

# 多様な空調システムが混在する大学キャンパスの エネルギー消費実態調査研究

宋 城 基<sup>\*1</sup>

本研究は広い敷地に多様な建築物が分散し、多様な空調システムが使われている豊橋技術科学大学（以下、TUT）を対象にキャンパスの建物用途別エネルギー消費とエネルギーの使用用途別消費の実態を明確にし、学内のエネルギー使用中長期計画の基礎資料の提供を目的としている。そのため、キャンパス内の各建物における使用用途、使用状況、空調設備の調査および2003年から3年間のエネルギー消費データを収集し、解析した。TUTの年間1次エネルギー消費原単位は3年間ほぼ同じで、文献の大学平均値よりやや大きい1530~1600 MJ/(m<sup>2</sup>・年)であった。特に、講義と研究が行われる建物群の年間1次エネルギー消費原単位は1000~2000 MJ/(m<sup>2</sup>・年)で、実験が多く行われる建物群は2500~3500 MJ/(m<sup>2</sup>・年)であった。電力消費量の内空調用は18~19%で、ガス消費量の内空調用は60~86%であった。TUTの年間空調用エネルギーは34~36%で、年間消費エネルギーに対する年間空調用エネルギーが占める割合は年々1%ずつ増加する傾向にあった。TUT内の空調用エネルギー消費原単位は実験施設、講義・研究施設、語学センターと図書館施設、居住施設の順に大きいことがわかった。

キーワード：エネルギー消費・大学・空調用エネルギー・推定手法・実測調査

## はじめに

近年、地球温暖化をはじめ原油価格高騰などの背景で、産業部門のみならず建築分野における省エネルギーは一層注目されている。また、改正省エネルギー法<sup>1)</sup>により平成22年度からは建築物を含む企業単位のエネルギー使用現況届けとエネルギー削減に関連する中長期計画書の提出が義務付けられている。ところが、多くの既存建築物では、月別あるいは年間のエネルギー消費については把握しているものの、中長期計画に必要なエネルギー使用用途別の詳細な消費実態については十分把握しているとは言えない。特に、大学のように様々な用途で多数の建物群が広い敷地

に分散し、空調・衛生設備や電気設備、実験用設備などの種類も非常に多く、施設規模が広大な割には施設管理者が少ないところでは、他業種に比べ、エネルギー計測が細部にわたり行われていない。そのため大学におけるエネルギー消費実態とエネルギー消費特性については十分明らかにされていない。また、事務所建築、住宅、工場などは多くのアンケート及び実測研究から空調用と非空調用（給湯用、照明・コンセント用、その他）と言ったエネルギー消費用途が明らかにされているが、大学は小中高を含む学校に分類されていることもあり、明らかになったとは言えない。

建築物のエネルギー消費実態に関する研究は、一般事務所建築<sup>2), 3)</sup>や各種業務施設<sup>4), 5)</sup>、庁舎建築<sup>6)</sup>を対象にア

<sup>\*1</sup> 豊橋技術科学大学 正会員

ンケート調査や過去のデータ解析により月別・年別のエネルギー消費特性をおおよそ明らかにしている。しかし、大学の詳細なエネルギー消費実態に関する研究は少なく、永峰ら<sup>7)</sup>は日本全国約359大学における各キャンパス施設・維持管理に関するアンケート調査から、施設のメンテナンスあるいは機器設備台帳管理など何らかの管理を行っている大学は約2割～3割と少なく、過去のデータ活用は行っているものの「光熱費などの推移分析」がほとんどであることを明らかにした。李ら<sup>8)</sup>は大学の各キャンパスにおける過去3年間のエネルギー消費データを用い、学部別・(電力・ガス)エネルギー源別の年間と月別の総一次エネルギー消費原単位と空調用エネルギー消費原単位を示した。ここで、総一次エネルギー消費原単位は大学全体の照明、動力、空調等を含めたすべての消費エネルギー原単位である。しかし、この研究ではキャンパス内の建物用途別のエネルギー消費特性と全消費エネルギーから空調用エネルギー消費原単位の推定方法は示されていない。三瀬ら<sup>9)</sup>は大学キャンパスのエネルギー消費実態を明らかにするため1年間の電力およびガス消費量を調査し、季節別、時刻別の電力とガス消費量を推定した。特に、非空調用エネルギーは気温とともに変動しない<sup>10), 11)</sup>ことに着目し、空調用と非空調用のエネルギー消費量を推定した。また、時刻別の空調用エネルギーの推定には熱源機器効率を用いた。この研究のように中央熱源方式で熱源特性を知ることができ、1時間計測データと1日計測データ等がある場合は空調用と非空調用のエネルギーの分離はかなり精度よく推定できると考えられる。

本研究は広い敷地に多様な建築物が分散し、多様な空調システムが使われている豊橋技術科学大学(以下、TUT)を対象にキャンパスの建物用途別エネルギー消費とエネルギーの使用用途別消費(特に、空調用エネルギー)の実態を明確にすることとともに、学内のエネルギー使用中長期計画の基礎資料の提供を目的としている。そのため、キャンパス内の各建物における使用用途、使用状況、空調設備の調査と2003年から2005年までの3年間のエネルギー消費データを収集し、解析を行った。また、キャンパスの中でエネルギー消費量が大きい建物の消費電力を約1年間実測し、本研究で用いた空調用と非空調用エネルギー分離推定法の妥当性について検討した。

### 1. 大学キャンパスの建物概要と空調システム概要

TUTは愛知県豊橋市に位置し、1978年に開校された。キャンパスの敷地面積は355607m<sup>2</sup>で、敷地内にはRC造あるいはSRC造の講義棟、研究棟、図書館、事務棟、福利施設、学生宿舎、体育館、プールなどがあり、建物全体の延床面

