電動アシスト自転車の技術系統化調査

2

Technical Systematization Survey of Electric Power Assisted Bicycles

明田 久稔 *Hisatoshi Akita*

■要旨

日本における電動の自転車又は二輪車の発想は、1940 年代の電動の自転車又は二輪車の特許出願から始まっていた。モータの配置と駆動力伝達方法に関しては、考えられるほとんどの形式が、1980 年代までに特許登録されている。その中で唯一商品化された世界初の電動自転車が、1980 年に発売された「Electric Cycle DG-EC2」だった。また、1990 年代前半には、２機種の電動スクータが限定販売された。これらの電動の自転車又は二輪車は、いずれも法律上、第一種原動機付自転車（以下、原付一種と呼ぶ）であるが、当時の原動機（エンジン）付自転車と比べた場合の電池の性能及びモータ等の特性などから、市場で広く普及するまでには至らなかった。

1970 年代前半の自転車市場は、少年用スポーツサイクル及びミニサイクルが大流行して、全盛期を迎えた。1980 年代には、軽快車・シティ車が主流となり、中高生及び主婦層を中心に広く普及していった。一方、原付一種は、1970 年代後半にファミリーバイク、小型スクータが誕生し、それまで二輪車とは縁遠かった女性層も含めて、販売台数が急増した。しかし、1980 年前後の熾烈なシェア争いの時代を経て、1986 年のヘルメット着用義務化の頃から、徐々に販売台数が減少していった。

電動アシスト自転車は、自転車として認可され、1993 年に世界で初めて商品化された日本発の電動の自転車であるが、その開発は最初から順調に進められていた訳ではない。1970 年代後半から 1980 年代後半にかけて、幾つかの「ペダル付きの原動機（エンジン）付自転車」の開発が行われたが、いずれも途中で中断となった。1989 年にペダル回転に合わせたエンジン回転数制御をモータ駆動制御の自転車に変えたことを機に、やっと当初考えていたものに近い 1 台の試作車ができた。その後、自転車としての認可を目指して、ロビー活動も含めた「ペダル踏力に比例したモータ駆動補助機能付きの自転車」の技術開発が行われた。1991 年 11 月に始まった商品開発では、電池の搭載方法、車体強度、電池のサイクル寿命などに苦戦を強いられたが、1993 年 11 月に最初の電動アシスト自転車「初代 PAS」が、神奈川、静岡、兵庫の３県で限定販売、1994 年４月に全国販売された。

本報告書では、1993 年から現在までの電動アシスト自転車市場の期間を、導入期 – 過渡期 – 成長期 – 成熟期（？）に分けて、その市場・製品・技術の変遷を記述していく。この中では過渡期が、色々な意味で、最も重要である。過渡期の前半は、電動アシスト自転車業界が唯一経験した「不況下における販売・生産の減少傾向の時期」であった。過渡期には、電池、モータ及びトルクセンサなど、アシスト機能に係る主要部品が大きく変わる技術的進化が起こり、その基本的構造は現在も変わっていない。この時期からアルミフレームが広く普及するようにもなった。海外市場を目指して、中国・欧州などに展開し始めたのもこの時期だった。

成長期以降、リチウムイオン電池・アルミフレームの軽量化及び電池の高容量化に支えられ、様々な車種が増え、従来の高齢者中心から 20 歳～ 40 歳代の女性層中心のユーザ層に変化した。また、前輪駆動モータによる回生充電機能付きの電動アシスト自転車が誕生して、ユーザの選択肢が増えた。電動アシスト自転車業界は、アシスト比率の道路交通法改正や幼児二人同乗自転車の条例改正の効果もあって、リーマンショックの時でも、ほぼ右肩上がりの成長を続けてきた。

一方、中国・欧州市場では、それぞれの道路事情、自転車文化及び従来技術と融合して、独自の電動自転車が誕生し、中国では 2000 年代前半、欧州では 2000 年代後半以降、急速にその数を伸ばし、日本市場を大きく上回る市場に成長している。

近年日本市場では、幼児二人同乗自転車及びシティ車の多様化並びに社会情勢の変化などによって、幼児二人同乗、通学用、シニア向けの電動アシスト自転車がその数を伸ばしつつある。一方で、数の増加と共に、製品事故発生に伴う事故分析・リコールなどに関して、国内主要企業が苦戦している現状もある。

■ Abstract

The idea of electric bicycles or motorcycles in Japan began with patent applications for electric bicycles or motorcycles in the 1940s. By 1980s, most conceivable forms of motor placement and driving force transmission methods had been patented. The only design to become a commercial product was the "Electric Cycle DG-EC2", launched in 1980 as the world's first electric bicycle. In the early 1990s, two models of electric scooters were sold for a limited utility. Both of these electric bicycles or two-wheeled vehicles are legally class 1 motorized bicycles. But due to the battery performance and motor characteristics when compared with the motorized bicycles at that time, they did not reach widespread use in the market.

The bicycle market in the early 1970s reached its heyday with the epidemic of boys' sports cycles and mini-cycles. In the 1980s, light roadsters and city bicycles became the mainstream, and became widespread mainly among middle and high school students and housewives. On the other hand, in the late 1970s, family bikes and small scooters were born, and the number of these mopeds sold increased sharply, including women who were far from motorcycles until then. However, after a fierce battle for market share around 1980, the number of sales gradually decreased from the time when helmets became mandatory in 1986.

The electric power assisted bicycle is the first electric bicycle from Japan that was approved as a bicycle and commercialized in 1993 for the first time in the world, but its development has not been proceeding smoothly from the beginning. From the late 1970s to the late 1980s, several "motorized bicycles with pedals" were developed, but all were interrupted. In 1989, when the engine speed control according to the pedal rotation was changed to a motor-driven bicycle, a prototype that was close to the original concept was finally created. After that, with the aim of being approved as a bicycle, technological development of "a bicycle with a motor drive assisting function proportional to the pedaling force" was carried out. This included some lobbying as well. Product development began in November 1991 and was a constant hard struggle with battery mounting method, frame strength, battery cycle life, etc., In November 1993, the first electric power assisted bicycle "first PAS" was released in limited sale in 3 prefectures of Kanagawa, Shizuoka and Hyogo, and sold nationwide in April 1994.

This report discusses the trends in the electric power assisted bicycle market, products and technology from 1993 to the present day. The timeframe is divided into four stages: the introductory stage, the transition stage, the growth stage and the mature stage. Of these, the transition stage is the most important in many ways. The first half of the transition stage was the only "time of declining sales and production in the recession" that the electric power assisted bicycle industry experienced.

During the transition stage, technological evolutions have occurred in which the main parts related to the assisting function, such as batteries, motors, and torque sensors, have changed significantly, and their basic structure has not changed. From this stage, aluminum frames became widespread. Expansion to overseas markets in China and Europe also began during this stage.

Since the growth stage, various types of electric power assisted bicycle have increased, supported by the weight reduction of lithium-ion batteries and aluminum frames and the increase in battery capacity, and the main user demographic has shifted from elderly people to women in their 20s, 30s and 40s. In addition, the birth of electric power assisted bicycles with a regenerative charging function using a front-wheel drive motor has increased the choices of users. The electric power assisted bicycle industry has continued to grow almost steadily even during the 2008 financial crisis, partly due to the effects of the revision of the Road Traffic Act for the assist ratio and the revision of the regulations for bicycles with two child seats.

On the other hand, in the Chinese and European markets, unique electric bicycles were born by fusing with their respective road conditions, bicycle culture and conventional technology, and the number has increased rapidly since the early 2000s in China and the latter half of the 2000s in Europe, has grown into a market that greatly exceeds the Japanese market.

In recent years, in the Japanese market, the number of electric power assisted bicycles for two child seats, for commuting to school, and for seniors is increasing due to the diversification of bicycles with two child seats and city bicycles and changes in social conditions. However, as the number increases, major domestic companies are struggling with accident analysis and recalls of their products.

■ Profile

明田 久稔　*Hisatoshi Akita*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

1978 年　大阪府立大学大学院工学研究科経営工学専攻修士課程終了
1978 年　ヤマハ発動機株式会社　入社
モータサイクル事業本部でスクータ，業務用二輪車の車体設計業務に従事
1991 年　ヤマハ発動機株式会社
事業開発本部 22 プロジェクト室（現：SPV 事業部）で電動アシスト自転車の車体・艤装部品設計に従事
1995 年　ヤマハ発動機株式会社 PAS 事業部（現：SPV 事業部）プロジェクトリーダー
2009 年　ヤマハ発動機株式会社 PAS 事業部（現：SPV 事業部）グループリーダー
2016 年　ヤマハ発動機株式会社 研究本部システム安全研究部退職

■ Contents

1. はじめに …… 106
2. 電動アシスト自転車の概要 …… 107
3. 電動アシスト自転車以前の自転車、原動機付自転車 … 113
4. 電動アシスト自転車 初代 PAS の誕生 …… 131
5. 電動アシスト自転車の普及と発展の変遷 …… 143
6. 電動アシスト自転車主要技術の進化 …… 171
7. 電動アシスト自転車の海外展開 …… 200
8. 電動アシスト自転車の法令・規格と安全性 …… 206
9. おわりに …… 217

1 はじめに

電動アシスト自転車は、普通自転車と原付一種の中間的な乗り物として、1993年に自転車市場に登場した電動の自転車である。自転車の歴史は19世紀前半、二輪車の歴史は19世紀後半に始まるが、本報告書では、日本で誕生した最初の電動アシスト自転車に関連する話題として、1970年代の自転車、及び二輪車の中の原付一種に関する市場・製品・技術から記述する。1970年代前半は日本の自転車業界にとって、年間生産台数のピークを記録した繁栄の時代だった。また、二輪車業界にとっても、1970年代前半の第一次オイルショック、後半の第二次オイルショックの影響を受けつつも、1970年代後半にファミリーバイクや小型スクータが誕生し、年間出荷台数が急増した上り調子の時期だった。また1970年代は、自動車の排ガス・騒音が、地域的な公害問題だけではなく、地球規模での環境問題として認識され始めた時代だった。二輪車にも騒音規制が厳格化され、さらに低燃費を求める声が強くなり始めた時代でもあった。最初の電動アシスト自転車「初代PAS」に繋がる開発の発想は、1970年代後半のペダル回転に合わせたエンジン回転数制御式の原動機(エンジン)付自転車の研究開発から始まっていた。

電動アシスト自転車は、ペダル踏力に比例したモータ駆動補助機能付きの自転車ということができるが、このモータ制御技術によって、自転車と同じ操作方法で、誰でも安全に運転できるものであるから、自転車として認められている。1970年代後半に始まった研究開発では、ペダル付きの原動機（エンジン）付自転車を前提として、原付一種だが「自転車のように気軽に乗れる」くらいの期待に近い曖昧な発想だった。1986年のヘルメット着用義務化の後、当時ヘルメット規制などの無い「自転車のように」という動機がより強くなった。1989年春、既存のモータとトルクセンサを使って、ペダル踏力に合わせてモータを駆動させる1台の試作車ができた。その後の技術開発及びロビー活動を通して、「ペダル踏力に比例したモータ駆動補助機能付きの自転車」という技術構想が明確に固まっていった。こうして振り返ると、1970年代後半の期待に近い曖昧な発想から具体的な技術構想になるまで、途中中断の期間はあるが、約15年かかっている。1991年11月に商品開発が始まってから限定販売が開始されるまでには、さらに2年を要した。

最初の電動アシスト自転車「初代PAS」が自転車市場に登場した1990年代前半の自転車業界は、年間約400万台の生産を誇った軽快車・シティ車の全盛期だったが、バブル崩壊を機に1991年から国内生産が減少し始め、代わりに安価な輸入自転車が毎年数十万から百万台のペースで増加し始めた時期だった。

「初代PAS」は、ヤマハ発動機という二輪車業界のメーカの技術・商品開発によってもたらされた。その後、1995年に独自の開発を達成して製品発売した本田技研工業及び三洋電機も、当時の自転車業界から見ると、異業種による新規参入である。電池、センサ及びモータを使った新しい自転車という技術革新は、異業種だからこそできたという面もあるが、新規参入する側から見ると、異業種だからこそ難しい面が、導入期の商品開発に関しては多くあった。従来の自転車業界の中で、駆動補助装置及び電池の開発を自社で行い、自社ブランドの電動アシスト自転車を発売したのは、親会社に松下電器産業（現：パナソニック）を持つナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）だけだった。そのナショナル自転車工業の実力が遺憾なく発揮されたのが、1990年代後半から2000年代初期の過渡期における幾つかの電動アシスト自転車技術の進化だった。

モータ駆動の車両でありながら、新しい自転車として認可され、電動アシスト自転車市場が誕生したこと、並びにアシスト比率の法改正及び幼児二人同乗自転車の認可により、リーマンショックによる不況の波をほとんど受けずに、電動アシスト自転車の今日の成長と発展があるのは、行政機関の理解と規制緩和の方向での指導によるところが大きい。そのいずれの場合も、行政機関と関係団体・業界との間で議論になり、確認されてきたのは、電動アシスト自転車の安全性であった。信頼性を含めた製品安全性はもとより、道路交通における乗り物としての安全性の維持が、電動アシスト自転車が備えるべき機能・特性・性能などの要件の中で最も上位に位置する重要な要素である。本報告書では、華々しい製品及び技術の進化の歴史だけでなく、安全性を維持するための法令又は規格の歴史、製品安全及び交通安全に関する問題なども合わせて記述することにする。

2 電動アシスト自転車の概要

2.1 電動アシスト自転車とは

2.1.1 日本における電動アシスト自転車の法律上の定義

電動アシスト自転車は、道路交通法第二条の一の十一の二に自転車として定義されている。また、道路交通法施行規則第一条の三で「人の力を補うため原動機を用いる自転車の基準」が、表 2.1 のように定められている。

表 2.1　道路交通法施行規則における
電動アシスト自転車の基準

第一条の三

法第二条第一項第十一号の二の内閣府令で定める基準は、次に掲げるとおりとする。

一　人の力を補うために用いる原動機が次のいずれにも該当するものであること。

イ　電動機であること。

ロ　二十四キロメートル毎時未満の速度で自転車を走行させせることとなる場合において、人の力に対する原動機を用いて人の力を補う力の比率が、（1）又は（2）に掲げる速度の区分に応じそれぞれ（1）又は（2）に定める数値以下であること。

（**1**）十キロメートル毎時未満の速度　二（三輪の自転車であつて牽引されるための装置を有するリヤカーを牽引するものを走行させせることとなる場合にあつては、三）

（**2**）十キロメートル毎時以上二十四キロメートル毎時未満の速度　走行速度をキロメートル毎時で表した数値から十を減じて得た数値を七で除したものを二から減じた数値（三輪の自転車であつて牽引されるための装置を有するリヤカーを牽引するものを走行させせることとなる場合にあつては、走行速度をキロメートル毎時で表した数値から十を減じて得た数値を三分の十四で除したものを三から減じた数値）

ハ　二十四キロメートル毎時以上の速度で自転車を走行させせることとなる場合において、原動機を用いて人の力を補う力が加わらないこと。

ニ　イからハまでのいずれにも該当する原動機についてイからハまでのいずれかに該当しないものに改造することが容易でない構造であること。

二　原動機を用いて人の力を補う機能が円滑に働き、かつ、当該機能が働くことにより安全な運転の確保に支障が生じるおそれがないこと。

現在の道路交通法施行規則第一条の三は、電動アシスト自転車が新設された 1995 年の法改正を含めて、3 回の改正を経たものである。表 2.1 の一のロにおける「人の力に対する原動機を用いて人の力を補う力の比率」（駆動補助比率、アシスト比率）を簡単に図示したものが図 2.1 である。

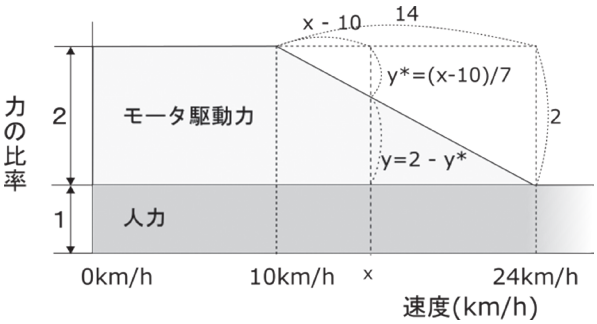


図 2.1　駆動補助比率の説明図

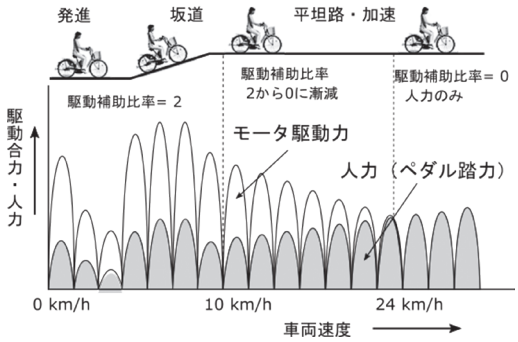


図 2.2　人力と駆動補助合力との関係

表 2.1 の二に関しては、警察庁規定の駆動補助機付自転車の型式認定基準で、「試験の方法」の「2 時間応答性の基準」として、「一般の自転車と同様な運転操作であること」及び「一般の自転車と同様なペダリング感覚であること」が求められている[1)]。自転車のペダリング踏力は、ロードセルでの計測値を模式的に描くと、図 2.2 の人力（灰色の部分）のような脈流波形になる。道路交通法は、駆動補助力が図 2.2 の白塗り部のようになることを求めている。

「JIS D 9111:2016 自転車 - 分類、用語及び諸元」では、電動アシスト自転車を、『自転車に電動機を備え，その電動機は，乗員のペダリングと独立して出力を発生させることなく，人力によって発生するクランク回転出力が電動機の駆動出力を比例的に発生させる構造（駆動補助機能）の自転車』と定義している[2)]。

コラム１：電動アシスト自転車に関する名称について

電動アシスト自転車は、電動機（モータ）を原動機としながら、新しい種類の自転車として日本で誕生した車両であったので、その導入初期には名称もあまり定着していなかった。1993 年ヤマハ発動機が初めて「PAS」（商品名）を発売したときは、車種名を「電動ハイブリッド自転車」と呼んでいた[1),2)]。1995 年道路交通法の改正時に自転車の一種として明文化されたときは、本文 2.1.1 のように「人の力を補うために原動機を用いる自転車」と呼ばれたが、これを受けて同年に型式認定制度を新設する警察庁通達には、道路交通法で規定する車両名称の略称として、「駆動補助機付自転車」が使われた[6)]。

Table １に、電動アシスト自転車の名称について、過去に使われていた名称及び正式に定義されて現在も使われている名称などを年代順に列記する。

Table 1　各分野における電動アシスト自転車の名称の経緯

分野・規定・文献等	初めて使われた年	初めて使われた名称	現在の名称	備考
製造事業者等ニュースリリース、論文などマスコミ、メディア、雑誌など	1993年	電動ハイブリッド自転車	電動アシスト自転車	ヤマハ[1),2)]
	1995年	電動ペダル・アシストサイクル		ホンダ[3)]
	1996年	電動アシスト自転車		ホンダ[4)]
	1997年	電動アシスト自転車		三洋[5)]
業界団体名	1996年	電動アシスト自転車安全普及協議会	電動アシスト自転車安全普及協議会	
道路交通法	1995年	人の力を補うために原動機を用いる自転車	人の力を補うために原動機を用いる自転車	
型式認定基準 型式認定処理規定	1995年	駆動補助機付自転車	駆動補助機付自転車	警察庁通達[6)]
生産動態統計	1997年	電動アシスト車	電動アシスト車	コラム２参照
自転車協会 安全基準[7)]	2001年	電動アシスト自転車	電動アシスト自転車	
JIS D 9115：2009[8)]	2009年	電動アシスト自転車	電動アシスト自転車	

Table １を見ると、法律関連の用語を除いて、巷でその導入初期に色々な言葉で呼ばれていた電動アシスト自転車は、1996 年のホンダラクーン UB02 のニュースリリース[3)] 又は電動アシスト自転車普及協議会の設立の頃に、「電動アシスト自転車」の名称が提案され、製品の普及とともに一般にも定着していった。これには、1997 年にトヨタ自動車から世界初の量産「ハイブリッド自動車」、プリウスが発売されたことが影響している。プリウスの発売前から、「人力及びモータの組み合わせ構造である自転車に『ハイブリッド』の名称を使っていては、知名度で勝る『ハイブリッド自動車』のエンジン及びモータとの組み合わせ構造と混同されてしまうことになる」との意見があった。これには電動アシスト自転車新規参入企業の中で、自動車製造・販売を事業として行っている本田技研工業やスズキの感度が鋭かった。ちなみに、ヤマハ発動機は、業界活動で主導した安全普及協議会の設立や自転車協会安全基準の原案作成などでは、上記のハイブリッド名称議論に賛同し、「電動アシスト自転車」を使っていたが、会社としての公式文書（ニュースリリース、取扱説明書など）では「電動ハイブリッド自転車」を使い続け、2009 年の JIS 規格新設を機に、2010 年モデルから「電動アシスト自転車」に全てを変更した。

参考・引用文献
1）ヤマハ発動機：「社報ヤマハ」、No.272、（1993）
2）長谷川武彦、中道忍、勝岡達三、生熊克己、柴田広高、小山裕之（ヤマハ発動機）：「電動ハイブリッド自転車の開発、機械振興 vol.27 No.12、（1994）
3）本田技研工業：ニュースリリース「楽々と走れる電動ペダル・アシストサイクル「ホンダ ラクーン」を発売」、1994 年 12 月 20 日付け、（1994）、accessed on 2020-10-23、https://www.honda.co.jp/news/1994/2941220.html
4）本田技研工業：ニュースリリース「楽々走れる電動アシスト自転車「ホンダラクーン」にバッテリ残量お知らせランプを装備した 3 タイプを発売」、1996 年 07 月 17 日付け、（1996）、accessed on 2020-10-23、https://www.honda.co.jp/news/1996/2960717r.html
5）田中建明、広瀬康夫、乾克己（三洋電機）：「電動アシスト自転車＜CY-A 1＞」、三洋電機技報 Vol.29 No.1、（1997）
6）警察庁：通達「原動機を用いる歩行補助車等及び駆動補助機付自転車の型式認定制度の運用等について」、警察庁丙交企発第 114 号、（1995）
7）一般社団法人 自転車協会：「電動アシスト自転車 安全基準」、（2001）
8）一般財団法人 日本規格協会：「JIS D 9115: 2009 電動アシスト自転車 – 設計指針」、（2009）

2.1.2　電動アシスト自転車の用途・車体構造上の分類

「JIS D 9111:2016 自転車 - 分類、用語及び諸元」における電動アシスト自転車の車種分類を表 2.2 に示す。また、現在の電動アシスト自転車のモデルの一例を分類ごとに図 2.3 から図 2.5 に示す。

表 2.2　JIS D 9111:2016 における電動アシスト自転車の分類[2)]

大分類	小分類（車種）
電動アシスト自転車	スポーティ車
	シティ車
	小径車
	実用車
三輪自動車	三輪車（駆動補助機能付きを含む）
特殊自転車	幼児二人同乗自転車（駆動補助機能付きを含む）

図 2.3　スポーティ車とシティ車[4)，5)]

図 2.4　小径車と実用車[5)]

図 2.5　三輪車と幼児二人同乗自転車[4)，6)]

近年、欧州で独自に進化したスポーツ系の e-bike と呼ばれるマウンテンバイク風やクロスバイク風の電動アシスト自転車が、逆輸入のようなかたちで登場して、話題になっている。図 2.6 にその一例を示す。

図 2.6　e-bike（クロスバイクと マウンテンバイク）[4)]

電動アシスト自転車の名称に関して、現在ではコラム 1 で示したように、法律関連の名称を除いて、「電

動アシスト自転車」という名称が定着している。電動アシスト自転車の用途･車体構造上の分類については、表 2.2 の「JIS D 9111 自転車 - 分類，用語及び諸元」による小分類（車種）が多く用いられている。本報告書では、原則として JIS 規格に準じた名称及び分類を用いることにするが、特定の時代の状況を記述する場合は、その時代に用いられていた名称を使い、特定の分野の内容及びそこからのデータを用いた図表を示す場合には、その分野で用いられている名称及び分類に準じることにする。

なお、本報告書の本文も原則として JIS 規格に準じた書き方をしている。「JIS Z 8301:2019 規格票の様式及び作成方法」の「附属書 H 文章の書き方並びに用字､用語､記述符号及び数字」､「H.6 外来語の表記」は、2019 年の改正で、『外来語の表記は，主として“外来語の表記（平成 3.6.28 内閣告示第 2 号）”による。』だけの但し書きのない記述に変更された[7)]。引用元の「平成 3.6.28 内閣告示第 2 号、外来語の表記」では、『長音は , 原則として長音符号「ー」を用いて書く。』とされているが、一方で『語形やその書き表し方については , 慣用が定まっているものはそれによる。』とも記されている[9)]。本報告書で引用する JIS 規格の用語のほとんどは、旧規格 JIS Z 8301:2011 の『ただし，慣用が定まっている場合には, それぞれの慣用による』に準じており、例えば長音符号の扱いについて、「シティー車」､「モーター」ではなく､「シティ車」､「モータ」となっている。本報告書での外来語の表記は、引用文献との統一上、慣用によって記述された JIS 規格に準じて記述する。

2.2 電動アシスト自転車の構造・機能

2.2.1 電動アシスト自転車の構造

一般的な電動アシスト自転車の構成を､「JIS D 9115:2018 電動アシスト自転車」及び「JIS D 9111:2016 自転車・分類、用語及び諸元」を基に、電動アシスト自転車特有のもの及びその他のものに分けて、以下に示す。

A、一般用自転車にはなく、電動アシスト自転車特有のもの（カッコ内は別称）

- 駆動補助装置（ドライブユニット､パワーユニット）: 駆動部（パワーユニット、モータユニット）、制御部（コントローラ）、踏力検出部（トルクセンサ）、速度検出部（スピードセンサ）
- 組電池：電池（バッテリボックス、バッテリ）
- スイッチ兼表示部
- 付属部品：バッテリボックスロック、コードなど
- 充電器（バッテリチャージャ）

B、一般用自転車と同じもの、又は仕様諸元は一部異なるものの、主機能が同じもの

- 車体部　：フレーム
- 操舵装置：ハンドル、にぎり
- 駆動装置：ギヤクランク、ペダル、チェーン、歯付きベルト
- 走行装置：タイヤ、チューブ、リム、スポーク、ハブ
- チェンジギヤ装置：ディレーラ、ハブギヤ
- 制動装置：ブレーキ
- 座席装置：サドル
- 積載装置：フロントキャリア、リヤキャリヤ、バスケット、チャイルドシート
- 停立装置：スタンド
- 警報装置：ベル、リフレックスリフレクタ、尾灯
- 照明装置：前照灯
- 保護装置：どろよけ、フラップ、チェーンケース、ドレスガード
- 付属部品：錠
- 締結部品：クランクピン、ボルト、ナットなど

2019 年モデルとして発売されたシティ系電動アシスト自転車の構成図の一例を図 2.7 に示す。また、図 2.8 左図に同自転車のハンドルに取り付けられたスイッチ兼表示部を、図 2.8 右図にリチウムイオン電池用の充電器を示す。

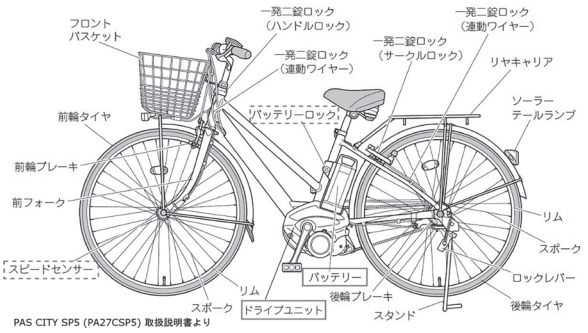


図 2.7　一般的な電動アシスト自転車の部品構成 [10)]

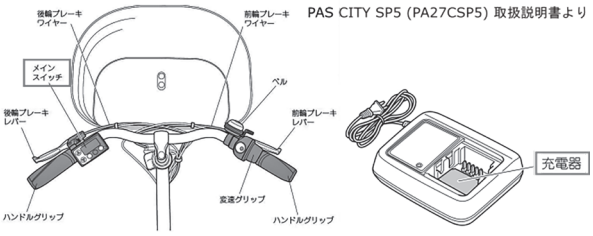


図 2.8　ハンドル部の部品及び充電器 [10)]

2.2.2　駆動補助装置の構成及び主要な機能

電動アシスト自転車の構成のうち、駆動補助装置は、頭脳と心臓に例えられ、最も重要な構成部品である。図 2.9 にその一例を示す。電動アシスト自転車の主要技術の多くが駆動補助装置に集積されている。

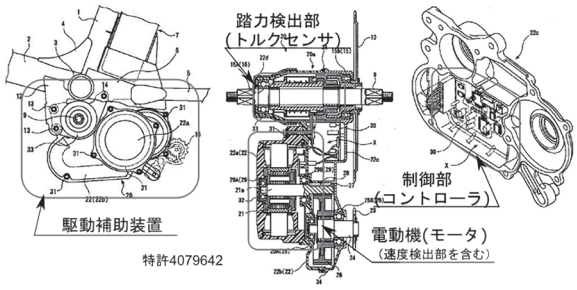


図 2.9　センターモータ駆動方式の駆動補助装置の例

図 2.9 の駆動補助装置における力・電流・信号の流れを図 2.10 にブロック図で示す。駆動補助装置は、ペダル踏力によるトルク及びモータの回転速度すなわち駆動時の車速を検出し、必要な量の電流をモータに供給し、電池からの電力を駆動補助力 (動力) に変換し、チェーンで人力と合成する機能を担っている。

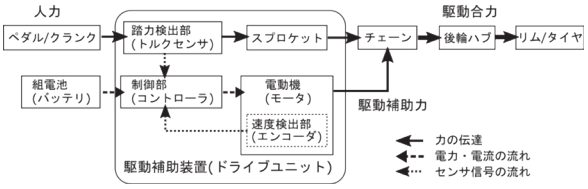


図 2.10　駆動補助装置の力・電流・信号の流れの例

2.2.3　駆動補助装置の構造上の分類

電動アシスト自転車の駆動補助装置は、レイアウト上で幾つかに分類される。本報告書で後述する駆動補助装置の種類を、JIS D 9115 :2018 附属書 C の分類に倣って、特許公報図面及びブロック図で図 2.11 から図 2.14 に示す。

下記 4 例のうち、上二つのセンターモータ駆動方式は、駆動補助システムの核となる部品をケースに内蔵し、重量物である駆動補助装置及びバッテリを車体重心付近に集中させ、その間を最短距離で連結することが狙いのレイアウトである。さらに、図 2.11 のモータ・人力別軸チェーン合力一体式は、モータからの駆動補助力を装置横のチェーンで合力する方式であり、クランク軸合力式よりモータ駆動系の減速効率が良い方式である。現在のシティ車、幼児同乗車などの駆動補助装置はこの方式が主流である。

一方、図 2.12 のクランク軸合力一体式は、駆動補助装置を一体で内蔵し、モータ仕様によっては、チェーン合力式よりコンパクトにすることが可能である。初代 PAS を含めて、電動アシスト自転車の導入期にはこの方式が主流だった。また、チェーンの経路及び張りの状態を一般用自転車とほぼ同じにすることができ、チェーン合力式より外装変速機との相性が良いので、近年の e-bike にはこの方式が採用されている。

図 2.13 に示したハブモータ前輪駆動方式は、自転車フレーム及びペダルから後輪タイヤまでの人力系駆動部品をほとんど変えずに電動化することができ、またモータ駆動系のワンウェイクラッチも省略できるので、1990 年代後期から 2000 年代初期にかけて、踏力検出部の無い中国の電動自転車で広く採用された方式だった。2003 年に三洋電機が、小容量のバッテリで一充電当たりの走行距離を維持・延長させる方法として、回生充電機能を備えた電動アシスト自転車を発売して以降、回生充電が可能な駆動補助装置として現在も採用されている。

図 2.14 のハブモータ後輪駆動方式は、自転車フレームを大きく変えずに電動化する方法として、三洋電機が 1995 年に採用した方式だった。後に 1990 年後期の台湾・中国で、踏力検出部の無い自走式の電動自転車が生まれ、前輪駆動方式と共に 2000 年前半に急増した。現在、日本の電動アシスト自転車市場でこの方式を採用している大手メーカはない。

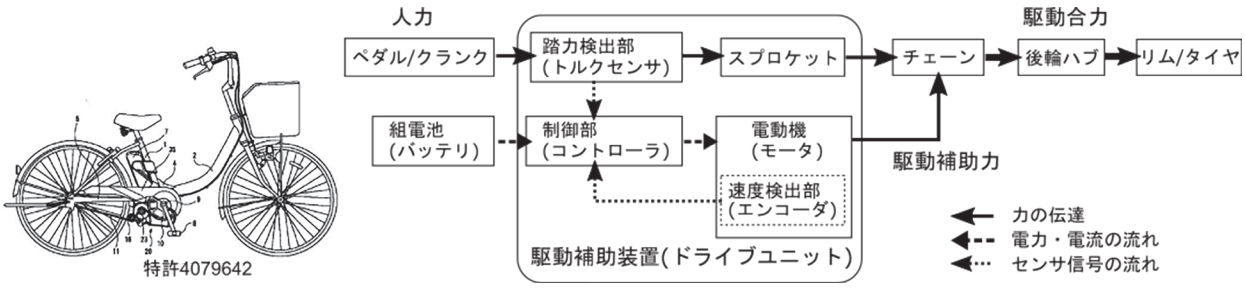


図 2.11　センターモータ駆動方式・モータ人力別軸チェーン合力一体式

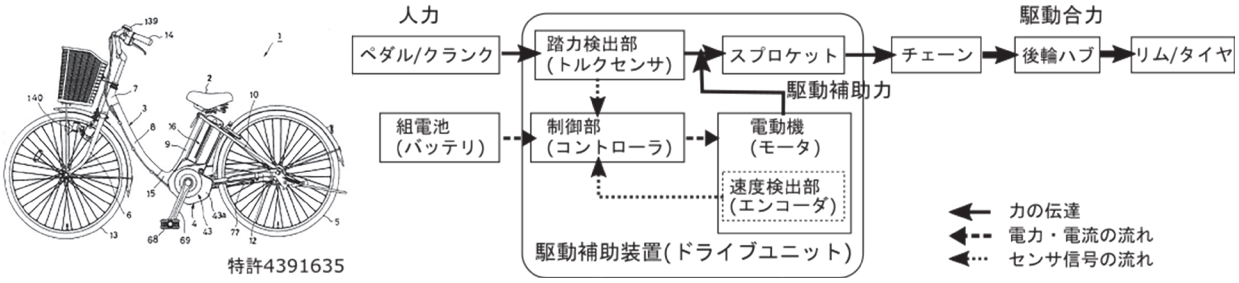


図 2.12　センターモータ駆動方式・モータ人力別軸クランク軸合力一体式

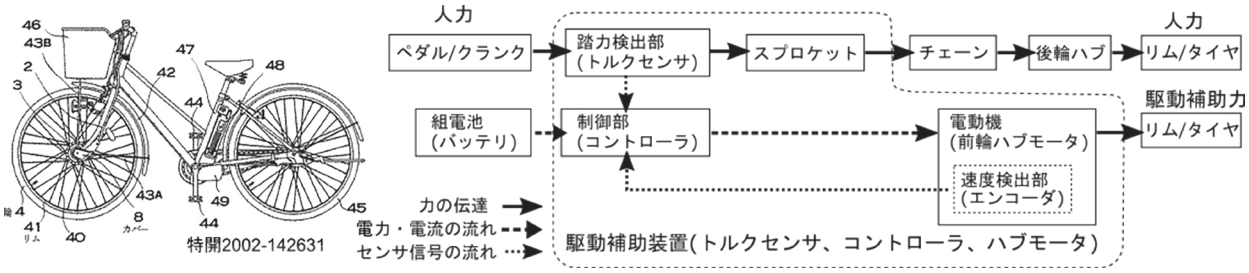


図 2.13　ハブモータ前輪駆動方式

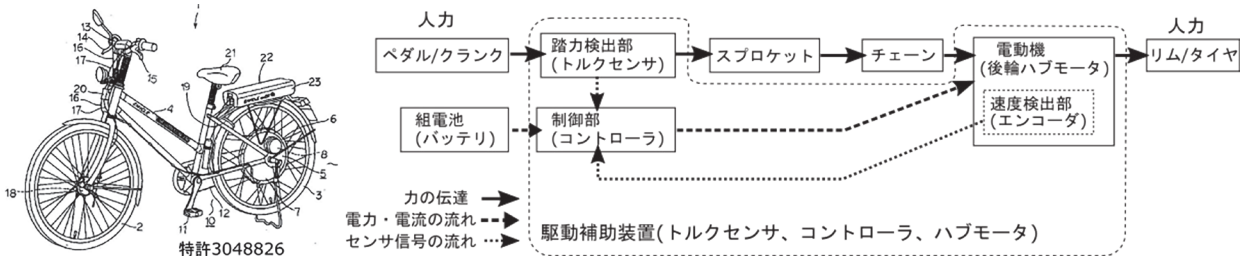


図 2.14　ハブモータ後輪駆動方式

参考・引用文献

1) 警察庁交通局：警察庁丙交企発第 144 号「駆動補助機付自転車の型式認定基準の一部改正について」、(2017)、accessed on 2020-09-21、https://www.npa.go.jp/laws/notification/koutuu.html
2) 一般財団法人 日本規格協会：「JIS D 9111: 2016 自転車 – 分類、用語及び諸元」、(2016)
3) 一般財団法人日本規格協会：「JIS D 9115: 2018 電動アシスト自転車」、(2018)
4) ヤマハ発動機：Website「電動アシスト自転車 PAS/YPJ」、(2020)、accessed on 2020-05-06/ 07-25、https://www.yamaha-motor.co.jp/pas/
5) パナソニックサイクルテック：Website「電動アシスト自転車 / 自転車」、(2020)、accessed on 2020-05-06/ 07-25、https://cycle.panasonic.com/index.html
6) ブリヂストンサイクル：Website「自転車 / 電動アシスト自転車」、(2020)、accessed on 2020-05-06/ 07-25、https://www.bscycle.co.jp/
7) 一般財団法人日本規格協会：「JIS Z 8301:2019 規格票の様式及び作成方法」、(2019)
8) 一般財団法人日本規格協会：「JIS Z 8301:2011 規格票の様式及び作成方法」、(2011)
9) 文化庁：Website「外来語の表記」、「内閣告示・内閣訓示（内閣告示第 2 号平成 2 年 6 月 28 日 ）」、(2020) , accessed on 2020-05-06/ 07-27、https://www.bunka.go.jp/kokugo_nihongo/sisaku/joho/joho/kijun/naikaku/gairai/index.html
10) ヤマハ発動機：PAS City SP5 取扱説明書、(2019)
11) 日本特許、特許情報プラットフォーム（J-Plat Pat)、独立行政法人工業所有権情報・研修館、accessed on 2019-07-05, https://www.j-platpat.inpit.go.jp/

3 電動アシスト自転車以前の自転車、原動機付自転車

3.1 1970年代以降 電動アシスト自転車誕生までの自転車小史

3.1.1 少年用スポーツサイクル及びミニサイクルの流行

1970年代、小中学生の間で、少年用スポーツサイクルが大流行した。流行の発端は1968年に日米富士自転車が発売した自転車と言われているが、ブリヂストン・宮田サイクル・ナショナル自転車工業なども追従して、流行に拍車をかけた[1)]。リヤキャリヤに豪華なテールライト・リヤフラッシャなどを装備したことから、「フラッシャー自転車」とも呼ばれた。

1970年代後半になると、少年用スポーツサイクルの流行は、２連のリトラクタブル（ヘッド）ライト、豪華なスピードメータ、自動車のシフトレバーのような多段変速機用シフトレバーなどに移っていった。流行の変化の要因は、当時流行したスーパーカー、これに影響された少年漫画や文房具などのいわゆるスーパーカーブームとも言われている。当時の少年用スポーツサイクルの例として、図 3.1 左図に1976年発売のブリヂストンサイクル・アストロ G（ARX-5BW）を、図 3.1 右図にジュニアウェイ（JYW-22）を示す。また、図 3.2 左図に1977年発売のナショナル自転車工業のニュー FF・ハイマディスク（B-5D2SFF）を、図 3.2 右図にそのブレーキとシフトレバー部を示す。

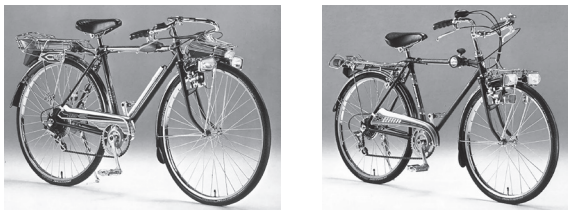


図 3.1　アストロ G（1976）とジュニアウェイ（1976）[22), 23)]

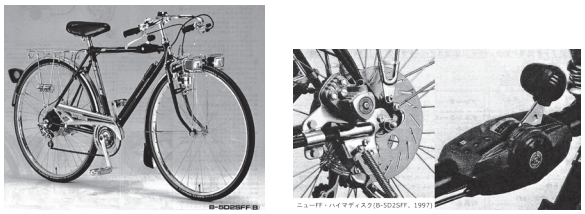


図 3.2　ニュー FF・ハイマディスク（1977）のディスクブレーキとシフトレバー [25)]

一方、家庭の主婦又は女性向けの短距離移動用の自転車として、1956年発売の山口自転車のスマートレディから始まった（図 3.3 左図参照）女性用軽快車が、1960年代になると車体デザインやフレーム色なども増え、若い主婦層を中心に徐々に使われるようになっていった。当時の女性用軽快車は、図 3.3 右図に見られるように、フルチェーンケース、前かご・リヤキャリヤ標準装備でセミアップ形ハンドルが特徴で、ほとんどが車輪径26だった。1966年にアサヒ自転車から車輪径20インチ、１本ループ形フレーム、ハイアップ形ハンドルの自転車が発売された（図 3.4 左図参照）。これに製造各社が次々と追従し、女性用軽快車から分離する形で、ミニサイクルとして急増していった（1970年 JIS 改正で「ミニサイクル」の名称・車種が追加になった）[2)]。1970年前半のミニサイクル急増の要因は、小型な車格が当時急増した高層団地の狭い駐輪場などに最適であったことや、軽量でダウンチューブ１本のループ形フレームが、家庭の誰でも気軽に乗れ、特に女性にとって乗り降りが楽であったことなどが挙げられている[2)]。

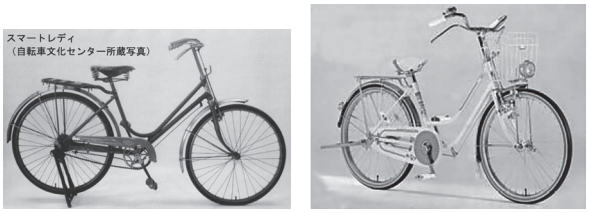


図 3.3　スマートレディ (1956)と
ナショナル ビューティ（1973）[20), 2)]

図 3.4　アサヒサイクル（1966）と
富士ベガファイン（1972）[21, 2)]

1970年代前半、日本の自転車市場は、少年用スポーツサイクル及びミニサイクルの流行などで活況を呈し、生産が急増した。図 3.5 の上図に示すように、1973年の自転車生産台数は、過去最高の940万台を超えた。

図 3.5 の下図 は1970年から1993年までの車種別自転車生産台数の推移である。データは一般財団法人自転車産業振興協会からのものだが、さらにその元は

経済産業省の生産動態統計による。この統計では、自転車分類のJIS改正及び市場の実態などに合わせて、車種の分類方法が度々変更されて来た。図 3.5 下図では、1974年までミニサイクルは特殊車の一部として集計されているが、1971年以降ミニサイクルの生産台数が、軽快車のそれを急激に上回り、1973年を境に減少するものの、1980年代前半まで毎年軽快車の2倍以上の台数が生産されていたことを示している。

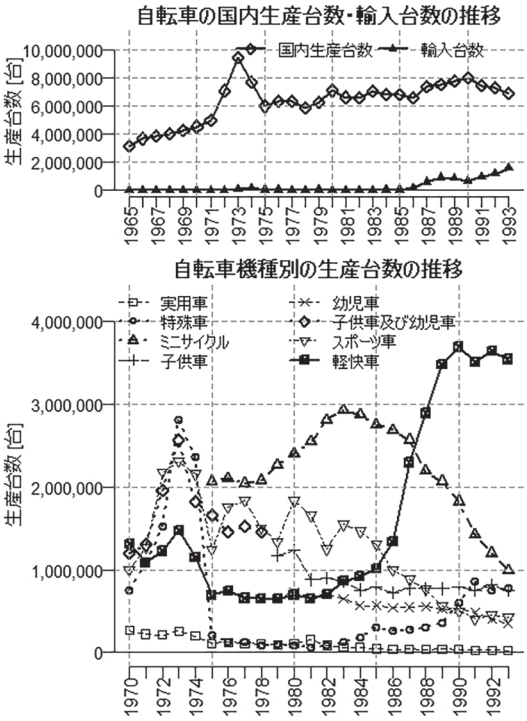


図 3.5　自転車の国内生産と車種別生産台数の推移[3)]

3.1.2　ミニサイクルから軽快車への移行と軽快車の進化

1973年10月の第4次中東戦争をきっかけに始まった第一次オイルショック以降、自転車生産台数が2年間でピーク時の約6割に減少した（図 3.5 上図参照）。これに対してメーカ各社が色々な工夫を重ねた結果、ミニサイクル及び軽快車は少しずつ変化していった。[2)]

1970年代後半から1980年代前半にかけて、より若いユーザ層に向けたファッショナブルな自転車やスポーツ感覚のシンプルなデザインのものが、軽快車の中から出てきた。1980年にブリヂストンサイクルから発売された「カマキリ KG-24K」はその代表的なモデルである。スタッガード形フレームとシンプルな部品構成で、軽快なイメージの軽快車はシティサイクルとも呼ばれ、若いユーザ層に人気を博した。10代の学生・生徒からも支持をされ、通学用自転車もスタッガード形が一般的となり、その種類や生産台数を増やしていった。図 3.7 左図は、カマキリシリーズのうち、1985年発売のカマキリGである。

このころからファッション性・スポーツ性・高付加価値の若者向けシティサイクル、及び手頃な価格・実用性重視の主婦向けホームサイクルに、軽快車の二極化が進んでいった。その流れの中で、ミニサイクルは小型でお手頃価格の商品として位置付けられるものが多かった。

図 3.6 は、1970年代から1993年までのミニサイクル、軽快車及び輸入自転車の生産総金額を生産台数で割った平均生産単価（輸入自転車は平均CIF単価）を示している。1974年以降軽快車の平均生産単価は徐々に上昇を続けていくものの、ミニサイクルの平均生産単価は、徐々に減少し、1990年初めには軽快車の約6割程度にまで減少したことが分かる。

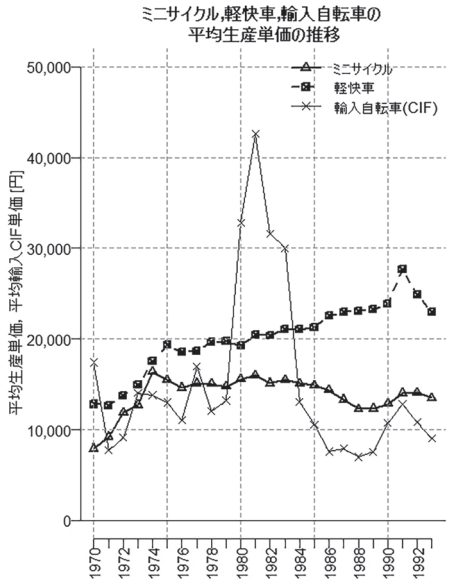


図 3.6　ミニサイクル、軽快車及び輸入自転車の平均生産単価の推移[3)]

軽快車からの派生モデルとして、1987年丸石自転車から、重い荷物をフロントバスケットに載せた時にもふらつきが少ないことを謳った「ふらつかーず」が発売された（図 3.7 右図参照）。このタイプのフレームとハンドルの組み合わせは、後に幼児同乗専用自転車に進化していくことになる。

図 3.7　カマキリ -G（1985）とふらつかーず（1987）[2)]

1980 年代後期のバブル景気の時期には、軽快車の種類や台数がさらに増え、軽快車の生産台数がミニサイクルを追い越した（図 3.5 下図参照）。1990 年の自転車国内生産台数は、本統計史上二番目に多い年間 800 万台を記録した（図 3.5 上図参照）。

また、図 3.5 上図で示されるように、1980 年代後半から自転車輸入台数が少しずつ増加してきた。これはホームセンター・GMS（General Merchandise Store）などで比較的安価な軽快車を中心に販売する数が増えたことによるものである。1991 年バブル崩壊以降、自転車輸入の台数は急増し、後に日本の自転車生産事情をひっ迫させる引き金となっていく。

3.1.3　自転車に係る社会問題

ミニサイクルの流行や軽快車の進化は、ユーザの利便性や経済的効果、自転車業界の発展に寄与したが、一方で負の部分も社会にもたらした。1970 年代から毎年 600 万台超の自転車が市場に出荷されてきた結果として、特に都市部の駅周辺部での放置自転車が社会問題化した。図 3.8 は、当時の自転車の保有台数及び駅周辺における放置自転車等の台数の調査結果である。1970 年代後半に全国で急増した駅周辺の放置自転車は、1981 年施行の旧自転車法（自転車の安全利用の促進及び自転車駐輪場の整備に関する法律）の下、地方自治体を中心とした駐輪場の設置・放置自転車の撤去等の対策にもかかわらず、しばらくの間、減少することはなかった。

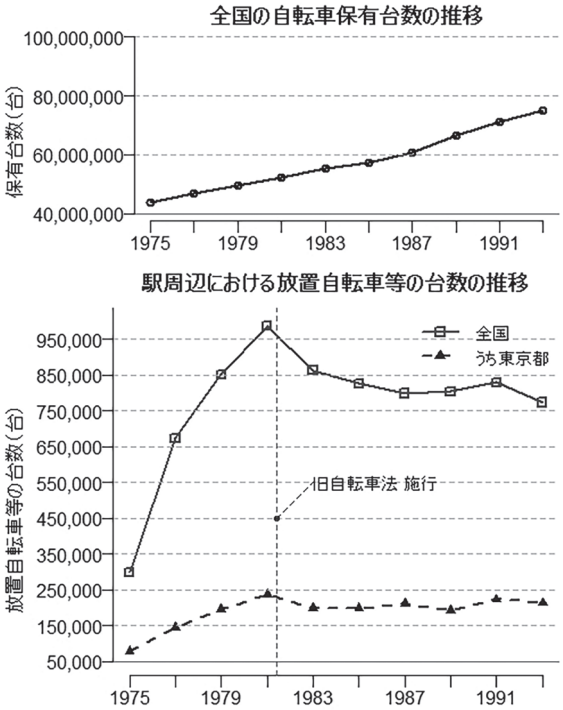


図 3.8　自転車保有台数と駅周辺の放置自転車台数の推移[4)]

コラム２：自転車の種類に関する名称及び分類について

自転車の種類に関する名称及び分類は、自転車の歴史及び車種の盛衰を反映して、様々なものがあり、過去に使っていた名称が現在も使われている分野もある。本報告書では、原則として JIS 規格に準じた名称及び分類を用いることにするが、特定の時代の状況を記述する場合は、その時代に用いられていた名称を使用する。また、特定の分野の内容及びそこからのデータを用いた図表を示す場合には、その分野で用いられている名称及び分類に準じることにする。

道路交通法における自転車の分類及び名称

道路交通法第二条の十一の「軽車両」のイに「自転車」が定義されている。軽車両には、自転車の他に、リヤカーや荷馬車などが含まれる。また、道路交通法第六十三条の三（自転車道の通行区分）に「車体の大きさ及び構造が内閣府令で定める基準に適合する二輪又は三輪の自転車で、他の車両を牽引していないもの」として「普通自転車」が規定されている。さらに、道路交通法施行規則第九条の二の二（普通自転車の大きさ等）に、車体の長さ及び幅に関する以下のような基準が定められている。

・長さ 190cm を超えないこと

・幅 60cm を超えないこと

すなわち、上記の大きさの基準に適合しない自転車は、「普通自転車」ではなく、単なる「自転車」という分類になる。ハンドル幅 60cm 超の一部のマウンテンバイクや前後に二人乗りのタンデム自転車などはこれに該当する。

JIS規格における自転車の分類

JIS 規格では、「JIS D 9111 自転車 - 分類，用語及び諸元」[1] で、自転車の大分類及び小分類（車種）が規定されている。同規格の分類は、自転車の歴史の中で時代に合わせて、いろいろ改正されてきた。現時点における最新版 JIS D 9111：2016 の「表１ – 分類」から、本報告に関連するもののみを Table ２に記載する（大分類のうち、幼児用自転車を省略した）。また、大分類の電動アシスト自転車及びその小分類は、本文 2.1.2 の表 2.2 に記載してあるので、省略した。

Table 2　JIS D 9111: 2016における自転車の分類（本報告書に関連するもののみ）[1]

大分類	小分類（車種）
一般用自転車	スポーティ車
	シティ車
	小径車
	実用車
	子供車
スポーツ専用自転車	マウンテンバイク
	レーシングバイク
三輪自転車	三輪車（駆動補助機能付きを含む）
特殊自転車	幼児二人同乗自転車（駆動補助機能付きを含む）
	＜以下は省略＞

また、混乱を招きやすいと思われる一般用自転車のスポーティ車、シティ車及び小径車、並びに三輪自転車及び幼児二人同乗自転車について、JIS D 9111：2016 の「３ 用語及び定義」、及び「表２ – 諸元」のうち代表的な諸元を Table 3 に抜粋する。

Table ２及び Table ３から分かる JIS 規格と道路交通法との関係を、以下に箇条書きで列挙する。

・JIS D 9111 で規定された一般用自転車及び三輪自転車は、基本的に道路交通法施行規則に定められた「普通自転車」に相当する自転車である。

・同規格の電動アシスト自転車も同様の考え方であり、同規格に適合する電動アシスト自転車は、道路交通法上の「電動アシスト自転車」であり、かつ「普通自転車」でもある。

・２個並列の車輪間に幅広の荷台又は同乗者用の座席を付けて車体幅が 60cm を超える三輪自転車もあり得るが、その場合の三輪自転車は「特殊自転車」の「その他の特殊自転車」に分類される。道路交通法上では、普通自転車ではない「自転車」になる。

Table 3　JIS D 9111: 2016におけるスポーティ車、シティ車及び小径車等の定義及び代表的諸元[1]

小分類	用語の定義	自転車の長さ	自転車の幅	車輪の径の呼び
スポーティ車	主に一般道路における交通手段、中長距離の快適走行などを目的とし、チェンジギヤ装置を備えたものの総称。マウンテンバイク及びBMX車に外観の似たマウンテンバイク類形車（ルック車）、BMX類形車及びクロスバイクを含む。	1900mm以下	600mm以下	20以上28以下

シティ車	日常の交通手段又はレジャー用に用いる短中距離の低中速走行用の自転車。	1900mm以下	600mm以下	20以上28以下
小径車	室内での保管、自動車トランクへの収納又は公共交通機関への持ち込みを意図し、軽量化及びコンパクト化を図った自転車。	1600mm以下	600mm以下	12.5以上20以下
三輪自転車	後車輪又は前車輪を２個並列に装備した3輪の自転車。一人乗り用の三輪自転車で、道路交通法施行規則第9条の2に定められた車体の大きさ（長さ190 cm, 幅60 cm）を超えないものを三輪車（駆動補助機能付を含む）という。なお、幼児用三輪車は、玩具の範ちゅうとし、三輪自転車に含まない。	1900mm以下	600mm以下	12.5以上20以下
幼児二人同乗自転車	幼児二人が同乗できる座席を備えた又は備えることができるよう設計された自転車。車輪の数が2輪以上4輪以下、自転車の長さが2,300 mm以下、幅が900 mm以下で、発進時及び走行時の走行性、停止時の安定性、乗降の容易さなど幼児を二人乗せて安全に走行ができるもの（駆動補助機能付を含む）。			

以上は、JIS D 9111 最新版の分類であったが、以下はそれ以前の旧 JIS の分類に関する話である。

・JIS D 9111：2016「一般用自転車」の「小径車」は、JIS D 9111：2010 までは「コンパクト車」と規定されていた。

・1995 年 JIS 改正で、従来の「軽快車」及び「ミニサイクル」を統合した名称として、「シティ車」が用いられて、現在に至っている。1995 年改正以前の「軽快車」と「ミニサイクル」の主な違いは車輪径であって、車輪径の呼び 24 以下を「ミニサイクル」、呼び 25 以上を「軽快車」と区別していた。

経済産業省 生産動態統計における自転車の分類

本報告書で用いる生産台数及び金額などのグラフは、一般財団法人 自転車産業振興協会の公表データを基にしているが、その元は経済産業省 生産動態統計である。平成 30 年度版の経済産業省 生産動態統計の調査品目一覧表２) 及び調査票によると、自転車は「軽快車」、「電動アシスト車」、「その他」の三つに分類されている。Table 4 によると、「軽快車」は、JIS D 9111 の「シティ車」と同等である。

過去の生産動態統計の結果を見ると、自転車の分類はほぼその時期の JIS D 9111 の分類に準じているが、統計データの連続性を重視してか、「軽快車」は 1970 年代から現在も「軽快車」のまま集計されており、「ミニサイクル」と統合された「シティ車」は用いられていない。過去の生産動態統計によると、現在の３車種の分類は、2011 年以降変更されていない。それ以前は、現在の「その他」に統合された「特殊車」、「ミニサイクル」、「マウンテンバイク」、「子供車及び幼児車」の４車種及び「電動アシスト車」、「軽快車」の計６車種で集計されていた。

Table 4　平成 30年度版 生産動態統計の調査品目一覧表による自転車の分類 [2)]

調査品目名等	検索用列	簡単な定義、例示品目、関連語句等
自転車 – 軽快車	自転車 – 軽快車	通勤・通学・買物などに使用されることを主目的として設計された車でタイヤの外径が26インチ以上、付属品を除いた重量が17kg未満のもの。
自転車 – 電動アシスト車	自転車 – 電動アシスト車	電動機を補助動力として設計された車で、二輪及び三輪で構成されるもの。
自転車 – その他	自転車 – その他、ミニサイクル、子供車、幼児車、実用車、スポーツ車、マウンテンバイク、トラックレーサー、競技車、重荷運搬車、折りたたみ自転車、タンデム車など。	軽快車及び電動アシスト車以外の自転車。ミニサイクル、子供車、幼児車、実用車、スポーツ車、マウンテンバイク、トラックレーサー、競技車、重荷運搬車、折りたたみ自転車、タンデム車など。

財務省 貿易統計における自転車の分類

本報告書で用いている自転車の輸入台数及び金額などのグラフは、一般財団法人 自転車産業振興協会の公表データを基にしているが、その元は財務省 貿易統計である。2020 年 10 月 1 日版の輸入統計品目表（実行関税率表）[3)] では、自転車は第 17 部・第 87 類に属しており、統計番号の 87.12 に該当する。統計番号の 87.12 はさらに 8712.00100 から 8712.00299 まで分類されているが、品名には「自転車 – カンチブレーキを有するもの」、「自転車 – 車輪の径の呼びが 12 以上 16 以下のもの」などの表現で記されている。これらを自転車分類名称で翻訳した自転車産業振興協会の表[4)] があるので、以下に示す。

Table 5　財務省貿易統計の輸入自転車の車種区分 [4)]

関税番号／品名区分	車種
8712.00100 マウンテンバイク	MTB（V ブレーキ・Disk ブレーキ装着車を含む）、クロスバイク
8712.00211 ミニサイクル	ミニサイクル、小径折りたたみ車、BMX
8712.00218 幼児車	幼児車（12～16 吋）、乗用玩具（12 吋二輪車）、一輪車（12～16 吋）
8712.00219 子供車	子供車（18～24 吋）、Jr.MTB（18～24 吋）、一輪車（18～24 吋）
8712.00291 軽快車	軽快車（外装変速機付は含まない）、シングル、内装変速機付スポーツ車
8712.00299 その他	スポーツ車、外装変速機付軽快車、Jr.MTB（26 吋）

「ママチャリ」という俗語について

一般の消費者には、「シティ車」や「軽快車」より「ママチャリ」という俗語の方がなじみ深いかもしれない。東京都豊島区の呼びかけにより、1989 年に再生自転車海外譲渡自治体連絡会 MCCOBA が結成されて以降、放置自転車を再生した「ママチャリ」が、アジア・アフリカの国々へ無償譲与されるようになって [5)]、「Mamachari」が海外でも知られることになったという。一般財団法人 日本自転車普及協会の

谷田貝一男は研究報告書[6]の中で、私的定義としながら、「ママチャリ」を『３０代以降の女性が乗っても安定走行ができ、かつ主として買い物に利用するための短距離用のダブルループ形やＬ形・Ｕ形の形式の２４～２６インチ自転車で、幼児を１人～２人乗せることができる自転車を含む』と定義している。彼は「ママチャリ」の９個の特徴を、

・フレームはダブルループ形やＬ形・Ｕ形
・ハンドルはアップ形
・前かごが装備されている（幼児用シートになっている場合もある）
・リヤキャリヤが装備されている
・タイヤはHE（Hooked Edge）

などと挙げている[6]。本文では3.1.1の1970年代から80年代の女性用軽快車が典型的な「ママチャリ」ということになる。このタイプの自転車は、谷田貝の挙げた特徴と一部異なるものがあるが（現在、タイヤの種類はほとんどがWO（Wired On））、現在でも広く販売されている。

参考・引用文献

1）一般財団法人 日本規格協会：「JIS D 9111：2016 自転車 – 分類、用語及び諸元」、(2016)
2）経済産業省：「経済産業省生産動態統計 平成30年度版 調査品目の検索表の一覧表」、(2018)、accessed on 2020-10-08、 https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/commodities.html
3）財務省関税局：「輸入統計品目表（実行関税表）」、(2020)、accessed on 2020-10-08、https://www.customs.go.jp/tariff/index.htm
4）一般財団法人 自転車産業振興協会:「国内四半期自転車生産・輸出入状況（2020年１～３月）」、(2020)、accessed on 2020-10-08、http://www.jbpi.or.jp/report.cgi?cid=4
5）再生自転車海外譲与自治体連絡会：「再生自転車海外譲与自治体連絡会 -30年のあゆみ -」、(2019)、accessed on 2020-10-24、http://www.mccoba.jp/news/201903/index.html
6）谷田貝一男（一般財団法人 日本自転車普及協会）:「シティサイクルの誕生発展と社会文化との関わりの歴史」, 自転車文化センター 平成23年3月発行 調査研究 , (2012)、accessed on 2020-10-20、http://cycle-info.bpaj.or.jp/research/

3.2 小排気量の原動機付自転車の誕生とその後

3.2.1 ファミリーバイクと薄利多売のシェア争い

（1）ファミリーバイク市場の誕生

1970年代前半の第一種原動機付自転車は、1958年に発売された「スーパーカブC100」の排気量を50ccにしたC50（1966年発売）に代表される汎用的又は業務用途の実用的なバイク、及び「ダックスホンダST50」(1969年発売)、ホンダ「シャリー」(1972年発売)、ヤマハ「チャピィ」(1973年発売)、スズキ「ランディー」(1976年発売）といったレジャーバイクが存在したが、いずれもダウンチューブの下にキックペダルとシフトチェンジペダル付きのエンジン・駆動系を配した設計であり、車両質量70kg超で、初めての女性には扱いにくいものだった。さらに1973年の第一次オイルショックの影響で、石油製品の価格が上昇し、各オートバイメーカは新機種の小売価格を10～20%上げた設定にせざるを得なかった。

そうした中にあって、1976年に本田技研工業が発表・発売した「ロードパルNC50」は、当時の原付一種のイメージを一変するものだった。ミニサイクル並みの2.00 - 14インチタイヤで、車両重量（装備状態の質量）は超軽量の44kgと、従来のレジャーバイクには無い小型軽量な車格に、オイルショック前の最安値に近い59,800円の価格は衝撃的なものだった。排気量49ccのエンジン部分、及び遠心クラッチ式自動変速の駆動系機構やリヤブレーキを内蔵したリヤアーム部分を一体化したエンジンユニットは、オイル汚れを感じさせずに、かつ低コストの独創的設計だった。スタータペダルとブレーキレバーを使ったエンジン始動動作に由来する「ラッタッタ」をキャッチフレーズに、女優のソフィア・ローレンを起用したTVコマーシャルが連日放映された。ロードパルは、発売から爆

発的な売り上げを記録するヒット商品になり、女性にも気軽に乗れる「ファミリーバイク」の新しい道を切り開いた。

ロードパルの対抗として、ヤマハ発動機が1977年に発売したのが、「パッソル S50」である。パッソルの最大の特徴は、レッグシールドとステップボードを備えたスクータタイプの車体だった。「スカートでも足をそろえて乗れる」が謳い文句だった。足元の居住性及び軽量小型化のために、2.50 - 10の小径タイヤが採用された。ヤマハ発動機はTVコマーシャルに女優の八千草薫を採用して、女性向けの「ソフトバイク」をアピールした。パッソルも大ヒットを記録し、小型スクータ時代の先駆けとなった。

図3.9　ロードパルNC50（1976）と
パッソルS50（1977）[7),26)]

（2）ファミリーバイク、小型スクータのシェア争いと開発競争

本田技研工業は、ロードパルNC50の後、1979年春までにロードパルのシリーズモデル2機種及び新機種「シャレット」（1978年）を発売した。シャレットは、フレームを樹脂カバーで覆い、ダウンチューブ下のエンジンの両側にステップボードを配した車体構造のファミリーバイクだった。これに対してヤマハ発動機は、パッソルの上位モデル2機種（パッソーラ（1978年）、パッソルD（1978年））及びシャレットに類似のファミリーバイク、キャロット（1979年）、マリック（1979年）、リリック（1979年）を立て続けに発売した。モデル数で上回り、スクータとファミリーバイクの両面でユーザを囲い込めるヤマハ発動機の方が優位に見えた。1979年上半期総出荷台数累計で、ヤマハはホンダに数％に肉薄し、ファミリーバイク部門ではホンダ34%、ヤマハ49%と圧倒した。これを好機と見たヤマハ発動機社長 小池久雄は『創立25周年を迎える来年（1980年）には、ヤマハは二輪業界首位の座に就く』と社員にはっぱをかけた。

これで本田技研工業は本気で首位防衛に乗り出した。市場では両者の販売競争が激化し、２割・３割の値引きは当たり前、『3台まとめて10万円』などという話もささやかれた。この薄利多売のシェア争いは、俗に「HY戦争」と呼ばれるようになった。両社の開発部門でも開発競争が熾烈を極めた。特に、本田技術研究所（本田技研工業の技術開発部門を担うグループ会社）の本気度はすごかった。1983年春までに、ヤマハはパッソル以来13機種のニューモデルを発売したが、ホンダはヤマハの約1.5倍の20機種を発売した。

この開発競争の中で、後々まで両者の小型スクータの看板モデルとなるヒット商品が生まれた。図3.10左図は、1980年に発売されたホンダ初の小型スクータ「タクトDXセル付 AB07」である。乾燥質量51kg、最高出力3.2馬力/6000rpmで、ゆったりとした乗車スペースのわりに、当時としては軽快な走りで、発売と同時に好評を博した。このモデル以降、本田技研工業はリード（1982年）、スペイシー（1982年）と50cc スクータを立て続けに発売し、小型スクータ時代を予感させることになった。

一方のヤマハ発動機で最も話題になったのが、「JOG CE50」（1983年発売）である。レッグシールドのフロントパネルとフロントフェンダが一体化したデザインが、直近の小型スクータにはないものだった（1960年頃の大型スクータには、シルバーピジョン ピーターC110（新三菱重工業、1959年）、ラビット スーパーフローS601（富士重工業、1959年）、SC1（ヤマハ発動機、1960年）などの例があった）。それゆえ、『ハンドル操作をした時、タイヤがどこを向いているか分からない』と社内や販売店では不評だった。ところが、販売開始後暫くして、『加速がすごい』、『よく走る』と、特に若いユーザ層の間で話題となり、口コミや雑誌の投書などで評判がさらに広がっていった。

