

# 自立循環プロジェクトの成果と今後の展開

環境研究グループ 上席研究員 山海 敏弘

## 目次

### はじめに

#### 自立循環プロジェクトの概要と自立循環型住宅のコンセプト

- 1) プロジェクトの概要
- 2) 自立循環型住宅のコンセプト

#### 自立循環プロジェクトにおける設定手順と要素技術の概要

- 1) 自立循環型住宅の設計手順
- 2) 要素技術の概要

#### 自立循環型住宅を構成する要素技術

- 1) 自然エネルギー活用技術
- 2) 建物外皮の熱遮断技術
- 3) 省エネルギー設備技術

### 今後の展開

#### 参考文献

### はじめに

わが国における住宅の省エネルギー化の取り組みは、1970年代のオイルショックを契機とするものであり、北海道や寒冷地の住宅の冬期の寒さ対策、結露対策などの断熱性能向上と暖房エネルギー削減を主眼として進められ、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」に基づく「住宅の省エネルギー基準」(建築主の判断基準であり、「規制」ではない。)が昭和55年に告示

されたものを嚆矢とする。

この基準はそもそも、いわゆる「エネルギー安全保障」を目的とするものであったが、世界情勢の変化によりエネルギー供給の安定化が進んだ結果、「地球環境対策」に力点が置かれるようになり、平成4年、平成11年にそれぞれ大きく改訂され現在に至っているが、相対的に緊急性の高い北海道や寒冷地向けの住宅を主な対象としてきた。

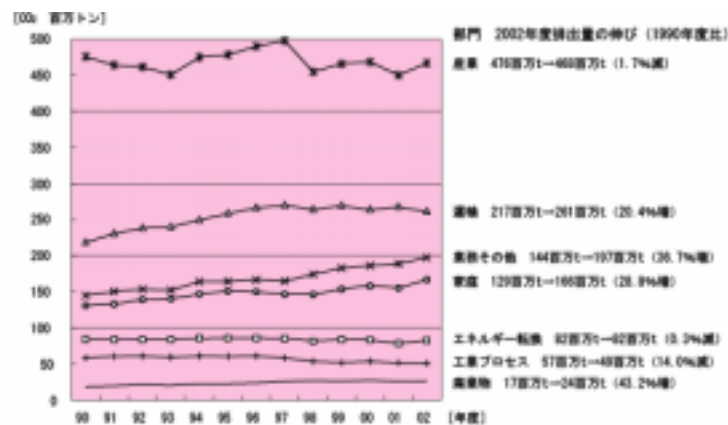


図1 1990年から2002年までの各分野における二酸化炭素発生量の推移

1990年代以降、国際的に問題となっている「地球温暖化問題」は、国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（WMO）が共催する国際機関として1988年に設立されたIPCCが発表した気象変動に関する知見を基盤とするものであり、「気候変動に関する国際連合枠組条約」に基づき1997年に締結された京都議定書では、2008年～2012年の間に、1990年を基準として日本：-6%、アメリカ：-7%、EU：-8%といった削減率が設定された。

この削減目標を実現するためには、住宅のエネルギー消費を更に削減するための技術開発と、その速やかな普及が喫緊の課題となっている。

住宅のエネルギー消費は、京都議定書の基準となる1990年に1億2900万トンであったものが、2002年では28.8%増の1億6600万トンと、年々増加の一途にある（図1）。

また、温暖地の戸建住宅では、「暖房18-24%」「給湯23-32%」「照明他電力38-46%」「冷房1.6-3.5%」となっており、給湯や照明・電力（=家電）のエネルギーも大きな割合を占めている。

京都議定書に掲げられた目標を達成するためには、従来の省エネルギー基準で対象としてきた暖房、冷房のエネルギーだけでなく、給湯、照明等についても、省エネルギー化を進めることが必要不可欠となっている。

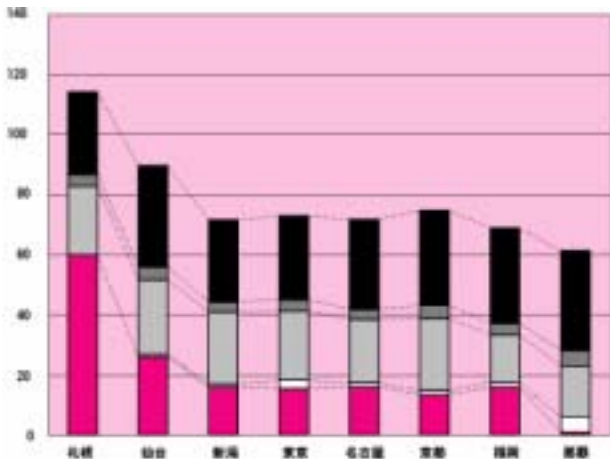


図2 日本各地の戸建住宅のエネルギー消費の現状

## 自立循環プロジェクトの概要と自立循環型住宅のコンセプト

### 1) プロジェクトの概要

これらの背景をふまえ、独立行政法人建築研究所と国土技術制作総合研究所は、京都議定書に規定する削減目標の達成を目的として、住宅のエネルギー消費を有効に削減する手法を研究

開発し、更にはその普及のために手法についても検討するためのプロジェクトを実施するため「自立循環型住宅開発委員会」（委員長：三井所 清典 芝浦工業大学教授）を設置し、約50の企業・研究機関の参加を得て平成13年度から16年度までの4ヶ年度に渡って研究開発を実施した。

### 2) 自立循環型住宅のコンセプト

自立循環型住宅とは、究極的には外部からのエネルギー・資源の供給なしに運用することが可能な住宅を意味するものとしているが、この研究プロジェクトでは、やや限定的な意味で「自立循環型住宅」を定義しており、「気候や敷地特性などの住宅の立地条件および住まい方に応じて極力自然エネルギーを活用した上で、建物と設備機器の設計や選択に注意を払うことによって、居住時のエネルギー消費量（二酸化炭素排出量）2000年頃の標準的な住宅と比較して50%にまで削減可能な、2010年時点までに十分実用化できる住宅」と定義している。

