

家庭用ヒートポンプの使用実態に関する調査研究

F05D039G 宝里智洋
指導教員 赤林伸一教授

1 研究目的

地球温暖化対策として、年々増加する民生用エネルギーの削減が求められている。エアコン、冷蔵庫を始めとする家庭用家電機器については、「エネルギー使用の合理化に関する法律(省エネ法)」に定められたエネルギー消費量の基準(トップランナー基準)によって、機器のエネルギー消費量の削減が図られ、カタログに成績係数(COP)、定格電力消費量および、期間電力消費量が記載されている。又、ヒートポンプは、条件によっては投入エネルギーの数倍の熱を出力することが可能であり、省エネルギーであるとされている。しかし、実運転時における性能には不明な点が多く、カタログに記載

されている性能との比較、検討は行われていないのが現状である。

本研究では、全国80軒の住宅を対象に行ったエネルギー消費量調査と、新潟県の複数の住宅のエアコンを対象に行った、COP調査の結果をもとに、家庭で使用されるヒートポンプであるエアコンと冷蔵庫について、実使用時における電力消費量と、カタログに記載されている電力消費量の関係を明らかにする。又、実使用時に様々な条件により変化するエアコンと冷蔵庫のエネルギー消費の実態を明らかにすることを目的とする。

2 研究概要

2.1 対象機器

対象とする機器はエネルギー消費量調査を実施した住宅に設置されている冷蔵庫80台、エアコン51台、COP調査を実施した新潟県内の住宅に設置されているエアコン24台である。表1にCOP調査で対象とするエアコンの概要を示す。

2.2 測定方法

エネルギー消費量調査

電力：対象機器が設置されているコンセントで、1分毎の電力消費量の測定を行う。

温度：空調室の温湿度と、非空調室の温度を15分間隔に計測する。

COPに関する実態調査

エアコン室内機の吹出・吸込部の温湿度、室外機のインバータ周波数(住宅A)又は吹出風速(住宅B~O)および、消費電力を1分毎に計測する。COPの算出に

表1 COP調査の対象とするエアコンの概要

住戸名	運転状態	カタログCOP	定格出力 [kW]	定格消費電力 [W]	測定日	平均外気温度 [°C]
住宅A	冷房	5.00	2.80	560	2003年8月~2005年12月	23.5
	暖房	4.94	4.00	810		8.3
住宅B	冷房	5.79	2.20	380	2003年9月11日~9月15日	25.3
	暖房	5.77	3.20	555	2003年12月20日~12月24日	7.5
住宅C	冷房	5.83	2.80	480	2003年9月2日~9月5日	24.0
	暖房	5.97	3.20	540	2003年12月5日~12月8日	7.1
住宅D	冷房	3.06	2.80	480	2003年8月26日~8月31日	23.5
住宅E	暖房	5.88	4.00	680	2003年11月14日~11月17日	11.5
住宅F①	暖房	6.32	3.60	570	2005年1月1日~1月31日	1.7
住宅F②	暖房	6.44	2.80	436	2005年1月1日~1月31日	1.6
住宅G	冷房	5.66	2.80	495	2005年9月6日~9月11日	25.3
住宅H①	暖房	6.44	2.80	435	2006年1月10日~1月18日	4.5
住宅H②	冷房	6.47	2.20	340	2005年8月24日~8月29日	28.5
	暖房	6.44	2.80	435	2006年1月10日~1月18日	2.8
住宅I	冷房	6.47	2.20	340	2005年8月30日~9月4日	25.1
住宅J①	冷房	6.47	2.20	340	2005年8月24日~8月29日	27.2
住宅J②	冷房	5.12	2.20	430	2005年8月30日~9月3日	25.9
住宅J③	冷房	4.39	2.50	570	2005年9月6日~9月13日	25.2
住宅K①	暖房	5.56	4.00	720	2005年12月27日~1月6日	-0.5
住宅K②	暖房	5.56	4.00	720	2005年12月27日~1月6日	-0.5
住宅L①	暖房	6.44	2.80	435	2005年12月20日~12月27日	1.1
住宅L②	暖房	6.44	2.80	435	2005年12月20日~12月27日	1.1
住宅M①	暖房	6.32	2.60	570	2005年12月12日~12月17日	1.3
住宅M②	暖房	6.15	2.80	455	2005年12月12日~12月17日	0.4
住宅N①	暖房	5.98	3.20	535	2006年1月19日~2月3日	-0.6
住宅N②	暖房	5.98	3.20	535	2006年1月19日~2月3日	-4.8
住宅O①	暖房	6.15	2.80	455	2006年2月3日~2月16日	0.2
住宅O②	暖房	4.11	3.00	730	2006年2月3日~2月16日	0.2

