

配送業務への適用拡大に向けた電動三輪車シリーズの開発

Development of Three-wheel Electric Vehicle Series for Expanding Application to Delivery Business

中 川 英 亮¹

Hideaki NAKAGAWA

要 旨

配送業務における CO₂ 削減の取り組みと、拡大する配送需要に応えるため、ビジネス用電動三輪車を開発した。既存のガソリンエンジン三輪車シリーズでは、旋回時の車体の傾斜（スイング）と共に傾く荷台構造と、スイングしない荷台構造の 2 タイプの積載構造を持つ車両が存在していた。それぞれのタイプの電動化を実現するにあたり、電動駆動ユニットを共通化することで、製造コストの抑制を図った。また、動力性能を向上させ、より使い勝手の良い車両とするために、高効率な三輪電動駆動ユニットを開発した。しかしながら、三輪車のディファレンシャルギヤの組合せによる連結ギヤ数の増加により、バックラッシュ量が増加し、振動、打音発生が課題となった。そこで、スロットル全閉時にも弱いトルクをかけてバックラッシュを詰める制御をおこなった。これらより、静かで低振動、かつ高出力で配送業務に使いやすい電動三輪車を開発することができた。

ABSTRACT

Honda has recently developed three-wheel electric scooters for commercial use to reduce CO₂ emissions from the transportation sector and to respond to the growing demands for motor vehicles for delivery services. In the conventional three-wheel scooter series using a gasoline engine, there has been two types of cargo carriers; the one having the carrier as an integral part of the main vehicle body that tilts when the scooter leans and another one having the carrier on a non-tilting carriage in the rear. In our attempts to electrify both types of three-wheel scooter, we suggested an idea of making the electric powertrain common to keep the production cost low. Accordingly developed is the high-efficiency powertrain that enhances driving performance while making the vehicle more user friendly. The increased number of gears in the drivetrain coupled with the need for a differential gear for the two rear wheels also increases the backlash (free play), which causes issues such as vibrations and hammering noises. To deal with these issues, the electric power controller is programmed to apply a light torque to the drivetrain to take up the free play when the throttle is fully closed. Thus developed is the quiet, low vibration, and powerful electric three-wheelers appropriate for delivery services.

1. まえがき

地球温暖化への対策として、世界的に CO₂ 排出削減の活動が重要視されて久しい。その解決手段の一つとして、モビリティの電動化が進んでいる。Honda の二輪車領域においても、1994 年から電動二輪車を数度にわたり市場に投入してきた。特に 2010 年頃より、ビジネス用電動二輪車の普及に向けた実証実験などを重ね^{(1), (2)}、2020 年には BENLY e: を市場に投入した⁽³⁾。BENLY e: の投入により、配送業界に課せられた CO₂ の排出削減の可能性を示し、郵便配達用途を中心に電動車の広がりが見え始めている。そこで、さらなる電動車の拡大にあたり、ビジネス用途でニーズの高い三輪車に着目した。

コロナ禍による巣ごもり需要も追い風となり、宅配や

ケータリング事業でのビジネス用モデル、特に三輪車モデルの販売台数増加が顕著となっている (Fig. 1)。しかし、

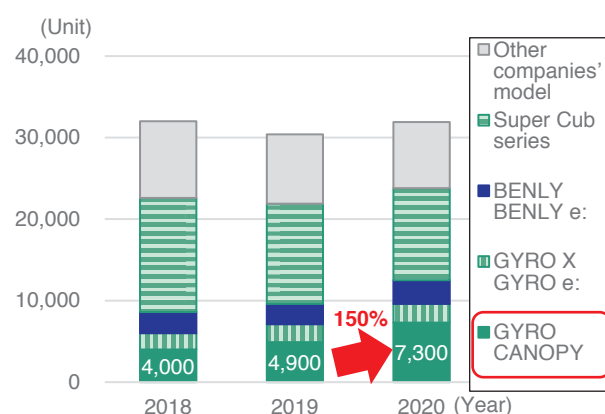


Fig. 1 Sales results of moped type 1 business category

¹ 本田技研工業株式会社

E-mail: hideaki_nakagawa@jp.honda



Fig. 2 Honda e: business-use electric scooter series

三輪車の電動化を進めるにあたっては、二輪車と比較して部品点数や車両重量の増加に伴う製造コストの上昇や、電費の低下などの課題が懸念された。それら課題を解決し、これらの需要に応えるべく、電動化によってさらに使い勝手を向上させたビジネス用三輪車 GYRO e:、GYRO CANOPY e: を開発した (Fig. 2)。本稿では、ビジネス用三輪車の用途、および車両の電動化に伴うガソリンエンジン車に対する進化の技術的な特徴について述べる。

