

2019年度 研究活動報告書

メタノールのきれいな燃焼—アルコールランプの科学

仁川学院高等学校
本田千紗・川村ヒカル

1. 研究の背景と目的

アルコールランプは明治以来、理科の実験器具として全国の小学校で使われてきた。しかし、いまではカセットコンロを使うようになってきている。また、10年ほど前に、メタノールを燃料とする自動車が試作されたが、普及には至らなかった。メタノールを用いた燃料電池も販売されたが、同じころに発売になったリチウムイオン電池に市場をとられてしまった。そのわけは、燃料のメタノールが燃えたり酸化させたりすると、ホルムアルデヒドのような有害物質ができるからという。これについて筆者らは、メタノールを完全に燃焼させることができれば、メタノールを燃料として使うことができるのではないかと考えた。

そこで本研究では、アルコールランプの燃焼方法を工夫し、発生する燃焼気体を分析してホルムアルデヒドのような有害物質が低減できないかを調べることを主目的とした。

2. 活動の内容

(1)文献調査

日時：2019年8月2日（金）8時00分～14時00分

場所：大阪教育大学附属図書館（大阪府柏原市）

見学の目的：明治時代以降の小学校理科教科書のアルコールランプ記述を調べる。

内容：明治23年の小学校理科教科書にアルコールランプの図が載っていた。130年に渡り、日本の理科教育の実験器具として使われてきたのを知ることができた。昭和30年ころの教科書は絵も手描きで親しみを感じた。

(2)講義

日時：日時：2019年8月20日（火）9時30分～11時00分

場所：産業総合研究所関西センター（大阪府池田市）

講義題目：「メタノール燃料電池開発の経緯」

講師：谷本一美（上席イノベータ）

内容：谷本一美氏はメタノール燃料電池を航空機内への持ち込みするための規格づくりに携わった方である。規格は国際的に通用するものができた。5nmの白金ロジウム触媒の開発のおかげで、メタノールは水と二酸化炭素にまで酸化することができ、電池から蒸発するために、残量が見えてわかり、補充はメタノールのパックを入れるだけという手軽さだったが、リチウムイオン電池に置き替わっていった。せっかくの技術開発だったが、メタノールは悪者という市場側のイメージで普及しなかったのはさぞや悔しかったことだろうと推察した。また、こうした技術開発はチームをつくって進めるものだったということも印象に残った。

3. 研究

[実験]

(1)燃焼方法

使用したアルコールランプは綿芯式とパイトーチ式の2つのタイプである。

13通りの燃焼方法の工夫を試みた。

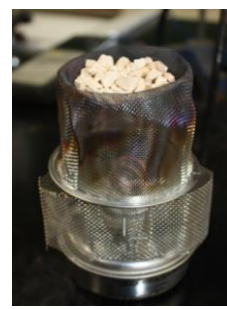
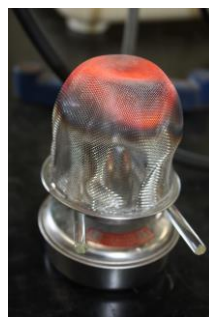
綿芯式	A	半田吸い取り線
	B	半田吸い取り線Ptメッキ
	C	半田吸い取り線Pdメッキ
	D	スチールウール
	E	キャピラリー
	F	茶こし
	G	茶こし(Ptメッキ)
	H	対照 (綿芯のみ)

パイトーチ式	I	空気を送り込む
	J	茶こし
	K	茶こしPtメッキ
	L	KClメタノール
	M	茶こしゼオライト
	N	茶こしPtメッキゼオライト
	O	対照 (パイトーチのみ)



A 半田吸い取り線 B Ptメッキ D スチールウール E キャピラリー F 茶こし

A~Eは綿芯の代わりに半田吸い取り線（銅線）、スチールウール（鉄）、キャピラリー（ガラス管）を使ったもので、金属線は熱伝導がよいので燃焼を促進すると思った。B,Cは触媒効果を狙った。キャピラリーはやってみたら火がともったのでおもしろいからやってみた。茶こしは、炎の上にも金属の網を被せたらと考えているうちに、炎の全体をおおうようなドーム型のものはないかを捜していたら、茶こしに思い至った。Gでは茶こしに電解法でPtメッキをつけて触媒効果を狙った。



