## 建築における蓄熱技術の評価と実践

## 躯体蓄熱型放射冷暖房を採用した小学館ビル における躯体蓄熱効果の検証

Verification of Heat Storage Effect in Shogakukan Building with Radiation Heating and Cooling using Building Thermal Storage

谷口景一朗\*

### 1. はじめに

執務空間の快適性と省エネルギー性の両立を目指し、従来から欧州を中心に放射冷暖房システムが取り入れられてきた。日本でも金属系の放射パネルを天井に吊る方式の放射冷暖房を採用した事例が増えつつあるが、一般的な天井材に対して高コストになるなど、普及の障壁も多い。一方で、コンクリートスラブを放射面として活用する Thermo Active Building System(TABS)は、コンクリート躯体の熱容量を利用した蓄熱効果を活用したピークシフトによる熱源容量縮小が可能となり、躯体利用による直接コストと階高の低減による間接コストとあわせて従来の放射冷暖房と比較してイニシャルコストの低減も期待できる。

そこで、本報では筆者が設計から竣工後の評価まで関わった、躯体蓄熱型放射冷暖房(TABS)と外断熱による高断熱化を組み合わせることで省エネルギーかつ快適な執務空間の創出を目指した小学館ビル(図1)について、特にTABSを支えるファサードデザインと躯体蓄熱効果の検証結果を報告する.

### 2. 建物概要

本計画は、東京・神保町に建つ出版社・小学館の本社ビル建替え計画である。概要を表1に示す。建替えにあたっては、前面道路(白山通り)の将来的な道路拡幅への対応および千代田区の地区計画により、最高高さ制限 40m、壁面の位置の制限(南側、西側、北側の地上 6m 以下の壁面を道路境界線から1m セットバック)に対応することが必要であり、高さ制限に適合させ、かつ床面積を最大限確保する工夫として、階高をできる限り低くし階数を増やすことが求められた。

計画にあたり、旧本社ビルの室構成、部署の配置、 建物の使われ方・働き方に関する徹底的なリサーチ を行い、他の企業とは異なる特徴を明らかにした.

表1 建物概要

建	物	名	称	小学館ビル		
所	在		地	東京都千代田区一ツ橋2丁目		
建	築		主	小学館不動産		
主	用		途	事務所(本社ビル)		
敷	地	面	積	2,303.36 m <sup>2</sup>		
延	床	面	積	17,910.73m²		
階	数 数		数	地下3階、地上10階、塔屋2階		
建	物	高	さ	39.39m		
構	造 SF		造	SRC造、一部RC造、S造(免震構造)		
設	計	· 監	理	日建設計		
施			I	建築 - 鹿島建設		
				電気 - 東光電気工事		
				空調・衛生 - 朝日工業社		
				昇降機 - 日立ビルシステム		
				機械式駐車場 - 日精		
I			期	2014年4月~2016年9月		



図1 小学館ビル外観(撮影:野田東徳[雁光舎])

<sup>\*</sup>東京大学大学院工学系研究科 特任助教/元日建設計

これらの特徴を建築計画に反映させるために、計画 初期段階から意匠・構造・設備一体となり、新しい 本社ビルとしてふさわしい"かたち"にするための デザインに取り組んだ。

### 3. 意匠・構造・設備がインテグレートされた 凹凸スラブにより実現した TABS の導入

リサーチの結果、小学館ビルは24時間使われ空調の運転時間も長く、また負荷変動はそれほど大きくない傾向が明らかとなった。そこで、長時間使用しても省エネルギーで快適性の高いシステムとして、放射冷暖房を採用するとともに、コンクリートスラブ自体を放射面として活用することで階高の削減にもつながることから、TABSの採用を決定した。また、ベースの熱負荷を処理する TABS に加え、偏在する負荷や短時間に発生する高負荷を処理するために床からの対流式空調を併用することで、コンクリート躯体の熱容量を利用するために投入した熱エネルギーが実際に放射面からの負荷処理に使われるまでに時間差が生じるといった TABS の課題の解決も図った。

小学館ビルでは先述の高さ制限の中で、図2に示すような設備と構造を一体的に計画した断面形状のスラブ(凹凸スラブ)を採用することで、天井高さ(2,800mm)を確保しながら階高を限界まで削減(3,750mm)し、一般的な設備・構造計画では9フロアで計画されるところを、空間価値を落とさずに

