

中国の轻型電動車事情

Current Status and Technologies of Electric Motorcycles in China

曹 梅芬¹⁾, 星 伸一²⁾

Meifen Cao¹⁾, Nobukazu Hoshi²⁾

Keywords: Electric motorcycle, China, background, key technology, technical consideration.

1 はじめに

自転車王国と呼ばれる中国では、近年、轻型電動車^{※1}の普及が急速に進み、生産台数は、図1に示すように1998年の5.8万台から2006年推計値の1,600万台へと急速に増加している。社会保有台数^{※2}も、図2に示すように2005年に2,320万台、2006年に推計3,700万台と急速に増加している。これに伴い、轻型電動車産業も急成長し、メーカ(部品メーカ含)は初期に数十社であったものが、現在は3,000社以上(この内、国や地方政府に認可されたメーカは1,200社以上)に増加している。これらのメーカは、主に浙江省、江蘇省、山西省、天津市、上海市に集中している。轻型電動車は環境に優しく、駐車スペースが小さいことなど以外に、道路の専有面積が小さいため渋滞の軽減にも貢献し、環境面で非常に優れている。したがって、地球温暖化や化石燃料枯渇の問題から、今後、中国だけではなく、世界的に普及していく可能性が非常に高いものと考えられる。

本報告では、中国の轻型電動車普及の背景から主な技術、問題点及び今後の展望までをまとめる。本報告が、日本及び諸外国の関連分野の役に立てば幸いである。

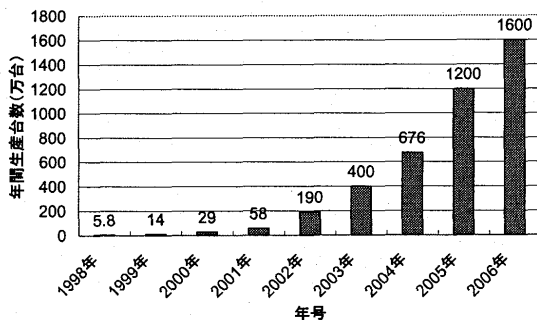


図1: 中国の轻型電動車生産台数の推移⁽¹⁾

¹⁾ 東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科

²⁾ 茨城大学工学部電気電子工学科

※¹主に電動スクーターや電動アシスト自転車のことを言う。電動スクーターは中国語で「電摩」と呼ばれることが多い。「電摩」は電動摩達車の略で、「摩達」は電動機の中国語訳である。

※²社会保有台数=(前4年間の生産台数の総和)×(1-廃車率8%) - 当年生産台数×売上率94%

2 中国における轻型電動車普及の背景

中国では、近年の国内総生産(GDP)の急成長に伴って国民の生活レベルが大きく向上しつつある。自家用自動車は一般の国民にとっては、まだ「高嶺の花」であり、まだ高所得者層に普及が限定されているため、近距離の日常的な移動手段として、自転車よりも快適で便利な轻型電動車が急速に普及している。普及の背景を以下にまとめる。

2.1 生活水準の向上

轻型電動車のユーザー群には、「自家用自動車を購入できる程収入は高くないが、自転車よりも高価な轻型電動車を購入できる程度の収入水準である」という特殊性があるが、轻型電動車の需要量は依然として国民の平均年収に正比例している。今後も、収入の増加に伴い自転車から轻型電動車への移行が暫くは続くことと思われる。

2005年時点での、中国都市部の住民の平均年収(税引き後)は約1万元⁽²⁾(日本円で約14万円)である。これまでの経済発展の傾向から、2020年には中国国民の一人平均GDPが3000ドルを超えることが予測されている⁽³⁾。このGDP増加予測により、轻型電動車が購入できる人口の増加も、容易に予想できる。2006年現在、自転車の社会保有台数は推計で4.5億台を超えているが、轻型電動車は、まだ自転車の8.3%しかないことから、市場の発展余地がまだまだあると言える。

