

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：33919

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15779

研究課題名（和文）高吸収性かつ加工適正に優れたシス型カロテノイド素材製造基盤技術の確立

研究課題名（英文）Establishment of the basic technology for producing Z-isomer-rich carotenoid material having high bioavailability and excellent processability

研究代表者

本田 真己（Honda, Masaki）

名城大学・理工学部・助教

研究者番号：60824191

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：カロテノイド類は食品や化粧品などに使用される天然色素素材として極めて重要な化合物であり、一般に植物や微生物から溶媒抽出により得られる。その利用価値は極めて高いにもかかわらず、カロテノイド（トランス型）の溶媒への溶解度が低いため、天然から効率よく入手できないことが問題となっている。本研究は、カロテノイドを効率的にシス異性化させる新規化学変換技術を開発し、物性変化による溶解度特性の改善によって、天然資源からカロテノイド素材を効率的に製造する基盤技術を確立した。加えて、シス型カロテノイドの産業利用を想定し、その安定化技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、天然のカロテノイド（トランス型）をシス型に変換するためには、高温処理や重金属触媒の利用が不可欠であった。今回、イソチオシアネート類やポリスルフィド類など、天然由来の有機分子がカロテノイド異性化反応の触媒効果を示すことを明らかにした。本知見を活用することで、シス型比率を高めたカロテノイド素材の効率的な製造が可能になる。さらに、異性化に伴う物性変化を活用することでカロテノイド素材の生産効率を改善できることを明らかにし、シス型カロテノイドを安定化できる処方を開発した。これらの成果は、カロテノイド素材の高付加価値化と低価格化につながる重要な知見である。

研究成果の概要（英文）：Carotenoids are important natural compounds used in food and cosmetic industries, and are generally obtained from plants and microorganisms by solvent extraction. However, natural carotenoids (all-E-isomer) have low solubility in various solvents, and that results in low production efficiency of them via the extraction method. Here, we developed a novel Z-isomerization technology of carotenoids using natural catalysts, and utilizing the changes in physical properties associated with the isomerization, an efficient method for carotenoid extraction was developed. In addition, a stabilization technology of Z-isomer-rich carotenoids was also developed aiming at practical applications.

研究分野：食品科学

キーワード：カロテノイド 異性化 抽出 安定化 天然触媒 イソチオシアネート類 ポリスルフィド類

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 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、カロテノイドは食品加工に利用可能な溶媒(エタノールやヘキサンなど)への溶解度が極めて低く、高い結晶性を有するために、植物や微生物などからの抽出効率が悪く、乳化や微細化などの加工の効率も低い。<sup>1)</sup> よって、市販のカロテノイド素材(植物や微生物からの溶媒抽出物)は高価かつ低濃度であり、それを原料とする乳化色素は低品質(低カロテノイド濃度、低分散性)のものが多くある。加えて、天然由来のカロテノイドは体内吸収性が低いことが大きな課題となっている。例えば、リコピンやルテインは摂取量に対して吸収量が10%以下であることが報告されている。<sup>2,3)</sup>

近年、カロテノイドの体内吸収性を高める手段として、シス型への異性化が注目されている。例えば、トマトに含まれるリコピンにおいては、シス型の方がトランス型より8倍以上体内吸収性が高いことが、ヒト試験で実証されている。<sup>4)</sup> 一般に、天然のカロテノイドはトランス型として存在することから(図1)、効率的なシス異性化方法の開発が求められている。我々はこれまで、加熱、光照射、金属触媒添加など様々なシス異性化手法を確立してきた。<sup>1)</sup> その過程で、カロテノイドはシス異性化すると、物性が大きく変化することを明らかにした。<sup>5,6)</sup> すなわち、カロテノイドをシス異性化すると、溶媒への溶解度が飛躍的に向上(リコピンの場合、エタノールに約4000倍)し、結晶性が低下してオイル状になることを見出した。この性質を利用し、溶媒抽出前に原料を高温加熱する手法でカロテノイドをシス異性化すると、その回収率が従来法に比べ約20倍向上することを実証した。<sup>7,8)</sup> さらに、シス型カロテノイドを原料に用いると、乳化効率が飛躍的に向上し、乳化物のカロテノイド濃度や分散性などの品質が大いに改善されることを明らかにした。<sup>9)</sup> シス型カロテノイドはトランス型よりも体内吸収性が高いため、得られる抽出物やその二次加工品の利用価値は極めて大きい。一方、カロテノイドを効率的にシス型へ異性化するためには、高温処理が必要であるため、カロテノイドの分解も促進される。また、シス型カロテノイドはトランス型よりも不安定であるため、保存による分解やトランス型への異性化が進行する。シス型カロテノイドの機能・用途的優位性が多く報告されているにも関わらず、それらの素材や製品が実装されてない理由は、異性化反応を効率的に行う技術的なハードルに加え、安定性が低いことが挙げられる。

