

電気二重層コンデンサを用いた電動バイクの評価

A Study of an Electric Motorcycle Using Electric Double-layer Capacitors

鎌田靖由* 小野和雄** 渡邊健二*** 津田光一** 坂田博**

Yasuyoshi KAMADA*, Kazuo ONO**, Kenji WATANABE***, Kouichi TSUDA**
and Hiroshi SAKATA**

We have assembled a small-scale electric motorcycle with a power source consisting of the electric double-layer capacitors (EDLC) to study its practical implementation for short range vehicle. A dsPIC 3012 is utilized for obtaining the data describing running performance such as current and voltage in the circuit comprise of EDLC and DC-motor as well as speed of motorcycle. Measured data are compared with those calculated from the simulation model of an electric motorcycle which is described by the system of equations of the electric circuit and the equation of motion. Experimental results and therefore the simulation are in good agreement.

Key words: Electric motorcycle, Electric double-layer capacitor, Running performance, dsPIC

1. 緒言

近年、地球温暖化防止のための炭酸ガス排出規制など環境保護の観点、そしてエンジンに比べて制御の幅が広いことなどを理由に、燃料を動力源とする機器、車両の電動化としてCO₂低排出のEV、HEVなど、電気駆動車両の開発が地球規模で行われている。そしてこのような電気駆動車両はモータで走ることから、エネルギー密度が高い二次電池が移動体の蓄電装置として広く利用されている。しかし二次電池は化学電池なので充電状態や劣化程度がわかりにくく、また電気自動車のような充放電を高速で繰り返すような過酷な環境下での使用に向かないため、モータの能力を活かしきることができない。

そこで本研究では電気二重層キャパシタ(EDLC)に注目した。現在は補助的な役割で搭載されていることが多く、エネルギー密度はまだまだ低いものの、瞬間的に大電流を取り出すことができ、また充電時間が短くて済む等の特長がある。そこで、EDLCを電動バイクのメインの電源として使用した場合、二次電池と比較してどのような特徴があるのか、また実際に電源として実用に耐えうるのかということに注目し検討を行った。本論文では二次電池として鉛蓄電池とEDLCを自作電動バイクに搭載して、電流、電圧、速度等のパラメータから、実際に搭載してどれぐらいの能力を発揮するのか比較検討を行い、その結果をまとめている。

*四国電力株式会社

*Shikoku Electric Power Company, Incorporated, Takamatsu

**愛媛大学大学院理工学研究科

**Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, Matsuyama

***工学部アドバイザー

***Corporate Adviser of Faculty of Engineering, Ehime University, Matsuyama

原稿受理 平成24年10月31日

また、電源およびモータの等価回路と走行抵抗など、走行特性の数値シミュレーションに必要なパラメータを測定あるいは推定により決定し、走行特性の数値シミュレーションを行い、走行特性の実験結果と比較検討している。

2. 電気二重層キャパシタ(EDLC)

本章ではコンデンサの一種である、電気二重層キャパシタ (Electric double-layer capacitor、以下 EDLC)の原理と特長、そして現在ほどのようにして使用されているかを記述している。

2.1 EDLC とは

2.1.1 EDLC の構成と電荷貯蔵原理¹⁾

一般のアルミ電解などのコンデンサは誘電体(絶縁物)を挟んだ電極に電圧を印加すると双極子が配向して電荷が貯えられる。EDLCは電解液と電極の界面に極めて短い距離を隔てて電荷が配向する現象(電気二重層)を利用し、物理的に電荷を貯えている(Fig. 2.1)。EDLCの電極には比表面積の大きな活性炭が用いられている。

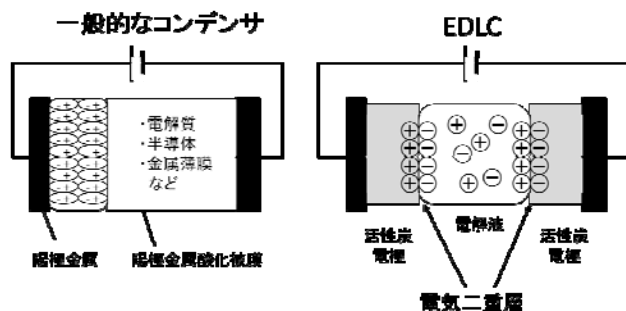


Fig 2.1 EDLC の構成

EDLCの基本的なセル構成は、セパレータを介した2枚の分極性電極と電解液からなる。電圧をOCV(Open Circuit Voltage)=3.0Vから印加し、正負活性炭電極を分極させると容量増加とともに直接的に電圧が上がり、電解液中のイオンが電荷補償のため電極表面へ引き寄せられ、正極・負極上で電気二重層が形成される(Fig. 2.2)。電気二重層に蓄積される容量C(capacitance)は、平板コンデンサをモデルに考えると、次式で定義される。

$$C = \int \epsilon / l dS \quad (2-1)$$

ここで ϵ は電解液の誘電率、 l は電気二重層の厚さ、 S は電極表面積である。この式からも分かるように、比表面積の大きな電極材料を用いることが必要不可欠である。電極材料には下記の特性を有する高純度な活性炭材料が用いられている。

- (1)約 $2000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ の比表面積を有する。
- (2) $3 \sim 10 \mu \text{ m}$ の微細粒子径である。
- (3)非分極性である。
- (4) $0.1 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 以下の高い電気伝導度を示す。

賦活処理によりマイクロ細孔(2nm以下)やメソ細孔(2~50nm)を増加させ、比表面積を大きくした活性炭粒子や活性炭繊維が開発され、電極重量当たり 100 Fg^{-1} 程度の容量性密度が達成されている。電解液は、大きく水系電解液と非水系電解液とに分けることができる。水系では硫酸水溶液が主流であり、非水系は溶媒にプロピレンカーボネート(PC)、支持電解質にテトラエチルアンモニウムテトラフルオロボレート(Et_4NBF_4)などの四級アンモニウム塩を用いた電解液が多い。EDLCのエネルギー密度はVの2乗に比例して大きくなるため、電位窓(電解液の酸化還元反応が起こらない電位範囲)が広い電解液が有利となる。非水系(2.5V)の電位窓は水系(約0.8V)に比べて広く高エネルギー密度が得られるため、現在のところ非水系がほとんどである。一方、水系はエネルギー密度の点では非水系に劣るものの、出力密度が高い(非水系の3~5倍)ことや安全である等のメリットがある。

