

建築分野におけるライフサイクルアセスメント (LCA) による環境負荷低減

小林 謙介 (広島県立大学 生物資源科学部 生命環境学科 環境科学コース 准教授)

※本稿は令和5年度第1回交流セミナー (2023年6月22日開催) の講演内容を元に構成されています。

0. はじめに

本日は主に4つの内容をお話させていただこうと考えております。1つめは「LCAの必要性」ということで、なぜLCAが必要になるのかという話です。2つめはLCAを使ったCO₂排出量の数値計算の基本的な評価方法です。3つめは建築分野を中心とした国内外の動向についての簡単なご紹介です。4つめは私が関わっている内容で、建築物の評価事例として“具体的にこんなことを検討し、このように環境負荷削減をした事例がある”というご紹介です。

1. LCAの必要性

2020年に当時の菅内閣の総理大臣による所信表明演説において、「グリーン社会の実現」の中に、「我が国は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル社会の実現を目指す」ことが宣言されました。このことと世界の動きも相まって、この頃から急速に社会的な関心が高まるようになったという印象を受けています。そうした中で、脱炭素とかカーボンニュートラルをはじめとして環境負荷削減ということが叫ばれるようになってきていますが、本質的な意味での環境負荷削減とは何かということを常に疑問に思いながら様々な活動をしています。

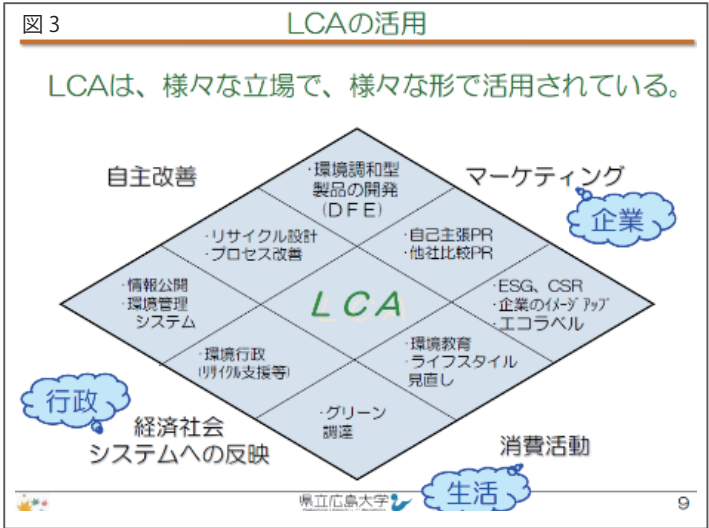
LCAは一体どういうものなのかということを見ていきたいと思います。ここでは冷蔵庫の例を示します。普段私たちは自宅で冷蔵庫を使いますが、CO₂削減や省エネ対策を考えると、開け閉めの回数

をできるだけ少なくするとか設定温度を必要以上に下げすぎないといったことを行うと思います。ところが、その部分だけを見ていいのでしょうか。例えば、冷蔵庫を作る時や廃棄する時の環境負荷はどうかという点があります。資源の採掘から素材や製品の製造、組み立て、廃棄に至る物やサービスの一生がライフサイクルになります。これらを考えることをライフサイクル思考、ライフサイクルシンキングと呼んでいます。この時、環境から採取した資源の量や環境へ排出した物質量を定量する方法のことをライフサイクルアセスメント、略してLCAと言っています。このLCAを用いて様々な環境負荷を定量、数値化すると、どのようなことがわかるのかということをご紹介していきたいと思います。ここでは一つの検討事例としてアルミサッシ1kgの例を紹介します (図1)。

このLCAという方法には、ざっくり捉えるために様々な環境影響を被害額といった形で合算するような方法があります。いろいろな環境影響があり、それによって生じる被害額といったものを算定していくと、1つの指標で全体として環境影響がどれぐらい出るのかということを評価することができます。この事例の場合、全体の中で圧倒的に影響が大きいのは地球温暖化だということが分かります。そうするとまずやらなければならないことは地球温暖化に対する環境負荷を削減することになります。そして地球温暖化が何によって影響しているのかというのを見ていくと、この事例の場合はCO₂の影響が圧倒的に大きいといったことがわかってきますので、このアルミサッシを作る過程のCO₂排出量がどこで発生しているのかということを落とし込んでいくことでその削減策が見えてくる、そういったことができるといったことになります。

例えば、住宅を一件建てる時のCO₂排出量を算定する場合に、どのように計算するかというと、この住宅に使う原材料、コンクリートや鉄、木材等をそれぞれ17トン使うとか2トン使うといった情報を集めます。集めた材料の使用量に、例えばコンクリートなら0.2ton-CO₂/tonという係数をかけます。この係数を掛け合わせることでコンクリート17トンを作るのに3.4トンのCO₂が出るとい

う計算ができます。この0.2ton-CO₂/tonという係数ですが、1トンのコンクリートを作るのに0.2トンのCO₂が排出されるといった係数化されたものがあります。これを原単位あるいはバックグラウンドデータと言っています。これは材料毎にデータがあり、コンクリートは0.2、鉄は1.4、木材は0.3といったデータがあります。したがって、それぞれの材料使用料原単位を掛けることによってそれぞれのCO₂排出量を算定していくということになります。このCO₂だけではなく様々な環境負荷物質についての原単位が整備されています。ここで掛け算を使い、あとは出てきたものを足し算すると住宅1戸あたりのCO₂排出量が出てくる、簡単に言うとそんな仕組みになっています (図2)。



このLCAは、今日様々な社会の中で使われるようになっていきます。企業の中でもいわゆる環境配慮型の製品の開発—Design For Environment (DFE)—を実施する、あるいは最近は投資家の目が非常に環境面で配慮をするようになってきており、ESG投資に対応するために行っている等、そういった側面もあるのではないかと思います (図3)。こうした様々な視点でいろいろなことが行われるようになってきており、それを進めていく過程でLCAが非常に注目を集めていると理解しています。中でも社会的な関心が高いところをいくつか紹介させていただきます。1つ目は「組織のフットプリント」というところで非常に注目が高い。おそらくScope3という言葉はお聞きになられたことがあ

