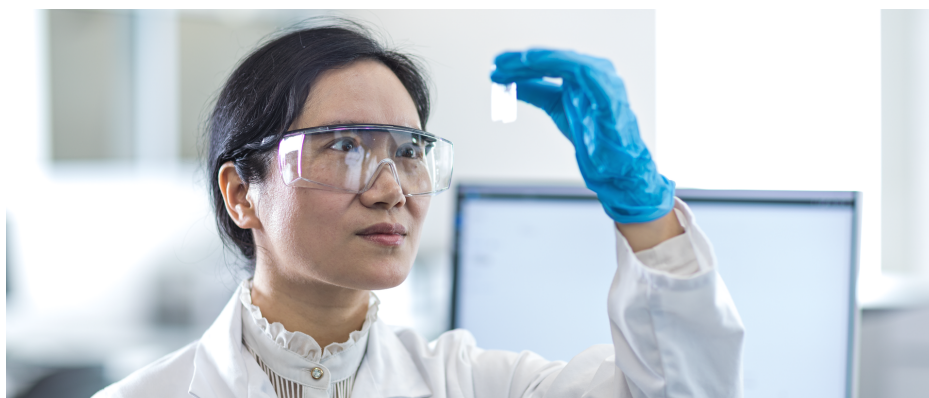


温度制御された UV-Vis 分光光度計を用いた 振動反応のカイネティクス

Agilent Cary 3500 UV-Vis を用いた 4 つの温度での
ブリッグス・ラウシャー反応の同時特性解析

著者

Marc-André Gagnon,
Claire Cislak, and
Wesam Alwan
Agilent Technologies, Inc.



概要

ブリッグス・ラウシャー反応には色の付いた中間体が関与しており、反応速度は温度の影響を受けます。このような色の変化を追跡するには、温度制御された UV-Vis 分光光度計を使用します。しかし、この実験では、効率的な温度制御、キュベットの攪拌、色の変化のミリ秒単位のタイムスケールに対応する高速な取り込み速度が必要になります。

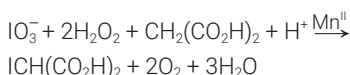
本研究では、Agilent Cary 3500 UV-Vis 分光光度計を使用して、この反応を 4 つの異なる温度で同時に調査しました。このシステムの高速度データ収集と正確な温度制御により、複雑な反応カイネティクスの効率的な特性解析が実施できました。

はじめに

ブリッグス・ラウシャー反応は、化学者が実施できる最も魅力的なデモンストレーションの一つです¹。これは、数分間にわたって複数の色の变化を繰り返す振動反応であり、化学物質がリアルタイムでどのように変化するかを目で確認できる例となります（図 1 参照）。この反応には、後述の「サンプル調製」セクションで説明しているように、いくつかの化学物質が関与しています。試薬を混合すると、透明かつ半透明の溶液が徐々に茶色に変化して、濃青色へと鮮明な色に変化します。その後、青色は徐々に薄れていき、無色の状態に戻ります。このサイクルは、試薬がすべて消費されるまで数分間継続します。

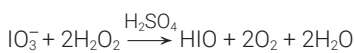
ブリッグス・ラウシャー反応

ブリッグス・ラウシャー反応の全体は、式 1 で表されます。この反応はマンガン (Mn) によって触媒作用を受け、酸素ガス (O₂) を発生させます。図 1 に示した画像では、いくつかの O₂ 気泡が確認できます。ただし、振動プロセス全体では、数多くの中間反応が発生しています。このプロセスをより詳細に理解するために、研究者は反応メカニズムを特定して、多くの詳細な説明を発表してきました²。

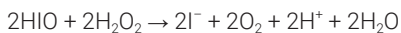


式 1.

ブリッグス・ラウシャー反応にはいくつかの重要なステップがあり、式 2 と 3 でまとめて示すことができます。



式 2.



式 3.

