

# マイクロ波化学を楽しもう！ 第三章 ——電子レンジで楽しむマイクロ波化学反応のいろいろ——

松村 竹子\*

前章でマイクロ波化学の基本は電磁波の作用によることを述べた。この章では、日常的に使われている電子レンジで行えるマイクロ波化学反応について具体的な例をあげてみる。

電子レンジでチンする！という表現がよく用いられる。電子レンジの開発時，“チン！”という音で、調理が終わったことを知らせたことが始まりで、この便利な調理器具を世に広めるキャッチフレーズとして，“電子レンジでチン！”が同時に考えられたと云われている。この言葉は、電子レンジでチンすればたちまち料理が出来上がる便利さを一言で表したすごさがあった。しかし、電子レンジ調理のすべてはこの言葉で片付けられてしまったという非科学的な面もある。電子レンジの作用は物質の誘電的性質とマイクロ波の電氣的性質に基づく誘電加熱によっている。

日本学術振興会は毎年“ひらめきときめきサイエンス”事業を主催し、小学生、中学生、高校生に科学研究費の成果を分かり易く伝え、未来の科学者を育てようという趣旨の教育事業を行っている<sup>1)</sup>。筆者はこの“ひらめきときめきサイエンス事業”に参加し、“電子レンジ de サイエンス！”の活動を通じてマイクロ波化学実験を行ってきた。その実験例を紹介し、電子レンジの中で生じているマイクロ波化学で何が起っているかをひもといてみたい。

## 1. 電子レンジで草木染

草木染はいろいろな植物中の色素を用いて染色する古くからの染色法で和服等の美しい模様が独特の技術で染め上げられているが、通常は染色に

長時間を要する。マイクロ波照射下で草木染を行うと短時間で染色することが出来る。ここではマイクロ波で行う草木染の実験を紹介する。

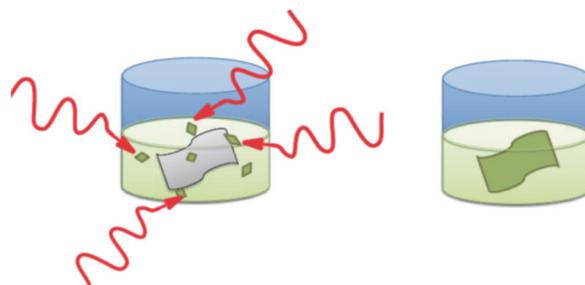
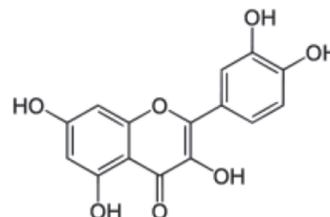


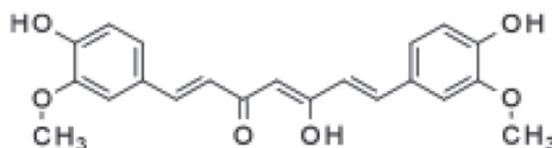
図1. マイクロ波加熱による染色

図2に主な植物色素とその化学成分を示す。

玉ねぎの皮：クエルセチン：金色



ウコン：クルクミン：カレイ粉の色



スオウ：ブラジリン、ブラジレイン：赤

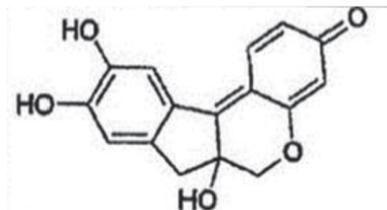


図2. 草木染料の化学成分

\*ミネルバライトラボ取締役

## 草木染の手順



1. ハンカチ1枚にビー玉を中に入れて輪ゴムで止める。

2. 染液につける

3. 電子レンジで約!



4. 染まり具合を確認やけどに注意!

