参考文献

- 1) Changeux, J.: Brookhaven Symposium in Biology, 232 (1964)
- 2) Eagon, R. G.: *J. Bact.*, **83**, 736 (1962)

- 3) Goodwin, B. C.: Temporal Organization in Cells (Academic Press, 1963)
- 4) McQuillen, K.: Structure and Function in Microorganisms, 134 (Cambridge, 1965)
- 5) Waterman, T. H. and H. J. Morowitz: Theoretical and Mathematical Biology (Blaisdell Publ. Co., 1965)

第 1 回生物化学工学講演討論会*

編集 菅 沼 彰**

去る 5 月 24 日, 化学工学協会関西支部, 日本醸酵工学会の共催で生物化学工学講演討論会が開かれた。

期 日 昭和41年 5 月 24 日 (火)
会 場 大阪科学技術センター 401 号室
主 催 化学工学協会関西支部, 日本醸酵工学会
参加者 約 170 名
司 会 桐 栄 良三 (京都大学工学部教授)
講 師 照 井 堯造 (大阪大学工学部教授)
小林 達吉 (東京教育大学農学部教授)
本多 久吉 (サントリー(株)常務取締役)
外国出張のため代理, 三満田 弘 (同社工務課)
本 庄 太彦 (塩野義製薬(株)取締役)
合 業 修一 (東京大学応用微生物研究所教授)

●今回はその第 1 回ということで, 細かい具体的な問題と論じることとはせず, 総合的な立場からの講演, 討論を主眼とし, 各論についての掘り下げた議論は第 2 回以降に行なう予定であるときく。当日は各方面から多数の参加者があり, 桐栄氏の巧みな司会のもとに熱心な討論が行なわれた。以下はその概要である (あとがき参照)。

生物化学工学教育のカリキュラムについて

小 林 達 吉***

生物化学工学教育は, 現在アメリカの Wisconsin 大

学 (Professor Lightfoot), Pennsylvania 大学 (Professor Humphrey), イギリスの London 大学 (Professor Webb), Birmingham 大学 (Professor Blakebrough) らの各大学における修士コースで, わが国では東京教育大学, 大阪大学において学部ならびに修士コースで行なわれている。

学部のカリキュラムは, Wisconsin 大学が最も化学工学の基礎が充実しており, 大阪大学は生物化学や微生物学とその応用の面が一番強く具体的であり, 教育大学は中間位であると思う。教育大学の学部カリキュラムを表 1 に示す****。

修士のカリキュラムは, 学部が生物化学系であるか工学系であるかによって教育方針のちがいがみとめられる。前者に対しては単位操作, 化工熱力学, 反応速度論, 反応工学などに, 後者に対しては生物化学・微生物関係の科目などに約半分の単位 (約 15 単位) をふりむけて残りの単位を専攻専門科目の特論・ゼミ・関連科目にあてるようにし, 各大学とも学部で修得しなかった科目を Post-graduate の段階で取らせるように指導している。Pennsylvania 大学の修士のカリキュラムを表 2 に示す****。ここでは 1 年間に約 20 単位を, 残りの 1 年でさらに約 20 単位をとるように指導している。

一般に米・英では順序として学部において化学工学の教育を行なう方が生物化学工学の勉強には効果的とされている。しかし, 教育大の経験ではこの種の教育方式についてはまだいろいろな問題が残っているように考えられる。

化学工学側からすれば, 生物化学は工業プロセスの教

* 昭和 41 年 8 月 18 日 受理

** Akira Suganuma 東京大学工学部化学工学科

*** 東京教育大学農学部

**** 紙面の都合上, 全部の大学に関する資料を掲載することができなかったが, 詳しくは醸工, **43**, 198 (1965) を参照されたい。

表 1 学部学生用カリキュラム (教育大学, 1964)

