

電動補助力機付自転車 新型「ラクーン」の紹介

Introduction of Electric Motor Assist Bicycle New Model "Racoon"

岩 舘 徹* 五十嵐 政 志*

Toru IWADATE Masashi IGARASHI

要 旨

新型ラクーンは、部品ごとに仕様を見直すことにより、使い勝手を向上させた廉価な電動補助力機付自転車を目指して開発した。

小型DCモータを、減速機および踏力検出部より成る補助力ユニットに一体化し、U字型低床フレームに搭載し小型軽量化を図った。また、6段階のバッテリー残量表示およびワンタッチチャージシステムなどを採用することにより利便性も向上させた。

ABSTRACT

New Racoon, the bicycle with an electric motor assist system, was developed aiming at reasonable price and excellent utility. Light weight, compact and high efficiency power assist drive system has been achieved by adopting an unified motor with the assist drive system, sensing mechanism of running speed on motor spindle, polyacetal driving gear. Furthermore, convenience was enhanced using U-shaped under-bone frame, battery indicator and one-touch charge system of battery.

1. はじめに

電動補助力機付自転車（以下、アシスト自転車という。）は、ペダル踏力をバッテリーを電源としたモータ駆動力で軽減することにより、特に発進や登坂時および積載時など大きなペダル踏力を必要とするときに有用である。ラクーンは、1994年に26インチモデルを発売後、24インチ、24インチ廉価版、MTB（マウンテンバイク）型とタイプの追加が行われ、中高年層を中心に1996年末までに約6万台が販売された。さらに、アシスト自転車の市場を拡大させるためには、一層の低価格化と使いやすさが望まれている。

そのため、新型ラクーンの開発においては、航続距離の延長、バッテリー残量表示の改良、乗降性の改良、充電作業の容易化などを目標として、各部品ごとに仕様の見直しを行った。その結果、補助力ユニット一体

型モータ、モータ軸での車速検出、樹脂製駆動ギアなどを採用することで、軽量・コンパクトで高効率の補助力ユニットが実現できた。さらに、乗降性に優れたU字型低床フレーム、視認性を向上させた6段階のバッテリー残量表示およびワンタッチチャージシステムなどを新たに開発し、利便性に優れたアシスト自転車の提供が可能となった。

2. 主要諸元

新型ラクーンは、タイヤサイズ別にモデルが設定され、変速機付の20インチ、24インチ、変速機無しの24インチの3モデルがある。20RX-3、24UX-3型の外観をFig.1に、3モデルの主要諸元をTable 1に示す。

*朝霞研究所



20 RX-3



24 UX-3

Fig.1 New Racoon

3. 補助力ユニット構成

補助力ユニットの構成は、Fig.2に示すようにモータ軸とクランク軸を平行に配置し、その間に減速機、踏力検出部を配置し、

- ①クランクペダルトルクを検出するトーションバーおよびトーションバーのねじりを軸方向に変換するカムとストロークセンサ
 - ②クランク軸の回転をモータ軸で検出する回転数検出パルスロータ
 - ③モータの動力を伝達するリダクションギアとファイナルギア
- から構成される。

Table 1 Specifications

Model	20 RX-3	24 UX-3	24UX-1
Overall length(mm)	1640	1775	1775
Overall width (mm)	570	550	580
Saddle height (mm)	730-880	745-895	745-895
Wheelbase (mm)	1095	1105	1100
Weight (kg)	28	29	27
Tire size	20 x 1.75	24 x 1 1/2	24 x 1 1/2
Transmission	3-Speed hub	3-Speed hub	1-Speed hub
Motor type	DC Brush	DC Brush	DC Brush
Rated power (W)	220	220	220
Cruising distance(km)	23	25	15
Battery type	Ni-Cd	Ni-Cd	Ni-Cd
Battery capacity	24V-5Ah	24V-5Ah	24V-3Ah
Charging hours (h)	3.5	3.5	2.0

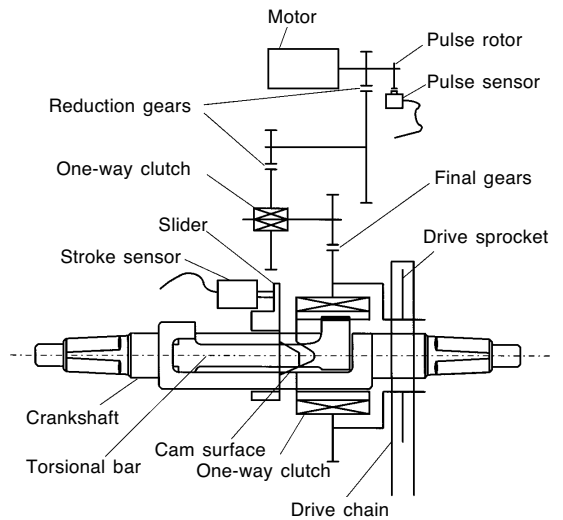


Fig.2 Power assist drive system

4.技術要素

4. 1. DCモータ

アシスト自転車用補助力ユニットに求められるのは、軽量小型で自転車として違和感の無いクランクペダル巾の実現である。したがって、駆動部も自転車のクランクと同等の巾に収める必要がある。比較的狭い空間に、補助力ユニットを効率よく配置する方法として、モータと減速ギアの組み合わせは、以下の2案が考えられた。

