

小型電動コミュータスクータの研究

Research on Electrically Powered Small Commuter Scooter

本田 聡*
Satoshi HONDA

畑 中 薫*
Kaoru HATANAKA

古 田 慎 司*
Shinji FURUTA

要 旨

小型電動スクータの研究にあたり、都市内の短距離移動に的を絞る、実用性を考慮した航続距離を設定した。小型、軽量でかつ必要十分な動力性能を確保するため、高エネルギー密度型Ni-MHバッテリーを採用し、インバータ、モータおよび一段減速器を一体配置したモジュール型パワーユニットを構成した。さらに小型化による操縦安定性の低下を抑制すべく、部品配置の最適化により前輪分担荷重を確保した。また、従来と同等の乗車姿勢、低いシート高とフロア幅の最小化による足付き性と取回し性の確保、レバー型アクセルの採用によってユーザ利便性を向上させた。その結果、クリーンさ、静かさ、スムーズさなどの魅力を持ち、フラットフロアタイプで全長1285 mm、質量44 kg、15 kmの航続距離、実用的な操縦安定性を持ち、エントリーユーザにも簡単に扱うことのできる小型電動スクータを実現した。

ABSTRACT

For the study of electrically powered small commuter scooter, we focused on short distance urban travel to set a practical cruising distance. High energy density Ni-MH battery, power unit module with inverter, and a motor with single gear reduction were selected to ensure a compact lightweight design with necessary drive power. Part layout was optimized with consideration for front axle weight to provide good handling and stability while reducing vehicle size. While keeping the riding posture the same as a basic scooter, the lower seat height and narrower floor enhanced handling and the user's ability to touch the ground. A lever type accelerator was applied to enhance the operation of this scooter. As a result, an electrically powered small scooter with flat floor which is clean, quiet, and smooth, was realized with practical handling and stability. The scooter with its 1285 mm in length, 44 kg mass, and 15 km cruising distance can be easily handled even by novice riders.

1. はじめに

1980年代に、自転車から初めて二輪車に乗り換えるエントリーユーザにとって取扱いの容易な小型、軽量で廉価な第一種原動機付自転車スクータの商品化により、スクータのユーザ数は爆発的に拡大した。その後のスクータの進化に伴って大型化、質量増加することで、エントリーユーザにとっては容易な取扱い性の観点において必ずしも満足できるものではなくなってきた。

一方、Hondaは1994年に初の電動スクータ CUV-ES を量産化した。エンジンを動力とする小型スクータを一部代

替することを目指し、エンジンスクータと同等の動力性能の実現を目標とした。反面、目標とする航続距離を達成するために大容量のバッテリーを搭載する必要があり、質量面で課題を残した。また、リースによる販売形式としたため、市場に浸透するには至らなかった。その後、バッテリー、インバータ用パワー半導体、モータ電流制御の Electric Vehicle(EV)技術は進化し、より高い性能や小型化の可能性をもたらした。

これらの状況から、静か、スムーズな上に取扱いが容易という特徴をあわせ持つ、エントリーユーザに適した小型電動スクータの研究に着手した。また、市場に普及させると

*二輪開発センター

いう観点から、高価なバッテリーの搭載量を減らし、それによる動力性能や航続距離の低下に比べ取扱いの手軽さや駐車スペースの小ささが重視される都市型コミュータの方向へとコンセプトを展開し研究を進めた。

本稿では、試作した小型電動スクータの車両コンセプト並びに主要技術を紹介する (Fig. 1)。

2. 車両コンセプト

2.1. 車体のサイズと質量

エンジン動力の第一種原動機付自転車スクータの車体サイズ、質量を分析した結果、研究対象を小型サイズで軽量のEV スクータとすることが望ましいと考えた。

1980年代に小型、軽量のスクータが商品化され、その取扱いやすさから自転車から初めて二輪車に乗り換えるエントリーユーザを中心にユーザ数が拡大し、高性能化やヘルメット収納スペースの設置など、市場の声に応えるためスクータはさらに進化を続けていった。その後、次第にスクータは大型化し、また質量が増加していった (Fig. 2)。現在、二輪車が初めてという人にとって受け入れやすい全長1500 mm 以下、質量 50 kg 以下のスクータは存在しない。自転車からの乗り換えのニーズ自体は依然として存在すると考え、研究する EV スクータはエントリーユーザにとって取