この定義に示されたエネルギー削減率50%が研究開発における目標となるが、この研究では、住宅を構成する個々の要素に対してのおおよそのエネルギー削減量を数値で示すことにより、どのくらいのエネルギー削減をすることができるのかの「めやす」を容易に求められることが特徴である。

また、この研究においては、現時点において既に実用化されており、かつ、経済的にも妥当な技術をターゲットとして検討を行ったが、これは、すぐにも導入できる技術を活用することにより、今日からすぐにも設計に生かすことができることを目指したためである。

なお、エネルギー削減とともに忘れてはならないのは、住まい手が「心地よい」と感じられる環境を形成することであるので、本研究においても、これらを前提として省エネ技術の活用手法を検討している。

## 自立循環プロジェクトにおける設定手順と要素技術の概要

### 1) 自立循環型住宅の設計手順

自立循環型住宅が目標としている「居住時のエネルギー消費の削減」と「心地よい室内環境の形成」を実現するためには、自然エネルギー活用と建物外皮の熱遮断といった、いわゆる建築的手法と、高効率の設備機器の導入による「設備的手法」を組み合わせることが必要となる。

そして設計に際しては、これらの要素の優先度や設計手順による前後関係を意識する必要があるため、本研究では、自立循

環型住宅の設計における手順を下記のとおり構築した。

- 手順 1 設計要件の把握
- 手順 2 設計目標像の設定
- 手順 3 設計にかかる基本的事項への配慮
- 手順 4 要素技術の適用検討

自立循環型住宅の設計においては、これらの手順によって、関連する要素技術を総合的に検討し、適切な技術の採用を決定することとなる。

その中で、自然エネルギーの適用可能性は、立地環境に大きく左右される。

このため、下記の3種類の立地をそれぞれ想定し、表2に示すように、自然エネルギー利用の適用可能性を判断することとした。

- 立地 3：自然エネルギー利用が容易な敷地。
- 立地 2：自然エネルギー利用のために工夫が必要な敷地。
- 立地 1：自然エネルギー利用が困難な敷地。

また、自立循環型住宅の設計目標としては、自然へのこだわ

りと安定した室内環境へのこだわりの度合いを組み合わせ、住まい手が指向するライフスタイルを、伝統的な自然生活指向、自然生活指向、設備生活指向のように特徴を抽出した。

設計目標の設定により、適用する要素技術のイメージが異なったものとなるが、それぞれの設計目標に適した要素技術を導入することにより、多様な生活様式を許容する省エネルギー住宅の設計提案が可能となっている。

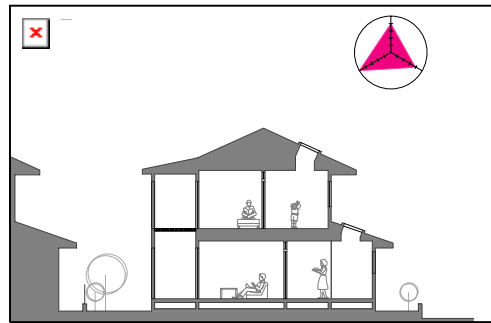


図3 自然生活指向住宅の住宅・生活のイメージ



自然生活指向住宅の住宅・生活のイメージを図3に示す。

この住宅は、都市近郊・比較的敷地規模の大きい4人家族向けの2階建て住宅であり、1-2階のサンテラス・個室に付属する家族共用ファミリールーム・引戸の採用などにより夏期の自然風利用と冬期の日射熱取得・利用に配慮したものである。

また、北側屋根に設けた天窗により昼光利用を促している。

## 2) 要素技術の概要

本研究で検討対象とした自立循環型住宅設計のための要素技術は13種類で、大きく「自然エネルギー活用技術」「建物外皮の熱遮断技術」「省エネルギー設備技術」の3グループに分類することができる。

各々の要素技術には、その技術を適用するための手法と、省エネルギー対策としてのグレードを示すため、省エネルギーの「レベル」を設定した。このレベルについては、研究において実証実験等により、省エネルギー効果を確認したものである。

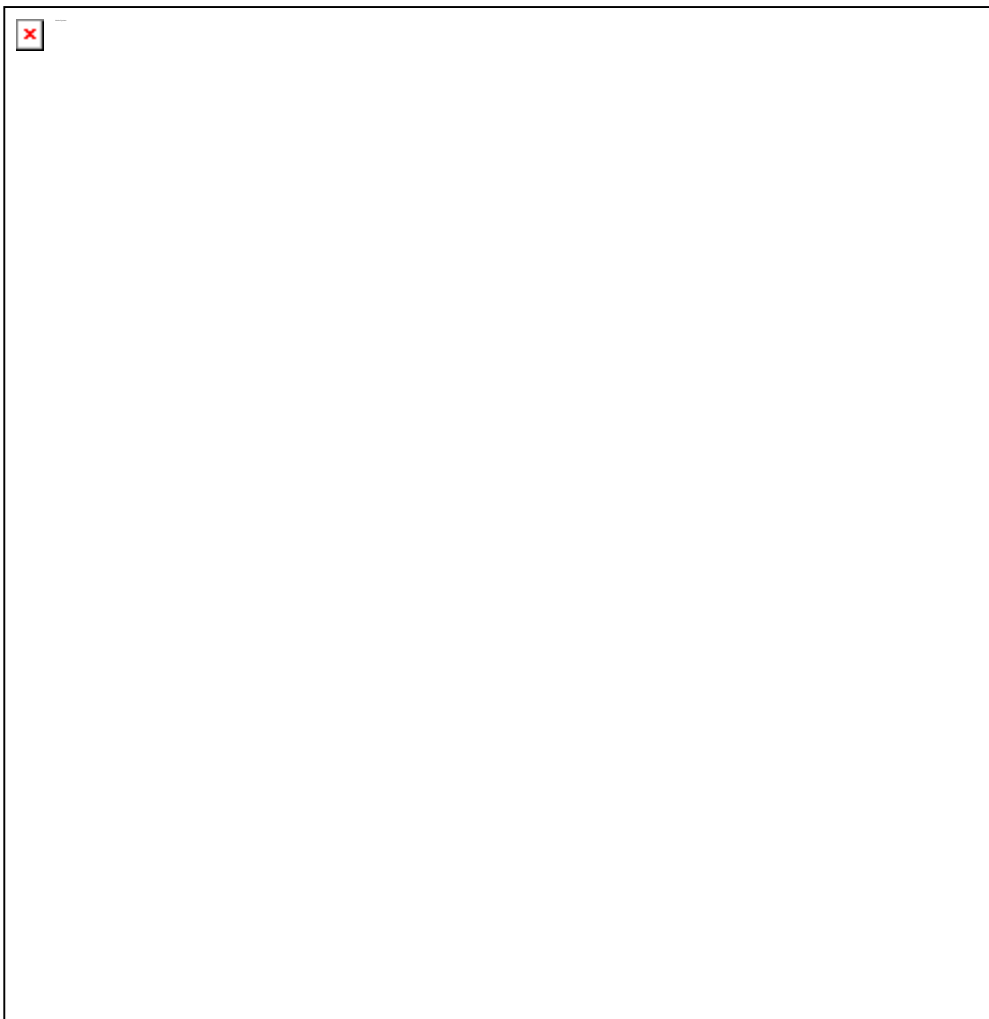
レベル0は自立循環型住宅の水準に達していないものを示し、レベル1以上のものは、それぞれ設計目標像に適した自立循環型住宅技術として取り入れるべき内容を示す。