2. 配送業務の現状と課題

ビジネス用三輪車の電動化にあたり、配送業務で重要視される搭載性能および配送時の周辺環境への配慮に着目した。

2.1. 既存三輪車シリーズの特徴

既存の、50 cc ガソリンエンジン三輪車モデルである Honda GYRO シリーズは、1982 年にベースモデルの GYRO X が発売され、以降 GYRO UP、GYRO CANOPY がバリエーション追加された。この GYRO シリーズの特徴は、ナイトハルト機構⁽⁴⁾でつないだフロント一輪、リヤ二輪を備えた構造にある。乗員の乗る車体前半部は、二輪車のように車体を傾けて (スイング) 旋回する。一方、後ろ二輪の動力部は傾くことなく、左右のタイヤを水平に保ったまま旋回する。

そのどちら側に荷台を付けるかで、積荷に掛かる力の向きが変わるなどの搭載性能が変わってくる。ベースモデルの GYRO X と大型スクリーンとルーフを備えた GYRO CANOPY は、旋回時に車体と一体に傾く荷台を備えている。そのため、走行中の振動や遠心力の影響を受けづらい。一方、2008 年に生産を終了した GYRO UP は、後ろ二輪の動力部の上に、地面と平行に大型で低床、かつ水平状態で積載、運搬が可能な荷台を備えていたため、大きく重い荷物を運ぶのに適していた。

2.2. 既存三輪車モデルの搭載性能

上記搭載性能の違いにより、GYRO シリーズの積載荷物は以下の二種類に大別できる。

荷物 (1): 体積が大きく重い荷物 (ビールケース、工具や資材ケースなど)

荷物 (2): 振動や遠心力の影響を受けたくない荷物 (デリバリーフードや小型家電など)

GYRO シリーズ 3 タイプのモデル別積載用途構成比を Fig. 3 に示す。荷物 (1) は、GYRO UP が備えていた、大型、低床、水平な荷台が適している。一方荷物 (2) は、GYRO X や GYRO CANOPY の、停車中の積み下ろし時には水平状態を保ち、かつ走行中は振動や遠心力の影響を受けづらい荷台が適している。また、GYRO シリーズは停車時に、レバーひとつの簡単操作で車体のスイングを固定し、荷台の安定を保つことができる。そのため、二輪車に対して荷物の積み下ろし時における優位性を持つ。新たな電動三輪車モデルでは、幅広い使い勝手に配慮し、これら (1)、(2) 二つのタイプの荷物に対応できるよう検討をおこなった。

2.3. 周辺環境への配慮と扱いやすさの両立

上述の通り、配送需要の高まりにより、ビジネス用車両を扱うユーザは増加傾向となっている。また、フードデリバリーに代表される時間指定の配送需要に応じるためには、早朝、深夜といった静かな時間帯での走行も必要となる。しかしながら、第一種原動機付自転車 (原付一種) である排気量 50 cc のガソリンエンジン三輪車の場合、特に積載状態での発進時など、エンジンの回転上昇に伴って高まる騒音が課題となる。ユーザ聞き取り調査からも、地域住民への配慮のために夜間配送を自粛している地域があることがわかった。このような配送業務に携わるユーザが抱える困りごとに対し、三輪車の電動化による静粛性向上は一つの解決策となる。その一方、大型のバッテリー積載による重量増加など、車両の扱いやすさには課題が残る。普通

