

小学校理科における水の沸騰実験の実験装置と計測機器の評価

(株)ティーファブワークス 授業支援部

1. 背景と目的

小学校学習指導要領では、第4学年の指導内容として「水の状態に着目して、温度変化と関係付けて、水の状態の変化を調べる」ことが記載されている(小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編 p.48~50)。これを受け、教科書には、水を温め続けたときの温度変化を調べる実験が記載されているが、教科書会社によって実験方法に違いがある。

本実験は、実験装置や測定機器による沸点の測定値や実験の様子の違いを明らかにし、小学校の理科実験を行う際の適切な実験方法を判断する材料を提供することを目的とした。実験装置では、1)丸底フラスコ、2)ビーカー(アルミホイルの蓋をしたもの)、3)ビーカー(蓋をしないもの)を対象とした。また、測定機器では、アルコール温度計と防水温度センサを対象とした。

2. 実験方法

- 実験日時: 2024年3月29日 16:30~18:10
- 実験場所: (株)ティーファブワークス 柏本社
- 環境
 - 気温:20℃, 気圧:1001.7hPa(=水の沸点99.677℃)
- 使用機器
 - AkaDako探求ツール(ティーファブワークス社製), アルコール温度計(-20~105℃, 30cm), 理科実験用ガスコンロ, 理科実験用スタンド
 - 防水温度センサ(単線温度センサ: seeed社製 内蔵チップ:DS18B20)
 - 温度検出範囲: -55℃ to +125℃、精度:±0.5℃(-10℃~ +85℃で)
 - TFabグラフ(水温センサーの値の記録、グラフ化に使用。)
- 手順
 - 実験1(丸底フラスコ)
 - 丸底フラスコ(容量300ml)に、140mlの水道水を入れ、水面の位置にビニールテープを貼る。
 - アルコール温度計の先端をフラスコの底につかない程度の高さで水中に入れ、スタンドで固定する。
 - 水温センサの先端をフラスコの底につかない程度の高さで水中に入れ、スタンドで固定する。
 - ガスコンロの火を点火し、その後すぐにTFabグラフ(水温(デジタルA), 記録間隔10秒)の記録を開始する。
 - 沸騰後5分程度経ったら、ガスコンロの火を消し、TFabグラフの記録を終了する。
 - 実験2(ビーカー(蓋あり))
 - ビーカー(容量300ml)に、200mlの水道水を入れ、水面の位置にビニールテープを貼る。
 - 中央に穴を開けたアルミホイルで、ビーカーに蓋をする。
 - アルコール温度計の先端をビーカーの底につかない程度の高さで水中に入れ、スタンドで固定する。
 - 水温センサの先端をビーカーの底につかない程度の高さで水中に入れ、スタンドで固定する。
 - ガスコンロの火を点火し、その後すぐにTFabグラフ(水温(デジタルA), 記録間隔10秒)の記録を開始する。
 - 沸騰後5分程度経ったら、ガスコンロの火を消し、TFabグラフの記録を終了する。
 - 実験3(ビーカー(蓋なし))
 - ビーカー(容量300ml)に、200mlの水道水を入れ、水面の位置にビニールテープを貼る。
 - アルコール温度計の先端をビーカーの底につかない程度の高さで水中に入れ、スタンドで固定する。
 - 水温センサの先端をビーカーの底につかない程度の高さで水中に入れ、スタンドで固定する。
 - ガスコンロの火を点火し、その後すぐにTFabグラフ(水温(デジタルA), 記録間隔10秒)の記録を開始する。
 - 沸騰後5分程度経ったら、ガスコンロの火を消し、TFabグラフの記録を終了する。

