I 編 研究概要

第 1 章 研究概要

第1章 研究概要

1.1 研究の意義・目的

「エネルギー自立循環型建築・都市システム技術の開発」は、平成 13 年度以降進められて来た国土交通省総合技術開発プロジェクトである。本来ならば完全自立循環、すなわち商用エネルギーも水の供給を受けずに自立した住宅であることが理想ではあるが、それは長期的課題(未来住宅)として念頭に置くとしても、まずは 2010 年前後の京都議定書における約束期限までに、住宅の分野からの二酸化炭素排出抑制への寄与として建築・設備分野からアピールできる技術を早急にとりまとめんとするものである。

本研究は国土交通省国土技術政策総合研究所と独立行政法人建築研究所の両者が協力しつつ、民間及び大学等とも連携して取り組んできたものである。4年間の研究期間(平成 13～16 年度)において、省エネルギー率 50%以上を達成することのできる普及型の住宅システム(住宅部品、設備、設計手法、普及手法等より成るパッケージ)の構成を、実証実験、理論計算、実態調査等により明らかにするとともに、行政施策への反映策の検討やモデル住宅の建設を行うことを目的に据えてきた。

自立循環型住宅開発プロジェクトの新規性を挙げるとすれば、それは次の 4 点であると思われる。

- 1) 省エネルギー効果に関する新しい実証実験手法を確立し、わかり易い形で技術の実効性を正面から捉えようとしている点。
- 2) 建築躯体と設備、建築設計と機械技術の相互乗り入れ、透明な知識の共有に着目している点。
- 3) 効果の実証された技術を中心に、普通の住宅設計者や実務者に向けたノウハウの提供に重点を置いている点。
- 4) 省エネルギー対策を、高断熱化や日射遮蔽性能向上といった躯体技術に限定せずに、通風や自然採光等の、より広範なパッシブ的躯体技術を重視するとともに、実効性を有する設備技術面での対策を重視している点。

1.2 研究の背景

住宅分野での省エネルギー対策を大別すると、断熱気密性や通風性能等に代表される「躯体性能向上」と、エアコンや太陽電池等の「設備効率向上」という2つのアプローチで構成される。

前者の「躯体性能向上」に関しては、1980年に施行された断熱基準(省エネルギー法に基づく)が、1992年、1999年と強化改正されたにつれて、断熱化された住宅が普及しつつあるものの、本格的な普及のためには、戸建住宅の大半を占める木造住宅(戸建の7割程度と推定され、中小規模の建設業者によるものが多い)に適用できる実用的な設計施工方法(改修手法を含む)及び評価技術の確立がひとつの課題となっている。マンション等の集合住宅や工業化住宅に関しても課題は残っている。また、冷房エネルギー消費に深く係わる、通風性能及び日射遮蔽性能等の自然エネルギー利用技術についても、設計方法と、より明確な性能評価基準が必要とされている。

もう一方の省エネルギー対策である「設備効率向上」については、1970年代以降のいわゆる省エネルギー住宅開発を顧みると、建設主体が高度な技術を持ちあわせ所有者による維持管理体制が比較的整った大規模建築とは対照的な条件下にある住宅等小規模建築では、複雑な設計施工や維持管理を必要とするような設備は、たとえ理論的効率が優れていても普及の軌道に乗せることは容易でないことが浮き彫りとなったと言えよう。

また、近年の経済状況下ではたとえ高性能であっても高価格の設備の普及は容易でなく、今後の公的補助を活用しようとする場合においては実際の居住条件下における省エネ効果の裏付けを確認しつつ効率的に適用することが必要となるのではないかと考えられる。

市場では、暖冷房設備システム、給湯設備システム、照明設備、冷蔵庫等の家電、太陽光発電・太陽熱温水器・燃料電池など実に様々な設備に関して省エネ性向上の取り組みがなされている。課題は、気象や立地条件、住宅性能や規模、生活スタイルや意識を加味して、いかに設備を選択し、適切に設計設置するのか、という点であると同時に、「躯体性能向上」と合わせて、どのような設備の組み合わせによって、どの程度の実質的な省エネルギーが達成できるかを明確にすることである。

