

## 電動ハイブリッド自転車「PAS」の開発

Development of Electric Hybrid Bicycle PAS

勝岡 達三\*

Tatsuzo Katsuoka

小山 裕之\*

Hiroyuki Koyama

中道 忍\*

Shinobu Nakamichi

生熊 克己\*

Katsumi Ikuma

## 要旨

交通機関の開発については、近年、省エネルギー、低公害等の環境保護問題が重要な課題になってきており、各方面で種々の研究が展開されている。

一方、通勤・通学の原点とも言える自転車は、動力源が人間であるから、省エネルギー、低公害ではあるものの、弱点として、坂道、荷物積載、向かい風等での走行が体力的に大きな負担となり、有効利用できる幅が狭い。

我々は種々の検討の結果、自転車の持つ基本的な弱点を効果的に補う手段を検討し、人間のエネルギーと電気動力エネルギーを複合化した力で駆動する新しいタイプの通勤・通学用自転車を開発した。その結果、我々はこの車輛が様々な課題の改善に寄与できると同時に、将来のパーソナル通勤・通学用自転車への一つの道を指し示すことになるであろうと信じている。

本報では、この『電動ハイブリッド自転車』の技術的検討過程と特徴について紹介するものである。

## Abstract

Recently, energy conservation, pollution reduction and other environmental issues have become the primary areas of research for the transportation industry.

At present, many research projects are underway.

The advantages of the bicycle are energy conservation and negligible pollution.

However, for the cyclist there are a variety of problems such as slope climbing, carrying a heavy load, and riding against the wind.

After many years of research we have developed a vehicle which overcomes many of the disadvantages of the bicycle.

This new product combines human and electric power.

We are confident that this new vehicle will be environmentally friendly and will pave the way for future developments in the personal commuter industry.

The purpose of this report is to present our research findings and familiarize the reader with the characteristics of the "Electro Hybrid Bicycle."

## 1 はじめに

近年、モータリゼーションの進展が、経済活動の活性化や輸送・移動手段の拡大・多様化など人々の利便性向上に大変大きな恩恵をもたらしている。しかし、一方で排ガスに起因する地球環境問題をはじめ、交通事故の増大や交通渋滞などの問題、さらに駐車場問題など社会的に影響の大きなさまざまな問題が発生し、自動車のより効果的な

利用方法が求められ、社会的課題のひとつになっている。

一方、通勤・通学圏の拡大、公共交通機関の補完や郊外の丘陵地帯への宅地開発、さらには小口物流の多様化、高齢者層の社会活動の活性化などによりパーソナル通勤・通学用自転車のニーズは、今後ますます拡大していくものと予想される。

このような状況下、約7000万台という普及台数が示す通り、今日の日本におけるパーソナル通勤・通学用自転車の原点とも言える存在になっているのは自転車である。

しかし、自転車は登り坂、荷物積載、向かい風

\* モーターサイクル事業本部 PAS 開発部



等での走行が体力的に大きな負担となる基本的な弱点を有しており、前述のニーズの拡大に対し有効利用の大きな阻害要因と考えられている。

そこで、我々は人間感覚を損わず、自転車がつつ低公害、省エネルギー、省スペースといった絶対的メリットをそのままに活かしながら、人間がペダルを踏み込む力と、その力に応じた電動モーターからの補助動力とを融合して後輪を駆動する

新技術の「P.A.S.」によって、こうした基本的な弱点を効果的に補ったパーソナルコンピューターを提案し、自動車や二輪車そして自転車の効果的な使い分け利用を促進することによって、さまざまな社会問題の改善に少なからず寄与しようと世界で初めて『電動ハイブリッド自転車』を開発し、市場に導入した。(写真1)



写真1

## 2 プリスタディ 1

車輛用動力源として種々の形態のものが、それぞれの特徴を活かして使われている。その中で、電気動力について内燃機関と比べると、普遍的な使用には未だ以下のような難しい課題を含んでいるのが現実である。

- ☐ 体積効率の向上と軽量化  
(バッテリーの大きさと重量に起因する)
- ☐ 航続距離の範囲拡大  
(充電設備のインフラ不足)
- ☐ 廉価化 等々がある。

最近、異種機関の長所を組み合わせて、幾多のハイブリッド車が開発され、その多くが電気動力とのハイブリッド車が多いのも、前述の課題を補おうとする考え方である。

そこで我々は、電気動力車輛の抱える問題点に取り組むにあたり、以下の点を要件として挙げた。

1. 駆動エネルギーの小さい軽量車輛を選ぶ。
2. 1回あたりの走行距離が比較的少ない車輛を選ぶ。
3. 電気エネルギーを節約するため、駆動エネルギーの半分以上を人間が負担する。
4. マイクロコンピュータによる小刻みな制御



