

招待講演2

未来への電動化の貢献

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 教授

吉本 貫太郎 氏

未来への電動化の貢献

2023年6月8日
東京電機大学 未来科学部
ロボット・メカトロニクス学科
教授 吉本 貫太郎



東京電機大学 未来科学部
ロボット・メカトロニクス学科
教授 吉本 貫太郎

学科の特徴
機械・電気電子・情報・制御の分野を総合的に

電動モビリティ研究

- ・パワーエレクトロニクス
- ・モータ制御
- ・車両のトラクションコントロール
- ・手押し車のアシスト制御
- ・航空機電動化

前職

日産自動車

- ・総合研究所
モータやパワーエレクトロニクスの研究
- ・電動パワートレインの先行開発
- ・EV、e-POWERの制御開発
パワートレインコントローラ VCM



動くものづくりの基本分野
新しい機構やメカニズムを実現

ロボティクス研究室
ソフトメカニクス研究室
バイオロボティクス研究室
人間機械システム研究室

機械制御



電気電子制御

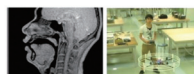
電子制御システム研究室
情報駆動制御研究室
電動モビリティ研究室

電気電子回路技術と制御アルゴリズムを駆使
機械と人が共存する社会づくりに貢献



情報制御

コンピュータやネットワークを駆使
地球と人に優しいインテリジェントシステム

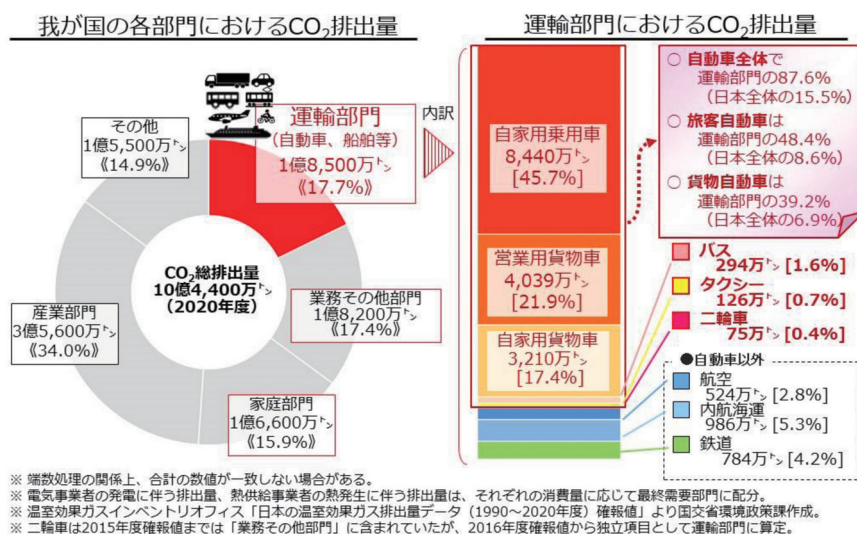


コンピュータネットワーク研究室
情報化制御研究室
信号処理とモデリング研究室
知能機械システム研究室

Contents

- BEVの走行時CO₂排出量
- LCAの報告例
日本、欧州
自動車メーカーの検討例
- バッテリー製造時のCO₂排出量
- 大型車・建機などの電動化の課題
- 電動化へ貢献する 東京電機大 電動モビリティ研究室の研究紹介

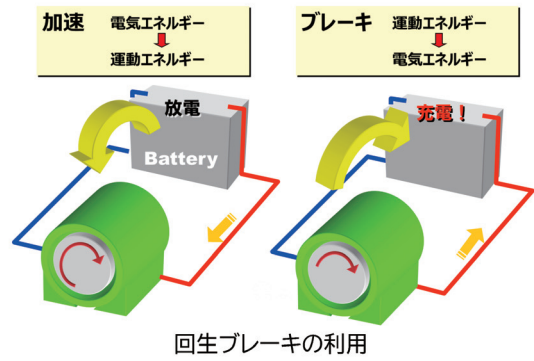
運輸部門のCO₂の課題



出典: 国土交通省ウェブサイト https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html

電動化のメリット

- ・高効率のパワートレイン
- ・回生ブレーキの利用
- ・モータの制御の良さを活用



各種電動パワートレイン

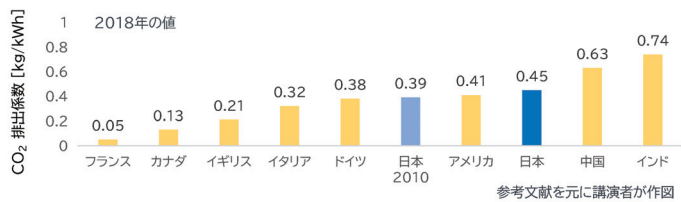
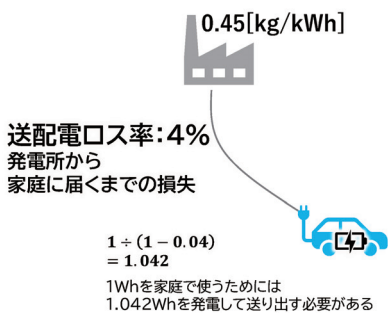
	モータのみで駆動	エンジン・モータ双方で駆動
外部充電する	BEV <small>走行中車両からのCO₂排出量ゼロ</small>	PHEV(S) PHEV(P)
外部充電しない	FCEV HEV(S)	HEV(P)

BEV: 電気自動車
FCEV: 燃料電池電気自動車
PHEV(S): シリーズPHEV(プラグイン)
HEV(S): シリーズHEV
PHEV(P): パラレルPHEV(プラグイン)
HEV(P): パラレルHEV

BEV使用時のCO₂排出量

走行時のCO₂排出量はゼロ 火力も使って発電した電力で充電してもCO₂を削減できる？

発電: 1kWhの電力量を発電するのに 0.45kg のCO₂を排出



交流電力量消費率:

1km走行するために、
どれだけの電力量[Wh]を充電するか？

例: 日産リーフ 155[Wh/km]

1km走行するとき、何[g]のCO₂を排出していることになるか？

$$155 \times 0.45 \div (1 - 0.04) = 0.0727 \text{ [kg/km]}$$

155[Wh/km] 0.45[kg/kWh] 送配電ロス率

72.7 [g/km]

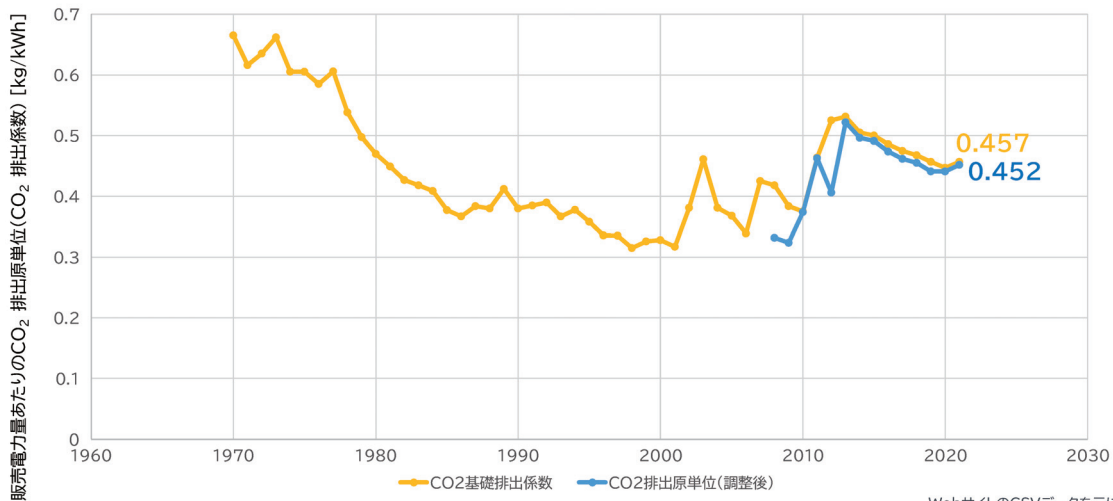
日本で日産LEAFを1km走行する場合に
発電所の電力で生じるCO₂

*環境適合!なるほど!日本のエネルギー, 電気事業連合会, <https://www.fepc.or.jp/theme/energymix/content3.html>