3.結果

表1 実験1～3の結果

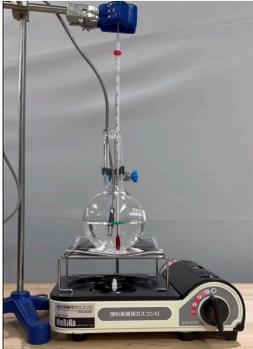
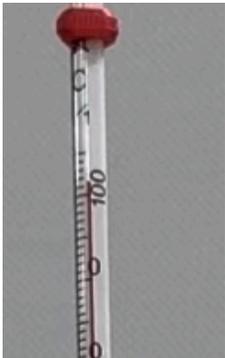
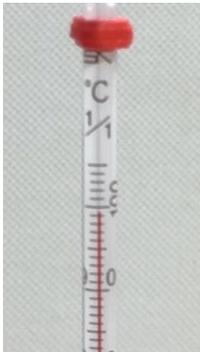
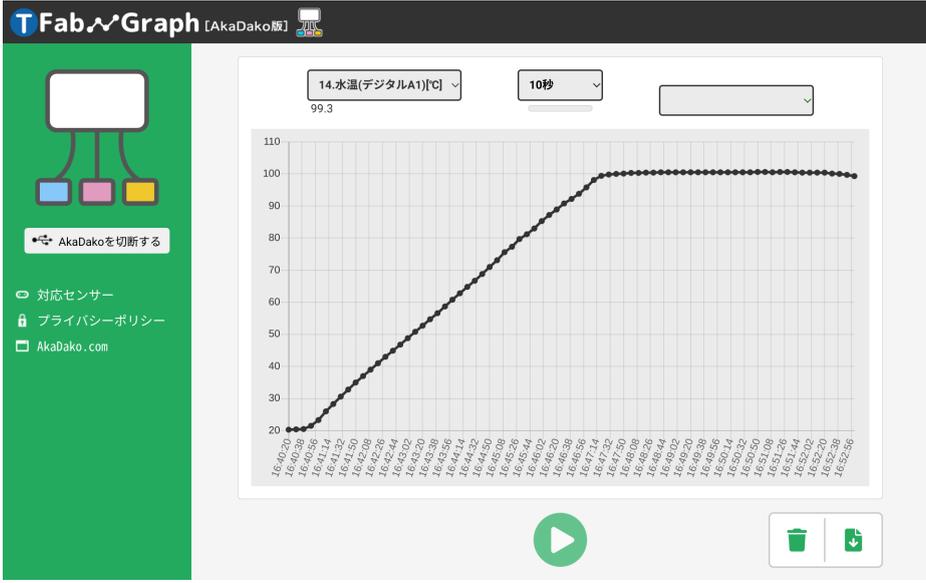
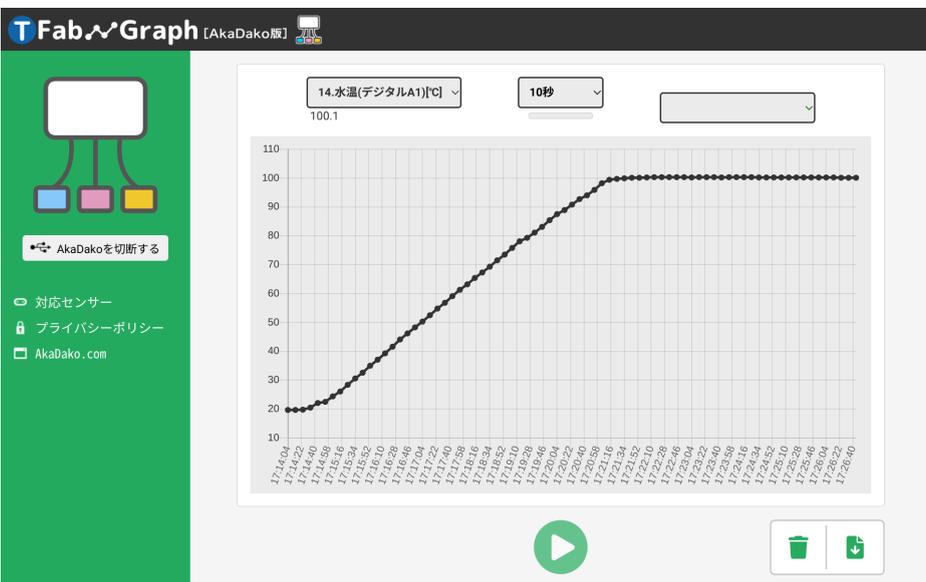
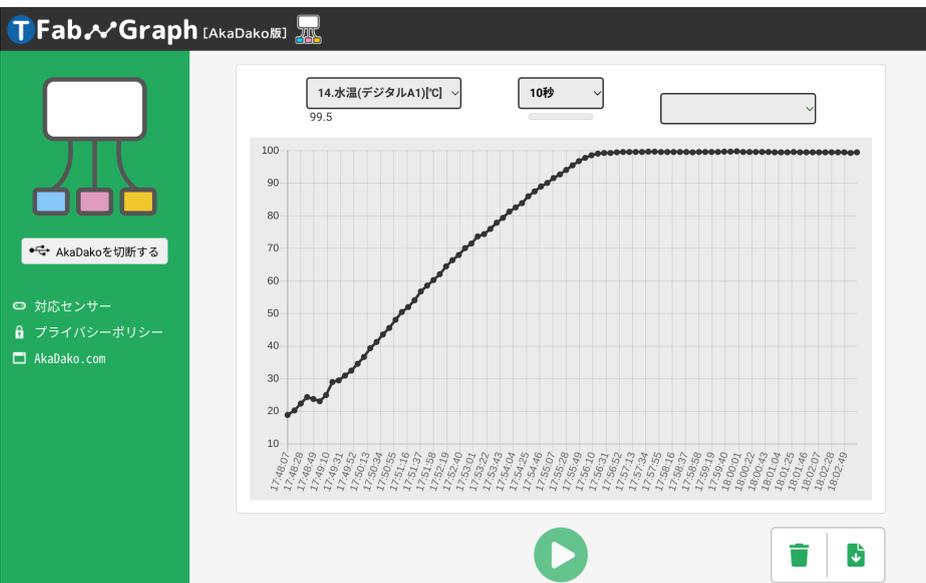
	実験1:丸底フラスコ	実験2:ビーカー(蓋あり)	実験3:ビーカー(蓋なし)
容量	300ml	300ml	300ml
水量	140ml	200ml	200ml
実験装置			
沸騰後 一定温度 (アルコール温度 計)	101.5℃ 	99.3℃ 	97.0℃ 
沸騰後 一定温度 最頻値 (水温センサ)	100.5℃	100.2℃	99.6℃
30℃→100℃の 所要時間	約6分	約6分	約7分
水の減少 (約5分間沸騰)	減りが少ない 	減りが少ない 	減りが大きい 

