住宅分野のエネルギー削減シナリオ作成のための高効率機器等の普及予測に関するデルファイ調査

FORECAST OF PENETRATION RATE OF SEVERAL TECHNOLOGIES FOR HOME ENERGY-SAVING THROUGH QUESTIONNAIRE SURVEY ON DELPHI METHOD

長谷川兼一 — * 1 松本真一 — * 2
村上周三 — * 3

Kenichi HASEGAWA — * 1 Shin-ichi MATSUMOTO — * 2
Shuzo MURAKAMI — * 3

キーワード:

民生・家庭部門, 省エネルギー, シナリオ, 高効率機器, デルファイ法, アンケート調査

Keywords:

Private households, Energy saving, Scenarios, Technologies for home energy-saving, Delphi method, Questionnaire survey

The penetration rates of several energy-saving technologies for houses from 2010 to 2050 were forecasted by means of questionnaire survey on Delphi method. The Delphi method is a forecasting method which relies on experts' judgments. In this paper, ten kinds of technologies such as housing equipment for space heating and demand hot water, PV, HEMS and so on were investigated to the experts working on home supply. Investigated results of these technologies penetration rates should be useful to the development of scenarios for a Low-carbon society.

1. はじめに

エネルギー消費量は、一般に民生、産業、運輸の3部門に分類され、そのうち民生部門（住宅、業務用建築）のみが一貫して増加を続けている。民生部門の省エネルギー対策を検討するには、各種方策の効果の定量化や、民生用エネルギー需要の将来予測を全国規模で実施することが必要である。また、将来予測には、人口動態、省エネルギー技術の開発・普及時期など、長期的に変化する要因が関係し、各種の対策が効果を発揮するまでに長い時間を要するものが多いことに留意する必要がある。現在、国内外を問わずエネルギー削減に関するシナリオが提示されているが、包括的ではあるが具体性に欠ける予測であったり、政策の対応時期や設備機器の普及時期などのパラメータの根拠が曖昧なものがある。対策の重要度を加味した上で、より現実的な導入時期を適切に設定することができれば、より良いシナリオを提示することが可能と考えられる。

そこで本論文では、住宅分野のエネルギー削減シナリオを立案するための基礎資料を整備することを目的とし、住宅用の高効率機器の普及予測を提示する。このような不確実性の高い将来的な事象を予測する場合、後述するデルファイ法による調査^{1), 2)}を適用することが可能と考えられる。従って、住宅供給に関連する企業に従事する実務者を対象としたデルファイ調査をデザインし、2050年までの高効率機器の普及率を住宅供給の実務に携わる専門家の判断に基づいて予測した。

既往のシナリオにおいては、将来の高効率機器の普及率を過去の実績値が継続するものと仮定したり、任意に設定する場合が多い。しかしながら、これらの設定の根拠は必ずしも明確とはいえない。本論文では、得られた結果を既往データと比較し、デルファイ調査による予測値の妥当性について考察する。

2. デルファイ調査のデザイン

2.1 デルファイ法の概要^{1), 2)}

高効率機器の導入時期や重要度の将来予測といった課題には曖昧さが多く含まれ、不確実な出来事が十分起こりうるものである。それらを解決するためには、客観的なデータを集めて目標を定めることが必要である。本研究における将来予測においても、デルファイ法の適用が可能と判断した。

デルファイ法とは、反復型アンケートにより専門家グループが持つ直感的意見や、経験的判断を組織的に集約・洗練する技法である。この手法では、まず、選定した専門家に対してアンケート調査を行う。その回答を集計し、次のアンケート調査（前回のアンケートと同内容）の際に、集計された結果・意見を回答者にフィードバックした上で再回答を求める。このようなアンケート調査を数回繰り返すことにより得られた集計結果や意見が、収束・発散するか否かで、有効な意見を判断することになる。

