

樹木による屋上緑化の 環境負荷低減効果に関する研究

橋田 祥子¹・大森 宏²・藤崎健一郎³・加治屋亮一⁴・酒井孝司⁵

¹非会員 明治大学研究員 理工学部建築学科 (〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1番地)
E-mail: shokoh@es.meisei-u.ac.jp

²非会員 東京大学 大学院農学生命科学研究科 (〒113-8657 東京都文京区弥生一丁目1-1)
E-mail: omori@lbn.ab.a.u.tokyo.ac.jp

³非会員 日本大学 生物資源科学部 (〒252-8510 神奈川県藤沢市亀井野1866)
E-mail: fujisaki@brs.nihon-u.ac.jp

⁴非会員 明治大学専任講師 理工学部建築学科 (〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1番地)
E-mail: kaji@isc.meiji.ac.jp

⁵非会員 明治大学准教授 理工学部建築学科 (〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1番地)
E-mail: sakaik@isc.meiji.ac.jp

本研究ではヒートアイランドポテンシャル(HIP:Heat Island Potential)とCO₂固定量を指標として、樹木を用いた屋上緑化の効果を定量的に評価した。研究対象は本田技研工業の事業所(Honda和光ビル)の屋上緑化で、10m四方の低木・多年草植栽ユニットと木陰を作る落葉樹が配置されている。HIPの計算結果から、屋上を樹木と芝生で緑化した現状は、全く屋上を緑化していない全面コンクリートの場合に比べると、9時にはHIPが13.3℃低下し、13時にはHIPが15.8℃低下した。CO₂固定効果についても効果が認められ、測定対象地の屋上は、樹木や芝生を有効に組み合わせたデザインで、コンクリートの屋上に比べて夏季日中のヒートアイランド抑制効果と二酸化炭素固定能力が極めて高い建築であるという知見を得た。

Key Words : rooftop gardening , tree , cool roof , Heat Island , carbon dioxide fixation amount ,

1. はじめに

ヒートアイランド現象が人の健康と快適性に与える影響を軽減するためには、現在の都市構造を気候的アメニティーに配慮するように誘導することが肝要である¹⁾。

ヒートアイランド現象の要因の1つがコンクリートやアスファルト等、人工土地被覆物が日中に太陽エネルギーを蓄熱し、夜間に放熱して大気を暖めることであるため、建築物の表面被覆材を改変し、表面温度を下げる工夫(クールーフ化)が求められている。クールーフ化手法として現在主流になっているのは高反射塗料の塗布と屋上緑化である。しかし、現在普及している薄層緑化ではヒートアイランド現象緩和効果があまり期待できない²⁾。都市に新たに快適なクールスポットを形成し、生活空間のアメニティー向上を図るという意味でも、屋上を樹木で緑化する意義は大きい。

2. 研究目的

本研究の目的は、樹木を用いた屋上緑化の環境負荷低減効果を、ヒートアイランドポテンシャル(HIP:Heat Island Potential)とCO₂固定量を指標として、定量的に示すことである。今回は、樹木と芝生を用いた大規模屋上緑化を創出し、近隣に対して景観向上効果が大きく、利用者の憩いの場として活用されているHonda和光ビル(設計:久米設計)の屋上緑化を調査対象地とした。

3. 研究の方法

(1) 調査対象地

調査対象地は、埼玉県和光市の和光市駅の西400mに位置する、本田技研工業の事業所(Honda和光ビル)の屋上緑化である。この屋上緑化は人工地盤と、建設残土をリ

サイクルした盛土で構成されており、全長300m、幅80m、総面積2590㎡に及び、「緑の丘」と呼ばれている。緑の丘には10m四方の低木・多年草植栽ユニットが連続しており、ベンチ、木陰を作る落葉樹も配置されている。図-1に「緑の丘」の俯瞰写真、図-2～図-5に「緑の丘」の緑化の写真、図-6に植栽樹種の写真を示す。