扱いやすい小型のサイズ、軽量をねらうこととした。

2.2. 動力性能と航続距離

EVでは、動力性能、航続距離の確保のためバッテリーを大量に搭載することは、質量の増加、価格の上昇につながる。この研究においては、小型電動スクータの用途をある程度限定した上で、それに見合った動力性能、航続距離とバッテリー搭載量を設定することが重要と考えた。

1994年に従来のエンジンを動力とする小型スクータを一部代替することを目指し、それらと同等の動力性能と比較的長距離の航続性能の実現を目標とした CUV-ES を量産開発した (Fig. 3)。最高速度60 km/h、航続距離35 km (ECE40 モード)の性能を持ちつつも、そのバッテリー搭載量の多さを主要因として、質量は130 kgで従来のエンジンスクータの約2倍、価格850 000円 (3年間のリース販売方式)と、少なくとも価格的には従来のスクータを使用するユーザにとっては購入困難なものとなった。当時 EV スクータの実用化の可能性は十分に示せたものの、市場に浸透するまでには至らなかった。

その後のアプローチとして、2001年の東京モーターショーにおいてCAIXA、MOBIMOBIAほかのコンセプトモデルを発表した (Fig. 4)。これらは各々独立した用途を想定して製作されたが、いずれもモータを動力源としたEVであり、自動車と用途を補完しつつ都市内の短距離移動に使



Fig. 1 Appearance of prototype small EV scooter

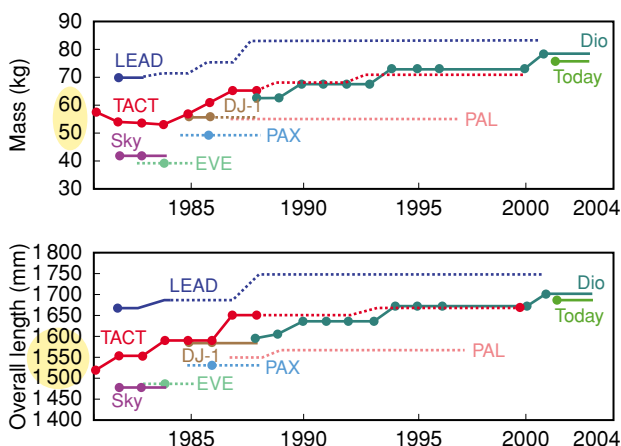


Fig. 2 Changes of size and mass of scooters



Fig. 3 Appearance of CUV-ES



Fig. 4 Appearance of concept models

用する都市型コミュータとして、車体サイズは小さく、バッテリーを少なくして動力性能、航続距離を求めないという共通した特徴を有する。

これらから、小型 EV スクータは都市型コミュータに特化した上で、その実用性を考慮してバッテリーの搭載量や動力性能、航続距離を設定することが質量と価格の抑制の点で得策であると判断した。

2.3. 具体的コンセプト

自転車から乗り換えるユーザを対象とし、EVであるがゆえの特徴を加味して具体的なコンセプトを決定し、そこから小型電動スクータがよりユーザに受け入れられるために強調すべき方向を検討した(Fig. 5)。

都市内の近距離移動にはスクータとともに自転車が使われている。スクータの持つ航続距離や動力性能を求めない自転車ユーザが小型電動スクータのユーザとして見込まれる。これらの人に対しては、エンジンではなく電気を動力とし、自転車よりも楽になることを訴求することが望ましいと考え、「快適移動家電」というキャッチフレーズを中心に据えることとした。このコンセプトに基づき、小型の車体、軽量であることに加え、家電のイメージである手軽さや便