EDLCに蓄えられるエネルギーEはCと作動電圧Vにより式(2-2)で表わされる。

$$E = 1/2CV^2 \quad (2-2)$$

したがって、高エネルギー密度化のためにはなるべく高い電圧で作動させることが必要となる。そのため広い電位範囲で理想分極性電極に近い挙動をとるものが電極材料として望ましい。実際に用いられている活性炭では、正極における活性炭表面の官能基由来によるガス発生(CO₂, CO)、不純物である水(活性炭細孔内部に閉じ込められていた)の負極電極上での電気分解によるガス発生(H₂)や電解液の分解生成物の堆積等様々な副反応により、その電圧は制約されている。現在の耐電圧の限界は2.5~2.7 V程度とされているが(Fig. 2.3)、1998年には2.1 Vである。たった0.6 V上げるのに10年もの開発期間を要したことから数十万サイクルを補償する製品作りは非常に難しいことが分かる。

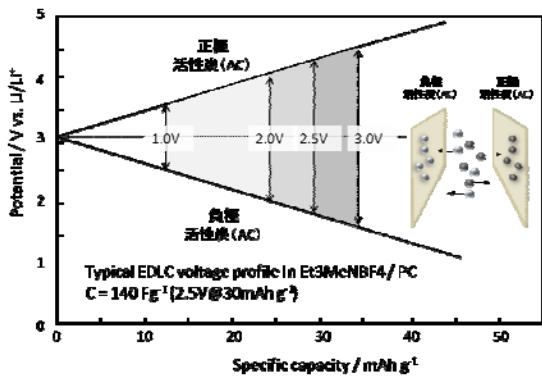


Fig. 2.2 EDLCの蓄電メカニズム

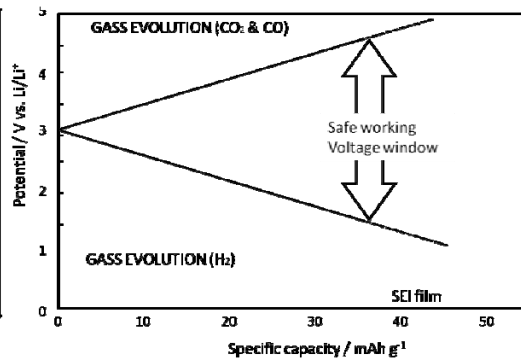


Fig. 2.3 ガス発生と耐電圧の関係

2.1.2 EDLCの機能と性能

EDLCは他の蓄電デバイス(主に二次電池)と違い、科学反応ではなく物理現象で電気を蓄えることができるので電池にはない6つの特徴を有する。

- (1) 大電流放電ができること
- (2) 応答速度が速いこと
機種により差異があるものの、概ね数kHz程度までは低インピーダンス帯域として使用できる。Fig. 2.4は54V・67F定格品での25°Cにおけるインピーダンスの周波数特性例を示す。
- (3) 充放電時の損失が小さく効率が高いこと
- (4) 過酷な使用条件でも耐久性を有すること
- (5) 充放電制御が容易であること
- (6) 長寿命であること

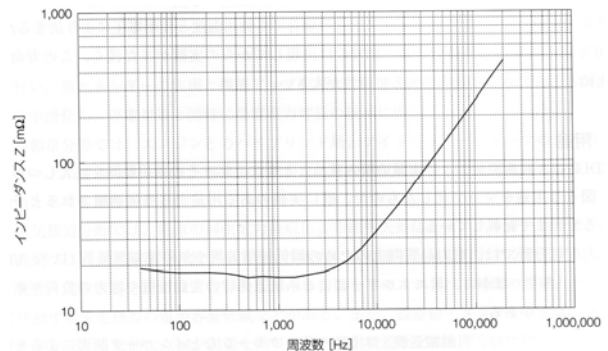


Fig. 2.4 EDLCのインピーダンス周波数特性例(54V・67Fモジュール)³⁾

3. 電動バイクの走行抵抗と回路方程式

電気自動車はエンジンの代わりにモータとバッテリー、車載充電器、二次電池、制御装置などを備え、ガソリンの代わりにバッテリーに充電された電気を使って走行する自動車である。本章ではPWM制御を行う電動バイクの特性や特徴を詳しく解説していく。

3.1 走行抵抗

自動車や電動バイクが走行するときに邪魔する力を走行抵抗といい、これがモータの駆動力と逆の方向に働く。したがって、走行抵抗の次元は力の次元ニュートン[N]である。以下ではこの走行抵抗を F_r で表す。車両が走行しようとするときに外部から受ける抵抗としては次のものが挙げられる。

(a)空気抵抗

空気抵抗は車体周りの空気の流れにより発生する抵抗をいい、車速のほぼ二乗に比例し大きくなる。高速走行したときにパワーが必要になる主な原因である。(3-1)式に示す。

$$Ra = \frac{1}{2} \rho Cd \cdot A \cdot v^2 \quad (3-1)$$

Ra : 空気抵抗[N]、 ρ : 空気の密度[kg/m^3]、 Cd : 空気抵抗係数(無次元)、 A : 車両前面投影面積[m^2]、 v : 車両走行速度[m/s]である。

またここでの ρ は

$$\rho = \frac{1.293P}{1 + 0.00367t} \quad (3-2)$$

P : 大気圧[atm]、 t : 温度[$^{\circ}\text{C}$]である。

空気抵抗の大きさは空気抵抗係数 Cd を用いて表すことが出来る。その大きさは形状と密接な関係を有しており、Fig. 3.1 にはその値が示されている。

(b)転がり抵抗

動力系や駆動系の摩擦損失、タイヤ変形による熱損失、および路面とタイヤ間のすべりによるエネルギー損失などで発生する抵抗で、各部の摩擦係数の大きさと、車両総質量に比例して大きくなる。次式は転がり抵抗の式であり、

$$Rr = \mu \cdot M \cdot g \quad (3-3)$$

Rr : 転がり抵抗[N]、 μ : 転がり抵抗係数(無次元)、 M : 車両総質量[kg]、 g : 重力加速度[m/s^2]である。

(c)勾配抵抗

坂を上るときとき、重力の方向が車両の後ろ向きの成分をもつために生じる抵抗力のことである。車両の重量に比例して大きくなる。式で表わすと次式のようなになる。

$$R_{\theta} = M \cdot g \cdot \sin \theta \quad (3-4)$$

R_{θ} : 勾配抵抗[N]、 M : 車両総質量[kg]、 g : 重力加速度[m/s^2]である。

(d)加速抵抗

車両が加速に必要な力で、いわゆるニュートンの運動の第2法則 $F=Ma$ の F のことである。厳密にはタイヤやホイールなどの回転している部分も車速に応じて回転が上がらなくてはならないので、式は

$$R_h = (M + m) \cdot \alpha \quad (3-5)$$

となる。ただし R_h : 加速抵抗[N]、 M : 車両総質量[kg]、 m : 回転部分相当質量[kg]、 α : 車両加速度[m/s^2]である。

これら4つの抵抗成分とモータ出力との間には








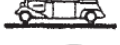

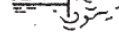
形状	空気抵抗係数	形状	空気抵抗係数
	0.04-0.05		0.45
	0.13-0.15		0.51
	0.20		0.64
	0.22		0.95
	0.31		1.17

