

# 電気設備のLCCO<sub>2</sub>, LCC削減の ケーススタディ 2023

Study on LCCO<sub>2</sub> and LCC Saving on Electrical Installations 2023

地球環境委員会

## 1. はじめに

電気設備学会地球環境委員会では、電気設備に関する環境負荷削減手法のライフサイクルCO<sub>2</sub>(以下、LCCO<sub>2</sub>)及びライフサイクルコスト(以下、LCC)評価に関する情報発信を行っている。具体的には、2017年11月号の学会誌で、電気設備の中で技術や価格などの状況変化が著しい、変圧器、照明、太陽光発電の3項目について、当時の最新技術を反映させたLCCO<sub>2</sub>、LCC評価結果を報告(以下、前回報告)した<sup>1)</sup>。

その後6年が経過したことから、改めて最新技術を反映させるべく前回報告の見直しを行った。

## 2. 電力CO<sub>2</sub>原単位(排出係数)等の動向

LCCO<sub>2</sub>評価において共通的な条件である電力CO<sub>2</sub>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、現時点で公表されている最新値である2021年度実績値<sup>2)</sup>のうち、メニューL(再生可能エネルギーによる発電等を含まないメニュー)の0.456t-CO<sub>2</sub>/kWhを用いた。

LCC評価における電力料金は、東京電力エナジーパートナー(株)の2023年1月時点の業務用電力の単価<sup>3)</sup>である、基本料金1716.00円/kWh、従量料金16.38円/kWhを用いた。建築物寿命としては65年を用いた。

## 3. 変圧器

### 3.1 近年の動向

変圧器のトップランナ制度は2006年度の第一次判断基準(JEM1483:2005等)からスタートし、2014年には第二次判断基準(JEM1501:2014等、以下2014年度

基準)に移行した。その後2023年に、経済産業省が新たに2026年度を目標とする新たなエネルギー消費効率(以下、2026年度基準)を公表した<sup>4)</sup>。2026年度基準は、2014年度基準と比較して、基準負荷率における目標基準値(全損失[W])が、平均で約16.5%削減されている。図-1に、300kVA 50Hzでの変圧器種別ごとの基準エネルギー消費効率を示す。2014年度基準を100%としたときの2026年度基準を示しており、モールド三相変圧器では1020Wから910Wの89.2%となり、10.8%削減されている。

### 3.2 検討ケース

本報では、1999年以前の旧型変圧器から2026年度基準までの同一負荷容量でのLCCO<sub>2</sub>とLCCを試算した。具体的な検討ケースは、300kVAモールド変圧器で基準負荷率40%(120kVA相当)をベースに次のとおりとした。

ケースa) 旧型変圧器300kVA(JIS C4306:1999準拠品)

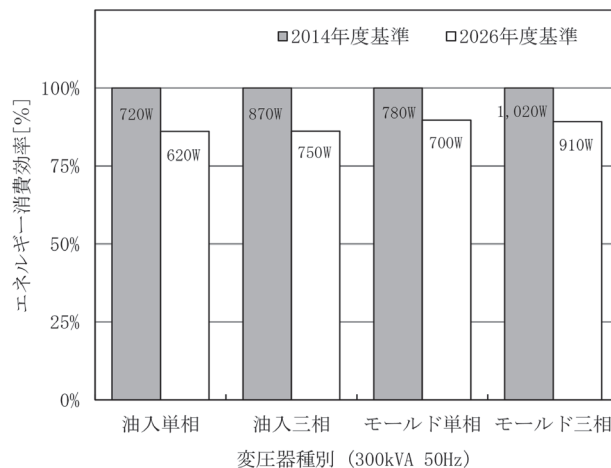


図-1 変圧器種別ごとの目標基準値  
(2014年度基準と2026年度基準の比較)

- ケースb) トップランナ以前の変圧器 300kVA (JEM1475 : 2000 準拠品)
- ケースc) トップランナ(2006) 変圧器 300kVA (JEM1483 : 2005 準拠品)
- ケースd) トップランナ(2014) 変圧器 300kVA (JEM1501 : 2014 準拠品)
- ケースe) トップランナ(2026) 変圧器 300kVA (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) トップランナ(2014) 変圧器 200kVA (JEM1501 : 2014 準拠品)
- ケースh) トップランナ(2026) 変圧器 200kVA (2026 年度基準準拠品)

ケースg)及びケースh)は、同一負荷容量(300kVA × 40% = 120kVA)で、変圧器容量を一段階削減した場合であり、容量を200kVAとし負荷率を60%とした。

