ZEB 実現に向けた個別分散空調システムの設計ガイドライン作成に関する研究
その２　実測調査による稼動実態把握

Study on design guideline of multi-split air-conditioning systems to realize the ZEB
Part 2 Survey on Actual Conditions

正会員　○芹川　　真緒（神奈川大学）　　正会員　辻丸　のりえ（佐藤ｴﾈﾙｷﾞｰﾘｻｰﾁ）

正会員　　佐藤　　誠（佐藤ｴﾈﾙｷﾞｰﾘｻｰﾁ）　正会員　住吉　　大輔（九州大学大学院）

正会員　宮田 征門（国土交通省国土技術政策総合研究所）　技術ﾌｪﾛｰ　柳原　隆司（RY 環境・ｴﾈﾙｷﾞｰ設計）

Mao SERIKAWA [*1]　Norie TSUJIMARU[*2]　Makoto SATOH [*2]

Daisuke SUMIYOSHI [*3]　Masato MIYATA [*4]　Ryuji YANAGIHARA [*5]

[*1] Kanagawa University　[*2] Satoh Energy Research Co., Ltd.　[*3] Kyushu University

[*4] National Institute for Land and Infrastructure Management　[*5] RY Environment and Energy Design

In this study, the actual conditions of VRF (variable refrigerant flow heat-pump) systems were comprehended by analyses of data obtained for maintenance services. In general, the actual performances of the systems were low compared to nominal COP. The data showed that the performances were greatly affected by outside temperature and partial load rate. Particularly in heating seasons, low partial load caused low energy efficiency, which indicated the necessity of optimization of outdoor units' capacity.

はじめに

個別分散型空調システムは，多くの非住宅建築物に採用されており，実運用時の効率は，日本全体でのエネルギー消費量や CO_2 排出量に大きく影響する。個別分散型空調システムの設計時にはカタログ効率に基づき機器選定が行われ，実稼働状態における効率や稼動状態の詳細の把握は，一般には困難とされている。実稼働時の実態を把握し，課題の解決策を設計に反映させていく必要がある。

本報では，既報[1)]を受け，ビル用マルチエアコンを対象とした実稼働状態に係る実測を行い，運用時の効率や，それに影響を与える要因を把握する。

1.　測定の概要および測定結果の扱い

1.1. 測定の概要

表１～３に測定の概要，測定対象の物件や室外機の情報を，図１に測定対象の室外機の仕様の分布を示す。

1.2. 測定結果の扱い

負荷率は，冷房時，暖房時について，それぞれ，能力を定格冷房能力，定格暖房能力で除して求める。能力は，測定間隔（1 時間）の平均の冷房能力，暖房能力，または，瞬時の冷房能力，暖房能力を用いる。期間の平均の負荷率は，冷房運転時，暖房運転時について，それぞれ，負荷率の平均を取ったものとする。

測定対象に冷暖同時機を含むが、冷暖同時運転時については、効率の集計等では除外している。

表 1　測定の概要

測定期間	2020 年 10 月～22 年 4 月の間で 1 年間。 ただし，物件 G では，中間期のデータが 10 日程度不足。
測定項目	メンテナンスサービス用データを使用。測定間隔は 1 時間。 室外機：消費電力，能力，ＩＮＶ回転数，外気温度等 室内機：設定温度，吸込温度，運転／停止状況，サーモオン／オフ状況等
測定対象	表２に示す 10 物件の 98 系統。 測定対象の室外機の仕様の分布を図１に示す。

表 2　測定対象物件

物件	建物・室用途	測定対象		冷暖同時機	備考
		階	系統数		
N	事務所	1～8	15	○	室内機･外気処理エアコン接続の系統含む。
O	事務所	1～6	22		
T	事務所	2	1		
F	事務所	2～7	18	◎	外気処理は専用のデシカント空調機。
G	事務所	3～11 の一部	4	◎	室内機･直膨コイル付き全熱交換器接続。
W	サーバー室		2		
B	病院	1～6	15		
S	福祉施設	1～2	11		
H	物販店舗	1～4	4	○	外気処理専用系統，室内機･外気処理エアコン接続の系統含む。
I	飲食店舗	1～5	6		外気処理エアコン専用系統含む。
【所在地】東京都または神奈川県（省エネルギー基準地域区分 6 地域）【冷暖同時機】◎：測定対象の全系統，○：一部系統					

表 3　３章で扱う室外機の概要

室外機	物件	室内機設置室	定格冷房能力	冷房定格消費電力	冷房COP	冷暖同時機	室内機数
N_07-2	N	事務室	40.0kW	13.4kW	2.99	○	4
O_02-1	O	会議室・休憩室・ロッカー室・仮眠室等	77.5kW	23.1kW	3.35		10
O_02-2	O	事務室・サーバー室	50.0kW	17.4kW	2.87		8
O_04-4	O	廊下・EV ホール	14.0kW	3.71kW	3.77		2
G_11-1	G	事務室	95.0kW	32.9kW	2.89	○	14※
S_01-3	S	指導員室	14.0kW	3.71kW	3.77		2
S_02-4	S		14.0kW	3.71kW	3.77		5
S_02-5	S		14.0kW	3.71kW	3.77		2

