

■S4 群 (宇宙・環境・社会) -4 編 (地球環境とエネルギー)

1 章 エネルギー／温暖化

【本章の構成】

本章では以下について解説する.

- 1-1 地球温暖化 (IPCC の報告, 京都議定書)
- 1-2 日本の情報通信関連のエネルギー消費量と削減量
- 1-3 電子情報機器の省エネ化
- 1-4 マイクログリッド
- 1-5 BEMS (Building and Energy Management System)
- 1-6 HEMS
- 1-7 データセンタの省エネ化
- 1-8 クリーンエネルギー

■S4 群-4 編-1 章

1-1 地球温暖化 (IPCC の報告, 京都議定書)

(※準備中)

■S4 群-4 編-1 章

1-2 日本の情報通信関連のエネルギー消費量と削減量

(執筆者：染村 庸) [2009年9月 受領]

1-2-1 背景

地球温暖化に代表される気候変動問題は年々深刻さを増しており、世界的な取り組みが必要とされている。近年、情報通信技術（ICT：Information and communications technology）は急速に発展し、ネットワークインフラの整備や機器端末の普及にともない環境負荷も増大しており、情報通信システムやデータセンタの省エネなどの ICT 自身の環境負荷を低減すること（Green of ICT）が急務になっている。2005年2月に京都議定書が発効し、日本は2008年から2012年までの温室効果ガスの総排出量を1990年レベルより6%削減することが求められているが、2007年度の総排出量（CO₂換算）は13億7400万トンと、京都議定書の基準年である1990年度の総排出量（12億6100万トン）を9%上回っているのが現状である。

一方、ICTを利活用することにより、各種業務の効率化や人の移動の削減、生産や輸送の効率化、TV会議などによる移動の代替、情報の電子化による紙資源削減など、ICT以外の他分野の環境負荷を削減すること（Green by ICT）が期待されている。

本節では、日本全体の ICT 使用によるエネルギー消費量と ICT 利活用によるエネルギー消費削減量の具体的な評価手法について解説する。ICT によるエネルギー消費量の指標として、地球温暖化や京都議定書の観点から、CO₂排出量（電力消費量）を用いることとする。

1-2-2 日本の情報通信関連のCO₂排出量の推計方法

上記のように、ICTサービスの普及により懸念されるのが、消費エネルギーの増加である。これを定量的に把握する試みとして、由比藤らは、最新の通信サービスの統計や出荷統計などを調査し、日本のICTサービス全体の消費エネルギーを推計している¹⁾。これをベースに、総務省「地球温暖化問題への対応に向けたICT政策に関する研究会」²⁾では、我が国における2012年までのICT使用によるCO₂排出量とICT利活用によるCO₂排出削減効果量について推計を行っている。この推計手法の概要について以下に解説する。

(1) 推計の対象

ICT関連の機器を、固定通信、移動体通信とインターネットの3つに分類し、更に、ユーザーで使用する機器と事業者がサービス提供のために使用する装置に分類して算出した。図2・1に電力消費量の算出対象を示す。

(2) 通信事業者系の電力消費量

固定通信及び移動体通信の通信事業者の電力消費量の予測では、サービスごとの1加入（契約）当たりの消費電力と加入（契約）数の積を用いた。また、インターネットサービスの提供事業者の電力消費は空調と機器を分けて算出することとし、空調についてはデータセンタの単位面積当たりの電力消費量とデータセンタの延べ床面積の積により求めた。インターネット系機器については、ルータ、LANスイッチ、サーバ、ストレージなどを対象とした。

	ユーザ	事業者
固定通信系	電話機 FAX	交換機, 空調
	モデム類(ONUなど)	
移動体通信系	携帯端末	基地局, 交換機, 空調
インターネット系	ルータ, LANスイッチ	データセンター 空調
	PC, サーバ	
	ストレージ	
	プリンタ	

図 2・1 電力消費量の算出対象

2012 年度の各サービスへの加入(契約)数及びデータセンタの延べ床面積は、各種需要予測、市場規模予測により推計した。詳細は、上記総務省研究会報告書²⁾の p.26~27 を参照された。

(3) ユーザ側通信関連機器ならびにインターネット系機器の電力消費量

通信関連機器などユーザ側機器ならびにインターネット系機器は、稼働台数の推計値に 1 台当たりの消費電力及び年間の稼働時間を乗じて算出した。稼働台数の推計については、通信モデム類は各サービスの加入数と同じとし、通信モデム類以外は各種統計データなどの出荷台数の実績及び予測値を基に、残存モデルから推計した。各機器の 2012 年度の稼働数についても上記総務省報告書を参照されたい。稼働時間については、電話機、FAX、モデム類、サーバ、ルータ、LAN スイッチ、ストレージについては、24 時間 365 日電源 ON とした。

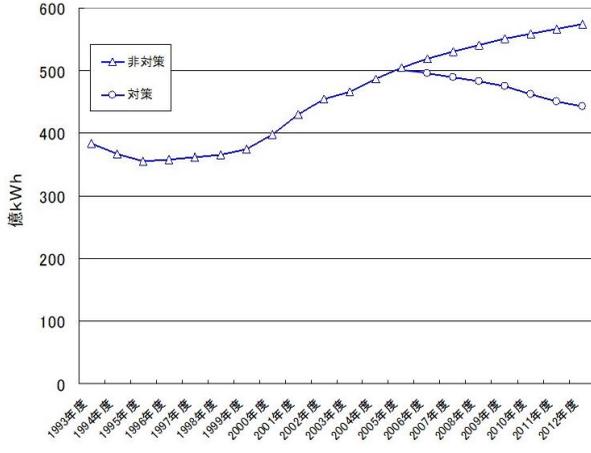
(4) 前提とした省エネ対策

電力消費量の推計において前提とした省エネ対策は、以下のとおりである。データセンタについては、直流給電による省エネ効果を機器給電で 2 割減、空調で 1 割減になるとした。また、ユーザ側通信関連機器については、性能向上の大きい機器（計算機）では消費電力が従来比 3 割減の機器が導入されるとし、性能向上の少ない機器（計算機以外）では消費電力が従来比 4 割減の機器が導入されると仮定した²⁾。

1-2-3 日本の情報通信関連の CO₂ 排出量の推計結果

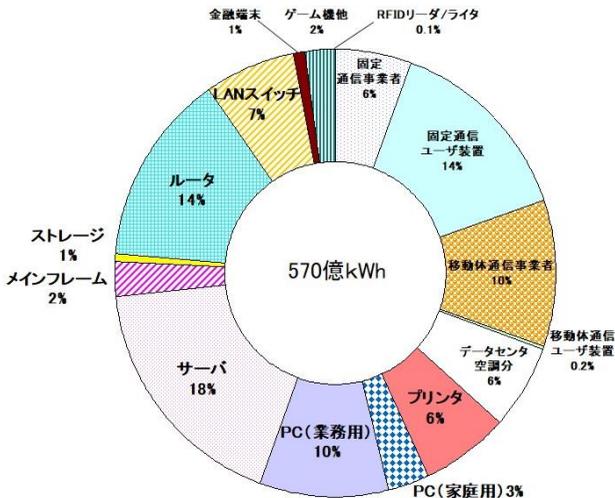
上述の推計方法により 2012 年度までの通信分野の電力消費量を推計した結果を図 2・2 に示す。ICT サービスの普及に伴い、ICT 関連の機器の稼働数が増加することで電力消費量は増加し、2012 年度に 570 億 kWh（日本の 2006 年度の総使用電力量 8890 億 kWh の 6.4 % に相当）となる。電気事業連合会の 2006 年度の CO₂ 排出原単位 0.410 kg-CO₂/kWh（電気事業連合会：電気事業における環境行動計画 2007 年度版, p3, <http://www.fepc.or.jp/env/report/2007.pdf>) を用いると 2340 万 t-CO₂（日本の 2006 年度の温室効果ガス総排出量の 1.7 %）である。

また、省エネ対策を実施した場合は、2012 年度に 440 億 kWh（日本の 2006 年度の総使用電力量の 4.9 % に相当）となる。CO₂ 排出原単位 0.410 kg-CO₂/kWh を用いると 1800 万 t-CO₂（日



出典：総務省「地球温暖化問題への対応に向けたICT政策に関する研究会」(平成20年4月)

図 2・2 情報通信分野の電力消費量



出典：総務省「地球温暖化問題への対応に向けたICT政策に関する研究会」(平成20年4月)

図 2・3 2012年度の情報通信分野の電力消費量の内訳 (非対策ケース)

本の 2006 年度の温室効果ガス総排出量の 1.3%) である。

2012 年度の非対策ケース (省エネ対策を実施しない場合) の電力消費量の内訳を図 2・3 に示す。非対策ケースにおける電力消費量 (570 億 kWh) に占める内訳はルータ及び LAN スイッチが合わせて 21%、サーバがメインフレームも含めて 20%、PC が業務用と家庭用を合わせて

13%となっており、サーバやルータの電力消費量の割合が大きく、これらの機器を省電力化すると CO₂排出量削減効果が大きいと考えられる。

1-2-4 ブロードバンドネットワークにおける環境効率

前項で述べたように、非対策ケースの電力消費量は年々上昇することが懸念されるが、機器の性能向上やネットワークシステムの効率化によって環境効率の向上が期待できる。ネットワークの環境効率について評価する。ブロードバンド (BB) ネットワークの環境効率は、電力消費量当たりの情報伝送速度で定義できる。由比藤らは、BB ネットワークにおいて、1 MB の情報を伝送するのに要する電力消費量を試算している³⁾。これは環境効率の逆数となるが、その推計方法について解説する。

