

# 製造・発送電・走行を考慮した 走行中給電による温室効果ガスの削減効果

正員 清水 修<sup>a)</sup> 正員 永井 栄寿\* 正員 藤田 稔之\*  
上級会員 藤本 博志\* 正員 郡司 大輔\*\* 正員 角谷 勇人\*\*\*  
正員 高橋 英介\*\*\* 正員 山口 宜久\*\*\* 正員 谷 恵亮\*\*\*

## Evaluating Reduction of Greenhouse Gas Emission by Magnetic Resonance Coupled Dynamic Wireless Power Transfer of Electric Vehicles Considered with Vehicle Production

Osamu Shimizu<sup>a)</sup>, Member, Sakahisa Nagai\*, Member, Toshiyuki Fujita\*, Member, Hiroshi Fujimoto\*, Senior Member, Daisuke Gunji\*\*, Member, Hayato Sumiya\*\*\*, Member, Eisuke Takahashi\*\*\*, Member, Nobuhisa Yamaguchi\*\*\*, Member, Keisuke Tani\*\*\*, Member

(2020年\*月\*日受付, 2021年\*月\*日再受付)

Short cruise range is a major issue of electric vehicles. Dynamic wireless power transfer (DWPT) is proposed to solve this problem as it can reduce batteries on electric vehicles. Thus, well-to-wheel is improved by the reduction of drive resistance due to lighter weight of vehicles. Moreover, greenhouse gas emission via the manufacturing of batteries is also reduced. This work evaluates the reduction of lifetime greenhouse gas emission by DWPT from production, generation, and driving by simulation with actual measurement data. It is revealed that compared to conventional electric vehicles, DWPT can not only realize a 14% reduction of greenhouse gas by generation and driving but also 90% reduction via the manufacturing of batteries.

**キーワード:** 走行中ワイヤレス電力電送, ライフサイクルアセスメント, 温室効果ガス, ワイヤレスインホイールモータ  
**Keywords:** dynamic wireless power transfer, LCA, GHG, wireless in-wheel motor

### 1. 研究背景

交通社会を持続可能にするために走行時に温室効果ガス (GHG:Greenhouse Gas) を排出しない電気自動車 (EV:Electric Vehicle) の普及が求められている。一方で EV の性能的課題として、航続距離が挙げられる。航続距離の伸長には電池の搭載量を増やすことが効果的ではある。しかし、電

池の搭載量を増やすと車体重量が増えることにより、走行抵抗が増加し、走行にかかるエネルギーが増大する。走行にかかるエネルギーが増大すると EV の充電に係る発電量が増える。多くの国で発電には化石燃料を用いるため発電時の GHG 排出量が増加し、EV 普及の大きな目的の一つである GHG の削減と化石燃料の使用量削減を実現できなくなり、持続可能でなくなる。

航続距離が短いという課題の抜本的解決方法として走行中給電が提案されている。走行中に車両に給電を行うことで、EV に大きな電力を蓄える必要がなくなり、車両に搭載する電池を大きく削減<sup>(1)</sup> することができる。車両に搭載する電池を削減することで、走行にかかるエネルギーを削減<sup>(2)</sup> することができる。また電池の製造にかかるエネルギーも削減することが期待される。走行中給電の方式としては接触式給電<sup>(3)</sup> と非接触式給電 (WPT: Wireless Power Transfer) があり、非接触式給電には主に電界結合方式<sup>(4)</sup> と磁界結合方式<sup>(5)-(9)</sup> が提案されている。本研究で検討に使用する走行中給電システムは磁界結合方式であり、走行中もしくは一時停止などの停車中に車両へ充電可能である。

a) Correspondence to: shimizu.osamu@edu.k.u-tokyo.ac.jp

\* 国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科〒 277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8561

\*\* 日本精工株式会社 新製品開発部 技術リサーチ室〒 251-8501 神奈川県藤沢市鶴沼神明 1-5-50

New Product Development Department Technical Research Office, NSK Ltd.,1-5-50 Kugenuma Shimmei, Fujisawa city, Kanagawa 251-8501

\*\*\* 株式会社デンソー まちづくりシステム開発部〒 448-8661 愛知県刈谷市昭和町 1-1

Systems Development for Smart City Division, DENSO CORPORATION,1-1, Showa-cho, Kariya, Aichi, 448-8661

本研究ではEVの航続距離延長を電池搭載によって解決する場合(LDEV: Long-range Drivable Electric Vehicle)と、磁界共振結合方式を用いた走行中非接触給電によって解決する場合(DWPTEV: Dynamic Wireless Power Transfer Electric Vehicle)のGHG排出量を試算し、DWPTによるGHG排出量の削減効果を定量的に明らかにすることを目的とする。第2章で本研究で比較対象とする充電システムと比較の前提条件について述べ、第3章で2つの航続距離延長に対する解決策のGHG排出量を比較する検証手法と検証結果について述べ、第4章で結論をまとめる。

## 2. 比較対象と条件

ここでは比較対象とする航続距離延長の解決策であるLDEVとDWPTEVの充電システムと、比較検証に使用する車両と搭載する電池容量について述べる。本研究ではLDEVとDWPTEVの違いは充電システムと電池容量のみとしてGHG排出量の算定を行う。またGHGは全て二酸化炭素相当量として算定する。

