

# 人工降雨システム

「レインカーテン」による自然雨の再現とその活用

## Artificial Rain System

The embodiment of natural rainfall by “Rain Curtain” and its application

池上 布美子

Fumiko IKEGAMI

株式会社テクノコア (334-0058 埼玉県川口市安行領家 1220-5)

Techno Core Co., Ltd

(1220-5 Angyouryouke, Kawaguchi city, Saitama, 334-0058)

### Summary

The artificial rain system “Rain Curtain” using self-excited vibration of original tube-nozzles is the simple and resource efficient sprinkler system. The droplet sizes ejected from nozzle can be controlled by parameterized nozzle form and water pressure. As a result, this can produce rain drops that have the same diameter as the natural rain drop (about 2mm-diameter). The system can produce various rainfall conditions from small rain drop to heavy rain. This paper provides the general description of the system, type of systems produced for specific applications, and future potential applications.

**Key words:** Artificial rain, Rain simulator, Sprinkler, Cooling system, Green roof, Energy conservation

#### 1. はじめに

近年、「ゲリラ豪雨」といった、短時間に局所的に起こる予測不能な豪雨により、各地で多くの人的、資産的被害が生じている。

気象庁によると、2011年(平成23年)1年間にアメダスが観測した「非常に激しい雨」と「猛烈な雨」(それぞれの雨の強さの表現については、表1「雨の強さに関する用語」参照)の1000地点あたりの発生回数は296回であり、2010年(平成22年)の225回と比較して30%以上増

表1 雨の強さに関する用語<sup>1)</sup>

用語	1時間雨量 [mm]
小雨	1 以下
弱い雨	3 未満
やや強い雨	10 以上 20 未満
強い雨	20 以上 30 未満
激しい雨	30 以上 50 未満
非常に激しい雨	50 以上 80 未満
猛烈な雨	80 以上

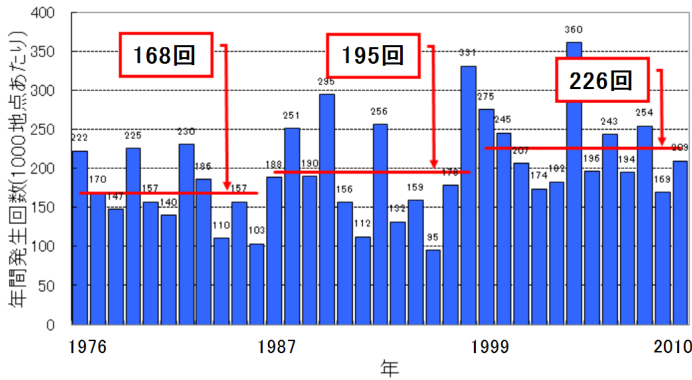


図 1 1時間降水量 50mm 以上の年間発生回数 (1000 地点あたり)<sup>2)</sup>  
(四角の中の数値は 10 年毎の平均値)

加している。時間雨量 50mm 以上の雨が発生した回数の、隣り合う 10 年ごとの平均回数 (図 1) で見ると、増加傾向にあることが分かる<sup>2)</sup>。

ゲリラ豪雨に対する防災の観点から、斜面土砂の雨水浸透挙動や崩落メカニズムに関する解析研究が盛んになっており、この分野への人工降雨装置の需要も高まっている。

人工降雨装置はこれまで土木研究を始めとして、気象研究、各種センサ開発、農業技術等、その他多くの分野で用いられてきた。乗り物、建築物、その他屋外で使用される対象物の自然降雨に対する耐久性、耐水性、視認性、感知性を調べるためなど、その活躍は多種多様である。

一般的な降雨装置は、降雨範囲を覆うように設けられたアングルもしくは建屋内部に、散水用のノズルが多数設置され、必要に応じて揺動することでさまざまな降雨状態を再現している。図 2 に示す施設は国内最大級の大型降雨装置施設である。これらの装置はシステム全体が比較的大がかりで、大量の流量や動力源としての電源が必要なものが多い。また、可搬性が低く、実際の斜面への設置などには不向きである。

使用される散水ノズルは、スプレー方式 (図 2(b)参照)、針方式などさまざまであるが、自然雨に近い雨滴粒径への制御、幅広い降水量の範囲を幅広くカバーするようなノズルの選定は難しいのが現状である。

