



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Osmosis-Induced Mechanical Disintegration of Polymer Network Gels
Author(s)	大村, 将
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(ソフトマター科学)
Dissertation Number	甲第16608号
Issue Date	2025-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16608
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98218
Type	doctoral thesis
File Information	Shou_Ohmura_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称: 博士 (ソフトマター科学) 氏 名 大村 将

審査担当者	主査	准教授 中島 祐
	副査	教 授 グン 剣萍
	副査	教 授 Li Xiang

学 位 論 文 題 名

Osmosis-Induced Mechanical Disintegration of Polymer Network Gels
(浸透圧駆動型力学エネルギーによる高分子網目ゲルの崩壊)

博士学位論文審査等の結果について (報告)

高分子網目を良溶媒中に浸漬すると、溶媒分子を吸収して膨潤し、高分子ゲルとなる。網目鎖の構造の観点からすると、ゲルは網目鎖が伸びきりに到達するまで膨潤可能である。しかし、ゲルがそのような構造限界まで膨潤した例は報告されていない。ゲルの膨潤は、溶媒と網目鎖の混合に由来する浸透圧 (膨潤促進効果) と網目鎖の弾性に基づく弾性圧 (膨潤抑制効果) が釣り合ったところで停止し、平衡膨潤状態となるためである。大きな弾性圧の存在のため、ゲルを構造的な膨潤限界まで膨潤させることは熱力学的に極めて困難である。

本論文は、多重分子ステント法 (ゲル内部に複数回、浸透圧成分: 直鎖高分子を導入する手法) を用いることでゲルの浸透圧を著しく高め、網目鎖が伸びきりに到達するまでゲルを過剰に膨潤させる手法、および構造的膨潤限界近傍におけるゲルの振る舞いを報告している。比較的均一な網目構造を有する Tetra-PEG ゲルに対して分子ステント法を 2 回適用したところ、ゲルは調製初期のゲルに対し、約 7-10 倍大きく膨潤した。この膨潤度は、Tetra-PEG ゲル本来の平衡膨潤度 (1.2 程度) よりもはるかに大きいものであり、理論的な網目鎖の最大伸長度に極めて近いものであった。力学的解析の結果から、過剰に膨潤したゲル内部の網目鎖は極度に伸長された状態にあり、そのような網目鎖には調製時の数 1000 倍もの弾性エネルギーが蓄えられていることがわかった。次に分子ステント法を 3 回適用したゲルを水に浸漬したところ、ゲルは膨潤とともに崩壊し、無数の断片へと分解した。力学理論を用いた解析の結果、ゲルの断片化は、ゲル内部の網目鎖に加わっている弾性エネルギーがゲルの網目鎖が耐えうることのできる最大エネルギーを上回った時に生じると結論付けられた。果物の裂果や赤血球の溶血など浸透圧による物質の崩壊現象は報告されているものの、浸透圧による高分子網目材料の崩壊現象は初めて観察されたものである。

これを要するに、著者は、多重分子ステント法を用いることで、網目鎖が伸びきり限界に到達するまでゲルを膨潤させることに初めて成功した。そして、ゲルの膨潤限界が網目鎖の伸びきり限界と概ね対応していることを実証した。さらに、浸透圧による高分子網目材料の崩壊現象を初めて報告した。これらの成果は、例えば、化学種や安定性にとらわれない新たな高分子網目材料の分解手法となりうる。また、これまではゲルの大変形手法は引張や圧縮に限られていたものの、本手法によって膨潤による大変形も可能となった。以上の点において本論文は、社会的にも学術的にも大きなインパクトをもたらすものである。

よって著者は、北海道大学博士 (ソフトマター科学) の学位を授与される資格あるものと認める。