熾烈を極めたHY戦争は、1983年1月ヤマハ発動機 小池社長の敗北宣言と社長辞任で一応の終結を迎えた。ヤマハ発動機は、1983年4月から1984年3月決算期で-197億円の経常利益、-350億円の当期利益の赤字決算を計上した。

図3.10　タクトDX AB07（1980）と
JOG CE50（1983）[7),27)]

（3）小型スクータブームの中での新たな試み

熾烈な開発競争の中でも、物量に勝るホンダは、将来の新しい需要を見据えた独創的な開発を試みている。その中で、後の電動アシスト自転車にも繋がったと思われる2例を取り挙げる。

その一つが、1981年10月に本田技研工業から発売された「ホンダモトコンポ AB12」である。モトコンポは、四輪車に搭載して四輪＋二輪の新しい楽しみ方を提案するコンセプトのもと、前輪駆動の乗用車「ホンダ シティ」と同時に開発・発売されたレジャーバイクである。ガソリン、オイル及びバッテリ液などの液漏れ機構や折り畳み式ハンドルなど随所に工夫が見られた。独創的なデザインや開発コンセプトが話題を呼んだ。本田技術研究所は、約20年後、電動アシスト自転車でも同様のコンセプトでステップコンポを開発することになる。

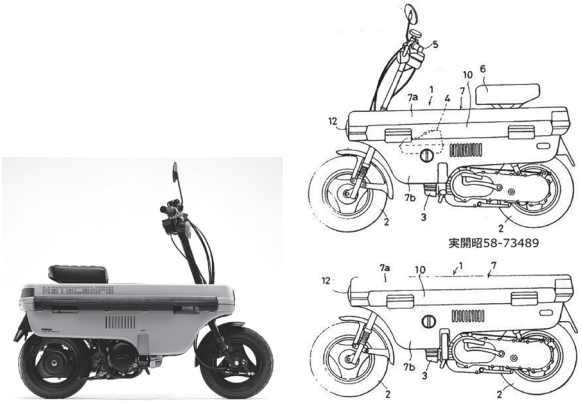


図3.11　モトコンポ AB12と四輪への積載状態[7),28)]

本田技術研究所は、新規需要開拓のために、自転車感覚で気軽に乗れる「ホンダ ピープル A-AB17」を開発し、本田技研工業が1984年に発売した。20インチタイヤの車体に、道路運送車両法で必要な灯火器類、1.0リットルの燃料タンク及び排気量24ccの空冷2サイクルエンジンを積んだ原動機付自転車である。4kgの軽量エンジンと約1kgの燃料タンクを搭載してはいるが、車両質量は26kgであり、自転車としても十分使えるほどの軽さだった。排気量24ccなので当然だが、最高馬力0.7馬力、最高速度18km/hは、リード（1982年）やJOG（1983年）の加速感、走行スピードの半分以下だった。小型スクータ全盛時代に新しい風を吹き込んだかに見えたホンダピープルは数年で生産が打ち切られた。

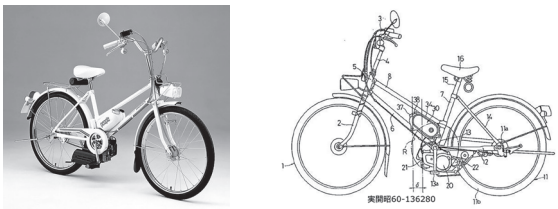


図3.12　ピープル A-AB17と主要部品の配置[7)]

3.2.2　二輪車に係る社会問題及び法規制

1970年代から1980年代は、ファミリーバイクや小型スクータが華々しく登場し、市場の過当競争によって、量的には飽和状態でもあったが、技術的には大いに成長・伸長した時代だった。図3.13の下図に1960年代後半から1992年までの原付一種及び全二輪車の国内出荷台数の推移を示す。1960年代後半に50cc超の自動二輪車が、5～6割を占めていたものの、1970年代に徐々に減り、ロードパル発売の1976年以降1983年まで、原付一種が約8割を占めたことが分かる。1983年にホンダ・ヤマハによる過当競争が一応集結し、在庫調整などによって、出荷台数は1984年までにほぼ1978年のレベルまで減少した。

1960年代後半から1970年代は、自動二輪車に関しても重要な時代だった。1969年本田技研工業からCB750が国内販売されると、その走行性能の高さと安定性が話題となった。これに続き1971年にスズキ、1972年にカワサキからも750ccの車両が発売されたころから、750ccの自動二輪車をグループで乗り回す人々を「ナナハン族」と呼ぶようになった。1972年富山駅前でこのようなグループと見物人の一部が暴徒化した事件が発生し、同様の事件や無謀な運転行為が全国に飛び火していった。このころから「暴走族」という言葉がマスコミなどで使われるようになり、「暴走族」が社会問題化していった。[6)]

二輪車に係る交通事故の犠牲者は、最も多かった1960年代から1970年代前半までは、死者数、事故件数ともに減少していた。しかし、1970年代後半は、上昇に転じた。特に、原付一種の増加に伴って死者数及び原付一種が第一当事者になる事故も増えていった。これに対して、1978年自動二輪車の全道路上でのヘルメット着用義務化及び原付一種のヘルメット着用の努力義務化の法改正が施行された。さらに1986年には原付一種のヘルメット着用義務化の法改正が施行された。

原付一種の出荷台数は、図3.13の下図に示されるように、1983年のホンダ・ヤマハによるシェア争い終結により減少するが、それ以降も減少傾向が続くこ

とになる。その理由は、1982 年の高 P 連（全国高等学校 PTA 連合会）によるオートバイに関する「三ない運動」（オートバイの免許を取らせない、オートバイに乗せない、オートバイを買わせない、三つの指針）の決議及び原付一種も含めたヘルメット着用義務化の法改正にあると言われている。

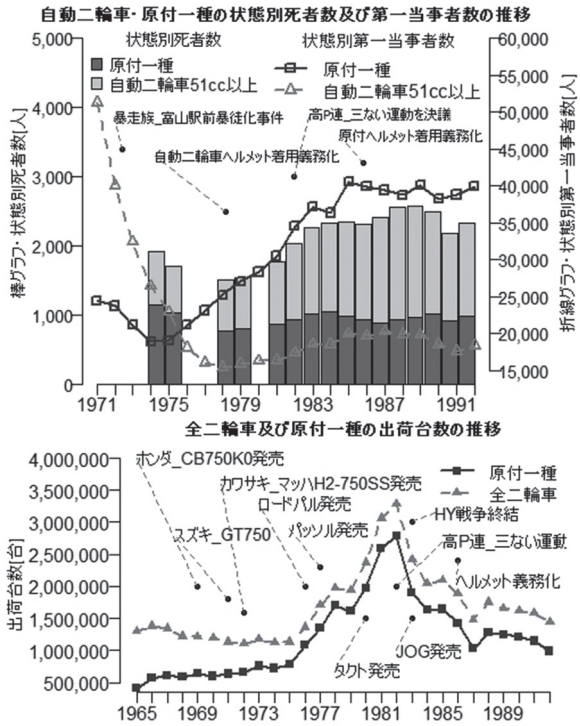


図 3.13　自動二輪車・原付 1種の事故死者数及び第一当事者数並びに出荷台数の推移[6),8),9)]

コラム３：原動機付自転車等に関する名称及び定義・分類について

「原動機付自転車」は、道路交通法及び道路運送車両法で定義されている用語である。道路交通法の旧称である道路交通取締法では、1953 年の改正で新設された。一説には前年発売のホンダカブＦ（排気量 50cc）の大ヒットが発端といわれている。本文 3.3.1 の図 3.15 で分かるように、当時はペダルの付いた自転車に原動機（エンジン）が付いた車両だったので、「原動機付自転車」は、その外観にふさわしい名称だった。しかし、時代と共にエンジン性能が向上し、ペダルがなくなり、本文 3.2.1 の小型スクータの時代になっても、「原動機付自転車」」という法律上の定義と名称は継続して使われて、現代に至っている。JIS D 0109:2007 二輪自動車 - 用語では、最高時速 50km/h 以下・排気量 50cm^3 以下の二輪自動車を「モペット（moped）」と定義しているが、本報告書では、その車両の法律上の分類を明確にするために、以下に記述する法令上の名称である「原動機付自転車」を用いることにする。

法令上の原動機付自転車の定義及び名称

道路交通法第二条の十に「原動機付自転車」は、『内閣府令で定める大きさ以下の総排気量又は定格出力を有する原動機を用い、かつ、レール又は架線によらないで運転する車であつて、軽車両、身体障害者用の車椅子及び歩行補助車等以外のものをいう。』と定義されている。さらに、道路交通法施行規則第一条の二に、原動機付自転車の総排気量等の大きさに関する規定があり、『総排気量については〇・〇五〇リッ

トル、定格出力については〇・六〇キロワットとし、その他のものにあつては、総排気量については〇・〇二〇リットル、定格出力については〇・二五キロワットとする。』と定義されている。

Table 6　道路交通法及び道路運送車両法における原動機付自転車等の定義及び分類

<table>
<tr><th colspan="3">道路交通法</th><th colspan="3">道路運送車両法</th></tr>
<tr><th>法律</th><th colspan="2">施行規則（基準）</th><th colspan="2">法律</th><th>施行規則（基準）</th></tr>
<tr><td rowspan="2">軽車両</td><td>自転車</td><td>＜コラム2参照＞</td><td colspan="2">－</td><td>－</td></tr>
<tr><td>荷車その他</td><td>＜省略＞</td><td colspan="2">－</td><td>－</td></tr>
<tr><td>原動機付自転車</td><td>原動機付自転車</td><td>排気量0.050ℓ以下、定格出力0.60kW以</td><td rowspan="2">原動機付自転車</td><td>第一種原動機付自転車（原付一種）</td><td>排気量0.050ℓ以下、定格出力0.60kW以下の原動機付自転車</td></tr>
<tr><td rowspan="4">自動車</td><td>普通自動二輪車</td><td>排気量0.400ℓ以下、定格出力20.00kW以下の二輪の自動車</td><td>第二種原動機付自転車（原付二種）</td><td>排気量0.125ℓ以下、定格出力1.00kW以下の原動機付自転車</td></tr>
<tr><td rowspan="2">大型自動二輪車</td><td rowspan="2">排気量0.400ℓ超、定格出力20.00kW超の二輪の自動車</td><td colspan="2">二輪の軽自動車（軽二輪車）</td><td>排気量0.125ℓ超0.250ℓ以下の二輪の軽自動車</td></tr>
<tr><td colspan="2">二輪の小型自動車（小型二輪車）</td><td>排気量0.250ℓ超の二輪の小型自動車</td></tr>
<tr><td colspan="2">＜以下の自動車は省略＞</td><td colspan="3">＜以下の普通自動車、小型自動車、軽自動車等は省略＞</td></tr>
</table>

一方、道路運送車両法施行規則第一条の原動機付自転車の範囲及び種別では、「原動機付自転車」は「第一種原動機付自転車」及び「第二種原動機付自転車」に分類されている。前者は「総排気量 0.050 リットル以下又は定格出力 0.60 キロワット以下の原動機を有する二輪自動車」、後者は「総排気量 0.125 リットル以下又は定格出力 1.00 キロワット以下の原動機を有する二輪自動車」と定義されている。車両等を含めた道路利用者の交通方法及び運転免許制度などを規定する道路交通法、並びに自動車等の保安基準及び登録・車検制度などを規定する道路運送車両法の両方に、「原動機付自転車」という名称が使われているが、その規定範囲が異なる。Table 6 に示すように、他の二輪自動車も道路交通法と道路運送車両法とでは規定範囲及び名称が異なっている。両者で規定範囲が同じものは、道路交通法の「原動機付自転車」と道路運送車両法の「第一種原動機付自転車」のみであることが、Table 6 からも分かる。

本報告書で、自転車又は電動アシスト自転車と対比する場合には、道路運送車両法の「第一種原動機付自転車」の一般的な略称「原付一種」又は「道路交通法の原動機付自転車」を用いる。

原動機付自転車の中で、構造上の分類をするために本報告書で用いる車両の名称

本報告書では、原動機（エンジン）の排気量を小さくしてペダルを付けた原動機付自転車、原動機（エンジン）の代わりに電動機（モータ）を付けた原動機付自転車、自転車と称しているが法令上は原動機付自転車などを記述している。本報告書では、「原動機付自転車」に属するこのような車両の名称を、いくつかの規定又は文献で定義されたものを参考にして、以下のような定義及び分類で用いることにする。

Table 7　原動機付自転車の中で、構造上の分類をするために本報告書で用いる車両の名称

名称	定義	備考
ペダル付きの原動機付自転車	道路交通法施行規則第１条の２に規定する大きさ以下の総排気量又は定格出力を有する原動機を用い、かつ、レール又は架線によらないで運転する車（自転車、身体障害者用の車いす及び歩行補助車等を除く。）であって、当該車に備えられたペダルを用い、人の力によっても走行させることができるもの。	2005年3月に出された警察庁通達[1)]の中で定義された用語。主に中国製電動自転車の運転に注意するよう示達する通達だった。
ペダル付きの原動機（エンジン）付自転車	原動機としてエンジンを用いたペダル付きの原動機付自転車。	ペダル付きの原動機付自転車の中で区別のために本報告書で定義したもの。
ペダル付きの電動自転車	原動機として電動機（モータ）を用いたペダル付きの原動機付自転車。	ペダル付きの原動機付自転車の中で区別のために本報告書で定義したもの。
電動自転車	ペダルの有無には関わらず、電動機によって連続的に駆動される自転車。	本報告書では、主に中国の法規に準じて作られた電動機付の自転車を指す。
電動二輪車	道路交通法の自動二輪車及び原動機付自転車で、原動機として電動機を用いたもの。	JIS D 0112:2000電気自動車用語の番号1121「二輪電気自動車」と同義。
電動スクータ	電動二輪車であって、シート前部が低く広くえぐられていて、足を置く床板があり、比較的小さい車輪を持っている自動車。	JIS D 0109:2007 二輪自動車の番号1103「スクータ」を参考にした。

参考・引用文献

1）警察庁： 通達「ペダル付きの原動機付自転車の取扱いについて」、警察庁丁交企発第 94 号・警察庁丁交指発第 56 号・警察庁丁規発第 26 号・警察庁丁運発第 45 号、(2005)

2）日本規格協会：「JIS D 0112:2000 電気自動車用語」、(2000)

3）日本規格協会：「JIS D 0109:2007 二輪自動車用語」、(2007)

3.3 電動の自転車及び二輪車の発想並びに製品化の壁

3.3.1　電動アシスト自転車以前の電動機を動力とする二輪車の特許出願

電動機を動力とする二輪車の発想は、内燃機関を動力とする二輪車が初めて製作された 19 世紀後半には既に存在した。ゴットリーブ・ダイムラーが初めてガソリンエンジンによる補助輪付きの二輪車を製作したとされているのが 1885 年である。その 10 年後の 1895 年、O. Bolton Jr. が取得した US 552271 が、最初の電動二輪車の特許として知られている[10)]。図 3.14 に示された Bolton の電動二輪車は、ペダルの無い自転車のような車体に、電池やインホィールモータで駆動される後輪などを付けた構造だった。

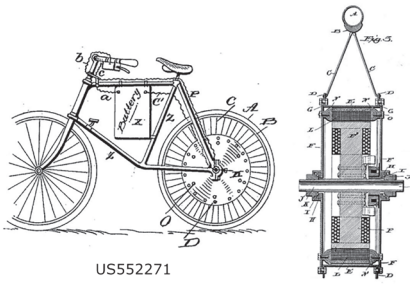


図 3.14　Bolton Jr. による特許 US552271（1895）[11)]

日本における電動機を動力とする二輪車の発想の経緯も、特許・実用新案で見ることができる。1940年代から60年代までは個人で出願されたものが多かった。1970年代に入ると、出願数が多くなり、中でも出願人が企業であるものが多かった。電動アシスト自転車の特許出願以前の登録特許又は公告実用新案を、請求範囲に関係するコンポーネント別に、1940年代から出願日順で表3.1に示す。また、それぞれの特許・実用新案に載せられた図面を図3.16から図3.24に示す。

表3.1　1990年以前に出願された電動機を動力とする二輪車の登録特許又は公告実用新案

年代	駆動・動力伝達系	センサ	駆動制御	電池、電池回路
1940年代	実公昭24-4842 1947-07-28, 木村勘一, 駆（4）			
1950年代	特公昭26-5412 1950-12-19, 吉田藤平, 駆（4）			
1960年代	特公昭48-20376 1968-12-17、三洋電機, 駆（3-2）*		特公昭48-20376 三洋電機, 制（設定車速超で駆動）	
1970年代 （出願数は約70件）	実公昭51-15272 1972-05-24、スズキ自動車工業, 駆（3-3） 実公昭52-37087 1972-06-09、伊藤晴康, 駆（1） 実公昭50-37616 1972-10-30、太田栄一, 駆（4） 特公昭53-10733 1973-09-11、三ツ葉電機製作所 駆（1） 実公昭53-20117 1973-09-11、三ツ葉電機製作所 駆（4） 実公昭54-5419 1974-03-30、ソニー, 駆（3-1）* 特公昭54-43776 1976-06-21、ルーカスインダストリー, 駆（4）* 特公昭56-15356 1977-06-11、ルーカスインダストリー, 駆（4）* 実公昭60-7995 1979-12-13、松下電器産業,駆（3-1）*	実公昭50-37616 太田栄一,セ（チェーン張力） 特公昭54-43776 ルーカスインダストリー, セ（チェーン張力） 特公昭56-15356 ルーカスインダストリー, セ（車速）	実公昭50-37616 太田栄一,制（チェーン張力高い時駆動） 特公昭54-43776 ルーカスインダストリー, 制（チェーン張力高い時駆動） 特公昭56-15356 ルーカスインダストリー, 制（設定車速超で駆動）	実公昭52-37087 伊藤晴康, 制（低速時に駆動、高速時・制動時に充電） 実公昭60-7995 松下電器産業, 電（電池箱保持構造）
1980年代 （出願数は約25件）	実公昭58-8637 1980-03-28、松下電器産業, 駆（3-1）* 特公平3-23395 1985-3-13、プロペル・パートナーシップ, 駆（3-3） 特許2614720 1987-4-20、リケン, 駆（3-3） 特許2647112 1988-01-19、ミツバ, 駆（3-3） 特許2655878 1988-6-14、ジャパン・イー・エム, 駆（3-3） 特公平7-35157 1988-10-20、三ツ葉電機製作所, 駆（4）	特許2614720 リケン, セ（チェーン張力）	特許2614720 リケン, 制（チェーン張力高い時駆動） 特許2655878 ジャパン・イー・エム, 制(車速とペダルトルクで駆動輪の回転速度比、モータトルク比を制御)	実公昭58-8637 松下電器産業, 駆(過充電防止、過放電防止装置付き) 特公平3-23395 プロペル・パートナーシップ, 制(後輪タイヤに当接した摩擦車から回生充電)

表の注釈
駆動補助装置又は駆動装置の種類（* 印は、JIS D 9115 附属書Cに定義されていない種類）
駆(1)　ハブモータ後輪駆動方式
駆(2)　ハブモータ前輪駆動方式
駆(3-1)　センターモータ駆動方式、モータ・人力別軸チェーン合力一体式
駆(3-1)* センターモータ駆動方式、モータ・人力別軸後輪合力式
駆(3-2)　センターモータ駆動方式、モータ・人力同軸合力一体式
駆(3-2)* センターモータ駆動方式、モータ・人力同軸後輪合力式
駆(3-3)　センターモータ駆動方式、モータ・人力別軸クランク軸合力一体式
駆(4)　モータ別体後輪駆動方式
駆(4)*　モータ別体チェーン駆動方式
センサ又は検出手段による検出の対象
セ(車速)　車速を検出する手段に関するもの
セ(トルク)　トルクを検出する手段に関するもの
セ(チェーン張力)　チェーン張力を検出する手段に関するもの

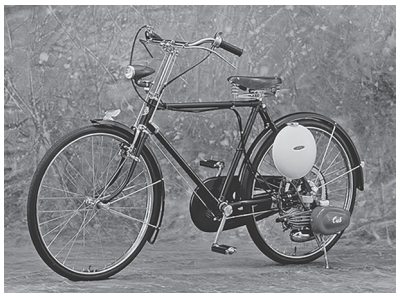


図 3.15　ホンダ カブ F（1952）[19]

表 3.1 及び図 3.16 から図 3.24 までの特許・実用新案に共通することは、ほとんどが「ペダル付きの電動自転車」であることである。これは、本報告で言う「ペダル付きの原動機（エンジン）付自転車」に当たる図 3.15 の 1952 年発売ホンダ カブ F などと同様の効果を電動機で狙ったか、または当時の電池やモータ制御回路の性能の低さゆえか、いずれにしても電動機を補助動力として使うことを前提としている。

表 3.1 の第 2 列に示した駆動装置の配置と駆動力伝達方法に関しては、1988 年末の時点で、考えられるほぼ全ての形式が登録されている。表 3.1 の下に注釈を付けたが、「JIS D 9115 電動アシスト自転車」の「附属書 C」、「図 C.1 駆動補助装置の種類」の分類では足りないので、* 印を付けて独自に追加した。

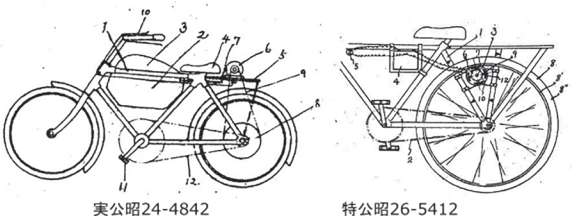


図 3.16　木村勘一（1947）、吉田藤平（1950）

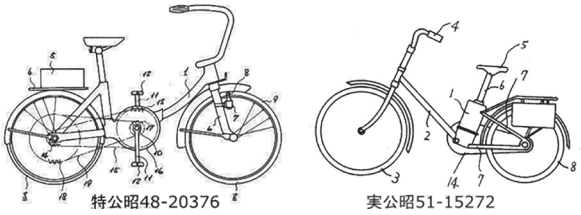


図 3.17　三洋電機（1968）、鈴木自動車工業（1972）

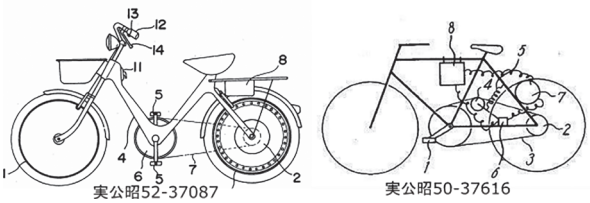


図 3.18　伊藤晴康（1972）、太田栄一（1972）

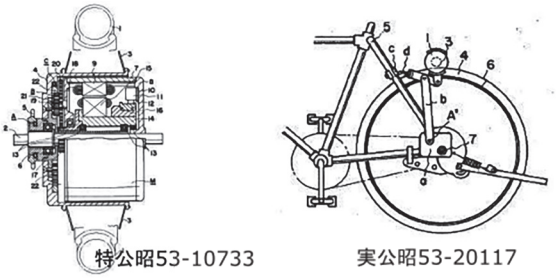


図 3.19　三ツ葉電機製作所（1973）、三ツ葉電機製作所（1973）

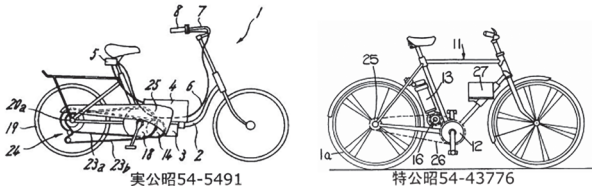


図 3.20　ソニー（1974）、ルーカスインダストリー（1976）

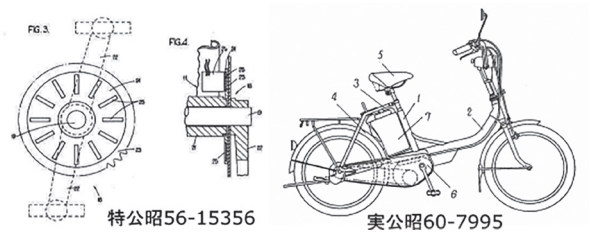


図 3.21　ルーカスインダストリー(1977)、松下電器産業(1979)

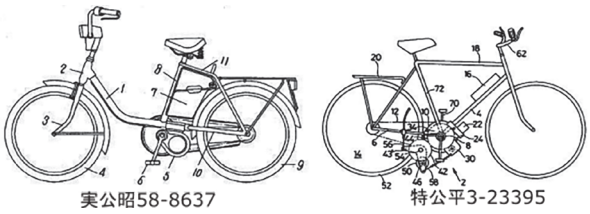


図 3.22　松下電器産業(1980)、プロペル・パートナーシップ(1985)

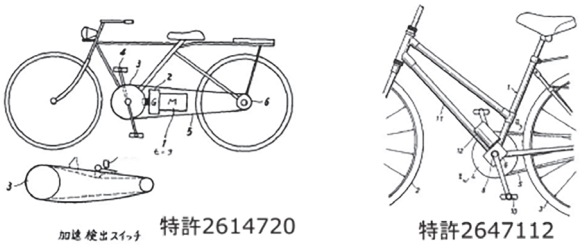


図 3.23　リケン(1987)、三ツ葉電機製作所(1988)

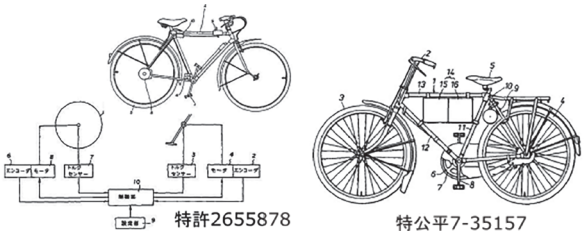


図 3.24　ジャパン・イー・エム(1988)、三ツ葉電機製作所(1988)

表 3.1 の中で、センサ技術及び駆動制御技術について言及した特許・実用新案では、年代的に興味深い特徴がみられる。1970 年代までの特公昭 48-20376 及び特公昭 56-15356 では、設定された車速になるまでモータ駆動力が作用せず、車速が設定値を超えたときモータが駆動するシステムになっている。これは先述の「ペダル付きの原動機（エンジン）付自転車」と同様で、高い速度域でモータの駆動力を利用することを目的としている。

一方、1970 年代以降の実公昭 50-37616、特公昭 54-43776 及び特許 2614720 では、チェーン張力が高い時、すなわち発進時又は低速で高負荷が必要な時にモータの駆動力を補助的に用いることを目的としている。

さらに 1988 年出願のジャパン・イー・エム（株）の特許 2655878 は、ペダル回転速度及び回転トルクを検出して、ペダルと駆動輪の回転比及びペダルとモータのトルク比を制御することで、予め設定した走行モードに基づいてペダル負荷の軽減と自転車運転の楽しさを保つことを目的としている。これは後述する初代 PAS 開発のプロジェクトの初期（1988 から 89 年）における発想と類似であり、興味深い。ジャパン・イー・エム（株）の特許 2655878 は、上記の技術的アイデアをブロック図で示しただけで、細部の構造図のようなものはなく、本特許に続く関連技術の出願等もなかった。

3.3.2　電動自転車及び電動スクータにおける製品化の壁

表 3.1 の中で、唯一商品化されたのが、ナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）から 1980 年 5 月に東京・名古屋・大阪で限定発売された Electric Cycle DG-EC2 である。DG-EC2 は、松下電器産業（株）（現：パナソニック（株））の創業者 松下幸之助が、創業 60 周年を控えた 1976 年に、「電気屋らしい無公害の自転車を作りなさい」と命じたことが、開発のきっかけとされる。20 インチのミニサイクルに、24V･6Ah の密閉形鉛蓄電池（12V、2 直列）、及び新開発の薄型磁石式直流モータによる駆動装置を付けた図 3.25 の外観は、さすがに電気屋と自転車メーカで作った軽快な車両である。ハンドル周りに灯火器、バックミラー、及びリヤキャリヤ後部にナンバープレートがあるので、道交法上の原動機付自転車であることが分かる。軽快で小柄な車格に似合わず、車両質量は 31kg で、持つとずっしり重かった。一充電当たりの走行距離は 18km（平坦路、変速「平」、走行速度 15km/h の時）だった。DG-EC2 が発売された 1980 年は先述のホンダ・ヤマハのシェア争いの真っただ中であった。『3 台まとめて 10 万円』などと言われた原付一種の市場で、小売価格 78000 円・最高速度約 18km/h（ロードパル、パッソルの最高速度の半分程度）の価格と仕様では、広く普及させることは難しかった。

図 3.25　Electric Cycle DG-EC2(1980)[13)]

1960年代に公害として問題視された自動車の排ガス・騒音が、1970年代になると地球規模での環境問題としても認識されるようになり、その規制や対策が議論されるようになった。その流れの発端の一つが、1970年に米国で成立した大気浄化法改正法（通称、マスキー法と呼ばれた）である。これは、新車の自動車の排気ガス中の一酸化炭素（CO）、炭化水素（HC）、窒素酸化物（NOx）の排出量を一定量以下にする（1970年マスキー法では従来の1/10以下）ものである。これを機に、各国が同様の法改正を検討するようになり、日本では1975年及び1976年に施行された法改正から、類似の排出量規制が自動車に対して実施された。ただし、二輪車に対する排ガス規制は、1999年に施行されるまで行われなかった。二輪車に対しては、騒音規制の方が喫緊の課題と考えられたのである。二輪車に関する騒音規制は、自動車で加速走行騒音が追加され、車種別に定常走行騒音が厳格化された1971年に、定常走行騒音及び排気騒音が自動二輪車で74dB、原動機付自転車で70dBに規定され、加速騒音が小型自動二輪の86dBから原付一種の80dBまで、排気量区分ごとに決められた。その後、排気騒音は1989年に1回、加速騒音は1987年までに3回、厳格化の方向で改正された。[15]

もう一つの流れの発端は、1973年に発生した第一次オイルショック、1979年の第二次オイルショックである。これを機に、石油製品のコストが高くなり、ガソリン価格が高くなった。二輪車にも低燃費を求める声が徐々に強くなっていった。1970年代以降電動自転車の特許・実用新案の出願が増加したことや、1980年発売のElectric Cycle DG-EC2の開発は、こうしたことを背景に、脱ガソリンエンジンの方向に向かう試みと見ることもできる。

Electric Cycle DG-EC2の発売から約10年後の1990年代前半、別のアプローチで製品化を試みた原動機付自転車があった。自転車の延長線としてのペダル付きの電動自転車ではなく、動力として人力は一切用いない電動スクータである。スクータタイプの車体ならば、シート又はステップの下に必要な電池を比較的多く積むことができ、電気部品や電線などを樹脂カバーで覆うことができる。問題は、一充電当たりの走行距離、充電時間及び電池のサイクル寿命などの性能並びに価格であった。電動車両の発想は昔から存在してきたが、製品化及び普及が難しいのは、この性能及び価格が、ガソリンエンジンを用いる同種の既存車両と常に比較され、ガソリン車に及ばなかったからである。それでも1990年代前半にその技術力の向上、製品化に挑戦したのが以下の2機種である。

図3.26は、中部電力、九州電力、東京R&D及びヤマテ工業の4社共同で研究開発され、1993年にヤマテ工業によって製造・販売された電動スクータES600である。12V・30Ahの密閉型鉛蓄電池を48Vで直列接続し、定格出力0.58Wのブラシレス DCモータを三相交流電流のPWM制御で駆動した。ステップの下に配置された4個の鉛蓄電池（図3.26参照）及び充電装置などの影響で、車両質量は117kg。先述のElectric Cycle DG-EC2と同様、見かけの割にずっしり重かったと思われる。一充電当たり走行距離60km（30km/h定地走行時）、最大充電時間8時間で、販売価格は596,000円だったとされる。シートの下には、当時原付一種のスクータでは一般的になっていたフルフェイス型のヘルメットを収納できるボックスが設けられた。ES600は、ペダル付きのElectric Cycle DG-EC2を除けば、日本で初めて第一種原動機付自転車として型式認定を受け、認可された電動二輪車である。中部電力・九州電力が共同開発をしたこともあって、ES600は電力会社の外回り営業用などに販売された。[16]

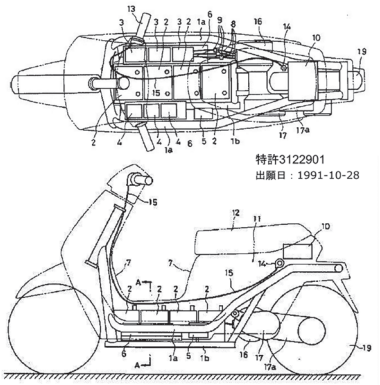


図3.26　ES600の電池配置に関する特許（1991）

図3.27の下図は、1994年3月に本田技研工業から生産・販売された電動スクータCUV ES (Clean Urban Vehicle Electric Scooter）である。CUV ESには86.4V・20Ahのニッケル・カドミウム蓄電池（以下、ニカド電地と呼ぶ）がフロアステップ下に搭載された。駆動装置は、ガソリンエンジンのスクータとほぼ同じレイアウトで、クランク軸に相当する軸が0.58kWのブラシレス DCモータのロータ軸になっており、Vベルト及び歯車減速機構で後輪軸に動力伝達をしていた。シート下にフルフェイス型ヘルメット収納ボックスおよび充電装置を搭載していた。バッテリの充電は、充電装置から100V電源用コードを伸

ばして充電する仕組みである。最長充電時間は８時間で、一充電当たり走行距離は 61km (30km/h 定地走行テスト値)、車両質量は ES600 より重い 130kg だった。メーカ希望小売価格は 850,000 円で、官公庁や地方自治体などへのリース販売のみに限定されていた。[7)]

興味深いのは CUV ES のバッテリの開発過程である。図 3.27 の上図及び中図は、電動スクータ関連で 1989 年から 1994 年の限定販売発表までに出願された 20 件ほどの特許のうちの２件である。1990 年６月出願の特開平 4-43177（上図参照）の特許図面から、この頃は鉛蓄電池を使った開発だったと思われる。1993 年９月出願の特開平 6-278667（中図参照）の特許図面からは、明らかにニカド電池の配置構造に言及していることが分かる。CUV ES の技術開発では、鉛蓄電池を使った初期段階から、変更の詳細理由は不明だが、開発途中の段階で、ニカド電池に変更された。

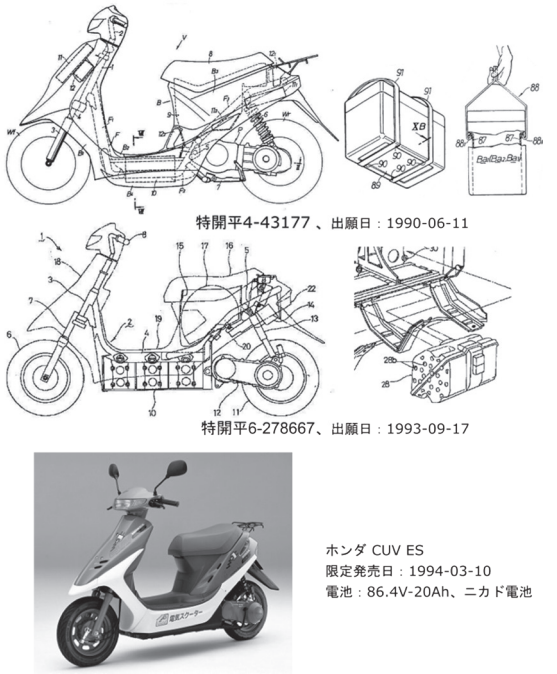


図 3.27　電動スクータホンダ CUV ESの特許及び外観[7)]

本田技研工業の電動スクータは、1994 年リース販売の CUV ES 以降、2010 年リース販売の EV-neo まで、世の中に出されることはなかった。しかし、後述するように、初代 PAS の発売から僅か 15 か月後の 1995 年２月に、ニカド電池でその後の市場を牽引する電動アシスト自転車「ラクーン」が発売された。その意味では、CUV ES の開発がラクーンの開発に繋がり、特にニカド電池の開発では、電圧や容量は異なるものの、CUV ES での開発成果が十分に生かされた言える。

参考・引用文献

1) Middle Edge (ミドルエッジ)：Website「【ジュニアスポーツ自転車の進化】フラッシャー自転車・多段変速自転車の歴史を調査！当時の広告がおもしろい！」，株式会社ティー・オー・エム，accessed on 2020-05-05，https://middle-edge.jp/articles/t5MZK
2) 谷田貝一男：「シティサイクルの誕生発展と社会文化との関わりの歴史」，自転車文化センター平成 23 年３月発行 調査研究，(2012)
3) 一般財団法人 自転車産業振興協会：「国内自転車生産・輸出入の長期的推移」，(2019)
4) 一般財団法人 自転車産業振興協会：「自転車統計要覧　第 44 版」，参考資料，(2010)
5) BRI-CHAN：Website「ブリヂストンサイクル名車紹介：1980 年代に街を席巻した「カマキリ 」, accessed on 2020-05-07, https://bri-chan.jp/2016/07/15/kamakiri/
6) 中沖満：「オートバイ・グラフィティ　– ジャパニーズ・バイク・ヒストリー –」，株式会社 CBS・ソニー出版（1984）
7) 本田技研工業：Website「News Release　– Honda のニュースリリース」，accessed on 2020-05-12，https://www.honda.co.jp/pressroom/motor/
8) 一般社団法人 日本自動車工業会：二輪車販売台数統計
9) 警察庁：交通事故統計
10) Electric Bike.com：Website “Electric Bike History, patents from the 1800’s”, accessed on 2020-07-20, https://www.electricbike.com/e-bike-patents-from-the-1800s/
11) US 特許、Google Patents, accessed on 2019-07-05, https://patents.google.com/patent/US552271
12) 日本特許、特許情報プラットフォーム（J-Plat Pat)、独立行政法人工業所有権情報・研修館、accessed on 2019-07-05, https://www.j-platpat.inpit.go.jp/
13) 松下電器産業(株) 自転車事業部(現:パナソニックサイクルテック)：新製品ニュース「電気自転車 DG-EC2」、(1980)
14) パナソニックグループ：Website「電動アシスト自転車の国内完成車累計出荷 300 万台を突破」、ニュールリリースポータル、accessed

on 2020-05-18, http://www.news2u.net/releases/165611
15）環境省中央環境審議会騒音振動部会：「資料 3-2 今後の自動車単体騒音低減対策のあり方について」、環境省中央環境審議会第 6 回騒音振動部会資料（2008）
16）Wikipedia：Website “ヤマテ・ES600”、accessed on 2020-05-17、https://ja.m.wikipedia.org/wiki/ ヤマテ・ES600
17）BikeBros.：Website「ホンダモトコンポ（1981）」accessed on 2020-11-16、https://www.bikebros.co.jp/vb/fifty/zeppangentsuki/zeppangentsuki-05/
18）ヤマハ発動機：PAS City SP5 取扱説明書、(2019)
19）本田技研工業：Website「独走で『無から有を生じる』。カブ F 型の販売店開拓 DM 戦略 / 1952」、「限りない夢、あふれる情熱」、「語り継ぎたいことトップ」、accessed on 2020-11-16、Honda ¦ 語り継ぎたいこと ¦ 独創で『無から有を生じる』。 カブ F 型の販売店開拓 DM 戦略 / 1952
20）自転車文化センター：山口自転車「スマートレディ」（1956）、自転車文化センター 所蔵写真
21）自転車文化センター：アサヒ自転車「アサヒサイクル 22」（1966）、自転車文化センター 所蔵写真
22）ブリヂストンサイクル：製品カタログ「アストロ G、5 段変速 ARX-5BW」、（1976）
23）ブリヂストンサイクル：製品カタログ「ジュニアウェイ、3 段変速 YYW-22」、（1976）
24）ブリヂストンサイクル：製品カタログ「カマキリ G、KG-26S」、（1985）
25）ナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）：製品パンフレット「ニュー FF・ハイマディスク、B-5D2SFF」、（1977）
26）ヤマハ発動機：製品パンフレット「YAMAHA パッソル」、（1977）
27）ヤマハ発動機：製品パンフレット「YAMAHA JOG」、（1983）
28）本田技研工業：「モトコンポ」、本田技研工業所蔵写真

4 電動アシスト自転車 初代PASの誕生

4.1 ペダル付きの原動機付自転車での度重なる挑戦と断念

4.1.1 ペダル付きの原動機付自転車での挑戦と挫折

1976年頃、ヤマハ発動機では幾つかのチームに分かれて、新しい原付一種の商品企画検討が行われていた。デザイン部門と研究開発部門で行われていた技術研究テーマの一つに、「らくらく自転車」をコンセプトにした、ペダル付きの原動機（エンジン）付自転車の技術開発プロジェクトがあった。同じ時期に本田技研工業から商品化されたホンダ ロードパル NC50 より更に自転車寄りで、25cc 小型エンジンをペダル周辺に取り付け、減速機構を介して、タイヤ外周に圧着したローラで後輪タイヤを駆動する構造だった。ペダル回転による低速時にはエンジンによる高トルクを、また高速時にはエンジンの高回転を、クラッチと電子制御で自動的に切り替える、エンジン回転数制御式の原動機（エンジン）付自転車を目指していた。しかし、当時の技術では人のペダル操作と小型エンジンの性能との円滑な合体ができず、プロジェクトは中断になった。図 4.1 は、1978 年に出願されたこのプロジェクトに係る特許の図面である。先述のホンダ ピープル A-AB17 が本田技研工業から発売されたのは、この約６年後の 1984 年３月であった。

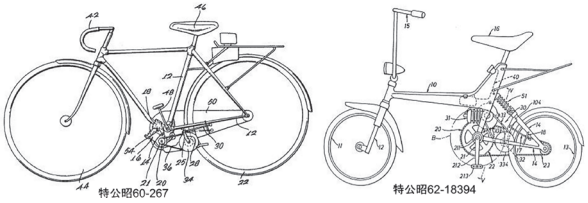


図 4.1　1970年代後半のペダル付きの原動機付自転車

HY 戦争の傷も多少癒えた 1980 年代半ば、ヤマハ発動機の研究部門では様々なプロジェクトが将来の事業化を目指して進められていた。図 4.2 の左図に示したのはその中の一つで、ペダル付きの原動機付自転車の研究開発の成果として出願された特許の図面である。1984 年ホンダ・ピープルが発売開始されてから約４か月経った時のことだった。ここで研究開発されていた車両は、排気量 24cc エンジンの駆動力をペダル軸からシャフトドライブで後輪に伝達し、ペダルによる人力は通常の自転車と同じようにチェーンで後輪を駆動する構造だった。

研究部門でこのシステムを研究しているころ、原付一種も含めた全ての二輪車のヘルメット着用義務化の道交法改正が公布された（1986 年施行）。この影響で女性を中心とした原付ユーザが減少することを懸念する声が販売網から多く出された。これを受けて、小型スクータを中心とした生産車の開発部門では、ヘルメットを収納できるエンジン構造や車体構造の設計検討が進められた。

一方、ある機会にこの研究開発の試作車を見た代表取締役の一人から、これを生産に移すようトップダウンの指示があり、急遽生産を前提とした商品開発のプロジェクトが決定した。女性ユーザ向け、及び男性ユーザ向けとして、タイヤサイズ、デザイン、カラーリングなどが異なる２種類の車両だった。今までスクータやファミリーバイクを設計開発してきた開発部門では、エンジン・車体構造・デザイン全て新規開発が必要な上に、購買部門では新たに自転車部品を調達する必要のある比較的大きなプロジェクトだった。このころにはホンダ・ピープルの売れ行きが芳しくなかったこともあり、特に商品企画や営業部門では、費用対効果を疑問視する声があった。図 4.2 の右図は、生産車の開発部門で出願された特許である。この商品開発プロジェクトは、生産型等の手配をする前段階の 1987 年秋、いくつかの理由から中止となった。社内では「このタイプのペダル付きの原動機付自転車では売れない」というジンクスだけが残ることとなった。

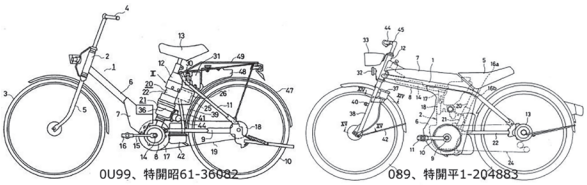


図 4.2　1980年代半ばのペダル付きの原動機付自転車

4.2 初の電動機付駆動補助自転車 - 自転車への挑戦

4.2.1 ペダル踏力に合わせたモータ駆動という発想

1988 年春、研究部事業開発室では相変わらず将来の事業化を目指す試みが続けられていた。その中の一つに、フィットネスジムで使う運動機器を作るという企画があった。企画検討は約１年続けられたが、自社

の強みを生かし、新しい付加価値を生み出すに足る企画を考案することはできなかった。ただ検討過程で、企画メンバは負荷として使う発電機や補助動力としてのモータの技術を学んだ。企画メンバの一人に、菅野信之がいた。菅野は、1970年代後半のプロジェクトのメンバであり、図 4.1 左図の特公昭 60-267 の発明者の一人でもある機械系技術者だった。菅野は、「エンジンの代わりにモータを使ったら、ペダルに合わせた回転数制御ができるのではないか」と考えた。企画終了の報告会で、菅野は「フィットネスジムで使う機器ではないが、自転車に制御性の良いモータ補助動力を付けて移動しながら行うフィットネスという形もあるのではないか」と提案した。研究部部長である専務取締役 長谷川武彦は、過去に中断した幾つかのペダル付きの原動機付自転車のことを知っていた。長谷川は、菅野の提案に思うところがあって、「モータを使った自転車の試作車両を作ってみなさい」と指示を出した。

当初、フィットネス機器狙いで始めたこのプロジェクトは、1989年4月に新たなプロジェクトとして再出発することになった。菅野らは、当時自動車の油圧式パワーステアリングに替わって実用化され始めた電動パワーステアリングに目を付けた。「ドライバの操舵トルクをトルクセンサで検出して、モータで操舵力をアシストする」という電動パワーステアリングシステムの謳い文句に惹かれるものがあったからである。同じ部署内に、実家が自動車販売店をしている女子社員がいた。彼女に頼んで、軽自動車用の電動パワーステアリング用部品を入手した。そのモータ及びトルクセンサを、当時関連会社が丸石自転車に供給していた自転車用シャフトドライブに付けられないか検討を始めた。バッテリには自動二輪車用の鉛蓄電池を使った。モータ駆動用の電子回路は同じ研究部門の制御技術部に頼み込んで設計・試作してもらった。当時の研究部門には、簡単な図面と口頭の指示で何でも作ってしまう試作職人が数人いて、数週間足らずで試作自転車1台（図 4.3 参照、以下、プロト車と呼ぶ）を作り上げた。人力とモータ駆動力の伝達機構は、図 4.4 のように、ペダルからシャフトドライブ軸及び歪ゲージ式トルクセンサを介して、ウォームギヤ上でモータ駆動力と合力し、さらに傘歯車で後輪軸に伝達する構造だった。1989年6月のことだった。

モータ駆動制御に関して、菅野らの頭の中には、ROM（Read Only Memory）に記録させた複数のメモリマップを、フィットネスやレジャーなどの用途に合わせて選択し、自転車のペダリング踏力にほぼ

図 4.3　プロト車の外観

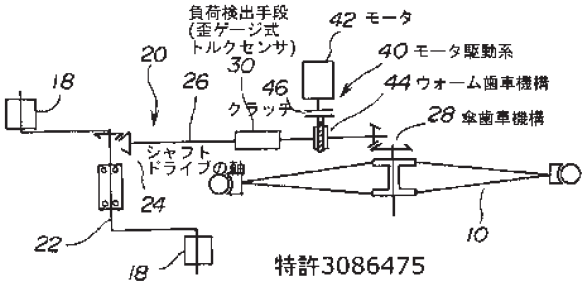


図 4.4　プロト車の駆動力伝達機構・トルクセンサ

比例してモータ駆動を行うイメージ（図 4.5 及び図 4.6 参照）ができていた。ただ、考えることと現実は大きく乖離し、制御ソフトは机上実験の延長線レベル。車両は意に反して、スイッチを入れただけで自走する状態だった。

この種の部品設計にほとんど素人の菅野らが既存部品の組み合わせで作成したプロト車は問題が多かった。モータ制御ソフトの精度が上がってくると、ハードの問題が頻発してきた。ペダルを強く漕ぐと、電源回路の FET（Field Effect Transistor）が破損して車両が急に停止する、音対策として試作した樹脂ギヤが摩滅する、さらにモータが触れないほど高温になるなど。試作車は1台しかないので、故障のたびに実験は中断し、部品調達と修正に奔走した。バッテリは自動二輪車用なので当初から多く手配できたが、電池容量が少ないので、1 km 程度の試験コースも連続して走れなかった。1回走っては電池交換、また走っては電池交換の状態が続いた。

数か月の悪戦苦闘を経て、当初思い描いたペダル踏力にほぼ比例してモータ駆動で走ることができるまでにモータ制御ソフトができてきたので、3名の担当者と直属上司以外にも試乗してもらい、感想を聞いてソフトの改良をすることを始めた。ただし、故障が心配なので、「立ちこぎで強く漕がない」、「急坂には行かない」、「漕ぎながらブレーキをかけない」など色々な禁止事項付きの試乗であった。1989年の暮れ、菅野

らは事業開発室長の藤田武男に試乗してもらうことにした。自身も技術屋である藤田は、ペダルをひと漕ぎするたびにスーッと後ろから押されるような不思議な感覚に、今までにない可能性を感じた。

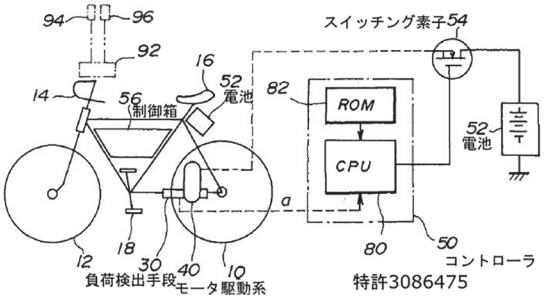


図 4.5　プロト車 モータ制御システム

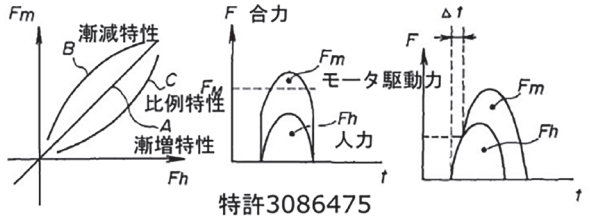


図 4.6　プロト車 人力とモータ駆動力との関係

4.2.2　ペダル踏力に比例したモータ駆動制御の技術開発

当時、研究部事業開発室では、室内で一定の成果と可能性を認められたプロジェクトは新たなプロジェクト室を組織して事業化の検討を進めることになっていた。藤田は、このペダル付きの電動自転車を新たなプロジェクト室に格上げして、自身がそのプロジェクト室室長になることを、専務の長谷川に提案した。提案は認められ、1990 年 2 月に研究部 22 プロジェクト室が結成された。平成 2 年に結成された 2 番目のプロジェクトの誕生だった。とは言え、他のプロジェクトでも人が不足しているとされ、当面は研究者 3 名で進めざるを得なかった。従来の 3 名の中に車両実験の経験者がいなかったので、実験業務も手探りだった。そこで、生産車開発の実験部門でチーフ経験のある小山裕之がプロジェクトチーフに選ばれ、菅野と交代することになった。

エンジン付きを電動機付きに変えたものの、この車両は原付一種の二輪車であることに変わりはないので、自転車ユーザが自転車と同様に公道を走行することはできないことは分かっていた。「自転車として認められれば、運転免許もヘルメットも必要ないのに」との根拠のない期待はあったが、藤田と小山らは私有地であるリゾートや公園などでレジャーを楽しむ自転車としての商品化を目指すことにし、ペダル付きの電動自転車の技術的なステップアップのために、次の改良試作の計画を始めた。

改良試作設計を始めるにも苦労が多かった。室長の藤田にはある懸念があった。過去何度も挑戦しては挫折したペダル付きの原動機（エンジン）付自転車で社内に残るジンクスである。「ペダル付き」「自転車」と聞いただけで、『そんなもの、今頃まだ、やっているのか？』と言われてしまう。この様子では、改良試作設計のために人材の協力依頼をするにも、社内技術部門では難しいと感じた。そこで、関連会社で技術者の人材派遣を事業の一つにしている YEC（株）（現：ヤマハモーターエンジニアリング（株））と二輪車用電装品でモータも設計製造している森山工業（株）（現：ヤマハモーターエレクトロニクス（株））に設計協力を求めた。協力依頼の会議の後に、人目に付かない場所で先述のプロト車に試乗してもらった。評判は上々で、両社ともに「これは面白い。協力させてください。」と快諾してくれた。東京事務所の渉外担当部門にも、自転車として認めてもらうにはどうすればよいかを相談に行った。答えは、『道交法上の自転車扱いは 99% 不可能です』との返事だった。1990 年夏のことだった。

流れが変わったのは 1990 年 10 月 30 日のことだった。地球環境保全の目的で自動車の燃費が話題になり、各社で環境対応車両の研究が始まっていると噂され始めていた。運輸省（現：国土交通省）では自動車各社の地球環境対応の状況をヒヤリングすることにして、ヤマハ発動機にも担当官数名が訪問することになった。ヤマハ発動機がヒヤリングに対して説明した対応技術・製品の中の一つが、ペダル付きの電動自転車だった。説明の後、プロト車の試乗を行ったが、ことのほか同プロト車の評判が良かった。取締役や渉外担当部門も同席していた。藤田は、『ひょっとしたら、この線でやれるかもしれない』と感じた。後日、改めて藤田は社長へのプレゼンテーションで、官庁に対するロビー活動及び改良試作のための人材確保の提案を行い、承認された。

小山の下に新たに設計者 3 名が加わり、小山を含めて 6 名の技術者体制に加えて、YEC 及び森山工業の協力を得て、新たな技術開発のための試作設計が始まった。新規加入の設計者の中に、機械設計担当の横山達二がいた。横山は、プロト車のシャフトドライブ上で、人力及びモータ駆動力を合力する構造を改め、ペダルのクランク軸上で合力す

ることを検討した。また、デザイナの要望で、モータが外から見えないように、フレームパイプの中に内蔵された構造を考案した。さらに、プロト車の歪ゲージ式トルクセンサを、クランク軸周りの遊星歯車機構とポテンショメータによる機械式トルクセンサに変更することを考えた。1991 年 3 月に図 4.7 のような技術開発用試作車数台の組み立てが完了した。リゾートや公園などでレジャーを楽しむ自転車のコンセプトから、当時流行していたマウンテンバイク風のデザインだった。図 4.8 は当時スクータで使い始めていたシール形鉛蓄電池をパックにした組電池及びモータのレイアウト図である。図 4.9 は、横山が考案した機械式トルクセンサを使った駆動補助装置と動力伝達装置の特許図面である。

図 4.7　技術開発用試作車の外観

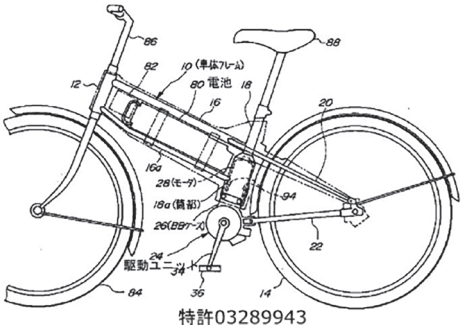


図 4.8　技術開発車のバッテリ及びドライブユニット

1991 年 4 月から本格的な実験が始まった。ハードウェアの設計及び試作日程の短さなどから、モータ制御ソフトの設計は車両が完成してからもしばらく続いた。モータ制御ソフトの設計者と実験の性能実験担当者は、試作車で走っては、ソフトおよびマップ数値の書き換えの作業を繰り返した。この頃には、「ペダル付き」「自転車」の開発を社内で知られて反対されないように、またロビー活動への影響も考慮して、社内でも極秘のプロジェクトだった。実験部門は、22 プロジェクト室室長や設計部門がいる技術部門の建屋から 1km 程離れた関連会社の倉庫の一角を借りて、実験を行っていた。夜間に実験室周りの農道などでの走行実験をすることも多かった。

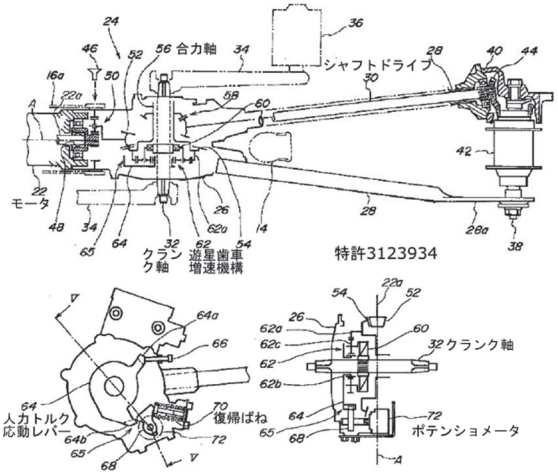


図 4.9　技術開発車の駆動補助装置・トルクセンサ

技術開発用試作車の実験評価で特に課題視されたのが、モータ駆動補助の走行性能・フィーリング及び走行騒音だった。走行性能・フィーリングに関して、実験開始当初から試験評価基準や比較車両などがあるわけではなく、プロジェクト目標が「リゾートや公園などでレジャーを楽しむアシスト自転車仕様」から「自転車扱いとして認めてもらえるアシスト自転車仕様」に変化していた。従って、制御ソフトの設計仕様及びマップ設定値も、通常の自転車のペダリング感覚と軽快なアシスト感の両立を目指して、作りこみが進められた。

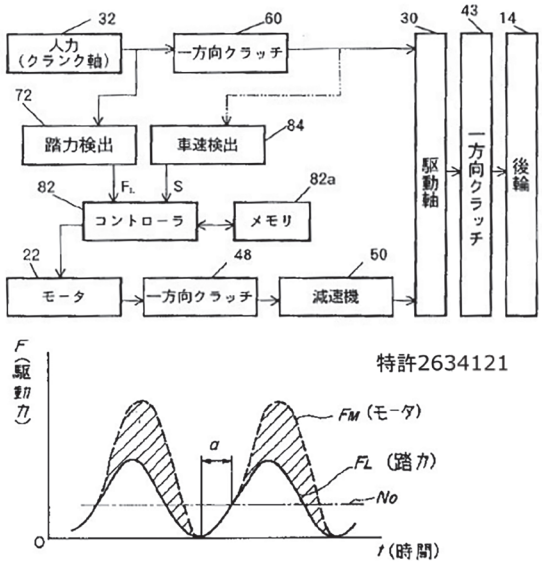


図 4.10　駆動補助システム及び踏力・モータ合力の関係

走行騒音にはさらに課題が多かった。設計当初、デザイン優先でモータをフレームパイプ内に内蔵する設計を取ったことが災いした。モータのある回転数になるとフレームパイプと共鳴して、音が大きくなる。さらに直流モータのブラシ摺動音、機械式トルクセンサやシャフトドライブなどの歯車噛み合い音など、ペダリングのたびに耳障りな音がした。一般用自転車のベアリング、チェーン、タイヤなどからの静かな音とは比べものにならなかった。

4.2.3　自転車としての製品価値と安全性 - 官庁ロビー活動

社内では「道交法上の自転車扱いは99%不可能」と言われたが、一縷の望みに向けて、官庁等の試乗会専用試作車の追加試作も行っていた。市販の軽快車と比較試乗することを想定して、マウンテンバイク風ではなく、軽快車の自転車部品を付けることにした。基本構造を大きく変更することはできないので、カラーリングなどを変更した（図 4.11 参照）。1991 年 4 月に官庁等の試乗会用試作車及び追加の実験用も含めた 20 台の組み立てが完了した。

東京事務所渉外担当の小粥雅徳は、1990 年暮れから官庁等の試乗会専用試作車が完成するまで、入念な準備を行っていた。試作車の出来栄えにも細かく注文を付けた。1991 年 4 月に試作車ができたことを聞くと、本格的にロビー活動を開始した。社長名の要望書及びこの自転車の製品価値と安全性に関する説明書を持って、運輸省（現：国土交通省）と警察庁へ要望・説明に行った。会議室では、説明に対する質問を頂き、その場で答えられないものは後日また回答を持ってくる旨を伝えた。全体として、反応は薄かったが、少なくとも門前払いではなかった。そして、「後日試乗していただきたい」とお願いをした。公園等での試乗では、数名単位で普通自転車との比較試乗をしてもらった。こうした要望･説明と試乗会を何度も繰り返し行った。この間にもらった質問・指摘と説明のたびに、社内で小粥に質問・要望される 22 プロジェクトメンバは大変だったが､小粥の説明の質と精度は向上していった。ある時、試乗会に立ち会った室長の藤田や実験メンバは、試乗に来てくれた役人の反応の薄さに不安を感じたが、渉外担当の小粥は確かな自信を感じていた。

それぞれに数回の試乗会を行った後、警察庁・運輸省合同での試乗・説明会を要望したところ、両省庁の承諾を得て、1991 年 6 月 28 日に合同試乗・説明会が実現することになった（図 4.12 参照）。警察庁・運輸省の課長級の人たちも参加したこの合同試乗・説明会が成功裏に終了したことで、小粥はさらに自信を深めた。後日、何回か警察庁を訪問して、良好な雰囲気を感じ取った小粥の報告を受けて、藤田は生産を前提とした商品開発に向けた準備を開始する決意を固めた。

図 4.11　試乗会用試作車の外観

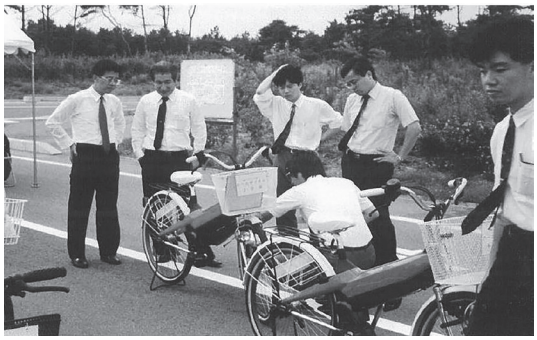


図 4.12　警察庁･ 運輸省合同の試乗･ 説明会

4.3　初の電動機付駆動補助自転車 -商品開発の苦労

4.3.1　工場も・市場もない、対象ユーザも分からないところからの出発

本格的な生産に向けた商品開発を行うのに室長の藤田が行ったのは、開発人材の一本釣りだった。専務の長谷川とも相談して極秘プロジェクト扱いにしていたので、普通の手段で人材要望などをできる状況ではなかった。時間はかかったが、この人ならと思える部署の責任者に直接「この人を」とお願いすることもあった。1991 年秋から、こうして商品企画、設計、実験、生産管理、事業企画などのメンバが集められた。東京事務所の渉外担当だった小粥は自ら志願して 22 プロジェクト室に入り、各種企画・管理部門の課長に就任した。筆者もこの時、車体設計チーフとして開発メンバの一人に加わった。筆者が加わった時は PL（Project Leader、室長配下のプロジェクト推進担当の管理職）を含めて開発メンバは 7 名だったが、1991 年末には 10 名、1992 年 3 月には 17 名になっていった。

生産車両の開発を考えた時、あまりにも何もないことに筆者は唖然とした。全く世の中に前例のないカテゴリの製品なので、市場もない、対象ユーザも分からない、いくらで買ってもらえるか分からない（開発者の漠然とした期待感はあるが）。さらに、社内で極秘プロジェクトにして、少人数で経験のないロビー活動対応なども行ってきたせいで、どこで作るかが決まっていない、コスト見積りなどはしたことがない。従って製品企画書、開発計画書などはない。これでは計画的な商品開発などできそうにない状態だった。

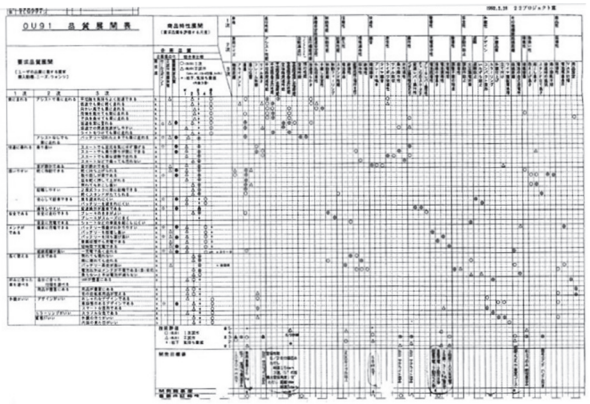


図 4.13　ＱＦＤ品質展開表

そこで行ったのは、22 プロジェクト室全員参加の QFD（Quality Function Deployment、品質機能展開）だった。想定ユーザの要求品質のリストアップ、比較車両と比較した優先順位・セールスポイントの設定、開発要求品質項目のリストアップ、開発の優先順位・開発目標値の設定などを、1991 年暮れから 92 年 2 月末まで 5 回に分けて行った（図 4.13 参照）。各回の会議までにそれぞれの担当が調査・設計検討・実験検討した結果を持ち寄った。比較車両はブリヂストンサイクルとナショナル自転車工業の軽快車だった。QFD を行ったことで、開発目標が明確になった。これで設計にスムーズに取り掛かることができると筆者は思った。しかし、それが甘かったことを、3 か月も経たない頃から思い知らされることになった。

4.3.2　変更続きの電池積載構造

生産を前提にした商品開発プロジェクトは、1991 年 11 月に開始された当初、1993 年 6 月に生産開始の予定だった。機械設計担当の横山は、技術開発プロジェクト試作車の課題であった走行騒音の低減及びコスト低減のために、商品開発開始の頃すでにいくつかの対策案を考え、設計検討を行っていた。次の試作に向けて横山と筆者は、フレームシートチューブにモータを内蔵する構造ではなく、図 4.16 のように、フレームダウンチューブ下に懸架する構造にすること及びシャフトドライブ伝達からチェーン伝達構造に変更することを決めた。さらに、森山工業の技術者と相談の上、モータ直下の遊星歯車機構を遊星ローラ機構に変更することにした。

横山の設計したパワーユニット（図 4.14 参照）は、その後の試作で多少の問題点はあったものの、プロジェクトを揺るがすような大きな問題はなく、生産に移行した。このパワーユニットは、小型で耐久性に優れていたので、後にモータ制御用電子基板内蔵のドライブユニットに替わるまで、多くのシティ車、実用車及び海外展開用車両の基本形パワーユニットとして利用された。横山のパワーユニットが、生産を前提にした商品開発で大きな設計変更をしなくて済んだという意味では、技術検証のための先行開発であるプロジェクトがうまく機能したといえる。