積は104859m<sup>2</sup>である。在籍者数は学生約2200人、教職員約340人の計2600人である。また、TUTは3学期制を採用しており、1学期が4～6月、2学期が9～11月(11月中旬から約1週間休み)、3学期が12～2月となっている。キャンパス内の建物群は表-1に示すようにいくつかの建物をまとめて電力・ガスを供給する機械室を設けており、この機械室で建物群の使用電気とガス消費量を検針し、記録している。ただし、各機械室の電力は空調用と非空調用系統に分かれているものの、両系統の合計を示すメーターしかなく、毎日1回このメーターの検針により建物群の電力消費量を記録収集している。ガスは両系統それぞれのメーターがあるため、毎月1回の検針を行っている。さらに、エネルギーセンターでは大学全体の1時間電力量の計測と冬季の暖房用蒸気ボイラ用の重油消費量を毎月記録している。ここで、建物群とは、例えばD棟群の場合、D棟、D1棟、D2棟、D3棟をまとめた名称である。

各建物群には表-1に示すように各階ユニット方式の水

表-1 建物群の使用用途、空調設備種類と容量および冷暖房能力

番号	建物群名 (機械室別)	用途	延床面積 [m <sup>2</sup> ]	空調面積 [m <sup>2</sup> ]	冷暖房能力(kW)と定額消費電力(kWh)						合計 [kW]	蒸気ボイラ (t/h)	
					機器名称	水冷PAC	GHP	EHF	暖気式冷 媒水発生器	AHU+FCU +冷却塔等			
①	A, B棟	講義・研究	16474	6326	冷凍/暖房 消費電力	130/117	499/696	158/139	317/260	-	52	1104/1232	
②	C棟	研究・実験 (一部設備)	11597	5881	消費電力	129	27	35	-	-	-	1309/677	
③	D棟	研究・実験 (一部設備)	16803	8229	消費電力	1103/415	-	226/293	-	-	58	862/794	
④	E棟	研究・実験	3382	869	消費電力	489/352	92/111	16	211/263	-	18	123/119	
⑤	F棟	研究・実験	6272	4134	消費電力	164	3	19	6	-	51	589/498	
⑥	G棟	研究・実験	6601	3792	消費電力	63/67	-	12	-	-	31	111	
⑦	総合研究 実験棟	実験	4294	2432	消費電力	-	825/979	285/295	-	-	-	1110/1214	
⑧	理学センター	講義・事務	3515	2185	消費電力	-	24	145	-	-	57	226	
⑨	図書館	図書館 情報メディア	4688	3991	消費電力	-	350/853	193/215	-	-	-	743/988	
⑩	体育館	体育館	2135	244	消費電力	100/72	82/97	142/147	-	-	48	324/316	
⑪	福利施設	食堂・売店	2196	1284	消費電力	68	2	37	-	-	7	114	
⑫	共用棟	学生宿舎等	10185	1390	消費電力	305/274	-	284/285	-	-	-	559/595	
⑬	国際交流	研究・実 験・学生宿舎等	2479	1548	消費電力	118	-	68	-	-	12	199	
⑭	生活排水 処理施設	汚水・排水 処理	699	0	消費電力	53/49	-	-	-	-	-	53/49	
⑮	極低温 実験棟	実験実習 情報通信	3230	1494	消費電力	13	-	-	-	-	1	14	
⑯	自然エネ ルギー実験棟	実験	3845	1666	消費電力	202/235	66/37	-	-	-	5	268/271	
⑰	技術開発 センター	分析・工作	3466	1850	消費電力	5	24	-	-	-	-	29	
⑱	その他	研究・実験	2989	1126	消費電力	-	220/280	-	-	-	36	114	
合計			104859	48040	消費電力	2662/1490	2394/2843	2775/2848	1463/1340	-	908	9190/8821	

\*蒸気ボイラで作った蒸気は暖房期間において水冷PACとFCUへ供給されている。

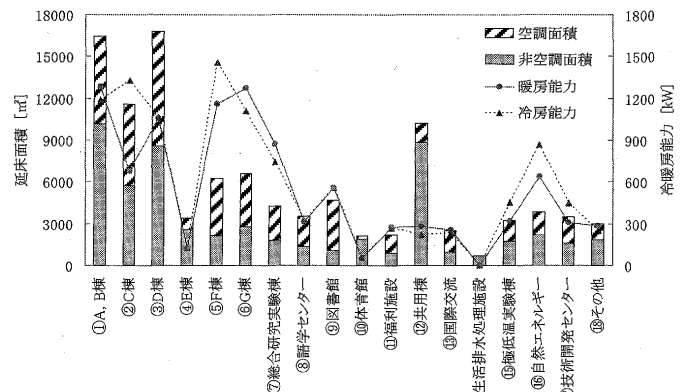


図-1 各建物群の延床面積、空調・非空調面積と冷暖房能力

多様な空調システムが混在する大学キャンパスのエネルギー消費実態調査研究

冷 PAC 空調システムと EHP (電気式ヒートポンプ), GHP (ガス式ヒートポンプ), 吸収冷温水発生機が複数使用されている。特に, 冬季の暖房期間はエネルギーセンターの蒸気ボイラから作った蒸気を各建物群の PAC と AHU および FCU に送り, 暖房を行う\*1。従って, PAC 空調機の圧縮機は夏のみの稼働となっている。また, 冬季に GHP と EHP および吸収冷温水発生機にはボイラから送られてくる蒸気ではなく, 各システムが生産した温熱により暖房を行う。

EHP と一部の GHP を除く学内のすべての PAC, AHU, GHP, 吸収冷温水発生機は毎年 6 月から冷房運転が, 11 月から暖房運転ができるようにしている。また, 蒸気ボイラは毎年 11 月下旬から 3 月まで運転ができるようにしている。特に, 教室の冷暖房設備の 9 割以上が GHP であり, A・B 棟における教室が占める延床面積割合は約 30%, 教室の使用率は休業期間を除いた期間で約 35%, 休業期間を入れた期間で約 31%であった。表-1 に建物群の使用用途, 空調設備種類と容量および冷暖房能力を示す。各建物群の延床面積が大きい順に並べ, 各建物群の空調と非空調面積と冷暖房能力を示した図-1 を見ると, 研究を行う D 棟群と C 棟群, 講義と研究を行う A・B 棟群の延床面積が大きく, 共用棟, 体育館, 生活排水処理施設以外は建物の延床面積のおおよそ半分が空調面積で, 空調面積が大きいほど冷暖房能力が大きくなっていることも確認できる。2003 年から 2005 年において学内におけるエアコンの増加は家庭用のエアコンの 3 台程度(キャンパス全体の冷暖房能力の 0.1%以下)であるが, 大学全体のエネルギー消費量傾向にほとんど影響しないため, 以下解析には 2005 年度の設備容量を用いた。

