

自転車解体新書

—おもしろい乗り物、自転車、その体と心をはかる—

服部四士主*

自転車の歴史は150～200年といわれる。人間との素朴な組合せのみによって走行機能を果たしていく乗り物が、長い間、特に最近の高速、大量、システム化時代の陸上交通システムの中で生き続けて来ていることは実に興味深い。本稿では、〔人間—自転車〕系として自転車を見、その本質、特性に重点を置き、自転車の“おもしろさ”を紹介する。

Bicycle Analytical Update

Examining the Heart and Hardware of the Bicycle;
It is Interesting Vehicle

Yoshikazu HATTORI*

Throughout its 150-to 200-year history, the simple but ingenious mating of bicycle and human has provided an exquisite transportation method. The strength the bicycle has displayed as a provider of transportation spanning these many years, in particular, the continued strength it exhibits while operating in the midst of an age high-speed, large-scale standardized land transport systems has aroused considerable interest in the author. This paper introduces this interest through examination of the bicycle from a “Man-Bicycle System”, placing emphasis on the nature and special characteristics of the bicycle.

1. 自転車生産の推移

「このモータリゼーションの時代に、いまさら何が自転車に……」と疎外視されてから久しく、また、周知のとおり、陸上交通は高速、大量、システム化の時代となり、誰しも、まさに、自転車の命運尽きそうと思ったであろう。

しかし、Fig. 1、2およびTable 1、2からも伺い知れるように、自転車は大飛躍こそなけれ、確実に成長し続けている。

近代自転車が世に出てから150年は経っている。ヒット商品としては寿命の長い部類といえよう。ふしぎな存在物、自転車、そのおもしろさ、そのへんの

詮索をもって論の骨子とする。

2. 人間—自転車系の本質

ここで、参考に、自転車の主要部の名称をFig. 3にあげておく。ただし、これは「従来型」である。最近のFig. 4の例のような「革新型自転車」は外見が異なる。すなわち、後者は、たとえばフレームでは“張殻構造（モノコック構造）”、車輪は“円盤車輪（ディスク車輪）”または“スポークレス車輪”などになっている。

さて、「自転車とは、^{ミズクラ}自^{コロ}ハ^{クルマ}転^{クルマ}ブ^{クルマ}車、である」とは某先生の言であるが、自転車の本質を絶妙に言い当てているといえる。すなわち、“自ハ”転倒せざるを得ないが、人間が“加ワレバ”、みごと、直立安定走行が可能となる。自転車はエネルギー源およびコントロール機能のすべてを人間に負っているのである。

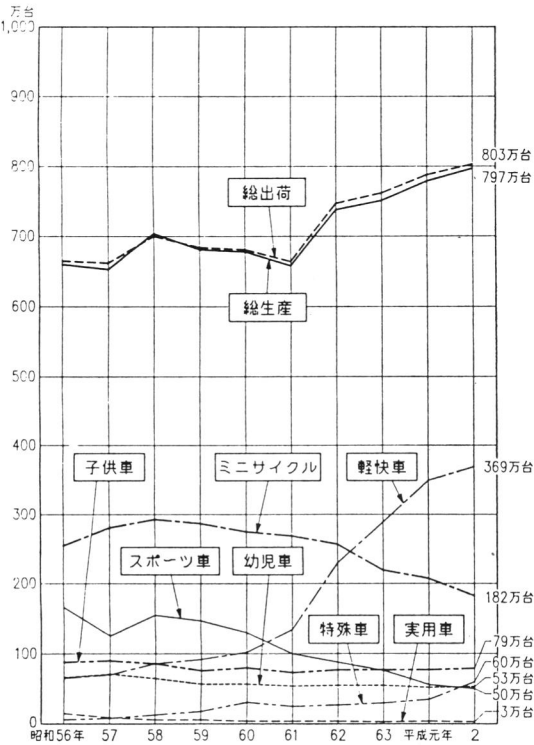
ちなみに、自転車の定義をJISD9111-1986では次のように決めている。

* (株)三信技研技術顧問

元 助 自転車産業振興協会技術研究所所長
Technical Cordinator, Sanshin Giken Co. Ltd.,
Previous Director, Japan Bicycle Promotion
Institute Technical Center
原稿受理 1991年11月25日

