

第3章 中央式空調システムの実使用条件下における特性計測

業務用建築の実態に即した省エネルギー性能評価を確立するためには、導入されている設備の実際の挙動を考慮した性能を把握する必要がある。業務用建築物に導入される設備の中でも、空調設備については、構成する機器が熱源機、補機類、空調機等多岐にわたり、システムとしての挙動とエネルギー消費特性を把握することは容易ではない。しかし、空調設備システムの省エネルギー性能評価を確立するためには、実使用条件下における熱源機等の稼働状況に応じた処理熱量とエネルギー消費量のデータが欠かせない。

本章では、中央式空調設備を対象として、中規模建物2棟において、実使用条件下における熱源等のエネルギー消費量と供給熱量のデータを分析し、熱源機等の運転状況と対応した特性を整理するとともに、空調システムの効率について検討を行った結果についてとりまとめている。

3.1 建物Aにおける熱源性能・負荷に関する検討

本節では、国土交通省国土技術政策総合研究所旭庁舎(以下、建物A)の空調用熱源性能ならびに空調負荷に関する検討を行う。前章で示したように、業務用建築物はテナントビルの場合、計測対象とすることが難しい場合があること、また、自社ビルで監視業務によりデータが取得されても、都合の悪いデータは省いて提出される場合があるなど、特性を明らかにするための計測に限界があることが多い。そこで、本研究実施主体である国土技術政策総合研究所を対象として、公平な観点で計測を行うこととした。

3.1.1 空調システムの概要

図3.1.1に建物Aの空調・熱源システムの概要を示す。建物A(図3.1.1では「総研本館」と表記)で使用される空調用の熱は、実験棟3棟および独立行政法人土木研究所にも熱を供給するエネルギーセンターから供給される。エネルギーセンターには、ガス焚蒸気ボイラー4台、熱交換器2台、吸収式冷凍機2台があり、冬期はボイラーからの蒸気を熱交換した温水により暖房を、夏期には吸収式冷凍機を用い蒸気を熱源として作成した冷水により冷房を行っている。また、ボイラーからの蒸気は各棟の空調(加熱・加湿)、厨房、貯湯槽の加熱にも利用されている。また、この他に冷温水発生機2台が恒温恒湿室の冷房用に24時間連続稼働しているが、一般空調の使い方ではない(実験用途)ことから、本節の検討から除外する。

図3.1.2は熱源システムの系統の概要である。ボイラー4台で作成した蒸気は、夏期は吸収式冷凍機2台にそのままの圧力で、各棟には減圧して供給される。また、冬期は減圧して熱交換器2台および各棟に供給される。吸収式冷凍機2台で作成された冷水ならびに熱交換器からの温水は、各棟の空調のために供給されるが、冷温水の同時供給は行えないため、冬期は吸収式冷凍機が、夏期には熱交換器が休止することになる。

冬期の一般的な熱源機器の運用としては、平日の日中に2台、平日夜間および休日に1台のボイラーが稼働し、平日朝方の立ち上がり時(7時~9時程度)に2台、それ以降19時まで

1台の熱交換器を用いて温水を供給している。熱交換器は平日夜間ならびに休日は使用されていない(平日夜間ならびに休日はボイラー1台による蒸気供給のみとなり、各棟の空調は停止することになる)。以上を4台のボイラー、2台の熱交換器で順繰りに担当するように運用される。

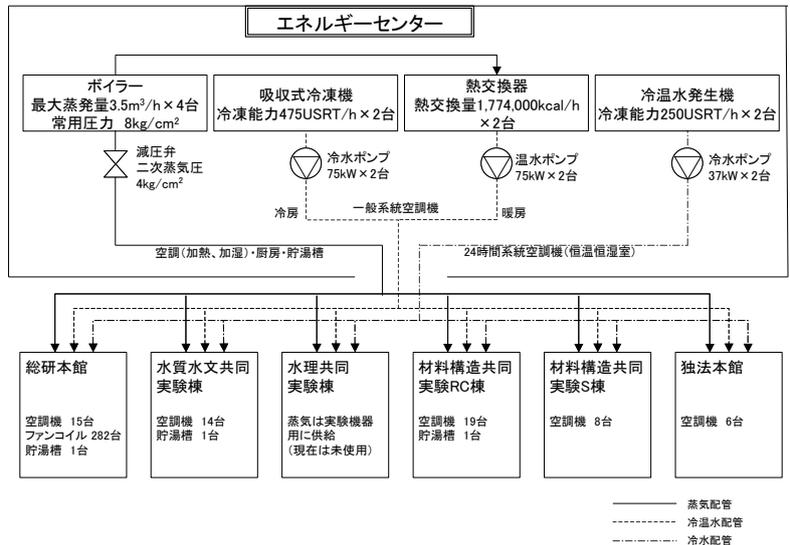


図3.1.1 空調熱源システム概要

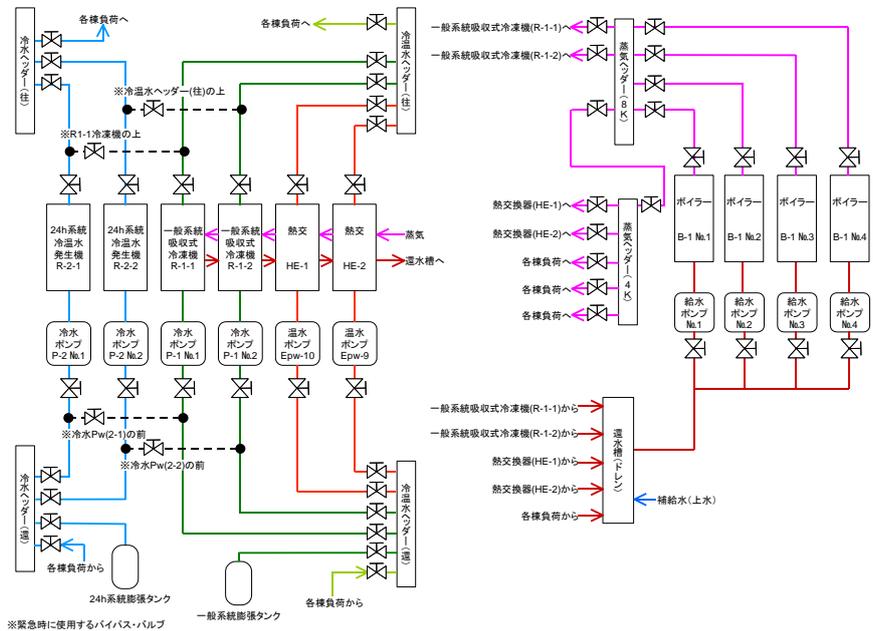


図3.1.2 熱源システム系統概要

熱源機器の運転状況はエネルギーセンターで常時監視され、8kヘッダにおける蒸気圧、各棟へ供給される冷温水流量、冷温水熱量、冷温水往還温度等が1時間間隔で自動記録されている。また、ボイラーで消費するガス量は、1、2時間おきに目視によるカウンタの読み取りにより記録されている。一方、各機器が消費する電力量、蒸気温度等の記録はない。

3.1.2 測定結果の分析

2009年1月18日～3月21日にエネルギーセンターで記録したデータをもとに、冬期暖房運転時の建物A等の空調用熱源性能ならびに空調負荷に関する分析を行った。

(1) 分析データ

経時データを図3.1.3～図3.1.11に示す。図中aに外気温度、図中bにボイラーと熱交換器の運転状況をバーで示している。cはボイラー4台のガス使用量の、dは温水による供給熱量時間積算値の推移を示す。

eにはボイラーでの燃焼によるガスの発熱量と温水供給熱量の合計値を示すが、ガスの発熱量の換算には、エネルギー源別標準発熱量表2005年度改訂版に記載されている都市ガス12A13Aの総発熱量(高位発熱量)45.6MJ/m³(N)に、低位発熱量と高位発熱量の比0.90を乗じた、真発熱量(低位発熱量)に相当する41.0MJ/m³(N)を使用した。

fには温水供給熱量とガス発熱量の比の経時変化を示している。

(2) ガス使用量

ボイラーの運転は、基本的には、平日は主運転機が朝7時半(月曜等は30分前倒し)～翌朝9時、副運転機が朝9時～夕方19時の間となっている。また、休日は朝9時～翌朝9時を1台で運転するのが基本となっている(図中b)。図中cにはボイラー各機のガス使用量の推移が示されているが、主運転機は変化が比較的少ない推移を示すのに対し、副運転機(9時～19時)では稼働直後に多くのガスが燃やされ、その後徐々に低下していく状況が見られる。これは主副により制御方法が異なることを示していると思われる。ボイラー4台の合計では、平日朝方の暖房運転開始時にピークが発生しており、400～600m³程度のガスを1時間に消費している。平日日中には200m³前後で推移し、暖房運転が停止する(蒸気供給のみとなる)休日では1時間あたり80m³程度のガス消費量となっている。

(3) 温水供給熱量

暖房運転開始時は研究本館(建物A)への温水供給熱量が非常に大きいですが、時間が経つにつれ急激に小さくなり、材料構造棟を下回るようになる。2棟の実験棟は暖房開始のピーク時と日中の差が小さいことが分かる。独法本館については熱量自体は小さいものの、時間推移は研究本館に似た形状を示す(図中d)。

各棟の日積算値を示した図3.1.12、図3.1.13によると、研究本館(建物A)に供給される熱量は4割前後であり、材料構造棟に供給される4～5割と同等である。一方、独法本館に温水供給される熱量は1割前後であり、水質水文棟と同等か下回る程度となっている。

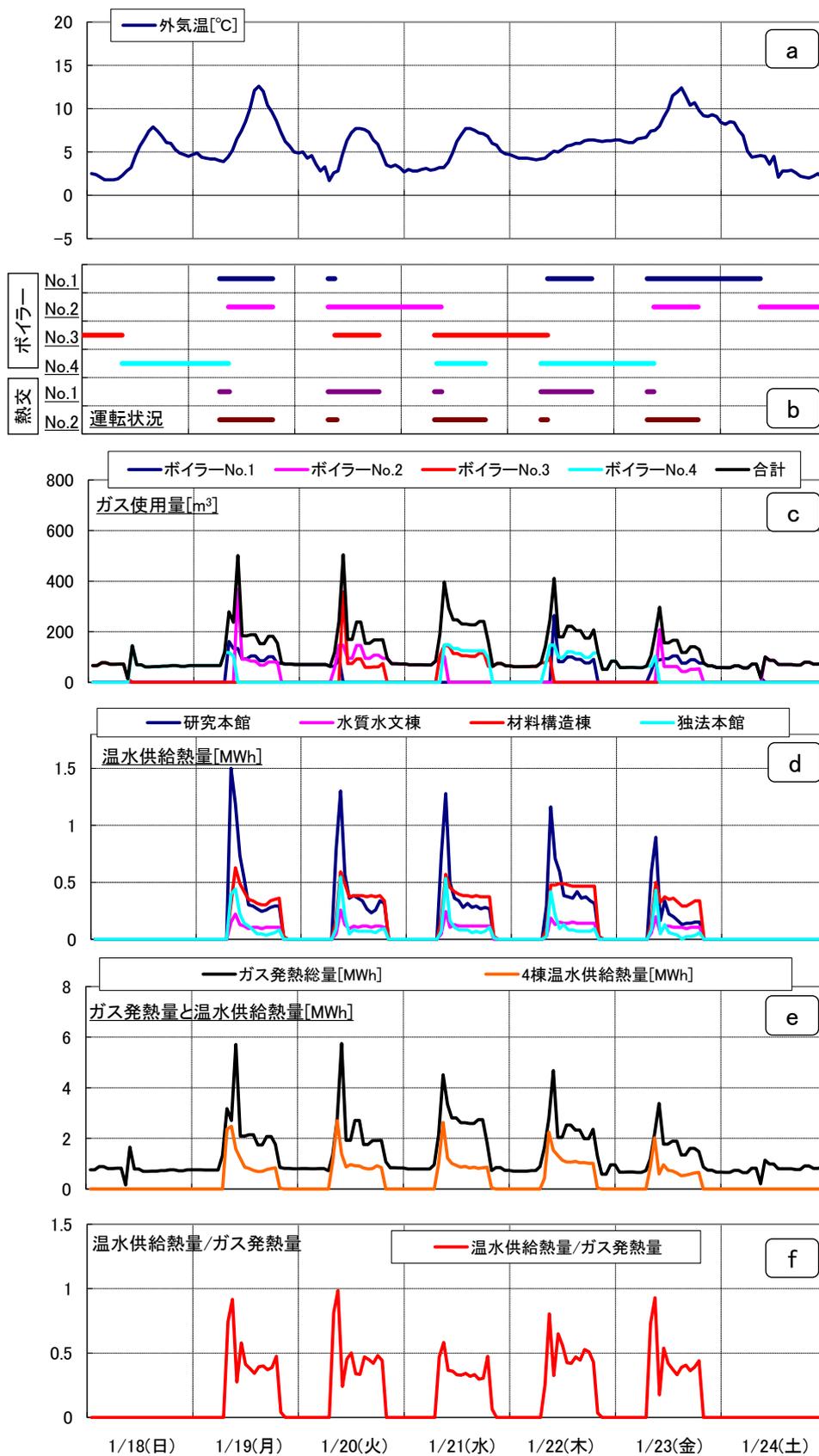


図3.1.3 計測分析結果(2009/1/18~1/24)

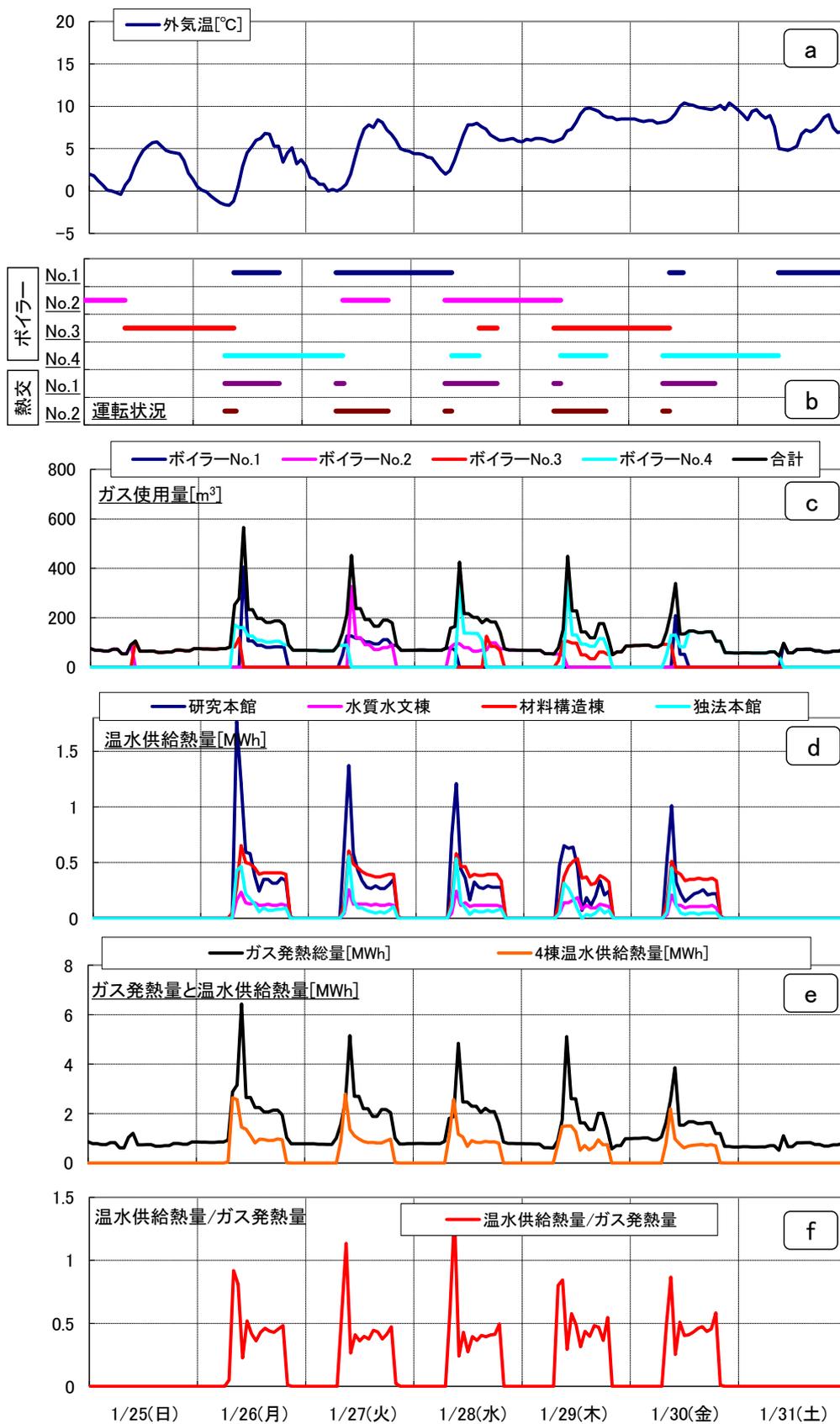


図3.1.4 計測分析結果(2009/1/25~1/31)

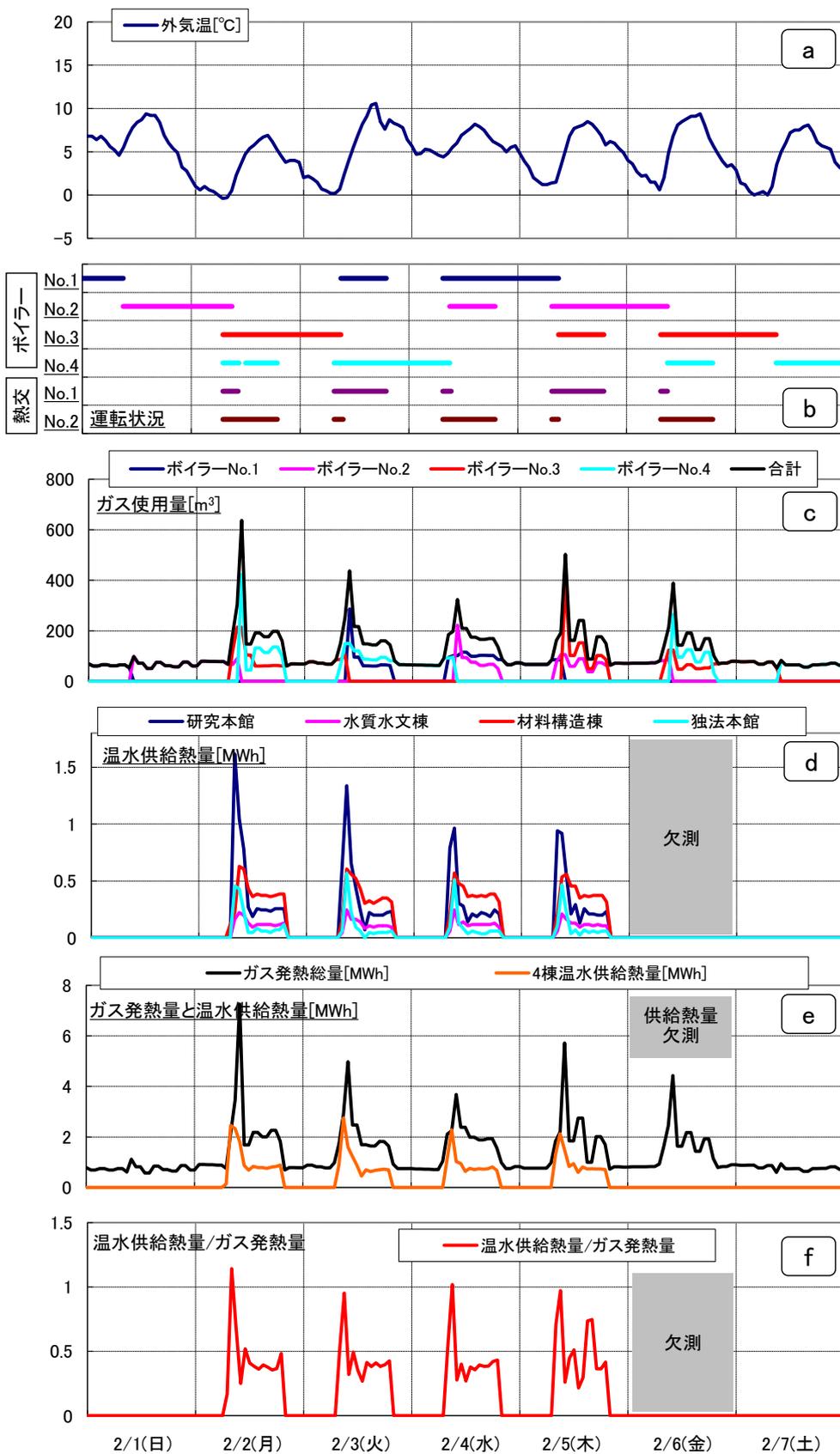


図3.1.5 計測分析結果(2009/2/1~2/7)

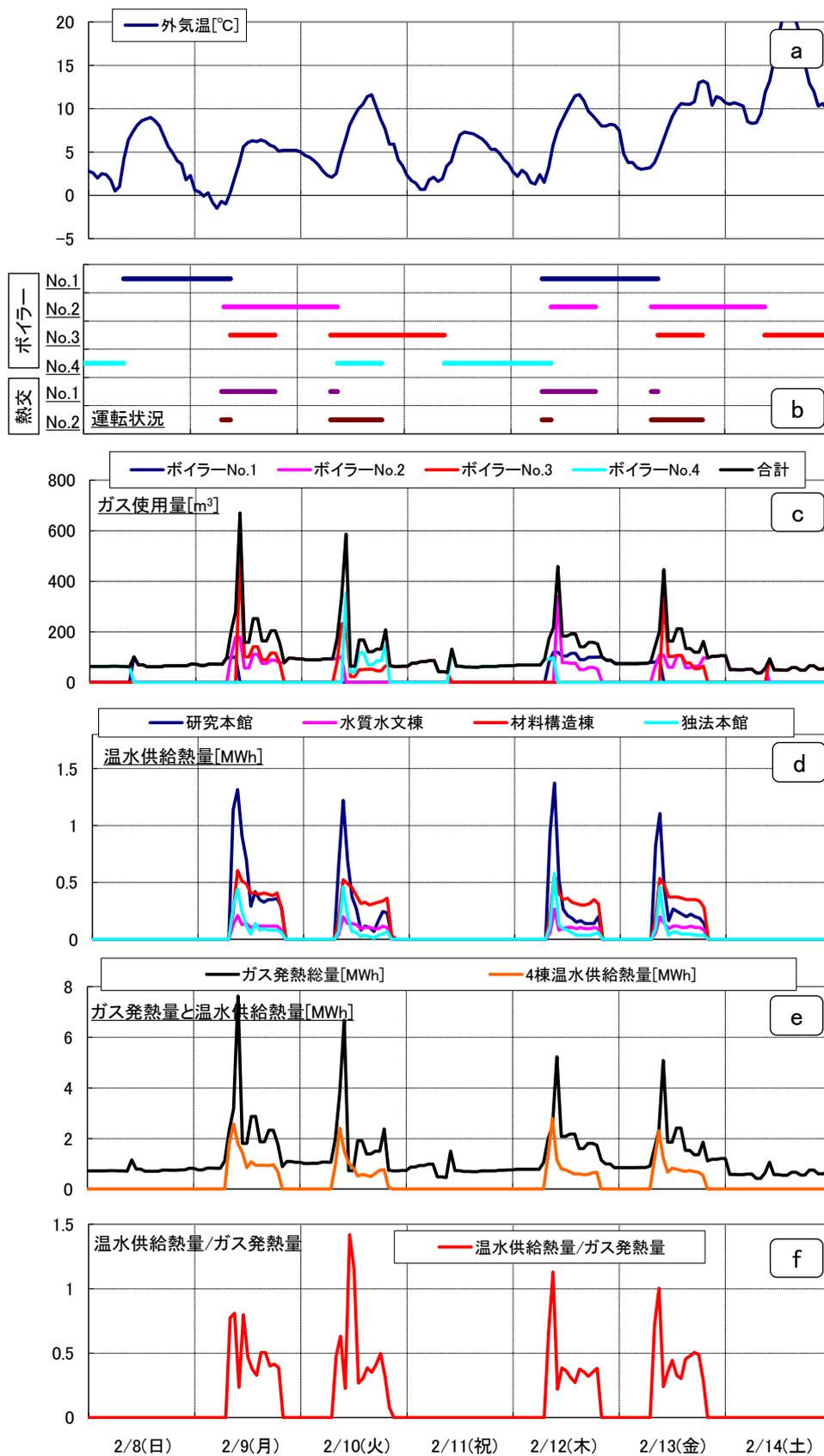


図3.1.6 計測分析結果(2009/2/8~2/14)

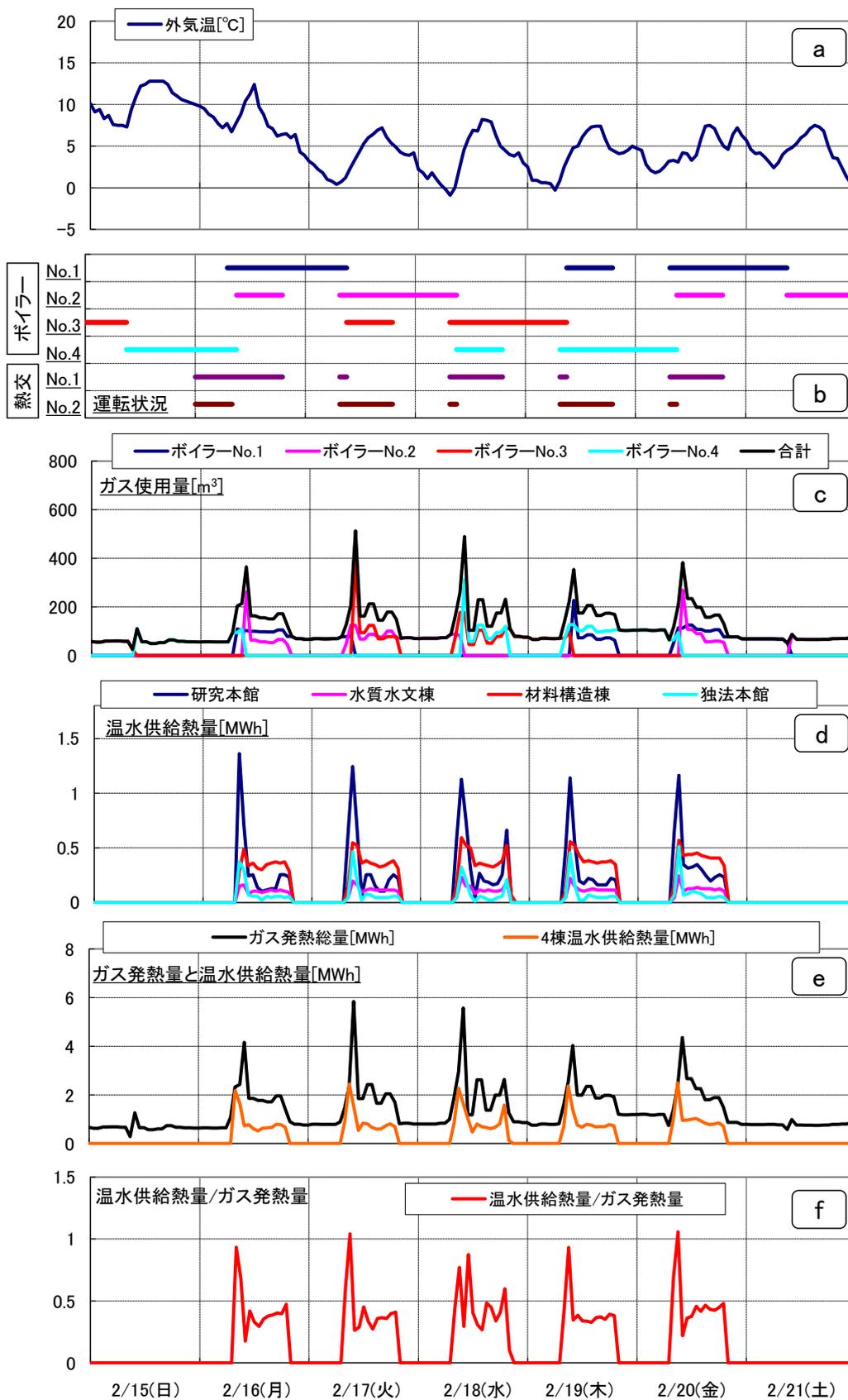


図3.1.7 計測分析結果(2009/2/15~2/21)

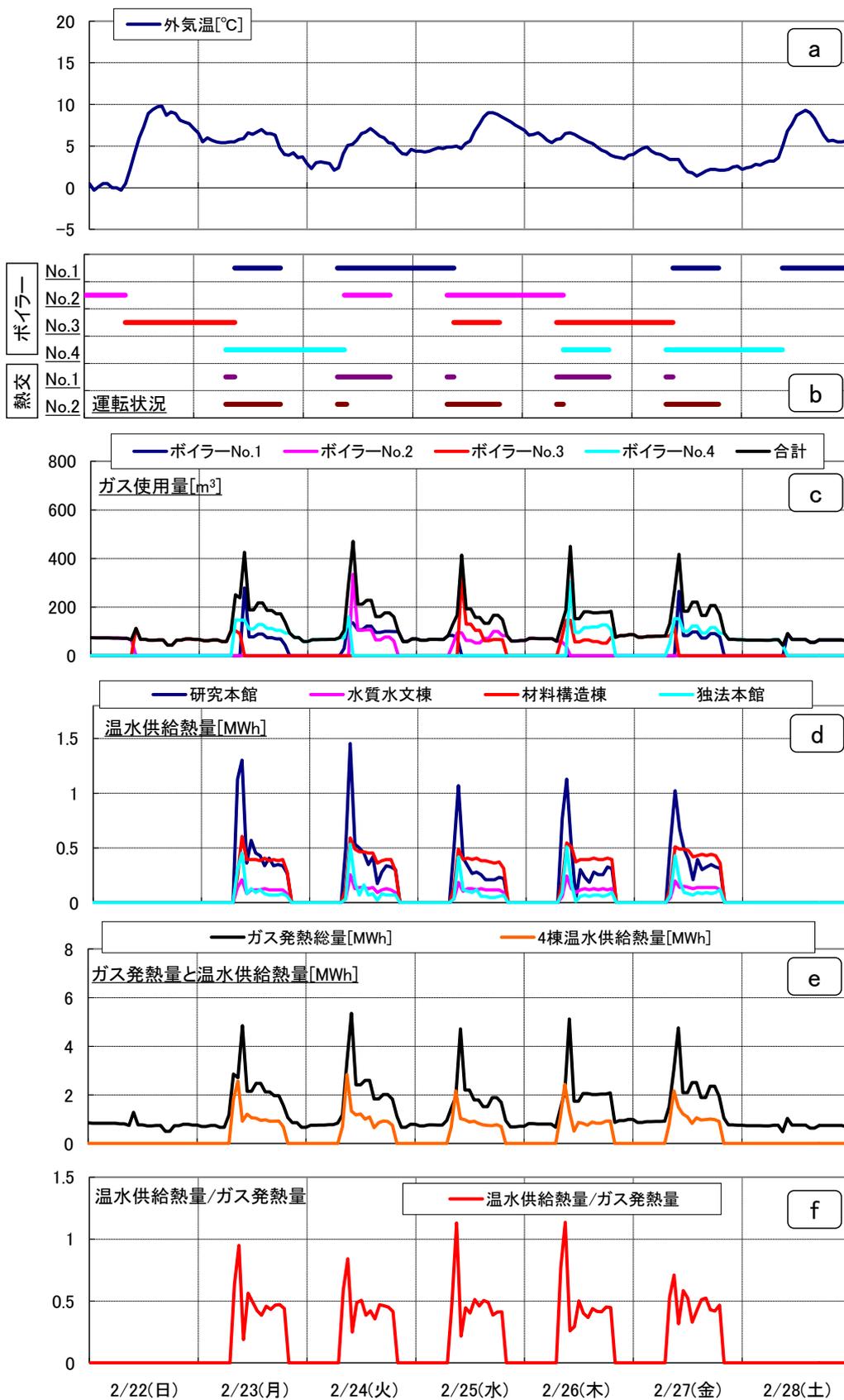


図3.1.8 計測分析結果(2009/2/22~2/28)