*送配電ロス率|数表で見る東京電力, 東京電力, <https://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/electricity-supply/transmission-distribution-loss-j.html>

電力のCO₂排出量

参考：2021年での東京電力のデータでも0.45kg/kWh



WebサイトのCSVデータを元に講演者が作図

“CO₂排出量・排出原単位と販売電力量”, 東京電力, <https://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/environment/emissions-co2-j.html>

BEVの走行時CO₂排出量

1km走行するとき、何[g]のCO₂を排出していることになるか？

BEVの走行時CO₂排出量 [g/km]を求め、HEVの走行時CO₂排出量 [g/km]と比較

走行時CO₂排出量 [g/km]

BEV 日産 リーフ ZAA-ZE1	BEV 日産 サクラ ZAA-B6AW	HEV トヨタ プリウス 6AA-MXWH60	HEV トヨタ ヤリス 6AA-MXPH10
72.7~75.5	58.1	74~81	64~71

主要装備一覧／諸元表の交流電力消費率(WLTC)と日本での発電電力CO₂排出係数用いて計算

Webサイトの各車「環境仕様」PDFより

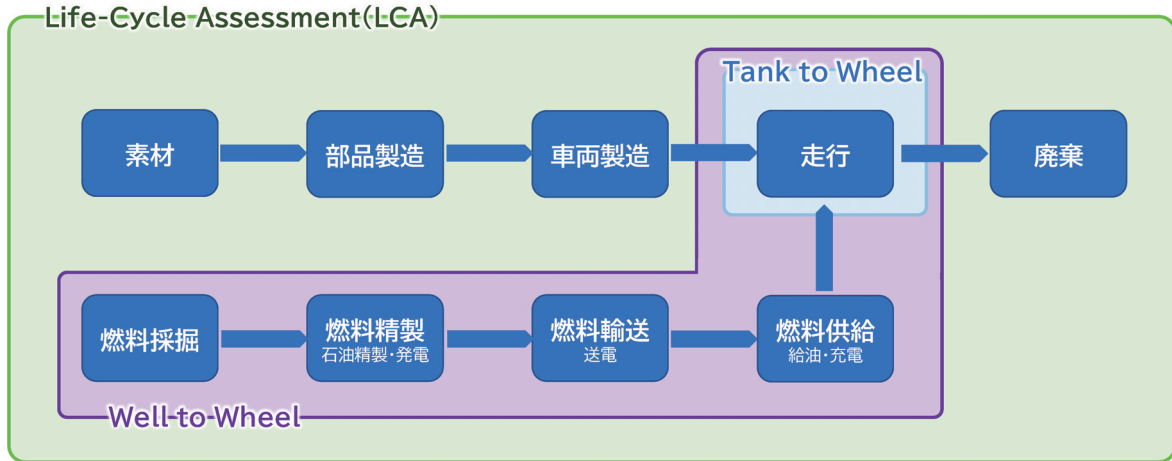


多くの原子力発電所が停止中の日本でも、電気自動車BEVは、HEVよりもCO₂の排出量が少ない、または同程度

BEV 日産 リーフ ZAA-ZE1	
8.1	フランス 原子力発電の比率高
33.9	イギリス 新エネルギー発電の比率高
102.8	中国 石炭火力発電の比率高 (※近年CO ₂ 排出量は減少中)

走行時の比較だけでなく、製造・廃棄のCO₂排出量を含めた評価 LCA : Life-Cycle Assessment

前述のBEVの走行時CO₂排出量は「燃料精製(発電)・燃料輸送(送電)・燃料供給(充電)・走行」までを考慮したWell to Wheelの一部
HEVはTank to Wheelでの比較 (※同じ範囲で比較していない)

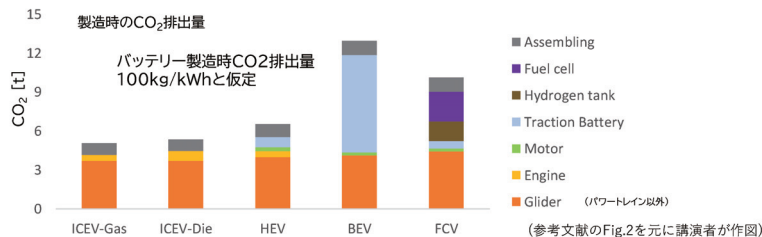
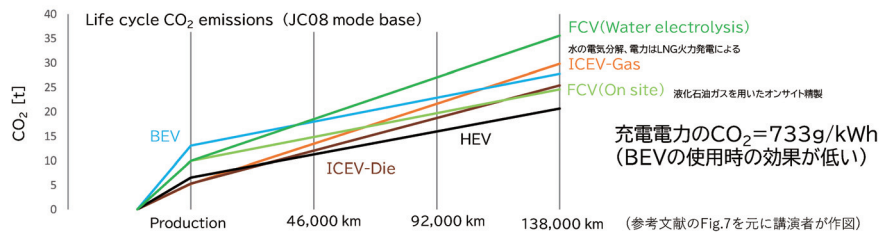


税制全体のグリーン化推進検討会 第2回, 環境省, 令和2年11月, https://www.env.go.jp/policy/post_40.html

LCAの報告例 (日本)

石崎, 中野: “内燃機関自動車, ハイブリッド自動車, 電気自動車, 燃料電池自動車における車内空調を考慮した量産車両LCCO₂排出量の比較分析”, 日本機械学会論文集, Vol. 84, No. 866, p. 18-00050 (2018)

いくつかの文献を参考に、それぞれの値を仮定してLCAとしてのCO₂を求めたもの
→ HEVやディーゼルが、BEVよりもLCAの観点で有利という結果

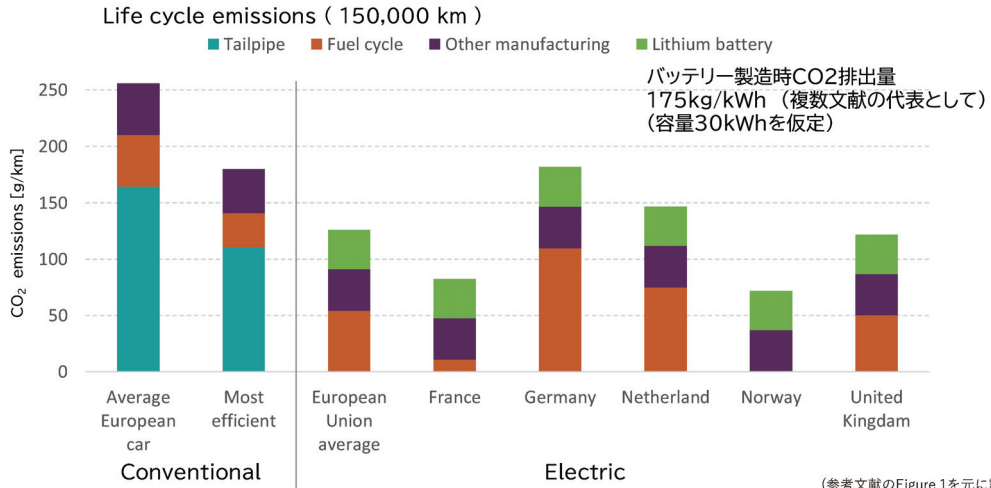


LCA の報告例 (欧州)

International Council on Clean Transportation

“EFFECTS OF BATTERY MANUFACTURING ON ELECTRIC VEHICLE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS” (2018)

