

報 文

機能的な車椅子に関する研究

—座面昇降型車椅子におけるソーラーエネルギーの利用—

北九州職業訓練短期大学校 原 勝己・新貝 雅文

A Study on the Functional Wheelchairs

—Wheelchairs with Movable Seat Up and Down

Using Solar Energy—

Katsumi Hara, Masafumi Shingai

要 約 重度の肢体不自由者にとって電動車椅子の果たす役割は非常に大きいものがある。しかしながら、電動車椅子のエネルギー源は大型バッテリーであるために、車椅子本体の重量が大きくなり、その使用範囲が限定されているのが現状である。

そこで、本研究は「機能的な車椅子」をテーマとして、ソーラー発電システムを車椅子に利用することによって、昨年開発した座面昇降型手動車椅子の座面昇降エネルギーを太陽電池によって得るシステムを開発することを目的とし、さらに電動車椅子の走行エネルギーとして太陽エネルギーを活用することにより、電動車椅子の軽量化の可能性を探ることを目的とした。

車椅子は軽量かつコンパクトであることが望ましいことから、実験には車椅子に搭載する発電モジュールは30cm平方(900cm²)とした結果、6月の快晴時に太陽電池によって得られる電気エネルギーの量は約73wh/dayであるのに対して、車椅子の座面昇降に必要な電気エネルギーは搭乗者の体重が65kgのとき13.2wh/10回となっており、晴天時には座面昇降エネルギーは太陽エネルギーで充分賄えることが実証された。

しかしながら、車椅子の走行エネルギーには約93Wが必要とされるため、車椅子の走行エネルギーの全てを太陽エネルギーで賄うためには、車椅子を1日6時間走行させるとすると、日本における平均日照時間から概算しても発電モジュールの面積は約2m²が必要となり、このことは結果的に車椅子自身の機能性を損なうことになると思われる。この結果、電動車椅子に対しては、太陽エネルギーを補助エネルギーとして利用することによってバッテリーの軽量化をはかることが考えられ、ソーラー車椅子の形態としては小型の太陽電池と小型のバッテリーを組み合わせることによって、手動車椅子のコンパクト性を残した手動・電動兼用型車椅子が考えられる。

I はじめに

ソーラー発電システムは、太陽光を直接電気に変換することができる半導体で作られた光変換素子を利用して

電気エネルギーを得る発電システムであり、我々の住む地球から1億5千万kmの彼方から核融合反応によって膨大なエネルギーを発生している太陽光は、この地球上で得られる最もクリーンで、しかも恒久的なエネルギーである。

そこで、本研究は昨年本誌 (第4巻・1号) に掲載した、ロッドレスエアシリンダを利用した座面昇降型手動車椅子の座面昇降エネルギー源として、この太陽エネルギーを利用するシステムを開発することによって、座面昇降型車椅子に独立したエネルギー源を持たせ、車椅子の機能性を損なう電源コードやエア配管コードを無くすることによって、車椅子としての機能性をより向上させることを目的としている。

また、スイッチ一つで車椅子を自由に操作できる電動車椅子は多くの重度障害者にとって重要な役割を果たしているが、現在の電動車椅子は形態的にも重量的にも、乗用車や他の公共輸送機関への持ち込み等に多くの問題を残している。これらの問題の多くは電動車椅子に搭載された大型バッテリーに端を発するものであり、電動車椅子のコンパクト化や重量の軽減をはかるために、電動車椅子の走行エネルギーとして太陽電池の活用の可能性を探ることを目的とした。