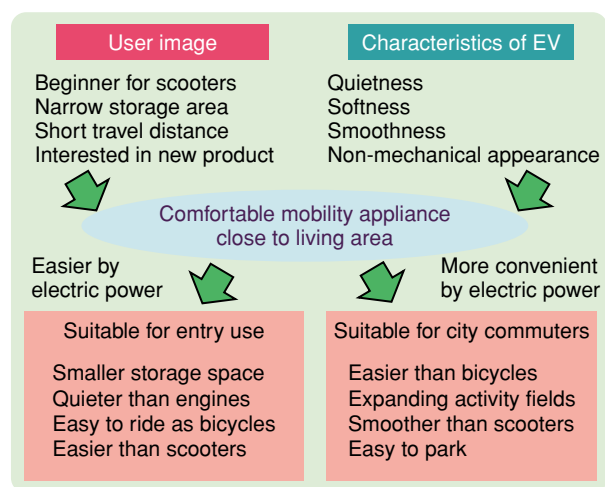


Fig. 5 Concept map of small EV scooter

利さを強調した機能、性能を装備することが必要と考えた。

また都市型コミュータでは、行動範囲が広く、取扱い、駐車スペース面で小さい車体サイズであることが手軽さ、便利さにつながると考えられ、この点においてもコンセプトとの合致が図られた。一方で動力性能は自転車との比較になることから、性能の高さは強くは求められないとの考えに至った。

3. 小型電動スクータの概要

3.1. 小型電動スクータの仕様

Table 1に小型電動スクータの概略仕様を示す。全長の短縮に重点をおき、同時に質量、価格と性能のバランスを考慮して、バッテリーの種類と搭載量を決定した。

玄関への収納やマンションのエレベータへの搭載の場面や、ワンボックス型四輪車の後部ハッチバックドアの幅との比較から、全長は1285 mmとした。全長短縮のため、原動機付自転車のスクータに一般的なタイヤサイズである10インチより小径の8インチタイヤを採用した。また、都市型コミュータに必要な最低限の性能として最高速度 40 km/h、実用航続距離 15 km を設定した。最高速度の設定は、短距離移動において所要時間の差が無視できる程度とし、かつ他車との混合走行時に心理的圧迫感を感じない速度とした。実用航続距離は、自転車利用の 92%が一日走行距離 9 km 以下⁽¹⁾、エンジンスクータユーザの77%が月平均の一日走行距離 10 km 以下⁽²⁾というデータ(Fig. 6)から、それに対して 1.5 倍の余裕度を持つ 15 km と設定した。決定した目標の動力性能、航続距離を達成しつつ車体サイズ、質量と価格を低減するため、高いエネルギー密度を持つNi-MHバッテリーを採用した。

これらの仕様を一般的なエンジンスクータと同等性能を持つ CUV-ES と比較すると、質量で約 1/3、バッテリー搭載量で約 1/5(容量比)となり、取扱いやすさとバッテリーが占める価格分の低減によって、普及の可能性がある実用域に近づいた仕様であると考えられる。

Table 1 Specifications of EV scooter and CUV-ES

Items	Specifications	
	Small EV scooter	CUV-ES
Length × Width × Height (mm)	1285 × 600 × 930	1785 × 615 × 1035
Vehicle curb mass (kg)	44	130
Motor type	Permanent magnet synchronous motor	Permanent magnet synchronous motor
Rated power (kW)	0.58	0.58
Maximum power (kW)	1.15	3.25
Battery type (V-Ah)	Ni-MH 48 V-7.5 Ah	Ni-Cd 86.4 V-20 Ah
Maximum speed (km/h)	40	60
Cruising distance (km/charge)	15 (300 m go-stop)	35 (ECE40 mode)
Charging hours (hr)	3	8

3.2. 電動システム構成

電動システムの構成図を Fig. 7 に示す。定格電源電圧はバッテリーのセル当たり容量と放電性能、インバータのパワー半導体の耐圧、配線部品の許容電圧、電流容量などを考慮して、48 V に決定した。灯火器電源については、ランプなどの部品の定格電圧が 12 V なので、48 V を DC-DC コンバータによって 12 V に変換し、供給する構成とした。また、48 V の駆動系回路を 12 V の灯火器回路から絶縁した。

