

I-24 ダブルスキン・ファサードの高層構造物の 立面緑化手法に関する基礎的検討

Basic study on a wall greening method for high-rise double-skin façade structure

菊重有輝¹・矢吹信喜²・福田知弘³

Yuki KIKUSHIGE, Nobuyoshi YABUKI, and Tomohiro FUKUDA

抄録：現在、構造物を直接緑化する技術が進展しているが、メンテナンスの難しさや強風の影響が問題となり、高層構造物の立面に緑化を行う事例は見当たらない。そこで本研究では、ダブルスキン・ファサードの内部を緑化空間として利用し、ダブルスキンの効果を維持しながら高層構造物の立面での緑化を可能とする新しい技術「緑化ダブルスキン」の提案を行い、予想される効果について述べた。次に、建築エネルギーシミュレーションソフトウェアを用いて、夏期のダブルスキン内部の温度上昇をシミュレートし、植物の育成しうる環境であるかについて検証を行った。その結果、夏期日中においては 40℃を超える時間が数時間発生するものの、耐暑性がある樹木であれば育成に耐えうると判断し、そのような樹木を文献より抽出し、提案した。

Abstract: In spite of the growing popularity of greening on structures, it is rare to see tree-planted walls of high stories of high-rise buildings due to the difficulty in maintenance and strong wind effect. Thus, in this research, in order to increase the green areas in cities, we proposed a new method “double-skin façade greening”, in which trees are planted at each floor of the space of double-skin façades, so that upper floor walls can be used for greening. Since the temperature of the inside the double-skin façade is expected very high in summer, the analysis was performed using a building energy simulation software package for various air change rates and found the maximum temperature was reasonable. Finally, a list of trees for such environment was recommended.

キーワード：ダブルスキン・ファサード、構造物緑化、CG、建築エネルギーシミュレーション
Keywords：Double-skin façade, Greening on structure, Computer graphics, Building energy simulation

1. はじめに

現在地球上では、急速な経済発展と人口増加により地球温暖化や都市のヒートアイランド現象などの環境問題が顕在化しており、省エネルギー化や代替エネルギー利用による化石燃料依存社会からの脱却が急務となっている。また、世界的に都市化現象は進んでおり、今後も都市の高層化は不可避と考えられることから、高層構造物に対して環境調和型技術を導入し、省エネルギー化を進めることが都市拡大と持続可能社会とを両立させる上で重要である。

そのような環境調和型技術のひとつとして、近年、構造物緑化に対する期待が大きくなっている¹⁾。植物には、大気汚染軽減効果²⁾やヒートアイランド現象緩和効果³⁾⁴⁾などの物理的な環境効果から、景観向上効果⁵⁾⁶⁾、リラックス効果などの心理的効果⁷⁾⁸⁾、生態系誘致効果⁹⁾まで含め、都市生活に必要なさまざまな効果が存在することが分かっており、広い緑地を設けるこ

とが難しい都市部で、これらの多様な環境改善効果を活かすために、屋上緑化や壁面緑化に代表される構造物緑化の積極的な導入が進んでいる¹⁰⁾。しかし現在、中低層構造物の壁面緑化技術についてはさまざまな事例があるが、高層構造物の特に高層階壁面に植栽することは、メンテナンスの難しさや強風による落下の危険性などが問題となり、ほとんど行われていないようである。故に、高層構造物の立面を安全に緑地として利用する技術の開発が必要であると考えられる¹¹⁾。

また、別の環境調和型技術として、構造物の外皮をガラスを2枚合わせにして、その中の空気を流通させることで熱遮蔽を行う「ダブルスキン・ファサード」へ注目が集まっている¹²⁾。近年ガラスの透明性を生かした構造物が増加している中で、開放性を確保しながら遮熱性能を上げる手法として注目されており^{13)~15)}、高層構造物においても今後さらに利用が増加すると予想されるが、ダブルスキンと緑化を融合した技術は見当たらない。

1：学生会員 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程

2：正会員 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授 Ph.D.