※直膨コイル付き全熱交換器の数を含む。

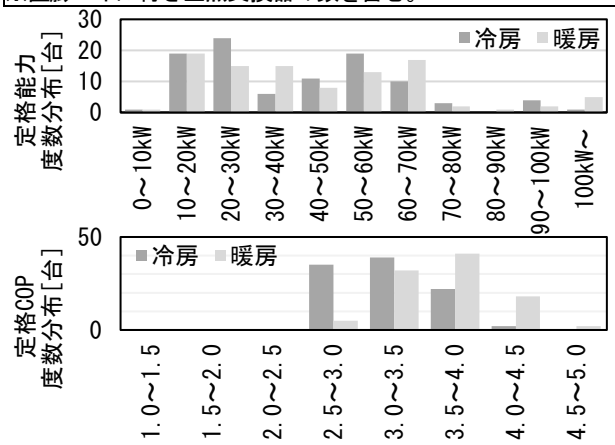


図 1　測定対象室外機（上）定格能力（下）定格 COP

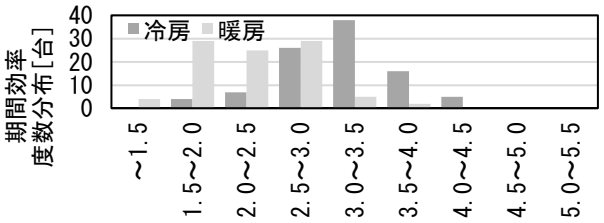


図 2　期間効率の実測結果

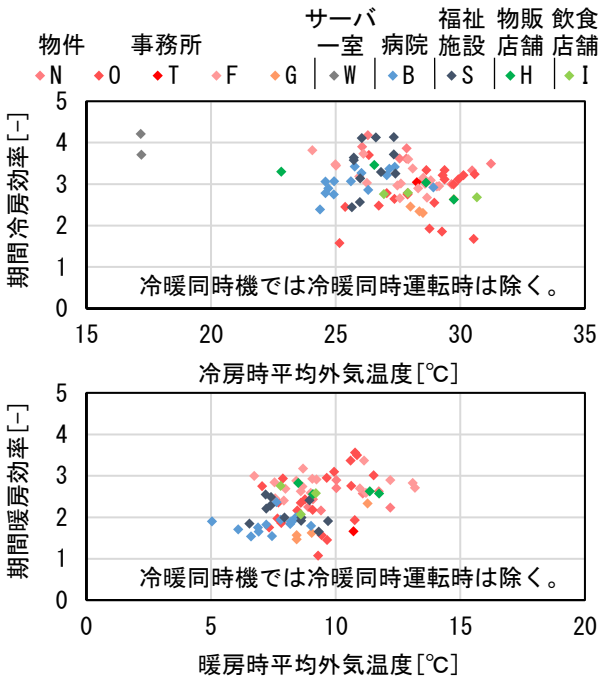


図 3　外気温度平均値と期間効率（上）冷房（下）暖房

2.　全系統の測定結果

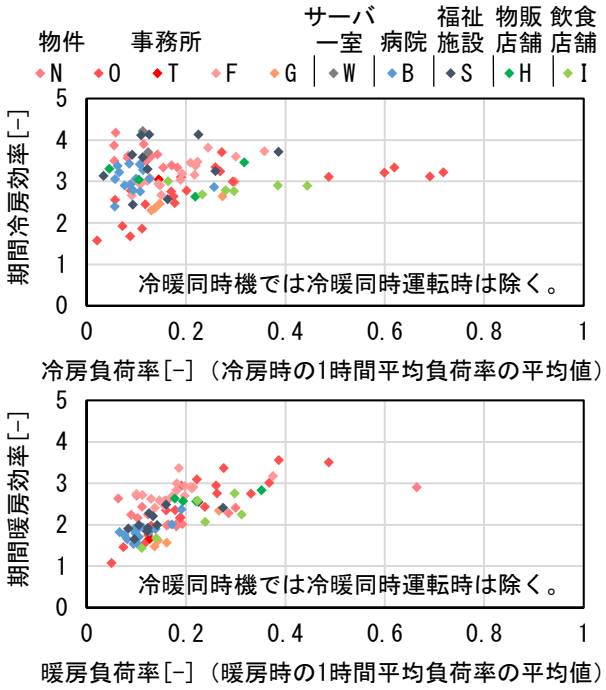


図 4　負荷率の期間平均値と期間効率（上）冷房（下）暖房

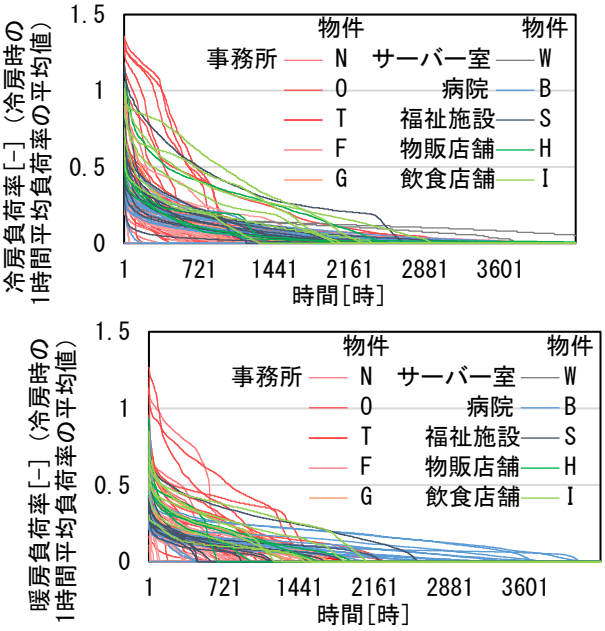


図 5　負荷率の発生状況（上）冷房（下）暖房

測定対象の全系統の期間効率の分布（図２）について，冷房より暖房の効率が低い傾向が確認される。系統間でのばらつきが大きいため，その要因を以下で確認する。

全系統の，運転時の平均外気温度と期間効率の関係，負荷率の発生状況を，図３～５に示す。

物件や系統による効率のばらつきの要因のひとつとして，建物用途による運転時間帯の違いや外気温度が影響していると推察される（図３）。物件 W（サーバー室），B（病室あり），S（宿泊用の室あり）では，系統にもよるが，相対的に外気温度が低い夜間にも運転が行われるため，冷房の効率は高めで，暖房の効率は低めであると考えられる。なお，物件 W では暖房需要は発生していない。

効率は負荷率とも関連し，一般に，中間的な負荷率で効率が最大値を取る点があり，低負荷率や高負荷率の運転では効率が低下すると言われる。実測結果でも，期間平均の負荷率が低い系統で，効率が低い系統がある（図４）。ただし，特に冷房で，負荷率が低く効率が高い系統があるため，次章で代表の系統の運転状態を確認する。

負荷率の発生状況について，多くの系統で，冷房時，暖房時とも，低負荷での運転が大半を占める（図５）。ただし，冷房では事務所，福祉施設，飲食店舗の一部の系統，暖房では事務所の一部の系統で，高負荷での運転が多い。これらの系統では，外気処理用のユニットや共用部用の室内機を含むものが比較的多い。

3.　特徴的な系統の測定結果

3.1. 低負荷での運転が多い系統

多くの系統で低負荷での運転が見られ，スケジュールの点から系統分けを変更すべきと考えられる系統がある。

室外機 O_02-2（図６～８）は，事務室，サーバー室を含む系統であり，常時運転のサーバー室を含むことで，低負荷での運転が生じている。7 月 15 日と 16 日に高い負荷率での運転が長時間発生しており，16 日に期間の最大負荷率を示すが，これらの日を除いては，高い負荷率が長時間継続することは少ない。夜間等に少ない室内機台数での運転が生じており，低負荷，低効率での運転となっている。サーバー室の室内機を別系統とした設計により，低負荷，低効率での運転を回避できると考えられる。

また，室の同時使用率が低く負荷率が低い系統がある。

室外機 O_02-1（図６，９）は，会議室・休憩室・ロッカー室・仮眠室等用の系統で，多くの時間が低負荷での運転である。8 月 26 日に期間の最大負荷率 62%を示す。同時使用率の低い室内機の組合せと，室外機容量の選定が影響していると推察される。設計時の室の同時使用率の考慮により，低負荷での運転を低減可能と考えられる。

ただし，複数台の圧縮機からなる室外機の効率は，後述のように，低負荷時の圧縮機稼動台数とも関連する。

3.2. 高負荷での運転が多い系統

室外機 O_04-4（図６，１０，１１）のように，高負荷の効率が落ちる領域での運転が多い系統がある。ただし，高負荷率の運転が長時間継続する系統の割合は低い。他に，目立って高負荷率の運転が多い系統は，外気調和用の室外機，廊下・エレベーターホールの空調用の室外機，廊下・共用部の空調用の室外機等がある。

低負荷運転の回避のために，通常の設計より容量が小さめの室外機を設置し，竣工後に能力が不足する場合に室外機を増設するよう予め設置場所の確保等を行う場合がある。同様の方法で室外機を増設であれば，高負荷運転を回避可能と考えられる。