2. キャンパス全体のエネルギー消費実態

キャンパスで使用されているエネルギーは電力, ガス, 重油であり, 図-2 に 2003 年から 2005 年の 3 年間の月間と年間の 1 次エネルギー消費原単位\*2 を示す。年間の 1 次エネルギー消費原単位は約 1 530~1 600 MJ/(m<sup>2</sup>・年)で毎年ほぼ同じで, 電力が約 8 割, ガスと重油が約 1 割ずつであった。文献<sup>11), 12)</sup>によると 1 次エネルギー消費原単位は大学 1 490MJ/(m<sup>2</sup>・年) (平均床面積 81 800 m<sup>2</sup>), 教育・研究施設 2 134MJ/(m<sup>2</sup>・年) (10 546 m<sup>2</sup>), 学校 1 343MJ/(m<sup>2</sup>・年) (36 388 m<sup>2</sup>), オフィス 2 090MJ/(m<sup>2</sup>・年) (43 700 m<sup>2</sup>) となっており, TUT は大学の平均 1 次エネルギー消費原単位よりやや大きいことがわかった。

また, 図-3 に示すように毎年, 中間期, 夏季, 冬季の順

\*1 冬季において PAC, AHU, FCU の熱源は蒸気であり, この蒸気は蒸気ボイラから送られているため, これらのすべて設備には蒸気トラップとトレイン管が備わっている

\*2 1 次エネルギー消費原単位は消費した電気, ガス, 重油を 1 次エネルギーに換算し, その値を延床面積で割ったものである。1 次エネルギー換算には, 電気 1kWh=9.83MJ, ガス 1m<sup>3</sup>=46MJ, 重油 1L=39.1MJ を使用した。

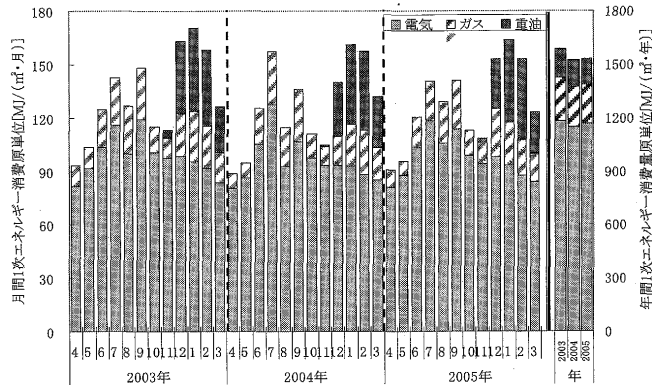


図-2 2003 年~2005 年の月間と年間の 1 次エネルギー消費原単位

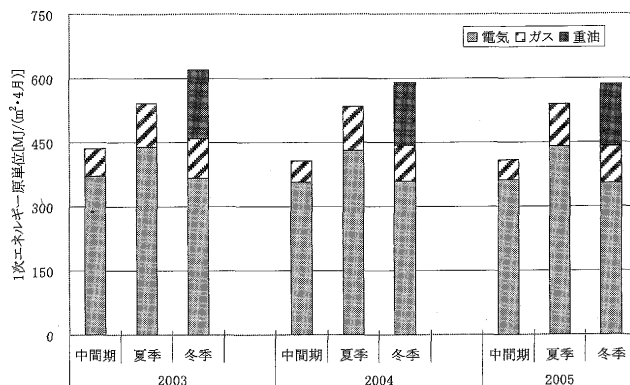


図-3 期間別・エネルギー源別の 1 次エネルギー消費量

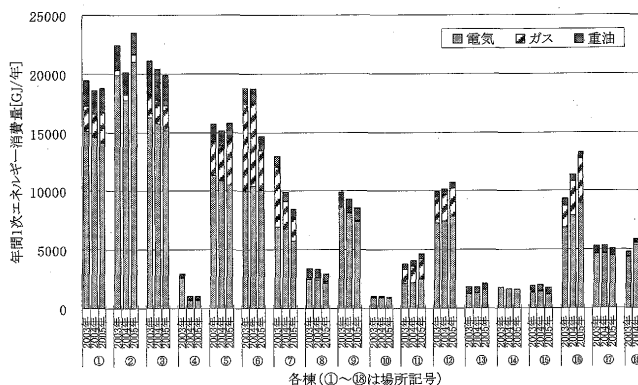


図-4 建物群別の 1 次エネルギー消費量

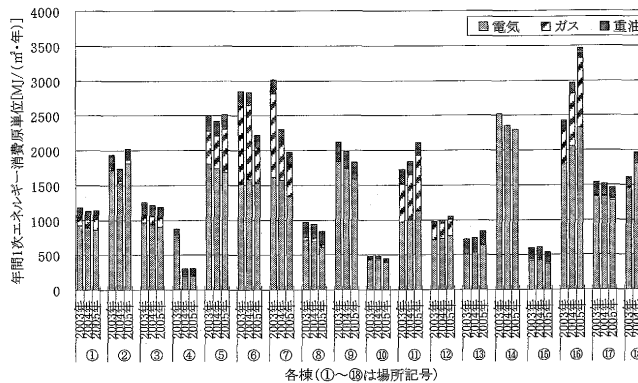


図-5 建物群の各延床面積に対する 1 次エネルギー消費原単位

に1次エネルギー消費原単位は大きい傾向であった。また、冬季の電力消費原単位は中間期と同程度で夏季より小さく、重油の消費原単位が現れている。これは各建物群で使われているPAC空調機が夏季には電力を使用し冷房するが、冬季にはエネルギーセンターの蒸気ボイラから送られてくる蒸気による暖房が行われるためである。さらに、毎年夏季と冬季のガス1次エネルギー消費原単位は同程度で、中間期より大きい傾向であった。