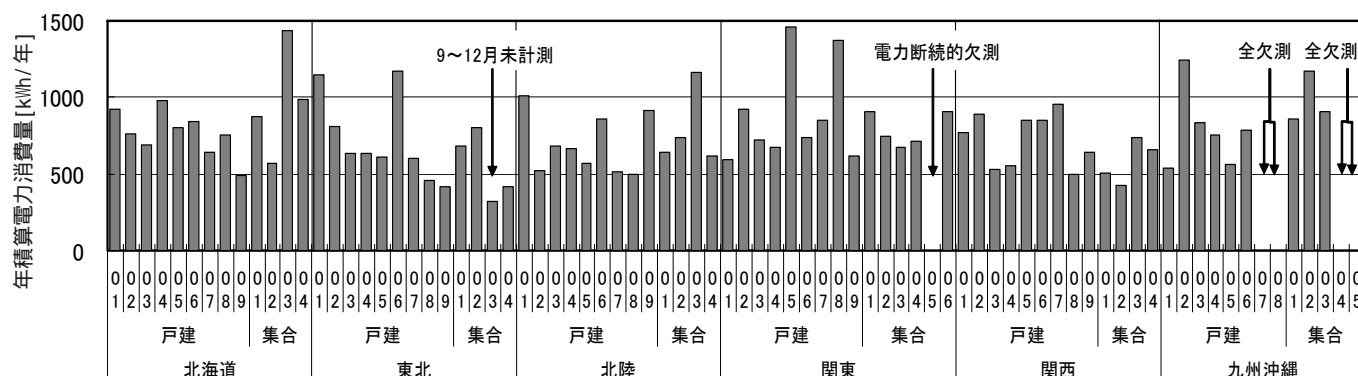


図1 冷蔵庫の電力消費量

は、式(1)を用いる。また、合わせて室外機の吸込・吹出温度の測定も行う。

$$C = \frac{AQ}{E} \dots (1)$$

C : エアコンCOP Q : エアコン吹出風量[kg/s]
 A : エアコン室内機の吹出・吸込空気の比エンタルピー差[J/kg]
 E : エアコン消費電力[W]

3 エネルギー消費量調査結果

3.1 冷蔵庫

3.1.1 冷蔵庫の電力消費量

図1に冷蔵庫の年間の電力消費量を示す。冷蔵庫の電力消費量は600~800kWh/年の住宅が最も多く、全体の36.8%である。ついで800~1000kWh/年(25.0%)、400~600kWh/年(22.4%)、1000kWh/年以上(11.9%)、200~400kWh/年(2.6%)、200kWh/年未満(1.3%)である。冷蔵庫の電力消費量は、住戸による違いが大きい。地域による違いはみられない。

3.1.2 冷蔵庫のカタログに記載されている年間電力消費量と実使用時の電力消費量

図2に冷蔵庫の実使用時とカタログ値の年間の電力消費

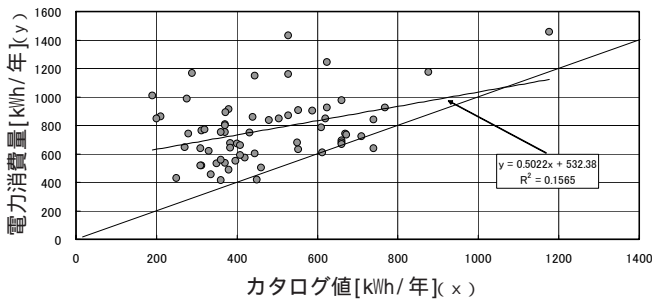


図2 冷蔵庫のカタログ値と実使用時の電力消費量

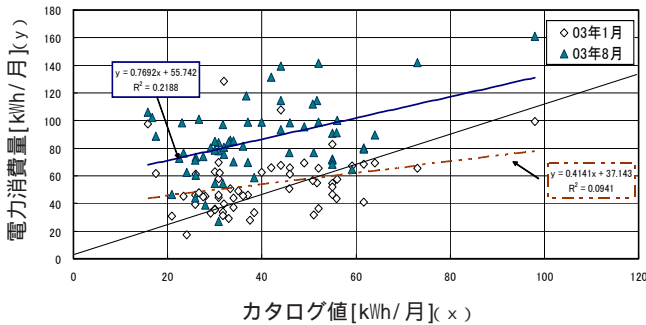


図3 冷蔵庫のカタログ値と夏季と冬季の電力消費量

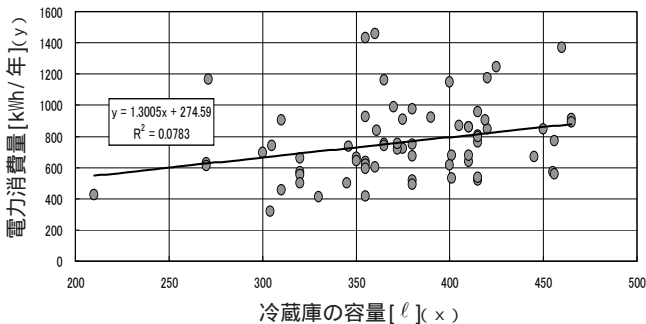


図4 冷蔵庫の容量と電力消費量

費量の関係を示す。カタログ値は190~1176kWh/年の範囲に入る。実使用時の年間の電力消費量は、414~1457kWh/年の範囲に入る。また、殆どの冷蔵庫で、実使用時の電力消費量はカタログ値に比較して多くなり、カタログ値の電力消費量が少ない冷蔵庫ほど、カタログ値と実使用時の差が大きくなる傾向がある。