で、電気エネルギーの節約を図る。

- 5. バッテリーが上がっても、立往生しなくてすむ車輛とする。
- 6. 充電インフラの整備がなくても、家庭用電源で安全に充電できるシステムを用意する。
- 7. 販売店でサービスが可能な仕様とする。

以上の要件を検討した結果、我々は自転車的な車輛にまとめることとし、自転車としての特性と人間特性を追求し、最新のメカトロニクスを駆使することによって、自転車の弱点を補う技術的手段を具体化することとした。

これまでも電気自転車と呼ばれる車輛は、特にヨーロッパを中心に数多くみられるが、いずれもスイッチのON-OFFやコントロールレバー等でモーター動力を発生させるタイプであり、ペダルはあるものの主動力はモーターである。

ここで我々は、これら電気自転車と一見似ているがより人間感覚と一体化した、全く異なる車輛を創り出すことを意図して開発に着手し、これを『電動ハイブリッド自転車』と呼ぶこととした。

3 プリスタディ 2

我々は運転者にとって、自転車に極めて近い特性の車輛とするために、自転車と人との関わりを調査することとした。

自転車は人間と関わって初めて活力を得て、機能を発揮する。従って、人間工学的アプローチは人間自身の問題としてはねかえってくるものと考えられ、人の基本の形、本性等をよく理解するところからトライした。人の本性の点からみれば、次のようなことが挙げられる。

- 乗車状態で身体力学的に安定していること。
- 適度な筋肉の使い方であること。
- エネルギー消費が少なく、疲労が少ないこと。
- 運転を覚えたら、容易に忘れないこと。

以上のことを考慮し、人間工学的アプローチとして次の様な点を検討した。

3.1 基本形状

自転車の200年の歴史のなかで熟成されてきた現在の一般的自転車の形状を、デザインのベースに置いた。

3.2 人間の出力

自転車走行では、荷物、勾配、風、路面状態、車速などによって、人間にかかる力の負担が変わる。人間はその外部負荷に見合った力を出さなければ走ることができない。

そこで外部負荷とマッチする様、手、足等が効果的に作用して幅広い負荷状態に対応し、人間本来の要求を満足させ得る機能を創出しようと考えた。

3.3 トルク変動

自転車の車輛を対象として開発する時、人間の踏力発生の特徴を知らねばならない。即ち人間の踏力発生がエンジンの場合と大きく異なるのは、回転数と回転タイミングによるトルク変動の違いである。図1で見る様な、大きなトルク変動が発生することを認識してかからねばならない。

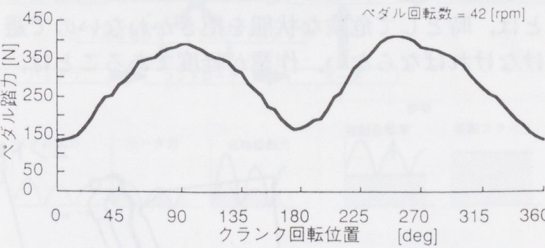


図1 クランク回転位置とペダル踏力

また、踏力エネルギーの効率の良さを求めるときに図2のように、程よい回転数が存在することが分かるがこれも考慮すべき重要な要素である。

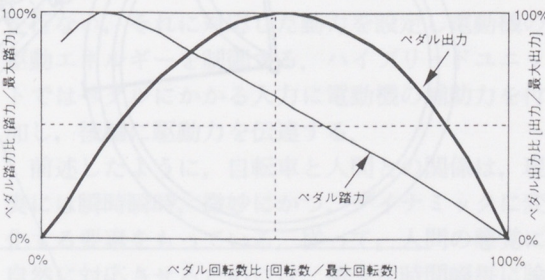


図2 ペダル回転数比に対するペダル踏力特性とペダル出力特性



運転する人にとって、ペダルを踏むときの感覚が従来の自転車と変わらないことは、極めて重要なことである。

### 3.4 人間と車輛間の情報の流れの問題

自転車から人間へ与えられる情報としては、速度、ペダル踏力の大きさ等があるが、これらは目、耳、手、足等の器官を通して得られ、神経系を経て脳へ送られる。

脳ではその情報の処理が行なわれ、逆に命令が神経系を通して各器官に伝えられて操作におき変えられる。

開発する車輛では、この情報の流れをうまく活かし、制御が秩序よくなされ、3.3で述べた点と併せて自らの感覚で自然にリズムカルに走行できる機能を創り出すことを計画した。