発電電力の構成の違いにより、欧州の中でも国別での違いが表れる



“EFFECTS OF BATTERY MANUFACTURING ON ELECTRIC VEHICLE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS”, International Council on Clean Transportation (2018)
https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vf.pdf

International Council on Clean Transportation

“EFFECTS OF BATTERY MANUFACTURING ON ELECTRIC VEHICLE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS” (2018)

バッテリー製造時CO₂排出量175kg/kWh (文献3番目の150-200の間を採用)

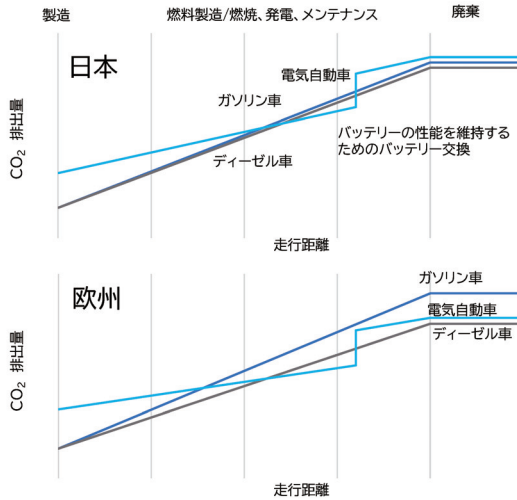
Authors	Year	Battery production emissions (kg CO ₂ e/kWh)	Additional notes
Message	2017	56	Assumes vehicle with 30 kWh battery constructed in the European Union, finding that BEVs will have lower life-cycle emissions than a comparable diesel vehicle when operated in any country in Europe.
Hao et al.	2017	96-127	Uses China grid for battery manufacturing. Finds substantial differences between battery chemistries. Batteries produced in U.S. create 65% less GHGs.
Romare & Dahlöf()	2017	150-200	Reviews literature, concluding manufacturing energy contributes at least 50% of battery life-cycle emissions. Assumes battery manufacturing in Asia.
Wolfram & Wiedmann	2017	106	Models life-cycle emissions of various powertrains in Australia. Manufacturing inventories come primarily fromecoinvent database.
Ambrose & Kendal	2016	194-494	Uses top-down simulation to determine GHG emissions for electric vehicle manufacturing and use. Manufacturing process energy represents 80% of battery emissions. Assumes manufacturing grid representative of East Asia.
Dunn et al.	2016	30-50	Uses bottom-up methodology, with U.S. electricity used for manufacturing.
Ellingsen, Singh, & Strømman	2016	157	BEVs of all sizes are cleaner over a lifetime than conventional vehicles, although it may require up to 70,000 km to make up the manufacturing “debt.”
Kim et al.	2016	140	Study based on a Ford Focus BEV using real factory data. Total manufacturing of BEV creates 39% more GHGs than a comparable ICE car.
Peters et al.	2016	110 (average)	Reveals significant variety in carbon intensities reported across literature based on methodology and chemistry.
Nealer, Reichmuth, & Anair	2015	73	Finds that BEVs create 50% less GHGs on a per-mile basis than comparable ICEs, and manufacturing (in U.S.) is 8%-12% of life-cycle emissions.
Majeau-Bettez, Hawkins, & Strømman	2011	200-250	Uses combined bottom-up and top-down approach. Different battery chemistries can have significantly different effects.

レビュー論文として、これらの発行された年よりも以前に公開された情報を基に、バッテリー製造時のCO₂排出量を推計

Table 1. Studies on electric vehicle battery production emissionsを元に講演者が表を作成

LCAの報告例 自動車メーカー MAZDA Webページより

具体的な算出方法や使用したパラメータは論文中に記載（複数文献の情報、他社BEV情報などを利用）



バッテリー製造時CO₂排出量
177kg/kWh（複数文献の平均値として）

BEV 容量35.8kWh、電費 e-GOLF MY2018相当

バッテリー交換を走行16万kmで行う前提

20万km走行後の廃棄時には
BEVはICEよりトータルCO₂多い

欧州ではBEVがガソリンICEよりも優位
電力発電時のCO₂が日本比65%と少ない

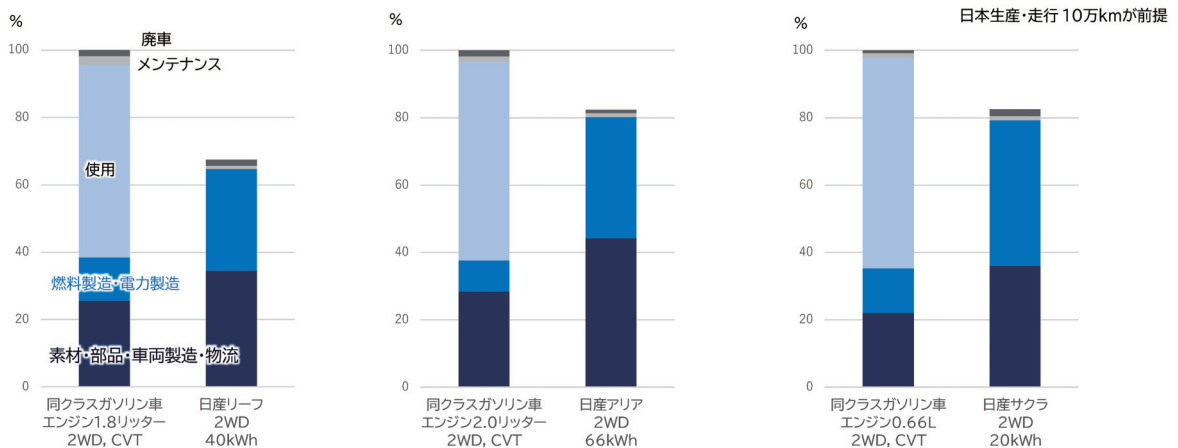
参考文献を元に、MAZDA webサイトに掲載されている図に相当するグラフを講演者が作図

"LCA(ライフサイクルアセスメント)", MAZDA Webサイト, <https://www.mazda.com/ja/sustainability/lca/>

Kawamoto et al., "Estimation of CO₂ Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA", Sustainability 2019, 11(9), 2690;

LCAの報告例 自動車メーカー NISSAN Webページより

CO₂等価排出量を同クラスのガソリン車のを100%としたときのBEVを相対評価
具体的な算出方法や使用したパラメータは不明

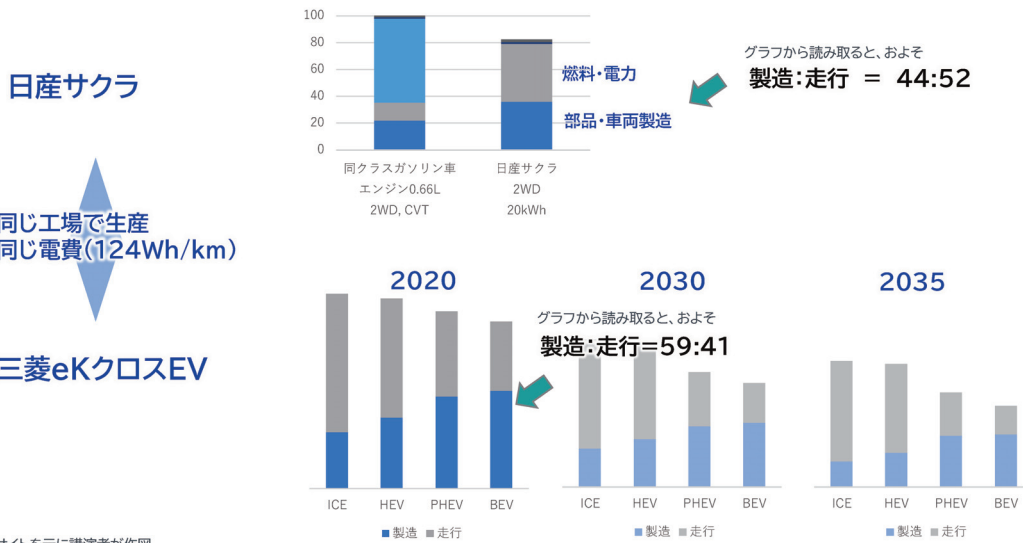


"EVJのライフサイクルにおけるLCA比較(CO₂等価排出量)", 日産自動車Webサイト,
<https://www.nissan-global.com/JP/SUSTAINABILITY/ENVIRONMENT/GREENPROGRAM/FOUNDATION/LCA/>