II ソーラー車椅子の基本システム

昨年製作した座面昇降型手動車椅子の座面昇降システムはロッドレスエアシリンダをメカニズムの基本としているため、このシリンダを稼働させるためにはエネルギー源として圧搾空気が必要とする。圧搾空気はコンプレッサにより作られるが、コンプレッサを稼働させるためには電気エネルギーが必要となる。この電気エネルギーとしては一般的に家庭用AC電源やバッテリー電源が考えられるが、車椅子の機能性を考慮すると、電気コードやエアコードを外部から接続した状態での走行は車椅子の行動範囲を極度に限定することになり、またバッテリー電源は重量的に問題が残る。そこで、この電気エネルギーを太陽光から得ることによって、車椅子はAC電源や大型バッテリーから開放され、より機能的になるものと思われる。

Fig-1はソーラー発電を利用した車椅子の基本システムである。

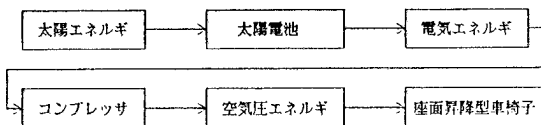


Fig-1 ソーラー車椅子基本システム

また、Fig-2はソーラー車椅子の基本システムをもとにして、実験室において製作した発電装置の構成結線図である。本研究はこの実験装置によって、太陽光による発電量、及びコンプレッサによる消費電力量を測定することによって、ソーラー車椅子の可能性を探るための基礎実験を行った。

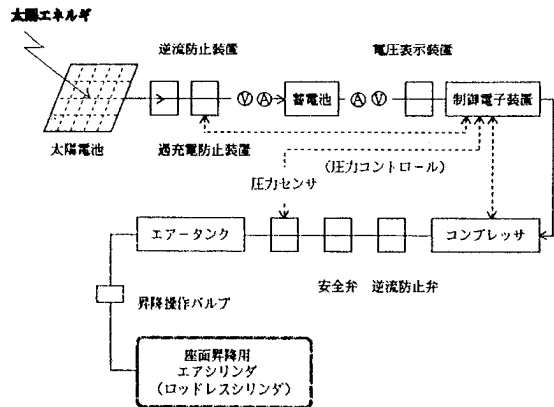


Fig-2 ソーラー車椅子構成結線図

また、実験には車椅子としての形態的、重量的な側面を考慮して、小型の太陽電池 (モジュール) と小型の蓄電池の組み合わせを基本として用いた。

太陽電池モジュール (HOXAN H-1104型)

種類	シリコン単結晶セル
モジュール寸法	L 340mm×W 326mm×H 30mm
モジュール重量	2.0kg
有効セル面積	900cm ²
最大出力	11.5W

蓄電バッテリー (松下電気産業KK 26A-19R)

蓄電池種類	自動車用鉛蓄電池
蓄電容量	12V 26Ah
バッテリー寸法	L 18cm×W 12cm×H 16cm
重量	7.6kg

コンプレッサ (マックスエアコンプレッサ
Mini)
寸法 L 19cm×W9cm×H14cm
出力 12V 200PSI
重量 1kg

北九州職業訓練短期大学校位置
経度 東経131度
緯度 北緯 34度

Fig-3・4・5は太陽電池 (モジュール) 及び実験装置の写真である。

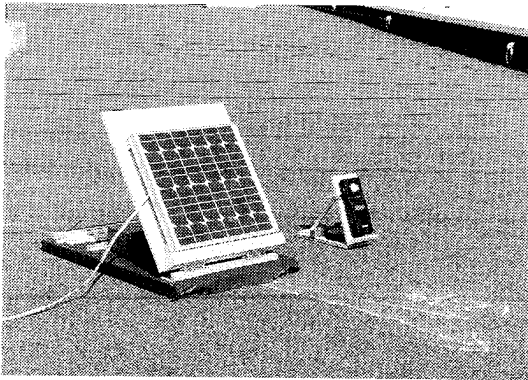


Fig-3 太陽発電モジュール (900cm²)

