

The actual proof report of the timbered house equipped with PV system

PV システムを備えた木造住宅の実証報告

Isao TEZUKA

手塚 勲^{*1}

Abstract

The purpose of this research is to clarify the technical process of creating the construction design which will equip the wooden building with the energy-saving function and the photovoltaics function, and maximizing the amount of photovoltaics, and the energy-saving effect.

The construction design created by this research is a wooden structure which has the "for south shed roof" which can install many solar array panels by the south roof top of good Sunshine conditions compared with a common building.

The construction design which can perform photovoltaics to the utmost is set to one of the effective methods which brings about the energy-saving effect in a building, and lessens the dependence on atomic power or a fossil fuel.

Keywords : The shed roof solar house for south, double heat insulation aeration, Double aeration, a double aeration roof, cross-like reinforcing metal

キーワード：南向き片流れ屋根ソーラーハウス、二重断熱、二重通気、二重通気屋根、十字状補強金物

1. はじめに

本稿は、循環型低炭素社会を目指して、個人や企業がどのような行動をとれば地球環境問題を前進させられるかを考察するものである。その解決策の一つとして、高気密と二重断熱及び二重通気構造を備えた木造建物の省エネルギー化（以下「省エネ」と言う）と太陽光発電による再生可能エネルギー（以下「再エネ」と言う）をより効果的に実現できる PV システムを備えた木造建築デザインの実証報告を行うものである。

本研究の建築デザイン性能を明らかにするために、まず、2013 年 4 月、徳島県阿南市に第一実証実験棟 (Fig. 1) を、次に、2013 年 11 月に京都市伏見区に第二実証実験棟として共同住宅 (Fig. 2) を完成させた。そして、2014 年 3 月、徳島市に第三実証実験棟 (Fig. 3) を完成させて、現在、「常設実証実験棟」として公開している。これら 3 棟の実証実験棟では、屋外環境の変化による太陽光発電量の変化を継続計測しながら、本研究の基礎となる発電量と省エネ効果のデータの集積を行っている。

本研究は、これらの実証実験棟のデータを基にして、さらなる学術的な研究を進めながら実用化を目指している。また、太陽電池パネルを建築物の屋根全面に搭載できる建物を普及させることで、我が国

のエネルギー自給力を高め、最終的には、原発や化石燃料への依存度を低くして循環型低炭素社会の実現に資するテクニカル・プロセスを明らかにしていくものである。

2. 省エネと再エネ創出を実現する建築デザイン

本研究によって開発された南向き片流れ屋根ソーラーハウス（実証実験棟）は、片流れ屋根に太陽電池パネルを屋根全面に設置することによって、より多くの太陽光発電を行い、かつ省エネを可能にした木造住宅である。このデザインについて以下で詳述する。

2.1 再エネ創出のための建築デザインの考察

近年、太陽光発電システムの低価格化が進んだことや、再エネを売電できる法整備が整ってきたこと



Fig.1 The 1st actual proof experiment building (Anan-shi)

*1 同志社大学大学院総合政策科学後期博士課程
バルハウス株式会社代表取締役
〒770-0911 徳島市東船場町1丁目6番地
e-mail: uv82495@fc4.so-net.ne.jp

(原稿受付：2015 年 4 月 27 日，受理日：2015 年 5 月 25 日)



Fig.2 The 2nd actual proof experiment building rental housing (Kyoto-shi)

から、発電効率向上のために、建物の屋根により多くの太陽電池パネルを南向きに設置したいという市場ニーズが高まってきた。このニーズに応えるため、水平投影面積（以下「建築面積」と言う）に対して屋根面積を大きくし、南向きの片流れ屋根全面に太陽電池パネルを固定した建築デザインを考案する必要があると考えた。

在来建物の片流れ型屋根は、外壁から軒の出が少なく、また、必ずしも屋根が南向きではない場合が多く、建物の建築面積に対して南面の屋根面積が制約されて太陽光発電に十分な屋根面積を確保することが難しかった。その原因は、木造住宅の屋根を支える躯体構造の強度にあり、片流れ屋根の軒を外壁から大きく突出させることが困難で、建築面積に対して大きな屋根を設置することができなかった。そこで、PVを備える木造建築デザインに改善の余地があると考えに至った。

太陽電池パネルの発電電力量は、日射量とパネル枚数に比例することから、本建築デザインでは、太陽光が多く照射される南面の屋根面積を大きくし、パネル枚数を増やすことを試みた。本実証実験棟に設置される太陽電池パネル数は、Fig.4に示すように、在来工法の寄せ棟型屋根では南面に25枚を設置できる。これを1とすると、切り妻型の屋根は2.08倍の52枚を設置できる。さらに、本実証実験棟は6.76倍の169枚の太陽電池パネルを南向きに設置できる。したがって、従来の寄せ棟型屋根に設置する太陽光発電と比較すると、本実証実験棟は（南面のみに限定すれば）6.76倍の発電量が得られることになる。

If the annual energy production in a hip roof is set to 1

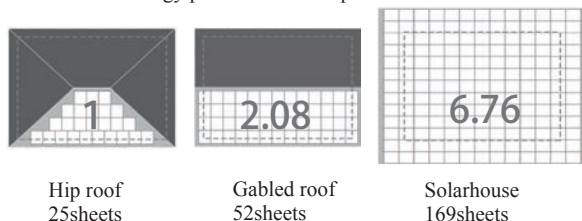


Fig.4 Solar array panel installation number-of-sheets comparison by the form exception of a roof



Fig.3 The 3rd actual proof experiment building (Tokushima-shi)

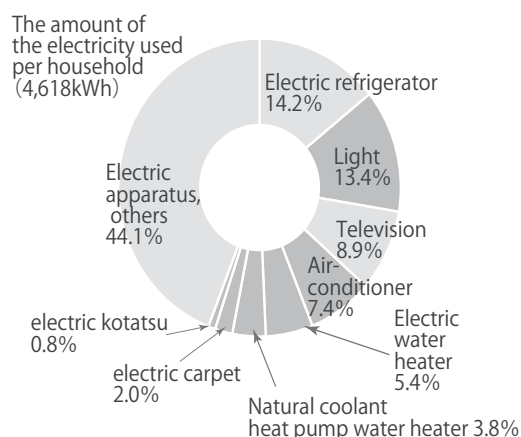
2.2 省エネを促進できる建築デザインの考察

本建築デザインは、省エネができる「一般個人住宅」を前提として考察する。

資源エネルギー庁の平成21年度民生部門エネルギー消費実態調査及び機器の使用に関する調査で、日本エネルギー経済研究所が試算した、2009年の家電製品別の消費電力量をFig.5⁽¹⁾に示す。これによると、世帯あたりの電気使用量は4,618kWh/年であり、家電製品別の消費電力量のうち冷暖房に関する世帯あたりの電気使用量は、全電気使用量の10.2% (498.74kWh/年)を占めていることがわかる。また、このような冷暖房機器に加え、照明器具、給湯器の電気使用量は32.8%と大きいので、これらのエネルギー消費を削減することが省エネにつながると考えた。

