



令和元年度
研究評価委員会
(計量標準総合センター)
評価報告書

令和2年6月

評価報告書 目次

1. 評価委員会議事次第	1
2. 評価委員	3
3. 評価資料（委員会開催時 ¹ ）	5
4. 説明資料（委員会開催時 ¹ ）	51
5. 主な指標の情報（委員会開催時 ¹ ）	111
6. 評価委員コメント及び評点	113

¹ 令和2年2月28日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
令和元年度 研究評価委員会（計量標準総合センター）
議事次第

日時：令和2年2月28日（金） 10:00-17:00

場所：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 つくば中央第三事業所（3-9棟 第6会議室）

開会挨拶	理事・評価部長	加藤 一実	10:00-10:05
委員等紹介・資料確認	評価部研究評価室	斎藤 元治	10:05-10:10

領域による説明（質疑含む）（議事進行：宮城 善一 評価委員長）

1. 領域の概要と研究開発マネジメント （説明20分、質疑・評価記入25分）	計量標準総合センター長 研究戦略部長	臼田 孝 藤本 俊幸	10:10-10:55
---	-----------------------	---------------	-------------

2. 「橋渡し」のための研究開発 10:55-11:50
 (1) 通期の実績・成果(12件)
 (説明30分、質疑・評価記入25分)

(2) 令和元年度の実績・成果(4件) 11:50-12:35
 (説明20分、質疑・評価記入25分)

昼食・休憩(40分) 12:35-13:15

現場見学会(70分) 13:15-14:25
 ISMA 中性子施設(2-4棟)
 キログラム原器(3-1B棟)
 ドーピングラボ qNMR 装置(5-2棟)

3. 知的基盤の整備(8件) 14:25-15:15
 (説明25分、質疑・評価記入25分)

休憩(休憩場所でのポスター展示を含む)(30分) 15:15-15:45

工学計測標準研究部門 高辻 利之
 物理計測標準研究部門 藤間 一郎
 物質計測標準研究部門 高津 章子
 分析計測標準研究部門 野中 秀彦

総合討論・評価委員討議・講評（議事進行：宮城 善一 評価委員長）

総合討論 第5期に向けたマネジメント（領域等への質疑を含む）(25分)	15:45-16:10
評価委員討議（領域等役職員 退席）(20分)	16:10-16:30
評価記入（領域等役職員 退席）(20分)	16:30-16:50
・第4期中長期目標期間の実績・成果	
・令和元年度の実績・成果	
委員長講評（領域等役職員 着席）(5分)	16:50-16:55

閉会挨拶	理事・評価部長	加藤 一実	16:55-17:00
------	---------	-------	-------------

評価委員

計量標準総合センター

委員長	氏名	所属	役職名
○	宮城 善一	明治大学 理工学研究科 機械工学専攻	教授
	江藤 学	一橋大学 経営管理研究科 経営管理専攻	教授
	金澤 秀子	慶応義塾大学 薬学部 創薬物理科学講座	教授
	野田 華子	アンリツ株式会社	理事 CTO 技術本部長
	橋本 秀樹	株式会社 東レリサーチセンター	常務取締役 営業部門長
	吉田 佳一	株式会社 島津製作所	シニアアドバイザー

所属・役職名は委員会開催時

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
令和元年度 研究評価委員会（計量標準総合センター）
評価資料

1. 領域の概要と研究開発マネジメント

（1）領域全体の概要・戦略

【背景・実績・成果】

領域の活動の背景：

計量標準総合センター（National Metrology Institute of Japan; NMIJ）は、計量標準の整備と供給（産総研法に定める第3号業務）を主要課題として活動し、質・量ともに欧米諸国に比肩しうる基本的な計量標準を整備し、環境、エネルギー、医療、健康といった個別具体的な需要に対応する計量標準を立ち上げ、これら計量標準の維持・高度化を継続するとともに、法定業務である特定計量器の型式承認、基準器検査を着実に執行してきた。また、計量行政に従事する公務員や計量士、民間企業や公的機関において計量業務に携わる計量人材を育成するとともに、校正事業者などが保有する校正ラボの整備のための標準供給体制の確立、定期的実施される国家計量機関間の基幹比較を通じた各量目の国際同等性評価、さらには途上国における計量標準の整備に関して支援を行ってきた。

近年においては、基本的な計量標準の整備が進む一方、量目・範囲が多岐に渡る新たな計量標準（標準物質を含む）が求められている。また、開発した各々の計量標準・標準物質を最終のユーザに効率的に届ける、いわゆる計量トレーサビリティ体系の構築は、国際的な基準認証の同等性・整合性を保証するものであり、グローバル化した企業等が障壁のない自由な貿易を展開する際に必要不可欠となる。これと同時に、計量標準について卓越した実力を有する NMIJ に対し、計量標準の開発を通じて培った知見・計測技術を直接産業競争力に結びつける、いわゆる産業界への「橋渡し」も求められるようになった。

そこで、NMIJ は、上述した計量標準の確な整備と普及に加えて、計量標準に関連した計測技術を基に産業界への「橋渡し」研究を行った。「橋渡し」研究前期では、水素流量計測技術の開発等を実施し、公的研究資金の獲得予算を大幅に向上させた。「橋渡し」研究後期として、電磁波を利用したセンシング技術の開発等を実施し、多くの技術が民間企業との共同研究において実用性が実証され、製品化、事業化に結び付いた。また、国際単位系（SI）における基本単位の定義改定に象徴されるような国際計量標準・基礎科学への寄与、さらには、いわゆる目的基礎研究や知的基盤として将来の計量標準や先端計測に必要な技術を先導して開発することにも積極的に取り組んだ。

領域全体の戦略・マネジメント：

産総研第4期中長期目標期間（平成27年度～令和元年度）（以下、「第4期」）における領域のミッションは、次の6項目である。

（中核ミッション）

- ①：確立した計量標準の着実な維持と供給及び普及促進
- ②：ユーザニーズ調査に基づいた計量標準の開発と供給
- ③：国際的な枠組みでの計量標準確立への貢献
- ④：計量法業務の的確な遂行及び人材育成

（新たな挑戦としてのミッション）

- ⑤：標準整備により築かれた高精度計測技術及びその派生技術を生かした橋渡し機能強化

⑥：長期的な観点から、将来の科学や産業で必要とされる計量標準や知的基盤の整備に向けた目的基礎研究の推進

また、上記のミッションを効率的に遂行するため、第3期中期目標期間までは全ての計量標準の量目を担っていた計測標準研究部門を技術分野ごとに分割し、計量標準総合センターの下、以下の4研究部門、1普及センター体制とした。これにより、国家計量標準機関としての一体感を保持しつつガバナンスを強化するとともに、各研究部門の長を関連技術分野（標準・計測）の市場ニーズを把握する司令塔として明確化し、これまで以上に市場を見据え産業界との連携を緊密化した。さらに、研究部門ごとに計量標準の整備と計測技術の開発のバランスを勘案して、部門の事業効率を最適化する役割を各研究部門の長に付与した。

工学計測標準研究部門：質量、力学、長さ・幾何学、流体の各標準及び法定計量

物理計測標準研究部門：時間周波数、温度、電磁気、放射測光の各標準

物質計測標準研究部門：化学・材料系の物質量や幾何学量等に係る標準物質及び各標準

分析計測標準研究部門：音響、量子放射の各標準及び将来の計量標準を目指した先端的分析機器の開発

計量標準普及センター：計量標準の品質管理、計量法に係る計量技術に関する関係機関との調整、国内の計量技術者の計量技術レベル向上のための計量教習など

研究開発の方針とマネジメント：

ミッション達成に向けて、第4期の経営方針は下記とした。

・計量標準整備計画策定へ参画し、計画に則り計量標準を整備する [ミッション①②]

・SI 基本単位の定義改定に関連した研究開発を行う

[ミッション③]

・法令で定められた業務を確実に実施する

[ミッション④]

・イノベーションコーディネータ（IC）を中心とした取組や技術コンサルティングなどの制度を活用して民間資金獲得や知的財産実施契約に繋げる

[ミッション⑤⑥]

・人材育成や評価制度の中で研究活動をモニタリングしつつ論文発表数の増加に努める [ミッション①②③④⑤⑥]

第4期を通じて、研究開発の方針に則り、次の対応を行った。予定されている計量標準の整備に必要な研究開発を適切に行うこととして、経済産業省基準認証政策課と連携し、整備計画進捗モニタリングを行うと共に、ホームページに通年で専用ページを設けて計量標準のユーザーニーズ調査を行った。必要に応じて計量標準を整備するための資金、人員などのリソースを投入した。技術コンサルティングの件数・契約額の拡大等による更なる民間資金獲得を目標に掲げ、技術シーズ等の提供を行った。コンサルティングでの技術ニーズの把握をきっかけとした共同研究への発展や知財実施契約を目指すこととし、第4期初年度となる平成27年度から領域の月次技術マーケティング会議を設置し、連携進捗状態の確認、問題の把握、連携の大型化への取組を行った。また、計測機器業界を中心に領域長等による企業訪問を行い、経営層レベルでの連携強化を図った。

研究活動をモニタリングしつつ論文発表数の増加に努めることとし、若手研究者を対象とした萌芽研究及び在外研究の制度を設けて予算的な支援を行った。国家計量標準機関として、国内の経済・産業及び医療や食品など、あらゆる社会活動に必要な計量標準の開発・維持・供給を継続し、計量トレーサビリティ体系の持続的な発展に必要な策を検討し実施に移すため、テクニカルスタッフの最適な配置、長期的な設備計画の更新を行った。

令和元年度に実施した具体的な活動としては、第32回オリンピック競技大会（2020／東京）・東京2020パラリンピック競技大会（以下、東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会）に向けて、定量核磁気共鳴分光法(Quantitative Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy;

qNMR)/クロマトグラフィーやポストカラム反応ガスクロマトグラフィーなど、NMIJ で開発された標準物質の効率的な開発に不可欠な技術を用いて、ドーピング検査に用いられる基準物質の純度校正技術及び新たな標準物質を開発した。これにより、我が国のドーピング検査体制を強化するとともに、関係各機関と連携し SI にトレーサブルな分析基盤を構築した。また、SI 単位の定義改定に際し、計量標準に係る活動を広報する好機ととらえ、学術会議、学会、工業会、及び各種メディア（新聞、雑誌、著書、テレビ、ラジオ 等）を通じて発信した。さらに、シリコーンゴムの表面に微細構造を転写することで、柔軟性、耐久性、極めて高い光吸収率を併せ持つ黒色素材の開発に世界で初めて成功し、紫外線～可視光～赤外線のあらゆる光を 99.5 %以上も吸収する“究極の暗黒シート”を実現した。

領域全体として特筆すべき取組。特筆すべき研究開発成果：

知的基盤整備計画（平成 25 年度～令和 5 年度）に基づく着実な計量標準の整備及び法定計量業務の実施と人材の育成に取り組むとともに、計量標準に関連した計測技術の開発として、計測・分析・解析手法及び計測機器・分析装置の開発、高度化を進め、目的基礎研究、「橋渡し」研究前期、「橋渡し」研究後期の研究課題に取り組んだ。

知的基盤整備計画に基づき、物理標準及び標準物質の整備が確実に進捗した。新規に整備された校正・試験項目（範囲拡大等含む）は、平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間に於いて 80 項目であり、令和元年度は 7 項目（12 月の暫定値）であった。また、新規に整備された標準物質は、平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間に於いて 46 種であり、令和元年度は 7 種（12 月の暫定値）であった。さらに、これらの新しく整備した計量標準及び第 4 期以前に整備が完了した計量標準を適切に維持・管理し、産業界に対して標準供給を着実に実施してきた。国家計量標準の供給として、平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間の特定二次標準器の校正件数は 1,743 件、令和元年度は 386 件（12 月の暫定値）であった。依頼試験に関しては、平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間で 1,226 件、令和元年度は 168 件（12 月の暫定値）の実績となっている。標準物質の供給件数としては、平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間で 8,603 件、令和元年度は 1,617 件（12 月の暫定値）であった。

目的基礎研究では、単一光子分光イメージング技術の開発、単一電子制御技術の開発、先端材料評価のためのレーザー分光法の開発、有機質量分析の高感度・高精度化技術の開発などを実施した。NMIJ の研究者が著者となっている研究論文の被引用回数については、以下の通りである。

論文の合計被引用数

平成 27 年度：2,388 回

平成 28 年度：2,700 回

平成 29 年度：2,626 回

平成 30 年度：2,566 回

令和元年度：3,065 回（12 月の暫定値）

NMIJ の研究者が著者となっている研究論文数については、以下の通りである。

論文発表数

平成 27 年度：197 報

平成 28 年度：204 報

平成 29 年度：239 報

平成 30 年度：205 報

令和元年度：147 報（12 月の暫定値）

「橋渡し」研究前期では、国家戦略や法令・規制への対応、社会ニーズへの対応に繋がるテーマとして、水素流量計測技術の開発と国際標準化、粒子計測技術の開発等を実施した。産業・科学分野における水分計測の信頼性向上に向けた研究、柔軟性、耐久性、極めて高い光吸収率を併

せ持つ 究極の暗黒シートの開発等において顕著な成果が得られた。公的研究資金の獲得状況は以下の通りである。

公的研究資金の獲得状況

平成 27 年度：4.7 億円

平成 28 年度：6.5 億円

平成 29 年度：7.1 億円

平成 30 年度：9.1 億円

令和元年度：6.6 億円（12 月の暫定値）

また、知財の実施件数については、以下の通りである。

知的財産の実施契約等件数

平成 27 年度：83 件

平成 28 年度：81 件

平成 29 年度：97 件

平成 30 年度：100 件

令和元年度：96 件（12 月の暫定値）

「橋渡し」研究後期として、電磁波を利用したセンシング技術の開発、X 線インフラ診断のための革新的 X 線検査装置の開発、モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ分布計測などを実施することで、産業と技術革新の基盤をつくり、持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals, SDGs）に貢献した。これらの多くは民間企業との共同研究において実用性が実証され、その結果、製品化、事業化に結び付いている。幾何計測の分野において、全国 39 都道府県 45 か所の公設試験機関との相互協力体制を構築し、3D 形状計測のノウハウを地元企業に伝授する活動を実施し、地域イノベーションに貢献した。さらに、ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用、ナノ材料の適正管理実現に向けたナノ粒子計測システム開発に関する研究など精密計測技術を用いて、計測のソリューションを提供する形での民間製品の性能評価や高度化支援に貢献した。“計測”の強みを活用した技術コンサルティングは、IC を積極的に関与させ宣伝した結果、令和元年度で 2.4 億円(187 件)(12 月の暫定値)に達し、平成 30 年度の 2.4 億円(177 件)と比べ、12 月末時点でもほぼ同じ金額となり、連携の拡大強化が進んだ。技術コンサルティング及び共同研究、受託研究、技術移転収入を合わせた民間資金の獲得額は以下の通りである。

民間からの資金獲得額

平成 27 年度：4.1 億円（目標額 3.6 億円に対し達成率 113 %）

平成 28 年度：4.7 億円（目標額 4.8 億円に対し達成率 97 %）

平成 29 年度：7.2 億円（目標額 6.0 億円に対し達成率 120 %）

平成 30 年度：7.5 億円（目標額 7.2 億円に対し達成率 104 %）

令和元年度：7.1 億円（12 月の暫定値）（目標額 8.4 億円）

中堅・中小企業の研究契約件数の大企業に対する比率については、以下の通りである。

大企業と中堅・中小企業の研究契約件数の比率

平成 27 年度：43.3 %

平成 28 年度：44.4 %

平成 29 年度：38.4 %

平成 30 年度：34.0 %

令和元年度：32.9 %（12 月の暫定値）

技術コンサルティングの各年度の獲得額は以下の通り。

平成 27 年度：0.3 億円

平成 28 年度：1.4 億円
平成 29 年度：1.7 億円
平成 30 年度：2.4 億円
令和元年度：2.4 億円（12 月の暫定値）

知的基盤の整備を目的とした、計量標準の開発も積極的に展開した。キログラムの定義改定への貢献、光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発など、最も基本的な知的基盤の高度化を推進し、国際貢献、科学的プレゼンスの向上といった観点においても大きな成果を挙げた。計量標準トレーサビリティシステムの高度化や次世代計量標準においては、産業界を支える様々な電気標準などを開発した。さらに、水道法等の規制に対応した標準物質の開発、放射線利用の安心・安全のための計量標準整備など、計量法に基づく標準開発、知的基盤の整備に必要となる研究においても顕著な成果が得られた。

計量標準及び産業界でのものづくりにおける研究開発の基盤強化に資する信頼性の高いデータベース（DB）を公開している。有機化合物のスペクトルデータベース（平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間のアクセス件数：約 1 億 5,800 万件、令和元年度のアクセス件数：約 2,500 万件（12 月の暫定値））、分散型熱物性データベース（平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間のアクセス件数：約 750 万件、令和元年度のアクセス件数：約 110 万件（12 月の暫定値））及び固体 NMR スペクトルデータベース（平成 28 年度～平成 30 年度の 3 年間のアクセス件数：約 30 万件、令和元年度のアクセス件数：約 13 万件（12 月の暫定値））の更新・拡充も実施した。

民間資金獲得額の目標達成に向けて、令和元年度においても、毎月開催する技術マーケティング会議を通して、領域内の連携活動の企画、調整、情報共有を行うとともに、各ユニットに於いては、連携担当を中心に橋渡しの実践に取り組んだ。その結果、特に、当領域が強みとする技術コンサルティング、計測機器・分析機器の高度化等を目標とした装置提供型共同研究の資金獲得額が増加した。技術コンサルティングと装置提供型共同研究による資金獲得額の総額は、平成 27 年度は 0.3 億円であったのに対し、平成 30 年度はおおむね 3.4 億円と大幅に増加した。また令和元年度も目標達成に向けて上記取組を行った結果、12 月末時点で 3.8 億円であり、飛躍的に増加した。

当領域の民間資金獲得額・件数の向上は、公平性・透明性・信頼性が求められる計量標準の重要性が民間企業や産業界に浸透し、製品の品質向上や他社との差別化に有用との認識が高まったことが要因の一つと考えられる。今後も産総研計量標準のブランド構築・維持のために、計量法業務の的確な遂行、計量標準の着実な維持と供給及び普及促進が不可欠である。

若手研究者の雇用に関しては、技術研修生、リサーチアシスタント（RA）の受け入れを積極的に進めた。令和元年度においても、修士学生向けの研究室見学会、修士学生向けの 5days インターンシップ事業を実施し、リクルート活動を強化した。入所した新人の教育に関しては、各種研修のほか、領域独自の取組として、新人研究職員が実施する研究の調査研究を義務化し、調査研究の結果を論文及び口頭発表という形で発信した。また、若手研究員に対しては、萌芽研究加速費事業によって独創的な研究テーマを支援するとともに、NMIJ フェローシップ制度によって在外研究の機会を拡大した。さらに、シニア世代の能力・経験を最大限継承出来るよう、世代交代を踏まえた適切な人員配置を行った。RA 及び産総研イノベーションスクールに採用された人数は以下の通りである。令和元年度 3 月末までに、RA の 2 名増が予定されているため、今年度も引き続き目標を達成する見込みである。

平成 27 年度：9 人
平成 28 年度：10 人
平成 29 年度：15 人
平成 30 年度：19 人
令和元年度：13 人（12 月の暫定値）

第4期中長期目標期間の累計として、1,000万円以上の橋渡し研究を企業と実施した件数は平成30年度までに9件であり、令和元年度は5件である。また、これらの事業化の実績として、知的財産の譲渡契約及び実施契約は平成30年度までに0件で、令和元年度は0件、製品化は平成30年度までに2件で、令和元年度は1件である。

【成果の意義・アウトカム】

多岐に渡る物理標準・標準物質といった計量標準の整備と利活用促進は、計測の正確さと信頼性の確保が重要となる健康・医療や、安全性に関係する計測、環境計測等の分野にとって極めて重要であり、また、グローバル化された貿易においても国際通商のツールとして不可欠である。具体的には、がん治療のための放射線・放射能標準の整備、蓄電デバイスの安全性評価基準の確立に向けた蓄電池の内部インピーダンス標準の整備、食品分析用等のアミノ酸類混合標準液の製品化など、「社会の安全・安心」へ貢献する標準を整備した。また、質量の単位キログラムの普遍的な定義への改定に対する貢献、単結晶の原子ステップを利用したものさしの開発など「次世代計量標準」に寄与する技術開発を実施した。

さらに、電磁波の位相・振幅相関を利用した農産物等の水分量の高速センサの開発、次世代薄板ガラスの残留歪み計測のための高速位相計の開発、高温熱電対標準の整備、微量水分計の範囲拡大、qNMRとクロマトグラフィーを組み合わせた新規計測法など、「計量標準の利活用を促進」するセンサ・標準器の開発等においても顕著な成果が得られた。計量標準の整備拡張に伴い、NMIJにおける特定二次標準器の校正件数、標準物質の供給件数も年々増加した。例として、特定二次標準器の校正件数は、産総研発足時は63件であったのが、第4期中はコンスタントに年間350件を超えており大幅増加した。その結果として、計量法に基づくトレーサビリティ制度である計量法校正事業者登録制度（Japan Calibration Service System; JCSS）の校正証明書発行件数は年々増加し、平成30年度は550,000件を上回った。

法定計量業務の実施と人材の育成は、法令で定められた業務であり、長年継続的にかつ着実に実施することが重要である。具体的には、計量の基準を定め、適正な計量の実施を確保し、計量業務に携わる人材を育成することで、経済の発展に寄与する。

計量標準の普及活動については、講習会・研究会等を通じた情報提供やコンソーシアムを利用した技術研修・技能試験を通して、開発した計量標準や標準物質を最終ユーザまで、効率的に届ける取組を行い、中小企業やユーザレベルでの計量標準の利活用が促進された。

計量標準に関連した計測技術の開発では、計量標準の開発において得られた知見や技術を用いて、目的基礎研究、「橋渡し」研究前期・後期を多様な研究テーマで実施する事に加え、ユーザが抱える計測課題に対して技術コンサルティングで個別に連携を展開することで、産業界からの要請に応じてきた。また、資金提供型共同研究に加えて、計測機器・分析機器の高度化等を目標とした装置提供型共同研究の件数が増加した。結果として、第4期を通じて見た場合、平成27年度～令和元年度の民間資金獲得目標値の合計30億円に対し、令和元年度12月時点で第4期の実績値の合計は30.6億円となり、目標に対して102%を達成している。

第4期における特筆すべき研究成果の一つとして、SI基本単位の定義改定に対する貢献が挙げられる。平成30年11月にフランスで開催された国際度量衡総会で、7つの基本単位のうち、キログラム（質量）、ケルビン（温度）、アンペア（電流）、モル（物質量）の4つの単位の定義を改定することが決定され、令和元年5月20日に新しい定義へと移行された。特に質量の単位キログラムに関しては、約130年ぶりに「国際キログラム原器」という器物から、「プランク定数」という物理定数を基にした定義に改定することが決定されたが、NMIJはこのプランク定数の決定に大きく貢献した。現時点で、キログラム原器の長期安定度を超える精度で、プランク定数に基づいて質量標準を実現できる国は日本を含めて僅か4か国のみであり、NMIJの技術力の高さを示した。プランク定数を決定するためには、長さ、時間、温度などの様々な最高精度の計量標準が必要である。したがって、今回のSI基本単位の定義改定に対する貢献は、NMIJの総合力の高さを示した事に他ならない。また、数十年という長期間にわたり研究を継続し、技術を積み重ねてきた事により、この歴史的成果が得られたという事実は、長期的な取組が必要となる研究

課題を継続的に支援することの重要性を示している。日本が、SI 定義改定に主体的に取り組み、貢献したのは、度量衡の長い歴史の中でも今回が初めてであり、新聞社やテレビ局などから数多くの取材を受け、計量標準の活動を一般社会に広く伝える好機となった。

この他にも、第4期を通じて、数多くの研究成果をプレスリリースという形で発信した。プレスリリースの件数は、平成27年度～平成30年度の4年間合計は49件、令和元年度は6件(12月の暫定値)となっている。

【課題と対応】

計量標準総合センター本来の競争力や存在意義を今後も強化していくためには、コアミッションである法定計量を含む計量標準の維持・管理・供給といった本来業務を引き続き着実に遂行し、NMIJへの信頼(ブランド)を維持向上させることが根幹である。第4期の評価指標の一つである民間資金獲得に関しては、今後もNMIJのブランド力を強みとした技術コンサルティングで、引き続き個別ニーズに対応していくとともに、信頼性の高い評価技術に基づき、装置提供型共同研究等を、確実に実施していくことが重要となる。その上で長期的な視点で取り組むべき課題と対応は次のとおりである。

計量標準の整備と利活用促進という観点からは、多様化する計量標準のニーズへの対応が課題である。ニーズに合った計量標準を整備するために定期的なニーズ調査を行い知的基盤整備計画へ反映させる。また、利活用促進のためには長期間にわたり安定した標準供給を続ける必要があるため、継続的な研究開発及び国際比較への参加による技術力の維持が重要となる。

法定計量業務では、法令で定められた業務の着実な実施と人材育成が継続的に求められている。NMIJを取り巻く環境が変化していく中においてもこれに対応する必要があることから、試験検査・承認業務の効率化に努め、常にリソース配分の最適化を考慮したマネジメントが必要となる。法改正があった場合には、それに対応した体制整備を行うとともに、講習会や研修等を通じて法定計量技術者の育成に寄与しレベル向上に貢献する。

計量標準の普及活動では、中小企業やユーザレベルでの計量標準の利活用の促進が課題である。情報提供や講習・技能研修活動の拡充により、校正事業者ばかりではなく、計量トレーサビリティ体系における中間ユーザへも直接働きかけを行う。また、日本産業規格(Japanese Industrial Standards; JIS)等の工業規格化、及び国際標準化機構(International Organization for Standardization; ISO)、国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission; IEC)等の国際規格化を推進し技術基準の普及に貢献する。

計量標準に関連した計測技術の開発では、産業界や個別ユーザが抱える計測課題の解決が期待されていることを考慮し、目的基礎研究、橋渡し研究においてテーマ選別を的確に行い、期待に応える技術開発を推進する。

(2) 技術ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

【背景・実績・成果】

[技術コンサルティング]

計測分析・計量標準校正などに関する基盤的かつ先端的な技術や豊富な知識を基に、認証や校正に関する技術指導、計測機器の特性や信頼性評価、製品化のためのアドバイスなど、コンサルティング業務をさらに拡大した。その結果、令和元年度の契約件数は187件(12月の暫定値)、契約金額は約2.4億円(12月の暫定値)となった。第4期全体として、合計契約金額は約8.2億円(12月の暫定値)となり、資金提供型共同研究と並んで、民間外部資金の主要な部分を占めている。

技術コンサルティングによる資金獲得額は、平成27年度は0.3億円であったのに対し、令和元年度は2.4億円(12月の暫定値)と大幅増加した。民間資金の獲得額については、平成27年度～令和元年度の民間資金獲得目標値合計30億円に対し、令和元年度12月時点での実績値合計は30.6億円となり、目標に対して102%を達成している。

[分析計測機器の公開]

産総研 TIA 推進センター共用施設ステーション及び文部科学省事業微細構造解析プラットフォームに参画して先端分析計測機器を公開した。企業や大学研究機関に対して技術相談、機器利用時の技術補助、技術代行（測定代行）などの技術支援を実施した。技術支援の件数は平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間の合計は 291 件、令和元年度では 60 件以上であった。

[計測クラブ活動]

国家計量標準を普及かつ共有する場として、20 の計測クラブを運営した。それぞれの計測クラブにおいて、研究会・講演会（平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間合計は 86 件、令和元年度では 19 件の見込み）、技術相談、情報発信等を行うとともに、登録会員（全体で約 3,500 名（複数クラブへの重複参加を含む））との交流を通じて産業ニーズの把握及び施策への反映に努めた。

[ピアレビューアー、JCSS 等に係る技術委員会委員及び技術アドバイザー等の派遣]

国際的に認められた計量標準に関する知見及び技術ポテンシャルを活かして、海外の国家計量標準機関へ技術審査員（ピアレビューアーなど）として職員を派遣した。平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間合計は延べ 14 ヶ国、53 人、平成 30 年度では 8 ヶ国、24 人、令和元年度では 10 ヶ国、28 人であった。国内では、計量法に基づく校正事業者登録制度（JCSS）等に係る校正事業者評価委員会、試験事業者評定委員会、標準物質生産評定委員会などに委員を派遣した（平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間合計は 81 回、令和元年度では 8 回（12 月の暫定値））。また、校正事業者の登録審査や定期検査の際に技術アドバイザーとして職員を派遣し（平成 27 年度～平成 30 年度の 4 年間合計は 283 件、令和元年度では 52 件（12 月の暫定値））、技術的助言を行った。

【成果の意義・アウトカム】

技術的指導助言等の取組状況においては、技術コンサルティング制度を積極的に活用しながら、技術指導や信頼性評価に取り組み、契約数が年々増加するなど、校正業務や精密計測に関係する産業界において先導的な役割を果たした。また、先端的な分析計測機器の公開では、公開している装置や技術を用い、計測に関する課題の解決へ貢献した。計測クラブ活動を介した広報、普及、情報収集に努め、ユーザサイドでの計量標準の利活用の浸透が促進された。計量標準の国際同等性の継続的な確保のため、海外での技術審査（ピアレビュー）にも貢献した。

【課題と対応】

計量標準の分野では、最終ユーザまで届くトレーサビリティ体系の構築やユーザが期待する計測・分析・評価などの多様な課題に対する技術的指導や助言等に対して、継続的な取組が求められる。計測クラブ等の活動による情報提供は有効であり引き続き実施するが、それだけでは十分ではない現状がある。産業界や企業からの計測・分析・評価などに関する要望に応えるために、技術コンサルティングで対応し、マッチングの質・量ともに増加に繋げる取組として、技術マーケティング会議を今後も継続的に実施する。加えて、分析計測機器の公開とその利用者の課題解決支援においても、今後も継続的に取り組む。海外での技術審査に関しては、国際同等性の確保のため、技術審査員に資する技術ポテンシャルの維持・向上に努め、継続的に派遣を実施する。試験所・校正機関の測定・校正能力を認定する規格 ISO/IEC17025 の改定に対応するため、校正責任者等に向けた所内講習会を開催したが、今後もこのような取組を継続して実施する。

(3) マーケティング力の強化

【背景・実績・成果】

[連携の推進体制]

計量標準総合センター長、研究戦略部長、研究企画室長、各ユニット長、各部門の連携担当、IC、パテントオフィサー（PO）をメンバーとする技術マーケティング会議を月1回程度開催し、連携活動の情報共有、方針等の決定を行った。研究現場では、部門幹部等が連携の調整役として活動し、研究員も技術コンサルティング等を経験することによってノウハウの共有や最適化が進み、個々の研究者の技術マーケティング能力の強化につながった。また、NMIJにおける新人研修において、計量計測分野と関わりの深い分析機器メーカー等の企業見学を組み入れるなど、早い段階から連携マインドを醸成させた。

[企業との連携]

計量標準総合センター長を筆頭とする幹部で、包括連携を進めている企業等を訪問するなどし、トップ会談等で組織的な連携の構築と強化を図ると共に、同一企業の複数部署への連携を促進した。また、連携担当や研究者が、毎年開催される「産総研テクノブリッジフェア in つくば」や平成30年1月に計測に特化したフェアとして開催された「計測分析フェア in 京都」などの展示会に積極的に出展し、その後、企業との技術交流会等に参加するなどして個別連携の展開を図った。

企業との連携を目指して開催された産総研主体の展示会のうち NMIJ が参加した主なフェアを以下に記載する。

平成27年度

テクノブリッジフェア in 北海道（平成27年7月8日）
テクノブリッジフェア in つくば（平成27年10月22～23日）
テクノブリッジフェア in 九州（平成28年1月19日）
テクノブリッジフェア in マツダ（平成28年1月20日）

平成28年度

テクノブリッジフェア福井（平成28年7月26日）
テクノブリッジフェア in 北海道（平成28年9月7～8日）
テクノブリッジフェア in つくば（平成28年10月20～21日）
九州・沖縄オープンイノベーションデー（平成28年12月7日）
テクノブリッジフェア石川（平成29年1月17日）
JR 東日本テクノブリッジフェア（平成29年3月22日）

平成29年度

テクノブリッジフェア in 和歌山（平成29年7月25日）
テクノブリッジフェア in つくば（平成29年10月19～20日）
テクノブリッジセミナー in 石川（平成29年12月8日）
計測分析フェア in 京都（平成30年1月23日）
テクノブリッジフェア in 九州（平成30年2月6日）
北海道アグリテクノフェア（平成30年3月13日）

平成30年度

TBF in 宮城（平成30年6月26日）
テクノブリッジフェア in 茨城（平成30年8月28日）
テクノブリッジフェア in つくば（平成30年10月25日～26日）
中部センター材料フェア（平成30年12月3日）
オープンイノベーション in 徳島（平成30年12月6日）
テクノブリッジフェア in 帯広（平成31年1月30日）

令和元年度

材料診断フェア in 広島（令和元年7月2日）
産業技術支援フェア in KANSAI（令和元年7月17日）
テクノブリッジフェア in さいたま（令和元年8月2日）
テクノブリッジフェア in つくば（令和元年10月24日～25日）

産総研北海道センターワークショップ in 函館（令和元年11月12日）
テクノブリッジフェア in 中部（令和元年12月9日）
産総研テクノブリッジフェア in 九州2019（令和元年12月16日）
テクノブリッジフェア in 東北（令和2年2月14日）

〔コンソーシアム活動〕

計量標準の開発で培った知見や計測技術を当領域で運営する6つの産総研コンソーシアム（光学式非接触三次元測定機精度評価法標準化コンソーシアム、高濃度オゾン研究会、X線新技術産業化コンソーシアム、3次元内外計測コンソーシアム、精密電気計測コンソーシアム、残留農薬分析の技能試験コンソーシアム）の研究会等を通して発信し、橋渡しの可能性を探った。当領域が運営する産総研コンソーシアムの会員数は、約220名である。研究会・講演会・比較測定・技能試験等の活動を平成27年度～平成30年度の4年間に合計41回、令和元年度では10回実施した。コンソーシアム内での企業及び地域の中小企業や公設試験機関との連携に務め、第4期中に国際標準化への新規提案を行った他、共同研究・技術コンサルティングへも発展した。

平成25年に計測・分析装置メーカ5社と産総研で設立した「ナノ計測ソリューションコンソーシアム（Consortium for Measurement Solutions for Industrial Use of Nanomaterials; COMS-NANO）」では、ナノテクノロジーの進展に重要なナノ材料の評価手法・装置の開発について、オールジャパン体制で推進している。健康や環境に対するリスクからの保護を目的としたナノ材料規制における該否判定への利用に向けてナノ粒子複合計測システムのプロトタイプの高度化を進めるとともに、新たに材料系メーカをメンバーに加え、個別材料系への適応を進め、平成30年度は、複合計測システムの中核技術の国際標準（ISO/TS 21362）が制定された。令和元年度からは計測対象をナノ物質以外にも拡張し、「計測ソリューションコンソーシアム（Consortium for Measurement Solutions; COMS）」として活動を継続することを決定した。

以上の取組から、技術コンサルティング及び共同研究、受託研究、技術移転収入を合わせた民間資金の獲得額は、平成27年度～令和元年度（12月時点）の5年間の合計が30.6億円であり、平成27年度～令和元年度の目標値の合計30億円に対し、102%を達成している。

【成果の意義・アウトカム】

マーケティングの取組状況においては、領域内の技術マーケティング会議を通じた所内連携体制の下、積極的な企業訪問等のトップマネジメントを行った。その一方で、研究者による産総研テクノブリッジフェア出展や、各研究部門連携担当の支援等による個々の研究者のマーケティング力の向上も図るなど、橋渡しを推進するための組織的な活動に取り組んだ。その結果、特に技術コンサルティングの件数・金額は顕著な伸びを見せ、当領域の企業への橋渡しにおいて大きな特徴となっており、民間資金獲得額の目標達成に不可欠な存在となっている。技術コンサルティングを通じて、計測及びそれを必要とする分野における日本の産業競争力の強化に貢献した。

【課題と対応】

〔連携の推進体制〕では、組織におけるマーケティング能力の向上が課題である。平成27年度から継続して行っている領域内技術マーケティング会議主導による連携強化のための体制を今後も継続して活用する。研究現場で蓄積された情報やノウハウ、経験を領域内で共有して、効率的に企業連携を進める。

企業との連携では、きっかけ作りが課題である。マッチングを検討する機会を増やすことが重要であると考え、イベント及び展示会への出展やプレスリリースなどを通じて、領域保有技術を積極的に広報する。

コンソーシアム活動は、研究開発成果の普及と国内の最終ユーザでの計測技術力のボトムアップが目的となる。目的達成のため、コンソーシアム活動では研究会等での情報発信の他、技能試験とそのフォローアップを通じて最終ユーザへ直接技術を伝える。

(4) 大学や他の研究機関との連携強化

【背景・実績・成果】

大学や他の公的研究機関との連携においては、計量標準の開発で培った知見及び技術を基に、大学や他の公的研究機関とともに、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization; NEDO)、科学技術振興機構 (Japan Science and Technology Agency; JST)、日本学術振興会 (Japan Society for the Promotion of Science; JSPS) 等の事業に参画するなどして研究を推進した。

計量標準の分野における日本の国際競争力を向上させる意図で、計量標準の同等性評価の仕組み作りへの代表派遣、ポスト獲得を積極的に実施した。第4期の期間、メートル条約に関連した活動では、国際度量衡総会・国際度量衡委員会・諮問委員会・作業部会に、国際法定計量機関 (International Organization of Legal Metrology; OIML) 条約に関連した活動では、国際法定計量委員会 (International Committee of Legal Metrology; CIML)・OIML 総会に、アジア太平洋計量計画 (Asia-Pacific Metrology Programme; APMP) では、APMP 総会・技術委員会に、アジア太平洋法定計量フォーラム (Asia-Pacific Legal Metrology Forum; APLMF) では、APLM 総会に、それぞれ専門家を派遣した。さらに、複数の国際比較の幹事を引き受けてきた他、二国間 MoU (Memorandum of Understanding) 等に基づき、アジア地域を中心として専門家を派遣して派遣先の国家計量システムへの技術審査・アドバイスや技術研修を実施した (平成27年度～平成29年度の3年間合計は延べ18ヶ国、63人、平成30年度では8ヶ国、24人、令和元年度では10ヶ国、28人)。

また、APMP による途上国向け招聘事業を活用して招聘・研修を行った (平成27年度～平成29年度の3年間合計は延べ30ヶ国、59人、平成30年度では8ヶ国、11人、令和元年度では7ヶ国、13人)。その結果、OIML 条約に関連した CIML 第二副会長代行のポスト、国際度量衡委員ポスト (継続)、APMP 議長ポスト等を獲得するに至った。

産業技術連携推進会議 (産技連) の知的基盤部会の活動を積極的に実施した。第4期も知的基盤部会を全国各地で開催し (平成27年度：東京都、青森県、京都府、愛知県。平成28年度：宮城県、東京都、香川県、島根県。平成29年度：千葉県、東京都、兵庫県、佐賀県。平成30年度：山形県、千葉県、宮崎県、令和元年度：福岡県、神奈川県、北海道)、参加公設試験研究機関に共通の課題解決に関する情報交換を実施した。毎年参加者は延べ約500名であった。

【成果の意義・アウトカム】

大学や他の研究機関との連携においては、計量標準の開発で培った知見及び技術を通して、大学や他の研究機関と共同研究等を展開した結果、数多くの成果が得られた。日本の計量研究機関として様々な量目の国家標準を所掌し、SI トレーサブルな精密計測が可能な NMIJ と共同研究を実施することで、より精度の高い結果を導出できるため、大学や他の研究機関からの期待も高い。産技連を通じた全国の公設試験研究機関との広範な連携ネットワークによる橋渡し拠点を活用し、公設試験研究機関に共通の課題解決に関する情報交換等を行って、地域企業からの計測ニーズへの対応力向上に貢献した。国際度量衡委員会をはじめとした国際計量関係の委員会や作業部会等の重要ポストを獲得・維持すると共に、多数の専門家を派遣して国際計量分野の発展に寄与した。

【課題と対応】

大学や他の研究機関との連携における課題は、産総研が保有する計測技術と大学や他の研究機関が求める技術とのマッチングの拡大である。産総研が保有する計測技術を大学や他の研究機関に知ってもらうためにも、国内学会などの機会を積極的に利用し研究発表を行っていくことが重要である。また、目的基礎研究に資する研究テーマの選定を行うとともに、連携大学院や技術研修生受け入れ等の人材育成の機会を通じて共同研究等への発展を検討する。地域企業からの計測

ニーズへ対応するため、公設試験研究機関との連携の維持が必要である。単年度で完成するものではないため、公設試験研究機関との情報交換を引き続き行う。国際連携活動では、国際計量分野での日本の国際競争力向上が課題である。海外の国家計量標準機関との連携の継続と各種委員会への研究者の継続的な派遣の他、国際機関で活躍する人材の養成や次世代を担う若い研究者の養成に努める。

(5) 研究人材の拡充、流動化、育成

【背景・実績・成果】

第4期を通じてイノベーション人材育成に取り組んだ。第4期中、平成27年度～平成30年度のリサーチアシスタントの延べ人数は39名であるとともに、産総研イノベーションスクール生の延べ人数は14名である。令和元年度は、これまでにリサーチアシスタントを12名(12月の暫定値)、産総研イノベーションスクール生を1名受け入れ、3月末までにRA2名を受け入れ予定のため、目標を達成する見込みである。また、平成27年度～平成30年度のポストドクター(ポスドク)の延べ人数は15名、技術研修生の延べ人数は282名である。令和元年度は、ポスドク8名、技術研修生93名を受け入れて指導した。連携大学院の客員教授の人数は、平成27年度～平成29年度を通じて19大学に対し33名を派遣した。平成30年度は7大学に対し11名であった。令和元年度は6大学に対し10名(12月の暫定値)であった。

NMIJにおいて「研究職5days インターンシップ」プログラムを実施した。平成28年度は当領域では初めての開催であったことと開催時期が2月で年度末であったことから学生の受入人数は10名に留まったが、2回目以降となる平成29年度以降は、開催時期を再考して夏休みの8月に設定し、カリキュラムを見直して受入体制を整え、大学へ積極的な広報を行った結果、大学院生(修士及び博士課程の学生を合わせて)23名(平成29年度)、22名(平成30年度)、15名(令和元年度)の受け入れに至った。インターンシップ終了後も産総研及び当領域への興味を失わないよう各種イベント等の案内を随時行った。また、定員の都合でインターンシップに参加できなかった大学院生に対して別途見学会を実施した。ダイバーシティ推進室が主催したイベント、例えば以下に示す女子大学院生・ポスドクと産総研女性研究者との懇談会においてもNMIJの活動を学生にアピールする好機ととらえ、インターンシップ応募者へ案内を展開するとともに、ポスター展示や懇談会へ研究職員数名を派遣しリクルート活動に努めた。一般社団法人日本計量機器工業联合会主催の学生を対象とした企業説明会「計量計測業界セミナー」や、個別の大学で開催される就職説明会等のイベント、及びNMIJが独自に開催する修士生を対象とした見学及び座談会へ研究戦略部キャリア主幹や企画主幹、さらには研究者が参加し、領域で独自に作成したパンフレットの配布や産総研及びNMIJの概要等について説明を行った。