### 3.5 人間の疲労の問題

人間の動力はエンジンと異なり、わずかな運動であっても序々に疲労を蓄積させる。

疲労は意志力、判断力、記憶力、集中力などを低下させるように、肉体的低下のみに留まらない。一般交通の中で、疲労している状態で運転することは、時として危険な状態を招きかねないので避けなければならない。作業が軽度であることは、

疲労にいたるまでの時間も長く、またその現れ度合いも少ないことから、安定した運転を少しでも長く期待するには、運転の負荷を低く押えることは極めて効果的である。

そこで、3.2で述べた要件とも併せて人間負荷の軽減のさせ方について詳細な検討を行なった。

## 4 車輛の構想と概要

プリスタディを進めた結果、試作車のあらまが見えてきた。

ペダルの速さや、ペダルに加わる力の状況に合わせ、常時、電気動力を加減しながら人間の力に付加するのにマイクロコンピュータを使用した。

同時に、この『電動ハイブリッド自転車』に乗ることに特別な習熟を必要としないよう、自転車の基本的形は踏襲した。

これらの新しい構想のために組み込む機能の基本構想として、以下の事項を前提とした。

1. 構造及び性能は、電力による駆動補助機能のための装置類を除き、法律で定められた自転車と同じ基準を満たすこと。
2. 駆動補助機能の装置類については、次の各

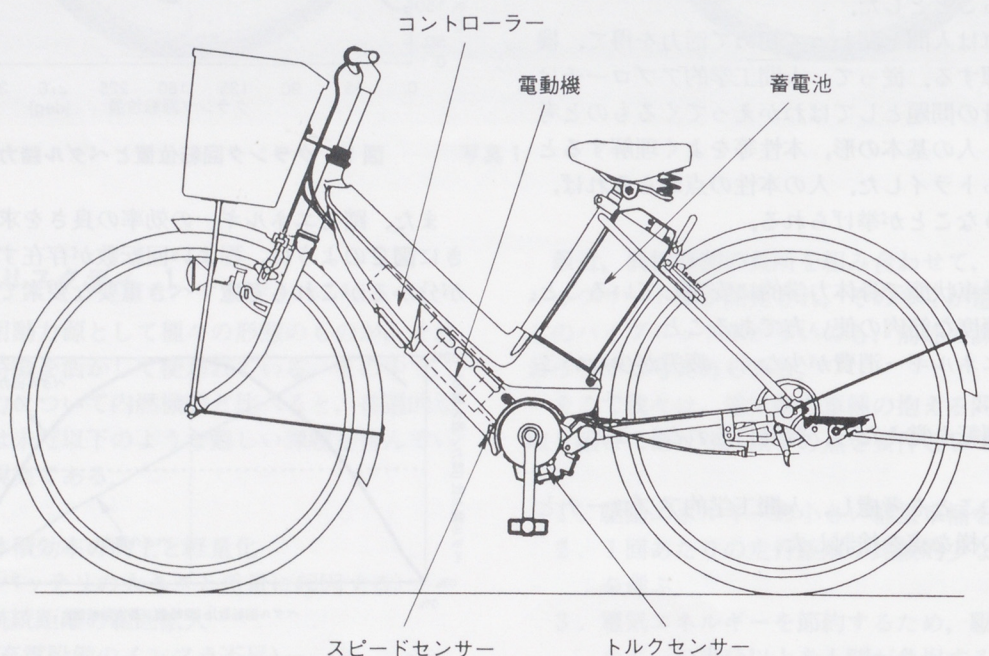


図3 車輛構造図



項目に合致すること。

- 電動機は定格出力が300W以下。
- 人力が有るときにのみ駆動補助機能が働く。
- 人力による駆動エネルギーを正確に検出する装置を設け、瞬時毎に所定の計算による駆動補助エネルギーを発生させる。
- 走行速度を検出する装置を設け、人力による駆動エネルギーに対する駆動補助エネルギーの比率を、ある速度から逡減させはじめ24km/hでゼロとする。
- 上記システムに対しチューンアップなどの改造が容易にできないこと。

これらの考えを基本におき、開発に着手した。  
図3に車輛構造図、表1に仕様諸元表を示す。

表1 仕様諸元表

寸法	全長	1840mm
	全幅	580mm
	サドル高	800～925mm
	軸間距離	1110mm
	タイヤサイズ	650×35 A
車両重量		31kg
性能	補助速度範囲	0km/h以上～15km/h未満
	逡減補助	15km/h以上～24km/h未満
	一充電航続距離	20km(ヤマハパターン)
原動機	形式	直流ブラシ式
	定格出力	235W
補助力制御方式		踏力比例制御式
蓄電池	形式	密閉型鉛蓄電池
	容量(5時間率)	24V, 7Ah
充電器	形式	スイッチング・レギュレーター式
	充電時間	10時間(最長)
変速機方式		内装3段式
駆動方式		チェーン式
照明装置		ダイナモ式前照灯