参考文献を元に講演者が作図

BEV 日産サクラと三菱eKクロスEVの比較

本来同程度と思われるが、前提とする使われ方や電力のCO₂等価排出量に差異があると異なる見え方



参考Webサイトを元に講演者が作図

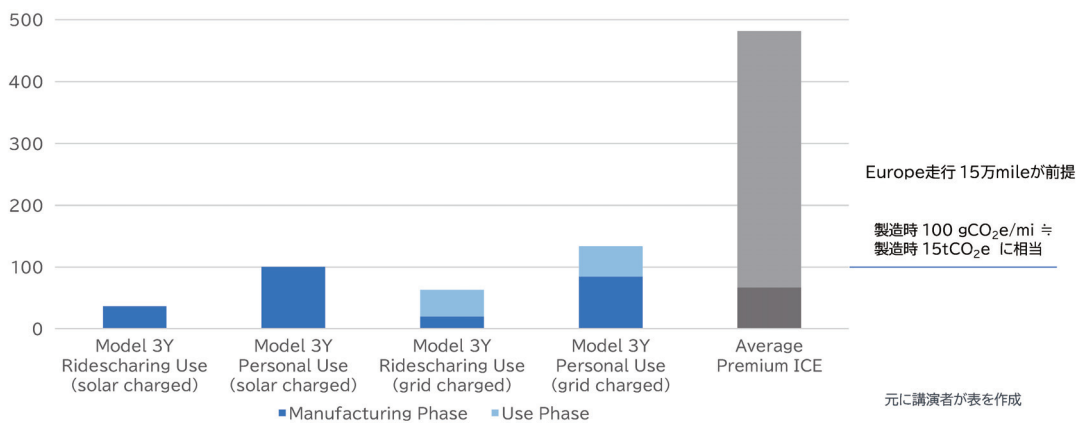
日産自動車“EVのライフサイクルにおけるLCA比較(CO₂等価排出量)”, <https://www.nissan-global.com/JP/SUSTAINABILITY/ENVIRONMENT/GREENPROGRAM/FOUNDATION/LCA/>
 “eKクロスEV環境性能”,三菱自動車工業, https://www.mitsubishi-motors.co.jp/lineup/ek_x_ev/usp/environment.html

LCAの報告例 自動車メーカー

Tesla 2021 Impact Report

製造考慮でも、テスラのBEVはプレミアムICEより大幅にCO₂が少ない
 具体的な算出方法や使用したパラメータは不明

Average Lifecycle Emissions in Europe (gCO₂e/mi)



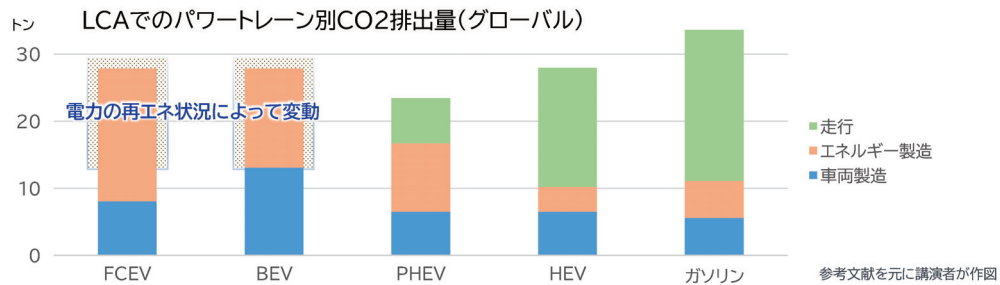
“2021 Impact Report”, Tesla, https://www.tesla.com/ns_videos/2021-tesla-impact-report.pdf

LCAの報告例 自動車メーカー

TOYOTA

饗場, “2050年カーボンニュートラル実現に向けて”, 2021年度ALPS国際シンポジウム(2022)
https://www.rite.or.jp/system/events/7-3_aiba.pdf

BEV, FCEVはエネルギー製造によって変動 (製造時CO₂としてはHEV, PHEVよりも大)
具体的な算出方法や使用したパラメータは不明



試算前提 年間走行距離1.5万km 使用期間 10年
電池容量 BEV:80kWh, PHEV:10.5kWh (EV走行6割程度)

LCAの報告例から

既公開文献からのデータを活用したLCA

製造時CO₂数値の参考とした文献、計算手法が明示されている
レビュー論文など、過去情報を基にせざるを得ない

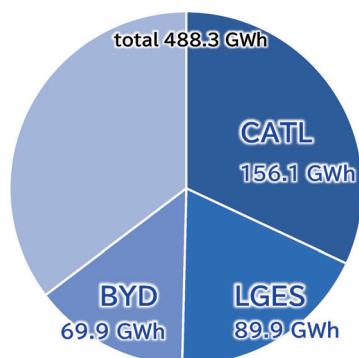
情報の詳細は非公開としたLCA

詳細の数値・計算手法は示されていないが、結果のみを示している
各パワートレインでの相対比較にとどまる
各自動車会社の技術戦略の説明を支えている

→バッテリー製造のCO₂排出量の前提の置き方によって、結論が大きく異なる

古い公開情報ではなく、近年のバッテリー製造のCO₂排出量の情報を得る方法は他にないか？

2022年 新車EV,HEV,PHEVバッテリーの販売量[GWh] *
を元に上位3社を円グラフ化



Webの数値を元に講演者が表を作成

バッテリー生産のCO₂排出量を過去のレビュー論文などを根拠にするのではなく、
バッテリー各社のCSR(Corporate Social Responsibility)やESG(Environmental, Social
and Governance)レポートから、バッテリー生産のCO₂排出量を読み取れないか？

*In 2022, a Massive 488.3 GWh Deployed Onto Roads Globally in New Passenger EVs”, Adamas Intelligence,
<https://www.adamasintel.com/adamas-battery-capacity-deployed-2022/>, (2023/03)

BEVバッテリー シェア上位の各企業のESG, CSRレポート調査

	CSR, ESG	CO ₂ 排出量に関する記載内容
CATL	公開	バッテリーWhあたりのCO ₂ 排出量、企業活動としてのCO ₂ 排出量が表に数値として示されている
LGES	公開	企業活動としてのCO ₂ 排出量が表に数値として示されている
BYD	公開	企業活動としてのCO ₂ 排出量が表に数値として示されている
Panasonic	公開	グループ全体の企業活動としてのCO ₂ 排出量が図中に示されている (Panasonic Energyとしてのレポートはない)
SK On	Webに無	
Samsung SDI	公開	事業別あたりのCO ₂ 、企業活動としてのCO ₂ 排出量が表に数値として示されている
CALB	Webに無	
Gotion	Webに無	
Farasis Energy	Webに無	
SVOLT	Webに無	
Sunwoda	公開	企業活動としてのCO ₂ 排出量が表に数値として示されている (2020まで)

ESG, CSRLレポートから (CATL, LGES)

CATL: 10.5 kg/kWh, LGES: 21.2 kg/kWh(推定) のCO₂排出量 (Scope 1 + Scope 2)

CATLのESGレポート2022 Greenhouse Gas (GHG) Emission

indicator	unit	2021	2022
Emission intensity			
GHG emission intensity	tCO ₂ e/MWh	13.98	10.50
Cell	tCO ₂ e/MWh	11.95	9.28
Module	tCO ₂ e/MWh	0.51	0.33
Pack	tCO ₂ e/MWh	0.26	0.21
Others	tCO ₂ e/MWh	1.27	0.68
GHG emission intensity decline	%	10.33	24.89