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1, Tel :06-6879-7660, E-mail : yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp)

3：正会員 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 准教授 博(工)

そこで本研究では、ダブルスキン・ファサードと緑化技術を融合し、高層構造物の立面を緑化する手法を提案することを目的とした。ダブルスキンの向きについては、1日を通して日光が当たらない北面や、午前もしくは午後のみの日射となる東西面については、日射の量や時間が制限され、使用できる樹種も極端に限られてしまうと考えられるため、本研究では、1日を通して十分な日射が得られる南面についての提案を行った。この場合、特に、夏期のダブルスキン内部の温度上昇による植物への影響が懸念されたため、建築エネルギーシミュレーションソフトウェアを用いて検証することとした。

なお、本研究では、風の影響が大きく通常緑化が行われないような高さでの緑化手法について論じることから、高層構造物と述べる際には30階以上、または100m以上となるものを想定する。

2. 構造物緑化の現状と課題

(1) 構造物緑化の現状

光合成によるCO₂の吸収固定による大気浄化効果や、蒸発散によるヒートアイランド現象の緩和効果や加湿効果など、緑が有する環境改善効果は多岐に渡り、都市のようにこれ以上緑地を新たに設けることが難しい空間でこれらの環境改善効果を楽しむ手法として、構造物を緑化することは有用である。またこれらの効果のほとんどは、社会全体への公益的な効果がほとんどである。このことから、我が国の多数の自治体で義務付けや助成による緑化の普及推進制度が導入されている¹⁶⁾。

高層の構造物を緑化する手法としては、主に屋上緑化と壁面緑化の2種類の可能性が考えられる。これらの日本での施工面積の累計に見る壁面緑化の普及の現状は、壁面緑化は屋上緑化に比べ遅れていると言える¹⁰⁾。この理由として、壁面緑化は通常植物の生息しない構造物立面に対して行われることから、特殊な基盤の設置や綿密な灌水システムが不可欠であり、広域に緑化するための条件が屋上緑化よりも厳しいことが考えられる。しかし、仮に都市の高層構造物の立面が緑地として利用できれば、構造物が建つ前の敷地よりも大きな緑化空間を生み出すことも可能である。これは都市拡大で高層構造物が増加することで緑が増えるというポテンシャルを秘めていることを意味し、それを可能とする手法を考えることは重要である。

(2) 高層構造物の立面を緑化するための課題

高層構造物の立面を緑化するためには、その高層階でのメンテナンス性と風対策が不可欠となる。メンテナンス性を確保しながら建築の比較的高層部壁面を緑化する手法としては、プランター基盤造成型と呼ばれ

る、壁面にコンテナやプランターを直接もしくは器具などを利用して固定し、植栽して緑化を図る手法が現在では利用される。外壁部分に管理用のキャットウォークやプランター基盤、灌水・排水設備、つる植物の登はんのための格子を設けることで、高所であっても容易にメンテナンスが行える仕組みを持つような壁面緑化事例も見受けられる¹⁷⁾。

しかし、この場合も地上100mを超えるような高所での適用はない。構造物は高層階ほど風圧力(風の強さ)が強く、地上10mの高さ(3階相当)に比べて、高さ50mでは1.6倍、100mでは2.1倍もの強い風が吹くことが知られており、高所ほど、強風による植栽の剥離や枝折れの危険性が増加する。故に、高層の壁面緑化と銘打った技術でも、実際のところ、地上30m以上となる高所では余り利用されていないようである。

このように高層構造物の立面を緑化空間として利用することを想定した時、メンテナンス性の確保と高層階での風対策が課題となり、これらへの対策が講じられた手法が必要となる。

3. 緑化ダブルスキンの概要

(1) 基本設計

筆者らが提案する緑化ダブルスキン¹⁸⁾の断面図を図-1に、ダブルスキン内部から室内側への正面図を図-2に示す。寸法や材質については、設計対象によるが、本研究では一般的と考えられる以下の寸法とした。ダブルスキンの外側窓は高さ3,900mm、幅1,600mm、透明単板ガラスのはめ殺し窓を使用し、内側窓は高さ2,300mm、幅1,600mm、高断熱ペアガラスの引き戸窓を使用する。また、ダブルスキンの換気方法には内部の温度差による自然換気と機械による強制換気とがあるが、自然換気型では特に上層階になるほど内部温度が高くなり¹³⁾、植物にとって不適な環境となることが予想されるため、緑化ダブルスキンでは、外側の壁には各階に換気スリットを設け、電動制御によって一定量の機械換気を行えるものとする。

また、ダブルスキンの内部の幅は1,200mmとし、そのうち、グレーチングの幅を600mm、植栽基盤幅を600mmとした。グレーチングは600mm×1,600mm×50mmの仕様で、上下階との換気を行う。植栽基盤は高さ500mm、幅600mmのプランター型で、3m程度の中高木でも適切な灌水によって、十分生育が可能な必要有効土層450mmを想定している。また、この植栽基盤には灌排水用チューブが繋がっており、自動で灌排水や施肥が行えるものとする。メンテナンス作業には、一般的な壁面緑化と同様に病虫害などの定期的な点検、剪定、薬剤散布などがあり、グレーチングの幅はこれらの作業に最低限必要とされる幅¹⁹⁾を想定している。

