

鉄骨造倉庫建築物の資材製造・資材運搬段階に着目した社会シナリオ設定に基づく
CO₂排出量の評価・削減対策の検証

DB21243 橋本 怜旺

1. はじめに

全世界で温室効果ガスは 2020 年時点で約 317 億トン排出され、日本国内では約 10 億トンである。そのうち約 90%を二酸化炭素（以下、CO₂）が占め、この物質の大気中への放出が人間の諸活動に起因しているということは言うまでもなく、近年日本国内でそれを改善させる取り組みが活発化するなかで、建築業界としてもこの排出量削減に取り組むことは必須である。

本研究では近年建設需要が高まり重要な物流拠点である鉄骨造倉庫建築物の CO₂の排出について、その評価基準として JIS Q 14064-1（組織における温室効果ガスの排出・吸収量の定量化及び報告のための仕様と手引）に基づいて把握し、CO₂排出割合を ISO 21930（以下、国際規格）に従って示し、環境影響を分析する。

2. 対象建築物の資材製造段階における CO₂排出量

2.1 資材製造と輸送時の排出CO₂量の算定方法

対象建物の基本情報を表 1 及び図 1 に示す。製品のライフサイクル（以下、LC）を環境の観点から定量的に評価するライフサイクルアセスメント（以下、LCA）では、建築資材に対するLCAの国際規格として図 2 に示すものがあり、LCフェイズの詳細を複数段階で整理している。本研究では、特に国際規格で分類された段階の A1-A3（資材製造段階環境負荷）と A4-A5（施工に伴う CO₂環境負荷）に着目し、建設段階の総CO₂排出量を算出する。資材単位の排出量を可視化しサプライチェーン（以下SC）のなかで占める割合を明確にし、カーボンフットプリント（CFP）の事例報告とする。

2.2 算定に用いる CO₂排出原単位値の収集および選定

対象の資材投入量や施工における消費エネルギー情報から CO₂排出量を算定するため、それらの情報と合わせて CO₂排出原単位データも必要となる。本研究で使用する原単位値は日本建築学会の「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-」に従い、同資料内に掲載される原単位を用いて CO₂排出量を算出する。必要となるデータは同文献データベース建築評価用 LCA データベース等から抜粋して使用した。製品について CO₂排出原単位の収集を行った。主要構造部原単位データの例を表 2 に示す。

2.3 システム境界の設定

図 3 に本研究で設定したシステム境界図を示す。当該建物 LC のなかで、環境負荷量の算定を行う範囲を材料毎に設定した。原材料、製品の製造、現場での投入材料の運搬までを時間的範囲とした。国際規格で各プロセスに区分けされるが、主にプロセス A での CO₂排出量を対象範囲としている。

表 1 評価対象である鉄骨造倉庫建築物の情報

所在地	神奈川県平塚市
主要用途	倉庫業を営む倉庫
フロア数	地上 4 階
延べ床面積 [m ²]	29,606.53
建築面積 [m ²]	9,666.57
容積率 [%]	194.81
建蔽率 [%]	64.34
基本構造	鉄骨造（基礎：鉄筋コンクリート）