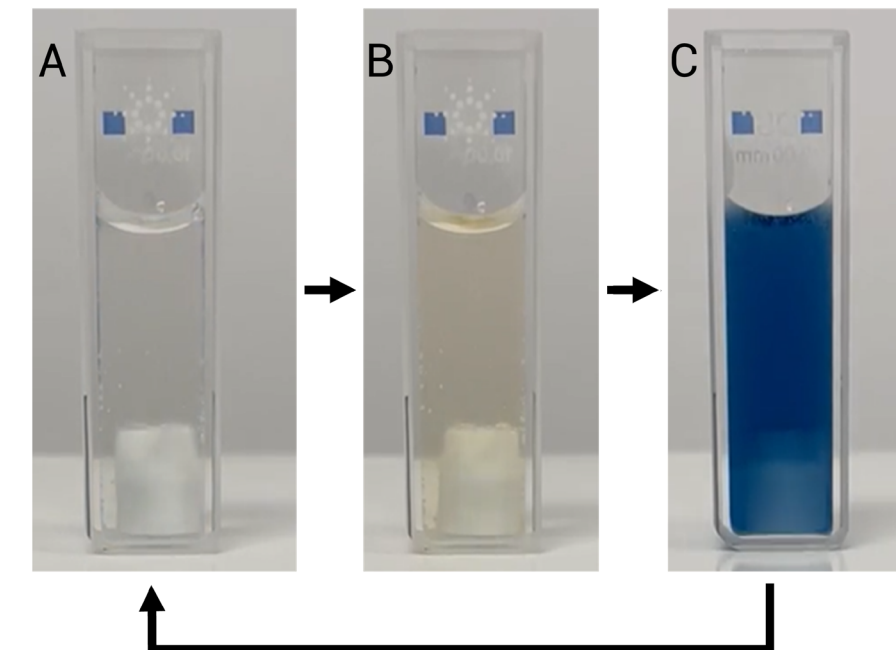
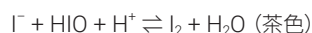


図 1. ブリッグス・ラウシャー反応における色の变化。(A) 反応物を添加すると、最初溶液は透明かつ半透明です。(B) 溶液は徐々に茶色に変化し、濃青色 (C) に変化した後、色が薄れて透明になります (A)。これらの振動は数分間継続し、その後安定します。

式 2 で示される中間反応は、ラジカルプロセスと非ラジカルプロセスという 2 つの異なる経路で進行します。両プロセスは非常に異なる速度で進行して、異なる中間反応を経て、最終的にブリッグス・ラウシャー反応のクロッキングメカニズムに対応します^{3, 4}。

このラジカル経路は高速であり、式 3 で示している反応で消費されるよりも、はるかに多くの HIO を生成します。高速ラジカルプロセスにより生成された過剰の HIO は、式 4 と式 5 に示すように、最終的に溶液を茶色に変化させる I₂ と I₃⁻ の形成につながります。I₃⁻ と、この反応で指示薬として機能するデンプンとの相互作用により、溶液は特徴的な濃青色に変化します。

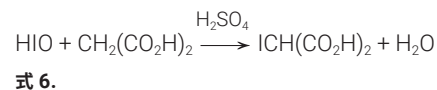


式 4.



式 5.

ラジカルプロセスで生成された I⁻ 蓄積により、ゆっくりとした非ラジカルプロセスが始まり、最終的には支配的なプロセスとなります。非ラジカル経路は、式 6 で示されるように、マロン酸により容易に消費される HIO をゆっくりと生成します。



この反応により、溶液中の利用可能な HIO がすべて枯渇して、HIO を必要とするラジカルプロセスの進行が抑制されます。HIO が減少することにより、I⁻ の生成も停止し、非ラジカルプロセスは最終的に終息します。その後、溶液中の過剰な I₂ がマロン酸と反応して、色が薄くなると同時にラジカルプロセスが再開し、振動が発生します。

ブリッグス・ラウシャー反応には色の付いた中間体が関与しており、中間反応のカイネティクスは熱力学の基礎に従うため、反応は温度の影響を受けません⁵。したがって、温度制御さ

れた UV-Vis 分光光度計を使用して、このような色の変化が発生する速度を追跡する必要があります。しかし、この実験を UV-Vis 機器で実施するのは困難です。効率的な温度制御とキュベットの攪拌が必要になります。また、色の変化は通常数ミリ秒以内に発生するため、取り込み速度も重要になります。最後に、デンブ-ヨウ素複合体の特徴的な濃青色は、可視光を吸収する可能性が高いと考えられます。

このアプリケーションノートでは、Agilent マルチセルペルチェサンプリングモジュールを取り付けた Agilent Cary 3500 UV-Vis システムを使用して、広く知られているブリッグス・ラウシャー振動反応を調査しました。最大 8 個のキュベットを設置できるマルチセル独自のマルチゾーン機能を使用して、4 つの異なる温度で同時に反応を発生させました。機器ではキセノン (Xe) フラッシュランプを使用しており、1 回の測定の取り込み速度は 4 ms です。この機能により、毎秒 250 ポイントのデータ収集が可能になるため、高速な化学反応カインेटイクスの包括的な研究が実施できるようになります。

このマルチゾーン機能により、8 個のキュベット内の溶液の同時データ取り込み時に、4 ペアのサンプルキュベットとリファレンスキュベットの温度を互いに独立して設定することができます。