I 電動ブクで空気を送り込む J 茶こし L KCl+メタノール M 茶こしゼオライト

Iは炎の内炎に魚用の電動ブクで空気を送り込み、燃焼を促進することをねらったもの。JはFと同じ茶こし、KはPtメッキで触媒効果を狙った。Lは燃料に対する工夫で、カリウムは酸化銅を炭素で還元する際に触媒効果があるので、メタノールの燃焼でも効果がでないかをみたかった。Mは台所のグリルの敷石に使われる粒状のゼオライトを、茶こしの上部を凹ませて載せたもので、ゼオライトは魚の生臭いにおいの分子を燃焼させて臭わなくする効果があるので、メタノールの燃焼にも効果がないかと期待した。NはPtメッキとゼオライトの複合効果を狙った。

HとOはなにもしない対照実験である。

(2) 燃焼気体の捕集

燃焼時間は、100 mL ビーカーに入れた水 100 mL の温度を 30°C 上げるのに必要な時間とした。燃焼方法毎に次のような違いがある。A~Dはメタノールを吸い上げる速度が遅いため、炎が小さく温めるのに時間がかかった。



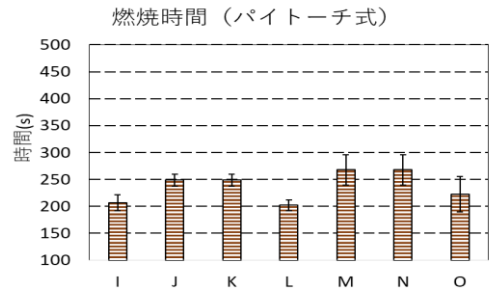
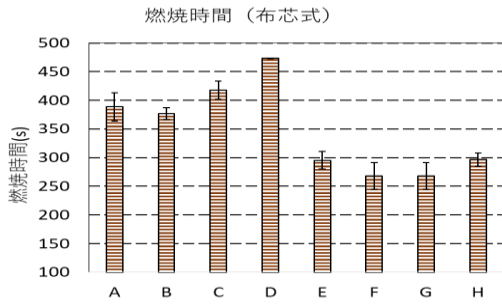


図1 燃焼時間

燃焼気体の捕集は図のように、炎の上部に置いたガラス製ろうとにつけたゴム管をアスピレーターで吸引 (2.4L/分) し、三角フラスコの精製水 100 mL 中に通じて溶解させた。

ろうとが過熱しないように濡れたキッチンペーパーを被せ、たえず水を滴下して湿らせておいた。

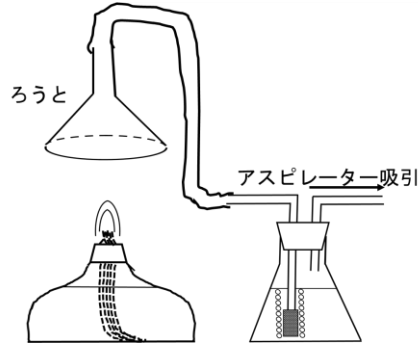
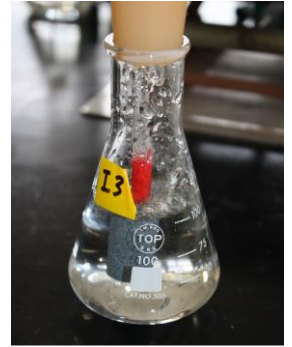


図2 サンプルの捕集



(3) サンプルの分析

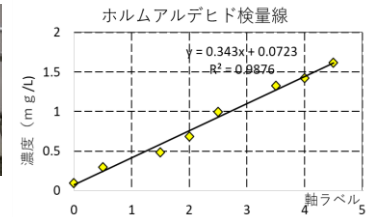
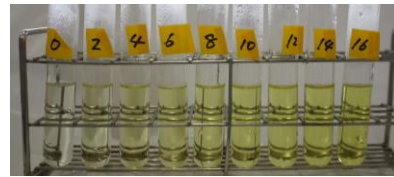
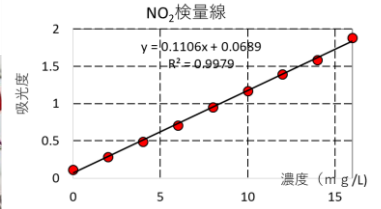
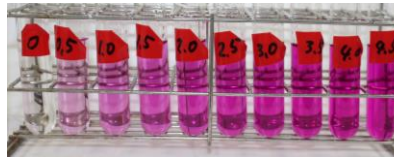
次の4項目について分析した。