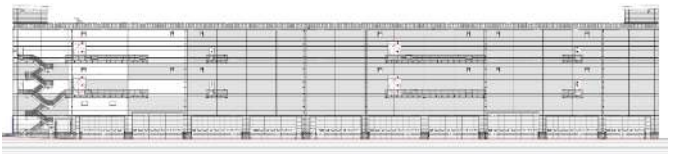


図 1 対象鉄骨造倉庫建築物立面図

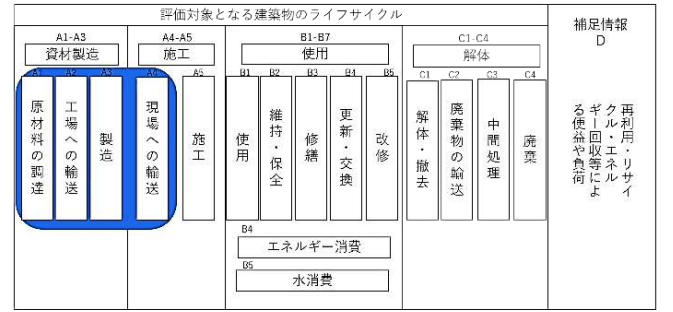


図2 ISO21930による評価対象フェイズ

2.4 資材の製造および輸送段階で排出される CO₂量

1) 資材製造における CO₂排出量

表 3 に示すように、各資材の投入数量を拾い上げ、そこに各 CO₂排出原単位を乗ずることで排出量を算出した。

2) 資材輸送における CO₂排出量

表 4 に示すように、生コンクリートや鉄骨材といった主要な躯体材料の輸送における排出量を求めた。

輸送距離は対象建物資材の実際の輸送距離を参考に、地図情報システムを利用した概算値を用いた。

各種資材参照記号

RC：鉄筋コンクリート(Reinforced Concrete)
SF：鉄骨材(Steel Frame)
PCP：既製コンクリート杭(Precast Concrete Piles)
IE：内外装材(Interior and Exterior)
P：舗装(Pavement)

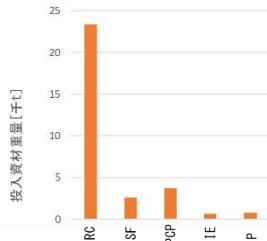


図3 投入資材重量

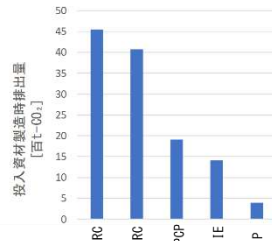


図4 資材製造時 CO₂ 排出量

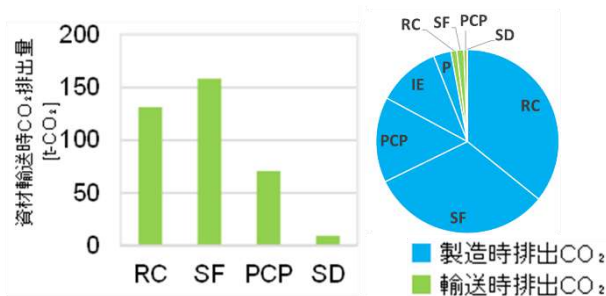


図5 資材輸送 CO₂ 排出量

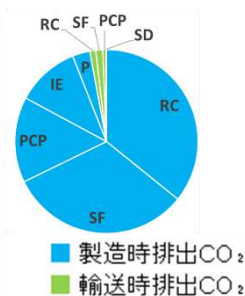


図6 製造輸送排出量比

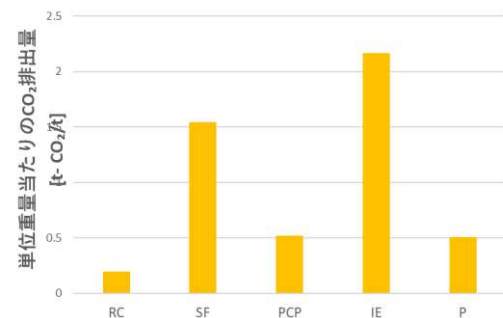


図7 単位重量当たりの CO₂ 排出量

3. CO₂ 排出削減方策の検討

本建築物の製造及び輸送の段階で排出される CO₂ について排出割合の大きい主要構造部材に対して CO₂ 排出量を削減することを検討した。

3.1 脱炭素シナリオの設定

国内の建築業界における脱炭素化に向けた動向を予測し、シナリオを設定する。それぞれ脱炭素に絡む資金事情の面からコストの高低、技術進歩の度合いから技術的難易度の高低などの項目について表5のようにシナリオを設定した。