(1) 推計対象及び推計方法

BB ネットワークの 1 MB 当たりの電力消費量を W とすると、 W は下記の式で求めることができる。分子は日本全体の BB ネットワーク設備の 1 年の電力消費量であり、表 2・1 の設備を評価対象とし、参考文献 1), 3) の方法で算出した。ただし、インターネット系機器の稼働台数については、通信事業者分の稼働台数を産業別出荷台数などから推計した値を用いた。

$$W = \frac{\sum_j W_i}{\text{BB ネットワークの年間ダウンロード情報量 [MB]}}$$

W_i : BB 用ネットワーク設備 i の年間の電力消費量
 i : BB 用ネットワーク設備

表 2・1 評価対象設備

NW 接続機器	BB 用 NW 設備 (空調含む)	インターネット系機器
ADSL モデム 光網終端装置	アクセス設備 加入者ビル設備 中継伝送設備 中継ビル設備	ルータ LAN スイッチ サーバ (IP 網制御用)

ADSL 及び FTTH についてのネットワーク設備の年間電力消費量については、前項(2)の通信事業者系の電力消費量算出方法で求めた。インターネット系機器については、通信事業者分の稼働台数の推計値に 1 台当たりの消費電力を乗じて算出した。なお、これらは前項の非対策ケースを想定しており 2004 年度から 2012 年度で、電力消費量は約 1.2 倍となっている。BB サービスの加入者の増加に伴い NW 接続機器は増加するが、インターネット系機器の出荷台数はローエンドのサーバと LAN-SW を除き減少するため、電力消費量の増加率は小さい。

(2) トラヒック

日本全体の ADSL 及び FTTH のダウンロードトラヒックについては、2004 年度から 2007 年度の値は、参考文献 4) のトラヒック推計値を用い、2008 年度以降は 2004 から 2007 年度までの推計値から 2 次式の近似曲線により推計した値を用いた。

(3) 1 MB 当たりの電力消費量

ADSL 及び FTTH における 1 MB 当たりの電力消費量は、年間電力消費量を年間の総情報量 (MB) で除すことにより算出できる。年間の総情報量は、トラヒック (Gb/s) を情報量 (MB)

に換算することにより算出する。図 2・4 にその結果を示す。1MB 当たりの電力消費量は、2004 年度に 6.1 Wh, 2012 年度に 1.2 Wh で、この間に 1/5 になった。これは、2004 年度から 2012 年度で、電力消費量が 1.2 倍にしかならないのに対し、トラフィックが 6 倍になっているためである。このように電力消費量が増大しているが、機器の性能向上やネットワークシステムの効率化により環境効率が 5 倍になっている。

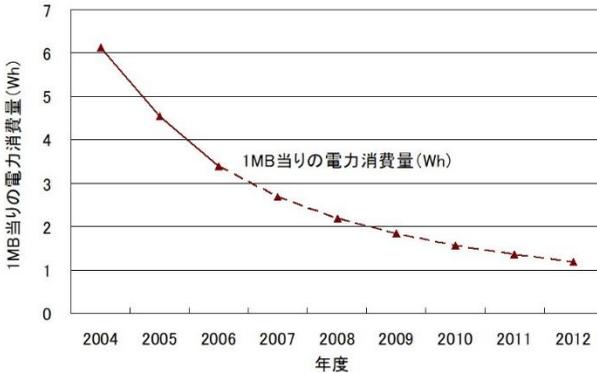


図 2・4 1MB 当たりの電力消費量

1-2-5 日本の情報通信関連の CO₂ 排出の削減量の推計方法

ICT の利活用による CO₂ 削減効果を評価するために、対象となる利活用シーンを設定し、従来手段との比較を行うことで CO₂ 排出量の削減効果が評価可能となる。中村らは、算出モデルを設定し、環境分析用の産業連関表や統計情報などを用いて、2010 年度における日本全体のエネルギー消費量の削減量を試算している⁹⁾。この試算方法は中村らによって改良されており、①利用シーンを分類して重複を回避、②入手可能な統計値や公開情報を用いて推量値を低減、③通信の普及度をもとに経年評価を可能とした⁹⁾。

更に、総務省研究会報告書²⁾では、この方法をベースに以下の変更を加えて、2012 年度の CO₂ 削減効果を試算している。

- ICT の利活用シーンとして、電子申請（税申告）、電子申請（オンラインレセプト）、BEMS（Building Energy Management System）・HEMS（Home Energy Management System）の 3 つを追加した。
- 最近のトレンドを考慮した最新の統計値や公開情報に変更した。
- 京都議定書目標達成計画に対策が記載されている利活用シーンについては、その CO₂ 削減見込み量を用いる。具体的には、テレワーク、ITS（ETC・VICS・信号の集中制御化）、BEMS・HEMS である。

表 2・2 に、評価対象とした分野及び ICT 利活用シーンを示す。なお、効果の算出年度は、2006 年度（実績）、2010 年度（予測）、2012 年度（予測）である。詳細は、総務省研究会報告書²⁾の p.37 を参照されたい。

表 2・2 ICT の利活用による CO₂ 削減効果

評価分野	利用シーン	2006年度		2010年度		2012年度	
		万t-CO ₂	割合(%)	万t-CO ₂	割合(%)	万t-CO ₂	割合(%)
個人向け電子商取引	オンラインショッピング	198	0.1%	542	0.4%	712	0.5%
	オンライン航空券発行	2	0.0%	5	0.0%	6	0.0%
	コンビニでの旅券販売	31	0.0%	60	0.0%	64	0.0%
	現金自動支払機の設置	261	0.2%	291	0.2%	319	0.2%
法人向け電子商取引	オンライン取引	527	0.4%	767	0.6%	836	0.6%
	サプライチェーンマネジメント	532	0.4%	1,839	1.4%	1,839	1.4%
	リユース市場	577	0.4%	1,154	0.9%	1,197	0.9%
物質の電子情報化	音楽系コンテンツ	35	0.0%	114	0.1%	133	0.1%
	映像系コンテンツ	15	0.0%	21	0.0%	25	0.0%
	パソコンソフト	11	0.0%	53	0.0%	61	0.0%
	新聞・書籍	4	0.0%	91	0.1%	95	0.1%
人の移動	テレワーク	30	0.0%	50	0.0%	63	0.0%
	TV会議	105	0.1%	194	0.1%	305	0.2%
	遠隔管理	5	0.0%	5	0.0%	5	0.0%
高度道路交通システム	ITS	308	0.2%	370	0.3%	401	0.3%
電子政府・電子自治体	電子入札	0	0.0%	2	0.0%	2	0.0%
	電子申請(税申告)	0	0.0%	8	0.0%	8	0.0%
	電子申請(オンラインレセプト)	0	0.0%	1	0.0%	1	0.0%
エネルギー制御	BEMS, HEMS	468	0.3%	730	0.5%	730	0.5%
合計		3,110	2.3%	6,297	4.7%	6,802	5.1%

注) 割合は2006年度における日本国の温室効果ガス総排出量に対する割合を示している。

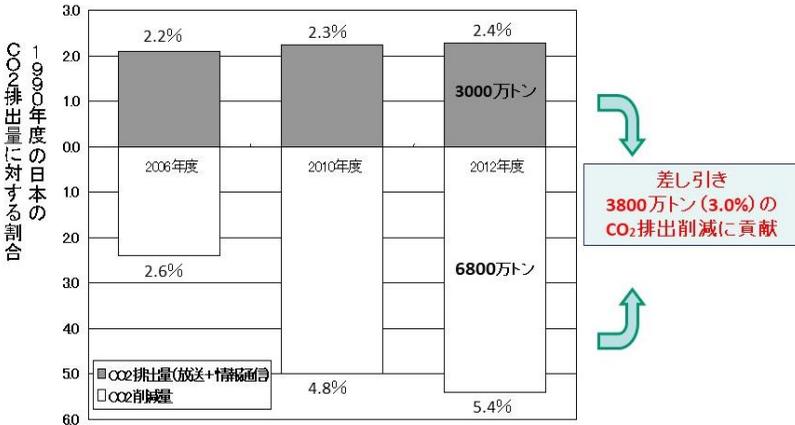
出典:総務省「地球温暖化問題への対応(2)向けICT政策に関する研究会(平成20年4月)をもとに、基準年を2006年度に変更

1-2-6 日本の情報通信関連の CO₂ 排出の削減量の推計結果

試算した ICT 利活用による CO₂ 削減効果は表 2・2 に示したとおり、ICT サービスの普及に伴って、2006 年度、2010 年度、2012 年度にはそれぞれ約 3100 万 t、約 6300 万 t、約 6800 万 t の削減効果が得られることがわかる。また、これらの CO₂ 削減量は、2006 年度における日本の温室効果ガス総排出量の約 2.3 % (2006 年度)、4.7 % (2010 年度)、5.1 % (2012 年度) である。特に、大きな削減効果の期待できる利用シーンとしては、オンラインショッピング、サプライチェーンマネジメント、オンライン取引、リユース、BEMS・HEMS となっており、法人向け電子商取引の効果が大きい(全体の 5 割強)。

