

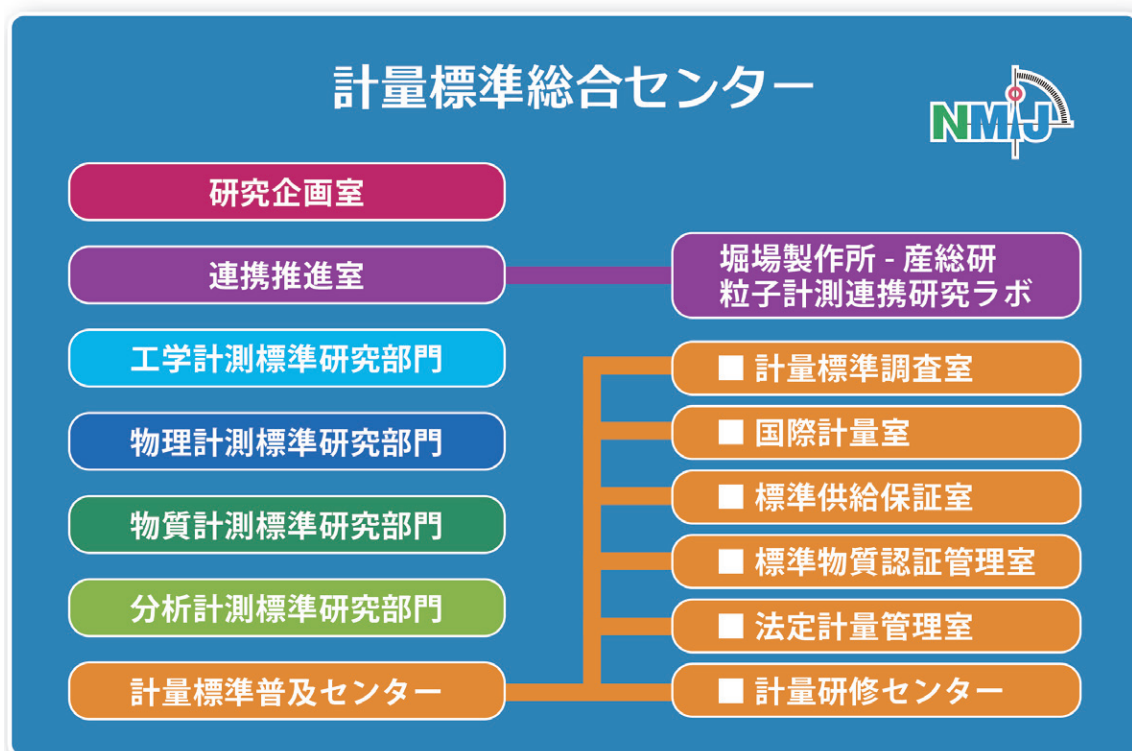
物理計測標準研究部門長挨拶

物理計測標準研究部門は、計量標準総合センター(NMIJ)の一つの部門として2015年に設立されました。私たちは、電磁気、光放射、温度、時間周波数などの物理量やそれに関係する量の先端計測技術を開発してきました。また、これらの量目の国家標準を開発し維持するとともに、校正サービスなどを通じて日本の産業界などへ標準を供給することも重要な任務の一つです。新しい産業を創出すると期待される最先端技術の研究開発にも重点的に取り組んでいます。例えば、量子力学に基づく新しい技術は近年産業界からも多くの注目を集めており、技術革新の期待が膨らんでいます。さらに、5Gや6Gと呼ばれる次世代移動通信システムに関する市場は急激に拡大すると予想されています。度量衡の視点に立てば、秒の定義の改定が大きな挑戦となるでしょう。光周波数標準に基づく新しい秒の定義に向けて、私たちは光格子時計を用いた光時系の構築を進めています。このような最先端技術の開発は、将来の産業や社会を支える基盤として新しい価値を創造すると期待されています。私たちは、これらの研究領域において力強く前進し、産業界の競争力向上に貢献します。