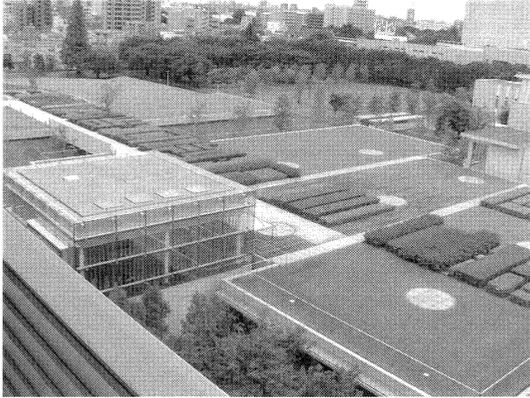


図-1 「緑の丘」の俯瞰写真

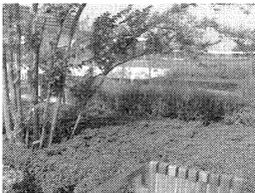


図-2 ベンチと高木



図-3 保全された桜樹林

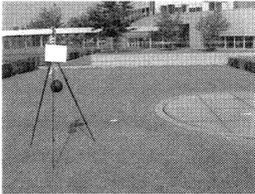


図-4 芝生とトップライト

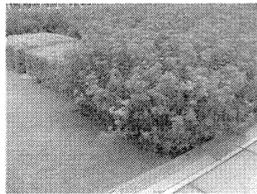


図-5 低木の様子

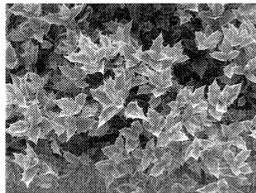
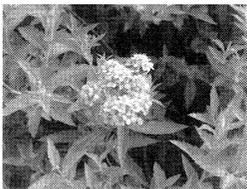
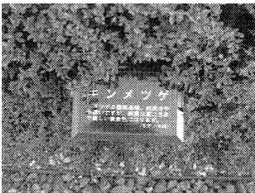


図-6 「緑の丘」の植栽樹種の写真

(左上: キンメツゲ, 右上: シマヒイラギ,
左下: シモツケ, 右下: ヒュウガミズキ)

図-7に今回HIP算定を行う屋上の範囲の平面図を示し、表-1にそれぞれの土地被覆素材別の面積を示す。また、表-2には「緑の丘」全体に用いられた植栽樹種、樹種ごとの樹高や占有面積、㎡当たりの数量および開花時期を示す。

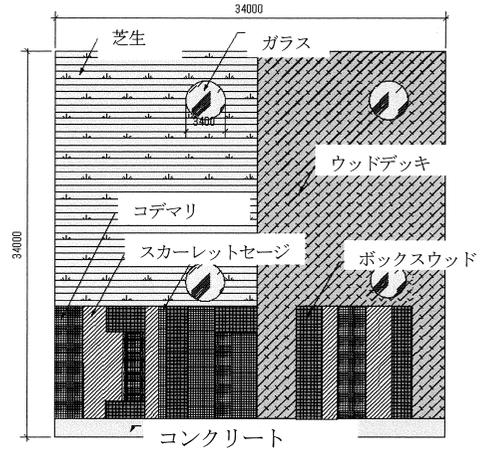


図-7 対象範囲平面図 (HIP・CO₂ 固定量算定範囲)

表-1 HIP算定範囲の地表面被覆素材別の占有面積

素材名	占有面積 (㎡)
コンクリート	48.2
ウッドデッキ	432.5
ガラス	39.4
樹木	273.9
芝	401.4

表-2 屋上緑化植栽樹種 (「緑の丘」全体)

和名 学名	分類	樹高 (m)	面積 (㎡)	植栽 密度 (本/㎡)	開花 時期
キンメツゲ <i>Ilex crenata</i>	常緑 広葉樹	0.5 ~ 0.7	504.3	9	5月
ボックスウッド <i>Buxus microphylla</i>	常緑 広葉樹	0.4 ~ 0.7	437.4	9	5月
シマヒイラギ <i>Ilex dimorphophylla</i>	常緑 広葉樹	0.6	48.1	9	11月
ユキヤナギ <i>Spiraea thunbergii</i>	落葉 広葉樹	0.6 ~ 0.8	180.7	5	4月
シモツケ <i>Spiraea japonica</i>	落葉 広葉樹	0.6 ~ 0.8	281.1	5	5 ~ 8 月
ヒュウガミズキ <i>Corylopsis pauciflora</i>	落葉 広葉樹	0.5 ~ 0.7	507.7	5	3 ~ 4 月
コデマリ <i>Spiraea cantoniensis</i>	落葉 広葉樹	0.6 ~ 0.8	128.9	5	4 ~ 5 月
スカーレットセージ <i>Salvia coccinea</i>	多年草	1.0			5 ~ 8 月
コウライシバ <i>Zoysia matrella</i>	芝	0.03	11077.0		