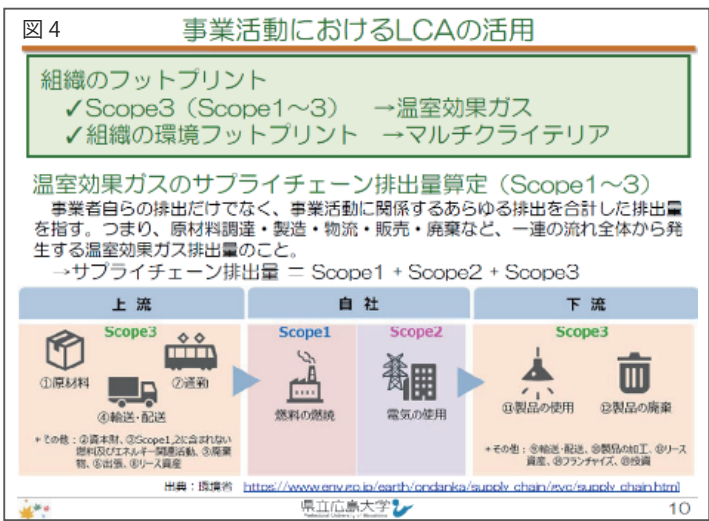
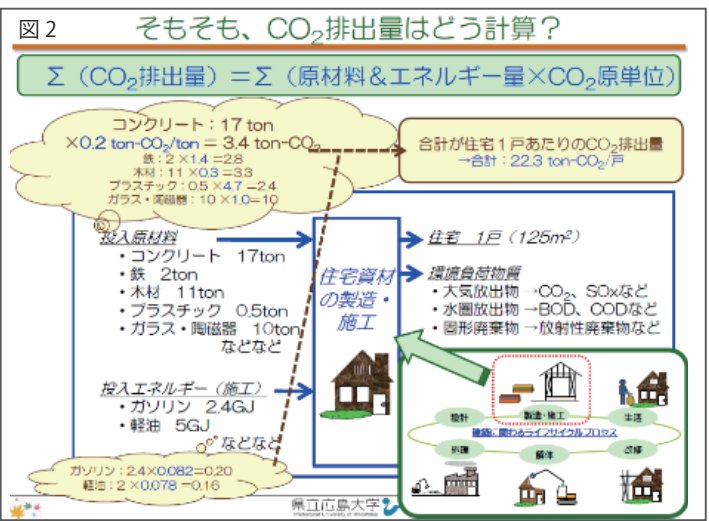
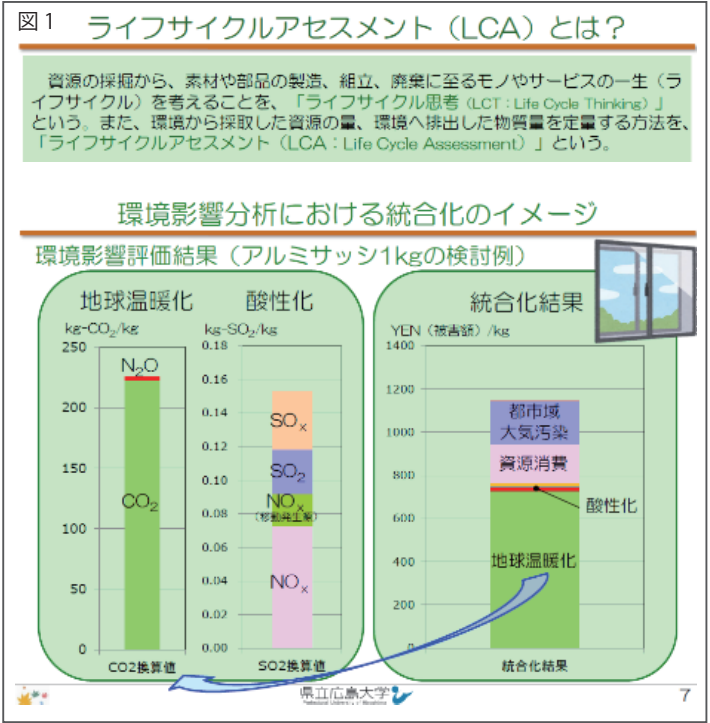
るのではないかなと思います。これは会社の活動全体の環境影響を評価しようということで、このうち温室効果ガスを対象としているものがScope3です。温室効果ガスだけではなく様々な環境影響を評価していこうということをして「組織の環境フットプリント」という言い方をしています。もともとはScope1とScope2とScope3というものがあるということです。