各温度で得られたカインेटイクスパラメータを使用して、アレニウスプロット (反応速度定数の対数を、温度の逆数に対してプロットしたものを) を作成しました。この結果は、Cary 3500 UV-Vis マルチゾーンが、複数の実験を並行して実施できることを示しており、複雑な系の反応カインेटイクスを効率的かつ効果的に特性解析することができます。

実験方法

サンプル調製

ブリッグス・ラウシャー反応を発生させるために、溶液 A、溶液 B、溶液 C という 3 種類の溶液を使用しました⁴。各溶液は、総容量 250 mL で調製しました。

- 溶液 A は、10.75 g のヨウ素酸カリウム (KIO_3) を高純度の脱イオン水 (DI) に溶解して、1.125 mL の硫酸 (H_2SO_4) を添加し、脱イオン水で 250 mL になるように調製しました。確実にすべての固体反応物を溶解させるために、溶液 A を 10 分間超音波洗浄機にセットしました。
- 溶液 B は、3.9 g のマロン酸 ($CH_2(CO_2H)_2$) と 0.85 g の硫酸マンガーン水合物 ($MnSO_4 \cdot H_2O$) を、約 100 mL の脱イオン水に混合して調製しました。約 1 g の可溶性デンブンを約 100 mL の熱湯に溶解し、室温まで冷却してろ過しました。両方の溶液 (マロン酸とデンブン) を混合して、脱イオン水により 250 mL になるように調製しました。
- 溶液 C は、100 mL の 30 % 過酸化水素 (H_2O_2) と 150 mL の脱イオン水を混合して調製しました。

等量 (本研究では 0.75 mL) の溶液 A、B、C を混合して、ブリッグス・ラウシャー反応を開始させました。

装置構成

Cary 3500 UV-Vis 分光光度計は、共通の UV-Vis エンジンと交換可能なサンプリングモジュールで構成されている、完全に交換可能なモジュール式システムです。この機器は、250 Hz でパルス出力するキセノン (Xe) フラッシュランプを光源として使用しており、立体配置ダブルリトロモノクロメータを採用しています (Xe フラッシュランプは 10 年保証付きです)。モノクロメータのスペクトルバンド幅 (SBW) は 0.1 ~ 4.0 nm の範囲で変更できます。光ファイバ技術を使用して、すべてのキュベットに同時に光源信号を直接、伝送します。

本研究のために、Cary 3500 UV-Vis に、8 個のキュベットを設置できるマルチセルペルチェサンプリングモジュールを組み合わせました (図 2)。各サンプルには、専用の UV-Vis 検出器、攪拌子、温度プローブを搭載しました。また、光源は光ファイバ技術を使用して各セルに伝送されるため、信号は各キュベットに同時に到達します。マルチセルペルチェサンプリングモジュールは、0 ~ 110 °C の間で設定温度を保持できる空冷式ペルチェ温度制御システムを採用しています。このシステムは、0.1 ~ 40 °C /min の範囲の速度で昇温することも可能です。マルチセルペルチェのマルチゾーン機能を使用すれば、各ゾーンの温度を個別に設定して、温度プローブでモニタリングすることができます。

この実験では、ゾーン 1、2、3、4 の温度をそれぞれ、5.0、10.0、20.0、30.0 °C に設定しました。光学的に適合させた 4 ペアの 10 mm 石英製キュベットを、各ゾーンで 1 個使用したため、測定開始前のゼロ補正/ベースライン設定は必要ありませんでした。4 個すべてのサンプルセルに温度プローブを取り付け、サンプルキュベットの実際の温度測定値に基づいて、各ゾーンの温度を詳細にモニタリング、測定、制御しました。8 個のキュベットすべてに、星型攪拌子を取り付けました。

Cary 3500 UV-Vis 用マルチセルペルチェサンプリングモジュールには、室温の露点よりも低い温度で実験を実施する際に、キュベット外壁の結露を防止するためのパーズラインを搭載しています。このしきい値より下の温度で実験を実施する可能性もあるため、パーズガスとして窒素 (N_2) を 10 L/min の流量で使用しました。

溶液 A、B、C のそれぞれ、および溶液 A と B の混合物の UV-Vis スペクトルを異なる温度で収集して、これらの溶液に含まれている可能性のある発色団を評価しました（結果は示していません）。これらの試験では、リファレンスとして水を使用しました。対象のスペクトル範囲（290.0～950.0 nm）では、H₂O₂ のみが大きく寄与しました。H₂O₂ を添加すると、ブリッグス・ラウシャー反応が容易に始まるため、溶液 A と B の混合物を、その後のすべての UV-Vis 測定のリファレンスとして選択しました。