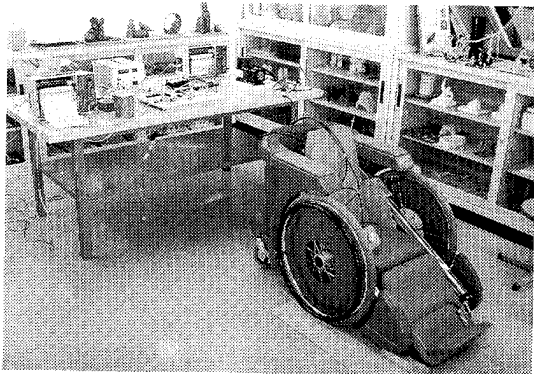


Fig-4 座面昇降型手動車椅子

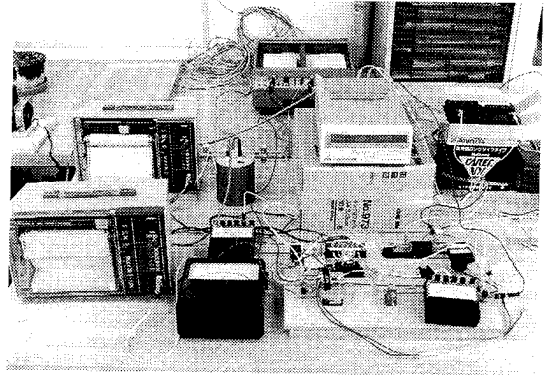


Fig-5 ソーラー発電実験装置

III 太陽電池による発電量

1. 太陽電池 (モジュール) の傾斜角度と方向

ソーラー発電は基本的には太陽光が得られる場所であればどこでも利用可能であるが、著しく天候に左右されることになる。特に雨天時や樹木、建物の影等の影響で太陽光の照度が低下するところでは発電量も著しく低下する。また、太陽光に対するモジュールの傾斜角や方向も大きな要因となる。一般に大型の固定式ソーラー発電システムにおいては年間を通じての集光率を良くするため、日本ではモジュールの傾斜角度は設置場所の緯度角に等しいか、または、曇天時の散乱光を受け易くするために緯度角よりやや少なめに設置し、その方向についてはモジュール面を真南に向けることがなされる⁽⁶⁾。Fig-6は6月の快晴時において北九州職業訓練短期大学校の3階屋上に面積900cm²のソーラー発電モジュールを設置し、モジュールの傾斜角及び方向と発電量の関係を測定した結果をグラフに表したものである。Aは傾斜角を45度に保ち、方向を真南に固定したときの発電量である。Bは傾斜角を0度 (水平) に保ち、方向を真南に固定したときの発電量である。Cはモジュールの傾斜角を45度に保ちながら、方向を30分ごとに太陽の移動に合わせて修正を行ったときの発電量を示している。

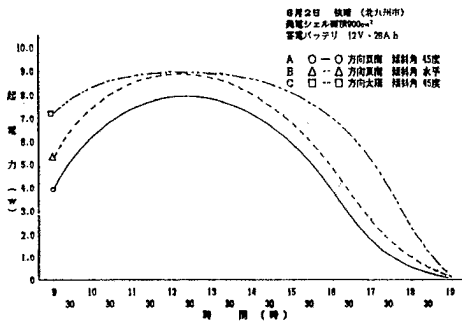


Fig-6 直射日光下におけるモジュール傾斜角及び方向と発電量

Fig-6に示すように6月の快晴時(照度4万~10万Lx)における発電量はAでは52.31wh/900cm²・dayとなっており最大起電力は8.05wであった。同様にBでは61.58wh/900cm²・day、8.93w、Cでは73.78wh/900cm²・day、8.93wであった。Fig-6からモジュール面を常に太陽の方向に向けておくことが最も発電効率が良く、このことから、車椅子において最も効率的なモジュールの取付方法としては、モジュールの傾斜角、方向ともにフレキシブルに可動させることができるような取付方法が望ましいと思われる。また、モジュールを車椅子の本体に固定させる取付方法では、車椅子は動的なものであり、その方向は常に可変的であることからモジュールは車椅子に対して多方向に取り付け、常にモジュールの一定面積が太陽の方向に向けられている状態が望ましいと思われる。

