

建設時 CO₂ 排出量予測システム 「T-CARBON Navios」の開発

天 石 文・竹 尾 健 一

建物のライフサイクル CO₂ では、建設時の CO₂ はアップフロントカーボンと呼ばれ調達（建材製造）～施工段階が対象とされている。各段階の CO₂ 排出量を詳細に試算するためには、積算資料からの個々の資材数量の集計や施工計画に基づく重機の稼働台数の集計作業が必要となり、従来のこのような方法では膨大な労力が必要とされていた。そこで調達段階については、積算データを取り込みごく短時間で自動仕分け・集計し CO₂ 排出量を算出するロジックを、施工段階については、工事計画から重機の稼働台数・日を自動試算し、それに伴う燃料及び電気使用量から CO₂ 排出量を予測するロジックを検討した。本報では、これらを内包したシステム「T-CARBON Navios」について報告する。

キーワード：建築、CO₂ 排出量、CO₂ 削減、調達段階、自動集計、施工段階、建設機械

1. はじめに

昨今の脱炭素に向けた取り組みは、ゼネコン自身によるものだけでなく、発注者やステークホルダーなど、建築物を取り巻く多くの関係者からの要求事項となっており、ゼネコン各社ではこれに対応すべく、GHG (CO₂) 算定ツールの開発や低炭素コンクリートの開発などが行われている。脱炭素を検討する上では、まず計画建物のライフサイクルでの CO₂ 排出量（新築時資材製造（調達）～工事～運用（修繕・更新、消費エネルギーなど）～解体・廃棄における建物の一生で排出される CO₂ 量（図－1））を把握し、CO₂ 排出量の大きいものを中心に削減策を検討するが、まずは削減策に対してベースとなる CO₂ 排出量の算定が重要となる。これまで省エネルギー計算などを通じて運用中の消費エネルギー量の算定については計算方法

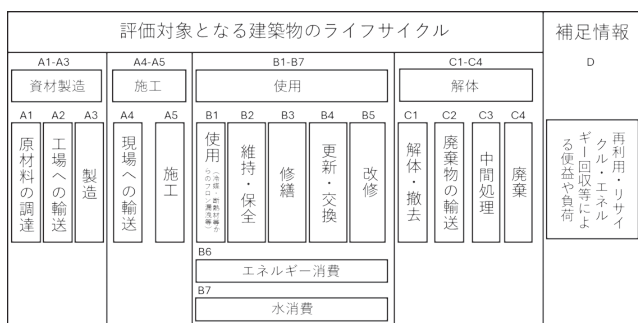
が確立されてきているが、その他の新築や修繕、更新における建材の製造段階での CO₂ 排出量や施工時の CO₂ 排出量については、これまでの（一社）日本建築学会発行の「建物の LCA 指針－温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール－改定版」¹⁾ に付随の AIJ-LCA ツールに加えて、2022 年に（一社）不動産協会が会員企業向けに「Scope 3 算定を行う建築工事発注事業者のための『建設時 GHG 排出量算定マニュアル』」の策定、2024 年に（一財）住宅・建築 SDGs 推進センターに設置されたゼロカーボンビル (LCCO₂ ネットゼロ) 推進会議が、建築物ホールライフカーボン算定ツールとして「J-CAT」(Japan Carbon Assessment Tool for Building Lifecycle)²⁾ を公開したところであり、建築物のライフサイクルでの GHG (CO₂) 算定の推進、普及を目指しているところである。今回開発した「T-CARBON Navios」(以下、本システム) では、これらのツール同様に CO₂ 排出量を算出することに加えて、各種自動化による作業負荷の低減及び作業期間の大幅短縮のみならず、建物や工事計画の実態に即した計算を実現したので報告する。