pH・・・pHメーターで調べた。

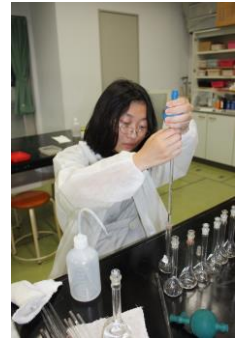
NO₂・・・ザルツマン試薬で発色させ、吸光光度計 (島津 UV1280) で吸光度を測定し、標準溶液から作成した検量線より求めた。

ホルムアルデヒド・・・アセチルアセトン溶液で発色させ、吸光光度計で吸光度を測定し、標準溶液から作成した検量線より求めた。

酸性物質・・・サンプル 25 mL を 0.01 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定して求めた。



実験は4~5月の10連休、7月の夏季休業中に行った。



[結果と考察]

(1) pH

pHは特に大きな違いは見られなかった。メタノールの燃焼で生成する酸性物質の主なものは、
 $\text{CH}_3\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HCOOH} + \text{H}_2\text{O}$

よりギ酸と考えられ、ギ酸は弱酸で電離度が低いために、濃度に関わりなく同じような pH を示すと考えられる。

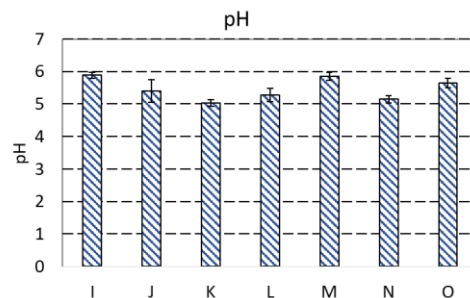
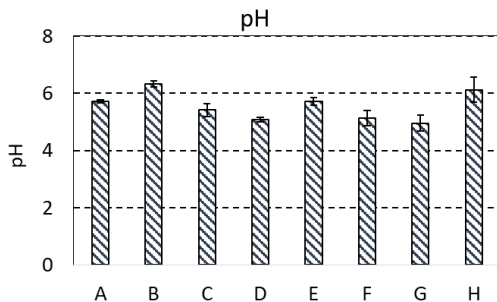
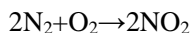


