

## 蛍光式酸素センサーの普及

石川 陽一

1979年に、世界で初めて繰り返しオートクレーブ滅菌に耐える隔膜式酸素センサーが日本で開発された<sup>1)</sup>。以来、発酵条件の最適化のために必須なツールとして使われてきたが、最近蛍光式センサーがその主役を奪いつつある。本稿では、各センサーの特徴について比較する。

隔膜式酸素センサーは撥水性の隔膜を透過し、電解液に溶解した酸素をカソードで還元し、その時の還元電流を計測している(図1)。一方、蛍光式は蛍光物質に励起光を照射すると、その蛍光強度が酸素の影響で減少する現象を利用している(図2)。したがって蛍光強度を計測すれば酸素濃度に換算できる。しかし、蛍光強度は蛍光物質の量、励起光源や受光素子の劣化、蛍光物質の汚れや劣化などの影響で変動してしまう。そのため蛍光が消光する半減期などそれらの影響を受けない指標を基に、酸素濃度を測定している。従来の隔膜式センサーと同じ形状で作れるので、培養槽への取り付けの互換性はある。

### 蛍光式酸素センサーおよび隔膜式酸素センサーの特徴・特性

蛍光式および隔膜式はともに、酸素濃度0%から100%まで直線性があり、蛍光式の90%応答速度(定常値の90%に達する時間)はメーカーによって異なるが、

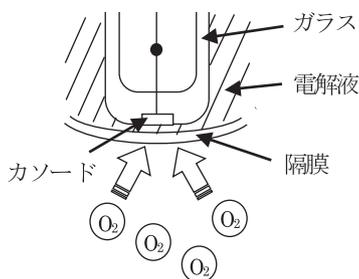


図1. 隔膜式酸素センサーの原理

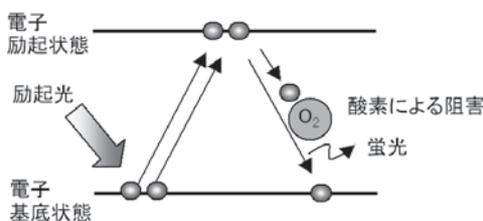


図2. 蛍光式酸素センサーの原理

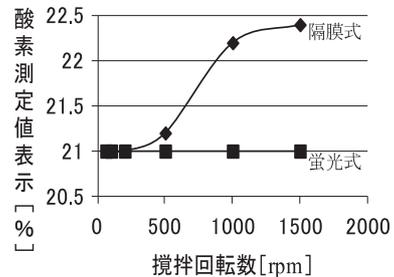


図3. 攪拌の影響 (0 rpmで校正したとき)

高性能の製品はほぼ30秒と同等である。蛍光式と隔膜式の主な差異を以下に示す。

1. 蛍光式は被検液の酸素を消費しないが、隔膜式はカソードで酸素を消費するためカソード近傍の酸素が減少する。そのため、被検液の均一な酸素分布を得るため攪拌が必要で、かつ、攪拌速度の影響を受ける(図3)。
2. 隔膜式はカソードで酸素が水酸化物イオン(OH<sup>-</sup>)に還元され、アノードでアノード材料(金属)が酸化される。この反応に伴い、アノードと電解液が変質するため、それらの定期的メンテナンスが必要になる。隔膜はテフロン製のため、オートクレーブにより変質する。そのため、高頻度で隔膜および電解液の交換や電極のメンテナンスが必要である。蛍光式もオートクレーブによって蛍光強度が減少するが、オートクレーブ30回に1回程度蛍光物質を交換すればよく、小部品の交換だけなのでメンテナンスが容易である。
3. 蛍光式はオートクレーブによって0点がずれないが、隔膜式は電極や隔膜の変質などによって0点がずれ、オートクレーブ後には0点校正ができないため、酸素0付近での測定に信頼性を欠くことがある。
4. 蛍光式は光学系が必須なので、計測器が高価である。

### 蛍光式酸素センサーの応用

蛍光式では蛍光物質を培養槽内壁や底に塗布し、槽外から励起光を照射することで測定できるので、培養槽を小型化できる。蛍光物質はガンマ線で滅菌できるため、シングルユース培養槽では必須の技術である。直径0.8 mmの針に組み込んだ製品もある。そのほか、シャーレなどの面での酸素分布測定など多方面での応用が期待される。

1) Ohashi, M. et al.: *Biotech. Bioeng. Symp.*, 9, 103 (1979).