

熱源機器の効率的な運用に向けた  
部分負荷効率の測定法の開発

Development of Methods for Measuring Partial Load Efficiency  
for Efficient Operation of Heat Source Equipment

阿部 佑平<sup>1)</sup>  
Yuhei Abe<sup>1)</sup>

地方独立行政法人北海道立総合研究機構

建築研究本部

北方建築総合研究所

Northern Regional Building Research Institute

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

1) 北方建築総合研究所建築研究部環境システムグループ主査・博士（工学）

1) Chief Coordinator of Environment System Group, Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

本書の全部および一部の無断での転載はご遠慮ください。

No unauthorized reproduction

## 概 要

### Abstract

# 熱源機器の効率的な運用に向けた部分負荷効率の測定法の開発 Development of Methods for Measuring Partial Load Efficiency for Efficient Operation of Heat Source Equipment

阿部 佑平<sup>1)</sup>

Yuhei Abe<sup>1)</sup>

キーワード : 熱源機器、部分負荷効率、測定法、パッケージ形空気調和機、木質バイオマスボイラ

Keywords : Heat Source Equipment, Partial Load Efficiency, Method of Measurement,

Packaged Air Conditioner, Woody Biomass Boiler

## 1. 研究概要

### 1) 研究の背景

- ・熱源機器容量は年間最大負荷に安全率を考慮して設計されることが多いが、実際の運用では、機器の定格容量を大きく下回る部分負荷における運転が多い。
- ・一般的には、部分負荷運転時の効率は、全負荷運転時に比べて効率が低下する機器が多いが、その特性は熱源機器の種類により異なる。
- ・近年、冷房需要のある小規模な事務所等でパッケージ形空気調和機の導入が進んでおり、今後 ZEB 化に向けてさらに導入が増えると予想される。また、カーボンニュートラルの実現に向けた取組として、木質バイオマスボイラの導入が期待される。
- ・パッケージ形空気調和機は JIS B 8615 による試験法で性能を評価できるが、JIS に基づく評価は限られた条件下における試験結果のため、実建物における運用時の部分負荷効率とは乖離があり、その実態については、公開されているデータが少ない。また、実建物において JIS に基づく試験法を用いて測定を行う場合、様々な制約により測定が困難な場合がある。
- ・また、木質バイオマスボイラについては、ボイラに投入されるチップやペレットの燃料消費量を測定する機器がなく、時々刻々の燃料消費量を測定することが困難であり、かつ海外製のボイラが多いため、部分負荷効率のデータ蓄積が乏しい。

### 2) 研究の目的

- ・本研究では、パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラを対象に、熱源機器の効率的な運用のために必要となる部分負荷効率について、実建物での測定法を開発する。

## 2. 研究内容

### 1) 熱源機器の採用状況及び部分負荷効率に関する調査 (R4-5 年度)

- ・ねらい : 道内の非住宅建築物の設備設計者等にヒアリング調査を行い、建物規模・用途別におけるパッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラの採用状況を明らかにする。また、文献調査を行い、これらの熱源機器の部分負荷効率や機器特性、部分負荷効率の測定法に関する既往の知見を整理し、実建物での測定に適した測定法と新たに開発が必要な測定項目を明らかにする。
- ・試験項目等 : ヒアリング調査、測定法の文献調査

---

<sup>1)</sup> 北方建築総合研究所建築研究部環境システムグループ主査・博士 (工学)

<sup>1)</sup> Chief Coordinator of Environment System Group, Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.

## 2) 部分負荷効率の測定法の開発 (R4-6 年度)

- ・ねらい：パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラを対象に実建物で適用可能な部分負荷効率の測定法を開発する。まず、1) で明らかにした開発が必要な測定項目（例えば、室内機や室外機の風量、ボイラの燃料消費量）について測定法を検討し、正確と考えられる測定条件や測定法と比較することにより精度検証を行う。開発した測定法を用いて、1) で調査した実態を踏まえ、事務所や公共施設等に導入された代表的な機器を測定し、部分負荷効率を整備する。
- ・試験項目等：パッケージ形空気調和機：風量測定、消費電力測定、精度検証等  
木質バイオマスボイラ：燃料物性値の測定、燃料消費量の測定、熱量測定、精度検証等

## 3. 研究成果

### 1) 熱源機器の採用状況及び部分負荷効率に関する調査 (R4-5 年度)

- ・道内の設備設計者を対象に、パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラの採用状況に関するヒアリング調査を行った。
- ・パッケージ形空気調和機については、寒冷地用の暖冷房が可能な機器の発売、イニシャルコストが安価、設計及び施工が容易、機器設置の省スペース化が図られる等を理由に採用が増加しているが、設計時に部分負荷効率を考慮することは殆どないといった状況を把握した。
- ・木質バイオマスボイラについては、発注者からの要望等を理由により採用することがあるが、海外製のボイラが多いため日本語の技術資料や、燃料の特性（水分、発熱量等）に関する情報が必要といった状況を把握した。
- ・文献調査を行い、部分負荷効率の測定法に関する既往の知見を整理した。実建物での測定に向けて、パッケージ形空気調和機では、室内機からの供給熱量を求めるために必要な風量の測定手法を簡易化する必要があることを明らかにした。木質バイオマスボイラでは、チップの燃料消費量を測定可能な機器がないため、新たな測定法の開発が必要であることを明らかにした。

### 2) 部分負荷効率の測定法の開発 (R4-6 年度)

- ・パッケージ形空気調和機については、室内機の電流を測定することにより、風量を推定する手法を開発した。この手法を用いて、北総研執務室に設置されたパッケージ形空気調和機を対象に、部分負荷効率の測定を行った（写真1）。暖房運転時には、室外機の熱交換器に付いた霜を融かす霜取り運転が行われると、効率が大きく低下することを明らかにした（図1）。外気温が2℃以上ではCOPの平均値は2.9であったが、外気温が-4℃未満になるとCOPの平均値は2.3に低下した。
- ・木質バイオマスボイラは、ボイラに設置されたスクリューが回転することにより、燃料が炉内に投入される構造になっている。このため、回転計を用いてスクリューの回転数を測定することにより、炉内に投入されたチップの重量を推定する手法を開発した（写真2）。この手法を用いて、当別町立とうべつ学園のチップボイラを対象に部分負荷効率の測定を行ったところ、日平均で70～80%程度の効率であった（図2）。また、開発した測定法の適用性を検証するため、津別町大通地区コミュニティ施設のチップボイラにおいても測定を実施し、部分負荷効率のデータ取得が可能であることを確認した。

<具体的データ>



写真1 室内機の電流測定

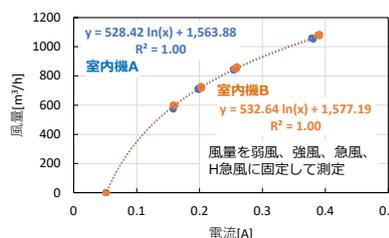


図1 風量の推定近似式(左図)と部分負荷効率の測定結果(右図)

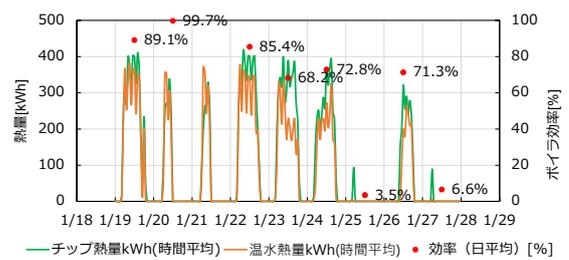
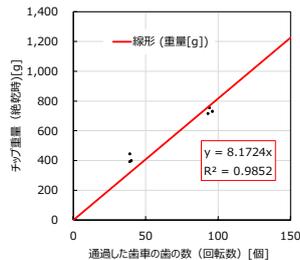
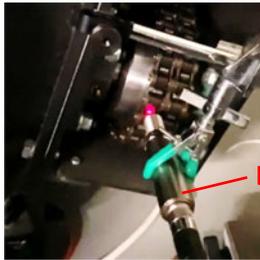