10 フロアで計画することに成功している。天井側 の下に凹形状となっているスラブ上に冷温水配管を 敷設し、下階のコンクリート天井表面を冷却加熱す る. スラブは 125mm と薄くし. スラブ上に架橋ポ リエチレン配管を敷設し、無収縮モルタル 30mm で押さえ、さらにスラブ上面および梁側面に断熱材 50mm を敷設することで上部空間への熱損失防止を 図った(図3). 敷設率は天井全体の50%確保し, 計画冷房能力はフロア全体で $20W/m^2$ とした。また、 床側の下に凹形状となっているスラブと梁で囲われ た空間を上階への外気処理空気(SOA)および空 調空気(SA)の供給経路として、天井側の上に凹 形状となっているスラブと梁で囲われた空間を下階 への還気(RA)および排煙(SE)の経路として利 用することで、横引きダクトレス化によるコスト削 減にもつなげた。空調以外の機能としても、還気・ 排煙ルートの吸込スリット部にライン型照明器具を 配置し、器具からの発熱を室内に出すことなく効率 的に処理することを狙った.

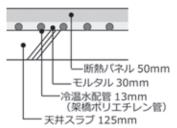


図3 TABS 配管の断面構成拡大図

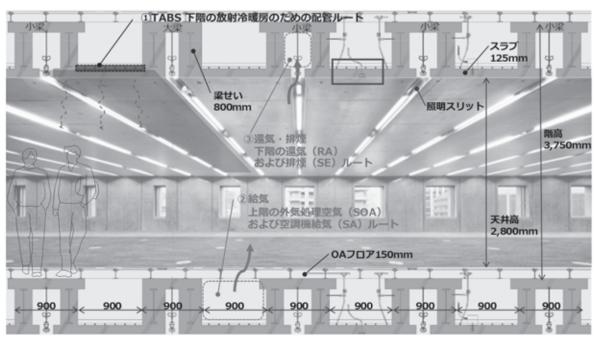


図2 基準階断面

## TABS を支えるファサードデザインと負荷 削減効果・躯体蓄熱効果の検証

小学館ビルでは、東面および南北面を複数の単窓によって構成されたファサードとし、図4に示すように構造の応力分布に合わせて開口サイズを調整することで、外壁を耐力壁として活用して、柱がなく矩形で使いやすい執務空間を実現している。この構造合理性に適った開口率の調整によってできたファサードは、厚みのある外壁の庇効果と高い断熱性能による冷暖房負荷の削減とともに、編集作業における色校正のように直射日光などの外乱の影響を嫌う作業にも適した光環境の構築に繋がっている。このファサードデザインによって期待できる以下の効果について熱負荷計算プログラムEnergyPlus (Ver9.1.0)を用いて、基準階(7階)の執務空間を対象に行った。

#### 〈期待できる効果〉

- ・乾式石張り+外断熱で構成された陰影のあるファ サードによる開口部の日射遮蔽効果
- ・外断熱による高断熱化および構造合理性に適った 開口率の調整による熱負荷削減効果
- ・窓を小さくした外壁躯体量の増加と、室内側仕上 げをコンクリート現しとすることによるコンク リートの熱容量を活かした躯体蓄冷効果

なお、内部負荷の設定については運用開始後のBEMSデータを参照し設定した。その他のシミュレーションの設定は表2に示す。

# 4.1 厚みのある外壁による開口部の日射遮蔽効果の検証

小学館ビルは図5に示すように乾式石張り+外断 熱の厚みのある外壁を利用した庇と袖壁により、開

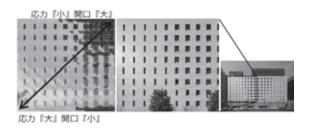


図4 応力分布図と開口サイズ

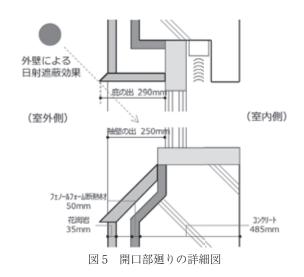
表2 熱負荷シミュレーションの各種設定

気象データ	東京の拡張アメダス気象データ(2010年版) epw (EnergyPlus Weather Data) 形式		
冷房設定	26℃ / RH50%		
暖房設定	22℃ / RH40%		
空調運転時間	8:00~21:00 (平日のみ)		

