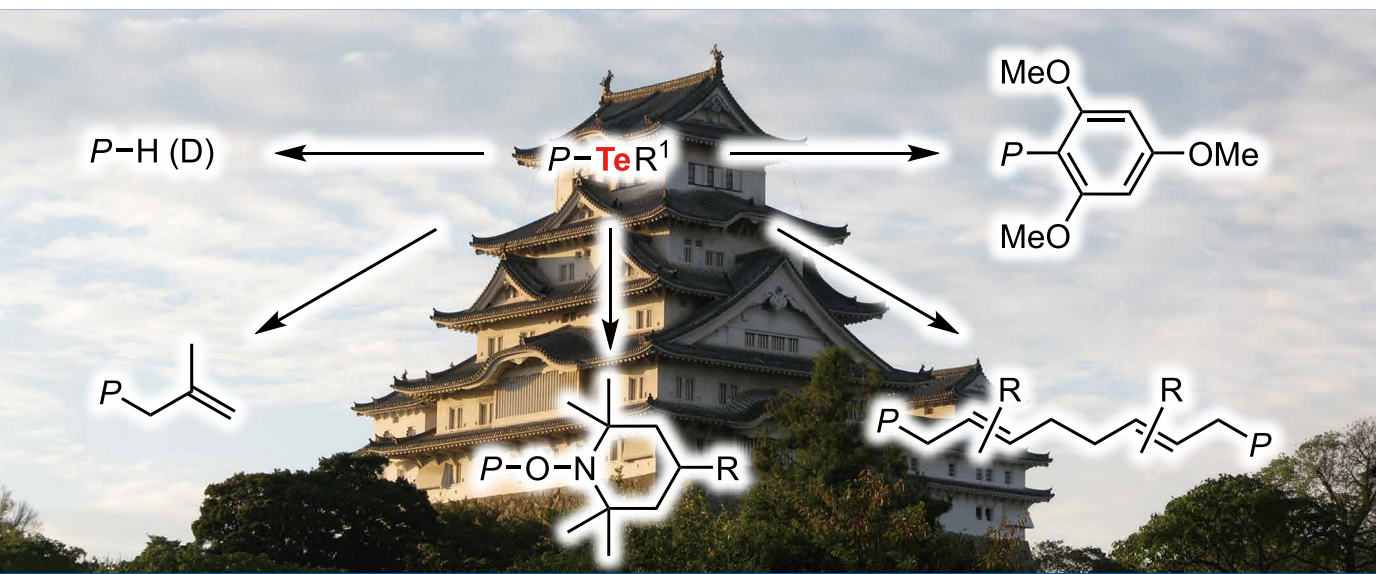


TCIメール

2024年秋号 | No. 197



目次

寄稿論文 2

有機テルル化合物を用いるラジカル重合 TERP

京都大学化学研究所
教授 山子 茂

化学よもやま話 15

説明に窮する高校化学

東洋大学京北高等学校
教諭 大貫 裕之

製品紹介 18



多様な反応性を示す
トリフルオロメチルチオ化剤 TTST



結晶性の高いCOFの合成に使用できる
ジウレア・トリウレア誘導体



マレイミドと反応して抗体を修飾する
スピロヘプタジエン試薬



生細胞と死細胞の染め分けが可能な染色キット



ERKシグナル伝達経路の制御剤



レチノイン酸受容体アゴニスト

寄稿論文

有機テルル化合物を用いるラジカル重合 TERP

京都大学化学研究所
教授 山子 茂

Keywords: 制御ラジカル重合、可逆的不活性化ラジカル重合、テルル、多分岐高分子

1. はじめに

リビングラジカル重合とも呼ばれる制御ラジカル重合は、この30年弱の間に飛躍的な進歩を見せ、高分子材料開発に大きな変革をもたらしてきている^[1,2]。原子移動ラジカル重合 (**A**tom **t**ransfer **r**adical **p**olymerization; ATRP)と、可逆的付加-開裂連鎖移動重合 (**R**eversible **a**ddition-**f**ragmentation chain **t**ransfer polymerization; RAFT)が一般には良く用いられている方法である。それに対し、筆者らは独自に有機テルル化合物を用いるラジカル重合 (**O**rganotellurium-mediated **r**adical **p**olymerization; TERP)を開発すると共に^[3-6]、産学共同研究によって実用化に成功している。実用化における鍵は、TERPが重要な五つの技術的要素、すなわち、1) 反応性の異なるモノマーの重合を制御できる汎用性、2) 極性官能基に対する耐性、3) 共重合体合成の柔軟性、4) 成長末端の変換反応に対する多様性、5) 大スケール反応に対する信頼性、を高度に満たしているためである。本稿では、このうちで1~4) に関連するTERPの特徴を紹介する。また、これまで制御ラジカル重合で構造を制御できるのは、線状構造を持つ高分子に限られていた。しかし筆者らは最近、選択的に分岐を誘起するモノマーを開発することで、多分岐構造を持つ高分子の構造を制御して合成することにも成功した。この成果についても併せて紹介する。なお、既存の制御ラジカル重合技術では完全に停止反応を防ぐことができないことから、IUPACはこの技術を「リビングラジカル重合」と呼ぶことに否定的であり、「可逆的不活性化ラジカル重合 (**R**eversible **d**eactivation **r**adical **p**olymerization; RDRP)」と呼ぶことを推奨している^[7]。

2. 重合機構と重合条件

RDRPの鍵となる機構は、休止種と呼ばれるラジカル前駆体 $P-X$ (P = 高分子、 X = キャッピンググループあるいは原子)からの可逆的なラジカル生成にある(図1a)^[2, 3]。すなわち、休止種から生成した P ラジカルはモノマーと反応して高分子鎖を伸長した後、不活性化を受けて再び休止種となる。休止種は不活性化を受けたのちも再びラジカルを生成できる点で、従来のラジカル重合における停止反応によるデッドポリマーの生成とは異なっている。すなわち、成長末端が休止種の形で「生きている」ことが特徴である。この平衡は休止種側に大きく偏っていることから、 P ラジカルの濃度が減少する。このため、停止反応の起こる確率が低下する

(先述のように、完全になくなるわけではない)。さらに、不活性化が成長反応に比べて十分に速く起こること、すべての高分子鎖の伸長速度はほぼ等しくなる。すなわち、モノマーと連鎖移動剤(あるいは開始剤)の仕込み比によって分子量が決まり、分散度(分子量分布)が狭くなる、というリビング重合的な性質が発現する。

図1aの平衡を実現する実際の機構として、解離—結合機構 (**D**issociation-**c**ombination mechanism; DC機構、図1b)と交換連鎖移動機構 (**D**egenerative chain **t**ransfer mechanism; DT機構、図1c)の二つが知られている。DC機構では、C-XのホモリシスによるPラジカルとXラジカルの生成が活性化であり、生成したラジカルペアの再結合が不活性化である。一方、DT機構ではPラジカルと休止種間の置換反応により、Pラジカルの不活性化と休止種の活性化が同時に起こる。例えば、ATRPはDC機構(休止種を還元した高原子価金属、例えばCu(II)X₂がXラジカル等価体)、RAFTはDT機構で進行する。それに対しTERPでは、DT機構が主な機構であるがDC機構も関与できる点が特徴である^[8,9]。これがTERPの重合条件と密接に関連している。

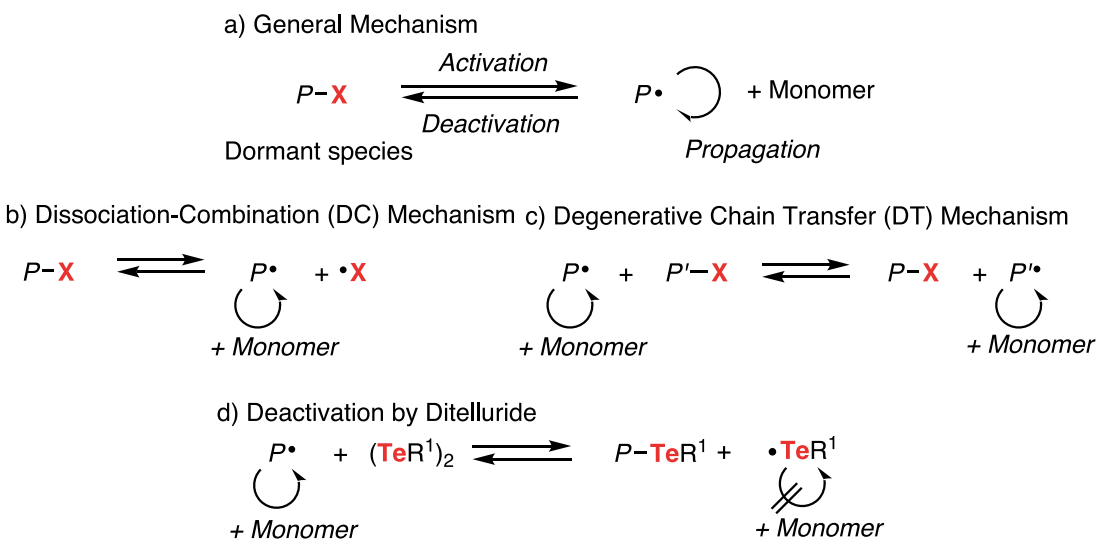


図1. a) RDRPの一般的な機構と、b) DC機構、c) DT機構。d) ジテルリドの関与する機構。
P, P'は高分子の、Xはキャッピング基の略:TERPではX = TeR¹。

TERPは、1) 有機テルルCTAとモノマーとを加熱する条件^[4,10]、2) 1)の条件にラジカル開始剤であるアゾ化合物を加えて加熱する条件^[8]、3) 有機テルルCTAとモノマーの混合物に光照射を行う条件^[11,12]、のいずれかで行う。1)の条件では休止種のC-Te結合の熱解離、すなわちDC機構によって開始がラジカル供給され、主にDT機構で重合が進行する。DC機構が律速段階であり100 °C程度の加熱が必要である。休止種のC-Te結合解離エネルギーが低く、かつ、成長速度が遅いスチレンやジエン類の重合に適している^[4,11]。2)の条件では、アゾ開始剤の熱分解により開始ラジカルが供給され、DT機構のみで重合が進行する。アゾ開始剤の分解温度とモノマーの反応性により、自由度高く重合温度を設定できる。穏和な加熱条件で重合できるため、多くのモノマーの重合に適用可能な汎用性と実用性に優れた重合条件である。3)の条件ではC-Te結合の光開裂により開始ラジカルが供給される。ラジカル濃度を抑えることが重要であることから、数W程度のLED光など、強度の弱い可視光が適している^[11,13]。特殊な光源が不要であることに加え、室温以下でも重合を行える点、さらに光照射のON/OFFにより重合の進行を制御できる等(図2)、優れた長所を持つ。

