

環境工学研究

No. 278

2009. 7. 23

- | | |
|-------------------------------------|---------|
| 1. 低炭素社会に対する世の中の取り組みの紹介 | 小林 弘 造 |
| 2. 学校の取組み～立命館大学の事例～ | 近 本 智 行 |
| 3. オフィスの取組み事例～BREEZE TOWER ブリーゼタワー～ | 安 田 健 一 |

環境工学研究会

社団法人 空気調和・衛生工学会近畿支部

SHASE Kinki Branchi, Japan

TEL 06(6612)8857

FAX 06(6613)7890

目 次

— 研 究 報 告 —

1. 低炭素社会に対する世の中の取り組みの紹介 -----	1
小林 弘 造	
2. 学校の取り組み～立命館大学の事例～ -----	5
近 本 智 行	
3. オフィスの取り組み事例～BREEZE TOWER ブリーゼタワー～ -----	11
安 田 健 一	

開催日 平成21年7月23日（木）

低炭素社会に対する世の中の取り組みの紹介

Approach to Energy Conservation and Low-carbon Society

日建設計
Nikken Sekkei, Co., Ltd.
小林 弘造
Kozo KOBAYASHI

キーワード： 二酸化炭素排出量 (CO₂ emissions)、削減目標 (reduction targets)、法規制 (regulatory law)、省エネルギー (energy conservation)、予測計算 (calculations predict)

1. はじめに

低炭素社会の実現に向けて、建築物の環境指標である 運用時の CO₂ 排出量を、計画・設計段階で予測し、運用時に検証することが必要となってきた。行政・各自治体の具体的数値目標が定められてきており、それに応じた建築主側の目標設定と 建築・設備設計が必要である。

現在、東京都ホームページでは大規模ビルの CO₂ 排出量実績値が公開されており、図 1 に示すように単純な横並び比較が可能となっている。建築主にとっては既存ビルの実績値を参考に目標を定めることが可能となっている。一方で、計画・設計段階での CO₂ 排出量予測計算には設備運転時間等の条件設定が必要となり、図 2 に示すように、予測値と実績値の間には差異が生ずることも多い。

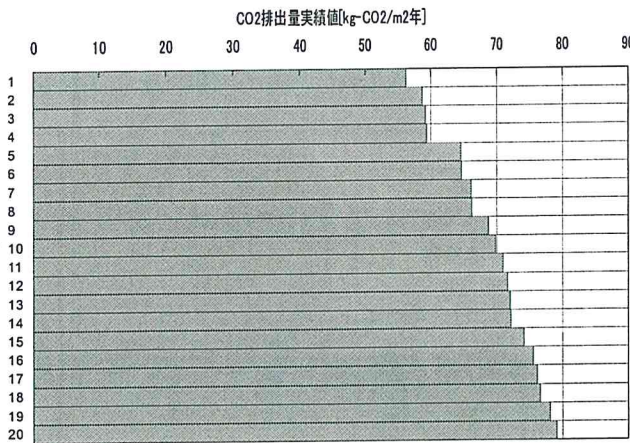


図 1 CO₂ 排出量実績値公開情報

※東京都HP公開、地球温暖化対策計画書制度事業所一覧表から、事務所・テナントビル3万㎡以上を抽出し、上位20位についてまとめたもの

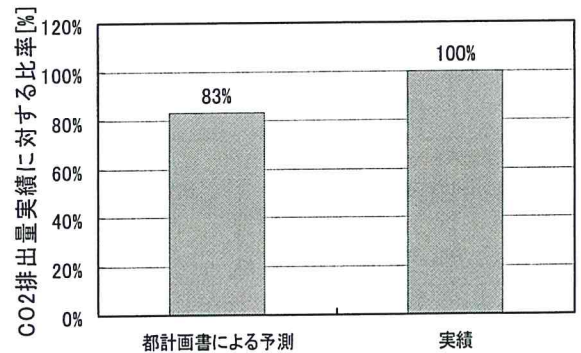


図 2 東京都地球温暖化対策計画書制度に基づく CO₂ 排出量予測[※]と実績の比較例

※東京都地球温暖化対策計画書制度で定義されている ERR 算出式の考え方に基づく CO₂ 排出量予測値

2. 自治体の数値目標

図 3 に各自治体の CO₂ 削減目標の一部を示す。これらは各自治体の環境関連条例・制度・指針等として定められている。

さらに各自治体で独自の低炭素化へ向けた施策が行われている。一例として、東京都においては、『新しい都市づくりのための都市開発諸制度活用方針』等を定めて、都市開発諸制度（「総合設計」「再開発等促進区を定める地区計画」「特定街区」



図 3 自治体の CO₂ 削減目標 (一部)

「高度利用地区」の4つの制度であり、良好な公共的貢献を伴う計画に容積率などを緩和する制度)の適用条件にCO₂削減の視点が導入されている。ここでは省エネ性能が一定の水準を満たさなければ、容積率の緩和を行わない等の仕組みが運用されている。また東京都では「総量削減義務と排出量取引制度」として基準年度に対する定量的な温室効果ガス排出削減の義務化が2010年より導入されるなどの施策も行われる。

3. 計画・設計段階の低炭素化のアプローチ

3-1 PAL 削減

建築外装の省エネ性能の目標としてはPAL(年間熱負荷係数)を用いることが一般的である。東京都の都市開発諸制度適用の場合の延床面積1万㎡以上の建物の誘導基準は、PAL:225以下(PAL削減率25%以上)となっている。PAL:225以下を実現するための検討の一例を図4に示す。本検討では、延床面積約3万㎡の事務所ビルを対象とした。ケーススタディの結果、窓にLow-E複層ガラスを採用、屋根断熱の強化(厚さ100mm)を行った上で、腰壁・垂直ルーバー・庇のうち2つの組み合わせにより、PAL:225以下を達成する見込みを得た。また、外装のポツ窓化、エアフローウィンドウの採用によってもPAL:225が達成される試算となった。実際のプロジェクトにおいては意匠性・イニシャルコストなどを考慮し総合的な評価を踏まえた設計を行うこととなる。

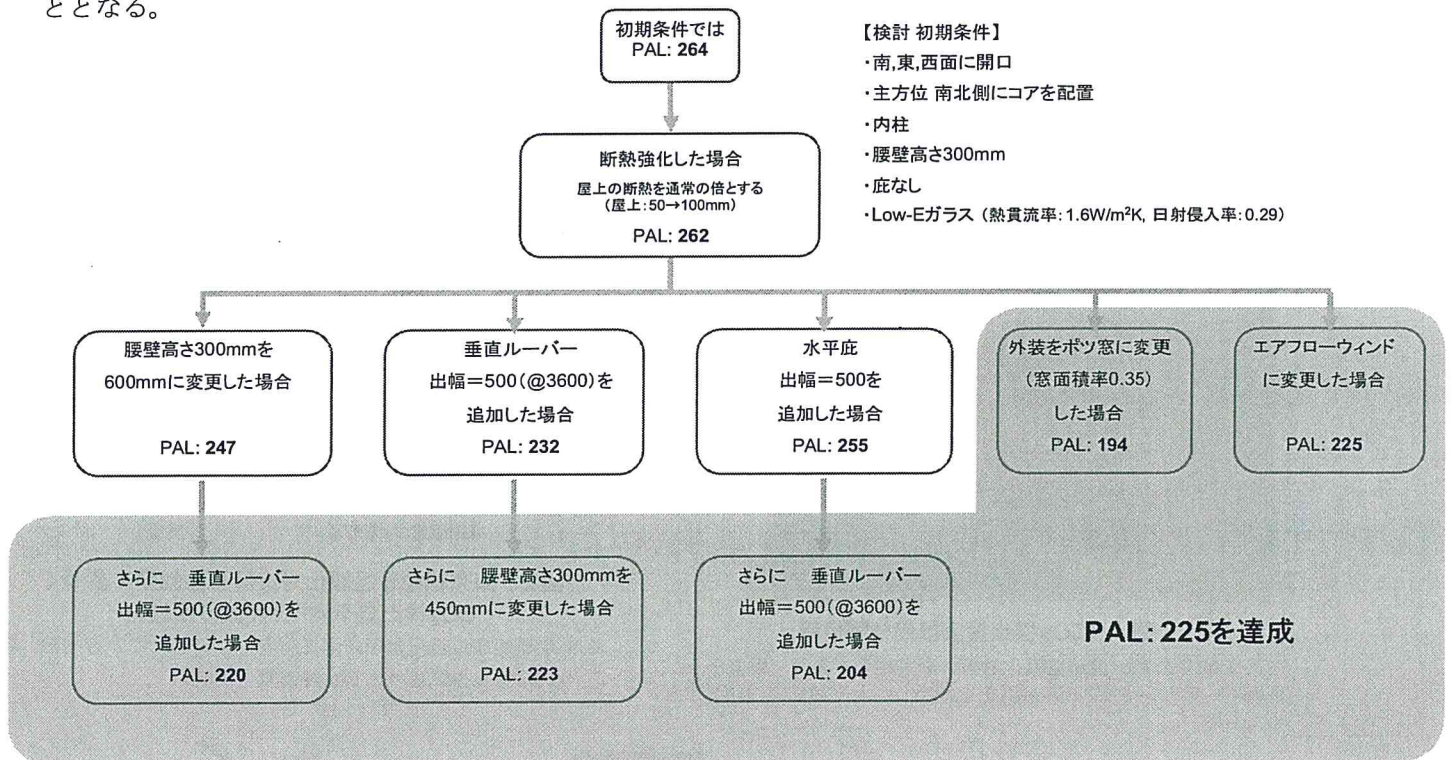


図4 PALによる省エネ外装の検討

3-2 ERR 向上

設備の省エネ率であるERR(東京都環境確保条例に基づく東京都地球温暖化対策計画書制度の評価指標であるEnergy Reduction Rate)の向上について検討した例を表1に示す。東京都の都市開発諸制度適用の場合の延床面積1万㎡以上の建物の誘導基準は、ERR:35以上となっているため、これを検討のターゲットとした。ERR:26の事務所ビル(延床面積約3万㎡)を対象とし、各種省エネ手法が導入されていた場合の試算を行った。ケーススタディの結果、事務室空調全般に外気冷房および全熱交換機を追加、駐車場換気のインバータ化などにより、ERR:35が達成できる試算となった。実際の各種省エネ手法の採否においては、費用対効果の視点を考慮する必要がある。