本稿では、従来装置の課題を解決し得る新規人工降雨システム「レインカーテン」について、その概要および実際の活用例、そして今後展開が期待される分野について紹介する。



(a) 施設外観

(幅約 48m×長さ 73m×高さ 20m の建屋全体がレール上を移動可能)



(b) ノズルの散水状態

図 2 大型降雨実験施設  
( (独) 防災科学技術研究所 HP より )

## 2. 散水原理とシステム概要

### 2.1 散水原理

細長いホースの先端を固定せずに勢いよく水を流すと、ホースがまるで蛇のように、不規則に激しく暴れる。この現象は、内部流による弾性細管の自励振動と呼ばれ、すでに非線形動力学分野で多くの研究がなされている<sup>3)</sup>。

当社システムの散水原理は、この自励振動を利用したものである。振動の様子をとらえた写真を図 3 に示す。スプレー方式や針方式と比較して、一つのノズルからの吐出する雨滴 (数) 密度が小さく、より自然雨に近い状態の散水を広範囲にすることが出来る。

オリジナルチューブノズルには、内部に数ミリの細孔が通っている。ノズルは非常に可とう性に富んだ樹脂素材で出来ており、耐候性にも優れ、軽量かつ取扱が容易である。ノズル継手接続箇所には薄いガイドフィンが設けられており、この存在は散水時の振動挙動制御に深く影響する。チューブノズルの外観を図4に示す。

散水される雨滴粒径は、ノズル内径により決定される。ノズルの内径と散水雨滴径との関係を図5に示す。気象通報では0.5mm以上の雨滴を雨（それ以下を霧雨）としており、平均的な雨滴径は2mm前後とされる。5~6mm以上の雨滴の存在個数は2mm前後のそれと比較して少なく、落下時に分解してしまうことが多い<sup>4)</sup>。

ノズルの散水範囲は図3からも推察されるように扇型に広がる。水平面に振動するよう設置したノズルの散水範囲のイメージを図6に示す。ノズル設置高さHが高くなるほど散水範囲は大きく、広範囲になる。H=1.0mの場合はA=3.0m、降雨エリアの面積 5.8 m<sup>2</sup> だが、H=2.0m でA=3.6m、降雨エリアの面積は 8.5 m<sup>2</sup> と40%以上広がる。

降雨エリア内での単位時間降雨量は均一でなく、ノズルの往復動の折り返しである③の位置で最も多くなる。そのため、目的箇所への所定降雨量の設定には、ノズルの稼働個数、設置高さ、及び設置角度の微調整が必要となる。

このようにノズル内径とノズル稼働個数、形状パラメータを制御する事で、霧雨からおよそ200mm/時までの降雨状態を幅広く再現する事が可能なシステムとなっている。

## 2.2 システム概要

次に本システムの概要について説明する。システムの一例を図7に示す。

本システムは、

- ・蛇口取付用コネクタ
- ・ホース
- ・ノズルユニット  
(パイプ、継手、ノズル)
- ・ユニット固定用スタンド

の基本構成からなる。

生成雨滴径2mm（通常雨モード）のノズル使用の場合において、一般家庭水道圧（全国平均約0.3MPa）のみで散水可能な設計となっており、



図3 チューブノズルの散水状態

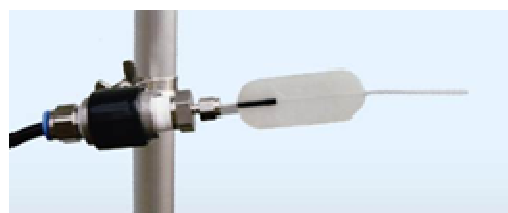


図4 チューブノズル写真

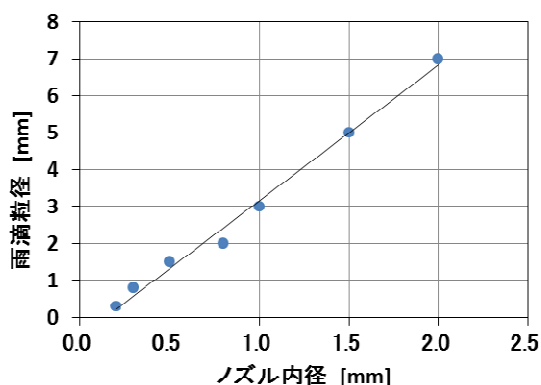
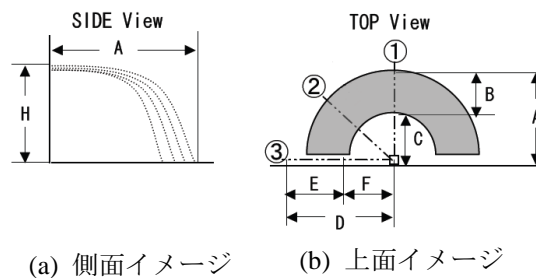