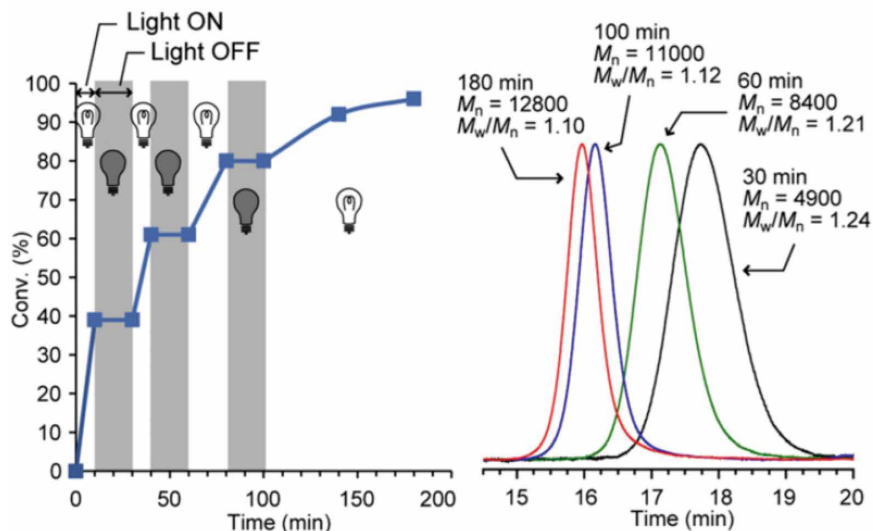


図2. 光のON/OFFによる重合の時間制御

なお、メタクリレート類の重合において高い重合制御を達成するには、ジテルリドの添加が必要である^[10]。ジテルリドは成長末端ラジカルと反応し、DT機構よりも約100倍速くPラジカルを休止種へと不活性化する(図1d)^[14]。さらに、この反応により生じるテラニルラジカル($R^1Te\cdot$)はモノマーに対する反応性が実質上無い一方、テルル休止種と反応して活性ラジカルとジテルリドとを再生する。この素早くかつ選択的な不活性化のために重合の制御が向上する。なお、アクリレートの重合にジテルリドを添加すると、休止種のテラニルラジカルによる活性化が十分に起こらないため、重合は大きく阻害されることから注意が必要である。

3. TERP連鎖移動剤(CTA)

TERPの代表的なCTAの構造を図3に示した。重合制御のためには、開始反応が成長反応と同程度、あるいは成長反応より速く起こる必要がある。したがって、安定でかつモノマーに対して十分な反応性を持つラジカルが生成する**1**、**2**、**3**が一般に優れた結果を与える^{[4,10][15]}。なかでも、ポリメタクリル酸エステル末端構造を持つ**1**が最も利用頻度の多い優れたCTAである。一方、アクリル酸エステル末端構造を持つ**4**^[16]やポリビニルエーテル末端構造を持つ**5**^[17]では、生成するラジカルの安定性が低下するため、開始反応が少し不利になることから、重合制御は**1**に比べると少し劣る。しかし、十分に重合を制御することができる。

テルル上の置換基 R^1 の置換基効果は小さい^[18]。すなわち、フェニル基などの芳香族置換基がメチル基やブチル基などのアルキル基よりもDT反応に対して活性であるため、原理的にはより優れた重合制御を示す。しかしその差は小さいことから、多くの場合において特に注意を払う必要は無い。

エステル置換基 R^2 に関しては、均一系の重合では、メチルエステルやエチルエステル (**1a**, **1b**) が良く用いられる。一方、**1c**のカルボン酸を様々なアミンと縮合することで、官能基を持つCTA、例えばアミノ酸を持つ**6**や多価CTA**7**など、多様なCTAが合成できる。これにより、開始末端にバリエーションを付与できる(図3b)^[19]。さらに、**1c**はNaOH等の塩基の処理により水溶性のカルボン酸塩**1d**になることから、水中での乳化重合に利用できる^[20]。また、**1e**^[21]はシリル基を用いて様々な表面にCTAを固定化することで、表面グラフト重合に利用できる。

1~5は対応する有機ハロゲン化物からテルルアニオン種の置換反応により単段階で合成できる。酸素に対して敏感であるが、不活性ガス下では長期間の保存が可能である。なお、1, 2, 3がTCIより販売されており、TERPの利用が広がっていくものと期待している。

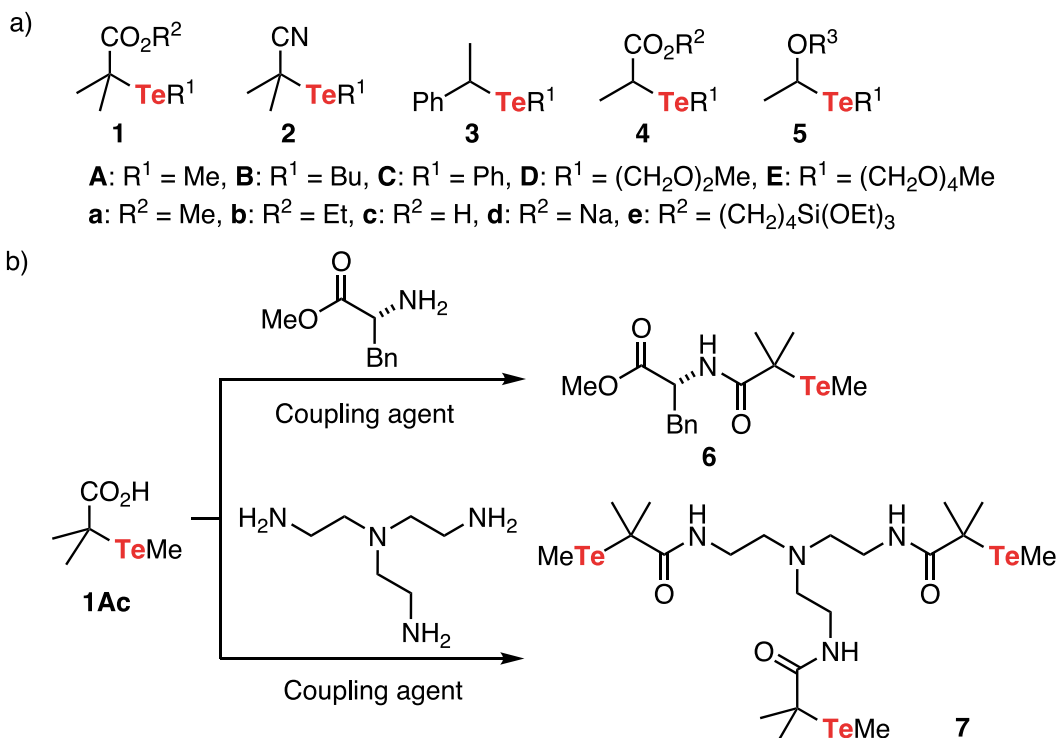


図3. TERPに用いられるa) 代表的なCTAとb) 特殊構造を持つCTA

4. TERP による高分子エンジニアリング

4.1. 均一系重合によるホモ重合体の合成:TERPの大きな特徴は高いモノマー汎用性である。特に、大きく反応性が異なるモノマー、例えば共役モノマーと非共役モノマーの重合を同じCTAを用いて制御できる点であり、理論値に近い分子量 (M_n) と狭い分散度 (D) を持つ重合体 that 得られる (図4) [4,8,10,11,21-28]。これは、ATRPやRAFTではモノマーに応じて触媒の配位子やCTAを適切に選択する必要があることと大きく異なっており、TERPの最も優れた利点である。さらに、いずれの重合においても、90%を超える高いモノマー転化率に達する点も合成的に重要である。休止種の活性化が最も難しいエチレンの重合においても、穏和な加圧・加熱条件を用いることで、重合制御が可能である^[27]。

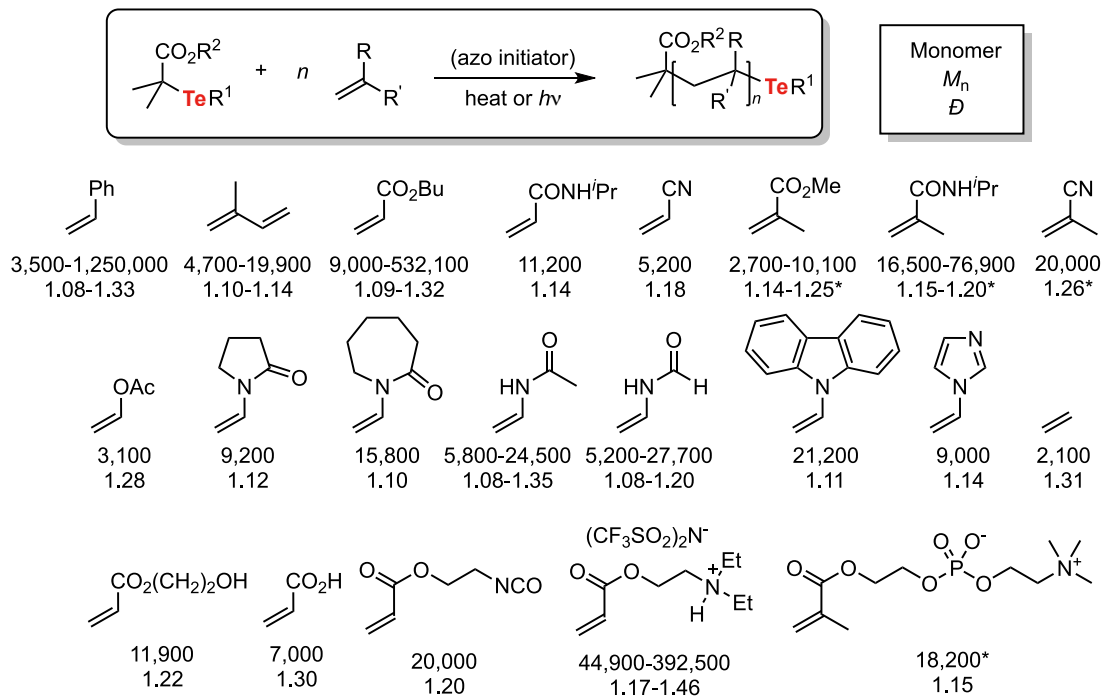


図4. TERPを用いた代表的な重合例。モノマーの構造と得られた重合体の数平均分子量(M_n)と分散度(\bar{D})を示した。
*メタクリレート系のモノマーの重合ではジテルドを添加している。