単位[t/MWh]であるので、数値そのまま[kg/kWh]

GHG emission intensityの内訳

*Environmental, Social and Governance (ESG) Report 2022, CATL, <https://www.catl.com/en/about/responsibility/> レポートを元に講演者が表を作成

LGES のESGレポート2021 Major Performance Index > Environment > Greenhouse gases

2021年のEV/バッテリー出荷量63.5GWh*に対して、
企業活動のCO₂排出量が全て投じられたとすれば
 $1,347,068 \times 10^3 \div (63.5 \times 10^6) = 21.2 \text{ kg/kWh}$

	Unit	2019	2020	2021
Total GHG emissions	ton CO ₂ eq	962,792	1,221,921	1,347,068

*2021 ESG REPORT, <https://www.lgensol.com/en/esg-sustainability>
レポートを元に講演者が表を作成

* "A Record 286.2 GWh Deployed Onto Roads in Passenger EV Batteries in 2021", Adamas Intelligence, <https://www.adamasintel.com/record-battery-capacity-deployed-in-2021/>

CATLとLGESのESGレポートから得た値は論文などの値と比べると小さすぎないか？

CATL: 10.5 kg/kWh, LGES: 21.2 kg/kWh(推定) のCO₂排出量は「Scope 1 + Scope 2」



Scope3 の調達する材料などが含まれていない
→ バッテリー製造では、このScope3 が大きい？

バッテリー製造におけるCO₂の内訳

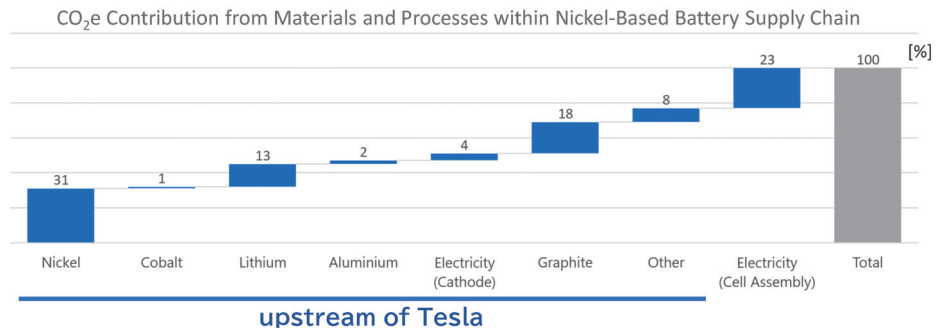
Tesla, Samsung SDIのレポートから、前工程はセル製造の3.3倍程度

Tesla

セル製造：前工程
= 23 : 77

前工程 ÷ セル製造 × 3.3

Teslaでのセル製造に要するCO₂排出量の内訳、絶対値は不明



"2021 Impact Report", Tesla, https://www.tesla.com/ns_videos/2021-tesla-impact-report.pdf

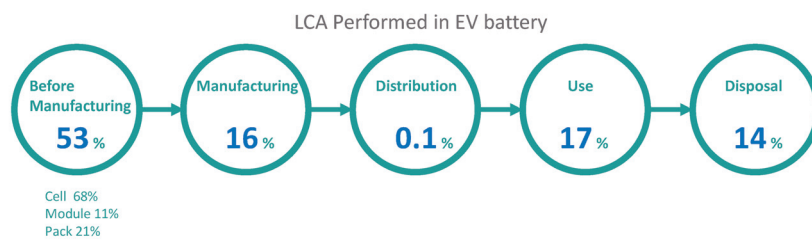
レポートを元に講演者が図を作成

Samsung SDI

製造：前工程
= 16 : 53

前工程 ÷ 製造 × 3.3

Samsung SDIでのセル製造に要するCO₂排出量の内訳、絶対値は不明
Automotive & ESS batteryのCO₂排出量と出荷量から推定



"Sustainability Report 2021", Samsung SDI, <https://www.samsungsdi.com/sustainable-management/sustainability/report/sustainability-report.html>

レポートを元に講演者が図を作成

バッテリー製造におけるCO₂の内訳

CATL

ESGレポートと別に"Carbon Accounting Report(2021)"を発行しており、Scope3の値が示されている

Unit: [tCO₂e] Tons of carbon dioxide equivalent

Emission Category	2021
Scope1 GHG Emissions	256,458.29
Scope2 GHG Emissions	1,327,595.65
Scope3 GHG Emissions	7,339,949.42
GHG Emissions (Scope1+Scope2+Scope3)	8,924,003.36

"Carbon Accounting Report 2021", CATL, https://www.catl.com/en/uploads/1/file/public/202207/20220718135544_swldbkl86n.pdf

(Scope1+Scope2) : Scope3 から Scope3は(Scope1+Scope2)の4.6倍程度

「Scope 1 + Scope 2」 = 10.5 kg/kWh

CATLバッテリー製造 Scope1+Scope2+Scope3 = 10.5 kg/kWh × (1+4.6)
= 58.5 kg/kWh

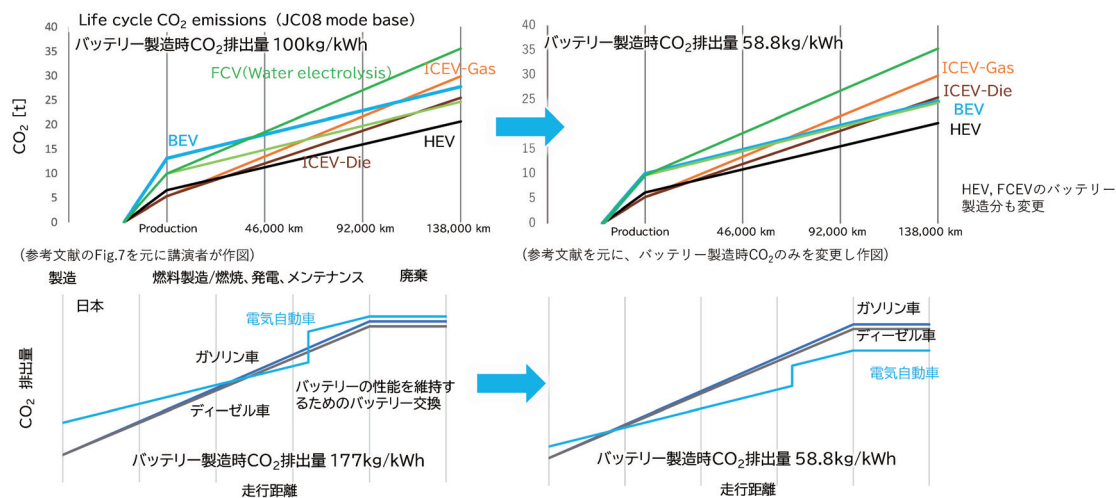
Carbon Accounting Reportの2022は確認できていないため、Scope1, Scope2, Scope3の比率をCarbon Accounting Report 2021から、バッテリー製造Scope1+Scope2はESGレポート2022を参照した

CATLのCO₂排出量を用いた場合のLCA

方法と使用した数値が公開されている以下2例を、バッテリー製造時のCO₂排出量を58.8kg/kWhに置き換え

→ 当然であるが、BEVに対する評価が変わる

中国以外でバッテリー製造すれば、製造時に使用する電力のCO₂排出量を、より減らすことも期待できる



内燃機関自動車、ハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車における車内空調を考慮した量産車両LCCO₂排出量の比較分析, 石崎啓太, 中野 冠 2018年 84巻 866号 p. 18-00050
 MAZDA Webサイト“LCA (ライフサイクルアセスメント)”, <https://www.mazda.com/ja/sustainability/lca/>
 Kawamoto et al., "Estimation of CO₂ Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA", Sustainability 2019, 11(9), 2690;