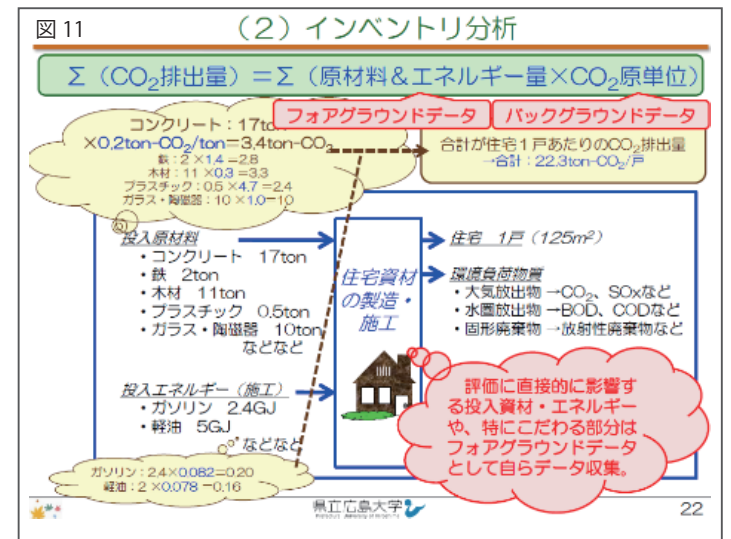
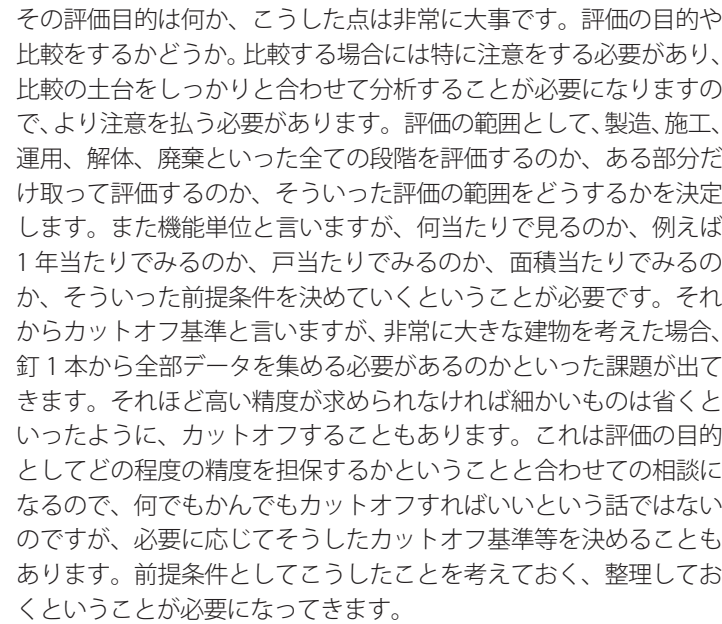
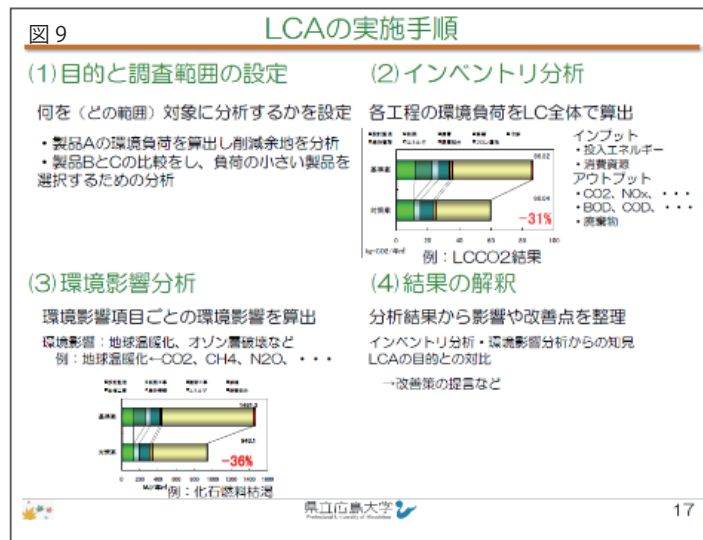
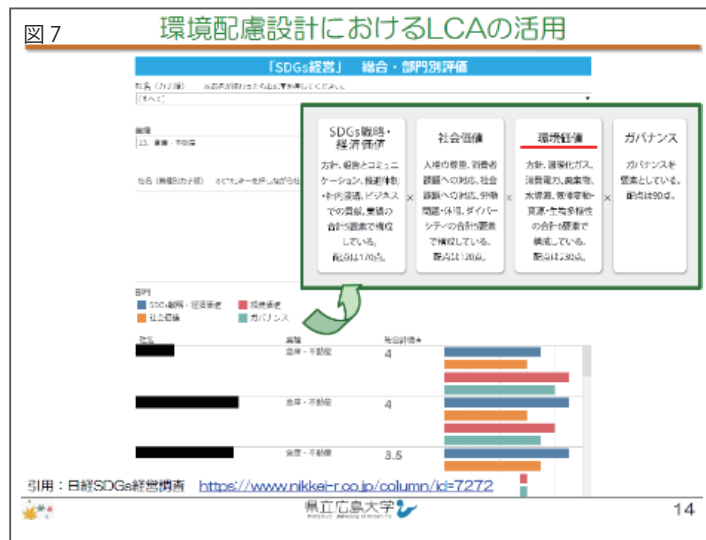
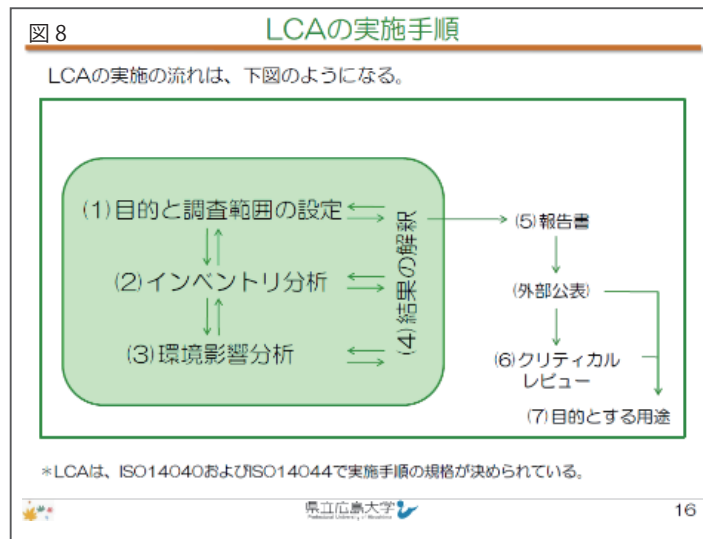
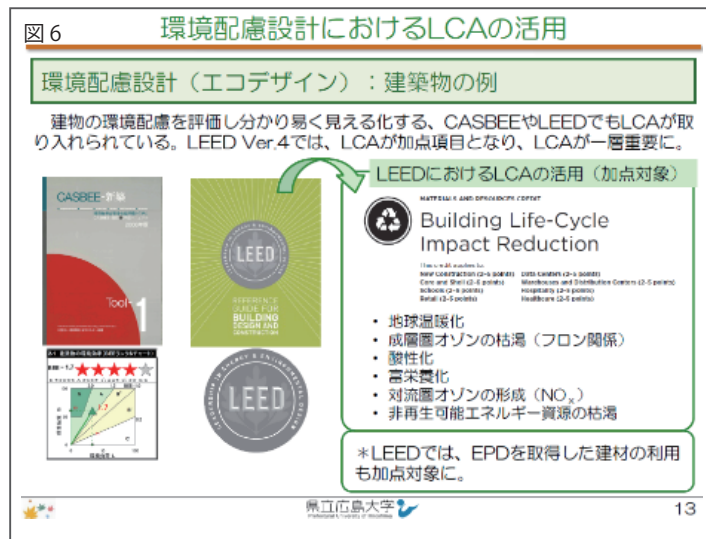
Scope1は自社の工場等で使う燃料の燃焼によって出てくるCO₂排出量、温室効果ガス排出量をカウントするということです。Scope2は電気の使用によるものです。実際には発電所でCO₂が出てるわけですが、それを使ってるのはそれぞれの事業者ということで、電気を使ってる分のCO₂はその会社で排出したとカウントしようということです。Scope3はそれだけではなく、サプライチェーンの上流側と下流側も含めてきちんと評価しようということです。こうした評価の考え方は、まさにLCAの考え方を利用しているということになるかと思います (図4)。



もう1つ注目を浴びているのは「環境ラベル (EPD:環境製品宣言)」と言われているものです。このうち温室効果ガスを対象としているものにカーボンフットプリントがあります。また、温室効果ガスだけではなく様々な環境影響を評価しているものにマルチクライテリアといいます。それを評価しているものを環境フットプリントと言っています。日本の国内では、カーボンフットプリントはエコリーフという名前で行われており、ご覧になった方もいらっしゃるんじゃないかと思います。建築業界では環境ラベルを取得されている例としては、ゼネコンとしては安藤・間組が非常に積極的に様々な活動をされていると思います。住宅等々を取り扱われる事業者としては大東建託等の取得事例があります (図5)。

建築物だけではなく建築材料の取得事例もあります。私が関わらせていただいた事例では、広島県内で中本造林という外壁材を作っている会社があります。外壁材の環境ラベルを取得したいということで関わらせていただいた事例です。こういった形で建築物あるいは建築材料の取得件数も増えてきていると理解しております。CASBEEの中でもLCAの簡易的な評価が取り入れられておりますし、LEEDではバージョン4からはLCAを行うと加点対象になる等、ある一定の条件をクリアすると加点の対象になるといった仕組みになっています。LEEDで評価をするにあたっては、先ほど紹介したEPDを取得した建材を利用すると加点対象になります。海外ではLEEDを取得するためにEPDを取得した材料を使いたいというニーズが一定程度あるそうで、海外のバイヤーにEPDを取得した材料を輸出してくれという依頼があり、それで取得したという経緯があります。そうしたこともあり、いろいろなところでLCAを活用する場面が増えてきていると実感をしているところです (図6)。





