

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16K05836

研究課題名(和文) トリアゾール連結型アミノアシルtRNAによるアミノ酸導入技術革新

研究課題名(英文) Triazole-linked aminoacyl-tRNA to introduce variations of amino acids

研究代表者

藤野 智子 (Fujino, Tomoko)

東京大学・物性研究所・助教

研究者番号：70463768

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：核酸伸長反応に高効率なクリック化学を活用したトリアゾール連結核酸の高効率合成法を開発し、その生命科学における機能展開を実現した。当初予定していたRNAとアミノ酸とのクリック連結法を探索するなかで、DNA末端へのアジド化とそのクリック連結法を開発し、これが次世代DNAの鑄型DNA調整に活用可能であることに注目して簡便鑄型合成法を実現した。さらに、当初の合成標的であった修飾tRNAから、全く開拓例がなく、より挑戦的な修飾mRNAの開発に標的を切り替え、初の非リン酸型コドンをもつ修飾mRNAを実現した。こうした修飾RNAの二重鎖形成におけるトリアゾール連結部の効果を熱力学的解析から明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非リン酸型核酸は高い化学的・熱力学的安定性に加え、多様な機能性が期待される次世代型バイオ材料であるが、その合成上の制約により機能展開に至った例はごく限られていた。本研究では、高効率なクリック化学に着目して、糖保存・非リン酸型RNAでの最長の例を実現し、その二重鎖形成における熱力学的特性を初めて明らかにした。さらにこうした非リン酸型の機能展開として、これまで例のない翻訳反応におけるmRNAとしての機能性評価や、次世代シーケンサーのための鑄型DNA調整法を実現した。本研究により、これまでほとんど明らかとなっていない非リン酸型RNA・DNAの機能性開拓を達成した。

研究成果の概要(英文)：We developed a high-efficient synthesis method of triazole-linked nucleic acid using click chemistry for nucleic acid elongation reaction and realized its functional development in life science. In searching for a click-linking method between RNA and amino acid planned at the beginning, azidation to the DNA end and the click-linking method were developed. These methods enabled us to realize a convenient double-stranded DNA template preparation for next-generation DNA sequencers. In addition, we switched the research target from modified tRNA to more challenging modified mRNA without any examples. We realized modified mRNA with a non-phosphate-linked codon for the first time. We also clarified the effect of the triazole linkages in the double-strand formation of such modified RNA from the thermodynamic analysis.

研究分野：有機合成化学

キーワード：トリアゾール RNA クリック化学 mRNA duplex

### 1. 研究開始当初の背景

核酸オリゴマーは、その核酸塩基間での選択的 Watson-Crick 水素結合形成により二重鎖を構築する。こうした二重鎖が生体内でタンパクや酵素類から認識され、複製・転写・翻訳などセントラルドグマに関わる多様な酵素反応を誘発する「酵素基質」として働く。最近、核酸オリゴマーを人為的に作製した遺伝子工学研究が盛んに行われてきており、とくに酵素反応における鍵となる核酸連結部への非天然型構造の導入が注目されてきている。比較的合成のしやすい DNA に比べて、特に RNA への化学修飾例は限られており、特に容易に加水分解を受けやすいリン酸連結部の改変例はごくわずかである。そのため RNA 内の非天然型連結部の酵素反応に与える影響はほとんど明らかになってきていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、核酸伸長反応に高効率なクリック化学を活用したトリアゾール連結 DNA, RNA (<sup>TL</sup>DNA, <sup>TL</sup>RNA, 図 1) の高効率合成法を開発し、その生命科学における機能展開を実現した。当初予定していた RNA とアミノ酸とのクリック連結法を探索するなかで、DNA 末端へのアジド化・アルキンとのクリック連結法を開発した。これが次世代 DNA の鑄型 DNA 調整に活用できることに新たに注目し、簡便な鑄型合成法を実現した。さらに、当初の合成標的であった修飾 tRNA から、全く開拓例がなく、より挑戦的な修飾 mRNA の開発に標的を切り替え、初の非リン酸型コドンをもつ修飾 mRNA を実現した。こうした機能性はその二重鎖における構造的・熱力学的効果に依存するが、その効果は未だ不明瞭であった。今回、非リン酸型 RNA の最長鎖 11 量体合成を達成し、その二重鎖形成の熱力学的特性を明らかにした。

