

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05918

研究課題名(和文) 有効磁気モーメント法と定量磁気共鳴法の組み合わせによるフリーラジカル数分析

研究課題名(英文) Quantitative analysis of free radicals by collaboration of effective magnetic moment method and magnetic resonance method

研究代表者

松本 信洋 (MATSUMOTO, NOBUHIRO)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員

研究者番号：30358048

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：フリーラジカル数の標準試料として使用されている3種類の高純度試薬(TEMPOL, DPPH, 4HTB)に含まれているフリーラジカル数を「有効磁気モーメント法」により明らかにした。このラジカル数から求めた純度(質量分率)は、試薬購入時の分離分析法または滴定法に基づく純度とは異なるものであり、種々のフリーラジカルの相対的定量分析を実施しているユーザーにとって、有益な情報となる事が期待される。また、有効磁気モーメント法による純度が既知の一次標準試料を用いた「定量電子常磁性共鳴(qEPR)法」により、二次標準試料の純度を0.7%～1.4%の不確かさで簡便に、かつ、精確に分析可能である事を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々な分析機器の多くは、それ自体では物質の純度または濃度をはかる事が出来ない。物質量(mol)が既知の物質を用いて、その分析機器の目盛り付けをする必要がある。その物質量を矛盾なく求める事ができるのは、分析化学の教科書に記載されている重量法と電量分析法、そして、凝固点降下法の3種類のみである。本研究による「有効磁気モーメント法」は、その資格がある日本発の第4の分析法であり、物質中に存在する遊離基(フリーラジカル)の数を直接測定できる唯一の分析法である。また、「qEPR法」との組み合わせにより、短時間でかつ実用的な精確さでフリーラジカル試薬の純度を分析可能である事が実証された。

研究成果の概要(英文)： Pure reagents of TEMPOL, DPPH and 4HTB are used as standard sample of free radical number. We measured number of free radicals in each pure reagent by "effective magnetic moment method". Purity as mass fraction based on the measured number of free radicals by the method is essentially different from purities based on conventional separation analysis or titration. The purity by the effective magnetic moment method will be very useful for practitioners of various quantitative free radical analyses using analytical instruments. In addition, we have successfully demonstrated that quantitative electron paramagnetic resonance [qEPR] method using primary standard sample with known purity by the effective magnetic moment method can simply and accurately measure purity of secondary standard sample, with uncertainty of 0.7%-1.4%.

研究分野：分析化学

キーワード：一次標準直接法 絶対定量分析 標準試料 純度 磁気分析 有機分析 超伝導量子干渉計(SQUID) 電子スピン共鳴(ESR)

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ラジカルは種々の化学反応のメカニズムと深く関係している。がんや、免疫・アレルギー疾患などの要因である活性酸素、高分子樹脂の劣化、紫外線・放射線照射された食品の研究などでは、電子常磁性共鳴(EPR)測定法などによるフリーラジカルの相対的定量分析が行われている。その検量線作成に使用する標準液は、例えば、図1のTEMPOL, DPPHのように、安定なフリーラジカルをもつ高純度試薬を溶媒で希釈する事により調製されている。試薬メーカーが公表している試薬の化合物純度は、分離分析法で検出された主成分によるピーク面積と不純物によるピーク面積の比から化合物純度を求める面積百分率法などにより便宜的に算出されている。分離分析法によって全ての不純物成分が検出されている保証はなく、また、カラム導入前または導入後に化合物の一部が分解されている可能性があることから、そのような算出法に基づく化合物純度から換算したフリーラジカル数と、実際に試料中に含まれているフリーラジカル数は必ずしも一致していない。そのため、例えば、数種類の高純度試薬を標準液調製の原料として使用したときのEPR定量分析結果が比較されているのが現状である[文献1]。

研究代表者は、フリーラジカル数を直接非破壊的に絶対定量できる「有効磁気モーメント法」を創案した[文献2]。「有効磁気モーメント法」の原理では、フリーラジカルによる磁気モーメントがキュリー・ワイスの法則に従う温度変化を示すのに対して、分子中の他の電子による磁気モーメントの温度依存性がない事を利用する。実験手順は、まず、電子スピン共鳴装置による共鳴磁場測定により、1個のフリーラジカルがもつ「ミニ電子磁石」の強さである「有効磁気モーメント、 μ_{eff} 」を求める。次に、磁力計を用いて一定磁場下で測定する室温から液体ヘリウム温度近傍までの磁気モーメントの温度変化を測定する。そして、その温度変化の大きさを、 μ_{eff} で割ることにより、試料中に含まれているフリーラジカルの数を直接、非破壊測定する。このように、有効磁気モーメント法は「一次標準直接法」の資格を有する長所がある一方で、長時間の測定・労力を要し、また、キュリー・ワイスの法則は室温から冷却した時にラジカル間相互作用が強くなる物質には適用できない、といった短所もある。