写真2 スクリューの回転数測定 図2 チップ投入量の推定近似式(左図)と部分負荷効率の測定結果(右図)

#### 4. 今後の見通し

- ・本研究で開発した測定法及び部分負荷効率に関する知見は、道内自治体の公共施設の ZEB 化に向けた設計支援や今後の関連研究で活用される。
- ・本研究で開発した手法を用いて、パッケージ空気調和機の風量の推定近似式、木質バイオマスボイラのチップ投入量の推定近似式を機種別に作成することで、部分負荷効率の測定に活用できる。

## 目 次

1. はじめに .....	1
(1) 研究の背景 .....	1
(2) 研究の目的 .....	1
(3) 研究内容 .....	1
2. 熱源機器の採用状況及び部分負荷効率に関する調査.....	1
(1) 機械設備設計者へのヒアリング調査.....	1
(2) 実建物における測定の課題.....	6
3. 部分負荷効率の測定法の開発.....	7
(1) パッケージ形空気調和機.....	7
(2) 木質バイオマスボイラ.....	10
4. まとめ .....	13

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

熱源機器容量は年間最大負荷に安全率を考慮して設計されることが多いが、実際の運用では、機器の定格容量を大きく下回る部分負荷における運転が多い。一般的には、部分負荷運転時の効率は、全負荷運転時に比べて効率が低下する機器が多いが、その特性は熱源機器の種類により異なる。

近年、冷房需要のある小規模な事務所等でパッケージ形空気調和機の導入が進んでおり、今後 ZEB 化に向けてさらに導入が増えると予想される。パッケージ形空気調和機は JIS B 8615 による試験法で性能を評価できるが、JIS に基づく評価は限られた条件下における試験結果のため、実建物における運用時の部分負荷効率とは乖離があり、その実態については、公開されているデータが少ない。また、実建物において JIS に基づく試験法を用いて測定を行う場合、様々な制約により測定が困難な場合がある。

また、カーボンニュートラルの実現に向けた取組として、木質バイオマスボイラの導入が期待される。木質バイオマスボイラについては、ボイラに投入されるチップやペレットの燃料消費量を測定する機器がなく、時々刻々の燃料消費量を測定することが困難であり、かつ海外製のボイラが多いため、部分負荷効率のデータ蓄積が乏しい。

### (2) 研究の目的

本研究では、パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラを対象に、熱源機器の効率的な運用のために必要となる部分負荷効率について、実建物での測定法を開発する。

### (3) 研究内容

主な研究項目は以下の 2 つである。

#### 1) 熱源機器の採用状況及び部分負荷効率に関する調査

道内の非住宅建築物の設備設計者等にヒアリング調査を行い、パッケージ形空気調和機及び木質バイ

オマスボイラの採用状況等を調査する。また、パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラの実建物における部分負荷効率の測定における課題を整理し、新たに開発が必要な測定項目をまとめる。

#### 2) 部分負荷効率の測定法の開発

パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラの部分負荷効率の測定に向けて、研究項目 1) で整理した新たに開発が必要な測定項目に対する測定法を開発し、それを用いて測定した部分負荷効率について考察する。

## 2. 熱源機器の採用状況及び部分負荷効率に関する調査

### (1) 機械設備設計者へのヒアリング調査

#### 1) 調査概要

道内で機械設備設計の業務を行っている設計事務所 6 社を対象に、パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラの採用実態と設計実態に関するヒアリング調査を実施した。各社 1 名の設計者を対象に調査を実施し、6 名の設計者から回答を得た。

#### 2) 調査結果

##### ①パッケージ形空気調和機

ヒアリング調査では、パッケージ形空気調和機のうち、ビル用マルチエアコン（ビルマル）を対象に聞き取りを行った。

まず、表 1 に示す採用実態の結果を見ると、「①ビルマルを採用することが多い建物用途、規模」については、様々な建物用途で採用することが多いと回答した設計者が多かった。また、昨今の夏季の気温上昇に伴い、改修で冷房設備を導入する建物が増えていると回答した設計者もいた。

「②ビルマルの採用を決定する要因」については、中央熱源方式に比べて施工性がよい、施工期間が短くなる、機械室が不要になり省スペースになる、イニシャルコストの削減につながるといった回答が多かった。また、個別熱源方式のため、メンテナンス性や維持管理のしやすさが決定要因になるといった回答もあった。その他、ZEB の設計で BEI を下げる

ため、中央熱源方式に比べて設計が容易であるためといった回答もあった。

「③電気式ヒートポンプ（EHP）とガスエンジンヒートポンプ（GHP）の採用状況」については、発注者の意向にもよるが、EHPが採用されることが多いと回答した設計者が多かった。この理由として、GHPは都市ガスの供給エリアで採用されることが多く、道内で都市ガスが供給されているのは、札幌市、旭川市、函館市、帯広市などに限られていることが大きく影響している。GHPは、EHPに比べて受変電設備の容量を小さく抑えることができ、低外気温でもデフロスト運転等による効率低下が発生しないなどのメリットがある。しかしその一方で、メンテナンス費用、騒音、重量等が課題になることもあり、EHPよりも設計時の検討事項が多いといった印象を持っている設計者がいた。

「④ビルマルを採用した時の外気処理方法」については、室用途、予算、要求水準、地域性（設計外気温）で方法が決まることが多い。しかし、昨今では、ZEBの設計の増加に伴い、小規模な事務所等では、外調機を設置せずに、全熱交換器で外気処理をすることが多いと回答した設計者が多かった。

「⑤冷暖フリーの採用状況」については、冷暖切替よりもインシャルコストは上がるが、ホテル、病院、テナント物件、個室が多い物件において採用する必要があるといった回答があった。これらの建物では、冷房と暖房が同時に発生することがあるため、導入するメリットが大きいと言える。一方で、公共の物件では、冷暖フリーを採用することはなく、冷暖切替を採用するといった回答が多かった。

次に、表2に示す設計実態の結果を見ると、「①設計時に参考としている設計基準や資料」については、すべての設計者が建築設備設計基準、メーカーのカタログ・技術資料と回答した。熱負荷計算はすべて自社で行っていると回答した設計者と、業務が忙しい時期には外部に委託すると回答した設計者がいた。

「②室内機、室外機の選定方法」については、建築設備設計基準に基づき算出した容量をもとに、自

社で機種を選定すると回答した設計者が多かった。また、温度条件が特殊な場合は、メーカーと相談のうえ機種を選定するといった回答もあった。

「③室外機の系統分けの考え方」については、平面的に同じ空間、フロア単位で系統分けする、室の使い方・使用時間・空調時間、同じ室用途、熱負荷のバラツキ、方位を考慮して系統分けすると回答した設計者が多かった。その中でも、ZEBの設計実績がある設計者からは、容量の適正化に対する認識が十分あり、過大な容量となることを回避するために、室用途、方位、空調の使用時間を考慮し、ピーク負荷の発生時間が重ならないような組み合わせで系統分けするといった回答もあった。

