

[J. Ferment. Technol., Vol. 50, No. 10, p. 737~741, 1972]

高粘性液の酸素移動

服部喜代次・横尾 修次・今田 克

(協和醸酵株式会社, 東京研究所)

Oxygen Transfer in a Highly Viscous Solution

Kiyoji Hattori, Shuji Yokoo, and Osamu Imada

(Kyowa Hakko Kogyo Co., Tokyo Research Laboratory Asahi-machi, Machida, Tokyo)

In order to study the effect of viscosity on the mass transfer rate, the volumetric mass transfer coefficients were measured in CMC solution using a DO sensor (Beckmann 777 type).

A marked decrease in K_{La} values was observed as the viscosity of the solution increased.

When the viscosity of the solution was 150 centipoise, the reduction of K_{La} values was about 95 %.

Furthermore, we measured the radial and vertical distribution of K_{La} values and discussed the relation between the distribution of K_{La} values and liquid viscosity.

緒 論

ストレプトマイシン, ペニシリン等に代表される抗生物質の培養液は高粘性となり, 通気攪拌操作もバクテリア, 酵母等の単細胞菌体に比して簡単でない。特に高粘性に起因する槽内流動特性, 酸素移動, 熱移動の諸特性は低粘性液と性質を異にする。従来高粘性液の酸素移動に関する研究は古くから多数報告されておるが^{1)~4)} 測定技術の問題, 解析の困難さもあって詳細な酸素移動に関する報告は少ない。筆者らは CMC (carboxyl methyl cellulose) 溶液を用いて酸素移動に関する検討を行なったので報告する。

実験装置および方法

1. 実験装置 実験に用いた装置を Fig. 1 に示す。内径 70 cm 内容積 500 l, 液容積 330 l のステンレス製 (SUS 27) 攪拌槽で内部に 4 枚のバツフルプレート, 翼直径 235 mm の 6 枚標準平羽根タービン翼, リングスパージャーを有している。

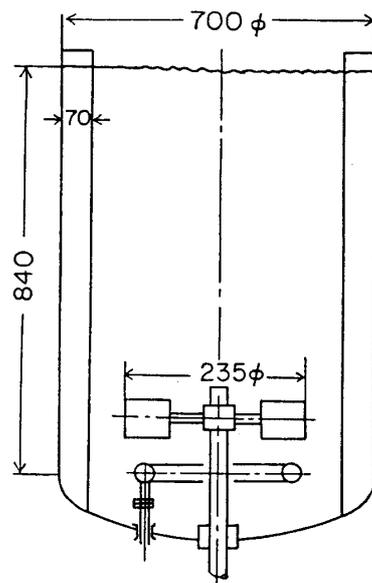


Fig. 1. Experimental apparatus.

2. 溶存酸素濃度 (DO), 攪拌所要動力の測定 溶存酸素濃度は東芝ベックマン 777 で測定し攪拌所要動力はストレインゲージによる動的歪測定器 (共和電業

製)により測定した。

3. 液側物質移動容量係数 (K_{La}) の測定 攪拌しながら N_2 ガスをスパージャーを通して液中に送り込み溶存酸素を放散させ槽内溶存酸素濃度がほぼ零近傍になったことを確認してから測定条件時の空気を吹き込み溶存酸素濃度の経時変化を測定し次式より K_{La} を算出した。

$$\frac{dc}{dt} = K_{La}(C^* - C) \quad (1)$$

C は溶存酸素濃度, C^* は空気中の酸素分圧に平衡な溶存酸素濃度. (1)式を積分すると

$$K_{La} = \frac{1}{(t - t_0)} \ln \left(\frac{C^* - C}{C^* - C_0} \right) \quad (2)$$

添字 0 は測定開始時を示す. 記録計の読み R は溶存酸素濃度に比例するので(2)式は(3)式となる.

$$K_{La} = \frac{1}{(t - t_0)} \ln \left(\frac{R^* - R}{R - R_0} \right) \quad (3)$$

ゆえに(3)式において時間 t と溶存酸素濃度 R を求め ($R^* - R$) と時間 ($t - t_0$) を片対数上に点綴すれば傾きから物質移動容量係数 (K_{La}) は求められる⁶⁾.

