水素生産を目的とした光合成細菌培養槽内の熱伝達特性

日大生産工 〇山﨑 博司 (機械工学科), 市石卓, 小森谷友絵(応用分子化学科)

1. 緒言

生命科学分野における近年の革新な進展を広く人類 に貢献させていくには、 生産工学的立場な見地からの 取り組みも重要な観点のひとつといえる. 生命物質の 生産およびそれらの輸送技術の確立とともに、生命活 動の有効利用が考えられる.光合成は光エネルギーを 用いた化学物質の分解、合成であり、細菌内にそれら の機能を有するものを光合成細菌と称する.光合成細 菌の中には有機物を分解し、水素を生産するものがあ る.水素は酸化反応によって二酸化炭素を排出しない ことから、化石燃料の代替として新世代内燃機関、燃 料電池など、次期移動体動力源などの主力として注目 されている。しかしながら生産コストおよび運用面で の困難さから常用燃料として用いられるには至ってお らず、現在これらの課題を克服すべく取り組みがなさ れ、今後はさまざまな場面において水素発生源の必要 性が増してくるものと考えられる.

人類の生命活動や社会活動ではさまざまな側面で 有機物が発生しており、資源循環型社会の確立にはエ ネルギー問題への対応のみではなく、有機物処理また は転換をエネルギー問題に関連させる観点が有効な方 法とひとつと考えられる.本研究は生命工学的見地か ら水素生産に寄与しようとするものであるとともに、 資源循環型エネルギー源の開発に着目したものである. ここでは嫌気性光合成細菌 Rhodobacter sphaeroides RV株を利用して有機物質より水素を生産することに より、上記資源循環に寄与し、その実用化を目途とし たものである、現在、培養環境制御のための混合培養 実験など¹⁾が行われているが、有機物質を多量に含む 培養液では、粘性が大きく変化している可能性が高い. 培養環境では、その温度環境の制御は重要な要素のひ とつであるにかかわらず、培養環境での熱伝達特性に ついて検討された事例は見当たらない.本報は第1段 階として培養槽の温度環境制御に関する基礎データを 得ることを目的とした. ここでは, 光合成細菌培養に 用いられるグルコース水溶液および培養実験後の水溶 液について伝熱実験を行ったのでその結果について報 告する.

2. 実験装置および方法

伝熱実験は開放型液槽内に浸漬された水平細線について行った.図1に実験装置の概略を示す.実験装置 は、培養槽を模した実験液槽,伝熱面,電流供給系, 計測系,および温度制御系で構成される.実験液槽は, パイレックスガラス製円筒型容器(内径85mm,深さ 80mm)であり、上部は大気に開放して使用した.容 器上部にはデジタル式攪拌機を設置し,翼直径40mm の3枚攪拌翼を容器底面より約20mmの位置に設置した.伝熱面には外径0.1mm,長さ35mmのPt 細線を 使用した.電極は銅製であり、先端部を除いて断熱, 絶縁されている.伝熱面は定電流回路により直接電気 加熱された. 伝熱面位置は培養液液面下 30mm の位置 とした. 電流供給系は直流安定化電源. パワーサプラ イコントローラで構成し、パーソナルコンピュータに よって GP-IB 制御されている. 電源装置にはシャン ト・ユニットおよびシャントを付加して補償するとと もに、それらのリードバック値を計測することによっ て電流値を求めた。また細線温度は伝熱細線の抵抗変 化から決定し、その抵抗値は細線間の電圧・電流値か ら求めた.計測系はデジタルマルチメータで構成し, 電源系とともにパーソナルコンピュータによって GP-IB 制御されている.液槽内温度は恒温水槽を用い て一定に保持した。恒温水槽には、ヒータ、かくはん 装置、温度制御装置で構成された恒温装置が設置され ており、液槽内温度は光合成細菌の培養環境である 36.1℃に保持した. 実験時の温度変動は±0.2K 以内で あった

供試流体には、Rhodobacter sphaeroides RVを水素 発生源とする培養実験に用いられるグルコース水溶液 を用いた.グルコース濃度は高濃度条件である1.0wt%と した.また寒天培地を用いた固定混合培養実験に使用し た培養液(以後,培養後水溶液)を使用した.培養後水 溶液の初期グルコース濃度は1wt%であり,90時間の培 養実験後,培地を除去した培養残液を採取した.培養後 水溶液は褐色の縣濁液であり,48時間静置し,沈殿物を 除いた上澄み液を実験に供した.