2. システム概要

調達段階及び施工段階の CO₂ 排出量算定を詳細に行おうとする場合、次のような段階を踏むことになる。

【調達段階】

①積算内訳に含まれる建材や部材を数量単位別に仕分



※日本語訳はLCA小委員会による

図－1 ISO21930 に基づく建物ライフサイクルのプロセス分類¹⁾

け、集計

②積算内訳の単位を該当する CO₂ 排出原単位の機能単位に一致するよう換算

③②に該当する CO₂ 排出原単位を乗じ CO₂ を算出

【施工段階】

①重機の山積みを作成し、重機種類ごとの稼働台数を算出

②重機ごとの燃費等の情報から燃料や電気の使用量を算出

③軽油、電気などの CO₂ 排出原単位を乗じて施工段階の CO₂ 排出量を算出

これに対して本システムのイメージを図—2 に示す。本システムでは、調達段階の計算において積算資料をシステムに取り込むことで建材の仕分け・集計を自動化し、評価者の作業負荷低減及び作業期間の短縮を図っている。施工段階については、工事数量の入力によって工種別・機械別の燃料・電気使用量を算出できるようにしており、係数や金額から算出する方法と比べて、より実態に即した結果を得られるようになっている。続いて、調達段階及び施工段階の CO₂ 排出量算出方法について詳述する。

3. 調達段階 CO₂ 排出量予測

(1) CO₂ 排出量算定

(a) 新築時

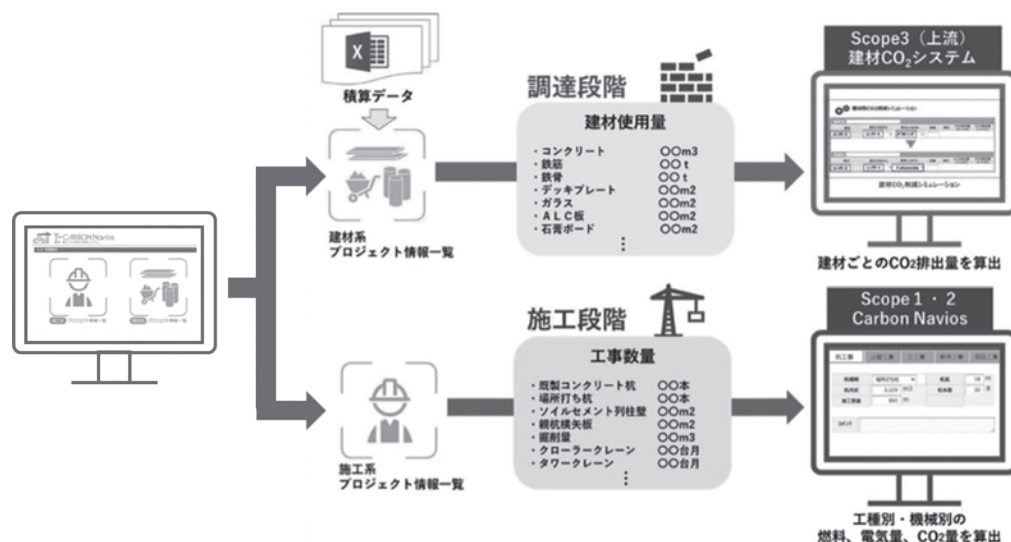
本システムでは、上述したとおり調達段階の CO₂ 排出量算定において最も作業負荷のかかる積算資料からの建材仕分け・集計を自動化したところに大きな特徴がある。建材の投入データの元データとしては積算

資料 (Excel ファイル) を用いるが、その構成として、シートの所定の列に「(建材) 名称」、「仕様・規格」、「数量」、「(数量) 単位」の記載を必要としている。これをシステムに取り込むと、ファイルのボリュームにもよるが、数十秒から数分で取り込みが完了し、同時に概算レベルでの建材仕分け及び数量集計、CO₂ 排出量算出が完了している。

本システムでは建材の仕分けを大区分、中区分、小区分の3つに分類している (図—3)。大区分では CO₂ への影響の特に大きな建材である「コンクリート」、「鉄骨」、「鉄筋」と、その他に工事の区分として「外装」、「内装」、「開口」などを設定している。中区分については、「PCa」、「ACW」、「SD」、「ガラス」、「石膏ボード」などの建材もしくは部材、小区分では中区分の建材に対する種類や厚み、サイズなどの詳細な仕様を設定できるようにしている。積算資料を取り込んだ後の最初の自動計算では中区分の設定までが行われた状態となっている。中区分までの設定の場合、例えば「AW」や「SD」などの建具に対して積算資料では「か所」といった単位が用いられるが、システム内では建材ごとに「か所」に対するデフォルトの面積を設定しているため、それに基づいた計算が行われる。より詳細に面積情報を反映させたい場合、サイズなどの情報は積算資料の「仕様・規格」の欄に記載されているため、その値を小区分において設定することがで