また、各々の要素技術について、レベル毎にどの程度の省エネルギー効果を有するか、具体的に数値で示している。

この数値は、地域である東京郊外を想定し、所定の条件のもとで算出した値であることから、多種多様な住宅様式や設計目標の全てにあてはまるものではなく、一つの目安なので、この点に留意して取り扱う必要がある。

また、削減効果はレベルによって異なるが、常に最高水準のものを要求しているわけではなく、本研究では、その住宅に適した要素技術を導入し、その結果が2000年当時の一般的な住宅に比べどの程度のエネルギー消費削減になるのかを簡単に算出できる計算手順とデータを整備した。

表3に要素技術ごとの省エネルギー効果とレベルを示す。



## 自立循環型住宅を構成する要素技術

### 1) 自然エネルギー活用技術

#### 自然風の利用

自然風の利用は、夏期夜間や中間期など気象条件が温熱感覚上の体感改善に有効な場合に、外気を通風という形で積極的に取り入れ、冷房エネルギー消費の削減と快適性の向上を実現することを目的とした技術である。その場合、自然風をうまく取り込むため、建物の形状やプランを工夫する方法と、開口部の形状や開閉操作を工夫する方法をうまく融合させる必要がある。

ただし、自然風の利用のための開口部を設けることは、防犯や騒音など他の面でマイナスとなる場合も多いため、トータルとしての住宅の安全性、快適性を損なうことのないように計画することが重要である。

自然風利用による省エネルギーの目標レベルは、立地条件と採用する自然風利用手法の組み合わせ（表4）自然風利用技術の検討ステップは表5に示すとおりである。

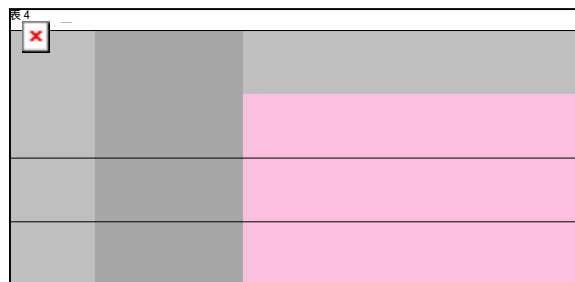
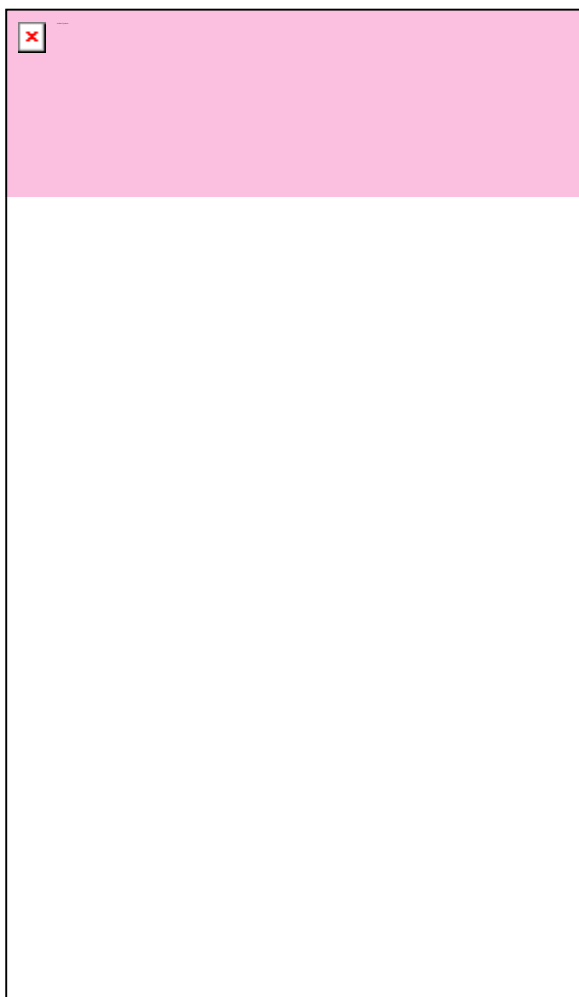


表5に示すステップにより、建物の風圧力を利用した、壁面ウインドキャッチャーや上部窓設置による排気通風、欄間など室内通風の計画を実施することによって建物の通風を確保することができれば、換気に比べて桁違いの空気が移動するため、冷房エネルギーを効果的に削減することが期待できる。

