

“反応熱で枝豆を食べたい!”

チーム名： 枝豆食べ隊!

チーム代表者： 日置七瀬

チームメンバー： 嶋田七海, 内田美紀, 中川結衣

所属：独立行政法人 国立高専機構

福井工業高等専門学校 物質工学科西野研究室

<緒言>

中和熱は、酸とアルカリを混合することで発生する。熱が容器の外に逃げないと仮定すると、1 mol の OH⁻と 1 mol の H⁺が反応することで 16800 cal の熱が発生する。したがって 25℃の塩化ナトリウム水溶液 300 mL を 81℃まで加熱することが可能である。これに水酸化ナトリウムの水への溶解熱 10600 cal を加えれば計算上は 100℃まで到達できることになる。したがって枝豆を十分に茹でることが可能であると考えた。また、枝豆には鞘がついており、水酸化ナトリウムが枝豆に浸透する前に中和反応を起こすことができれば、塩味のきいた美味しい枝豆が食べられると考えた。そこで、本実験では中和熱を用いて枝豆を茹でるためにはどうすればよいのかを明らかにすることを目的とする。

<実験>

必要な器具等

ログサーモ(Hakko DGL 0100), 電子天秤, pH メーター(HORIBA F-51) with pH 電極(Horiba 9625-10D), ステンレスフードジャー(Zojirushi SW-HB55-VD), アルコール温度計, メスシリンダー, ビーカー, 200 mL トールビーカー, ビュレット, 万能 pH 試験紙, めのう乳鉢, クレラップ, ポリエチレン製手袋, ゴーグル, ドラフトチャンバー

試薬

塩酸 (ナカライテスク 無ヒ素 Code: 18322-95)

水酸化ナトリウム (ナカライテスク 窒素測定用 Code : 31533-54)

沸騰石

実験方法 1

500 mL ビーカーにアルコール温度計と水 50 mL を入れ、枝豆をビーカーの中に入れた。その後、水酸化ナトリウム 24 g (約 0.6 mol) をビーカーに加えガラス棒で攪拌し溶解した。次に濃塩酸 12 mol/L を 50 mL 徐々に加えて万能 pH 試験紙で中和を確認した。反応液を捨

てた後、ビーカーに水を 500 mL 入れて 1 度目の洗浄をした。洗浄液の pH を pH メーターで測定した。さらに二度目の洗浄を 500 mL の水で行った。この洗浄液の pH も測定した。さらに流水で枝豆の洗浄を行った。その後この枝豆をめのお乳鉢ですりつぶし、水を少量加えてその液の pH を測定した。

対照実験として電気コンロを用いて枝豆を茹で、茹で汁と茹でた枝豆をめのお乳鉢ですりつぶし、水を少量加えた液の pH を測定した。

実験方法 2

500 mL ビーカーにアルコール温度計と水 50 mL を入れた。その後、水酸化ナトリウム 24 g (約 0.6 mol) をビーカーに加えガラス棒で攪拌し溶解した。次に濃塩酸 12 mol/L を 50 mL 徐々に加えて万能 pH 試験紙で中和を確認した。

実験方法 3

ステンレスフードジャーの内側をクレラップで覆った。その中に 200 mL トールビーカーを入れた。このビーカーの中に温度計を入れ温度を測定した。水酸化ナトリウム 24 g (約 0.6 mol) をビーカーに入れた後、蒸留水を 50 mL 加えガラス棒で攪拌し溶解した。次に濃塩酸 12 mol/L を 50 mL ビュレットを用いて徐々に加えて万能 pH 試験紙で中和を確認した。枝豆の鞘を 3 つ反応液に投入し 5 分間茹でた。反応液を捨てた後、ビーカーに水を 200 mL 入れて 1 度目の洗浄をした。さらに 2 度目の洗浄を 200 mL の水で行った。この洗浄液の pH を万能 pH 試験紙で確かめた。さらに流水で枝豆の洗浄を行った。その後この枝豆をめのお乳鉢ですりつぶし、水を少量加えてその液の pH を万能 pH 試験紙で確かめた。

実験方法 4

反応容器とその周辺を図 1 に示す。ステンレスフードジャーの内側をクレラップで覆った。その中に 200 mL トールビーカーを入れた。このビーカーの中にログサーモに接続した熱電対を入れ温度を SD カードに 10 秒毎記録した。水酸化ナトリウム 24 g (約 0.6 mol) をビーカーに入れた後、蒸留水を 50 mL 加えガラス棒で攪拌し溶解した。次に攪拌しながら濃塩酸 12 mol/L を 55 mL ビュレットを用いて徐々に加えて万能 pH 試験紙で中和を確認した。解凍枝豆の鞘を 3 つ反応液に投入し 7 分 50 秒間茹でた。反応中和液を捨てた後、トールビーカーに水を 200 mL 入れて 1 度目の洗浄をした。さらに 2 度目の洗浄を 200 mL の水で行った。この洗浄液の pH を pH メーターで測定した。その後この枝豆をめのお乳鉢ですりつぶし、水を少量加えてその液の pH を pH メーターで測定した。