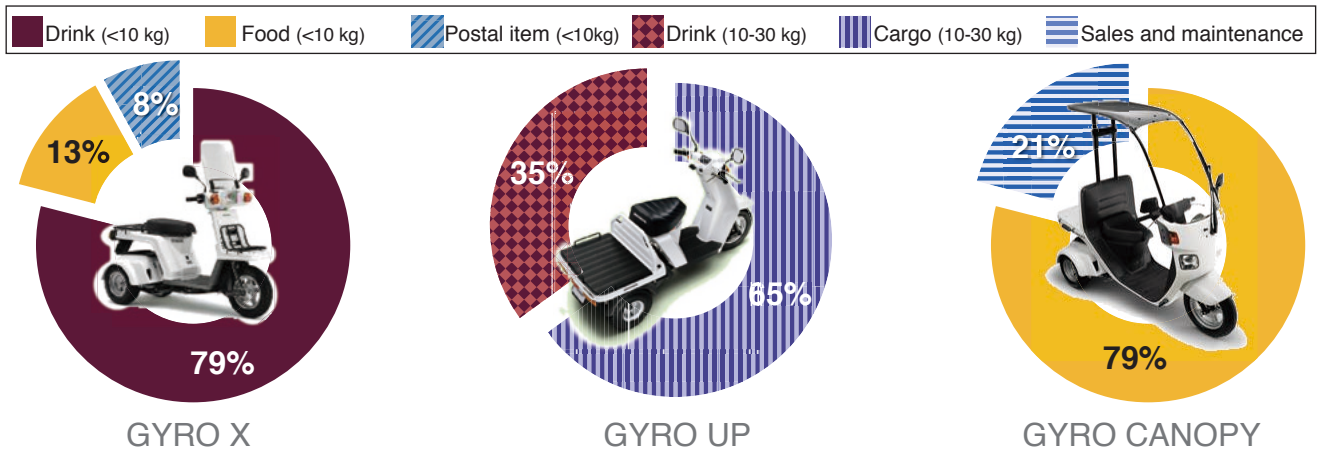


Fig. 3 Load composition ratio based on GYRO series owner survey conducted by Honda in 2018-2019

自動車免許のみを保有するアルバイト従事者など、幅広いユーザが使用するビジネス用三輪車においては、車両の扱いやすさは大切な要素となる。上記ユーザの期待に応えていくために、電動化による動力性能向上を伴う静粛性向上と、車両の扱いやすさを両立させることを課題として設定した。

3. 配送用車両の電動化普及に向けたパッケージ

ここでは、先述の搭載性能を実現した車両パッケージと、ガソリンエンジン車からの進化ポイントについて述べる。

3.1. 積載需要に応える車両パッケージ

前章で述べたように、(1)、(2)の二種類に大別される荷物により求められる搭載性能が異なる。その需要に応えるためには、既存モデル同様に別々の構造が必要となる。車両パッケージによって異なる荷物に掛かる力の方向を Fig. 4 に示す。(1):は体積が大きく重い荷物の配送用途に対しては、積載物の影響をライダーが受けづらい、旋回時にスイングしない低床荷台構造が適している。また、(2):

は振動や遠心力の影響を受けたくない荷物、すなわちフードデリバリー等の用途に対しては、旋回時でも荷物に垂直方向の力しか掛からない、スイングする荷台構造が適している。

そこで、GYRO e: と GYRO CANOPY e: では、共通の電動駆動ユニットを用いつつ、荷台は個々の搭載需要に応える構造とした。Fig. 5 に両タイプ共通の電動駆動ユニットと、荷台構造の違いを示す。電動駆動ユニットは、スペースや強度等の条件が厳しい GYRO UP タイプの大型、

