

東北大学工学部 正員 高橋克夫
同 学生員 高橋孝仁
同 同 高橋雅洋

1. 緒言

乱流下におけるガス吸収の理論は、現在までに数多く提出されているが、実験的検証はまだ十分行われていないのが現状である。ここに代表的な理論をのべる。更新に最も寄与するスケールは最小渦であり、分子間力である表面張力が表面更新に対して抵抗する。表面張力に打ち勝って、表面が更新するために、エネルギーが消費される。このエネルギーは、液膜の更新率、表面張力および渦のスケールの2乗に比例、という理論がDobbins¹⁾によって提出された。一方、表面張力のために液の乱れは自由表面まで到達せず、表面付近のある深さまで液体の主流と流れの機構が異なる膜が存在する、という理論はLevich²⁾の提案によるものである。乱流下の物質移動係数を理論的に説明しているこれら2つの理論は、酸素移動現象の今後の研究の基礎になると思われる。

本研究は攪拌槽自由表面からの酸素移動に関する実験を行ない、上に述べた理論を基礎として考察を行なったものである。

2. 実験装置と実験方法

図-1(a)は塩化ビニール製の円筒型水槽。格子は肉厚1mmのアルミニウム製で、4.1cm間隔に6枚置かれている。攪拌水槽は20ℓの恒温水槽中に設置し、蒸留水を使用。(b)は1枚の格子を用いた水槽で、温度のコントロールは行なわず、得られた酸素移動係数を20℃の値に換算。水道水を使用。(a)(b)とも脱酸素は窒素ガスを使用し、溶存酸素計はベックマンFieldlab 溶存酸素計を用いた。水深は30cmである。

3. 実験結果と考察

図-2は、横軸に格子が最も水面に近づいた位置から静水時の自由水面までの距離(被り水深)を、縦軸に液側総括物質移動係数(K_L)をとり、図示した。ここで K_L は、液側総括容量係数(K_{La}) $\times V/A \cdot h$ 。Vは体積、Aは静水時の気液接触面積、hは水深。水槽(a)の場合、格子の最下位から最上位までの距離(振幅)は1.6cm、水槽(b)は1.5cm。また、面装置は格子の型も含めて相似になっているので、同時に取り扱うことに疑問が残るが、以下の考察は幾何学的相似に無関係に、格子の振動数と被り水深によって K_L が決まるものと仮定する。

水槽(a)の場合、振動数40, 80, 100rpmとき被り水深が小さくなるにつれて、 K_L が増加する傾向が見られる。水槽(b)についても同様の傾向がある。ここで重要な違いは、被り水深が0.9cm以下になると K_L が急増する現象であり、特に210rpmの場合顕著に見られる。210rpmの場合ほどではないが、150, 105rpmの場合も同様な傾向がある。

図-1 実験装置

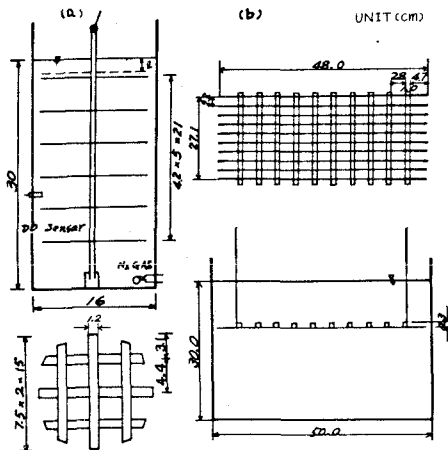
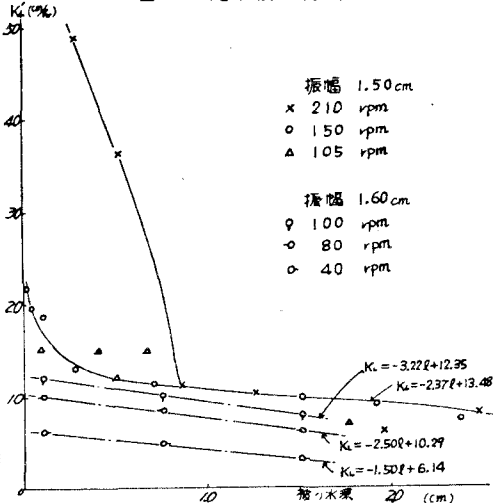


図-2 K_L と被り水深



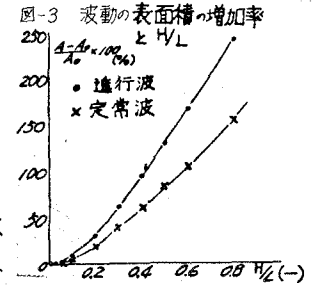
そこで、被り水深が0.9cmを境とする自由水面の様子を見るために写真-1を示した。 K_L には面積の増加が考慮されていないことを考えると、面積の急増が K_L の急激な増加を引き起こした原因であろうと推察される。この意味を今まで述べてきた K_L は“見かけの総括物質移動係数”と名づけたほうがよいであろう。