図-4のキャンパス内の建物全延床面積に対する各建物群の1次エネルギー消費量を見ると各建物群における1次エネルギー消費量は年度による違いはほぼなく、各建物群の延床面積が大きいほど消費量が大きくなる傾向にあった。また、GHPを多く採用している建物群はガスの1次エネルギー消費量が、EHPとPACを多く採用している建物群には電力の1次エネルギー消費量が大きいことがわかった。ちなみに、実験を目的としている⑦総合研究実験棟は電気・ガスともに年々減少しているが、⑩自然エネルギー棟は逆に増加しており、これは年度ごとに実験を行う場所が⑦から⑩に移り変わったためと推測できる。ところが、図-5に示すようにキャンパス全体で多くのエネルギー消費量を占める①講義棟と②③の研究棟の1次エネルギー原単位は1200~2000MJ/(m<sup>2</sup>・年)であるが、⑤~⑦の研究棟と⑩⑪の実験棟は2500~3000MJ/(m<sup>2</sup>・年)であった。これは⑤~⑦の研究棟と⑩⑪の実験棟は特殊な実験装置を使い、多くの実験を行っているためである。このことから、大学内で講義と研究が行われる建物群の1次エネルギー消費原単位は学校と研究・教育施設の間にあるが、実験が多く行われる建物群は病院2814MJ/(m<sup>2</sup>・年)(平均延床面積32337m<sup>2</sup>)<sup>1)</sup>のような施設と同程度に大きいことがわかった。ここで、重油はキャンパス全体の建物延床面積から各建物群の延床面積で割った床面積率により求めた値である。

### 3. キャンパス全体のエネルギー源別の空調エネルギー

#### 3.1 空調用電力消費実態

##### (1) 床面積と年間電力消費量の関係

図-6に年度別の建物群の延床面積に対する年間消費電力量を示す。延床面積あるいは空調面積が増加すると年間電力消費量は増加し、その相関も大きいことがわかった。特に、3年間の電力消費量と延床面積との相関(相関係数:約0.72)より空調面積との相関(相関係数:約0.78)が大きいことがわかった。これは建物群の延床面積が大きくても空調面積が小さいほど作業人員が少なく、電力消費設備の使用時間が短いと思われる。

##### (2) 空調用電力の推定

電力消費データは建物群における毎日の検針データしか

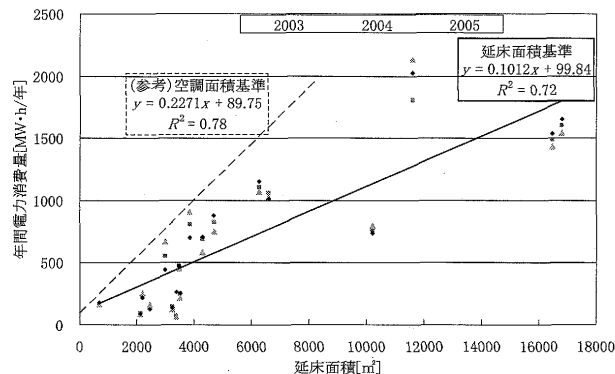


図-6 建物延床面積と空調床面積に対する年間電力消費量

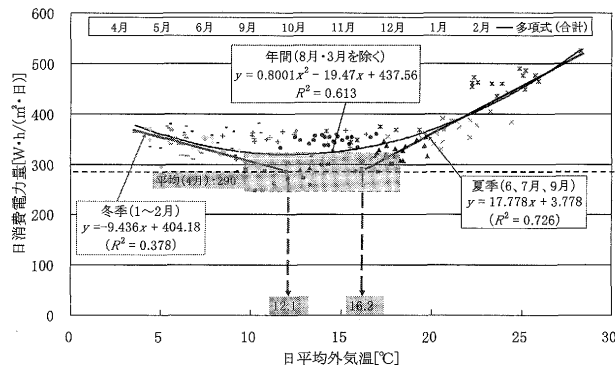


図-7 2003年度の平日の日平均外気温と日消費電力量

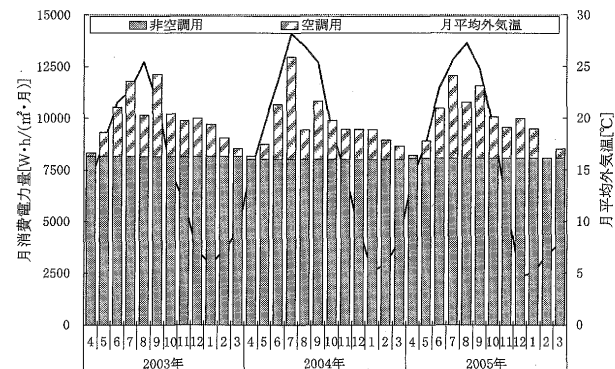


図-8 空調用と非空調用の月消費電力量の変動

ないため、空調用消費電力を推定する必要がある。既往の研究<sup>8)</sup>では月消費電力が最小となる月の電力を非空調用とし、これは年間ほぼ一定で、それ以外に変動する電力を空調用とする推定手法を用いていた。しかし、この手法は建物の使用日数が極端に少なかった月があった場合、空調用消費エネルギーを大きく見込んでしまうため、ここでは建物群の土・日と祝日および平日においても日消費電力量が極端に少ない日を除いたデータにより、外気温とともに変動しない月の中から最小の日平均消費電力量を非空調用とし、それ以上を空調用と推定し検討した。図-7に2003年

多様な空調システムが混在する大学キャンパスのエネルギー消費実態調査研究

の土日と祝日を除いた日平均外気温に対するキャンパス全体の日消費電力量の関係を示す。冬季の日平均外気温と日消費電力量の相関係数は低いが、夏季は高い相関を見せている。また、年間を通しての両関係の相関は見られるため、日消費電力量は日平均外気温に影響を受けると判断できる。また、4月、10月、11月は外気温ともに日消費電力量の変動がなく、この中でも4月の平均日電力消費量が小さく約290W・h/(m<sup>2</sup>・日)であり、この値を日最大非空調用電力とした。2004年と2005年も同月でほぼ同じ値を示した。さらに、この日最大非空調用電力と夏季と冬季の近似直線の交差する日平均外気温はそれぞれ約16.2℃、12.1℃で、両近似直線が交差する温度は約14.5℃であった。業務建築に関する既往の研究<sup>13)</sup>によると両近似直線の交差する日平均外気温は約16~17℃であり、TUTはやや低い結果であった。