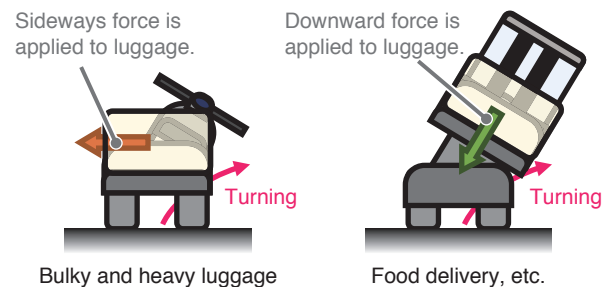


Fig. 4 Direction of force to cargo when turning

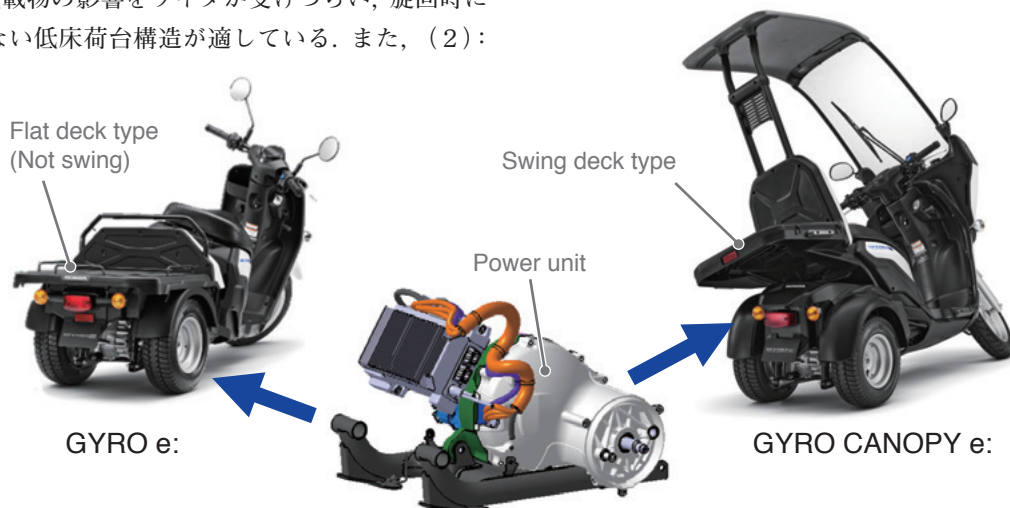


Fig. 5 Integrated power unit and each deck structure

低床荷台を基本に構築した。また、内蔵されるモータ部分は、二輪車の BENLY e: I と同じものを採用した。これらにより、製造コストを抑え、かつ積載需要に応える電動三輪車シリーズが構築可能となった。

3.2. 電動化による進化のポイント

2 章で挙げた課題より、電動化により進化させる項目として以下の二点を設定した。

項目 1. 幅広いユーザに対応するために、車両の取り回し性を、ガソリンエンジン三輪車以上に向上させること。

項目 2. 電動のトルク特性を活かし、動力性能を向上させること。

駆動用バッテリーには、BENLY e: と同じ交換式バッテリーシステム、Honda Mobile Power Pack e: を採用した⁽⁵⁾。このシステムにより、ビジネス用途の鍵となる稼働時間の拡大が可能となっている。本開発モデルにおいては、一個あたり約 10 kg ある Honda Mobile Power Pack e: を二個搭載している。

項目 1 で挙げた車両の取り回し性とは、車両の押し歩き時の扱いやすさを指す。それを向上させるためには、車両重心高は低い方が望ましい。なぜなら、同じハンドルの高さであれば、重心が低い方が軽い操作での取り回しが可能になるからである。電動化の構成部品の中で最も重心高に影響を及ぼすのは、駆動用バッテリーの搭載位置である。約 20 kg になるバッテリーによる取り回し性への影響を最小化するために、BENLY e: 同様にシート下となる車両重心近傍に並列で配置した (Fig. 6)。