また、モジュールの傾斜角度については夏期と冬期では傾斜角に対する発電効率が大きく異なっており、特に冬期快晴時(2月)においては水平よりも角度をつけた方が発電効率は良く、発電効率はC(54.3wh/900cm²・day)、A(43.44wh/900cm²・day)、B(31.28wh/900cm²・day)の順になる。このようなことから、年間を通じて使用され、しかもバッテリーの蓄電能力も小さい車椅子では、太陽光が強く光量が有り余る夏期より、光量が不足する季節に発電効率を上げるように、また、全日では真昼に焦点を合わせるより、光量の弱まる真昼前後に発電効率の焦点を合わせる方が蓄電効率からすると有利だと思われ、モジュールの傾斜角は一般にいわれる角度(緯度角)よりも高角度に取り付けるほうが実用的だと思われる。

2. 曇天・雨天における発電量と室内発電量

太陽電池は太陽からの直射光が届かなくても、拡散光により起電力を発生するが、この量は直射光に比べると非常に少ない。Fig-7は6月の曇天時と雨天時における発電量と、6月の晴天時において人工照明をつけた室内での発電量を示したものである。また、曇天・雨天におけるモジュール方向は真南、傾斜角は水平である。

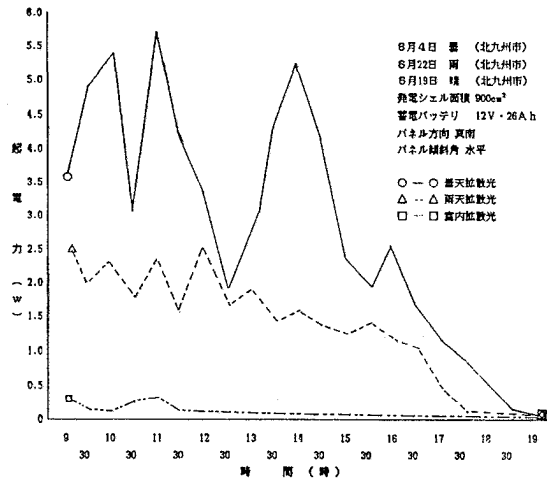


Fig-7 曇天時・雨天時発電量と室内発電量

曇天時(照度1万~7万Lx)における全日の発電量は27.39wh/900cm²・dayとなっており、最大起電力は5.44wであった。また、雨天時(照度1万~3万Lx)における全日の発電量は15.37wh/900cm²・dayで、最大起電力は2.63wであった。同様に晴天時における室内の発電量は0.62wh/900cm²・dayで、最大起電力は0.24wであった。

また、曇天時における発電量は快晴時の1/3程度であるが、雲の状態により起電力に大きなばらつきが生じることが特徴であり、雨天時では発電量は快晴時の1/5程度と少ないが、1日の起電力のばらつきは曇天時より小さくなっている。また、室内における発電量では人工照明の影響は非常に小さいが、窓等の開口部によって大きく影響を受けることになり、実験ではモジュールの方向が東窓方向で、窓から1m後方に45度の傾斜角で、直射日光があたらないようにして測定を行った。この結果、午前中の起電力は0.2w(3500Lx)とやや大きい、窓からの太陽光の差し込みが少なくなる午後では起電力は

0.1w (2000 L x) 程度でしかなかった。

また、照度と起電力の関係では、快晴時の日中では照度は10万ルクスを超え8 w程度の起電力が得られるが、5万ルクスでは3.2w程度となり、1万ルクスでは0.5w程度となる。また、照度が1500ルクスを下回ると、人間の視覚にとっては十分な明るさであるにもかかわらず電圧は12Vを下回り、電流も5 mA程度まで下がり、起電力は数ミリワット程度しか発生しないため、蓄電効果は期待できなくなる。

