

2026年6月1日

報道関係者各位

独立行政法人国立高等専門学校機構 苫小牧工業高等専門学校
国立大学法人 福島大学

抗酸化常識を刷新 — 多糖類が老化・がん・食品劣化などに 関わるラジカル反応を制御 ～「消す」だけではない、新しい抗酸化メカニズムを発見～

体内や食品中では、老化や炎症、食品劣化の原因となる「ラジカル」が常に発生しています。これまで抗酸化研究では、ラジカルを直接消去する“化学反応”が中心的に考えられてきました。

苫小牧工業高等専門学校 創造工学科 教授 甲野裕之と福島大学 食農学類 教授 尾形慎の研究グループは、代表的な水溶性多糖であるカルボキシメチルセルロース（CMC）を用いた解析により、多糖がラジカルを単純に消去するのではなく、分子周囲に形成される「反応場（reaction field）」を介して、ラジカル反応そのものを制御していることを明らかにしました。

特に、多糖の“電荷密度”によって抑制されるラジカルの種類や強さが変化することを見出し、多糖がラジカル反応を「環境側から制御する」という新しい抗酸化メカニズムを提案しました。

本成果は、抗酸化研究の視点を「化学反応」だけでなく「環境設計」へと拡張するものであり、食品・医療・材料分野における“精密な抗酸化設計”への応用が期待されます。

本研究成果は、2026年5月26日付で、多糖およびバイオポリマー科学分野において世界的に高い影響力を持つ基幹国際学術誌『*Carbohydrate Polymers*』オンライン版に掲載されました。

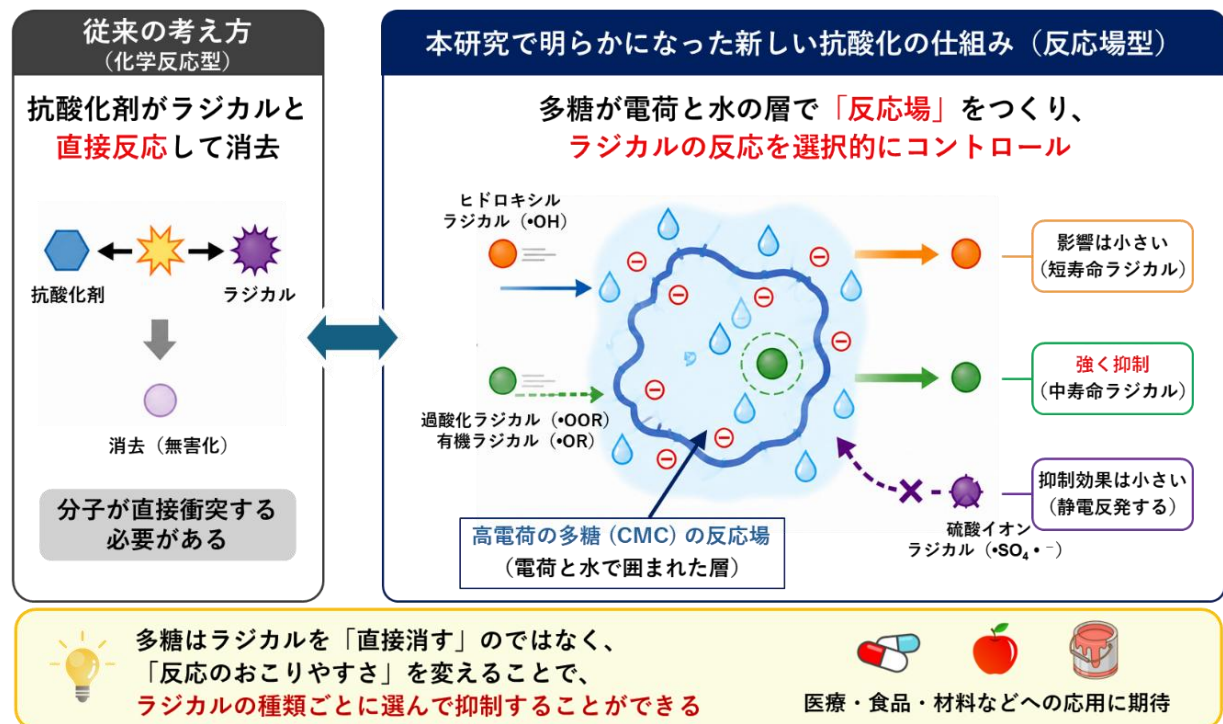


図 | 本研究で明らかになった「反応場」による新しい抗酸化メカニズム

従来の抗酸化作用は、抗酸化剤がラジカルと直接反応して消去する「直接消去型」として理解されてきた。一方、本研究では、多糖が分子周囲に形成する電荷および水和構造からな

る「反応場」によって、ラジカル反応そのものを制御していることを明らかにした。特に、多糖の電荷密度に応じて、ラジカル種ごとに異なる抑制挙動を示すことが確認され、“反応場”を利用した新しい抗酸化設計の可能性が示された。

研究の背景

体内や食品では、「ラジカル」と呼ばれる反応性の高い物質が常に発生しており、老化、炎症、ガン化、食品の劣化などに深く関係しています。これらを抑えるため、これまでの抗酸化研究では、主にラジカルと直接反応して消去する「化学反応」が重視されてきました。

一方、医療材料や食品、工業材料として広く使われる多糖は、ラジカルを抑える性質を持つと考えられていたものの、その仕組みは十分に分かっていませんでした。

主な成果(ポイント)