また、ガソリンエンジン車以上の取り回し性を実現するために、BENLY e: で開発した制御システムを応用し、ボタンで操作できる後進アシスト機能を搭載した⁽³⁾。

項目 2 で挙げた動力性能向上については、積載状態での車両取扱い性にも寄与させるための重要な項目となる。動力性能向上に関する詳細は次章にて述べる。

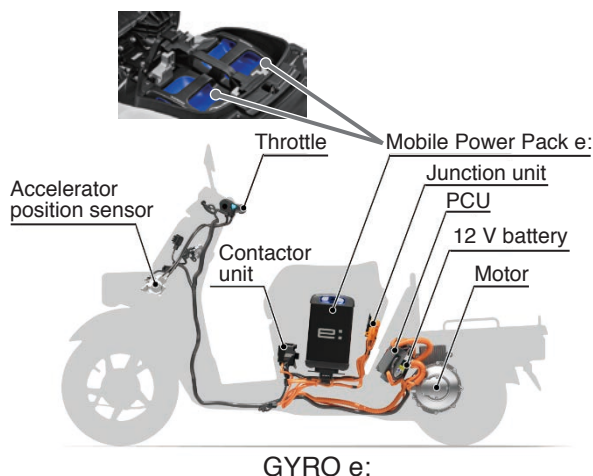


Fig. 6 Parts position of EV system

4. 電動化技術課題に対する取り組み

4.1. 高効率三輪電動駆動ユニットの検討

3.2. 節の項目 2. で挙げた、動力性能向上についての対応を示す。モータ軸出力の上限は道路車両運送法によるカテゴリ区分によって定められているため、後輪の軸出力を上げるには後輪への伝達効率を向上する必要がある。まず、ガソリンエンジン車における、ビジネス用二輪車と三輪車の伝達効率の違いと、ビジネス用電動二輪車の伝達効率を Fig. 7 に示す。二輪車 BENLY と三輪車 GYRO X の、ガソリンエンジン車同士での比較では、駆動輪が二輪の GYRO X の伝達効率が 5.6 ポイント低い。一方で、ガソリン二輪車の BENLY を電動化、BENLY e: とした際の比較では、クラッチが不要となり、かつベルト式変速機構をギヤ駆動とすることで、伝達効率を 14 ポイント向上させた。それにより、より小さな軸出力のモータでガソリンエンジンとほぼ同等な後輪軸出力を実現している。

そこで、三輪電動駆動ユニットにも、発進用クラッチの無いギヤ駆動システムを採用し、ガソリン三輪車に対し高い伝達効率を実現した。また、後ろ二輪駆動に欠かせないディファレンシャルギヤについては、ガソリン三輪車で実績のある部品をそのまま採用した。ガソリン三輪車の構造に、電動二輪車で構築したクラッチレスギヤ駆動システムを組み合わせ作り上げた三輪電動駆動ユニットを Fig. 8 に示す。ガソリン車同士での比較で、駆動輪増加による伝達効率 5.6 ポイント低下に対し、電動車の同伝達効率低下は 2.0 ポイントにとどまり、三輪車化する際の伝達効率比で 3.6 ポイント向上させることができた (Fig. 9)。この駆動力伝達の高効率化により、ガソリンエンジンと同等の軸出力のモータから、16% 高い後輪軸出力を得ることができた。

4.2. 周辺環境への配慮 - 静音、低振動へのこだわり -

開発を進めていく中で、加減速時に振動と打音が発生

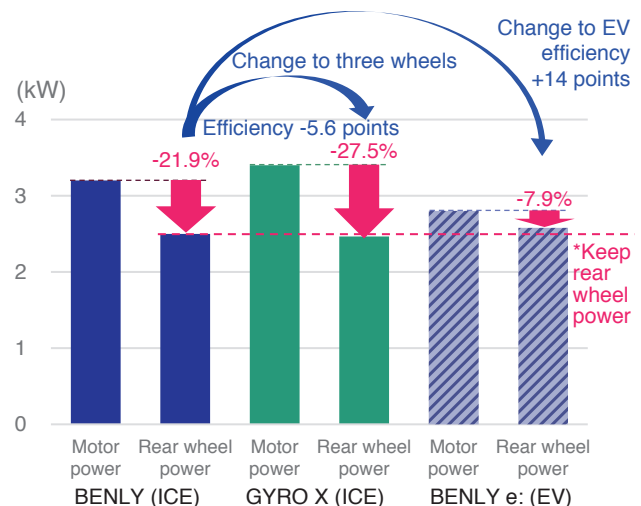


Fig. 7 Transmission efficiency by each model

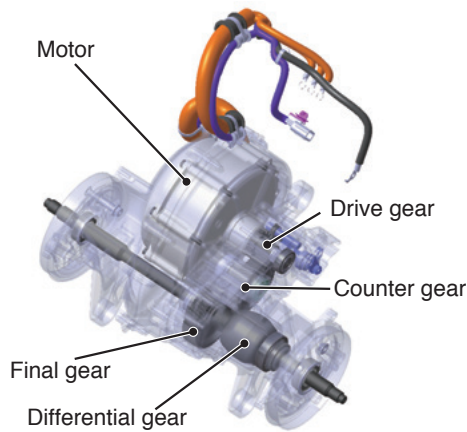


Fig. 8 Power unit for GYRO e:

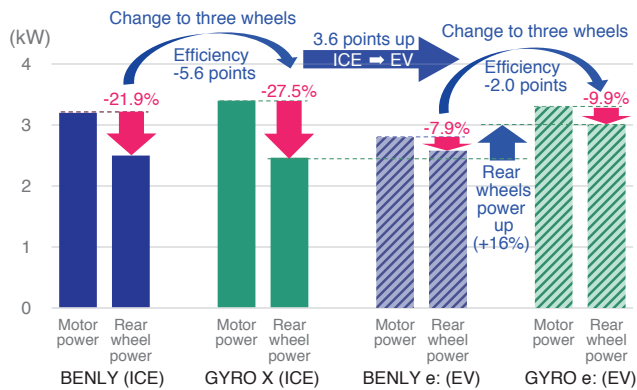


Fig. 9 Transmission efficiency by three wheels

するという事象が起きた。これは二輪車には無いディファレンシャルギヤの分だけ、モータ軸から駆動輪間のギヤ数が増え、バックラッシュの総量が増加することによって発生した事象である。これは加減速時に、ギヤ同士が接触するまでの一瞬の空回り状態から、駆動がつながった瞬間にモータシャフトに力が加わることで起こる現象である。急激に力が加わったヘリカルギヤを介し、ドライブシャフトのロータがスラスト方向に動き、ケースと接触することで振動と打音が発生する (Fig. 10)。原因となる電動二輪車と三輪車のバックラッシュ量の違いについて Fig. 11 に示す。前節で述べた高効率な駆動システムを維持し、かつ打音の発生を抑えるために、各ギヤ間のガタを詰めるトルク制御を考案した。これは、スロットル全閉時にも弱いトルクをかけることで、バックラッシュを詰める制御である。この制御のトルク指令を Fig. 12 に示す。これに示す通り、二輪車ではスロットル全閉時に回生トルクをかけているのに対し、三輪車では範囲を決めて回生トルクではなく、弱い正トルクをかけている。このバックラッシュを詰め続けるトルクの最小化とトルクをかける範囲の適正化を図ることで、電費影響を最小限 (5% 減) にとどめた。この制御による挙動の変化を Fig. 13 に、静音効果を Fig. 14 に示す。Fig. 13 の中央のグラフが示すように、歯車間の隙間をあらかじめ詰めておくためのガタ詰めトルク制御を追加することで、急激な回転数変化がなくなり、Fig. 13 の下側のグラフに示