1.3 研究開発の概要

研究全体は4つの課題群、すなわち「要素技術の開発」「省エネルギー効果の実証実験」「設計建設支援手法の開発」及び「普及促進のための取り組み」から成り、それらには15の具体的な課題が含まれている。以下、4つの課題群について概要を述べる。

1.3.1 要素技術の開発

1) 断熱外皮のための新技術開発

建物外皮の断熱化は、暖冷房時の熱損失低減及び屋根等の部位を通じた日射熱取得の低減の主たる手段であり、最重要視されている省エネルギー手法であると言っても過言でない。断熱化は、暖冷房効率の向上とともに、室内温度分布の均一化、ひいては暖房空間の快適性向上への寄与が大きい。省エネルギー基準、住宅性能表示評価基準、低利融資条件としての諸基準の整備によって近年では、特に寒冷な地域を中心として新築住戸における断熱施工が一般化してきている。

一方で、温暖地域においては、多様な在来工法の存在や寒冷地に比して小さな冬期内外

温度差等の諸条件を加味した温暖地向けの断熱技術の整備に対するニーズが見られる。今後、温暖地において断熱技術がより普及するためには、そうした、より簡易化された温暖地向けの断熱技術の開発が不可欠な状況にあると言える。そしてその開発のためには、断熱技術に要求される諸性能、なかでも湿害防止性能と実効断熱性能に関する定量的合理的な評価手法の整備が不可欠である。なぜならば、十分に余裕のある安全率を掛けて仕様基準を決めるだけでは、技術の本格的な普及は見込めず、実態に即した仕様基準が必要とされていると思われるからである。

2) 高効率暖冷房・給湯システムに関する技術開発

住宅のエネルギー消費量のうち、暖冷房(特に暖房)及び給湯用エネルギー消費の占める比率は大きい。

建物外皮の断熱性能が向上しても通常の住宅では暖冷房設備が必要であること変わりなく、設備機器の選択やシステムの省エネルギー設計が必要となる。しかし現状は、新しい機器が頻繁に開発・商品化され、方式も極めて多様であるがために系統的な省エネルギー設計手法の整備が容易ではない。さらに、暖冷房設備により形成される温熱環境は、居住者の使用方法、建物外皮の断熱性、気象条件等の諸条件に依存して空間分布や時間変

化が生じるため、その質的評価は温暖地の一般の住宅において特に困難が伴う。

給湯に関しては特にそのためのエネルギー消費が増加傾向にあり、省エネルギー設計法の明確化が喫緊の課題である。

本研究課題では最終的に、自立循環型住宅のための設備計画手法提案を行うことを目標として、そのための主たる方法論として、暖冷房及び給湯の両者に関してシミュレーションを採用する。

第一段階として、シミュレーション手法の同定、計算モデルの構築、既存ソフトウェアの検査等を実施し、第二段階として実証実験結果

を用いてシミュレーション精度の検証を行う。第三段階としては家族類型毎の暖冷房及び給湯スケジュール等シミュレーション計算条件の設定を行った上で、シミュレーションによる省エネルギー性の評価資料を蓄積する。最後に第四段階として、自立循環型住宅のための設備設計手法提案を作成する。

- ①仮想住宅モデルにおける期間暖冷房負荷、既存のCOP算出式を用いたエアコンに関する期間暖冷房エネルギー消費量、同じく実験室実験で求めた実際のエアコンのCOP予測式を用いた期間暖房エネルギー消費量に関するシミュレーションを行った。

3) 換気・通風システムに関する技術開発

平成15年7月より、シックハウス対策として改正された建築基準法に基づき、原則的にすべての住宅で全般換気用の機械換気設備の設置が義務付けられた。連続的に運転されることの多いその種の換気設備は、暖冷房設備に比して容量は小さいもののトータルの電力消費量は省エネルギー面で無視できない量となり得る。

一方、通風は日射遮蔽とともに防暑のための重要な手法であるが、定量的評価が容易でなかったために省エネルギー基準他の公的基準類において評価項目となることは極めて希であるものの、住宅実務者及び居住者のいずれもが断熱と同程度かそれ以上に重要視してきた要因である。

換気に関しては、送風機動力エネルギー削減のための換気手法開発と、換気熱負荷の削減効果を有する熱交換型換気設備に関する評価を行った。また、自然給気口からの冷気の侵入による室内温熱環境への影響を実験的に評価した。