本実証実験棟では、木造建築の断熱性能を向上させることで熱損失係数1.91W/m²K、外皮平均熱貫流率UA値0.49W/m²K^{注1}を実現し、併せて、LED照明や省エネ効果が高い自然冷媒ヒートポンプ給湯器^{注2}を採用して、省エネ効果を促進しようと試みた。

建物に省エネ効果を付加するには、熱移動の三原則と言われる「伝導」「対流」「放射」の抑制が大きい



* An air-conditioner includes the cool summer and warm winter influence of 2009

Fig.5 The items of the amount of the electricity used per 2009 home section households⁽¹⁾

注1 第三者であるYM住環境計画・村松雄二が確認試算した
注2 エコキュート

に關係する。一般的な建築では、熱抵抗の高い仕様にする（断熱材を厚くする）などして伝導熱を抑える対策がとられてはいるものの、屋根や壁に空気層を設けるなどの対流熱への対策はあまりとられていない。本実証実験棟は、その対策を講じた工法を採用した、建物全体を覆う高気密性能と二重断熱・二重通気・自然通気層を備える建物構造であり、省エネルギー等級 4^{注3} となっている。

新省エネルギー基準（1992 年）以前の木造建物の土壁や土葺き瓦屋根構造^{注4}などは、通気性は良いが、断熱性能はあまり期待できなかった。近年では、屋外温度環境の変化に対して人造鉱物繊維状断熱材^{注5}を使用し、断熱性能はある程度は向上したが、まだ室外環境の影響を受けていた。しかも、室内外の温度差によって壁内結露を起こし、発生した水分が断熱材を徐々に硬化させて経年劣化を招く場合もあり、断熱効果を減少させるとともに、木造建物の構造体を腐蝕させる原因の一つとなっていると考えられる。

そこで、本実証実験棟では室内の水蒸気が壁内へ侵入するのを防ぐための対策として、防水シートを内側断熱材と内側計画通気層の間に貼った（5.3 で詳述）。さらに、建物構造体内部に二重の自然通気層を設けて自然通気が流動しやすくすることで、木造建物の断熱性能を向上させ、壁内結露の減少を試みた。

3. PV システムを備える木造建築デザインの技術

前章の考察を踏まえ、本研究では屋根に太陽電池パネルを固定したソーラーハウス（実証実験棟）を設計した^(2, 3)。その概略斜視図を Fig. 6 に、側面図を Fig. 7 に、北側背面図を Fig. 8 に示す^(4, 5)。本実

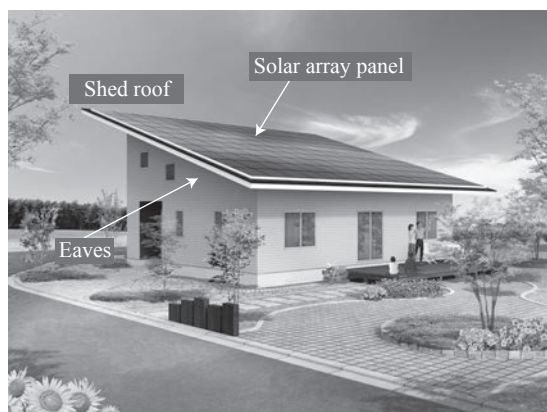


Fig. 6 A building equipped with a solar cell (outline view)

注 3 この基準は、住宅の品質確保の促進等に関する法律（平成 11 年法律第 81 号）に基づく評価方法基準（平成 13 年国土交通省告示第 1347 号）に定められている省エネルギー対策等級 4 の基準または断熱等性能等級 4 の基準である。第三実証実験棟の地域区分は IV

注 4 従来の屋根瓦や野地板を使う工法

注 5 グラスウール、ロックウールなど

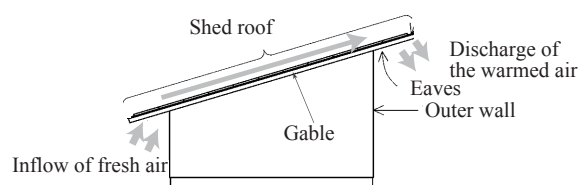


Fig. 7 Building equipped with solar cell (side view)

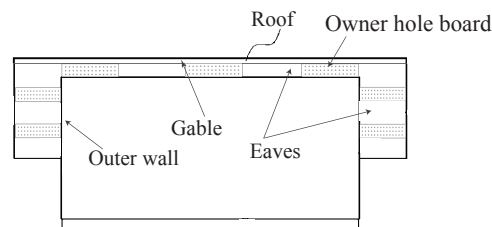


Fig. 8 Building equipped with solar cell (north-side rear elevation)

証実験棟は、南向きの片流れ屋根を配しており、Fig. 7 の上下端部と両側の軒部を建物の外壁面から 1.5m 以上突出させることを試み、軒部の上面を含む領域に太陽電池パネルを固定している。このように、建築面積に対する南面の屋根面積を大きくすることで、屋根に設置される太陽電池の発電量を大きくした。また、軒の出を大きくすることで、建物内に直射日光が入りにくくなり、夏季における室内の冷房効率を上げる効果も得られる。

しかし、太陽電池パネルは、屋根の外周縁まで延びるように配置すれば、その分、パネル設置枚数を多く設置できるものの、強風で外周部が損傷されやすいという欠点が生じる。このため、本実証実験棟では、本研究において開発した十字状補強金具（次章で詳述）で屋根の構造材を補強することで、Fig. 8 で示した破風を除く屋根全面に太陽電池パネルを配置し、太陽光を最大限に取り込む方法を考察した。