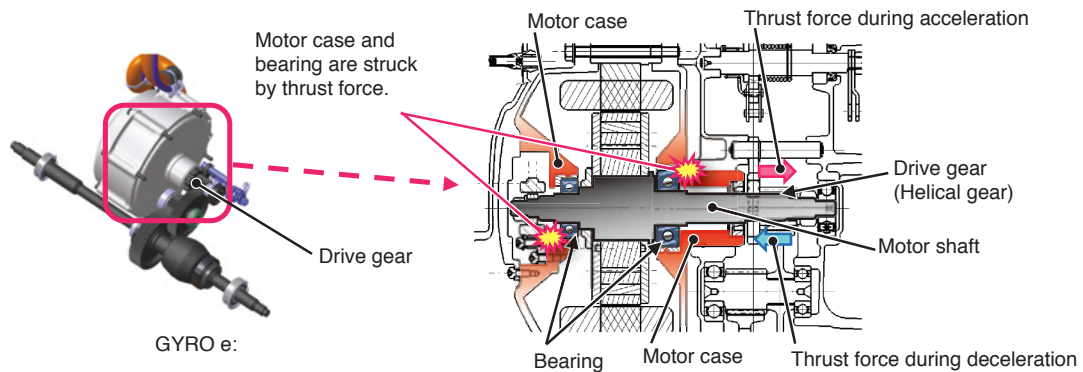


Fig. 10 Mechanism of hammering sound generation

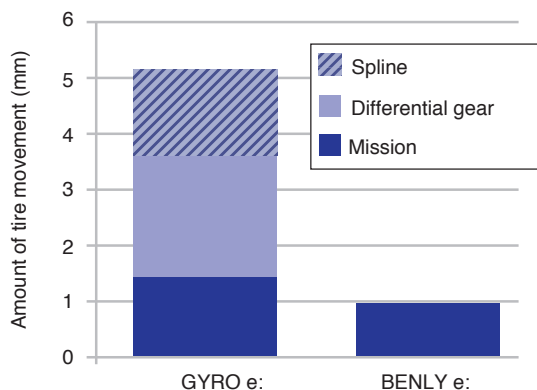
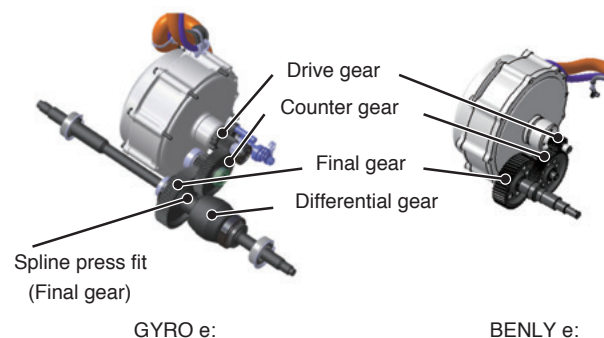


Fig. 11 Amount of backlash by each model



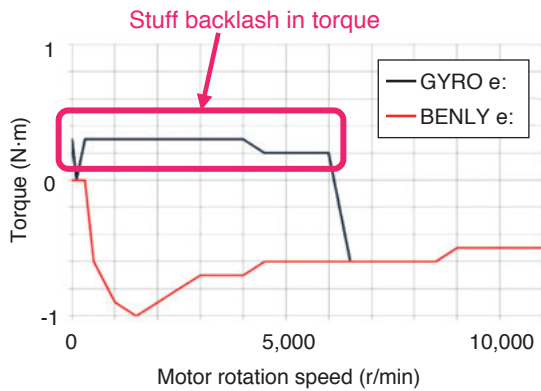


Fig. 12 Forward rotation torque command (Throttle closed)

