

ボンベ熱量計

キーワード：燃焼、有機物、発熱量

概要

本装置は、固体や液体の発熱量を測定する装置であり、熱管理分野をはじめ、電力、化学、製鉄、食品、畜産など各産業界の品質管理から研究開発まで幅広く利用されている。本装置の外観および概要を図1に示す。



形式	IKA製カロリーメーターC5000 2/12
測定範囲	最大 40000 J
測定精度	発熱量標定用安息香酸 1g の熱量に対して±0.1%以下

図1 本装置の外観

発熱量とは

発熱量は、一定の単位の有機物が完全燃焼する際に発生する熱量であり、MJ/kgのように表される。ここで、有機物の完全燃焼で生成した水は、温度によって液体と気体の場合があるため、発熱量は水分の凝縮潜熱を考慮して記載する必要がある。そのため、水分の凝縮潜熱を含んだ値を高位発熱量(H_h)、含まない値を低位発熱量(H_l)と区別している。通常の燃焼装置では、水蒸気の凝縮潜熱を取り出して利用することはないので、低位発熱量がよく用いられる。

本装置は、原理上、高位発熱量を測定するため、

次式を用いて試料の低位発熱量を算出する。

$$H_l [\text{MJ/kg}] = H_h - r(9H+w)$$

H: 試料中の水素 [wt.%]

w: 試料中の水分 [wt.%]

r: 水蒸気の凝縮潜熱 [MJ/kg]

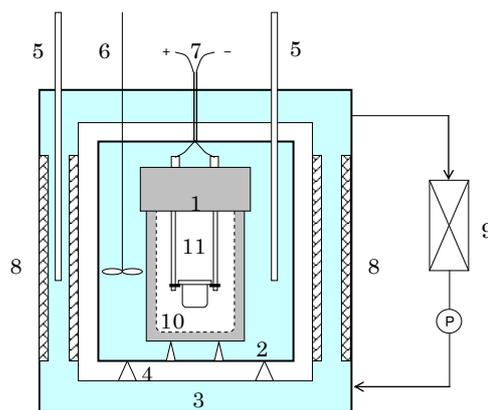
代表的な有機物の高位発熱量を表1に示す。

表1 各種有機物の発熱量

有機物		高位発熱量
一般炭	[MJ/kg]	25.7
灯油	[MJ/L]	36.7
都市ガス	[MJ/Nm ³]	44.8
固体バイオマス燃料	[MJ/kg]	15.0

ボンベ熱量計の測定原理

ボンベ熱量計は、圧力容器の中で高圧酸素を用いて試料を完全燃焼させ、発生した熱を熱量計内の水に吸収させることによって試料の発熱量を測定するものである。ボンベ熱量計の構造を図2に示す。



- 1: ボンベ 2: 内槽 3: 外槽 4: 支持体
- 5: 熱電対 6: 攪拌棒 7: 点火コード
- 8: ヒーター 9: 冷却器 10: 試料容器
- 11: 点火用電極

図2 ボンベ熱量計の構造

測定方法は、まず試料を試料容器にとり、点火線をつけてボンベ内の所定の箇所に設置し、蓋を閉めた後に高圧酸素を封入する。次に、点火線により試料を点火させ、完全燃焼させる。そのときに発生する熱をボンベ周囲にある水(内槽)に伝えて水温の変化を熱電対により測定する。

ボンベ熱量計の熱量検出方法には、測定系(ボンベと内槽)と外槽との間の熱交換の違いにより、主に断熱型と等温壁型がある。断熱型は熱容量の測定に用いられ、等温壁型は燃焼熱の測定に使用されることが多く、ともに JIS M 8814、DIN 51900 及び ISO 1928 に規定されている。

断熱型は、測定系をほぼ完全に断熱して測定するもので、ボンベ内で発生した熱はすべて測定系の温度上昇に寄与する。測定系の断熱を達成するために、外槽の温度調節は、図3に示すように内槽の温度上昇に追従する形で行われる。発生した熱量 Q は、測定系の熱容量 C と温度変化 ΔT によって次式で表される。

$$Q = C \Delta T$$

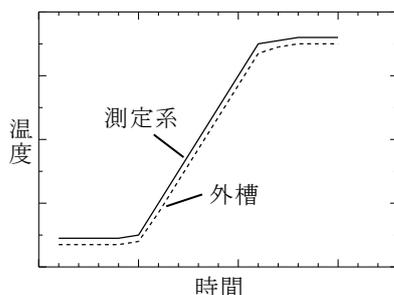


図3 断熱型の温度変化

一方、等温壁型は、測定系を一定温度の外槽に浸して行うものであり、図4に示すように測定系と外槽との間にわずかに熱流が生じる。熱流に伴う熱伝導はニュートンの冷却の法則によって補正する。ニュートンの冷却の法則は、測定系の温度を T_s とし、外槽の温度を T_{out} とすると、

$$dT_s/dt = u + k(T_{out} - T_s)$$

で表される。ここで、 k は冷却定数、 u は測定容器の中で発生する攪拌熱や、温度センサーからの発熱などによる定常的な寄与である。

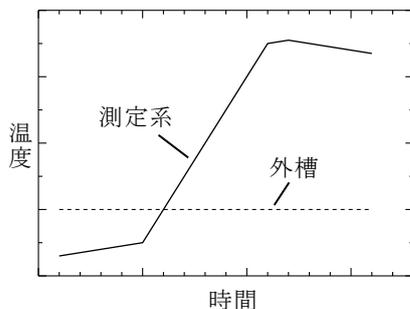


図4 等温壁型の温度変化

応用例

本装置は、廃棄物や石油製品などに微量に含まれる硫黄分や塩素分の定量にも用いることができる (JIS Z 7302-6 及び JIS K 2541-5 に規定)。

廃油の塩素分を測定した例を示す。ボンベに試料と水を入れた後、酸素を圧入して試料を完全燃焼させ、生成したガスに含まれる塩素を水に吸収させて塩酸とし、イオンクロマトグラフ分析計を用いて塩素を定量することによって、試料中の塩素を求めた。分析結果を表2に示す。

表2 廃油中の塩素分分析結果

試料名	分析値	標準偏差	
	[g/kg]	[g/kg]	[%]
廃油 A	26.05	0.29	1.13
廃油 B	8.71	0.05	0.61
廃油 C	1.19	0.07	5.91
参考物質 (ポリ塩化ビニル)	570.25	1.45	0.25

参考文献

- 1) 2005 年度標準発熱量表, 資源エネルギー庁
- 2) JIS M 8814 石炭類及びコークス類—ボンベ熱量計による総発熱量の測定方法及び真発熱量の計算方法
- 3) 新実験化学講座 2, 基本技術 1(熱・圧力), 日本化学会, 丸善, 1977