図5 ノズル内径と生成雨滴粒径の関係



(a) 側面イメージ (b) 上面イメージ

図6 ノズル散水エリア

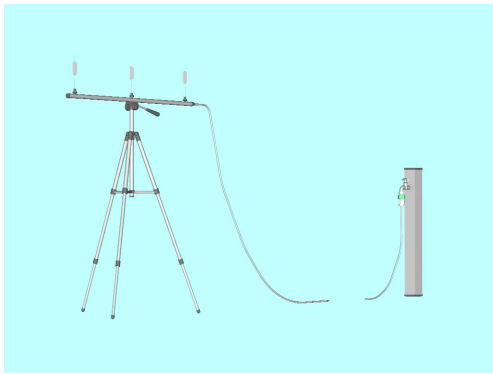


図 7 レインカーテン基本システム

ポンプ等の動力源は不要である。ただし、設置場所の供給水圧不足や、豪雨タイプでの散水、雨水タンク利用、薬剤を混入した水の散水の場合は、別途ポンプ設備が必要となる。

ユニット固定用のスタンドは、設置個所の条件や使用目的に応じて、三脚タイプ、分岐タイプ、アングルタイプ、直接設置タイプ等、多数のアタッチメント種類からの選択が可能である。

また、稼働条件に応じてタイマー、各種センサ（降雨検知、乾燥検知、温度検知など）、雨水利用のためのタンク／ポンプ／フィルタユニットを組み込み、希望に応じてシステムをカスタマイズする事ができる。

### 3. これまでの納入実績

当社散水システムは、その特性を活かし、開発以降、様々な分野のお客様へ納入されてきた。そのうちのいくつかの納入例を紹介する。

#### 3.1 自動車テストコース用

自動車用テストコースで雨天時の走行試験を再現する場合、広範囲に散水可能で、より自然雨に近い降雨装置が必要となる。本システムの簡易性、軽量性、そしてイニシャル／ランニングコストの優位性を活かし、自動車メーカーのテストコース内 100m にわたって人工降雨装置を設置した。使用したノズル本数約 300 個、テストコース既存の電柱に設置する事で設備導入工程を大幅に短縮した。現在も各種車載センサ開発時の性能試験に利用されている。

#### 3.2 ワイパー開発研究用

小雨の再現という要求仕様を満たす、簡易的

な降雨装置希望の自動車部品メーカーより問い合わせがあり、雨滴粒径 1~2mm に対応するノズルにてシステム設計。フロントガラスへの降雨再現のため、図 8 のようなスタンドタイプにて対応した。本システムの特長の一つである、自然雨滴粒径に近い小雨の再現が活かされた例である。

#### 3.3 センサ開発研究用

防犯カメラ、セキュリティセンサへの雨の妨害作用を調べる目的で、警備業界への納入が検討されている。

要求仕様に霧雨～ゲリラ豪雨（約 100mm/時）の再現性とシステムの可搬性があげられ、簡易的でありながら、幅広い降雨量範囲をカバーできる本システムの長所が活かされる事例である。

#### 3.4 建築物への降雨試験用

施工中の建築物への降雨は、露出している基礎や骨組み等へ影響を与える恐れがある。特にコンクリート硬化時の降雨は、水セメント比を増大させ、基礎の強度低下や著しい中性化の進行など品質への悪影響を与えることが知られている<sup>5)</sup>。建設メーカーに納入された本システムでは、これらの調査研究に活用されている。

#### 3.5 降雨浸透率測定機の開発用

豪雨による土砂崩れの発生を予測するには、斜面崩落挙動の解析と、斜面土砂の浸透率測定が重要な役割を示している。

新規浸透率測定機の開発している国立教育機関の研究室へ本システムを納入した。要求仕様として、可搬性はもちろん、森林等の斜面への固定が可能であることがあげられたため、ユニット固定用フレームにフレキシブルジョイント