図 2・5 に、放送分野も含めた ICT 分野全体の CO₂ 排出量及び CO₂ 削減効果量を京都議定書の基準年である 1990 年度の日本の温室効果ガス総排出量に対する割合で示す。ICT 分野全体の CO₂ 排出量には、通信分野(放送局設備およびテレビ受像機)の約 600 万トンを含み、通信分野の CO₂ 排出量は非対策ケースの値としている。2006 年度から 2012 年度までに ICT の普及に伴い、CO₂ 排出量は 2.2 % から 2.4 % に増加する一方で、CO₂ 削減量も 2.6 % から 5.4 % に増加する。この 5.4 % は 19 の利活用シーンによるものであることから、ICT の利活用を推進していくことが重要である。ここには、公共交通機関、オフィススペース、倉庫の削減など、その効果が即時的には現れない「削減ポテンシャル」も含まれており、この削減ポテンシャルを現実のものとするための取り組みが必要である。

なお、ここで紹介した ICT による CO₂ 排出量及びその削減量については、国や各種団体などが公表している統計情報をもとに推計されているため、経年変化を評価することが可能である。



出典:総務省「地球温暖化問題への対応に向けたICT政策に関する研究会」(平成20年4月)

図 2・5 ICT 分野全体の CO₂ 排出量及び CO₂ 削減量

■参考文献

- 1) 由比藤光宏, 澤田 孝, 西 史郎, 吉田雅哉: “ICT 社会におけるエネルギー消費に関する分析,” 電子情報通信学会 2006 年総合大会講演論文集, p.308, 2006.
- 2) 総務省「地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会」(2007 年 9 月～2008 年 4 月, http://www.soumu.go.jp/s-news/2008/080410_5.html)
- 3) 由比藤光宏, 西 史郎: “ブロードバンドネットワークの電力消費量の試算,” 電子情報通信学会 2008 年ソサイエティ大会, 通信講演論文集 2, BS-13-5, S-198-199, 2008.
- 4) 総務省: 我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算-2007 年 11 月時点の集計結果の公表, http://www.soumu.go.jp/s-news/2008/080221_3.html (2008 年 2 月).
- 5) 中村公雄, 西 史郎, 青木忠一, 矢野裕児, 瀬戸口泰史, 吉田雅哉, 紀伊智顕: “ICT 進展とエネルギー消費に関する分析,” 第 18 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス論文集 16-1, 391, 2002.
- 6) Jiro Nakamura, Katsuhiko Honjo, Hidetoshi Tatemichi, Toru Tanaka, Yasuhiro Ibata, and Shiro Nishi: “Evaluation of Environmental Impact of the Spread of the Information Communications Services in Japan,” Joint SETAC Europe, ISIE meeting and LCA Forum Extended Abstracts, 73, 2003.

■S4 群-4 編-1 章

1-3 電子情報機器の省エネ化

(※準備中)

■S4 群-4 編-1 章

1-4 マイクログリッド

(執筆著者：山口 浩) [2009年10月受領]

マイクログリッドは比較的新しい概念であるため、現状では、その定義が必ずしも明確でない部分がある。このため、最近話題に取り上げられることが多くなっているスマートグリッド（こちらの概念も、その定義が必ずしも明確とは言えない）とも混同されがちである。そこで本節では、まず、現段階におけるマイクログリッドとスマートグリッドの違いについて、簡単に説明する。

これまでのところ、マイクログリッドとは、負荷端の比較的小さな特定の地域を対象として、対象地域内に含まれる分散電源と負荷（電力貯蔵設備を含む場合も多い）の需給バランス制御などの電力制御、電圧安定度や供給信頼度の向上を、対象地域内の設備運用によって達成しようとする地域システムを指すことが多い。一方、スマートグリッドは、電力系統全体といった大規模システムにおける需給バランス制御や潮流制御を扱おうとするものである。両者の規模の境界は必ずしも明確ではないが、マイクログリッドが需要家側に設置される設備（分散電源や負荷）の運用を中心に考えることから1需要家ないし少数の需要家群が対象となる。これに対し、スマートグリッドでは電力会社などが保有する大容量の発電設備や送配電設備の運用を含めた系統設備全体が対象になる点異なる。将来においては、マイクログリッドのような地域システムが多数導入され、スマートグリッドにおける1階層（あるいは1要素）として運用される可能性もある。両者の関係については流動性が考えられる状況にあるので、今後の研究開発動向に注意し、進捗状況に応じた整理を適宜行っていく必要があるものと考えられる。最近のマイクログリッドの状況については、例えば参考文献1)～6)を参照されたい。

上述のように、マイクログリッドは需要家側に設置されている分散電源設備などを核とした比較的小規模な地域システムを指すものであるが、その目的には、大きく分けて次の2種類が存在する。

一つは、マイクログリッドを広域系統が持つアンシラリーサービス（電圧や周波数を安定に維持する機能）を補完する目的に利用する地域システムとして位置づけるものである。この形態のマイクログリッドでは、需要家近傍に導入する分散電源設備の運用の工夫により、対象地域内の電力供給の信頼性や安定性の向上を図ることを目的としている。すなわち、マイクログリッド内の発電設備や貯蔵設備の運用を工夫することで、(1) 広域系統側の供給力の不足時など、広域系統側から十分な電力供給が期待できない場合や、広域系統側の停電時などにおいても対象地域の需要に応え、地域内の供給信頼性を向上させる。(2) 広域系統側の電圧や周波数に変動が発生しても、対象地域内の電圧や周波数に影響を及ぼさないようにして、対象地域内電圧や周波数の安定性を向上させる。といった効果を期待して、導入・運用される*1。この形態では、対象地域全体の電力品質を向上させることも技術的に可能であるが、必ずしも経済性が得られないことが多いことから、電力品質をその信頼度や安定性に応じた複数レベルに分けて供給する多品質供給といった試みなどもなされている。なお、この形態で導入される分散電源は、負荷追従性を確保する観点から、起動・停止や即応性に優れる化石燃料利用のモノジェ

*1 当然のことであるが、地域内の周波数安定度を向上させるためには、広域系統側とは BTB 連系などの特別な連系が必要である。

ネレーション設備が多く、常時運用をしない非常用発電機的な運用を行う場合も多くみられる。

これに対して、対象地域におけるエネルギー利用の高効率化やエネルギーコストの削減を目的に、コジェネレーション（熱電併給）設備、風力・太陽光発電やバイオマス発電といった再生可能エネルギー設備の導入量の拡大を指向する形態のマイクログリッドもある。この形態の場合、導入される設備は、省エネルギーの観点から熱主電従運用（熱需要に追従させた運用）が行われるコジェネレーション設備や、発電出力の安定性が悪い風力・太陽光発電といった設備を核とする場合が多いため、対象地域内の電力の需給バランスや電圧の維持、広域系統側の負担増大の抑制が課題になることが多い。このため、対象地域内に設置するエネルギー貯蔵装置の種類や運用方法が重要となる。したがって、対象地域で発生した電力需給のアンバランスが広域系統に対して与える影響の軽減と、地域のエネルギー供給効率の高効率化とを、どのようにして両立できるかが検討の中心になっていることが多い*2。

こうした違いが生まれる背景としては、広域系統の品質（電圧や周波数の安定性、停電時間の長短といった供給信頼性など）の差が挙げられる。広域系統側に設備容量の不足などの問題がある場合、供給信頼性の低下や電圧安定性の悪化など、需要家端での電力の品質は落ちてしまうことになるため、停電の回避や電圧・周波数の安定性の向上に対する要望が大きくなる。広域系統側でも種々の対策がなされるものの、広域系統側の対策には大きな費用と長い時間を要する点が問題となる。そこで、これらの課題を比較的低コストかつ短期間で解決する手段として、マイクログリッド技術に期待がされている。

これに対し、広域系統の品質が高い場合には、電力品質の向上に対する要望は比較的小さい。むしろ、エネルギー利用効率の改善によるエネルギーコスト低減や、低環境負荷化への対応といった観点から、コジェネレーション（熱電併給）設備によって熱と電気の両方の利用を図り、エネルギー利用効率の向上を通じたエネルギーコスト削減を指向する形態のマイクログリッドの導入が検討されることが多い。これに加え、近年では地域の再生可能エネルギー資源（風力、太陽光、バイオマスなど）を積極的に活用することにより、外部から導入するエネルギーへの依存度をより下げようとする環境配慮型の形態を持つものも現れている。

アンシラリーサービス補完型のマイクログリッドの研究開発は、先に述べた事情もあって、主として欧米を中心に進められている。例えば、カナダ BC Hydro 社の例では、気象上の問題と地形的な制約から停電が多い送電線での停電対策として、対象地域（Boston Bar 変電所の負荷）を広域系統側から切り離し、対象地域内にある IPP（Independent Power Producer：独立系発電事業者）が所有する水力発電機（3.45 MW×2 台）を積極的に利用して給電を継続するシステムが考えられている（図 4・1）。このマイクログリッドでは、広域系統から切り離された後の地域システムが独立系統として運用されるので、地域系統を IPP の発電機のみで維持しなければならない。このため、IPP 所有の発電機の制御が重要であることから、独立系統時の発電機の制御法の検討が行われている。また、広域系統側の復旧後には、地域系統を広域系統に再接続させる必要があるため、再接続に備えた電圧や周波数の調整制御などに関しても検討が行われている。

エネルギー利用高効率化型のマイクログリッドの研究開発は、主として日本が中心となって

*2 地域のエネルギー供給の高効率化を指向するシステムとして考えれば、この形態のマイクログリッドは HEMS（Home Energy Management System）や BEMS（Building Energy Management System）の進化した形態として捉えることも可能であろう。