この手法の利点として、コントロールされたフィードバックにより、身分の上位者や権力者等に対する権威従属性や、多数意見に対する付和雷同性を回避できる。一方、調査時の留意点として、専門家の定義や選出方法、予測の限界などが挙げられ、手法に内在する限界を理解した上で適切に調査結果を扱うことが必要である。

2.2 調査の内容

本調査では、表1に示す10種類の技術項目とそれに関連する内容について、①技術項目に対する専門度、②2050年までの普及率等を尋ねた。回答者には2000年から2050年までの住宅用の高効率機器等の技術の普及率等を10年おきに予測してもらい、数値による回答を求めた。

意見の集約には図1に示す中央値と四分位範囲²⁾を用いた。得ら

¹⁾ 秋田県立大学システム科学技術学部 准教授・博士（工学）
（〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口84-4）

²⁾ 秋田県立大学システム科学技術学部 教授・博士（工学）

³⁾ 建築研究所 理事長・工博

¹⁾ Assoc. Prof., Faculty of Systems Science & Tech., Akita Prefectural Univ., Dr. Eng.

²⁾ Prof., Faculty of Systems Science & Tech., Akita Prefectural Univ., Dr. Eng.

³⁾ Chief Executive, Building Research Institute, Dr. Eng.

れた回答を数値順に並べ、その中央値 (Q2) の確からしさを 1、上位と下位の四分位数 (Q1, Q3) の確からしさをそれぞれ 0.5 とする。本論文にて提示を試みる住宅用の高効率機器の普及率のデータとして、中央値 (Q2) を予測代表値とみなす。

調査フローは図 2 に示す通りである。本研究では、2 回のアンケートを繰り返すことにより予測値を得る。

2.3 アンケート調査の対象者

本研究におけるデルファイ調査の回答者には、高効率機器の普及状況の把握や普及活動に接する機会が多いと考えられる住宅供給に関連する企業の実務者が、最も適切と判断した。従って、調査対象として、国内の住宅関連企業の 20 ～ 60 代までの設計職、技術職、研究・開発職に従事する実務者に協力を依頼した。

3. デルファイ調査の結果

3.1 調査の概要

図 2 に示す通り、住宅供給に従事する実務者を対象にアンケート調査を 2 回行った。アンケート用紙の回収率は 1 回目が 63.9% (送付数 86 部のうち有効回収数 55 部)、2 回目が 76.4% (送付数 55 部のうち有効回収数 42 部) であった。

アンケート調査では、表 1 に示すそれぞれの技術項目に対する専門度 (大, 中, 小, なし) を尋ねた後、2050 年までの普及率^{注1}ならびに機器効率 (該当する技術のみ) を記入してもらった。また、それぞれの技術の普及率は、既存住宅と新築住宅^{注2} に対して回答を依頼した。調査は 2009 年 11 月から 2010 年 1 月の期間に実施したが、普及率等はこの期間で判断できる範囲での回答とし、2050 年までの予測期間中に補助金等が適用されることは想定しない状況での回答を求めた。

回答者の属性を図 3(a) ～ (c) に示す。年齢層は「30 ～ 50 代」がそれぞれ 30% 程度占めている。主な職種として、「研究・開発職」が最も多く、続いて「技術職」、「設計職」となっている。実務の担当建物では「戸建住宅」の割合が高い。

3.2 調査の結果

調査結果のうち、給湯技術、断熱技術、暖冷房システム、太陽光発電、コジェネレーション技術、照明技術、HEMS(Home Energy Management System)、断熱改修技術に関する普及率の予測結果を図 4 ～ 13 に示す。

ここでは、既存住宅に対する回答を、その時点での各技術の普及率^{注2} と見なし、既存住宅の結果を世帯普及率として示す。各図では、図の横軸に年代、縦軸に普及率を示し、太線は中央値、その上下の細線は第 1、第 3 四分位数を示す。第 1、第 3 四分位数の範囲が狭いほど、回答者間の意見集約がなされていると考えられる。また、本論文にて示す予測データには、回答者の専門度が「なし」の回答結果を含めていない。