#### 昼光利用

昼光の利用計画は、建物内に光を上手に取り入れることにより住宅室内の昼間の明るさを確保し、人工照明エネルギー消費の削減と快適性の向上を実現することを目的とした技術で、採光手法と導光手法という2つの方法がある。

昼光の利用は、採光上有効だけでなく、冬期においては日射の取得につながり温熱環境にもよい影響を与える。しかし、夏期においては日射遮蔽とのバランスが必要となるため、現実の計画においてはトータルな計画が非常に重要である。

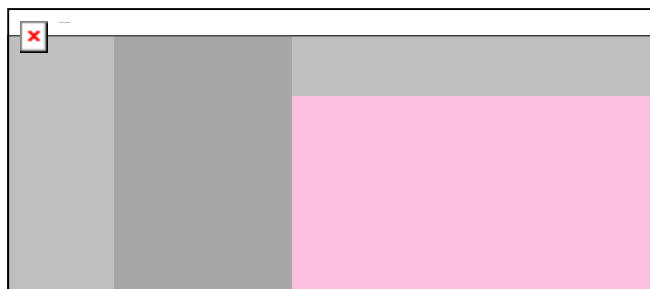
表6に居室の採光条件を示す。

表6 採光条件のめやす

目標レベル	省エネルギー目標 (照明エネルギー削減率)	採光条件（下記の選択）		
		立地1	立地2	立地3
レベル0	0	採光条件0 (昼間は自然採光) 1.昼間採光 2.夜間採光 3.夜間採光+1/2	---	---
レベル1	2~3%程度	採光条件0	採光条件2	採光条件1
レベル2	5%程度	---	採光条件3	採光条件2
レベル3	10%程度	---	---	採光条件3

表7に昼光利用の目標レベルと達成方法を示す。

ただし、照明エネルギーは夜間も使用するため、省エネルギー効果については夜間も含めた1日全体での効果を示す。



また、昼光利用における検討ステップを表8に示す。

表8 昼光利用技術の検討ステップ



昼光利用については、直接採り入れる採光手法以外にも、空間構成や欄間の活用による間接的な手法、室内仕上面の反射等の工夫など多岐にわたる技術的工夫が可能であり、これらを有効に活用することによって、より快適な昼間の住宅内部空間を実現することが期待できる。

#### 太陽光発電

太陽光発電は、日中には太陽光で発電を行い、住宅内で消費する電力を自己生産するシステムである。夜間は通常どおり電力を購入しなければならないが、日中の余剰電力は売電することができるため、トータルとして電力収支が改善され、ランニングコストを極めて低く抑えることが可能となる。太陽光発電システムは、日本全国において地域的な発電量の差は少なく、大阪で3kWの容量の場合30.7GJ、4kWの容量の場合40.9GJの年間発電量が期待できる（東京の場合、それぞれ29.3GJ、39.1GJとなる）。また、太陽光発電システムは電力を自ら創出するシステムなので、創出されたエネルギーはそのままエネルギー削減に寄与するものとして計算できる。

#### 日射光の利用(パッシブ)

建物における熱損失の削減は、暖房エネルギー削減のための基本であるが、建物が取得する熱を増やすことによっても暖房負荷を削減することが可能である。

熱取得の最も大きな要因は日射であり、太陽熱を積極的に暖房に利用するために計画したものがソーラーハウスである。

なかでも、太陽熱を建築的に活用して、自然な暖房効果を得

る方法は「パッシブソーラー暖房」と呼称されている。

地域の気候特性や立地などの条件を勘案し、集熱、開口部の断熱保温、蓄熱の3つの建築的な手法のバランスを考えて設計する必要があり、日射熱利用の目標レベルと達成方法については、平成11年省エネルギー基準で定められたパッシブ地域区分に応じ、表9・表10に示すとおりとなっている。

表9 “は”地域における日射熱利用の目標レベルと達成方法



#### 太陽熱給湯

住宅におけるエネルギー消費のうち、給湯に費やされる割合はたいへん大きく、自然エネルギーである太陽熱を利用した給湯システムの導入は、省エネルギーの観点からは有効な手段となる。太陽熱給湯の目標レベルと達成方法については、表12-1に示すとおりである。

表12-1 太陽熱給湯の目標レベルと達成方法

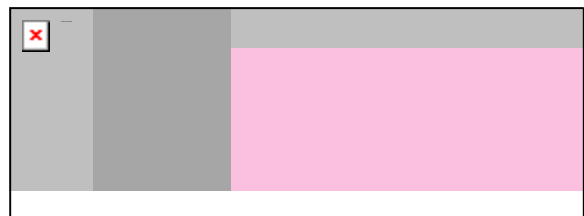


表12 日射熱利用の検討ステップ



## 2) 建物外皮の熱遮断技術

### 断熱外皮計画

古来、温暖地では萱葺きの厚い断熱屋根、大きな熱・湿気容量の土壁、開放的な間取りと窓配置で四季を過ごし、一方、寒冷地では木造軸組の中におがくずを入れ厳しい冬を過ごす等、方向はことなるものの、それぞれ地域で生まれる材料を最大限に活用し、快適な生活を実現する知恵が育まれてきた。

近年、断熱は省エネルギーと均一な居住環境実現のための要素技術として脚光を浴びているが、自立循環型住宅においては、様々な住宅形態に適応し、適時適温を実現する「身近な技術」としての「断熱手法」外皮計画を位置づけており、その目標レベルは表 13、検討ステップは表 14 に示すとおりである。

また、断熱水準を変えていくと、暖房時の暖房室と非暖房室の温度差、外気温と室温（自然室温）との温度差を少なくするという健康で快適な住まいを作ることができるが、本研究のレベルと温度差とはおおむね表 15 に示すとおりとなる。