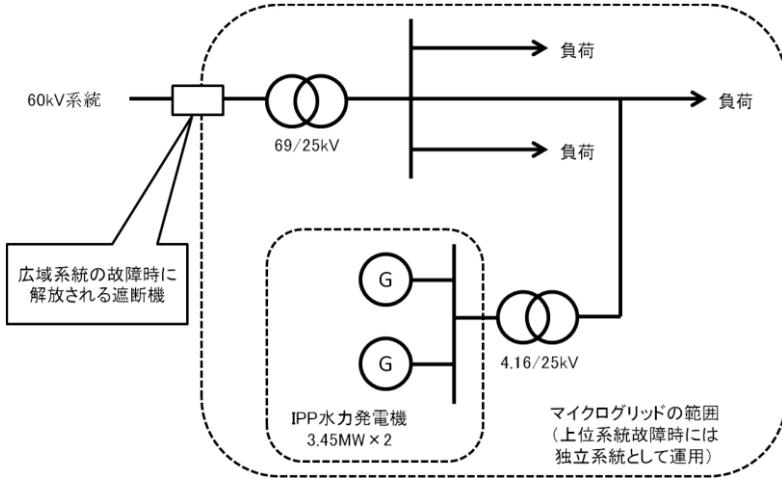


図 4・1 BC Hydro 社のマイクログリッドの構成

行われている。代表例としては、NEDO 新エネルギー等地域集中実証プロジェクトがある。この実証試験プロジェクトでは、(1) 複数の再生可能エネルギー発電設備（バイオマスガスエンジン発電（170kW×3台）、太陽光発電（80kW）、風力発電（20kW））、電力貯蔵設備（鉛蓄電池（100kW））と負荷（約 600kW）を自営線で結び、商用電力システムからの受電電力変動抑制を含む需給バランス制御技術の実証を行った「八戸市水の流れを電気で返すプロジェクト」、(2) 距離の離れた複数の発電設備（バイオマスガスエンジン（80kW×5台）、バイオマスガス利用 MCFC（250kW）、風力発電（50kW）、太陽光発電（50kW））、電力貯蔵設備（100kW-0.5時間）と負荷（約 1300kW）を電力会社の系統を介して仮想的にマイクログリッドを構成し、需給バランス制御技術の実証を行った「京都エコエネルギープロジェクト」、(3) 太陽光発電（330kW）と燃料電池（PAFC（200kW×4台）、MCFC（270kW）、マイクロガスタービン併設 MCFC（300kW）、SOFC（25kW））に NaS 電池（ナトリウム硫黄電池：±500kW-3600kWh）を組み合わせ、負荷（約 1000kW）に電力を供給するシステムを統合運用する「愛知万博・中部臨空都市における NEDO 新エネルギー等地域集中実証」の 3 つの実証試験が行われた。

これらのうち、「愛知万博・中部臨空都市における NEDO 新エネルギー等地域集中実証」については、2005 年 3 月から半年にわたって開催された愛知万博会場における実証試験後に中部臨空都市に移設された後も継続的に運用実績が報告されている⁷⁾。このマイクログリッドの特色は、太陽電池などの出力制御が不可能な電源と、出力制御が可能な燃料電池と二次電池を組み合わせでマイクログリッド内の需給バランス制御を行っている点にある^{*3}。これにより、電力システムからの受電電力を一定に保つよう制御している。

また、ガスエンジンと特性の異なる電力貯蔵設備の組合せによるマイクログリッドの実証試

^{*3} ただし、高温型の燃料電池である MCFC と SOFC は出力の高速制御性があまり良くないので、これらをベース電源として運用し、制御性に優れる PAFC と NaS 電池を調整電源として運用している。

験も行われている⁸⁾。このマイクログリッドでは、天然ガスコジェネレーション設備（ガスエンジン発電機 350 kW+90 kW）、EDLC（電気二重層コンデンサ：±100 kW-400 kW）、ニッケル水素電池（±200 kW-400 kWh）を組み合わせ、構内負荷（約 650 kW）に対する電力供給を行っており、商用系統からの定電力受電運転や、商用系統から切り離れた自立運転の試験を行っている。こちらのマイクログリッドの特色は、需給アンバランスの吸収を特性の異なる 2 種類の貯蔵設備とガスエンジン発電機の使い分けで行っている点である。すなわち、高速応答性に優れる EDLC、中速応答であるがエネルギー貯蔵密度に優れるニッケル-水素電池を組み合わせ、低速応答のガスエンジン発電機では吸収しきれない電力変動をそれぞれの設備が持つ応答性を活かして吸収させる運用で、マイクログリッドの運用効率の向上と設備容量の合理化を図る工夫を行っている。

このように、エネルギー利用の高効率化を指向するマイクログリッドでは、電源や貯蔵装置の出力制御特性の違いを考慮して設備設計の合理化と運用特性の改善を図る方式が、種々検討されている。こうした取組みは、電力会社におけるベース電源と調整電源の考え方をマイクログリッドに取り入れようとするものであるとも考えることができる。ただし、マイクログリッドの場合は、広域で運用される電力系統とは異なり、ベース電源と調整電源の容量比率の考え方や経済性の評価指標が異なってくるので、これらの点を明らかにしていくことが大きな課題となっているようである。

マイクログリッドは比較的狭い範囲での電力需給を扱う技術であることから、負荷の状況を把握しやすいという特徴がある。このため、負荷の稼働状況の詳細把握や予測がしやすいとも考えられる。こうしたことから、今後は、こうした負荷の状況把握や予測を活かした機器運用なども検討が進んでいくものと考えられる。その一方で、スマートグリッド技術にもみられるように、広域系統側の事情をマイクログリッドの運用に反映させる仕組みも検討が必要になってくるものと考えられる。

■参考文献

- 1) N. Hatzigryriou : “Microgrids — the key to unlock distributed energy resources?,” IEEE Power & Energy Magazine, vol.6, no.3, pp.26-29, 2008.
- 2) J. Driesen, and F. Katiraei : “Design for Distributed Energy Resources,” IEEE Power & Energy Magazine, vol.6, no.3, pp.30-39, 2008.
- 3) B. Kroposki, R. Lasseter, T. Ise, S. Morozumi, S. Papathanassiou, and N. Hatzigryriou : “Making Microgrids Work,” IEEE Power & Energy Magazine, vol.6, no.3, pp.41-53, 2008.
- 4) F. Katiraei, R. Irvani, N. Hatzigryriou, and A. Dimeas : “Microgrids Management,” IEEE Power & Energy Magazine, vol.6, no.3, p.54-65, 2008.
- 5) C. Marnay, H. Asanr, S. Papathanassiou, and G. Strbac : “Policymaking for Microgrids” , IEEE Power & Energy Magazine, vol.6, no.3, p.66-77, 2008.
- 6) G. Venkataramanan, and C. Marnay : “A Large Role for Microgrids,” IEEE Power & Energy Magazine, vol.6, no.3, p.78-82, 2008.
- 7) 島陰豊成, 角田二郎, 加藤丈佳, 鈴置保雄: “制御特性の相違によるマイクログリッドにおける同時同量への影響,” 平成 21 年電気学会電力・エネルギー部門大会 19, 2009.
- 8) 下田栄介, 沼田茂生, 馬場旬平, 仁田旦三, 正田英介: “マイクログリッドにおける負荷変動解析と電源周波数特性評価を用いた複数分散電源の制御戦略と設備容量設計法,” 平成 21 年電気学会電力・エネルギー部門大会 21, 2009.

■S4 群-4 編-1 章

1-5 BEMS (Building and Energy Management System)

(執筆著：佐々木晃) [2009年8月 受領]

建物を建設し、それを維持・運用することは、「企業の経営環境」や「地球や地域の環境」に長期間にわたり大きな影響を与え続けることになる。今日では経営の効率化と地球環境保護への貢献の両立への要求が高まっており、建物に関する技術者には、それに関するコストや環境負荷を低減することが求められている。

建物のエネルギー消費量を削減するためには、高効率な機器やシステムを導入し、ライフサイクルにわたり建物の利用状況に合わせ適切に運用することが必要である。そのためには、必要な情報を、長期間にわたり収集・蓄積し、専門技術者が処理・分析することが有効であり、建物における BEMS の重要性が認識されている。

図 5・1 のように BEMS は、建物の室内環境とエネルギー性能の最適化を図るためのビル管理制御システムである。建物における空調・衛生・電気・防災・防犯など建築設備を対象として、各種センサ、計測機器により運転管理・制御を行っており、人間に例えれば神経系である。BEMS は、IT の発展の影響も強く受けており、建築設備に関する技術分野で、BEMS は、最も変化を続けている分野であると言える。そして、BEMS の能力を十分に発揮するためには、単に設置するだけではなく有効に活用することが重要である。