3.3. 代表系統間の圧縮機台数制御の比較

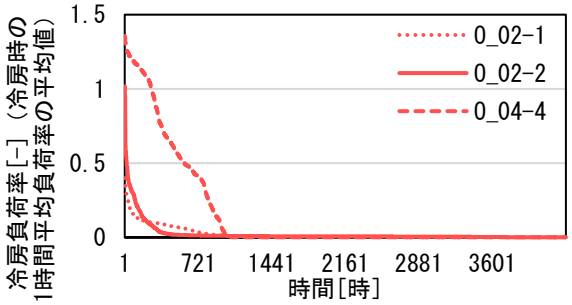


図 6　室外機 O_02-1・O_02-2・O_04-4　負荷率の発生状況

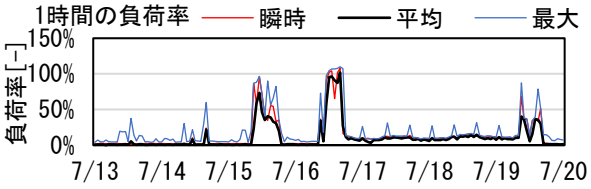


図 7　室外機 O_02-2　2021/7/13～7/19　負荷率と COP

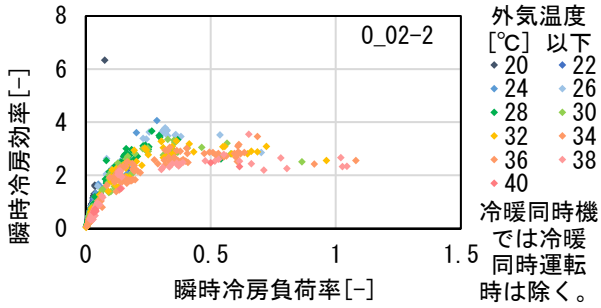


図 8　室外機 O_02-2　冷房の負荷率と効率（瞬時）

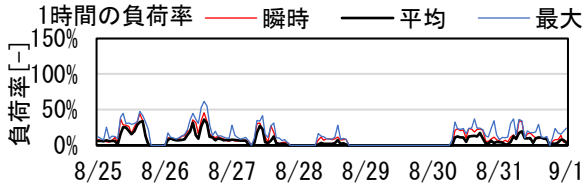


図 9　室外機 O_02-1　2021/8/24～8/30　負荷率と COP

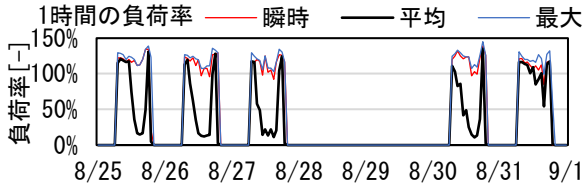


図 10　室外機 O_04-4　2021/8/25～8/31　負荷率と COP

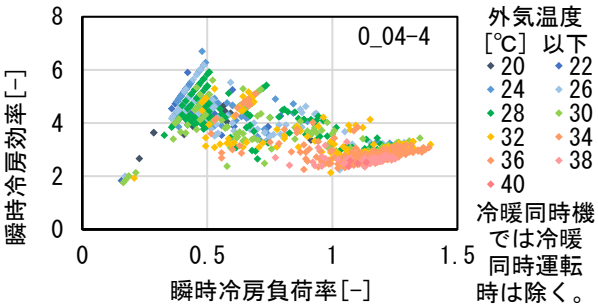


図 11　室外機 O_04-4　冷房の負荷率と効率（瞬時）

室外機 G_11-1（図１２上）は，2 台の圧縮機からなる室外機であり，低負荷時には 1 台の圧縮機で対応可能である。しかしながら，低負荷時にも，2 台が同程度の回転

数で運転する場合が多い。瞬時の処理熱量と効率の関係を示す散布図で，低負荷時に比較的効率が高いプロット群（負荷率 5%で効率 2 程度，負荷率 10%で効率 3 程度付近の群）がある。これは，圧縮機 1 台運転の群である。それ以外の，低負荷時に効率が低いプロットや高負荷のプロットは，圧縮機 2 台運転の群である。メーカーによると，冷媒の移動等のために高低差や配管長に応じた圧力差が必要であり，機器制御が関連すると推察される。

一方，N ビルの 2 台の圧縮機からなる室外機（図１２下）では，低負荷時に，圧縮機 1 台が稼動する，高効率な運転が実現されている。

機器制御において 1 台での低負荷時に圧縮機台数を絞ることで，また，圧縮機台数を積極的に絞る機器を設計時に採用することで，効率が改善される可能性がある。

3.4. 代表系統間の冷房時凝縮温度の比較

冷房時に凝縮温度が高い系統がある（図１３）。

室外機 S_01-3，S_02-4 では，冷房時に凝縮温度や凝縮圧力が高い状態での運転が見られ，期間冷房効率が低い。いずれも凝縮温度の目標値は 34℃程度と低めであり，目標値よりも実現値の凝縮温度が高い。外気温度と凝縮圧力の関係は，S_01-3 では外気温度に対する凝縮圧力の変化が大きく外気温度が高いときに凝縮圧力も高くなるが，S_02-4 では外気温度に対する凝縮圧力の感度は小さく外気温度が低いときにも凝縮圧力も高くなる。

室外機 S_01-3，S_02-4 とも，S_02-5 と同一の室外機機種であるが，S_02-5 では凝縮温度が目標値に応じて制御され，比較的高い効率で稼動している。

機器制御において，仮に凝縮温度を下げて不具合が生じる要因がなければ，凝縮温度を下げることでエネルギーが削減されると考えられる。

3.5. 代表系統間の外気温度感応度の比較

外気温度が 25℃を下回るような室外機側の温度が低いときの冷房効率は，室外機により差が見られ，G_11-1 等の効率がほぼ変化しない系統がある（図１４）。同様の傾向は，同物件の他の系統や F ビルの系統で多くみられる。

一方，N_07-2 等の冷房効率が向上する系統もある。

仮に外気低温時の高圧圧力を下げられれば，効率向上が期待される。ただし，室外機と室内機の間の高低差や配管長に応じた圧力差を確保する必要がある。室外機と室内機を同一階に設置する等の工夫により，高圧圧力の下限値を下げられれば，効率向上に寄与する可能性がある。

4. まとめと今後の課題

ビル用マルチエアコンの実稼働状態について，効率やそれに影響を与える要因を実測調査により把握した。今後，計算モデルにより効率改善策の検討を行い，改善策を設計，運用，機器開発に反映していくべきである。

参 考 文 献

1) 佐藤誠 他: ZEB 実現に向けた個別分散空調システムの設計ガイドライン作成に関する研究その 1 研究概要と個別分散空調システム設計の実態調査，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2022. 9