LCAの課題と期待

公表されたLCAの検討結果は多い

- 手法など知の蓄積
- 企業の技術戦略へ活用・反映

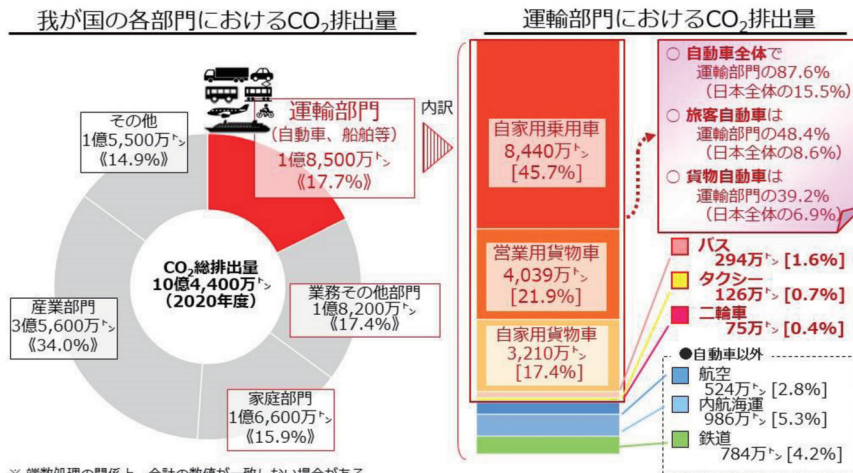
課題: 検討結果の比較が難しい

- 計算方法や前提条件の違い
- 方法・条件の非開示



国連WP.29における
Automotive-Life Cycle Assessment(A-LCA)
 の活動が今後の期待

「乗用車」はLCAの観点も含め 製造時・走行時のCO2削減の取り組みが進んでいる



乗用車以外では？

※ 端数処理の関係上、合計の数値が一致しない場合がある。
 ※ 電気事業者の発電に伴う排出量、熱供給事業者の熱発生に伴う排出量は、それぞれの消費量に応じて最終需要部門に配分。
 ※ 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ (1990~2020年度) 権報値」より国交省環境政策課作成。
 ※ 二輪車は2015年度権報値までは「業務その他部門」に含まれていたが、2016年度権報値から独立項目として運輸部門に算定。

出典：国土交通省ウェブサイト https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html

大型車(トラック)・建機などの電動化の課題

進むBEVの普及

2022では中国のBEV新車販売台数は、日本の新車販売台数全体よりも多い

BEV販売台数	2021	2022
EU	88万台 (新車販売9%)	112万台 (新車販売12%)
中国	291万台 (新車販売11%)	536万台 (新車販売20%)

“EUの2022年の新車登録台数、BEVが初めて100万台超え”, JETRO, <https://www.jetro.go.jp/biznews/2023/02/9506f0fd1b54c0f1.html>
 “22年中国新車販売、2%増の2686万台 EVは536万台”, 日本経済新聞, <https://www.nikkei.com/article/DGZXQ0G6M06BZ40W3A100C2000000/>
 “中国EV販売、最高の291万台”, 日本経済新聞, <https://www.nikkei.com/article/DGZXQ0U4C127E3052A110C2000000/>

バス 中国 2017年 深圳市の公共バスの100%BEV化
 US, LA 2030年までにCNGバス2300台をBEV化
 UK, ロンドン 2037年までに市中心のバスの100%BEV化

“EV/FCバストラックの海外市場動向の整理”, 環境省, <https://www.env.go.jp/content/900444224.pdf>

大型車・建機の電動化 BEVの課題

EU BEVトラック登録数 346台 (CY2021) → 1041台 (CY2022) Heavy trucks 全体 25万台の販売台数

大型車：大容量バッテリー・充電が課題、BEVの普及は進んでいない

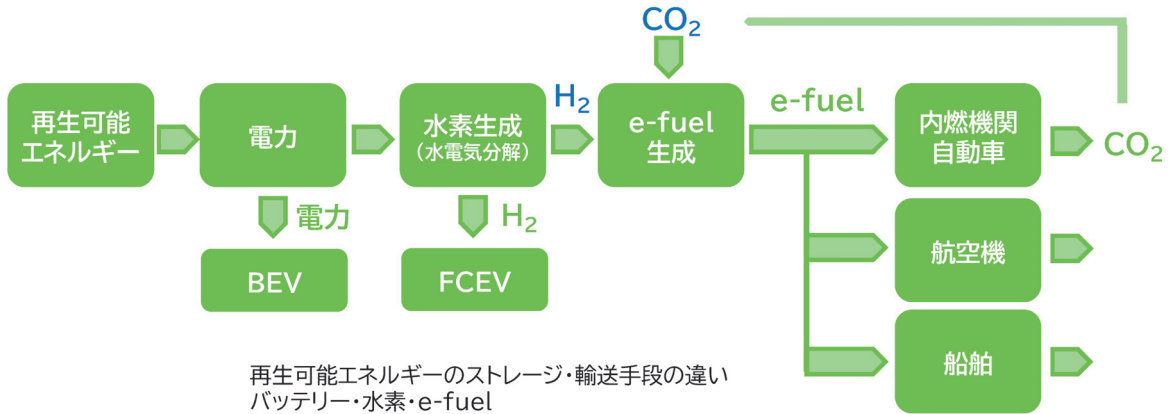
建機：充電ステーションへ移動が困難

“Volvo Trucks leads the electric truck market in Europe”, Volvo, <https://www.volvotrucks.jp/ja-jp/news/press-releases/2022/feb/volvo-trucks-leads-the-electric-truck-market-in-europe.html>
 “Volvo leads the booming market for electric trucks”, Volvo, <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2023/feb/volvo-leads-the-booming-market-for-electric-trucks.html>
 “Commercial vehicle registrations: -14.6% in 2022; -5.1% in December”, ACEA, <https://www.acea.auto/cv-registrations/commercial-vehicle-registrations-14-6-in-2022-5-1-in-december/>

e-fuel (合成燃料)は？

再生可能エネルギーによる水素とCO₂を合成した燃料（燃焼してもCO₂は増えない）

既存アセットを活用できる方法：燃料のインフラだけでなく、導入済みの車両・設備などに



F. Ueckerdt, et Al., "Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation", Nature Climate Change, vol. 11, no. 5, pp. 1-10 (2021)

大型車のCO₂削減の取り組みも必要

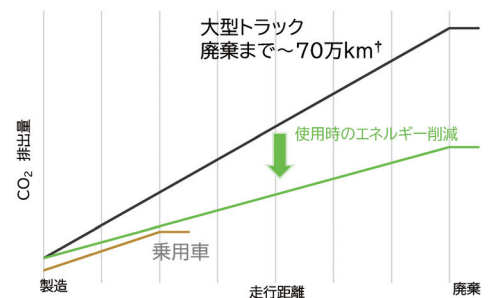
廃棄までの走行距離の長い大型車
「使用時のエネルギー消費削減」は大きな効果

走行抵抗を減らす

- 空力性能の向上
- 軽量化

パワートレイン効率を高める

- 電動化
 - インバータ・モータ効率の向上
 - ドライブトレイン(ギア)効率の向上
 - 走行中給電によるバッテリー搭載量低減(軽量化)



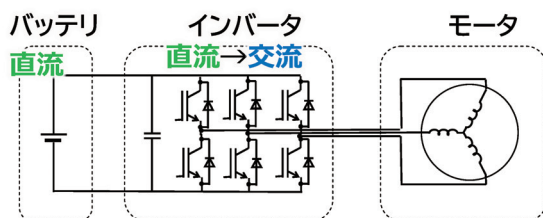
[†] "トラックの市場要件の整理", 環境省, <https://www.env.go.jp/content/900444223.pdf>