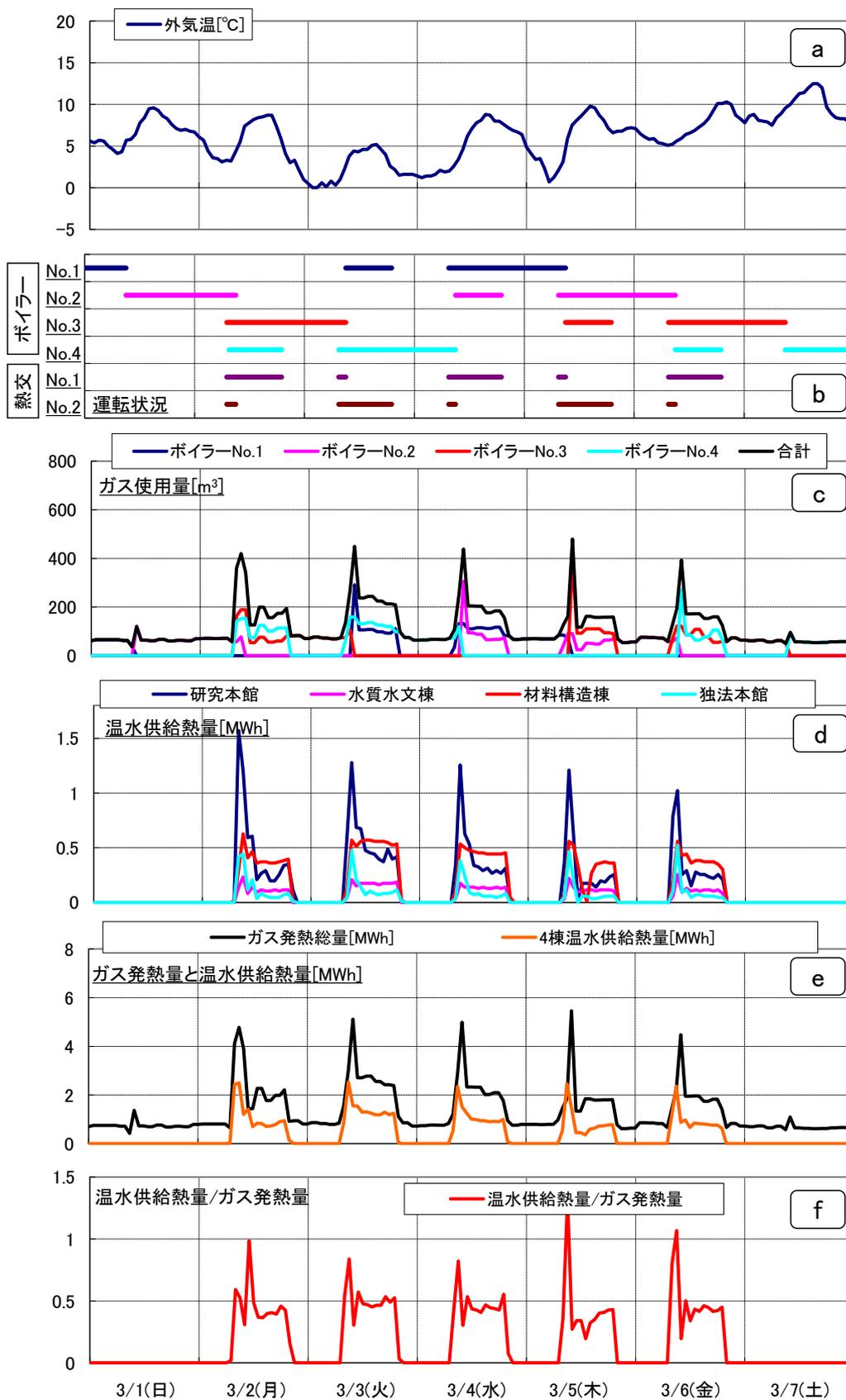


図3.1.9 計測分析結果(2009/3/1~3/7)

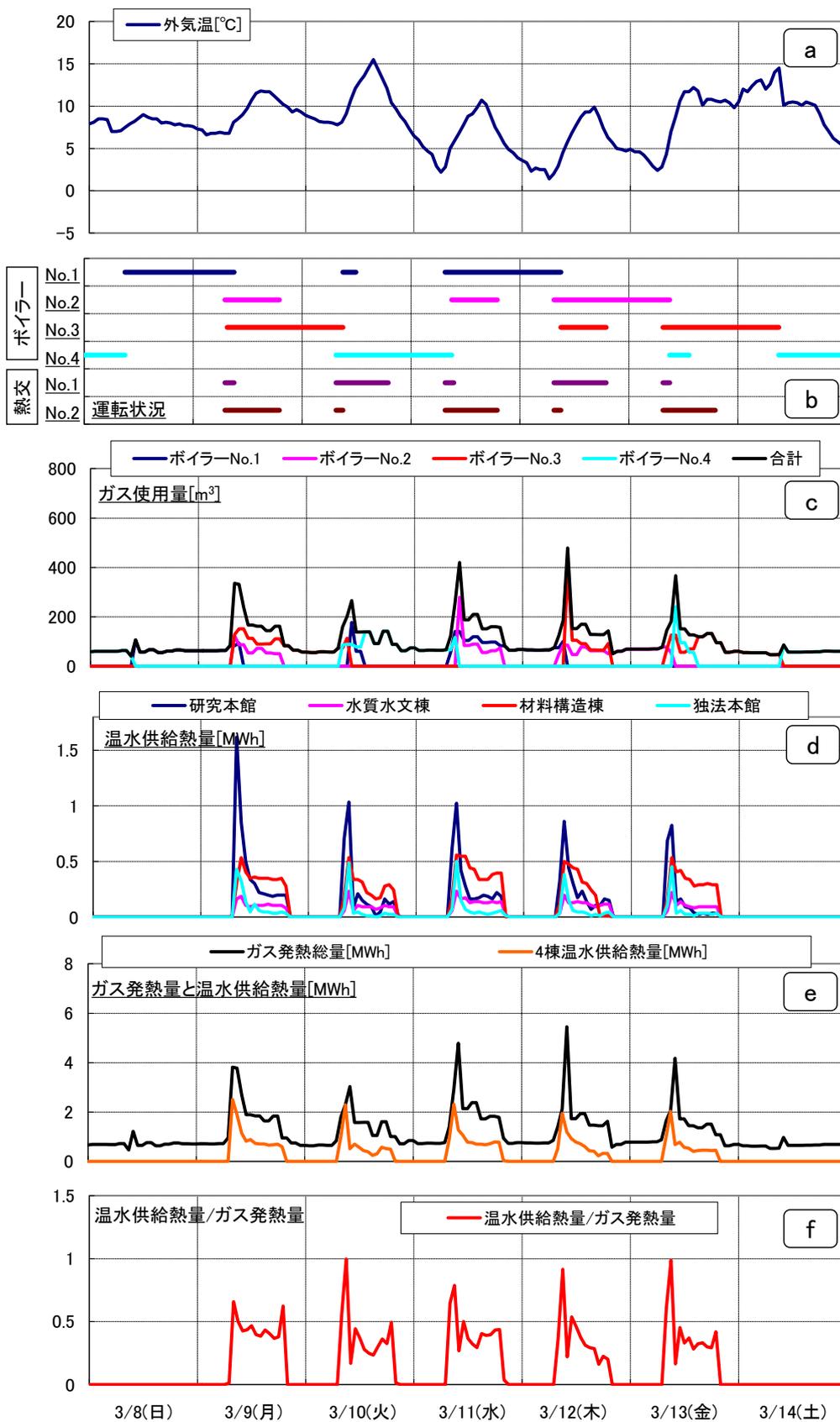


図3.1.10 計測分析結果(2009/3/8~3/14)

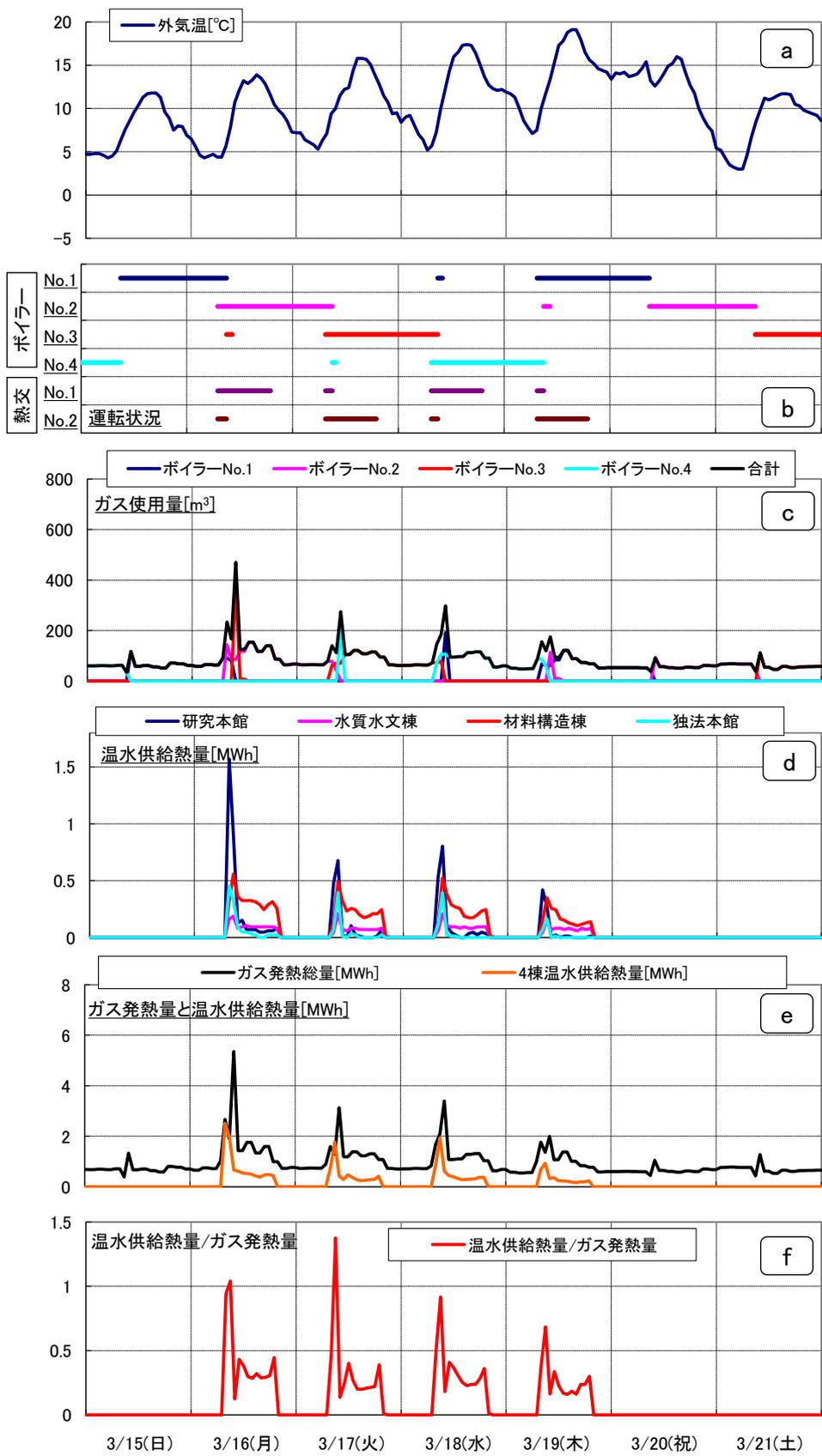


図3.1.11 計測分析結果(2009/3/15~3/21)

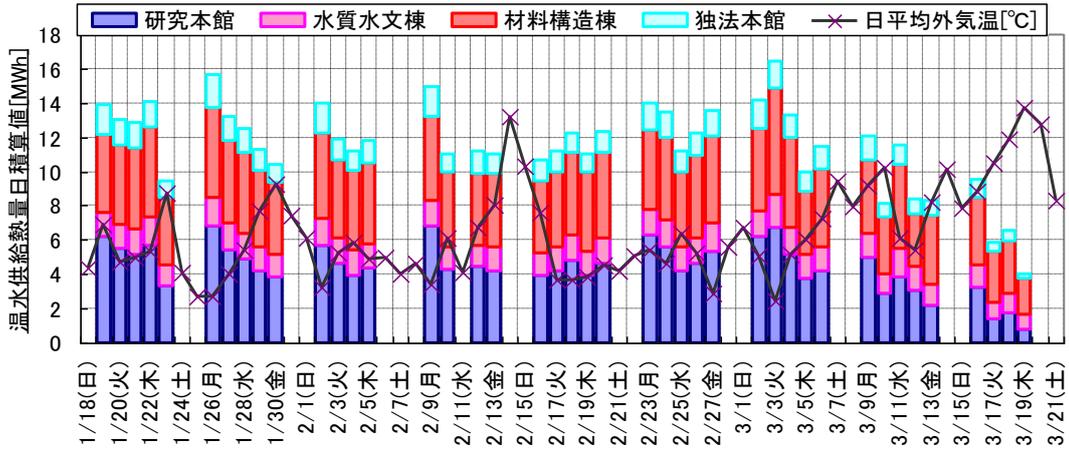


図3.1.12 温水供給熱量の日積算値の推移

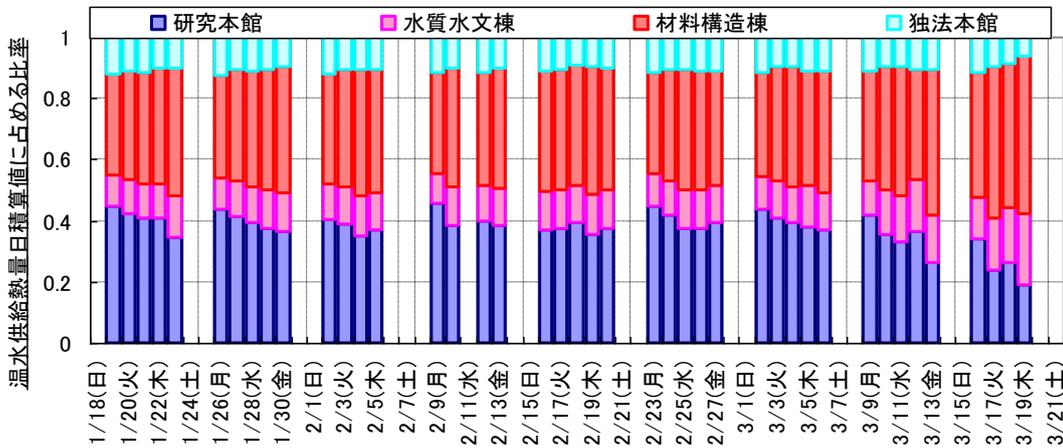


図3.1.13 日積算温水供給熱量に占める各棟の割合

(4) 消費エネルギー・効率に関する考察

図3.1.3～3.1.11中eのガス発熱量は、温水供給熱量の合計とほぼ同様の形状を示していることが見て取れる。休日のガス発熱量を見るとほぼ横ばいに推移しており、蒸気の需要は時間帯の影響をそれほど受けないものと推測できる。すると、休日、夜間の蒸気供給時の発熱量に相当する量がベースとなり、その上に温水需要に対応した発熱量が上乘せされると見ることができる。ガス発熱量と温水供給熱量の比をとったfでは、温水供給開始時に1を超えてしまう(ガスの熱量以上に温水で熱を供給してしまう)状況も見られるが、ガス発熱量と温水供給熱量のピークに1時間のズレがある場合に生じていることから、データの収録・処理に何らかの時間的なズレをうむ原因があるものと推測される。平均的に見ると温水供給中はガスの燃焼によって得られる熱量の5割弱が温水供給にまわる状況となっている。

(5) 日積算値によるエネルギー消費量と温水供給熱量の分析

建物A他の熱源はシステムが複雑になっている上に、蒸気供給熱量を算出するためのデータが欠けていることから、日積算値による分析を行い検討を加えた。

図3.1.14に日平均外気温と日積算ガス発熱量の関係を示す。日積算ガス発熱量は、温水供給のない休日と休日明けの(前日に温水供給のない)平日、休日明けでない平日の3つに分けて表示している。図からは外気温が高くなるとガス消費量が減ることが読み取れる。また、温水供給がなく蒸気供給のみの休日において日平均外気温との相関が非常に高いことが分かる。前項の考察から蒸気需要は大きく変動しないものと推測できるため、平日の発熱量から、図3.1.14の回帰式を使用して蒸気供給にあたる発熱量を差し引き、温水供給に相当する発熱量を算定した。

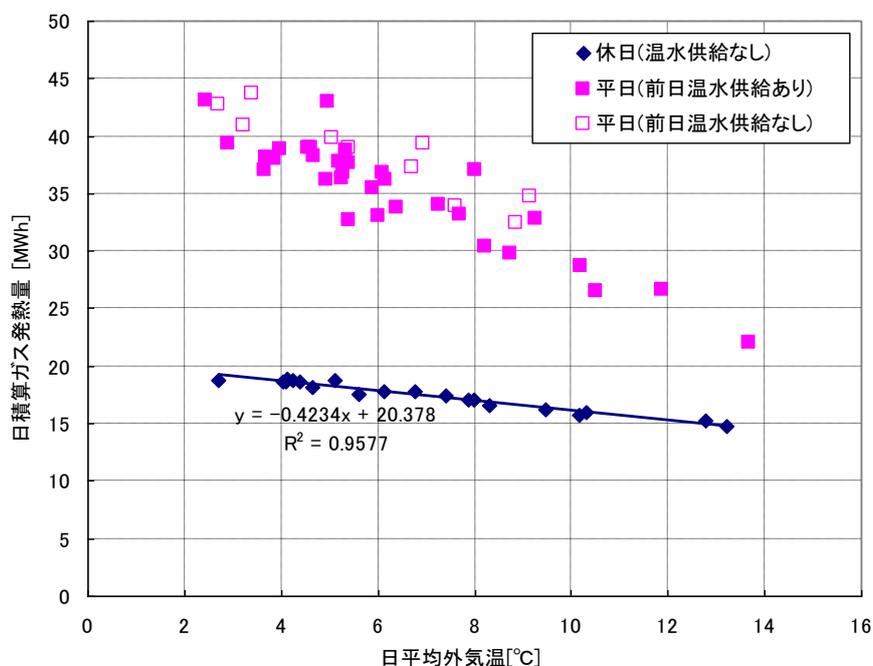


図3.1.14 日積算ガス発熱量と日平均外気温の関係

図3.1.15が温水供給に相当する発熱量を温水供給熱量とともに記した図となる。図からは算定した発熱量と温水供給熱量が良く対応していることが分かる。また、発熱量、温水供給熱量ともに、前日に温水供給していない日(休日明けの日)でやや大きくなる傾向が見られることから、前日に温水供給を停止していることで負荷がやや増大する状況が確認できる。

図3.1.16に温水供給に相当する発熱量と温水供給熱量の関係を示す。ほぼ直線状の関係を示しており、本節の分析からはガス発熱量(温水供給に相当)の63%熱量の温水を供給できているといえる。この数値はボイラー、ポンプ等の消費電力を含んでいないものの温水供給

のシステム効率ととらえることができる。

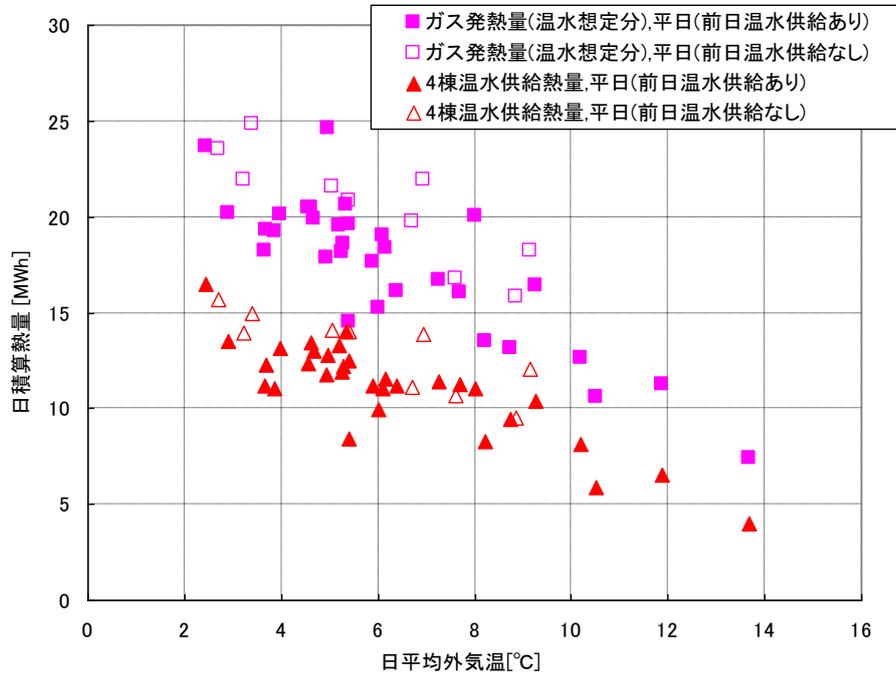


図3.1.15 温水相当分の日積算ガス発熱量、供給熱量と日平均外気温の関係

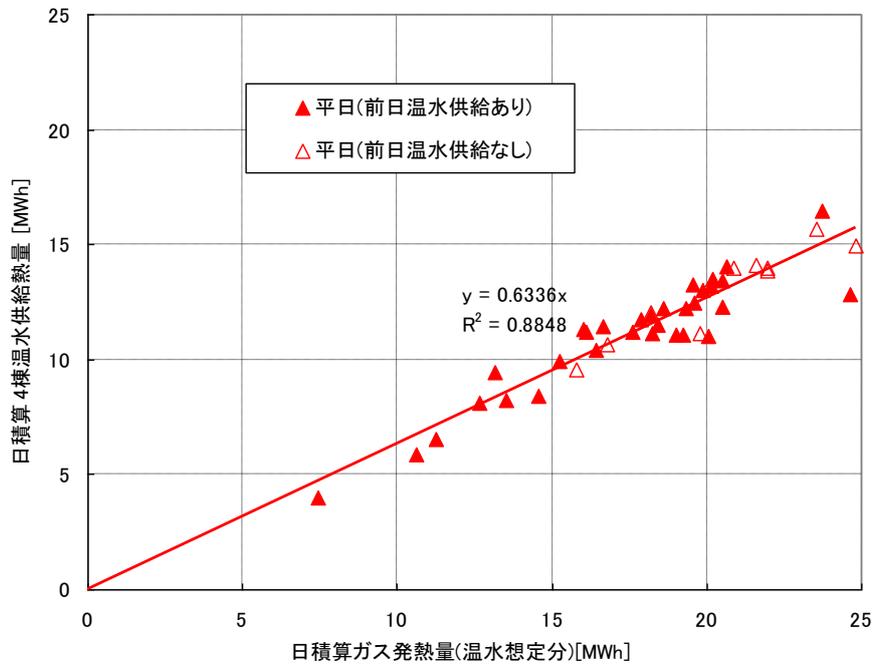


図3.1.16 温水相当分の日積算ガス発熱量と供給熱量の関係

図3.1.17には、棟別の日積算温水供給熱量と平均外気温の関係を示す。いずれの棟の空調負荷も日平均外気温が上がるにつれ減少している。実験棟(水質水文棟、材料構造棟)では比較的ばらつきが小さいが、事務棟(研究本館、独法本館)ではばらつきがやや大きい。また、事務棟においては、前日温水供給がなかった影響がより強く現れているといえる。

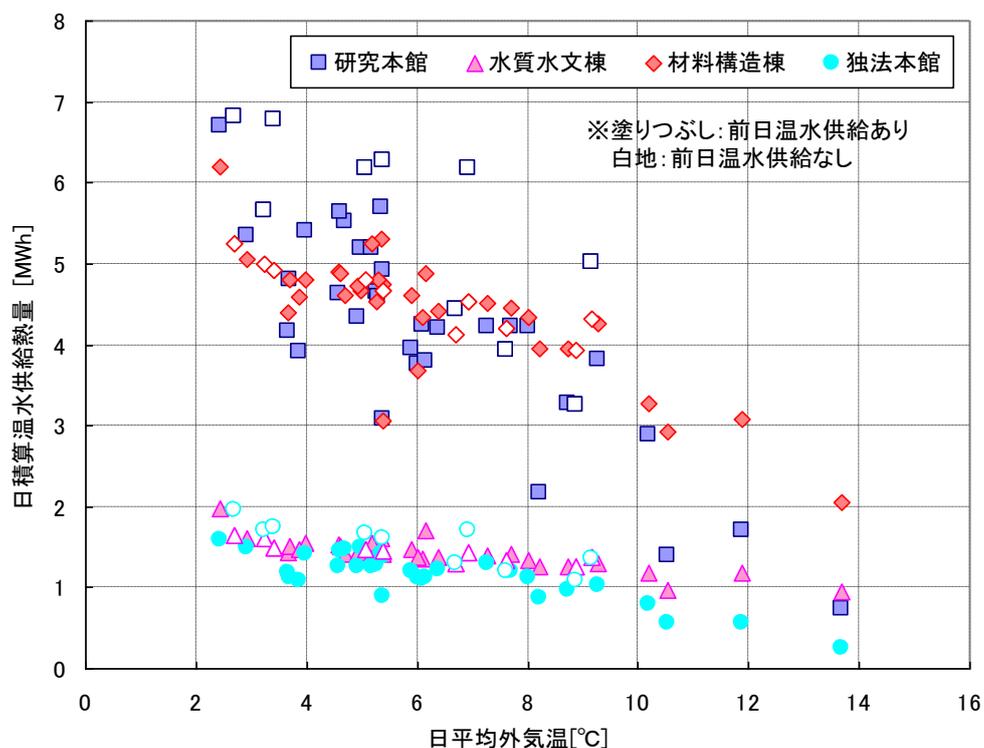


図3.1.17 日平均外気温と棟別温水供給熱量の関係

3.1.3 まとめ

本節では、建物A等における空調用熱源性能ならびに空調負荷に関する検討を行うために、エネルギーセンターで記録している計測データの分析を行った。熱源、供給先、供給媒体が複数ある複雑なシステムが形成されている中で、ガス使用量と熱供給量の特徴から蒸気供給熱量を推測することで、温水供給に対する効率を算定した。

ここでの検討では、エネルギーセンターで記録している計測データをもとに推算も交え、評価したものである。より詳細に需要側の負荷特性や、熱源機器の稼働状況、熱源機器単体およびシステムとしての効率を評価するためには、計測機器を追加する必要がある。

3.2 建物Tにおける熱源性能・負荷に関する検討

本節では、国土交通省国土技術政策総合研究所立原庁舎新館(以下、建物T)の空調用熱源性能ならびに空調負荷に関する検討を行う。本検討で対象とする建物Tは、前節の建物Aと同じく、本研究実施主体である国土技術政策総合研究所を対象として、公平な観点で計測を行うこととした。さらに熱源等のエネルギー消費量と供給熱量の詳細な計測を追加して実施して、機器のエネルギー消費特性と供給熱量、システム効率について検討を行うとともに、監視データと対照して運転状況ならびに監視データの問題点を確認し、既存データを活用する際の課題の事例として整理をすることを目的として選定した。

3.2.1 空調システムの概要

表3.2.1に建物Tの概要を、表3.2.2に空調機器の概要を示す。建物Tには、空調用熱源として2台の冷温水発生機(灯油直焚二重効用吸収式)が導入されており、冷却塔、冷温水ポンプ、冷却水ポンプ等とともに2系統の空調用熱源システムが構成されている。通常の運用では、主運転系統と副運転系統に日々交互に振り分けられ、主運転系統は7～8時に運転を開始し18～19時前後に運転を停止される。副運転系統は朝方の立ち上がり時に運転されている。

作成された冷水(夏期)、温水(冬期)は、冷温水ポンプにより、1～5、7、8階のファンコイルユニット、空気調和機に搬送され、暖冷房に利用されている。

表3.2.1 建物T概要

所在地:	茨城県つくば市
竣工年:	1995年
建物用途:	研究施設(執務室、会議室等)
建物規模:	地下1階+地上7階+塔屋1階
延床面積:	4309m ²

建物Tでは、空調システムの運転状況は中央監視室にて監視されており、冷温水流量、冷温水熱量、冷温水往還温度等が自動記録されている。また、冷温水発生機で使用される灯油量は、約1、2時間おきを目視によるカウンタの読み取りにより記録されている。

表3.2.2 空調機器概要

機器番号	機器名称	機器仕様	動力(50Hz)		台数	設置場所
			電圧φ-V	容量kW		
RH-1, 2	冷温水発生機	往原製作所製 直焚二重効用吸収式冷温水機 型式: RAP-K009 燃料: 灯油 燃料消費量: 冷房時30.2L/h(251.264kcal/h) 暖房時21.4L/h 冷却能力: 260,000kcal/h(80USRT) 暖房能力: 164,000kcal/h 冷水量: 870L/min(12°C~7°C) 温水量: 830L/min(51.7°C~55°C) 冷却水量: 1,460L/min(32°C~37.5°C) 吸収式ポンプ 冷媒ポンプ バーナブロー	3-200 3-200 3-200	1.5 0.15 1.0	2	B1F 機械室
CT-1, 2	冷却塔	型式: 低騒音型、開放式・角形、内部配管型 冷却能力: 462,000kcal/h 冷却水量: 1,400L/min 入口空気湿球温度: 27°CWB 送風機	3-200	3.7	2	RF 屋外機置場
WF-1-1, 2	冷温水用薬注装置	薬注ポンプ1台 薬注タンク 100L 防錆、殺藻、スケール防止 PCH-1, 2と連動	1-200	15W	2	B1F 機械室
WF-2-1, 2	冷却水用薬注装置	薬注ポンプ1台 薬注タンク 100L PCD-1, 2と連動	1-200	15W	2	RF 屋外機置場
PCH-1, 2	冷温水ポンプ	型式: 片吸込渦巻ポンプ 能力: 80φ × 65φ × 870L/min × 30mmAq 許容押込圧力: 3.9kg/cm2	3-200	11.0	2	B1F 機械室
PCD-1, 2	冷却水ポンプ	型式: 片吸込渦巻ポンプ 能力: 100φ × 80φ × 1,400L/min × 25mmAq 許容押込圧力: 3.9kg/cm2	3-200	11.0	2	B1F 機械室
PO-1	オイルギアポンプ(往) (空調用)	型式: オイルギアポンプ 能力: 20φ × 3L/min × 2kg/cm2	3-200	0.4	2	オイルギアポンプ室
POR-1	オイルギアポンプ(還) (空調用)	型式: オイルギアポンプ 能力: 20φ × 3L/min × 2kg/cm2	3-200	0.4	1	B1F 機械室
AC-1	ユニット型空調和 機 (1Fロビー系統)	型式: 横型 送風機: 6,000m3/h × 27mmAq(機外静圧) 還風機: 5,000m3/h × 29mmAq(機外静圧) 冷房能力: 36,000kcal/h 暖房能力: 32,400kcal/h 冷温水量: 120L/min コイル: 6列 フィルター: プレ(重量法50%以上)+中性能(NBS65%以上) 加湿: 気化式 10.1kg/h(有効) 全熱交換器: 回転型(交換効率69%) スプリング防振	3-200 3-200	5.5 5.5	1	1F機械室
AC-2	ユニット型空調和 機 (2F応接室系統)	型式: 横型 送風機: 3,400m3/h × 39mmAq(機外静圧) 還風機: 2,400m3/h × 19mmAq(機外静圧) 冷房能力: 20,000kcal/h 暖房能力: 12,300kcal/h 冷温水量: 67L/min コイル: 6列 フィルター: プレ(重量法50%以上)+中性能(NBS65%以上) 加湿: 気化式 7.3kg/h(有効) 全熱交換器: 回転型(交換効率67%) スプリング防振	3-200 3-200	2.2 2.2	1	2F機械室
AC-3	ユニット型空調和 機 (3F研究官室系統)	型式: 横型 送風機: 3,700m3/h × 21mmAq(機外静圧) 還風機: 3,140m3/h × 23mmAq(機外静圧) 冷房能力: 21,800kcal/h 暖房能力: 13,400kcal/h 冷温水量: 73L/min コイル: 6列 フィルター: プレ(重量法50%以上)+中性能(NBS65%以上) 加湿: 気化式 8.0kg/h(有効) 全熱交換器: 回転型(交換効率71%) スプリング防振	3-200 3-200	3.7 3.7	1	3F機械室

3.2.2 測定データの分析方法

(1) 分析データ

本節では、2008～2010年度の暖房期および冷房期に中央監視室で記録されたデータを使用している(表3.2.3)。

表3.2.3 中央監視室で取得している主なデータ項目

【自動記録(毎時)項目】
冷温水流量(瞬時, 積算)
冷温水熱量(瞬時, 積算)
冷温水往還温度(往, 還, 還(一括))
熱源機出口温度(R-1, R-2)
冷却水出入口温度(CT-1, CT-2)
【手動記録(1, 2時間毎)項目】
外気温湿度
冷温水機: 運転状況
温度(排ガス, 冷温水出口, 冷却水出口等)
冷却水: 出入口温度, 圧力
冷温水: 出入口温度, 圧力
冷却水ポンプ: 出入口圧力等
灯油積算流量(2台合計値)

電力消費量については中央監視室では計測していないため、電力計を追加して計測を行った。冷温水発生機、冷却塔、冷伽水ポンプ、冷温水ポンプ、空気調和機の消費電力量を日置電機製クランプ型電力計3169、モジュール式データロガー2300シリーズを使用して計測している。ファンコイルユニットの電力消費量は、測器の台数の都合により計測を見送っている。

図3.2.2～図3.2.7および図3.2.12～図3.2.19における図中の細目は、下記の通りである。

- a: 外気温
- b: 冷温水往還温度
- c: 冷温水流量の時間積算値
- d: 灯油消費量
- e: 灯油発熱量、熱源・搬送系の消費電力と供給熱量
- f: 供給熱量と灯油発熱量の比
- g: 一次エネルギー消費量と供給熱量
- h: 一次エネルギー効率
- i: 熱源機器の消費電力の1時間平均値の推移
- j: ポンプの消費電力の1時間平均値の推移
- k, l: 空気調和機の消費電力の1時間平均値の推移

