

IMR International Workshop: 1st International Conference on Molecular Spin

Qubits toward Quantum Computer and Sensors (ICMSQ2025)

実行委員長：宮坂 等、名誉実行委員長：山下 正廣

学会事務局：高坂 亘、芳野 遼、西山 智貴

IMR International Workshop: 1st International Conference on Molecular Spin Qubits toward Quantum Computer and Sensors
(ICMSQ2025)

Hitoshi Miyasaka, Masahiro Yamashita, Wataru Kosaka, Toru Yoshino, Tomoki Nishiyama

Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan

Keywords: Molecular Spin Qubits, Quantum Computer, Quantum Sensors, Single-Molecule Magnets

Classical bits consist of 0 and 1, whereas quantum bits (qubits) are formed by the superposition of 0 and 1 ($\psi = a|0\rangle + b|1\rangle$). Qubits hold great promise for quantum computing and quantum sensors. To date, several types of qubits have been realized using superconducting loops, photons, quantum dots, trapped atoms, and nitrogen vacancies in diamond, among others. Each of these has its own advantages and disadvantages for practical applications. Recently, molecular spin qubits have emerged as a potential next-generation candidate due to (1) spin phase control via pulse ESR, (2) high spin-polarization of electron spin, and (3) high molecular designability. To make molecular spin qubits viable for real-world applications, we must extend the T1 and T2 times and achieve room temperature performance with long coherence by employing molecular designs, crystal lattice designs, and other strategies.

1. 緒言

古典的なビットは、0 と 1 の組み合わせから成っている。一方、量子ビットは 0 と 1 の重ね合わせから成っている ($\psi = a|0\rangle + b|1\rangle$)。量子ビットは、量子コンピューターや量子センサーなどへの展開が大いに期待されている。これまでに、超伝導ループ、光子 (photon)、量子ドット、ダイヤモンド欠陥などが量子ビットの候補として研究されてきたが、いずれも一長一短がある。これに対して、ごく最近、分子スピンキュービットが注目を集めている。その特徴は、(1) パルス ESR によるスピン位相の制御、(2) 電子スピンの高いスピン偏極、(3) 分子設計の容易さ、などである。本国際会議では、分子スピンキュービット分野の世界トップの研究者 50 名を招待し、この分野の最前線の研究紹介と将来展望について議論した。

2. 会議の詳細

ICMSQ2025 は、2025 年 6 月 7 日～10 日に金研大講堂で開催された。プレナリー講演者 3 名および招待講演者 47 名は以下のとおりである。参加者総数は 15 ヶ国から 113 名であった。

(1) Masahiro Yamashita, Tohoku University, Japan, (2) Tadahiro Komeda, Tohoku University, Japan, (3) Stephen Hill, Florida State University, USA, (4) Toyo Kazu Yamada, Chiba University, Japan, (5) Nicolas Lorente, Donostia International Physics Center, Spain, (6) Christoph Wolf, Center for Quantum Nanoscience, South Korea, (7) Stefan Minasian, LBNL, USA, (8) Fernando Luis, University of Zaragoza, Spain, (9) Joe Zadrozny, Ohio State University, USA, (10) Alexey A. Popov, Germany, University of Dresden, Germany, (11) Shinya Hayami, Kumamoto University, Japan, (12) Talal Mallah, Universite Paris Saclay, France, (13) Bin Hu, University of Tennessee, USA, (14) Joris van Slageren, University of Stuttgart, Germany, (15) Deung-Jang Choi, Centro de Física de Materiales, Spain, (16) Marco Affronte, Università di Modena, Italy, (17) Shang Da Jiang, South China University of Technology, China, (18) Lorenzo Sorace, University of Firenze, Italy, (19) Mario Ruben, Karlsruhe Institute of Technology, Germany, (20) Eugenio Coronado, University of Valencia, Spain, (21) Masanori Wakizaka, Chitose Institute of Science and Technology, Japan, (22) Kazunobu Sato, Osaka Metropolitan University, Japan, (23) Yoji Horii, Nara Women's University, Japan, (24) Nobuhiro

Yanai, Kyushu University, Japan, (25) Tetsuro Kusamoto, Osaka University, Japan, (26) Michael Wasielewski, Northwestern University, USA, (27) Michael Shatruk, Florida State University, USA, (28) Stefano Carretta, University of Parma, Italy, (29) Junjie Liu, University of Oxford, UK, (30) Susumu Takahashi, University of Southern California, USA, (31) Sandrine E M Heutz, Imperial College, UK, (32) Eufemio Moreno Pineda, Karlsruhe Institute of Technology, Germany, (33) Kasper S. Pedersen, Technical University of Denmark, Denmark, (34) Akimitsu Narita, OIST, Japan, (35) Selvan Demir, Michigan State University, USA, (36) Johannes Majer, University of Science and Technology of China, China, (37) Guillem Aromi, University of Barcelona, Spain, (38) Sabine Richert, University of Freiburg, Germany, (39) Dawid Pinkowicz, Jagiellonian University, Poland, (40) Ezekiel Johnston-Halperin, Ohio State University, USA, (41) Ramaswamy Murugavel, IIT-Bombay, India, (42) Sanjit Konar, IISER Bhopal, India, (43) Eva Rentschler, University of Mainz, Germany, (44) Annie Powell, Karlsruhe Institute of Technology, Germany, (45) Matthew Cliffe, University of Nottingham, UK, (46) George Christou, University of Florida, USA, (47) Valentin Dediu, CNR-ISMN, Italy, (48) Vignesh Kuduva R, IISER Mohali, India, (49) Danna Freedman, MIT, USA, (50) Andreas Heinrich, Ewha Woman's University, South Korea