Fig. 3.1 形状と空気抵抗係数¹⁰⁾

$$P = \frac{(R_a + R_r + R_\theta + R_h) \cdot v}{\eta} \quad (3-6)$$

P : モータ出力[W]、v : 車速[m/s]、 η : 伝達効率という関係式が成り立つ。

3.2 走行時の回路方程式

永久磁石界磁型直流モータを用いた電動バイクの等価回路は Fig. 3.1 のように表すことができる。このような回路の振る舞いは微分方程式で記述することができるが、本稿では、数値的に電流や電圧の応答を求める。そこで、微分方程式を時刻 t と僅かな時間 Δt 経過した時刻 $t + \Delta t$ における差分方程式の形で表す。永久磁石界磁型直流モータを搭載した移動デバイスの走行中の回路方程式は以下ようになる。

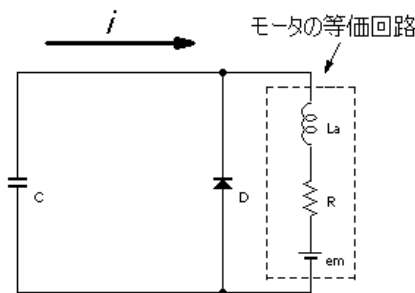


Fig. 3.2 走行中の等価回路

$$i(t + \Delta t) = i(t) + \frac{e(t) - e_M(t) - Ri(t)}{L_a} \Delta t \quad (3-7)$$

$$e_M = K_E \phi \omega \quad (3-8)$$

$$\tau = K_T \phi i \quad (3-9)$$

$$\omega = \omega + \frac{\tau - \tau_L}{J} \Delta t \quad (3-10)$$

$$e = e - \frac{i}{C} \Delta t \quad (3-11)$$

i : 電流[A]	e : 電源電圧[V]	e_M : 逆起電力[V]	L_a : 電機子リアクタンス[H]
R : 電機子抵抗[Ω]	τ : モータトルク[N・m]	K_T : トルク係数[定数]	
K_E : 起電力係数[定数]	ω : モータ角速度[rad/s]	C : 静電容量[F]	
J : 慣性モーメント[$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]	τ_L : 負荷トルク[N・m]	ϕ : 界磁磁束[Wb]	

4. 実験装置

本章では鉛蓄電池と EDLC との性能比較実験を行う際に、電流電圧値を記録することが必要である。電動バイクは PWM 制御で駆動されるので、電流波形は矩形波のようになり、電流を平均化して表示する必要がある。そこで駆動周波数 1kHz よりも高い周波数でサンプリング出来て平均化処理を行う機能を持ち、突入電流対策として最大 50A 程度の直流電流を走行中でも記録し続けることができる装置を、dsPIC を用いて実際に制作した。その各種センサおよび PWM 制御回路の動作説明を行う。

4.1 電流・電圧・速度測定センサ

Fig. 4.1 に回路図を示す。動作原理として、電流センサ CYS5-50 に電流が流れると、それに応じた線形出力電圧が Output から出力される。これを dsPIC の端子 AN0 の電圧を A/D コンバータで約 6kHz の周波数でサンプリングを行い、送信用データに変換して PC 側に送信する。dsPIC の AD コンバータは 12bit であり、分解能は 40mA に相当する。それと同じように、電源側の電圧を

分圧し、端子 AN1 の電圧値を A/D 変換してを読み込んだ後、電源の電圧値に変換して送信する(分解能 10mV)。なお電流・電圧データは 0.1 秒に 1 回送信される。

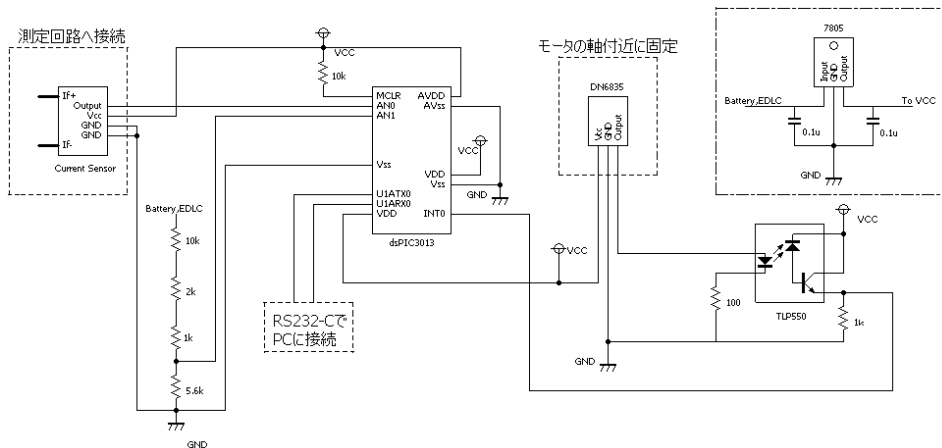


Fig. 4.1 電流センサ回路図

速度データは、モータ側に Fig. 4.2 のようにネオジウム磁石を固定し、それに磁気センサ DN6835 を通過するたびにパルス信号を発生させる。その信号は微弱であるため、フォトカプラを通して波形を整形および増幅している。その信号を dsPIC に入力し、割り込み処理をかけて dsPIC 内蔵タイマによる時間を呼び出して、速度の計測を行っている。データは約 0.5 秒に 1 回送信される。Fig. 4.3 に 4.1 の測定計でデータを取り込むためのフローチャートを示す。

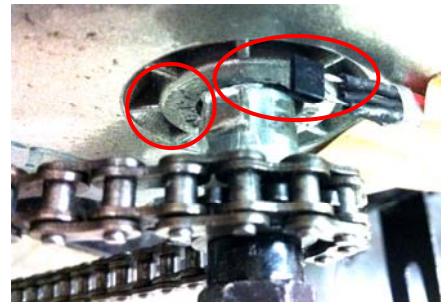


Fig. 4.2 速度計測装置
(左がネオジウム磁石、右が磁気センサ)