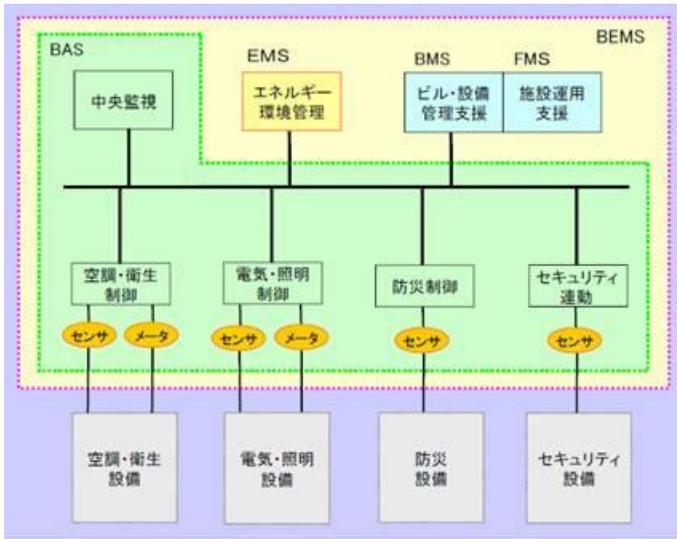


図 5・1 BEMS の構成

建物のライフサイクルにおいて、運用段階におけるエネルギー消費量が多くを占めることは周知である。近年では、地球環境保護を背景に、建物の運用段階の省エネルギー性の重要性が認識されており、BEMS のエネルギー環境管理機能が注目されている。

今日では、BEMS のオープン化や IP ネットワークへの対応が進み、BEMS で計量計測されるデータを建物の維持管理に活用する環境が整いつつある。近い将来、BEMS は、維持管理に関する項目だけでなく、建物に関するすべての情報を収集・保存し、ユーザが必要とする情報を即時に提供できるような情報管理システムの一つになると考えられる。建物管理を行う技術者は、これまで以上のも様かつ大量の情報を効率良く、分析し・処理し、多岐にわたる建物の維持管理業務に適切に応用していくことが重要である。

本節では、建物におけるエネルギー管理の目的と計量・計測・計画を含めたエネルギーマネジメントシステムの必要性について説明する。

1-5-1 エネルギー管理の目的

一般に、建物のエネルギー費用は、LCC（ライフサイクルコスト）の中で大きな割合を占めている。耐用年数 65 年の中規模事務所建物では約 30%にもなる。エネルギーを適切に管理することは、建物のライフサイクルに関するコストや環境負荷を大きく削減することになる。また、建物のコストや環境負荷をライフサイクルにわたり提言するには、運用時において高い品質の維持管理を行う必要があり、建物をライフサイクルにわたり適切に管理するためには、維持管理目標を明確にし、「計画」→「管理」→「実施」→「評価」という管理サイクルを成立させることが重要である。そのための第一歩は、必要な情報を、長期間にわたり収集・蓄積し、処理・分析することであり、BEMS は、その作業を効率的に進めるための有効なツールの一つとして位置づけられている。

建物をオペレーションするための BAS とエネルギー管理を行うための BEMS の導入により、エネルギー使用量や設備の運転管理を専門に行うことでより効果的な省エネルギー施策の実施や、設備の効率的な運転を行うことが可能となる。BEMS 導入によるエネルギー管理手法として、図 5・2 のようにエネルギーデータを BAS により BEMS に集約し、エネルギー・環境・設備運転状態をきめ細かく管理し、長期蓄積することにより、エネルギー消費推移の把握ができ、設備の運転状況把握により、省エネルギー管理指定工場対応や省エネルギー推進支援に役立てることができる。また、IP ネットワークで接続することにより、汎用パソコンから建物の

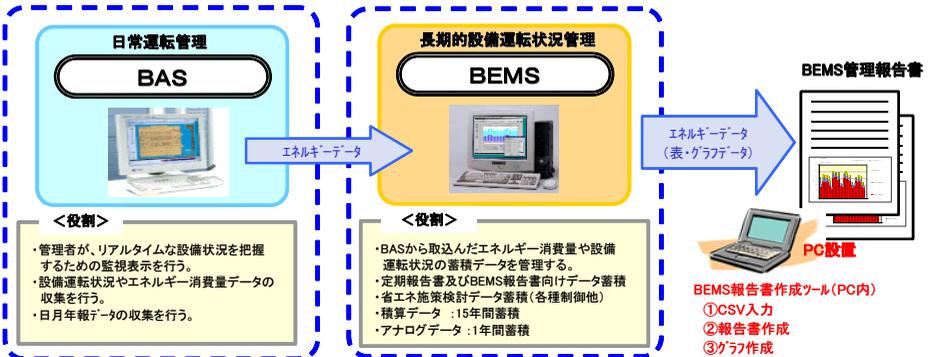


図 5・2 BAS と BEMS の連携

エネルギー消費量の監視を「いつでも」「どこから」でも収集・演算されたエネルギーデータ（グラフ・表形式）として、閲覧することが可能になる。

1-5-2 エネルギーマネジメントシステム

エネルギー管理を行ううえで、建物設計時に建物の評価を考慮した計測計量計画が重要である。また、エネルギー管理の目標に則したデータを、自動的に収集し、長期的かつ継続的な分析を可能とするための長期蓄積機能を有することも必要である。

図 5・3 のようにエネルギーマネジメントシステムは、収集・蓄積したデータを活用して、現状の把握→分析→評価を実施するためのシステムであり、評価を活用して、省エネルギー対策や設備の運転計画の検討（場合によっては専門家の支援が必要）及びその対策の実施を継続的に実施することで、建物の資産価値の維持・向上とともに環境に配慮した建物として持続させることが可能となる。

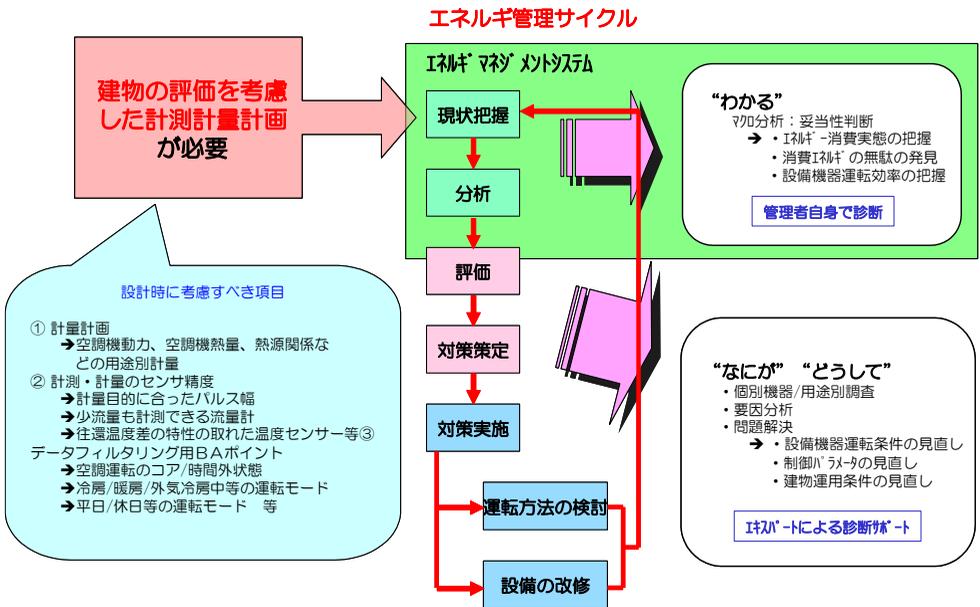


図 5・3 エネルギーマネジメントシステム

エネルギー管理用の計測計量は、評価対象、目的、分析レベルなどの条件に合わせて系統別・装置別に必要な計測計量点（電力、ガス、上水・中水・下水、熱量など）を設計に盛り込む必要があり、また、どれだけ用途別・機器別にセンサを設置できるかが重要なポイントである（図 5・4）。

●電力量の例

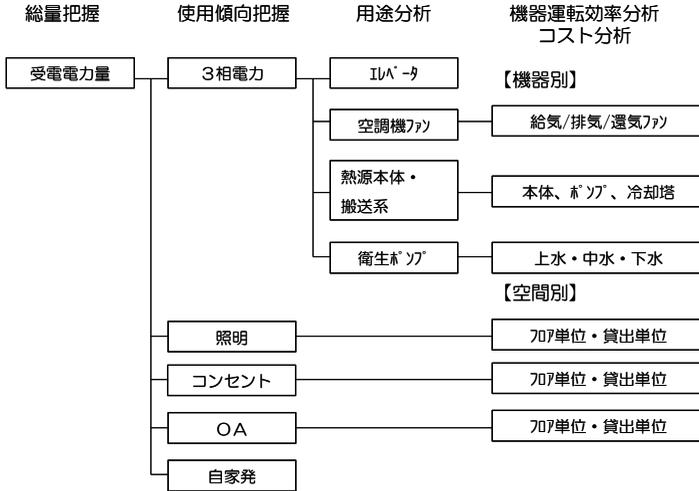


図 5・4 計測計測ポイントの分類と考え方

1-5-3 計測計量計画

運用段階における省エネルギーを実現するためには、エネルギー管理（エネルギー消費状況の把握、設備機器の性能監視）のための計測計量（温度、流量、熱量、電力など）を充実する必要がある。

BEMS における計測計量の目的としては、次の項目が挙げられる。

- (1) 基本機能（監視・制御）のため
 - ・ 設備機器の監視・制御
 - ・ 室内環境の監視
 - ・ 不具合発見診断
- (2) 検針・課金機能のため
- (3) エネルギー性能管理・診断のため
 - ・ エネルギー消費状況の把握
 - ・ 設備機器の効率監視