大区分	中区分	小区分	名称	規格・寸法	数量	単位
開口	S D	5m2	SDB048	2,000×2,400	1.0	か所
開口	S D	2m2	SD3047	900×2,400	1.0	か所
開口	S D	4m2	SDJ11	1,800×2,100	114.0	か所

図—3 建材の区分設計の例



図—2 本システム全体イメージ

きる。その他、小区分ではコンクリートの種類（普通ポルトランドセメント使用生コン、高炉B種使用生コンなど）や鉄骨の電炉鋼の選択、仕上材ではOAフロアの種類や間仕切の仕様などを選択できるようになっている。

なお、本システムではCO₂排出原単位として日本建築学会が発行している「建物のLCA指針－温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール－改定版」に付随するAIJ-LCA原単位データベース及びAIJ-LCAツールに掲載の複合原単位（一致する原単位のない建材に対して構成材ごとに原単位を連鎖、単位換算して建材単位に複合化して作られた原単位）を主に用いている。

(b) 修繕・更新時

修繕・更新時のCO₂排出量は、新築時の建材数量に対して修繕率や更新回数の係数を乗じることで算出する。係数にはデフォルトでは主にBELCA（LC評価、長期修繕計画、診断、資産評価、ERのための建築物のライフサイクルマネジメント用データ集 改訂版）の値などが用いられるように設定されているが、メーカーによってはそれ以上の耐久性を有するなど、

長寿命化も建材由来CO₂排出削減策の1つであることから、修繕率、更新回数は手入力も可能となっている。

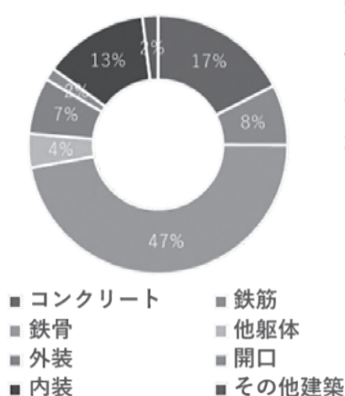
(c) アウトプット

CO₂排出量算定結果のアウトプットのイメージ（一部）を図－4に示す。建材及び大区分ごとのCO₂排出量を数値一覧とともに図のようにグラフ化することで、CO₂排出量の多い建材の特定を容易にし、より効果的なCO₂削減検討に貢献している。