基礎および関係科目			
一般化学	4	数 学	12
無機化学	4	応用数学	4
有機化学	4	製 図	2
分析化学	4	英 語	8
物理化学および演習	6	応用力学	4
一般物理学および実験	10	Chem. Eng. Materials	2
専門科目			
生物化学	4	反応工学および演習	4~6
工業微生物学	4	生物物理化学および演習	3
生体制御機構	2	環境衛生工学	2
生 化 各 論	4	化工装置, 設計, 製図	2
微生物工業各論	4	化工プラント設計	4
培養工学	4	計 装 工 学	4
共通実験	10~14	化工実験	2~7
化学工学基礎	0~3	電 気 工 学	4
生物工業化学	4	機 械 工 学	4
" 工 程 論	2	実験計画法	0~2
化工単位操作および演習	6~10	特別研究および卒論	6
化工熱力学反応速度論 および演習	6		

表 2 生物化学工学修士コースの専門科目
(University of Pennsylvania)

Subject	Lect.	Lab.
Advanced General Microbiology	2(hrs)	4(hrs)
Microbiology		
The Cell (I)	3	
(II)	3	
The Chemistry of Living Cells	3	
Chem. Reactions in Living Systems		
Metabolism of Microorganism	8	6
Physical Chem. of Biological Reactions	3	
Mathematical Methods in Chem. Eng. (I)	3(S. C.)	
(II)	3	
Transport Processes (I)	3	
(II)	3	
Reaction Kinetics	3	
Equilibrium Operations	3	
Process Dynamics and Automatic Control	3	
Biochemical Engineering	3	

育においてその体系化がおくれ, 近代的化学工学と距離がありすぎると考えられるであろう。実用できるデータはほとんどないと言っても過言ではない位に未開拓であり, 工業的な接近法すら未だ板についていない段階である。反対に生物化学側から見れば化学工学は余りにも対象が理論的であり, 応用問題の中に研究テーマを設定し, その中で Principles を求めることをのぞむという他ないであろう。しかし両者協力して接近し合って巨大な資源の開発の研究活動をどうして行いやるか, その実現に向かって努力することこそ重要であり, その内で専門家が教育せられることがさらに有意義であると考え次第である。

* サントリー(株)常務取締役

醸造工業の領域における化学工学の役割

本 多 久 吉*

サントリーでは大学で化学工学を専攻した卒業生を原則として毎年採用して現在十年あまり経過し, 醗酵プロパーの技術者数に比べかなりの多数の化学工学技術者を擁することになった。それではこのような, 同業他社に比べて, かなりの多数の化学工学技術者を採用したのは, 1. どんな目的で採用したのか, 2. その技術者は入社後どんな働きをしたか, 3. また彼らはこれからどんな道をきりひろこうとしているか, などについて述べてみたい。

1. 醗酵工業その中でも醸造工業の特異性

醗酵工業とは微生物の生体そのもの, あるいはその分泌する酵素系を有機触媒として取り扱う化学工業の一つの分野であるといえよう。なかんずく醸造工業製品(酒類, 味噌, 醤油など)は嗜好品であり, 特に酒類は単なる化学分析や物理的次元で表現しにくく, 「酎酒(ききざけ)」といわれる官能検査がおそろしく権威があり, この工業に対する化学工学技術者の感じ方はたしかにこの工業の特異性としてクローズアップされるに違いない。第2に酒類は所謂「発明品」ではなく, これまであったものを祖型にした類似品か代用品でしかないときめつけるのには行きすぎかも知れないがそれほど保守的であり, 新製品の出現に応接の暇もない他産業に比べて, 愉安の夢にひたっている感がなきにしもあらずである。第3に重課税の対象であり, 政府は税源を確保するため, 他産業に較べくもない保護(免許制)と監督(各種の制限)をしているなど一般の工場法規と違った点が多いので化学工学技術者にとっては異質なものを感じるであろう。しかしビール醸造工業では早くから醗酵プロパーの技術者のほかに応用化学出や機械工学出の技術者が重要な立場にあり工場長はおろか会社の最高責任者である場合が現にあるのをみてもビール産業が早くから近代化されたゆえんかもしれない。

2. 化学工学技術者の醸造工業での役割

醸造工業も化学工業の一分野であるから, 当然いくつかの単位操作の組み合わせから成り, 化学工学技術者がかなり必要である。今ビールの製造工程の例をとり, これに関連する単位操作をまとめると表3のごとく多くの操作が含まれている。ここでこれらに対する彼らと醗酵技術者の違いを述べると, たとえば汙過操作で化工技術者は汙過効率を目標にするが, デリケートな透明度についてはセンスを欠くことがある。醗酵技術者であれば汙

