

水処理技術における炭酸ガスレーザーの応用に関する基礎的研究

－炭酸ガスレーザーの熱エネルギー利用特性－

○日本大学大学院

学生会員 上野 靖広

日本大学理工学部

正会員 松島 眸

1. はじめに

今日の地球規模での水資源不足・水質汚濁問題の中で、豊富に存在する海水の水資源利用は有効であり海水淡水化技術開発が求められている。本研究では、炭酸ガスレーザー（以下レーザー）の波長 10.6 μm の光の水に対する高吸収性と微細電圧素子 PZT の周囲温度変化に伴う分極性発現より、双方の淡水化技術への応用を検討している。レーザーを水面に照射すると蒸発散・液温上昇が進行し、その際の蒸発散・液温上昇・熱エネルギー利用特性について検討を行った。

2. 試験方法

図-1 に試験装置詳細図、表-1 にレーザー装置基本性能を示す。連続発振型炭酸ガスレーザーを使用し、レーザー光は集光レンズを通過し下方の攪拌された試料に照射を行った。図-2 に焦点付近図を示す。レーザー光の焦点から試料水面までの距離を照射位置（=h）とし、h=±0mm は試料水面がレーザー光の焦点上に設置されていることを示す。また、レンズからレーザー光の焦点までの距離を焦点距離（=f）と示す。h はジャッキ、f はレンズ交換によって設定変更可能である。

本試験は、試料に海水を想定した NaCl3%水溶液を用い、出力を 15、20、28W、初期値は試料質量 1000g、液温 25℃に設定し照射を開始した。60 分間レーザーを照射、30 分毎に質量、液温、伝導度、NaCl 濃度を測定した。表-2 の試験条件下で出力、照射位置、焦点距離の変化が蒸発散・液温上昇・熱エネルギー利用特性に如何なる影響を与えるかについて検討を行った。

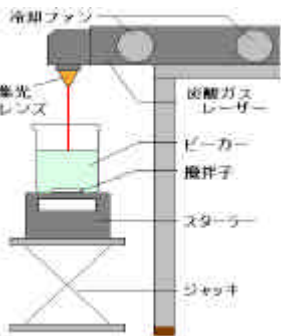


図-1 試験装置詳細図

表-1 レーザー装置基本性能

|           |         |
|-----------|---------|
| レーザー光波長   | 10.6 μm |
| 最大出力      | 約30W    |
| ビーム径(発振部) | 3.5mm   |
| エネルギー分布   | ガウス型    |
| 冷却方式      | 空冷式     |

※出力は任意の値に固定設定可能

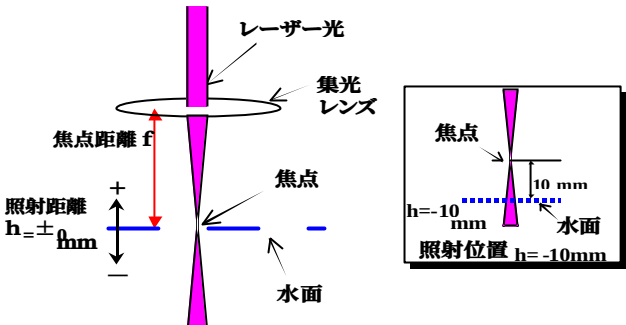


図-2 焦点付近図

表-2 試験条件

|      | 出力       | 焦点距離 f(mm) | 照射位置 h(mm)                   |
|------|----------|------------|------------------------------|
| 試験 I | 15,20,28 | 38.1       | ±0,-20,-40,-60,-80,-100,-120 |
|      |          | 63.5       |                              |
|      |          | 127.0      |                              |

3. 熱量収支

レーザー照射時における蒸発散・液温上昇特性を熱量収支の観点から検討するため、30 分後の質量・液温の測定値を用いレーザー照射による入力熱量（Input）と蒸発散・液温上昇による消費熱量（Output）について試算した。蒸発・液温効率 はレーザーの熱エネルギーが蒸発散・液温上昇にどの程度の割合で使用されているのかを表したものである。ただし消費熱量の計算は全て水の数値を用いて行った。熱量収支の概念は次式によるものとする。