「④室外機の部分負荷効率を意識し、実務で考慮していること」については、すべての設計者が室外機を選定するうえで、部分負荷効率を考慮することはないと回答した。公開されている部分負荷効率のデータが少ないことが影響していると考えられる。

「⑤運用時における室外機の部分負荷効率の調査」については、すべての設計者が調査したことはないと回答したが、実運用でどの程度の効率が発揮されているか、カタログに記載されている定格COPとの乖離に興味があるといった回答もあった。

「⑥メーカーが公開している技術情報以外に、設計するうえで公開してほしい情報」については、すべての設計者が特にないと回答した。設計に必要な情報はメーカーから得られており、実務では困っていないことが分かった。

「⑦設計時に気を付けていること」については、室外機に関する内容として、雪の吹込み等の雪対策、ドレン水の排出処理、ショートサーキットについて回答した設計者が多かった。また、デフロスト運転時の不快感の軽減や、故障時における空調停止のリスクを回避するため、室外機が連結している機種を選定するといった回答もあった。さらに、 $-25^{\circ}\text{C}$ でも運転可能な機種や高効率な機種を選定する、ZEBの設計では、容量のダウンサイジングを検討するなどの回答もあった。

表1 ビルマルの採用実態に関する回答結果

<p><b>①ビルマルを採用することが多い建物用途、規模</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・様々な建物用途で採用することが多い</li> <li>・個室が多い建物、冷房需要のある建物</li> <li>・改修で冷房設備を導入する場合</li> </ul>					
<p><b>②ビルマルの採用を決定する要因</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工性がよい、省スペース、イニシャルコストの削減、メンテナンス性がよい、維持管理しやすい、ZEB の設計で BEI を下げるため、設計が容易</li> </ul>					
<p><b>③EHP と GHP の採用状況</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・EHP と GHP の設計実績を比較すると、EHP の方が多い傾向にある。</li> <li>・GHP は都市ガスの供給エリアで設計する場合、発注者から要望がある場合に採用することがある。</li> <li>・EHP、GHP の採用は 20 年間のライフサイクルコストを算出して決めることが多い。</li> </ul> <p style="text-align: center;">設計者が感じている EHP と GHP のメリット、デメリット等</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%;">EHP</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・維持管理がしやすい、GHP よりもメンテナンス費用が安い</li> <li>・低外気温では効率が低下し、消費電力が増加する</li> <li>・GHP によりも受変電設備の容量が大きくなる</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>GHP</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・都市ガスの供給エリア外で採用する場合は LPG になるので、バルクタンクが必要</li> <li>・GHP はエンジンのメンテナンスが必要なため、EHP よりもメンテナンス費用が高い</li> <li>・GHP は低外気温でも効率がよく、停電時に自立運転が可能な機種がある</li> <li>・電力デマンドを下げたい場合、非常用発電機の容量を小さくしたい場合に採用することがある</li> <li>・低周波音による隣地への騒音トラブルの配慮が必要</li> <li>・EHP よりも重量が大きいので、屋上設置の場合は構造の検討が必要な場合がある</li> </ul> </td> </tr> </table>		EHP	<ul style="list-style-type: none"> <li>・維持管理がしやすい、GHP よりもメンテナンス費用が安い</li> <li>・低外気温では効率が低下し、消費電力が増加する</li> <li>・GHP によりも受変電設備の容量が大きくなる</li> </ul>	GHP	<ul style="list-style-type: none"> <li>・都市ガスの供給エリア外で採用する場合は LPG になるので、バルクタンクが必要</li> <li>・GHP はエンジンのメンテナンスが必要なため、EHP よりもメンテナンス費用が高い</li> <li>・GHP は低外気温でも効率がよく、停電時に自立運転が可能な機種がある</li> <li>・電力デマンドを下げたい場合、非常用発電機の容量を小さくしたい場合に採用することがある</li> <li>・低周波音による隣地への騒音トラブルの配慮が必要</li> <li>・EHP よりも重量が大きいので、屋上設置の場合は構造の検討が必要な場合がある</li> </ul>
EHP	<ul style="list-style-type: none"> <li>・維持管理がしやすい、GHP よりもメンテナンス費用が安い</li> <li>・低外気温では効率が低下し、消費電力が増加する</li> <li>・GHP によりも受変電設備の容量が大きくなる</li> </ul>				
GHP	<ul style="list-style-type: none"> <li>・都市ガスの供給エリア外で採用する場合は LPG になるので、バルクタンクが必要</li> <li>・GHP はエンジンのメンテナンスが必要なため、EHP よりもメンテナンス費用が高い</li> <li>・GHP は低外気温でも効率がよく、停電時に自立運転が可能な機種がある</li> <li>・電力デマンドを下げたい場合、非常用発電機の容量を小さくしたい場合に採用することがある</li> <li>・低周波音による隣地への騒音トラブルの配慮が必要</li> <li>・EHP よりも重量が大きいので、屋上設置の場合は構造の検討が必要な場合がある</li> </ul>				
<p><b>④ビルマルを採用した時の外気処理方法</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・室用途、予算、要求水準、地域性（設計外気温）で外気処理の方法が決まる。</li> <li>・小規模な施設、ZEB では、全熱交換器で処理することが多い。</li> <li>・大規模な施設で必要風量が大きくなると、直膨式や冷温水式の外調機、全熱交換器付外調機で処理する。</li> <li>・イニシャルコストを安価に抑える場合は、全熱交換器を採用する。</li> <li>・全熱交換器だけでは外気処理できない場合には、室の熱負荷に不足分を上乗せする。</li> <li>・冬期の外気負荷を低減させるため、アースチューブから外気を取入れ、予熱した外気を室内空気と混合し、その後、熱交換器を通過して室内に供給することもある。</li> <li>・外気処理エアコンは低外気温に対応していないので、北海道では不向き。実績が乏しく、安心して採用できない。</li> <li>・外気処理エアコン、直膨コイル付全熱交換器は、設計場所の外気温や必要風量を考慮して採用している。</li> <li>・トイレに第三種換気を入れると負圧になるので、外気は共用部に入れて、給気口付近には室内機を設置し冷気流を緩和させている。</li> <li>・ZEB の設計では、化石燃料の熱源機を設置し、外調機で外気処理をするのは難しい。</li> <li>・パネルヒーターなどの温水暖房がある場合は、温水で外気処理をする。</li> </ul>					
<p><b>⑤冷暖フリーの採用状況</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・寒冷地仕様の冷暖フリーもあるので、採用した実績がある。</li> <li>・イニシャルコストは冷暖切替よりも上がるが、冷暖の使い方に制約がなくなるので、採用することがある。</li> <li>・民間のホテル、病院、テナント物件、個室が多い物件では、冷房と暖房が同時に発生することがあるため、冷暖フリーを採用する。</li> <li>・公共の物件では、冷暖フリーを採用することはなく、冷暖切替を採用する。</li> </ul>					