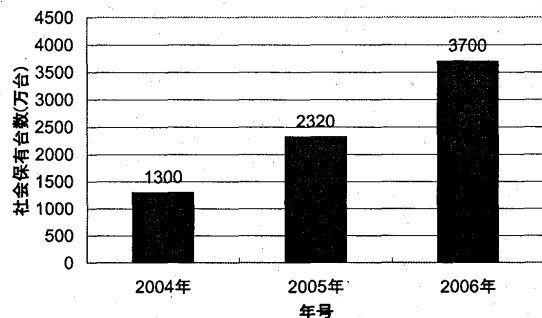


図2: 轻型電動車の社会保有台数(自転車の8.3%)の推移⁽¹⁾

2.2 低価格化⁽⁴⁾

他の多くの製品同様、軽型電動車の需要台数と市場価格は反比例している。需要台数が市場価格の低下に伴い増加している。軽型電動車の平均価格は、1999年には約2,500元であったが、2000年には約2,000元、2003年には約1,500元になり、現在では一般のサラリーマン家庭や農家が求めやすい価格帯になっている。現在市販されている軽型電動車は、2,600元以上の高級車、1,800元～2,200元の中級車、1,500元以下の低級車に分けられる。また、2004年のそれらの売り上げはそれぞれ10%、60%、30%となっている。軽型電動車がこれ程までに大衆化し、庶民的な移動手段になった背景には、一般のサラリーマン家庭や農家が求めやすい1500元～2600元の価格帯になってきたことが一因と考えられる。

軽型電動車市場は過当競争下にあり、技術も進歩も著しく、軽型電動車の平均価格は、なおも下降し続けていることから、今後の需要増加が見込まれる。

2.3 政策

中国では、ガソリンエンジンの原動機付自転車(含むスクータ)は、日本同様、免許の取得が必要であるが、日本で言うところの電動スクータは、自転車と同じ扱いで免許が不要であり、自転車走行用レーンを走ることができる。ただし、すべての車両(自転車含)に対して法規制があり、地方政府によってナンバープレートが交付され、管理されている。

地方政府の中には、軽型電動車の通行を制限したり積極的に管理する政策を行っているところもあり、このような政策も軽型電動車の需要に影響している。文献⁽¹⁾に掲載されている調査データによると、同等規模の都市の中で、軽型電動車の通行を認める都市では、通行を認めない都市より軽型電動車の保有量(普及台数)が高いことから、政策が市場需要に影響を及ぼしていることが裏付けられる。

2.4 その他の要因

都市交通構造の変化、通勤距離の増加、化石燃料の枯渇、環境保護意識なども軽型電動車の需要に影響している。今後20年間で、都市部を中心に市街地範囲が拡大し、バス、鉄道以外に15キロ程度の軽型個人移動手段が必要になると予想されている。また、建設資源の節約や環境調和型社会の実現、大気汚染の改善のため、石油の代わりに電力の使用が要求されている。

軽型電動車は、

- 大気汚染が無く
- 低騒音
- 乗り心地が良い
- パーキングスペースが小さい
- 電動・人力^{*3}の両用が可能

^{*3}中国では、アシスト機能としてペダルを取り付けたものが存在する(日本の様に、ペダルを漕がないと走れないので

- 簡単な操作
- 安全走行
- 自転車回帰

という国際潮流にも一致しているなどの長所があり、輝かしい前途が期待できる。

3 製品選択時のユーザの関心

品質対価格比(コストパフォーマンス)がユーザの購買心理に与える影響が一番大きいと言われている。2005年に上海交通大学機械学院・米国フォード社により実施された共同調査⁽⁴⁾では、中国では一般ユーザの軽型電動車購入予算が3000元となっている。これを超えると消費者は、割高感を感じるため、購買意欲が急激に低下する。

ユーザが製品選びの際に指標にする性能は、主に一充電走行距離と出力パワーである。また、都市部のユーザは、毎日充電することが面倒だと感じているため、バッテリー品質や劣化特性などにも注意が払われている。農村では、一充電走行距離に、最も関心が集まっており、次に登坂能力、最大積載量が続いている。

上海交通大学機械学院・米国フォード社の共同調査によると、ユーザ関心の第一位は2001年には品質であったが、2005年にはブランドに移行したことが分った。図3にユーザ心理に影響を与える要因の上位5つの分布を示す。主にブランド、性能、品質、価格、デザインにユーザの関心が集まっている。この5年間で中国の軽型電動車産業が大きく発展し、商品の品質対価格比がユーザが納得できる水準に合致したことに伴い、軽型電動車のブランド化が始まり、ユーザのブランドに対する信頼度が高まっていることが分る。

4 軽型電動車の主要技術及び技術動向

小型・軽量化のほかに高効率・高出力・低コスト・メンテナンスフリー化が主要な技術課題となっている。その他に、定速走行制御、アシスト機能、ブレーキ時や下り坂でのエネルギー回生、位置センサレス化、双速モータ(4.2.4参照)の使用、保護機能(過電圧、過電流、ショートなど)の充実、速