表3 ビール工業に組み立てられた単位操作

[illegible]

液をすぐ鼻先に持っていったり味わったりするほどセンシブルである。酒類のもつデリケートな香りが素材に吸着されるという二次的な作用について化学工学が取り上げるべき要因をそこに発掘すべきではないだろうか。

次に連続化に対する化学工学技術者の考え方、ものの見方について述べてみたい。今でも、それ故に価値づけられているウィスキーのポット・スチル、これは蒸留の祖型であり単式蒸留装置といわれる。連続的に醪(原液)を供給し、連続的に留出液と廃液(缶出液)を取り出す蒸留方式になると、その当時パテントスチルと呼びあるいは発明者の名を冠して“カフェ・スチル”ともいった。これが最も素朴な連続式蒸留装置である。そしてこの連続化の考え方は化学工学者によって一つの体系化が行なわれ、今日の石油化学の中樞をなす分留装置にまで築きあげられた。一方ウィスキーのポット・スチルから発足したアルコール蒸留装置はイルゲス→ギョーム→アロス・パスの過程を経てその頂点に達し、スーパーアロスパスに変貌した。そして石油化学で開発された真空蒸留の手法を取り入れて更に躍進をつづけている。一

般に人手を省き、経費を節約し、品質を均一化（品質の向上）を期する手段はその工程を連続化することが第一義である。この連続化に対する考え方はたしかに化学工学者や化学工学技術者のお得意とするお家芸であると断言する。最後に「微生物」という生きた「触媒」は「触媒反応」という一つの連続の中に取り上げる現象である以上に微生物の増殖と死滅の連なりとに重なり合った複雑な相の中の連続化であることに注目し、化学工学者や技術者が醸酵工学者とともに新しい分野において共同の場の開けることを期待する。

生物化学工学興隆への待望

本莊太彦*

戦後急速に大きな発展をとげた抗菌性物質の醗酵による大量生産工業の一つをアメリカからの導入技術によって開始した私達は、少なくとも工業的に大規模に微生物

* 塩野義製薬(株)取締役

を利用するという技術についてはほとんど素人でありました。それにもかかわらず技術を導入したということ、運がよかったために、当初は比較的重大な trouble も起こらず軌道に乗って滑りだしたものであります。ところが約1カ年を経過した頃から突如、連続的にコンタミネーション* が続発するという大きい試練を受け、たいへんな苦勞をした上で、やっとうも一番あやしいのは空気汚過系であるらしいということに、煎じつめられ、いろいろ手を打ってようやく軌道にもどすことができました。尼ヶ崎という特に環境空気の悪い外的事情も関係があるのですが、いずれにしても、はっきりとした適切な、空気系の設計資料が把握できないままに増設拡張に当たっては、ずいぶん手の込んだ金のかかる空気汚過系を設計して取り付けるといようなはめに陥りました。

この問題にメスをいれて、科学的な裏付けを得るための実験的、理論的研究を行なうのはどのような専門分野の仕事であるか？ということも考えてみました。空気の塵埃汚過ということであれば衛生工学や化学工学の分野で処理すればよいであろう。室内の空気中に浮遊する菌の多寡を落下菌数の測定で推定するというようなことであれば、細菌学の分野で処理すればよいであろう。ただし醗酵槽に送り込む目的で汚過した空気が実用的に無菌であることを保証する方法や、そのような保証ができる汚過設備を作るためにはどのような実験研究をどのような専門分野で遂行するのがよいか、という事は当時はっきりと言い切ることができない状態でありました。何かそこには生物に関する知識と技術をもちながら装置工学的な技術を兼ねそなえた新しい分野が必要であって、単に両者の協力だけでは手を下しかねる節があることを莫然と考えておりました。

