

## 電動車いす、電動三輪車、四輪車の安全・快適技術

林 邦宏\*

電動車いす等は障害者、高齢者の移動手段として徐々に定着しつつあるが、これらに求められる安全性、快適性に関してどのような技術が用いられているかはほとんど知られていない。電動車いすにはJIS規格があり、そこで安全等に関する基本的な項目が定められている。現在実用化されている技術として、安全性を高める速度制御や自動ブレーキシステムがあり、また付帯機能としてコーナリング自動減速やスイッチ付き手動ブレーキ、誤使用防止形クラッチがある。その他快適な使用を求めめるための車載充電器、サスペンション、高寿命バッテリー、パンク防止タイヤ、自動充電装置等の技術がある。

### Safety and Comfort Technologies for Electric Wheelchairs, Tricycles and Quadricycles

Kunihiro HAYASHI\*

Although electric wheelchairs have gradually taken hold as a means of transport for the infirm and the elderly, little is known about the technologies that are employed to ensure their safety and comfort. Electric wheelchairs are required to meet the Japanese Industrial Standard (JIS) which stipulates basic safety requirements. At the present, speed regulators and automatic braking systems have already been introduced and these come with functions such as automatic deceleration for cornering, switch-type manual braking and foolproof clutch systems. Other comfort technologies include, among others, built-in battery chargers, suspension, long-life batteries, anti-puncture technology and automatic recharging device.

#### 1. はじめに

障害者、高齢者の日常的な移動手段となっている電動車いす、電動三輪車、四輪車は、これらユーザーの身体的能力を考えると健常者の乗り物よりもより一層の安全性、快適性を有していなければならぬ。ここでいう安全性、快適性とは、例えば自動車で健常者が自ら安全のために実施している動作を、

乗り物の側で請け負い補うものである。具体的には上り坂や下り坂での速度制御、ブレーキ操作を自動で行う機能、コーナーでの自動減速等である。また快適性については、例えばメンテナンスフリーのバッテリー、タイヤ等が上げられる。

これらの技術は車両自体の認知度が低いこともあって一般的にはほとんど知られていない。そこで本稿では現在電動車いすに採用されている安全、快適に関する技術を紹介する。

#### 2. 電動車いすの概要

電動車いすは、JIS規格「電動車いすJIS T 9203:1999」の形式分類によれば、自操用と介助用があり、

\* スズキ株式会社四輪車体設計グループ設計企画グループ  
課長代理  
Deputy Staff Manager, Planning Group, Automobile Body  
Design Dept.,  
SUZUKI MOTOR CORPORATION  
原稿受理 2002年5月16日

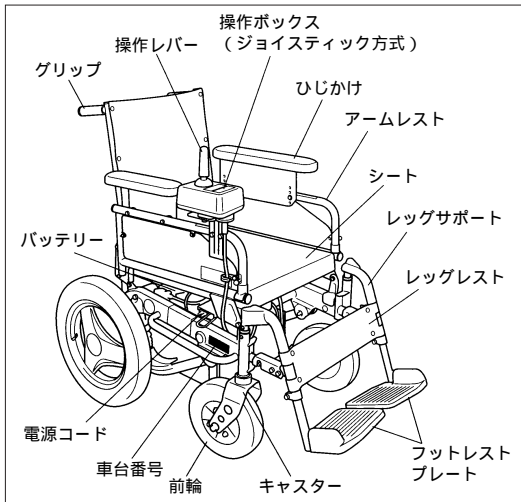


Fig. 1 自操用標準形電動車いす

外観及び用途により各々数種類の形式がある。このうちJISでは現在生産量の多い自操用標準形、ハンドル形、座位変換形について規定している。

自操用標準形は前二輪、後二輪の四輪で構成され、駆動方式は限定していない。操作方式はジョイスティックで行う。自操用ハンドル形は操舵を直接ハンドル操作によって行うタイプで、三輪または四輪がある。