表2 ビルマルの設計実態に関する回答結果

<p><b>①設計時に参考としている設計基準や資料</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・建築設備設計基準（茶本）、メーカーのカatalog・技術資料</li> </ul>
<p><b>②室内機、室外機の選定方法</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・容量は建築設備設計基準（茶本）に基づき算定する。</li> <li>・室内機、室外機は自社で選定する。</li> <li>・温度条件が特殊な場合には、メーカーと相談のうえ機種を選定する。</li> </ul>
<p><b>③室外機の系統分けの考え方</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平面的に同じ空間、フロア単位で系統分けする。</li> <li>・室の使い方・使用時間・空調時間、同じ室用途、熱負荷のバラツキ、方位を考慮して系統分けする。</li> <li>・系統分けに当たっては、冷媒配管の配管長・高低差も考慮する。</li> <li>・室外機の容量が過大になるのを回避するため、室用途、方位、空調の使用時間を考慮し、ピーク負荷の発生時間が重ならないような組み合わせで系統分けする。</li> </ul>
<p><b>④室外機の部分負荷効率を意識し、実務で考慮していること</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・室外機を選定するうえで、部分負荷効率を考慮することはない。</li> </ul>
<p><b>⑤運用時における室外機の部分負荷効率の調査</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・調査したことはない。</li> <li>・実運用時の効率を調査したことはないが、興味はある。</li> </ul>
<p><b>⑥メーカーが公開している技術情報以外に、設計するうえで公開してほしい情報</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・特になし</li> </ul>
<p><b>⑦設計時に気を付けていること</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・室外機への雪の吹込み等の雪対策、防雪フードの設置。</li> <li>・室外機からのドレン水の排水処理。冬期はドレン水が凍って成長するので、室外機の設置高さを十分確保する。ドレン水が凍らないように、排水部分にマットヒーターを設置する。</li> <li>・室外機のショートサーキットが発生しないような配置とする。</li> <li>・デフロスト運転時の不快感を軽減するため、別系統の室内機を組み合わせる。</li> <li>・デフロスト運転時の不快感軽減や、WEBプログラムで台数制御の評価ができるので、室外機が連結している機種を選定する。</li> <li>・ビルマル用マルチの場合、室外機が故障すると系統全体の空調ができなくなるので、室外機が連結している機種を採用し、故障時に空調が停止するリスクを回避する。</li> <li>・外気温が-25℃でも運転できる機種を選定する。その上で、低外気温時（-15、-20、-25℃）の暖房出力や消費電力を比較し、機種を選定する。</li> <li>・高効率の機種を選定する。ZEBの設計では、容量のダウンサイジングを検討する。ZEBの設計は設備だけでなく、外皮の高断熱化も重要。</li> <li>・公共の設計では、最も効率のよい機種を選定しない。2番目または3番目の機種の能力を採用している。</li> </ul>

②木質バイオマスボイラ

表3に木質バイオマスボイラの採用実態と設計実態に関するヒアリング結果を示す。

まず、採用実態を見ると、「①木質バイオマスボイラを採用したことがある建物用途、規模」については、道内自治体の公共施設に回答が集約された。チップやペレットの木質バイオマス燃料の供給体制が

整備されている道内市町村での設計事例が多かった。

「②木質バイオマスボイラの採用を決定する要因」については、発注者からの要望と回答した設計者が多く、プロポーザルで設計者から提案することもあるといった回答もあった。

「③バックアップボイラや蓄熱槽の採用状況」については、木質バイオマスボイラのトラブル発生時

や負荷追従性を考慮し、バックアップボイラと蓄熱槽は設置するといった回答が多かった。

次に、設計実態を見ると、「①設計時に参考としている設計基準や資料」については、すべての設計者が建築設備設計基準、メーカーの技術資料と回答した。

「②木質バイオマスボイラとバックアップボイラの負荷の負担率」については、要求水準によって考え方が異なった。両者の容量を同じにする場合と、木質バイオマスボイラでベース負荷を処理し、ピーク負荷はバックアップボイラも併用して処理し、木

質バイオマスボイラの容量が過大にならないように設計するといった回答があった。

「③メーカーが公開している技術情報以外に、設計するうえで公開してほしい情報」については、ボイラが海外製のため、日本語の技術資料が欲しいと回答した設計者がいた。

「④設計時に気を付けていること、苦勞した点」については、ボイラが決まると蓄熱槽の容量が指定され設計が制約される、要求される燃料の品質と実際に供給される燃料の乖離、化石燃料の熱源機よりも設計時の検討事項が多いといった回答があった。

表3 木質バイオマスボイラの採用実態と設計実態に関する回答結果

採用実態	①木質バイオマスボイラを採用したことがある建物用途、規模 ・道内自治体の公共施設（庁舎、学校、病院など）
	②木質バイオマスボイラの採用を決定する要因 ・発注者からの要望 ・要件があればプロポーザルで設計者から提案することもある
	③バックアップボイラや蓄熱槽の採用状況 ・トラブル発生時などを考慮し、バックアップボイラは設置する。 ・木質バイオマスボイラは負荷追従性が低いので、蓄熱槽を採用する。 ・メーカーから蓄熱槽の設置を推奨されることがある。蓄熱槽の容量はボイラの機器容量で決まる。 ・蓄熱槽を設置しないこともある。
設計実態	①設計時に参考としている設計基準や資料 ・建築設備設計基準（茶本）、メーカーの技術資料
	②木質バイオマスボイラとバックアップボイラの負荷の負担率 ・木質バイオマスボイラにトラブルが発生し停止した場合、バックアップボイラのみで負荷を処理する必要がある、リスク回避のために木質バイオマスボイラとバックアップボイラの容量は同じ大ききとする（それぞれのボイラで100%の負荷を処理できるようにする）。 ・周期定常計算を行い、ベース負荷を木質バイオマスボイラで処理し、ピーク負荷時は木質バイオマスボイラとバックアップボイラを併用して負荷を処理し、木質バイオマスボイラの容量が過大にならないような設計をした。
	③メーカーが公開している技術情報以外に、設計するうえで公開してほしい情報 ・日本語で書かれた技術資料 ・代理店から設計に必要な情報は入手することができたので、特に問題はなかった
	④設計時に気を付けていること、苦勞した点 ・ボイラを選定するうえでは、メーカーとの協力が不可欠である。 ・ボイラが決まると、蓄熱槽の容量まで指定されることがあり、設計が制約されることがあった。 ・ボイラメーカーが限られている。 ・メーカーが指定するチップの品質と、実際に供給されるチップの品質に乖離があり、苦慮した。 ・サイロの設置、燃料搬入時のトラックの経路、燃料搬送用のコンベアの勾配の検討など、化石燃料の熱源機よりも設計時の検討事項が多い。 ・木質バイオマスボイラは海外製のため、日本と電圧が異なるので変圧トランスが必要であった。

(2) 実建物における測定の課題

1) パッケージ形空調和機

パッケージ形空調和機の部分負荷効率を求めるためには、処理熱量の測定が必要である。試験室における処理熱量の測定法では、室内機及び室外機の風量や冷媒流量等を測定するが、実建物では測定できないことが多い。このため、実建物に適した処理熱量の測定法が必要である。

処理熱量の主な測定法には、室内側空気エンタルピー法(室内 AE 法)、室外側空気エンタルピー法(室外 AE 法)、冷媒エンタルピー法 (RE 法)、コンプレッサカーブ法 (CC 法) 等がある。表 4 に各測定法の特徴を示す。

① 室内 AE 法

室内 AE 法は、室内機の吹出し口と吸込み口の空気温湿度、吸込み風量から熱量を算出する方法である。すべての室内機で空気温湿度と風量の測定が必要となるが、空気温湿度は安価で長期間測定可能な小型温湿度計を用いれば、コストを削減して測定ができる。このため、室使用者の迷惑にならないように、安価で長期間の風量測定が可能となれば、実建物でも適用できる測定法である。