TERPは官能基共存性にも優れており、極性官能基やイソシアネートのような高反応性官能基を持つモノマーの重合においても高い重合制御を示す^[8,11,16,25,29]。プレンステッド酸やルイス酸との共存も可能である。例えば、ランタニド触媒がアクリルアミドの立体規則的の重合に有効であることは既に知られているが、この系をTERPで行うと立体化学と分子量の同時制御が可能である(図5)^[30-32]。さらに、重合誘起相分離を利用したポリマーモノリスの合成や、表面開始重合を用いた高密度グラフト重合においても、TERPの高い重合制御とモノマー汎用性が示されている^[33-35]。

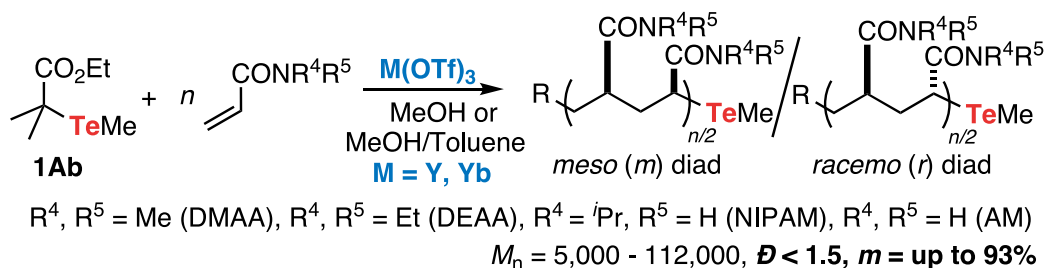


図5. ルイス酸触媒存在下でのアクリルアミド重合の立体化学と分子量の二重制御

4.2. 乳化TERP:有機テルル化合物は水への耐性が強いいため、水中での乳化重合への利用も可能である。非水溶性TERP制御剤を用いるマイクロ乳化重合や^[36,37]、親水性オリゴマー鎖を持つ開始剤を用いた重合誘起自己会合(PISA)法を用いる乳化重合に加え^[38-40]、水溶性CTAである**1Ad**を用いることで、界面活性剤共存下にCTAとモノマーとを攪拌するだけの*ab initio*乳化重合も行える(図6)^[20,41]。この乳化重合系では、水溶性アゾ化合物をラジカル開始剤として用いる熱条件と共に、弱い可視光下での重合が進行する点は興味深い。従来、乳化重合は光が透過しないため、光重合は困難であると考えられていた。しかし、透過しやすい可視光を用いていると共に、有機テルル化合物が高い光活性を持つことがこの原因であると考えられる^[19]。

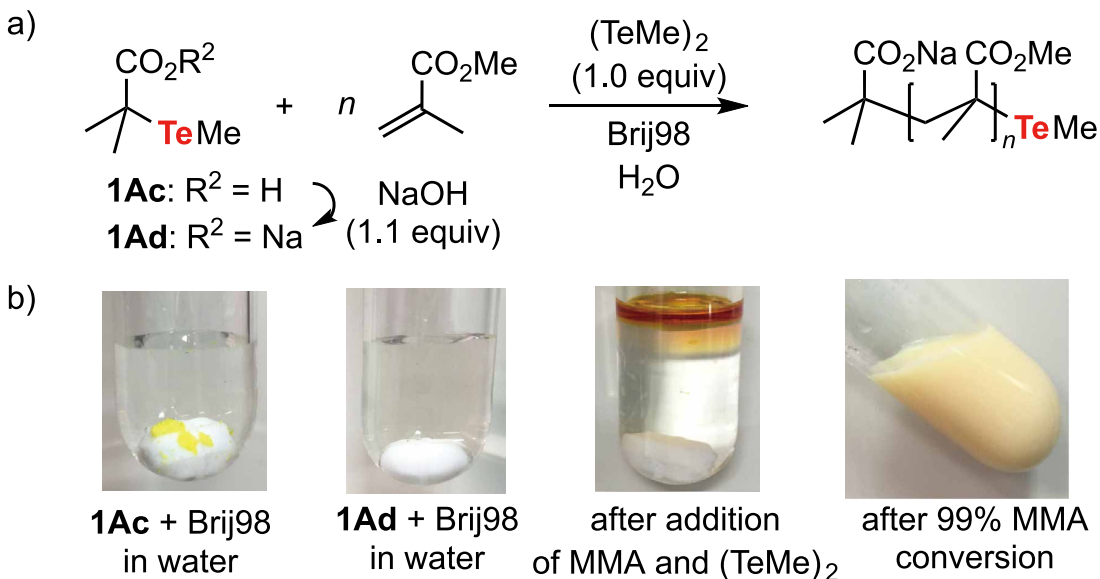


図6. a) 乳化重合によるMMAの重合と、b) 重合の前後による溶液の変化
 *Brij®はクローダ アメリカスリミテッド ライアビリティカンパニーの登録商標です。

乳化重合においては、隔離効果により停止反応が低減されているため、乳化TERPにより高分子量体が合成できる。特に、テルル上の置換基としてメチル基を持つ**1Ad**に代わり、親水性の高いエチレングリコール基をもつ**1Dd**、**1Ed**の利用が効果的であり、アクリル酸ブチル(BA)^[41]、およびスチレン^[42]の重合においてそれぞれ50万、100万を超えるホモ重合体の合成を、低い分散度を保ったままで行うことができる。これらの超高分子量体の合成においても、90%以上の高いモノマー転化率を示すことから、次項に示すブロック共重合体の合成を含め、実用的に有利である。

4.3. 共重合体の合成: RDRPでは他のリビング重合と同様に、成長末端を利用したブロック共重合体の合成ができる。ただし、この際には重合させるモノマーの順序が重要であることがよく知られている。しかし、TERPではその制約が小さく、例えば、代表的な共役モノマーであるスチレン、アクリレート、メタクリレートの中から二つのモノマーを選び、AB型ジブロック共重合体を合成する場合、用いるモノマーの順序によることなく、望みのブロック共重合体の合成が行える^[10]。また、共役モノマーと非共役モノマーからブロック共重合体を合成する場合、モノマーの反応性が大きく異なるため、その難易度は極めて高いが、TERPではそのような組み合わせでも可能である。例えば、*N*-ビニルホルムアミド(NVF)と*N,N*-ジメチルアクリルアミドからなるブロック共重合体(図7a)^[28]を始め、すでに複数のブロック共重合体が合成されている^{[22,43][25]}。なお、PNVFのホルミル基は穏和な条件で加水分解できることから、アミド基を損なうことなくポリビニルアミンをブロックとして持つ共重合体も合成できる^[28]。

乳化重合を用いればホモ重合体のみならずブロック共重合体でも高分子量体を得ることができる。さらに、最初の重合で得られるマクロCTAが粒子として水中に分散しているため、均一系での重合とは異なり、これを次の重合に用いるモノマーに溶解させる必要がない利点もある。このことから、最初のモノマーが高転化率に達した後に次のモノマーを加えるという簡便な操作で、高分子量のブロック共重合体の合成が行える(図7b)^[20,41]。

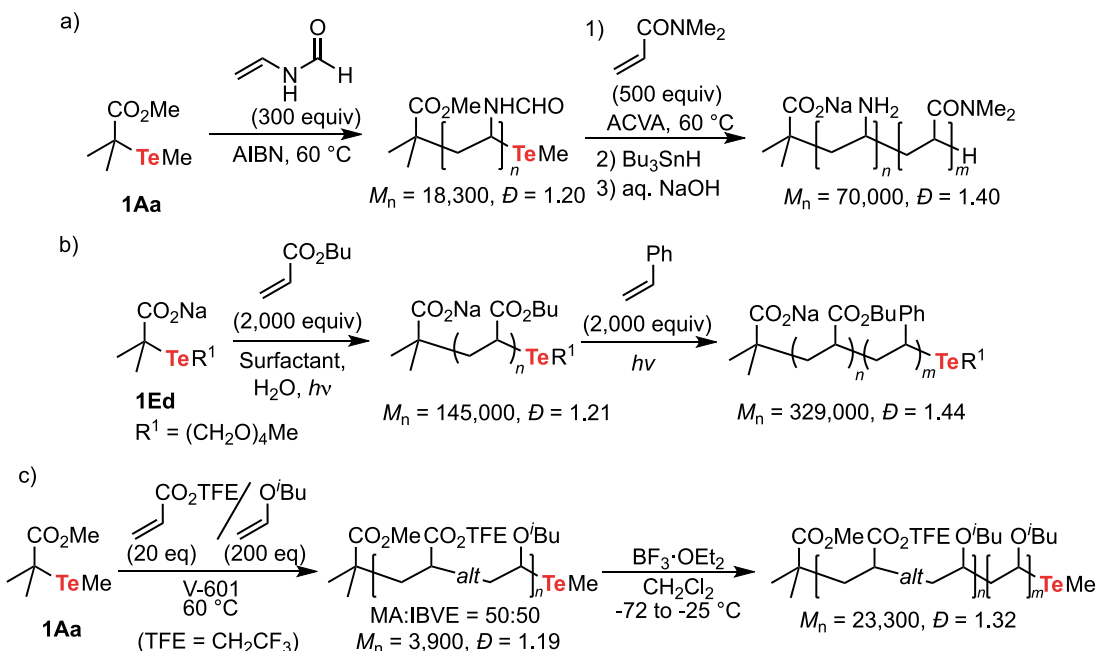


図7. ブロック共重合体合成の代表的な結果。a) 共役モノマーと非共役モノマーからなるブロック共重合体、b) 高分子量のブロック共重合体、c) ラジカル重合からカチオン重合への機構の変換を伴うブロック共重合体、の合成

ビニルエーテルや α -オレフィン単独ラジカル重合を起こさないが、アクリレートを加えることで共重合を起こす。このような共重合においても、TERPは優れた重合制御を示す。例えば、ビニルエーテルとアクリルモノマーの共重合では、ビニルエーテルを過剰量用いることで、ほぼ完全な交互共重合体の合成制御が行える(図7c)^[44,45]。さらに、この共重合体は成長末端にアルコキシ基を持つことから、共重合体にルイス酸である $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$ を加えると、反応系中に残っているビニルエーテルがリビングカチオン重合を起こし、対応するブロック共重合体が合成できる。また、 α -オレフィンとアクリレートモノマーとのランダム共重合では、ブレンステッド酸を添加することで α -オレフィンの共重合体への挿入率を高めながら、重合の制御が行える^[46,47]。