通風に関しては、まず通風量の高精度予測法開発のため、開口部の流量係数の予測手法開発、風圧条件に関するデータベースの整備、夜間でも開放可能な開口部の要件に関する検討、夜間における通風を活用した場合の

②集合住宅住棟内の隣室空調条件の違いによる期間暖冷房負荷に関するシミュレーションを行った。戸境壁及び床の断熱による負荷削減効果に関しても検討を行った。

③窓面付近のコールドドラフトが室内温熱環境に及ぼす影響に関して被験者実験を行った。

④入浴・シャワー及び食器洗浄行為に関する被験者実験を行い、各種湯節約器具による節湯効果に関する資料を得た。

⑤戸建住宅1事例に関して、ガス給湯機に太陽熱温水器を併用した場合の省エネルギー効果を検証した。

冷房エネルギー削減効果に関するシミュレーションによる評価を行うことによって、自立循環型住宅のための通風計画手法を構築した。具体的には以下の作業を行った。

(1) 換気について

- ①集合住宅及び戸建住宅用ハイブリッド換気システムの換気性能に関する検証実験
- ②全熱交換器内部の空気移動モデルの作成と、それを組み込んだ住宅全体の熱・換気・湿気回路網計算
- ③第三種換気設備用自然給気口からの冷気侵入による温熱環境への影響に関する実験

(2) 通風について

- ①開口部の流量係数の予測法開発を目的とした風洞実験及びシミュレーション
- ②開口部実物を用いた流量係数の実測実験
- ③集合住宅建物に作用する風圧に関する系統的な風洞実験の実施及び戸建住宅の群模型を用いた風圧測定風洞実験及びシミュレーション
- ④防犯を考慮して夜間も開放可能な開口部に関する要件の検討、開口部の遮音性能に関する実験
- ⑤窓の開放行為に関する文献調査、アンケ

ート調査及び現場実測調査

4) 昼光利用・照明システムに関する技術開発

オフィスの省エネルギー計画では、昼光照度に応じた照明器具の点灯制御や人感センサーによる点滅等、照明に係る省エネルギー対策が講じられる例も少なからず見られるのに対して、住宅については未だに白熱灯が多数使用されていたり、開口部の大きさや配置に工夫の余地が残るために昼間であっても薄暗い状況があったりと、照明計画と省エネルギーとの接点に係る技術の普及が遅れていると言わ

ざるを得ないのが現状である。

最終的に自立循環型住宅のための昼光利用技術及び人工照明計画を作成することを目標として、自立循環型住宅における昼光利用のあり方に関する検討、昼光利用環境の照度分布等の物理的性状に関する予測手法の開発、昼光利用環境の質的評価方法の整備、昼光利用と日射遮蔽という相反機能間の関連性に関する検討を行った。

5) 開口部日射遮蔽計画に関する技術開発

平成 11 年省エネルギー基準(次世代省エネルギー基準)や住宅性能表示評価法基準等においては、開口部の遮熱性能に関する規定が定められており、日射遮蔽計画の重要性に関する認識が深まりつつある。しかしながら、開口部の日射熱取得率を求めるための計算方法は整備されつつあるものの、実際の日射遮蔽部材を対象とした測定法が未だに整備されていないのが現状である。

また、防暑計画において日射遮蔽は通風と並んで重要な手法であるにもかかわらず、日射遮蔽のための部材については、種類や普及度の点で課題が残されている。

開口部を対象とした実験室における日射熱取得率の測定方法を開発し、主な日射遮蔽部材・手法を対象として日射熱取得率に関するデータの整備を行った。また、自立循環型住宅における日射遮蔽のための計画手法を作成した。

6) 資源循環システムに関する技術開発

住宅において水を消費することによっても二酸化炭素の排出が発生する。すなわち、浄水場での浄化、ポンプによる圧送、排水の下水処理、また湯にする場合には加温するのにエネルギーが消費される。したがって、水や湯の使用量を削減することが二酸化炭素排出の削に直結する。また、家庭から出る生ゴミの処理についても、その回収や焼却などのためにエネ

ルギーが消費され、それに由来する二酸化炭素排出が生じ得る。

自立循環型住宅を計画・設計する際に、環境負荷低減に寄与できる水・ごみ系の要素技術を一般に言われる 3R(Reduce, Reu-se, Re cycle)の観点から提案し、その有効性を検討した。

