

環境大気常時監視局舎に

省エネルギー管理システムを導入する試み(Ⅱ)*

— EpoKisの電力消費モニタリングが明らかにする局舎電力消費特性など —

鈴木 一平** ・ 池澤 健** ・ 谷 學**

はじめに

地球温暖化抑制を明確な緊急課題として共有する時代の潮流を受けて当社では、これまでほとんど顧みられることのなかった環境大気常時監視局舎における電力消費に対しても、省エネルギー最適化の管理を徹底することが重要であると認識し、EpoKis(エポキス)と名付ける新しいテレメータシステムのコンセプトを提案している。

EpoKisは、当社の提供するデータテレメータシステム「EcoDas」(エコダス)¹⁾の応用として、局舎内の各機器の電力消費状況をテレメータによって遠隔監視しようとするものである。当社ではEpoKisの開発を進めるに当たって、測定機等の電力消費状況の詳細モニタリング調査を初めて行い、そのデータの分析によって新しい知見の集積を進めてきた。

本報では、前報²⁾に続きこれらの新しく得られた知見の概要について述べる。基礎的な情報を中心にまとめた前報に対して、本報ではそれらの応用による新しい展開の可能性について述べる。

1. 電力消費詳細モニタリングの実測値により診断する局舎の電力消費特性

EpoKis開発では、当社内の予備試験に加え

てある地方自治体に協力いただき、実際に稼働中の一般環境大気測定局における長期モニタリングを2005年10月以来実施している。

詳細モニタリングにより得られたデータから、まず機器ごとの電力消費の状況を明らかにしたことは前報に述べたとおりだが、本調査ではこれらの個々の機器に対して得られた知見を活用し複合させて、局舎総体としての電力消費特性を評価して表現する新しい診断手法の構築をめざした。本章では、その成果の概要について述べる。

(1) 局舎総体の電力消費量の構成

環境大気常時監視局舎における電力消費は、いうまでもなく個々の電気機器の電力消費の合計である。その構成は、測定機など定常的に稼動するものによる消費と、エアコンや照明等の随時的に稼動するものによる消費に大別できる。その概念図を図1に示す。

常時的に消費する部分は、大半が大気汚染物質の自動測定機群であり、それにブローヤやヒーターなどの関連機器、データテレメータシステムにかかる装置群などが加わる。これらは、測定局の機能に関する基本仕様、とくに測定項目数によって決まる。ただし、設置されている機種によってかなり異なることが予想される。

* Applying an Energy Management System to Ambient Air Quality Monitoring Stations

** Ippei Suzuki グリーンブルー(株), Ken Ikezawa 同, Manabu Tani 同

キーワード ①環境大気常時監視 ②テレメータシステム ③地球温暖化 ④省エネルギー ⑤ESCO事業

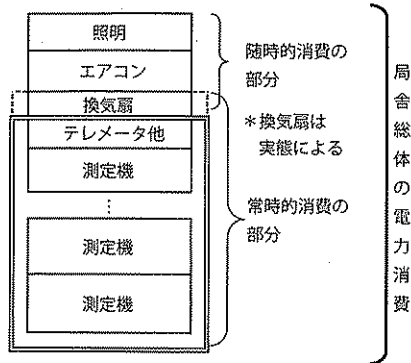


図1 局舎における電力消費の構成

随時的に消費する部分は、典型的には照明、エアコンおよび換気装置から成る。ただし換気装置は定常的に消費する部分に含める方が妥当な場合も考えられる。照明については入室作業に応じて使用されるものであり、省エネルギー最適化の観点から局舎の電力消費特性を評価する場合には、考慮の対象外にすることが適当であろう。

(2) 局舎総体の電力消費量の変動要因

局舎総体の電力消費量は常に一定ではなく、刻々と増減の変動をしていると考えられるが、どのような要因に支配されて変動しているのであろうか。定常的消費、随時的消費のそれぞれに分けて、前報に述べた新しい知見をもとに考察した。

定常的消費の部分は、測定機等の各機器の電力消費を合計したものである。それぞれの測定機類の平均電力消費は、機器周囲の平均空気温度に応じて増減する。多くの場合、その関係は直線の推定式(1次式)で表現可能であることが明らかとなった。図2にその関係の一例を示す(前報に示した図の抜粋再掲)。