3.1.3 夏季と冬季における冷蔵庫の電力消費量とカタログ値

図3に夏季(2003年8月)と冬季(2003年1月)における冷蔵庫の電力消費量とカタログ値の関係を示す。実使用時における冷蔵庫の電力消費量は、夏季にカタログ値の0.9倍~6.7倍となり、冬季には0.6倍~6.16倍となる。夏季の電力消費量は、冬季に比較して、相対的に増加する傾向がある。

3.1.4 冷蔵庫の容量と電力消費量の関係

図4に冷蔵庫の容量と電力消費量の関係を示す。対象

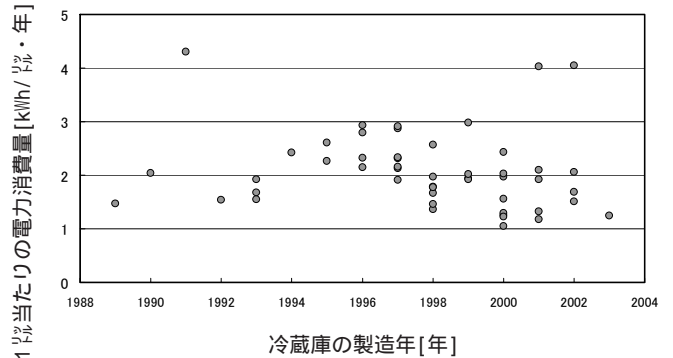
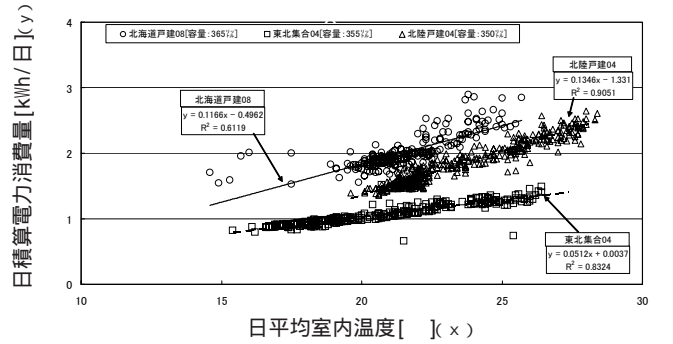
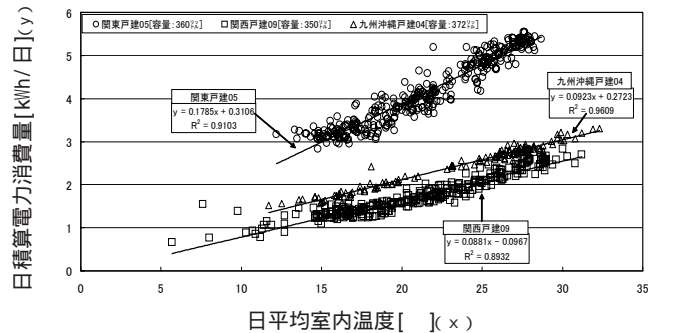


図5 冷蔵庫の製造年と容量1リットル当たりの電力消費量



(1) 北海道戸建08、東北集合04、北陸戸建04



(2) 関東戸建05、関西戸建09、九州沖縄戸建04

図6 日平均室内温度と電力消費量

とする冷蔵庫の容量は、210～465リットルの範囲に入る。冷蔵庫の容量と電力消費量の相関は低い。これは、住宅によって、設置場所、開閉回数等、冷蔵庫の使用方法が異なることが原因と考えられる。

3.1.5 冷蔵庫の製造年と容量1リットル当たりの年間の電力消費量の関係

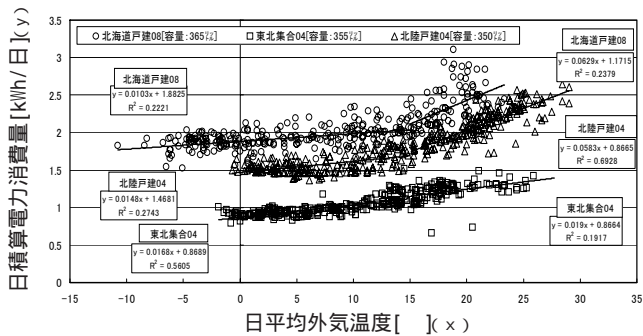
図5に冷蔵庫の製造年と、容量1リットル当たりの電力消費量の関係を示す。製造年と容量1リットル当たりの電力消費量に相関はみられない。電力消費量は1～3 kWh/(リットル・年)のものが全体の80%である。