1.3.2 省エネルギー効果の実証実験

住宅は他の工業製品に比べてその利用形態及び使用環境が極めて多様であるという事ができ、供給業者もあえて追跡調査的に性能を検証することは容易ではない。そのため、明確な欠陥でもないかぎり一般に性能評価が顕在化しにくい。しかも、住宅は一般的には 25 年～50 年と使用期間が長いので、早期に住宅分野での自立循環性の向上を図るためには、客観的中立な立場から実際の居住条

件を配慮しつつ実証的に有望な技術を明確化することが不可欠である。

1) 自立循環住宅システムの計画

最初に、家庭用設備機器の種類毎のエネルギー消費性状に関する資料収集を行った。そのために、各設備機器の使用時間を仮定し、標準的な家庭(東京郊外、世帯主 40 才程度の 4 人家族)におけるエネルギー消費量を、エネルギー消費調査統計と比較上で積み上げ推定を行った。また、家庭用設備機器のエネルギー消費効率向上技術に関する情報収集

を行い、設備機器の省エネ化を図った場合のエネルギー削減量を推定した。

次に、躯体性能向上による暖冷房エネルギー消費量の削減効果の推定をシミュレーションにより行った。気象条件は東京近郊(温暖地の代表として)とした。最後に、実験において検証の対象とする省エネ住宅システムの設計計画を行った(目標 50%以上)。

2) 実証実験手法の開発と実施

実験住宅として、独立行政法人建築研究所内に建設された RC 造構造体のうち 2 区画(最上階妻側)を使用した。同建物の概要は、1 区画床面積 75m²程度、南面配置、断熱仕様は次世代省エネ基準(開口部は交換可能)となっている。

2 区画(西と東)に 2 通りの住宅・設備システムを設置することができる。春・夏・秋・冬、最短でも 10 日間程度の欠損のないデータを収集し、四季のデータを合成して年間の省エネ効果を推定した。従来は、実際に居住されている世帯の実態調査等を行ってきたものの、生活行動

や機器設備の特性などが不明なままでおわることが少なくなく、また世帯によって生活行動がまちまちであるために、エネルギー消費構造と様々な工夫の省エネ上の効果を明確にすることが困難であった。そこで、制御機器を用いて生活を再現する方法を採用し、2 つの住戸に同一の生活を再現し、その下で省エネ対策の現実的な効果に関する情報を得んとした。また、実験を進める上で、いわゆる「ライフスタイル」にはエネルギー消費との関係で不明な部分が少なからずあるために、実証実験と並行して様々な被験者実験等、基礎的な実験も実施した。

3) エネルギー消費の詳細実測調査

実証実験において、居住者のエネルギー消費行動を再現する上で、個々の設備や機器類の使用行為や設備等の特性に関する情報が必ずしも十分に得られていないことから、少数の住戸ではあるが、年間にわたって詳細にエネ

ルギー消費に関する実態情報を収集した。用途別をはじめ、設備や機器毎のエネルギー消費量、使用頻度、使用タイミング等に関するも詳細な情報を得た。

1.3.3 設計建設支援手法の開発

1) 設計支援システム

住宅建設に関わる実務者が、室内環境の向上や省エネルギーを意図して或る設計なり企画立案を行う場合に、設計企画案の効果を

定量的に評価又は比較する必要が生じることがある。特定の条件に関する評価や優劣比較は、他の専門家に尋ねたところで見せて答え

の出ない場合もあり、ましてや既存物件における実験や実測はコストや時間の点から困難なことが多い。そうした場合に、コンピュータプログラム上で建物や設備の挙動をシミュレートして評価情報を得ることは極めて有力な方法であると言われている。

本サブテーマでは、そうした環境シミュレーション手法という一種の設計支援手法を開発整備することを目的とした。

開発項目はシミュレーションの入力データの作成を容易にする目的を持ったプリプロセッサ AE-CAD の開発と、各種の環境要素に関する

2) ライフサイクルアセスメント

自立循環型住宅は、主として居住時のエネルギー消費に起因する二酸化炭素排出量の削減を目的とした設計建設される住宅であるが、建材の製造から住宅建設、そして改修及び解体までのライフサイクルを通じて生じるエネルギー消費及び二酸化炭素排出に関しても今後の方向性を見据えると研究開発対象に含めないわけには行かない。建築学会、空気調和・衛生工学会、あるいは民間企業においてもライフサイクル評価のための手法開発に取り組み