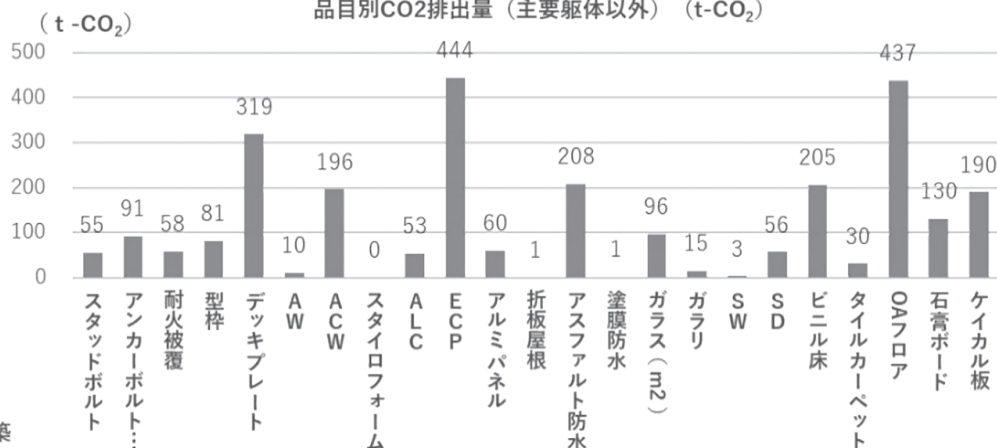
(2) CO₂削減シミュレーション

建物のCO₂排出削減を検討するためには、ベースラインとして現状（CO₂削減策未実施の原案）のCO₂排出量を把握し、対策すべき、もしくは対策可能な建材を見定める必要があるが、その次の段階としてその対象建材をどのように対策すればよいのかの検討を行うことになる。CO₂削減シミュレーション機能は、設計時の材料選定の際に建材の種類変更や、数量変更に伴うCO₂削減量を瞬時に算出する機能である。例えば、図－5のように原案（標準案）として普通ポルトランドセメント Fc24 N/mm²を500 m³使用するケースにおいて、削減案としてその一部を高炉セメン

区分別CO₂排出量割合



品目別CO₂排出量（主要躯体以外）（t-CO₂）



図－4 CO₂排出量算定結果イメージ（抜粋）

シミュレーション結果	シミュレーション一覧						新規
	項目	標準案CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	削減案CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	削減額 (t-CO ₂)	削減率	標準案CO ₂ 固定量 (t-CO ₂)	削減案CO ₂ 固定量 (t-CO ₂)
	生コン	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇	〇〇%		
標準案	選択済項目：生コン						
	標準案 ポルトランドセメント						行追加
	資材	資材(中区分)	資材(小区分)	数量	単位	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	CO ₂ 固定量 (t-CO ₂)
	ポルトランドセメント (Fc24N)	コンクリート	高炉B種 Fc24	500.0	m3	〇〇〇	
削減案	削減案 一部 高炉B種						行追加
	資材	資材(中区分)	資材(小区分)	数量	単位	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	CO ₂ 固定量 (t-CO ₂)
	高炉B種 (Fc24N)	コンクリート	高炉B種 Fc24	300.0	m3	〇〇〇	
	ポルトランドセメント (Fc24N)	コンクリート	高炉B種 Fc24	200.0	m3	〇〇〇	
							計算

図－5 CO₂削減シミュレーションイメージ

トB種とした場合に、建材及び数量を設定するだけで各案におけるCO₂排出量及び削減量を随時確認することができる。また木質建材を選択した際には、製造におけるCO₂排出量に加えて木によるCO₂貯蔵量（固定量）についても同時に計算される。CO₂排出量計算における木のCO₂貯蔵量の位置づけについては様々議論がされているところではあるが、近年、建材由来CO₂削減の方策の1つとして木質建材の採用を検討するケースが増加してきており、参考値として算出できるようにしている。

4. 施工時 CO₂ 排出量予測

(1) 施工段階 CO₂ 排出量算出ロジック

本システムのCO₂排出量算出ロジック概要を図—6に示す。図中の①～③の算出手順は以下の通りである。

- ①入力された工事数量と工事別機械DBから得られた工事歩掛を基に稼働する機械の稼働量（台数・日）を求める。
 - ②機械別燃費DBより対応する機械の燃費を乗じることにより必要な燃料及び電気の使用量を算出する。
 - ③CO₂排出係数を②に乗じることにより工事別機械・車両別のCO₂排出量を算出することができる。
- 上記で求めた機械・車両別の稼働台数、燃料、電気

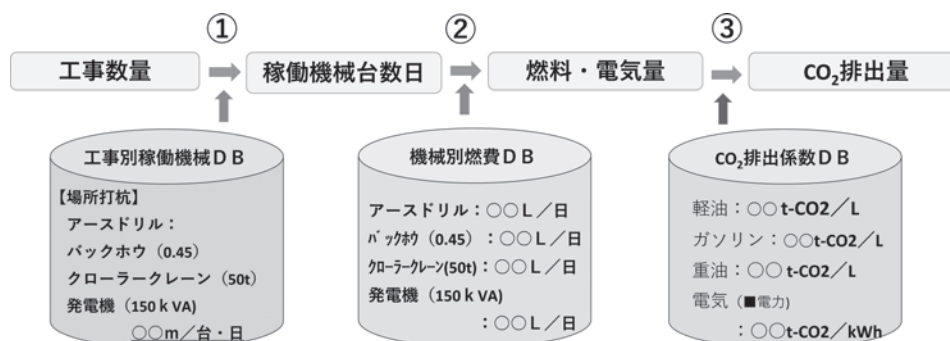
量、CO₂排出量を算出したシステム画面を図—7に示す。以上のように、工事種類別の稼働機械・車両ごとにCO₂排出量を算出して合計することにより、当該工事で排出されるCO₂排出の全体量を把握することができる。