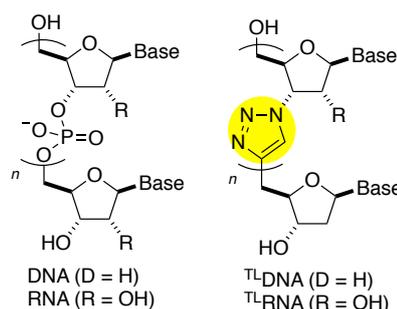


図 1. <sup>TL</sup>DNA/<sup>TL</sup>RNA の構造

### 3. 研究の方法

本研究では、酵素の認識部位である糖を保存しつつ、連結部をトリアゾールに置き換えた <sup>TL</sup>DNA および <sup>TL</sup>RNA 合成法を開発し、その生命化学的機能を探索した。これまでトリアゾール部を一つ含むキメラ型核酸の合成では、先にトリアゾール連結部を含む 2 量体を合成し、これをホスホアミダイト法によりリン酸・トリアゾール混合連結オリゴマーを合成していた。<sup>1</sup>今回、DNA の 3'末端に選択的にアジド修飾トリリン酸を導入することのできる酵素による DNA のアジド化を行い、これとあらかじめ合成した 5'-アルキニル修飾 DNA とのクリック連結による合成法を新規に開発した。構築したトリアゾール連結部存在下でも DNA 複製反応が良好に侵攻することを見出し、次世代シーケンサー用の鑄型 DNA 調整法を開発した。一方で、トリアゾール連結部を複数複数のトリアゾール連結部を導入するための新規手法として三種の単量体を組み合わせた合成法を開発し、これにより新規のトリアゾール連結コドンを含む mRNA 用オリゴマー 13 量体を合成した。無細胞翻訳系を用いたペプチド生成反応により、アミノ酸同士の連結における反応効率・選択性を評価した。さらに、これらの機能性発現における構造・熱力学的効果を明らかにすべく、モデル化合物として、全てのリン酸部をトリアゾール環に置き換えた <sup>TL</sup>RNA 11 量体合成法を開発し、その構造・熱力学的評価を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) DNA 末端アジド化法と次世代シーケンサー用鑄型 DNA の簡便合成法の開発<sup>2</sup>

一本鎖 DNA (ssDNA) の次世代シーケンシング (NGS) として、ターミナルデオキシヌクレオチジルトランスフェラーゼ (TdT) を利用したアジド化法と、クリック化学を介した ssDNA 連結反応による化学酵素法を開発した。TdT は 3'-アジド修飾ジデオキシリボヌクレオチドを一本鎖 DNA の 3'末端に伸長してホモポリマーを合成する酵素である。3'末端をアジド修飾したリボヌクレオチドを基質として用いることで単一ヌクレオチドのみを結合できる手法を開発した (図 2)。続いて、予め化学合成した 5'-アルキニル DNA アダプターとクリック連結し、この非リン酸連結部の存在下で効率よく DNA 複製条件を見出した (図 3)。この手法を基に MNase-seq ライブラリーの調製を実現し、従来の手法に匹敵するヌクレオソームプロ

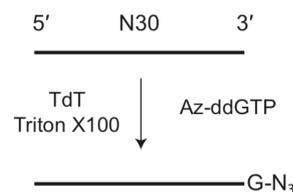


図 2. DNA 3'末端へのアジド化法

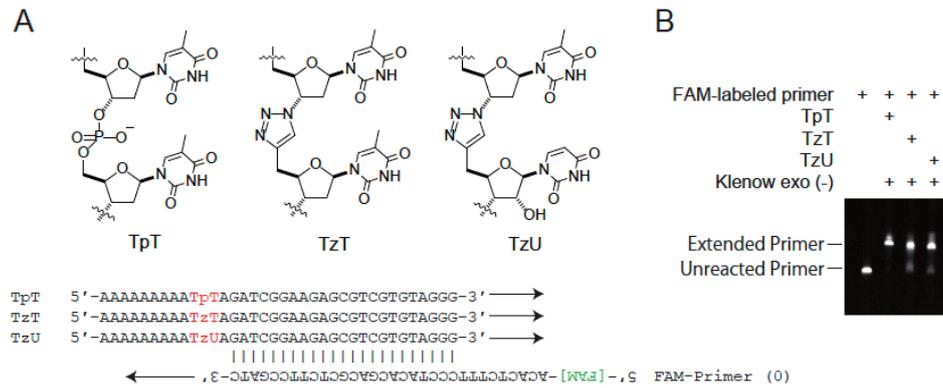


図3. クリック連結したDNAを鋳型としたDNA複製反応

ファイルを明らかにすることができ、NGS ライブラリー調製におけるクリック連結の可能性を保証することができた。本手法はDNAライブラリーの簡便・高効率な調整法として高い波及効果が期待できる。