4.4. 重合末端の変換:有機テルル化合物は炭素ラジカルのみならず、炭素アニオンやカチオンの前駆体としても優れていることから、その反応性を利用することで様々な末端変性重合体が合成できる(図8a)^[4]。いずれの反応も高い反応効率で進行することから、適切な官能基の導入による高分子の機能化に有効である。

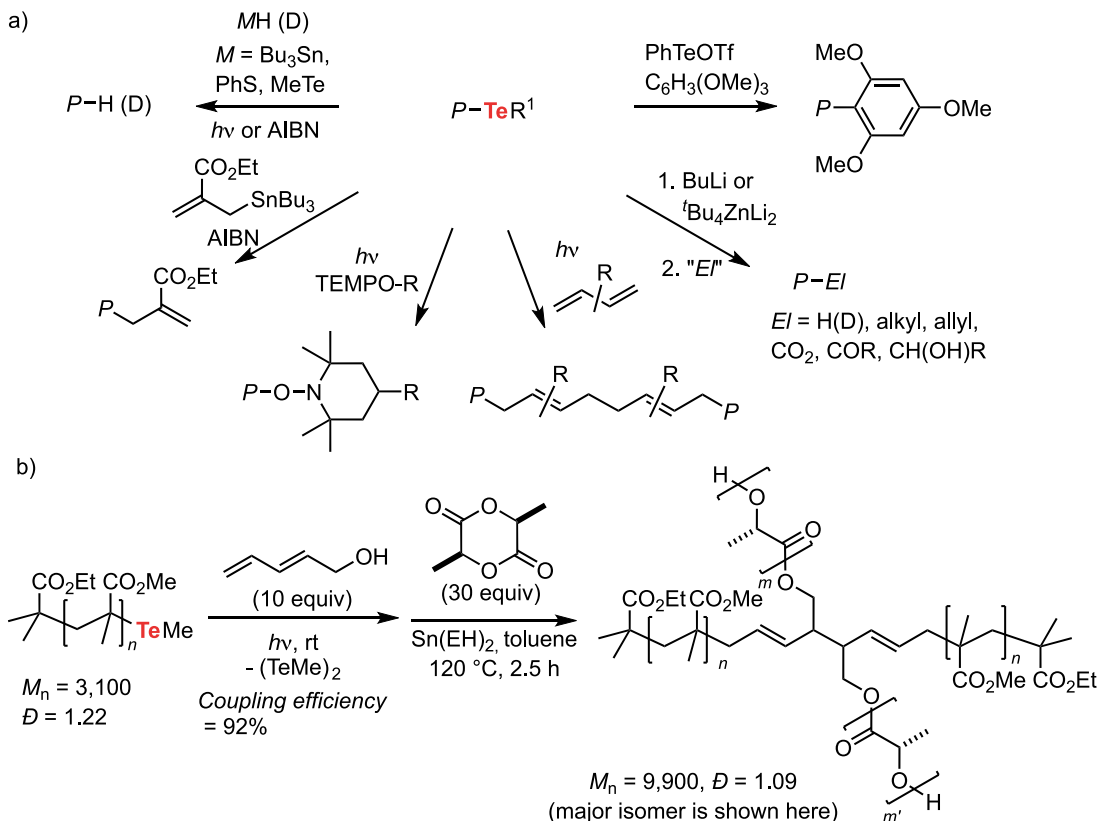


図8. 末端変換反応の汎用性。a) ラジカルあるいはイオン性条件下での変換反応の一般式と、b) ラジカルカップリング反応を用いたミクトーム重合体合成例。P、"EI"はそれぞれ高分子、求電子試薬を表す。

最もよく用いられる変換反応がラジカル的な還元反応である。代表的な還元剤であるスズヒドリドのみならず、^[4]一般には還元力が弱いチオールやテルロールが利用できる^[48,49]。重水素化された還元剤を用いることで、分子鎖末端に選択的に重水素の導入もできる。連鎖反応で進行するため、微弱な光やアゾ化合物の添加により反応が進行する。また、アリルスズを用いたラジカル的なアリル化も可能である^[4]。

光反応条件では、休止種からのラジカル種の生成量は照射する光量に比例するため、高圧水銀灯等の高強度の光照射下では、連鎖反応に依らないラジカルカップリング反応が進行する。例えば、官能基を持つTEMPO誘導体とのカップリングにより、高分子末端に様々な官能基を導入できる^[11,50-52]。また、ジエン共存下で光照射を行うと、生成したラジカルがジエンに付加した後にカップリング反応を起こし、二量化を起こす^[53,54]。官能基を持つジエンも用いることが可能であり、例えば水酸基を持つジエンを用いてカップリングした後、得られたカップリング体における水酸基を開始基としてラクチドの重合を行うと、構造の制御されたミクトームポリマーが合成できる(図8b)。

テルル基のアニオン発生に対する高い活性を活かすことで、炭素アニオン種を経る変換反応も可能である^[4,55,56]。すなわち、ポリメタクリレート、ポリアクリレート、さらにはポリアクリルアミドを用いた場合でも、金属種を

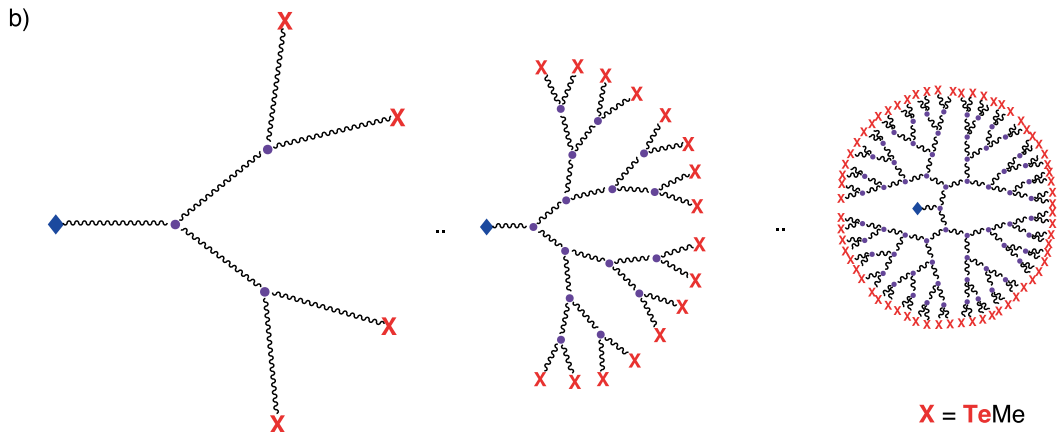
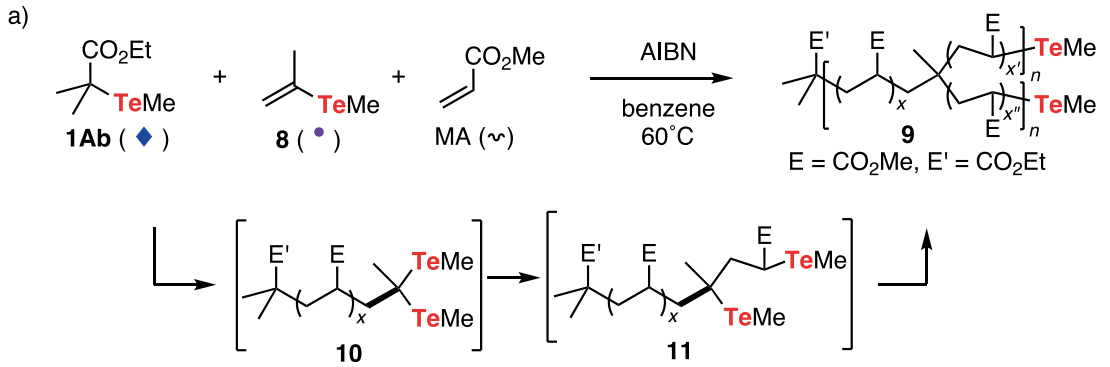
選ぶことで選択的にTe-金属交換反応が起こり、成長末端にアニオンが生成する。これとカルボニル化合物等との反応により、ラジカル反応では導入が困難な極性官能基を高分子末端に導入できる。一方、求電子的な活性化も可能であり、フリーデルクラフツ反応等を用いた末端変換反応が行える^[57]。

5. 多分岐高分子の制御合成

分岐構造を持つ高分子は線状高分子に比べて流体力学的体積が小さい、固有粘度が低い、末端置換基の数が多い等の特徴的な物性を持つことから、基礎及び応用研究の両面から大いに興味を持たれている^[58-61]。ラジカル重合に適応可能な多分岐高分子合成法として、これまでもイニマーと呼ばれる開始基を持つモノマーを利用した方法等が知られている^[62-67]。しかし、分子量、分布、分岐構造を含めた三次元(3D)構造の制御は一般に困難であった。それに対し、筆者らはビニルテルリド**8**を分岐誘起モノマーとして設計することで、3D構造の制御された多分岐高分子**9**が合成できることを明らかにした(図**9a**)^[49]。

重合制御の鍵は、**8**のC-Te結合の強さがビニル基の反応の前後で大きく変化することにある。すなわち、ビニルラジカルは不安定活性種であるため、**8**からビニルラジカルが生成することは難しい。一方、**8**がモノマーとして反応して**10**になると、安定なアルキルラジカルの生成が可能となる。**10**から順次C-Te結合の活性化が起こると、**11**を経て分岐構造が生じる。実際、理論計算により、**10**と**11**のC-Te結合の結合解離エネルギーは**8**に比べて約50 kJ mol⁻¹低いことが見積もられている。

この重合の特徴は、CTA (**1**)、**8**、アクリレートモノマーの量比を変えることで、分岐数や分岐密度を任意に変えることができる点である。すなわち、**1**と**8**の仕込み比により分岐数が制御できることから、 dendritic 階層構造である「世代」が制御される(図**9b**)。さらに、通常のTERPと同様に、CTAとモノマーの仕込み比で分子量が制御できる。図**9b**には、MAと**1**の仕込み比を500に固定し、**8**と**1**の仕込み比を3, 15, 63へと変化させた場合に生成する多分岐高分子の理想的な概略構造と、重合結果とを示した。SECにより求めた分子量は分岐数が増えるにつれ理論分子量より小さくなる一方、多角度光散乱検出器(MALS)で求めた絶対分子量は理論値に近い。これは分岐構造により、高分子の流体力学的体積が小さくなったためである。なお、分散度(D)は線状高分子合成よりも大きくなるが、これは分岐数の分布に由来することがシミュレーションにより示されている^[68]。また、ビニルテルリドの構造を変えることで、多分岐ポリスチレン^[50]と多分岐MMAの合成も可能である^[69]。この技術の高分子材料への応用についても現在開始しており、機会を見て改めて紹介したいと考えている。