図 8 フロントガラスへの降雨試験



を用い、任意の角度で固定できる構造にした。

#### 3.6 吹付けモルタルの降雨耐性調査用

崩落の危険がある自然斜面や崖面をモルタルやコンクリートで覆う工法を吹付工という。屋外構造物の一種として、施工から完成後に至るまで、常に降雨の影響を受ける可能性がある。

施工途中の吹付けモルタルが、降雨によりどれだけ流出するか、また、流出量と材料依存性について調査研究しているコンクリートメーカーへ、本システムを実験用装置として納入した。

### 4. 展開が期待される分野

以下に、今後さらに本システムの活躍が期待される分野について紹介する。

#### 4.1 省エネ型冷却用途

先述したゲリラ豪雨等、世界各地での異常気象の原因とされているのが、地球温暖化である。気象庁によれば、過去の世界の平均気温は 100 年あたり約 0.68℃の割合で上昇、日本に至っては 1.15℃も上昇している。

このような温暖化による気温上昇に加え、都会特有の「ヒートアイランド現象」により、都市部の気温上昇はますます深刻化している。夏場の気温上昇は、熱中症による死亡者数の増加に繋がり、対策として 2011 年（平成 23 年）からは気象庁による「高温注意報」の発表が開始された。

東日本大震災後、電力供給体制に不安が残る中で、節電しながら猛暑を乗り越えるための方法に注目が集まっている。動力源不要で散水可能な当システムは、省エネ型冷却用途に適したものと言える。

##### 4.1.1 打ち水効果による冷却

日本に古くから伝わる「打ち水」の習慣により、気温低減を狙う試みが夏場各地で行われている。ミストやスプリンクラー等、水の気化熱を利用した冷房商品は、電力を使わないエコなツールとして人気も高い。

真夏の戸外で当社の散水システムを利用した場合、どのくらいの気温低減が見られるか実験した様子を図 9 に示す。ガーデンパラソル上部に設置したノズル 4 本から 30 分間散水した結果、2℃の気温低下が確認された。電源不要、使用水

量は約 52L、水道代にして約 13 円である<sup>6)</sup>。従来のスプリンクラーと比較して使用水量が少なく、ミストより風の影響を受けにくいメリットがある。

雨滴粒径の小さいノズルを用いて、建物全体を雨のカーテンで包み込むことで、建屋内を冷却する構想も検討中である。

##### 4.1.2 室外機への冷却

一般的な打ち水同様、空調用室外機、または屋根への直接散水により、空調効率のアップや、建屋内の気温低下が期待される。

空調面積 3,500 m<sup>2</sup> 相当の事務室ビルの場合、消費電力が 10%削減できる試算結果がある<sup>7)</sup>。室外機の散水冷却においては、水道使用量が節電コストを上回らないような工夫（雨水、井水の利用など）、使用する水の水質管理、定期的な清掃が必要となる。

##### 4.1.3 屋根への冷却

屋根への散水による冷却効果は、屋根形状・構造・材質に大きく左右されるところであるが、屋根からの輻射熱の影響を受けやすい工場、倉庫、畜舎等の屋根の冷却手段として、既に実施例や効果が報告されている<sup>8)</sup>。

記憶に新しい 2010 年（平成 22 年）の猛暑では、全国（宮崎県を除く）で 7～8 月の間に、2008 年比 26～256%増の家畜の死亡又は廃用頭羽数が報告されている<sup>9)</sup>。

この対策として、農林水産省では「家畜への

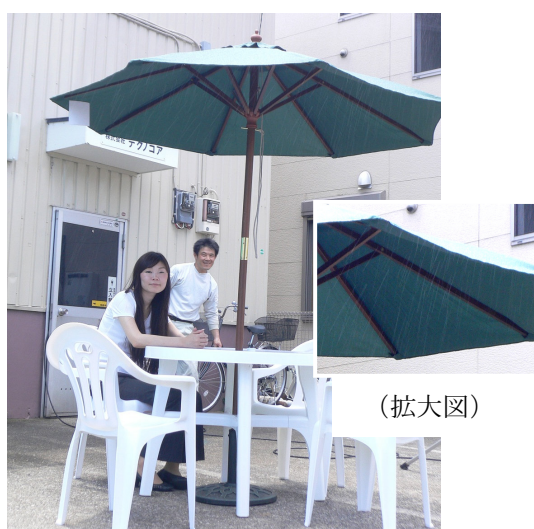


図 9 レインカーテンによる冷却効果確認  
(平成 23 年 7 月、気温 35.8℃、晴れ)