## (2) トリアゾール連結コドンを含む mRNA の翻訳機能開拓<sup>3</sup>

mRNA は、その3塩基をコドン単位としてタンパク質のアミノ酸配列を記述する重要な生体高分子である。近年、このタンパク質合成（翻訳反応）を、無細胞・試験管内で人為的に行えるようになったが、その鋳型には mRNA ではなく DNA が代用され、mRNA への転写/翻訳反応の二工程を要する手法が汎用されている。これは mRNA が加水分解を受けやすく、非常に不安定であるためである。mRNA の加水分解標的部であるリン酸部を化学的に安定な連結部に改変できれば、直接的・簡便な翻訳反応を実現することが可能となる。しかし、mRNA に対して非リン酸型の連結部を導入した例はなく、このような人工 mRNA が翻訳系において許容されるのか、対応するアミノ酸間のペプチド結合生成反応を促進することができるのか、などの基礎的な知見さえ不明であった。本研究では、mRNA のコドンに対応する3塩基をトリアゾール連結型に置き換えたキメラ型 mRNA を開発し、人工コドンの翻訳効率とアミノ酸への忠実性を初めて明らかにした。

これまでのキメラ型 mRNA 合成法ではトリアゾール連結部を一つしか導入できなかったため、複数のトリアゾール連結部を導入するための新規手法として三種の単量体を組み合わせた合成法を開発した（図4）。これをホスホアミダイト合成法の伸長単位に適用することで13量体からなる長鎖RNAを天然型RNAに匹敵する高い効率で合成した。この13量体の塩基配列はジペプチド（fMet-Phe）の合成を指示するように設計しており、これを鋳型とした翻訳反応を行った。翻訳産物の同定には HPLC 解析を利用し、別途化学合成した各種ペプチドの保持時間を指標として決定した。さらに翻訳産物を放射線標識化することで、生成物の定量評価を行った。標識メチオン存在下で反応を行った後、得られた粗生成物を HPLC により分画し、その全画分の放射線量を計測した。これにより人工 mRNA の翻訳効率・アミノ酸への忠実性を網羅的・定量的に評価した。

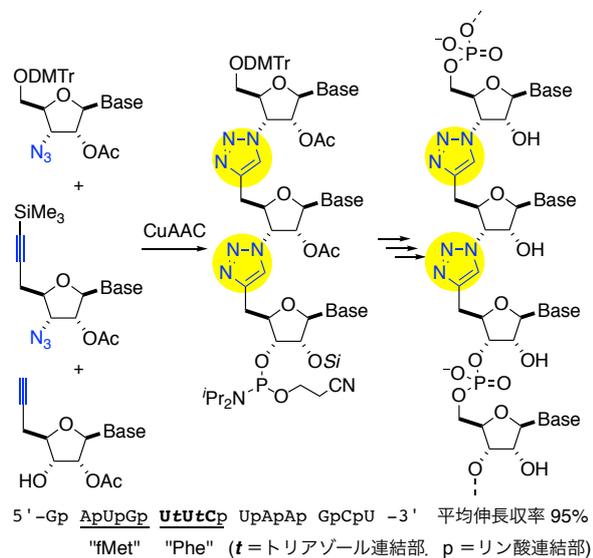


図4. トリアゾール連結部をもつ人工 mRNA の合成

人工 mRNA を鋳型として得られた翻訳産物の HPLC-質量分析（LCMS）を行った結果、fMet-Phe が生成したことを確認できた（図5）。これは人工 mRNA がリボソームから基質として認識されると同時に tRNA の相補鎖となり、tRNA 上のアミノ酸どうしの結合生成を促したことを示している。さらに副生成物として fMet-Leu, fMet-Ile が生成していることも確認でき、人工 mRNA