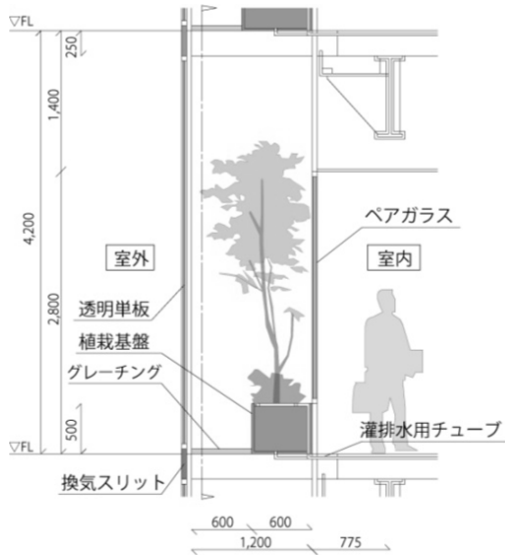


図-1 緑化ダブルスキン断面図

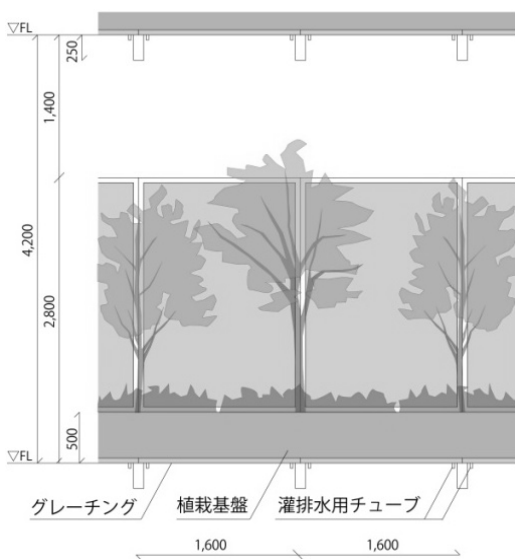


図-2 ダブルスキン内部から室内への正面図

(2) 適用と期待される効果

緑化ダブルスキンを高層構造物に適用した場合の、南北全体断面図を図-3 に示す。図のように、緑化ダブルスキンは、地上30階建て、あるいは100m以上となるような構造物の南面全体に配置することを想定している。従来の構造物壁面に直接緑化する方法ではなく、ダブルスキンの間に植栽基盤を設けることで、高層階であっても突風などの影響を受けないので植栽が可能となり、またダブルスキンと植栽との併用のグレーチングを設けることで高所でも安全にメンテナンスが行えると考えられる。

ビル内部から一般的なダブルスキンを通して屋外を見た時の眺望を図-4、ダブルスキン内部にブラインドを下ろした場合の眺望を図-5、そして緑化ダブルスキンを通しての眺望を図-6 にそれぞれ示す。これらのCGは、GRAPHISOFT社の建築CADソフトウェアArchiCAD²⁰を用いて制作したものである。図-4で

はブラインドを開けた状態を示しているが、実際は日光が当たるため、特に日中はブラインドを閉め、眺望性が望めない図-5の状態となることがほとんどである。しかし、緑化ダブルスキンにすることで、図-6のように緑によってうまく日射を和らげながら、内部からの眺望性を確保することができ、また緑によるリラックス効果を内部に取り入れることができる。

また、その他期待される効果としては、建築内部が外気温より温度が高くなる中間期（春や秋）には、ダブルスキンの内窓を開放し内部への換気を行うことで、外気冷房効果に植物の蒸発散による冷却効果が相乗される（図-7）ことや、使用する樹種が落葉樹である場合には、夏は緑陰によって日光を抑え、冬は日光を取り入れるパッシブ・ソーラー効果（図-8）が期待される。

本研究の基本設計では、ダブルスキンの幅を1,200mmで一定としており、また各階ごとに植栽基盤を設置することによって植物の高さも3m程度と限定されるが、発展的には、部分的にダブルスキンの幅を広げる、また2階以上の吹き抜け型とすることで、図-9のようにオフィスの内部に比較的大型の樹種を植栽することも可能となると考えられる。この図は構造物の模型を作成し、デジタルカメラで撮影したものである。このように多様な植栽が可能となることは、構造物内部からの眺望性やリフレッシュ効果の向上や、外部からの景観向上にも繋がると推察される。