自転車とはペダル又はハンドクランクを用い、乗員の人力で駆動操縦され、かつ、駆動車輪をもち、地上を走行するものをいう。

かくて、自転車は人と結び付いて初めて「生」を与えられ、人の機能が自転車の性能を左右し、また人のモラルが即、自転車の信頼性を左右する。



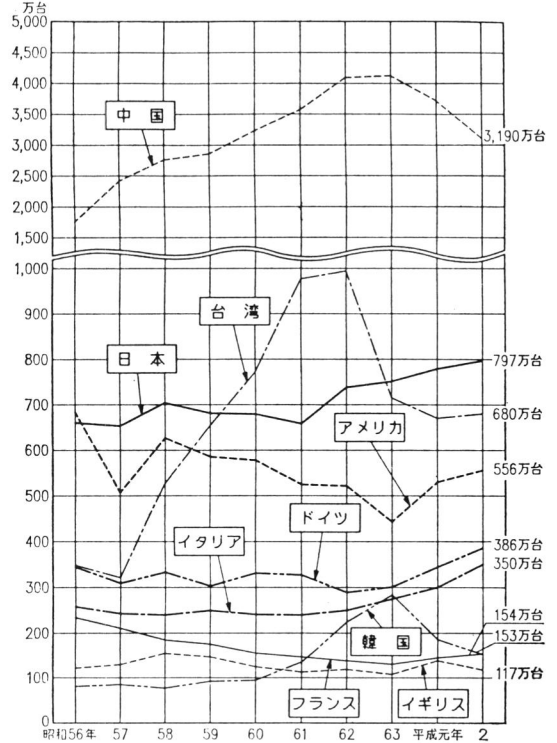
出所) 助自転車産業振興協会の調査による。

Fig. 1 日本の自転車の生産推移

Table 1 日本の自転車保有台数の推移

年別	保有台数(千台)	備考
昭7. 1932	6,356	内務省調査
10. 1935	7,304	
15. 1940	8,195	
20. 1945	5,686	
25. 1950	10,859	
30. 1955	13,928	昭和26年及び28年自治庁、課税台数資料による推算
32. 1957	16,005	
33. 1958	16,815	
35. 1960	19,559	通産省調査統計部資料による推算
40. 1965	24,377	
45. 1970	29,291	
50. 1975	43,930	
55. 1980	51,230	
60. 1985	57,291	
平元. 1989	66,385	
2. 1990	69,002	