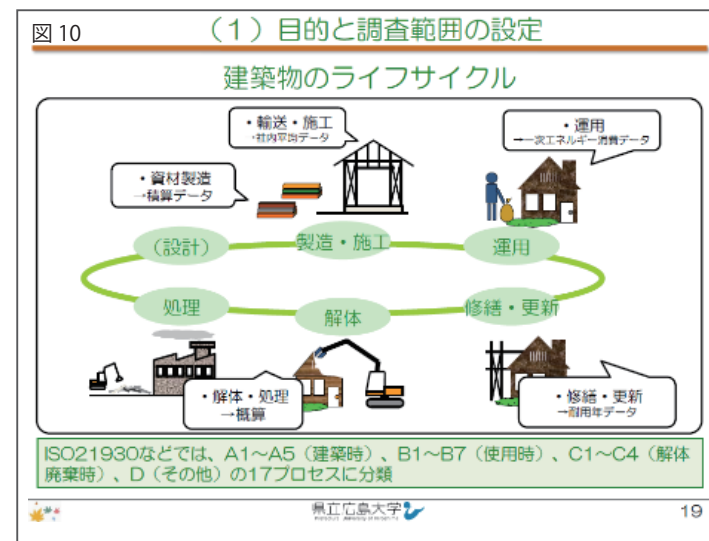
それだけではなく ESG や SDGs、CSR といった話の中で 投資家の目線でも非常に高い関心があります。ESG の例ですと、社会価値、環境価値、ガバナンスという 3 本の軸でリスクが低い会社に投資するといった形になっており、例えばこういう環境面の配点が比較的高いことも多いと思っています。そういう格付け会社もあり、格付けによってランキングが高い会社に投資の資金が回るといった状況になっています。企業側も非常に注視をして、このポイントを上げようということで、いろいろな活動をされているという事例もあると考えています (図 7)。

2. LCA の評価方法

続いて LCA に関する基本的な評価方法についてご紹介します。LCA の実施手順は大きく分けて 7 つの段階があります。1 番目が目的と調査範囲の設定、2 番目がインベントリ分析、3 番目が環境影響分析、4 番目が結果の解釈です。5 番目が報告書の作成、6 番目が必要に応じたクリティカルレビュー、7 番目が最終的に目的とする用途です (図 7)。

評価してその結果を解釈するという実際に LCA を行うのは、このうちの 1 番目から 4 番目の 4 つになります。一連の評価作業が終わった後、5 番目の報告書は実施した内容を取りまとめるということです。必要な場合には、第三者の方にチェックをしてもらいますが、これをクリティカルレビューと言っております。この 1 番目から 4 番目の中身について詳しくご紹介します。なお、この手順は ISO 14040 とか 14044 に実施手順等の規格が決められております。

1 目が目的と調査範囲の設定ということで、ここでは何を、どの範囲を対象に分析するのかということを考える、つまり前提条件を整理するということになります。具体的には、例えば製品Aの環境負荷を算出して削減予知を分析するとか、あるいは製品BとCの比較をして負荷の小さい製品の選択するための分析をする等、その人その人によって目的が全く異なるので、その前提条件を初めに整理しておくということが非常に重要になってくると思います。2 目にインベントリ分析を行います。この作業が先ほどご紹介した投入資材料を集めてきて原単位を掛けてCO₂排出量を計算するというプロセスになります。CO₂排出量の計算というのは、このインベントリ分析という段階で行います。3 番目に環境影響分析を行います。これはインベントリ分析で出てきた結果を踏まえ、例えば温暖化で見た時にどういった影響があるのか、温暖化というのはCO₂やメタン、酸化窒素等様々な環境負荷物質によって生じると言われておりますので、こうしたものをまとめた時にどうなるのか、ということを見ていくということになります。最後に結果の解釈をしていくという、そんな手順で計算作業を行っていくということになります（図9）。ここからは、この概要を踏まえ建築物を評価するときに具体的にどうやってやっていくのかということを見ていきます。1 番目として、目的と調査範囲の設定です。ここでは、日本建築学会 LCA 委員会から出しております「建築物の LC A 実施における評価の目安」をベースにして記述しています。建築物を評価する時に、まず前提条件を決めていく必要があります。建物概要として建物名称、建物の構造、延床面積、建物の機能等の建物概要を整理しておくということが必要になります。そして誰が評価するのか、いつ評価するのか、

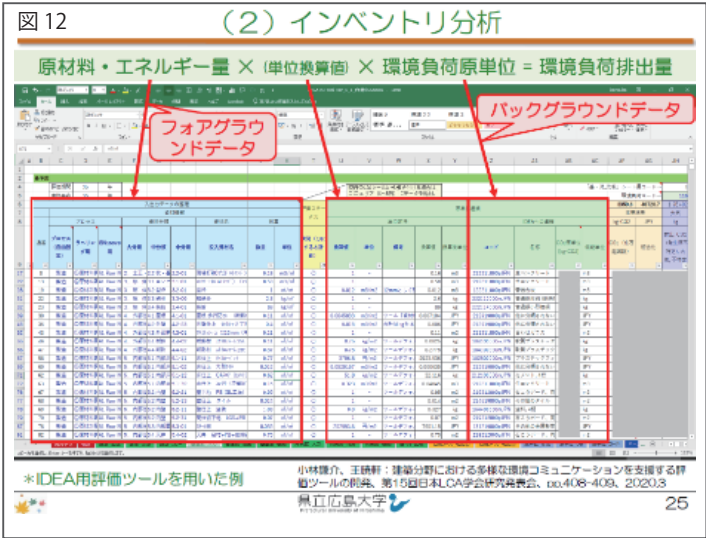


次に、2 番目のインベントリ分析のやり方を紹介します。そもそもインベントリ分析とは何かということですが、例えば当該住宅を建てる時にどれぐらいの資材が種類ごとにどれぐらい投入されているのか、それを作ることによって CO₂ や SO_x、BOD、COD がどれぐらい出てくるのか、その一覧表、目録を作るという意味から、インベントリ分析という名前がついています。入力データあるいは出力データを整理することにより、投入資材料を調査し原単位を掛け合わせて CO₂ 等の環境負荷物質がどれだけ出るのかということを一覧表にしていこうという作業をしていることになります。直接的に投入されるコンクリートや鉄、木材等、自らが集めてくる

データをフォアグラウンドデータと言います。原単位側のデータはバックグラウンドデータと言っています。直接的に投入されるコンクリート等のデータが、例えば「環境に優しいコンクリートを使っている」といったようにこたわりがあるという場合、セメントや骨材、水、加工に使う電力といった情報を自ら集めていただき、その分もフォアグラウンドとして評価していただくということも有り得ます。このように、特に自分たちでこたわっているようなところは、できるだけフォアグラウンドで集め、直接的には関与ができないデータ、例えば分かりやすいところでいくと自分では作れず発電所から買うような電気とかは日本平均のデータを使って評価するといった考え方で行うという形になるかと思います。

フォアグラウンドデータとバックグラウンドデータそれぞれをどのように情報を集めるのか、評価をする時の注意点は何かという点をご紹介します。「フォアグラウンドデータとして、原材料・エネルギー投入量に関するデータを収集し、それにバックグラウンドデータを乗じる形で算定します。」「もしこたわりを持って詳細な評価を行う場合には、先ほどのコンクリートの例のように、セメントや骨材、水等の材料の情報を集め、それを生コン工場まで運ぶ時の輸送のデータを集め、さらには生コン工場で加工する時のデータは自ら集め、より詳細に分析する方法もあります」と書いています。その時に、どういう情報を集めるのかというと、例えば材料についても採掘量や原材料の使用量、リサイクル品の使用量、あるいは電力の使用量—これについても再生可能エネルギー回収したものからどれくらい使っていて一般の系統電力からどれぐらいかということまで分かれば理想的だと思います。この辺りも、どの程度の精度で分析を行うかによって、どのぐらいはっきりしたデータを集めるかということが変わってくるかと思います（図11）。