図中e、f、g、h等に用いた除去熱量については、(2)で後述する理由により、記録している

「積算熱量」の値が実態から乖離していると判断し、冷温水往還温度差と積算流量から求めた供給熱量①と冷温水往還温度差(還温度一括)と積算流量から求めた供給熱量②で示す。1時間あたりの供給熱量①、②の算定式は下記の通りである。

$$\text{供給熱量①[Mcal]}=cp\{(\theta_o+\theta_o^{-1})/2-(\theta_i+\theta_i^{-1})/2\}\times Q$$

$$\text{供給熱量②[Mcal]}=cp\{(\theta_o'+\theta_o'^{-1})/2-(\theta_i+\theta_i^{-1})/2\}\times Q$$

cp : 比熱(1Mcal/m³)

Q : 冷温水積算流量[m³]

θ_i : 冷温水往温度(瞬時値)[°C]

θ_i^{-1} : 1時間前の冷温水往温度(瞬時値)[°C]

θ_o : 冷温水還温度(瞬時値)[°C]

θ_o^{-1} : 1時間前の冷温水還温度(瞬時値)[°C]

θ_o' : 「冷温水還温度一括」(瞬時値)[°C]

$\theta_o'^{-1}$: 1時間前の「冷温水還温度一括」(瞬時値)[°C]

また、図中e、fに用いた灯油の発熱量の換算には、エネルギー源別標準発熱量表2005年度改訂版に記載されている灯油の総発熱量(高位発熱量)36.7MJ/Lに、低位発熱量と高位発熱量の比0.94を乗じた、真発熱量(低位発熱量)に相当する34.5MJ/Lを使用した。

一方、図中g、hに関して、一次エネルギーの換算には、「建築物に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準」で平成18年に示された下記の値を使用している。

灯油 : 37MJ/L

電力 : 9,760KJ/kWh

図中e、g、hの電力消費量等の「熱源」「搬送」の区分は、「熱源」に関しては、冷温水発生機、冷却塔、冷却水ポンプで使用する電力等を、「搬送」に関しては、冷温水ポンプ、空調和機で使用する電力を計上している。

(2) 供給熱量に関するデータの選別

データを分析している過程で、記録している「冷温水積算熱量」のデータが、往還温度差と流量から求めた熱量と大きくかけ離れていることが分かった。図3.2.1mで分かるように、平均的に2.5倍程度大きい値が記録されている。

表3.2.2に示した冷温水発生機の暖房能力が164Mcal/hであることを考えると、1台運転時において200~600Mcalの熱量を供給しているとする状況には、センサーの校正ミスや換算値の誤り等、何らかのエラーがあると考えざるを得ない。そのため、「冷温水積算熱量」を使用せずに、往還温度瞬時値の時間平均値(当該時刻と1時間前データの平均値とした)と積算流量により算定した供給熱量①、②を導入して検討を進めることとした。供給熱量①、②は温水還温度の記録に「冷温水還温度」と「冷温水還温度一括」の2項目があることに対応している(表3.2.3)。「冷温水還温度」と「冷温水還温度一括」の値には多少の差はあるものの同等の推移を示しており、供給熱量①、②には大きな差は生じていない。また、この供給熱

量①、②は、灯油発熱量と同程度のオーダーの値となっており、以降、供給熱量①をベースに検討を進めることとした。

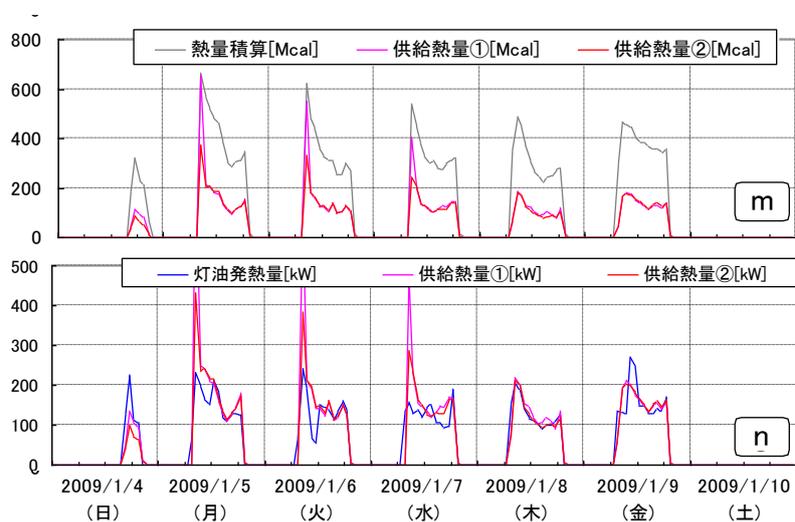


図3.2.1 「熱量積算」の値の確認

3.2.3 暖房時の分析

(1) 経時データ

図3.2.2～3.2.7に暖房時の経時データを示す。

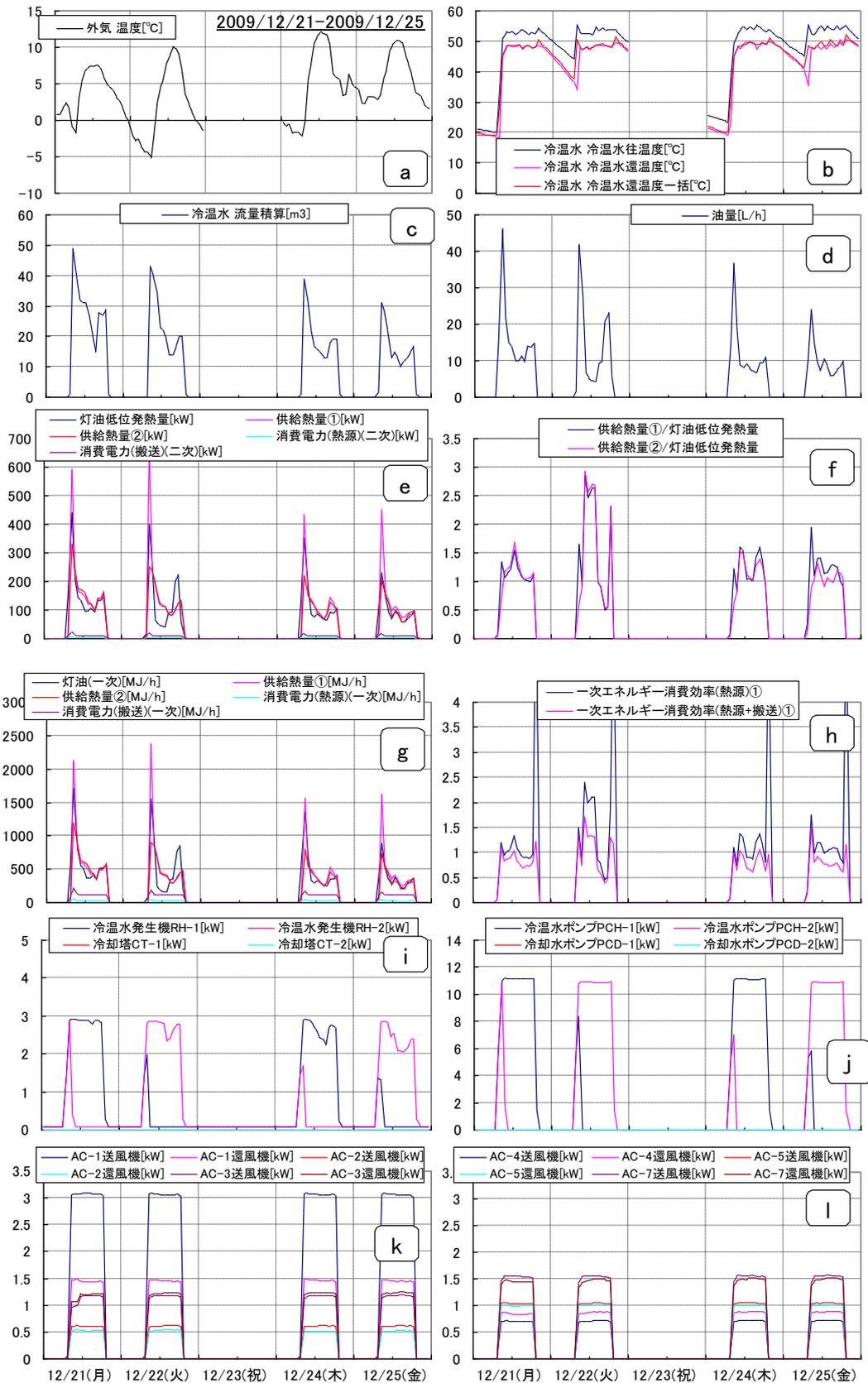


図3.2.2 計測分析結果(2009/12/21~12/25)

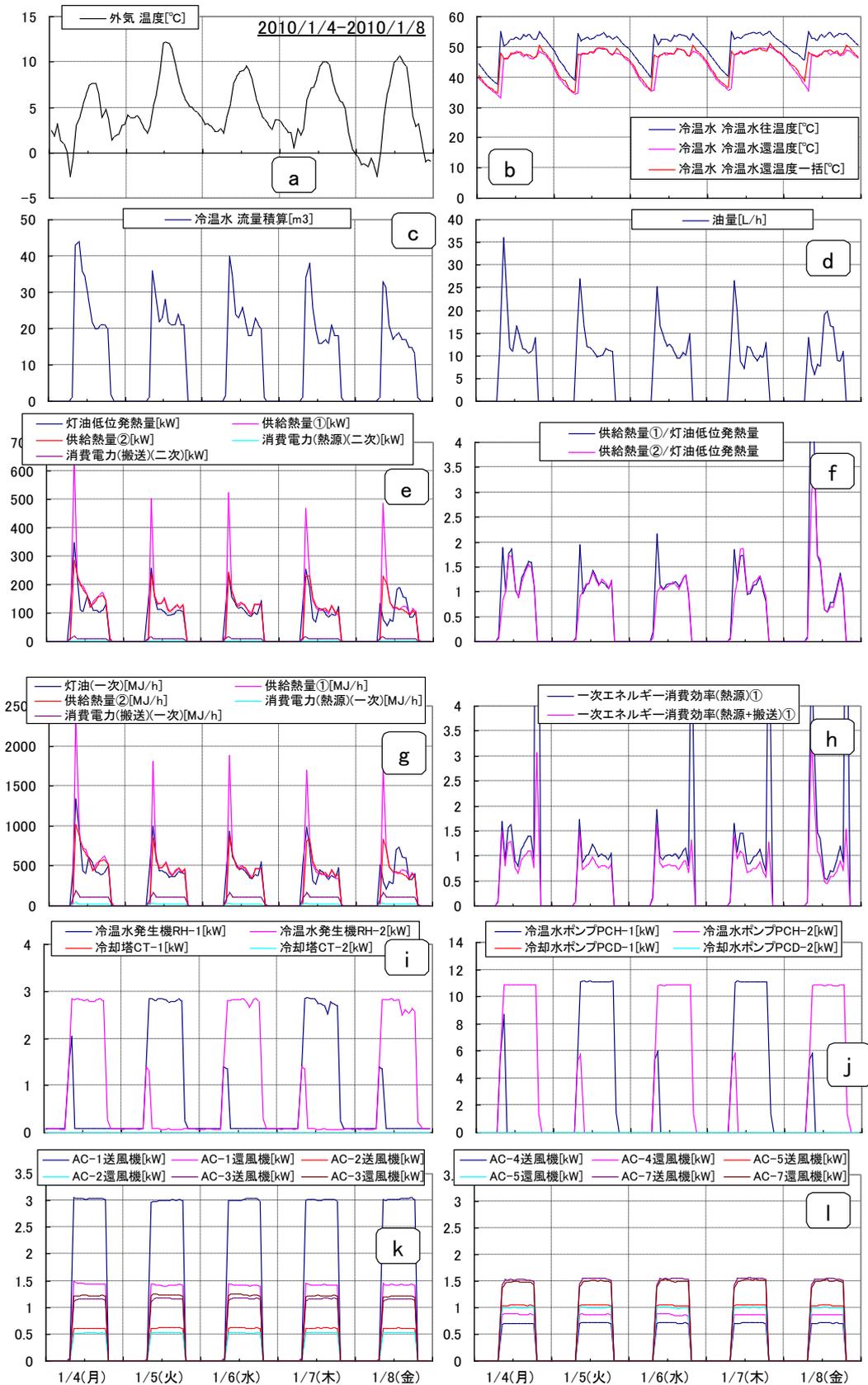


図3.2.3 計測分析結果(2010/1/4~1/8)

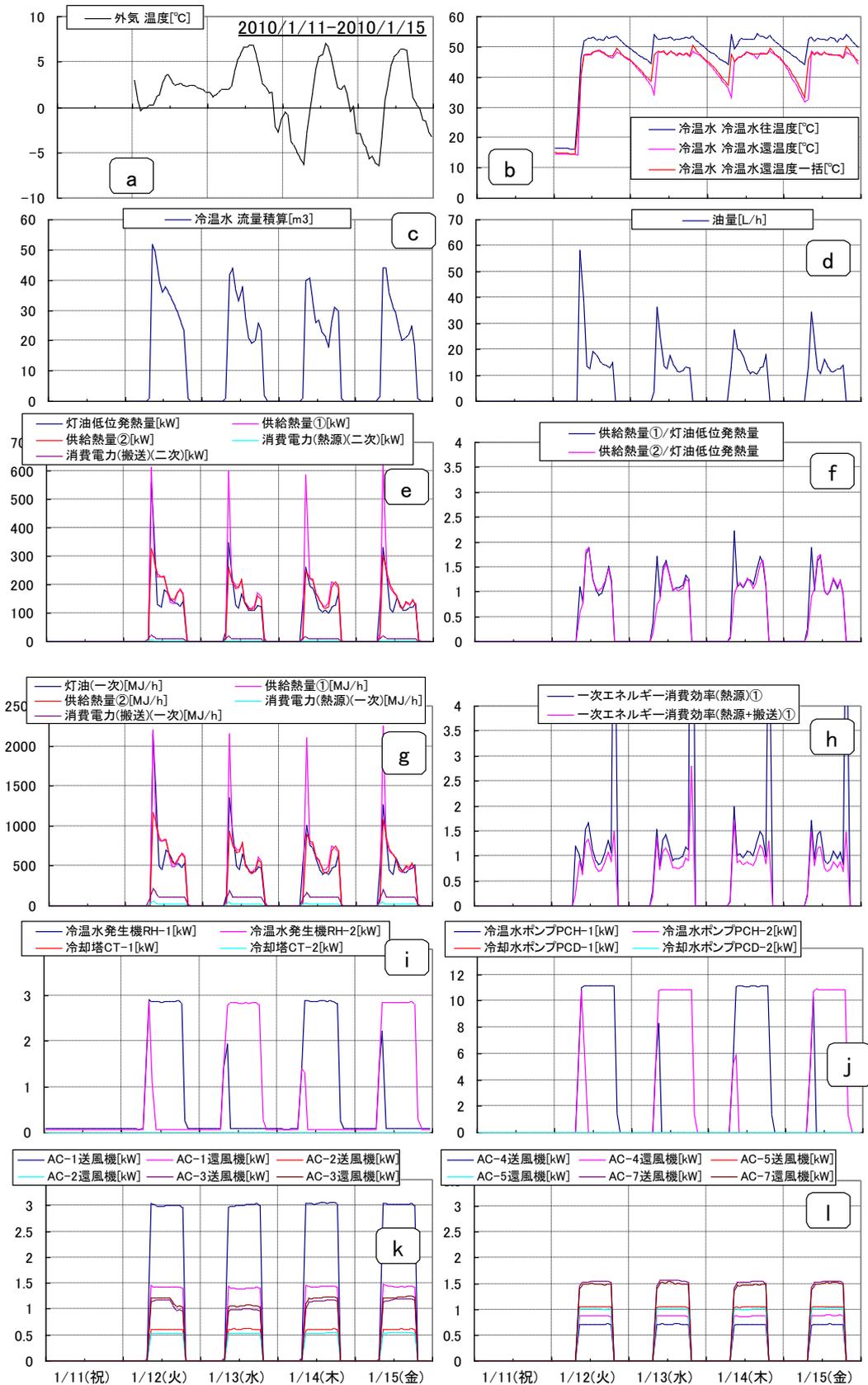


図3.2.4 計測分析結果(2010/1/11~1/15)

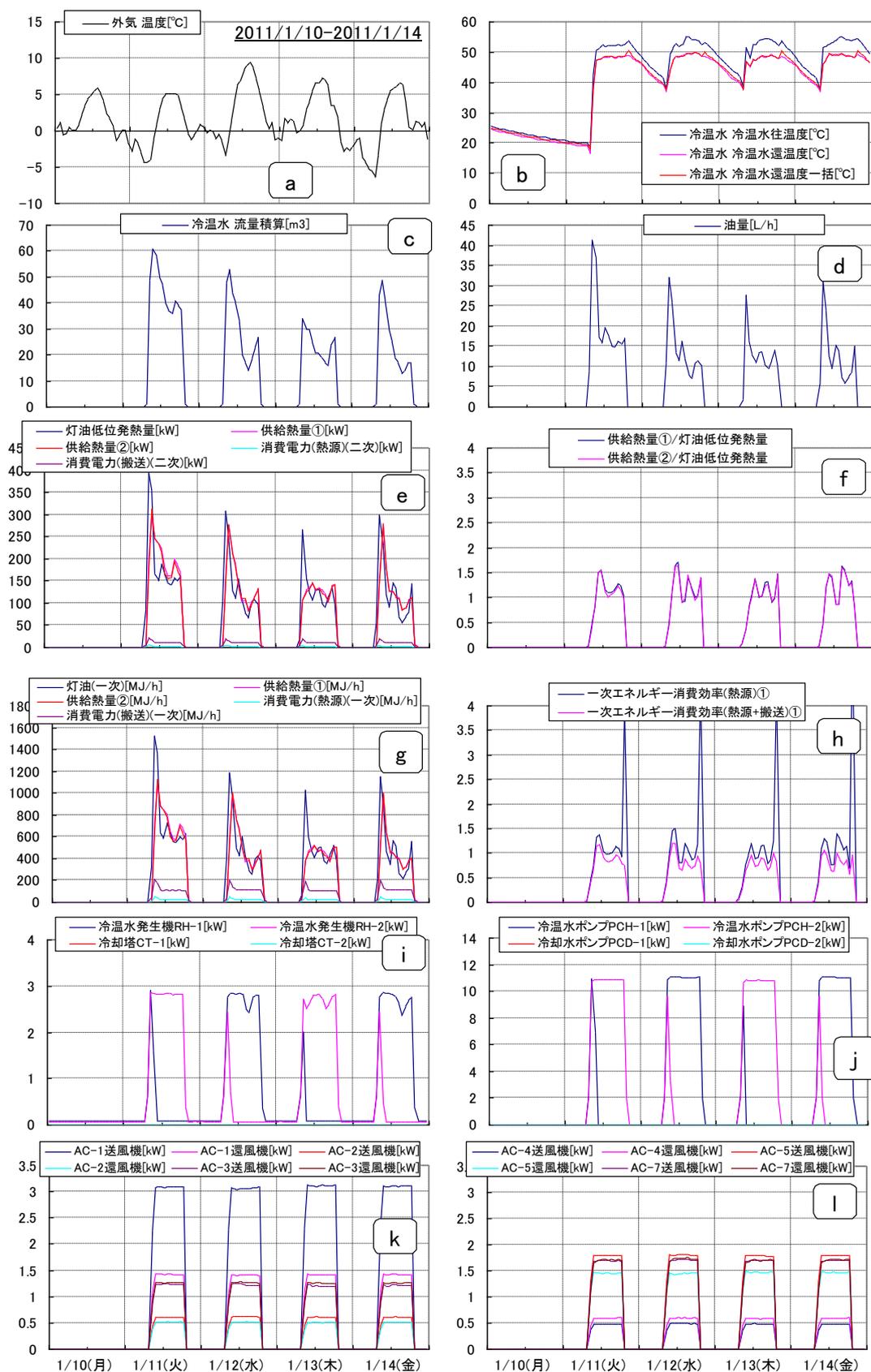


図3.2.5 計測分析結果(2011/1/10~1/14)

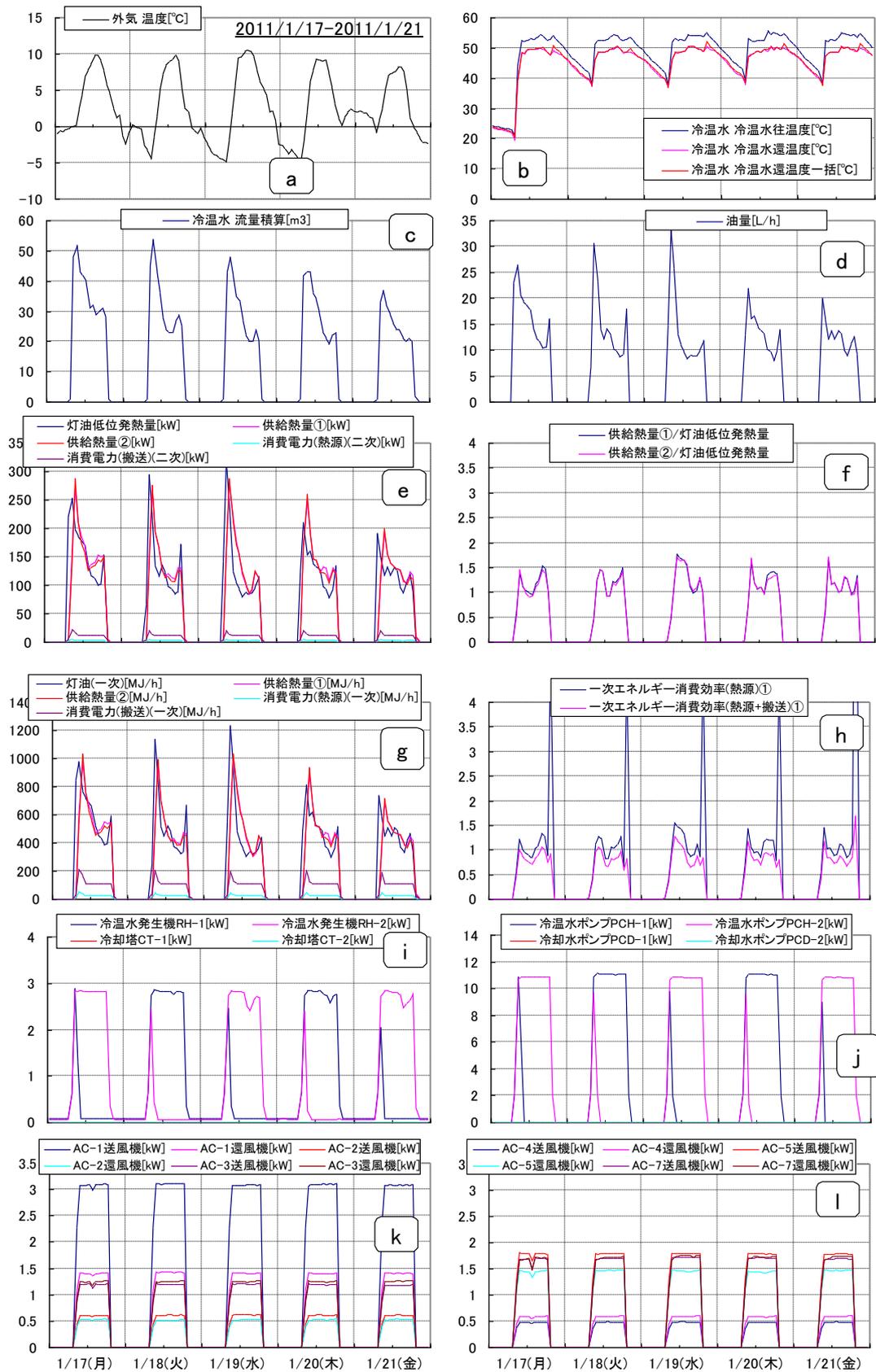


図3.2.6 計測分析結果(2011/1/17~1/21)

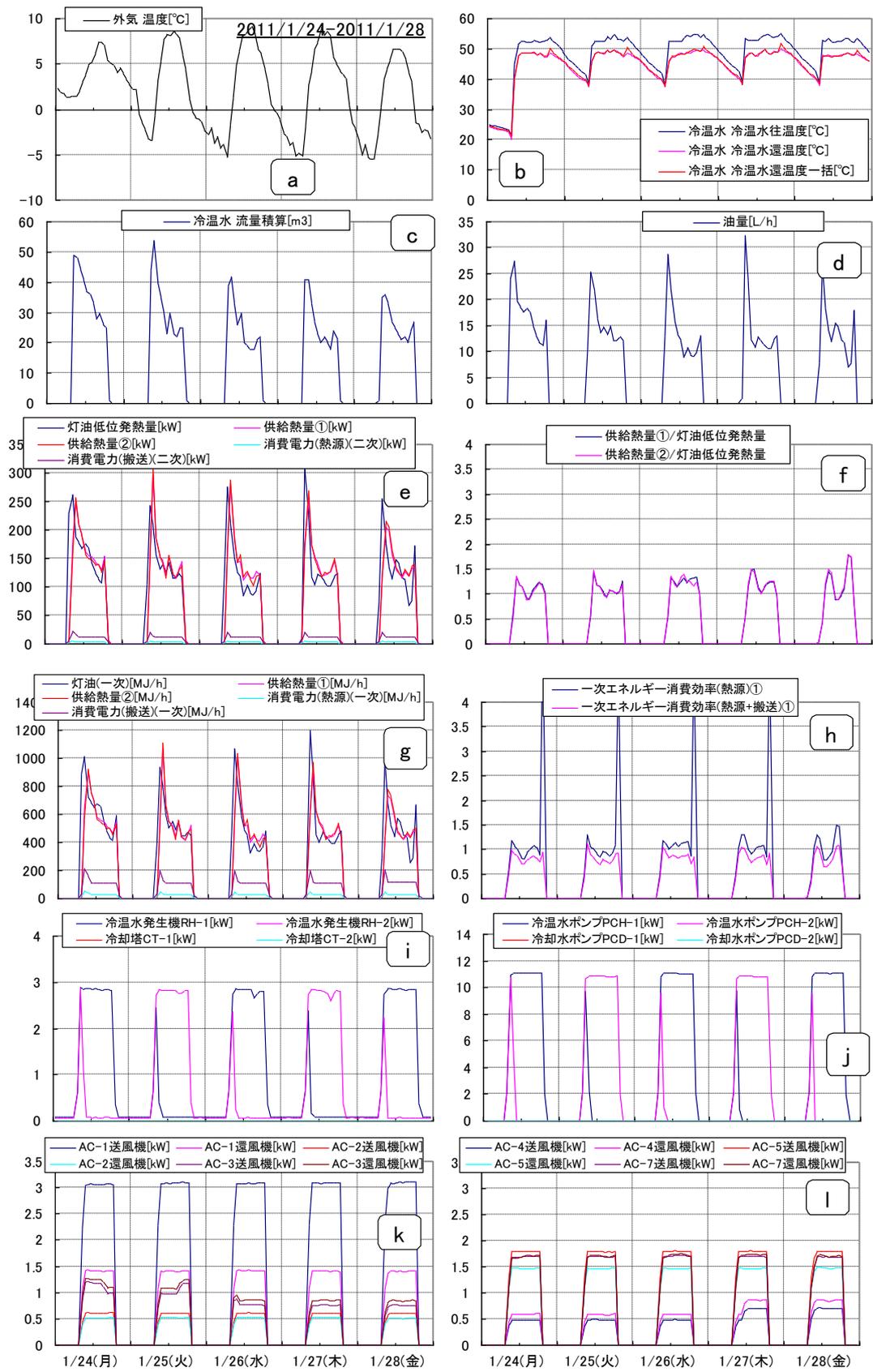


図3.2.7 計測分析結果(2011/1/24~1/28)

(2) 日積算値による空調負荷とエネルギー消費量の分析

図3.2.8、3.2.9に、2009、2010年度の灯油消費量と電力消費量の日平均一次エネルギー換算値、供給熱量①の日積算値、日平均外気温の関係、図3.2.10、3.2.11に一次エネルギー効率と日平均外気温の関係を示す。

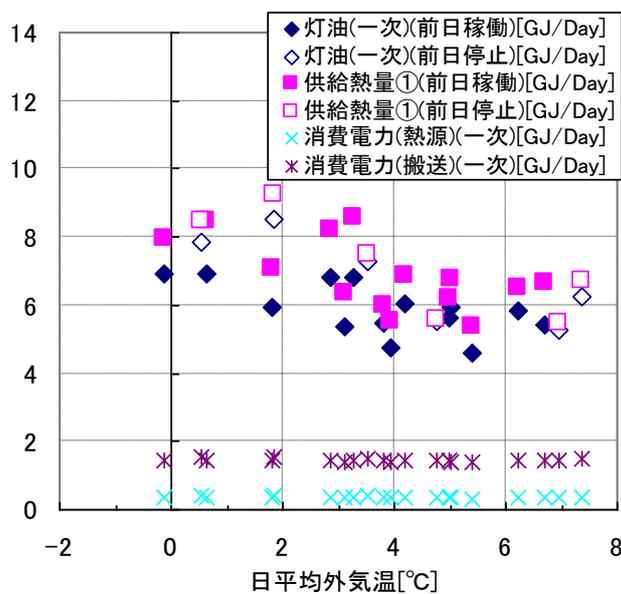


図3.2.8 日積算一次エネルギー消費量、供給熱量と日平均外気温の関係(2009年度冬)

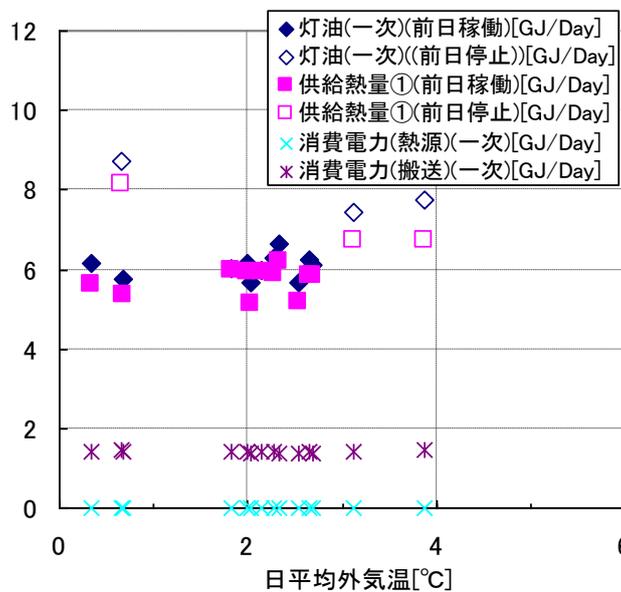


図3.2.9 日積算一次エネルギー消費量、供給熱量と日平均外気温の関係(2010年度冬)

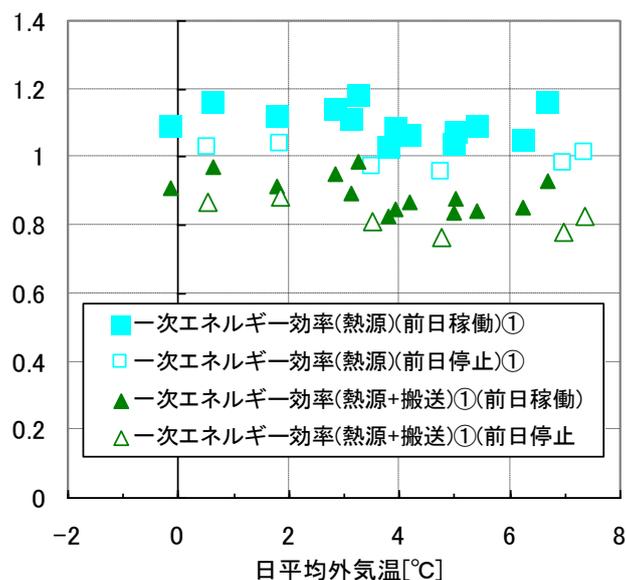


図3.2.10 一次エネルギー効率と日平均外気温の関係(2009年度冬)

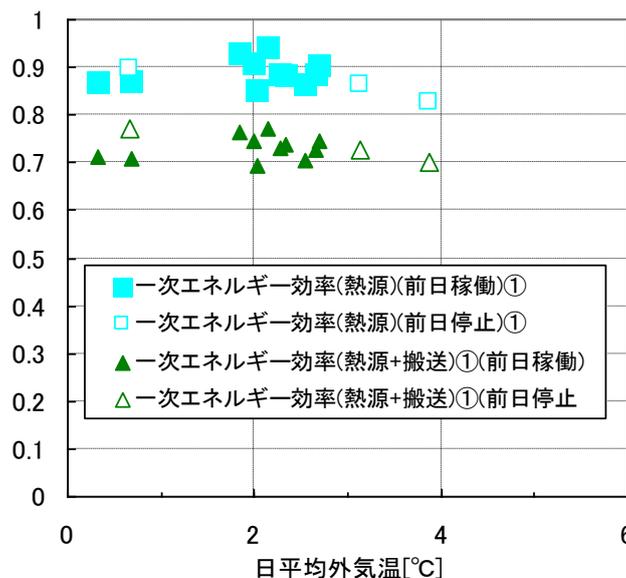


図3.2.11 一次エネルギー効率と日平均外気温の関係(2010年度冬)

