kWであるから、その更新費用は次のように計算できる。

$$(1.3507 \times 10^8 \text{ (kW)}) / (4.2 \times 10^5 \text{ (kW)}) \times 250 \text{ 億円} = 8 \text{ 兆} 400 \text{ 億円}$$

第3-3節で述べたが、火力発電の分担電力は8,049.1万kWであった。予備力を多めの3割と見積もれば、設

備能力は1億463.8万kW（=8049.1×1.3）でよい。その更新費用は次のようにやや少なめになる。

$$(1.04638 \times 10^8 \text{ (kW)}) / (4.2 \times 10^5 \text{ (kW)}) \times 250 \text{ 億円} = 6 \text{ 兆} 2285 \text{ 億円}$$

いずれにせよ、莫大な金額であるが、3・11大震災で破壊された原発の累計建設費用は13兆円といわれているので、その半分程度である。年間売り上げが16兆円規模である電力業界が10年計画で取り組みれば、売り上げの3.89%（=（6.2285/10）/16）を改修に充当すればよいので、無理なく実施できる。電力業界としてこの事業に取り組むことこそ、その社会的責任を果たすことである。

4.3 LNG コンバインドサイクル発電は工期も短く、敷地面積も少なくて済む

LNG コンバインドサイクル発電の工期は最短で1～2年、通常3年とされている。東京電力は、2012年1月6日、千葉火力発電所の3台のLNGタービン発電所（合計100.2万kW（=33.4×3））をコンバインドサイクル化する改修工事を2012年7月末から始めると公表した¹⁷⁾。それによると、2014年7月末までに工事を完了して、直ちに稼働させるとしている。工期は2年ということになる。合計出力は150万kW（=50×3）に増力するが、増力分50万kWはコンバインドサイクル化の賜物（変換効率が39%から58%に向上）である。16（円/kWh）そして改修費用を750億円と仮定すれば、改修後5年で以前の損失を補填して増益に転じることができるであろう。

第4.2節で紹介した川崎LNGコンバインド発電所の出力82万kW（=42×2）の敷地面積は6万m²（6ha）である。これに対して、東北電力女川原発（出力217.4万kW）の敷地面積は170ha、東京電力の福島第一原発（出力469.6万kW）のそれは350haである。LNGコンバインドサイクル発電所の敷地面積がいかに少なくて済むか、これらの数値で実感できる。

5. LNG コンバインドサイクル化後も大量のCO₂が発生し続ける

すべての火力発電をLNGコンバインドサイクル発電に改修すれば、原発を稼働させなくとも、現在より少ない燃料で必要な電力8,049.1万kWを発生できるこ

とが分かった。当然、CO₂の発生量も少なくなるのであるが、改修過程でのCO₂の増加は避けられない。それを以下に検討する。

5-1 全面LNGコンバインドサイクル化後のCO₂発生量

化石燃料の燃焼とそれに伴って排出されるCO₂の量的関係を示す数値が表2に掲げられている。この表を使って、必要な電力8,049.1万kWを発生させるために生ずるCO₂の量を計算する。

この電力を熱量に換算すると、次の数値が得られる。

$$8049.1 \times 10^4 \text{ (kW)} / 4.1855 = 1.9231 \times 10^7 \text{ (kcal/s)}$$

エネルギー変換効率が60%であるLNGコンバインドサイクル発電でこの電力を発生させたとすると、1秒間あたり2.0675×10⁻⁴（kg/kcal）×1.9231×10⁷（kcal/s）/0.6=6627（kg/s）=6.627（t/s）のCO₂が発生する。これを年間量に換算すると、6.627（t/s）×3600（s）×24×365=2.090×10⁸（t）であるから、2億900万トンとなる。これだけのCO₂が毎年排出され続ける。

燃料を換えたときのCO₂排出量は表3のようになる。石炭を燃焼させたときが最も多くなる。なお、石油を燃料とする発電所ではC重油を燃焼させる場合が多いが、近年はLNGに置き換わってきている。

そこで、この状況を打開すべく、LNGコンバインドサイクル発電のエネルギー変換効率を60%から70%

表2 各種燃料の発熱量および二酸化炭素換算係数¹⁸⁾

種類	発熱量	二酸化炭素換算係数
一般炭	6139 (kcal/kg)	3.7927×10 ⁻⁴ (kg/kcal)
灯油	8767 (kcal/l)	2.8411×10 ⁻⁴ (kg/kcal)
軽油	9006 (kcal/l)	2.8748×10 ⁻⁴ (kg/kcal)
A重油	9341 (kcal/l)	2.9009×10 ⁻⁴ (kg/kcal)
C重油	10009 (kcal/l)	2.9992×10 ⁻⁴ (kg/kcal)
LNG	13043 (kcal/kg)	2.0675×10 ⁻⁴ (kg/kcal)

表3 必要な電力8049.1万kWを発生させるときに生じるCO₂の量（億トン）

変換効率	石炭	LNG	C重油
40%	5.750	3.135	4.547
50%	4.600	2.508	3.638
60%	3.834	2.090	3.032
70%	3.286	1.791	2.598
100%	2.300	1.254	1.819