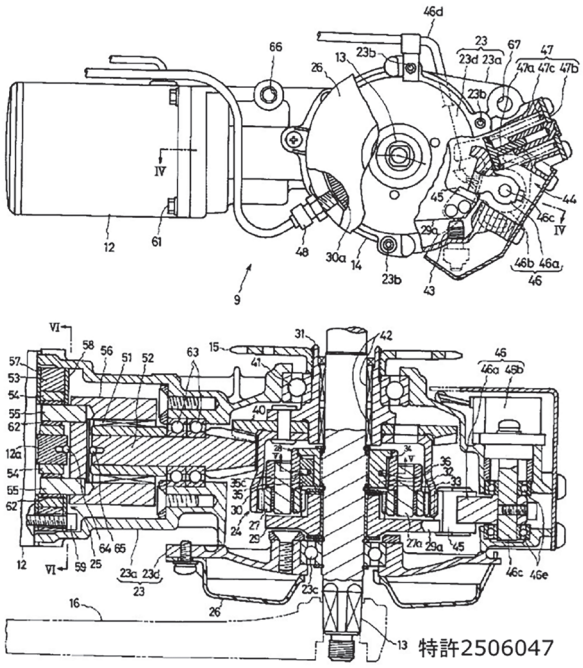


図 4.14　商品開発時のパワーユニット

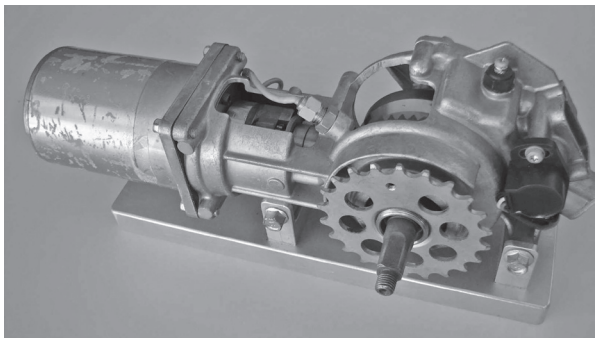


図 4.15　パワーユニット（カットモデル）

先行開発がうまく機能しなかったのが、バッテリの機能開発及びその周辺の構造設計である。先述のQFD 途中の設計段階では、図 4.16 の左図のようにフレームダウンチューブ上で、組電池を回転させながら、同時に電源端子が脱着される構造を本命としていた。想定ユーザの要求品質を考慮したとき、家の外で外したバッテリを屋内で充電することを重要な機能として考えていたからである。しかし、これには大きな阻害要因があることは、技術開発の時から分かっていた、鉛蓄電池２個で６kg 弱になり、バッテリボックスにすると、6.5kg を超える質量になると予想されたのである。想定されるいくつかの重さのバッテリボックスを作って、22 プロジェクト室や周辺の部署の女性に実験をしてもらうと、「５kg でも重くて、片手で持つ気がしない」という人もいた。従って、重いバッテリボックスでも脱着作業性が最も容易になるようなレイアウトを考えてのことだった。しかし、図 4.16 左図のレイアウトでは、女性が片足をペダルに乗せ、もう片足で地面を蹴った反動で、バッテリ上を乗り越えて、自転車に乗る動作（俗にいう、ケンケン乗り）を妨げる可能性も考えられた。さらに、この時点ではバッテリメーカに新作依頼をしていたバッテリの形状がまだ決まっていなかったため、バッテリが当初要求寸法より大きくなる可能性もあった。そこで、バッテリ脱着作業性やその関連機能は多少犠牲になるが、図 4.16 右図のようにフレームシートチューブ後にバッテリをレイアウトする構造も同時に考えて、QFD 終了後に実験を行って、どちらかを選択することにした。

後日、筆者らは、確認のために、内蔵部品とそれを覆う樹脂カバーの外形形状に合わせて発泡スチロールを削り、それを骨組みだけの自転車に取り付けた車両を作った。スカート着用で自転車ユーザという条件で、女性社員数名に集まってもらって、自転車乗り降りの実験を行った。その結果は、散々なものだった。乗り慣れた自転車の１本パイプのところに幅 100mm くらいの白い物体があるので、「乗り降りの時に足が当たって、危ない」「怖くて、スカートでは乗れない」など、「これで良い」と言ってくれる人は一人もいなかった。これでは、バッテリをシートチューブ後に搭載する構造にせざるを得なかった。

さらに、クレー造形作業が終わり、デザイン承認イベント直前の段階で、バッテリ単体の寸法が当初要求寸法より、長手方向で 10 数ミリ大きくなることが分かった。バッテリ充電時の脱着作業性がさらに悪化する上に、サドル高さがこれ以上高くなることを避けるため、止むなく充電時のバッテリ脱着構造を断念した。この頃、特許出願したときの図面が図 4.17 である。

この商品開発では、サイクルユース用バッテリの新規機能設計とそれを使う車両の生産設計をほぼ同時に行おうとしたところに無理があった。新規バッテリの機能設計及び性能試験・評価などは、先行の技術開発で行うべき内容だった。しかし、先述のように技術開発では自転車として認められるかも、その先の開発を進められるかも分からない状態だった。従って、バッテリメーカに明確な目標を提示して、機能設計及び試験を行ってもらうことを、当該技術開発では行っていなかった。そしてこの頃、自社でのサイクルユース用バッテリの性能試験に向けて、サイクル寿命試験装置を準備しているところだった。後にこの遅れが、開発メンバのみならず、市場のユーザにまで影響する大きな品質問題になることを、この頃は誰にも分らなかった。

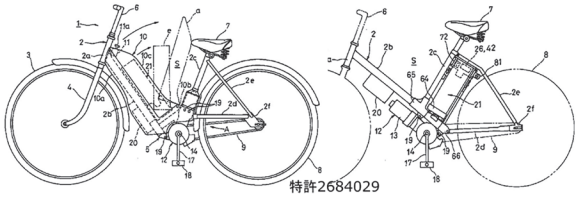


図 4.16　商品開発初期のバッテリボックス配置案

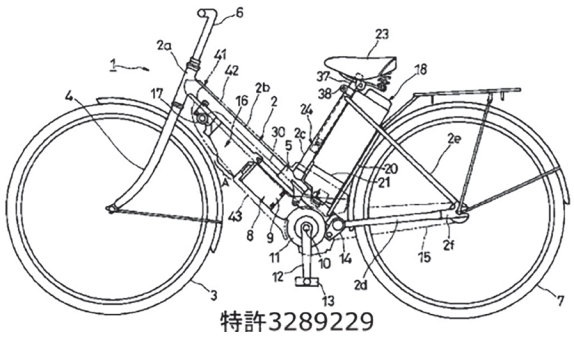


図 4.17　最終仕様のバッテリボックスレイアウト

4.3.3　問題対策に追われる毎日

この商品開発での大きな課題のひとつが、年間何台を、どこで生産するかということだった。ここにも、全く新しいカテゴリの自転車を、二輪車メーカのヤマハ発動機が作る上での課題があった。QFD や商品企画会議などで、とりあえず希望小売価格 98,000 円、生産台数を 1994 年３月までの９か月間で 1,000 台と決めた。しかし、社内には「『ペダル付き』、『自転車』は売れない」というジンクスが根強く残っており、「モータ付き」と説明しても、それが自転車であるという正式な情報も証拠もない時なので、生産のために協力してくれる部署は少なかった。さらに、当時

の二輪車・自動車業界は組み立てメーカと部品メーカの系列関係が強固で、周辺に自転車部品を作っているメーカもないので、購買部門の協力をもらうのは難しかった。

室長の藤田はこの課題に対して、以下のような長期的視点で戦略を考えていた。

・この商品を自社ブランドで販売する場合、バッテリや電気部品のことをある程度分かる自転車兼二輪車の販売店でないと難しい。それらの販売店では、大手自転車メーカの自転車も一緒に売られている。
・販売店とも、それら大手自転車メーカとも協調していかないと、この商品の導入は難しい。
・自転車業界各社にもシステム部品セットを販売して、各社のブランドで売ってもらう
・それらの自転車メーカがいずれはライバルになるかもしれないが、ライバル関係で切磋琢磨してこそ、この商品が世の中に認められ、広がって行ける。
・自社での製造・組み立てが難しいなら、大手自転車メーカに自転車部分を作ってもらう。

藤田は、専務の長谷川に相談して、二輪車のタイヤで取引のあったブリヂストン（株）経由で、自転車業界トップメーカのブリヂストンサイクル（株）に面会を申し入れた。話し合いの結果、1992年5月8日にブリヂストンサイクルから取締役以下数名がヤマハ発動機を訪問し、その後5月15日ヤマハ発動機からブリヂストンサイクルへ実務部隊が訪問することになった。その頃、次の試作に向けた自転車部品仕様の選定及び自転車部品メーカの現状視察のために、関西圏・関東圏の自転車部品メーカへ、飛び込み訪問の旅をしていた筆者も、5月15日途中でメンバと合流して、ブリヂストンサイクル本社に向かった。

会議の席上、ブリヂストンサイクル側は慎重かつ寡黙だった。ヤマハ側が終始一方的に計画を説明し、次に行う試作に向けて、ヤマハ選定の自転車部品の手配、ヤマハ設計のフレームの試作及び試験を依頼した。試作依頼に対する回答は、その場ではもらえず、「後日、ブリヂストンサイクル側から返事をする」ことに決まった。帰路の途中、筆者は「あの雰囲気で、先方は試作依頼を受けてくれるだろうか」と不安にかられた。数日後、ブリヂストンサイクルから試作及び試験を受諾するとの回答が書面で届いた。ここから、ヤマハ発動機と業界トップのブリヂストンサイクルとの電動アシスト自転車における協力関係（後に、一部の製品でライバル関係になる）が長く続くことになる。

筆者は、次の週にブリヂストンサイクルを訪問して、次のデザイン及び機能試作に向けた、より実務的な議論を開始した。ブリヂストンサイクル側の自転車部品設計の窓口は設計2課課長の高木郁夫、フレーム設計の窓口は設計3課課長の江口善勝だった。筆者と江口らは、話し合って、1992年6月中旬にヤマハ側からフレーム試作用図面を出図し、9月初旬にブリヂストンサイクル側でも試作フレームを使った一連の試験を行うことになった。通常の自転車フレームの試験と考え方を同じにするために、駆動補助装置及び組電池と同じ取付位置に同じ質量になるように調整した治具をフレームに付けて試験を行うことにした。この条件でのフレーム試験は、筆者はもとより、フリヂストンサイクルでも初めてだった。1992年9月、最初のブリヂストンサイクルでのフレーム耐久試験では、基準回数の半分も経たないうちにフレームのダウンチューブが破断してしまった。

ヤマハ側では、高木の協力を得て選定した自転車部品を、同じフレームに組み付けて試作車両を作り、実走行及びシャーシ上での応力を測定し、有限要素法での強度解析条件の検討を始めた。これで、フレーム耐久試験の対策をするつもりだった。しかし、先述のデザイン作業終盤での電池の形状変更及び質量の増加、更に二輪車と自転車の構造の違いに起因する隙間不足を高木及び江口に指摘されたことに伴う設計変更などにより、デザイン要素を入れた次の車両試作（一次試作）のフレーム寸法、及び組電池に相当する試験治具が変わってしまった。予定より1か月遅れの1993年2月初旬に行われた一次試作のフレーム試験では、先の試験とは別の試験、別のフレーム部位で破断・折損が生じた。

フレームの対策と試験の繰り返しは、1993年4月の型物試作まで続いた。原因として、筆者らのフレーム設計及び強度解析の不慣れはあったが、バッテリの質量増加が大きかった。バッテリボックスの質量は、型物試作直前には6.25kgにまで増加した。型物試作は、プレス型や鍛造型などの生産用型（樹脂部品の場合は、射出成型型など）による部品を使った車両試作であり、技術仕様の最終確認の目的で行うものである。デザイン試作以後に、内容の異なる試作イベントを何回も行う習慣がなかったブリヂストンサイクルは、ロー付け作業も、次のモニタ車試作に先駆けて、ほぼ生産工程で作っていた。最終確認であるはずの型物試作試験でもフレーム折損又は変形の問題が続出した。筆者らは、大慌てで対策検討を行い、ブリヂストンサイクルの江口らとも相談の上、ガセットの形状変更、ダウンチューブの板厚変更、

シートチューブの材質変更などの仕様変更を行った。プレス型の修正、ロー付け治具の修正、材料手配の変更などが必要となり、生産立ち上がりがさらに1.5か月遅れる一因になった。

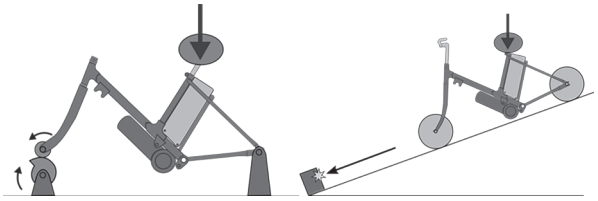


図 4.18　フレーム単体の動荷重試験及び衝突試験

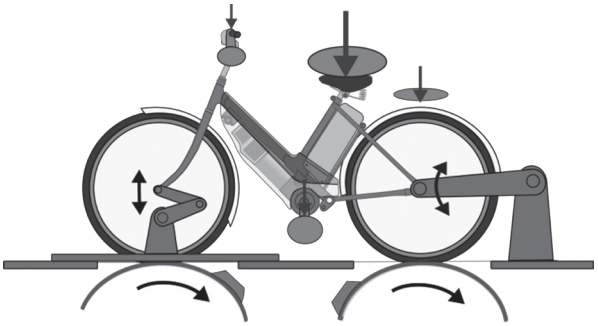


図 4.19　車両の台上走行耐久試験

フレーム開発以外にも問題は日々絶えなかった。試作を行い、コスト見積りを行うたびに見積もりコストが上がっていった。バッテリを除く駆動補助装置の部品手配・組立を森山工業（現：ヤマハモーターエレクトロニクス）、自転車部品の手配・組立をブリヂストンサイクルが行うことは、1993年2月初旬の一次試作から変わらないが、両社ともに初めてのことばかりで、最初は慎重なコスト見積りの結果、コストが高かった。次の試作に向けてコスト低減設計を織り込むも、問題が発生してコストアップに逆戻り。製造担当の両社はコスト見積り精度が上がった結果、コストアップになる。これの繰り返しで、プロジェクト企画時の希望小売価格98,000円は、半年後に127,300円に修正、生産試作直前に149,000円に修正された。

二輪業界と初めて付き合うことになったブリヂストンサイクルは、協力的だったが、終始慎重だった。モータの付いた自転車の高いコストから見ても、この商品の将来性に懐疑的な見方をしていた。先述のフレームの対策会議中に、「生産台数は1994年3月までに3,000台と決まりました。」と告げると、高木と江口は「3,000台も売れますかね？」と真顔で心配してくれた。1993年6月中旬から始まったモニタ車試作の組立でも、ブリヂストンサイクルの慎重さが垣間見られた。6月下旬に組立の立ち合いに筆者らが訪問した時、今までの試作組立と同様、佐賀県北茂安町の佐賀工場のライン又はラインサイドを使って組み立てると思っていた。しかし、案内されたのは福岡県鳥栖市の配送倉庫だった。話を聞くと、組み立ては、倉庫ではなく、その横の閉鎖した小さな旧営業所の一部屋を使って行うとのことだった。広い方のもう一部屋は組立前の部品及び出荷検査兼一時車両置き場だった。佐賀工場から、組立に必要な工具・道具などを運んで、３台の作業台で３人のベテラン作業員が作業中だった（図 4.20参照）。佐賀工場やヤマハ発動機の組立ラインとの規模の違いに驚いたが、「1994年3月までに3,000台」なら、1日約30台のペースと考えると納得できた。

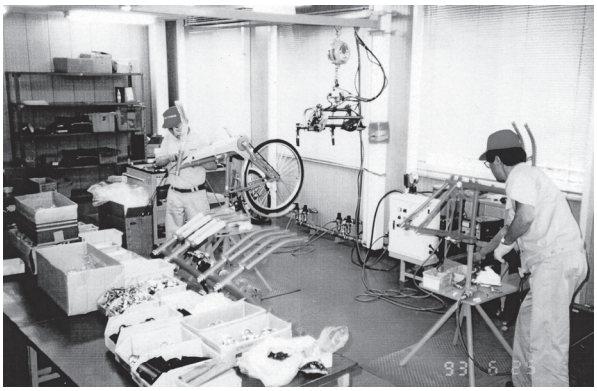


図 4.20　モニタ車の組み立て

舞台裏は問題と対策の日々で、繁忙の連続であったが、表向きは徐々に進んでいた。1993年2月25日に異例の技術発表が行われた。この時に技術名称として使われたPAS(Power Assist System)を、その後、商品名称にも使うことになり、電動ハイブリッド自転車PASの販売準備が着々と進められた。7月に自転車として認可する旨の警察庁通達が発表されるらしいとの情報を元に、7月27日に東京と浜松でマスコミ関係者を対象にしたPASの商品発表・試乗会が行われた。これには先述のモニタ車試作170台が使われた。生産試作前に170台もの車両組立を実施するのは、ヤマハ発動機としても異例中の異例だった。この力の入れ様が功を奏したのか、商品発表・試乗会は盛況で、夕方のニュースで「時代性のある画期的な商品」と報道された。この頃になると、社内でも広く知られ、「なぜヤマハ発動機社内で作らないのか」と質問されるようになっていた。

その後、1993年10月1日森山工業で駆動補助装置、10月15日にブリヂストンサイクルでPAS（PA26）車両の生産組立が開始され、11月1日に神奈川・静岡・

兵庫の３県での導入販売が開始された。販売前の予約を含めて、当初予定の3,000台は数か月で売り切れてしまった。この状況を受けて、1994年４月１日からの全国販売では、年間10,000台の販売目標が30,000台に上方修正された。

図 4.21　商品発表・試乗会[3)]

図 4.22　PAS（PA26）生産仕様

4.3.4　鉛蓄電池のサイクル寿命で大苦戦

この商品開発で最も問題だったのが、バッテリだった。開発メンバは商品開発当初、一充電当たりの走行距離測定方法とその実力値ばかりに気を取られていた。当初のQFDでは色々議論の末、技術開発時における走行性能実験コースでの道路状況と走行距離の実績などから、一充電当たりの走行距離の目標を20kmと決めていた。一充電当たりの走行距離は、満充電の電池を付けた電動アシスト自転車が一定の駆動出力パターンで持続して走行できる距離をいう。電池側から見ると満充電時の電池容量及び放電開始電圧から放電終止電圧までの実際の放電電流量で決まる。電動アシスト自転車の電池出力電流は図 2.2の合力のような脈流になるが、電池メーカでは、電池容量を１C（定格容量のAhで表現された電池の時間率容量と同じ数字の電流値、７Ahの場合は７A）の定電流放電で測定していた。開発目標20kmを決めた時の実験コースの道路状況・アシスト出力の様子と電池メーカの電池容量を結び付け、最終的にカタログ値の測定条件として公表できる自動車のモード燃費のような走行パターンを決める必要があった。

色々な実験走行と測定電流値を材料に議論を重ねた結果、図 4.23のような走行パターンを一充電当たりの走行距離の台上測定パターンとして決めて、測定することにした。自動・無人の測定装置などはなかったので、試作車両の後輪に市販の自転車用固定式ローラ台を取り付け、室長の藤田以下、全員交代でペダルを漕ぎ、アシスト出力が切れるまでに台上で走った距離と電池出力電流・電圧値を測定した。電池のバラツキも考慮する必要があり、数回同じ仕様の電池と車両でこれを行う必要があった。こうして得られた電池の出力電流データを基に、電池メーカと電池容量、電池出力電流、放電終止電圧などの議論を重ねた。1992年夏、電池形状の決定が遅れ、先述のデザイン作業の段階で電池サイズが大きくなった背景には、ヤマハ発動機側のこうした事情と活動も影響していた。

メンバ全員参加のこの測定は、試作イベントでモータ制御仕様又は電池仕様が変わるごとに繰り返された。1993年７月の警察庁通達発布以後は、この台上走行測定と実際の道路での使用状況との相関及び測定パターンの妥当性検証のため、いくつかの道路状況とコースを決めて、これも全員交代で測定に当たった。この頃には、社内の他部署や営業部門の人たちの協力も得て行われた。

標準走行路

走行パターン

走行路	走行速度	変速段数
平坦路	15km/h	最大の変速段（3速）
２度上り坂	10km/h	中間の変速段（2速）
２度下り坂	20km/h	最大の変速段（3速）

（注）JIS D 9115:2018 電動アシスト自転車、附属書Dの標準パターンでは、「上り坂の勾配＝4度、下り坂の勾配＝4度、及び最後の平坦路が無く、合計4kmの道のりであること」が異なる。

図 4.23　一充電当たり走行距離測定のヤマハパターン

上述の走行パターンは、ヤマハパターンと命名され、PASの取扱説明書に平坦路走行、坂道走行などと併記されて公表された。後に新規参入したメーカも、これを参考に一充電当たり走行距離を表示するようにな

り、2001年に業界安全基準の参考表記例として採用された。さらに、道交法のアシスト比率が改正された翌年の2010年には、登坂角など一部を改正して業界安全基準で規定化された。2018年に、同じ内容でJISでも規定化された。

1992年暮れに先述のバッテリサイクル寿命試験装置が完成したので、1993年年頭から自社でも電池のサイクル寿命試験を始めた。サイクル寿命試験では、電池の放電時間、充電時間及びそれらの間に電池温度を規定の値にするための放置時間（冷却時間）が必要である。このときの鉛蓄電池と充電器では、充電に8時間を要したので、1サイクルに十数時間を必要とした。サイクル寿命試験開始から数か月後、試験中の電池のいくつかで、目標200サイクルの半分程度のサイクル数で規定電圧以下に低下してしまうものがあることが分かった。生産開始予定月の約半年前のことだった。電装系担当者らは慌てて、データを持って電池メーカとの協議を行った。鉛蓄電池のサイクル寿命は、電池の電極及び電解液の成分・製法、放電時の環境温度・放電深度・放電最大電流値など様々な要因が絡み合って決まると言われ、今回の場合は電極付近の電解液濃度のバラツキの要因が大きいとされた。PASに使われた鉛蓄電池はシール形（制御弁式）鉛蓄電池と言われ、ゲル状の電解液をガラス繊維にローラで塗って電極の間に詰める構造になっていた。年間数千台という電池メーカにとっては試作レベルの生産量なので、作業はほとんどが生産に入っても手作業の予定になっていた。PASの商品開発の間は、さらに試作レベルの作り方なので、バラツキが大きくなるのも当然と思われた。今回の対策として、電池側で電解液及び塗布工程の改良を行った。またモータ制御仕様も電池に有利なように一部を見直した。その改良品の寿命確認が生産間際に合格と認められ、多少の不安感はあったが生産に入った。先の官庁への説明や商品発表会でも生産開始時期を明言して、販売前から予約が殺到している以上、さらに延期することはできなかったのである。

心配が現実のものになったのは、販売後数か月経過してからである。「数か月で、走れる距離が短くなった」、「カタログの200回も充電していないのに、以前行けたところまで行けなくなった」などの苦情が頻発するようになった。発売初期のPASの鉛電池に関する苦情は、時を経過するごとに増え続け、半年後に十数パーセントのクレーム率を記録した。

さらに開発者の予想外だったのは、PAS販売開始の2年目（1995年）の春に急増した「久しぶりに乗ろうと思ったら、すぐ電池切れの点滅ランプが点いてしまう」という苦情だった。液式の鉛蓄電池の電解液が極端に不足した時に起こるサルフェーションに似た現象だった。サルフェーションは、放電時に電極表面に生成される$PbSO_4$（硫酸鉛）が、負極表面に付着し、腐食層として内部抵抗の増大、充電効率の低下、放電容量の低下を引き起こす現象である。通常は図4.24のように、充電時に負極ではPb（鉛）に、正極ではPbO_2（二酸化鉛）にそれぞれ戻るが、放電深度の深い状態で長期間放置されると、$PbSO_4$（硫酸鉛）の結晶化・硬質化が促進され、通常の充電電流では元に戻らなくなって、急速にサイクル寿命が短くなる。PASの2年目（1995年）の春先に多く発生したこの現象は、シール形の鉛蓄電池での発生のメカニズムとして、原因がよく分からないというのが電池メーカの見解だった。開発メンバは、連続した充放電条件でのサイクル寿命試験は自動試験装置を使って試験をしていたが、長期間放置した後の電池を使った寿命試験までは行っていなかった。

開発メンバは初期クレームが発生した直後から、電池メーカに対策バッテリの開発依頼をした。対策バッテリは電池容量が7 Ahから7.5Ahに増加し、質量が2個で約800gも増加したが、寿命に対する苦情は激減した。ヤマハ発動機は、PASを高額で購入してくれたユーザのために、その後クレームがなくなるまで対策バッテリを無償で供給し続けた。さらに、1995年には鉛蓄電池を断念し、ニカド電池のモデルを市場投入した。

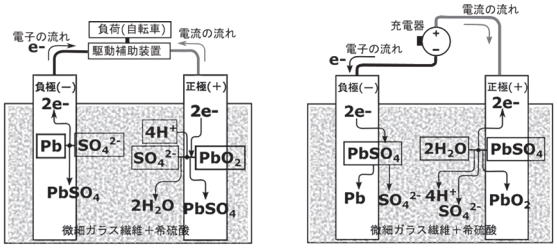


図4.24　鉛蓄電池の放電と充電時の反応

4.4　初代PASの果たした役割と残された課題

大きな話題と電池のクレームを抱えながら販売を順調に伸ばしていったPASは、販売開始からの約2年間で、機械振興協会 会長賞、新技術開発財団 市村産業賞貢献賞、日経産業新聞 優秀製品賞など数々の賞を受賞した。PASの誕生及びその後の藤田・小粥らの活動で、以下のような新しい流れが世の中に生まれた。

・自転車市場の中に、電動アシスト自転車という全く新しいカテゴリの市場が誕生した
・車道を走る電動の乗り物の本格的な実用化の先駆けとなった（歩道を走るハンドル形電動車いすは、1974年にすでに実用化されていた）
・人の力をアシストするという技術概念（特にモータ制御技術）のきっかけとなった
・1995年の道路交通法改正のきっかけとなった
・1995年から始まった電動アシスト自転車型式認定制度のきっかけとなった
・1996年の任意団体 電動アシスト自転車安全普及協議会発足のきっかけとなった

PASは、自転車として認められたが、通常の自転車と比較した場合の商品としては、まだまだ課題が多かった。それは以下のような項目が挙げられる。
・車両が31kgと重く、一般用自転車と比べると、車両の取り回しが大変だった
・軽快車・シティ車が３～５万円で販売されていた時代に、約15万円の価格は高かった
・高い価格にも拘らず必要とした人達として、高齢者からの支持が多く集まり、ユーザも高齢者が多かったので、高齢者の乗り物とみられる傾向が強かった
・サドルの下に大きなバッテリボックスがある構造のため、高齢者の乗り物してはサドル高さが高かった
・電池の脱着ができなかったので、「充電が面倒」という苦情が多かった。また、外で充電中に雨に濡れた充電器のクレームも少なからずあった

参考・引用文献

1）日本特許、特許情報プラットフォーム（J-Plat Pat）、独立行政法人工業所有権情報・研修館、accessed on 2020-04-25, https://www.j-platpat.inpit.go.jp/
2）一般財団法人 自転車産業振興協会：「自転車実用便覧　第４版」、（1982）
3）ヤマハ発動機：「社報ヤマハ　No.272」、（1993）

5 電動アシスト自転車の普及と発展の変遷

5.1 製品ライフサイクル視点での期間の分類

初代PASの限定発売（1993年11月）以後、独自の商品開発を果たした新規参入企業が1995年頃から次々に現れ、徐々に電動アシスト自転車市場が形成されていった。一般用自転車と比べると、高額な電動アシスト自転車は急激に増加することはなかったが、価格が下がり、機能・性能も進化していくのに連れて、自転車又は自動車からの乗り換えなどというかたちで、販売台数が徐々に増えていった。図 5.1の上図に、電動アシスト自転車の市場規模の推移を表す指標として、1993年から2020年までの年間生産台数を棒グラフで示す。市場規模を表す指標としては、出荷台数又は小売業の販売台数等が適切であるが、自転車及び電動アシスト自転車に関する小売業の販売台数・金額を広範囲に、正確に、長期的に集計した統計データは存在しない。また電動アシスト自転車では、1996年以前の製造事業者の出荷台数・金額の正確な統計データはない。よって、本報告書では全体を通して、自転車及び電動アシスト自転車の生産台数・金額の統計データで、市場規模の推移を議論する。

図 5.1上図には、電動アシスト自転車の技術及び市場に大きな影響のあった出来事を△の点で、また国内経済に影響の大きかった出来事を■の点で、それぞれ示した。また、図 5.1下図に、内閣府発表の景気動向指数のうち、コンポジット・インデックス（CI）の一致指数及び遅行指数(用語についてはコラム４参照)を併記した。電動アシスト自転車は、一般用自転車の２～３倍の価格で売られてきたので、販売台数だけでなく生産台数も、景気の動向に左右されて変動しやすい傾向にある。

電動アシスト自転車市場と景気の動向及び技術に関する出来事等との関係を更に詳しく分析するために、経済産業省生産動態統計に電動アシスト自転車の項目が追加された1997年１月から最近までの月間生産台数及び出荷台数を図 5.2の上から２段目に示す。月間生産台数及び月間出荷台数で共に特徴的なことは、時期に大小の違いはあるものの、一年を周期とした季節変動である。また、月間生産台数と月間出荷台数の比較で顕著なのは、2014年以降の月間出荷台数が春（特に３月）に突出している点である。一年単位の周期変動は、電動アシスト自転車の大手製造企業が、一般用自転車と同様に、一年周期のモデル開発・販売計画をしていること、及び冬季に市場の需要が低下することと関係している。近年特に顕著な３月の出荷台数の伸長は、一般用自転車のシティ車が軽快車と呼ばれていた1995年以前から（コラム２の「JIS規格における自転車の分類」参照)、中学生・高校生の通学用自転車が入学式前に集中的に購入される現象（自転車業界では春需と呼ばれている）と同じである。これは、後述するように、電動アシスト自転車の大手企業が、近年特に高校生の通学用電動アシスト自転車に力を入れていることからも類推できる。

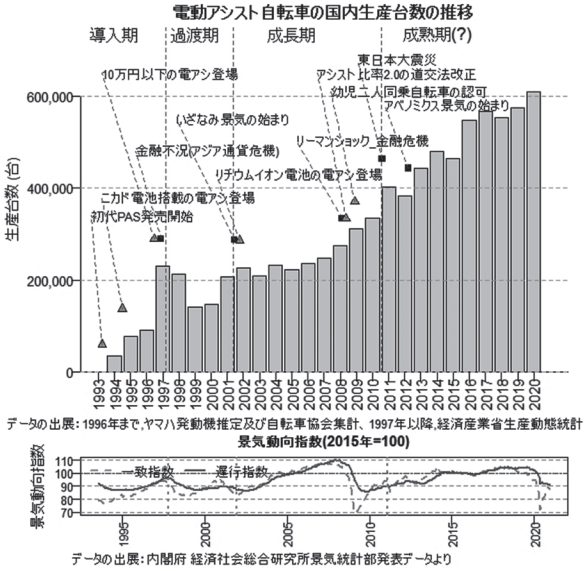


図 5.1　電動アシスト自転車の年間生産台数の推移[1), 2), 3)]

そこで、月間生産台数をLOESS局所回帰による時系列分解で、傾向成分、季節変動成分及び残差(不規則)成分に分解したグラフ（導出方法についてはコラム４参照）を、図 5.2の下３段に示す。この中で、上から３段目の傾向成分が、電動アシスト自転車生産台数の長期的推移の特徴をよく表している。ただし、傾向成分の両端（本統計データでは開始時期1997年及び終了時期2020年）周辺が変曲点である場合には、端点内側の値のみで曲線が平滑化されているので、正確な傾向を示しているとは言えないことに注意する必要がある。

傾向成分の曲線は、1997年から2000年にかけて下降して、2000年からは上昇に転じている。1997年から2000年の下降傾向の時期には、上から２段目の生

産台数と出荷台数の差異も大きい。図 5.1 上図の出来事でいうと、1997 年初期に 10 万円以下の電動アシスト自転車が登場して、生産台数が伸びたものの、1997 年後半からの金融不況の影響で販売及び出荷が低下し、翌年に生産台数を絞ったあと、出荷が生産台数よりは多かったことを示している。1997 年から 2001 年までの間では、上から２段目の生産台数及び最下段の残差成分の変動が、その後の時期に比べて、大きい。これは、この時期に“力の入ったモデル”が相次いだことを示唆するものと言える。

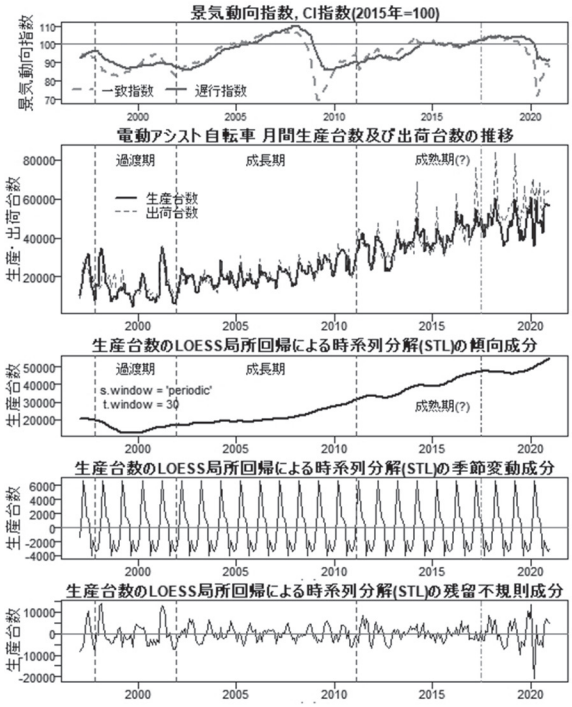


図 5.2　月間生産台数及びその時系列分解[3),10)]

2002 年から 2010 年までの傾向成分の曲線は、ほぼ一定のペースで伸長し続けている。同時期は、生産台数と出荷台数の差異もほとんど見られず、残差成分もほぼ一定の周期的変動で安定している。ただ、この期間の後半、図 5.2 最上段の景気動向指数は大きく下落している。特に、一致指数の落ち込みは大きい。図 5.1 上図の出来事で言うと。リチウムイオン電池及びいざなみ景気の波に乗って一定の上昇を続けた電動アシスト自転車市場は、2008 年からのリーマンショックによる金融危機で不況下に突入したものの、2008 年に施行されたアシスト比率 2.0 の道路交通法改正及び 2009 年施行の幼児二人同乗自転車の条例改正によって、不況の影響をほとんど受けずに伸長し続けたということができる。

2011 年から最近までの傾向成分の曲線は、踊り場からの上昇を二回続けた後、2017 年中旬から 2019 年までは停滞の状態が続いていた。これは、2019 年までの景気動向指数の遅行指数と類似している。注意すべきは、2020 年以降の景気、出荷台数及び生産台数の動向である。2019 年後半からの生産台数及び出荷台数は、それ以前の年と大きな違いがある。傾向成分の末端は現状を正しく反映していない可能性に注意が必要だが、傾向成分は、景気動向指数のような下降傾向を示しているようには見えないばかりか、上昇しているようにさえ見える。

以上のような分析を基に、本報告書では、電動アシスト自転車市場の期間を、図 5.1 及び図 5.2 の縦の点線で示したように、導入期 － 過渡期 －成長期 － 成熟期（？）の四つの期間に分けて、それに沿って電動アシスト自転車の市場・製品・技術の変遷を記述していくことにする。製品ライフサイクル論では、導入期 – 成長期 – 成熟期 – 衰退期 の４段階での分類が一般的だが、ここでは、導入期の次に過渡期（1998 年から 2001 年まで）を入れて、ここでの商品開発についての出来事を詳しく記述する。また、2011 年 3 月の東日本大震災以降 現在までの期間を成熟期としたが、以下のような疑問がぬぐい切れないので、その前の成長期とは違うという意味で、成熟期（？）と呼ぶことにした。

・2011年3月から現在までの期間が、成熟期と言えるのか？大雑把に見れば、まだ成長期ではないか？
・2011年3月ではなく、停滞の傾向が明確に始まった2017年中旬（図 5.2の2017年に引かれた縦の一点鎖線）で分ける方が適切ではないか？
・2020年の不況下における市場・生産・開発の動向によっては、言い方及び分類を変更する必要があるかもしれない。

この期間の分類、各期間における主な出来事及びこの時期の技術の方向性を改めて表 5.1 に示す。

今後の電動アシスト自転車市場を占う、又は成長を維持していくうえで、特に重要な時期は過渡期である。表 5.1 に記述したこと以外に、過渡期に関しては、以下のようなことも注目しておく必要がある。

・一般用自転車の低価格帯輸入自転車で価格の低下が起こり、１万円未満の軽快車も店頭に並んだ。
・既に減少傾向にあった国内の軽快車生産台数が、この時期を機に更に落ち込み、台数規模では輸入自転車が軽快車国内生産台数を上回った。
・表 5.1に記述した重要な技術の進化が起こったが、それらの技術は現在も続き、大きくは変わっていない。

表 5.1　電動アシスト自転車市場・製品技術の製品ライフサイクル視点での分類

段階	期間	市場、周辺環境における主な出来事	代表的な技術的進化の方向性
導入期	1993秋～1997秋	・電動アシスト自転車市場の誕生 ・販売台数・生産台数の増加傾向 ・システムサプライヤと自転車組立メーカ	・駆動補助装置の軽量化・小型化 ・電池の脱着充電機能 ・自転車技術による弱点解消 ・価格10万円以下へのコスト低減
過渡期	1998～2001	・不況下での販売・生産の減少傾向 ・低価格化による販売増への誘惑 ・事業撤退の続出 ・市場の勢力図逆転の原因となる開発	・より高エネルギー密度の電池 ・自転車走行の軽さ、磁歪式トルクセンサ ・モータのブラシレスDC化 ・アルミフレームによる軽量化 ・低価格化
成長期	2002～2011冬	・充実の製品ラインナップ、好景気、自転車ブームの中での市場の拡大 ・安全性を見直すきっかけとなった消安法、電安法の改正 ・不景気の中、追い風となった道交法改正　（アシスト比率、幼児二人同乗自転車）	・リチウムイオン電池による軽量化と高容量化 ・省電力と快適走行両立のモータ制御 ・改正消安法・改正電安法、アシスト新基準、幼児二人同乗基準に対応する安全性 ・シティ車の中での車種増加、スポーティ車への挑戦
成熟期（？）	2011春～現在	・販売台数・生産台数の増加と一時停滞傾向 ・自転車業界の中心的商材としての電動アシスト自転車 ・e-bike 市場の誕生	・リチウムイオン電池の高容量化 ・幼児二人同乗自転車の多様化 ・高校生通学用電動アシスト自転車 ・日本版e-bikeへの挑戦

・表 5.1に記述した電動アシスト自転車技術の方向性のうち、軽量化及び低価格化は、その後、高機能化・高容量化及び安全性の重視傾向並びに車種の多様化から、一部車種では維持されてきたが、技術全体の方向性ではなくなった。

電動アシスト自転車市場の歴史において、過渡期は同業界が過去に唯一経験した「不況下での販売・生産の減少傾向」の時期であった。不況下で製品が売れない時期が続くと、技術の方向性も揺らぎやすい。過渡期の時代と現在では、電動アシスト自転車及び業界の状況に異なる点が多くあり、歴史の振り返りがそのまま将来にも当てはまるとは限らないが、何かの参考になるかもしれない。その過渡期も含めて、本章及び次章で電動アシスト自転車の発展及びその技術の進化について記述していく。

コラム４：景気動向指数及びLOESS局所回帰による時系列分解について

景気動向指数の一致指数及び遅行指数について

本文図 5.1 及び図 5.2 の景気動向指数データは、内閣府のウェブサイトで公表されている「景気動向指数 長期系列」から「CI 指数（2015=100）」の「一致指数」及び「遅行指数」のデータを用いた。同ウェブサイトによる各用語の解説を以下に記す。

Table 8　景気動向指数に関する用語の解説[1)]

用語	意味
景気動向指数	生産、雇用など様々な経済活動での重要かつ景気に敏感に反応する指標の動きを統合することによって、景気の現状把握及び将来予測に資するために作成された統合的な景気指標をいい、コンポジット・インデックス（CI）とディフュージョン・インデックス（DI）がある。
CI指数（Composite Index）	採用系列の前月と比べた変化の大きさを合成して作成した指数。採用系列には、多くの経済指標の中でも景気に敏感に反応する系列が選ばれる。景気変動の大きさやテンポといった量的側面（量感）を把握できる。
一致指数	景気の動きに対し、一致して動く指標。景気の現状を把握するのに用いられる。
遅行指数	景気の動きに対し、遅行して動く指標。景気の転換点を確認するものとして利用される。

一致指数及び遅行指数の計算のもとになる統計は、時代に合わせて度々変更されてきたが、本文図 5.1 及び図 5.2 で用いたデータを引用したときの「第１２次改定（2020 年７月）」の主な内容は、

・一致系列：生産指数（鉱工業）、耐久消費財出荷指数、営業利益（全産業）など 10 項目

・遅行系列：家計消費支出（勤労者世帯）、完全失業率、消費者物価指数（生鮮食品を除く）など９項目

LOESS局所回帰による時系列分解について

一般的に、時系列データは、傾向成分（trend）、周期変動（periodic）、季節変動（seasonal）、不規則変動（random）又は残差成分（remainder）に分解できる。本文図 5.2 の生産台数データは、周期変動と季節変動が同じと見られることから、ある時期 i の時系列データ xi は、傾向成分 ti、季節変動成分 si、不規則成分 ri とすると、以下の式で表される。

$$x_i = t_i + s_i + r_i$$

本文図 5.2 における時系列データの成分分解は、LOESS による時系列の季節変動成分の分解法（STL: Seasonal decomposition of Time series by Loess）であり、具体的には R の stats::stl 関数による計算である。これは、全データの中で共通の季節変動成分をまず分離し、次に残りから傾向成分を取り出す。傾向成分を計算する方法には、移動平均法が古典的で有名だが、R の stl 関数は LOESS（正式には LOcally Estimated Scatterplot Smoothing だが、“LOcal regrESSion”（局所回帰）に由来するとも言われている ）を利用している[2)]。LOESS は non-parametric 回帰分析の一種で、順に並んだ各データ（例えば、時系列データ xi）について、計算する周辺データの範囲（span、stl 関数の場合は t.window）を設定して、その範囲内にあるデータの多項式回帰曲線（本文図 5.2 では default の二次回帰曲線）を計算し、次々にデータを移動して（i の値を順に変えて）、回帰曲線を繋いで、全体の回帰曲線にする方法である。Span（全データ範囲を 1.0 として、0 ～ 1.0）の値が大きいほど、回帰曲線は滑らかな曲線になる[3)]。こうして季節変動成分及び傾向成分を分離した残りが、不規則成分又は残差成分になる。

参考・引用文献

1）内閣府 経済社会総合研究所：website「景気動向指数」、内閣府 － 統計情報・調査結果 －景気統計、（2020）、accessed on 2020-11-07、https://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/di/menu_di.html

2）The R Core Team：Reference manual "stats::stl (Seasonal Decomposition of Time Series by Loess)", "R: A Language and Environment for Statistical Computing, Reference Index, Version 4.0.3 (2020-10-10)"、p.1690、(2020)、accessed on 2021-01-20、https://cran.ism.ac.jp/
3）The R Core Team：Reference manual "stats::loess (Local Polynomial Regression Fitting)", "R: A Language and Environment for Statistical Computing, Reference Index, Version 4.0.3 (2020-10-10)"、p.1478、(2020) 、accessed on 2021-01-20、https://cran.ism.ac.jp/

5.2 導入期における市場の形成と技術的進化

5.2.1 ニカド電池・脱着充電でその後の流れを作ったホンダ ラクーン

1990 年初期、本田技研工業の小型電動車両開発の中心は、電動スクータ「ホンダ CUV ES」（3.3.2 参照）だった。そのような状況下でも、「ピープル」（1984 年発売、3.2.1 参照）以来の小型・軽量の自転車のような乗り物への情熱は消えていなかった。図 5.3 は、初代 PAS の限定発売（1993 年 11 月）の前に本田技研工業から出願されたペダル付きの電動機自転車に関する代表的な特許である。いずれも人力によるトルクを検出し、車速とトルク値から、人力の補助としてモータ駆動力を用いるか、又はモータ駆動力に切り替えるアイデアの発明であった（後にすべて特許登録され、本田技研工業の電動アシスト自転車に関する特許権の拠り所の一部となった）。この中で 1991 年 1 月出願の特許 2814149 の発明者 神谷寛並びに 1993 年 4 月出願の特許 3274226 及び 1993 年 9 月出願の特許 2933926 の発明者 黒木正宏は、電動スクータ CUV ES に関してもいくつか特許を出願している。彼らを含む数名の設計者が、電動スクータ及び後の電動アシスト自転車ホンダ ラクーン（UB01）の両方で特許の発明者になっていることが、特許の出願履歴で分かる。

特に注目すべきは、図 5.3 下段の二つの特許である。1993 年 4 月出願の特許 3274226 は、ヤマハ発動機の電動アシスト自転車最初の特許である特許 3086475（4.2.1 のプロト車に関する特許）が公開された 1992 年 4 月の約 1 年後に、当該公開特許を引用して、その一部を改良する発明として出願されている。当時は警察庁通達前なので、ペダル付きの電動自転車として公開特許公報をチェックし、それに対する回避や改良策を考えての出願である。さらに、1993 年 9 月出願の特許 2933926 は、警察庁通達及び初代 PAS の商品発表・試乗会（4.3.3 参照）の 2 か月後に出願された。これは、先の出願を改良し、踏力検出手段及び速度検出手段によって、モータの駆動力が人力を超えないよう制御され、かつ高速時にはその作動を停止するよう制御されることを特徴とする電動モータ付き自転車に関する発明だった。これらの特許公報に蓄電池の種類についての明確な記述はないが、フレームのメインパイプに内蔵された大きさから、電動スクータ CUV ES で開発中のニカド電地を前提にしていると考えられる。本田技研工業は、ヤマハ発動機の初代 PAS が限定発売される前から、今までのペダル付きの電動自転車の開発の延長線上で、特許調査及び聞こえてくる情報を元に、電動アシスト自転車に繋がる開発を着々と進めていたのである。

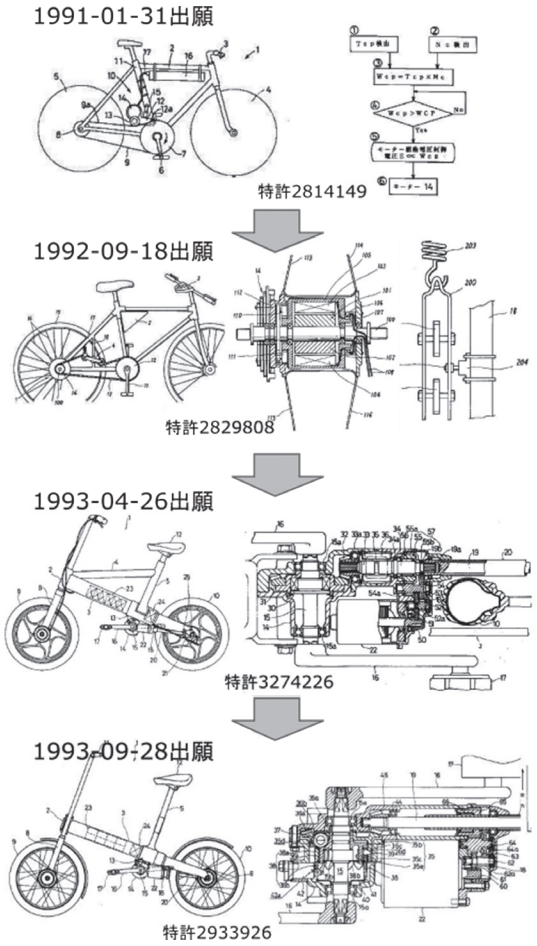


図 5.3　本田技研工業の 1990年初期の電動自転車特許

初代 PAS が限定発売されてから 15 か月後の 1995 年 3 月に、ホンダ ラクーン（UB01）が発売された。車格は従来の開発で検討されてきたものではなく、初代 PAS と同様のタイヤサイズ 650 × 35A の外装カバー付きシティ車タイプで、パワーユニットはセンターモータ駆動方式・モータ人力別軸クランク軸合力一体式である。図 5.4 にホンダ ラクーン UB01 の外観、並びにバッテリボックス及びパワーユニットのレイアウトが分かる図を示す。希望小売価格も初代 PAS とほぼ同じ 148000 円だった。

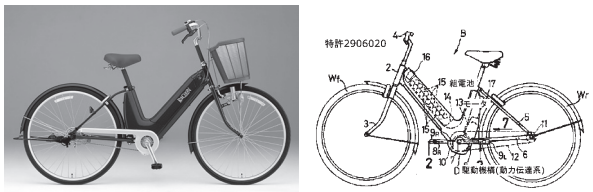


図 5.4　ホンダ ラクーン 26（UB01）と主要部品の配置[5)]

図 5.5 はホンダ ラクーン UB01 のパワーユニットの断面図である。モータ駆動系減速機構は、従来からの開発と同じ２段の平歯車減速機構（最終的に１段目は騒音対策で、はすば歯車を採用）から傘歯車機構を介してチェーン伝達に繋がっている。トルクセンサ機構の信頼性及び全体デザインなどを考慮して、歯車減速機構をパワーユニット底部に配置し、モータ回転軸を伸ばして、モータ本体をパワーユニットの上方に配置した構造になっている。

ホンダ ラクーン（UB01）には、トルクセンサ機構として、トーションバー、スプリング及びポテンショメータを組み合わせた機械式トルクセンサが採用された。初代 PAS の遊星歯車機構、スプリング及びポテンショメータの構造に比べると、構造が簡単で、人力のみの走行時に損失が少ないので、軽くペダルを漕ぐことができる。

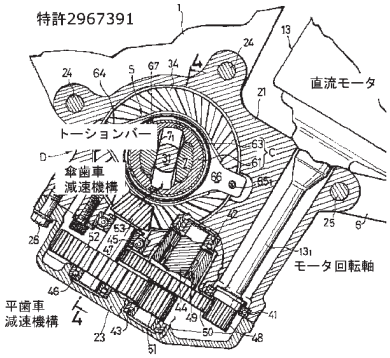


図 5.5　UB01駆動補助装置の駆動部構造

初代 PAS との比較で目立つのは、車両質量 28kg（初代 PAS は 31kg）である。これには蓄電池として、ニカド電池を採用している点が大きく寄与している。アシスト走行性能はほぼ同等であり、先述のトルクセンサ機構の簡素化と車両の軽さで、人力のみの走行では初代 PAS より軽く感じられた。さらにホンダ ラクーン UB01 には、初代 PAS で断念された脱着式バッテリボックス構造が採用されていた。初代 PAS の電池改良機種である PAS type E の鉛蓄電池ボックスの質量 7.2kg に比べると、ホンダ ラクーン UB01 のニカド電池のバッテリボックスは 3.8kg、約 53% であり、これなら脱着式バッテリボックス構造が採用可能な質量である。ホンダ ラクーン UB01 のバッテリボックス取付構造は、初代 PAS の特許 2684029（図 4.16 参照）の問題点を改良するかたちで良く研究された構造だった。

これらの特徴から、ホンダ ラクーン UB01 以降に各社から発売された電動アシスト自転車の蓄電池には、一部を除いて、ニカド電池が採用されるようになった。また、ここで採用された密閉形 D セル単電池 10 個による組電池で、公称電圧 24V・電池容量 5.0Ah が、導入期から過渡期までの電動アシスト自転車蓄電池の標準サイズになっていった。

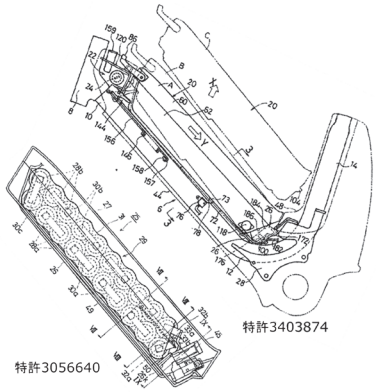


図 5.6　脱着式バッテリボックスの構造

図 5.7　バッテリ単体及び車両搭載での充電[6)]

ホンダ ラクーン UB01 の蓄電池には全く課題がないわけではなかった。その一つが、初代 PAS と同じ長い充電時間（最長充電時間は 10 時間）であった。

1995年12月発売のホンダラクーン24（UB02）及び26シリーズで、ニカド電池の最長充電時間は、10時間から3.5時間に短縮された。[6)]

5.2.2　ハブモータ駆動方式を追求した三洋電機

三洋電機は、1980年代から自転車用前照灯などを供給する部品メーカとして自転車業界との関わりがあり、1970年代から断続的にペダル付きの電動自転車の検討を行ってきた歴史があった。図 5.8は三洋電機から1992年に出願されたペダル付きの電動自転車の特許である。上図はクランク軸下に配置したモータからベルト伝達機構でタイヤに圧接したローラを駆動させる構造である。中図は後輪軸後ろに配置したモータからベルト伝達機構を介して、さらにチェーン駆動で減速し、後輪軸で人力と合力する構造である。下図は、ハブモータ後輪駆動方式のドライブユニットで、モータから２段のベルト伝達機構を介して、最後は歯車減速機構で後輪軸を駆動する構造である。いずれもトルク検出装置及び車速検出装置は装備しておらず、ハンドルに付けたグリップ操作で速度調節を行うアイデアであった。

三洋電機は、初代PASの商品発表・試乗会または限定発売以後、改めて電動アシスト自転車の駆動補助装置の開発に着手した。図 5.9は、三洋電機から電動アシスト自転車に関する発明として初めて、1994年3月に出願された特許である。ここでは、図 5.8の２段のベルト伝達機構と歯車減速機構を用いたハブモータ後輪駆動方式のドライブユニットを基にして、当該ドライブユニットの中にトルクセンサを追加することが検討されている。このころの三洋電機の戦略は、システムサプライヤとして電動アシスト自転車駆動装置を自転車製造メーカに供給することだった。そこで、開発力の低い自転車フレーム製造メーカや組み立てメーカにも有利だという理由から、蓄電池以外は全て後輪ハブの中に内蔵する構造が採用された。図 5.9の特許3048826によると、断面図の左は歪ゲージ式トルクセンサ、右は磁歪式トルクセンサと記述されているが、後に生産・販売されたものは、コイルスプリング、可動片及び検出コイルを組み合わせた構造の機械式トルクセンサであった。

三洋電機は、ホンダ ラクーンUB01の発売とほぼ同時期の1995年2月に、電動アシスト自転車用駆動補助装置のキットCMU-1を発表した。それから3～4か月後の1995年5月～6月にCMU-1キットを使った電動アシスト自転車が、楽々族S型、L型（出来鉄工所）、エレモス（サイモト自転車）、らくでんな（ヨコタサイクル）、及びララミー（ホダカ）としてそれぞれ発売された（図 5.10参照）。三洋電機の駆動補助装置キットCMU-1には、Cセルサイズのニカド電池が使われた。

CMU-1キットの発売から約1年半後の1996年10月に三洋電機は、自社ブランドの電動アシスト自転車エナクルCY-A1を発売した。エナクルCY-A1では、「リヤキャリヤを持つとずっしり重い」「後輪ハブが大きくて、重そう」などの従来モデルに対する不満を解消するために、直流モータのステータヨークに接着した磁石をフェライト系からネオジム系に変更して、モータの小型・軽量化を目指した。その他の工夫も合わせた結果として、駆動ユニットの外径を約10%減のφ 260mmに小型化、質量を約30%減の5.1kgに軽量化した（図 5.11参照）[7)]。

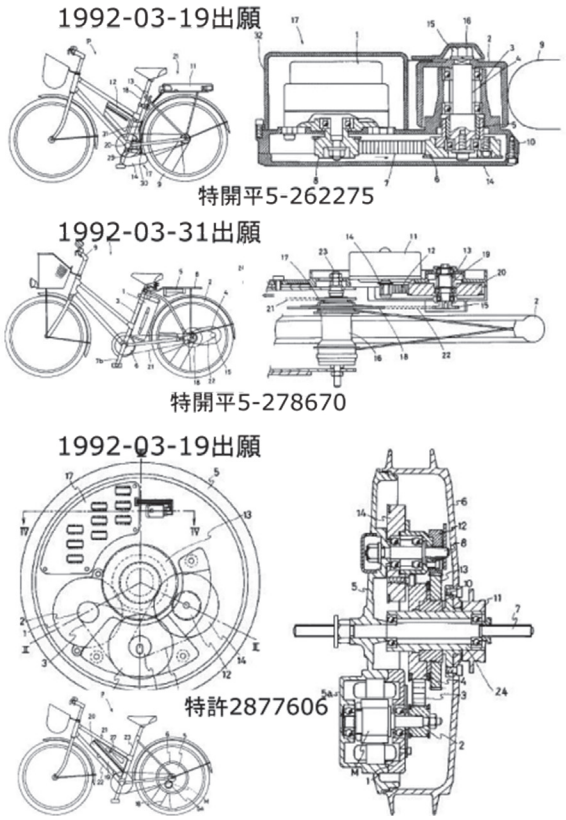


図 5.8　1992年出願の電動自転車に関する特許

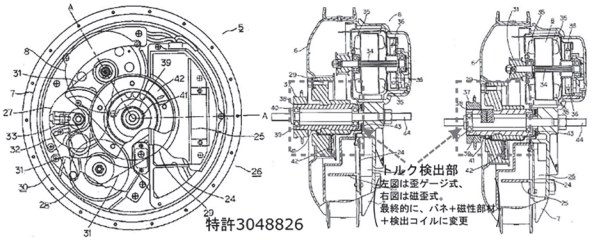


図 5.9　CMU-1のドライブユニット

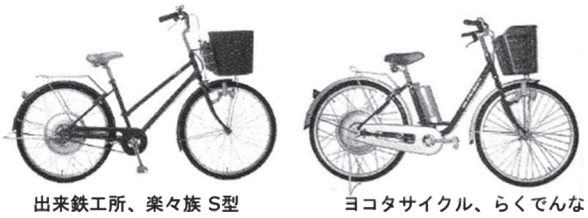


図 5.10　CMU-1キット搭載の電動アシスト自転車[8)]

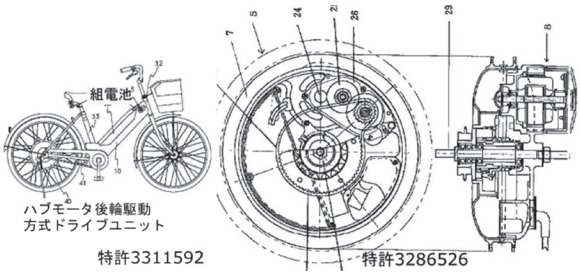


図 5.11　エナクル CY-A1及び駆動ユニット

5.2.3　異業種も含めた新規参入ラッシュ

ヤマハ発動機、本田技研工業及び三洋電機の電動アシスト自転車市場への参入の話題を受けて、1993 年から 1997 年の導入期には、様々な企業が電動アシスト自転車市場への参入を目指して技術検討したことが特許出願履歴からうかがえる。そのうち実際に電動アシスト自転車製造メーカとして新規参入を果たした企業及び最初の機種名などを表 5.2 に示す。三洋電機の駆動補助装置キットを搭載した製造メーカは 1997 年時点で 5 社になった。ヤマハ発動機も藤田の目論見通り（4.3.3 参照）、車体部品の調達と車両組立を担当したパートナのブリヂストンサイクルに駆動補助装置キットを販売し、ブリヂストンサイクルブランドのアシスタ A63X が 1997 年 3 月から発売された。1997 年 5 月には宮田工業からもヤマハ発動機の駆動補助装置を使ったグッドラック 20 VG238 が発売された。

表 5.2　導入期に新規参入した電動アシスト自転車製造・販売企業及び最初の販売機種[8)]

会社名	機種名	型式番号	発売年月	価格（円）	駆動装置サプライヤ
ヤマハ発動機	PAS26(PA26)	XA11	1993/11/1	149,000	自社
本田技研工業	ラクーン26	UB01	1995/2/2	148,000	自社
サイモト自転車	エレモス		1995/5/初旬	138,000	三洋電機
ヨコタサイクル	らくでんな		1995/5/初旬	138,000	三洋電機
出来鉄工所	楽々族Ｓ型		1995/6/初旬	136,000	三洋電機
スズキ	ラブ26	FZ81A	1996/4/下旬	136,000	自社
ナショナル自転車工業	陽のあたる坂道26	BE-EB63	1996/5/中旬	147,000	自社
スリーエム	楽チャリ24	TM-1	1996/10/初旬	85,000	三洋電機
三洋電機	エナクル26	CY-A1R	1996/10/初旬	111,000	自社
ブリヂストンサイクル	アシスタ	A63X	1997/3/初旬	124,000	ヤマハ発動機
丸石自転車工業	さんぽ路	SP243-M	1997/4/初旬	111,800	
日立リビングサプライ	Cyecal(サイカル)	HCY-26	1997/4/初旬	115,000	三洋電機
宮田工業	グッドラック20	VG238	1997/5/初旬	119,000	ヤマハ発動機
アトラックス	ロードラックスEX	RACS26-MF3	1997/9/初旬	130,000	
三菱重工業	ビスク Bicic	EPS24A	1997/10/初旬	97,800	自社

従来からの自転車製造メーカの中で、駆動補助装置を自社開発し、車両の製造・組立を開始したのはナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）だけだった。図 5.12 は、1996 年 5 月に発売された同社の最初の電動アシスト自転車、「陽の当たる坂道（BE-EB63）」の外観写真である。図 5.13 は、BE-EB63 のドライブユニットの側面図及び断面図である。トルクセンサは、遊星歯車機構、スプリング、ポテンショメータを使った機械式トルクセンサである。このドライブユニットは、トルクセンサ、薄型モータ及びモータ系減速機構、制御基板などの主要な駆動補助装置を一体構造にした初めてのセンターモータ駆動式ドライブユニットだった。

図 5.12　陽の当たる坂道 BE-EB63[15)]

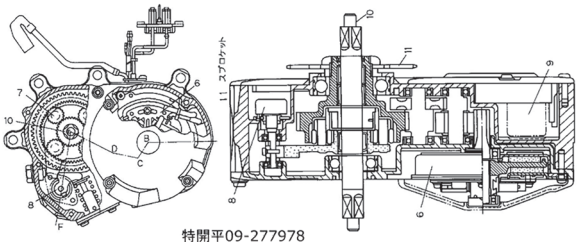


図 5.13　BE-EB63のドライブユニット

5.2.4　10 万円以下の本格的電動アシスト自転車の登場

ヤマハ発動機は初代 PAS 鉛蓄電池の市場クレーム直後から、鉛蓄電池の改良仕様の検討を行うと同時に、当時研究部門で研究中だったニカド電池の本格的な開発を開始した。そしてホンダ ラクーン UB01 発売の 1 か月後、1995 年 3 月にニカド電池搭載の PAS Type C（PN24）を発売した。ここで採用されたニカド電池は、D セル 22 個の組電池による公称電圧 26.4V・電池容量 5.0Ah だった。基本レイアウトは初代 PAS と同じだった。大きく異なるのは、バッテリボックスを外す際に、回動式にしたシートポストのレバー操作でサドルを前に回転させ、錠付きのバッテリボックスカバーの蓋を開けて、バッテリボックスを上に引き抜く構造だった（図 5.15 参照）。

図 5.14　PAS Type C（PN24）[14)]

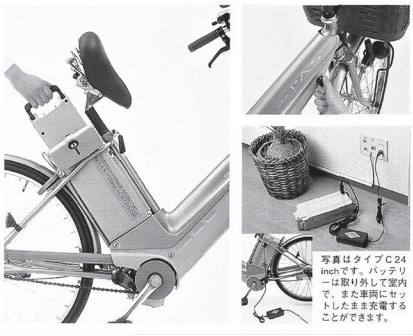


図 5.15　バッテリ脱着及び充電の様子[14)]

導入期におけるヤマハ発動機の電動アシスト自転車商品企画の背景には、初代 PAS 開発途中で断念せざるを得なかった当初企画実現への思いが常にあった。ニカド電池の採用で、脱着充電は何とか実現できたが、価格・車両質量・取り回し性・一充電当たり走行距離など、課題はまだまだ多かった。さらに発売後のユーザ調査や製品クレーム情報から分かったことが多くあった。その一つが、予想外に多い高齢ユーザの比率だった。当時の技術レベルや生産量では駆動補助装置の性能・機能を落とさずに、価格・車両質量・取り回し性などを大きく改善することが難しかった。そこで、開発メンバの取った手段が、自転車技術で対応することだった。

26 インチサイズの初代 PAS を 20 インチサイズの小径車にする目的で新規開発され、1996 年 1 月に発売されたのが、図 5.16 左図の PAS コンパクト（PS20D）及び右図の PAS Swing（PS20）である。PAS コンパクト及び PAS Swing では、PAS Type C（PN24）と同じ 26.4V・5Ah のニカド電池の配列を変え、サドル高さの低減とホィールベースの延長（直進安定性の向上）を狙った設計だった。この結果、最低サドル高さが初代 PAS の 800mm から 730mm となり、適正身長 142cm の人までカバーすることができた。また、車

両質量は、初代 PAS の 31kg から PAS コンパクトの 28kg、PAS Swing の 26kg となった。

図 5.16　PAS コンパクト(PS20D）と
PAS Swing（PS20）[14)]

図 5.17　三輪車 PASワゴン PT20D[14)]

さらに自転車に乗り慣れない人や二輪自転車ではふらつくという人のために、三輪自転車の電動アシスト自転車版を作ることになった。これには、室長藤田の当初の考えに則して、ナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）に自転車部分の製造依頼をした。そして、ヤマハブランドの PAS ワゴン、ナショナルブランドの陽の当たる坂道リラクルが 1996 年 3 月からそれぞれ販売開始された。

ニカド電池の採用及び自転車技術により、充電作業性・車両質量・取り回し性などが当時の技術レベルとして、ある程度まで達すると、残る課題は 134,000 円～ 149,000 円の希望小売価格だった。性能・機能を維持・向上させた上で、初代 PAS 開発当初の予定価格 98,000 円を達成させるためには、特に駆動補助装置の設計仕様及び製造工程を見直して、ムダなものを徹底して省く必要があった。バッテリボックスのレイアウトや脱着するための基本構造は従来と同じままで、バッテリボックスの内部構造を簡素化し、二重構造になっていたバッテリボックスカバーや蓋を廃止した（図 5.19 参照）。この時からニカド電池を公称電圧 24V・電池容量 5.0Ah に変更した。ドライブユニットでは、モータ制御の回路構成、モータ仕様、トルクセンサ仕様、速度センシングの方法などを変更した（図 5.20 参照）。バッテリボックスの小型化及びモータ制御基板の簡素化・小型化などにより、駆動補助装置全体が小型化されたことにより、フレームの V 字形状が U 字形状となり、乗り降り性が向上した。PAS コンパクトの電源スイッチはキー式で LED ランプの電池残量表示 1 灯だったが、タンブラ構造のキー式を止め、電気的切替だけのレバー式に変え、電池残量表示は LED3 灯に増やし、電池残量が 4 段階で表示されるようにした。自転車部品も見直しを行い、1997 年 1 月にニュー・パス（PX26, PX24）が希望小売価格 99,800 円で販売開始された。

図 5.18　ニュー・パス（PX26）[14)]

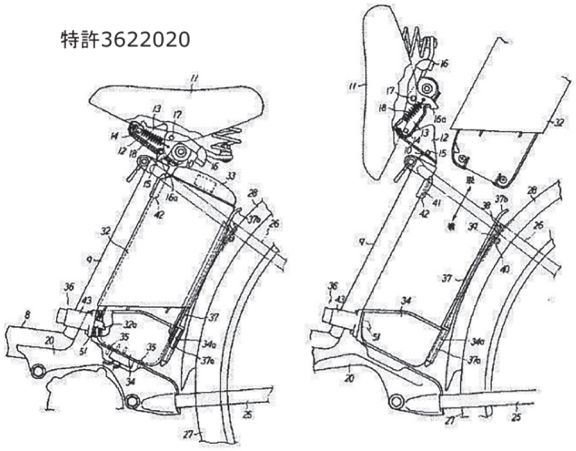


図 5.19　PX26のバッテリボックスの脱着

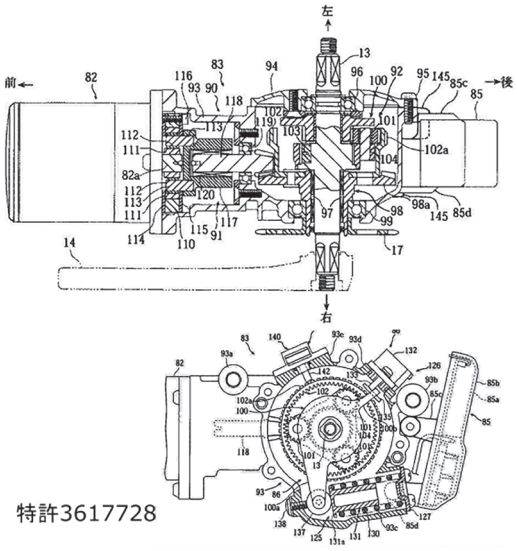


図 5.20　PX26のドライブユニット

本田技研工業は1997年2月に、ホンダラクーン24UX-1/UX-3（UB04）及び20RX-3（UB05）のシリーズで、デザイン一新のモデルチェンジを行い、UX-1を89,500円、UX-3及びRX-3を99,500円で発売開始した。このシリーズでの独創的な特徴は、UX-1が24V・3Ah、UX-3及びRX-3が24V・5Ahのニカド電池のバッテリボックスにあった。フレーム固定のフロントバスケットの後部に配置した錠付きのバッテリボックスケースの蓋を開けて、略直方体のバッテリボックスを上から挿入すると、底部にある凹形接続端子が車体側の凸形端子に接続される構造だった。さらに充電器にも同様の凸形端子があり、バッテリボックスを上から置くだけで充電が開始される構造を採用した（図5.23参照）。

