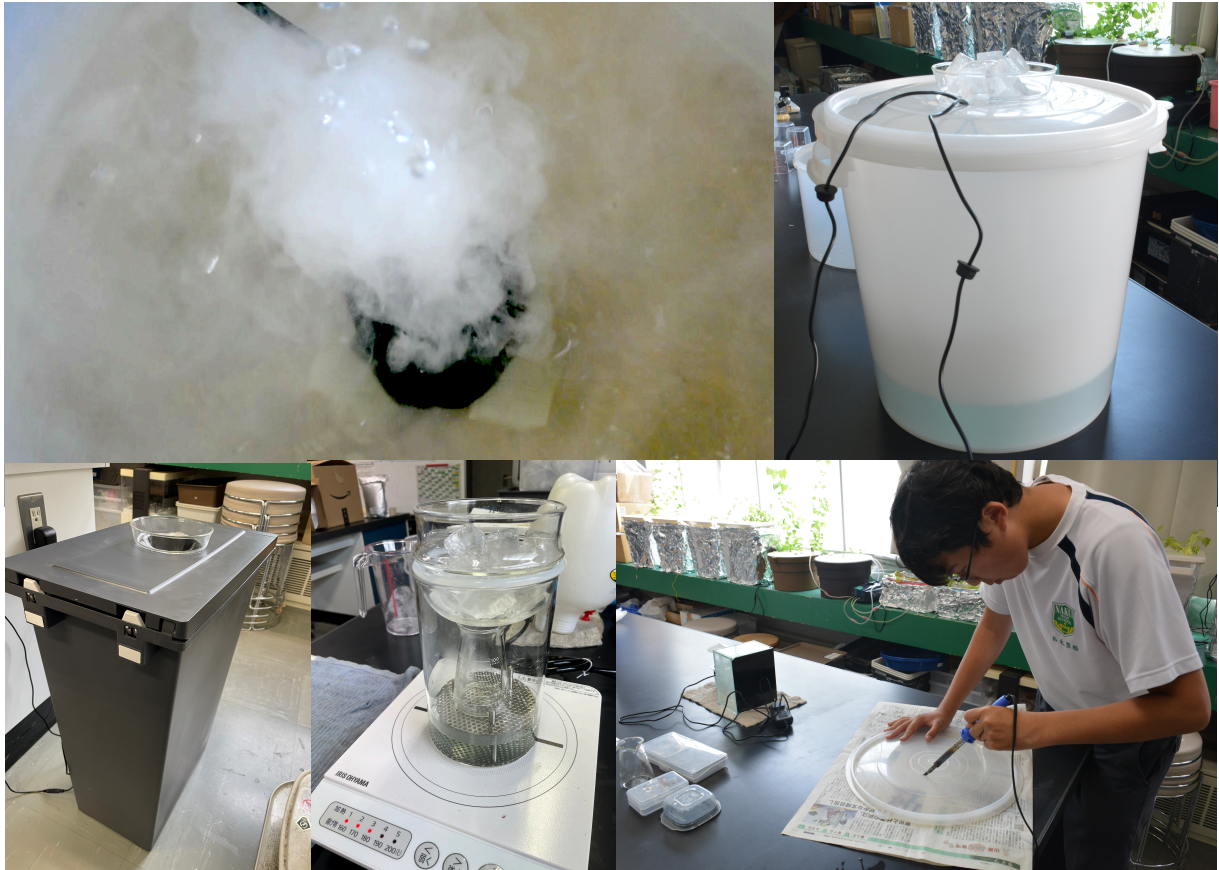


水耕栽培廃液の再利用

～霧化分離技術の可能性を探る～



青森県立名久井農業高等学校

栽培環境班 & Jr.

鈴木奨梧、平山昊也、中居くらら、出町孔汰

1 序論

気候変動による干ばつが世界各地で発生している。これは人口増加による食料問題を抱えている乾燥地域の途上国にとって深刻な問題である。そのためケニアやザンビアなどの途上国では水の使用量が少なく、気候変動の影響を受けにくい水耕栽培の導入が始まっている。しかし水耕栽培は廃液処理という厄介な問題がある。窒素やリン酸を含んだ廃液を河川や湖沼に流すと富栄養化となり生物の生態や人間の健康を脅かすからである。途上国では知識不足などから生活雑排水などを河川に廃棄することが多く、水耕栽培を普及するうえで不安材料になっている。私たちは富栄養化池沼を濃縮して液体肥料にする研究に取り組んできた。そこで乾燥地の途上国向けに、水耕栽培の廃液を濃縮して液体肥料として再利用すると同時に、蒸発する貴重な水を回収して農業用水や生活用水にする技術開発に取り組むことにした。本レポートは特に蒸発する水の回収研究を中心にまとめたものである。