本論文での変数の命名規則をTable 1に示す。

〈2・1〉システム構成 LDEVとDWPTEVの充電システムをFig. 1に示す。LDEVは接触式の急速充電と普通

充電が可能としている。充電器は急速充電器と普通充電器を兼ね備えていることとしている。急速充電は直流電源での充電、普通充電は交流電源での充電である。そのため、普通充電は車両に整流器と電力制御用の回路を搭載している。一方DWPTEVは走行中の非接触給電システムのみを車体に搭載することとする。Fig. 1に示す通り、普通充電と非接触給電システムの違いは普通充電がコネクタで電気的な接続をして充電を行うことに対して、非接触給電システムではコイルと共振コンデンサを用いる点である。ここで示している非接触給電システムは送電コイルと受電コイルをそれぞれ共振コンデンサと直列に接続するSeries-Series方式であるが、コイルと共振コンデンサの接続はこれに限らない。

LDEVとDWPTEVの基準とする車両は5人乗りの電気自動車<sup>(10)(11)</sup>である。基準とする車両のパラメータを活用してLDEVの充電効率や電池の重量エネルギー密度、駆動効率を算出する。基準とする車両の諸元をTable 2に示す。Type AとType Bの諸元の違いは電池の搭載量であり、車体のフレーム構造や車室内の広さに変化はない。そのため、ここではType AとType Bの車体重量差は電池重量の差であるとして、電池の重量エネルギー密度 $\rho_{bat}$ を下式より求めている。

$$\rho_{bat} = \frac{C_{bat_{typeB}} - C_{bat_{typeA}}}{m_{basic_{typeB}} - m_{basic_{typeA}}} \dots \dots \dots (1)$$

また、充電効率 $\eta_{chg}$ は式(2)で表される。本研究では普通充電によるLDEVの充電効率を0.841として扱い、DWPTEVの充電効率は0.841にDWPTのDC-to-DC効率を乗算したものとする。DC-to-DC効率とはFig. 1(b)に示した送電側のACDCコンバータの出力から、受電側の整流器の出力までの効率である。普通充電の効率には電力系統からのACDC変換効率が含まれているため、DWPTEVの充電効率はDC-to-DC効率のみを考慮する。

$$\eta_{chg} = \frac{\eta_{drive}}{\eta_{alt}} \dots \dots \dots (2)$$

$$\eta_{drive} = \frac{EC_{drive}}{EC_{alt}}$$

LDEVとDWPTEVの電池容量算出条件はそれぞれ下記のとおりである。

- (1) LDEVはWorldwide harmonized Light Vehicle Test Cycles(WLTC)モード<sup>(12)</sup>を走行モードとして内燃機関自動車と同等の730kmを走行できる<sup>(13)</sup>最小の電池容量とする
- (2) DWPTEVは実走行データを用いて走行に係るエネルギーを算出し、交差点の停止線から30mの区間のみの給電で、全走行に係るエネルギー以上受電可能な走行中給電システムが路面に敷設されている場合に必要電池容量の2倍以上とする

Table 1. Nomenclature of calculation parameters

symbol	unit	parameter
$a$	N/kg	rolling resistance coefficient
$b$	N/(m/s)	viscous resistance coefficient
$c$	N/(m/s) <sup>2</sup>	air resistance coefficient
$l_{coil}$	m	coil length
$l_{case}$	m	coil case length
$m_{basic}$	kg	vehicle mass
$m_{passenger}$	kg	passengers mass
$m_{bat}$	kg	additional battery mass
$v_{drive}$	m/s	vehicle velocity
$w_{part}$	g	part weight
$C_{bat}$	kWh	battery capacity
$C_x$	kWh	battery capacity change
$CO_{2drive}$	g-CO <sub>2</sub>	GHG emission by driving
$CO_{2ppart}$	g-CO <sub>2</sub>	GHG emission by production
$D_{cruise}$	km	cruising distance
$D_{year}$	km/year	annual mileage
$D_{drive}$	m	running distance
$E_{drive}$	J	driving energy
$F_{drive}$	N	driving force
$EC_{drive}$	Wh/km	energy consumption
$EC_{alt}$	Wh/km	alternating current energy consumption
$E_{FD}$	g-CO <sub>2</sub> /km	emission factor of driving
$E_{FG}$	g-CO <sub>2</sub> /Wh	emission factor of generating and transmission
$E_{FPpart}$	g-CO <sub>2</sub> /g	emission factor of production
$P_{drive}$	W	battery output
$P_{Imax}$	W	maximum output of transmitter
$Y_{life}$	year	life year of vehicle
$\alpha_v$	m/s <sup>2</sup>	acceleration of vehicle
$\eta_{chg}$	-	charging efficiency
$\eta_{drive}$	-	driving efficiency
$\eta_{DCDCmax}$	-	maximum DC to DC efficiency of transmitter
$\eta_{dwpt}$	-	DC to DC efficiency of DWPT
$\rho_{bat}$	kWh/kg	battery mass density

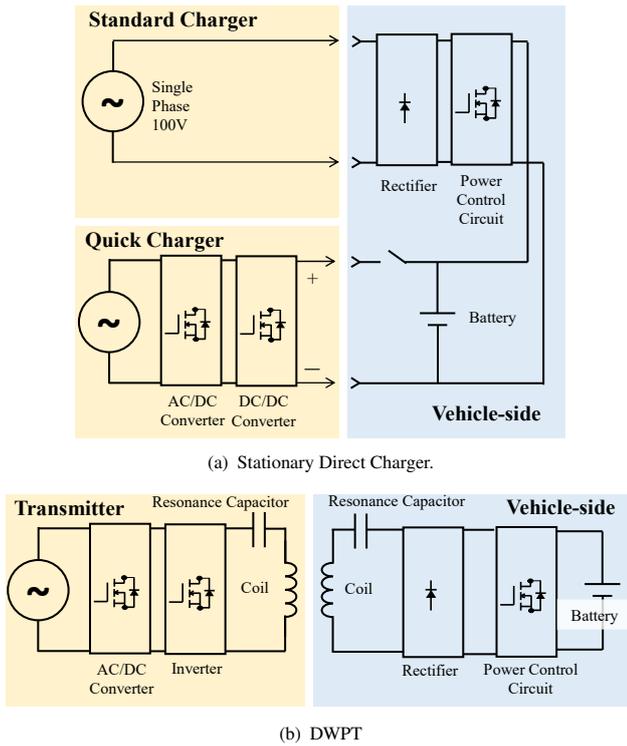


Fig. 1. System Configurations of Chargers.