- 多糖がラジカル反応を種類ごとに選択的に制御する新しい抗酸化機能を持つことを発見
- ラジカル消去挙動が多糖の電荷密度(置換度)に依存することを実証
- 中寿命ラジカルに対して電荷密度の増加とともに抑制能が大きく向上することを確認
- 多糖がラジカル反応の進行を支配する「反応場」として機能するという新概念を提案

研究内容と成果

研究グループは、代表的な水溶性多糖であるカルボキシメチルセルロース (CMC) をモデルとして用い、電子スピン共鳴 (ESR) スピントラッピング法により、複数のラジカル生成系における反応挙動を詳細に解析しました。

その結果、以下の知見が得られました。

- ヒドロキシルラジカル ($\cdot\text{OH}$) のような短寿命ラジカルに対しては、置換度によらずほぼ同様の挙動を示す
- 過酸化ラジカルなどの中寿命ラジカルに対しては、置換度の増加とともに抑制効果が顕著に向上する
- 陰イオン性ラジカルに対しては抑制効果が小さく、電荷の影響を受ける挙動を示す
- これらの結果から、多糖はラジカルと直接反応するのではなく、電荷や水和構造によって反応過程を制御する「反応場」として機能する

研究の意義

本研究は、多糖の抗酸化機能を「ラジカルとの直接反応」として捉える従来の考え方を拡張し、多糖がつくる局所環境(反応場)によってラジカル反応が制御されるという新しい概念を示した点に大きな意義があります。

これは、抗酸化の本質を「化学反応」から「環境設計」へ転換するものであり、分子の電荷や構造を設計することで、狙ったラジカルだけを選択的に制御できる可能性を示しています。

本成果は、多糖をはじめとする生体高分子の機能理解を深めるとともに、医療、材料、食品分野における新たな材料設計指針につながるものと期待されます。

今後の展開

本研究で示された「反応場」によるラジカル制御の概念は、多糖に限らず、さまざまな高分子材料や天然高分子へ応用可能な普遍的な設計指針となると考えられます。特に、多糖の電荷密度や分子構造を制御することで、特定のラジカルのみを選択的に抑制する“精密な抗酸化設計”が可能になることが期待されます。

例えば、医療分野では、体内で問題となるラジカルのみを選択的に制御することで、炎症や酸化ストレスを抑えるバイオ材料やドラッグデリバリー技術への応用も期待されます。

また材料分野では、特定の劣化反応のみを抑制することで、長寿命化したプラスチックや機能性ポリマー材料の設計につながる可能性があります。

さらに食品分野では、風味や栄養成分を損なう特定の酸化反応だけを抑えることで、「おいしさや機能を保ったまま長持ちする食品」の開発につながる可能性があります。

今後は、イオン環境や分子構造の違いが反応場形成に与える影響を明らかにすることで、ラジカル反応を目的に応じて自在に制御する材料設計への発展が期待されます。

用語解説

1) ラジカル

電子を1つ欠いた非常に反応しやすい化学種で、体内での老化・炎症、食品や素材の劣化などの原因となる。

2) カルボキシメチルセルロース (CMC)

セルロースを化学的に修飾した水溶性の多糖で、医薬・食品・工業材料用途に広く用いられている。

3) 電荷密度 (DS)

多糖分子にどれだけ電荷を持つ官能基が導入されているかを示す指標で、本研究ではラジカル抑制機能を左右する重要な要因。

4) 反応場 (reaction field)

分子や高分子が周囲に形成する局所的な環境で、反応の進み方や速度を間接的に制御する場。

5) 電子スピン共鳴 (ESR) スピントラッピング法

短寿命で直接観測が難しいラジカルを検出するための手法で、ラジカルの量や種類を調べることができる。

論文情報

タイトル Charge-density-dependent selective radical suppression in carboxymethyl cellulose

著者名 甲野裕之*¹、西槇航太郎¹、佐々湖遥¹、田中裕基²、尾形慎^{2,3} (*責任著者)

所属 1 苫小牧工業高等専門学校・専攻科、2 福島大学食農科学類、
3 福島大学食農学類附属発酵醸造研究所・水素エネルギー総合研究所

掲載誌 *Carbohydrate Polymers*, 387, Article 125491 (2026)

URL <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2026.125491>

DOI 10.1016/j.carbpol.2026.125491

Impact Factor **12.5** (2024 Journal Citation Reports (Clarivate Analytics 2025)調べ)

CiteScore **24.0** (Scopus 調べ)

※ 国立高等専門学校機構の支援のもと、オープンアクセスで公開されております。どなたでも無料でご覧いただけます。

研究支援

本研究の一部は、JSPS 科研費 (JP24K08548)、JST-SATREPS (JPMJSA2206) の助成を受けて実施されました。

本発表資料内容のお問い合わせ先

苫小牧工業高等専門学校 教授 甲野 裕之 (こうの ひろゆき)

TEL: 0144-67-8036

E-mail: kono@tomakomai-ct.ac.jp

報道機関関係者の方々へのお願い

ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

本リリースの発信元

苫小牧工業高等専門学校 総務課総務係

TEL: 0144-67-0213

E-mail: soumu@tomakomai-ct.ac.jp

福島大学 総務課 広報・渉外室

TEL: 024-548-5190

E-mail: kouho@adb.fukushima-u.ac.jp