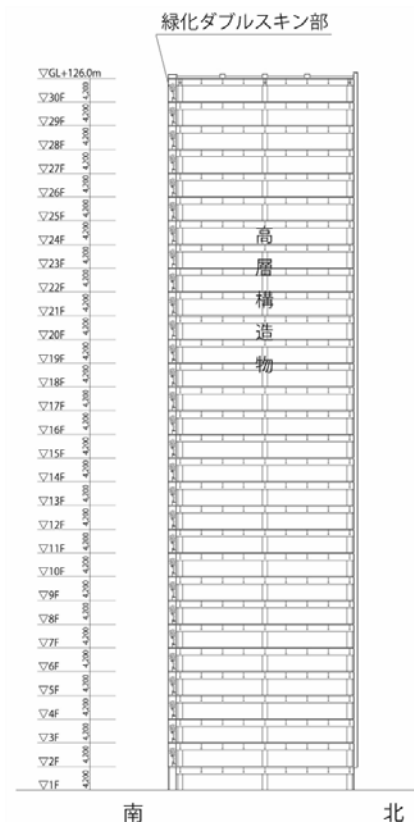


図-3 高層構造物の南北全体断面図



図-4 一般的なダブルスキンを通した眺望



図-5 ブラインドを下ろした場合の眺望



図-6 緑化ダブルスキンを通した眺望

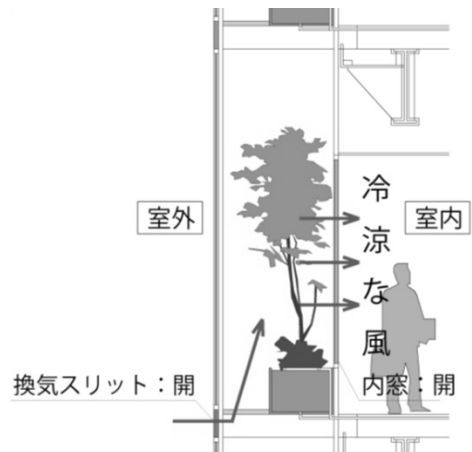


図-7 外気冷房効果



図-8 パッシブ・ソーラー効果



図-9 ダブルスキンの拡張による植栽の多様化

4. ダブルスキン内部の温度上昇の検証

南面に配置したダブルスキン内部は夏期においてはかなりの高温になると予想され、内部の植物への悪影響が懸念された。そこで、シミュレーションソフトウェアによるダブルスキン内部温度の解析を行った。

解析には DesignBuilder 社の建築エネルギーシミュレーションソフトウェア DesignBuilder²¹⁾を使用した。

(1) DesignBuilder の概要

DesignBuilder は建築モデルを作成し、その光、温度、CO₂ などの環境性能を解析するまでを一体的かつ即時的に行うことができる。DesignBuilder は、米国エネルギー省開発の建物エネルギーシミュレーションプログラムである EnergyPlus²²⁾と連動しており、EnergyPlus には世界各地の温湿度、風向風速、日射量などの気象データファイルが内蔵されていることから、各地の気象データに即した解析が可能である。本研究では、実在する都市気象データを用いて構造物内部の温度環境を解析する機能が求められており、本ソフトウェアはこれを満足すると判断し使用した。

(2) モデルの概要と解析の内容

作成した高層構造物モデルの概要を図-10 に示す。モデルの南面にダブルスキンを配置し、このダブルスキン部分の機械換気回数を変化させた時の、内部温度の変化を検証することとした。なお、条件として、施設は一般的なオフィスビルとして利用を想定し、6時～19時まで冷房を行い、それ以外の時間の冷房は行わないものとする。設定温度は25℃とした。これは、全国800人のビジネスパーソンへのWebアンケート調査²³⁾によって、全国のオフィスの設定温度として最も高率であり、また最も快適な温度とされる温度である。また、解析の時間を短縮するため、ビルの平面の大きさを20×20m、構造物高さを100mとした。ダブルスキンの各階はグレーチングを通して空気が混ざり合い温度は一樣と想定し、モデルの解析においてはダブルスキン全体の階区別をなくし、ひとつの空間としている。

本解析で利用した、日本の代表的都市の1つである大阪市(北緯34.68°、東経135.52°)における夏期の最も暑い1日の外気温モデルを示すグラフを図-11に示す。この気候条件は、大阪で記録された最高気温の最も高かった日である1994年8月8日の最高気温と最低気温(39.1℃、29.3℃)を想定したものである。外気温の1日の変化は、DesignBuilderの機能上の制約からサイン曲線で近似してある。グラフ下部には午前2時から2時間ごとの値を示している。ダブルスキン内部の夏期の日中における内部温度の変化をシミュレートするために、この条件において機械換気の換気回数を変化させて、各場合でのダブ

ルスキン内部の1日の温度変化について解析を行った。換気回数は、0、5、10、20、30 ac/h と変化させた。ここで、ac/hとは、air condition per hourの略であり、1時間あたりの換気回数を示している。