図 4 ～ 6 に各給湯技術の予測結果を示す。2050 年頃までの普及率は、潜熱回収型給湯技術が約 50%、高効率ヒートポンプ技術が約 40%、太陽熱利用技術は約 20% 程度と予測されている。なお、潜熱回収型給湯技術で第 1、第 3 四分位数の範囲が大きいのが、これは、世帯普及率ではなくガス給湯器に対する普及割合とした回答が含まれていると考えられる。

図 7 に低伝導性断熱技術の予測結果を示す。本技術は断熱性能が

表 1 調査対象とした技術項目と内容

調査対象技術	内容
給湯技術	潜熱回収型給湯器、高効率ヒートポンプ(瞬間式)、高効率ヒートポンプ(貯湯式)、太陽熱利用給湯
住宅用高性能建材	低伝導率断熱材、開口部の断熱技術の高性能化、外ブラインド等の外部可動日射制御システム、光触媒による自浄性高反射建材、潜熱蓄熱建材
高効率暖冷房システム	自然通風利用ハイブリッド空調システム、太陽熱利用空調、高効率ヒートポンプ、地中熱利用ヒートポンプ
太陽光発電	太陽光発電、フレキシブル太陽電池、シースルー太陽電池
照明技術	高効率蛍光灯、高効率LED照明、有機EL照明
コジェネレーションシステム	ガスエンジン式コジェネ技術、燃料電池式コジェネ技術(化石燃料利用)、燃料電池式コジェネ技術(水素直接利用)
HEMS	エネルギーマネジメントシステム
木質バイオマス	木質バイオマス利用
環境負荷の少ない建材利用	エコマテリアル、リサイクル・リユース建材
既存住宅の省エネ化	断熱改修、既存機器(給湯)の更新、既存機器(暖房)の更新

図 1 中央値と四分位範囲

図 2 調査のフロー

図 3 回答者の属性

非常に優れているが、現段階でのコスト面や維持・施工面に課題があると判断されていると推察され、2050 年の時点でも 10% 程度の普及率に留まっている。

図 8 に高効率ヒートポンプ空調技術の結果を示す。普及率は増加傾向にあるが、2040 年度頃には 60% 程度に達しているが、それ以降の普及率の増加は予測されていない。

図 4 潜熱回収型ガス給湯技術の普及率の予測結果

図 5 高効率ヒートポンプ給湯技術の普及率の予測結果

図 6 太陽熱利用給湯技術の普及率の予測結果

図 7 低伝導性断熱技術の普及率の予測結果

図 8 高効率ヒートポンプ空調技術の普及率の予測結果

図 9 太陽光発電技術の普及率の予測結果

図 10 高効率 LED 照明技術の普及率の予測結果

図 11 ガスエンジン式コジェネ技術の普及率の予測結果

図 12 HEMS 技術の普及率の予測結果

図 13 断熱改修技術の普及率の予測結果

図 9 に太陽光発電技術の予測結果を示す。普及率は 2020 年頃に 20% 程度、2050 年頃に 40% 程度と予測されているが、その後も増加傾向にあるように窺える。

図 10 に高効率 LED 照明技術の予測結果を示す。普及率は 2020 年頃に 20% 程度、2050 年頃には 30% 程度になっているが、その後の上昇は緩やかに見える。

図 11 にガスエンジン式コジェネ技術の予測結果を示す。普及率は 5% 程度で留まるような傾向が見て取れる。

図 12 に HEMS 技術の予測結果を示す。普及率は増加傾向にあるが、2050 年の時点で 10% 程度と予測されている。

図 13 に断熱改修技術の予測結果を示す。既存住宅の断熱化の普及率は増加傾向にあるが、2020 年頃の時点で 20% 程度、2050 年までには 30% 程度の住宅に対して断熱改修技術が適用されると予測されている。