「定量電子常磁性共鳴(qEPR)法」[文献3]は、一つの適当な基準物質があれば、原理上、電子スピン共鳴測定装置で検量線を使用することなく未知試料の定量分析が可能な「一次標準比率法」の資格を有する定量分析法である。室温において短時間で測定可能である一方で、これまでのqEPR法の研究では、差数法等に基づく純度が基準とされてきた。

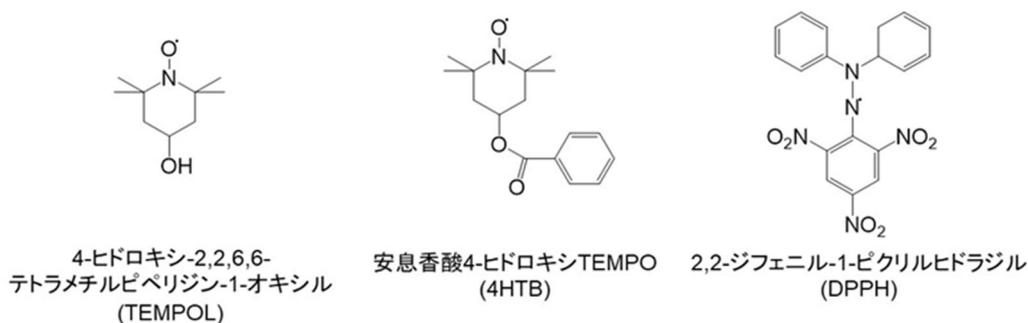


図1 フリーラジカル試薬 TEMPOL, 4HTB, DPPH の化学構造式

2. 研究の目的

本研究では、有効磁気モーメント法の精確さを向上させつつ、同分析法の長所・短所と相補的な特徴をもつ qEPR 法」と有効磁気モーメント法を組み合わせる事によって、種々のフリーラジカルをもつ高純度試薬における国際単位系(SI)に帰着したフリーラジカル数を明らかにする。また、有効磁気モーメント法を直接適用できない試薬でも、その試薬中のフリーラジカル数を絶対定量することを試みる。有効磁気モーメント法により実現可能な「一次標準試料」、および、「有効磁気モーメント法」と「定量 EPR 法」の組み合わせにより実現可能な「二次標準試料」の化合物名と分析値の不確かさ、最適な測定方法・条件等を明らかにする。そして、qEPR 法が実際に有効磁気モーメント法の短所を補いつつ、長所を活かす有効な分析法である事を実証する。

3. 研究の方法

3-1 有効磁気モーメント法の精確さ向上

有効磁気モーメント法における磁力計として、超伝導量子干渉計(SQUID)の原理に基づくカンタムデザイン社製磁化測定システム(MPMS)を用いた。この MPMS による磁気モーメント測定値の SI トレーサビリティの確保、および、精確さ向上を目的として、米国標準技術研究所(NIST)の磁気モーメント標準物質(SRM)である鉄イットリウムガーネット(YIG)単結晶球(直径 1.0 mm)の使用、および、MPMS における磁気モーメント測定法の改良により、校正、および、測定値の再現性向上を試みた。

3-2 有効磁気モーメント法による一次標準試料の純度分析

次に、4HTB、TEMPOL、DPPH を複数の試薬メーカーから購入し、有効磁気モーメント法により、単位質量あたりのフリーラジカル数(フリーラジカル純度)を求めた。 μ_{eff} の測定では、1 mg 程度の粉末試料を入れた試料管を X バンド電子スピン共鳴装置のキャビティにセットして実施した。SQUID 測定では、天秤で秤量した粉末試料を封入したセルロースカプセルをストロー内にセットし、そのストローを MPMS の試料空間内にセットした。1 T の磁場を印加しながら、300 K から液体ヘリウム温度付近までの磁気モーメントを測定した。その磁気モーメントの温度変化を、キュリー・ワイス則にフィッティングすることにより得たキュリー定数に相当する値を μ_{eff} で割ることにより、試料中のフリーラジカル数を求めた。