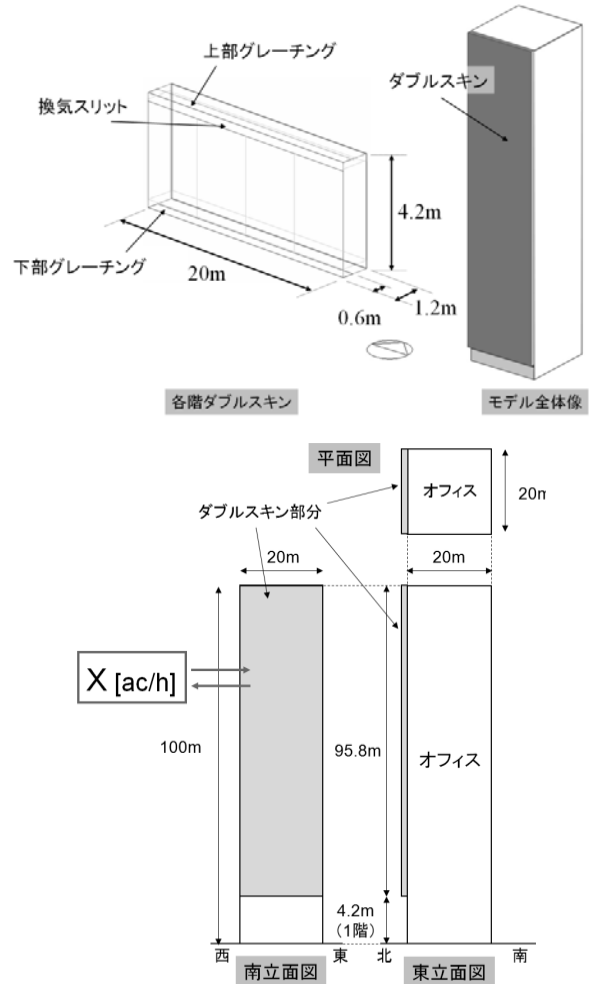


図-10 高層構造物モデルの概要

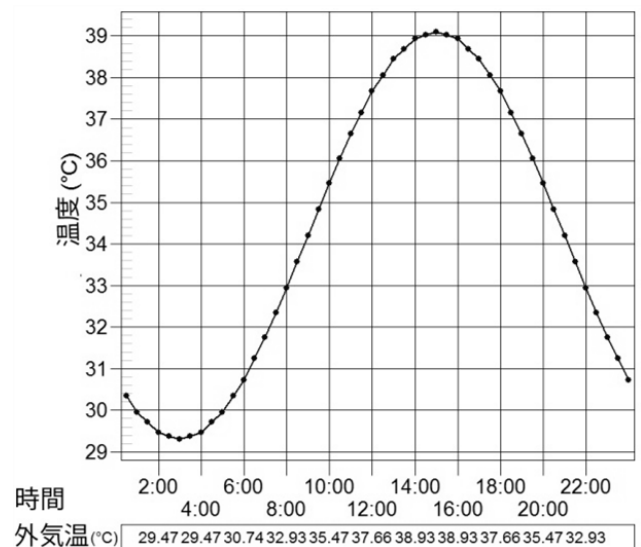


図-11 大阪市における夏期の最も暑い1日の外気温モデル

5. 解析結果と樹種の検討

(1) 解析結果

まず、換気回数と、ダブルスキン内部の最低・最高温度をまとめたもの表-1に、換気回数と内部温度の関係を表すグラフを図-12にそれぞれ示す。また、解析の代表的な結果として、換気回数が(a) 0 ac/h と (b) 30 ac/h の場合の、1日の外気温とダブルスキン内部の温度変化を表すグラフを図-13に各々示す。

これらの結果より、換気が全く行われない場合、ダブルスキンの内部の最高気温は50.98℃になり、また外気温の最高値である39.1℃を超える延べ時間はおよそ10時間となった。そこで、換気回数を増やしていくと、徐々に最高気温の値が小さくなり、30 ac/hで最高温度は40.64℃となり、39.1℃を超える延べ時間はおよそ4時間30分になった。このように、ダブルスキン内部は機械換気を行うことで、極端な温度上昇や外気温を超える延べ時間を抑えることが確認された。

ダブルスキン内部の最低温度については外気温の最低値が29.3℃であるのに対して、どの換気回数においても29.03℃~29.34℃の値を示した。このことから夏期の最低温度は換気回数からは大きな影響を受けないと考えられる。

表-1 換気回数とダブルスキン内部の温度

換気回数 [ac/h]	ダブルスキン内部乾球温度[℃]	
	最低温度	最高温度
0	29.34	50.98
5	29.13	45.61
10	29.08	43.28
20	29.04	41.44
30	29.03	40.64