$$\frac{dC}{dt} = Input - Output - Loss$$
$$E = \frac{Output}{Input}$$

$\frac{dC}{dt}$  : 時間当たりの蓄積熱量

$E$  : 熱エネルギー利用効率

4. 試験結果

図-3 に 20W 照射、h = ±0mm における各 f 値の各熱効率の経時変化を示す。図より f 値が大きい程総熱効率は上昇することが確認された。これは、f 値が大きい程焦点におけるレーザー光のビーム面積が大きく、レーザーの熱エネルギーがより伝わり高い総熱効率が得られたと考えられる。各熱効率は全ての f 値において蒸発効率が液温効率より高い値を示し、レーザー照射時に蒸発散が主に行われることを表している。また、30 分後と 60 分後を比較すると、蒸発効率はほぼ一定値を、液温効率・総熱効率は減少傾向を示した。これより、時間経過とともに蒸発散は一定量を得られ、液

キーワード：炭酸ガスレーザー、PZT、海水淡水化、照射位置、焦点距離、熱エネルギー

連絡先：〒101-8308 千代田区神田駿河台 1-8-14 TEL(FAX)：03-3259-0673

温は上昇抑制が起こり総熱効率の減少に影響したため、レーザーの熱エネルギーをより効率的に利用するには液温上昇の抑制防止が重要と考えられる。

図-4 に 20W、h=±0～-120mm における各 f 値の各熱効率を示す。図より全ての f 値において h=±0mm から離れるに従い蒸発効率は減少傾向、液温効率は上昇傾向を示した。これは、照射面積が大きい程蒸発量は減少、液温上昇量は増加し、パワー密度\*1 が大きい程レーザー照射による蒸発散は進行し、照射面積が大きい程液温上昇量は増加すると推察される。また、f 値での熱効率の変化傾向は、h=±0～-40mm において蒸発効率は f 値が大きい程高熱効率が確認されたが、h=-60mm 以降では蒸発効率は f 値が小さい程、液温効率は f 値が大きい程高熱効率となった。表-3 より総熱効率は、f=38.1mm、63.5mm においてそれぞれ h=±0mm から f 値の距離だけ離れた照射位置（h=-40mm と h=-60mm）において最高値を示した。これは、f 値と照射面積が蒸発散・液温上昇特性に影響を与え傾向変化の分岐点になることが推察される。f=127.0mm の場合、照射面積の広がり僅かなため、総熱効率の変化傾向に対する影響が少なく他の二つの f 値と同様な傾向が得られなかったと考えられる。

図-5 に f=63.5mm での出力別における質量・パワー密度当りの液温上昇量を示す。h=±0～-120mm における測定値より、パワー密度の逆数と質量・パワー密度当りの液温上昇量は比例関係となり、出力、照射面積、試料質量の決定によって得られるパワー密度当りの液温上昇量を導くことが可能になると考えられる。

5. 結論

レーザー照射による蒸発散・液温上昇はレーザー光の照射面積・焦点距離・照射位置に影響を受け、レーザーの熱エネルギーの有効利用には液温上昇の抑制防止が重要であり、焦点距離が熱効率の傾向変化の分岐点までの距離となることが考えられた。蒸発散の進行はパワー密度\*1、液温上昇の増加は照射面積に起因することが推察された。また、図-5 の比例関係より出力、照射面積、試料質量を決定することにより、得られるパワー密度当りの液温上昇量を導くことが可能である。

これらの特性を照射位置・焦点距離の調節設定によってレーザーの熱エネルギーの有効利用が可能となることが期待される。また、今後の課題として各 f 値において照射面積を基準とした熱エネルギー利用特性の詳細な検討を行う必要性がある。

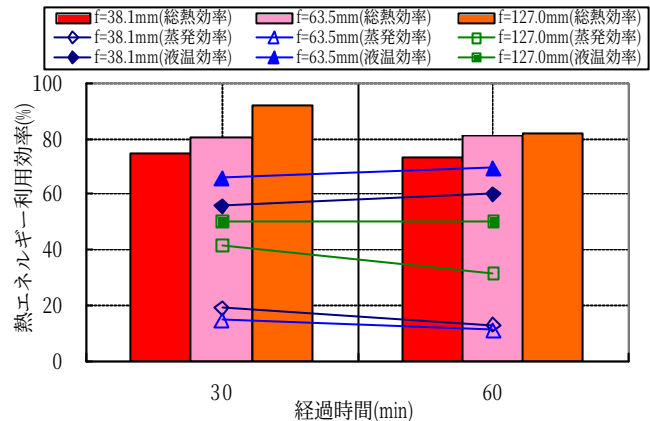


図-3 各 f 値の各熱効率の経時変化(20W,h=±0mm)