注) 自転車保有台数は、自転車税が廃止される昭和32年度までは、課税台数を基礎にしている。昭和33年以降は生産台数、国内供給数、廃却数等に基づく推算である。

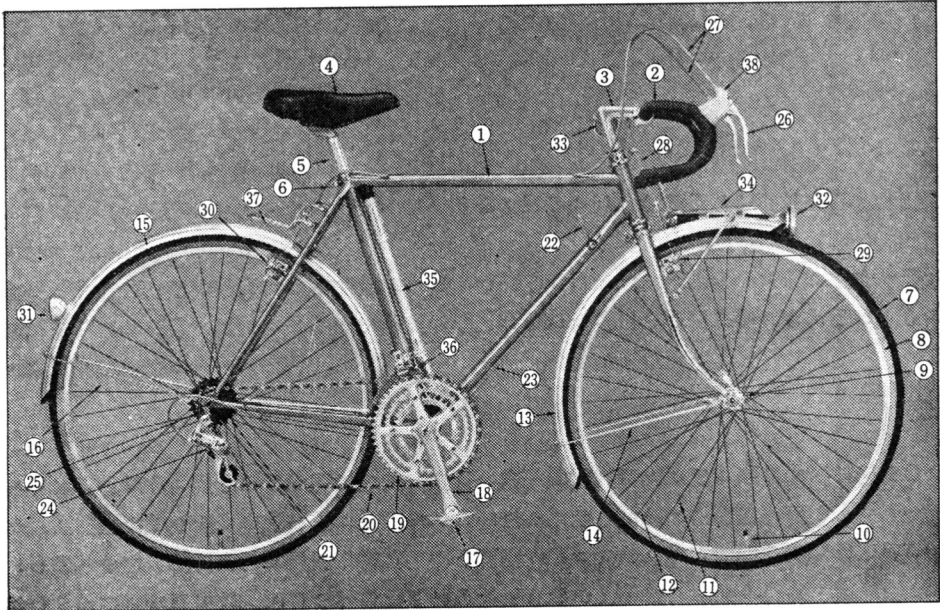


出所) 助自転車産業振興協会の調査による。

Fig. 2 世界主要自転車生産国の生産推移

Table 2 世界の自転車保有状況

国名	年別	保有台数(万台)	保有率(人口/台)
日本	1990	6,900	1.8
中国	1989	32,000	3.4
韓国	1982	460	8.6
インドネシア	1982	230	66.5
インド	1985	4,500	17.0
ノルウェイ	1981	220	1.9
スウェーデン	1986	550	1.5
スペイン	1989	1,000	3.9
デンマーク	1989	500	1.0
イギリス	1989	1,500	3.7
オランダ	1989	1,400	1.0
ベルギー	1989	400	2.5
フランス	1989	2,000	2.8
西ドイツ	1989	4,000	1.5
スイス	1987	250	2.6
イタリア	1989	2,000	2.9
フィンランド	1984	350	1.4
オーストリア	1982	330	2.3
ハンガリー	1982	350	3.1
ルーマニア	1982	500	4.5
アメリカ	1988	8,800	2.7
カナダ	1989	948	2.7
メキシコ	1986	600	13.1
ブラジル	1988	2,300	6.1
ソビエト連邦	1987	4,000	7.1



- | | | |
|-----------------|-------------------------|----------------|
| ① フレーム (フレーム本体) | ⑭ 前どろよけステー | ⑳ ブレーキアウトワイヤー |
| ② ハンドル | ⑮ 後どろよけ | ㉑ インナーワイヤー |
| ③ ハンドルポスト | ⑯ 後どろよけステー | ㉒ 前ブレーキ |
| ④ サドル | ⑰ ペダル | ㉓ 後ブレーキ |
| ⑤ シートポスト (ピラー) | ⑱ クランク | ㉔ リフレックスリフレクター |
| ⑥ シートピン | ⑲ 大ギヤ (スプロケット・チェーンホイール) | ㉕ ヘッドランプ |
| ⑦ タイヤ | ⑳ チェーン | ㉖ ベル |
| ⑧ リム | ㉑ 多段フリーホイール | ㉗ 前キャリア |
| ⑨ 前ハブ | ㉒ 変速レバー | ㉘ フレームポンプ |
| ⑩ タイヤバルブ | ㉓ 変速ワイヤー | ㉙ 前変速装置 |
| ⑪ スポーク | ㉔ 後変速装置 | ㉚ 後キャリア |
| ⑫ ニップル | ㉕ 後ハブ | |
| ⑬ 前どろよけ | ㉖ ブレーキレバー | |

出所) 講談社刊ブルーバックス『自転車の科学』服部四土主著。

Fig. 3 自転車部品の名称例

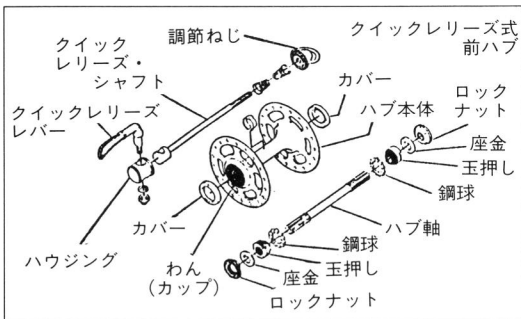


Fig. 3(2) ハブ部の例

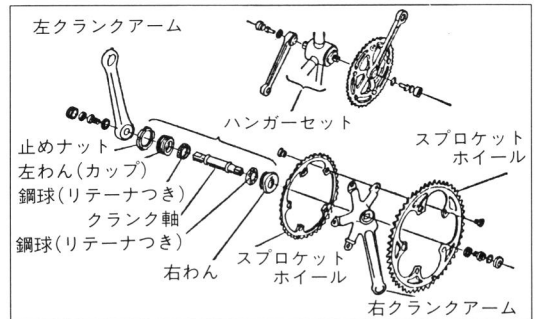


Fig. 3(3) ハンガー部の例

人間と自転車、それはまさに血の通っている“同胞”といえる。

さて、計測制御関係の識者より「人間-自転車系は Man-Machine システムの最たるものである」と称賛される。

この説について異論はないが、両者の関係を具体

的に補足すれば次のようなことになる。

①人・車一体ではない。単にハンドル、サドル、ペダル部が接点となった柔、剛全く相異なった2系(人間系と自転車系)から成る。たとえば子どもが好む「三角乗り」からサーカスでの曲乗りまで、どんな結び付きの形態でも採りうる。ただし、自転車安定走