女子大学院生・ポスドクと産総研女性研究者との懇談会(平成28年11月21日)

女子大学院生・ポスドクと産総研女性研究者との懇談会 in 名古屋(平成29年9月25日)

女子大学院生・ポスドクと産総研女性研究者との懇談会 in つくば(平成29年11月20日～21日)

リケジョ見学ツアーと懇談会 ～産総研の最先端技術をのぞいてみよう～(平成30年7月21日)

女子大学院生・ポスドクのための産総研所内紹介と在職女性研究者との懇談会(平成30年11月19日～20日)

女性研究者との懇談会・見学ツアー ～産総研の最先端技術をのぞいてみよう～(令和元年7月20日)

女子大学院生・ポスドクと産総研女性研究者との懇談会 in つくば(令和元年11月18日～19日)

若手研究者の育成について、領域独自の新人研修(不確かさ研修、企業訪問、調査研究等)、3年目成果報告会などを通じ、強化した。若手研究者を中心に、萌芽研究予算の支給を平成28年

度から開始した（平成 28 年度は、上限を 250 万円として、14 テーマを採択。平成 29 年度及び平成 30 年度は上限を 400 万円、令和元年度は 300 万円と増額し、平成 29 年度と 30 年度は 8 テーマ、令和元年度は 12 テーマを採択）。若手研究者に在外研究の機会を与えるために NMIJ フェロワーシップを平成 28 年度から開始し、毎年数名に対し予算の支給（平成 28、29 年度はそれぞれ 3 名、平成 30 年度は 4 名、令和元年度は 4 名）を行った。国内他機関に所属する若手研究者の育成活動として、ナノテクキャリアアップアライアンス事業で修士課程学生から若手研究者までを対象に先端量子ビーム分析法に関する講義・実習コースを開催してきた。令和元年度は令和元年 12 月 17 日～18 日に開催し、1 名の学生と 1 名の社会人を受け入れた。また、修士課程学生から若手研究者向けの TIA 連携大学院の事業の一環として、筑波大学や高エネルギー加速器研究機構と協力して先端計測・分析サマースクールを毎年開講してきた。令和元年度は通算 6 回目の開催となる先端計測・分析サマースクールを 9 月 3 日～5 日に開講した。全日程 3 日のうち 1 日（9 月 4 日）を担当し、陽電子発生・測定技術、偏光分光法、過度吸収分光法の講義・施設見学を実施した（受講者 18 名）。

先端量子ビーム分析法に関する講義・実習コース

平成 27 年度 無し

平成 28 年度 2 名（アライアンス内育成対象者 2 名）（平成 28 年 12 月 14 日～16 日）

平成 29 年度 3 名（アライアンス内育成対象者 1 名、修士課程 2 名）（平成 29 年 12 月 4 日～5 日）

平成 30 年度 3 名（修士課程 3 名）（平成 31 年 1 月 21 日～22 日）

令和元年度 2 名（B4 学生、社会人）（令和元年 12 月 17 日～18 日）

先端計測・分析サマースクール

平成 27 年度 12 名（平成 27 年 9 月 4 日）

平成 28 年度 11 名（平成 28 年 8 月 30 日）

平成 29 年度 18 名（平成 29 年 8 月 30 日）

平成 30 年度 12 名（平成 30 年 9 月 5 日）

令和元年度 18 名（令和元年 9 月 4 日）

国外連携における人材の拡充、流動化、育成として、日中韓若手研究者ワークショップ（The Emerging Scientist Workshop; ESW）を日本・韓国・中国の国家計量標準機関で開催してきた。平成 29 年度は、The Emerging Scientist Workshop 2017（ESW2017）（平成 29 年 8 月 30 日～9 月 1 日）を当領域が産総研つくばセンターで主催し、約 50 名が参加した。若手研究者が交流し、気付きや連携のきっかけとなっている。

人材流動化・育成の一環として、国際度量衡局（Bureau International des Poids et Mesures; BIPM）との連携、OIML や APMP 及び APLMF での議長等のポストを継続して獲得し、専門家を派遣した。

【成果の意義・アウトカム】

第 4 期を通じて、技術経営力の強化に資する人材の養成として、IC など外部連携を主導する人材、及び PO など戦略策定も可能な知財専門人材の両方でマーケティング能力向上を図った。その結果として、技術コンサルティングや装置提供型共同研究など、民間との連携活動がより活発になり、民間外部資金の獲得額の増大に結びついた。ダイバーシティに関する取組の 1 つの指標として、女性ユニット長の着任（平成 29 年度）が挙げられる。計量標準に関わる研究と業務を安定に継続していくためには、若手人材の育成が不可欠であるという考えに基づき、若手人材の育成、優秀な学生の確保にも注力した。リサーチアシスタント制度に採用された人数の数値目標を達成するとともに、新規の人材育成事業として、平成 28 年度から開始したインターンシップは平成 29 年度から開催時期と内容を再考し、20 名前後の大学院生を受け入れている（平成 28

年度の2倍程度)。若手研究者育成活動では、ナノテクキャリアアップアライアンス事業やTIA連携大学院の事業の一環である先端計測・分析サマースクールを開講した。また、計量標準の国際的な人材育成の支援として、平成29年度はESWを主催し、研究討論やワークショップを通じ、日中韓で約50名の参加者が交流を深め、国内外の人材育成・連携活動に幅広く貢献した。

【課題と対応】

技術経営力の強化としてマーケティングに関する人材育成が課題である。第5期以降も引き続き、外部との連携を主導する専門職のスキル向上及び研究現場の連携に関する経験の積み重ねとノウハウ共有を行う。

ポストドク等若手研究者を、より広い視野を持ち、異なる分野の専門家と協力するコミュニケーション能力や協調性を有する人材、企業をはじめ社会の様々な重要な場で即戦力として活躍できる人材に育成することが課題である。産総研イノベーションスクール及びリサーチアシスタント制度を活用し、一定数の受け入れを継続する。

将来の計量標準を担う人材の確保・育成も大きな課題である。インターンシップの主催や企業採用セミナー参加等による新人採用に向けた活動に積極的に取り組む。また、採用後は若手研究者の養成として、新人研修、萌芽研究予算や在外研究予算の支給による研究支援を行う。

2. 「橋渡し」のための研究開発

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

総括：

【背景・実績・成果】

将来の「橋渡し」に繋がる技術シーズや、世界トップレベルの成果の創出を目指した「目的基礎研究」においては、これまで当領域が築いてきた精密計測技術における強みを生かし、

- ・計量標準機関の競争力根幹に関わる計測・分析・評価の各技術
- ・量子化による高分解能化・高精度化
- ・分析技術の開発・効率化
- ・新たな現象を評価する技術の開発

に取り組んだ。具体的には、計量標準機関としてのコアコンピタンスの醸成に資する目的基礎研究の基本戦略として、以下の挑戦を設定した。

- ・単一電子、単一光子、単一原子といった量子単一ユニット標準への挑戦
- ・標準を内包（Intrinsic）する計量標準への挑戦
- ・高感度、高分解能、高安定度な標準への挑戦
- ・計測場を乱さない新規技術への挑戦
- ・標準供給を効率化するゲームチェンジへの挑戦
- ・新たな分析、計測技術への挑戦

当領域では、各研究部門が所掌する単位に関連して、正確な目盛（国家標準とトレーサビリティ）を必要とする計測技術を中核的な競争力と位置付け、目的基礎研究の研究テーマを設定した。テーマの設定においては、将来的な製品化や事業化を見据えて、研究開発の結果を基盤的な試験方法や計測方法として標準化する道筋も重視した。さらに、国内の校正事業を網羅的に把握している利点を生かして、校正から連続的に広がる計測の現場や、製品開発レベルまでトレーサビリティ体系の構築を実現しうるテーマを設定した。正確な目盛の実現に関する国際的な競争力を源泉としつつ、世界トップレベルの成果を生み出しており、テーマ設定は適切であった。

上記を含む研究開発の結果、論文の合計被引用数は、第4期中長期目標期間全体で、13,345回となっている。このうち、平成27年度～平成29年度の3年間では、7,714回であり、当該3年間の合計目標値に対して101%の成果を達成した。平成30年度は、2,566回であり、目標値2,600回に対して99%の成果を達成した。令和元年度は3,065回であり（12月の暫定値）、目標値2,600

回をすでに達成し、118 %の成果を得ている。インパクトファクター付き専門誌等の論文数は、第4期中長期目標期間全体で992報（12月の暫定値）である。このうち、平成27年度～平成29年度の3年間では、640報であり、当該3年間の合計目標値に対して109%の成果を達成した。平成27年度～平成29年度は、毎年度、目標値を上昇させてきたが、目標に対する実績は常に100%超を達成してきた。平成30年度は205報であり、目標値205報に対して100%の成果を達成した。令和元年度は12月末時点で147報、3月末見込みが205報であり、目標値205報に対し、100%の達成を見込んでいる。

大学や他の研究機関との連携においては、計量標準の開発で培った知見及び技術を、大学や他の研究機関との連携により展開し、大学との共同研究を、平成29年度は87件、平成30年度は127件、令和元年度は88件（12月の暫定値）実施した。また、他の研究機関との共同研究を、平成29年度は66件、平成30年度は147件、令和元年度は121件（12月の暫定値）実施した。

【成果の意義・アウトカム】

次世代の計量標準に必要な計測技術と潜在的な社会的ニーズを見据えた上で、計量標準機関の競争力根幹に関わる計測、分析、評価技術について、量子化による高分解能化・高精度化、分析技術の開発・効率化、新たな現象を評価する技術の開発に取り組んだ。単一光子の分光イメージングが可能な光子顕微鏡、単一電子制御技術を利用した微細なメカニカル振動子による核磁気共鳴制御、精密なレーザー分光技術による光機能材料の発光機構の解明など、世界初の成果を創出した。当領域が築いてきた精密計測技術における強みを生かし、ライフサイエンスや医薬の技術促進、信頼性向上を可能とする単一光子分光イメージング技術、有機質量分析の高感度・高精度化技術など、世界トップレベルの成果や将来の橋渡しに繋がる技術シーズを実現した。これらの成果により、学術的な先端科学研究への貢献の他、量子標準に基づく新たな標準の実現による知的基盤への貢献や、材料や医療等の分野へ貢献する橋渡し前期、及び、橋渡し後期への展開が期待される。

産総研第4期の具体的な研究開発について、具体的な【背景・実績・成果】と【成果の意義・アウトカム】を以下にまとめる。なお、成果の指標は、代表的なものを記載してある。

[単一光子分光イメージング技術の開発]

【背景・実績・成果】

バイオイメージングの分野では、標識等で染色した細胞に強力なレーザー光を照射した時の蛍光を顕微鏡で観察するイメージングが一般に行われている。しかしながら、染色やレーザー光は細胞に深刻なダメージを与えるため、これが障害となり細胞本来の構造の観察や細胞内成分の識別を安全に行なうことが難しいという課題があった。

そこで本研究課題では、光の最小単位である光子を測定対象とし、細胞の生体活動に伴う光子を高精度に検出するための単一光子分光イメージング技術の開発に取り組んでいる。平成27年度には低抵抗な超伝導薄膜の作成技術を構築し、平成28年度には光子を高効率に超伝導体に吸収させるための光吸収キャビティ技術を開発した。超伝導現象を利用して一つ一つの光子のエネルギー（波長）を計測できる検出器技術を開発し、これを光学顕微鏡に搭載することで、平成29年度には光子数1個～20個程度のわずかな光でカラー画像の撮影に世界で初めて成功した。平成30年度には、共焦点光学系を取付け、従来の検出器（光電子増倍管）を使用した場合と比べ10分の1から100分の1のレーザー強度で、動物細胞の共焦点蛍光イメージング画像を取得することに成功した。今後、本技術を細胞分裂等をリアルタイムでイメージングできる技術へと展開することを目指し、令和元年度は超伝導素子の撮像素子化に取り組み、画像データ取得の高速化を可能とする撮像用デバイスの開発に取り組んだ。3 × 3 = 9素子の超伝導転移端センサからなる集積化受光デバイスを設計・試作し、極低温で動作させたところ、各素子は熱的な干渉

なく動作し、かつ光子数ピークを明瞭に識別することに成功した。また、受光デバイスの応答信号を読み出すためにナノエレクトロニクス研究部門と共同で開発したマルチプレクシング素子を用いて実験を行ったところ、時定数 200 ns 以下で受光デバイスの信号を読み出すことに成功した。これにより積算時間の短縮が可能となることから、画像データ取得の大幅な高速化が今後期待できる。これらの結果は、いずれも世界初の成果であり、それぞれの成果を原著論文として発表した。

[IF 付国際誌 8 報、特許出願 1 件、プレスリリース 1 件、外部資金 3 件、受賞 3 件（文部科学大臣表彰科学技術賞、材料科学に関する若手フォーラム優秀発表賞、電子情報通信学会 SCE 学生優秀発表賞）]

【成果の意義・アウトカム】

従来の顕微鏡では測定できない微弱な光強度レベルで、工業用サンプルや細胞サンプルをカラー観察することに成功した。

細胞への光照射を 1/100 に抑えることで光障害のリスクを回避できる効果が期待できるため、侵襲性の低い細胞観察を必要とする医薬品、医療技術開発での活用が見込まれる。低侵襲での細胞イメージングは、例えば iPS 細胞における将来癌化の恐れのない細胞を安全に識別する技術に応用できるなど、極めて高い社会的効果が期待できる。また、細胞内物質の僅かな変化を解析できることから、有用微生物（石油代替燃料産生など）の選別など、新技術開発への貢献が期待される。

超伝導を用いた単一光子分光技術では、本技術は世界トップレベルであり、検出効率と高速性は世界一の性能を誇っている。さらに、本技術の光学顕微鏡や共焦点顕微鏡による実細胞を観察対象とした分光イメージングの実証は、世界初の成果である。これにより、細胞にとって侵襲性の低い単一光子レベルでのバイオイメージングの実現に向け大きく前進した。

本技術は、単一光子分光イメージングの世界初の実証として、IF 付国際誌やプレスリリースのほか、日刊工業新聞等 4 誌で報道された。令和元年度には高速画像取得の技術等の成果を IF 付国際誌にて 4 報の発表をおこなった。また、外部予算としては、JST-CREST(平成 29 年度)、JST-光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)(平成 30 年度)、文部科学省科研費(平成 29 年度)を獲得し、関連研究を実施中である。また、本技術について、平成 30 年度に文部科学大臣表彰科学技術賞及び材料科学に関する若手フォーラム優秀発表賞、令和元年度には電子情報通信学会 SCE 学生優秀発表賞を受賞した。

[単一電子制御技術の開発]

【背景・実績・成果】

電気の最小単位である単一電子の制御は、究極の測定精度を実現する技術として、微小電流計測や、トンネル効果、量子非局所性などの量子現象の解明、量子コンピュータ用のデバイス開発など、産業応用と学術研究の両面から注目されている。また、国際単位系(SI)の改定により、電流の単位(アンペア)が従来の定義(電線間に働く力)から電気素量に基づいた定義(単位時間に流れる電子の数)に変更され、この新しい定義に則った次世代の量子電流標準を実現するための研究開発競争が先進各国で精力的に行われている。

本研究では、電子を 1 個 1 個送り出す単電子ポンプ素子をはじめとして、微小電流センサ、核スピン制御などの関連及び派生技術の開発を通じ、SI の新しい定義に基づいた量子電流標準や究極の微小電流計測の実現を目指している。

平成 27 年度には、超伝導素子を用いた単電子ポンプ素子による 1.6 pA の電流発生に成功し、海外の先行研究と肩を並べる技術を築いた。平成 28 年度には、産総研の独自技術により、微小電流センサで必要となる 1 MΩ の高集積量子ホール抵抗アレー素子を開発した。平成 29 年度には、電子 1 個で 1 ビットを表す世界初のデジタル変調技術を開発し、約 1 MHz の単一電子精度の有限周波数交流発生を実現した。さらに、平成 30 年度には、単一電子制御技術を応用した派

生技術として、単一電子センサを利用した微細なメカニカル振動子による核磁気共鳴制御に世界で初めて成功し、Nature Communications 誌に掲載された。振動子と核スピンの相互作用を実証するこの成果は、微小電気機械システム (Micro Electro Mechanical Systems; MEMS) や音波を利用する核スピンの新しい計測法の基礎原理を築くものである。令和元年度には、シリコン単電子ポンプ素子の高速並列駆動により、従来素子における電流値の限界 (~ 1 nA) を超えるための実証実験に取り組んだ。1 M Ω の高集積量子ホール抵抗アレー素子を作製できるのは、世界でも産総研だけである。また、電子 1 個 1 個を制御した極限分解能での交流電流発生や、単一電子センサを利用した振動子と核スピンの相互作用の実証はいずれも世界初の成果である。

[IF 付国際誌 28 報、特許出願 1 件、プレスリリース 3 件、外部資金 18 件、外部受賞 1 件 (一般財団法人エヌエフ基金 第 6 回研究開発奨励賞)、共同研究 5 件]

【成果の意義・アウトカム】

単電子ポンプの開発では、実用領域で求められるナノアンペアレベルの電流値に近づいており、今後さらなる大電流化と不確かさ低減を行うことにより、SI 単位の新しい定義にもとづいた次世代の国家計量標準である量子電流標準の実現や、究極の精密微小電流計測が可能となる。

これらの成果は、量子電流標準のみならず、誘電体材料の評価や半導体素子開発に必要な微小電流計測の実現と精度向上に寄与するとともに、ナノ粒子計測、微量元素分析、放射線計測、電気化学計測など、さまざまな産業応用の可能性をもたらす。さらに、新しい物理現象の探索や、量子コンピュータの読み出し・制御、オームの法則を量子力学レベルで検証する量子メトロロジー・トライアングル (電圧、抵抗、電流の 3 つの電気量をすべて量子現象 (ジョセフソン効果、量子ホール効果、単電子ポンプ) で実現し、相互に高精度測定することでオームの法則の整合性を検証する先端的な研究テーマ) など、学術的な先端科学研究の分野にも貢献する。

[先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化]

【背景・実績・成果】

各種電子・光デバイスはその構成材料中の電子やホールの状態 (エネルギー準位) とその変化 (動的過程) で動作するため、高性能デバイスの開発には、材料中の動的過程とそれに関わる電子状態 (特に励起状態) を直接分析・評価する手法の開発及び高度化と、それをを用いた測定・解析結果に基づく材料の設計と作製が必要である。

これらのニーズに応えるため、短パルスレーザー光の吸収及び光電効果を利用した過渡吸収分光法の開発・高度化及びレーザー時間分解光電子収量分光法 (Time-resolved Photoelectron Yield Spectroscopy; TR-PYS) の開発を行った。平成 27 年度～平成 29 年度には、前者については、波長領域及び時間領域で世界で最も広い測定可能範囲として、紫外から中赤外までの波長領域 (0.24 μm ～11 μm) で、サブピコ秒からミリ秒の 12 桁 (100 fs～100 ms) にわたるシームレスな時間分解測定を実現し、材料中の動的過程の解析への応用を行った。(他機関では、波長領域 0.24 μm ～11 μm で時間領域 100 fs～数 ns または数 10 ns～100 ms の時間分解測定となるので、シームレスな時間分解測定が実現できない。) 励起状態のエネルギー評価が可能な後者については、二光子吸収による光電子放出を大気中の微小電流 (fA～pA) 測定で確認し、原理の実証を行った。特に平成 29 年度には、過渡吸収分光法を駆使して、次世代有機 EL 用発光材料の発光機構を解析し、100 %に近い高い発光効率を示す分子構造の特徴を明らかにした。得られた知見は、様々な発光色において高い発光効率と耐久性を兼ね備えた発光分子の探索・設計・作製に役立つものである。平成 30 年度は、励起光に対して検出光の照射位置を二次元走査させることにより、時間分解能に加えて 1 μm 以下の空間分解能を付与した顕微過渡吸収イメージング分光装置を開発し、動的過程の空間伝播の可視化を実現した。令和元年度は、当該イメージング装置の空間分解能等を構造や大きさが既に解明された典型的な高分子であるポリチオフェン等の有機材料や高分子材料で明らかにしてその有用性を検証するとともに、TR-PYS 装置のプロトタイプ作製のための光源系の準備と調整を進めた。顕微過渡吸収イメージング分光装置及び TR-PYS

装置が完成すると、これらを組み合わせた複合分析が実現し、機能性材料の励起状態の時間・空間変化の解析が可能となり、機能性材料の高性能化に資する知見獲得できる。

なお、産総研の過渡吸収分光法は、時間領域及び波長領域について世界で最も広い測定範囲を実現している。また TR-PYS はパルスレーザー光を用いた産総研オリジナルの測定法である。

[IF 付国際誌 53 報、特許出願 1 件、プレスリリース 2 件、受賞 1 件 (有機 EL 討論会 第 23 回例会 講演奨励賞 (平成 29 年度))、新聞報道 1 件、ノウハウ 1 件、プログラム 2 件]

【成果の意義・アウトカム】

材料の励起状態の時間分解測定を実現するレーザー分光法 (過渡吸収分光法及びレーザー時間分解光電子収量分光法) の開発と高度化を行った。特にレーザー時間分解光電子収量分光法において、短パルスレーザーにより発生させた白色光を光源に用いた時間分解測定が実現すると、通常は 10^{-8} Pa 程度の真空が必要な光電子分光法に代わり、大気中での簡便な電流測定によって励起状態の電子エネルギーを簡便に決定できる世界初の事例となり、状態間遷移を追跡できる過渡吸収分光法と併せて、機能性材料の動的過程を踏まえた材料設計・材料作製に貢献できる。

なお、過渡吸収分光装置による時間分解測定は、すでに産総研 TIA 推進センター共用施設ステーション (産総研先端ナノ計測施設 (ANCF)) より、外部の企業等の公開利用 (年 10 件~15 件程度) に供している。これを含めた材料開発の支援を通して各種デバイス等の高性能化に寄与し、省エネルギー社会や低炭素社会の実現に貢献する。

特に過渡吸収分光法については、学会誌「応用物理」や商業誌「パリティ」(いずれも平成 29 年度) 等の解説論文の依頼執筆とプレスリリースを通じて、広く学界・産業界・社会へ成果発信を行い、また新聞報道等(平成 29 年度 1 件)で社会からの関心を集めた。

[有機質量分析による高感度な構造解析技術の開発]

【背景・実績・成果】

質量分析は、有機分子の「分子量測定」や、巨大分子の「構造解析」の強力なツールとなっていることから、ライフサイエンス、医薬、環境、材料分野等で広く用いられている。生命機能の理解や新規医薬品の開発には、有機化合物の正確な構造解析が必要であり、試料が混合物であっても分析を行える質量分析が中心的な分析手法として認知されている。さらに、質量分析で得られたフラグメントイオンの情報から有機化合物の構造を解析することが可能であるが、タンパク質などの複雑な分子の分析においては、多数のフラグメントイオンが生じ、解析が困難になることが多い。そのため、特定の結合を選択的に切断可能な新規フラグメンテーション技術の開発が必要となっている。有機化合物のラジカル化は官能基特異的に起こり、ラジカル化によって特定の結合の切断が誘起される。従って、ラジカル分解によって得られたフラグメントイオンは、試料分子の特定の切断を経て生成しているため、フラグメンテーション情報から有機化合物の構造を容易に推定できる。また、各種診断マーカーとなる生体内の微量タンパク質を高精度で定量可能な新技術の開発も大きな課題となっている。

平成 27 年度に、金属錯体を利用したラジカル分解技術に基づくラジカル分解質量分析法を開発した。金属錯体の添加によりラジカル分解効率が増大し、タンパク質の選択的結合切断が可能となった。この手法をリン酸化タンパク質由来の消化ペプチドの分析に応用し、アミノ酸配列を正確に解析できることを示した。さらに、実験と量子化学に基づいた計算を組み合わせ、ラジカル分解過程を解明し、高感度分析への指針を示すことに繋げた。また、平成 28 年度には、タンパク質を二段階で化学修飾する技術を開発し、安定同位体の導入による高精度化と、質量分析に適した置換基の導入による高感度化の両立に成功した。平成 30 年度には、化学修飾法とラジカル分解質量分析法を組み合わせることで、より微量 (ng 程度) のリン酸化・硫酸化タンパク質由来の消化ペプチドのアミノ酸配列の解析が可能になった。令和元年度は、水素原子付加・脱離を用いたラジカル分解質量分析法の研究に注力し、技術開発を進めた。

一連の研究によって、従来技術では推定が困難であったリン酸化タンパク質のリン酸化位置を決定することが可能となった。また、化学修飾によって 10 倍以上の高感度化に成功した。

[IF 付国際誌 21 報(表紙に 2 度採用)、和文誌 4 報、特許出願 4 件、特許登録 1 件]

【成果の意義・アウトカム】

複雑なタンパク質や消化ペプチドの解析を質量分析のみで行うことは従来技術では難しかったが、質量分析のみを用いて正確に解析することが可能になった。構造解析は、X 線回折や NMR でも可能であるが、高純度かつ多量 (mg 程度) の試料が必要となる。一方、質量分析は純度の低い微量 (ng 程度) の試料でも分析可能であるため、本成果は大きな意義を持つ。また、開発した二段化学修飾法により、汎用質量分析装置でも生体試料中に pg~fg 程度存在する、生理活性微量タンパク質及びペプチドを直接、定量分析することが可能になった。各種診断マーカー検査法の評価技術としての応用が期待される。

開発された技術は、創薬や医療診断などにも応用可能であり、健康長寿社会の実現に貢献できる。本技術は、権威のある学術誌 (J. Phys. Chem. B 及び J. Am. Soc. Mass Spectrom. の 2 報) の表紙にも採用された。

【課題と対応】

当領域における目的基礎研究では、計量標準をベースにした、将来の「橋渡し」に繋がる技術シーズや世界トップレベルの成果の創出を目指している。これまで当領域が築いてきた精密計測技術における強みを生かし、計量標準機関の競争力根幹に関わる計測・分析・評価技術について、量子化による高分解能化・高精度化、分析技術の開発・効率化、新たな現象を評価する技術の開発への取組を「橋渡し」に繋げることが課題である。そのため、第 5 期も引き続き将来的な製品化や事業化を見据えて、研究開発の結果を ISO や JIS などに標準化する道筋を重視した研究開発を行う。普及という点では、校正から連続的に広がる計測の現場や製品開発レベルまでの連携を拡充する仕組みとしての標準供給体制を活用する。

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

総括：

【背景・実績・成果】

当領域は、国家戦略や法令・規制に対する貢献も期待されている。将来の産業ニーズや技術動向等を予測し、企業からの受託研究に結び付くことを目指す「橋渡し」研究前期においては、社会インフラ整備や規制対応に繋がる研究開発及び新たな測定評価法の開発と共に、ユーザの拡がりをもたらす技術開発に重点的に取り組んだ。具体的には、国立標準研究機関 (National Metrology Institute; NMI) としてのコアコンピタンスを元にイノベーションを加速し、政策的な目標を実現するための新たな計測技術の確立のため、以下の点を基本戦略に設定した。

- ・計量標準を付加価値として新たなユーザの獲得
- ・企業における計測技術、計測装置開発支援
- ・計測技術による製品価値、企業価値の向上
- ・社会の安全、安心への貢献

国家戦略・法令・規制に対する貢献と、ユーザを拡げ得るこれらの課題は、テーマ設定として適切であった。

上記を含む研究開発の結果、知的財産の実施契約件数は、第 4 期中長期目標期間全体で、457 件 (12 月の暫定値) となっている。このうち、平成 27~平成 29 年度の 3 年間では、261 件で、当該 3 年間の合計目標値に対して 104 %の成果を達成した。平成 30 年度は、100 件であり、目標値である 85 件を達成した。令和元年度は 96 件 (12 月の暫定値) であり、目標値である 90 件をすでに達成している。実施契約件数は、第 4 期の各年度において目標を達成した。知財実施及

び知財譲渡における新規案件を着実に獲得し続ける一方で、知財実施では長く活用される継続案件を多く含むなど、質的狀況においても良好な知財創出がなされた。

戦略的な知的財産マネジメントの取組として、専任の P0 の助言の下、知的財産の活用範囲を見極めながら、国内特許及び必要に応じて国際特許取得を目指すなどの戦略的な取組を実施した。

【成果の意義・アウトカム】

国家戦略の促進や社会インフラ整備、法令・規制の順守に必要とされる計測技術の確立と新しい測定方法や評価方法の社会実装を目指した研究開発を推進した。具体的には、水素社会実現に不可欠な社会インフラ整備、食品衛生法や水道法等の法令・規制への対応が期待される研究成果が達成された。また、新たな測定・評価方法及び装置化への発展として、様々な製造現場で必要とされる水分計測の信頼性担保への貢献、市販水分分析用標準液の開発への貢献、国産極微量水分計の製品化支援と月面探査への応用を目的とした宇宙航空研究開発機構（JAXA）との新規共同研究への展開、粒子計測技術による浮遊微生物計測への応用、製造現場における清浄度管理など、品質管理の信頼性向上に貢献が期待される。さらに、柔軟性、耐久性、極めて高い光吸収率を併せ持つ黒色素材“究極の暗黒シート”の開発に世界で初めて成功した。本成果は、他の素材への拡張性が高く、分光分析装置における迷光除去、サーモグラフィーでの熱赤外線乱反射の防止など、一般環境での幅広い応用が期待される。

産総研第4期の具体的な研究開発について、具体的な【背景・実績・成果】と【成果の意義・アウトカム】を以下にまとめる。

[水素流量計測技術の開発と国際標準化]

【背景・実績・成果】

平成26年、燃料電池自動車の販売、水素ステーションの商用化がそれぞれ開始されて以来、燃料電池自動車・水素ステーションの普及に向けて官民挙げて積極的な取組が行われている。平成30年には第五次エネルギー基本計画が策定され、2025年までに320箇所の水素ステーションを整備し、2020年代後半までに水素ステーションビジネスの自立化を目指すというシナリオが示された。既に商用水素ステーションでは、燃料電池自動車への水素ガス充填による計量取引が行われているが、水素価格は1kg当たり1,000円から1,500円の範囲で100円単位で設定されている。これは水素の製造・輸送・貯蔵等の高コストやロスが原因であるとともに、現在の水素ディスペンサーの計量精度は数%程度しかないことも影響している。安価な未利用エネルギーや再生可能エネルギーを利用した国際的な水素サプライチェーンの構築によって2050年には現在の5分の1までの低価格化を目指しており、取引当事者間、とりわけ消費者保護の観点から、水素計量精度も現在の数倍に向上させる必要がある。高精度な水素計量計測技術が開発され、水素ディスペンサーの計量性能が保証されることで、現在のガソリンと同様に、大量かつ高精度で水素計量が行われ、水素社会の普及が現実なものとなる。

NMIJでは、水素供給コストの低減と安定化、水素ステーション運営コストの低減、公正な水素燃料商取引の実現へ向けて、水素流量計測技術の開発を行ってきた。水素ディスペンサーは製造メーカーにおいて、水や窒素ガスなどの代替流体で計量精度検査が行われ、出荷されている。実際の水素ステーションでは代替流体を使用することはできず、計量精度検査のためには水素ガスによる校正が必須である。平成27年度には、国家標準として水素ガス流量標準を整備した。さらに、高精度流量計測が可能な臨界ノズルを用いて、複数化・多段化によるビルドアップ方式により、7気圧から820気圧へ117倍の高圧化、及び、100g/minから3,600g/minへ36倍の大流量化を実現した。また、産総研内に開発機器評価のための中高圧領域（～350気圧）で実際に水素ガスを流して流量計評価ができる校正設備を整備した。上記の技術開発の成果として、平成28年度に、日本工業規格 JIS B8576:「水素燃料計量システム自動車充填用」が発行された。平成29年度には、商用水素ステーションに設置可能な可搬型マスターメーター計量精度検査装置を開発し、その性能を確認した。これらの成果により、平成30年度には、国際法定計量機関 OIML 勧告

の OIML R139: Compressed gaseous fuel measuring systems for vehicles の改定で主導的な役割を担った。令和元年度は、水素ディスペンサーに対するマスターメーター法計量精度検査方法を確立し、水素ステーションにおける実証試験を実施した。また、実証試験の結果を技術基準として、前述の日本工業規格 JIS B8576 の改正へ向けた原案作成のための調査研究委員会を立ち上げ、規格改正のための議論を開始した。

[和文誌 3 件、特許出願 3 件、受賞 1 件 (OIML 規格作成に関する感謝状(53rd CIML Meeting))、国際勧告改定 1 件、JIS 制定 1 件]

【成果の意義・アウトカム】

世界最高水準の高圧水素流量計測技術を開発した。これにより、現在、水素ステーションで実施されているオンサイト計量精度検査方法である重量法に比べ、コスト面では 3 分の 1 程度に、効率面では 2 倍程度、優位となるマスターメーター法による検査が可能となった。また、開発機器評価用に 350 気圧までの中高圧領域で実際に水素ガスを流して流量計評価ができる校正設備を整備した。これらの成果を基盤として、日本工業規格 JIS の制定、国際法定計量機関勧告 OIML R139 に貢献した。

水素ステーションビジネスの自立化、水素供給コストの低減、バスやトラックなど、その他モビリティへの技術展開、関連機器開発の型式設定による互換性の確保など、今後の水素エネルギー社会の普及に向けて貢献が期待できる。

本技術は、すでに工業標準化や国際規格化に貢献しており、韓国、中国、台湾から多数の問い合わせや見学など、注目されている。

[有機標準物質の迅速供給に向けた一対多型校正技術の開発]

【背景・実績・成果】

食品衛生法や水道法などの改正によって、規制対象である 1,000 種類を超える有機化合物における標準物質が求められているが、トレーサビリティの基点となる国家標準物質の充足率は 1/10 にも満たないため (令和元年 12 月現在 54 種類)、迅速な整備が求められている。

本研究では、規制対象毎の国家標準物質を整備することなく、異なる化合物が多成分含まれる有機標準液の同時値付けを可能とする、以下の一対多型校正技術の開発を行った。

炭素及び水素あるいは炭素、水素及び酸素からなる有機化合物をオンラインでメタンに変換することで、炭素量の基準となる物質から多成分同時値付けを可能とするポストカラム反応ガスクロマトグラフィー (ポストカラム反応 GC) を開発し、水道水質検査に用いるかび臭物質 2 種混合標準液等の整備を平成 29 年度に達成した。さらに平成 30 年度には、ポストカラム反応 GC の適用拡大に向けて装置メーカーと共同研究を開始し、酸化効率を高める改良により塩素化合物 (水道法等における規制対象物質) について適用できる見通しを得た。

また、水素量の基準となる物質から多成分同時値付けを可能とした、定量核磁気共鳴分光法 (quantitative Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy; qNMR) とガスクロマトグラフィー (Gas Chromatography; GC) を組合わせた校正技術である qNMR/GC を実用化することで、水道水質検査に用いるフェノール類 6 種混合標準液の整備を平成 29 年度に達成した。また、qNMR と高速液体クロマトグラフィー (High Performance Liquid Chromatography; LC) を組合わせた校正技術である qNMR/LC を実用化することで、水道水質検査に用いるハロ酢酸 4 種混合標準液の整備も、平成 29 年度に達成し、同じく水道水質検査に用いるヘプタオキシエチレンドデシルエーテル (非イオン界面活性剤) 標準液の値付け方法を平成 30 年度に確立した。

さらに、qNMR/LC に分取を加えた技術 (分取 qNMR/LC) を開発し、令和元年度には、東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会等におけるドーピング検査の信頼性向上に貢献すべく禁

止物質の値付けに展開した。世界アンチ・ドーピング機構 (World Anti-Doping Agency; WADA) からの要請に基づき、2 物質の認証標準物質の開発を実施し、令和 2 年度初頭には頒布開始の運びである。また、我が国唯一の WADA 認定検体分析機関である株式会社 LSI メディエンスからの研究委託に基づき、ドーピング検査において分析機器の校正に用いる禁止物質の純度評価法の確立を東京 2020 オリンピック・パラリンピックに間に合わせるべく、qNMR 等校正技術の迅速化ならびに高度化と併せて実施しており、令和 2 年 6 月末までに 30 物質の分析結果を報告する予定である。

[IF 付国際誌 12 報、プレスリリース 4 件、受賞 1 件 (2015 年度日本分析化学会先端分析技術賞 CERI 評価技術賞)]

【成果の意義・アウトカム】

これまで各国の国家計量標準機関が行ってきた一対一対応の校正技術では国家標準物質の整備がボトルネックとなっていたが、異なる分子の比較による一対多型の校正技術を世界に先駆けて開発したことにより、有機分野の標準整備の負担を著しく軽減できる基盤が構築できた。具体的成果には、ポストカラム反応 GC によるかび臭物質 2 種混合標準液の値付け、qNMR/GC によるフェノール類 6 種混合標準液の値付け、qNMR/LC によるハロ酢酸 4 種混合標準液の値付けの成功など、従来の 10 倍以上のスピードでの標準整備を実現することで、規制物質の検査における信頼性の向上が図られ、計量行政ならびに水道行政に多大な貢献を果たした。さらに、ドーピング禁止物質の値付けなど、多様な分野における試験・検査結果の信頼性向上に広く寄与できうる。

このような革新的校正技術が開発されたことにより、SDGs のターゲット項目である、環境汚染の低減、安全な飲料水へのアクセス、ならびに、化学物質の環境影響の低減等への貢献が期待できる。

なお、qNMR/GC 及び qNMR/LC の基盤技術となっている qNMR は、平成 28 年度に日本薬局方の一般試験法に採用されたほか、平成 29 年度には JIS 化され、さらには令和元年度には ISO (TC34: 食品専門委員会) への提案を行うなど、社会への普及を着実に進めている。また、ポストカラム反応 GC は、その技術の革新性から、平成 27 年度の日本分析化学会先端分析技術賞 CERI 評価技術賞を受賞した。

[産業・科学分野における水分計測の信頼性向上]

【背景・実績・成果】

半導体製造における各種ガス中の残留水分管理を始めとして、食品・医薬品・石油化学・自動車など幅広い製造分野の品質管理や、月面での水氷探査を通じた太陽系の起源解明などの科学分野の最前線において、精確な水分計測に対するニーズが近年高まっている。

NMIJ では、上記ニーズに対応するため、ガス中水分計測の信頼性担保に不可欠な湿度標準を微量水分から高湿度までの幅広い範囲で開発・供給・維持を行うとともに、新たな水分分析用標準物質の開発を行った。さらに、湿度標準・標準物質に基づく校正技術及び計測技術の開発を行った。微量水分標準の開発においては、低温の氷の飽和水蒸気を利用する従来方式ではなく、微量の水分をガス中で蒸発させて、その量を精確に制御・計測する手法を新たに開発した。これにより、低温での完全飽和の実現と確認の問題が回避可能となり、半導体材料ガスであるアルゴン (Ar)、酸素 (O₂)、ヘリウム (He) 中の微量水分の一次標準を世界で初めて確立することに成功した。低濃度レベルで SI トレーサビリティの確保が困難である課題を解決するために、測定原理上、直接水分量につながる印加電氣量を正確に評価することに取り組んだ。JCSS 校正された標準抵抗、電圧計等を用いて印加電氣量の値を検証することにより、トレーサビリティを確保し、世界の NMI に先駆けて低濃度水分分析用標準液の開発に成功した。また、水分分析用標準液は第 4 期の 5 年間に頒布数 343 の実績がある。

平成 28 年度に、窒素 (N₂) 中微量水分標準に基づく微量水分計の校正濃度範囲の上限を 1 ppm から 5 ppm に拡張した。また、超高感度・高精度測定用キャビティリングダウン分光法 (Cavity

Ring-Down Spectroscopy; CRDS)を確立した。平成 29 年度には、He 中、O₂ 中の微量水分標準を確立した。一方、リアルタイム測定用 CRDS を開発した。平成 30 年度には、CRDS を用いて、市販製品相当の性能を維持しつつ、従来市販器の体積 10 分の 1、質量 5 分の 1 の小型微量水分計を開発した。これは各種製造プロセスで用いられている製造装置内部への組み込みや、月面探査機への搭載が可能となるレベルの小型化 (サイズ 9 cm×15 cm×20 cm, 質量 3 kg) である。令和元年度には、この小型微量水分計の 2 年後の製品化を目指して、民間企業と共同研究を開始した。この製品を半導体・フラットパネルディスプレイ・リチウムイオン電池等の製造ラインに組み込み、プロセスポイントで残留水分管理を直接行うことで、それら先端デバイスの品質向上と歩留まり改善が期待される。宇宙応用については、月面探査用の小型微量水分計の開発に関して、阪大・JAXA と連携を進めている。

平成 27 年度には水分分析用標準液 (質量分率 : 0.1 mg/g) を供給し、平成 29 年度には高濃度の水分分析用標準液 (質量分率 : 1 mg/g) を開発した。さらに、平成 30 年度に世界の国家計量標準研究機関 (NMI) に先駆けて、低濃度水分分析用標準液 (質量分率 : 0.02 mg/g) を開発した。

[IF 付国際誌 12 報、特許 1 件、受賞 4 件(応用物理学会講演奨励賞 2 件、国際シンポジウムベストレクチャー賞 2 件)、水分分析用標準液の 5 年間 (平成 27 年度～令和元年度) の頒布数 343 件]

【成果の意義・アウトカム】

キャビティリングダウン分光法 (CRDS) 微量水分計については、小型化を達成したことで、例えば、半導体製造装置の内部に組み込んでのプロセス中のその場計測や、月面探査への利用が十分狙えるサイズとなった。市販化に向けた企業との実用化研究を通じて、様々な製造分野での微量水分管理による製品品質と歩留まりの向上へ貢献していくことや、宇宙応用を目指した宇宙研究機関等との連携を通じて太陽系の起源解明などの宇宙物理への貢献に繋がっていくことが期待される。

水分分析用標準液については、従来は、市販水分分析用標準液の製造用途として 0.1 mg/g の水分分析用標準液を頒布していたが、それより低い濃度レベルの分析を可能とする低濃度水分標準液を開発した。この標準液は水分計の製造業者が装置開発に利用することで、有機合成用脱水溶媒やリチウムイオン電池電解液の品質管理など、幅広い製造現場における品質管理に不可欠な水分分析の精度管理向上に貢献することが期待される。

微量水分標準に関する技術は、平成 27 年度に国際会議 GAS2015 (8th International Gas Analysis Symposium & Exhibition) でベストレクチャー賞と平成 28 年度に応用物理学会で講演奨励賞を、微量水分計測に関する技術は、平成 29 年度に応用物理学会で講演奨励賞と令和元年度に国際会議 GAS ANALYSIS 2019 でベストレクチャー賞を得るなど、学術的な評価も高く、研究の発展が期待されている。