各カイネティクス分析では、0.75 mL の溶液 A と 0.75 mL の溶液 B をサンプルキュベットに添加しました。温度設定ポイントに到達したら、溶液を 5 分間攪拌して、キュベット内の熱平衡を確保しました。

ベースライン測定を確立するため、溶液 C を添加する前にデータ収集を開始しました。各サンプルに 0.75 mL の溶液 C をピペットで滴下した後、異なる温度ゾーンで順番にキュベットデータを収集しました。最初に、5.0 °C の温度ゾーンから開始して 10 秒ごとにデータを収集し、データ収集開始から 30 秒後に 30.0 °C の温度ゾーンで終了しました。

振動の各段階（茶色、青色）に関連する特徴的な発色団を同定するために、広い波長範囲（290.0～950.0 nm）においてスキャンカイネティクス測定を実施しました。機器取り込みパラメータを表 1 に示します。

異なる温度における反応カイネティクスは、表 2 に示す取り込みパラメータを使用して実施しました。測定はすべて 3 回実施しました。



図 2. マルチセルベルチェサンプリングモジュールを組み合わせた Agilent Cary 3500 UV-Vis 分光光度計は、8 つのキュベット位置において、最大 4 つの温度実験で同時に使用できます。

表 1. スキャンカイネティクス分析での Agilent Cary 3500 UV-Vis の取り込みパラメータ

パラメータ	設定
波長範囲	290.0～950.0 nm
データ間隔	4.00 nm
スペクトルバンド幅	4.0 nm
信号平均化時間	0.004 秒
攪拌速度	800.0 rpm
温度	5.0 °C
時間	20.0 分
スキャン速度	60,000 nm/min

表 2. 異なる温度のカイネティクス分析での Agilent Cary 3500 UV-Vis の取り込みパラメータ

パラメータ	設定			
	ゾーン 1	ゾーン 2	ゾーン 3	ゾーン 4
ゾーン	ゾーン 1	ゾーン 2	ゾーン 3	ゾーン 4
温度	5.0 °C	10.0 °C	20.0 °C	30.0 °C
波長	610.0 nm			
スペクトルバンド幅	4.0 nm			
信号平均化時間	0.004 秒			
攪拌速度	800.0 rpm			
時間	5.0 分			
温度制御	プローブ			

結果と考察

スキャンカイネティクスデータ

色の付いた各反応中間体のスペクトルの特徴を捉えるために、低温でスキャンカイネティクスデータを収集しました。図 1 に示すように、ブリッグス・ラウシャー反応の中間体の色は人間の目で確認することができるため、波長範囲には可視スペクトル範囲 (400 ~ 700 nm) を含めました。時間分解能はスキャン速度 60,000 nm/min に設定し、1.65 秒ごとに UV-Vis スペクトルを生成しました。5 °C で測定した最初の振動から選択したスペクトルを図 3 に示します。

リファレンスとして、溶液 A と B の混合物を使用しました (濃緑色のトレース)。リファレンスと比較すると、溶液 A と B に溶液 C (H₂O₂) を添加した場合の特徴が容易に確認できます。300 nm で観測された強い吸収は、個々の成分について実施した予備試験から確認されたように、UV 範囲の H₂O₂ 吸収バンドの端に関連しています (「実験方法」のセクションを参照)。13.20 秒まで取り込んだスペクトルには、400 ~ 700 nm の範囲の吸収バンドが存在しないため、この段階では溶液は無色であると考えられます (図 1 の A)。

スキャン (1 ~ 13 秒) では、460 nm を中心とするピークがゆっくりと上昇しています。この溶液は 400 ~ 500 nm 間の青色光を吸収するため、このスペクトルは溶液中の I₂ 蓄積から生じた茶色 (補色) の状態に関連していると考えられます (図 1 の B)。この結論は、ブリッグス・ラウシャー反応メカニズムに焦点を当てた以前の発表からも導き出されています⁶。