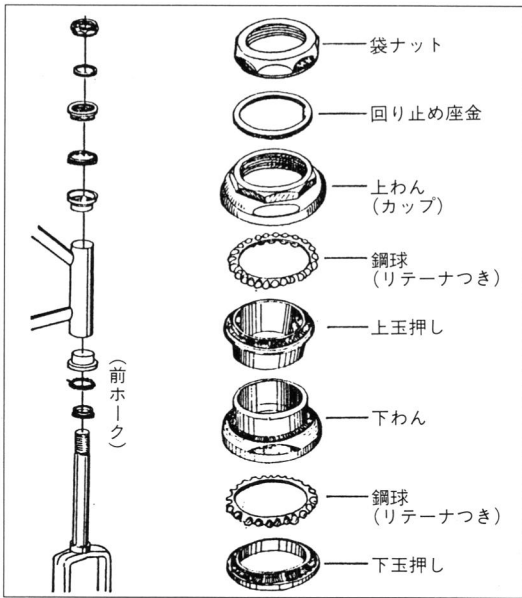


Fig. 3 (4) ヘッド部の例

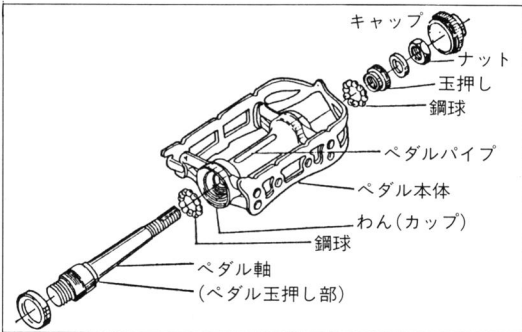


Fig. 3 (5) ペダル部の例

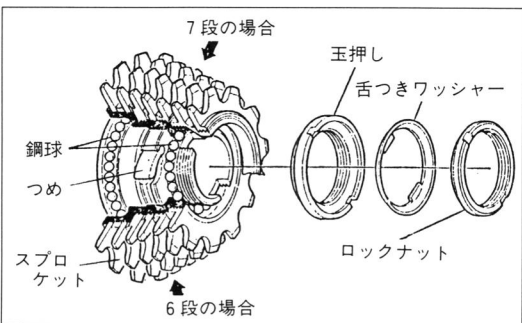
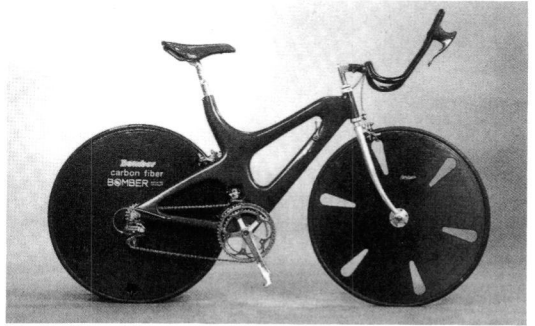


Fig. 3 (6) フリー・ホイールの例



(1)合金モノコックフレーム



(2)カーボンファイバーフレームおよび車輪



(3)一体形車輪

Fig. 4 革新型自転車の例

行の理論解析のときは、両者剛体かつ、一体と仮定して解く。

②パワー、コントロールの総てを人間系が負わされている(前述)。

③物量的にみても人間系のほうが大きく、主体性は

人間側にある。たとえば、重量比では、人間対自転車はおおよそ10:2.5と、運搬物より車体の方が軽い。

④自由度も人間系に多く(30ぐらいか)、自転車系に少ない(6~7)。

⑤外乱に対して非常に弱い系である。この場合の外乱とは、外力、振動、温度、雨、風など[人間-自転車]系が普通にある常態を乱す要因をいう。

⑥対障害、ということについては全くの無防備の系であって、たとえば、一発の衝撃によって致命的なダメージを蒙る可能性が大である。

⑦直列接続構成の系であって、人間系内、自転車系内のいずれの要素が損傷しても、満足な機能が果たせなくなるか、全くの無機能となる系である。

以上のように、[人間—自転車]系は全く異種のものの組合せであって、しばしば両者間に葛藤が生ずることは否めない。人間が、自転車は従でわれわれが主だと、一方的に主張を通すとすれば、その系は成り立たない。Man-Machineシステムの最たるもの、という称賛の声に、素直にうなづくべきではなからう。