(2) 夏期温熱環境測定

2008年8月7日9:00～9日15:00までT&D社製ThermoRecorder (TR50U)を用いて、土地被覆別の地表面温度とグローブ温度を測定した。また、2008年8月7日9:00～9日15:00まで黒球温度計を用いてHonda和光ビル敷地内に保全されている桜樹林と「緑の丘」の芝生面におけるグローブ温度を測定するとともに、魚眼レンズを装着したデジタルカメラを用いてそれぞれの地点における天空魚眼写真を撮影して天空率を算出した。さらに8月8日9:00～21:00まで赤外線サーモグラフィ (NEC San-ei TH9100PM)を用いて、「緑の丘」に隣接する建物から俯瞰撮影を行い、素材別の表面温度を測定した。

(3) HIPの算出

樹木による屋上緑化のヒートアイランド緩和効果を明らかにするために、全面がコンクリート打放の場合、全面が芝生化されている場合、全面がウッドデッキの場合、樹木と芝生の混植の場合（現状）、全面を樹木で緑化した場合についての9:00と13:00のHIPをそれぞれ算出し、比較した。HIPとは、街区の全表面からの発熱（顕熱）により、都市の表面（地表面と建物表面）が大気を加温する量の指標であり、式(1a)で算出する³⁾。

$$\text{HIP} (^{\circ}\text{C}) = \int (\text{Ts} - \text{Ta}) \text{ds} / \text{A} \quad (1a)$$

Ts(°C):屋上内の微小面の表面温度 Ta(°C):気温

ds(m²):微小面の表面積 A(m²):屋上の水平投影面積

ただし植生部分の微小面表面積には葉面積指数 (Leaf Area Index : LAI) を代入することとし、文献⁴⁾等によるとLAIは2～7程度の範囲であり、3～4程度が多いことからここではLAI=3.5と仮定して計算した。葉面積指数とは葉面積の合計値を地表面積で除した値である。

(4) CO₂ 固定量の算出

植物は、光合成により大気中のCO₂を体内に取り込み、炭水化物を生成し、植物体の形成物質として植物全体に蓄積する⁵⁾。CO₂固定量を算出した研究には樹高や胸高直径から推定した藤原ら⁵⁾や、長濱ら⁶⁾の研究、伊藤園が行った実測研究報告⁷⁾、国立環境研究所の樹齢50年のカラマツ林での観測から算出した例⁸⁾、林野庁のスギ林とブナ林における観測で算出した例⁹⁾等がある。しかし、樹種や落葉樹と常緑樹の差、樹齢、樹高、生育状況や施肥の状況などによって結果が千差万別である。そのため本研究では、各々の方法で算出したm²当たりのCO₂固定量に今回の調査対象地の屋上緑化面積を乗じる方法でCO₂固定量を算出した。