5. 粘度の測定 CMC 溶液の粘度はユニバーサルレオメータ UR-1 形 (島津製作所製) にて測定した。

実験結果ならびに考察

1. 攪拌所要動力と粘度 Fig. 2 は CMC 溶液と見掛け粘度の関係を示す. Fig. 3 は攪拌所要動力

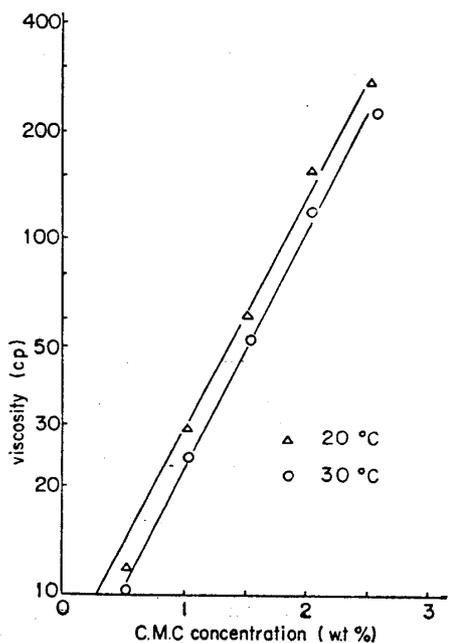


Fig. 2. Relation between viscosity and CMC concentration.

(P_v) と粘度の測定結果を示す。

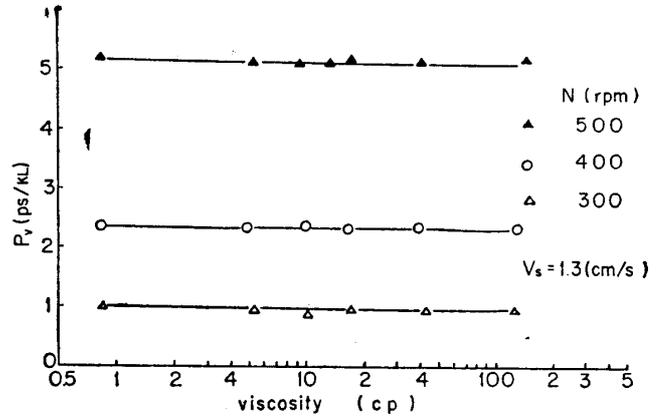


Fig. 3. Relation between agitation power and viscosity.

粘度が0.8~150 centi poise (CP) の範囲で攪拌所要動力は粘度に無関係に一定となる. これは乱流状態で動力数 (N_p) は一定となり $P_v \propto N_p \cdot \rho \cdot N^3 D^2$ となり攪拌所要動力は粘度に依存しない事と一致する。

2. K_{La} と攪拌速度, 攪拌所要動力, 通気量の関係

Fig. 4 は K_{La} と攪拌速度, Fig. 5 は K_{La} と攪

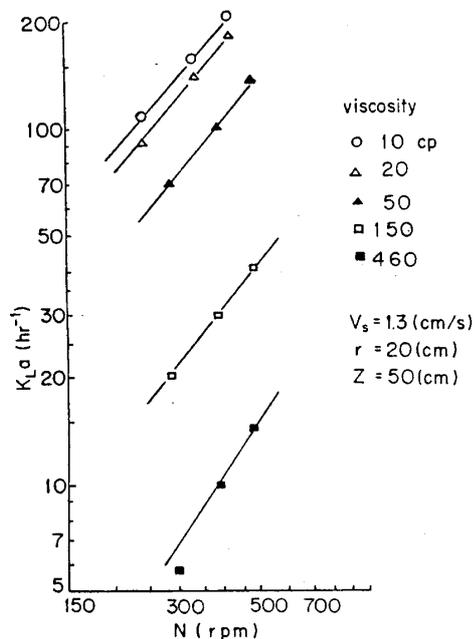


Fig. 4. Relation between K_{La} and agitation speed.