[様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発]

【背景・実績・成果】

粒子計測技術は、先端材料・薬剤製造などの製造現場における清浄度管理、医療診断、自動車からの粒子排出規制、近年急速に導入が進むナノ材料規制などで広く利用されており、特に規制や規格に基づく計測では、高い精度と信頼性が必要とされている。そのため、精度の高い新たな粒子計測技術の開発と、精度管理のための計量標準や校正法の開発、国際標準化が求められている。

気中粒子に関しては、主にマイクロメートル領域の粒子濃度校正技術・試験技術の開発を行った。特に平成 27 年度には、マイクロメートル領域での粒子濃度校正を容易にする市販型インクジェットエアロゾル発生器 (Inkjet Aerosol Generator ; IAG) を企業と共同開発・製品化した。開発した IAG により、従来のスプレー式では困難だったマイクロメートル領域の粒子を安定に発生させることが可能となり、市販パーティクルカウンタの校正が容易になる。令和元年度は、IAG

を利用したパーティクルカウンタ校正法の国際標準化に計測器メーカーと共同で取り組み、ISOにおいて提案し、規格開発を行うことになった。また、IAGを用いた浮遊微生物迅速測定器の性能評価を目的とし、微生物を模した試験粒子の試作と特性評価を行った。

液中粒子に関しては、主に校正・計測可能な粒径を小さくする技術開発を行い、特に平成29年度に流れ場粒子軌跡解析法(Flow Particle Tracking; FPT)を開発した。本方法では、流れ場の影響を補正するとともに、従来の粒子追跡法(Particle Tracking Analysis; PTA)よりも信号雑音比を約730倍改善した光学系を構築するなど、バイアスとなる信号やバックグラウンド信号を削減することで、従来の最小粒径30 nmよりも小さい最小粒径10 nmを実現した。

[IF付国際誌17報、特許出願10件、受賞4件*、展示会出展6件]

*[様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発]に関する受賞内容は以下の通りである。

- ・日本エアロゾル学会 ベストポスター賞(PM2.5自動測定装置の試験方法、平成28年度)
- ・日本エアロゾル学会 エアロゾル計測賞(IAG、平成29年度)
- ・日本空気清浄協会研究大会技術賞(IAG、平成30年度)
- ・国際半導体製造シンポジウム Best Paper Award(液中ナノ粒子計測技術、平成30年度)

【成果の意義・アウトカム】

IAG技術に関しては、市販パーティクルカウンタを用いて空気中に浮遊する微生物を精度良く測定できるようになり、薬剤製造現場において清浄度管理が向上し、薬剤の生産性の向上が期待される。

FPT技術に関しては、従来より小さい異物の検出が可能となり、半導体製造プロセスにおいて超純水の清浄度管理が改善し、歩留まりの向上が期待される。

[極低反射光吸収材料(暗黒シート)の開発]

【背景・実績・成果】

表面を黒色化した材料は、装飾、映像、分光分析分野などの幅広い用途があり、特に光の乱反射防止用には、100%に近い光吸収率の材料が求められている。しかし、従来の材料で99%以上の光を吸収するものは耐久性に乏しく、一般的な生活環境での利用が困難であった。

NMIJでは、これまでの光吸収材料の研究開発の中で、素材の表面に微細な凹凸構造があると、その鋭さや、サイズ、組成の条件次第で、光吸収率を極限まで高められることを見い出していた。そこで、量子科学技術研究開発機構とともに、サイクロトロン加速器のイオンビームを用い、丈夫な素材上に微細な凹凸構造を作ることによって、あらゆる光を吸収して、高い耐久性も併せ持つ、新しい光吸収材料の研究開発に取り組んだ。平成27年度には表面凹凸構造に基づく光吸収体の基本原理を実証した。平成29年度には、同様の原理に基づくテラヘルツ～ミリ波吸収体を開発した。平成30年度には表面凹凸構造に基づく極低反射光吸収体の製造方法の基礎を確立し、外国特許を出願した。令和元年度には紫外線～可視光～赤外線全ての光を99.5%以上吸収し、耐久性も高い暗黒シートを開発した。イオンビーム加工によって微細な表面凹凸構造を作製した樹脂基板を原盤として利用し、黒色シリコーンゴムの表面に微細構造を転写することで、量産性も確保しつつ、特に熱赤外線の波長域では、世界最高水準となる99.9%以上の光吸収率が得られた。この暗黒シートはシリコーンゴムの柔軟性を保っており、曲げても触っても、粘着テープを貼りつけて剥がしても、性能が劣化せず高い光吸収率を維持でき、耐久性などの課題を克服した。このように、耐久性と、極めて高い光吸収率を併せ持つ黒色材料は世界初である。本技術のプレスリリースの結果、多数の報道機関や、企業等からの問合せを受け、高い期待が寄せられている。

今後は、暗黒シートの製品化・量産化に向けた研究を進め、実施契約などの技術移転を進めて行く。

[IF 付国際誌 3 報 (裏表紙に 1 度採択)、特許出願 1 件、プレスリリース 1 件、外部資金 1 件、企業等からの問合せ 60 件超、産総研公式 twitter 上の解説動画の再生数 53 万回、産総研公式 YouTube 版の動画再生回数 8 千回 (3 か月間)]

【成果の意義・アウトカム】

暗黒シートは、他の素材への拡張性が高く、量産性や耐久性を確保できたため、実用化の目途が立った。美しい黒が映える新素材として、例えば高級感ある黒の演出や、黒が沈む高鮮明映像への貢献のほか、分光分析装置における迷光除去、サーモグラフィーにおける熱赤外線乱反射の防止など、一般環境での幅広い応用が期待される。

本技術は、プレスリリースのほか、一般紙(読売、日経、朝日ほか)を含む 22 紙、テレ東 WBS トレたま、TBS ラジオ・スタンバイ!、Web 記事(Yahoo! ニューストップページなど多数)、及び雑誌 4 誌(日経ものづくり等)で報道された。展示会来訪者は延べ 600 名超で、多くの業界(素材、自動車、電機、分析、装飾、VC、学術等)より高い期待が寄せられている。また、本技術の解説動画は産総研公式 twitter 上で 53 万回再生を記録し、9 千超のいいね! を獲得した。IF 付国際誌のうち 1 報(IF=6.6)は裏表紙にも採択された。外部予算は、文部科学省科研費(平成 30 年度～令和 2 年度)を獲得した。

【課題と対応】

民間企業との連携の促進による「橋渡し」への移行が課題である。第 5 期も引き続き展示会やプレスリリース等の情報発信を通じた技術シーズの広報に取り組む。ニーズ調査や技術相談の集計結果の分析による橋渡し前期の研究課題検討や、IC や PO を中心とした企業とのマッチングを促進する。

当領域では、これまで校正事業者のみを対象としていた計測技術をさらに発展させ、最終ユーザーレベルまで計量標準ユーザの階層を広げるような、新たな価値創造に重点を置いたテーマ設定を行う。具体的な設定は、国家プロジェクトやコンソーシアムなどの資金活用の下、将来的に民間からの測定依頼や受託研究へ結び付くことを想定して行う。これらの観点はそれぞれのテーマにおいて適切に反映され、世界トップレベルの成果の他、民間への技術移転などを視野に入れた橋渡し後期へと発展させる。

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

総括：

【背景・実績・成果】

「橋渡し」研究後期では、計量標準・標準物質の開発を通じて培った計測技術の技術移転や製品化に重点を置いた研究開発と、製品開発における性能評価や性能向上において計測を必要とする個別案件に測定サービスやソリューションを、受託研究、共同研究や技術コンサルティングとして提供する形の研究開発に取り組んだ。具体的には、以下の点を基本戦略に設定した。

- ・ 民間への技術移転
- ・ 民間校正設備の精度向上、新たなトレーサビリティ技術 (センサ・校正装置) の開発
- ・ 校正、計測技術による製品価値、企業価値の向上
- ・ 計測装置自体の製品化

研究開発の結果、3 次元 (3D) 計測技術により、3D 造形の代表的な幾何誤差パラメータを同定する簡便な方法を開発し、公設試験研究機関を介して企業との地域横断的な連携体制を構築した。超高精度な変位計評価や、電磁波を利用したセンシングの技術を利用して、計測のソリューションを提供する形で民間製品の性能評価や非破壊評価の支援を行なった。産総研を中核機関として、計測機器メーカーやナノ材料メーカーがコンソーシアムの形で結集し、ナノ材料の適正管理を実現する複合計測システムの開発、関連する標準化を行なった。X 線検査法、モアレを利用したひずみ

計測法の技術を新たな製品開発に展開し、簡便かつ非破壊なインフラメンテナンスの実現等により、Society 5.0 に基づく社会の実現に貢献した。

これらの研究成果により、民間からの資金は、第4期中長期目標期間の目標値合計30億円に対し、実績値合計は令和元年度12月時点で30.6億円(102%)を達成している。平成23年度～平成25年度の年平均獲得額は約2.4億円であったが、平成29年度以降は、この3倍以上の資金を獲得してきた。

第4期の特筆すべき資金獲得成果として、技術コンサルティング契約による資金獲得が挙げられる。平成27年度には、技術コンサルティングによる獲得額は0.3億円であったが、毎年度順調に増額し、平成30年度は2.4億円となり、4年間で5.8億円を獲得した。これは、4年間全体における民間資金総獲得額の約25%であり、オーダーメイドの測定・分析が特徴である技術コンサルティングで、産業界へのサービスを加速している指標となっている。また、令和元年度は2.4億円(12月の暫定値)であり、順調に増額した。

産総研における計量標準の領域で培われた高精度な計測技術に対して広く産業界からの関心が得られたことにより、「橋渡し」機能の強化に繋がり、第4期中長期期間を通して、民間企業からの資金提供型共同研究費などを多く獲得するに至った。研究契約数全体に対する中堅・中小企業の研究契約件数の比率は、平成27年度～29年度の3年間で、平均して42.0%である。平成30年度も34.0%、令和元年度も32.9%(12月の暫定値)であり、第4期を通して、大企業のみならず、中堅・中小企業にも注力してきた。

戦略的な知的財産マネジメントの取組として、専任のP0の助言の下、知的財産の活用範囲を見極めながら、国内特許及び必要に応じて国際特許取得を目指すなどの戦略的な取組を、第4期を通して実施した。同時に戦略的見地から、国際標準化への反映等、知財のオープン化も並行して検討、展開している。標準化や知財のオープン化は計量標準総合センター長、研究戦略部長、研究企画室長、各ユニット長、各研究部門の連携担当、IC、P0をメンバーとする技術マーケティング会議においても知的財産に関する事項の情報共有ほか、有効的な活用法を議論している。

【成果の意義・アウトカム】

資金提供型・装置提供型共同研究等の制度を積極的に活用し、計量標準の開発を通じて培った知見・計測技術を産業界や民間企業へ直接橋渡しすることで、高精度な装置の製品化や市販装置に対する信頼性の高い性能評価を実現した。その結果、産業競争力向上への貢献が期待される。具体的な例としては、計測技術の技術移転や製品化を目標とした共同研究の成果として、日本の3D計測機器企業の国際競争力強化に貢献した。また、経験や技術伝承に依存しない、客観性・再現性の高い新しい計測技術として、電磁波を利用した食品の非破壊センシング技術を確認することで、生産性の効率化、性能評価の向上を実現し、企業の製品化やサービスの向上に貢献した。

産総研第4期の個別の研究開発について、具体的な【背景・実績・成果】と【成果の意義・アウトカム】を以下にまとめる。

[デジタルものづくり産業を支える3D形状計測]

【背景・実績・成果】

ものづくりの効率化に向けて期待の大きい3D形状スキャナと3Dプリンタについては、精度がものづくり産業の要求水準には到達していないという課題があった。

平成27年度から約45カ所の公設研との共同研究を実施し、平成30年度にはハンドツール(マイクロメータなど)による長さ測定の組み合わせから3D造形の代表的な幾何誤差パラメータ(3軸倍率, 3軸直角度)を同定する簡便な方法を開発した。また、約45カ所の公設研を通じた地域産業に向けた成果普及に利活用する体制を構築し、フィードバックループによる造形精度の高精度化を実現した。その結果、地域イノベーションの活性化に役立った。また、平成28年度からISO規格をプロジェクトリーダーとして作成中である。

平成 28 年度には、民間企業と共同で、高エネルギー高精細 X 線 CT (Computed Tomography) の開発を開始した。その結果、平成 30 年度には、MV (メガボルト) 級の X 線 CT として世界初となる 0.1 mm 分解能を達成し、世界最高水準の 3D 形状計測技術を実現した。民間企業との共同開発において、平成 27 年度に熱交換部品計測用 X 線 CT を、平成 29 年度に世界最高性能の計測用 X 線 CT を発売した。

第 4 期を通じた研究開発の結果、産業用 X 線 CT、中でも大型部品への適用に不可欠な高エネルギー X 線 CT の分解能限界を約 4 倍へと大幅に向上することができた。令和元年度には近畿経済産業局事業、平成 31 年度地域中核企業ローカルイノベーション支援事業 (3D 積層造形によるモノづくり革新拠点化事業 (Kansai-3D 実用化プロジェクト)) に参画し、全国規模で公設試と連携し、3D 幾何計測の高度化に貢献した。

[IF 付国際誌 3 報、特許出願 3 件]

【成果の意義・アウトカム】

3D プリンタの誤差補正に適用できる簡便な幾何誤差補正法を提案し、実現した。提案した幾何誤差補正法をサポートソフトウェアとして開発し、約 45 カ所の公設研を通じた地域支援ネットワークに適用した。この成果を市販 3D プリンタに適用すれば最大で造形精度が 2 倍超となる 3D プリンティングの高精度化が可能となる。また、高エネルギー (メガボルト超) X 線 CT として 0.1 mm 分解能を初めて達成した。自動車パワートレインやタービンブレード等、日本の基幹産業を支える基幹部品について、従来不可能であった高精細な内外形状計測を実現することができる。

3D 形状計測機器の世界マーケットは約 2,000 億円/年と言われ、将来的にその 30 %は計測精度の保証された産業用 X 線 CT に置き換わるとされる。中でも高分解能な高エネルギー X 線 CT は、400 mm (アルミの場合) を越える透過力と高い解像力を兼ね備えているため期待は高い。

[ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用]

【背景・実績・成果】

近年、長さ・幾何学量計測の分野では、現場で用いられる様々な計測器の高分解能化が進み、例えばピコメートルレベルの分解能を有する変位測定器なども用いられるようになってきている。これら測定器の信頼性担保の為、トレーサビリティの担保された精度評価技術に対する要望が高まっている。

NMIJ ではこれまで、汎用性の高い標準器の高精度校正法・装置の開発に長年取り組んできたが、第 4 期では、培った技術を個別・具体的な製品の評価へ応用することにも取組を拡張した。平成 27 年度には、小型レーザーホモサイン干渉計を開発し、レーザー干渉計の非線形誤差を 1 pm 以下に抑えることに成功した。平成 28 年度には、レーザー干渉計によるピコメートル精度の変位測定技術により、変位計 (民間企業製) を 2 pm 以下の不確かさで評価することに成功した。平成 29 年度～平成 30 年度には、両面干渉計技術をシリコンウェハの厚さ測定に応用し、製造現場で用いられる厚さ測定器校正用の標準ウェハ片を 10 nm の不確かさで測定することに成功した。令和元年度には、直径 600 mm の大型平面基板に対して、2.5 nm 以下の不確かさで平面度測定が可能な高精度形状測定装置の開発に成功した。

[IF 付国際誌 6 報、特許出願 1 件、プレスリリース 2 件、受賞 2 件 (吉澤論文賞 (令和元年)、新機械振興賞中小企業庁長官賞 (平成 28 年)、(株) テクニカルが共同研究の成果に対して受賞)]

【成果の意義・アウトカム】

ピコメートルレベルの分解能を有する製品レベルの変位計を、5 pm 以下の不確かさで評価した事例はこれまでにない。また、シリコンウェハ厚さの測定精度に関しても、従来の測定法では 100 nm 程度に留まっており、10 nm の測定不確かさは世界最高精度である。一連の成果は、ナノテクノロジー等の分野の進展に貢献するものである。特に半導体関連の製造現場において、ステ

ッパーの位置決め精度の向上や、シリコンウェハの品質向上に直接つながるものであり、最終的に製造工程における歩留まりの向上に貢献できる。

本関連技術は、IF 付国際誌、プレスリリースのほか、日刊工業新聞等においても報道された。

[電磁波を利用したセンシング技術の開発]

【背景・実績・成果】

農産物や食品の生産工程では、経験者の感覚や抜き取り試験での品質管理が行われている。また、食品中の金属以外のプラスチック、ゴムや虫などの異物混入も深刻な問題となっている。農産物等の品質管理の高信頼化と迅速化のために、リアルタイムでのその場計測が可能なセンシング技術に期待が集まっている。

平成 28 年度に電磁波の位相・振幅相関を利用した新しいセンシング法の開発に成功し、袋の中の米の水分量を非破壊で計測することに成功した。その後、平成 29 年度にはセンサ回路、測定条件の決定方法及び解析手法を開発し、平成 30 年度までに食品中の塩分濃度や、コンクリートに用いる砂の水分量など、食品以外も含めた測定対象の拡大、食品中の異物検出への展開を実現した。さらに、令和元年度には製品化に向けて企業との連携により、産総研の特許技術を利用したコンクリートに用いる砂の水分量計測装置を試作した。

産総研の独自特許技術である、電磁波を試料に透過して得られる位相と振幅の変化の相関性を解析する技術を用いることで、試料中の水分量などをサンプリングすることなく、非接触で内部まで水分量等を評価することに成功し、従来の光学式センサや電気測定方式のセンサでは不可能であった非接触・非破壊・リアルタイムでの試料の評価を実現した。

[IF 付国際誌 12 報、特許 18 件(実施件数 7 件)、プレスリリース 4 件、受賞 1 件 (The best interactive forum paper award (ARFTG))、共同研究 28 件、受託研究 (NEDO エネルギー・環境先導プログラム、A-STEP、サポーター インダストリー (サポイン) 事業など公的プロジェクト含む) 17 件、技術コンサルティング 46 件、農業系商業誌 1 件、産総研 LINK 1 件、ソフトウェア 9 件(実施件数 9 件)]

【成果の意義・アウトカム】

非破壊でリアルタイムな食品の全数評価技術を企業との連携により装置化する目処が立った。この成果により、高品質な農産物・食品等を定量的に効率よく全数評価できる。これは、日本産農産物・食品のブランド価値の向上につながり、その結果国際的な競争力の向上と農業従事者の収入増、労働者不足の解決が見込まれる。さらに、食品への異物混入といった問題の解決でも重要な役割を果たすことができる。

[ナノ材料の適正管理実現に向けたナノ粒子計測システム開発に関する研究]

【背景・実績・成果】

近年急速に導入が進むナノ材料規制では、広い粒子径分布範囲で、個数基準の粒子径分布(各粒子径の個数を計測して、その個数から粒子径分布を求める基準)の計測が求められている。そのためには、分離技術と計測技術を組み合わせた複合計測技術が有望と考えられている。平成 25 年度に産総研がハブとなり、競合する計測機器メーカー 5 社がコンソーシアムを結成し、オールジャパン体制の計測に関するソリューションプラットフォームを構築し、複合計測技術の開発を開始した。(第 3 期中長期目標期間)。

産総研はコア技術となる流動場分離法 (Field Flow Fractionation; FFF) に基づく装置を主導して設計し、計測機器メーカーは流動場分離装置と組み合わせた各種の複合計測手法の開発に着手した。平成 27 年度には、複合計測システムのコアとなる流動場分離装置のプロトタイプ機を開発した。平成 28 年度には、産業界の実ニーズに対応するべくコンソーシアムにナノ材料メーカーも参画した。平成 30 年度には、流動場分離装置を高度化し、従来市販装置と比較して 2.2 倍のピーク分離度を達成して世界最高分解能を実現した。さらに FFF 装置をコアに、動的光散乱装置、

sp(single particle)-高周波誘導結合プラズマ質量分析装置 (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy; ICP-MS)、原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope; AFM)のそれぞれの装置へ FFF 装置を組み合わせた複合計測システムを参画企業が製品化した。また、並行して流動場分離法の ISO 国際標準化も行ない、国際競争力の向上に努めた。令和元年度は、FFF-走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope; SEM) 法による複合計測技術の確立により、SEM 単独での粒子径分布評価に対し、評価時間を 1/5 に低減した。一方、参画企業は、コンソーシアムによるナノ材料複合計測システムの開発の成功を受けて、コンソーシアムの継続を決定した。参画企業は、計測対象をナノ粒子に限定しない新たな課題調査のための検討 WG を設置することで、共通基盤として活動すべき、領域・市場、評価材料等を調査し、開拓度・発展性・規制・ニーズ等の観点からテーマの絞り込みを行った。

[IF 付国際誌 4 報、特許出願 24 件、表彰 2 件*、各種装置・ソフトウェア(一部既に販売開始)、発行済標準化文書 1 件]

*「ナノ材料の適正管理実現に向けたナノ粒子計測システム開発に関する研究」に関する表彰の詳細は以下の通りである。

- ・ APMP IIZUKA Young Metrologist Prize 2015
- ・ National Instruments : Engineering Impact Awards 2018 Finalist (平成 30 年度)

【成果の意義・アウトカム】

EU の REACH 規制(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals; 化学品の登録、評価、認可及び制限に関する規則)や、我が国の化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)などの規制は、技術的計測手法がなければ策定できないが、本研究の成果により技術的に実効性のある規制を可能とし、ナノ材料の安全安心な社会実装に貢献できるようになった。また開発された技術は、医薬品や食品分野の品質管理にも適用できる。

[X 線インフラ診断-革新的 X 線検査装置の開発]

【背景・実績・成果】

社会インフラや産業インフラの老朽化が深刻な問題であり、効率的な検査・メンテナンス技術の確立が必要とされている。インフラ構造物のある環境は、検査箇所が膨大、電源の確保が難しい、スペースが制限される、作業員の確保が難しいといった課題が多い。そこでインフラ構造物の X 線による非破壊検査を効率的に行うために、ロボット等の自動化機構に搭載可能な小型・高エネルギー X 線源や、大面積・高感度・高精細 2 次元 X 線検出器、及びそれらを用いたイメージング手法を開発した。平成 27 年度には、小型線源の高エネルギー化及びフラットパネル型 X 線検出器を開発した。平成 28 年度には、小型ロボットに搭載可能で鉄厚 7 cm を管電圧 200 kV の X 線により 2 秒以下の露光時間で X 線透過イメージングが可能なバッテリー駆動 X 線検査装置の開発に成功した。平成 29 年度には開発した検査装置のプラント現場での実証試験で、既存の X 線検査作業より 1 桁以上の作業時間や労力の効率化ができることを確認した。平成 30 年度には既存の後方散乱イメージング技術より 5 倍程度高速にイメージング可能な可搬型後方散乱イメージング装置を開発し、従来技術では不可能だった道路・鉄道など大型基幹インフラの高速・高分解能診断を実現した。X 線システムを用いることによりインフラ現場での効率的な検査が可能になることから、令和元年度には複数の企業とインフラ構造物劣化診断装置の実用化に向けた共同研究を開始した。

本技術は、老朽化が問題となっているインフラ構造物を効率的に非破壊検査することにより、各種インフラを適切に維持管理できるようにするものであり、持続可能な社会の実現に不可欠な技術である。

[IF 付国際誌 11 報、和文誌 8 報、特許出願 7 件、プレスリリース 1 件、受賞 4 件*]

*「X 線インフラ診断-革新的 X 線検査装置の開発」に関する受賞内容は、以下の通りである。

- ・応用物理学会第 23 回放射線奨励賞（平成 29 年度）
- ・日本プラントメンテナンス協会 TPM 優秀商品賞開発賞]（平成 30 年度）
- ・文部科学大臣表彰科学技術賞(令和元年度)
- ・中性子科学会技術賞（令和元年度）

【成果の意義・アウトカム】

インフラの現場では、従来は X 線源や検出・イメージング装置を使った検査に多大な時間と労力を要していたが、バッテリー駆動ロボット等に搭載できる小型・軽量でかつ高いイメージング能力を有する X 線検査装置開発や新たな後方散乱イメージング技術の開発により、作業時間や労力の効率化が可能となった。例えば、本研究で行った大型配管の検査方法を用いることにより、従来法では 1 枚の検査画像を取得するのに 10 分程度要していたものを、1 秒まで短縮させることができた。

インフラ点検ロボット用 X 線技術は、プレスリリースのほか、一般紙を含む新聞等 15 紙で報道され注目された。

[モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ計測]

【背景・実績・成果】

簡便で安価な変位・ひずみ計測は、橋梁のような大きな構造物から、電子デバイスのようなごく小さな構造物に至るまで、産業化のニーズは幅広い。具体的には、橋梁の健全性は車両通過時のたわみを基準に評価されるが、従来は橋梁と地面をピアノ線で繋ぎ、ピアノ線の伸縮からたわみを計測していた。しかし、計測準備に手間がかかり、山間部や海・河川に架かる橋梁の場合は計測自体が困難であった。一方、近年高温で動作する電子デバイスの開発が進められているが、熱ひずみによる破損を引き起こさないデバイス設計を行うために、微小領域における正確なひずみ分布や残留熱ひずみ分布の計測技術が求められている。そこで、モアレ技術の簡便性、低コスト性、高精度性に着目し、マルチスケール変位・ひずみ計測技術の開発を行った。

橋梁の変位分布計測では、平成 27 年に橋梁のトラス構造や等間隔に配置されたリベットなどの規則模様、あるいは橋梁に設置した規則模様のマーカーを撮影し、画像処理により得られるモアレ縞の位相解析によって、規則模様間隔の 1/1000 の高精度で変位分布を測定できる画像計測技術を開発した。平成 28 年～29 年度に高速道路会社や鉄道会社と橋梁のたわみ計測を行い、デジタルカメラで橋軸方向から撮影するだけで簡便にたわみを計測できることを実証した。平成 30 年度には高速道路の橋軸方向の撮影による軸重荷重計測、日本の新幹線の高架橋の振動計測が可能であることを実証し、さらに台湾のインフラ診断へと展開し、老朽化した橋梁のたわみ計測を実施した。令和元年度には社会インフラ向けのリアルタイム変位・振動計測システムを構築した。

一方、電子デバイスへの応用としては、平成 28 年～29 年度に観察物表面にサブミクロンサイズの格子模様を形成する技術と組み合わせることで、顕微鏡観察による電子デバイスの残留熱ひずみ計測を実現した。さらに、平成 29 年度から透過電子顕微鏡（TEM）画像からの格子欠陥の自動検出技術を開発してきた。

橋梁のたわみ計測で使用されてきたピアノ線と変位計を用いた手法と比較して、半分以下の計測時間とコストで同等の精度でたわみ計測ができる計測技術を確立した。さらに顕微鏡を利用した外乱に強い画像計測技術を開発し、従来手法の 10 倍以上の広視野で電子デバイスなどの微小領域のひずみ分布を計測できることを実証した。

[IF 付国際誌 13 報、特許出願 11 件、プレスリリース 2 件、受賞 9 件*、新聞掲載 13 件]

*「モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ計測」に関する受賞内容は、以下の通りである。

- ・日本実験力学会 実験力学専門術士（平成 27 年度）

- ・日本実験力学会 奨励賞（平成 28 年度）
- ・日本実験力学会 2017 年度年次講演会 優秀講演賞（平成 29 年度）
- ・国際会議 ISSS-8 The Best Poster Award（平成 29 年度）
- ・土木学会 優秀講演者表彰（平成 29 年度）
- ・茨城県科学技術振興財団 第 27 回つくば奨励賞 実用化研究部門（平成 29 年度）
- ・日本非破壊検査協会 睦賞（平成 30 年度）
- ・日本機械学会・奨励賞（令和元年度）
- ・日本実験力学会・技術賞（令和元年度）

本技術は、平成 28 年度に 6 件、平成 29 年に 7 件新聞で報道され、社会実装可能な有望技術として外部から高い評価を受けている。

【成果の意義・アウトカム】

本技術は、橋梁などのサブミリメートルオーダーのたわみ計測や電子デバイスなどのナノメートルオーダーの微小変位分布計測への適用が可能であり、巨大な社会インフラから電子デバイスの微小領域に渡るマルチスケール構造物の変位・ひずみ分布を従来法に比較して、事前準備や計測時間を大幅に短縮でき、さらに高精度に評価できる。これにより、喫緊の課題である老朽化した社会インフラの効率的な点検や最先端の電子デバイスの設計に不可欠な残留熱ひずみを計測できる今までにない画像計測装置の実現が見込まれ、その市場規模は数百億円を超える。

【課題と対応】

橋渡し後期の課題としては、民間企業との連携強化と、国際競争力強化の支援が挙げられる。民間企業との連携強化による研究開発の発展と国際競争力強化をさらに推進するために、製品化・事業化後も、技術の蓄積を有効に活用し、製品の高度化や信頼性等の付加価値強化を企業と連携して図るとともに、第 5 期も引き続き国際標準化も視野に入れて、日本企業の国際競争力強化へ貢献する。

3. 知的基盤の整備

[計量標準の整備と利活用促進、法定計量業務の実施と人材の育成、計量標準の普及活動]

【背景・実績・成果】

知的基盤整備計画（平成 25～令和 5 年度）に基づく計量標準整備として、以下を実施し、計量標準の開発と供給を遂行した。

- ・物理標準の供給開始（範囲拡大等含む）
第 4 期期間 平成 27～30 年度：80 件、令和元年度：7 件（12 月の暫定値）
- ・水道法への規制対応や材料評価用の標準物質の供給開始
第 4 期期間 平成 27～30 年度：46 件、令和元年度：7 件（12 月の暫定値）

また、確立した計量標準の維持と供給及び普及促進も、以下の通り、着実に実施した。

- ・国家計量標準の供給（JCSS 登録事業者向け）
第 4 期期間 平成 27～30 年度：1,743 件、令和元年度：386 件（12 月の暫定値）
- ・一般ユーザ向け依頼試験
第 4 期期間 平成 27～30 年度：1,226 件、令和元年度：168 件（12 月の暫定値）
- ・標準物質頒布
第 4 期期間 平成 27～30 年度：8,603 件、令和元年度：1617 件（12 月の暫定値）

一方、国際的な枠組みでの計量標準確立に対して、特筆すべき貢献ができた。平成 30 年 11 月に開催された第 26 回国際度量衡総会で、キログラム、ケルビン、アンペア、モルの 4 つの SI 基本単位の定義改定が採択された。当領域では、プランク定数を世界最高レベルの精度（相対標準

不確かさ 2.4×10^{-8}) で測定し、科学技術データ委員会 (Committee on Data for Science and Technology; CODATA) によるプランク定数の平成 29 年特別調整値の決定において用いられた 8 つのデータのうち 4 つのデータに貢献した。4 つのデータのうち、1 つは当領域単独で測定した値であり、新たなキログラムの定義の基準となるプランク定数の決定に大きく寄与した。

法定計量の適切な執行のため、試験検査・承認業務を、下記の通り、着実に実施した。

- ・基準器検査

第 4 期期間 平成 27～30 年度：6,355 件、令和元年度：840 件（12 月の暫定値）

- ・特定計量器の型式承認

第 4 期期間 平成 27～30 年度：365 件、令和元年度：87 件（12 月の暫定値）

計量制度検討（計量制度審議会答申関係）に関連して、型式承認試験成績書の受け入れ（民間試験所の活用）システムの整備、自動はかり技術基準の整備、政省令手数料改正、計量法校正事業者登録制度（Japan Calibration Service System; JCSS）技術的要求事項適用指針（圧力/圧力計：JCT20501）の改正を行った。また、水銀汚染防止法の施行に伴い、水銀汚染法関連 JIS の改正や基準器追加の省令基準等の整備を行った。さらに、新たな技術基準として、排水流量計、圧縮天然ガスメータに関する JIS 原案を作成した。

計量教習・講習・研修については、目標値を超える 27 回（修了書 484 通）開催し、国内計量関係技術者の技術力向上に貢献した。その他、法定計量セミナー、計測クラブ、計量講習会などで、のべ 845 名の参加者を受け入れ、人材育成に取り組んだ。

計測クラブ等を通じた情報提供（国家計量標準を普及、かつ、共有する場として、20 の計測クラブを運営、会員約 3,500 名）や、産総研コンソーシアムにおける技能試験や技能研修により、主に最終ユーザを対象とした技術支援を行った。国際度量衡局（BIPM）や OIML、APMP などの関連機関との連携促進、国際比較等を通じた計量標準の管理、工業標準化・国際標準化へ、第 4 期期間を通して貢献を行った。

【成果の意義・アウトカム】

NMIJ は知的基盤の整備について、ニーズに基づいた適切で計画的な計量標準の整備、計量標準の円滑な利用に向けた環境整備、着実な業務の実施を通して、我が国の国家計量機関としての機能を十分に果たした。「背景・実績・成果」において述べたように、第 4 期期間を通して、計量標準の精度向上とメニューの充実がなされ、多岐に渡る計量標準の整備が進んだ。知的基盤整備計画（平成 25 年度～令和 5 年度）に基づく着実な計量標準の整備により、ニーズに合わせたトレーサビリティ体系が構築され、信頼性が確保された計測・分析技術に支えられた社会が実現する。

法定計量業務の実施と人材の育成は、法令で定められた業務であり、長年継続的にかつ着実にを行う必要がある。また、計量法校正事業者登録制度（JCSS）における校正事業者向けの校正、一般ユーザ向け依頼試験、標準物質の頒布、基準器検査、型式承認等を、着実に実行するとともに、計量研修生を毎年受け入れるなど、知的基盤の整備に着実に取り組んだ。

キログラムの定義改定に際して、科学技術データ委員会（CODATA）によるプランク定数の平成 29 年特別調整値の決定に関与し、国際勧告値に関わる物理定数の精密測定において日本の国際的なプレゼンスが向上した。次世代計量標準に関する研究開発の積み重ねにより、世界の計量標準の基盤技術への貢献が見込める。

計量標準の開発と高度化、SI 基本単位の定義改定や国際勧告値に関わる物理定数の精密測定の実現、次世代計量標準の開発に貢献するため、知的基盤としての研究開発を行った。

産総研第 4 期の個別の研究開発について、具体的な背景、実績、成果を以下にまとめる。

[130 年ぶりのキログラムの定義改定への貢献]

【背景・実績・成果】

国際単位系 (SI) における 7 つの SI 基本単位は計量標準の根幹を成すものであり、近年の科学技術の進歩に応じて、その多くはより再現性の高い定義へと改良されてきた。しかし、質量の単位「キログラム」だけは 1889 年に国際キログラム原器によって定義されて以来、人工物に頼る最後の SI 基本単位として残っていた。この定義を改定し、全ての SI 基本単位を基礎物理定数などによる普遍的な定義へと移行させることが国際度量衡における重要な課題となっていた。

キログラムの定義を改定するためには、原器の質量安定性よりも小さい不確かさでプランク定数を測定することが求められていた。平成 27 年度は、同位体濃縮シリコン単結晶球体の直径 (94 mm) を原子レベルの不確かさ (0.6 nm) で計測する技術と、その表面組成構造を分析するためのエリプソメーターと X 線光電子分光装置を開発し、原器の安定性 (1 億分の 5) を超える 1 億分の 3 の不確かさでプランク定数を測定した。平成 28 年度は、共通のプランク定数を基準として 1 kg の質量を測定したときの整合性を確認するために、国際比較 (Pilot Study) に参加し、日、独、米、加で測った結果が 10 μ g (1 億分の 1) 以内で整合することを確認した。平成 29 年度は、科学技術データ委員会が実施するプランク定数の特別調整において、8 つの基礎データのうち 4 つに NMIJ が貢献し、キログラムの新しい定義で用いられるプランク定数の値が決められた。平成 30 年度は第 26 回国際度量衡総会が開催され、上記のプランク定数によって 130 年ぶりにキログラムの定義を改定することが採択された。令和元年度は、プランク定数にもとづく新しい定義から 1 kg の質量を測ったときの参加国間の整合性を確認するための最初の国際比較に参加し、参加 9 研究機関のなかでも原器の安定性を超える精度での測定結果が得られる数少ない研究機関として国際比較に貢献した。

米 National Institute of Standards and Technology (NIST)、仏 Laboratoire National de Metrologie et d'Essais (LNE)、加 National Research Council Canada (NRC) はキップル (ワット) バランス法によってキログラムの新しい定義を実現し、独 Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) では NMIJ と同様に原子の数を測る技術によって新定義を実現した。NMIJ はこれら諸外国とほぼ同等である世界最高レベル (1 億分の 2.4) の不確かさでキログラムの新しい定義を実現した。世界中で質量の定義改定に貢献したのはこれら 5 カ国のみである。

[IF 付国際誌 25 報、特許登録 : 1 件、プレスリリース 1 件、平成 30 年度には国際度量衡委員会での決議に関する新聞・テレビ・雑誌等における成果の発信多数、論文賞 3 件 (Metrologia Highlights of 2017 1 件, Metrologia Highlights of 2018 2 件) など]

【成果の意義・アウトカム】

キログラムの新しい定義を 24 μ g の標準不確かさで実現する計測システムを開発し、キログラムの新しい定義で用いられるプランク定数の値の決定に貢献した。令和元年 5 月 20 日からプランク定数にもとづくキログラムの新しい定義が施行され、国際単位系 (SI) は人工物によらない理想的な単位系へと進化した。これによって、質量だけではなく、電気、温度、物質量などの計測の信頼性が向上した。これに応じて、我が国では計量法における計量単位令が改正され、計量における SI 基本単位の全てが基礎物理定数などの普遍的な定数にもとづく新しい定義へと移行した。

130 年ぶりにキログラムの定義が改定され、原器からプランク定数にもとづく新しい定義へと移行することによって、質量、力、トルク、密度、粘度、圧力、流量など多くの質量関連標準の信頼性が向上する。また、従来はトレーサブルに計測すること自体が困難だった微小領域における質量、力、トルクなどを、プランク定数にもとづく電気的な計測などによって測定することが可能になった。例えば、半導体デバイスの製造工程において、薄膜の厚さだけでなく、ナノグラムオーダーの精度でその質量を測ることにより、より緻密な製造工程の管理が可能になる。新しい定義が導入されることによって、将来、新しい原理にもとづく計測技術の発展の可能性が広がる。

[光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発]

【背景・実績・成果】

近年、秒の定義改定を念頭に各国で光格子時計等の開発が進められている。平成 28 年、メートル条約傘下の委員会において、秒の定義改定に向けたロードマップが作成された。この中で、世界各国の標準研究機関による、光格子時計などの新しい時計を用いた国際原子時への貢献が課題の一つとなっている。

NMIJ では、国際原子時への貢献を目指し、連続運転可能なイッテルビウム光格子時計の開発に着手した。平成 27 年度には、光周波数コムを用いた超狭線幅レーザーの線幅転送システムを開発した。平成 28～29 年度には、原子の冷却・捕獲・分光に必要となる小型かつ堅牢なレーザー光源群の開発を行い、それらの周波数を光周波数コムを基準に制御する独自のシステムを構築し、1 日で 3 時間の連続運転を定常的に行えるようになった。平成 30 年度には、上述の光源を用い、光格子時計を 10 時間以上連続して動作させることが可能になった。これは従来の連続運転時間の 10 倍以上の長さに相当する。また、長期連続運転の実現により光格子時計の不確かさを詳細に評価する事が可能になり、光格子時計自身の不確かさは 9,000 万年に対して 1 秒程度である事が確認できた。令和元年度には、イッテルビウム光格子時計の 24 日以上連続運転(稼働率 94% 以上)に成功した。連続運転期間中に国際原子時との比較を行い、イッテルビウム原子の絶対周波数を光格子時計自身の不確かさと同等の精度で測定した。各国の研究機関が開発した光格子時計の運転期間・稼働率と比較して、世界トップレベルの連続運転実績を示したことで、光格子時計による国際原子時の定常的な貢献に向けて大きく前進したと言える。

[IF 付国際誌 8 報、プレスリリース 1 件]

【成果の意義・アウトカム】

連続運転が可能なイッテルビウム光格子時計を開発した。現在、水素メーザーを基にした時間標準 (UTC (NMIJ)) の協定世界時との位相差は、約 ± 15 ns であるが、水素メーザーと NMIJ で開発した光格子時計を組み合わせることにより、 ± 1.5 ns を達成する見込みである。従来よりも 10 倍安定な時間標準 (UTC (NMIJ)) を用いる事により、国際原子時の高精度化への貢献が可能になる。時間標準は、従来から長さ標準や電気標準の精度を下支えしてきたが、キログラムを含む SI 単位の定義改定により、物質質量(モル)を除く全ての基本単位を直接的に支えるようになった。これにより、社会全体の幅広い測定の精度向上が期待される。この成果は、秒の定義改定に向けた国際的活動への貢献であるとともに、数年～十数年後に定義改定が実現した場合、国際単位系にトレーサブルな国家標準 (UTC (NMIJ)) を構築するうえで不可欠な技術である。また、この高精度な UTC (NMIJ) を介して国際原子時の高精度化に定常的な貢献が可能となる。

[温度測定技術の高度化と次世代温度標準の開発]

【背景・実績・成果】

近年、半導体やセラミックスなどの素材産業での製造工程の高度化・効率化などのため、高温域における精密温度計の開発や、高温温度計の校正・評価技術の開発が求められている。特に、平成 27 年度以降、JIS 改正により熱電対の使用域が 1,500 °C を大幅に超えて拡張され、その校正評価技術の拡張が大きな課題となった。また、熱力学温度の単位の定義改定、及び、新定義に基づく熱力学温度測定システムの開発が重要な課題となっている。

このような背景の下、高温域の研究及び熱力学温度測定技術の開発に取り組んできた。平成 27 年度には、1,000 °C 付近で ± 0.001 °C の安定性をもつ白金抵抗温度計を開発した。平成 28 年度には、金属-炭素共晶点による熱電対校正技術で 1,600 °C の温度標準を開発した。平成 29 年度には、NMIJ で独自に開発した集積型量子電圧雑音源を基準信号源として用いたジョンソン雑音温度計により熱力学温度の定義改定に必要なボルツマン定数を求めた。NMIJ における測定は、他の独立な測定方法による結果と 10 ppm (1 ppm は 100 万分の 1) で整合し、ボルツマン定数決定の正当性を確固とすることに貢献した。さらに、平成 30 年度には、ジョンソン雑音温度計によ

ってガリウム融点の評価を行い、令和元年度に論文を出版した。平成 30 年度には、熱電対校正技術を 2,000 °C 付近まで拡張した。令和元年度には、音響気体温度計によって室温付近での熱力学温度の精密測定を行い、熱力学温度と実用的な温度標準である国際温度目盛との間に室温近傍にて 3 mK 程度差が生じていると指摘されている問題を検証した。その結果を、温度計測に関する国際会議にて報告するとともに、現在、IF 付国際誌に投稿中である。