に引き上げたとすると（ガスの燃焼温度を1,500℃から1,700℃に引き上げる）、排出ガスは年間1億7,910万トンに減少する。燃焼温度1,700℃は研究段階であるが、材料の関係上、これが燃焼温度の上限値であろうとされている。全面LNGコンバインドサイクル化でも、排出量を年間1億8,000万トンに抑制することがせいぜいである。CO₂を発生させない発電方式が切望される所以である。

5-2 LNGコンバインドサイクル化前に原発を廃止したときのCO₂の増加量

エネルギー変換効率を40%と仮定したとき、各電力発生時に生ずるCO₂の排出量を示したのが表4である。図7は10電力会社での火力発電電力量の構成比の推移を表している。石炭：LNG：石油の比が3：6：1となってきたことが分かる。この事実と表4の数値を使用すると、発生電力が6,315.8 kW のとき、排出されるCO₂の量は3.186億トン（ $=0.3 \times 4.512 + 0.6 \times 2.460 + 0.1 \times 3.568 = 3.186$ ）と推測される。

一方、原発を抜きにして火力発電だけで8049.1 kW を分担したときのCO₂の量は4.061億トン（ $=0.3 \times 5.750 + 0.6 \times 3.135 + 0.1 \times 4.547 = 4.061$ ）となる。つまり、原発を抜きにすると、8,750万トン（ $=4.061 - 3.186 = 0.875$ ）の増加となる。莫大な量のCO₂が増えるのである。これを避けるためには早急に火力発電のエネルギー変換効率を60%に引き上げなければならない。この措置を

表4 変換効率40%のとき発生するCO₂の量（億トン）

発電電力(万kW)	石炭	LNG	C重油	実CO ₂ 排出量
6315.8	4.512	2.460	3.568	3.186
8049.1	5.750	3.135	4.547	4.061

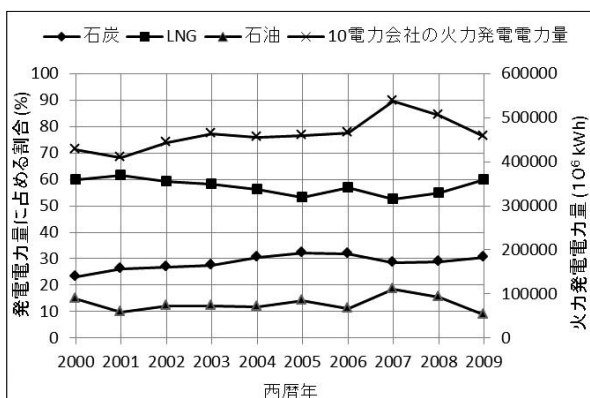


図7 火力発電電力量構成比の推移（10電力会社合計）¹⁹⁾

とれば、第5-1節で述べた如く排出されるCO₂は2億900万トンとなるので、措置前に比較して1億960万トン（ $=3.186 - 2.090 = 1.096$ ）だけ減少する。エネルギー変換効率を70%に引き上げたときは1億3,950万トン（ $=3.186 - 1.791 = 1.395$ ）減少する。エネルギー変換効率を仮想的に100%に引き上げれば、排出量は1億9,320万トン（ $=3.186 - 1.254 = 1.932$ ）減少する。

5-3 自家発電部門でのCO₂削減努力も望まれる

2010年度の日本のCO₂排出量は、図8のとおり、11億2,280万トンである。その内発電部門は4億5,020万トンを占めている。この数値は第5-2節で示した3億1,860万トンより多い。その差1億3,160万トンは何なのであろうか。

それは自家発電部門から発生している。鉄道会社など各企業は社内に必要な電力を自前で発生させるための発電設備を有している。その能力は、表1中で示したが、2010年度現在、5384万kW（53.84GW）である。CO₂発生量から推察すると、常時2609万kW（ $=6.3158 \times 1.3160 / 3.1860$ ）の設備が稼働していることになる。稼働率は48.5%（ $=2609 / 5384$ ）となる。電力部門のそれ46.8%（ $=6315.8 / 13507$ ）とほぼ同率である。

自家発電部門でもLNGコンバインドサイクル化を推進して、エネルギー変換効率を60%に引き上げれば、自家発電を含めた発電部門からの排出量は、4億5,020万トンから2億9,530万トン（ $=2.090 \times (4.502 / 3.186) = 2.953$ ）に減少するはずである。これは1億5,490万トン（ $=4.502 - 2.953 = 1.549$ ）の削減である。

エネルギー変換効率を70%に引き上げたときの排出量は、2億5,310万トン（ $=1.791 \times (4.502 / 3.186) = 2.531$ ）である。4億5,020万トンとの差である1億9,710