写真-1 格子の振動数 210rpm, 被り水深 0.03cm

ガス吸収の理論を確立するためには、どうしても K_{La} から面積の効果を取り除いて“真の K_L ”を測定しなければならない。そして、先に述べた見かけの K_L （以下、 K_L' とする）から面積の効果を差し引き、真の K_L （以下、これを K_L とする）を求め、それでも K_L が急増するならば、液の乱流構造まで立ち入って乱流構造の顕著な変化を見出すであろう。

片岡・宮内⁴⁾は擬一次反応吸収を利用して、6枚平羽根タービン攪拌槽の自由表面の増加を求めた。これによれば、1.5倍程度増加している。片岡等の使用した水槽で1.5倍の増加が見られたことから判断して、写真に示された状態では、1.5倍を大きく上回することは容易に想像されよう。また、波動水面の表面積の増加率は波高÷波長(H/L)を一律に表現できるので、写真に示された状態でも波高および波長に相当するものを測定すれば、およそその推察はできるであろう。図-3に H/L と表面積の増加率を示した。波動水面と格子の攪拌による水面の違いは、後者は凹凸が3次元的に生じていることである。このことから、格子の場合には図-3に示された値より大きな増加率を持つものと考えられる。



Dobbins と Levich の理論では、 K_L は選散エネルギーと物性によって決定されるとしている。Levichは自由表面に液境膜の存在は仮定していないが、しかし自由表面へ更新する最小渦のスケールを膜の有効厚さとしており両理論とも具体的には液境膜を想定していると解釈できる。ガス吸収に重要な関係があるのは自由水面での選散エネルギーであり、このエネルギーは自由表面の膜により、液本体と比べて著しく減少すると想像される。その様子を佐藤・石井等⁵⁾は攪拌槽を用いた実験で示した。また、宮内・片岡⁶⁾は自由表面近傍では E_s は槽全体の E_s の平均値の3~6%程度まで減衰していると述べている。

以上述べた液境膜の存在、そしてそれによる自由表面近傍での選散エネルギーの減衰という事実を認めれば、自由表面近傍の選散エネルギーはある有限値を持つと考えられまいだろうか。もしそうだとすれば、攪拌強度をある値以上に高めると K_L は増加せず、一定値に近づくということになる。そして、自由表面近傍の選散エネルギーの有限値は気体および液体の物性値により決定されるのではないかと考えられる。

図-2で、210, 150, 105rpmの場合の K_L と被り水深との関係を

$$K_L = -2.37l + 13.48 \quad \text{ここで } l \text{ は被り水深 (cm)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

と仮定する。(1)式を用いて、 $l=0.1, 0.75$ および 1.50 cmの時の K_L を求め、これらの被り水深をパラメータとして、横軸を格子の振動数、縦軸に K_L を取ったものを図-4に示した。図は各パラメータごとに K_L がある一定値に近づくことを示しており、被り水深0.1cmの場合で K_L は $14\text{cm}^3/\text{hr}$ の値に近づくことから、 K_L の有限値はおおよそ $14\text{cm}^3/\text{hr}$ の値と考えられる。

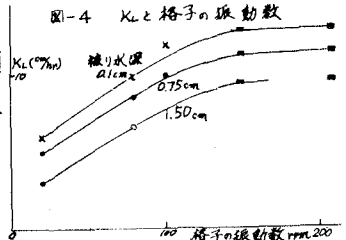


図-2の斜線の部分をすべて面積の増加分と仮定しての以上のおおまかな考察は、今後表面積の効果を厳密に取り扱い修正してゆく必要があろうと考えている。

最後に本研究を行なうにあたり、協力をいただいた仙台市役所職員佐々木嘉一郎氏に感謝いたします。

- 参考文献 1) Dobbins, W.E.; ASCE, p53-78, SA3, 1964. 2) Levich, V.G.; Physicochemical Hydrodynamics, Prentice Hall, p689-692, 1962. 3) 畑井 彰; 酸素吸収に関する一考察, 修士学位論文, 昭和46年度 4) 片岡 広, 宮内 照勝; 化学工学, 第30, 第5号, p409-414, 1966. 5) 佐藤 行成, 石井 国太郎; 化学工学, 第3巻, 第3号, p275-281, 1967. 6) 片岡 広, 宮内 照勝; 化学工学, 第36巻, 第8号, p888-896, 1972.