新しい電力変換器D-EPCを用いた 電動モビリティの電力変換損失低減

電動化一般 - インバータによるモータ駆動

BEV, FCEV, HEV 市販化されている電動車のほとんどがインバータによる交流モータ駆動

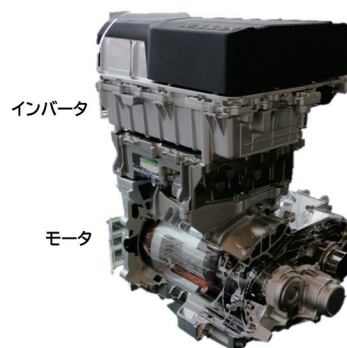
一般的なBEVの構成 1電源を利用



モータ駆動の主は交流モータ

EV,ハイブリッド,燃料電池車,電車,家電,エレベータ,ドローン

電源の直流を交流に変換するインバータを用いる

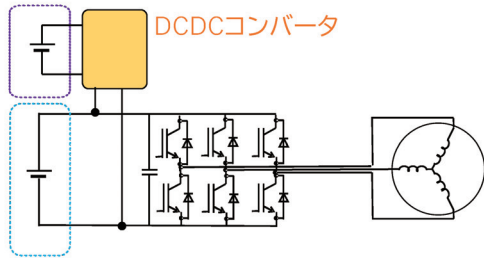


電気自動車のモータ・インバータ
(日産リーフ)

DCDCコンバータ・昇圧チョッパ

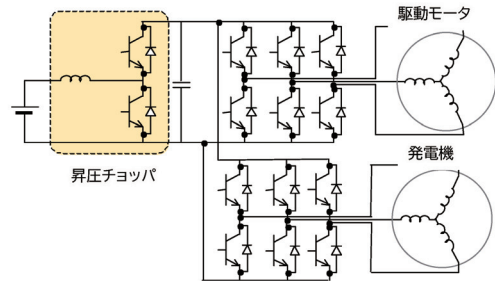
直流電圧を可変する回路 2電源システムや高出力ハイブリッドに用いられる

FCEV 2電源を入力



異なる特性・電圧の電源は直接接続できない
2電源の入力では、DCDCコンバータが必須

HEV 電圧を昇圧



バッテリー電圧を高く昇圧し、高出力化

DCDCコンバータ・昇圧チョッパの課題

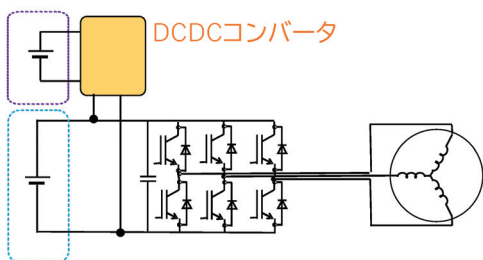
回路に用いるコイルは重く・大きい
電力損失が発生する

提案するD-EPCとは？

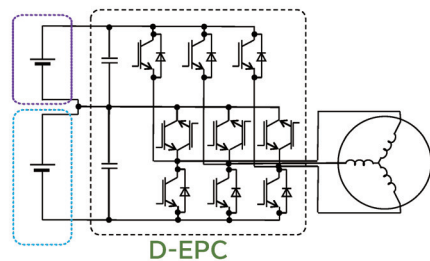
D-EPC = 2電源入力インバータ
Direct/Dual - Electric Power Converter

FCEV 2電源を入力

従来の回路構成



D-EPCを用いた回路構成



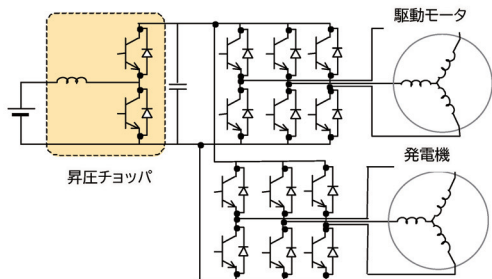
D-EPCを用いた回路構成

- DCDCコンバータを用いず、インバータの回路に半導体スイッチを追加
- 低損失 : モータと電源の間には半導体スイッチのみで直接接続
 - 小型・軽量化 : 大きく重いコイルを用いない
 - 高出力化 : 電源直列の電圧を出力し、モータの高出力化が可能

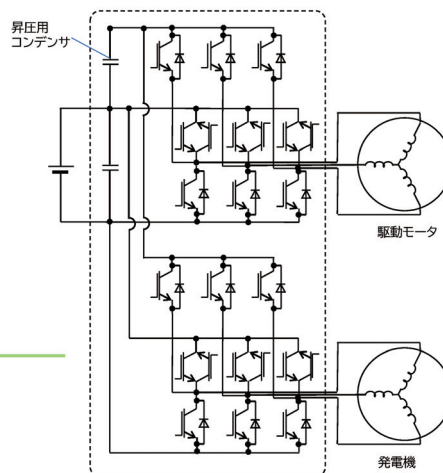
D-EPCを用いたハイブリッドシステム

HEV 電圧を昇圧

従来の回路構成



D-EPCを用いた回路構成



D-EPCを用いたハイブリッドシステム
 D-EPCをモータ・発電機にそれぞれ適用
 電源の1つは接続せず、コンデンサのみ
 ⇒コンデンサの電圧を昇圧

D-EPCを用いたアプリケーション

2電源を入力
燃料電池・架線式大型車

FCEV
燃料電池+バッテリー

長距離走行の大型車



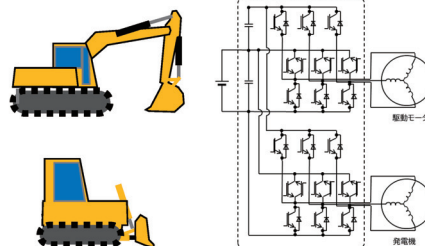
トrolley充電式ダンプトラック
架線+バッテリー
鉱山用ダンプトラック

架線で走行とバッテリー充電
架線のないエリアも走行可



ハイブリッドシステム
大型車・建設機械

HEV
エンジン発電機+バッテリー



バッテリー充電・H₂充填が難しい使用環境用

効率の良い発電点でエンジン動作
⇒CO₂の排出量を削減

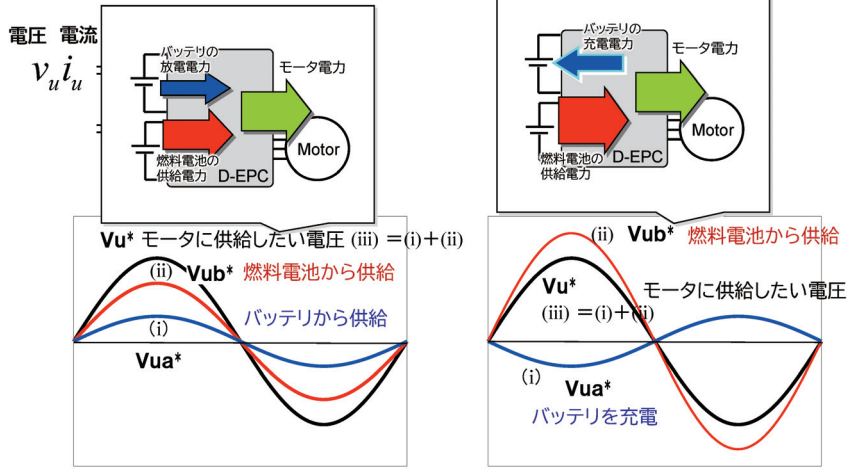
D-EPCによる2電源の電力配分

どちらの電源をどれだけ使うか？
エネルギーマネジメント

電力 = 電圧 × 電流

モータに流れる“電流”が回転トルクをつくる = 電流は運転状態で決まる

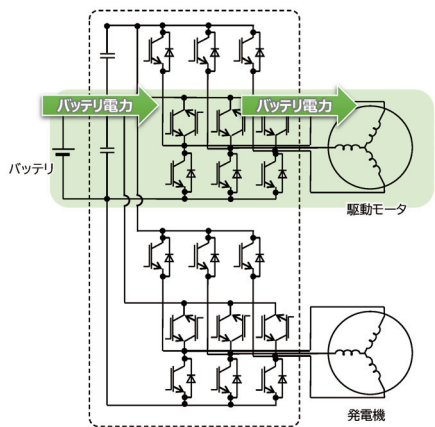
2つの電源に接続するスイッチでモータに加える電圧をつくる ⇒ スwitchの操作で電圧をそれぞれ配分