(2) 施工段階 CO₂ の分析と削減対策の立案

本システムから算出された数値は様々な種類のグラフで見える化され、その結果を分析することにより具体的なCO₂削減対策を立案することができる。例えば図—8に示す工事別CO₂排出量・割合よりCO₂削減すべき工事を絞り込み、さらに図—9に示す稼働機械・車両別CO₂排出量より削減効果が高い機械や車両を特定することができる。過去の実績より具体的なCO₂削減対策は以下の5種類の対策に分類してリスト化されている。

- ①台数系：掘削土の場内利用により排出台数の削減など
- ②機械系：EVやハイブリッド重機の採用など
- ③燃料系：バイオ燃料などの低炭素燃料の採用など
- ④廃棄物：体積の減容化や巡回回収システムの採用など
- ⑤運転系：エコドライブの実施など
- ⑥電気：LED照明の採用や太陽光発電の設置など

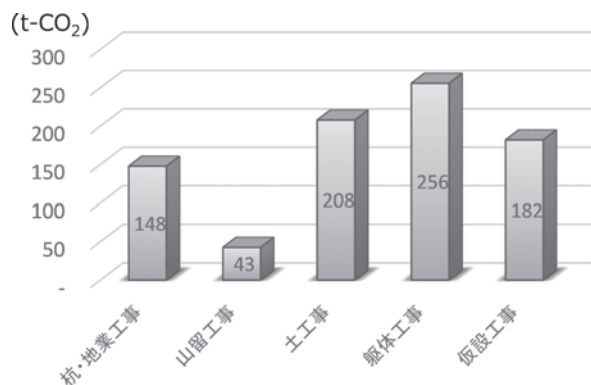
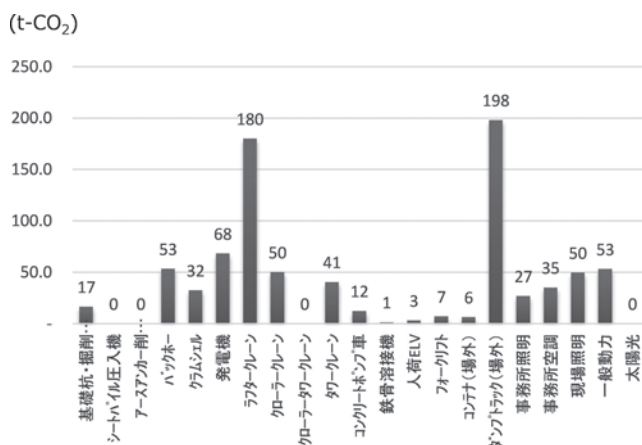
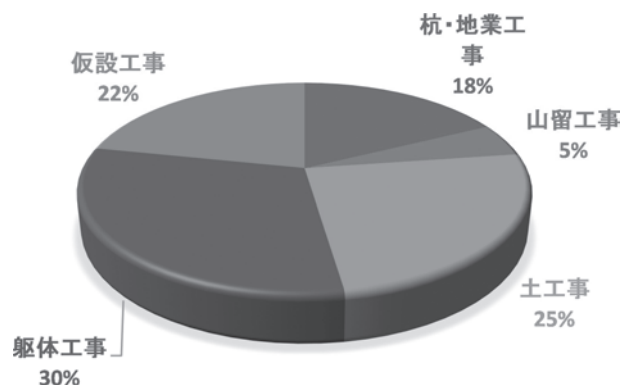
システム利用者は図—10に示すCO₂削減対策リストから実施可能な対策を選択し、適用する機械・車両