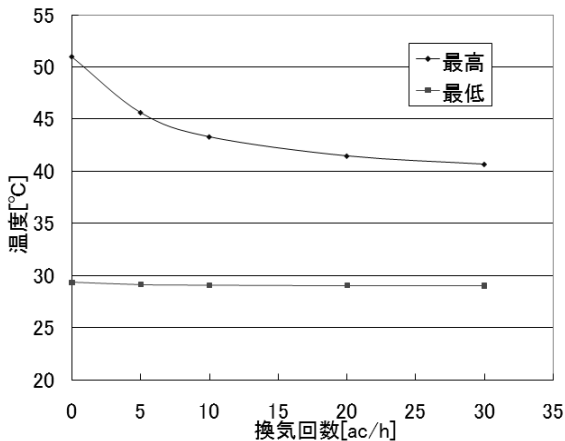


図-12 換気回数とダブルスキン内部温度の関係

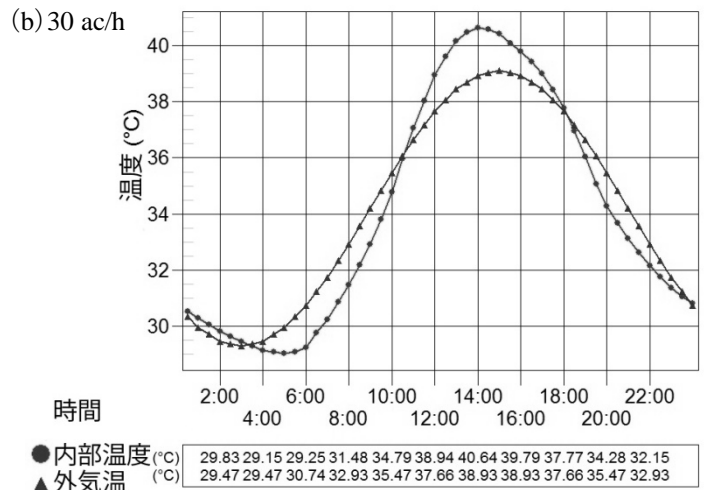
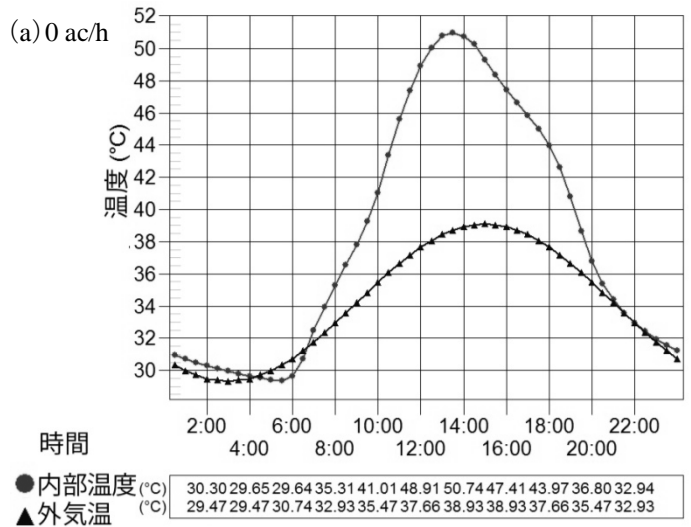


図-13 換気回数と1日のダブルスキン内部温度変化

(2) 樹種の検討

前項の結果を受けて、緑化ダブルスキンに植栽可能な樹種の検討を行った。検討方法としては、文献¹⁹⁾に記されている緑化に使用される植物リスト、および緑化樹木ガイドブック²³⁾を参照し、以下の条件に合致する樹種を抽出した。抽出の条件としては、南面ダブルスキンの内部が日中は外気温よりも高温化すること、ダブルスキンの内部の幅が1,200mm、植栽基盤から天井までの高さが3,700mmと樹木にとって決して広くはないことから、耐暑性があり生長が遅い、もしくはやや遅いものとした。

(a) 高木 (b) 中木の各々について抽出結果の一覧を表-2に示す。また、表中の生育条件および耐性の度合いは表-3に示す。本研究では、およそ3m以上に生長するものを高木、3m程度まで生長するが高木には至らないものを中木としている。高木では、ウメ、クロガネモチ、サルスベリなど6種類の樹木が、中木では、ウメモドキ、ゲッケイジュ、モクレンなど10種類の樹木が検討された。