表 1 ERR による設備の省エネ対策の検討

ケース		概要	各 CEC 値	ERR 値
0	照明 無対策の場合 照明制御なし	照明) 昼光利用制御・初期照度補正制御なし *他は、ケース 1 (現状) と同じ	CEC/AC : 1.03 CEC/V : 0.95 CEC/L : 0.68 CEC/EV : 0.52	ERR=22%
1	検討対象ビル	空調) 熱源台数制御・蓄熱・VAV・VWV 最小外気負荷制御 (CO ₂ 制御) 照明) 昼光利用制御・初期照度補正制御 換気) 駐車場換気 On-Off 制御 EV 機械室・電気室 On-Off 制御	CEC/AC : 1.03 CEC/V : 0.95 CEC/L : 0.56 CEC/EV : 0.52	ERR=26%
2	換気に対策を追加 駐車場換気 インバータ化	換気) 駐車場換気 インバータ制御 EV 機械室・電気室 On-Off 制御 *他は、ケース 1 (現状) と同じ	CEC/AC : 1.03 CEC/V : 0.78 CEC/L : 0.56 CEC/EV : 0.52	ERR=29%
3	空調に対策を追加 外気冷房を追加	空調) 熱源台数制御・蓄熱・VAV・VWV 最小外気負荷制御 (CO ₂ 制御) 外気冷房 *他は、ケース 2 と同じ	CEC/AC : 0.94 CEC/V : 0.78 CEC/L : 0.56 CEC/EV : 0.52	ERR=31%
4	空調にさらに 対策を追加 全熱交換器を追加	空調) 熱源台数制御・蓄熱・VAV・VWV 最小外気負荷制御 (CO ₂ 制御) 外気冷房・全熱交換器 (バイパス制御付) *他は、ケース 3 と同じ	CEC/AC : 0.83 CEC/V : 0.78 CEC/L : 0.56 CEC/EV : 0.52	ERR=35%

3-3 ESUM による各種省エネ手法の検討

ビルの運用時の CO₂ 排出量を精度良く予測するためには、設備の運転時間や室内負荷発生パターンなど、ビルの使われ方を考慮した計算が必要となる。一例として、財団法人 省エネルギーセンターの原単位管理ツール (以下 ESUM) を利用し、延床面積約 3 万 m² の事務所ビルのエネルギー消費量予測計算を行った結果を図 5 に示す。ESUM を用いて運転時間、負荷発生パターン等を実態を踏まえて設定すれば、精度良くエネルギー消費予測が可能であると考えられた。

さらに ESUM を用いて、各種省エネ手法の CO₂ 排出量削減効果を試算した。検討した省エネ手法を表 2 に示す。

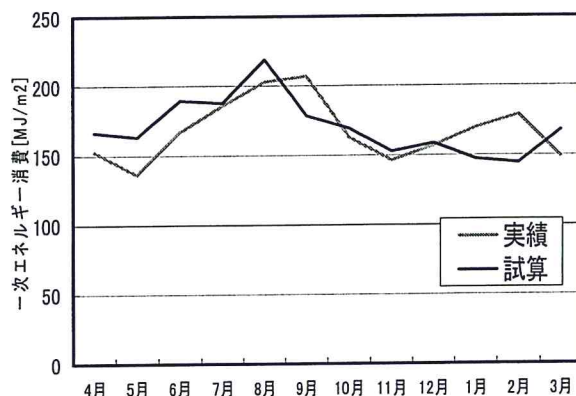


図 5 ESUM によるエネルギー消費量予測

表 2 ESUM で検討した省エネ手法

番号	省エネ手法	設定方法
1	トップランナー ターボ冷凍機 (電気式)	吸収式冷温水発生機 (COP=1.13) →インバータターボ冷凍機 (COP=6.5)
2	VAV 制御	基準階 AHU に採用
3	トップランナー 吸収式冷凍機 (ガス式)	吸収式冷温水発生機 (COP=1.13) →3 重効用吸収式冷凍機 (COP=1.6)
4	高断熱ガラス (Low-E)	基準階窓ガラスに採用
5	空調設定温度の緩和	冷房 26℃、暖房 22℃設定 → 冷房 27℃、暖房 21℃設定
6	換気量の CO ₂ 制御	基準階事務室に採用、外気導入量を削減(在室人員 50%想定) することで対応
7	冷温水 VWV 制御	冷水・温水ポンプに採用
8	庇	庇なし→東西南面に庇 (出幅 500) を設ける
9	ルーバー	ルーバーなし→東西南面にルーバー (出幅 500) を設ける
10	全熱交換器	全熱交換器なし→基準階事務室に全熱交換器(熱交換効率 0.6) を採用
11	低温冷風空調システム	給気と還気の温度差通常 10℃ → 給気と還気の温度差通常 12℃
12	外気冷房	基準階事務室 10CMH/㎡の外気導入
13	大温度差方式	冷水 7℃送水、12℃還水 → 7℃送水、14℃還水
14	外壁断熱強化	外壁の断熱 25mm → 外壁の断熱 50mm
15	屋根断熱強化	屋根の断熱 50mm → 屋根の断熱 75mm

ESUM による各種省エネ手法の CO₂ 排出量削減効果の試算結果を図 6 に示す。図 6 の試算結果は各手法の単体効果を示しているが、ESUM を用いてこれらの複合効果の計算も可能である。

設備の運転時間等を考慮したビルのエネルギー消費量予測値に、これらの削減効果を考慮することで CO₂ 排出量削減の目標値を定めることが可能と考えられる。

4. おわりに

低炭素社会の実現に向けて建築物における運用時の CO₂ 排出量の大幅な削減が必要となっている。建築主・設計者にとっては、行政・自治体の数値目標を考慮した建築物の CO₂ 排出量削減の目標設定が求められる。本報では計画・設計段階で利用可能な各種指標・ツールを用いて低炭素社会のための省エネビル実現に向けた検討の例を紹介した。建築物の運用時の CO₂ 排出量およびその削減量は、設備の運転時間等ビルの使われ方によって大きな影響を受けるが、これを考慮して精度良く予測する手法は、現時点では確立されていない。シミュレーションツールの開発や計算方法の明示あるいは統一化が必要と考えられる。

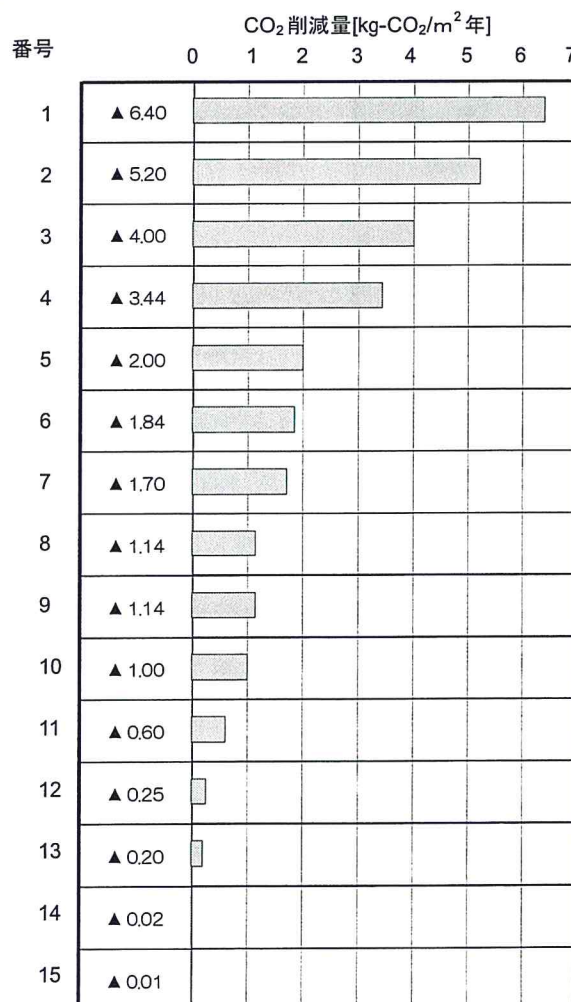


図 6 各種省エネ手法の CO₂ 削減効果の試算結果 (単体効果)

学校の取組み～立命館大学の事例～ Eco Campus at Ritsumeikan University

立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科

Ritsumeikan University, Dept. of Architecture and Urban Design

近本 智行

Tomoyuki CHIKAMOTO

キーワード：地球温暖化 (Global Warming)、省エネルギー (Energy Saving)、大学施設 (Campus)
費用対効果 (Return On Investment)、環境ラベル (Environmental Label)

1. はじめに

近年、各事業者には温室効果ガスの報告義務があり、更に、環境配慮対策の情報を公開・閲覧できるようにしている事業者も増加してきた。大学機関も例外ではなく、多くの大学で環境配慮に対する取り組みが実施されている。しかしながら個々の取り組みの効果検証や、定量的な排出量削減の目標値設定などは必ずしも十分ではなく、また大学という特殊事情に符合する共通の環境配慮指針も確立されているとは言えない。一方で、大学は地域社会との連携や教育的効果、排出量抑制技術の研究開発など、低炭素社会に向けた活動の幅が広がる可能性が大きい。

2. 大学施設の CO₂ 排出量

表 1 に CO₂ 排出量が上位となっている大学及びその排出量 (2006 年度) を示す。大学施設の規模は相対的に大きく、多くの CO₂ を排出している。一方で多くの大学で既に環境配慮活動に取り組み、排出量抑制の効果を計上しつつある (図 1-2)。上位大学のほとんどが医学部を有しており、大学病院等の排出量の大きさが伺える。立命館大学は排出総量としては 46 位にあたるが、医学部のない大学では東京工業大学に次ぐ。