物理計測標準研究部門長
保坂 一元

組織図



詳細：<https://unit.aist.go.jp/nmij/info/>

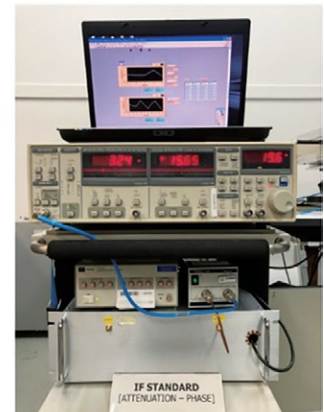
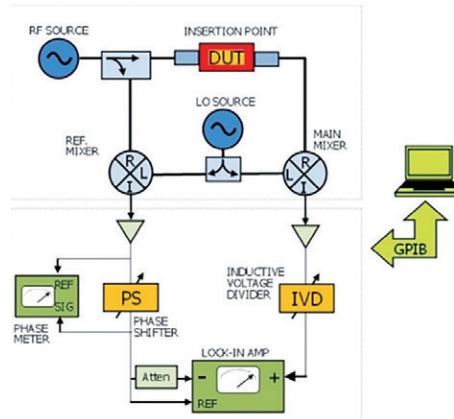
研究トピックス

高周波・マイクロ波減衰量・移相量標準

ウィダルタ アントン

これまでの高周波 (RF) 及びマイクロ波 (MW) の S パラメータ (透過係数・反射係数) 測定では、位相情報は測定仕様への影響が小さいためしばしば無視される場合があります。しかし、5G/6G 無線技術で使用する各種スマートアンテナや、高度な緊急ブレーキシステムで使用する最新のレーダなどのデバイスは、複雑化により、それらの評価において位相情報を無視することはできなくなりました。したがって、精密な移相量測定は、振幅すなわち減衰量測定と同様に重要になってきました。

近年、NMIJ では一次標準を確立するため周波数範囲 10 MHz から 18 GHz の精密減衰量及び移相量測定システムを開発してきました。本測定システムは、ゼロ検出デュアル・チャンネル中間周波 (IF=1 kHz) 置換法に基づいて動作します。システム内の信号は常に平衡状態に保たれ、振幅は誘導分圧器、位相は独自の IF 移相器によって調整されます。それぞれの調整量は被校正器物の高周波減衰量と移相量を表します。ゼロ検出デュアル・チャンネル構造は高周波信号源の安定性、検波ゲインの安定性や最大感度などの特長をもたらすため、本測定システムに採用されています。本システムの校正能力としては、被測定器物の公称減衰量は最大 60 dB、減衰量及び移相量の拡張不確かさの最小値はそれぞれ 0.002 dB 及び 0.029° となります。本システムによる周波数範囲 10 MHz から 1 GHz までの標準は JCSS 制度により標準供給されています。日常の校正業務に備えて、上記一次標準にトレーサブルで操作・保守が容易なワーキング・スタンダードシステムも構築し、運用しています。



高周波減衰量と移相量一次標準システムのブロック図 (左) とそのワーキング・スタンダードシステムの写真 (右)

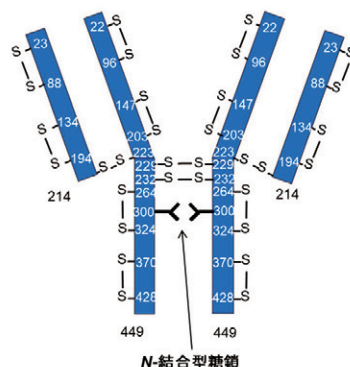
参考文献：1. A. Widarta, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 68, 6, 1840–1843, 2019, DOI: 10.1109/TIM.2018.2888920
2. A. Widarta, *Proc. CPEM Dig.*, Wellington, New Zealand, 2022

抗体医薬品の開発と品質管理を支援するモノクローナル抗体標準物質の開発

絹見 朋也

バイオ医薬品とりわけ抗体医薬品は分子量が数万を超え、生物プロセスを用いて生産されるため、翻訳後修飾や凝集体の生成など不均一な構造となることが避けられません。このため、医薬品規制調和国際会議 (ICH, International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use) はガイドラインを作成し、抗体医薬品の開発や品質管理のために、抗体濃度をはじめ詳細な構造解析や凝集体の評価を求めています。こうした状況に対応するため、我々はモノクローナル抗体標準物質 (NMIJ RM 6208-a) を開発しました。この標準物質について、ICH ガイドラインで要求されている物理的・化学的性質のほとんどを網羅する 22 の分析結果とその測定条件を測定事例として公開しており、標準物質と