まず、2009年度の結果を見ると、灯油発熱量を供給熱量が上回っており(図3.2.8)、熱源の一次エネルギー効率が1を超える結果となっている(図3.2.10)ことから、計測に不備がある状況が見て取れる。実際に、灯油流量計が更新された後の2010年度の結果を見ると、灯油発熱量を供給熱量が下回る結果となっており(図3.2.9)、灯油流量計に問題があったと考えられる。

上記の問題があることを理解した上で2009年度の結果から相対的な傾向を見ると、日平均外気温の低下とともに灯油発熱量と供給熱量が増加する傾向が見られる。一方、2010年度

の結果では、外気温の幅が小さいためか、顕著な傾向は見られない結果となっている。

図中、前日の稼働状況が空調負荷にどの程度影響を与えるかを検討するために、灯油発熱量と供給熱量①については、前日の稼働状況により記号を変えているが、前日空調を行っていない場合に、灯油発熱量と供給熱量が若干増加する傾向があると言える。

また、熱源機器および搬送機器で消費されている電力量は外気温にかかわらずほぼ一定で推移している。

一次エネルギー効率については、2010年度の図3.2.11から、熱源については0.9前後、搬送系も含めると0.7～0.8程度と言える。また2009年度の図3.2.10の傾向もあわせて見ると、外気温が高くなるにつれ効率が低下する傾向にあることが分かる。

3.2.4 冷房時の分析

(1) 経時データ

図3.2.12～図3.2.19に冷房時の経時データを示す。

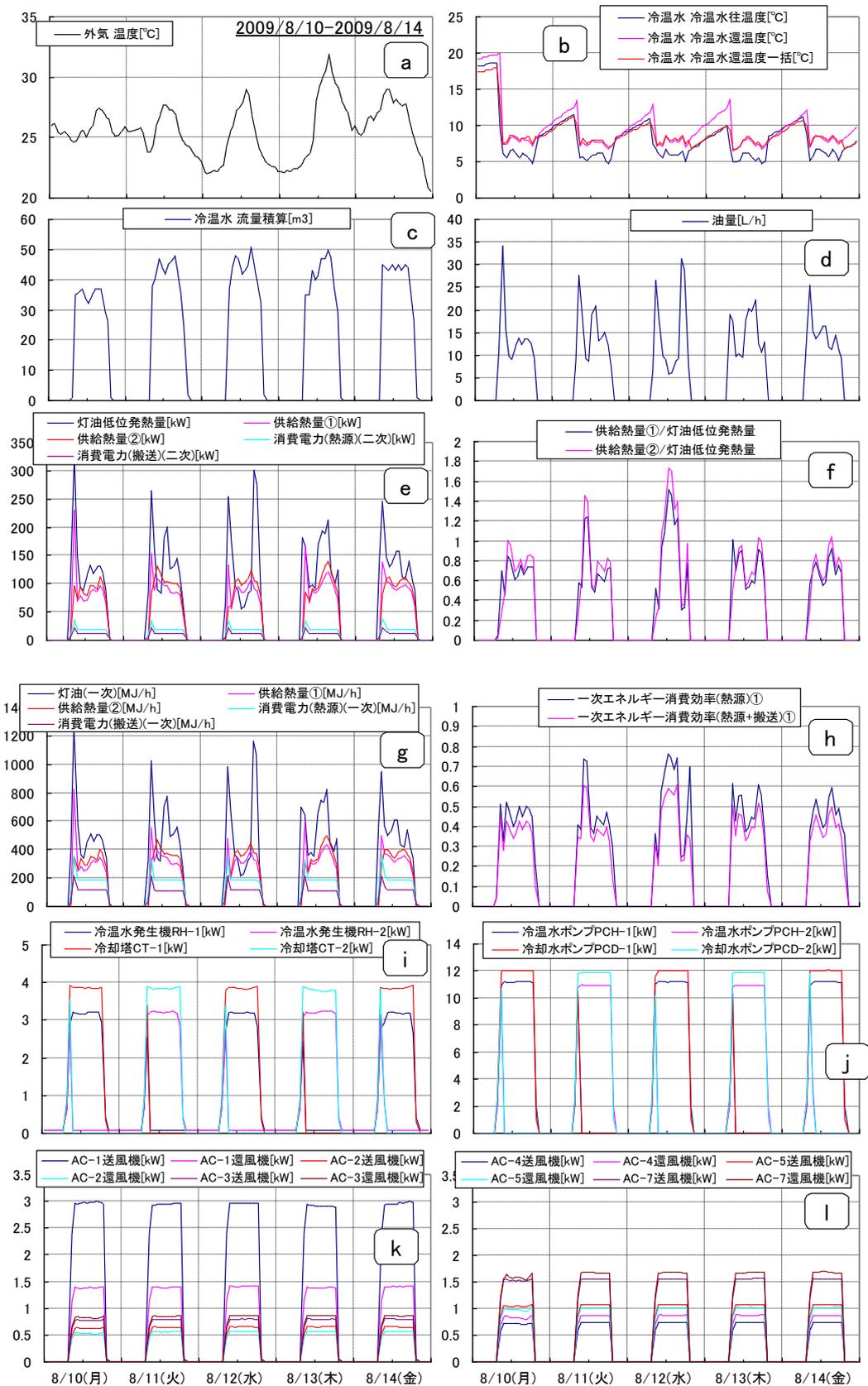


図3.2.12 計測分析結果(2009/8/10~8/14)

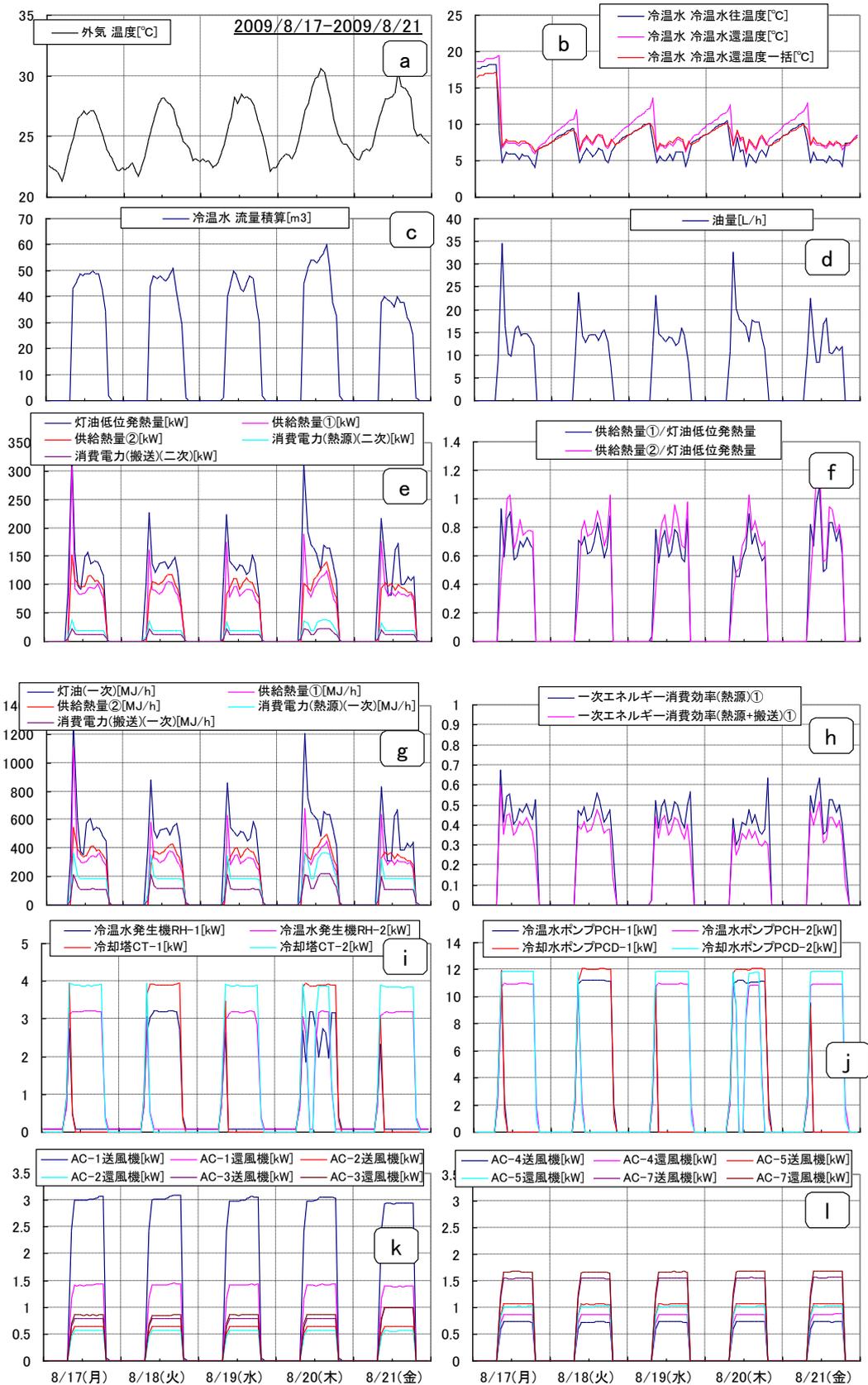


図3.2.13 計測分析結果(2009/8/17~8/21)

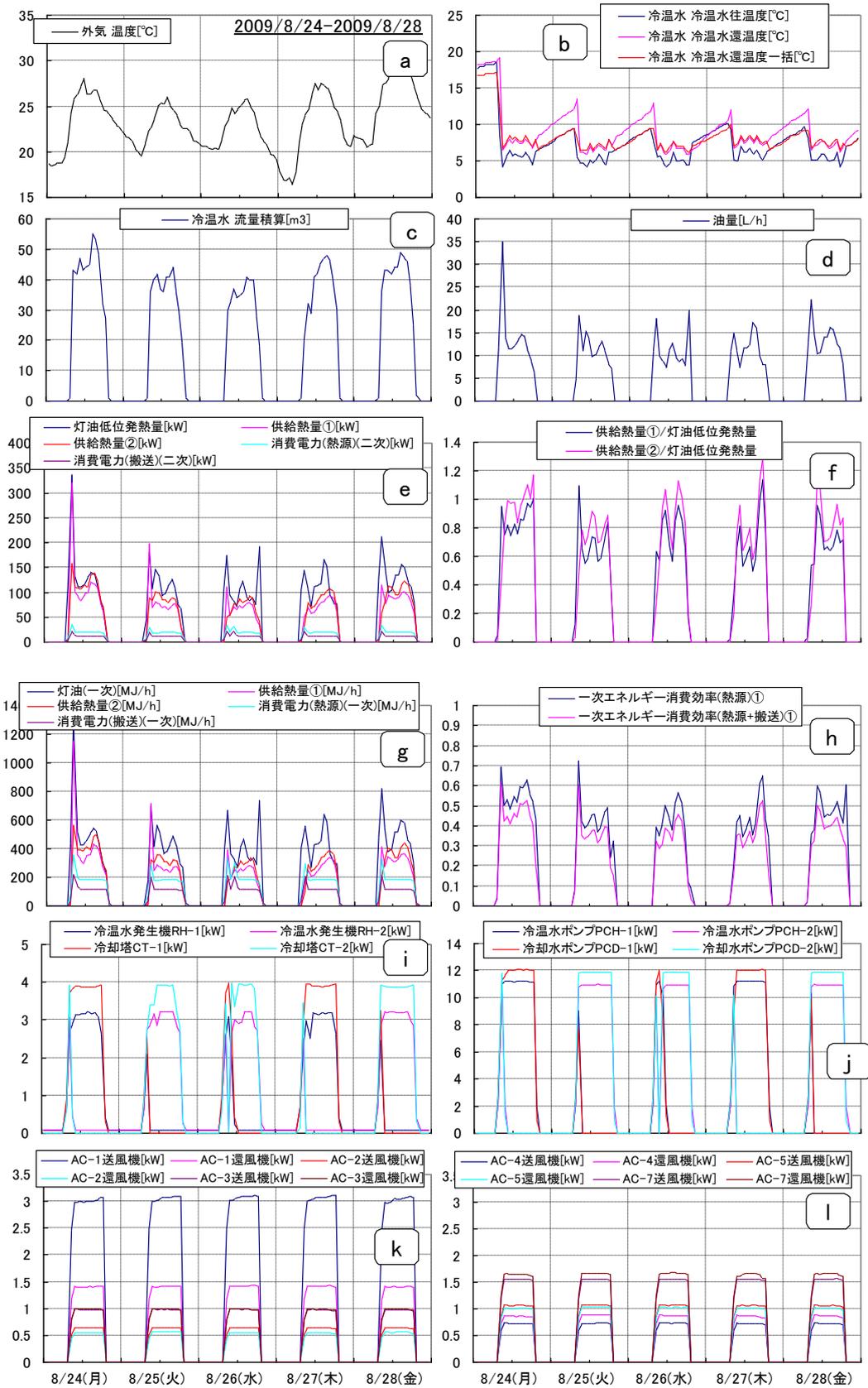


図3.2.14 計測分析結果(2009/8/24~8/28)

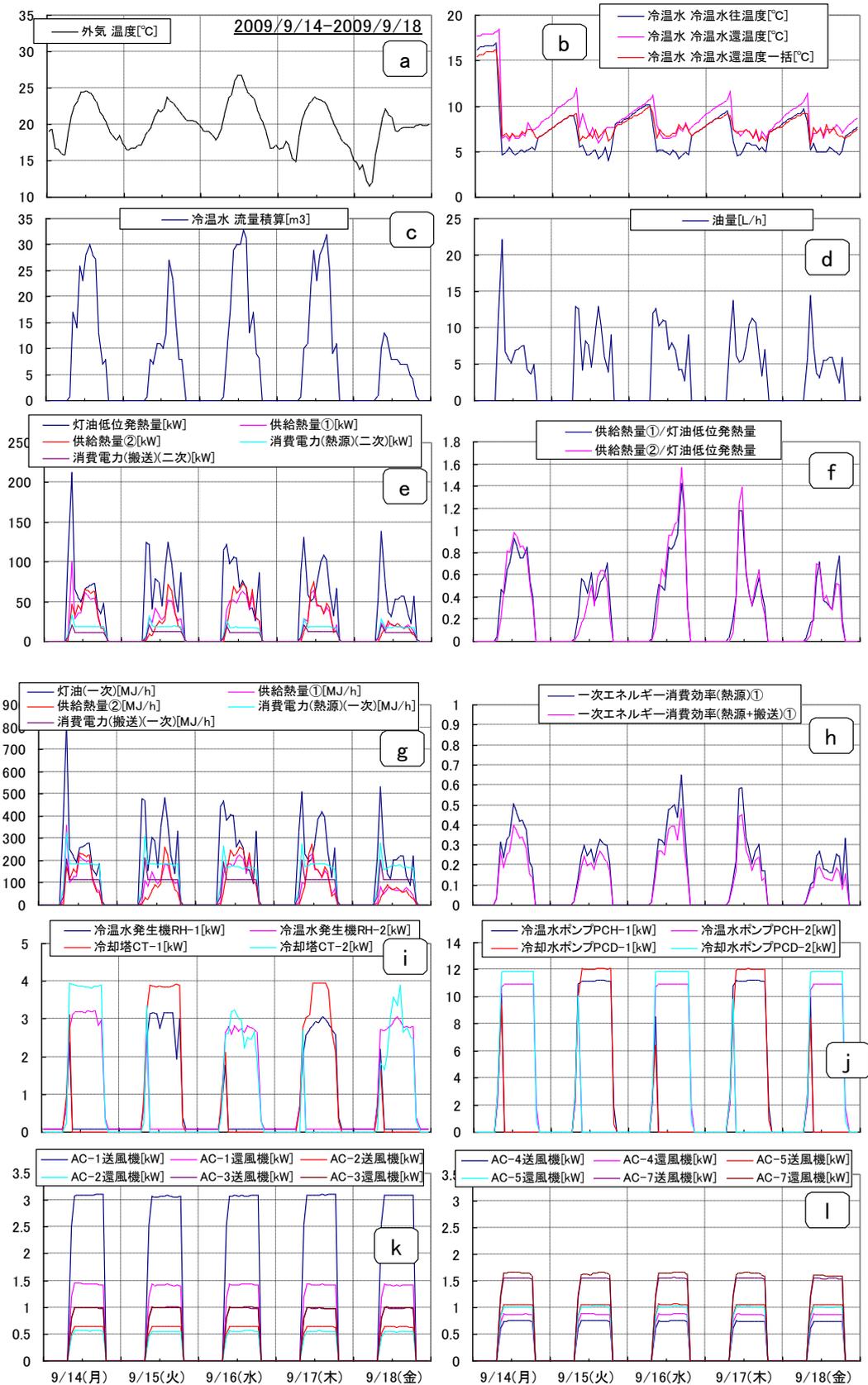


図3.2.15 計測分析結果(2009/9/14~9/18)

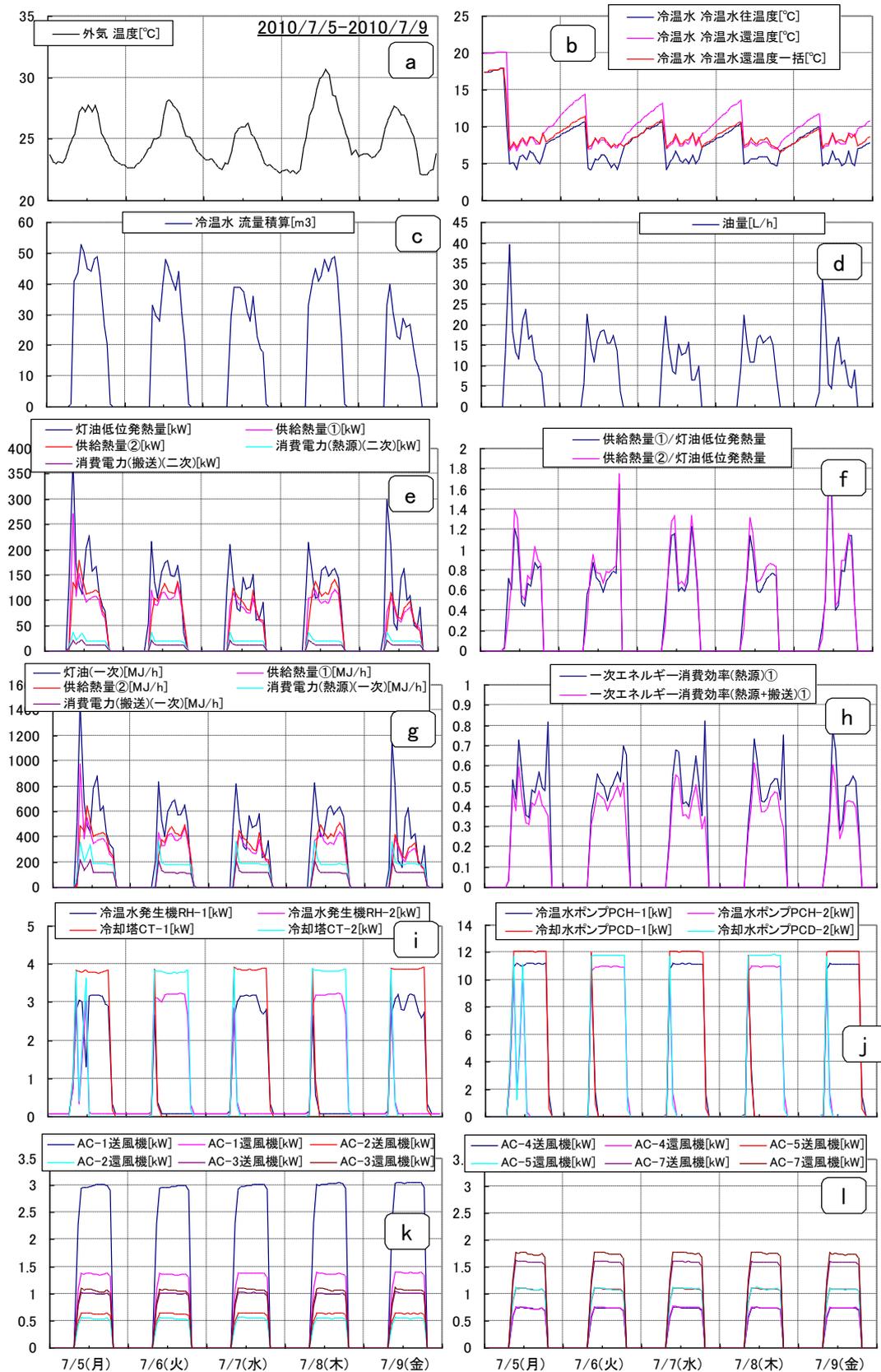


図3.2.16 計測分析結果(2010/7/5~7/9)

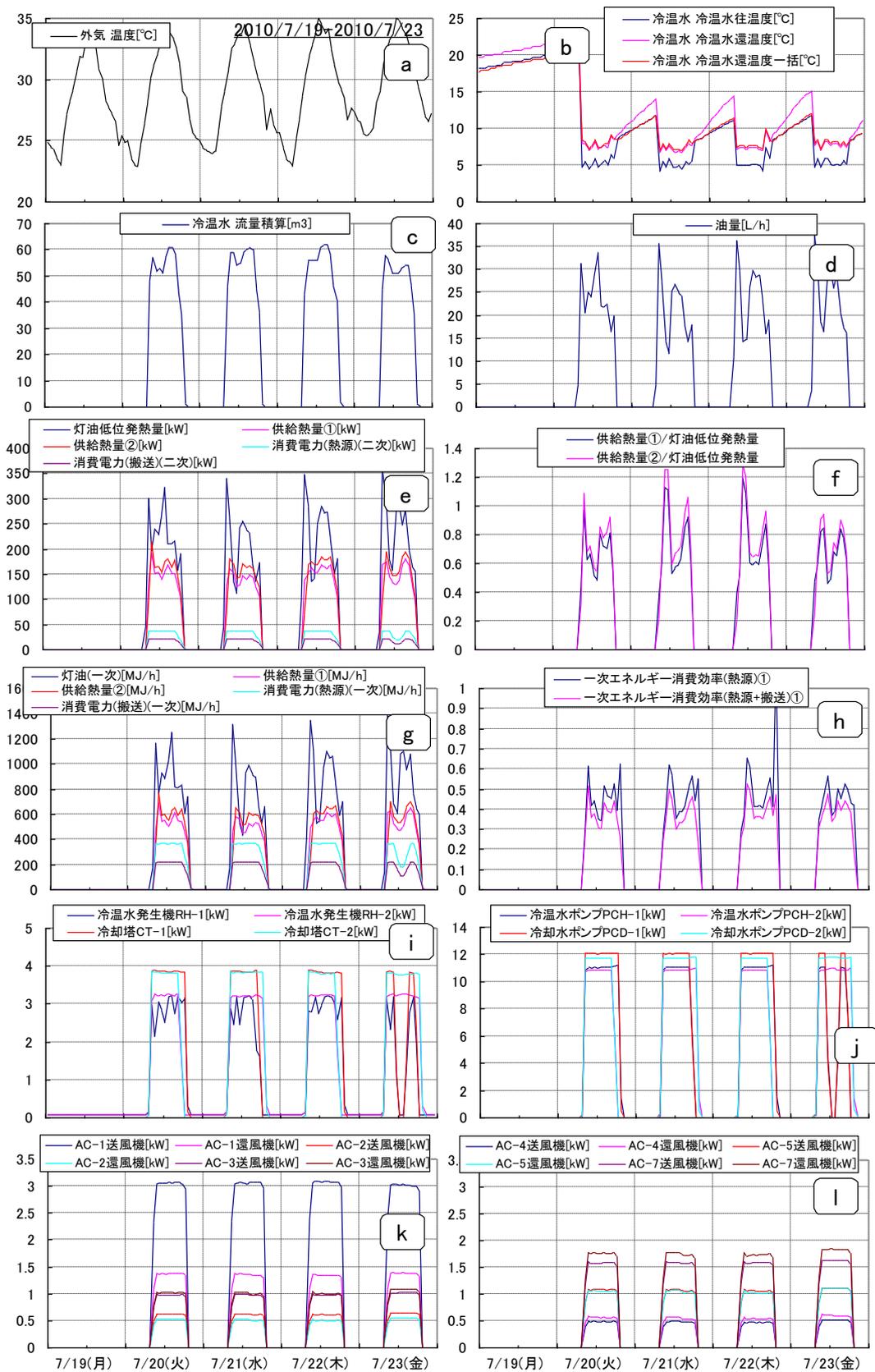


図3.2.17 計測分析結果(2010/7/19~7/23)

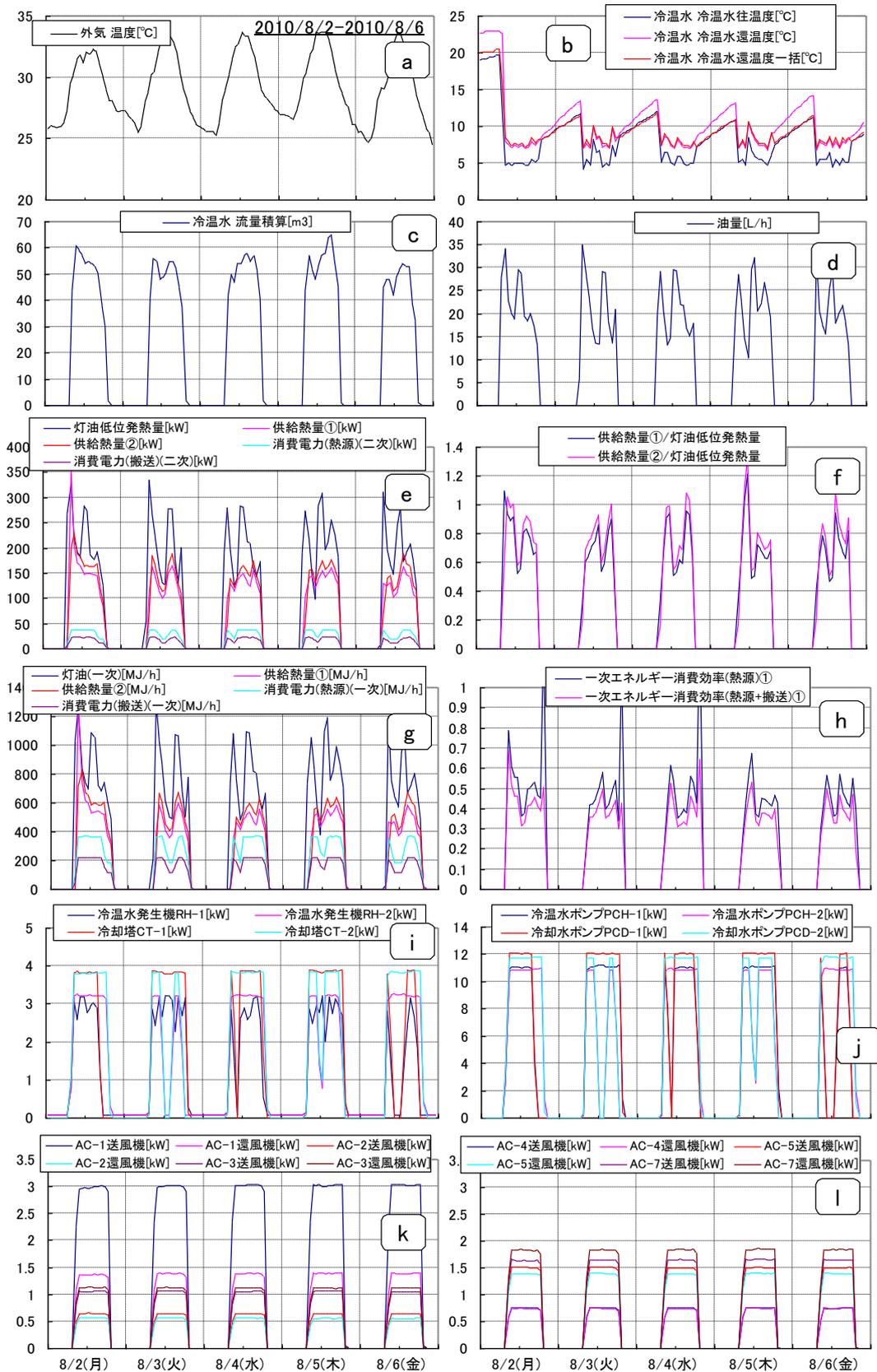


図3.2.18 計測分析結果 (2010/8/2~8/6)

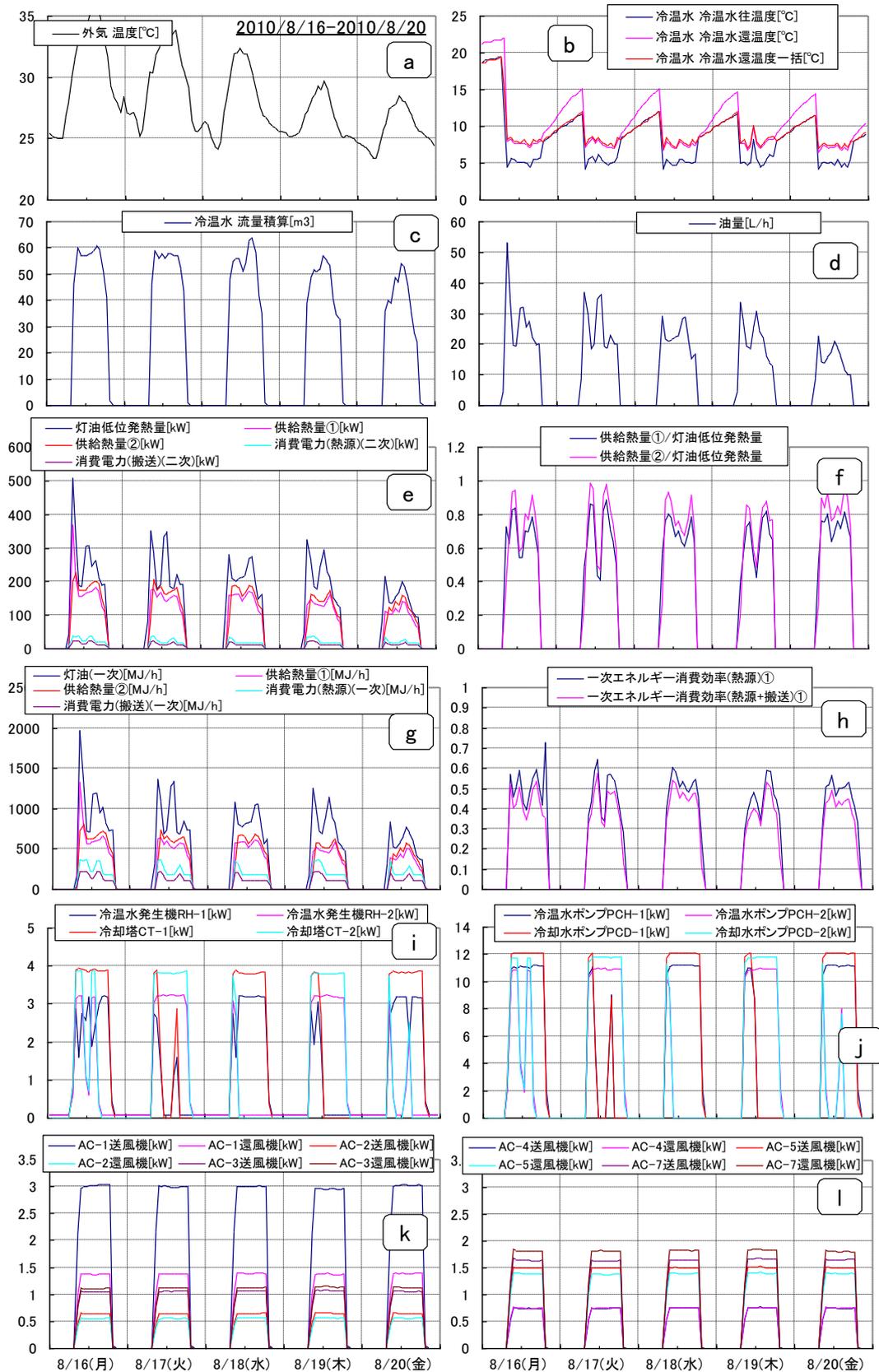


図3.2.19 計測分析結果(2010/8/16~8/20)

(2) 日積算値による空調負荷とエネルギー消費量の分析

図3.2.20、3.2.21に、2009、2010年度の灯油消費量と電力消費量の日平均一次エネルギー換算値、供給熱量①の日積算値、日平均外気温の関係、図3.2.22、3.2.23に一次エネルギー効率と日平均外気温の関係を示す。

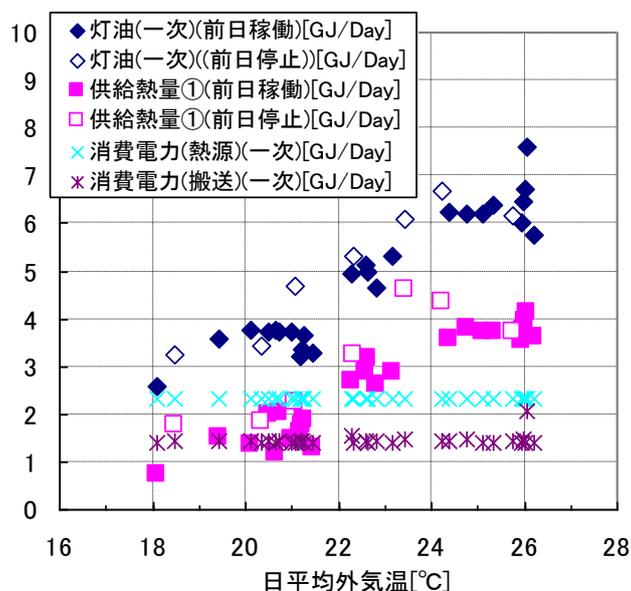


図3.2.20 日積算一次エネルギー消費量、供給熱量と日平均外気温の関係(2009年度夏)