従来は、(1) 基本機能（監視・制御）、(2) 検針・課金機能、のための計測計量が中心であった。しかし、運用段階における省エネルギーを図るためには、建物の運用状況、エネルギー消費状況、設備機器の性能を把握して、分析・評価し、そして、その結果を建物の運転管理へ反映させるといったサイクルを回すことが不可欠である。そのためには、(3) エネルギー管理（エネルギー消費状況の把握、設備機器の効率監視）のための計測計量が必須となる。省エネルギーを実現するためには、無駄なエネルギーが使われていないかどうかを、建物のエネルギー消費状況を把握して検証することから始まる。そのためには、建物全体、系統ごと、更には設備機器ごとの計量が必要となる。

また、設備機器の監視についても、従来は温度条件が設計条件を満たしているかどうかを点検することが主眼であったが、能力が十分に出ているか、特に、効率が適正かどうかについて、性能監視を行うことが重要であり、そのためには、熱量、流量、電力などの計量が必須となる。これらのエネルギー管理の実行により、各種の不具合（フォルト）を発見し、改善していくことが可能となる。

表 5・1 に示すように、傾向管理・コスト管理・性能管理・制御性管理において、どんな指標を作り、適否・良否を判断するかの設定が必要であり、変化の発見・妥当性判断・原因抽出・影響や改善効果などの定量化のどのレベルを狙う指標かを定めることが重要である。

表 5・1 エネルギー評価指標

分類	評価指標	内容
傾向管理	エネルギー使用量	用途別（照明、コンセント、OA、熱源動力、空調動力、などの各用途別動力）
		系統別（共用部、テナント、棟など）
		設備機器別（冷凍機、ポンプ、空調など）
	一次エネルギー換算	
	CO2換算	
コスト管理	コスト総額	ビル消費エネルギー費（電気、ガス、上下水、熱）
	原単位	延床面積、貸室面積、空調面積などで原単位換算
	熱製造コスト	
性能管理	装置性能	機器単体COP、機器効率（運行効率など）
	系・システム性能	冷凍機システムCOP、建物入出力エネルギー比など
	メンテナンス指標	運転時間、発停回数、警報履歴、振動、騒音など
制御性管理	運転調整	空調機制御状態（給気温度、室内温度、バルブ開度など）
		熱源制御状態（送水温度、送水流量、送水圧力、台数制御など）
	省エネ制御定量効果	空調機・熱源系搬送効率など

■S4 群-4 編-1 章

1-6 HEMS

(執筆著者：鶴崎敬大) [2009年9月 受領]

家庭部門からの CO₂ 排出量 (2007 年度) は約 1 億 8000 万 t-CO₂ であり、我が国のエネルギー起源 CO₂ 排出量の約 15 % を占めている¹⁾。1990 年度の排出量と比べて約 4 割増加しており、温暖化対策における家庭部門の重要性はますます高まっている。こうしたなか、IT を活用し、総合的に家庭の省エネルギーを図る方策として、ホームエネルギーマネジメントシステム (HEMS) への関心が高まっている。

1-6-1 HEMS 開発の背景

家庭部門の主な温暖化対策として、家電製品などの機器のエネルギー効率基準の設定、住宅の断熱性能基準の設定、高効率給湯器の普及促進、太陽光発電やコージェネレーションシステムの普及促進などが進められている。このような技術導入による対策だけでなく、生活者の意識を喚起し、高効率な機器への買い換えやライフスタイルの変革を促す広報などによる普及啓発活動も実施されている。

生活者の意識を喚起するため、家庭で費用をほとんどかけずに実施できる省エネルギーの方法について、繰り返し情報提供が行われてきた。エアコンの設定温度を 1 度調節する、こまめに照明を消す、テレビの使用時間を 1 時間短くする、機器を使用しないときはコンセントから電源プラグを抜く、シャワーの流し放しをやめる、といったものである。

このような省エネルギー行動に関する情報提供は一定の役割を果たしてきたと考えられるが、2 つの課題がある。

第一に、省エネルギー行動の効果を実感しにくいことである。一般家庭でエネルギー消費量を把握する方法は、電力会社やガス会社が毎月実施する検針の記録や領収証を確認することである。エネルギーの消費量は気温・水温の変化の影響を受けて月々変化するため、省エネルギー行動の効果は、この季節変動に隠れてしまいがちである。電力会社や大手都市ガス会社の検針票では、前年の同じ月の消費量と比較できるようになっているが、暑さ・寒さは年によって変化するし、子供の成長などライフステージの変化もある。したがって、数%の省エネルギー効果がある行動を実施したとしても、効果を実感しにくい。

第二に、省エネルギー行動の実施は、やはり手間がかかり、ある程度は快適性や利便性を犠牲にすることである。したがって、節約意識や環境意識が高くない人には広がらず、また、一時期実施したとしても長続きしないという状況がある。

HEMS の基本コンセプトは、IT を活用し、家庭のエネルギー消費機器 (家電製品、照明、給湯器など) を最適に制御し、快適性や利便性を損なうことなく、無駄なエネルギー消費を抑えることである。同時に、エネルギー消費量をリアルタイムに表示する、消費量の内訳を表示するなど、エネルギー消費を「見える化」する機能も持つ。HEMS は上記の課題に対応し、家庭における省エネルギー行動の実効性・確実性を高めるシステムとして、開発・普及が期待されるようになった。

経済産業大臣の諮問機関である総合資源エネルギー調査会の省エネルギー部会が 2001 年に発表した報告書では、HEMS について以下のように記されている。

『特に家庭部門においては、従来はライフスタイルの変更などを目指した情報提供、広報活動に重点が置かれてきたが、国民一人一人が原因者となる家計部門のエネルギー需要が一貫して増加していく状況に鑑みれば、家庭におけるエネルギーを無理なく適切に管理することにより、国民の行動をより実効性をもってエネルギーの効率的利用に結びつけていくことが必要である。昨今、IT 技術の活用により、エネルギーの使用量をコストとして表示し、リアルタイムで視覚化することにより、国民のエネルギーに対するコスト意識を高めたり、家庭内の主要機器を最適制御する需要マネジメントシステムの実現が可能となってきており、今後、フィールドテストを通じ、省エネ効果の一層の検証や最適なシステムのあり方、効果的な普及方式の検討などを行うとともに、本格的なシステムの普及段階においては、適切な支援策を講じる必要がある。』²⁾

同部会報告書では、HEMS は 2010 年度までに普及率 30 %、原油換算 90 万キロリットル相当の省エネルギー効果（省エネルギー率は 10 %程度）が期待されている。

HEMS に先行して、1990 年代後半には既に住宅内でリアルタイムにエネルギー消費量を確認できる装置（「省エネナビ」）が開発されており、財団法人省エネルギーセンターによるモニタ事業などを通じ、家庭を中心に利用されてきた経緯がある。上記の省エネルギー効果は、省エネナビの省エネルギー効果の実績に基づいて想定されたものである。

1-6-2 HEMS 実証試験

HEMS の開発と省エネルギー性の評価を目的に、2001～2005 年度に新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を通じて国の一部助成を受けて、全国 5 地区（北海道、関東、阪神、中国、四国）で実証試験が実施された。以下で実証試験の結果^{3)~5)}を紹介する。

実証試験で導入された HEMS の仕様は地区により様々であるが、概して言えば、HEMS は、エネルギー消費機器、各種センサ（人感、照度、温度、湿度、電力など）、通信アダプタ、リモコン兼モニタから成るホームネットワークを構成し、ゲートウェイを介して、外部のセンター（サーバ）と接続される。外部との通信は、データの収集のほか、センターからの気象情報や省エネルギー行動に関する情報の提供、制御手法・パラメータのアップデートなどに使用される。ホームネットワークの通信方式は電灯線搬送や無線、外部との通信方式は PHS やインターネット（VPN）である。

HEMS の機能は自動制御と情報提供に大別される。自動制御には、エアコンや照明の在不在制御などのほか、不在となった部屋への通電を分電盤で遮断し待機電力をまとめて削減する、不在となった部屋での電気暖房機器の電源を切る、などがある。情報提供の内容は、電力消費量、ガス消費量の履歴やリアルタイムの消費量、環境負荷（CO₂排出量）、外気温などの気象情報、省エネ方法に関するアドバイス、照明の点灯状況、各部屋の室温、給湯器の状態、などである。

HEMS 導入による省エネルギー効果は、5 地区のうち 3 地区で 10 %前後、2 地区で約 4 %となっている（各地区で最も省エネルギー率の良い年度の結果）。2 年目に省エネルギー効果が見られなかった地区もあるが、全体的には実施内容の追加や改善により省エネルギー率は年々改善されている。

実証試験で確認された省エネルギー効果のうち、自動制御による効果は全体の 1 割以下に留まっており、大部分は情報提供による効果である。使い勝手が十分でなく自動制御が使用され

なかったケースもあるが、自動制御の対象機器がエアコンでは1~2台、照明では通過領域（玄関、廊下、階段など）が中心であり、自動制御対象機器のエネルギー消費量が全エネルギー消費量のごく一部であったことも影響している。

HEMSの機能で注目されるのは、他の世帯とエネルギー消費量を比較する機能である。自世帯のエネルギー消費量の絶対値がわかるだけでなく、他の世帯との相対的な位置関係が明示されると、特に消費量が相対的に多い世帯では、その理由を考えるきっかけとなり、消費量を下げる強い動機付けになる場合がある。また、省エネルギーに努め、消費量が少ない世帯では日頃の行動が評価され、継続の動機付けになる。

1-6-3 HEMS 機能の普及

国の助成を受けた実証試験が2005年度に終了した後、「HEMS」と銘打って商品化する事業者は現れなかったが、HEMSに関連する商品やサービスは見られるようになった。