表 14 断熱外皮計画の検討ステップ

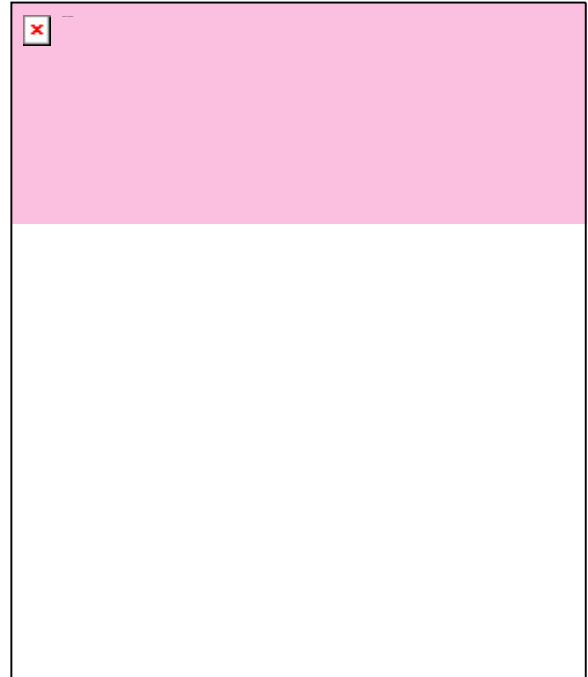
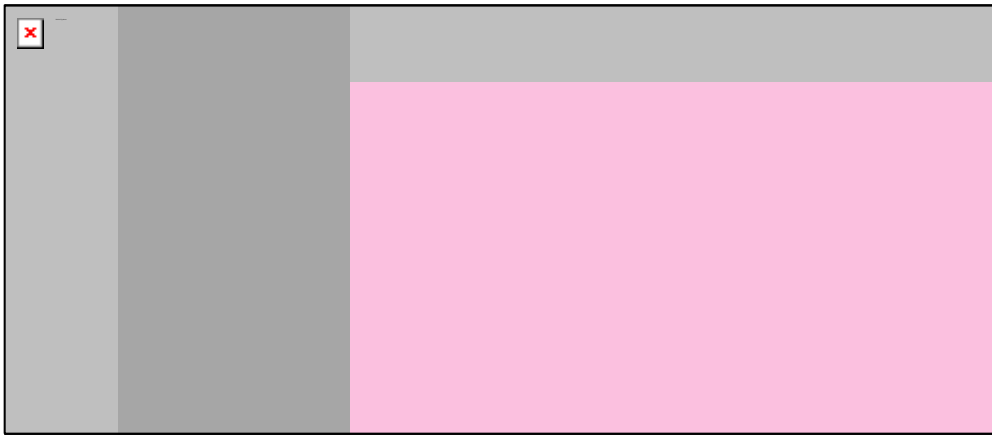
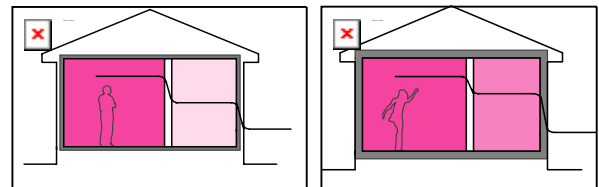


表 13 断熱外皮計画の目標レベル



また、断熱水準を変えていくと、暖房時の暖房室と非暖房室の温度差、外気温と室温（自然室温）との温度差を少なくするという健康で快適な住まいを作ることができるが、本研究のレベルと温度差とはおおむね表 15 に示すとおりとなる。

表 15 断熱水準と温度差



断熱計画の場合、理想は省エネルギー基準の設計施工指針で示される部位ごとの基準に即した、バランスの取れた断熱計画であるが、温暖地においては、土塗壁や真壁造の住宅等でも高断熱住宅を実現できる。また夏場の遮熱も考慮して図 4 右欄に示す「部位強化型」により断熱を実現することもできる。



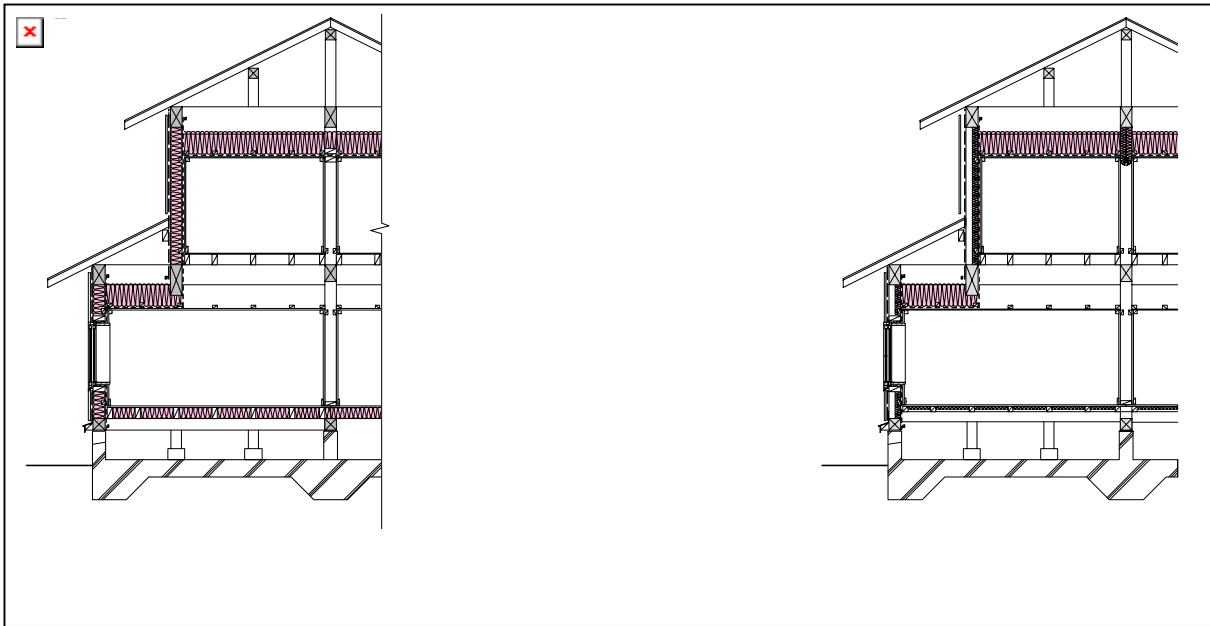


図4 断熱計画手法（部位への配分）

### 日射遮蔽計画

日射遮蔽は、夏期・中間期において建物内に侵入しようとする日射を上手に遮ることにより、太陽熱の過度な流入を抑制し、冷房エネルギーの削減と快適性の向上を実現することを目的とした技術である。