4. 結果と考察

(1) 地表面被覆素材別表面温度測定結果

図-8 にサーモグラフィで撮影した画像を示す。各表面素材について200画素×2箇所 (400画素) を抽出した範囲の平均温度を図-9に示す。

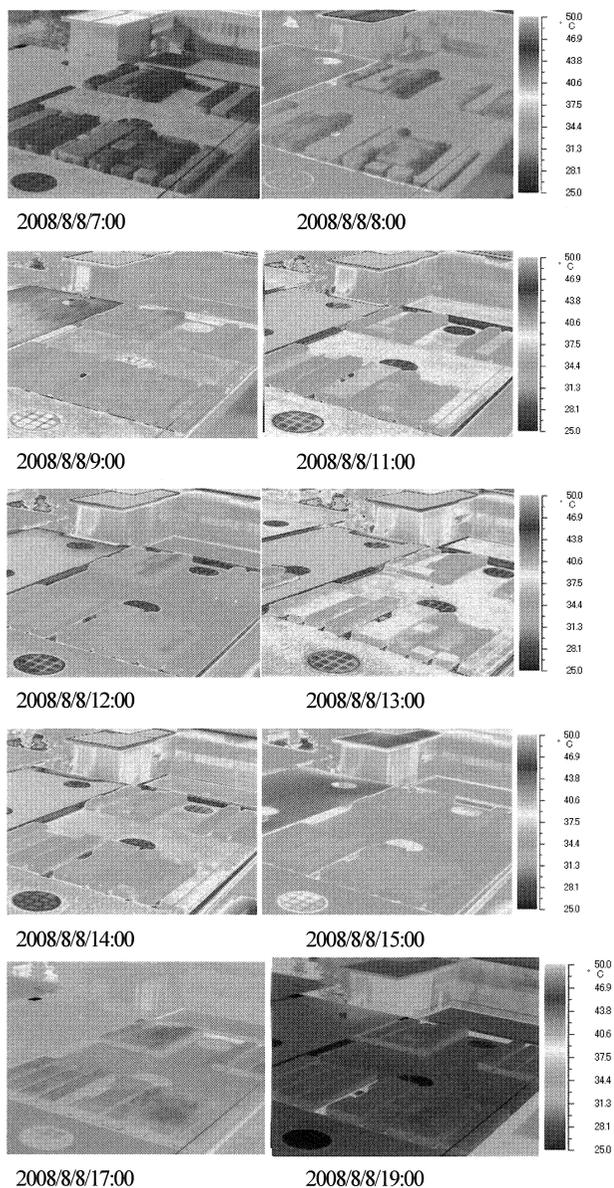


図-8 赤外線サーモグラフィの経時変化

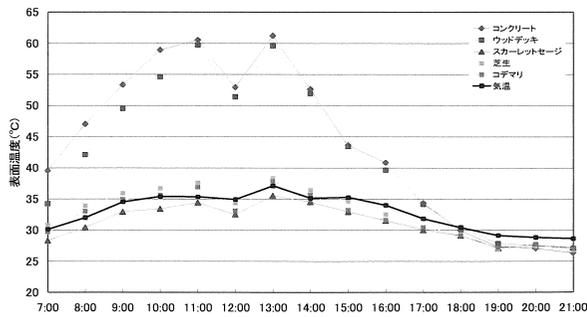
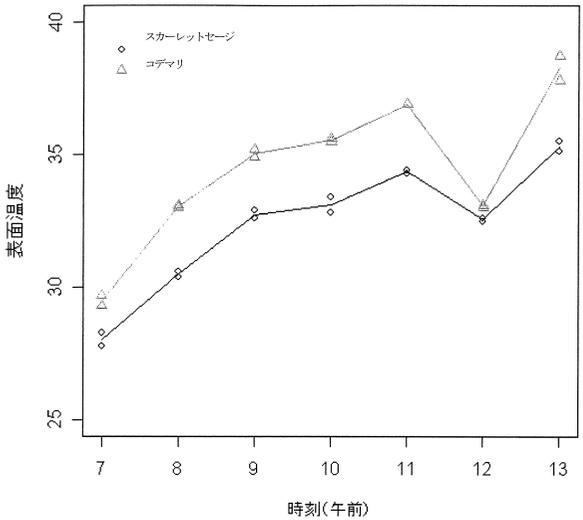


図-9 サーモグラフィから求めた表面温度

12:00には一時的に曇ったがその他の時間帯は晴れていた。コンクリートとウッドデッキは60℃まで温度上昇するのに対して、芝生、コデマリ、スカーレットセージなどによる緑化部分は明らかに表面温度が低い。

図-10に、8月8日の7:00から13:00までの7枚のサーモ画像から求めた被覆材ごとの400画素の平均温度（各素材200画素×2）を示す。これらを用いて、その平均が被覆材の樹木と異なるかを、樹木×時刻の2元配置分散分析で検定した。結果を表-3に示す。表-3から、樹種による差は0.1%水準で有意であり、樹種ごとに表面温度に違いがあると認められた。



