

キャパシタによる負荷平準化と パソコン内蔵型 UPS の考察

電気二重層キャパシタ(ESC)開発者の立場で無停電電源
を根本から考える

岡村研究所 岡村 迪夫

最近の世の中は何でも進歩してしまっ
て、簡単に手を出せる新しい技術な
どはない……という。だがそれは大問
違ひではあるまいか。多くの人は既成
概念に取り憑かれ、新しい考えや方向
に立ち向かおうとしない。流れに竿を
差して損をしてもばかばかしいと、他
人と同じことばかりする。一つの銘柄
が売ればそれに群がり、ある会社が
大きくなればそれが主流になる。

そういう社会は進歩が止まり、危う
い。もっと物事を根本から考え反骨精
神を発揮しないと、我々をここまで育
ててくれた社会に申し訳が立たない。

それが無停電電源 UPS と何の関係
があるか。こうして本稿は奇想天外と
いわれそうな、風と桶屋の話に入る。

新しい UPS と エネルギー論

変わりばえしない製品を価格を安く
作る他にやることはないのか。最近の
技術関係で日の覚めた人の多くはこの
問題で頭を悩ましている。

いったい UPS とは何か。停電して
も負荷に電気を供給する装置だが、広
く考えると停電などしない高品質電力
が供給されるなら、そこにつなげばよ
い。もっと広く考えると、人間の生活
があり電気が使えるのが無停電電源の

存在価値の前提なので、地球環境問題
を含めた円滑なエネルギー供給が不可
欠だという点に行き着く。

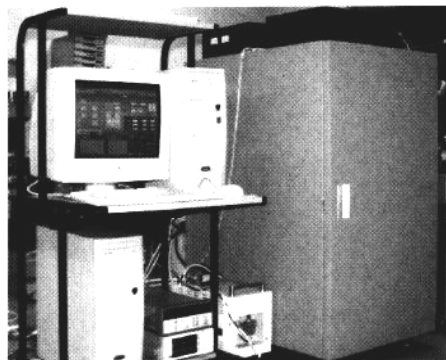
そこで必要なのは高効率で寿命の長
いエネルギー貯蔵装置である。エネル
ギー源が必要というだけなら厄介な
「貯蔵」などは諦めて、燃料電池のよ
うな発電装置でも、太陽光や風力発電
でもよさそう。ただし、太陽や風の
ように必要な時に発電できるとは限ら
ない気まぐれは困る。

燃料電池や原子力発電なら出力が平

坦だからよいかというと、まだいけな
い。それは人間のエネルギーの使い方
が、いつも一定量とは限らず、はなは
だムラが多いからである。

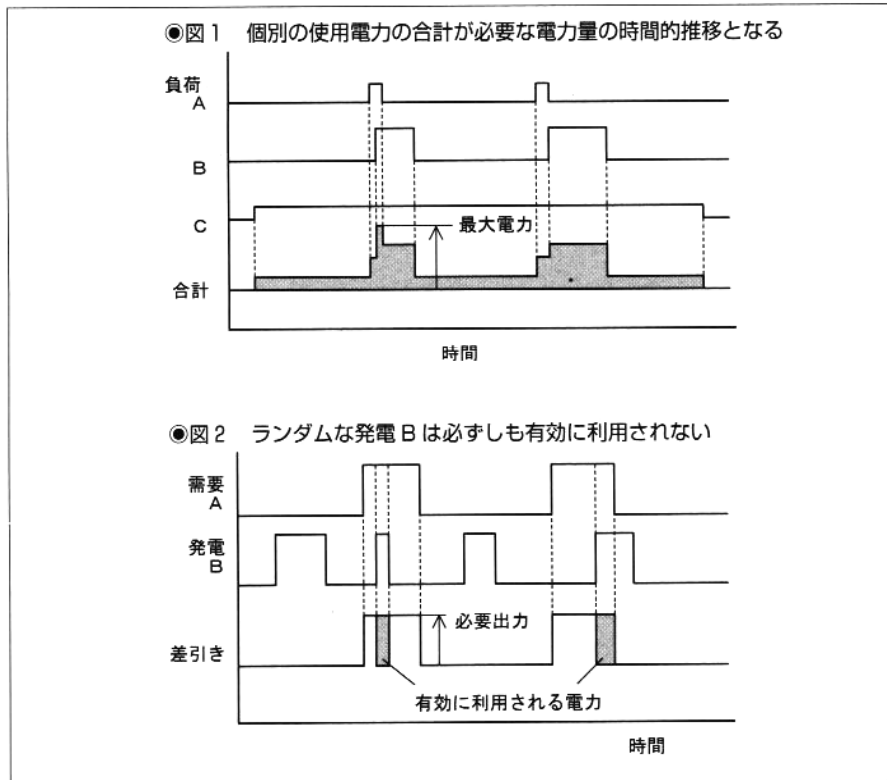
天候任せで発電をする太陽光や風力
発電はむろんのこと、ムラの多い人間
の使い方に応じるには平坦な発電をす
る原子力や燃料電池でも充分ではない。
それには、写真 1 に実証試験装置を、
表に特性の一部を示したキャパシタ
を用いた蓄電が最適である。

