

ドイツのエネルギーシフト戦略のアイデアから 日本のエネルギーシフトの提案

一般社団法人クラブヴォーバン、株式会社日本エネルギー機関、一般社団法人日本エネルギーパス協会

2015年10月6日



はじめに

2010年に策定されたドイツのエネルギー戦略（エネルギーヴェンデ）では、2008年のデータを基準年として用い、2050年まで毎年、省エネ、エネルギー高効率化によって社会のエネルギー効率を2.1%ずつ高め（最終消費エネルギー効率と名付けられている）、2050年の時点で一次エネルギー供給量を50%削減することになっている。

【計算式】

$$100 \text{ (のエネルギー投入)} \times 0.979 \text{ (100\% - 2.1\%)} ^{42 \text{ 年}} \div 41 \text{ (のエネルギーの投入)} < 50$$

また、2010年以降に追加された目標値を含め、2015年現在、ドイツ政府が策定し、保持している目標値は以下のようなものである¹（2013年の実績数値も含めて）：

項目	実績	目標					
	13年	20年	25年	30年	35年	40年	50年
一次エネルギー供給量	▲3.8%	▲20%	-	-	-	-	▲50%
EPBD、EnEVにおける一次エネルギー必要量（建物分野、08年比、EnEV規定のCO2係数から換算）	▲5.5%	-	-	-	-	-	▲80%
国内総電力消費量（08年比）	▲3.8%	▲10%	-	-	-	-	▲25%
国内総電力消費量に対する再生可能エネの割合	25.3%	35%	40~45%	50%	55~60%	55~60%	80%以上
熱必要量（08年比）	▲0.8%	▲20%	-	-	-	-	-
熱部門での最終エネルギー消費量に対する再生エネ割合	9.1%	14%	-	-	-	-	-
交通分野での最終エネルギー消費量（05年比）	1%増	▲10%	-	-	-	-	▲40%
<備考> 温室効果ガス削減（1990年比）	▲22.6%	▲40%以上	-	▲55%以上	-	▲70%以上	▲80~95%

これらの数値は、それぞれの部門ごとにEUの枠組みや政治的な動向・意向で目標値が左右されているので、すべての数字が関連を持って合理的であるわけではない（例えば、2010年の時点では脱原発期限を平均12年間延長したため、脱原発の期限は2035年でこのエネルギー戦略は策定され

¹ ドイツ政府、連邦経済エネルギー省：

<http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=672424.html>

たが、2011年の福島第一原子力発電所の大災害を経て、メルケル政権は急遽脱原発期限を従来の2022年に戻している。しかし、それによって、細部の目標値を変更するなどの摺り合わせは行なわれなかった)。つまり、ある分野の目標数値は、突きつめて計算すれば、別のどこかの分野の数値と矛盾する可能性がある、という性格の目標値といえる。

ただし、大枠でこの方向で進むんだという強い意志は感じられ、おおまかな将来の社会のアウトラインは市場に対して示されているし、業界、産業にとっても、こうしたロードマップがあることで、投資をかなり容易にしている点で評価される。同時に日本と同様に、ドイツでも省庁の縦割り、省庁間の権限の綱引きで、往々にして非効率的な制度設計（二重助成措置や矛盾ある法規制などの弊害や政策推進の遅延や意味のない妥協、場当たりの政策など）になることも多いが、一定割合のそうした弊害を、この大枠の目標値、ロードマップの作成により回避していることも評価される。

なお、こうした対策においてドイツ政府は、2008年から30を超える法改正、新法施行の「IKEP：気候温暖化対策パッケージ」を施行しており、その後も新法の策定や既存の法律は数年に一度の頻度で改正が行なわれている²。

さて、このレポートは、ドイツのエネルギー戦略で考慮されている3つの重要対策を基本的には好意的に、ときにはより現実的に、安全側・保守側で解釈し、それを日本のケースに当てはめてみた時、どれだけのエネルギーが節約されるか検討し、およそのアウトラインを示すことを目的として作成した。

この際、基準年度である2008年のエネルギーフロー図で検討するのが最適だが、

1. 現在、ドイツ連邦経済・エネルギー省のWEBサイトでは（2013年の省庁改変に伴うWEBサイトの大幅な改変によって）、最新の2012年のものしか公開していないため、
2. 日本の将来を占うため、比較対象としては両国の最新の年度を揃えた³ほうが好ましいので、このレポートでは、どちらも2012年のデータで検討する。

ちなみに、**ドイツの一次エネルギー供給量は、2008年から2012年にかけて、14,380PJから13,447PJへと6.5%削減されている**（毎年1.67%の削減）。最新の2014年の一次エネルギー供給

² <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2015/03/2014-06-18-energiebilanz-energie-weiter-voranbringen.html>

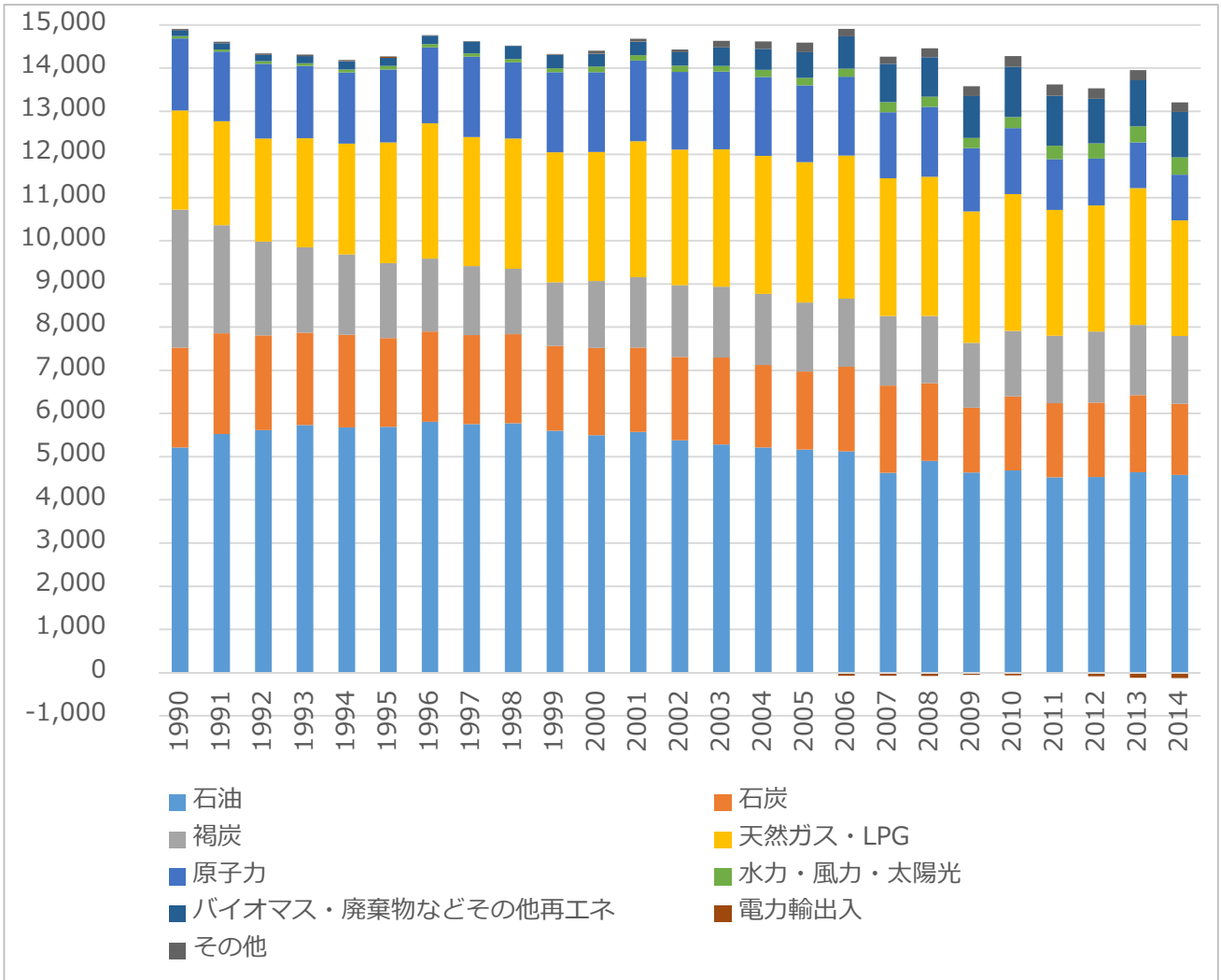
<http://www.bmwi.de/DE/Mediathek/publikationen,did=634268.html>