特に太陽光が無くなる夜間における人工照明での発電量は照度500ルクスで、電圧は3.3V、電流は0.1mAにとどまり、電卓のような数ミリワットの単位で稼働する機器には有効であっても、車椅子の座面昇降に必要なエネルギーの量からすると全く期待できない発電量である。

IV 車椅子の座面昇降に必要なエネルギー

1. コンプレッサによる電力消費量

座面昇降型車椅子のシステムは車椅子に搭載された小型のコンプレッサをバッテリーによって可動させ、これをエアータンクに一時的に蓄積し、必要に応じてエアータンクから吸気バルブを経てロッドレスシリンダに供給することによって、座面が上昇するようになっている。

また、エアータンク内の圧力は圧力センサによってコントロールされており、座面昇降によりエアータンク内の圧搾空気が消費され減圧が生じたとき、自動的にコンプレッサは起動するようになっている。

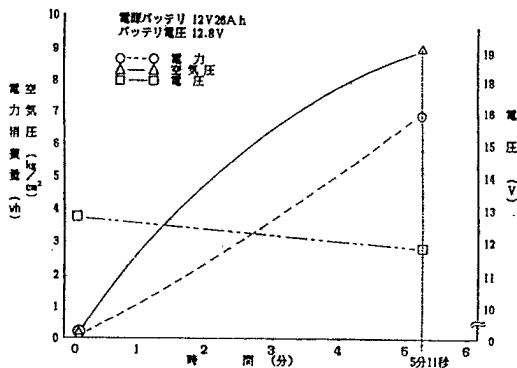


Fig-8 コンプレッサによる消費電力量

Fig-8は12V・26A hのバッテリー電源により12V・200PSIのコンプレッサを稼働させ、車椅子に搭載した3.9リットルのエアータンクに空気を充填したときの電力消費量を示したものである。

Fig-8から9kg/cm²の空気圧を得るのに5分11秒を要し、このときの電力消費量は6.9whであった。また、このときコンプレッサに流れる電流は4.2Aから8.2Aに上昇し、バッテリーの電圧は12.8Vから11.8Vに降下した。また、エアータンク内に蓄積される空気圧は放物線を描くのに対して電力消費量は直線的に上昇することから、エアータンク内の圧力が高くなる程コンプレッサのエネルギー効率は悪くなるのがわかる。

2. 各空気圧における電力消費量と座面上昇エネルギー

表-1はあらかじめ設定された空気圧を得るために必要な電力量とそれに要した時間、及び車椅子の座面を1回昇降させたときの残圧と、このとき消費された空気圧の回復に必要な電力量とそれに要した時間を示したものである。

表-1 各空気圧による座面上昇エネルギー

被験者体重 55kg
バッテリー容量 12V・26A h
バッテリー電圧 12.8
タンク容量 3.9 L

タンク圧 (kg/cm ²)	消費電力量 (Wh)	蓄積時間 (分・秒)	空気圧降下～回復圧 (kg/cm ²)	回復電力量 (Wh)	回復時間 (分・秒)
0~5	2.5	2・12	3.9~5	0.7	36
0~6	3.3	2・45	4.7~6	1.0	48
0~7	4.2	3・27	5.5~7	1.2	56
0~8	5.2	4・09	6.4~8	1.5	1・07
0~9	6.9	5・11	7.2~9	1.9	1・21

表-1から今、コンプレッサを稼働させ、3.9リットルの空のタンクに5 kg/cm²のエアを蓄積するためには12Vのバッテリーで2.5whの電力を必要とし、これに要した時間は2分12秒であった。また5 kg/cm²から体重55kgの搭乗者を1回昇降させるとタンク内の空気圧は3.9kg/cm²まで降下することになり、これを元の5 kg/cm²まで回復させるためには0.7whの電力を必要とし、空気圧の回復に要した時間は36秒である。