$[\text{1Ab}]_0/[\text{8}]_0$	3	15	63
generation	2	4	6
$M_n(\text{theo})$	41,200	39,600	34,600
$M_n(\text{SEC})$	42,100	25,600	9,800
$M_n(\text{MALS})$	53,700	57,300	53,900
\bar{D}	1.55	1.71	1.99

図9. a) ビニルテルリド8を用いるHBPの合成法と、b) 生成物の理想的な概略構造と重合結果 (モノマーとしてアクリル酸メチル [MA] を用いた場合)

6. まとめ

TERPは高付加価値を持つ高分子材料創製に必要な技術要素を高いレベルで満たす重合法である。さらに、最後に紹介した多分岐ポリマーの構造制御合成は、実用性と構造制御とを兼ね備えた、従来にはない全く新しい方法である。これらの優れた特徴を持つTERPが今後ますます利用され、優れた機能性材料創製に利用されることを通じて、社会に貢献することを期待している。

謝辞

本稿に記載した研究は、筆者が京都大学大学院工学研究科、大阪市立大学大学院理学研究科、および京都大学化学研究所において行ってきた研究である。研究開始時において自由に研究の推進を見守っていただいた(故)吉田潤一教授と、実際に実験を行ってくれた学生、研究員、およびスタッフに深謝する。また、本原稿の完成をサポート頂いた、登阪雅聡准教授にも感謝する。本研究の一部は、科学技術振興機構、日本学術振興会、旭硝子財団、東レ科学振興会、長瀬科学技術振興財団、三菱財団、大塚化学株式会社 の支援を受けて行われたものであり、関係諸機関にも深謝する。

参考文献

- [1] C. Chatgililoglu, A. Studer, Eds.: *Encyclopedia of Radicals in Chemistry, Biology and Materials*, John Wiley & Sons, Ltd, (2012).
- [2] K. Matyjaszewski, M. Möller, Eds: *Polymer Science: A Comprehensive Reference*, ScienceDirect, (2012).
- [3] S. Yamago, *Chem. Rev.* **2009**, *109*, 5051.
- [4] S. Yamago, K. Iida, J.-I. Yoshida, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 2874.
- [5] S. Yamago, and Y. Nakamura: in *Polymer Science: A Comprehensive Reference, 10 Volume Set*, Elsevier, 227 (2012).
- [6] S. Yamago, and Y. Nakamura, in *The Chemistry of Organic Selenium and Tellurium Compounds* (R. Zvi, F. L. Joel, M. Ilan, and P. Saul, Eds.) Wiley (2012).
- [7] A. D. Jenkins, R. G. Jones, G. Moad, *Pure Appl. Chem.* **2010**, *82*, 483.
- [8] A. Goto, Y. Kwak, T. Fukuda, S. Yamago, K. Iida, M. Nakajima, J.-I. Yoshida, *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, *125*, 8720.
- [9] Y. Kwak, A. Goto, T. Fukuda, Y. Kobayashi, S. Yamago, *Macromolecules* **2006**, *39*, 4621.
- [10] S. Yamago, K. Iida, J.-I. Yoshida, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 13666.
- [11] S. Yamago, Y. Ukai, A. Matsumoto, Y. Nakamura, *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 2100.
- [12] S. Yamago, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2020**, *93*, 287.
- [13] Y. Nakamura, S. Yamago, *Beilstein J. Org. Chem.* **2013**, *9*, 1607.
- [14] Y. Kwak, M. Tezuka, A. Goto, T. Fukuda, S. Yamago, *Macromolecules* **2007**, *40*, 1881.
- [15] S. Yamago, K. Iida, M. Nakajima, J.-I. Yoshida, *Macromolecules* **2003**, *36*, 3993.
- [16] S. Yamago, Y. Nakamura, Y. Ukai, M. Yu, in *ACS Symposium Series* **2015**, 295.
- [17] E. Mishima, T. Yamada, H. Watanabe, S. Yamago, *Chem. Asian J.* **2011**, *6*, 445.
- [18] E. Kayahara, S. Yamago, Y. Kwak, A. Goto, T. Fukuda, *Macromolecules* **2008**, *41*, 527.
- [19] W. Fan, Y. Nakamura, S. Yamago, *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 17006.
- [20] W. Fan, M. Tosaka, S. Yamago M. F. Cunningham, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 962.
- [21] S. Yamago, Y. Yahata, K. Nakanishi, S. Konishi, E. Kayahara, A. Nomura, A. Goto, Y. Tsujii, *Macromolecules* **2013**, *46*, 6777.
- [22] S.-I. Yusa, S. Yamago, M. Sugahara, S. Morikawa, T. Yamamoto, Y. Morishima, *Macromolecules* **2007**, *40*, 5907.
- [23] S. Kumar, M. Changez, C. N. Murthy, S. Yamago, J.-S. Lee, *Macromol. Rapid Commun.* **2011**, *32*, 1576.
- [24] A. Kermagoret, Y. Nakamura, M. Bourguignon, C. Detrembleur, C. Jérôme, S. Yamago, A. Debuigne, *ACS Macro Lett.* **2014**, *3*, 114.
- [25] H. Nakagawa, S. Yamago, K. Ishihara, S.-I. Yusa, *Kobunshi Ronbunshu* **2015**, *72*, 335.
- [26] W. Li, M. Tosaka, S. Yamago, *ACS Symp. Ser.* **2018**, 129.
- [27] Y. Nakamura, B. Ebeling, A. Wolpers, V. Monteil, F. D'Agosto, S. Yamago, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 305.

- [28] W. Fan, S. Yamago, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 7113.
- [29] Y. Nakamura, K. Nakanishi, S. Yamago, Y. Tsujii, K. Takahashi, T. Morinaga, T. Sato, *Macromol. Rapid Commun.* **2014**, *35*, 642.
- [30] B. Park, Y. Imamura, S. Yamago, *Polym. J.* **2021**, *53*, 53515.
- [31] Y. Imamura, T. Fujita, Y. Kobayashi, S. Yamago, *Polym. Chem.* **2020**, *11*, 7042.
- [32] B. Park, M. Tosaka, S. Yamago, *Polym. J.* **2021**, *53*, 53533.
- [33] G. Hasegawa, K. Kanamori, K. Nakanishi, S. Yamago, *Polymer* **2011**, *52*, 4644.
- [34] J. Hasegawa, K. Kanamori, K. Nakanishi, T. Hanada, S. Yamago, *Macromolecules* **2009**, *42*, 1270.
- [35] J. Hasegawa, K. Kanamori, K. Nakanishi, T. Hanada, S. Yamago, *Macromol. Rapid Commun.* **2009**, *30*, 986.
- [36] Y. Sugihara, Y. Kagawa, S. Yamago, M. Okubo, *Macromolecules* **2007**, *40*, 9208.
- [37] Y. Sugihara, S. Yamago, P. B. Zetterlund, *Macromolecules* **2015**, *48*, 4312.
- [38] M. Okubo, Y. Sugihara, Y. Kitayama, Y. Kagawa, H. Minami, *Macromolecules* **2009**, *42*, 1979.
- [39] Y. Kitayama, H. Moribe, K. Kishida, M. Okubo, *Polym. Chem.* **2012**, *3*, 1555.
- [40] Y. Kitayama, M. Okubo, *Polym. Chem.* **2016**, *7*, 2573.
- [41] Y. Jiang, W. Fan, M. Tosaka, M. F. Cunningham, S. Yamago, *Macromolecules* **2021**, *54*, 10691.
- [42] Y. Jiang, W. Fan, M. Tosaka, S. Yamago, *ACS Macro Lett.* **2022**, *11*, 1331.
- [43] S.-I. Yusa, S. Awa, M. Ito, T. Kawase, T. Takada, K. Nakashima, D. Liu, S. Yamago, Y. Morishima, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* **2011**, *49*, 2761.
- [44] E. Mishima, S. Yamago, *Macromol. Rapid Commun.* **2011**, *32*, 893.
- [45] E. Mishima, S. Yamago, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* **2012**, *50*, 2254.
- [46] E. Mishima, T. Tamura, S. Yamago, *Macromolecules* **2012**, *45*, 2989.
- [47] E. Mishima, T. Tamura, S. Yamago, *Macromolecules* **2012**, *45*, 8998.
- [48] S. Yamago, A. Matsumoto, *J. Org. Chem.* **2008**, *73*, 7300.
- [49] Y. Lu, T. Nemoto, M. Tosaka, S. Yamago, *Nat. Commun.* **2017**, *8*, 1863.
- [50] Y. Lu, S. Yamago, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 3952.
- [51] X. Li, T. Kato, Y. Nakamura, S. Yamago, *Bull. Chem. Soc Jpn.* **2021**, *94*, 996.
- [52] S. Yamago, E. Kayahara, H. Yamada, *React. Funct. Polym.* **2009**, *69*, 416.
- [53] Y. Nakamura, T. Arima, S. Tomita, S. Yamago, *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 5336.
- [54] Y. Nakamura, T. Arima, S. Yamago, *Macromolecules* **2014**, *47*, 582.
- [55] E. Kayahara, S. Yamago, in *ACS Symposium Series* (Matyjaszewski, K. Sumerlin, B. and Tsarevsky, N. Eds.) American Chemical Society, **2012**, *1100*, 99.
- [56] E. Kayahara, H. Yamada, S. Yamago, *Chem. Eur. J.* **2011**, *17*, 1018.
- [57] T. Yamada, E. Mishima, K. Ueki, S. Yamago, *Chem. Lett.* **2008**, *37*, 650.
- [58] Y. Deyue, G. Chao, F. Holger, Eds.: *Hyperbranched Polymers: Synthesis, Properties, and Applications*, Wiley, (2011).
- [59] C. Gao, D. Yan, *Prog. Polym. Sci.* **2004**, *29*, 183.
- [60] B. I. Vöit, A. Lederer, *Chem. Rev.* **2009**, *109*, 5924.
- [61] N. Hadjichristidis, M. Pitsikalis, S. Pispas, H. Iatrou, *Chem. Rev.* **2001**, *101*, 3747.
- [62] J. M. J. Frechet, M. Henmi, I. Gistov, S. Aoshima, M. R. Leduc, B. R. Grubbs, *Science* **1995**, *269*, 1080.
- [63] C. J. Hawker, J. M. J. Fr, R. B. Grubbs, J. Daot, *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, *117*, 10763.
- [64] K. Matyjaszewski, S. G. Gaynor, A. H. E. Mu, *Macromolecules* **1997**, *30*, 7034.
- [65] B. Liu, A. Kazlauciuinas, J. T. Guthrie, S. Perrier, *Macromolecules* **2005**, *38*, 2131.
- [66] S. G. Gaynor, S. Edelman, K. Matyjaszewski, *Macromolecules* **1996**, *29*, 1079.
- [67] J. A. Alfurhood, P. R. Bachler, B. S. Sumerlin, *Polym. Chem.* **2016**, *7*, 3361.
- [68] M. Tosaka, H. Takeuchi, M. Kibune, T. Tong, N. Zhu, S. Yamago, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, *62*, e202305127.
- [69] Y. Lu, S. Yamago, *Macromolecules* **2020**, *53*, 3209.