図-8に推定により求めた3年間の空調用と非空調用の月消費電力量と月平均外気温の変動を示す。8月は大学全体の休みがあるため、空調用電力消費は毎年7月か9月にピークとなっている。また、年間の空調用電力は約18~19%で毎年ほぼ同じで、中間期(4月、10月、11月)と夏季、冬季の各期間における空調用消費電力の割合はそれぞれ約14%、24%、13%であった。このことから冬季には暖房用電力消費は少なく、その他のエネルギー源により暖房が行われていることがわかる。

3.2 空調用ガス消費実態

キャンパス内のガスは空調用と非空調用系統に分かれているものの、冬季は事務室および研究室に個別のガスファンヒーターなどの暖房器具を使用しているため、非空調用ガス系統から空調用ガスを分離推定する必要がある。図-9と図-10に示すようにキャンパス内の空調用と非空調用合計の月ガス消費量と非空調用のガス消費量は月平均外気温とともに相関が高く、毎年中間期のガス消費量が両方ともに一番少ないことがわかった。また、中間期のガス消費量が年々減少しているのは、実験をメインとしている⑦総合実験棟と、年間は増加しているが同じく実験がメインである⑩自然エネルギー棟の中間期のガス消費量が減少したためである。

図-11に計測と推定によるキャンパス内の空調用ガス消費量と年間空調用ガス消費の推移を示す。図の推定値②は非空調用ガス消費量の月データの中から、中間期における月平均ガス消費量を求め、それより大きい値を空調用とし、これと空調用系統のガス消費量を合計した値である。推定値①は冬季のみの非空調用ガスデータに空調用ガス消費量が含まれていると考え、推定した値である。推定値①と推定値②の消費変動傾向はほぼ同じで、特に冬季の推定値①と推定値②はほぼ同じガス消費量を示しているが、夏季は推定値①が推定値②よりやや少ない結果であった。また、

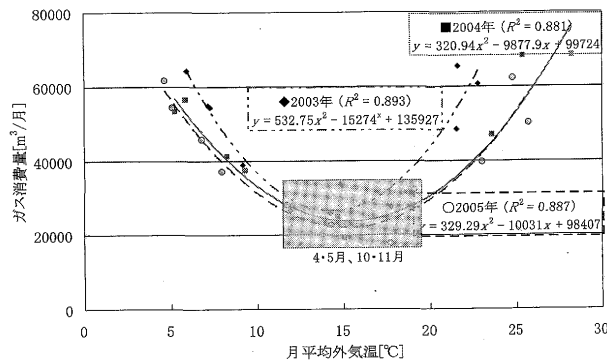


図-9 キャンパス全体の月ガス消費量と平均外気温(8月除く)

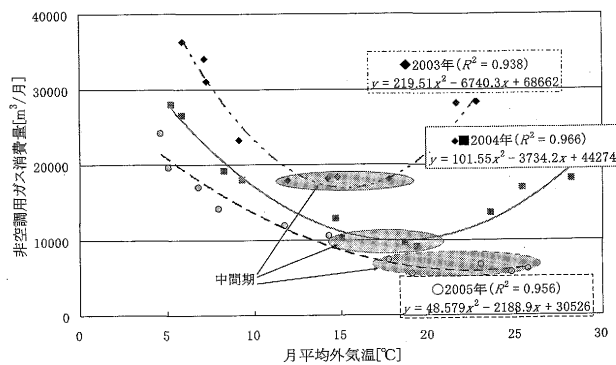


図-10 非空調用の月ガス消費量と月平均外気温(8月除く)

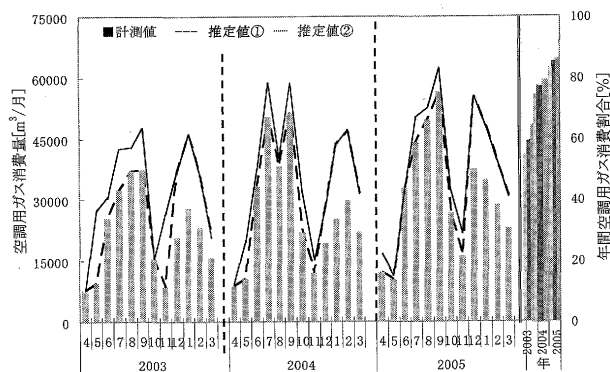


図-11 計測と推定によるキャンパス内の空調用ガス消費量推移と年間空調用ガス消費割合

夏季は冬季よりやや空調用ガス消費量が多く(表-2)、年間ガス消費量の内、空調用ガス消費量は約60~86%であった。さらに、TUTの年間ガス消費量は毎年ほぼ同じであるが、空調用ガス消費量は逆に増加していることがわかった。

3.3 キャンパス全体の空調用と非空調用の消費エネルギー検討

図-12に3年間のキャンパス全体の月間と年間における空調用と非空調用の1次エネルギー消費原単位の推移を示し、表-2に各期間における1次エネルギー消費原単位を示

宋：

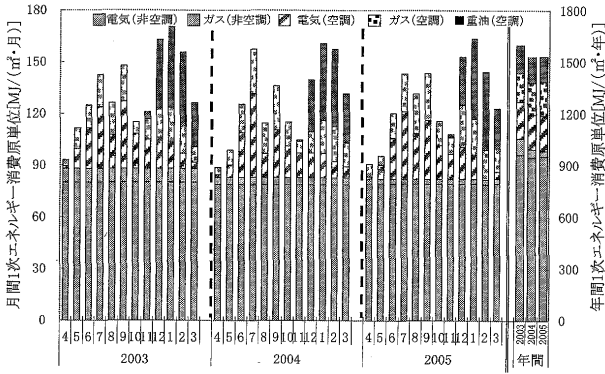


図-12 空調用と非空調用の1次エネルギー消費原単位の推移  
表-2 期間別、空調用と非空調用の1次エネルギー消費原単位

		中間期(4・5月、10・11月) [MJ/(m <sup>2</sup> ・4ヶ月)]		夏季(6~9月) [MJ/(m <sup>2</sup> ・4ヶ月)]		冬季(12月~3月) [MJ/(m <sup>2</sup> ・4ヶ月)]		年間 [MJ/(m <sup>2</sup> ・年)]	
		非空調	空調	非空調	空調	非空調	空調	非空調	空調
2003	電気	321	50	321	118	321	46	962	214
	ガス	32	34	32	72	32	61	95	167
	重油	0	0	0	0	0	160	0	160
2004	電気	315	42	315	116	315	44	945	202
	ガス	17	33	17	85	17	66	50	184
	重油	0	0	0	0	0	149	0	149
2005	電気	317	44	317	124	317	37	952	204
	ガス	11	36	11	87	11	76	33	199
	重油	0	0	0	0	0	145	0	145