- ①クランクペダル巾より径の小さいモータとベベルギア
- ②クランクペダル巾より狭いモータと平行ギア

従来のモデルでは、①のベベルギア方式を採用したが、新型ラクーンではより軽量・コンパクト化を成立させるため、②のクランク巾に収まるブラシ付きDCモータと平行ギア方式を採用した。平行ギア方式では、ベベルギア方式に対して伝達効率が約3%向上し、300gの軽量化およびコンパクト化がなされ、搭載性の向上並びに車体レイアウトの自由度の拡大が図られた。

また、モータの動力を伝達するワンウェイクラッチの位置をクランク軸に一段近づけることで、バッテリー切れや補助力(以下、アシスト力という。)を断った状態での走行時に感じるギアの空転による踏力の重さを低減した。

クランクペダル巾に収まる小型モータの採用における技術的課題は、モータの小型化・高回転化に伴う信頼性と静粛性の確保であった。これらを解決するために、

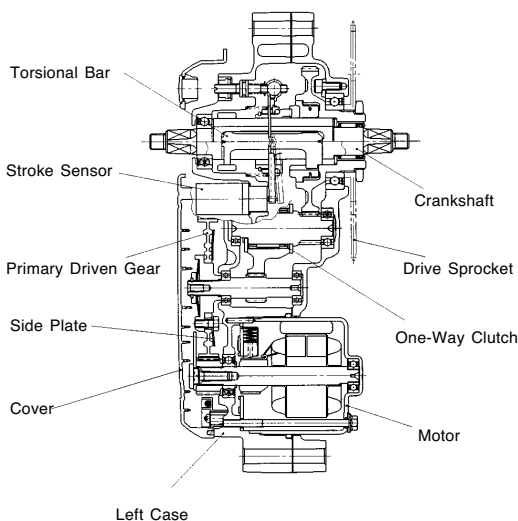


Fig.3 Motor and gear layout

Table 2 Specification of motor

Motor type	DC brush
Rated power (W)	220
Maximum torque (Nm)	1.4
Poles/throttles	4/12
Magnet material	Ferrite

モータブラケットをFig.3に示すように補助力ユニットの左側ケースの一部と共用し、放熱性および減速ギアの取付けアライメントの精度を確保することで静粛性の向上を図り、同時に軽量・コンパクトを実現した。

高回転化に伴うブラシの信頼性に関しては、コミテータの同心度、真円度、面粗度の加工精度を追求し、コミテータに接するブラシの先端形状、材質およびブラシスプリング特性の最適化を図って対応した。

モータの基本仕様をTable 2に示す。

4. 2. 樹脂製ギア

従来のモデルでは、モータ減速プライマリドリブンギアに信頼性の面で優れた鋼製ギアを用いて、ギアの歯面精度をあげることで静粛性を確保していた。

しかし、鋼製ギアでは、モータ回転数の約24%の高回転化により、静粛性が確保できなかった。そのためプライマリドリブンギアには、低ノイズ・軽量・自己潤滑性を兼ね備えたポリアセタール樹脂材を採用した。樹脂製ギアの採用における課題は、歯の曲げ強度の確保および要求歯形精度の達成である。

歯の曲げ強度に関しては、鋼製ギアで行うような径方向への正転位では、必要な曲げ強度が得にくいので、一般に、樹脂製ギアで行われる横転位による歯厚増減で曲げ強さをバランスさせた。歯形精度に関しては、多変量解析による要因解析と重み分析、および樹脂成形FEMを用いて成形条件の見直しを行い、金型の最適化を図った。その結果、歯形精度をJIS 3級程度まで高めることができた。さらに荷重変動に対しても、歯形状を保持するために、ギア側面にサイドプレートを追加し補強した。樹脂成形FEM解析モデルの例をFig.4に示す。

一方、鋼製のプライマリドライブギアは、従来のモデルで培った1ローラダイスによる転造加工によりダイスの持つ歯形形状をワークに転写するクロストローラ

技法を用い、歯研に準ずる高い歯形精度を保持している。

鋼製のプライマリドライブギアの歯数設定については、モータのロータ歯数による加振力とギアの歯数による加振力とが同期し、ギア音が増大しないように歯数をモータのロータ歯数の整数倍としない設定としている。