本論文では電気自動車のユーザビリティの一つである航続距離を内燃機関自動車と同等以上にして比較するためにLDEVは内燃機関同等の航続距離としてGHG排出量を試算する。そして、道路交通法により交差点の停止線から30mの範囲は進路変更が禁止されていることから、進路変更によって受電コイルが送電コイルの上からずれることによる受電機会損失を減らすことができるため、敷設区間は上記設定としている。また本研究で検討するDWPTEVが必要とする電池容量は220kmの市街地走行によるシミュレーションの結果であり、道路勾配等の道路環境や混雑状況、天候等の全ての環境を網羅できていない。上記を加味してもバッテリー切れを起こさないシステムとするためにシミュレーションによって求められた必要な電池容量の2倍以上としている。

**〈2・2〉 LDEVの必要電池容量** ここでLDEVの航続距離を実現するために必要な電池容量を算出する。LDEV

Table 2. Specifications of the basic vehicle

symbol	unit	parameter	Type A	Type B
$m_{basic}$	kg	vehicle mass	1520	1670
$m_{passenger}$	kg	passengers mass		126.25
$C_{bat}$	kWh	battery capacity	40	62
$\rho_{bat}$	kg/kWh	battery mass density		6.82
$EC_{alt}$	Wh/km	alternating current energy consumption	135	124
$D_{cruise}$	km	cruising distance	322	458
$EC_{drive}$	Wh/km	driving electric consumption	155	161
$\eta_{chg}$	-	charging efficiency	0.801	0.841
$a$	-	rolling resistance coefficient	0.0829	0.0809
$b$	-	viscous resistance coefficient	2.88	3.19
$c$	-	air resistance coefficient	0.447	0.435

の電池容量の算出は下記のフローで行う。

- (1) 基準とする車両のエネルギー消費率を運動方程式から求める
- (2) 上記で求めたエネルギー消費率と諸元表のエネルギー消費率から駆動効率を求める
- (3) 車両諸元と上記にて算出された駆動効率から、要求される航続距離を満たす電池容量を算出する

車両の走行抵抗は式(3)で表される。式(3)はWorldwide harmonized Light duty driving Test Procedure(WLTP)に定められた走行抵抗式である。本研究ではWLTPに定められた電気自動車のエネルギー消費率の試験サイクルであるWLTCを用いてエネルギー消費率をシミュレーションする。基準とした車両には既に電池が搭載されているため、式(4)に示すようにシステムによる電池重量の変化を $m_{bat}$ で表し、電池容量の増減量 $C_x$ と電池の電池の重量エネルギー密度 $\rho_{bat}$ から求めている。

$$F_{resist} = a(m_{basic} + m_{passenger} + m_{bat}) + bv + cv^2 \dots (3)$$

$$m_{bat} = \frac{C_x}{\rho_{bat}} \dots (4)$$

車両が必要とする駆動力 $F_{drive}$ は式(5)で表される。

$$F_{drive} = F_{resist} + (m_{basic} + m_{passenger} + m_{bat})\alpha_v \dots (5)$$

そして電池出力 $P_{drive}$ は下式で表される。正の値が力行、負の値が回生である。

$$P_{drive} = \begin{cases} \frac{F_{drive}v_{drive}}{\eta_{drive}} & (F_{drive} > 0) \\ F_{drive}v_{drive}\eta_{drive} & (otherwise) \end{cases} \dots (6)$$

さらに式(7)を用いることで消費エネルギー $E_{drive}$ が算出でき、式(8)でエネルギー消費率 $EC_{drive}$ が算出される。

$$E_{drive} = \eta_{chg} \int_0^t P_{drive}(t) dt \dots (7)$$

$$EC_{drive} = \eta_{chg} \int_0^t \frac{P_{drive}(t)}{D_{drive}(t)} dt \dots (8)$$

式(3), (5), (6), (7)からLDEVとDWPTEVの走行に必要なエネルギーの差は電池重量の差から生じ、係数 $a$ に比例することが分かる。電池重量の変化量による走行エネルギーの変化量を小さくし、走行中給電導入の効果を厳しい条件で評価するために、ここで基準とする車両は係数 $a$ の小さいType Bとする。Type Bの車両諸元から駆動効率 $\eta_{drive}$ を逆算すると0.77であることから、本研究では $\eta_{drive} = 0.77$ とする。そして、 $\eta_{drive} = 0.77$ としたときにType Bの車両諸元を用いて730km走行可能な電池容量を算出すると、135kWhとなる。基準としたType Bの電池容量は62kWhであることから、式(4)の用いる、Type BからLDEVへの電池容量の変化量 $C_x$ は73kWhとなる。

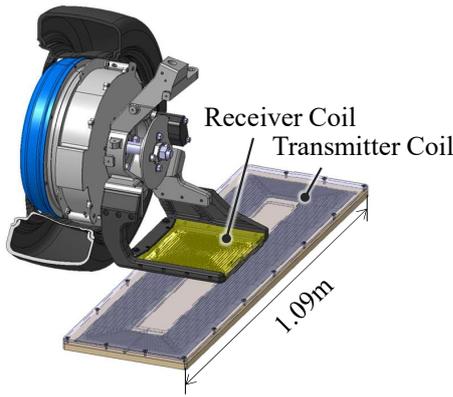


Fig. 2. Overview of W-IWM3

Table 3. Specifications of W-IWM3

symbol	unit	parameter	value
$P_{1max}$	W	maximum output of transmitter	18000
$\eta_{DCDCmax}$	-	maximum efficiency of transmitter	0.952
$l_{coil}$	m	energy receivable length of coil	0.9
$l_{case}$	m	case length of coil	1.09