暑熱に対する技術指導の再徹底について」を発売、適切な高温対策のためのリーフレット配布を行った。その中で暑熱対策法として、遮光、断熱材塗布、送風とならび、屋根散水が記されている。井戸水を利用したスプリンクラーを屋根に設置して、畜舎の温度上昇の抑制を行った牛舎では、夏期の乳量の向上や、分娩間隔の短縮など、生産性の向上が報告されている<sup>10)</sup>。

#### 4.1.4 太陽光発電パネルの冷却

2009年（平成21年）に太陽光発電の固定買取制度が開始して以来、太陽光パネルの普及は順調に進んでいる。2011年（平成23年）の計画停電の実施、そして2012年（平成24年）の買い取り価格42円/kWh時の決定で、電気の自給自足に対する意識が高まっている。

一般的な結晶性シリコン系の太陽電池では、温度が高くなると発電量が低下する特性を持っている。その温度係数は約-0.4~-0.5%/°C<sup>11)</sup>で、真夏に素子表面温度が60°C近くまで上昇すると、太陽光パネルの発電効率は20%近く低下することになる。散水冷却による発電効率のアップは、すでにパネルメーカーや散水メーカーにより実証されているが、当社システムのメリットである散水動力源の不要やシステムの軽量性は、屋根設置の散水システムとして大いに期待できるものである。パネルへの散水冷却においては、施工時の建屋漏水防止、近隣への飛散の影響、および使用する水の水質に十分注意する必要がある。

#### 4.2 緑化施設灌水用

気温上昇を抑制する取組として、東京都が制定している緑化条例では、1000 m<sup>2</sup>以上の敷地で開発計画や建築計画を行う場合、事業者は敷地や建築物上での一定基準以上の緑化が義務付けられている。

多くの事業者が屋上・壁面緑化を導入して緑化面積の拡大に努めているが、樹木や植物、用土、水分、灌水設備など、緑化に伴いかなりの重量が建物にかかる事となる。近年では、技術開発により土壌や基材の軽量化が進んでおり、建物への負担は軽減傾向である。屋上緑化用の灌水設備として、メンテナンス性や軽量性は、当システムの大きなメリットとなる。

#### 4.3 その他

これまで挙げた冷却や灌水用途以外にも、防塵、融雪、乾燥防止、撮影等の特殊演出など、季節に依存しない様々な用途への応用が期待されている。

### 5. おわりに

本稿では、当社の開発した人工降雨システムについて、その原理や応用例について紹介した。

今後は展開が期待される分野への実績を上げるべく、各種実証実験を重ねていく。

当社では現在、本システムを始めとして、蓄電システム、高純度貴金属リサイクルシステム、バイオ燃料混合装置など、地球環境に配慮した製品の開発、普及を進めている。

当社の保有技術が、地球温暖化対策の一助となるよう、今後も開発に取り組む所存である。

### 文 献

- 1) 「雨の強さと降り方」気象庁(2000).
- 2) 「アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について」気象庁(2012).
- 3) 島伸一郎, 水口毅: 物性研究, 77(2), pp. 3-19 (2001).
- 4) JIS C 6072 1-2-2, 環境条件の分類 自然環境の条件-降水 (1996).
- 5) 浦, 大塚: 日本建築学会大会学術講梗概集 pp.523-524 (2002) .
- 6) さいたま市水道局水道料金一覧 (2010).
- 7) 東北電力株式会社「夏期節電手法のご紹介」(rev.2.0版), p.27 (2011).
- 8) NIRO「AQUA ルネッサンス神戸検討委員会報告書」, pp.98-99 (2009).
- 9) 農林水産省, 9/16 プレスリリース(2010).
- 10) 社)中央畜産会 HP 畜産生産性向上促進総合対策, <http://jlia.lin.gr.jp/seisan/>リーフレット (2010).
- 11) 松川洋, 黒川浩助: 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.153-156, 北九州 (2004).