4. 建物の煽り負荷問題を解決する十字状補強金物

本実証実験棟に使用されている十字状補強金具の底面図を Fig. 9 に、斜視図を Fig. 10 に示す。

在来木造工法の場合、互いに交差する姿勢で連結される軒桁と大梁は、交差部分に大きな曲げ応力が生じやすくなる。特に、軒桁と大梁は、交差部分に嵌合溝を設けて嵌合構造で連結されるので、構造材の断面欠損によって交差部分の曲げ強度が低下する。そうすると風圧で作用する曲げ応力で破損しやすくなり、屋根を大きくすることは難しかった。しかし、本実証実験棟は、軒桁と大梁の交差部分を十字状補強金具で補強することで、この部分の損傷を防ぐ効果が期待できる。

木造建物の構造体は、建築基準法の構造計算において、たとえば、実験地である徳島市と阿南市では基準風速 36.0m/s^{注6}の猛烈な風^{注7}に耐えられるだけの強度を有することが規定されている。

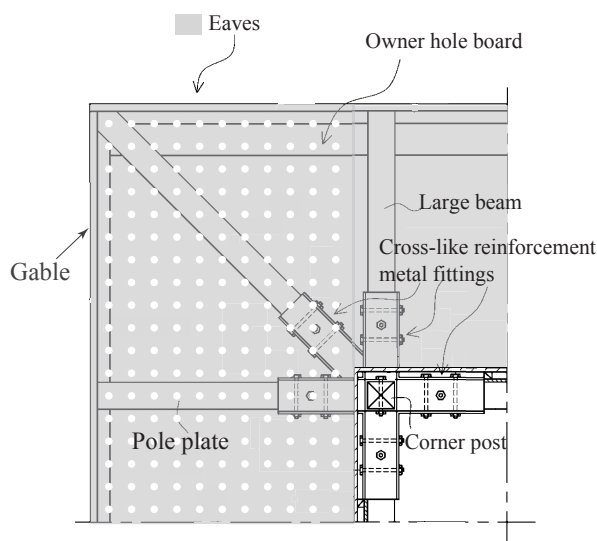


Fig. 9 Cross-like reinforcement metal fittings (eaves corner part section bottom plan view)

そこで、第三実証実験棟の具体的な強度実証のため、以下のような構造計算を行った^{注8}。

屋根自重 (wDL) は 1.25kN/m^2 、風吹き上げ荷重 (wWL) は 2.03kN/m^2 、風速は 36.0m/sec とした。計算方法は2種類が考えられたが (Fig. 11)、後述する理由によりモード2を採用した。

【モード1】初期風吹き上げ時に屋根が δcm 持ち上げられたとして、

$$W1 (\text{設計用荷重モード1}) = wWL - wDL \quad (1)$$

となる。

【モード2】モード1から原型に戻るとき、加速度により屋根が $\delta_1\text{cm}$ 押し下げられ変形する。実際にはモード1からモード2を繰り返し、減衰率 α によって変形 δ が0 (ゼロ) になるまで変形するので、

$$W2 (\text{設計用荷重モード2}) = (wWL + wDL) \times \alpha \quad (2)$$

式 (2) において、 $\alpha = 1$ とすると、荷重 $W2 = wWL + wDL$ が最大となり、モード1の設計用荷重 ($W1 = wWL - wDL$) より大きいので、計算荷重条件はモード2、 $\alpha = 1$ として、下記の通り計算した。

【一般垂木の応力検定比】

$$\text{曲げモーメント} : M/Zx f_b = 0.5 < 1.0 \quad (3)$$

$$\text{せん断} : 1.5Q/Ax f_s = 0.182 < 1.0 \quad (4)$$

【軒ケラバ^{注9}の屋根隅部分の十字梁の応力比】

$$\text{曲げモーメント} : M/f_b x Z = 0.603 < 1.0 \quad (5)$$

$$\text{せん断} : 1.5Q/A/f_s = 0.45 < 1.0 \quad (6)$$

【十字梁設置による隣接垂木の荷重追加による計算】

注6 基準風速は2000年 (平成12年) 建設省 (現国土交通省) 告示第1454号で定められた

注7 気象庁が規定した風の強さの表現。風速 30m/s 以上、最大瞬間風速 50m/s 以上の風を指す

注8 第三者である林實構造設計一級建築士の試算による

注9 片流れ屋根の妻側 (棟の両端部) の端部

注10 「建築基準法、同施工令、告示、規則」「2007年版建築物の構造関係技術解説書」(発行：日本建築センター)「木造軸組工法住宅の許容応力度設計2008年度版」(発行：財団法人日本住宅・木材技術センター)の規定による基準値1.0を下回ったことで安全性の実証がなされた

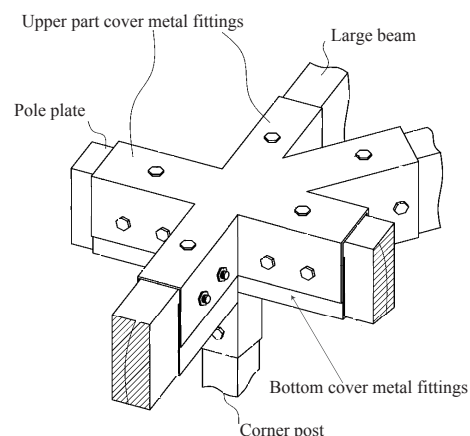


Fig. 10 Cross-like reinforcement metal fittings (eaves corner perspective diagram)

結果]

$$\text{曲げモーメント} : M/f_b x Z = 0.851 < 1.0 \quad (7)$$

$$\text{せん断} : 1.5Q/A/f_s = 0.38 < 1.0 \quad (8)$$

以上の結果により、第三実証実験棟で風速 36.0m/sec における軒先及び屋根隅部分の安全が確保されていることが実証できた^{注10}。

なお、2014年8月10日に徳島市を襲った台風11号は最大瞬間風速 33.2m/s を、阿南市では最大瞬間風速 44m/s を記録したが⁽⁶⁾、十字状補強金物で補強した構造体で建設された第一実証実験棟 (阿南市)、第三実証実験棟 (徳島市) は、 $1.5 \sim 2.5\text{m}$ の軒を突出させた構造としているが建物に何ら損傷はなかった。

このように、十字状補強金物を使用することによって、片流れ屋根の外周縁を外壁から大きく突出することが可能になったために、建築面積に対して大きな面積を有する屋根を設置することができた。