### 3.3 検討条件

- ・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：120kVA相当(300kVAで負荷率40%)
- ・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)
- ・機器価格：文献5)による実勢価格

2026年度基準の製品は現時点では市場にないため、仮説を立てて価格を想定した。変圧器価格は、2017年と比較すると日本経済全体の物価トレンドに合わせて上昇しており、原材料と製造コストの高騰から、今後も上昇基調は維持されると推測できる。しかし、本稿ではその影響は考慮せず、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)とコスト増加率(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。

- ・修繕周期, 修繕率：15年, 8%
- ・更新周期, 更新率：30年, 8.5%

上記の修繕, 更新に関する条件設定の考え方は前回報告と同じであり、具体的な周期と率は現時点で最新である文献6), 7)を参照して決定した。

- ・工事に関する費用：文献8)による工事価格

### 3.4 検討結果

#### (1) LCCO<sub>2</sub>

LCCO<sub>2</sub>の試算結果を図-2に示す。ケースa)に対してケースb)が22%, ケースc)が38%, ケースd)が

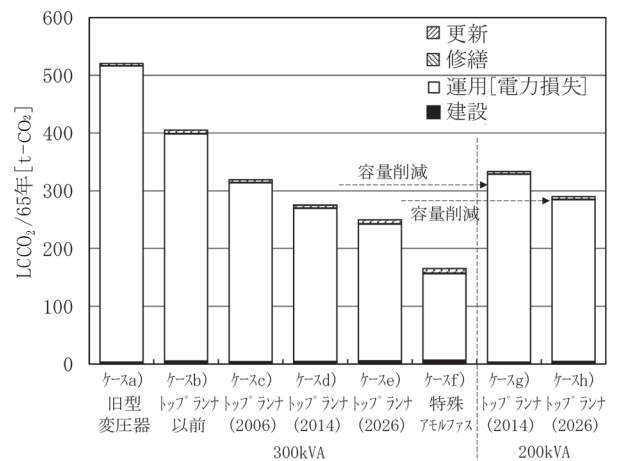


図-2 変圧器のLCCO<sub>2</sub>試算結果

47%, ケースe)が52%, ケースf)が68%, ケースg)が36%, ケースh)が44%の削減である。ケースe)の2026年度基準はケースd)の2014年度基準に対して5%程度の削減である。全体ではアモルファス変圧器のケースf)が最も低くなった。

同一負荷容量に対して変圧器容量を削減して負荷率を高くしたケースg)及びケースh)では、削減前よりも運用時の電力損失が大きくなりLCCO<sub>2</sub>が大きくなる。ケースd)とケースg)は2014年基準どうしの比較であり、ケースg)はケースd)より11%大きい。変圧器が最高効率となる負荷率は40%あたりであるため、40%を超えると負荷損が大きくなりLCCO<sub>2</sub>が大きくなる。このことから、40%あたりの負荷率となるよう変圧器容量を選定することが、LCCO<sub>2</sub>の削減に寄与するといえる。

#### (2) LCC

LCCの試算結果を図-3に示す。ケースa)に対してケースb)からケースd)は、建設及び更新費用が高くなるが運用時の電力損失が削減されるため、LCCは小さくなる。ケースe)は建設及び更新費用が高くなる。

なお、各メーカーにおいて2026年度基準変圧器の製品ラインナップが整うと同時に、建設及び更新費用は下がる見込みである。ケースf)は、運用時の電力損失が少なく、建設及び更新費用の比率が大きい。変圧器容量を小さくした場合のケースg)とケースh)はほぼ同じであり、2014年度基準を2026年度基準に更新してもLCCはほぼ同じであった。また、2014年度基準で変圧器容量を変えたケースd)とケースg)のLCCはほぼ同じであった。この理由は、ケースg)の負荷損による電力損失が大きく、建設時及び更新時の減分が運用時の増分で相殺されるためである。このことから、同じ負荷容量に

