

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：33919

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14823

研究課題名（和文）カロテノイド異性化反応の能動的制御技術の開発と加工への応用

研究課題名（英文）Development of active control technology for carotenoid isomerization and its application to carotenoid processing

研究代表者

本田 真己（Masaki, Honda）

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：60824191

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：加熱、光照射、触媒添加を駆使して、カロテノイドの異性化反応を効率的に促進できる条件を見出した。これらの異性化手法は、食品や化粧品への応用を想定し、毒性の低い溶媒や固体触媒を用いて確立された。さらに、加熱と光照射による異性化手法を組み合わせることで、カロテノイドの異性体比率を任意に制御できる技術を開発した。また、異性化技術を活用して、カロテノイドの物性を制御し、様々な加工（抽出、製剤化、結晶化）効率を改善できることを実証した。加えて、高体内吸収性のシス型カロテノイドは、天然の存在形態であるトランス型と同等以上の生理活性を有することを種々のin vitro試験により示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在市場に流通しているカロテノイド製剤は、体内吸収性が低いトランス型である。また、カロテノイド素材は価格が高いため、消費者が気軽に摂取できない状態である。本研究で確立したカロテノイドの異性体比率ならびに物性の制御技術の活用により、高吸収性かつ低価格なカロテノイド素材の製造を実現できる可能性がある。また、カロテノイドは摂取後に生体内でトランス型からシス型に異性化されることが報告されているが、そのメカニズムは不明である。今回、シス型カロテノイドはトランス型と同等以上の生理活性を示すことを明らかにした。これらの知見は、シス型カロテノイドの生体内における存在意義（役割）を明らかにする上でも重要である。

研究成果の概要（英文）：We have found conditions under which carotenoid isomerization can be efficiently promoted by heating, light irradiation, and catalyst addition. These isomerization processes have been established using low toxicity solvents (ethanol, ethyl acetate and supercritical CO<sub>2</sub>) and solid catalysts (isothiocyanate group modified silica gel) for food and cosmetic applications. Furthermore, by combining isomerization techniques using heating and light irradiation, we have developed a technology that can arbitrarily control the isomer ratio of carotenoids. We have also demonstrated that isomerization technology can be used to control the physical properties of carotenoids and improve various processing efficiencies, e.g., extraction, formulation, and crystallization. In addition, various in vitro studies have shown that the highly bioavailable carotenoid Z-isomers are as bioactive as or more bioactive than the naturally occurring all-E-isomers.

研究分野：食品科学

キーワード：カロテノイド アスタキサンチン リコピン 異性化 光照射 加熱 固体触媒 物性変化

## 1. 研究開始当初の背景

自然界に広く存在するカロテノイド類は、強力な抗酸化作用を有し、カラーバリエーションが多様であることから、健康食品や化粧品、食用色素など幅広い用途で利用されている。一般に天然のカロテノイドは高い疎水性と結晶性を有しており、食品加工に利用可能な溶媒への溶解度が極めて低い。これらの物性に起因し、カロテノイドは体内吸収性が低いことに加え、加工（抽出、製剤化、微粒子化など）の効率が悪いことが産業上の課題となっている。例えば、リコピンやルテインはバイオアベイラビリティが 10% 以下と報告されている<sup>1)</sup>。また、一般にカロテノイドは植物や微生物から抽出法により得られるが、その抽出効率が悪いと、市販のカロテノイド素材は高価である。