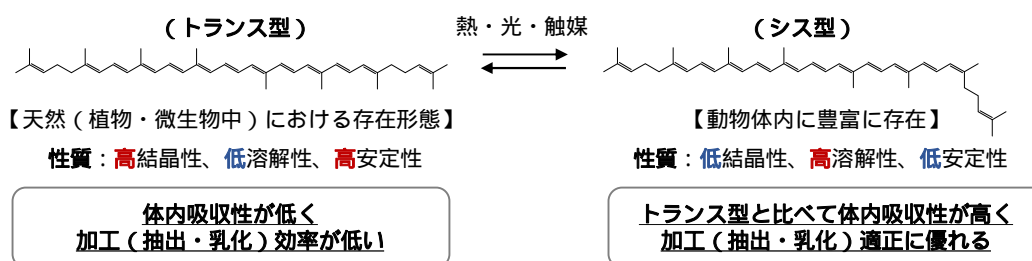


図1：カロテノイド異性体と特性のまとめ

### 2. 研究の目的

カロテノイドを温和な条件で効率的にシス型へ変換できる技術を開発することに加え、シス異性化による物性変化を駆使して、低価格で、加工適正に優れ、体内吸収性の高いカロテノイド素材製造の実現に向け、以下の3点の課題を解決する。

- (1) 食品加工に利用可能かつ効率的にカロテノイドを異性化できる高揮発性触媒を食材から探索する
- (2) 高揮発性触媒を用いて、カロテノイドの異性化と抽出を同時に行う新技術を確立する
- (3) シス型カロテノイドの保管安定性を向上できる処方技術を確立する

### 3. 研究の方法

- (1) 食品加工に利用可能かつ効率的にカロテノイドを異性化できる高揮発性触媒を食材から探索する

トマトペーストに様々な食材(野菜、キノコ、海藻など計150種類)を添加し、加熱調理を行った。その後、リコピンの異性体比率を順相HPLCにより測定し、リコピンのシス異性化反応を促進する食材を探索した。加えて、リコピンの異性化を促進する食材について、その原因成分の調査を行った。

- (2) 高揮発性触媒を用いて、カロテノイドの異性化と抽出を同時に行う新技術を確立する

(1)の試験で見出した天然由来触媒のうち、揮発性の高いものを選定し、カロテノイドの溶媒抽出工程に添加した。これにより、カロテノイドの抽出と同時に異性化を行い、物性改変による抽出効率の改善が可能か検証した。なお、揮発性の高い触媒を選定した理由は、

溶媒除去工程（減圧蒸留）において、抽出溶媒と同時に触媒を除去するためである。本抽出試験は、アスタキサンチンを豊富に含む乾燥菌体（*Paracoccus carotinifaciens*）を用いて実施した。

(3) シス型カロテノイドの保管安定性を向上できる処方技術を確立する

シス型比率を高めたカロテノイドを様々な可食性媒体（植物・動物油脂：計 24 種類）に懸濁し、長期保管試験（30、6週間）を行った。そして、保管後に最もカロテノイドのシス型比率を保持できる可食性媒体を調査した。また、添加剤（抗酸化剤、キレート剤、重金属など）がカロテノイド異性体に及ぼす影響についても調査した。