が一塩基異なるアンチコドン部からなる Leu-tRNA や Ile-tRNA にも結合したことがわかった. fMet-Phe と副生成物である fMet-Leu/Ile の生成比は 57:43 であり, 副生成物も比較的多く生成したことがわかった. 天然型 mRNA を鋳型した翻訳産物との比較を行ったところ, 翻訳効率において人工 mRNA が天然型 mRNA を圧倒することがわかった. fMet-Phe 生成量は約 2 倍, fMet-Leu/Ile 生成量は約 3 倍であった. 一方, 天然型 mRNA を用いた場合の fMet-Phe と副生成物 fMet-Leu/fMet-Ile の生成比は 77:23 であり, 人工 mRNA がアミノ酸への忠実性を低下させることがわかった. リアゾールの電気的中性の骨格に由来するものと考えられる. 中性の連結部は負電荷を帯びた tRNA との静電反発がないため, tRNA への結合力が強まり翻訳反応を促進させた一方で, 塩基配列への選択性を低下させたものと考えている.

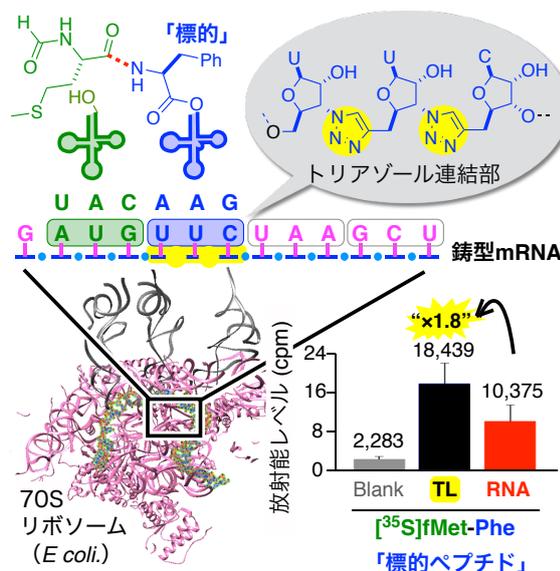


図 5.  $^{15}\text{N}$ -RNA の mRNA 鋳型基質化

### (3) トリアゾール連結 RNA と RNA との二重鎖形成における熱力学的・構造解析<sup>4</sup>

$^{15}\text{N}$ -RNA の生命化学機能を探索するなかで特異な機能性を見出してきたが, その機構を理解するにおいて, トリアゾール連結部を含む非天然型 RNA 部がどのような熱力学的・構造的性質を示すのかが鍵となる. これまでにこうした非天然型連結部の存在による効果への知見はごく限られ, 本トリアゾール連結部の効果は未検討であった. 本研究では, こうした解析を可能とするモデル化合物として, 全ての連結部をトリアゾール部とした糖保存・非リン酸型 RNA で最長のオリゴマーを合成し, その天然 RNA 相補鎖との二重鎖形成におけるトリアゾールの導入効果を明らかにした.

$^{15}\text{N}$ -RNA の合成はこれまで最長で 3 量体までしか達成できていなかったが, 今回新たに固相反応条件の精査により, 13 量体の合成を達成することができた. とくに銅触媒の選択・調整法が再現性において重要であることがわかり, その最適化によって高効率な伸長法を確立した. クリック連結とテトラブチルアンモニウムフルオリドによる脱シリル化反応の繰り返しにより 11 量体まで伸長したのち, 最終的に塩基性条件下で固相担体からの切り出し・脱保護を行い, 糖保存・非リン酸型 RNA での最長鎖の高効率合成を達成した (一段階あたりの平均収率 93%).

この 11 量体と天然 RNA との二重鎖の融点は,  $24.8\text{ }^\circ\text{C}$  と RNA 同士からなる二重鎖の融点 ( $53.7\text{ }^\circ\text{C}$ ) と比較して低かった. その融解曲線を二状態と過程した熱力学的解析<sup>5</sup>から各熱力学的パラメータを見積もったところ,  $^{15}\text{N}$ -RNA•RNA 二重鎖ではエンタルピー貢献が小さい一方で, 負のエントロピー貢献が小さいことがわかった. 熱力学的寄与を構造的に明らかにすべく, 分子動力学計算を用いて構造解析を行ったところ,  $^{15}\text{N}$ -RNA•RNA 二重鎖は RNA•RNA 二重鎖に類似の A 型構造を示した (図 7a). 詳細な構造パラメータ解析から, Buckel ( $\kappa$ ) と Stagger ( $S_z$ ) において,  $^{15}\text{N}$ -RNA•RNA は RNA•RNA よりも顕著に大きな絶対値を示し, 非共平面塩基対に由来する構造的歪みが生じていることがわかった (図 7c). 分子構造からも  $^{15}\text{N}$ -RNA 鎖ではトリアゾール環と 2'-OH 基が近接していることが見てとれた (図 7b), これがトリアゾール配向を制約して tRNA と RNA 鎖間のヌクレオシド間距離のミス