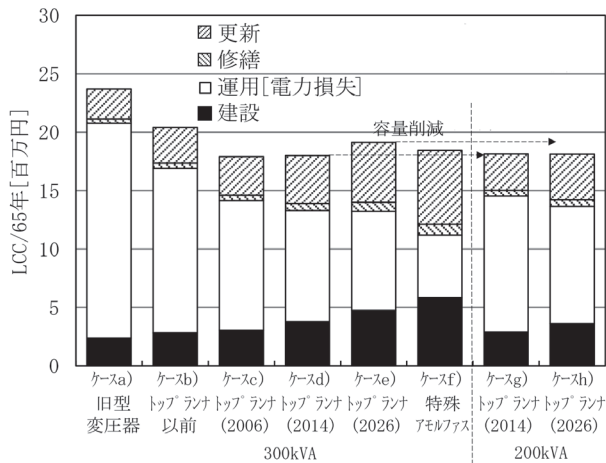


図-3 変圧器のLCC試算結果

対して変圧器容量を小さくしても、LCCは必ずしも削減できるわけではないといえる。

## 4. 照明

### 4.1 近年の動向

LED照明は前回報告の2017年時点で普及が進んでおり、器具効率(lm/W)の向上と低価格化は進んでいた。今回の試算に当たり最新動向を調査したところ、一体型LEDベースライトの器具効率は、2017年時点で150lm/Wであったが、同タイプの2023年最新型の器具効率も2017年時点と同じであった。高効率特化型も同様で、2017年時点で180lm/Wを超えており、器具効率向上のための技術は、既に成熟しているものと考えられる。

一方、センサによる消費電力削減は、画像センサ等のセンシング技術の高度化により、従来よりもきめ細かい制御が可能となっており、今後も更なる消費電力削減効果を見込めると考えられる。

### 4.2 検討ケース

本報では、前回報告と同様にLED照明器具のオフィス専有部への導入を想定し、前回報告と比較してLCCO<sub>2</sub>とLCCがどの程度削減されるかを試算した。また、設定照度を低くする効果も試算した。前回報告の検討ケースに2023年の最新一体型LEDベースライトを追加し、更にセンサを設置した場合、高効率に特化した器具を使用した場合、設定照度500lxの場合を追加した。また、既にLED照明が主流であることを鑑み、前回報告まで検討ケースに含めていたFLR蛍光灯を省いた。

ケースa) Hf32W×2灯用

ケースb) 一体型LED(2017)

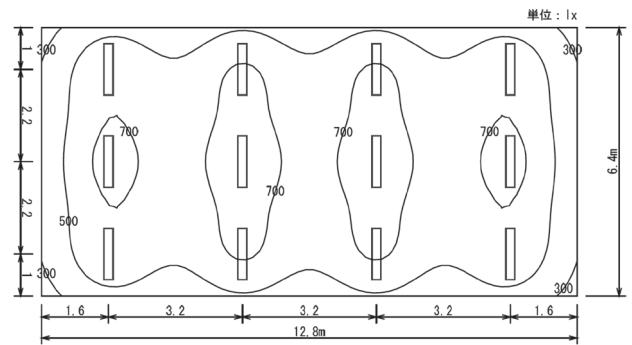


図-4 オフィス専有部の平面図と照度分布の例 (設定照度500lx)

ケースc) 一体型LED(2023)

ケースd) 一体型LED(2023) + 従来型センサ

ケースe) 一体型LED(2023) + 画像センサ

ケースf) 一体型LED(2023)高効率特化型

ケースg) 一体型LED(2023)設定照度500lx

### 4.3 検討条件

#### (1) オフィス専有部の検討条件(図-4)

- ・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) 共通条件

- ・年間点灯時間：3000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9)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2023年度公共型番から選定した。

- ・修繕周期、修繕率：15年、50%

- ・更新周期、更新率：30年、11.2%

修繕は、3000時間/年×15年=45000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ことを想定したものである。

- ・器具単価：文献10)の単価を基本とし、文献10)に記載がない器具については、前回報告と同じ単価とした。

## 4.4 検討結果

### (1) LCCO<sub>2</sub>

LCCO<sub>2</sub>の試算結果を図-5に示す。前回報告の2017年時と今回の2023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)はほぼ同じである。よって、2017年の器具を2023年の器具に更新してもLCCO<sub>2</sub>削減効果は見込めない。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、LCCO<sub>2</sub>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LCCO<sub>2</sub>が小さい。

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、LCCO<sub>2</sub>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、LCCO<sub>2</sub>削減に非常に有効である。

### (2) LCC

LCCの試算結果を図-6に示す。図-6の傾向は、図-5のLCCO<sub>2</sub>と同様である。いずれのケースでも、運用時以外の比率がLCCO<sub>2</sub>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の削減には効果的といえる。