3.2 シナリオ毎の CO₂ 排出削減方策

各シナリオの状況別に適用可能な対策を考案した。主な CO₂ 排出の削減は本建築物の主要構造部に使用される資材に対して環境配慮型の資材等に置き換えることを行う。

表5 脱炭素シナリオの設定

項目	社会状況、条件	対策
シナリオ1	技術的進歩が少なく脱炭素に対する意識が希薄で資金的余裕がない状況	$\alpha 1, \beta 1$
シナリオ2	技術的進歩が少なく脱炭素化が急がれ、資金的余裕がある状況	$\alpha 1, \beta 1, \beta 2$
シナリオ3	急激な技術進歩と脱炭素化が進められるが資金的余裕がない状況	$\alpha 2, \alpha 3, \beta 1, \gamma \delta$
シナリオ4	脱炭素化が活発だが補助金制度等がなく低コスト実現が要求される状況	$\alpha 1, \beta 1$
シナリオ5	社会全体で脱炭素化が進み、技術進歩と補助金制度等が確立した状況	$\alpha 2, \beta 1, \beta 2, \gamma, \delta$
シナリオ6	シナリオ5に加え、木材流通安定など木材に関する諸問題が解決した状況	$\alpha 2, \beta 1, \varepsilon, \gamma, \delta$

1) 生コンクリートの置き換え α)

生コンクリートは基礎及びその他のコンクリートに対しての案として、安価で技術的難易度の低い高炉B種セメント製品 $\alpha 1$)、高価で技術的難易度の高い高炉C種セメント製品 $\alpha 2$)、高価で技術的難易度の低いジオポリマーPCa製品 $\alpha 3$)の3種の置き換え案を検討した。また、床コンクリートは耐荷重等に影響を及ぼすため難易度の高い置き換え策とした。

2) 鋼材製品の置き換え β)

鋼材製品は安価で技術的難易度不明のものとして高炉製品の電炉化 $\beta 1$)、高価で技術的難易度の低い案としてグリーン鋼材への置き換え $\beta 2$)を検討した。

3) コンクリート既製杭の置き換え γ)

コンクリート既製杭は技術的難易度の高いものとしてジオポリマーPCa杭への置き換え γ)を検討した。

4) デッキプレートの置き換え δ)

デッキプレートは電炉加工製品への置き換え δ)を検討した。鋼材製品の電炉化と同様流通が安定的でない又は一部製品のみであるため技術的難易度不明である。

5) 最上階の木質化 ε)

国内において木の利用が促進された場合の置き換え案として本建築物の最上階を木造とする案 ε)を考察した。耐荷重の要求性能が低い最上階を木質化することで技術的問題を軽減し、木材の成長過程において内部に蓄積する炭素量を CO₂ 排出削減量として計上することで大幅な削減が期待されているが、現時点では実現可能ではない。

木材による建築物内への炭素固定量の算定は林野庁の発表する「建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドライン」に従って行った。

4.脱炭素シナリオ適用による各変化

4.1 各置き換え資材の原単位

置き換えで投入される資材の原単位を調査した。置き換え前資材同様基本データは建築学会 LCA データベースから収集し、存在しないものに関しては他の文献等から収集又は決定を行い、表 6 のようなデータが得られた。

ジオポリマー製品の原単位は、普通セメントに対して約 65%程度小さいため、その値を原単位とした。鋼材電炉製品の原単位は LCA データベースを参考に高炉製品の原単位に 0.45 を乗じた値を電炉材の原単位とした。

表 6 資材置き換え検討で使した原単位一覧

項目	値
置き換え後資材	
コンクリート(高炉 B 種)	252.6 kg-CO ₂ /m ³
コンクリート(高炉 C 種)	143.1 kg-CO ₂ /m ³
ジオポリマーPCa	213.59 kg-CO ₂ /m ³
鉄筋(電炉材)	405 kg-CO ₂ /t
鉄骨(電炉材)	630 kg-CO ₂ /t
グリーン鋼材	0 kg-CO ₂ /t
ジオポリマーPHC 杭	155 kg-CO ₂ /m
ジオポリマーSC 杭 t=9	434 kg-CO ₂ /m
ジオポリマーSC 杭 t=12	566 kg-CO ₂ /m
ジオポリマーCPRC 杭	187 kg-CO ₂ /m
デッキプレート(電炉材)	16 kg-CO ₂ /m ²