3-3 定量 EPR 法による二次標準試料の純度分析

定量 EPR 法の測定では、円筒形(TE_{011} モード)キャビティを有する電子スピン共鳴装置を用いた。粉末試料を充てんしたキャピラリー管を直径 5 mm の試料管に入れ、その試料管をキャビティにセットした。キャピラリー管に充填した粉末試料はマイクロ天秤(最大秤量 22 g, 最小秤量 1 μg)で精密秤量した。粉末試料のキャピラリー管内の長さは管の底から 4.5 mm となるように統一し、また、粉末試料の中心がキャビティの軸方向の中心となるよう位置合わせを行った。

4. 研究成果

4-1 有効磁気モーメント法の精確さ向上

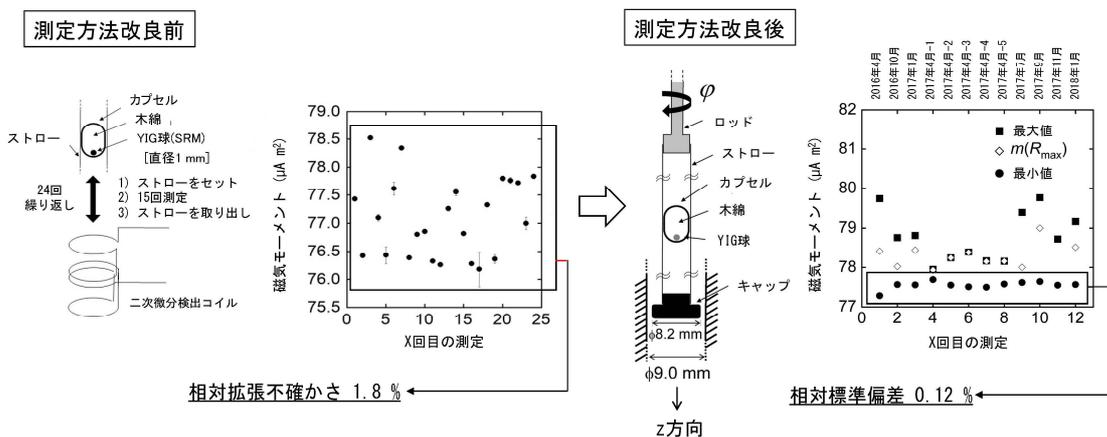


図2 SQUIDによるYIG球の磁気モーメント測定値の再現性向上

MPMSの磁気モーメント測定値の精度はメーカー仕様では $\pm 1\%$ である。図2の左側は過去の研究結果であり[文献4]、上述のYIG球をセルロースカプセルに入れ、試料空間への出し入れを挟みながら298 Kで0.5 Tの磁場を印加しながら繰り返し磁気モーメントを測定すると、相対拡張不確かさ($k=2$)で1.8%ものばらつきが見られた。「horizontal rotator option」を用いて、そのカプセルを固定しているストローを方向に回すと、「正弦波」に似た磁気モーメントの角度依存性が得られた。理論的には、測定試料の中心と二次微分検出コイルの中心間のr方向の距離がゼ

口るとき、観測される磁気モーメント値は最小となり、 r 方向の距離が増加するに従って、見かけの磁気モーメント測定値は二次関数的に増加する。そこで、この測定を試料空間への出し入れを挟みながら 21 ヶ月間にわたって 12 回繰り返し、得られた“正弦波”の最小値の相対標準偏差を求めると、0.12 %であった。再現性に優れた YIG 球の磁気モーメント測定値を得る事に成功した。この測定技術を採用しながら MPMS を校正し、以下の粉末試料の測定を実施した。

