

【学術変革領域研究（B）】

ラダーポリマー科学：二本の結合が紡ぐ革新

	研究代表者	名古屋大学・工学研究科・教授 井改 知幸（いかい ともゆき）	研究者番号：90402495
	研究課題 情報	課題番号：25B206 キーワード：高次構造、反応開発、高分子物性、ナノ空間、ケイ素化学	研究期間：2025年度～2027年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

高分子科学は、1920年にStaudingerが「高分子説」を提唱して以来、最先端材料科学から生命科学に至るまで広範な分野に深く関与する重要な研究領域として、過去100年以上にわたり継続的に発展してきた。高分子は一般に、「モノマー」と呼ばれる小さな単位が、化学結合によってひも状に連なった巨大分子であり、ビーズが連なったネックレスのような構造としてイメージすることができる。

では、「モノマー単位をつなぐ結合を、もう一本増やしたらどうなるだろうか？」

このような高分子は、主鎖が「はしご」のような構造をもつことから「ラダーポリマー」と呼ばれている。通常のポリマー（1本鎖ポリマー）では、モノマー間をつなぐ結合が1本であるため、結合軸周りで自由に回転できる。その結果、分子全体の構造が不規則になりやすい。一方、ラダーポリマーでは、モノマー同士が2本以上の化学結合で連結されているため、主鎖の回転運動が著しく制限される。結果として、分子全体の構造秩序は飛躍的に高まる。この「たった1本の化学結合の追加」がもたらす制限されたコンホメーション挙動により、1本鎖ポリマーとラダーポリマーの物性には決定的な差異が生じる。

このように、ポリマーに2本目の結合を追加するという極めてシンプルな設計概念は、1本鎖ポリマーをもっばら扱ってきた既存の高分子科学を、構造・機能の両面から大きく進展させる可能性を秘めている。しかし、高分子科学の最先端の技術をもってしても、ラダーポリマー合成は依然として困難であり、合成例自体が非常に限られているのが現状である。本研究領域では、次世代の革新物質の創出を牽引する「ラダーポリマー科学」の未来を切り拓き、世界を先導するために、ラダーポリマーの「合成法の技術革新」、「構造多様性の飛躍的拡張」、「物性解明と高度機能開拓」を目指す。



図1 研究領域のイメージ図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●研究領域の目指すところ

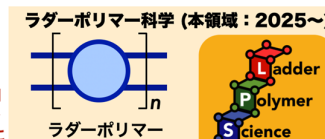
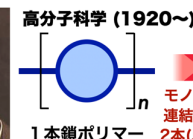
主鎖に沿って2本(以上)の結合を有するラダーポリマーは、その制限されたコンホメーション挙動により、1本の結合からなる従来の1本鎖ポリマーとは全く異なる物理化学的特性を示し、既存の高分子科学を変革させる可能性を秘めている。本研究領域では、ラダーポリマーの精密合成法の技術革新から物性探究、さらに高度機能開拓に至るまで、多角的かつ包括的な研究を推進し、次世代の新物質科学を担う「ラダーポリマー科学」の学理構築を目指す。存在しないからこそ創造したい、困難だからこそ挑戦したい、未知の物質の物性と機能を知りたいという科学者の本質的な探求心を原動力としているが、本領域で提案するラダー化を主軸とする物質設計コンセプトは、

高分子科学、有機化学、材料科学に新たな展望をもたらすだけでなく、無機化学、生物化学、物理学、表面科学、電子工学を含めた様々な分野での新興・融合領域の創成が期待できる。



H. Staudinger
Über Polymerisation.
Ber. Dtsch. Chem. Ges.
1920, 53, 1073.

過去100年で大きく発展



次の100年間の高分子科学イノベーション

図2 これまでの高分子科学（左）とラダーポリマー科学（右）

●研究体制・課題



A01：井改 知幸（代表 名古屋大学）・篠原 健一（分担 JAIST）
「精密制御ラダーポリマーからなる有機構造体の科学」



A02：伊藤 英人（代表 名古屋大学）・松岡 和（分担 北海道大学）
「方法論開発が拓くラダーポリマー合成化学」



A03：石割 文崇（代表 東京都立大学）・井田 大地（分担 京都大学）
「機能発現を志向した特殊構造ラダーポリマーの開発と物性研究」



A04：北尾 岳史（代表 産業技術総合研究所）
「MOF空間が可能にするラダーポリマーの精密合成」



A05：松本 和弘（代表 産業技術総合研究所）
「ケイ素-酸素結合を鍵とするラダー構造構築法の開発」

●領域推進計画

5つの計画研究は、それぞれ異なる特徴を持つラダーポリマーを合成ターゲットとして掲げ、具体的には「高次構造を有するラダーポリマー」、「全共役ラダーポリマー」、「特殊構造ラダーポリマー」、「ダイヤモンドナノスレッド」、「多重のシリキサン結合を含む柔軟ラダーポリマー」を主な対象とし、まずは、これらの精密合成法を確立する。

A01井改は高分子の立体構造制御、A02伊藤は反応開発/合成、A03石割は分子構造解析、A04北尾はナノ空間応用、A05松本はケイ素化学/不斉合成にそれぞれ強みをもち、全員が相互に連携して、円滑な精密合成、構造制御、物性探究、機能開拓を進める。また、3名の研究分担者との緊密な連携の下、ラダーポリマー合成用触媒のin-silico設計、合成した一連のラダーポリマーの物性解析、分子動力学計算による動態解析を進め、従来の1本鎖ポリマーとは一線を画す物性発現や応用展開の可能性を探る。

ホームページ等

<http://ladder-polymer-science.jp>