その測定事例をセットとして利用することが可能となっています。これによって抗体医薬品の主要な品質特性について、各種分析法や測定装置の妥当性を検証することができます。今後、糖鎖修飾など測定結果が測定法によって変わりうる測定項目について、外部機関との共同測定を行い、測定事例を蓄積し、広範な抗体分析のニーズに応えることを目指しています。



モノクローナル抗体標準物質、AIST-MAB(NMIJ RM 6208-a) とその構造

参考文献：T. Kinumi et al., *Front. Mol. Biosci.*, 9, 842041, 2022, DOI: 10.3389/fmolb.2022.842041

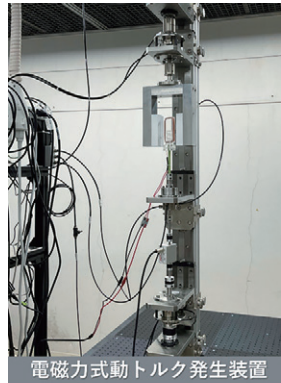
動的トルク校正技術の確立に向けた電磁力式 動的トルク発生装置の開発

濱地 望早来

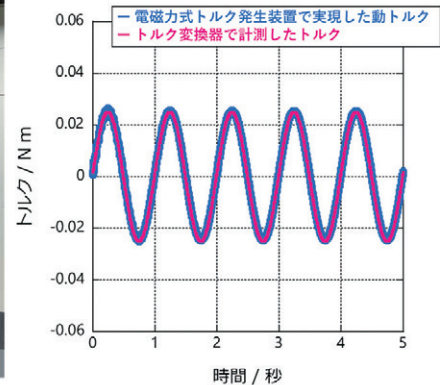
近年、エンジンやモータの性能評価等において、時間変化を伴うトルク（動的トルク）に関する精密測定の需要が高まっています。しかし、国家標準器としてトルク標準の供給を行っている実荷重式トルク標準機は、アームの先端に重力を負荷することによるトルクの発生原理に基づいているため、動的トルクの精密測定に適していません。そこで本研究では、電磁力によるトルクの発生原理を用いることで、国際単位系 (SI) にトレーサブルな動的トルクを発生することが可能である新たな装置を開発しました（左図）。

本装置では、一様な磁場中に設置されたコイルに電流を流すことにより、トルクを発生させます。印加電流を動的に変化させることで、発生するトルクを動的に変化させることができます。そして、コイルにトルク変換器を接続し、印加電流とトルク変換器の出力を同期計測することで、トルク変換器の動特性評価が可能です。

本研究では、世界で初めて、電磁力による方法により SI にトレーサブルな 1 Hz の正弦波動的トルクの発生に成功しました（右図）。また、本装置によって発生したトルクの相対拡張不確かさは、0.29 %（信頼の水準約 95 %）と評価しました。今後、トルク範囲及び周波数範囲の拡大と装置の高度化を進め、動的トルク校正技術の確立を目指します。



電磁力式動的トルク発生装置



電磁力式動的トルク発生装置を用いた動的トルク計測

参考文献: Hamaji et. al., Meas. Sci. Technol., 33, 115901, 2022
DOI: 10.1088/1361-6501/ac8441

核医学のための放射能標準

佐藤 泰

近年、核医学検査及び治療のための新しい放射性薬剤の開発が活発に行われています。腫瘍に特異的に集積する放射性薬剤を患者に投与することで、より鮮明な患部の像が得られ、また、より高い治療効果が得られています。放射性薬剤を安全かつ効果的に用いるためには、患者に投与する放射能を正確に測定する必要があります。新しい放射性薬剤には、今まで用いられたことのない放射性核種が使用されています。これらの放射性核種は、ベータ線を放出したり、アルファ線を放出したり、消滅放射線を放出したり、多くの