これらの合計を考えた場合、複数の1次式を合計した総体の推定もまた1次式として表現し得ることになる。ここで便宜的に各機器の周囲温度を適切な測定点で測定した室内温で代表させれば、以下のように表現できる。

$$y = ax + b$$

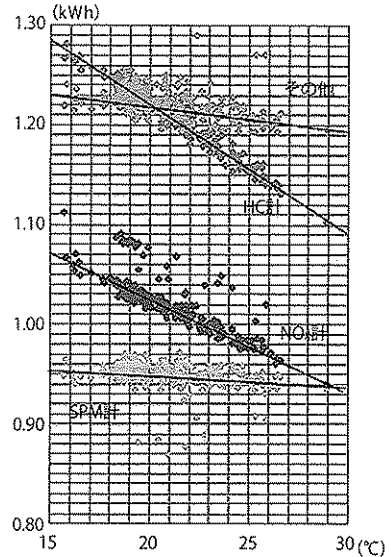


図2 各種機器の周囲温度と平均消費電力量の関係(6時間値による)

ここで

- x……室内温(入力条件)
- y……局舎の定常消費分の電力消費量の推定値
- a, b…算出されるパラメータ

一方、残る随時的消費の部分はエアコンによる電力消費がほとんどである。前報に述べたとおり、エアコンの電力消費のもっとも支配的な変動要因は外気温である。

整理すると、局舎総体の電力消費量については、定常的消費の部分は室内温に、随時的消費の部分は外気温に、支配されて変動する可以考虑することができる。

(3) 外気温と室内温の関連

外気温と室内温は、エアコンを運転しない状態では正の相関があると予想できる。本調査では室内外の温度についてもモニタリングしており、その状況を明らかにした。図3にその例を示す。エアコン運転時に室内温がおおむね保たれている様子と、エアコン停止時における相関の様子が、ともに観察できる。エアコン停止時の相関は直線近似の推定式が設定可能と判断できる。この関連を考慮すれば局舎総体の電力消費量は、外気温を入力条件とする1変数の関数関係に整理できると考

えられるのである。

(4) 局舎の電力消費特性表現手法の枠組み

以上に述べたように局舎総体の電力消費量は、(平均)外気温という1変数の入力から推定可能であると考えられる。そこで局舎の電力消費詳細モニタリング調査から得られるこれらの関数関係を用いて、「EpoKisの局舎電力消費特性現状診断」として一目瞭然に表現する手法を構築した。

新しい手法の枠組みを図4に示す。「周囲空気温度→機器電力消費」関数群を複合させ「室内温→測定機等機器群電力消費」関数とする。また「外気温→室内温」関数と「室内温→測定

機等機器群電力消費」関数との合成により、「外気温→測定機等機器群電力消費」関数を得る。

そして「外気温→エアコン電力消費」関数と「外気温→測定機等機器群電力消費」関数の合計として、最終的に「外気温→局舎総体電力消費」の関数関係を得ることができ、これを「局舎の(現状における)電力消費特性」と呼ぶのである。

(5) 局舎の電力消費特性を表現する図の作成

この新しい手法で明らかにする局舎の電力消費特性は、一目瞭然に表現可能である。図5に示すのは、ある一般環境大気測定局について局舎の電力消費特性を表現したものである。この図は、外気温をX軸、局舎総体電力消費量をY軸とした平面上に、両者の関係を示したグラフである。この図に示された各種の線の位置や傾きが、局舎の電力消費特性を視覚的に表現している。以下にその見方等について述べる。

まず、この図に「外気温→室内温」関数は直接表示されないで、目安として室内温推定30℃、35℃、40℃に達する外気温のレベルを直線で示し(図5中①)、局舎内の測定機等の正常稼動のためにエアコン(冷房)の運転管理上注意を要する範囲を表現する。ただしこの目安は1日間などの平均値をもとに示される