表 1 大学施設の CO₂ 排出量 (上位校) 文¹⁾

	特定排出者名	排出量[t-CO ₂]
1	国立大学法人東京大学	135,350
2	国立大学法人東北大学	105,506
3	国立大学法人京都大学	93,974
4	国立大学法人大阪大学	91,900
5	国立大学法人北海道大学	87,848
6	国立大学法人九州大学	80,036
7	国立大学法人名古屋大学	76,758
8	国立大学法人筑波大学	62,300
9	学校法人日本大学	58,270
10	国立大学法人広島大学	52,233
11	学校法人慶應義塾	45,270
12	学校法人東海大学	45,140
13	公立大学法人横浜市立大学	43,860
14	学校法人慈恵大学	42,419
15	国立大学法人岡山大学	41,000
16	学校法人北里学園	40,500
17	学校法人順天堂	39,917
18	国立大学法人神戸大学	39,400
19	学校法人近畿大学	37,947
20	国立大学法人東京工業大学	37,500
21	学校法人獨協学園	37,220
22	国立大学法人新潟大学	36,529
23	学校法人福岡大学	34,500
24	学校法人聖マリアンナ医科大学	33,299
25	学校法人昭和大学	33,220
26	学校法人埼玉医科大学	32,824
27	公立大学法人大阪市立大学	32,672
28	国立大学法人金沢大学	32,075
29	国立大学法人信州大学	30,681
30	学校法人自治医科大学	30,638
31	学校法人川崎学園	29,000
32	国立大学法人山口大学	28,560
33	学校法人東邦大学	28,480
34	国立大学法人徳島大学	28,202
35	国立大学法人富山大学	28,030
36	国立大学法人東京医科歯科大学	27,500
37	国立大学法人山形大学	27,139
38	国立大学法人千葉大学	26,728
39	国立大学法人岐阜大学	26,592
40	公立大学法人福島県立医科大学	26,490
41	学校法人金沢医科大学	26,200
42	学校法人帝京大学	26,136
43	国立大学法人弘前大学	26,066
44	国立大学法人鳥取大学	25,493
45	学校法人東京女子医科大学	25,300
46	学校法人立命館	25,033
47	国立大学法人琉球大学	24,880
48	国立大学法人群馬大学	24,674
49	学校法人日本医科大学	24,520
50	公立大学法人名古屋市立大学	24,500

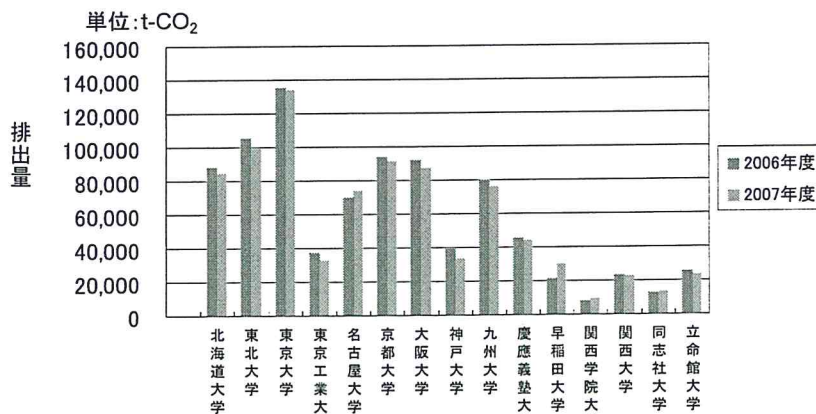


図 1 主な大学施設の CO₂ 排出量の推移 文¹⁾

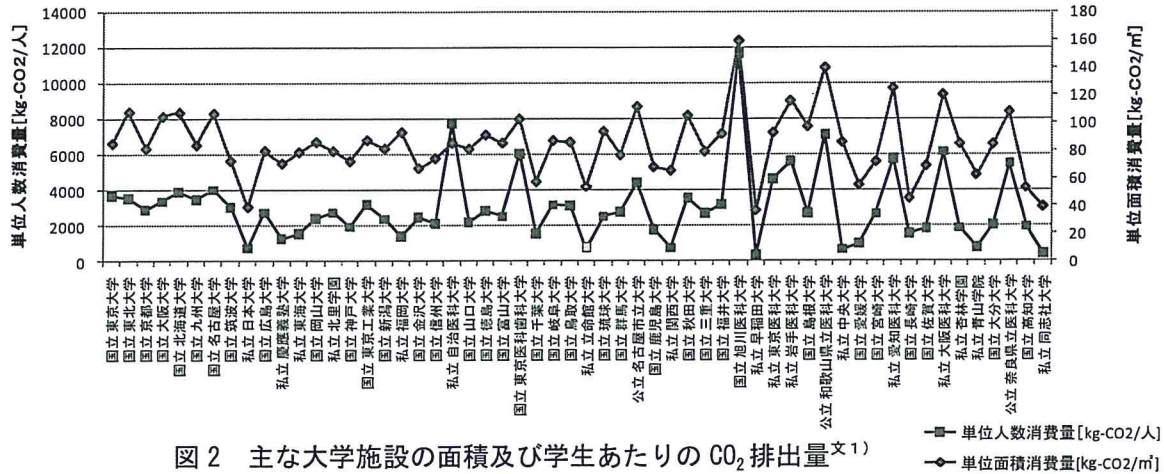


図2 主な大学施設の面積及び学生あたりのCO₂排出量^{文1)}

学生数	30000人超 6%	30000人以下 10%	20000人以下 32%	10000人以下 26%	5000人以下 16%	不明 10%
延床面積	800千㎡超 8%	800千㎡以下 14%	400千㎡以下 32%	200千㎡以下 26%	不明 20%	
単位面積排出量	100kg超 10%	100kg以下 24%	80kg以下 18%	60kg以下 22%	不明 26%	

図3 対象大学の概要

3 CO₂排出量の分析

①人員構成 (a.大学院所属学生の割合 (院生比率)、b.理系学生の割合 (理系比率))、②規模 (a.延床面積、b.学生数)、③所在条件 (a.所在地の平均気温、b.所在地の都市種別)、④単位面積あたりの人数の4つを構成要素とにおいて、環境配慮取組が公表されている50の大学施設に関して『CO₂排出量と構成要素の関係』、『環境配慮取組と構成要素の関係』を分析してみた。

3.1 調査対象 (図3)

対象大学の理系比率は0~100%、院生比率も0~51%と幅広い。各大学で教育内容は大きく違い、それに伴い施設の使われ方も多様であることが考えられる。年平均気温でも6.3~19.0℃の幅があり、施設の使われ方だけではなく、空調負荷に大きな差が出ることも考えられる。

単位面積あたりのCO₂排出量の平均は79.8kg-CO₂/m²であった。最も多い大学は107.6kg-CO₂/m²、最も少ない大学では36.5kg-CO₂/m²と大きな幅があった。

3.2 CO₂排出量と構成要素の関係

単位面積あたりのCO₂排出量との関係が見られた構成要素を図4に示す。この内、院生比率に最も強い関係性が確認された。院生が学部生

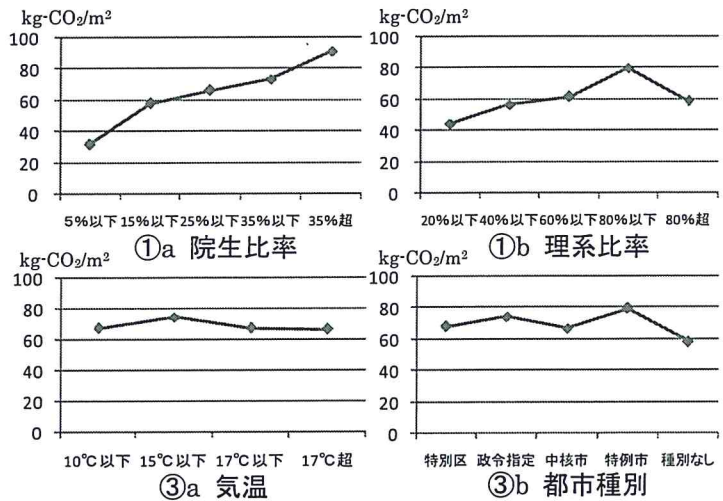


図4 単位面積あたりの排出量と構成要素との関係

表2 環境配慮取組の採用比率と構成要素の関係

	採用比率	相関係数						
		院生比率	理系比率	学生数	延床面積	平均気温	都市種別	単位面積あたりの人数
目標値設定	66%	0.57	0.15	-0.05	0.91	0.46	-0.70	-0.99
掲示物等による啓蒙	50%	0.74	0.79	0.64	0.84	-0.94	0.26	0.82
空調温度設定	40%	-0.95	0.01	-0.26	-0.94	0.60	0.04	0.99
人感センサ	40%	0.69	0.42	0.00	0.73	-0.06	0.15	-0.99
高効率照明	36%	0.71	-0.78	0.73	0.78	-0.42	0.95	-0.67
エネルギー消費量の公表	32%	-0.68	0.93	-0.35	-0.83	0.65	-0.40	-0.23
太陽光発電	24%	-0.94	0.19	-0.07	-0.83	0.89	-0.84	-0.11
昼休み消灯・空調停止	20%	-0.83	0.89	-0.91	-0.91	-0.60	-0.47	0.99
トッピング変圧器	18%	-0.04	-0.12	0.73	0.48	0.29	-0.36	-0.16
デマンド警告・制御	16%	0.48	0.41	0.93	-0.30	0.96	0.56	-0.67
二斉休業	16%	-0.17	0.43	-0.48	-0.93	0.75	-0.21	-0.67
空調時間制御	16%	-0.76	-0.23	0.22	-0.99	-0.97	0.42	0.67
屋上緑化	14%	-0.91	-0.48	0.02	-0.81	0.35	0.57	0.95
EV台数制御	12%	0.91	0.84	-0.53	0.06	0.33	0.23	-0.96
ESCO	12%	0.07	-0.02	0.62	0.39	-0.58	0.43	0.82
省エネ週間	10%	0.91	0.07	-0.48	-0.34	0.30	0.12	0.39
照度センサ	10%	0.75	0.82	-0.49	-0.37	0.30	0.10	-0.70
排熱利用	10%	0.26	-0.08	0.74	0.12	0.30	0.44	0.48

