

実世界情報システムプロジェクト～アテンティブエンバイロメント研究グループ～  
情報家電システムの可視化，モデル化，最適化

新 誠一

東京大学大学院 情報理工学系研究科 システム情報学専攻

## 概要

ユビキタス環境は実世界に情報技術を適用するものである。このとき、端末やネットワークに注目が集まっているが、それらを動かすシステム技術が重要である。そして、人と機械のコミュニケーションを重視すると、システム技術適用に順番がある。それが、可視化，モデル化，最適化という三段階である。ここでは、家電のネットワーク化を題材に、この三段階の適用手順を研究した。

## 1 はじめに

日進月歩の情報技術の活用は日本の製造業生き残りに向けての不可避の課題である。一つは製品の付加価値の向上への活用であり、もう一つは生産システムの改善への活用である。もっとも、このような活用は1970年代からエンジニアが進めてきた自動化の焼き直しでもある。しかしながら、あれから30年、時代は21世紀である。古臭くなった自動化も、100MIPSクラスのマイコンと、Mbpsのネットワーク、GBのデータベースというインフラで変わってきた。しかも、工場の自動化だけでなく、家庭や交通網の自動化である、昔の自動化の魂も、この変化に対応していく必要がある。

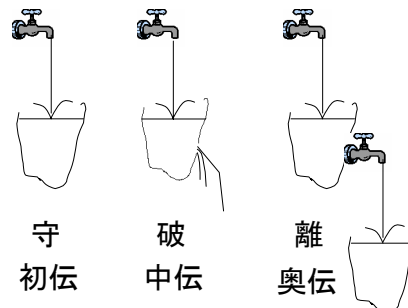
情報技術の発達はユビキタスという流行を生んでいる。何時でも、何処でも、ネットワークである。この研究では、情報端末やネットワークに注目が集まっているが、裏方のシステムが一番重要である。集めた情報をどのように処理するかが使えるユビキタスへの道である。

もっとも、技術にはステップがある。つまり、何でも自動化すればよいものではない。特に、家庭の主人公は人であり、機械ではない。自動化はある意味で最終目標であり、そこに至る道筋がある。つまり、相手に応じて適用する自動化のレベルが違ってくる。このことを可視化，モデル化，最適化という三つのキーワードを用いて、家電の省エネ化 1) を例にして解説していく。可視化は

初級，モデル化は中級，最適化は上級という位置づけであり、この三段階を自由に繰れる技術者が自動化免許皆伝である。

## 2 皆伝

昔の剣豪は免許皆伝を名乗っていた。実は、剣などの武道だけでなく、華道、茶道なども含む伝統ある「道」の世界では、「守(しゅ)、破(は)、離(り)」という三つの言葉を大事にしている。「守」が初伝、「破」が中伝、「離」が奥伝である(第1図)。この三つが揃って、名許皆伝となる。



第1図 守破離

伝統は守という印象が強いが、先代の技量、伝統の技量を引き継ぐのは初伝に過ぎない。この段階では、何も考えずに構築された芸術や技術を体に馴染ませる段階である。ここをパスすると、めでたく初伝が授与される。もっとも、これで止まっては、「道」とは言えない。

次なる段階は、伝統からの逸脱である。それが、「破」である。技術者も、研究者も守っているだけでは意味がない。伝統に風穴を開けることで、伝統が時代とともに生き抜いていける。その出発点が「破」である。伝統という大きな穴倉から顔を出すこと、それが中伝である。

さらに奥伝に進むと、顔を出すだけでなく、体ごと晒すことが求められている。伝統からの逸脱である。晒しても生き延びていられるなら、そ

これは新たな体系である。自分が作った穴倉である。このような穴倉の増殖と淘汰が、伝統に時代とともに歩く力を与えている。それが分かれば免許皆伝である。

もっとも、皆伝で終わりではない。次は師範である。皆伝の技を伝えていくことが師範の役割である。自分が出るだけでは不足。人が出来るようにするのが師範の役割である。すなわち、弟子のレベルに応じて初伝、中伝、奥伝の使い分けが必要になってくる。弟子の成長に合わせて、段階を踏めるかどうか師範の資格に値するかどうかの決め手となる。

数十年に渡って築かれてきた新たな伝統、自動化を「道」と考えるなら、その初伝、中伝、奥伝とは何であろうか。それを、家庭内の省エネを例にとって考えて行きたい。

### 3. 可視化

省エネはコスト削減であり、家庭でも工場でも強く意識すべきものである。お金の問題だけでなく、地球環境にとっても省エネは重要である。これまで、家電単体の省エネは待機時電力の削減や、モータのインバータ化などの技術で進められてきた。もっとも、エアコン、電磁調理器、大型ディスプレイなどの登場で家庭における消費電力は増え続けている。