これらは性能で低速用と中速用に分類され、低速用は最高速度4.5km/h以下、中速用は6.0km/h以下と規定されている。

また型式認定の取得条件として最高速度、車体の寸法の他に原動機は電動機に限ることと決められている。

なお、道路交通法及び道路交通法施行規則により電動車いすは歩行者として扱われており、そのため運転免許証は不要である。

### 2 - 1 自操用標準形

自操用標準形は、手動車いすを操作できない障害者が、屋内外を問わず移動できるような構造、機能を有している。代表的な特徴として、ジョイスティックによる片手操作が可能で、左右独立した後輪モータ駆動により、回転差を利用して操舵する。また一方を逆回転させることによってその場旋回ができることも大きな特徴である。

代表的な自操用標準形の外観をFig.1に示す。

自操用標準形の一般的な特徴は、以下のとおりである。

ジョイスティックによる操向

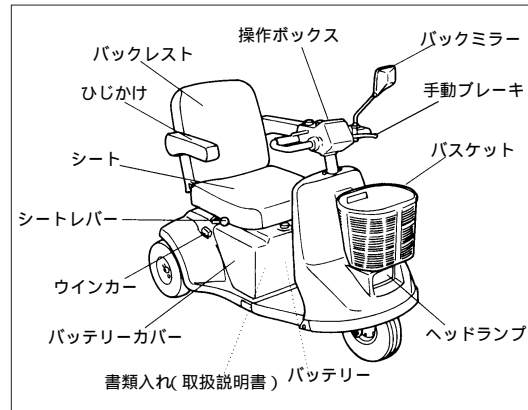


Fig. 2 自操用ハンドル形電動車いす

前輪前方にレッグサポートを装備

大径後輪

前輪キャスター

後輪左右独立駆動

介助用グリップ装備

体をサポートするアームレスト

モジュール構造または改造により個々のユーザーへのセッティングが可能

このように自操用標準形は手動車いすの発展型であり、外観もそれと類似している。

### 2 - 2 自操用ハンドル形

自操用ハンドル形は三輪と四輪があり、国内では最近四輪形が主流となっている。後輪駆動が一般的であるが、一部前輪駆動のものも存在する。車両寸法が標準形に比べ大柄なこと、及びモータが一つでディファレンシャルギヤにより駆動力を伝えるので標準形ほどの小回り性は期待できない。したがって屋外使用となるが、操作の簡便さから手が使える障害者及び足の弱い高齢者に使用されている。

代表的な自操用ハンドル形の外観をFig.2に示す。

自操用ハンドル形の主な特徴を以下に示す。

ハンドルによる操向

小径タイヤ

アームレスト付きシート

ヘッドランプ、ミラー等の保安部品を装備（装着義務はない）

外観意匠カバーの装備

標準形に比べ、海外では電動スクータと呼ばれることもあるようにスマートな乗り物としてのイメージが定着している。

## 3 . 電動車いすの安全、快適に関する規格

電動車いすの基本的な性能に関する規格については国内規格で前述のJIS T 9203:1999と、国際標準規格であるISO 7176シリーズがある。

3 - 1 JIS T 9203:1999

JIS T 9203:1999では電動車いすに関するさまざまな取り決めを記述しているが、ここでは安全、快適に係わる内容を紹介する。性能規格をTable 1に示す。

これらの試験方法は同じJISの中に記述されているので詳細は省くが、この規格は電動車いすに要求される最も基本的なものである。最高速度は通常上限を狙っているものがほとんどであるが、その他の項目に関しては、実際の道路事情、環境を考えると余裕を持って適合すべきである。現在市販されている機種の中で、この規格すら満足していないものがあり、購入の際は十分な検討が望まれる。

3 - 2 ISO 7176シリーズ

ISOにおける電動車いす関連の規格は7176 - 1 ~ 24で記述されており、現在発行されたものもあれば審議中のももある。一般的にJISよりも詳細に規格化されており、JISも将来はISOに準ずることになると思われる。これらは現在国内で対策委員会を設置し対応を検討中である。

4 . 電動車いすの安全に関する技術

電動車いすは基本的に手動車いすを操作することが困難な障害者の為の移動手段であるので、操縦を簡単に且つ安全にできるようにさまざまな機能、装備がある。

ここでは安全に関する主な機能、装備を紹介する。

4 - 1 速度制御

速度制御は電動車いすの大きな特徴の一つで、ユーザーである障害者、高齢者が平坦路、上り坂、下り坂を問わず、適切な速度で走行できるよう車両側で速度をコントロールする機能である。通常の自動車ではこれらは運転者の判断に委ねているのであるが、電動車いすのユーザーの場合はさまざまな状況、環境に対応できないことがある。この部分を車両側で補うことによって安全かつ安心して使用することができるようになる。この機能を司るのがメインコントローラで、近年の電動車いすはほとんどの機種でメインコントローラに内蔵されたマイクロコンピュータによるモータ制御となっている。