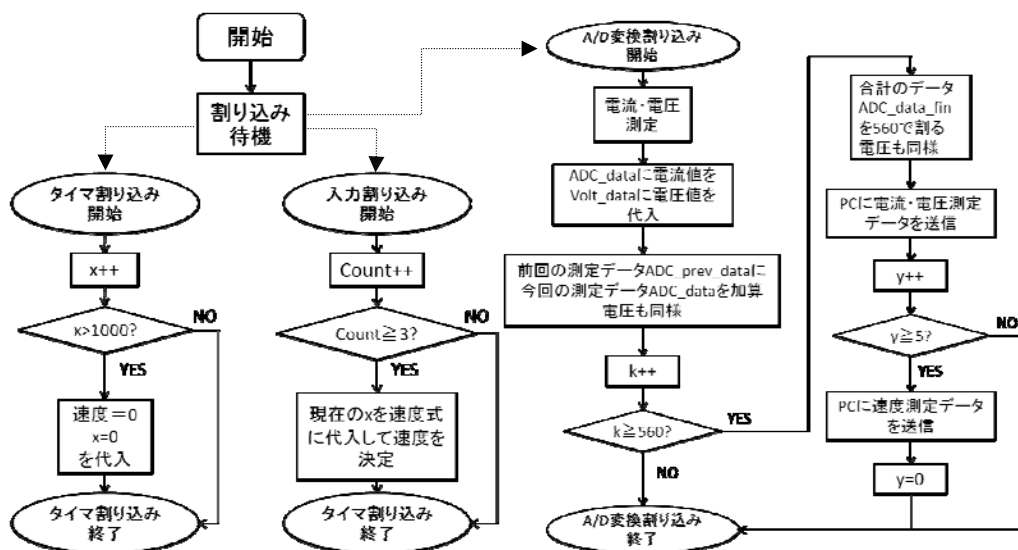


Fig. 4.3 走行データ測定用回路のフローチャート

4.2 電動バイク



Fig.4.4 実験用電動バイク

・車体 実験用に製作した電動バイクの写真と定格を Fig. 4.3 と Table 4.1 に示す。これは山真製鋸製ドラゴンスクーターを車体カバーを外し、車体とモータのみを取り出して作製した。

Table 4.1 実験用電動バイクの定格

メーカー	山真製鋸
全長×全幅×全高	1000×470×1100 mm
軸間距離	800 mm
車両重量	13.7 kg
減速比	6.091 (ギア比 11/65)
後輪タイヤ半径	106 mm

・実験用モータ

こちらも山真製鋸製バイクに搭載していた 24V 200W モータを採用した(Fig. 4.4)。詳しい定格については Table 4.2 に示す。

Table 4.2 実験用モータの定格

種類	永久磁石界磁型直流モータ
メーカー	Unite Motor
型番	MY1016
定格電圧	24 V
定格電流	11.5 A
定格回転数	2750 rpm
定格出力	200 W



Fig. 4.5 実験用モータ

4.3 EDLC

今回実験で使用した EDLC の図と定格を Fig. 4.10 と Table 4.3 に示す。なお EDLC の詳しい解説に関しては第 2 章に記載している。EDLC は電源として鉛蓄電池と違い最大充電電流値が大きく、大電流で短時間での充電が可能となっている。また鉛を使用しておらず環境負荷も小さい。



Fig. 4.6 電気二重層キャパシタ

Table 4.3 実験用 EDLC の定格¹³⁾

メーカー	Rubycon
定格電圧	15 V
重量	1.15 kg
データシート最大内部抵抗 (直列接続使用時)	60 mΩ
減速比	6.091 (ギア比 11/65)
充電時間(Max 10A)	5 分

4.4 実験用バイクの回路方程式

第3章3項に記述している回路方程式の各パラメータの導出を行う。

まずモータの電機子抵抗 R および電機子リアクタンス L を、LCRメータを用いて測定する。結果は $R=0.5 [\Omega]$ 、 $L=586 [\mu\text{H}]$ となった。そして静電容量 C は1セル 1000F を6つ直列に接続しているため、 $C=167 [\text{F}]$ である。また、実測値より起電力係数 $K_T=2\pi K_M/60$ 、トルク係数 $K_T \phi=0.0573$ と求まる。モータとタイヤとはチェーンで接続されており、その比はモータ：タイヤ = 11 : 65 であることから、モータで発生する負荷トルク τ_L は、

$$\tau_L = R \times L \times 11/65 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (4-1)$$

R : タイヤ側負荷抵抗[N] L : タイヤ半径[m]

慣性モーメント J は

$$J = \frac{GD^2}{4} + (M \times L) \times \left(\frac{11}{65}\right)^2 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2] \quad (4-2)$$

G : 電機子質量[kg] D : 電機子直径[m] M : 車両総重量[kg] L : タイヤ半径[m]

となり、

$$J = \frac{0.975 \times 0.8^2}{4} + (81 \times 0.106) \times \left(\frac{11}{65}\right)^2 = 0.2475$$

以上からこの実験用バイクの回路方程式は次のようになる。

$$i = i + \frac{e - e_M - 0.5i}{586 \times 10^{-6}} \Delta t \quad (4-3)$$

$$e_M = 0.0573 \omega \quad (4-4)$$

$$\tau = 0.0573 i \quad (4-5)$$

$$\omega = \omega + \frac{\tau - \tau_L}{0.2475} \Delta t \quad (4-6)$$

$$e = e - \frac{i}{167} \Delta t \quad (4-7)$$

5 特性測定実験

製作した電動バイクの性能を求め、そして EDLC と鉛蓄電池の性能を測定する実験を行った。

5.1 走行特性

5.1.1 実験方法

Fig. 5.1 のように回路に満充電 (15V) にした EDLC を接続し、スイッチをオンにした後、1周約 29m のコースを電動バイクで走り続ける。その時の電流、電圧、速度を測定する。ただし、dsPIC の電源電圧もそこから得ているので(5V 80mA 程度)、蓄えたエネルギーの約 3/4 消費できる 7.5V を終了電圧とした。

5.1.2 実験結果

Fig. 5.1、Table 5.1 に実験結果を示す。

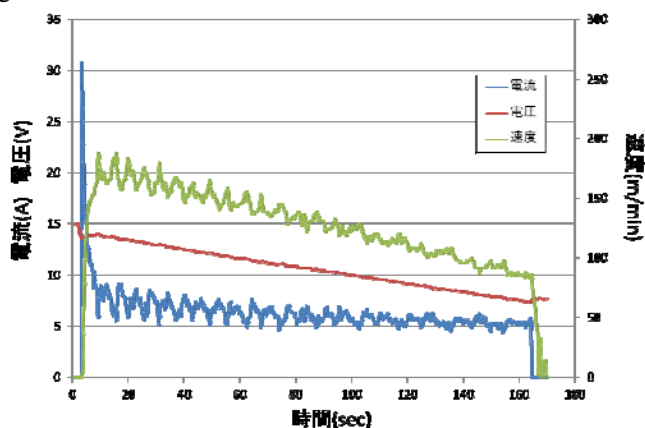


Fig. 5.1 走行特性測定実験結果

Table 5.1 走行データ

走行距離[m]	333
走行時間[sec]	161
車両総重量[kg]	81

5.1.3 シミュレーション値との比較

電気自動車用の走行シミュレーションプログラムを応用して、製作した電動バイクの走行シミュレーション結果から、走行抵抗の推測を行った。シミュレーションソフトは Scilab を使用した。