初日の宮坂等教授による開会あいさつに続き、シカゴ大学の Professor David D. Awschalom により、“Creating and Controlling Spin Qubits Through Molecular Engineering”と題したプレナリー講演が行われた。金属錯体や無機物を用いた量子ビットについて、基礎から応用まで多くの実験データに基づいた最先端の講演がなされ、本講演により世界における分子スピנקュービット研究の最前線の状況を把握することができた。続いて、3名の招待講演者から、走査型トンネル顕微鏡 (STM) および走査型トンネルスペクトロスコープ (STS) を用いた単分子磁石や分子磁石に関する ESR-STM の報告が行われた。低温における実験成功が報告され、実用化への道筋が示されるとともに、多様な観点から活発な議論が行われた。コーヒーブレイク後には、3名の講演者からパルス ESR を用いた分子スピנקュービットの観測に関する報告があり、どのような化合物が量子ビットに適しているかについて、化学的観点から議論が行われた。ランチ後の午後には、単分子量子磁石に関する講演が行われ、磁気ヒステリシス温度の向上に関する研究が紹介された。有機ラジカルを配位子や架橋基に用いた試みが発表され、それを受けて理論的解析に関する報告も行われ、実験研究者と理論研究者の間で活発な議論が交わされた。コーヒーブレイク後には、有機ラジカルを用いた 2 次元および 3 次元の MOF・COF におけるスピנקュービットに関する報告があり、量子コンピューターや量子センサーへの応用可能性について議論が行われた。

2 日目には、MIT の Professor Danna Freedman によるプレナリー講演“Molecular Color Centers”が行われた。金属錯体の光励起を利用した量子センサーに関する報告であり、化合物の種類や測定手法について多くの質問が寄せられた。同氏の優れた講演に対し、日本化学会 BCSJ Lectureship Award が授与された。コーヒーブレイク後には、量子ビット候補として、高スピン型 Ni(II)錯体、 $S=1/2$ を有する第一遷移金属錯体、有機金属錯体、金属内包フラーレンなど、多様な化合物が紹介され、それぞれのスピנקュービット特性について報告がなされた。これに対し、化合物の安定性や取り扱いの容易さなどに関する質疑が行われた。ランチ後には、単分子量子磁石を超伝導基板上に蒸着させた量子センサー応用に関する報告があり、議論では動作温度の課題が指摘された。コーヒーブレイク後には、励起スピンの緩和過程に関する報告が行われ、その将来展望について議論がなされた。その後、3 次元 MOF へのスピンドーピングによる量子ビット生成や、金属錯体を用いた量子ビットの構築と性能評価に関する報告が行われ、分子設計に関する議論が活発に行われた。

3 日目には、基板上に蒸着された量子ビットの挙動、有機ラジカルを用いた量子ビット挙動、ナノリボンやナノグラフェンを用いた量子ビット実現の可能性に関する講演が続いた。分子量子ビットの特徴である高い設計自由度に関する報告に対し、より優れた分子設計の指針について議論が行われた。コーヒーブレイク後には、希土類金属錯体を用いた量子ビットに関する合成、基板上での ESR-STM 測定、理論計算に関する報告が行われ、それぞれの立場から最適な化合物設計について議論が行われた。最後に、熊本大学の速水真也教授により、

“Molecular Spin Qubit Behavior in Spin Crossover Systems”と題した講演が行われ、その優れた内容に対して「リガク国際賞」が授与され、授賞式が執り行われた。

最終日には、単分子量子磁石を用いた量子スピンの合成および測定に関する報告が行われ、活発な議論がなされた。最後に、ドイツ・カールスルーエ工科大学の Professor Mario Ruben によるプレナリー講演“Nuclear Spin Qubits for Implementing Quantum Gates and Algorithms”が行われ、単分子量子磁石の核スピンを用いた量子スピンキュービットに関する基礎から応用まで幅広い講演に、参加者から感嘆の声が上がった。

3. 今後の展望

以上のように、第1回 ICMSQ2025 は東北大学金属材料研究所において成功裏に終了した。これを受け、2年後の ICMSQ2027 を、2027年11月30日から12月2日に仙台国際センターで開催することが決定した。さらに、関連分野である第1回先端単分子量子磁石国際会議 (ICSMM2027) も、ICMSQ2027 に連続して12月3日から12月5日まで同会場にて開催される予定である。

両分野ともに、今後も日本の研究が世界をリードしていくことが大いに期待される。

4. 終わりに

金研からのご支援により、ICMSQ2025 は大成功に終わることができた。多くの参加者から第2回目の2027年開催予定の ICMSQ2027 に参加したいとのメールをいただいた。