3. 自転車の構造

自転車の構造の特徴を一言で言えば、「骨皮筋入門」といえよう。前述のように、自転車走行は人間のエネルギーによる。「最大原理の法則」の遵法者である人間、当然その消費をできるだけ少なくするため、自転車を極力身軽く設計する（質量の他、回転の軽さも含めて）。そのため、自転車には余肉をいっさい付けられない。メーカーは、総質量で1gを減らすのに努力をしている。

しかし一方、弱体で故障が絶えない場合は自転車の信頼性が問われるので、十分な強さが必要とされる。60~70kgの質量を乗せ、普通の走行では2G、激しい走行（たとえば、今流行のモトクロスレース、トライアスロン競技など）では10~20Gの振動負荷に耐えなくてはならない。

また、「皮」と言う表現は、単なるカバーデザインのためではなく、強度を保つ皮を意味している。たとえばFig. 4にみるような革新型張殻構造の自転車にあっても、その上面の皮は単に表面を被っているのみではなく、十分な強度をだすよう形状、材料、加工法が検討され、作られている。軽くて「必要かつ十分な強さ」、これが自転車の構造の基本条件である。

現在の自転車は長年の経験を基に、その条件に合致して設計され、作られている。

次に、その構成をみているが、その特徴を、一口で言うと「寄木細工システム」である。自転車もまた機械である。機械とは、動力源から動力の供給を受け、これを各構成部分を通じて仕事を行う部分に伝え、要求される機械的仕事を行うように、一定の相対的運動をする部体の組合せをいい、①車輪②滑

車③斜面④てこ⑤ねじの5つが機械の5機素としてあげられている。

自転車もまた機械であり、これら機素で構成され、走行という仕事を果たす一連の動機能が具備されている。すなわち、自転車の構成は、それら機素の集合体といえる。ただし、自転車には滑車の理による機素は皆無で、車輪、てこ、ねじが構成の機素といえる（斜面の理は嵌合で生かされているとみる）。

そして、その「ねじ」が、上述の意味の「寄木」を組み合わせるすべてとってさしつかえない。すなわち、自転車はねじを緩め開放すると、すべての要素がばらばらになってしまう。だいたい数 10^2 ~ 10^3 のオーダーの個数になる*1。中には、部品そのものがねじ素子を兼ねているものもある。

なおまた、その構成を、「信頼性工学」の立場から見ると、自転車は一品、一品の部品から成り「直列接続」の系といえる。すなわち、どの一つが損傷しても、自転車系はその機能が果たせなくなる。Fig. 5で簡単に示すが、「ねじ」という鎖が切れると、その下の連環は「駄目」になる。

さて、自転車の構成を機能上から大別してみると次の3つに分類できる。

- (1)骨格系
- (2)制御系
- (3)駆動系

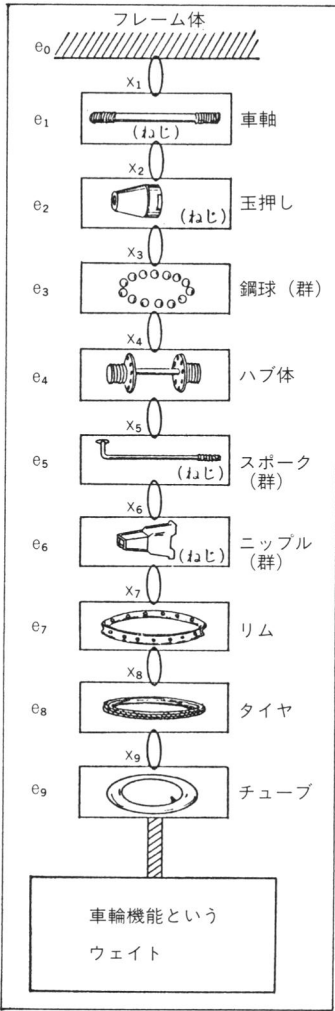
(1)は勿論自転車全体にわたるものであるが、(2)、(3)はそれぞれ自転車の前半、後半に機能上の比重が大きいといえる(Fig. 6参照)。したがって、自転車前半の諸寸法、角度などが機能上の着目点となり、後半の機能上の問題点は効率を如何に上げるかである。

すなわち、自転車走行の安定、不安定および方向制御性は前輪系の自由度とFig. 7にあげてあるような名称部の諸寸法に負うところが大きい。特に前輪、ハンドル部のそれらは自転車の操縦性の大半を左右するといつてさしつかえない。因みに、たとえば「乗れない自転車」を作ろうと意図するならば、前輪系の自由度をなくし、固定させてやればよい。