製薬工業に醗酵技術を大きくとり入れるようになった歴史が浅いことと、その発展の足どりがきわめて急激であったことから、必然的にこれをバックアップする工学面が追いつけないままに、実際面はどんどん進んでしまっ、その大きいギャップを何とかして埋めなければならぬという状態となっていることは、ひとり私達だけではなく世界的な問題であるともいえる様に思われます。

ここで詳しい数字を示すことはお許しねがいますが抗菌性物質の生産原価に占める動力関係の費用の割合は意外に大きいものであって、特に回分醗酵の周期が長いものでは、この数字は非常に大きいものとなります。その大部分は攪拌とか、圧縮空気の製造とか、冷却などにつかわれていて、それを煎じつめて考えると結局はほとん

どの動力は、取り扱う生物の活動と発育増殖などに必要な酸素を適当に供給してやるために消費されているのであります。それにもかかわらず醗酵槽に送り込まれた空気中の酸素は、そのほとんど大部分が利用されずに素通りして外気にすてられていることを考えると、これに関与する工学は、その発展の早さに翻弄されている様な感なきを得ないのであります。長い年月の歴史をもって発達した蒸気機関車が今その歴史を閉じようとしている時に至ってもなお十数%の熱効率しか出し得ていない状態を考えると、上記の事も案外きわめて宿命的な問題を含んでいるのかも知れませんが、少なくとも重大なテーマである事は認められると思います。

回分操作にするには既に単位設備が大きくなりすぎた抗生物質の醗酵にも、いずれは連続操作が取り入れられる時が来るかも知れません。当然のことながら回分から連続へ移行することになると、関連する現象をもっとはっきり工学的に把握する必要に迫られるでしょう。こうした各種の事情をいち早く察知した先覚者達が生物化学工学という新分野の開拓をはじめられた事は私達にとっても非常によろこばしい事であり、大きい希望をもって成果を待望するものであります。

しかしこのような新しい分野では、すべてこれから開拓して行かねばならない上に、それに志す人達の数も少なく環境はきわめてきびしいものと思います。生物学（この言葉が正しいかどうか分かりませんが）と化学工学という二つの今まであまり接触したことのない領域のどちらかから出発して、新しい工学である生物化学工学を築き上げて行くために、多くの困難と戦いながら勇氣と希望をもって立ち向かっておられる先覚者に対して心から尊敬の念をもつものであります。

生物化学工学においては既に合業教授のような先覚者によって、この中間領域に強力な開拓のメスをいれておられるので、直接その指導を受けることができるものはきわめて幸せありますが、若くて有能な人達が化学工学と醗酵工学の両者を体験した上でこの道に進むならばさらに一層精神的にも能力的にも抵抗を感じる事が少なくこの学問を強く開拓して行けるのではないかと思います。その場合に両部門の先輩である諸先生方が理解をもってこの領域に志す青年に手をさしのべていただくことはきわめて大きい進展への推進力となるものと考えます。そうした意味からも今日のような会合で相互の理解が深くなることは重要な意義があるものと感じ、企画された先生方に敬意を表する次第であります。

* 純粋培養（一種類の微生物を培養すること）中、系外（空気中など）から他の微生物が侵入し純粋系が乱され汚染される現象をいう。

討 論

醱酵工学と化学工学の結びつき

醱酵工学と化学工学の結びつきに関する講演(1.00~3.40)終了後、参加者を含めた討論会に入った。以下はその概要である。討論会をはじめるに先だって桐栄氏よりたまたま来日中のツチャ教授(ミネソタ大学, 化学工学科, 生物化学工学)の紹介があり、アメリカにおける生物化学工学の動向について次のような発言があった。

ツチャ: 日本の学者たちは自分達の仕事を過少評価する傾向があることを日本に来て感じました。日本で醱酵工業が進んでいるのは古くから醸造, 醱酵がさかんであり, たとえば日本の醱酵生産はGNP(国民総生産)の約5%を占めるのに対し, アメリカのそれは1%以下であることからわかります。