³ 本レポート執筆中に、日本ではエネルギー白書2015が公表され、エネルギーフロー図も2013年へと更新された。ドイツでもエネルギー白書に該当するものの元データであるAGBEでは2013年のエネルギーフロー図が更新されている。しかし、連邦経済エネルギー省はまだ更新していないので、このレポートでは2012年を使用する。

<http://www.ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2013.html>

量は 13,007PJ であり、2008 年との比較で 9.5%削減されている（毎年 1.66%の削減）。目標値である 2.1%には到達していないが、このペースを 42 年間継続するなら、 $100 \text{ (のエネルギー)} \times 0.983 \text{ (100\% - 1.7\%)} ^{42 \text{ 年}} \approx 49 \text{ (のエネルギー)} > 50$ と半減が可能なラインで推移していることがわかる。

■ ドイツの一次エネルギー供給量 (PJ)

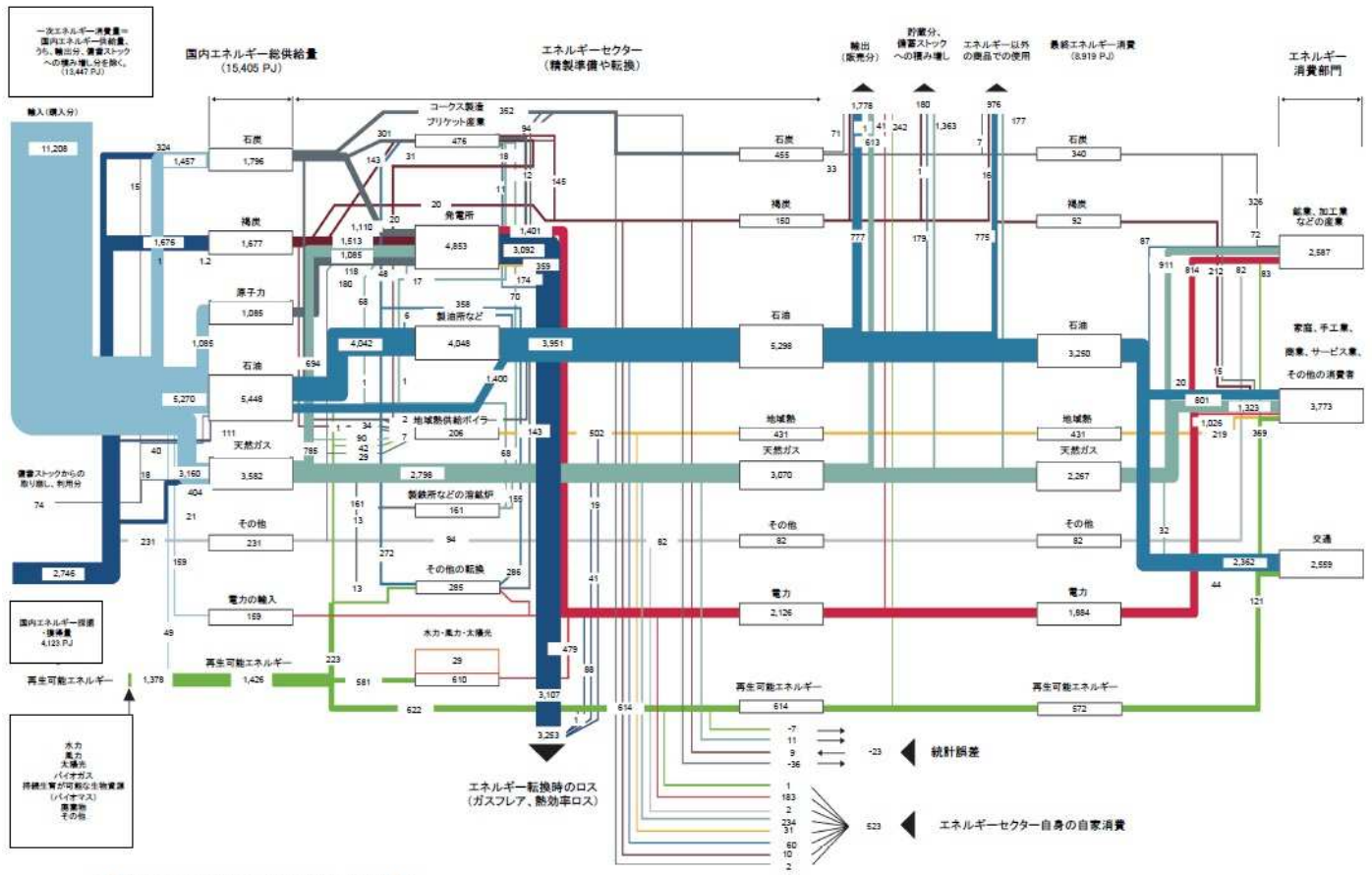


出典：ドイツ連邦経済・エネルギー省

<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html>

また、ドイツのエネルギー戦略のエネルギーの効率化、省エネ対策を理解するためには、以下のエネルギーフロー図をよく理解することが肝要である。

■ドイツのエネルギーフロー図 2012年



出典：ドイツ連邦経済エネルギー省「DIW Berlin」のデータを（一社）クラブヴォーバンが日本と比較できるように単位を PJ に統一した表示様式に変更

<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/gesamtausgabe,did=476134.html>

ドイツの省エネ・エネ効率化対策

その1：再エネ電力の大々的な普及

ドイツ政府は2050年までに電力消費量の80%以上を再生可能エネルギーによって発電するとしている。この際、分母である電力消費量をどの程度で計算するのかが賛否が別れることになる。