また、十字状補強金物については、今後、風洞実験等を実施していき、科学的にデータを提示することでその強度を実証していきたい。

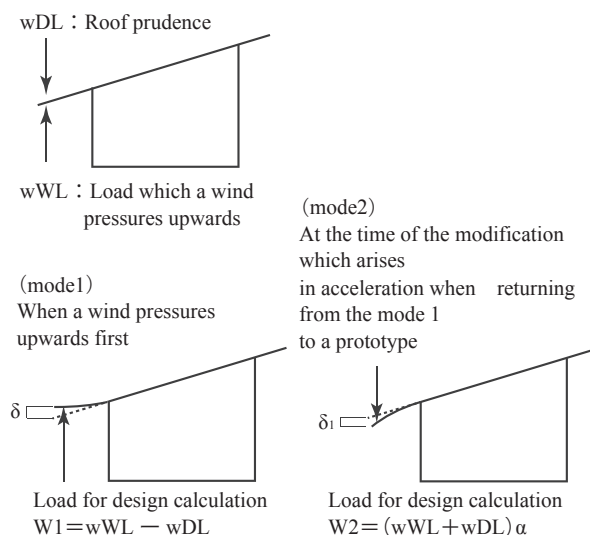


Fig. 11 The structural calculation method

5. エネルギーの効率化に資する二重通気構造

実証実験棟3棟の屋根では、「上部自然通気層」と「下部自然通気層」の上下2層の自然通気層を備えた「二重通気屋根」(Fig. 12) 構造と「二重断熱」(Fig. 12) 構造にすることで、省エネ化を目指している。この二重通気屋根構造で機能する煙突効果^{注11}によって、夏季の高温による太陽電池パネルの発電能力の低下防止や、断熱効果を上げながら室内空間温度を適温に保つことができると類推される。

一方、外壁は外断熱工法・内断熱工法両方の利点を生かした工法であり、通気層や断熱層を二重にすることで (Fig. 13), 断熱効率の向上や壁内結露防止策にも対処でき、省エネに資すると考えられる。

5.1 屋根の下部自然通気層による断熱効果

本実証実験棟は、Fig. 12 に示すように、屋根プレートから下方に離して区画プレートを設けており、屋根プレートと区画プレートとの間に下部自然通気層を設けている。下部自然通気層は、外気が自然に傾斜方向に上昇できるように、屋根の上下端部において、換気口で外部に開口している。

第三実証実験棟の下部自然通気層の形状は、H50mm, W450mm, 通気層断面積を 0.0225m² とした。屋根寸法 13m×12.16m, 勾配 16.8° (3 寸勾配) の南向き片流れ屋根とし、作業能率や建物デザインを勘案した木造屋根構造としている。

二重通気層を備えた南向き片流れ屋根は、下端部の換気口から流入した外気が屋根からの熱伝達によって暖められ、煙突効果により上昇して上端部から外部へ排出される構造となっている。同時に屋根下端部から新しい外気が対流することで断熱され、

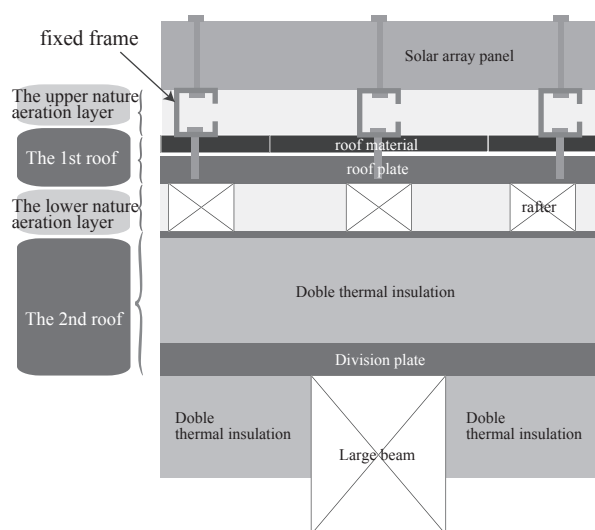


Fig.12 Roof sectional view "niryutuukikouzu"

注 11 煙突の中に外気より高温の空気があるときに、高温の空気は低温の空気より密度が低いため煙突内の空気に浮力が生じる結果、煙突下部の空気取り入れ口から外部の冷たい空気を煙突に引き入れながら暖かい空気が上昇する現象を言う

建物内の温度の上昇を抑えることができる。

また、一般的に煙突効果が発揮される通気層内では結露が懸念材料となるが、本研究の下部自然通気層内では外気と触れ合う部分が少なく、下部自然通気層の温度が高くなるほど通気層内での空気の流動が速くなるので、自然通気層内の結露は起こりにくくなると考えられる。

5.2 屋根の上部自然通気層による発電効率の低下防止

太陽電池パネルは、固定フレームを介して片流れ屋根の上面との間に空間を設け、屋根と平行に設置される。固定フレームは、片流れ屋根の上面に、上下方向に延長して屋根材の表面に沿う傾斜姿勢で、Fig. 12 のように等間隔に配置されている。この固定フレームによって、太陽電池パネルと屋根との間に、外気が通過できる上部自然通気層を設けている。太陽電池パネルと屋根との間に形成される上部自然通気層の上下幅は、第三実証実験棟では 100mm とした。このような構造にすることで、太陽熱エネルギーによって高温になった太陽電池パネルの熱が伝達して上部自然通気層の空気や屋根を暖める。暖められた空気は、煙突効果によって空気の対流が起こり、新たな外気が自然通気層に流入することで太陽電池パネルを裏面から冷却する仕組みとなっている。

5.3 外壁の二重通気・二重断熱化による省エネ対策

本実証実験棟の外壁には、Fig. 13 が示すように内断熱工法と外断熱工法をミックスした二重断熱工法を採用している。内断熱ゾーンでは断熱材となるウレタンフォームを壁内の内側通気層 50mm を除く部分に充填して気密性を高める。外断熱ゾーンでは家全体を外側から断熱材ですっぽりと包み込み、ジョイ