自動化道における初伝が可視化である。家庭で消費されている電力を表示することで、省エネを図ることができる。ご存知のように家庭には電力計が設置されており、リアルタイムで消費量を知ることができる。しかしながら、この電力計は、電力会社の検査員のためである。このため、外部に設置されている。まずは、この電力計を家の中に設置することが可視化である。このコンセプトにそって、(財)省エネルギーセンターでは、第2図に示すような省エネモニターという製品を提供している。これを使うと、電子レンジが作動すると電力量が急に増えることがわかったり、待機時の電力量が思いの外、大きいことなどに気がつく。

もっとも、少し見ると、もっと見たくなるのが人情である。そして、見えれば見えるほど省エネも進む。このため、

- (1) 過去の履歴を見せる。
- (2)稼働している機器名を表示する。
- (3) どこでも見られるようにする。

ということが新たな可視化要求としてでてくる。

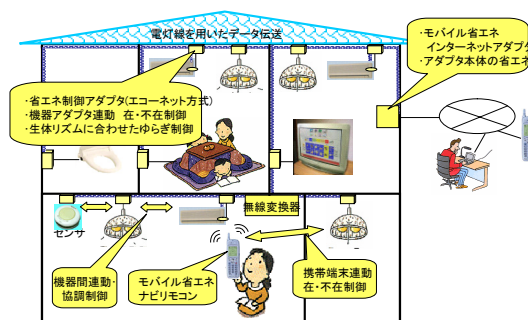
(1)は電力計に記憶装置をつければよい。これで、先月の使用量との比較や、1年前の同月との比較、日時や月日ごとの消費電力の変動を把握することができる。(2)には、ネットワーク化が不可欠である。つまり、家電各機器ごとの消費電力把握が必要である、そして、ネットワーク化されると、無駄な機器を把握することができる。家庭内ネットワークは、随分と前から提案されているが、ようやく普及の時代を迎えている。



<http://www.eccj.or.jp/navi/intro/n.html>

第2図 省エネナビ

こうなると、寝る前に、一階の照明やエアコンは消したかどうかをチェックしたくなる。逆に、一階の台所で調理中に、二階の居間のテレビを消したかをチェックしたくなる。これが(3)であるが、これを実現するためには電力表示器をモバイル化する必要がある。赤外線や無線LANなどのネットワークの無線化が必要である。もちろん、外出先からコタツの電気を消したかどうかの確認もインターネットというインフラを使えば可能である(第3図)。



第3図 ネットワークによる利便性提供

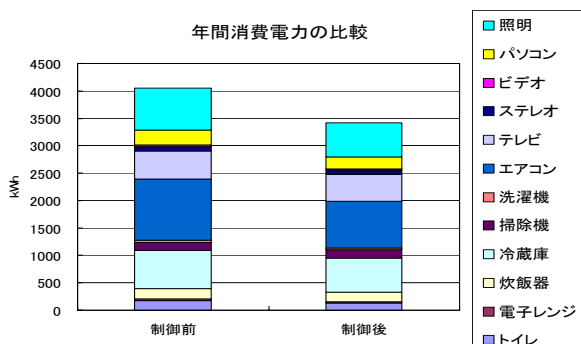
### 4. モデル化

さて、可視化は初伝である。省エネに効果的であるが、センサ設置とネットワーク化だけでは、

限界が出てくる。省エネを進めるためには、収集されたデータ相互の関係が分かっている必要がある。あるデータが別なデータに及ぼす影響を可視化する必要がある。つまり、ブラックボックスの可視化である。これは、モデル化と呼ばれるものであり、設置すればよいというものではない。つまり、「破」である。ブラックボックスへの入力値と出力値を測定し、それに基づいて入出力関係を数式で表さなければいけない。その際に、この関係の物理的、化学的な側面にも留意しなければいけない。

もちろん、モデルには静的モデルから動的モデル、時不変型から時変型、集中型から分布型、線形型から非線形型、確定型から確率型と簡単なものから複雑なものまで多種多様なバリエーションがある。この選択には、物理的、化学的、数学的、そして物や経済、経営学的な視点まで必要である。簡単に言って、工事が中心の初伝とは雲泥の差である。

さて、情報家電ネットワーク内の全てのブラックボックスのモデル化が行えれば、シミュレーションが行える。動きの可視化ととらえてよいかもしれない。



第4図 シミュレーション結果

一番、簡単な数学モデルは、各機器の最大電力である。さらに、待機電力などの情報も省エネの精密化には有効である。このような情報を下に、各家電の動作時間を指定すると、家庭内における家電の動きをシミュレーションすることができる。たとえば、第4図は家電が連携した場合と、連携しなかった場合の消費電力の比較である2)。具体的な家電の連携動作とは、

(1) 人の在・不在に応じて部屋の照明やエアコンがオンオフをする。

(2) 睡眠時に、寝室以外の家電をオフにする。

(3) 外出時に不要な家電をオフにする、

である。シミュレーションが示すように、このような連携を行うだけで15%程度の省エネができる。このようなシミュレーションの意義は、省エネを定量的に論じられることである。

