

雨水利用壁面緑化による暑熱環境の改善 および省エネルギーの効果を定量化する 熱・水収支的評価技術の開発

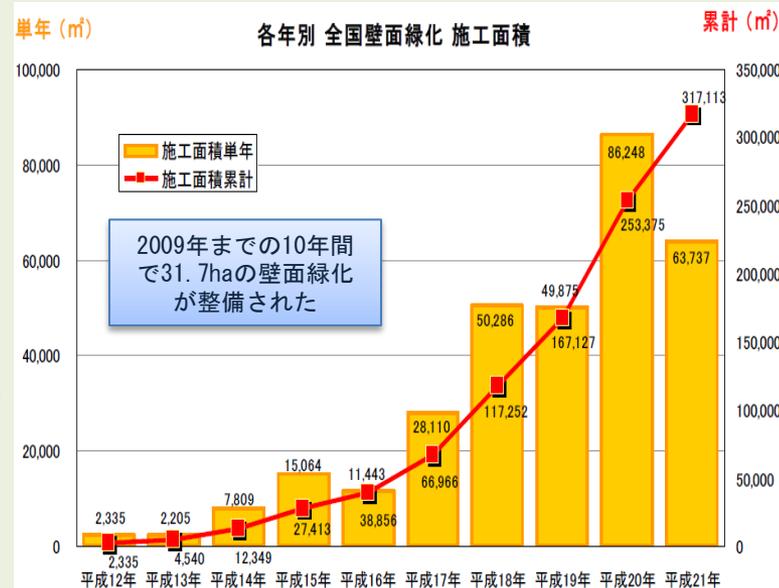
(壁面緑化の省エネ効果定量化の技術開発)

山本晴彦 国立大学法人山口大学 農学部生物資源環境科学科 教授
高山 成 常翔学園 大阪工業大学 工学部環境工学科 講師
伊藤重稔 山口菱洋システム株式会社 営業部 部長

研究の背景・目的、技術開発の概要

背景

- ①CO₂排出量削減のため、ヒートアイランド対策、屋上・壁面緑化などの住宅改善が政策課題
 - > 京都議定書第一約束期間（2008-2012年）に1990年比-6% 家庭部門の排出は、2009年速報値で1990年比+26.9%
 - > 東京電力管内で気温+1℃→ピーク電力166万kW増加 建物への熱負荷軽減→排熱抑制+省エネ→CO₂削減効果
 - > 自治体による緑化の義務化や緑化普及推進制度 都市域に緑地のネットワークを創出しヒートアイランド対策
- ②工法技術開発が先行し、緑化によるヒートアイランド緩和効果や植生状態を評価する指標や方法が確立されていない、技術開発や啓発、普及において多くの混乱と失敗（魅力ある都市構築のための空間緑化-近未来のアーバン・グリーンング- 日本学術会議2007）
 - > 熱負荷軽減効果の評価法の開発、データの収集が不十分 壁面緑化の導入に対して省エネ効果が認証されない 例えば、高断熱建材導入のように効果を定量化する必要
- ③緑化維持管理に要する水資源の考慮が不十分（渇水・ピーク需要）
 - > 「緑の東京計画」：15年間で1200ha→7~9月で約600万m³ 植生の水利用量を含めた省エネ効果の算定法が必要



全国の壁面緑化施工面積の推移
(出典:国土交通省「全国屋上・壁面緑化施工面積調査」)

目的 「緑のカーテン（低コスト汎用型壁面緑化）」を対象に

- ① 住宅等の暑熱環境改善と省エネルギー効果の定量化（日傘効果、暑熱ストレス・空調負荷の軽減等）
- ② 雨水利用+灌漑技術（農業工学）を活用した効率的な緑化管理技術の開発
- ③ 壁面緑化の効果の定量化ツールの開発による有効な壁面緑化の普及・拡大

技術開発の概要

- ・省エネ（CO₂削減）、省水資源の効果を見える化（壁面緑化の有効性を指標化、啓発・普及へ）
- ・緑化による経済・社会的利益を自然科学的に定量化（他の緑化形態にも応用可能）

エネルギーの効率的な利用と都市環境改善に貢献

過去の成果と本提案との関連

平成18年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業費補助金技術開発（期間：平成18年度～平成20年度）