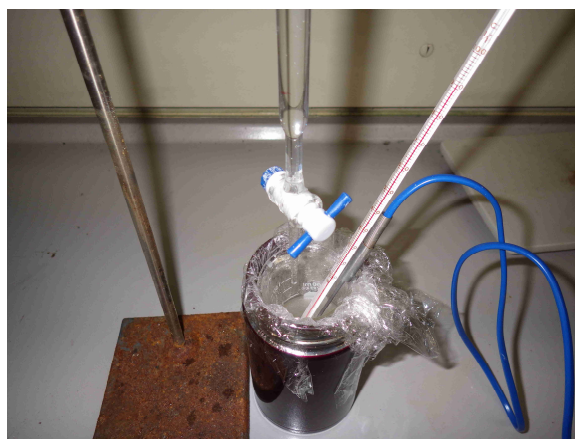


図 1. 反応容器とその周辺

う乳鉢ですりつぶし、水を少量加えてその液のpHをpHメーターで測定した。

実験方法 4

実験方法3の結果、突沸時に108℃を記録していたので、ログサーモの表示温度の検証を行う。300 mLビーカーの中に水200 mLとログサーモを接続した熱電対を入れた。このビーカーを電気コンロで加熱して、10秒おきに温度のログを取り、ログサーモの検証を行った。

実験方法 6

ステンレスフードジャーの内側をクレラップで覆った。その中に200 mLトルビーカー入れた。このビーカーの中にログサーモに接続した熱電対を入れ温度をSDカードに10秒毎記録した。沸騰石および水酸化ナトリウム24 g (約0.6 mol)をビーカーに入れた後、蒸留水を50 mL加えガラス棒で攪拌し溶解した。次に攪拌しながら濃塩酸12 mol/Lを53 mLビュレットを用いて徐々に加えて万能pH試験紙で中和を確認した。解凍枝豆の鞘を3つ反応液に投入し10分間茹でた。反応液を20 mL分取し捨てた後、ビーカーに水を200 mL入れて1度目の洗浄をした。さらに2度目の洗浄を200 mLの水で行った。一回目の洗浄液のpHをpHメーターで測定した。その後この枝豆をめのう乳鉢ですりつぶし、蒸留水を少量加えて枝豆水のpHをpHメーターで測定した。

<実験結果>

実験結果 1

枝豆投入前の水温は27.2℃、水酸化ナトリウム溶解後の水温は60.0℃となり枝豆が茶色く変色し始めた、濃塩酸12 mol/L投入開始時の液温は84.0℃、塩酸を少量ずつ加えるが、加えたところで「ジュボー」と局所的に沸騰しビーカー外へ液が飛び散るのでとても危険であった。液温は、5分後90℃、6分30秒後80.0℃、8分後76.0℃となり枝豆を茹でるには十分であると考えられる。

1度目の洗浄水のpHは10.58、二度目の洗浄水のpHは9.39であった。枝豆をすりつぶした液のpHは10.18であった。中和に手間取り枝豆にアルカリが染みこんでしまいこのような結果になったと考えられる。

電気コンロを用いて枝豆を茹でた場合、めのう乳鉢ですりつぶした枝豆+蒸留水のpHは7.92であり、茹で汁のpHは6.18であった。このことから、洗浄水のpHが弱酸性になるよう中和の終点をすべきであると考えられる。

実験結果 2

実験方法 1と同じくビーカーを用いて中和実験を行ったが、中和後、水温がすぐに下がってしまい枝豆が茹でられないことがわかった。次回の実験からステンレスフードジャーにより保温することにした。なお、中和時は非常に危険な状態になった。

実験結果3

実験方法 3はドラフトチャンバー内で実験を行ったが、中和中は非常に危険な状態になった。フードジャーの効果により中和時には温度が95℃となり枝豆を入れ5分後には82℃となり枝豆を茹でることが出来た。中和した溶液のpHは中和時には7であったが実験終了時には9になっていた。実験中pHメーターの値がドリフトしてしまい定まらなくなったので、再度校正したところpH電極が壊れてしまっていたことがわかった。二次洗浄水の万能pH試験紙によるpHは7であった。枝豆をすりつぶした液のpHも7であった。そのため一粒食べてみた。枝豆は、程よく塩味がしてアルカリ性に特有の苦味と酸性に特有の酸味はなかったが、少し硬かった。後日、新しいpH電極に交換しpHメーターで再度測定した結果、二度目の洗浄水のpHは7.94、めのう乳鉢ですりつぶした枝豆+蒸留水のpHは7.69であった。また、反応中和液のpHは8.54であった。