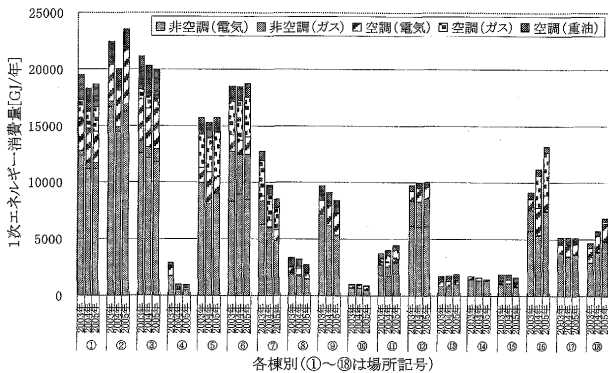


図-13 建物群別の空調用と非空調用の1次エネルギー消費量

す。非空調用エネルギーは電力がほとんどであるが、空調用エネルギーは夏季と中間期にガスが、冬季に重油が多く使われ、電力はその次に使われていることがわかった。そして、重油は若干少ないが、年間の空調用エネルギーは電気、ガス、重油がおおよそ1/3ずつ使われていることがわかった。さらに、キャンパス全体のエネルギー消費の内、中間期と夏季と冬季の空調用エネルギーはそれぞれ約20%、35~39%、約44%であり、TUTの空調用エネルギー消費は冬季が一番多いことがわかった。特に、12月~2月の空調用エネルギーが一番大きくなっているのは外気温が低いこととこの時期に卒論と修論の論文作成および発表があるためと考えられる。さらに、年間の空調用エネルギーは約34~36%で、年間空調用エネルギーが占める割合は年々1%ずつ増加する傾向にあった。この原因は夏季の空調用エネルギー消費が増加していたためである。

図-13に3年間の建物群別の空調用と非空調用1次エネルギー消費量を示す。キャンパスの上位5位のエネルギー消費を占める研究・実験が行う建物群の空調用エネルギー消費は約12~22%であり、この中でも実験が多く行われる建物群は12~15%であった。また、居住がメインである⑫国際交流会館の空調用エネルギーは29~34%で、⑨語学センターと⑦図書館は21~28%であった。このことから、TUT内の空調用エネルギーは実験施設、講義・研究施設、語学センターと図書館施設、居住がメインである施設の順に大きいことがわかった。

#### 4. 推定手法の検討

キャンパス内で年間エネルギー消費量が最も多いD棟群の中で、研究と事務として使われているD棟を対象に2008年4月~2009年2月まで空調用電力と非空調用電力を積算電力計により1時間間隔で実測し、今回用いた推定手法の妥当性を検討した。ただし、計測期間中、1ヶ月丸ごと非空調用と空調用電力が収集できたのは4月~7月と2月のみであったため、ここではこの期間の計測データにより検討した。その結果、図-14に示すように日積算空調用推定電力と計測電力は比例関係にあり、その相関も大きい結果となった。しかし、日積算空調用電力量が大きくなるほど推定電力量は実測電力量より大きくなる傾向にあった。これは非空調用電力系統(一般電力系統)に約1.5kWと2.6kWの個別用空調機が接続されているためで、この空調機は中

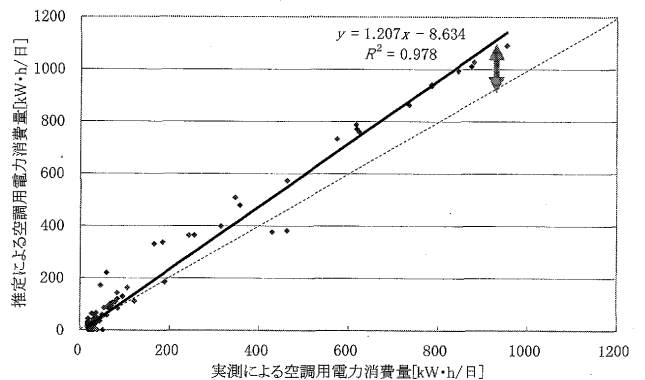


図-14 実測と推定による日積算空調用電力消費量

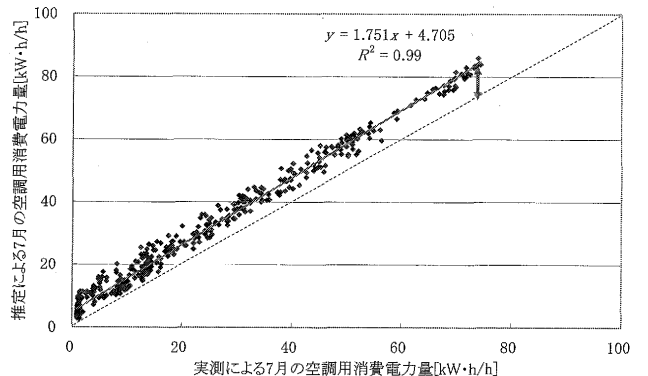


図-15 7月の実測と推定による空調用消費電力

## 多様な空調システムが混在する大学キャンパスのエネルギー消費実態調査研究

間期にはほとんど使用しないが、冷暖房期になると使われるため、推定値と実測値に開きが現れたと思われる。そこで、図-15に示すように夏季の7月の1時間の推定と計測の関係を調べると、常に約5~10kW・h程度推定による電力量が大きいことがわかった。このことから、一般電力系統に接続されている空調機の消費電力を加えるとその誤差はかなり小さくなり、精度よく分離推定できたと考えられる。従って、今回用いた推定手法は有効であることが確認できた。また、毎年の非空調用電力はほぼ同じであることを考慮すると年間の詳細な空調用と非空調用電力を測定しなくても中間期のみにおける計測と今回用いた推定手法を使うことで過去のデータから精度良く空調用と非空調用電力の推定が可能と判断できる。今回の推定手法は計測機材と人員に限りがあるところには有効であると思われる。ここで、月積算電力消費量が小さく外気温に影響されない月の平日データから24時間の非空調用電力を求め、求めた各時間の値より大きい電力を空調用とした。