アメリカの大学では生物化学工学は化学工学科に所属しています。従来, 生物化学工学出身者に対する評価は化学工学科出身者に比べて一般に低かったのですが最近では充実した厳しいカリキュラムを組むことによってその必要性がみとめられ現在は進展の途上にあります。照井先生のお話(生物体の非正常性)にもありましたように生物は“生きもの”でありますし, 私は微生物学者の立場から特に工学者が非線型の本質を念頭に入れて立ち向かっていただきたいことを望みます。

桐栄: 化学反応ではたとえば触媒反応においてもかなり純粋化されて来ているように思いますが, 醱酵方面ではどの程度までそういう考え方を使ってよいのでしょうか。もし純粋化ということが可能であるならば, これにもとづいて反応速度の解析とか反応装置の設計とかいふようなものがどの程度まで考えられるものか, これが私達が一番素朴に抱いている疑問点でございます。照井, 合葉両先生のご意見をお願いします。

照井: 微生物細胞の挙動についてはいくつかのモデルを示すことができる。近年はミクロの調節機構を含めたモデルがシステム・アナリシスの前提として提出されている。ミクロから出発してマクロ挙動の定式化や, マクロからするミクロのフィードバックなど目下発展の途上にあります。

合葉: 非常に複雑な生物反応を掘りさげて行くと酵素反応のルールに従って非線型であります, 反応工学的なアプローチの仕方は将来非常に希望がもてるのではなからうかと考えております。さらに化学工学の立場からのアプローチをまっている材料が非常に多くあるということを強調しておきます。

ツチャ: ここでもう一言つけ加えさせていただきます。

生物化学工学の行き方について私は次の点が大事であると考えます。1) 定義 2) 物理的概念 3) 仮定 4) 方程式 5) 実験, 3)と5)にはデータが必要だと思います。反応速度論では, 1) 保存則 2) 量的関係 3) 状態方程式が必要であるが, 生物系では境界条件が明確ではなくしかも非線型になる場合が多くそれに加えて“状態”のみでなくさらに“時間”も加わった両面をもっているので注意しなければなりません。

合葉: 仮定をだして解析をおこなうことは工学の常道でありましょう。酵素反応ではたとえば Monod の式で律速になっている栄養基質を考えることによって基質の濃度と反応速度の関係を予測できる例もあります。

桐栄: ではこれより会場の方々から御質問なり御意見をうけたまわれば幸いです。

矢野: 府立大の矢野です。熱化学反応では温度という非常に重要な変数がありますが生物系ではどのようになっていますか。

合葉: 化学工学での温度の影響とはことな生物の場合は全体の温度範囲が20°Cから40°C位で非常に狭く温度以外に他の環境の影響, pHとか栄養物の濃度などがからみあっており一般的な触媒の場合にくらべると非常に制限因子が多いのでございます。

矢野: 生体反応では境界条件が大事であり, この点を考えに入れて熱化学反応でやっているようなモデル化が可能でしょうか。

合葉: 成功した例がきわめて少ないのは事実ですが近い将来可能であろうと思います。

小林: 私たちは好気培養でイタコン酸をつくっておりますが, 化学反応と同じような式をつくることを考慮して, 現在のところ培養条件(菌濃度, 糖濃度, ガス分圧, pH, 温度)をパラメータにして実験式をえている段階です。

桐栄: 京大の福井, 吉田先生の所では生物化学と化学工学両面からの共同研究をなさっておりますがおのの立場からきたんのないご意見をねがいします。

福井(京大): 私の研究室は正式な名称を工業化学講座といいます。取り扱う問題はたとえば酵素反応機構を有機理論化学的立場から研究して化学触媒の研究に役立てようとするものから, 醱酵によって有機反応ではえられにくいような複雑な構造や立体特異構造をもつ物質を作ろうとする応用微生物学的な領域に至る広い範囲を要求されています。工業化学の学生は基礎化学の教育を多く受けている関係上, 前者に興味をもつものが多く, 後者特に工学的な立場に立って微生物化学工業を取り扱うことは苦手のようです。しかしこの問題はきわめて重要ですので化学工学教室の吉田文武先生の処と協力して輪読などによって勉強しております。一方化学工学の分野

では従来なかなか微生物の方面まで手がまわらなかったため、両者の間にはなおギャップがあるように思います。さいわいわれわれの方ではお互にざくばらんに話し合っただけなので、やがて共通の場ができて前進していけるのではないかと楽しみにしています。