5. 水につけて冷ましてから 6. 水洗いをして広げて完成! 輪ゴムを外す。

図3. 草木染の手順

草木染染料は絹や毛糸等，タンパク質を含む繊維とは相性がよく，染まり易い．図3に示した操作で，美しい色彩の絹のハンカチやマフラーが30分以内で完成する．一方，木綿や化学繊維を染める場合は前処理剤が必要になるが，これらは染色材料店で求めることができる．

## 2. 無溶媒，無触媒マイクロ波合成反応

一般の有機化学反応は溶媒中で反応が行われ，触媒や溶媒を用いる．一方，マイクロ波合成法では無触媒，無溶媒で反応が進行する例が多い<sup>2)</sup>．

生じたフルオレセインをアルカリ性の溶液に入ると美しい緑色の蛍光を発する．(図参照)

フルオレセイン色素は，入浴剤や，眼科での検

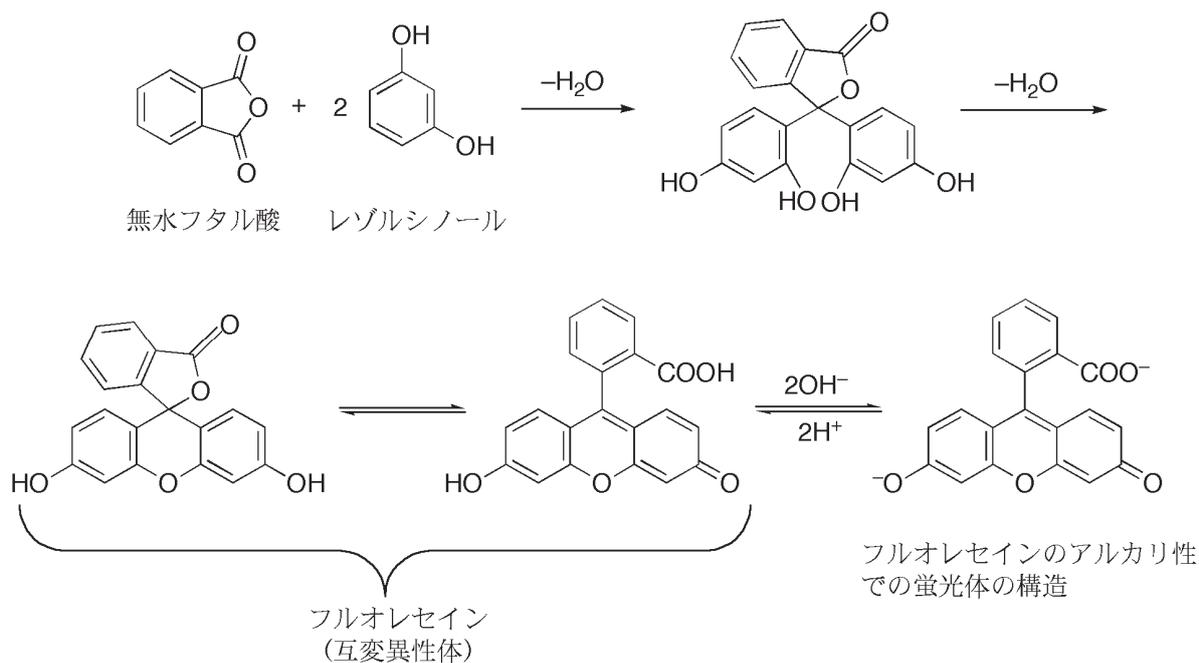


図4. フルオレセインの無触媒，無溶媒マイクロ波合成反応のスキーム



図5. フルオレセインの緑色蛍光発色

査試薬に用いられている。

子供たちの好きなスライムに合成したフルオレセインを入れると緑色蛍光スライムができる。手袋をしてスライムづくりに興じる風景は例年のひらめきときめきサイエンスの人気メニューの一つである。

同じようにフェノールフタレインは中和反応の酸塩基指示薬（変色域 pH 8.3 ~ 10.3, 塩基性側で赤紫色）として有名であるが、フェノールフタレインは無水フタル酸とフェノールから無溶媒合