図3 pH

(2) NO₂

NO₂はB,Cでわずかに検出されたほかは、対照(H,O)よりも低減し検出限界以下になった。燃焼方法の工夫の効果があったと言える。NO₂の発生は次式



によるものと考えられる。

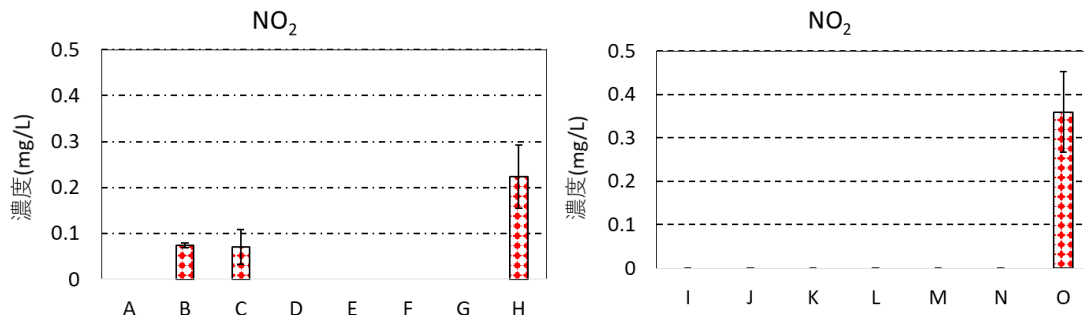


図4 NO₂

(3) ホルムアルデヒド

最も重視していたホルムアルデヒドは次のようになった。

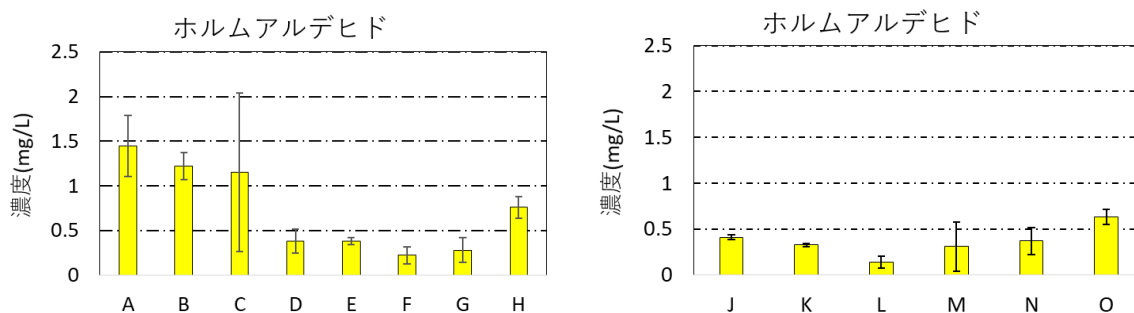
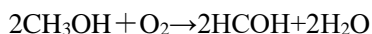


図5 ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒドの発生は、次式



による。

A~Cは対照(G)よりもホルムアルデヒドが増加した。炎が小さくなり、長時間ホルムアルデヒドを出し続けた。銅線の熱伝導効果もメッキの触媒効果もなかった。Dのスチールウールは銅線と違い、対照よりも少なくなった。銅よりも鉄の方が燃焼をきれいにするらしい。Eのキャピラリーも少なくなった。メタノールの供給と空気の供給のバランスがよかったものと思われる。茶こし(F,G)も減ったが、Pt触媒は効果があるとは言えない。スチールウールと茶こしの共通点の鉄そのものに燃焼を促進する効果がありそうである。

パイトーチ式への工夫では、Iはけた違いにホルムアルデヒドの発生量が多かったのでグラフから再除した。空気を送り込むと完全燃焼すると思ったが、空気の勢いで、ホルムアルデヒドが炎の外に出てそれ以上燃焼しなかったらしい。炭火を燃やすように、空気を送り込むとよく燃焼すると思っていたが思わぬ結果だった。Kの茶こしはここでも低減した。Lは最もホルムアルデヒドが少なく、いい結果のように見えるが、燃焼時、金属パイプのまわりに塩化カリウムの結晶が析出し、そこにメタノールがしみこみ、炎が燃え移り、大きな炎になり危険だった。推奨できない。M,Nのゼオライトも対象よりは少ないが、ただ茶こしを被せているときと変わりがないので、ゼオライトをのせる手間に見合った効果を挙げていない。

こうしてみると、推奨できる燃焼方法は、茶こしを被せる方法である。綿芯式では3分の1に、パイトーチ式では35%ホルムアルデヒドの発生量を減らすことができた。茶こしは炎の上部にかぶせるとよ

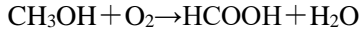
いので、金網を使って高さを調製している。

茶こしを被せる方法がよいのは、鉄の触媒作用もあるだろうが、燃焼気体が金網の中に一時、滞留し、その間に燃焼が進むと考察する。

(4) 酸性物質

中和滴定の結果は次のようになった。

ギ酸が生成する反応は、次式



による。

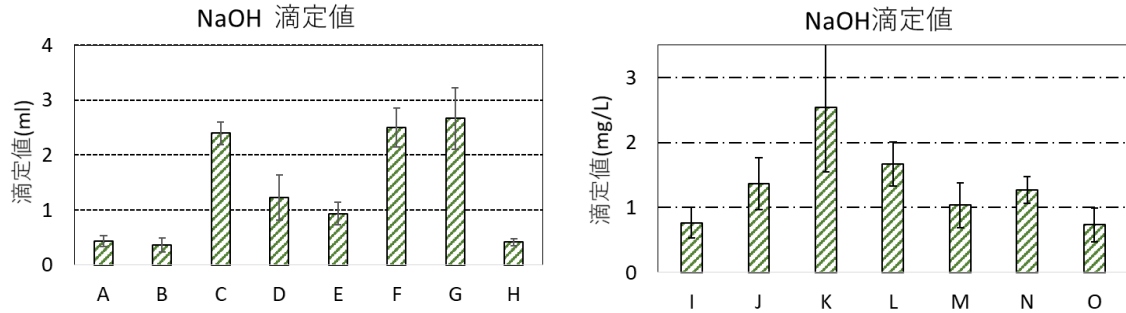
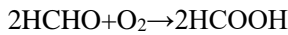