上記カロテノイドの産業利用における課題を解決する手段として、異性化技術の活用が注目されている。カロテノイドは分子内に多くの共役二重結合をもち、天然では二重結合がすべてトランス体（トランス型）として存在している。一方、動物体内においては、二重結合の一部がシス異性化した形態（シス型）が豊富に存在している。近年、リコピンやアスタキサンチンなどのカロテノイドにおいて、トランス型よりシス型の方が、体内吸収性が高いことが報告された。例えば、ヒト試験においてシス型リコピンはトランス型よりも 8 倍以上体内吸収性が高いことが示された<sup>2)</sup>。一方、我々はごく最近、シス型カロテノイドはトランス型より溶媒への溶解度が高く、結晶性が低いことを見出した<sup>3)</sup>。そして、その物性変化を利用することで、加工（抽出、乳化、微粒子化）効率が劇的に改善できることを示した<sup>4,5)</sup>。よって、食品（サプリメント等）にカロテノイドを使用する際や抽出や微粒子化などの加工工程においては、シス型カロテノイドを用いることが好ましい。しかし、カロテノイドのシス異性化は、食用色素への利用や一部の加工（再結晶法）においては不利に働く。すなわち、シス型のカロテノイドはトランス型よりも色価（色素としての色の強さ）が低いと、食品色素として用いる場合はトランス型を用いることが好ましい<sup>4)</sup>。また、工業的に高純度のカロテノイドを得る際は、一般に再結晶法を用いるが、シス型カロテノイドは結晶性が低いと、再結晶法による回収が難しく、歩留まり低下の原因となる。カロテノイドは溶解や加熱により比較的容易にシス型へ異性化するため、上記加工工程において異性化を抑制する（トランス型の比率を増やす）ことは喫緊の課題である。以上より、カロテノイドはその用途や加工の種類により、用いる異性体を適切に選択する必要がある。よって、カロテノイドの異性体比率を任意に制御できる技術を開発することは、食品産業において極めて重要である。

また、カロテノイド異性体間の生理活性の差異についてはほとんど明らかにされていないため、カロテノイドの異性体を訴求する素材を上市するためには、さらなる研究が必要である。加えて、カロテノイドは摂取後に生体内でトランス型からシス型に異性化されることが報告されているが、そのメカニズムの詳細は不明である<sup>6)</sup>。よって、カロテノイド異性体間の生理活性の差異を明らかにすることは、それらの生体内における存在意義（役割）を明らかにする上でも重要である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、カロテノイドを効率的にシス型およびトランス型に異性化可能な手法を開発し、それらを駆使してカロテノイドの異性体比率を任意に制御可能な技術を開発することである。異性化技術を開発するにあたり、食品や化粧品への応用を想定し、毒性の低い溶媒や除去が容易な固体触媒の利用が可能か検証する。また、異性化による物性変化を駆使して、カロテノイドの加工効率および品質の改善を図る。加えて、カロテノイド異性体の価値向上ならびに生体内におけるカロテノイド異性体の存在意義を明らかにすべく、異性体間の生理活性を調査する。

## 3. 研究の方法

### (1) カロテノイドの異性化

- 光異性化：  
LED 照明がカロテノイドの異性化に及ぼす影響を調査した。溶媒、時間および波長がカロテノイドの異性化に及ぼす影響を調査し、最適な異性化条件を検討した。
- 熱異性化：  
亜臨界・超臨界流体中での加熱がカロテノイドの異性化に及ぼす影響を調査した。溶媒、時間および温度がカロテノイドの異性化に及ぼす影響を調査し、最適な異性化条件を検討した。なお、溶媒には低毒性で食品加工に親和性の高いエタノールや超臨界 CO<sub>2</sub> を用いた。
- 固体触媒による異性化：  
キャベツやワサビなどの食品に含まれるイソチオシアネート類がカロテノイドの異性化を促進することを参考に<sup>7)</sup>、固体触媒（イソチオシアネート基修飾シリカゲル）を調製した。この固体触媒を用い、溶媒、時間および温度がカロテノイドの異性化に及ぼす影響を調査し、最適な異性化条件を検討した。

(2) 加工効率および品質の改善

- 結晶化促進および色調改善：  
LED 照明による異性化（シス型→トランス型）反応を利用して、カロテノイドの結晶化の促進ならびに色調（a 値）の改善が可能か調査した。
- 抽出効率改善：  
高温の超臨界 CO<sub>2</sub> 抽出によりカロテノイドを抽出工程内で異性化（トランス型→シス型）し、カロテノイドの回収率を向上することが可能か調査した。