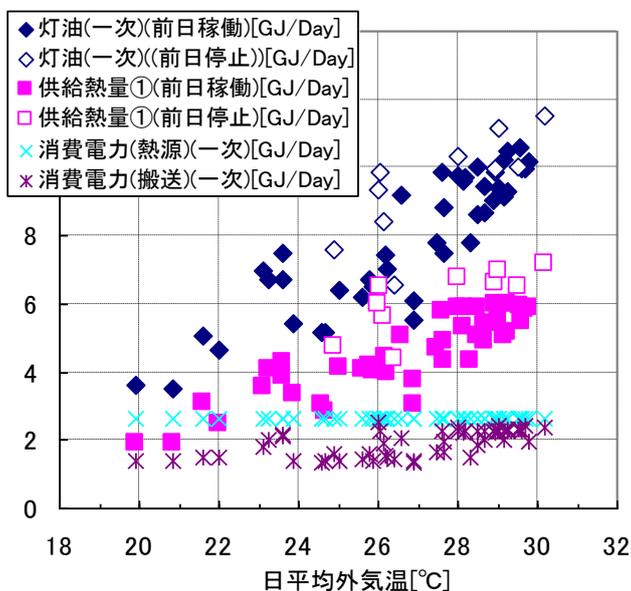


図3.2.21 日積算一次エネルギー消費量、供給熱量と日平均外気温の関係(2010年度夏)

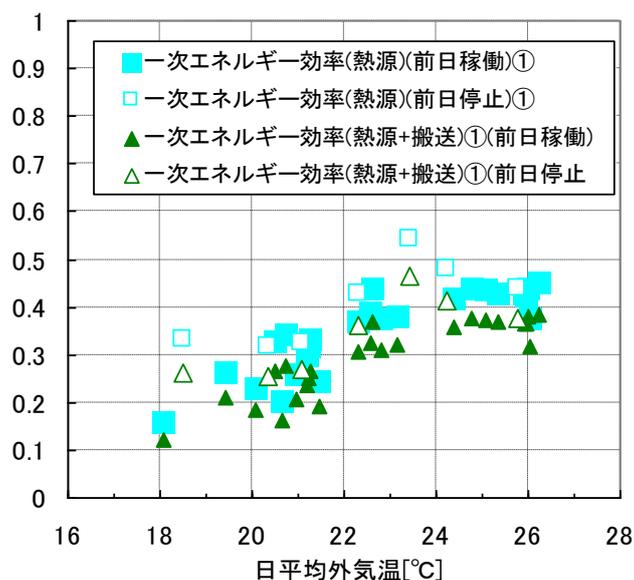


図3.2.22 一次エネルギー効率と日平均外気温の関係(2009年度夏)

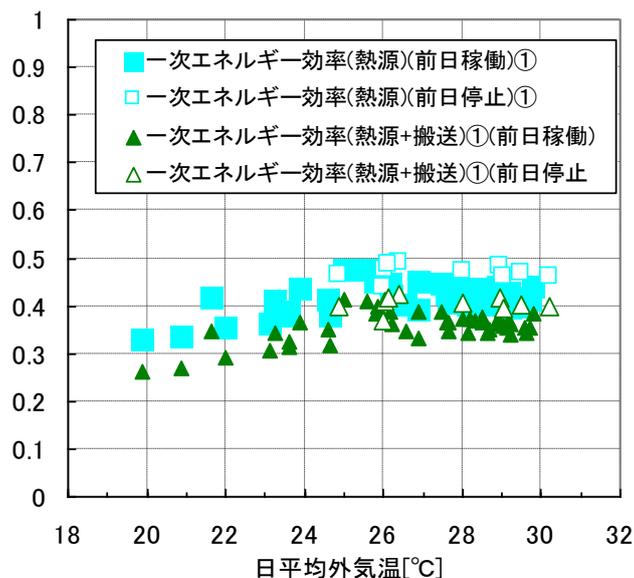


図3.2.23 一次エネルギー効率と日平均外気温の関係(2010年度夏)

図3.2.20、3.2.21からは、日平均外気温が上がるにつれ、灯油発熱量と供給熱量が直線的に増加する傾向が見られる。図中、前日の稼働状況が空調負荷にどの程度影響を与えるかを検討するために、灯油発熱量と供給熱量①については、前日の稼働状況により記号を変えているが、前日空調を行っていない場合に、灯油発熱量と供給熱量が若干増加する傾向があると言える。

また、熱源機器で消費されている電力量は外気温にかかわらずほぼ一定で推移している。搬送機器の消費電力量は、外気温の上昇とともに若干増加する傾向が見受けられる。

図3.2.22、3.2.23に示した一次エネルギー効率については、熱源については0.1～0.5程度、搬送系も含めると0.1～0.4程度となっている。日平均外気温が24～26℃程度で最大の値をとり、外気温が24℃から下がると効率が低下する傾向が見受けられる。一方、外気温が26℃を上回ると若干効率が下がって横ばいの状況が見られる結果となっている。

また、前日の稼働状況については、前日非稼働の方が効率としては向上する傾向が見られることから、高負荷帯での高効率での稼働が反映されたものと言える。

3.2.5 まとめ

本節では、建物Tにおける空調用熱源性能ならびに空調負荷に関する検討を行うために、中央監視室で記録している計測データと別途並行して計測を実施した消費電力量のデータを分析した。2台の冷温水発生機を熱源とした構成が比較的シンプルな空調システムにおいて、灯油消費量と熱供給量、電力消費量の計測データをもとに暖房、冷房の一次エネルギー効率の検討を行った。

しかし、1時間間隔のデータでは検討では限界がある。より詳細に需要側の負荷特性や、熱源機器の稼働状況、熱源機器単体およびシステムとしての効率を評価するためには、細密なデータが必要となる。また、熱源機器およびシステムとしての評価をするためには、計測機器の追加が必要となる。次節では、熱源まわりを中心に計測機器を追加し、より詳細な検討を行った結果について示す。

3.3 建物Tにおける詳細計測による熱源性能・負荷に関する検討

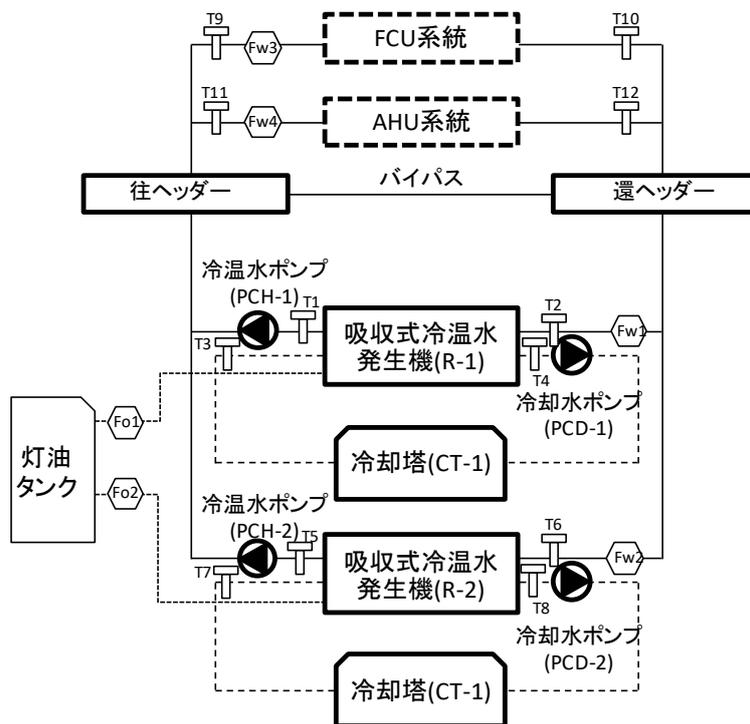
本節では、建物Tに新たに導入した流量計、温度センサー等の計測システムを使用して計測した結果をもとに、空調用熱源性能ならびに空調負荷に関する検討を行う。

3.3.1 空調システムと計測の概要

前節で中央監視室で記録されたデータをもとに検討を行った建物Tには、空調用熱源として2台の冷温水発生機(灯油直焚二重効用吸収式)が導入されており、冷却塔、冷温水ポンプ、冷却水ポンプ等とともに2系統の空調用熱源システムが構成されている。通常の運用では、主運転系統と副運転系統に日々交互に振り分けられ、主運転系統は7～8時に運転を開始し18～19時前後に運転を停止される。副運転系統は朝方の立ち上がり時に運転されている。作成された冷水(夏期)、温水(冬期)は、冷温水ポンプにより、1～5、7、8階のファンコイルユニット、空気調和機に搬送され、暖房または冷房に使用されている。

図3.3.1は、中央監視室で記録されたデータの分析を踏まえ、空気調和・衛生工学会で2005年に策定された「建築設備の性能検証過程指針」を参照して、追加した計測システムの概要である。吸収式冷温水機2台(図3.3.2)の出入温度、ポンプ(図3.3.3)の流量、二次側流量と往還温度、灯油の冷温水機毎の消費量の計測を1分間隔で行っている(図3.3.4)。また、冷却水ポンプ2台(PCD-1、PCD-2)の流量は、別途超音波流量計(横河US300PM)を設置し、10分間隔で計測している。

計測は2009年度冬期および2010年度の夏期、冬期に実施した。



灯油流量計(Fo-1~2):	OVAL LS4976-430A	2台
電磁流量計(Fw-1~4):	横河電機 AXF125G-D1AL1S-AJ11-01A	3台
	横河電機 AXF100G-D1AL1S-AJ11-01A	1台
測温抵抗体(T-1~12):	JIS A級	12本
電力計	HIOKI 3169, 2300シリーズ	

図3.3.1 計測システム概要



図3.3.2 冷温水発生機



図3.3.3 冷温水・冷却水ポンプ



図3.3.4 計測用PC

3.3.2 暖房時測定結果の分析

(1) 経時データ

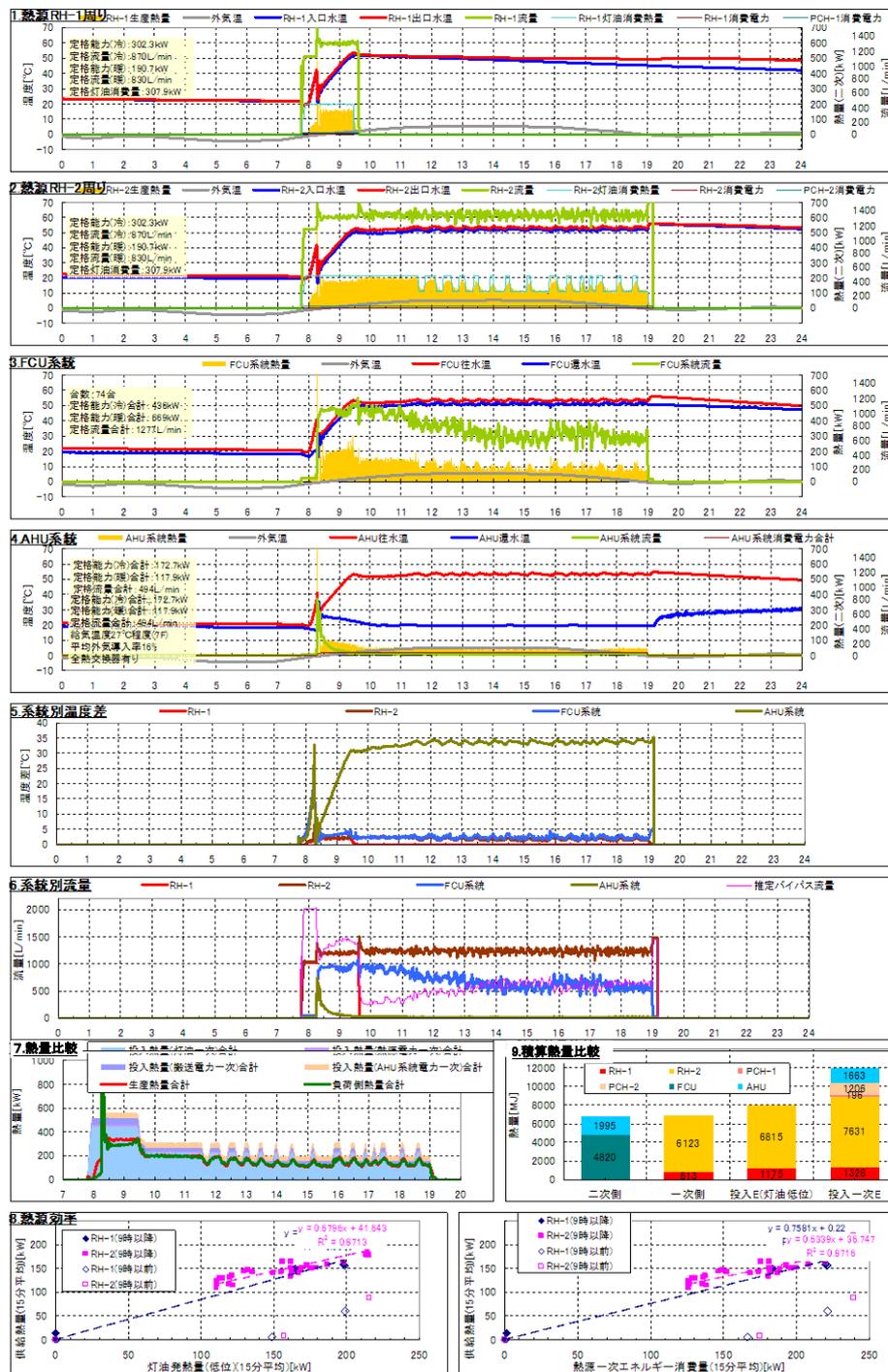
図3.3.5～3.3.12に暖房時の経時データを示す。また、図3.3.13～3.3.17に2011年1月～2月の日平均値・積算値等の推移を示す

計測器を追加して詳細計測を行うことで、以下が確認された。

- ・副運転機は、朝の立ち上がり時の2時間弱の運転のみであり、日中に負荷増大により2台運転する状況は見られなかった(図3.3.14)。
- ・熱源機の効率は日中の長時間運転している際には90%程度の効率となっており、仕様上の効率(85%)と同程度を実現できている(図3.3.17)。ただし、立ち上がり時の運転では70%

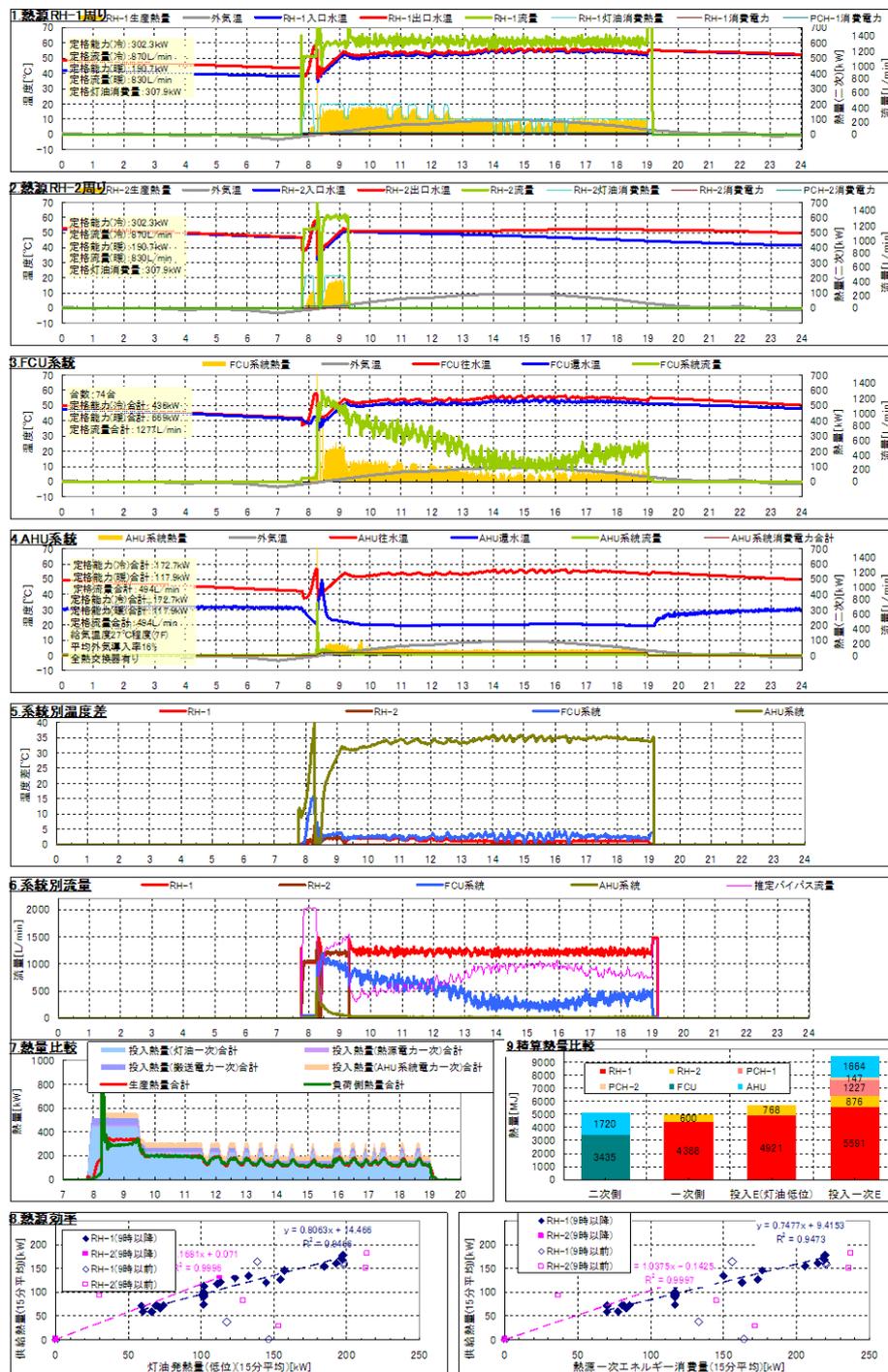
程度に効率が低下している。吸収式冷温水発生機2台の稼働状況を見ると、R-2の方が安定しており、R-1の効率が若干低くなっている。

- 冷温水ポンプ (PCH-1, 2) による流量が2台とも1,200～1,300L/minと熱源の仕様(暖房時830L/min)の約1.4倍と過大になっている。また、空調時のバイパス流量が冷温水流量の3～8割を占めることから、熱源の加熱による温度上昇が2℃程度と、設計温度差(5℃)を大きく下回る状況で運転されている(図3.3.5～3.3.12 1, 2, 6)。
- AHU系統の流量が極端に少なく、往還温度差が30℃を越える状況が出現している(図3.3.5～3.3.12 5)。当初は計測の不備が疑われたが、熱源の生産熱量とAHU、FCU系統への供給熱量がほぼ一致して推移している(図3.3.5～3.3.12 7, 9)ことから計測自体は妥当と判断される。
- 供給熱量のうち、AHU系統で3～5割、FCU系統で5～7割が使用される結果となった(図3.3.5～3.3.12 9)。



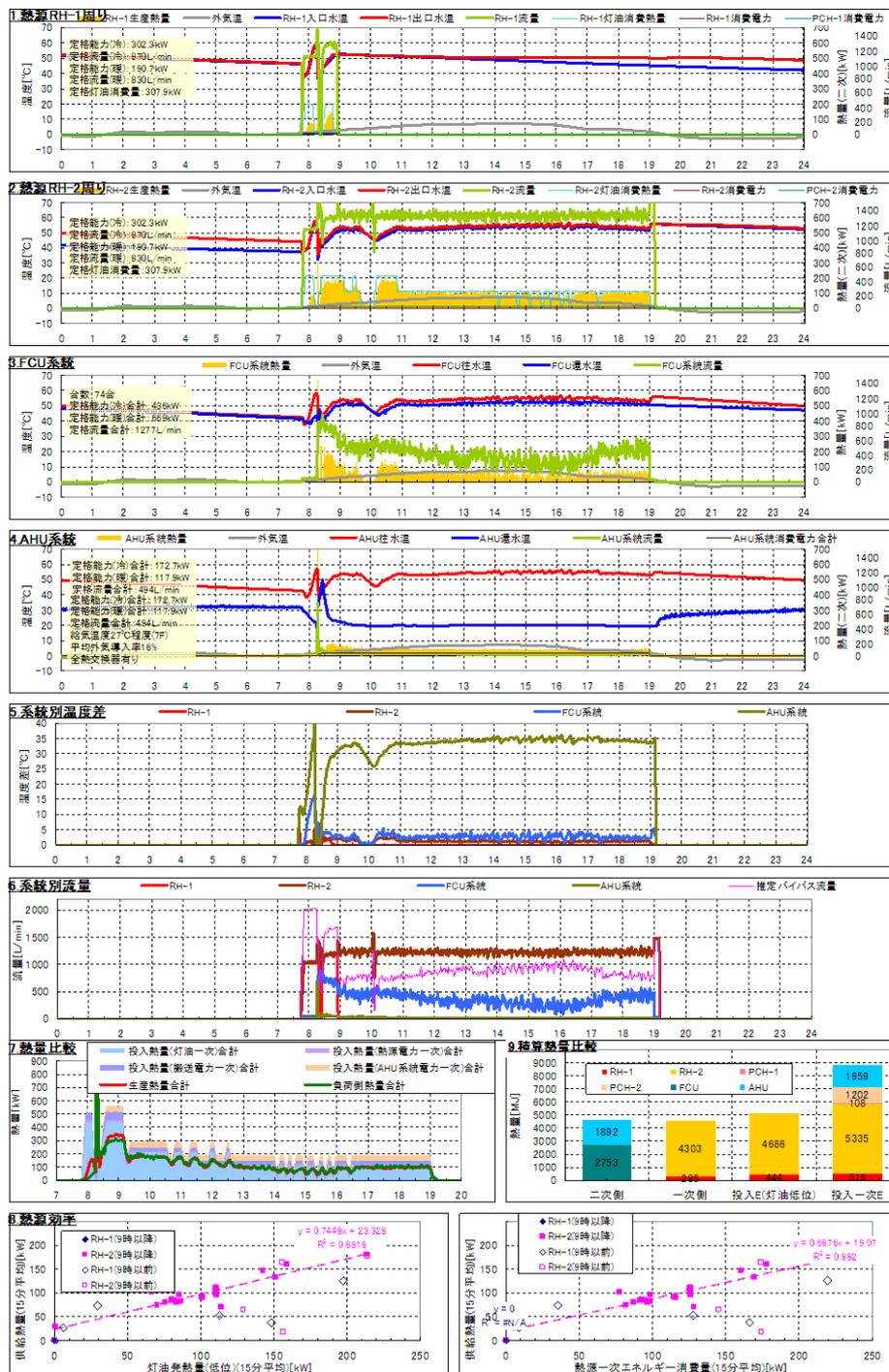
	平均		運転時間 [h]	積算					システム効率 [%]
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]		流量 [m³]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 (低位) [MJ]	効率 (二次) [%]	投入一次エネルギー [MJ]	
RH-1	38.0	39.6	1.77	126.6	813.5	1175.1	69.2%	1326.1	61.3%
RH-2	48.9	50.7	11.38	836.9	6123.2	6815.1	89.8%	7630.9	80.2%
一次側計				963.4	6936.7	7990.2	86.8%	8957.0	77.4%
PCH-1			1.87					196.1	熱源+搬送
PCH-2			11.42					1206.0	65.8%
FCU	50.8	48.2	11.37	460.7	4819.8			未計測	熱源+搬送
AHU	50.7	20.1	11.35	20.7	1994.6			1663.5	+AHU
二次側計				481.4	6814.4			3065.6	56.7%

図3.3.5 計測結果 (2011年1月11日)



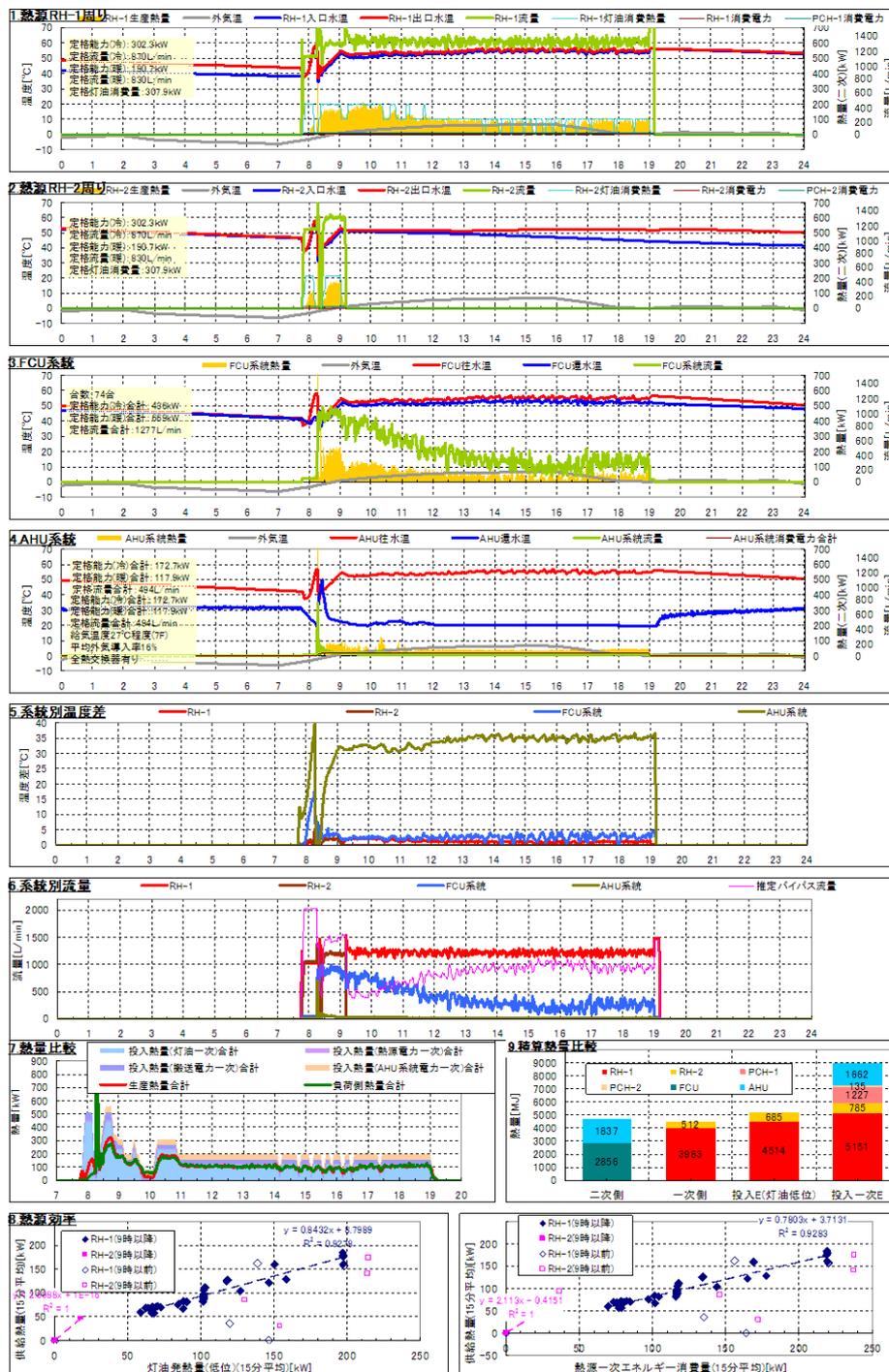
	平均		運転時間 [h]	種別				投入一次エネルギー [MJ]	効率 (一次)	システム効率 (%)
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]		流量 [m³]	供給熱量 [MJ]	投入熱量 (低位) [MJ]	効率 (二次)			
RH-1	52.4	53.7	11.18	828.4	4388.1	4921.1	89.2%	5591.2	78.5%	熱源(灯油 低位のみ)
RH-2	45.8	47.4	1.35	96.6	600.4	768.3	78.1%	876.2	68.5%	
一次側計				925.0	4988.4	5689.4	87.7%	6467.4	77.1%	
PCH-1			11.42					1227.1		熱源+搬送
PCH-2			1.48					146.6		65.7%
FCU	53.7	50.9	11.18	315.9	3434.5			未計測		熱源+搬送
AHU	53.3	20.9	11.32	13.6	1720.1			1663.5		+AHU
二次側計				329.4	5154.6			3037.3		54.2%

図3.3.6 計測結果 (2011年1月12日)



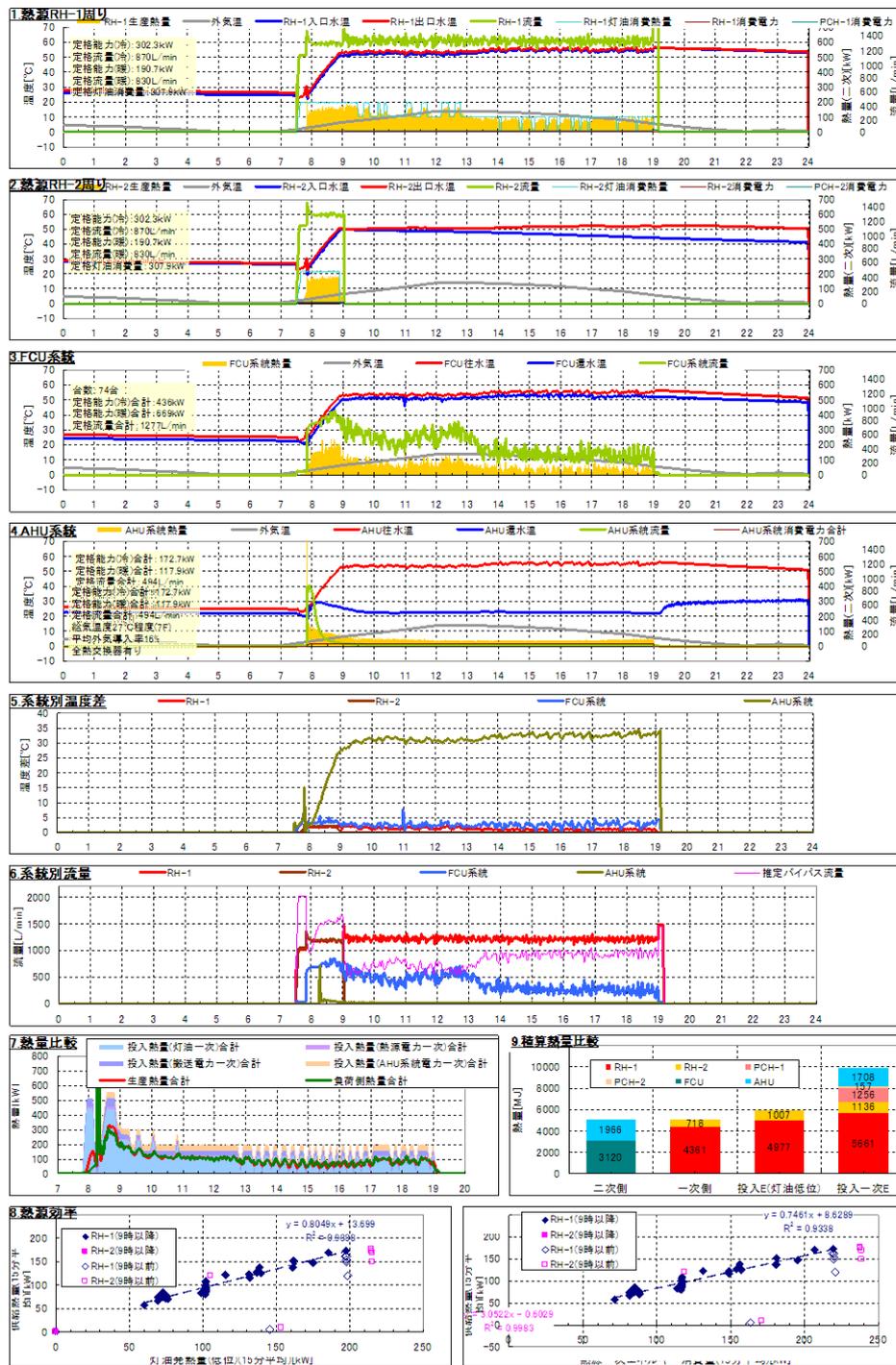
	平均		運転時間 [h]	流量 [m3]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 (低位)[MJ]	検算		システム効率 [%]
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]					効率 (二次) [%]	投入一次 エネルギー [MJ]	
RH-1	47.4	48.4	1.00	68.3	285.4	444.0	64.3%	518.7	55.0%
RH-2	52.0	53.2	11.30	833.2	4303.5	4686.1	91.8%	5334.7	80.7%
一次側計				901.6	4588.9	5130.2	89.4%	5853.5	78.4%
PCH-1			1.08					108.4	熱源+搬送
PCH-2			11.42					1201.7	64.8%
FCU	53.4	50.5	11.20	244.3	2753.1		未計測		熱源+搬送
AHU	53.0	20.8	11.33	14.7	1891.5			1658.5	+AHU
二次側計				259.0	4644.6			2968.7	52.6%

