

電気設備のホールライフカーボン検討 ーケーススタディ 2024ー

Study on Whole Life Carbon on Electrical Installations - Case Study 2024 -

地球環境委員会

1. はじめに

本誌 2024 年 12 月号において、地球環境委員会が整備した電気設備システムのホールライフカーボン(以下、WLC)算定のためのデータベース(以下、電気設備 WLC-DB)を紹介した¹⁾。本委員会では、これまでに主要な電気設備として、変圧器、照明、太陽光発電の 3 項目について、LCCO₂、LCC 試算結果を 2015 年、2017 年、2023 年の 3 回に亘り報告してきた^{2), 3), 4)}。本稿では、整備した電気設備 WLC-DB を用い、更に 2024 年時点での最新動向も反映し、上記 3 項目の WLC を試算した結果を紹介する。

なお、電気設備 WLC-DB は、CO₂ 排出量、GHG 排出量原単位を整備したが、本稿では紙面の都合で WLC として CO₂ 排出量評価のみを掲載する。

2. 電力 CO₂ 原単位(排出係数)等の設定

WLC のうち、運用時に発生するオペレーショナルカーボンの試算に必要な電力 CO₂ 原単位は、実際に需要家が小売電気事業者から購入する状況を想定し、東京電力エナジーパートナー(株)の調整後排出係数で、2024 年 11 月時点の公表値である 2022 年度実績値⁵⁾のうち、メニュー N(残差)の 0.390t-CO₂/kWh を用いた。

LCC 試算に用いる電力料金は、東京電力エナジーパートナー(株)の 2024 年 11 月時点の業務用電力の単価⁶⁾である、基本料金 1 890.00 円/kW、従量料金(その他季) 19.16 円/kWh を用いた。

建築物寿命は、これまでは建築保全センターの「建築物の LCC」の標準である 65 年としていたが、本稿では J-CAT の標準である 60 年とした。また工事分倍率は、J-CAT で整備された値のうち、事務所ビル、RC 造の 6.6%とした。

3. 変圧器

(1) 試算条件

トップランナー制度における変圧器のエネルギー消費効率(省エネ基準)の最新の判断基準は、2023 年に公表された 2026 年度を目標とした第三次判断基準であり、2014 年度の目標であった第二次判断基準として、平均で約 16.5%の効率改善が想定されている。このエネルギー消費効率の算定に用いる基準負荷率は、変圧器容量が 500kVA 以下の場合 40%である。一方、実稼働している変圧器では、夜間等の低負荷率の運用時間帯が長いなどの理由で負荷率は 40%よりも低く、文献⁷⁾では 500kVA 以下の場合 25.9%と紹介されている。そこで本稿ではこれよりも更に低めの 20%とした。

(2) 試算ケース

300kVA モールド変圧器から 60kVA の負荷に電力供給する場合(負荷率 20%)をベースに、次のとおりとした。

- ケース a) トップランナー(2006)変圧器 300kVA
(JEM1483 : 2005 準拠品)
 - ケース b) トップランナー(2014)変圧器 300kVA
(JEM1501 : 2014 準拠品)
 - ケース c) トップランナー(2026)変圧器 300kVA
(2026 年度基準準拠品)
 - ケース d) トップランナー(2026)変圧器 150kVA
(2026 年度基準準拠品)
 - ケース e) トップランナー(2026)変圧器 100kVA
(2026 年度基準準拠品)
 - ケース f) 特殊変圧器 300kVA(アモルファス変圧器)
 - ケース g) 特殊変圧器 150kVA(アモルファス変圧器)
 - ケース h) 特殊変圧器 100kVA(アモルファス変圧器)
- ケース d), e), g), h) は、同一負荷容量(300kVA × 20% = 60kVA)で、変圧器容量を削減した場合であり、

変圧器容量 150kVA では負荷率を 40% とし、変圧器容量 100kVA では負荷率を 60% とした。

(3) 試算条件

変圧器の試算条件を整理すると、次のとおりである。

- ・評価対象：変圧器本体(変圧器盤等は含まない)
- ・定格容量(基本)：三相 6.6kV/210V 300kVA
- ・負荷容量：60kVA 相当(300kVA で負荷率 20%)
- ・損失：規格及び製造者の提示値(カタログ値)
- ・重量：製造者の提示値(カタログ値)