このように一度エアータンクに圧搾空気を充填すれば、後は1回の座面昇降でタンク内の空気圧は減圧され

るが、同時に圧力センサが働きコンプレッサが稼働するようになっており、そしてタンク内の空気圧が元の圧力に回復したところでコンプレッサは自動的に停止するようになっている。これを繰り返すことによって座面の断続的な連続昇降が可能となる。また、このとき回復に要する電力量、及び時間はセッティング圧力が高くなる程大きくなっており、このことから車椅子に搭載するエアータンク内の常備圧力は搭乗者を持ち上げることが出来る最低の空気圧に、圧力センサを設定することがエネルギー効率からすると最も良いことになる。

また、体重55kgの搭乗者がタンク圧を6 kg/cm²に設定した場合には連続した2回の座面昇降が可能であり、7 kg/cm²では連続2回、8 kg/cm²では連続3回、9 kg/cm²では連続3回となっており、体重に対してセッティング圧力を高くする程エネルギー効率は悪くなるが、連続昇降のメリットが生じることになる。

3. 搭乗者の体重別消費エネルギー

車椅子の座面昇降エネルギーは搭乗者の体重によって異なってくるが、表-2は搭乗者の体重別によるエアータンクのセッティング圧力と電力消費量の関係を示したものである。

表-2 搭乗者の体重別消費エネルギーの比較

電源バッテリー 12V・26Ah
バッテリー電圧 12.8V

エアータンク圧力(kg/cm ²)	55kg		65kg		75kg	
	回復圧力	10回/1日消費電力量(W・h)	回復圧力	10回/1日消費電力量(W・h)	回復圧力	10回/1日消費電力量(W・h)
5	3.9~5	8.8				
2.5	0.7					
2分12秒	36秒					
6	4.7~6	12.3	4.8~6	13.2		
3.3	1.0		1.1			
2分45秒	48秒		50秒			
7	5.5~7	15.0	5.4~7	15.9	5.3~7	16.8
4.2	1.2		1.3		1.4	
3分27秒	56秒		57秒		80秒	
8	6.4~8	18.7	6.3~8	20.5	6.2~8	21.4
5.2	1.5		1.7		1.8	
4分09秒	1分07秒		1分11秒		1分14秒	
9	7.2~9	24.0	7.1~9	25.8	7.0~9	26.7
6.9	1.9		2.1		2.2	
5分11秒	1分21秒		1分24秒		1分28秒	

今、体重55kgの搭乗者が1日に車椅子の座面を10回昇降させると仮定すると、これに必要な電力は、まず、空のエアータンクに5 kg/cm²の空気圧を得るために2.5w hを消費することになり、また、1回の座面昇降によって消費する空気圧を回復させるために必要な電力が0.7w hであることから、これを一日に9回行うことで、2.5w h + 0.7w h × 9回となり合計8.8w hとなる。

Fig-9は各体重別による1日に10回の座面昇降を行うと仮定したときの電力消費量と、そのときのセッティング圧力関係を示したものである。

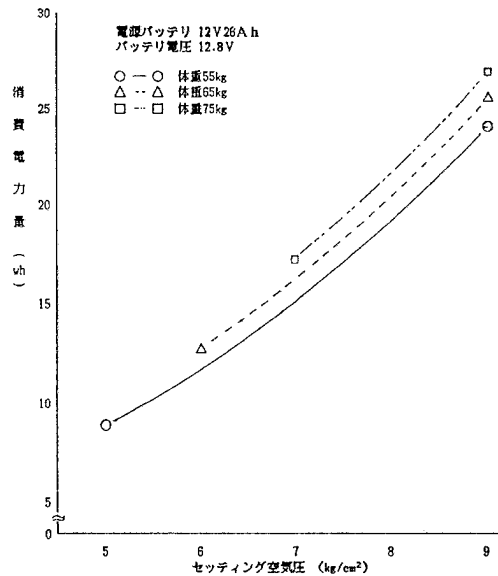


Fig-9 体重別座面昇降 (10回/1日) による電力消費量

Fig-9から座面昇降エネルギーは体重が増すとその消費エネルギーは大きくなるのは当然であるが、エネルギー効率からみると、体重差によるファクターよりエアータンクのセッティング圧力によるファクターが大きいことがわかる。このことからエアータンクの圧力センサは搭乗者を上昇させることができる最低圧力に設定することが最もエネルギーの損失を少なくすることになる。