3) 教育・情報提供システム

自立循環型住宅を構成する諸技術を実務者に活用してもらいためには、研究成果を報告書や論文の形式で公表するのみでは不十分であることは明らかであり、実務者にとって使いやすい形式として公表することが不可欠である。このため、自立循環型住宅の設計方法或いは設計上の留意点を取りまとめた設計ガイドラインを最終的成果物の中心に位置付ける必要がある。

最終成果である自立循環型住宅の設計ガイドラインの作成準備段階として、以下のような検討を行った。特に他の研究課題担当者との意見交換を図り、内容調整や協同によるガイドラインの枠組みの構築を進めてきた。

①省エネに関する既往の評価基準事例の

シミュレーションプログラムの開発の二つに大別することができる。AE-CAD は、建物の 3 次元情報を直感的に分かり易い画面構成と操作で入力可能にするもので、機器・開口部・各種部材に関するライブラリーを持っている。環境要素に関するシミュレーションプログラムとしては、新たに昼光利用の効果を予測するための Daylighting を開発するとともに、換気通風計算用の Ventisim についても機能の向上を図った。また、熱負荷計算用プログラム SMASH については、最初に AE-CAD 用のデータコンバーターを開発した。

れてきたが、建築研究所においても外部の研究者と協力し 1997 年以来プログラムの開発公表及び改良がなされてきた。

第一の目的は、ライフサイクルを通じた二酸化炭素排出量を最小化するための設計ツールを開発することであり、第二の目的は開発するツールを活用してパラメトリックスタディーを実行し、設計ツールを直接使用しない実務者であっても設計の要点を把握できるような知見を整備することである。

調査

- ②自立循環型住宅の設計プロセスの検討
- ③省エネ要素技術の検討、一覧整理
- ④省エネ技術・手法についての情報収集、検討・整理

- ・個別要素技術に関する情報収集
- ・集合住宅における省エネ効果のケーススタディー
- ・一戸建て住宅のケーススタディー整理

⑤設計ガイドラインの構成の検討

- ・設計ガイドラインの類似事例の収集
- ・ガイドライン構成の検討・整理
- ・ガイドラインの試行作成

1.3.4 自立循環型住宅の普及推進

1) ストック改修戦略

わが国の住宅ストックは 4700 万戸程度と考えられており、年間百万戸程度の新築住宅の自立循環型住宅化が図れたと仮定してもすべての住宅の自立循環性を高めるまでに、単純に考えても 40 年の年月を要することとなる。その点からも、改修による自立循環性の向上を推進するための取り組みが必要とされている省エネ改修をはじめとして自立循環性を高めるための改修施工の普及に向けての取り組みが開始されてはいるものの、残存性能に関する診断技術、機能性能向上の予測技術、改修を円滑に低コストで行うための施工システム、などの点において課題が残されており、普及には結びついていない。

地域毎(寒冷地から温暖地まで)及び建築

2) 地域住宅生産主体との連携

本州・四国・九州の大半の地域は比較的温暖な気候を有しており、それらの気候風土を加味した断熱・省エネ技術(特に木造住宅のための技術)の検討を、省エネ基準の策定主体の研究及び行政組織と地域の実務家との共同作業によって行った。また、地域的特色を有する住宅及びライフスタイルに適した、省エネ及び居住性向上のための技術を見出し普及させることによって、居住者のニーズに応え、地域性豊かな住宅の存続可能性を高める。体制としては、自治体を窓口として、地域の設計者、工務店技術者、建築技術者と、省エネ及び環境技術分野(例えば断熱、通風、換気など)の研究者、関係する行政担当者が協力して取り組

3) モデル事業実施

自立循環型住宅の開発プロジェクト全体の

年代毎(～1981年、～1991年、～1998年、1999年以降の4区分)に住宅の断熱仕様や内外装仕様等の実状を把握するために、インターネットによるアンケートと現地調査を併用した実態調査を実施した。得られた資料は、省エネルギー化を目的とした改修の普及策について検討する際に不可欠となると思われる。次に、部位毎(天井等、壁、窓、床、暖冷房設備)の省エネ改修に要する費用と、省エネルギー効果の試算を行った。費用対効果の優れた改修項目はどれか、建築年代別に改修の主たる動機となる項目(高齢化対応や内装更新等)との相性の良い改修項目といったものをモデルケースに関して試みに選定し、工事費用及び二酸化炭素削減効果について見積もりを行った。

