

A consideration on available utilization of the dry cell

著者	Oda Juhachi, Sakai Shinobu
journal or publication title	日本機械学会北陸信越支部第40期総会・講演会論文集
volume	037
number	1
page range	77-78
year	2003-03-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/2177

乾電池の有効利用に関する一考察

A consideration on available utilization of the dry cell

正 尾田 十八 (金沢大)

○正 酒井 忍 (金沢大)

Juhachi ODA, Kanazawa University, Kodatsuno 2-40-20, Kanazawa

Shinobu SAKAI, Kanazawa University

Key Words : Dry Cell, Available Utilization, Optimization, Genetic Algorithms

1. 緒言

地球環境保全やCO₂削減などのため省エネルギーの試みが様々な分野で進捗しつつある。その中でも最近では、産業用だけでなく民生用の特に家庭用機器の省エネ化が注目されてきている。ここでは、一般家庭で日常的に使用されている乾電池を取り上げる。

乾電池は、近年の高度化・多様化した家電製品にはなくてはならない必需品であり、その使用量も日本全体で年間 73 億個ときわめて膨大な数に上っている。乾電池は、非充電型の一次電池と充電型の二次電池に大別され、一次電池が全使用量の約 70%を占めている。また一次電池は、一度使用されれば、その後即廃棄される運命にある。

そこで、本研究では充電できない一次電池の乾電池に着目した。乾電池の特性を調査し、これの有効利用を目的としてリモコンや時計等の家電製品に使用する順序および時間を最適化法を用いて決定する方法などについて検討を行なった。

2. 乾電池の動作特性

乾電池の動作特性は新品（未使用）から使用時間に伴い、端子電圧が徐々に低下していく特性がある。この特性（放電特性）を図 1 に示す。なお、この低下割合は、各種の製品の

負荷抵抗値が大きい場合は緩やかに、負荷抵抗値が小さい場合は急激に低下する。また、マンガン電池やアルカリ電池などの種類、単 1～単 5 形などの大きさ、使用温度等によってもこの低下割合は異なる。なお、図 1 はアルカリ乾電池の一例である。

3. 各種製品の放電特性

本研究では、使用する製品としてデジタルカメラ（製品①）、時計（製品②）、テレビのリモコン（製品③）の 3 種類、単 3 形のアルカリ乾電池を用いることとした。これらの各製品の放電特性を図 2 に示す。ただし、各製品の時間を換算するため、デジタルカメラは 1 日 1 枚撮影、リモコンは 1 日 100 回操作したとしている。これより、各製品とも使用初期と終了直前以外は、電圧勾配はほぼ直線近似できると考えられる。また、図 2 中の×印は各製品の終止電圧（最低動作電圧）を表わしており、この値がそれぞれ異なっている。これは、ある製品で使用した使用済み乾電池でも、終止電圧が低い他の製品に再使用（リユース）できること。さらには各製品の使用順序とそれらの使用時間を工夫すれば、さらに再使用効率が良くなることを示唆していると言える。

4. 数理計画法（CG 法）による解析と考察

本解析では、まず製品の使用時間のみを設計変数とする最適化問題を解くことを考えた。つまり、各製品の使用順序を製品①、②、③、その使用時間 t をそれぞれ t_1 、 t_2 、 t_3 とすると、図 3 に示すような電圧—時間曲線が得られる。このとき、製品①に着目すると、初期電圧を E_0 、使用後の電圧を E_1 、電圧勾配を C_1 、消費電流を I_1 としたとき、使用された電気エネルギー W_1 は、次式で示される。

$$W_1 = \frac{1}{2}(E_0 + E_1) \cdot t_1 \cdot I_1 \quad (1)$$

また、製品②、③のエネルギー W_2 、 W_3 についても同様にし

Table 1 Design conditions

	Inclination C_i [V/s]	Current I_i [A]	End voltage ES_i [V]
Product ①	-2.53E-8	2.20E-06	1.401
Product ②	-1.38E-8	1.65E-06	1.193
Product ③	-3.79E-9	2.43E-07	0.800