図4に自転車、電動自転車、『電動ハイブリッド自転車』のメカニズムの違いを示す。

これより『電動ハイブリッド自転車』が自転車運転操作と同様のペダリング操作で、人間にとっては無意識のうちに信号入力操作がなされ、しかも人間が発生すべき動力は大巾に小さくてすむことが分かる。

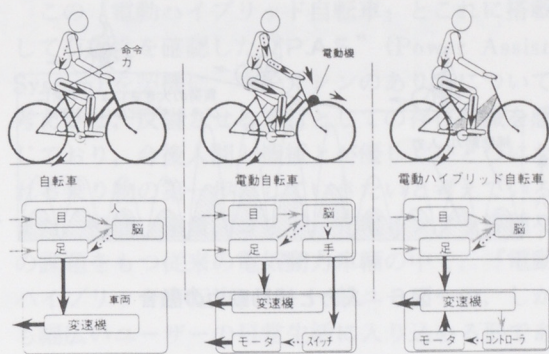


図4 自転車、電動自転車、電動ハイブリッド自転車における入力と出力のメカニズム比較

## 5 制御システム

補助動力を発生する基本システムは、トルクセンサ、スピードセンサ、コントローラ、電動機、蓄電池、ハイブリッドユニットから構成されている。(図5)

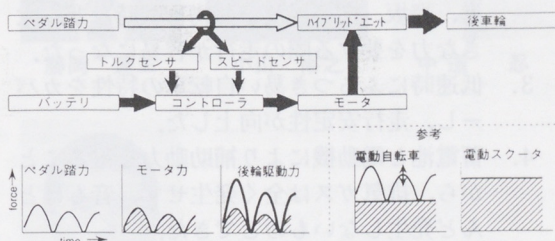


図5 パワーアシストシステム概念図(P.A.S.)

トルクセンサーは入力によるペダル踏力を検知、スピードセンサーは走行速度を検知する役割を持っている。コントローラではトルクセンサー並びに、スピードセンサーからの情報をもとに演算を行ない、それに対応した動力を設定し電動機の駆動エネルギーを制御する。ハイブリッドユニットではペダルにかかる人力に電動機の補助力を付加し、後輪に駆動力を伝達する。

前述したように、自転車と人間との関係は、現実には瞬時瞬時、微妙にかつ、ダイナミックに変化する要素をもっている。従って、人間の感覚に自然に対応させるためには、微少な時間幅毎に論理的裏付けをもった高速な制御を走行状態に対応して行なう必要がある。



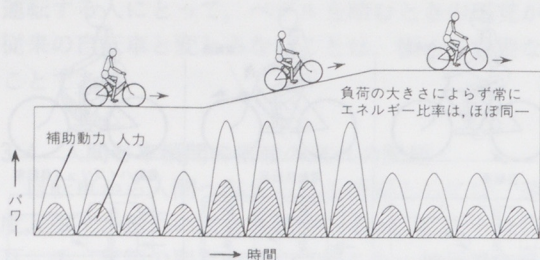


図6 人力と補助動力の融合

この動力補助の基本システムを“P.A.S.”（パワーアシストシステム）と名付けた。図5、図6にペダル踏力と補助力の関係を示す。

## 6 結果

以上のようにして製作した車輛について、以下のような特徴を確認した。

1. 運転操作は、通常の自転車と全く同様である。
2. 運転者のペダル踏力が大幅に軽減され、発進、登坂、向い風及び荷物積載時など、大きな力を要する際の走行が容易になった。
3. 低速時にふらつき易い自転車の特性をカバーし、走行安定性が向上した。
4. 蓄電池と電動機により補助動力を得ることから、排気ガスは全く発生せず、音もほとんど発生しないものできた。
5. 電動機の駆動だけでの走行はできないものとし、また過大踏力の発生できるような人への補助も限度を設定し、安全を期した。
6. 一定の走行速度に達すると、電動機の作動が停止し通常の自転車と同様、人力のみで走行することとした。
7. 蓄電池が放電し切ったり、メインスイッチを切った状態においても、通常の自転車と同様の走行が可能とした。
8. 一般家庭の電源で手軽に充電できるシステムとした。