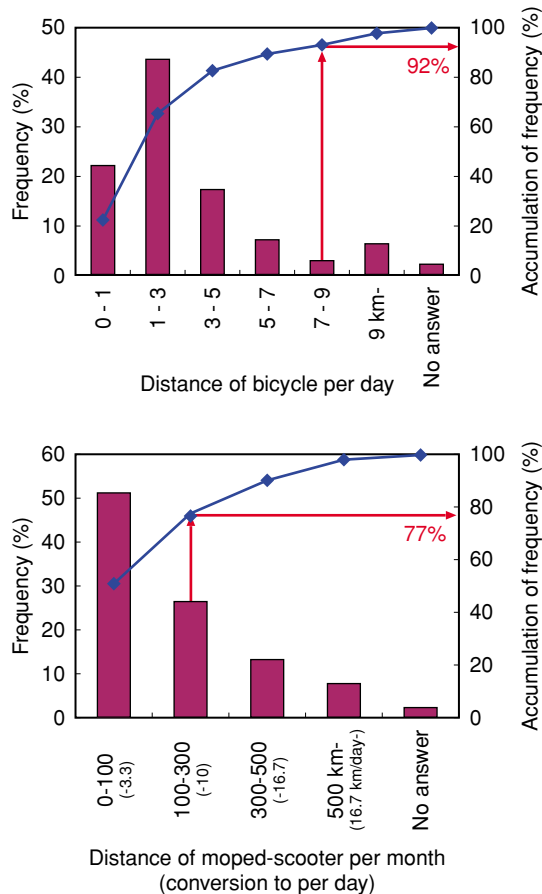


Fig. 6 Travel distance of bicycle and scooter users

バッテリーは、車体に固定式で取り外しができない構造とし、家庭用 100 V コンセントからの電力で充電する。固定式は交換式に比べ交換のための電氣的、機械的な部品が不要なので、軽量、廉価なコンセプトに適している。

3.3. 移動のためのエネルギー消費量

車体を小型、軽量化したことで走行抵抗が減少し、移動に必要なエネルギー消費量の低減が予想される。都市内の移動を想定した走行モードにおけるエネルギー消費量に関して、CUV-ES および Smart Dio Z4(エンジン車)と比較した。走行モードはアクセル全開で 300 m の発進・停止の繰り返しとし、最高速度は試験車両の種類によらず 40 km/h を上限とした。

1 km 走行あたりのバッテリー(またはガソリンタンク)から持ち出すエネルギー消費量と、その生成過程を考慮した源泉から消費されるまでのエネルギー消費量を Fig. 8 に示す。小型電動スクータのエネルギー消費量は、バッテリーからの取り出しで 83 kJ(23 Wh)/km、エネルギー生成からの換算で 172 kJ(48 Wh)/km の結果となり、都市内の短距離移動に限定すれば、源泉からの消費で CUV-ES と比べて約 1.6 倍、Smart Dio Z4 と比べて約 4 倍のエネルギー効率を有することが確認できた。