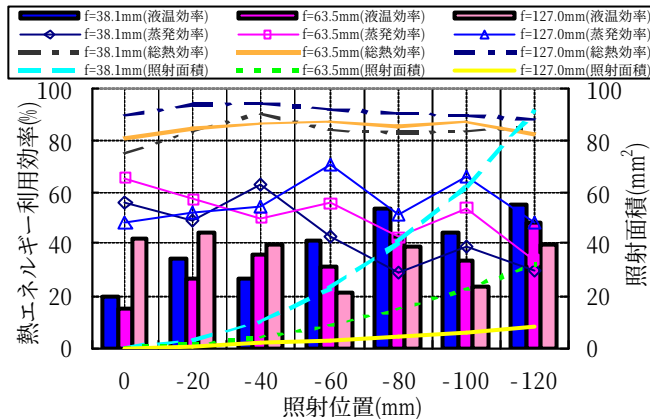


図-4 各 f 値の各熱効率(20W,30min 後)

表-3 各 f 値の各熱効率、照射面積(20W,30min 後)

| 照射位置(mm) | 照射面積(mm²) |          |           | 蒸発効率(%)  |          |           | 液温効率(%)  |          |           | 総熱効率(%)  |          |           |
|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
|          | f=38.1mm  | f=63.5mm | f=127.0mm | f=38.1mm | f=63.5mm | f=127.0mm | f=38.1mm | f=63.5mm | f=127.0mm | f=38.1mm | f=63.5mm | f=127.0mm |
| ±0       | 0.017     | 0.049    | 0.187     | 55.6     | 65.5     | 48.1      | 19.3     | 14.7     | 41.9      | 74.8     | 80.2     | 89.9      |
| -20      | 2.855     | 1.273    | 0.727     | 49.1     | 57.3     | 52.0      | 34.5     | 27.0     | 44.1      | 83.6     | 84.3     | 94.0      |
| -40      | 10.557    | 4.143    | 1.620     | 63.3     | 50.0     | 54.3      | 26.7     | 36.5     | 39.6      | 90.0     | 86.4     | 94.0      |
| -60      | 23.123    | 8.657    | 2.867     | 42.4     | 55.9     | 70.6      | 41.6     | 31.4     | 21.5      | 84.0     | 87.4     | 92.1      |
| -80      | 40.552    | 14.817   | 4.466     | 28.8     | 42.5     | 51.0      | 54.2     | 42.6     | 39.3      | 83.0     | 85.0     | 90.3      |
| -100     | 62.846    | 22.621   | 6.419     | 38.9     | 53.7     | 66.2      | 44.5     | 33.6     | 23.7      | 83.4     | 87.4     | 89.9      |
| -120     | 90.003    | 32.071   | 8.726     | 29.9     | 33.8     | 48.3      | 54.9     | 48.4     | 39.7      | 84.8     | 82.3     | 87.9      |

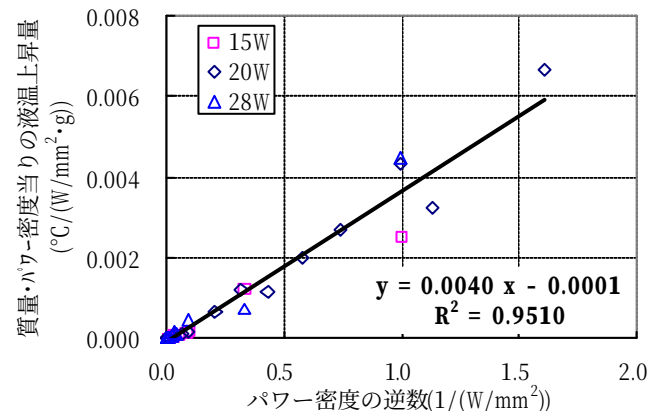


図-5 出力別における質量・パワー密度当りの液温上昇量 (f=63.5mm)

\*1 パワー密度=レーザー照射面積当りのレーザー出力 (W/mm²)