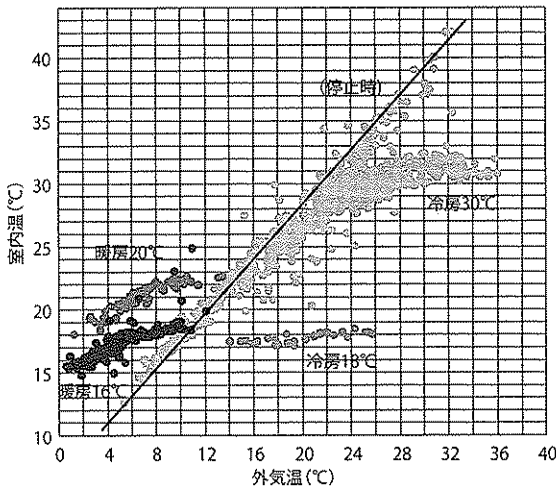


図3 外気温と室内温の関係の分析例 (6時間の平均値による)

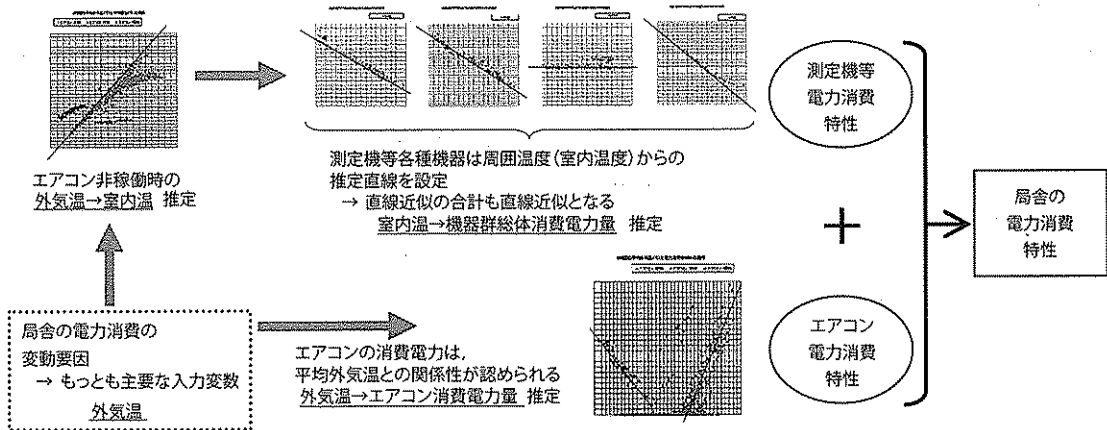
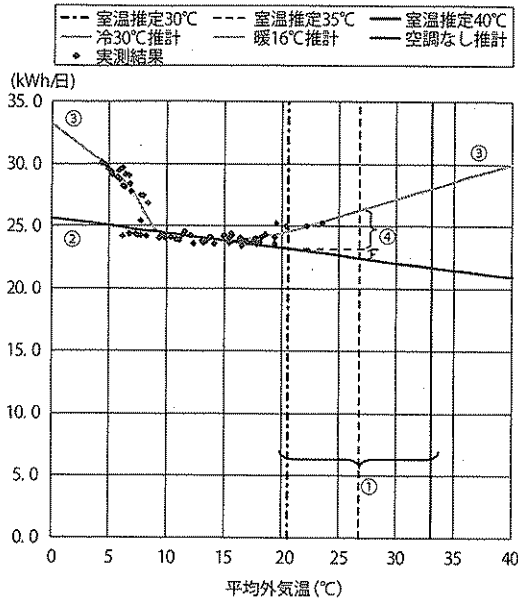


図4 局舎の電力消費特性表現手法の枠組み



ものであり、実際の管理ではより短期的な推定に基づく温度監視が欠かせない。

次に、測定機等の定常的に稼働する機器の消費電力量を推定する線は、図5中②のように示される。これは局舎の規模を反映した基本特性を表現する。この例では、もしエアコンをまったく運転しなければ平均外気温5°Cで約25kWh/日、35°Cで約21.5kWh/日と推定される。②線の傾きは、気候に対するこの局舎の「感度」とも表現できるもので、局舎の構造や換気性能等に規定される断熱特性を反映すると考えられる。

②線に示された定常的電力消費分に加え、エアコン運転による随時的電力消費分の推定を図示すると、図5中③のようになる。これは現状のエアコン運転条件である冷房30°C設定、暖房16°C設定での推定である。