[IF 付国際誌 23 報、特許(出願・取得) 3 件、外部資金(民間・公的) 23 件、受賞・表彰 3 件 (TEMPMEKO Best Poster Award(平成 28 年度)、超伝導科学技術賞(平成 30 年度)、中小企業優秀新技術・新製品賞 産学官特別推進賞(令和元年度))]]

【成果の意義・アウトカム】

1,000 °C 付近で高安定な白金抵抗温度計を開発すると共に、2,000 °C 近傍までの温度標準を開発し、熱電対を高温域において校正・評価するための技術を確認した。また、独自技術のジョンソン雑音温度計によりボルツマン定数を求め、SI 単位の定義改定に貢献した。

1,000 °C 付近の安定な温度センサの開発と熱電対の温度校正・評価技術の高温への拡張により、高温での温度計測の高精度化と、これまで困難であった高温域での温度標準の国際整合性の確認へ貢献できる。ジョンソン雑音温度計による成果はボルツマン定数決定の正当性を確固とすることに貢献した。NMIJ の他の熱力学温度測定技術とともに、次期の国際温度目盛の改定のための基本データ取得が期待できる。熱雑音測定によるボルツマン定数の決定に成功しているのは世界でも NIST(米国)、National Institute of Metrology, China (中国、NIST と共同) を含めて 3 研究機関のみであり、他国とは設計が異なる独自の量子電圧雑音源を用いた実験である点に意義がある。

高安定な温度計や熱電対校正技術の温度域の拡張は、SiC 半導体やセラミックスなどの素材産業における製造プロセス分野において、温度測定・制御技術の向上を通して、生産の効率化や品質の向上に貢献することが期待される。一方、熱力学温度計による成果は、SI 単位の定義改定を通して基礎科学全般に波及すると期待される。

安定な白金抵抗温度計の開発は平成 28 年に IF 付国際誌に 2 報掲載されるとともにプレスリリースした。

[産業界を支える電気計測]

【背景・実績・成果】

持続可能社会のための発電・電力制御技術の開発が進むなど、産業界での電気計測の重要性が急速に高まっている。NMIJ では、電気量の国家標準を軸として、これら電気計測に関連した様々な産業ニーズへのソリューション提供を目的とした研究開発に取り組んでいる。

例えば、企業の製造・開発現場では、品質を保証するために電圧や抵抗などの検査精度向上や信頼性の確保が重要な課題であるが、従来技術の精度限界や検査コストの増加がその障壁となっている。このような社会的背景から、NMIJ では、品質保証の要となる標準器の開発や、これまで難しかった高抵抗の測定精度の向上に取り組んだ。

平成 27 年度には、製造開発現場からのニーズをもとに、民間企業と共同で小型電圧標準器を開発し、出力電圧の安定度(経時変化)が 1 年間に 2 ppm 以内という世界最高水準の安定度を達成した。従来のハイエンド電圧標準器は、安定度を高めるための複雑な構造から装置の大型化が避けられず、現場での使いづらさなど維持管理における障害となっていたが、開発した装置では素子実装の最適化などにより、従来の標準器に比べて 1/2 のサイズへの小型化と、世界最高水準の出力安定度を両立することに成功した。これにより、製造開発現場での測定精度向上や品質管理コスト低減に貢献した。

平成 28 年度には、近年重要性が高まりつつある高抵抗の精密測定において、技術支援を実施するためのコンソーシアムを立ち上げた。これにより、12 社からなるコンソーシアムのメンバー間で巡回比較を実施し、測定能力の評価や技術支援を通して、産業界の計測技術向上に貢献した。

また、電気自動車の普及やエネルギー源の多様化などに伴い、リチウムイオン電池や熱電モジュールなどの普及が急速に進む一方で、それらのデバイスを高い信頼性で効率的に評価する手法が不足しており、新たな計測技術の開発が急務となっている。これらの課題に対応するため、NMIJ では、精密インピーダンス計測を利用した電池の劣化診断手法の開発や、交直変換標準の技術を利用した熱電特性評価手法の提案と実証に取り組んだ。

平成 28 年度には、社会的な課題となっているリチウムイオン電池の信頼性確保のため、少ない充放電回数で劣化診断可能な非破壊検査手法を開発した。

平成 29 年度には、企業と共同開発した高出力フレキシブル熱電モジュールの発電性能評価装置を開発し、従来は不可能であった曲げた状態での発電性能及び信頼性評価を実現した。その結果、曲げた状態でも従来より 1.5 倍高い発電性能があることを明らかにし、10,000 回の繰返し曲げ耐性を実証するなど製品開発に貢献した。これにより、NMIJ が独自に考案した新たな計測技術の提案と実証、評価装置開発に成功した。

平成 30 年度には、精密交流電気測定を利用した新規熱電材料評価技術を開発し、従来の 10 分の 1 の測定時間、及び 5 倍の精度を実現した。これにより、熱物性値が不要な交直流電気計測による画期的な熱電物性評価法の高精度化を達成した。

令和元年度には、電力品質向上のための、国際標準に則った広帯域電力計測技術の開発に取り組んだ。これにより、国際標準で求められる 150 kHz までの周波数帯域をカバーする電力測定の実現を目指し、分圧比と位相の測定範囲を新たにそれぞれ 50 kHz 及び 200 kHz まで拡張した。

[IF 付国際誌 29 報、特許出願 7 件、プレスリリース 4 件、共同研究 12 件、外部受賞 3 件*、技術コンサル 36 件]

* [産業界を支える電気計測]に関する外部受賞の詳細は以下の通りである。

- ・一般社団法人未踏科学技術協会 超伝導科学技術研究会 第 20 回超伝導科学技術賞（平成 28 年度）
- ・一般社団法人 日本熱電学会 第 13 回日本熱電学会学術講演会 優秀講演賞（平成 28 年度）
- ・公益社団法人 低温工学・超電導学会 平成 29 年度優良発表賞（平成 29 年度）

【成果の意義・アウトカム】 品質保証の支援においては、企業の製造開発現場で利用しやすい小型・高安定電圧標準器を開発することで、現場での計測精度を向上させ、品質管理における信頼性向上に貢献した。また、近年ニーズの高まる高抵抗測定に関するコンソーシアムを設立して、難易度の高い高抵抗の精密測定技術の向上に貢献した。これらの成果により、電子機器や家電製品、それらで使用される素材（誘電体など）の高品質化が低コストで実現し、企業の国際競争力が高まるとともに、これら製品のユーザの利便性や安全性が向上する。

エネルギーの有効活用推進においては、リチウムイオン電池の非破壊検査手法の開発や、高出力フレキシブル熱電モジュールの発電性能評価装置の開発を実施し、新電池材料の効率的な開発や、従来性能を超える高出力フレキシブル熱電モジュールの開発と製品化に貢献した。これらの成果により、異常な発熱などの事故が社会問題となっているリチウムイオン電池の安全性が向上し、モバイル機器や電気自動車などの普及が進むとともに、工場などからの未利用廃熱の有効活用や、体温で駆動する電池不要なユビキタスデバイスの利用可能性の広がりなどが期待される。

さらに、国際標準に則った広帯域電力測定技術の開発に取り組むことで、電力計測の信頼性向上や電力品質向上、電力の見える化技術の推進への貢献が期待される。

[水道法等の規制に対応した標準物質の開発]

【背景・実績・成果】

水道水質検査の現場ではこれまでユーザーが自身で標準原液を調製する必要があり、その技能によって分析結果が左右されるという問題を抱えていた。また、もしメーカー保証の市販標準液が水道水質検査の目的に使われると、異なるメーカーの標準液で検査結果に相違が発生する可能性があった。この状況を見直すべく、平成 27 年 3 月に水質検査方法の厚生労働省令の改正が行われ、計量法に基づく標準液の使用が可能となったが、11 の水質基準項目で必要な標準液が未整備な状況にあった。

本研究では、効率の高い値付け技術である一対多型校正技術等を適用することで、計量法に基づく標準液供給のための一次標準物質となる標準液の開発と整備を行ってきた。無機成分については、精密滴定法により臭素酸イオン標準液と塩素酸イオン標準液を平成 27 年度に、亜塩素酸（水質管理目標設定項目）イオン標準液を平成 29 年度にそれぞれ整備した。また有機成分では、高精度電量分析等により全有機体炭素標準液を平成 28 年度に整備した。そして平成 29 年度には、定量核磁気共鳴分光法(qNMR)とガスクロマトグラフィー(GC)を組合せた qNMR/GC によりフェノール類 6 種混合標準液を、qNMR と液体クロマトグラフィー(LC)を組合せた qNMR/LC によりハロ酢酸 4 種混合標準液をそれぞれ整備した。さらに同年度には、GC におけるカラム分離後に有機化合物をオンラインでメタンに変換して検出するポストカラム反応 GC により、かび臭物質 2 種混合標準液を整備した。これらは、計量トレーサビリティの明確な標準液としては世界初のものとなる。以上のように一対多型校正技術等を適用することにより、第 4 期中の目標であった 43 項目の整備を完了し、10 年以上かかると考えられた開発時間を 3 年に短縮できた。平成 28 年度にはさらに、水質基準項目の一つである非イオン界面活性剤の測定に必要なヘプタオキシエチレンドデシルエーテル標準液の qNMR/LC による値付け方法を開発した。令和元年度は、同標準液の公定分析法への適合性を確認するとともに、指定校正機関や登録事業者などと協議して同標準液の供給体制を確立した。以上の整備により、計量標準が必要となる水質基準 44 項目のうち、これまでと合わせて 43 項目の標準供給体制の整備を完了した。また、5 種類の直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム標準液の供給に必要な値付け技術の開発を行い、水質基準項目の測定で必要となる計量標準 44 項目すべての整備を令和 4 年度までに完了する予定である。

[IF 付国際誌 9 報、認証標準物質 (NMIJ CRM) 5 件、依頼試験 4 件]

【成果の意義・アウトカム】

水道法等の規制に対応した信頼性の高い標準物質の整備によって、厚生労働省所管の全国 1,300 の水道事業者における検査の信頼性確保に貢献し、さらには確立した値付け技術により、規制項目の追加や他の法規制等に対応した迅速な標準整備も可能となった。

本研究によって開発した標準液が水道法等に直ちに適用できるように、平成 27 年、平成 29 年、平成 30 年、及び令和元年度（予定）の計量法告示、ならびに平成 27 年、平成 28 年及び平成 29 年の厚生労働省告示（水質基準省令の改正）が逐次行われるなどの迅速な行政対応が図られた。

[放射線利用の安心・安全のための計量標準の整備]

【背景・実績・成果】

放射線は、医療や工業分野等で広く利用されている。また、震災での原子力発電所の事故以降、安心・安全のための放射線計測が一般市民へも広がっている。さらに水晶体の被ばく線量限度を大幅に低減させることを国が決定したことから、医療分野などの放射線作業従事者に対する水晶体線量の測定が必要となった。これらの課題を解決するため、放射線治療、放射線防護、食品の放射能測定に関連する標準の開発・供給を行ってきた。

放射線治療に関して、平成 28 年度にがん治療用イリジウム 192 密封小線源の線量標準、また、がん治療薬ラジウム 223 の放射能標準を開発し、供給を開始した。この供給により、外国の標準に依存することなく病院などのユーザへの標準供給が迅速に安く高精度に行えるようになった。

放射線治療の市場規模は 4 兆円と大きく、各病院で使用する線量計のトレーサビリティも確保され、放射線治療の信頼性向上に貢献できる。

令和元年度には、最先端の治療である陽子・重粒子線に対する線量標準にも利用可能な水カロリメータを開発し、粒子線治療施設に持ち込んで水吸収線量測定を行った。

平成 30 年度に水晶体被ばく線量評価のための線量標準の開発を行った。一般市民への安心・安全確保のために、平成 29 年度より福島県環境創造センター及び農研機構との共同研究に基づく、放射性セシウムを含む玄米標準物質を使った技能試験による福島県内の放射能測定技術の向上支援を行っている。

[IF 付国際誌 2 報、プレスリリース 2 件、共同研究 (資金有) 3 件、受託研究 (資金有) 2 件、受賞 (日本医学物理学学会優秀研究賞) 1 件、標準供給開始 2 件]

【成果の意義・アウトカム】

二次校正機関・装置メーカーとの連携により、外国の標準に依存することなく病院等のユーザへの標準供給が速く (2 か月⇒1 週間)、安く (約 40 万円⇒約 20 万円)、正確に行えるようになった。

放射線治療を行っている病院では、投与線量の品質保証が重要である。今回の標準開発、また国内の標準供給体制の確立により、各病院で使用される線量計のトレーサビリティが確保され、放射線治療の信頼性向上に貢献している。

[自動はかり評価技術の構築]

【背景・実績・成果】

近年、食品加工業、流通市場の発達などにより、自動はかりの使用量が大幅に増加している。計量行政審議会の答申 (平成 28 年) を受け、計量器の技術革新、計量制度をとりまく社会的環境変化に対応し、計量器の規制対象の見直し、新たな計量器の規制 (計量法) 導入等が検討され、自動はかり 4 器種が追加されることとなった。

NMIJ では、平成 29 年度から令和元年度にかけて自動はかり 4 器種の技術基準策定 (JIS) に着手した。平成 29 年度から 30 年度に自動捕捉式はかりの規格作成を行い、平成 30 年度に JIS として発行した。平成 30 年度から令和元年度にかけて、残りの 3 器種のホッパースケール、充填用自動はかり、コンベヤスケールも同様に JIS を発行した。また、これら自動はかりの適合性評価に用いる試験設備の開発、整備にも着手し令和元年度に完成した。

さらに、自動捕捉式はかりでは周回コンベヤを利用した無人連続計量による効率的な適合性評価試験手法を開発し、規定による計量回数の低減指針も確立させた。今後は、本成果を用いて該当 OIML R 文書 (OIML (国際法定計量機関) の計量器の国際勧告) の改訂に主体的に関与していく予定である。

自動はかり JIS を作成したことにより、計量法特定計量器の技術基準が制定可能となった。

[標準化 4 件 (自動捕捉式はかり JIS B 7607 : 2018、ホッパースケール JIS B 7603:2019、充填用自動はかり JIS B 7604-1, -2:2020、コンベヤスケール JIS B 7606-1, -2:2019)、計量法 1 件 (特定計量器検定検査規則への引用)]

【成果の意義・アウトカム】

自動はかりを使用する業種が食品加工業、流通業、飲料・製菓業、化学プラント、税関などへ拡大する中で、技術基準の策定は、自動はかり製造事業者への技術指針となり、使用者に対し計量の信頼性、正確性を確保するうえで不可欠なものである。また、信頼性の高い自動はかりの供給は、社会に対し計量の信頼性、正確性、安全性の向上への貢献並びに新たな市場の開発へとつながる。

適合性評価手法の開発は、試験の時間効率の向上のみならず、試験実施者に起因する誤差も小さくすることが可能となり、当所の実施する試験の信頼性向上の実現に貢献した。また、規定の計量回数の低減指針は、製造現場での生産ラインの停止時間を短縮し、生産効率低下の抑制効果も期待できる。

[化学・材料データベースの整備]

【背景・実績・成果】

本研究は、信頼性の高い化学物質のスペクトル・材料物性に関する情報をインターネットを介して公開・発信することで、その情報を公共財として活用することが可能となり、研究開発、材料設計、品質管理、教育現場などでの化学物質及び材料特性の同定に要する人的・時間的リソースの削減に資することを目的に開発を行っている。

有機化合物のスペクトルデータベース (Spectral Database for Organic Compounds; SDBS) には約 11 万件のスペクトル情報が収録されており、1 日約 10 万件のアクセスがある。第 4 期においては、約 2,000 件のスペクトルデータを新規に整備した。平成 30 年度は、SDBS で検索しなければ閲覧できなかった化合物やスペクトルデータに直接アクセスできる URL を整備し公開した。令和元年度においては、400 件以上のスペクトルデータを新規に整備した。各年度の SDBS へのアクセス件数は、以下の通りであった。

平成 27 年度：46,312,519 件
平成 28 年度：34,910,306 件
平成 29 年度：42,251,870 件
平成 30 年度：37,825,825 件
令和元年度：25,203,359 件 (12 月の暫定値)

また、第 4 期中には、教科書等への SDBS 掲載の要望が著しく増加した。SDBS の教科書等への利用許諾件数は以下の通りであった。

- ・提供先件数
平成 27 年度：0 件
平成 28 年度：6 件
平成 29 年度：17 件
平成 30 年度：15 件
令和元年度：12 件 (12 月の暫定値)
- ・提供スペクトルののべ数
平成 27 年度：0 件
平成 28 年度：209 件
平成 29 年度：299 件
平成 30 年度：207 件
令和元年度：240 件 (12 月の暫定値)

なお、この利用許諾件数の多くが海外に対するものとなっている。これは、標準物質の海外への供給量増大と同様、NMIJ ブランドの知名度・ブランド力が向上してきたことによるものであると考えられる。

分散型熱物性データベース (Network Database System for Thermophysical Property Data; TPDS) には約 1.2 万件の液体、固体、高温融体に関する熱伝導率、比熱容量、熱拡散率、密度、表面張力、蒸気圧などの熱物性値データが収録されている。第 4 期において約 600 件のデータを新規に整備した。平成 30 年度はバイオ、化学に続き材料分野におけるインフォマティクスを展開するための機能として、インフォマティクス用のデータ提供 WebAPI (Application Programming Interface) を拡張し、指定温度でのデータを取得可能にした。令和元年度は、ナノ材料を中心に約 100 件のデータを整備するとともに、試料形状を収録・表示する機能拡張を実施した。各年度の TPDS へのアクセス件数は、以下の通りであった。

平成 27 年度：1,624,672 件

平成 28 年度：2,030,164 件
平成 29 年度：1,969,075 件
平成 30 年度：1,938,141 件
令和元年度：1,132,445 件（12 月の暫定値）

固体 NMR スペクトルデータベース（Solid-State NMR Spectral Database; SSNMR_SD）では、多核種の NMR スペクトル 958 件と測定条件パラメータ 418 件の情報を発信している。令和元年度は、固体 NMR 装置の共同利用に際して、固体 NMR 測定支援に利用できる外部標準物質のリストアップを行った。各年度の SSNMR_SD のスペクトル閲覧数は、以下の通り、着実に閲覧数を伸ばしている。

平成 27 年度：公開休止のため閲覧無し
平成 28 年度：約 80,000 件
平成 29 年度：108,525 件
平成 30 年度：109,771 件
令和元年度：126,712 件（12 月の暫定値）

また、物質計測標準研究部門のデータベース担当者は、平成 28 年度に International Metrology Resource Registry（国際度量衡局主催）の立ち上げに参画した。

【成果の意義・アウトカム】

有機化合物のスペクトルデータベース（SDBS）においては、各スペクトル情報と 1 対 1 対応したページ（ランディングページ）を公開することにより、これまで不可能であった利用者間でのスペクトル情報の URL 共有を可能にした。この結果、これまで SDBS を知らなければ利用できなかったユーザが SDBS の公開スペクトル情報をより探しやすくなるため、閲覧ユーザの増加が期待される。令和元年度はデータ拡充に取り組み、400 件以上の新規データを公開することで、より充実したスペクトルデータベースとなり、アクセス数の増加が見込まれる。

分散型熱物性データベース（TPDS）においては、収録された熱物性データに対して、特定温度のデータを機械可読形式で提供する機能を整備した。これにより、収録された幅広い温度範囲のデータを利用したマテリアルズインフォマティクスの展開と材料開発の高速化が期待される。データ拡充とデータ提供機能の開発は、人工知能（Artificial intelligence; AI）を利用した新規材料開発の実現につながる。令和元年度におけるナノ材料の物性データ整備により、ナノ材料利用デバイスにおける熱設計の精緻化が期待される。

固体 NMR データベース（SSNMR_SD）においては、固体 NMR 測定支援に利用できる外部標準物質のリストアップにより、固体 NMR 装置の共同利用時の適切な標準物質選択と測定の高信頼性確保が期待できる。

【低騒音製品実現のための音響パワー標準の整備と騒音計測技術への適用】

【背景・実績・成果】

音響パワーは、音源から放射される音のエネルギーを表す物理量であり、各種機器の騒音評価に利用されている。特に EU では EC (European Council) 指令により、機器の販売時に発生騒音の表示を義務付けているため、日本から多く輸出される OA 機器などのメーカーは自社製品の音響パワーを測定する必要がある。音響パワーを高精度かつ比較的容易に測定するためには、音響パワーが既知の基準音源が不可欠である。このため NMIJ は基準音源の高精度な校正技術を開発し、音響パワー標準として供給することを産業界から求められている。平成 27 年度以降、100 Hz～10 kHz の周波数範囲で基準音源の校正サービスを実施しており、以後毎年必ず校正依頼があった。

しかし近年静音化技術が進歩するにつれ、音響パワーが比較的小さいためこれまではあまり問題にならなかった、より高い周波数及び低い周波数の騒音の問題が顕在化してきた。このような騒音の測定ニーズの変化に応えるために、NMIJ では音響パワー標準の供給範囲拡大を進めた。平成 27 年度には音響パワー標準の高精度化のため、校正の不確かさ要因となる、音響パワー測定

室の床面を透過する音響パワーを理論的に推定する方法を開発した。その結果、基準音源の校正の拡張不確かさを最大で 25 %低減した。また、測定室壁面からの反射音が音響パワー測定に与える影響の測定には理想的な無指向性音源が必要とされてきた。そのため、平成 29 年度に指向性の影響の定量的評価法を開発し、指向性をもつ基準音源も測定室の評価に問題なく利用できることを示し、実用的な評価法を開発した。これらの技術開発により、令和元年度には音響パワー計測の信頼性の根幹である基準音源の校正周波数範囲を、これまでの 100 Hz～10 kHz から目標の 50 Hz～20 kHz にまで拡張するとともに、拡張不確かさ範囲が 19%～22%の、世界最高精度の音響パワー標準を確立した。

一方で、社会における新たな騒音源となりうるドローンの利用が急速に拡大している。しかし現状、信頼性のあるドローン騒音の評価法は確立しておらず、低騒音ドローンの開発の障害となっている。そこで NMIJ は、音響パワー標準の開発で得た知識や経験を活用し、絶対校正した基準音源との比較測定によるドローンの音響パワー測定法の開発を行った。平成 30 年度より NEDO プロジェクトとしてドローンメーカ及び産総研の他領域とも連携して開発を進め、従来の測定法では±45 %であったドローンの音響パワーの測定再現性を令和元年度には±10 %まで改善することに成功した。今後はメーカが単独で実施可能な、簡易的かつ実用上十分な信頼性の測定技術の開発を進める予定である。

[IF 付国際誌 1 報、国際誌 1 報、新聞報道 1 件]

【成果の意義・アウトカム】

欧州と同一の校正周波数範囲での基準音源の校正サービスの開始により、各種機器メーカは国際規格に準拠した自社製品の騒音評価を国内だけで完結できるようになる。またドローン騒音の評価法の開発により、メーカによる自社製品の低騒音化・差別化に貢献できる。

これらの成果は、低騒音機器の開発促進を通じて低騒音社会の実現に貢献するものである。欧州での販売時に音響パワー計測値の表示が義務付けられる OA 機器などの輸出促進をもたらす。また、今後新たな騒音源となりうるドローンの低騒音化により社会におけるドローンの利用促進が期待される。

本研究成果は、平成 27 年度に国際誌 1 報、平成 29 年度に IF 付国際誌 1 報に掲載されたほか、令和元年度には基準音源の校正周波数範囲を拡張し、音響パワー標準として確立した。また平成 30 年度には音響パワー標準の開発とドローン騒音の評価について日刊工業新聞で報道された。

【課題と対応】

計量標準の整備についての課題は、社会のニーズに応じた計量標準の開発・整備・維持・供給を継続することである。計量標準に対する社会のニーズは、定期的な調査等で常に把握し、研究開発を継続して技術力を維持して課題に対応する。

計量法に関わる業務については、法令で定められた業務の着実な実施が課題である。試験検査・承認業務の効率化と法改正に対応した体制整備を行っていく必要がある。法定計量技術者の人材育成とレベルの向上への貢献として、講習、研究を実施する。計量標準の普及に対しては、中小企業や最終ユーザでの計量標準の利活用が課題である。最終ユーザに届く情報提供や講習・技能研修活動をクラブやコンソーシアム、技術コンサルティングを通じて拡充する。また、工業標準化・国際標準化への貢献を行う。

知的基盤における研究開発の課題は、次世代計量標準及び基礎科学研究に必要な計測技術の創出と、社会インフラ整備に役立つ計測技術の研究開発である。計量標準の開発で培った知見・技術を元に、目的基礎研究から橋渡し研究に向けて研究を展開する。

4. 前年度評価コメントへの対応

【戦略・方針に関わるコメント】

・「コメント」(平成 30 年度評価)

現在実施中の研究が橋渡し後期に移行できるよう、ユーザとの共同研究の推進に努めていただきたい。

「対応」

産総研唯一の計量標準技術や計測技術が評価され、実施中の研究が共同研究に移行した例も多数ある。具体的には、エネルギー関連企業、素材メーカ、精密加工メーカ、重工業メーカ等との共同研究をすでに実施しており、第 5 期以降も積極的に共同研究への移行を推進していく。

・「コメント」(平成 30 年度評価)

報告されたテーマはいずれも終盤にあるテーマで、30 年度単体で評価すると評価が低くなる。30 年度に新たに始めたテーマなどがあるとよかった。

「対応」

令和元年度に新たに成果が出始めたテーマもある。特に、柔軟性、耐久性、極めて高い光吸収率を併せ持つ 究極の暗黒シートの開発等については、令和元年度に顕著な成果が得られている。また、各研究テーマについても、第 4 期中の各年度での研究展開を記載し、それぞれがどのフェーズの研究であるか理解しやすいように努めた。

・「コメント」(見込評価)

1) 領域内の組織としてマーケティング力強化の取組は評価できる。マーケティングの成果をどこまで求めるかによるが、研究者としての視点は狭くなりがちなので外部機関あるいは外部の専門家の活用を検討するとよい(領域の概要と研究開発マネジメント)

2) 当期における成果の一つは技術コンサルティングの実施と資金獲得、さらにその効果的な利用であるが、今後の定常的な研究・業務量を考えたとき、適切なエフォートとその評価法の確立が望まれる(橋渡し後期)

3) 多様化する計量標準のニーズの把握とそれに対する研究・業務の妥当性を判断し、新たな計量標準の整備と利活用促進の具体化に期待したい(領域の概要と研究開発マネジメント)

「対応」

校正業務・研究業務の負担率を調査し、調査結果を基に、研究・業務の妥当性を検討した。研究部門・研究グループの業務内容により、負担率が異なるのが実情である。校正の負担が多い業務に対しては、契約職員の雇用による負担率の低減、装置の更新による効率化などを促した。一方でコンサルティングや校正はニーズを把握する好機でもある。業務を通じて得たニーズに応える研究につなげるような萌芽研究予算制度を設けた。

・「コメント」(見込評価)

広報宣伝は、どこに向けて行うのかを明確にして手段を選ぶ必要がある。公的機関としての一般向けの活動と、共同研究・技術コンサルティングを拡大するための活動は大きく異なり、また、企業も当センターを知っているところとそうでないところでは広報宣伝の仕方は異なる(領域全体の総合評価 第 4 期)

「対応」

一般の方を意識した広報の取組としては、例えば、SI 基本単位改定に関して、様々な媒体を用いて啓発活動を展開した。具体的には、発信力のある TV・ラジオへの出演、SNS 等への情報提供、新聞取材への積極的な対応(説明会、撮影会、パブリックビューイング)、インターネットの活用(特設サイトの設置、インスタグラム)、一般公開、霞が関子供デー等への参加、科学博物館との連携を実施した。さらに、教育関係者への情報提供(定義改定に伴う SI 文書翻訳、理科教育大

会)、学術団体との連携を行った。一方で、企業を意識した広報の取組としては、テクノブリッジフェアを通じた企業への技術の紹介や、プレスリリース、日刊工業新聞における技術の紹介、計量関連団体主催の展示会・イベントへの参加、計測クラブ、NMIJ 成果発表会を通じた最新動向の紹介を行った。

・「コメント」(見込評価)

計量制度見直しに関する取組(仕組みを変える)に関して、NMIJ が主体的に活動されたのか、外圧によってなされたのかがよく理解できませんでした。主体的に活動されたのであれば、それがわかる記述にした方が良いと思います。(知的基盤 第4期)

「対応」

NMIJ が主体的に取り組んだ活動について紹介する。

①法定計量における国際相互承認制度

新たに証明書制度 CS (Certification system) がスタートし、各国にはその対応が求められている。NMIJ では ISO 17065 を取得するなど率先して対応作業を進めている。

②水素自動車の世界に先駆けた実用化

水素の利用に関して日本は世界をリードしている。その普及に必要な流量の計量に関しても NMIJ と日本のディスペンサメーカの技術レベルは世界的に高く、水素計量に関する OIML R 文書の改定においてはプロジェクトリーダーとして主導的な役割を果たしている。

③自動はかりの特定計量器化

世界的な流れと国内での要望に基づいて設備と規制の整備を進めている。日本メーカの技術力は高くマーケットシェアも大きいため、特定計量器化により他国製品との差別化が期待できる。今後は該当 OIML R 文書の改定にも主体的に関与すべく研究開発を行う予定である。

【実績に関わるコメント】

・「コメント」(平成 30 年度評価)

成果の表現として、計量、計測の新技术の開発や高度化が寄与する産業規模を数値表現すると成果が強調できる。

「対応」

計量標準・計測技術が産業へ寄与している具体例を統計データ等から数値表現したので紹介する。たとえば計量標準総合センターが発行する 1 枚の校正証明書(jcss) は、数百倍~数千倍の計量法校正事業者登録制度(JCSS) 校正に反映されている。また、石油流量標準の開発により、高精度な流量標準が確立され、年間 4.3 兆円程度(石油連盟資料(今日の石油産業 2018) より)の石油諸税の内、流量計で課税数量を測定する場合の信頼性向上に貢献している。たとえば偏り誤差が 0.1%あると、数十億円規模の影響が生じる試算である。さらに、石油産業全体の売上高 20 兆円前後(石油連盟資料より)の巨額な民間取引における計量精度の向上、トレーサビリティの拡大へも貢献している。

・「コメント」(見込評価)

工業製品の国際競争力、優位性を高めるために、当領域の研究分野を基盤とした継続的な標準化戦略が必要で、その積極的な取組期待したい(目的基礎)

「対応」

当領域の研究を基盤とした標準化に積極的に取り組んでおり、それが国際競争力強化につながっている。代表的な例を紹介する。

①流動場分離装置:産総研と企業との共同で各機関の有する優れた要素技術を活かしたナノ材料の新規分析技術・装置を開発し、関連する標準化を実施した(特に世界初の流動場分離法による分析規格:TS21362)。

- ②電子顕微鏡によるナノ材料測定：電子顕微鏡を用いたナノ材料の測定に関する国際規格（ISO/DIS21363(Under Publication)）の開発を国内関係者と連携しつつ米国と共同で主導した。
- ③遠心式加速度校正装置：遠心加速度を用いた加速度計の一次校正法が ISO 国際標準規格（ISO 16063-17）として発行した。
- ④三次元測定機（CMM）：非直交非接触 CMM（ISO 10360-13）及び X 線 CT（ISO 10360-11）など最新技術を使った CMM の精度評価法の規格化のプロジェクトリーダーを務めると共に、CMM の利用に不可欠となる不確かさ算出法の規格化（ISO 15530-2）についても議論をリードし、規格化作業を開始予定である。
- ⑤線量計校正技術：低線量率 γ 線照射装置を開発し、線量計の高精度な校正技術を確立した。本技術について ISO TC85/SC2 WG2 において新規の ISO 規格を策定中である。

・「コメント」（見込評価）

橋渡し市場を海外に広げる視点が重要ではないか。国内問題の解決だけが橋渡しではないはず（橋渡し前期）

「対応」

日本発の技術が国際標準として確立するとともに、発展途上国を含む海外の標準設備としても普及している例もあり、海外への視点とともに、国内外の問題解決に貢献すべく橋渡しを行っている。その代表例を紹介する。

①産総研が開発した自己校正型ロータリーエンコーダ装置

中国、台湾、韓国、ベトナム、インドネシア、タイ、アラブ等の国家計量標準機関で国家標準器として採用されている。

②産総研発の温度標準（共晶点）技術

中国、タイ、台湾、イギリス、ドイツ、ロシア、アメリカ、フランス、オーストラリアなど 14 か国以上の国家計量標準機関が、産総研発共晶点技術の定点セルを独自に製作し標準設備として導入している。さらに、中国、タイ、台湾、イギリス、ドイツ等に、産総研の開発した共晶点の定点炉が標準設備として導入されている。

③産総研発の定量核磁気共鳴（qNMR）技術

ドイツ、アメリカ、イギリス、カナダ、中国、韓国、南アフリカ、トルコなど 10 か国以上の国家計量標準機関で産総研発の qNMR 技術が普及している。

・「コメント」（見込評価）

当領域の技術ポテンシャルを効果的に活用して社会的ニーズに応えられる計測技術の高度化や昨今のキーワードである社会の安心・安全に寄与できる計測技術・装置・試験機開発の研究へ展開を期待したい（橋渡し前期）

「対応」

産総研発の計測技術を確立し、社会の安心・安全に寄与した主な例として、X 線非破壊検査によるインフラ診断、水道水規制に対応した標準物質の開発、放射線利用の計量標準整備などが挙げられる。X 線非破壊検査によるインフラ診断は、老朽化したインフラの効率的検査やメンテナンス技術の向上へつながる技術である。標準物質の開発においては、一対多型校正技術等を適用し、水道法の改正に対応した第 4 期中の整備目標である標準物質を 100%整備するなど、規制項目の追加や他の法規制等にも迅速に対応可能となった。放射線を利用した計量標準整備においては、放射能測定装置の校正を速く正確に実施可能となり、放射線による治療・診断のための線量計の投与線量の斉一化による治療効果向上に期待ができる。

・「コメント」（見込評価）

評価資料において、標準を内包する計量標準への挑戦とは具体的に何を指しているのか、その達成の程度の評価が出来ない。

「対応」

第4期中に実施した標準を内包する計量標準の代表例を達成度とともに紹介する。

小型・高安定の直流電圧標準器（企業との共同開発・製品化）：本電圧標準器は安定なツェナーダイオードを内包しており、その安定性はジョセフソン効果電圧標準器により評価され、市販されている世界最高レベルの安定性が実証されている（産総研プレスリリース 2015年6月24日）。

小型・低消費電力の原子時計（大学・企業との共同開発）：本原子時計はセシウム 133 の共鳴周波数 9.192631770 GHz を基準としており、秒の定義を内包したものである。5年後の商品化を目指している（産総研プレスリリース 2019年2月19日）。

【第5期に向けてのコメント】

・「コメント」（見込評価）

今後のことを考えて先取りした技術開発を今後も進めてほしい（知的基盤）

「対応」

将来の秒の定義改定に備えた展開として光格子時計による次世代時間標準の研究開発を進めている。本技術が確立することで、定義改定後は光格子時計を基準とした日本の時間の国家標準が構築できる。

さらに、基礎物理定数に基づく SI 基本単位の定義に改定されたことで、これまでのキログラムの定義では測定することが困難だった微小な質量や力などを精度よく測ることができるようになることを見据えて、微小質量計測技術の開発に取り組んでいる。また、温度の定義が改定されたことで、従来の温度の定義であった水の三重点以外の定点の熱力学温度値の高精度決定が求められている。この温度値決定のための新しい一次温度計の開発をすすめており、定義改定後の将来を見据えた新しい技術開発にも取り組んでいる。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
令和元年度 研究評価委員会
(計量標準総合センター)

説明資料

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

令和2年2月28日

1. 領域の概要と研究開発マネジメント

(1) 領域の概要

計量標準総合センター 総合センター長

臼田 孝

令和2年2月28日

産総研の人員

研究職員数（うち外国籍）	2,338名（151名）
●うちパーマネント	1,969名
●うち任期付	369名
事務職員数	703名

令和元年度6月1日 時点 職員合計3,041名

役員	13名
招聘研究員	237名
ポスドク	240名
テクニカルスタッフ	1,550名

令和元年度6月1日 時点

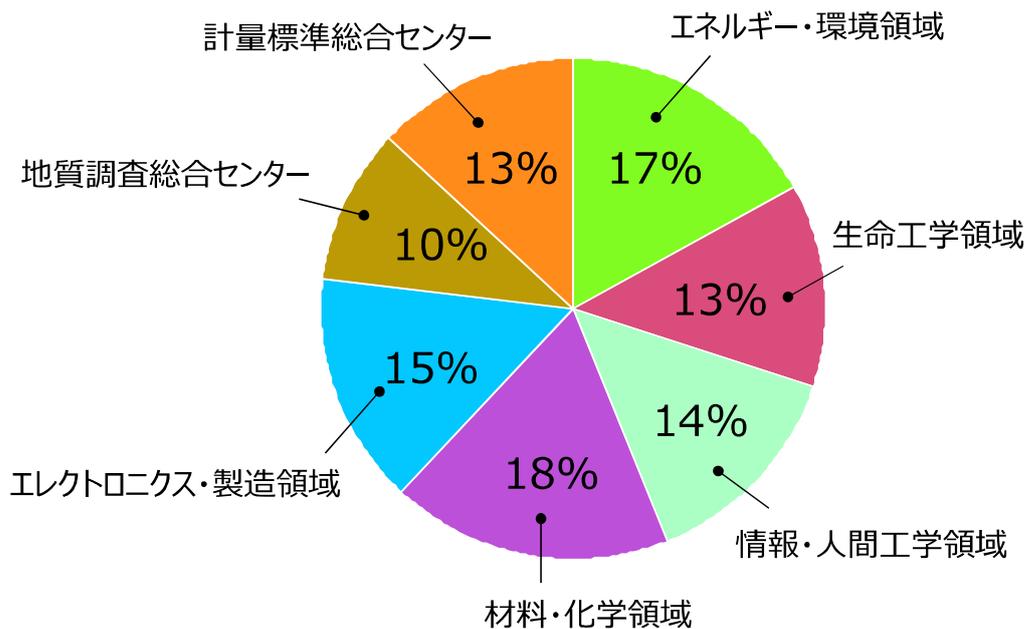
産学官連携制度等による研究員等受入実績数

企業から	1,810名
大学から	2,499名
独法・公設試等から	1,011名

平成30年度受入延べ数

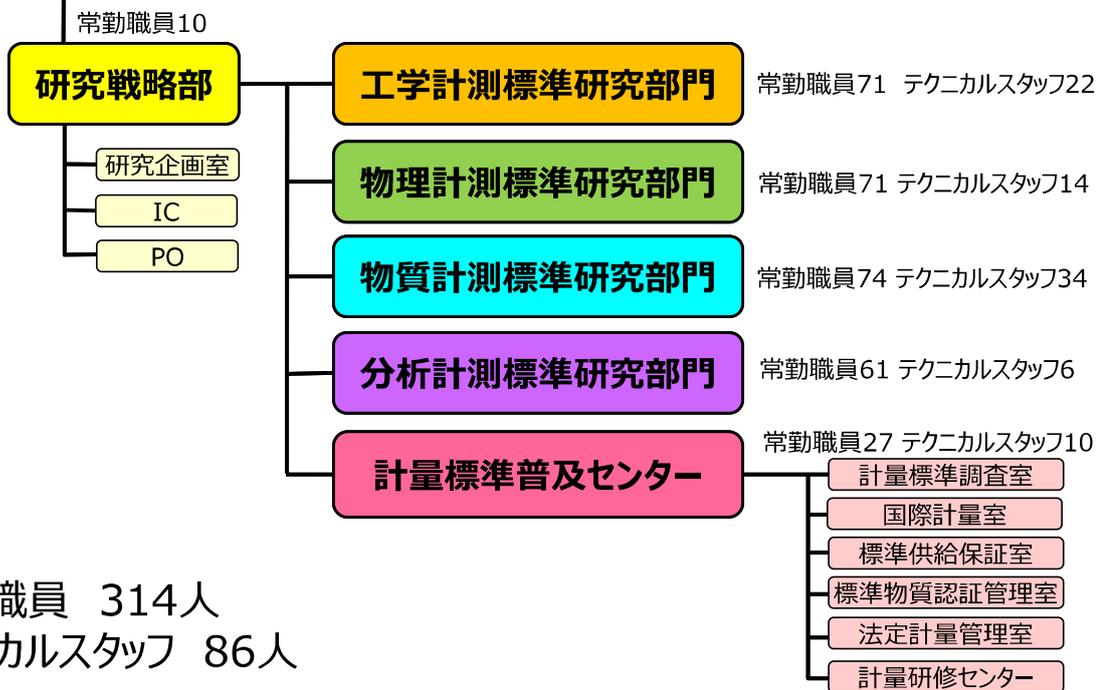


領域別の研究職員構成 (令和元年6月1日現在)



NMIJ 組織概要 (令和元年12月末時点)

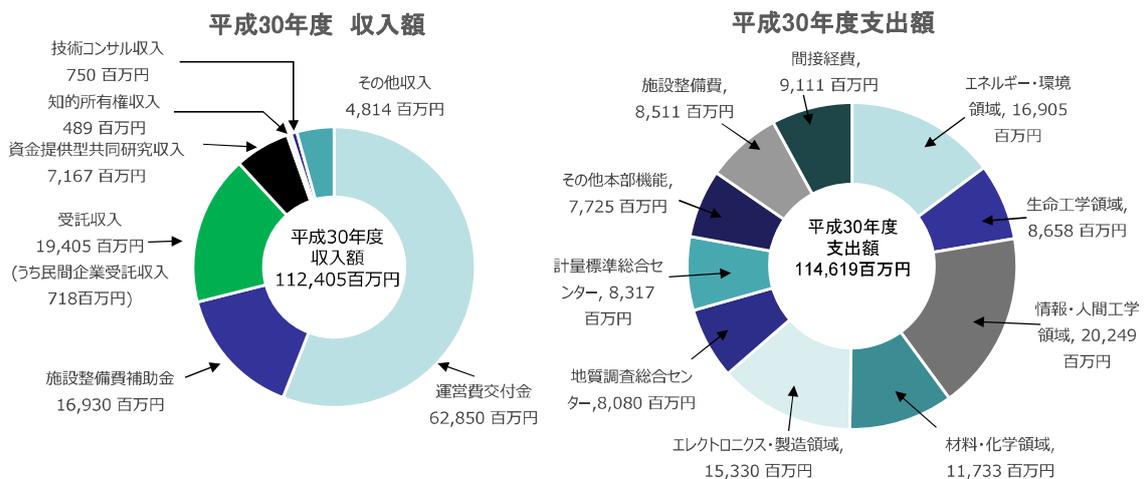
計量標準総合センター (National Metrology Institute of Japan)