### (3) 単位設備電力

運用時の単位設備電力(単位: Wh/h/m<sup>2</sup>)を図-7に示す。こうすることで、単純に省エネルギー性能を評価できる。2023年の一体型LEDであるケースc)は8.4 Wh/h/m<sup>2</sup>であり、前回報告時の最新器具であるケースb)と同じである。一方、センサ類、特に画像センサを組み合わせた場合や、高効率特化型のケースf)、設定照度を低くしたケースg)では、単位設備電力は削減される。

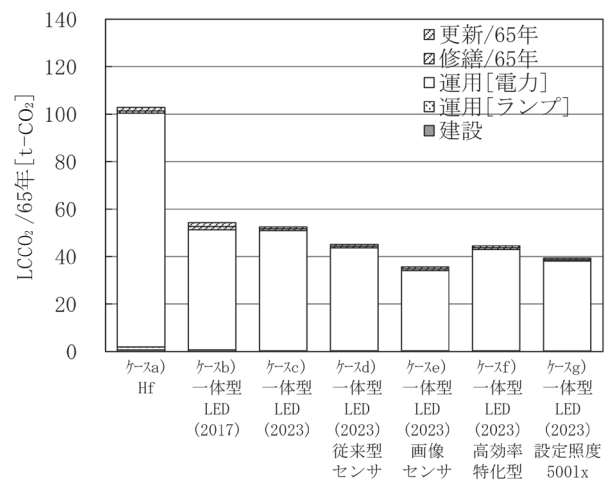


図-5 オフィス専有部のLCCO<sub>2</sub>試算結果  
(一体型LEDの比較)

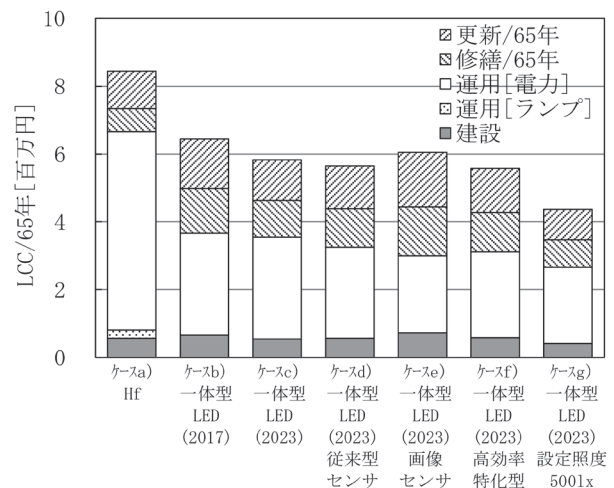


図-6 オフィス専有部のLCC試算結果  
(一体型LEDの比較)

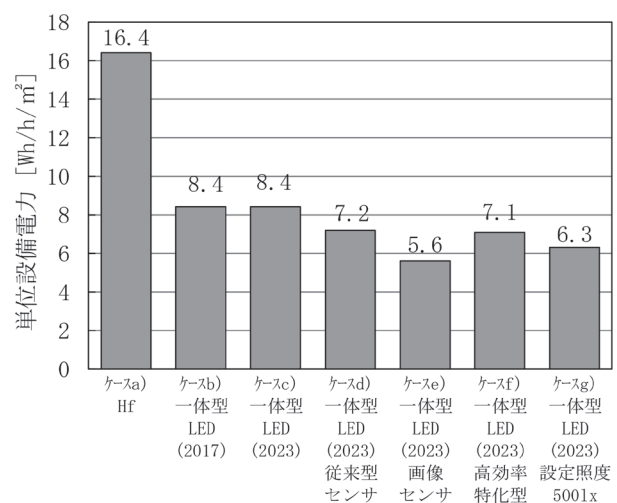


図-7 オフィス専有部の単位設備電力の試算結果

以上の試算結果から、一体型LEDにプラスして、センサ類の活用がLCCO<sub>2</sub>の削減に大きく貢献することが再認識された。それに加えて、今後はカーボンニュート

ラルの実現の観点からも、設定照度の見直しにより、器具台数そのものを削減するなど、照明設計の根本的な考え方を変えていく必要がある。

## 5. 太陽光発電

### 5.1 近年の動向

太陽光発電設備は、固定価格買取制度(FIT)が2012年7月に導入されて以降、急速に普及が拡大した。その後、FITの買取価格は徐々に引き下げられ、新たに入札制度やFIP制度が導入された。これに伴い、太陽光発電設備の導入費用も低下している。一方で2021年後半からの原油価格の上昇とともに電気料金が高騰しており、FIT制度を利用して売電を行うより、発電した電力を自家消費する方が、コストメリットが出る状況にある。