さらにモータを中心にドライブユニットも新設計で、モータ回転軸、2段の歯車減速軸及びトーションバーを内蔵したクランク軸が平行に配置され、簡略化・小型化が図られた（図5.24参照）。

図5.21　ラクーン24 UX-3（UB04）と
ラクーン20 RX-3（UB05）[5)]

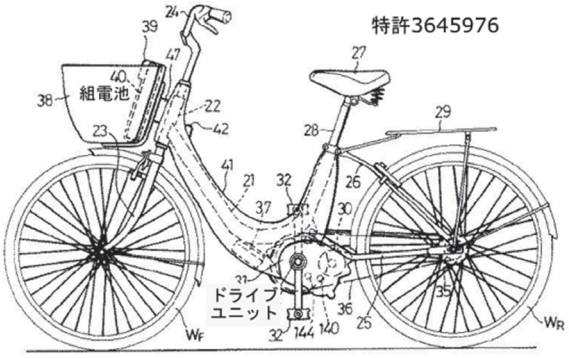


図5.22　ラクーン _24 UX-3（UB04）の側面図

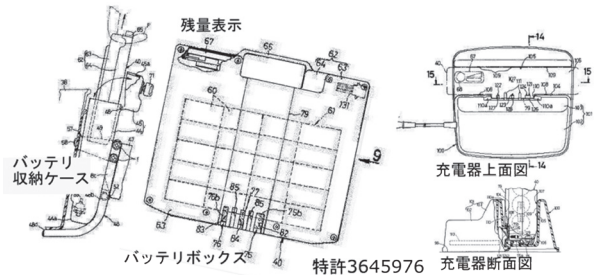


図5.23　ラクーンUB04、UB05の置くだけ
充電・バッテリボックス構造

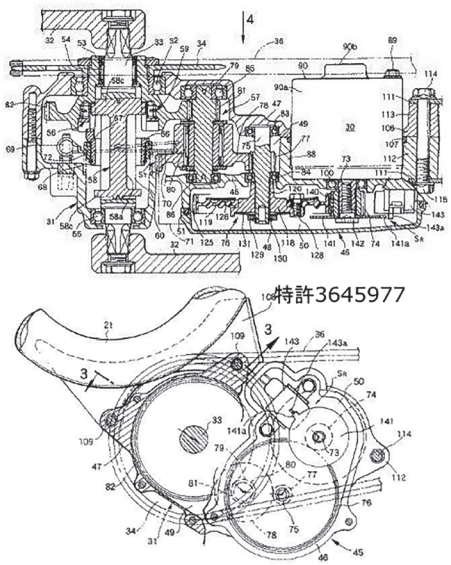


図5.24　UB04、UB05のドライブユニット

5.3 過渡期における変化への挑戦と技術的進化

10万円以下の電動アシスト自転車の登場により、1997年の生産台数は前年比約2.5倍に増加した。また女優の浅田美代子を起用したヤマハ発動機のTVコマーシャルの影響もあって、数は少ないものの、30歳代のユーザ層が新たに増加の傾向を示しつつあった。この勢いを受けて、幼児同乗車又は実用車などの電動化に踏む出す電動アシスト自転車メーカもあった。

しかし、この市場の好調は長く続かなかった。1997年7月に起きたアジア通貨危機の影響が徐々に日本でも出始め、後に第二次平成不況又は金融危機と呼ばれる不況に陥った。この頃、自転車出荷台数の約3割にまで急成長していた大手GMS・ホームセンター各社は、価格戦略に乗り出した。自転車の実売価格が、徐々に低下し、1999年頃になると1万円以下の軽快車も出始めた。

販売価格低下の後に起きた不況という状況下で、電動アシスト自転車メーカ各社は事業の方向性、商品開発の方向性をそれぞれに模索せざるを得なかった。事業撤退を決めたメーカもあった。またスズキのように自社開発・販売からOEM製品販売に切り替えるところもあった。特に、ヤマハ発動機、本田技研工業及びナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）のとった戦略・戦術は、その後の電動アシスト自転車業界の勢力図を塗り替える転機になった。

5.3.1　多様化への挑戦　電動アシスト自転車種類の増加

10万円以下のニュー・パスで価格戦略をリードしていたヤマハ発動機は、1996年には既に、その駆動補助装置を使った機種展開も計画していた。このころから、自転車部品調達と車両組立を担当していたブリヂストンサイクルも自社ブランドの電動アシスト自転車を販売することになり、手始めに当時若者向け自転車のヒット商品だったシティ車「ラクッション」をイメージした電動アシスト自転車を開発することになった。そして1997年3月に発売されたのが、図5.25左図のアシスタA63Xである。ヤマハ発動機からも、ほぼ同一仕様のスタークロス（PF26）が4月に発売された。さらに、ブリヂストンサイクルの提案で、小径車のモデルチェンジとして開発され、ブリヂストンサイクルからアシスタ20UD（A203UD）、ヤマハ発動機からニュー・パス コンパクト（PX20D）として、1998年1月に発売されたのが図5.25右図である。

図5.25　アシスタ（A63X）とアシスタ20UD（A203UD）[13]

1998年には、自転車メーカから幼児同乗電動アシスト自転車が次々に発売された。幼児同乗自転車では先駆者の丸石自転車から、自転車「ふらっかーずComo」をベースに、ナショナル自転車と共同開発した「ふらっかーずComoアシスト（FRCA263）」が1998年1月に発売された。同じ1月にナショナル自転車工業からもほぼ同仕様の「陽の当たる坂道マミー（BE-EBM433）」が発売された。そして、ブリヂストンサイクルからも、自転車の「リトルフレンド」をベースに電動化した「アシスタLF（ALF263）」が1998年7月に発売された。ほぼ同じ仕様で、ヤマハ発動機からも「リトルモア（PC26）」が発売された。両社はこの1年後、幼児同乗車をベースにした実用車を開発し、ブリヂストンサイクルから「アシスタ スーパーキャリー（ACR263）」が、ヤマハ発動機からは「PASビジネス（PB24）」が発売された。

当時は、大手GMS・ホームセンターによる輸入軽快車の低価格化攻勢の中で、日本の工業型自転車メーカは苦慮していた。自転車メーカの技術を基に進められたこれらの商品開発は、高付加価値商品である電動アシスト自転車の駆動補助装置が多少安くなったこの機会に、自転車部品の共用範囲を拡大しつつ、電動による走行性能が必要と思われる子育て世代のユーザや業務用途のユーザにも電動アシスト自転車を提案しようとする堅実な試みであった。

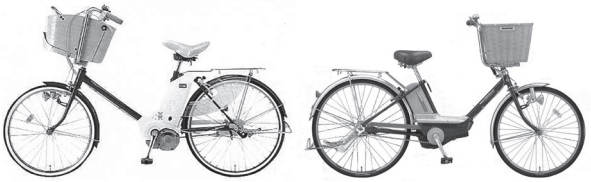


図5.26　陽の当たる坂道マミー（BE-EBM433）とアシスタスーパーキャリー（ACR263）[13, 15]

5.3.2　多様化への挑戦　ホンダ ラクーンシリーズ、コンポシリーズ

10万円以下の電動アシスト自転車「ラクーン24 UX-1/UX-3（UB04）及び20 RX-3（UB05）」（1997年2月発売）を機に、本田技研工業は、より積極的な開発戦略を実践していった。その一つが、1998年4月に発売された「ラクーンCOMPO（UB07）」であった。ラクーンCOMPOは、UX及びRXシリーズのドライブユニットをベースに、UX-1と同じ24V・3.0AhのCセルサイズニカド電池や制御用コントローラを内蔵したアルミダイキャスト製リヤフレームと、同製法のフロントフレームをレバー付きヒンジ機構で連結した折り畳み自転車だった。18×1.5 HEのタイヤを使い、車両質量19.8kgは、当時としては最軽量の電動アシスト自転車だった。GD値（ペダル1回転当たりに自転車が進む距離）は26インチサイズのそれとほぼ同じで、最軽量なので、軽快できびきびとしたアシスト走行性能を誇っていた。

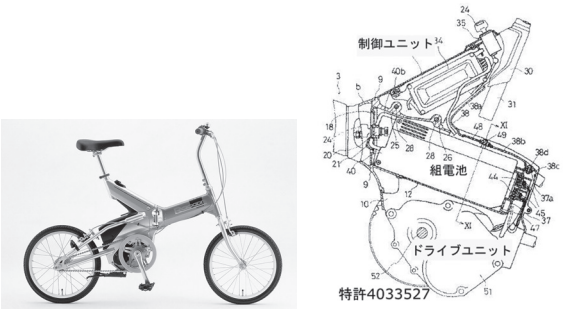


図5.27　ラクーンCOMPO（UB07）と折り畳み状態[5]

本田技研工業は、ラクーン24 UX-3（UB04）を26インチサイズにしたラクーン26 LX-3L（UB06）を1998年1月に、さらにハンドルとリヤキャリヤの違

うラクーン 26 LX-3B（UB06）を 1998 年 3 月に、それぞれ 99,800 円で発売した。UX-3（UB04）及び LX-3L（UB06）は、当時の価格、スリムで曲線的なスタイル、乗車時に目の前で見られる電池の残量表示、置くだけで充電できる充電器の使いやすさなどからユーザの支持を集め、ラクーンシリーズの中では最も売れた商品だった。

図 5.28　ラクーン 26 LX-3L とラクーン 26 LX-3B（UB06）[5)]

ところが、2000 年 2 月にフルモデルチェンジされ発売されたラクーン 24 LX（UB08）及びラクーン 26 LX（UB09）シリーズでは、バッテリボックスの取付位置および構造が、シートチューブ後で、ヤマハ発動機と同じように、サドルを回転させて脱着させる方式に変更された。

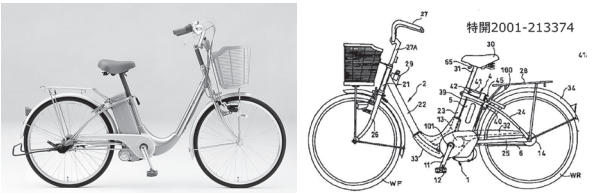


図 5.29　ラクーン 24 LX（UB08）[5)]

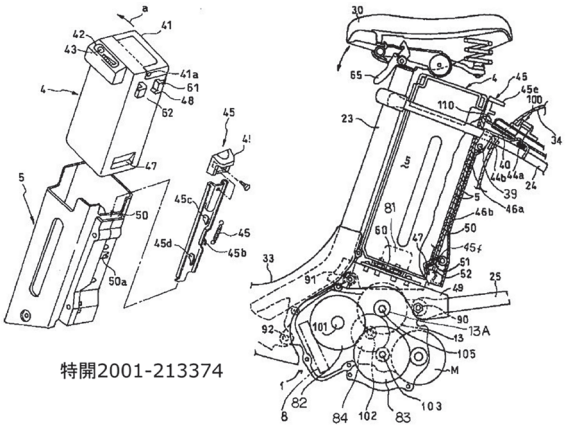


図 5.30　ラクーン LX のバッテリボックス取付構造

ラクーン LX（UB08, UB09）シリーズのドライブユニットは、1997 年発売のラクーン UX/RX シリーズのドライブユニットをベースに、クランク軸に集中していたクランク軸、トーションバー及び合力軸の機能をそれぞれ別の平行軸に分散した構造になった。図 5.31 で示した第 1 アイドル軸にトーションバーが設置されており、クランク軸からは増速された第 1 アイドル軸なので、トーションバーは従来機種より小型にすることができる。モータ駆動系伝達経路は、モータ回転軸から第 2 軸アイドル軸で減速され、第 1 アイドル軸で人力と合力され、さらに出力軸からスプロケットを介して後輪に合力が伝達される構造だった。JIS D 9115 電動アシスト自転車 附属書 C の分類には当てはまらない「センターモータ駆動方式モータ・人力別軸“別軸”合力一体式」のドライブユニットであった。

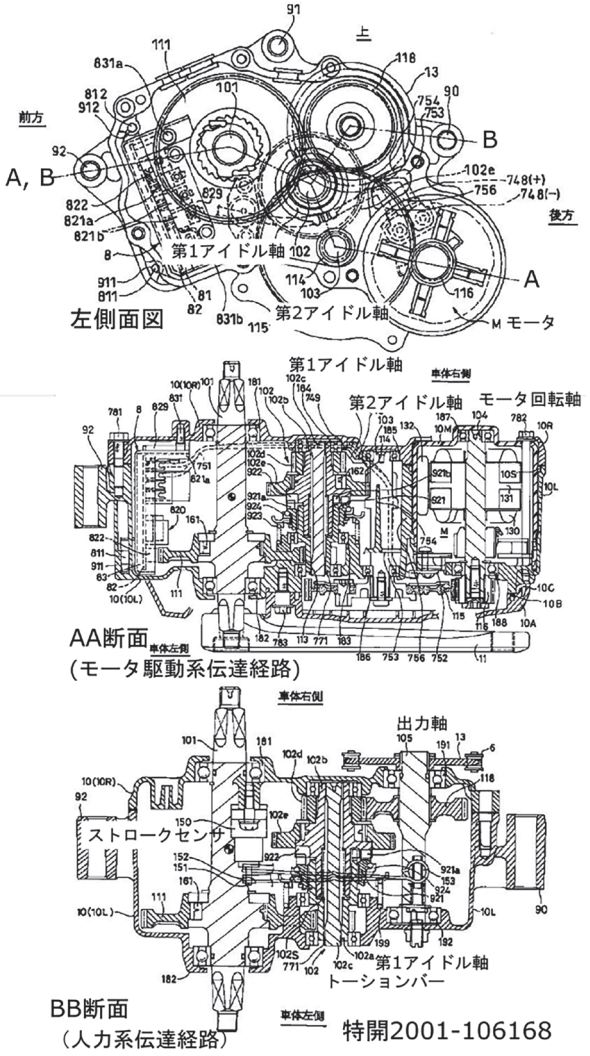


図 5.31　ラクーン LX シリーズのドライブユニット

本田技研工業は、2001 年 4 月、自動車メーカならではの電動アシスト自転車を発売した。2 代目ステップワゴンのリヤ収納ボックスにコンパクトに収納し、別売りの充電器を付ければ、ステップワゴンに収納したまま充電できることを一つのセールスポイントにした電動アシスト自転車だった。この当時、自動車と電動アシスト自転車との同時開発・同時発売の企画は世界初だった。

図 5.32　ステップコンポ（UB10）と折り畳み状態[5)]

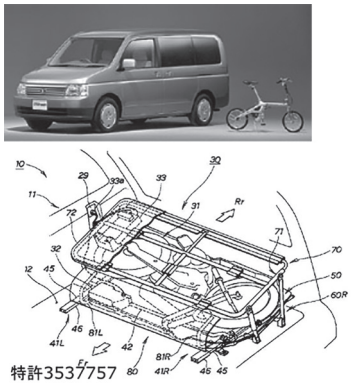


図 5.33　ステップワゴンへの収納状態[11)]

ステップコンポ（UB10）は、ラクーン LX 系のスタンド付き専用ドライブユニットを使い、アルミダイキャスト製リヤフレームのシートポスト後方に、蓋付のバッテリボックスケースを取り付け、その中に C セルサイズの 24V・3.6Ah ニッケル水素電池ボックスを収納する構造になっていた（図 5.34 参照）。ラクーン COMPO より一回り小さい 16 × 1.75 HE のタイヤを使って、車両質量は、この当時の最軽量を更新する 17.8kg だった。

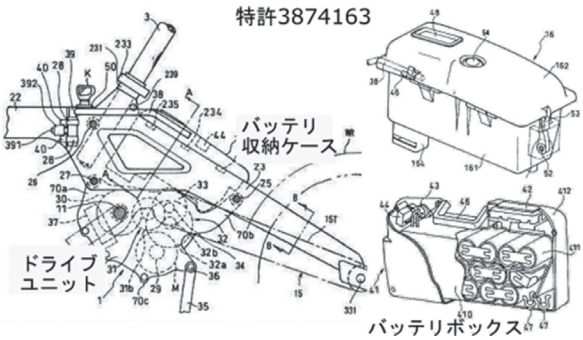


図 5.34　UB10のバッテリボックス構造

ホンダ ラクーン（UB01）以来、次々と独創的で、完成度の高い電動アシスト自転車を世に出してきた本田技研工業は、ステップコンポ（UB10）を最後に、新機種を市場に出すことはなかった。そして、2003 年には全社の販売計画からも電動アシスト自転車が途絶えてしまった。特に、1997 年以降、構造の異なる新機種が立て続けのラクーンシリーズだったが、商品そのものの技術レベルの高さ、質の高さで、市場では好評だっただけに、残念であった。

5.3.3　低価格化への再挑戦 ヤマハ PAS スマイル

電動アシスト自転車市場の過渡期は、駆動補助装置の電源部にニッケル水素電池が使い始められた時期でもあった。1998 年 5 月にナショナル自転車工業の「ドラクル（BE-EBD41）」、1999 年 1 月に三洋電機の「エナクルツーキング CY-SC26V」、ヤマハ発動機の「PAS カスタム（PX26C）」がニッケル水素電池を採用した。当時は、ニカド電池に比べてニッケ水素電池が割高だったので、同じサイズなら高価格の車両にしか使われなかった。

ニカド電池とニッケル水素電池の混在、メモリー効果（アルカリ二次電池において、継ぎ足し充電を繰り返した場合に、得られる放電容量が減少する現象）による電池容量増加の期待外れ、電池容量増加に伴うリフレッシュ充電時間の増加など、ニッケル水素電池による容量増加の負の側面に着目したヤマハ発動機は、電池調達先の三洋電機と共同で、新たな電池管理システム IFES（Intelligent & Flexible Energy System）を開発した。IFES は、バッテリボックス内に BMC（Battery Management Controller）回路基板を内蔵し、LED7 灯での電池残量、リフレッシュお知らせ、電池寿命警告などの表示に加えて、充電器及びドライブユニットとの通信による充放電管理及びメインスイッチによる残量表示などを行っていた。 ヤマハ発動機は、IFES、急速充電器、ブラシレスＤＣモータによるドライブユニット、ブリヂストンサイクルとの共同開発による自動変速システムなどを織り込んだ PAS ロイヤルシリーズ（PY26, PY26C, PY26A など）を、99,800 円から 126,000 円で、1999 年 11 月から 2000 年 1 月にかけて発売した。

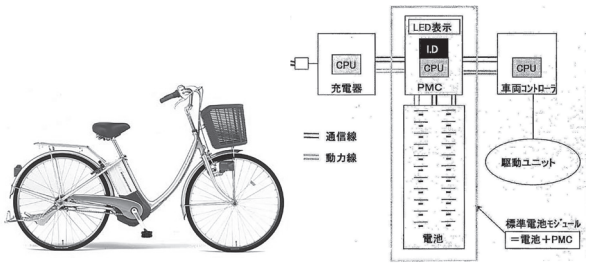


図 5.35　PASロイヤルの電池管理システム IFES[14)]

ヤマハ発動機は、PAS ロイヤルシリーズを開発する一方で、OEM システム販売のためにハブモータ駆動方式の駆動補助装置を開発していた。図 5.36 は、ハブモータ駆動方式のパワーユニットの変遷を示している。1998 年当初は、三洋電機 CY-A1（5.2.2 参照）と同様のハブモータ後輪駆動方式を考えていた（図 5.36 上図（1））。しかし、自転車の軽快車で標準のシマノ製内装 3 段変速ハブのような変速機構を同時に織り込むことは困難と判断し、1998 年途中からハブモータ前輪駆動方式に変更して検討を続けた（図 5.36 中図（2））。

ハブモータ前輪駆動方式にも課題はあった。その一つが、低路面抵抗道路上での前輪の空転現象である。試作車の試乗中に濡れた路面上でUターンをしようとしたときに、ペダル踏力からの指令を受けてモータが急回転をし、危うく転倒しそうになることがあった。色々な検討の結果、駆動方式は単速のハブモータ後輪駆動方式に変更になった（図 5.36 中図（3））。さらに開発メンバは、数か月後営業部門からの要望で、再検討を余儀なくされ、２速ならスペース的に織り込み可能なので、２速のハブモータ後輪駆動パワーユニットが急遽追加になった（図 5.36 下図（4））。

このプロジェクトは元々、OEM システム販売用の駆動補助装置開発プロジェクトだったが、不況下における増販の切り札として、いつの間にか完成車も含めた主力プロジェクトになっていった。開発メンバは、度重なる変更と短期間のコスト低減開発に邁進することを余儀なくされた。さらに、後述のナショナル自転車工業の「陽の当たる坂道スポーティ ViVi（BE-EBWL63）」対抗として、C セルサイズニッケル水素電池搭載のモデル２機種も追加となり、開発部門及び製造部門は多忙を極めた。このような経過を経て、2001 年 2 月に「PAS スマイル（PJ26, PJ24）」が 69,800 円で発売された。続けて、2001 年 4 月に２速パワーユニット搭載の「PAS スマイルデラックス（PJ26D, PJ24D）」が 79,800 円で、アルミ溶接フレームの「PAS スーパーライトデラックス（PH26D, PU26D）」が 99,800 円で発売された。

図 5.37　PASスマイル（PJ26）及び PASスーパーライトデラックス U（PU20D）[14]

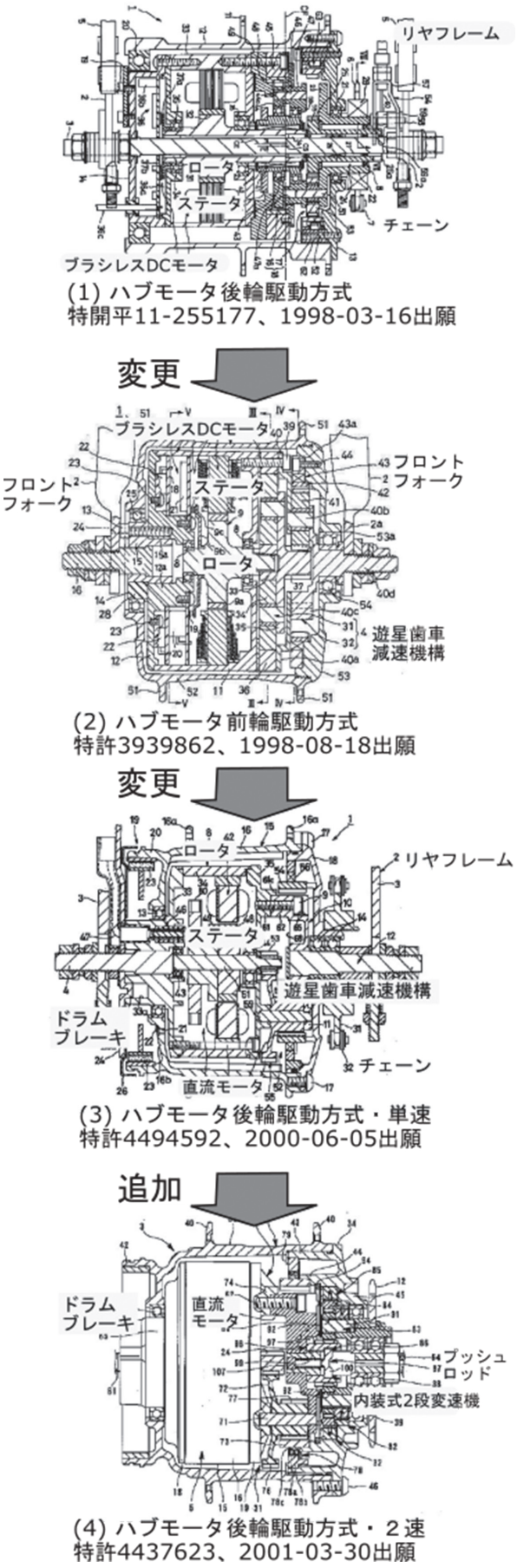


図 5.36　PASスマイルのハブモータパワーユニットの開発経過

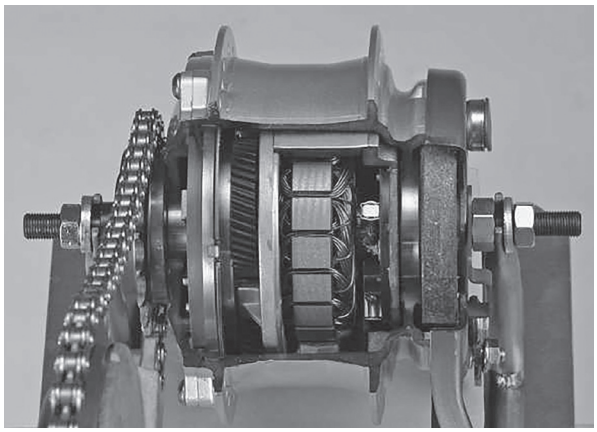


図 5.38　PJシリーズの単速パワーユニット

最低価格 69,800 円の PJ シリーズは、女優の後藤久美子を起用した TV コマーシャルの影響もあって、発売当初は前年までの不振を払拭するかのような売れ行きを示した。しかし、「7 万円になれば 40 万台の市場規模」と謳った調査会社の予想のような売り上げペースには届かないことが、しばらく経ってから分かってきた。自転車市場の価格攻勢で、1 万円以下の軽快車も出現している中での電動アシスト自転車 69,800 円は、新規ユーザにとって安いと感じられるものではなく、魅力的に見えなかったことも影響していた。

一方、2000 年までの従来モデルとは異質の構造と開発経過を辿った PAS スマイルシリーズのパワーユニットは、発売当初から市場クレームが多発した。さらに、ワンウェイクラッチの動力伝達能力上の不具合が発覚して、2001 年開発部門はその対策に、サービス部門は市場対応に追われた。そんな折、2002 年 3 月に突然、事業部が解散することになり、開発・品質保証・営業の合計 13 名だけが、駆動補助装置の製造を担当していたモリック（旧：森山工業、現：ヤマハモーターエレクトロニクス）へ出向となり、その後の PAS 事業を託された。

5.3.4 軽量化・自転車らしさへの挑戦 ナショナル ViVi シリーズ

ヤマハ発動機、本田技研工業が積極策の末、自ら後退していく中、終始堅実な、結果として的確な開発を進めたのがナショナル自転車工業だった。1996 年発売の「陽の当たる坂道（BE-EB6 3）」のドライブユニットの改良を進めていく中で、開発メンバが注目したのがトルクセンサ機構だった。BE-EB63 のトルクセンサは、遊星歯車機構、バネ及びポテンショメータを使った機械式トルクセンサだったが、構造が複雑で、コスト高。さらに人力のみの走行の時に遊星歯車機構も一緒に回転するので、損失が多く、人力走行が重くなっていた。開発メンバは、機械式トルクセンサを非接触の磁歪式トルクセンサにできないかをテーマに、松下電器産業生産技術部門と共同で、1996 年秋から検討を始めた。そして、ねじりを受ける中空軸の表面にアモルファス合金製薄膜を貼って、効率よく磁気歪を起こさせ、それを検出コイルで検出し、電圧変換するトルクセンサを、1998 年夏に開発した（図 5.39 参照）。

さらに人力とモータの合力点を、従来のクランク軸上の歯車からチェーンに変更することを考案した（図 5.40 参照）。人力系動力伝達経路は、クランク軸から後輪車軸までの間で約 2 倍に増速するのが一般的なシティ系自転車の常識だった。電動アシスト自転車のモータ駆動系伝達経路では、減速のみで構成

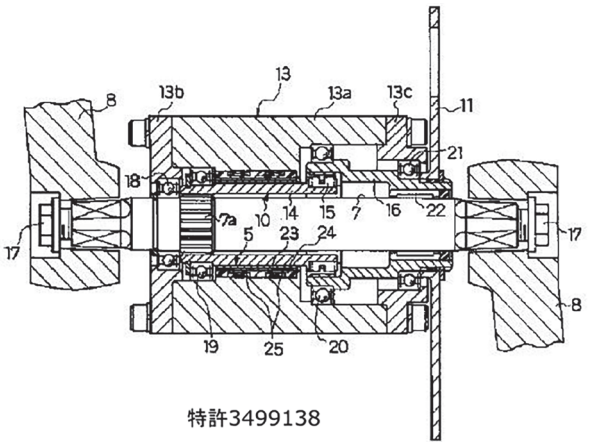


図 5.39　1998年技術開発の磁歪式トルクセンサ

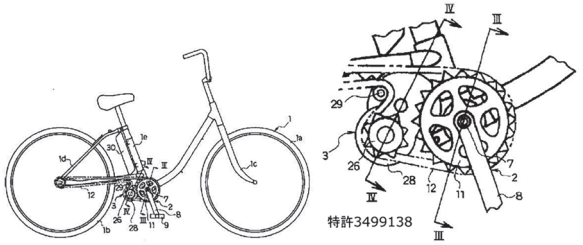


図 5.40　チェーン合力式のドライブユニット

されれば、モータ系の効率が良い。クランク軸上のスプロケットで合力するクランク軸合力式では、モータからクランク軸まで減速して、クランク軸のスプロケットから後輪まで増速することになる。モータ仕様を変えない前提の場合は、モータ駆動系の減速比を大きくする必要があり、大型化・コストアップ・効率低下を招く。これをチェーン合力にすれば減速だけになるので、効率が良くなる。モータ系のワンウェイクラッチの位置にもよるが、人力走行時の効率向上も図ることができる。

ナショナル自転車工業は、1998年までの技術開発で、上記トルクセンサ機構及びチェーン合力式をある程度完成させていたが、さらにじっくりと機能開発及びコスト低減開発などを行って、2000年3月に「陽の当たる坂道スポーティ ViVi（BE-EBWL63）」及び「陽の当たる坂道エレガント ViVi（BE-EBWU63, BE-EBWU43）」を109,800円で発売した。エレガント ViVi及びスポーティ ViViの電池は、シティ系電動アシスト自転車としては思い切った割り切りのサブCサイズ1.5kgの24V・2.8Ahニッケル水素電池を搭載していた。これらの仕様設定の狙いは、車両の軽量化及び走行性能の向上、特に人力走行時のペダルの軽さだった。当時車両質量26kg前後が標準だった電動アシスト自転車にあって、スポーティ ViViのカタログ重量19.9kg（ただし、フロントバスケット及びキャリアはオプション設定）は、26インチサイズで最軽量を誇った。エレガント ViVi BE-EBWU43のカタログ重量も19.9kg、BE-EBWU63は20.2kgを謳っていた（ただし、いずれもフロントバスケットを 除く重量）。

2000年ViViシリーズで実際に採用されたチェーン合力式は、図5.42のように改良された。

2001年2月ヤマハ発動機の「PASスマイル（PJ26, PJ24）」が69,800円で発売されたのを受けて、ナショナル自転車工業は価格戦略に対抗せざるを得なくなった。開発メンバは、2000年ViViシリーズのドライブユニット及び車体部品を基に、徹底的なコスト低減開発を行った。1996年の陽の当たる坂道BE-EB63以降、終始ぶれずに基礎研究と商品開発を継続してきたナショナル自転車工業は、徹底したコスト低減開発を行いつつも、製品全体での商品性向上を行う余裕があった。低価格商品のアルフィット ViViにおいて、当時シティ系自転車のアルフィットで採用していたU形アルミ溶接フレームを、電動アシスト自転車にも採用して、コスト低減と車体の軽量化の両立を目指した。さらに、2.8Ahニッケル水素電池用の充電器を、置くだけで充電が開始される筐体形

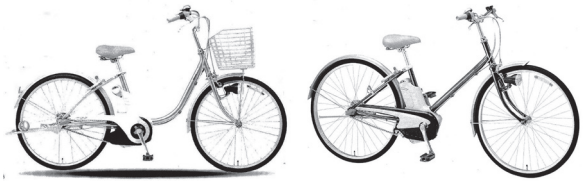


図5.41　エレガント ViVi（BE-EDWU63）とスポーティ ViVi（BE-EBWL63）[15]

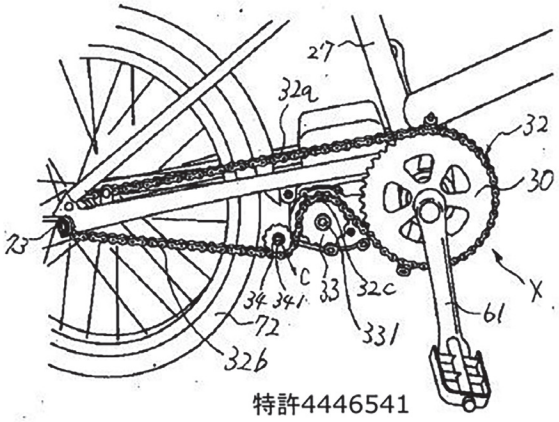


図5.42　2000年ViViシリーズのチェーン合力

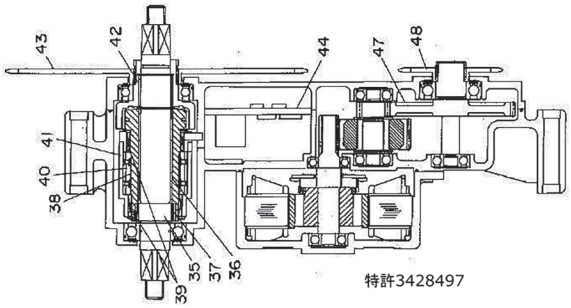


図5.43　2000年ViViシリーズのドライブユニット

状・端子形状に変更した。満を持して2002年3月に69,800円で発売されたのが、図5.44に示すアルフィット ViVi（BE-EHS63, BE-EHS43）である。アルフィット ViVi 24（BE-EHS43）は、アルミ溶接フレームや2.8Ah、1.5kgのニッケル水素電池などの効果で、車両質量20.5kg（アルフィット ViVi 26（BE-EHS63）は21.0kg）であり、シティ系電動アシスト自転車では、当時最安値、最軽量を誇った。

さらに、ナショナル自転車工業は、2002年ViViシリーズの高付加価値機種「デラックス ViVi（BE-EHD63、BE-EHD43）」及び「エクセレント ViVi（BE-EHE63、BE-EHE43）」に、26V・3.0Ah 及び26V・6.0Ahの業界初のリチウムイオン電池をそれぞれ採用した。このリチウムイオン電池は、ナショナル自転車工業の軽量化戦略にうってつけの技術であり、デラックス ViVi 24（BE-EHD43）」が19.4kg、デラックス ViVi 26（BE-

EHD63)」が 19.7kg と、この機種での最軽量を更新した。

2000 年及び 2002 年の ViVi シリーズにおいて、新規ユーザに分かり易いカタログ値や特性に的を絞り、終始ぶれの無い、かつ着実な技術進化を続けたナショナル自転車工業の ViVi シリーズは、販売店やユーザからの支持を集め、販売台数を大きく拡大した。ヤマハ発動機や本田技研工業の不振も手伝って、2002 年には業界トップの座を確実なものにした。

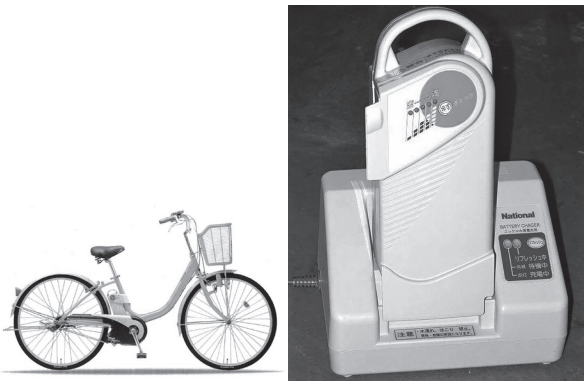


図 5.44　アルフィット ViVi（BE-EHS63）と置くだけ充電器 [15)]

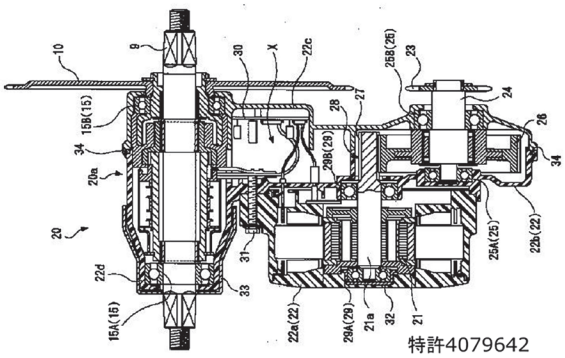


図 5.45　2002年 ViViシリーズのドライブユニット

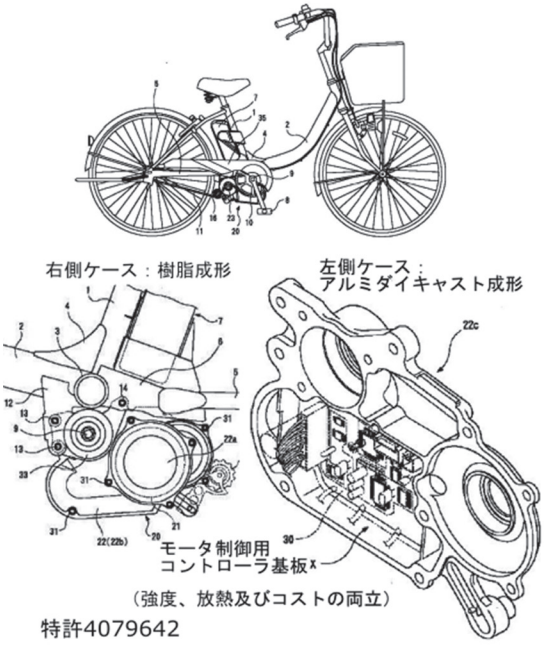


図 5.46　コントロール基板の放熱板兼用のケース

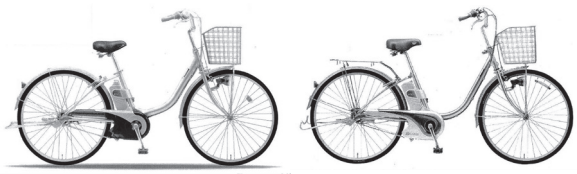


図 5.47　デラックス ViVi（BE-EHD6３）と
エクセレント ViVi（BE-EHE6３）[15)]

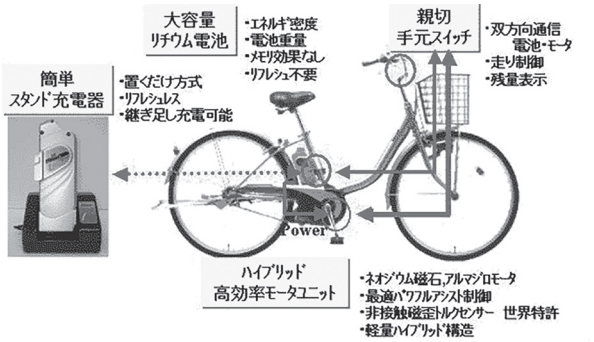


図 5.48　2002年 ViViのリチウムイオン電池管理システム

5.4　成長期における変化と技術的進化

2002 年から 2011 年冬までを本報告書では成長期としている。この期間には、いざなみ景気（2002 年 2 月から 2008 年 2 月まで）、温室効果ガス削減視点からの自転車有効利用気運の広まり、及び後述する 2 件の道路交通法改正などの後押しもあって、電動アシスト自転車市場は約 20 万台から約 40 万台（年間生産台数）の市場に成長した。

一方、自転車市場では、過渡期に起きた自転車の低価格化をきっかけに、大手量販店・ホームセンターなどによる輸入車増加の勢いが止まらず、成長期にはそれに押される形で、自転車の国内生産台数が減少していった。自転車と電動アシスト自転車の両方を生産・販売していたメーカは付加価値の高い高級自転車や電動アシスト自転車の生産に切り替えていき、低価格の自転車しか生産していなかったメーカの中には廃業に追い込まれるところも出てきた。

5.4.1　成長期における機種の増加

過渡期の低価格化を機に、30 歳から 40 歳代の女性の電動アシスト自転車ユーザが増加し、導入期に顕著

だった「電動アシスト自転車＝高齢者の自転車」のイメージが変化していった。成長期には、シティ車の用途・ユーザに合わせた細分化が盛んに行われ、ユーザ層が30歳から40歳代の女性だけでなく、若い男女にも徐々に広がっていった。その代表例の一つが、スタッガード形フレームのシティ車である。スタッガード形フレームの電動アシスト自転車は過渡期にも販売されていたが、車両の重さや電池の大きさなど、当時の自転車の軽快車と比べると、どこかに言い訳のあるものが多かった。成長期には、一般用自転車で最も台数の多い通学用自転車で一般的な27インチサイズのタイヤを使った電動アシスト自転車が登場して、新規の若いユーザにも興味を持たれるようになった 。軽量なアルミ溶接フレームのコスト低減、リチウムイオン電池による軽量化及び高容量化などにより、少し遠方にも軽快に、気軽に行けるようになったことが大きかった。シティ系電動アシスト自転車で最初に、27×1 3/8タイヤとスタッガード形アルミ溶接フレームを使って、発売されたのは、ブリヂストンサイクルのA.C.L.（アシスタシティリチウム、ACS7LP）及びヤマハ発動機PASシティSリチウム（PZ27C）だった。2004年11月に発売されたこれらのシティ車は94,290円で、3.7Ahのリチウムイオン電池を使っていた。

女性向けにループ形フレームやH形フレームでカラフルな色やパーツを使ったものも販売された。図5.49の右図は、2006年7月にナショナル自転車工業

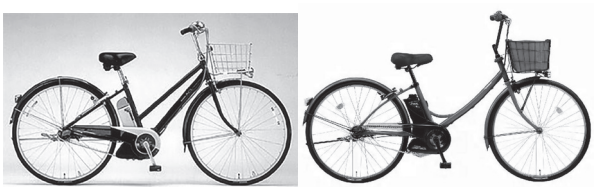


図5.49　A.C.L（ACS7LP）とA.girl's（BE-ENDF63）[13, 15]

から社名変更したパナソニックサイクルテックによって、2009年2月に110,000円で発売されたA.girl's（エーガールズ BE-ENDF63）である。A.girl'sは、ファッション雑誌とのコラボ企画で、リチウムVIViDX（BE-END63）の電池及び駆動補助装置をベースに、取り外して持ち運べるおしゃれなバスケットインナーバッグやカラフルな5色のフレームカラーなどをそろえて、働く女性向けを謳った電動アシスト自転車だった。

小径車もカジュアルな街乗り用のものが発売されるようになった。図5.50の左図は、2004年にナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）から発売されたアルミ溶接フレームの折り畳み式電動アシスト自転車 WILL ELECTRIC BIKE（BE-EHF07）である。3.0Ahのリチウムイオン電池、前18後20インチのタイヤ、外装7段変速搭載で、電動アシスト自転車の中では最軽量の車両質量16.9kgだった。自転車技術を流用した製法・仕様で、2001年本田技研工業のステップコンポより軽量で、安い価格の109,800円で販売された。

図5.50の右図は、2008年6月にブリヂストンサイクルから104,800円で発売されたマリポーサE.A.mini（MR23L8）である。4.0Ahのリチウムイオン電池を使って、前後とも20×1 3/8 WOタイヤと剛性感のあるXクロスフレームで直進安定性と操縦性のバランスの取れた走りを実現していた。

成長期前半には電動アシスト自転車の機種が増加したことで、さらにユーザ層が広がっていった。折からの自転車ブームの兆しを受けて、ナショナル自

図5.50　WILL ELECTRIC BIKE（BE-EHF07）とマリポーサE.A.mini（MR23L8）[15, 13]

転車工業（現：パナソニックサイクルテック）は、男性にも拡販すべく、ダイヤモンド形フレームのライアバードEB（BE-EHB67）を2005年に109,800円で発売した。3.6Ahリチウムイオン電池、外装7段変段を搭載したライアバードEBは、アルミ溶接フレームにどろよけ、リヤキャリヤ、サスペンション機能付きのシートポストなどを装備し、通勤用の電動アシスト自転車として販売された。

2006年9月にはどろよけ、リヤキャリヤなどを装備せず、軽量19.5kgや外観を重視したハリヤ（BE-EPH67）が、2006年7月に社名変更したパナソニックサイクルテックから109,800円で発売された。ハリヤ（BE-EPH67）には、フロントサスペンション、外装7段変速、4.0Ahリチウムイオン電池が採用された。

一方、2008年8月にブリヂストンサイクルからリアルストリーム（RS68L8）が124,800円で、ヤマハ発動機からPAS Brace（PV26V）が125,800円で発売された。両者の仕様は、細部で若干異なるものの、アルミ溶接フレーム、フロントサスペンション、内装8段変速、4.0Ahリチウムイオン電池は同じだった。リアルストリーム及びPAS Braceには、内装8段変速ハブのためにブリヂストンサイクルが開発した回転抵

抗式のシフトポジションセンサを利用して、変速段ごとにアシスト速度域を変え、発進から巡行時まで最適な制御をするアシスト制御 S.P.E.C.8 が採用された。

図 5.51　ライアバード EB（BE-EHB67）と
ハリヤ（BE-EPH67）[15]

2009 年 6 月にパナソニックサイクルテックは、よりスポーツ走行を目指したジェッター（BE-ENHC78）を 165,000 円で発売した。ジェッターには、700 × 32C のタイヤ、外装 8 段変速、5.0Ah リチウムイオン電池が採用された。また、前年 2008 年 7 月に 45 万円で発売されたチタンライト EB で初採用された全面液晶表示のマルチコントロールサイクルメータがジェッターにも用いられた。液晶表示には電池残量、走行速度、積算区間走行距離、区間平均最高速度、瞬間電流消費量などが表示された。

図 5.52　PAS Brace（PV26V）と
ジェッター（BE-ENHC78）[13, 15]

5.4.2　省電力と快適走行の両立を目指して ヤマハ PAS リチウム

ヤマハ発動機は、2003 年 4 月に 2.8Ah ニッケル水素電池、アルミフレーム、センターモータ駆動方式チェーン合力一体式ドライブユニットの New PAS（PZ シリーズ）を 69,800 円で発売した。2004 年 3 月には 3.7Ah 及び 7.5Ah のリチウムイオン電池を搭載した PAS リチウム（PZ-L, PZ-LL ）シリーズを 89,800 円、115,290 円（消費税 5％込み）でそれぞれ発売した。7.5Ah リチウムイオン電池搭載の PZ-LL には、アシスト感向上と走行距離伸長の両立を目指して、負荷速度全域でアシスト力を発揮する「パワーモード」を設定したモータ制御が採用された。これらの機種が市場の支持を得て、2004 年に事業の黒字化を達成、2004 年 4 月に開発及び営業部門は、組織上、子会社からヤマハ発動機本社に復帰した。

さらに、ペダル負荷を感知してアシスト ON/OFF

図 5.53　PAS リチウム（PZ26L）と電池・充電器 [14]

を自動的に切り替える「オートエコモード」及びメインスイッチ オフ後も一定時間継続して点灯するバッテリランプなど、ユーザ調査を基にしたきめ細かい機能を搭載した PAS リチウムシリーズを 2006 年 2 月に発売した。アシスト走行性能向上の技術開発は、ヤマハ発動機の開発スタイルとして、その後も継続され、2007 年モデルには、アシスト力の自動切り替えの範囲を広げた「オートエコモードプラス」が織り込まれた。アシスト比率法改正対応の 2009 年モデルでは、前輪の回転センサによる車両走行速度と後輪に繋がったモータ回転速度を比較することで、変速段数に合わせて、よりきめ細やかで快適なアシスト制御を行う「S.P.E.C.3」(Shift Position Electric Control for 3 speed transmission）が採用された。

5.4.3　初の回生充電機能 三洋電機 エナクルジェネ

三洋電機は、2002 年のエナクルレジェ（CY-SH）のハブモータ駆動装置まで、後輪駆動方式で小型化、省電力化、コスト低減などの開発を進めてきたが、2003 年 3 月発売のエナクルジェネ（CY-SJ）から、ハブモータ駆動装置を前輪駆動方式に変更した。 CY-SJ のモータは、埋込磁石形インナーロータを使ったブラシレスＤＣモータだった。遊星歯車を使ったモータ減速機構からワンウェイクラッチを廃止して、ロータから前輪タイヤまでが常に直結で回転するようになっていた。メインスイッチを切って、押し歩き前進又は後進させるときにモータのコギングトルクが前輪のスムーズな回転を妨げないよう、ロータの磁石構造・配置及びステータのティース形状などにコギングトルク低減の工夫がなされたモータだった。

エナクルジェネ（CY-SJ）のワンウェイクラッチ廃止の最大の理由は、電池への回生充電実現のためだった。三相インバータ回路を用いるブラシレスＤＣモータでブレーキ回生充電を行うには、乗員がブレーキン

グ操作を行ったときに、ホール IC の磁極位置信号に基づいて、インバータ回路の上側を流れる逆起電圧によるモータ電流に合わせて MOSFET を ON/OFF させると、回生電流となって、バッテリが充電される（図 5.55 参照）。ただし、電池電圧が一定以上の過充電状態にならないよう制御することが重要である。CY-SJ では、勾配 2 度の上り 1 km、10km/h 及び下り 1 km、20km/h の走行パターン（図 4.23 のヤマハパターンとは異なる）で、ブレーキ充電なしの場合の一充電当たり走行距離 17km（2.8Ah のニッケル水素電池使用時）に対して、ブレーキ充電ありの場合に 26km になるとした[16]。

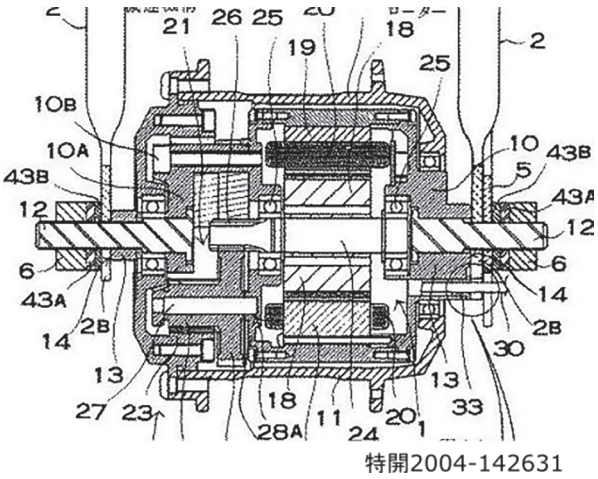


図 5.54　CY-SJの前輪駆動パワーユニット

エナクルジェネ（CY-SJ）は、前輪モータ駆動ユニット小型化のため、モータ駆動回路やトルクセンサを駆動ユニットから切り離して、クランク軸付近に配置した。トルク検出には、小型化・人力走行時の損失低減などのために、新開発の超磁歪材を使ったユニークなトルクセンサを採用した。

三洋電機のハブモータ前輪駆動方式のパワーユニット及びブレーキ充電機構は、その後「ノッタ・ママ充電」としても改良が重ねられ 、2008 年モデルのエナクル SPA シリーズ で は、リチウムイオン電池に対して、ブレーキ充電モードに加えて、ブレーキ操作に関係なく、平地・上り坂・下り坂などの走行条件に応じてアシスト力と走行充電を最適な状態に制御する「ノッタ・ママ オートモード」が追加された。

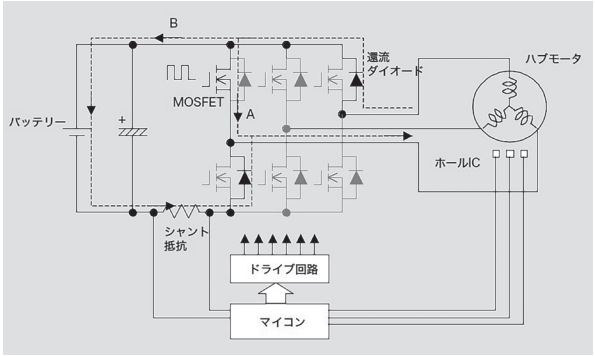


図 5.55　CY-SJ の回生充電時の回路[16]

図 5.56　エナクルジェネ（CY-SJ263D）と
エネループバイク（CY-SPA226）[16, 32]

三洋電機のハブモータ前輪駆動方式のパワーユニット及びブレーキ 充電機構は、2008 年 12 月のパナソニック株式会社による三洋電機株式会社の子会社化正式発表の後も、開発・生産が続けられたが、2010 年 4 月発売のエネループ SPL226（CY-SPL226）を最後に、開発・生産ともに終了した。

5.4.4　道路交通法駆動補助比率の改正

道路交通法の電動アシスト自転車に関する法改正に関しては、2002 年位から一般財団法人 自転車産業振興協会の補助事業活動として、安全性向上に関する調査研究委員会のなかで、議論が進められていた。この頃の法改正要望案には、EU Directive 規定（7.1.1 参照）と同様のモータ定格出力の規制、アシスト比率 3 以下、自転車を押して歩く場合レバー等で操作するモータ駆動の最高速度規制（案では 6 km/h）などが盛り込まれていた。アシスト比率の拡大に関しては、長崎、横浜、瀬戸内などの急坂で「電動アシスト自転車ではアシストが弱くて登れない」というユーザからの要望に応えるものだった。また、押し歩き時の駆動については、配達業務などの用途を考慮してのものだった。

その後、警察庁や公益財団法人 日本交通管理技術協会などとの議論の結果、業界各社でアシスト比率をレバー操作などで切り替えられる試作車を作って、2005 年 12 月に日本交通管理技術協会主催で一般ユーザ（30 歳代女性及び中年男女）対象の実証実験が行われた。図 5.57 はその実証実験の様子である。

走行練習　　直線狭路走行試験

図 5.57　アシスト比率切替式試作車による実証実験

その後、実証実験での結果、型式認定における試験方法、特許権侵害及び製品事故などに基づく業界からの要望などを踏まえて、2008 年 12 月に「時速 10km/h 以下のアシスト比率を 2 以下、10km/h から 24km/h までで漸減」の道路交通法施行規則が改正された。図 5.58 は、電動アシスト自転車安全普及協議会作成のアシスト比率改正を PR するパンフレットの一部である。

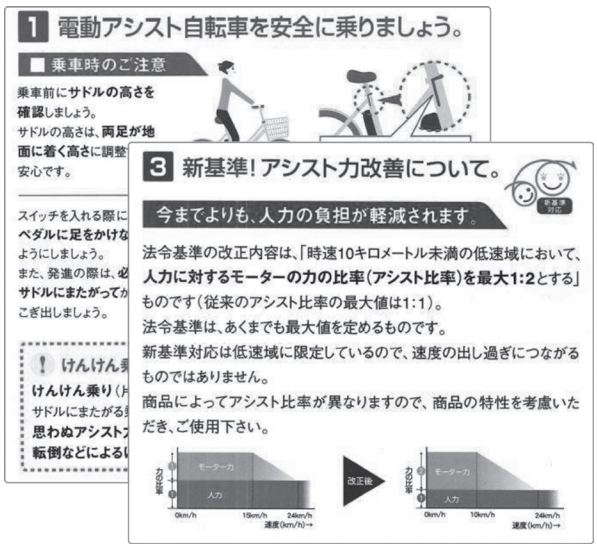


図 5.58　電安協作成のユーザ向けパンフレット [17]

5.4.5　幼児二人同乗自転車の認可

幼児を同乗させた場合の転倒事故や交通事故に関しては、2003 年のイタルダ・インフォメーションなどで以前から指摘されていた [18]。地球温暖化防止議論の高まりとともに自転車の有効利用の推進が唱えられるようになった一方で、自転車に関する事故が増加してきたことを受けて、2006 年に公益財団法人 日本交通管理技術協会がまとめた「自転車に同乗する幼児の安全対策及び乗車定員に関する調査研究報告書」では、『原則として 1 名のみの同乗を認める現行制度の維持を基本とすることが妥当』、また『2 人同乗は 1 人同乗に比べ走行安定性（方位角加速度）が特に低下することや、1 人同乗については走行安定性の向上がみられた子供乗せ専用車についても、2 人同乗についてはその効果がみられなかった。このことから、現状では安全性の観点からは 2 人同乗を認めることは難しい』と結論付けられた [19]。

2007 年、警察庁に設けられた「自転車の安全な通行方法等に関する検討懇談会」の議論の結果として公表された報告書では、交通の方法に関する教則（国家公安委員会告示）の自転車の正しい乗り方に規定された事項が色々ある中で、『幼児用座席に幼児を乗せる場合は一人までであることを、教則に明示すべき』と結論付けられた。これがマスコミで取り上げられ、反響を呼んだ [20]。その中に幼児二人を持つ親からの、『他の交通手段がなく、やむを得ず行っている幼稚園や保育園への送迎を禁止されたら困る。幼児二人同乗を認めてほしい。』などの意見も賛同を集めることになった。2008 年に警察庁が、6 歳未満の幼児を持つ親 3000 人を対象に行ったアンケート調査では、『幼児二人同乗を認めるべき』の意見が 3 割を超える結果になった [20]。

これを受け、警察庁は、2008 年 4 月に幼児 2 人同乗自転車検討委員会を立ち上げ、幼児二人同乗自転車を実現するために必要な要件をまとめることにした。同検討委員会は、2008 年 7 月の中間報告において、幼児二人同乗自転車に求められる要件として、強度、制動性能、駐輪時の安定性、フレーム等の剛性、走行中のハンドル操作に影響する振動の防止、発進時などの操作性・安定性の六つの要件をまとめた [33]。

警察庁の検討委員会に対応するため、経済産業省及び業界は、2008 年 5 月に幼児 2 人同乗用自転車規格検討会を設け、幼児二人同乗用自転車の要件について検討を行い、2009 年 3 月に「幼児 2 人同乗用自転車の規格（案）」をまとめた。同規格の作成に当たっては、警察庁の検討委員会メンバでもあり、同検討会で中心となって具体的な基準をまとめた三枝繁雄（製品安全協会）の功績が大きかった（三枝氏は 2010 年に逝去された）。これを基に、一般財団法人 製品安全協会が自転車の製品安全基準（SG 基準）に幼児 2 人同乗用自転車の規定を追加し、一般社団法人 自転車協会が幼児 2 人同乗用自転車安全基準を策定した。

自転車産業振興協会では、2008 年 4 月に「安全性に配慮した幼児 2 人同乗用自転車開発委員会」を設け、要件にあう幼児二人同乗用自転車の試作車を公募することにした。自転車産業振興協会は、応募された 12 社 14 台の試作車を用いて、2008 年 12 月に開発委員会メンバと警察庁の検討委員会メンバ等も参加した試乗会を実施した。この時のメンバからの指摘等を踏ま

えて応募企業は、改良を重ね、2009 年 2 月末に最終試作車を作成した。

警察庁は幼児 2 人同乗自転車検討委員会のとりまとめ結果を、2009 年 4 月に発表した[21]。そして、2009 年 7 月に、上記 6 要件の評価方法及び基準などを満たす幼児二人同乗自転車に関する都道府県公安委員会規則の改正が発布・施行された。

幼児二人同乗自転車に関する公安委員会規則の改正が行われた 2009 年 7 月 1 日に合わせて、幼児二人同乗自転車のアンジェリーノシリーズ及びアシスト新基準対応の幼児二人同乗電動アシスト自転車アンジェリーノアシスタシリーズを同時に発売したのは、ブリヂストンサイクルだった。ヤマハ発動機もブリヂストンサイクルに合わせて、同日に新基準対応の PAS リトルモアリチウム及び PAS ラフィーニ を発売した。

図 5.59　アンジェリーノアシスタ（A26L69）と
アンジェリーノミニアシスタ（ A22L49）[13]

5.5　成熟期における変化と技術的進化

本報告書では 2011 年春から現在までを成熟期（？）としている。この期間には、東日本大震災による景気の後退、アベノミクス景気（2012 年 12 月から 2018 年 10 月まで）などがあった。電動アシスト自転車市場は 、年間生産台数約 40 万台から約 60 万台の市場に成長した。

一方、自転車市場では、自転車の国内生産台数の減少及び付加価値の高い電動アシスト自転車生産への切り替えの流れが止まらず、ついに 2013 年に自転車軽快車の国内生産台数が電動アシスト自転車生産台数を下回ることになった。

5.5.1　成熟期（？）における製品の多様化

2009 年 7 月幼児二人同乗自転車に関する都道府県条例改正の後、幼児同乗対応の電動アシスト自転車は、二人同乗か一人同乗かの違い、チャイルドシートが前か後かの違い、タイヤサイズの違いなどで様々な種類の製品が、数年の間に相次いで上市された。 幼児同乗対応の電動アシスト自転車は、チャイルドシートを含めたメーカ希望小売価格が 12 ～ 15 万円であり、高額な自転車にもかかわらず、主に 30 歳代から 40 歳代前半の子育て世代のユーザからの支持を受けて、電動アシスト自転車商品群のなかで重要なカテゴリになっていった。

パナソニックサイクルテックは、2011 年 5 月に前 22 インチ・後 26 インチタイヤの「ギュット（BE-ENM633）」及び前後 20 インチの「ギュット ミニ（BE-ENMM033）」の幼児二人同乗対応の電動アシスト自転車「ギュット」シリーズを、それぞれ 132,000 円で発売した。ブリヂストンサイクルは、「パパもママも乗れるハンサムバイク」、「子供乗せ卒業後は、リアチャイルドシートを取り外し、電動アシスト自転車として利用」などを謳い文句に、後子乗せの幼児二人同乗電動アシスト自転車「HYDEE.B（ハイディビー、HY6L61）」を 2011 年 6 月に 139,800 円で発売した。2013 年 7 月には、前後 20 インチタイヤの後子乗せ幼児二人同乗電動アシスト自転車、bikke e（ビッケ イー、BK0C13）を 142,800 円で発売した。図 5.60 及び図 5.61 は、この時期に販売されたブリヂストンサイクルの幼児二人同乗対応の電動アシスト自転車である。

図 5.60　Angelino POSH ASSISTA（AP6L41）と
HYDEE.B（HY6L6 1 ）[22]

図 5.61　Angelino PETITE ASSISTA（AP2L82）と
bikke e（BK0C1 3 ）[22]

成熟期になると、実用性・耐久性とデザイン性を備えた通学用電動アシスト自転車が各社から販売されるようになった。メーカ各社が、女子高校生をターゲットユーザにして、彼女らに好まれるデザインや色の通学用電動アシスト自転車を開発するようになり、彼女らに人気のモデルやタレントを起用して PR 活動を行うことが、電動アシスト自転車の分野でも一般的になってきた。過渡

期の頃までは、自転車メーカでは季節性の強い通学用自転車の春需が終わった５月ごろから、季節性の少ない電動アシスト自転車の新商品を生産するのが一般的だったが、成熟期には、通学用自転車として電動アシスト自転車がユーザの選択肢の中に入るようになり、４月入学に備えて前年の秋には通学用電動アシスト自転車の新商品を発表するのが普通になってきた。

図 5.62 は、成熟期になって通学用電動アシスト自転車として発売されたモデルの例である。

図 5.62　カラーズ・B・EB（BE-ENCB6３）と PAS Ami（PA26A）[22, 14]

ブリヂストンサイクルは、通学用自転車のベストセラー機種であるアルベルトシリーズがあるので、2013 年モデルまで通学用電動アシスト自転車に積極的ではなかった（むしろ幼児同乗用電動アシスト自転車の機種展開に積極的だった）。2014 年２月にヤマハ発動機製の駆動補助システムを使って、雑誌とのコラボモデルとして女子中高生向けの通学用電動アシスト自転車を発売したことがあったが、2015 年１月に自社開発のハブモータ前輪駆動方式パワーユニットと後輪の樹脂コグベルト「アルベルト」を組み合わせて、通学用電動アシスト自転車「アルベルト e」を発表し、２月から発売を開始した（図 5.63 参照）。

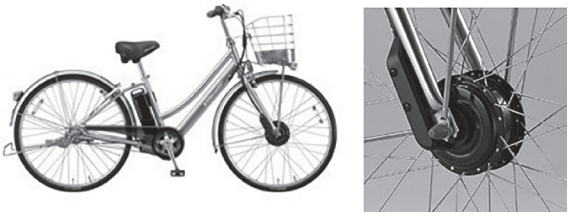


図 5.63　アルベルト -e（EAL685）と ハブモータ前輪駆動ユニット [22]

図 5.64 は、2019 年 10 月に経済産業省主催の「多様なモビリティ普及推進会議」で、ヤマハ発動機の村田和弘によって報告された電動アシスト自転車の年齢別ユーザ数のグラフである。従来からの高齢者及び 30 歳代 40 歳前半のユーザに加えて、高校入学の年齢にもう一つのピークができていることが分かる。現在はまだ数の上では少ないが、今後徐々に高校生の需要が

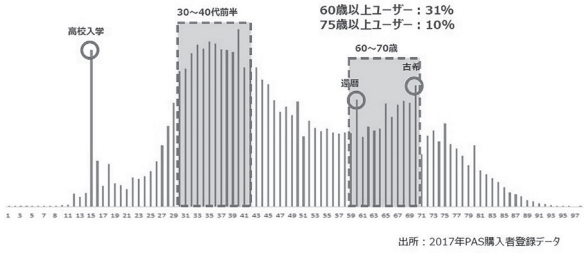


図 5.64　電動アシスト自転車の年齢別ユーザ数 [25]

増えていくことが予想される。

配達業務用の電動アシスト自転車（JIS D 9111 の分類では電動アシスト自転車の実用車）は過渡期の頃（1999 年頃）から上市されていた。その頃は、従来から使われていた自転車の実用車をベースに、ニカド電池又はニッケル水素電池を使った電動アシスト自転車で、主に運転免許を持たない人の新聞、郵便又は乳酸菌飲料の配達などに使われていた（図 5.65 左図参照）。

成長期の後半（2000 年代後半）、特に道路・駐車規制や渋滞の多い都市部での宅配便が増えたことから、運転免許を持たない人でも配達業務が可能な電動アシスト自転車とリヤカーの組み合わせによる宅配形式が増えていった。当初、宅配業者が入手しやすい比較的安い価格のシティ系電動アシスト自転車でリヤカーを牽引していたが（図 5.65 右図参照）、リヤカーを含めると最大で 150kg から 200kg 位の重量物を牽引するので、駆動部・牽引部などの変形・摩耗・劣化・破損などが多く発生していた。そこで、耐久性と一充電当たり走行距離に優れた配達業務用電動アシスト自転車が、リヤカー牽引の宅配業務にも使われるようになった。配達員の体力、道路環境及び配達物の量などにもよるが、過酷な条件で使われる宅配業務の場合には、業務用電動アシスト自転車でも、アシスト走行性能・制動力・耐久性 などの点で、宅配業務を完全に満足するものではなかった。

図 5.65　アシスタ M C（MS H24３）と PAS リチウムによるリヤカーの牽引 [13]

2009 年アシスト比率法改正以後、各社から発売された電動アシスト自転車の実用車は駆動力の点では従来のものより有利になった（図 5.66 参照）。また、リ

ヤカーの牽引も考慮した頑丈な設計になってはいたが、汎用的な配達業務を前提とした部品仕様だったので、部品の摩耗・変形・故障などは発生していた。

図 5.66　PAS GEAR-U（PM26BU）と
ビジネス ViVi BE-ENG632）[14, 15]

ヤマハ発動機は、ヤマト運輸からいくつかの要望を受け、2008 年頃から業務用電動アシスト自転車 PAS GEAR をベースにしたリヤカー牽引用電動アシスト自転車及びリヤカーの企画提案をしていた。実際の開発･製造･販売になると、製造･ロジスティック･価格などで課題が多く､実現が難しかった。それでも、関連会社のヤマハモーターエンジニアリングや自転車部品製造のブリヂストンサイクルの協力を得て、2013 年に電動アシスト三輪車と脱着式三輪リヤカーの組み合わせ車両 PAS GEAR CARGO を 2013 年 11 月に販売した（図 5.67 参照）。

図 5.67　PAS GEAR CARGOと脱着式リヤカー [14]

図 5.68　実証事業中の PAS GEAR CARGOと
専用リヤカー [25]