② 室外 AE 法

室外 AE 法は、室外機の吹出し口と吸込み口の空気温湿度、吹出し風量から熱量を算出する方法であ

る。外乱の影響を受けるため、測定精度の確保に課題があり、実建物における測定法として適用するのは難しい。

③ RE 法

RE 法は、室外機出入口における冷媒の温度と圧力から求めたエンタルピー差、冷媒の質量流量から熱量を算出する方法である。測定に必要なセンサの数は少なく済むが、一般的に冷媒配管系統は中央監視装置の常時測定の対象ではないことが多く、測定環境を新たに整備する必要がある。また、流量計等のセンサを配管内に設置するにあたり、新築建物では設計及び施工時に調整すれば設置は可能であるが、既存建物では工事を伴うため設置が難しい。このため、超音波流量計により配管の外側から冷媒流量を測定した事例もあるが、冷媒に気泡が混入している状態では測定不能であるため、測定精度に課題がある<sup>2)</sup>。

④ CC 法

CC 法は、圧縮機の電源周波数、入口圧力、出口圧力、消費電力等から得られる回帰式により冷媒流量を求め、室内機出入口における冷媒のエンタルピー差から熱量を算出する方法である。CC 法はメーカー独自に開発された方法であり、汎用性に欠けることや、測定法のブラックボックス化が問題として指摘されている<sup>3)</sup>。

表 4 処理熱量の測定法の特徴<sup>1)</sup>

名称	必要なデータ	長所	短所
①室内側空気エンタルピー法 (室内 AE 法)	吹出し口空気温湿度 吸込み口空気温湿度 吸込み風量	・外乱の影響を受けにくい	・室内に入る必要があり、室使用者の迷惑になる可能性がある ・室内機毎に測定器が必要 ・風量の測定が困難
②室外側空気エンタルピー法 (室外 AE 法)	吹出し口空気温湿度 吸込み口空気湿度 吹出し風量	・室内に入る必要がないため、室使用者の迷惑にならない	・外乱の影響を受ける ・風量の測定が困難 ・湿度の測定が困難
③冷媒エンタルピー法 (RE 法)	凝縮温度、蒸発温度 過熱度、過冷却度 冷媒流量	・必要なセンサの数が少ない ・室内に入る必要がないため、室使用者の迷惑にならない	・冷媒流量の測定が困難かつ煩雑 ・熱量の推定には、冷媒回路図の理解が必要
④コンプレッサカーブ法 (CC 法) など (メーカーによる推定法)	凝縮圧力相当飽和温度 蒸発圧力相当飽和温度 INV 圧縮機回転数 など	・実 COP±10%の精度で算出可能 ・追加の測定器の設置が不要 ・遠隔監視が可能	・メーカーの全面的な協力が必要 ・メーカー以外には回帰式の詳細が分からず、汎用性に欠ける ・すべての機種に対して適用できるわけではない

以上の特徴を踏まえ、条件や目的に応じて測定法を選択する必要がある。本研究では、新築・既存建物でも長期間の測定が可能であることを条件とし、室内 AE 法を用いて実建物における測定法を検討する。

## 2) 木質バイオマスボイラ

木質バイオマスボイラの部分負荷効率を求めるためには、ボイラ製造熱量（熱出力）と燃料消費量の測定が必要である。

ボイラ製造熱量は、熱量計を用いて測定することが可能である。配管内に熱量計を設置するため、設計施工時の調整が必要となるが、精度よく測定可能である。また、温水の流量、行き還り温度差を測定し、計算で熱量を算出することも可能である。流量は超音波流量計を用いることで配管の外側から測定可能であり、温水温度についても熱電対等の温度センサを配管の外側に設置することで、おおよその測定が可能となる。

一方で、チップやペレットの燃料消費量は、購入量で代用することが多い。購入量は一般的にトラックスケール等で測定した値である。このため、ボイラに投入される燃料の時間変動を測定するための測定法がなく、新たに開発する必要がある。

## 3. 部分負荷効率の測定法の開発

### (1) パッケージ形空気調和機

#### 1) 室内機の吸込み風量の測定法検討

##### ①測定の課題

前述したとおり、本研究では室内 AE 法を用いて処理熱量を測定するが、室内機の吸込み風量の測定に課題がある。本章では、ビル用マルエアコンを対象として、その測定法を検討する。

ビル用マルエアコンは、1 台の室外機に複数台の室内機が接続される。同じ空間に設置された室内機であっても、空調負荷が異なると、吸込み風量は同じにならない場合がある。このため、それぞれの室内機で風量の同時測定が必要である。

室内機の風量設定を固定すれば、吸込み風量は定

風量となるため、フード付き風量計等を用いて実風量を測定することができる<sup>4)</sup>。しかし、実運用では、室使用者により風量は固定に設定されるとは限らないため、変風量に対応した測定が必要である。測定法のひとつとして、熱線風速計を用いる方法があるが、測定精度を高めるためには吸込み口に気流安定板を設置する必要がある<sup>1)</sup>、室使用者の迷惑になる可能性がある。また、風速計の使用には電源が必要であり、実建物の測定では、電源の確保が難しい場合もある。

##### ②測定概要

本研究では、室内機のファン等を含む電流の測定値から風量を推定する手法を検討する。写真 1 に室内機の電流測定の様子を示す。室内機は、ビル用マルエアコンの主たる室内機形状である天井カセット型を対象とした。北方建築総合研究所の執務室に設置された室内機を対象に、フード付き風量計を用いて弱風、強風、急風、H 急風の 4 段階の風量と、クランプ式電流センサを用いて各風量における室内機の電流を測定した。電流の測定値は、乾電池で稼働する小型ロガーに記録した。



写真 1 室内機の電流測定の様子

##### ③測定結果

図 1 に暖房運転時に測定した室内機の電流と吸込み風量の関係を示す。測定は同じ機種 of 室内機 2 台を対象に行った。室内機の電流にはファン以外も含まれているが、ファンの電流が大半を占めるため、風量が大きくなると電流も大きくなり、両者には相

関が見られた。測定値から近似曲線を作成したところ、相関係数の高い近似曲線を作成することができた。これより、電流を測定することで、室内機の変風量の推定が可能となった。

また、室内機の機種が同じであれば、近似曲線はほとんど同じであった。これより、同一系統に同じ機種の室内機が複数台ある場合には、すべての室内機を対象に近似曲線を作成する必要はなく、どれか1台を対象に作成すればよい。天井カセット型以外の室内機の形状については、今後の検討課題とした。

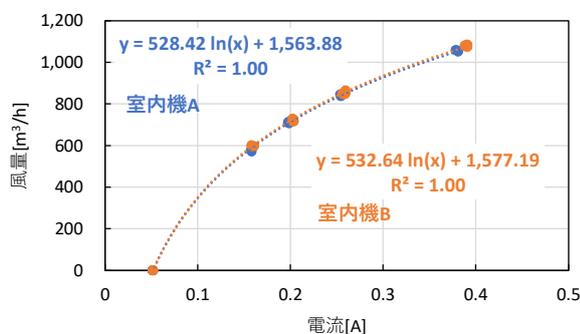


図1 室内機の電流と吸込み風量の関係  
(暖房運転時)

## 2) 部分負荷効率

### ①測定概要

前章で風量の測定法を検討したビル用マルチエアコンを対象に、暖房運転時の効率を測定した。

図2に測定概要を示す。定格暖房能力11.2kWの室外機と定格暖房能力6.3kWの室内機(天井カセット型)を2台接続し、執務室の空調を行っている。執務室には、主暖房としてパネルヒーターによる温水暖房があるため、測定ではエアコンの稼働率を上げるために、設定温度をやや高め、24°C、室内機の風量は自動に設定した。なお、測定を行ったビル用マルチエアコンは寒冷地仕様ではない。

測定は2025年1月24日～3月5日の期間において12日間行い、エアコンは日中に間欠運転した。室内機の空気温湿度の測定には、小型温湿度ロガーを用いた。吹出し口空気温湿度は4か所ある吹出し口

