

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

[住宅等におけるエネルギーの効率的な利用に資する技術開発]

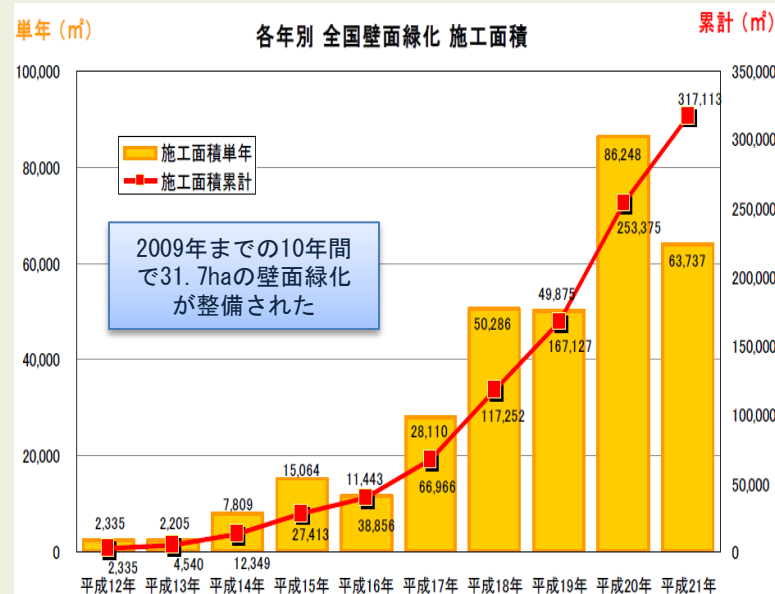
国立大学法人山口大学(農学部生物資源環境科学科 教授 山本晴彦)
学校法人常翔学園 大阪工業大学(工学部環境工学科 講師 高山 成)
(平成23年度より参加)

菱洋インテリジェンス株式会社 西日本事業部 山口支店(営業部長 伊藤重稔)
(現 株式会社エヌユーエス SI事業部長)

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

技術開発成果の先導性

- ① 壁面緑化植物の生長度合と室内への熱負荷の軽減量が、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

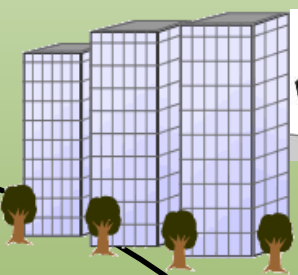
一般家庭



(開発技術活用のイメージ)

官公庁

- ✓省エネの啓発
- ✓政策の実現



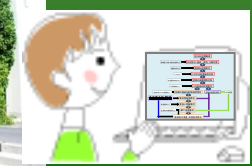
- ✓観測データの提供
- ✓加工情報の発信

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



配布

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



山口大学



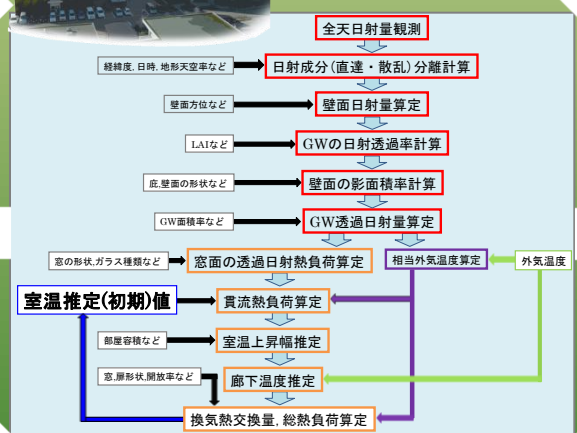
配布

配布

配布

配布

配布



「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)