また、電力とガスのデータの扱いとして、キャンパス合計データを用い空調用と非空調用エネルギーを推定した場合と建物群別にそれぞれ分離推定し合計した場合について検討してみたところ、建物群別に分離推定した方が空調用エネルギーが2~3%多くなる結果であった。このことから、今回用いた推定法ではキャンパス合計した全体データを用い、空調用と非空調用を分離推定しても誤差は大きくないことがわかった。

## 5. 考察

### 5.1 推定手法の考察

#### (1) 休み期間中と2月の非空調用電力

今回用いた推定手法による結果、夏休み7月と8月、秋休み11月(約1週間)、冬休み3月において非空調用電力は他の月とほとんど同じであった。この理由は、休業期間中においても事務と教務・研究は普段通り行われていることと、休業期間中使用率が少ない教室は平日通常講義の代わりに特別講義、補講および学内イベントがあること、さらに教室はキャンパス全体の床面積の約5%で、教室の使用率も小さいことがその原因であると考えられる。また、2月の場合、他の月より日数は少ないが、平日の日数は他の月とほぼ同じであることと、この時期は修士論文作成と発表があり、土日における作業が多く、他の月に比べ土日の非空調用消費電力を増加するため、他の月と同様な非空調用消費電力になったと推測される。

#### (2) 季節の日照時間の違いによる非空調用電力

今回の推定において非空調用電力のベースとなる日は中間期であるため、季節による日照時間(夏季は約2~3時間長く、冬季は逆に2~3時間短い)の違いが照明器具使用時間に影響され、季節による電気の非空調エネルギーの誤差

が生じることが考えられる。しかし、一般オフィスでも同じと思うが、実際キャンパス内の教室、研究室、実験室、図書館、事務関係の部屋などでは昼間から照明をつけているため、日照時間の違いによる推定誤差があったとしてもその誤差はとても小さいと考えられる。また、今回の推定は外気温とともに変動しない電力を非空調用電力と推定しており、照明電力は外気温の変数ではないため、日照時間による誤差はかなり小さくなると考えられる。

#### (3) 既往の推定手法について

既往文献では1年で最低月の電力量をベース電力としていることを考えると、2003年と2004年の消費電力が最小である4月はすべて非空調用電力となる。しかし、今回の分離手法によると4月にも空調用電力量が考慮されるため、既往の分離手法よりは現実に近い推定ができたと考えられる。

### 5.2 他大学等とのエネルギー原単位比較・検討

TUTと九州大学<sup>8)</sup>(工学部:延床面積100000m<sup>2</sup>)、慶応大学<sup>9)</sup>(湘南藤沢キャンパス:65667m<sup>2</sup>)および事務所、学校、教育・研究施設<sup>11),12)</sup>の月間1次エネルギー消費原単位を図-16に示す。TUTの1次エネルギー消費原単位は九州大工学部と同様100~170MJ/(m<sup>2</sup>・月)であったが、慶応大湘南藤沢キャンパスは150~200MJ/(m<sup>2</sup>・月)であった。特に、九州大学工学部の場合はTUTと同じく個別空調設備が採用され、夏季は冷専パッケージエアコンやルームエアコンが、冬季はガス式ストーブが主に使われている。このことから建物規模(主に延床面積)、実験などが多い工学部、同様な冷暖房が行われる大学キャンパスはエネルギー消費傾向が類似するのではないかとと思われる。また、TUTの1次エネルギー原単位は学校より大きく事務所よりは小さく変動し、夏季より冬季が大きい結果にあった。