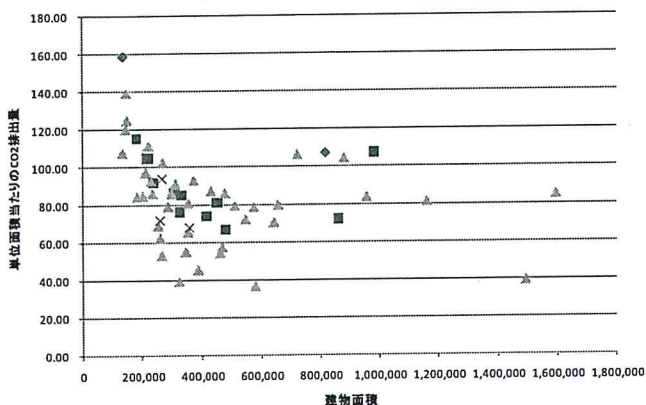


図5 気候区分毎の単位面積あたりの排出量

より CO₂ 排出に大きく起因している。特に、上位校での院生比率が高く（対象とした 50 校の内、上位 15 校は院生比率が 34.5% に対し、単位面積あたりの CO₂ 排出量は 83.4 kg-CO₂/m²。下位 15 校では院生比率 11.7% に対し、単位面積あたりの CO₂ 排出量は 66.9 kg-CO₂/m²）。理系比率も似たような傾向を示し、理系の研究比率が CO₂ 排出に現れている。研究面への影響を回避しながら CO₂ 排出を減らすことは、生産効率を維持しながら省エネを図る必要のあるオフィス以上の困難が予想される。それほど大きくはないものの、気温が低いほど排出量は増える傾向にある。このことは気候区分毎の結果にも現れており、暖房負荷の影響が大きい（図 5）。

3. 3 環境配慮取組と構成要素の関係

環境配慮取組と構成要素の相関を表 2 に示す。院生比率が低いほど、また延床面積が小さいほど、空調・照明の一括制御の導入傾向がある。大学院での研究活動による施設の利用時間・方法は多様であり、研究活動が大学教育の多くを占めるほど、一括制御をすることが困難であると考えられる。

また学生数が多い、気温が高いほど「デマンド制御」の導入傾向がある。都市種別より平均気温の方が環境配慮取組との関係性が強く、気温が高いほど夏期においての空調エネルギーのピークに対応した「デマンド制御」有効な手段となる。

4 立命館大学における省エネの取組実績

立命館大学では、2003 年に BEMS を導入し、その分析結果を基にした省エネ対策の実施を図ることで、成果を出しつつある（図 6）。

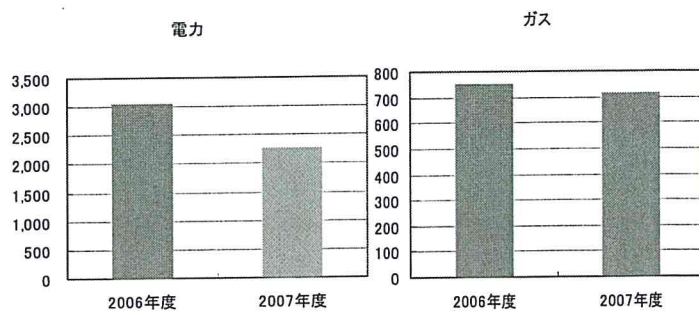


図6 エネルギー使用量実績データ

表3 建物概要と CO₂ 排出量結果 (2007 年度データ)

建物の用途	建物名	延床面積 [m ²]	CO ₂ 総量 [t-CO ₂]	原単位 [kg/m ²]	竣工年	主要照明機器	主要空調機器(*5)
教室棟	アドセナリオ	6,240.4	165.4	26.5	1994	FLR(*3)	ガス②
	コーニングハウスⅠ	17,029.4	529.6	31.1	1994	FLR	ガス②
	コーニングハウスⅡ	8,691.8	158.2	18.2	2003	HF (*4)	GHP
	フォレストハウス	5,055.8	128.9	25.5	1994	FLR	ガス①
	プリズムハウス	9,477.5	403.7	42.6	1994	FLR	ガス①
経・研究室棟	アクロスウイング	22,882.1	1,151.0	50.3	1994	FLR	ガス②
	イーストウイング	12,206.4	816.6	66.9	1994	FLR	ガス①
理工・研究室棟	ウエストウイング	12,206.4	659.1	54.0	1994	FLR	ガス①
	コアステーション	6,898.0	522.2	75.7	1994	FLR	ガス①
	ローム記念館	6,349.5	404.5	63.7	2000	FLR	GHP
	クリエーションコア	20,095.0	1,155.5	57.5	2004	HF	ガス②
情報理工・研究室棟	学術F (*1)	2,940.1	226.7	77.1	1994	FLR	GHP
実験室棟	エクセル1	6,487.8	434.0	66.9	1994	FLR	ガス①
	エクセル2	5,248.2	642.9	122.5	1994	FLR	ガス①
	エクセル3	7,961.6	666.4	83.7	1994	FLR	ガス①
	防災SRC(*2)	5,155.8	224.8	43.6	2005	HF	GHP
	ユニオンスクエア	6,677.1	739.2	110.7	1994	FLR	ガス①
食堂	リククエア	6,253.6	370.8	59.3	1994	FLR	ガス②
	セントラルーク	4,935.0	247.2	50.1	2005	HF	GHP
その他	メディアセンター	5,922.4	405.7	68.5	1994	FLR	ガス①
	エホック立命21	6,019.9	278.7	46.3	2001	HF	GHP
	BKC全体	204,688.0	12,793.0	62.5	1994		

- *1) 学術フロンティア共同研究センターの略。
- *2) 防災システムリサーチセンターの略。
- *3) ラピッドスタート型蛍光灯（点灯管不要な FL 灯）。
- *4) インバータによる高周波点灯型蛍光灯。
- *5) ガス①: コアステーション地階の熱源から供給されるガス吸収式冷水水機を指す。
- ガス②: 上記以外のガス吸収式冷水水機を指す。
- GHP: ガスヒートポンプの略。ガスエンジンで圧縮機を稼働させる。

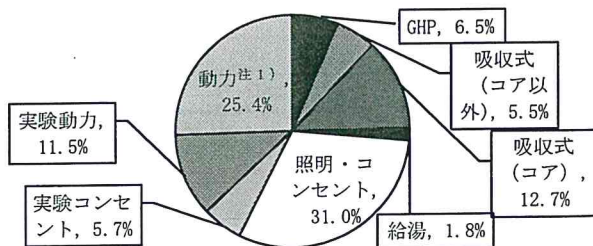


図7 CO₂ 排出量比率 (2007 年度データ)

5 立命館大学の削減量試算

5.1 試算概要

立命館大学のびわこ・くさつキャンパスを対象として、今後の削減量の可能性を試算する。表3に対象建物概要と共に、BEMS等を用いて調査した棟毎のCO₂排出量結果を示す。キャンパス全体では62.5kg-CO₂/年m²であるが用途・棟毎のばらつきが大きい。

図7にCO₂排出量比率を示す。空調で24.7%、照明・コンセントで31.0%と特に空調・照明が多額の割合を占めている。一方、実験系が17.2%を占めている。この実験系を削減することは容易ではなく、今後の検討が必要。

今回、対象建物に実施可能な対策項目を挙げ（表4）、その中で早期に着手可能な10項目について試算を行う（熱源・空調以外を主な対象項目とする。熱源・空調は追って検討予定）。

6.2 効果

図8に建物用途別CO₂削減率を示す。教室棟はコンセントの使用量がほとんどないため、空調や照明における効果が大きく、共に12%の削減効果を得ている。経済・経営、理工学部の研究室棟や実験室棟は、照明の削

表4 対策項目と条件

対策項目 ^{※2)}	条件	試算
中間期は空調を停止し、窓を開閉 ^{※3)}	実験室棟と外気温25℃以上は運転を許可	0
落葉樹の植栽(東西にのみ) ^{※4)}	1階のみ 天空率 ^{※3)} :26% 直達日射遮蔽率:90%	0
庇の設置(南面にのみ) ^{※5)}	庇の長さ:窓の高さの0.3倍	0
注2) 室外・室内気温の表示	—	
高反射塗装	—	
建物配置計画	—	
窓廻り空調システム	—	
Low-Eガラス、複層ガラス	—	
地下熱の利用	—	
CO ₂ センサーによる換気量制御 ^{※6)}	在席率:60%	0
熱源 小型化	—	
高効率化	—	
ポンプ VWV(水の流量を制御)	—	
大温度差送水システム	—	
配管摩擦低減剤	—	
照明 FLR灯をHF灯に交換 ^{※7)}	すべて開放型に交換。	0
昼光利用による窓際照明制御 ^{※8)}	段調光方式 750lx以上:0%(消灯) 350~750lx:50% 350lx未満:100%(点灯)	0
人感センサーによる調光・点滅制御 ^{※9)}	HFに交換した建物のみ 調光率:25%	0
初期照度補正制御	ランプ寿命約15000時間で15%削減	0
LED(発光ダイオード)	—	
光ダクト	—	
コンセント PCの未使用時は電源をオフ ^{※10)}	平均在室時間:10時間 平均退室時間:3時間 現在未使用時に電源を切っている割合:40% 省エネモード時の電力:25W 待機電力 ^{※4)} :3W	0
コピー機の未使用時は電源をオフ ^{※10)}	電源オン時の消費電力 ^{※4)} :100W 待機電力 ^{※4)} :3W 実使用时间:50%	0