図—6 施工段階 CO₂ 排出量算出ロジック

重機・機器詳細						
No	工事細目	機械種類・規格	延台数・ 日車両台数	燃料使用量 (L)	電気使用量 (kWh)	排出量 (t-CO2)
1	場所打杭	基礎杭・掘削機械【クレーン式アースドリル】	27	1,638.9	0.0	4.2
2	場所打杭	バックホウ【0.7m3】	27	1,917.0	0.0	4.9
3	場所打杭	発電機【50～149kVA】	108	5,767.2	0.0	14.9
4	場所打杭	クローラトラック（場外）【10t】	849	5,094.0	0.0	13.1
5	場所打杭	クレーン【50t】	27	1,579.5	0.0	4.1
6	地盤改良	基礎杭・掘削機械【クレーン式アースドリル】	2	121.4	0.0	0.3
7	地盤改良	バックホウ【0.7m3】	2	142.0	0.0	0.4
8	地盤改良	発電機【150kVA以上】	4	466.4	0.0	1.2

図—7 工事別機械別の稼働台数、燃料・電気量、CO₂排出量

図—8 工事別 CO₂ 排出量・割合図—9 稼働機械・車両別 CO₂ 排出量

採用有無	削減対策	対象表示	重機・機器詳細	削減効果
☐	ハイブリッド型建機の採用	☐ 表示	工事種別	削減率 (%)
☒	低燃費型建機の採用 (B778)	☒ 表示	機械種別・規格	削減率 (%)
☒	低燃費型建機の採用 (B778-70-5)	☒ 表示	排出量 (t-CO ₂)	削減率 (%)
☐	70-70-5から70-70-5に変更	☐ 表示	適用率 (%)	削減率 (%)
☒	バッテリー式フォークリフトの採用	☒ 表示	削減率 (%)	削減率 (%)

図—10 CO₂ 削減対策の選択と削減効果

CO₂ はわずか数年の短期間にまとめて排出され、その後に対策することができないことから、計画段階での十分な検討が望まれるところであり、本システムはその検討作業に対して短時間で必要な情報を提供することができるシステムとなっている。建物に対する CO₂ 削減の要求の高まりに呼応して、建材や重機、燃料、工法など建築を取り巻く様々な分野での技術向上が図られている。これらの技術を活用し、CO₂ 排出のより少ない建物を作り出していけるよう、その支援ツールとして、引き続き本システムの機能向上を図っていく。

JCMMA

【参考文献】

- 1) (一社) 日本建築学会, 建物の LCA 指針—温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール—改定版, 丸善出版, 2024 年 3 月
- 2) J-CAT ウェブページ (https://ibecs.or.jp/zero-carbon_building/jcat/index.html)
- 3) 建築物のライフサイクルマネジメント用データ集改訂委員会, LC 評価, 長期修繕計画, 診断, 資産評価, ER のための建築物のライフサイクルマネジメント用データ集 改訂版, (公社) ロングライフビル推進協会, 2020 年 3 月
- 4) UCL, BPIE, UNEP CCC, IEA, Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025: Not just another brick in the wall, 2025 年 3 月

ごとの CO₂ 削減量を確認しながら削減計画を立案することができる。

5. おわりに

建築に由来する CO₂ 排出量は、全 CO₂ 排出量のおよそ 37%⁴⁾ に及びその削減は大きな課題となっている。運用時のエネルギー消費に伴う CO₂ 排出は、建物のライフサイクル全体では 6 割から 7 割と大きな位置を占めるが、数十年にわたって排出される積み重ねの結果であるため、将来の電力等の原単位の低下や省エネルギー機器の導入などにより改善される可能性を含んでいる。しかし、新築時の建材調達や施工由来の

【筆者紹介】



天石 文 (あまいし あや)
大成建設㈱
サステナビリティ経営推進本部
カーボンニュートラル推進部 環境技術室
課長



竹尾 健一 (たけお けんいち)
大成建設㈱
サステナビリティ経営推進本部
カーボンニュートラル推進部 環境技術室
室長