成が可能である。

実験方法：原料の無水フタル酸粉末とレゾルシノール粉末をビーカーに入れる。マイクロ波加熱を行うと両方の試薬が溶融し茶色の溶融物フルオレセインが生じる。

この溶融物をアルカリ溶液に入れる（硼砂水溶液）と緑色の発光を示す。ポリビニールアルコールを入れると緑色に光るスライムが出来上がる。

### 3. 電子レンジで調理を楽しく！ 30分でピザ作り —最速 35分でパン作り 村上祥子氏

#### さすが電子レンジ 7章から<sup>3)</sup> —

・パン（ピザ）生地はなぜ膨らむ？ 小麦粉に水分を入れて温めると小麦粉に含まれる酵素が小麦粉のでんぷんをブドウ糖と果糖に分解する。そこにイーストが加わるとブドウ糖をさらに分解して炭酸ガスを発生させる。その炭酸ガスが、小麦粉のタンパク質と水分が結合して作り出す「グルテン組織」を膨らませ、ふっくらとしたパンを作り出す。マイクロ波の迅速加熱で、発酵速度が速く

## 光るスライムをつくらう！

無水フタル酸(A) と レゾルシノール(B)という薬品を混ぜて電子レンジにかけると化学反応が起こって温度が200°Cくらいまで上がり、褐色のねばった液になる。

### 電子レンジの中の様子

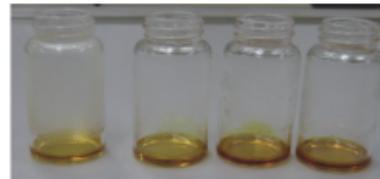
#### AとBを混ぜた瓶



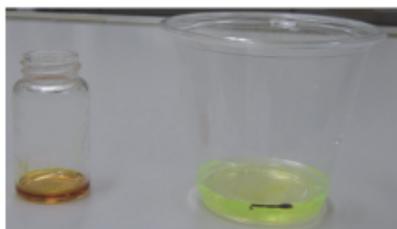
加熱前



MW照射3分



照射6分後 完成



硼砂溶液に入れる、硼砂液はアルカリ性(リトマスで検査)  
⇨ 蛍光発光



ポリビニールアルコールを入れる 光るスライムの完成



図6. フルオレセインの無溶媒合成と光るスライム作成

なり、通常は2時間以上かかるイースト発酵過程が30分に短縮される。

〈調理科学実験 ピザつくりの手順〉

- ① 牛乳 85 ml, バター 8 g をボールに入れ、電子レンジ（強, 500 w）で 30 秒加熱。
- ② ドライイースト 3 g を①に入れ、よくかき混ぜる。砂糖（大さじ 1）, 塩（小さじ 1/5）を加える。

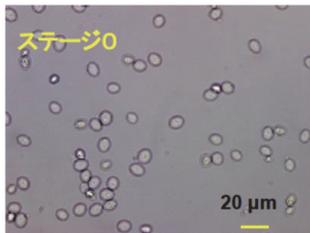
- ③ 強力粉 100 g の 1/3 量を②に加える。
- ④ 残りの強力粉をすべて加え、箸で混ぜ合わせで持ち上げて、ひとかたまりになれば OK。
- ⑤ ④に軽くふたを乗せ、電子レンジ（弱 150～200 w）で 40 秒。
- ⑥ 生地を休ませる。水で濡らしたキッチンペーパーで、軽くフタをし、温かい場所に約 10～15 分置く。生地が 2 倍に膨らんだら発酵終了。さあトッピングをしてピザを作りましょう。しっかりガス抜きをしたら、ピザのトッピングをして、電子レンジ用加熱皿で 2 分間加熱するとほかほかのピザの出来上がり！