表2 防水温度センサでの測定値の変化(TFabグラフによるグラフ化)

<p>実験1: 丸底フラスコ</p>	 <p>The screenshot shows the T Fab Graph app interface. On the left, there is a green sidebar with a schematic of a round-bottom flask connected to three sensors (blue, pink, yellow). Below the schematic are controls: a toggle for 'AkaDakoを切断する' (Turn off AkaDako), and checkboxes for '対応センサー' (Corresponding sensor), 'プライバシーポリシー' (Privacy Policy), and 'AkaDako.com'. The main area displays a line graph titled '14.水温(デジタルA1)[°C]' (14. Water temperature (Digital A1) [°C]). The graph shows a temperature curve that starts at approximately 20°C and rises to a plateau at 100°C. The current temperature is 99.3°C. The x-axis represents time, and the y-axis represents temperature in degrees Celsius. A play button and trash icon are visible at the bottom of the graph area.</p>
<p>実験2: ビーカー(蓋あり)</p>	 <p>The screenshot shows the T Fab Graph app interface for a beaker with a lid. The left sidebar is identical to the first experiment. The main graph area shows a line graph titled '14.水温(デジタルA1)[°C]' (14. Water temperature (Digital A1) [°C]). The temperature curve rises from approximately 20°C to a plateau at 100°C. The current temperature is 100.1°C. The x-axis represents time, and the y-axis represents temperature in degrees Celsius. A play button and trash icon are visible at the bottom of the graph area.</p>
<p>実験3: ビーカー(蓋なし)</p>	 <p>The screenshot shows the T Fab Graph app interface for a beaker without a lid. The left sidebar is identical to the first experiment. The main graph area shows a line graph titled '14.水温(デジタルA1)[°C]' (14. Water temperature (Digital A1) [°C]). The temperature curve rises from approximately 20°C to a plateau at 100°C. The current temperature is 99.5°C. The x-axis represents time, and the y-axis represents temperature in degrees Celsius. A play button and trash icon are visible at the bottom of the graph area.</p>