この電動バイクの走行抵抗は

$$\text{転がり抵抗値 } R_r = 0.01 \times 81 \times 9.8 = 7.938 [\text{N}]$$

$$\text{空気抵抗値 } R_a = 0.2025 \times v^2 [\text{N}]$$

$$v: \text{車速} [\text{m/s}]$$

$$R = R_r + R_a [\text{N}]$$

である。しかし、モータとタイヤのギア比は 11 : 65 で接続されており、そのタイヤ半径は 0.106[m]である。以上よりモータで発生する負荷トルク τ_L は

$$\tau_L = R \times 0.106 \times 11/65 [\text{N} \cdot \text{m}]$$

となる。車速 v が 0 から 3.13 の値をとることから、負荷トルク τ_L は 0.143 から 0.179 の値でモータに加わることが推測される。よって、モータで発生した駆動トルクからこの負荷トルクを引いたものがバイクの駆動力に利用されている。

この結果をシミュレーションプログラムに代入して実行したときの結果を Fig. 5.2 に示す。Fig. 5.1 と比較して分かるようにほぼ同じ値を表示している。測定データと比較しても突入電流は 32A に対しシミュレーションでは 28A で、電源電圧が 7.5V になるまでにかかる時間もほぼ 160 秒前後とほぼ同じ値を示している。

このことから、永久磁石型直流モータを搭載した移動デバイスの車両総重量、全面投影面積、タイヤ半径、ギア比、搭載モータのトルク係数、内部抵抗、内部インダクタンス、電源の静電容量、路面の状況が分かれば、シミュレーションを用いて、回路に流れる電流値や発生トルク等の動作特性を明らかにすることができる。

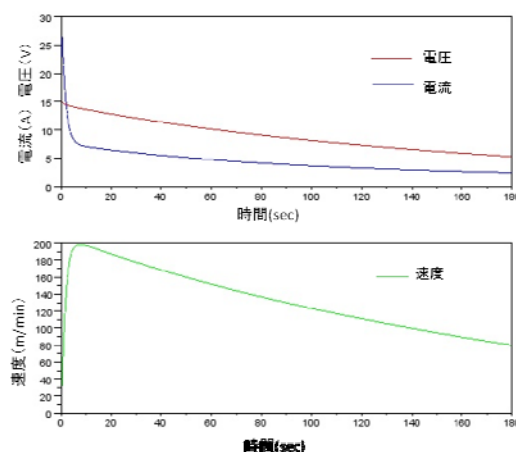


Fig. 5.2 シミュレーション結果

5.2 回生制動時の動作

5.2.1 実験方法

電源に接続していない状態で製作した電動バイク (2 次側) の後輪を、もう一台の電動バイク (1 次側) の後輪に直接接触させ回転させ、疑似的に坂を下っている状況を再現する (Fig. 5.3)。1 次側を

一定速度で運転しているときに、2次側のモータと、あらかじめ同じ電圧にしておいた EDLC と鉛蓄電池とを接続する。その時に電流が約 0.8A 程度流れるように設定して、その時の電流、電圧、速度を測定した。

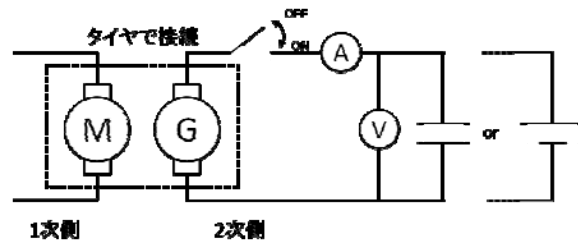


Fig. 5.3 電力回生実験回路図

5.2.2 実験結果

Fig. 5.4、5.5 に鉛蓄電池および EDLC の回生時の電流電圧速度波形示す。電流、電圧の比較グラフを Fig. 5.6 に示す。

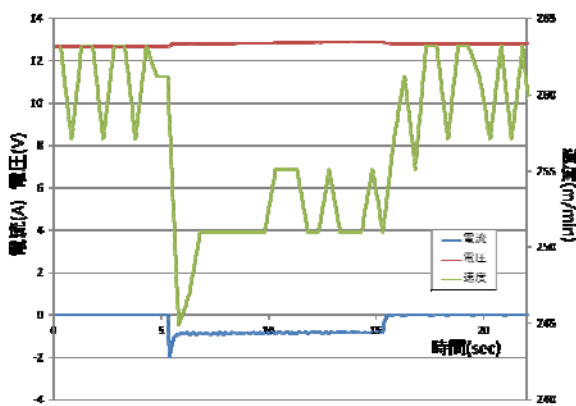


Fig. 5.4 鉛蓄電池の回生時波形

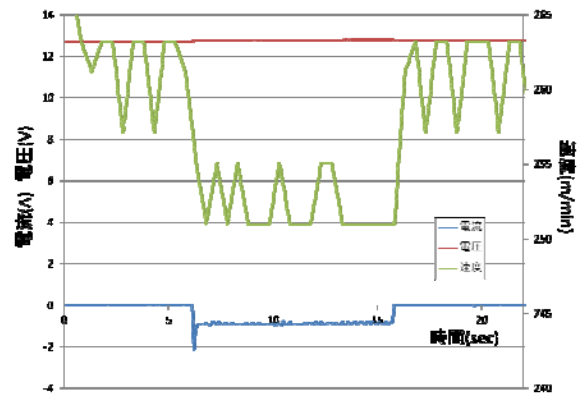


Fig. 5.5 EDLC の回生時波形

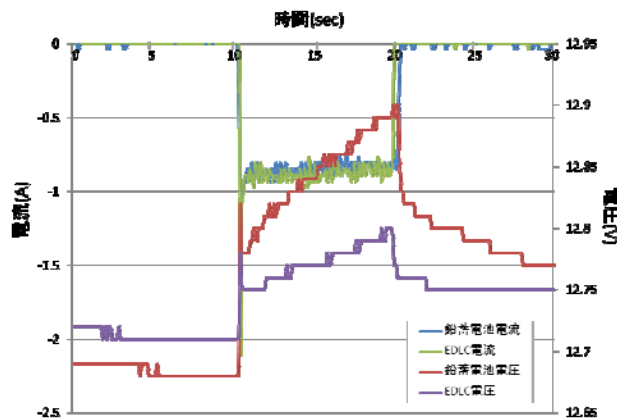


Fig. 5.6 回生時の電流・電圧波形比較

5.2.3 考察

Fig. 5.4, 5.5 より回路を接続、すなわち電力回生を行っている期間は電流が 2 次側モータを駆動させる方向と逆向きの方向に流れ、電圧が上昇していき、速度が低下しており、回生制動として機能していることが分かる。

