



第2回

# 科学の甲子園 全国大会

## 実技競技 ①「灘の酒」

採点基準

◆次表の配点で採点を行い、本競技の順位を決定する。

評価項目		配点	
I. 実験ノート		10点	
II. 気体捕集量		(順位点) 60点	
III. レポート	1. 実験目的	5点	110点
	2. 実験手順と操作	20点	
	3. 実験結果	50点	
	4. 考察	35点	
合計		180点	

I. 実験ノート (配点 10 点) ◎, ○, △の3段階で採点する。

評価	得点	評価の観点
◎	10点	事前学習の内容, 競技中の記録等, 図や絵も交え十分に記載されている。
○	7点	事前学習の内容や競技中の記録等が記載されている。
△	4点	事前学習の内容や競技中の記録等の記載が不足している。

コピーや切抜き等が貼付されていた場合には 2 点を減じる。

II. 競技前半終了時における気体捕集量 (配点 60 点, 順位点)

競技進行員が確認した各チームの気体捕集量 (mL) の多い順に順位点を与える。

ただし, シリンジ内に発酵液・泡が浸入した場合には, それらの量の合計を 5mL ごとにきざみ, それぞれ 5mL をシリンジの目盛の合計から減じて気体捕集量とする。

(例. シリンジの目盛 60 mL, 発酵液・泡の浸入 8 mL のとき, 気体捕集量 = 60mL - 2 × 5mL = 50mL)

なお, 同順位の場合はその順位の点を与える。

(例. 2 チームが 3 位同順位の場合は 3 位の 50 点を両チームに与える)

順位	得点	順位	得点	順位	得点
1位	60点	4位	45点	7位	30点
2位	55点	5位	40点	8位	25点
3位	50点	6位	35点	9位	20点

10 位以下は一律 15 点。ただし, 気体捕集量 0 mL は 0 点

III. レポート (配点 110 点)

1. 実験目的 (5 点)

次のキーワード (類語は可とする) が記されていれば, キーワード 1 つについて 1 点ずつ, 最高 5 点まで与える。

ただし, 単なる問題文のコピーであったり, キーワードの羅列に終始して文章として目的が明確に記載されていない場合には, キーワードについての得点を 0.5 倍する。

最適温度, (CO <sub>2</sub> ) の希釈, CO <sub>2</sub> 分圧, (CO <sub>2</sub> ) の溶解量, (CO <sub>2</sub> ) の物質量 エタノールの生成量, 気体の状態方程式, ヘンリーの法則
--

## ■解答例1 (模範解答)

乾燥酵母とスクロースを用いて発酵液を最適温度に維持しながらアルコール発酵を行い、できるだけ多くの  $\text{CO}_2$  を捕集する。さらに、捕集した  $\text{CO}_2$  を希釈し、 $\text{CO}_2$  濃度を検知管で測定して  $\text{CO}_2$  分圧を求め、気体の状態方程式やヘンリーの法則を用いて  $\text{CO}_2$  の捕集量と発酵液への溶解量、それぞれの物質量とエタノール ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) の生成量を計算する。

## ■解答例2 (模範解答)

- 乾燥酵母 1.0 g と糖 12 g を水 80mL に溶かし、適切な保温によって最適温度を維持しながら、効率よくアルコール発酵を行わせ、 $\text{CO}_2$  を捕集する。
- 捕集した  $\text{CO}_2$  を希釈し検知管で測定した濃度から、 $\text{CO}_2$  分圧を求める。
- $\text{CO}_2$  分圧から、気体の状態方程式とヘンリーの法則により、捕集した  $\text{CO}_2$  と溶解した  $\text{CO}_2$ 、それぞれの物質量を求める。
- 3 より、アルコール発酵で生成したエタノールの質量を求める。

## 2. 実験手順と操作 (20 点)

実験手順を次の①～⑤の 5 項目に分け、各項目を○、△の 2 段階で採点する。

評価	得点	評価の観点
○	4 点	解答例に書かれた内容をほぼ満たした手順や操作が記載されている。
△	2 点	解答例に比べ、手順や操作の記載がかなり不足している。