表-2 抽出された中高木一覧

(a) 高木

樹木名	成育型	通常植栽高さ (最高高さ): m	生育条件		耐性		
			光	水	暑さ	寒さ	乾燥
ウメ	落葉・広葉	1.5~4 (6)	1	3	4	5	2
クロガネモチ	常緑・広葉	2.5~6 (15)	1	3	5	3	2
サルスベリ	落葉・広葉	2.5~5 (7)	1	3	5	4	2
ハナミズキ	落葉・広葉	1.5~5 (10)	1	3	4	4	2
ヤマボウシ	落葉・広葉	3~5 (10)	1	3	4	4	4
ヤマモモ	常緑・広葉	3.5~6 (20)	1	3	5	3	4

(b) 中木

樹木名	成育型	通常植栽高さ (最高高さ): m	生育条件		耐性		
			光	水	暑さ	寒さ	乾燥
ウバメガシ	常緑・広葉	1.5~2.0 (10)	1~3	2~3	5	3	4
ウメモドキ	落葉・広葉	1.2~2 (3)	2	3	4	5	2
ゲッケイジュ	常緑・広葉	1.5~3 (10)	1	3	5	3	5
サザンカ	常緑・広葉	1.2~3 (10)	2	3	4	3	2
タチカンツバキ	常緑・広葉	1.5~5 (10)	2	3	5	3	2
ツバキ類	常緑・広葉	1.5~5 (10)	2	3	4	3	2
トキワマンサク	常緑・広葉	0.5~1.5 (10)	2	3	4	2	4
ヒイラギモクセイ	常緑・広葉	1.5~3 (6)	2	3	4	3	2
モクセイ	常緑・広葉	1.5~3 (6)	1	3	5	3	2
モッコク	常緑・広葉	1.5~3.5 (10)	2	3	5	3	2

表-3 生育条件の傾向と耐性の度合い

数値	生育条件		耐性
	光	水	
1	陽	乾	弱
2	やや陽	やや乾	やや弱
3	普通	普通	普通
4	やや陰	やや湿	やや強
5	陰	湿	強

ただし、これらの樹木は、耐乾燥性や耐寒性なども種によって異なるため、各々に適した管理や植栽の方法を検討する必要がある。

また、表中の生育条件や耐性を示す数値は相対的な傾向を示すもので定量的な数値ではないので、実際に植栽に利用する場合には適切な検証実験が必要となる。

6. 結論と今後の課題

(1) 結論

本研究では、ダブルスキン・ファサードの内部を緑化空間として利用する「緑化ダブルスキン」を提案し、その基本設計および、適用と期待される効果を述べた後、建築エネルギーシミュレーションソフトウェア DesingBuilder を用いてダブルスキン内部の空気中の温度の解析を行った。本研究で得られた結論を以下に述べる。

- 代表的な都市である大阪で最も暑い日の気候条件を用いて、ダブルスキン内部の換気回数を変化させながら、内部温度を解析した。その結果、全く換気を行わない場合は最高で 50.98℃にも達するが、換気回数を増やすことで徐々に内部の最高温度が下がり、30 ac/h では、40.64℃となった。また、内部が最高外気温 39.1℃を超える延べ時間は、0 ac/h の時は 10 時間、30 ac/h の時は 4 時間 30 分ほどとなった。
- ダブルスキン内部は近年多く見られる日中の極端な温度上昇が起こった際に、外気温以上の温度上昇となることが分かり、耐暑性に優れた樹種を検討する必要があると判断した。そこで既存の代表的な緑化樹木から条件に合致する樹木を検討したところ、およそ 16 種の樹種が抽出された。
- 夏期より外気温が低い季節においては、適切な換気をコントロールすることで、外気温に近い内部温度環境を保持でき、ダブルスキンの機能を維持しながら、内部での植物育成が可能であると考えられる。なお、緑化ダブルスキンによる植物の環境効果としては、構造物内部からの景観を向上させる効果や、内部の人間へのリフレッシュ効果、落葉樹によるパッシブ・ソーラーの効果、中間期の外気冷却効果への温度低減効果の付加などが期待できる。

(2) 今後の課題

本手法を実設計に持つていくためには、実際に植物を置いた場合の建物内部に対する日影遮蔽効果や蒸発散効果まで含めたシミュレーションを行い、さらなる妥当性の向上が求められる。また、実証実験によって、検討した樹種が育成を検証する必要がある。また、落葉樹を使用する場合はその落ち葉対策や、剪定によって発生する枝葉の除去の方法、植え替え作業の手順といった、植物のメンテナンスを考慮した詳細な設計を行う必要がある。