さらに、経済産業省の産業競争力強化法に基づいて、ヤマト運輸とヤマハ発動機は、「リヤカー牽引の電動アシスト自転車に限り、アシスト比率を 3 とする道路交通法上の特例」を申請し、企業実証特例制度による実証事業が､2014 年 10 月から開始された（図 5.68 参照）。実証事業は 2017 年 9 月に終了し、2017 年 10 月末に道路交通法施行規則一部改正の公布・施行が決定した。

5.5.2　速度検出の多様化によるアシスト走行機能の進化

ヤマハ発動機は、2009 年モデルから後輪ハブの変速比 に合わせた 最適の駆動制御「S.P.E.C 3」のために前輪に速度センサを追加したが、2013 年には全モデルのクランク軸部にホール IC 式回転センサを追加して、トリプルセンサ方式とした。今まで、後輪に繋がったモータ回転軸でモータ駆動時の車速、前輪の速度センサで下り坂などの惰性走行時も含めた全ての状態での車速を検出することができた。さらに、クランク軸の回転センサとトルクセンサで、乗員のペダリングの有無・踏力の強さに加えて 、自転車と乗員の動きと状態を瞬時に知ることができるようになった。これにより、平坦路などでの低踏力のときの短い惰性走行の状態を駆動状態と滑らかに繋ぐことで、より滑らかで快適なアシスト駆動制御を実現した。

これに対して、パナソニックサイクルテックも 2015 年モデルから、車速センサとクランク軸回転センサ を追加して､「マルチセンサモータ」と「タフパワーアシスト制御」で走行制御の改良を行った。

このようなトルク検出や回転数・速度検出の多重化は、より快適なアシスト走行性能や制御に貢献しているが、後述するより高度な駆動制御及びディジタル表示と合わせた的確な故障診断などにも貢献できるはず である。

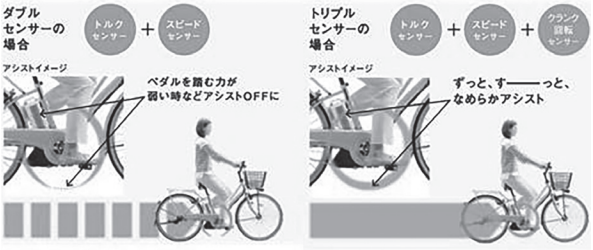


図 5.69　2013年 PASのトリプルセンサ [24]

ヤマハ発動機の 2016 年 PAS シリーズでは、前輪の速度センサの信頼性向上と小型化も実施され、現在に至っている。

図 5.70　2016年 PASのトリプルセンサ [24)]

5.5.3　e-bike の登場

ヤマハ発動機は、2012 年頃から本格的に欧州市場にドライブユニットの供給を再開していたが、OEM 先の要望を入れて、小型化したセンターモータ駆動方式クランク軸合力の PW 系ドライブユニットを開発し、2014 年から OEM 供給を開始した。その後、PW ドライブユニットシステムの販路拡大と国内での本格的なスポーツ系電動アシスト自転車の普及を目指して、ドロップハンドル仕様のロードバイク YPJ-R（PW70RM 及び PW70RXS）を開発し、2015 年 12 月から 248,400 円で国内発売を開始した（図 5.71 参照）。また、2016 年 10 月にバーハンドルタイプのクロスバイク YPJ-C（PW70CM 及び PW70CXS）を 199,800 円で発売した（図 5.73 左図参照）。YPJ-R

図 5.71　YPJ-R（PW70RM）[14)]

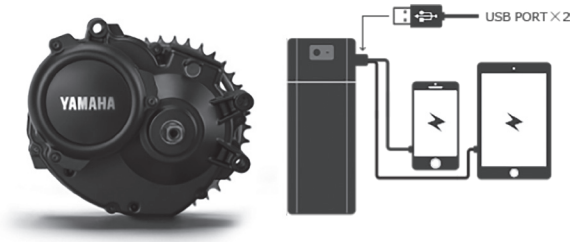


図 5.72　YPJ-Rのドライブユニットと電池による携帯電話などへの充電 [31)]

及び YPJ-C の駆動補助システムは欧州仕様を国内の道交法等の規格に合うよう変更されたものであり、電池の定格電圧は 国内シティ車などと同じ 25.2V だった。

これに対して、パナソニックサイクルテックも、欧州仕様の駆動補助システムを国内仕様に一部変更して、本格的なマウンテンバイク XM1（BE-EXM40）を 330,000 円で 2017 年 9 月に国内販売を開始した（図 5.73 右図参照）。XM1 の電池定格電圧は欧州仕様と同じ 36V だった。

図 5.73　YPJ-C（PW70CM）と XM1（BE-EXM40）[14, 23)]

2017 年は、欧州で生まれた e-bike が日本の電動アシスト自転車市場に本格的に上陸し始めた年と言っても過言ではない。近年の欧州 e-bike 市場を牽引する Bosch 及び欧州の e-bike 市場で存在感を示していたシマノが、2017 年に相次いで「日本の法規制に適合する e-bike のシステム部品を販売する」と発表した。これを受けて、欧州などで両社のシステムを搭載して e-bike を販売していた海外メーカ及び今までスポーツ系自転車を得意としていた日本の自転車メーカなどが次々に新規参入を表明することになった。図 5.74 左図は、2017 年に日本向けとして発表された Bosch eBike Systems、Active Line Plus である。図 5.74 右図は Bosch eBike Systems を搭載した TREK の日本向けクロスバイクタイプの e-bike の一つである。

図 5.74　Bosch Active Line Plusと TREK　Verve+[32)]

ヤマハ発動機は、2018 年モデルとしてマウンテンバイクタイプの YPJ-XC、ロードバイクタイプの YPJ-ER、クロスバイクタイプの YPJ-EC、及びリヤキャリヤやバッテリランプなどを付けたクロスバイクタイプの YPJ-TC を販売した（図 5.75 参照）。これらの機種は、欧州仕様と同じ 36V・13.3Ah の電池に対応したシス

テムで、新設計の液晶ディスプレイ及び操作スイッチではUSBコネクタに加えて、Bluetooth通信もできるようになっている。また、パナソニックサイクルテックも、2018年7月にマウンテンバイクタイプのXM1（BE-EXM240）、XM2（BE-EWM40）及びクロスバイクタイプのXU1（BE-EXU44）を380,000円から225,000円の価格で発売した。

図5.75　YPJ-XC（PB65XCL）とYPJ-TC（PW70TCL）[14)]

2019年6月にBoschは、欧州のe-MTB市場を牽引するPerformance Line CX のシステムを日本向けに発売することを発表した。さらに、従来のActive Line Plusにも対応する36V・11.1Ah及び36V・13.4Ahの2種類のフレーム内収納式バッテリも発表した。図5.76はそのシステムユニット及びフレーム装着状態のバッテリである。

図5.76　Performance Line CXとフレーム内収納式のバッテリ[32, 36)]

上述のように、日本のe-bike市場は、元々欧州で独自に発展して大きな市場になっていた欧州e-bikeの一部分を、日本の法規制に合わせて変更した製品として日本販売されてきた。現時点では、話題先行の感があり、最低価格の商品でも20万円以上する高額な自転車であるので、コロナ不況下の日本市場で数が増えていくのは厳しいと思われる。しかし、各メーカともフラッグシップモデルとして、先進的技術を競っている分野でもあるので、この分野で培った技術をシティ車などに降ろして定着させていければ、全体がさらに進化する可能性もある。

製品としてのe-bikeは、欧州のe-bikeがベースになっている。日本メーカが製造したクロスバイクタイプのe-bikeは、日本の道路を走行することを考慮して、普通自転車（道交法施行規則第9条の2で定める普通自転車は、全長1900cm以下、全幅60cm以下）として作られており、中には駆動用バッテリ式前照灯と尾灯が標準装備で付いたものもある。しかし、海外メーカの製品やマウンテンバイクタイプのe-bikeには前照灯はおろか、普通自転車の寸法範囲を超えた車両もある。実際に日本の道路を走行するときは、ユーザの法知識と法順守精神にゆだねられるのが現状である。数が少ないうちは問題になりにくいが、数が多くなって法順守精神に乏しいユーザが増加する、又は事故が起きるようになると、トラブルや社会的問題になることが懸念される。

参考・引用文献

1）一般財団法人 自転車産業振興協会：「国内自転車生産・輸出入の長期的推移」、(2019)

2）一般財団法人 自転車産業振興協会：「国内四半期自転車生産・輸出入状況（2019年10～12月）」、(2020)

3）内閣府景気動向指数研究会：website「景気動向指数」、内閣府、accessed on 2020-06-10、https://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/di/menu_di.html

4）日本特許、特許情報プラットフォーム（J-Plat Pat）、独立行政法人工業所有権情報・研修館、accessed on 2020-06-19, https://www.j-platpat.inpit.go.jp/

5）本田技研工業：Website“News Release – Hondaのニュースリリース”、accessed on 2020-06-10、https://www.honda.co.jp/pressroom/motor/

6）本田技研工業：Website“ホンダ ラクーン RACOON”、プレスインフォメーション（FACT BOOK）RACOON 1994.12、accessed on 2020-06-10、https://www.honda.co.jp/factbook/motor/RACOON/19940200/

7）田中建明、広瀬康夫、乾克己：「電動アシスト自転車 <CY-A1>」、三洋電機技報 Vol.29 No.1 p.76-82、(1997)

8）サイクルプレスジャパン：「電動アシスト自転車の歴史」、サイクルプレスジャパン2005年8月臨時増刊号、p56-65

9）パナソニックグループ：ニュースリリース「電動アシスト自転車の国内完成車累計出荷300万台を突破」、accessed on 2020-06-10、http://www.news2u.net/releases/165611

10）経済産業省：「統計表一覧（経済産業省生産動態統計）」、accessed on 2020-12-10、統計表一覧（経

済産業省生産動態統計）｜経済産業省生産動態統計｜経済産業省（meti.go.jp）
11）本田技研工業：Website“STEP COMPO”、プレスインフォメーション（FACT BOOK）Honda StepCompo FACT BOOK 、accessed on 2020-06-22、https://www.honda.co.jp/factbook/motor/stepcompo/200104/?from=newslink_products
12）大井耕三、山口晶男、平尾敬二、大見和弘、酒井敦：「パワーアシスト自転車用 BMC（Battery Management Controller）」、三洋電機技報 Vol.36 No.1 p.118-122、（2002）
13）ブリヂストンサイクル：自転車 製品カタログ
14）ヤマハ発動機：電動アシスト自転車 製品カタログ
15）ナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）：電動アシスト自転車製品カタログ
16）横谷和展、富樫仁夫、数原寿宏：「電動アシスト自転車<CY-SJ>」、三洋電機技報 Vol.35No.1p.106-114、（2003）
17）電動アシスト自転車安全普及協議会：ユーザー向けパンフレット「電動アシスト自転車さらに安全に、便利に」、（2009）
18）公益財団法人 交通事故総合分析センター：「自転車事故」、イタルダインフォメーション No.46、（2003）
19）公益財団法人 日本交通管理技術協会：「自転車に同乗する幼児の安全対策及び乗車定員に関する調査研究報告書」、（2006）
20）自転車社会学会：「幼児２人同乗用自転車」検討委員会経過報告書」、（2009）、accessed on 2020-07-15、http://www.kadooka.miyaginocyclingclub.org/bikesocio/bikesafeprogram/kyosoku/2childrenreport.html
21）警察庁交通企画課：「幼児２人同乗用自転車」検討委員会の取りまとめ結果について」、（2009）
22）ブリヂストンサイクル:Website「ニュースリリース」、2010 年 度 –2020 年 度、（2020）、accessed on 2020-04-20/ 07-24、https://www.bscycle.co.jp/news/2020
23）パナソニックサイクルテック：Website「ニュースリリース」、2009 年 度 –2020 年、（2020）、accessed on 2020-01-06/ 07-24、https://cycle.panasonic.com/release/
24）ヤマハ発動機： Website「ニュース一覧」、1997 年 度 –2020 年 度、（2020）、accessed on 2020-01-06/ 07-25、https://global.yamaha-motor.com/jp/news/
25）経済産業省：審議会・研究会「第３回多様なモビリティ普及推進会議開催資料の資料５」、ヤマハ発動機（株）ソリューション事業本部 SPV 事業部 長村田和弘、（2019）、accessed on 2020-07-19、https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mobility/003.html
26）経済産業省：ニュースリリース 2017 年度一覧「リヤカー付三輪電動アシスト自転車のアシスト力が引き上がります～企業実証特例制度における実証結果を踏まえ、規制が緩和されます～」、関連資料【別紙】実証事業にかかる参考資料、（2017）、accessed on 2020-07-16、https://www.meti.go.jp/press/2017/10/20171019003/20171019003.html
27）パナソニックサイクルテック：取扱説明書「電動アシスト自転車 JETTERBE-ENHC782」、（2010）
28）Bosch-ebike:Website「News」、2017 年 –2020 年、（2020）、accessed on 2020-07-01、http://www.bosch-ebike.jp/jp/news.html#c6051
29）TREK：Website「電動アシストバイク」、（2020）、accessed on 2020-07-23、https://www.trekbikes.com/jp/ja_JP バイク /e-bike 電動アシスト /c/B507/
30）パナソニック：Website「eneloop bike 生産終了商品一覧」、「電動ハイブリッド自転車（三洋）（生産終了商品）」
31）ヤマハ発動機（株）SPV 事業部 所蔵
32）ボッシュ（株）電動自転車システム事業部 所蔵
33）三枝繁雄（一般財団法人 製品安全協会）：「自転車の製品安全確保に向けて」、特集 乗物の事故と安全、生活安全ジャーナル第７号、独立行政法人 製品評価技術基盤機構、(2009)、accessed on 2021-02-26、https://www.nite.go.jp/jiko/chuikanki/journal/old_index.html

6 電動アシスト自転車主要技術の進化

6.1 駆動補助装置及び組電池の設計要件とモータ駆動方式の進化

6.1.1 駆動補助装置及び組電池に求められる機能要件

電動アシスト自転車の駆動補助装置は、従来の自転車に画期的な発進性能、発進安定性、登坂性能、駆動走行時の快適性などをもたらした。一方で、軽量で安価な自転車に、ある質量と大きさを持った駆動補助装置や組電池などが付加されたことで、重く扱いにくくなり、自転車を２・３台買える価格になり、さらに電気・電子部品及び電池に特有の扱いにくさと品質リスクを内在する製品となったのが電動アシスト自転車である。

電動アシスト自転車の駆動補助装置及び組電池には、安全性及び価格に見合った高い信頼性・耐久性に加えて、以下のような機能要件が必要である。これらの要件そのものは、初代PASの頃も、現在も大きく変わってはいない。ただ、電動アシスト自転車の歴史のなかで、関連部品の技術水準・価格、社会・市場・顧客の要求などの変化によって、電動アシスト自転車に求められる機能要件の優先順位が変化し、その結果としての技術進化の方向性も変化してきた。

- 法規制の速度及びアシスト比率の範囲内で、アシスト駆動走行は安全で快適に（アシスト走行性能）
- 法規制の速度及びアシスト比率の範囲内で、急な坂を楽に登ることができる（登坂性能）
- 可動部分の異音･騒音は自転車並みに小さく(静粛性)
- モータ駆動系非作動時のペダル踏力は自転車並みに軽く（自転車走行時の動力伝達効率）
- 駆動補助装置の質量はできる限り軽く（車両質量）
- 駆動補助装置及び組電池の全体形状は小さく、目立ちにくく（車両デザイン）
- 一充電当たりの走行距離はできる限り長く（電池容量、省電力性）
- 充電は分かり易く、手軽に（メモリー効果の有無、残量表示の見易さ・正確さなど）
- 充電は簡単に・早く（充電操作性、充電時間、電池質量など）
- 電池寿命はできるだけ長く（サイクル寿命）
- メンテナス費用はゼロ又は安く（充電コスト、スペア組電池の価格） など

6.1.2 センターモータ駆動方式の課題と進化

（1）重心回りに重量物集中のセンターモータ駆動方式

1993年に発売された初代PAS（PA26）に始まり、1995年発売のホンダラクーン（UB01）など、導入期の電動アシスト自転車の多くは、センターモータ駆動方式でクランク軸合力一体式の駆動補助装置を採用していた。図6.1に初代PASのパワーユニットを、図6.2にホンダラクーンのパワーユニットを中心とした駆動補助システムの概略図を示す。これらの駆動補助装置では、縦長のラジアルギャップ・インナーロータ形直流モータを使い、モータ回転軸とクランク軸が直角に交差する構造になっていた。よって、モータ減速機構には、傘歯車が用いられていた。

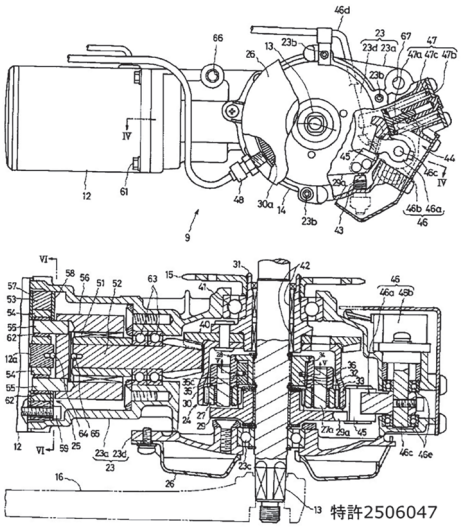


図6.1　PASのクランク軸合力式駆動補助装置（PA26、1993）

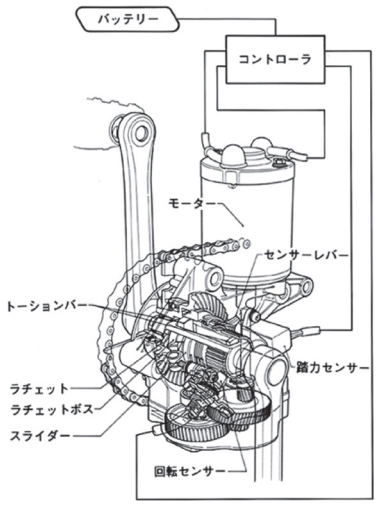


図6.2　ラクーンのクランク軸合力式駆動補助装置（UB01、1995）

導入期及び過渡期までの駆動補助装置の多くがセンターモータ駆動方式だった理由は、質量の大きい駆動補助装置及び組電池を車体重心の近くに集中させて、少しでも取り回し性を良くしようとしたからである。図 6.3 に、センターモータ駆動方式のニュー・パス PX26 の駆動補助装置を、仮にハブモータ後輪駆動にした場合、及びハブモータ前輪駆動にした場合の主要構成部品の重心位置と質量分布の違いを示す。参考に同時代の小径車 PX20 の質量分布も示す。図 6.4 に、取り回し時（車両全体の持ち上げ、ハンドルグリップを持って前輪の持ち上げ、サドル後端又はリヤキャリヤ後端を持って後輪の持ち上げ）に手にかかる回転モーメント又は力の大きさが、図 6.3 の各車両の質量分布の違いによってどの程度変わるかの計算結果を示す。自転車のどの部分をつかんで持ち上げるかによって力の大きさは異なるが、センターモータ駆動方式が極端に重く感じる場合がなく、有利なことが分かる。これに電池の位置が車体中心から離れた位置にあると、上記の差がさらに大きくなることもある。

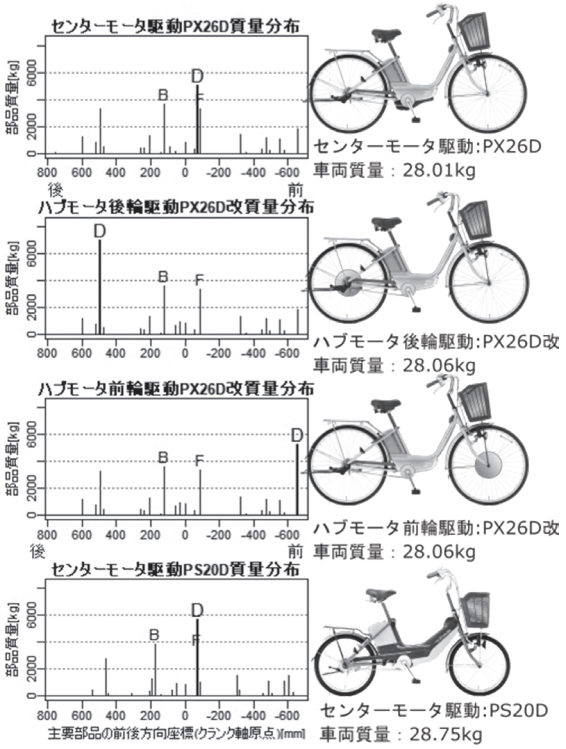


図 6.3　駆動方式による質量分布の違い

センターモータ駆動方式のクランク軸合力一体式（図 2.12 参照）の駆動補助装置の利点は、駆動補助機能を装置単体で実現し、場合によっては装置を小型にすることができること、及びチェーンのレイアウトを自転車と同じ条件にすることができることが挙げられる。特に外装変速のチェーン機構との相性が良い。この特徴は、近年流行の e-bike に生かされ、日本版 e-bike の駆動補助装置は全てセンターモータ駆動方式クランク軸合力一体式が採用されている。

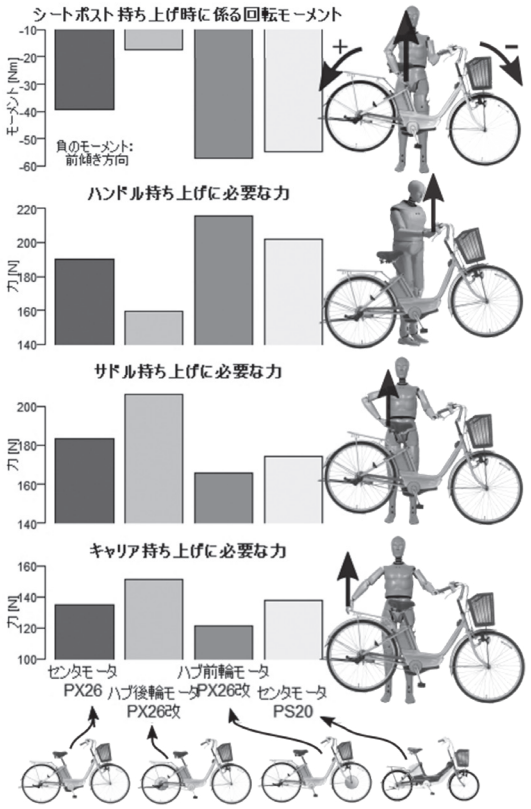


図 6.4　駆動方式による持ち上げ時の回転モーメントと負荷の違い

（2）モータ系伝達効率と自転車走行の軽さ狙いのチェーン合力一体式

過渡期になると、センターモータ駆動方式でクランク軸合力一体式の駆動補助装置を生産していた各メーカは、駆動補助装置の小型化、コスト低減などの理由から、交差軸歯車機構から平行軸歯車機構に移行していった。一般用自転車とほぼ同じチェーンライン寸法（幅方向のチェーンの軌道）とほぼ同じクランク軸幅の中にモータ及び平行軸歯車減速機構を納めて、駆動補助装置の小型化を図るために、各メーカは夫々に工夫を凝らした。図 6.5 の陽の当たる坂道は、アキシャルギャップ形固定ヨーク式の薄型直流モータを使って、２段のアイドル軸で減速して、クランク軸のチェーンスプロケット（ギヤ板）にモータ駆動力を伝える構造であった。図 6.6 のホンダラクーン 24 UX-3 は、ラジアルギャップ・インナーロータ形直流モータをドライブユニットケースに外付けして、２段のアイドル軸で減速し、クランク軸のチェーンスプロケット（ギヤ板）にモータ駆動力を伝える構造にした。図 6.7

のPASロイヤルは、表面磁石・インナーロータ形の低回転型のブラシレスＤＣモータを使い、１段の減速でクランク軸に伝達する構造にしていた。PASロイヤルの人力系スプロケットの変速比は、他とは違い、16/ 21（0.76）の減速機構だった。

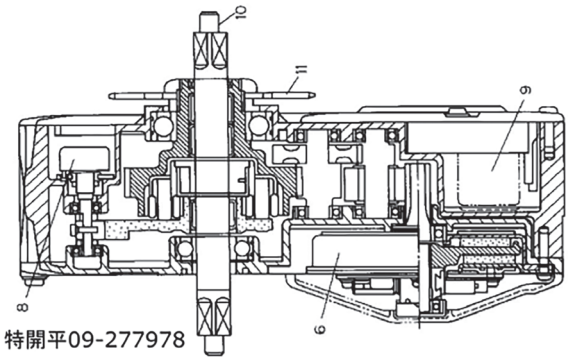


図 6.5　陽の当たる坂道のクランク軸合力式駆動補助装置（BE-EB63、1996）

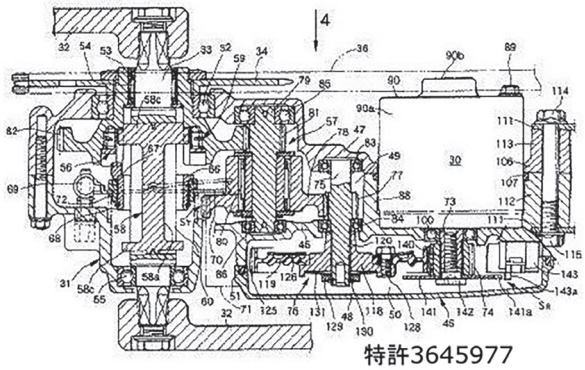


図 6.6　ラクーン 24 UX-3のクランク軸合力式駆動補助装置（UB04、1997）

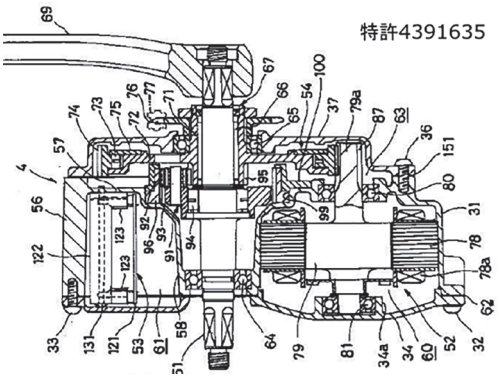


図 6.7　PASロイヤルのクランク軸合力式駆動補助装置（PY26、2000）

電動アシスト自転車のスプロケット変速比は、一般的に 1.5 から 2.5 の増速になっている。これは、自転車の軽快車の変速比 2.0 から 2.3 に合わせたからである。この前提の場合、クランク軸合力式のモータ駆動系から見ると、モータからクランク軸まで減速した後に、クランク軸から後輪までの間で増速することになる。その結果、モータから後輪まで減速だけの場合に比べて、クランク軸までの間に多くの減速比が必要になり、ドライブユニットケースの大型化につながる、又はより低速回転型のモータが必要になり、効率が悪い。そこで登場したのが、人力系駆動力とモータ系駆動力をチェーンで合力するまで分離することができるチェーン合力式（図 2.11 参照）である。チェーン合力式は、クランク軸から後輪まで、自転車の軽快車と同様の増速機構で人力の伝達を行い、モータ回転軸から後輪までのモータ駆動系は減速機構で伝達するので、最小歯数の歯車やスプロケットを使って、最小形状の伝達機構で設計することができる。

図 6.8 及び図 6.9 に、過渡期から成長期初めに発売された代表的な電動アシスト自転車のチェーン合力式駆動補装置を示す。この時期には、ネオジム磁石をロータの磁石に使ったブラシレスＤＣモータが使われるようになり、モータの薄型化も容易になった。モータ回転軸から樹脂製ハス歯歯車で１段減速し、モータ駆動用スプロケットと後輪スプロケットで２段目の減速をしている。この構造の駆動補助装置は、それぞれ改良を重ねられ、現在のシティ系電動アシスト自転車でも多く採用されている。

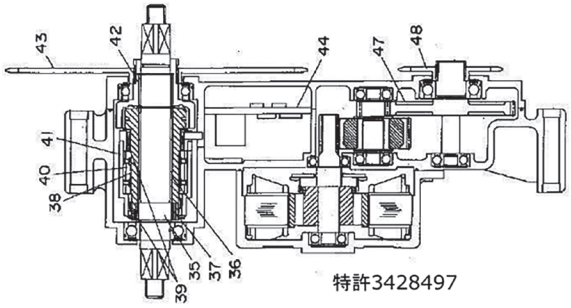


図 6.8　ViViシリーズのチェーン合力式駆動補助装置（BE-EBW、2000）

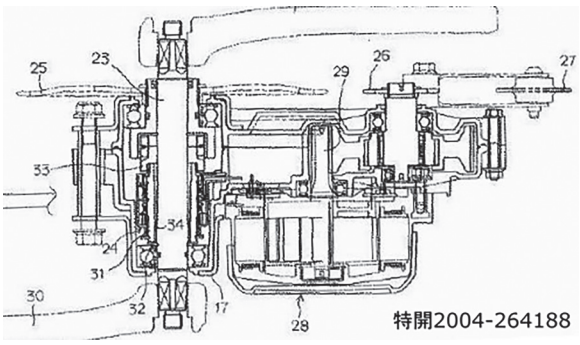


図 6.9　New PASのチェーン合力式駆動補助装置（PZ26、2003）

6.1.3　ハブモータ駆動方式の課題と進化

ハブモータ駆動方式の駆動補助装置は、センターモータ駆動方式に比べて、取り回し性で不利な点があるのに、駆動補助装置キット CMU-1（1995）、エナクル（CY-A1、1996）、エナクルジェネ（CY-SJ、2003）、リチウム ViVi・RX-10S（BE-EPLR73、2008）、アルベルト -e（EAL785、2015）などに根強く採用されてきた。それは、自転車としての取り回し性より、自転車フレーム製造技術や設備の流用性、若しくは人力系駆動装置の流用性、又はハブモータ前輪駆動方式駆動補助装置の回生充電機能を優先したからに他ならない。

導入期及び過渡期のハブモータ駆動方式は後輪駆動だった（図 2.14 参照）。図 6.10 に、エナクル（CY-A1、1996）のハブモータ後輪駆動方式駆動補助装置を示す。この駆動補助装置には、ネオジム磁石で小型化したラジアルギャップ・インナーロータ形直流モータから 2 段のプーリ・ベルト機構で後輪軸と同軸のハブにモータ駆動が伝わり、ハブで人力と動力する構造だった。自転車の軽快車では一般的な後輪 3 段変速機構が使えない単速の後輪ハブだったが、スプリング、カム、アルミニウム製リング及び検出コイルを使ったトルクセンサ機構を後輪ハブ内に持ち、後輪ハブだけで駆動補助機能のほとんどを実現させることを目指した駆動補助装置だった。

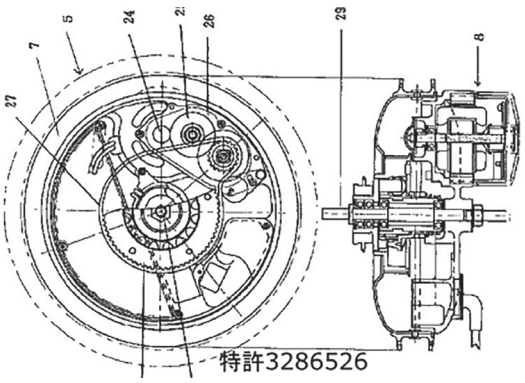


図 6.10　エナクルの後輪駆動方式駆動補助装置（CY-A1、1996）

三洋電機は 2003 年、ハブモータ前輪駆動方式の駆動補助装置（図 2.13 参照）を開発し、エナクルジェネ CY-SJ シリーズとして発売した。ハブモータ前輪駆動方式の課題は、下記のようにいくつか考えられる。

・前輪が重くなることにより、取り回し性が悪化する、段差乗り越し時などに前輪を持ち上げにくくなる。
・クランク軸から後輪接地面の間の負荷トルク検出値を基にした前輪のモータ駆動力と前輪接地面の路面抵抗が釣り合わない場合（濡れた路面上、砂利道などの不安定な路面上など）、前輪のスリップが生じ易い。
・電池又はトルクセンサ付近に設置した制御回路から前輪モータまでの電力線・信号線が太くなり、明確なストッパのない自転車のステアリング部や前輪付近で断線などの故障が起こり易い。

逆に、後輪駆動方式から前輪駆動方式に変更することで得られる下記のようなメリットがある。
・一般用自転車の軽快車で一般的な後輪変速ハブ、ベルト駆動機構などがそのまま使える。
・センターモータ駆動方式では実現が難しい、回生充電機能を持たせることで、容量の少ない組電池でも、一充電当たりの走行距離をより多くすることができる。

先述のセンターモータ駆動方式では、回生充電の実現が難しい理由を少し詳しく解説する。センターモータ駆動方式駆動補助装置の電動アシスト自転車には、三つのワンウェイクラッチが必要である。そのワンウェイクラッチの一般的な取付位置と機能について、表 6.1 に示す。

表 6.1　センターモータ駆動方式駆動補助装置のワンウェイクラッチの取付位置及びその目的

動力伝達経路	取付位置	ワンウェイクラッチ取り付けの目的
人力系のクラッチ	クランク軸とトルクセンサ機構の間	・乗員がペダルを逆転させた場合、ペダル回転の抵抗にならないようにするため ・モータ駆動が停止する瞬間に、モータの惰性回転でペダルが正転しないようにするため
モータ駆動系のクラッチ	モータ駆動力合力点の直前の回転軸内	・人力走行をする場合、モータ駆動系が一緒に回されて抵抗にならないようにするため
後輪回系のクラッチ	後輪ハブの内部	・下り坂、平坦路で車両が惰性走行をしている場合、後輪回転によってペダルが正転させられないようにするため

表 6.1 に示すように、センターモータ駆動方式の駆動用モータは後輪から二重のワンウェイクラッチで切り離されているので、惰性走行しているときに駆動用のモータを発電機として使うためには、非常に複雑なシステムが必要になる。ところが、ハブモータ前輪駆動方式では、クランク軸や後輪のワンウェイクラッチとは独立した状態なので、前輪駆動系のワンウェイクラッチを廃止するだけで、惰性走行しているときに駆動用のモータを発電機として使うことが可能である。ハブモータ前輪駆動方式の特徴を活かす最善の方法が回生充電機能なのである。

エナクルジェネ CY-SJ の駆動補助装置では、下り坂でブレーキレバーを操作したときに、2.8Ah のニッケル水素電池に対して最適な回生充電が実行されるシステムが織り込まれた。同時に、車輪とモータが常に直結で回ることで、極低速で車両を前進・後進させるときに感じるモータのコギングトルクを最小化するための対策、並びに前輪ハブ重量軽減のためのモータの軽量化、モータのスリップ回転抑制制御、及びブラシレス DC モータの電力線・信号線保護のためのクランプや保護カバーなどの対策が織り込まれた[28]。

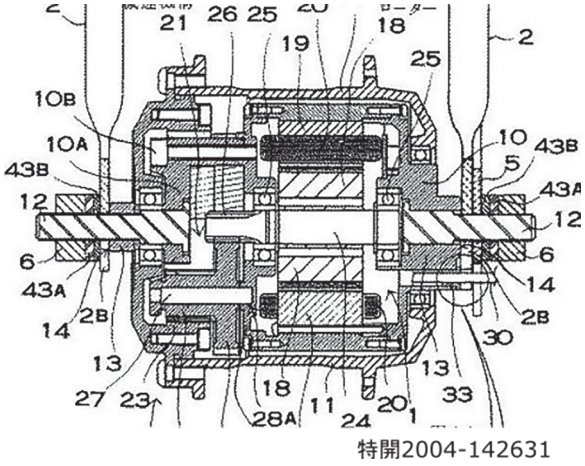


図 6.11　エナクルジェネの前輪駆動方式駆動補助装置（CY-SJ、2003）

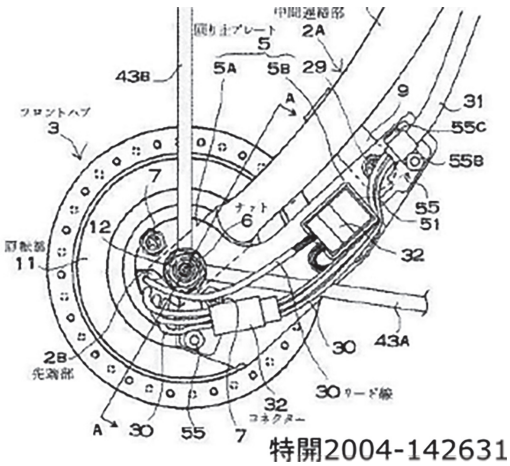


図 6.12　CY-SJハブモータのコードカバー

6.2　駆動部，制御部及び検出部の進化

6.2.1　モータ及びモータ制御の進化

導入期におけるほとんどの電動アシスト自転車の電動機は、永久磁石ブラシ付き直流モータであった。電池を電気エネルギー源にする車両の駆動用モータとして、当時最も一般的で、扱いやすく、システムとして安価だったからである。車両駆動用のモータとして直流モータが適していたのは、発進・登坂・定常走行時の駆動力（駆動トルク）制御に、直流モータのトルク・回転数特性が向いていたからである。

ここで、導入期のある電動アシスト自転車の開発時の走行性能目標値を図 6.13 に、それを基にしたモータ設計性能の一例を図 6.14 に示す。電動アシスト自転車駆動系の性能設計は、発進・最大登坂・通常の登坂・連続走行耐久など、いくつかの場合における車両としての走行性能目標値の設定から始まる。例えば、「平たん路での発進から 1 秒後の車速 9 km/h」を開発車両の発進目標性能とした場合、タイヤ諸元・モータ駆動系の減速比・伝達効率などから、モータの「発進時動作点」として必要なトルクと回転数を得る。ただし、電池の出力電圧は、満充電時からアシスト停止に至るまでに徐々に低下するので、そのままではモータ出力トルクは、電圧値に合わせて徐々に減少する。図 6.13 の車両走行性能及び図 6.14 のモータ性能の動作点は、アシスト停止電圧直前の電池電圧（例えば 19V）での出力目標値である。その他、急坂登坂（例えば勾配 9 度の坂）・通常の坂道登坂（例えば勾配 5 度の坂）・連続走行耐久（例えば勾配 3 度の坂、10km/h、500 時間）などでも同様である。これらの動作点における必要トルク、回転数及び前提となる電池電圧、所要時間などの条件から、直流モータの仕様設計及び評価試験が行われる。直流モータの回転数とトルクには、入力電圧値が変わっても（1）式の関係があり、定常状態では図 6.14 に示すように直線的な関係になるので、車両の発進性能、登坂性能などとの相性が良いのが特徴である。

$$\tau_m - \tau_L = J\frac{d\omega}{dt} + D\cdot\omega \quad (1)$$

$$\tau_m = K_T\cdot i \quad (2)$$

ここで、τ_m：モータの発生トルク [N・m]、τ_L：負荷トルク [N・m]、J：ロータの慣性モーメント [kg・m^2]、ω：回転角速度 [rad/s]、D：粘性制動係数 [N・m/（rad/s）]、K_T：トルク定数 [N・m/A]、i：電機子電流 [A] である。

なお、図 6.13 の車両走行性能ライン及び最大電流カットラインは、モータ駆動系の入出力に関するだけのものであり、人力駆動系も含めた車速とアシスト比率の制限に関するものではない。

モータ制御の観点からは、入力電流とモータ発生トルクとの関係が、（2）式に示すように、トルク定数 K_T を係数にして線形なので、例えば入力電流を制御することで、モータのトルク即ち車両の駆動力が制御できることになる。実際に市販された電動アシスト自転車のモータ制御仕様に関しては、様々な方法があり、各メーカの機密事項になっているので、詳しくは分からない部分が多い。図 6.15 に、三洋電機 角谷和重と横谷和展による直流モータを使った電動アシスト自転車の制御系及びモータ駆動系の制御ブロック図の一例を示す。ここで、τ_h は人間の踏力トルク、τ_m はモータトルク、τ_l は負荷トルク、K_i はトルク定数、i_a は電機子電流である。モータ制御方法の詳細は、各メーカによって違いがあるが、共通しているのは、以下の点である。

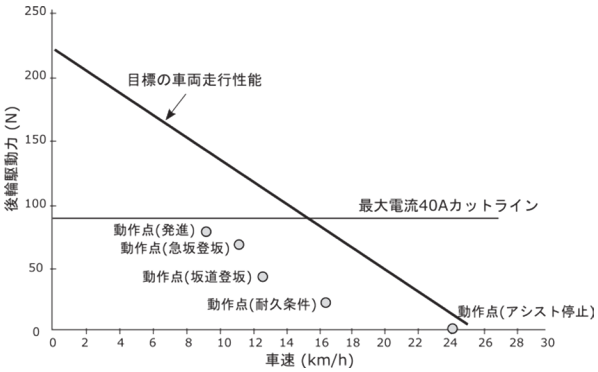


図 6.13　要求走行性能と駆動系動作点の例

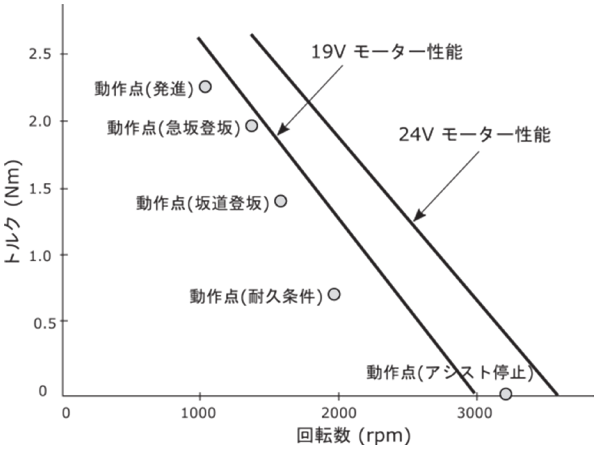


図 6.14　モータ設計性能と設定動作点の例

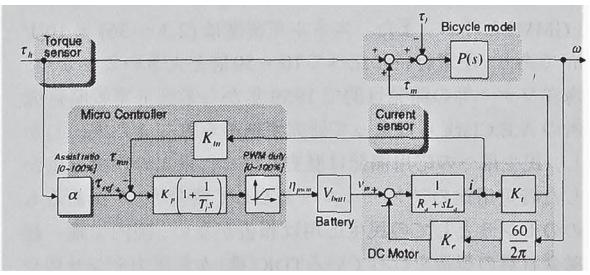


図 6.15　モータ系制御ブロック図の例 [19)]

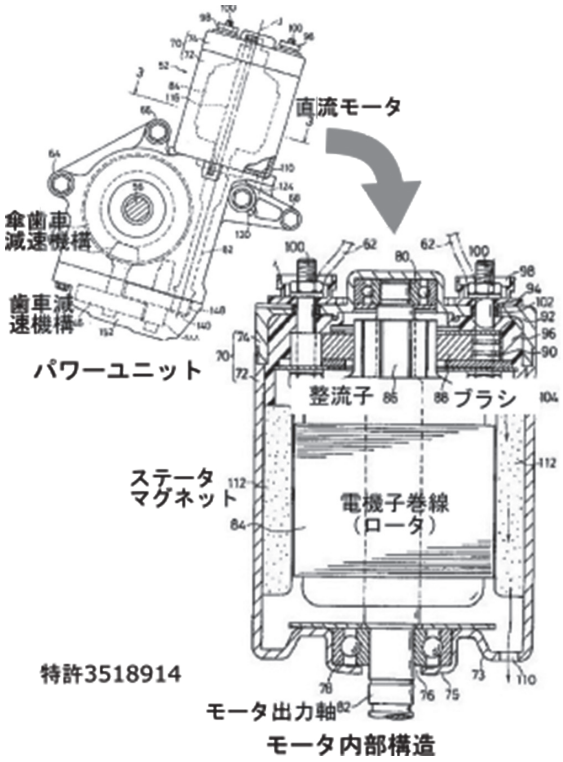


図 6.16　直流モータ（UB01、1995）

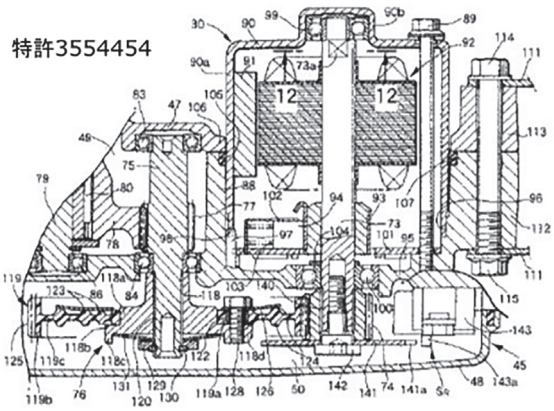


図 6.17　直流モータ（UB04、1997）

・人力の踏力トルクをトルクセンサで検出し、電圧値又は電流値としてモータ制御用コントローラに伝達する。
・モータ駆動系のどこかで、その回転速度を検出し、制御用コントローラにフィードバックする
・電池の出力電流値を検出し、制御用コントローラで必要な制御をする。
・制御用コントローラは、電池の出力電流、駆動系の回転速度、車速に応じたアシスト比率の制限などを条件として、モータ入力電流又は電圧を制御し、制御された駆動トルクを出力する。

導入期に利用された直流モータの中で最も多かったのが、図 6.16 及び図 6.17 に示すような、固定子にフェライト磁石を使ったラジアルギャップ型の直流モータだった。フェライト磁石は、最大エネルギー積 BH_{max} がアルニコ磁石の 1/2 ～ 1/3、ネオジム磁石の 1/8 ～ 1/10 だが、当時工業化されていた磁石の中では、最も流通量が多く、安価な磁石だった。

モータは電動車両としては最重要な構成部品の一つであるが、銅と鉄の塊であり、特に導入期の自転車ユーザにとっては、小型化・軽量化されるべき代表的な部品の一つであった。図 6.16 に示したモータは、ラクーン UB01 の駆動補助装置に用いられた直流モータである。駆動補助装置全体としての小型化・軽量化・コスト低減の要件に合わせて、2 年後に発売されたラクーン UX-1（UB04）の駆動補助装置及びそのモータが図 6.17 である。磁石種類やモータのタイプに変更は見られないが、モータが小型化され、駆動補助装置幅方向の制限内に収めるための取り付けの工夫がなされている。

磁石材質をフェライト磁石からネオジム磁石への切り替えによって、モータの小型化を実現したメーカもあった。三洋電機は、家電業種でネオジム磁石を大量に購入していたことから、コストを抑えてネオジム磁石に切り替えることが容易だったと思われる。フェライト磁石からネオジム磁石に切り替えによって、モータ及び後輪駆動補助装置の小型軽量化をした一例を、図 6.18 に示す。図 6.19 はフェライト磁石モータとネオジム磁石モータの仕様の違い及び性能の違いを比較したものである。

磁石の種類だけでなく、モータの種類も先進的な方法で小型軽量化を目指したのが、図 6.20 及び図 6.21 に示すナショナル自転車工業の陽のあたる坂道 BE-EB63 だった。陽のあたる坂道 BE-EB63 には、ネオジム磁石アキシャルギャップ型直流モータが採用された。このモータは、当時カーエアコンのコンデンサ冷却用に用いられていたものと同様のモータ構造で、電機子巻線及び整流子を軟磁性粉末配合の樹脂で一体的に成形した無鉄心電機子を、ネオジム磁石で軸方向両側から挟む構造のコアレス薄型モータだった。

過渡期の 1998 年～ 2001 年頃になると、電動アシスト自転車程度の生産数量でも、ネオジム磁石のコスト低減が見込めるようになり、更にインバータ回路用の MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）や制御用 IC などが一般的になったこと

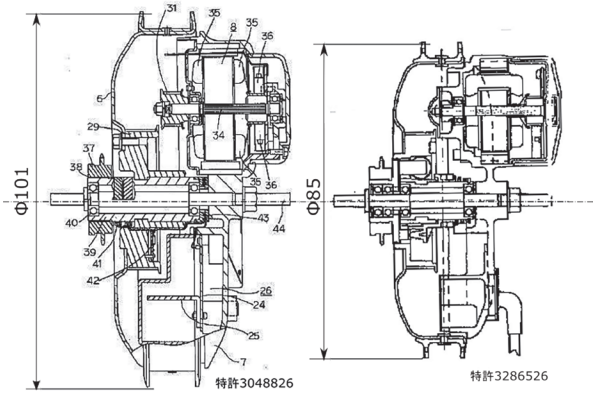


図 6.18　磁石変更によるモータ小型化の一例
（1995年 CMU-1と 1996年 CY-A 1）

		ネオジウムマグネットモータ	フェライトマグネットモータ
最大効率		80%	75%
定格効率		65%	64%
ロータ	外径	φ64mm	φ80mm
	積厚	22mm	22mm
外形寸法		φ85 X 74mm	φ101 X 74mm
体 積		420cm3	593cm3
質 量		1025g	1457g
駆動ユニット質量		5.1kg	7.6kg

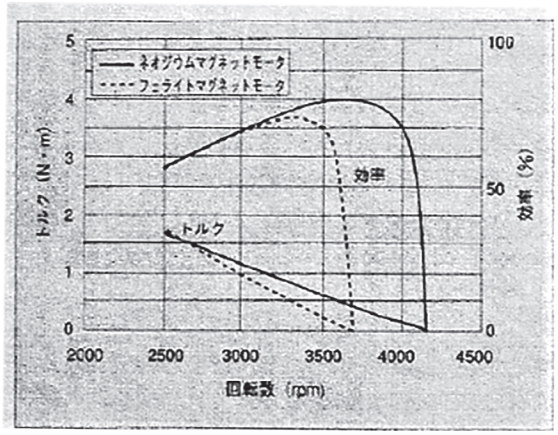


図 6.19　磁石変更によるモータ諸元・特性の向上 [20)]

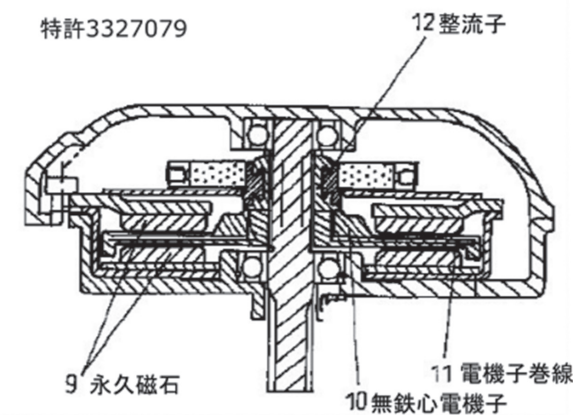


図 6.20　ネオジム磁石使用のアキシャルギャップ型コアレス直流モータ

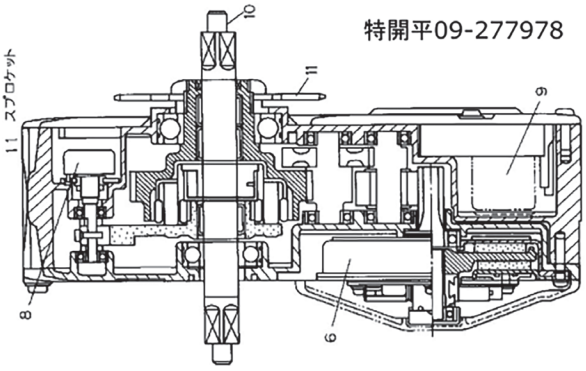


図 6.21　コアレス薄型モータ使用の駆動補助装置（BE-EB63、1996）

もあり、各メーカは、ネオジム磁石を使ったブラシレス DC モータ（DC ブラシレスモータ、ブラシレスモータ、永久磁石同期電動機）への切り替えを検討するようになった。電動アシスト自転車に用いられるブラシレス DC モータは、従来使われていた直流モータに比べると以下のような短所と長所があった。

短所

・最大30A以上の電流が流れるMOSFETや電解コンデンサを含む3相交流インバータ回路などを配置したコントロール基板をドライブユニット内に冷却を考慮してレイアウトする必要がある。

・３相交流回路分のMOSFET、制御用IC及びそれらを制御するCPUなどに追加分のコストがかかる。

長所

・直流モータで必須の整流子及びブラシからの騒音、ノイズ並びに摩耗粉などによるトラブルから解消される。

・整流子及びブラシを削除した分の幅方向の薄型化が期待できる。

・磁極位置検出に必須のホールICからの信号をモータ駆動系の回転速度センサ（駆動時の車速センサ）として利用することができる。

従来、直流モータを使っていて、最も早くブラシレス DC モータへの切り替えを実現したのはナショナル自転車工業だった。図 6.22 に、2000 年に発売されたエレガント ViVi（BE-EBWU63）の駆動補助装置並びにモータ固定子及び回転子を示す。

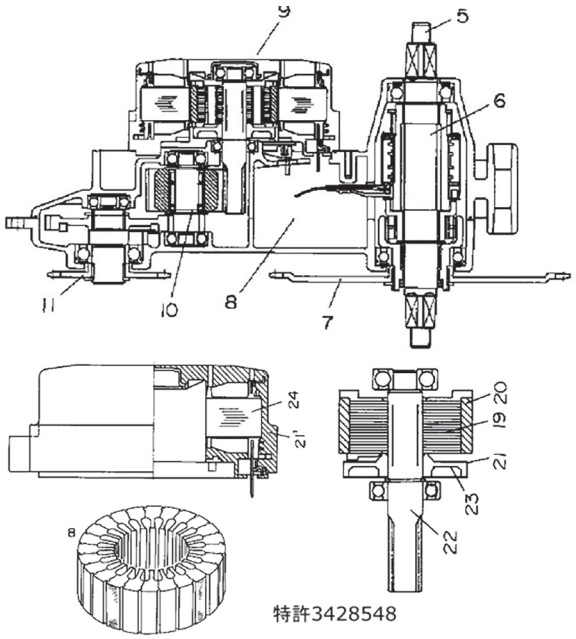


図 6.22　ブラシレス DCモータ使用の駆動補助装置及び固定子と回転子（BE-EBWU、2000）

6.2.2　トルクセンサ機構の進化

（1）機械式トルクセンサ

人の踏力の大きさを検出するトルクセンサは、電動アシスト自転車の駆動補助装置として、必須のセンサである。最初の電動アシスト自転車である初代 PAS のトルク検出機構が、遊星歯車機構とばねとポテンショメータによる機械式トルクセンサだったことから、電動アシスト自転車導入期では、ほとんどの電動アシスト自転車が何らかの機械式トルクセンサを採用していた（一部には、歪ケージ式を採用していたものもあった）。

図 6.23 に、初代 PAS（PA26）のトルクセンサ機構を示す。人力によるクランク軸の回転は、ワンウェイ（一方向）クラッチを介して、ソーラ形遊星歯車増速機構のキャリヤ（遊星枠）からリングギヤ（内歯車）へと伝わり、リングギヤと一体になった傘歯車でモータ駆動力と合力される。一方、遊星歯車から太陽歯車に伝わった反力は、太陽軸に連結したトルク応動レ

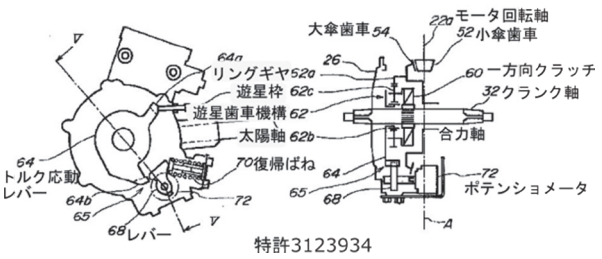


図 6.23　遊星歯車式トルクセンサ（PA26、1993）

バーからレバーに伝わり、復帰ばねと釣り合う。この時、ペダル踏力に比例して、トルク応動レバー及びレバーが回動し、その回転量をポテンショメータが電圧に変換する仕組みである。

1995 年に発売されたホンダ・ラクーン（UB01）のトーションバーを用いた機械式トルクセンサ機構を図 6.24 及び図 6.25 に示す。この構造は、左右のクランク軸がトーションバーで連結されており、トーションバーの捩れは、駆動部材（ラチェットボス）に設けられたカム面、及びスライダを介してセンサアーム（センサレバー）の回転変位に変換され、センサアーム（センサレバー）の一端がポテンショメータに変位を伝える仕組みになっている。センサアーム（センサレバー）は、スライダを介してクランク軸方向のスプリングに

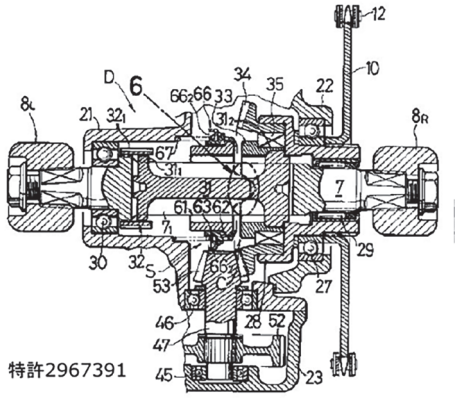


図 6.24　トーションバー式トルクセンサ（UB01、1995）

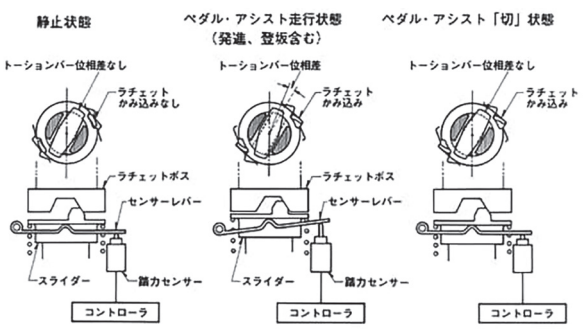


図 6.25　トーションバー式機構の動作説明 [27]

常に押されていて、トーションバーの捩れ分だけ、無負荷位置から回転するようになっている。これらの構造と状態を説明したのが図 6.25 である。

電動アシスト自転車の導入期のほとんどの機種が採用していた機械式トルクセンサは、構造が分かりやすく、調整も簡単な面もあったが、以下のような欠点もあった。

・構造が複雑なものが多く、価格低減が求められたとき、コスト低減に限界があった。
・ペダルを正転させているときは、トルクセンサ機構のうち、機械系部品は常に回転・摺動している必要があり、アシスト走行をしない人力走行の時の回転抵抗となり、ペダルが重く感じる。
・ユーザ層が広がり、踏力の強い若者・体重の重い人などのペダル踏力を常に受ける機械式トルクセンサ機構部は、相応の強度・耐久性が必要となり、駆動補助装置全体の小型軽量化に限界があった。

以上のことから、クランク軸回転とは常に繋がってはいるが、機械的には分離している非接触型のトルクセンサが求められるようになった。歪ゲージ式トルクセンサは、機械的に回転する部分が少ないものの、スリップリングが必須であることと、モータの近くでトルク検出する場合は温度補正する必要もあり、機械式の代替案とまでは言えなかった。

（2）磁歪式トルクセンサ

軸回転トルクを非接触で検出する手段として、1990 年代導入期には、磁歪式トルクセンサが機械設備、ねじ締め装置などの分野で利用されていた。また、自動車エンジンの軸トルク検出、ハンドルのパワーステアリンク用として検討されていた。磁歪式トルクセンサとは、一般的に強磁性体に歪が生じると磁気特性が変化する逆磁歪効果（ヴィラリ効果、Villari effect）を利用したトルクセンサのことであり、磁性体の材料及び磁気特性の変化のさせ方によって、いくつかの種類に分けられる。最も初期（1960 年代）に検討されたものは Dahle の磁歪式トルクセンサであり、焼き入れ鋼などの軸表面に、軸方向に対して ± 45 度の方向に交流磁界を励磁し、軸表面の交流磁束密度の変化を検出コイルによってインピーダンスの変化として検出し、電圧に変換するものだった [22]。このタイプの進化版が、図 6.26 及び図 6.27 に示すクボタ製のトルクセンサであった。クボタ製のトルクセンサは、軸表面の磁束密度の変化を有効に検出するために、軸方向に対して ± 45 度の溝を成形加工したことが特徴だった。このタイプのトルクセンサは軸材料又は同等の熱処理された高強度の材料をそのまま使え

るので、強度的・コスト的には有利だが、材料の持つ透磁率が低く、センサ出力電圧のSN比が低いのが欠点であった。クボタ製トルクセンサには、SN比の低さを補うための色々な工夫が見られる。図6.27に示されたシールドヨークの構造や形状も、磁束の漏れや外乱の影響を防ぐための工夫である。

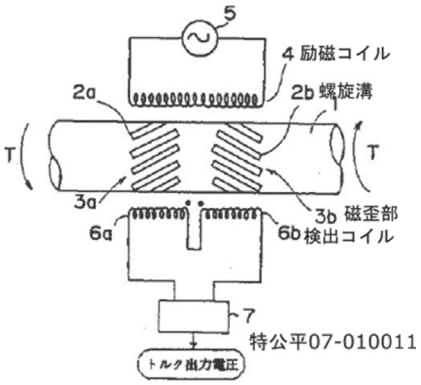


図6.26　らせん状の圧縮加工硬化層付きトルクセンサ（久保田鉄工、1987）

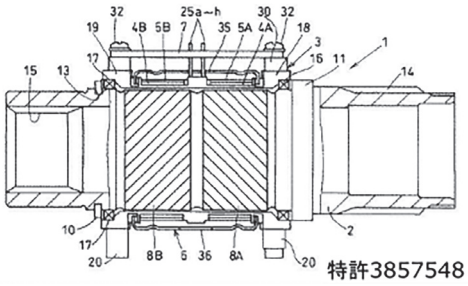


図6.27　励磁コイルと検出コイルをシールドヨークで覆う構造（クボタ、2001）

さらに、磁歪式トルクセンサ全般的に言える欠点が、トルクセロ点の温度変動、温度変化に伴うヒステリシスの変化など、センサ出力の温度依存性である。1980年代後半から1990年台後半にかけて、クボタから様々な温度補正の方法が特許出願されていることからも、熱源近くでのトルク検出には注意を要することが垣間見られる。

1990年代初期に、透磁率の高いアモルファス合金膜を軸表面に接着させて磁歪式トルクセンサのSN比向上を目指したのが松下電器産業だった。図6.28がアモルファス合金膜を軸表面に螺旋形状に固着したトルクセンサであり、その後の同社製トルクセンサの原型ともいえる構造である。図6.29はそのトルクセンサを使ったねじ締め装置の図である。

磁歪式トルクセンサを電動アシスト自転車に搭載することを言及した特許出願は、電動アシスト自転車の導入期から過渡期にかけて、いくつか存在した。例えば、特許3048826（三洋電機、1994/3/29出願）、

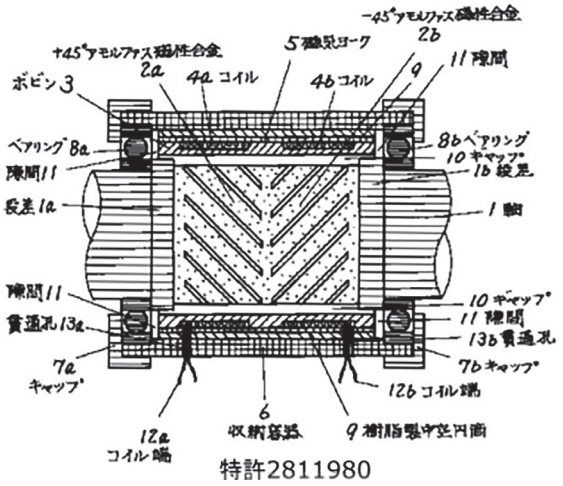


図6.28　アモルファス合金膜接着のトルクセンサ（松下電器産業、1991）

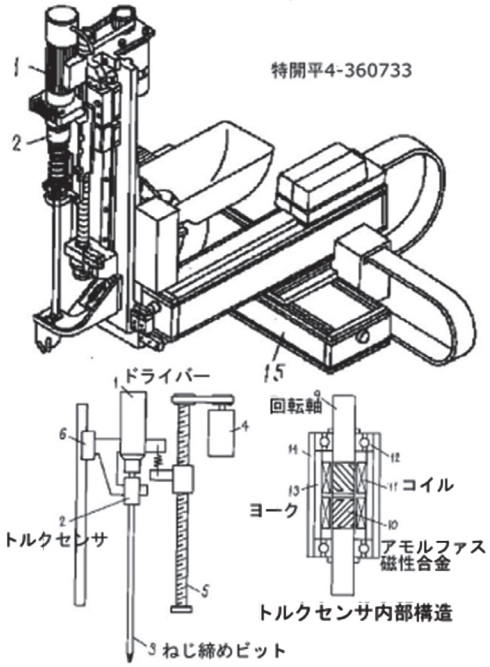


図6.29　トルクセンサ付きねじ締め装置（松下電器産業、1991）

特許3415325（ブリヂストンサイクル、1995/4/27出願）、特開平9-95289（本田技研、1995/9/29出願）などである。しかし、実際に採用には至っていない。その頃の各社の開発優先度では下位にあったか、又は磁歪式トルクセンサ開発の難しさがあったものと想像される。

過渡期になって、磁歪式トルクセンサが最初に電動アシスト自転車に採用されたのは、2000年にナショナル自転車工業から発売されたスポーティ ViVi（BE-EBWL63）及びエレガント ViVi（BE-EBWU63及び

430）である（図 5.41 参照）。特に、少電池容量 2.8Ah で、車両質量 20kg 以下を謳ったスポーティ ViVi に、人力走行でも軽い磁歪式トルクセンサはピッタリの手段だった。実は、当該機種が発売された 2000 年 3 月初旬から遡ること 1 年半前の 1998 年 8 月初めに、図 6.30 とほぼ同じ構造の磁歪式トルクセンサ、チェーン合力の研究段階の成果と思われる特許 3499138 が出願されている（図 5.39 参照）。更に、発売の約 10 か月前の 1999 年 5 月下旬に出願された特許 3428497（図 6.30）及び特開 2000-335476 には、磁歪式トルクセンサの欠点である温度特性や検出精度をさらに向上させるための工夫をしたことがうかがわれる記述が多く残っている。5.3.4 で記述した過渡期におけるナショナル自転車工業 ViVi シリーズの成功を象徴する技術開発の一つが、この磁歪式トルクセンサの開発だったのである。

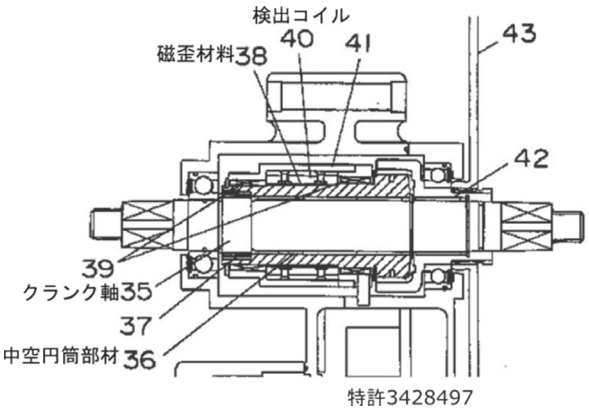


図 6.30　磁歪式トルクセンサ（BE-EBWL63、2000）

ナショナル自転車工業から遅れること 3 年後の 2003 年 4 月に、ヤマハ発動機 New PAS（PZ26S、PZ24S）及びブリヂストンサイクルから発売されたアシスタライト（A63NP、A43NP）に採用されたクボタ製の磁歪式トルクセンサが図 6.31 である。

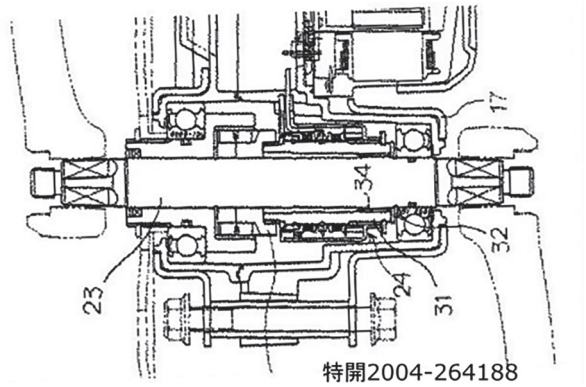


図 6.31　磁歪式トルクセンサ（PZ26S 、2003）

2003 年エナクルジェネ CY-SJ シリーズで、三洋電機の駆動補助装置がハブモータ後輪方式から前輪駆動方式に変更された。そのとき、トルクセンサ機構も、後輪ハブ内のスプリング、カム、アルミニウム製リング及び検出コイルを使ったトルクセンサ機構から、クランク軸スプロケット（チェーンホイール）内で超磁歪材を用いた磁歪式トルクセンサに変更された。このトルクセンサの構成は、クランクに固定された内ホイール及びチェーンに人力を伝える外ホイールの間に、超磁歪材を使った力センサが、クランク軸から半径方向に一定の位置で、圧縮荷重を受けるように取り付けられている。力センサの励磁コイルにはスリップリングを介して車体側の制御用コントローラから励磁電流が供給され、力センサがペダル踏力による圧縮荷重を受けたとき、逆磁歪効果によって検出コイルにインダクタンスの変化として検出され、最終的にクランク踏力に比例した電圧値が、スリップリングを介して、制御用コントローラに伝達される（図 6.32、図 6.33 参照）。