課題名：「屋上・壁面緑化におけるヒートアイランド緩和効果に関する評価技術の開発」

目的：屋上・壁面緑化がヒートアイランドの緩和に及ぼす影響を評価する技術の開発

- ・ 植生状態の定量評価：画像解析、近赤外分光法等による「**植生の葉面積・水分量・活性度**」の測定技術の開発
- ・ ヒートアイランド緩和効果：人体熱収支に基づく**暑熱ストレス指標**の開発
- ・ 環境計測技術の高度化：**詳細気象観測システム**の開発

大規模屋上緑化建築物、壁面緑化におけるヒートアイランド緩和効果を評価



平成22年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業費補助金技術開発（期間：平成21年度～平成23年度）

課題名：「雨水利用壁面緑化による暑熱環境の改善および省エネルギーの効果を定量化する熱・水収支的評価技術の開発」

壁面緑化 → 暑熱ストレス指標，植生の量・質（葉面積・活性度）測定技術を活用
簡易・安価なため，近年普及が著しい，屋上緑化に比べて熱負荷軽減効果大を期待

雨水利用 → 農業工学的な節水灌漑技術の応用
水源の問題に目を向けざるを得ない+これまで植物の蒸発散研究の実績

実用性・普及 → GISを活用し任意の場所の効果を算定・「緑のカーテン」環境家計簿版
省エネ効果の水資源・ヒトの快適性を考慮した定量評価ツール，指標として広範に普及

	H18～20年度(実施済)	H21～23年度(本提案)
課題名	屋上・壁面緑化におけるヒートアイランド緩和効果に関する評価技術の開発	雨水利用壁面緑化による暑熱環境の改善および省エネルギーの効果を定量化する熱・水収支的評価技術の開発
対象	屋上緑化，壁面緑化，都市緑地	壁面緑化(小規模オフィスビル・住宅)
内容	計測技術開発： 観測装置，植生状態の葉面積，水分量，活性度	応用的技術開発： 省エネ・節水効果を算定(GIS)，有効な壁面緑化の指標化と普及

技術開発・実用化のプロセス等

技術開発項目・分担	平成21年度	平成22年度	平成23年度	経費の総額
(1) 雨水利用汎用型壁面緑化「緑のカーテン」の試作				
①「緑のカーテン」の試作とデータ収集	← 山口大学 →			6.0
②「緑のカーテン」の定量評価システムの実証	4.0	2.0		
(2) 「緑のカーテン」および建物壁面における放射・熱収支解析				
①放射・熱収支解析	← 山口大学 →			5.75
②顕熱量影響の定量的評価	4.0	1.0	大阪工業大学 0.75	
(3) 建物内における暑熱ストレスの定量評価法の開発				
①暑熱ストレスの定量評価法の開発	← 山口大学 →			6.5
②エネルギーコストの算定		山口菱洋システム		
(4) 「緑のカーテン」の水利用効率の定量評価	2.0	3.5	1.0	4.5
水利用効率の定量評価・装置の改良		← 山口大学 →		
		3.5	大阪工業大学	
(5) 「緑のカーテン」の暑熱緩和・省エネルギー効果評価技術の開発と最適な「緑のカーテン」の提案			1.0	4.25
			山口大学	
(1)～(5)の成果のとりまとめ、総合的評価法を開発 省エネ・省水資源を両立した最適壁面緑化形態の提案			大阪工業大学 山口菱洋システム	
			4.25	
合計 (うち補助金の額)	10.0 (5.0)	10.0 (5.0)	7.0 (3.5)	27.0 (13.5)

技術開発の必要性、緊急性

①夏季電力需要の緩和策として住宅の熱負荷軽減が課題

- > 2009年度は原子力発電所の設備利用率の上昇がCO₂排出量に寄与（環境省、2009年度の温室効果ガス排出量（速報値）について）
- > 原子力発電所の稼働率低下は避けられず、夏季の電力供給不足が全国に波及
- > 政府は夏の節電目標として、大口、小口、一般家庭に一律15%を要請
- > 東京電力管内で気温が+1°C上昇するとピーク電力は166万kW増加

