

## 北海道とフィンランドにおける戸建住宅の LCCO<sub>2</sub> の比較 Comparison of LCCO<sub>2</sub> on detached houses between Hokkaido and Finland

学生会員 ○大井 まりな (北海道大学) 正会員 森 太郎 (北海道大学)  
正会員 羽山 広文 (北海道大学)

Marina OI\*<sup>1</sup> Taro MORI\*<sup>1</sup> Hirohumi HAYAMA\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Hokkaido University

Recently in Japan, energy-saving houses have been built. However, that impact on the environment throughout life cycle of building has not evaluated. Therefore, this study evaluated the life cycle carbon dioxide (LCCO<sub>2</sub>) of detached houses in Hokkaido and Finland and compared it. In this result, LCCO<sub>2</sub> in Hokkaido was larger than Finland and the amount of CO<sub>2</sub> emission at material production and operation stage was the largest in the life cycle. Therefore, in order to reduce LCCO<sub>2</sub>, we should reduce CO<sub>2</sub> emission at materials production and operation stage and use renewable energy and plant-based materials at these stages.

### 1. はじめに

近年、地球温暖化対策のため建築分野でも省エネルギー化が推進され、パッシブ技術や再生可能エネルギーを積極的に利用し、ZEH を目指す試みが行われている。一方で、再生可能エネルギーの利用が難しい寒冷地ではゼロエナジーではなくヨーロッパを中心にカーボンニュートラルを目指す試みもある。しかし、建物のライフサイクルを通じて二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）等の温室効果ガスの排出量を計算した事例は少ないため、省エネルギー化対策による効果を視覚化できているか疑問である。よって本研究では、北海道にある戸建住宅の資材製造から廃棄までのライフサイクル二酸化炭素（以下、LCCO<sub>2</sub>）を評価した。そして、寒冷地であり豊富な森林資源を持つという共通点を持ち、建築物のゼロエミッション化が推進されたフィンランドの事例と比較することで、北海道においてカーボンニュートラルな建築物を実現する方法を模索した。

### 2. 計算方法

本研究では、評価期間を 60 年としてライフサイクルを資材製造・修繕・運用・廃棄の 4 つの段階に分け、段階ごとの資材やエネルギーの発生量を用いて CO<sub>2</sub> 排出量を算出し、それらの和を LCCO<sub>2</sub> とし評価した。なお、運搬や改築、建設の段階の計算は北海道の事例において正確なデータが得られず、フィンランドの事例の結果から全体の影響は小さいと判断したため本研究では除外した。

各段階の CO<sub>2</sub> 排出量の計算方法は、北海道の事例においては ISO 規格に基づいて作成された LCA 計算ツールの MiLCA を用いて図 1 のように入力し算出した。MiLCA

では対象物の質量や体積、値段等を入力することで CO<sub>2</sub> 排出量を算出できる。そのため、資材製造段階では見積書に記載された資材の数量を必要に応じて質量や体積に変換し、それらの値を MiLCA に入力し CO<sub>2</sub> 排出量を計算した。修繕段階では外壁塗装や窓、屋根を修繕対象とし計算した。運用段階では月別の電力消費量の平均値より 1 年の電力量、外皮平均貫流率等より年間暖房エネルギーを計算し、それぞれの値の 60 年分を MiLCA に入力した。廃棄段階では、全て産業廃棄物として処分する場合と木材を再資源化する場合に分け、それらの数量を MiLCA に入力した。ただし、資材の原材料を製造工場へ輸送するためのエネルギーや建設や解体工事にて機械を使用するためのエネルギー、廃棄処分以外の段階で発生した廃棄物処を処理するためのエネルギーは、正確なデータが得られず全体への影響も小さいため計算から除外した。また、見積書に具体的な数値が記載されていなかった資材は資材製造段階の計算から除外した。

フィンランドの事例に関しては、カーボンニュートラルを目指したバーチャルな戸建住宅であり、EN 規格に基づいたデータベースを用いて共同研究者によって計算された値を用いた。また、対象としたライフサイクルの段階の分け方は北海道の事例に合わせた。