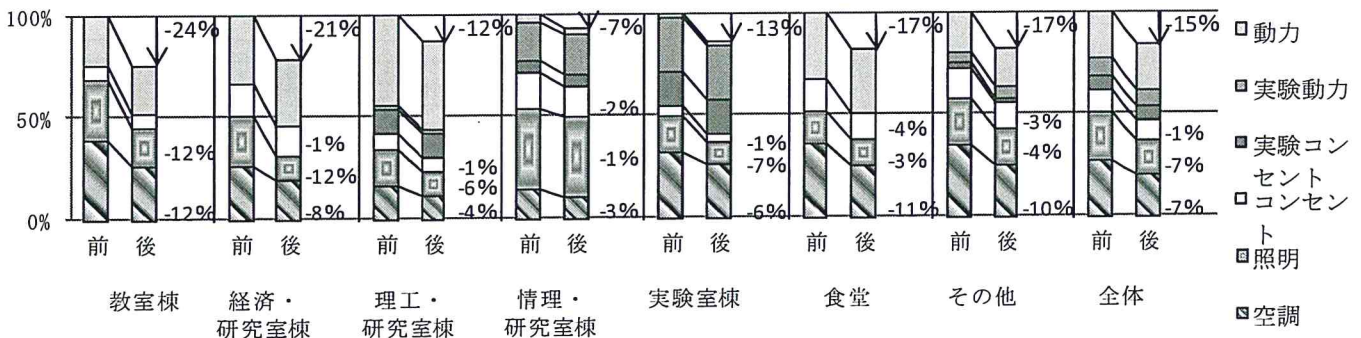


図8 建物用途別CO₂排出量

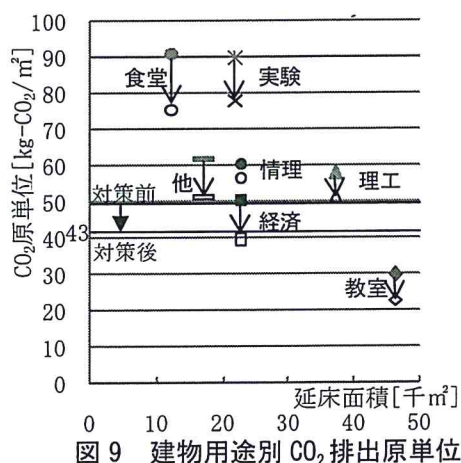


図9 建物用途別CO₂排出原単位

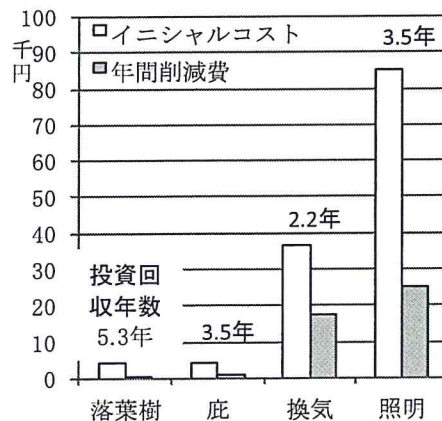


図10 経済性比較^{※6)}

減効果が高い。情報理工学部の研究室棟は全体の削減率が低い。これはクリエーションコアで既に HF 灯を使用しており、高効率照明導入における削減効果が期待できなかったためだと考えられる。食堂は空調の次にコンセントの削減率が高くなっている。これはコピー機の使用台数が他の建物と比べて突出しており、コピー機に対する対策効果が大きかったためだと考えられる。同じ大学校舎でも用途によって削減効果には大きな違いがあり、建物用途に応じた対策を行う必要がある。キャンパス全体では 15% の削減が可能であるという結果となった。

図 9 に建物用途別 CO₂ 排出原単位の対策前と対策後の変化を示す。対策前におけるキャンパス全体での CO₂ 排出原単位は約 50kg-CO₂/m² であるが、対策後は約 43 kg-CO₂/m² と約 15% 削減した。またそれぞれの削減値において、情報理工学部の研究室棟では 4kg-CO₂/m² と少ないが、食堂では 15kg-CO₂/m² もの削減効果が得られた。

図 10 にイニシャルコストと年間削減費の経済性比較を示す。照明に関する対策や CO₂ 濃度センサーによる換気量制御はイニシャルコストがかかるが、削減効果は大きく、少ない年数で回収が可能となった。

6. 3 効果

それぞれの建物用途ごとで優先すべき対策項目は異なるが、熱源・空調を除いた状態で、全体では 15% の CO₂ を削減することが可能という結果を得た。熱源・空調対策を加えると、更なる効果が期待できる。また今回試算した対策項目はすべて高い費用対効果を示し、今後その実践を検討予定。

7 地域社会との連携

行政、産業界や大学を中心に、NPO をはじめとする地域関係者が一体となることで、地域ぐるみの意識改革、活動の盛り上がりを生み出すことができる。

立命館大学内では、地域ぐるみの活動の一環として、下記の取り組みを図っている^{文8)}。

- ・バイオ燃料バス(南草津駅⇄BKC)の実現(図 10) : バイオディーゼル燃料を使用するバス路線
- ・NPO と学生サークルのコラボレーション: 草津塾(NPO) と Reco.lab (BKC 学生サークル) が「BKC

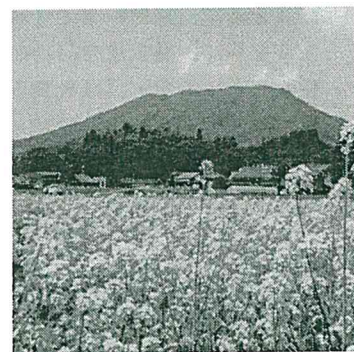
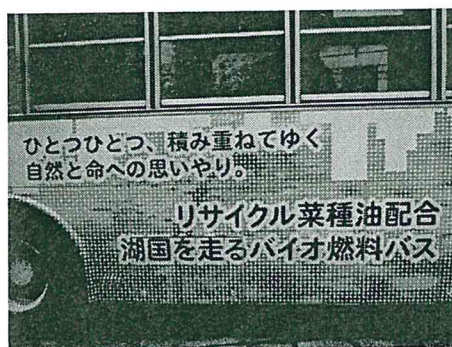


図 10 湖国を走るバイオ燃料バス^{文8)} 図 11 菜の花プロジェクト^{文9)}

エコキャンパス化・菜の花プロジェクト実現のネットワーク」(図 11) のテーマでおうみ NPO 活動基金(2006 年度)の助成を受ける。①菜の花の栽培、菜種油の搾取、②廃食油のバイオ燃料化、③バイオ燃料バスの運行、④残飯堆肥化、⑤野菜栽培、⑥生協でのエコ商品(石鹸など)販売などを目指している。

- ・エコキャンパスの会(大学と地域の環境を考える会) : 立命館大学教員、近隣の町内会代表者、青山まちづくりネットワーク(NPO)、Reco.lab と Live with E (立命館大学の学生サークル)、立命館生活協同組合、クレオテック、大五産業、びわこバイオラボ、TM エルデ、パナソニック、草津塾(NPO)などが参加し、身近な話題からエコ・コミュニティ形成につながる施策を議論。エコキャンパスの会では更に、地域連携を考える作業部会をつくり、環境、3R、コミュニティづくり、コミュニケーション、助け合い、BDF、地域のイベントや行事、環境クリーンウォーキング、近江草津論、里山づくり、牛乳パック再利用、発泡トレイ、古紙、環境教育、地域情報紙、地域・学生の起業、インセンティブを与える方策、などをテーマに議論している。

8 教学的・研究的側面

環境配慮に対する講義・演習を通じての学生の教学的効果は大きく、数多くの講義・演習が開講されている。特に、琵琶湖で学ぶ MOTTAINAI 共生学では、びわこ・くさつキャンパスに身近な琵琶湖および周囲の地域を具体的なフィールドとしながら、文理総合学習によって経済学・経営学・理工学の基礎の学習、地域と連携した学習からリーダーマインドを育成、海外諸国での環境スタディなどを通して国際的視野の育成を図っている。

研究的側面としては、言うまでもなく、低炭素社会に向けた制度、施策や排出量抑制技術の研究開発などの推進を図っている（例えば文 10 参照）。

立命館大学では、2009 年度事業計画において掲げた「地球温暖化・環境問題への対応」の具体化を検討するため、常任理事会のもとに「グリーンキャンパス推進検討委員会」を 2009 年 7 月に設置し、2008 年には北海道洞爺湖サミットに先立ち開催された G8 大学サミットにおける「札幌サステナビリティ宣言」に対する具体的な目標設定、及び取り組みを進めている。教育・研究を推進する中で、児童・生徒・学生などが参加する「グリーン（エコ）キャンパス」づくりを目指し、地域社会との連携や教学的効果、排出量抑制技術の研究開発などで、低炭素社会に向けた活動の幅を広げていくことで、大学には役割の大きさの可能性があると考える。

<注>

- 1) 空調用ファン、冷却塔ファン、熱源制御用動力、空調・熱源用ポンプ、換気用ファン、EV、衛生ポンプ、EHP（電気式ヒートポンプ）、その他動力を含む。
- 2) 空調負荷のうち日射・貫流・外気・内部負荷の比率は各月代表日（10 日）の積算値文 7）で計算している。面積などは建物用途ごとの平均値を使用。
- 3) 2007 年度空調用ガス使用量データのうち中間期の使用量を 0
- 4) 注 2 を基に、夏期の直達日射量と天空日射量を変化させる。積算結果×1/平均階数により算出。
- 5) 注 2 を基に、夏期の直達日射量を変化させる。直達日射量の変化量は太陽高度による庇の影により算出。
- 6) 注 2 を基に、換気量を（1-在席率）で変化させ算出。
- 7) 建物ごとに台数・種類を調査した上で算出。
- 8) 全天空照度 5000lx 時の窓からの自然採光による照度解析を実施し、算出。
- 9) 点灯時間を変化させて算出。
- 10) 電力 [Wh/年] = 消費電力 [W/台] ×稼働台数 [台] ×使用時間 [h/d] ×年間稼働日数 [d/年] から算出。

<参考文献>

- 1) 環境省：地球温暖化対策推進法に基づく温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度による平成 18 年度、及び平成 19 年度温室効果ガス排出量の集計結果、2008 年～2009 年
- 2) 大阪府：建築物の環境配慮技術手引き 2006 年 9 月発行
- 3) 加藤信介：多目的遺伝的アルゴリズム（MOGAs）を用いた樹木の最適配置による屋外環境の最適化に関する研究、日本建築学会、2004 年 8 月
- 4) 横山友男：ワットメータによる電気機器の待機電力と消費電力の測定、山形大学工学部技術発表会、2003 年 9 月
- 5) 奥宮正哉：人感センサー付自動照明・機器制御システムの省エネルギー性能と経済性評価 その 1 大学校舎における性能検討、日本建築学会、2000 年 9 月
- 6) （財）建設物価調査会：建設物価、2008 年 1 月号、
- 7) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ、大津・標準年
- 8) <http://www.pref.shiga.jp/d/new-energy/wrappingbus.html>
- 9) <http://www.nanohana.gr.jp/index.php>
- 10) 立命館サステナビリティ研究センター <http://www.ritsumei.ac.jp/acd/re/k-rsc/rcs/japanese/index.html>

オフィスの取り組み事例 BREEZE TOWER ブリーゼタワー

株式会社三菱地所設計
Mitsubishi Jisho Sekkei Inc
安田 健一
Yasuda Kenichi

キーワード : ダブルスキンファサード (Double-skin Façade)
自然換気 (Natural Ventilation) ユーザー参加 (User Participation)
実測 (Measurement Survey) アンケート (Questionnaire Survey)

はじめに

本計画は長く親しまれた大阪サンケイビルと隣地を併せた再開発プロジェクトであり、都市再生特区の適用により高さ170m超のオフィス・商業・ホール・レストランの用途が複合する超高層タワーである。構想段階から環境配慮を意識して計画され、建築家インゲンフォーヘンとのコラボレーションにより、環境とともにそこに集う人々にもやさしい“ジェントルビルディング”という理念をもとに計画された。