ただし、2026 年度基準の製品は現時点では市場にないため、2006 年度基準から 2014 年度基準へ移行した際の重量増加率(1.3 倍)を、そのまま 2014 年度基準から 2026 年度基準へ移行する際の増加率として採用した²⁾。

なお油入変圧器の場合は、この増加率を超過する可能性があることに留意されたい。

- ・年修繕率：0.23%/年(電気設備 WLC-DB)
- ・更新周期, 更新率：30 年, 107.2%(電気設備 WLC-DB)
- ・機器価格：文献 8) による実勢価格

ただし、2026 年度基準の製品は現時点では市場にないため、2006 年度基準から 2014 年度基準へ移行した際のコスト増加率(1.27 倍)を、そのまま 2014 年度基準から 2026 年度基準へ移行する際の増加率として採用した⁴⁾。

- ・工事費用：文献 8), 9) による工事価格

(4) 試算結果

① WLC

WLC の試算結果を図-1 に示す。電力損失分に相当するオペレーショナルは無負荷損分と負荷損分を区別して示した。ケース a) に対してケース b) が 17%、ケース c) が 36%、ケース d) が 27%、ケース e) が 24%、ケース f) が 63%、ケース g) が 42%、ケース h) が 14% の削減である。ケース c) の 2026 年度基準はケース b) の 2014 年度基準に対して 19% 程度の削減である。ケース f) が試算した中で最も WLC が小さい。変圧器容量を削減したケース d), e) 及びケース g), h) では、変圧器負荷損が大きくなることで WLC が大きくなった。市販されている変圧器の最高効率点は負荷率 40% あたりであるが、損失電力量の大きさは負荷率が高くなると大きくなることに留意が必要である。また、変圧器容量を削減すると WLC が大きくなる傾向は、2026 年度基準よりも特殊変圧器(アモルファス)の方が顕著

である。これはアモルファスでは全損失に対する無負荷損の比率が 10% 未満と小さく、負荷率 20% あたりで最高効率となるためである。低負荷率での運用時間帯が特に長い場合はアモルファス変圧器が優位であり、高負荷率での運用時間帯が長い場合はトッランナー変圧器が優位である。このことから、需要電力の時間変化などの特性も考慮した変圧器種別の選定が WLC の低減に寄与する。

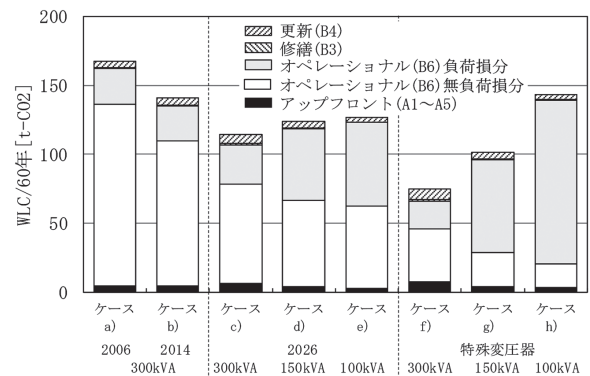


図-1 変圧器の WLC 試算結果

② LCC

LCC の試算結果を図-2 に示す。WLC と同様に電力損失分コストに相当するオペレーショナルは無負荷損分と負荷損分を区別して示した。WLC との傾向の違いとして、2026 年度基準のケース c) が最も LCC が高いことが分かる。これは変圧器価格を想定で設定したためであり、今後製造者により価格情報を入手できるようになった段階で、改めて試算する必要がある。また、変圧器容量を削減したケース d), e) 及びケース g), h) では、削減前より LCC が低いことも WLC との傾向と異なる傾向である。このように LCC が低くても WLC が大きくなるケースがあることを踏まえ、実際の設備設計の際には、施主、設計者、使用者などの関係者が認識合わせをしておく必要がある。