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



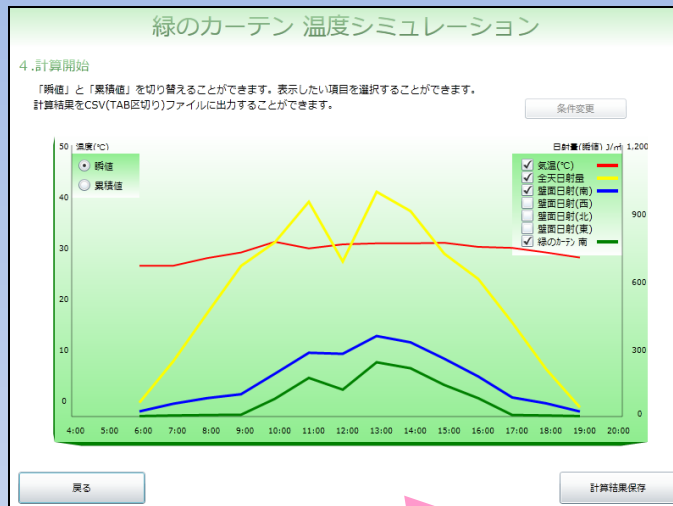
技術開発の効率性

技術開発項目・分担	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	
(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 (H21) ②「緑のカーテン」の定量評価システムの実証 (H22)		山口大学農学部		
(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 (H21-22) ②顕熱量影響の定量的評価 (H23)		山口大学農学部	大阪工業大学	
(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 (H21-22) ②エネルギーコストの算定 (H23)		山口大学農学部 山口菱洋システム(株)		
(4) 「緑のカーテン」の水利用効率の定量評価 ①水利用効率の定量評価・装置の改良 (H22-23) ②装置の改良 (H23)			大阪工業大学 山口大学農学部	
(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)～(4)の成果をとりまとめ、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 山口大学農学部 山口菱洋システム(株)	

実用化・市場化の状況

「緑のカーテン」室温シミュレーション Ver.1.0を開発(2011年3月)

Ver.1.0機能



- [入力データ]**
- ・定時気象データ (気温, 相対湿度, 全天日射量, 風速, 日照時間)
 - ・建物条件 (方位, 窓形状, 部屋サイズ等)
 - ・植物条件 (緑化面積, 葉面積指数)
- [出力データ]**
- ・壁面・窓面日射量
 - ・日射熱負荷量
 - ・総熱負荷
 - ・推定室温
 - ・植物体の水消費量

実用化・市場化への取り組み

- ・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
- ・建築物緑化による暑熱環境の改善および省エネ効果を定量化する熱・水収支的評価技術の開発
(第5回大阪オープン・イノベーションマッチング会 グリーンイノベーション 出展)



パッケージ化

技術開発の完成度、目標達成度

放射・熱収支解析

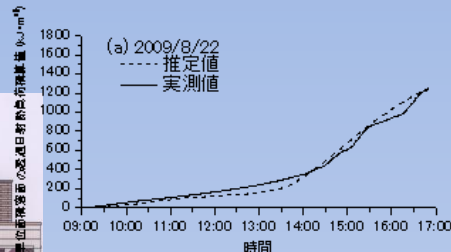
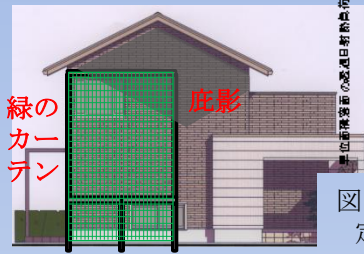


図 モデルによるGW透過日射量の推定値と実測値の時間変化(2010年西岐波小学校校舎南側壁面)