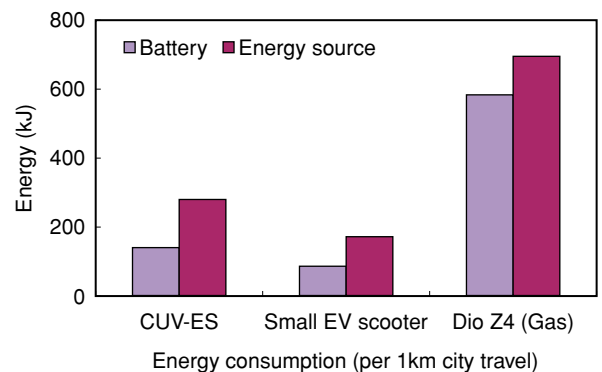


Fig. 8 Comparison of energy consumption of scooters

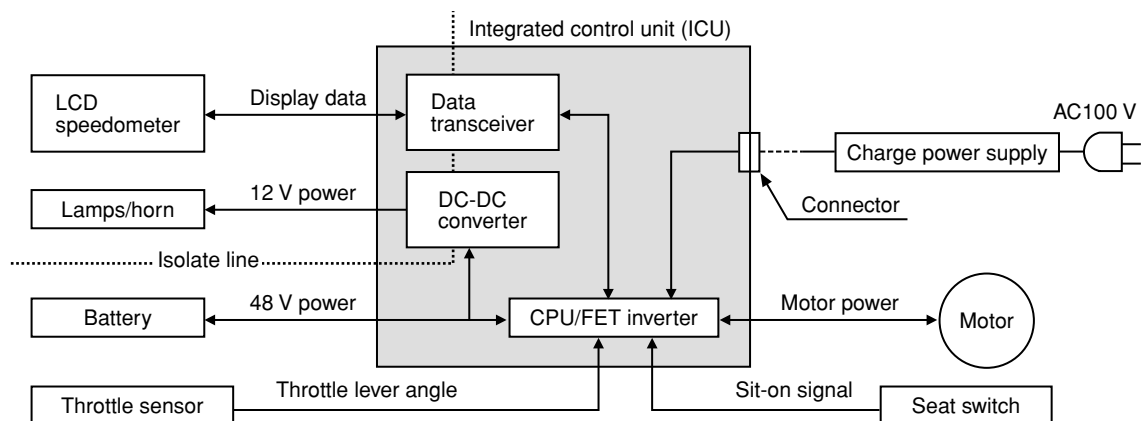


Fig. 7 Diagram of EV system

4. 主要技術

4.1. 電動コンポーネント

4.1.1. 高エネルギー密度バッテリー

小型でありながら必要な動力性能と航続距離を確保するため、高エネルギー密度型 Ni-MH バッテリーを採用した。これは電動アシスト自転車ラクーン STEP COMPO(1999 年)用に開発し、量産したものをベースとし、反応活物質の配分と総量の見直しで質量(重量)エネルギー密度、体積エネルギー密度とも+40%の改善を図ったものである(Fig. 9)。一般的に高エネルギー密度型とすると、サイクル寿命低下が懸念される。満充電の充電深度を適正化することにより水素吸蔵合金の劣化を極力抑えることで、従来と同等のサイクル寿命を実現した。

バッテリーは、1 セル 1.2 V・7.5 Ah を 20 本直列接続して 1 パックとした。パック一つの寸法は 279 × 80 × 48 mm、質量 2.9 kg で、これを 2 パック、合計 360 Wh を搭載した(Fig. 10)。

また走行で発熱したバッテリーを充電可能温度まで下げる時間を短縮すべく、アルミ製のフレームとバッテリーパックとの間の伝熱性を改善するために、それらの間にシリコーン樹脂フィラーとラバーからなる中間材を設けた。

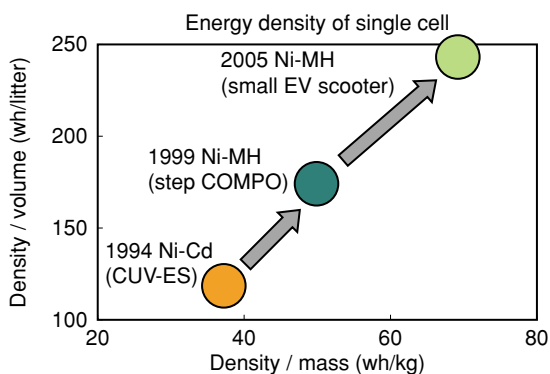


Fig. 9 Enhancement of battery performance

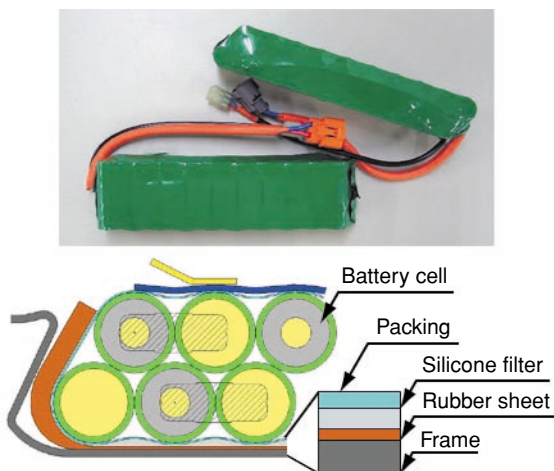


Fig. 10 Battery packs and cooling structure

これによって、初期温度 60℃ のバッテリーが充電開始設定温度の 40℃ まで下がる時間を 95 分から 80 分に短縮した。

以上の構成として、エネルギー密度を改善したバッテリーを使用し、フレームを放熱構造に兼用することで車体の小型化に大きく貢献した。

4.1.2. モジュール型パワーユニット

車体の小型化のため、動力系を構成する電気、機械コンポーネントを一体モジュール化した(Fig. 11)。スクーターでは、後輪のスイングアームにエンジン部分、変速機、遠心クラッチ、減速機を内蔵一体化した形式のパワーユニットを用いることで、動力、駆動系がまとまりよく配置されるというメリットがある。本研究では、さらに小型、軽量、シンプルさをねらって以下の構成とした。