図3.3.7 計測結果 (2011年1月13日)



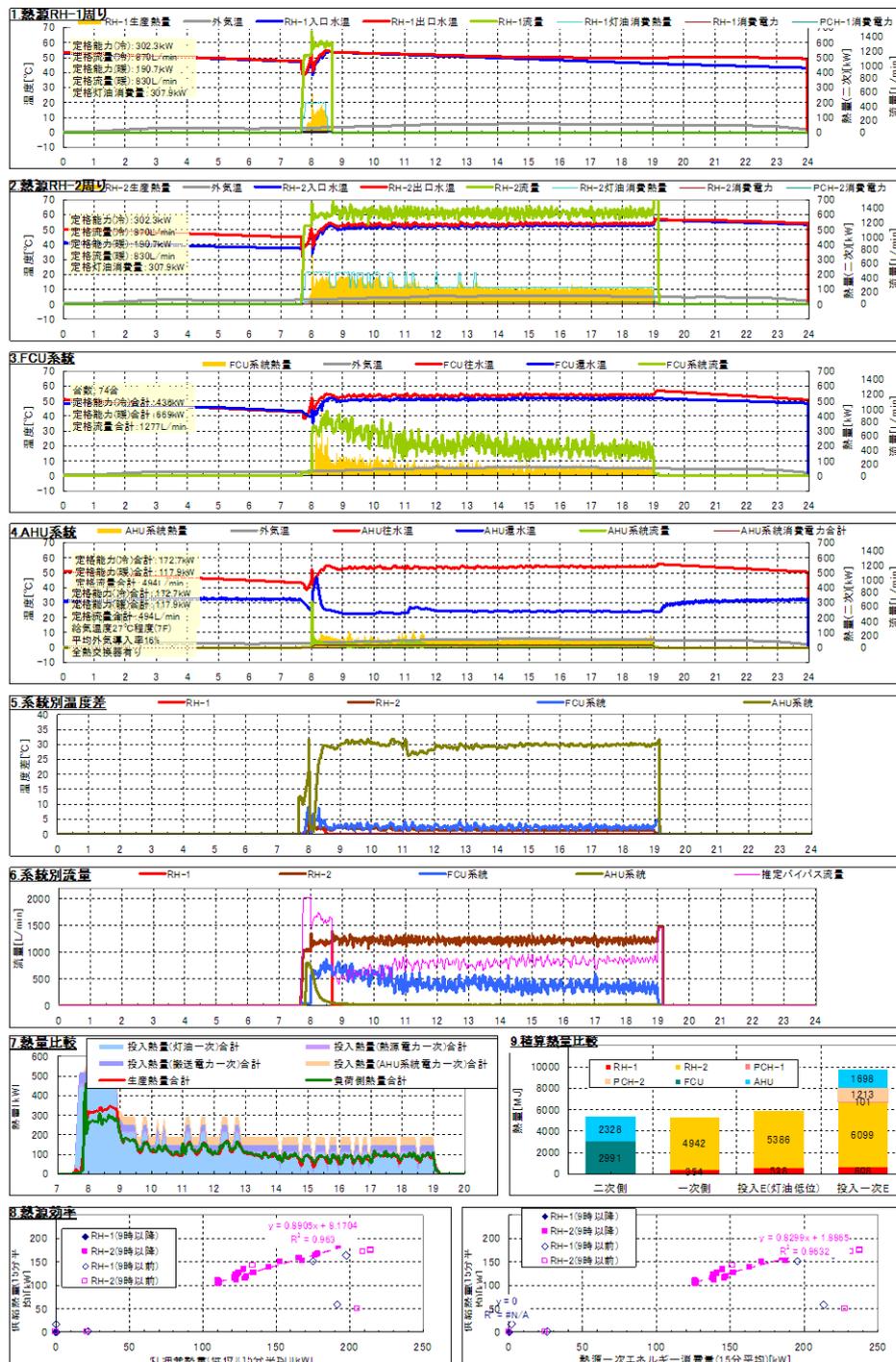
	平均		運転時間 [h]	検算				投入一次 効率 (一次) [%]	システム 効率 [%]
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]		流量 [m3]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 (低位) [MJ]	効率 (二次) [%]		
RH-1	52.9	54.1	11.18	827.5	3982.5	4513.6	88.2%	5151.4	77.3%
RH-2	46.4	47.8	1.25	88.1	512.4	685.2	74.8%	784.7	65.3%
一次側計				915.6	4494.9	5198.8	86.5%	5936.0	75.7%
PCH-1			11.42					1227.0	熱源+搬送
PCH-2			1.37					134.7	64.3%
FCU	54.0	51.3	11.15	263.4	2856.3			未計測	熱源+搬送
AHU	53.7	21.1	11.30	14.4	1836.7			1661.9	+AHU
二次側計				277.8	4693.1			3023.6	52.4%

図3.3.8 計測結果 (2011年1月14日)



	平均		運転時間 [h]	流量 [m ³]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 (低位)[MJ]	積算		システム効率が
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]					効率が (二次)[%]	投入一次工利 [MJ]	
RH-1	51.4	52.6	11.53	845.9	4361.4	4977.3	87.6%	5660.9	77.0%
RH-2	35.3	37.0	1.45	104.3	717.7	1007.1	71.3%	1135.5	63.2%
二次側計				950.2	5079.1	5984.4	84.9%	6796.4	74.7%
PCH-1			11.65					1256.3	熱源+搬送
PCH-2			1.53					157.0	61.9%
FCU	52.3	49.7	11.63	277.3	3119.6		未計測		熱源+搬送
AHU	52.3	23.0	11.62	29.2	1965.7			1707.7	+AHU
二次側計				306.5	5085.4			3121.0	51.3%

図3.3.9 計測結果(2011年2月7日)



	平均		運転時間 [h]	積算					システム効率 [%]
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]		流量 [m³]	供給熱量 [MJ]	投入熱量 (燈油) [MJ]	投入一次エネルギー [MJ]	効率 (一次) [%]	
RH-1	47.7	49.1	0.90	64.9	353.6	527.9	67.0%	607.7	58.2%
RH-2	51.9	53.3	11.35	840.6	4942.1	5386.1	91.8%	6099.4	81.0%
一次割計				905.4	5295.8	5914.0	89.5%	6707.1	79.0%
PCH-1			1.00					101.2	熱源+搬送
PCH-2			11.48					1213.0	66.3%
FCU	53.5	51.0	11.33	288.8	2990.9		未計測		熱源+搬送
AHU	53.2	24.6	11.48	19.9	2327.7			1698.1	熱源+搬送+AHU
二次割計				308.7	5318.5			3012.4	54.7%

図3.3.10 計測結果 (2011年2月8日)

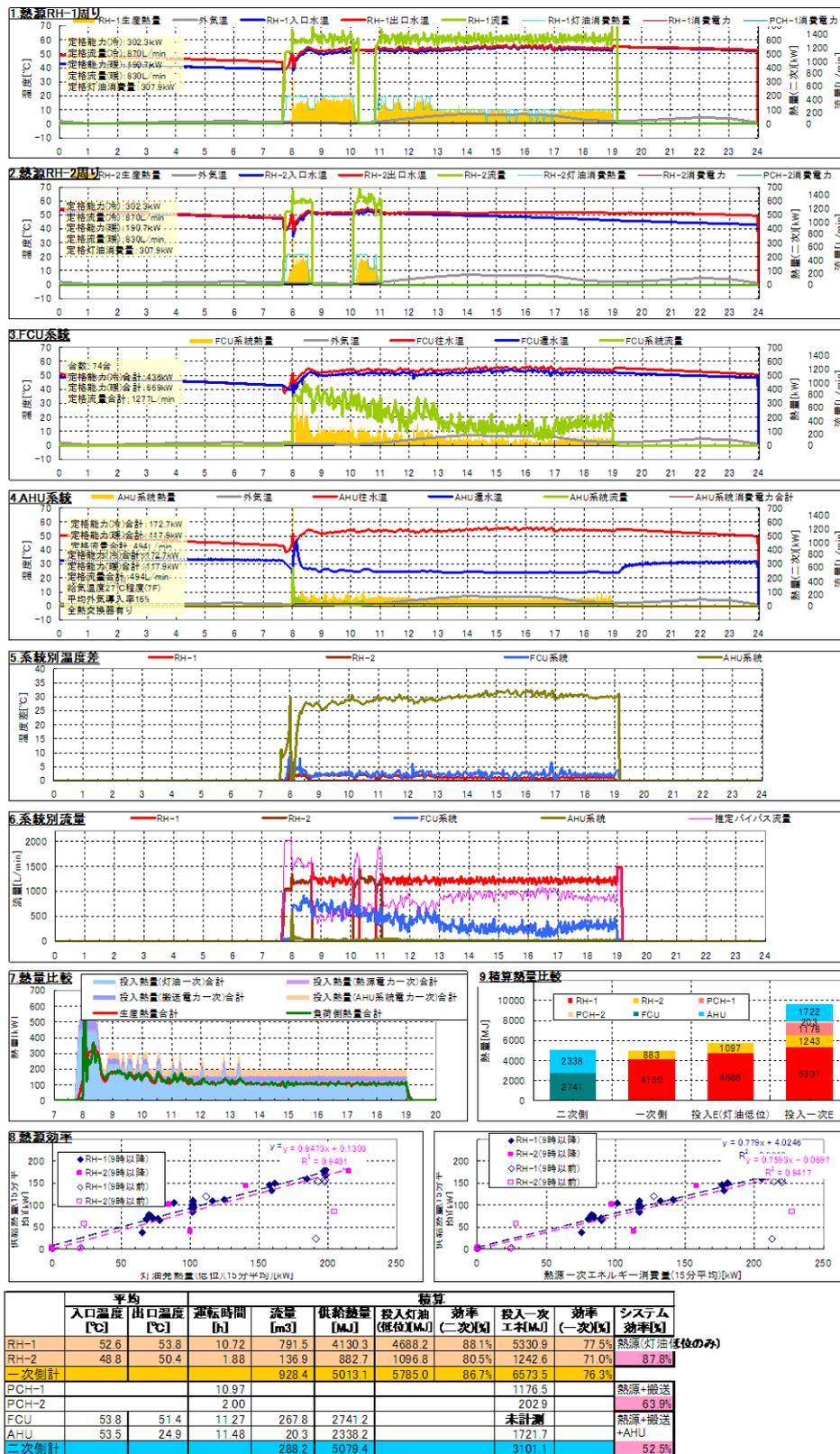
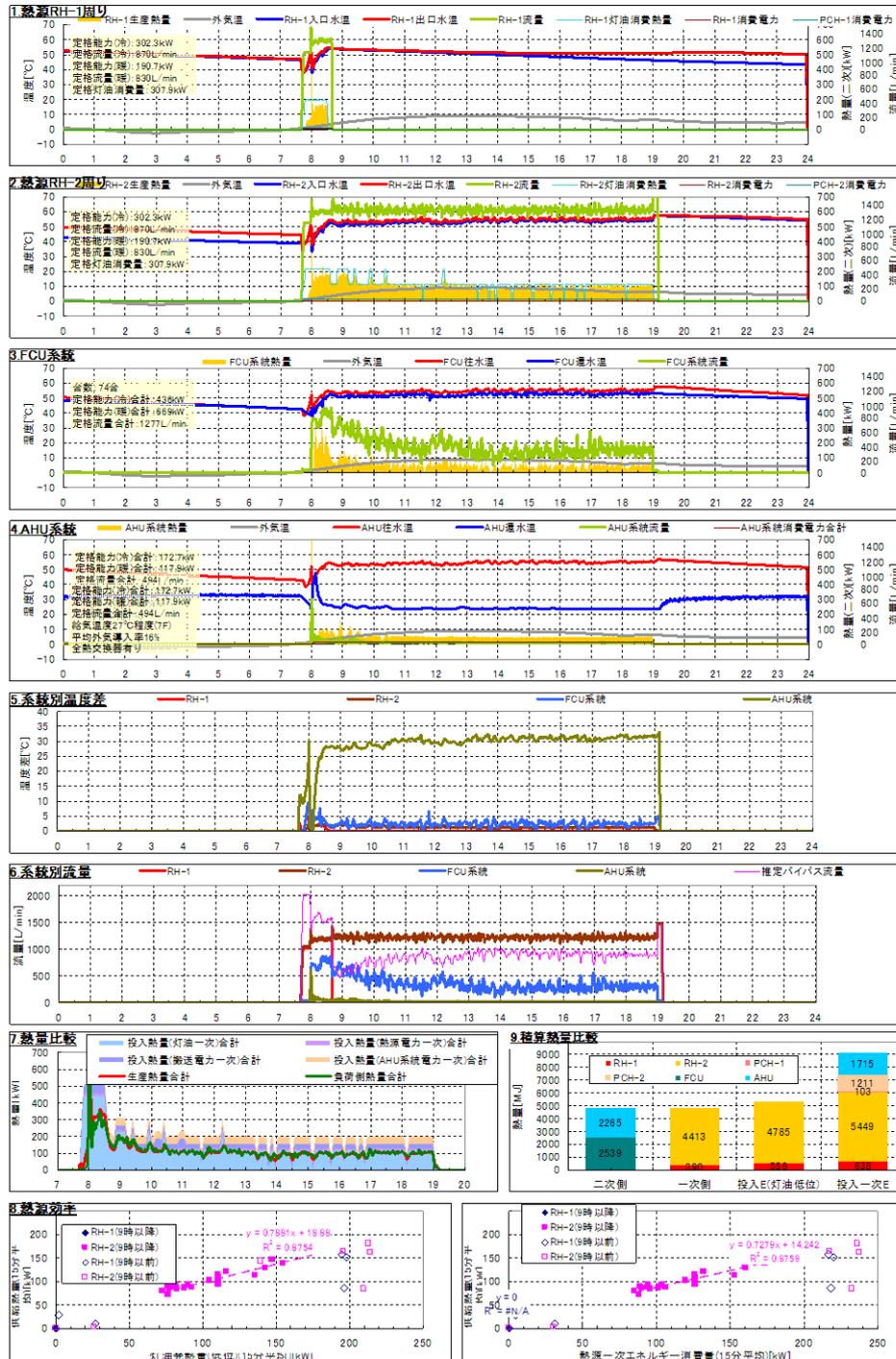


図3.3.11 計測結果(2011年2月9日)



	平均		運転時間 [h]	流量 [m ³]	供給熱量 [MJ]	投入熱量 (燈油) [MJ]	熱源効率		システム効率 [%]
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]					投入一次エネルギー [MJ]	効率 (一次)	
RH-1	47.2	48.7	0.93	65.6	390.2	555.8	70.2%	638.4	61.1%
RH-2	52.8	54.0	11.38	839.0	4412.7	4785.2	92.2%	5448.7	81.0%
一次割計				904.6	4802.8	5340.9	89.9%	6087.0	78.9%
PCH-1			1.00					103.2	熱源+搬送
PCH-2			11.48					1211.3	64.9%
FCU	54.2	51.7	11.32	243.8	2539.5		未計測		熱源+搬送
AHU	53.9	24.6	11.42	19.3	2265.4			1715.1	熱源+搬送+AHU
二次割計				263.1	4804.9			3029.6	52.7%

図3.3.12 計測結果(2011年2月10日)

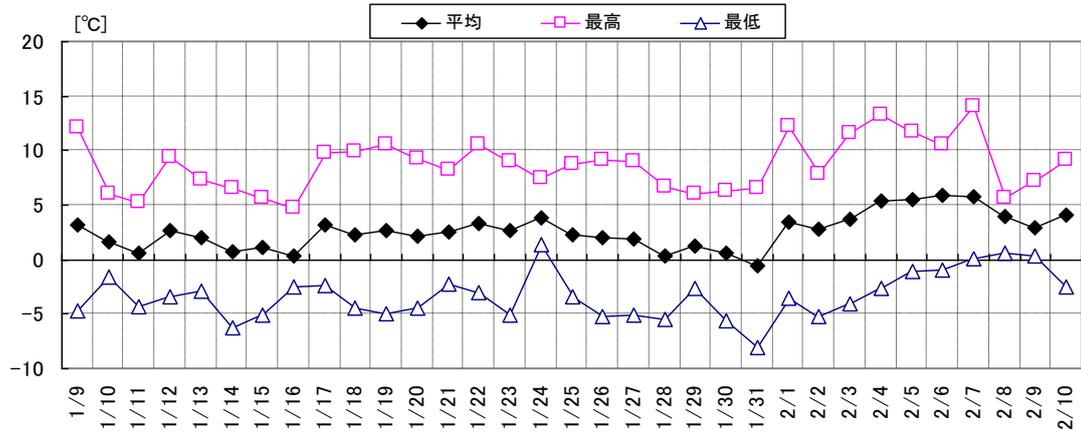


図3.3.13 外気温度の推移(2011年1月～2月, 気象庁データ(つくば))

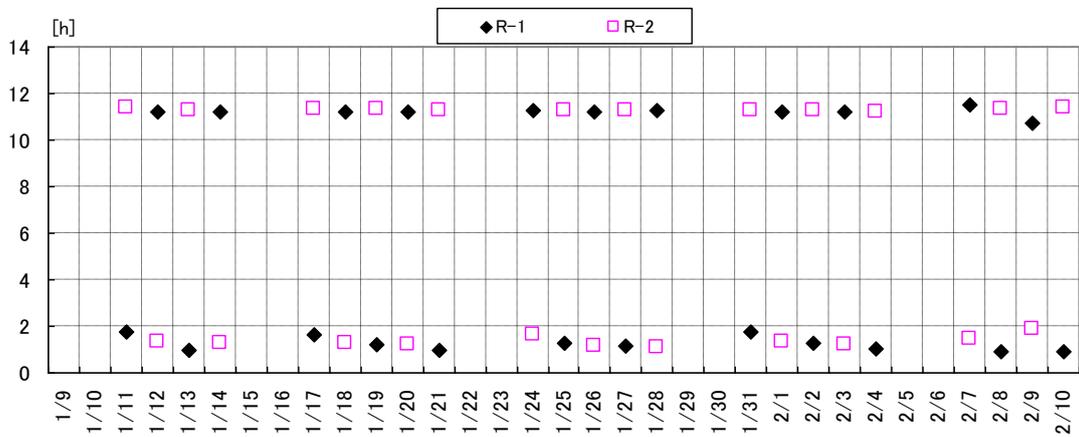


図3.3.14 稼働時間(2011年1月～2月)

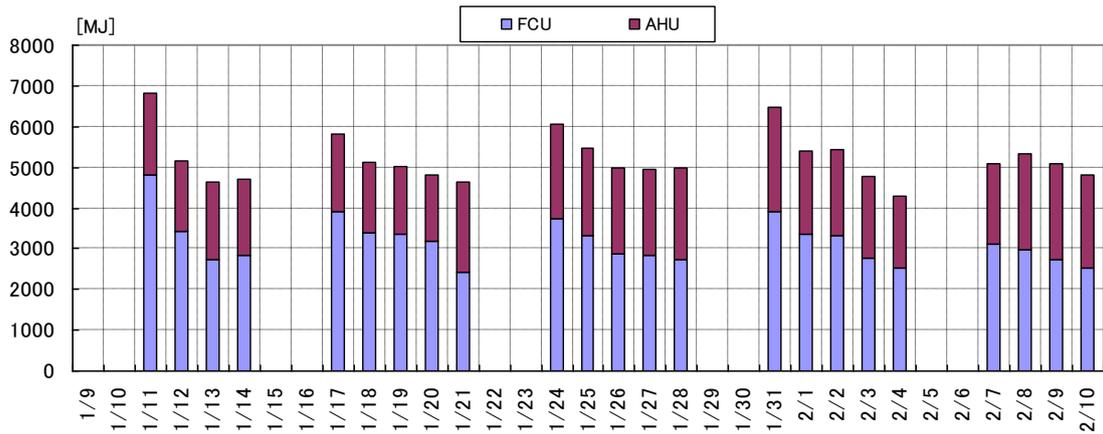


図3.3.15 日積算負荷(2011年1月～2月)

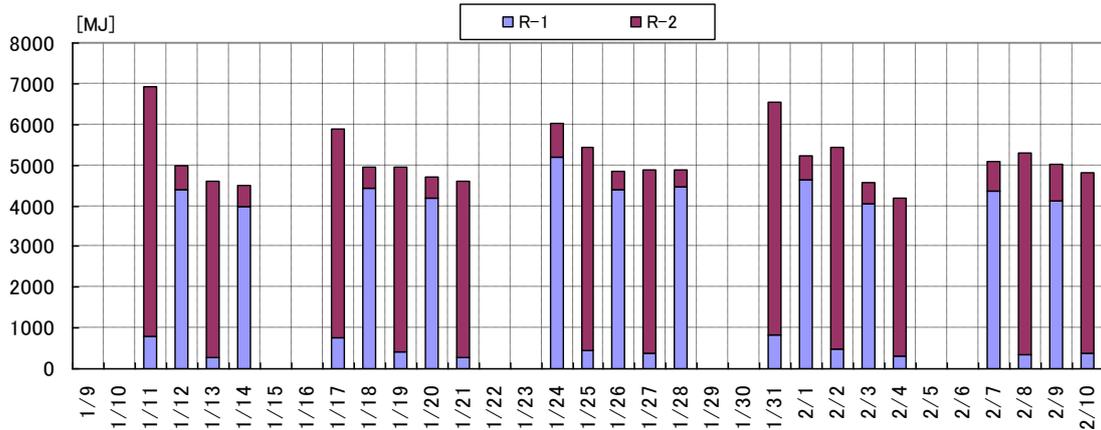


図3.3.16 日積算除去熱量(2011年1月～2月)

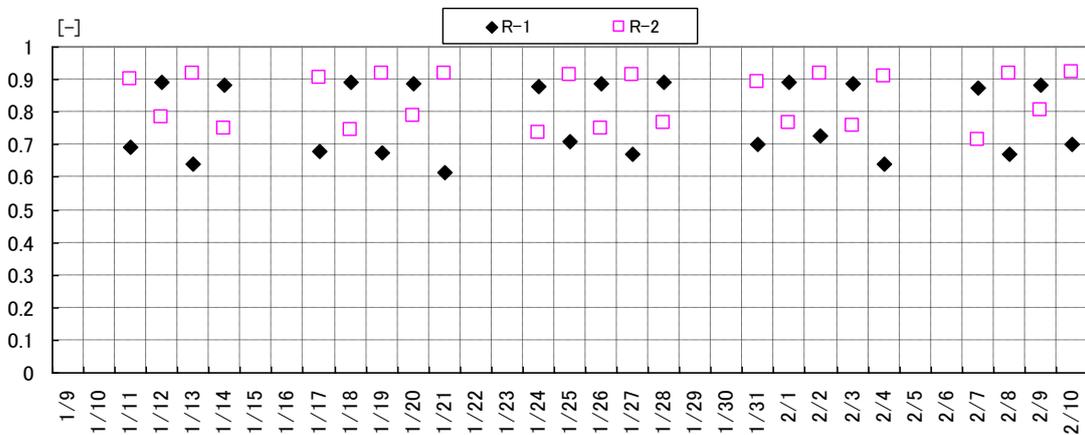


図3.3.17 熱源機効率(2011年1月～2月)

(2) 日積算値による分析

図3.3.18に冷温水機で使用した一次エネルギー消費量と供給熱量の関係、日平均外気温度と冷温水機の一次エネルギー効率の関係を、冷温水機別、運転別(主運転、立ち上がり運転)に示す。R-1で若干低い効率が出ているものの、終日稼働する主運転機となる時には2台とも一次エネルギー効率で0.8程度となっており(灯油低位発熱量を分母とした効率では0.9程度)、外気温の上昇とともに若干低下する傾向が見られる。立ち上がり運転時のみ稼働する立ち上がり運転機は日トータルの熱供給量のうち1割前後しか供給していないため全体に対する影響は小さいものの、効率でみると一次エネルギー効率が0.6程度と安定して運転する主運転機に比べて悪化している。

図3.3.19に、熱源機(2台)、熱源機+冷温水ポンプ、熱源機+冷温水ポンプ+AHU系統(FCU系統の電力消費は未計測)で使用された一次エネルギー消費量と供給熱量の関係、日平均外気温度とそれぞれの一次エネルギー効率の関係を、前日に空調が稼働したかどうかで分けて示した。

熱源機(2台)の効率は0.8弱となっており、空調非稼働日の翌日は消費量が増える傾向にあり、効率は0.02~0.05程度低下している。また、一次搬送系と併せた熱源機+冷温水ポンプや、二次搬送系まで含めた熱源機+冷温水ポンプ+AHU系統では、冷温水ポンプや空調機の稼働時間に大きな違いがなく同程度の消費量が加算される結果となっており、外気温と効率の関係を示した図3.3.19右では、外気温が上がるにつれて、供給熱量と熱源機の電力消費に対する冷温水ポンプや空調機の電力消費分の比率が相対的に高まることから、システムとしての効率は熱源機のみの場合に比べて顕著に低下する結果となった。

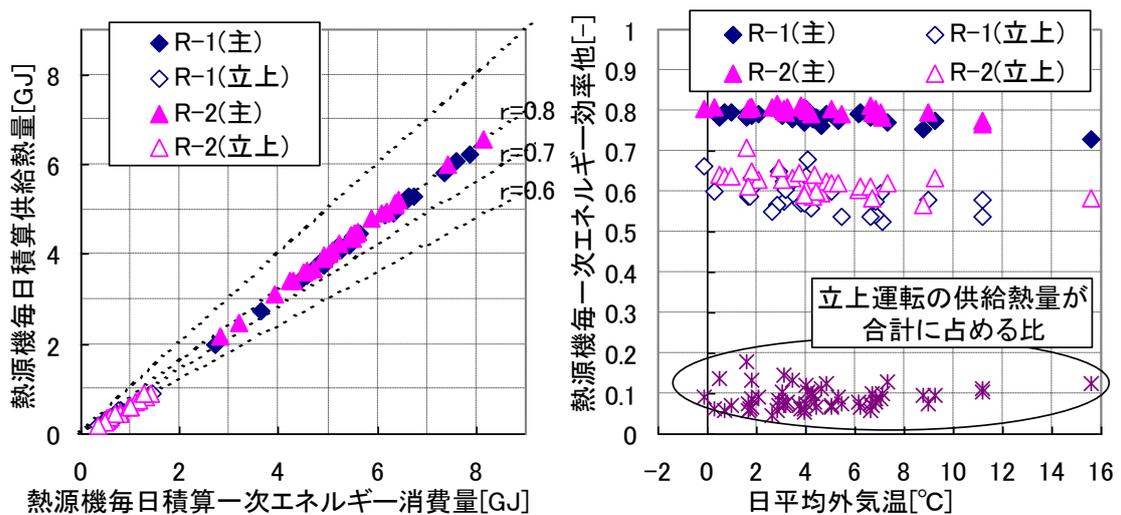


図3.3.18 冷温水機の効率(暖房) (2009年11月~2010年1月)

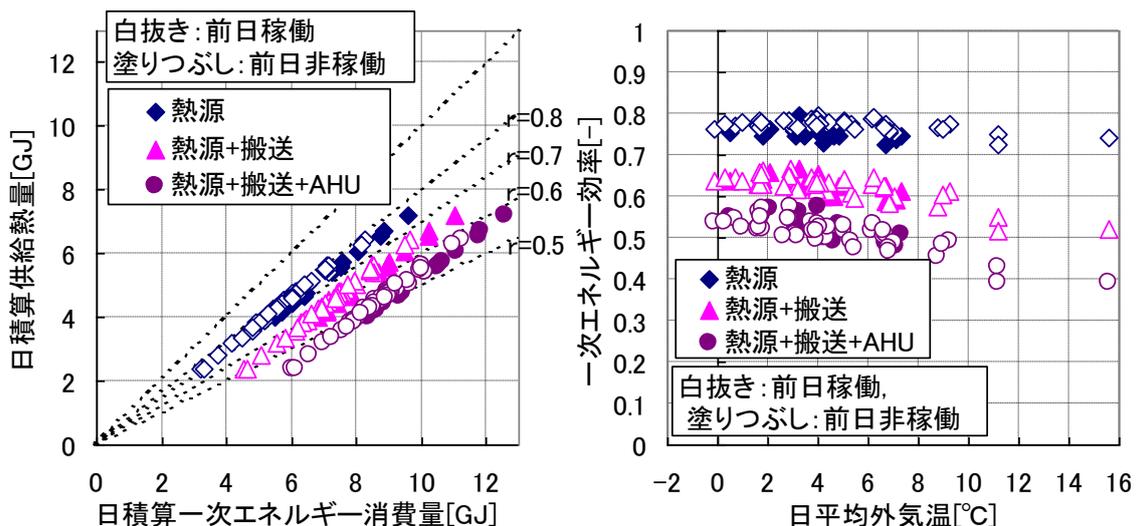


図3.3.19 システム効率(暖房, 前日稼働/非稼働別) (2009年11月~2010年1月)

3.3.3 冷房時測定結果の分析

(1) 経時データ

図3.3.20～3.3.29に冷房時の経時データを示す。また、図3.3.30～3.3.35に2010年7月～8月の日平均値・積算値等の推移を示す

詳細計測では、以下が確認された。

- ・外気温の低い時期には、副運転機は朝の立ち上がり時の2時間弱の運転のみであるが、7月下旬～8月上旬の最暑期には、朝の運転の他に、日中の負荷増大にあわせて運転が行われる。特に7月下旬には副運転機もほぼ1日の運転が見られた(図3.3.31)。
- ・熱源機の効率は日中も長時間運転している場合には90%程度の効率となっており(立ち上がり時の運転のみの場合は60%程度)、仕様上の効率(95%)から大きく劣っているわけではない(図3.3.34)。2台の運転状況を見ると、R-2の方が安定して運転していることがうかがえ、R-1は処理熱量に経時的な変化(On-Offの発生)が大きい。
- ・冷温水ポンプ(PCH-1, 2)による流量が2台とも1,200～1,300L/minと熱源の仕様(冷房時870L/min)の約1.4倍と過大になっている。また、空調時のバイパス流量が過大であり、熱源の冷却による温度低下が2℃程度と、設計温度差(5℃)を大きく下回る状況で運転されている(図3.3.20～3.3.29 1, 2, 6)。
- ・AHUにより処理された負荷がFCUに比べて小さい(図3.3.20～3.3.29 9.)。これは、AHU系統の流量が極めて少ないことによる(結果としてAHU系統の往還温度差が10～15℃と大きくなる(図3.3.20～3.3.29 5.))。