拌所要動力の結果を示す. 結果は次式で示される.

$$K_{La} \propto N^{1.3} \quad (4)$$

$$K_{La} \propto P_v^{0.44} \quad (5)$$

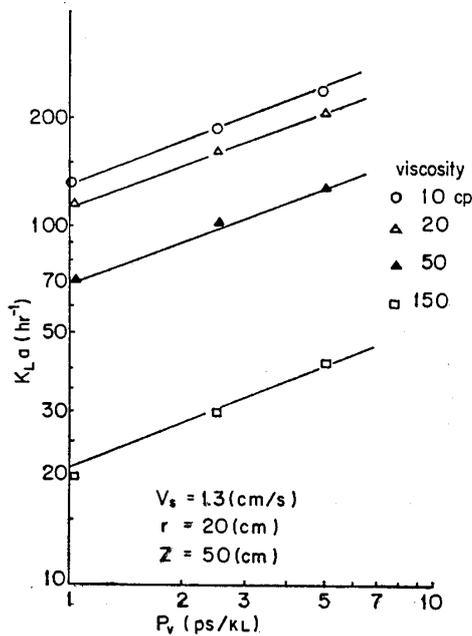


Fig. 5. Relation between K_{La} and agitation power.

K_{La} に対する攪拌動力の指数は低粘性液に対する Calderbank ら⁵⁾ の相関式とほぼ一致し粘度の大小にかかわらず一定となる。Calderbank の相関式を(6)式で示す。

$$K_{La} \propto P_a^{0.4} V_s^{0.5} \quad (6)$$

一方 Fig. 6 は K_{La} とガス空塔速度 (V_s) の結果を示す。

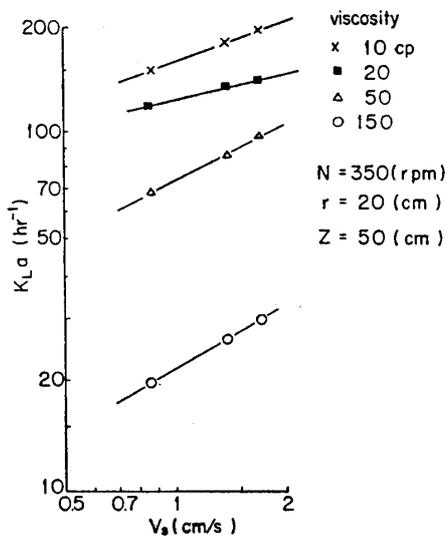


Fig. 6. Relation between K_{La} and superficial air velocity.

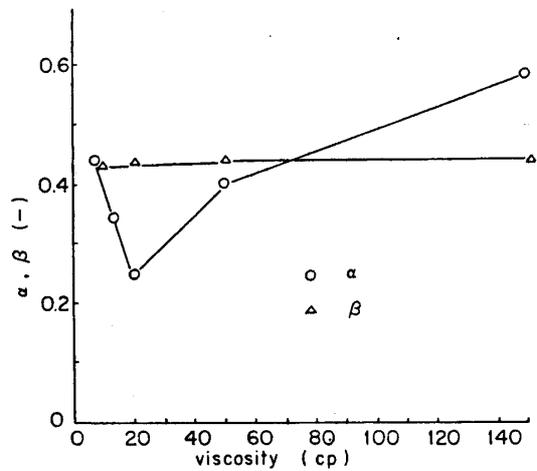


Fig. 7. Effect of viscosity on α and β .

$$K_{La} \propto V_s^\alpha \quad (7)$$

Fig. 7 に示すごとく K_{La} に対するガス空塔速度の指数 (α) は粘度により変化する。粘度が 20 (cp) までは粘度の増加とともに α は減少するが 20 (cp) 以上では逆に増加する。このような現象は低粘性液での酸素移動では報告されていない。高粘性液では翼近傍に攪拌翼による液混合が限定され槽内全体の液混合は粘度の増加とともに通気による液混合の寄与が増すためと考えられる。Fig. 7 は $K_{La} \propto P_a^\beta \cdot V_s^\alpha$ とした場合の α, β と粘度の関係を示す。

3. K_{La} と粘度 Fig. 8 は攪拌速度 250, 350, 450 (rpm) における K_{La} と粘度の測定結果を示す。粘度 50 (cp) 近傍を境にして K_{La} と粘度の関係は大きく異なり(8), (9)式のごとくなる。