エネルギー戦略では、電力消費量自体も2008年との対比で75%程度に削減する意向だが、それには疑問符がつく。

なぜならドイツに存在する再エネのポテンシャルを鑑みると、需要に対して、不規則、不安定な非調整電源である太陽光発電、風力発電を柱にせざるを得ない。今の時点における複数の専門機関の見解では、ドイツにおける気象条件から、全体の電力供給の50%前後が風力発電で、20%前後が太陽光発電で構成するという組み合わせが、最も需給調整を安易にするとされている（蓄電の必要性が最も少ない）。バイオマス、地熱、水力などの安定・調整可能電源、バックアップ電源は全体の10%前後であり、天然ガスや輸入電力による需給調整役割が20%程度あることを想定している。今の第三次メルケル政権は、何の電源を、どこに、どれだけ設置するのか詳しく策定していない。

しかし、上記のような姿になるなら、再エネ80%の際には、ある一定量の電力のガス化（Power to Gas）を避けては通れないだろう。また効率90%程度の蓄電池もある一定量で大量に普及すると考えられる（とりわけ後述の交通部門、EVにおいて）。

Power to Gasの熱効率は現在すでに稼働しているメガワット規模の実証炉における想定では80%程度であり、そのガスを電力に戻すGas to Powerの発電効率はマイクロガスタービンを用いても、50%以下である。つまりその分、熱として供給されるエネルギーに変換されてしまうため、電力発電量自体は、電力消費量よりも多めに準備して作らなければならない。また、EVによって交通部門で電力が多量に消費されるようになると、電力消費自体も交通の新しい用途が増えることから増加する可能性が大きい。

したがって、エネルギー戦略で考慮された電力の消費量が現在のレベルの75%というのは、今の供給の現状が固定され、単に機器の効率や生活行動様式、人口動態、産業構成が変化する理由から、というのは理解できても、新しい用途が発生し、追加で需給調整を含めた姿を想像すると、その電力を準備する発電量は現在の水準か、あるいはそれよりも多少多いと考えるのがより現実的だ。

よってここでは、2050年も、2012年の水準の電力量と同量を発電すると仮定する（ちなみに2012年はすでに、総発電量から原子力・火力発電所での自家消費したものを除いたものを分母とすると、そのうちの4%の電力が国外に輸出超過されている）。

そして、そのうち 80%は太陽光・風力を主力とした再エネで供給するものとする。基本的に、太陽光・風力・水力発電の EPT や EPR は 1 を大きく上回る。つまり、機器の製造に投入されたエネルギーは、その機器の発電によって比較的短い時間で「ペイバック⁴」できる。これは、常に燃料を必要とする火力・原子力とは異なる特性であり、最大の長所と言える。従って、本来、エネルギーフロー図で、これらの電源を使用する際には、一次エネルギー供給は生じない。つまり、火力発電などの発電効率（発電量÷投入一次エネルギー）は 35～40%であるが、一次エネルギー供給を必要としない太陽光・風力・水力発電の発電効率は無限大であるからである。

しかし、ドイツではエネルギーフロー図を作成する際の決まり事として、便宜上、太陽光・風力・水力発電の発電量を持って、その同量のエネルギーを一次エネルギー供給に計上している。つまり、発電効率を 100%と仮定しているわけだ。このレポートでは、その考え方をそのまま適用することにする⁵。

また量としてはそれほど大きくない調整用のバイオマス・廃棄物・地熱発電では発電時に排熱が生じるが、若干量でもあり、同時に多くは排熱利用が進んでいるので、このレポートでは太陽光や風力、水力と同様に、一次エネルギー供給量が、電力供給量と同じだと仮定して、省エネできるポテンシャルを計算する。

【計算式（エネルギーフロー図などから）】

- ・ 2012 年度の原子力・火力発電時の排熱ロス = 3,107PJ
- ・ 2012 年度の原子力・火力発電所における自家消費 = 182PJ
- ・ 2012 年度の電力消費量の再エネ発電割合 = 23.6%

現在の再エネ割合 23.6%が 80%まで上昇するなら、上記の排熱ロスと自家消費エネの $3,107PJ + 182PJ = 3,289PJ$ は、76.4%の再エネ以外の発電で生じたことになる。これが 20%まで減少するわけなので、2050 年の時点の排熱ロスと自家消費エネは $3,289PJ \div 0.764 \times 0.2 = 861PJ$ になる。

再エネ割合が 8 割まで高まるなら、 $3,289PJ - 861PJ = 2,428PJ$ の一次エネルギー供給量を削減できることになる。これは、**2012 年度の一次エネルギー供給量 13,447PJ の 18.1%に該当する。**

⁴ <http://ksakurai.nwr.jp/R/slides/misc/FAQ-EPT.pdf>

⁵ ただし、日本のエネルギーフロー図の作成の決まり事では、原子力発電と同様に、太陽光、風力、水力、地熱発電などによる新エネと定義される電力供給量を、便宜的に、火力発電の平均的な熱効率 40%程度として、逆算で一次エネルギー供給量を計上しているようだ。この真偽については著者には定かではなく、ネット上に公式な計上のルールが情報公開されていないため、詳細を知る方がいれば、意見をいただけると幸いである。ただし、このレポートでは、現時点では量としては少ない日本でのその取り扱いは無視することにし、ドイツの手法と同様に、将来的には、再エネの発電量をそのまま一次エネ供給量とみなし、生じていない排熱は考慮しないことにする。

つまり、ドイツ政府が必要とする 2050 年までの半減量 50%のうち、すでに 2012 年までに削減したものが 6.5%、これに電力部門の再エネ化で 18.1%を加えると、合計 24.6%となり、目標の半分を再エネ発電の推進というこの対策一つだけで削減できることになる。「再エネ」は排熱カットの「省エネ」であることを、ここで強調したい。

その2：交通のEV化

ドイツで2012年に交通用途で消費された最終エネルギー消費量は2,559PJである。ただし、このエネルギー消費を準備するために、原油を精製してケロシンやガソリン、軽油、重油にしてスタンドまで運搬、準備したり、天然ガスやLPGをスタンドまで運搬、準備したり、鉄道などの電力を発電、送電、準備したりするためには、当然、エネルギー消費とロスが発生している。従って、ここでは、交通の用途で消費される最終エネルギーを平均効率90%で準備したと仮定し、交通用途での一次エネルギー供給量は2,843PJとみなす。

ドイツ政府は2050年までに交通部門での最終エネルギー消費量を2008年に対して40%削減するとしている。ただし、ここでは交通の総需要そのものが減少するのか、それとも交通機関の熱効率が上昇し、交通需要はそのまま40%削減することを意味するのか判明できない。おそらくどちらもだろうが、その割合も明確ではなく、40%削減という根拠はエネルギー戦略ペーパーでも示されていない。

そこで、ここでは、安全側に、分母である交通需要はそのままであると仮定する。また大きな熱効率の高効率化対策が可能であるので、一例として大々的にほぼすべての内燃機関の自動車、トラックをEVに置き換えた場合を想定してみる。