放射能絶対測定装置

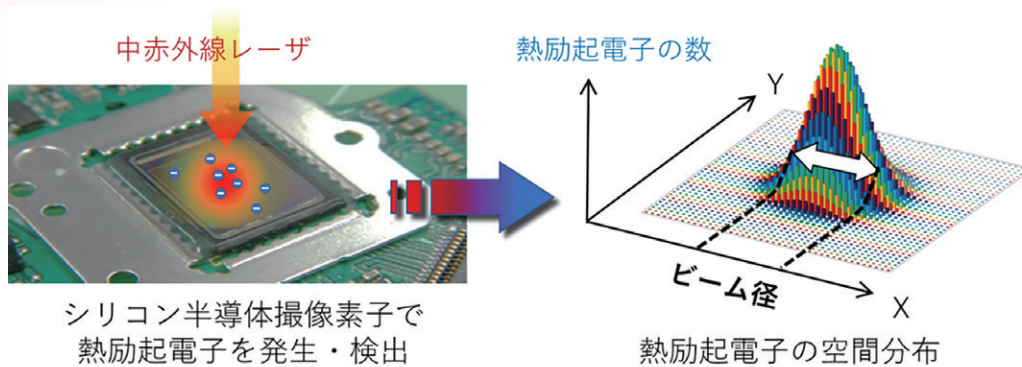
放射性の子孫核種と共存したりするなど様々な放射性壊変をするので、放射性核種ごとに放射能測定法を研究開発する必要があります。このため、我々は、新たな放射性核種が放射性薬剤として使用される度に、これに対応して、放射能を測定し算出する方法を研究開発しています。また、放射能測定の同等性を保つため、国際比較が行われています。半減期の短い放射性薬剤を対象にした国際比較では、仲介器が用いられています。国際度量衡局が管理している仲介器は、世界に一つしかないもので、いくつかの国の研究機関が、国際比較をより頻繁により正確に行えるように、新たな仲介器の研究開発に取り組んでいます。我々も、この仲介標準器の研究開発を開始しました。このようにして、産総研は、安心して核医学検査や治療が受けられるように、核医学に関する研究開発を進めています。

半導体撮像素子を用いた中赤外線レーザーの ビーム径計測

沼田 孝之

材料加工や先端医療の分野で、波長数 μm から数十 μm の中赤外線レーザーの利用が進んでいます。これらの分野では対象物に照射するレーザーのパワー密度（単位面積あたりのレーザーパワー）が加工の品質や医療の安全を左右するため、レーザービーム径の計測と管理が不可欠です。従来、中赤外線レーザーのビーム径の計測には感熱センサアレイや空間フィルタを走査する方法、アクリルブロックへのレーザー照射痕を観察する方法などが用いられてきました。しかし、これらは高い装置コストや実時間計測が難しい、測定中に有毒ガスが発生するなどの課題がありました。そこで NMIJ では、これらの課題に対処するため、新しい原理に基づく中赤外線レーザーのビーム径の計測技術を開発しました。この方法では、シリコン半導体撮像素子の受光面を測定対象の中赤外線レーザーでスポット加熱し、熱によって励起される電子の分布を画像として取得します。入射したレーザービーム径に対する熱励起電子の分布の径の比は、レーザービーム径に依らず一定となるため、この比を予め把握しておくことで、熱励起電子の分布を元に中赤外線レーザーのビーム径を推定することが出来ます。この原理に基づき、従来法の課題を解決可能な新しい中赤外線レーザーのビーム径計測技術を実現しました。

参考文献：T. Numata, *Appl. Phys. Express*, 15, 096502 (2022), DOI: 10.35848/1882-0786/ac8145

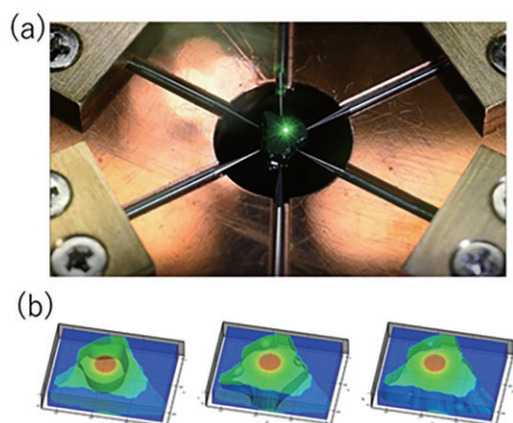


NMIJ で開発した測定方法の原理図

独自の非接触計測技術で小惑星リュウグウの 試料の熱物性を分析

八木 貴志、山下 雄一郎

探査機はやぶさ 2 は、小惑星リュウグウから総量約 5.4 g の粒子状サンプルを回収しました。小惑星の熱物性は、小惑星の初期形成過程で起きうる化学反応や物質形成の解明に繋がる貴重な情報であり、NMIJ は回収粒子の熱物性の計測に取り組みました。提供された粒子は、わずか数 mm 角の小塊であり、人為的な汚染を避けるため、追加工やセンサー類の設置は許可されません。そこで、スポット周期加熱放射测温法と呼ばれる非接触の熱拡散率計測手法を採用しました。