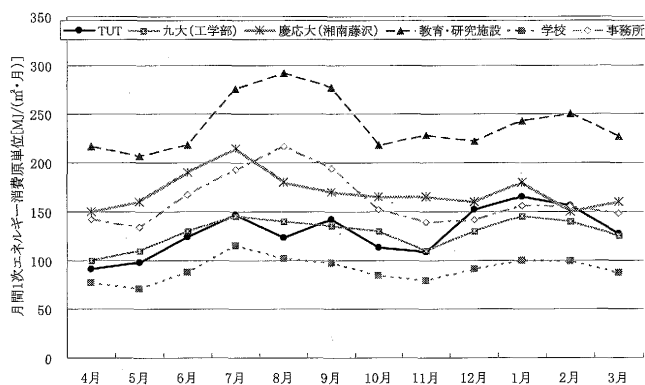


図-16 大学と学校、事務所の月間1次エネルギー原単位推移

## 結論

TUTの各建物における使用用途、使用状況の調査結果と3

年間の消費エネルギーデータの解析から以下のような知見を得た。

- 1) TUT の年間 1 次エネルギー消費原単位は 3 年間大きな違いはなく、既往文献の大学平均値よりやや大きい 1 530~1 600 MJ/( $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ )であった。また、消費エネルギーの 8 割が電力で、ガスと重油が約 1 割であった。
- 2) 各建物群別の 1 次エネルギー消費量も 2 つの特殊実験棟を除けば、3 年間大きな違いはなく、延床面積が大きいほどエネルギー消費量が大きい傾向にあった。また、エネルギー消費量は延床面積より空調面積の方に相関が高いことがわかった。
- 3) 講義と研究が行われる建物群の年間 1 次エネルギー消費原単位は 1 000~2 000 MJ/( $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ )であったが、実験が多く行われる建物群は 2 500~3 500 MJ/( $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ )と大きく、病院の 2 814 MJ/( $\text{m}^2 \cdot \text{年}$ )と同程度であった。
- 4) 空調用電力は毎年ほぼ同じで、年間消費電力の内、約 18~19%を占めた。また、中間期(4月, 10月, 11月)と夏季(6月~9月), 冬季(12月~3月)の各期間における空調用消費電力が占める割合はそれぞれ約 14%, 24%, 13%であった。さらに、8月に大学全体の休みがあることから、空調用電力消費のピークは毎年7月から9月であった。
- 5) ガス消費量の内、約 60~86%が空調用ガス消費であった。また、TUT の年間ガス消費量は毎年ほぼ同じであるが、空調用ガス消費量は年々増加していることがわかった。
- 6) TUT の空調用エネルギー消費は冬季が一番多く、年間の空調用エネルギーが占める割合は約 34~36%で、その割合は年々1%ずつ増加する傾向にあった。これは夏季のガスの空調用エネルギー消費が年々増加していたためである。
- 7) TUT の空調用エネルギーは実験施設、講義・研究施設、語学センターと図書館施設、居住がメインである施設の順に大きいことがわかった。
- 8) TUT は建物規模(延床面積)がほぼ同じで実験などが多い九州大学工学部と月間 1 次エネルギー原単位の値と推移が類似していた。このことから同様な規模で同じ学部で構成されている大学キャンパスの 1 次エネルギー消費原単位は類似するのではないかと考えられる。
- 9) キャンパス内で年間エネルギー消費量が最も多い建物の詳細な実測から今回用いた推定手法を検討した結果、精度良く推定できた。このことから今回の推定手法は有効であることがわかった。

- 10) 毎年の非空調用電力はほぼ同じであることを考慮すると年間の詳細な空調用と非空調用電力を測定しなくても中間期のみにおける計測と今回の推定法を使うと、過去のデータから精度良く空調用エネルギーが推定できると思われる。

## 謝 辞

データ解析と実測に協力してくれた(株)高砂熱工業の後藤智美さん(元、豊橋技科大学大学院生)と大学の施設全般について情報提供してくれた豊橋技術科学大学施設課の皆さんおよび気象データを提供してくれた豊橋技術科学大学滝川研究室の桶真一郎助教にここに記して感謝の意を示す。この研究は同大学の学長裁量経費により行った研究である。

## 参 考 文 献

- 1) 「省エネ法が変わります」(財)省エネルギーセンターのパンフレット。<http://www.eccj.or.jp/pamphlet/index.html>
- 2) 坂本和彦, 村川三郎, 篠原道正, 西名大作, 植村義幸: 事務所ビルにおけるエネルギー消費量の経年変動に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, NO. 615, pp. 81-87, 2007. 5
- 3) 赤林伸一, 足立直之: 事務所ビルにおけるエネルギー消費量実態調査, 日本建築学会計画系論文集, NO. 481, pp. 93-102, 1996. 3
- 4) 陳超, 渡辺俊行, 龍有, 赤司泰義: 各種業務施設の空調用エネルギー消費量に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, NO. 501, pp. 61-68, 1997. 11
- 5) 陳超, 渡辺俊行, 龍有, 赤司泰義: 福岡市と北九州市における各種建物のエネルギー消費特性に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文集, NO. 485, pp. 41-49, 1996. 7
- 6) 三浦秀一, 須藤論, 渡辺浩文, 吉野博: 東北地方における庁舎建築のエネルギー消費特性に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文集, NO. 509, pp. 85-90, 1998. 7
- 7) 「大学キャンパスにおける施設管理に関するアンケート調査の概要結果(2002.4)」による:  
<http://www.eng.toyo.ac.jp/~nagamine/>
- 8) 李演生, 赤司泰義, 渡辺俊行, 福田建一, 江島伊佐朗: 省エネルギー手法による空調用エネルギー消費原単位の削減効果と PAL・CEC/AC 評価, 日本建築学会計画系論文集, NO. 564, pp. 55-62, 2003. 2
- 9) 三瀬農士, 佐藤春樹: 慶応義塾大学湘南キャンパスにおける電力および冷暖房需要の推定, 日本建築学会環境系論文集, NO. 609, pp. 55-62, 2006. 11
- 10) 辻毅一郎, 竹田功: 用途別民生用エネルギー需要の月変動特性, エネルギー・資源, Vol. 18, NO. 5, pp. 478-484, 1997. 1
- 11) 木下栄蔵, 宮坂房千加, 金尾毅, 白井清治, 柴本覚, 原英嗣:



多様な空調システムが混在する大学キャンパスのエネルギー消費実態調査研究

ビル空調のエネルギー・環境・設備のための統計解析, (株)オーム社, 平成 18 年 4 月

温変化が業務建物におけるエネルギー消費に及ぼす影響, 空調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 2165-2168, 2005. 8

12) (財)省エネルギーセンターホームページ:

[http://www.eccj.or.jp/audit/build\\_guide07/01.html](http://www.eccj.or.jp/audit/build_guide07/01.html)

13) 二浦尾友佳子, 坂口勝俊, 鳴海大典, 下田吉之, 水野稔: 気

(平成 21. 8. 3 原稿受理)

## A Study on the Actual Conditions of Energy Consumption in University Campus with Various HVAC Systems

by Sung-Ki SONG <sup>\*1</sup>

**Key Words:** Energy Consumption, University, Heating and Cooling Energy, Separation Method, Field Measurement

**Synopsis :** The purpose of this study is to clarify the actual conditions of energy consumption and the energy consumption of HVAC systems in the university campus with various HVAC systems. Therefore I collected the information of buildings and facilities in the TUT campus and energy consumption data of the past three years from 2003 and analyzed them. The annual primary energy consumption of TUT was about the same for three years, and it was 1530-1600 MJ/(m<sup>2</sup> · year) that were slightly bigger than that the university mean of bygone documents.

The annual primary energy consumption in the building group where the lecture and a study were performed was 1000-2000 MJ/(m<sup>2</sup> · year), and the experiment building group was 2500-3500 MJ/(m<sup>2</sup> · year). The rate of annual energy consumption for HVAC systems was 34-36%, and it was increased 1% year by year. It found that the annual primary energy consumption for HVAC systems increases in order of the experiment institution, the lecture and research facility, language study center and library institution, the dwelling.

(Received August 3, 2009)

---

<sup>\*1</sup> Toyohashi University of Technology, Member