これら③線は、随時的消費分(エアコン分)と定常的消費分の合計値の推定を示している。その際②線に単純にエアコン分を上乗せするのではなく、エアコン運転下では測定機等の消費電力が一定の室内温に基づき一定量になると仮定し、それにエアコン分の推定を

上乗せして合計値としている。

そのイメージを図5中④に示している。冷房運転下では、エアコン分の上乗せに加えて測定機等の消費電力の増加があるので、過剰に冷房を運転した場合二重のエネルギー消費増加が生じる。逆にいえば、冷房運転の最適化は二重のエネルギー消費改善をもたらすことになり、重要である。

以上のとおり、現状のエアコン運転条件における局舎総体の電力消費量推定(平均外気温を入力とする関数関係)は、③線と②線をたどる線として示される(②線のうち③線を下回る部分はエアコン停止状態に対する推定値である)。参考として、図5中には実測結果をプロットし、この推定手法の妥当性の高さを示している。

この局舎の評価では、1日平均外気温が約15°Cの時期に局舎総体の電力消費量が最低と推定され約24kWh/日、一方平均外気温が0°C近い日にはその1.4倍に迫る約33kWh/日と推定された。「24時間365日」連続稼働の環境大気常時監視局舎においても、日々の気候に応じて電力消費量が相当程度増減することを明らかにし、それを実用的に十分高い精度で推定することを可能とした。

これが、本手法による局舎の電力消費特性の現状評価を表現した結果である。

2. 省エネルギー最適化管理の適用による電力消費削減効果の試算

上に述べた新しい手法は、一定時間の平均外気温を入力条件として局舎総体の電力消費量を推定するものである。そのため気象庁の公開する統計データなどを用いれば、長期間にわたる電力消費量を比較的高い精度で推定可能であると考えられる。

そこで、前章で扱った局舎の近隣にある気象庁観測地点の気温統計値をもとに、2004~2005年の2年間にわたる局舎総体電力消費量の推定を行った。その結果から、現在の運転

条件によるエアコン分の電力消費量の寄与率を把握し、さらに、エアコンの運転を改善した場合に期待される効果を簡便な手法で試算した。本章ではその結果について述べる。

(1) 局舎総体電力消費の年間量の推定

本調査で使用したデータは、気象庁が公開する気象統計情報で、ある観測地点における平均気温である。現在ではインターネットからも入手可能である³⁾。図5に表現された関係を用い、統計値より1日ごとの電力消費量を推定し、月間値および年間値に積算した。この推定積算によって、現状の運転方法におけるエアコンの電力消費量の総量に対する寄与率が把握できる。図6および表1にその結果を示す。エアコンの稼働状況は図6に別色で示すように両年とも類似の傾向で、表1のとおり年間電力消費量の7.5%および8.1%をエアコン分が占めると推定された。

(2) エアコン運転改善による削減効果の試算

次に、この推計を現状(改善前)と仮定し、エアコンの運転方法の改善による電力消費量

の削減効果を試算した。改善に関しては、冷暖房それぞれについて以下のように考えた。

冷房の運転目的は、測定機器群の正常な稼働を確保するために、室内温の異常な上昇を阻止することである。その指針となるのは、各測定機の取扱説明書等に仕様として記載される、使用時の周囲温度の範囲である。当社の調査では多くの機器で0(または5)~40℃(多くの場合「ただし結露しない」)であり、一部に上限が35℃のものもある。

一方、冷房時の設定温度の上限が30℃であるエアコンが多く、この局舎でもその設定で運転されている。すなわち、測定機等の仕様表示による目安で35℃または40℃まで許容される室内温度を30℃まで下げて保っていることになり、過剰な冷房運転と考えることができる。すでに述べたように、この冷房の過剰分は二重の電力消費量増加をもたらしており、改善により過剰な電力消費の削減が期待される。

この削減効果の試算に当たっては2つの試算仮定を設定した。平均外気温による室内温の推定値が35℃または37.5℃以下になる場合にはエアコンを稼働させない仮定(以下「35℃許容」、「37.5℃許容」)である。なお、あくまで仮定であり、実際の管理では機器の正常稼働に十分配慮したきめ細かな室内温度管理が

表1 統計値を用いた局舎の電力消費量推定結果(年間値)