技術的には、太陽電池(PV)モジュールの高効率化や大型化が進んでいる。図-8にPVモジュールの研究レベルの変換効率の推移<sup>11)</sup>を、図-9にT社製単結晶PVモジュールの面積・質量当たりの公称発電電力の推移を示す。これにより、同じ定格出力の太陽光発電設備の場合、PVモジュールの必要枚数が過去と比較して少なくなり、導入費用の低下に貢献している。

### 5.2 検討ケース

検討ケースは、太陽光発電システムの定格発電出力を20kWとし、次のとおりとした。

ケース a) 太陽光発電システム 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) 太陽光発電システム 20kW：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) 太陽光発電システム 20kW：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。

LCCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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。

### 5.3 検討条件

#### (1) 年間発電電力量

太陽電池モジュールを、東京地区、南向き、傾斜角度20°で設置する条件で、NEDOが提供する発電量試算ソフトウェアのSTEP-PV Ver.2 試用版を用いて計算した。

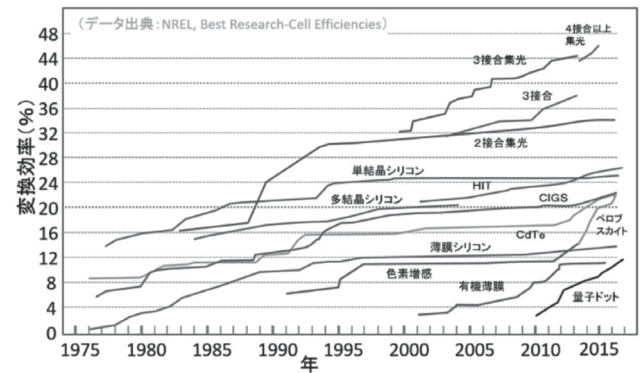


図-8 研究レベルのPV変換効率の推移<sup>11)</sup>

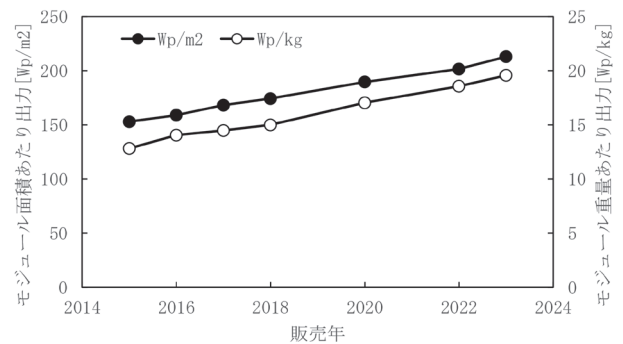


図-9 PVモジュールの面積・質量当たりの公称発電電力の推移

### (2) 買取価格

2023年度の10kW以上50kW未満のFIT買取価格である10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2023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コストデータ<sup>12)</sup>のうち、屋上設置の10kW以上の平均値269千円/kW(前回報告では327千円/kW)を用いた。

### (4) 更新・修繕

更新・修繕に関する条件のうち、太陽光発電設備の点検周期を前回報告から変更した。前回報告では更新年を除き、毎年1回の点検を実施すると設定していたが、文献13)により50kW未満の太陽光発電設備に対する点検周期が例示されたため、4年に1回に見直した。

## 5.4 検討結果

### (1) LCCO<sub>2</sub>

LCCO<sub>2</sub>の計算結果を図-10に示す。前回報告との比較のため、一番左側に前回報告のケースa)相当のグラフを記載した。今回のケースa)では、前回報告と比べてPV容量が同じであることから、太陽光発電で削減できるCO<sub>2</sub>排出量も同等となり、点検周期の見直しにより若干LCCO<sub>2</sub>のマイナスが大きくなった。ケースb)は、