2 研究方法と結果

(1) 蒸留による水分の回収

水蒸気を回収する一般的な方法は蒸留である。そこでガラス容器に液肥を入れ、IHヒーターで加熱して発生した水蒸気を上部の水で冷却し、コニカルビーカーで回収した(図1)。水耕栽培液は液肥(6-10-5)を使って再現し、蒸留は1000WのIHヒーターで30分加熱し10ml回収した。濃縮前を原液、回収した水蒸気を回収液、濃縮された原液を濃縮液としてグラフに示した(図2)。

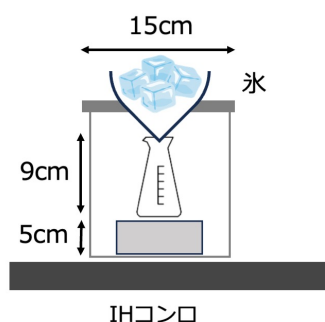


図1 蒸留装置図

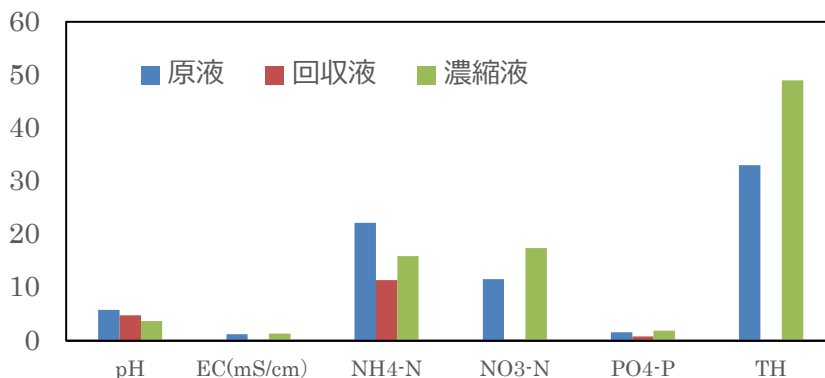


図2 水質比較

その結果、30分間の短時間ではあったが、装置によって水蒸気が回収されることがわかった。回収液はEC、NO₃-N、PO₄-P、TH(硬度)とも大幅に減少した。特にNO₃-Nは原液より90%も減少した。これにより回収液は、残留肥料分が極めて少なく、利用できる可能性が高いことがわかった。しかしNH₄-Nだけが高いことからさらなる改善が必要である。

(2) 霧化分化によるミストの回収

水回収には蒸留が効果的だが加熱が必要で、環境への負荷は大きい。また私たちは濃縮する際、ミスト発生装置を使ったので、このミストを回収できないか考えた。ミストは水蒸気と違い0.1mm前後あるので自重によって拡散しない。そこでミストの中にガラス瓶を入れて回収してみた(図3)。回収したミストの水質を図4に示した。

分析の結果、原液とミストに含まれている成分は、ほとんど同じであった。これはミストが原液の微細な粒であり、回収しても窒素やリン酸などを大量に含むため、このままでは利用しにくいことがわかった。