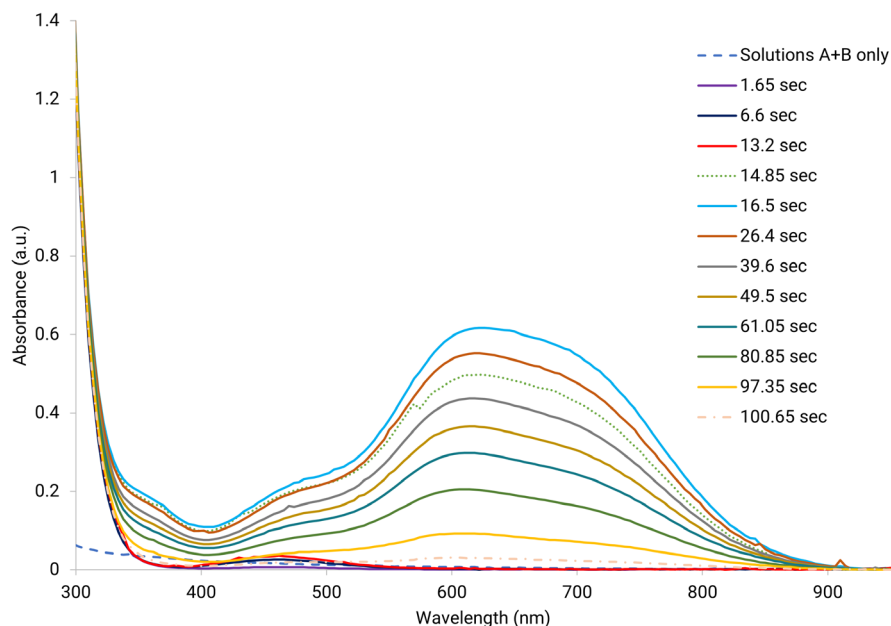


図 3. 5.0 °C でブリッグス・ラウシャー反応の最初の振動の間に収集された UV-Vis スペクトル。スペクトルはすべて、視覚化するためにオフセット補正しました。

スペクトルは、遷移状態、すなわち溶液が茶色から濃青色に変化している間の状態を取り込みました。610 nm をピークとする広く強い吸収バンドが明確に確認できます。

このバンドは、デンブリン-I₃ 複合体に関連していると考えられます (図 1 の C)。この遷移状態の間、中間スペクトルはほとんど収集できなかったため、色の遷移現象は、スキャンカイネティクス時間分解能 1.65 秒/スキャンよりも大幅に高速な速度で発生していると考えられます。濃青色のヨウ素-デンブリン複合体に関連する 350 nm と 375 nm 付近の未分離ピークが、その後のすべてのスペクトルにおいて確認できます。以前の研究から、これらの発色団は、式 1 のモノヨードマロン酸中間体 (ICH(CO₂H)₂) と関連していると考えられます。

最大吸光度には 16 秒付近で即座に到達し、その後、スペクトルに特徴がない無色に近い溶液が再度得られるまで、時間の経過とともにゆっくりと減少しました。

これらの結果から、ブリッグス・ラウシャー反応の無色への変化に対する温度の影響を詳細に調査するために、波長 610 nm を選択しました。この選択は、感度 (最も強い) と選択性 (ほとんど重ならない) という基準に基づいて行いました。

異なる温度で実験を実施した結果、610 nm の最大吸光度値は 5 ~ 30 °C の範囲で一定でした (データは示していません)。

異なる温度でのカインेटクス分析

異なる温度（5、10、20、30 °C）で実施したサンプル/リファレンスペアの 4 つの反応すべてのデータを同時に取り込みました。610 nm で記録された各カインेटクス曲線の最初の 2 分間のデータを図 4 に示します。このような実験が実施できるのは、Cary 3500 UV-Vis システムの各 Xe フラッシュランプの UV-Vis 光源が、光ファイバにより 8 個のキュベットすべてに同時に到達して、最大毎秒 250 ポイントのデータを収集できるためです。

異なる温度で記録された振動カインेटクス曲線は、図 4 の A で強調して示されているように、すべて同様のパターンを共有していました。溶液 C を添加してから数秒後、610 nm での吸光度が、ほぼ 0 から 1.5 吸光度単位（a.u.）まで急速に上昇しています。この遷移現象は、5.0 °C で実施した実験では約 1.4 秒、30.0 °C で実施した実験では約 0.65 秒の時間経過で発生しています（図 4 の D）。

濃青色へ遷移する速度は、図 3 で前述したスキャンカインेटクス分析の時間分解能よりも大幅に高速です。数百 nm にわたる中間体の UV-Vis スペクトルが、急激な色の遷移現象の間にほとんど収集されなかったのは、この高速な遷移時間のためであると考えられます。また、色の遷移現象の速度の点から注目すべきなのは、反応の動力学を効果的に研究して理解するためには、高い時間分解能（正確な時間測定）を備えた機器が必要であるということです。