代表的な電動車いすの場合、モータ制御系は、四つのPID(比例・微分・積分)制御系と一つのオープンループ(モータ電流、モータ回転数をフィードバ

Table 1 JIS T9203:1999による電動車いすの性能規格

項目	性能		
	低速用(LS)	中速用(MS)	
最高速度	4.5km/h以下	6.0km/h以下	
登坂性能	10°の斜面を直進で登れること		
降坂性能	最高速度(実測値)の115%以内であること		
制動性能	平坦路制動性能1.5m以内で停止できること		
	降坂制動性能3m以内で停止できること		
	停止時の基準線からの変位量は0.5m以内であること		
傾斜停止力	10°の斜面で静止できること		
静的安定性	前方・後方各20°、側方15°の傾斜に対して安定であること		
	前進または後進により、助走なしで25mm、及び助走ありで40mmの段差乗り換えができること		
溝路破走性	幅100mmの溝を踏破できること		
坂道走行性	6°の傾斜面のS走路を逸脱及び異常なく登降できること		
斜面直進走行性	3°の傾斜面での幅1.2mの走路を逸脱しないこと		
回転性能	自操用標準型は幅0.9m、それ以外は1.2mの直角路を曲がれること		
強制停止	車体、駆動システム、電気回路などに異常がないこと		
連続走行距離	表示された連続走行距離以上走れる		
強度・耐久性	垂直静荷重	各部に破損、外れ及び使用上支障のある変形がないこと	
	走行耐久性	各部に破損、外れ及び使用上支障のある変形がないこと	

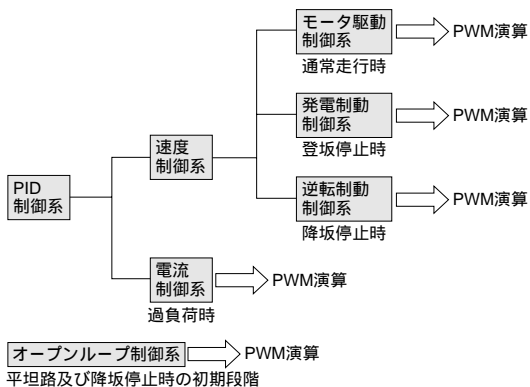


Fig. 3 モータ制御系

ックしない) 制御系からなり、それらの切り替えによって、モータを制御している( Fig.3 )。PID制御系は、アクセル信号、及び速度設定信号から演算された速度を目標速度とし、モータ回転数パルスから演算された実速度を追従させる速度制御系と、実速度やメインコントローラ温度などから演算されたモータ電流制限値を目標とし、モータ電流値を追従させる電流制御系に分けられる。速度制御系は、さらに、補償器の違いによって、モータ駆動制御系、発電制

動制御系、逆転制動制御系に分けられる。これらの系は、それぞれ別のサブルーチンに割り付けられて、モータ制御PWM(パルス幅変調制御)の演算を行っており、モータ状態設定のサブルーチン内で、次のような条件でどれか一つが選択される。

- モータ駆動制御系 通常走行時
- 発電制動制御系 登坂停止時
- 逆転制動制御系 降坂停止時
- 電流制御系 モータ電流制限時(過負荷時)

一方、選択されなかった系では、選択された系によって決まる境界条件によって、強制的に初期値が設定され、選択された系とは別の系が次に選択されても、制御が連続するようになっている。

また、オープンループ制御系は、実速度に関係なく一定の割合でモータ制御PWMを減算しており、平坦路及び降坂停止時の初期段階で選択され、フィードバック制御系では問題になる、駆動系のガタによる、アクセルオフから減速開始までの時間遅れを減少させている。

#### 4 - 2 電磁ブレーキ

電磁ブレーキも電動車いすの大きな特徴の一つである。電動車いすは走行操作を行うジョイスティックやアクセルレバーを離れた時に自動減速し停止するが、停止後に車両が動かないよう固定するのが電磁ブレーキである。自動車というサイドブレーキが自動で掛かるもので、この機能により坂道でも安心して停止することが可能となる。