- (1) 高トルク、低回転のアウタロータ型モータを小径の 8 インチタイヤに組合せ、モータからホイールまでを一段減速のシンプルな駆動系とした。
- (2) 電流ベクトル制御によりモータを弱め界磁領域まで高効率で運転しつつ回転レンジを拡大することで、変速機および発進のためのクラッチを不要とした。
- (3) タイヤ、モータ、インバータ間を最短配置してスイングアームに内蔵することで、スイングアーム部全長を短縮し、またアルミ鋳造で作られたスイングアームをインバータのヒートシンクとした。

これらによって単体のサイズで全長 356 × 全幅 199 × 全高 175 mm の小型電動スクーターに適し、バッテリーのエネルギーを効率よく駆動力に変換するパワーユニットが構成できた。

4.2. フレームと部品配置

車体の小型化のために小径タイヤを選択しホイールベースを短縮した上で良好な操縦安定性とするために、部品配置を最適化した。

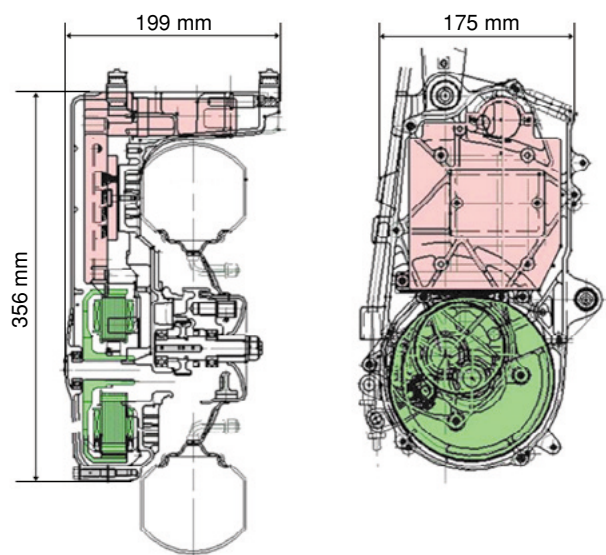


Fig. 11 Cross section of power unit

EVにおいては構成部品を分散でき、かつ配線の長さを調節することで部品の配置が比較的自由に選択可能であるため、荷重の前後配分を調整しやすいメリットがある。

車両全体を軽量化した上で、二つのパックからなるバッテリーのうちの一つをフレームのダウンチューブ部分に、もう一つをステップ部分に搭載した(Fig. 12)。これにより、前後輪の荷重配分の比率はライダーが乗車した状態で 34:66 となり、同クラスの 8 インチタイヤを用いたショートホイールベースのエンジンスクータとの比較において、荷重で同等レベル、配分比率で 3 ポイント増加した。その結果、通常の 10 インチタイヤのスクータと同等の操縦安定性が確保できた。

4.3. ユーザ利便性

4.3.1. 使い勝手と乗車感

地面に両足を付いた乗車姿勢での移動や方向転換を容易にするとともに、安定した両足立ちの姿勢から発進しやすいように、シート高を 700 mm とし、フロア幅は両足を置ける最小幅である 260 mm とした。これによって、取扱いだけでなく自転車からの移行者が最初に乗出す際の安心感が得られるようにした。また、車体の全体のサイズを小型にしつつ乗車姿勢は一般のスクータと同等とし、違和感のない乗車感を得られるようにした(Fig. 13)。

4.3.2. レバー型アクセル

二輪車が初めての人からは、グリップ型アクセルは速度調節とハンドル操作の機能が分離されていないので操作方法がわかりにくいという声がある。速度調節の機能を独立させ、二輪車が初めてでも操作がわかりやすいレバー型のアクセルを採用した。またレバーの所定の操作角度の前後で操作荷重に段階を付加し、あわせてその段階直前では速度約 8 km/h で一定となるモータ出力設定とした。これは二輪車の速度調節に慣れていないユーザに対し、操作した