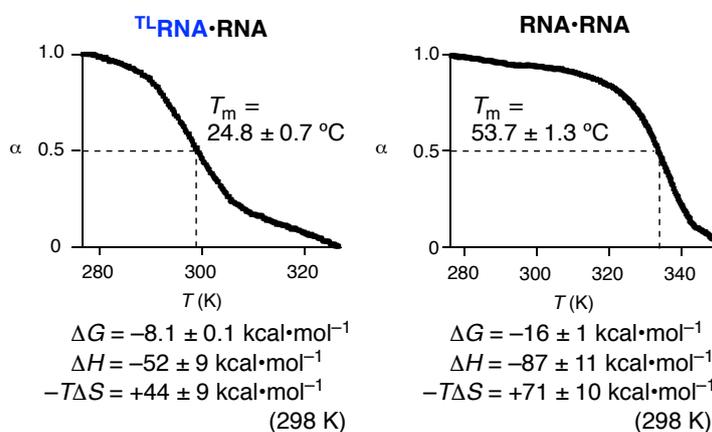


図 6.  $^{15}\text{N}$ -RNA•RNA/RNA•RNA の熱力学的解析

マッチを引き起こし、その結果二重鎖形成のためのエンタルピー低下をもたらしたものと考えられる。本研究成果は、(2) で示したようにトリアゾール連結 RNA を mRNA 中に組み込んだ際に、tRNA と翻訳反応のために一時的な二重鎖形成できることを見出し、その翻訳効率が天然 RNA よりも高いことを明らかにした。今回その熱力学的・構造解析からその  ${}^{\text{T}}\text{RNA}\cdot\text{RNA}$  二重鎖が、RNA $\cdot$ RNA 二重鎖よりも熱的に劣っていることを考慮すると、 ${}^{\text{T}}\text{RNA}$  オリゴマーは、短命で一過性の二重鎖を必要とする用途に特に適していることを示唆している。