フォアグラウンドデータを集める時の注意点としては「評価する環境負荷物質によっては、単に材料の使用量データだけを収集するだけではなく、例えば製法（木材の場合はバイオマス乾燥等）あるいは素材の上流の情報（木材の場合は再造林率）といったものも重要」になってくることもあります。そうしたところも注意しながら情報を集めていくというのが重要かと思います。それから原単位を使う時の注意点ですが「バックグラウンドデータの内容を十分に理解した上で利用していただくことが非常に重要」だと思っています。日本国内には主要な原単位データベースがいくつかあります。それぞれがいろいろなコンセプトを持って作られておりますし、データの精度も、それぞれのデータの対象としている範囲も異なります。どうやってデータを作られたものでこういう作り方をしている、あるいは対象年次はいつ頃のものか、といった情報をしっかりご理解いただけるとより考察が深まると思います。



計算作業ですが、建築物は資材点数が非常に多いので、手計算というのは到底難しいかなと思います。そこで、いろいろな計算ツールが世の中で出ています。どのようなツールを使われるかにも拠るかと思いますが、基本的には資材の投入データを整理するという話と、それにどの原単位を掛け合わせるかという紐付けをしていくということが最初の作業になるかなと思います。必要に応じて単位換算をしなければならないといったこともあります。その単位換算の情報も場合によっては集めなければなりません。多くのツールは、紐付け作業をすると、あとは自動的に答えが出てくるような計算になっているかなと思います。したがって、実務で実際にやられる場合には、まずはフォアグラウンドデータを集め、次にバックグラウンドデータのどれと繋ぎ合わせるかということを検討します。必要な場合には単位換算する、という作業をしていくことが一般的な形ではないかなと思います。こうして計算ツール等に入力して計算を行うと答えが出てきます (図 12)。

インベントリ分析ができると、次は環境影響分析を行います。この環境影響分析は、CO₂ やメタン、酸化窒素等それぞれの環境負荷物質で見ても、なかなか全体が掴みにくいということになります。どれをどう重視すればいいのか、なかなか分かりにくいところがあるかなと思います。そこで、それらを例えば地球温暖化に影響するものは全部加算しましょう、もっと先に進めているような環境影響を全部合算しましょうということをやるのがこの環境影響分析という段階になります。

環境問題と一言でいっても非常に多様な環境問題があります。社会的な関心が高いという意味では気候変動等がありますが、それ以外にも非常に多様な環境影響があると思います。それに加えて、どう

してこの環境影響が生じると問題なのかということを少し突き詰めて考えていくと、例えば人の健康について寿命が縮まってしまうといったようなことがあったり、生物の多様性が失われていくとか資源が枯渇するといったこと等に代表されるような、社会資産がダメージを受けるといったことがあるのではないかなと思います。そういったことを整理していくと、やはり様々な環境影響とか誰がダメージを受けるのか、どの程度ダメージを受けるのかという形で情報を整理していくことによって、環境問題全体の中で、まず何から行っていけばいいのかということを見出していくことができるのではないかなと思います。その一例として地球温暖化を見ていくと、地球温暖化に大きな影響を及ぼす物質としてはCO₂ だけではなくメタンとか過酸化窒素、フロン関係、6 フッ化硫黄 (SF₆) といったものがあるとされています。それぞれが全部 1kg ずつ出たとなると、地球温暖化係数はCO₂ を 1 とした場合にはメタンは約 25 倍、6 フッ化硫黄に至っては 2 万 4000 倍ぐらいと言われています。したがって、全部 1kg 出ると非常に大きな影響があるということになります。このような形で、ある物質に単位換算して温暖化だったら温暖化でトータルどれぐらいの影響があるのかというのを集約していく方法があり、これを「特性化」と呼んでいます (図 13)。

今のようなやり方をしていくと、例えば CO₂ の場合、CO₂ が発生するとどうなる⇒温室効果ガスの濃度が上昇する⇒温室効果ガスの濃度が上昇するとどうなるの⇒地球温暖化が起こる、といった形で集約しています。さらには、地球温暖化が起こるとどうなる⇒例えば熱ストレスによってイメージしやすいところでは熱帯夜が増える⇒熱帯夜が増えるとどうなる⇒夜暑くて寝られない人が増える⇒そうすると睡眠障害みたいなことが起きて人間の健康にダメージが及ぼされてしまう、といった考え方をする方法があります。最終的には、人間の健康あるいは社会資産とか生物多様性等がダメージを受けて、その「被害額」の形に換算して 1 つの指標に表すといった手法があります。

具体的にそれをグラフ化すると図 14 のようなイメージになります。これはあくまでも事例の概算例で、この中身自体をどう議論する話ではないのですが、社会的な関心を集める CO₂ に比べて、運用の影響が相対的にはやや小さくなり、材料の製造あるいは改修や修繕段階の材料の製造や廃棄の部分がやや多いというのが私の実感です。必ずしも CO₂ だけを見ているのではなく、その他の影響を横目で見えておくことは非常に重要なのではないかなと思っています。LCA はここまでのことができる、ということになるかなと思います (図 14)。

結果の解釈をするというのが最後のプロセスになります。ここでは、出てきた結果に対して 完全性、整合性、感度解析という 3 つのことを行います。完全性というのは、インベントリ分析等で使わ

れたデータに漏れがないか等をもう一度確認しましょうということです。整合性というのは、例えば電気の原単位について、こちらのデータでは全国の平均値を使っているのに、こっちでは東京電力管内の原単位を使っているといったような不整合が起こっていないか、もう一度確認しましょうといった趣旨になります。感度解析というのは、出てきた結果が使われたデータにどの程度依存しているのかを分析することです。例えば、運用段階が一番大きいという結果があった場合、この運用段階というのは多少の工夫や場所によって 1 割ぐらい変わったりする可能性がありそうだけれど、その 1 割が変わったところで全体の中で最も影響が大きいのはやはり運用であることは揺るぎないといったことを確認するというのが、この感度解析になると思っていただければと思います。感度解析を通して、この事実については確実にこういうことが言えるといったことを整理した上で、最終的な結果の考察を行うことになります。ここまでで一連の LCA の分析が完了するという形になります。あとは、こういった内容を報告書にまとめ、必要に応じて第三者の方にチェックをしていただいたりして、目的とする用途に応じて情報を発信していくといったように進んでいくことになります。

3. LCA の国内外の動向

次に、LCA の活用に関する国内外の動向についてご紹介します。まず建築物の評価に関する主要な規格をご紹介します。LCA には ISO 規格があります。建築分野だけに限らず全ての分野で適用されるものとして、ISO14040 と 14044 があり、EPD 関係では 14025 があります。建築に特化した規格では ISO21930 があります。こうした話はヨーロッパが比較的進んでおり、日本でいうところの JIS 規格に当たる EN 規格として、EN15804 や 15978 といったものがあります。

国内の動向としては、日本建築学会から「建物の LCA 指針」が出ています。これは元々 2000 年より前の段階からいろいろな検討が行われてきており、これまでに何回か改定が行われ 2013 年版が最新です (当時^{*)})。この中で、建物を “ こういう風に評価するとよい ” とか効率的に評価する際のツール、あるいは原単位等が提供されています。現在、改定作業を行っており、これまでに出来た成果の中で公表が可能なものについて、日本建築学会のホームページで公開しています。※ 2024 年 3 月に新しい改定版が出たため