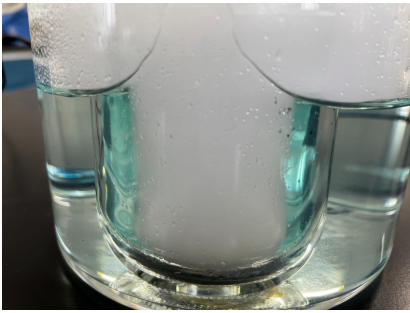


図3 ミストの回収

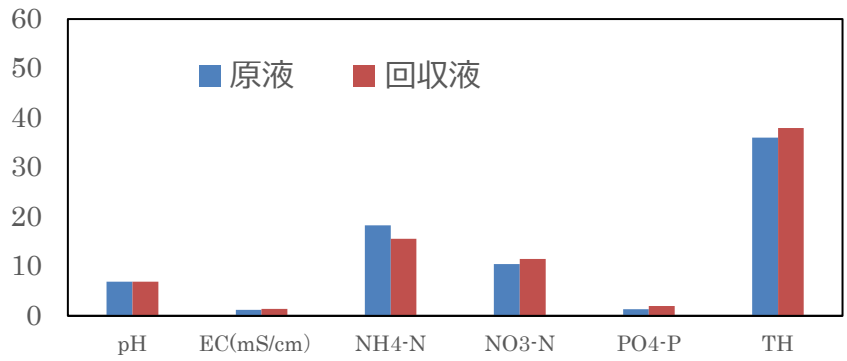


図4 回収ミストの水質

(3) 霧化分化による水分の回収

ミストは養分を含んでいるため利用できない。そこで超音波発生装置で作ったミストを蒸発させ、その水蒸気を冷却して水分として回収する実験を行った。霧化分離装置は回収瓶の位置が低いものと高いものを自作した(図5)。なお10ml回収には4時間かかった。

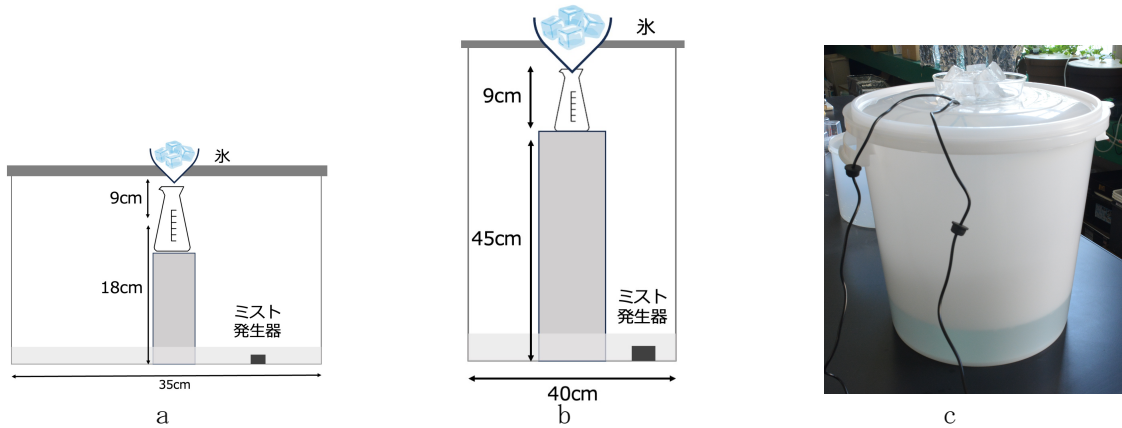
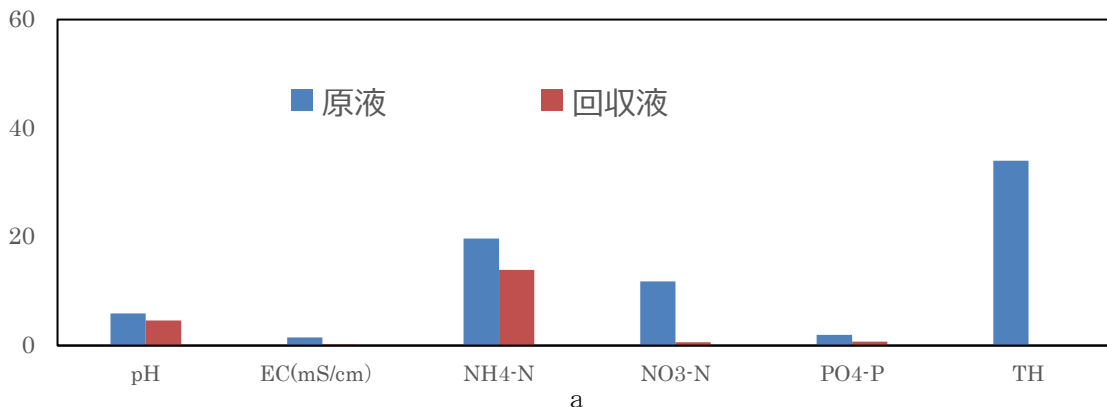


図5 無化分離装置 (a:装置図(低) b:装置図(高) c:無化分離装置(低))

回収液の水質を図6に示した。その結果、蒸留装置で回収した水質とほぼ同じであることがわかった。ミスト発生装置は加熱するヒーターなどより消費電力が小さいので、時間はかかるが低環境負荷技術になると思われる。