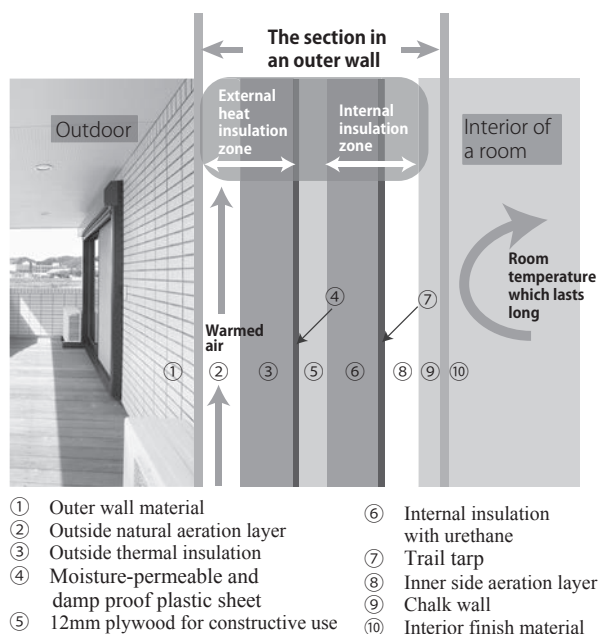


Fig.13 An outer wall sectional view "niryutuuki-niryudannetsu kouhou" (cross section)

ント部分も目貼りして気密性を高めている。こうした工法を組み合わせることで、内断熱工法、外断熱工法単独の施工よりも断熱性能が向上することを特徴としている。

Fig. 13 の内断熱ゾーンでは、外断熱工法に比べて断熱材は内側に位置するため、冷暖房機器の駆動時間をより短くし、室内温度を保つことができるようになっている。内側自然通気層 (Fig. 14) は、外気から熱伝導しにくくすることで室内温度を保つことと、もし壁内に結露が発生しても、木材など建築部材が乾燥しやすくする役割がある。そのために、室内の空気は室内の通気幅木^{注12}に設けた通気流入口から、内側通気層に入り、通気層上部にある換気扇を流出口として、24時間計画通気をしている。また、懸念される結露には、内側自然通気層と内側断熱層の間に防水シートを貼ることで、結露しても比較的乾きやすい構造にした。一方、外断熱ゾーンでは、外壁下端部から流入した空気を外側自然通気層内で対流させることで、外壁からの伝導熱が伝わりにくい構造としている。

このように二重断熱工法は、断熱材を二重化することで、内断熱工法と外断熱工法の長所を取り入れた工法となっている。壁面の内外から断熱性能を高める工法を併用することで、夏場は冷房で冷やされた空気によって、冬場には暖房で暖められた空気によって長時間快適な室内環境を保ち、冷暖房に要するエネルギーを少なくして住宅の省エネに貢献できると考えられる。

6. 本研究における実証実験結果

6.1 再エネ創出効果についての考察

木造建物の個人住宅として建築した第一実証実験

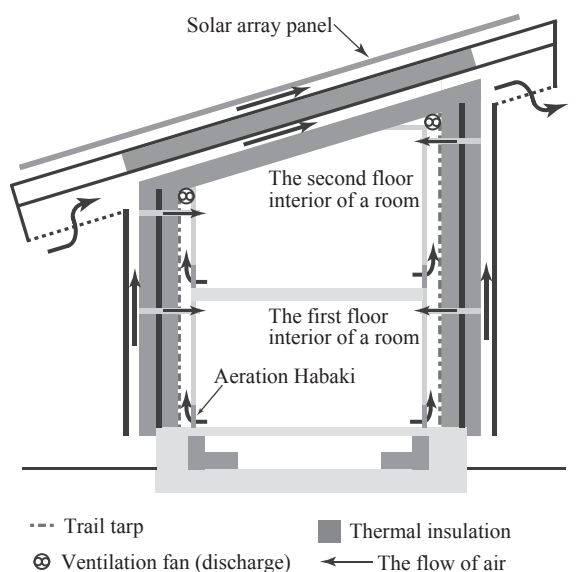


Fig. 14 The circulation image of aeration (building sectional view)

注 12 実用新案 (実用新案登録番号：第 3092063 号) による通気口を有した幅木である

棟は、屋根上に太陽電池パネル出力 18.2kW の太陽光発電を搭載した。その発電状況を示したのが Fig. 15 である。1年間 (2013 年 5 月 1 日～2014 年 4 月 30 日) の発電量は 25,813kWh であり、メーカーの推定発電量 (23,464.4kWh/年) と比べ、約 9% 多く発電した。当時の売電単価は 42 円 (税込) であり、売電金額は 108 万円 (税込) となった。

また、3 つの実証実験棟では、それぞれ異なったメーカーの太陽電池パネルを搭載して、2014 年 4 月～9 月までの 6 カ月間の発電状況を測定した (Fig. 16)。その結果、6 カ月間の発電量は、第一実証実験棟～第三実証実験棟で、それぞれ 13,645kWh, 14,479kWh, 13,649kWh となった。

6.2 省エネ効果についての考察

本実証実験棟の省エネ効果は、第三実証実験棟と一般木造住宅 (Fig. 17) の室温を比較することで検証した。最高室温と最低室温の変動幅が大きい建物ほど、エアコン等の空調機器で温度をコントロールする頻度が高くなり、エネルギーを多く消費すると考えられるとし、Tab. 1 に示す条件のもと、2014 年 8 月の 31 日間の自然室内温度の 1 日の最高室温と最低室温を測定し、温度の変動幅を測定した (Fig. 18)。

その結果、一般木造住宅 (熱損失係数 3.55W/m²K, 外皮平均熱貫流率 UA 値 1.05W/m²K) では、1 日の最高室温と最低室温の平均値 (2014 年 8 月 1 日～31 日) は 3.0℃ 幅であったのに対し、第三実証実験棟 (熱損失係数 1.91W/m²K, 外皮平均熱貫流率 UA 値 0.49W/m²K) は 1.3℃ 幅と、その差は 1.7℃ となった。また、第三実証実験棟の最高温度平均値は 28.60℃, 最高温度は 30.77℃, 一般木造住宅ではそれぞれ 31.39℃, 35.77℃ であった。これらの温度差は、外断熱仕様の一般木造住宅と二重断熱・二重通気構造を持つ第三実証実験棟の構造の違いによるものと推測され、二重断熱・二重通気工法が一般的な木造住