謝 辞

その 1 に加え、運転データ収集にご協力いただいたダイキン工業に深く謝意を表したい。本報は実態調査 WG の成果である。

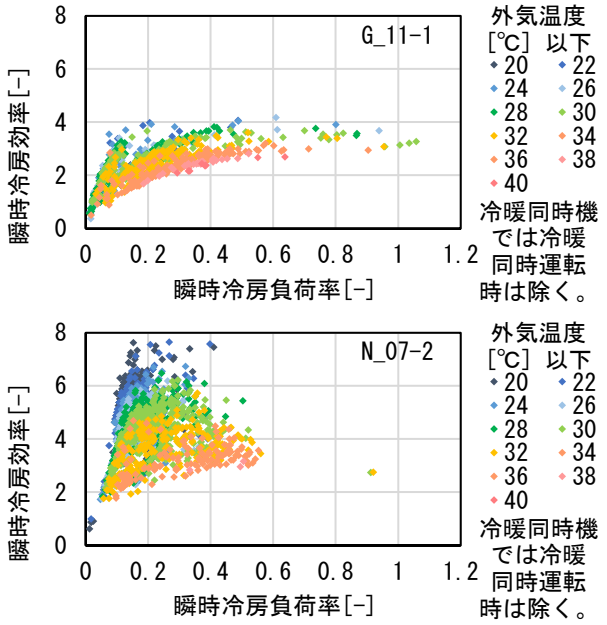


図 12 室外機 G_11-1・N_07-2 冷房の負荷率と効率（瞬時）

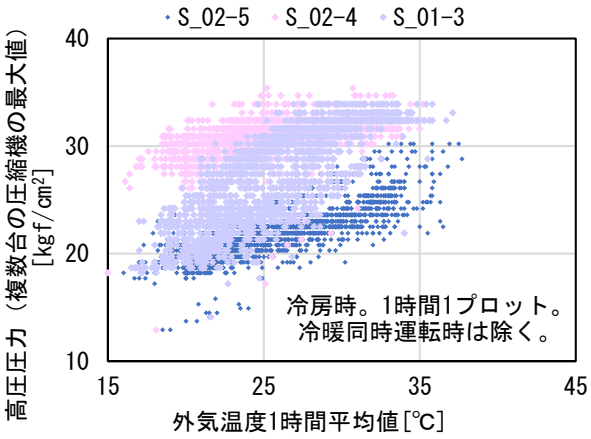


図 13 冷房時の外気温度（高温）と圧力の関係

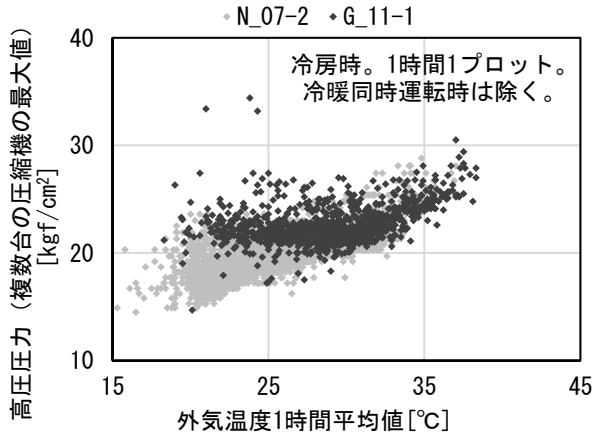


図 14 冷房時の外気温度（低温）と圧力の関係

2022年度 BSCA Cx事例シンポジウムin東京

ZEB実現に向けた個別分散空調システムの設計ガイドライン作成に関する研究

その２
実測調査による
稼動実態把握

本研究は国立研究開発法人・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の実施した2021・2022年度「脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム/ZEBを目指した個別分散型空調システムの設計課題に関する調査」に関する委託研究の成果の一部である。

○芹川 真緒（神奈川大学）、
辻丸 のりえ、佐藤 誠、住吉 大輔、
宮田 征門、柳原 隆司

はじめに

- 個別分散型空調システムは、多くの非住宅建築物に採用されており、実運用時の効率は、日本全体でのエネルギー消費量やCO_2排出量に大きく影響する。
- 一方、実稼働状態における効率や稼動状態の詳細の把握は、一般には困難とされている。
- 本研究では、ビル用マルチエアコンを対象とした実稼働状態に係る実測を行い、運用時の効率や、それに影響を与える要因を把握する。

1.　測定の概要および測定結果の扱い
1.1.　測定の概要

■表１　測定の概要

項目	設定等
測定期間	2020年10月～22年4月の間で1年間。 ただし、物件Gでは，中間期のデータが10日程度不足。
測定項目	メンテナンスサービス用データを使用。測定間隔は1時間。 室外機：消費電力、能力、ＩＮＶ回転数、外気温度等 室内機：設定温度、吸込温度、運転／停止状況、サーモオン／オフ状況等
測定対象	表２に示す10物件の98系統。 測定対象の室外機の仕様の分布を図１に示す。

1.　測定の概要および測定結果の扱い
1.1.　測定の概要

■表２　測定対象物件

物件呼称	建物・室用途	測定対象		冷暖同時機	備考
		階	系統数		
N	事務所	1～8	15	○	室内機・外気処理エアコン接続の系統含む。
O	事務所	1～6	22		
T	事務所	2	1		
F	事務所	2～7	18	◎	外気処理は専用のデシカント空調機。
G	事務所	3～11の一部	4	◎	室内機・直膨コイル付き全熱交換器接続。
W	サーバー室		2		
B	病院	1～6	15		
S	福祉施設	1～2	11		
H	物販店舗	1～4	4	○	外気処理専用系統、室内機・外気処理エアコン接続の系統含む。
I	飲食店舗	1～5	6		外気処理エアコン専用系統含む。
【所在地】東京都または神奈川県。全物件、省エネルギー基準地域区分6地域。 【冷暖同時機】◎：測定対象の全系統、○測定対象の一部系統					

省エネルギー基準地域区分6地域の10物件。様々な建物・室用途を対象とする。冷暖同時機、外気処理エアコンや直膨コイル付き全熱交換器接続の室外機含む。

1.　測定の概要および測定結果の扱い
1.1.　測定の概要 1.2.　測定結果の扱い

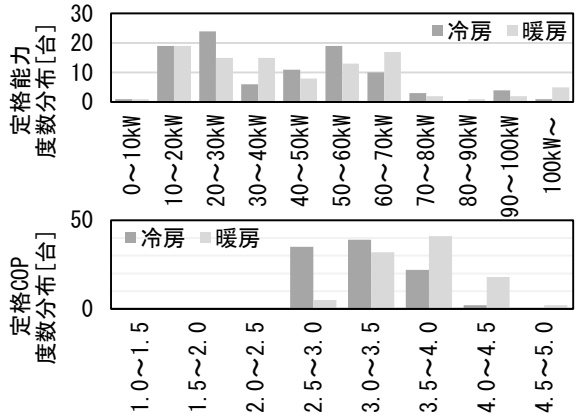
■表３　３章で扱う室外機の概要

室外機	物件	室内機設置室	定格冷房能力	冷房定格消費電力	冷房COP	冷暖同時機	室内機数
N_07-2	N	事務室	40.0kW	13.4kW	2.99	○	4
O_02-1	O	会議室・休憩室・ロッカー室・仮眠室等	77.5kW	23.1kW	3.35		10
O_02-2	O	事務室・サーバー室	50.0kW	17.4kW	2.87		8
G_11-1	G	事務室	95.0kW	32.9kW	2.89	○	14※
S_01-3	S	指導員室	14.0kW	3.71kW	3.77		2
S_02-4	S		14.0kW	3.71kW	3.77		5
S_02-5	S		14.0kW	3.71kW	3.77		2
※直膨コイル付き全熱交換器の数を含む。							

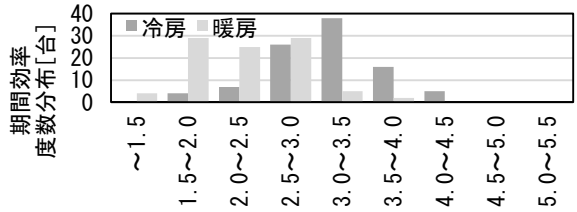
負荷率は、能力を定格冷房・暖房能力で除して求める。能力は、1時間平均または瞬時の冷房・暖房能力を用いる。期間の平均の負荷率は、冷房・暖房運転時について、負荷率の平均を取る。