- 発酵装置の組み立て (装置の図) と発酵液の調製
- 発酵 (温度測定, 気体捕集量の測定)
- アルコールセンサーによる検出
- シリンジによる  $\text{CO}_2$  の希釈
- 検知管による  $\text{CO}_2$  濃度の測定

手順は「競技方法」にも記載されており、上記①～⑤の 5 項目に分けていなくても、必要な操作が手順どおり盛り込まれていればよい。

## ■解答例 (模範解答)

## ① 発酵装置の組み立て (装置の図) と発酵液の調整

- 試験管に温度計とガラス管のついたゴム栓をはめ、ガラス管にはピンチコックに通したシリコンチューブを取り付ける。シリコンチューブの他端には目盛が 0 であることを確認したシリンジを接続する。
- 発泡スチロールコンテナのふたに試験管を通す穴をあける。コンテナの中には広口ペットボトルを置き、約  $50^\circ\text{C}$  に調整したお湯を入れて試験管を温められるようにしておく。(広口ペットボトル不使用も可)
- 発酵装置の図 (装置の材料: 試験管, 2 穴ゴム栓, 温度計, ガラス管, チューブ, シリンジ, ピンチコック, 輪ゴム, 保温容器, (広口ペットボトル), お湯)

## 実技競技 ①

4. 乾燥酵母と糖をビーカーに入れ、メスシリンダーで計った「おいしい水 六甲」80 mLを静かに注ぎ、ガラス棒で手早く混ぜて全体をよく溶かし、発酵液を調製する。
5. 調製した発酵液を手早く試験管に移し、試験管上部に空気層ができるように脱脂綿を詰めた後、ゴム栓やシリンジを元のように取り付ける。
6. 試験管上部の空気層の高さを定規で測り記録する。

### ② 発酵と発生する気体 (CO<sub>2</sub>) の捕集

1. 実験開始の時刻と発酵液の温度を記録し、試験管を発酵装置にセットする。チューブが折れ曲がらないように、シリンジを輪ゴムで温度計にかるく止める。
2. 2分おきに、気体 (CO<sub>2</sub>) 捕集量 (シリンジの目盛 0.5 mL 単位) と発酵液の温度を読んで記録し、グラフを書く。
3. 気体 (CO<sub>2</sub>) 捕集量が 50 mL を超えたら、シリンジをチューブごと手早く取り外してピンチコックでチューブを止め、別のシリンジをつないで捕集を続ける。
4. 「やめ」の合図で気体 (CO<sub>2</sub>) を捕集したシリンジを取り外し、捕集量の合計を競技進行員に報告して確認を受ける。

### ③ アルコールセンサーによる検出

1. アルコールセンサーの操作方法にしたがって、センサーのクリーニングを行う。
2. 濃度測定に必要な量の気体 (CO<sub>2</sub>) を確保して、シリンジ内の残りの気体 (CO<sub>2</sub>) をセンサーの吹込口に吹きかけ、表示されたアルコール検出値を記録する。
3. 気体 (CO<sub>2</sub>) 捕集量が十分にある場合には、測定を繰り返す。

### ④ シリンジによる CO<sub>2</sub> の希釈

1. シリンジに付けたチューブのピンチコックを外し、希釈後のシリンジ内の CO<sub>2</sub> 濃度が 50%以下、かつ全量 50 mL (～ 60 mL) になるように、CO<sub>2</sub> を希釈する。
2. 希釈前と希釈後のシリンジの目盛の値をそれぞれ記録する。
3. 捕集したシリンジが 2 本以上のときは、1 本目と 2 本目以降の、2 本のシリンジの CO<sub>2</sub> をそれぞれ希釈する。