ほとんどの機種で電源オンでブレーキ解除する無

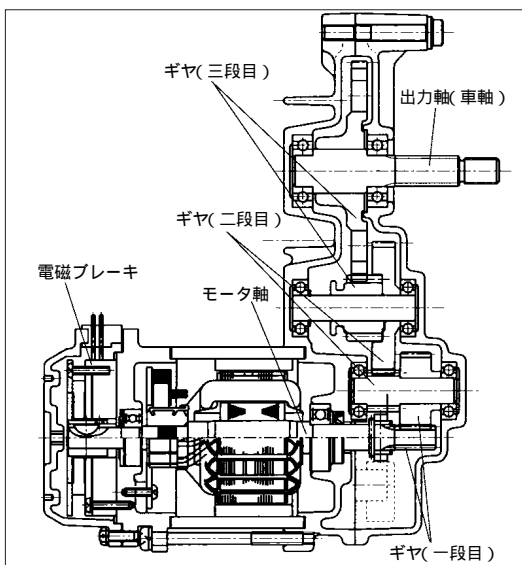


Fig. 4 駆動、制御系の断面図

励磁形の電磁ブレーキがモータと同軸に取り付けられている。自操用標準形における電磁ブレーキの代表的な構造をFig.4に示す。

電磁ブレーキはコントローラの駆動回路に接続され、これを制御する為に、マイクロコンピュータはブレーキ制御PWMを出力している。

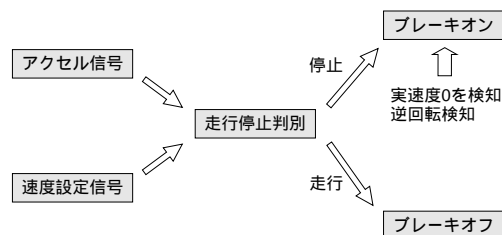
ブレーキの動作としては、モータ制御のためにアクセル信号、及び速度設定信号から目標速度を演算する時に、走行停止判別を行う。その判別結果が走行ならば、ブレーキをオフにし、停止ならば、走行から停止に切り替わって一定時間経過後、ブレーキをオンにする事が基本になっている。これに加えて停止の場合には、実速度0から一定時間経過後にブレーキをオンにする条件と、モータの進行方向からの逆回転でブレーキをオンにする条件が付加されている。これは登坂中に停止する場合、車両が後進したあと停止させることによって起こり易い後方転倒を防止するためである。また、ブレーキオフ動作時には、ブレーキ制御PWMを最大としてブレーキをオフにしたあと、ブレーキオフ保持電圧までブレーキ制御PWMを徐々に下げ、電磁ブレーキ駆動のための消費電力を低減している。

Fig.5にこれらを図示する。

#### 4 - 3 手動ブレーキ

前述のとおり、電動車いすには通常電磁ブレーキが装備され、自動でブレーキが掛かるようになっているが、ハンドル形はさらに手動ブレーキが装備される。これはJISにおいて登降坂時、駆動力が伝達されない状態からでも、使用者の操作が自動で制動できる装置を付けることになっているからである。

この背景には、電磁ブレーキの固定を解除するクラッチ機構との関係がある。標準形の場合クラッチ操作をするのは主に介助者であり、ユーザー自ら操作することはあまり無いので安全であるのに対し、ハンドル形はユーザー自身がクラッチ操作し、狭い