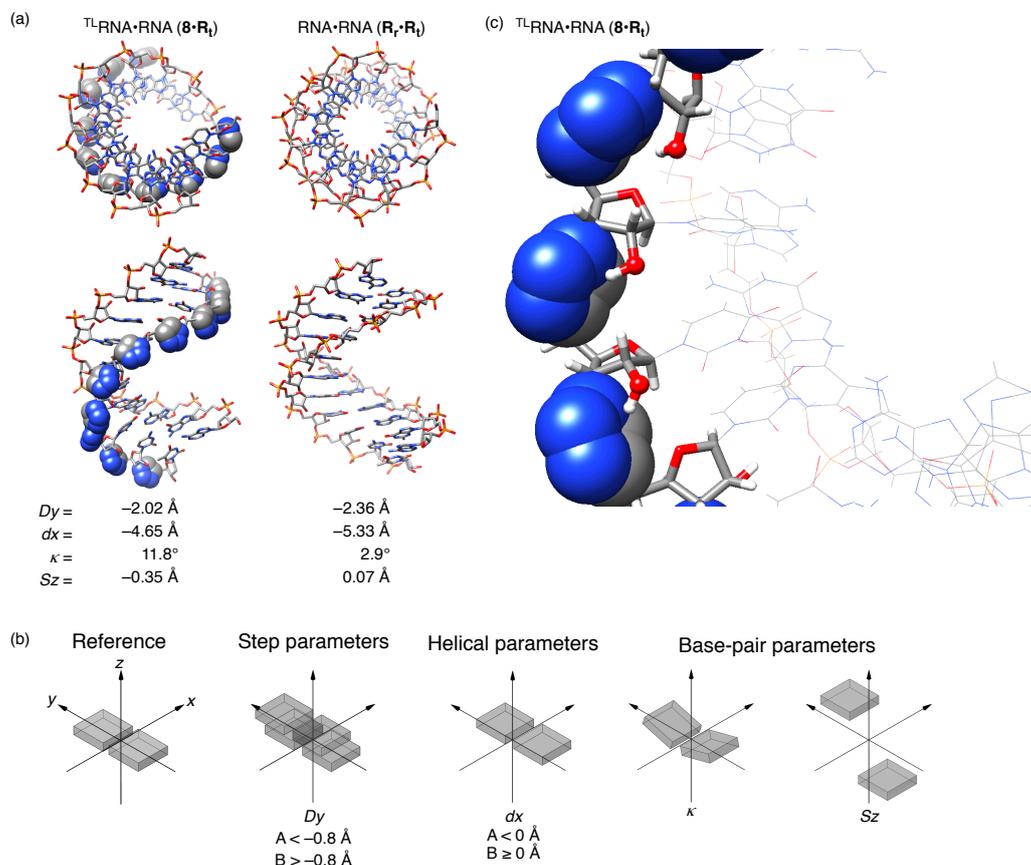


図 7.  ${}^{\text{T}}\text{RNA}\cdot\text{RNA}$  / RNA $\cdot$ RNA の構造パラメーター解析

1. Fujino, T.; Kogashi, K.; Okada, K.; Mattarella, M.; Suzuki, T.; Yasumoto, K.; Sogawa, K.; Isobe, H. *Chem.-Asian J.* **2015**, *10*, 2683-2688.
2. Miura, F.; Fujino, T.; Kogashi, K.; Shibata, Y.; Miura, M.; Isobe, H.; Ito, T. *Nucleic Acids Res.* **2018**, *46*, e95.
3. Fujino, T.; Suzuki, T.; Okada, K.; Kogashi, K.; Yasumoto, K.; Sogawa, K.; Isobe, H. *J. Org. Chem.* **2016**, *81*, 8967-8976.
4. Fujino, T.; Suzuki, T.; Ooi, T.; Ikemoto, K.; Isobe, H. *Chem.-Asian J.* **2019**, *14*, 3380-3385.
5. (a) Gralla, J.; Crothers, D. *J. Mol. Biol.* **1973**, *78*, 301-319; (b) Marky, L. A.; Breslauer, K. *J. Biopolymers* **1987**, *26*, 1601-1620.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fujino, T.; Suzuki, T.; Ooi, T.; Ikemoto, K; Isobe, H.	4. 巻 14
2. 論文標題 Duplex-forming oligonucleotide of triazole-linked RNA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Asian J.	6. 最初と最後の頁 3380-3385
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/asia.201901112	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 Fujino, T.; Suzuki, T.; Okada, K.; Kogashi, K.; Yasumito, K.; Sogawa, K.; Isobe, H.	4. 巻 81
2. 論文標題 Chimeric RNA Oligonucleotides Incorporating Triazole-linked Trinucleotides: Synthesis and Function as mRNA in Cell-free Translation Reactions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 8967-8976
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.joc.6b01618	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 Yokomori, S.; Dekura, S.; Fujino, T.; Kawamura, M.; Ozaki, T.; Mori, H.	4. 巻 8
2. 論文標題 Vapochromism induced by intermolecular electron transfer coupled with hydrogen-bond formation in zinc dithiolene complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 14939-14947
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D0TC04280C	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 Kameyama, R.; Fujino, T.; Dekura, S.; Kawamura, M.; Ozaki, T.; Mori, H.	4. 巻 27
2. 論文標題 The Simplest Model for Doped Poly(3,4 ethylenedioxythiophene) (PEDOT): Single crystalline EDOT Dimer Radical Cation Salts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 6696-6700
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/chem.202005333	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 Fujino, T.; Suzuki, T.; Okada, K.; Kogashi, K.; Yasumoto, K.; Sogawa, K.; Isobe, H.	4. 巻 81
2. 論文標題 Chimeric RNA Oligonucleotides Incorporating Triazole-linked Trinucleotides: Synthesis and Function as mRNA in Cell-free Translation Reactions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 8967-8976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.6b01618	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17件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 L. Zhang, S. Yokomori, D. Zhang, T. Fujino, S. Dekura, H. Mori
2. 発表標題 Syntheses and Field-Effect Transistor Characteristics of Novel Nickel-Dithiolene Complexes with Methoxybenzene Moieties
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 L. Zhang, T. Fujino, S. Yokomori, D. Zhang, S. Dekura, M. Lippmaa, H. Mori
2. 発表標題 Syntheses and Field-Effect Transistor Characteristics of Novel Nickel-Dithiolene Complexes with Methoxybenzene Moieties
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Kameyama, S. Dekura, T. Fujino, H. Mori
2. 発表標題 Structures and Physical Properties of EDOT (3,4-Ethylenedioxythiophene) Dimer-based Molecular Crystals