1.　測定の概要および測定結果の扱い
2.　全系統の測定結果

■図１　測定対象室外機
（上）定格能力
（下）定格COP



■図２　期間効率の実測結果

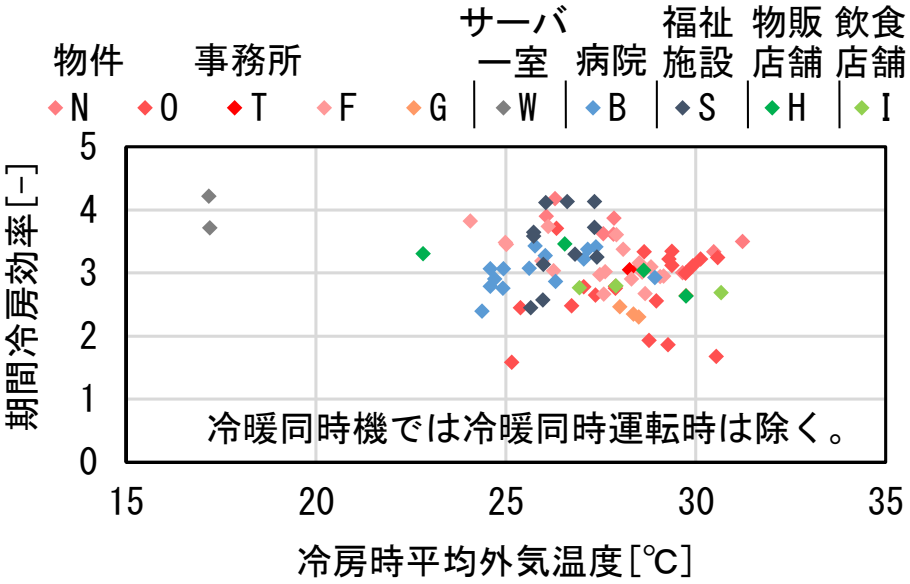


なぜ実測が必要か
→実稼働時の効率は系統により様々。
　特に暖房時の効率が定格より低い。

対象の室外機は、定格冷房能力20～30kWと50～60kWに度数分布のピーク。定格COPは冷房より暖房が高い。期間効率の測定結果は定格COPより低めで、系統間の差が大きい。

2.　全系統の測定結果

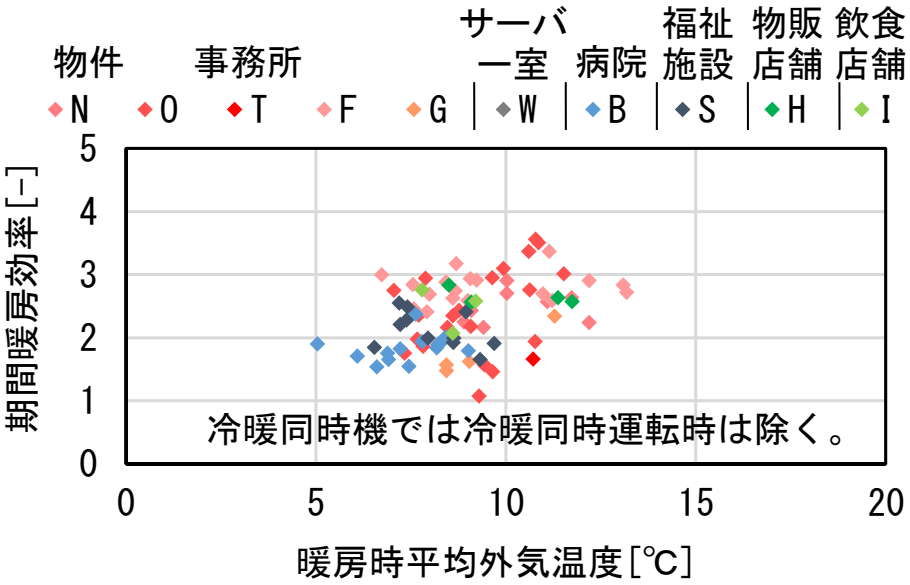
■図３　外気温度平均値と期間効率（上）冷房



建物用途による運転時間帯の違いや外気温度が効率に影響。
物件W（サーバー室）、B（病室あり）、S（宿泊用の室あり）では、外気温度が低い夜間にも運転が行われるため、冷房の効率は高めで、暖房の効率は低めの傾向。物件Wでは、暖房需要の発生なし。

2.　全系統の測定結果

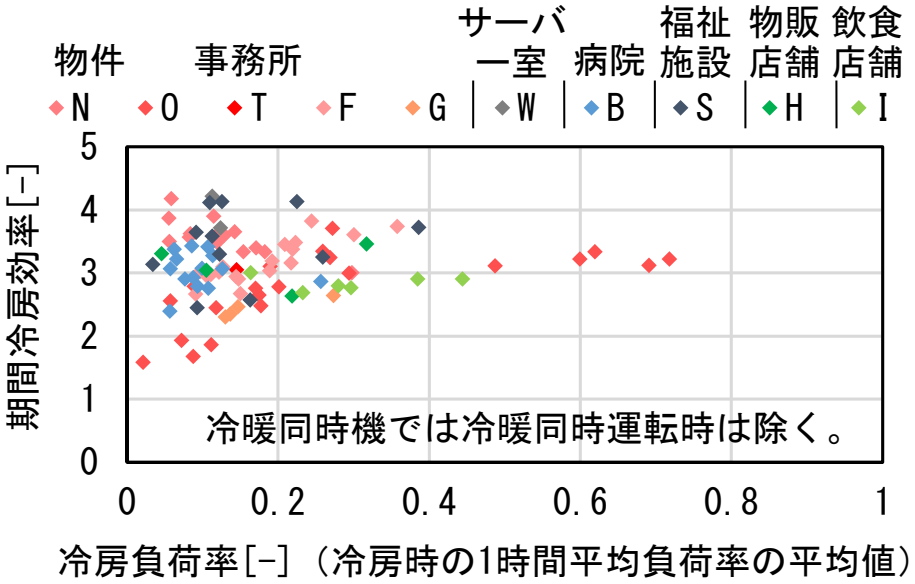
■図３　外気温度平均値と期間効率（下）暖房



建物用途による運転時間帯の違いや外気温度が効率に影響。
物件W（サーバー室）、B（病室あり）、S（宿泊用の室あり）では、外気温度が低い夜間にも運転が行われるため、冷房の効率は高めで、暖房の効率は低めの傾向。物件Wでは、暖房需要の発生なし。

2.　全系統の測定結果

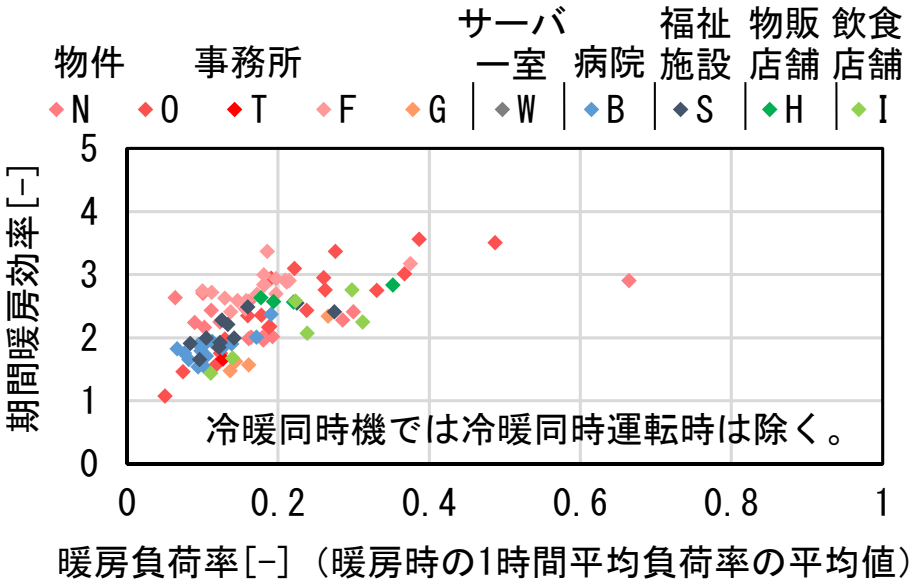
■図４　負荷率の期間平均値と期間効率（上）冷房



一般に、低負荷率や高負荷率域では効率が低下する。実測結果でも、期間平均の負荷率が低い系統で、効率が低い系統がある。ただし、低負荷率で高効率の系統もあるため、次章で確認する。