通常走行は 作動時PWM最大 → 保持電圧まで徐々に低下

Fig. 5 ブレーキ制御系

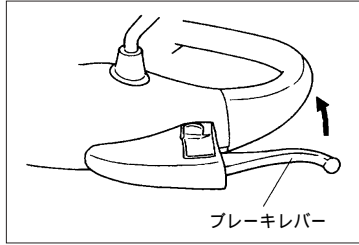


Fig. 6 手動ブレーキレバー

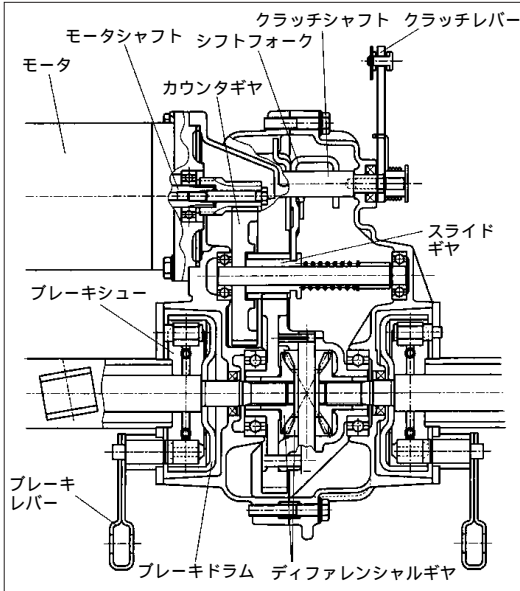


Fig. 7 自操用ハンドル形の手動ブレーキ構造

駐車スペースに保管するような時に駐車ブレーキとして機能させたいことが上げられる。一般的な手動ブレーキ構造をFig.6、7に示す。

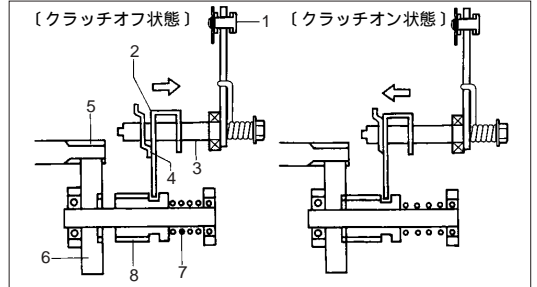
この手動ブレーキの構造は、自動車、二輪車等で使われる内括式的のものが一般的で、後輪を制動する方式が多い。ブレーキの操作はハンドルにブレーキレバーを装備し、ユーザーがハンドルを握りながら操作するよう配置されている。

#### 4-4 クラッチ

クラッチ機能は、バッテリーを外して自走できない場合や、介助者が押して歩く時、または前述のように狭い車庫等への保管時に必要となるので、ほとんどの機種ではクラッチが装備されている。

クラッチ構造は各社さまざまであるが、一般的なものはギヤボックス内に噛み合いクラッチ機構が装備され、この噛み合いをレバー等で操作しているものが多い。クラッチ構造の動作をFig.8に示す。

自操用標準形の場合、駆動ギヤボックスが左右独立しており、クラッチも個々に存在する。Fig.9の



1. クラッチレバー 2. シフトフォーク 3. クラッチシャフト  
4. 螺旋面 5. モータシャフト 6. カウンタギヤ  
7. スプリング 8. スライドギヤ

Fig. 8 クラッチ構造動作図

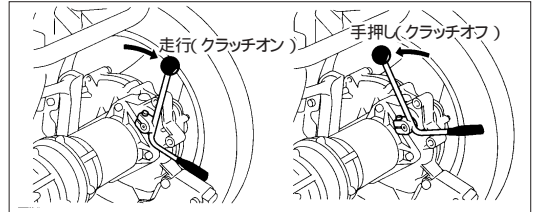


Fig. 9 自操用標準形のクラッチレバー

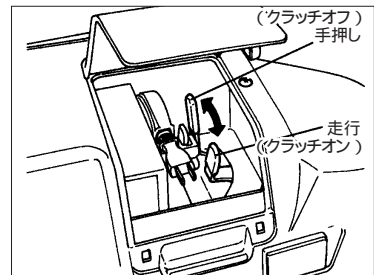


Fig. 10 リッド内収納クラッチレバー

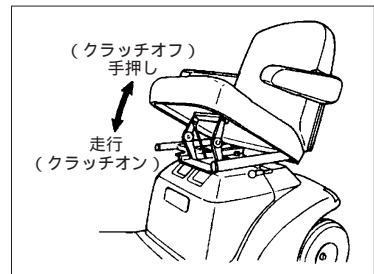


Fig. 11 シートクラッチ

ように操作レバーはギヤボックスの近くに配置してあることが多い。

自操用ハンドル形はギヤボックスが一つのため、レバー部はメーカー各社でさまざまな機構がある。自操用ハンドル形の代表的なものはFig.10のように車両後部にリッドを設け、その中に操作レバーを収納するタイプである。