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横森創, 出倉駿, 藤野智子, 尾崎泰助, 森初果
2. 発表標題 新規Znジチオレン錯体結晶の構造とバイポクロミック特性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 亀山亮平, 出倉駿, 藤野智子, 森初果
2. 発表標題 新規チオフェン系オリゴマーの合成およびその電荷移動錯体の伝導度測定
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木建, 藤野智子, 大井つぐみ, 磯部寛之
2. 発表標題 トリアゾール連結部を含むオリゴリボヌクレオチド類縁体: 多重鎖形成とその熱力学的解析
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Fujino, T. Suzuki, K. Okada, K. Kogashi, K. Yasumoto, K. Sogawa, H. Isobe
2. 発表標題 'Chimeric RNA oligonucleotides: Synthesis and function as mRNA in cell-free translation reactions''
3. 学会等名 The 44th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry & The 1st Annual Meeting of Japan Society of Nucleic Acids Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂本ちか, 阿部博弥, 伊野浩介, 藤野智子, 磯部寛之, 珠玖仁, 未永智一
2. 発表標題 電気化学クリック反応を利用した電極修飾
3. 学会等名 平成28年度東日本分析化学若手交流会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 坂本ちか, 阿部博弥, 伊野浩介, 藤野智子, 磯部寛之, 珠玖仁, 未永智一
2. 発表標題 DNAチップの開発に向けた電気化学クリック反応による表面修飾
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第34回研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鈴木建, 藤野智子, 岡田滉大, 古樫加奈子, 安元研一, 十川和博, 磯部寛之
2. 発表標題 Implementation of Non-natural, Triazole Linkers in mRNA Template for Translation Reactions
3. 学会等名 平成28年度化学系学協会東北大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Fujino, H. Isobe,
2. 発表標題 Triazole-linked DNA and RNA: From Chiral Monomers to Oligomers and Duplexes
3. 学会等名 ISQBS, The 5th International Symposium of Quantum Beam Science -Chirality in Material Science: Current Status and Future Prospects- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤野智子, 亀山亮平, 小野塚洸太, 出倉駿, 森初果
2. 発表標題 Charge Transfer Complexes of Ethylenedichalcogenothiophene (EDCT: C = O, S) and TCNQ Analogs: Atom-substituted Effects
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Kaneyama, T. Fujino, S. Dekura, M. Kawamura, T. Ozaki, H. Mori
2. 発表標題 The Simplified Model Systems for Doped PEDOT (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)): Single-crystalline EDOT Oligomer Radical Cation Salts
3. 学会等名 ISQBS, The 5th International Symposium of Quantum Beam Science -Chirality in Material Science: Current Status and Future Prospects- (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤雅聡, 藤野智子, Lei Zhang, 森初果
2. 発表標題 Electron-rich Nickel Dithiolene Complex: Synthesis and Field-effect Transistor Character
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亀山亮平, 藤野智子, 出倉駿, 河村光晶, 尾崎泰助, 森初果
2. 発表標題 Synthesis of Novel Single-crystalline Ethylenedioxythiophene Oligomer Charge Transfer Salts and the Conjugation-lengthelongation Effects on Their Physical Properties
3. 学会等名 日本化学会第101回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亀山亮平, 藤野智子, 出倉駿, 河村光晶, 尾崎泰助, 森初果
2. 発表標題 新規エチレンジオキシチオフエンオリゴマーおよびその電荷移動塩単結晶の合成ならびに共役長伸長効果
3. 学会等名 日本物理学会第76回秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 亀山亮平, 藤野智子, 出倉駿, 河村光晶, 尾崎泰助, 森初果
2. 発表標題 導電性高分子PEDOT(poly(3,4-ethylenedioxythiophene))塩の単純化モデル: EDOT オリゴマー塩単結晶の合成と物性
3. 学会等名 分子科学オンライン討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 導電性オリゴマー、導電性組成物、導電助剤、前記導電性組成物を用いて形成された、コンデンサ用電極、透明電極、電池用電極、又はキャパシタ用電極	発明者 清野美勝, 中村浩昭, 森初果, 藤野智子, 出倉駿, 亀山亮	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/024757	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

物性研究所・森研究室HP <a href="https://hmori.iissp.u-tokyo.ac.jp/index.html">https://hmori.iissp.u-tokyo.ac.jp/index.html</a>
---

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
---------	---------