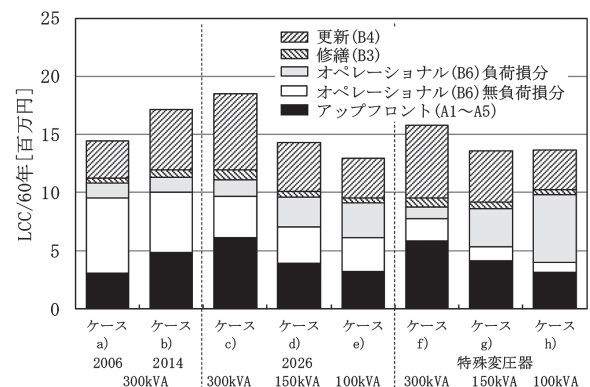


図-2 変圧器の LCC 試算結果

4. 照明

(1) 試算条件

一体型LEDベースライトの器具効率は、2017年のLCCO₂評価時から2024年まで150lm/W(高効率特化型では180lm/W超過)程度であり、器具効率向上のための技術は、既に成熟しているが、効率向上以外の取組として再生樹脂化・再生鉄化などの省資源化や器具構造見直しによる軽量化等でエンボディードカーボンの低減を図っている事例がある。また、センサによる消費電力削減は、将来は更なる効果向上の可能性はあるが、本稿では2023年と同じとする。2023年試算からの変更点は、新たに整備した電気設備WLC-DBではLED照明器具のCO₂排出量が減ったことなど、WLC算定方法に関わる条件のみであり、試算ケースの考え方は2023年試算と同じである。以下に要点のみを整理して記載する。

(2) 試算ケース

照明の試算条件は次のとおりである。

- ケースa) Hf32W×2灯用
- ケースb) 一体型LED(2017)
- ケースc) 一体型LED(2024)
- ケースd) 一体型LED(2024) + 従来型センサ
- ケースe) 一体型LED(2024) + 画像センサ
- ケースf) 一体型LED(2024)高効率特化型
- ケースg) 一体型LED(2024)設定照度 500lx

(3) 試算条件

①オフィス専有部の試算条件(図-3)

- ・平面プラン：6.4m×12.8m(3.2mスパン)
- ・天井高さ：2.7m
- ・設定照度：机上面(床面高さ0.8m) 750lx, 500lx
- ・器具形式：埋込下面開放

②照明の共通条件

- ・年間点灯時間：3 000時間/年
- ・対象器具：一体型LEDベースライト, 消費電力43W(2017年, 2023年とも同じ)
- ・センサによる消費電力削減効果：
 - 従来型センサ：14.5% (明るさ + 人感)
 - 画像センサ：33% (明るさ - 人感)

上記の削減率は、単位制御エリアの人数を1人、点灯保持時間を1分、減光時の調光率を1/3とし、文献10)の計算方法により算出した。

- ・器具選定：各ケースにおいて同一台数でほぼ同照度となるよう2024年度公共型番から選定した。
- ・年修繕率：1.67%/年(電気設備WLC-DB)

- ・更新周期, 更新率：30年, 118.0%

(電気設備WLC-DB)

修繕内容は、3 000時間/年×15年=45 000時間経過時に、器具のうちLEDユニット部分のみを取り換えるものである。

- ・器具単価・工事費用：文献7)の単価を基本とし、文献7)に記載がない器具については、2017年時報告と同じ単価とした。工事費用は文献8), 9)に拠った。

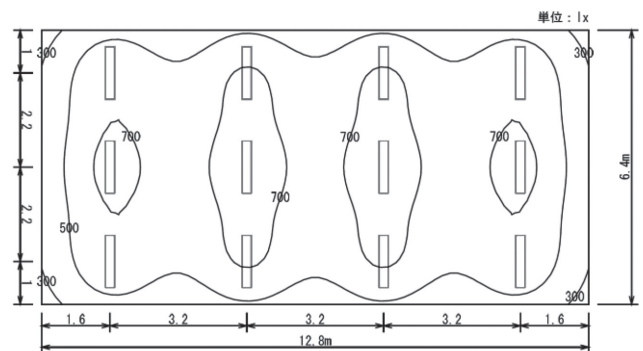


図-3 オフィス専有部の平面図と照度分布の例
(設定照度 500lx)