(3) 生理活性の評価試験

トランス型とシス型のリコピンの抗酸化活性（一重項酸素消去活性、ヒドロキシラジカル消去活性、DPPH ラジカル消去活性、スーパーオキシドアニオン消去活性）ならびに肌に関する生理活性（エラスターゼ阻害活性、ヒアルロン酸産生促進作用、メラニン生成抑制作用、メラニン前駆体 [DHICA] 生成抑制作用）を *in vitro* 試験により調査した。細胞試験は、ヒト皮膚繊維芽細胞および B16 メラノーマ細胞を用いて検討した。

4. 研究成果

(1) カロテノイドの異性化と加工効率の改善

- 光異性化による結晶化促進および色調の改善：  
365 nm~470 nm の波長の LED 光照射により、シス型アスタキサンチンをトランス型に異性化することができた（図 1 A）。特に、紫外線領域の LED 光照射により効率的にトランス異性化を促進できることを見出した。このトランス異性化により、色調（a 値）を改善できる（図 1 B）ことに加え、結晶化も促進できる（図 1 C）ことを明らかにした。

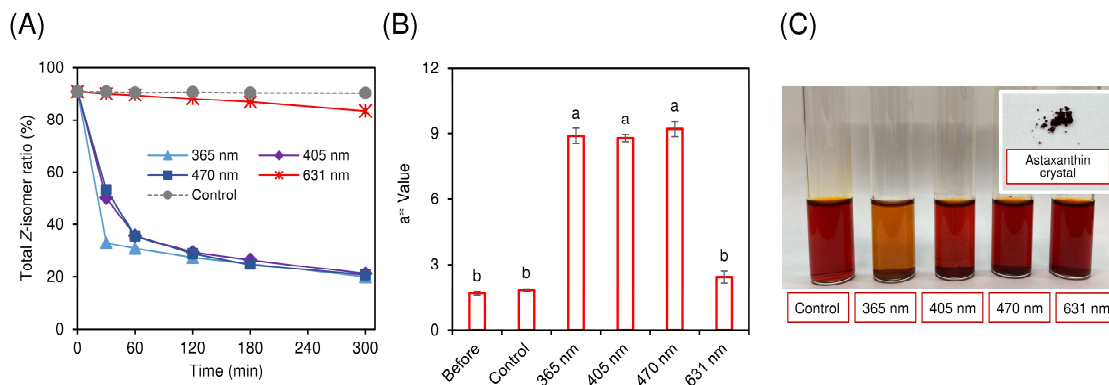


図 1： LED 照射の波長がシス型アスタキサンチンの異性化 (A)、色調 (a 値) (B) および結晶化 (C) に及ぼす影響<sup>8)</sup>

- 熱異性化による抽出効率の改善：

超臨界 CO<sub>2</sub> (圧力を 30 MPa に固定) でトマトパウダーからリコピンを抽出する際、100 °C 以上の高温で抽出することにより、抽出と同時にリコピンをシス型に異性化できることを明らかにした（図 2 A）。さらに、温度依存的に回収率が顕著に改善されることを明らかにした（図 2 B）。超臨界 CO<sub>2</sub> で脂質を抽出する際、温度を高くすると CO<sub>2</sub> の密度が低下するため、抽出効率が低下することが一般的である。リコピンにおいて温度依存的に回収率が改善されたのは、シス体への異性化による溶解度の向上が要因と考えられる。