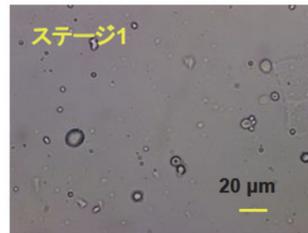
図 7. スピーディーなピザつくり

**ステージ 0: 酵母を添加**  
酵母のサイズは 5-7 $\mu$ m

生酵母



ステージ1



**1: プレ発酵**  
分裂中の出芽状態が観察されている

**2: 発酵中**  
多くの酵母が観察  
大きく形がいびつな物は小麦粉



**3: 本発酵中**  
多くの酵母が観察  
膨れてパンが  
大きく形がいびつな物は小麦粉



**4: 発酵後期**  
膨れてパンができ上がっている 多くの酵母,  
大きく形がいびつな物は小麦粉



図 8. 電子レンジ加熱によるパン酵母の発酵—顕微鏡観察—

## 小麦粉に含まれるタンパク質

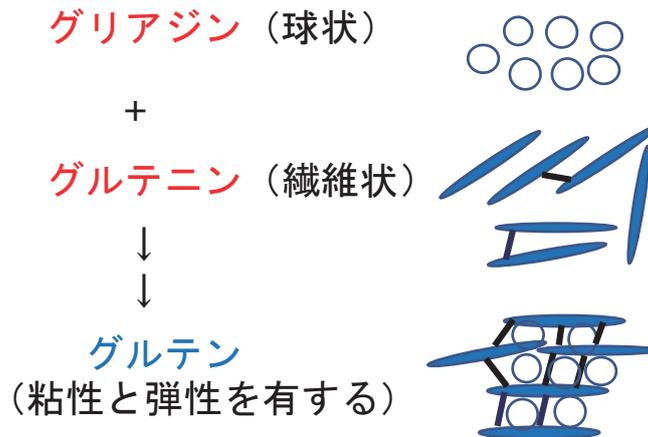


図9. パン生地中のグルテン組織の形成  
—日本の伝統 発酵の科学, 中島春紫著, 講談社 (2018)<sup>4)</sup> を改変—

パン酵母による発酵は、分子論的には、小麦粉に含まれるわずかの糖分解してアルコールと二酸化炭素を与える酵素反応であると捉えることができる。発生した二酸化炭素はグルテン組織の小部屋ユニットに閉じ込められ生地が膨張する。外部より糖分を加えると、膨張はさらに大きくなる。発酵の温度は、パン酵母の至適活性と関わる鍵となるファクターである。

次の工程において、上述のピザ生地の製法と同様に、パン生地をたたいて発生した二酸化炭素を排除する。ミクロな観点からは、この間に二酸化炭素の一部はグルテン組織に取り込まれ、パンがふっくらと焼き上がるための基礎組織が構築される、と捉えることができる。ガス抜きの後、パン生地をしばらく寝かせることによって、発酵をさらに進める。寝かせた後、生地を目的とする大きさ・形に切り分けて成形し焼成すると、ふっくらと焼きあがったパンができあがる。

パン生地の焼成工程で、パンに特有の香りや味が生じる。これらは発酵の副産物として有機酸やエステルが生じることによる。他方、発酵で生じたアルコールと二酸化炭素は焼成の間に生地の外部に放出される。

パン酵母に及ぼすマイクロ波の効果を、発酵の速度に及ぼす効果の観点からとともに、パンの香

りや味の成分をキーワードとして調べることも興味ぶかい。

#### 4. 電子レンジ内での放電（マイクロ波プラズマ現象）

電子レンジの中にシャープペンシルの芯を入れると先端部で発火現象がみられる。冷凍したニンジン角の角ばった部分で同じような経験をすることもある。この現象はマイクロ波による先端放電現象で、電子レンジ内にとがった金属等を入れるのは危険で、触媒に使う金属粉末がガラスへの付着し、破損や、発火の現象を引き起こすことが初期のマイクロ波反応の報告にある<sup>5)</sup>。電子レンジ内に置かれた減圧したガラス管中での発光現象は、封管内の希薄な気体によって、プラズマ発光が生じたため、マイクロ波プラズマと呼ばれる現象で、電子レンジ内を飛び交うマイクロ波の作用が可視化された例で、子供たちはマイクロ波の不思議に惹きつけられる。