3.1.6 日平均室内温度と日積算電力消費量の関係

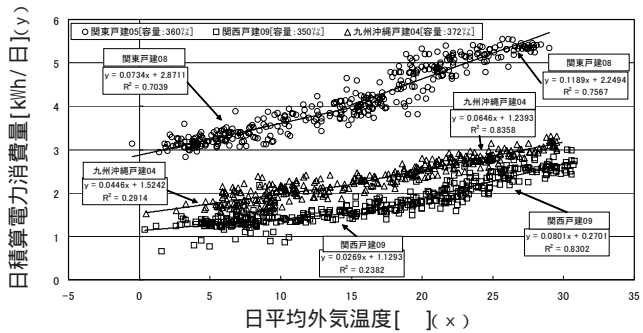
図6に日平均室内温度と、日積算電力消費量の関係を示す。日平均室内温度と日積算電力消費量には、強い正の相関があり、室内温度が上昇すると冷蔵庫の電力消費量が増加する。室内温度が20 の時、冷蔵庫の日積算電力消費量は、北海道戸建08では1.8kWh/日、東北集合04では1.0kWh/日、北陸戸建04では1.4kWh/日、関東戸建05では3.9kWh/日、関西戸建09では1.7kWh/日、九州沖縄戸建04では2.1kWh/日となる。

3.1.7 日平均外気温度と日積算電力消費量の関係

図7に冷蔵庫の日積算電力消費量と日平均外気温度の関係を示す。日平均外気温度と電力消費量には正の相関がみられる。また、日平均外気温度が15 を越えると、外気温度の上昇に対する電力消費量の増加の割合が高くなる傾向がみられる冷蔵庫がある。これは、外気温度が15 を境に冷蔵庫の内容物量、開閉回数等が変化するためであると考えられる。



(1) 北海道戸建08、東北集合04、北陸戸建04



(2) 関東戸建05、関西戸建09、九州戸建04

図7 日平均室内温度と電力消費量

3.2 エアコン

3.2.1 エアコンのカタログに記載されている年間電力消費量と実使用時の電力消費量

図8にエアコンのカタログ値と実使用時の年間の電力消費量の関係を示す。実使用時の年間電力消費量は、使用頻度によって大きくばらついている。使用頻度の高いエアコンは実使用時の電力消費量がカタログ値の0.8倍～1.8倍となる。

3.2.2 夏季と冬季におけるエアコンの電力消費量とカタログ値

図9に夏季(2003年8月)と冬季(2003年1月)におけるエアコンの電力消費量とカタログ値の関係を示す。実使用時におけるエアコンの電力消費量は、使用頻度によってばらつきがあるが、夏季に比較して冬季に増加する傾向がある。使用頻度の高いエアコンは夏季における実使用時電力消費量が、カタログ値の0.46倍～1.89倍となり、冬季には、1.06倍～1.94倍となる。

4 家庭用エアコンのCOP調査結果

4.1 実使用時COPとカタログCOP

表2、表3に各住宅の冷房時、暖房時の測定期間に実測されたCOPの平均値(以下、実COP)とカタログに記載されている定格時のCOP(以下、カタログCOP)部分負荷率を示す。部分負荷率はエアコンの実使用時の出力とカタログ定格出力の比であり、(2)式で定義する。

$$e = \frac{AQ}{P} \dots (2)$$

Q: エアコン吹出風量[kg/s]

A: エアコン室内機の吹出・吸込空気の比エンタルピー差[J/kg]

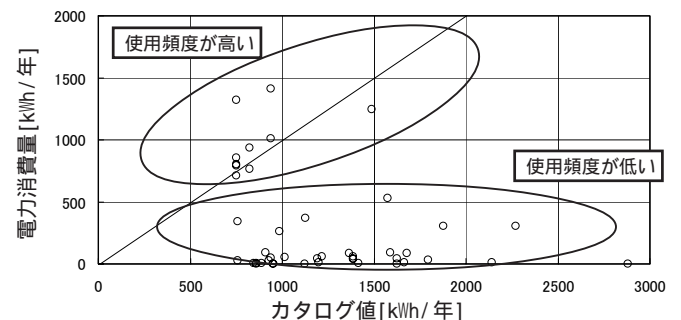


図8 エアコンのカタログ値と実使用時の電力消費量

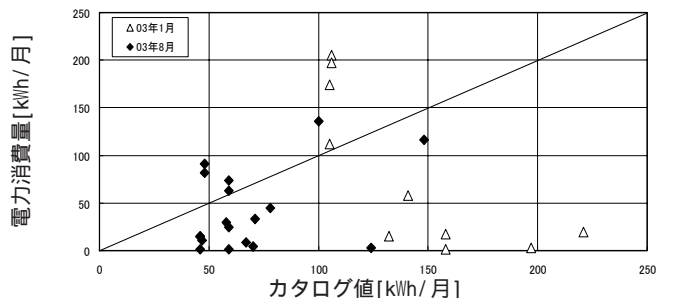


図9 エアコンのカタログ値と夏季・冬季の電力消費量

e: 部分負荷率 P: カタログの冷暖房定格出力[W]

