

屋根全面太陽光発電システムを設けた ゼロ・エネルギー仕様住宅のエクセルギー経済評価

学位論文内容の要旨

本論文は、多くの建築実績のあるゼロ・エネルギー仕様住宅の環境性、経済性を評価すると共に、実態調査結果も踏まえた改良仕様を提示することを目的とした。その際、これまでのエネルギー効率評価、環境影響評価に加え、「エクセルギー経済評価」を新たに導入し、エネルギーの質を加味した量的評価を行うことで、より適切な評価に繋げることができた。

本論文のゼロ・エネルギー仕様住宅は、断熱・気密性能を高め、冬期の日射取得性と夏期の日射遮蔽性を両立した上で、効率の高い暖房、冷房、給湯、厨房、照明設備を使用することで、年間のエネルギー消費量を極力抑える仕様となっており、それでも必要となるエネルギーについては屋根全面に設けた太陽光発電システムで供給し、年間の発電と消費の収支をゼロとすることを意図して設計された住宅である。

ゼロ・エネルギー仕様住宅を評価するため、はじめに、(一次・二次)エネルギー収支、ライフサイクルエネルギー収支、CO₂排出収支、エネルギーコスト収支に関する評価を行った。地域による差はあるものの、いずれの指標においても一般的な住宅仕様と比べて大幅な改善効果があることが明らかとなった。また、実際に建設した複数のゼロ・エネルギー仕様住宅を調査した結果からも、エネルギー収支ゼロ、エネルギーコスト収支ゼロとなることが確認された。

一方で、より良い仕様を追及する上で、どの用途あるいは設備を優先的に改善してゆくべきかの判断が不明瞭になることも明らかとなった。用途が異なれば必要とされるエネルギーの「質」も異なるにも関わらず、「量」による評価に留まっていたからである。エネルギーの「質」を含めた量的評価を可能にする考え方として、「エクセルギー」がある。エクセルギーは、ある形態のエネルギーから他の任意のエネルギー形態へと変換し得る部分を表わし、有効エネルギーとも呼ばれる。エネルギーは本来保存されるものであり、消費されるのはエネルギーに含まれるエクセルギーである。エクセルギーは、いわばエネルギーに含まれる価値ある部分であることから、各用途負荷をエクセルギーで比較評価することで質・量を加味した負荷評価に繋がる。また、各用途に対して供給される一次エネルギーもエクセルギーを用いて評価することで、負荷の質と量に見合ったエネルギー供給がなされているかの判断に繋がることになる。

システムの経済性やコストを評価する際、エネルギーの質を加味したエクセルギーをベースとすることで、より適切な評価に繋がり、問題点の抽出も容易となることから、エネルギー変換システムや化学プラントなどにおいては、「Exergoeconomics(エクセルギー経済評価)」手法が利用され始めているが、建築分野における利用は少なく、住宅の評価に適用した事例はまだない。そこで、本論文では、住宅のエクセルギー経済評価を行うため、暖冷房・給湯・厨房・照明・家電機器等の各

エクセルギー負荷を算出する方法を導いた。さらに、各エクセルギー負荷を前提としたエネルギーコスト「エクセルギー負荷単価」を定義し、質を加味したエネルギーコスト評価を可能にした。新たに導いたエクセルギー経済評価指標を用いて、ガス温水暖房システム、空気熱源ヒートポンプ冷暖房システム、地盤熱源ヒートポンプ暖房システム、ガス給湯器、ヒートポンプ給湯器、ガスレンジ、IH クッキングヒーター、エンジンコージェネレーションシステム、燃料電池コージェネレーションシステム、太陽光発電システムの各用途設備単体による「一次エクセルギー効率」と「エクセルギー負荷単価」評価を行った。また、これら設備を組み合わせた住宅としての評価も行った。その結果、まず一つ目として、寒冷地である北海道でも住宅の全エクセルギー負荷に占める暖房エクセルギー負荷の割合は小さく、その小さな負荷に対して多くの一次エネルギーが投入されていることが明らかとなった。また、燃料電池コージェネレーションシステムは総合エネルギー効率ではエンジンコージェネレーションシステムとの違いがなく、また初期コストも高価であると考えられているが、エクセルギー経済評価では燃料電池システムの優位性が明確に表れた。同じエネルギー源から、質の高い電気に効率良く変換できるためである。さらに、太陽光発電は、イニシャルコストが高く経済的に不利という印象もあるが、イニシャルコストを含めたエクセルギー負荷単価による評価では、他の発電機器を上回る経済価値を有することが明らかとなった。

以上のような基礎的検討結果を踏まえ、従前のゼロ・エネルギー仕様住宅を地域ごとに見直し、新たな仕様を作成した。作成した住宅仕様をもとに試算した結果、いずれの地域においても二次エネルギー収支ゼロを達成し、ライフサイクルエネルギー収支も一定の期間でゼロとなることが明らかとなった。さらに、エクセルギー経済評価でもすべての地域で改善効果を確認できた。国内で建設される住宅の一定割合がゼロ・エネルギー仕様となった場合のマクロ評価を行った結果、今後建設されるすべての住宅をゼロ・エネルギー仕様住宅とすれば、2050年までに、住宅部門のエネルギー収支をゼロとすることも可能であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長 野 克 則
副 査 教 授 横 山 眞太郎
副 査 教 授 繪 内 正 道
副 査 准教授 濱 田 靖 弘