また、体重55kgの搭乗者を1日に10回昇降させる電気エネルギーはセッティング圧力5 kg/cm²のとき8.8w hであり、同様に体重65kgではセッティング圧力6 kg/cm²で13.2w h、体重75kgではセッティング圧力7 kg/cm²で16.8w hとなる。

8w hとなっており、6月の快晴時に直射光によって1日で得られる電力量 $52.31\text{ w h} / 900\text{ cm}^2 \cdot \text{day}$ では、バッテリーの放電効率を70%としても 36.62 w h の有効電力が得られることから、6月における快晴時の屋外ではモジュール面積 900 cm^2 で1日に10回車椅子の座面を昇降させるエネルギーは確保できることがわかる。

V 手動・電動兼用型車椅子の提案

電卓などの数ミリワットの単位で稼働する機器では直射日光でなくても、室内における拡散光や夜間時の人工照明によるソーラー発電でも十分に有用であるが、現在の太陽電池の能力（エネルギー変換効率）からすれば、一般家電機器や電気自動車等のエネルギーを得るためには、やはり直射日光下において大面積の太陽電池と大型バッテリーの組み合わせが必要となってくる。車椅子においても走行に必要なエネルギーを確保するためには同様である。しかも条件的に屋外での使用に限定されず、また、重量的に大型バッテリーの搭載が不可能である車椅子では電力の蓄積能力に限界があるために、さらに大面積の太陽電池が必要となり、結果的にこれは車椅子の機能性を悪くすることになるとと思われる。

晴天時の太陽光のエネルギーは約 $1\text{ k w} / \text{m}^2$ であり、日本における平均日照時間は1日あたり約3.84時間であることから、1日あたり受け取る太陽エネルギーは 1 m^2 あたり約 3.84 k w h ($345.6\text{ w h} / 900\text{ cm}^2 \cdot \text{day}$)であるが、この太陽光エネルギーを変換効率10%の太陽電池を用いて光電変換し、いったんバッテリーに蓄えた後、必要に応じて電力として利用するとした場合、バッテリーの放電効率を70%と見込んで使用可能な有効電力量は1日あたり $270\text{ w h} / \text{m}^2$ ($24.3\text{ w h} / 900\text{ cm}^2 \cdot \text{day}$)となる⁶⁾。

今、75kgの搭乗者を座面昇降型車椅子で昇降させるとすると、コンプレッサのセッティング圧力を $7\text{ kg} / \text{cm}^2$ としたとき、1日に10回の昇降で 16.8 w h （表-2）の電力を消耗する。日本における平均日照時間から1日に $270\text{ w h} / \text{m}^2$ の電力が供給されるとすると、車椅子の座面を1日10回昇降させるためには約 622 cm^2 の発電モジュールで賄えることになる。また、 900 cm^2 の発電モジュールでは発電量は $24.3\text{ w h} / 900\text{ cm}^2 \cdot \text{day}$ であるから、1日に14回の座面昇降が可能となることになる。

また、電動車椅子の走行に必要なエネルギーは、搭乗者の体重が77kgで電動車椅子の重量が90kgのとき、低速走行時（2.5km/h）では約93w（ $24\text{ v} \cdot 3.9\text{ A}$ ）の起電力が必要であり⁷⁾、このことから電動車椅子を1日6時間走行させるためには 558 w h の電力が必要となり、日本における平均日照時間からすると、電動車椅子を1日6時間走行させるためには約 2 m^2 の発電モジュールを必要とすることになる。また、 900 cm^2 の発電モジュールでは電動車椅子は1日に約15分しか走行しないことになる。