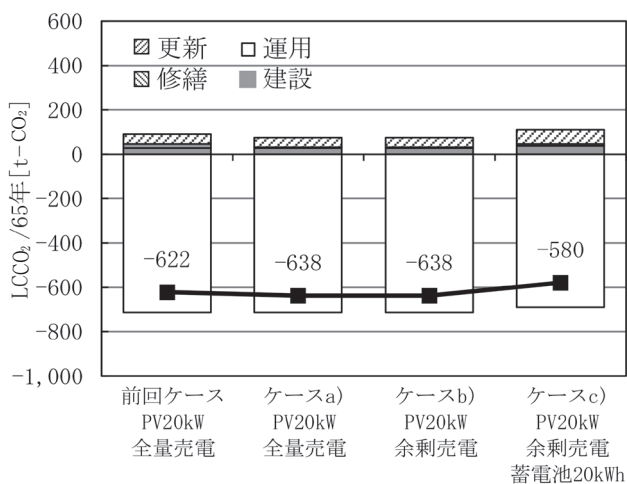


図-10 太陽光発電に関するLCCO<sub>2</sub>の試算結果

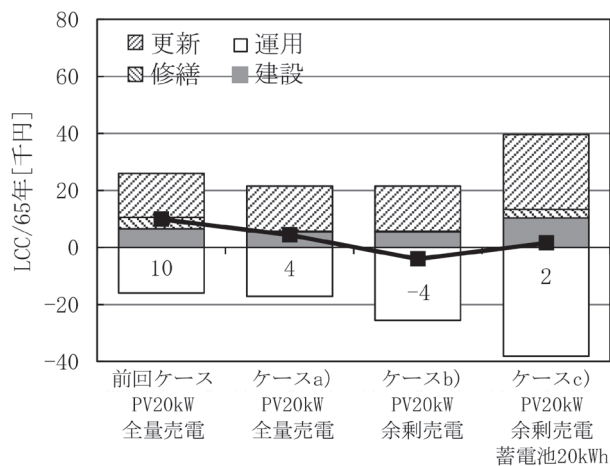


図-11 太陽光発電に関するLCCの試算結果

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LCCO<sub>2</sub>はケースa)と同じである。ケースc)では蓄電池の建設・更新・修繕でのプラス分と、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LCCO<sub>2</sub>削減量はケースa), ケースb)より10%ほど減少する。

## (2) LCC

LCCの試算結果を図-11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、前回の検討ケースとの比較にて合計LCCは改善した。ケースb)では発電電力を全て自家消費し、FIT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。

## 5.5 CO<sub>2</sub>原単位に関する留意点

今回の検討では、太陽光発電設備のCO<sub>2</sub>原単位は、2009年度のNEDOによる調査研究データ<sup>14)</sup>を使用した。一方、国内では近年、コスト面から中国製PVモジュールの採用が多い。中国製のCO<sub>2</sub>原単位については海外の調査事例<sup>15)</sup>があり、これによるとPVモジュール単体では今回使用した値の2倍以上のCO<sub>2</sub>原単位である。よって、LCCO<sub>2</sub>削減の観点ではCO<sub>2</sub>原単位をメーカーに確認するなど留意する必要がある。

## 6. おわりに

建物のLCA指針の改定が日本建築学会によって検討されており、本委員会では情報収集を継続するとともに、今後も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。

※本委員会構成は、2023年11月号に掲載。

### 参考文献

- 1) 電気設備学会地球環境委員会：「電気設備のLCCO<sub>2</sub>, 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)
- 2) 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) - R3年度実績 -」, [https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r05\\_coefficient\\_rev4.pdf](https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r05_coefficient_rev4.pdf)
- 3) 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](https://www.tepco.co.jp/ep/corporate/plan_h/plan04.html)
- 4) 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
- 5) 建設物価調査会：「建設物価(2023年)7月号」
- 6) (一財)建築保全センター：「平成31年版建築物のライフサイクルコスト第2版」(2019)
- 7) (一社)日本建築学会：「建築物のLCA指針 温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール 改訂版」(2013)
- 8) (一財)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」(2023)
- 9) 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価ガイドライン
- 10) 建設物価調査会：建設物価(2023年8月号)
- 11) 産業技術総合研究所Webサイト：[https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about\\_pv/principle/principle\\_4n.html](https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about_pv/principle/principle_4n.html)
- 12) 資源エネルギー庁：「調達価格等算定委員会資料」2022年12月, [https://www.meti.go.jp/shingikai/santeei/pdf/082\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/santeei/pdf/082_01_00.pdf)
- 13) (一社)日本電機工業会/太陽光発電協会「太陽光発電システム保守点検ガイドライン」2019年12月27日改訂
- 14) 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
- 15) Müller, Amelie, Lorenz Friedrich, Christian Reichel, Sina Herceg, Max Mittag, and Dirk Holger Neuhaus. "A comparative life cycle assessment of silicon PV modules: Impact of module design, manufacturing location and inventory." Solar energy Materials and Solar Cells 230(2021)