その後、吸光度は数秒間、ほぼ直線的にゆっくりと減少します（初期減衰）。ある特定の時点を経過すると、傾きが急になるため（後期減衰）、カインेटクスが異なる領域に入っていると考えられます。図 4 は、初期減衰と後期減衰に関連する傾きが、温度が上昇するにつれて急になることを示しています。610 nm の吸収バンドの振幅に特定の間中反応を割り当ててはできませんが、事前の知識から判断すると、初期減衰は非ラジカルプロセスに対応しており、後期減衰はデンプン-ヨウ素複合体の崩壊に対応していると推測されます⁷。

反応が進行するにつれて、O₂ が急速に生成され（式 1 参照）、気泡が豊富に形成されます。気泡が光源の前を通過すると、図 4 の B、4 の C、4 の D に示すように、0.004 秒の信号平均化時間で鋭い吸収スパイクが発生します。

信号平均化時間を 0.1、0.5、または 1 秒に増加させると、図 5 に示すように、スペクトル中の O₂ 気泡スパイクの発生が減少し、S/N 比が向上します。気泡形成の点から注目すべきなのは、光路からガスの気泡を除去するために、測定全体を通して効率的に攪拌する必要がありますということです。

ブリッグス・ラウシャー反応に周期的な性質があることは、図 4 から即座にわかります。振動周期は、図 4 の C に示すように、後続の 2 つの色の遷移現象間の時間として定義しました。各温度での振動周期を測定し、結果を表 3 に示しています。この結果は、各温度における最初の振動周期が、その後の振動周期よりも長かったことを示しています。この差は、溶液 C の添加後の温度平衡に起因する部分もありますが、このテーマに関する以前の研究でも、同様の観察結果が報告されています^{6,8}。

2 回目の振動の後、振動周期時間がゆっくりとした速度で増加し始めるまで、反応の周期性は数分間安定しています。振動周期の平均値は、定常状態の領域（振動 3～6）で計算しました。表 3 で報告されている振動周期の値は、各温度で実施された 3 回の繰り返し測定結果の平均値に対応しています。関連する不確実性の値は、測定値内の標準偏差に相当します。

図 4 の D からわかるように、610 nm で測定された最大吸光度は、振動が発生するにつれて徐々に増加しています。この振動プロセスは、溶液温度に応じて不確定な時間にわたり進行しますが、通常は 5～10 分間継続する

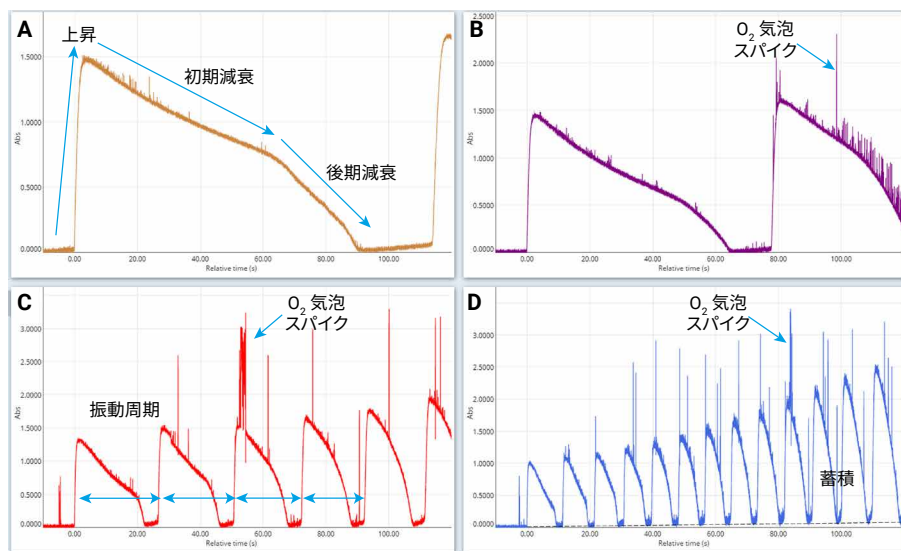


図 4. Agilent Cary 3500 UV-Vis により、5 °C (A)、10 °C (B)、20 °C (C)、30 °C (D) で測定した 610 nm におけるカインेटクス曲線。比較を容易にするため、すべての曲線を最初の振動に対してオフセット補正しました。

ことが知られています。H₂O₂ が溶液中のマロン酸をすべて消費すると、反応は終了します。

ブリッグス・ラウシャー反応が終了したのは、振動を繰り返すごとに、透明の遷移段階が目立たなくなる（濃青色のみから淡青色への変化）ことでわかります。最終的に、溶液は濃青色のままです。この蓄積（振動間の色のコントラストの減衰）は、吸光度値が 0 a.u. を超えたままであることを示す、図 4 の D の黒色の破線で表されています。

化学反応速度に対する温度 (T) の影響は、多くの場合、アレニウス式 (式 7) で表されます。式中、反応速度定数 (k) は、活性化エネルギー (E_a)、完全気体定数 (R)、前指数因子 (A) の関数です。

$$k = A/e^{-E_a/RT}$$

式 7.