蒸留実験で課題となったNH4-Nが高濃度で残留する問題については、回収位置が高いとやや減少した。これはミストの巻き上りを防いだものと考えられる。しかし依然濃度は高く、課題は解決されないままである。



a

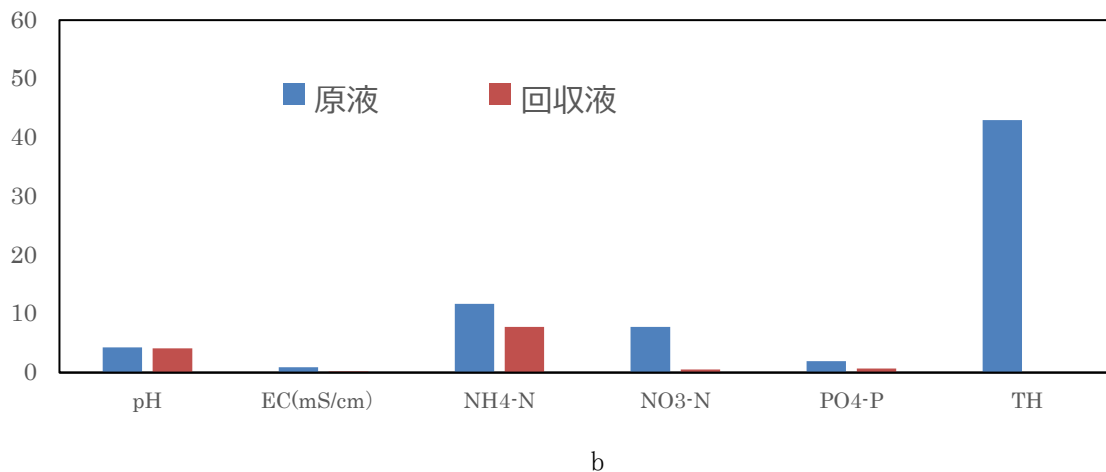


図6 回収液の水質 (a:霧化装置 (低) b:霧化装置 (高))

(4) NH₄-N 濃度の抑制実験

窒素濃度が高い液体は、飲料水はもちろん、農業用水、生活用水として利用できない。そこで減少させる実験を行った。対策として蒸留及び霧化分離の際、原液の pH をやや酸性に調整することを考えた。なぜならアンモニアはアルカリ性下では不安定となりガス化するからである。原液の pH は 6.0 前後なので、塩酸の 10% 水溶液を用いて pH4.5 前後に

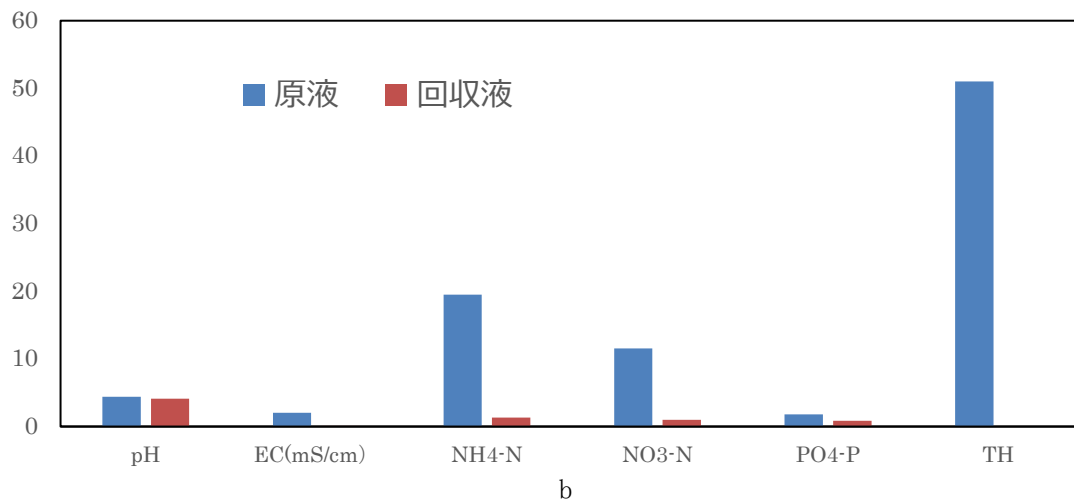
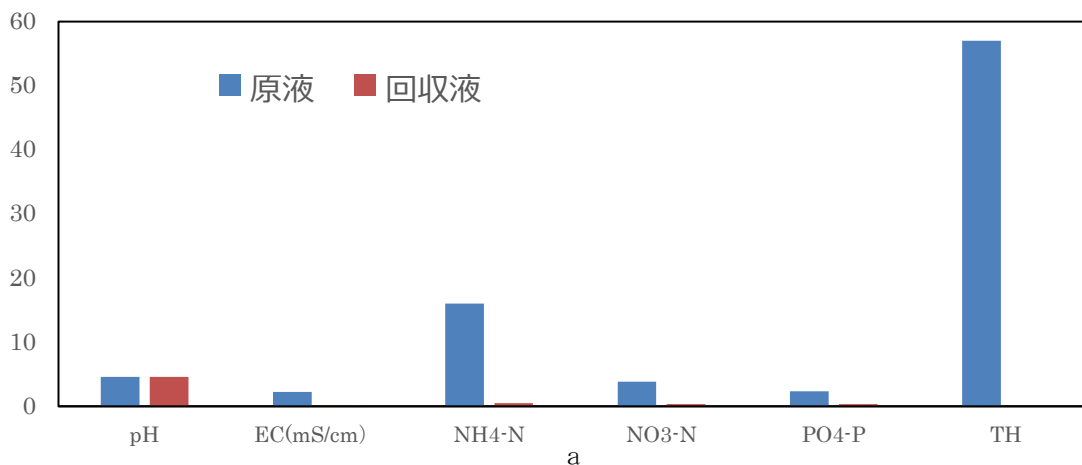