(4) 試算結果

①WLC

WLCの試算結果を図-4に示す。2017年時と今回の2024年で一体型LEDの消費電力が同じであるため、ケースc)とケースb)のWLCはほぼ同じである。センサを組み合わせたケースd)及びケースe)はケースc)よりも運用時電力を削減でき、LCCO₂の削減にはセンサ類の組み合わせが有効である。画像センサは、センシング技術の高度化により、従来型センサよりもきめ細かい制御が可能であり、最もWLCが小さい。

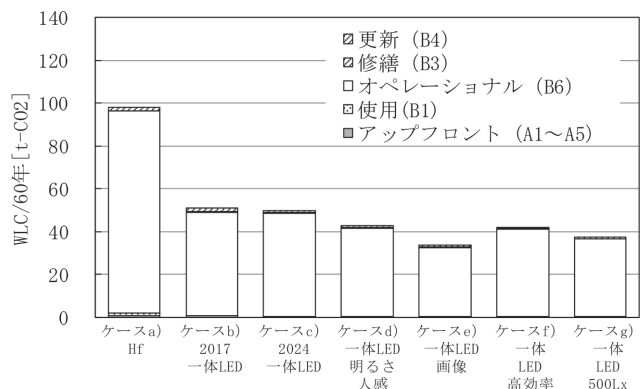


図-4 オフィス専有部照明のWLC試算結果

設定照度750lxのケースc)と500lxのケースg)を比較すると、ケースg)は取付台数が3/4となり、運用時電力も取付台数に比例するため、WLCは削減される。高効率特化型のケースf)は、同一設定照度のままで運用時電力を削減でき、WLC削減に非常に有効である。

②LCC

LCCの試算結果を図-5に示す。いずれのケースでも、運用時以外の比率がWLCよりも大きい。これは15年周期でLEDユニット交換を行う修繕が比較的大きいためである。また、ケースd)とケースe)を比較すると、運用時はケースe)が小さいが、LCCではケースd)が小さい。これは画像センサのコストが従来型センサよりも高いためである。一方、センサや器具により照明制御を高度化することで、リモコンリレーや制御用配線の削減等によるコスト削減効果も見込める。よって、実設計ではこれらも考慮し総合的に採否を検討する必要がある。設定照度を変えたケースc)とケースg)を比較すると、ケースg)は、建設、運用、修繕、更新のいずれのステージにおいてもケースc)より、設定照度比率と同じ25%削減される。よって、設定照度を適正な範囲で低くし、器具の設置台数を少なくすることが、LCCの削減には効果的である。

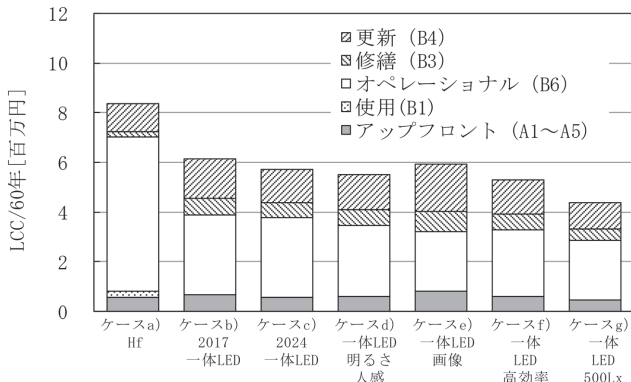


図-5 オフィス専有部のLCC試算結果

5. 太陽光発電

(1) 試算条件

2023年試算からの変更点は、太陽電池パネルのCO₂排出量原単位が減ったこと、太陽電池パネルの年修繕率を0%としたこと、パワーコンディショナ(以下、PCS)の更新周期が変わったことなど、電気設備WLC-DBに直接関わる条件のみであり、試算ケースの考え方は2023年試算と同じである。太陽電池パネルのCO₂排出量原単位は、建築学会LCAデータベースでは明確にされておらず、今回NEDOの最新調査研究成果¹¹⁾をもとに電気設備WLC-DB¹⁾に明記した。この電気設備WLC-DBを用いた試算例を以下に整理して記載する。