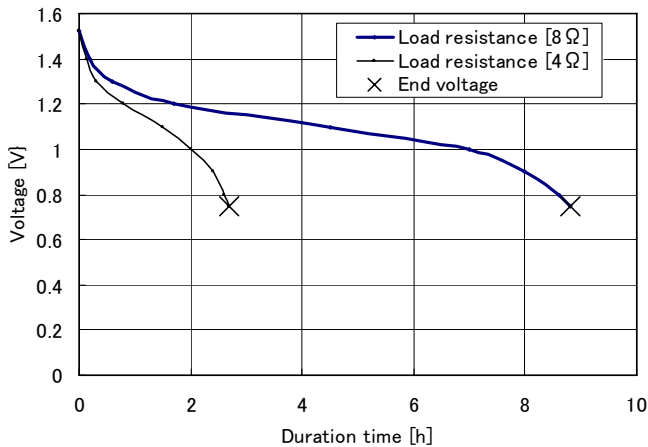


Fig.1 Discharge characteristics of alkali dry cell

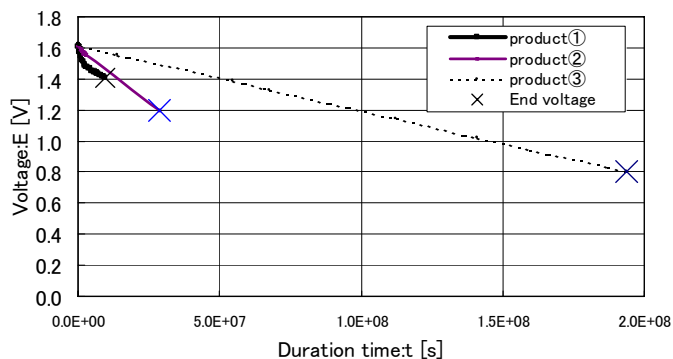


Fig.2 Discharge characteristics of each products

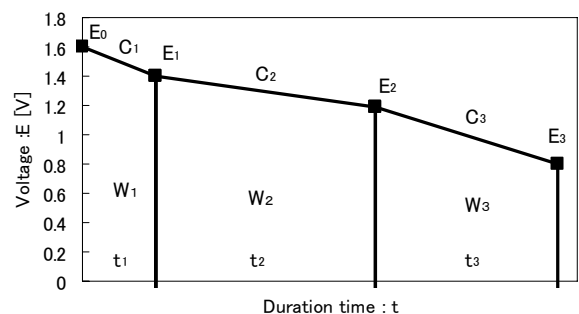


Fig.3 Voltage — time curve

て求めることができ、総エネルギーWは、 $W_1 \sim W_3$ の和として与えられる。乾電池を最大限利用することは、このWを最大化することであると考えた。これより、Wを目的関数とするエネルギー最大化問題として次のものが定式化できる。

$$W = \sum_{i=1}^3 (W_i) = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{1}{2} \cdot (E_{i-1} + E_i) \cdot t_i \cdot I_i \right) \rightarrow \text{Max}$$

(2)

subject to

$$E_i = C_i \cdot t_i + E_{i-1} \geq ES_i \quad (i=1, 2, 3)$$

$$t_i \geq 0 \quad (i=1, 2, 3)$$

ただし、 ES_i は、各製品の終止電圧（制約電圧）である。

式(2)を解く方法として、ここでは数値計画法（共役勾配法：CG法）を用いた。各条件を表1に示す。なお、計算精度を 10^{-6} 、収束条件を 10^{-4} に設定した。

解析結果を図4に示す。これより、 $t_1=0$ 、 $t_2=2.98 \times 10^7$ 、 $t_3=1.04 \times 10^8$ [s]のとき、 $W=94.0$ [J]となった。これは、製品①を全く使用しないで、製品②と製品③を制約電圧限界まで使用する方法となった。このWと各製品だけを制約電圧限界まで単独に使用した場合のエネルギーとを比較したものを図5に示す。これより、製品①のみ使用するよりWは、3.59倍、製品②、③よりもそれぞれ1.36倍、1.51倍大きいことがわかる。

次に、デジタルカメラでフラッシュを用いた場合（製品①'）の解析を行ない、 $t_1=8.82 \times 10^6$ 、 $t_2=1.51 \times 10^7$ 、 $t_3=1.04 \times 10^8$ [s]のとき、 $W=94.2$ [J]を得た。これは、先の結果とは異なり、製品①～③全てで制約電圧限界まで使用する結果となった。また、このときのWは、製品①～③のみ使用するよりも、それぞれ2.55倍、1.37倍、1.52倍大きくなった。

5. GAによる解析と考察

先のCG法では、各製品の使用順序を指定する必要がある。そこで、この問題を解決する一つの方法として、遺伝的アルゴリズム（GA）を用いることにした。GAの遺伝子には、各製品の番号とその使用時間を対応させた。また、その解法には一般的なGAの解法⁽¹⁾を用いており、乱数による初期集団