Fig. 5.6 より、回生期間中に同じだけ電流を流しているが鉛蓄電池の方が、EDLC に比べて電圧の上昇率が高く、また同様に終了後の低下率も高かった。これは EDLC が物理反応を用いて電気を蓄

えているのに対して、鉛蓄電池が化学反応を利用していることに原因があるのではないかと考えられる。

6. まとめ

本実験に使用した EDLC は 1 5 V 1 6 7 F と小さいため、速度 2.06 m/s、走行距離約 330 m とまだ 1 充電走行距離としては短い。しかし、人ではなく工場での荷物運搬用などルートが決められた移動装置の電源としては有用であると考えられる。

鉛蓄電池と EDLC を比較した場合、発進時や駆動時を想定した PWM 制御時の電流、速度は大きな違いがなかったが電圧に大きく違いが生じた。これは $Q=CV=It$ より C の値があまり大きくないので、大電流が流れるとすぐに電圧が下がることが原因であると考えられる。また測定回路のサンプリング機能から電圧値と電流値の変化幅から内部抵抗を推定することができた。その結果から鉛蓄電池は残容量が減るに従って内部抵抗が増加するが、EDLC はほとんど変化しないことが分かる。

電動バイクと電動バイクを接続し実験用モータを外部から回転させることで疑似的に坂を下っているという環境を作り、そのエネルギーを電源側に充電するという実験を行った。その結果から、鉛蓄電池、EDLC 両方とも速度が落ちて、電流が流れ、充電されることを確認できた。その時、電圧値に変化が生じた理由としては化学反応と物理反応の違いに起因するのではないかと考えられる。

本研究に使用した電動バイクは小型のバイクであること、EDLC は電圧が低く容量も小さいもので、実用手前の実験装置の域を出ないものであった。しかし、モータの等価回路とバイクの走行抵抗などの少数のパラメータを測定し、これらを数値計算に考慮することにより、実験結果とシミュレーション結果はよい一致を示した。このことは、電動車両の走行特性は比較的少数のパラメータを測定することにより数値的に解析することができることを意味する。そこで、今後、バッテリーとキャパシタを併用した電源をもちいるなど、バッテリーと EDLC、それぞれの特長を生かした電動車両の設計に生かすことができると考えている。

謝辞 本研究は工学部拠点形成プロジェクトの「Eco-tranS プロジェクト」の一部として行われた。研究費の補助を受けたこと、プロジェクトメンバーから貴重な意見をいただいたことを記し、謝意を表す。

参考文献

- [1] 直井 勝彦 他, “監修次世代キャパシタ開発最前線”, 技術教育出版社, 2009.
- [2] 吉田 隆, “電気自動車の最新制御技術”, 株式会社 NTS, 2011
- [3] 吉田 隆, “エネルギーの貯蔵・輸送”, 株式会社 NTS, 2008
- [4] “EverCAP” ニチコン株式会社
<http://www.nichicon.co.jp/products/evercap.html>
- [5] “MEICAP”, 明電舎
<http://meicap.meidensha.co.jp>
- [6] “電気二重層キャパシタの技術と応用”, 日本ケミコン株式会社
<http://www.chemi-con.co.jp/catalog/pdf/dl-je/dl-sepa-je/dl-summary-je-110701.pdf>
- [7] 堀洋一, “いつかはキャパシタ”
http://hori.k.u-tokyo.ac.jp/paper_2010/old-papers/hori/SomedayCapacitor.pdf
- [8] 西ヶ谷 周二, “Motor Fan illustrated vol.55”, 三栄書房, 2011

- [9] 西ヶ谷 周二, “Motor Fan illustrated vol.37” ,三栄書房,2009
- [10] 草野清信, “宮城教育大学紀要 第42巻” , 2007
- [11] EVステーションマップ
<http://ev.gogo.gs/>
- [12] “WP8-12”,秋月電子
<http://akizukidenshi.com/download/WP8-12.pdf>
- [13] “DSB シリーズ定格”, ルビコン株式会社
http://www.rubycon.co.jp/catalog/j_pdfs/edlc/j_DSB.pdf
- [14] “Free Image Finder”
<http://freeimagefinder.com/tag/%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%83%95.html>
- [15] 安間健一,OHM,5月号,96巻,pp40-44,2009
- [16] 経済産業省 “次世代電池の将来に向けた提言”, 2006.
<http://www.meti.go.jp/policy/automobile/LEV/battery-report.pdf>
- [17] 加地啓太 他,“交流インピーダンス法および位相検波法による鉛蓄電池の状態モニタリング”,修士論文,2012
- [18] 綿貫陽介,“昇圧チョッパ回路を用いた電力回生シミュレーションの研究”,卒業論文,2010
- [19] 鎌田靖由,坂田博,小野和雄,渡邊健二,戸井田秀基,“PICを用いた昇圧コンバータの製作と検討”,平成22年度電気関係学会四国支部連合大会,2010.9

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程

平成19年4月1日
広報委員会決定

1. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの刊行目的

愛媛大学工学部工学ジャーナルは、愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）教員・工学部職員（以下「工学系教員」という。）及び外部投稿者による、工学関係の独創的で、かつ、優れた学術研究の成果を広く公表することを目的として刊行するものとする。

2. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの編集

愛媛大学工学部工学ジャーナルの編集は、愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）広報委員会（以下「広報委員会」という。）がこれに当たる。

編集に当たる広報委員会は、論文の受理、採否の決定、校閲等を行う。

3. 論文

論文は、指定投稿論文及び一般投稿論文とする。

指定投稿論文は、次のとおりとする。

- (1) 工学系教員が学協会による学会賞等を受賞した研究業績をまとめたもの
- (2) 工学系教員が学協会の機関誌に記述した、先端的研究に関する解説、総説等の内容を再編集したもの（ただし、著作権に関しては、執筆者が事前に学協会の承認を得ること。）
- (3) 学生が学協会の学会賞等を受賞した業績を指導教員がまとめたもの
- (4) 各コースが推薦する論文
- (5) 当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文
- (6) その他、広報委員会で認めたもの