図7 原液を希塩酸で酸性に調整した際の回収液の水質 (a:蒸留 b:霧化分離)

事前に調整してから行った。実験は蒸留、霧化分離装置（低）で行い、その結果を図7に示した。その結果、仮説通り NH₄-N の濃度が 1 mg 前後まで減少した。これは原液の 10 分の 1 以下である。しかし塩酸は強い酸であるため扱いが難しい。そこで途上国での利用を考えて、使いやすい弱い酸のクエン酸を含んだレモン果汁で pH を 4.5 前後に調整して再度ミスト装置だけで水分回収実験を行った。結果を図8に示した。

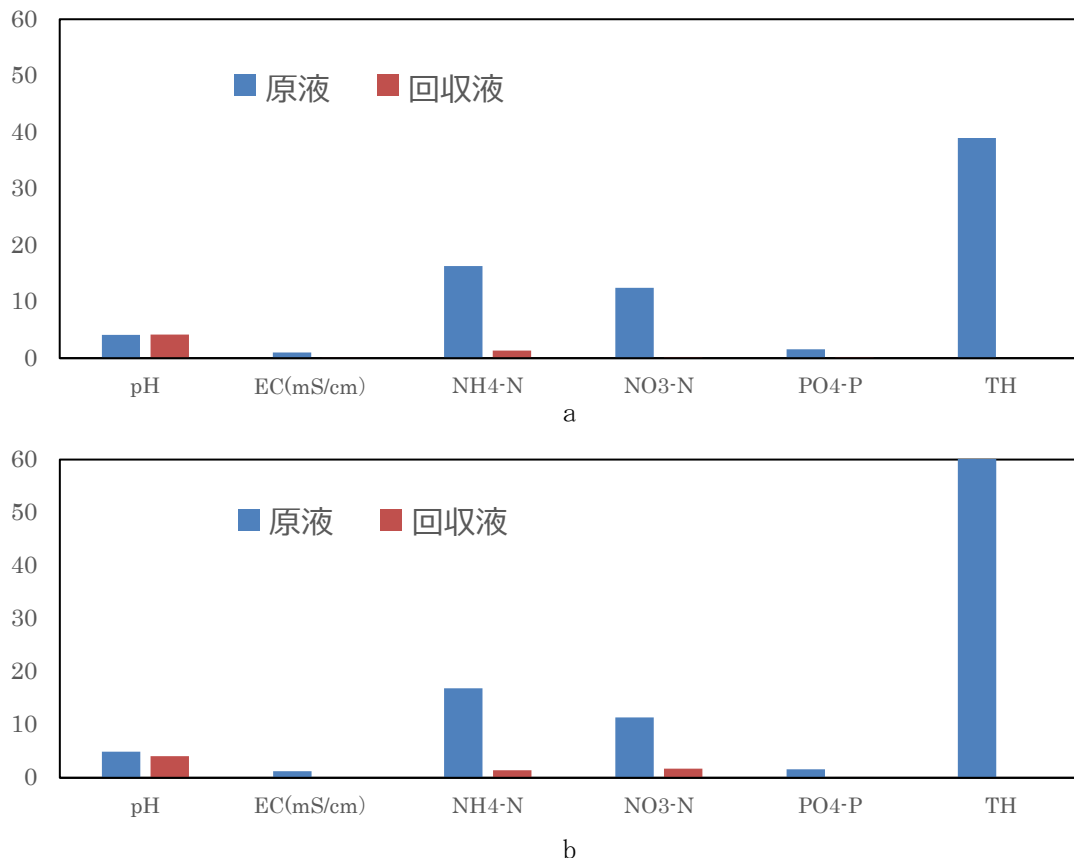


図8 原液をレモン果汁で酸性に調整した際の回収液の水質(a:蒸留 b:霧化分離)