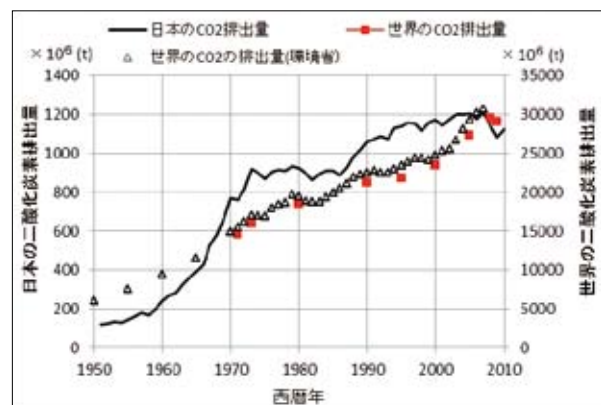


図8 日本と世界のCO₂排出量の年次推移^{21), 22)}

表5 自家発電を含め全面LNGコンバインドサイクル化後のCO₂排出量と削減量（億トン）

変換効率	60%	70%	100%
排出量	2.953	2.531	1.772
削減量	1.549	1.971	2.730

万トンが削減できる。

エネルギー変換効率を仮想的に100%に引き上げたときの排出量は、1億7,720万トン（ $=1.254 \times (4.502/3.186) = 1.772$ ）である。4億5,020万トンとの差である2億7,300万トンが削減できる。以上の結果を表5にまとめた。

5-4 京都議定書との関係

ドネラ・H・メドウズ等がローマ・クラブの依頼を受けて1972年に著したものが「成長の限界」である²⁰⁾。もし人類が、自然が与えることができる量以上のものを消費し続けるシナリオで進んでいくとするならば、2030年までに世界的な経済崩壊と人口の急激な減少が起るかもしれないと予測している。

図8はCO₂排出量の年次推移であるが、上記予測が発表されたのは現在の排出量のほぼ半分に達した時点であることが分かる。そして、不幸にも、この予測に沿って現実が動いてきたと考えられる。残された時間は少ないのだ。

心ある人々がこの事態を受けて、地球温暖化の元凶であるCO₂を削減することに心を砕き、気候変動に関する国際連合枠組条約を155カ国の賛同のもと、1992年6月に採択・発効させている。

日本は1997年に採択された京都議定書においてCO₂を1990年比で2013年までに6%削減することが義務付けられていた。以下に、火力発電を全面LNGコンバインドサイクル化することによって、そのことが実現できるか否かを検討する。

1990年には10億5,910万トンのCO₂を排出していたので、11億2,280万トンは1990年比で106.0%に相当する。1990年比6%減は9億9,555万トン（ $=10.591 \times 0.94$ ）である。11億2,280万トンとの差は1億2,730万トン（ $=11.2280 - 9.9555$ ）であるので、第5-3節で述べた火力発電のエネルギー変換効率を40%から60%に引き上げたとすれば、削減は1億5,490万トンであったから2,760万トンの超過達成である。1990年比でいえば91.4%（9億

6,790万トン）、つまり、6%削減を超えて、8.6%削減となる。

ところでLNGコンバインドサイクル発電のエネルギー変換効率を60%から70%に引き上げてみよう。このときの排出量は、2億5,310万トン（ $=1.791 \times (4.502/3.186)$ ）と推測される。削減幅は1億9,710万トン（ $=4.502 - 2.531 = 1.971$ ）である。11億2,280万トンから1億9,710万トンを差し引くと、排出量が9億2,570万トンになる。これは1990年比87.4%である。つまり、火力発電を全面LNGコンバインドサイクル化し、さらにエネルギー変換効率を70%に引き上げれば、1990年比で12.6%の削減が達成できる。

日本はCOP15コペンハーゲン会議（2009年12月7日～12月15日）に1990年比25%削減で臨んだ。それは排出量を7億9,430万トン（ $=10.591 \times 0.75$ ）とすることである。前述9億2,570万からさらに1億3,140万トン削減しなければならない数値である。この数値は、自家発電を含めた発電部門からの排出削減可能量1億9,710万トンに匹敵する膨大な量であるが、各部門が英知を結集すれば、実現不可能ではない。というのも、図9を見ていただきたい。これは2008年度のCO₂排出量と部門別の割合を示している。発電所からの排出量が全体の約1/3を、そして、その他の部門が残り2/3を占めていることが分かる。この残り2/3の部門が前述1億3,140万トン削減を分担することは可能と考えるからである。ただ、石油、石炭そしてガスなどの化石燃料を燃焼させる熱機関を前提とすれば、この25%削減が限界であ