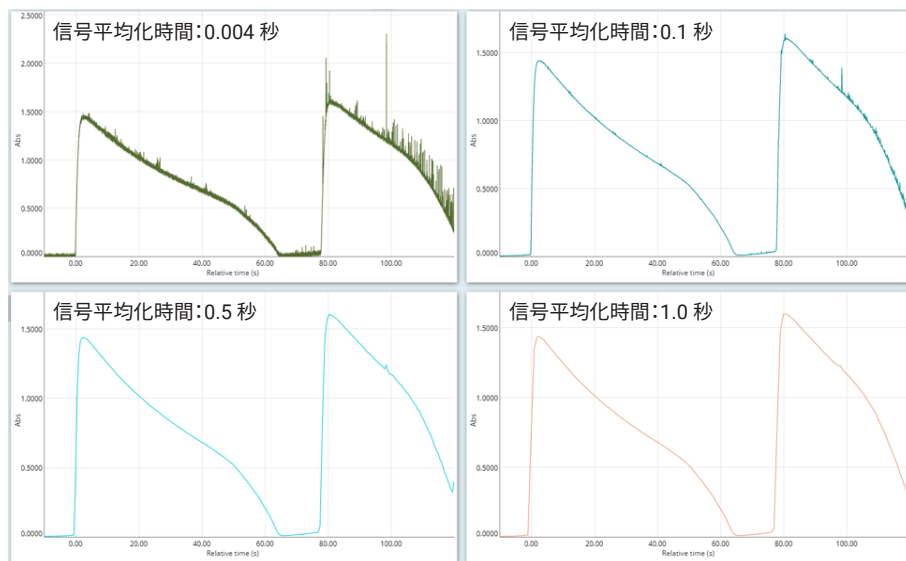


図 5. 10.0 °Cにおける O₂ 気泡スパイクの発生に対する信号平均化時間 (0.004、0.1、0.5、1 秒) の影響

表 3. 異なる温度におけるブリッグス・ラウシャー反応の振動周期 (n = 3)

温度 (°C)	振動周期時間 (秒)		
	最初の振動	2 回目の振動	振動 3 ~ 6
5.0	121 ± 10	83 ± 3	69 ± 3
10.0	68 ± 3	56 ± 11	47.6 ± 0.4
20.0	27 ± 1	24 ± 1	20 ± 1
30.0	11 ± 2	10 ± 1	8.8 ± 0.6*

* 振動周期は、12 回目の振動まで安定していました。

今回の研究が基本的な熱力学の概念に従っているかどうかを評価するために、振動数 ($k = 1/\text{振動周期}$) を速度定数として、アレニウスプロットを作成しました。この結果を図 6 に示します。

表 3 に報告されている、定常状態の領域 (振動 3 ~ 6) に関連する振動周期を使用して、アレニウスプロットにおける k を計算しました。図 6 の不確実性を示すバーは、各温度の平均振動周期に関連する標準偏差値であり、自然対数スケールで表されています。

ブリッグス・ラウシャー振動反応には、20 を超える中間反応が含まれていますが、プロセス全体はアレニウスのような挙動を示します。直線回帰の傾きを使用して E_a を計算した結果、反応全体では 58 kJ/mol でした。この値は、この振動反応に関する以前の研究の結果とよく一致しています⁸。

結論

マルチセルペルチェサンプリングモジュールを搭載した Agilent Cary 3500 UV-Vis 分光光度計を使用して、ブリッグス・ラウシャー振動反応のカイネティクスに関する詳細な調査を、4 つの異なる温度で同時に実施しました。ペルチェ温度制御されたマルチセル独自のマルチゾーン機能により、4 ペアのキュベットのマルチゾーン実験が容易に実施できました。キュベットの各ペアには、試薬とリファレンス溶液が含まれていました。