4. 考察

本実験の気圧下(1001.7hPa)における水の沸点の理論値は99.677°Cであった。アルコール温度計による測定では、沸騰後の安定した温度が沸点(理論値)から若干逸脱する傾向が観察された(表1)。最も差が小さいものは、蓋ありのビーカーで、99.3°Cであった。丸底フラスコは、101.5°C、蓋なしのビーカーは、97.0°Cであった。これらの温度差は、温度計の水没していない部分の温度が影響していると考えられる。アルコール温度計は、アルコールの温度による体積変化に基づいて温度を示しているが、水没している部分が沸点(理論値)であっても、露出している部分の温度が内部のアルコールの体積に影響を及ぼすためである。丸底フラスコでは、上部に水蒸気が接触する構造になっており、これが上部の温度上昇を引き起こし、沸点(理論値)以上の温度を示す結果となったと推測できる。一方で、蓋なしビーカーでは上部が露出しており、外気の影響を受けるため、沸点(理論値)未満の温度を示したと考えられる。蓋付きビーカーでは、蓋までの部分が水蒸気によって温められ、蓋より上部が外気によって冷却されるため、バランスが取れた結果、沸点(理論値)に近い温度が示されたと考えられる。

水温センサによる測定では、最も沸点(理論値)に近い測定結果は蓋なしビーカーでの実験であり、99.6°Cを示した(表1,2)。丸底フラスコと蓋付きビーカーでは、沸点(理論値)よりも高い温度が示された(丸底フラスコ: 100.5°C、蓋付きビーカー: 100.2°C)。これは、沸騰に伴う水蒸気の発生が容器内部の気圧を上昇させたためと考えられる。この実験において、部屋の気圧下での沸点の測定精度は蓋なしビーカーと水温センサを使用した場合に最も高いことが示された。

30°Cから沸騰するまでの所要時間については、丸底フラスコと蓋付きビーカーが約6分であり、蓋なしビーカーが約7分と、約1分の差が見られた。これは、丸底フラスコと蓋付きビーカーの構造が水蒸気を水面上に留め、外気による冷却の影響を抑制するためと考えられる。

実験後の水の減少(沸騰後約5分)に関しては、丸底フラスコと蓋付きビーカーでは水量の減少が目視で確認しにくい程度であったが、蓋なしビーカーでは明らかな減少が確認された。この結果から、蓋なしビーカーは水の蒸発による水量の減少を観察しやすい実験装置であると言える。特に教育現場において、児童が水の蒸発を視覚的に理解するのに役立つことが示唆される。以上の結果を踏まえ、水の沸騰実験における実験装置の特徴として表3に示す。

表3 水の沸騰実験における実験装置の特徴

条件	温度計	アルコール温度計			防水温度センサ		
	容器	丸底フラスコ	ビーカー		丸底フラスコ	ビーカー	
	蓋	なし	あり	なし	なし	あり	なし
結果	温度の正確さ	△	○	×	○	○	◎
	水の減少の見やすさ (約5分間沸騰)	△	△	○	△	△	○
	30°C~沸騰までの所要時間	約6分	約6分	約7分	約6分	約6分	約7分