試料は、高真空チャンバー内の 6 本のニードルで固定され、表面をレーザースポットで周期的に加熱します。背面に到達した熱による温度変化を高空間分解能の Ge レンズと液体窒素冷却のアンチモン化インジウム素子を用いた赤外センサーによる赤外放射測定で計測しました。さらに、クラスタ計算機で背面の温度変化のシミュレーションを実施し、実験を再現する熱拡散率を決定しました。得られた熱拡散率値は $(3.2 \pm 0.3) \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ であり、樹脂に類似の熱物性であることがわかりました。

得られた熱物性データは、リュウグウの初期形成や熱進化の過程を探るためのシミュレーションに用いられ、太陽系の成り立ちに迫る研究に貢献するものです。

注目のトピックス

第 27 回国際度量衡総会 (CGPM) の開催と臼田計量標準総合センター長の国際度量衡委員会 (CIPM) 幹事の再選

2022 年 11 月 15 日から 18 日の 4 日間の日程で、第 27 回 国際度量衡総会 (CGPM) がフランスのベルサイユ国際会議場にて開催されました。総会は、現地参加に加えオンライン参加を可能としたハイブリッド形式で運営され、「SI 接頭語の範囲拡大」や「今後の秒の再定義」などを含む 7 つの決議案が承認されました。

決議により追加された SI 接頭語は、10 の 27 乗「ロナ (R)」、10 の 30 乗「クエタ (Q)」、10 のマイナス 27 乗「ロント (r)」、10 のマイナス 30 乗「クエクト (q)」の 4 つです。今回の範囲拡大は 1991 年以来 31 年ぶりとなり、急速なデジタル化にともなうデータ量増大への対応など、世界規模で進む科学技術の高度化が背景となっています。また、情報通信分野等に大きな影響を及ぼす事項として、うるう秒の実質廃止についても決議されました。

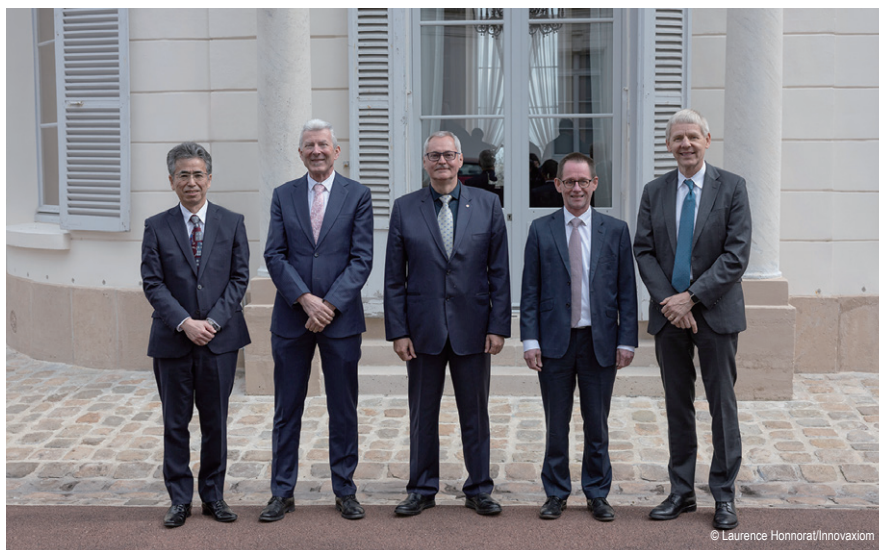
会期中には、国際連合工業開発機関 (UNIDO) の事務次長を務める安永裕幸氏による講演があり、国連が目指す SDG s と標準化の関係について世界各国の計量業務関係者に向け、有益なメッセージが届けられました。

最終日には、国際度量衡委員会 (CIPM) の委員選挙及び CIPM の選挙委員会 (CEC) のメンバー選挙の結果が報告され、臼田 孝計量標準総合センター長が CIPM 委員に再選されるとともに、小島時彦副総合センター長が CEC メンバーに選出されました。いずれも得票数 1 位であり、世界における NMIJ の存在感を示す結果となりました。その後、2023 年 3 月 21 日～23 日に開催された第 112 回 CIPM では、臼田計量標準総合センター長が幹事に再選され、2023 年 3 月 21 日からの 4 年間、引き続き BIPM の監督及び CIPM の運営の任にあたることになりました。また、次回の CGPM では、議長を補佐し総会議事進行役を務める予定となっています。