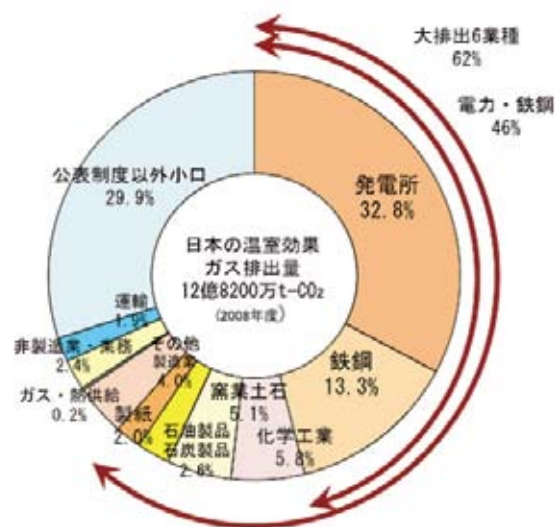


図9 日本のCO₂排出量と部門別割合（2008）²³⁾

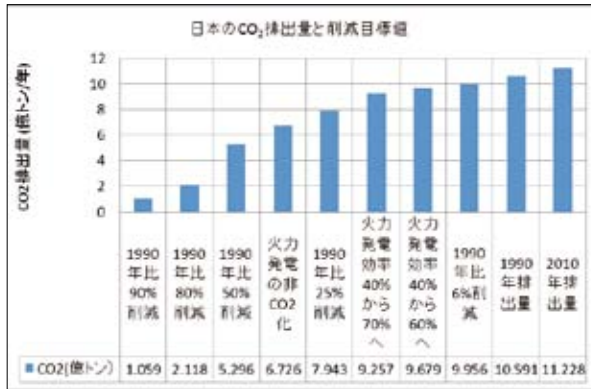


図10 各目標値と1990年排出量との比較

ろう。

なお、火力発電システムをCO₂が排出しないものに変更出来たとすると、ここからの排出量が4億5,020万トンであったから、排出量を6億7,260万トン(11,228-4,502=6,726)まで低減できる。この数値は1990年比63.5%であるから、36.5%の削減が達成できることになる。

本節の議論を数値の観点でまとめたものが図10である。

6. 80%以上のCO₂削減を目指して

1990年比CO₂ 80%削減を2050年までに目指すとすれば、総排出量は2億1,180万トン(=10,591×0.2)まで低減しなければならない。この数値は、火力発電を全面LNGコンバインドサイクル化し、エネルギー変換効率を70%に引き上げ、発電電力を8049.1万kWとしたときの排出量2億5,310万トンより小さい。つまり、火力発電の効率改善を前提にしては、1990年比CO₂ 80%削減を達成できない。少なくとも発電部門ではCO₂を全く発生させないシステムに切り替えない限り、80%以上の削減達成は不可能である。

発電部門でCO₂を発生させないためには、自然エネルギーの活用以外に道はない。その中で普遍的に存在している太陽光に注目が集まっている。

7. 南鳥島洋上太陽光発電基地

筆者は洋上太陽光発電基地を建設し、これを基盤とした水素社会を築くことを提唱している。ただ、太陽電池敷設用用地を陸上に求めることができないので、これを図11に示す小笠原の父島近海の排他的経済水域に確保することを提唱した³⁾。その後、父島と同小笠原



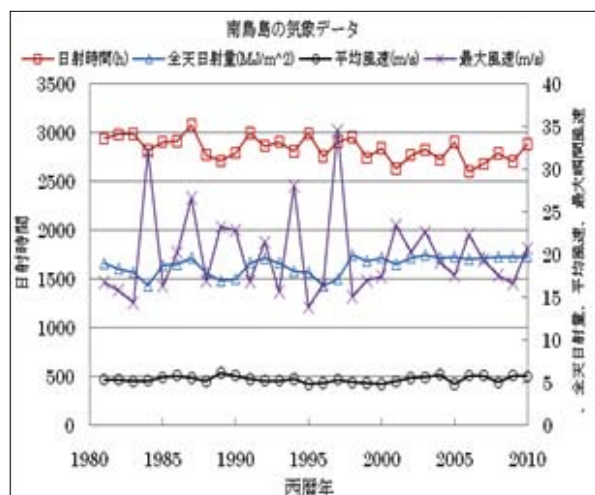
図11 日本の排他的経済水域(海上保安庁)



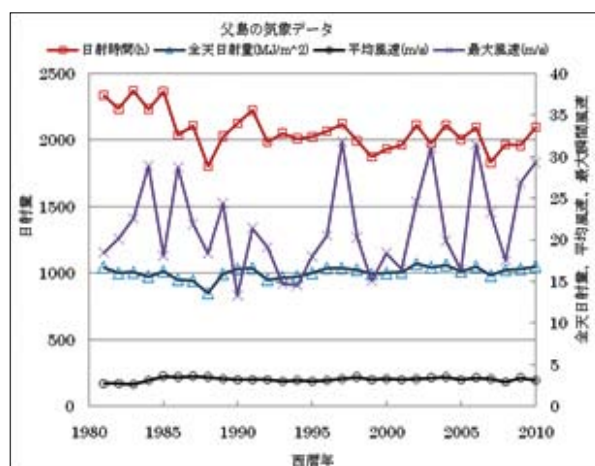
図12 南鳥島の航空写真(海上保安庁)

村の南鳥島(図12)の気象条件を比較した。その結果、南鳥島近海の方が、図13に示すように、日射時間が700時間も長くて2700時間、その上、風速などの気象も安定している。さらに、台風の襲来数も年に1～2回であって父島の半分程度である。東京から南鳥島までは約2千kmと父島の約2倍あるが、洋上太陽光発電基地の安定維持にとってはこちらの方が有利と判断する。

図14には南鳥島近海に建設される洋上太陽光発電基地の基本ブロックの想像図を掲げた。南鳥島の形状と同じ正三角形の形状をしており、その面積は1.5km²である。これはスクリューを装備しており、自力航行が可能である。また、GPSを使用して、洋上の規定位置に常に固定できる。さらに、このブロックは、図15に示すようにタンクを装備している。荒天の際にはこれに海水を注入して適切な水深まで沈めることができる。