実験結果4

実験方法 4における水への水酸化ナトリウム溶解から中和、さらに枝豆を茹でているときの水温の経時変化を図2に示す。グラフから分かるように中和操作の途中で突沸してしまった。突沸して液が飛び散ったため理論的に必要な塩酸を加えたが中和できず、結果的に中和に失敗し中和

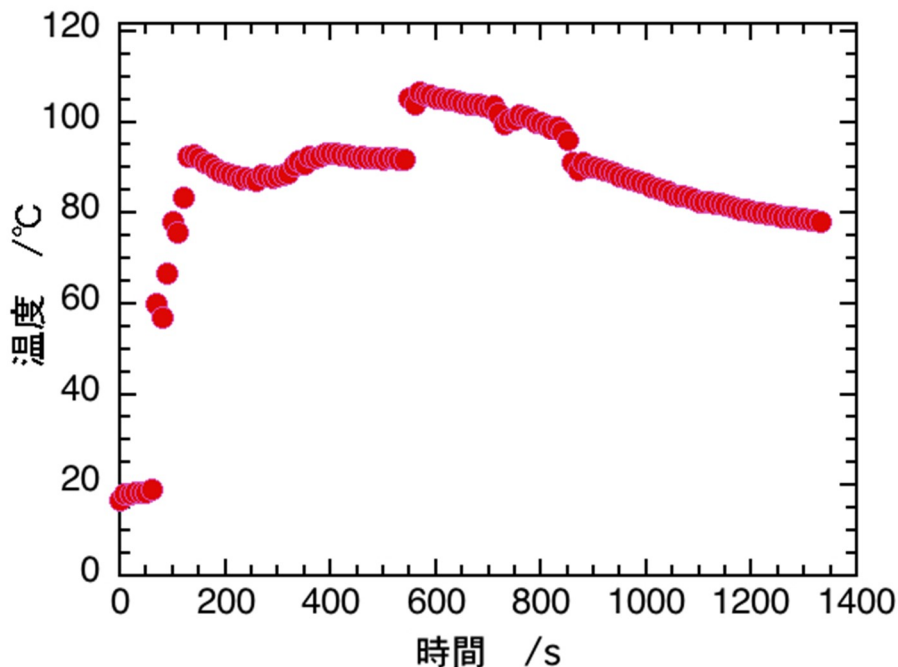


図 2. 経過時間と温度の関係

点を過ぎてしまった。pH試験紙による確認ではpH1になってしまった。その時の温度は98℃であった。そこで枝豆を入れ20秒後には90℃となりさらに7分50秒後78℃となり枝豆を一応茹でることが出来た。pHメーターで測定した結果、二度目の洗浄水のpHは5.85、枝豆をすりつぶした液のpHは6.55であった。また、今回の中和液のpHは-0.20であった。洗浄水のpHが6を下回ったので食べなかった。

中和反応水のpHがマイナスの酸性側でも、めのう乳鉢ですりつぶした枝豆+蒸留水のpHが7に近いことがわかった。

実験結果5

実験4で108℃を記録したのでログサーモに接続した熱電対の検証のためビーカーに水を入れ電気コンロで加熱した際、ログサーモに接続した熱電対で温度を計測したときの経過時間と温度の関係を図3に示す。

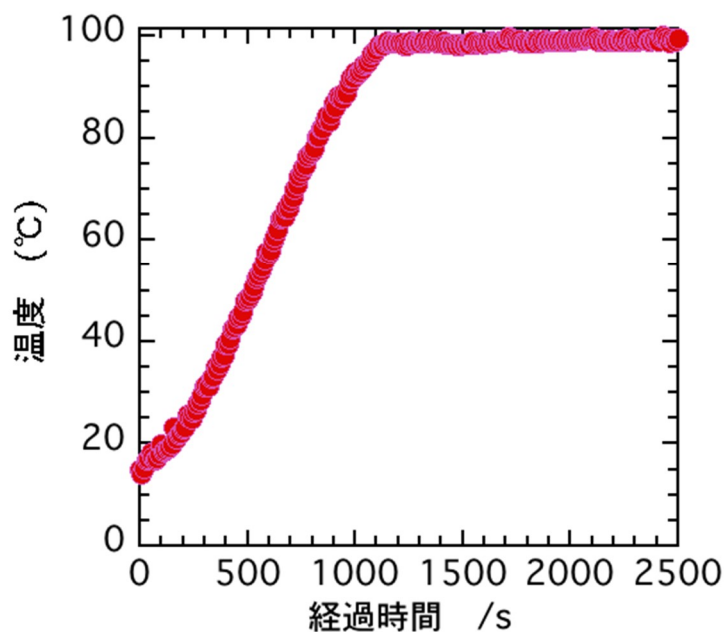


図3 熱電対の検証，経過時間と温度の関係

図3より沸騰時における測定温度の値は99.9℃程度であり実際の水温と表示温度のずれは少ないことがわかった。したがって、実験4での突沸時の温度108℃は突沸による過加熱状態から突沸が起きたためであると言える。