開口部における日射遮蔽は、冬期の日射取得との両立をはかり、通風利用や昼光利用を損なうことのないように計画する必要がある。

日射遮蔽対策（開口部）の目標レベルと省エネルギー効果について表16に、また日射遮蔽対策の目標レベルと達成方法を表17に示すとおりである。

表16 日射遮蔽対策の目標レベルと省エネルギー効果

×	

表17 日射遮蔽対策の目標レベルと達成方法

×	

日射遮蔽は特に開口部についての実施が効果的であるが、開口部の日射侵入率についてはガラスの日射進入率、遮蔽部材の遮蔽係数・庇などのから精算する方法だけでなく、表18に示すような簡易的な計算を用いることも可能である。

検討ステップについては、表19に示すとおりである。

表19 日射遮蔽手法の検討ステップ

×	

日射遮蔽手法については、設計計画初期のステップにおいて検討すべき事項が多く、かつ、温暖地の夏場対策において効果が大きいと、様々な形での導入検討が有効と考えられる。



### 3) 省エネルギー設備技術

#### 暖冷房設備計画

住宅におけるエネルギー消費を用途別にみると、暖冷房（とくに暖房）が占める割合は相対的に大きく、暖冷房設備における省エネルギー技術の適用は、大きな意味を持っている。

省エネルギーを踏まえた暖冷房設備の計画・設計を行うためには、適切な設備機器の選定や配置のための基本的な知識を身につける必要がある。

表 20・21 にそれぞれ、エアコン単独とエアコン+床暖房併用時の目標レベルと達成方法を示す。また、暖冷房設備計画の検討ステップを表 22 に示す。

また、暖冷房設備は「適切」な能力の機器選定が重要であり、表 23 に部屋の大きさに応じた適正な暖房・冷房の能力のめやすを示す。

表 20 エアコン暖冷房による個別方式の目標レベルと達成方法



表 21 温水式床暖房+エアコン暖冷房による個別方式の目標レベルと達成方法



表 22 暖冷房設備計画の検討ステップ

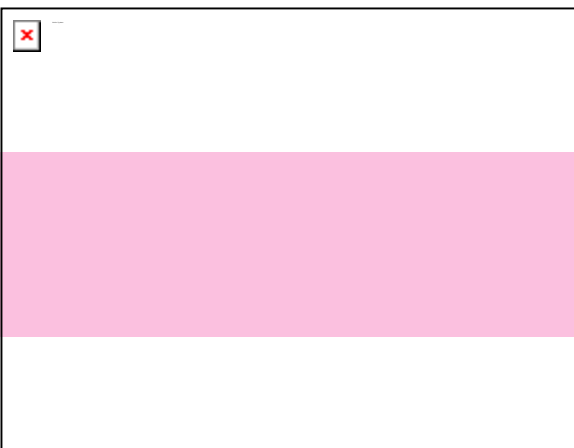
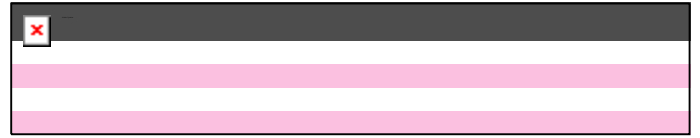


表 23 暖冷房機器選定のめやすとなる能力 (kW)



#### 換気設備計画

建築基準法の改正にともない、事実上すべての住宅ではシックハウス対策としての機械換気設備の導入が義務づけられ、ホルムアルデヒド等を発散する建材の使用の制限と併せて、居室に 1 時間当たり 0.5 回以上の有効換気量を有する換気設備の設置が要求されている。

この機械換気に要するエネルギーをいかに節約するか、または機械換気にともない生じる暖房・冷房の負荷をいかに低減するかが、換気設備の省エネルギー技術として重要であり、換気設備計画における目標レベルと達成方法を表 24、換気設備計画の検討ステップを表 25 に示す。

表 24 換気設備計画の目標レベルと達成方法

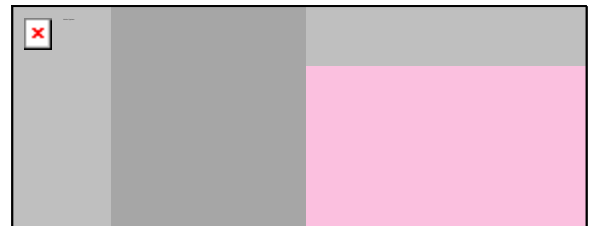


表 25 換気設備計画の検討ステップ



常時換気システムの場合効率やダクト長さの違いにより消費電力が大きく異なること、また温暖地では全熱交換器が必ずしも有効とは限らないこと、メンテナンスの容易性も重要な要素となること等については、特に留意する必要がある。

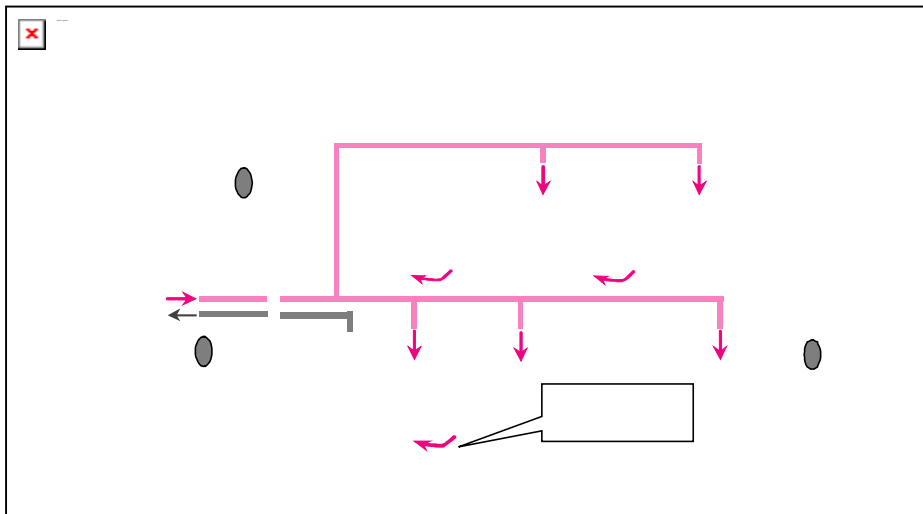


図6 換気設備計画の一例（第一種ダクト式換気）

### 給湯設備計画

現在の住生活において、給湯設備は不可欠なものとなっており、住宅におけるエネルギー消費のうち、給湯に費やされる割合はたいへん大きく、給湯設備における省エネルギー技術の適用は、大変重要である。