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

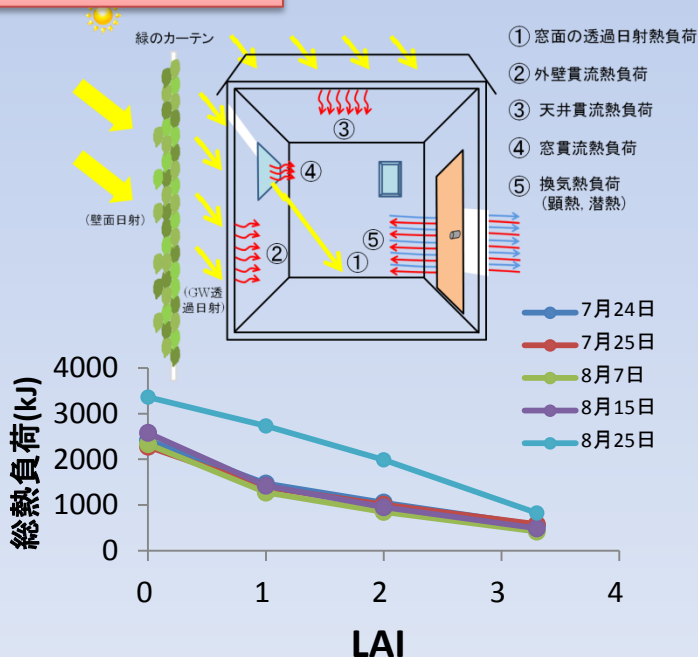


図 西岐波小学校における緑のカーテン導入の総熱負荷軽減量
定時気象観測データに基づく総熱負荷(省エネ効果)の算定

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 [研究発表等]

- (1) 雨水利用汎用型壁面緑化「緑のカーテン」の試作
- (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

- 緑化壁面の日射環境のモデル化手法を提案
- 壁面緑化を施工した室内の熱負荷推定手法を提案

関連発表: 高山成, 吉越恒, 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
学術論文 1, 学会発表 (国際1 国内3)

- (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
学術論文 1, 学会発表 (国際1 国内6)

- (4) 「緑のカーテン」の水利用効率の定量評価

- 緑化植物の水資源消費量の定量化モデルを提案

関連発表: N. TAKAYAMA, K. KAWAMURA, H. YAMAMOTO et al.: Quantitative Assessment of Plant Water Consumption in the Summer after Creating a Green Curtain by using Ivy Morning Glory on a South-facing Wall, *J. Agric. Meteorol.*, (in press).
学術論文 1, 学会発表 (国際1 国内1)

- (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」室温シミュレーションVer.1.0を開発 (2011年3月)
- 新たな共同研究を模索 (第5回大阪オープン・イノベーションマッチング会 グリーンイノベーション 出展)

技術開発に関する結果（成功点）

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

主に大規模屋上緑化建築物、都市緑地によるヒートアイランド緩和効果の定量評価法を提案



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」

目的：壁面緑化による室内の冷房負荷軽減量および緑化植物が消費する水資源量の定量化技術の開発

- ・ 日射環境評価：壁面緑化を施工した場合の**窓面日射量算定モデル**を実験データに基づき提案
- ・ 熱負荷評価：壁面緑化を施工した室内の**総熱負荷(≒冷房負荷)**を定時気象観測データから算定する方法を提案
- ・ 水消費量の評価：壁面緑化用の**植物が消費する水資源量**を定時気象観測データから算定する方法を提案

主に壁面緑化による省エネルギー効果を定量的かつ総合的に評価するための技術を開発



- ・ 開発技術をパッケージ化して、「緑のカーテン」室温シミュレーション Ver.1.0を開発(2011年3月)
- ・ 研究結果は学術雑誌に論文として公表(公益性)

技術開発に関する結果（残された課題）

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

- > 2011年度は主に火力発電における化石燃料消費量の増加等によりエネルギー起源CO₂が4.4%増加
- > 原子力発電所の稼働率低下により、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℃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。家庭部門排出は基準年比+48.1%、シェアも15.2%に達する。
- > 一般建物は熱損失が大きく、産業部門と異なり熱効率の向上が困難。分散排出源の排出減対策が政策的課題。
- > 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をより進める必要がある。

民生部門に対するエネルギー効率向上の施策と本技術との対応をもっと意識し、より幅広い活用を模索する必要がある

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**」室温シミュレーションVer.1を「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」パッケージソフトへ発展、リアルタイムな節電効果を見える化、インターネットを通じた配布・普及を目指す。

表 日本の部門別CO₂排出状況（環境省2011年速報値を基に作成）

部門	1990(基準)年排出量 [シェア]	2010年度 (基準年比)	2011年度(速報値) (基準年比)	[シェア]
産業部門 (工場等)	482 [42.1%]	421 (-12.6%)	420 (-12.8%)	[33.9%]
運輸部門 (自動車・船舶等)	217 [19.0%]	232 (+6.7%)	230 (+5.8%)	[18.5%]
業務その他部門 (商業・サービス・事業所等)	164 [14.4%]	217 (+32.1%)	247 (+50.6%)	[19.9%]
家庭部門	127 [11.1%]	172 (+34.9%)	189 (+48.1%)	[15.2%]
エネルギー転換部門 (発電所等)	67.9 [5.9%]	81.1 (+19.6%)	86.1 (+26.8%)	[6.9%]