●写真 1 キャパシタ (ECS)
による 5.8kWh 電力
貯蔵システム^{1,2)}



●表 1 実用化または開発中の電力貯蔵技術の実績値²⁾

電力貯蔵技術	効率 AC-AC	システム 規模	備 考
キャパシタ(ECS)	84%	1 kW* 4 h	週間効率、DC-DC 94%
ナトリウム硫黄	76%	2 MW* 8 h	週間効率、待機電力含む
レドックスフロー	72%	450kW* 2 h	週間効率、補機電力含む
鉛電池	77.7%	30kW* 4 h	週間効率、DC-DC 86%
超伝導 フライホイール	52.6%	0.3kWh	充電2190秒、放電1100秒、 待機時間なし
揚水発電	約70%	実用規模	日間効率 (≒週間効率)



平準化……では弱い

電気が使われる状態を一般化すると、回路のオンとオフの組み合わせである。使わない回路や装置をオフにすると必要な電力は均一にはならず、図1のような形になる。無停電電源がたとえばパソコンを対象にするなら、CPUが高速の計算をするときA、ディスクドライブが動くB、周辺回路ICの消費Cのようなパターンが重なって合計電力、重なった時間的推移の最大値が最大電力となる。

図1のモデルは規模を変え、たとえば一家庭の消費電力、配電区域あるいは電力会社の範囲でも考えられる。一般に、規模を大きくするほど負荷変動の凸凹は平均され相対的に小さくなる。さらに大規模にして、東半球と西半球をつなげば夜昼の電力を、南北半

球なら夏冬の電力を利用し合えるはずだ。

だが、これを実現するには送電損失が問題となる。将来、超伝導送電線が強力な競争相手として登場する可能性はゼロではないが、現在のところ上の条件を満足できそうな技術は「効率の高い蓄電装置」である。

「負荷平準化 load leveling」という専門用語がある。これは給電側から見たとき、負荷が大小に変化したのでは効率が悪いため、なるべく平坦に使用してもらおうという考え方である。

「平準化」は給電側からの発想である。同じことを反対に、電気を使う側から見ると、必要なパワーを必要な時に使えるようにして欲しい。必要なパワーつまり電力は平坦ではなく、図1のように増減するのが当然で、これに高効率で給電するのが課題となる。

「平準化」を使う側から見ると発電装

置の都合でランダムあるいは平坦に発電された電力を、必要に応じて集中して利用する機能が欲しい。「パワーの集中化」あるいは「パワーシフト」を考えるべきである。効率のよい蓄電装置があればそれが可能となる。

なぜそこに注目しないか

太陽光や風力など新エネルギー発電を総発電量の0.1%の現状から今後10年間に1%、小泉内閣では改訂して3%まで増やす計画という。

そこでなぜ蓄電に注目しないのであろう。過去の統計に揚水発電所の貢献は大きく描かれているから、蓄電の効果を見逃しているわけではない。それなのに、太陽光にも風力にも燃料電池発電にも補助金がつくが、なぜ蓄電装置の普及を図ろうとはしないのか。

その理由は、蓄電は発電と違ってエネルギーを生産しないと考えているからであろう。それは誤っている。なぜかという、エネルギーは発電さえすればよいのではなく、必要な時、必要な場所に存在しなくては使えないからである。

図2でAのような電力の需要があり、太陽光や風力のような自然エネルギーでBを発電した場合を考えよう。Bの面積つまり発電量は、需要Aを越えているのだが、必要な発電量Cをカバーする発電機の規模はBがあってもなくても同じである。Bを設けた効果はCの斜線で塗った部分だけ、たとえば火力発電の量を減らすことができる。