高層部オフィスはダブルスキンファサードの採用や東西側をコアとすることで年間の日射負荷を低減するほか、自然換気や様々な省エネルギー設備によって環境負荷低減を目指している。それらの概略を説明するとともに在室者が自ら開閉できる(ユーザー参加型)自然換気窓を通してユーザーの環境意識向上を目的とした取り組み例を紹介する。

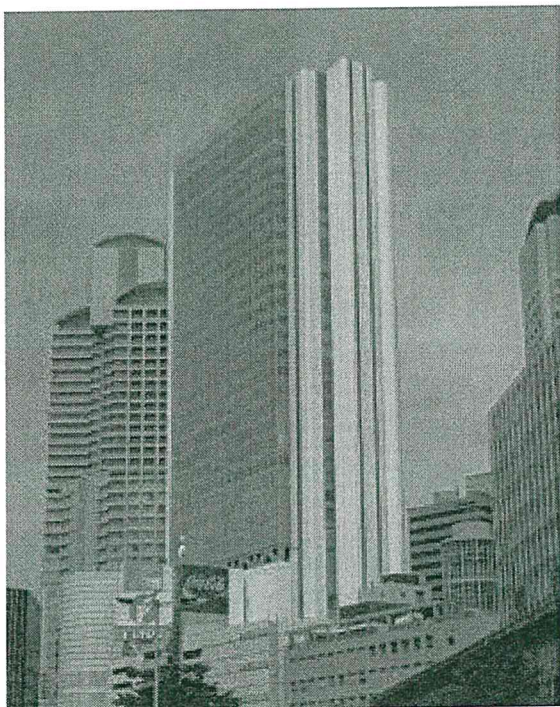


写真-1 建物外観

1. 建築概要

所在地	大阪市北区梅田2-4-9
建築主	(株)サンケイビル (株)島津商会
設計監理	(株)三菱地所設計
デザイナー/アーキテクト	クリストフ・インゲンホーフェン
ホール設計	鹿島建設(株)建築設計本部
照明デザイン	石井幹子
用途地域	商業地域
敷地面積	5,292 m ²
建築面積	3,616 m ²
延床面積	84,790 m ²
最高高さ	174.9 m
主用途	事務所、劇場、店舗、駐車場他
ホール施設	大ホール客席 912席 小ホール (多目的ホール) 会議室
駐車台数	196台
構造	地上：S造 地下：SRC造
階数	地上34階 地下3階 塔屋1階

2. コンセプト

■風を感じる超高層オフィスビル

ブリーゼ（そよ風）タワーの名の由来となった“超高層ビルにおける自然換気”を実現。換気扉は利用者が直接開閉する実感を得られるように、あえて扉型のデザインとした。

- ・高層階のガラスカーテンウォール
- ・コンパクトダブルスキンを採用
- ・直接雨水の吹込みを抑制
- ・外部風速に影響されず室内に流入する風量を一定に制御できる風量調整弁

■フリースタANDING

複雑な敷地形状に左右されず機能性・環境の観点から合理的な形を追求した“フリースタANDING”コンセプト

- ・各用途に求められる機能に適した整形なパーツの組み合わせ
- ・高層部オフィスは東西コア年間の日射負荷を低減
- ・低層部は南北方向に光と風の通り抜ける“メディアコート”と呼ばれる吹き抜けをはさんで構成
- ・建物周囲に生まれたオープンスペースは高さ10mのグリーンウォールやタイルを象眼して作られたフローラルパターンを施したペーパメント

■ホワイトビルディング

低層階には、高層階とは異なるダブルスキンファサードとするほか、低層部を貫通する吹き抜けや高層部の共用部は全て白色の内装とし開口部を通して自然光に溢れ常に外の気配が感じられる空間となっている。

- ・外側に乳白色のガラスユニットを下見板状に設置
- ・自然光を取り入れながら日射熱負荷を軽減した半透明な外壁を実現
- ・対照的に、大ホールはブラックボックスというコンセプトのもと漆黒の内装とし、多彩なエンターテインメントを発信。