冷房時の測定期間中の平均外気温度は23.5 ~ 28.5の範囲である。2台のエアコンを除き、実COPはカタログCOPよりも高い値となっている。暖房時の平均外気温度は-0.5 ~ 11.5 である。住宅Eは11月に測定を実施したため他の住宅よりも平均外気温が高い。住宅B、住宅Oを除き、暖房時の実COPは、カタログCOPよりも低い値となる。図10に、測定期間の平均室外機吸込温度と、部分負荷率の関係を示す。冷房時には、部分負荷率は0.4 ~ 1.75の範囲に入り、暖房時には、0.23 ~ 1.44の範囲に入る。冷房時は暖房時に比較して、部分負荷率と室外機吸込温度の相関が高い。図11に全住宅の冷房時、暖房時の測定期間における平均COPとカタログCOPの関係を示す。冷房時の実COPは比較的ばらつきが大きく、暖房時のカタログCOPはばらつきが小さい。

4.2 住宅Aにおけるエアコンの長期測定

(1) 室内外温度差と実使用時のCOP

住宅Aのエアコンは、計測器を常時設置し、2003年8月から2006年3月まで、長期測定を実施している。図12に、住宅Aで測定した室内外温度差と実COPの日平均値の関係を示す。室内外温度差は、室内機吸込温度

表2 冷房時の実COPとカタログ値

住戸名	実COP	カタログCOP	実COP比	部分負荷率	平均外気温度 [°C]
住宅A	5.24	5.00	1.05	0.56	23.5
住宅B	11.55	5.79	2.00	1.75	25.3
住宅C	4.15	5.83	0.71	0.65	24.0
住宅D	2.55	3.06	0.83	0.58	23.5
住宅G	8.94	5.66	1.58	0.40	25.3
住宅H②	10.16	6.47	1.57	1.25	28.5
住宅I	14.17	6.47	2.19	0.99	25.1
住宅J①	10.67	6.47	1.65	1.36	27.2
住宅J②	9.95	5.12	1.94	1.09	25.9
住宅J③	10.16	4.39	2.31	0.96	25.2

表3 暖房時の実COPとカタログ値

住戸名	実COP	カタログCOP	実COP比	部分負荷率	平均外気温度 [°C]
住宅A	2.96	4.94	0.60	0.23	8.3
住宅B	8.49	5.77	1.47	1.02	7.5
住宅C	2.12	5.97	0.35	0.27	7.1
住宅E	3.84	5.88	0.65	0.56	11.5
住宅F①	3.20	6.32	0.51	0.78	1.7
住宅F②	3.53	6.44	0.55	0.60	1.6
住宅H①	3.64	6.44	0.57	1.11	4.5
住宅H②	4.82	6.44	0.75	0.64	2.8
住宅K①	4.24	5.56	0.76	1.44	-0.5
住宅K②	3.88	5.56	0.70	0.47	-0.5
住宅L①	4.14	6.44	0.64	0.59	1.1
住宅L②	3.66	6.44	0.57	0.46	1.1
住宅M①	3.95	6.32	0.62	0.71	1.3
住宅M②	4.98	6.15	0.81	1.05	0.4
住宅N①	3.48	5.98	0.58	1.13	-0.56
住宅N②	4.44	5.98	0.74	1.08	-4.78
住宅O①	2.51	6.15	0.41	0.64	0.20
住宅O②	4.16	4.11	1.01	0.95	0.22

(室温)から室外機吸込温度(外気温)を引いた値である。冷房時、暖房時とも室内外温度差が大きくなると実COPは増加する傾向がみられる。冷房時の室内外温度差と実COPの関係は寄与率(R²)が0.04であり、室内外温度差と実COPに相関はみられない。暖房時は寄与率が0.44であり、室内外温度差が大きくなるにつれて実COPが高い値となっている。冷房時の寄与率が低い理由は、冷房時では暖房時と比較して室内外温度差が小さく、潜熱負荷や開口部からの日射の影響により実COPのばらつきが大きくなるためと考えられる。

(2) エアコン出力の累積頻度

図13に、冷房時(6月1日~9月30日)と暖房時(11月1日~3月31日)の住宅Aのエアコン出力の累積頻度を示す。累積頻度80%となるエアコン出力は、冷房時では約800~1300W、暖房時では約900~1000Wである。この住宅では、暖房時における内部発熱が比較的大きいため、冷房時に比べてエアコン出力が低い値で動作している割合が多い。冷房時は暖房時に比べて、エア