4.2 各シナリオの CO₂排出削減量

各シナリオの CO₂排出削減量は表 7 のようになった。

図 8 に示すようにシナリオ 1 では置き換え前の CO₂排出に対して約 19.3%の CO₂排出を削減でき、シナリオ 5 では約 54.2%と半分以上の CO₂排出削減が見込めた。しかし、シナリオ 5 ではグリーン鋼材などの高価な資材を用いているため、費用対効果は低下するものと考えられる。

表 7 各シナリオの CO₂排出削減量

項目	削減量[t-CO ₂]
シナリオ 1	2,384.0
シナリオ 2	4,341.2
シナリオ 3	4,247.9
シナリオ 4	2,676.2
シナリオ 5	6,682.1
シナリオ 6	4,180.9

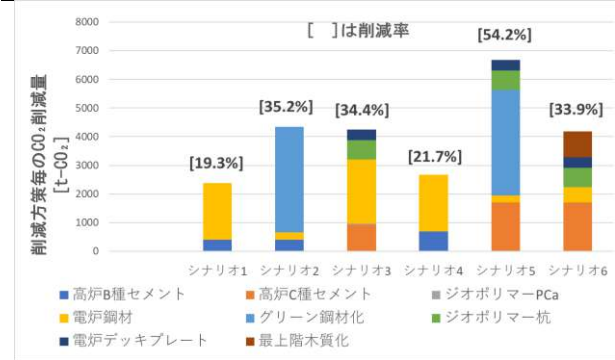


図 8 資材代替前に対する CO₂削減量

5. 削減方策の費用対効果

考案した削減方策の費用対効果を確認した。費用耐効果はコスト当たりの CO₂削減量により比較し、数値が正の値に大きいほど増加コスト 1 万円当たりの削減量が多く、削減効率の良い案といえる。図 9 のように鉄鋼材の電炉化が最も効率が良く 1 万円当たり 4.3 t の CO₂を削減できる。

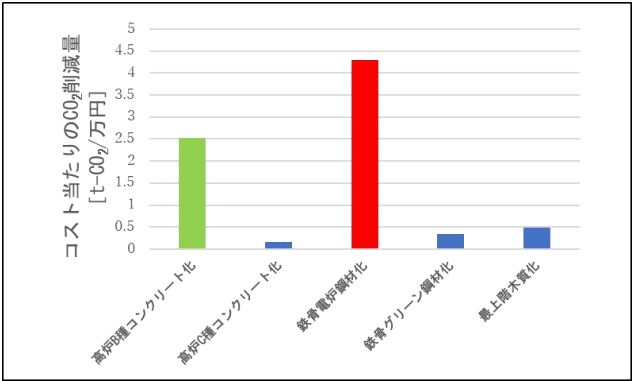


図 9 増加コスト当たりの CO₂削減量

まとめ

- 1) 本建築物に投入される資材の総重量は 31, 100 t で、最も多いのは鉄筋コンクリートの約 23, 000 t である。
- 2) 本建築物の資材製造段階 (A1-A3) からの CO₂排出量は約 12, 366 t で、鉄筋コンクリート、鉄骨、杭などの主要構造部から 10, 000 t が排出される。
- 3) 単位重量当たりの排出量では内外装材のそれが主要構造材よりも大きい。
- 4) 建築業界における脱炭素化の流れを予測し、6 つのシナリオを検討した。
- 5) シナリオ毎に資材の置き換えによる CO₂排出削減方策を検討し、最も良いシナリオでは最大で約 54% の CO₂排出を抑えることが可能であると確認した。
- 6) 増加コスト当たりの CO₂削減は鉄骨材の電炉化が最も効率的で、1 万円当たり約 4.3 CO₂を削減可能。

参考文献

- 1) 小林、田村ら、鉄骨造倉庫建築物のライフサイクル環境影響に着目した SC 分析に基づく CFP 評価、日本建築学会関東支部研究発表会、2024 年 3 月
- 2) 建物の LCA 指針 (改訂版 (2024 年版))

謝辞

本研究で評価建物データの提供などにご協力いただいた JFE シビル株式会社の関係各位に感謝の意を表します。