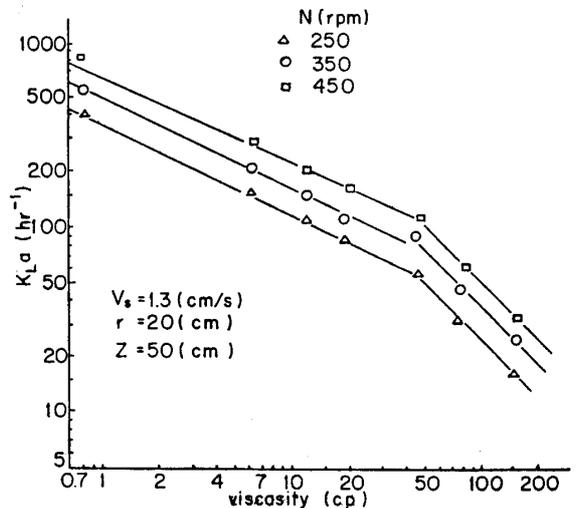


Fig. 8. Effect of viscosity on K_{La} .

$$K_{La} \propto \mu_a^{-0.35} \quad (\mu_a > 50 \text{ cp}) \quad (8)$$

$$K_{La} \propto \mu_a^{-1.1} \quad (\mu_a > 50 \text{ cp}) \quad (9)$$

粘度が 150 [cp] での K_{La} は 0.8 [cp] での K_{La} の約 5 [%] となり 95 [%] の K_{La} の減少となる。本結果は steel ら³⁾ が菌体を懸濁させて粘度を増加させた溶液の物質移動速度と粘度の結果にほぼ一致する。粘度の増加に起因する K_{La} の減少の原因として気泡周辺の液境膜厚さの増加および乱れ強さの減少、拡散係数の減少等の総括的結果として物質移動係数 (K_L) の減少と粘度の増加により気泡が十分に微細化されずに気液界面積 (a) の減少の結果と考えられる。

4. K_{La} の槽内分布 低粘性液での K_{La} は撹拌槽内全体において分布が認められにくく、仮に認められても分布の中は小さい。一方高粘性液では撹拌翼による液混合は翼近傍に限定されるので撹拌槽内全体が均一な流動状態でないのはしばしば経験される。撹拌槽内の K_{La} 分布の測定結果を Fig. 9, 10 に示す。両図中 r , z はセンサーの測定位置を示し r は撹拌軸からの半径方向の距離, z は液表面からの距離を示す。

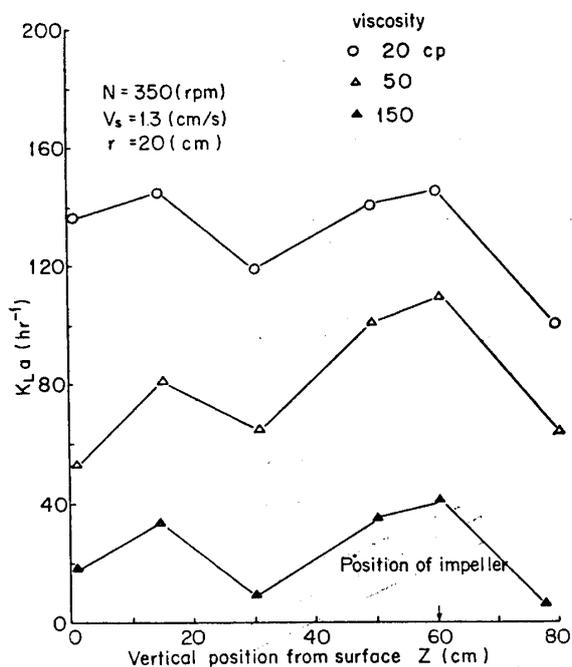


Fig. 9. Vertical distribution of K_{La} in a highly viscous solution.

Fig. 9 は K_{La} の縦方向の分布を示す。 K_{La} は翼近傍で最大値を示し翼上側では液表面に近づくにしたがい減少し翼取付位置と液面とのほぼ中間 $z=30$ [cm] で最少となる。これらの傾向は粘度が 20~150 [cp] と大巾に変化してもほぼ同様である。