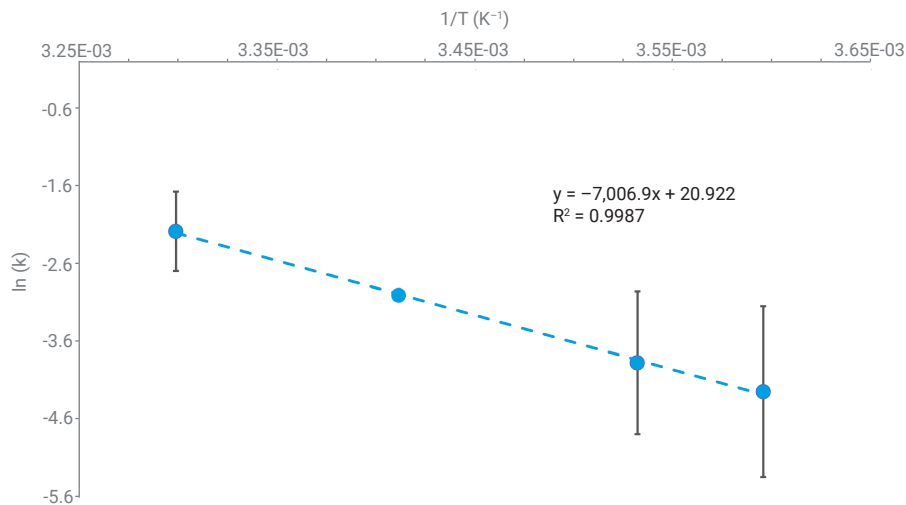


図 6. Agilent Cary 3500 UV-Vis 分光光度計を使用して、異なる温度で実施した振動反応から作成したアレニウスプロット

スキャンカイネティクス分析により、反応における異なる中間体に関連する発色団が同定され、振動反応のシングルポイントカイネティクス測定に最適な波長 (610 nm) を選択することができました。4 つの温度 (5、10、20、30 °C) におけるカイネティクス測定の結果、温度が上昇するにつれて振動周期が短くなることが示されました。ブリッグス・ラウシャー振動に対する各温度の影響を詳細に理解するため

に、データを使用してアレニウスプロットを作成しました。次に、このプロットを使用して活性化エネルギーを計算した結果、反応全体の計算値は 58 kJ/mol となりました。マルチセルペルチェサンプリングモジュールを搭載した Cary 3500 UV-Vis 分光光度計は、複雑な反応をより包括的に理解するための貴重なデータを生成しながら、時間を節約します。

参考文献

1. Briggs, T. S.; Warren C. Rauscher, W. C. An Oscillating Iodine Clock. J. Chem. Educ. **1973**, 50(7), 496.
2. Kim, K-R; Lee, D. J.; Shin, K. J. A Simplified Model for the Briggs-Rauscher Reaction Mechanism, J. Chem. Phys. **2002**, 117, 2710–2717.
3. Richard M. N.; Stanley D. F. The Oscillatory Briggs-Rauscher Reaction. 3. A Skeleton Mechanism for Oscillations. J. Am. Chem. Soc. **1982**, 104(1), 45–48.
4. Shakhshiri, B. Z.; Chemical Demonstrations – A Handbook for Teachers of Chemistry, Vol. 2 The University of Wisconsin Press: Madison. P. **1985**, 248–256.
5. Dutt A. K. Chloride Ion Inhibition, Stirring, and Temperature Effects in an Ethylacetoacetate Briggs-Rauscher Oscillator in Phosphoric and Hydrochloric Acids in a Batch Reactor. J. Phys. Chem. B. **2019**, 123(16), 3525–3534 .
6. Mahon, M. J.; Smith, A. L. Kinetic Absorption Spectroscopy of the Briggs-Rauscher Oscillator, J. Phys. Chem. **1985**, 89, 1215–1216.
7. Singhal, A.; Grögli, P.; Geiser, B.; Handl, A. A Briggs-Rauscher Reaction-Based Spectrometric Assay to Determine Antioxidant Content in Complex Matrices in Low Technology Environments. Chimia (Aarau). **2021**, 75(1–2), 74–79.
8. Dott, A. K.; Banerje, R. S. Studies on Kinetic Parameters of Briggs-Rauscher Oscillating Reaction, Z. Phys. Chem. **1982**, 2, S. 298–304.

詳細情報

- Cary 3500 マルチセル UV-Vis 分光光度計
- Cary 3500 コンパクト UV-Vis 分光光度計
- Cary UV ワークステーションソフトウェア
- GMP 施設のデータインテグリティ実現のために - Agilent Cary 3500 UV-Vis 向け Cary UV ワークステーションソフトウェア
- UV-Vis 分光分析と分光光度計の基礎サイト

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンタ

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、医薬品医療機器等法に基づく登録を行っておりません。本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに変更されることがあります。

DE14395729

アジレント・テクノロジー株式会社

© Agilent Technologies, Inc. 2024

Printed in Japan, July 24, 2024

5994-7396JAJP