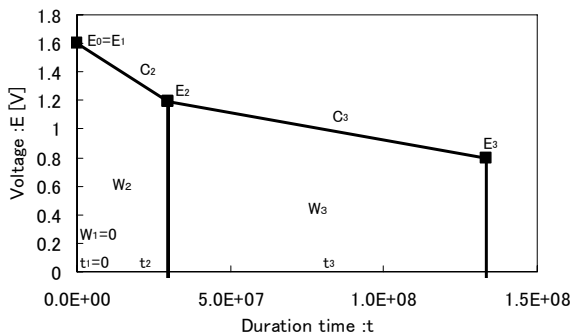


Fig.4 Result of optimized time by conjugate gradient method

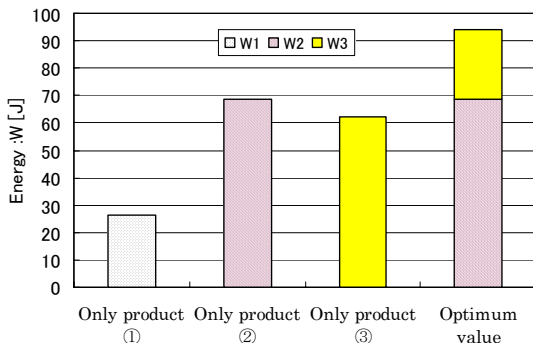


Fig.5 Comparison optimized energy with others

(3000)の発生。各世代毎に、評価、選択、交叉、突然変異を繰り返し、指定世代（20世代）に到達した時点で終了する。ここで、致死遺伝子の発生を防止するため交叉は、製品番号ではなく、その使用時間のみ行なっている。突然変異も同様の理由で、使用時間のみ行なっている。また、評価値は式(2)に制約を破った際のペナルティー項を付加した値を用いている。初期世代の使用時間は、0～200を乱数にて発生させている。

各世代の評価値の経過を図6に示す。ここで W_{max} は各世代ごとの最大値を、 W_m は上位50個の平均値を示す。これより、10世代前後で最適解に到達していると考えられる。最終20世代における最良個体の製品の使用順序および使用時間は、製品①、②、③の順で、 $t_1=0$ 、 $t_2=2.90 \times 10^7$ 、 $t_3=1.06 \times 10^8$ [s]となり、Wは93.1 [J]となった。CG法の結果と比較すると、使用順序は一致しているが、使用時間が多少異なり、Wも少し小さくなっている。この原因としては、GAでは連続量ではなく離散値を用いているためであると考えられる。また、フラッシュを使用した製品①'を用いて、同様の解析を試みた。その結果も先のCG法とほぼ同様の結果となった。以上のことから、GAを用いることにより厳密な使用時間は得られないものの使用順序を含め、ほぼ最適解に近い値が得られることがわかる。

本研究では、3種類の製品しか扱っていないが、現実には多くの製品があり、この使用順序・時間を決定することはきわめて困難であり、上記の結果はそれらの決定にGA手法を用いることの有効性を示していると言える。

6. 結言

本研究では、乾電池を取り上げその有効利用法についてCG法およびGAを用いて考察した。その結果、各製品の放電特性の違いにより、乾電池のエネルギーを最大限利用するための最適使用順序および使用時間が存在することがわかった。また、それらの決定法にはGA手法が有効であり、容易に探索できることがわかった。より厳密な最適解を得るには、GA解析後、数値計画法等による最適化を行なう必要がある。

最後に使用済み乾電池の有効利用法の一つとして本研究の知見が利用されれば幸いである。

参考文献

- (1) 平野広美著、応用事例でわかる遺伝的アルゴリズムプログラミング、パーソナルメディア刊、(1998)。

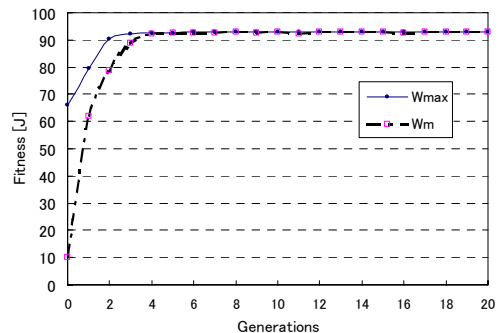


Fig.6 Progress of fitness in each generation

Table 2 Analysis results

	CG		GA	
	t_i [s]	W_i [J]	t_i [s]	W_i [J]
Product①	0.00E+0	0.0	0.00E+0	0.0
Product②	2.98E+7	68.9	2.90E+7	67.2
Product③	1.04E+8	25.1	1.06E+8	25.9
Total	1.33E+8	94.0	1.35E+8	93.1