②CO₂排出量削減のため、ヒートアイランド対策として屋上・壁面緑化などの住宅改善が政策課題

- > 民生部門で産業部門ほど省エネ化が進まない。家庭部門排出の目標+0.9%~+1.1%に対し、実績基準年比+26.9%
- > 一般建物は熱損失が大きく、産業部門より熱効率の向上が困難。分散排出源のシェア増加、対策が政策的課題。
- > 自治体による緑化の義務化や緑化普及推進制度を導入。都市域に緑地のネットワークを創出しヒートアイランド対策による省エネ・低炭素社会へ。

表 日本の部門別CO₂排出状況（環境省2009年速報値を基に作成）

部門	1990(基準)年排出量 [シェア]	2009年度 (基準年比) [シェア]	2010年度の排出量目安 (エネルギー起源)	
			百万t-CO ₂	基準年総排出量比
産業部門 (工場等)	482 [45.5%]	386 (-19.9%) [35.9%]	424~428	-4.6%~-4.3%
運輸部門 (自動車・船舶等)	217 [20.5%]	229 (+5.4%) [21.3%]	240~243	+1.8%~+2.0%
業務その他部門 (商業・サービス・事業所等)	164 [15.5%]	220 (+33.6%) [20.4%]	208~210	+3.4%~+3.6%
家庭部門	127 [12.0%]	162 (+26.9%) [15.1%]	138~141	+0.9%~+1.1%
エネルギー転換部門 (発電所等)	67.9 [6.4%]	78.8 (+16.2%) [7.3%]	66	-0.1%

(単位: 百万t-CO₂)

民生部門に対する節電を進める施策と本技術との対応

政府は国民各層への積極的な啓発活動を行い、節電の動きを国民運動としていく

(2011年5月13日開催；電力需給緊急対策本部「夏期の電力需要対策」)

① 節電の効果を分り易く提示してフィードバック

→日傘効果、暑熱ストレス・空調負荷の軽減等の定量評価技術

② 参加型の国民運動の喚起

→「緑のカーテンによる暑熱環境の改善および省エネルギー効果の定量化プログラム」パッケージソフトにより、リアルタイムな節電効果を実感。インターネットを通じた配布・普及。

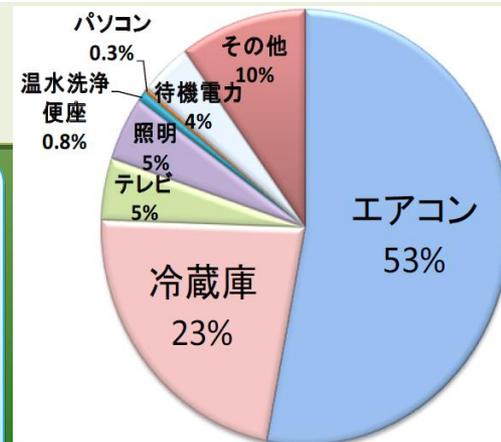


図 夏の日中の消費電力(全世帯平均)
(経済産業省電力需給緊急対策本部資料より)

技術開発の先導性

- ① 壁面緑化植物の生長に伴う熱負荷軽減量が、気象台の定時観測データで算定可能に
- ② 室内の快適性評価、植物体の水消費量算定のオプションを加えて、パッケージ化
- ③ 壁面緑化のもつ暑熱環境改善効果とかかるコストを、定量的かつ一般的な感覚で見える化

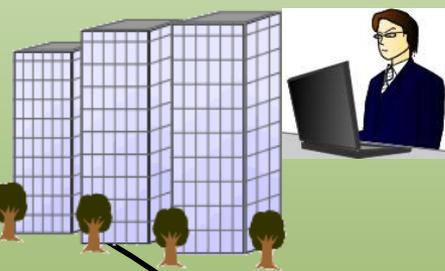
✓情報の受信
✓省エネの実践
✓緑化の導入

一般家庭



✓省エネの啓発
✓政策の実現

官公庁



✓観測データの提供
✓加工情報の発信

気象業務者



✓教育プログラムの実践
✓環境教育
✓情報発信

教育機関



山口大学



「緑のカーテンによる暑熱環境の改善および省エネルギー効果の定量化プログラム」
(通称:緑のカーテンゲーム)