常勤職員 314人
テクニカルスタッフ 86人

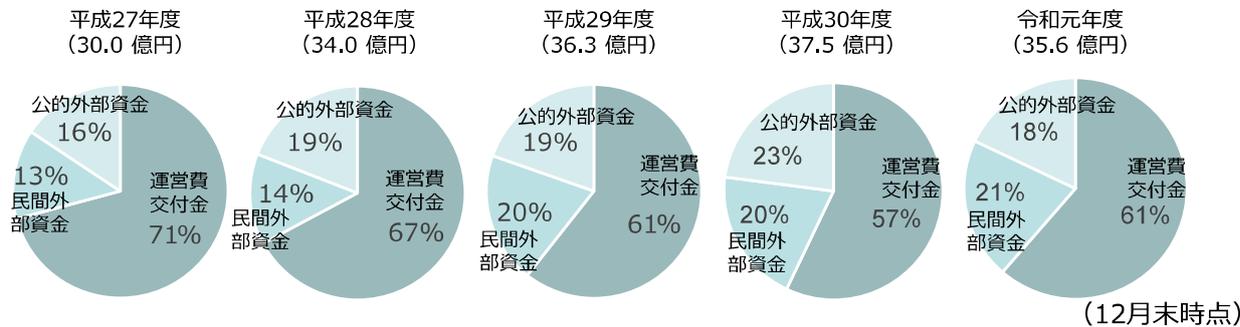
産総研全体の予算

平成30年度決算額 (単位: 百万円)



[注1] 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しないことがある。
[注2] 収入及び支出の額は、独立行政法人通則法第38条に規定する「決算報告書」の決算額である。

当領域における研究等の予算構成



(億円)	H27年度 ※※	H28年度 ※※	H29年度 ※※	H30年度 ※※	R1年度 (12月末)
運営費交付金*	21.2	22.8	22.0	21.4	21.9
民間からの外部資金	4.1	4.7	7.2	7.5	7.1
公的外部資金 ※※※	4.7	6.5	7.1	8.6	6.6
合計	30.0	34.0	36.3	37.5	35.6

※ 所内競争的予算を含む, ※※ H27~30年度は確定値, ※※※ 再委託費は除く (ただしR1年度12月末データは含む)

知的基盤整備と計量標準供給への対応

計量標準の整備

→ 業界との対話により整備計画の見直しを行い整備項目を的確に達成

計量標準の普及

- 昨年度並みのjcss校正に加え技術コンサルティングを援用した校正 + αの付加価値の提供、標準物質頒布数は順調に増加
- 各種セミナー・計測クラブの開催、比較試験プログラム・普及啓発資料提供

法定計量業務

- 経常的な計量教習の実施に加え、全国でセミナーを開催
- JIS原案作成

国際計量標準 / 国際法定計量への寄与

- 国際機関ポスト・事務局獲得、国際会議、途上国計量機関等への支援
- 自動はかり勧告 (R51) 等文書改定、OIML証明書制度への支援

当領域固有業務へも的確に対応

国の知的基盤整備計画に基づく知的基盤の整備

物理標準の整備

震災復興後のニーズに対応
 (例：環境レベル放射能などの標準整備)
 基本単位の世界トップレベルの研究開発
 (例：質量、時間などの世界トップレベルの研究開発)

標準物質の整備

環境・食品等安心・安全に係る整備計画を策定 (H25年～H34年)
 (例：RoHS規制対応や食品分析に係る無機標準物質の整備、
 食品衛生法で残留基準が規定される農薬に関して依頼試験を拡充)

整備サイクルと利用促進

ニーズに基づいた柔軟で迅速な見直し
 ・ ウェブによるパブコメと審議
 ・ NMIJ計測クラブ等からの意見収集

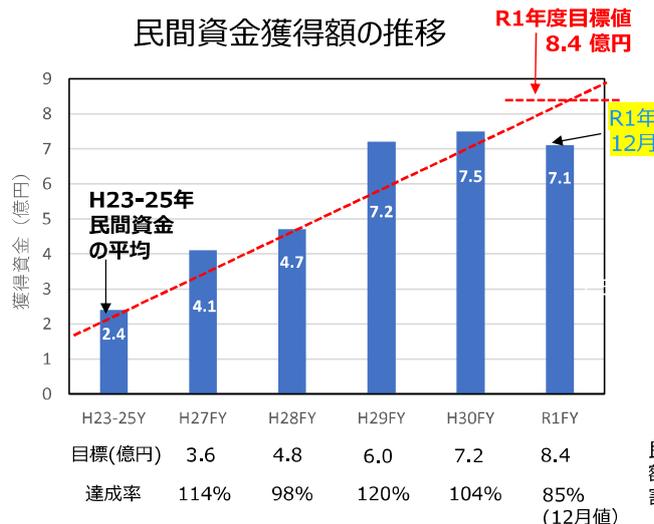
利用促進に向けた環境整備
 ・ 産業技術連携推進会議の活用
 ・ 産総研と協力機関による技術文書の体系化、情報提供
 ・ 活用事例の提供

R1年度の整備進捗状況

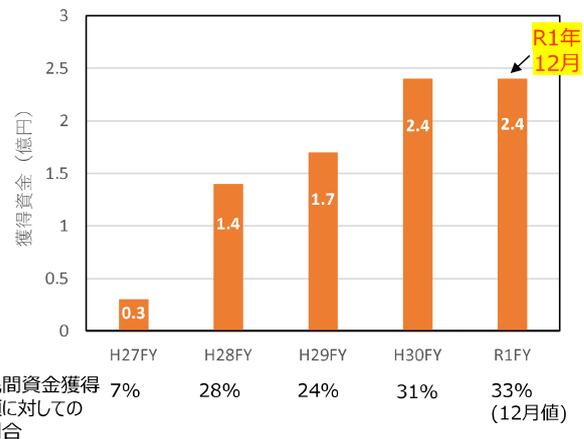
- 物理標準については、輝度用標準LED、音場感度（ハイドロホン）、音響パワーレベル（基準音源）等の標準技術を確立し、供給範囲拡張等の整備を達成した。
- 化学・材料評価のための標準整備として、5件の新規標準物質、世界アンチ・ドーピング規程禁止表国際基準対応として、2件の新規標準物質の開発をした。
- 今年度も引き続きニーズの調査および集約を行った。

民間外部資金の獲得

民間資金獲得額の推移



技術コンサルティング獲得額の推移



H27～R1年度（通期）の目標値合計 30億円に対し、12月時点で既に30.6億円（**102%**）を達成

H27～R1年度民間資金獲得合計金額のうち技術コンサルティングは **27%**

- 公平性・中立性を求められる立場である事を認識し、信頼維持に関する活動を継続して実施。
- 技術コンサルティング（オーダーメイドの測定・分析）でサービスを加速。

知的基盤の普及：法定計量に係る人材の育成

2019年度末で、計量研修センターは単年度ベースで517名（見込数：修了証書発行分484名＋未発行分33名）。その他、法定計量セミナー、クラブ、計量講習会などで延べ845名(参加見込み数)



知的基盤の普及：国際支援

2019年度の主な取り組み

海外の国家計量標準機関等の研究者への技術研修

台湾工業技術院計測標準センター（CMS/ITRI）より1名を幾何標準（6月20日～9月13日、3ヶ月）
 フィリピン国家計量研究所(NML)より3名を硬さおよびカトルク標準（7月28日～8月9日、12日間）
 JICA-大阪大学よりインドネシア留学生1名を長さ標準（8月12日～8月24日、12日間）
 タイ国家計量標準機関（NIMT）より1名を高周波電力標準（9月9日～9月13日、5日間）
 マレーシア工業大学(UTM)より1名をガス・湿度標準（9月25日～10月29日、約1か月間）

日中韓若手研究者ワークショップ[®]（ESW）（中国NIM、8月20日～21日）

NMIJ研究者9名（若手8名、運営委員1名）を派遣した。日中韓の中堅・若手研究者47名がホストの先輩研究者との議論と交流、将来の機関連携を考えるグループディスカッションなどを行った。



研究テーマ 一覧

(通期実績、令和元年度実績、知的基盤の整備)

通期の実績として紹介するテーマ (目的基礎)

課題名	評価区分	研究の概要
単一電子制御技術の開発	目的基礎	電気計測・微細加工技術を用い、単一電子制御技術を開発 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦
先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化	目的基礎	時間分解測定を実現するレーザー分光法の開発と高度化、これによる光機能材料の反応機構解明 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦、高感度・高分解能・高安定度な標準への挑戦、計測場を乱さない新規技術
有機質量分析の高感度・高精度化技術の開発	目的基礎	巨大な分子の分析ニーズに対応、タンパク質の高感度・高精度定量に成功 ⇒新たな分析、計測技術への挑戦

通期の実績として紹介するテーマ (橋渡し前期)

課題名	評価区分	研究の概要
水素流量計測技術の開発と国際標準化	橋渡し前期	世界最高水準の高圧水素流量計測技術を開発、国際法定計量機関勧告改定 ⇒社会の安全、安心への貢献
産業・科学分野における水分計測の信頼性向上	橋渡し前期	市販の微量水分計に対し、性能を維持しつつ、体積1/10、質量1/5を実現 ⇒企業における計測技術・計測装置開発支援
様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発	橋渡し前期	粒子計測の信頼性を担保する要素技術を開発、粒子発生器や計測器を企業と協業し開発、製品化 ⇒企業における計測技術・計測装置開発支援、社会の安全、安心への貢献

通期の実績として紹介するテーマ（橋渡し後期）

課題名	評価区分	研究の概要
デジタルものづくり産業を支える3D形状計測	橋渡し後期	3D計測と3D造形の連携により全国公設研の領域横断的連携基盤を構築 ⇒校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上
ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用	橋渡し後期	精密変位計の周期誤差の最小化を実現しピコメートル精度で評価 ⇒民間校正設備の精度向上・新たなトレーサビリティ技術の開発、校正・計測技術による製品・企業価値の向上
電磁波を利用したセンシング技術の開発	橋渡し後期	電磁波による農産物などの水分含有量や品質を非破壊でリアルタイムに計測するためのセンシング技術を開発 ⇒校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上
ナノ材料の適正管理実現に向けたナノ粒子計測システム開発に関する研究	橋渡し後期	ナノ粒子計測のための流動場分離法装置の高度化により、市販機としては世界最高分解能を実現 ⇒校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上、計測装置自体の製品化
モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ分布計測	橋渡し後期	モアレを利用し、橋梁から電子デバイスに至る広範なスケールのひずみ計測技術を確立 ⇒民間への技術移転、校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上、計測装置自体の製品化

令和元年度の実績として紹介するテーマ

課題名	評価区分	研究の概要
単一光子分光イメージング技術の開発	目的基礎	世界初の光子顕微鏡で、超微弱な光強度でのカラー画像撮影を実現 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦
極低反射光吸収材料（暗黒シート）の開発	橋渡し前期	高い耐久性と99.5%以上の光吸収率を併せ持つ極低反射光吸収材料を開発 ⇒あらゆる光を吸収する【暗黒シート】を開発
有機標準物質の迅速供給に向けた一体多型校正技術の開発	橋渡し前期	多成分同時値付け可能な技術を開発、迅速な標準整備に貢献 ⇒2020オリンピックパラリンピックのドーピング検査へ貢献
X線インフラ診断－革新的X線検査装置の開発－	橋渡し後期	短時間・リアルタイムに広範囲の画像取得可能なX線非破壊検査システムを開発 ⇒計測装置自体の製品化
自動はかり評価技術の構築	知的基盤	自動はかり評価技術を確立し、各種JISを整備 ⇒社会の安全・安心への貢献

知的基盤研究の実績として紹介するテーマ

課題名	ポイント
130年ぶりのキログラムの定義改定への貢献	最も基本的な知的基盤の整備、国際貢献、科学的プレゼンス
光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発	最も基本的な知的基盤の整備、国際貢献、科学的プレゼンス
温度測定技術の高度化と次世代温度標準の開発	最も基本的な知的基盤の整備、国際貢献、科学的プレゼンス
産業界を支える電気計測	計量標準トレーサビリティシステムの高度化、次世代計量標準の開発
水道法等の規制に対応した標準物質の開発	計量法に基づく標準液、知的基盤の整備、普及
化学・材料データベース	計量標準の普及活動
放射線利用の安心・安全のための計量標準整備	知的基盤の整備
低騒音製品実現のための音響パワー標準の整備と騒音計測技術への適用	知的基盤の整備

「単一光子分光イメージング技術の開発」 (目的基礎)

成果事例

研究の目的 光子を究極的な感度で分光計測できるフォトンセンサーを開発し、細胞を非侵襲にリアルタイム観察できるイメージング技術を構築する。

本研究の背景

- 光を用いた生体機能計測や生物の発光を利用した薬剤の安全性評価試験など、安全で快適な医療の実現を目指した様々な試みが行われている。
- 細胞を**非染色・非侵襲**で観察するために必要な革新的な**フォトンセンサー**や**フォトンイメージングデバイス**開発に大きな期待。
- 上記の実現に向け、本研究では、**超伝導現象**を応用した究極的な**光子検出技術**を開発。



開発した技術

産総研独自の**単一光子を分光できる超伝導光子検出デバイス**を開発し、これをコアとした顕微システムを構築



年度		H27	H28	H29	H30	R1
超伝導体を用いた単一光子検出デバイスの基礎技術開発を開始。低抵抗な超伝導薄膜の作成技術を構築。		光子を高効率に超伝導体に吸収させるための 光吸収キャビティ技術 を開発。近赤外領域で50%以上の検出効率を達成。(論文1)		光子数20個以下となる 僅かな光強度 となる 単一光子分光イメージング に、 世界で初めて成功 (プレス1、論文1)	共焦点顕微鏡による染色細胞イメージング装置を開発。光の回折限界以下の空間分解能を達成。(受賞2、論文2)	従来よりも10倍近く高速度に画像取得可能な 量産用デバイス を開発。 ⇒ 超低侵襲細胞リアルタイムイメージング や 創薬に寄与する技術 へ(受賞2、論文4)

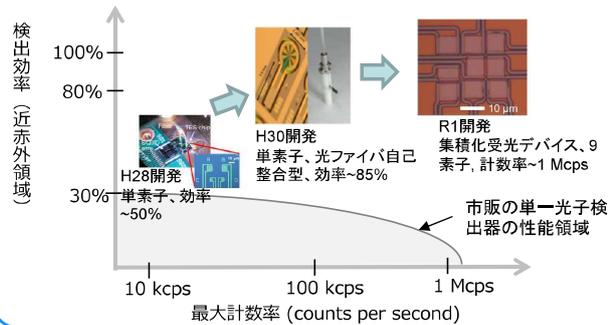
「単一光子分光イメージング技術の開発」

成果事例

成果 期当初より超伝導現象を用いた革新的なフotonセンサーを開発し、市販の単一光子検出器と比較して近赤外領域では突出した検出効率や最大計数率の性能を持つ単一光子検出技術を実現。これをバイオイメージングに応用して、低励起強度での単一光子分光イメージングを実証。

単一光子検出器性能とリアルタイムイメージング能力

細胞のリアルタイム画像の取得のためには高速な光子検出器が必要
高フレームレートで細胞をライブイメージングするためには、高い
検出効率 (~100%) と高計数率特性 (>1 Mcps) が必須



他国の状況等 (ベンチマーク)

	AIST	NIST (米)*	INRIM (伊)*
検出効率	85 %	95 %	30 %
最大計数率	1 Mcps	100 kcps	50 kcps
波長分解能	50 nm	112 nm	70 nm

※ これまでに公表された論文等の記載から作成

各国の研究機関が開発した超伝導体による単一検出器と比較して、検出効率、最大計数率、波長分解能ともに、**世界トップクラスの性能**を実現した。

今後の展開

開発した高性能フotonセンサーを用いた単一光子分光イメージング技術の構築をさらに進め、**生きた細胞内での薬剤等の分子の動きのリアルタイム観察**を通して、**疾病メカニズム**や**新薬創生**に寄与出来る技術へと展開する予定。

アウトカム

光の究極的な単位である「光子」を究極的な感度で検出できる技術を開発
・光子数20個以下の微弱光で、単一光子を分光してカラーイメージングすることに成功
・従来の10分の1の励起光強度で動物細胞の共焦点蛍光イメージングを実証

アピールポイント

世界トップクラスの性能を持つ単一光子分光フotonセンサーを開発し、低侵襲リアルタイム細胞イメージングや創薬に適用可能な基盤技術を構築した。

1. 領域の概要と研究開発マネジメント

(2) 領域の研究開発マネジメント

計量標準総合センター 研究戦略部長

藤本 俊幸

令和2年2月28日

第4期の領域目標・戦略

- 継続的な計量標準、法定計量業務の供給
- さらなる計量標準の精度向上、効率的開発
- 標準供給サービスから一步進んだソリューション提供、標準化支援、技術の普及
- 計量標準、精密計測技術を新たな産業技術へ転換するデュアルユース開発、産総研他領域や企業との協業による研究開発

ポストMRA、ポスト原器（SI定義改定）時代の計量トレーサビリティシステムに向けた研究開発

各研究開発段階における方向性・意識付け

目的基礎：計量標準機関としてのコアコンピタンスの醸成に資する研究

- 量子標準への挑戦
- 標準を内包（Intrinsic）する計量標準への挑戦
- 校正能力の向上、定量化・精度向上への挑戦

橋渡し前期：ユーザーの階層を広げる新たな価値創造

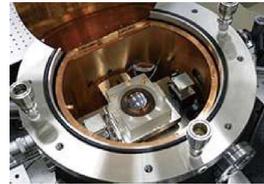
- 企業における計測技術、計測装置開発への寄与
- 計測技術による製品価値、企業価値向上への寄与

橋渡し後期：企業への計測技術の移転、製品化

- 民間への技術移転に重点、民間校正設備の精度向上も視野
- 計測装置自体の製品化

当領域の特徴

- 標準確立のための技術開発
- 顧客は自身 + 標準供給事業者
- **それ自体の（営利）事業化は難しい** アボガドロ定数



領域のコアコンピタンス
 A 標準・校正技術等
 B 計測・分析技術等



関与のフェーズ

1. の技術開発
2. による分析評価
3. を応用した製品等開発

領域のコアコンピタンスを磨くことで企業ニーズに合わせて、種々のフェーズで協業

- 共同研究
- 受託研究
- 計測技術コンサルティング
- 校正・依頼試験
- 標準物質供給等々

当領域のコアコンピタンスを活用したサービス例

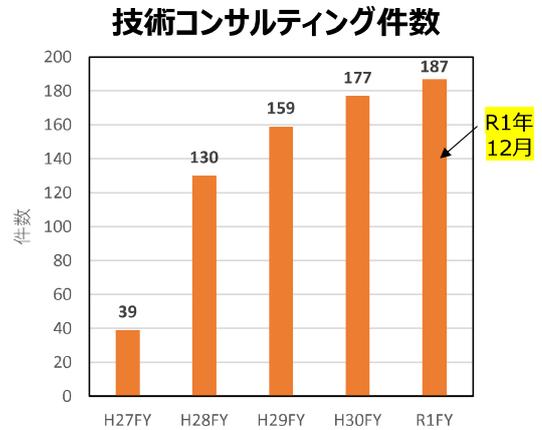
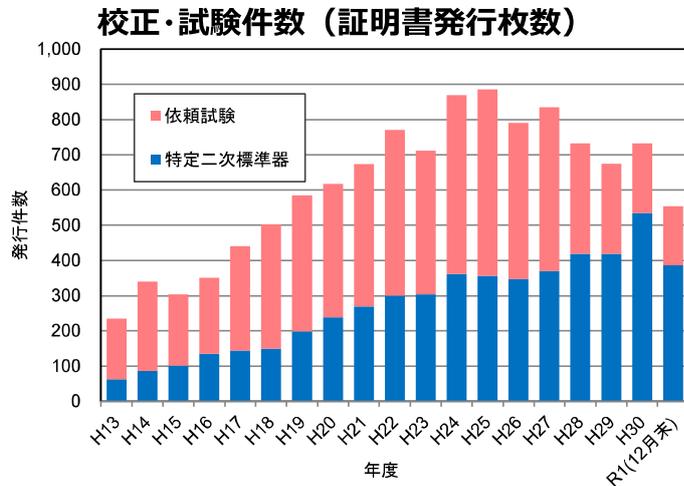
校正・依頼試験

- 計量標準総合センターの業務として実施する（三号業務）
- 校正・依頼試験の費用は定められている。
- 結果は校正証明書として発行される。
- 校正・依頼試験の対象は決められた校正器物のみである。
- 校正・依頼試験は決められた方法・手順で実施され定期的監査を受ける。
- 新たな校正品目・項目の制定は一定数以上の需要の存在する案件に限られ、また制定には長時間を要する。

計測技術コンサルティング

- 校正・依頼試験のリストにない測定・分析対象や条件・手法による測定・分析の実施。
- 依頼者の要望に応じたオーダーメイドの測定・分析の実施。
- 測定・分析の原理や手法に関する情報提供・技術指導。

校正・試験業務とコンサルティング

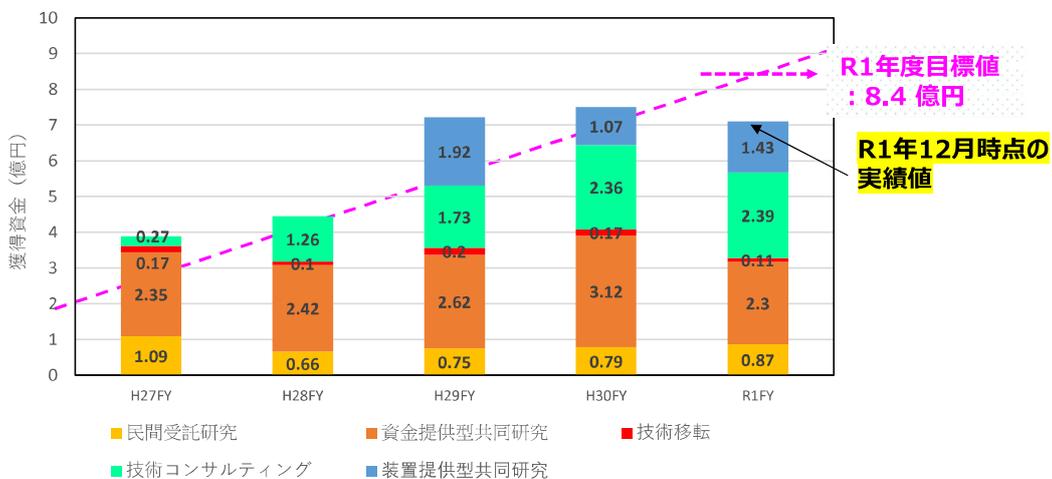


計量法に基づく特定二次標準器校正は、前年度並み
 依頼試験は、一部は技術コンサルティングに移行がみられる。

民間資金獲得額の推移

技術コンサルティング、装置提供型共同研究の増加が顕著

H27～R1年度（通期）の目標値合計 30億円 に対し、
 12月時点で既に30.6億円（**102%**）を達成



H29年度以降の民間資金獲得額は、H23-H25年度の平均額(2.4億円)の3倍増を達成

技術コンサルティングの位置づけ

産業界の反応

- 計測のスペシャリストによる高度な技術指導の有償化は理解できる。
- 無償だと依頼しにくい。有償化によりサービスの確実性・継続性が確保されれば有り難い。

研究者にとっての利点

- 負荷が限定的 > 公開知見の提供、時間契約
- 複数企業に同内容のコンサルティングが可能
- 産業界ニーズ（問題）把握の好機
- 企業との連携チャネルが増えると共にコンプライアンス面の配慮も重要に

連携の入り口として
有効に機能

NMIJとしてのブランド・信頼性の維持と
ユーザーニーズへの対応・顧客満足の上の両立を目指す

先端計測分析機器の公開による計測支援



陽電子プローブマイクロアナライザー



過渡吸収分光装置、蛍光寿命計測装置



リアル表面プローブ顕微鏡装置



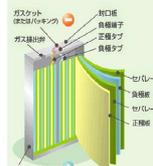
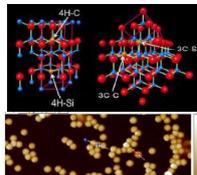
固体NMR装置

- 産総研：TIA推進センター
共用施設ステーション
- 文科省：ナノテクノロジープラットフォーム
微細構造解析プラットフォーム



先端的な計測・分析技術や装置
を開発、公開

大学や企業の研究開発、材料開発等を支援



- 支援件数（文科省事業）
- 技術相談
 - 技術補助
 - 技術代行
 - 機器利用
 - 共同研究
- H27：65件
H28：73件
H29：76件
H30：77件
R1：60件(12月末時点)
- 利用の約半数は企業

公開利用から共同研究や受託研究にも展開

地域創生への寄与

- 産業技術連携推進会議（産技連）活動 -

産技連知的基盤部会

◇計測分科会

- ・材料評価技術研究会
- ・形状計測研究会
- ・温度・熱研究会
- ・光放射計測研究会

◇分析分科会

- ##### ◇電磁環境分科会
- ・EMC研究会

◇地質地盤情報

- 全国の地域公設試験所と連携
- 討論会・講演会を開催
 - H27年度：青森県、愛知県、京都府、
 - H28年度：宮城県、東京都、香川県、島根県
 - H29年度：千葉県、東京都、兵庫県、佐賀県
 - H30年度：山形県、千葉県、宮崎県
 - R1年度：福岡県、神奈川県、北海道
- 毎年の参加人数（のべ数）は >約500名
- 討論会・講演会以外にラウンドロビテスト等を実施
- 急速なLEDの普及に対応し、光放射計測研究会を新設（H28年度）



2019年12月13日に
神奈川県横浜市で開催した
知的基盤部会総会の様子

成果普及・広報

（ニーズ収集の場としても機能）

計測クラブの活動

国家計量標準を普及かつ共有する場として
20の計測クラブを運営
会員：約 3,500 名

産総研コンソーシアムの活動

国家計量標準及びその研究開発で培った技術の普及・
利活用を促進するため、産総研コンソーシアムを運営。
会員：約 220 名（※法人会員・個人会員・特別会員、重複参加を含む。）

クラブ名称	分野
物理計測クラブ	時間・周波数・電気・温度・光
長さクラブ	長さ・幾何学量
力・トルク計測クラブ	力・トルク
超音波音場計測クラブ	音響・振動
流量計測クラブ	流量
固体熱物性クラブ	物性・材料
放射線・放射能・中性子計測クラブ	放射線・放射能
量子ビーム計測クラブ	
標準ガスクラブ	化学分析
定量NMRクラブ	
法定計量クラブ	法定計量
不確かさクラブ	不確かさ

コンソーシアム名	会員数	主な活動
光学式非接触三次元測定機精度評価法標準化コンソーシアム	法人：16社 個人：34名	ISO 10360-13（光学式非直交形CMSの精度評価法）標準化の進捗（DIS投票準備段階）
3次元内外計測コンソーシアム	法人：26社 個人：36名	ISO 10360-11（X線CTの精度評価法）標準化の進捗（CD投票終了、DIS投票準備段階）
精密電気計測コンソーシアム	法人：16社 個人：2名 他：4法人	低抵抗の巡回比較の準備。会員とは、共同研究や技術コンサル、サポイン獲得に発展。
残留農薬分析の技能試験コンソーシアム	法人：38社 (H30年) 44社 (R1年)	学会での活動紹介で着実に参加者が増加。来年度以降は民間企業主催の技能試験（NMIJが参照値を提供）に移行予定
X線新技術産業化コンソーシアム	法人：13社	国内外の技術動向調査および比較試験を実施。コンソーシアム会員の明電舎がカーボンナノX線管の製品化をプレスリリース

人材育成・リクルーティング

研究職 5 days インターンシップ

H28,29,30, R1年度 大学院生を対象にインターンシップを実施。

- 場所：産総研つくばセンター
- 対象：大学院生
- 参加者：
 - H28年度 10名
 - H29年度 23名
 - H30年度 22名
 - R1年度 15名
- 7 研究グループで受入、実習・施設見学、最終日に成果発表を実施



総合職・研究職
インターンシップ
AIST Summer 5days Internship Program

8.26 MON ▶ 30 FRI
産業技術総合研究所
つくばセンター(茨城県つくば市)

総合職 技術マーケティング	応募締切
研究職 計量標準	総合職 ▶ 6.30 SUN
	研究職 ▶ 7.7 SUN

産総研 国立研究開発法人産業技術総合研究所
インターンシップ担当 TEL: 029-862-6282
MAIL: aist-intern-ml@aist.go.jp

人材育成・リクルーティング

先端計測・分析サマースクール

- 修士学生～若手研究者向けのTIA連携大学院の事業の一環
(学生は旅費・宿泊費補助、筑波大の単位取得可能)
- 筑波大主催、NMIJとKEK共催の下、6 回目の開催
- 全体で3日間、NMIJはその内1日を担当
- 参加人数：18名 (内容：陽電子発生、偏光分光法、質量分析法、施設見学)
<https://tia-edu.jp/festival/keisoku/>

ナノテクキャリアアップアライアンス (CUPAL) 事業

- 若手研究者向けを対象に、NMIJでは1コースを開催
- 先端量子 (X線・陽電子) ビーム分析法入門コース
- 2日間、2名参加
- 陽電子、X線など量子ビームの発生・計測・応用に関する講義・実習・施設見学
(いずれも参加者の今後の研究に活かしたいとの回答)
<https://unit.aist.go.jp/tia-co/CUPAL/index.html>

若手研究者の育成、次世代のテーマ

若手研究者の育成

- 職員の研修
初年度：新人研修の中で、ほぼ全量目の計量標準の研究内容を学習
調査研究を実施し、研究の方向性を確認（報告書、口頭発表）
複数の企業を訪問し、生産現場を見学
三年目：**成果報告会**を実施し、研究進捗状況を確認

在外研究に対する支援

- 第4期を通じ毎年、**NMIJフェロースhip事業**を実施し、在外研究を支援
- 令和元年度は、NIST(米)、大学等へ4名を領域フェロースhip事業として派遣

萌芽研究に対する支援

- 第4期を通じ毎年、**萌芽研究加速事業**を実施し、領域内で審査を行い若手研究者を対象に研究費を助成
- R1年度：上限300万円、12件採択

海外研究機関との定期交流

- **日中韓若手研究者ワークショップ（ESW）**を毎年開催。3研究機関から約50名が参加。R1年度は、中国NIMで開催。NMIJからは9名が参加。

国外連携：国際機関での幹事ポスト、専門家の派遣・招へい

国際度量衡局（BIPM）との連携 - メートル条約

- ・国際度量衡委員会幹事ポストを新規獲得
- ・国際度量衡委員会に専門家を派遣
- ・諮問委員会、作業部会に専門家を派遣

国際法定計量機関（OIML） - 計量器の円滑な通商

- ・国際法定計量委員会（CIML）第二副委員長ポストを10月CIMLまで継続
- ・CIMLおよびOIML総会に専門家を派遣

アジア太平洋計量計画（APMP）における先導的活動

- ・技術委員長の4ポストのうち1ポストは12月総会で終了し残り3ポストを継続
- ・議長ポストを12月総会まで継続
- ・APMP総会・中間会合に専門家を派遣

アジア太平洋法定計量フォーラム（APLMF）での活動

- ・APLMF執行委員を新規獲得（H31/4）
- ・APLMF総会及び農産物WGの研修に専門家を派遣

二国間MoU等に基づく技術専門家の派遣と招へい

- ・タイ国家計量機関主催の自動車産業の品質管理に関するセミナーに講師として2名が招へいされた → 我が国の計量分野の国際的プレゼンス向上
- ・派遣（peer reviewer、講師、技術指導など）：10か国28名
- ・CIPM副委員長Ullrich氏（PTB所長）、前CIPM幹事McLaren氏を招へい → SI改定普及に関する活動
- ・中国国家計量科学研究院、韓国標準科学研究院、台湾工業技術研究院計測標準センターから協力研究員計4名を招へい

専門家を派遣した主要な委員会等

日程	委員会等(分野)	参加人数
H31/4/6-12	CCQM(物質量)	13
R1/5/13-17	CCM(質量関連標準)	6
R1/6/4-7	CCRI(放射線)	3
R1/6/17-20	APMP中間会合	8
R1/6/17-21	CIPM役員会議	1
R1/6/23-26	ICRU	1
R1/7/15-17	OIML-CSセミナー	1
R1/9/10-11	JCRB	3
R1/9/16-20	CCPR(測光)	1
R1/9/23-27	CCAUV(音響・超音波・振動)	5
R1/10/7-10	CCU(計量単位)	2
R1/10/15-16	第108回CIPM	1
R1/10/17-18	第20回NMI長会議	4
R1/10/21-25	第54回CIML	4
R1/11/6-8	第26回APLMF	3
R1/11/28-12/6	第35回APMP-GA(総会), TCAUV(音響・振動), TCEM(電気), TCFF(流量), TCL(長さ), TCM(質量), TCPR(測光), TCQM(物質量), TCQS(品質), TCRI(放射線), TCT(温度), TCTF(時間・周波数), TCMM(物性・材料)	33
R2/2/17-18	第42回日韓法定計量協力委員会	6
R2/3/16-17	CIPM	1
R2/3/17-20	OIML-CS運営委員会	3
R2/3/23-25	CCT(温度)	5

標準化活動

国際標準化への参画人数：**374名**（重複含）

日本代表委員	12名
コンビーナ	9名
セクレタリ	1名
プロジェクトリーダー	14名
国際議長	1名
国際幹事	4名
エキスパート	114名
デレゲート	2名

委員会等

- 国際標準化機構（ISO）
- 国際電気標準会議（IEC）
- 国際照明委員会（CIE）
- 国際放射線単位測定委員会（ICRU）
- 国際法定計量機関（OIML）
- 新材料及び標準に関するベルサイユプロジェクト（VAMAS）

国際標準化に大きく貢献

日本の産業標準化へも大きな寄与

若手・中堅（30代、40代）研究者を積極的に登用

専門家を派遣した委員会等

機関	委員会等（分野）	人数
ISO	CASCO, REMCO, TC12, TC24, TC28, TC30, TC34, TC60, TC61, TC69, TC85, TC86, TC107, TC108, TC112, TC121, TC135, TC146, TC147, TC163, TC164, TC201, TC202, TC206, TC213, TC229, TC256, TC274, TC276, TC281	144
IEC	SyC Smart Cities, TC13, TC29, TC34, TC38, TC45, TC46, TC56, TC62, TC76, TC77, TC85, TC86, TC87, TC103, TC106, TC111, TC113,	59
CIE	JTC2, JTC5, JTC8, Division2	11
ICRU	-	1
OIML	MAA, TC1, TC2, TC3, TC4, TC5, TC6, TC7, TC8, TC9, TC10, TC11, TC13, TC16, TC17, TC18,	146
VAMAS	-	1



SI基本単位改定の機会を活用した広報啓発活動

- 一般に広く周知するため、国内外関係機関、関係部署と連携して啓発活動を展開
- NMIJが提供する一次情報を参照して二次情報が広がることを期待し、特設サイトを設置
- 教育機関、学術団体に影響力のある外部委員を加えた国内PR委員会を設置し、情報提供。
- 産総研報道室・科学コミュニケーション室と連携し、時機を見計らった広報を企画。

産総研ホームページ・SNSの活用

- H29.5.20～ SI定義改定に関する特設サイトをNMIJホームページに設置
- R1.5.20の施行日に向けて産総研トップページに特設サイトを設置
- 産総研インスタグラム・Twitterによる周知（語呂合わせコンテスト）、動画配信など

産総研報道室と連携し、プレス発表等を通じた情報提供

H29.10.24 プレスリリース

「質量の単位「キログラム」の新たな基準となるプランク定数の決定に貢献」

H30.08～11 報道機関向け定義改定説明会開催、キログラム原器撮影会の開催

H30.11.16 国際度量衡総会パブリックビューイングの様子を報道機関に公開

報道件数約270件(第4期中)



SI基本単位改定の機会を活用した広報啓発活動（続き）

・テレビ・ラジオ出演

H30.4月下旬に出版された講談社ブルーバックス「新しい1kgの測り方（白田孝著）」を契機に、サラメシ(NHK)、チョコちゃんに叱られる(NHK)、視点・論点(NHK)、Growing Reed(J-WAVE)、FUTURESCAPE(Fm Yokohama 84.7)、又吉直樹のヘウレーカ！（NHK）、つくばdeチョット科学（ACCS）、the last artifact（PBS）等に出演・取材対応

・各種イベントへの参画

- 国立科学博物館の特別企画展に協力
- 霞が関子供デー、産総研一般公開での周知
- 教育団体・教科書会社、関係団体イベントにおける展示会、講演会。

・令和元年度主な取り組み

テレビ等	SNS等	講演会	グッズ・文書
<p>R1.5.28又吉直樹のヘウレーカ！（NHK）</p> <p>R1.9.16～11.4（第1部～第4部） つくばdeチョット科学（テレビつくば11（地デジ11ch））</p> <p>R1.11.14 Wh@t Tsukuba！（ラチオつくば）</p>	 <p>R1.5.20産総研インスタグラム</p>	 <p>日本物理学会HPより</p> <p>R1.12.07「普遍的な物理定数にもとづくキログラムの新しい定義」、日本物理学会 公開講座「『はかる』を極める -21世紀の計量-」にて</p>	 <p>ネクストラップ SI Brochure 日本語訳</p>

SI基本単位改定の機会を活用した広報啓発活動

これまでの情報発信を参照する形で、NMIJから直接働きかけていない機関等からも、情報発信。

NMIJが提供した情報から2次情報へ

Wikipedia（日本語）

「SI基本単位の再定義（2019年）」の項では、NMIJ特設サイトの解説ページ等を引用して、再定義について解説。

理科年表2020

産総研のプランク定数決定への貢献に言及

2019.11に出版の理科年表2020の物理/化学の項において、新しい定義が反映され、P.601には定義改定の経緯の解説付き。

SAPIX 重大ニュース2019

読売新聞に対する取材対応の情報がソースの様様

関東エリア中学受験塾大手がまとめた「2020年中学入試用重大ニュース」の理科ニュースのもっと知りたいトピックスとして紹介。

Twitter

産総研ツイッターとハッシュタグでつながった

H28.12 国内PR委員の早野先生（フォロア-15万）のツイートのみ
H29.5.20からのPR強化年間でツイートはメディア、企業、個人等で約100件（国内のみ）



一般向け広報啓発活動

一般公開（毎年7月下旬に開催）

- チャレンジコーナー、科学工作コーナー：小学生などの子供向け体験コーナー など
- ファミリーチャレンジ：スタンプラリー“もっと知りたい産総研”



各種セミナー・シンポジウムの開催や学会等での講演

- JASIS2019 コンファレンス NMIJ 標準物質セミナー
- JASIS2019 コンファレンス 分析計測標準研究部門シンポジウム
- NMIJ 国際計量標準シンポジウム
- 計量標準総合センター成果発表会



研究成果のプレスリリース

H27-30年の4年間の産総研プレス発表約50件、R1年度（12月まで） 6件

初動3日間アクセス1,000件越え NMIJ分

- 3,217件 平成28年4月5日（水曜日）発表 光子一つが見える「光子顕微鏡」を世界で初めて開発
- 1,063件 平成29年5月11日（木曜日）発表 次世代有機EL用発光材料の発光メカニズムの謎を解明！
- 3,308件 令和元年4月24日（水曜日）発表 全ての光を吸収する究極の暗黒シート

H30年度評価委員コメントへの対応 【産総研の戦略・方針に関わるコメント】

平成30年度評価委員コメント

- ・当期における成果の一つは技術コンサルティングの実施と資金獲得、さらにその効果的な利用であるが、今後の定常的な研究・業務量を考えたとき、適切なエフォートとその評価法の確立が望まれる。
- ・領域内の組織としてマーケティング力強化の取り組みは評価できる。マーケティングの成果をどこまで求めるかによるが、研究者としての視点は狭くなりがちなので外部機関あるいは外部の専門家の活用を検討するとよい。
- ・多様化する計量標準のニーズの把握とそれに対する研究・業務の妥当性を判断し、新たな計量標準の整備と利活用促進の具体化に期待したい。

適切なエフォート管理

業務負担率・研究と業務のエフォート管理に向けた取り組み

- ・校正・研究業務の負担率を調査（作業日数/労働日数）
研究・部門研究グループにより負担率は大きく異なる
- ・調査結果を基に、研究・業務の妥当性を検討
- ・各部署の業務内容に応じた適正なエフォート率の検討
- ・必要性に応じて、校正業務の実施形態を変更



マーケティング力強化
等的一方で定常的
な研究を実施

H30年度評価委員コメントへの対応 【産総研の戦略・方針に関わるコメント】

平成30年度評価委員コメント

広報宣伝は、どこに向けて行うのかを明確にして手段を選ぶ必要がある。公的機関としての一般向けの活動と、共同研究・技術コンサルティングを拡大するための活動は大きく異なり、また、企業も当センターを知っているところとそうでないところでは広報宣伝の仕方は異なる

的確な広報宣伝活動

一般の方を意識した広報の取り組み

SI基本単位改定に関して、様々な媒体を用いて啓発活動を展開

- 発信力のあるTV・ラジオへの出演、SNS等への情報提供
- 新聞取材への積極的な対応（説明会、撮影会、パブリックビューイング）
- インターネットの活用（特設サイトの設置、Instagram）
- 一般公開、霞が関子供デー等への参加、科学博物館との連携。
- 教育関係者への情報提供（定義改定に伴うSI文書翻訳、理科教育大会）
- 学術団体との連携



定義改定に伴うSI文書翻訳



世界計量記念日のInstagram

企業を意識した広報の取り組み

テクノブリッジフェアを通じて、企業に技術を紹介、プレスリリース、日刊工業新聞における技術の紹介、計量関連団体主催の展示会・イベントへの参加、計測クラブ、NMIJ成果発表会を通じた最新動向の紹介

H30年度評価委員コメントへの対応 【産総研の戦略・方針に関わるコメント】

平成30年度評価委員コメント

計量制度見直しに関する取り組み（仕組みを変える）に関して、NMIJ が主体的に活動されたのか、外圧によってなされたのかがよく理解できませんでした。主体的に活動されたのであれば、それがわかる記述にした方が良いと思います。（知的基盤 第4期）

NMIJの主体的な活動

法定計量における国際相互承認制度として新たに証明書制度CS（Certification System）制度がスタートし、各国にはその対応が求められていた。NMIJでは**ISO 17065**を取得するなど率先して**対応作業**を進めている。

水素自動車の世界に先駆けた実用化など、水素の利用に関して日本は世界をリード。その普及に必要な流量の計量に関してもNMIJと日本のディスペンサーメーカーの技術レベルは世界的に高く、**水素計量に関するOIML R文書の改定**においては**プロジェクトリーダー**として主導的な役割を果たしている。

自動はかりの特定計量器化に関しては、世界的な流れと国内での要望に基づいて**設備と規制の整備**を進めている。日本メーカーの技術力は高くマーケットシェアも大きいので、特定計量器化により他国製品との差別化が期待できる。今後は該当**OIML R文書の改定**にも主体的に関与すべく研究開発を行う予定である。