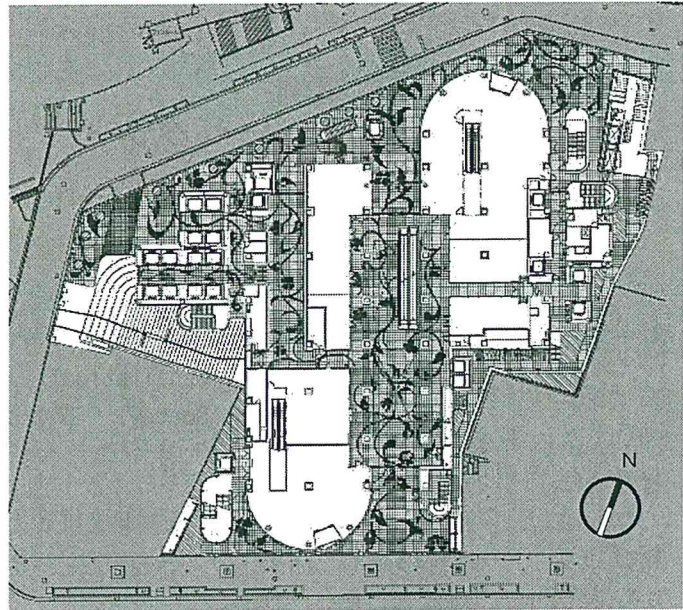


図-1 敷地と配置図

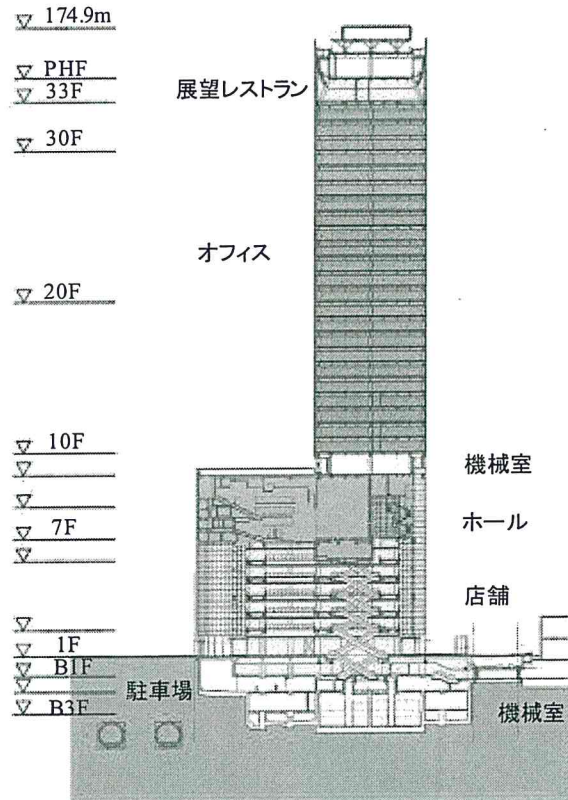


図-2 概略断面

3. ダブルスキンファサードと熱負荷低減

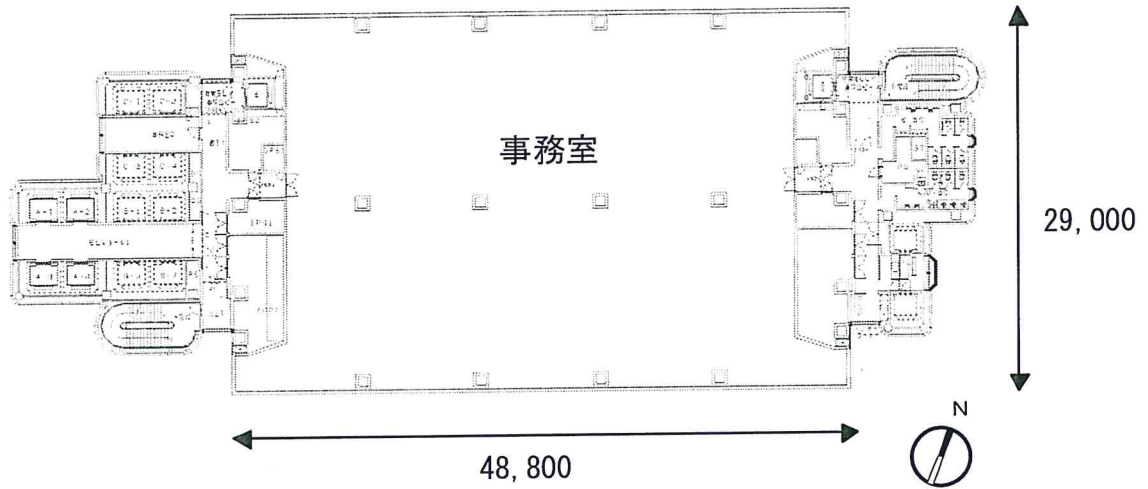


図-3 基準階プラン

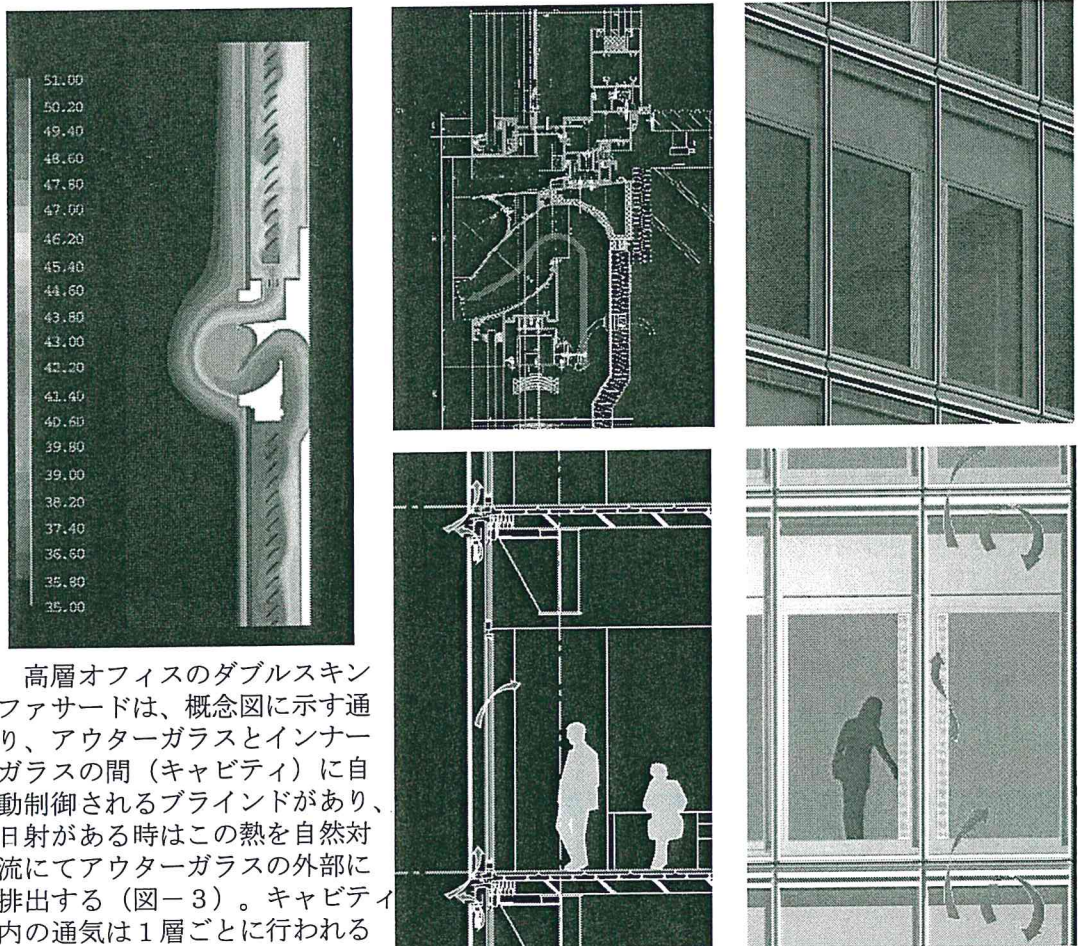


図-4 高層ダブルスキン外観と断面イメージ

高層オフィスのダブルスキンファサードは、概念図に示す通り、アウターガラスとインナーガラスの間（キャビティ）に自動制御されるブラインドがあり、日射がある時はこの熱を自然対流にてアウターガラスの外部に排出する（図-3）。キャビティ内の通気は1層ごとに行われるとの考え方で、キャビティの寸法を小さくしたコンパクトでシンプルなダブルスキンである。

高層部分のダブルスキンファサードの熱的性能については、実際にカーテンウォールが取り付けられた10階の先行ルームにて、2007年8月に実測を行った。図-5は8/10の12時におけるサーモ画像である。この日は日射量が多く（最大日射量 $480\text{W}/\text{m}^2$ ）外気温度が高かった（12時 33.5°C ）が、室内側のガラス表面温度は低く抑えられていることがわかる（図-5）。



写真-2 基準階ダブルスキン内観

12時

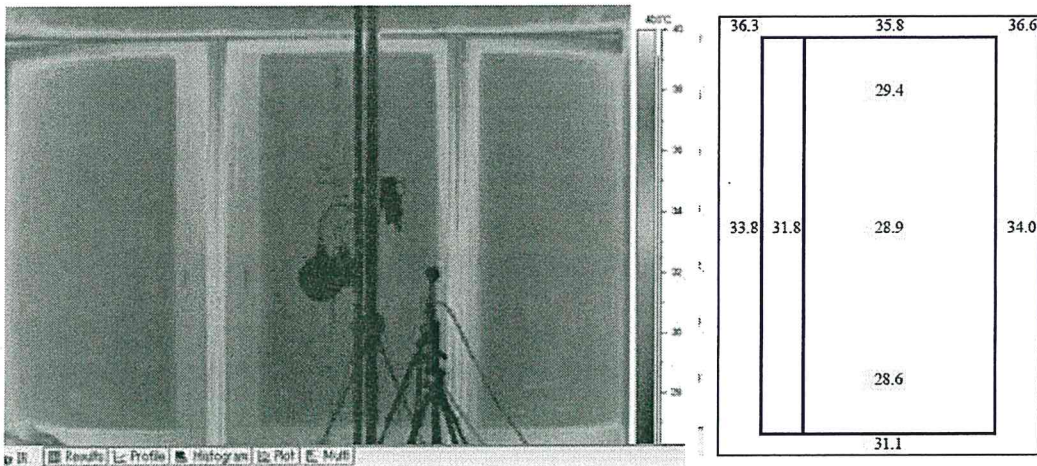


図-5 サーモカメラ画像と表面温度

部材温度

低層店舗・ホール部分のダブルスキンファサードは、オフィスのように1層毎ではなく、全体を貫通するダブルスキンを採用した。サッシの外側に乳白色のガラスユニットを下見板状に設置し、ユニットの隙間から導入された外気を低層屋上から排出し、熱負荷を軽減しつつ柔らかな外光を取り入れている（図-6）。

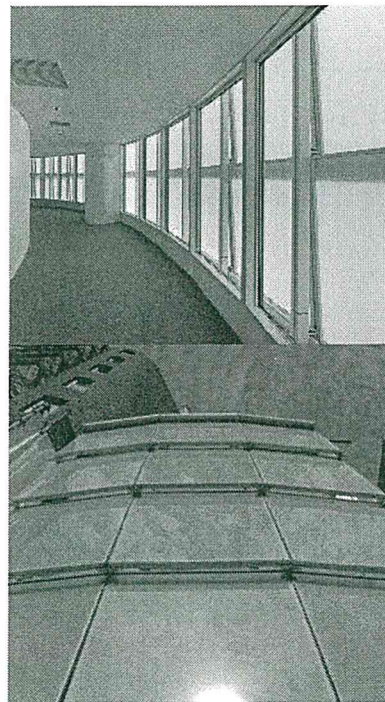
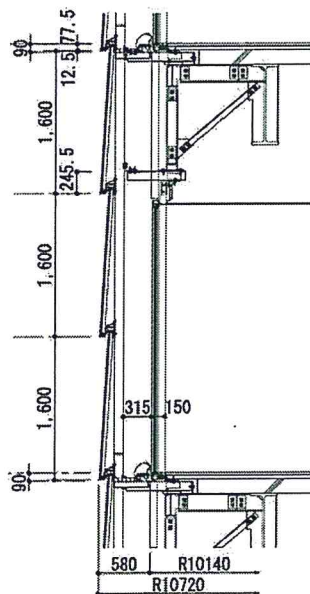
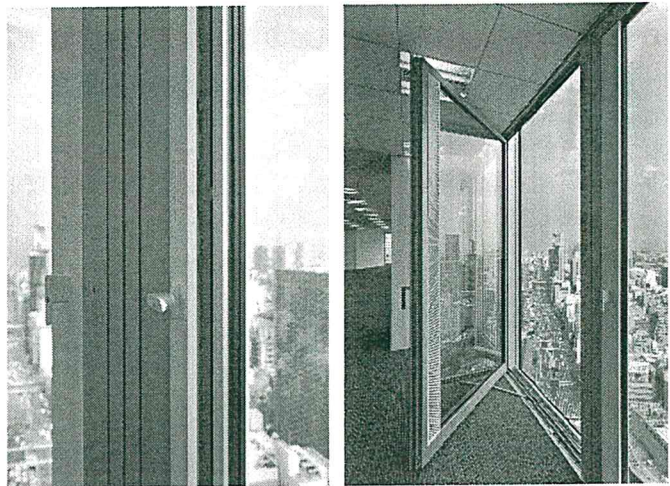


図-6 低層ダブルスキン内観、外観、断面

4. ダブルスキンファサードと自然換気

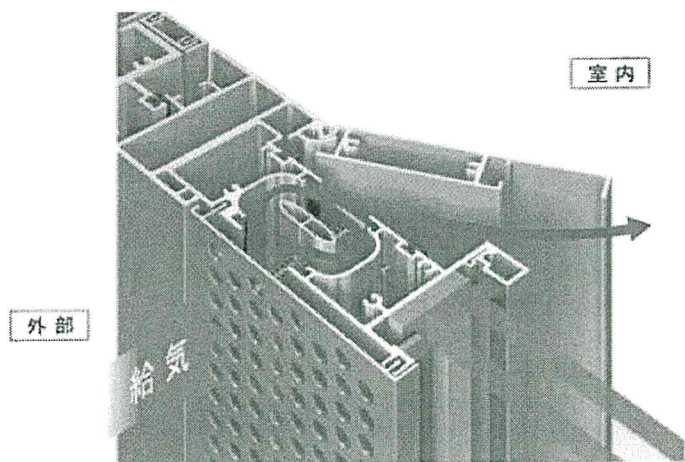
10階から32階のオフィス階におけるダブルスキンファサードは自然換気が可能なものとなっている。自然換気は、居住者が直接操作できる縦に細長い自然換気用小扉を開閉することによって行われる（写真－3左）。また、管理者のみの操作となるが、ダブルスキンの内側ガラスの清掃や電動自動ブラインドのメンテナンス用に大きく開くことができる（同右）。



写真－3 自然換気用開閉扉（左）
清掃時の開閉の様子（右）

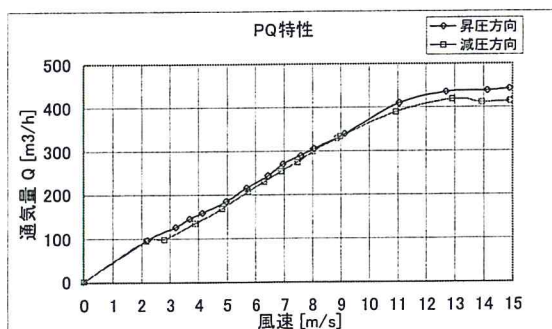
小扉の開閉は基本的に居住者に委ねられるため、気象条件によって生じる恐れがある風圧やドラフトに対するリスクを回避する必要がある。

一般に室内外圧力差が大きいときや外部風速が大きいときは自然換気量は大きくなる。超高層ビルであるため外部風速が著しく大きくなることは避けられないため、これに対処する工夫が必要になる。今回採用したものは換気流路の途中に調整弁機構を備えた定風量装置によって、外部風速が大きいときでも一定以上の風量が室内に入らないようになっている（図－7）。採用にあたって、こうしたことを確認するため、開発メーカーの工場にて耐風圧や水密試験のほか、自然換気特性についても実験が行われた。