このような構造の他、電磁ブレーキを機械的に直接解除する構造のものや、ギヤボックス内のクラッチ構造を廃止し、電気的に電磁ブレーキを解除してクラッチ機能とするものもある。

この他、より安全な方法としてシートクッションをクラッチレバーに見立て、Fig.11のようにクラッチ解除状態ではユーザーが乗れないようにする構造もある。

#### 4 - 5 コーナリング減速機能

自操用ハンドル形において最高速度で走行中、急ハンドルを切ると速度が増加したような感覚となり、ユーザーが高齢者の場合、不安と感ずることがある。特にそれが傾斜地の場合に内側後輪が浮くことがあるので注意が必要である。

そこで、ハンドル切れ角を検知し、自動で減速するのがコーナリング減速装置である。現在これには二通りの方式があり、一つはある切れ角で一度に減速するタイプ、もう一つは切れ角に応じて徐々に減速するタイプである。後者のハンドル切れ角と減速の度合いはFig.12に示すとおりである。

これによりコーナリングのフィーリングを損なうことなく、また少々の傾斜地でも安心して旋回ができる。

#### 4 - 6 握り込み緊急停止機能

自操用ハンドル形の場合、ハンドルを握りながらアクセルレバーを操作し走行するが、突発的な事態が発生し、緊急に停止したい時にアクセルレバーから手を離すことができない場合が想定される。逆に握り込んでしまうことがあり、特に高齢者の場合はより顕著である。

そこで、アクセルレバーを通常よりさらに握り込んだ場合、そこで緊急停止するのが握り込み緊急停止機能である。

緊急に停止するので制動距離は通常のアクセルを離れた時に比べ、約半分の距離で停止する機種が多い。

#### 4 - 7 故障診断

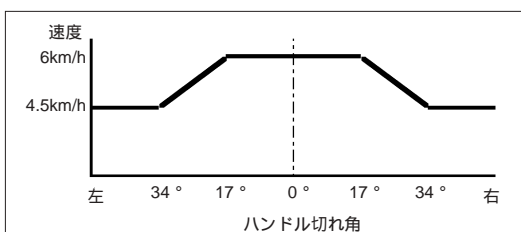


Fig. 12 ハンドル切れ角と減速

故障診断はユーザーに直結する安全機能ではないが、電動車いすの異常を警告し、故障を未然に防ぎ、結果としてユーザーを安全に導く意味で重要な機能である。代表的な故障診断は、その対応から大きく分けると、走行可、走行停止、電源オフの三段階に分けられる。

走行可の段階では、警告表示とアラーム音のみで、走行は可能である。診断内容としては、コントローラ温度上昇による出力低下、急坂登坂、バッテリー残量不足による停止前の警告等がある。

走行停止の段階では、警告表示とアラーム音に加えて、走行不可能となる。しかし電源（メインリレー）はオンのままで、原因が取り除かれれば、走行可能な状態に自動的に復帰する。診断内容としては、コントローラの異常高温、モータの連続高出力、充電ACコードが接続されたままになっている等がある。電源オフの段階は、電装系に何らかの故障があると判定された場合で、走行停止の上に、さらにメインリレーをオフし、以降、電源スイッチを切るまで警告表示とアラーム音を続けるだけとなる。診断内容としては、コントローラ制御系電源の異常、モータショート、モータの回転数パルス信号の異常等がある。

### 5 . 電動車いすの快適に関する技術

電動車いすを快適に使用できるよう、各メーカーがさまざまな工夫を凝らしている。以下に現在実用化されている機能について紹介する。

#### 5 - 1 車載充電器

電動車いすはバッテリーに蓄電されている電気エネルギーで走行するので、当然使用後は充電しなければならないが、外出先での充電が可能のように充電器が車載されたのは数年前で、依然として車載されていないものもある。特に自操用標準形は障害者の補装具として給付されるが、電動車いす本体と充電器が別々の給付であったことや、車両に納めるス