4. 普及率の予測結果と諸省庁によるデータとの比較

本調査によって得られた高効率機器の普及率の予測結果と、経済産業省や環境省によって将来予測の検討のために提示されている予測値^{3)~5)}とを比較した。値が得られた技術は、高効率ヒートポンプ給湯技術、太陽光発電技術、高効率 LED 照明技術、HEMS 技術である。各予測値を調査結果と併せて図 5, 9, 10, 12 に示す。

経済産業省によると高効率ヒートポンプ給湯器が 2030 年度時点で 20 ~ 40% 程度普及するとしている³⁾。図 5 に示す通り、本調査による予測結果はこの範囲の下限に近く、現行の省エネ対策が継続された場合の予測値と同等である。両者の予測値は現実的な範囲に示すものと推察される。また、環境省による再生可能エネルギー普及方策の提言では、太陽光発電の普及率を 2020 ~ 2030 年までに 30% 程度を見込んでいる⁴⁾。図 9 に示す通り、本調査の予測では、2030 年時点の予測値が環境省の結果を下回っているものの、両者には大きな乖離は認められない。

図 10 に高効率 LED 照明技術に対する経済産業省の予測値³⁾を示すが、本調査の予測値よりも下回っており、実務者の方が普及が進むと予測している。

図 12 に示す通り、経済産業省や環境省で提示されている HEMS 技術の普及の予測値⁵⁾は、本調査による予測値を大きく上回る結果となった。この結果は、行政側と実務者に携わる側の認識に大きな隔たりが存在することが確認できる。

5. おわりに

本研究では、住宅のエネルギー削減シナリオに資する基礎資料を構築するために、2050 年までの高効率機器の普及率等のデータをデルファイ調査により得た。

本論文に示した各機器の普及率の予測結果は、住宅関連企業の実務者の判断によるものであるため、現実を踏まえた予測がなされていると考えられる。また、予測結果は、関係諸省庁が提示している普及率と必ずしも同等ではなく、補助金導入や何らかの規制措置がなければ、期待する普及を見込むことは困難であることが窺える。

あとがき

本研究は、平成 20 ~ 平成 22 年度・環境省地球環境研究総合推進費「低炭素社会に向けた住宅・非住宅建築におけるエネルギー削減のシナリオと政策提言」(代表者 独立行政法人建築研究所理事長 村上周三)の活動の一環として実施したものである。アンケート調査を実施するに当たっては、住宅生産団体連合会ならびに会員企業の方々に多大なるご理解とご協力をいただきました。また、データの取りまとめは秋田県立大学学部生(当時)・伊藤 佑氏の労によるものである。ここに記して深甚なる謝意を表します。

注

注 1) 既存住宅ならびに新築住宅の全数に対する各技術の普及割合を尋ねた。ガス給湯器のように既に広く普及している機器については、従来機器が高効率機器に入れ替わる割合を回答する場合が見られたが、本論文では特に補正等は施していない。

注 2) 既存住宅では各時点で各技術が普及している割合、新築住宅では、新築時に各技術が採用されるであろう割合の回答を求めた。

参考文献

- 1) 竹村 哲：問題を科学するーシステム分析と発想の視点ー，海文堂出版，2000 年 5 月。
- 2) 文部科学省科学技術政策研究所編：2035 年の科学技術 文部科学省デルファイ調査，財団法人未来工学研究所，2005 年 8 月。
- 3) 経済産業省・総合資源エネルギー調査会需要部会：2030 年のエネルギー需給展望，2005 年 3 月。
- 4) 環境省・低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討会：低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策について(提言)，2009 年 2 月。
- 5) エネルギー総合工学研究所：超長期エネルギーロードマップ報告書(超長期エネルギービジョン 2100)，経済産業省資源エネルギー庁委託調査，2006 年 5 月。

[2011 年 6 月 14 日原稿受理 2011 年 8 月 9 日採用決定]