(1)～(3)にいう学協会は、日本学術会議の登録学術研究団体に限る。

(4)の各コース推薦論文は、各コース3編以内とし、学協会の機関誌に発表した内容のレビュー的論文で、各コースが誇るものとする。

一般投稿論文は、独創的でアイデアに富む未発表のもの、国際会議の招待講演、国内学会での基調講演、学術交流協定に基づく国際シンポジウムでの講演等をまとめたものとする。

4. 論文執筆及び論文ページ制限

論文は、「愛媛大学工学部工学ジャーナル執筆規程」に基づき作成する。

指定投稿論文中、(5) 当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文では15ページを、その他の論文では10ページを超えないことを原則とする。ただし、広報委員会が必要と認めた場合はこの限りでない。

5. 著作権

- (1) 投稿された論文の著作権は、広報委員会に帰属する。ただし、著者自身が自著の記事を複製、翻訳、翻案等の形で利用することは差し支えない。
- (2) 代表著者は、投稿に際し、著作権委譲書（別紙1）を広報委員会へ提出する。

6. 愛媛大学工学部工学ジャーナルの作成

工学ジャーナルは、冊子体を作成しないで、全ての論文を1枚のCD-ROM等をもって作成する。

7. 投稿料等経費

(1) 投稿料は、投稿者に別途定める投稿料を負担させることができるものとする。

ただし、本規程第3の「指定投稿論文」に関しては、投稿料の負担を免除する。

(2) 投稿者はCD-ROM等の必要枚数を広報委員会に申請する。なお、CD-ROM等の必要枚数が10枚を超えるものについては、投稿者が別途定める経費を負担する。

8. 提出原稿

提出原稿は、オリジナルファイル（Word等）及びPDFファイルとする。

9. 原稿の締切

(1) 申込締切 毎年 8月31日（所定の申込書により申し込む。）

(2) 原稿提出締切 毎年10月31日

(3) 原稿の申込み及び提出先
広報委員会

10. 受理年月日

受理年月日は、広報委員会が原稿を受理した日とする。

論文の掲載の可否については、広報委員長名で通知する。

11. その他の注意事項

原稿受理後、論文内容の変更はできないので、特に留意すること。

（最新改正： 平成18年12月20日 広報委員会決定）

工学ジャーナル論文申込書

コース等名
申込者氏名

整理番号	コース名	著者氏名	題目	指定投稿 一般投稿 の別	指定投稿 の種類	既発表学協会誌 又は 講演会名(年月)	原稿の総 ページ数	CD-ROM 等の必要枚 数	(原稿申込日)	(原稿受理日)
1									月 日	月 日
2									月 日	月 日
									月 日	月 日
									月 日	月 日

(別紙1)

著作権委譲書

愛媛大学工学部工学ジャーナルに投稿する私の以下の論文の著作権は、愛媛大学理工学研究科（工学系）広報委員会に委譲いたします。

論文題目

平成 年 月 日

代表著者氏名

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程第7に定める投稿料等経費について

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文投稿規程第7に定める投稿料等経費については、下記のとおりとする。

記

1. 第7の(1)に定める投稿料

一般投稿論文に係る投稿料は、次のとおりとする。

1 ページ当たりの投稿料の額	900 円
----------------	-------

なお、愛媛大学大学院理工学研究科（工学系）教員・工学部職員が代表著者となる一般投稿論文に係る投稿料は、当分の間、負担させないものとする。

2. 第7の(2)に定めるCD-ROM等の必要枚数が10枚を超えるものに係る経費

指定投稿論文及び一般投稿論文のCD-ROM等の配付枚数は10部とし、これを超える部数を必要とする場合は、投稿者負担とし、負担額は次のとおりとする。

超過1部数当たりの投稿者負担：200円

(最新改正：平成18年12月20日、広報委員会決定 平成19年4月1日施行)

愛媛大学工学部工学ジャーナル論文執筆規程

1. 一般的な留意事項

- (1) 指定投稿論文，一般投稿論文とも，原則として和文または英文論文とする。
- (2) 原稿はそのままCD-ROM等化されるので，原稿はオリジナルファイル（Word等）及びPDFファイルで提出すること。
- (3) 指定投稿論文中，当該年度末の定年退職予定教員による学術研究に関する論文では，図表を含め15ページを，その他の論文では，10ページを超えないことを原則とする。ただし，広報委員会が必要と認めた場合は，この限りでない。
- (4) 原稿はA-4を用い，マージンは和文，英文ともに上20mm，下30mm，左右25mmとする。
- (5) 和文ではMS明朝またはそれに相当する文字種を，英文ではTimes New Romanまたはそれに相当する文字種とする。
- (6) 文字サイズは，題目は14ポイント（ゴシック体），副題は12ポイント（ゴシック体），著者氏名は12ポイントとし，いずれも中央揃えとする。緒言，結果と考察等の見出し（中央揃え），内容展開に必要な見出し（左端揃え）は12ポイント（ゴシック体）とする。要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録はいずれも10ポイントとする。
- (7) 要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録はいずれも1段組で，行間隔は16ポイントとする。

2. 体裁とその書き方

- (1) 題目，著者氏名，要約，キーワード，本論，謝辞，引用論文，付録の順とする。
- (2) 原稿の第1ページに題目，著者氏名を中央揃えで記す。勤務先及び部課（科），連絡先は脚注に記すこと。英文も併記すること。
- (3) 題目は簡潔（20字程度以内）で，その内容をよく示すものとする。英文題目における大文字，小文字の使い方については，例を参照のこと。
- (4) 著者氏名の前に，「by,」また要約に，「ABSTRACT」の見出しを付けないこと。
- (5) 指定投稿論文では，その論文が指定投稿論文であることを明確に示すため，出典となった学術論文を1ページの脚注として明記すること。
- (6) 要約
英文で研究の目的，結果，結論を150語程度にまとめること。
- (7) 本論
 - 1) 本論は，緒言，実験，結果と考察，まとめ，謝辞，参考文献，付録の順とする。これら見出しは，ゴシック体とし，文のセンターに位置づけること。必要に応じ小見出しをつけること。小見出しもゴシック体とし，文頭に位置づけること。
 - 2) 和文では専門用語以外は当用漢字を用い，ひらがなまじり口語文，かなは新かなづかいとすること。
 - 3) 不必要に長い表現は避け，重複した内容にならないようにすること。又，同性質の図または表を多く掲げることは避けること。数式は，主題の論旨の展開に必要な程度にとどめること。写真及び図表の説明は，論文の和文，英文を問わず，単に Fig.1, Table 1 などと記するだけでなく，英文で説明（文）をつけること。文中では，Fig.1, Table 1 などと記すること。
 - 4) 和文の場合，句読点は，「，」及び「。」とし，それぞれ1画を用いること。