実験結果 6

実験方法 6 では、沸騰石を入れた効果により突沸の発生はなかった。図 4 に経過時間と温度の関係を示す。枝豆投入後に急激に温度が低下した後なだらかに温度が下降していることがわかる。いったん pH が酸性になるが枝豆を加えしばらくすると塩基性になる現象があった。これは実験 1 の対照実験で明らかのように枝豆自身が塩基性を持っているためであると考えられる。そのため酸性にするために濃塩酸を少量追加で滴下した。結果として中和点を通り過ぎ万能 pH 試験紙では pH が 3 となっていた。また、pH メーターによる測定結果では、中和反応水の pH は 2.99、一次洗浄水の pH は 6.33、めのう乳鉢ですりつぶした枝豆+蒸留水の pH は 6.83 であった。一次洗浄水、めのう乳鉢ですりつぶした枝豆+蒸留水の pH がともに 6.0 から 7.0 の範囲に入ったので食べた。なお、枝豆は、ほんのり塩味がしてアルカリ性に特有の苦味と酸性に特有の酸味はなかった。また、実験 3 のときのように固くはなく、程よい硬さであった。

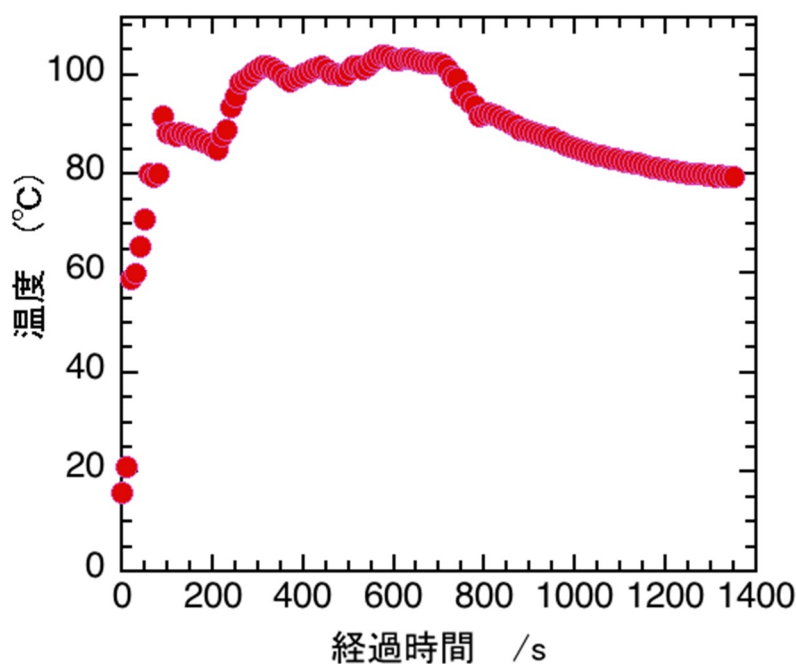


図 4. 沸騰石を入れた場合の経過時間と温度の関係

<結論>

中和熱で枝豆を茹でることが出来た。枝豆を中和熱で茹でる方法は以下の通りである。

非常に危険な実験であるので、実験に際しては、ドラフトチャンバーを用い、ポリエチレン製の手袋、ゴーグルおよび白衣を装着して実験を行うこと。なお、普通市販の塩酸にはヒ素が入っている物もあるので購入時には注意すること。

1. ステンレスフードジャー(魔法瓶)の内側をクレラップで覆いその中に200 mLトールビーカー入れる。
2. 沸騰石および水酸化ナトリウム24 g (約0.6 mol)をトールビーカーに入れた後、蒸留水を50 mL加えガラス棒で攪拌し溶解する。
3. 濃塩酸12 mol/Lを53 mLビュレットを用いて徐々に攪拌しながら加える。
4. 万能pH試験紙で中和を確認した後、枝豆の鞘を反応液に投入し10分間茹でる。
5. 反応液を捨てた後、ビーカーに水を200 mL入れて2度目の洗浄を繰り返す。
6. めのう乳鉢ですりつぶした枝豆+蒸留水のpHが6.5から7.0一次洗浄水のpHがpH6.0から7.0の範囲に入っていることをpHメーターで確認する。

<謝辞>

本実験を遂行するに当たり、株式会社八光電機様から実験費の助成をいただきました。このような機会を与えていただきましたことに感謝します。