(2) 1) 地温測定結果

図-11に素材ごとの地表面（植栽部分については地中0.5cmの地点）の温度測定結果を示す結果から、ウッドデッキ、ガラス、スチール、コンクリートは53℃～65℃まで温度が上昇するのに対して、芝生は35℃前後でほぼ気温と同程度で推移した。さらにコデマリ、ボックスウッド、スカーレットセージなどの植物では表面温度が最高でも27℃にとどまり、気温よりも8℃程度低温を保っていた。また、3種の中で最も地表面温度が、低温になっていたのは、スカーレットセージであった。

以上の結果から、低木や多年草の場合でも日射遮蔽による地表面温度の低下が顕著に見られ、樹木による屋上緑化ではクールスポットの形成効果が期待できるということが示唆された。

表-3 分散分析結果

	自由度	平方和	平均平方	F値	p 値	
植物種	1	31.080	31.080	117.79	7.849e-10	***
時刻	6	167.335	27.889	105.70	4.450e-14	***
誤差	20	5.277	0.264			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1

1 mean(a[, 5:6])

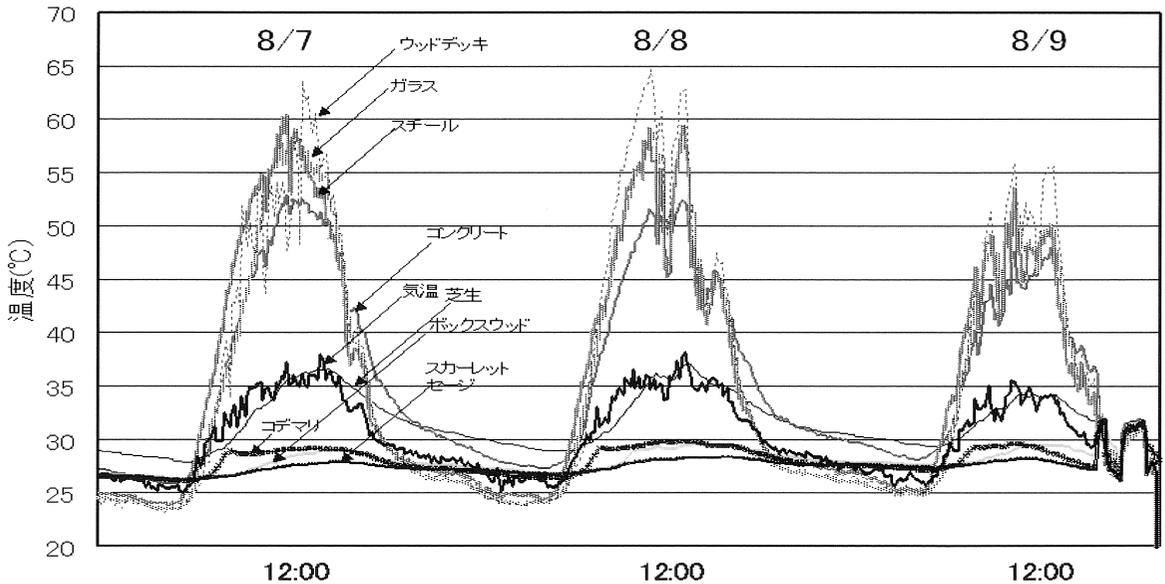


図-11 地表面温度測定結果

次に、表-4に示した各種文献の単位面積当たりの年間CO₂固定量に基づき、今回の研究対象であるHonda和光ビルの屋上緑化の算定範囲と、「緑の丘」全体について、CO₂固定量を算出した結果を、表-5に示す。

表-5 各種文献に基づき算定したHonda和光ビルの算定範囲と「緑の丘」全体の年間CO₂固定量
単位：(kg/m²・年)

各種文献	算定範囲	「緑の丘」全体
藤原ら ⁵⁾	152.9	3120
伊藤園 ⁷⁾	1528.8	31200
国立環境研究所 ⁸⁾	188.2~294	3840~6000
林野庁のスギ林 ⁹⁾	117.6~352.8	2400~7200
林野庁のブナ林 ⁹⁾	117.6	2400

表-5から、Honda和光ビルの算定範囲の年間CO₂固定量は、117.6~1528.8kg/m²・年、「緑の丘」全体の年間CO₂固定量は、2400~31200kg/m²・年と推定された。