実験の結果、レモン果汁でも希塩酸同様に回収液の NH₄-N 含有量を削減できた。クエン酸は安価な酸である。またレモンなど柑橘が入手できる地域では皮や搾りかすなどを利用することができるため導入しやすいと考える。

(5) 総合考察

水耕栽培液を濃縮する際に、蒸発する水蒸気を回収し農業や生活に利用する可能性を探る実験を行った。回収した水分には NO₃-N、PO₄-P、Mg、Ca が大幅に減少していたが、NH₄-N だけは削減できなかった。そこで pH を酸性に調整したところ、表1のように大幅に削減できた。これはアンモニアのガス化を抑制したためだと考える。

表1 NH₄-N 濃度の比較

装置の種類	NH ₄ -N (mg/L)
蒸留	11.4
霧化分離	13.9
霧化分離+希塩酸	1.34
霧化分離+レモン果汁	1.32

表2はミスト装置（低）を使って3Lの養液を4時間だけ濃縮した濃縮液、さらに水蒸気を回収した回収液の水質である。

表 2 霧化分離で濃縮、回収した液体の水質

	pH	EC(μ S/cm)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	P0 ₄ -P (mg/L)
原液	4.1	1.03	16.32	11.44	1.6
回収液	4.2	0.1	1.32	0.2	0.23
濃縮液	4.6	1.12	19.1	12.19	1.92

pH 調整して霧化分離した回収液には水耕栽培液より、NH₄-N で 92%、NO₃-N で 98.3%、P0₄-P で 85.6% も少ないことがわかった。日本の水道水質基準値では NO₃-N と NO₂-N の合計が 10mg/L 以下と定められている。pH、NH₄-N には改善の余地はあるが、健全な河川の水に近く、途上国では利用できる可能性が極めて高い。また日本の水質汚濁防止法では、公共用水域への排出許容限度として「NH₄-N/L 濃度に 0.4 を乗じたもの、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の合計量が 100mg」とされている。水耕栽培は対象施設ではないが、回収液は大幅に養分が減少しているのでもし廃棄する場合でも問題はない。なお濃縮液は時間をかけると濃度をもっと高まることを昨年すでに実証済みなので、こちらはすぐ実用化できると考える。また消費電力から二酸化炭素排出量を計算した(表 3)。その結果、ミスト発生装置は稼働時間こそ長いが省電力のため、ヒーターなどの熱源が必要な従来の蒸留のわずか 5.6% しかない。時間短縮の課題はあるが、霧化分離が低環境負荷技術であることを証明できた(図 9)。

表 3 1ヶ月の二酸化炭素排出量

回収方法	二酸化炭素排出量(月)
蒸留装置(0.5時間)	6.62kg-CO ₂
霧化分離装置(4時間)	0.37 kg-CO ₂



図 9 霧化分離装置(高)

3 まとめと将来の展望

水耕栽培が普及し始めている開発途上国で不安視されている廃液問題。私たちは、かつて考案した富栄養化池沼の濃縮技術に加え、蒸発する水も回収して再利用する技術開発を目指した。研究の結果、濃縮すると液肥になること、蒸発した水蒸気を冷却すると淡水に近い利用しやすい水として回収できることがわかった。また含まれている栄養塩が大幅に減少していることから、回収液を廃棄する場合でも、環境や人体に問題ないレベルであることも明らかにできた(図 10)。さらに蒸発させるにはミスト発生器を使った霧化分離技術を用いると、従来の加熱する蒸留よりも二酸化炭素排出量が約 95% も削減できることもわかった。本研究では霧化分離技術を水耕栽培の溶液処理にすることを目的に行ったが、富栄養化水や工場及び生活雑排水の浄化にも応用できる。さらに海水を霧化分離することで海水から真水を作り、宇宙滞在時の水確保へと発展する可能性がある。まだ開発途上の技術ではあるが、今後も地球の貴重な水を有効利用する環境技術となるよう研究を続けていくつもりである。



図 10 霧化分離による水耕栽培液処理