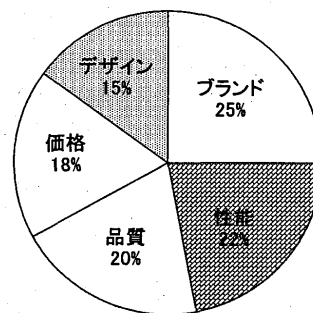


図3: ユーザの関心⁽⁴⁾

はなく、アクセルにより電動のみでの走行も可能になっている。

度制限機能、電磁ブレーキ、自己故障検出などが、最近の注目技術となっている。

以下、これらの内の幾つかを取り上げて説明する。

4.1 モータ及び駆動機構技術

軽型電動車用モータには、高出力密度、高トルク密度、小型、高効率、低騒音、低ノイズ、更に高信頼性、低コストなどが要求される。

永久磁石界磁形 DC モータは起動トルクが大きく、速度制御が容易であり、高効率、小型軽量などの長所がある。しかし、ブラシと整流子を有しているため、寿命やメンテナンスの面が短所となっている。このブラシと整流子をなくす事により、更なる小型化、低価格化、長寿命化を図ることができる。このことから、中国の軽型電動車のほとんどは、ブラシと整流子が不要なブラシレス DC モータが使われている^{*4}。

なお、SR(Switched Reluctance)モータの研究も中国国内で活発に行われており、SRD(Switched Reluctance Driver)に関する研究論文⁽⁷⁾⁽⁸⁾も数多くに発表されている。

駆動機構技術面では、摩擦を利用するベルト伝動は磨耗により摩擦力が降下し、効率が悪くなるなどの欠点がある。チェーン伝動も効率などの問題で、現在ほとんど使われていない。ギア伝動方式は、高トルクが得られるため、中国や台湾で良く用いられたが、やはり磨耗や騒音や効率の問題があり、構造も複雑になることから減少傾向にあるが、これらの問題点の改善を図ることも一部で行われている。

駆動系の部品の省略によるコストダウンや機械的な伝達損失をなくすために、後輪にアウトロータ形インホイールモータを用いた駆動機構が、最近では主流となっている。インホイールモータは伝動効率が良い他、車体デザインも精巧で中国では人気がある。なお、中国国内の小型電動車で用いられているインホイールモータは、高いトルクが得られるアウトローター方式がほとんどである。

減速機構を取り去るために低速高トルクの小型モータが強く期待される一方、低速高トルク小型モータの設計、材料、加工などは決して容易ではない、製作の一部には手作業が必要な工程もあるため、製造費用が高くなってしまいうデメリットもある。ただし、中国では人件費が安いことから、国際マーケット競争力が期待できる。

4.2 コントローラ

コントローラにも小型、軽量、高効率、メンテナンスフリー、低コストなどの性能が求められる。最近では、モータ・

^{*4}日本では、高効率・高出力を実現するために、リラクタンストルクを活用した最大トルク制御や弱め界磁制御を行い、出力密度及びトルク密度において高性能化が実現できる IPM(Interior Permanent Magnet)モータが使われている。例えば、東京 R & D のビューズ 21⁽⁵⁾など。また、ヤマハの YIPU(ヤマハ・インテグレイテッド・パワー・ユニット)⁽⁶⁾には超扁平平面对向型ブラシレス DC モーター(遊星減速機内蔵)が使われている。

コントローラ一体型の製品が多く見受けられる。以下、制御方式についてに記述する。

4.2.1 ブラシレス DC モータの駆動方式

ブラシレス DC モータの駆動方式は、主に下記の 2 つに分類できる。

方形波通電方式(120°通電方式) 一般にロータ回転位置を検出するセンサとして、ホール素子、またはホール IC が用いられる。この場合、始動トルクが大きくでき、スムーズに始動できるなどの利点があるが、モータ製造時及びメンテナンス時の工程が複雑になり、高温状態でホール素子の故障率が高いなどの問題がある。このため、モータに専用の位置センサを設けずに、誘起電圧を検出し、駆動回路でロータの回転位置を推定する研究⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾が行われている。大手メーカーでは、ホールセンサなしモデルの発売を検討しているようである。但し、この推定法では、誘起電圧の大きさが回転速度に比例するので、低速時に回転位置が正確に推定できず、起動性能が悪くなる。特に高負荷時に適用しにくい面があるなど、技術的に検討する余地がある。

正弦波通電方式(180°通電方式) 一充電走行距離を伸ばすために、モータの高効率駆動が望まれている。方形波通電より正弦波通電の方が、モータの高調波電流やトルクリプルを減らすことができ、高効率でモータを駆動できる。しかし、正弦波 PWM を実現するためには、高精度な回転位置センサが必要となる。小型電動車用モータの場合、位置センサとして電気角 360 度に 6 パルスの低精度(ホール素子、ホール IC)センサが用いられる。正弦波通電方式は、中国の小型電動車では、著者の知る範囲で、まだ実用化されていない。