### 3. 評価について

#### 3.1 概要

表 1 は本研究で解析対象とした北海道とフィンランドの戸建住宅の基本情報である。すべての事例は 4 人が住むことを想定した住宅である。また、北海道の事例は日

本の省エネ基準を満たした実際に建設された木造軸組工法の住宅であり、フィンランドの事例は現地の一般的な材料を用いたが、カーボンニュートラルを目指し再生可能エネルギーを積極的に利用し（Finland-A, B）、ログ（Finland-A）や CLT（Finland-B）を構造材として使用したバーチャルな建物である。

表2は運用段階の使用エネルギー源と廃棄方法に関するパラメータである。Hokkaido-A,B(1)(2)(3)のエネルギー源はプロパンガスであり、廃棄方法は(1)が全ての資材を産業廃棄物、(2)が木材を木質チップにリサイクルしその他の資材は産業廃棄物、(3)が木材をリユースしその他の資材は産業廃棄物として処理した。また、Hokkaido-A,B(4)のエネルギー源は木質チップやPVであり、廃棄段階において木材をリユースした。一方、Finland-A,B(1)(2)のエネルギー源はPVや風力発電であり、廃棄方法は(1)が木材を木質チップにリサイクルしその他の資材は産業廃棄物、(2)が木材をリユースしその他の資材は産業廃棄物として処理した。

### 3.2 LCCO<sub>2</sub> 評価結果

図2はLCCO<sub>2</sub>評価結果である。Hokkaido-A,B(1)(2)(3)(4)とFinland-A,B(1)(2)を比較すると、北海道のLCCO<sub>2</sub>はフィンランドに比べ非常に大きく、運用段階にて再生可能エネルギーを使用した場合もフィンランドの2倍以上であった。次に、Hokkaido-A,B(1)(2)(3)とHokkaido-A,B(4)を比較すると、運用時にプロパンガスを使用した場合はどのような廃棄方法でもLCCO<sub>2</sub>がほぼ変化しなかったが、運用時に再生可能エネルギーを使用した場合はプロパンガスを使用した場合と比べLCCO<sub>2</sub>が非常に少なくなった。また、Hokkaido-A,B(4)とFinland-A,B(2)を比較すると、運用段階にて再生可能エネルギーを使用し廃棄段階にて木材を木質チップ化した点で同じであるが、北海

道のLCCO<sub>2</sub>はプラス値であったが、フィンランドはマイナス値であった。さらに、フィンランドの事例のみで比較すると、木材をリユースした場合のLCCO<sub>2</sub>が木質チップ化した場合より少なかった。

図3はライフサイクル各段階のCO<sub>2</sub>排出量を計算した結果である。Hokkaido-A,B(1)(2)(3)(4)とFinland-A,B(1)(2)を比較すると、北海道において資材製造段階のCO<sub>2</sub>排出量はプラス値であったが、フィンランドはマイナス値で

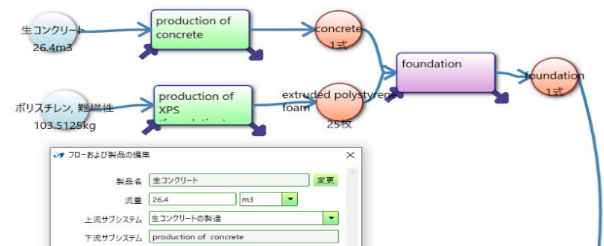


図-1 MiLCAの入力画面

表-2 解析ケース

| Case           | Energy      | Disposal method  |
|----------------|-------------|------------------|
| Hokkaido-A (1) | Propane gas | Industrial waste |
| Hokkaido-A (2) | Propane gas | Wooden chips     |
| Hokkaido-A (3) | Propane gas | Reuse lumber     |
| Hokkaido-A (4) | Chips,PV    | Reuse lumber     |
| Hokkaido-B (1) | Propane gas | Industrial waste |
| Hokkaido-B (2) | Propane gas | Wooden chips     |
| Hokkaido-B (3) | Propane gas | Reuse lumber     |
| Hokkaido-B (4) | Chips,PV    | Reuse lumber     |
| Finland-A (1)  | PV,Wind     | Wooden chips     |
| Finland-A (2)  | PV,Wind     | Reuse lumber     |
| Finland-B (1)  | PV,Wind     | Wooden chips     |
| Finland-B (2)  | PV,Wind     | Reuse lumber     |