(a) 南鳥島



(b) 父島

図13 小笠原村の南鳥島と父島の気象条件



図14 南鳥島洋上太陽光発電基地の基本ブロック（想像図）

タンクから海水を排除すれば、ブロックを浮上させることができる。

このブロックを8467基配置（面積12700km²）して南鳥島洋上太陽光発電基地を構成する。



図15 海中から見た基本ブロック（タンクとスクリュー装備）

なお、著者は洋上太陽光発電基地を建設することによって、脱原発・CO₂フリー社会の建設を提唱している^{24)、25)}。

8. 南鳥島での受光エネルギー

本節では、南鳥島洋上太陽光発電基地上に配置された太陽電池に降り注ぐ受光エネルギーの大きさを、太陽の運行を基礎にした理論をもとにして検討する^{26)・28)}。

太陽電池を図16に示すように配置する。すなわち、南を基準にして東方向に μ 度、垂直線から ν 度だけ傾いて配置されている。

受光エネルギーを計算するためには緯度（ Φ ）と経度（ λ ）が必要である。その他、大気透過率（ T_0 ）および大気路程（エアマス）も考慮に入れる²⁹⁾。

$\mu = 0$ 度、 $\nu = 60$ 度および80度そして $T_0 = 0.8$ とする。

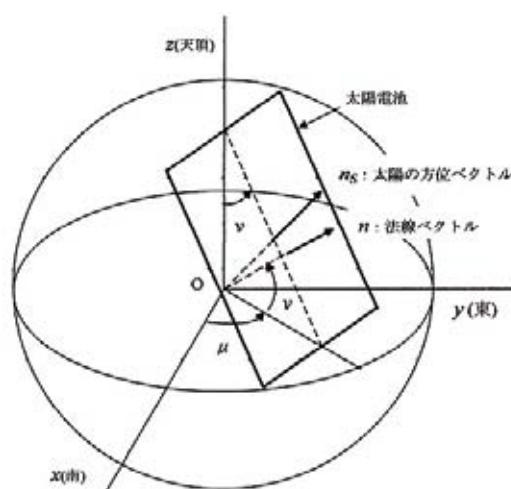
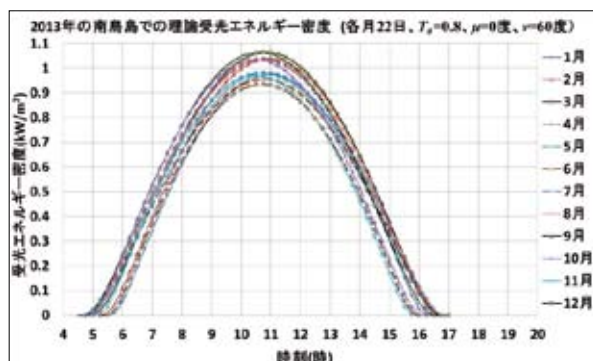
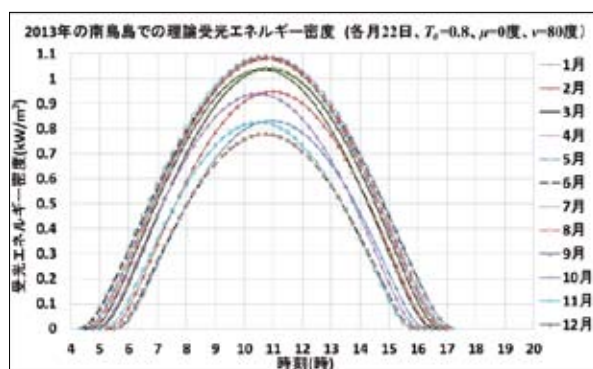


図16 太陽電池の設置と座標系

表6 南鳥島の緯度と経度

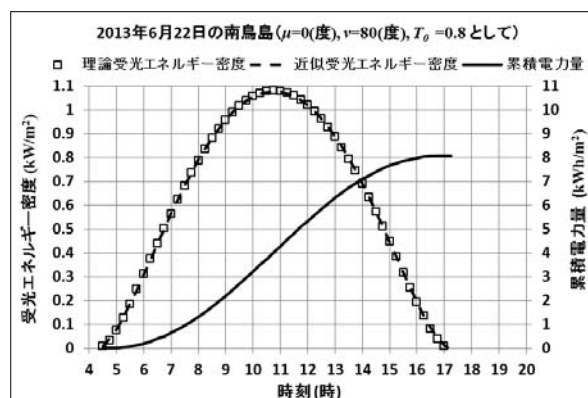
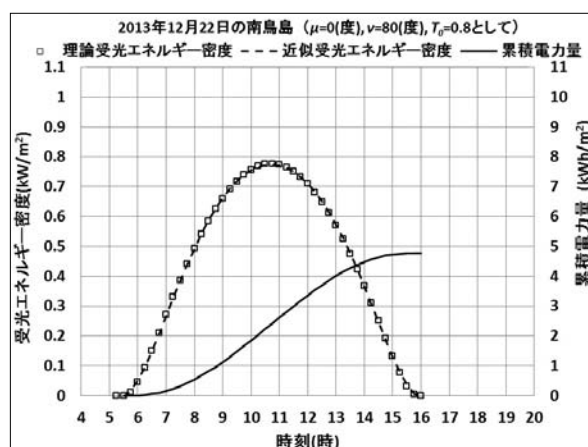
緯度 Φ	24.283056度
経度 λ	153.98639度