んだ。具体的には、地域の実務家を中心として、徳島県、国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所、財団法人建築環境省エネルギー機構、住宅金融公庫などから専門家が参加して、次のような点に関する検討を行った。

- ①省エネ・環境技術と地域的な住宅及びライフスタイルに関する情報交換
- ②地域的特色を有する住宅に関する室内環境やエネルギー消費量に関する実態把握
- ③真壁造等の構造、各部の構法などに適った断熱工法についての検討
- ④モデル住宅の設計や建設に関する共同作業による検討会

目的として、2010年という京都議定書の約束

期限を念頭に置いて、比較的短期的に普及を望める技術に研究開発の焦点を当て、かつそうした技術に関する情報の普及策を見出すために、研究成果の実務者向けの情報提供や、D2(地域連携委員会)における実務者の置かれた実状に関する情報収集等にも努めた。それらの取り組みと同様の主旨を持って、自立循環型住宅プロジェクトの研究成果及び研究組織に集積された技術を直接的に反映した住宅をモデル的に建設することは極めて有効かつ重要な研究手段である。

モデル事業実施委員会は、自立循環型住宅開発委員会において開発される様々な技術

の普及を効果的に促進することを目的として設立された。そのために長崎県南松浦郡上五島町において、木造公営住宅(上郷団地・2棟3戸)の建設を行った。

A棟2戸については、平成15年9月に2戸とも入居が完了した。2世帯とも若夫婦2人に生まれたばかりの子供1人の3人家族である。A棟では、平成15年8月6日に、入居に先立ち温湿度センサーおよび含水率センサーが取り付けられた。また平成16年2月6日に設置されたセンサーの一回目の電池交換、およびデータの取得が行われた。B棟の1戸についても温湿度環境の検証を実施した。

1.4 まとめ

以上のように、本研究は、生活上で生じるエネルギー消費に起因する二酸化炭素排出量を半減させることのできる技術の組み合わせの抽出し、それらを実務において活用する際に必要となる技術情報をとりまとめることを目標の中心に据え、取り組んできた。

二酸化炭素排出量の半減技術の普及が容易でないことは、現状のエネルギー消費の増加の現実を見れば認めざるを得ない。「普及」という目標を掲げるとき、全く新たな技術を開発するというよりは、既存でかつ普及の見込みが感じられる技術の効果を検証し、効果があるとすれば住宅設計建設実務においてどのような点に注意して技術を活用すべきなのか、公的基準の対象となる場合に合理的な評価はどのように行うべきであるか、に関する関連技術の整備補完こそ極めて重要な状況にあるのではないかと考えられる。もちろん、全く新たな発想や先端技術への取り組みも合わせて行われることが望まれるが、いわば川下の普及少し手前の、実用を強く志向した技術の開発を待っている既存技術や製品が少なくない状況では、新たな可能性に未知なる部分を含む技術に資源を集中させるのには危険が少なくないと判断される。

本研究プロジェクトのような取り組みは、一見地味な取り組みとなろうが、新築110万戸、既築4700万戸が消費するエネルギーの抑制策を現実的に考えるならば、当面の技術開発課題のひとつとしては必然性のあるアプローチではないかと考えられる。

研究成果の提示方法としては、多数の学術論文や専門性の高い詳細な報告書とともに、実務者向けにコンパクトな「自立循環型住宅設計ガイドライン」の編纂を行なった。また、平行してやや専門性は高くなるが実務者向けの環境要因に関するシミュレーションツールの開発、居住時のみでなくライフサイクルを通じた環境負荷量(二酸化炭素排出量を含む)の計算プログラムの作成も行なった。

また、自立循環型住宅の考え方、あるいは技術の普及速度を高める狙いから、各地域の実務者との情報交換やコンサルテーション、モデル住宅の建設についても取り組みがなされたとともに、既存住宅の改修による自立循環型住宅技術の普及策に関しても具体的に検討がなされた。

(澤地 孝男)