第 27 回 国際度量衡総会の様子

<https://www.bipm.org/en/-/2023-03-21-cipm-louw-usuda>



写真左から、Dr. Usuda (幹事)、Dr. Richard (副委員長)、Dr. Louw (委員長)、Dr. Milton (国際度量衡局長・CIPM 委員)、Dr. Olthoff (副委員長)

第 38 回アジア太平洋計量計画総会の開催

2022 年 11 月 28 日から 12 月 2 日の 5 日間、産総研臨海副都心センターにおいて、第 38 回アジア太平洋計量計画 (APMP) 総会及び関連会議が開催され、NMIJ はホストとして総会の運営に協力しました。

APMP 総会は、アジア太平洋地域を中心とする加盟国及び経済圏が毎年交代でホストを務めており、現地参加を原則としていましたが、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) によるパンデミックが影響し、3 年ぶりの対面開催となりました。

徹底した感染対策のもと、現地参加者を主要メンバーに限定する一方で、シンポジウムは日英同時通訳に対応したオンライン配信とし、専門や国籍に関係なく幅広い参加者に向けて情報を発信するなど、数々の新しいスタイルを取り入れました。

会期中は、執行委員 (EC) や各技術委員会議長による活動報告などを目的とした定例の会議に加え、昨今、世界中で話題を集めている DX (デジタルトランスフォーメーション) に関するワークショップが開かれました。また、11 月 30 日に行われたシンポジウムでは、“サステナブル社会を支える計量標準”と題し、NMIJ から 3 件、フォーカスグループから 3 件の報告がありました。海外や遠方の地域の方々に配慮し、オンラインでの参加を可能としたことから、現地参加 59 名を含む合計 216 名を迎えた大規模な開催となりました。

今回の総会では、3 年間議長国を務めた中国の NMI (国家計量標準機関) である中国計量科学研究院 (NIM) から、韓国の NMI である韓国標準科学研究院 (KRISS) へと運営の引継ぎが行われました。NMIJ は、これまでに 2 回議長国を担当し、現在は、電磁界標準研究グループ森岡健浩グループ長が執行委員を、阿部恒上級主任研究員が測温技術委員会において議長 (TCT chair) を務めています。今回新たに、物理計測標準研究部門の保坂一元研究部門長が時間・周波数技術委員会 (TCTF) の議長に選出・承認されました。NMIJ は、今後も引き続き APMP の活動に幅広く貢献していきます。



第 38 回 APMP 総会まで APMP 議長を務めた NIM の FANG Xiang 院長と臼田孝総合センター長



第 38 回 APMP 総会及び関連会議の様子

サステナブルインフラ研究ラボ 公開セミナーを開催しました

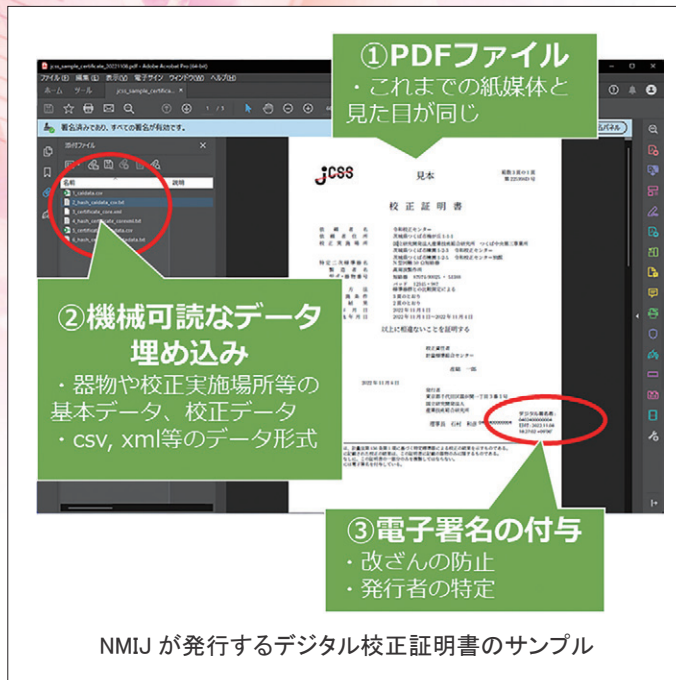
2022 年 12 月 9 日に第二回サステナブルインフラ研究ラボの公開セミナーをオンラインで開催し、約 120 名が参加しました。このセミナーでは京都大学の塩谷教授をお招きしてインフラ維持管理へデジタル技術を適用した最新の研究を紹介頂きました。また研究ラボメンバーから口頭・ポスター発表を通して、研究ラボで行っている IT を融合させたインフラ検査技術や構造物の長寿命化を実現する材料開発に関する研究を紹介しました。