続いて評価を効率化するための算定ツールにはどのようなものがあるのか紹介します。建築に限らず全ての分野でよく使われるものとして、世界的には SimaPro とか open LCA、Gabi 等があります。国内では MilCA 等があります。建築に特化したものとしては、世界的には One Click LCA とか eTool、EC3、Tally 等があり、国内では

図 16 インベントリデータベース

名称	AJ-LCA (2005)	3EID (2015)	IDEA Ver.3
作成主体	日本建築学会	国立環境研究所	産業技術総合研究所
データ数	約400	約400	約4700 (分類数は約1800)
情報源	統計 (2005年産業調査表)	統計 (2015年産業調査表)	統計、実測、論文・報告書、経路計算値など
評価範囲	原材料、エネルギー、サービス、インフラなど、すべての活動を包含	原材料、エネルギー、サービス、インフラなど、すべての活動を包含	原則として原材料、エネルギー
品質	全て同じ情報源 (産業調査表) を用い、データの代表性、地理的有効範囲 (日本平均) などの品質は高い。またデータ作成方法の一貫性がある。	全て同じ情報源 (産業調査表) を用い、データの代表性、地理的有効範囲 (日本平均) などの品質は高い。またデータ作成方法の一貫性がある。	情報源が異なるため、データごとに品質が異なる。代表性、完全性、地理・技術的有効範囲などの品質は高い。またデータ作成方法の一貫性がある。のものあれば、逆のものもある。
対象物質	6種類 (エネルギー、CO ₂ 、SO ₂ 、NO _x 、CH ₄ 、N ₂ O)	8種類 (エネルギー、CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、HFCs、PFCs、SF ₆ 、NF ₃)	1000種類近い環境負荷物質
他の特徴	独自の計算方法を用いており主要輸入材の影響が考慮されて	国内完結型 (国内産産出能力) と海外版 (輸出入が盛んな12が要転送を含めたものが公開)	ISOに準拠して作成。海外版 (輸出入が盛んな12が要転送を含めたものが公開)
価格	LCA指針に同封	無料公開	10万円/年〜 (内容による)

25

1 つの例として日本建築学会の「建物の LCA 指針」があります (図 15)。続いて原単位データベースです。国内の建築分野でよく使われるものとしては、「建物の LCA 指針」に同封されている AJ-LCA というデータベースがあります。これは 2005 年時点の統計を使って計算されたものです。データ数は約 400 で、1 つの統計から同じ手法でデータを作っています。評価範囲は、原材料とかエネルギー、サービス、インフラ等全ての活動を含んでいます。対象物質は 6 種類で、エネルギー、CO₂、SO₂、NO₂、メタン、酸化窒素です。この他には、国立環境研究所から出されている 3 EID というデータベースがあります。これは産業連関表が出るごとに作られており、最新版は 2015 年のデータベースです。データ数は日本建築学会が出しているものと同じ統計を使っているもので、約 400 です。対象物質は 8 種類で、エネルギー、CO₂、酸化窒素、フロン関係、SF₆ 等で温暖化関係だけに絞られています。無料で公開されています。もう一つ、これとは作り方が違うもので IDEA というものがあります。これは産業技術総合研究所が作っているものです。データ数は 4,700 となっていますが、つい最近出たものは 5,000 を超えるということになります。かなりデータの規模が大きいということになります。統計だけではなく、実測調査や論文、報告書の記載値とか理論計算値等様々な手法を駆使して、数多くのデータベースを作っています。加えて、評価できる環境負荷物質も 1,000 種類近いということで、非常に多様な評価ができるようになっています。さらに、輸入品の評価をする時に海外の原単位も必要になるため、IDEA 海外版も出しています (図 16)。

こうした状況を踏まえ、建物进行评估するとどのような結果が出てくるのかということをご紹介します。我々が 10 件程度の建物を集めて評価した例をご紹介します。戸建住宅や事務所、集合住宅の例があり太陽光発電がついているものもあります。耐用年数は概ね 30 年ぐらいで、規模は 100 数十から 7000m² を超える程度の建物です。原単位は IDEA Ver.2.2 です。環境負荷物質としては、CO₂ 排出量、様々な影響を合算した人間の健康、社会資産、生物多様性、一次生産、全部を合算すると紹介した統合化というもので評価しています。

その分析結果の概要を紹介し (図 17)。ライフサイクルで見した場合、多くのケースでかなり大きな割合を占めるのが運用段階の環境負荷排出量 (グラフの黄色い部分) です。したがって、例えば住宅ですと家の中で使うエネルギーが非常に大きいと思います。ただ CO₂ で見ると特にその傾向が強いのですが、統合化や一次生産では割合が小さくなっていて、その逆に製造あるいは改修時の投入資材の製造 (グラフの青色の部分) が大きくなっています。建物によっ