荷重とレバー角度、速度の関係の把握と、自立可能な適度な下限速度での発進の習熟をねらったものである(Fig. 14)。

免許は保有するものの主に自転車を利用している方を対象として社内テストコースで実施した試乗会では、レバー型アクセルの操作性に対する肯定的意見は 88.3% であった。さらに、被験者の 6.5% は「指一本で速度が調節できるので操作が簡単」と、グリップ型より高い評価を下す結果が得られている。

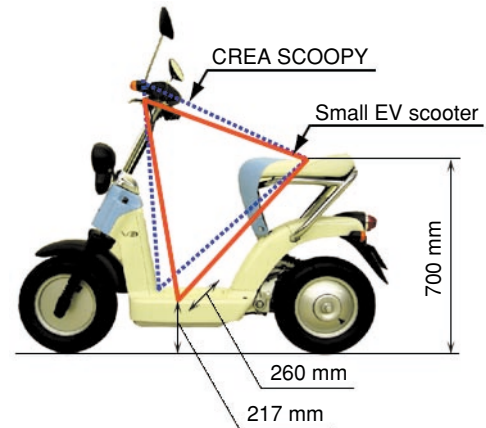


Fig. 13 Floor dimension and riding position

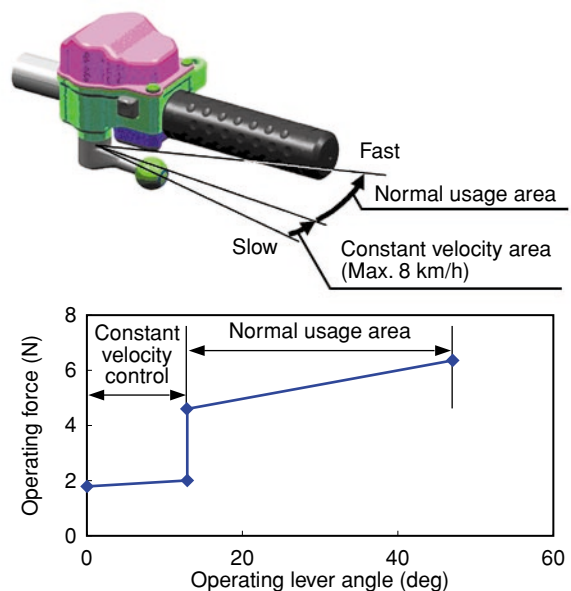


Fig. 14 Structure and characteristics of lever accelerator

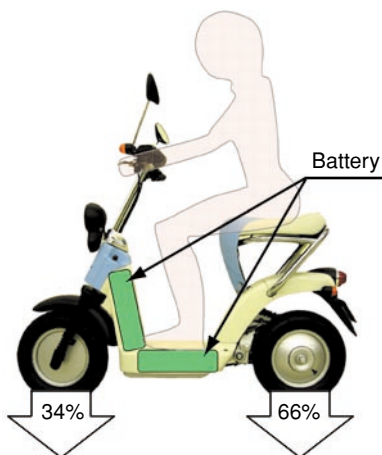


Fig. 12 Battery position and mass distribution

5. まとめ

小型電動スクータの研究を通して、以下のことが得られた。

- (1) 都市型コミュータの用途に的を絞る、バッテリー搭載量を実用上最小量とした小型軽量車とすることで、従来のエンジンスクータと比較して高いエネルギー効率を有することが確認できた。
- (2) 部品配置を最適化し前輪分担荷重を確保することで、小径タイヤ、ショートホイールベースの小型軽量車でありながら十分な操縦安定性を得ることができた。
- (3) 操作荷重に段階を持たせたレバー型アクセルを採用し、合わせて段階付近で 8 km/h 一定を保持するモータ出力特性とすることによって、二輪車のエン트리ユーザでも習熟が容易なアクセル構造ができた。

参考文献

- (1) 仙台都市総合研究機構：自転車利用に関する市民アンケート調査 平成 14 年度版, p.20-21(2003)
- (2) 社団法人日本自動車工業会：二輪車市場動向調査 平成 15 年度, p.28(2004)

■著 者■



本田 聡



畑中 薫



古田 慎司