### ⑤ 検知管による CO<sub>2</sub> 濃度の測定

1. 検知管の操作方法にしたがって、検知管の両端をカットし、ガス採取器に差し込んで取り付ける。
2. 検知管の先端をシリンジに付けたチューブに取り付ける。
3. ガス採取器のハンドルを引きシリンジ内の希釈した CO<sub>2</sub> を 50 mL 吸引する。
4. ガス採取器から検知管を取り外し、CO<sub>2</sub> 濃度を読み取る。
5. CO<sub>2</sub> 濃度測定値を検知管を添えて競技進行員に報告し、確認を受ける。

## 3. 実験結果 (50点)

## (1) 発酵液の調製に使用した酵母, スクロースの質量 (g) と水の体積 (mL) (2点)

3つの使用量がすべて記載されていれば2点を与える。

■解答例 酵母 1.0 g, スクロース 12 g, 水 80mL → 2点

## (2) 気体捕集量 (シリンジの目盛の合計) (2点)

捕集気体の量 (mL, 0.5 mL 単位) とシリンジに浸入した発酵液・泡の体積 (mL, 1mL 単位) がすべて記載されていれば2点を与える。記載もれは1点減点

■解答例 ・シリンジ 1本目 52.5 mL, 2本目 18.0 mL, 計 70.5 mL  
発酵液・泡 3 mL 泡 0 mL → 2点

(3) 発酵時間と気体 (CO<sub>2</sub>) 捕集量, 発酵温度の関係を示すグラフ (4点×2)

グラフ用紙は1枚なので, 2つに分割して書いても, 1枚にまとめてもよい。

両軸の表す量の名称, 単位が記されていれば4点を与える。両軸の線が片方でも記されていない場合は1点, 表記等が不十分な場合には各2点を, それぞれ減じる。

測定時間の間隔は5分以下であれば可。5分を超える間隔の場合は1点を減じる。

■解答例 (略)

## (4) アルコールセンサー検出値 (2点)

検出ができていれば2点を与える。検出値0の場合は0点

■解答例 0.45 mg/L → 2点

(5) 検知管による CO<sub>2</sub> 濃度測定値 (8点)

測定結果の数値が記載されていれば測定値1つにつき4点を与える。

異なるシリンジの CO<sub>2</sub> 濃度について, 検知管2本分の結果が記載されていた場合のみ8点

■解答例 ・28% → 4点, シリンジ1本目 28%, 2本目 34% → 8点

(6) 発生した CO<sub>2</sub> の物質量 (mol) (24点)

CO<sub>2</sub> の物質量 (mol) を求めるための次のア～カの計算に対して各4点を与える。

ア. 試験管上部の空気による希釈を考慮して CO<sub>2</sub> 濃度を計算している。

イ. 検知管の CO<sub>2</sub> 濃度と希釈率を考慮して希釈前の CO<sub>2</sub> 濃度を計算している。

ウ. シリンジ1本目と2本目 (以降), それぞれについて CO<sub>2</sub> 濃度を計算している。

エ. 気体の状態方程式を用いて CO<sub>2</sub> の物質量を求めている。

オ. シリンジ1本目と2本目 (以降), それぞれについて CO<sub>2</sub> の物質量を計算している。

カ. ヘンリーの法則から, CO<sub>2</sub> の分圧と発酵液の温度をもとに発酵液に溶解した CO<sub>2</sub> の量を計算している。

なお, 計算式の誤りや計算ミスがあったときには, 1ヶ所につき2点ずつ減じるが, 誤った数値を用いた, それ以後の計算については計算方法が正しければ減点しない。

また, 上記ア～カ以外で, チューブ内の体積を考慮するなど, 発生した CO<sub>2</sub> の物質量 (mol) を正確に求めるための計算等があれば, 4点を上限に適宜加点する。