口部に対する日射遮蔽を行う工夫をしている.この日射遮蔽効果を検証するため,各開口部の四方に外壁厚に相当する日射遮蔽部材を模擬したケース(小学館ビル)と,外壁の日射遮蔽を考慮しないケース(比較案)について熱負荷シミュレーションによる比較検討を行った.比較結果を図6に示す.外壁の日射遮蔽効果によって,開口部全体の日射熱取得量は5,586MJ→4,115MJと約26%削減され,冷房負荷は173MJ/m²→167MJ/m²と約3.6%削減された.オフィスビルのように内部発熱が多く冷房負荷が占める割合が大きい建物では、外壁の日射遮蔽効果が負荷削減に寄与することを確認した.以降の全ての解析において外壁厚に応じた開口部への日射遮蔽効果を考慮して検証を行っている.

## 4.2 高断熱化および構造合理性に適った開口率 の調整による負荷削減効果の検証

小学館ビルと、H25年度省エネ基準相当の断熱仕様かつ一般的な開口率(本建物の約3倍)とした案との年間冷暖房負荷を熱負荷シミュレーションにより比較した(図7). 小学館ビルおよび比較対象としたH25年度省エネ基準相当の外皮性能を表3に示す. ファサードデザインの工夫による高断熱化および開口率の調整によって、本建物ではペリメータでの年間冷暖房負荷が約44%の大幅な負荷削減効



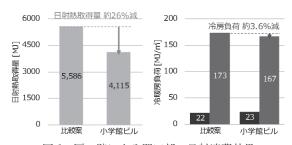
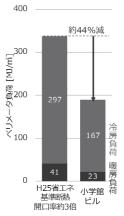


図6 厚い壁による開口部の日射遮蔽効果

表 3 外皮性能

	/]\2	学館ビル	,	H25年度省工ネ基準相当		
	材料	厚み [mm]	熱伝導率λ [W/(m·K)]	材料	厚み [mm]	熱伝導率λ [W/(m·K)]
外壁	花崗岩 非密閉空気層 フェノールフォーム断熱材 コンクリート	35 65 50 485	3.1 0.07 [(㎡·K)/W] 0.02 1.4	タイル モルタル コンクリート 押出ポリステルンフォート 保温板1種 非密閉空気層	10 25 150 25 25	1.3 1.5 1.4 0.04 0.07 [(m·K)/W] 0.22
	熱貫流率 [W/(n	n'⋅K)]	0.325	熱貫流率 [W/(㎡·K)]		0.325
ガラス	Low-Eペアガ: 日射遮蔽型 (LE8+A12+F		U=2.81 [W/(㎡·K)] η=0.32 VT=42.2[%]	シングルガラス (FL8)		U=5.8 [W/(m·K)] η=0.84 VT=89.0[%]



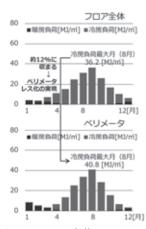


図7 ファサードデザイン の工夫による負荷削 減効果

図8 フロア全体/ペリメータでの月別負荷変動

果が見込まれた.同月の負荷を比較すると,本建物ではペリメータとフロア全体との負荷の差は最大約12%に抑えられており,外皮設計の工夫によりペリメータレス化が図られていることが確認できた(図8).

## 4.3 コンクリートの熱容量を活かした躯体蓄冷効果の検証

コンクリートの熱容量を活かした外壁躯体の冷房 時の蓄冷効果を検証した. 指標として, 以下に定義 する蓄冷量を用いた.