給湯設備計画手法と省エネルギー効果については、表 26、目標レベルと達成方法について表 27 に示す。

給湯設備計画の検討ステップについては表 28 に示す。

現在普及している給湯機には、お湯をタンクに貯めて使用する貯湯方式のものと、直接使用時に加熱する方式のものがある。

湯の使用状況やライフスタイル等の違いにより、省エネルギー効果が異なったものとなるため、使い方をよく把握して機種選定する必要がある。

表 28 給湯設備計画の検討ステップ

表 26 給湯設備計画手法と省エネルギー効果

<div style="text-align: right; padding-right: 5px;">✖</div>	<div style="background-color: #cccccc; width: 100%; height: 100%;"></div>
---	---

表 27 給湯設備計画の目標レベルと達成手法

<div style="text-align: right; padding-right: 5px;">✖</div>	<div style="background-color: #cccccc; width: 100%; height: 100%;"></div>
---	---

<div style="text-align: right; padding-right: 5px;">✖</div>	<div style="background-color: #cccccc; width: 100%; height: 100%;"></div>
---	---

## 照明設備計画

照明設備計画は、昼間の昼光利用での明るさの不足分を補い、夜間の光環境を良好に保つことを目的とすると同時に、人工照明エネルギー消費の削減を実現することを目的とした技術である。

省エネルギーを実現しつつ、快適性を維持、向上させることが求められる。明るさの感じ方は年齢や視力によって個人差があるだけでなく、明・暗順応の状況により同一人物でも異なり、居住空間内の安全性にも関係するため、慎重な検討が必要である。

照明設備計画における目標レベルと達成方法については、表

29、省エネ次 技術の全体像については図 7 に示すとおりである。

表 29 照明設備計画における目標レベルと達成方法

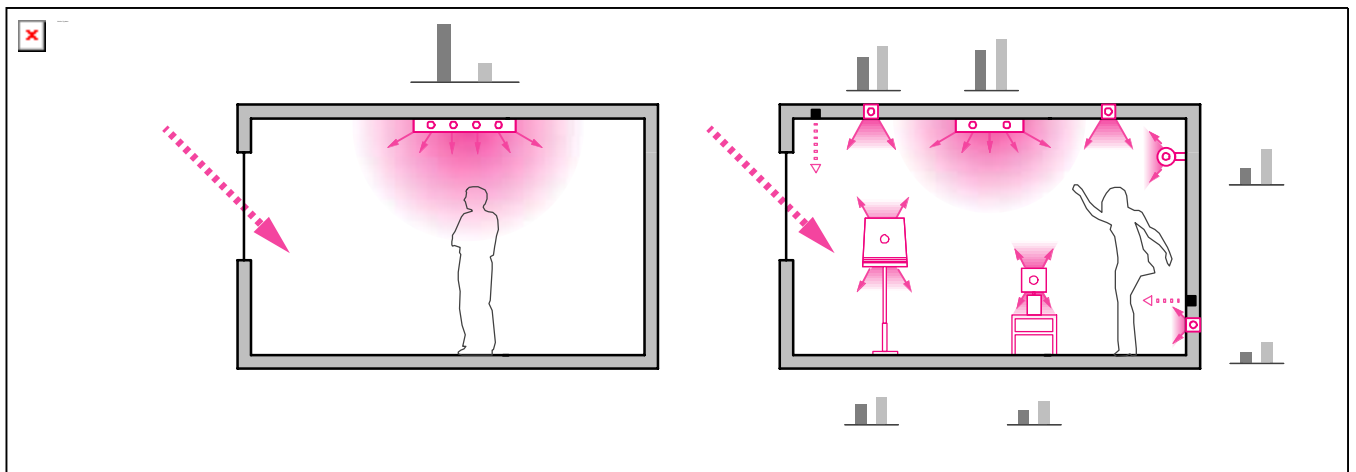


図 7 照明設備計画における省エネルギー技術の全体像

照明設備計画の検討ステップは、表 30、光源・器具の省エネルギー手法と機器の対応については、図 8 に示すとおりである。

表 30 照明設備計画の検討ステップ



図 8 光源・器具の省エネルギー手法と対応機器

また、照明設備については、設計による省エネ手法を提案しているが、この手法は、住まい手の意識により省エネになったり逆にエネルギー使用が増える場合もあるので留意する必要がある。