年	エアコンなし推計(kWh)	現況推計(kWh)	エアコン寄与率(%)
2004	8,647	9,345	7.5
2005	8,671	9,439	8.1

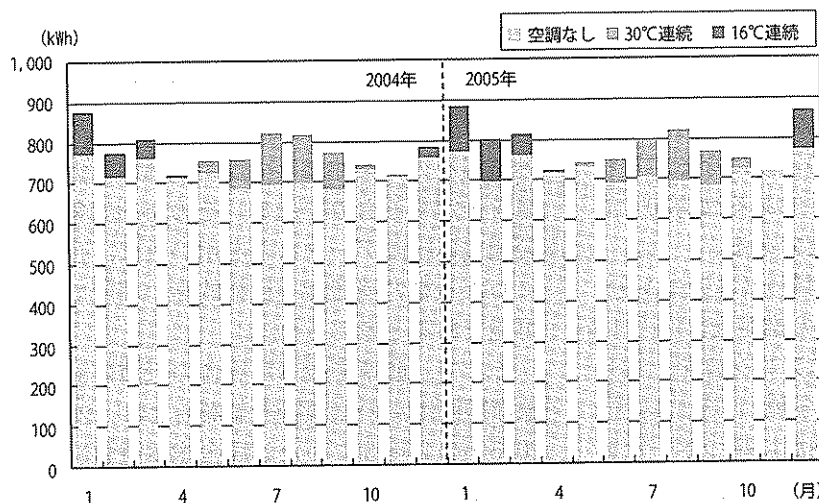


図6 統計値を用いた局舎の電力消費量推定結果(月間値のグラフ)

必要である。

図7と表2に、各仮定に基づく冷房電力消費量削減の試算結果を示す。図7は、各月のエアコン分上乗せ電力消費量の比率を示している。現行の「30℃連続」運転では、2004年7、8月、2005年8月などの月では15%を超える上乗せ電力消費量が発生している。「35℃許容」仮定では、エアコンの稼働が2004年7～9月、2005年6～9月に限定され、さらに「37.5℃許容」の仮定ではほとんどのエアコン稼働が解消され、計上されたのは2004年の7、8月のみになった。

表4は1年ごとの集計を数値で示している。「35℃許容」では、冷房による電力消費の約50～60%を削減し、年間総量に対して約2.5%の削減効果が試算された。さらに「37.5℃許容」では、冷房による電力消費の約95～100%を削減し、年間総量に対して約4.5%の削減効果が試算された。

暖房時については、設定温度の下限が16℃となっているエアコンが多く、この局でもその設定での運転になっている。つまり、仕様による目安では0または5℃までは許容され

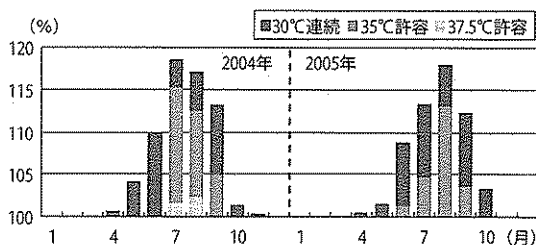


図7 冷房運転による電力消費量の削減試算結果 (月間値のグラフ)

表2 冷房運転による電力消費量の削減試算結果(年間値)

試算仮定		35℃許容	37.5℃許容
2004	年間総量に対して(%)	2.4	4.6
	増加分のうち(%)	50.5	94.1
2005	年間総量に対して(%)	2.6	4.3
	増加分のうち(%)	61.1	100.0

る(ただし結露しない)室内温度を、16℃以上に保っており、過剰に暖房を運転させていると考えられる。

削減効果の試算に当たって設定した試算仮定は、平均外気温6℃または4℃以上になる場合にはエアコンを稼働させない仮定(以下「6℃未満」、「4℃未満」)である。図8と表3に暖房電力消費量削減の試算結果を示す。

このように、冷暖房双方の過剰運転解消による電力消費量の削減効果を定量的に試算することができた。「37.5℃許容」と「4℃未満」仮定時の削減効果を合計した総合結果を表4に示す。なおここでは一般的に示されている換算係数を用いて、削減量をCO₂排出量および電気料金に換算し、より具体的にイメージしやすくしている。