執筆紹介



山子 茂 (Shigeru Yamago)

京都大学化学研究所 教授

〔略歴〕 1991年 東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了（理学博士）、1991年 東京工業大学理学部化学科 助手、1995年 京都大学大学院工学研究科 助手、1997年 同研究科 助教授、2003年 大阪市立大学大学院理工学研究科 教授、2006年 京都大学化学研究所 教授、現在に至る

〔主な受賞歴〕 有機合成化学奨励賞（2001年）第27回日本化学会学術賞（2010年）、第4回有機合成化学協会機能性材料賞（2012年）第44回市村学術賞（2012年）、第35回日本接着学会技術賞（2013年）、科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（2015年）、第43回井上春成賞（2018年）、高分子学会賞（2019年）、第76回日本化学会賞（2023年）、Aggarwal Lecture (Cornell University)（2024年）

関連製品

Diphenyl Ditelluride	1g	6,100円	5g	17,900円	D2718
Dimethyl Ditelluride	100mg	4,000円	1g	22,500円	D6090
Ethyl 2-Methyl-2-(methyltellanyl)propanoate	100mg	4,500円	1g	24,800円	E1508
2-Methyl-2-(methyltellanyl)propanenitrile	100mg	4,400円	1g	24,200円	M3520
Methyl(1-phenylethyl)tellane	100mg	4,200円	1g	23,600円	M3521
2-Methyl-2-(methyltellanyl)propanoic Acid			100mg	9,500円	M3728

化学よもやま話

説明に窮する高校化学

東洋大学京北高等学校 教諭 大貫 裕之

1. 緒言

前報¹では高校化学が時代の変化についていくことの難しさを紹介した。本稿では、一教員である私が授業や実験で、「どうして？」と生徒さんに質問されたとき、知識・経験不足で説明に窮した例を恥をしのいで紹介したい。

2. 分子量はどうやって測定する？

日本の高等学校では以下の4種類で分子量・式量の測定方法を学ぶ²：

- ・気体の状態方程式（デュマ法）
- ・沸点上昇
- ・凝固点降下
- ・浸透圧

化合物によって方法を選択せねばならず、（例外はあるが）グラム単位で試料が必要なため、現実的な測定法とはいええない。正確な値が得られないことは日常茶飯事であり、もはや分子量・式量測定技術の腕比べである。より少量かつ簡便な方法で正確に分子量・式量を求めたいと生徒さんの声をいただく。しかし、現在の教科書の内容では容易ではなく、対応に窮している。

現在の高校課程で学んでいる生徒さんが質量分析計に出会ったときは、その簡便さと正確さに相当衝撃を受けるであろう。国際バカロレアのカリキュラムではEI (Electron Impact) 法での分子量測定を学ぶ³。一方、日本の教科書では質量分析法は「参考」で記載されているのみである²。なお、2024年に実施された大学入学共通テストにEI法の質量スペクトルを解析する問題が出題された⁴。思考力を試すとはいえ、参考事項が出題されたことに衝撃を受けた。共通テストはどの範囲まで出題されるのですかと生徒さんに問われたときに、私は説明に窮するであろう。

3. なぜ「ン」で終わる化合物が多い？

よく聞かれる質問だが、答えに窮するばかりである。有機物に多いことは直感的にわかる。おそらくは、以下の語尾を有する物質が身近にあるから多いと思うのであろう：

- ・炭化水素：-ane, -ene, -yne
(例) メタン、ポリエチレン、トルエン
- ・含窒素化合物：-in, -ine
(例) グリシン、アデニン、カフェイン
- ・抗生物質：-in
(例) ストレプトマイシン、ペニシリン

では、なぜ構造別に指定の語尾をもつのであろうか。当然、IUPAC 命名法規則⁵だからという答えでは到底納得してもらえなかった。恥ずかしながら識者のお知恵を拝借したい。少なくとも有機化合物名はしりとりに使わないのが吉のようである。

4. 物質量をどう導入する？

物質量^{6a}は高校化学の鬼門：苦手意識をもたれやすく、説明に窮する单元である。2019年の物質量の定義の変更^{6b,c}に伴い、説明の変更が必要になった。ところが、ベテランの先生にうかがうと、従来の説明が最もわかりやすいだろうとのことであった。

(従来の説明)

¹²C 原子が 12 g あるとき、その中に入っている ¹²C 原子の数の集まりを 1 mol という。¹²C 原子 12 g 中の ¹²C の数を調べたら $6.02 \cdots \times 10^{23}$ 個 (測定値) であった。この 1 mol あたりの粒子数 $6.02 \cdots \times 10^{23} / \text{mol}$ をアボガドロ定数 N_A という。

(現在の説明)

1 mol あたりの粒子数を厳密に $6.02214076 \times 10^{23} / \text{mol}$ と定義し、アボガドロ定数 N_A という。つまり、1 mol は $6.02214076 \times 10^{23}$ 個の粒子の集まりと決める。そうすると、1 mol の ¹²C 原子の質量は 11.9999999958 g になる。

いずれにしても、高校化学で扱う桁数の範囲では ¹²C 原子を 1 mol (6.02×10^{23} 個) 集めるとその質量は相対質量に g をつけた 12 g になることには変わらない。歴史的経緯を含めて、現在の定義を紹介できればいいのだが、生徒さんの混乱を避けるために説明を簡便にしたい。しかも、背景がわかるからといって、この後学ぶ化学反応の量的関係の計算問題が解けるようになるわけでもない。毎回苦悶する单元である。

5. 結語

専門家にとっては当然の事項であっても、一高校教員にとっては説明に窮することが多々あることを日々痛感している。教育的観点から生徒さん主導で調べてもらうことも一案であるが、一化学者として自ら調べることは放棄したくない。少なくとも私は知らないことは知らないといえるようになりたい⁷。

参考文献

1. 大貫裕之, *TCIメール* **2024**, 196, 16.
2. 辰巳敬他 文部科学省検定済教科書「化学」, **2022**, 数研出版
3. S. Owen, *Chemistry for the IB diploma, Second Edition*; Cambridge University Press, 2014; p. 530.
4. 独立行政法人大学入試センター 令和6年度本試験の問題 化学
https://www.dnc.ac.jp/albums/abm.php?d=666&f=abm00004707.pdf&n=2024_or_29_kagaku.pdf (accessed: September 14, 2024).
5. International Union of Pure and Applied Chemistry, “Nomenclature”, (2013)
<https://iupac.org/what-we-do/nomenclature> (accessed: September 6, 2014).
6. (a) Bureau International des Poids et Mesures, *The International System of Units (SI) 9th edition*, 2019; (b) R. Marquardt, J. Meija, Z. Mester, M. Towns, R. Weir, R. Davis, J. Stohner, *Pure Appl. Chem.* **2018**, *90*, 175. DOI: 10.1515/pac-2017-0106 (accessed: September 9, 2014); (c) 黒田裕, 齋藤和弥, 中田宗隆, 山崎勝義, *化学と教育* **2017**, *65*, 462.
7. 孔子「論語」為政 第二 17.

謝辞

前稿¹で分子の極性の話題を紹介した。読者の方より、ビュレットから液を流出し、帯電棒を近づけて流れが曲がるかどうかで極性の有無を判断するのは誤りであるとのこと指摘をいただいた。水流が曲がるのは帯電した物質に引き寄せられる「静電誘導」という現象に基づくもので、分子の極性とは無関係とのこと。詳細は以下の論文に記載されている。ご指摘に深謝申し上げたい。

M. Ziaei-Moayyed, E. Goodman, P. Williams, *J. Chem. Educ.* **2000**, *77*, 1520.

執筆者紹介



大貫 裕之 博士 (理学)

1989年 東京大学理学部化学科卒業

1994年 同大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程修了

1994年～ 日本水産株式会社、理化学研究所、東京化成工業株式会社、順天中学高等学校に勤務 この間東京農工大学、東京電機大学、横浜市立大学大学院、立教大学、日本大学非常勤講師を兼務

2020年より現職

専門：天然物有機化学、機器分析化学、化学教育

製品紹介

多様な反応性を示すトリフルオロメチルチオ化剤 TTST



S-(Trifluoromethyl) Trifluoromethanesulfonylthioate (= TTST) (1)

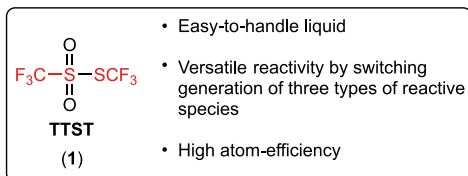
製品コード: T4211

1g 9,000円 5g 34,000円

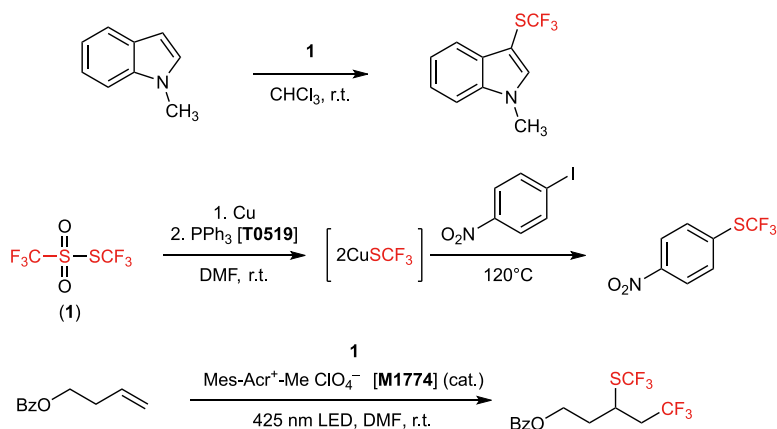
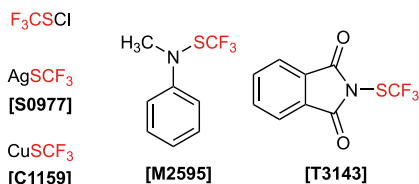
トリフルオロメチルチオ基はフッ素系置換基の中でも特に大きな疎水性パラメータをもつことが知られています¹⁾。このため、創薬研究における物性改善のために、様々な合成法や試薬が開発されていますが、安定性や汎用性の面で課題が残されていました²⁾。

TTST (1)は梅本らによって開発された新規トリフルオロメチルチオ化剤です³⁾。1は空气中で安定な液体であるため取り扱い易く、反応条件に応じて3種類の活性種(カチオン種、アニオン種、ラジカル種)を発生させることができます。そのため、多様な反応性を示します。例えば電子豊富な芳香環や活性メチレン化合物の求電子的トリフルオロメチルチオ化、銅を用いたヨウ化アリールの求核的トリフルオロメチルチオ化、およびアルケンのラジカル的トリフルオロメチルチオ化等の様々な反応に利用できます。また、試薬に対して導入される基(-SCF₃)の割合が大きいため、1由来の廃棄物が少なく、原子効率が高いことも特長です。

New Reagent



Conventional Reagents



文献

- 1) C. Hansch, A. Leo, S. H. Unger, K. H. Kim, D. Nikaitani, E. J. Lien, *J. Med. Chem.* **1973**, *16*, 1207.
- 2) X.-H. Xu, K. Matsuzaki, N. Shibata, *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 731.
- 3) Y. Yang, S. Miraghaee, R. Pace, T. Umemoto, G. B. Hammond, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, *62*, e202306095.