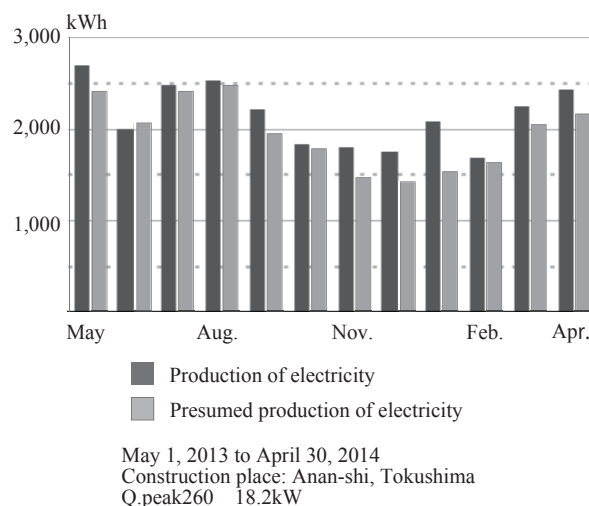


Fig. 15 One annual energy production total track record value of the 1st actual proof experiment building

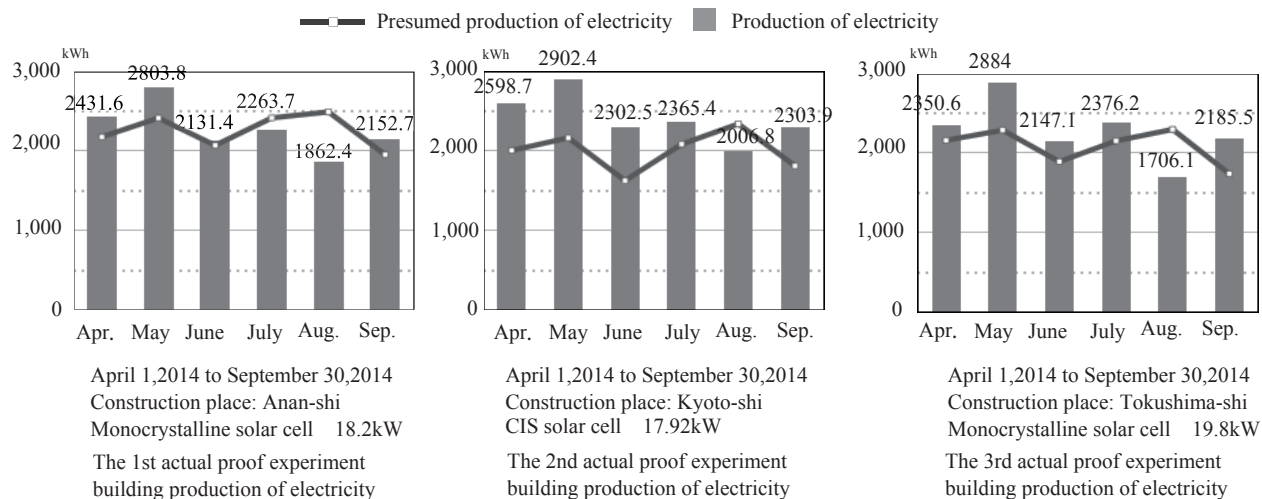


Fig. 16 Power generation situation of each actual proof experiment building (April - September, 2014)

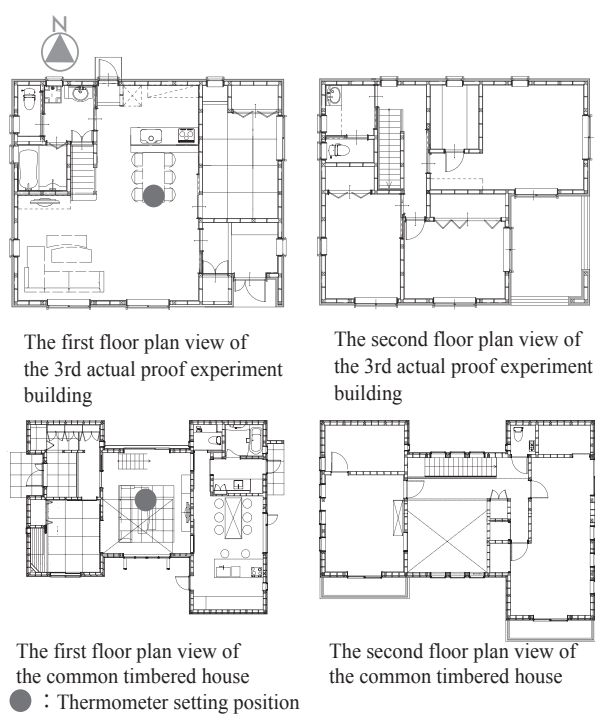


Fig. 17 The 3rd actual proof experiment building and Common timbered house

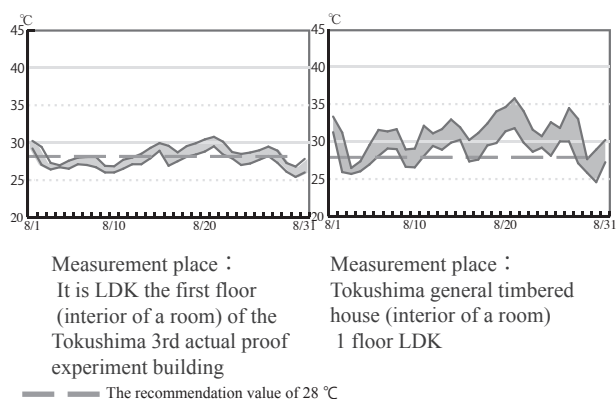


Fig. 18 Indoor highest minimum temperature comparison with 3rd actual proof experiment building and common residence (August 1-31, 2014)

宅と比べて、断熱・遮熱効果を発揮していることが分かる。

なお、これらの実証実験では、日射の強い晴天日を除いて検証すれば、両実験棟において窓からの貫流熱と天井からの輻射熱の影響を少なくすることができ、断熱方式の差が如実に表れやすいと考えた。測定地の徳島では、8月の日照時間が2014年に161時間と観測史上2番目に少なく、31日のうち23日間雨天・曇天が続いた^{注13}。この23日間において、1日の最高気温と最低気温の差の平均値は、第三実証実験棟で1.27℃であり、一般木造住宅では2.83℃とその差は1.56℃であった。窓からの貫流熱や天井からの輻射熱の影響を受けにくいと思われる曇天日に、両棟でこのような差異が生じていることから、断熱方式の違いが実験結果に表れていると思われる。