また、このような概算は電動車椅子に搭載されたバッテリーが十分な蓄電能力（容量）を持っていることが必要条件となり、このためにはかなり大型のバッテリーを必要とするため、このバッテリーによる電動車椅子の重量の増加がさらにエネルギー効率を悪くすることになる。このようなことから、太陽エネルギーのみで現行の電動車椅子の走行エネルギーを全部賄うことには無理があると思われるが、これを走行補助エネルギーとして利用することは可能であると思われる。具体的には手動・電動兼用車椅子としての形態で太陽エネルギーを活用することである。現在の電動車椅子は走行エネルギーをすべて大型バッテリーの電力に依存しているため、重量的にも形態的にも完全に「クルマ」になりきっているために、バッテリーからのエネルギーが断ち切られた場合、完全に車椅子としての機能は失われ、立ち往生の状態になり、緊急避難の手段も持ち合わせていない。そこで、手動車椅子の機能を残した電動車椅子では、発電モジュールもバッテリーも小さくすることで、手動車椅子のコンパクト性を保つことによって車椅子全体の軽量化をはかり、エネルギー効率を上げ、屋外の直射日光の下では電動の援助を受け、楽に走行できる車椅子としての機能を発揮し、曇天などの直射日光の望めないところでは手動車椅子としての機能を保持する、いわゆるマルチタイプの車椅子としての手動・電動兼用型車椅子の開発は車椅子利用者にとって十分に有用であるものと思われる。

VI おわりに

本研究の目的は車椅子にソーラー発電システムを組み込むことの可能性を探ることであったが、本論のような各種実験を通じて、現実的に車椅子においてどれだけの

太陽エネルギーが得られるか、また、車椅子の座面昇降にどのくらいのエネルギーが消費されるかを確認した。

大型の固定式発電モジュールを使ったソーラー発電システムや電気自動車と違って、軽量でコンパクト性が強く要求される車椅子では、発電モジュールや蓄電バッテリーの大きさが極度に制限されることになるが、結論的には、座面昇降に必要なエネルギーは小面積の発電モジュールと小型のバッテリーの組み合わせでエネルギーを蓄積することによって、光量の少ない冬期においても可能であるが、これを車椅子の走行エネルギーとして利用することは6月の光量においては充分とはいえないことが判った。

また、太陽電池も今後開発が進み、エネルギー変換効率の向上や、セルの形態も現在よりもっとフレキシブルな曲線や曲面での使用が可能となると思われ、今後の研究としては、必要機器のコンパクト化をはかることで車椅子の軽量化を行うことが必要であり、特にデザイン的には、ソーラー発電能力が最も効率的に保てるように発電モジュールを車椅子のデザインの中に組み込むことが最大の課題である。

謝 辞

本研究に関して多大なご指導いただいた北九州職業訓練短期大学の皆様方、ならびに、飯塚総合脊損センターの皆様方に厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- (1) 荒木兵一郎、藤本尚久、田中直人：バリアフリーの建築設計。彰国社、1986。P.8-12
- (2) 厚生省社会局更正課監修：体の不自由な人びとの福祉。テクノエイド協会、1990。P.2-6
- (3) 日本建築学会編、山本泰四郎：ハンディキャップ者配慮の設計資料。彰国社、1987。P.27-28
- (4) 藤井石根編著：太陽エネルギー利用技術。工業調査会、1991。P45-46
- (5) 桑野幸徳、武岡明夫：太陽電池活用ガイドブック。パワー社、1991。P32-34
- (6) 桑野幸徳：太陽電池とその応用。パワー社、1990。P120

- (7) 飯塚総合脊損センター医用工学研究室：肢体不自由者用ME機器開発に関する研究調査報告書。日本障害者雇用促進協会調査研究報告書NO118。P13-14