4. 研究成果

(1) 食品加工に利用可能かつ効率的にカロテノイドを異性化できる高揮発性触媒を食材から探索する

タマネギやニンニクなどの *Allium* 属や、ケイパーやキャベツなどの *Brassica* 属の野菜に加え、シタケやマコブなどの食材が、加熱調理におけるトマト中リコピンのシス異性化を促進することを明らかにした（図 2）。*Allium* 属の野菜とシタケは共通してポリスルフィド類を含み、*Brassica* 属の野菜は共通してイソチオシアネート類を豊富に含む。また、マコブはヨウ素を豊富に含む。よって、異性化を促進する食材に共通して含まれる上記成分が、異性化促進の触媒作用を有すると仮説を立て、ポリスルフィド類、イソチオシアネート類、ヨウ素の添加がトマトペースト中リコピンの異性化に及ぼす影響を調査した。その結果、いずれの成分を添加した場合も、リコピンのシス異性化が顕著に促進されることを明らかにした。加えて、ポリスルフィド類とイソチオシアネート類のカロテノイドの異性化特性を明らかにし、商業的に重要なカロテノイド（リコピン、β-カロテン、アスタキサンチン）について、異性化反応の最適条件を示した。例えば、イソチオシアネート類においては、リコピンはヘキシルイソチオシアネート、β-カロテンはイソブチルイソチオシアネート、アスタキサンチンはベンジルイソチオシアネートが効果的にシス型への異性化を促進することを示した。<sup>10-12)</sup>

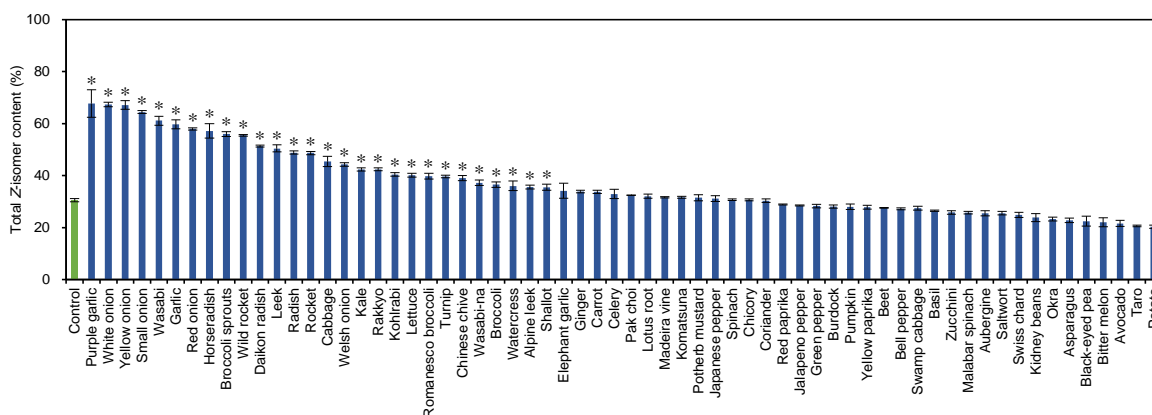


図 2：食材が加熱調理におけるリコピンのシス異性化に及ぼす影響

(2) 高揮発性触媒を用いて、カロテノイドの異性化と抽出を同時に行う新技术を確立する

カロテノイドの抽出工程に、(1) の試験で見出した天然由来触媒のうち、揮発性の高いもの（イソチオシアネート類）を添加し、抽出と同時に異性化を行うことが可能か検証した。具体的には、乾燥菌体（*Paracoccus carotinifaciens*）よりアスタキサンチンを抽出する際、抽出液に 4 種のイソチオシアネート類（メチルイソチオシアネート、エチルイソチオシアネート、アリルイソチオシアネート、ベンジルイソチオシアネート）をそれぞれ加えた。これらの触媒添加により、抽出されたアスタキサンチンのシス型比率が有意に向上することを確認した。さらに、アスタキサンチンの回収率も向上することを明らかにした。これは、アスタキサンチンがシス型へ異性化したことにより、抽出溶媒への溶解度が向上したためと考えられる。同様の抽出試験をトマトについても実施し、シス型比率の高いリコピンが得られることを確認した。<sup>13,14)</sup>

(3) シス型カロテノイドの保管安定性を向上できる処方技術を確立する

特定の油脂（ダイズ油、ゴマ油、コメ油など）を媒体として用いると、シス型カロテノイドの保管安定性を顕著に改善できることを明らかにした（図 3A）。一方、不飽和度の高い植物油脂（エゴマ油、アマニ油など）や動物油脂（魚油、牛脂など）を媒体として用いると、6 週間の保管でほぼすべてのカロテノイドが消失（分解）することを確認した。また、特定の抗酸化剤（α-トコフェロール、BHT、BHA、アスコルビン酸など）がシス型カロテノイドの安定性を顕著に改善することを明らかにした（図 3B）。これらの知見は、安定性の高いシス型カロテノイド含有プロダクトの実装に極めて重要な知見である。<sup>15)</sup>