表-1 対象建築物の基本情報

|                               | Hokkaido-A               | Hokkaido-B             | Finland-A                      | Finland-B                   |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Floor area[m <sup>2</sup> ]   | 108.04                   | 86.13                  | 120                            | 120                         |
| Number of floors              | 1                        | 2                      | 1                              | 1                           |
| U-value[W/(m <sup>2</sup> K)] | 0.24                     | 0.21                   | Wall 0.48/Roof 0.088           | Wall 0.017/Roof 0.092       |
| Energy                        | Propane gas              | Propane gas            | Solar, Wind                    | Solar, Wind                 |
| Ventilation                   | Mechanical ventilation   | Mechanical ventilation | Natural ventilation            | Mechanical ventilation      |
| Structure                     | Lumber                   | Lumber                 | Log                            | CLT                         |
| Roof top                      | Galvalume                | Galvalume              | Clay bricks                    | Clay bricks                 |
| Interior wall surface         | Plastic sheet<br>Plaster | Plastic sheet          | Clay plaster<br>Log            | Cement based plaster<br>CLT |
| Facade                        | Wooden cladding          | Wooden cladding        | Clay bricks<br>Wooden cladding | Wooden cladding             |
| Insulation                    | Glass wool               | Glass wool             | Common reed                    | Cellulose                   |

あった。また、北海道において運用段階のCO<sub>2</sub>排出量はフィンランドに比べ非常に大きな割合を占めた。つまり、北海道の事例においてLCCO<sub>2</sub>を削減するためには資材製造段階と運用段階のCO<sub>2</sub>排出量を削減する必要があるといえる。

次に、Hokkaido-A,B(1)(2)(3)とHokkaido-A,B(4)を比較すると運用時に再生可能エネルギーを使用した場合はプロパンガスを使用した場合と比べ運用段階のCO<sub>2</sub>排出量が大幅に減少した。つまり、北海道の事例においてLCCO<sub>2</sub>を削減するためには再生可能エネルギーを積極的に使用すべきといえる。

さらに、Hokkaido-A,B(4)とFinland-A,B(2)を比較すると、どちらも再生可能エネルギーを使用した。北海道の運用段階のCO<sub>2</sub>排出量はフィンランドより多くなった。この違いは、北海道の事例では木質チップと太陽光パネルと使用し、フィンランドの事例では太陽光パネルや風力、地熱等を使用しており、種類やエネルギー効率等が異なることから生じたといえる。また、廃棄方法はどちらも木材リユースであるが、廃棄段階のCO<sub>2</sub>排出量の割合が小さいため、LCCO<sub>2</sub>を削減するためには木材リユースによる効果は小さいといえる。つまり、再生可能エネルギーを使用する場合はその種類や効率を考慮すべきであり、木材リユースによってCO<sub>2</sub>排出量を削減できるが、ライフサイクル全体への影響は小さいといえる。

最後に、フィンランドの事例における廃棄段階のCO<sub>2</sub>排出量は北海道より大きくなるが、資材製造段階のCO<sub>2</sub>排出量がマイナス値であるため、北海道の事例に比べてLCCO<sub>2</sub>は小さくなった。つまり、廃棄方法よりも資材製造段階におけるCO<sub>2</sub>排出量を削減することがLCCO<sub>2</sub>を削減するためには効果的であり、CO<sub>2</sub>排出量がマイナス値を取るような資材を選択すべきといえる。