図6 酸性物質

酸性物質は増加していた。燃焼反応では、ホルムアルデヒドの次にギ酸ができる段階があり、ホルムアルデヒドを減らしたかわりにギ酸が増え、完全燃焼までには至っていないことを表している。



ギ酸はホルムアルデヒドほど毒性は強くはないので、ホルムアルデヒドを減らす方が重要ではあるが、ギ酸もないに越したことはないので、今後の課題である。

綿芯式		パイトーチ式			
A	半田吸い取り線	メタノール浸透に時間をかけているうちにホルムアルデヒドがたまった。内炎に金属があっても触媒効果は発揮できていない。	I	空気を送り込む	内炎中のホルムアルデヒドが空気圧で炎の外に飛ばされ、捕集された。
B	半田吸い取り線Ptメッキ		J	茶こし	燃焼気体がここで速度を落とし、燃焼反応が進んだ。
C	半田吸い取り線Pdメッキ		K	茶こしPtメッキ	温度が高いと触媒の効果も多少はあるらしい。
D	スチールウール	燃焼時間は長くなったが燃焼はきれいだった。銅と鉄の違いか。	L	KC I メタノール	結晶塩化カルシウムにメタノールがしみこみ火が移り危険である。
E	キャピラリー	メタノール浸透速度と空気の供給のバランスがよかったのだろう。	M	茶こしゼオライト	ゼオライトの効果で酸性物質の低減に効果
F	茶こし	燃焼気体がここで速度を落とし、燃焼反応が進んだ。	N	茶こしPtメッキゼオライト	白金触媒に期待しすぎた。
G	茶こし(Ptメッキ)	白金触媒に期待しすぎた。			

[研究のまとめ]

メタノールの燃焼には、メタノールを完全に燃焼させるだけの空気の供給と温度が必要である。調理用のメタノールバーナーには反射板が付けてあり、輻射熱で温度を上げる工夫がされてあった。

メタノールはアルコールランプでは使われなくなったが、非常災害用の調理や暖房用に備蓄したい燃料である。今後はメタノールバーナーのきれいな燃焼を追求したい。

[参考文献]

- 1) 米沢剛至 化学と教育 42、507 (1994)
- 2) 日本薬学会編 衛生試験法・注解 P. 80 金原出版 (1980)
- 3) 安藤達彦・吉田宗弘 身のまわりの食品化学実験 P. 24 (2001)
- 4) 米沢剛至 化学と教育 40、629(1992)



4. 研究成果の発表

- ①日時：2019年10月27日（日）9時20分～16時30分
発表の場：高校化学グランドコンテスト
発表題目：「アルコールランプの科学—メタノールのきれいな燃焼」
発表形態：口頭発表<金賞・パナソニック賞>
- ②日時：2019年11月23日（土）
発表の場：テクノ愛2019
発表形態：書類審査<健闘賞>
- ③日時：2019年12月14日（土）14時00分～16時50分
12月15日（日）9時00分～15時45分
発表の場：高校生科学・技術チャレンジ
発表題目：「アルコールランプの科学—メタノールのきれいな燃焼」
発表形態：ポスター発表
- ④日時：2019年12月25日（水）9時00分～17時30分
発表の場：高等学校・中学校化学研究発表会
発表題目：「アルコールランプの科学—メタノールのきれいな燃焼」
発表形態：口頭発表

⑤第18回全国高校生理科・科学論文大賞 2019年12月

発表形態：書類審査（他の作品とともに、団体奨励賞）

実験中は、燃焼気体の採集方法が決まらなくて、試行錯誤した。密閉型の燃焼装置では、不完全燃焼して多量のホルムアルデヒドが発生し、目とのどを刺激されて危険を感じた。そこですべての燃焼気体を集めるのをあきらめ、開放型の捕集法を採った。

高校化学グランドコンテストは、初めての発表で、しかも英語だった。昼休みに英語の先生に練習させていただいたり、ホールでPPを使って発表するなど、貴重な体験だった。

