

地中パイプの配置・構造の変更によりビニルトンネル内の水蒸気を効率的に回収できる

地中に埋設したパイプおよびビニルフィルムの内外の温度差を利用し、塩水などの蒸発により生じた水蒸気を結露させて淡水を生産できる。この地中パイプをビニルハウスの直下から外へ移動し、さらに直径 100 mm のパイプ 1 本から直径 50 mm のパイプ 4 本に変更することによりパイプ壁温が低くなり、水蒸気の回収率が約 3 割増加する。

キーワード：ビニルトンネル、地中パイプ、ビニルフィルム、水蒸気回収、淡水生産

背景・ねらい

多様な水利用の中で最も多くの水が農業に利用されており(FAO 2020)、世界の淡水*の約 70%が灌漑水として取水されている(FAO 2012)。この傾向は乾燥・半乾燥地域において顕著であり、不足する灌漑水を補うために、塩類を含む河川水・地下水や農業排水などが灌漑水として利用されている。既存の脱塩処理施設は、その建設・運転に多額の費用を要する。石川ら(1996)は農業用のビニルトンネル内の高温・湿潤な空気とビニルフィルム外の気温及び周囲の地温で冷却された地中埋設パイプの壁温との温度差で水蒸気を結露させて淡水を回収する「地気熱交換蒸留システム」を開発し、ビニルトンネル内で生じた水蒸気の約 30%を回収することに成功している。本研究では、開発途上国の農村地帯に導入可能な農業資材などで作れる簡易な淡水生産技術の開発を目指し、地気熱交換蒸留システムの水蒸気の回収率を向上し得る改良を行う。

* 淡水：塩類濃度が極めて低い水。

成果の内容・特徴

1. ビニルトンネル（幅 1.2 m、高さ 0.6 m、長さ 8.0 m）の直下に直径 100 mm の塩化ビニル(PVC)パイプ 1 本（対照：石川モデル）、外側に直径 100 mm の PVC パイプ 1 本（100 mm 外配置）、直径 50 mm の PVC パイプ 4 本（50 mm×4 外配置）をそれぞれ深さ 20 cm に埋設する。パイプの直径・本数の変更により通気断面を確保しつつパイプ内壁面積が 2 倍に拡大される。ビニルトンネル側面にアルミニウム製の L 型フレームを設置し、フレームの下辺縁に密着するようにビニルフィルムを張る。地中パイプと L 型フレームの末端には結露回収用のタンクを置く（図 1、2）。3 棟のビニルトンネルでそれぞれ異なる地中パイプを選択して吸気口に太陽光駆動式のファンを設置し、2 日間の集水実験を実施する。その後処理を入れ替えて 6 回反復する。
2. ビニルトンネル内に並べた蒸発槽内の水が日射により蒸発し水蒸気が発生する。ビニルトンネル内で暖められた水蒸気はファンで地中パイプに送風され、地温で冷やされたパイプ壁面付近で冷却されて結露となりパイプ内面に付着する。また、ビニルトンネル内の空気と外気と

の温度差により、ビニルフィルム内面にも結露が生じる。

3. ビニルトンネル内の日平均気温に有意な差は見られない。100 mm 外配置および 50 mm×4 外配置は、トンネル直下の対照よりも地温、パイプ壁温、パイプ内気温が低くなる傾向を示す。特に、50 mm×4 外配置のパイプ壁温は、対照よりも 3.9℃低い値を示す（表 1）。
4. 地中パイプとビニルフィルムに生じた結露は、パイプおよび L 型フレーム末端のタンクに貯水される。50 mm×4 外配置の場合、茨城県つくば市では 3 月の晴天日に 1 棟当たりで最大で 12.4 L 日⁻¹の淡水を生産できる。
5. パイプ結露の蒸発量に対する回収率は対照が 4.3%、100 mm 外配置が 11.3%、50 mm×4 外配置が 23.3%である（図 3 オレンジ表示）。また、フィルム結露の蒸発水量に対する回収率は対照が 30.3%、100 mm 外が 27.2%、50 mm×4 外配置が 22.5%となる（図 3 青表示）。50 mm×4 外配置の地中パイプとフィルムで回収した結露の合計回収率は約 46%となり、対照よりも約 3 割、100 mm 外配置よりも約 2 割多くなる。

成果の活用面・留意点

1. 本技術で生産する水は塩類などをほぼ含んでおらず（電気伝導度：0.005 dS m⁻¹）、灌漑水に適している。なお、完全に密閉・滅菌された装置ではないことから、衛生的な観点から飲用には推奨しない。
2. 地中パイプおよびフィルム結露回収用のフレームなどは栽培用のビニルハウスにも適用可能であり、作物の蒸発散により生じた水蒸気の回収・再利用も期待できる。
3. 本技術は原水の蒸発およびファンの駆動に太陽光が必要であるため、回収水量は季節・天候などによる日長・日射量・気温などの変化の影響を受ける。

その他

予算区分：交付金・令和 4 年度理事長インセンティブ経費
〔補助的灌漑用水源としての水蒸気の回収技術の開発〕

研究実施期間：2022 年度

研究担当者：池浦弘（農村開発領域）、藤巻晴行（鳥取大）

発表論文等：Ikeura H. and Fujimaki H. (2024) *Paddy and Water Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10333-024-01001-8>