現在の自転車では、それらがまず完璧に設計されている。

前述のように、走行は人間の制御機能によること

*1 自転車製造業界が徹底した分業システムをとっているためである。また、ばらばらの素子から成っていることは、組立技術が自転車の信頼性を左右することを示唆している。



出所) 講談社刊ブルーバックス『自転車の科学』服部四土主著。
Fig. 5 自転車の直列接続 (車輪の例)

は確かである。たとえば、よく見かけするように、手放しでも走行できる。しかし、それができる人が、自分の制御能力の良さを自慢すべきではない。それは自転車は、人間の短所を補完する設計配慮がなされているからである。

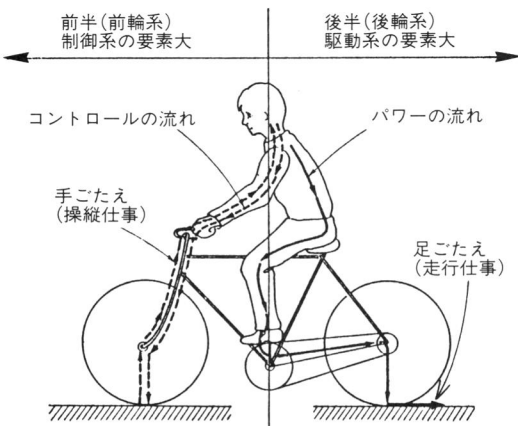
次に、前述のように後輪系の構造には“効率”についての配慮が盛り込まれているが、その点について述べる。

走行という仕事をするためのパワー (パワー源はもちろん前述のように人間) の流れはFig. 6 でわかるように、クランクの長さ、ギヤ比、車輪径あたりに集中する。

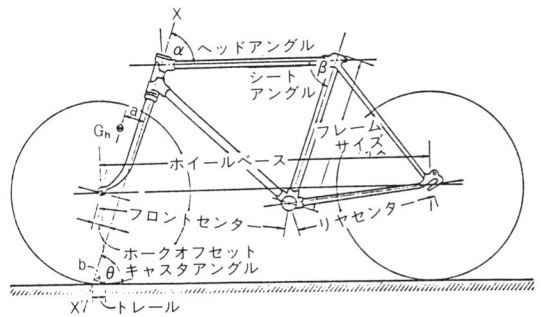
まさにテコの理が最大限に生かされる部位である。もちろん人間の体力、身体寸法 (特に脚力、脚部の諸寸法) が関係しており、それらの研究はまさに、「自転車の人間工学 (Ergonomics)」の重要点となり、その研究成果も多々あるが、ここでは割愛する。ただ、普通の人々が、普通に、街を走行する場合の人間出力は0.2~0.3馬力、走行効率 (ほとんど人間の効率といってよい。自転車系内の伝動効率は97~98%だから) は10~20%であるということだけを参考として紹介しておくにとどめる。

4. 自転車の安全性

ここでもう一度、[人間-自転車]系の実態をみてる。周知のとおり人間は、Human-Errorといわれている過ちを起しやすといわれている。その人間に、全く、エネルギー、コントロールの両面を牛耳られる「自ラハ転ブ車」が複雑化した陸上交通システムの中で走行していくので、いろいろな問題点が指摘される。特に最近、自転車の安全がやかましく取り上げられている。上述のような実態であるので、この交通戦争の中での [人間-自転車] 系の安



出所) 講談社刊ブルーバックス『自転車の科学』服部四土主著。
Fig. 6 自転車の前、後半の仕事の質の差



出所) 講談社刊ブルーバックス『自転車の科学』服部四土主著。
Fig. 7 制御性に関する諸寸法の名称

全を全うすることは困難である。すなわちPassive Safetyでは絶対的に弱いといえる。また、Active Safetyの点をもても他の乗り物のように重装備され、人間支援システムが満載されてはいないので、安全については弱い乗り物といえる。現在では自転車には、せいぜい人間の弱さを少しでもカバーする工夫がなされている程度である。

人間自身の肉体的弱さに対して、自転車製作上の諸規定を設け、安全の完璧を図っている(Table 3 参照)。

しかし、自転車の安全要因を関連図にすればFig. 8のようになり、人が要因のすべてであることがわかる。すなわち“自転車は人なり”と行ってさしつかえなく、自転車の安全はすべて、人のモラル、に負うといえよう。