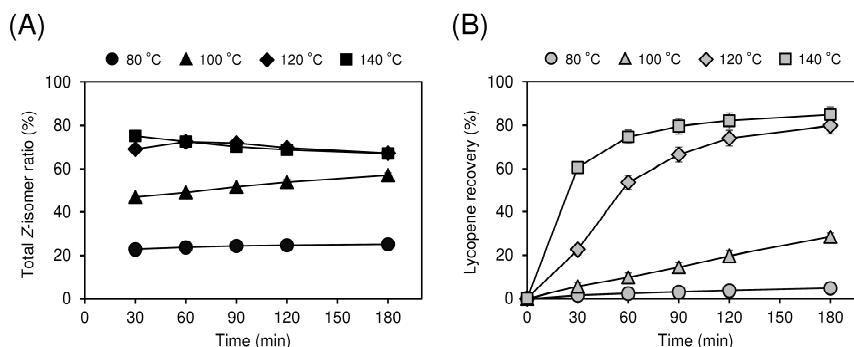


図 2： 超臨界 CO<sub>2</sub> 抽出の温度がリコピンの異性化 (A) と回収率 (B) に及ぼす影響<sup>9)</sup>

● 固体触媒による異性化：

イソチオシアネート基修飾シリカゲルを調整し (図 3 A)、トランス型アスタキサンチンの酢酸エチル溶液に添加した。まず、反応温度がアスタキサンチンの異性化に及ぼす影響を調査した (触媒濃度：10 mg/mL、反応時間：60 分)。触媒添加の有無に関わらず、温度依存的にアスタキサンチンのシス型比率は向上したが、触媒を添加することで異性化効率は顕著に改善された (図 3 B)。また、非加熱 (20 °C) でも異性化を促進できることを明らかにした。続いて、触媒の添加濃度が異性化に及ぼす影響を調査した (反応温度：50 °C、反応時間：60 分)。触媒濃度に応じてアスタキサンチンのシス型比率は向上したが、およそ 20 mg/mL の濃度でシス型比率が頭打ちすることを確認した (図 3 C)。さらに、本固体触媒は、他のカロテノイド (リコピン、アスタキサンチン、ルテイン、フコキサンチン) も効率的にシス型に異性化できることを実証した。以上より、本固体触媒はカロテノイド類を効率的にシス型に異性化できることに加えて、フィルターや遠心分離により容易に分離でき、繰り返し使用できることから、実用化に適すると考えられる。

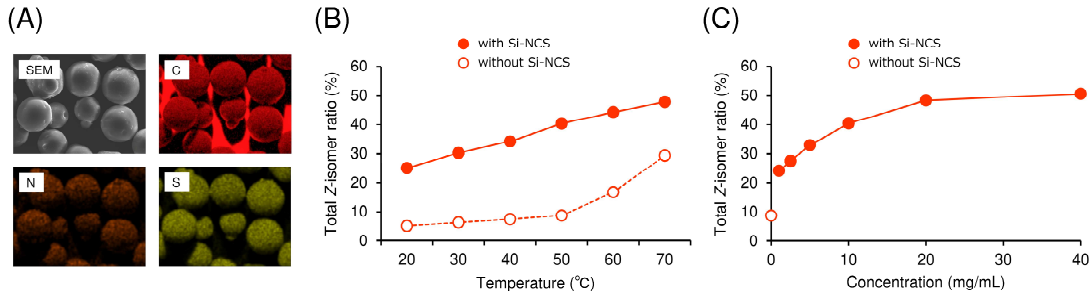


図 3： イソチオシアネート基修飾シリカゲルの SEM 画像 (元素マッピング) (A) ならびに反応温度 (B) と触媒添加量 (C) がアスタキサンチンの異性化に及ぼす影響<sup>10)</sup>