4. 3. モータの出力制御

従来のモデルでは、低速域から検出可能な高価なホール I C 式速度センサを用いて、低いクランク軸回転速度を検出していたが、新型ラクーンでは安価な電磁ピックアップ式速度センサを使用して、回転速度の高いモータ軸で回転速度を検出する方法に変更した。

モータは、クランク軸に適切なトルクを伝達できる回転数に制御される必要がある。発進時や惰行走行後のペダル踏み出し時等では、モータ軸とクランク軸間はワンウェイクラッチにより切られた状態にあるのでモータの回転数が急激に上昇し、クラッチが継がるときに大きなショックが発生する可能性がある。

そのためスムーズなアシスト状態に移行できるようにモータの回転数上昇率の制御を行っている。

クランク軸上のトルクは、Fig.2に示すストロークセンサで検出し、クランク軸回転速度はモータ軸の回転速度で検出する。入力トルクと速度をパラメータとした制御マップ上から、適正アシスト力比率(以下、アシスト比)となるようにPWM(Pulse Width Modulation)制御指令を出し、モータを駆動している。

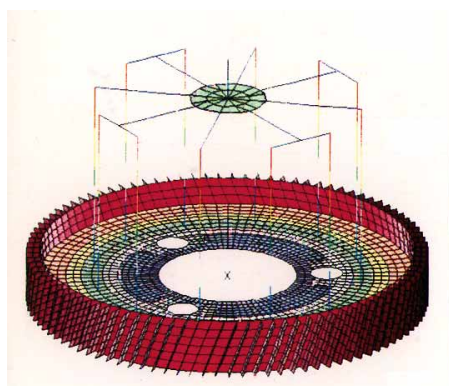


Fig.4 FEM model of primary driven gear

アシスト自転車は、法規上自転車として取り扱われるために、アシスト比およびアシスト力の速度範囲についてFig.5に示す認定基準が設けられており、基準を満たすことが要求される。

人力とアシスト力、および速度の関係を概念的にFig.6に示す。

人間が発生するクランク軸トルクは、Fig.7に示すように刻々変動するため、アシスト力は常に人力に対し遅れることなく、かつ、一定の比率で円滑に発生することが要求される。さらに、発進時や停止を含め人間の意に反することなくアシスト力が発生することも要

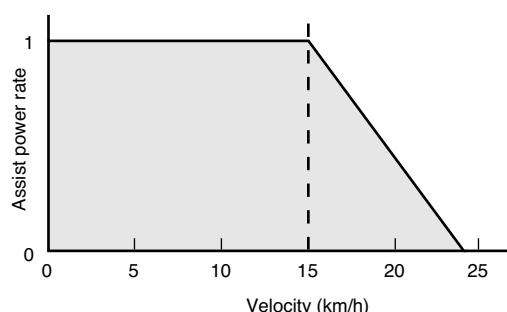


Fig.5 Authorized assist power rate

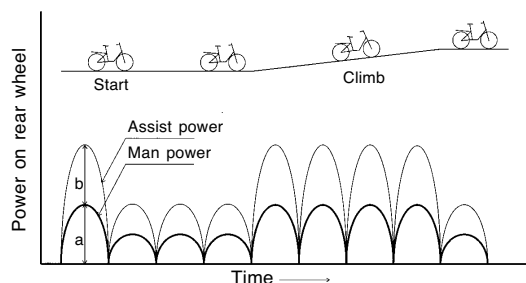


Fig.6 Relationship between man power and assist power

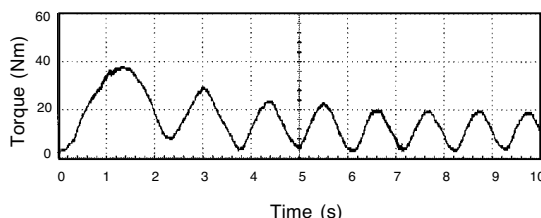


Fig.7 Crankshaft torque

求される。このように、人力とアシスト力のハイブリッドシステムでは、通常の電動車などの定常出力の制御とは異なる制御が要求され、アシスト力の制御は微小な時間で応答する必要がある。

新型ラクーンでは、低トルク入力時の制御分解能を高めることにより、さらにアシスト力の円滑化と消費電力の低減を図った。

4. 4. フレームマウントバスケット

新型ラクーンでは、バッテリー搭載位置をメインパイプフレーム上からフロントバスケット部へ移動し、さらにU字型フレームを採用することで乗降性の向上を図った。Fig.8に示すようにフロントバスケットは、フレームマウントにすることで荷物の積載やバッテリーの搭載による操舵系への荷重の影響を小さくし、ふらつきにくいハンドリングを実現した。駐車場における押し歩きを想定して、S字形コース上を押し歩いたときの操舵荷重を計測した結果、Fig.9に示すように、押し歩き時の操舵荷重が約50%低減されている。