この局における試算の総合結果では、現状

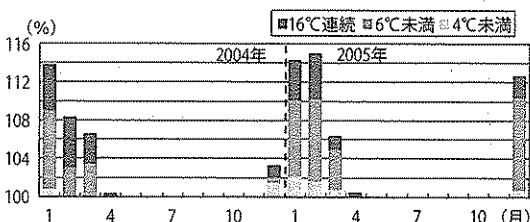


図8 暖房運転による電力消費量の削減試算結果 (月間値のグラフ)

表3 暖房運転による電力消費量の削減試算結果(年間値)

試算仮定		6℃未満	4℃未満
2004	年間総量に対して(%)	1.2	2.4
	増加分のうち(%)	46.0	93.0
2005	年間総量に対して(%)	1.1	3.5
	増加分のうち(%)	27.5	89.3

表4 冷暖房運転の最適化による削減試算総合結果(年間値)

年	現状年間量に対する削減比率(%)	削減量のCO ₂ 排出量換算(kg)	削減量の電気料金換算(円)
2004	7.0	247.3	14,396
2005	7.7	275.5	16,034

年間量に対する削減比率が7～8%と試算された。この局は壁が二重構造になっているほか、単純な換気扇でなく室内外の熱エネルギーの交換を防ぐ換気装置を採用しているため、省エネルギー性能が比較的良好であると予想される。他の局舎に対する試算で約15%程度の削減効果が見込まれた例もあった。

以上のように本調査で新しく構築した手法によって、局舎の電力消費の現状を推定し、さらに電力消費量の削減効果を定量的に試算することが可能となった。

(3) 局舎の電力消費特性の相互比較

この新手法によるグラフ表示をさらに効果的に活用するには、1つの局の診断結果のみでなく複数局の結果を相互比較することが重要である。同規模の局舎の結果を相互比較することにより、電力消費特性の優劣の評価や、優先して適用すべき改善対策の策定など、多くの発展が期待できる。

現段階では実在の一般環境大気測定局に対する詳細モニタリング調査の実績が1局しかないため、本報では同規模局舎の比較例を示せないが、当社内で小規模な測定室に見立て

た実験局舎を設置し、同様の診断を試みた結果がある。比較対象として最適ではないが、どのように両者の特性の差異が見出せるか、検討した。図9に両局舎の電力消費特性を表現したものを示す。同スケールのグラフによる比較なので、直感的に相対的な把握が可能である。

まず基本的に、測定機数が異なるために電力消費量の平均水準が異なるのが明らかである。測定項目の同じ局舎を比較すればより興味深い比較が可能であろう。

室内温推定の目安を示す3本の垂直線は、右図の実験局舎の方が狭い間隔となっている。左図の局の方が外気温の差によって室内温が変化を受けにくい、すなわち断熱性能が高いということを示唆する。

エアコンの消費電力を比較すると、室内面積は実在局舎の方が大きいにもかかわらず、消費電力量を示す推定直線の傾きは、実験局舎の方でかなり大きい。断熱性能の差を明瞭に反映している結果である。