本研究の対象地の屋上緑化植物は低木で、樹高が0.6m~0.7mに剪定されており、伊藤園⁷⁾の実測対象である「お茶」と同じツバキ科ツバキ属の常緑広葉樹であるボックスウッドが植樹されている。また、藤原ら⁵⁾の対象とした樹木はイチョウ、ケヤキ、プラタナスといった街路樹であり、国立環境研究所⁸⁾や林野庁⁹⁾の測定対象は森林に生育している樹齢が50年などの大木である。これらを鑑みると、伊藤園⁷⁾の実測に基づく方法が妥当である可能性も高い。しかし、「お茶」は、生産が目的であるため施肥状況が良く、一般的な屋上緑化植物ではそれほどの成長量を見込めないことも考えられるため、今後は実際の屋上緑化植物を用いた毎木調査を行ない、現実的なCO₂固定量を求めることが必要である。

4. まとめ

大規模屋上緑化における環境測定を行い、環境緩和効果を、ヒートアイランドポテンシャル低減効果とCO₂固定効果により評価した。その結果、Honda和光ビルはヒートアイランド緩和効果とCO₂固定効果の面で極めて環境緩和機能の高い建築であるという知見が得られた。

Honda和光ビルの屋上は、適所にベンチや高木やウッドデッキを配置し、利用しやすいようなデザインになっており、就業している人々の憩い空間として活用度の高い屋上になっている。また、Honda和光ビルが保全している昔ながらの桜林は、周辺市街地に対して高いクールスポット機能を有していることも明らかになった。

樹高がヒトの背丈を越え、高い位置で日射遮蔽するような中高木樹による屋上緑化になれば、ヒトの活動範囲の快適性もさらに向上し、都市のクールスポットとして機能することになる。ヒートアイランド緩和効果やCO₂固定効果が高く、都市生活者のアメニティを向上させるHonda和光ビルのような屋上緑化のグラウンドデザインが増え、都市環境が改善されることを期待する。

謝辞：本田技研工業の関係各位には測定で大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。久米設計の小塩智也様には研究にご協力賜りました。ここに記して感謝申し上げます。武蔵野種苗園株の長谷川様には資料を提供して頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 森山正和：ヒートアイランドのもたらすさまざまな影響，pp.385-389，空気調和・衛生工学第79巻第5号，2005
- 2) 工藤善：屋上緑化における土壌・植栽の違いとその蒸発散効果，pp.13-16，太陽エネルギーVol.31, No.2, 2005
- 3) 梅干野見：3D-CAD 対応型全表面熱収支シミュレーションによる屋外環境の設計支援ツール，平成13年度ヒートアイランド現象対策手法調査検討業績報告書，2002
- 4) W.Larcher（佐伯敏郎訳）：植物生態生理学，pp.24-27，Springer，2004
- 5) 藤原ら：都市緑化樹木によるCO₂固定量の算定方法に関する研究，pp.26-31，日本緑化工学会誌，第28巻1号，2002
- 6) 長濱ら：都市緑化植物のCO₂固定量把握手法に関する検討，土木技術資料，pp.28-31，50-8，2008
- 7) 伊藤園：<http://www.itoen.co.jp/news/2008/112603.html>
- 8) 国立環境研究所ホームページ
http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/28/04-09_4.html
- 9) 林野庁ホームページ
http://www.rinya.maff.go.jp/j/kenho/ondanka/con_2.html
- 10) 日本建築学会設計計画パンフレット24，pp.3-34，日照の測定と検討，彰国社

RESEARCH OF EFFECT OF ROOFTOP GARDENING ON ENVIRONMENT MITIGATION EFFECTS BY TREE

Shoko HASHIDA, Hiroshi OMORI, Kenichiro FUJISAKI,
Ryoichi KAJIYA and Koji SAKAI

In this thesis, HIP and the CO₂ fixation amount were assumed to be an index, and the effect of rooftop gardening was evaluated. The research object is Honda Wako building. The floriculture herbs and deciduous trees are planted in the Honda Wako building. HIP of the rooftop in the Honda Wako building of nine o'clock was 13.3°C lower than that of a concrete rooftop. HIP of the rooftop in the Honda Wako building of 13 o'clock was 15.8°C lower than that of a concrete rooftop. The effect of the CO₂ fixation effect was admitted. The rooftop in the Honda Wako building is a design that effectively combines the tree and the lawn.