ところで、人間は次のような場合にエラーを起こしやすいという精神的弱点をもっている。

- ・バイオリズムの休息期に来た時
- ・感情興奮が起こった時
- ・意識行動と無意識行動の谷間の時
- ・一つの事柄に意識が片寄ってしまった時
- ・過去の行動を過信したり慣れ切ってしまった時

Table 3 安全性規定の例

<p>3. 安全性</p> <p>3.1 一般</p> <p>3.1.1 先鋭部</p> <p>自転車には、通常の乗車走行及び取扱操作で人体に危害を及ぼすおそれがある鋭いかど、とがり、ばり、かえりなどがあってはならない。</p> <p>また、ブレーキレバー、スタンドなどの端部には、丸め加工を施すか又は容易に離脱しないキャップなどで覆わなければならない。</p> <p>3.1.2 突起物</p> <p>自転車には、通常の乗車走行及び取扱操作で人体に危害を及ぼすおそれがある露出した突起があつてはならない。また、取付けねじ類は、おねじが締付け相手部分(ナット面など)からねじの外径以上に長く突き出してはならない。ただし、キャップなどで覆われているもの又は容易に人体と接触しないものは、この限りではない。</p> <p>3.1.3 ワイヤ</p> <p>制御装置、チェンジギヤ装置などに使用するワイヤの長さは、操作上必要な長さとし、著しいたるみがあつてはならない。</p> <p>なお、インナの末端は、ほつれないようにワイヤキャップなどによって処理し、キャップなどは、20N {2 kgf} の離脱力に耐えなければならない。</p> <p>3.1.4 各部の固定</p> <p>自転車の各部を固定する取付けねじ類は、十分な固定力が得られる長さではめ合い、使用中容易に緩まないように締め込まなければならない。</p> <p>また、ハンドルシステム及びシートポストは、それぞれはめ合わせ限界標識以上にはめ合わせて固定しなければならない。</p>

注) JISD9102-1988 より抜粋。

しかし、これら精神的弱さを補う安全対策を自転車に施すことはまずできない。現在ではせいぜい、視認性を高め、操縦性、安定性の良い設計がなされている程度である。

同時に、為政者に対しては、交通環境の整備や自転車専用道路の増設を訴え、善処を望む。しかし、狭い日本のこと、自動車、自転車、人の混合交通状態の続くことは避けられず、十分な安全を期することはむずかしい (Table 4 参照)。

たとえ、自転車自体が、Fig. 9のような配慮の下に、安全の完璧を期して作られているとしても。

5. 自転車の将来

ところで、以上のようなおもしろい乗り物(人間との組合せという点で特におもしろい)自転車は果たして生き残れるだろうか。

結論からいえば、自転車は、人間の移動の具として、将来とも長く人間社会に生きていけるだろう。

ところで、その移動については、次の二つの面が

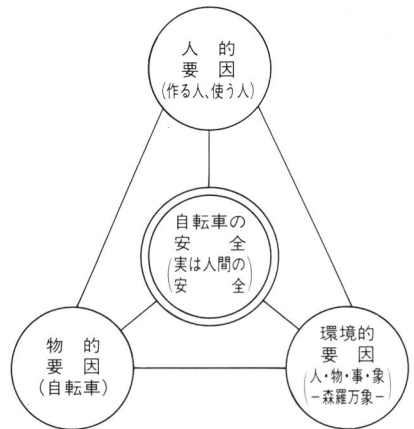


Fig. 8 自転車の安全要因の関連図

Table 4 自転車交通事故件数

年 別	自転車事故 (件)			全交通事故 発生件数
	第1当事者	第2当事者	計	
昭61.1986	17,870	82,517	100,387	579,190
62.1987	20,575	85,578	106,153	590,723
63.1988	23,949	85,226	109,175	614,481
平元.1989	26,837	89,303	116,140	661,363
2.1990	24,353	85,963	110,316	643,097

注1) 第1当事者：過失の最も重い者、または過失が同程度の場合は、被害の程度が最も軽い者をいう。
 2) 第2当事者：過失がより軽い者、または過失が同程度の場合は、被害の程度の重い者をいう。
 3) 財団法人自転車産業振興協会「自転車統計要覧」による。