**〈2・3〉 DWPTEV の必要電池容量** ここでは DWPTEV の必要電池容量について述べる。本研究で対象とするシステムは著者らの研究グループが開発している第3世代ワイヤレスインホイールモータ (W-IWM3:3rd generation wireless in-wheel motor)<sup>(14)</sup> である。W-IWM3 の外観を Fig. 2 に示す。W-IWM3 はインホイールモータ (IWM:in-wheel motor) と DWPT を組み合わせた駆動システムである。充電部分のシステム構成は Fig. 1 と同様であるが、整流器に SiC パワーデバイスを用いている。本研究では整流ダイオードに置き換えて考える。W-IWM3 の主要諸元を Table. 3 に示す。ここに示した諸元は実測にて得られた値である。

送電コイルのコイルケース長が 1.09m であり、送電可能な区間が 0.9m である。小型の電気自動車の全長が 2.5m 程度と仮定して停車時に 0.5m の車間距離を確保すると 3m に 1 台の送電コイルを配置することとなる。すると一台の車両に 1 台のコイルとなり、車体の下で送電を待っているコイルがなくなり、信号手前の停車時に効率よくコイルを使用できる。これ以上道路長さ当たりの敷設個数を多くすると停車時に使用できない給電コイルが増える。一方で敷設個数を減らすと車両の受電の機会が減ることとなる。上記理由より本研究では 3m に 1 台のコイルを配置することとする。

W-IWM3 を車両に 2 台搭載するとして送電出力 36kW、送電可能な区間内での DC-to-DC の平均電力伝送効率 90% で 3m につき 0.9m 送電可能な区間が存在したと仮定する。すると停止線前 30m の平均受電電力は 9.72kW となる。平均受電電力 9.72kW とした場合に必要電池容量を、実走行データから算出される消費エネルギーから算出した。走行軌跡を Fig. 3 に示す。



Fig. 3. Drive Route of Simulation

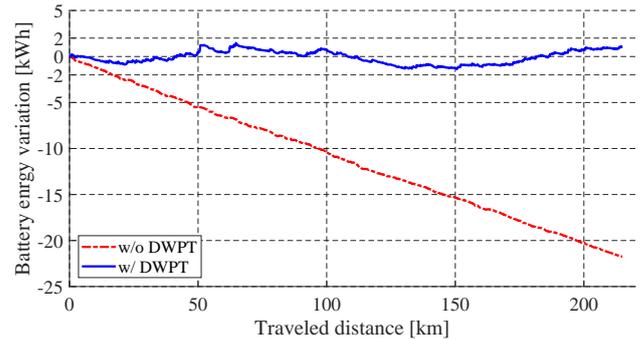


Fig. 4. Energy Consumption Simulation Result of DWPTEV

神奈川県的一般道を平日に 220km 走行したデータ<sup>(1)</sup> である。実走行データには車両に搭載した GPS と加速度計から得られる位置情報、車両速度、車両加速度が含まれる。得られた実走行データには勾配情報が含まれていないため、車両速度と車両加速度、車両諸元から式 (7) を用いて、下記条件にて消費エネルギーをシミュレーションした。

- ・平均受電電力 9.72kW
- ・車体重量以外は Type B の車両諸元を基準
- ・車体重量は 8kWh の電池を搭載を想定し、1492kg

シミュレーション結果を Fig. 4 に示す。受電可能な時間は、実走行データに含まれる車両位置データと信号の位置データから求めた停止線から 30m 区間内車両の滞在時間としている。充放電で使用する電池容量は 4kWh 以下であり、比較条件を満たすため DWPTEV の電池容量は 8kWh とする。以上の結果から、式 (4) の用いる、Type B 電池容量 62kWh から DWPTEV の電池容量変化量  $C_x$  は減少方向のため -54kWh となる。

### 3. GHG 排出量

ここでは LDEV と DWPTEV の 1 台あたりの GHG 排出量の比較をする。用途によって走行距離に違いがあるため、ここでは業務用と比較して走行距離が短い自家用車のマイカーとしての使用を代表して検証を行う。製造による GHG の排出量は車両の充電システムの違いのみの評価を行うため車体や駆動装置等の製造による GHG 排出量は充電システムによって変化しないとする。//

**〈3・1〉 発電と走行による GHG の排出量** LDEV と

DWPTEV の発電と走行による GHG 排出量のシミュレーションに使用するパラメータを Table. 4 に示す。

発電と走行による GHG 排出量を評価する走行パターンは WLTC モードとする。LDEV のエネルギー消費率は式 (8) によって求められ、DWPTEV のエネルギー消費率は式 (8) に走行中給電の充電効率を乗算した、式 (9) によって求められる。ここで  $D_{drive}$  は  $P_{drive}$  で走行した距離である。

$$EC_{drive} = \eta_{dwpt}\eta_{chg} \int_0^t \frac{P_{drive}(t)}{D_{drive}(t)} dt \dots \dots \dots (9)$$