しかし、それは余りに効き目が小さい。それを改善するために、多数の太陽光や風力の電気を広い範囲の電力系統につないで平均化すれば、Cのハッ

チングの領域のような重なる機会が増えて、効き目が大きくなるはずだ……ここまでが現在の考え方である。

だが自然エネルギーは所詮ランダムなので、必要な時、たとえば最大負荷の出る日の午後1時に、日がかげり風が凪ぐかもしれないから、図2の差引きのようにほかの発電所でカバーするだけの用意しておく必要がある。

つまり太陽光や風力発電は、ほかの発電所の負荷率（＝発電された電力量／発電能力）を下げ、発電設備としては二重の投資となってしまう。

これでは太陽光や風力発電は電力会社に歓迎されるはずがない。いや、電力会社だけでなく、その料金を支払うユーザーにとって、このままでは有利といえるだろうか。本来は地球環境を救うはずの再生可能なエネルギーである自然エネルギー発電を有効にする方法はないか。

蓄電装置の登場

蓄電装置があれば自然エネルギーを有効に使うことができる。いや、理論からいうと、自然エネルギーは蓄電なしでは有効に使うことができない。この考えは地球白書³⁾など多くの公益的文献に掲載され支持されている。

効率のよい蓄電ができれば総設備容量を小さくでき、しかもエネルギー総量は増えない。無駄な電力があればそれで充電するから有効で、電力設備の負荷率は増す。

蓄電装置の充放電効率ばかりでなく充放電サイクル寿命が十分長ければ、地球環境への影響も小さい。

それにしては、これまでに新エネルギーや太陽光、風力発電、もっと一般的に「再生可能エネルギー発電」など

の開発、普及が唱えられ実行に移されつつあるのに対して、「蓄電」はさっぱり取り上げられないのはなぜか。

蓄電装置が普及しない理由は

最大の理由は、皆が知らないからであろう。知らないものは誰も原稿に書かないし、使う気にもならない。蓄電といえば揚水発電所と二次電池だが、発電機でもない蓄電装置が新エネルギーとして使えると思っている人がどれくらいいるだろうか。

その実態が、今春新版が出た電気工学ハンドブック⁴⁾に見られる。もちろん電気二重層キャパシタが新エネルギーとして使えるなどとは書いてない。それどころか、31編4章 電力貯蔵では新型電池と SMES (Superconducting Magnet Energy Storage) やフライホイールまでかなりのページを充てているが、電気二重層キャパシタの記述はない。

もう一つの原因は、前項に述べた蓄電装置の条件である「高効率な充放電」「長い寿命」の両方を満足する蓄電装置がなかったからであろう。従来の蓄電装置は新エネルギーというには余りに不細工にすぎた。

電池が入っていると 思った人

余談にわたるが、キャパシタが理解されていない例をもう一つ挙げよう。

キャパシタに蓄電する ECS の実際を経験して頂くために、本誌4月号⁵⁾で紹介された実験装置を市販した。実物を自分で動かしてみれば、さぞよく分かり、いろいろな創意工夫も生まれるだろうと目論んだのである。

ところが、最近とんでもない噂を耳

にした。「ECSのキャパシタには実は二次電池が入っている」というのである。誰がそんな発想をしたのか知らないが風評はかなり広がっているので、論文や書物では納得しない人に証明となる実験を2つ挙げよう。

①ECS 実験セットを全放電し、必要とあれば4個すべてのキャパシタの端子を短絡して1週間以上放置する。その後短絡を除いて通常に充放電するか確かめる。キャパシタである証拠に、短絡で1年放置しても何の異常もなく動作するはずだ。

②上の実験を示したところ、そういう電池を発明したかもという人がいた。それなら仕方がないから、推奨はしないがキャパシタを壊して中を調べる他はない。電極材料は活性炭とアルミ以外何も出てこないはずだ。電解液は電池のような危険性はなく常温で引火しないが、水分があると微量のフッ酸を生じるから、手袋をして扱い後で手を洗った方がよい。