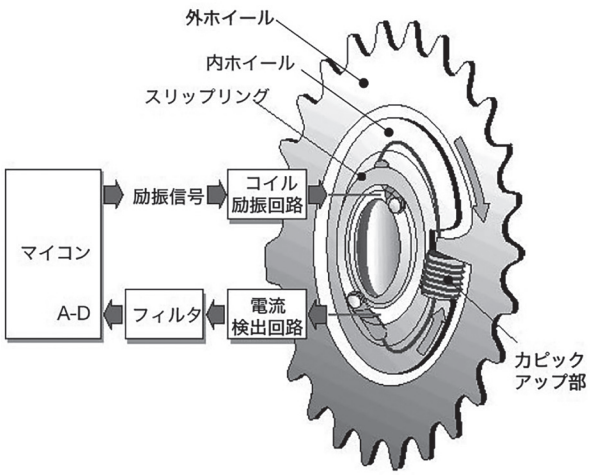


図 6.32　CY-SJのトルクセンサの構造（CY-SJ、2003）[28]

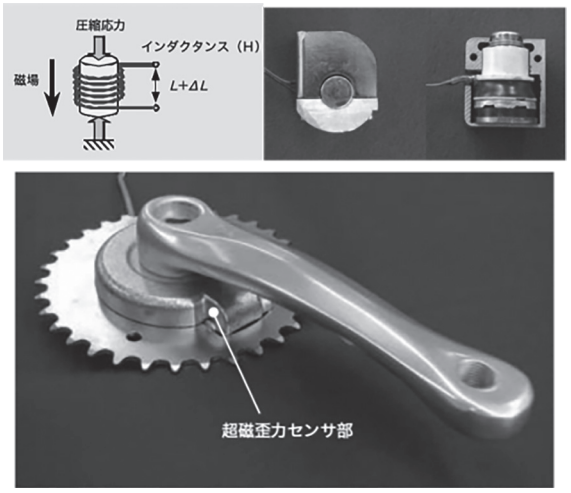


図 6.33　超磁歪力センサ利用のトルクセンサ [28]

上述のように、2000年にナショナル自転車工業が、2003年にヤマハ発動機及びブリヂストンサイクル、更に三洋電機が磁歪式トルクセンサに切り替わったので、成長期以降、ほとんどの電動アシスト自転車が磁歪式トルクセンサを使い、現在に至っている。

なお近年、磁歪式トルクセンサの一種として、逆ヴィッデマン効果（又は逆ヴィーデマン効果、Inverse Wiedemann effect）による磁歪式トルクセンサが一部に利用されているという情報がある。逆ヴィッデマン効果とは、円周方向に隣接して複数本磁化させた軸を捩ったときに、軸方向に磁化が生じる現象であり、逆磁歪効果（Villari effect）に比べると励磁コイルが必要ないので、小型化・簡素化ができるというメリットがある。電動アシスト自転車のトルクセンサとして利用されたものではないが、逆ヴィッデマン効果を利用したトルクセンサの出願特許の一例を図6.34に示す。

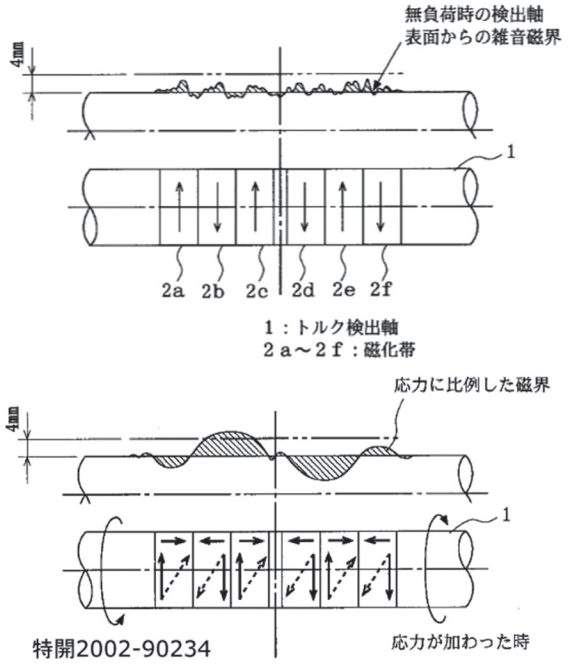


図6.34　逆ヴィッデマン効果のトルクセンサ
（光洋電子、2000）

6.3 電源部・充電部の進化

6.3.1 電池の変遷と電池性能の進化

携帯電話などで使われる二次電池（蓄電池）を小型、電気自動車などを大型とした場合、電動アシスト自転車に使われる電池は小型から中型の電池に大別されるが、二次電池全体の使用量の中で、携帯電話や自動車などと比べると、電動アシスト自転車での使用量はさほど多くはない。しかし、電動アシスト自転車の組電池は、電動アシスト自転車の電源部として必須の部品であり、導入期から現在に至るまで、電池の持つ仕様や特性が、電動アシスト自転車の商品性を決定づける重要な要素でもあった。電池の進化に合わせてそれぞれに選択された結果として、シール形鉛蓄電池（小型制御弁式鉛蓄電池）、ニカド電池、ニッケル水素電池、そしてリチウムイオン電池へと変わってきた。電動アシスト自転車の歴史は、二次電池の種類が大きく変化してきた歴史と重なっている。

図6.35に、二次電池の種類別の出荷金額（電池製造事業所の販売金額）及び24V相当の組電池にした場合の平均単価の推移を示す。データの出典は、一

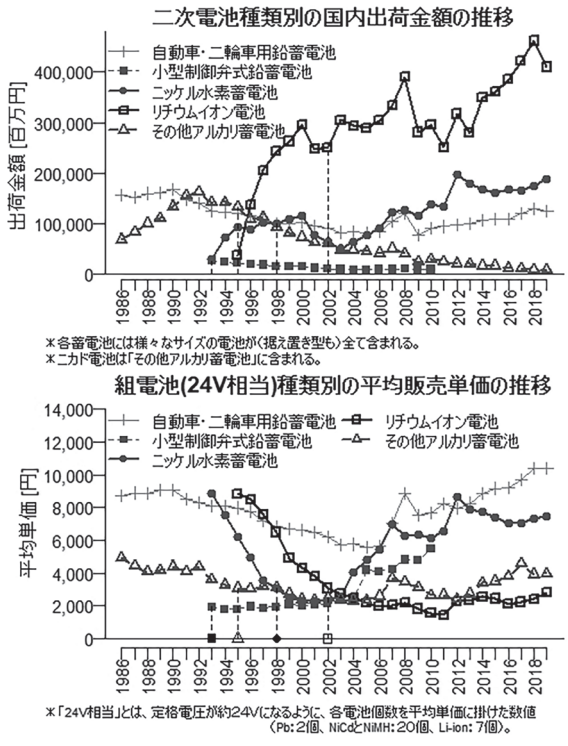


図6.35　二次電池種類別の出荷金額と24V組電池相当の平均出荷単価の推移[29)]

般社団法人 電池工業会のウェブサイトだが、その元は経済産業省 生産動態統計である。平均単価は電池種類別の出荷金額を出荷台数で単純に割った数値に、24V相当の電圧にするための個数を掛けたものである。図6.35には、各種類の電池が電動アシスト自転車に初めて採用された年を縦の点線及び点の記号（■、△、●、□）で示した。データには小型の二次電池から据え置き型の大型の二次電池まで含まれるので、こ

の平均単価は電動アシスト自転車製造企業が購入した電池価格とは異なる。しかし、シール形鉛蓄電池が初めて採用された時の平均単価の約 1,900 円を除くと、その後の三つの電池の同単価が、ほぼ同じ金額の 3,000 円～ 3,100 円であることは非常に興味深い。また、ニッケル水素蓄電池及びリチウムイオン電池は、ほぼ同じ 1990 年代前半に市場に登場し、2000 年頃まで両者競うように出荷台数が増え、逆に平均単価が低下していったが、その後リチウムイオン電池は更に価格低下が続いたのに対して、ニッケル水素蓄電池は上昇に転じたことも、電池価格の量産効果や用途の変化などを示唆していて興味深い。

本節では、電動アシスト自転車で使われてきた電池及び組電池の構成・仕組み・特徴などを順に述べ、電動アシスト自転車にどのような影響を及ぼしてきたかを記述する。

（1）シール形鉛蓄電池（制御弁式鉛蓄電池）

初代 PAS ではシール形鉛蓄電池が定格電圧 24V で使われた。シール形鉛蓄電池は、自動車のエンジン始動などで用いられるベント形（開放形）鉛蓄電池を基に、車体が横転しても電解液（希硫酸）が漏れないように、また電解液のメンテナンスをしなくてもいいように、電解液を微細ガラス繊維（セパレータ）にしみ込ませ、電極間に挿入した鉛蓄電池である。一般的なベント形（開放形）鉛蓄電池と同じように、定格電圧 2 V の単セルを 6 個直列接続した定格電圧 12V の角型電池として、電池メーカから出荷されていた。電動アシスト自転車としては、12V の角型電池を 2 個直列接続して、さらに放電端子付きコード、充電端子付きコードなどを付けて、バッテリボックスとしていた。図 6.37 に、初代 PAS（PA26）のバッテリボックス構成を示す。初代 PAS のバッテリボックスは、定格電圧 24V、定格容量 7.0Ah で、質量は約 6.3kg だった。

図 6.38 及び図 6.39 は、シール形鉛蓄電池の充放電の仕組みを模式的に示した図である。基本的にはベント形鉛蓄電池と同じであるが、初代 PAS で使われた初期のシール形鉛蓄電池では、負極に鉛（Pb）化合物、正極に鉛（PB）- カルシウム（Ca）の酸化化合物が使われていた。鉛 - カルシウム系合金は、自己放電や電解液の減少を抑えてメンテナンスフリー特性を高める目的で用いられていた。

鉛蓄電池では、放電時に負極電極で電子（e^+）を放出するとともに、鉛（Pb）が鉛イオン（Pb^{2+}）として電解液中に溶け出し、電解液中の硫酸イオンと反応して、負極表面に硫酸鉛（$PbSO_2$）が生成される。正極では電子（e^+）を受け取り、二酸化鉛（PbO_2）中の鉛イオン（Pb^{2+}）が電解液中に溶け出し、電解液中の硫酸イオンと反応して、正極表面にも硫酸鉛（$PbSO_2$）が生成される。同時に電解液中の水素イオン（H+）と二酸化鉛（PbO_2）中の酸素イオン（O^{2-}）が反応して水（H_2O）を作る。

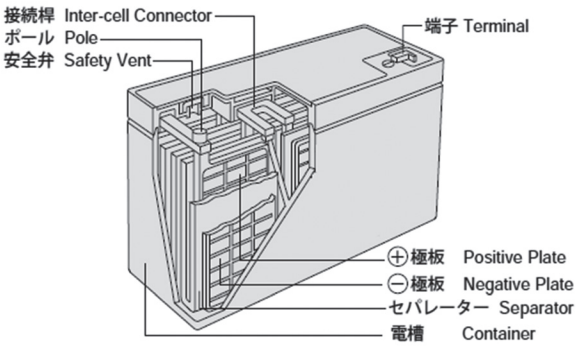


図 6.36　シール形鉛蓄電池

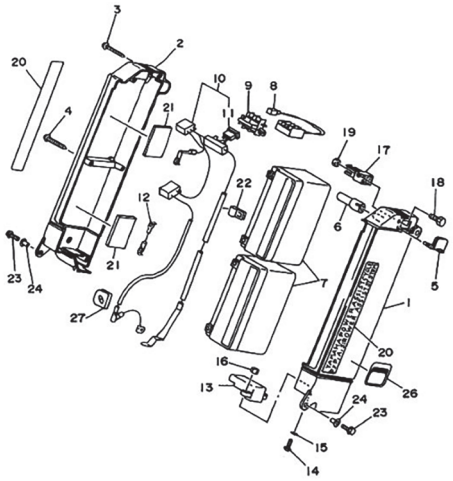


図 6.37　PA26のバッテリボックス（1993）[15]

シール形鉛蓄電池では充電末期の水素や酸素の発生を抑える電極成分によってメンテナンスフリー特性を高めているが、充電器の故障などで過充電が極端に深くなると、下記の反応式に示すように、正極で酸素、負極で水素の発生が起きる。

正極：　$H_2O \longrightarrow 1/2\ O_2 + 2H^+ + 2e^-$

負極：　$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$

電動アシスト自転車使用におけるシール形鉛蓄電池の長所・短所を以下に列記する。初代 PAS の開発時、ニカド電池とシール形鉛蓄電池の二択の中で、当時の設計者は、下記の長所に加えて、シール形鉛蓄電池が当時のオートバイやスクータで使われていた安心感も手伝って、シール形鉛蓄電池を選択した。しかし、電動アシスト自転車に使われる電池としての下記の短所

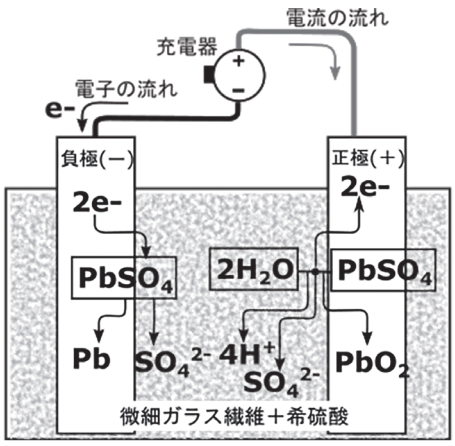


図 6.38　鉛蓄電池の充電時における化学反応と電気的現象

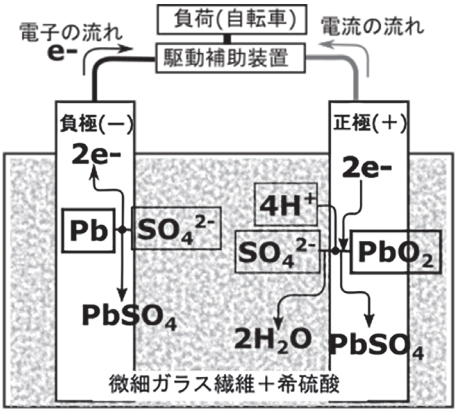


図 6.39　鉛蓄電池の放電時における化学反応と電気的現象

は非常に重要で、結果として初代 PAS は大きな市場クレームを抱えることになった（4.3.4 参照）。

長所
・組電池としての価格が安い（当時は安かった）
・継ぎ足し充電を気にせず行える。
短所
・質量が大きい。重い。エネルギー密度が小さい。
・サイクル寿命が短い。
・使用後長期間放置すると、サルフェーションが起きて、通常の充電方法では復帰しないことがある。

電動アシスト自転車の電池がニカド電池に代わって以降、シール形鉛蓄電池（制御弁式鉛蓄電池）は、電動アシスト自転車では使われなくなったが、1990 年代後半から 2000 年代初期にサイクル寿命に関する改良が電池各社で盛んに行われて、ハンドル形電動車いすやバックアップ用電源用途では現在でも使われている。

（2）ニカド電池（密閉型ニッケル・カドミウム蓄電池）

1995 年 2 月に発売されたホンダラクーン（UB01）にニカド電池が初めて使われ、同年 3 月発売のヤマハ発動機 PAS Type C（PN24）にもニカド電池が使われたことから、電動アシスト自転車の組電池は一挙にニカド電池の時代になった。図 6.40 に、ホンダラクーンに使用されたものと同種の三洋電機製ニカド電池（Cadnica）の内部構造を示す。ニカド電池は、正極

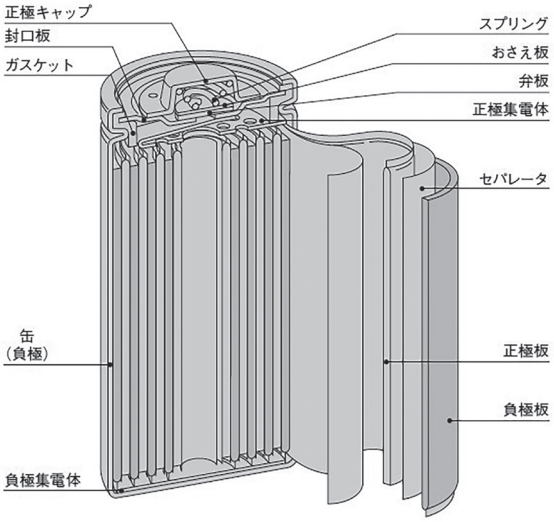


図 6.40　ニカド電池の構造[4)]

にオキシ水酸化ニッケル（NiOOH）化合物、負極にカドミウム（Cd）化合物、電解液に水酸化カリウム（KOH）水溶液を使っている。アルカリ系電解液であることからアルカリ系二次電池の一つとして分類される。単セルの定格電圧が 1.2V であり、マンガン乾電池（定格電圧 1.5V）や水銀電池（定格電圧 1.3V）に近いことから、それらの代替二次電池として、同じサイズの円筒形や角形の単セル単位で出荷されてきた。

電動アシスト自転車に使われたニカド電池は、20 個の単セル電池をスポット溶接で直列接続した後、PTC（Positive Temperature Coefficient）素子、充放電端子付きコードなどをはんだ付けした後、塩化ビニールの熱収縮性樹脂で固定して、定格電圧 24V の組電池として、バッテリボックスに納められていた。ホンダラクーン（UB01）のバッテリボックス構造を図 6.41 に示す。シール形鉛蓄電池の 2/3 程度の質量になったことで、この図にも見られるように、バッテリボックスを車体から外して、室内などで充電する脱着充電が当たり前になった。

図 6.42 及び図 6.43 に、ニカド電池の充放電の仕組みを模式的に示す。ニカド電池は、鉛蓄電池と同じように、放電時、電子の放出・受け取りに

伴って、両電極の金属イオン（正極ではNi^{2+}、負極ではCd^{2+}）が電解液中に溶出し、電解液中の水酸化イオン（OH^-）とそれぞれ水酸化化合物（正極では$Ni(OH)_2$、負極では$Cd(OH)_2$）を生成する。初代PASのシール形鉛蓄電池で市場クレーム対応を引きずりながら、ヤマハ発動機の開発者は、PAS Type C（PN24）のニカド電池開発に際して、ニカド電池の長所を実感していた。鉛蓄電池と比較したときの質量の少なさだけでなく、放電時の電圧の安定性（図6.44参照）、サイクル寿命の長さ、放置劣化の少なさなど、当時の電動アシスト自転車の電池としては商品性を十分満足するものだった。短所として考えられる組電池中のセル数の多さによる内部抵抗のばらつきに関しては、単セルの検査工程の中で、内部抵抗のある範囲内のものを選別して組電池にする工程を入れて対応していた。

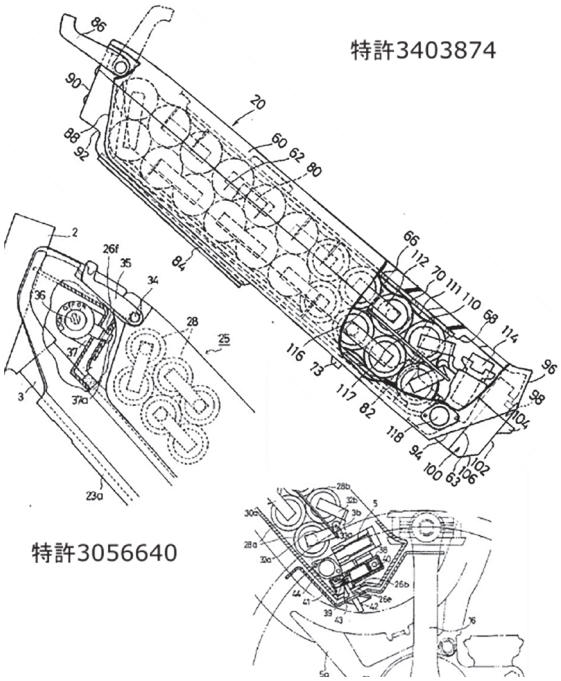


図6.41　UB01のバッテリボックス構造（1995）

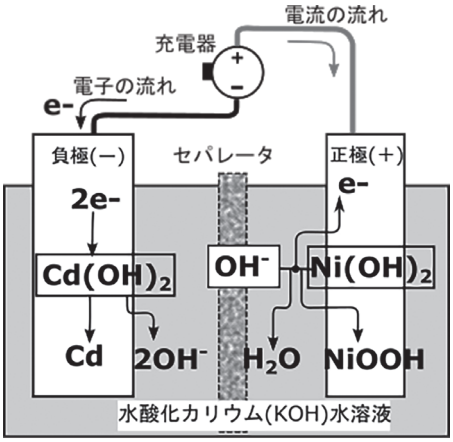


図6.42　ニカド電池の充電時における化学反応と電気的現象

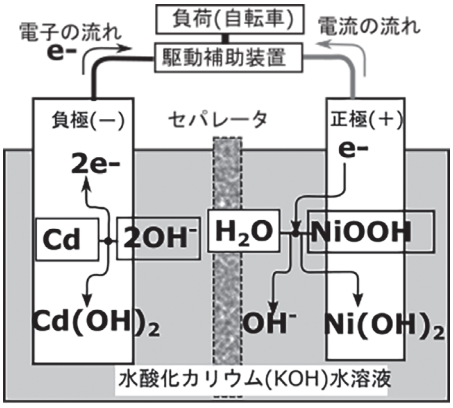


図6.43　ニカド電池の放電時における化学反応と電気的現象

メモリー効果の懸念は、試験結果から「多くはない」と判断して、生産・販売に至った。ところが、販売後半年もたたないうちに、「長く走れなくなった」のクレームが頻発するようになった。クレーム品を調査すると、メモリー効果による電池容量の一時的減少（のように判断された結果）だった。ユーザへの聞き取り調査を行うと、当時の電動アシスト自転車及び電動アシスト自転車ユーザ特有の使い方があることが分かった。すなわち、当時のPAS Type C（PN24）の車両質量は29kg、カタログ上の一充電当たりの走行距離は最短で20kmだった。ユーザは高齢者が多かったが、電池が切れて重い自転車走行をするのが嫌で、数km走るたびに充電を繰り返していた。開発中のメモリー効果試験条件よりはるかに多い頻度で、かつ浅い放電状態からの充電だった。開発者は直ぐに、リフレッシュ充電機能付き充電器の開発に着手し、1996年モデルから全機種にリフレッシュ充電機能付き充電器が採用された。

長所

- 内部インピーダンスが少ないので、大電流放電が可能。放電時の電圧変動が少ない。
- 鉛蓄電池に比べて、過放電に強い。
- 鉛蓄電池に比べて、サイクル寿命特性に優れている。
- 鉛蓄電池に比べて、長期間放置しても性能劣化が少ない。

短所

- 継ぎ足し充電を繰り返していると、メモリー効果で一時的に電池容量が減少したように判定されてしまう。
- 単セルの定格電圧が1.2Vなので、例えば24V（鉛蓄電池の12直列）で使う組電池の場合、20個の直列接続が必要。容量・内部抵抗などにばらつきが多いと、組電池の中でセル単位の過放電又は過充電の機会が増える。

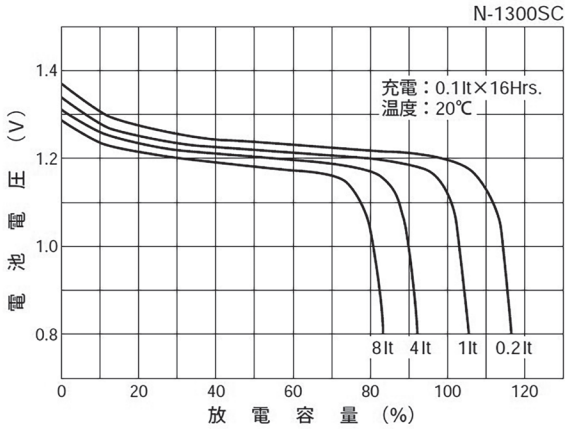


図 6.44　ニカド電池（三洋電機 Cadnica）の放電特性[3)]

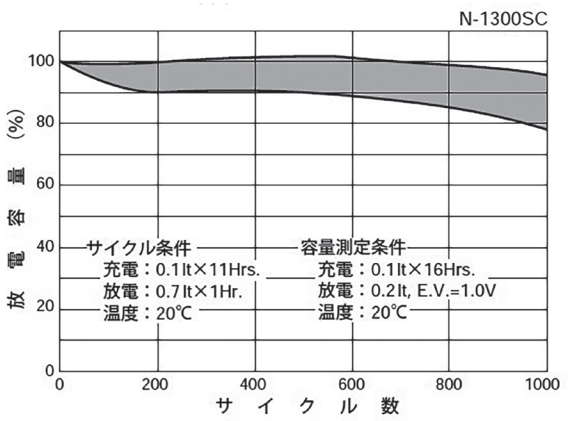


図 6.45　ニカド電池（三洋電機、Cadnica）の
サイクル寿命特性[3)]

（3）ニッケル水素電池（密閉型ニッケル水素蓄電池）

ニッケル水素電池は、1990 年代前半にニカド電池の電池容量向上、脱カドミウムの手段として、盛んに実用化・改良されてきた。図 6.46 に、ニッケル水素電池の一例として、三洋電機 Twicell の内部構造を示す。

電動アシスト自転車に初めてニッケル水素電池が使われたのは、1998 年 5 月に発売されたナショナル自転車工業の小径・電動伸縮自転車「ドラクル」（価格 178,000 円、自転車新製品コンペティション大賞受賞）だった。ドラクルへの採用は車体の小型軽量化が主な目的だった。次に 1999 年 1 月に発売されたヤマハ発動機 PAS PX26 カスタム（PX26C）では、ニカド電池モデル ニュー・パス（PX26）と比べた大容量化（長い一充電当たり走行距離）を主な目的として、ニッケル水素電池が採用された。

その後、ニカド電池がニッケル水素電池に置き換わり、単セル価格も安くなった 2002 年に電動アシスト自転車でリチウムイオン電池が初めて使われると、電動アシスト自転車の電池におけるニッケル水素電池の採用目的は、低価格で小型軽量化になり、大容量化はリチウムイオン電池という時期がしばらく続くことになった。低価格で小型軽量化の先駆けは、ナショナル自転車工業のアルフィット ViVi のニッケル水素電池だが、構造的には図 6.47 の 2000 年発売のエレガント ViVi（BE-EDWU）が、その基になった。

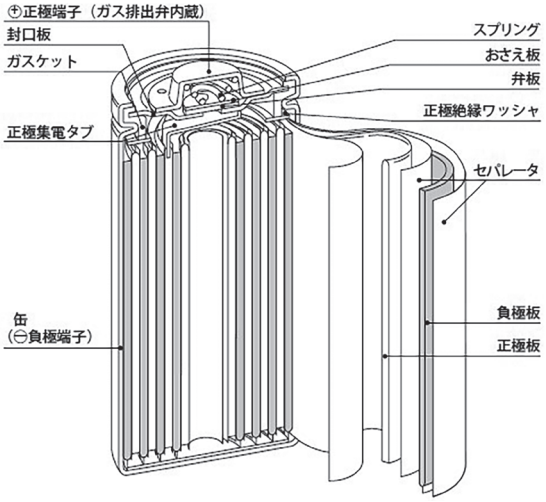


図 6.46　ニッケル水素電池の内部構造[5)]

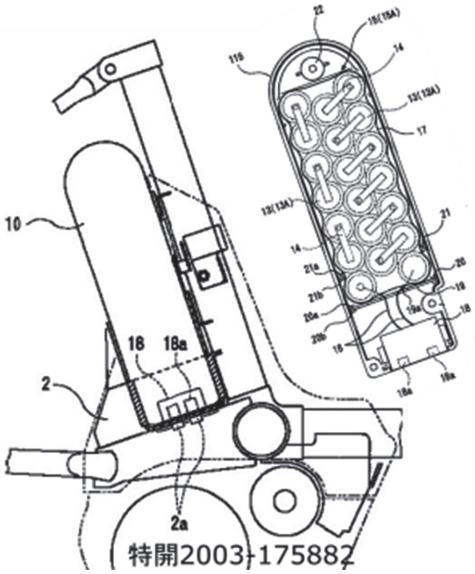


図 6.47　BE-EDWUのバッテリボックス

図 6.48 及び図 6.49 に、ニッケル水素電池の充放電の仕組みを模式的に示す。ニッケル水素電池の正極における化学反応は、ニカド電池の正極のそれと全く同じである。違いは負極に水素吸蔵合金を使った点にあり、充電時に負極の水素吸蔵合金表面に生成した原子状水素が合金内部へ拡散し吸蔵される（MH）。放電時に吸蔵されていた水素が脱離し水素吸蔵合金表面で水酸イオン（OH^-）と反応して水（H_2O）

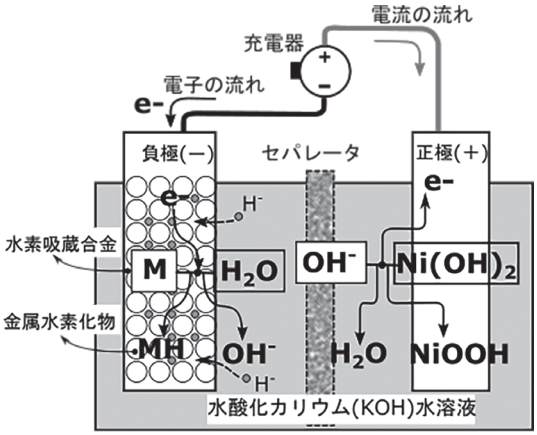


図 6.48　ニッケル水素電池の充電時における化学反応と電気的現象

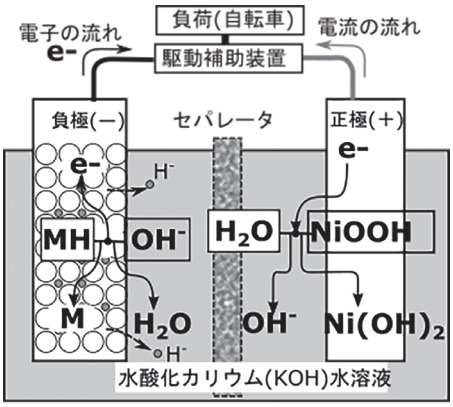


図 6.49　ニッケル水素電池の放電時における化学反応と電気的現象

に戻る。このときに電子（e^-）が放出される。

電動アシスト自転車使用におけるニッケル水素電池の長所は、その開発目的通り、ニカド電池との互換性を保ったままでの電池容量の増大である。図 6.50 に示すように、三洋電機製のニカド電池（Cadnica）とほぼ同じ放電特性を示しながら、ニッケル水素電池（三洋電機 Twicell）はほぼ２倍の電池容量を示している。

長所

・ニカド電池に比べて、電池容量が大きい（約２倍の電池容量）

・単セルの定格電圧が1.2Vであり、ニカド電池との互換性が高い。

・ニカド電池と同様に、サイクル寿命特性に優れている。

短所

・ニカド電池に比べて、程度は少ないが、メモリー効果はある。

・単セルの定格電圧が1.2Vなので、容量・内部抵抗などにばらつきが多いと、組電池の中でセル単位の過放電又は過充電の機会が増える。

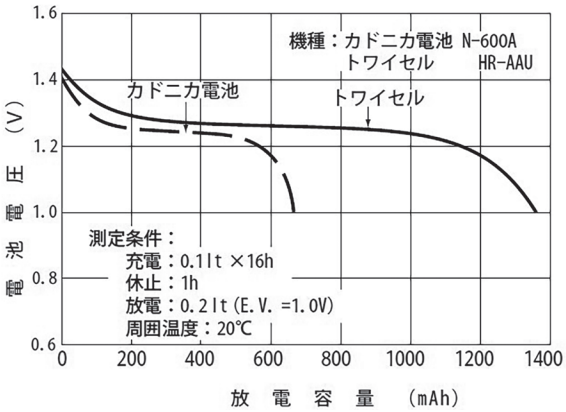


図 6.50　ニカド電池とニッケル水素電池の放電特性の比較[5)]

（4）リチウムイオン電池

リチウムイオン電池は、1991 年ソニー・エナジー・テックによって初めで商品化され、1994 年に三洋電機から負極に黒鉛炭素質、正極にコバルト酸リチウムを使ったリチウムイオン電池が商品化された。それ以来、1990 年代後半に、エネルギー密度の高さと定格電圧の高さ（平均の定格電圧 3.7V、後に安全性の観点から 3.6V に変更）などから、携帯電話やパソコンなどのモバイル電子機器を中心に、リチウムイオン電池が急減に需要を伸ばしてきた（図 6.35 参照）。

電動アシスト自転車にリチウムイオン電池が初めて使われたのは、2002 年５月に発売されたナショナル自転車工業のデラックス VIVi（BE-EHD63/ EHD43）、及び６月発売のエクセレント ViVi（BE-EHE63/ EHE43）であった。デラックス ViVi で採用されたリチウムイオン電池は、マンガン酸リチウムを正極材料に、黒鉛を負極にしたラミネート外装の単セルを７個直列にした組電池だった。この組電池は、定格容量 3.0Ah、定格電圧 26V で、ラミネート外装ということもあり、バッテリボックス質量は 1.0kg の軽さだった。エクセレント ViVi の電池は、７個直列２並列で、定格容量 6.0Ah、バッテリボックス質量は 1.6kg という圧倒的軽さだった。この組電池のものではないが、同じ NEC トーキン製のラミネート型リチウムイオン電池の内部構造の一例を図 6.51 に示す。

2003 年にヤマハ発動機の New PAS　リチウム（PZ26L/ PZ24L）及びブリヂストンサイクルのアシスタ リチウム（A63LP/ A43LP）に採用されたのは三洋電機の円筒形コバルト系リチウムイオン電池だった。この電池の内部構造を図 6.52 に示す。

リチウムイオン電池の充放電の仕組みを図 6.53 及び図 6.54 に示す。リチウムイオン電池の特徴の一つは、リチウムイオン(Li^+)を安定的に電極間で移動させるために、プロピレンカーボネート(PC)やエチレンカーボネート(EC)などの有機溶媒に溶質としてリチウム塩を混ぜた電解液を使用していることである。特徴の二つ目は、負極に黒鉛やハードカーボンなどの炭素系材料を使用し、充電時にリチウムイオン（Li^+）を吸蔵、放電時に脱離させる。さらに正極にもリチウムイオン（Li^+）を吸蔵・脱離させ得る結晶構造を持つ金属酸化物を使用することで、電極の酸化還元反応ではなく、リチウムイオン（Li^+）の吸蔵・脱離で電子（e^+）の放出・受け取りを行う点である。正極材料の違いによって、様々な種類のリチウムイオン電池があり、それぞれの長所を伸ばし、短所を補うべく、電解液やセパレータも含めた開発が進められてきた。

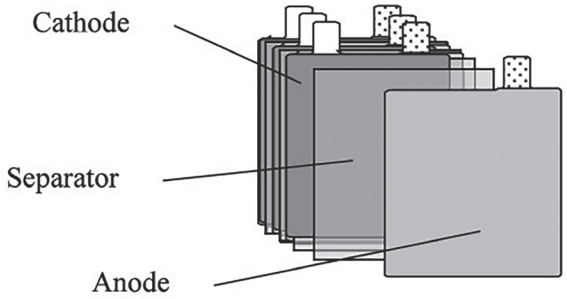


図 6.51　ラミネート型リチウムイオン電池の内部構造[18)]

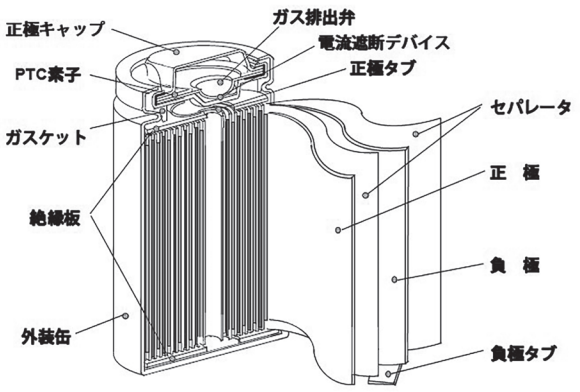


図 6.52　円筒形リチウムイオン電池の内部構造[7)]

電動アシスト自転車使用におけるリチウムイオン電池の一般的な長所・短所を以下に示す。

長所

・エネルギー密度が高い。特に、質量エネルギー密度はニカド電池の２～３倍。
・サイクル寿命特性に優れている。
・平均の定格電圧が3.6Vと高く、組電池にしたとき直列電池数を少なくできる。

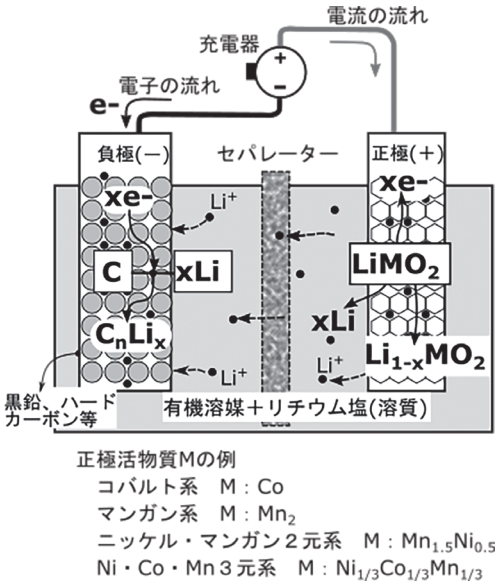


図 6.53　リチウムイオン電池の充電時における化学反応と電気的現象

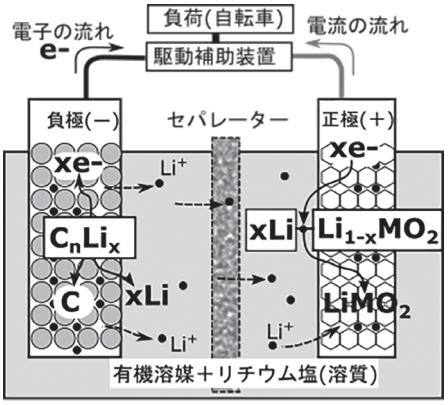


図 6.54　リチウムイオン電池の放電時における化学反応と電気的現象

・ニカド電池のようなメモリー効果がない。継ぎ足し充電ができる。

短所

・過充電が深くなると、熱暴走の懸念がある。電解液に有機溶媒を使用しているので、可燃性が高い。
・特に、組電池で定格電圧が高い場合、単セルの過充電や熱暴走の可能性も高くなる。
・安全確保のため、単セルとして、温度に関する保護素子・安全弁等が必要。組電池として、電圧・電流・温度等を監視するBMS（Battery Management System）が必須であり、組電池として高コスト。

リチウムイオン電池は、最悪の場合熱暴走があり、燃焼の勢いが他の電池に比べると大きいなどの短所があるにもかかわらず、現在も広く使われている理由は、小型二次電池の中での圧倒的なエネルギー密度の

高さにある。リチウムイオン電池が急増した1990年代後半には、質量エネルギー密度がニカド電池の２倍超だったが、2000年代前半には、質量エネルギー密度、体積エネルギー密度ともに３倍超に進化してきた(図6.55､図6.56参照)。また､図6.35で示したように、1990年代後半から2000年代前半には平均単価が1/3から1/4にまで低下して、ユーザ側から見ると非常に使い易くなったことも、リチウムイオン電池が定着した理由に挙げられる。

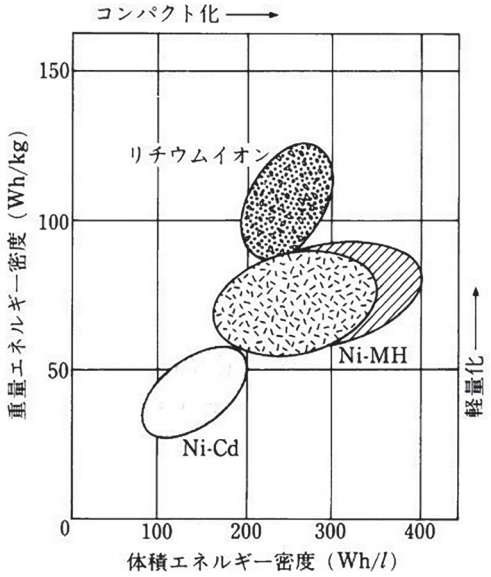


図6.55　小型二次電池のエネルギー密度の比較(1998年)[16]

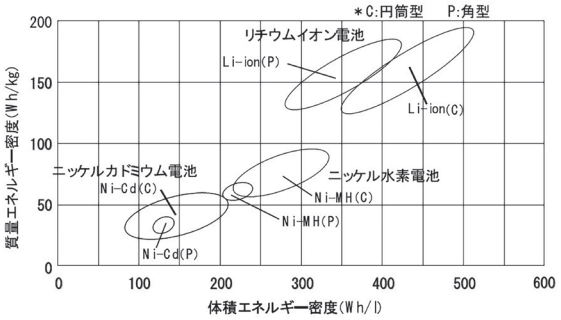


図6.56　小型二次電池のエネルギー密度の比較(2006年)[17]

図6.57に電動アシスト自転車の発売開始月と電池種類別のバッテリボックス質量の散布図を、図6.58に発売開始月と電池容量の散布図を示す。この中でニッケル水素電池及びリチウムイオン電池では、組電池を複数個並列接続して電池容量を倍増したモデルのシリーズが、同じ発売開始月の上下に並んでいることが分かる。ニッケル水素電池のバッテリボックスの場合は、２並列化によって約２倍の質量になっているが、リチウムイオン電池の２並列化ではニカド電池より圧倒的に軽く、１並列電池の２倍以下に

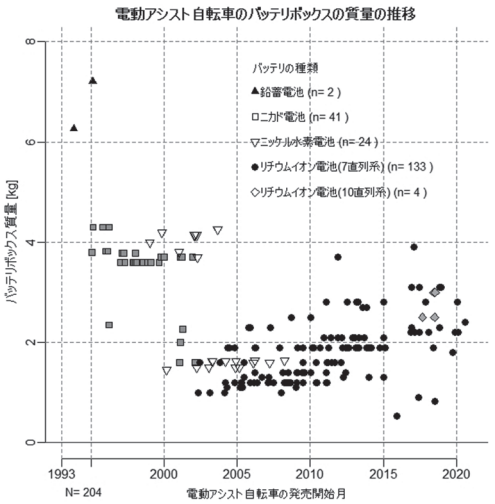


図6.57　バッテリボックス質量の変遷

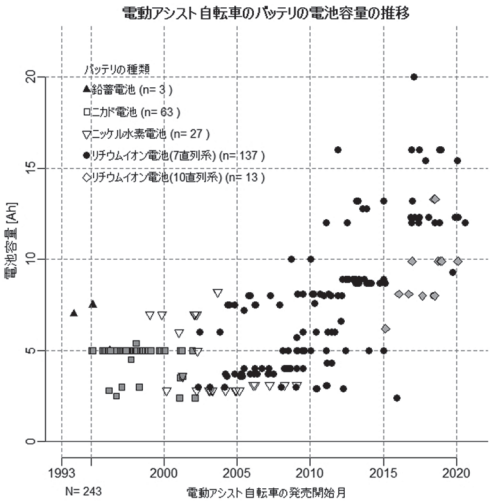


図6.58　電池容量の変遷

納まっていることが分かる。近年のリチウムイオン電池の容量の急激な上昇は、単セルの容量増加もあるが、小型電池の性能向上と複数個の並列化によることも大きい。図6.58の電池容量の推移では、2000年代後半以降、電池容量の幅が大きく増え、単セル単位の容量増大や複数並列化の組電池など、様々な組電池によって電池容量の幅が広がっていることが分かる。また、2015年以降、10個直列接続にした36V系の組電池も徐々に増えている。

6.3.2　充電器の進化

電動アシスト自転車の電源システムの中で、充電器は必須部品の一つである。初代PASの時代から、電動アシスト自転車の充電器は、屋内で充電をすることを前提に、車体又はバッテリボックスとは別部品として（車載ではなく）セット販売されてきた。図6.59

に、電動アシスト自転車の電源システムの一例を示す。このタイプの充電器は、電源回路に100V交流電流を入力し、電池やコントローラ用の直流電流を出力する直流電源装置として、電気用品安全法の規制対象になっている。電池の充電には、後述のように電池の種類や仕様により、充電方法や充電停止条件が異なるので、電池によって専用の充電器が必要である。電動アシスト自転車導入期初期の電池には、BMC（Battery Management Controller）回路がなく、接続端子形状で電池の区別をするものもあったが、過渡期に入り、電池容量違いで商品ラインナップ化されるようになると、バッテリボックス内にBMC回路基板が設けられ、接続端子を介して、電池のIDや種々のデータを信号としてやり取りするようになった。図6.59は、その頃以後の電源システムの構成図である。

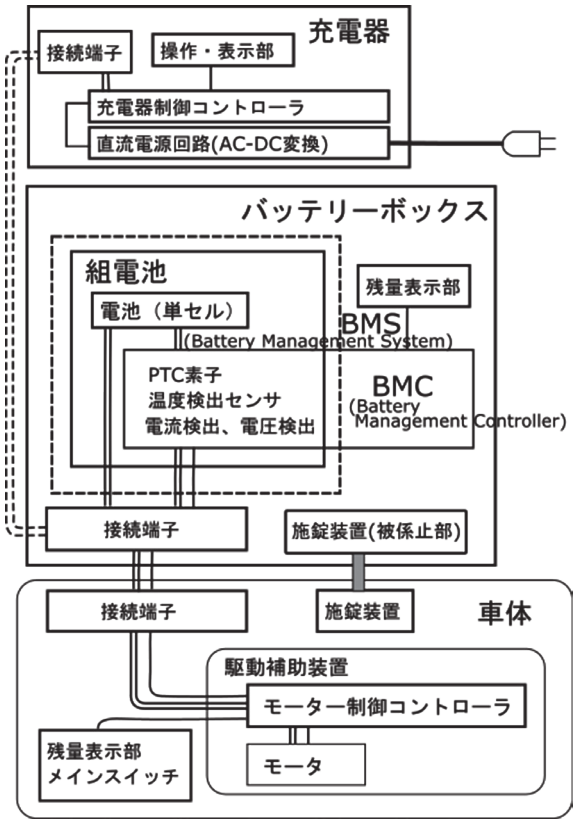


図6.59　電源システム構成の例

（1）制御弁式（シール形）鉛蓄電池の充電方法

サイクルユースの制御弁式（シール形）鉛蓄電池の場合、最も推奨されている充電方法は、定電流-定電圧充電である。これは、電池電圧を規定最大電圧以下に抑えながら、十分な容量を充電するための方法であり、最初に最大充電電流以下の一定電流で充電を開始し、電池電圧が最大充電電圧に達したら、電流を抑えて、一定電圧の充電を一定時間継続して、充電を停止する方法である。単純だが、充電に6～12時間を要するのが一般的である。

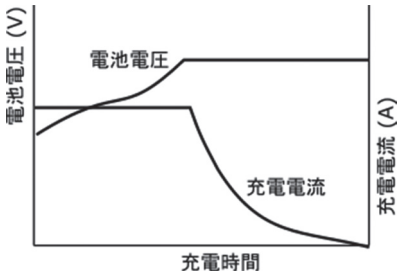


図6.60　鉛蓄電池の定電流-定電圧充電[2)]

（2）ニカド電池の充電方法

ニカド電池には、充電末期に電池が発熱し、電池温度が上昇すると、電池電圧が若干低下するという特性がある。仮に定電圧充電をした場合、電池温度が上昇して電池電圧が低下すると、充電電流が増加し、電池温度が上昇するという動作を繰り返す恐れがあるために、ニカド電池に定電圧充電は不適当とされている。そこで、ニカド電池の充電には定電流充電が使われるが、単純な定電流充電では、規定充電電流が0.1It [A]（1 It [A] = 電池容量[Ah] / 1 [h]、例えば5 [Ah]のニカド電池の充電電流 0.1It = 0.5 [A]）であり、充電に10時間以上かかってしまう。

そこで考え出されたのが、電池電圧、電池温度などを監視しながら、ニカド電池の充電特性を生かした充電停止方法で大電流充電（例えば、1 It [A]）を停止させる急速充電方法である。 代表的な充電停止方法には、図6.61から図6.63に示した方法がある。図6.61の方法は、充電末期の電池電圧の極大値を検出して、定電流充電を停止する方法である。ただし、電池電圧は、充電電流の大きさ（充電電流が大きいほど電池電圧は高くなる）や周辺温度（周辺温度が高いほど電池電圧は低くなる）によって異なるので、それらを補償する回路やプログラムが必要になるので、BMSや充電器は複雑になる。図6.62は、充電末期の電池電圧の絶対値ではなく、ピーク値と、その後に低下した電圧値との差を検出して、定電流充電を停止する方法である。直列個数の多い組電池の場合、この方法は、電池温度計測の煩わしさがないので、電動アシスト自転車の組電池では多く使われた方法である。図6.63の方法は、電池の側面にサーミスタなどの感温素子を設置して、電池温度を検出し、充電末期に一定温度まで上昇したときに定電流充電を停止する方法である。これらの他にも、dT/dt制御（電池温度の時間上昇率）、ΔT制御（電池温度の周辺温度との差）など、様々な方法が提案されてきた。

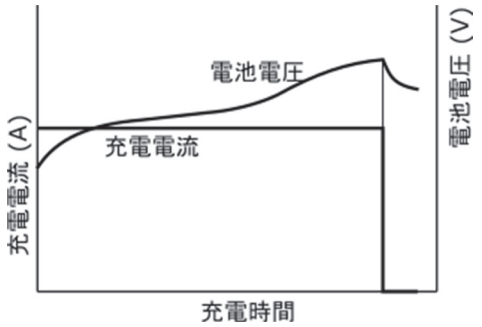


図 6.61　ニカド電池の定電流充電・電池電圧検出方式[3)]

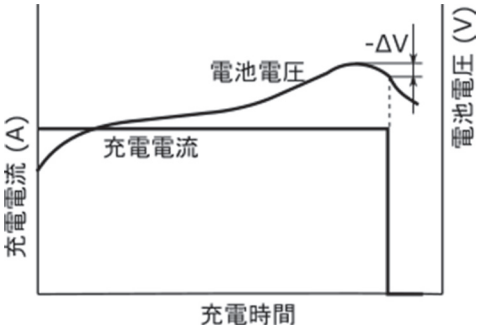


図 6.62　ニカド電池の定電流充電・―Δ V検出制御方式[3)]

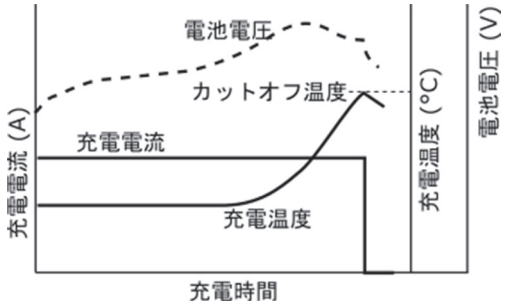


図 6.63　ニカド電池の定電流充電・電池温度検出方式[3)]

（3）ニッケル水素電池の一般的な充電方法

ニッケル水素電池の充電特性は、ニカド電池のそれと似ているので、定電流充電が基本である。ニッケル水素電池は、充電末期の電圧変化や温度変化がニカド電池に比べて緩やかであるとされ、ニカド電池に比べてより高精度の電圧・温度の監視が必要とされる。ニッケル水素電池に適切な充電停止条件は、ピーク電圧制御（電池電圧の極大値を検出）、dT/dt 制御（電池温度の時間上昇率を検出）、Δ T 制御（電池温度の周辺温度との差を検出）のいずれかであるとされている。図 6.64 に、ニッケル水素電池の急速充電のフローチャートの一例を示す。

（4）アルカリ電池のメモリー効果とリフレッシュ充電

6.3.1 の（2）で述べたように、ニカド電池を使った初期の電動アシスト自転車はメモリー効果でクレームになることが多かったので、その後すべてのアルカリ系二次電池の充電器にはリフレッシュ充電機能付きの充電器が採用された。リフレッシュ充電機能とは、充電器内のリフレッシュ充電用抵抗回路に、低い値の放電電流を流し（例えば、5Ah のニカド電池の場合、0.1 It {A} = 0.5 [A] での放電）、完全放電を行った後、完全放電の状態から完全充電の状態まで通常の充電を行う方法である。導入期のニカド電池用リフレッシュ充電機能付き充電器は、リフレッシュ充電をユーザの判断で開始するためのリフレッシュボタンが付けられていた。しかし、その使い方を正しく理解できず、相変わらず継ぎ足し充電を繰り返すユーザもいた。ユーザがリフレッシュ充電を理解していても、取扱説明書に「最大 10 数時間」と記載してあるので、リフレッシュ充電を行わないという人もいた。結果として、メモリー効果でのクレームが無くならないことが課題だった。

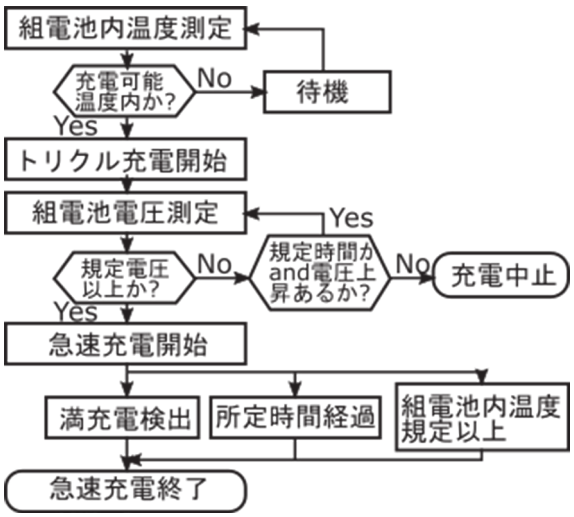


図 6.64　ニッケル水素電池の急速充電の例[5)]

そこで、ヤマハ発動では PY シリーズの BMC を中心としたバッテリシステムを三洋電機に開発依頼するに当たって、充電器に自動リフレッシュ機能を付加することにした。BMC に充電回数や充電時の電池容量を記録させ、充電回数がある閾値を超えた状態で、放電後にユーザが充電器にバッテリボックスを接続したときに、BMC が充電器にリフレッシュ充電開始信号を送り、充電器側は自動的にリフレッシュ充電を開始する機能である。ユーザがリフレッシュ充電の経過時間まで待てないときには、リフレッシュ解除ボタンで自動リフレッシュを中断することができるようにした。図 6.66 は三洋電機開発のバッテリマネジメントシステムの概略である。これ以降、アルカリ系二次

電池用充電器は、自動リフレッシュ機能付きが主流になっていった。

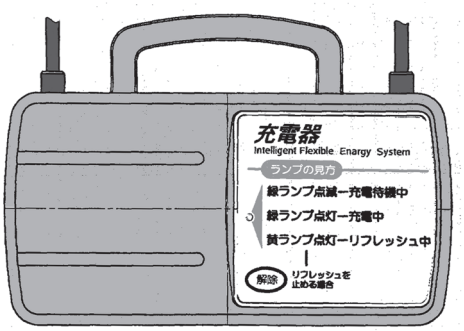


図 6.65　自動リフレッシュ機能付き充電器(2000)

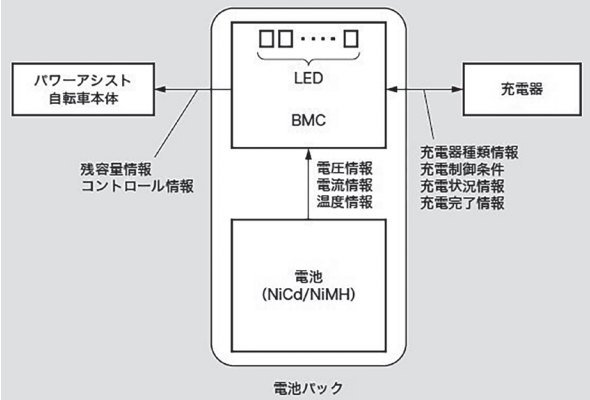


図 6.66　PYのバッテリ管理システム [6)]

（5）リチウムイオン電池の一般的な充電方法

リチウムイオン電池の充電は、定電流・定電圧充電が基本である。特に、後半の定電圧充電の充電電圧は、満充電容量や過充電に影響があるので、前節で述べたBMC と充電器の連携による高精度な充電管理が必要である。図 6.67 にリチウムイオン電池の定電流・定電圧充電の一例を示す。

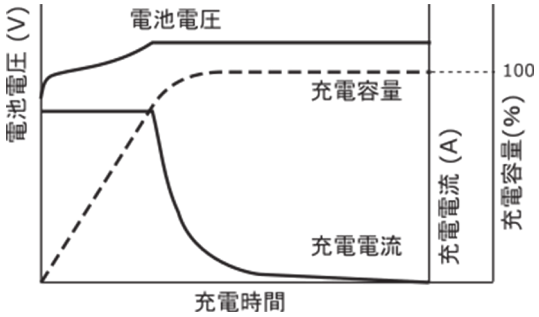


図 6.67　リチウムイオン電池の定電流・定電圧充電 [7)]

実際のリチウムイオン電池の充電フローチャートの一例を図 6.68 に示す。リチウムイオン電池は、周辺温度 40℃以上の環境下で充電を行うと、電解液の分解で、寿命劣化の危険性が増えるので、充電前に周辺温度のチェックが必要とされている。また、深放電状態のリチウムイオン電池は転極の可能性もあり、それを充電すると極端に寿命を縮める可能性があるので、OCV（Open Circuit Voltage、開路電圧（通電していないときの電池電圧））のチェックも必要である。この例では定電流充電の電流値は 0.5 ～ 1.0 It {A} とし、定電圧充電の電池電圧を 4.2 [V]/ cell としている。満充電判定は、充電電流が規定値（例えば、0.02C ～ 0.05C）以下になった時に停止させる方法と、OCV が規定値（例えば、4.15 [V]/ cell）以上になった時に停止させる方法がある。

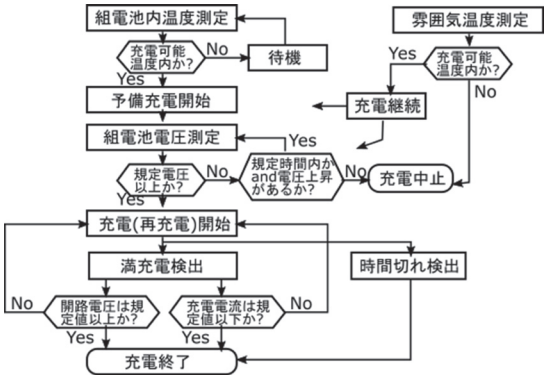


図 6.68　リチウムイオン電池の充電フローチャートの例 [7)]

6.4　電池に関連した駆動補助装置の制御と表示部の進化

6.4.1　残量表示と電源スイッチ等

ユーザが電動アシスト自転車に乗っていて、誰でも最初に経験する心配事が、「電池容量がどれだけ残っているか」、「どの時点で充電すればよいか」という、電池容量又は電池残量のことである。また電池は、程度の差があるものの、使っていても使わなくても、満充電にできる容量（FCC（Full Charge Capacity））が低下する。図 6.69 に、電池の設計容量（初期の定格容量）、満充電容量、充電率（使用時の残量表示値）、放電深度などの用語と概念を説明する。電源システムの一部としての車体側（駆動補助装置及び表示部）の役割の一つが、電池残量を表示することであるが、この残量表示値は充電率（SOC（State Of Capacity））のことであり、単位は % である。

電動アシスト自転車の導入初期、車体側の残量表示と電源スイッチは、別の部品で構成されたものが多かった。初代 PAS の残量表示ランプ（図 6.70 左図）はその代表例である。残量表示は LED 1 灯だけで、

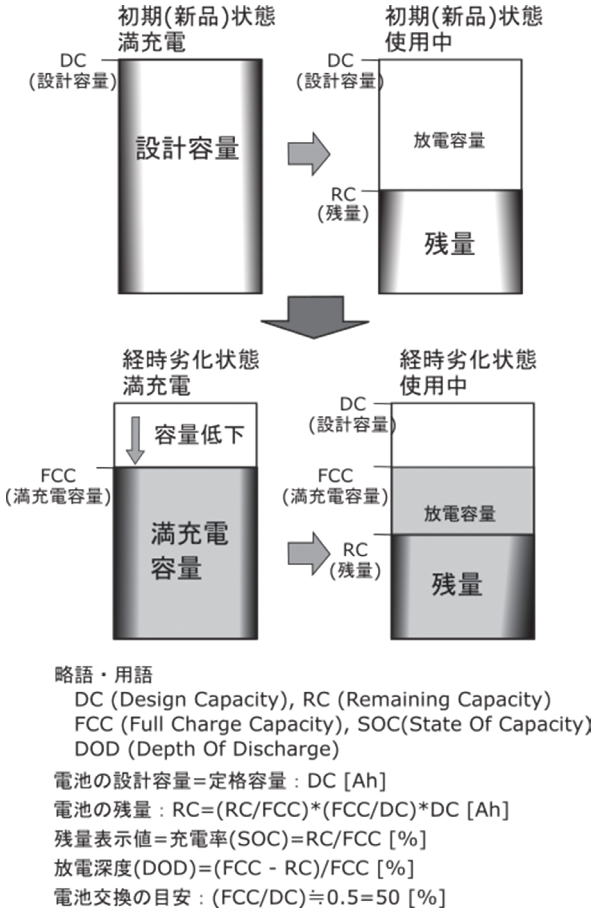


図 6.69　電池の容量、残量、残量表示値など

SOC10% 以下になると LED 点滅表示に変わる設定だった。なお､1995 年に発売されたホンダラクーン（UB01）は、バッテリボックスに LED5 灯で、押しボタンを押したときだけ LED が点灯する仕組みだった。その後、1997 年発売のラクーン 24 UX-1（UB04）、1998 年発売のラクーンコンポ（UB07）などもバッテリボックスのみでの LED 表示だったので、ここでは割愛する。

PAS シリーズでキー式メインスイッチを止めて、ロータリーレバー式スイッチと LED 3 灯表示になったのは、1997 年発売のニュー・パス（PX26/24）からである（図 6.70 右図参照）。

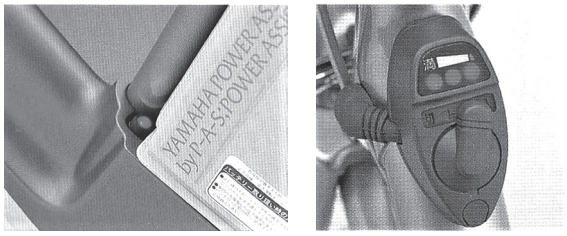


図 6.70　初代 PASの残量表示ランプ（1993）と残量表示付きメインスイッチ（1997）[10, 11]

電動アシスト自転車の過渡期から成長期にかけて、スイッチ ON の走行状態に、エコモードが加わり、強モード、エコモードなどが加わった。また、駆動用蓄電池を電源にしたキセノン球、後に白色 LED のバッテリランプが多くの車両に付けられるようになった。メインスイッチは、ハンドルのグリップ横で、これらの機能の操作ボタン（又は操作レバー）と残量表示も含めた状態表示機能を持つようになった。

図 6.71 及び図 6.72 に、1999 年から 2011 年までの間に、ヤマハ発動機 PAS シリーズ及びナショナル自転車工業 ViVi シリーズで使われた代表的なメインスイッチを示す。ヤマハ発動機は、2011 年の PAS シリーズ全機種のメインスイッチに、図 6.72 の右図に示す 7 セグメント LED 2 灯のディジタル残量表示を採用した。

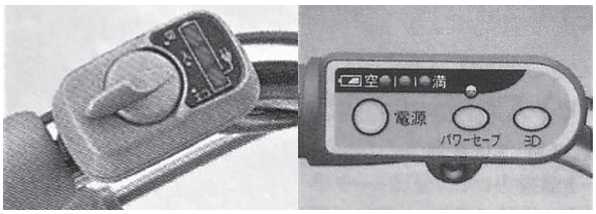


図 6.71　ハンドル上のメインスイッチ（1999）とタクトスイッチ式メインスイッチ（2003）[11, 12]

図 6.72　走行モード選択式のメインスイッチ（2008）とディジタル残量表示（2011）[12, 24]

ディジタル表示になったことで、今まで LED 個数プラス 1 くらいの残量表示段数が、格段に増加し、ディジタルで表示できる他の情報も増えた。残りアシスト走行可能距離（2013 年、ヤマハ発動機）、残りアシスト走行可能時間（2014 年、パナソニックサイクルテック）などである。図 6.73 に、ヤマハ発動機 PAS シリーズ及びパナソニックサイクルテック ViVi シリーズで近年使用されているディジタル表示式メインスイッチを示す。

図 6.73　時刻表示（2017）や残り走行時間表示付きの液晶式メータ（2017）[24, 13]

ディジタル表示のメータや液晶サイクルメータなどは、以前から自転車用として販売されていた。電動アシスト自転車のバッテリボックス内のBMC及び駆動補助装置内のモータ制御コントローラと情報のやり取りをし、他のセンサや電気部品と接続され、それらの情報をメータで表示する機能を持った電動アシスト自転車専用の液晶表示メータが搭載されたのは、2008年にパナソニックサイクルテックから発売されたチタンライトEB（BE-EPDL63）が最初である（図6.74左図参照）。チタンライトEBのマルチコントロールサイクルメータでは、従来からの走行距離、走行速度など、アシストモード、電池残量の他にモータ電流又は電池電流を基にしたパワーインジケータがリアルタイムで表示された。2011年に発売されたヤマハ発動機PAS Brace L（PM26B）及びPAS VIENTA（PM26V）に採用された液晶ファンクションメータでは、LEDバッテリランプのON/OFFボタンや残りアシスト走行可能距離表示などが加わった（図6.74右図参照）。

図6.74　BE-EPDL63（2008）とPM26B（2011）の液晶式メータ[26, 24]

6.4.2　省電力から始まったアシスト走行モードの進化

電池の残量を有効に使うことは、電源システムに関係した駆動補助システム及び車体側部品の重要な課題である。初代PASでは、原付バイクで使われるようなキー式メインスイッチを使い、電源ONにするとその接点には数アンペアの電流が流れていた。従って、電源ONでも走行していない状態では数秒後に自動的に電流を切る機能が省エネの一つとして採用されていた。一方、導入期の車両は、質量が大きく、重かったので、アシスト走行機能としては、法規制及び安全な走行の範囲内で、いかに発進駆動力や登坂力を上げて、軽快なアシスト性能を維持するかが開発課題だった。軽快なアシスト性能を維持するために、電池容量は大きくする必要があり、電池はニカド電池からニッケル水素電池へと移行していった。

一方で、より小さいサイズのニッケル水素電池を使って、より軽い車両を目指したメーカが、ナショナル自転車工業と三洋電機だった。三洋電機は、さらにアシスト比率を従来の半分ほどにして、駆動力は弱いが一充電当たり走行距離は長くすることができる走行モード＝エコノミーモードを追加したCY-SA26LMHを1998年に発売した。図6.75左図は、パワーモードとエコモードを切り替えるアルゴリズムを説明する特許図の一部である。強いアシスト力が必要でないときには、アシスト力を弱くしたエコモードを選択できる設定ということだが、カタログ上は電池性能が向上したようにも見える。過渡期後半には、電動アシスト自転車の価格が低下したこともあり、ユーザ層も少しずつ若い世代も増えていたので、カタログ数値の重要性が見直されていた。翌年以降、従来の走行モードにエコモードが追加されたアシスト走行性能仕様やメインスイッチが普通になっていった。