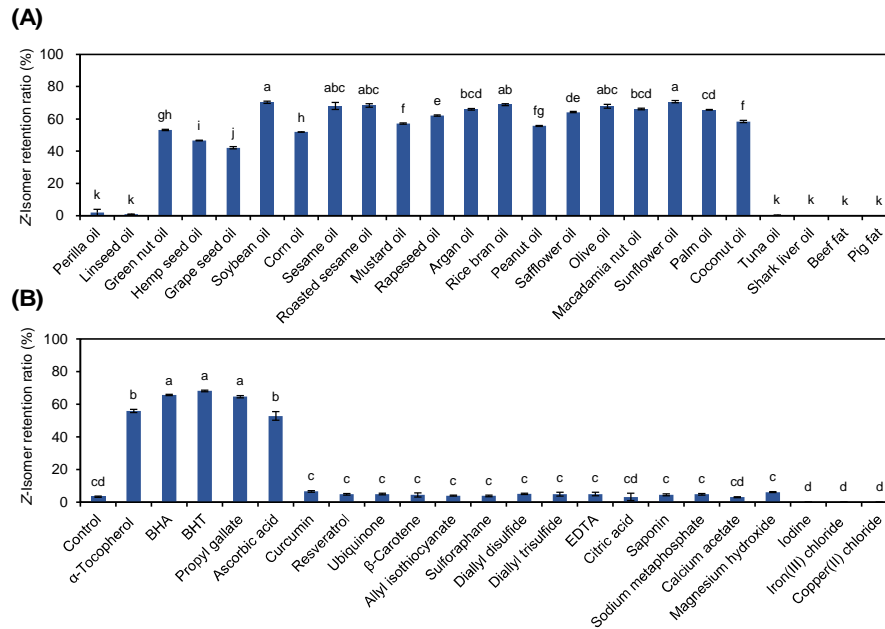


図3 : (A) 油脂と (B) 抗酸化剤がシス型アスタキサンチンの保管安定性に及ぼす影響 [30 で 6 週間保管後のシス型アスタキサンチンの残存率 (%) ]

< 引用文献 >

- 1) Honda, M., Kageyama, H., Hibino, T., Zhang, Yelin, Wahyudiono, Kanda, H., Yamaguchi, R., Takemura, R., Fukaya, T., Goto, M., Improved carotenoid processing with sustainable solvents utilizing Z-isomerization-induced alteration in physicochemical properties: A review and future directions, *Molecules*, 24, 2019, 2149.
- 2) During, A., Dawson, H. D., Harrison, E. H. Carotenoid transport is decreased and expression of the lipid transporters SR-BI, NPC1L1, and ABCA1 is downregulated in Caco-2 cells treated with ezetimibe. *The Journal of Nutrition*, 135, 2005, 2305–2312.
- 3) Ryan, L., O'connell, O., O'Sullivan, L., Aherne, S. A., O'Brien, N. M. Micellarisation of carotenoids from raw and cooked vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63, 2008, 127–133.
- 4) 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., 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, 2015, 658–669.
- 5) Honda, M., Kodama, T., Kageyama, H., Hibino, T., Kanda, H., Goto, M. Enhanced solubility and reduced crystallinity of carotenoids,  $\beta$ -carotene and astaxanthin, by Z-isomerization. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120, 2018, 1800191.
- 6) Murakami, K., Honda, M., Takemura, R., Fukaya, T., Kubota, M., Kanda, H., Goto, M. The thermal Z-isomerization-induced change in solubility and physical properties of (all-E)-lycopene. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 491, 2017, 317–322.
- 7) Honda, M., Watanabe, Y., Murakami, K., Takemura, R., Fukaya, T., Kanda, H., Goto, M. Thermal isomerization pre-treatment to improve lycopene extraction from tomato pulp. *LWT*, 86, 2017, 69–75.
- 8) Honda, M., Watanabe, Y., Murakami, K., Hoang, N.N., Wahyudiono, Kanda, H., Goto, M. Enhanced lycopene extraction from Gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng.) by the Z-isomerization induced with microwave irradiation pre-treatment. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120, 2018, 1700293.
- 9) Ono, M., Honda, M., Yasuda, K., Kanda, H., Goto, M. Production of  $\beta$ -carotene nanosuspensions using supercritical CO<sub>2</sub> and improvement of its efficiency by Z-isomerization pre-treatment. *The Journal of Supercritical Fluids*, 138, 2018, 124–131.
- 10) Honda, M., Kageyama, H., Hibino, T., Takemura, R., Goto, M., Fukaya, T. Enhanced Z-isomerization of tomato lycopene through the optimal combination of food ingredients. *Scientific Reports*, 9, 2019, 7979.
- 11) Honda, M., Kageyama, H., Hibino, T., Ichihashi, K., Takada, W., Goto, M. Isomerization of commercially important carotenoids (lycopene,  $\beta$ -carotene, and astaxanthin) by natural catalysts:

Isothiocyanates and polysulfides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 2020, 3228–3237.

- 12) Honda, M., Ichihashi, K., Takada, W., Goto, M. Production of (Z)-lycopene-rich tomato concentrate: A natural catalyst-utilized and oil-based study for practical applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 2020, 11273–11281.
- 13) Honda, M., Kageyama, H., Hibino, T., Sowa, T., Kawashima, Y. Efficient and environmentally friendly method for carotenoid extraction from *Paracoccus carotinifaciens* utilizing naturally occurring Z-isomerization-accelerating catalysts. *Process Biochemistry*, 89, 2020, 146–154.
- 14) Honda, M., Murakami, K., Ichihashi, K., Takada, W., Goto, M. Enriched (Z)-lycopene in tomato extract via co-extraction of tomatoes and foodstuffs containing Z-isomerization-accelerating compounds. *Catalysts*, 11, 2020, 462.
- 15) Honda, M., Kageyama, H., Hibino, T., Osawa, Y., Kawashima, Y., Hirasawa, K., Kuroda, I. Evaluation and improvement of storage stability of astaxanthin isomers in oils and fats. *Food Chemistry*, 352, 2021, 129371.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Honda Masaki, Kageyama Hakuto, Hibino Takashi, Osawa Yukiko, Kawashima Yuki, Hirasawa Kazuaki, Kuroda Ikuo	4. 巻 352
2. 論文標題 Evaluation and improvement of storage stability of astaxanthin isomers in oils and fats	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Food Chemistry	6. 最初と最後の頁 129371 ~ 129371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foodchem.2021.129371	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, Ichihashi Kohei, Takada Wataru, Goto Motonobu	4. 巻 11
2. 論文標題 Enriched (Z)-lycopene in Tomato Extract via Co-Extraction of Tomatoes and Foodstuffs Containing Z-isomerization-accelerating Compounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 462 ~ 462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal11040462	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 本田 真己	4. 巻 4
2. 論文標題 植物由来カロテノイド異性化触媒の特性解明	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 98 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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, Hibino Takashi, Ichihashi Kohei, Takada Wataru, Goto Motonobu	4. 巻 69
2. 論文標題 Synergistic Effects of Food Ingredients and Vegetable Oils on Thermal Isomerization of Lycopene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Oleo Science	6. 最初と最後の頁 1529 ~ 1540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5650/jos.ess20174	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, Ichihashi Kohei, Takada Wataru, Goto Motonobu	4. 巻 68
2. 論文標題 Production of (Z)-Lycopene-Rich Tomato Concentrate: A Natural Catalyst-Utilized and Oil-Based Study for Practical Applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural and Food Chemistry	6. 最初と最後の頁 11273 ~ 11281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jafc.0c04892	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 Zhang Yelin, Honda Masaki, Fukaya Tetsuya, Wahyudiono, Kanda Hideki, Goto Motonobu	4. 巻 12
2. 論文標題 One-Step Preparation of Z-Isomer-Rich $\beta$ -Carotene Nanosuspensions Utilizing a Natural Catalyst, Allyl Isothiocyanate, via Supercritical CO <sub>2</sub>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 777 ~ 777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym12050777	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 Masaki Honda, Toshiyasu Sowa, Yuki Kawashima	4. 巻 122
2. 論文標題 Thermal and photo induced isomerization of all E and Z isomer rich xanthophylls: astaxanthin and its structurally related xanthophylls, adonirubin and adonixanthin	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Lipid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1900462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejlt.201900462	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 本田 真己	4. 巻 21
2. 論文標題 シス異性化による物性変化を利用したカロテノイド加工の効率化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本食品工学会誌	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11301/jsfe.20565	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 本田 真己	4. 巻 4
2. 論文標題 二重結合の異性化を促進する有機分子触媒の発見と食品加工への応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 66～70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 後藤 元信, 本田 真己, 根路銘 葉月, 田中 雅裕, 福里 隆一	4. 巻 21
2. 論文標題 超臨界流体の食品・飲料への応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本食品工学会誌	6. 最初と最後の頁 7～10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Masaki Honda, Hakuto Kageyama, Takashi Hibino, Rungaroon Waditee Sirisattha, Tetsuya Fukaya, Yoshiaki Hayashi, Motonobu Goto	4. 巻 122
2. 論文標題 Chemical free approach for Z isomerization of lycopene in tomato powder: Hot air and superheated steam heating above the melting point of lycopene	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Lipid Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1900327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejlt.201900327	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 該当する