NMIJ/AIST がデジタル校正証明書の発行サービスを 2022 年 11 月 1 日より正式に開始

山澤 一彰、竹歳 尚之

NMIJ は、2022 年 11 月 1 日からデジタル校正証明書 (DCC) の発行サービスを正式に開始しました。現状では、DCC に対応可能なサービス項目は限られますが、徐々に対応項目数を増やしていく計画です。



NMIJ は、DCC の発行形式として PDF を採用しました。PDF 形式の DCC の外観は、紙で発行される従来の校正証明書と大きくは変わりませんが、ユーザーの利便性を考え、校正メタデータや CSV 形式の校正結果がファイル中に埋め込まれています。紙媒体の証明書との一貫性を保つため、PDF ファイル上に表示される校正結果が正規データ、同一の埋め込みデータは参考情報という位置づけとしています。

機械可読な参考情報の埋め込みが可能な PDF 形式の DCC は、ユーザーが大量のデータ (例えば高周波インピーダンス、アンテナ係数など) を利用することから、紙媒体の校正証明書と比べて多くの利点があります。今後、ユーザーの要望に応えられるよう、DCC の形式のさらなる改良を進めてまいります。

この内容は、2022 年 11 月 28 日に開催された APMP DXFG Webinar [1] 及び 2023 年 2 月 28 日から 3 月 2 日に開催された第 3 回 DCC 会議 (PTB 主催) [2] で紹介しました。

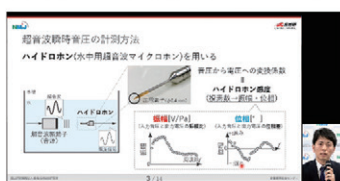
参考文献：

- [1] APMP-DXFG Webinar: 28 November 2022, <https://apmp-dxfg.org/dxfg-coy-webinar-2022.html> (accessed February 28, 2023),
[2] 3rd International Digital Calibration Certificate (DCC) Conference, <https://www.dcc-conference-2023.ptb.de/home> (accessed February 28, 2023)

2022 年度 NMIJ 成果発表会

2022 年度 NMIJ 成果発表会を、2022 年 1 月 30 日から 2 月 3 日の 1 週間、オンラインにて開催いたしました。最新の研究トピックス講演 10 件をライブ配信した他、バーチャル空間でのオンラインポスターセッションを実施し、221 件のポスター発表を行いました。また 8 件の研究室見学動画や 40 件のグループ紹介動画、上述の研究発表ポスターをオンデマンド配信しました。期間中、500 名以上の皆様に来訪いただき、対面での開催が依然として難しい状況の中、オンラインにて活発な議論を交わすことができました。

◆ 研究トピックス講演のライブ配信



◆ 研究室見学動画



成果発表会特設ページ



◆ オンラインポスターセッション



◆ 研究グループ紹介動画 ◆ ポスター



JASIS2023 への出展

2023 年 9 月 6 日から 8 日にかけて幕張メッセにて開催予定の、JASIS2023 最先端科学・分析システム&ソリューション展『測る』が支える未来の社会 に出展し、NMIJ の標準物質や計測技術に関する研究成果を発表する予定です。