吉田(京大): 福井先生のおっしゃったとおりですが、日本では大学教育の2年間位の差によって化学屋は化学屋らしく化学工学屋は化学工学屋らしくなり共通の話が通じなくなる傾向があります。その点アメリカではもっと幅が広く化学工学でも工業化学のようなことも含まれており話がわからなくなるといことはあまりないようです。したがってこのような日本の現在の教育制度を今一度考えてみる必要があると思います。

桐原: 三浦さん化学工学の立場からどうぞ。

三浦(阪大薬学): 現在までは醸酵の方々と輪講とか共同研究をやるということはあまりやっておりませんが、私が困っていることは生化学的なことがわからないということとデータの再現性が非常に乏しいということであり、これは生物の取り扱い方に原因があるのかも知れませんが、反応速度論的な解析を行なう場合に再現性の乏しいデータでどのように処理していくかお教えねがいたいと思います。

桐原: 解析が非常にむずかしいことおよび根本をもっとほりさげるということはさきほど照井、合葉先生がおっしゃったところだろうと思います。次に最近アメリカからお帰りになりました田口先生に化学工学に対する注文なりご意見をお聞かせいただければと思います。

田口(阪大工): アメリカの生物化学工学は日本に比べ学生が少ないように思います。それはさきほどツチャ先生がいわれたようにGPNの差ではないかと思います。したがって世界的な立場からみて日本の生物化学工学のアプローチの仕方としてはじめから定式化しなくても工学的にみて何か定型化できればそれでスケールアップなどもできるのではないかと思います。

桐原: 私もこのような中間的な段階を通ることが必要であるということに同感でございます。このような討論について何がご意見はありませんか。

照井: 残念なことではありますが実は醸酵屋にも生体の動特性とこれに関連した内在的過程はよくわかっていないように思う。定性的には多くの知見があるが、これを動力学的に定量的に把握することが欠けている面があり、機能的(非原理性)不確定性の要因が至るところにあるようです。近年これを解析的に取り扱って成功している面もあり、しだいに工学に結びつくように前進していると思います。

桐原: それでは本荘さんにメーカーに注文を出す時何に一番注意しているかなどについてお話を願いま

す。

本荘: 一番困ることは機械屋さんが生物についてほとんど無知であって、また注文者側としても現在のところ生物との結びつきがよくわからない。このような点からも生物化学工学の発展が望まれる次第です。

桐原: 醸酵の現場に十分な経験をもっていられる立場から化学工学技術者に希望される点などを中心にまた逆に化学工学の御出身で醸酵をやっている立場から醸酵技術者に対する御意見を聞くことに致します。それでは三楽オーシャンの北井さん(醸酵技術者)をお願い致します。

北井: むしろ我々の方で反省すべき点は、生物系統の人はさきほどツチャ先生のことばにもありましたように“データは多いが理論が不足している”のでございまして非常にデータが多いにもかかわらずそのデータが定量的に表現されていない場合が多い。ですから我々の義務として化学工学的につかえるデータを出すべきだと痛感した次第です。

桐原: 化学工学出身の“味の素”の安田さん。

安田: 私が思いますには醸酵屋さんは科学者であって工学者ではないということでございます。工学屋は少なくとも便宜的ではあるが式にまとめて将来の予測に役立てようとはしますが、醸酵屋さんはいささか何が真実であるかという点に少し興味をもちすぎているように思います。

桐原: 次に農芸化学の御出身で現場の経験のおありになる科研化学の江角さんをお願いします。

江角: 私は農芸化学を出て14、5年になりますが、いろいろ困ることばかりの連続でお互いに共通の場がなかったように思います。具体的な一例といたしまして化学工学で取り扱っている攪拌の問題でもニュートン流体の場合が多くわれわれがやっている微生物の培養では粘性の高い非ニュートン流体の場合がほとんどで、このような液についての通気攪拌など非常に困っておりますし、このような点での両者のあゆみよりが必要でないかと思います。