低分解能位置センサを用いた瞬時位置推定法や位置センサレス法などを実用化するための課題が残っている。

4.2.2 エネルギー回生

統計によると、中国では、軽型電動車の運転中のブレーキ回数は、市内で平均 0.5 回/分、市外で平均 0.2 回/分となっている⁽²⁾。通常の機械式ブレーキの場合、ブレーキ時のエネルギー損失が大きく、また再加速時にも大量のエネルギーを消費する。したがって、中国でも下り坂や減速時のその制動エネルギーをバッテリーに戻す電力回生技術について、研究⁽¹¹⁾⁽¹²⁾が行われているが、小型電動車への実用化例は、まだ報告されていない。

4.2.3 定速走行制御

運転中に希望の車速にセットすると、一定の車速で走行することのできる制御、いわゆる速度制御である^{*5}。一般的に、車両の運転にはアクセルでトルク指令値を与えるトルク制御が多いが、下り坂でも一定速度で走行できる軽型電動車が、ユーザから期待されていることが調査により分かった⁽²⁾。

^{*5}我が国でも、乗用車にこのようなシステムの搭載例がある。

4.2.4 双速モータ

高速用、低速用の2種類の巻線を速度領域に応じて切換え、低速域では大トルク、高速域では、高回転速度が得られるように、巻線に中間タップを設けて、速度に応じて巻線を切換え可能な双速モータを、軽型電動車へ適用し実用化することが期待されている⁽²⁾。

4.3 バッテリー及び関連技術

4.3.1 バッテリー

電気自動車と同様にバッテリーの性能が軽型電動車の性能を決める大きな要因である。軽型電動車用バッテリーには、主に次の性能が求められる。

- 高エネルギー密度 (Wh/kg) : 一充電走行距離
- 高出力密度 (W/kg) : 起動, 加速, 登坂能力
- 耐久性 : コスト
- 応用技術 : 充電技術
- メンテナンスフリー

軽型電動車のエネルギー源として、主に2次電池の鉛蓄(Pb)バッテリー、ニッケル水素(NiMH)バッテリー、リチウムイオン(Li-ion)バッテリーが挙げられる。

鉛蓄バッテリーのエネルギー密度は、リチウムイオンバッテリーに比べるとかなり小さいが、安価で安定して大電流が取り出せる利点がある。

ニッケル水素バッテリーは鉛蓄バッテリーに比べ単位体積あたりのエネルギー密度が2倍以上、充放電回数寿命が約10倍であると言われている⁽¹³⁾。

リチウムイオンバッテリーはニッケル水素バッテリーより更に電力容量を高めたバッテリーである。エネルギー密度が大きく、軽量で、高速充電が可能などの特長がある。日本国内の電気スクータ(原動機付自転車)メーカーのほとんどが、これを採用している。

中国の軽型電動車には、技術的に完成度が高く、且つ価格が安い密閉型鉛蓄バッテリーが主流となっている。もちろんエネルギー密度及び出力密度の高いニッケル水素電池やリチウムイオン電池も期待されているが、現段階では、まだ価格の問題でほとんど実用化されていない。

4.3.2 関連技術

- 急速充電技術
街中(例えば、コンビニや駐車場)に充電できるスタンドの設置などが強く望まれている。
- 充電制御技術
最適充電制御(充電間隔管理, 充電電量管理, バッテリー温度の監視, セル電圧の監視)によりバッテリーの寿命を延長することが期待されている。
- 知能化バッテリー管理
過放電/過充電を監視し、自動的に保護する機能により、バッテリー寿命や一充電走行距離の向上が期待されている。

5 中国での問題点

- クレームの95%以上はバッテリーの問題
コストダウンのためにバッテリーの原価を無理に下げ、品質が低下していることが主要な原因となっている。
- メンテナンスの不備
急速なユーザ増加によりメンテナンスを正しくできる設備や専門技術者が不足している。
- ユーザの知識不足
例えば、信号が変わった瞬間、ガソリン車のように急加速して、バッテリーに過電流が流れ、バッテリーの劣化させてしまったり、過放電によるバッテリー劣化などが見受けられる。
- 低いモータ効率
モータの効率がデータシートのものより低い場合が多く、実際には、定格パワーを出力するために、バッテリーからより多くの電流を流す必要が生じている。
- バッテリーの容量以上の出力や高速走行
定格以上の出力(例えば、過積載)や定格速度以上の走行などが、バッテリー寿命短命化の原因の一つになっている。
- 法律⁽¹⁴⁾と現実の矛盾
例えば、軽型電動車の法定最高速度20km/hであるが、現実には35km/h出せる車種が多々ある。また、法定車両重量は40kg以下であるが、実際は50kg以上の車種が多い。他に、モータの出力パワーは、規程上240W以下となっているが、実際に販売されているものは350Wのものが多い。したがって、バッテリーの容量や性能を法律で定められた条件に基づき選定すると、バッテリーが酷使されることになってしまう。このことから、電圧低下/過電流に対する保護機能がなければ、バッテリーの寿命が極めて短くなってしまふ。