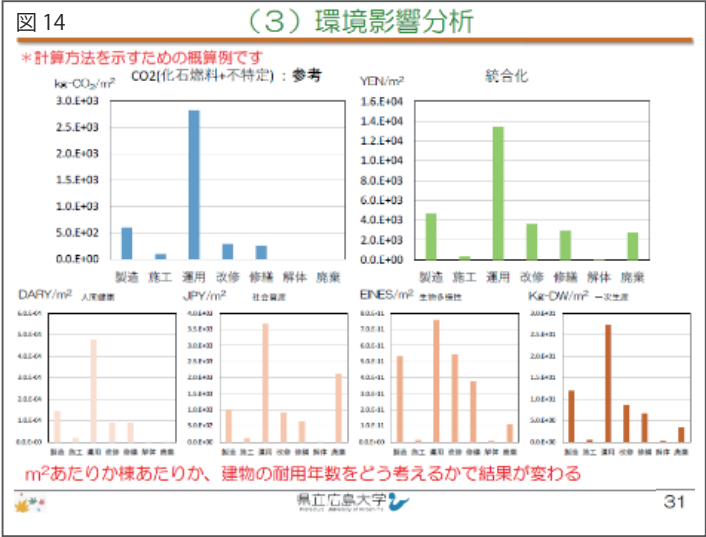
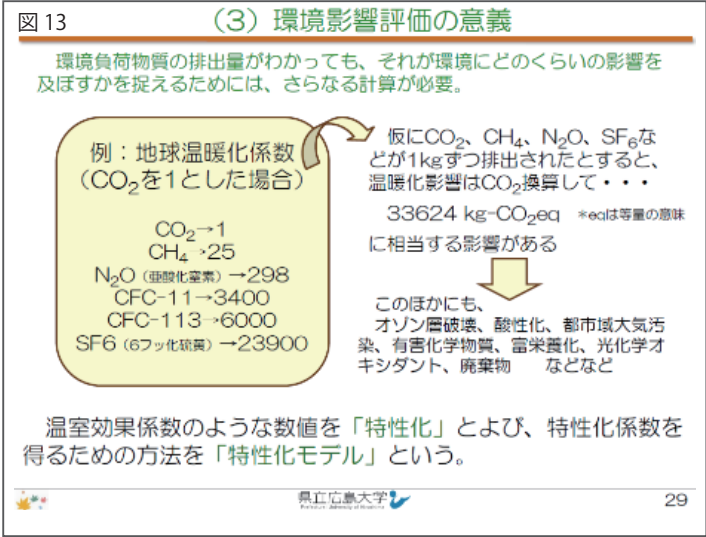
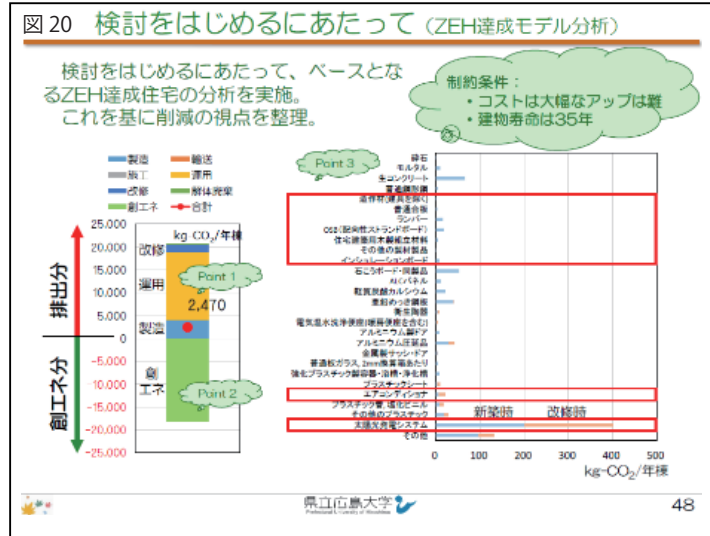
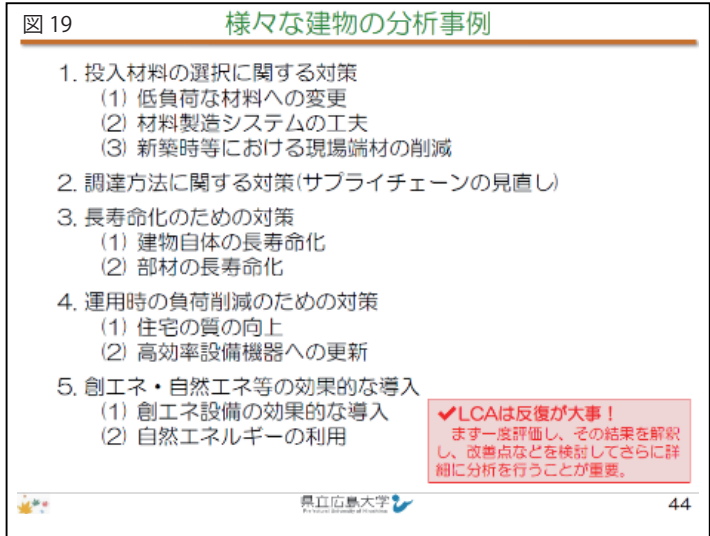
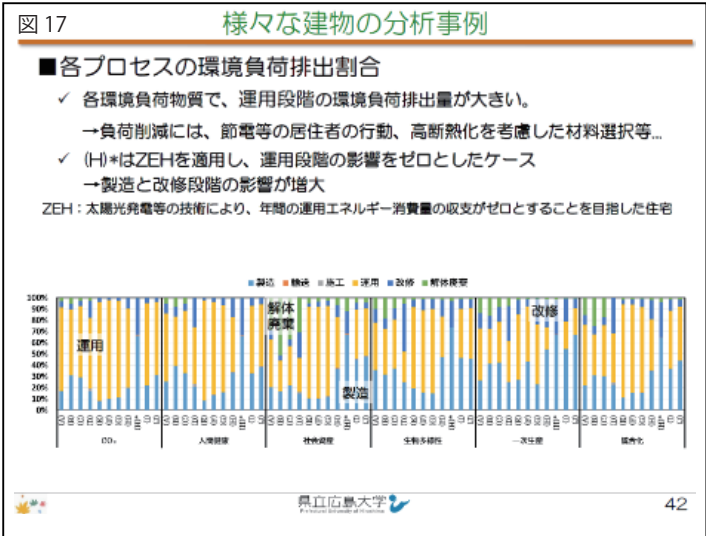


図 15 LCA実施のためのツール

世界及び日本のLCA分析支援ツールは以下のようなものがある (代表的なもののみ)。

	世界	日本
全て	SimaPro (PRe) openLCA (GreenDelta) Gabi (sphaera) などなど	MilCA (サステナブル経営推進機構)
建築	One Click LCA eTool、EC3、Tally など	建物のLCA指針 AJ-LCAツール (日本建築学会)

37



ては廃棄物系（グラフの緑色の部分）がやや大きくなるケースがあります。条件次第ではありますが廃棄物の中でも特に埋め立てに回るものが多いと大きくなる傾向になることもあり得ます。ひとつだけ (H) * と書かれた建物がありますが、これは ZEH 基準を達成したもので、ZEH 基準を達成すると運用段階の環境負荷排出量が 0 になるので、相対的に新築時の資材製造と改修時の資材製造の負荷の割合が大きくなる傾向にあります。

ともあるかと思います。現場でできる努力としては、現場端材を削減するといったことも、歩留まりが良くなるための対策だと考えられます。別の視点としては、調達方法に関する対策とか長寿命化、家自体の長寿命化もありますし、部材の長寿命化ということもあると思います。また運用時の環境負荷の削減あるいは創エネや自然エネルギー等の効果的な導入ということもあります。ざっと挙げるだけでもこうしたことがあると思っており、こうした取り組みを導入した場合にどのような結果になるかということを経験している人から、より低環境負荷の建築物作りを行っていくことが重要だと思います。大切なのは、LCA は 1 回やって終わりではなく反復が大事だということです。特にこだわりがある部分については、しっかりデータを集めて精緻に分析をしていくということが非常に重要だと思います。それによって削減策や改善策を検討し、データを入れ替えてみてどの程度削減に結びつくのかといったことを検討していくことが非常に重要なのではないかと考えます。