■解答例

提示されたデータ (例)	大気圧 $1.01 \times 10^3$ hPa, 室温 $17^\circ\text{C}$ 気体定数 $8.31 \times 10^3$ Pa·L / (K·mol), 気体のモル体積 22.4L/mol 発酵終了時の温度 (例: $43^\circ\text{C}$ ) での $\text{CO}_2$ 溶解度 0.499 mL / (水 1mL, $1.01 \times 10^5$ Pa)
実験データ (例)	試験管上部の空気の体積 11.7mL (空気層の高さ 20 mm) 発酵液の水の量 80 mL 気体捕集量 シリンジ 1 本目 52.5 mL, 2 本目 18 mL, 計 70.5 mL 希釈率 シリンジ 1 本目 捕集気体を 25 mL に減らして空気 50 mL に希釈 シリンジ 2 本目 捕集気体 18 mL を 50 mL に希釈 $\text{CO}_2$ 検知管% シリンジ 1 本目 34%, シリンジ 2 本目 30%

◇ ア～オの計算例

◇シリンジ 1 本目についての計算

・希釈前の  $\text{CO}_2$  濃度の計算

$$\frac{\text{検知管\% (34)}}{\text{イ}} \times \frac{\text{空気による希釈率 (52.5 / (52.5 - 11.7))}}{\text{ア}} \times \frac{\text{希釈率 (50/25)}}{\text{イ}} = 87.5\%$$

・ $\text{CO}_2$  の物質量  $n$  の計算

$$\begin{aligned} n &= P (\text{分圧}) \times V/RT \\ &= \text{CO}_2 \text{ 分圧 } (1.01 \times 10^5 \times 87.5/100) \times \text{体積 } (52.5/1000) / (8.31 \times 10^3 \times \text{室温 } (273 + 17)) \\ &= \frac{1.93 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdots (\text{i})}{\text{エ}} \end{aligned}$$

◇シリンジ 2 本目についての計算 → ウ. オ

・希釈前の  $\text{CO}_2$  濃度の計算 (アは不要)

$$\frac{\text{検知管\% (30)}}{\text{イ}} \times \text{希釈率 (50/18)} = 83.3\%$$

・ $\text{CO}_2$  の物質量  $n$  の計算

$$\begin{aligned} n &= P (\text{分圧}) \times V/RT \\ &= \text{CO}_2 \text{ 分圧 } (1.01 \times 10^5 \times 83.3/100) \times \text{体積 } (18/1000) / (8.31 \times 10^3 \times \text{室温 } (273 + 17)) \\ &= \frac{6.28 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdots (\text{ii})}{\text{エ}} \end{aligned}$$

◇シリンジ 3 本目以降の計算は 2 本目の濃度を用いて (ii) 同様の計算となる。… (iii)

◇ カの計算例

発酵終了時の温度  $43^\circ\text{C}$ , この時の  $\text{CO}_2$  溶解度 0.499mL / (水 1mL,  $1.01 \times 10^5$ Pa), 気体のモル体積 22.4L であるから, 発酵液の水 (80mL と近似する) に溶けた  $\text{CO}_2$  物質量  $n'$  は

$$\begin{aligned} n' &= \text{CO}_2 \text{ 溶解度 } (0.499\text{mL} / (\text{水 } 1\text{mL}, 1.01 \times 10^5\text{Pa})) \times \text{水 } (80\text{mL}) \times \text{CO}_2 \text{ 分圧 } (1.01 \times 10^5 \\ &\times 83.3/100) / (1.01 \times 10^5\text{Pa} \times 22.4 \times 10^3\text{mL}) = \frac{1.48 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdots (\text{iv})}{\text{カ}} \end{aligned}$$

(i) + (ii) + (iv) より  $\text{CO}_2$  の物質量 =  $4.04 \times 10^{-3} \text{ mol} \doteq 4.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$



## (7) エタノールの生成量 (4点)

(6)の結果×46 (g/mol) で正しく計算されていた場合に4点を与える。  
エタノールの分子量の誤りや単純な計算ミスは2点を減じる。

## ■解答例

アルコール発酵によって生成する  $\text{CO}_2$  と  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (分子量46) の物質量は等しいので、生成したエタノールは

$$4.04 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 46 \text{ g/mol} = 0.185 \div 0.19 \text{ g} \quad \text{である。}$$

競技中に与えるデータ(気圧・気温は発酵終了時の値。気温・気圧以外は資料を配付)