今後より多くの実在の局舎に対してこの新手法を適用し、さまざまな局舎の電力消費特

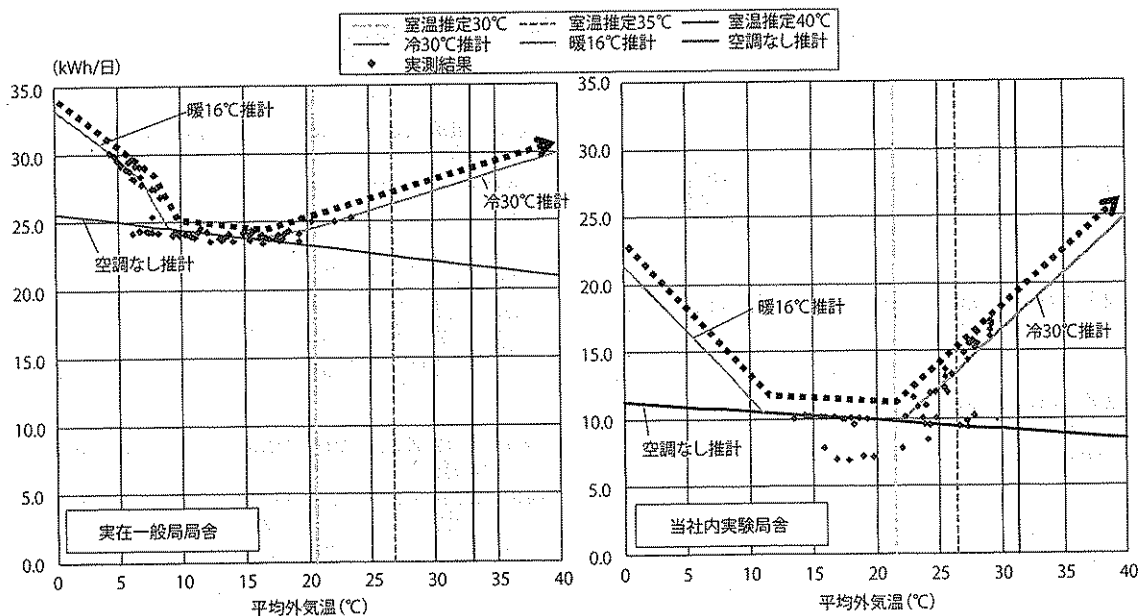


図9 局舎の電力消費特性の比較例

性についてより効果的な相互比較が可能になることが、期待されることである。

3. 省エネルギー最適化以外の展開の可能性

前章まで、EpoKisのめざす主要な機能である省エネルギー徹底に焦点を絞り、新しい知見や手法について述べてきた。しかしEpoKisは、省エネルギー最適化以外にも環境大気常時監視事業の発展に貢献できる新しい機能の可能性を持っている。本章ではその新しい展開について述べる。

環境大気常時監視は、環境影響評価や広域的汚染のメカニズム解明などの基礎資料として正確性が重視されるほか、元来大気汚染の緊急時対策に重要な役割を果たしてきたもので、現在でも光化学スモッグに対する警戒や、三宅島における火山性ガス濃度監視にも応用される⁴⁾など、その使命は失われていない。「環境大気常時監視マニュアル」でも、精度の高い測定値を継続して得ることの重要性が繰り返し強調されている⁵⁾。そのため自動測定機の適切な保守点検による維持管理の重要性は非常に大きい。

また測定機が出力したデータ(速報値)を最終的に確定させるには、数値の妥当性や測定機の稼働状況の履歴、フラグ信号の有無などに照らして、すべてのデータが入念にチェックされることになっている。環境大気常時監視において測定値の信頼性をいかに重視しているかの証左である。

ところでEpoKisによる電力消費モニタリングでは、測定機等の電力消費状況を個々に詳細モニタリングしている。これは、人間の脈拍を常に測っていることにたとえられる。人間の脈拍に乱れが生じる場合があるのと同様に、測定機の内部に何らかの変調があれば、それが電力消費パターンの乱れとして検知される可能性があるということである。

EpoKisはこのことに着目し、従来より早期に「故障の予兆」を捉えることで測定値の正確

性や収集率の向上に貢献できるのではないかと考え、データの蓄積を進めてきた。

測定機内部の特定部位の変調が電力消費パターンにどのように表われるかについては、今まで調査されたことがない。現段階では、電力消費モニタリング調査中に発生した事例に対して、当該時間の電力消費データを事後分析することから、新しい知見を見出そうとしているところである。

これまでの調査で捉えたもっとも注目すべき現象について概要を述べる。

(1) ある測定機の故障とその発見の経緯

前章で診断対象とした局舎において長期にわたり電力消費モニタリング調査を実施している間に、ある測定機で故障が発生した。

修理後に判明した故障原因は、内部のある部品の動作不良(劣化による)であった。メーカーによる部品交換を要し、測定機のトラブルの中では重度のもので原因特定の難度も高い事例であった。

測定機の動作が自動停止したので故障が歴然となったが、そもそもの異常発見は、その半日ほど前に測定値(速報値)が妥当な範囲を超えて低指示となったことによるものであった。当社の保守担当者は数値の大小から測定値の妥当性を迅速に判断できる知識と「勘」を有しており、指示値のわずかな低下から測定機の異常を察知した。測定機は内部の異常とともにテレメータシステムにフラグと呼ばれる信号を発信する場合も多いが、今回の部品劣化ではフラグの発信以前に測定値に微妙な異常として表われた。