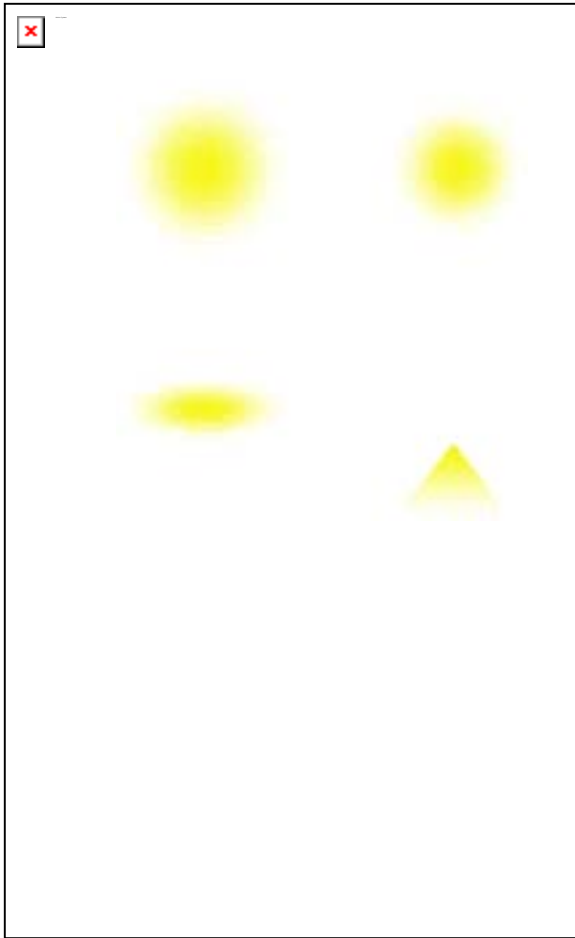


図9 一室一灯照明方式の例  
(消費電力量 370W)



図10 一室多灯照明方式の例(消費電力量 215-492W( 60-130% ))

### 高効率家電機器の導入

住宅内の電力消費は、暖冷房や照明の使用によるものがその多くを占めるものの、約 3 割がテレビや冷蔵庫といった一般家電の使用によって生じている。省エネルギー化の社会的要求にともない、これら一般家電の省エネルギー化も日々推進されており、使用時ならびに待機時の省電力化は著しいものがあるため、住宅全体のエネルギー消費の削減するためには、一般家電の買い換えを適切な情報をもって行う必要がある。

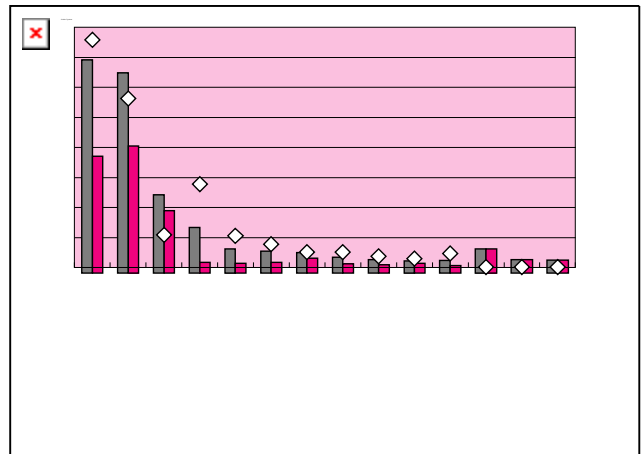


図11 家電製品の省エネ性比較

家電設備の消費電力については図 11 に示すとおりである。

特に消費電力の大きい冷蔵庫・テレビ・温湯暖房便座については最重点家電として省エネ削減を重点的に検討する必要がある。

高効率家電機器導入の目標レベルについては、表 31 に示すとおりである。

✖			

表 31 高効率家電機器導入の目標レベル

### 水と生ゴミの処理と効率的利用

水の有効利用と効率のよい排水・生ゴミの処理技術は、都市や建物で使用される水の節約とゴミの減量化・削減、水環境の保全につながる。都市部・郊外といった立地条件に応じて、各技術を適切に用いることによって、二酸化炭素の排出削減に寄与することができる。水と生ゴミについて本研究では、節水機器のみに着目し、機器毎の省エネルギーのレベルを表 32 に示すとおり設定している。

表 32 節水機器の設定レベル

✖	

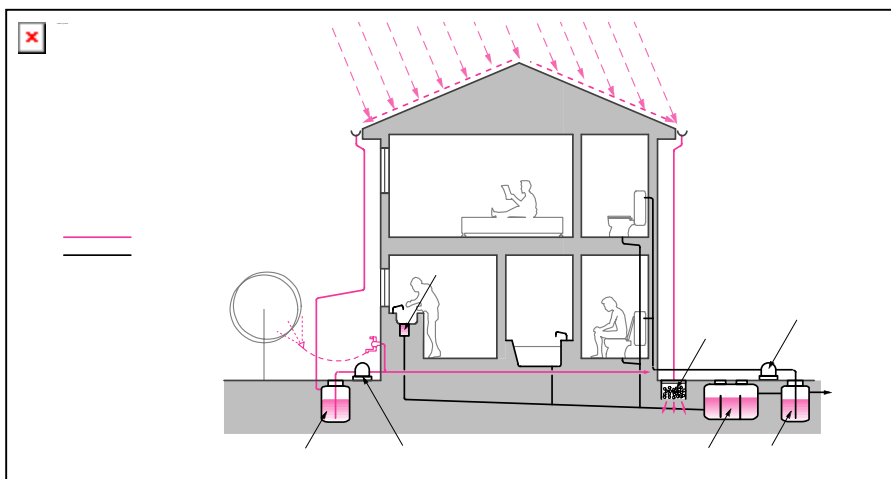


図 12 水と生ゴミの処理と効率的利用における全体像

### 今後の展開

住宅・建築分野における地球温暖化防止対策の推進は、我が国を含めた先進国における最重要課題の一つとなって久しいが、より実効的な省エネ・地球温暖化防止対策を推進するためには、新築住宅・建築物のみならず、既存ストックの省エネ性能向上が必要不可欠である。

このため、建築研究所においては、本研究の成果を発展させ、平成 18 年度より「建築物におけるより実効的な省エネルギー性能向上技術と既存ストックへの適用手法に関する研究」に関して、大型プロジェクト研究を実施することとしている。

この研究では住宅・建築物の省エネ技術に関して要素技術の適材適所の活用方法や、より合理的で既存対応技術に適應した

評価技術について検討するほか、今まで検討が不十分であった建物の運転管理・制御や、省エネ技術の活用を阻害している社会制度的要因についても検討する見込みである。

### 参考文献

#### 自立循環型住宅への設計ガイドライン

- エネルギー消費 50%削減を目指す住宅設計 -
- 発行 (財)建築環境・省エネルギー機構
- 監修 国土交通省 国土技術政策総合研究所
- 独立行政法人 建築研究所