<https://www.jasis.jp/>

誌上発表（抜粋）

- 1) N. Takegawa, N. Furuichi, "Traceability management system using blockchain technology and cost estimation in the metrology field," *Sensors*, **23**, 3, 1673, 2023, DOI: 10.3390/s23031673
- 2) T. Yoshida, N. Furuichi, "Development of controllable volumetric prover for evaluating responsiveness of flowmeter under controlled-transient flows," *Measurement*, **208**, 112456, 2023, DOI: 10.1016/j.measurement.2023.112456
- 3) Y. Hori, "Quantitative evaluation and removal of periodic error caused by ghost reflections in a double-path homodyne interferometer," *Measurement Science and Technology*, **34**, 025011, 2023, DOI: 10.1088/1361-6501/ac929e
- 4) Y. Tanaka, K. Hattori, Y. Harada, "A study of the high-temperature strength of titanium alloys using nanoindentation and micro-cantilever bending tests," *Metallurgical and Materials Transactions A*, **53**, 3827–3832, 2022, DOI: 10.1007/s11661-022-06813-z
- 5) K. Niwa, H. Kubota, T. Enomoto, Y. Ichino, Y. Ohmiya, "Quantitative analysis of bioluminescence optical signal," *Biosensors*, **13**, 2, 223, 2023, DOI: 10.3390/bios13020223
- 6) K. Amemiya, Y. Shimizu, H. Koshikawa, H. Shitomi, T. Yamaki, "Supreme-black levels enabled by touchproof microcavity surface texture on anti-backscatter matrix," *Science Advances*, **9**, 2, 2023, DOI: 10.1126/sciadv.ade4853
- 7) T. Kobayashi, A. Takamizawa, D. Akamatsu, A. Kawasaki, A. Nishiyama, K. Hosaka, Y. Hisai, M. Wada, H. Inaba, T. Tanabe, M. Yasuda, "Search for ultralight dark matter from long-term frequency comparisons of optical and microwave atomic clocks," *Physical Review Letters*, **129**, 241301, 2022, DOI: 10.1103/PhysRevLett.129.241301
- 8) Y. Amagai, T. Shimazaki, K. Okawa, T. Kawae, H. Fujiki, N. Kaneko, "A straightforward DC-reversal method for the Thomson coefficient measurement," *Measurement*, **205**, 112205, 2022, DOI: 10.1016/j.measurement.2022.112205
- 9) S. Takeya, H. Fujihisa, S. Alavi, R. Ohmura, "Thermally induced phase transition of cubic structure II hydrate: Crystal structures of tetrahydropyran-CO₂ binary hydrate," *Journal of Physical Chemistry Letters*, **14**, 7, 1885–1891, 2023, DOI: 10.1021/acs.jpcllett.2c03392
- 10) H. Abe, M. Amano, K. Hashiguchi, D. Lisak, S. Honda, T. Miyake, "Improvement of spectral resolution in a miniaturized trace-moisture sensor using cavity ring-down spectroscopy: Performance evaluation using a trace-moisture standard in He," *Sensors and Actuators A: Physical*, **351**, 114146, 2023, DOI: 10.1016/j.sna.2022.114146
- 11) H. Kato, A. Nakamura, "Novel colloidal dispersing concept in aqueous media for preparation by wet-jet milling dispersing method," *Nanomaterials*, **13**, 1, 80, 2023, DOI: 10.3390/nano13010080
- 12) T. Narukawa, T. Suzuki, S. Okabayashi, K. Chiba, "An online internal standard technique for high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry (HPLC-ICP-MS)," *Analytical Methods*, **15**, 240, 2023, DOI: 10.1039/D2AY01696F
- 13) D. Asakawa, "Phenyl sulfate derivatives: New thermometer ions for characterization of internal energy of negative ions produced by electrospray ionization," *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, **34**, 3, 435–440, 2023, DOI: 10.1021/jasms.2c00321
- 14) N. Sei, H. Zen, H. Ohgaki, "Deformation of an electron bunch caused by free-electron lasers," *Physica Scripta*, **98**, 025510, 2023, DOI: 10.1088/1402-4896/acb253
- 15) Y. Unno, T. Fujiwara, Y. Kishimoto, T. Sanami, "Gas gain measurement for charged particle spectroscopy using glass GEM in low-pressure P-10 gas," *Journal of Instrumentation*, **18**, P01001, 2023, DOI: 10.1088/1748-0221/18/01/P01001
- 16) H. Kimura, T. Fujiwara, M. Tanaka, T. Kato, D. Nakauchi, N. Kawaguchi, T. Yanagida, "Radiation-induced luminescence properties of Ce-doped ZnBr₂-based glasses," *Sensors and Materials*, **35**, 513–519, 2023, DOI: 10.18494/SAM4146