学 位 論 文 題 名

屋根全面太陽光発電システムを設けた ゼロ・エネルギー仕様住宅のエクセルギー経済評価

本論文は、多くの建築実績のあるゼロ・エネルギー仕様住宅の環境性、経済性を評価すると共に、実態調査結果も踏まえた改良仕様を提示することを目的とした。その際、これまでのエネルギー効率評価、環境影響評価に加え、「エクセルギー経済評価」を新たに導入し、エネルギーの質を加味した量的評価を行うことで、より適切な評価に繋げることができた。

本論文のゼロ・エネルギー仕様住宅は、断熱・気密性能を高め、冬期の日射取得性と夏期の日射遮蔽性を両立した上で、効率の高い暖房、冷房、給湯、厨房、照明設備を使用することで、年間のエネルギー消費量を極力抑える仕様となっており、それでも必要となるエネルギーについては屋根全面に設けた太陽光発電システムで供給し、年間の発電と消費の収支をゼロとすることを意図して設計された住宅である。

ゼロ・エネルギー仕様住宅を評価するため、はじめに、(一次・二次)エネルギー収支、ライフサイクルエネルギー収支、CO₂ 排出収支、エネルギーコスト収支に関する評価を行った。地域による差はあるものの、いずれの指標においても一般的な住宅仕様と比べて大幅な改善効果があることが明らかとなった。また、実際に建設した複数のゼロ・エネルギー仕様住宅を調査した結果からも、エネルギー収支ゼロ、エネルギーコスト収支ゼロとなることが確認された。

一方で、より良い仕様を追及する上で、どの用途あるいは設備を優先的に改善してゆくべきかの判断が不明瞭になることも明らかとなった。用途が異なれば必要とされるエネルギーの「質」も異なるにも関わらず、「量」による評価に留まっていたからである。エネルギーの「質」を含めた量的評価を可能にする考え方として、「エクセルギー」がある。エクセルギーは、ある形態のエネルギーから他の任意のエネルギー形態へと変換し得る部分を表わし、有効エネルギーとも呼ばれる。エネルギーは本来保存されるものであり、消費されるのはエネルギーに含まれるエクセルギーであ

る。エクセルギーは、いわばエネルギーに含まれる価値ある部分であることから、各用途負荷をエクセルギーで比較評価することで質・量を加味した負荷評価に繋がる。また、各用途に対して供給される一次エネルギーもエクセルギーを用いて評価することで、負荷の質と量に見合ったエネルギー供給がなされているかの判断に繋がることになる。

システムの経済性やコストを評価する際、エネルギーの質を加味したエクセルギーをベースとすることで、より適切な評価に繋がり、問題点の抽出も容易となることから、エネルギー変換システムや化学プラントなどにおいては、「Exergoeconomics(エクセルギー経済評価)」手法が利用され始めているが、建築分野における利用は少なく、住宅の評価に適用した事例はまだない。そこで、本論文では、住宅のエクセルギー経済評価を行うため、暖冷房・給湯・厨房・照明・家電機器等の各エクセルギー負荷を算出する方法を導いた。さらに、各エクセルギー負荷を前提としたエネルギーコスト「エクセルギー負荷単価」を定義し、質を加味したエネルギーコスト評価を可能にした。新たに導いたエクセルギー経済評価指標を用いて、ガス温水暖房システム、空気熱源ヒートポンプ冷暖房システム、地盤熱源ヒートポンプ暖房システム、ガス給湯器、ヒートポンプ給湯器、ガスレンジ、IH クッキングヒーター、エンジンコージェネレーションシステム、燃料電池コージェネレーションシステム、太陽光発電システムの各用途設備単体による「一次エクセルギー効率」と「エクセルギー負荷単価」評価を行った。また、これら設備を組み合わせた住宅としての評価も行った。その結果、まず一つ目として、寒冷地である北海道でも住宅の全エクセルギー負荷に占める暖房エクセルギー負荷の割合は小さく、その小さな負荷に対して多くの一次エネルギーが投入されていることが明らかとなった。また、燃料電池コージェネレーションシステムは総合エネルギー効率ではエンジンコージェネレーションシステムとの違いがなく、また初期コストも高価であると考えられているが、エクセルギー経済評価では燃料電池システムの優位性が明確に表れた。同じエネルギー源から、質の高い電気に効率良く変換できるためである。さらに、太陽光発電は、イニシャルコストが高く経済的に不利という印象もあるが、イニシャルコストを含めたエクセルギー負荷単価による評価では、他の発電機器を上回る経済価値を有することが明らかとなった。

以上のような基礎的検討結果を踏まえ、従前のゼロ・エネルギー仕様住宅を地域ごとに見直し、新たなゼロ・エネルギー住宅の仕様を作成した。この住宅仕様をもとに試算した結果、いずれの地域においても二次エネルギー収支ゼロを達成し、ライフサイクルエネルギー収支も一定の期間でゼロとなることが明らかとなった。さらに、エクセルギー経済評価でもすべての地域で改善効果を確認できた。国内で建設される住宅の一定割合がゼロ・エネルギー仕様となった場合のマクロ評価を行った結果、今後建設されるすべての住宅をゼロ・エネルギー仕様住宅とすれば、2050年までに、住宅部門のエネルギー収支をゼロとすることも可能であることを明らかにした。これは、住宅をはじめ、建設に関わるすべての環境工学および空間性能工学の進展に寄与するところ、大である。

よって、筆者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。