図17 2013年各月22日の受光エネルギー
($\mu = 0$ 度、 $\nu = 60$ 度、 $T_0 = 0.8$)図18 2013年各月22日の受光エネルギー
($\mu = 0$ 度、 $\nu = 80$ 度、 $T_0 = 0.8$)

南鳥島の緯度と経度は表6のとおりである。これらを考慮して2013年（平成25年）の各月22日の日の出から日の入りまでの受光エネルギーの計算をした結果が図17と図18に示されている。 ν が60度付近のとき、受光エネルギー密度の年間変動が少なくなることがわかる。

南鳥島洋上太陽光発電基地建設の際には、前方の太陽電池パネル群の影が後方のそれを遮蔽するので、各郡間には一定の距離が必要である。そのため、 $\nu = 80$ 度が实际的と考えられる。このような措置をとると、図18のように、受光エネルギーの年間変動がやや大きくなる。

2013年6月22日と2013年12月22日を選んで、より詳しく見ることにする。それらの結果は図19と図20に掲げられている。これらには1日の累積電力量も書き込まれている。もっとも日射が強い頃と考えられる6月22日の累積電力量は8.08 (kWh/m²)、そしてもっ

図19 2013年6月22日の南鳥島での受光エネルギー密度と累積電力量 ($\mu = 0$ 度、 $\nu = 80$ 度、 $T_0 = 0.8$)図20 2013年12月22日の南鳥島での受光エネルギー密度と累積電力量 ($\mu = 0$ 度、 $\nu = 80$ 度、 $T_0 = 0.8$)

とも日射が弱い頃と考えられる12月22日のそれは4.78 (kWh/m²)である。平均で6.43 (kWh/m²)となる。南鳥島洋上太陽光発電基地の面積は12700 (km²)であるので、ここに降り注ぐ年間の電力量は 2.981×10^{13} (kWh)である。この数値を定常発電に換算すると34億300万 kW に対応する。太陽電池のエネルギー変換効率を15%とすると、5億1,000万 kW の電力が得られる。

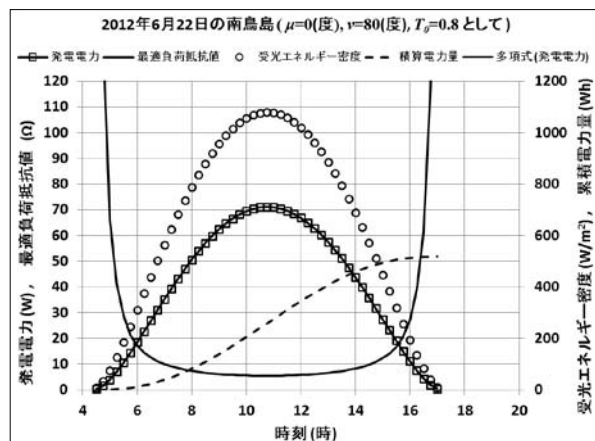
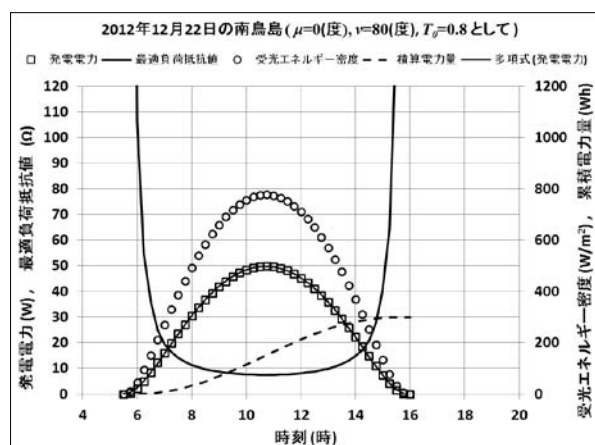
この数値は常に快晴と仮定したときのものである。実際にはその6割とすれば、3億600万 kW となる。これは2010年度の自家発電を含めた日本の発電設備能力である2億8,200万 kW にはほぼ一致する³⁰⁾。

9. 南鳥島での太陽電池の出力電力と積算電力量

本節では具体的な太陽電池にまで掘り下げた議論を行う。ここではSANYO製太陽電池モジュールHIP-5517を考察の対象とする。この太陽電池の仕様は表7のとおりである。

表7 SANYO 製太陽電池モジュール HIP-5517の仕様

面積：0.455 (m) × 0.99 (m)
公称最大出力電力：55 (W)
公称最大出力動作電圧：17.2 (V)
公称最大出力動作電流：3.2 (A)
公称短絡電流：3.6 (A) at (1000 (W/m ²), 分光分布 AM=1.5 and 25℃)
公称開放電圧：22 (V)

図21 2012年6月22日における太陽電池モジュール1枚の出力電力と積算電力量 ($\mu=0$ 度、 $\nu=80$ 度、 $T_0=0.8$)図22 2012年12月22日における太陽電池モジュール1枚の出力電力と積算電力量 ($\mu=0$ 度、 $\nu=80$ 度、 $T_0=0.8$)