省エネ効果の目安として、環境省が推奨する夏の冷房時の室温28℃^{注14}の設定を前提とすれば、第三実証実験棟での最高室温と最低室温における温度差は小さく、エアコンの使用などで消費するエネルギー消費量は少なくなると考えられる。一方、一般木造住宅の場合は、8月の最高温度平均値が31.39℃、最高温度は35.77℃まで上がるため、環境省の推奨値28℃に保つには、エアコンを長時間稼働させる必要があり、エネルギー消費量は大きくなると考えられる。

今後は、通気層内の風速実験や屋根表面温度、通気層内温度などを計測し、二重通気・二重断熱構造が断熱性の向上に寄与していることを実証していきたいと考えている。

6.3 上部自然通気層による発電効率の低下防止効果の考察

本デザインの二重通気屋根工法が夏季の発電量向

注13 1日の日照時間が6時間以上を晴天、6時間未満を雨天・曇天とした

注14 冷房温度28℃とは、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行令」及び「労働安全衛生法の事務所衛生基準規則」において定められた範囲（17℃以上28℃以下）の室温の設定

Tab.1 Specification of the 3rd actual proof experiment building which performed temperature comparison outside the interior of a room, and a common residence

	The 3rd actual proof experiment building	Common timbered house	The 3rd actual proof experiment building (outdoor)
Measurement place	Tokushima-shi, Tokushima	Tokushima-shi, Tokushima	Tokushima-shi, Tokushima
Structure	2 stories of timbered houses	2 stories of timbered houses	2 stories of timbered houses
Building completion day	April, 2014	January, 2000	April, 2014
Temperature survey apparatus	Thermometer	Thermometer	Thermometer
Measurement position	The center of first floor living FL+1m	The center of first floor living FL+1m	Outdoor (west side)
Temperature survey interval	It measures every 10 minutes	It measures every 10 minutes	It measures every 10 minutes
Roof heat insulation specification	Double aeration roof construction method JIS A 9511 A kind phenol Form warming unit No. 2 per sort (Thick 45 mm)	JIS A 9511 A kind extrusion method Polystyrene form Warming unit 1 sort b (Thick 25 mm)	—
Wall heat insulation	Double aeration roof construction method JIS A 9511 A kind phenol Form warming unit No. 2 per sort (Thick 45 mm) + JIS A 9526 Spray heat insulation for construction Hard urethane foam (Thick 70 mm)	JIS A 9511 A kind extrusion method Polystyrene form Warming unit 1 sort b (Thick 25 mm)	—
Curtain	Double	Double	—
Heating conditions	Natural room temperature	Natural room temperature	—
Staying in the room person	One person (manned)	One person (manned)	—
Energy-saving grade	4	Nothing	—

上に資することを証明するために、以下のような理論式を用いて詳述する。

JIS C 8907 における太陽光発電システムの発電電力量を推定する計算式⁽⁷⁾は、以下のように表される。

$$E_{pm} = K \times P_{AS} \times H_{Am} \div G_s \quad (9)$$

E_{pm} ：月間システム発電量， K ：月別総合設計係数， P_{AS} ：標準電池アレイ出力， H_{Am} ：月積算傾斜面日射量， G_s ：標準試験条件における日射強度

$$K = K' \times K_{PT} \quad (10)$$

K' ：基本設計係数

$$K_{PT} \text{ (温度補正係数)} = 1 + \alpha_{PMAX} (T_{CR} - 25) / 100$$

α_{PMAX} ：最大出力温度係数 (%・°C⁻¹)， T_{CR} [加重平均太陽電池モジュール温度 (°C)] = T_{AV} (月平均気温) + ΔT (加重平均太陽電池モジュール温度上昇)

この式の中で、発電量に影響される値は月積算傾斜面日射量 (H_{Am}) と温度補正係数 (K_{PT}) である。発電量が多いということは、推定発電量で考えられて

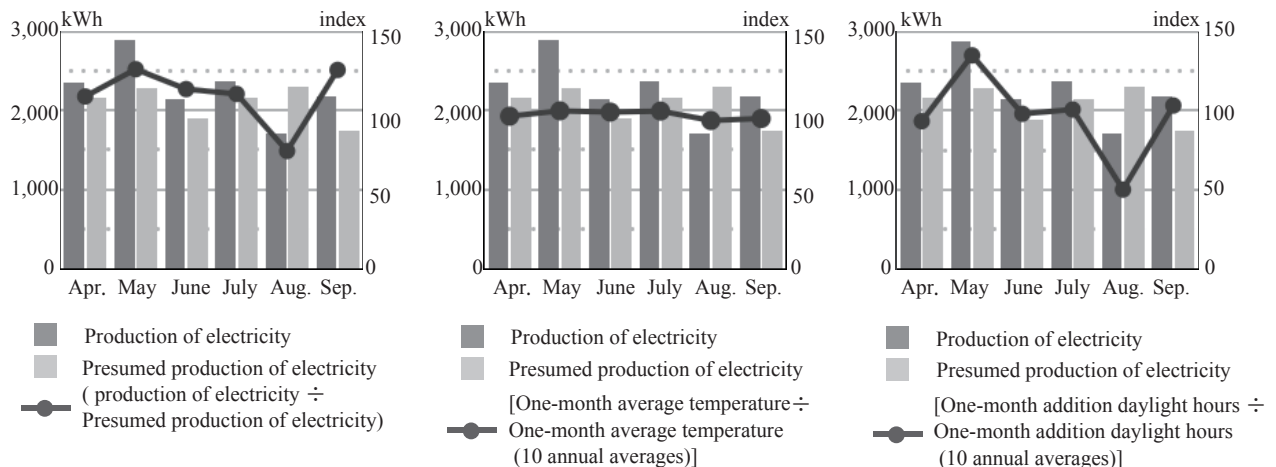
いる月積算傾斜面日射量平均値より多くの日射量があったか、または、実際の気温が気温平均値より下がることで温度補正係数が改善された場合、あるいは、双方によって達成される。しかし、そのいずれでもなく、月積算傾斜面日射量の多さや実際の気温が気温平均値より下がる以外の理由で多く発電があった場合、本研究の成果であったと考えられる。