H30年度評価委員コメントへの対応 【計量標準の実績に関わるコメント】

平成30年度評価委員コメント

工業製品の国際競争力、優位性を高めるために、当領域の研究分野を基盤とした継続的な標準化戦略が必要で、その積極的な取り組み期待したい。

当領域の研究を基盤とした標準化により 国際競争力強化

・**流動場分離装置**：産総研とS社ら共同で各機関の有する優れた要素技術を活かしたナノ材料の新規分析技術・装置を開発し、関連する標準化を実施した。**世界初の流動場分離法による分析規格：TS21362**

欧州において、日本主導の国際標準化を先行して実現し、国産企業の特有技術・製品の市場環境整備ならびに国際競争力の拡大に貢献

・**電子顕微鏡によるナノ材料測定**：電子顕微鏡を用いたナノ材料の測定に関する国際規格**ISO/DIS21363**(Under Publication)の開発を国内関係者と連携しつつ米国と共同で主導。

OECDのTest Guidelineに参照規格として引用されるよう活動し、国内材料メーカー等が不利になることのない、ナノ材料の規制（安全を担保したナノ材料の社会実装）に結びつけている。

H30年度評価委員コメントへの対応 【計量標準の実績】続き

遠心式加速度校正装置：遠心加速度を用いた加速度計の一次校正法が**ISO国際標準会規格（ISO 16063-17）**として発行した。

国際的基準調和に関わる試験の適合性評価を確保し、信頼性を向上

三次元測定機（CMM）：非直交非接触CMM（**ISO 10360-13**）及びX線CT（**ISO 10360-11**）など最新技術を使ったCMMの精度評価法の規格化のプロジェクトリーダーを務め、CMMの利用に不可欠となる不確かさ算出法（**ISO 15530-2**）についても議論をリードし、規格化作業を開始予定である。

整備により日本メーカーの優位性が確保され、ものづくりにおける製品の信頼性向上

線量計校正技術：低線量率γ線照射装置を開発し、線量計の高精度な校正技術を確立。本技術についてISO TC85/SC2 WG2において新規のISO規格の策定中である。

日本の線量計メーカーの国際競争力の強化に寄与

H30年度評価委員コメントへの対応 【計量標準の実績】続き

4K/8K放送機器用コネクタ：CS放送アンテナケーブル用コネクタ(IEC 61169-24 Ed.3：2019年7月発行)、4K放送カメラ用ケーブルコネクタ(IEC 61169-63 Ed.1、2020年4月発行)を日本から提案。



発行前段階から国内4K放送機器、カメラメーカーにて標準の利用が進み、他国に先行して開発を推進した。

ミリ波帯誘電率計測技術：国際標準化(IEC 63185 Ed.1、2020年5月発行)を日本から提案。



発行前段階から国内を中心に利用が促進され、車載レーダー向けや5G向け部材の評価に活用。
→米国企業の独壇場であった高周波回路基板分野において、国内メーカーの躍進へとつながった。

光ファイバ無線技術、アンテナ計測技術：IEC TR 63099-1として発行。
電界センサによる計測技術：IEC TR 63099-2 Ed.1(2020年に発行予定)



IEC TC103国際幹事として国際標準化への取り組みにより、他国に先行して開発を推進した。

H30年度評価委員コメントへの対応 【計量標準の実績に関わるコメント】

平成30年度評価委員コメント

橋渡し市場を海外に広げる視点が重要ではないか。国内問題の解決だけが橋渡しではないはず(橋渡し前期 第4期)

海外への展開

日本発の技術が国際標準として確立するとともに、発展途上国を含む海外の標準設備としても普及している例もあり、海外への視点とともに、国内外の問題解決に貢献すべく橋渡しを行っている。

【角度標準技術】自己校正型ロータリーエンコーダ装置：

- ・NMIJ技術であるロータリーエンコーダを導入している国
中国、台湾、韓国、ベトナム、インドネシア、タイ、アラブなど7か国以上

【物質標準技術】定量核磁気共鳴分光法(qNMR)：

- ・NMIJ技術であるqNMRが普及している国
ドイツ、アメリカ、イギリス、カナダ、中国、韓国、南ア、トルコなど10か国以上

【温度標準技術】共晶点：

- ・NMIJ技術である共晶点セルを独自に製作し持っている国
中国・タイ・イギリス・ドイツ・台湾・ロシア・アメリカ・フランス・オーストラリアなど14か国以上
 - ・NMIJの開発した共晶点炉を導入している国
中国・タイ・イギリス・ドイツ・台湾など
- 今後インドネシア、マレーシア、ベトナム、南ア、インドなど発展途上国の標準設備として導入が進む予定

H30年度評価委員コメントへの対応 【計量標準の実績に関わるコメント】

平成30年度評価委員コメント

当領域の技術ポテンシャルを効果的に活用して社会的ニーズに応えられる計測技術の高度化や昨今のキーワードである社会の安心・安全に寄与できる計測技術・装置・試験機開発の研究へ展開を期待したい

社会の安心・安全に寄与した計測技術を確立した事例

・X線非破壊検査によるインフラ診断

老朽化したインフラの効率的検査・メンテナンス技術の向上へつながった。

・水道水規制に対応した標準物質の開発

一対多型校正技術等を適用し、水道法等の規制に対応した標準物質を100%整備するなど、規制項目の追加や他の法規制等にも迅速に対応可能となった。

・放射線利用の計量標準整備

放射能測定装置の校正を速く正確に実施可能となり、放射能測定の信頼性向上へつながった。放射線による治療・診断のための線量計の投与線量の斉一化により、治療効果が向上した。



H30年度評価委員コメントへの対応 【計量標準の実績に関わるコメント】

平成30年度評価委員コメント

評価資料において、標準を内包する計量標準への挑戦とは具体的に何を指しているのか、その達成の程度の評価が出来ない。

計量標準が製品化へ

標準を内包する計量標準として、直流電圧標準器や原子時計などの**研究開発の実施や製品化を実現**している。代表例を達成度も含めて紹介する。

小型・高安定の直流電圧標準器（企業との共同開発・製品化）：

本電圧標準器は安定なツェナーダイオードを内包しており、その安定性はジョセフソン効果電圧標準器により評価され、市販されている世界最高レベルの安定性が実証されている。

(産総研プレスリリース2015/6/24)

小型・低消費電力の原子時計（大学・企業との共同開発）：

本原子時計はセシウム133の共鳴周波数9.192631770 GHzを基準としており、秒の定義を内包したものである。5年後の商品化を目指している。

(産総研プレスリリース2019/2/19)

H30年度評価委員コメントへの対応 【第5期に向けてのコメント】

平成30年度評価委員コメント

今後のことを考えて先取りした技術開発を今後も進めてほしい（知的基盤 第4期）

将来のニーズを見越した標準整備

定義改定後の将来を見据えた新しい技術開発や、将来の定義改定に備えた研究開発にも積極的に取り組んでいる。

光格子時計の開発：

将来の秒の定義改定に備えた、次世代時間標準の研究開発。定義改定後は光格子時計を基準とした日本の時間の国家標準が構築できる。

微小質量計測技術の開発：

基礎物理定数に基づくSI基本単位の定義に改定されたことで、これまでのキログラムの定義では測定することが困難だった微小な質量や力などを精度よく測ることができることを見据えた研究開発。

新たな温度標準の探索：

温度の定義が改定されたことで、従来の温度の定義であった水の三重点以外の定点の熱力学温度値の高精度決定が求められており、この温度値決定のための新しい一次温度計の開発。

領域の研究開発マネジメント総括

- 領域の強みを分析し、橋渡し各ステージを意識付け
- 標準整備計画策定、計測クラブ、コンソーシアム、公設試との連携、計測技術コンサルティング等の機会を活用したニーズ把握
- 橋渡しのアーリーステージから連携を強化する試み（機器公開、標準化までを視野に入れたコンソーシアム等）を加速
- 知的基盤の整備、普及も例年並みに実施し、さらに新たな連携策（コンサルティング等）でユーザーを開拓
- 計量計測の専門機関として教育機能を強化
- SI基本単位の定義改定に貢献、これを契機とし、TV報道、新聞などを通じて計量標準の活動を一般社会へ広く宣伝

評価項目と指標

	単位	4年間 (H27~H30)							R1			
		H27	H28	H29	H30	計	目標 (4年間の 合計)	実績/ 目標	4月~ 12月	目標	実績/ 目標	
目的 基礎	論文の被引用回数 (評価指標)	回	2388	2700	2626	2566	10280	10240	100%	3065	2600	118%
	論文数[*1] (モニタリング指標)	報	197	204	239	205	845	790	107%	147	205	72%
橋渡し 前期	知財の実施契約等件数 [*2] (評価指標)	件	83	81	97	96	357	335	107%	96	90	107%
	公的資金	億円	4.7	6.5	7.1	9.1	27.4	-	-	6.6	-	-
橋渡し 後期	民間からの資金 (評価指標)	億円	4.1	4.7	7.2	7.5	23.5	21.6	109%	7.1	8.4	85%
	中堅・中小企業[*3]の研究 契約件数の比率	%	43.3	44.4	38.4	34	-	-	-	32.9	-	-

[*1] 論文数：インパクトファクターがついている専門誌・プロシーディングスでの論文発表数

[*2] 知財の実施契約等件数：知的財産の譲渡契約及び実施契約の件数の和

[*3] 中小企業：製造業にあっては、資本金3億円以下、従業員300人以下のいずれかを満たす場合

[*3] 中堅企業：中小企業以外のうち、資本金が10億円未満の場合

2. 「橋渡し」のための研究開発

(1) 通期の実績・成果

工学・物理・物質・分析計測標準研究部門長
 高辻 利之・藤間 一郎・高津 章子・野中 秀彦
 令和2年 2月28日

通期の実績として紹介するテーマ

課題名	評価区分	研究の概要	備考
単一電子制御技術の開発	目的基礎	電気計測・微細加工技術を用い、単一電子制御技術を開発 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦	ポスター
先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化	目的基礎	時間分解測定を実現するレーザー分光法の開発と高度化、これによる光機能材料の反応機構解明 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦、高感度・高分解能・高安定度な標準への挑戦、計測場を乱さない新規技術	
有機質量分析の高感度・高精度化技術の開発	目的基礎	巨大な分子の分析ニーズに対応、タンパク質の高感度・高精度定量に成功 ⇒新たな分析、計測技術への挑戦	

通期の実績として紹介するテーマ

課題名	評価区分	研究の概要	備考
水素流量計測技術の開発と国際標準化	橋渡し前期	世界最高水準の高圧水素流量計測技術を開発、国際法定計量機関勧告改定 ⇒ 社会の安全、安心への貢献	
産業・科学分野における水分計測の信頼性向上	橋渡し前期	市販の微量水分計に対し、性能を維持しつつ、体積1/10、質量1/5を実現 ⇒ 企業における計測技術・計測装置開発支援	
様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発	橋渡し前期	粒子計測の信頼性を担保する要素技術を開発、粒子発生器や計測器を企業と協業し開発、製品化 ⇒ 企業における計測技術・計測装置開発支援、社会の安全、安心への貢献	

通期の実績として紹介するテーマ

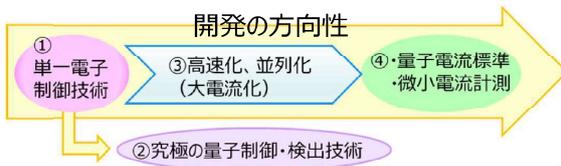
課題名	評価区分	研究の概要	備考
デジタルものづくり産業を支える3D形状計測	橋渡し後期	3D計測と3D造形の連携により全国公設研の領域横断的連携基盤を構築 ⇒ 校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上	ポスター
ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用	橋渡し後期	精密変位計の周期誤差の最小化を実現しピコメートル精度で評価 ⇒ 民間校正設備の精度向上・新たなトレーサビリティ技術の開発、校正・計測技術による製品・企業価値の向上	
電磁波を利用したセンシング技術の開発	橋渡し後期	電磁波による農産物などの水分含有量や品質を非破壊でリアルタイムに計測するためのセンシング技術を開発 ⇒ 校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上	ポスター
ナノ材料の適正管理実現に向けたナノ粒子計測システム開発に関する研究	橋渡し後期	ナノ粒子計測のための流動場分離法装置の高度化により、市販機としては世界最高分解能を実現 ⇒ 校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上、計測装置自体の製品化	
モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ分布計測	橋渡し後期	モアレを利用し、橋梁から電子デバイスに至る広範なスケールのひずみ計測技術を確立 ⇒ 民間への技術移転、校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上、計測装置自体の製品化	

「単一電子制御技術の開発」 (目的基礎)

研究の目的 電気の最小単位である単一の電子を制御することで、究極の高精度電流標準・計測の実現を目指す。

本研究の背景

- 2019年5月の**国際単位系 (SI) 改定**により、電気量の単位：A (アンペア) が電気素量 e により定義。
- 新しい定義に則った**次世代の量子電流標準**を実現するための研究開発競争が先進各国 (米・英・独・豪・韓) で実施されている。
- 先端科学研究のみならず、**多くの産業分野 (放射線医療・半導体微細加工・微粒子、ガス等化学計測等) で微小電流計測の重要性**が急速に増している。



① 開発した単一電子制御技術

単電子素子

超伝導体や半導体量子ドットに電子を閉じ込め、電子を一個一個制御

・電流生成【ポンプ】

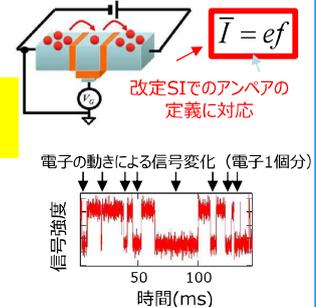
ソース電極からドレイン電極へ電子を一粒ずつ転送

10素子以上の並列駆動に世界で初めて成功(超伝導素子では世界最大の電流値 160 pA) (IEEE誌)

・検出【センサ】

半導体中を流れる電子の動きをリアルタイム検出

単電子素子人工分子としての性質を解明 (Phys.Rev.B誌)



次世代の量子電流標準、究極の微小電流計測へ

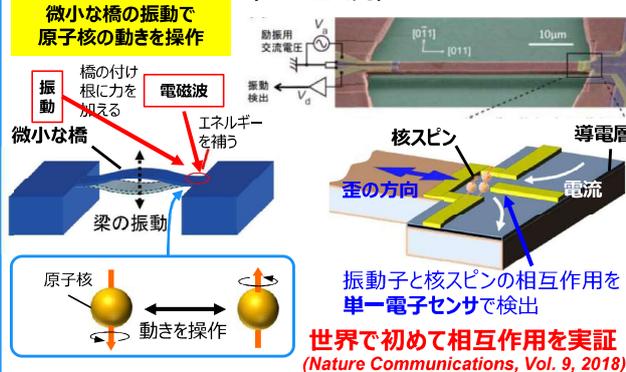
年度	H27	H28	H29	H30	R1
成果	超伝導* SINISデバイスを用いた単電子ポンプ素子による電流発生 (1.6 pA) に成功 並列化により160 pAの電流発生に成功 <small>*超伝導体/絶縁膜/常伝導体/絶縁膜/超伝導体接合</small>	微小電流センサ用の高集積量子ホールアレー (1 MΩ) を開発	たった1個の電子で1ビットを表現する世界初のデジタル変調を実現 (NTTと共同)	微細なメカニカル振動子を用いた核磁気共鳴の制御に成功 (NTTと共同)	単電子ポンプ素子の高速並列駆動 (大電流化) に向けた測定系の構築と個別動作 (2 GHz) を確認 (NTTと共同)
プレスリリース			2件	1件	

「単一電子制御技術の開発」

成果 量子電流の生成、微小電流センサの実現、電子1個を用いたデジタル変調や核磁気共鳴制御、並列駆動 (大電流化) に向けた高速動作の実証など、**究極の高精度電流標準・計測を実現するための単一電子制御技術を提案し、実証した。**

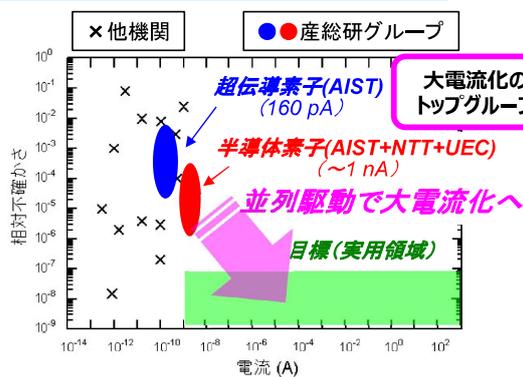
② 単一電子センサを利用した核磁気共鳴制御

微細なメカニカル振動子を用いた核磁気共鳴の制御に成功 (NTTと共同)



世界で初めて相互作用を実証 (Nature Communications, Vol. 9, 2018)

③ 量子電流標準実現のための大電流化



④ 今後の展開

SIの新定義にもとづく量子電流標準や究極の微小電流計測の実現を目指す。

アウトカム

高絶縁材料評価、微量元素分析、放射線計測、電気化学計測、量子計量学、量子物理学、量子コンピュータ、量子情報通信等へ貢献

アピールポイント

新しいSI定義を実現する単電子ポンプや関連技術の研究開発に取り組み、単一電子制御技術を提案・実証。電圧・抵抗・電流の量子技術保有は世界で3カ国のみ。

「先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化」 (目的基礎)

研究の目的 機能性材料の電子や正孔の動的過程を分析・評価する手法を開発・高度化し、その解析結果に基づき最先端デバイスの高性能化に寄与する。

本研究の背景

- 高性能デバイスの開発には、その構成材料中の動的過程、特に電子等の**励起状態を直接分析・評価する手法**の開発及び高度化と、それをを用いた解析結果に基づく材料設計と作製が求められている。

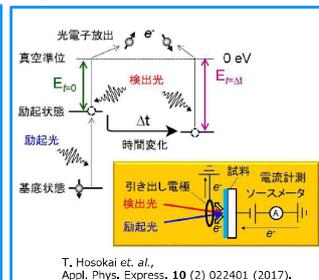
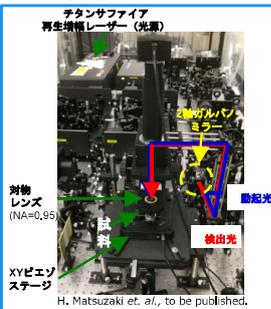


- これらのニーズに応えるため、**短パルスレーザー光**を用いた以下の分光分析法の研究開発を推進する必要

- ① 過渡吸収分光法の高度化** (波長・時間域の広域化、動的過程の二次元イメージング化) と実用材料への展開
- ② 励起準位エネルギーの大気下での時間分解計測** を実現する新たな手法の開発

開発した技術

産総研独自のレーザー分光分析システム



- ① 顕微過渡吸収イメージング分光装置**
... 過渡吸収分光法の高時間分解能にイメージング機能を付与；H30年度完成
- ② 産総研独自のレーザー時間分解光電子収量分光法 (TR-PYS)**
... 励起状態からの光電子放出を大気下の微小電流として時間分解測定する収量分光法；完成間近

年度		H27	H28	H29	H30	R1
過渡吸収分光法では世界で最広域の測定可能範囲 (時間：100 fs~100 ms, 波長：0.24 μm ~11 μm) を達成→光触媒半導体材料の光反応機構の解明	レーザー時間分解光電子収量分光法の原理実証 フェムトオーダーの光電子電流を検出を実現			過渡吸収分光法により、次世代有機EL用発光材料である熱活性化遅延蛍光材料の発光機構を解析 →発光効率を~100%まで高める分子構造の特徴を解明	顕微過渡吸収法による顕微イメージング分光装置の開発 →1 μm以下の空間分解能を実現	・顕微過渡吸収イメージング分光装置の実用材料への応用展開 ポリオフェン等で有用性を実証 ・レーザー時間分解光電子収量分光装置のプロトタイプ製作 (現在、励起光源の調整中) ・複合分析に向けた準備を推進
技術を社会へ Integration for Innovation		59			国立研究開発法人 産業技術総合研究所	

「先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化」

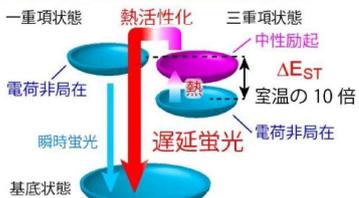
成果 過渡吸収分光法は、時間及び波長の測定可能範囲拡大及び動的過程の二次元イメージング化を実現し、太陽電池、光触媒、有機EL等の実用材料の高性能化に貢献する電荷移動過程等の解明に寄与。機器公開を通じて**年間10~15件の外部利用実績**。

次世代有機EL用発光材料の発光機構を解析

過渡吸収分光法 → 熱活性化遅延蛍光 (TADF) 材料

今回明らかになったTADFの発光メカニズム

→ ΔE_{ST} と発光に重要な励起種を考慮

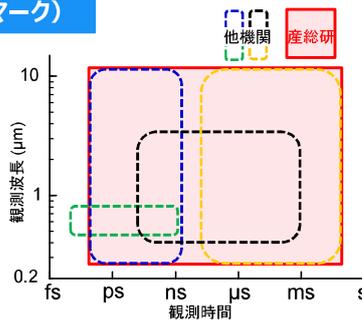


T. Hosokai et al., Sci. Adv. 3 (5) e1603282 (2017).

- ~100%の高い発光効率を示す分子構造の特徴を解明
- 高効率・高耐久性発光分子の探索・設計・作製に貢献

他研究機関の状況等 (ベンチマーク)

- 他機関の過渡吸収分光システムと比較して、産総研は時間領域及び波長領域について**世界で最も広い測定可能範囲** (100 fs~100 ms, 0.24 μm~11 μm) を実現。
→ イメージング機能を付与し、1 μm以下の空間分解能も実現
- レーザー時間分解光電子収量分光法はパルスレーザー光を用いた**産総研オリジナルの測定法**で、完成すれば世界唯一。



過渡吸収分光法で測定可能な時間及び波長領域
赤：産総研、青：東大、NIMS、米ノートルダム大等、黒：阪大、日大等
緑：東大、独マックス・プランク研等、黄色：豊田工大、スイス連邦工大等

今後の展開

両者を組み合わせた**複合分析**を通じて、機能性材料の励起状態の時間・空間変化を解析し、デバイスの高性能化に資する知見を獲得する。

アウトカム

- 計測・分析技術のソリューション提供による材料開発の支援を通じて、
- ・各種電子・光デバイス等の高性能化に寄与。
- ・省エネルギー社会や低炭素社会の実現に貢献。

アピールポイント

過渡吸収分光システムを「産総研先端ナノ計測施設(ANCF)」の一つの機器として公開し、外部への成果普及を促進。



「有機質量分析による高感度な構造解析技術の開発」 (目的基礎)

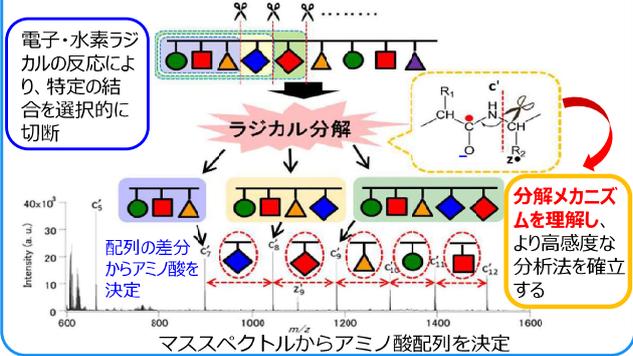
研究の目的 新規医薬品や各種診断マーカーの候補となる生体由来の微量タンパク質などをより効率的に分析可能な質量分析技術を開発する。

本研究の背景

- 質量分析は、微量な有機分子の「分子量測定」や「構造解析」を可能とすることから、ライフサイエンス、医薬、環境、材料分野等で広く用いられている。
- 特に、生命機能の理解や新規医薬品の開発には、**有機化合物の正確な構造解析が必要**である。
- しかし、タンパク質などの複雑な構造の有機化合物の解析を質量分析のみで行うことは現状では難しく、**新技術の開発が喫緊の課題**となっている。
- また、各種診断マーカーとなる生体内の微量タンパク質を高精度で定量可能な新技術の開発も大きな課題となっている。

開発した技術

アミノ酸配列を容易に解析可能なフラグメンテーション新手法を用いた質量分析法を開発 (**ラジカル分解質量分析法**)



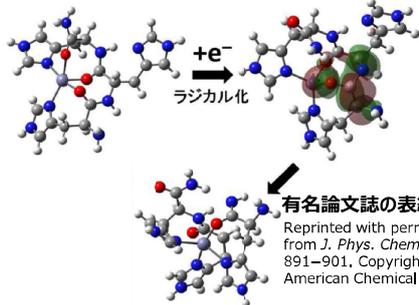
H27		H28		H29		H30		R 1		
金属錯体を用いた有機リン化合物のラジカル分解質量分析法の開発		二段化学修飾法による微量タンパク質の高精度定量質量分析法の開発		金属錯体を用いたラジカル分解質量分析法を実験ならびに量子計算化学の両面から着実に進展		ラジカル分解質量分析法の高感度化		より簡便な水素原子付加・脱離を用いたラジカル分解質量分析法を実験ならびに量子計算化学に基づいた計算の両面から着実に進展が可能に		
ラジカル化による選択的な結合切断によりリン酸化ペプチドの配列を正確に計測		安定同位体の導入による高精度定量分析と質量分析に適した置換基の導入による高感度化を両立				化学修飾法とラジカル分解質量分析法を組み合わせることにより、より微量のリン酸化ペプチドの配列解析が可能に				
技術を社会へ Integration for Innovation					61		国立研究開発法人 産業技術総合研究所			

「有機質量分析による高感度な構造解析技術の開発」

成果 新規ラジカル分解質量分析法を開発し、質量分析により得られた情報のみからリン酸化ペプチドのアミノ酸配列の解析に成功した。さらに解明したラジカル分解過程に基づき、本手法をより効果的に利用するための化学修飾法を開発し、タンパク質の高感度分析を可能とした。

ラジカル分解反応のメカニズムを解明

実験と量子化学に基づいた計算を組み合わせ、ラジカル分解過程を解明 (**高感度化への指針**)

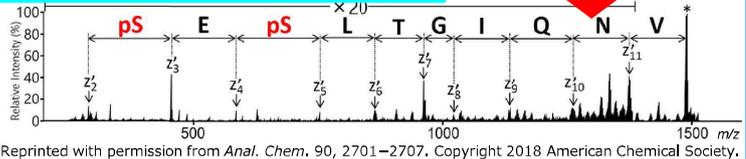


高感度分析のための化学修飾法の開発

解明したラジカル分解過程に基づき、本分析手法に効果的な**化学修飾法**を開発



化学修飾でイオン化効率を向上させて高感度化ラジカル分解質量分析



→ **ナノグラム程度の微量リン酸化・硫酸化ペプチドのアミノ酸配列の解析に成功**
(従来の質量分析法では配列決定に複数回の分析が必要)

今後の展開

実験と量子化学計算の両面から研究開発を進め、生理活性分子や疾患バイオマーカーの探索、抗体医薬品の分子構造の評価などのアプリケーションにつなげる。

アウトカム

- 微量なタンパク質などを分析可能な新規質量分析法を開発
- 有機化合物の構造を質量分析のみを用いて解析可能
- 各種診断マーカー検査法の評価技術としての応用

アピールポイント

新規ラジカル分解質量分析法を開発し、フラグメント情報のみからアミノ酸配列の解析に成功。化学修飾法を開発し、タンパク質の高感度・高精度定量に成功。

「水素流量計測技術の開発と国際標準化」 (橋渡し前期)

研究の目的 水素ディスペンスターの計量精度保証のための高圧水素ガス流量計測技術を開発し、国際標準化を目指す。

本研究の背景

- ・ 低炭素社会の実現のための有効なエネルギーの一つとして、**水素の有効活用に関する研究開発・実証研究**が進められている。
- ・ **水素**はそれ自体をエネルギーとして使用することに加え、**電力安定化の手段**として余剰電力のエネルギー貯蔵媒体としても注目されている。
- ・ **商用水素ステーションにおいて**、燃料電池自動車に水素ガスが燃料として充填され計量取引が行われている。
- ・ 消費者保護の観点から、**高圧水素ガスの流量計測技術の開発・高精度化は不可避**である。
- ・ 高圧水素流量計測技術の国際標準化も求められている。

開発した技術

国家標準にトレーサブルな高圧水素流量計測技術を開発

気体流量国家標準 (水素)

(圧力: 0.7 MPa, 流量: 0.1 kg/min)

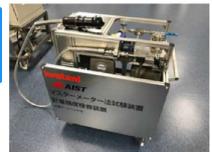
比較法による拡大

高圧用マルチノズル式校正器

(圧力: 82 MPa, 流量: 3.6 kg/min)

水素ステーションに設置しマスターメーターとして使用する**コリオリ流量計**の校正が可能に

実際の水素ステーションに設置し、従来の計量方法(重量法)による計量精度検査装置との同等性を確認



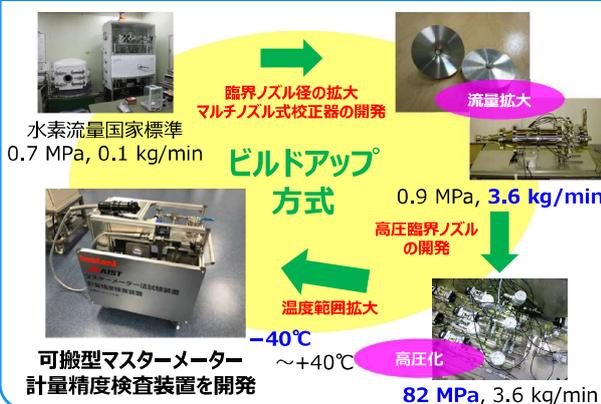
コリオリ流量計を用いた**可搬型マスターメーター計量精度検査装置を開発**

年度		H27	H28	H29	H30	R1
高圧水素流量計測技術を開発 -水素ガス流量標準の整備 -ビルドアップ方式により高圧化・大流量化に成功 -中高圧領域(〜350気圧)実用自動車充填用流評価用高圧水素流量計校正設備を整備	日本工業規格(JIS)の制定 JIS B8576:水素燃料計量システム自動車充填用	商用高圧水素ステーションに設置可能な 可搬型マスターメーター計量精度検査装置 を開発し、性能を確認	国際法定計量機関(OIML)勸告改定 R 139:Compressed gaseous fuel measuring systems for vehicles	マスターメーター法計量精度検査方法の確立へ向けた実証		
技術を社会へ Integration for Innovation		63		国立研究開発法人 産業技術総合研究所		

「水素流量計測技術の開発と国際標準化」

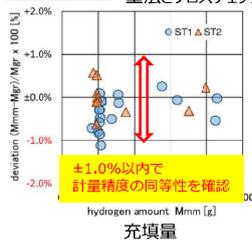
成果 4期当初、高圧水素流量の計量範囲は圧力70 MPa、流量1.0 kg/minまでであったが、臨界ノズルを用いたビルドアップ方式により、**圧力82 MPa、流量3.6 kg/min**まで高圧化・大流量化を実現し、水素ディスペンスターに関する**日本工業規格**の制定、**国際法定計量機関勸告**の改定へ貢献。

ビルドアップ方式による高圧水素流量トレーサビリティの確立 ⇒ **世界で唯一の水素ガス流量計校正技術**



達成度

100カ所を超える水素ステーションにおける計量精度検査実績のある重量法とクロスチェックによって、異なる水素ステーション(ST1, ST2)において、様々な充填量で±1.0%以内で重量法による計量精度検査結果と一致を確認した。



今後の展開

FCV実車充填計量検査による更なる低コスト化・高効率化

国内業界ガイドライン、日本産業規格、国際法定計量機関勸告の改定



アウトカム

- ・ マスターメーター法計量精度検査方法の確立
- ・ 水素ステーションにおける水素燃料適正計量による消費者保護
- ・ 燃料電池自動車の普及および水素社会実現への貢献

アピールポイント

経済産業省が策定した水素・燃料電池戦略ロードマップの水素ステーション普及設定ターゲットの達成に貢献できる技術を開発。

「産業・科学分野における水分計測の信頼性向上」 (橋渡し前期)

研究の目的 水分計測の信頼性を微量水分から高湿度まで担保するため、湿度標準の供給のみならず、ニーズに対応した新たな校正技術や計測技術、標準物質を開発する。

本研究の背景

- 半導体製造における各種ガス中の残留水分管理をはじめとして食品・医薬品・石油化学・自動車など幅広い製造分野の品質管理において、正確な水分計測が必要。
- 微量水分管理のニーズ
半導体製造プロセスで使用されるガス(N₂, Ar, O₂, He等)中の微量レベル(<1 ppm)での残留水分管理が、デバイスの性能と歩留まりの向上に不可欠。
- 水分分析のニーズ
有機合成原料や電池材料の製品品質に大きな影響を与える微量水分の品質管理が必要。

開発した技術

多種ガス用微量水分標準発生技術
1台でN₂, Ar, O₂, He中微量水分標準の供給が可能な装置を開発

CRDS微量水分計測技術
超高感度・高精度測定用、リアルタイム測定用、**小型化用**の3つのCRDS微量水分計測技術を確立
*キャピティリングダウン分光法 (CRDS)

低濃度水分分析用標準液
測定環境由来の水分の吸湿・脱水の影響を制御可能とする実験系の構築



年度		H27	H28	H29	H30	R1
・N ₂ 中微量水分標準の供給範囲上限を、1 ppmまで供給中。		・N ₂ 中微量水分標準の供給範囲上限を、5 ppmに拡張 ・CRDS超高感度・高精度化技術の確立 ・月面探査用小型CRDS微量水分計をJAXAと共同研究開始		・He中、O ₂ 中の微量水分の標準を確立 ・リアルタイム測定用CRDS微量水分計を開発	・ 小型CRDS微量水分計を開発。 (10x13x22 cm, 2.6 kg)	・小型CRDS微量水分計の製品化に向けた民間企業との共同研究及び宇宙応用に向けたJAXAとの連携を開始
・異なる3水準の標準液整備に対し水分分析用標準液 (0.1 mg/g) を供給		・水分分析用標準液の売れ行きに対応した複数回のロット更新		・高濃度の水分分析用標準液 (1 mg/g) を開発	・ 世界のNMIに先駆けて低濃度水分分析用標準液 (0.02 mg/g) を開発「最終目標を前倒しで達成。」	・3水準の水分分析用標準液を供給中。

「産業・科学分野における水分計測の信頼性向上」

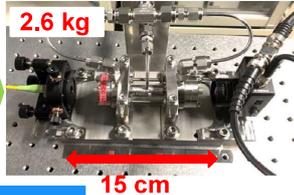
成果 半導体製造プロセスガス用のSIトレーサブルな微量水分標準を確立。CRDS微量水分計の小型化技術を確立。また、世界の標準研究機関に先駆け、低濃度水分分析用標準液 (0.02 mg/g) を、当初計画よりも前倒しで開発。

小型CRDS微量水分計

従来の市販最小CRDS微量水分計



開発した小型CRDS微量水分計



ベンチマーク

市販最小CRDS微量水分計の**体積1/10、質量1/5**を、NASAが開発した火星探査用試作機の**体積1/7**を実現。

今後の展開

民間企業との共同研究による**実用機開発**。宇宙応用に向けたJAXAとの連携。

微量水分標準のガス種の拡大

期当初

N₂:10 ppb~1 ppm
Ar:10 ppb~1 ppm

現在

N₂:10 ppb~**5 ppm**
Ar:10 ppb~1 ppm
O₂:10 ppb~1 ppm
He:10 ppb~1 ppm

ベンチマーク

SIトレーサブルなAr, O₂, He中微量水分標準の供給は**標準研究機関で世界初**。

今後の展開

4種ガスでの校正に要する時間(合計500時間)を**1/3以下**に短縮する技術開発。

水分分析標準液



NMIJ CRM 4228 (1 mg/g) (H29年度)
NMIJ CRM 4222 (0.1 mg/g)

NMIJ CRM 4229 (0.02 mg/g) (H30年度)

ベンチマーク

他国を含めた既存CRMに対し、**濃度レベル1/5**を実現し、世界の標準研究機関に先駆けて開発。

アウトカム

- 小型CRDS微量水分計の実用機開発、月面探査への応用に向けた新規共同研究に展開。
- 実用水分分析用標準液の信頼性向上と国産汎用微量水分計の製品化に貢献。

アピールポイント

微量水分標準の要素技術を基に、月面探査の要件を満たす**CRDS微量水分計の小型化**を実現し、更に民間企業と実用機開発の共同研究に発展した。

「様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発」 (橋渡し前期)

研究の目的 先端材料や薬剤の製造現場において清浄度管理に利用されている粒子計測に対して高い精度と信頼性を確立するため、新たな粒子計測技術と精度管理技術を開発する。

本研究の背景

製造現場における清浄度管理、粒子排出規制、医療診断などで用いられる粒子計測に対し、高精度な粒子計測技術の開発と、精度管理のための計量標準や校正法の開発が求められている。

【気中粒子】

- ・ マイクロメートル領域での気中パーティクルカウンタの校正技術開発
- ・ PM_{2.5}自動測定機の性能評価技術の開発

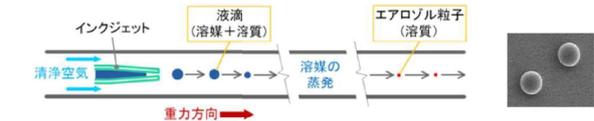
【液中粒子】

- ・ ナノメートル領域での粒径高精度計測技術の開発
- ・ 油中の異物検出や血球計数等、水以外のマトリックス中の粒子計測に資する精度管理技術の開発

開発した技術

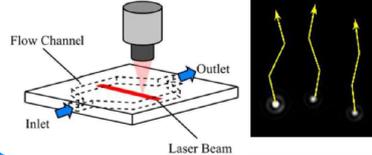
インクジェットエアロゾル発生器 (IAG)

産業用インクジェットに液滴帯電対策を加えることで、粒径と粒子数が既知の、パーティクルカウンタ試験用単分散エアロゾルの安定発生が可能に。



流れ場粒子軌跡解析法 (FPT)

Microscope and CCD Camera



粒子のブラウン運動から粒径を決定する技術に、連続サンプル導入を加えることで、ウエハ洗浄水中の異物検出などでの、インライン計測が可能に。

年度	H27	H28	H29	H30	R1
気中パーティクルカウンタの校正を容易にする市販型インクジェットエアロゾル発生器 (IAG) を企業と共同開発・製品化。マイクロメートル領域での計数効率校正が可能に。		実環境中での粒子サンプリングを模したIAG校正プロトコルを開発。	液中ナノ粒子の高精度な粒径計測を可能にする、流れ場粒子軌跡解析法 (FPT) を開発。最小粒径10 nmを実現、計測器メーカーと製品版装置を製作。	FPTのデータ解析アルゴリズム改良による粒子径分布計測精度の向上を実現。	IAGを利用したパーティクルカウンタ校正法の国際標準化を計測器メーカーと共同でスタート。

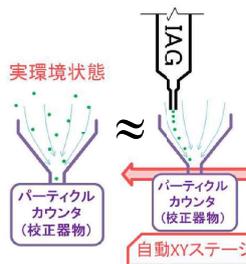
「様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発」

成果 IAGによって、従来は困難であったマイクロメートル領域の単分散試験粒子の安定発生が容易に。FPTによって、粒径 10 nmまでの信頼性の高い粒径分布測定を実現。

技術開発のポイント

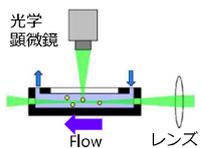
インクジェットエアロゾル発生法 (IAG)

- ・ 従来は、試験粒子を大型チャンバ内に作り、配管して校正器物に導入。
- ・ インクジェット技術を利用することで粒径が揃った試験粒子を安定に発生可能に。校正システムも半分程度小型化。
- ・ 試験粒子の射出方向が揃ってしまうので、実環境状態を模した粒子導入法を開発。



流れ場粒子軌跡解析法 (FPT)

- ・ 流れ場中の粒子軌跡解析においてブラウン運動成分と流れ成分を精確に分離し、粒径の高精度計測を実現。
- ・ 迷光低減とレーザーパワー密度向上により、従来の最小粒径30 nmよりも小さい最小粒径10 nmの分布計測を実現。



達成度

IAG

- ・ IAGの有用性を検証するため、パーティクルカウンタ校正の国際比較に参加。
- ・ 従来法を用いた他国の校正結果と一致、且つより小さい不確かさを実現。

計数効率校正の拡張不確かさ (%)

粒径 (μm)	NMIJ 日本	METAS スイス	DFM デンマーク
0.5	1.4	6.8	5.3
1.0	1.1	7.2	8.6
5.0	2.6	14.6	6.8

今後の展開

- ・ IAGの普及を加速すべく、IAGを用いたパーティクルカウンタ校正法の国際標準化を提案、予備業務項目として今年度スタート。ISO化を目指す。

アウトカム

クリーンルームやウエハ洗浄水の清浄度管理など、品質管理の信頼性向上に貢献。薬品製造現場で使用されている浮遊微生物迅速計測器の精度管理への応用も可能。

アピールポイント

産総研初の技術を基に、国内企業と連携し、粒子計測用の新たな校正用機器と計測器の製品化に成功。従来困難であった粒径域での高精度計測を実現。

「デジタルものづくり産業を支える3D形状計測」 (橋渡し後期)

研究の目的 ものづくりにおいて要求される三次元計測技術を高度化し、その技術を日本の産業界に広く普及する。

本研究の背景

- 工業製品は高機能化・軽量化が進み、形状が複雑になっている。それに伴い、製品の**寸法・形状を三次元で計測**することが必須に。
- 技術のトレンドは接触式(点) → 光スキャナ(面) → X線CT(ボリューム)へと変遷。
- 計測性能が保証されたX線CTの需要と、その精度評価のためのISOが必要。
- 三次元測定技術とその効果的な利用法の普及が急務。



開発した技術

(Fin & Tube Analyzer)

- 熱交換部品計測用X線CTの開発
- 世界最高性能の計測用X線CTの開発
- 世界最高分解能を持つ高エネルギーX線CTの開発



(開発したX線源と分解能試験)

- 全国約50の公設研が参加する大規模プロジェクト(3D3プロジェクト)を実施し、3D計測器の利用により3Dプリンタの造形精度が向上する手法を開発。その成果の中小企業への橋渡しを継続。

年度		H27	H28	H29	H30	R1
・CREADS社と共同開発した熱交換部品計測用X線CTの発売		・ISO規格(3D座標計測)3本のPL獲得		・島津製作所との共同開発による純国産・世界最高性能の計測用X線CTの発売 ・民間外部資金獲得額 1.62億円	・産総研の地域連携プロジェクト(3D3プロ) - 3Dプリンタの造形精度2倍向上を実証 ・世界最高水準の3D形状計測技術の実現 - MV(メガボルト)級X線CTとして世界初となる0.1 mm分解能を達成	・近畿経済産業局Kansai-3Dプロジェクトと連携して全国公設研ネットワークを継続

「デジタルものづくり産業を支える3D形状計測」

成果 企業と連携して、低中高それぞれのエネルギーレベルにおいて世界最高性能のX線CTを開発した。それらの客観的な評価指標を作るためのISO規格制定を進めている。中小企業のものづくりを支援するための全国公設研ネットワークを作り、3Dプリンタの造形精度向上を実証した。