現状では交通用途の大部分が原油製品であり、大部分が内燃機関で消費されている。ここでは交通用途の最終消費エネルギーの2割は電力、ガス、ジェット、そして一部の残った内燃機関として2050年も不変のものとする。しかし、ドイツ政府がエネルギー戦略で大々的なEVの普及を目論んでいるため、残りの8割の交通用途の最終エネルギー消費量が、熱効率の低い内燃機関から、EVでの稼働に変化すると仮定する（あるいはそこまでEVが普及しなくとも、交通需要がそれだけ減少したと仮定する）。

また、このEVで消費される電力は、上記の再エネの需給調整の役割も果たすことから、電力供給のための熱効率は再エネのケースで仮に計上した100%と仮定する（電力準備のために発電所の熱効率を考慮しない、バッテリーの蓄放電時のロスもEVの熱効率に含まれる）。

現在の道路交通において消費されている内燃機関の交通は、おおよそ平均すると20%の熱効率で稼働していると仮定する（内燃機関の最高熱効率40%の半分、レポート最後に注釈あり）。これをEVに置き換えることで、熱効率を80%まで上昇させることができるものとする。

ちなみに、例えば現在ドイツで登録されている乗用車台数は4,300万台である（人口8100万人に対して）。2050年までには人口が13%程度減少し、およそ7,000万人前後になると予想されている。また高齢化も顕著である。したがって楽観的なシナリオでも、2050年の乗用車の登録台数は3,000万台を若干上回る程度であろう。現在のドイツでは、毎年300万台程度が新車登録されてい

るので、どこかの段階で市場が完全に EV に変化するなら、10 年ほどで市場の大部分は EV 置き換えることが可能である。

【計算式（エネルギーフロー図などから）】

- ・もし 8 割の交通用途が 100%の熱効率で組織されているならば、
交通部門の最終エネルギー消費 $2,559\text{PJ} \times 80\%$ の交通 $\times 20\%$ の熱効率 = 409PJ
これだけの交通用途のエネルギー必要量があることになる。
- ・ 409PJ の交通用途の需要を熱効率 80%の EV が担うとすると、 512PJ の再生エネルギーが必要となる。
- ・最終的には $2,559\text{PJ}$ の 20%の 512PJ の在来型交通と、 512PJ の EV によって、
合計 $1,024\text{PJ}$ で同じ距離・重さの移動・運搬の需要は満たされることになる。
- ・さらに、 512PJ の在来型交通が消費している燃料は 90%の熱効率で供給されていると仮定
すると、一次エネルギー供給量は 569PJ となる。
 512PJ の電力は再生エネルギーによって熱効率 100%で供給されたとすると、2050 年の交通での
一次エネルギー供給量は $1,081\text{PJ}$ となる。

これは、現在の $2,843\text{PJ}$ から $1,081\text{PJ}$ となり、 $1,762\text{PJ}$ の一次エネルギー供給量の削減を意味し、
2012 年度の一次エネルギー供給量 $1,3447\text{PJ}$ の 13.1%に該当する。

すでに過去 4 年間で削減された 6.5%、電力部門の再生エネルギー化の 18.1%に、この 13.1%を加えると
37.7%の削減をこの 2 つの対策で果たしたことになる。

その3：建物の省エネ化（高気密・高断熱による暖房エネの削減）

そして、最後の対策が建物の省エネ化である。ドイツでは2021年から住宅・商業・工業を含むすべての建物の新築がゼロエネ化されることが確定しており、同時に現在で年間約60万戸、最終的な目標として年間100～150万戸レベルのスピードで建物の省エネ改修（建物の燃費の半減、1/3化、1/4化）が進展中である。ドイツのエネルギー戦略では、2050年までに、2008年と比較して、建物の暖房・冷房・給湯・換気設備・（商業施設の場合は照明も含む）における消費エネルギーを一次エネルギー供給量で80%削減することが明確に記されている。

ただし、ここでは安全側に、冷房・給湯・換気などの消費エネルギー量はそのまま、暖房エネルギー消費量のみ、一次エネルギー供給量で80%削減されたと仮定してみる。

ドイツ経済・エネルギー省の統計では、建物の暖房に消費された最終エネルギー消費量は2008年で2,773PJ、2012年で2,476PJである（ここにはボイラーなどの設備における熱効率のロスがすでに含まれている＝燃料の販売量の発熱量から消費量を集計）。

この最終消費エネルギーは、燃料の精製、輸送・運搬される際に、90%の効率（10%のロス・エネ消費）によって供給されていると仮定する。

【計算式（上述とエネルギーフロー図などから）】

- ・2008年の建物の暖房用途での最終エネ消費2,773PJは、90%の効率で供給されているので、 $2,773PJ \div 0.9 = 3,081PJ$ となり、一次エネ供給量が推定できる。
- ・2012年の建物の暖房用途での最終エネ消費2,476PJは、90%の効率で供給されているので、 $2,476PJ \div 0.9 = 2,751PJ$ となり、一次エネ供給量が推定できる。
- ・2050年の暖房用途での一次エネ供給量は、2008年の3,081PJの80%削減されたものであるので、616PJとなる。