2.　全系統の測定結果

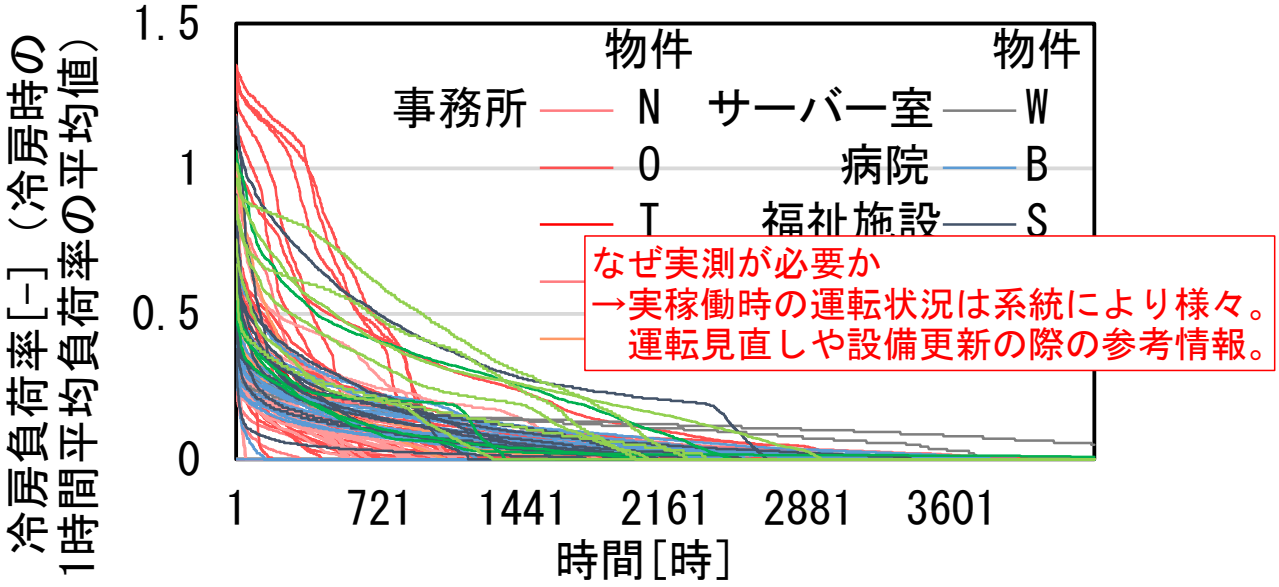
■図４　負荷率の期間平均値と期間効率（下）暖房



一般に、低負荷率や高負荷率域では効率が低下する。実測結果でも、期間平均の負荷率が低い系統で、効率が低い系統がある。ただし、低負荷率で高効率の系統もあるため、次章で確認する。

2.　全系統の測定結果

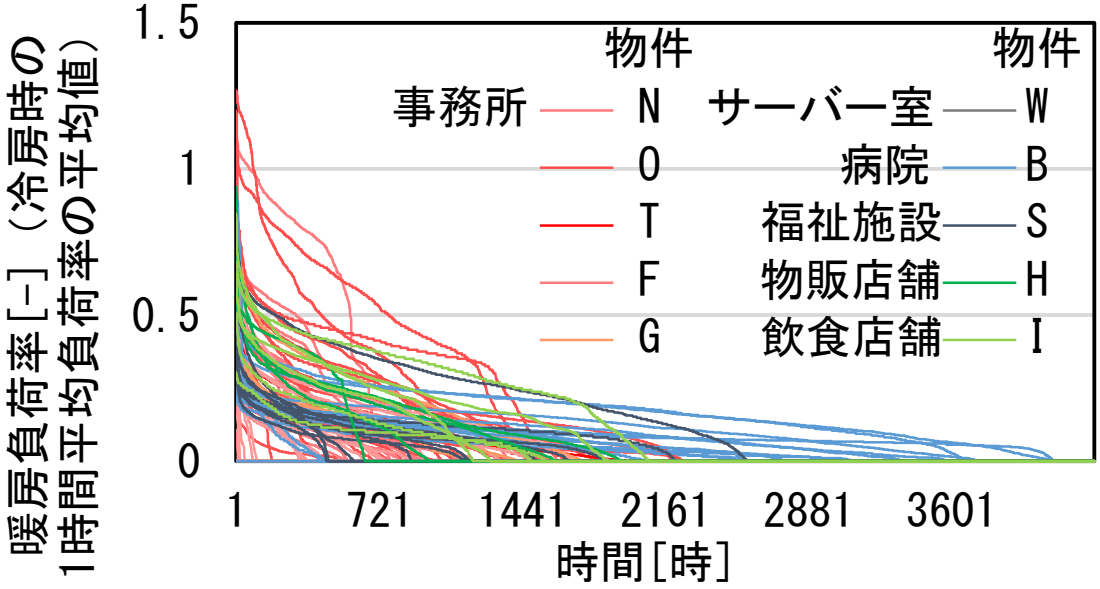
■図５　負荷率の発生状況（上）冷房



冷暖房時とも、低負荷での運転が大半。ただし、冷房では事務所、福祉施設、飲食店舗、暖房では事務所の一部の系統で、高負荷率の運転が多い。外気処理用や共用部を含む系統の室外機が多い。

2.　全系統の測定結果

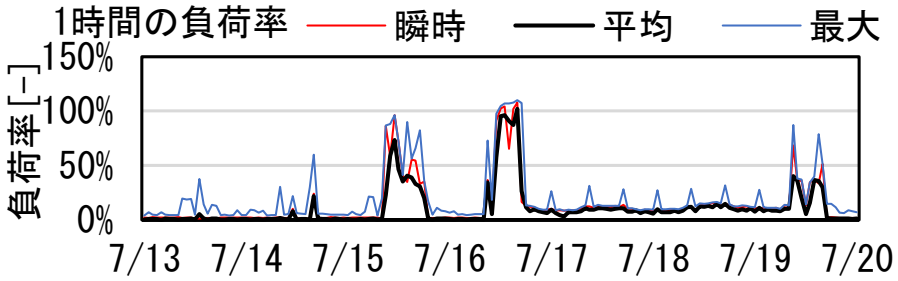
■図５　負荷率の発生状況（下）暖房



冷暖房時とも、低負荷での運転が大半。ただし、冷房では事務所、福祉施設、飲食店舗、暖房では事務所の一部の系統で、高負荷率の運転が多い。外気処理用や共用部を含む系統の室外機が多い。