(2) 異性化による生理活性の変化

リコピンについて、異性体比率が抗酸化作用 (一重項酸素消去活性、ヒドロキシラジカル消去活性、DPPH ラジカル消去活性、スーパーオキシドアニオン消去活性：図 4) と肌に関する生理活性 (エラスターゼ阻害活性、ヒアルロン酸産生促進作用、メラニン生成抑制作用、メラニン前駆体 [DHICA] 生成抑制作用：図 5) に及ぼす影響を調査した。トランス型リコピンの精製品 (シス型比率：2.0%) と、それを熱異性化してシス型比率を高めたリコピン (シス型比率：97.7%) を用いてこれらの評価を行った。いずれの異性体も高い一重項酸素消去活性を示したが、シス型よりトランス型の方が高い活性を示した (図 4 A)。トランス型とシス型の一重項酸素消去活性の IC<sub>50</sub> 値 (50% Inhibition Concentration) はそれぞれ 0.48 μM と 1.98 μM であった。一方、ヒドロキシラジカル消去活性と DPPH ラジカル消去活性は、トランス型よりシス型の方が有意に高い活性を示した (図 4 B,C)。また、両異性体ともスーパーオキシドアニオン消去活性をほとんど示さなかった (図 4 D)。以上の結果は、カロテノイドはシス型に異性化することで抗酸化作用が著しく低下することではなく、ラジカルの種類によっては消去能が向上する可能性が示唆された。

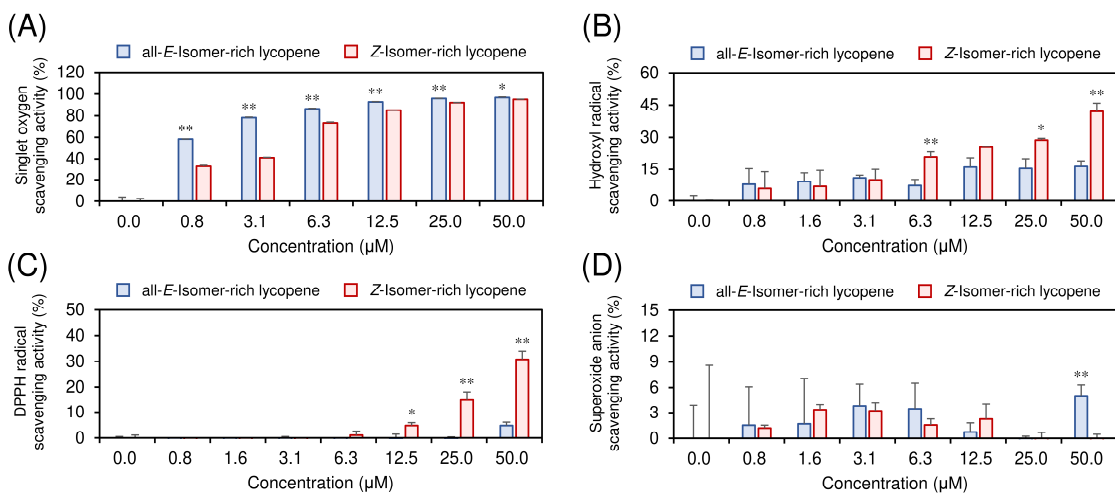


図 4： トランス型とシス型リコピンの一重項酸素 (A)、ヒドロキシラジカル (B)、DPPH ラジカル (C) およびスーパーオキシドアニオン消去活性 (D) の評価結果<sup>11)</sup>

シス型はトランス型と比較して、エラスターゼ阻害活性、ヒアルロン酸産生促進作用、メラニン生成抑制作用、メラニン前駆体 [DHICA] 生成抑制作用が有意に高かった (図5)。特に、シス型リコピンは強力なエラスターゼ阻害活性 (図5A) とヒアルロン酸産生促進作用 (図5B) を有しており、1  $\mu\text{M}$  以下の濃度でも有意な効果を示した。これらの結果は、リコピンはシス型に異性化すると体内吸収性が高くなるだけでなく、生理活性も向上する可能性を示唆している。今後、動物試験やヒト試験において、シス型リコピンの有用性が実証されることが期待される。