参考文献

- 1) 山田宏之：特集「建築物緑化による都市の環境改善」都市環境の改善における建築物緑化の意義と今後の展開、日本緑化工学会誌、第 34 巻第 2 号、pp.333-337、2008 年
- 2) 国土交通省 都市・地域整備局 公園緑地課 緑地環境推進室：「環境の世紀」における公園緑地の取り組み、pp.5-9、2004 年
- 3) 横山仁、山口隆子、石井康一郎：屋上緑化のヒートアイランド緩和効果—軽量薄層型屋上緑化に関する検討—、東京都環境科学研究所年報 2004 年版、pp.3-10、2004 年
- 4) 国土交通省 都市・地域整備局 公園緑地課 緑地環境推進室：～ヒートアイランド現象の緩和をめざして～緑による建築・街区空間の熱環境改善効果について、2005

- 年
- 5) 田中健, 村上大輔, 下村孝: 京都を事例とした景観評価実験と眼球運動の測定による好ましい屋上緑化形態の検討, 日本緑化工学会誌, 第34巻第1号, pp.133-138, 2008年
 - 6) 飯島健太郎: 特集「建築物緑化による都市の環境改善」屋上緑化空間の多様性と導入植物, 日本緑化工学会誌, 第34巻第2号, pp.338-343, 2008年
 - 7) 中村隆治, 藤井英二郎: 植物(ゼラニウム及びペゴニア)を見たときの脳波特性, 特に α 波の量と周波数について, 造園雑誌第53巻第5号, pp.287-292, 1990年
 - 8) 国土交通省 都市・地域整備局 公園緑地課 緑地環境推進室: ~真夏の不快感を緩和する都市の緑の景観・心理効果について~都市の緑量と心理的効果の相関関係の社会実験調査について, 2005年
 - 9) 狩谷達之, 鳥越昭彦, 笹倉久, 亀山章: 都市のエコロジカル・ネットワーク, 造園技術報告集第1巻, pp.116-119, 2001年10月
 - 10) 国土交通省 都市・地域整備局 公園緑地課 緑地環境推進室: ~屋上・壁面緑化空間は近年どの程度創出されているか~全国屋上・壁面緑化施工面積調査(平成12~17年)について, 2006年7月
 - 11) 下村孝, 梅干野晃, 輿水肇: 立体緑化による環境共生, ソフトサイエンス社, 2005年11月
 - 12) 丁文婷, 岡澤尚美, 江川雄介, 西本聡, 長谷見雄二, 山田常圭: ダブルスキン建築による自然換気・排煙統合システムの可能性に関する研究: その1. ダブルスキン建築による自然換気・排煙統合システムの基本概念(既成概念にとらわれない某排煙対策, 防火), 日本建築学会大会学術講演便箋集, 2004年版, A-2, pp.225-228, 2004年8月
 - 13) 小田憲司, 山本雅洋: 多機能ダブルスキン NEXAT[®]の実測評価, 大林組技術研究所報, 第71号, No.26, pp.26-1~26-4, 2007年
 - 14) 依田浩敏, 高偉俊, 許雷, 尾島俊雄: ダブルスキン空間における温熱環境実測調査, 空気調和・衛生工学会九州支部研究報告, 第9号, pp.7~10, 2002年5月
 - 15) 藤井浩史, 樋渡潔, 張本和芳, 御器谷良一, 横井睦己, 熊谷智夫, 藤村淳一: 薄型ダブルスキンによる熱負荷低減手法野研究, 大成建設技術センター報, 第40号, No.36, pp.36-1~36-6, 2007年12月
 - 16) 古川興一: 徹底解説 最新の緑化建築技術 建築と都市を彩る緑化テクノロジー, 株式会社創樹社, 2006年12月
 - 17) 鹿島技術研究所: 高所でも安全な壁面緑化 パーティカル・グリーン・システム[®] (入手 2008年3月): <http://www.kajima.co.jp/tech/kari/leaf/pdf/2007-09.pdf>
 - 18) 菊重有輝, 矢吹信喜, 福田知弘: ダブルスキン・ファサードの高層ビルディングの立面緑化手法に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究発表会報, 第99号・計画系, pp.189-192, 2009年6月
 - 19) 日経アーキテクチュア: 屋上緑化・壁面緑化を極める! 建築緑化入門, 日経BP社, 2009年
 - 20) ArchiCAD: <http://www.graphisoft.co.jp/index.html>
 - 21) DesignBuilder: <http://www.designbuilder.co.uk/>
 - 22) EnergyPlus: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
 - 23) ダイキン工業株式会社 広報部: 『ダイキン「第7回 現代人の空気感調査」総合報告書—夏のオフィスの空気に関する調査結果, 2005年7月
 - 24) 財団法人 日本緑化センター, 財団法人 日本植木協会: 緑化樹木ガイドブックポケット版, 財団法人 建設物価調査会, 2001年11月

(2010.5.28 受付)