のうち1か所で測定し、吸込み口空気温湿度はグリル中央で測定した。また、室内機の電流、室外機の電力消費量も測定した。測定間隔は1分とし、以降の分析では1分瞬時値の結果を示す。気象データは、敷地内に設置された気象観測装置による観測値を用いた。

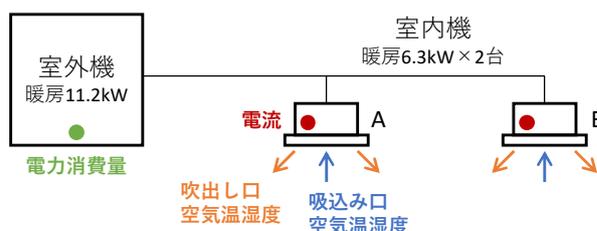


図2 測定概要

### ②測定結果

測定期間における代表日として、図3(a)～(d)に2025年2月3日の測定結果を示す。

室内機の空気温湿度を見ると、室内機AとBの空気温湿度の推移はほとんど同じであり、吹出し口からは空気温度24～43°C、湿度10%以下の空気が出ている。吸込み口には空気温度20～29°C、湿度10～16%の空気が入っている。また、室外機の熱交換器に付着した霜を除去するため、デフロスト運転が4回発生し、その時、吹出し口の空気温度は25°C前後まで低下したが、吸込み口の空気温度はデフロスト運転前後で変わらなかった。

室内機の吸込み風量は、室内機の電流の測定値を図1の近似曲線に代入して求めた。風量は室内機AとBともに負荷に応じて600～800m³/hの範囲で変動し、デフロスト運転時には200m³/h程度まで低下した。

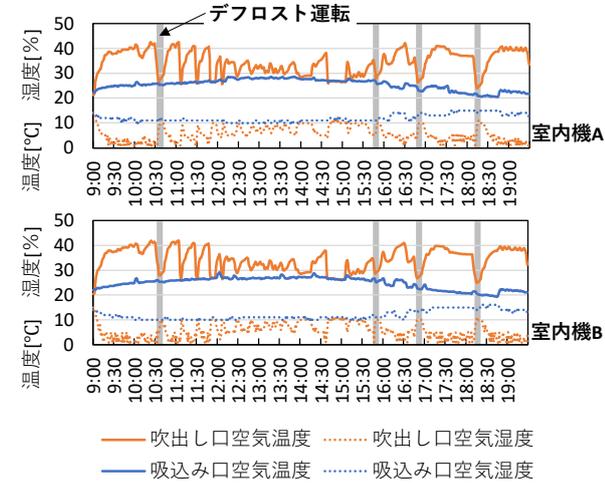
処理熱量は、吹出し口空気と吸込み口空気のエンタルピー差に吸込み風量を乗じて算出した。外気温に応じて処理熱量は変動し、室内が設定温度に達したため室外機が停止し、処理熱量が0になる時間帯もあった。室内機AとBの処理熱量を合計した最大値は10.4kWであった。

デフロスト運転時及び処理熱量が0になる時間帯を除くと、COPは2~3.5であった。デフロスト運転時のCOPは大きく低下し、稼働時で平均すると2.3であった。測定したビル用マルチエアコンの暖房運転時の定格COPは4.57であるので、定格の半分程

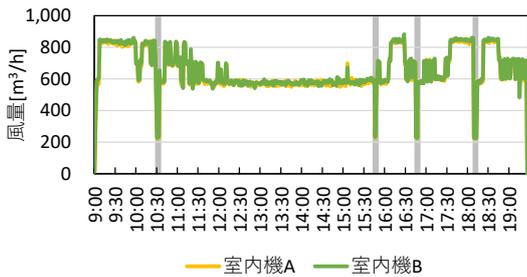
度の効率しか発揮されていなかった。

図4に外気温別の部分負荷効率を示す。負荷率は処理熱量を室外機の定格能力で除して算出した値である。図中には測定を行った12日間のデータをプロットした。低負荷率運転ではCOPが低下し、また外気温が低下すると、COPは低下した。

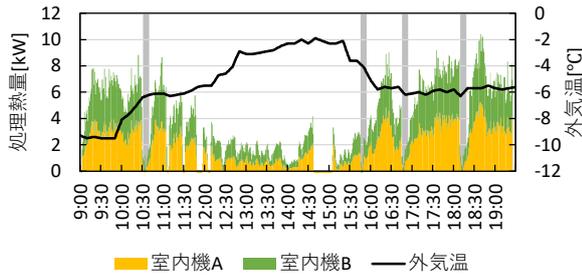
表5に測定を行った12日間の平均外気温、負荷率、COPの結果を示す。平均外気温は-5.4℃~1.6℃、室外機の平均負荷率は0.3~0.6、平均COPは2.1~2.8であった。



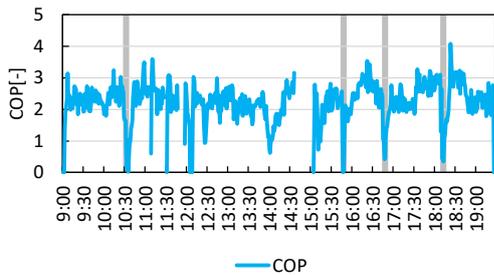
(a) 吹出し口・吸込み口空気温度湿度



(b) 室内機の吸込み風量

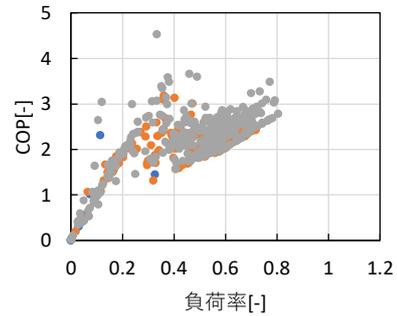


(c) 処理熱量・外気温

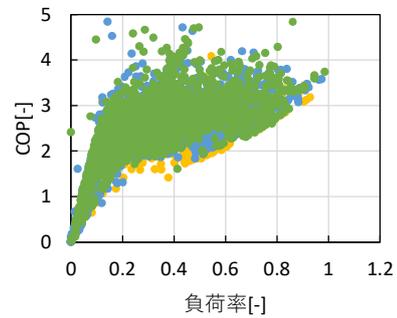


(d) COP

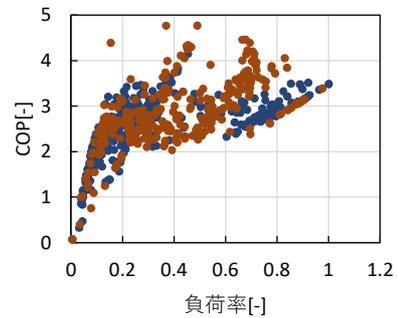
図3 代表日における測定結果 (2025/2/3)



(a) 外気温-6℃未満



(b) 外気温-6℃以上、0℃未満



(c) 外気温0℃以上

図4 外気温別の部分負荷効率

表5の結果から、平均COPと平均外気温の関係を図5に示す。外気温が低下すると、COPも低下し、平均外気温が-5°Cになると、平均COPは2.2まで低下した。

次に、デフロスト運転の発生条件を考察する。図6にデフロスト運転発生時の外気温と相対湿度の関係を示す。測定期間において、デフロスト運転は40回発生した。外気温が0°C以下、相対湿度50%以上の条件で発生しているのが分かる。