4. 建築物の評価事例

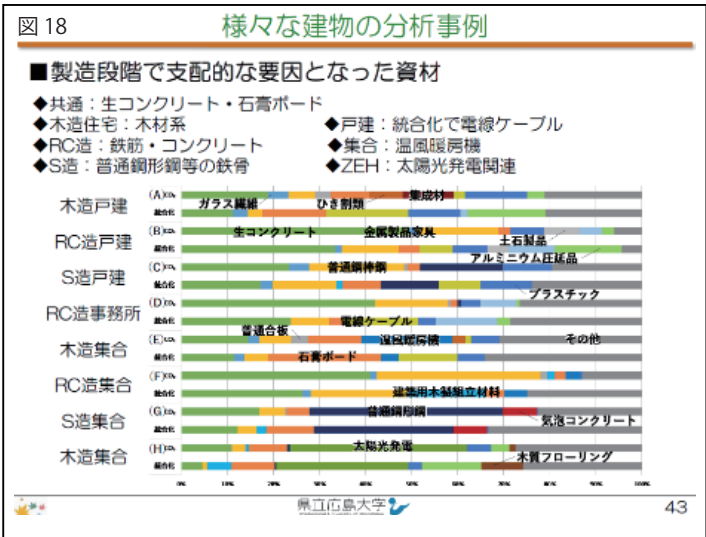
最後にこうした検討を行った事例を紹介します。これは我が国の集合住宅としては初めてとなる LCCM（ライフサイクルカーボンマイナス）を達成した集合住宅を検討した時の事例です。まずライフサイクル全体を通して環境負荷を計算しました。日本建築学会から出されている評価の目安の考え方を参考にしつつ、カーボンフットプリントの製品種別基準という評価ルールも参考にして分析をしています。情報はどこから集めてきたかというと、当該建物の積算情報から購入資材データを整備しています。輸送や施工については、それほど影響が大きいということもあり、その会社の平均的なデータを利用しています。運用時は一次エネルギー消費基準に基づく計算データを使って計算をしています。改修についても、その会社が持っている耐用年数データを元に設定しています。この新しい LCCM を達成した住宅を検討するために、検討開始時点で最新だった ZEH を達成している住宅の分析から始めました（図 20）。それで見ますと、ZEH は達成しているので運用と創エネの部分だけを相殺すると CO₂ 排出量はマイナスになるのですが、これに製造と改修部分を足すとその分が上乗せされて、結局、収支はプラスになってしまうという分析結果が出ました。グラフの上側が CO₂ 排出分です。下側の創エネ部分の太陽光発電については、発電分を発電所で発電したとするとどの程度 CO₂ が出るかということで計算をマイナス カウントしているということになります。その収支をマイナスにしたいということで検討しました。こうした現状から見ていくと、まずは運用段階の負荷をもっと減らせないかということが

ポイントの 1 つ目になると思います。ポイントの 2 つ目は、この創エネ分をもっと大きくできないかということが考えられます。ポイントの 3 つ目は、全体としてはそれほど大きくないとしても、製造と改修が増えたことによってマイナスが達成できないわけですから、これらの部分も減らしていく方法を検討しなければならないという視点で考えています。特に資材の製造に関しては、材料別に見ていくとグラフに示すような結果が出てきています。まず 1 つは多くの分類に分けているので一つ一つは小さく見えますが、木造として全部足すと、それなりの割合になってきます。木材の加工工程での環境負荷削減というのは一つのポイントになりそうということでも注目しています。エアコンですが、エアコン自体それほど CO₂ 排出量は大きくないのですが、よく見ると、改修時のところで結構積み上がっています。つまり最初の 1 回目だけで見るとそれほどでもないのですが、取り替えの更新回数が多いことで割と積み上がってしまうパターンが設備機器には多いのではないかとことが見えてきます。それから創エネを多くするためには、より多くの太陽光発電システムを載せなければならないのですが、その太陽光発電システムを製造する際の CO₂ 排出量が結構大きいということもあり、さらに取り替えを考慮してもかなり大きいということで、そのあたりの工夫ができないかということで検討をしてみいました。具体的に、今申し上げたような視点で 6 個ほど、こういうことならできるのではないかと条件を見ております（図 21 上）。一方でこの建物の制約条件として、非常に大きなコストの負担を伴う改

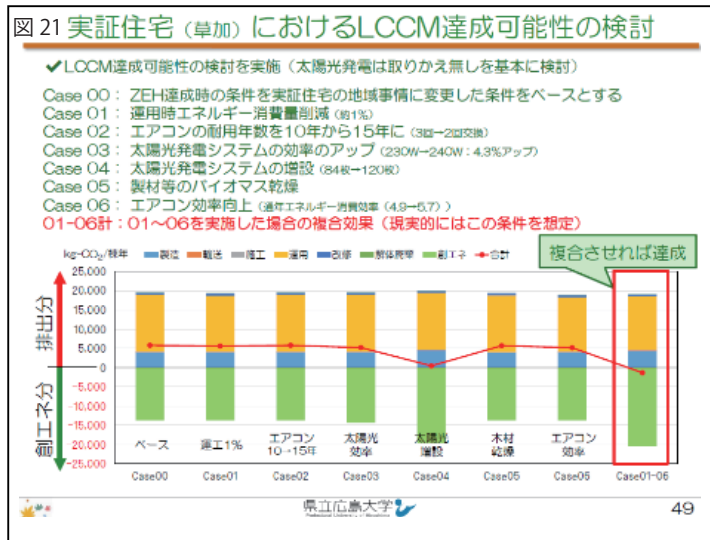
善はできないということと、35 年の寿命は変えられない、つまり長寿命化ができないという条件がありました。そういったことも踏まえて、この 6 個の条件を考え、それぞれのケースごとにどの程度の削減ができるのかということを経験している人から、より低環境負荷の建築物作りを行っていくことが重要だと思います。大切なのは、LCA は 1 回やって終わりではなく反復が大事だということです。特にこだわりがある部分については、しっかりデータを集めて精緻に分析をしていくということが非常に重要だと思います。それによって削減策や改善策を検討し、データを入れ替えてみてどの程度削減に結びつくのかといったことを検討していくことが非常に重要なのではないかと考えます。

最後に、LCA にご関心をお持ちいただけるようでしたら、参考となる資料を紹介させていただきます（図 22）。まず「基礎から学ぶ LCA — LCA の実施と活用」という資料で、これはちょうど昨日か昨日に出たものですが、これまでは「演習で学べる LCA」という名前で出されていたものから名前が変わり、広く一般の方に知っていただくための教科書的なものとして出ています。その他「LCA 概論」や「LIME3」といった本がありますので、ご関心をお持ちの方がいらっしゃいましたらご覧いただけたらと思います。

以上、最後までご聴講いただきありがとうございます。ご関心をお持ちいただきましたらお気軽にお問い合わせいただければと思います。本日はありがとうございました。（終）



運用時の環境負荷削減も製造時の環境負荷削減も大事だということと考え、特に資材製造に起因する環境負荷がどのようになるかというのを見た結果がこのグラフです（図 18）。建物の構造や用途によってばらつきがあるので、ケースバイケースでそれぞれの建物について見ていくということが重要だということをご理解いただけたと思います。また CO₂ で見た時、統合化で見た時では多少の違いがあるということも見て取れると思います。例えば、主要資材であるコンクリート、部材系の鉄関係あるいは石膏ボード関係等は、どの建物でも割と大きめの値として出てくるケースがあり、そういう傾向もつかめるのではないかと思います。こうした結果が出てきた時にそれをどのように解釈していくのかということが重要なポイントになります。出てきた結果を踏まえてどのような対策が考えられるか、対策の視点の一例を整理してみると、以下のような観点があると思います（図 19）。投入資材の材料の選択に関する対策として、より低環境負荷の製品に変えるといったこ



小林 謙介（こばやし けんすけ）

1978 年、愛知県生まれ。
広島県立大学 生物資源科学部 生命環境学科 環境科学コース 准教授。

2006 年 東京理科大学 博士課程修了後、同年 産業技術総合研究所 LCA 研究センター 安全科学研究部門 特別研究員、2010 年 東京理科大学 理工学部 建築学科 助教を経て、2014 年 県立広島大学 生命環境学部 環境学科 准教授に就任、現在に至る。
2015 年より産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ客員研究員を兼ねる。
LCA と建築物にかかわる研究活動に取り組む。LCA に不可欠な原単位データベース”IDEA（いであ）”の開発に、開発当初から従事。また、日本建築学会地球環境委員会 LCA 小委員会主査などを歴任。