5. 利便性の向上

5. 1. バッテリー残量表示

バッテリーパックは、1.2V-5Ah×20本もしくは1.2V-3Ah×20本のNi-Cdバッテリーであり、持ち運びやすく軽量で薄型ブックタイプのパッケージとし、上部には従来のモデルと同様にバッテリー残量表示ランプを設けた。残量計機能は、積算ICにより充放電時の電流積算を行い、5個のLEDで6段階の残量表示をさせ、さらにLEDに導光板を設け視認性の向上を図った。



Fig.8 Front basket

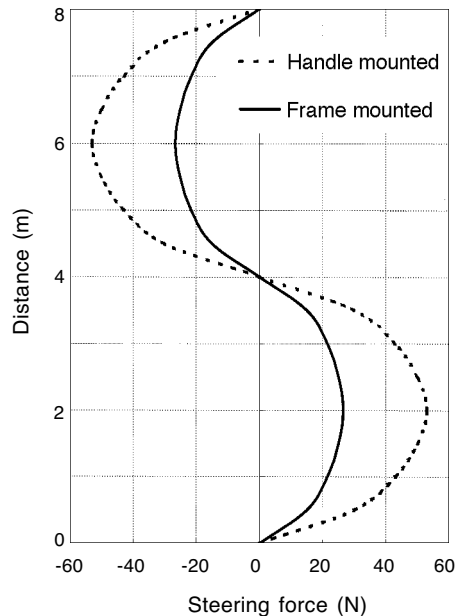


Fig.9 Steering force when walking with RaCoon

5. 2. ワンタッチバッテリーチャージシステム

バッテリーパックを置くだけで充電できるDCコードレスチャージャを採用した。このチャージャは、5A h および3Ah仕様の2種類のバッテリーをそれぞれ3.5、2時間で充電が可能である。バッテリーパックおよびチャージャをFig.10に示す。充電ごとに、DCコードをバッテリーに接続することが不要になり、充電コネクタの廃止を可能にした。

充電電流は1.6Aの微弱電流なので、酸化皮膜による接触不良を避けるためにワイピングできる接点構造が必要である。Fig.11に示すように、充電ごとにワイピングされる側面の充電端子と底面の放電用端子を一つの端子でコンパクトに成立させる構造とした。



Fig.10 Battery and charger

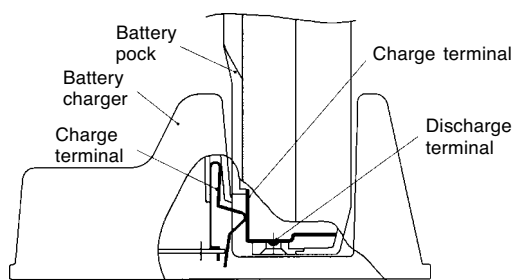
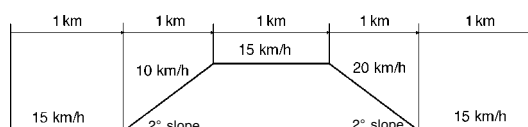


Fig.11 Battery charge terminal



slope

Fig.12 Running mode

5. 3. 航続距離

新型ラクーンでは、補助力ユニットの伝達効率の向上、効率の良いモータとアシスト制御、バッテリーマネジメントの見直しおよび一般のタイヤに比べ転がり抵抗が約10%小さいタイヤの採用等により、従来のモデルに対してFig.12に示す航続距離測定モードにおいて航続距離が約25%向上した。

6. まとめ

新型ラクーンは、従来のモデルに対し「より廉価で使いやすい」の目標を達成するとともに航続距離を約25%向上させることができた。

主な改良点は、以下の通りである。

- ・ モーター一体型補助力ユニット一体型モータによる軽量コンパクト化
- ・ 静粛性を高めた樹脂製ギア
- ・ モータ軸車速検出によるスムーズなアシスト
- ・ フレームマウントバスケットによるふらつきにくいハンドリング
- ・ 乗降性の良いU字型フレーム
- ・ ワンタッチチャージャによる利便性向上

参考文献

- 1) 木村達郎 手塚義博、「電動補助力付自転車の駆動系の開発と設計」、日本機械学会、機素潤滑設計部門シンポジウム、1996
- 2) 塚本尚久、「動力伝達用プラスチック歯車の設計技術」
- 3) 精密工学会編、「成形プラスチック歯車ハンドブック」
- 4) 富士俣貞助 他、「成形プラスチック歯車の騒音一歯面荷重および回転数の影響」、日本機械学会第6 7 期通常総会講演会講演論文集、Vol.C.296, 1990
- 5) 「樹脂ギア等の実用例・実用化ポイント」、機械設計 第40巻第3号 pp.62-63, 1996年2月

■ 著 者 ■



岩 舘 徹



五十嵐 政志