関連製品

Triphenylphosphine	25g 1,800円	100g 3,400円	500g 7,000円	T0519
9-Mesityl-10-methylacridinium Perchlorate (= Mes-Acr ⁺ -Me ClO ₄ ⁻)		1g 14,700円	5g 39,300円	M1774
N-Methyl-N-(trifluoromethylthio)aniline		200mg 12,700円	1g 44,400円	M2595
N-(Trifluoromethylthio)phthalimide		1g 20,200円	5g 70,400円	T3143
Silver(I) Trifluoromethanethiolate		1g 13,600円	5g 47,700円	S0977
Copper(I) Trifluoromethanethiolate		1g 46,500円	5g 135,200円	C1159

結晶性の高いCOFの合成に使用できるジウレア・トリウレア誘導体



1,1'-(1,4-Phenylene)diurea (1)

製品コード: P3216

1g 12,400円 5g 43,400円

1,1'-([1,1'-Biphenyl]-4,4'-diyl)diurea (2)

製品コード: B6577

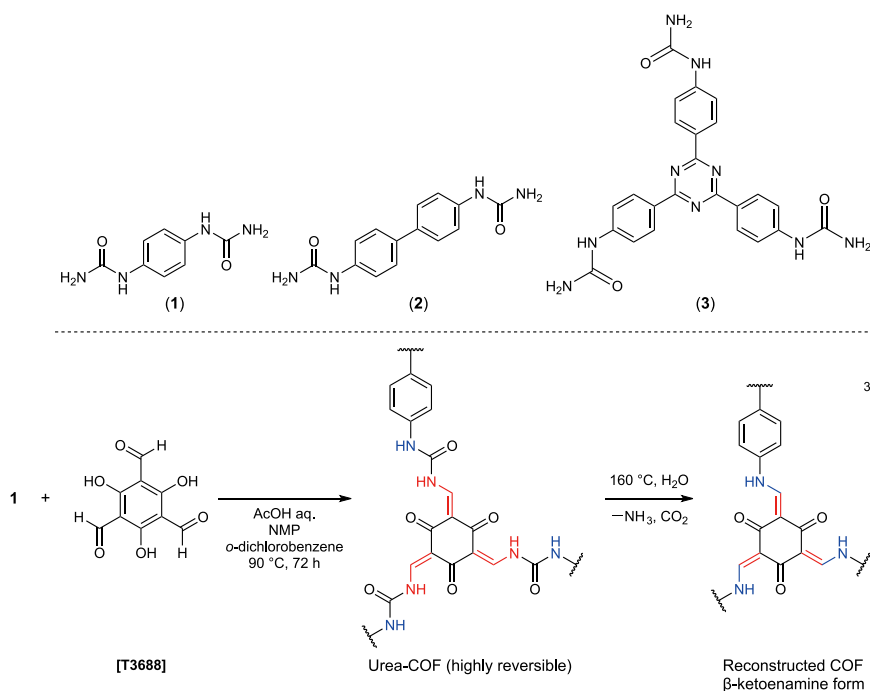
1g 9,000円 5g 31,600円

1,1',1''-([1,3,5-Triazine-2,4,6-triyl]tris(benzene-4,1-diyl))triurea (3)

製品コード: T4192

1g 15,800円

共有結合性有機構造体 (COF)は、有機リンカーを共有結合することにより合成される結晶性の多孔性物質で、分子の分離や貯蔵、光触媒、エレクトロニクスなどへの応用が期待されています¹⁾。1,1'-(1,4-フェニレン)二尿素 (1)をはじめとしたジウレア誘導体は、柔軟なウレア結合からなるCOFの合成に使用されます²⁾。加えて、ZhuとCooperらは、ウレア型COFを前駆体としたβ-ケトエナミン型COFの合成法を報告しました³⁾。まず、1や1,1'-([1,1'-ビフェニル]-4,4'-ジイル)二尿素 (2)などのウレア誘導体と2,4,6-トリホルミルフロログルシノールとの縮合により、ウレア型COFを合成しました。COFの結晶性は合成中のエラー修正プロセスにより向上するため、可逆性の高いウレア結合は結晶性向上に有利です。次いで少量の水を含む溶媒中でこれを加熱することで、ウレア結合の加水分解とそれに続くイミン縮合により、β-ケトエナミン型COFを得ました。この「再構成」により合成したCOFは、直接合成した同構造のCOFよりも結晶性と多孔性が向上し、光触媒性能も向上したことが示されています。



文献

- 1) C. S. Diercks, O. M. Yaghi, *Science* **2017**, 355, 923.
- 2) C. Zhao, C. S. Diercks, C. Zhu, N. Hanikel, X. Pei, O. M. Yaghi, *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, 140, 16438.
- 3) W. Zhang, L. Chen, S. Dai, C. Zhao, C. Ma, L. Wei, M. Zhu, S. Y. Chong, H. Yang, L. Liu, Y. Bai, M. Yu, Y. Xu, X.-W. Zhu, Q. Zhu, S. An, R. S. Sprick, M. A. Little, X. Wu, S. Jiang, Y. Wu, Y.-B. Zhang, H. Tian, W.-H. Zhu, A. I. Cooper, *Nature* **2022**, 604, 72.

関連製品

2,4,6-Triformylphloroglucinol

200mg 9,100円 1g 31,200円 T3688

マレイミドと反応して抗体を修飾するスピロヘプタジエン試薬

***N*⁶-[(Spiro[2.4]hepta-4,6-dien-1-ylmethoxy)carbonyl]-L-lysine (1)**

製品コード: H1840

100mg 26,000円 500mg 90,000円

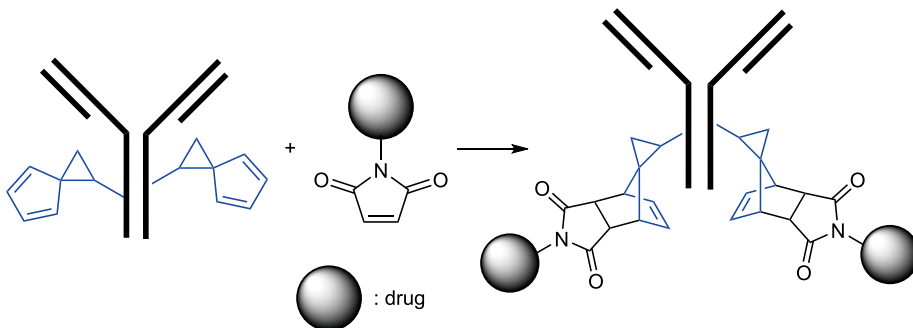
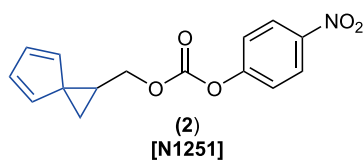
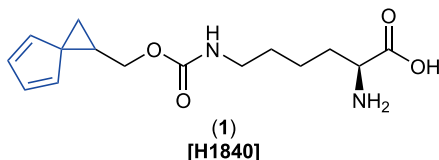
4-Nitrophenyl Spiro[2.4]hepta-4,6-dien-1-ylmethyl Carbonate (2)

製品コード: N1251

100mg 15,000円 500mg 50,000円

*N*⁶-[(スピロ[2.4]ヘプタ-4,6-ジエン-1-イルメトキシ)カルボニル]-L-リシン (1)は、タンパク質を部位特異的に修飾することができるため、均質な抗体薬物複合体 (Antibody Drug Conjugate, ADC)の作製に有用です¹⁾。遺伝コード拡張によりタンパク質の特定の部位に導入された1のスピロヘプタジエン (spiroheptadiene, SCp)部分は、マレイミド部位と1.8–5.4 M⁻¹ s⁻¹の速度でDiels–Alder反応をして、六員環を形成します²⁾。1を導入した抗体と、薬物と結合したマレイミドと反応させて得られるADCは、マウスの血清中でのシステイン-マレイミド結合体よりも優れた安定性をもつことが示されており、*in vivo*での有効性も確認されています。

弊社ではSCp部分を導入するための試薬として、炭酸スピロ[2.4]ヘプタ-4,6-ジエン-1-イルメチル4-ニトロフェニル (2)も取り扱っています。



文献

- 1) R. Dudchak, M. Podolak, S. Holota, O. Szweczyk-Roszczenko, P. Roszczenko, A. Bielawska, R. Lesyk, K. Bielawski, *Bioorg. Chem.* **2024**, *143*, 106982.
- 2) A. H. St. Amant, F. Huang, J. Lin, D. Lemen, C. Chakiath, S. Mao, C. Fazenbaker, H. Zhong, J. Harper, W. Xu, N. Patel, L. Adams, B. Vijayakrishnan, P. W. Howard, M. Marelli, H. Wu, C. Gao, J. Read de Alaniz, R. J. Christie, *Bioconjugate Chem.* **2019**, *30*, 2340.