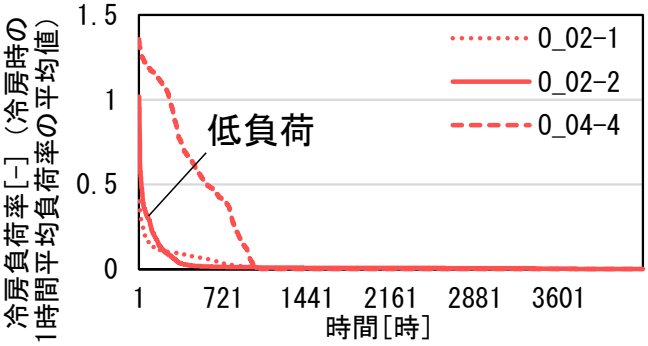
3. 特徴的な系統の測定結果
3.1. 低負荷での運転が多い系統

■図７ 室外機O_02-2 2021/7/13～7/19 負荷率とCOP



■図６ 室外機O_02-1・O_02-2・O_04-4 負荷率の発生状況

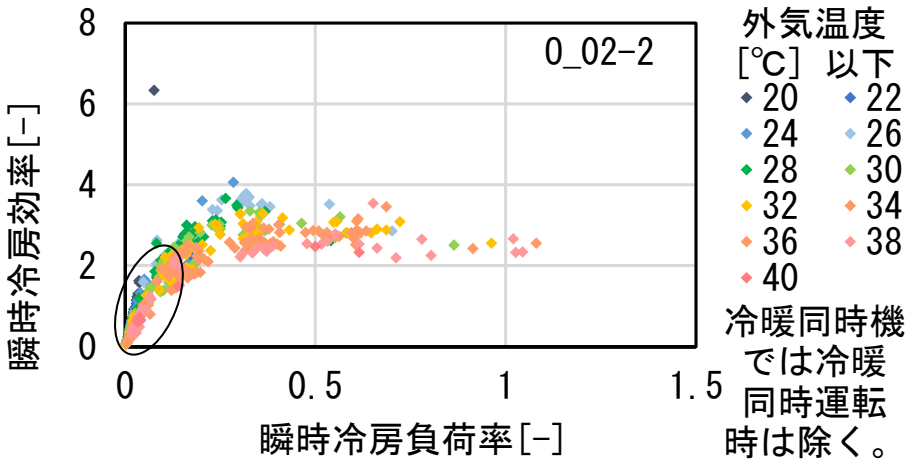
なぜ実測が必要か
→実稼働時の運転状況は系統により様々。
運転見直しや設備更新の際の参考情報。



低負荷、低効率での運転が多い系統の例。
事務室・サーバー室の室内機に接続。

3. 特徴的な系統の測定結果
3.1. 低負荷での運転が多い系統

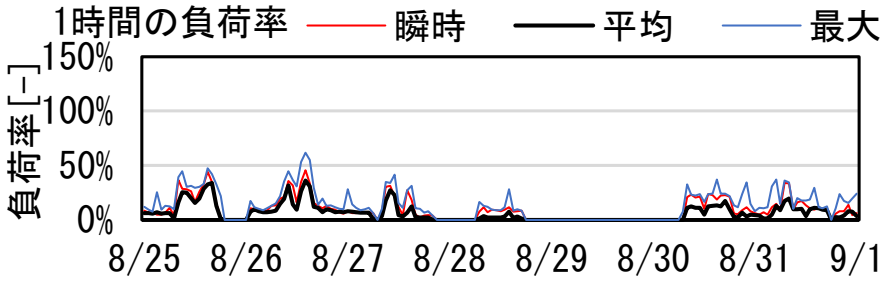
■図８ 室外機O_02-2 冷房の負荷率と効率（瞬時）



低負荷、低効率での運転が多い系統の例。
サーバー室の室内機を別系統とした設計により、低負荷、低効率での運転を回避できると考えられる。

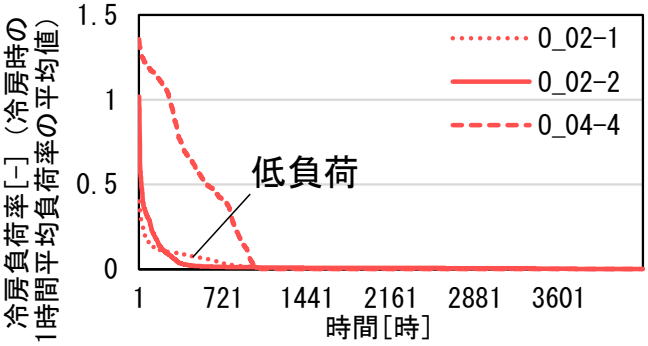
3.　特徴的な系統の測定結果
3.1.　低負荷での運転が多い系統

■図９　室外機O_02-1　2021/8/24～8/30　負荷率とCOP



■図６　室外機O_02-1・O_02-2・O_04-4
負荷率の発生状況

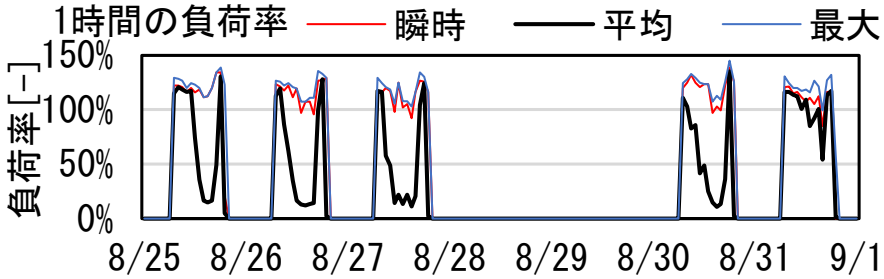
なぜ実測が必要か
→実稼働時の運転状況は
系統により様々。
運転見直しや設備更新の
際の参考情報。



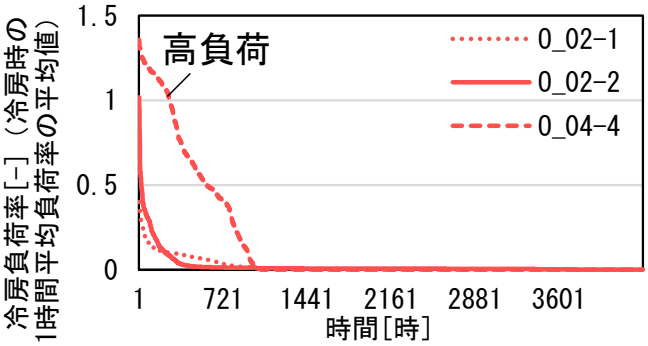
低負荷、低効率での運転が多い系統の例。会議室・仮眠室等。
設計時の室の同時使用率の考慮による改善の可能性。