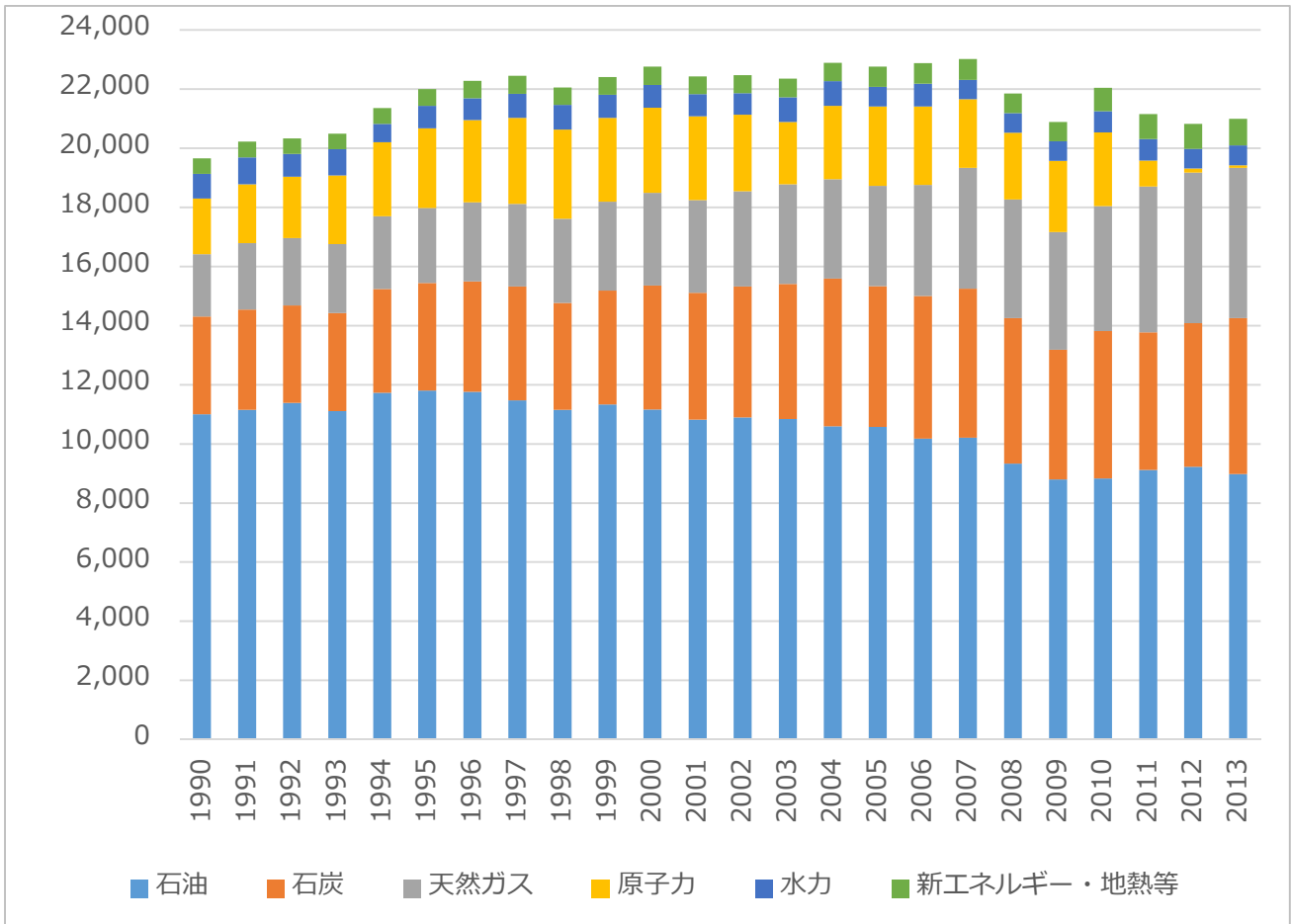
2012年の建物暖房用途での2,751PJが、2050年には616PJとなり、一次エネ供給量で2,135PJの削減がなされる。これは2012年度の一次エネルギー供給量1,3447PJの15.9%に該当する。すでに4年間で削減された6.5%、電力部門の再エネ化の18.1%、交通部門での13.1%に、この15.9%を加えると53.6%の削減をこの3つの対策で果たしたことになる。

つまり、たった3つの社会インフラ（電力再エネ化、交通EV化、建物断熱・気密化）を基本的に2050年までかけて、毎年毎年、徐々に変更させるという対策のみによって、ドイツでは、2008年の一次エネルギー供給量を最大54%削減することが可能となる。もちろん、すべての対策が100%貫通することはなくとも、目標値の50%削減には十分に到達可能、つまり毎年1.7～2.1%の省エネ、エネ効率化の積み重ねは可能であることを示している。

日本のエネルギーシフトへの提案

それでは、同様に、日本でもこの計算が成立し、2050年までに一次エネ供給量を半減できるのか（基準年 2012年）、同じように日本のエネルギーフローを使用して計算してみたい。

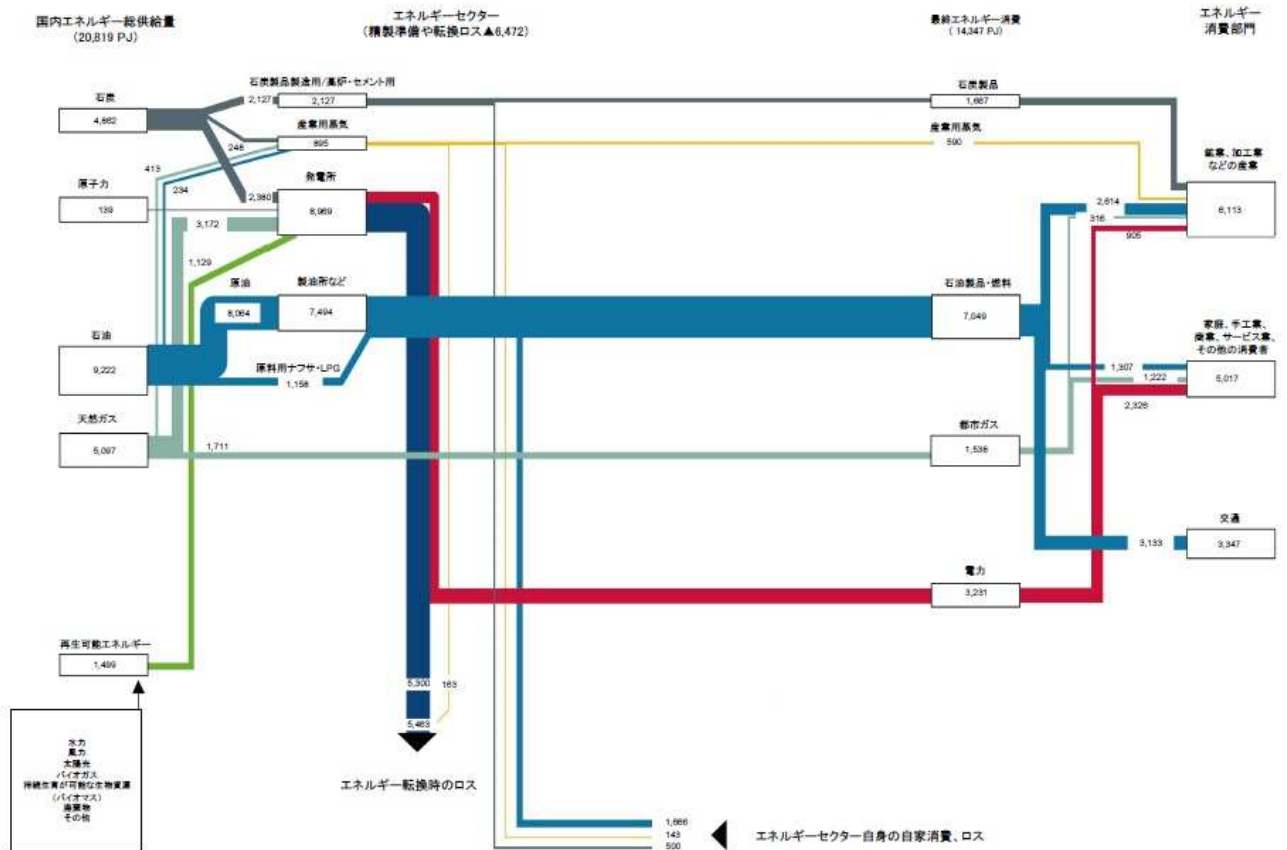
■ 日本の一次エネルギー供給量 (PJ)