そして走行による GHG 排出係数  $EFD$  はエネルギー消費率と電力の排出係数  $EFG$  から次式で求められる。

$$EFD = \frac{EC_{drive}}{3600EFG} \dots \dots \dots (10)$$

ここで 3600 は J から Wh への変換係数である。そして、車両 1 台が走行によって排出する GHG 排出量  $CO_{2dlife}$  は下式で求められる。

$$CO_{2dlife} = D_{life}EFD \dots \dots \dots (11)$$

$$D_{life} = D_{year}Y_{life}$$

Table. 4 に示した車両諸元と式 (8), 式 (9), 式 (10), 式 (11) により WLTC モードを走行した時の走行によるライフサイクル GHG 排出量は LDEV が 7730kg-CO<sub>2</sub>, DWPTEV が 6670kg-CO<sub>2</sub> となる。

**〈3・2〉 製造による GHG の排出量** ここでは LDEV と DWPTEV の部品製造による GHG の排出量の変化としての受電コイルと共振回路追加と電池容量の変化による GHG 排出量の変化の評価を行う。受電コイル, 共振回路, 電池の構成部品による GHG 排出量の算出に使用するパラメータを Table. 5 に示す。受電コイルは電線, フェライト, 樹脂ケースで構成され, 共振回路は基板とコンデンサ, 平滑コンデンサで構成される。基板の排出係数は 15W スイッチング電源の排出係数で代替している。電線の排出係数はメタル電線の製造原単位<sup>(19)</sup>と銅生産の原単位<sup>(20)</sup>の 2 つに分離して計算している。電線重量は銅が支配的であるため, 銅の使用量は電線の重量としている。

普通充電と DWPT の電力調整回路による GHG 排出量は同等としてここでは含まない。また普通充電で用いるコ

Table 4. Simulation Parameters of CO<sub>2</sub> Emission by Driving

symbol	unit	parameter	LDEV	DWPTEV
$m_{basic}$	kg	basic vehicle and passengers mass		1796.25
$C_x$	kWh	battery capacity change	73	-52
$\rho_{bat}$	kg/kWh	battery mass density		5.82
$\eta_{chg}$	-	charging efficiency		0.841
$\eta_{dwpt}$	-	DWPT DC to DC efficiency	-	0.9
$a$	N/kg	rolling resistance coefficient		0.0809
$b$	N/(m/s)	viscous resistance coefficient		3.19
$c$	N/(m/s) <sup>2</sup>	air resistance coefficient		0.435
$EFG$	g-CO <sub>2</sub> /Wh	emission factor of generation		0.47 <sup>(15)</sup>
$D_{year}$	km/year	annual mileage		6590 <sup>(16)</sup>
$Y_{life}$	year	life year of vehicle		13.5 <sup>(17)</sup>

Table 5. Simulation Parameters of CO<sub>2</sub> Emission by Production

symbol	unit	parameter	value
$EFP_{bat}$	g-CO <sub>2</sub> /Wh	emission factor of battery	30-140 <sup>(22)-(24)</sup>
$EFP_{brd}$	g-CO <sub>2</sub> /g	emission factor of board	157 <sup>(18)</sup>
$EFP_{wire}$	g-CO <sub>2</sub> /g	emission factor of wire	0.6 <sup>(19)</sup>
$EFP_{Cu}$	g-CO <sub>2</sub> /g	emission factor of copper	5.0 <sup>(20)</sup>
$EFP_{ferrite}$	g-CO <sub>2</sub> /g	emission factor of ferrite	13.6 <sup>(18)</sup>
$EFP_{case}$	g-CO <sub>2</sub> /g	emission factor of case	4.0 <sup>(21)</sup>
$EFP_{rcap}$	g-CO <sub>2</sub> /g	emission factor of resonance capacitor	279 <sup>(18)</sup>
$EFP_{scap}$	g-CO <sub>2</sub> /g	emission factor of smoothing capacitor	14.5 <sup>(18)</sup>
$w_{brd}$	g	weight of board	300
$w_{wire}$	g	weight of wire	1730
$w_{Cu}$	g	weight of copper	1730
$w_{ferrite}$	g	weight of ferrite	1600
$w_{case}$	g	weight of case	1000
$w_{rcap}$	g	weight of resonance capacitor	300
$w_{scap}$	g	weight of smoothing capacitor	500

ネクタやコンタクタ, 整流器も含まないこととする。それぞれの部品の製造による GHG 排出量  $CO_{2py}$  は下式で得られる。

$$CO_{2py} = EFP_y w_y \dots \dots \dots (12)$$

$$y \in \{brd, wire, ferrite, case, rcap, scap\}$$

電池製造の排出係数は文献によって大きく異なり, 評価結果に与える影響が大きいため, 本研究では参考文献<sup>(22)-(24)</sup>から得られた, 異なる 4 水準の排出係数を用いて GHG 排出量  $CO_{2pbat}$  を比較する。式 (13) により LDEV, DWPTEV それぞれの電池製造による GHG 排出量を算出できるため, これらの差を評価する。

$$CO_{2pbat} = EF_{bat}\rho_{bat}(62 + C_x) \dots \dots \dots (13)$$

LDEV と DWPTEV の部品製造による GHG 排出量及び LDEV と DWPTEV の差を Fig. 5 に示す。電池については排出係数毎に結果を示している。受電システムについては構成部品毎に結果を示し, さらに電池と受電システムの各部品を総合した結果を電池製造の排出係数毎に示す。電池の製造による GHG 排出量と受電システムの各部品の排出量の比較から LDEV では電池の製造が支配的であることがわかる。式 (13) より受電システムの各部品の製造による GHG 排出量を求め, 総和を求めるとシステム 1 台当たりの GHG 排出量が 150kg-CO<sub>2</sub> であることが分かる。本論文では車両 1 台に受電システムを 2 台搭載することを想定するため, 車両一台当たり 300kg-CO<sub>2</sub> であることにに対して, 電池製造による排出係数を 30g-CO<sub>2</sub>/Wh とした場合, LDEV の電池製造による GHG 排出量は 3960kg-CO<sub>2</sub> であることである。電池搭載量の少ない DWPTEV では 240kg-CO<sub>2</sub> になる。