- 5) 本文中に使用する記号には、必ず説明を付けること。
- 6) 単位は周知の記号を用いること。
- 7) 後述例を参考にすること。
- (8) 謝辞の記述
研究費等の補助などを受けた場合には、本文の最後に記すること。
- (9) 引用文献
 - 1) 研究内容に直接関係のある重要な文献を記載すること。これらの文献は、本文中文字の右肩に番号 [1]， [1] - [3] を付し、それらを本文の最後にまとめること。
 - 2) 引用文献の書式として雑誌の場合は、著者名， 標題， 雑誌名， 巻， 号（または発行月，あるいは号及び発行月）， 開始ページ～終了ページ， 年を， また単行本の場合は， 著者名， 書名， ページ， 発行所， 発行年を記すこと。
- (10) 付録
数式の誘導， 実験装置などの詳細な説明が必要な場合には， 付録とする。
- (11) その他

(最新改正： 平成18年12月20日， 広報委員会決定 平成19年4月1日施行)

工学ジャーナル投稿原稿の見本*

<1行分あける。>

A Sample of Manuscript of Submitted Paper to Journal of Engineering

<2行分あける。>

愛媛工学**

<1行分あける。>

Kougaku EHIME**

<1行分あける。>

Abstract: All manuscripts must be produced clearly on good quality plain white A4-size(297mm×210mm) sheets, and accurately within the dimensions as shown on these pages. Manuscripts should be submitted in camera-ready style for the screening and publication. The manuscript is accepted for publication after the format check of the editorial board. Thus, the authors are asked to read these instructions carefully for quicker acceptance of your manuscript. The printer should be a laser/jet, but dot -printers are unacceptable.

<1行分あける。>

Key words: Original paper, Guideline for manuscript

<2行分あける。>

1. 緒言

<1行分あける。>

工学ジャーナルは、工学部教職員及び外部投稿者による、工学関係の独創的で、かつ優れた学術研究の成果を広く公表することを目的として刊行される。具体的には、従来の工学部紀要を改革し、2に記す論文を中心に編集する。

<1行分あける。>

2. 投稿論文

論文は、指定投稿論文及び一般投稿論文とする。

2.1 指定投稿論文

指定投稿論文は、原則として次のいずれかでなければならない。

- (1) 工学部教官が学協会による学会賞等を受賞した研究業績をまとめたもの
- (2) 工学部教官が学協会の季刊誌に記述した、先端的研究に関する解説、総説等の内容を強化したもの（ただし、著作権に関しては、執筆者が事前に学協会の承認を得ていること）
- (3) 学生等が学生対象の学協会の学会賞等を受賞した業績を指導教員がまとめたもの
- (4) 各学科が推薦する論文
- (5) 前年度の退職教員による学術研究に関する論文
- (6) その他、編集委員会で認めたもの

2.2 一般投稿論文

一般投稿論文は、独創的でアイデアに富む未発表のもの、国際会議の招待講演、国内学会の基調

* ○△学会会誌 第○○巻 第○○号 (2000)pp.△△-○○ 工学ジャーナル投稿原稿より引用

** 松山市文京町3愛媛大学工学部 ○○学科

** Department of Mechanical Engineering, Ehime University, Matsuyama, Japan. E-mail

原稿受理 平成 年 月 日

講演, 学術交流協定に基づく国際シンポジウムでの講演等をまとめたものとする。

3. 原稿の執筆上の注意

原稿の書き方は, 投稿規程および原稿執筆上の規約に従う。第1ページおよび図などは本ページに示す見本を参照する。ページは左右に25mm, 上20mm, 下30mmの margins をとり, 1段組とする。論文および資料の場合, 次の事項を番号順に必ず記載する。

- (1) 和文題名 (14 ポイント)
- (2) 英文題名 (14 ポイント)
- (3) 和文著者名 (12 ポイント)
- (4) 英文著者名 (12 ポイント)
- (5) 英文要旨 (10 ポイント)
- (6) 英文キーワード (10 ポイント)

指定投稿論文で既に掲載された学協会名等を示す必要がある場合, 前ページ例を参照すること。

本文 (10 ポイント) は, 見本のように上記(1)~(6)を記述した後に, 1行空けて書き始める。

図, 表および写真は, 見本のように用紙にそのまま貼り込み, 本文中の説明と離れない位置に貼り付ける。図・表どうし, あるいは図, 表と本文は1行以上間隔をあけるようにする。カラー写真掲載の場合は, 編集委員会でその必要性が認められた場合に限り掲載することができるが, それに係わる経費は著者負担である。

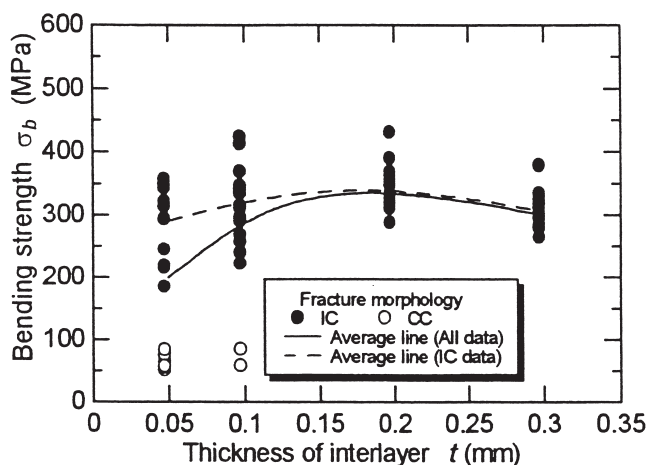


Fig.1. Relationship between interlayer thickness and bending strength.

4. 引用文献

[1] 「雑誌」

著者名, 標題, 雑誌名, 巻, 号, pp. 開始ページ~終了ページ, 年.

「単行本」

著者名, 書名, ページ, 発行所, 発行年.

[2] 参考例

[1] 浦島太郎: 広帯域増幅器, 通信学会誌, 40, 2, pp. 120-125, 1955.

[2] R. P. Feynman: Slow Electrons in a Polar Crystal, Phys. Rev., 97, 3, pp. 660-665, 1955.

または

[3] R. P. Feynman: Slow Electrons in a Polar Crystal, Phys. Rev., 97, pp. 660-665, Mar., 1955.

[4] 田中一郎: 磁性工学, pp.123-135, オーム社, 1966.

[5] J. A. Smith: in "Electricity and Magnetism" pp.300-305, Cambridge University Press, London, 1950.