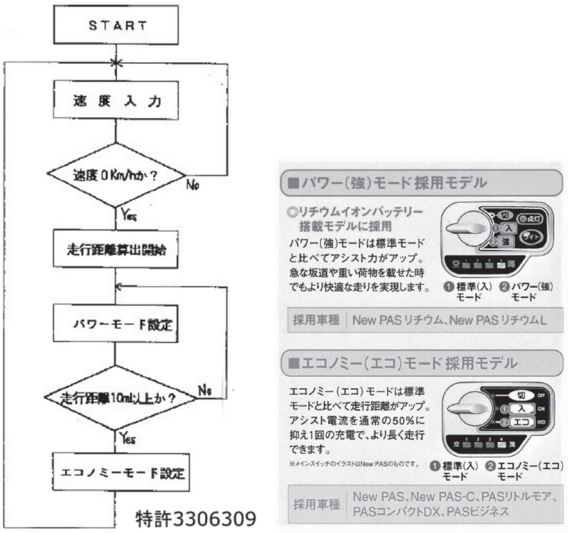


図6.75　エコモードの切替機能（1998）とラインナップ化手段としての走行モード（2004）[11]

成長期に入り、リチウムイオン電池が一般的になると、ニッケル水素電池は低価格車向け、リチウムイオン電池は高価格車向けというすみ分けが普通になり、さらにリチウムイオン電池も7直列1並列と7直列2並列の容量違いでラインナップ化されるようになった。これらの容量違いの電池で、同じCレート（定格容量のAhで表示された電池の時間率容量と同じ数値の電流値、例えば5[Ah]電池の1C電流値は5[A]、1It[A]と同じ）の放電電流で駆動したとすると、電池容量が高いものほど高い電流値、すなわち大きなモータトルクで駆動したことになる。この特性を利用して、電池容量の大きいリチウムイオン電池モデルには強モードと標準モード、電池容量の少ないニッケル水素電池モデルには標準モードとエコモー

ドという走行駆動力に差をつけたラインナップをしたのが、図 6.75 右図の 2004 年 PAS シリーズであった。

ヤマハ発動機は、ペダル負荷を感知してアシスト ON/OFF を自動的に切り替える「オートエコモード」を搭載した PAS リチウムシリーズを 2006 年 2 月に発売した（図 6.76 参照）。アシスト比率法改正対応の 2009 年モデルでは、ドーナツ状に着磁したボンド磁石のプレート及び磁気形近接スイッチを前輪に取り付け、前輪での車両走行速度と後輪に繋がったモータ回転速度を比較することで、変速段数に合わせて、よりきめ細やかで快適なアシスト制御を行 う「S.P.E.C.3」（Shift Position Electric Controller 3-speed transmission）を全機種に搭載した（図 6.77 参照）。

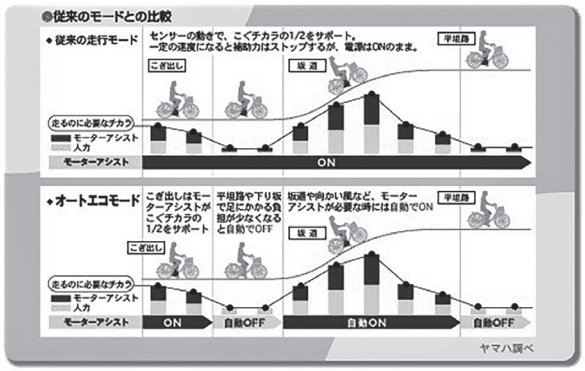


図 6.76　ペダル踏力連動のオートエコモード（2006）[24]

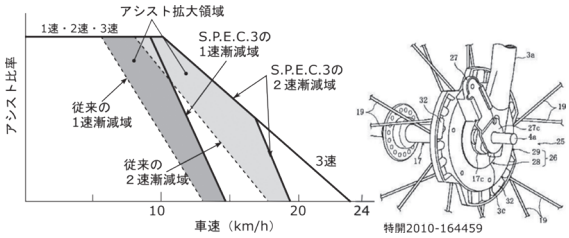


図 6.77　S.P.E.C.3と前輪の速度センサ（2009）[24]

2013 年には全モデルでクランク軸部にホール IC 式回転センサを追加して、トリプルセンサシステムとした。これにより、平坦路などでの低踏力のときの短い惰性走行の状態と駆動状態とを滑らかに繋ぐことで、より滑らかで快適なアシスト駆動制御を目指した。

三洋電機は、小型・軽量の電池性能を有効に生かす技術開発に熱心に取り組んだ。2003 年に前輪駆動方式の駆動補助装置でブレーキ回生充電システムを開発し、CY-SJ シリーズを発売したが、そのメインスイッチには省エネ / オート / 標準の三つのモードが選択できるようになっていた（図 6.79 参照）。この中でオートモードは、登坂向けの標準モードと平た

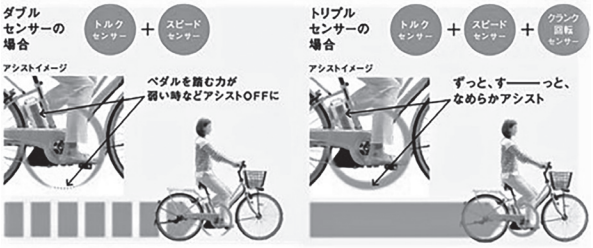


図 6.78　トリプルセンサシステムによる滑らかなアシスト（2013）[24]

図 6.79　ブレーキ充電とアシストモード自動切換え機能（CY-SJ、2003）[31]

ん路向けの省エネモードのアシスト力設定を、トルクセンサの値を基に、自動的に切り替える機能だった。三洋電機は、2003 年の回生充電機能以降、ニッケル水素電池への回生充電システムにこだわり続けてきたが、2008 年にいろいろな過充電回避策を講じて、リチウムイオン電池への回生充電システムを完成し、SPA シリーズとして発売した。これには、従来までのブレーキをかけたときに回生充電が始まる「ブレーキ充電」に加えて、図 6.80 に示すような、下

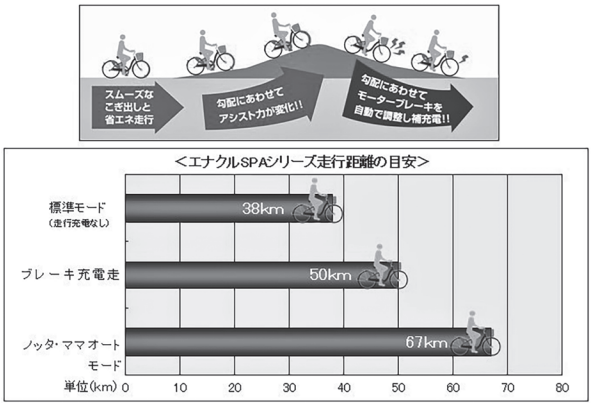


図 6.80　乗ったまま充電追加の回生充電システム（SPA、2008）[31]

り坂や惰性走行時の状態を車速やトルクセンサ値などから検知して、自動的に回生充電をON/ OFFする「ノッタ・ママオートモード」が搭載された。

6.5 車体部の進化

6.5.1 電動アシスト自転車の質量の変遷

電動アシスト自転車は、導入期の頃、高齢者が主なユーザだったこともあり、車両質量が大きく、重いことが大きな課題だった。過渡期から成長期初期にかけて、軽量化技術が進み、シティ車で20kg前半にまで軽くなった。中には20kg未満を謳った電動アシスト自転車も現れた。成長期以降、電動アシスト自転車の販売台数も増え、30歳から40歳代前半の女性が主なユーザ層の時代になると、車両の軽さより色々な機能が付いて手ごろな価格のほうが重視される傾向が強くなっていった。また、スポーティ車、高齢者向けシティ車、通勤・通学用シティ車、幼児二人同乗車など車種が豊富になり、それぞれに求められる機能・特性が分化していったことも、車両質量が一様に指摘されることが少なくなった理由の一つと考えられる。

図6.81に、それぞれの時代に発売された電動アシスト自転車の発売開始月と質量の散布図を車種別に分類して示す。また、モデル数の多い3車種については

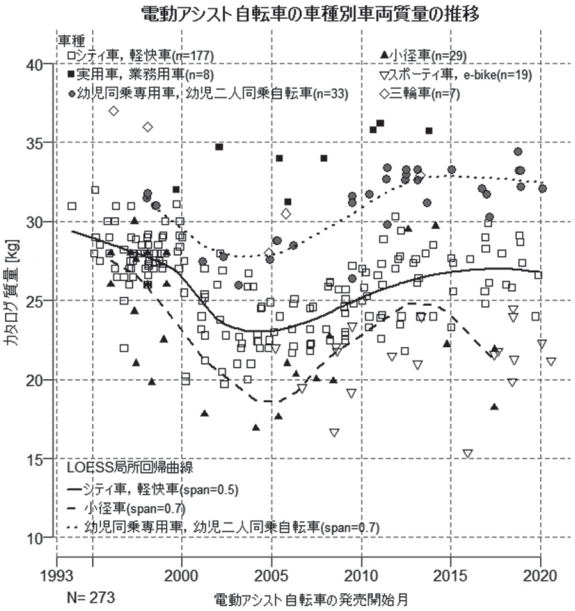


図6.81　車種ごとの電動アシスト自転車の質量の 変遷

LOESS局所回帰曲線を入れてある。図6.81に表示されている機種のうち、導入期に関しては新規参入や新発売されたほとんどの機種が表示されているが、過渡期以降は、大手メーカの新発売（マイナーチェンジを除く）の機種のうち、大きいサイズ（例えば26型・24型同時発売の場合は26型）を載せている。複数の機種が同時発売された場合は、代表機種又は過去に載せた機種から大きく変更になった機種を中心に選んでいる。機種の選び方及びその数によって、傾向は異なると思われるが、どの車種に関しても、車両質量は2003年くらいまで軽量化の傾向が見られるが、それ以降同じ傾向が2005年くらいまで続き、2006年くらいから緩やかに上昇傾向が続いている。

6.5.2 フレームの軽量化と車種増加への対応

電動アシスト自転車と一般用自転車のフレームの構造上の違いは、駆動補助装置の固定、バッテリボックスの錠前による係止、及び電線の係止などである。センターモータ駆動方式の駆動補助装置の場合は、フレーム設計及びフレーム体製造の基準となるボトムブラケットシェル（クランク軸が固定されるフレーム体のパイプ）がフレーム側にないのが大きな特徴である。メインパイプとチェーンステーを結合するパイプをボトムブラケットシェルの代用にした初代PASのフレームを図6.82に示す。センターモータ駆動方式

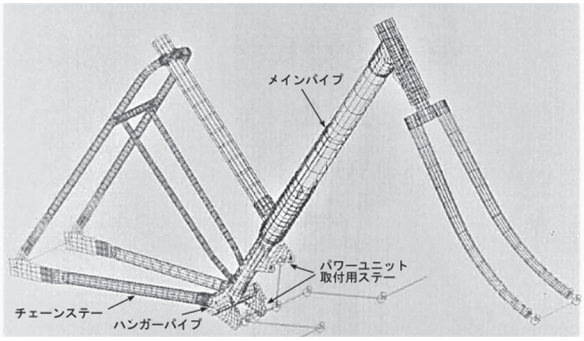


図6.82　初代PASのフレーム（1993）

のドライブユニット懸架ブラケットを中心にパイプ類を組み立てる構造のフレーム体の例を図6.83及び図6.84に示す。また、バッテリボックス取り付け構造の一例を図6.85に示す。電動アシスト自転車の導入期後半から過渡期前半に始まったこの構造が、後にセンターモータ駆動方式のフレーム体の主流となり、現在もあまり大きく変わってはいない。余談になるが、導入期には、ボトムブラケットシェルを基準とした従来方法でのフレームの利用を目指して、ハブモータ駆動方式の駆動補助装置が誕生した。

構造上の違いが少なくても、電動アシスト自転車のフレームにはそれなりの質量のある構造物が固定さ

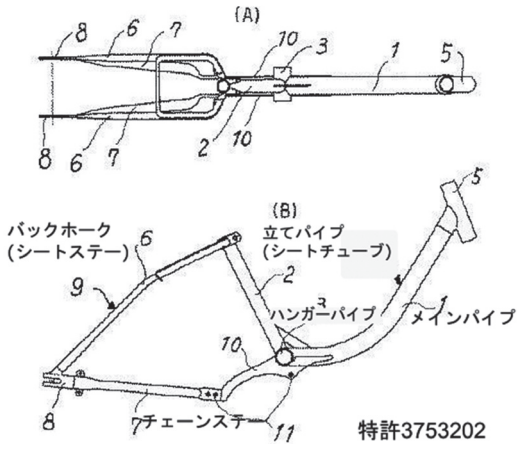


図 6.83　シティ系 U形フレームの例

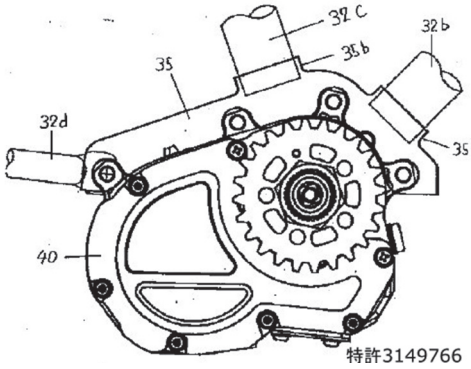


図 6.84　ドライブユニット懸架構造の例

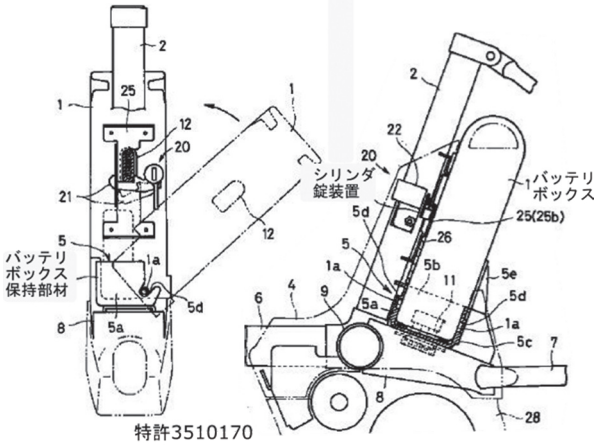


図 6.85　バッテリボックス取り付け構造の例

れ、特にセンターモータ駆動方式の場合、チェーンにかかるモータ駆動合力及びペダル踏力が駆動装置を介してフレームにかかるので、強度上の注意が必要である。さらに、大きな駆動力を期待して、より重荷重、より高負荷での使用環境で使われるので、それを考慮した強度･耐久性が必要となる。導入期のバッテリボックスは、ニカド電池でも、ドライブユニットと合わせて 10kg 程度の質量があった。フレーム体の材料として、機械構造用炭素鋼鋼管 STKM11A（普通鋼管）、STKM14A（ハイテン鋼管）、又は機械構造用合金鋼鋼管 SCM430TK（クロモリ鋼管）などを使っていたので、シティ系電動アシスト自転車のフレーム体の質量は 3 kg 超になっていた。

1990 年代前半に、一般用自転車のフレーム体の軽量化手段として、アルミフレームは一般的ではあったが、当時はまだコストが高かった。電動アシスト自転車に最初にアルミフレームが採用されたのは、宮田工業から 1997 年 5 月に 119,000 円で発売されたグッドラック 20（VG238）だった。宮田工業が得意とするアルミ接着工法のフレーム体だった。2001 年にヤマハ発動機とブリヂストンサイクルが、89,800 円のアルミ溶接フレームの電動アシスト自転車 PAS スーパーライト PH26/ PU26、アシスタスーパーライト AST60/AST60S を発売した。さらに、2002 年 3 月に発売されたナショナル自転車工業 アルフィット ViVi（BE-EHS63/43）は、アルミ溶接フレームながら 69,800 円の価格だった。車体の軽さ、走りの軽さ、商品性の高さと価格の安さからアルフィット ViVi はヒット商品となった。これ以降、他社も徐々に追従したことから、成長期ではアルミ溶接フレーム体が標準的仕様になった。

当時のアルミ溶接フレーム体には、A5052（Al-Mg 系合金）、A6061（Al-Mg-Si 系合金）、A7005（Al-Zn-Mg 系合金）などが使われていた。軽量化設計の目的では、鋼材の比重 7.8 に対してアルミ合金パイプの 2.7 ～ 2.8 は魅力的だが、溶接ビード周辺の疲労強度が鋼管の半分程度になることは、フレーム設計及びフレーム体製造上、十分な注意が必要だった。図 6.86 に一般財団法人自転車産業振興協会技術研究所による疲労試験データ

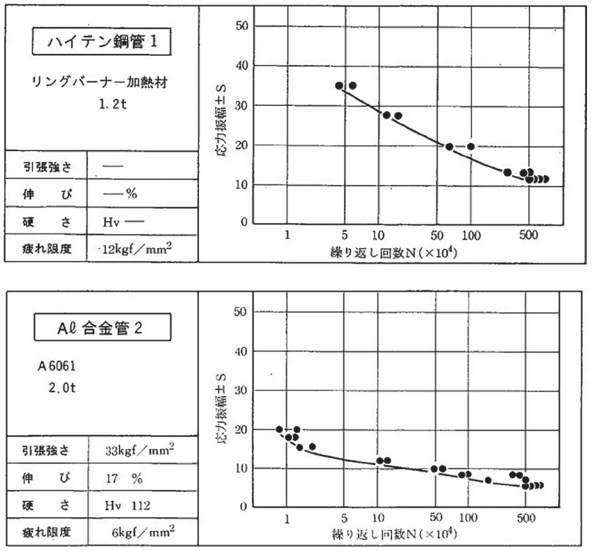


図 6.86　STKM14A と A6061の疲労強度 [23)]

シートから、ハイテン鋼管 STKM14A 及びアルミ合金パイプ A6061 の片持式水平曲げ疲労試験のデータを示す。

6.5.3　電源システムを利用したバッテリランプ

電池を使った一般用自転車の装置には、乾電池式の前照灯、電動変速システム、及び太陽電池と蓄電池式の点滅式テールライトなどがあったが、電動アシスト自転車の場合には、一充電当たりの走行距離の長さと電池の小型・軽量化という相反する要求があり、車体側の装置にモータ駆動用電源システムを利用することは、あまり考慮されてこなかった。しかし、交通安全の視点で指摘・要望の多いヘッドライト（前照灯）だけは、早い時期からモータ駆動用電池を使ったものが実用化され、システムとして進化してきた。

図 6.87 は 1998 年に登場した 10W ハロゲン球を使ったバッテリランプである。ブリヂストンサイクル開発・製造のハブダイナモ式全自動前照灯「点灯虫」を、24V 仕様に変更したもので、振動センサと光センサを利用して、点灯・消灯が自動で行われていた。ダイナモ式とは違って、スイッチが入れば、停止中でも押し歩き中でも、明るく光ることが市場で評価された。2004 年には、手元のメインスイッチでバッテリランプの ON/ OFF 切替をするようになったのを機に、白色 LED を使ったバッテリランプが採用された（図 6.88 参照）。

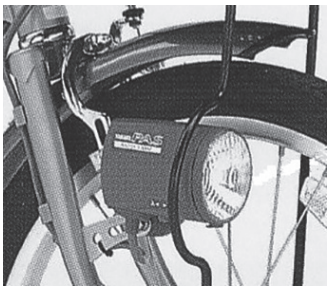


図 6.87　駆動用電池を電源としたバッテリランプ(1998)[11)]

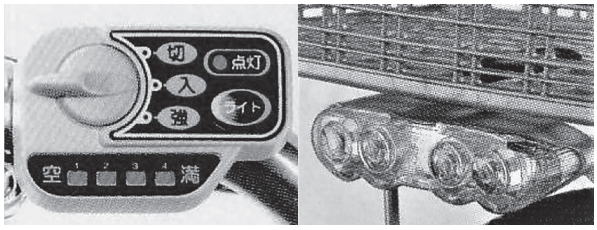


図 6.88　白色 LED式バッテリランプと
メインスイッチ(2004)[11)]

2007 年には、スイッチだけでなく、電池電圧及びトルクセンサ信号などを利用して、利便性や安全性の向上のためにバッテリランプの点灯・消灯を制御する「ほっとライトシステム」が搭載された。これは、メインスイッチを OFF にした後、ライトスイッチを OFF にしない限り、5 分間は押し歩き・駐輪のためにバッテリランプが点灯する、また、メインスイッチが OFF 状態(アシスト OFF 状態)でもペダルをこいでいれば、安全のためにバッテリランプが点灯するというものだった。

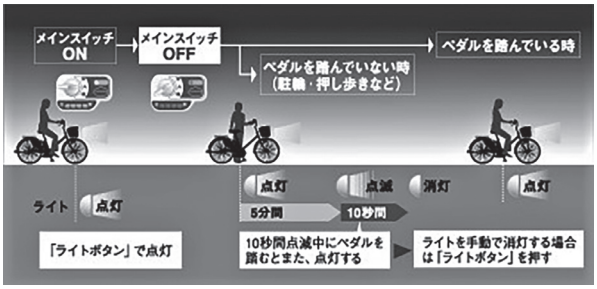


図 6.89　バッテリランプの「ほっとライトシステム」
(2007)[24)]

参考・引用文献

1) GSYUASA：「小型制御弁式鉛蓄電池 総合カタログ NP シリーズ、NPH シリーズ、RE シリーズ」、(2007)
2) Panasonic Corporation：「制御弁式鉛蓄電池の概要 _ 充電について」、制御弁式鉛蓄電池 LC-XC1228AJ（サイクルユーズ）商品仕様、(2018)、accessed on 2020-08-26、https://industrial.panasonic.com/jp/products/batteries/secondary-batteries/vrla/models/LC-XC1228AJ
3) 三洋電機モバイルエナジーカンパニー：「Cadnica 技術資料」、(2001)
4) 三洋電機モバイルエナジーカンパニー：「Cadnica サンヨーカドニカ電池 製品カタログ」、(2004-10)
5) 三洋電機モバイルエナジーカンパニー：「Twicell 技術資料」、(2001)
6) 大井耕三、山口昌男、平尾敬二、人見和弘、酒井敦（三洋電機）：「パワーアシスト自転車用 BMC（Battery Management Controller）」、三洋電機技報 Vol.34 No.1 p.118-123、(2002)
7) 三洋電機モバイルエナジーカンパニー：「Lithium ion 技術資料」、(2002)
8) 独立行政法人工業所有権情報・研修館：website「特許情報プラットフォーム J-PlatPat」、accessed on 2020-04-10、https://www.j-platpat.inpit.go.jp/
9) ヤマハ発動機：「ニュースリリース」、 accessed on 2019-09-01/ 2020-08-24、https://global.yamaha-motor.com/jp/news/

10）ヤマハ発動機：製品カタログ「世界初・パワーアシストサイクル PAS」、（1993）
11）ヤマハ発動機：電動アシスト自転車 製品カタログ
12）ナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）：電動アシスト自転車製品カタログ
13）パナソニックサイクルテック：電動アシスト自転車 / 自転車　ニュースリリース、accessed on 2019-09-01/ 2020-08-24、https://cycle.panasonic.com/release/
14）田村英雄（監修）、森田昌行、池田宏之助、岩倉千秋、松田好晴：「次世代型リチウムイオン二次電池」、電子とイオンの機能化学シリーズ Vol.3、（株）エヌ・ティー・エス、（2003）
15）ヤマハ発動機：「ヤマハ PAS（PA26）パーツリスト 」、（1993）
16）境 哲夫：「高性能ニッケル・水素電池の開発状況」、精密工学会誌 Vol.64、No.1、（1998）
17）米津育郎、藤谷伸、吉村精司：「携帯電話用リチウムイオン電池の開発動向」、Electrochemistry Vol.74 No.3、（2006）
18）座間浩一、粂内友一、榎本真介、大道寺孝夫（NEC トーキン）：「大容量ラミネートリチウムイオン二次電池の開発（高出力型）」、NEC 技報 Vol.59　No.5、（2006）
19）角谷和重、横谷和展（三洋電機）：「電動アシスト自転車用超磁歪トルクセンサの開発」、電気学会論文誌 E　121 巻　11 号、（2001）
20）田中建明、広瀬康夫、乾克己：「電動アシスト自転車 <CY-A1> 」、三洋電機技報 Vol.29 No.1 p.76-82、（1997）
21）本田技研工業：Website “STEP COMPO”、プレスインフォメーション（FACT BOOK）Honda StepCompo FACT BOOK 、accessed on 2020-06-22、https://www.honda.co.jp/factbook/motor/stepcompo/200104/?from=newslink_products
22）毛利住年雄：「磁気センサ理工学」、コロナ社、（1998）
23）一般財団法人 自転車産業振興協会技術研究所：自振協技術研究所研究報告「片持式水平曲げ疲れ試験機によるパイプ疲れ試験データシート」、自転車技術情報 No39、（1988）、技術資料情報データベース、入力番号 _C00205、accessed on 2020-08-26、http://www.jbpi.or.jp/giken/list.cgi?mb=nm
24）ヤマハ発動機：Website「ニュース一覧」、1997 年 度 –2020 年 度、（2020）、accessed on 2020-01-06/ 07-25、https://global.yamaha-motor.com/jp/news/
25）ヤマハ発動機：製品カタログ「’98 New PAS コンパクト DX、New PAS コンパクト」、（1998）
26）パナソニックサイクルテック：取扱説明書「Titanium Light EB, BE-ENDL63」、（2010）
27）本田技研工業：Website “ホンダ ラクーン RACOON”、プレスインフォメーション（FACT BOOK）RACOON 1994.12、accessed on 2020-06-10、https://www.honda.co.jp/factbook/motor/RACOON/19940200/
28）横谷和展、富樫仁夫、数原寿宏：「電動アシスト自転車 <CY-SJ> 」、三洋電機技報 Vol.35No.1p.106-114、（2003）
29）一般社団法人 電池工業会：Website「二次電池販売数量長期推移」及び「二次電池販売金額長期推移」、機械統計、統計データ、（2020）、accessed on 2020-11-05、統計データ：二次電池販売数量長期推移 | 一般社団法人　電池工業会（baj.or.jp）
30）出口欣高、小笠原悟司：「電気自動車の制御システム　電池・モータ・エコ技術」、東京電機大学出版局、（2009）
31）三洋電機：電動アシスト自転車 製品カタログ

7 電動アシスト自転車の海外展開

7.1 欧州における電動アシスト自転車の展開と進化

7.1.1 欧州の電動自転車及び電動アシスト自転車の導入期並びに法規の成立

欧州における電動自転車は、1980年代後半から検討されていたが、1990年代前半にスイス、ドイツなどでいくつかの電動自転車が販売されていたことが知られている。ドイツDiamantのCity-Blitz（1992）、スイスBKTech AGのFlyer（1995）などである。図7.1は、DiamantのCity-Blitzである。ニカド電池24個を組電池にした28.8Vのバッテリボックスをスタッガードタイプのパイプの間に装着し、横に取り出し、専用充電器を使って屋内で充電するようになっていた。駆動装置はヘッドパイプ前方で、前輪タイヤにローラを押し付けて、タイヤを回転させていた。モータ回転は、ハンドルに付けたスロットルレバーを操作してコントロールするものだった[1)]。筆者らは、初代PASの開発中、欧州販売会社を介して購入・輸入し、バッテリボックス取付構造や走行性能などの研究用サンプルとしていた。

図7.1　Diamant社のCity Blitz（1992）

1997年9月ヤマハ発動機は、ドイツ、オランダ、イタリアの自転車メーカ及び同社の小型二輪車製造拠点であるMBKインダストリー（フランス）に、1997年発売のPX系組電池及び駆動補助装置などを欧州向けに改良したシステムセットをOEM供給することを発表した[2)]。そして、1998年からシステムセットのOEM販売と欧州における電動アシスト自転車のロビー活動を開始した。2000年にはナショナル自転車工業（現：パナソニックサイクルテック）がViViシリーズを改良したシステムセットのOEM供給を、欧州の自転車メーカに向けて開始した。図7.2左図は、ヤマハ発動機のシステムを使用したオランダSparta社のForenzoである。図7.2右図はナショナル自転車工業のシステムを使用したGiant社のpedelecである。

図7.2　Sparta社のForenzo（2000）とGiant社のpedelec（2001）

2000年頃の欧州自転車メーカは、自社でドライブユニットを作る技術力を持ち、かつ広い販売網を持ったところは稀で、中国メーカから下地塗装をしたフレーム他の自転車部品を輸入して、フレーム塗装し、自転車として組み立てる組立製造・販売業者が多かった。電動アシスト自転車のシステムセットの納入業者は、Yamaha、Panasonic、SRAM、BKTech、その他中国メーカなどがあった。

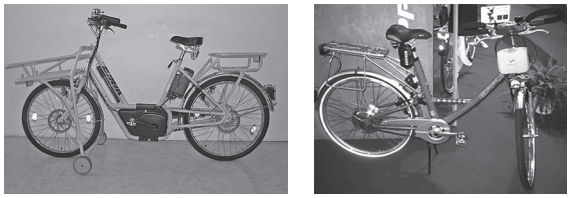


図7.3　Biria社の郵便配達車とEPPLE社のpedelec（2001）

このころ欧州の電動自転車（Electric bicycle）市場には二つの言葉があり、ペダル動作に関係なく、主に電動モータで走るものはE-bikeと呼ばれ、モータ駆動力がペダリング駆動の補助的役割をするものはpedelec（pedal electric cycleの意味）と呼ばれていた。ドイツ、オランダ、スイスなどを中心に電動自転車が販売されるようになり、各国で独自に「自転車扱い」又は「モペッド扱い」などと決めていた電動自転車の法規を、EUとして統一する必要が生じてきた。そこで、2002年欧州議会で採決されたのが、Directive 2002/24/EC（EU指令2002/24/EC 自動二輪車・三輪車の型式認証制度に関する規制）で、以下の条件に当てはまる補助電動機（auxiliary electric motor）を備えたペダルアシスト自転車（cycle with pedal assistance）は型式認証制度の適用から除外すると規定された[4)]。

・最大連続定格出力が0.25kW
・その出力が、徐々に減少し、車速が25km/hに達したとき、又は乗員がペダリングを止めたときにすぐに、停止する。

これは、上記のようなペダルアシスト自転車を、自転車として扱うことを意味している。モータ制御技術に関しては、このペダルアシスト自転車には、車速の検出及びペダルをこいでいることの検出が必要であることが分かる。

7.1.2　電動アシスト自転車及び電動自転車の成長期並びに法規の整備

2000年代後半になると、以下のような理由から電動自転車市場が活気を帯び、販売台数が急増するようになった。

・リチウムイオン電池の採用により、電池が軽量小型化され、デザイン性に富んだシティ系・トレッキング系の電動アシスト自転車が発売されるようになった。
・地球温暖化対策、健康志向の一環としての自転車がブームになった。
・欧州の電動自転車市場の活況と中国都市部での事故増加による規制などから、欧州へ輸出される中国産電動自転車が増えた。

図7.4は、EUROBIKE 2006で出展されたフレーム内蔵式バッテリを搭載したハブモータ前輪駆動方式（左図）及びハブモータ後輪駆動方式（右図）のpedelecである。

図7.4　ハブモータ前輪駆動方式と後輪駆動方式のpedelec（2006）[5]

2010年近くになると、今まで高齢者が多かったオランダより、ドイツが電動自転車市場の中心的存在になり、若いユーザも増えていった。これと前後するように、スポーツ性をより強調したトレッキング系のpedelecやデザイン性に富んだフレーム内蔵バッテリ式のpedelecに人気が集まるようになってきた。

2009年にCEN（European Committee for Standardization）からEN 15194 Cycles – Electrically power assisted cycles – EPAC bicycleが発行された。この

図7.5　ハブモータ前輪駆動方式のトレッキング系と後輪駆動方式のpedelec（2008）[6]

規格は、Directive 2002/24/ECで規定されたpedelecの定義に、より明確で実証可能な技術的根拠を付加して、製造メーカの自己認証試験を可能にすることや、当時増加して問題になっていた粗悪な電動自転車（中国製が多かった）を排除することを目的に作成されたものだった。EN 15194:2009では、2002/24/EC規定のモータ出力制限値、最高速度及びペダリング停止時のモータ駆動停止などの具体的な試験方法が規定されたほか、荷物積載専用車などの用途に有効と思われる6km/hまでの自走を可能とする規定、EMC（Electro Magnetic Compatibility）の詳細な試験方法などが盛り込まれた。EN15194では、従来から習慣的に呼ばれてきたpedelecの言葉を使わず、EPAC（Electrically power assisted cycle）の言葉を使い、EPAC = bicycleであることを明確にする意図もあったと思われる。これはペダリングの有無にかかわらずモータが駆動をするE-bikeとの境界を明確にすることにもなった。

2010年に欧州電動自転車のその後の流れを変える出来事があった。EUROBIKE2010でBoschとShimanoがpedelec（EPAC）用のシステムセットを展示して、近々自転車メーカ向けに販売を行うことを発表した。Boschは、翌2011年にセンターモータ駆動方式ドライブユニット、36V・288Whのバッテリボックス、液晶メータ及び充電器のシステムセットClassic MY2011を販売した（図7.6参照）。更に2012年には、当時スイスやドイツで流行の兆しを見せていたe-bike用に最大駆動速度45km/hのドライブユニットを発売した[9]。Boschはその後も毎年、pedelec（EPAC）用又はe-bike用と、幅広く、小型で良くデザインされたシステムセットを開発・発売し続けた。あっという間に、Boschの小型にデザインされたセンターモータ駆動方式クランク軸合力一体式ドライブユニット及びフレーム下パイプに係止する36Vリチウムイオン電池パックが、pedelec（EPAC）の高級車及びe-bikeの主流のスタイルになった。

図 7.6　BoschのClassic MY2011とPerformance Line MY2014[10)]

一方、Shimanoも2010年代前半に最初のシステムセットを発売して以来、次々にシリーズ化し、Shimanoの従来からの強みである他の自転車コンポーネントとの組み合わせでのセット販売や部品単位の情報提供を行い、急速に顧客とエンドユーザを拡大していった。Shimanoはpedelec(EPAC)に多かったシティ系だけでなく、e-bikeのスポーツ系、MTB系などに向けたシステムセットを積極的に開発した。BoschとShimanoのスポーツ系システムセットと躍進によって、e-MTB、e-RoadBikeなどの分野が、近年活況を呈するようになった。

図 7.7　e-MTBとe-RoadBikeの例(2018)[13)]

2010年前後、スイスやドイツ南部を中心にpedelec（EPAC）の最高速度規定より明らかに速い速度までモータ駆動をするe-bikeが販売され、s-pedelec（speed-pedelec）と呼ばれ、流行していった。これを問題視した反対派の「s-pedelecには、two-wheel moped（category: L1e）と同様の規制をかけるべき」という意見と、肯定派の「これもpedelec（EPAC）として認めるべき」という意見とで、最終的にEC（European Commission）を巻き込んだ議論になった。色々なロビー活動と議論の末、2013年にRegulation No.168/2013が採択され、この議論に終止符が打たれた。s-pedelecに関して、Regulation No.168/2013では以下のような内容が規定された。[7)]

・Category L1eの車両（light two-wheel powered vehicle）にL1e-Aの車両（powered cycle）とL1e-Bの車両（two-wheel moped）のsubcategoryを設ける。
・L1e-A（powered cycle）は、ペダリングを補助することが主たる目的で設けられた駆動補助装置でペダリングをする車両で、車速25km/hで補助動力が停止し、最大連続定格出力が1000W以下の二輪、三輪又は四輪の自転車。
・L1e-B（two-wheel moped）は、L1e-Aの条件に当てはまらない、内燃機関の場合は排気量50cc以下で、最大設計車速45km/h以下で、最大連続定格出力が4000W以下の動力付き二輪車。

この規定の意味は、最高速度25km/h以下、最大定格出力250W以下のpedelec（EPAC）を除く全ての電動自転車はL1e-A（powered cycle）又はL1e-B（two-wheel moped）に該当するということであり、最高時速45km/hのspeed-pedelecはL1e-B(two-wheel moped）であることを意味する。L1e-B（two-wheel moped）では、型式認証が必要であり、moped並みの灯火器等が必要になる。ユーザに対する規制は、免許証携帯、ヘルメット着用、自転車専用道路での走行禁止などの規制がある（ただし、仕様などの詳細はEU加盟国で決めることができるので、例えばヘルメットの仕様などは各国で異なるようである）。このregulationは、2016年まで暫定期間があったが、2017年1月からの新規製造車両はこのregulationに従った製造が必要となった。

一方、Directive 2002/24/EC及びRegulation No.168/2013では、型式認証制度から除外するものとして、以下の車両が規定されている。[7)]

・競技用での使用を目的とした車両。
・主にオフロード用途のために未舗装路を走行するために設計された車両。

更にRegulation No.168/2013には、「この規制はenduro motorcycles（L3e-AxE（x = 1, 2 or 3））、trial motorcycles（L3e-AxT（x = 1, 2 or 3））及びheavy all terrain quads（L7e-B）にも適用する」という記載があるが、電動自転車のe-MTBなどの記載はない。2013年以後、e-bikeの新しいジャンルとしてe-MTBが注目され流行したのは、ここにも原因の一端があると思われる。

図7.8に、上述の約15年間の主要4か国（ドイツ、オランダ、イタリア、フランス）の電動自転車販売台数の推移と、2008年から2016年までの欧州全体の中で、主要4か国の販売台数の比率を示す。2019年の電動自転車販売台数は4か国で約240万台であり、欧州全体の約60%であるとすると、欧州全体では約400万台にまで成長したことになる。

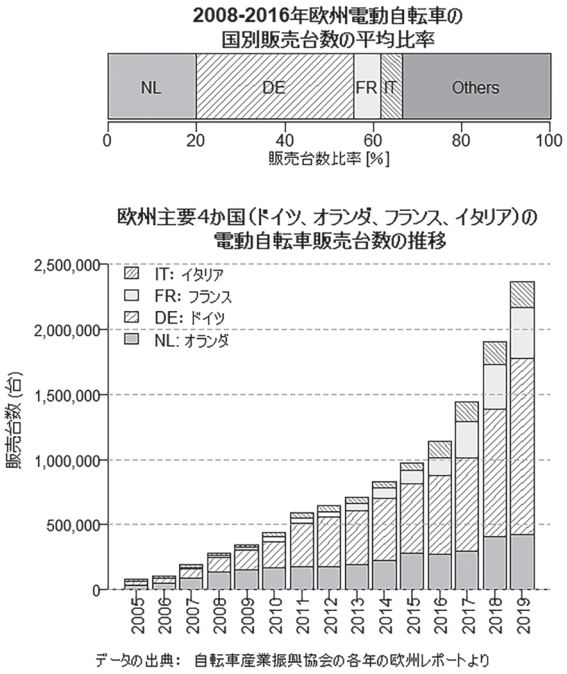


図 7.8　電動自転車主要４か国の販売台数の推移 [12)]

7.2　中国における電動自転車の展開と進化

中国で電動自転車の生産が始まったのは、日本における電動アシスト自転車の人気に刺激され、台湾又は中国本土の企業が、上海周辺の自転車工場で 1997 年くらいに作り始めたのが始まりとされる。その頃の中国自転車業界は、1995 年の約 4500 万台をピークにして、生産台数が急減していた。そこで、ある者は輸出に活路を見出し、ある者は（ほんの一部だが）電動自転車の製造に挑戦するという状況だった。日本の大手量販店やホームセンター向けに中国からの輸入自転車が急増し始めたのは 1998 年からである。

1990 年代後半の中国における電動自転車は、鉛蓄電池を使い、図 7.9 のようなハブモータ後輪駆動方式やハブモータ前輪駆動方式が主流で、一部にはセンターモータ駆動方式もあった。モータ制御方式は、アクセルを開けるだけで自走するタイプ（ペダルは急坂・積載時の補助の役割）、及びペダリングで始動し一定以上の速度になると自走するタイプが多く、日本のようにペダリングに合わせてモータ駆動するタイプも極まれにあった。販売価格は、2,500 人民元から 3,500 人民元程度だった。

電動自転車が市場に出始めてしばらくして、1997 年浙江省杭州市を皮切りに、1998 年上海市、1999 年江蘇省蘇州市など、沿岸部の大都市で、オートバイ及び助力車（排気量 50cm^3 未満のオートバイ）のナンバープレートの発行及び通行を禁止する「ナンバープレート規制」が行われた（北京市では 1993 年に都市部での通行禁止、ナンバープレート交付を２万枚以下にする規制が行われていた）。これは、増えすぎた自動車、オートバイ及び助力車による排ガス問題、交通事故並びに慢性的な交通渋滞などを解消するためとされたが、この都市単位の行政法は、他の地方都市にも次々に波及していった。このエンジン付き二輪車のナンバープレート規制が電動自転車の増加の一因と言える。ヤマハ発動機は、中国工場のオートバイ生産の減産を受けて、2000 年に上海事務所を中心に電動自転車の中国生産の検討を開始した。

図 7.9　1990年代末期の中国の電動自転車

電動自転車の増加に対して、電動自転車製造に関する国家標準「GB（Guojia Biaozhun、国家標準）規格」が1999年に国家標準化管理委員会によって承認された。この規格の代表的な項目は以下のとおりである [14)]。

・最高速は、20km/hまでに制限すること。
・制動時の制動距離は4m以下であること。
・モータの定格出力は240W以下であること。
・車両重量は40kg以下であること。
・バッテリ定格電圧は48V以下であること。
・ペダルを有し、自転車として漕ぐ機能を有すること（30分間に７km以上の走行が可能であること）
・アクセルを有し、漕がずとも自走する機能を有すること（補助モータがペダリングを補助する「アシスト機能」は有っても無くても良い）

上記項目の最初の２つは否定項目（違反は許されない項目）であり、後の５つは重要項目（３項目までの違反しか許されない項目）である [14)]。特徴的なことは、全 18 項目ある重要項目のうち、３項目は守る必要があるが、それ以外は自由とも取れる表現の標準になったことである（国家標準作成担当の政府部門としては全項目を順守することを奨励している）。これは既に様々な種類の電動自転車が市場に存在したことをある程度容認し、電動車両に関する産業振興の意味もあったと想像される。

2000 年前半になると、エンジン付き二輪車のナン

バープレート規制、電動自転車国家標準の緩やかな規制、行政府主導の道路整備による自転車専用道路の充実に加えてニッケル水素電池の普及などが要因となり、電動自転車が急激に増加していった。この頃、高価格帯の電動自転車で話題になったのが、図 7.10 のような、スクータにペダルがついたようなスタイルの電動自転車である。人気の商品デザインには、1 年も経たないうちにコピー商品が現れ、中にはオリジナルより安い値段で売られるのが中国市場である。このスタイルの電動自転車が中価格帯以上の主流になっていった。

図 7.10　電動自転車（2000年代前半）[14), 15)]

2000 年代後半になると、高価格帯の車両にはリチウムイオン電池が使われるようになり、車両質量が軽く、一見すると助力車（車両重量 40kg 超、最大速度 50km/h 以下）の電動スクータと見分けがつかないようなデザインの電動自転車が多くなってきた。

図 7.11　電動自転車（2000年代前半）[14), 15)]

図 7.12 に、中国電動自転車の生産台数の推移を示す。2000 年代前半に急増していた生産台数が、2000 年代後半にその伸びが鈍化しているのは、急増した速度超過・重量超過の電動自転車、交通ルールを守らないユーザなどの影響で、交通事故が増加し、一部の都市で登録を制限したことが一因ともいわれていた。その後 2013 年には 2800 万台超にまで増加した後、2017 年以降現在まで増加の傾向を示している。また、2014 年及び 2015 年に生産台数が減少しているのは、Ofo 及び Mobike など新興のシェア自転車が大流行したことにより、中国自行車協会加盟の製造業者の生産台数が減少したことによるといわれている。

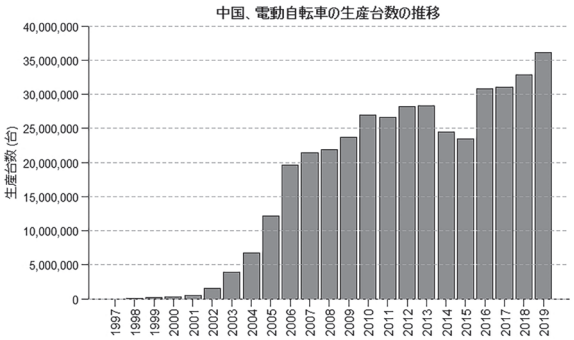


図 7.12　中国電動自転車の生産台数の推移 [15), 16), 17), 18)]

参考・引用文献

1) Tozy Linder：website「Diamant　‘CityBlitz’（1992）」、Flicker、accessed on 2020-09-10、https://www.flickr.com/photos/46002115@N05/albums/72157703392892414

2) ヤマハ発動機：「ニュースリリース」、 accessed on 2019-09-01/ 2020-08-24、https://global.yamaha-motor.com/jp/news/

3) European Commission：website “Directives and regulations -twoo- and three- wheel vehicles and quadricycles”、accessed on 2020-09-10、https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive/legislation/motorbikes-trikes-quads_en

4) EUR-Lex：“Directive 2002/24/EC of the European Parliament and of the Council of 18 March 2002 relating to the type-approval of two or three-wheel motor vehicles and repealing Council Directive 92/61/EEC”、accessed on 2020-09-10、https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0024

5) 一般財団法人 自転車産業振興協会：「欧州電動自転車市場、平成 18 年 10 月 12 日」、欧州レポート、accessed on 2020-09-08、http://www.jbpi.or.jp/report.cgi?cid=1&y=&page=6

6) 一般財団法人 自転車産業振興協会：「EUROBIKE 2008、平成 20 年 10 月 9 日」、欧州レポート、accessed on 2020-09-08、http://www.jbpi.or.jp/report.cgi?cid=1&y=&page=6

7) EUR-Lex：“Regulation（EU）No 168/2013 of the European Parliament and of the Council of 15 January 2013 on the approval and market surveillance of two- or three-wheel vehicles and quadricycles”、accessed on 2020-09-11、https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/

TXT/?uri=CELEX:32013R0168
8) BikeEurope：“All you need to know on EU regulations for e-bike, pedelecs, speed-pedelecs"、(2015)”、accessed on 2020-09-11、https://d1wa5qhtul915h.cloudfront.net/app/uploads/2015/09/bike-europe-e-bike-regulations-version-aug-2016.pdf
9) Bosch：website “A SUCCESS STORY”、accessed on 2020-09-11、https://www.bosch-ebike.com/en/service/product-history/
10) ボッシュ（株）電動自転車システム事業部 所蔵
11) BikeEurope："Rules & Regulation On Electric Cycles In European Union"、(2017)、accessed on 2020-09-11、http://bike-eu.com.s3-eu-central-1.amazonaws.com/app/uploads/2015/09/rules-regulation-on-electric-cycles-in-the-european-union-may-2017.pdf
12) 一般財団法人 自転車産業振興協会：欧州レポート、2005年から2019年までのオランダ・ドイツ・イタリア・フランスの各自転車市況レポート、accessed on 2020-09-08、http://www.jbpi.or.jp/report.cgi?cid=1&y=&page=6
13) 一般財団法人 自転車産業振興協会:「2018年ユーロバイク展報告、平成30年8月31日」、欧州レポート、accessed on 2020-09-08、http://www.jbpi.or.jp/report.cgi?cid=1&y=&page=6
14) 高橋大輔：「中国の電動自転車の紹介」、ヤマハ発動機技報 2006-3 No.41 アジア特集（2006)、、accessed on 2020-07-20、https://global.yamaha-motor.com/jp/profile/technical/feature/
15) 斎藤俊一（本田技術研究所二輪 R&D Center）：「中国電動自転車市場の実態」、国際交通学会誌 Vol41 No2、(2016)
16) 一般財団法人 自転車産業振興協会:アジアレポート、2009年、2018年、2019年の中国自転車生産状況レポート、accessed on 2020-09-08、http://www.jbpi.or.jp/report.cgi?cid=1&y=&page=6
17) サイクルジャパン：CyclePress 2007 Apr No799、(2007)
18) サイクルジャパン：CyclePress 2007 Dec No808、(2007)

8 電動アシスト自転車の法令・規格と安全性

電動アシスト自転車が道路交通法の法令で定義され、規定されていることは、第２章で紹介した。本章では道路交通法に係る認定基準及び安全性に係る規格について記述する。また、道路交通法以外の安全性に関する法令・規則についても紹介する。

8.1 道路交通法に係る認定基準及び乗り物としての安全性に関連する規格

8.1.1 電動アシスト自転車の型式認定制度及び型式認定基準

1995 年、駆動補助機付自転車（電動アシスト自転車の道路交通法上の略称）を新たに追加する道路交通法の改正（表 2.1 参照）に伴い、道路交通法施行規則第 39 条の３「人の力を補うため原動機を用いる自転車の型式認定」が新設された。型式認定は、道路交通法の基準に適合することを明らかにすることによって、利用者の便宜を図るとともに、対象品の安全対策を推進する目的で、国家公安委員会によってその認定が行われている制度である。同制度の対象機器には、駆動補助機付自転車の他に、電動機を用いる身体障害者用の車椅子（ハンドル形電動車いす等）、停止表示器材、運転シミュレータなどがある[5)]。

型式認定基準は、道路交通法施行規則第１条の３「人の力を補うため原動機を用いる自転車の基準」に基づいて、警察庁通達による型式認定制度の運用規程に、原動機に関する基準及び時間応答性の基準として、さらに細かく規定されている[1),3)]。型式認定基準は、道路交通法施行規則の改正に伴って、2008 年及び 2017 年にそれぞれ一部改正されてきたが[2),3)]、後述の JIS D 9115 電動アシスト自転車の附属書Ｂの「原動機の基準の細目及び時間応答性の基準」にも、一部の用語を JIS 規定の用語に変えて、記載されている[12),4)]。

型式認定試験審査の実務は。国家公安委員会から指定を受けた公益財団法人 日本交通管理技術協会が行い、実際の試験は、補助比率測定試験装置（シャーシダイナモメータ）などを所有している一般財団法人日本車両検査協会 東京検査所で行われる。

国家公安委員会によって型式認定基準に適合することが認定された電動アシスト自転車には型式認定番号が指定され、道路交通法施行規則第 39 の２第６項に基づいて、製造業者が工場出荷時に型式認定番号を表示することになっている。図 8.1 左図は、電動アシスト自転車の製造号機番号票と兼ねた型式認定番号票の例である。国家公安委員会認定による型式認定済みの認定番号票には、図 8.1 左図のように緑色 TS マーク（保険の付かない型式認定済み TS マーク）が付与されている。

図 8.1　TSマーク付き型式認定番号票と傷害・賠償責任保険付き赤色 TSマークラベル

ちなみに、図 8.1 右図は日本交通管理技術協会によって行われている TS マーク制度に基づく赤色 TS マークである。TS（Traffic Safety）マークとは、自転車安全整備制度に基づく自転車販売店等の自転車安全整備士による整備点検（有償）が行われた自転車に貼付される傷害・賠償責任保険付きの整備点検済み票のことであり、青色 TS マーク及び赤色ＴＳマークがある。青色 TS マークと赤色ＴＳマークとの違いは、補償内容の違いであり、例えば賠償責任補償の場合、青色ＴＳマークでは最大 1,000 万円、赤色 TS マークでは最大１億円などとなっている（2020 年９月現在）[5)]。

電動アシスト自転車安全普及協議会は、警察庁との話し合いにより、電動アシスト自転車型式認定に関連した業界団体として、1996 年に設立された任意団体である。型式認定制度及びＴＳマーク貼付の協力と広報、型式認定検査基準策定の協力、電動アシスト自転車安全運転の啓発などを目的としている。導入期には最大二十数社が加盟していたが、現在は７社が登録されている。

2000 年代前半から、灯火器等を装備していない中国製電動自転車（道路交通法上は、「ペダル付きの原動機付自転車」として、原付一種の扱いだが、道路運送車両法の保安基準に適合しない場合は、原付一種としても違法となる）が輸入され、日本の道路上を走行していることが問題視されていた。近年は日本向け電動アシスト自転車として開発され、輸入業

者・輸入代理店を通して型式認定を取得するものもある。そうした電動アシスト自転車のなかで、2016年10月日本交通管理技術協会の購入品試験の結果、アシスト比率の基準を超えるものが確認され、警察庁から7社7銘柄の電動自転車が公表された[7]。このうち、2社は型式認定を受審していなかった。さらに2017年6月国民生活センターも、このうちの3社を含む9社の電動アシスト自転車を商品テストした結果を公表した[8]。警察庁から型式認定未受審と指摘された1銘柄は、国民生活センターの報告書でも「TSマークの貼付なし」と指摘されたが、アシスト比率も基準を大幅に超えたものだった。これを受けて、消費者庁も道交法の基準に適合しない電動アシスト自転車についての注意喚起をウェブサイトで公開した[25]。警察庁からの指摘を受けた7社のうち4社は、2016年秋にそれぞれ対象機種のリコールを発表した[23),24]。ちなみに、このリコール実施の4社のうち2社（国民生活センター商品テスト実施の3社のうち1社を含む）、及び国民生活センターの商品テストで『基準を大幅に超えている』とされた1社の電動アシスト自転車は、後述のniteの製品事故情報でも、2013年から2019年に発生したリチウムイオン電池による火災事故で情報登録されている。

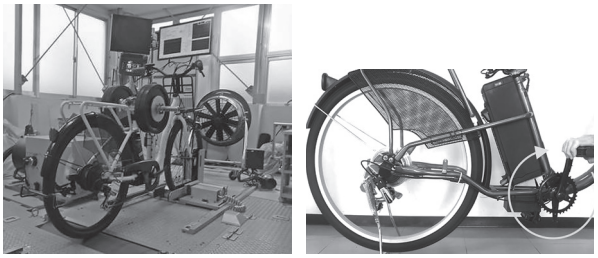


図8.2　国民生活センターの商品テストとペダル回転に関係なく後輪が回転する電動自転車[8]

8.1.2　電動アシスト自転車の自転車協会安全基準とBAAマーク制度

一般社団法人 自転車協会は、自転車（電動アシスト自転車を含む）の普及、自転車及び自転車部品の生産・供給・販売の推進、業界安全基準の作成・標準化、安全な自転車利用のための整備点検・交通規則の順守などの啓発及び広報などを目的に、自転車部品及び自転車の製造業者･販売業者などで作る業界団体である。

2000年前後、中国産の安価な輸入自転車が急増し、価格重視で購入された自転車の品質低下と製品事故の増加が問題視された。このまま放置すれば、業界全体の信頼が損なわれることを危惧した自転車協会は、DIN規格を参考として、従来のJIS規格より厳しい業界自主基準を2001年に作成し、会員企業にこの自転車安全基準を順守することを求めた。この頃会員企業の間では、消費生活用品製品安全法のPSCマーク制度の特定製品への指定を受けて、PSCマークを取得していない製品に対する回収命令措置を希望する意見が多かったが、最終的にPSCマーク制度による自転車の指定は実現しなかった。

自転車協会は、自転車安全基準を基にした業界独自の認証制度であるBAA（Bicycle Association Approved）マーク制度を2004年9月から開始した。BAAマーク制度では、自転車安全基準に規定された項目に関して、自転車協会が定めた適合認定機関又はJISマーク表示認定工場で試験をした結果を、申請事業者が、適合認定型式検査成績書に記入し（後に、自社検査結果による成績書も許容された）、登録申請書などとともに自転車協会に送る。自転車協会は、一連の書類を審査し、内容が妥当と判断した場合に認定を行い、後日BAAマーク交付申請書に基づいて所要枚数のBAAマークを申請事業者に交付する。自転車協会は、認定済み自転車に関して、適合機関による管理認定検査を適宜行い、不適合の場合は是正を求めることができることも規定されている[11]。

図8.3　BAAマークラベル

電動アシスト自転車安全基準は、自転車安全基準が新設された2001年に同時に作成された。2001年新設の電動アシスト自転車安全基準では、走行性能、耐水性、耐振性の基準が試験方法とともに規定されたほか、フレームを除く普通自転車の部品の基準として自転車安全基準が引用されている。フレームの強度試験では、耐振性及び耐前倒し衝撃性が規定されたが、そのいずれでも組電池及び駆動補助装置の質量と同じおもりを付けて試験を行うことが明記された[9]。2004年には電動アシスト自転車安全基準を基に、自転車と同じBAAマーク制度が開始された。図8.3は、電動アシスト自転車に貼られたBAAマークラベルの例である。

第5章及び第6章で記述したように、電動アシスト

自転車の成長期には、回生充電機能を有した駆動補助装置や様々なエコモードの技術競争が活発になっていった。その結果、各社の一充電当たり走行距離の測定方法や表現がそれぞれに異なり、市場に混乱をきたしていた。また、ユーザからは「カタログ記載の距離まで走らない」というクレームが、特に冬場に多く寄せられるものもあった。そこで、駆動補助比率に関する道路交通法施行規則が2008年に改正されことを機に、電動アシスト自転車安全基準の大幅見直しが行われた。2010年に改正された電動アシスト自転車安全基準には、道路交通法の新基準に対応した標準走行パターンを含めた一充電当たり走行距離の表示方法及び試験方法だけでなく、センターモータ駆動方式駆動補助装置の強度試験方法及び基準、組電池に関する規定、環境負荷物質に関する規定（引用）などが新たに織り込まれた[10]。

その後、電動アシスト自転車安全基準は、技術の進化及び引用規格の改正などに合わせて、3回の改正を経て、2020年末現在、2019-04-01改正版が最新の規格になっている。

8.1.3 電動アシスト自転車のJIS規格

2000年代半ば以降、電動アシスト自転車市場は車種の数が増え、ユーザも着実に増えていったが、一方で製品事故やリコールの数が増え、より一層の製品安全への取り組みが求められるようになった。道路交通法の基準とはかけ離れた中国製電動自転車が街中で走行して問題になったこともあった。また、2009年1月には欧州で、日本の基準とは異なる電動アシスト自転車の製品規格として、EN15194 Electrically Power Assisted Cycles – EPAC Bicyclesが制定された。これらの動向を受け、自転車JIS原案作成団体である一般財団法人 自転車産業振興協会技術研究所が事務局となって、JIS原案作成分科会が組織され、初めての電動アシスト自転車JIS原案が検討された。素案作成は、主に電動アシスト自転車安全普及協議会が担当した。その後、JIS原案作成委員会で議論・修正され、2009年秋、最初の「JIS D 9115 電動アシスト自転車 – 設計指針」が公示された。当該JIS規格が「製品規格」ではなく「設計指針」となった理由は、対象となる駆動補助システムが多様に存在し、今後の技術進化の余地も多いことから、現時点での性能基準や試験方法の規格作成には膨大な作業負荷を要すると考えられたからであった。原案作成段階では、ほぼ同時に進行していた道路交通法改正に伴う型式認定基準の改正との整合性も、製品規格となると、より一層困難になると予想されたことも影響している。JIS D 9115: 2009の規格の中心である「5製品の設計における要求事項」では、使用部品の定量的な要求事項に関して、引用規格での規定が多く、電動アシスト自転車独自部品の定量的な基準にまで至ってはいないが、幅広く設計指針を網羅したものであった。また、附属書Aで2008年改正後の道路交通法施行規則の基準が、附属書Bでは型式認定基準の原動機の基準及び時間応答性の基準が、一部JISの用語・様式に変えて、規定として記述された[12]。

2010年代後半になって、多様な機構・機能を持つ電動アシスト自転車のアシスト比率を適正に測定評価するために2017年秋に型式認定基準が改正されたことを受け、同基準を引用している附属書Bの改正が必要になり、2018年、JIS D 9115 電動アシスト自転車の改正が行われた。JIS D 9115: 2018では、引用規格も含めた定量的な要求事項、及び特性値を測定するため又は検証するための試験方法を規格本体に残し、現時点で定量的基準に至っていない項目については、「附属書C（規定）製品の設計における要求事項」に移して、「製品規格」としての構成に変更された。また、「JIS D 9207 電動アシスト自転車 - 一充電当たりの走行距離方法」を廃止し、電動アシスト自転車安全基準（2010）をベースにした「附属書D（規定）一充電当たりの走行距離の測定・表現方法」が追加された[4]。

8.2 道路交通法以外の安全性に関連する法令・規則

8.2.1 充電器及びリチウムイオン電池に関する電気用品安全法

電動アシスト自転車の部品に関する法令で、最も古くからあるのが、充電器に関する電気用品安全法である。電動アシスト自転車の一般的な充電器は、電源回路に100V交流電流を入力し、電池やコントローラ用の直流電流を出力する直流電源装置として、電気用品安全法施行規則の特定電気用品（ひし形PSEマーク）に指定されている。

さらに、2005年から2006年にかけて、度重なる携帯電子機器の発煙・発火事件を受けて、2008年、リチウムイオン電池が、電気用品安全法の規制対象（特定電気用品以外の電気用品、丸形PSEマーク）に指定された。電気用品の技術上の基準を定める省令（略称、技術基準）もリチウムイオン電池に関して、「別表第九リチウムイオン蓄電池」として新設され、「JIS C 8712：2006密閉型小

型二次電池の安全性 」を厳格化して2007年に新設された「JIS C 8714：2007 携帯電子機器用リチウムイオン蓄電池の単電池及び組電池の安全性試験」を引用した「強制的な内部短絡時の安全」、「過充電の保護機能」、「機器落下時の組電池の安全」なども規定に織り込まれた[13]。同技術基準の別表第九リチウムイオン蓄電池は、2013年に一部改正され現在に至っている。

図8.4　ひし形PSEマークと丸形PSEマーク[14]

8.2.2　リチウムイオン電池の輸送に関する規則

リチウムイオン電池の輸送に関する規則は、2001年に発行された国連による「危険物輸送に関する勧告」（Recommendations on the Transport of Dangerous Goods、通称「オレンジブック」）から始まっている。同勧告で、リチウムイオン電池は総等価リチウム含有量で分類されており、2003年1月発効当時の電動アシスト自転車のリチウムイオン電池はClass 9（その他の危険物、Miscellaneous dangerous goods）に当たる大型のものと通常輸送が可能なものとがあった。国連の勧告は法的拘束力を持たないとされるが、これを基にした国際民間航空機関（ICAO：International Civil Aviation Organization）が定める国際民間航空条約 第18附属書は条約締約国に対して法的拘束力を持つ。日本の航空法及び関連の法令はICAOの国際基準に準じてきた。これらの規則、法令は、リチウムイオン電池の航空輸送に関して強化する方向で度々改正されてきたが、2016年4月以降ICAOの基準によると、160Whを超えるリチウムイオン電池及び搭載された機器の旅客機への持ち込み、預け入れ共に禁止となった。

リチウムイオン電池を航空貨物輸送する場合は、ICAOの指針に従って民間航空業界団体 国際航空運送協会（IATA）が発行する「IATA危険物規則書」（DGR：Dangerous Goods Regulations）が適用される。IATA-DGRによれば、出荷状態によって国連番号（UN number）と梱包基準（Packing Instruction、PI）番号に違いがあり、電池のみを輸送する場合はUN3480、PI965、電池使用の機器と同梱する場合はUN3481、PI966、電池使用の機器に装着して輸送する場合はUN3481、PI967を明示する必要がある。それら出荷状態とリチウムイオン電池又は組電池の容量によって、危険物分類、1梱包当たりの個数制限、梱包容器、表示ラベル、書類要件などに差がある。電池容量の区分では、電動アシスト自転車のリチウムイオン組電池は、特別なものを除いて、100Wh超なので、セクション分類はSection 1 Aに分類され、梱包容器に図8.5左図のようなClass 9 hazard label（リチウム電池危険性ラベル）を貼付する必要がある。さらに組電池のみの輸送UN3480、PI965の場合には、図8.5右図のようなCargo Aircraft Only label（貨物機専用ラベル）も貼付することになっている。[15),16)]

図8.5　Class 9 hazard labelとCargo Aircraft Only label[16]

リチウムイオン電池などの危険物を海上運送する場合、1974年の「海上における人命の安全のための国際条約（SOLAS条約）」附属書第7章「危険物の運送」が基本ルールになっており、SOLAS条約に基づいて、国際海事機関（IMO：International Maritime Organization）が定めた国際海上危険物規程（IMDG Code）等の国際的な安全基準がある。日本の国内法では、船舶安全法の危険物船舶運送及び貯蔵規則に基づく「船舶による危険物の運送基準等を定める告示（危告示）」に、国際海上危険物規程（IMDG Code）を取り入れた詳細な規定が決められている。危告示によれば、電動アシスト自転車を海上輸送する場合、リチウムイオン組電池を対象にしたUN3480又は電気自動車などを対象にしたUN3171が関係すると思われるが、UN3171にすると自動車と同じ積荷条件・制約条件を適用しなければならず、面倒なことが多い。そこで、電池を除いた自転車の扱い（自転車は危険物には該当しない）で梱包・輸送するのが現実的である。リチウムイオン組電池を収納する容器には、航空輸送の図8.5左図ラベルと同様の第1号様式 等級9を示す標札を梱包箱に貼付することが危告示に規定されている[17]。

8.2.3　使用済み電池のリサイクル

2001年4月に施行された「資源の有効な利用の促進に関する法律」（以下、「資源有効利用促進法」と

呼ぶ）に基づき、小型充電式電池メーカや同電池の使用機器メーカ、それらの輸入事業者等などに、小型充電式電池の回収・再資源化が義務づけられた。これを機に、社団法人 電池工業会に「小形二次電池再資源化推進センター」が発足し、これまでニカド電池に関して一部ルートで行われていた電池回収を（自動車用鉛蓄電池に関してはリサイクルシステムが既に確立し、約 95% の回収率と言われていた）、より範囲を拡大して一元化することが検討された。その後 2004 年に、鉛蓄電時リサイクル事業を行う有限責任中間法人 鉛蓄電池再資源化協会（SBRA：Lead Acid Storage Battery Recycle Association）及び小型充電式電池のリサイクル事業を行う有限責任中間法人 JBRC（Japan Portable Rechargeable Battery Recycling Center）が設立された（2009 年に、両者とも有限責任中間法人から一般社団法人に名称変更された）[18]。

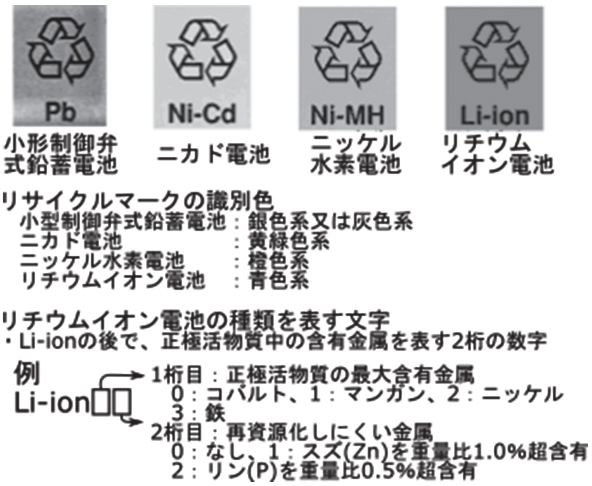


図 8.6　バッテリボックスのリサイクルマーク [20]

電動アシスト自転車の使用済み電池の回収・リサイクルが始まった当時の使用済み電池はアルカリ系二次電池が主流だった。メーカ各社は、JBRC 会員として、小型充電式電池のリサイクル活動を開始した。それぞれの市場販路で自転車販売店・事業所などに JBRC 協力店・協力事業者として登録してもらうことを呼び掛けた。一方で 2001 年の資源有効利用促進法の施行に合わせて、電池工業会提唱の図 8.6 のようなリサイクルマークをバッテリボックスに貼付し始めた。JBRC 協力店・協力事業所では、使用済み電池をリサイクルボックス、リサイクル缶に一時的に回収して、一定量が溜まったところで、JBRC に回収依頼をして、運送業者が無償回収を行い、最終的にリサイクラーに送られ、分解･分別工程を経て、再生金属･原料に再生される（図 8.7 参照）。

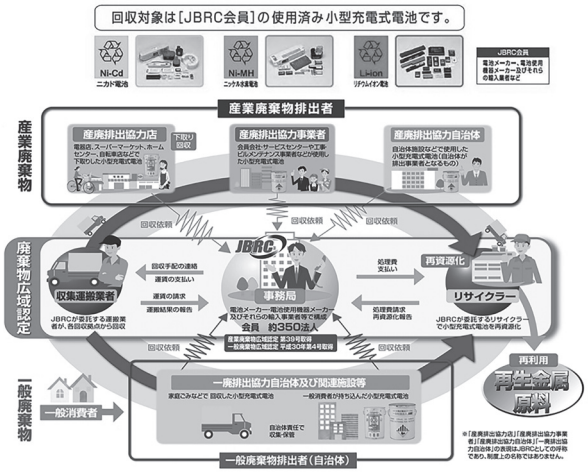


図 8.7　JBRCによる電池の回収･ リサイクル [19]