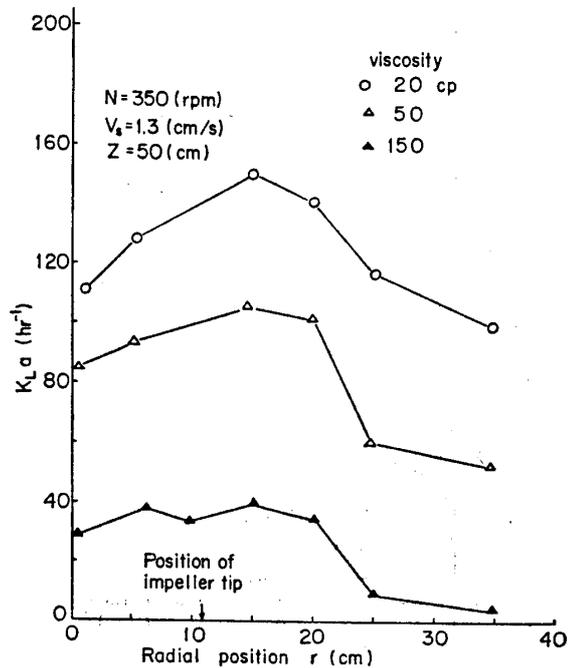


Fig. 10. Radial distribution of K_{La} in a highly viscous solution.

一方半径方向の分布に関しては粘度が 20 [cp] 近傍では $r=15$ [cm] で K_{La} は最大に達しこの点を中心にして対称的に K_{La} が減少する。粘度が 50~150 [cp] の範囲では $r=0\sim20$ [cm] まで K_{La} の変化はあまりないが槽壁に近づくにしたがい急激に減少する。

以上のごとく K_{La} が槽内で大きな分布を生じるのは粘度の増加により槽内全体の流動状態が不均一となり流動状態の悪い場所は気泡周辺液境膜が厚くなり K_L が大巾に変化するためと考えられる。さらに気液界面積も槽内流動状態と関連するので高粘性液では a について槽内分布が生じるためと考えられる。

総 括

1. K_{La} は液粘度に大きく依存し 150 [cp] での K_{La} は 0.8 [cp] での K_{La} に比して約 95 [%] 減少する。
2. K_{La} と粘度の関係は 0.8~150 [cp] の範囲で次式で与えられる。

$$K_{La} \propto \mu_a^{-0.35} \quad (\mu_a < 50 \text{ cp})$$

$$K_{La} \propto \mu_a^{-1.1} \quad (\mu_a > 50 \text{ cp})$$

3. K_{La} と撹拌動力, ガス空塔速度の関係は $K_{La} \propto P_0^{0.44} V_s^\alpha$ で与えられ α は 20 [cp] までは粘度の増加とともに減少するが 20 [cp] 以上では逆に粘度の増加とともに増加する。

4. K_{La} の縦方向の分布は翼上側では翼近傍で最大となり翼取付位置と液表面の中間で最少となる。半径方向の分布は粘度によって分布形状は異なるが $r=0\sim 20$ [cm] まではほとんど K_{La} は同一であるが槽壁に近づくにしたがい急激に減少する。

Nomenclature

a	: interfacial area
c	: concentration of dissolved oxygen
c^*	: c in equilibrium with partial pressure oxygen in the gas phase
D	: impeller diameter
K_L	: mass transfer coefficient
K_{La}	: volumetric mass transfer coefficient
N	: agitation speed
N_P	: power number
P_V	: power input per unit liquid volume
R	: reading of meter
r	: measurement point from tank center
V_S	: superficial air velocity
z	: measurement point from liquid surface
ρ	: density of liquid
μ_a	: apparent viscosity of liquid

Subscripts

o	: refers to initial state
$*$: refers to equilibrium value

文 献

- 1) Deindoerfer, F. H., Gaden, E. L.: *Appl. Microbiol.* **3**, 253 (1955).
- 2) Shu, P., *Agr. Food. Chem.* **1**, 1119 (1953).
- 3) Steel, R., Brierley, M. R.: *Appl. Microbiol.* **7**, 51 (1959).
- 4) 佐藤: 本誌 **39**, 453 (1961).
- 5) Calderbank, P. H.: *Trans. Instn. Chem. Engrt.* **36**, 443 (1958).
- 6) Yoshida, F., Yamaguchi, T., Hattori, K.: *J. Ferment. Technol.*, **46**, 1019 (1968).

本研究の概要は昭和44年11月 日本醸酵工学会大会(大阪)において講演発表した。

(昭 46.10.14 受付)