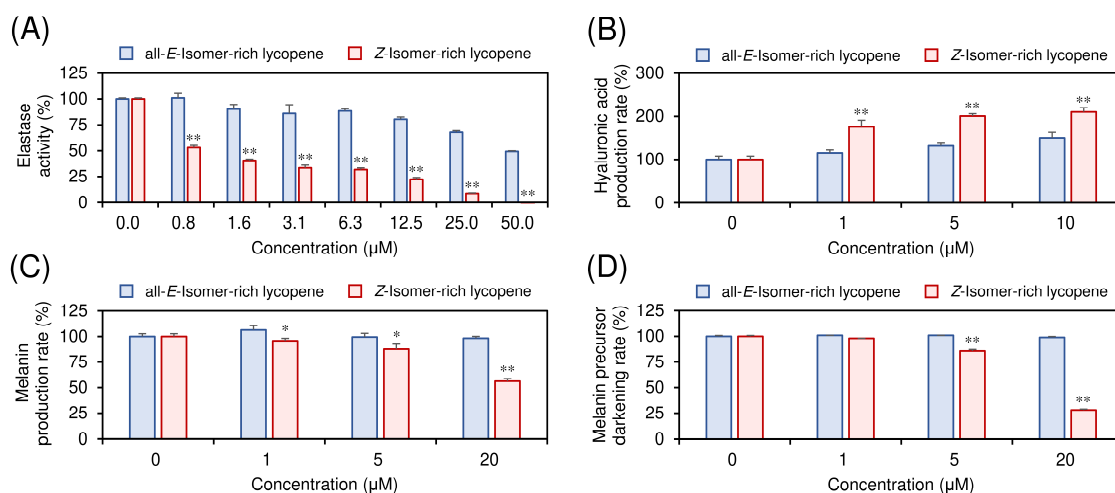


図5： トランス型とシス型リコピンのエラスターゼ阻害活性 (A)、ヒアルロン酸産生促進作用 (B)、メラニン生成抑制作用 (C) およびメラニン前駆体 [DHICA] 生成抑制作用 (D) の評価結果<sup>10)</sup>