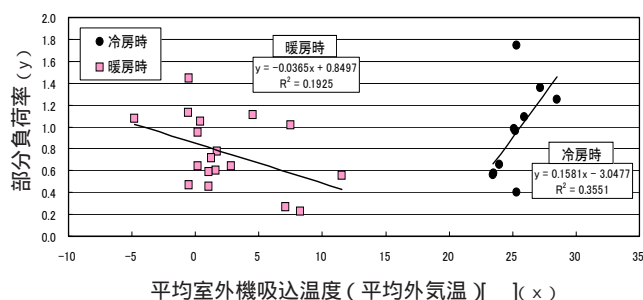


図10 室外機吸込温度と部分負荷率の関係

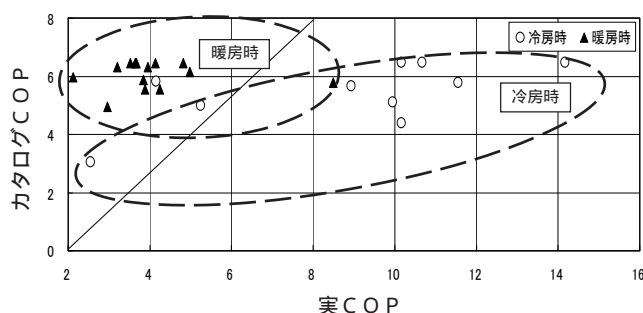


図11 冷房時・暖房時の実COPとカタログCOP

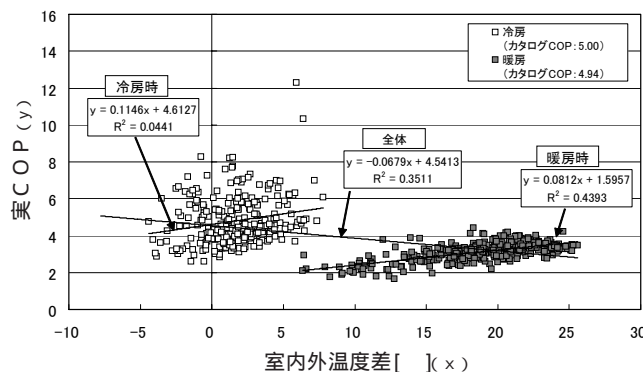


図12 住宅Aにおける室内外温度差と実COPの日平均値の関係

コン出力の測定年による違いが大きい。

(3) エアコンの運転状況

図14、図15に消費電力、室内機吸込・吹出空気比エンタルピー差×循環風量(以下エアコン出力)、室内機・室外機吸込温度、室外機コンプレッサのインバータ周波数、エアコン室内機の循環風量、部分負荷率の日平均値を示す。実使用時消費電力の平均値は、冷房時では293.0W、暖房時では316.3Wであり、消費電力は冷房時に比べて暖房時に多い。エアコン出力の平均値は、冷房時では1379.55W、暖房時では988.20Wである。平均風量は冷房時では6.1m³/min、暖房時では6.9m³/minとなり、暖房時に風量が多い。インバータ周波数は冷房時は0～109.5Hz、暖房時は0～122.7Hzに変化する。平均インバータ周波数は冷房時が43.5Hz、暖房時に38.7Hzであり、冷房時のインバータ周波数はエアコン出力が大きいため、高くなる傾向がある。部分負荷率の日平均値は冷房時では0.21～0.85、暖房時は0.16～0.38の範囲に入り、冷房時は暖房時と比べて定格出力が小さいため、部分負荷率が大きくなる傾向がある。

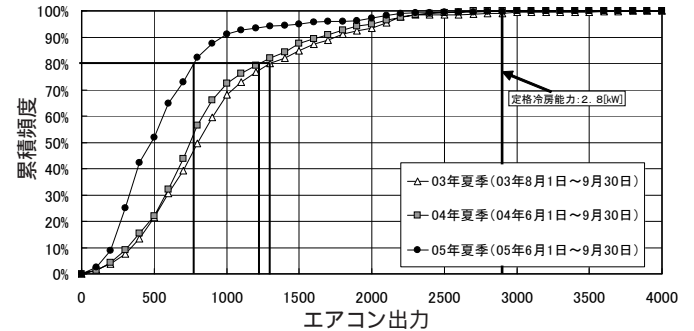
4.3 その他の住宅におけるエアコンの測定結果

(1) 室内外温度差と実COPの関係

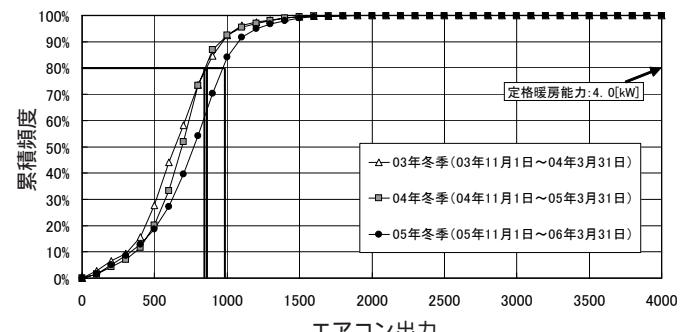
図16に住宅Aを除くその他の住宅の冷房時、暖房時の測定期間における平均室内外温度差と期間平均実COPの関係を示す。冷房時、暖房時ともに住宅毎に測定した実COPと室内外温度差の寄与率(R²)は小さい。室

内外温度差と実COPの寄与率が低い理由はエアコンの設置状況、設定温度、エアコンが受け持つ暖冷房負荷により同じ室内外温度差でも実COPが変化するためであると考えられる。冷房時は暖房時と比較して、相対的に実COPが大きい値となっている。