ものづくり支援全国公設研ネットワークの形成

全国約50の公設研が参加する実証プロジェクト(3D3プロ)を実施



X線CT開発に関する他国の状況等(ベンチマーク)

- 熱交換部品計測用X線CTを開発し、多数の販売実績。
- 中エネルギーX線CTメーカーは多いが、計測用CTは少なく、その中で最高性能。(右表参照)
- 高エネルギーX線CTについても、4MVの透過力で0.1 mmの分解能は世界最高性能。
- 計測性能を客観的に示すためのISO規格をプロジェクトリーダーとして作成中。

メーカー	計測用	最大許容誤差
AIST&島津	○	3.8+L/50 μm
CarlZeiss	○	4.5+L/50 μm
Werth	○	Down to 2.5 (?)
NSI	×	
Wenzel	×	
東芝	×	

※ 各社のWebsite等の記載から作成



島津製作所と共同開発したXDimensus300

アウトカム

3D3プロ参加公設研が行ったものづくり関係の技術支援は約3000件(平成28年度)。プロジェクト成果の中小企業への橋渡しが進んでいる。開発したX線CTの販売は順調であり、日本の産業競争力向上に寄与している。

アピールポイント

世界最高性能のX線CT開発と国際規格化におけるリーダーシップ。
これまでに例を見ない、全国の公設研が参加するプロジェクトの実施と成果。

「ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用」 (橋渡し後期)

研究の目的 長さ関連量の標準技術（知的基盤）として開発された超高精度評価・計測技術を製品の評価・精度向上用の技術として産業応用に展開する。

本研究の背景

- 近年、現場で用いられる様々な計測器の高分解能化が進み、例えば**ピコメートルレベルの分解能を有する変位測定器**なども用いられるようになってきている。
- 測定器の信頼性担保のため、**トレーサビリティの担保された精度評価技術に対する要望**が高まっている。

【具体的な産業課題例】

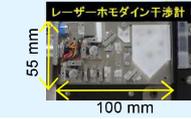
- ① 5 pm以下の不確かさで変位計を評価できない。
- ② シリコンウエハの厚さ測定精度が100 nm程度に留まっている。
- ③ 平面度をナノレベルの精度で測定可能な範囲が300 mmに留まっている。

➡ **長さ関連量の標準技術（知的基盤）として開発された超高精度評価・計測技術（ナノメートル・ピコメートル精度の計測技術）を製品の評価・精度向上用の技術として産業応用が必要不可欠**である。

開発したナノ・ピコメートル精度の計測技術

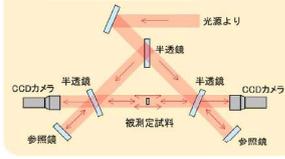
① レーザ干渉計技術

非線形誤差を**1 pm以下に抑えた超高精度**、かつ、**持ち運び可能な小型レーザーホモデザイン干渉計**を開発



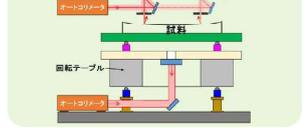
② 厚さ分布計測技術

長さの**国家標準にトレーサブルなレーザー光源**と2台の光干渉計を用いた**厚さ分布計測技術**を開発



③ 平面形状計測技術

角度標準を基準とし、**600 mmまで測定可能かつ2.5 nm以下の測定精度**をもつ**平面形状測定装置**を開発



年度				
H27	H28	H29	H30	R1
①小型レーザーホモデザイン干渉計を開発。 レーザー干渉計の非線形誤差を1 pm以下に抑えることに成功。	①レーザー干渉計によるピコメートル精度の変位測定技術により、 変位計（民間企業製）を2 pm以下の不確かさで評価することに成功。 ・IF付き国際誌2報、特許出願1件、受賞1件	②長さの国家標準にトレーサブルなレーザー光源と2台の光干渉計を用いた厚さ分布計測技術を開発。 ・IF付き国際誌1報	②製造現場で用いられる厚さ測定器校正用の 標準シリコンウエハ片 を 10 nmの不確かさで測定することに成功。 ・プレスリリース1件、IF付き国際誌3報	③ 直径600 mmの大型平面基板 に対して、 2.5 nm以下の不確かさで平面度測定が可能な高精度形状測定装置の開発に成功。 ・プレスリリース1件、IF付き国際誌1報、受賞1件

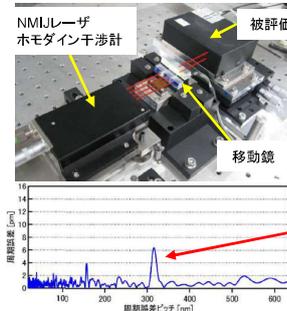
「ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用」

成果 期当初**トレーサビリティが担保された精度評価が困難であった計測器・標準器等**に対し、産総研が独自に開発したナノ・ピコメートル精度評価・標準技術を具体的な産業製品に応用することで、**製品の高度化・トレーサビリティの担保による信頼性向上に貢献した。**

超高精度な標準技術を、産業ニーズへ応用

① 超高精度な変位計評価・校正

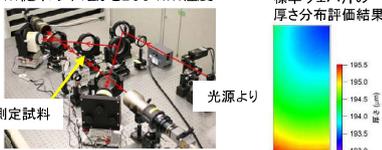
レーザー干渉計によるピコメートル精度の変位測定技術により、**変位計（民間企業製）を2 pm以下の不確かさで評価**することに成功。



被評価変位計の周期誤差を10 pm以下と評価（水素原子よりも小さい）

② 超高精度なシリコンウエハ厚さ計測

製造現場で用いられる厚さ測定器校正用の**標準ウエハ片を10 nmの不確かさ（世界最高精度）**で厚さ分布測定することに成功。
※従来の不確かさ100 nm程度

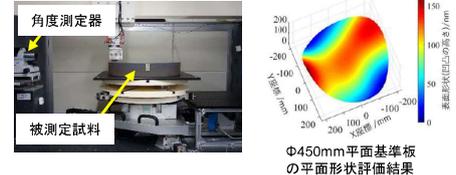


今後の展開

一連の成果は、ナノテクノロジー等の分野の進展に貢献するものであり、特に半導体関連の製造現場において、ステッパーの位置決め精度の向上や、シリコンウエハの品質向上に直接つながるものである。今後、製造工程における歩留まりの向上が期待される。

③ 超高精度な大型平面の形状計測・評価

製造現場で用いられる**平面基準板（直径450 mm）を2.5 nmの不確かさ（世界初）**で平面度を測定することに成功。従来、測定範囲300 mmに対して不確かさ10 nm



アウトカム

- ・超高精度な変位計評価・校正装置による日本マイクロ光器（株）製変位計の評価
- ・シリコンウエハ厚さの超高精度測定装置による大塚電子（株）製厚さ測定器の評価
- ・市販の装置に搭載可能な超高精度基準平面板を実現（株）テクニカルと共同開発

アピールポイント

企業の高精度測定器をNMIJ長さ関連量の超高精度な標準技術により評価することで、さらなる高精度化に成功した。

「電磁波を利用したセンシング技術の開発」 (橋渡し後期)

研究の目的 電磁波を用いて、農産物や医薬品などの水分含有量や品質を非破壊でリアルタイムに計測するためのセンシング技術を開発する。

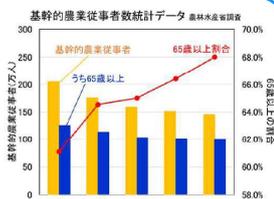
本研究の背景

農林水産従事者の高齢化

- 就業者：8年で約60万人減少
- 65歳以上割合：7ポイント上昇

食品製造分野の低い生産性

- 全製造業平均の51.5%

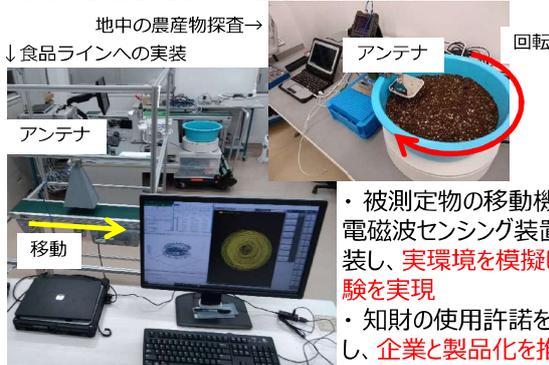


人手に頼る生産システムでは、
省力化と生産性向上が困難

- ・ 電磁波計測技術を応用し、**水分量計測のリアルタイム計測**と**非金属系混入異物の検出**を可能とする。
- ・ 電磁波センシング技術により農業・食品等の生産現場における**生産性向上と省力化**を可能とし、**労働力不足の社会課題の解決**に貢献する。

開発した技術

現場実装を想定した測定・評価系の構築



年度				
H27	H28	H29	H30	R1
計量標準技術を基幹技術として、エレクトロニクスデバイス・材料等の計測技術の研究開発	電気材料の電磁波特性評価技術の開発、及び電磁波の位相・振幅相関を利用した新しいセンシング法の開発	・ エレクトロニクス材料・回路計測技術の高精度化技術の研究開発を推進 ・ 研究成果を電磁波センシング技術に適用して、水分量以外の測定や異物検出技術の研究に展開	・ 電磁波センシング技術について、農産物や食品に混入した異物を非破壊で検出する技術を実現 ・ 食品中やコンクリート砂中の2%以下の微小な含有水分量や塩分濃度の計測について実証（非食品分野への展開）	・ 被測定物の移動機構に電磁波センシング装置を実装し、実環境を模擬した試験を実現 ⇒ 製品化に向けた動的・非破壊・リアルタイム計測を実現 ・ 知財の使用許諾を実施し、企業と製品化を推進
技術を社会へ - Integration for Innovation		73	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	

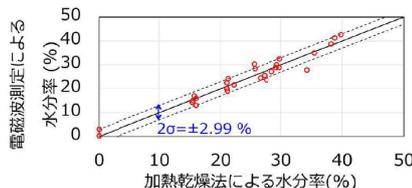
「電磁波を利用したセンシング技術の開発」

成果 期当初にエレクトロニクス計測を応用した電磁波センシング技術の研究開発を開始し、形状が不揃いな農産物等を対象とした、新たに計測される位相と振幅の相関性を利用した解析技術を開発。その結果、水分量等の計測と異物検出を可能とし、**製造ラインでの非接触・リアルタイム計測を可能**とした。

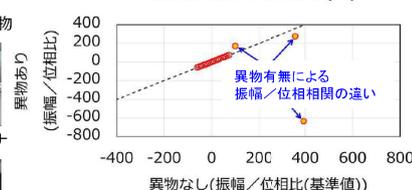
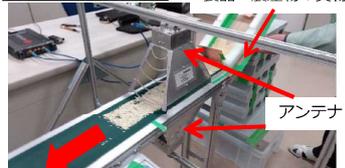
製品化に向けたプロトタイプ実証と多用途展開

ベルトコンベアと連動した測定系の実現

乾燥海産物の水分量全数検査



食品中の異物検査



達成度

電磁波センシング技術を多用途に展開し、プロトタイプ実証を実現 (実施例)

- ① ベルトコンベアと連動した水産加工品について、従来技術では困難であった水分の非破壊・全数をばらつき(2σ) 3%以下で実現。
- ② 振幅/位相の相関関係の周波数特性を利用し、正常状態と異物混入状態の違いを解析することで、**異物の検出を可能**とした。

➡ **①品質評価、②異物検出の装置化に目処**

今後の展開

知財等使用許諾と企業等との装置化を進め、企業主導での**多用途の展開**を進め、農産物・食品にとどまらず、**インフラ、エネルギー分野**などへの**利用対象の拡大**を推進する。

アウトカム

製造ラインを想定した非破壊・リアルタイムで水分含有率等の農産物・食品の品質を評価可能
非金属異物の非接触・リアルタイム計測を実現
生産現場における生産性向上と省力化を可能とし、労働力不足の社会課題の解決に貢献

アピールポイント

長年培った**国家計量標準・校正技術**を基幹として、**電磁波伝搬理論に基づく新たな解析技術を開発し、食品等の品質のリアルタイム計測と異物検出技術を実現した。**

「ナノ材料の適正管理実現に向けたナノ粒子計測システム開発に関する研究」(橋渡し後期)

研究の目的 欧米を中心に急速に導入が進むナノ材料の取扱いに関する規制に必要な不可欠な国際整合性の高いナノ材料該非判定を実現するナノ材料複合計測システムを開発する。

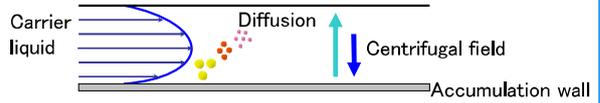
本研究の背景

- 各国でナノ材料の取扱いに関する規制整備が開始され、**高精度な粒子径分布評価が必要**となった。
- 産総研がハブとなり、**競合する計測機器メーカーがコンソーシアム(ナノ材料評価コンソーシアム)を結成**し、オールジャパン体制の計測に関する課題解決を実現するソリューションプラットフォームを構築。



ナノ材料複合計測システム

流動場分離法(FFF)の原理



流れ方向に対して垂直に印加した分離場と放物線上のキャリア線速度を利用した粒子サイズ分級。

複合計測分析に係る装置・ソフト・計測法を開発

- 高分解能FFF装置を核に、接続するオンラインLD装置、オンラインDLS装置、小型SAXS装置、高効率多価帯抑制型荷電装置の開発
- 新規解析アルゴリズムによるEM/AFM画像解析ソフトの開発
- 顕微鏡用試料の新規調製法やDLS新規分布演算法の開発

年度	H27	H28	H29	H30	R1
産総研・計測機器メーカーのコンソーシアムにおいて、流動場分離法(FFF)のプロトタイプを開発	ナノ材料メーカーコンソーシアム加入し、実材料における評価プロトコル策定を開始	FFFを高度化し、従来比2.2倍の分解能を実現し、分布幅の狭い分画を実現 FFF装置後段の各種計測装置・ソフトウェアを開発し、ナノ材料複合計測装置へ展開。	FFFを用いたナノ材料のサイズ分布評価に関するISO文書を発行	新たな計測テーマ検討のための調査検討WGを設置。 FFF-SEM法の確立により、SEM単独での粒子径分布評価に対し、評価時間を1/5に低減	
技術を社会へ Integration for Innovation	75			国立研究開発法人 産業技術総合研究所	

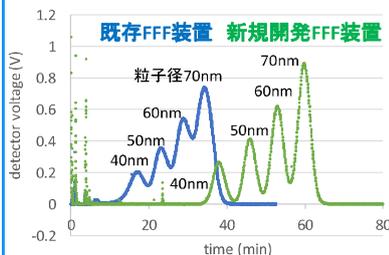
「ナノ材料の適正管理実現に向けたナノ粒子計測システム開発に関する研究」

成果 産総研をハブに計測機器メーカー・ナノ材料メーカーが結集し、ナノ材料の適正管理を実現する複合計測システムの開発と関連する標準化を達成。

複合計測による粒径分布計測技術の構築

FFF装置の高度化

高遠心加速度(従来装置の約5倍)装置の開発により、分布幅の狭い分画を実現(分解能:従来比2.2倍)



複合計測の実現

FFF-SEM複合計測により、SEM単一計測の約1/5の短時間化を達成

SEMの全数計測 FFF-SEMの全数計測

10,000個カウント 1,000個カウント



FFF分級により各分画の粒子径分布が狭くなり、少数カウントで評価が可能に。

J. Chromatogr. A., 2019, 1602, 409

目標の達成度

- FFF装置を高度化し、ナノ粒子複合計測システムを開発。測定時間の短縮化を実現。
- 計測システム製品化とISO文書発行。
- 産総研をハブにしたオールジャパン体制で計測に関する課題を解決。

今後の展開

本コンソーシアムを発展させ、新規計測技術の開発に取り組む。

アウトカム

国際的なナノ粒子規制に対応可能になり、計測装置の市場競争力拡大に大きく貢献。医薬・食品分野への品質管理への展開。

アピールポイント

産総研をハブに競合計測機器メーカー・ナノ材料メーカーが結集し、ナノ材料の適性管理に必要な新規複合計測システム開発に成功。

「モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ分布計測」 (橋渡し後期)

研究の目的 社会インフラ等の大型構造物から電子デバイス等の微小領域に渡るマルチスケールの変位・ひずみ分布を高精度で計測できる光学的計測技術を確立する。

本研究の背景

- ・ H24の笹子トンネル崩落事故を受けて、**社会インフラの健全性評価技術が社会課題として重要視**されている。
- ・ そこで、橋梁の健全性評価手法である**たわみ計測を安価・簡便・高精度**に実現する技術の開発を行う。
- ・ 規則模様を有する構造物をデジタルカメラで撮影することでモアレ縞を形成し、**モアレ縞の模様(位相)変化**から変位・ひずみを評価する技術の確立を目指す。
- ・ さらに微小な変形を拡大して観察できるモアレ技術を活かして、**微小領域のひずみ集中や残留熱ひずみ分布、材料の格子欠陥分布**の計測へ展開する。
- ・ モアレを利用し、**10⁻⁹~10³メートルに渡るマルチスケールにおける構造材料の変位・ひずみ分布計測**の実現を目標とする。

開発した技術

産総研独自の**モアレ位相解析技術と計測システム**

モアレマーカや構造物表面の繰り返し模様(格子A)



拡大現象である**モアレ縞の位相を解析**することで、大幅な精度向上を実現。繰り返し模様をデジタルカメラまたは顕微鏡で画像撮影するだけで、**高精度な変位・ひずみ分布が瞬時に得られる**。

年度				
H27	H28	H29	H30	R1
<ul style="list-style-type: none"> ・ 任意の規則模様で微小変位を測定可能なモアレ技術の開発(特許第6120459号) ・ 本モアレ技術のマルチスケール計測への応用展開を開始 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋梁のたわみ量を橋軸方向から計測可能なモアレ技術の開発(プレスリリース, 2016.8.31) ・ 電子デバイスの残留熱ひずみ分布計測技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 斜め格子を利用した橋梁のたわみ・振動計測技術の開発 ・ GaNパワーデバイスのTEM画像から転位分布の自動検出を実現(プレスリリース, 2017.9.21) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 橋軸方向の撮影による軸重荷重計測と橋下方向の撮影によるたわみ計測技術の開発 ・ 海外展開として、台湾の老朽化した橋梁のたわみ計測の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・ リアルタイム変位・振動計測システムの開発→新幹線のコンクリート高架橋のサブミクロメートルの変形挙動を解明 ・ 出口：産総研ベンチャーに技術移転し、解析サービスを提供

「モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ分布計測」

成果 高速道路・鉄道橋・新幹線の高架橋のたわみ計測でそれぞれモアレ技術の有効性を実証し、変位計の代替技術として**産総研技術移転ベンチャーに橋渡しを実施**。さらに電子デバイスや構造材料の微小ひずみ計測へと技術展開し、**マルチスケール変位・ひずみ分布計測を実現**。

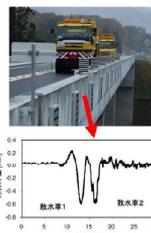
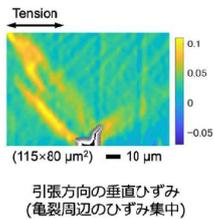
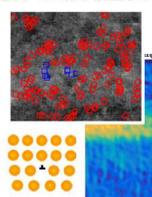
応用展開

小さいスケールとして、材料の原子配列を示すTEM画像における転位分布の検出に成功

← マルチスケール →

大きいスケールとして、全長が約400mの吊り橋(若戸大橋)のたわみ分布を計測

○□ TEM像の転位分布



nm um mm m km

達成度：TEM画像から原子レベルの欠陥を検出できる画像処理技術を初めて実現
既存の技術との違い：広視野での欠陥検出が可能となり、手間のかかる目視観察手法を改善

達成度：道路橋、鉄道橋で有効性を実証し、技術移転段階
既存の技術との違い：橋軸方向からのたわみ計測を実現し、適用範囲を拡大

今後の展開 モアレを利用した変位・ひずみ計測技術を特にインフラ分野に実用展開し、**安全・安心な社会の構築へ貢献する**。

アウトカム

- ・ **マルチスケールにおける高精度な光学的変位・ひずみ分布計測技術の創出**
- ・ 社会インフラ向けの変位・振動計測装置および解析サービスの提供
- ・ 電子デバイス設計や先端材料の破壊メカニズム解明に貢献

アピールポイント

汎用カメラや顕微鏡を用いて、規則模様を連続撮影または動画記録するだけで、マルチスケールでの安価・簡便・高精度な変位・ひずみ分布計測を実現した。

2. 「橋渡し」のための研究開発

(2) 令和元年度の実績・成果

工学・物理・物質・分析計測標準研究部門長
 高辻 利之・藤間 一郎・高津 章子・野中 秀彦
 令和2年 2月28日

令和元年度の実績として紹介するテーマ

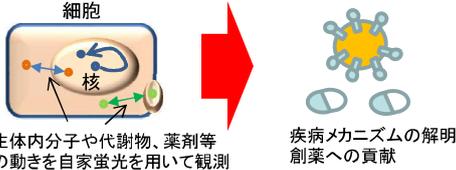
課題名	評価区分	研究の概要	備考
単一光子分光イメージング技術の開発	目的基礎	世界初の光子顕微鏡で、超微弱な光強度でのカラー画像撮影を実現 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦	
極低反射光吸収材料（暗黒シート）の開発	橋渡し前期	高い耐久性と99.5%以上の光吸収率を併せ持つ極低反射光吸収材料を開発 ⇒あらゆる光を吸収する【暗黒シート】を開発	ポスター
有機標準物質の迅速供給に向けた一体多型校正技術の開発	橋渡し前期	多成分同時値付け可能な技術を開発、迅速な標準整備に貢献 ⇒2020オリンピックパラリンピックのドーピング検査へ貢献	ポスター 見学
X線インフラ診断 - 革新的X線検査装置の開発 -	橋渡し後期	短時間・リアルタイムに広範囲の画像取得可能なX線非破壊検査システムを開発 ⇒計測装置自体の製品化	ポスター
自動はかり評価技術の構築	知的基盤	自動はかり評価技術を確立し、各種JISを整備 ⇒社会の安全・安心への貢献	ポスター

「単一光子分光イメージング技術の開発」 (目的基礎)

研究の目的 光子を究極的な感度で分光計測できるフォトンセンサーを開発し、細胞を非侵襲にリアルタイム観察できるイメージング技術を構築する。

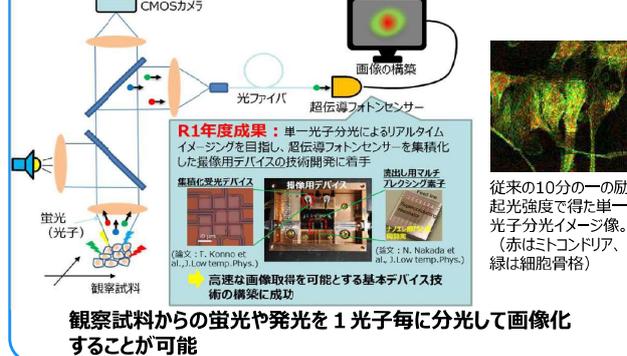
本研究の背景

- 光を用いた生体機能計測や生物の発光を利用した薬剤の安全性評価試験など、安全で快適な医療の実現を目指した様々な試みが行われている。
- 細胞を**非染色・非侵襲**で観察するために必要な革新的な**フォトンセンサー**や**フォトンイメージングデバイス**開発に大きな期待。
- 上記の実現に向け、本研究では、**超伝導現象**を応用した究極的な**光子検出技術**を開発。



開発した技術

産総研独自の**単一光子を分光できる超伝導光検出デバイス**を開発し、これをコアとした顕微システムを構築



年度		H27	H28	H29	H30	R1
超伝導体を用いた単一光子検出デバイスの基礎技術開発を開始。低抵抗な超伝導薄膜の作成技術を構築。		光子を高効率に超伝導体に吸収させるための光吸収キャビティ技術を開発。近赤外領域で50%以上の検出効率を達成。 (論文1)		光子数20個以下となる僅かな光強度となる単一光子分光イメージングに、世界で初めて成功 (プレス1、論文1)	共焦点顕微鏡による染色細胞イメージング装置を開発。光の回折限界以下の空間分解能を達成。 (受賞2、論文2)	従来よりも10倍近く高速に画像取得可能な撮像用デバイスを開発。 →超低侵襲細胞リアルタイムイメージングや創薬に寄与する技術へ (受賞2、論文4)

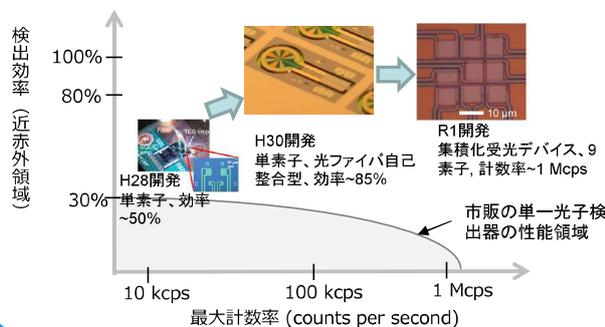
「単一光子分光イメージング技術の開発」

成果 期当初より超伝導現象を用いた革新的なフォトンセンサーを開発し、市販の単一光子検出器と比較して近赤外領域では突出した検出効率や最大計数率の性能を持つ単一光子検出技術を実現。これをバイオイメージングに応用して、低励起強度での単一光子分光イメージングを実証。

単一光子検出器性能とリアルタイムイメージング能力

細胞のリアルタイム画像の取得のためには高速度な光子検出器が必要

高フレームレートで細胞をライブイメージングするためには、高い**検出効率**（～100%）と**高計数率特性**（>1 Mcps）が必須



他国の状況等 (ベンチマーク)

	AIST	NIST (米)*	INRIM (伊)*
検出効率	85 %	95 %	30 %
最大計数率	1 Mcps	100 kcps	50 kcps
波長分解能	50 nm	112 nm	70 nm

※ これまでに公表された論文等の記載から作成

各国の研究機関が開発した超伝導体による単一検出器と比較して、検出効率、最大計数率、波長分解能ともに、**世界トップクラスの性能**を実現した。

今後の展開

開発した高性能フォトンセンサーを用いた単一光子分光イメージング技術の構築をさらに進め、**生きた細胞内での薬剤等の分子の動きのリアルタイム観察**を通して、**疾病メカニズム**や**新薬創生**に寄与出来る技術へと展開する予定。

アウトカム

光の究極的な単位である「光子」を究極的な感度で検出できる技術を開発

- 光子数20個以下の微弱光で、単一光子を分光してカラーイメージングすることに成功
- 従来の10分の1の励起光強度で動物細胞の共焦点蛍光イメージングを実証

アピールポイント

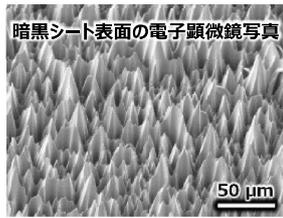
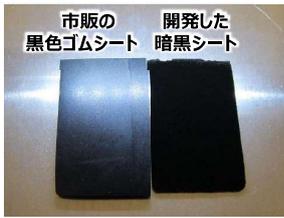
世界トップクラスの性能を持つ単一光子分光フォトンセンサーを開発し、低侵襲リアルタイム細胞イメージングや創薬に適用可能な基盤技術を構築した。

「極低反射光吸収材料（暗黒シート）の開発」 （橋渡し前期）

研究の目的 あらゆる光を吸収して、高い耐久性も併せ持つ、これまでにない極低反射光吸収材料「暗黒シート」を開発し、不要な迷光や乱反射を極力抑えたい様々な場面に貢献する。

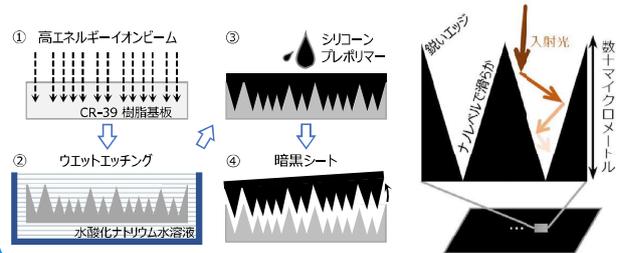
本研究の背景

黒色素材の幅広い用途：装飾、映像分野、分光分析等特に乱反射防止用では **100 %に近い光吸収率も必要**
従来の光吸収率 99 %以上の素材は**耐久性が低かった**
→光の国家標準開発で培った知見を基に、**一般環境で利用可能な耐久性も持つ、暗黒シート**の開発を進めた



光閉じ込め構造の作製技術とその原理

①高エネルギーイオンビーム照射と、②化学エッチングで、樹脂基板表面に**マイクロな円錐状空洞構造を形成**
これを鋳型に③④**黒色シリコンゴムに微細空洞構造を転写**
微細空洞内で入射光は**多重反射し正味の反射がほぼゼロに**



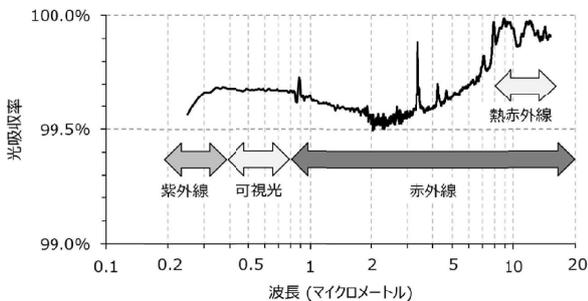
H27	H28	年度 H29	H30	R1
・表面凹凸構造に基づく低反射光吸収体の基本原理を実証。平板よりも1桁小さい反射率(1.2%～1.4%)を実現 (IF付論文1報)		・同様の原理に基づき、テラヘルツ波～ミリ波を96%以上吸収する材料を開発 (IF付論文1報；共著)	・紫外～可視～赤外域の極低反射吸収体製造方法の基礎を確立 (外国特許出願1件、科研費獲得1件)	・紫外～可視～赤外域の全ての光を99.5%以上吸収し、高い耐久性も併せ持つ、究極の暗黒シートを開発 (プレス発表1件、IF付論文1報)

「極低反射光吸収材料（暗黒シート）の開発」

成果 期当初は光吸収率 99 %未満にとどまり量産性にも難があったが、高エネルギーイオンビーム加工した微細空洞構造の基板を鋳型に用いて複製を取るという製造方法（特許出願中）を確立したことで、**量産性・耐久性も確保しつつ、光吸収率は理論上得られる値に近い、99.5 %以上を達成した。**

暗黒シートの特長 1 高い光吸収率

紫外線～可視光～赤外線の**全域で吸収率99.5%以上**
→ **高耐久な光吸収材料としては世界最高レベル**
特に**熱赤外線**で吸収率**99.9%以上(世界最高レベル)**。



暗黒シートの特長 2 高い耐久性

曲げても触っても、粘着テープを貼ってはがしても性能を保持。
-196℃～200℃に耐える。1年間経過後も特性に変化なし。
→ **一般環境での使用に耐える高い耐久性**



今後の展開

量産化技術の確立、**実用化を進める。**
可視域を含め99.9%以上の光吸収率と高い耐久性の両立を達成する。

アウトカム

高い耐久性と、99.5%以上の光吸収率を併せ持つ素材「暗黒シート」は**世界初**。
美しい黒が映える新素材としての活用、光・赤外線の映り込み・乱反射防止等へ広く応用可。
展示会来訪者の業界・素材、自動車、電機、分析、装飾、VC、学術等

アピールポイント

暗黒シートの「設計、製造、評価」までを一貫して実現。一般紙・TV含むメディア掲載多数、問合せ60件超など、大きな反響。論文誌(IF=6.6)の裏表紙に掲載。

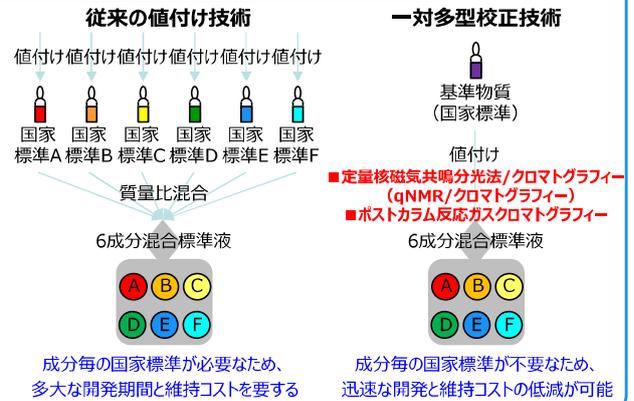
「有機標準物質の迅速供給に向けた一対多型校正技術の開発」 (橋渡し前期)

研究の目的 規制対象毎の国家標準を整備することなく、異なる化合物が多成分含まれる有機標準液の同時値付けを可能とする一対多型校正技術を開発し、迅速な供給を実現する

本研究の背景

- 食品衛生法や水道法など法規制等で必要とされる有機標準物質は1,000種類を超えるが、**トレーサビリティの基点となる国家標準の充足率は1/10にも満たない**ため、信頼できる測定結果に基づく規制等の実施が困難な状況にある。
- 異なる化合物が多成分含まれる有機標準液の同時値付けを可能とする**一対多型校正技術の開発**を行うことにより、**対象物質毎の国家標準を不要とするトレーサビリティ体系を構築**し、科学的根拠に基づく法規制等の実現に貢献する。

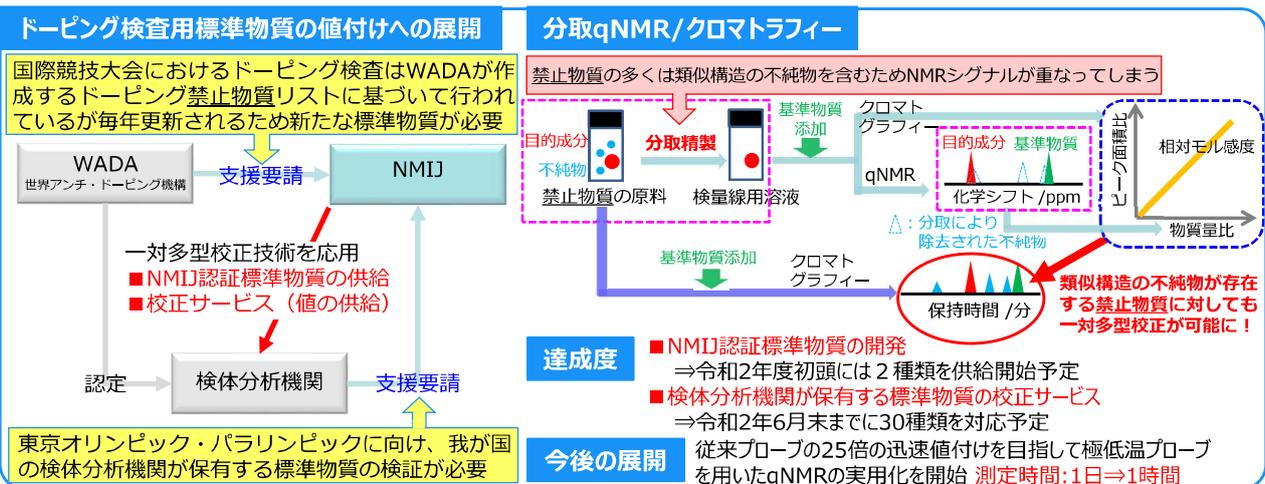
従来の値付け技術と開発した値付け技術



年度		H27	H28	H29	H30	R1
炭素、水素、酸素からなる有機化合物をオンラインでメタンに変換することで、炭素量の基準物質から多成分同時値付けを可能とするポストカラム反応ガスクロマトグラフィーを開発		定量核磁気共鳴分光法とクロマトグラフィーを組合わせることで、多成分同時値付けを可能とする校正技術を開発		ドーピング検査標準研究ラボを設置し、一対多型校正技術をドーピング禁止物質の値付けに展開		定量核磁気共鳴分光法/クロマトグラフィーに分取を加えた技術 (分取qNMR/クロマトグラフィー) により、2種類のドーピング検査用認証標準物質を開発 検体分析機関が所有する標準物質の値付け (30種類) を実施中
技術を社会へ Integration for Innovation		85		国立研究開発法人 産業技術総合研究所		

「有機標準物質の迅速供給に向けた一対多型校正技術の開発」

成果 有機標準物質の開発には1~2物質/年を要していたが、一対多型校正技術として、ポストカラム反応ガスクロマトグラフィーならびに定量核磁気共鳴分光法 (qNMR) とクロマトグラフィーを組合わせた方法を開発、水道水質基準に対応した有機標準液やドーピング検査用標準物質の値付けに適用し、迅速な供給を実現した。



アウトカム
 ・一対多型校正技術の基盤技術であるqNMRについてJIS化を実現し、普及を促進 (ISOを提案中)
 ・ドーピング検査で用いられる標準物質の開発と校正サービスを行い、公正なスポーツの実現に貢献

アピールポイント
対象物質毎の国家標準の整備を不要とする一対多型校正技術を世界に先駆けて開発・実用化したことにより、有機標準物質を必要とする分野への即時対応が可能となった。

「X線インフラ診断－革新的X線検査装置の開発」 (橋渡し後期)

研究の目的 我が国では産業・社会インフラの老朽化が顕在化しており、X線を用いた効率的な検査技術を開発し、安全安心な社会に貢献する

本研究の背景

- ・ **インフラの老朽化が深刻な問題**となっている
- ・ 課題として、検査箇所が膨大、電源の確保が困難、検査機器の大きさに制限、作業員の確保が困難が挙げられる
- ・ 課題解決のためには、効率的な検査・メンテナンス技術の確立が必要である

- ・ 産総研では、3つの要素技術（①X線源・②X線検出器・③検査手法）の開発に取り組んだ

開発した3つの要素技術とその融合



年度				
H27	H28	H29	H30	R1
小型X線源の高エネルギー化 フラットパネル型X線検出器を開発	ロボット搭載X線非破壊検査システムの開発 鉄7cm厚の検査が可能に	従来のX線検査装置の作業時間を1/10に低減し、現場での大型配管(美配管)の検査で有用性を実証	可搬型後方散乱X線イメージング装置の開発により、従来技術では不可能であった道路・鉄道→X線管として製品化(株式会社など)大型基幹インフラの高速・社用電舎)高分解能診断を実現	

「X線インフラ診断－革新的X線検査装置の開発」

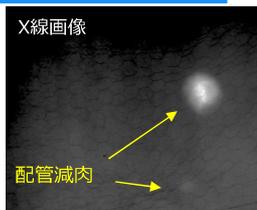
成果 可搬型検査装置と後方散乱X線イメージング装置の開発により、従来技術では不可能であったプラント・道路・鉄道など大型基幹インフラの高速・高分解能診断が可能に

産総研独自の革新的X線技術によるインフラ診断

大型配管を自動検査

X線源: 33 kg → 3 kg
検査速度: 10分/画像
↓
1秒/画像

自走機構
検出器のデジタル化



- ・ 大型配管の高速検査を遠隔操作で実現
- ・ 被曝量も1/10以下に

後方散乱X線による片側からの検査



達成度

- ・ 自走機構X線検査により検査効率が大幅に向上
- ・ 後方散乱X線検査により、大型インフラを片側から検査可能に
- ・ 化学プラント、大型配管、鉄道設備、自動車部品の検査等様々な場面で有用性を実証

今後の展開

X線画像診断に機械学習などを取り入れ、検査データ解析の高精度化と完全自動化や、医療・セキュリティ・宇宙分野などに展開していく

アウトカム

- ・ 現場検証試験で従来の非破壊検査装置を超える検査性能を確認
- ・ NEDOプロジェクト、X線新技術産業化コンソーシアム等の企業に技術移転
- ・ X線検出器・検査事業のベンチャー設立等、事業化にむけた準備を進めている

アピールポイント

日本が直面しているインフラ老朽化問題のために、X線を用いた効率的な検査技術を開発し、安全安心な社会の実現に貢献

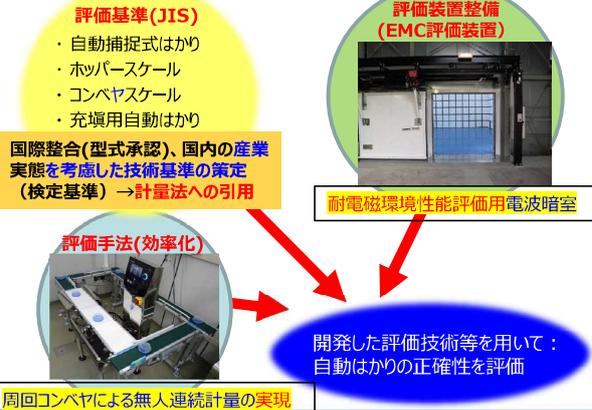
「自動はかり評価技術の構築」 (知的基盤)

研究の目的 計量法の適正計量の信頼性を確保しつつ、自動はかりの検定、検査、型式承認試験において、活用される評価基準を構築する。

本研究の背景

- ・ H28年度計量行政審議会の答申を受け、計量器の技術革新、計量制度をとりまく社会的環境変化に対応した、計量器の規制対象の見直し、**新たな計量器の規制導入等が検討**された。
- ・ **市場の流通量が多い**ホッパースケール、充填用自動はかり、コンベヤスケール及び自動捕捉式はかりの**4器種の自動はかりが規制の対象**となった。
- ・ 計量法の**適正計量の信頼性を確保**しつつ、自動はかりの**検定、検査、型式承認試験**において、活用される**評価基準**を構築する。
- ・ NMIJの実施する型式承認試験において、活用する**評価装置の開発整備**を行う。

開発した技術



	H27	H28	年度 H29	H30	R1
水素燃料システム、自動はかりなどについて事前検討		計量行政審議会の答申。自動はかり4器種を規制対象。	未整備4器種のうち、1器種（自動捕捉式はかり）のJIS原案を作成。 自動はかり型式承認設備整備のための準備。	1器種（自動捕捉式はかり）のJIS制定。 未整備3器種のうち、2器種（ホッパースケール、コンベヤスケール）の原案作成。	自動捕捉式はかりJISを計量法へ引用、検定開始。2器種（ホッパースケール、コンベヤスケール）のJIS制定。 自動はかり型式承認設備整備。

「自動はかり評価技術の構築」

成果 4器種の自動はかりの技術基準（JIS）が未整備であったが、1器種のJISを制定、計量法に引用された。残り、3器種のうち2器種はJISが制定された。最後の1器種についても今年度原案が作成された。これにより、計量法へ引用される**自動はかり4器種の技術基準が整備された**。

技術基準の開発

自動捕捉式はかり（JISB7607：2018）→計量法へ引用（2019）
 ホッパースケール（JISB7603：2019）→計量法へ引用（2020予定）
 コンベヤスケール（JISB7606-1,-2:2019）→計量法へ引用（2020予定）
 充填用自動はかり（JISB7604-1,-2：2020）→計量法へ引用（2020予定）