4-2 有効磁気モーメント法による一次標準試料の純度分析

複数のメーカーから購入した純ラジカル試薬について、有効磁気モーメント法により純度を分析した結果を表 1 に示す。TEMPOL と DPPH と比較して 4HTB は比較的広い温度範囲でキュリー・ワイス則に従う。この事によって、4HTB-A, 4HTB-B の純度 x_{anal} は相対拡張不確かさ 0.3% で、他の試薬よりも小さな不確かさが得られている。4HTB-A および 4HTB-B の純度は不確かさの範囲を超えて異なる値が得られており、試薬メーカーによるガスクロマトグラフ (GC) 法等に基づく純度とは関連性がない。相対拡張不確かさ 1.0% の TEMPOL-A および TEMPOL-B も同様である。高周波電子スピン共鳴測定より、TEMPOL-A にはラジカルをもつ不純物が含まれていた可能性がある。DPPH-A, DPPH-B, DPPH-C 間では、最大約 16 % もの純度の差が見られた。この原因を探究すべく、元素分析計による CHN 分析、高周波電子スピン共鳴測定、フーリエ変換赤外分光測定、 ^1H -500 MHz NMR 測定を実施した。その結果、DPPH-A, および、DPPH-C には数 mol% のベンゼン分子が含まれていたことが明らかになった。SQUID による磁気モーメントの温度変化測定では、ベンゼンを含まない DPPH-B は 300 K から 50 K の範囲で磁気モーメントが温度に反比例するキュリー・ワイス則に従い、その後、フリーラジカル間の相互作用 (isolated pair model [文献 5]) により 10 K で最大値を示した後で温度と共に減少に転じる。DPPH-A, DPPH-C は 4.2 K まで磁気モーメントが温度減少とともに単調に増加する。DPPH-A, DPPH-C では、結晶構造において DPPH の分子間にベンゼンが存在していた事によって、一部の窒素ラジカル対の singlet 状態を妨げていたためと考えられる。また、ワイス温度が DPPH-B よりもかなり大きな値であるなど、キュリー・ワイス則に従う温度範囲においても、ベンゼン分子が窒素ラジカルの磁気的性質に何らかの影響を及ぼしたことにより、 x_{anal} の大きな差をもたらしたのではないかと考えられる。

表 1 有効磁気モーメント法による純ラジカル試薬のフリーラジカル純度など

試薬	キュリー・ワイス則に従う温度範囲	フリーラジカル純度, x_{anal} (kg kg ⁻¹)	ワイス温度 Θ (K)	【参考】試薬購入時の試薬メーカーによる純度
4HTB-A	14 – 300 K	0.9919 ± 0.0030	-0.65 ± 0.08	98.5 % (GC 法)
4HTB-B	14 – 300 K	0.9830 ± 0.0029	-0.66 ± 0.08	99.2 % (GC 法), 99.3 % (滴定法)
TEMPOL-A	50 – 300 K	1.0073 ± 0.0097	-6.1 ± 0.6	99.5 % (GC 法)
TEMPOL-B	50 – 300 K	0.9861 ± 0.0095	-6.1 ± 0.8	97 % (GC 法)
DPPH-A†	50 – 300 K	0.802 ± 0.028	-15 ± 2	95 %
DPPH-B	60 – 300 K	0.995 ± 0.015	-4.7 ± 0.9	97.1 % (高速液体クロマトグラフ法)
DPPH-C	50 – 300 K	0.835 ± 0.012	-19.7 ± 0.9	(情報なし)

† 4-1 の磁気モーメント測定技術の開発前に分析した結果であるため、比較的大きな不確かさの分析値となっている。

4-3 定量 EPR 法による二次標準試料の純度分析

フリーラジカル純度を明らかにした表 1 の試薬を一次標準試料として、qEPR 法により二次標準試料の純度 x_s を分析した。ここでは、qEPR 法による分析値の妥当性確認を行うために、二次標準試料も表 1 で分析済みの純度既知の試薬とした。表 2(a) の 4HTB-B の x_s の拡張不確かさ $[k=2]0.7$ % は、一次標準試料の x_{anal} の不確かさ 0.3 % の他、電子スピン共鳴装置で測定したピーク面積、および、マイクロ天秤による秤量が不確かさ要因である。表 2(a) は一次標準試料、二次標準試料の主成分が同じ化合物である場合の結果であるが、4HTB, TEMPOL の場合の二次標準試料の x_s と x_{anal} の差 D は、ほぼゼロである。DPPH の場合、 x_s と x_{anal} の差が約 2 % であるのは、前述のベンゼン分子の影響によるものであると推測される。

表 2(b) は、一次標準試料として、すべて 4HTB-A を用いて、主成分が 4HTB と異なる化合物の試薬を値付けした結果である。 x_{anal} の不確かさが最も小さい 4HTB を一次標準試料として選択した qEPR 法によって、TEMPOL および DPPH の純度を表 1 の x_{anal} の不確かさよりもより小さく