(単位: 百万t-CO₂)

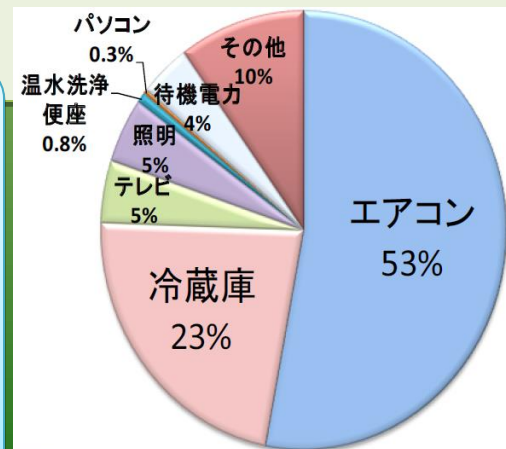
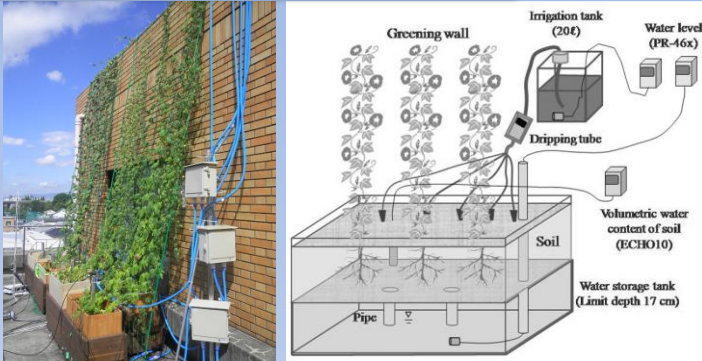


図 夏の日中の消費電力(全世帯平均)
(経済産業省電力需給緊急対策本部資料より)

今後の見通し

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開発

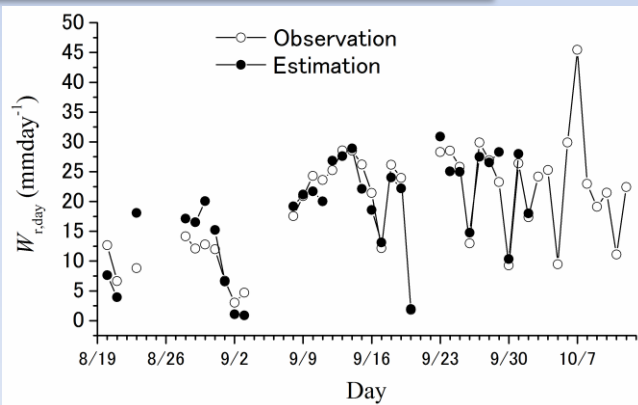


図 ノアサガオの水消費量算定モデルによる推定値とプランタ水収支から求めた実測値の日変化(2013年大阪工業大学中宮校地)

本事業関連技術開発の継続状況

(1) 雨水利用汎用型壁面緑化「緑のカーテン」の試作

✓H. 23年度以降は主に大阪工業大学にて、都市域のRC造ビルを対象とした壁面緑化実験を継続 [実験項目は(2)～(5)].

(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

✓緑化室内と非緑化室内の熱負荷比較実験を実施 (H. 23)
✓「緑のカーテン」による日射遮蔽効果(透過量)実験 (H. 23, H. 25)

(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 (H. 23)
✓暑熱ストレス指数(高山,山本他,2008)の都市域屋外環境での適用について、実証実験に着手 (H. 25)

(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、壁面緑化植物の水資源消費量算定のための実験を継続 (H. 23～H. 25)
✓ノアサガオについて、定時気象観測データから水資源消費量を算定するモデルを提案 [H. 25; 学術論文として掲載予定(5参照)]

(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」室温シミュレーションVer.1以降、パッケージの修正、機能の追加などは実施できず。

要素技術について研究レベルでの検討は継続されているが、それらを取り纏めたパッケージの改良は進展していない。