(財)省エネセンターが統括したNEDOのプロジェクト3)では、このようなシミュレーションの補強を通して、ネットワーク家電を開発し、2002年12月に実証実験を行った。そして、(1)から(3)にあげた不在信号、睡眠信号、留守信号を標準化しようとしている。

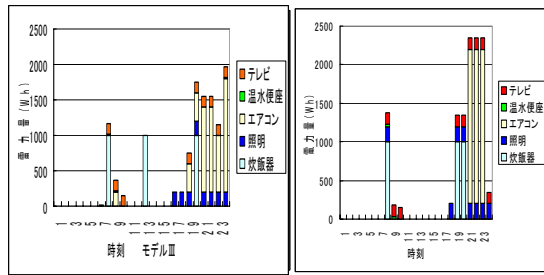
#### 4. 最適化

さて、シミュレーションは仮想世界での動きの可視化に過ぎない。消費者の利便性と省エネという、ある意味で相反する要求に両立する妥協点を見出すには不十分である。時間があれば、多数のシミュレーションを繰り返して最適解を見つけしていくことも可能であるが、オンラインで今の最適解を求めることには新たな飛躍が必要である。それが、奥伝である最適化である。

中伝で行ったシミュレーションも、実は最適化手法の一つである。もっとも、これは順モデル利用である。すなわち、因果関係を保ったモデル利用である。モデルを作るときに、原因があつて結果があるという因果関係を配慮する。そして、シミュレーションでも、この因果関係にそつて結果を予測するということがモデル化の世界であつた。それに対し、最適化においては逆モデル利用を行う。別な言い方をすると、因果関係を逆転させる利用、または逆モデル利用を行う。

つまり、最適な結果を実現する原因として入力を求めることが、最適化である。これは、扱いが難しい問題である。順モデルは素直でも、逆モデルが素直とは限らない。順モデルの高周波数ゲインが小さければ、逆モデルでは大きくなる。順モデルは物理的な存在であるので、ある程度のマイルドさがあるが、逆モデルはそうとは限らない。だから、モデル化のシミュレーションで効果が確認されたモデルでなければ最適化には怖く使えない。

さて、第5図は、このような最適化を行った1例である4)。電力の単位時間当たりの使用量と総量を規制した上で、消費者が望むパターンに出来るだけ沿うように家電を稼働させるスケジューリングを行っている。一つや二つなら人手によるスケジューリングも可能であるが、それが10個や20個、24時間、365日稼働となると数学に頼らざるをえない。



第 5 図 最適化計算結果

## 5. まとめ

以上が、省エネの初伝、中伝、奥伝である。初伝は、電力モニターの導入であり、次がネットワーク化である。つまり、見える化の推進である。中伝はモデル化である。各家電の数学モデルを構築する必要がある。最大電力だけでなく、待機時電力、待機モードのあるなし、インバータ動作に応じた消費電力の推移なども段階的に考慮する必要がある。これは、情報技術に含めても良いが、一般には計測・制御技術である。可視化という文脈で見れば、「破」である。これを受けた奥伝は最適化である。この最適化に至っては、省エネという当初の目的が別な目的に化けかねない。つまり、評価関数には電力制限だけでなく、消費者の利便性という項目が入ってくる。後者の重みが多ければ、省エネは吹き飛んでしまう。実際、省エネから始まった情報家電は、セキュリティや健康管理、介護と結びつくことで成長産業となることを狙っている。まさしく、「離」の世界である。

相手が変われば、自分も変わる。相手に応じて自分も変化していくことが大事である。もっとも、変わるものと変わらないものがあり、変わるばかりではアイデンティティを喪失する。自動化という永続的な手法も守る所と、攻める所を、自分と相手に合わせて変化させていくことが必要だろう。

ここでは、家電のネットワーク化を中心に守離破の三段階を紹介したが、平行して行っているソフトウェアの検証も同様に可視化、モデル化、最適化の三段階でとらえることができる 5)。このようにユビキタス環境の構築には、システム論が不可欠である。特に、分散された知能機器を状況に応じて動作させるという機能の実現には、ますますシステム論の役割が重要となってきている。

## 参考文献

- 1) S. Shin: Role of Systematic Approach to the Yaoyorozu Information Society, Proc. IEEE SMC04, Den Haag, Netherlands, pp. 5615-5620 (2004)
- 2) <http://www.eccj.or.jp/>
- 3) T. Tajikawa, H. Yoshino, T. Tabaru and S. Shin: The energy conservation by information appliance, Proc. SICE '02, pp. 2961-2964 (2002)
- 4) <http://www.eccj.or.jp/ctrl/outline.html>
- 5) 吉野治香, 平田飛仙, 新誠一: 情報家電による省エネルギー化の研究, 第 15 回自律分散システム・シンポジウム資料, 東北大学, pp. 87-90 (2003 年 1 月 27 日)
- 6) S. Shin: Software Visualization, Modeling, and Optimization, Proc. SICE04, Sapporo, 4-6 August, pp. 509-512 (2004)