そこまでやらなくても、写真2に示した ECS 用キャパシタは正真正銘の電気二重層コンデンサで、電池とは何の関係もないことを筆者が保証する。

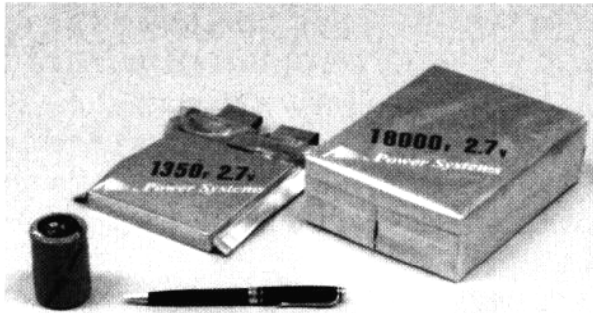
電気エネルギーの貯蔵

これまで蓄電装置というと、使った経験のある人は誰でも、あまり好感を持っていないようだ。

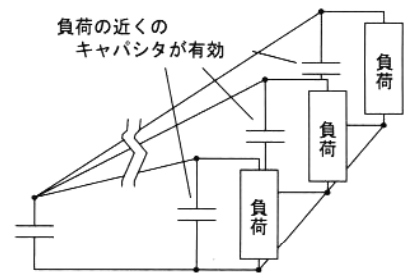
充電時間に比べて使える時間が短く、弱ってしまってエンジンが掛からなかったり、案外長持ちしないものだという印象が強い。このため、電気貯蔵はできないもの、引き合わないものだというのが常識⁶⁾となっている。

そこに蓄電装置は太陽光や風力のような新エネルギーと同じだ、などとい

●写真2 各種の電気二重層キャパシタ、左から EC-A 470 F/48 mL、EC-L 1350 F/150 mL、EC-B 18 kF/1.1



●図3 平準化は分散型が望ましい



う新説⁷⁾を出しても、受け入れ難いであろう。だが先に述べたように、効率のよい寿命の長い蓄電装置は新エネルギーとして従来のもの以上に、効能がある。

これまでに蓄電装置が普及しなかった第一の原因は「不完全だったから」に違いない。充放電の回数が多いと壊れる。深い放電、大電流放電は寿命を損なう。放電したまま放置すると壊れる。充電時間の割に早く放電してしまう。思ったほど長持ちしない……。これらの経験からユーザーは、万やむを得ない、ほかに手がない場合以外は蓄電池を使わないようになってしまった。

「電気は貯蔵が困難なので、供給者は負荷変動に追従して電力を発生しなければならないという宿命を負っている。」との記述⁸⁾は今日の実態をよく表している。

装置は重厚長大ほどよいか

実用の蓄電装置でもっとも成功しているのは揚水発電所である。現在建設中の東電神流川揚水発電所は45万 kW 発電機6基、最大出力270万 kW⁹⁾という。発電機や発電所がなぜこれほど巨

大になったか。それは大型機は効率がよく、出力当たりの製造コストも安くなるからであろう。

蓄電装置は本来、図3のように分散型として変動を発生する負荷に近いところに、小さいのを置く方が効果が出る。変動する個々の負荷を長い送電線を経て1個所にまとめ、そこに巨大な蓄電装置すなわち揚水発電所を置くのは望ましい方法ではない。

そうはいつでも従来の技術では、1個所270万 kW の揚水発電所の代わりに、2,700個所に1,000kW の発電所を設置するのは不可能だった。それに比べれば、負荷を送電線で結んで巨大な施設を作る方が遥かに現実的な手段に違いない。

だが、物は何でも大きいほどよいか。巨大な発電機や変圧器、超高压の送電線、それらを製造し健全に運転する技術は規模が大きいほどむずかしく、それらをほとんど一品生産で実現する技術と努力は尊敬に値する。だが蓄電に関する限り、負荷の大きさと同程度の規模のものを負荷の近くに置く図3の「分散型電源」がいっそう効果的である。その本来の姿が、小型でも高効率、長寿命なキャパシタ蓄電装置によって実現の可能性が出てきた。

蓄電装置のコストの考え方

仮に鉛電池が50万円/kWh、キャパシタが500万円/kWh なら、蓄電装置としてのコストはどちらが高いか。

キャパシタの方が10倍高いと答えるのが従来の常識であろう。だがそれは蓄電装置としての評価をしていない。鉛電池の充放電サイクル寿命を1000回と見てキャパシタはその100倍くらいもつ。蓄電装置の本来の目的は充放電にあり、何もしないでポケットと座っているだけという使い方は例外だから、蓄電装置としてのコストは容量当たりではなく何回使えるかまで含め、