出典：エネルギー白書 2015年第二部

<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>

■日本のエネルギーフロー図 2012年



出典：経済産業省「平成25年度エネルギーに関する年次報告」のデータを、
 一社クラブヴォーバンがドイツと比較できるように類似の表示様式に変更

出典：経済産業省「平成 25 年度エネルギーに関する年次報告」のデータを（一社）クラブヴォーバンが
 ドイツと比較できるように類似の表示様式に変更

<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/>

日本の省エネ・エネ効率化対策

その1：再エネ電力の大々的な普及

日本には2050年までの発電量内訳に関する長期戦略は存在しない。ここではドイツのように、2050年までに電力消費量の80%以上を再生可能エネルギーによって発電すると仮定すると、どれだけの一次エネルギー供給量が削減されるのか計算してみる。ドイツでの計算事例と同じように、社会変化（人口動態、産業構造）や機器の効率向上によって電力消費量そのものは削減される可能性が高いが、電力の需給調整でのロス、および交通分野における新しい用途での消費が発生すると仮定し、発電量そのものは2012年と変わらないものとする。また、再エネのエネルギーフロー図への計上の方法は、ドイツの事例と同一にする（太陽光・風力・水力発電の発電効率は無限大であるが、便宜上、100%で発電したと仮定し、一次エネ供給量と発電量を同一のものとする）。

【計算式（エネルギーフロー図などから）】

- ・ 2012年度の一次エネルギー供給量 = 20,819PJ
- ・ 2012年度の原子力・火力発電時の排熱ロス = 4,601PJ
- ・ 2012年度の原子力・火力発電所における自家消費（送電ロス含む） = 365PJ
- ・ 送電ロスを電力消費準備量 3,297PJの3%と仮定する = 99PJ
- ・ 2012年度の原子力・火力発電所における自家消費 = 365PJ - 99PJ = 266PJ
- ・ 2012年度の自家発電での発電損失 = 699PJ
- ・ 2012年度の発電電力中の再エネ割合

①9.1%

（→エネルギー白書、ダム水力8.4%は良いが、新エネ0.4%の統計がきちんとなされていない、かつ、自家発電の発電量が分母に含まれていない、など信ぴょう性が低い）、

②10.7%

（→ISEPの調査資料⁶より独自に計算、ダム水力6.7%、自然エネ4.0%。こちらのほうが信ぴょう性が高く、かつ、自家発電を含むトータルの発電量を分母としているので、この数字を採用する）

上記の排熱ロスと発電所自家消費エネ $4,601\text{PJ} + 266\text{PJ} + 699\text{PJ} = 5,566\text{PJ}$ は、再エネ割合が10.7%の数字であり、再エネ以外の発電割合が89.3%の数字だ。これが2050年までに80%になるとすると、再エネ以外の電力は20%となるので、ここから生じるロス・自家消費は、 $5,566\text{PJ} \div 89.3\% \times 20\% = 1,247\text{PJ}$ となる。

⁶ 参照：<http://www.isep.or.jp/library/7878>

つまり、 $5,566\text{PJ} - 1,247\text{PJ} = 4,319\text{PJ}$ の一次エネルギー供給量を 2050 年までに削減できることになる。これは、**2012 年度の一次エネルギー供給量 20,819PJ の 20.7% に該当する。**

熱効率の悪い老朽化した褐炭発電を使用しているドイツであるが、すでに再エネが進展しているので 18.1%削減の下げシロしかないが、火力の効率が高いと喧伝されている日本のほうは、再エネの進捗度が遅れているため、より大きな削減ポテンシャルがあることが分かる。

つまり、2050 年までの削減目標量 50%のうち、電力部門の再エネ化で 20.7%の削減となり、目標の 4 割以上を再エネ発電の推進というこの対策一つだけで削減できることになる。再エネは省エネである。

その2：交通のEV化

日本で2012年に交通用途で消費された最終エネルギー消費量は3,317PJである。ただし、このエネルギー消費を準備するために、原油を精製してケロシンやガソリン、軽油、重油にしてスタンドまで運搬、準備したり、天然ガスやLPGをスタンドまで運搬、準備したり、鉄道などの電力を発電、送電、準備したりするためには、当然、ロスとエネルギー消費が発生している。従って、ここでは、交通の用途で消費される最終エネルギーを平均効率90%で準備したと仮定する。交通用途での一次エネルギー供給量は3,686PJであるとみなす。

日本では2050年までに交通部門での最終エネルギー需要量は、人口25%の急減、グローバル化による産業構造の変化によって、欧州大陸の中心に位置している交通要所のドイツ以上に、現状の水準を大幅に下回るだろう。しかし、ここでは、安全側に、分母である交通需要はそのままであると仮定する。ドイツでの事例と同じように、大々的にEVにほぼすべての内燃機関の自動車、トラックを置き換えた場合を想定してみる（あるいはそこまで完全にEVに置き換えられなくとも、交通需要そのものが減少している分でその残りを賄ったと仮定する）。

現状では交通用途の大部分が原油製品であり、大部分が内燃機関で消費している。ここでは交通用途の最終消費エネルギーの2割は電力、ガス、ジェット、そして一部の残った内燃機関として2050年も不変のものとする。しかし、残りの8割の交通用途の最終エネルギー消費量が、熱効率の低い内燃機関から、EVでの稼働に変化すると仮定する。また、このEVで消費される電力は、上記の再エネの需給調整の役割も果たすことから、電力供給のための熱効率は再エネのケースの100%と仮定する（電力準備のために発電所の排熱ロスを考慮せず、一次エネと同量の発電量があると仮定する、バッテリーのロスもEVの熱効率に含まれる）。

現在の道路交通において消費されている内燃機関の交通は、おおよそ平均すると20%の熱効率で稼働していると仮定する。これをEVに置き換えることで、熱効率を80%まで上昇させることができるものとする。

ちなみに、例えば現在日本で登録されている乗用車台数は7500万台である（貨物用途の普通車、軽自動車も含めて、人口1.28億人に対して）。2050年には人口は25%程度減少し、およそ9,500万人前後になると予想されている。また高齢化も非常に顕著である。従って楽観的なシナリオでも、2050年の乗用車の登録台数は5,000万台を若干上回る程度であろう。現在、毎年550万台程度が新車登録されているので、どこかの段階で市場が完全にEVに変化するなら、10年ほどで市場の大部分はEV置き換えることが可能である。

【計算式（エネルギーフロー図などから）】

- ・ $3,317\text{PJ} \times 80\% \text{の交通} \times 20\% \text{の熱効率} = 531\text{PJ}$ で実際には 8 割の交通用途の必要エネ需要が熱効率 100%の交通機関であれば満たされる。
- ・ 531PJ の交通用途の需要を熱効率 80%の EV が担うと、663PJ の再エネ電力が必要となる。
- ・ 最終的には 3,317PJ の 20%の 663PJ の在来型交通と、663PJ の EV によって、合計 1,326PJ で同じ距離・重さの移動・運搬の需要は満たされることになる（最終エネ消費）。
- ・ さらに 663PJ の在来型交通の燃料供給は 90%の熱効率で供給されているので、一次エネルギー供給量は 737PJ となる。663PJ の電力は、再エネによって熱効率 100%で供給されたと仮定しているので、2050 年の交通での一次エネルギー供給量は 1,400PJ となる。

これは、現在の 3,686PJ から 1,400PJ となり、2,286PJ の一次エネルギー供給量の削減を意味し、**2012 年度の一次エネルギー供給量 20,819PJ の 11.0%に該当する。**