ハイブリッドシステムの駆動

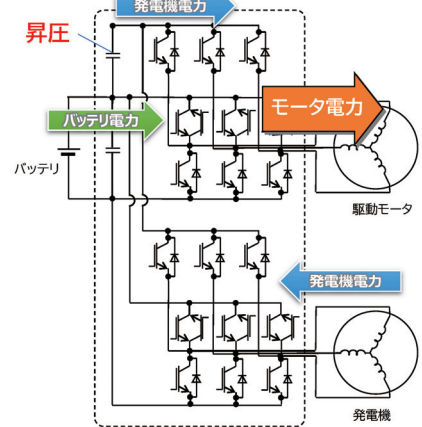
バッテリーでの駆動(EVモード)

直接変換：
バッテリーとインバータ・モータの間で損失発生なし



発電機昇圧駆動(ハイブリッド)

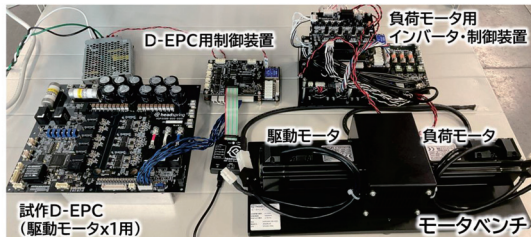
昇圧と電力合成：
発電電力を昇圧、バッテリー電力と合わせモータ駆動



D-EPCを用いたハイブリッドシステム

D-EPCを用いたハイブリッドシステムの効率・損失

- ・昇圧チョップパルス
- ・インバータの3レベル化での低損失化
- 電力変換損失1/2 の可能性



ハイブリッドシステムの損失見積(簡易計算)

		従来システム	提案システム
効率	モータ出力 [kW]	120	←
	発電機出力 [kW]	60	←
	モータ電力変換効率 [%]	98.0	98.6
	発電機電力変換効率 [%]	98.0	98.6
電力	昇圧チョップパ効率 [%]	98.0	-
	モータ入力電力(DC) [kW]	122.4	121.7
	発電機出力電力(DC) [kW]	58.8	59.2
	昇圧チョップパ出力電力 [kW]	63.6	-
損失	バッテリー出力電力 [kW]	64.9	62.5
	モータ電力変換損失 [kW]	2.4	1.7
	発電機電力変換損失 [kW]	1.2	0.8
	昇圧チョップパ損失 [kW]	1.3	-
電力変換損失合計 [kW]		4.9	2.5

200W級のモータベンチで原理確認実験

- ・電力配分を用いた昇圧制御
- ・損失計算方法の確立
- ・電源電圧・昇圧制御の最適化による損失低減

参考文献

- (1) “環境適合なるほど！日本のエネルギー”、電気事業連合会, <https://www.fepc.or.jp/theme/energymix/content3.html>
- (2) “送配電ロス率”数表で見える東京電力”, 東京電力, <https://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/electricity-supply/transmission-distribution-loss-j.html>
- (3) “CO₂ 排出量・排出原単位と販売電力量”, 東京電力, <https://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/environment/emissions-co2-j.html>
- (4) 税制全体のグリーン化推進検討会 第2回, 環境省, 令和2年11月, https://www.env.go.jp/policy/post_40.html
- (5) 石崎, 中野: “内燃機関自動車, ハイブリッド自動車, 電気自動車, 燃料電池自動車における車内空調を考慮した量産車両LCCO₂排出量の比較分析”, 日本機械学会論文集, Vol. 84, No. 866, p. 18-00050 (2018)
- (6) “EFFECTS OF BATTERY MANUFACTURING ON ELECTRIC VEHICLE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS”, International Council on Clean Transportation (2018)
- (7) “LCA (ライフサイクルアセスメント)”, MAZDA Webサイト, <https://www.mazda.com/ja/sustainability/lca/>
- (8) Kawamoto et al., “Estimation of CO₂ Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA”, Sustainability 2019, 11(9), 2690;
- (9) “FEVJのライフサイクルにおけるLCA比較 (CO₂等価排出量)”, 日産自動車Webサイト, <https://www.nissan-global.com/JP/SUSTAINABILITY/ENVIRONMENT/GREENPROGRAM/FOUNDATION/LCA/>
- (10) “eKワロスEV 環境性能”, 三菱自動車工業, https://www.mitsubishi-motors.co.jp/lineup/ek_x_ev/usp/environment.html
- (11) “2021 Impact Report”, Tesla, https://www.tesla.com/ns_videos/2021-tesla-impact-report.pdf
- (12) 賽場: “2050年カーボンニュートラル実現に向けて”, 2021年度ALPS国際シンポジウム(2022)
- (13) “In 2022, a Massive 488.3 GWh Deployed Onto Roads Globally in New Passenger EVs”, Adamas Intelligence, <https://www.adamasintel.com/adamas-battery-capacity-deployed-2022/>, (2023/03)
- (14) “Environmental, Social and Governance (ESG) Report 2022”, CATL, <https://www.catl.com/en/about/responsibility/>
- (15) “2021 ESG REPORT”, LGES, <https://www.lgensol.com/en/esg-sustainability>
- (16) “A Record 286.2 GWh Deployed Onto Roads in Passenger EV Batteries in 2021”, Adamas Intelligence, <https://www.adamasintel.com/record-battery-capacity-deployed-in-2021/>
- (17) “Sustainability Report 2021”, Samsung SDI, <https://www.samsungsdi.com/sustainable-management/sustainability/report/sustainability-report.html>
- (18) “排出量算定について”, 環境省, https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/estimate.html
- (19) “Carbon Accounting Report 2021”, CATL, https://www.catl.com/en/uploads/1/file/public/20220718135544_swldbkl86n.pdf
- (20) 国土交通省ウェブサイト https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html
- (21) “EUの2022年の新車登録台数、BEVが初めて100万台超え”, JETRO, <https://www.jetro.go.jp/biznews/2023/02/9506f0fd1b5dc0f1.html>
- (22) “22年中国新車販売、2%増の2686万台 EVは536万台”, 日本経済新聞, <https://www.nikkei.com/article/DGXZQGM06B2I0W3A100C2000000/>
- (23) “中国EV販売、最高の291万台”, 日本経済新聞, <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC127E3052A110C2000000/>
- (24) “EV/FCバス・トラックの海外市場動向の整理”, 環境省, <https://www.env.go.jp/content/900444224.pdf>
- (25) “Volvo Trucks leads the electric truck market in Europe”, Volvo, <https://www.volvotrucks.jp/ja-jp/news/press-releases/2022/feb/volvo-trucks-leads-the-electric-truck-market-in-europe.html>
- (26) “Volvo leads the booming market for electric trucks”, Volvo, <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2023/feb/volvo-leads-the-booming-market-for-electric-trucks.html>
- (27) “Commercial vehicle registrations: -14.6% in 2022; -5.1% in December”, ACEA, <https://www.acea.auto/cv-registrations/commercial-vehicle-registrations-14-6-in-2022-5-1-in-december/>
- (28) F. Ueckerdt, et al., “Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation”, Nature Climate Change, vol. 11, no. 5, pp. 1-10 (2021)
- (29) “トラックの市場要件の整理”, 環境省, <https://www.env.go.jp/content/900444223.pdf>
- (30) 松野, 秋山, 吉本, 横山: “二電源入力電力変換器D-EPCを用いたハイブリッドシステムにおける昇圧制御の実機検証”, 電気学会研究会資料, pp. 89-94 (2022)