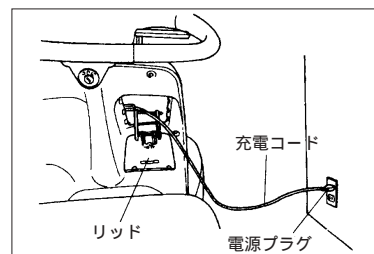


Fig. 13 巻き取り式電源コード

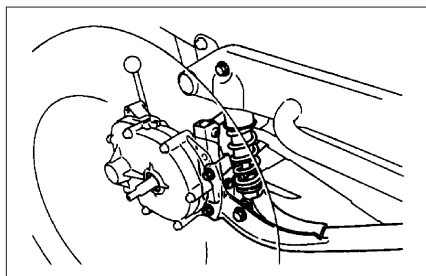


Fig. 14 自操用標準形のサスペンション

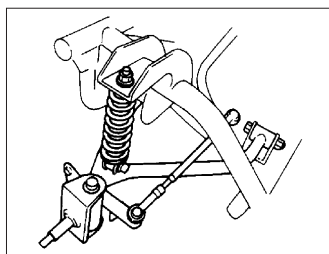


Fig. 15 前輪サスペンション

ベースが小さいことからハンドル形より遅れていた。

現在は、従来のトランス式充電器で車載している車両もあるが、スイッチングレギュレータ式の充電器を開発されたこともあって車載化が進んでいる。

スイッチングレギュレータ式の特徴は高周波で電源回路を構成するため、従来重量と容積のほとんどを占めていたトランスが非常に小型ですむことである。これにより全体的に小型化、軽量化された充電器を車載することができた。

また電源コードもFig.13に示すように自動巻き取り式コードリールを採用し、より快適に使用できるようになった。特にフロントレグシールド内にコードリールを配置した車両は、高齢者にとって扱い易くなっている。

### 5 - 2 サスペンション

サスペンションは乗り心地を向上させる機能として最も効果のあるものの一つである。加えて接地性を高め、駆動力を路面に的確に伝える効果も大きい。

自操用標準形の場合、ホイールベース、トレッドが小さく、四輪であることから接地性を重視し、またユーザーの体への負担を軽減する目的で、以前からサスペンションを装備した車両が多かった。そのほとんどがトレーリングアーム式サスペンションを後輪のみに装備している。Fig.14にその代表例を示す。また、自操用ハンドル形の場合は四輪タイプでは接地性を重視してサスペンションを装備されることが多くなった。その多くが前輪を左右独立懸架と

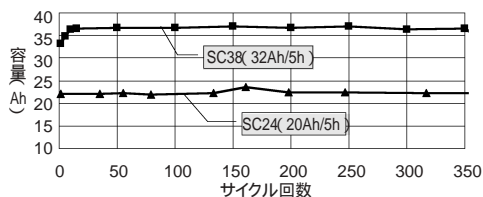


Fig. 16 バッテリーサイクル寿命

している。Fig.15に一般的な前輪サスペンション構造を示す。

### 5 - 3 シールドバッテリー

バッテリーは電動車いすの中で最も重要な部品の一つであり、最も重い部品でもある。一般的な電動車いすに搭載されるのは、安価で信頼性の高い鉛バッテリーが大半を占めている。

電動車いす用としては大量の放電、充電の繰り返し使用に耐えうよう設計されたサイクルサービス用バッテリーが用いられているが、近年はさらに航空機への搭乗や、メンテナンスフリーを要望する声が大きく、バッテリー液の補充をしなくてもすむシールドバッテリーが多用されるようになってきた。一般的なシールドバッテリーはガラス繊維製のリターナに電解液をしみ込ませ完全密封したもので、自動車等に搭載されているメンテナンスフリーバッテリーとは別物である。

電動車いすのバッテリーに要求される性能は安定した充放電特性と容量、サイクル寿命であり、それがユーザーへの安心や快適な使用につながると考えられる。バッテリーのサイクル寿命は、繰り返し使用しても容量低下の少ないことが望まれる。

Fig.16にシールドバッテリーのサイクル特性の一例を示す。

### 5 - 4 充電方式

充電はバッテリーの性能、寿命を左右する大切な要素で、各社さまざまな充電方式を採用している。最も一般的な充電は定電流定電圧方式で、ある一定の時間定電流を流し、バッテリー電圧が決められた値まで上昇した時、電圧が一定になるように電流値を下げていくものである。この方式を図に表すとFig.17のようになる。