## <引用文献>

- Ryan, L., O'connell, O., O'Sullivan, L., Aherne, S. A., & O'Brien, N. M. (2008). Micellarisation of carotenoids from raw and cooked vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63, 127–133.
- Cooperstone, J. L., Ralston, R. A., Riedl, K. M., Haufe, T. C., Schweiggert, R. M., King, S. A., Timmers, C. D., Francis, D. M., Lesinski, G. B., Clinton, S. K., & Schwartz, S. J. (2015). Enhanced bioavailability of lycopene when consumed as *cis*-isomers from tangerine compared to red tomato juice, a randomized, cross-over clinical trial. *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(4), 658–669.
- Honda, M., Kodama, T., Kageyama, H., Hibino, T., Kanda, H., & Goto, M. (2018). Enhanced solubility and reduced crystallinity of carotenoids,  $\beta$ -carotene and astaxanthin, by *Z*-isomerization. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(11), 1800191.
- Honda, M., Kageyama, H., Hibino, T., Zhang, Y., Wahyudiono, Kanda, H., Yamaguchi, R., Takemura, R., Fukaya, T., & Goto, M. (2019). Improved carotenoid processing with sustainable solvents utilizing *Z*-isomerization-induced alteration in physicochemical properties: A review and future directions. *Molecules*, 24(11), 2149.
- Honda, M. (2022). Application of *E/Z*-isomerization technology for enhancing processing efficiency, health-promoting effects, and usability of carotenoids: A review and future perspectives. *Journal of Oleo Science*, 71(2), 151–165.
- Honda, M., Takasu, S., Nakagawa, K., & Tsuda, T. (2021). Differences in bioavailability and tissue accumulation efficiency of (all-*E*-) and (*Z*-) carotenoids: A comparative study. *Food Chemistry*, 361, 130119.
- Honda, M., Kageyama, H., Hibino, T., Ichihashi, K., Takada, W., & Goto, M. (2020). Isomerization of commercially important carotenoids (lycopene,  $\beta$ -carotene, and astaxanthin) by natural catalysts: Isothiocyanates and polysulfides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(10), 3228–3237.
- Zhang, Y., Takahama, K., Osawa, Y., Kuwahara, D., Yamada, R., Oyama, K. I., & Honda, M. (2023). Characteristics of LED light-induced geometrical isomerization and degradation of astaxanthin and improvement of the color value and crystallinity of astaxanthin utilizing the photoisomerization. *Food Research International*, 174, 113553.
- Murakami, K., Goto, M., & Honda, M. (2022). High-temperature supercritical CO<sub>2</sub> extraction of lycopene from tomato powder for enhancing *Z*-isomerization and recovery of lycopene. *Journal of Oleo Science*, 71(9), 1289–1297.
- Honda, M., Zhang, Y., & Goto, M. (2023). Isothiocyanate-functionalized silica as an efficient heterogeneous catalyst for carotenoid isomerization. *Food Chemistry*, 410, 135388.
- Honda, M. (2023). *Z*-Isomers of lycopene and  $\beta$ -carotene exhibit greater skin-quality improving action than their all-*E*-isomers. *Food Chemistry*, 421, 135954.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Honda Masaki, Murakami Yuichi, Sumida Hirotooshi, Takahama Kentaro, Murakami Kazuya, Muramoto Yuji, Goto Motonobu	4. 巻 207
2. 論文標題 Continuous production of highly bioavailable lycopene nanodispersions via subcritical ethanol extraction and in-line mixing	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Journal of Supercritical Fluids	6. 最初と最後の頁 106195 ~ 106195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.supflu.2024.106195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Honda Masaki, Zhang Yelin, Kageyama Hakuto, Hibino Takashi, Goto Motonobu, Nishida Yasuhiro	4. 巻 63
2. 論文標題 Formation and Characterization of Z-Isomer-Enriched Carotenoid-Loaded Microparticles with Poly(vinylpyrrolidone) Using a Spray Drying Technique	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 383 ~ 393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.3c03450	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Honda Masaki	4. 巻 421
2. 論文標題 Z-Isomers of lycopene and -carotene exhibit greater skin-quality improving action than their all-E-isomers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Food Chemistry	6. 最初と最後の頁 135954 ~ 135954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foodchem.2023.135954	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Honda Masaki, Zhang Yelin, Goto Motonobu	4. 巻 410
2. 論文標題 Isothiocyanate-functionalized silica as an efficient heterogeneous catalyst for carotenoid isomerization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Food Chemistry	6. 最初と最後の頁 135388 ~ 135388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foodchem.2023.135388	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Honda Masaki、Murakami Kazuya、Takasu Soo、Goto Motonobu	4. 巻 71
2. 論文標題 Extraction of fucoxanthin isomers from the edible brown seaweed Undaria pinnatifida using supercritical CO2: Effects of extraction conditions on isomerization and recovery of fucoxanthin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Oleo Science	6. 最初と最後の頁 1097 ~ 1106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5650/jos.ess22077	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Kazuya、Goto Motonobu、Honda Masaki	4. 巻 71