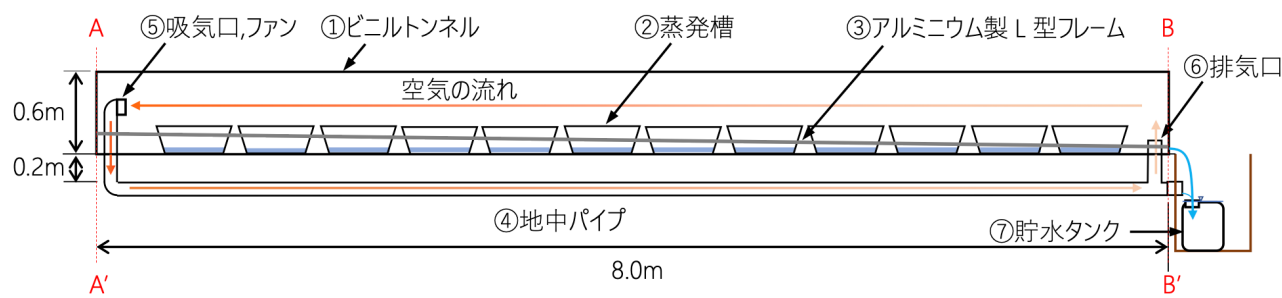


図 1 改良型地気熱交換蒸留システムの概要図（側面図）

A-A', B-B'の断面表記、①～⑤の番号は図 2 と共通

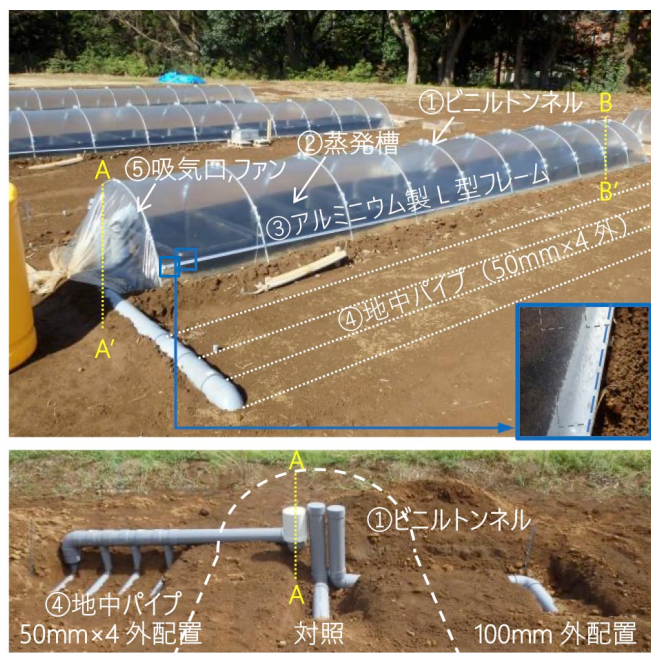


図 2 ビニルトンネルおよび地中パイプ

上は地上部の構造（青枠は L 型フレームの拡大図、青破線で示した下辺縁とフィルム内面を密着させる）、下は地中パイプの埋設状況。A-A', B-B'の断面表記、①～⑤の番号は図 1 と共通

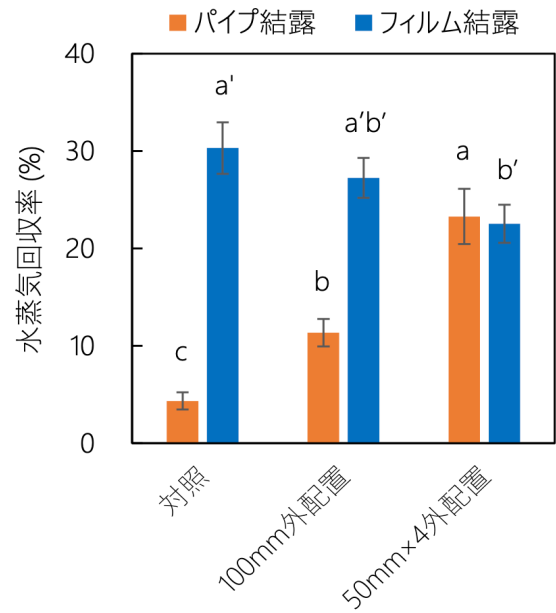


図 3 地中パイプおよびフィルムによる水蒸気回収率

エラーバーは標準誤差 (n=12)。a-b-c 間および a'-b' 間に有意差あり (p<0.05, Tukey Kramer HSD test)。水蒸気回収率 = 回収水量 / 蒸発水量

表 1 ビニルトンネル内気温、土壌、地中パイプ壁温およびパイプ内気温の日平均

	ビニルトンネル 内気温 (°C)	地表面温度 (°C)	地温 (°C) (深さ 10 cm)	パイプ壁温 (°C) (深さ 20 cm)	パイプ内気温 (°C)
対照	19.8	19.3 ^a	20.4 ^a	22.2 ^a	22.9 ^a
100 mm 外配置	19.5	12.6 [*]	14.5 ^b	19.0 ^{ab}	19.9 ^{ab}
50 mm×4 外配置	19.2	11.9 ^b	14.6 ^b	18.3 ^b	19.1 ^b

n=12 (*100 mm 外配置の地表面温度は 4 データの欠測あり)。
a-b 間に有意差あり (p<0.05, Tukey Kramer HSD test)。

図表は Ikeura and Fujimaki (2024) © Springer Nature 2024 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

引用文献

FAO (2012) Coping with water scarcity - An action framework for agriculture and food security, FAO Water Reports 38, p.1-2.
FAO (2020) The state of food and agriculture — overcoming water challenges in agriculture, p.7.
石川将之,大槻恭一,神近牧男(1996)太陽熱および地気温差を利用した蒸留システム, 農土誌 64(3) : 225-230.