市街化区域



✓緑化の推進
✓省エネの推進
✓ヒートアイランド緩和

自治体



インターネット

✓都市緑化の推進
✓ヒートアイランド対策
✓情報発信

事業者



✓情報の受信
✓壁面緑化の導入
✓ヒートアイランド対策に寄与

技術開発の実現可能性

放射・熱収支解析

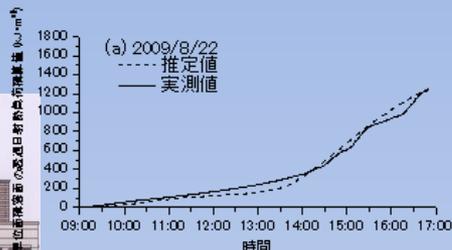
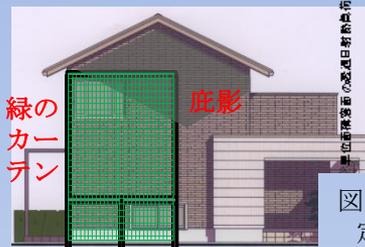


図 モデルによるGW透過日射量の推定値と実測値の時間変化(2010年西岐波小学校校舎南側壁面)

壁面緑化導入時の窓面透過日射熱負荷算定モデルの構築

各熱負荷量のモデル化

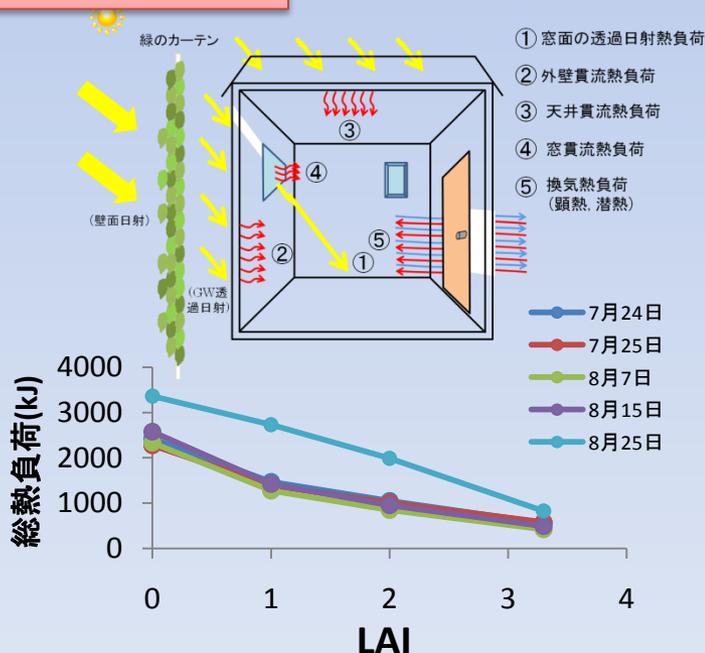


図 西岐波小学校における緑のカーテン導入の総熱負荷軽減量
定時気象観測データに基づく総熱負荷(省エネ効果)の算定

壁面緑化の省エネ効果定量化の技術開発 細目ごとの実績と見通し

(1) 雨水利用汎用型壁面緑化「緑のカーテン」の試作

- H. 21, 22年度の2年間で鉄骨造り一般住宅, RC造り校舎で壁面緑化実験を実施
- 西側壁面, 南側壁面について緑化実験を実施

(2) 「緑のカーテン」および建物壁面における放射・熱収支解析

- 日射環境のモデル化手法を提案
関連発表: 高山成, 吉越恆, 山本晴彦他: 蔓植物を使った夏季の壁面緑化による日傘効果とガラス窓日射熱負荷軽減量の算定, 日本建築学会環境系論文集, 76, 247-254, 2011. など

(3) 建物内における暑熱ストレスの定量評価法の開発

- 平成18-20年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業における研究成果の一部を活用
関連発表: 高山成, 山本晴彦他: 都市域における大規模な屋上緑化物によるヒートアイランド緩和効果および人体暑熱ストレス軽減効果の定量的評価, 農業気象, 64, 257-270, 2008. など