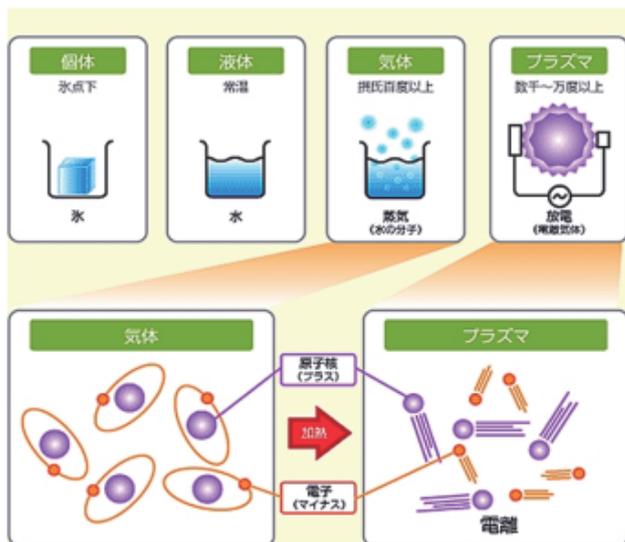
#### プラズマの原理<sup>6)</sup> —いろいろなプラズマ現象—

電子レンジの中はマイクロ波で満たされており、そのエネルギーが気体をプラズマと呼ばれる状態に変化させ、プラズマが光って見える。

原子は、陽子と電子でできており、エネルギー

## 電子レンジでプラズマを観察しよう

- ・物質は温度が高くなると、  
固体→液体→気体と状態を変えます
- ・さらに温度が上がると  
「プラズマ」という電離気体になります



### 身近なプラズマ



プラズマの中の電子は  
高いエネルギー状態にあるため  
ちょっと刺激を受けると発光します



図 10. プラズマの原理と身近なプラズマ

が低い(小さい)場合は陽子のまわりに電子が回っている状態にある。エネルギーが高く(大きく)なるにつれて、物質の状態は固体→液体→気体と変化する。マイクロ波を照射すると気体の状態に、さらにエネルギーを与えるために、原子・分子から、電子が飛び出し、陽子(プラスイオン)と電子に分かれる。このような状態をプラズマと呼び、固体、液体、気体に続く第4の物体ともいわれている。さらに、このとき、鮮やかな光も発せられる(プラズマ発光)<sup>5)</sup>。

### 5. 電子レンジで行う実験に関する注意

身近な電子レンジで見られる、(実験できる)マイクロ波化学反応例を紹介したが、電子レンジの本来の目的は迅速調理であることに注意していただきたい。これらの実験は、原理をよく理解した科学者の指導の下で行うのが望ましい。

実験を行うときは電子レンジの中に 300 ml 程

度のビーカーに水を入れておくことが、安全面から推奨される。使いやすく安価な実験用のマイクロ波装置の開発が望まれる。

### 6. マイクロ波化学と社会

化学製品の設計段階から廃棄されるまでの全ライフサイクルにわたって、ヒトや生態系への悪影響を最小限にしながら経済的・効率的にものを作ろうという活動の指針として1994年に「グリーンケミストリー12ヶ条」が提唱された。

筆者らはマイクロ波化学の特徴とグリーンケミストリー12ヶ条を2本の樹木として比べて考えた<sup>7)</sup>(図参照)。図11から、マイクロ波化学樹はグリーンケミストリー樹と共通点があり、環境にやさしい化学技術であることが分かる。次号では、電磁波としてのマイクロ波の作用と、環境にやさしい化学プロセスへの適用例について述べる。