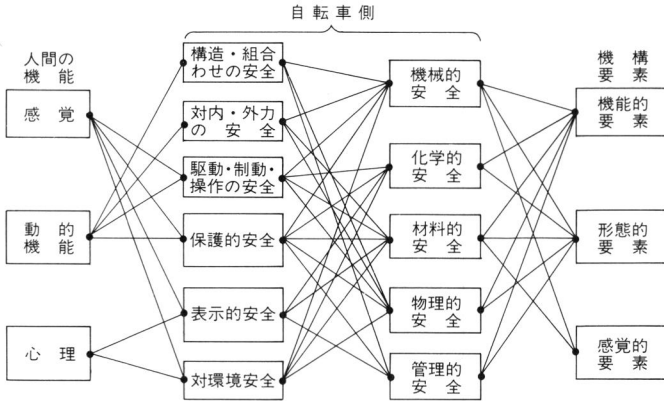


Fig. 9 自転車安全性設計の内容

あるといわれる。

(1)生命維持のための移動。人間の場合、動かなければ死を意味する。生きるため、仕事のため、繁殖のための移動。いわば「義務移動」。

(2)動きたいから動く。趣味や、娯楽や、観光旅行など、楽しみ、気粉れの為に動く。いわば「任意移動」。

後者の任意移動に対しては、自転車は、手を拱いていても、人間に重宝がられていくことは間違いないと思われる。

しかし、前者の義務移動については、自転車は安閑とはしてられない。冒頭にあげたように、一般に高速、大量輸送、システム化の時代になり、自動車も筆頭とする自転車の敵が増えてきたし、今後も更に新しい敵が出現するかも知れないからである。

一方、この数年の間に、世の全体の技術面での進展のあおりを受けて、自転車もまたいっそう多様化し、かつ、その進歩に歩調を合わせるのに精一杯で、自転車全体のあるべき姿、ビジョンをまとめるという基本に戻る余裕がなかったようである。

これらの事を併せ考え、以下に自転車交通が今後も生き残るために、解決しなければならない点をあげてみる。

- ・都市機能の革新計画が進められているが、その中でも、地下交通網の発展はめざましい。しかしこれは、自転車には無縁なのか。
- ・時間革命も間違いなく起こる。その中に移動時間の短縮がある。そうした交通革命の中に自転車が入り込めるか。
- ・これからは、間違いなく高齢化社会になっていく。自転車が、レジャー、リハビリ、高齢者の移動、行動の支援に役立ち、シルバー産業の一端を任えるよ

うになるか。

・世は、まさにサービス産業花盛りであるが、その中で、医療・健康サービス、カルチャー・レジャーサービスなどに参画していけるか。

・女性時代到来に伴い、家事からの開放、ライフスタイルの変貌、ムード指向化などはめざましい。女性に有効に活用されるかどうか。

さて、自転車の行方はどうなるかということであるが、以上のような問題はすべて解決できる、と断言する自信は筆者にはない。結局、近未来のこと

としか述べられないことをお断りする。

まず、人間と自転車との素朴な関係が、いつまでも続くことは間違いない。人間自らの力（パワーとコントロール能力）で動かし、路上を、転動という物理的現象によって移動する物、という範疇は出ない、とすると、走って軽い、取扱に軽い、という「軽量自転車」の出現ということになろう。そのために「新素材」の適用が図られていく。

次に、「任意移動」に常用の比重が大きくなるとすれば、自転車はますます「多彩化」してくるであろう。たとえば「情緒指向の自転車」から「闘争向き自転車」までというように。因みに、現在はMTB (Mountain Bike)、ATB (All Terrain Bicycle) など後者型が全盛である。

第三は、「ハイコスト自転車」が出現するであろう。世間一般のハイテクの時流に乗り遅れないために、コストを無視しても、やむなく、ハイテク技術満載の自転車が出てくることは間違いなからう。

以上のことは普遍論にすぎない。そこで願うのは、「超素材」、「超機構」の開発である。

なお現在、「自転車はどこを走るか」「自転車はどこにおくか」あるいは「自転車はどこへ捨てるか」など、自転車と環境の点が社会的な大問題となっている。これらは、他の論説に譲ることにした。

ただ、大きな「交通ネットワークシステム」の時代になっても、自転車は文字どおりその「網目」を、身軽く、手早く縫っていくことができ、将来とも「義務移動」の責は果たしていけると確信する。「近代交通システムのレイアウト」には自転車も是非、検討の中に加えていただくよう、為政者をお願いしておく。