1. 著者名 本田 真己, 後藤 元信	4. 巻 4
2. 論文標題 カロテノイドのシス異性化技術の開発とその応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 50-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Masaki Honda, Hakuto Kageyama, Takashi Hibino, Kohei Ichihashi, Wataru Takada, Motonobu Goto	4. 巻 68
2. 論文標題 Isomerization of commercially important carotenoids (lycopene, -carotene, and astaxanthin) by natural catalysts: Isothiocyanates and polysulfides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Agricultural and Food Chemistry	6. 最初と最後の頁 3228 ~ 3237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jafc.0c00316	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 Masaki Honda, Hakuto Kageyama, Takashi Hibino, Toshiyasu Sowa, Yuki Kawashima	4. 巻 89
2. 論文標題 Efficient and environmentally friendly method for carotenoid extraction from <i>Paracoccus carotinifaciens</i> utilizing naturally occurring Z-isomerization-accelerating catalysts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Process Biochemistry	6. 最初と最後の頁 146 ~ 154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procbio.2019.10.005	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 Masaki Honda, Yuki Nakayama, Sho Nishikawa, Takanori Tsuda	4. 巻 84
2. 論文標題 Z-Isomers of lycopene exhibit greater liver accumulation than the all-E-isomer in mice	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 428 ~ 431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09168451.2019.1677144	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 Masaki Honda, Hakuto Kageyama, Takashi Hibino, Yelin Zhang, Kohei Ichihashi, Tetsuya Fukaya, Motonobu Goto	4. 巻 116
2. 論文標題 Impact of global traditional seasonings on thermal Z-isomerization of (all-E)-lycopene in tomato puree	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 LWT	6. 最初と最後の頁 108565 ~ 108565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lwt.2019.108565	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 Masaki Honda, Hiroto Ishikawa, Yoshiaki Hayashi	4. 巻 90
2. 論文標題 Alterations in lycopene concentration and Z isomer content in egg yolk of hens fed all E isomer rich and Z isomer rich lycopene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Animal Science Journal	6. 最初と最後の頁 1261 ~ 1269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/asj.13276	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 Masaki Honda, Hakuto Kageyama, Takashi Hibino, Yelin Zhang, Wahyudiono, Hideki Kanda, Ryusei Yamaguchi, Ryota Takemura, Tetsuya Fukaya, Motonobu Goto	4. 巻 24
2. 論文標題 Improved carotenoid processing with sustainable solvents utilizing Z-isomerization-induced alteration in physicochemical properties: A review and future directions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 2149 ~ 2149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules24112149	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 Masaki Honda, Hakuto Kageyama, Takashi Hibino, Ryota Takemura, Motonobu Goto, Tetsuya Fukaya	4. 巻 9
2. 論文標題 Enhanced Z-isomerization of tomato lycopene through the optimal combination of food ingredients	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7979
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-44177-4	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 竹村 諒太, 本田 真己, 深谷 哲也	4. 巻 52
2. 論文標題 特定の野菜との加熱調理によるトマトリコピンのcis異性化の促進	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本調理科学会誌	6. 最初と最後の頁 57 ~ 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11402/cookeryscience.52.57	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14件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 融解処理によるカロテノイドの異性化と加工への応用
3. 学会等名 日本油化学会 第59回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本田 真己, 市橋 浩平, 高田 渉
2. 発表標題 天然由来の有機分子触媒を用いたカロテノイドの高効率シス異性化