(4) 「緑のカーテン」の水利用効率の定量評価

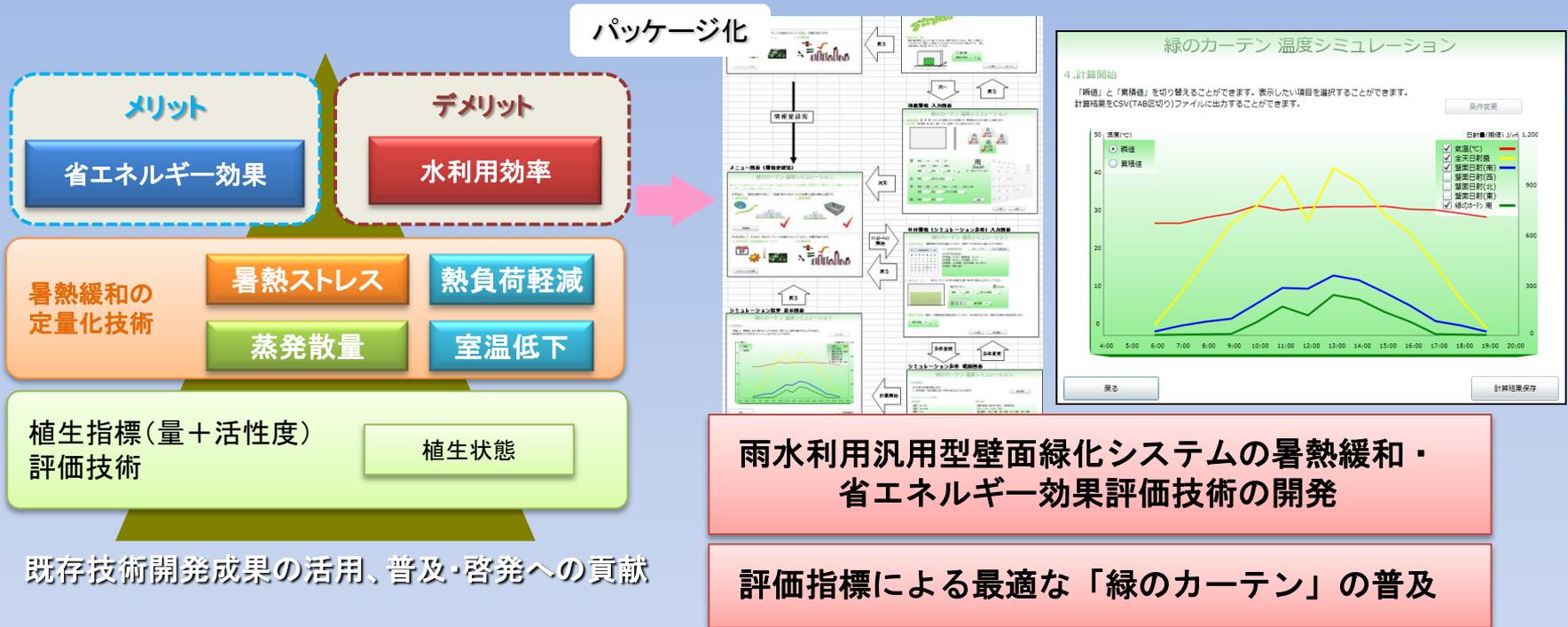
- 独自開発の植生計測技術(国際出願PCT/JP2006/325084, 特開2007-143490)など, 植物機能性の農業工学的な計測技術を活用

(5) 「緑のカーテン」の暑熱緩和・省エネルギー効果評価技術の開発と最適な「緑のカーテン」の提案

- 「緑のカーテンによる暑熱環境の改善および省エネルギー効果の定量化プログラム」の開発に着手

実用化・製品化の見通し

「緑のカーテンによる暑熱環境の改善および省エネルギー効果の定量化プログラム」(開発中)



実用化・市場化

- 首都圏の夏季電力需要逼迫から「緑のカーテン」が一般住宅や低層オフィス・学校等にさらに普及
- 壁面緑化の市場規模は約200億円
(大阪府環境農林水産研究所)
- 都市緑化市場は2020年に15,910億円(環境省)
- 上水道の使用量の削減, 夏期の干ばつ・渇水時の対策
- 省エネ・CO₂削減の手段として壁面緑化の認証