そして LDEV と DWPTEV の製造による GHG 排出量の比較を行うと, 電池製造による排出係数を 30g-CO<sub>2</sub>/Wh とした場合, 3421kg-CO<sub>2</sub> であった。また電池製造による排出係数を 140g-CO<sub>2</sub>/Wh とした場合には 17061kg-CO<sub>2</sub> になる。

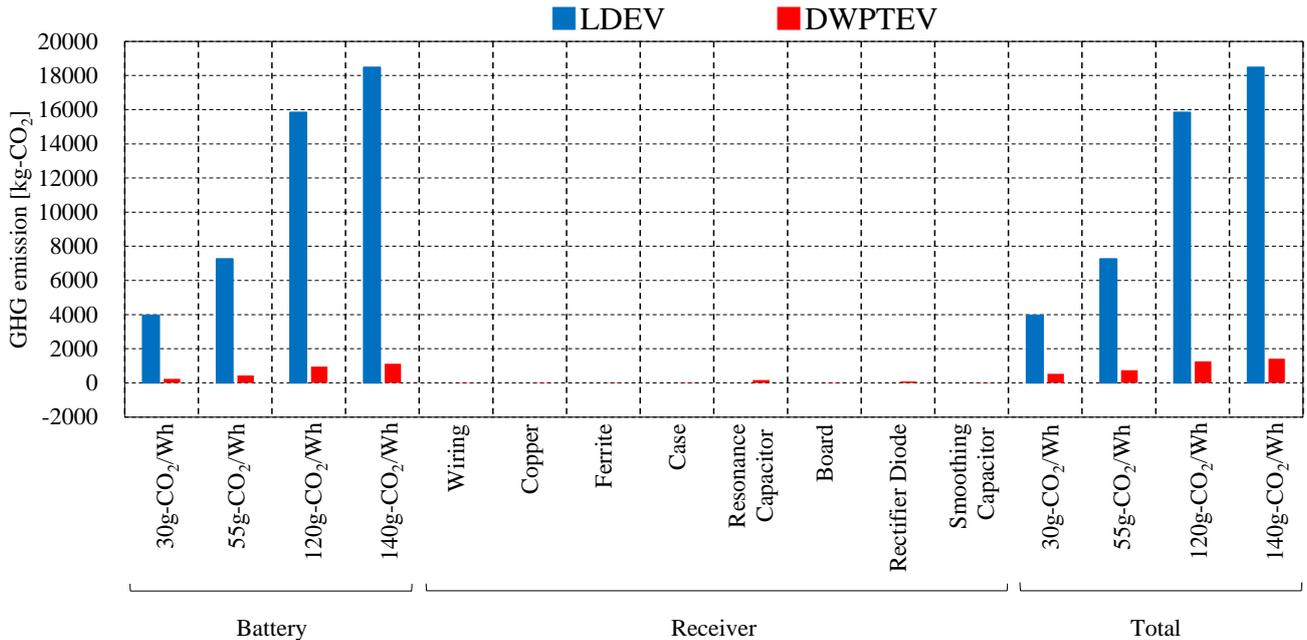


Fig. 5. GHG Emission by Production

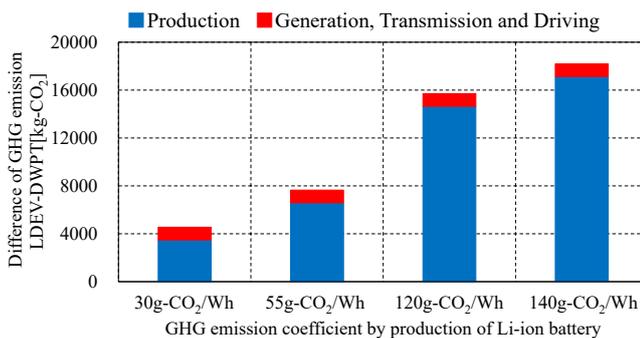


Fig. 6. Difference of GHG Emission between LDEV and DWPTEV

**〈3・3〉 総合評価** ここでは発電・走行・製造による GHG 排出量を総合的に評価する。LDEV と DWPTEV の発電・走行・製造による GHG 排出量の差を Fig. 6 に示す。

電池の製造による GHG の排出係数が 30g-CO<sub>2</sub>/Wh の場合でも、発電と走行による温室 GHG 排出量の減少よりも搭載電池量の削減による効果の方が大きいことが分かる。

#### 4. 結論

本研究では走行中給電を活用することによって得られる GHG の削減効果を送電・走行と製造という 2 つの観点で検証した。得られた結論は下記のとおりである。

- (1) 走行中給電により車両への電池搭載量を削減可能
- (2) 送電と走行に関しては、電池搭載量の削減により走行に必要なエネルギーが減少するため、走行中給電の電力伝送効率を考慮しても GHG 排出量を 14% 削減可能
- (3) 製造に関しては、走行中給電のシステムを車両に

搭載することに対して電池の搭載量を削減することによる GHG 排出量の削減効果が大きい。そのため、車両側の受電システムの製造による排出量増加を考慮しても、電池と受電システムの製造による GHG 排出量を 90%以上削減可能

今回の検証では車両のみの観点での検証であったため、今後は充電設備等のインフラ設備の製造による GHG 排出量の違いについても検証を進める。また今回の検証では車両への電池の搭載量は走行に必要なエネルギー量から算出したが、電池の劣化特性や充放電特性も加味した場合には搭載量が異なる可能性があるため、今後は上記の検討も進める。