(2) 住宅Hにおける室内外温度差と実COPの関係



(1) 冷房運転時



(2) 暖房運転時

図13 エアコン出力の累積頻度

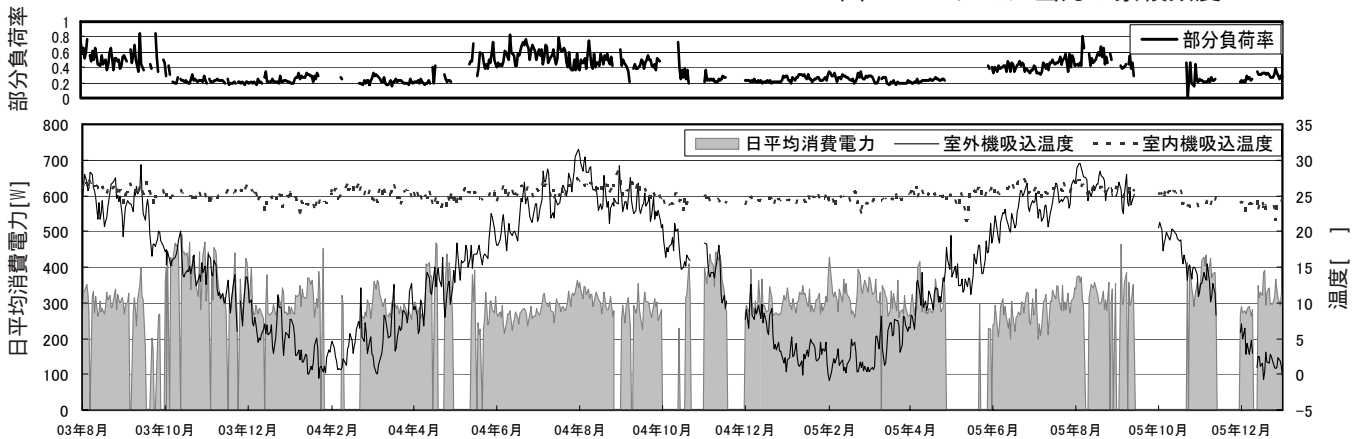


図14 住宅Aにおける消費電力・室内外機吸込温度の日平均値・部分負荷率の長期変化

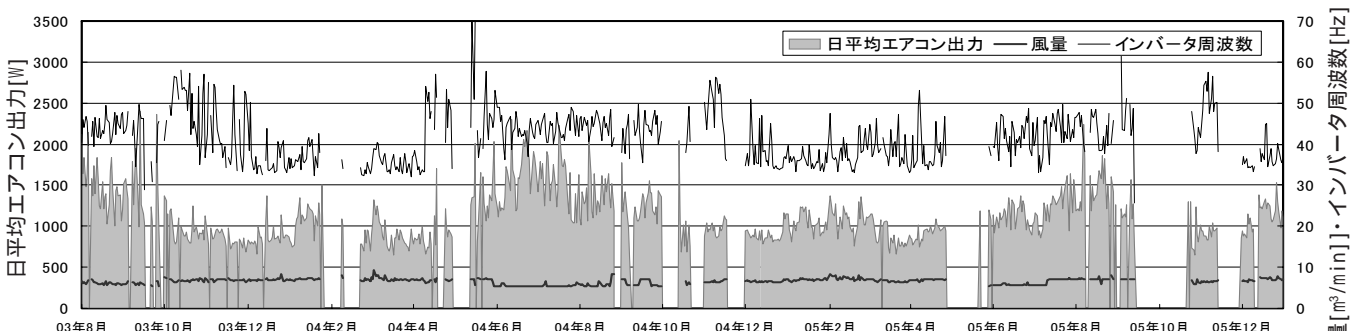


図15 住宅Aにおけるエアコン出力・風量・インバータ周波数の日平均値の長期変化

図17に住宅Hで測定した1時間毎の室内外温度差と実COPの関係を示す。冷房時、暖房時ともに室内外温度差と実COPの相関係数は低い。暖房時と冷房時を比較すると、住宅A同様に冷房時の実COPは暖房時の実COPよりも高い値となる。

(3) 実使用時における電力消費量の定格電力消費量に対する割合

図18、図19にそれぞれ冷房時、暖房時における実使用時電力消費量の定格電力消費量に対する割合の累積頻度を示す。冷房時では住宅Dを除き定格電力消費量以下で運転している割合が全体の60%以上を占めている。住宅Dは夜間団らん時のみ冷房をする住宅であり、立ち上がり負荷のため、定格電力消費量以上で運転している割合が増加している。暖房時では定格電力消費量以下で運転している割合が全体の50%以上を占めている住宅が9軒、50%を下回る住宅が9軒あり、運転状況に大きな相違が見られる。定格電力消費量以上の頻度の多い住宅F、住宅H、住宅Kは、吹き抜けのあるリビングに設置されたエアコンであり、負荷が大きいため、定格電力消費量以上で運転している割合が増加している。