値付けすることを試みた。しかしながら，二次標準試料が TEMPOL，DPPH のいずれの場合も x_s と x_{anal} の 4～8% 程度の不一致が見られた。Yordanov [文献 3] による qEPR 法におけるスピン(ラジカル)の数を表す式の中には， g 値，および，一次微分ピークの線幅 W_{pp} ，ローレンツ型線形を表す関数が含まれている。電子スピン共鳴装置の主な測定結果である表 3 では，主成分毎に g_{eff} ， W_{pp} および W_{pp}/W_{hh} が異なっている。TEMPOL と DPPH-C の W_{pp}/W_{hh} は，ローレンツ型線形の場合の $0.577(=1/\sqrt{3})$ から外れている。これらの違いは，一次標準試料と二次標準試料の主成分が異なる場合の不正確な x_s の値の原因として考えられる。

表 2 qEPR 法による純ラジカル試薬のフリーラジカル純度など

一次標準試料	二次標準試料	qEPR 法による 二次標準試料の純度, x_s (kg kg ⁻¹)	x_s と二次標準試料の有効磁気モーメント法による純度との差, $D \equiv x_s - x_{anal}$ (kg kg ⁻¹)
(a)二次標準試料の主成分が一次標準試料と同じ場合			
4HTB-A	4HTB-B	0.979±0.007	-0.004±0.010
TEMPOL-A	TEMPOL-B	0.985±0.010	-0.001±0.014
DPPH-B	DPPH-C	0.854±0.014	0.019±0.019
(b)二次標準試料の主成分が一次標準試料と異なる場合			
4HTB-A	TEMPOL-A	1.0484±0.0046	0.041±0.011
4HTB-A	TEMPOL-B	1.0247±0.0046	0.039±0.020
4HTB-A	DPPH-B	0.9083±0.0050	-0.084±0.006
4HTB-A	DPPH-C	0.7795±0.0048	-0.056±0.013

表 3 電子スピン共鳴装置による各フリーラジカル試薬の主な測定結果

試薬	g 値, g_{eff}	一次微分ピークの線幅, W_{pp} (mT)	W_{pp} と 1 回積分ピークの線幅 W_{hh} との比, W_{pp}/W_{hh}
4HTB-A	2.0082±0.0008	1.7	0.50
4HTB-B	2.0076±0.0008	1.8	0.52
TEMPOL-A	2.0069±0.0008	1.1	0.79
TEMPOL-B	2.0076±0.0008	0.95	0.73
DPPH-B	2.0036±0.0001	0.14	0.54
DPPH-C	2.0036±0.0003	0.16	0.67

4-4 総括

本研究課題申請時は，qEPR 法において，一種類の一次標準試料で多種類のラジカル試薬の値付けを簡便に，かつ，精確に分析可能にすることを目標としていた。本研究の結果，一次標準試料・二次標準試料の主成分が異なる場合はこの目標を達成できなかった。しかしながら，一次標準試料・二次標準試料の主成分が同じであれば，qEPR 法によってフリーラジカル純度を実用的な精確さで，かつ，簡便に分析可能である事が実証された。また，有効磁気モーメント法によるフリーラジカル純度は，従来の分離分析法の実験結果より差数法または面積百分率法に基づいて算出する純度とは異なるものであり，フリーラジカルの相対的定量分析を実施している分析者にとって有益な情報と成り得る。なお，SQUID による磁気モーメント測定値の再現性向上の成果は，有効磁気モーメント法の分析精度向上のみならず，SQUID による磁気モーメント測定を実施している材料・エレクトロニクス研究などへの波及効果も期待できる。