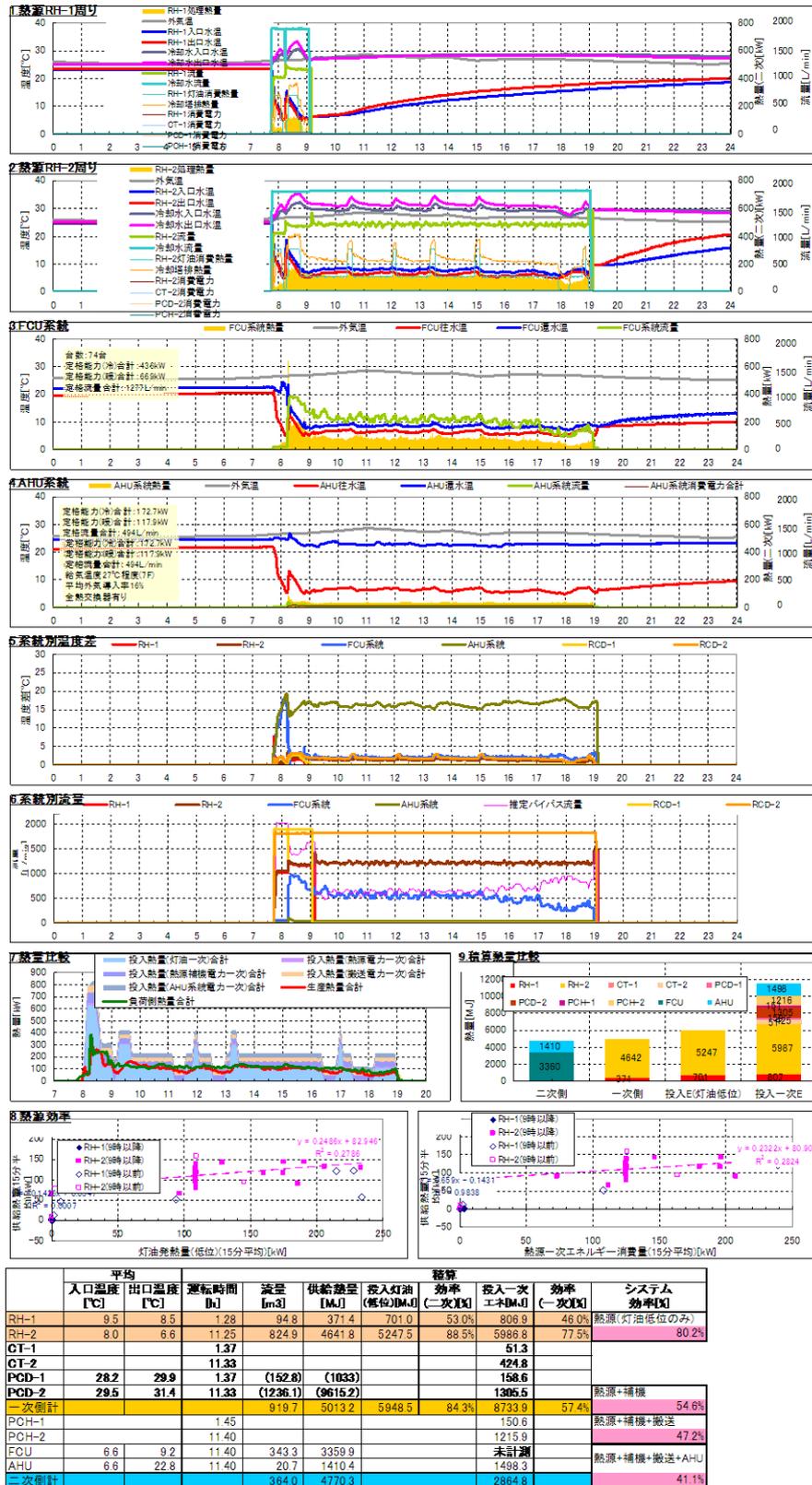
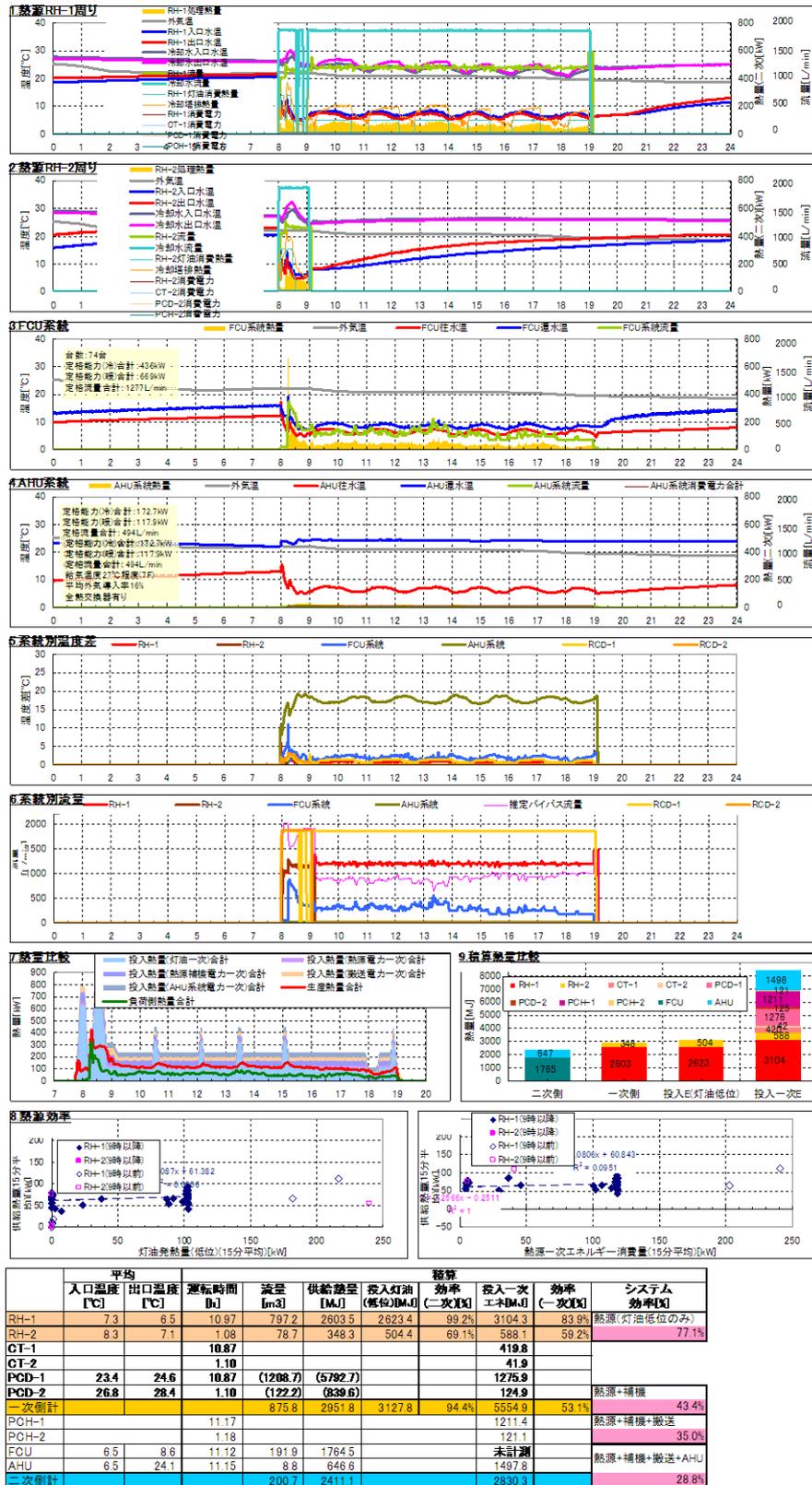
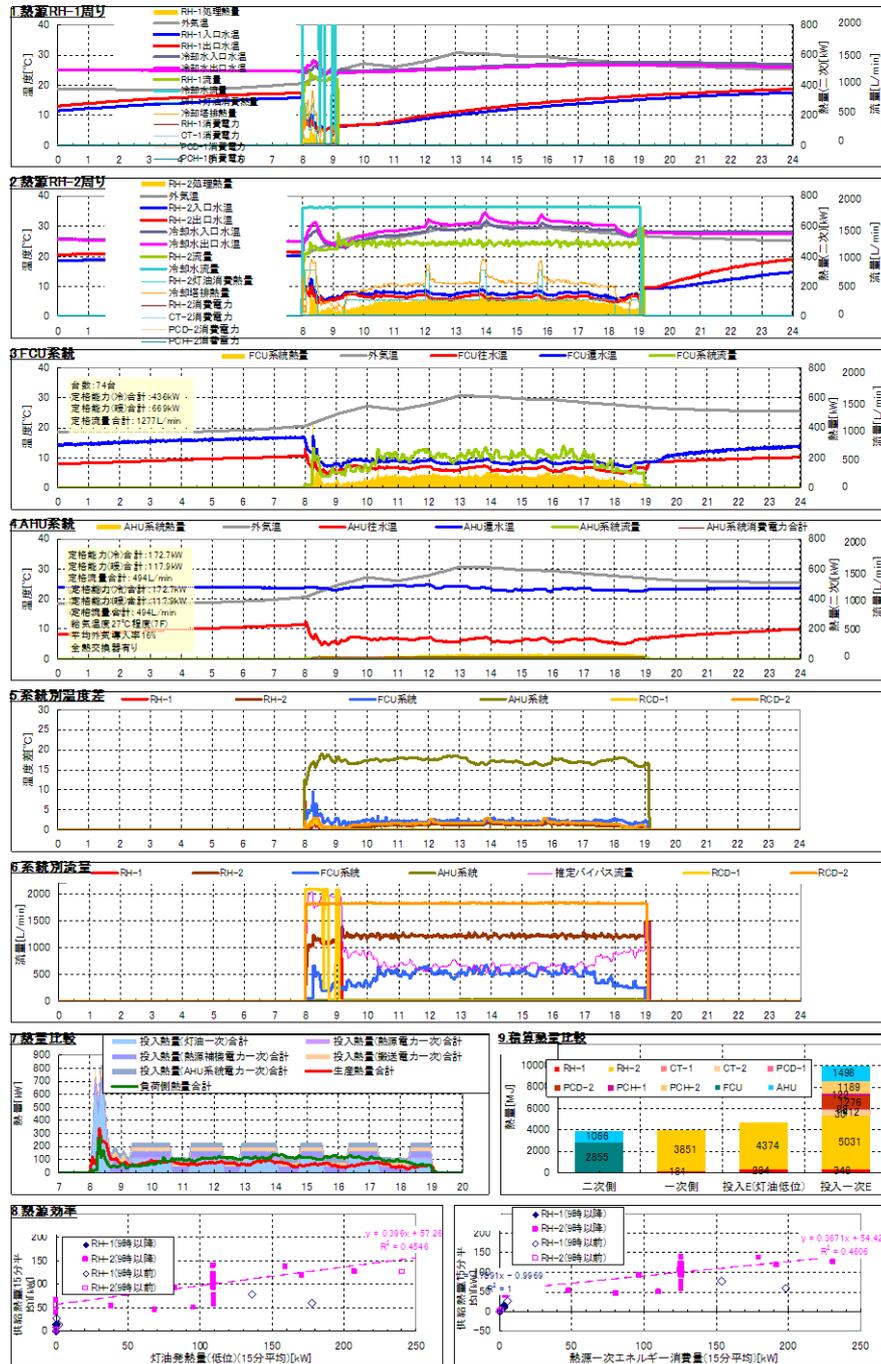


図3.3.20 計測結果(2010年7月12日)



	平均		運転時間 [h]	流量 [m ³]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 (低位) [MJ]	効 率 (%)	投入一次 エネルギー [MJ]	効 率 (%)	システム 効 率 (%)
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]								
RH-1	7.3	6.5	10.97	797.2	2603.5	2623.4	99.2%	3104.3	83.9%	熱源(灯油低位のみ)
RH-2	8.3	7.1	1.08	78.7	348.3	504.4	69.1%	588.1	59.2%	
CT-1			10.87					419.8		
CT-2			1.10					41.9		
PCD-1	23.4	24.6	10.87	(1208.7)	(5792.7)			1275.9		
PCD-2	26.8	28.4	1.10	(122.2)	(839.6)			124.9		
一次合計				875.8	2951.8	3127.8	94.4%	5554.9	53.1%	熱源+補機
PCH-1			11.17					1211.4		熱源+補機+搬送
PCH-2			1.18					121.1		35.0%
FCU	6.5	8.6	11.12	191.9	1764.5			未計測		熱源+補機+搬送+AHU
AHU	6.5	24.1	11.15	8.8	646.6			1497.8		
二次合計				200.7	2411.1			2830.3		28.8%

図3.3.21 計測結果(2010年7月13日)



	平均		運転時間 [h]	流量 [m ³]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 [低位] [MJ]	積算			
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]					効率先 [二次][%]	投入一次 エネルギー [MJ]	効率後 [一次][%]	システム 効率先[%]
RH-1	7.1	6.4	1.13	75.1	181.1	284.3	63.7%	347.8	52.1%	熱源(灯油低位のみ)
RH-2	7.6	6.4	10.98	806.0	3850.9	4374.3	88.0%	5030.9	76.5%	84.2%
CT-1			0.83					30.1		
CT-2			10.90					411.9		
PCD-1	24.7	25.8	0.90	(103.8)	(515)			98.3		
PCD-2	28.0	29.6	11.07	(1208.3)	(8142.6)			1276.1		熱源+補機
一次側計				881.0	4032.0	4658.5	86.6%	7195.1	56.0%	54.5%
PCH-1			1.20					121.7		熱源+補機+搬送
PCH-2			11.15					1188.9		46.1%
FCU	6.3	8.6	11.15	299.7	2855.1			未計測		熱源+補機+搬送+AHU
AHU	6.3	23.5	11.15	14.8	1066.3			1497.5		
二次側計				314.5	3921.4			2808.1		39.2%

図3.3.22 計測結果(2010年7月14日)

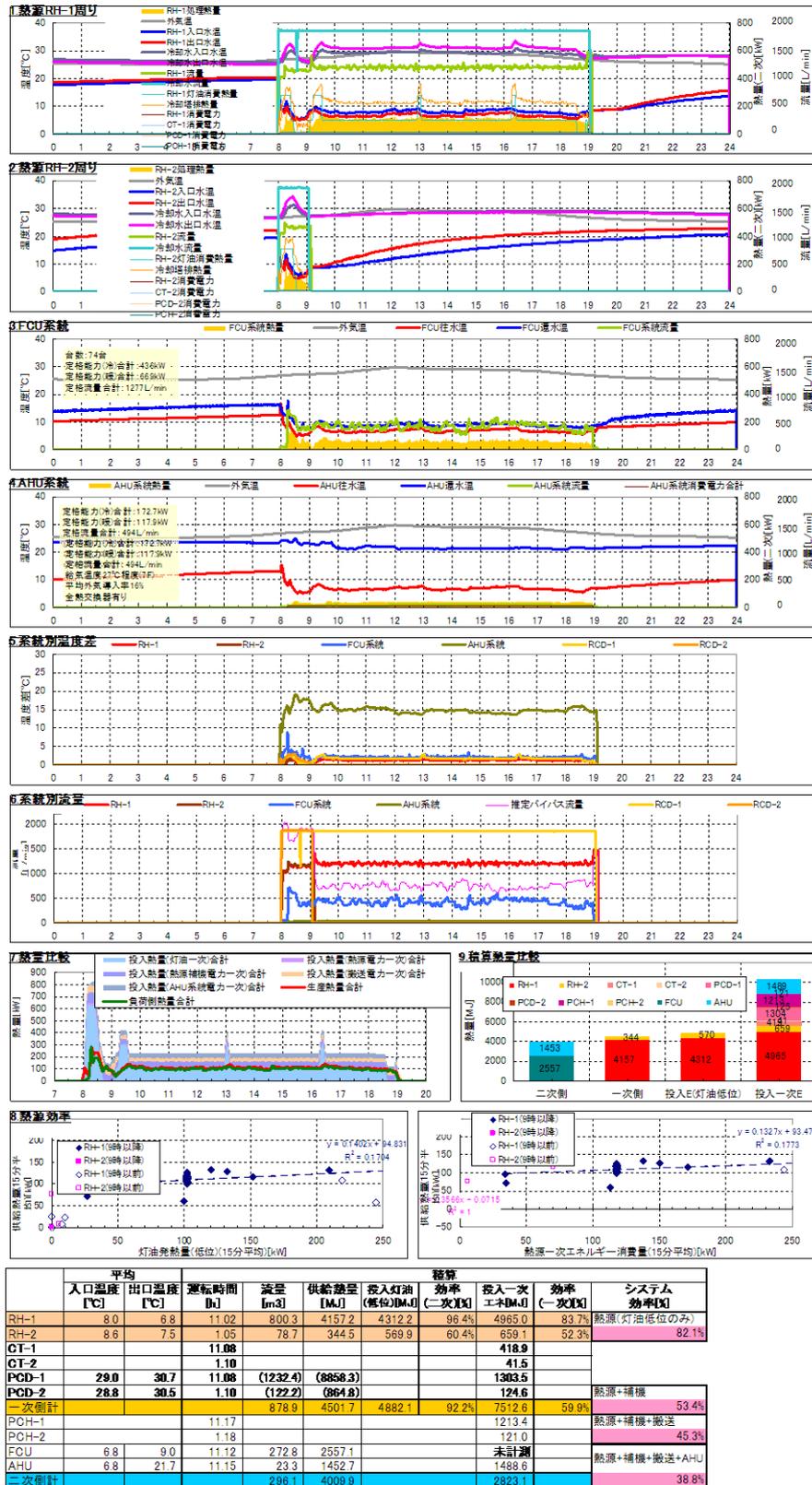
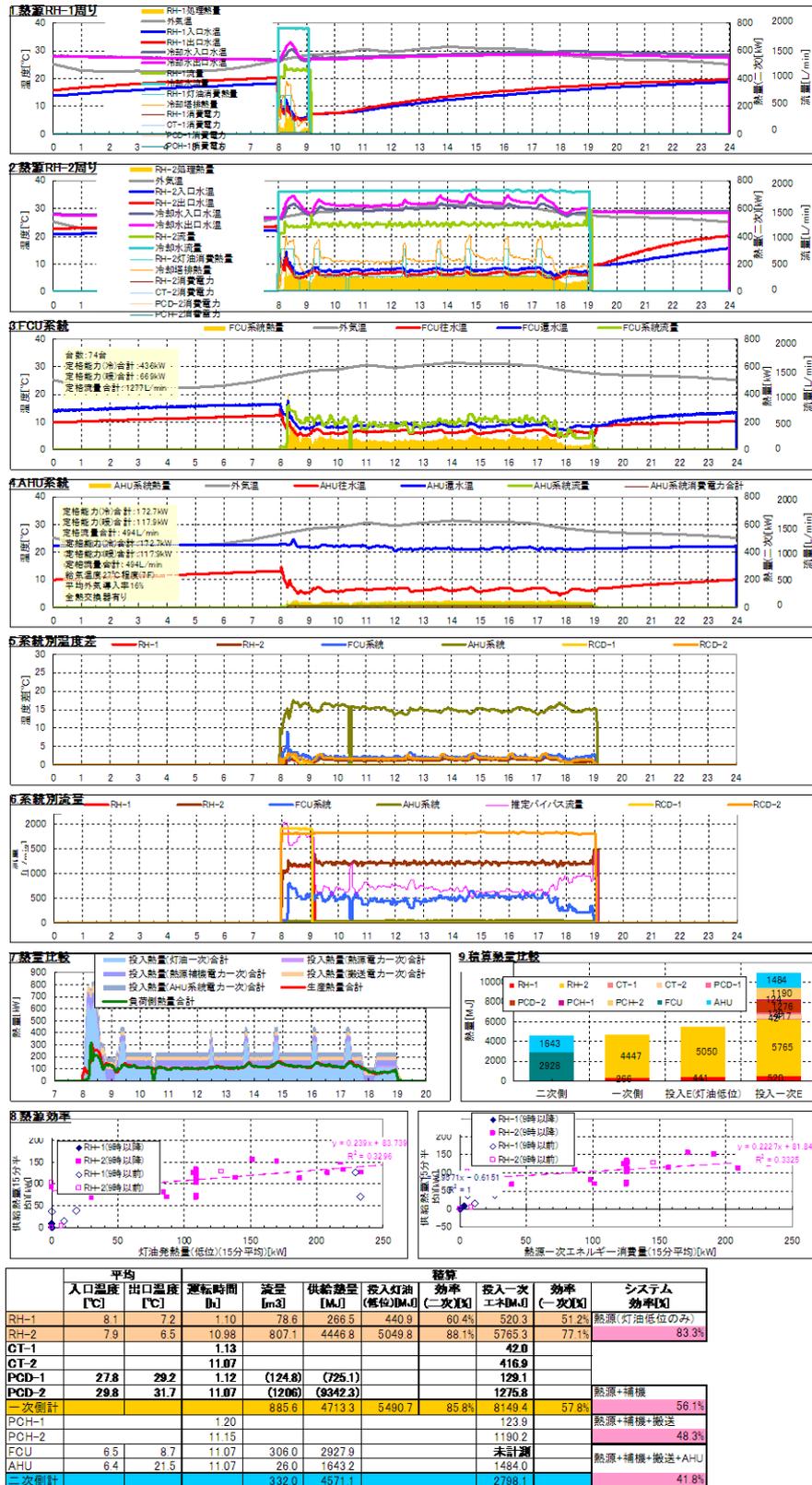


図3.3.23 計測結果(2010年7月15日)



	平均		運転時間 [h]	流量 [m³]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 (低位)[MJ]	稼算		システム効率 [%]
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]					投入一次エネルギー [MJ]	効率 (一次) [%]	
RH-1	8.1	7.2	1.10	78.6	266.5	440.9	60.4%	520.3	51.2%
RH-2	7.9	6.5	10.98	807.1	4446.8	5049.8	88.1%	5765.3	77.1%
CT-1			1.13					42.0	
CT-2			11.07					416.9	
PCD-1	27.8	29.2	1.12	(124.8)	(725.1)			129.1	
PCD-2	29.8	31.7	11.07	(1206)	(9342.3)			1276.8	
一次計				885.6	4713.3	5490.7	85.8%	8149.4	57.8%
PCH-1			1.20					123.9	
PCH-2			11.15					1190.2	
FCU	6.5	8.7	11.07	306.0	2927.9			未計測	
AHU	6.4	21.5	11.07	26.0	1643.2			1484.0	
二次計				332.0	4571.1			2798.1	41.8%

図3.3.24 計測結果(2010年7月16日)

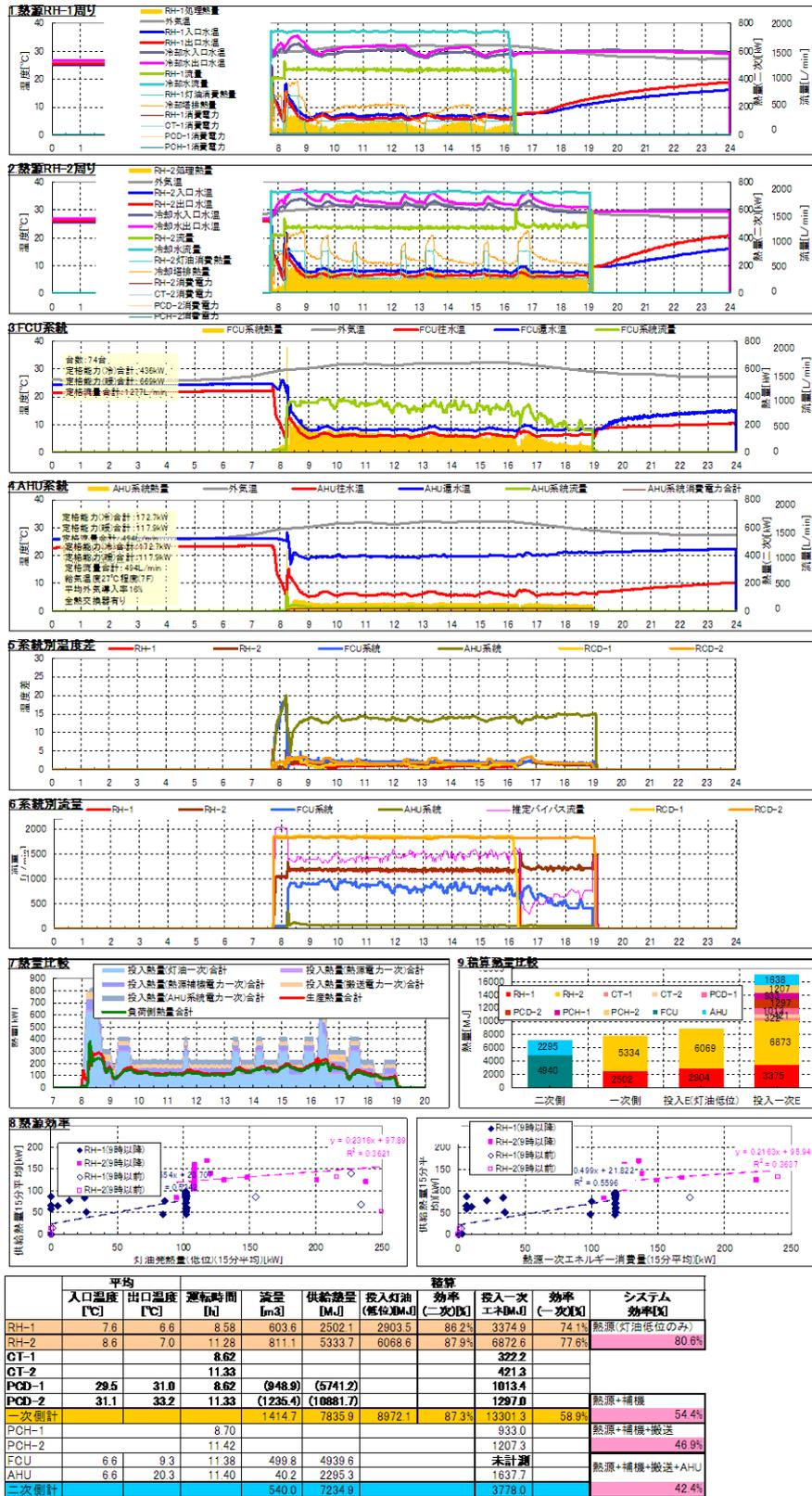
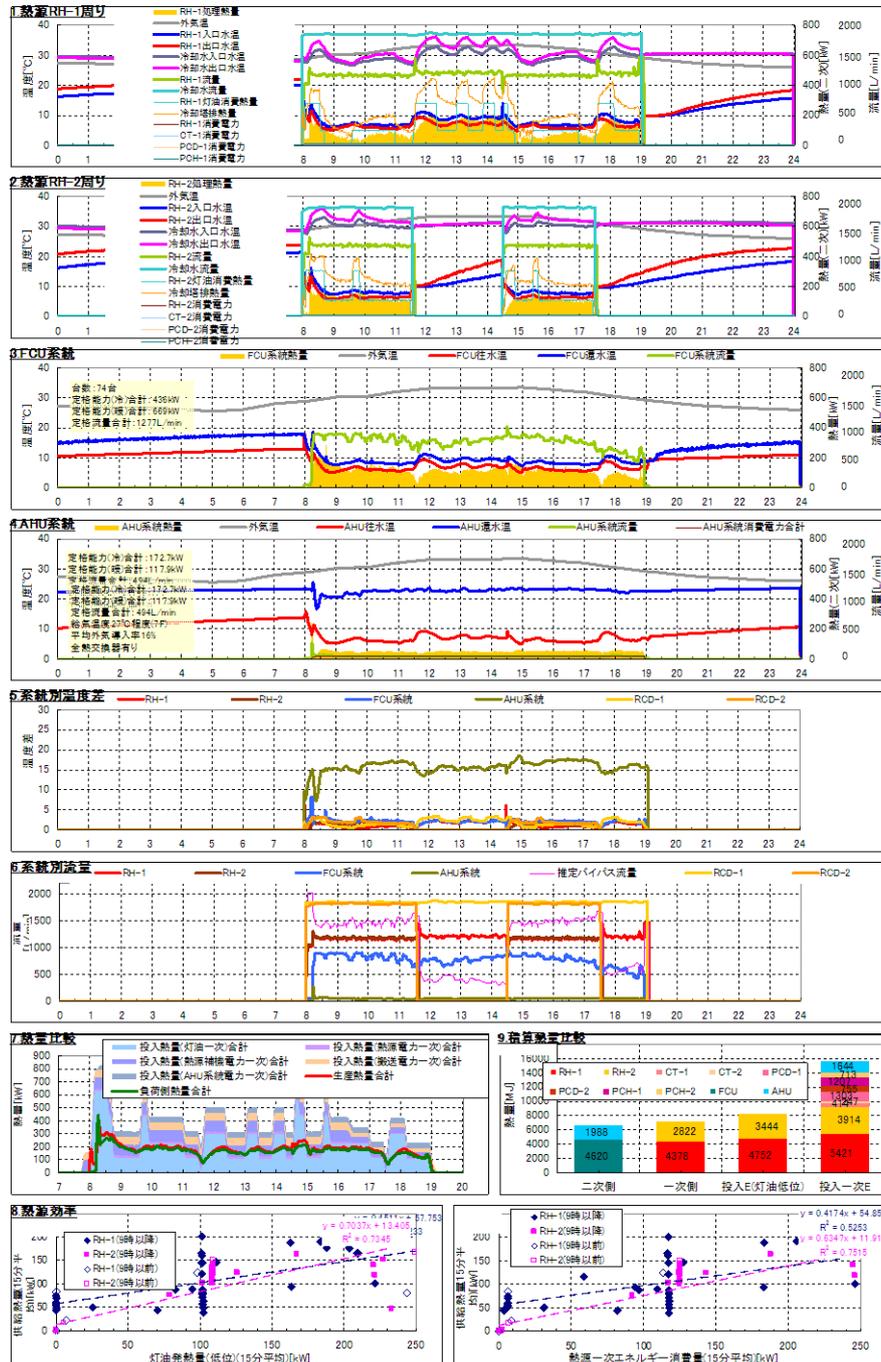


図3.3.25 計測結果(2010年8月2日)



	平均		運転時間 [h]	流量 [m ³]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 (低位) [MJ]	精算		システム効率 [%]	
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]					投入一次エネルギー [MJ]	効率 (一次) [%]		
RH-1	8.1	6.8	11.05	789.3	4377.5	4752.0	5421.2	80.7%	熱源(灯油低位のみ)	
RH-2	8.4	6.9	6.52	474.6	2822.2	3443.8	3913.8	72.1%		
CT-1			11.07				414.1		熱源+補機	
CT-2			6.65				247.2			
PCD-1	29.6	31.4	11.07	(1228.3)	(9369.9)		1302.7		熱源+補機+搬送	
PCD-2	30.4	32.3	6.65	(719.5)	(5923.2)		765.5			
一次計				1264.0	7199.7	8195.8	2054.5	87.8%	59.7%	54.8%
PCH-1			11.15				1206.8		熱源+補機+搬送	
PCH-2			6.80				713.5			47.3%
FCU	6.8	9.0	11.10	499.3	4619.5		未計測		熱源+補機+搬送+AHU	
AHU	6.8	22.6	11.13	30.1	1988.1		1643.9			42.3%
二次計				529.4	6607.6		3564.2			

図3.3.26 計測結果(2010年8月3日)

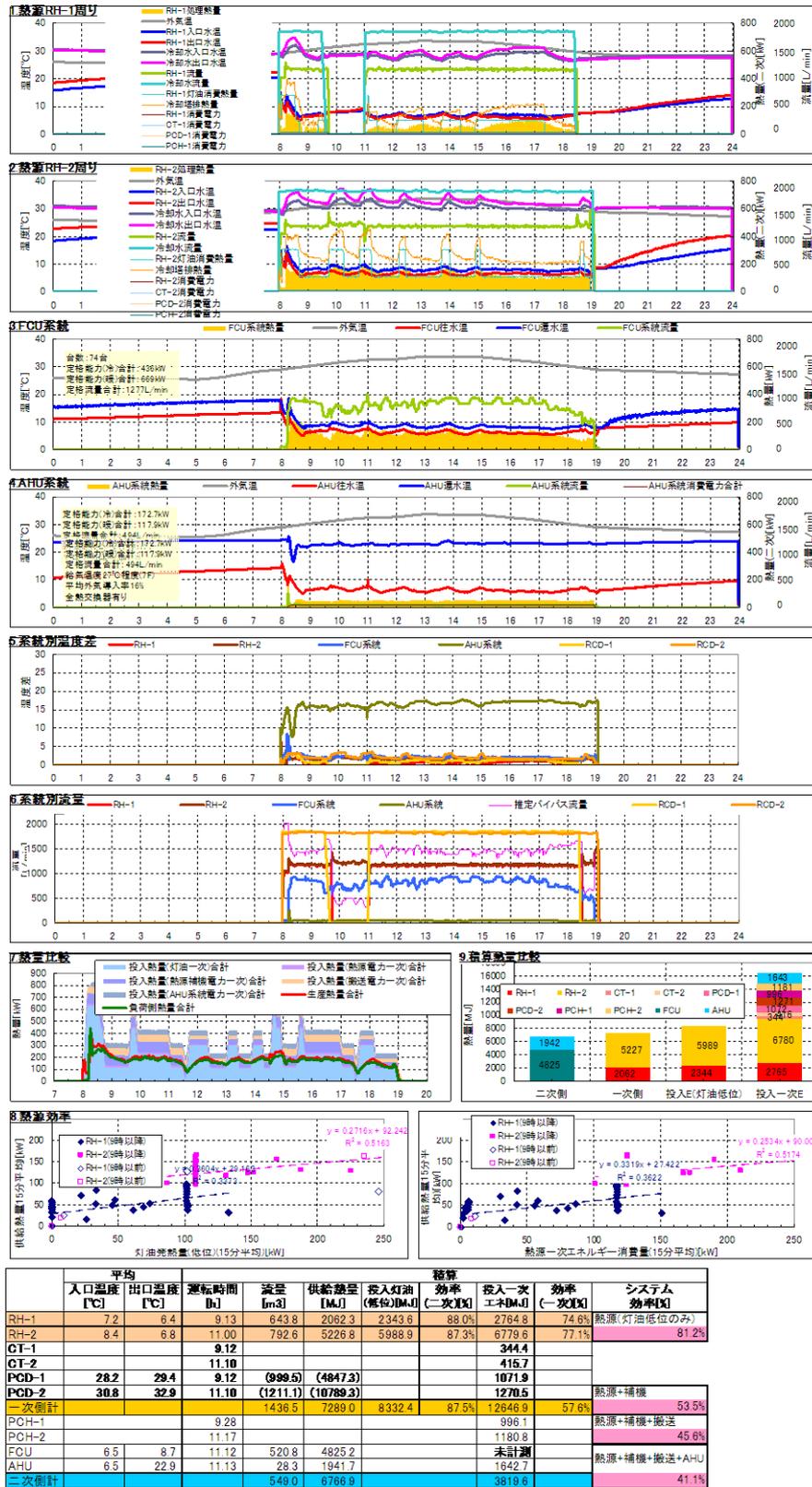
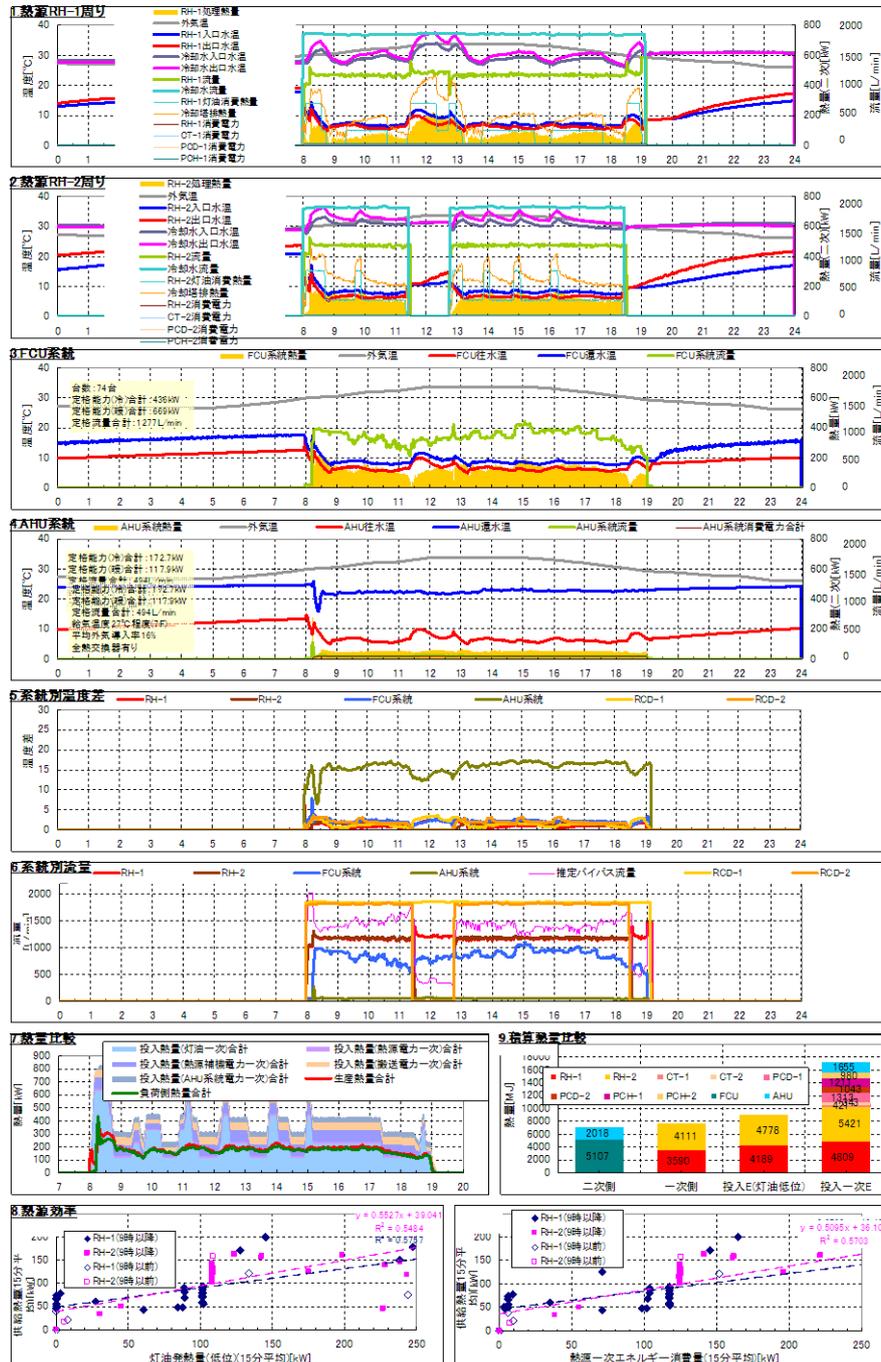