#### 謝 辞

本研究の一部は JST 未来社会創造事業 ( Grant 番号: JP-MJMI17EM), 電子回路基板技術振興財団の支援を受けたことを付記する。

#### 文 献

- (1) D.Gunji, K.Hata, O.Shimizu, T.Imura, H.Fujimoto "Feasibility Study on In-motion Wireless Power Transfer System Before Traffic Lights Section", 2019 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power (WoW),(2019)
- (2) O. Shimizu, S. Nagai, T. Fujita, H. Fujimoto: "Potential for CO2 Reduction by Dynamic Wireless Power Transfer for Passenger Vehicles in Japan", *Energies* 2020, 13, 3342, Jun. 2020
- (3) T.Tajima, W.Noguchi, T.Aruga,"Study of a Dynamic Charging System for Achievement of Unlimited Cruising Range in EV", SAE Technical Paper 2015-01-1686(2015)
- (4) Y.Suzuki, M.Mizutani, T.Sugiura, N.Sakai, T.Ohira,"Prototype Experiment of a 1/32-Scaled Model Via-Wheel Power Transfer Running Electric Vehicle",*IEEJ Transactions on Industry Applications*,no.134, vol.7, pp.675-682, 2014(in Japanese)  
鈴木良輝, 水谷 豊, 杉浦 貴光, 坂井 尚貴, 大平 孝:「電化道路をタイ

- や集電で走行する電気自動車の 1/32 スケールモデル試作実験」電気学会論文誌 D, no.134, vol.7, pp.675-682(2014)
- (5) G.Covic, J.Boys, M.Kissin, H.Lu "A three-phase inductive power transfer system for road-way-powered vehicles", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.54, no.6, pp. 3370-3378(2007)
  - (6) J.Huh, S.Lee, W.Lee, G.Cho, C.Rim "Narrow-Width Inductive Power Transfer System for Online Electrical Vehicles", IEEE Transactions on Power Electronics, vol.26, no.12, pp. 3666-3679(2011)
  - (7) O.Onar, J.Miller, S.Campbell, C.Coomer, C.White, L.Seiber "A Novel Wireless Power Transfer for in-motion EV/PHEV Charging", 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)(2013)
  - (8) A.Kamineni, M.Neath, A.Zaheer, G.Covic, J.Boys "Interoperable EV Detection for Dynamic Wireless Charging With Existing Hardware and Free Resonance", IEEE Transactions on Transportation Electrification, vol.3, no.2, pp.370 - 379(2017)
  - (9) L.Zhao, D.Thrimawithana, U.Madawala "Hybrid Bidirectional Wireless EV Charging System Tolerant to Pad Misalignment", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.64, no.9, pp.7079 - 7086(2017)
  - (10) United States Environmental Protection Agency, "Data on Cars used for Testing Fuel Economy", EPA Website, <https://www.epa.gov/compliance-and-fuel-economy-data/data-cars-used-testing-fuel-economy>, accessed on 17th May 2021
  - (11) 日産自動車:「日産リーフ主要諸元」, [https://www-asia.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/jp/vehicles/leaf/2104/pdf/leaf\\_specsheet.pdf](https://www-asia.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/jp/vehicles/leaf/2104/pdf/leaf_specsheet.pdf) accessed on 17th May 2021
  - (12) 国土交通省: 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示別添 42 軽・中量車排出ガスの測定方法
  - (13) トヨタ自動車:「カローラ主要諸元」, [https://toyota.jp/pages/contents/corolla/002-p.001/4.0/pdf/spec/corolla\\_spec\\_202010.pdf](https://toyota.jp/pages/contents/corolla/002-p.001/4.0/pdf/spec/corolla_spec_202010.pdf), トヨタ自動車 website, accessed on 17th May 2021
  - (14) H.Fujimoto, T.Takeuchi, K.Hanajiri, K.Hata, T.Imura, M.Sato, D.Gunji, G.Guidi "Development of Second Generation Wireless In-Wheel Motor with Dynamic Wireless Power Transfer", The 31st International Electric Vehicle Symposium & Exhibition and International Electric Vehicle Technology Conference 2018(2018)
  - (15) 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) R3.1.7 環境省・経済産業省公表データ」, <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calcr03.coefficient.pdf>, accessed on 17th May 2021
  - (16) 政府統計:「自動車燃料消費量調査」2019 年度データ, 国土交通省(2021)
  - (17) 自動車検査登録情報協会:「我が国の自動車保有動向」, 自動車検査登録情報協会(2021)
  - (18) 電子情報技術産業協会:「電子部品の環境負荷データ」, [https://home.jeita.or.jp/page\\_file/20200507212851\\_RoPn4hUKdI.pdf](https://home.jeita.or.jp/page_file/20200507212851_RoPn4hUKdI.pdf) accessed on 17th May 2021
  - (19) 一般社団法人日本電線工業会:「電線・ケーブル製造業における地球温暖化対策の取組～低炭素社会実行計画 2018 年度実績報告～」経済産業省産業構造審議会産業技術環境分科会地球環境賞委員会資源・エネルギーワーキンググループ資料(2020)
  - (20) N. Narita, K. Ichitsubo, M. Sagisaka, T. Moro, A. Inaba, "Life Cycle Inventory Analysis of Copper Production System in Chile", Shigen-to-Sozai, vol.117, No.7, pp. 271-276, 2001 成田 暢彦, 一坪 幸輝, 勾坂 正幸, 茂呂 端生, 稲葉 敦:「チリにおける銅生産システムのライフサイクルインベントリ分析」, 資源と素材, 117 巻, 4 号, pp. 271-276, 2001
  - (21) プラスチック処理促進協会:「石油化学製品の LCI データ調査報告書」, プラスチック処理促進協会(2009)
  - (22) X. Ou, X. Zhang, X. Zhang, Q. Zhang, "Life Cycle GHG of NG-Based Fuel and Electric Vehicle in China", Energies 2013, vol.6, pp.2644-2662, 2013
  - (23) J.F.Peters, M. Baumann, B. Zimmermann, J. Braun, M. Weil, "The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters-A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.67, pp.491-506(2017)
  - (24) L. Ager, W. Ellingsen, G. Majeau, B. Bhawna, S. Akhilesh, K. Srivastava L. O. Valøen, A. H. Stromman, "Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack", Industrial Ecology, vol.18, issue1pp.113-124(2014)