Fig. 19 では、第三実証実験棟において、棒グラフで推定発電量^{注15} (メーカーシミュレーション値) と実際の発電量 (2014 年 4 月～9 月) の比較を示した。一方、折れ線グラフでは、推定発電量、外気温 10 年平均値 (2004 年～2013 年)、日照時間 10 年平均値 (2004 年～2013 年) を 100 とし、2014 年 4 月～9 月に計測した実測値を指数化して比較した。なお、実験地徳島市の場合、全天日射量の統計データはないが、日照時間は傾斜面日射量に比例するという研究結果⁽⁸⁾ もあるので、日照時間を用いた。

実験期間中の各指数値を見ると、外気温の 10 年平均値に対しての指数値は -6.4～-0.3 であった。また、日照時間の指数値は 10 年平均値と比べて、-49.9～35.0 であった。一方、発電量の推定発電量に対する指数値は -25.7～26.0 であったが、特に 8 月においては、10 年平均気温に対して気温の指数値は -4.1 であった。日照時間の 10 年平均日照時間に対する指数値は -49.9 であったが、それに比べて発電量の推定発電量に対する指数値は -25.7 であった。また、9 月の外気温の指数値は -5.2、日照時間の指数値 2.1 に比べて、発電量の指数値は 25.6 であった。4 月、6 月においても外気温、日照時間の指数値はほぼ平年並みであったが、発電量の指数値は高かった。

以上の結果において、日照時間や外気温が示す変動値より発電量が改善されている。しかしながら、推定発電量の算定では、通気層による冷却効果を考慮していないため、値に差異が生じた可能性がある。今後の課題として、太陽電池パネル表面温度や通気層内の風速測定実験を行い、二重通気構造の夏期発電量向上効果について検討する。

注15 推定発電量計算は、設置位置：南0°，設置角度17°，太陽電池モジュール最大出力18.2kW，システムロス5%，パワーコンディショナ変換効率95%。公称最大出力は、JIS規格に基づき算出された太陽電池モジュールの出力 (JIS標準試験条件：AM1.5, 日射強度1kW/m²，モジュール温度25°C)。気象データはNEDOの全国日射関連データ (1981～2009年の観測値) の日射データを使用。太陽電池モジュールの温度損失はJPEAの自主ルール (12～3月：10%，4～5月：15%，6～9月：20%，10～11月：15%) に基づく。算出式は月間発電量 (kWh) = 太陽電池容量 (kW) × 月平均傾斜日射量 (kWh/m²・day) × パワーコンディショナ変換効率 × モジュール温度損失 × システムロス × その月の日数 × その他係数。なお、計算式の接続箱機能付きパワコンの変換率は接続箱の損失においてシステムロスを含むため、接続箱機能の損失を含まない値とした。また、計算式のその他の係数はモジュールの出荷時のポジティブトレランスを見込んでおり、モジュール上の積雪による発電量低下や低照度特性を考慮している



* Based on meteorological data (Tokushima), the trial calculation of the temperature outside 10 annual averages and 10 annual average daylight hours was made in the past [for ten years / Meteorological Agency] of 2004 - 2013.

Fig. 19 Comparison of power generation situation of 3rd actual proof experiment building, outside temperature, and daylight hours

7. おわりに

本稿では、以下のことを報告した。

- ・太陽光発電を備えた実証実験棟において屋根面積を大きくして太陽電池パネルを多く搭載し、かつ省エネ効果を得られる木造建築デザインを考案した。
- ・木造建築物の屋根を大きくした場合、太陽電池パネルによる重量増加や建物の煽り負荷などの問題に対応するため、十字状補強金物を考案し、木造建物構造の強化を図った。
- ・二重断熱構造と二重通気構造は、建物の断熱性能を向上させ、室温のコントロールを容易にし、冷暖房機器の稼働時間を短くできることから、省エネ効果の向上が期待できることを示した。
- ・二重通気屋根は、煙突効果を利用することで太陽電池パネルの発電効率の向上が期待できることを示した。

また、以下の3項目を今後の研究課題とする。

- ・十字状補強金物の強度を実証するため、風洞実験などを実施すること。
- ・二重通気・二重断熱構造が断熱性能向上に寄与していることを実証するため、通気層内の風速実験の実施や屋根表面温度、通気層内温度などの計測を行う。
- ・二重通気構造が太陽光発電の効率向上に寄与していることを実証するため、太陽電池パネル表面温度の計測や通気層内の風速実験を行う。

参考文献

- 1) 家庭におけるエネルギー調査実態について、資源エネルギー庁 (Nov. 2014),
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/more/pdf/h22_bunsekityosa.pdf
- 2) 実用新案「太陽電池パネルを備える建物」(登録番号 3181893 出願者: 手塚 勲)。
- 3) 特許公開「太陽電池パネルを備える建物」(特許庁 公

開番号 2014-98249 出願者: 手塚 勲)。

- 4) 意匠登録「組立て家屋」(特許庁 登録番号 1490955 出願者: 手塚 勲)。
- 5) 意匠登録「組立て家屋」(特許庁 登録番号 1505764 出願者: 手塚 勲)。
- 6) 気象台速報徳島地方気象台 平成 26 年台風第 11 号による徳島県の大雨と暴風について(2014 年 8 月 11 日 15 時発表) (Nov. 2014),
http://www.jma-net.go.jp/tokushima/disaster_report/report20140811.pdf
- 7) 島 弘志編, JIS C 8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法 (2005), (財) 日本規格協会。
- 8) 宮岡健吾, 日照時間のデータを用いた日射量の推定-筑波大学水理実験センターの事例-, 筑波大学水理実験センター報告 No. 24 (1999), 117~120 (Nov. 2014),
http://www.ied.tsukuba.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/pdf_papers/ercbull24/24117.pdf
- 9) 蔵治光一郎, 保屋野初子編, 緑のダム, (2005), 築地書館, 東京。
- 10) 村上周三, 和泉洋人, 野城智也, 安藤尚一, 長谷川孝彦, サステナブル建築と政策デザイン, (2002), 慶應義塾大学出版会, 東京。
- 11) 湯川利和, 湯川聰子共訳 (Clare Cooper Marcus and Carolyn Francis 著), 人間のための屋外環境デザイン, (1993), 鹿島出版会, 東京。
- 12) 須藤隆一編, 環境修復のための生態工学, (2004), 講談社, 東京。
- 13) 環境経済・政策学会編, 地球温暖化防止の国際的枠組み, (2010), 東洋経済新報社, 東京。
- 14) 枝廣淳子訳 (Al Gore 著), 不都合な真実, (2007), ランダムハウス講談社, 東京。