(2) 当該測定機の電力消費パターンの変調

その事例が発生した時期の当該測定機の電力消費パターンを、出力された測定値(速報値)とともに詳細に検討した。図10に、最初に異常低指示が発生した時間帯の当該測定機の電力消費パターンについて、モニタリングにより得られた状況を示す。

この日4時の値で初めて異常低指示を出力

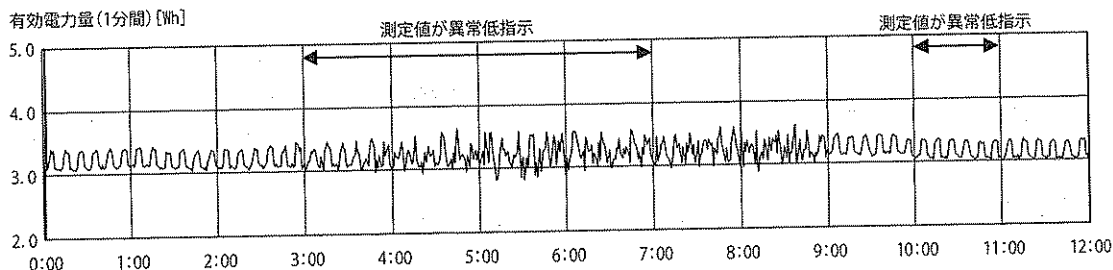


図10 故障した測定機が異常低指示を出力した時間帯の電力消費状況

し、その後5, 6, 7時, 11時にも低指示となっている。電力消費パターンと比較すると、4時直前から測定機の電力消費パターンに顕著な「乱れ」が生じ、9時頃まで続いていることが見て取れる。一方「乱れ」のない時間帯では1時間に6回の電力消費の「波」が観察できるが、測定機の取扱説明書の記載に照らすと、正常稼働時の10分ごとの周期的な動作を反映していると考えられる。

これらのことから、測定機が異常低指示を出力した時間帯には部品の不良により規則的な動作が阻害されていたと予想できる。同日24時以降には、動作不良が決定的となり、測定動作の自動停止状態により0指示+フラグ信号の継続出力状態となった。

このように、電力消費モニタリングが測定機の変調を捉える新しい機能を提供し得ることが示唆されたが、ここでさらに重要なことは、電力消費の「乱れ」とデータの異常低指示が一致しない時間帯が存在していたことである。たとえば図10中でも、11時の低指示に対応する10～11時の時間帯では規則的なパターンが記録されている。

さらにもっとも重要な現象は、逆に「指示値は正常」「フラグ信号もなし」にもかかわらず、電力消費パターンが顕著に「乱れ」を示していた時間帯が散見されたことである。図10中でも7～9時の時間帯(8, 9時の指示値)ではそれに該当する。

この事実は、今まで正常として判断された測定値の中に、実際には測定機の不調により正確でなかった値がある可能性を示すものである。この新しい技術の有効性を強く示唆するものであると考えられる。

おわりに

以上、当社が取り組んでいるEpoKisの開発に当たって、現在までに得られたさまざまな知見を2回にわたって述べてきた。

当社はEpoKisを通じて、地方委譲の時代を迎えた21世紀における環境大気常時監視事業のさらなる発展、新たな活性化のために、貢献できることを真摯に志している。今後も引き続き、調査研究、およびシステム開発と導入のご提案等を進めていく計画である。

—参考文献—

- 1) EcoDas(エコダス)についてはhttp://www.greenblue.co.jp/services/mon_taiki_01.html
- 2) 鈴木一平, 池澤健, 谷學; 環境大気常時監視局舎に省エネルギー管理システムを導入する試み(1) - 地球温暖化抑制徹底の時代の環境監視へEpoKisの提案 -, 資源環境対策, Vol. 42, No.3, pp.92-99
- 3) 気象庁「気象観測(電子閲覧室)」<http://www.data.kishou.go.jp/>
- 4) 東京都三宅村「三宅島の火山性ガス濃度」<http://www.miyake-so2.jp/>
- 5) 環境庁大気常時監視研究会監修, 「環境大気常時監視マニュアル第4版」, 1998