電力部門の再エネ化の 20.7%に、この 11.0%を加えると 31.7%の削減をこの 2 つの対策で達成したことになる。

その3：建物の省エネ化（高気密・高断熱による暖房エネの削減）

そして、最後の対策が建物の省エネ化である。ドイツではすでに他の先進工業国と同じようにストック社会に移行しており、数少ない新築をゼロエネ化してもほとんどエネルギー消費量を削減することはできないため、既存ストックの省エネ改修の大々的な推進が、建物分野における省エネの前提である。ドイツには使用・必要とされていない空き家はほとんどない。

しかし、日本は今のところ発展途上国と同じように計画なく、自然発生的なスクラップ&ビルドの社会を続けており、新築によって既存ストックを置き換えてゆく、あるいは空き家が増加し放置するという状況を今後もある程度の期間は続けると思われるため、より省エネ型の新築によって（使用されている家の）ストックが置き換わり、同時に部分的にストックを省エネ改修していくというシナリオが現実的である。

どちらにしても、2050年までに、建物における暖房エネルギー消費量を、ドイツと同じように、一次エネルギー量換算で80%削減したらという仮定で、話を続ける⁷。ドイツのケースと同じように冷房、給湯、換気などの消費エネルギー量は変わらないこととする。

ここで問題が生じる。日本にはドイツのように、建物の暖房の分野において、燃料供給からの集計で、どれだけ暖房用途でエネルギーを消費しているかの統計がない。また、全館暖房、セントラルヒーティングのドイツとは異なり、日本では部分間欠暖房、採暖が主流である。つまり、こたつ、ホットカーペット、電気毛布、電気アンカ、電気ヒーター、電気暖房便座、エアコンなどの電化製品、ガスや灯油でのストーブ、ヒーター、そして貼るホカホカカイロ（そんなの部屋が温かいドイツには存在しない）に至るまで、暖房と一口に言っても、エネルギー源や暖房熱供給の機器は多岐にわたる。

この点、エネルギー白書では、例えば民生の家庭部門において、2,047PJの最終エネルギー消費量に対して、24%が暖房用途であると公表しているが、こたつや電気アンカ、電気毛布、電気暖房便座、ホットカーペットなどのすべての暖房機器の電力消費量が「動力・照明・他」に該当するのか（おそらく国際的に見ても極端に電気の消費量が大きいので、そうであるように思われる）、それを暖房と含めているのかが定かではない。どちらにしても、ここでは、信頼できるここに記されている491PJを民生家庭の暖房消費エネと一旦は見なす。

同時に、民生の業務では、2,870PJの最終エネルギー消費のうち、21%が暖房用とあるので、603PJが暖房用の最終エネルギー消費量となる（オフィスが寒いので足元に電気ヒーターを置くな

⁷ 一説では国土交通省は、2050年までにすべての住宅ストックを太陽光発電との組み合わせで事実上ゼロエネ化し、一次エネ供給量をゼロにするという目標もあるらしいが、信ぴょう性が低いので、ここではまずは暖房エネを8割削減というドイツと同じ対策をしたことにする。

どの暖房エネルギー消費量は考慮されていないと思うが…）。

問題は産業である。産業においても、工場での暖房、倉庫での暖房、工場隅に併設された事務所で暖房など、かなりの暖房エネ消費がされているはずである。しかし、エネルギー白書には統計がそもそもない。エネルギーフロー図を見ても、その答えは見当たらない。

民生の家庭と業務で消費される暖房エネルギー消費量は $491\text{PJ} + 603\text{PJ} = 1,094\text{PJ}$ であり、これは最終消費エネルギー量 $14,347\text{PJ}$ の 7.6% に該当する。ドイツと似通った気象条件で、ドイツよりも建物の躯体性能、とりわけ窓などが明らかにレベルの低い日本において、いくら冬場の屋内が 10 度を軽く下回る他国に類を見ない極限の我慢の生活をしていると言っても、ドイツの暖房に投入する最終エネ消費の割合 27.8% とくらべて、 7.6% は低すぎるように感じる。

統計がないものは論じようがないが、エネルギー白書で漏れている（と思われる）産業部門での暖房や、ピンポイントで使われる各種の採暖・暖房用具（こたつ、電気毛布、電気アンカ、ホットカーペット、トイレの電気暖房便座などは部屋の温かいドイツには存在しない）などでの暖房エネ消費量が、統計にあるものの 50% 程度存在するとして、ここではさらに $1,094\text{PJ} \times 50\% = 547\text{PJ}$ を暖房エネ消費と見なすことにする。

つまり、日本の最終エネ消費 $14,347\text{PJ}$ のうち、暖房用途での消費エネは $1,641\text{PJ}$ (11.4%) と仮定する（住宅関係者へのヒアリング等からこちらのほうが実際の数値に近いように思う）。

次に、この暖房エネ消費の一次エネ換算であるが、ドイツと異なり、電力による暖房が多いことが特徴的である。日本の電力供給では、エネルギーフロー図から発電効率は 37% である。エアコンであっても既存のものを平均すると、外気温度が低い時の暖房用のヒートポンプ利用時の APF は 3.0 を満たしていないケースが多いと思われる（とりわけ設置後 10 年を超えるような古いエアコンの数も多いので）。同時に、電力の生炊きでの暖房利用（こたつ、電気ヒーター、暖房便座、電気毛布など）などもある程度の量があると推定される。従って、総合的な平均値は、ガスや灯油のボイラーの時と同じように、またドイツの事例と同じように、熱効率が 90% で供給されているとみなす。結果的に $1,641\text{PJ} \div 0.9 = 1,823\text{PJ}$ の一次エネルギー供給量があると仮定しよう。

これを 80% 削減するわけなので、 $1,823\text{PJ} \times 0.8 = 1,458\text{PJ}$ が削減量となる。これは日本の **2012 年度の一次エネルギー供給量 $20,819\text{PJ}$ の 7.0% に該当する。**

つまり、ここまでの 3 つの対策、電力の省エネ化 (20.7% 減)、交通の EV 化 (11.0% 減)、そして建物の高断熱・高気密化 (7.0%) によって 38.7% の一次エネルギー供給量の削減が達成できることになる。これはドイツでの事例のように半減には足りない。

従って、ドイツと異なり、さらにいくつかの対策を実施する必要があるだろう。その取り組みで優先順位が高いのは、ドイツの最終エネルギー消費割合の約 2 倍の規模を持つ、給湯エネルギー消費量の削減だ。

その4：給湯機器の省エネ・再エネ化

ドイツでは最終エネルギー消費量に対して給湯でのエネルギー消費は5.3%にしかない。しかし、生活様式の違い（お風呂に頻繁に入る→部屋が寒いのでお風呂に入らないと冬場はやってられない・・・）と社会がドイツの数倍規模の水道水を利用している無駄なライフスタイル（流水で洗い物をする、汚れていないものを洗うキレイキレイ症候群など）などから、日本における給湯エネルギー消費量はかなり大きい。

エネルギー白書では、民生家庭における給湯でのエネルギー消費量は2,047PJの28%に該当する573PJである。同じく、民生業務における給湯でのエネルギー消費量は2,870PJの17%に該当する488PJである。暖房と同じようにエネルギー白書には産業での工程熱を除いた給湯用エネの消費量が統計されていない。暖房と異なり、それほど産業での給湯エネの消費量は大きくないと思われるため（また暖房のように民生の分野で統計からの抜けはそれほどないと考えるため）、ここでは民生業務の半分の244PJが産業で給湯として消費されていると仮定する。