2012年6月22日と2012年12月22日を選んでその電気特性を計算し、結果は図21と図22に示した。同図には時間ごとの出力電力、積算電力量そして太陽電池の最適負荷抵抗値が書き込まれている。

もっとも日射が強い頃と考えられる6月22日の日没時の積算電力量は518 (Wh)、そしてもっとも日射が弱い頃と考えられる12月22日のそれは299 (Wh) である。平均は408.5 (Wh) である。これは面積が0.45045m²である太陽電池モジュール1枚の値であるので、1m²に

換算すると0.9069 (kWh) となる。面積が12700 (km²) であるから、基地全体では1日当たり 1.152×10^{10} (kWh) の電力量を発生させる。定常値に換算すると、4億8000万 kW である。

実際にはその6割とすれば、2億8,800万 kW となる。これは、前節で述べたように、2010年度の自家発電を含めた発電設備容量2億8,200万 kW に一致する。

最適負荷抵抗値は、日射の強弱に応じて太陽電池と電解槽を並列や直列に組み換えて接続することによって実現する。

なお、太陽定数を1 (kW/m²)、太陽電池のエネルギー変換効率を18%、太陽光の利用効率を12%とすると、面積12,700 (km²) である基地からは概算では2億7,400万 kW (=1 (kW/m²) × 1.27 × 10¹⁰ (m²) × 0.18 × 0.12) の電力が生み出される。第8節と第9節で得られた結果はこの概算手法の妥当性を示している。

10. まとめ

第2節では「電気エネルギー」の2010年度時点の現状が表1のとおりであること、すなわち、需要電力は1億482万2千 kW、設備能力は2億8,771万 kW であるとの議論の前提を明らかにした。

第3節では原発を再稼働させなくとも必要な電力を確保できることを、3つの論拠をもとにして数値的に明らかにしている。

- (1) 水力発電の稼働率を現状40.84%から実績のある64%に引き上げれば、あらたに480万 kW の電力を生み出すことができる。
- (2) 2011年の夏、東京電力管内では各方面の省エネ活動の結果、ピーク電力を1,077万 kW 削減できた。この電力を10電力会社が分担して削減することとすれば、日本全体で確保しなければならない電力は9405.2万 kW となる。
- (3) エネルギー変換効率が41.8%である火力発電を58%であるLNGコンバインドサイクル化すれば、同量の燃料を使用して、火力発電だけで8,763.6万 kW の電力を発生できる。これは火力発電と原子力発電が分担しなければならない8,049.1万 kW より大きい。つまり、原子力発電を抜きに、かつ、現在の燃料の91.8% (=8049.1/8763.6) を使用して火力発電だけで必要電力8,049.1万 kW の電力を発

生できる。

第4節ではLNGコンバインドサイクル発電が次のような長所を有することを紹介した。

- (1) エネルギー変換効率が高く、70%まで引き上げることができる、
- (2) 42万kW一基の設備更新費用は250億円程度であって安価である。
- (3) 工期は2～3年程度と短く、敷地面積も一基当たり2～3haで済む。

このLNGコンバインドサイクル発電で4,950万kWの原発設備能力を置き換えるための更新費用は2兆9,470億円である。また、全火力設備能力1億3,507万kWのそれは8兆400億円である。この事業は10電力会社が10年計画で取り組めば無理なく実施できる。

第5節では次のことを明らかにした。

- (1) エネルギー変換効率が41.8%である火力発電をLNGコンバインドサイクル化する前に原発を廃止したとすれば、CO₂の増加量は2010年比で、1億2,364万トン(=0.875×4.502/3.186、自家発電を含む)である。排出量は12億4,644万トンとなるので、1990年に比で17.69%の増となる。
- (2) 自家発電部門も含めて全火力発電をLNGコンバインドサイクル化し、エネルギー変換効率を40%から60%に引き上げれば、1億5,490万トン(=4.502-2.953=1.549)の削減が可能である。1990年比で8.61%の減となる。エネルギー変換効率を70%まで引き上げると、排出量は1億9,710万トン削減できる。1990年比で12.60%の減となる。

第6節では次のことが明らかになった。

- (1) 火力発電の効率改善を前提にしては、1990年比CO₂ 80%削減を達成できない。
- (2) 1990年比CO₂ 80%削減を達成するためには、少なくとも発電部門ではCO₂を全く発生させないシステムに切り替える必要がある。
- (3) そのためには、自然エネルギーの活用が不可欠である。今後普遍的に存在している太陽光をエネルギー源とする太陽光発電が主力となるであろう。
- (4) 今後、原発に対抗できる能力を有する洋上太陽光発電基地建設へと舵を切るエネルギー政策の転換が求められる。

第7節では南鳥島洋上太陽光発電基地の概要を解説した。

第8節では南鳥島での受光エネルギーの大きさを太陽の運行を基礎にして見積もった。太陽電池のエネルギー変換効率を15%とすると、定常電力に換算して5億1,000万kWが得られる。実際にはその60%とすれば3億600万kWであるから、2010年度の自家発電を含めた日本の発電設備能力である2億8,200万kWを担保できる。

第9節では、具体的な太陽電池を想定して、南鳥島でのその出力電力と積算電力量を見積もった。その結果、定常値に換算すると、4億7,610万kWの電力が得られる。実際にはその6割とすれば、2010年度の自家発電を含めた日本の発電設備能力である2億8,200万kWを担保できることを示した。