定電流定電圧方式は、バッテリーに優しく一定の使われ方に対しては有効であるが、反面ある程度の期間使用されなかったバッテリーを充電する際は充電不足に陥る可能性もある。

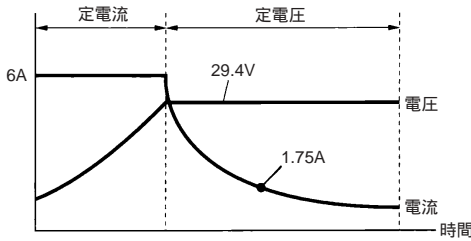


Fig. 17 定電流定電圧方式

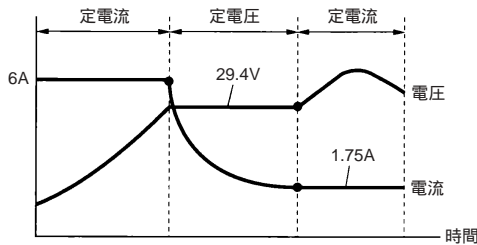


Fig. 18 二段階定電流方式

これに対し、性能が低下したバッテリーを刺激し、活性化させる方式として二段階定電流方式がある。この方式の特徴は、ある時間定電圧で充電した後、再び電流値を一定に保つよう電圧を上げるもので、電流を押し込むような形となる。この方式の一例を図に表すとFig.18のようになる。

これら二つの方式を適宜行うことによってバッテリーをリフレッシュし、常に最適な状態を保つようにしている。

5 - 5 パンクレスタイヤ

電動車いすの場合、ユーザーが障害者、高齢者であるため、パンクした場合のタイヤ交換、修理ができず、またスペアタイヤは装備していないのでその場で立ち往生してしまうことになる。

また電動車いすのタイヤは街の自転車店やガソリンスタンドでパンク修理を引き受けてくれないことがある。このような状況にならないよう近年はパンクレスタイヤが装備されている。

現在の一般的なパンクレスタイヤは、タイヤチューブの代わりにウレタン樹脂を注入し、タイヤ内部を完全な中実状態にしたものである。この方式は重さや路面の振動伝達の面で不利であるが、完全なパンクレスであり、電動車いすには適している。今のところ自操用ハンドル形で普及しているが、標準形は今後の課題となっている。

5 - 6 バッテリー残量表示

バッテリーの残量表示はユーザーに安心して使用してもらうための大切な要素である。一部の機種を

バッテリー残量計	バッテリー容量(%)	備考
全て点灯 <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	100 50 0 <input type="checkbox"/>	バッテリー容量に応じて1灯ずつ消えていきます。
2灯点灯 <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1灯点灯 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
電源ランプのみ点灯 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	もうすぐ停止します。停止の約1分前に警告ブザーが鳴ります。

Fig. 19 バッテリー残量表示

除いてほとんどが複数のLED(発光ダイオード)で残量表示をしており、きめ細かい情報を提供している。LED表示は単なるバッテリー電圧を表示するタイプもあるが、消費している電流も加味し、その時点の正確な残量を表示するようなものもある。このタイプでは電圧のみを表示しているもののように上り坂で残量が減ることもなく、また下り坂で増えることもない。またユーザーの心理として一灯目が消えると不安になることから、Fig.19に示すように一灯目に重みを置いているのが一般的である。

6 . おわりに

以上、電動車いすの安全、快適に関する技術で、現在実用化されているものについて報告した。JISで規定している安全に関する内容は必要最小限のもので、メーカーとして最低限保証する義務があるものである。しかし、これらの全てを満足していない機種が市販されているのが実情である。これは型式認定の取得及びJISへの適合は義務化されていないからで、業界としても真剣に取り組まなければならない問題でもある。

また電動車いすに求められている最も重要なものは故障しない信頼性である。パンク一つとってもユーザーは立ち往生してしまうので車両側での信頼性、メンテナンスフリーは今後も重要な課題と言える。

一方で車両側の対応だけでなく、自動車のような定期点検の実施、ユーザーへの指導、例えば交通安全の啓蒙活動を実施していくことが電動車いす全体の安全性、快適性につながると考えている。

参考文献

- 1) 日本工業規格 電動車いす JIS T9203 : 1999