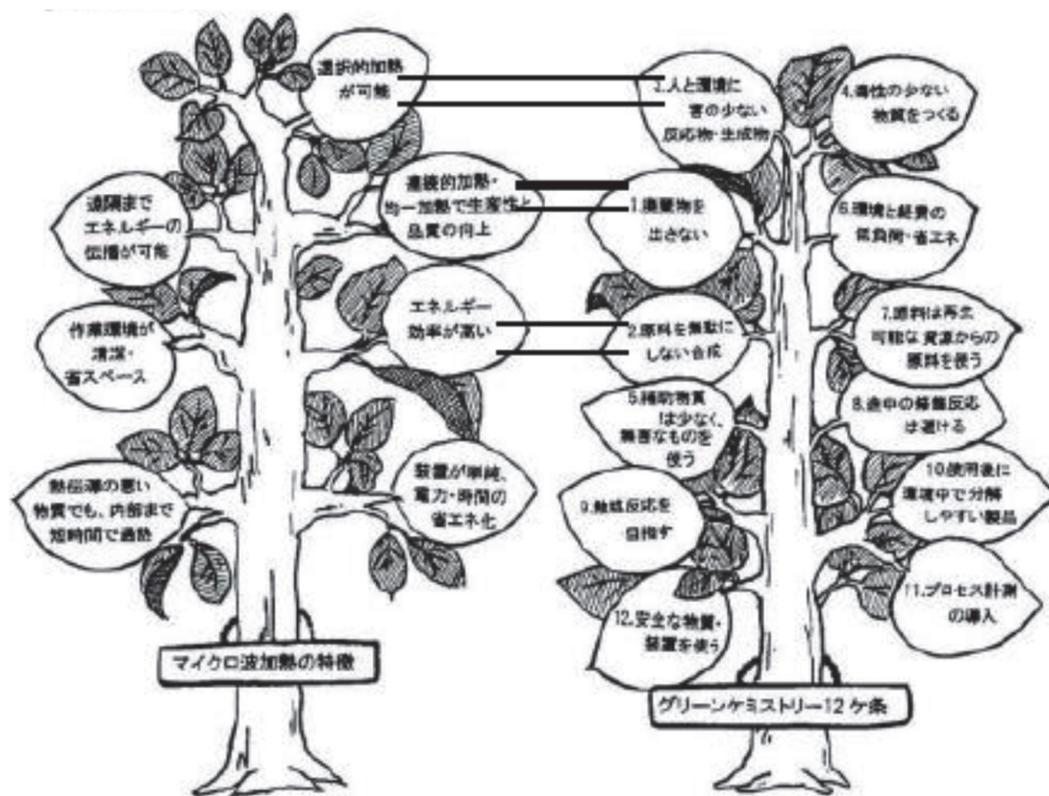


図 11. マイクロ波化学とグリーンケミストリー

**謝辞：**この章では日常的に使われている電子レンジを用いて、マイクロ波化学の理解を深める実験を紹介した。2012年から行った石巻青少年化学の祭典での展示実験<sup>5)</sup>、日本学術振興会の主催による“ひらめきときめきサイエンス”（2016年～2019年）で実施した実験内容に基づいている。実験には多くの講師の方、ボランティアの方々に協力いただいた。ご指導、共同実験等に謝意を表します。

**文献：**

1) <https://www.jsps.go.jp/hirameki/>  
 2) ベーシック機器分析化学，第8版第Ⅱ部マイクロ波を用いた機器分析，p.140-142，化学

同人

3) 村上祥子他，さすが電子レンジ！料理大全集（講談社），7章最速35分でできるパン作り  
 4) 日本の伝統：発酵の科学，中島春紫著，講談社  
 5) 化学を変えるマイクロ波熱触媒 p.15, 化学同人  
 6) <https://www.power@academy.jp/human/university/vol03/vol00100.html>  
 7) 化学を変えるマイクロ波熱触媒 p.49, 化学同人  
 8) 日本電磁波エネルギー応用学会機関紙1巻（2015）1号 p.6-12