5 まとめ

実使用時における冷蔵庫の電力消費量は、カタログ値に比較して、多い傾向がある。カタログ値が小さい冷蔵庫ほど、実使用時とカタログ値の差が大きくなる傾向がある。冷蔵庫の電力消費量は冬季に比べて夏季に増加する傾向がある。

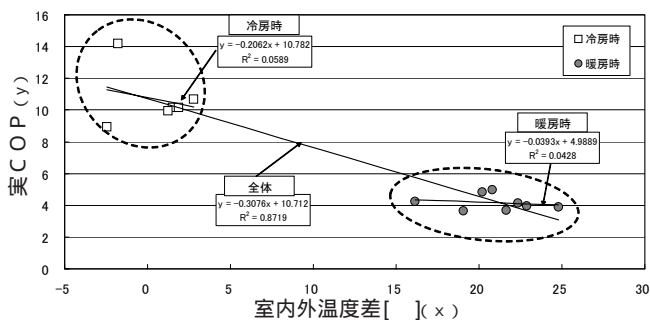


図16 室内外温度差と実COP

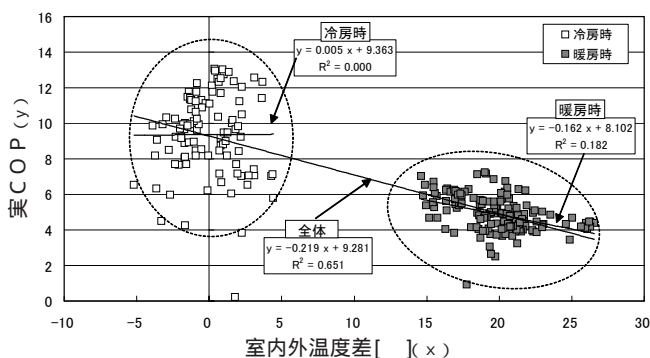


図17 住宅Hにおける室内外温度差と実COP

冷蔵庫の日積算電力消費量は、日平均室内温度、日平均外気温度と強い正の相関がある。日平均外気温度が15を超えると、外気温度に対する電力消費量の増加の割合が高くなる冷蔵庫がある。

エアコンの実使用時の電力消費量は、使用頻度によってばらつくが、使用頻度の高いエアコンでは電力消費量がカタログ値の0.8倍～1.8倍となる。実使用時におけるエアコンの電力消費量は、冷房時に比較して、暖房時に多くなる傾向がある。

エアコンの実COPは、冷房時はカタログCOPよりも高くなり、暖房時には低くなる。

実使用時におけるエアコン消費電力は冷房時に比べて暖房時に多くなる。エアコン室内機循環風量は暖房時に多くなる。エアコン出力は冷房時に大きくなる。そのため、インバータ周波数は冷房時に高くなる。

エアコンは、設置状況、設定温度、暖冷房負荷等に影響を受け、室内外温度差が等しい場合でも実COPは大きく変化する。そのため、室内外温度差と、実COPの相関は弱い。暖冷房期間をまとめるとエアコンの実COPは、室内外温度差が大きくなる冬季に低下し、室内外温度差が小さくなる夏季に増加する。

エアコンの実使用時電力消費量は、冷房時では定格電力消費量以下で動作している割合が多い。暖房時は運転状況によって大きな相違が見られる。

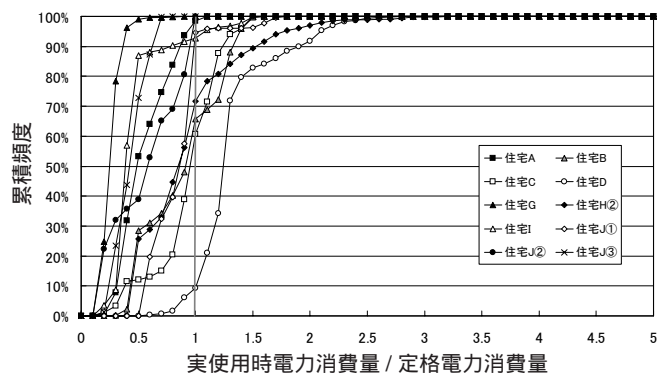


図18 冷房時における実使用時電力消費量の定格電力消費量に対する割合

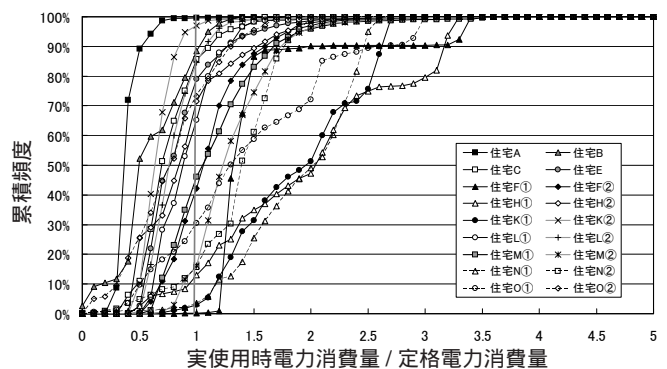


図19 暖房時における実使用時電力消費量の定格電力消費量に対する割合