関連製品

N-(4*E*)-TCO-L-lysine

25mg 33,000円 T4126

L-Azidohomoalanine

100mg 20,000円 A3550

Maleimido-mono-amide-DOTA

50mg 25,000円 M3434

生細胞と死細胞の染め分けが可能な染色キット



Live/Dead Cell Staining Kit [for Cell Staining] (1)

製品コード: L0465

1kit 32,000円

生/死細胞染色キット (1)は調製済みのカルセイン-AM溶液と、ヨウ化プロピジウム (PI)溶液を含むキット製品です。カルセイン-AMは生細胞の染色に使用される細胞膜透過性の化合物で、細胞内のエステラーゼによる加水分解を受けて、強い緑色蛍光を発するようになります¹⁾。一方、PIは死細胞の染色として利用される蛍光色素です。PIは生細胞の細胞膜は透過できず、死細胞やアポトーシス後期の細胞にのみ入り込み、DNA にインターカレートして赤色蛍光を発します²⁾。1を使うと、15分程度の染色で生細胞を緑色蛍光、死細胞を赤色蛍光で染め分けることができます。これにより、正確に生細胞と死細胞を検出することができます。

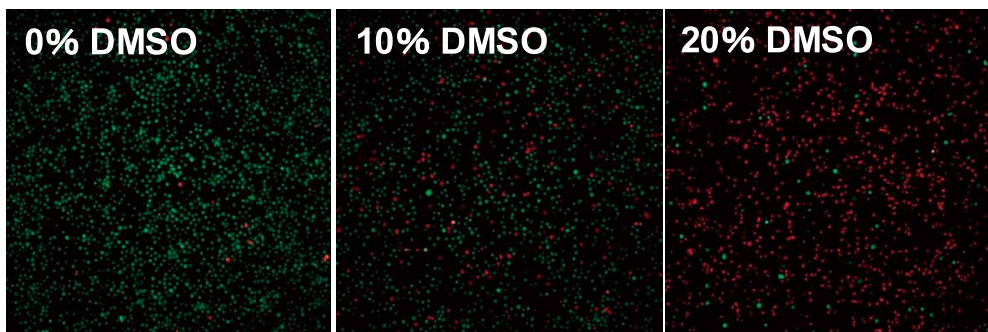


図. 0-20%のDMSOで処理したK562細胞を1により染色した。
DMSO濃度が高くなるにつれて生細胞 (緑色蛍光)が減り、死細胞 (赤色蛍光)が増えている。

文献

- 1) F. L. Miles, J. E. Lynch, R. A. Sikes, *J. Biol. Methods* **2015**, 2, 1.
DOI: <https://doi.org/10.14440/jbm.2015.73>
- 2) A. M. Rieger, B. E. Hall, L. T. Luong, L. M. Schang, D. R. Barreda, *J. Immunol. Methods* **2010**, 358, 81.

関連製品

ATP-Luciferase Cell Viability Assay Solution	10mL 11,500円	A3519
Intracellular Reactive Oxygen Species(ROS) Detection Assay Kit	1kit 16,200円	I1265
MTT Solution [for Cell proliferation assay] (1mL×5)	1set 8,800円	M3353
Resazurin (Ready-to-use solution) [for Cell proliferation assay]	25mL 12,000円	R0195

ERKシグナル伝達経路の制御剤

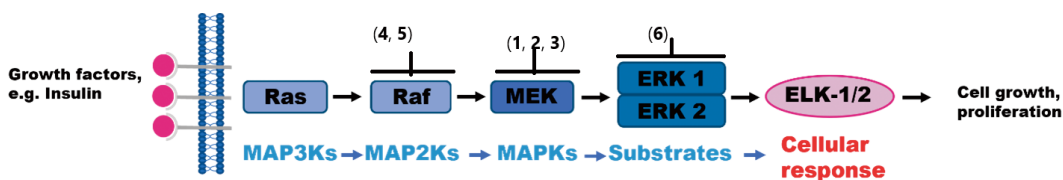


SL 327 [Optimized for Cell Culture] (1)	製品コード: L0470 1mg 10,000円
PD 98059 [Optimized for Cell Culture] (2)	製品コード: P3159 1mg 10,000円
PD 184352 [Optimized for Cell Culture] (3)	製品コード: P3157 1mg 8,000円
Sorafenib [Optimized for Cell Culture] (4)	製品コード: O0672 1mg 3,000円
GW 5074 [Optimized for Cell Culture] (5)	製品コード: G0649 1mg 8,000円
FR 180204 [Optimized for Cell Culture] (6)	製品コード: F1381 1mg 11,400円
Insulin solution (4mg/mL) [Optimized for Cell Culture] (7)	製品コード: I1257 5mL 9,000円
rhEGF (Human, Recombinant) (100µg/vial) (8)	製品コード: R0262 1vial 23,000円

ERKシグナル伝達経路の促進剤および阻害剤

細胞外シグナル制御キナーゼ (ERK)はマイトジェン活性化プロテインキナーゼ (MAPK)ファミリーに属し、細胞の成長、増殖、および分化に深く関わっています。このERK経路に異常があると、がんをはじめとするさまざまな疾患を引き起こすことが知られています¹⁻³⁾。

ERKシグナル伝達経路を抑制または促進することで、生物学的なプロセスを調整し、細胞の挙動を変化させることができます。TCIではこの経路に関与している各キナーゼの選択的な阻害剤 (1-6)とこの経路を活性化する成長因子 (7, 8)を、特別な規格を設けて販売しています。



[Optimized for Cell Culture] シリーズについて

[Optimized for Cell Culture]シリーズの製品は、培地添加用の試薬で、エンドトキシン試験およびマイコプラズマ試験に適合したものとして販売しています。疾患モデリングや再生医療など、幅広い研究分野でご活用いただけます。

文献

- 1) R. Ullah, Q. Yin, A. H. Snell, L. Wan, *Semin. Cancer Biol.* **2022**, 85, 123.
- 2) K. Carel, J. L. Kummer, C. Schubert, W. Leitner, K. A. Heidenreich, B. Draznin, *J. Biol. Chem.* **1996**, 271, 30625.
- 3) K. Rubio, A. J. Romero-Olmedo, P. Sarvari, G. Swaminathan, V. P. Ranvir, D. G. Rogel-Ayala, J. Cordero, S. Günther, A. Mehta, B. Bassaly, P. Braubach, M. Wygrecka, S. Gattenlöhner, A. Tresch, T. Braun, G. Dobrev, M. N. Rivera, I. Singh, J. Graumann, G. Barreto, *Theranostics* **2023**, 13, 2384.

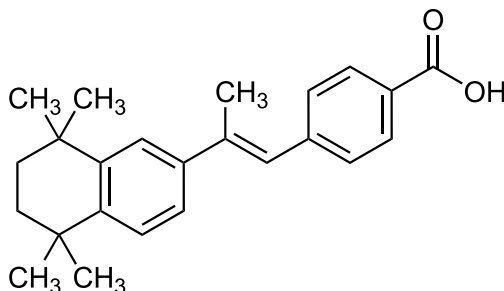
レチノイン酸受容体アゴニスト



TTNPB (1)

製品コード: T3842

5mg 14,100円 25mg 47,900円

TTNPB
(1)

TTNPB (1)は、レチノイン酸の合成スチルベンレチノイドアナログで、レチノイン酸受容体 (RARs)アゴニストとして働きます (表1)¹⁾。1はまた、化学的に誘導した多能性幹細胞 (CiPSCs)に関して、再プログラミング効率を向上させます²⁾。

表1. 1の転写活性化アッセイ¹⁾

Retinoic acid receptors (RARs)	EC ₅₀ (nM)
RAR α	21
RAR β	4.0
RAR γ	2.4

文献

- 1) R. L. Beard, R. A. S. Chandraratna, D. F. Colon, S. J. Gillett, E. Henry, D. K. Marler, T. Song, L. Denys, M. E. Garst, T. Arefieg, E. Klein, D. W. Gil, L. Wheeler, D. M. Kochhar, P. J. A. Davies, *J. Med. Chem.* **1995**, *38*, 2820.
- 2) P. Hou, Y. Li, X. Zhang, C. Liu, J. Guan, H. Li, T. Zhao, J. Ye, W. Yang, K. Liu, J. Ge, J. Xu, Q. Zhang, Y. Zhao, H. Deng, *Science* **2013**, *341*, 651.

TCIメール

2024年秋号 | No. 197

TCIの3つの受託サービス



少量合成

新規化合物や特別仕様の化合物などを試薬量から受託



プロセス開発

工程最適化・コストダウン・安全性向上など、プロセス最適化提案



大量製造

ご希望の製品をキロレベルで受託製造、ご指定の製造条件での対応も可能

詳細はウェブサイトへ

🔍 tci 受託

ご相談は、化成品営業部まで

Tel: 03-5651-5171 E-mail: finechemicals@TCIchemicals.com

出展のご案内

<ぜひお立ち寄りください>

第14回電界発光と光電子デバイスに関する国際会議 (ICEL2024)

開催日：2024年11月12日(火)～11月15日(金)

会場：京都大学宇治キャンパス 宇治おうぼくプラザ きはだホール

第21回糖鎖科学コンソーシアムシンポジウム

開催日：2024年11月19日(火)～11月20日(水)

会場：コラッセ福島 多目的ホール

第65回電池討論会

開催日：2024年11月20日(水)～11月22日(金)

会場：国立京都国際会館

第41回メキシカルケミストリーシンポジウム

開催日：2024年11月20日(水)～11月22日(金)

会場：京都テルサ

第3回日本抗体学会学術大会

開催日：2024年12月9日(月)～12月11日(水)

会場：仙台国際センター

第6回フロンティア太陽電池セミナー

開催日：2024年12月12日(木)～12月13日(金)

会場：松山市教育研修センター

www.TCIchemicals.com



お問い合わせは

試薬製品について

■本社営業部 〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 16-12 T-PLUS 日本橋小伝馬町8階
Tel: 03-3668-0489 Fax: 03-3668-0520 E-mail: Sales-JP@TCIchemicals.com

■大阪営業部 〒541-0041 大阪府大阪市中央区北浜1-1-21 第2中井ビル1階
Tel: 06-6228-1155 Fax: 06-6228-1158 E-mail: osaka-s@TCIchemicals.com

スケールアップ、受託サービス(合成・開発・製造)について

□化成品営業部 〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 16-12 T-PLUS 日本橋小伝馬町8階
Tel: 03-5651-5171 Fax: 03-5640-8021 E-mail: finechemicals@TCIchemicals.com

弊社製品取扱店

本誌掲載の化学品は試験・研究用のみ使用するものです。化学知識のある専門家以外の方のご使用はお避けください。品目や製品情報等、掲載内容の変更を予告なく行う場合があります。内容の一部または全部の無断転載・複製はご遠慮ください。