(2) 試算ケース

太陽光発電の試算ケースは、次のとおりとした。

ケースa) PCS出力20kW：全量売電

発電電力量を全て電力会社に売電する。太陽光発電システムは、配電系統には低圧で連系する。

ケースb) PCS出力20kW：自家消費・余剰売電

発電電力量のうち自家消費以外の余剰分を売電する。

ケースc) PCS出力20kW：自家消費・余剰売電

+蓄電池システム20kWh設置

発電電力量のうちピークカット(最大需要電力の低減)を目的に蓄電池を充電し、残りを余剰売電する。

ケースd) PCS出力20kW, 太陽電池パネル容量36kW

(過積載) 自家消費・余剰売電

このケースd)はPCSに比べ太陽電池パネル容量が大きい「過積載」の場合である。

WLCとLCCは、太陽光発電を設置しない場合を基準とし、基準よりCO₂排出量やコストが増加する分をプラス、削減できる分をマイナスとして評価した。

(3) 試算条件

①年間発電電力量

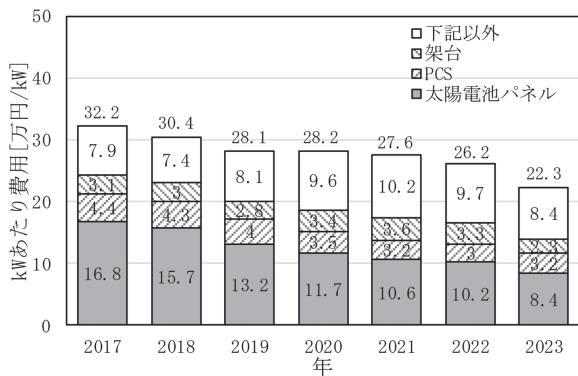
ケースa)~ケースc)においては、太陽電池モジュールを、東京地区(中央区)、南向き、年間最適傾斜角度37°(NEDO日射量データベースMONOSOLA-20¹²⁾で算出)で設置する条件とし、建築物省エネルギー法で規定された非住宅建築物の省エネルギー基準(平成28年度基準)への適合性を判定するエネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版)WEBPRO(標準入力法)¹³⁾を用いて計算した結果である0.994MWh/kW/年とした。過積載のケースd)においては、同一の設置条件において、The BEST Programで計算したケースd)とケースb)の発電量の比率を乗じて算出している。PCS出力で頭打ちとなるためパネル容量比とはならない。

②買取価格

2024年度の10kW以上50kW未満のFIT買取価格である9.2円+消費税とした。

③建設時コスト

資源エネルギー庁による2024年度の固定価格買取制度の買取単価の設定根拠として示された、事業用太陽光発電(10kW以上)の費用¹⁴⁾を図-6に示す。これは当該年に設置された太陽光発電費用の部材別平均値であり、徐々に費用が低減していることが分かる。本稿では2023年度の値を用いた。



文献14)のデータをもとに委員会にて作成

図-6 太陽光発電システムkWあたり費用の推移

④CO₂排出量原単位

太陽電池パネルの排出量原単位の数値及び算出方法は文献1)の表-3で紹介したとおり、文献11)を参考に本委員会で整備した。原単位の変遷を含めて、文献1)を参考にされたい。他の部材を含め、表-1に示す。

表-1 太陽光発電の各部材のCO₂排出原単位

部材	CO ₂ 排出量原単位 GHG 排出量原単位	根拠
太陽電池パネル	733.8kg-CO ₂ /kW 1 020.9kg-CO ₂ eq/kW	文献1) 単結晶 Si
接続箱	4.437kg-CO ₂ /kg	文献1)
パワーコンディショナ	4.835kg-CO ₂ eq/kg	
架台	1.380kg-CO ₂ /kg 1.413kg-CO ₂ eq/kg	文献15) 普通鋼型鋼
配線材料	8.398kg-CO ₂ / 導体 kg 8.881kg-CO ₂ eq/ 導体 kg	文献1)
蓄電池	4.948kg-CO ₂ /kg 5.326kg-CO ₂ /kg	文献1)

⑤質量

文献16)で調査された単結晶シリコンの太陽光発電システムの部材別重量例、及びデータベース「別表」の製造者カタログ値、実プロジェクト計画値から算出した原単位を表-2に示す。前項で記述のとおり、技術変化の著しい分野であり、実務では製造者カタログなどで確認することが望ましい。本稿の検討ケースでは、下表のうち製造者カタログ記載値及び実プロジェクトからの算出値を用いた。