“Wh・cycle 当たりの価格”

つまり放電可能な電気量当たりで評価されるべきである。

さらに、寿命の短い二次電池では生産コストばかりでなく回収再生の費用を含めると、安価とはいえなくなってしまふ。

キャパシタの価格は下がるか

それなら、キャパシタ蓄電は断然有利でどんどん普及するはず……。だが、そうは行かない障害がある。それは研

究試作の段階から、大量生産への移行の過程にある。

仮にキャパシタを鉛電池と同規模の量産をすれば、競争力があつたとしよう。はじめの少量生産の段階では原料も組み立ても高くついて単価を安くできない。それでは売れないから、量産規模の拡大には巨額の赤字負担が生じてしまう。その過程をどうやって切り抜けるか、いま各社が模索している。

大量生産をした際のキャパシタのコストの推移は文献²⁾に試算されている。図4はその左右に一桁ずつ外挿して延長したもので、あまり正確ではないが量産規模と価格との関係を、およそ2倍～1/2くらいの誤差で推定できる。

図4のAは太陽電池の昨年の生産量を1Wp=1Whで換算したもの、Bは揚水発電所（東電神流川270万kW）1時間の発電量で換算した値を示す。

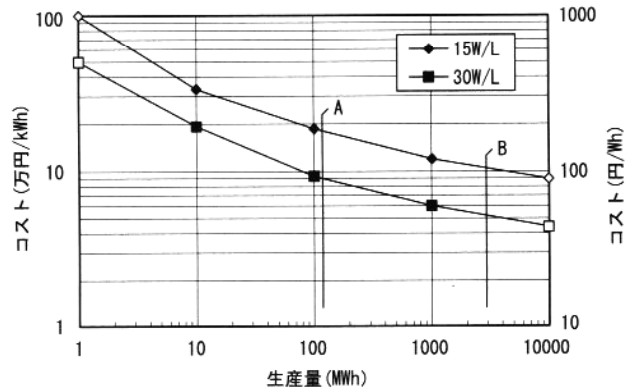
キャパシタをこれらの規模で量産するとキャパシタ蓄電装置のコストはA：¥180～80/Wh、B：¥110～50/Whとなる。これは太陽電池の¥600～300/Wp、揚水発電所の20万円/kWと比べ、それぞれに十分対抗できる価格である。

一品生産と大量生産

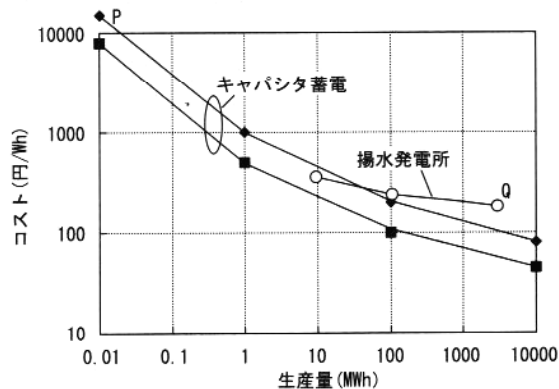
もう一つキャパシタ蓄電装置には根本的な長所がある。それは揚水発電所の建設は立地に合わせた一品生産だが、キャパシタ蓄電装置は大量生産品だという点である。

量産品は小規模な試作の段階では高価でも、量産規模が拡大すると製造の合理化が容易で材料の有効な利用や生産コストの低減、品質の向上が進め易い。図5は数値的に精密ではないが、

●図4 ECS用キャパシタの生産量と価格予測



●図5 量産型と単品生産型の生産量と価格の推移



量産によるコスト推移の概念を示した。現状でキャパシタが高価で、揚水発電所が安価だというのは図のP点とQ点を不公平に比較した結果である。

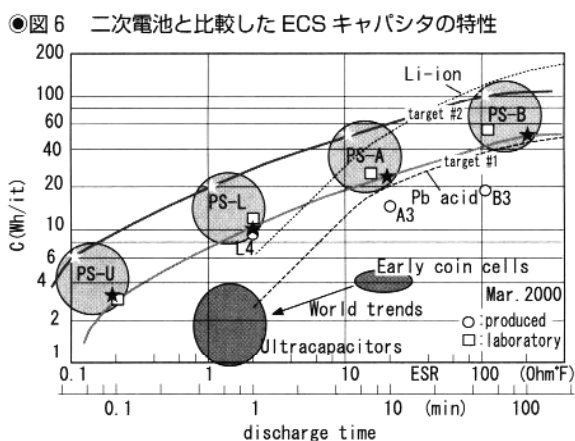
UPSへの応用

目の前のことに戻ると、無停電電源への応用では1分間程度の保持時間のUPSには電気二重層キャパシタが有利となる。細かに見ると図6の点線で示したように、鉛電池やLiイオン電池に対しても、短時間放電の側でキャパシタが有利となる。図の縦軸はエネルギー密度横軸は内部抵抗または放電時間を表わすが詳細は文献¹⁾を参照さ