### 3.3 資材製造段階における検討

図4は北海道とフィンランドの事例で使用された主な資材の質量である。北海道の事例における木材の質量はフィンランドのおよそ半分であるが、コンクリートが約65倍、石膏ボードが約10倍である。つまり、北海道の事例における木材の使用量は資材全体に対して非常に少ない。また、図5は北海道とフィンランドの事例で使用された資材の原料を化石由来か植物由来かで分けた質量である。北海道の事例では化石由来の資材の割合が大きいことに対し、フィンランドの事例では植物由来の資材の割合が大きい。つまり、図4と図5より北海道の事例では木材等の植物由来の原料によって製造された資材が少なく化石由来の資材の割合が高いといえる。また、カーボンニュートラルの考えにより北海道の事例における資材製造段階のCO<sub>2</sub>排出量はプラス値になり、フィンランドの事例よりも多くなったといえる。よって、北海道

の事例においてLCCO<sub>2</sub>を削減するためには木材の使用量を増やすことに加え、他の資材も植物由来の原料で製造するべきである。

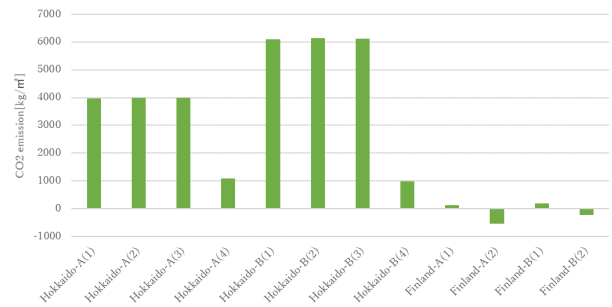


図-2 LCCO<sub>2</sub>評価結果

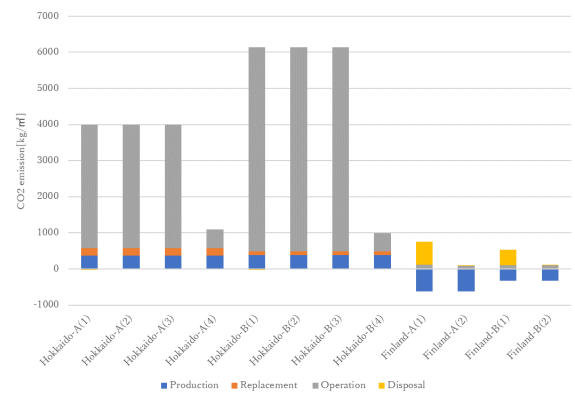


図-3 LCCO<sub>2</sub>評価結果の内訳

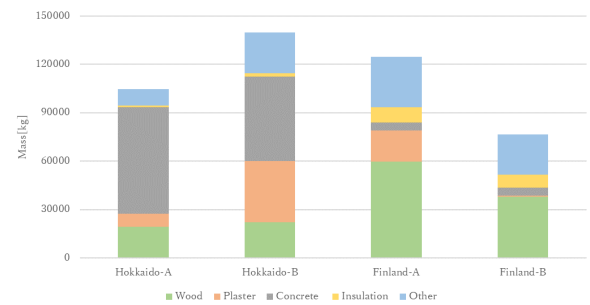


図-4 主な資材の質量

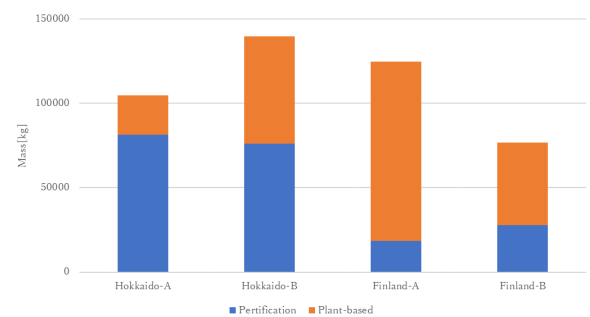


図-5 化石由来と植物由来の資材の質量

### 3.4 運用段階における検討

図6はフィンランドの共同研究者によって計算された場合とMiLCAによって計算された場合のフィンランドの事例におけるLCCO<sub>2</sub>評価結果である。また、図7はフィンランドの事例で使用された資材のCO<sub>2</sub>排出量をMiLCAによって計算した結果である。MiLCAは日本の統計等から作成されたデータベースを用いて計算するため、図6のFinland-A(MiLCA)とFinland-B(MiLCA)と図7の結果はフィンランドの事例の資材を日本で製造した場合の結果といえる。図6よりフィンランドで資材を製造する場合はLCCO<sub>2</sub>がマイナス値になるが、同じ資材を日本で製造した場合はプラス値になった。また、図7より日本でログやCLT等の植物由来の原料で製造した資材のCO<sub>2</sub>排出量はプラス値になった。