実験は、電流値を変化させて行った.電圧測定は 6 s間隔で 60 s間について行い、測定終了後、電流値を 変化させて実験を繰り返した.培養環境では高温度加 熱源が使用されないことを配慮し、q=2x10⁶W/m²以下



- Test Fluids
- 3 Pyrex Glass Container 4 Water Bath
- (5) DC Power Supply (6) Controller
- ⑦ Shunt
- (8) Digital Multi-meter

2 Test Wire

- 1) Thermometer
- 9 Personal Computer1 Digital Stirrer
- 12 Temp. Controller

Fig.1 Schematics of experimental apparatus.

Heat Transfer Characteristics of Bio-Hydrogen Production Processes using Photosynthetic Bacteria Hiroshi YAMASAKI



Fig. 2 Heat transfer characteristics of glucose solutions and water in culturing conditions

の熱流束範囲において行った. 伝熱面の雰囲気温度からの温度差は 40K以下であった. グルコース水溶液, 培養実験後水溶液および純水について, 攪拌翼回転数 を変化させて伝熱実験を行い, 雰囲気温度と伝熱面と の温度差∠T_W(K)と熱流束 q(W/m²)および熱伝達率 h (W/m²)の関係を明らかにした.

3. 結果および考察

図2に、光合成細菌培養環境における伝熱実験結果 の一例を示す. 横軸は雰囲気温度(36.1℃)と伝熱面(細 線)との温度差之Tw,縦軸は熱流束qwであり、グルコ ース水溶液、純水、培養後水溶液について、攪拌しな い場合の結果が示されている. 図から, 低温度差領域 においては差異が小さいものの、 *△*T_w=5K以上の温度 差領域でグルコース水溶液で熱流束の低下が確認でき る. また培養後水溶液における熱流束低下は、グルコ ース水溶液よりも大きいものとなっている. ∠T_w= 20Kの場合、グルコース水溶液では熱流束の低下は8%、 培養後水溶液では20%であり、高熱流束条件の場合に 大きく影響していることがわかる. 図3に熱伝達特性 に対する攪拌翼回転数の影響を示す、横軸、縦軸は図 2と同様であり、グルコース水溶液について、60rpm、 240rpmとした場合の結果である. 図から, 60rpmの弱 攪拌によっても、熱流束は格段に上昇していることが わかる.一方で強攪拌 240rpmとした場合、熱流束は 向上しているものの、その増加割合は小さくなってい る。すなわち熱伝達の促進には弱攪拌は効果的である ものの、攪拌を強くしてもその強度に応じた熱流束の 増加は期待できないことがわかる.以上の結果は 120rpm, 180rpmにおいても同様であった. 図 4 は, 攪拌翼回転数 60rpmとした場合の水、グルコース水溶 液および培養後水溶液の熱伝達率と温度差之Twとの 関係を示したものである.図から 60rpmにおいても水 に比してグルコース水溶液の熱伝達率は低くなってい ることがわかる. また温度差が大きくなるに従い, 熱 伝達率は低くなる傾向にあり、これらはグルコース水 溶液と水ではほぼ同様な傾向である. これらの結果は 図2の場合とほぼ同様であることがいえる.一方, 培 養後水溶液は前2者と比して熱伝達率が大幅に低下し ており、かつ高温度差領域のおいての低下が顕著であ



Fig 3. Effect of stirring conditions on heat transfer of glucose solutions.



Fig 4. Heat transfer rate of glucose solutions.

る. これら、グルコース水溶液との差異は主として流 動特性の変化に起因したものであると考えられ、細菌 培養時の生物起源物質によるものと推測できる. 縣濁 物質の特定および粘性係数測定、およびニュートン性 の確認などが今後の課題と考えられる.

4.結言

培養槽の温度環境制御に関する基礎データを得るこ とを目的とし、光合成細菌培養に用いられるグルコー ス水溶液および培養実験後の水溶液について伝熱実験 を行った結果、次の結論を得た.

- (1) 攪拌をしない場合、グルコース水溶液、培養後水 溶液の熱流束は高温度差領域で低下する.
- (2) グルコース水溶液では攪拌翼回転数の増加ととも に熱伝達は促進されるが、その増加割合は高回転 数の場合に小さくなる。
- (3) 弱攪拌時において培養後水溶液の熱伝達率はグル コース水溶液に比べ大きく低下し、その傾向は高 温度差領域において顕著である。

参考文献

(1) 徳本大, ほか5名, 分離技術, 36-1, (2006), p.59-60.