りたい。

UPSの保持時間をいくらにするかは議論がある。100ms以下で瞬断だけを保護する電解コンデンサ型、10分間またはそれ以上の二次電池型、これらはいずれも蓄電装置の特性から保持時間が決まっている。ユーザーに必要な保持時間を尋ねると、それまで何を使っていたかで異なった答えが得られる。

電気二重層キャパシタでは10秒程度以上の任意の保持時間で設計できるが、コストはもちろん保持時間の短い方が安い。実用上は対象がコンピュータであれば「退避ルーチン」を作っておいてそれが動作する時間、病院や銀行や工場など非常用発電機を備えてい



る場合はそれを起動する時間、を確実に保証できればよい。そうした条件を総合していくと、電気二重層キャパシタでは時間を任意に設計できるといっても、1分程度の装置が汎用性が大きい。

内蔵型 UPS

これまではパソコンのような電子装置に寿命の限られた電池を内蔵するには抵抗があった。ラップトップ型パソコンでは内蔵だが、電池はいつでも取り外せるようになっている。

電気二重層キャパシタを用いたUPSの小型の極限は、装置に内蔵されるタイプであろう。内蔵というより製造の段階から組み込まれた形となる。近い将来に、電気二重層キャパシタは電源のケミコンと同程度の耐久性を持つから、通常の応用では他の電子部品や装置の寿命と互角に扱える。

いつでもチェックを

せっかく電気二重層キャパシタを使っても無停電電源の場合、充放電サイクルはほとんどなく待機時間ばかりである。これではサイクル寿命が蓄電池

より10~100倍も長いというキャパシタの特徴は発揮できそうもない。

だが、電気二重層キャパシタはフロート使用でも二次電池の数倍の寿命が期待できる他、不測の故障が起き難いという特徴がある。二次電池では内部にデンドライトと呼ぶ針状の結晶が生じて突然劣化する現象があるため、高信頼度を要求されるUPSでは自己診断機能やバックアップにさらにバックアップを用意するなど工夫が凝らされ多くの特許が出願されている。

電気二重層キャパシタでは突然の劣化の危険性が低い上、放電動作中に負荷電流と電圧の低下の経時変化から動作可能な時間を予測することさえ可能で、シンプルでメンテナンスフリー、しかも信頼性が高く長寿命という無停電電源が実現できる。有り余る性能を利用して停電でない時間もキャパシタを働かせようというアイデアもいくつか考案されている。

☆

ただし、これまでに述べてきたのはいずれも、現在まだ存在しない近い将来の可能性の話であることを明記しなくてはならない。

新しいものを得るには、研究でも工業化でも、新商品でも、その成功を他

人が保証するわけにはいかない。新たな困難とリスクを覚悟して挑む決心が必要である。先人達はみなそうやって今日を作ってきた。

本稿に引用した研究成果を提供された各位に改めて謝意を表す。

【参考文献】

- 岡村勉夫：電気二重層キャパシタと蓄電システム、改訂2版、日刊工業新聞社、(2001-2)
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構：負荷平準化新手法実証調査 最終報告書、(2000-3)
- レスターブラウン：地球白書、家の光協会、p163、(2001-4)
- 電気学会：電気工学ハンドブック、第6版、(2001-2)
- 三井克司：電子技術、vol.43、no. 5、p69-73、(2001-4)
- 鈴木胖、山地憲治：エネルギー負荷平準化(p1、概論)、エネルギー・資源学会(2000-11)
- 岡村勉夫：キャパシタ蓄電システムによる新エネルギー創成の提案、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書第8号(2001)
- 石川赴夫：支部のページ・世界最大級の純揚水式発電所、電気学会誌 vol.121、no. 6 (2001)

●おかむら みちお
(株)岡村研究所 所長