桐原: どうもありがとうございました。非ニュートン流体の問題は化学工学の方でもはじまったばかりでございます。時間が参りましたが本日は第1回でございます。私は第2回、第3回と続けて行きたいと思います。さきほど田口先生からご注意がございましたが第2回に何をとりあげて行くかということは本日の討論の結果を反省しまして化学工学協会と醸酵工学会とよく打ち合わせして決めたいと思います。そして共通の場で本日のようになごやかに進めたいと思います。どうも皆さんありがとうございました。

編集者あとがき

以上、この講演討論会の内容が今月の特集記事企画に好適であったので、主催者をお願いして特に報告、紹介させていただいた。取材にあたっては主催者の方々、特に司会の桐栄良三氏にはいろいろと御配慮いただき、編集に際しては永井史郎氏をはじめとする東大応用微生物

研究所第11研究部の諸氏に御協力いただいた。

なお、照井亮造、合葉修一両氏には別に解説記事の執筆をお願いしたので当日の講演内容紹介は省略させていただき、小林達吉、本多久吉、本荘太彦3氏の講演内容についても紙数の都合上、大幅に割愛、圧縮させていただいた。討論の部も含めて、この報告記事は講演テキスト、当日の要点筆記、録音テープなどから編集した上で各発言者の了承を得たものであるが、記事の責任はあくまで編集者にあることを付記しておきたい。

醗酵過程における酸素移動について*

田口久治**・A. E. Humphrey***

緒言

好氣的な液内培養において微生物の発育、代謝およびそれらの速度に影響を与える因子としては培地組成、pH、温度、生産物、溶存酸素、溶存炭酸ガス、消泡剤、攪拌強度、混合の度合などが考えられる。酸素は溶解性が低く、濃度勾配が小であるので希望する移動速度を得るためには酸素移動容量係数を大にする必要があり培養系の物質移動のうちでも特に関心が払われてきた。したがって酸素移動に関連する培養系の通気・攪拌の研究業績や問題点を取り扱った解説は非常に多い。特に Bartholomew⁽¹⁾、Finn⁽²⁾、Richard⁽³⁾、三浦⁽²⁾らの詳細な総説が見うけられるが、ここでは醗酵過程における酸素移動の問題のうちスケールアップに関係した研究の紹介と、通気・攪拌の重要な尺度と考えられる酸素移動容量係数の決定法について筆者⁽²⁾らの行なった研究をふくめて記述する。

1. 醗酵における酸素需給

醗酵過程で微生物が要求する酸素および微生物の呼吸が影響されるようになる臨界酸素濃度の値は Finn⁽²⁾によって表1、表2のごとくまとめられている。ここで注

目されることは同じ *A. niger* に属する菌株でも目的とする生産物の違いによって酸素消費速度が異なることである。培養系の酸素の移動に対しては気泡周辺の液膜抵

表1 微生物の最大酸素要求速度

微生物の種類	生産物	酸素要求速度 [mMol/l·hr]
活性汚泥	—	1~2
<i>Escherichia coli</i>	—	—
<i>Aerobacter aerogenes</i>	—	5~8
酵母	—	10~15
<i>Streptomyces griseus</i>	ストレプトマイシン	340
<i>Ustilago zeae</i>	ウスチラギン酸	15
<i>Penicillium chrysogenum</i>	ペニシリン	16
<i>Aspergillus niger</i>	クエン酸	20~30
	α-アミラーゼ	28
<i>Acetobacter sp.</i>	—	56
<i>Azotobacter vinelandii</i>	—	90
	—	260

表2 臨界溶存酸素濃度

微生物および組織	温度 [°C]	C _{crit} [mMol O ₂ /l]
発光細菌	24	0.01
<i>Azotobacter vinelandii</i>	30	0.018~0.049
<i>Escherichia coli</i>	37.8	0.0082
	15.5	0.0031
酵母	34.8	0.0046
	20.0	0.0037
<i>Penicillium chrysogenum</i>	24	0.022
腎臓片	37	0.85

* 昭和41年8月18日 受理

** H. Taguchi 大阪大学工学部 醗酵工学教室

*** The School of Chem. Eng., Univ. of Pennsylvania