ここでは運転特性の特徴を、通常自転車と比較して示す。

大きな踏力を必要とする代表例として、発進時の加速性の比較結果例を、図7に示す。これにより運転負荷の大きな際の効用が分かる。

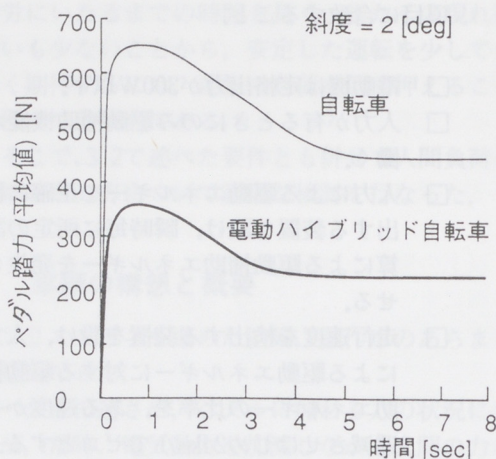


図7 容易な発進

次に発進時のハンドルふらつきの比較結果例を図8に示す。“P.A.S.”機能により、ハンドルふらつきを低減する効用が分かる。

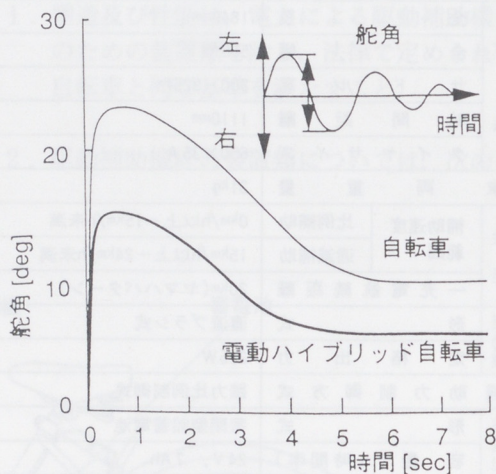
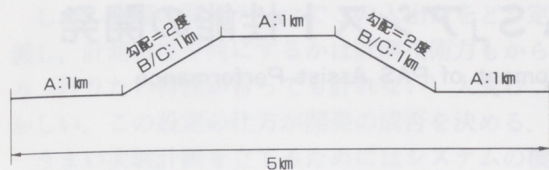


図8 発進時のハンドルふらつき

『電動ハイブリッド自転車』において、一充電での航続距離は極めて重要な要素であり、この車輛は図9に示す走行条件において20kmの航続性能をもっている。（常温、蓄電池新品時）





## 2. 走行条件

	速 度	変速位置
A: 平坦路	15km/h	3 速
B: 2度登り坂	10km/h	2 速
C: 2度下り坂	20km/h	3 速

図9 航続距離算定用標準走行パターン

## 7 おわりに

本報では、人力と電気動力とを常時、複合的に使用する自転車的な車輛を製作し検証した。

結果的には、一般に課題が多いとされる電気動力車輛に比べ、重量、コスト、充電インフラ整備の各面で改善することができ、通常の自転車と同等の使用形態での実用性に十分なメリットを生み出し得たと確信する。また、実車による十分な市場検証の結果からも、それが実証できた。

我々としては、商品性としての追求とは別に、目下、技術的に見て、この車輛が人間自らが無意識の中にも人力を自然に補完コントロールできたことの意義が大きいと考えている。パワーアシストシステムがスピードを出すために付加されたものではなく、あくまでも、それぞれが持つ人力の範囲で操作でき、しかも人力に適格に反応することで負荷の軽減だけでなく、心理的な安心感をもたらしてくれる。その点でこの車輛は、“人に優しい”と言えるだろう。

この『電動ハイブリッド自転車』とこれに搭載して有効性を確認した“P.A.S.”(Power Assist System)を契機に、マンマシンのあり方について考えさせ、反省させる素材としての存在意識を感じており、今後人間と機械とが優しくひとつになれる乗り物の第一歩にしていきたいと考えている。また、性能、重量、コスト、充電インフラ等種々の課題をもつ従来の電気動力車輛の中で、『電動ハイブリッド自転車』が、一般ユーザーの、しかも幅広いユーザーの日常生活に入り込める形である点は、電気動力車輛の社会定着への実質的先鞭と言っても過言でなく、今後、大きな波及効果が期待できると考える。

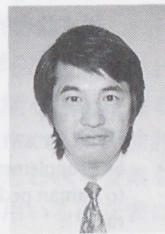
## ■ 著者



勝岡 達三



小山 裕之



中道 忍



生熊 克己