エネルギー消費を見える化する機能は、ガス給湯器のリモコンや住宅用太陽光発電システムのモニタに組み込まれている。ガス給湯器の場合、機器に内蔵されたセンサの情報を取り込んで、お湯やガスの使用量をリモコンに表示する。オプションで電力センサを分電盤に組み込むことで、電力消費量を表示させることもできる。太陽光発電システムのモニタには発電量だけでなく、電力消費量、購入電力量、販売電力量がリアルタイムに表示され、利用者の節電意識を喚起している。

詳細な見える化を図るため、分電盤の個別回路ごとの電力消費量を計測・表示するシステムが商品化されている。回路は部屋や場所で区分されるが、エアコンやIHヒータなどは専用回路になっているため、主な機器の消費量もわかる仕組みである。

毎月のエネルギー消費量をウェブサイト上で確認できるサービスを提供する電力会社や都市ガス会社が増えている。過去1~2年間の消費量と支払金額を確認できるほか、類似世帯との比較機能や、省エネルギー行動に関する情報が提供されている。環境家計簿機能もあり、すべてのエネルギーと水道の使用量を管理することもできる。しかし、各事業者の持つデータ（電力会社であれば電気）は提供されるが、その他のデータは利用者が入力する必要があるのが難点である。

電力やガスの取引メータに通信機能を付与することにより、ウェブサイト上でリアルタイムのエネルギー消費量を確認するサービスも実現している。省エネルギーの目的ではないが、高齢者の見守りサービスに、このような機能を利用するサービスもある。

最近のエアコンやテレビには消費電力や電力消費量を表示する機能を持つ製品が登場している。使用モードや設定によって、消費電力がどの程度変化するかをユーザが理解できるようになり、省エネルギーな製品の使い方が広がると期待される。HEMS側から見れば、機器から電力消費量の情報を収集することができれば、電力計測アダプタを設置する必要がなくなり、コスト低減になるだけでなく、コンセント周りの美観も損ねないですむ。

不在制御などの自動制御機能も、製品単体に組み込む動きがみられる。センサ付照明はもちろんのこと、家電製品にも人の在・不在を検知して、運転状態をコントロールする機能が搭載されるようになっている。

1-6-4 HEMS の普及展望

HEMS の普及の最大のネックは価格である。専用のモニタ、通信アダプタやセンサ、機器の自動制御機能の搭載、省エネルギー情報コンテンツの作成など、フル装備の HEMS を提供するには初期費用だけで 20 万円以上を要し、更にサービス費用がかかると考えられる。省エネルギーのために、これだけの投資を行える消費者は限定される。

新築住宅に関しては、ホームセキュリティや防災対策（緊急地震速報など）、ブロードバンドインターネットといった各種のサービスとインフラを共用することにより、サービスコストを最低限に抑えつつ、差別化を図る形で HEMS が普及することが期待される。既にこうしたサービスを提供しているハウスメーカーが出てきている。

ユーザのコスト負担を最小限に抑えて HEMS の機能を普及させていくにはインフラや機器の共用をできるだけ目指す必要がある。エネルギー消費量の計測は、取引メータを活用する。今後、通信機能付きメータの普及により、家全体の電力消費量やガス消費量がリアルタイムに把握できるようになると期待される。専用の表示端末を設置すると数万円のコストを要するため、パソコンやテレビ、携帯電話で閲覧したり、給湯器などの既存のリモコンやホームテレフォンを共用する方法が考えられる。ただし、専用端末に比べてサービスの存在感が低下することは否めないため、ユーザのアクセスを待つだけでなく、定期的に診断レポートを送付するなど、プッシュ型のサービスも有効と考えられる。

家電製品や設備ごとの消費量を詳細に見える化するためには、現状では電力センサなどに一定のコストを要する。エネルギー消費量の大きい機器については、製品自体が消費量を計測・推定する機能を持つようになり、そうした情報を統一的に利用できる仕組みが望ましい。

収集した情報を活用して、どのように省エネルギーを進めるかを支援することが本来最も重要なサービスである。環境負荷や貢献度のわかりやすい表示、標準消費量（ベンチマーク）や他の世帯との比較、最新の機器に買い換えた場合の効果試算、プロフィールやエネルギー消費パターンに基づく省エネルギーアドバイスなどが考えられる。診断・支援を行うエキスパートシステムの開発は今後重要なテーマになるだろう。

自動制御機能は当面は製品単体での採用が進んでいくと予想される。連動制御や統合制御については、分散型エネルギーシステムや蓄電池、電気自動車家庭に導入される局面で、改めて注目されるようになって考えられる。

■参考文献

- 1) 環境省：“2007（平成19）年度温室効果ガス排出量＜確定値＞,” 2009年4月30日公表, 2009.
- 2) 総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会：“総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会報告書—今後の省エネルギーのあり方について—,” pp.6-7, 2001年6月.
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成16年度一般家庭における HEMS 導入実証試験による省エネルギー効果の評価解析成果報告書（委託先：（財）電力中央研究所,（株）住環境計画研究所）, 2005年3月.
- 4) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成17年度一般家庭における HEMS 導入実証試験による省エネルギー効果の評価解析成果報告書（委託先：（株）住環境計画研究所）, 2006年2月.
- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：平成18年度一般家庭における HEMS 導入実証試験による省エネルギー効果の評価解析成果報告書（委託先：（株）住環境計画研究所）, 2006年12月.

■S4 群-4 編-1 章

1-7 データセンタの省エネ化

1-7-1 電力技術

(執筆著者：山崎幹夫) [2009年9月受領]

データセンタの省エネ化（高効率化）はデータ処理装置の省エネ化が最も効果が高いことは言うまでもない。これに次いで給電設備の省エネ化が効果的である。データセンタ全体の省エネ性能を包括的に評価する指標として、PUE（Power Usage Effectiveness）や DCiE（Data Center infrastructure Efficiency）が業界団体である TGG（The Green Grid）などによって提唱されている。更に、データ処理装置内の電源回路の省エネ性を評価するために、ENERGY STAR 基準や 80PLUS 基準が米国環境保護庁（EPA）や業界団体（80 Plus）によって提唱されている。

本節ではこれら評価指標の詳細は述べないが、近年データセンタやデータ処理装置の評価にこれら省エネ性の評価指標が考慮されるようになってきている。このため、現在では、適性に設計施工された給電設備には 80%以上の給電効率が期待できるようになってきている。こうした省エネ化の流れは主に交流給電によって実現されてきたものであるが、給電方式を大別すると、この交流給電と直流給電との2方式がある。特に後者の直流給電方式は、太陽光発電などの新エネルギーとの親和性が高く、交流給電に比べ更なる省エネ化が期待できるため、近年注目されている。

交流給電方式の概要を図 7・1 に示す。データセンタの規模にもよるが、特別高圧（66 kV）または高圧（6.6 kV）で商用交流を受電後、変電室または副変電室に設置されたトランス T によって 200 V 程度に降圧し、給電信頼性を向上するために、緑色の破線で囲んだ無停電電源装置（UPS）や交流分電盤（ACPDF）を経由してサーバなどの IT 装置に給電している。

UPS は商用交流が停電した場合には蓄電池（BATT）の直流電圧を交流に変換して給電を続ける。BATT の保持時間以上の長時間停電に対しては、非常用エンジン発電機（EG）を始動す

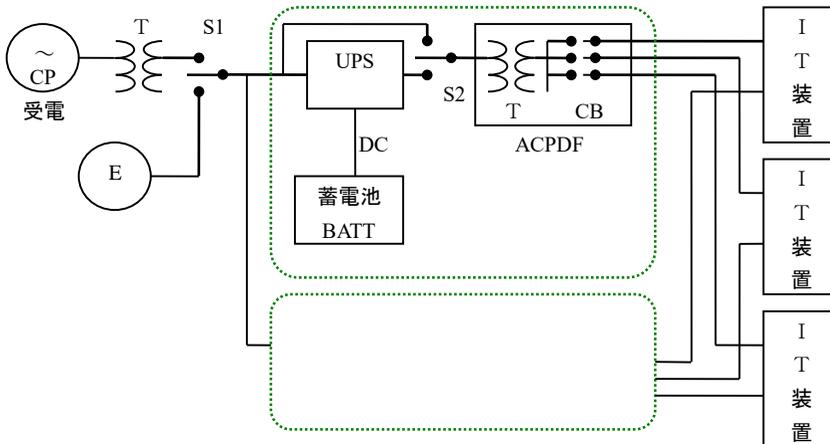


図 7・1 交流給電の概要

ることによって給電を継続する。更に、ACPDF は負荷側の故障や事故による過電流を遮断機 (CB) によって開放することで、正常な回路への給電を続行する。金融機関などの極めて高信頼な給電を必要とする場合は UPS やその周辺装置の故障に備えて、この緑色の破線部分の構成を完全二重化する。

完全二重化は給電信頼性を飛躍的に向上するが、電源装置が消費する固定損失も 2 倍になるため省エネの観点からは低効率な給電方式となる。図の中で省エネ化に効果的な装置は、変圧器 (T) と無停電電源装置 (UPS) である。変圧器 (T) の省エネ化については、2006 年にトップランナー方式が適用され、アモルファス磁心の採用などによって既に省エネ化が進捗している。