表-2 太陽光発電の各部材のkWあたり重量の例

部材	文献16)	製造者 カタログ ¹⁾	屋上設置の 計画例
太陽電池パネル	87.9kg/kW	56.0kg/kW	-
接続箱	1.2kg/kW	下記に含む	-
パワーコンディショナ	15.0kg/kW	3.6kg/kW	-
架台	142.2kg/kW	-	300.9kg/kW ^{*1}
配線材料	16.9kg/kW	-	14.9kg/kW ^{*2}
蓄電池	-	37.5kg/kWh	-

* 1) 一次鉄骨 H 鋼 150×150×7×10、雑鉄骨 C-75×40×5

* 2) CET14mm²×50m ほか

⑥修繕・更新に関する係数

電気設備 WLC-DB より以下とした。

なお、今後太陽電池パネルのリサイクル義務化などの議論も進むと思われる、CO₂排出量原単位とともに注視が必要である。

表-3 太陽光発電の各部材の更新周期・更新率・年修繕率

部材	更新周期	更新率	年間修繕率
太陽電池パネル	25年	124.0%	0%/年
接続箱	30年	107.8%	0.33%/年
パワーコンディショナ	25年	111.0%	0%/年
架台	65年	100.0%	0%/年
配線材料	40年	122.3%	0%/年
蓄電池	20年	108.2%	5.39%/年

(4) 試算結果

①WLC

WLCの計算結果を図-7に示す。前回報告との比較のため、一番左側に前回の2023年報告のケースa)相当のグラフを記載した。今回のケースa)では、前回報告とPV容量が同じであることから、太陽光発電で削減できるCO₂排出量は同じである。また、年修繕率を0%としたことでWLCのマイナス分が若干ではあるが大きくなった。ケースb)は、ケースa)に対して発電電力の売電方法が変わるのみであるため、WLCはケースa)と同じである。ケースc)では蓄電池のアップフロント、更新、修繕のプラス分と、充放電ロスにより発電電力量中の消費電力量が小さくなるマイナス分の減少により、合計WLC削減量はケースa)、ケースb)より減少する。ケースd)では太陽電池パネルを増やしたためアップフロントと更新が大きくなるが、発電電力量が約1.6倍に大きくなるためマイナスが大きくなる。

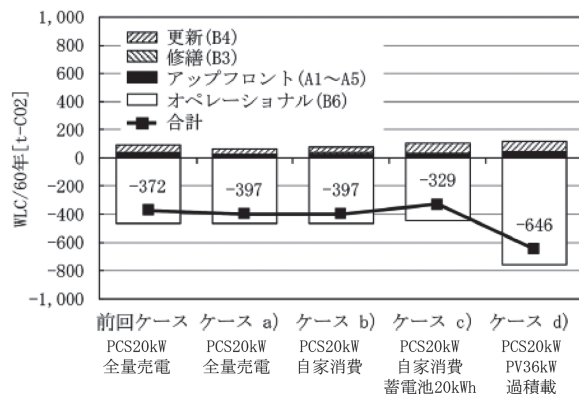


図-7 太陽光発電のWLC試算結果

②LCC

LCCの試算結果を図-8に示す。ケースa)では太陽光発電システムの導入費用の削減や点検周期の見

直しにより、前回の検討ケースの比較して合計LCCは減少した。ケースb)では発電電力を全て自家消費し、FIT/FIP売電価格より購入電力単価の方が高いことから、LCCはマイナスとなった。ケースc)では、ピークカット効果による基本料金削減により運用分のマイナスが大きくなるが、蓄電池分の費用がかかり、合計LCCはケースa)とb)の間となった。ケースd)では太陽電池パネルを増やしたためアップフロントと更新が大きくなるが、発電電力量が約1.6倍に大きくなるため、LCCはケースb)よりも更にマイナスが大きくなる。