- ・会場の気圧 (1気圧 =  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ )
- ・会場の気温 ( $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ )
- ・気体定数  $8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$
- ・気体のモル体積  $22.4 \text{ L/mol}$
- ・原子量 C=12, H=1.0, O=16
- ・ $\text{CO}_2$  の溶解度表  
(1気圧の  $\text{CO}_2$  が水 1mL に溶ける体積を標準状態 ( $0^\circ\text{C}$ , 1気圧) に換算した値)

## 4. 考察 (35点)

## 考察問題 (15点)

## 【解答例】

- 問1 「おいしい水 六甲」にはミネラル成分(ナトリウム, カルシウム, マグネシウムなど)が含まれているが、「南極大陸上の氷を融かした水」には含まれていない。
- 問2 南極大陸上の氷は(空から降ってきた)雪が固まったので、「南極大陸上の氷を融かした水」は(蒸留水のように)純水になるが、「おいしい水 六甲」は地層中のミネラル成分が溶け込んでいるから。
- 問3 「おいしい水 六甲」
- 問4 酵母の増殖には、細胞内のミネラル(イオン)として、 $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  などが必須である。「南極大陸上の氷を融かした水」にはミネラルがきわめて低いのに対し、「おいしい水 六甲」には含まれているから。
- 問5 窒素(N)とリン(P)
- 問6 増殖に必須のタンパク質, 核酸, リン脂質を合成するため必要であり、かつ、ショ糖を「おいしい水 六甲」に溶かした培養液にはあまり含まれていないものは窒素(N)とリン(P)であるから。

## 【配点と採点基準】

- 問1 (2点) ミネラルの記載がなければ不可。
- 問2 (3点) ミネラル含有量についての対比が明確であること。
- 問3 (2点)
- 問4 (2点) 次の2点が書かれていればよい。各1点で計2点。
- ①酵母の増殖には、細胞内のミネラル(イオン)である  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  などが必須である。
  - ②南極大陸上の氷を融かした水にはミネラルがきわめて低いのに対し、「おいしい水 六甲」には含まれている。

問5 (2点) 窒素 (N) とリン (P) で各1点。元素名でも原子記号でもよい。

2つの解答のうちで正解のものみに点数を与え、誤答は減点しない(例:N, Znとあれば1点)。2つ以上の解答した場合は1つについて1点減点するが、0点以下にはしない(例:N, P, Znとあれば1点)。

問6 (4点) 次の2点が書かれていればよい。

- ①酵母の増殖にはタンパク質, 核酸, リン脂質などが必須であること。(タンパク質, 核酸, リン脂質のうち2つが書いてあれば各1点で計2点)
- ②タンパク質, 核酸, リン脂質の成分元素で, 培養液に含まれていない主要な元素が窒素 (N) とリン (P) であること。(2点)

考察 (20点)

考察した項目数によらず, 次の観点により◎, ○, △の3段階で包括的に採点する。

評価	得点	評価の観点
◎	20点	事前学習や実験結果を踏まえた十分な考察が行われている。
○	10点	実験結果に対する考察が概ね行われている。
△	5点	考察が不足している。

次のような考察が想定される。

- ・酵母菌の代謝や発酵, 解糖系などについて
- ・アルコール発酵の最適条件や本競技の実験条件について
- ・気体 (CO<sub>2</sub>) 捕集量などのグラフについて
- ・実験におけるシリンジや検知管の読みなど, 測定誤差について
- ・試験管上部の空気の影響について
- ・CO<sub>2</sub> の発酵液への溶解について
- ・CO<sub>2</sub> の物質量 (mol) を求める際に考慮すべき事項について
- ・アルコールセンサーの検出値やエタノール生成量について

◆優勝チームの決定方法について

同点により1位のチームが複数ある場合には, 次の順に評価して優勝チームを決定する。

- ①気体捕集量
- ②レポートの内容 (3. 実験結果の得点)
- ③実験ノートとレポートの得点合計