一方の UPS にはいくつかの回路方式があり、それぞれに得失がある。図 7・2 に常時インバータ方式と常時直送方式の概略構成を対比して示す。常時インバータ方式は、入力交流電力を整流器で直流に変換し、蓄電池を充電しながら、インバータで再度交流に変換して負荷に給電する方式である。インバータや整流器の故障に備えて、スイッチを切り替えることにより故障時バイパスを経由して入力交流を直接負荷に接続する機能が内蔵されているものが多い。

常時直送方式は、通常時は入力交流を直接負荷に接続している。同時に充電器によって蓄電池を充電し停電に備えている。停電になると、スイッチをインバータ側に切り替え、インバータを始動して蓄電池のエネルギーを交流に変換して負荷に供給する。常時インバータ方式に比べ、通常時に主たる電力変換を行わない常時直送方式の方が、運転損失が少ないので原理的に省エネ性が高い。ただし、常時直送方式は停電発生後に回路を切り替え、UPS を起動する時間遅れを有するため、「無停電」という機能に関して信頼性が低い。このため、高い給電信頼性が要求される場合は常時インバータ方式がこれまでは一般的であった。

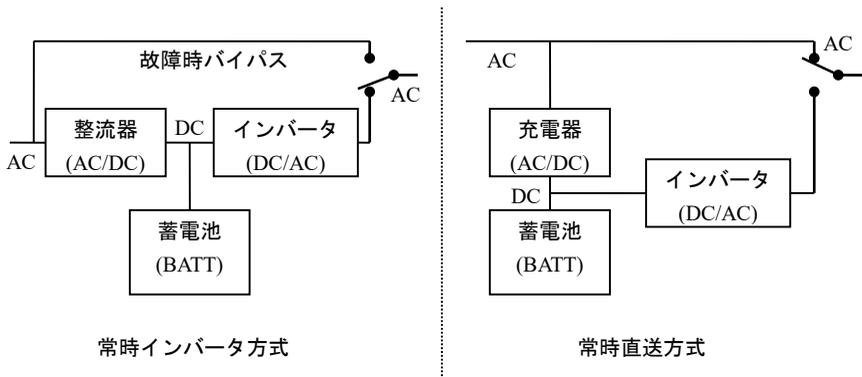


図 7・2 UPS の概略構成の違い

しかし、最近では常時直送方式でありながらインバータを常時運転しておき、トランスまたはリアクトルを用いて商用直送ラインとオア結合を構成して切り替え始動時間がない方式も提案されている。この方式は、常時直送方式に比べ、通常時に運転している装置部分があるため、装置の固定損失が生じるので、図 7・2 の常時インバータ方式と常時直送方式の中間的給電効率となる。

直流給電方式の概要を図 7・3 に示す。商用交流の受電および非常用エンジン発電機の設置は図 7・1 に示したものと共通である。この交流電力を整流器によって直流に変換し、蓄電池を充電しながら、直流分電装置 (DCPDF) の FUSE またはブレカ (MCCB) を介してサーバなどの IT 装置に給電する。停電に備えるものは蓄電池であることは交流給電と変わらないが、負荷の IT 装置へは直流をそのまま給電する。このため、直流給電方式は基礎的信頼度が高く、完全 2 重化の必要性はほとんどの場合ない。2 重化する部分は DCPDF 以降の配線ルートだけである。図 7・1 に示した交流給電方式との共通部分を除外すると、この図の中で省エネ化に効果的な装置は整流装置とデータ処理装置内の電源回路である。

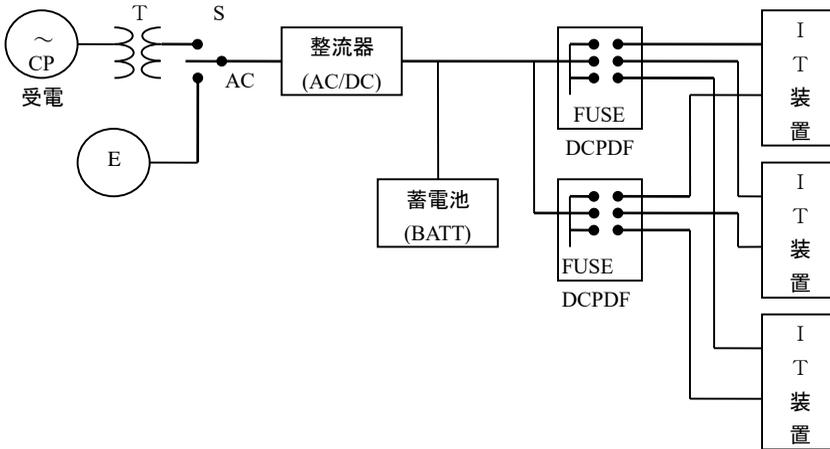


図 7・3 直流給電の概要

交流給電方式と直流給電方式の電力変換回数の比較を図 7・4 に示す。信頼性のある程度確保しなければならない場合、交流給電方式は整流器、インバータ、IT 装置内で合計 4 回の電力変換が必要になる。直流給電方式では、整流器と IT 装置内でそれぞれ 1 回の電力変換が必要と

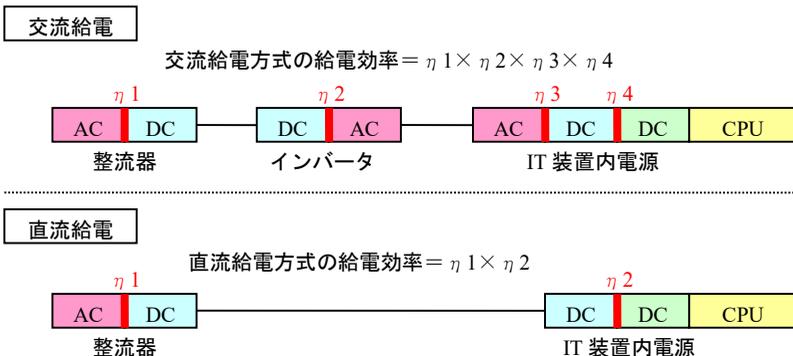


図 7・4 交流給電と直流給電の変換回数比較

なる。電力変換を行う度に損失が生じ、変換効率を表す η は、それらの積となる。したがって、直流給電方式は交流給電方式に比べ電力変換回数が少なく、変換損失が少なくなるので、高い省エネ性が期待されている。

現在、高効率化の効果を直流給電方式と交流給電方式とで比較する試算や検証試験が各国で実施されている。現在報告されている各国研究機関の試算や電源設備メーカーの検証例には、残念ながら一般化された報告はなく、限定された条件下のものが多い。ただし、これらほとんどの報告で、程度に大小の差はあるものの、直流給電方式の方が交流給電方式より省エネ性に關しては上位に評価されている。

ここ数年のデータ処理装置のラック当たりの消費電力増加への対処と更なる省エネ化に向けて、給電電圧の高電圧化が検討されている。交流給電方式では従来の 200 V から 400 V、直流給電方式でも通信キャリアが使用していた 48 V から 400 V への高電圧化が検証の段階に達している。ここでは、400 V 交流給電の実例報告がないため、400 V 直流給電方式を例に説明する。

400 V 直流給電方式の実証試験装置の例を図 7・5 に示す。この写真は NTT ファシリティーズ (株) が開発した実証試験用 400 V 整流装置および電圧補償装置の例である。この検証設備は、整流装置回路構成の違いによる給電特性の差異を検証するため 2 組の装置が隣接して設置されている状態である。赤いユニットが 9 台搭載されている一番手前のラックと手前から 4 ラック目および 5 ラック目が整流装置である。これら整流装置に挟まれた 2 ラック目、3 ラック目は受電している商用交流の停電時に蓄電池の放電に伴う給電電圧低下を補償する電圧補償装置であり、通常時は動作しない装置である。手前の赤いユニットはそれぞれ 13 kW の電力容量があり 8 台で約 100 kW の出力容量である。ユニットが 9 台搭載されているのは、1 台分の冗長構成 (N+1 構成) によって高い信頼性を確保するためである。



図 7・5 HVDC 実証試験装置の外観

この実証例では整流装置の効率が約 95%、負荷の IT 装置までの給電ケーブルでの損失が 100 W 以下であり、48 V 直流給電の実績に比べ少なくとも数%の高効率化が期待できることが報告されている。

この検証システムによって、高電圧化による副次的効果も明らかにされている。この検証実験環境で 100 kW の電力を負荷に給電するために必要な電力ケーブルの本数の差を図 7・6 に示す。48 V 給電では断面積 325 mm² ケーブルが 10 条必要なのに対し、400 V 給電では、200 mm² ケーブル 1 条でよい。100 kW を給電するためにケーブルに流れる電流は、48 V 給電では、約 2100 A が流れる一方、400 V 給電であれば 250 A となる。ケーブルでの許容電圧低下については、48 V 給電では高々数 V のマージンであるのに対し、400 V 給電では十数 V が許容できる。



図 7・6 48 V 給電と 400 V 給電のケーブルの比

こうした諸条件を総合的に考慮した結果である。一般に、給電距離（ケーブル長）が同じであれば、給電電圧を高めることによって給電電流が減少し、配線ケーブルでの抵抗損失が少なくなるため、ケーブルの断面積を小さくすることができる。すなわち、銅の使用量が著しく節約できること、ケーブルの量が減少することにより、機械室床下の空調のための気流通路が広がり気流動力の節約にもつながるなど、給電電圧の高電圧化は給電システムの省エネだけでなく、資源節約や空調電力節減にも効果があることが期待される。

1-7-2 空調技術

(※準備中)

■S4 群-4 編-1 章

1-8 クリーンエネルギー

(※準備中)