5. 結論

本実験により、実験装置や測定機器による沸点の測定値や実験の様子の違いを明らかにすることができた。実験する部屋の気圧下での水の沸点を正確に求めるのであれば、蓋なしのビーカーと防水温度センサーを使用することが望ましいということが示された。また、アルコール温度計で測定する場合には、水温以外の影響を受けやすい特性を理解した上で指導することの重要性が示された。本実験で得られた結果は、小学校の理科実験を行う際の適切な実験方法を判断する材料となるはずである。

6. 参考文献

- 文部科学省(2017) 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編
- seeed studio(2024年4月4日閲覧). 単線温度センサー - One Wire Temperature Sensor

<https://jp.seeedstudio.com/One-Wire-Temperature-Sensor-p-1235.html>

別表1 各実験における防水温度センサーによる測定値

経過時間	実験1:丸底フラスコ	実験2:ビーカー(蓋あり)	実験3:ビーカー(蓋なし)
	水温[°C]	水温[°C]	水温[°C]
0	30.6	30.6	31
0:00:10	32.8	32.6	32.5
0:00:20	35	35	34.6
0:00:30	37	37.1	36.7
0:00:40	39	39.3	39.4
0:00:50	41	41.6	41.3
0:01:00	43	44.1	43.6
0:01:10	44.9	46.2	45.6
0:01:20	46.8	48.3	48.1
0:01:30	48.8	50.3	50.5
0:01:40	50.8	52.5	52
0:01:50	52.7	54.8	54.1
0:02:00	54.7	56.8	56.8
0:02:10	56.6	59.1	58.6
0:02:20	58.7	61.3	60.3
0:02:30	60.8	63.2	62.1
0:02:40	62.8	65.4	64.5
0:02:50	64.8	67.3	66.4
0:03:00	66.7	69.3	68
0:03:10	68.8	71.5	70.1
0:03:20	71	73.5	71.5
0:03:30	73.1	75.8	73.7
0:03:40	75.6	78.1	74.4
0:03:50	77.3	79.3	76
0:04:00	79.7	81.1	77.9
0:04:10	81.2	83.1	79.4
0:04:20	83	85.4	81.3
0:04:30	85.3	87.5	82.6
0:04:40	87.2	88.9	83.9
0:04:50	88.9	90.8	86
0:05:00	90.8	92.7	87.5
0:05:10	92.2	94	89

0:05:20	93.8	95.9	90.1
0:05:30	95.8	98.2	91.6
0:05:40	98.1	99.4	92.7
0:05:50	99.4	99.7	94.1
0:06:00	99.8	99.9	95.5
0:06:10	100	100.1	96.8
0:06:20	100.1	100.1	97.8
0:06:30	100.3	100.2	98.6
0:06:40	100.3	100.3	99.1
0:06:50	100.4	100.3	99.3
0:07:00	100.4	100.3	99.3
0:07:10	100.5	100.3	99.5
0:07:20	100.5	100.3	99.6
0:07:30	100.5	100.2	99.6
0:07:40	100.5	100.3	99.6
0:07:50	100.5	100.3	99.6
0:08:00	100.5	100.3	99.7
0:08:10	100.5	100.2	99.7
0:08:20	100.5	100.3	99.6
0:08:30	100.5	100.3	99.6
0:08:40	100.5	100.3	99.6
0:08:50	100.5	100.3	99.6
0:09:00	100.5	100.2	99.6
0:09:10	100.5	100.2	99.5
0:09:20	100.6	100.2	99.6
0:09:30	100.6	100.2	99.6
0:09:40	100.5	100.2	99.6
0:09:50	100.6	100.2	99.6
0:10:00	100.6	100.2	99.7

※経過時間は、加熱開始から30℃を初めて超えたタイミングを基点とした時間。