8.2.4　消費生活用製品安全法

ガス瞬間湯沸器及び石油温風機による一酸化炭素中毒死亡事故、シュレッダによる幼児の指の切断事故等における企業及び行政による消費者への警告・情報提供の遅れに伴う同種の事故の再発を重く見た経済産業省は、消費生活用製品安全法（以下、消安法と呼ぶ）の改正案を作成し、改正消安法は 2006 年 12 月に交付され、2007 年 5 月 14 日から施行された。このときの消安法改正の主なポイントは、以下のような事業者の事故報告の義務化、経済産業省による公表制度及びそれに伴う事故の再発防止対策を明記したことだった。また、報告を怠った又は虚偽報告の場合は体制整備命令を発動すること、及び体制整備命令に違反した者には懲役刑又は罰金刑を処すことが追加された。

- （事業者の事故報告義務）消費生活用品の製造事業者・輸入事業者は、重大製品事故の発生を知った日から10日以内に、製品の名称及び事故内容等を主務大臣（経済産業省）に報告しなければならない。
- （経済産業省による公表）主務大臣（経済産業省）は、重大な危害の発生及び拡大を防止する必要があると認められるとき、製品の名称・型式及び事故の内容等を公表する。
- （事故の再発防止対策）消費生活用製品の製造事業者又は輸入事業者は、事故原因を調査し、必要があると認めるときは、当該消費生活用製品の回収等の措置をとるよう努めなければならない。

改正消安法の第 52 条に基づく申し出制度では、非重大製品事故に関する消費者などからの案件についても、独立行政法人 製品評価技術基盤機構（nite）で調査の上、公表することになった [21]。

2009年9月の消費者庁設立に伴い、重大事故の報告及び公表等について、経済産業省から消費者庁へ移管された。このとき消安法条文は、「主務大臣」から「内閣総理大臣」又は「内閣総理大臣及び主務大臣」に改められた。その後、消安法に基づく重大事故の報告・公表制度及び非重大事故報告・公表制度は、通達レベルも含めて、数回改正され、現在に至っている。

8.3 製品安全と交通安全

8.3.1 電動アシスト自転車に関する製品事故及び製品リコール

消費生活用品の製品事故は、消費者庁の事故情報データバンクシステム及び独立行政法人 製品評価技術基盤機構（nite：National Institute of Technology and Evaluation）の事故情報データベースなどで検索することができるが、ここではniteの事故情報データベースを使って電動アシスト自転車の事故を分析した結果を述べる。図8.8から図8.10はnite事故情報データベースに登録されている電動アシスト自転車及び電動自転車に関する全ての事故情報の分析結果である。nite事故情報データベースの検索及び分析は、以下のような方法で実施した。

- nite事故情報データベース（2020/9/14現在）において、「項目指定なしで“電動アシスト自転車”を含む」、「項目指定なしで“電動アシスト車”を含む and “電動アシスト車いす”を含まない」、「項目指定なしで“電動自転車”を含む」をキーワードにして検索したものを合成し、その中から項目「年度番号」及び項目「事故発生日」で重複するもの及び事故発生年の不明なものを除いた。絞り込んだ結果のデータ数は377件であった。
- 上記377件のデータを、項目「事故原因区分」及び「事故発生年」で分類して、それぞれの事故件数を求めた。
- nite事故情報データベースには「対象部品」という分類項目は設けられていないが、上記377件のデータの項目「品名」、「型式機種」、「事故通知内容」及び「事故原因」の記述内容から、故障又は事故原因の主たる対象部品を、“不明”も含めた9つの「対象部品区分」に分類し（図8.9下図の左側の凡例）、「対象部品区分」及び「事故発生年」ごとの事故件数を集計した。
- 図8.9下図の電動アシスト自転車に関するリコール告示日を示した点は、消費者庁のリコール情報サイトにおいて、「車両・乗り物」及び「電動アシスト自転車」で検索したもので、凡例に示すリコール対象部品別に分類して、告知日順に点で示した。リコール告示日を示す点の縦方向の位置は、縦軸の事故件数とは関係がない。なお、原因部品の製造事業者とOEM先事業者が同一案件を別々に報告・告知したもの、及び回収率の関係等で同一案件を再告知したものは、一般財団法人 自転車産業振興協会技術研究所の社告・リコール情報サイトを参考にして、それぞれ1件として処理した。
- 図8.9の下図の電動アシスト自転車に関するリコール告示日を示したもののうち、リコールに関係する対象機種の台数が5万台を超えるものについて、黒点（■、●、▲）で示した。リコール告知内容からは対象台数が不明のものが、白点（□、○、△）の中には含まれる。特に、消安法改正前のものには、対象台数が5万台を超えるものがあるかもしれない。

nite事故情報データベース（2020/9/14現在）における電動アシスト自転車の全事故情報の原因区分別事故件数の内訳を図8.8に示す。全事故情報の原因区分別及び対象部品別事故件数の事故発生年ごとの推移を図8.9に示す。表8.1は、図8.9の下図に示されたリコール告示日の点のうち、対象台数が5万台を超えるもの（黒点■、●、▲）をまとめた表である。

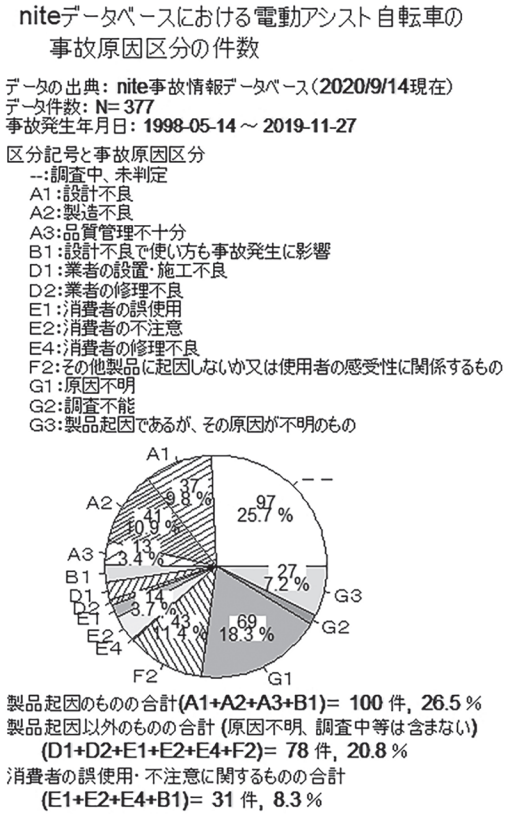


図8.8 nite事故情報の原因区分別件数の内訳

図 8.8 の事故情報データには、199 件（約 53%）の「－：調査中、未判定」及び「G：原因不明、調査不能」のデータが含まれる。そこでこの 199 件のデータのうち、項目「事故通知内容」及び「事故原因」の記述内容を読み、“他の推定済み案件と類似”又は”製品起因が疑わしい”と考えられる案件 162 件を選出した。その選出基準は、項目「事故通知内容」及び「事故原因」の記述内容が、

・他の原因推定済みの類似案件の内容と同じ又は類似していること。
・対象の項目「品名」、「型式機種」が、後にリコール発表された現象と同じであること。
・設計的に予見可能な誤使用であったと判断されること。

とした。専門家の現地調査による推定と比べると、かなり乱暴な推定ではあるが、特に近年の案件に多い「調査中」や「原因不明」が少なくなることで、昨年までの約 20 年間の製品事故の推移と傾向が見えてくる。事故原因区分で、「A：設計・製造・表示上の問題」及び「B：製品自体の問題＋使い方にも問題あり」と判断された、いわゆる製品起因の案件 100 件に上記 162 件を加えた合計 262 件の製品起因と考えられる製品事故案件を分析して、図 8.10 を作成した。図 8.10 は、上記 262 件の原因区分別、対象部品区分別、及び被害区分別の事故件数の推移である。

図 8.9、図 8.10 及び表 8.1、並びにそれらを導出するまでの分析から、以下のようなことが分かる。

・2007年の消安法改正による重大事故報告制度及びそれに付随する非重大事故のniteへの報告制度の強化によって、2007年及びその数年前の事故案件は確実に増加し、その後も大きな変化はない。
・消安法改正前後はドライブユニットに関係する製品事故案件が多く、2012年以降はリチウムイオン電池による発煙・発火が多くなっている。それに伴うリコール告知の件数も多くなっている。
・前述の警察庁及び国民生活センター、消費者庁によるアシスト比率超過の指摘に関連したリコール告知が、2016年に集中して多かった。
・製品事故が年々多くなっていたものの、リコール告知の翌年以降、徐々に減少した案件が多く、リコール告知で一定の効果はあったと思われる。
・電動アシスト自転車の成長期以降、生産台数が年々増加していることから、初回の製品事故からリコール告知までに時間を要した案件ほど、対象台数が多く、膨大な手間とコストがかかるものが増えている。

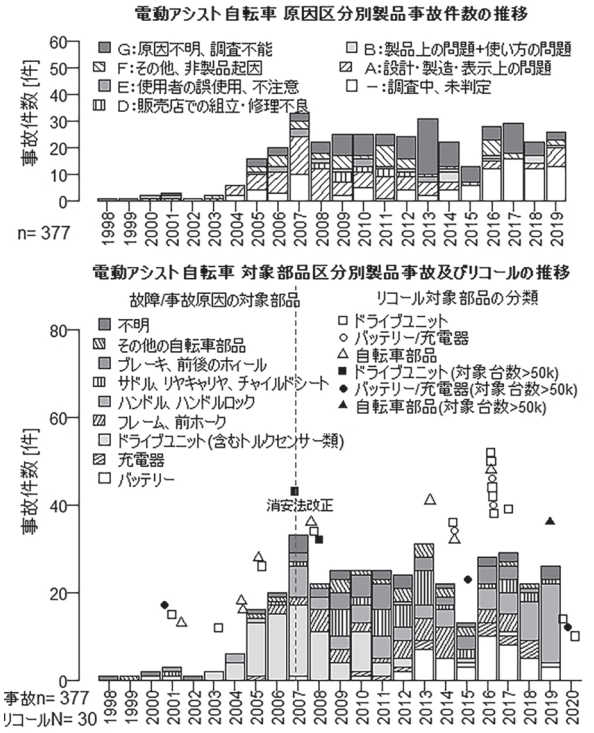


図 8.9　全事故情報の原因区分別件数、部品群別件数及びリコールの推移

表 8.1　対象台数５万台超の回収・リコール案件 [11)]

告知年（初回）	対象部品	対象台数【台】
2001年	バッテリボックスの残量表示用基板	123,740
2007年	モータ制御用コントローラ	221,358
2008年	ドライブユニット内のクランク軸	160,542
2015年	バッテリ（リチウムイオン電池）	60,068
2019年	ハンドルロック	3,431,188（２社分、自転車も含む）
2020年	バッテリ（リチウムイオン電池）	346,291

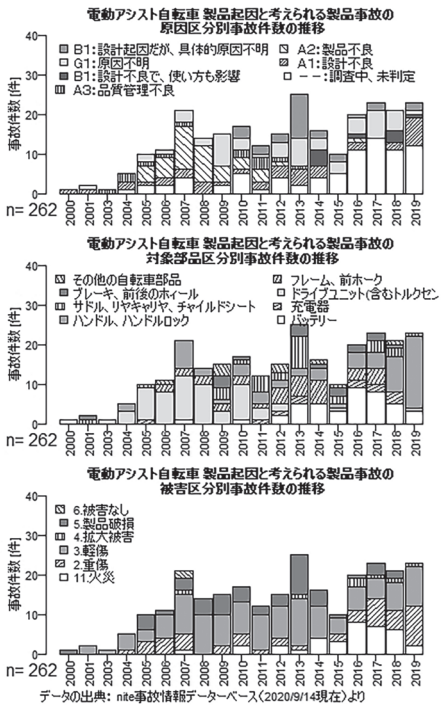


図 8.10　製品起因と考えられる事故情報の原因区分別、部品群別、被害区分別件数の推移

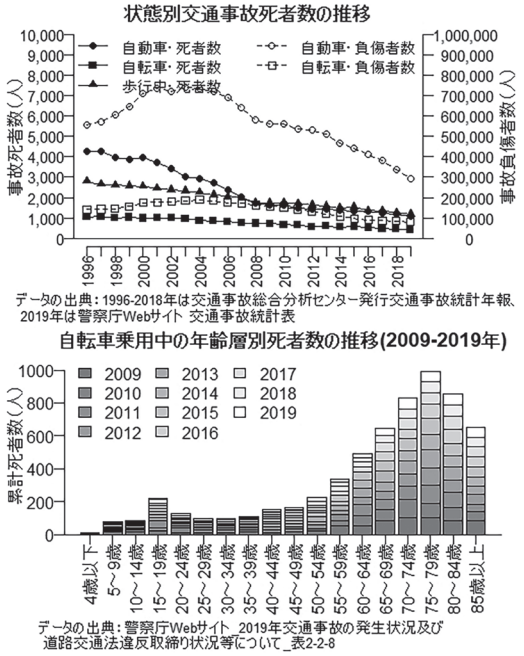


図 8.11　状態別交通事故死者数と負傷者数の推移及び年齢層別自転車事故死者数 [28, 30]

8.3.2　電動アシスト自転車に関する交通事故及び交通安全の活動

1990 年代には 4000 人を超えていた自動車乗車中の事故死者数は、近年 1000 人に迫るところまで減少した。一方、自動車ほどの減少率ではない歩行中及び自転車乗用中の事故死者数、中でも高齢者の死者数が、近年の交通事故対策の重点課題の一つになっている。図 8.11 の上図は、公益財団法人 交通事故総合分析センター発行の交通事故統計年報及び警察庁 Web サイト交通事故統計表からのデータによる自動車乗車中、自転車乗用中及び歩行中の事故死者数並びに負傷者数の推移である。図 8.11 の下図は、2009 年から 2019 年までの自転車乗用中の年齢別累計死者数である。図から分かるように、50 歳から 70 歳代まで年齢と共に死者数が多くなり、65 歳以上の高齢者の死者数が全体の約 7 割を占めている。

警察庁から公表される交通事故統計では、電動アシスト自転車の交通事故は、自転車のそれに含まれており、電動アシスト自転車を自転車から区別した事故統計データは一般には存在しない。しかし、電動アシスト自転車市場の成長期に、出荷台数の増加に伴って、電動アシスト自転車に係る交通事故死者数は徐々に増加していた。この増加傾向及び 2009 年の道路交通法改正などを受けて、交通事故総合分析センターでは、自転車事故と共に、電動アシスト自転車の交通事故に関する調査研究が進められていた。2010 年及び 2012 年の同センター主催の交通事故・調査分析研究発表会で、電動アシスト自転車の交通事故に関する研究発表が行われた。図 8.12 及び図 8.13 は、2012 年の第 15 回交通事故・調査分析研究発表会で主任研究員 堤陽次郎 [34] によって分析されたデータ [26] の中から、特徴的な部分を取り出して、作図したものである。図 8.12 上図は、2001 年から 2011 年までの自転車及び電動アシスト自転車の乗用中の事故死者数の推移である。この時期は、軽快車の国内生産台数が急激に減少した時期であり、期間の後半には、輸入台数と合わせた台数でも減少傾向であった。一方、電動アシスト自転車は成長期で、2001 年から 2011 年にかけて、生産台数が約 2 倍になった時期であった。図 8.12 上図は、市場における両者の台数の違いなどが影響していると思われるが、自転車乗用中の事故死者数は減少し、電動アシスト自転車の死者数は徐々に増加している。

図 8.12 の下図は、同期間の自転車及び電動アシスト自転車乗用中の年齢層別累計死者数である。この図で自転車の年齢層別累計死者数（対数軸であることに要注意）は、図 8.11 下図の年齢層別死者数とほぼ同じ傾向を示している。一方、電動アシスト自転車の累計死者数は、この時期には 10 歳代にはほとんど普及していないことと、及び中年から高齢者層に電動アシスト自転車ユーザが多いことを考慮すると、高齢者の事故死者数の割合に関して、電動アシスト自転車の方がより顕著に表れることを示している。

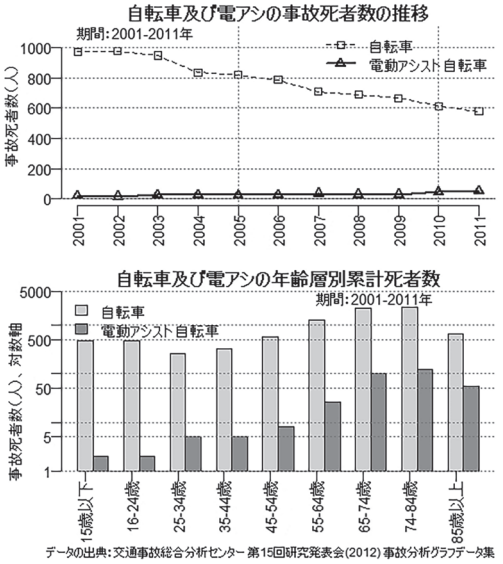


図 8.12　電動アシスト自転車と自転車の事故の死者数比較 [26)]

図 8.13 は、自転車及び電動アシスト自転車の事故類型別死傷者数の構成率（上図）及び法令違反別死傷者数の構成率（下図）である。二つの図は、これらの事故要因に関しては、自転車及び電動アシスト自転車で差がないことを示している。

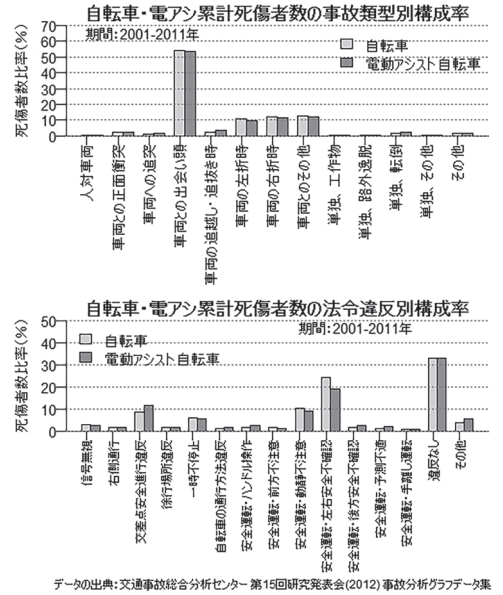


図 8.13　電動アシスト自転車と自転車の事故の比較 [26)]

自転車の事故相手について調べると、自転車事故の課題が見えてくる。図 8.14 は、上から、2002-2011 年の自転車死傷事故の相手別死傷程度別累計事故件数（上図）、2009-2019 年の自転車事故の相手別事故件数の推移（中図）、及びその中から死亡事故の相手別事故件数の推移（下図）である。全て縦軸は、対数軸であることに注意が必要である。図 8.14 から以下のことが分かる。

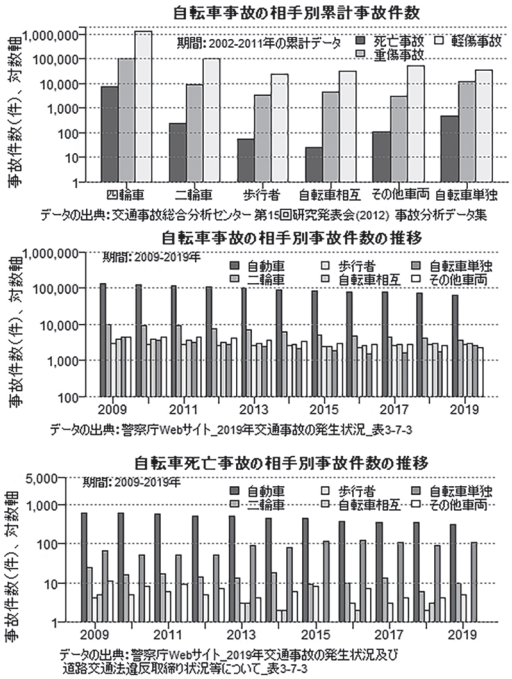


図 8.14　自転車死傷事故の相手別累計事故件数、相手別事故件数、相手別死亡事故件数の推移 [27)]

・過去20年間の自転車乗用中の死傷事故の相手で、圧倒的に多いのは自動車であるが、自動車との衝突で自転車運転者が被害者となる事故は、年と共に減少傾向である。
・自転車乗用中の死亡事故の相手で、自動車の次に多いのは、自転車単独による事故である。自転車単独の転倒・衝突事故による死亡事故件数は、近年徐々に増加している。
・死亡事故の割合は低いのに、重傷事故及び軽傷事故の割合が比較的高く、自転車運転者が加害者になるとして問題視されている事故形態が、歩行者との衝突事故及び自転車相互の衝突事故である。近年、これらの事故の減少が見られない。

自転車運転者が加害者になる交通事故は、交通事故総合分析センター（ITARDA: Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis）のイタルダ・インフォメーション No.112 [31)] でも取り上げられている。同冊子は、『対歩行者事故・自転車相互事故を起こしやすい年齢は、13 歳から 18 歳の自転車利用者』、『対歩行者事故の約 4 割が歩道で起きており、「歩道は歩行者優先の大原則」が守られていない』、『自転車運転者は前方不注意、安全不確認の割合が多い』などと指摘している。

図 8.15 は、2012 年の第 15 回交通事故・調査分析研究発表会で主任研究員 國行浩史 [35)] によって分析された自転車対歩行者の死傷事故の年齢層別事故件数の

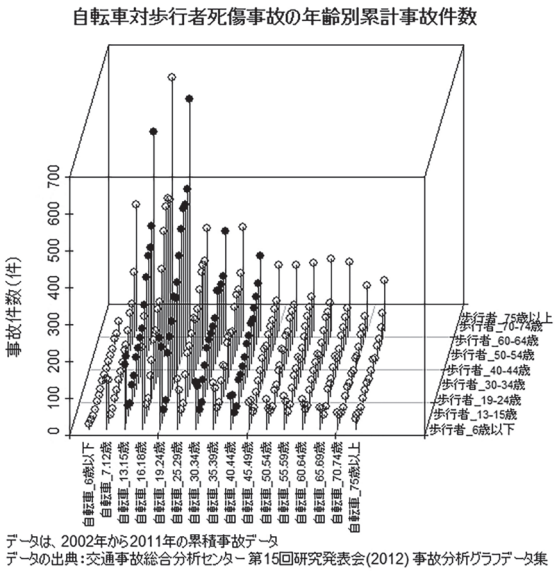


図 8.15　自転車対歩行者死傷事故の年齢別累計事故件数 [27)]

図 8.16　取扱説明書の交通ルールに関する説明例と業界団体のパンフレット [32, 33)]

データ [27)] のうち、「第 1 当事者が自転車・第 2 当事者が歩行者」の事故件数を、男女の区別なく、双方の年齢層毎に示したものである。この年齢層別事故件数は、2002 年から 2011 年の自転車対歩行者の死傷事故 22,444 件のうち約 95% を占める「第 1 当事者が自転車・第 2 当事者が歩行者」の事故件数である。図 8.15 から、13 歳から 24 歳までの自転車運転者が、55 歳以上の歩行者を死傷させた事故が特に多いことが分かる。

電動アシスト自転車の製造・販売を導入期の頃から行ってきた主要企業は、電動アシスト自転車に不慣れな新規ユーザのヒヤリハット事例や交通ルール不順守による事故事例などから、新規ユーザに対する使用方法や交通ルール順守についての取扱説明書での説明には特に力を入れている。図 8.16 左図は、取扱説明書での交通ルールの説明図の一例である。電動アシスト自転車安全普及協議会でも、電動アシスト自転車の使用上の注意喚起や交通ルールの順守に力を入れており、会員企業及び販売店を通して、図 8.16 右図のような使用上の注意及び交通ルールの順守を呼びかけるパンフレットを、ユーザに配布している。

参考・引用文献

1）警察庁交通局：警察庁丙交企発第 114 号「原動機を用いる歩行補助車及び駆動補助機付自転車の型式認定制度の運用等について」、(1995)

2）警察庁交通局：警察庁丙交企発第 134 号「駆動補助機付自転車の型式認定基準の一部改正について」、(2008)

3）警察庁交通局：警察庁丙交企発第 144 号「駆動補助機付自転車の型式認定基準の一部改正について」、(2017)、accessed on 2020-09-21、https://www.npa.go.jp/laws/notification/koutuu.html

4）日本規格協会：JIS D 9115: 2018 、(2018)

5）公益財産法人 日本交通管理技術協会：website「型式認定の概要」、accessed on 2020-09-21、https://www.tmt.or.jp/examination/index.html

6）公益財産法人 日本交通管理技術協会：website「TS マークの概要（赤色 TS マーク）」、accessed on 2020-09-21、https://tsmark.jp/tsmark/

7）警察庁交通局交通企画課：広報資料「道路交通法の基準に適合しない「電動アシスト自転車」と称する製品について」、(2016)、accessed on 2020-09-21、https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/bicycle/pdf/281027motor_assisted_bicycle.pdf

8）独立行政法人国民生活センター：報告書「アシスト比率道交法超過の電動アシスト自転車に注意－公道を走行すると法令違反となるおそれも－」、(2017)、website accessed on 2020-09-21、http://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20170629_2.html

9）一般社団法人 自転車協会：「電動アシスト自転車 安全基準」、2003-03-19 改正版、(2003)

10）一般社団法人 自転車協会：「電動アシスト自転車 安全基準」、2010-03-31 改正版、(2010)

11）一般社団法人 自転車協会：「BAA（自転車協会認証）マーク制度における実施要領」、(2004)

12）日本規格協会：JIS D 9115: 2009 、(2009)

13）経済産業省製品安全課：「電気用品安全法施行規則及び電気用品の技術上の基準を定める省令の改正について」、(2008)

14）経済産業省：website「電気用品安全法の概要 」、accessed on 2020-09-23、https://www.meti.go.jp/policy/consumer/seian/denan/act_

outline.html
15）電池工業会：「リチウム金属電池およびリチウムイオン電池の輸送に関する手引書(第４版)」、(2009)
16）IATA（International Air Transport Association）：2017 Lithium Battery Guidance Document、(2016)
17）国土交通省海事局：「船舶による危険物の運送基準等を定める公示」、(2019)
18）一般社団法人 JBRC：website「JBRC のご案内、概要」、accessed on 2020-09-25、https://www.jbrc.com/whats_jbrc/outline/
19）一般社団法人 JBRC：website「JBRC の Home page」、accessed on 2020-09-25、https://www.jbrc.com/
20）一般社団法人 電池工業会：「小形二次電池のリサイクルについて」、経産省産業構造審議会環境部会 廃棄物・リサイクル小委員会 第 17 回中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済製品中の有用金属の再生利用に関する小委員会 使用済製品中の有用金属の再生利用に関するワーキンググループ 資料、(2011)
21）経済産業省製品安全課：「新しい消費生活用製品安全法について、製品事故情報の報告・公表制度が始まります」、(2006)
22）独立行政法人 製品評価技術基盤機構（nite）：website「事故情報の検索」、accessed on 2020-09-14、https://www.nite.go.jp/jiko/jiko-db/accident/search/?m=jiko&a=page_index
23）消費者庁：website「リコール情報サイト」、accessed on 2020-09-26、https://www.recall.caa.go.jp/index.php
24）一般財団法人 自転車産業振興協会技術研究所：website「製品関連情報、社告・リコール情報」、accessed on 2020-09-26、http://www.jbtc.or.jp/pro_syakoku.cgi
25）消費者庁：website「道交法の基準に適合しない電動アシスト自転車に乗るのはやめましょう！ まずは、お持ちの自転車の型式について確認をしましょう！」、accessed on 2020-09-21、https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/caution/caution_006/
26）公益財団法人 交通事故総合分析センター：「自転車事故データ（15 回発表会関係）電動アシスト自転車」、各種統計データ等、accessed on 2020-11-20、https://www.itarda.or.jp/materials/others/free
27）公益財団法人 交通事故総合分析センター：「自転車事故データ（15 回発表会関係）自転車と歩行者」、各種統計データ等、accessed on 2020-11-20、URL は 26）と同じ
28）公益財団法人 交通事故総合分析センター：「交通事故統計年報」平成 30 年版、平成 25 年版、平成 20 年版、平成 16 年版、accessed on 2020-11-18、https://www.itarda.or.jp/materials/traffic_accident/free
29）警察庁：Website「交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について」、令和元年（2019 年）道路の交通に関する統計、accessed on 2020-11-18、https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&tstat=000001027458&cycle=7&year=20190&month=0&tclass1val=0
30）警察庁：Website「交通死亡事故の発生状況」、令和元年（2019 年）道路の交通に関する統計、accessed on 2020-11-18、https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&tstat=000001027457&cycle=7&year=20190&month=0&tclass1val=0
31）公益財団法人 交通事故総合分析センター：「特集 自転車が加害者となる事故」、イタルダ・インフォメーション ITARDA INFORMATION 交通事故分析レポート No.112、(2015)、accessed on 2020-11-18、https://www.itarda.or.jp/itardainfomation
32）ヤマハ発動機：「PAS 電動アシスト自転車 取扱説明書　PAS CITY-SP5」、(2020)
33）電動アシスト自転車安全普及協議会：パンフレット「電動アシスト自転車 安全で快適なアシストライフを」、(2020)
34）堤陽次郎：「電動アシスト自転車の事故分析」、平成 24 年 ITARDA 第 15 回交通事故・調査分析研究発表会、交通事故総合分析センター、(2013)、accessed on 2020-11-20、平成 24 年　第１５回交通事故・調査分析研究発表会 - 交通事故総合分析センター（itarda.or.jp）
35）國行浩史：「自転車と歩行者の交通事故の実態」、平成 24 年 ITARDA 第 15 回交通事故・調査分析研究発表会、交通事故総合分析センター、(2012)、accessed on 2020-11-20、 平成 24 年 第１５回 交通事故・調査分析研究発表会 - 交通事故総合分析センター（itarda.or.jp）

9 おわりに

9.1 現状の電動アシスト自転車の課題

ここで日本市場における原付一種及び自転車の現状並びに電動アシスト自転車との関係を数値で確認しておく。図 9.1 の上図は、一般社団法人 日本自動車工業会及び一般財団法人 自転車産業振興協会のデータなどを基に作成した原付一種、二輪車全体の国内出荷台数及び電動アシスト自転車の生産台数の推移である。二輪車製造業では、1980 年代から海外生産・海外市場（台湾、東南アジアなど）向け二輪車の開発及び海外工場での製造・販売が盛んになり、その後、海外拠点での二輪車開発・製造・販売に移行していった。それに伴い、日本国内向け原付一種の出荷台数が減少し、一時的に流行した高級バイクの出荷台数も徐々に減少していった。電動アシスト自転車生産台数との比較では、原付一種の出荷台数が 2009 年に、二輪車全体の出荷台数が 2013 年に、それぞれ電動アシスト自転車生産台数を下回り、その後も減少を続けている。

図 9.1 の下図は、自転車産業振興協会のデータを基にした車種別の自転車生産台数の推移である。電動アシスト自転車との比較において重要なのは軽快車である。電動アシスト自転車の導入期に、多くの電動アシスト自転車の用途・スタイルは、当時年間約 400 万台規模で生産されていた軽快車に似せて作られた。軽快車の国内生産は、アジア通貨危機（1997 年）を引き金とした金融不況の時期に、急激にその数が減少し始めた。

1990 年代後半から 2000 年代前半の軽快車国内生産の急減は、1998 年頃から海外輸出に転じた中国製自転車が低価格で大量に日本に輸入され、ホームセンターや大手 GMS（General Merchandise Store）などで販売されたことが大きな理由と言われている。第５章で述べた電動アシスト自転車の過渡期の時期とも重なる。しかし、それは結果であって、兆候はその 10 年前から始まっていた。図 9.2 には、自転車の国内総生産台数に加えて、輸入自転車台数が示されており、それは 1980 年代後半、すなわち軽快車が急成長し始めた時期から、より低価格の軽快車を提供すべく流通系販路でその台数を増やしていったことが分かる。1990 年代の半ばには、国内製造企業も自社の中国工場から又は提携先の中国メーカから車両輸入を始めたことも、図 9.2 の自転車の出荷台数と国内生産台数の差から読み取れる。そして、たまたま発生した 1990 年代後半の不況の中で、より低価格の

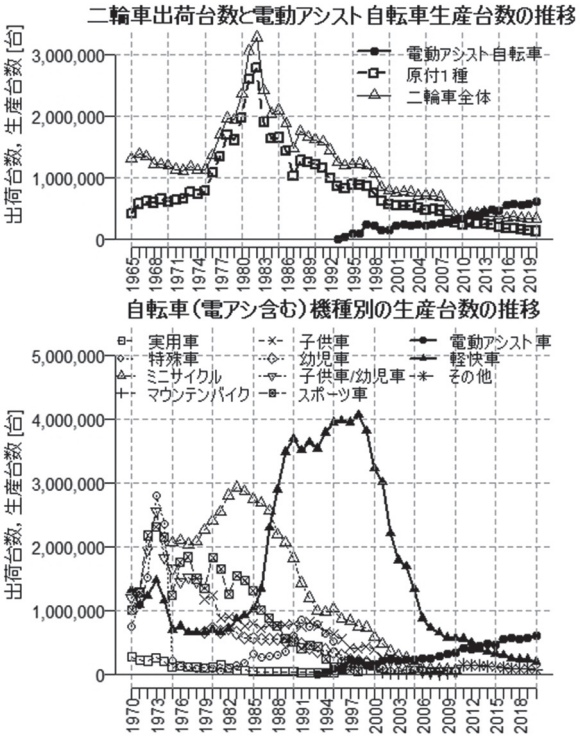


図 9.1　二輪車出荷台数、車種別自転車生産台数の推移[1), 2), 3)]

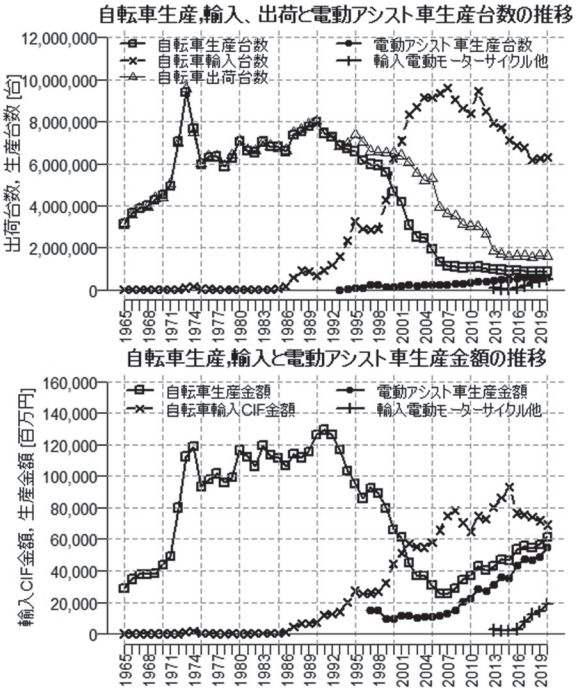


図 9.2　自転車生産、輸入、電動モータサイクル輸入、電動アシスト車生産の台数及び金額の推移[2), 3), 4)]

輸入軽快車が支持をされ、さらに数を増やし、2000年に輸入自転車総台数が国内生産総台数を上回った。価格力・商品力・技術力・その他総合力で対抗できない国内部品メーカや完成車メーカは減産を余儀なくされ、中には廃業に追い込まれるメーカも現れた。それから数年経った2000年代前半から中盤にかけは、低価格化が一段落し、商品力も充実した電動アシスト自転車に国内生産の軸足を移す自転車メーカが目立ち始め、国内の自転車生産台数はますます減少をしていった。結局、図9.1の下図で分かるように、2013年に軽快車の国内生産台数は電動アシスト自転車の国内生産台数を下回る結果になって、現在に至っている。

一般財団法人 自転車産業振興協会のデータを基にした図9.2には、国内生産自転車と輸入自転車の関係の他にも電動アシスト自転車製造業界にとって重要な事柄が含まれている。その一つは、近年自転車国内生産金額のほとんどが電動アシスト自転車の生産金額になってしまったことである。図9.3は、機種別自転車の国内生産金額比率を1999年から5年ごとに2019年まで示したグラフである。1999年に全体の60%超だった軽快車の国内生産総金額が2019年に約10%に減少してしまった。逆に1999年に約10%だった電動アシスト自転車が2019年に約85%を占めるまでになった。

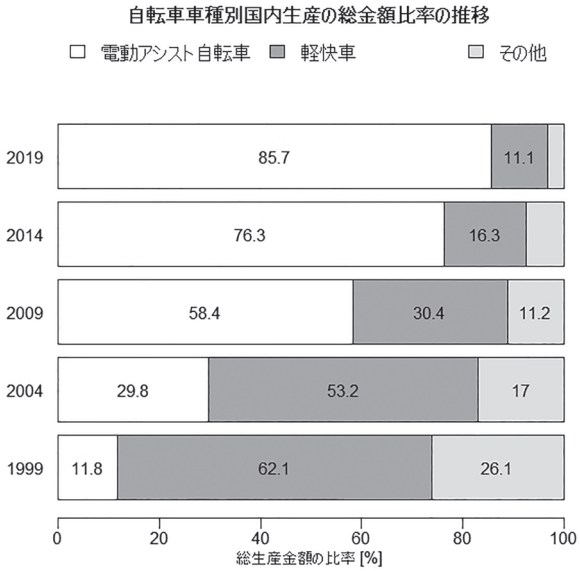


図9.3　自転車の車種別国内生産金額比率の推移[2),3)]

図9.2における重要な事柄の二番目が、近年の電動アシスト自転車の生産単価の上昇である。総生産金額を総生産台数で割った数値は、平均生産単価と見ることができる。電動アシスト自転車及び関係する車種の同様の平均単価を図9.4に示した。図9.4の中の電動アシスト自転車の平均生産単価は、2004年まで下降をしていたが、2005年以降上昇を続け、現在に至っている。自転車産業振興協会の生産・出荷に関するデータは、経済産業省の生産動態統計を基にしている。電動アシスト自転車の生産金額に関する生産動態統計は1997年からしかないので、1996年以前の平均生産単価は不明だが、図9.5の電動アシスト自転車の標準小売価格から類推すると、導入期の平均生産単価は7～8万円くらいだと思われる。近年の平均生産単価は、導入期のそれらと同じか、又は超えるところまで上昇している。図9.4の平均生産単価と図9.5の標準小売価格を比べると、電動アシスト自転車の平均生産単価上昇の理由の一端が分かる。それは、成長期以降、車種の数が増え、特に幼児同乗自転車やスポーティ車、e-bikeなど高額な車種が増えていることが、理由の一つと考えられる。また、第5章で記述したように、コスト優先で言い訳のある電動アシスト自転車より、どうせ買うなら機能が豊富な少し高い電動アシスト自転車、より高容量の電池の付いた電動アシスト自転車が選ばれてきたことも理由の一つとして考えられる。しかしそれは、好景気の時期に、自転車の価格と機能に比べた対象電動アシスト自転車の価格と機能の関係ゆえの消費者心理とも考えられ、同じ状況が今後も続くかどうかは分からない。なお、図9.4の軽快車及び輸入自転車の平均生産単価（輸入自転車は平均CIF単価だが）が、2006年又は2007年から、それぞれ程度が異なるものの、近年まで上昇を続けているのは、軽快車生産台数の減少の程度が緩やかになったこと（図9.1の下図参照）、及び輸入自転車の台数が減少に転じたこと（図9.2の上図参照）による。その理由は、国内生産の軽快車が高価格車だけに絞られたことによるのか、国内生産軽快車も輸入車も全体が高価格化していることによるのか、など考えられるが、詳細はさらに調査する必要がある。

電動アシスト自転車の価格とも関係のあることで、図9.2及び図9.4から分かる三つ目の重要なことが、近年の「輸入の電動モータサイクルその他」の存在である。自転車産業振興協会の輸入に関するデータは財務省貿易統計から抜粋されているが、輸入価格はCIF（Cost, Insurance and Freight）価格である。また、「輸入の電動モータサイクルその他」とは、貿易統計の中の「関税番号：8711.60000 駆動原動機として電動機を有するモータサイクル」のことである。

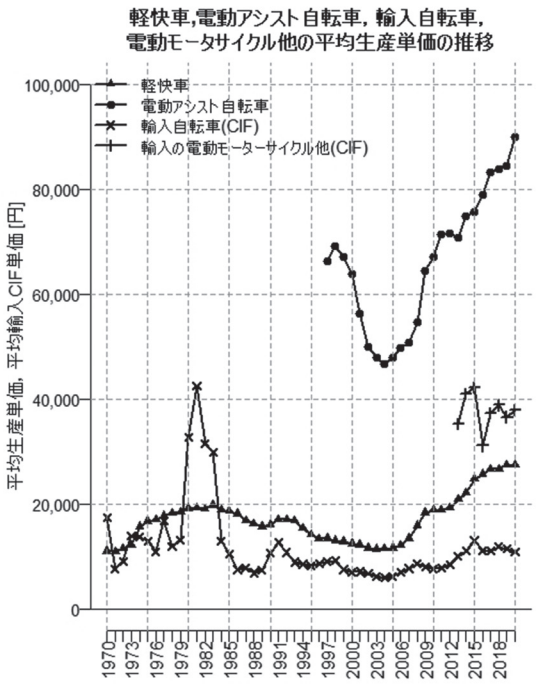


図 9.4　軽快車、電動アシスト自転車の平均生産単価と電動モータサイクル輸入平均 CIF単価の推移[2)，3)，4)]

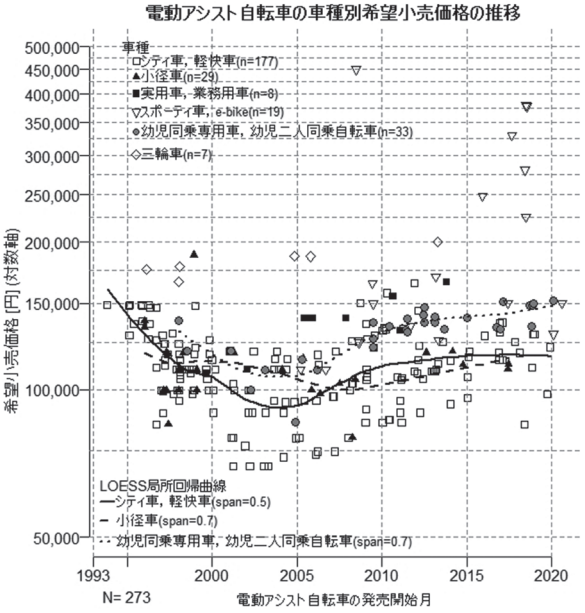


図 9.5　車種別の電動アシスト自転車の標準小売価格の推移[6)，7)，8)，9)]

３か月ごとに発表される自転車産業振興協会のレポートでは、『電動オートバイ、電動アシスト自転車がこの区分の中に含まれる』と記されている。「駆動原動機として電動機を有するモータサイクル」の輸入品としては、小売価格にして、軽自動車並みの本格的電動モータサイクルから、10 万円台後半の原付一種の電動スクータ、20 万円から 40 万円程度の輸入 e-bike、10 万円台前半のシティ系電動アシスト自転車、2 万円から 5 万円台の電動キックスケータ（電動キックボード）など、様々な可能性が考えられる。図 9.4 の平均生産単価では、3 万円から 4 万円の数値が大きくは変わらず、電動アシスト自転車の平均生産単価の約半分というところは、電動アシスト自転車より高額の電動車ではなく、シティ系電動アシスト自転車の可能性をうかがわせる。自転車産業振興協会発行の各年 1 ～ 12 月の「国内自転車生産・輸出入状況」レポートによると、輸入台数が、2016 年 98,476 台から、2017 年以降急増しており、2017 年 196,414 台、2018 年 321,556 台、2019 年 383,595 台となっている。近年の数の多さから、大手電動アシスト自転車製造企業が中国生産に切り替えた電動アシスト自転車が多く含まれている可能性が高い。これは、従来国内生産比率が高かった電動アシスト自転車も、中国依存度が一歩進んだことを意味している。近年の電動アシスト自転車市場での高価格化傾向、電動アシスト自転車の技術開発力の必要性、売れ筋商品の多様性、及び低価格商品としての一般用自転車の存在などから、直ぐに 1990 年代後半の自転車市場の低価格化及びその後の国内生産の衰退と同様のことが、電動アシスト自転車で起きる可能性は極めて低い。しかし、1990 年代前半の自転車産業に近い中国依存度の高まりに関しては、今後注視していく必要がある。いずれにしても、貿易統計の中で、電動アシスト自転車が電動二輪車・電動スクータと同類に分類され、明確に区別されていないのは問題である。本件に関しては、財務省貿易統計における「関税番号：8711.60000 駆動原動機として電動機を有するモータサイクル」の細分化又は電動アシスト自転車の自転車としての分離への要望、及びより多角的方面からの調査が必要である。

国内生産による電動アシスト自転車の日本市場における競争力という視点で考えたとき、将来に懸念があるのは、e-bike 分野の技術力・商品企画力、及び低価格帯のシティ系電動アシスト自転車であろう。e-bike 分野での競争相手は、Bosch などの欧州･US･台湾メーカであり、シマノ以外の日本メーカはスポーツ系欧州 e-bike 市場では後発である。しかし、やり方によっては、日本版 e-bike として独自の技術力・商品力を見出すことができるかもしれない。

低価格帯のシティ系電動アシスト自転車の分野に関しては、将来の中国電動自転車市場で何らかの強力な規制があるか、又は中国メーカが本気で日本向け電動

アシスト自転車の開発を行うかなどにかかっている。日本の製造企業による中国工場での日本向け自転車の開発・製造・輸入などをきっかけに、その後流通系販路での大量輸入･集客力を生かした販売戦略に加えて、長引く不況と日本製品の商品力不足などの条件がそろえば、自転車業界で1990年代後半に起こった価格の低下、低価格電動アシスト自転車の急成長というシナリオが、将来現実のものになるかも知れない。

電動アシスト自転車の売り上げ又は市場の知的財産権による保護という過去の手法は、現在はほとんど効力を発揮しない。図 9.6は、電動アシスト自転車に関するシステムサプライヤ及び製造企業6社の出願年ごとの登録済み特許件数を示したものである。方法は、独立行政法人 工業所有権情報・研修館のJ-PlatPat システムで、1990年1月1日から2020年3月31日までの出願特許について、以下の検索式で検索した図中6社の特許1042件のうち、特許登録された特許519件について、企業及び特許出願年ごとに件数を計算した。

検索式：[B62M23/02(@H+@J+@K+@L+@N+@P)/FI]*[' 企業名 '/AP]+[(B60L+B60R+G01L+H02J+H01M+E05B) /FI]*[' 自転車 '/CL]*[' 企業名 '/AP]

図 9.6を見ると、1993年以降2001年までの間に、ヤマハ・ホンダ・三洋・パナソニックの4社から盛んに特許出願されたことが分かる。現在では、これらの特許は全て権利期限切れになっている。2003年以降出願・登録された特許件数は各社とも少なく、特許網による権利保護には程遠い。新規参入企業で特許調査･分析を行う技術者にとっては良い公知例の山になっている。

海外からの電動アシスト自転車市場への新規参入企業にとって唯一の障壁になっているのは、道路交通法による基準及び製品安全対策に係るリコール制度であろう。その具体例が、第8章で述べた警察庁・国民生活センターによる商品テストを経て、道交法基準違反を指摘され、一部の輸入業者がリコール告知を実施した事例であった。しかし、この場合の商品テストやリコールは、義務化・制度化されたものではない。製品安全対策の消費生活用製品安全法では事故報告制度及び体制整備命令が制度化されているが、重大事故を数件認知した時点で輸入代理店が倒産した（倒産させた）場合の措置はどうなるのだろうか。

製品事故発生に伴う事故分析・リコールなどに関しては、国内主要企業の方が悪戦苦闘しているのが現状

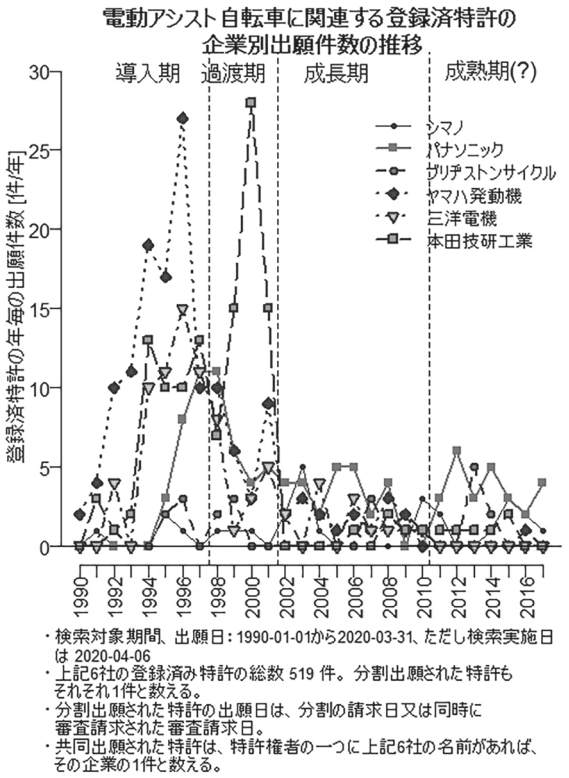


図 9.6　電動アシスト自転車に関連する登録済特許の企業別出願件数の推移[5)]

である。電動アシスト自転車の生産台数が増えた成長期半ば以降、重大事故の分析及びリコール措置に莫大な手間とコストがかかる傾向が増大している。第8章の表 8.1に示したような案件は、製品発売開始から重大事故発生が遅れれば遅れるほど（例えば、劣化・摩耗型の故障モードによる製品事故の場合）、また重大事故の認知から事故分析及びリコール実施判断が遅れるほど対象台数は多くなる可能性がある。また、リコール告知から回収率が上がらなければ、リコール告知後も重大事故が発生し、更なる告知や回収の徹底を長く求められることになる。事故分析が完了し、対象台数が想像以上に多くなった場合、経営者・管理者の脳裏には、リコール実施前の販売計画・利益計画と共に、リコールを実施した場合の販売台数の激減・市場での信頼失墜・経営損失などが去来する。そして、リコール措置を延期又は取り止めにしたとすると、数か月後･数年後に同じことが更に規模を増して降りかかることにもなりかねない。これは企業としてのリスク管理の領域である。また、重大事故が多発しているにもかかわらず、回収等の措置が長引くと、企業としての社会的責任を追及される可能性もある。

事故分析を技術的視点で見ると、表 8.1の中では、リチウムイオン電池の発煙・発火の案件が最も難しいと想像される。それは、事故現場・事故物件の観察、

分析などで、ある程度原因の推定ができたとしても、原因メカニズム周辺の知識と試験経験がないところから、確認試験を始めたとすると、原因の特定及び対策品の効果や副作用などを検証するのに、多くの試験が必要である。さらに、現在のように高容量（例えば、7直列で約15Ah、10直列で約13Ah）・高サイクル寿命（例えば、800サイクル）の組電池が原因の対象である場合、寿命劣化後の事故仕様品及び対策仕様品での特定・検証に半年・1年などの長期間を要することもある。内容によっては、単品又は単セルでの試験若しくは組電池試験の途中段階で、ある程度の判断は可能かもしれないが、それは事前に十分な知識とデータがあっての話であろう。ここで原因分析又は新たな要因発見の判断を誤れば、リコール・回収作業が二度手間になるリスクもある。

駆動補助装置やその周辺の電子部品等に関しては、電池のように長期間の試験が必要になることは少ないが、また部品全体が焼損してしまうことがなければ、故障品からの原因特定は比較的容易なことが多いが、原因分析と対策品の検証作業には多くの手間を要する。駆動補助装置に関しては、要所要所のセンシング及び問題発生時のロギングデータ保存機能があれば、想定されるユーザの誤使用も含めた事故原因の特定も容易な場合が多い。また、自己診断機能の種類と数が多く、質が良ければ、想定される事故の発生を未然に防ぐことも可能であろう。

ここで述べた事故分析に関する事柄は、重大事故発生時だけの特別なことではなく、電池及び駆動補助装置の通常の開発品質・開発力に関することである。先に述べたリコール実施判断や回収作業の迅速化も特別なことではなく、リコール実施という非常事態への備えは、日常の当たり前のリスク管理、販路･顧客管理、サービス業務体制に組み込まれたものであるべきである。そうでなければ､非常時における判断の誤り･ユーザへの情報提供不足・回収作業の遅れ・多大なリコール費用の出費などに繋がりかねない。

第8章で記述した独立行政法人 製品評価技術基盤機構（nite）の事故情報データベース[12]による事故分析の全事故件数377件のうち、調査員により製品起因でないと推定されたものは78件（20.6%）あった。また、使用者の誤使用や不注意に関するものが31件（8.3%）であった（図 8.8参照）。このことは、電動アシスト自転車製造企業が完璧な製造品質・事故対応を実現できたとしても、製品事故は無くならないことを示している。上記事故原因の中で、製造企業の設計者が次に考慮すべき点は、使用者の誤使用や不注意による事故であろう。2000年代後半の製品事故の多発及び製品事故防止の徹底以降、常識となった設計思想では、「予見可能な誤使用」については「製品側で安全を確保する」､「非常識な誤使用」に対しては「誤使用による危険性を消費者に知らせる」「消費者教育を徹底する」とされている。さらに、「非常識な誤使用」と「予見可能な誤使用」との境界は、「消費者の属性、環境、使用状況などにより変動する」とされているからである。先の31件の中には、高齢者や幼稚園児と思われるユーザも多い。時代が変われば、製品の安全性に対する社会の考え方も変わる。予見可能な誤使用の範囲は狭まることはなく、むしろ時代と共に広くなると考えるべきである。

9.2 電動アシスト自転車の今後に向けて

電動アシスト自転車業界は、1993年以降、過渡期を除いて､ほぼ右肩上がりの成長と発展を続けてきた。近年は、通学用・通勤用電動アシスト自転車の増加、日本版e-bikeによる技術的進化とスポーツ系用途への広がりなど、新しい話題もある。ただし、これらのテーマは、社会におけるユーザのニーズに合致した商品として企画・開発・生産・販売がうまく噛み合ったときに市場の拡大に繋がるのであって、他を真似て、ただ作れば売れるという時代ではない。一方で、数は多くない又は表面化していないものの、今後の成長と発展に関して、下記のような懸念がないわけではない

- 道路交通法の基準を満たさない輸入電動自転車及び輸入e-bikeの路上走行。
- 欧州で問題視され始めたe-bikeの部品交換、通信分析ツールを使ったモータ制御数値の不正改造。
- 保有台数の増加と共に多くなる傾向の交通ルールを守れないユーザ及び交通事故の増加。

電動アシスト自転車は、初代PASのときから常に、新しい技術の導入が製品の課題を解決し、新たな付加価値を生み出してきた商品だった。高品質・低コストのための製造技術及び販売拡大のためのマーケティング・販売戦略なども重要な要素であるが、今後も市場のニーズに合致した製品技術の進化が最もカギを握る商品である。一般用自転車とは異なり、電池を持ち、ヒューマン･マシン･インターフェイスとしてのスイッチ・液晶メータ、及び充電器を持つ電動アシスト自転車である。スマートフォンと繋がる液晶メータ、家庭

用LANやレンタサイクルなどのシステムと繋がる充電器、乗員の運転状態を検出する各種センサ、そして走行中に全てを管理・制御するドライブユニット内コントローラ、可燃性の低い安全な電池など、将来の開発テーマは多い。システムが他の端末又はネットワークと繋がるようになると、不正改造やセキュリティのリスクも新たに発生する。今日のような不況下においても、将来に備えた技術開発は着実に継続して、商品化に繋げていく努力が必要である。しかし、市場の状況やユーザニーズを見誤り、又は製品安全が十分に及ばず、商品開発や販売だけが先行した過去の失敗を忘れてはならない。将来の備えのためには、しっかりと足元の開発・製造技術を固めたうえで、売れて儲かる必要がある。

乗り物としての安全性に関して、道路交通法基準を満たさない電動自転車は論外として、不正改造の可能性は製品を作る側の技術でしっかりと予防策を講じなければならない。乗り物としての安全性に関して最後に残るテーマが、交通違反の予防と交通事故を防ぐための技術であろう。現在、無灯火予防のための自動点灯・バッテリ式前照灯、頭部受傷軽減のための自転車用ヘルメットなどは実用化されているが、相手のある交通環境下で、事故原因のほとんどがヒューマンエラーであり、被害者が電動アシスト自転車の乗員又は歩行者であること（8.3.2 項 参照）を考慮すると、現時点では自転車側での完全な被害軽減も事故予防も難しい。当面は、自動車側の運転支援技術、自動運転技術及び自転車専用道路などの整備並びに自転車ユーザへの交通規則順守の啓発活動などに期待するしかないかも知れない。しかし、電動アシスト自転車の保有台数が多くなり、利用者の交通事故が多くなれば、一般用自転車以上に電動アシスト自転車の交通事故は問題視される傾向にある。電動アシスト自転車の開発技術者は、将来の技術課題として、「自転車側で何ができるか」を考え、常に情報収集と技術的検討を続ける必要があると考える。

謝辞

本報告書を作成するに当たり、色々な方に貴重なお話をお伺いすることができました。特に以下の団体、企業、個人の方々に資料や写真などの提供を頂きました。この場を借りて厚くお礼を申し上げます。

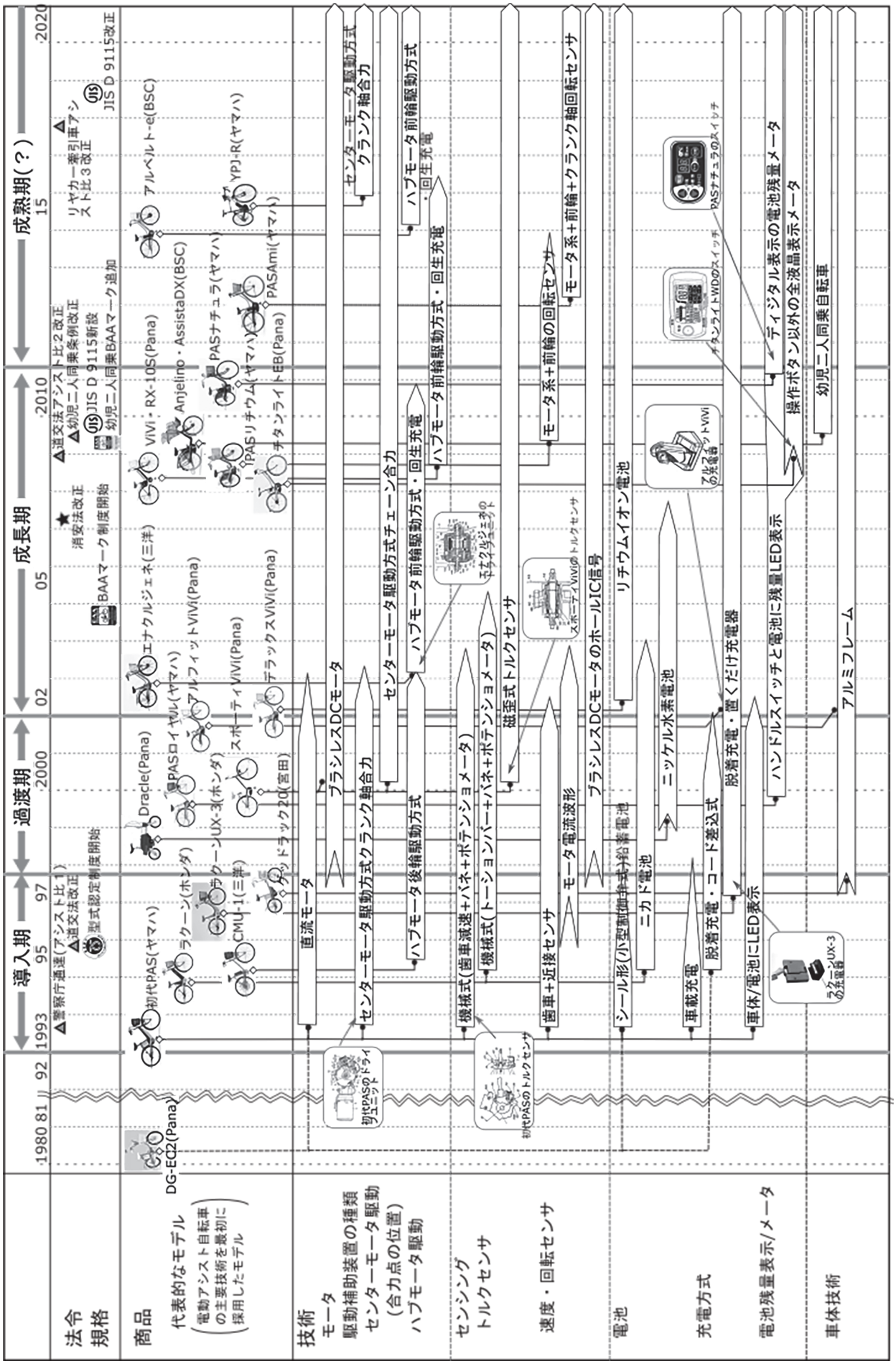
一般財団法人 自転車産業振興協会
山田玄一 氏
一般財団法人 日本自転車普及協会
谷田貝一男 氏
パナソニックサイクルテック株式会社
福岡裕二 氏
ブリヂストンサイクル株式会社
佐谷剛 氏
ボッシュ株式会社
高橋大輔 氏、豊田佑一 氏
ヤマハ発動機株式会社
村田和弘 氏
個人
菅野信之 氏（ヤマハ発動機 OB）、轟寛 氏（ブリヂストンサイクル OB）

参考・引用文献

1）一般社団法人 日本自動車工業会：website「自動車工業会データファイル データベース、出荷統計」、(2020)、accessed in 2020-05-15、http://jamaserv.jama.or.jp/newdb/index.html （ただし現在 download できるのは 1993 年以降のデータに限られる）
2）一般財団法人自転車産業振興協会：報告書「国内自転車生産・輸出入の長期的推移」、デジタルアーカイブ その他報告書、(2019)、accessed in 2020-05-21、http://www.jbpi.or.jp/archive_list.cgi?cid=07
3）一般財団法人 自転車産業振興協会技術研究所：レポート「国内四半期自転車生産・輸出入状況（2020 年 1 ～ 3 月）」、(2020))、accessed in 2020-09-30、http://www.jbpi.or.jp/report.cgi
4）一般財団法人 自転車産業振興協会技術研究所：レポート「国内四半期自転車生産・輸出入状況」（平成 25 年 1 ～ 12 月）から（平成 30 年 1 ～ 12 月）までのレポート、accessed in 2020-09-30、http://www.jbpi.or.jp/report.cgi
5）独立行政法人工業所有権情報・研修館：website「特許情報プラットフォーム J-PlatPat」、accessed on 2020-04-10、https://www.j-platpat.inpit.go.jp/
6）ヤマハ発動機：「ニュースリリース」、 accessed on 2019-09-01/ 2020-08-24、https://global.yamaha-motor.com/jp/news/
7）ヤマハ発動機：製品カタログ「世界初・パワーアシストサイクル PAS」、(1993)
8）ヤマハ発動機：製品カタログ「世界新商品 ヤマハ PAS 新タイプ登場」、(1995)
9）ヤマハ発動機：製品カタログ「電動ハイブ

リッド自転車 ニュー・パス YAMAHA NEW PAS」、(1997)
10) パナソニックサイクルテック：電動アシスト自転車 / 自転車　ニュースリリース、accessed on 2019-09-01/ 2020-08-24、https://cycle.panasonic.com/release/
11) 消費者庁：website「リコール情報サイト」、accessed on 2020-09-26、https://www.recall.caa.go.jp/index.php
12) 独立行政法人 製品評価技術基盤機構（nite）：website「事故情報の検索」、accessed on 2020-09-14、https://www.nite.go.jp/jiko/jiko-db/accident/search/?m=jiko&a=page_index
13) 消費者庁：website「事故情報データバンクシステム」、accessed on 2020-10-04、http://www.jikojoho.go.jp/ai_national/

電動アシスト自転車の技術系統図



電動アシスト自転車技術　産業技術史資料　所在確認

No	名称・型式	製作年	製造社	所在地	選定理由
1	Electric Cycle （DG-EC2）	1980	パナソニックサイクルテック（株）	パナソニックサイクルテック本社、 住所：大阪府柏原市片山町13-13 展示状態：展示中（2020-11-26現在） 	電動自転車Electric Cycle DG-EC2は、松下電器産業の創立60周年を記念して、創業者 松下幸之助の命をきっかけに作られた世界初の電動自転車である。1980年5月から東京、名古屋。大阪で限定発売された。道交法上は自転車ではなく、原付１種であるが、1990年代後半から中国で増え始めた電動自転車と類似の機能を有しており、製品化された電動自転車の原型ともいうべき車両である。
2	PAS （PA26）	1993	ヤマハ発動機（株）	ヤマハ発動機、コミュニケーションプラザ 住所：静岡県磐田市新貝2500 展示状態：展示中（2021-02-01現在） 科学技術館、2F 自転車広場、 住所：東京都千代田区北の丸公園2番1号 展示状態：展示中（2020-10-30現在） 	初代PAS（PA26）は、自転車として認可され、世界で初めて商品化された日本発の電動の自転車である。1993年11月に神奈川、静岡、兵庫の３県で限定販売、1994年4月に全国販売が開始された。 PAS（PA26）発売から数年後、次々と新規参入企業が現れ、自転車市場の中に、電動アシスト自転車という全く新しいカテゴリの市場が誕生した。また、電池、センサ、モータなどを使って人の力をアシストするという技術概念（特に、モータ制御技術の分野）のきっかけともなった。 ヤマハ発動機コミュニケーションプラザには、1993年10月に生産された生産初号機及び1994年に生産されたPAS type Eが展示されている （2021-02-01現在）。 また、1994年にヤマハ発動機から一般財団法人 日本自転車普及協会・自転車文化センターに寄贈された1993年生産初期の車両が、現在は科学技術館に展示されている。
3	ニュー・パス （PX24）	1997	ヤマハ発動機（株）	ヤマハ発動機、コミュニケーションプラザ 住所：静岡県磐田市新貝2500 状態：保存中	ニュー・パス（PX26）は、それまで13万円後半～15万円弱だった電動アシスト自転車を10万円未満にするために開発・生産され、1997年1月から販売された。電動アシスト自転車導入期に最も売れた車両である。

「電動アシスト自転車の技術系統化調査」

報告書冊子との相違点（正誤表）

ページ	段落	行	第30集 冊子版 2021年3月	全文PDF版 2021年8月 （正）
104		Abstract 下から23	transition period	transition stage
104		Abstract 下から22	transition period	transition stage
104		Abstract 下から20	transition period	transition stage
104		Abstract 下から18	this period	this stage
104		Abstract 下から16	growth period	growth stage
104		Abstract 下から14	older people	elderly people
105	左	下から8	(現：SPV事業部で	(現：SPV事業部）で
111	左	2.2.3タイトル	2.2.3 駆動補助装置の構成及び主要な機能	2.2.3 駆動補助装置の構造上の分類
132	左	20	4月にプロジェクト	4月に新たなプロジェクト
144	右	下から19	図5.1	図5.2
157	左	17	駆動方式はハブモータ後輪駆動方式	駆動方式は単速のハブモータ後輪駆動方式
161	右	4	16;9kg	16.9kg
164	左	4	2009年12月	2008年12月
186	右	3～6	先駆けが、図 6.47 に示す2002 年3 月に発売されたナショナル自転車工業のアルフィットViVi（BE-EHS63）のニッケル水素電池バッテリボックスである。	先駆けは、ナショナル自転車工業のアルフィットViViのニッケル水素電池だが、構造的には図 6.47 の2000 年発売のエレガントViVi（BE-EDWU）が、その基になった。
186	右	図6.47タイトル	図6.47　BE-EHSのバッテリボックス	図6.47　BE-EDWUのバッテリボックス
203	左	下から16	輸入が急増	輸入自転車が急増
203	右	下から19	250W以下	240W以下