図3.3.27 計測結果 (2010年8月4日)



項目	平均			稼働					システム効率 [%]
	入口温度 [°C]	出口温度 [°C]	運転時間 [h]	流量 [m³]	供給熱量 [MJ]	投入灯油 (低位) [MJ]	効率先 (二次) [%]	効率後 (一次) [%]	
RH-1	7.8	6.7	11.13	789.7	3590.0	4189.3	85.7%	4808.7	熱源(灯油低位のみ)
RH-2	8.5	6.9	9.05	655.7	4111.0	4777.6	86.0%	5421.3	79.9%
CT-1			11.15					421.3	
CT-2			9.17					343.2	
PCD-1	29.2	30.8	11.15	(123.7)	(8089.5)			1313.0	
PCD-2	30.7	32.7	9.17	(896)	(8519.3)			1043.3	熱源+補機
一次合計				1445.4	7701.0	8966.9	85.9%	13350.9	57.7%
PCH-1			11.22					1211.1	熱源+補機+搬送
PCH-2			9.32					979.6	45.8%
FCU	6.8	9.0	11.20	551.0	5107.0			未計測	熱源+補機+搬送+AHU
AHU	6.7	22.4	11.20	30.9	2018.0			1654.8	
二次合計				581.8	7125.0			3845.5	41.4%

図3.3.28 計測結果(2010年8月5日)

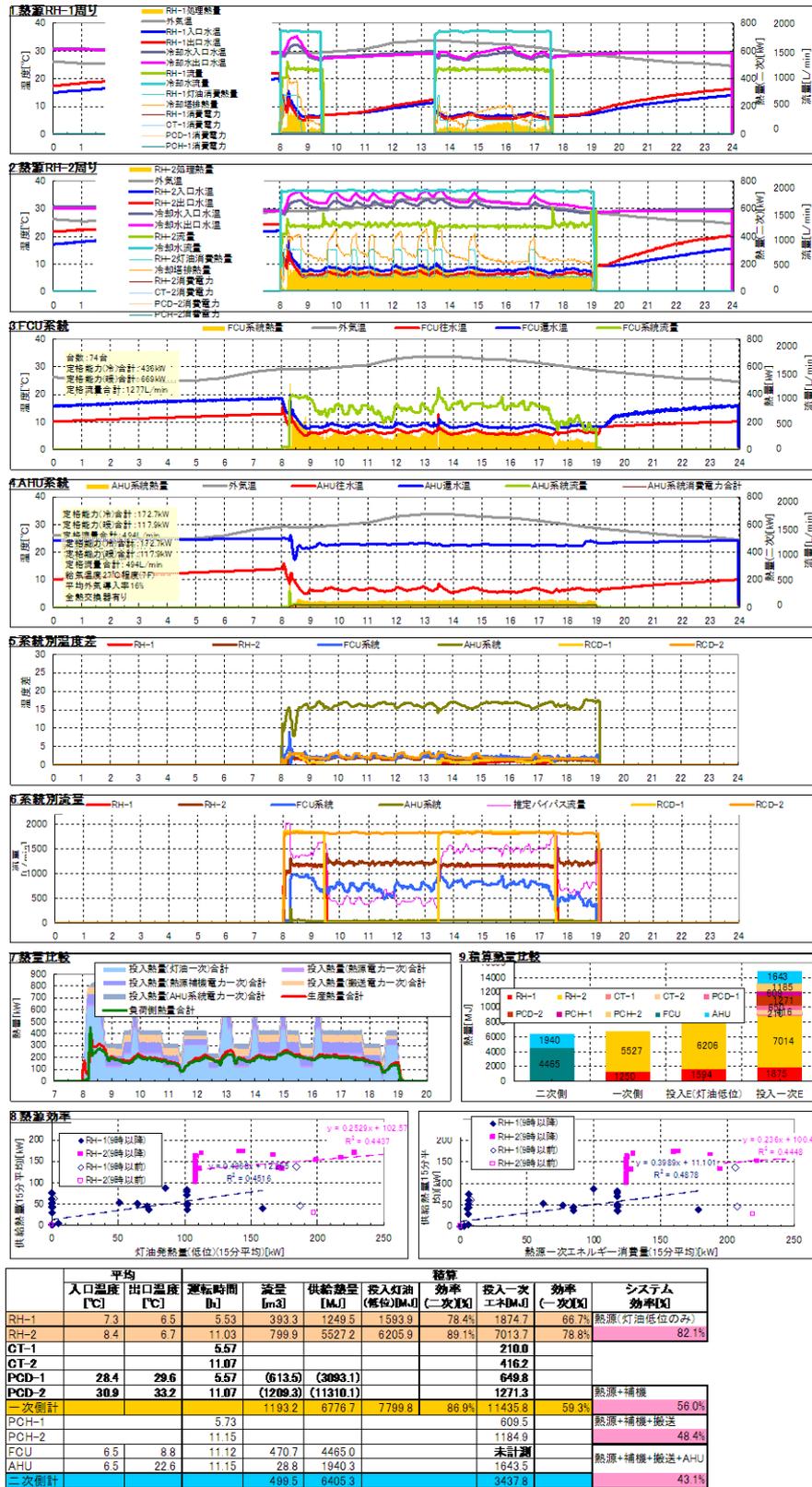


図3.3.29 計測結果(2010年8月6日)

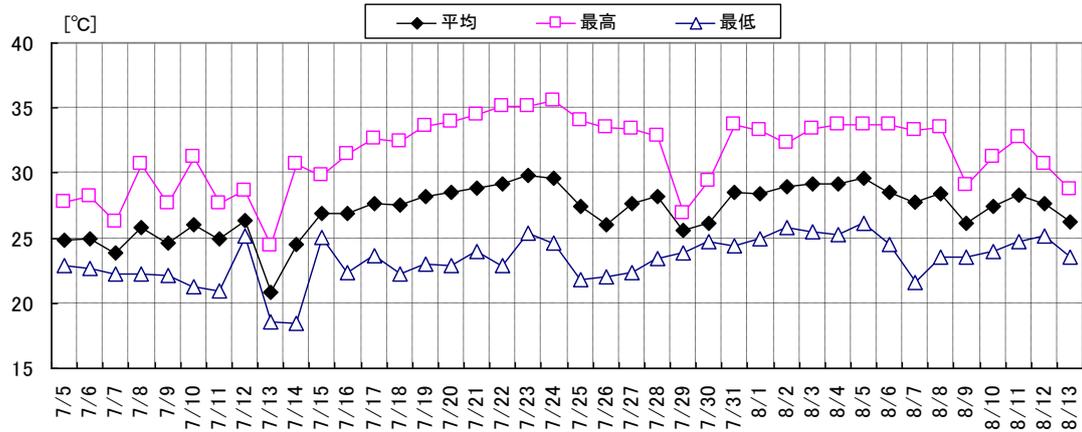


図3.3.30 外気温度の推移(2010年7月~8月, 気象庁データ(つくば))

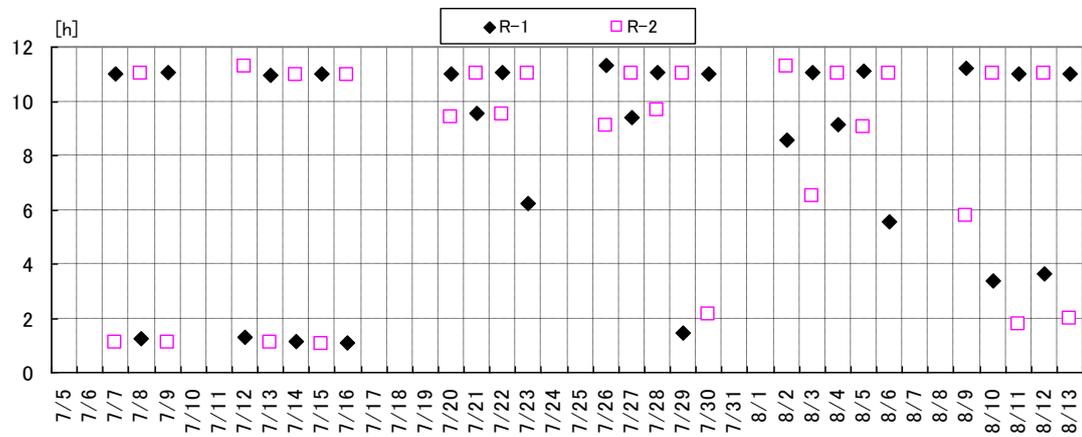


図3.3.31 稼働時間(2010年7月~8月)

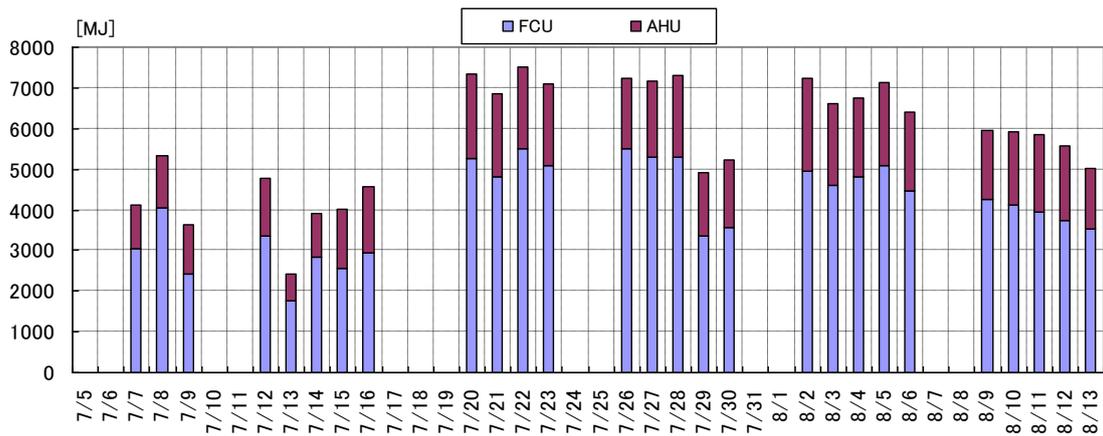


図3.3.32 日積算負荷(2010年7月~8月)

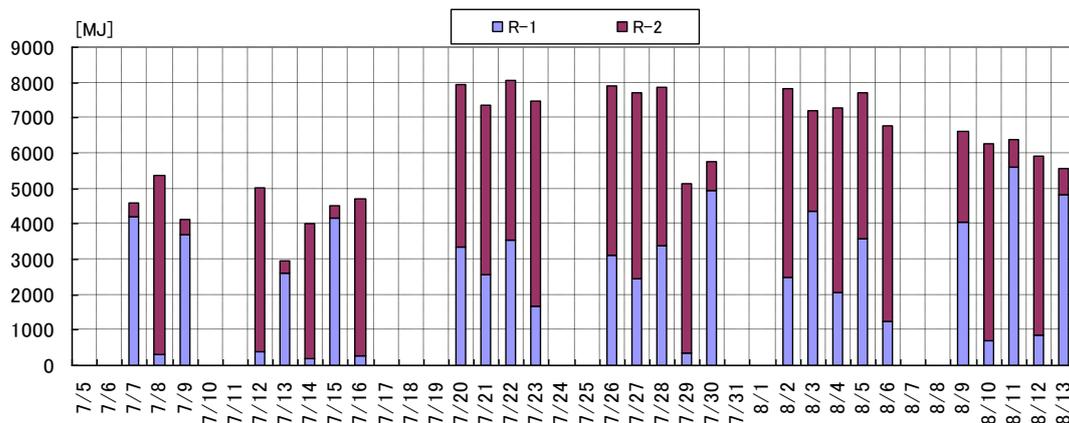


図3.3.33 日積算除去熱量(2010年7月～8月)

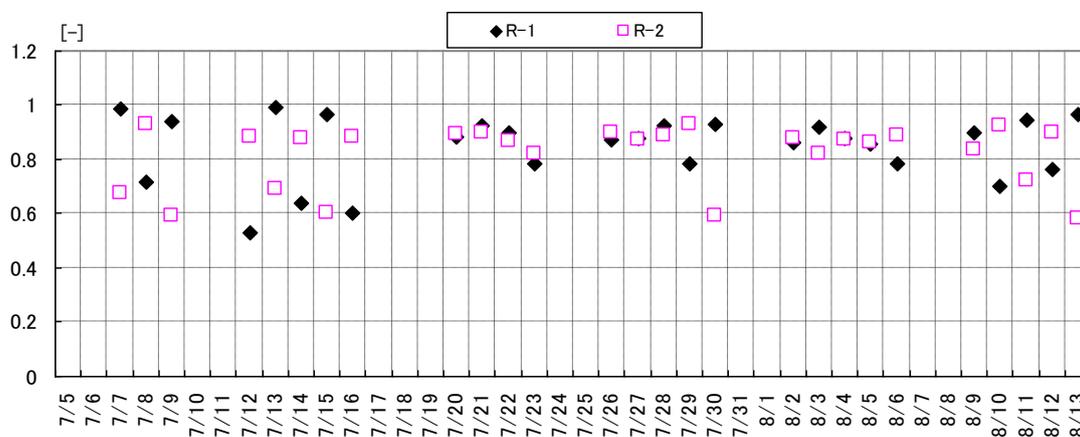


図3.3.34 熱源機効率(2010年7月～8月)

(2) 日積算値による分析

図3.3.35に外気温と処理熱量の関係を示す。二次側で処理された熱量は外気温に依存し、外気温が上昇するにつれ増大する傾向を示すが、前日の空調の稼働状況の影響ははっきりと現れてはいない。

図3.3.36に冷温水機で使用した一次エネルギー消費量と供給熱量の関係、日平均外気温と冷温水機の一次エネルギー効率の関係を、冷温水機別、運転別(主運転、従運転)に示す。R-1の効率が若干ばらつきが大きくなっているが、主運転時には2台とも一次エネルギー効率で0.8程度となっており、外気温の上昇とともに低下する傾向が見られる。立ち上がりを中心として稼働する従運転機は0.5～0.6程度の一次エネルギー効率となっているが、外気温が高い日を中心に、立ち上がり後の日中も運転している際には、0.7を超える効率を示すときもある。

図3.3.37に、熱源機(2台)、熱源機+補機(冷却水ポンプ+冷却塔)、熱源機+補機+冷温水ポンプ、熱源機+補機+冷温水ポンプ+AHU系統(FCU系統の電力消費は未計測)で使用された一次

エネルギー消費量と供給熱量の関係、日平均外気温とそれぞれの一次エネルギー効率の関係を、前日に空調が稼働したかどうかで分けて示した。

熱源機(2台)の効率は0.7程度となっており、前日の空調の稼働状況の影響は顕著には現れていない。また、冷却水ポンプと冷却塔を併せた熱源機+補機や、一次搬送系と併せた熱源機+補機+冷温水ポンプや、二次搬送系まで含めた熱源機+補機+冷温水ポンプ+AHU系統では、稼働時間に応じて、補機、ポンプ等の電力消費量が加算されることから、外気温が下がると、それらの電力消費量が相対的に高まることから、システムとしての効率が低下する結果となった。

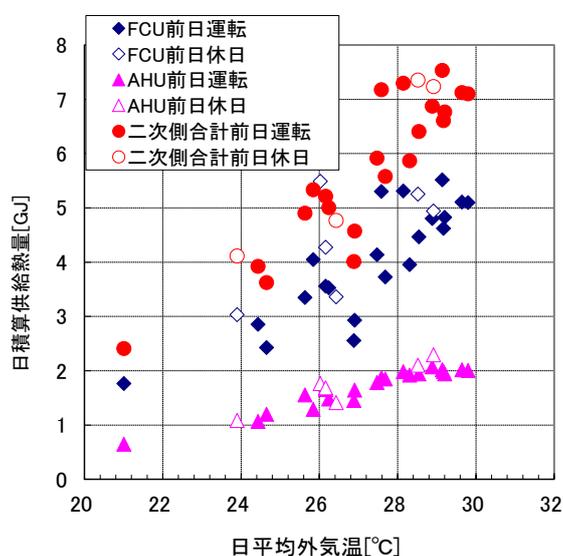


図3.3.35 日平均外気温と日積算処理熱量の関係(2010年7月～8月)

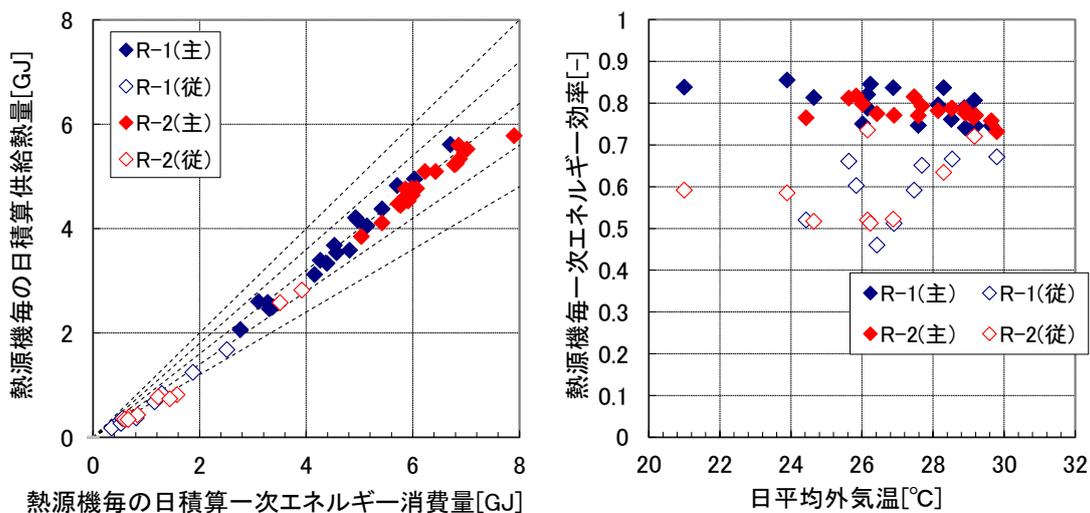


図3.3.36 冷温水機の効率(冷房)(2010年7月～8月)

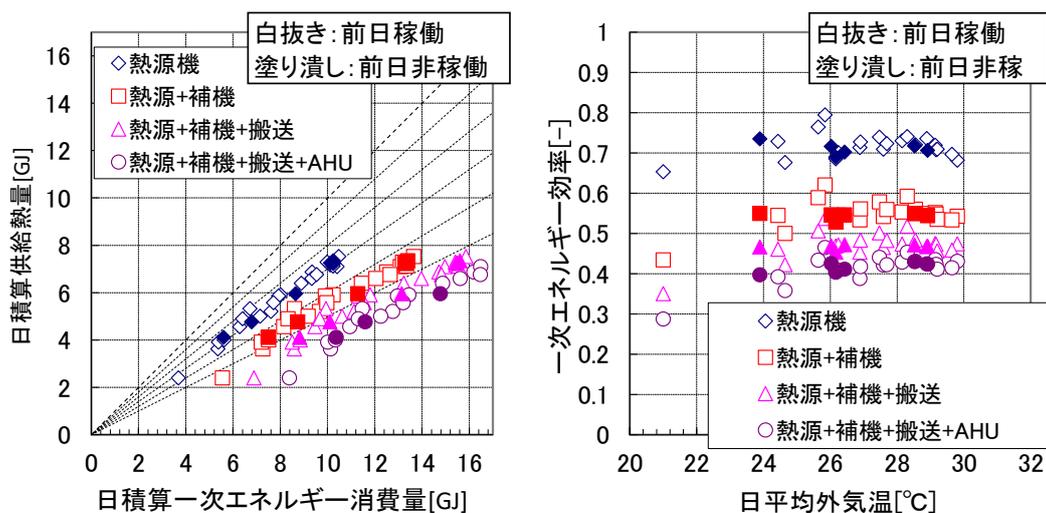


図3.3.37 システム効率(冷房, 前日稼働/非稼働別) (2010年7月~8月)

3.3.4 中央監視室で記録されたデータの検証

3.2 で検討した中央監視室で記録している監視用データは、運用に必要な最小限のセンサーで計測監視しているだけであり、エネルギー効率の観点から運転状況が分析されることは、これまで無かった。しかし、こうした建物は、建築ストックの大部分を占める中小規模建物においてはごく一般的と考えられる。

ここでは監視用データを用いたエネルギー効率の評価がどこまで可能かについて、本節で検討した詳細計測データを用い比較検証した。

(1) 監視用データから検討可能な指標の範囲

監視用データは、1時間ないし2時間毎に取得されることから、分単位の挙動については不明となる。また、監視データとしては、熱源機、ポンプ、空調機等の電力消費量を計測していないため(3.2における電力消費量は、別に計測器を設置している)、システムとしての効率も不明なのが本来であった。監視データ単体として確認できるのは、1~2時間の計測間隔より長い時間における熱源機効率となるが、灯油消費量と供給熱量は2台の熱源機の合計となっているため、図3.3.18、図3.3.36のような機体単位での効率については検討できないことになる。

また、詳細計測データの分析から判明した「冷温水ポンプの流量が過大」「バイパス流量が過大」「AHUシステムの流量が過小で往還温度差が極端に大きくなる」といった状況は、流量や温度がシステム毎に測定されていない監視用データからは直接的に把握できないことに留意が必要である。

(2) 供給熱量の比較

3.2.2(2)では、監視用データのうち、「冷温水積算熱量」の計測値が不適當であることを確

認し、3.2では、往還温度差と流量から求めた熱量(供給熱量①、②)を算定して検討を進めることとしていた。冷温水積算熱量および供給熱量①、②の推移を詳細計測で求めた供給熱量と比較すると「積算熱量」は明らかに大きな値を示し、供給熱量①、②は詳細計測のデータ(を時間平均した値)と同程度の推移を示していた(図3.3.38)。

図3.3.39、3.3.40に監視用データと詳細計測データにおける供給熱量の関係を示す。供給熱量①、②は、冬期の計測においては、詳細計測データより1~2割程度大きい傾向を示し、夏期の計測においては、1~2割程度小さくなる傾向となっていた。一方、「積算熱量」は、詳細計測データと比べて極端に大きくなっており、監視用計測に大きな不備があることが分かる。2009年度冬の計測の時点では、供給熱量①、②より詳細計測データとの対応自体は良く、経時的に詳細計測データのほぼ3.6倍の値を示していたことから(図3.3.39)、Mcalの値で記録しているとされていた「積算熱量」を、誤ってkcal/sの単位で記録されているものと推察していたが、2010年度夏、冬の結果からは、その推察とは異なる結果となった。

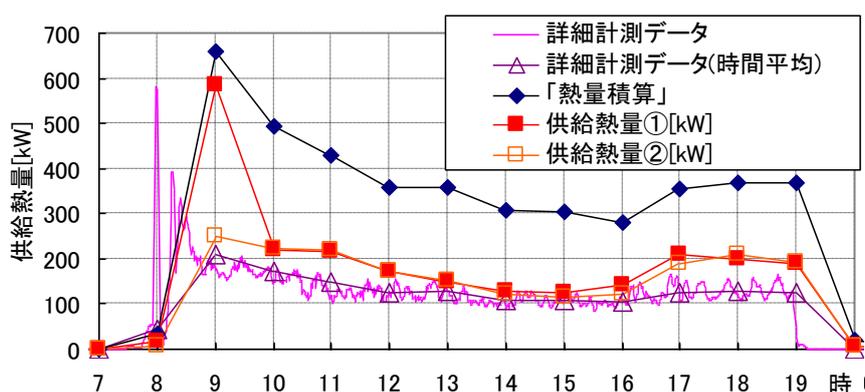


図3.3.38 供給熱量の詳細計測データとの比較(2010/1/14)

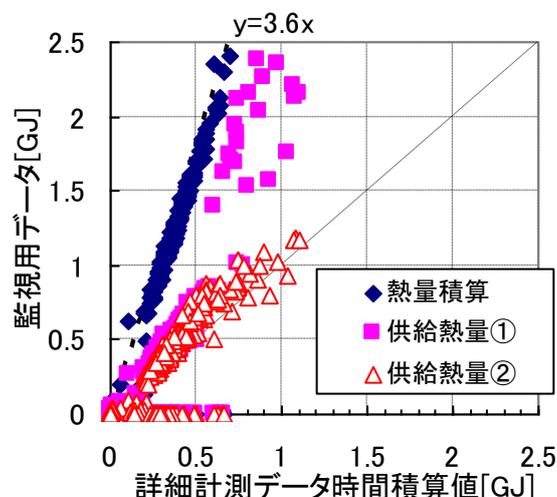


図3.3.39 供給熱量の詳細計測データとの比較(時間積算値, 2009年度冬)

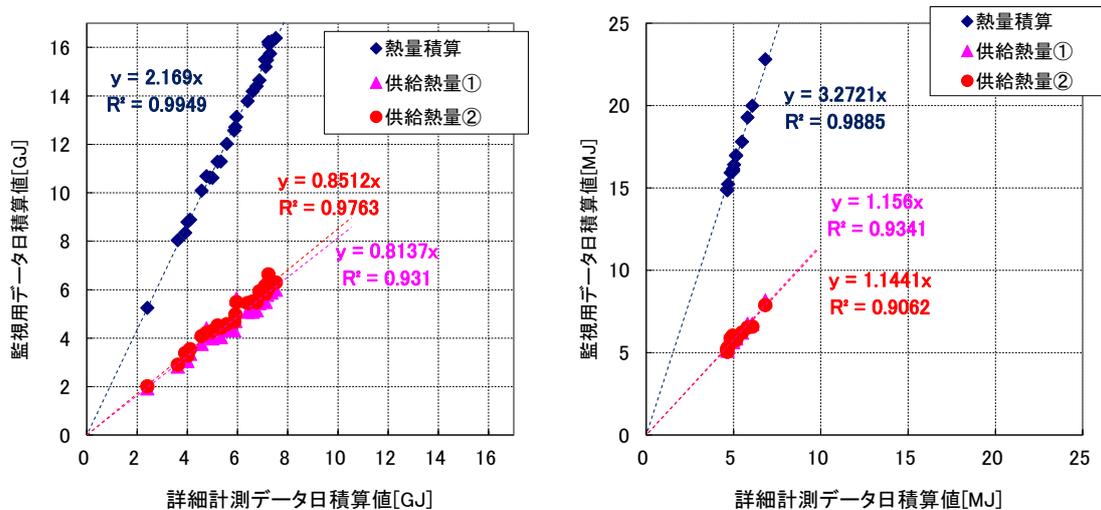


図3.3.40 供給熱量の詳細計測データとの比較
(日積算値, 左: 2010年度夏、右: 2010年度冬)

(3) 効率の比較

図3.3.41に監視用データと詳細計測データから求めた熱源機2台の日積算灯油発熱量と日積算供給熱量の関係を示す。監視用データにおける供給熱量①、②が詳細計測データと1～2割程度異なる(図3.3.39、3.3.40)ことから、監視用データから求めた熱源機2台の効率は、詳細計測で求めた効率より、冷房で0.1強小さく、暖房で0.1程度大きくなる結果となった。

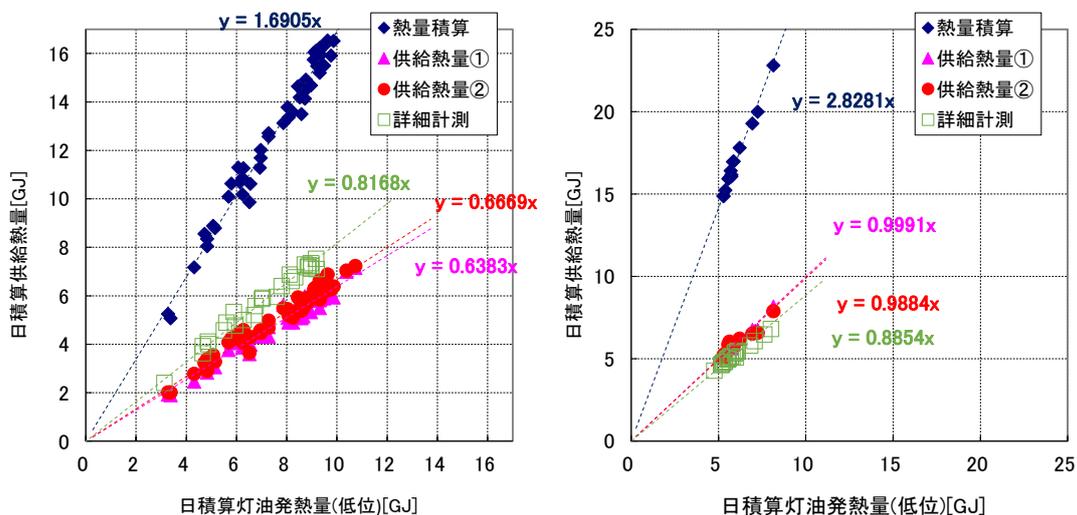


図3.3.41 監視用と詳細計測の効率の比較(左: 2010年度夏、右: 2010年度冬)

以上の検討からは、監視用データのみを使用した空調用熱源性能ならびに空調負荷の評価では、計測項目および時間間隔の面で十分とはいえない場合があること、監視用計測システムの整合性の確認が滞っている場合や、計測器の校正が十分でない場合があり、精度が不

明瞭な場合があることが示唆される。

3.3.5 まとめ

本節では、建物Tの空調熱源まわりを中心に計測システムを追加して測定を実施した。測定データを分析したところ、監視用データの分析からは十分に把握できないこととして、

- ・ 冷温水ポンプの流量が定格より過大となっている。
- ・ AHU系統の流量が極端に小さく極端に大きな往還温度差が出現している。
- ・ 熱源機の効率は、定常的に稼働する主運転機については、定格値に近い効率が実現できている。
- ・ 立ち上がりを中心に運転する場合は効率が低下する。
- ・ 処理熱量が小さくなるにつれ、補機類の電力消費量が相対的に大きくなり、システム効率が低下する。

等が確認された。

また、監視用データと詳細計測データを比較し、供給熱量、熱源機効率の確認を行うことで、監視用データのみを使用した空調用熱源性能ならびに空調負荷の評価では、計測項目および時間間隔の面で十分とはいえない場合があること、監視用計測システムの整合性の確認が滞っている場合や、計測器の校正が十分でない場合があり、精度が不明瞭な場合があることといった示唆が得られた。