参考文献

- 1) <http://www.shinsaihatsu.com/data/110311hito.html>
東日本大震災データ集、東日本大震災の人的被害
- 2) <http://www.shinsaihatsu.com/data/110311economy.html>
東日本大震災データ集、東日本大震災経済的影響
- 3) 草野清信：持続可能な社会の建設（Ⅰ）洋上太陽光発電基地
真の環境教育に向けて、宮城教育大学紀要第45巻、pp.165-179（2010）
- 4) 草野清信：持続可能な社会の建設（その1）——太陽光発電所の累積建設費用予測——、日本科学者会議第18回総合学術研究会集予稿集B-2-2（2010、宮城）
- 5) 草野清信：持続可能な社会の建設（その2）——未来社会水素社会への道——、日本科学者会議第18回総合学術研究会集予稿集、B-2-3（2010、宮城）
- 6) 草野清信：脱原発社会への道——LNGコンバインドサイクル発電————化石エネルギーから自然エネルギーへの移行の必然性——、日本科学者会議第19回総合学術研究会集予稿集、C-5-3（2012、岡山）
- 7) 資源エネルギー庁、2010年度「電力調査統計」
- 8) 資源エネルギー庁公益事業部・電気事業連合会編『電気事業30年の統計』、(1982)より作成
- 9) 東京電力 TEPCO ニュース プレスリリース：今夏の電力需給状況について（2011/9/26）
- 10) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編：「エネルギー・経済統計要覧」、p.213、(財)省エネルギーセンター(2012)
- 11) NPO 法人 地球環境と大気汚染を考える全国市民会議(CASA)：CASA 緊急提言 原子力発電に依拠せず
に25%削減は可能～「CASA2020モデル(Ver.3)」の試算結果～(2011/6) http://www.bnet.jp/casa/2020model/CASA2020Model_ver3.pdf

- 12) WWW ジャパン、システム技術研究所：「脱炭素社会に向けたエネルギーシナリオ提案 最終報告 100%自然エネルギー」(2011/11/18) <http://www.wwf.or.jp/activities/upfiles/20111117EnergyScenario02.pdf>
- 13) ISEP（環境エネルギー政策研究所）：原発を再稼働しなくても今冬と来夏の電力は足りる」(2011/11/25) <http://www.isep.or.jp/library/1660>
- 14) 増田善信：「原発ゼロ」は今すぐにでも可能、日本の科学者 第46巻 12号、pp.1434-1439（2011）
- 15) グリーンピースジャパン：自然エネルギー革命シナリオ－2012年、すべての原発停止で日本は甦る（2012）
http://www.greenpeace.org/japan/Global/japan/pdf/er_summary.pdf
- 16) 石川雅雄、寺内方志、小森豊明、安良岡淳：ガスタービンコンバインドサイクルプラントの高効率化への取り組み、三菱重工技報、Vol.45, No.1, pp.12-14（2008）
- 17) 東京電力 TEPCO ニュース プレスリリース：千葉火力発電所ガスタービン発電設備のコンバインドサイクル化について、さらなる供給力確保と環境負荷低減に向けて、（2012/1/6）
- 18) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編：「エネルギー・経済統計要覧」, pp.377-378, (財) 省エネルギーセンター(2012)
- 19) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編「エネルギー・経済統計要覧」, p.200, (財) 省エネルギーセンター(2012) から作成
- 20) Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, and William W. Behrens III : "The Limits to Growth", Universe Books（1972）, 「成長の限界」－ローマ・クラブ「人類の危機」レポート－ドネラ・H・メドウズ著、大来佐武郎監訳ダイヤモンド社（1972）
- 21) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編：「エネルギー・経済統計要覧」, pp.314-317, . 省エネルギーセンター(2012)
- 22) 環境省：平成23年度版環境統計集 第2章地球環境 温室効果ガス排出 2.6 大気中のCO₂濃度と人為的排出量、（2011）
- 23) 気候ネットワーク：「3つの25は可能だ、脱原発の複数シナリオ」(2011/4/19) <http://www.kiconet.org/iken/kokunai/2011-09-08.html>
- 24) 草野清信：3.11大地震で海水に浸った農地の復興事業から脱原発・CO₂フリー社会の建設事業へ、日本科学者会議東北地区会議 第22回東北地区シンポジウム資料集（2011年10月22日、青森市）
- 25) 草野清信：3.11大震災によって海水面下にある農地の復興事業から脱原発・CO₂フリー社会の建設事業へ、日本の科学者, Vol.47, No.5, pp.40-46（may 2012）
- 26) 若生康二郎 編：地球回転, 恒星社厚生閣（1979）
- 27) 長沢 工 著：日の出・日の入りの計算, 地人書館（1999）
- 28) 天文ガイド編：太陽観測, 誠文堂新光社（2009）
- 29) Fritz Kasten and Andrew T. Young : Revised optical air mass tables and approximation formula, Applied Optics, Vol.28, pp.4735-4738（1989）
- 30) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編：「エネルギー・経済統計要覧」, pp.195, . 省エネルギーセンター（2012）

（平成24年 9 月28日受理）