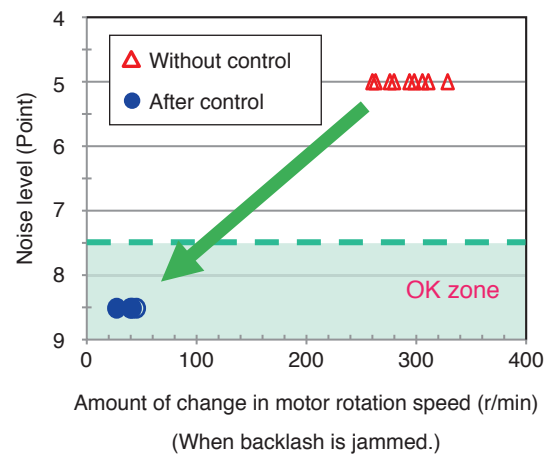


Fig. 14 Countermeasure effect in control

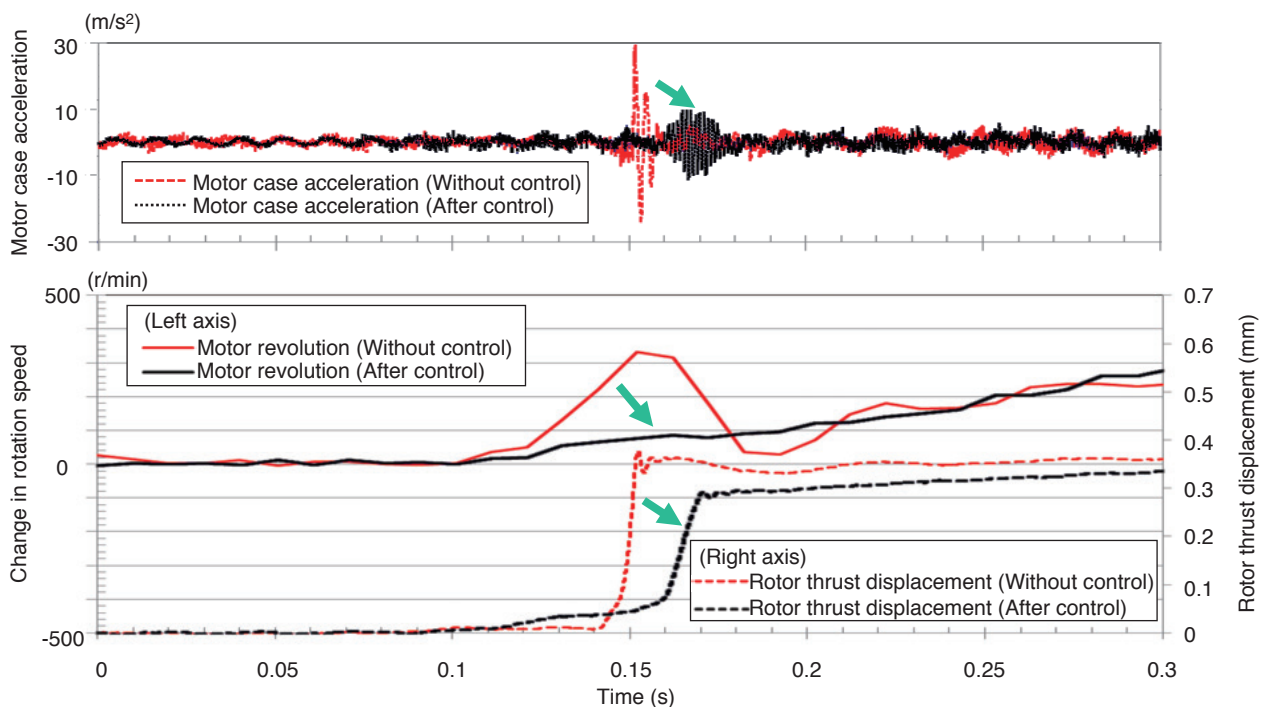


Fig. 13 Changes in conditions before and after countermeasures

すように、ロータのスラスト変位速度が遅くなる。それによりロータとモータケースが接触する際の振動、打音が低減したのが確認できる (Fig. 13 の上側のグラフ)。

これらの技術手段により、静音、低振動で、かつ動力性能、および使い勝手を向上させた、電動化によるビジネス用三輪車の進化を実現した。

5. まとめ

- (1) 条件が厳しい積載構造を基本に電動駆動ユニットを構築することで、共通の電動駆動ユニットを用いつつ、さまざまな積載需要に応える三輪車パッケージを構築した。
- (2) 最も重心高に影響を及ぼす駆動用バッテリーの搭載

位置を低く抑えることが可能な BENLY e: のバッテリー搭載構造を踏襲し、かつ後進アシスト機能を搭載することで、ガソリンエンジン三輪車以上の車両取り回し性を実現した。

- (3) ベルト式変速機構を発進用クラッチの無いギヤ駆動システムに変更し、新たに構築したガタ詰めトルク制御で振動と打音の課題に対応することで、静音で低振動、かつガソリンエンジン三輪車以上の動力性能を達成することができた。

GYRO e: は 2021 年 3 月から、GYRO CANOPY e: は 2021 年 10 月から、それぞれ法人向けに販売を開始した。実際に乗っていただいた方、使っていただいている方からは、進化を感じていただき、好評の声を伺っている。2020

年1月から市場に投入している BENLY e: をはじめとして、ビジネス用電動車を見かける機会が増えてきている。電動化していくことが注目される中だからこそ、「良いものを買ったら電動だった」と言ってもらえることを目指していかなければならないと考える。この電動三輪車が、その先駆けとなることを期待する。

参考文献

- (1) 長敏之, 本田幸一郎, 味村政秀: ビジネス用電動二輪車 EV-neo の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 23, No. 2, p. 13-20
- (2) 三ツ川誠, 市川広基, 大久保克幸, 加藤貴朗, 高橋泰史, 重水信男, 大久保克紀: PCX ELECTRIC の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 31, No. 1, p. 48-61
- (3) 武藤裕輔: ビジネス用電動二輪車の普及に向けたねらいと車両開発, 自動車技術, Vol. 74, No. 12, p. 47-53, (2020)
- (4) <https://www.honda.co.jp/factbook/motor/GYROe/202103/>
- (5) <https://www.honda.co.jp/mobilepowerpack/>

■ 著 者 ■



中川 英亮