3.　特徴的な系統の測定結果
3.2.　高負荷での運転が多い系統

■図１０　室外機O_04-4　2021/8/25～8/31　負荷率と
COP



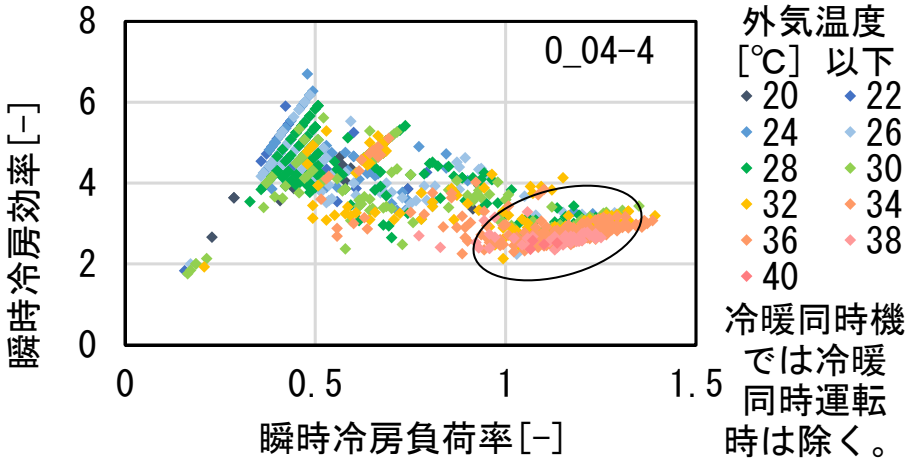
■図６　室外機O_02-1・O_02-2・O_04-4
負荷率の発生状況



高負荷、低効率での運転が多い系統の例。廊下、EVホール。

3.　特徴的な系統の測定結果
3.2.　高負荷での運転が多い系統

■図１１　室外機O_04-4　冷房の負荷率と効率（瞬時）

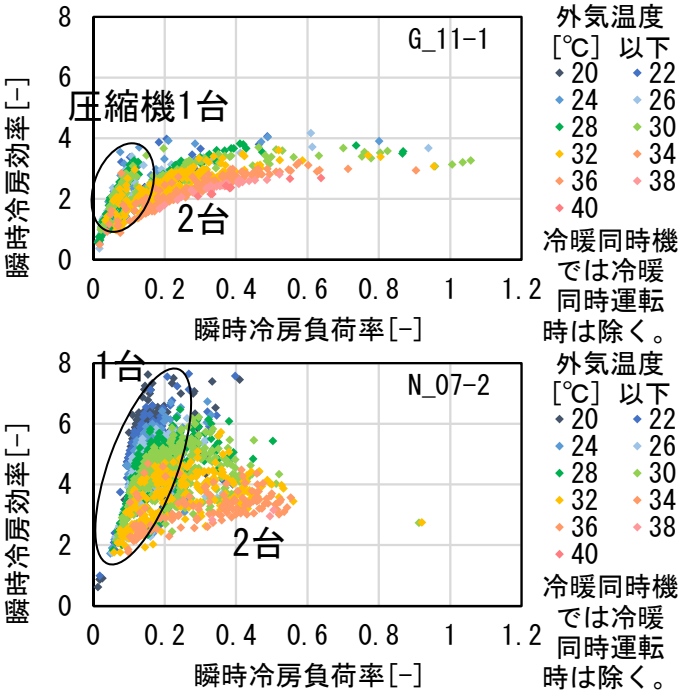


なぜ実測が必要か
→予想と異なる状況の発生の可能性

高負荷、低効率での運転が多い系統の例。
室外機の増設や大容量の室外機への更新による効率改善の検討の余地がある。

3.　特徴的な系統の測定結果
3.3.　代表系統間の圧縮機台数制御の比較

■図１２
室外機G_11-1・N_07-2
冷房の負荷率と効率
（瞬時）

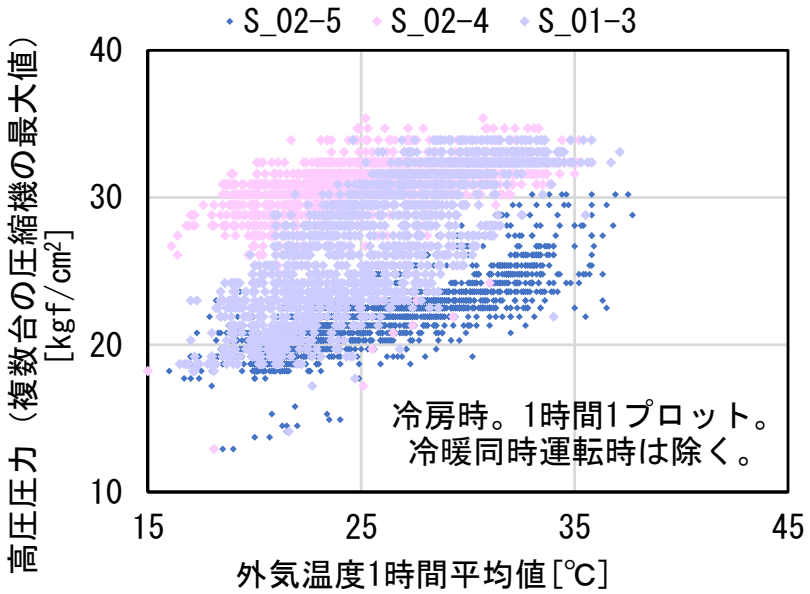


なぜ実測が必要か
→予想と異なる状況の発生の可能性

N_07-2は低負荷時に圧縮機1台稼働で高効率。
G_11-1は低負荷時も圧縮機2台での運転が多く低効率。
機器制御で凝縮温度を下げられれば、効率向上か。

3.　特徴的な系統の測定結果
3.4.　代表系統間の冷房時凝縮温度の比較

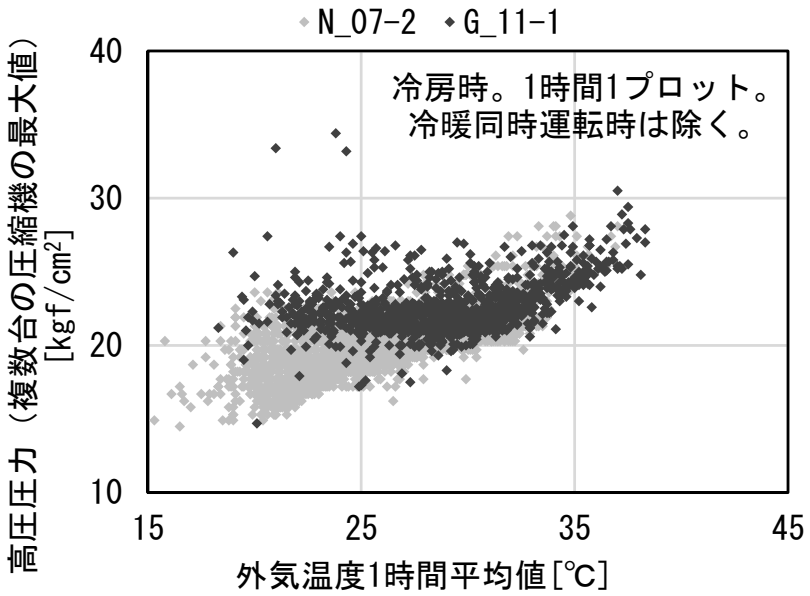
■図１３　冷房時の外気温度（高温）と圧力の関係



3台とも同一機種の室外機。凝縮温度の目標値は34℃と低めだが、実際にはS_02-5では目標値程度、 S_01-3、S_02-4 では高め。機器制御で凝縮温度を下げられれば、効率向上か。

3.　特徴的な系統の測定結果
3.5.　代表系統間の外気温度感応度の比較

■図１４　冷房時の外気温度（低温）と圧力の関係



外気温度25℃以下で、高圧圧力がG_11-1ではほぼ一定、N_07-2では向上。外気低温時に圧力を下げられれば、効率向上か。ただし、室外機と室内機の高低差や配管長に応じた圧力差確保が必要。

４．まとめと今後の課題

・ビル用マルチエアコンの実稼働状態について、
効率やそれに影響を与える要因を実測調査により把握した。

・今後、計算モデルにより効率改善策の検討を行い、
改善策を設計、運用、機器開発に反映していくべきである。