2. 論文標題 High-temperature supercritical CO2 extraction of lycopene from tomato powder for enhancing Z-isomerization and recovery of lycopene	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Oleo Science	6. 最初と最後の頁 1289 ~ 1297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5650/jos.ess22044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Honda Masaki、Murakami Kazuya、Osawa Yukiko、Kawashima Yuki、Wasai Masafumi、Hirasawa Kazuaki、Kuroda Ikuo	4. 巻 124
2. 論文標題 Supercritical CO2 extraction of carotenoids (astaxanthin, adonirubin, and adonixanthin) from Paracoccus carotinifaciens: Improved Z isomer ratio and recovery of carotenoids via high temperature extraction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Lipid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 2200021 ~ 2200021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejlt.202200021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Kazuya、Kageyama Hakuto、Hibino Takashi、Zhang Yelin、Goto Motonobu、Honda Masaki	4. 巻 124
2. 論文標題 Preparation of highly stable Z isomer rich lycopene nanodispersions via a continuous flow system with selected emulsifiers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Lipid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 2200034 ~ 2200034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejlt.202200034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Honda Masaki, Murakami Kazuya, Zhang Yelin, Goto Motonobu	4. 巻 1
2. 論文標題 Continuous production of Z-isomer-rich astaxanthin nanodispersions with stabilized Z-structures using selected ester-based nonionic emulsifiers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Food Chemistry Advances	6. 最初と最後の頁 100028 ~ 100028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.focha.2022.100028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Honda Masaki	4. 巻 71
2. 論文標題 Application of E/Z-isomerization technology for enhancing processing efficiency, health-promoting effects, and usability of carotenoids: A review and future perspectives	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Oleo Science	6. 最初と最後の頁 151 ~ 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5650/jos.ess21338	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Yelin, Murakami Kazuya, Goto Motonobu, Honda Masaki	4. 巻 1
2. 論文標題 Continuous production of Z-isomer-rich $\beta$ -carotene nanosuspensions utilizing subcritical fluid and a swirl-type mixer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Food Science & Technology	6. 最初と最後の頁 1652 ~ 1660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsfoodscitech.1c00278	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Honda Masaki, Kageyama Hakuto, Murakami Kazuya, Hibino Takashi, Osawa Yukiko, Kawashima Yuki, Wasai Masafumi, Hirasawa Kazuaki, Kuroda Ikuo	4. 巻 1
2. 論文標題 Isomerization of Paracoccus carotinifaciens-derived carotenoids (astaxanthin, adonirubin, and adonixanthin) under subcritical water conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Food Science & Technology	6. 最初と最後の頁 1861 ~ 1868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsfoodscitech.1c00231	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 シス型カロテノイドの食品素材としての有用性
3. 学会等名 第35回 カロテノイド研究談話会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本田 真己、管原 亮平、大澤 友紀子、桑原 大知、芳賀 穰、林 義明
2. 発表標題 シス型カロテノイドの畜産・水産・昆虫飼料としての有用性
3. 学会等名 第35回 カロテノイド研究談話会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 シス型カロテノイドのスキンケア素材としての有用性
3. 学会等名 日本油化学会 第61回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 幾何異性化技術を活用した持続可能な食品生産技術の開発：応用編
3. 学会等名 日本食品工学会 第4回 Atol project（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 幾何異性化技術を活用した持続可能な食品生産技術の開発：基礎編
3. 学会等名 日本食品工学会 第4回 Atol project (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 カロテノイドにおけるシス-トランス異性体分析の重要性
3. 学会等名 日本油化学会 東海支部 油化学セミナー2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 シス異性化技術を活用した持続可能な食品生産技術の開発
3. 学会等名 第17回 愛知県若手研究者イノベーション創出奨励事業 優秀提案発表会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 過熱水蒸気を用いたカロテノイドの高機能化
3. 学会等名 第2回 過熱水蒸気新技術研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本田 真己、張 葉林、後藤 元信
2. 発表標題 カロテノイドを効率的かつ連続的に異性化可能な固体触媒の開発
3. 学会等名 第34回 カロテノイド研究談話会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張 葉林、本田 真己
2. 発表標題 アスタキサンチンの光異性化特性の解明と加工への応用
3. 学会等名 第34回 カロテノイド研究談話会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本田 真己、村上 和弥、後藤 元信
2. 発表標題 異性化技術の活用による超臨界 CO <sub>2</sub> を用いたカロテノイドの抽出効率改善
3. 学会等名 日本食品工学会 第23回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本田 真己、村上 和弥
2. 発表標題 シス型アスタキサンチン製剤の連続生産システムの開発
3. 学会等名 第16 回 アスタキサンチン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 油脂成分の異性体分析ならびに異性化触媒に関する研究
3. 学会等名 日本油化学会 第60回年会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Masaki Honda	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 22
3. 書名 Chapter 16. Cyanobacterial and commercially important carotenoids: Biosynthesis, metabolic engineering, biological activities, applications, and processing	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------