**清水 修** (正員) 1984 年 7 月 16 日生。2009 年慶応義塾大学大学院政策・メディア研究科博士前期課程修了。同年～2010 年トヨタ自動車, 2010 年～2013 年 SIM-Drive, 2013 年～2017 年本田技術研究所にて自動車部品の研究開発に従事。2016 年慶応義塾大学大学院政策・メディア研究科博士後期課程修了。博士(学術)。2017 年～2020 年名古屋大学未来社会創造機構特任助教。2020 年～同招聘 2021 年東京大学大学院新領域創成科学研究科特任助教。2021 年～同特任講師。電気自動車用駆動システム・モータ設計, ワイヤレス電力伝送に関する研究に従事。電気学会, 自動車技術会, IEEE 会員。



**永井 栄 寿** (正員) 1991 年 11 月 18 日生。2019 年横浜国立大学大学院工学府物理情報工学専攻博士課程後期修了。博士(工学)。同年 6 月より東京大学大学院新領域創成科学研究科にて電気自動車への走行中ワイヤレス電力伝送の研究に従事。電気学会, IEEE, 自動車技術会, ロボット学会会員。



**藤田 稔 之** (正員) 1986 年 3 月 14 日生。2010 年東京工業大学大学院理工学研究科電子物理工学専攻修士課程修了。同年パナソニック株式会社入社。GaN デバイスに関する研究に従事。2014 年株式会社テクノバ入社, 2017 年東京工業大学大学院電気電子系社会人博士課程修了。博士(工学)。2019 年より東京大学大学院新領域創成科学研究科特任助教。2021 年同特任講師。ワイヤレス電力伝送をはじめ, 電力変換技術に関する研究に従事。電気学会, 応用物理学会, IEEE, 自動車技術会会員。



**藤本 博 志** (上級会員) 1974 年 2 月 3 日生。2001 年東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了。博士(工学)。同年長岡技術科学大学工学部電気系助手。2002 年～2003 年, 米国 Purdue 大学工学部機械工学科客員研究員。2004 年横浜国立大学大学院工学研究院講師。2005 年同助教授, 2007 年同准教授。2010 年東京大学大学院准教授。2021 年同教授。制御工学, モーションコントロール, マルチレート制御, ナノスケールサーボ, 電気自動車の運動制御, モータとインバータの高性能制御, ビジュアルサーボ, ワイヤレスモータに関する研究に従事。2001 年および 2013 年 IEEE Transactions on Industrial Electronics 最優秀論文賞, 2010 年 Isao Takahashi Power Electronics Award, 2010 年計測自動制御学会著述賞, 2016 年永守賞大賞などを受賞。電気学会および IEEE の上級会員。計測自動制御学会, 日本ロボット学会, 自動車技術会 各会員。



**郡 司 大 輔**



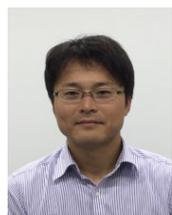
(正員) 1982 年 10 月 31 日生。2007 年電気通信大学大学院 電気通信学研究科知能機械工学専攻博士前期課程修了。2007 年日本精工株式会社入社。2015 年東京大学大学院 新領域創成科学研究科 博士後期課程修了。博士 (科学)。ワイヤレス電力伝送, モーションコントロール, 電気自動車の要素部品の研究開発に従事。2014 年 電気学会 産業応用部門奨励賞, IEEE Transaction on Power Electronics First Prize Paper Awards in 2016 受賞。電気学会, IEEE, 自動車技術会 各会員。

**角 谷 勇 人**



(正員) 1988 年 1 月 2 日生。2012 年横浜国立大学大学院工学府物理情報工学専攻電気電子ネットワークコース博士前期課程修了。同年 (株) デンソーへ入社。2019 年 9 月東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻博士課程へ入学。主に電気自動車の運動制御, 自動車駆動用モータ, 非接触給電, 走行中ワイヤレス給電に関する研究に従事。IEEE, 自動車技術会会員。

**高 橋 英 介**



(正員) 1982 年 8 月 5 日生。2005 年東京都立大学工学部電気工学科卒業。同年, (株) デンソーへ入社。主に電動機, 非接触給電など, パワーエレクトロニクスの研究開発に従事。自動車技術会会員。

**山 口 宜 久**



(正員) 1981 年 4 月 1 日生。2001 年豊田工業高等専門学校電気工学科卒業。2003 年名古屋大学工学部電気電子・情報工学科卒業。2005 年名古屋大学大学院工学研究科電子情報学専攻博士前期課程修了。同年, 富士重工業 (株) (現, (株) SUBARU) 入社。2009 年 (株) デンソー入社。主に, 電気自動車, インバータ, DCDC コンバータ, 非接触給電などパワーエレクトロニクスの研究開発に従事。自動車技術会会員。

**谷 恵 亮**



(正員) 1974 年 4 月 5 日生。1999 年東北大学大学院工学研究科機械電子工学専攻博士課程前期修了。同年, (株) デンソーに入社。主に, 車両電動化システムのシステム制御及びコンポーネントに関する研究開発に従事。自動車技術会会員。