V : コンクリート躯体の体積  $(m^3)$ 

 $\rho$  : コンクリート躯体の比重  $(kg/m^3)$ 

C : コンクリート躯体の比熱 (J/kg・K)

ΔT:冷房 / 自然室温時のコンクリート躯体

温度差 (K)

また、比較対象として「小学館ビルと同等の高断熱仕様+内断熱」のケースおよび「H25年度省エネ基準相当の断熱仕様+外断熱」のケースについても蓄熱量を試算した。図9に示す通り、冷房期間(5~10月)のコンクリート躯体の蓄熱量について「H25年度省エネ基準相当の断熱仕様+外断熱」のケースを100とした場合。本建物の蓄冷量は約1.47倍と

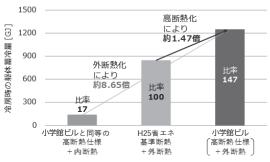


図9 コンクリート躯体による蓄冷効果

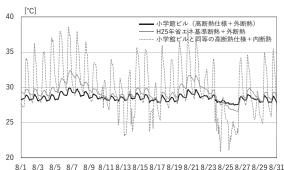


図 10 コンクリート躯体中心温度の変動 (8月)

大幅に増加しており、高断熱化によって外気の影響 を受けず効果的に躯体への蓄冷が行われていること が確認できた。また、「本建物と同程度の高断熱仕 様+内断熱」のケースでは「H25年度省エネ基準相 当の断熱仕様+外断熱 | のケースの蓄冷量の17% 程度に留まっており、外断熱化するとともに室内側 仕上げをコンクリート現しとした本建物が TABS による躯体蓄冷に適した建築計画であることが示さ れた. 図10に夏期(8月)の冷房時における各ケー スのコンクリート躯体中心温度の変動を示す. 小学 館ビルの仕様を再現したケースではコンクリート躯 体中心温度の変動が28~29℃と最も小さく、約1℃ の変動幅に収まっており、負荷の平準化および安定 した放射環境の実現が図られていることがわかる. 実測調査時の冷房時の熱画像からも、外気温が 32.5℃程度のときにも室内のコンクリート躯体表面 温度は26℃程度となっており. 高断熱+外断熱に よる効果的な躯体蓄冷によって、均一な放射環境の 執務空間が実現されていることが確認された(図 11).

### 5. エネルギー消費実績の検証

最後に、建物全体の一次エネルギー消費量(コンセント除く)について、BEST (Building Energy Simulation Tool) での計算結果と実績値との比較を図12に示す。BEST 標準は BEST のデフォルトの



図11 冷房時の熱画像(外気温32.5℃)



図12 年間一次エネルギー消費原単位の評価

運転時間での計算結果であり、図中の枠内は夜間利用が多いという小学館ビルの運用自体にあわせて時間補正した計算結果である。BEST標準(時間補正) 2,433MJ/(m²・年)に対し、2018年実績は1,022MJ/(m²・年)となり、約58%削減できた。また、小学館ビルでは竣工後に早稲田大学・田辺新一研究室協力のもと、室内環境と執務者の満足度を把握するため、竣工後2年間の夏と冬に2回ずつアンケート調査、物理環境実測およびBEMSデータの解析を行い、2年目にあたる2018年度に実測結果にもとづいて空調の運用改善を行っている。2017年度実績に対する2018年度実績は約16%削減となり、初年

度からの運用改善効果もあわせて確認できた.以上より小学館ビルの省エネ性を定量的に把握し、ZEB Ready を満たす省エネ建物であることを確認した.

### 6. まとめ

本報では、躯体蓄熱型放射冷暖房(TABS)を採用した小学館ビルを対象とし、冷暖房時のコンクリート躯体の熱容量を活かした躯体蓄熱が省エネルギーかつ快適な執務空間の実現に大きく寄与していることを明らかにした。また、TABSの課題の1つである負荷の偏在や短時間に発生する高負荷への対策として、外断熱による高断熱化や開口率の調整といったファサードデザインとの組み合わせが不可欠であることを示した。本建物をきっかけとして、同様のシステムが広く普及することを願っている。

### フ. 謝辞

本プロジェクトの計画・施工・運用・評価において多大なるご指導・ご協力をいただいた株式会社小学館・小学館不動産株式会社をはじめとする多くの皆様に、この紙面をお借りして厚く御礼申し上げます。

#### 著者略歴



谷口景一朗(タニグチ ケイイチロウ) 2009年東京大学大学院工学系研究科 修了. 2009~2016年日建設計. 小学 館ビルをはじめとするオフィスビルの 意匠設計に携わる. 2016年より現職.

合同会社スタジオノラ共同主宰.