実証・普及サポート組織

- ・ 山口県環境生活部環境政策課
- ・ (財)山口県予防保健協会環境科学センター

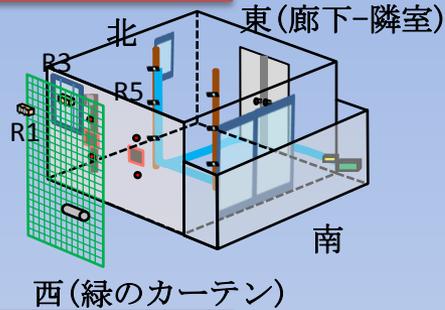
啓発・普及等:

「緑のカーテン」WEB、パンフレット等:

http://eco.pref.yamaguchi.jp/ondan/green_curtain/index.html
(山口県環境政策課)

昨年度までの技術開発の成果

緑のカーテンの試作・実験データの収集



緑のカーテンの定量評価システムの実証

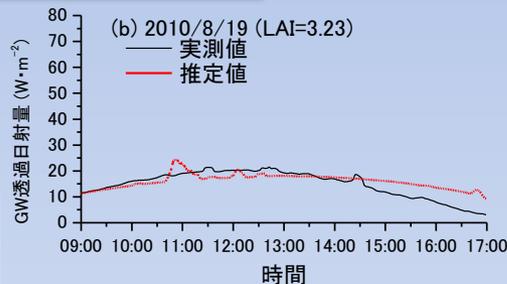


図 モデルによるGW透過日射量の推定値と実測値の時間変化(2010年西岐波小学校校舎南側壁面)

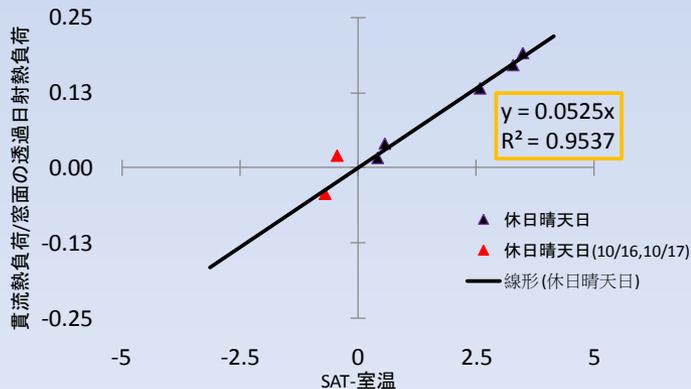


図 窓面の透過日射熱負荷に対する貫流熱負荷率

(1) 雨水利用汎用型壁面緑化「緑のカーテン」の試作

- ✓H. 21年度には鉄骨造りの一般住宅を実験対象として、壁面緑化実験を実施、植生・気象環境のデータを収集
- ✓H. 22年度にはRC造り校舎の緑化壁面と室内を対象として、緑のカーテンの定量評価システムの実証試験を実施

(2) 「緑のカーテン」および建物壁面における放射・熱収支解析

- ✓小学校校舎での実証実験により、窓面の透過日射熱負荷算定モデル(高山他, 2011)の再現性・実用性を確認
- ✓貫流熱負荷算定法の開発について、相当外気温度と室温との差から簡易に推定する方法を提案
- ✓換気熱負荷算定法の開発について、廊下と室内との気温差を外気温度差から推定する方法を提案

(3) 建物内における暑熱ストレスの定量評価法の開発

- ✓黒球温度の測定実験より、総熱負荷算定法および室内の平均放射温度の推定について検討
- ✓標準的な暑熱指標および暑熱ストレス指数(高山,山本他,2008)の適用可能性を確認

(4) 「緑のカーテン」の水利用効率の定量評価

- ✓貯水型プランタを使って3種類の植物について、水資源要求量算定のための実験を実施
- ✓基準蒸発散量から水資源要求量を算定するモデルを検討
- ✓H.23年度はRC造ビル(大阪工業大学大宮校舎)で実験を継続

(5) 「緑のカーテン」の暑熱緩和・省エネルギー効果評価技術の開発と最適な「緑のカーテン」の提案

- ✓「緑のカーテンによる暑熱環境の改善および省エネルギー効果の定量化プログラム」の開発に着手(計画ではH.23年度より)