6 主な仕様比較

我が国と中国で市販されている電動スクータの主な仕様比較を、表1に示す。

7 おわりに

以上、中国での軽型電動車に関する現状および関連技術について述べた。軽型電動車が『雨後の竹の子』のように成長して来た現在、関連企業や研究機関はその次(次世代)の製品の提案や設計を始めている。中国では、一人子政策の関係から、どの家庭も子供を非常に大事に育てている。社会治安情勢が、まだ100%安心できない地域もあり、子供が幼稚園に入ってから中学生位までは、移動時に大人が同伴している場合がほとんどである。このような現状では、2人乗り屋根付のミニ電動車(4輪車)の需要拡大が予測できる。時速40km/h、一充電走行距離50km以上、総重量500kg以下、価格(バッテリー除く)1万円台の4輪ミニカーが、次世代の主力製品と

表 1: 我が国と中国で市販されている電動スクータの主な仕様比較

	中国 (一例)	日本 (Passol-L)
モータ	ブラシレス DC 350W	超偏平面对向型ブラシレス DC 580W
バッテリー	48V 24Ah(鉛)	25V 24Ah(Li-ion)
充電時間	12 時間	6 時間
一充電走行距離	45km	43km
価格 (日本円)	3 万~4 万	約 20 万

なることが展望できる。ただし、現状では、バッテリー技術やコスト問題、政策問題など、重大な課題が残っている。

参考文献

- (1) NEWWAY ホームページ: 電動車制御技術, <http://www.cnnewway.cn/tech.asp>
- (2) 中国国家统计局網: <http://www.stats.gov.cn/>
- (3) 曾培炎: 全面推進新世紀の経済建設と改革, <http://finance.anhuinews.com/system/2003/01/20/000225002.shtml>
- (4) 中国電動車網: <http://www.zgddc.com/html/index.asp>
- (5) 株式会社ピューズ: <http://www.pues.co.jp/pues21.html>
- (6) 長瀬猛, 神田栄作, 吉澤彰浩ほか: エレクトリックコンピュータ「EC-02」の開発, ヤマハ発動機技報, <http://www.yamaha-motor.co.jp/profile/technical/publish/no40/index.html>, No.40, 2005 年
- (7) Y.J.He, Z.L.Cao: Research and Practice on Drive Control for Electric Motorcycle Based on Switched Reluctance Driver, S & M ELECTRICAL MACHINES(CHINA), Vol.28, No.2, 2001 年
- (8) H.B.Jiang, D.A.Zhao, X.M.Sun et.al: Study on Initial Position Detection of Sensorless 12/10 SRD System, ELECTRIC MACHINES & CONTROL APPLICATION(CHINA), No.4, 2006 年
- (9) Z.R.Zhao, X.H.Li, J.M.Zhao et.al: BLDC Motor Sensorless Control System Based on ST7FMC, ELECTRIC MACHINES & CONTROL APPLICATION(CHINA), No.2, 2006 年
- (10) W.T.Qu: An Improved Detection of Rotor Position of Brushless DC Motor, ELECTRIC MACHINES & CONTROL APPLICATION(CHINA), No.7, 2006 年
- (11) G.Z.Dou, N.C.Huang, Z.J.Zhang et.al: A Electrical Motorcycle AC Drive with Energy Feedback, ELECTROTECHNICAL JOURNAL(CHINA), No.3, 2003 年
- (12) Y.J.He, D.J.Liu, Z.L.Cao et.al: The Research and Practice of the Regenerating Brake Control Tactics of System of Electric Motorcycle Based on SRD, SMALL & SPECIAL ELECTRICAL MACHINES(CHINA), Vol.29, No.2, 2001 年
- (13) 鎌倉豊, 吉池仁志, 宮島英彰ほか: 小容量 UPS「SANUPS A11G-Ni」の開発, SANYO DENKI Technical Report, No.20, Nov.2005
<http://www.sanyodenki.co.jp/techrepo/20j/g.pdf>
- (14) 電動自転車通用技術条件 (国家標準 GB17761-1999)