したがって、日本で資材を製造した場合、植物由来の原料を使用したとしてもCO<sub>2</sub>排出量はフィンランドの事例のようにマイナス値にならず、化石由来の資材よりも植物由来の資材を多く使用したとしても資材製造段階におけるCO<sub>2</sub>排出量をマイナス値にすることは難しいといえる。これは、日本では資材を製造するときには化石燃料を用いているため、木材の乾燥等に使用したエネルギーによってCO<sub>2</sub>排出量が増加したと考えられる。よって、北海道の事例においてLCCO<sub>2</sub>を削減するためには資材製造段階にて植物由来の原料を積極的に使用することに加え、製造時に必要なエネルギーを化石燃料によるものからエネルギー効率を考慮しつつ太陽光や風力等の再生可能エネルギーに置き換えるべきである。

## 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 北海道の事例におけるLCCO<sub>2</sub>はフィンランドの事例に比べ多くなった。
- 2) 北海道の事例においてLCCO<sub>2</sub>の削減にはライフサイクルの中で特に資材製造段階と運用段階のCO<sub>2</sub>排出量を減らすべきであった。
- 3) 北海道の事例では同じく木造住宅であるフィンランドの事例に比べ木材等の植物由来の原料で作られた資材が少なかったため、カーボンニュートラルの考え方により資材製造段階のCO<sub>2</sub>排出量が多くなった。
- 4) 再生可能エネルギーを運用段階で使用することはLCCO<sub>2</sub>の削減に効果的であった。
- 5) 北海道の事例において資材製造段階で植物由来の原料を使用することだけではフィンランドの事例のようにCO<sub>2</sub>排出量をマイナス値にすることができず、製造するときに必要なエネルギー源を再生可能エネルギーに替えるべきであった。

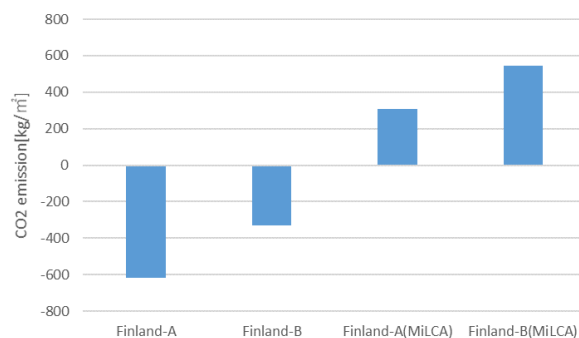


図6 MiLCAによるフィンランドの事例のLCCO<sub>2</sub>評価結果

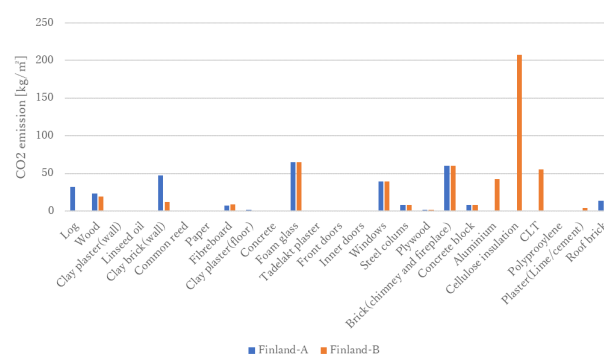


図7 MiLCAによるフィンランドの使用資材のCO<sub>2</sub>排出量

### 参考文献

- 1) 産業環境管理協会：LCA システム MiLCA ver. 2.0、MiLCA ガイドブック
- 2) 産業技術総合研究所、産業環境管理協会：LCI データベース IDEAv. 1.1、MiLCA ガイドブック
- 3) VTT：Ecolnvet 3.2 database、2019年
- 4) 日本建築学会：建築物のLCA指針、2013年