<文献>

- 1) 河野雅弘，他，生命科学者のための電子スピン共鳴入門，講談社 (2011)。
- 2) N. Matsumoto, K. Kato, Metrologia, **49**, pp.530-537 (2012)。
- 3) N.D. Yordanov, Applied Magnetic Resonance, **6**, pp.241-257 (1993)。
- 4) N. Matsumoto, T. Shimosaka, Accred. Qual. Assur., **20**, pp.115-124 (2015)。
- 5) T. Fujito, Bull. Chem. Soc. Jpn. **54**, pp.3110-3116 (1981)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nobuhiro Matsumoto, Cindi L. Dennis, Robert D. Shull	4. 巻 57
2. 論文標題 Sample Length Dependence of Magnetic Moment Detected By a SQUID Magnetometer Using Nickel Cylinders	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS	6. 最初と最後の頁 6000105-1~5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2020.3006209	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 Nobuhiro Matsumoto, Cindi L. Dennis, Robert D. Shull	4. 巻 55
2. 論文標題 Improvement of Reproducibility of Magnetic Moment Detected by a SQUID Magnetometer Through Radial Offset Measurement on a YIG Sphere	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 9400305-1~5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2018.2867477	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 Nobuhiro Matsumoto, Nobuyasu Itoh	4. 巻 34
2. 論文標題 Measuring Number of Free Radicals and Evaluating the Purity of Di(phenyl)-(2,4,6-trinitrophenyl)iminoazanium [DPPH] Reagents by Effective Magnetic Moment Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ANALYTICAL SCIENCES	6. 最初と最後の頁 965-971
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2116/analsci.18P120	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 Nobuhiro Matsumoto, Takuya Shimosaka	4. 巻 33
2. 論文標題 Low-temperature Electronic Paramagnetic Resonance Measurements of TEMPO and 4-Hydroxy-TEMPO Benzoate for Purity Analyses by the Effective Magnetic-moment Method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ANALYTICAL SCIENCES	6. 最初と最後の頁 1059-1065
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2116/analsci.33.1059.	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 松本信洋、伊藤信靖
2. 発表標題 有効磁気モーメント法と定量EPR法の組み合わせによるフリーラジカル試薬の純度分析
3. 学会等名 日本分析化学会第71年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nobuhiro Matsumoto
2. 発表標題 Purity analysis of 4HTB, TEMPOL and DPPH by "effective magnetic moment method" based on Curie-Weiss law and EPR fundamental equation
3. 学会等名 22nd International Society of Magnetic Resonance(ISMAR) Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本 信洋、Cindi L. Dennis、Robert D. Shull
2. 発表標題 SQUIDによる磁気モーメント測定値の試料長さ依存性
3. 学会等名 第80回分析化学討論会(現地開催中止、要旨集の発行をもって発表成立)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本 信洋、Cindi L. Dennis、Robert D. Shull
2. 発表標題 SQUIDによる磁気モーメント測定値のradial offset依存性測定と再現性向上
3. 学会等名 電子スピンスイェンス学会2020 (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本 信洋, C.L. Dennis, R.D. Shull
2. 発表標題 SQUIDによる磁気モーメント測定値のradial offset依存性と再現性向上
3. 学会等名 日本分析化学会第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本 信洋、伊藤 信靖
2. 発表標題 有効磁気モーメント法によるDPPHのフリーラジカル純度分析II
3. 学会等名 第23回ESRフォーラム研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本 信洋
2. 発表標題 有効磁気モーメント法」によるガドリニウムイオン・フリーラジカルの絶対定量
3. 学会等名 第16回茨城地区分析技術交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本 信洋、伊藤 信靖
2. 発表標題 有効磁気モーメント法による窒素ラジカルDPPH粉末のフリーラジカル純度分析
3. 学会等名 日本分析化学会第78回分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuhiro Matsumoto, Cindi Dennis, Robert Shull
2. 発表標題 Improvement of reproducibility of magnetic moment detected by a SQUID magnetometer and radial offset measurement using a YIG sphere
3. 学会等名 ICM2018(21st International Conference on Magnetism) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuhiro Matsumoto, Nobuyasu Itoh
2. 発表標題 Different magnetic behaviors and free radical contents of DPPH reagents
3. 学会等名 ICM2018 (21st International Conference on Magnetism) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本信洋、伊藤信靖
2. 発表標題 有効磁気モーメント法によるDPPH粉末のフリーラジカル純度分析
3. 学会等名 電子スピンスイェンス学会第56回年会 (SEST2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本信洋
2. 発表標題 有効磁気モーメント法によるDPPHのフリーラジカル純度分析
3. 学会等名 第21回ESRフォーラム研究会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nobuhiro Matsumoto, Takuya Shimosaka
2. 発表標題 Low temperature electron paramagnetic resonance of TEMPO and 4-hydroxy-TEMPO Benzoate for purity analysis by effective magnetic moment method
3. 学会等名 Asia/ CJK symposium on analytical science 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>松本信洋 (産総研個人用公式Web) https://staff.aist.go.jp/nobu-matsumoto/</p>
--

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
研究分担者	伊藤 信靖 (Itoh Nobuyasu) (70415644)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・研究グループ長 (82626)	

	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
研究協力者	シンディ デニス (Cindi Dennis)		
研究協力者	ロバート シャル (Robert Shull)		

6. 研究組織（つづき）

	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
連携研究者	水垣 桂子 (Mizugaki Keiko) (10358088)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・元主任研究員 (82626)	

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		
米国	米国標準技術研究所(NIST)		