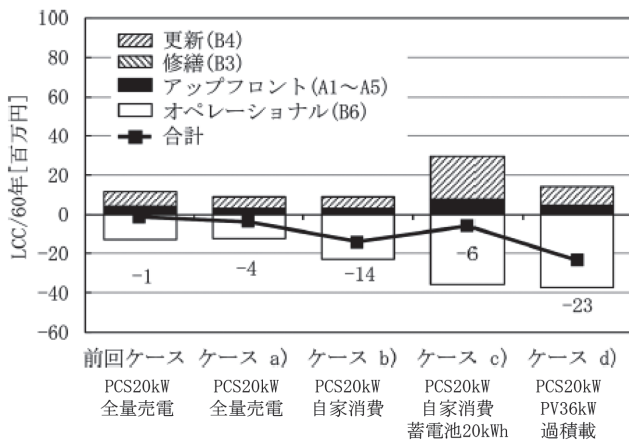


図-8 太陽光発電のLCC試算結果

6. おわりに

2024年はゼロカーボン推進会議により、算定の考え方、ツールなどが整備された1年となった。今後、発注時のCO₂算定結果の提出や、制度として公的な算出などの検討も進むと思われる。本委員会では情報収集を継続するとともに、引き続きカーボンニュートラル実現に資する調査研究を実施していく。

参考文献

- 1) 地球環境委員会：「電気設備のホールライフカーボン検討データベース整備2024-」, 電気設備学会誌Vol.44 No.12, pp.749-754
- 2) 地球環境委員会：「電気設備のLCCO₂, LCC削減のケーススタディ」, 電気設備学会誌Vol.35 No.4, pp.267-274(2015)
- 3) 地球環境委員会：「電気設備のLCCO₂, LCC削減のケーススタディ2017」, 電気設備学会誌Vol. 37 No.11, pp.813-816(2017)
- 4) 地球環境委員会：「電気設備のLCCO₂, LCC削減のケーススタディ2023」, 電気設備学会誌Vol.43 No.12, pp.815-820(2023)
- 5) 環境省：「電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用)-R4年度実績-」, <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>
- 6) 東京電力エナジーパートナー(株)Webサイト：https://www.tepco.co.jp/ep/corporate/plan_h/plan04.html
- 7) 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 変圧器判断基準ワーキンググループ：「事業用変圧器のとりまとめ」, 令和5年6月15日
- 8) 建設物価調査会：「建設物価(2024年)9月号」
- 9) 建築コスト管理システム研究所：「公共建築工事積算基準 令和5年版」
- 10) 住宅性能評価・表示協会在室検知制御(下限調光方式)の係数の算出方法に関する任意評定ガイドライン(2020)
- 11) (国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構：「2021年度調査報告書 戦略策定調査事業 太陽光発電の持続可能化技術に関する調査」, 2022年3月
- 12) NEDO, 日射量データベース閲覧システム, https://appww2.infoc.nedo.go.jp/appww/monsola_map.html
- 13) (国研)建築研究所, エネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版)標準入力法 <https://building.app.lowenergy.jp/>
- 14) 資源エネルギー庁：「調達価格等算定委員会資料」2023年12月, https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/091_01_00.pdf
- 15) 日本建築学会, 建物のLCA指針改定版, 2024年3月
- 16) みずほ情報総研(株)：「太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」, 平成19~20年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書

＜地球環境委員会 委員＞		
△：途中退任 ○：途中就任		
委員長	滝澤 総	(株)日建設
委員	△小野田修二	大成建設(株)
〃	○内田 元	大成建設(株)
〃	上村 健	鹿島建設(株)
〃	△小田島範幸	清水建設(株)
〃	○菅 裕之	清水建設(株)
〃	河野 哉穂	(株)大林組
〃	菊池良直	東光電気工事(株)
〃	小林 浩	(株)トーエネック
〃	近藤 裕介	国土交通省
〃	鷹野 一朗	工学院大学
〃	寺田克己	東芝インフラシステムズ(株)
〃	○水出 隆	東芝インフラシステムズ(株)
〃	△留目 真行	(株)関電工
〃	△平山 敬通	(株)関電工
〃	○長谷川光正	(株)関電工
〃	丸林 洋大	パナソニック(株)
事務局	齋藤 範幸	(一社)電気設備学会