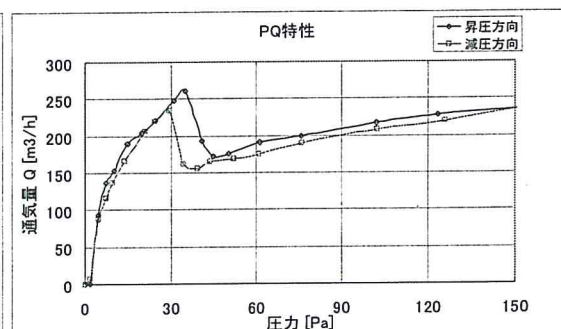


図－7 定風量装置

図－8は、実験によって得られた外部風速に対する通気量のグラフで、風速が10m/sを超えても通気量は400CMHで頭打ち状態になることがわかる。図－9は内外温度差の違いによる通気量をグラフにしたもので、通気量の変動が比較的大きな圧力差帯があるものの、著しく通気量が大きくなってしまわないといえる。



図－8 外部風速と通気量



図－9 内外圧力差と通気量

5. ユーザー参加型自然換気窓の有効利用と環境啓発

小扉の開閉をユーザーに委ねることによって生じるリスクは上述した風圧に対するもののほかに、省エネルギー面にもある。ユーザーが省エネルギー上有効に開閉を行えるかどうかという問題であり、これはビル側での工夫だけでなくユーザーとともに解決していかなければならない。一般ユーザーの環境意識の高まりを見せている昨今であるので、こうした自然換気窓を通じた環境啓発活動が具体例となって環境意識全体の向上につながることを期待している。

ビル側の具体的な方策としては、空調の設定温度や運転予約などを行うWeb上のサイトに自然換気に関する情報を掲載している。ビルの屋上で計測している外気温度や湿度、風速及び降雨などの情報を中央監視装置にて演算処理し、自然換気が有効であるかどうかをお知らせするものである(図-10)。

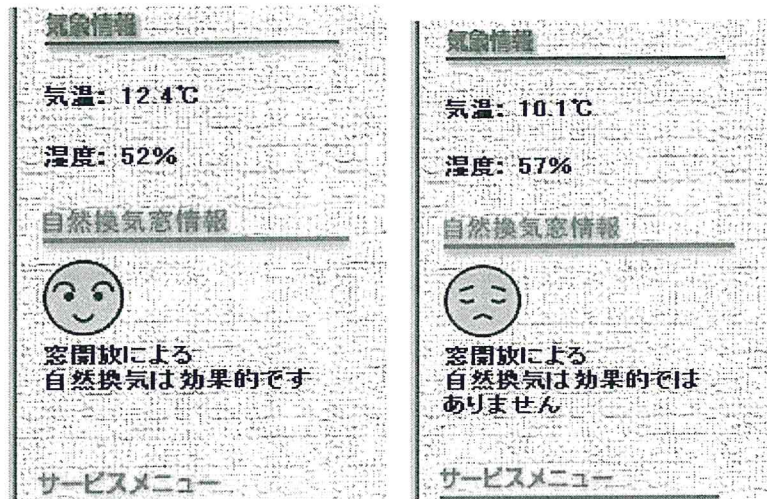


図-10 WEBサーバー上のお知らせ表示

また、竣工後に早稲田大学と共同で本建物の自然換気システムについて、運用時における実測を行うとともに自然換気に関するアンケートの実施や自然換気と省エネルギーに関するチラシを作成し配布するなど啓発を行っている。

アンケートの内容は一般ユーザーでも答えやすいように平易な質問とした。1フロア全体に入居しているテナント様に協力を得て150枚配布して116人から回答を得た。結果は図-11の通りで、回答者のプロフィールと併せて考察しないといけないかもしれないが、単純に人数だけを見ると約4割のユーザーは開閉可能であることを知らなかった。さらに窓開閉が省エネルギーに効果があることを知っている人は2割弱であるが、知らない人でも自然換気と省エネ情報に興味がある人は7割以上に上る。自然換気窓の有効利用法をどのようにユーザーに伝えるか更なる工夫が必要であると同時に、こうした自然換気窓を通じて環境啓発の仕方を工夫すればユーザーの環境意識向上に役立つのではないかなと思う。

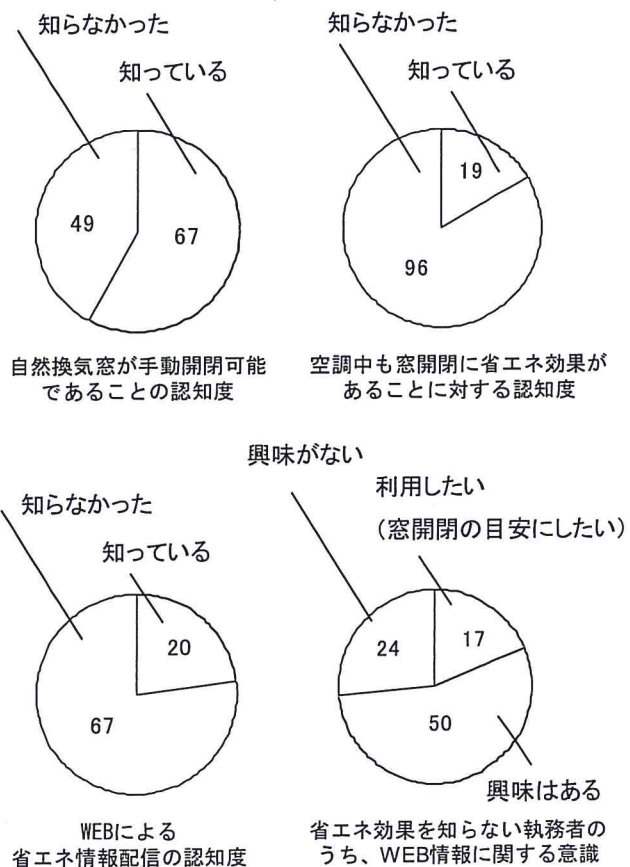


図-11 アンケート調査

6. その他の省エネルギー設備

以上紹介したようにダブルスキンファサードによって建築的に熱負荷を減らす計画としているが、次に重要なのが、実効性も考慮した上でなるべく自然エネルギーを利用すること、その次にエネルギーの効率的な利用を図るシステムを構築していく、といったコンセプトである。それに沿って様々なシステムを導入している。主なものについて以下に紹介する。

自然エネルギー利用としては、高層事務室において自然換気ができるファサードとしているのであるが、省エネルギー効果については、気象条件の制約や使われ方によって推し量ることは容易ではない。そのため、基準階空調機には外気冷房制御を取り入れている。水気化式加湿器との組み合わせで、加湿冷却を併用した外気冷房を行うことで中間期及び冬季の省エネルギーを図った。また、照度センサーによる昼光利用制御を行っているほか、太陽光発電を低層屋上に設置している（写真-4）。

エネルギーの効率的な利用としては、まず照明設備について、オフィスで照度センサーによる照明制御により昼光利用に加えて初期照度補正を行っているほか、共用部の一部については人感センサーによる点滅制御を行う等、無駄をなくす設備としている。基準階空調機については、CO₂制御による外気負荷を低減できるシステムとしているほか、空気搬送動力の低減をはかるために40~60㎡程度毎にVAV制御を行っている。

7階8階には客席数912席の大ホールを有しているが、舞台部、7階客席部及び8階客席部の3つのゾーンに分けて空調機を設置し、いずれのゾーンも置換空調システムを採用して空間全体の空調効率を高め、空調搬送動力の低減をはかる計画としている。

熱源設備は、電動ターボ冷凍機とガス焚吸収式冷温水発生器及び氷蓄熱を組み合わせた冷熱源システムとしている。氷蓄熱設備を有効に活用し、電力の平準化に寄与するだけでなく、昼間の冷凍機の運転を効率化する熱源運転制御を行うことで総合的な効率の向上を目指す。具体的には、常時発生する部分負荷に放熱ポンプを追従させることで、冷凍機をできるだけ定格に近い運転をさせる熱源台数制御を行う。

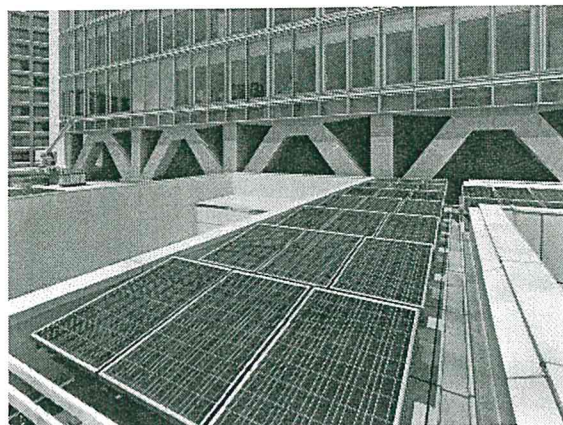


写真-4 太陽光発電

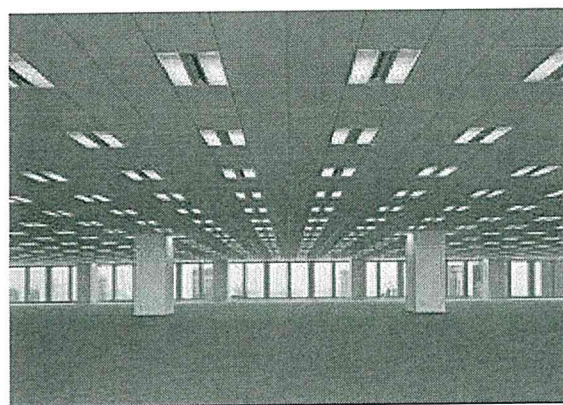


写真-5 基準階事務室

水搬送エネルギーを低減させるシステムとしては、熱源側の運用を大温度差送水システム（冷凍機 $\Delta t=10^{\circ}\text{C}$ 、冷却塔 $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ ）としてポンプ動力の低減をはかる（空調機等二次側機器についても大温度差仕様）。また、インバータ及び複数台数ポンプによる可変水量（VWV）システムを採用しているほか、夜間などの小負荷時用に小水量のポンプを設置しこれを運転させることでバイパスロスの低減をはかる。

参考文献

- 1) 安田、永岡、広瀬、中澤：ブリーゼタワー、BE建築設備, 2009. 1
- 2) 永岡、中澤、太田：ブリーゼタワーの電気設備、電設技術, 2009. 3
- 3) 安田、永岡、広瀬、中澤：ブリーゼタワー、建築設備士, 2009. 7
- 4) 写真提供：(株)川澄建築写真事務所