図7にデフロスト運転発生時の外気温と継続時間の関係を示す。デフロスト運転は2~6分間継続したが、外気温との相関はあまり見られなかった。デフロスト運転は、空調稼働時における外界条件の履歴も影響すると考えられるので、この点については、今後の検討課題としたい。

表5 各測定日における平均外気温、負荷率、COP

測定日	外気温[°C]	負荷率[-]	COP[-]
2025/1/24	-1.6	0.3	2.5
2025/2/3	-5.4	0.4	2.3
2025/2/4	1.6	0.4	2.8
2025/2/5	-1.4	0.4	2.6
2025/2/6	-0.8	0.4	2.8
2025/2/11	-1.1	0.6	2.7
2025/2/18	-2.9	0.4	2.5
2025/2/19	-2.3	0.3	2.4
2025/2/20	-4.2	0.3	2.1
2025/2/21	-3.7	0.3	2.2
2025/3/4	-4.7	0.4	2.4
2025/3/5	-3.0	0.4	2.4

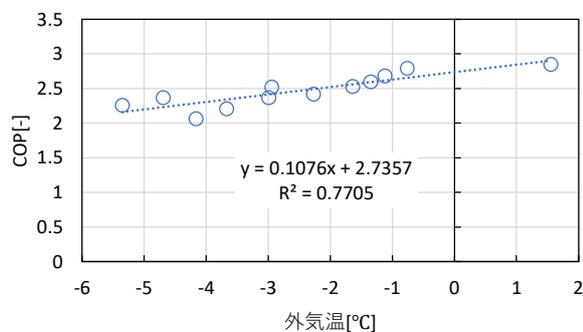


図5 平均COPと平均外気温の関係

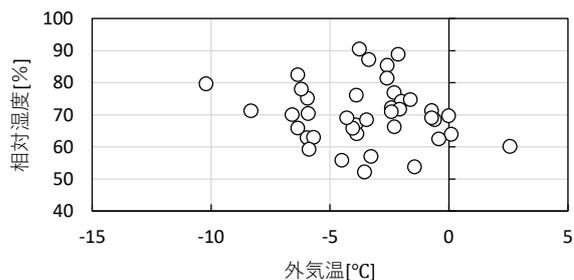


図6 デフロスト運転発生時の外気温と相対湿度

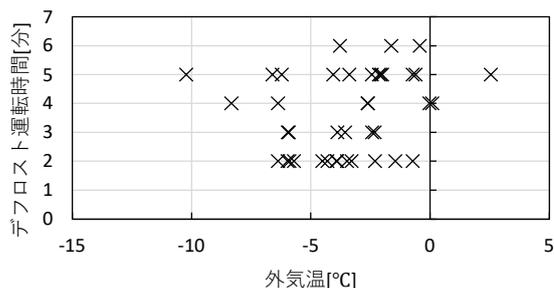


図7 デフロスト運転発生時の外気温と継続時間

## (2) 木質バイオマスボイラ

### 1) チップ消費量の測定法検討

#### ①測定概要

前述したとおり、木質バイオマスボイラの部分負荷効率を測定するためには、チップやペレットの燃料消費量が必要である。重油、ガス、電力は、それぞれ測定器があり、消費量を測定することが可能であるが、木質バイオマス燃料の消費量を測定できる測定器はない。このため、本研究では、チップボイラを対象として、時々刻々と変化するチップ消費量の測定法を検討する。

チップボイラでは、サイロに貯蔵されたチップは、スクリーコンベアを通して、ボイラ炉内に供給される。炉内に供給されるチップは、スクリーコンベアの稼働時間によるため、ここでは、スクリーコンベアのギア部において、時間当たりのギアの稼働量（通過する歯の数）を光電式回転検出器で測定し、その時、炉内に供給されるチップの重量を測定する。測定は、道内の学校に設置された木質バイオマスボイラを対象に実施した。図8に測定概要、写真2に光電式回転検出器による測定の様子を示す。

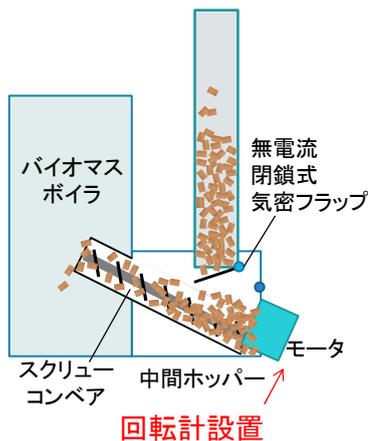


図8 測定概要

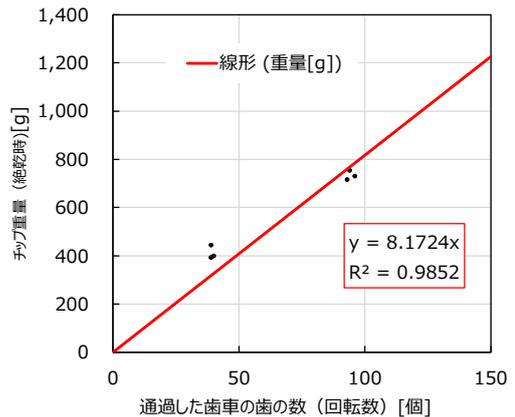


図9 チップ重量と回転数（通過した歯車の歯の数）の関係



写真2 光電式回転検出器による測定の様子

## ②測定結果

図9にチップ重量と回転数（通過した歯車の歯の数）の関係を示す。ボイラ稼働時において、スクリューコンベアは5秒未満程度の短時間の稼働と停止を繰り返して稼働している。このため、図中では、スクリューコンベアを5秒、10秒稼働した時の結果を示している。また、チップ重量は水分によって変化するため、乾燥させた絶対乾時の重量に換算した。

スクリューコンベアが5秒回転すると、回転数は40程度でチップ重量が410g程度、10秒回転すると、回転数は94程度でチップ重量が730g程度となった。図9から分かるように、回転数が大きくなると、ボイラ炉内に供給されるチップ重量も増加し、両者には高い相関関係が見られた。つまり、回転数を測定し、図9に示す近似曲線を用いることで、チップ消費量の推定が可能となった。

## 2) 部分負荷効率

### ①測定概要

チップ消費量の測定法を検討したチップボイラを対象に、部分負荷効率を測定する。ボイラ製造熱量は温水温度と流量の測定値から算出した。温水温度は配管の表面にT型熱電対を設置し、流量は超音波流量計を用いて測定した。測定は2024年1月19日～2月9日に行い、測定間隔は1分とした。以降の分析では1時間平均した結果を示す。

### ②測定結果

図10にチップ消費量を示す。図中の消費量は、図9の近似直線から推定した絶対乾時の重量である。最大で1時間あたり約120kgのチップが炉内に投入され、消費されていた。

図11にチップ熱量、ボイラ製造熱量、効率を示す。チップの熱量は水分29.2%（測定値）として算出した値であり、最大で400kWh程度であった。ボイラ製造熱量は、最大で380kWh程度であった。ボイラ製造熱量をチップ熱量で除して算出した効率は、日平均で70～80%程度であった。

図12に部分負荷効率を示す。負荷率はボイラ製造熱量をボイラの定格出力（401kW）で除して算出した値である。負荷率が0.1を下回るような低負荷率では、効率は40%以下となり低いが、負荷率が大きくなると、ややバラツキはあるが、効率は高くなった。