3. 学会等名 日本食品工学会 第21回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 張 葉林, 本田 真己, ワーユディオノ, 神田 英輝, 後藤 元信
2. 発表標題 超音波支援超臨界 CO <sub>2</sub> を用いた天然物触媒によるシス異性化 カロテンエマルション作製
3. 学会等名 日本食品工学会 第21回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 トマトリコピンの最新知見 ~ 健康効果と効率的な摂取方法 ~
3. 学会等名 2019年度 名城大学農学部附属農場公開講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yelin Zhang, Masaki Honda, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto
2. 発表標題 Enhanced production of $\beta$ -carotene suspensions using supercritical CO <sub>2</sub> via naturally occurring Z-isomerization-accelerating catalyst
3. 学会等名 The 26th Regional Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 義明, 石川 大登, 本田 真己
2. 発表標題 採卵鶏への異なるリコピン含量の飼料給与が卵黄中リコピンと卵質に及ぼす影響
3. 学会等名 第126回 日本家禽学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motonobu Goto, Masaki Honda, Tomohiko Kodama, Haruka Sato, Wahyudiono, Hideki Kanda
2. 発表標題 Effects of Z-isomerization in supercritical fluid processing of carotenoids
3. 学会等名 Effects of Z-isomerization in supercritical fluid processing of carotenoids (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田 真己, 石川 大登, 林 義明
2. 発表標題 高い色揚げ効果を有する畜産飼料の開発と評価
3. 学会等名 第33回 カロテノイド研究談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yelin Zhang, Masaki Honda, Wahyudiono, Hideki Kanda, Motonobu Goto
2. 発表標題 Enhanced production of $\beta$ -carotene suspensions using supercritical CO <sub>2</sub> via naturally occurring Z-isomerization-accelerating catalyst
3. 学会等名 26th Regional Symposium on Chemical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田 真己, 岨 稔康, 川嶋 祐貴
2. 発表標題 植物由来グリーン触媒を用いた パラコッカス菌アスタキサンチンの抽出効率改善
3. 学会等名 第15回 アスタキサンチン研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 カロテノイドのシス異性化に関する研究
3. 学会等名 日本食品工学会 第20回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 化学薬品フリーなカロテノイドのシス異性化手法の開発
3. 学会等名 日本食品工学会 第20回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田 真己
2. 発表標題 シス-トランス異性化反応により創出するカロテノイド加工のイノベーション
3. 学会等名 第25回 国際食品素材 / 添加物展・会議 ( ifia JAPAN ) ( 招待講演 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motonobu Goto, Yukako Tanaka, Wahyudiono, Hideki Kanda, Masaki Honda
2. 発表標題 Ultrasonic-assisted preparation of liposome using supercritical carbon dioxide
3. 学会等名 17th European Meeting on Supercritical Fluids ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Masaki Honda	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 524
3. 書名 Studies in Natural Products Chemistry, Volume 68	

1. 著者名 Masaki Honda	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 653
3. 書名 Pigments from Microalgae Handbook: (Chaper 18) Nutraceutical and Pharmaceutical Applications of Carotenoids	

1. 著者名 Masaki Honda	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Nova Science Publishers	5. 総ページ数 113
3. 書名 An Essential Guide to Astaxanthin: Dietary Sources, Properties and Health Benefits	

〔出願〕 計5件

産業財産権の名称 シス型キサントフィル組成物および使用方法	発明者 本田 真己 他	権利者 JXTGエネルギー株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-030453	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 トマトパウダー、トマトパウダーの製造方法、及びトマトパウダー抽出物の製造方法	発明者 本田 真己	権利者 学校法人名城大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-168072	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 シス型キサントフィルの抽出方法	発明者 本田 真己 他	権利者 JXTGエネルギー株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-150294	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 リコピンの異性化方法、シス異性体リコピン含有組成物及びその製造方法	発明者 本田 真己 他	権利者 カゴメ株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-152588	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 リコピン含有家禽卵、産卵家禽用飼料、及びリコピン含有家禽卵の生産方法	発明者 本田 真己, 林 義明	権利者 学校法人名城大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-031249	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------