従って、日本における給湯での最終エネルギー消費量は $573PJ+488PJ+244PJ=1,305PJ$ と仮定する。日本の最終エネ消費14,347PJのうち、給湯用途での消費エネは9.1%になり、ドイツの2倍近くであることが分かる（逆に暖房は半分近くであるが）。

給湯での一次エネルギー供給量は、ガスや灯油などの場合、その燃料を準備する際を考慮した90%（ボイラーの熱効率は上記の消費エネに考慮されていると仮定する）と、エコキュートなどの電力使用の高効率型のヒートポンプ、そして電力生炊きの電気温水器がある。このときの電力は効率37%で準備されている。ヒートポンプの場合、気候区分の地域や温水の蓄熱時間が長くなる深夜電力を使用するのかどうかで異なるが、実際の稼働でのAPFは、この発電効率による損失分を差し引いても、一次エネ供給量はやや減少すると思われる。しかし産業や民生業務における給湯のほとんどは電気の生炊きかガス・灯油であろう。したがって、総合的にみて、この給湯での一次エネルギー供給量は、95%の効率で供給されていると仮定する。

【計算式（上述とエネルギーフロー図などから）】

- ・一次エネルギー供給量 = $1,305PJ \div 0.95 = 1,374PJ$
- ・太陽熱温水器を柱にした再エネ化と潜熱回収型ボイラー、および再エネ電力による高効率型ヒートポンプの利用、そしてドイツよりも大幅に劣っている温水用の配管の断熱強化、貯湯タンクの断熱強化により2050年までに給湯用のエネルギー消費量を80%削減すると仮定すると = $1,374PJ \times 0.2 = 275PJ$
- ・給湯での一次エネルギー供給削減量 = $1,374PJ - 275PJ = 1,099PJ$

これは日本の **2012年度の一次エネルギー供給量 20,819PJ の 5.3%に該当する。**つまり、ここまでの4つの対策、電力の省エネ化（20.7%減）、交通のEV化（11.0%減）、そして建物の高断熱・高气密化（7.0%減）、給湯用エネの省エネ・再エネ化（5.3%減）によって44.0%の一次エネルギー供給量の削減が達成できることになる。

ここまで計算してきたように、ドイツと異なり、

1. 2008年から2012年までに一次エネルギー供給量をほとんど削減していない（日本は横ばい→ドイツはこの4年間で6.5%の削減を達成している）
2. 我慢しているため、建物の躯体は劣悪でも、暖房における消費量がそもそも少ないので、ドイツのように15.9%も削減できない。暖房（7.0%）と給湯（5.3%）の両方を併せて削減する必要がある。
3. そもそも日本では民生家庭における膨大な電力消費を大幅に削減する必要がある（建物の躯体が高断熱・高气密で高性能化すれば電力の使用も減少するだろうが）。これは人口動態の変化、世界に類を見ない人口の急速減少によって、自動的に減少すると思われるが、それでは経済規模は単に小さくなるだけなので、より積極的な対策が必要である。

総括として、日本でドイツのようなエネルギー戦略を策定したとすれば、上記に述べたような若干量の差異は発生するが、基本的には2050年までに一次エネルギー供給量の半減を4つの対策でほぼ満たすことが可能であることが分かった。

「ドイツを見習え！」的な言論や、それに対する反論的な言論が、日本においては、福島第一原子力発電所の大災害以降、続けられている。長年、ドイツのエネルギー政策をウオッチしているレポート作成責任者の村上敦（ドイツ在住、ジャーナリスト⁸）は、双方の感情的な物言いや、事実に基づかない「木を見て森を見ない」事柄ではなく、こうしたエネルギー供給の全体像を見渡した上での議論が活性化されることを望む。その意味で、この簡易的なレポートが少しでも役に立つなら幸いである。

また、このレポートで想定した数々の「仮定」については、あくまで粗々のものであり、重箱の隅を突き出せば、いろいろな問題がある点も承知している。そして事実誤認も多いだろう。ただし、このレポートは何らかの細かな事象を精密に検討するものではないし、もちろんそれは各分野の専門家の手に任せたい。エネルギー戦略の「あらすじ」の一つとしてご笑読いただけたなら幸いである。また建設的なご意見も寄せていただけると嬉しい。

⁸ <http://www.murakamiatsushi.net/>

最後に、

1. 再エネの推進が実は省エネを大推進することにつながることは日本ではアナウンスされていない。火力・原子力発電所の熱効率が低いためである（エネルギーフロー図からの計算＝37%）。イデオロギー的な議論ではなく、再エネを推進した時、素直にこの社会での熱効率の飛躍的な向上（→無限大）という点について、もっと議論されるべきである。
2. 同時に、ここでは自動車交通の内燃機関の熱効率を社会平均で20%と仮定したが（以下に注釈する）、私自身の感覚では20%には到達していないように思われる。内燃機関がこのような最悪の熱効率でしか稼働していないことも日本ではほとんどアナウンスされていない。燃費が良いとか、悪いとかではなく、そもそもの原理として、内燃機関の熱効率の低さを指摘する議論が増えるべきである。

また、効率の悪い内燃機関で大部分の交通が組織されているが故に、内燃機関による交通利用量をそもそも削減させるとき、飛躍的な一次エネルギー供給量の削減を達成できる（レバレッジが効くわけだ）。これはEVの普及よりも大切であることは議論の余地がない。

欧州各国では、都市や地域内の交通を大々的に自転車交通で行う対策が目白押しである。法的整備、保険のルール化、財源の準備などが遅れ、道路上では「邪魔者」「厄介者」としか見られていない、日本の（発展途上国並みの）自転車交通に関わる政策は、2050年までのできるだけ早い段階で180度転換する必要があるだろう。

注：交通における内燃機関の社会の平均熱効率を20%とみなした根拠：

1. 内燃機関の理想的な条件での最高熱効率40%前後が、実際に道路上で使用されるとき、その熱効率の社会での平均値を単純にその半分とした。
2. すでに実用化されているEV車の熱効率は70%程度と言われている（根拠はよく分からないが・・・）。また、EV車（乗用車）の燃費は現在6km/kWh程度。ガソリンの平均的な低位発熱量を9.1kWh/lとすると、ガソリン1l換算での燃費は54.6km/l。EVの普及と技術革新によりEVが将来、社会で平均した熱効率80%が達成されるなら、その時の燃費は62.4km/l。ガソリンの低位発熱量が100%の効率で走行に使われるなら、78km/l（分母）。

現在、社会に出回っている内燃機関の乗用車の平均燃費は、経済産業省によるレポートなどを見る限り15～17km/l。したがって、現在の内燃機関（乗用車）の熱効率は19～22%程度となるので、ここでは20%を採用した⁹。

⁹ 参照：<http://www1.ocn.ne.jp/~yokamura/fuel.consumption.rate.of.a.car.pdf>