以上より、チップボイラの部分負荷効率の実態を測定することが可能になった。

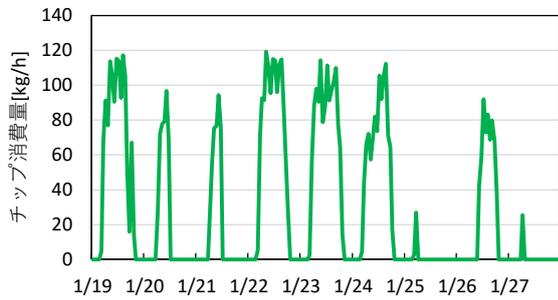


図 10 チップ消費量（絶乾重量）

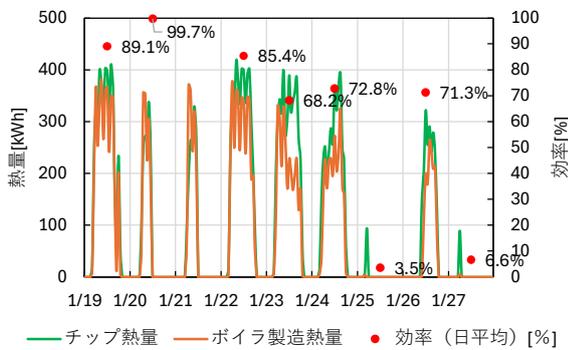


図 11 チップ熱量、ボイラ製造熱量、効率

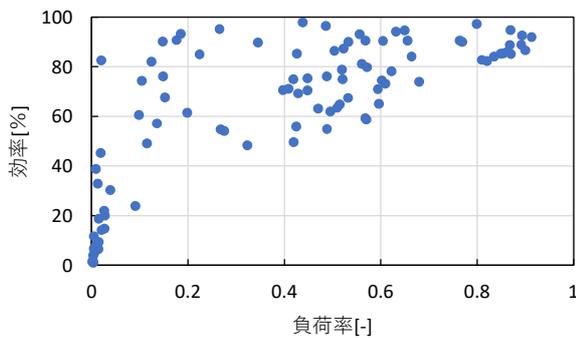


図 12 部分負荷効率

### 3) 開発した測定法の適用性の検証

国内で導入されているチップボイラの多くは海外製であり、ボイラメーカーにより構造が異なる。このため、開発したチップ消費量の適用性を検証するため、道内の公共施設に設置された別メーカーのボイラ（定格出力 180kW）を対象に、2024 年 12 月 6～

8 日に追加調査を実施した。

写真 3 に光電式回転検出器による測定の様子、図 13 にチップ重量と回転数の関係を示す。図 9 では、スクリーコンベアのギアの稼働量（通過する歯の数）を測定したため、同様の測定を試みたが、ギアにオイルがこびり付いていたため、うまく反射光を検出できず、回転数の測定ができなかった。このため、スクリーコンベアが稼働する際に回転する六角ボルトに光を当てたところ、うまく反射光が検出できたため、図 13 ではその回転数と炉内に供給されるチップ重量の関係を示している。回転数が大きくなると、チップ重量も増加し、両者には高い相関関係があった。



写真 3 光電式回転検出器による測定の様子

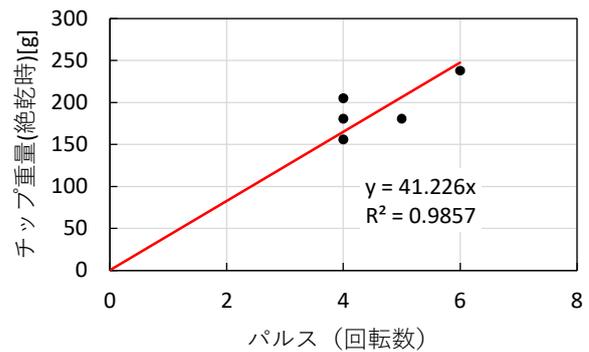


図 13 チップ重量と回転数の関係

図 14 にチップ消費量を示す。図中の消費量は、図 13 の近似直線から推定した絶乾時の重量である。最大で 1 時間あたり約 50kg のチップが炉内に投入され、消費されていた。追加調査したボイラは、前述した木質バイオマスボイラとは異なり、ON/OFF 運

転を行う機種である。このため、図 10 とは異なり、チップ消費量の時間変動が大きくなっている。

図 15 に部分負荷効率を示す。図中では 1 時間平均した値をプロットしており、チップの水分は 25.8% (測定値) で算出した結果である。当該ボイラは、ON/OFF 運転で稼働していたため、図 12 の部分負荷効率とはやや傾向が異なる結果となった。測定期間が短いため、データ数は限られているが、負荷率が 0.6 の時に効率は 50% 程度となった。

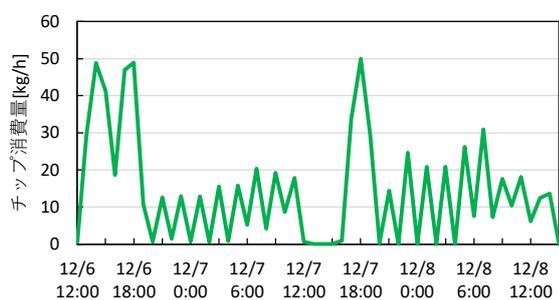


図 14 チップ消費量 (絶乾重量)

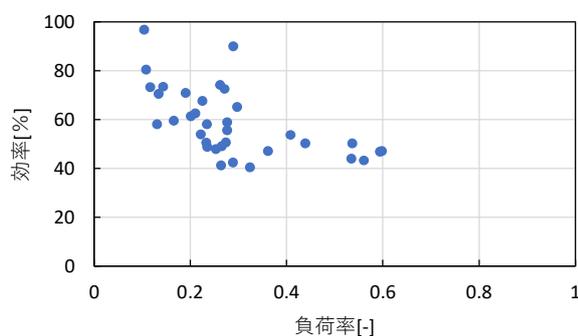


図 15 部分負荷効率

#### 4. まとめ

本研究では、パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラを対象に、熱源機器の効率的な運用のために必要となる部分負荷効率について、実建物での測定法を開発した。以下にまとめを示す。

- ・ 道内で機械設備設計の業務を行っている設計者を対象にヒアリング調査を実施し、パッケージ形空気調和機及び木質バイオマスボイラの採用実態と設計実態を把握した。
- ・ パッケージ形空気調和機については、ビル用マ

ルチエアコンの天井カセット型の室内機を対象とした風量の測定法を開発した。この測定法を用いて、室内側空気エンタルピー法に基づき、実運用時における部分負荷効率の実態を明らかにした。

- ・ 木質バイオマスボイラについては、燃料供給時に稼働するスクリーコンベアのギア等の回転部に光電式回転検出器を設置し、その回転数からチップ消費量の測定法を開発した。この測定法を用いて、道内に設置されたチップボイラを対象に、実運用時における部分負荷効率の実態を明らかにした。

実運用時の部分負荷効率を明らかにすることは、熱源機の運転管理のみならず、設計時の適切な機器選定のためにも不可欠である。このため、本研究で開発した測定法及び部分負荷効率に関する知見は、今後の道内自治体の公共施設の ZEB 化に向けた設計支援等で活用していく。

#### [参考文献]

- 1) 空気調和・衛生工学会：ビル用マルチパッケージ型空調システム－計画・設計から性能評価まで－，丸善出版株式会社，2021
- 2) 花崎ら：業務用マルチエアコンの製造熱量の簡易計測手法に関する研究，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.277-280，2016
- 3) 山口ら：冷媒エンタルピー法を応用したヒートポンプ熱量計測技術の確立および水冷ヒートポンプを用いた検証試験，日本建築学会環境系論文集，Vol.79，No.702，pp.689-697，2014
- 4) 松田ら：個別分散空調システムの解析・評価手法の高度化に関する研究 第 5 報，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.193-196，2022