型式承認試験・検定が実施可能に→正確性、信頼性の高い計量器が市場へ

評価装置の開発

適合性評価（型式承認試験）を実施するための装置を開発

信頼性の高い装置の開発→社会へ正確な計量器を供給を実現

評価手法

効率的な評価手法を開発（周回コンベヤを使った自動実験装置を開発）

時間効率、試験者に起因する誤差要因を削減

達成度

自動はかりの技術基準として4器種のJISを作成。新たに検定・検査の基準も作成。計量法へ引用された自動はかりから実施可能となった。

自動はかりの適合性評価は開発した装置を使い2020年4月から稼働予定。

今後の展開

検定時における評価手法の開発中。

既定の計量回数削減の提言

→産業界から要望が上がっている検定時の計量回数削減について、評価手法を開発している。この評価手法が確立すれば、製造現場で懸念される生産効率低下の抑制効果も期待でき、ひいては既に規制が定着している欧州を含めて、世界的な規模で産業界への大きな貢献が果たせる。

アウトカム

自動はかり評価技術の構築。各種JISを整備し、計量法へ技術基準として引用。
 型式承認評価において、信頼性の高い装置の開発。定期的に評価可能に。
 効率的な評価試験手法の開発を行い、実施する評価の信頼性向上に貢献。

アピールポイント

信頼性、正確性、安全性の高い自動はかりが市場に供給される。これにより、食品加工業、流通業、飲料・製薬業、化学プラント、税関などへの需要の拡大が見込まれる。正確な自動はかりを社会へ供給することにより、使用者も正確な製品を市場へ供給することが可能になり、消費者への信頼性確保につながる。

目的基礎研究（総括）

- 具体的な研究開発成果（評価指標）
 - 計量標準機関の競争力の根幹に関わる計測、分析、評価技術について、量子化による高分解能化・高精度化、分析技術の開発・効率化、新たな現象を評価する技術の開発に取り組んだ
- **第4期**の論文の被引用回数（評価指標）
- **第4期**の論文発表数（モニタリング指標）

	単位	4年間（H27～H30）						R1			
		H27	H28	H29	H30	計	目標 (4年間の 合計)	実績/ 目標	4月～ 12月	目標	実績/ 目標
論文の被引用回数 (評価指標)	回	2388	2700	2626	2566	10280	10240	100%	3065	2600	118%
論文数* (モニタリング指標)	報	197	204	239	205	845	790	107%	147	205	72%

*インパクトファクターが付いている専門誌・プロシーディングスでの論文発表数

- 平成27～30年度の4年間は、目標に対する実績が100 %を超え、これに伴い、目標値も上昇させてきた。
- 令和元年度も、着実に実績を積み上げており、目標を達成する見込み。

橋渡し研究前期（総括）

- 知的財産の実施契約等件数（評価指標）
- 公的資金の獲得状況

	単位	4年間（H27～H30）						R1			
		H27	H28	H29	H30	計	目標 (4年間の 合計)	実績/ 目標	4月～ 12月	目標	実績/ 目標
知財の実施契約等件数* (評価指標)	件	83	81	97	96	357	335	107%	96	90	107%
公的資金	億円	4.7	6.5	7.1	9.1	27.4	-	-	6.6	-	-

*知的財産の譲渡契約及び実施契約の件数の和

- 知的財産の実施契約件数は、第4期を通して目標を達成。
 - 公的外部資金も、第4期初期から上昇し、令和元年度まで高額な水準を維持。
- テーマ設定の適切性（モニタリング指標）
 - プレスリリースや展示会出展等で**多くの企業から照会を受ける**など、企業ニーズ、社会ニーズに密着した課題について多くの成果を挙げた

橋渡し研究後期（総括）

- 中堅・中小企業の研究契約件数の比率（中堅・中小企業数 / 全体の企業数）（モニタリング指標）

	単位	H27	H28	H29	H30	R1 (4月-12月)
中堅・中小企業* の研究契約件数の比率	%	43.3	44.4	38.4	34.0	32.9

* 民間受託研究費及び資金提供型共同研究費に該当する研究契約のうち、中堅・中小企業 との研究契約件数の比率（%）

- 中堅・中小企業の研究契約件数の基準値：35 %
- ⇒ 第4期を通して基準値をほぼ達成
- ⇒ **中堅・中小企業支援に第4期を通して注力**

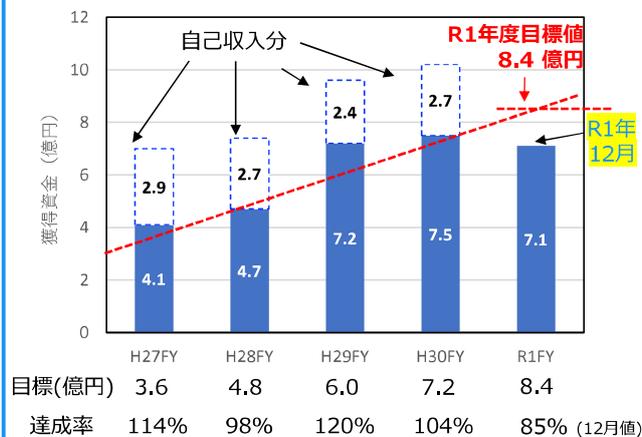
- 事業化の状況（モニタリング指標）

- ナノ材料の精密計測システムの**製品化**に寄与
- インフラ検査用X線非破壊検査システムを**現場に適用し**、配管の減肉検査で実用性を実証 ⇒ 従来の非破壊検査性能を超える能力を確認

橋渡し研究後期（総括）

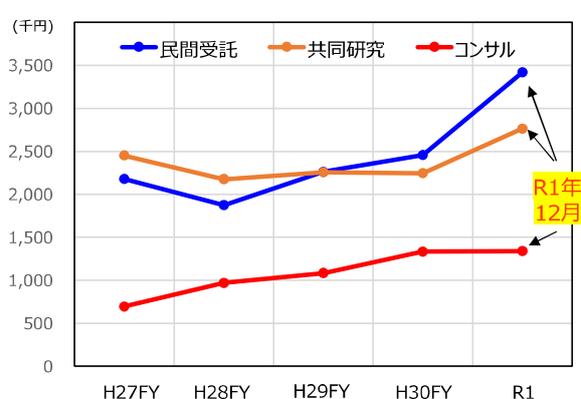
民間からの資金獲得額（評価指標）

民間資金獲得額の推移



H27～R1年度（通期）の目標値合計 30億円 に対し、12月時点で既に30.6億円（**102%**）を達成

民間資金：1件あたりの金額の推移



民間受託、共同研究、コンサルの各個別案件の**1件あたりの金額が大型化**

3. 知的基盤の整備

知的基盤の整備

工学・物理・物質・分析計測標準研究部門長
 高辻 利之・藤間 一郎・高津 章子・野中 秀彦
 令和2年 2月28日

知的基盤研究の実績として紹介するテーマ

課題名	ポイント	備考
130年ぶりのキログラムの定義改定への貢献	最も基本的な知的基盤の整備、国際貢献、科学的プレゼンス	ポスター 見学
光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発	最も基本的な知的基盤の整備、国際貢献、科学的プレゼンス	ポスター
温度測定技術の高度化と次世代温度標準の開発	最も基本的な知的基盤の整備、国際貢献、科学的プレゼンス	
産業界を支える電気計測	計量標準トレーサビリティシステムの高度化、次世代計量標準の開発	
水道法等の規制に対応した標準物質の開発	計量法に基づく標準液、知的基盤の整備、普及	ポスター
化学・材料データベース	計量標準の普及活動	
放射線利用の安心・安全のための計量標準整備	知的基盤の整備	ポスター
低騒音製品実現のための音響パワー標準の整備と騒音計測技術への適用	知的基盤の整備	

「130年ぶりのキログラムの定義改定への貢献」 (知的基盤)

研究の目的 国際単位系 (SI) のなかで人工物に頼る最後の基本単位であるキログラムの定義を改定するためにプランク定数を決定し、130年ぶりとなるキログラムの定義改定に貢献する。

本研究の背景

- 1889年にメートル条約にもとづいて開催された第1回国際度量衡総会において、キログラムは**国際キログラム原器**の質量として定義されたが、原器は**人工物**であるため、その質量の安定性は**1億分の5**程度が限界だった。
- この問題を解決するために、**ドイツやイタリア**などの計量標準研究機関と協力し、**²⁸Si同位体濃縮結晶**によってキログラムの定義を改定するための**アボガドロ国際プロジェクト (IAC)** を2004年から開始した。



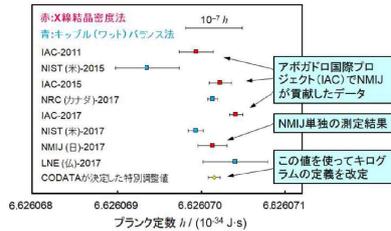
キログラム原器



1 kgの ²⁸Si 同位体濃縮結晶球体

開発した技術

- アボガドロ定数**の測定精度を向上させるために、1 kgの²⁸Si同位体濃縮結晶球体の直径を原子レベルの精度で測る**レーザー干渉計**や**表面分析技術**などを開発
- 科学技術データ委員会 (CODATA)** による**プランク定数の特別調整値**の決定に貢献



- 特別調整の決定に用いられた8つのデータのうち、4つに産総研NMIJが貢献
- この値を用いて130年ぶりとなるキログラムの定義改定が実施

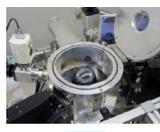
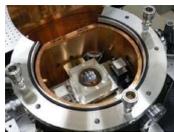
年度		H27	H28	H29	H30	R 1
質量約1 kgシリコン球体の直径をサブナノメートルの精度で測るレーザー干渉計を開発 球体表面層の厚さと質量を測るX線光電子分光装置 (XPS) と分光エリプソメーター (SE) を開発	同位体濃縮結晶球体の直径、表面、質量などの最終測定を実施 キログラム原器の質量安定性を上回る精度でアボガドロ定数を測ることに成功			CODATAが実施したプランク定数の特別調整に用いられた8つのデータのうち、4つに産総研NMIJが貢献	CODATAが決定したプランク定数の特別調整値をキログラムの新しい定義として用いることを第26回国際度量衡総会が採択	2019年5月20日の世界計量記念日に新しい定義が施行 同日、計量単位令も改正 キログラムの新しい定義にもとづく質量の国際比較に参加中

「130年ぶりのキログラムの定義改定への貢献」

成果 シリコン球体の直径や表面などを精密計測する技術を開発し、キログラム原器の質量安定性を超える精度でアボガドロ定数を測ることに成功した。この測定結果などにもとづいてCODATAがプランク定数を決定し、産総研NMIJが大きく貢献するかたちで130年ぶりのキログラムの定義改定が実現した。

シリコン球体の直径や表面などの精密計測

シリコン球体の直径測定
空気中と真空中におけるエリプソメトリー



真空天びんによる超精密質量比較



X線光電子分光法(XPS)



新しい定義にもとづいて1 kgの分銅質量を測定

他国の状況等 (ベンチマーク)

- 国際キログラム原器の質量安定性である50 μgよりも高い精度でプランク定数から1 kgを測定できるのは今のところ**産総研NMIJ**の他に**PTB (ドイツ)**、**NRC (カナダ)**、**NIST (米国)**の3機関のみ。
- 産総研NMIJでは**24 μgの標準不確かさ**でプランク定数から1 kgの質量を測定することに成功

今後の展開

- 令和元年度はプランク定数にもとづいて1 kgの質量を測る世界で最初の**国際比較に参加中** (比較結果が判明するのは令和2年度以降の予定)
- キログラム原器の質量安定性よりも高い精度を達成できる数少ない計量標準研究機関として**基幹比較参照値 (Key comparison reference value: KCRV)** の決定に貢献する予定

アウトカム

- 2019年5月20日にSI基本単位の定義改定が施行され、130年ぶりのキログラムの定義改定が実現
- 人工物に頼らない理想的な単位系の構築に日本が大きく貢献

アピールポイント

論文発表：IF付国際誌 25報、特許登録 1件、プレスリリース 1件、その他に新聞・テレビ・雑誌・インターネット等における成果の発信多数、論文賞：Metrologia Highlights of 2017、2018 (合計3賞)

「光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発」 (知的基盤)

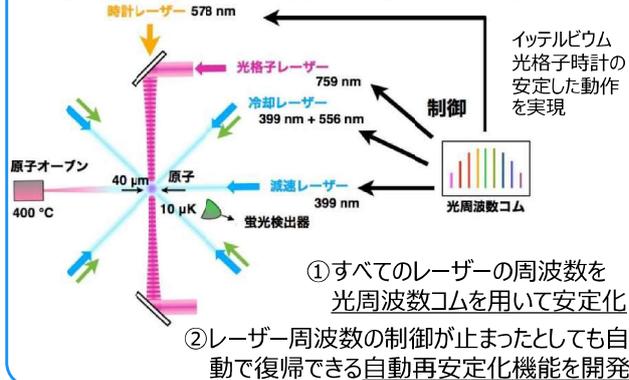
研究の目的 連続運転が可能なイッテルビウム光格子時計を開発し、より高精度な時間の国家標準(UTC(NMIJ))を構築する。

本研究の背景

- 近年、光周波数標準の高精度化に伴い、「秒」の定義改定を念頭に置いた研究が各国で盛んに行われている。
- メートル条約傘下の時間周波数諮問委員会において、秒の定義改定に向けたロードマップが作成された。
- 定義改定の条件の一つに「国際原子時(TAI)への定期的な貢献が可能になること」が明記された。
- これを実現するために、産総研は信頼性が高く、長期連続運転可能な光格子時計の開発を目指してきた。
- ここで開発する技術は、定義改定後、光格子時計を基準とした日本の時間の国家標準(UTC(NMIJ))を構築するときに不可欠なものである。

開発した技術

産総研独自のレーザー周波数の自動制御システム



年度		H27	H28	H29	H30	R 1
光周波数コムを用いた超狭線幅レーザーの線幅転送システムの開発	原子の冷却・捕獲のための小型・堅牢なレーザー光源群の開発			・開発したレーザー光源群の周波数を光周波数コムを基準に制御するシステムを構築 ・時計遷移の観測に成功 ・1日間で3時間の連続運転を定常的にできるようになった	・1日間で10時間以上の連続運転を定常的にできるようになった ・光格子時計の不確かさ評価が可能となり、9000万年に対して1秒程度の誤差の確認に成功	・光格子時計の絶対周波数評価 ・安定した長期連続運転(24日間で稼働率94%)を達成 ⇒秒の再定義プロジェクトの稼働率条件をクリア! ・国際原子時への貢献に向けた準備を推進

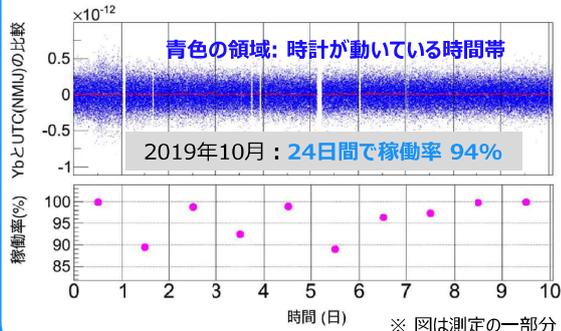
「光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発」

成果 第4期当初は1日数時間程度の運転が限界であったが、堅牢な光周波数コムを用いて全てのレーザー光源の周波数を制御する産総研独自のシステム等を構築し、イッテルビウム光格子時計の安定した動作を実現。その結果、世界トップの24日間で94%の長期稼働率を達成。

イッテルビウム光格子時計の長期連続運転

レーザーの周波数安定化のためのフィードバック制御: 14か所

稼働率 >90% を実現するために、各フィードバック制御の信頼性 >99.3%が必要



他国の状況等 (ベンチマーク)

- 各国の研究機関が開発した光格子時計の運転期間・稼働率と比較して、世界トップの長期稼働率を実現した。
- 秒の再定義に向けた国際活動を事実上牽引している欧州のプロジェクト(EMPIR:ROCIT)では、「数週間で80~90%の稼働率を達成する事」が2022年4月までの目標となっている。 → [すでにこの目標をクリア](#)

欧州の光格子時計との比較

研究機関	原子種	稼働率@期間
NMIJ(日)	Yb	94%@24日間
SYRTE(仏)	Sr	83%@21日間
NPL(英)	Sr	84%@25日間
PTB(独)	Sr	46%@25日間

Sr:ストロンチウム, Yb:イッテルビウム
※ これまでに公表された論文等の記載から作成

今後の展開

開発したイッテルビウム光格子時計を用いて国際原子時へ貢献するため時間周波数諮問委員会に提出するレポートを準備中。今年度中に提出予定。

アウトカム

- 秒の定義改定に対応した時間標準の構築
- 従来よりも約10倍安定なUTC(NMIJ)の生成
- UTC(NMIJ)を介して国際原子時の高精度化に定常的に貢献

アピールポイント

秒の定義改定および改定後の国家標準構築に向けて、長期連続運転が可能なイッテルビウム光格子時計を開発した。世界トップの長期間運転・稼働率を実現した。

「温度測定技術の高度化と次世代温度標準の開発」 (知的基盤)

研究の目的 温度標準および温度測定技術を高度化、次世代温度標準確立へ向けた、熱力学温度測定技術を開発する。

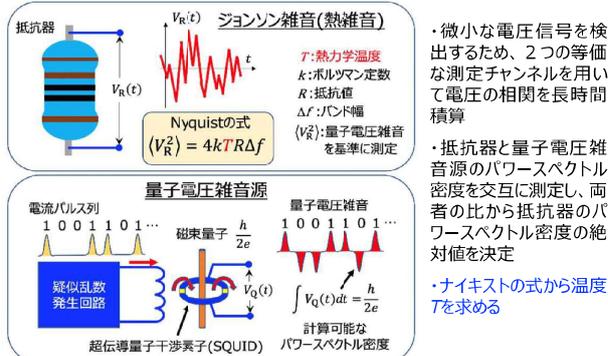
本研究の背景

- 産業界の多様なニーズに対応するため、**既存の温度標準および温度測定技術の高度化**が求められている。
- 熱力学温度の単位「**ケルビン**」の**定義改定**と、その後の各種温度定点の熱力学温度評価に向けて、**熱力学温度測定技術の開発**を目指してきた。



開発した技術

集積型量子電圧雑音源(IQVNS)による雑音温度計測



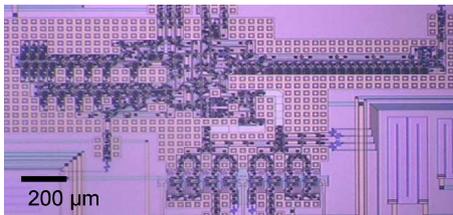
年度	H27	H28	H29	H30	R1
1000℃付近で±0.001℃の安定性をもつ白金抵抗温度計の開発	金属-炭素共晶点による熱電対校正技術で、1600℃の温度標準を開発	集積型量子電圧雑音源を基準に抵抗器の熱雑音を精密に測定し、ボルツマン定数を求めた。	高温熱電対の標準整備計画の達成	室温近傍の熱力学温度精密計測	

「温度測定技術の高度化と次世代温度標準の開発」

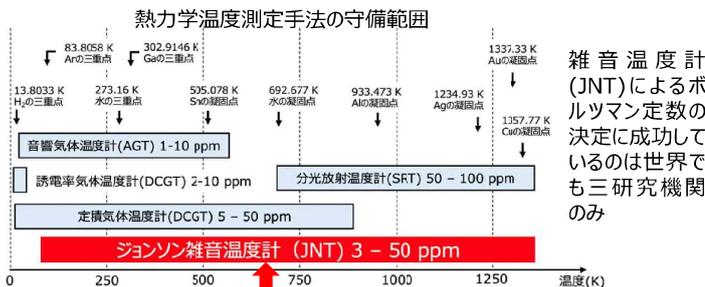
成果 超伝導エレクトロニクスを用いた産総研独自の量子電圧雑音源を基準とした抵抗器の熱雑音の精密測定からボルツマン定数を精密に測定した。

雑音温度計のための集積型量子電圧雑音源

- 擬似電圧雑音の発生に必要な全ての回路要素を超伝導エレクトロニクスを用いてチップ上に集積化 **世界初**
- 出力電圧信号のパワースペクトル密度はプランク定数 h 、電気素量 e 、およびクロック周波数を用いて厳密に計算可能



他国の状況等 (ベンチマーク)



今後の展開

本技術は広範な温度域をカバー

雑音温度計、音響気体温度計、定積気体温度計などの熱力学温度計測技術により、1990年国際温度目盛と熱力学温度の差を精密に評価する。

アウトカム

熱力学温度の定義改定に対応した次世代温度測定技術の構築
 ・温度のSI単位定義改定への貢献
 ・複数の測定手法を組み合わせ、広い温度範囲で精密な温度計測を実現

アピールポイント

ケルビンの定義改定および改定後の各種温度定点の評価に向けて、集積型量子電圧雑音源を開発した。温度のSI単位定義改定へ貢献した。

「産業界を支える電気計測」 (知的基盤)

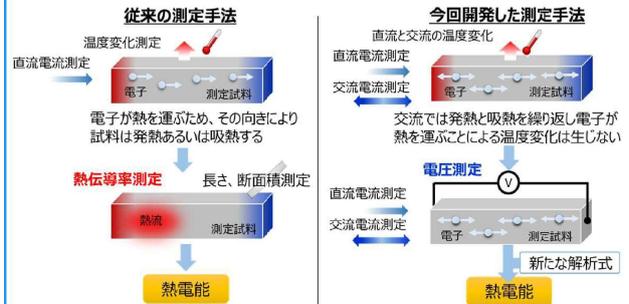
研究の目的 電気量の国家標準をベースに、電圧、電力、熱電性能等の電気計測の高度化を行い、産業製品の信頼性向上やエネルギーの有効利用推進のためのソリューションを提供する。

本研究の背景

電気計測の高度化を通じ、以下の研究開発を実施：

- 【Ⅰ】品質保証に欠かせない標準器の開発
(小型で高安定な電圧標準器・抵抗標準器)
- 【Ⅱ】新たに高まる産業ニーズへの対応
(誘電体材料の高抵抗精密測定、リチウムイオン電池の非破壊評価、熱電モジュールの性能評価)
- 【Ⅲ】電力品質の向上への貢献
(国際標準に準拠した広帯域電力計測技術)

交直流電気計測を利用した絶対熱電能評価法の開発



熱物性値、試料の寸法値を必要としないため、信頼性の高い測定が可能に **世界初の測定法**

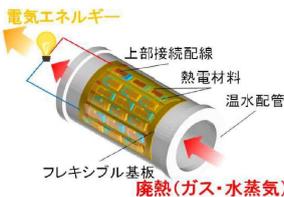
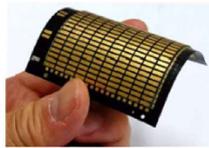
	H27	H28	年度 H29	H30	R1
小型電圧標準器を開発。従来器に比べて1/2のサイズおよび1年に2 ppm以内の電圧安定度を達成。【Ⅰ】		・高抵抗測定を技術支援（コンソーシアム設立）【Ⅱ】 ・リチウムイオン電池の非破壊評価技術を開発（インピーダンス法による効率的な劣化診断）【Ⅱ】	フレキシブル熱電モジュールの発電性能評価技術を開発し、製品開発に貢献。従来より1.5倍高い発電性能および10,000回の繰返し曲げ耐性を実証。【Ⅱ】	精密交流電気測定を利用した新規な熱電材料評価技術を開発【Ⅱ】	国際標準にのっとり高い電力品質を実現する広帯域電力計測技術を開発。分圧比と位相の測定周波数範囲を、各々50 kHzと200 kHzまで拡張。【Ⅲ】
	プレスリリース		プレスリリース 2件		

「産業界を支える電気計測」

成果 期当初は限られた測定条件、測定対象においてのみ有効な精密電気計測の技術であったが、電圧標準器の小型化・高安定化、熱電モジュールやリチウムイオン電池の性能評価、電力計測の広帯域化など、**企業の品質管理支援やエネルギー有効活用推進のための電気計測を実現した。**

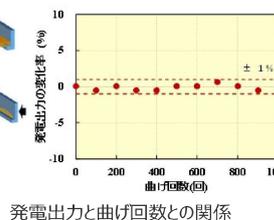
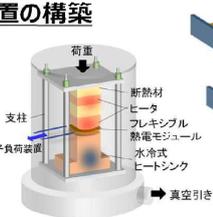
フレキシブル熱電モジュールの発電性能評価

企業と共同開発した
高出力フレキシブル熱電モジュール



モジュール評価装置の構築

モジュールを曲げた状態で変換効率を熱流・電力計測の両方法から評価可能な装置を構築



電気計測の高度化による達成度の例

- 【Ⅰ】電圧標準器の開発。従来標準器と比べて1/2のサイズへ小型化・1年に2 ppm以内の**世界最高水準の電圧出力安定度**を両立して実現。
- 【Ⅱ】交直流電気計測を利用した絶対熱電能評価法を開発。高信頼測定が可能な**世界初の方法**。フレキシブル熱電モジュールの発電性能評価技術を開発。従来より**1.5倍高い発電性能および10,000回の繰返し曲げ耐性を実証し、製品化**。

- 【Ⅲ】広帯域電力計測技術を開発。分圧比と位相の測定周波数範囲を、各々50 kHzと200 kHzまで拡張。**位相は、国際標準で求められる帯域（150 kHzまで）を既に達成。**

今後の展開

熱電変換発電効率の高精度化、熱電材料や熱電モジュールの開発加速化、電力計測技術の広帯域化、リチウムイオン電池評価法の高容量電池への対応

アウトカム

製品の品質向上、電力の見える化、廃熱からのエネルギー回収、再生可能エネルギー利用等を通じて、**産業の発展や持続可能で安全安心な社会の実現**へ

アピールポイント

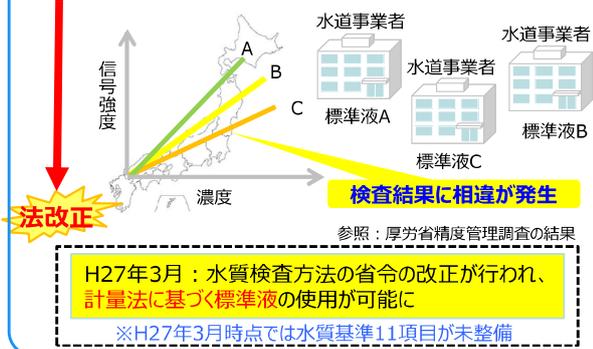
長年培った精密電気計測技術を基幹として、熱物性値や試料の寸法値が不要な、**普遍性が高い独自の絶対熱電能評価法を開発した。**

「水道法等の規制に対応した標準物質の開発」 (知的基盤)

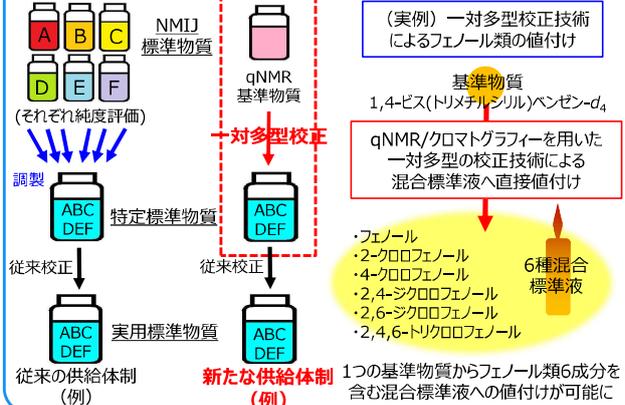
研究の目的 H27年に行われた水質検査方法の省令の改正に対応して、計量トレーサビリティの確保された水道水質検査用標準液を迅速に整備する。

本研究の背景

標準液の濃度が正確でないと検査結果の相互比較が困難となり、水質の実態調査に支障



一対多型校正を用いた迅速な標準物質の整備



年度	H27	H28	H29	H30	R1
水質基準2項目 (2物質：塩素酸イオン・臭素酸イオン) について標準液供給体制を確立		水質基準1項目 (1物質：全有機体炭素) について標準液供給体制を確立	水質基準6項目 (11物質：フェノール類・クロ酢酸類・かび臭物質) について標準液供給体制を確立		水質基準1項目 (1物質：ヘptaオキシエチレンドシルエーテル) について標準液供給体制を確立

「水道法等の規制に対応した標準物質の開発」

成果 期当初11項目(20物質)が未整備であったが、一対多型校正技術等により標準物質の開発に要する時間が大幅短縮。従来技術では10年以上かかる標準物質の開発について、これまでと合わせて**44項目のうち43項目の標準整備を完了**。

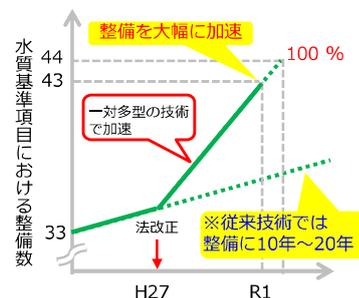
標準物質の整備状況

水質管理目標設定項目、一対多型の校正技術

水質基準項目	標準液	値付け技術
有機物 (全有機炭素の量)	全有機体炭素	高精度電量分析等
塩素酸/臭素酸/亜塩素酸	塩素酸イオン/臭素酸イオン / 亜塩素酸イオン	精密滴定法
フェノール類	フェノール類6種混合	qNMR/クロマトグラフィー
クロ酢酸	ハロ酢酸4種混合 (+プロモ酢酸*)	qNMR/クロマトグラフィー
ジクロ酢酸		
トリクロ酢酸		
シェオスミン	かび臭物質 2種混合	ポストカラム反応 ガスクロマトグラフィー
2-メチルイソボルネオール		
非イオン界面活性剤	ヘptaオキシエチレンドシルエーテル	qNMR/クロマトグラフィー
陰イオン界面活性剤 (整備中)	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム	(qNMR + 液体クロマトグラフィー)

達成度

知的基盤整備計画上の計量標準が必要とされる**水質基準44項目中43項目を整備**



今後の展開

5種類の陰イオン界面活性剤の値付け技術を開発中 令和4年度までに整備完了予定

アウトカム

未整備だった水質基準10項目 (15物質) と水質管理目標設定項目2項目 (亜塩素酸、プロモ酢酸) について計量法に基づくトレーサブルな標準液を供給することで、**全国約1300の水道事業者における水質検査の統一精度管理が可能となり、水道水質管理の信頼性が確保された。**

アピールポイント

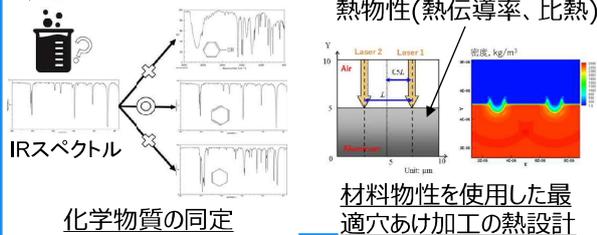
一対多型校正技術等の適用により、信頼性の高い (トレーサブルな) 標準物質の**迅速な整備が可能に。**

「化学・材料データベースの整備」 (知的基盤)

研究の目的 公共財として、化学物質のスペクトル・材料物性に関する情報をインターネットを通して公開・発信することで、研究開発、品質管理、教育現場などでのリソースを削減する。

本研究の背景

・信頼性の高い化学物質のスペクトル・材料物性に対するニーズ



化学・材料データベースを知的基盤として整備し、インターネットを介して公開・発信する。

スペクトル・熱物性データベースの公開

有機化合物スペクトルデータベース (SDBS) : 約4.3万件の有機化合物に対して、赤外分光 (IR)、質量 (MS)、¹H及¹³C核磁気共鳴 (NMR) 等のスペクトルデータ、約11万件の情報を発信。

分散型熱物性データベース (TPDS) : 固体材料、高温融体、流体の熱伝導率、熱拡散率、比熱容量、熱膨張率、放射率などの熱物性値、約11,800件の情報を発信。

固体NMRデータベース (SSNMR_SD) : 主に固体状態の試料について、多核種のNMRスペクトル958件、測定条件パラメータ418件の情報を発信。



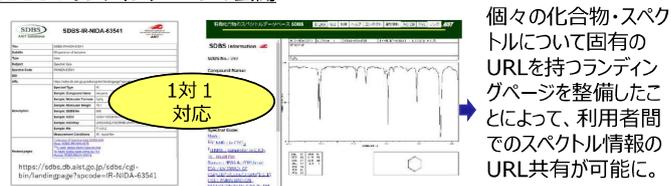
年度				
H27	H28	H29	H30	R1
【アクセス数】 SDBS:46,312,519 件 TPDS:1,624,672 件 SSNMR : 公開休止	【アクセス数】 SDBS:34,910,306 件 TPDS:2,030,164 件 SSNMR : 約80,000 件 International Metrology Resource Registry(国際度量衡局主催)の立上げに参加。	【アクセス数】 SDBS:42,251,870 件 TPDS:1,969,075 件 SSNMR : 108,525 件	【アクセス数】 SDBS:37,825,825 件 TPDS:1,938,141 件 SSNMR : 109,771 件 【機能拡張】 SDBS : ランディングページ公開 TPDS : データ提供WebAPI拡張	【アクセス数 (12月末現在)】 SDBS:25,203,359件 TPDS:1,132,445件 SSNMR : 126,712件 【機能拡張】 TPDS : ナノ材料試料の形状記述機能の拡張

「化学・材料データベースの整備」

成果 有機化合物の同定に利用可能なスペクトルデータを約2000件、熱設計・熱対策に必要な熱物性データを約600件整備した。固体NMRに関するスペクトルデータ約900件を利用可能とした。ランディングページ公開および機械可読形式のデータ提供などの機能拡張により利便性が向上した。

データの拡充と利便性向上へ向けた機能高度化

SDBS : ランディングページの公開



SDBS, TPDS: 機械可読形式データ提供WebAPI機能の整備



達成度

公開データ数の推移

	H26	H27	H28	H29	H30	R1
SDBS	115,408	115,829	116,142	116,495	116,889	117,305
TPDS	11,393	11,508	11,650	11,769	11,874	11,994

SDBSスペクトル利用許諾実績

提供数(H28以降)	国外	国内
機関数	46	4
スペクトル数	930	25

着実なデータ拡充により、知的基盤の整備を実施。外部利用許諾にも対応開始

用途… 出版物 (オンライン含む) 試験問題等

今後の展開

引き続きデータ活用環境の整備と、さらなるデータ拡充を図り、知的基盤としてさらなる社会貢献を目指す。

アウトカム

- ・世界中の出版物、大学・大学院入試問題に採用される最高峰の知的基盤提供を実現
- ・ランディングページによる情報への容易なアクセスと情報共有を実現
- ・マテリアルズインフォマティクスなどの材料開発の高度化・高速化技術に貢献する知的基盤を実現

アピールポイント

化学物質のスペクトル・材料物性情報を質的・量的に整備し、一般へ提供することにより、産業界での研究・開発への貢献と、大学をはじめとする人材育成領域での貢献を果たしている。

「放射線利用の安心・安全のための計量標準整備」 (知的基盤)

研究の目的 放射線治療・診断に不可欠な線量計や放射能測定装置の信頼性確保のため、国家計量標準を整備する。放射能標準による、福島県内の放射能測定の実績向上に寄与する。

本研究の背景

- 放射線治療に用いられている線量計の校正について、一部の治療サービスについて国内標準がなく海外の校正事業者に依存しており、ユーザーの負担が大きかった。
 - 国際機関の勧告により、**水晶体の被ばく線量限度が大幅に小さくなり** (年平均150 mSv⇒20 mSv)、その線量管理が重要となった。
 - 安全のための福島県内の低レベル放射能測定が様々な試験所で行われ、その信頼性確保が重要となった。
- 患部に挿入してがん組織に照射する、**がん治療用イリジウム192密封小線源の放射線量**
 - 患者に投与する**がん治療薬ラジウム223の放射能**
 - 医療従事者の被ばく線量管理のための**水晶体線量標準**
 - **放射性セシウムを含む玄米標準物質**を使った技能試験による**福島県内の低レベル放射能測定技術の向上支援**

安心・安全のための放射線・放射能標準の開発



年度		H27	H28	H29	H30	R1
がん治療用イリジウム192密封小線源について線量標準を確立	がん治療用イリジウム192密封小線源について海外機関との比較、国内の校正事業者を通じて標準供給を開始 がん治療薬ラジウム223について放射能の標準供給開始			放射性セシウムを含む玄米標準物質による福島県内の放射能測定施設への技能試験を提供	水晶体被ばく線量限度が大幅に下げられることへの対応のため、測定量であるX線・β線の3mm線量当量標準を開発	がん患者への負担が小さい先進的治療法である重粒子線の 水吸収線量標準 にも利用可能な 水カリウム-223 の開発

「放射線利用の安心・安全のための計量標準整備」

成果 放射線治療に関する標準である**イリジウム192密封小線源に対する線量標準**、**ラジウム223の放射能標準**、主に医療従事者の安全確保に必要な**水晶体線量標準**を開発。また福島県内の放射能測定の信頼性向上に寄与する、**放射性セシウムを含む玄米標準物質を開発し技能試験を提供**。

放射線治療に関する標準の開発

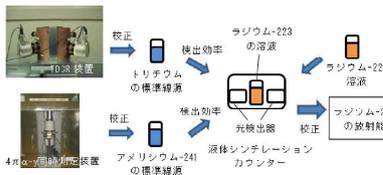
・イリジウム192密封小線源に対する線量標準

散乱線を低減させる**照射システムの開発**により、**場所に依存せず正確な校正が可能**となった。校正事業者である日本アイソトープ協会との協力により、産総研で**イリジウム192線源を所有することなく出張校正による標準供給を実現**した。



・がん治療用ラジウム223放射能標準の開発

ラジウム223は、崩壊の連鎖により7つの放射線物質が共存しており、絶対測定法は適用できない。そこで基準となるトリチウム、アメリカシウム241標準線源を用いて、**ラジウム223の放射能を校正する手法を開発**した。



放射線利用者、一般国民への安心・安全

・水晶体被ばく管理のための線量標準

従来ある外挿電離箱測定手法と、シミュレーション技術を組み合わせ、**X線、ヘータ線の水晶体線量標準を開発**した。これらを用いて、新しい水晶体被ばく管理のための線量計の特性試験を実施し、メーカーの線量計開発を後押しした。

・開発した標準物質を用いた技能試験の提供

産総研で開発した放射性セシウムを含む玄米標準物質を用いて、福島県内で行われている放射能測定の信頼性確保のための技能試験を提供した。報告会や講習会を通じ、放射能測定技術の向上や斉一性に寄与した。

今後の展開

外部機関との協力による、**新たな放射線治療（粒子線治療、新型光子線治療）のための標準の開発・供給**

アウトカム

- ・放射線治療のための測定装置の校正を、速く、安く、正確に、安定的に行える
- ・新たな規制に対応する標準を整備し、メーカーによる線量計開発を後押しする
- ・技能試験を提供し、福島県内の放射能測定技術の向上に寄与

アピールポイント

幅広い分野で利用・測定されている放射線に対して放射線計測に関する様々な標準を供給し、計測の信頼性を確保した。

「低騒音製品実現のための音響パワー標準の整備と騒音計測技術への適用」(知的基盤)

研究の目的 OA機器などの騒音評価に必要な音響パワー標準の周波数範囲を拡張する。標準開発で培った計測技術を応用し、低騒音機器の実現に必要な信頼性の高い騒音評価法を確立する。

本研究の背景

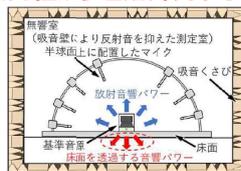
- 音響パワーは音源から放射される音のエネルギーを表す音源に固有の量であり、OA機器などの騒音評価に利用されている。
- 各種機器の音響パワーを測定するためには、音響パワーが精密に校正された基準音源が不可欠である。



- 機器の低騒音化技術が進歩し、これまでは音響パワーが小さいため重要視されてこなかった**低周波、高周波領域の音の計測需要が高まっている。**

開発した技術

- 音響パワー校正の誤差要因
 - 低周波数ほど音響パワーは床面を透過しやすいが、基準音源をマイクで半球面に囲むことは難しい。
- 床面や音の特性から推定する産総研独自の方法を開発。
- 低周波・高周波領域では吸音くさびによる反射音の抑制効果が減少。
- 基準音源の指向性から理論計算する産総研独自の評価法を開発。



年度		H27	H28	H29	H30	R1
校正の誤差要因となる、音響パワー測定室の床面を透過する音響パワーの理論的推定法を開発。基準音源校正の拡張不確かさを最大で25%低減することに成功。				測定室壁面からのわずかな反射音が音響パワー測定へ与える影響の実用的評価法を開発。IF付国際論文誌に掲載。50 Hz~20 kHzにおいて、反射音が校正に及ぼす影響は十分に小さいことを確認		音響パワー標準の校正周波数範囲を50 Hz~20 kHzにまで拡張。⇒世界最高レベルの精度を達成 騒音評価の再現性を±10%程度にまで改善したドローン騒音評価法の開発に成功。⇒世界に先駆けて測定法を開発

「低騒音製品実現のための音響パワー標準の整備と騒音計測技術への適用」

成果 当初100 Hz~10 kHzであった基準音源の校正周波数範囲を50 Hz~20 kHzに拡張。音響パワー計測技術をドローン騒音評価へ適用し、従来±45%であった騒音計測の再現性を±10%へ改善。

音響パワーの精密校正技術

- 推定方法の無かった床面を透過する音響パワーを、床面の寸法と密度、音の入射角から算出する方法を開発し実験的に検証。
- 基準音源校正の**拡張不確かさを最大で1/4低減。**
- 反射音の影響の評価には、入手困難な無指向性の音源が必要であったが、指向性を実測し理論計算で評価への影響を求める方法を開発し、実用的な反射音の影響評価を可能に。
- 産総研の測定室では**反射音の影響は十分に小さい**ことを証明。
- 音響パワー標準の整備を完了。



騒音計測技術への適用：ドローンの騒音評価

- ドローン騒音は人に聞こえる音の大きさで評価されているが、指向性が強く測定位置に依存。
- 音源固有の値であり指向性の影響を受けない**音響パワー測定をドローン騒音評価に適用。**
- 測定再現性を人の弁別閾(±20%)以下の±10%に改善。

他国との比較

- 50 Hz~20 kHzの校正周波数範囲を供給しているのは世界で、もう1機関 (SP: スウェーデン) のみ。
- 拡張した周波数領域では、**世界最高精度の校正不確かさを実現。**

校正の拡張不確かさ

	周波数範囲	NMIJ	SP
拡張	50 Hz ~ 80 Hz	19% ~ 22%	21% ~ 50%
	100 Hz ~ 10 kHz	9% ~ 19%	9% ~ 19%
拡張	12.5 kHz ~ 20 kHz	19% ~ 21%	23% ~ 26%

今後の展開

ドローン騒音評価法の標準化や、低騒音化が求められる他の機器への騒音評価技術の適用

アウトカム

- 低騒音機器の開発促進を通じて低騒音社会の実現に貢献
- EC指令により販売時に音響パワーの表示が義務付けられる欧州へのOA機器の輸出を促進
- ドローンの低騒音化により社会における利用を促進

アピールポイント

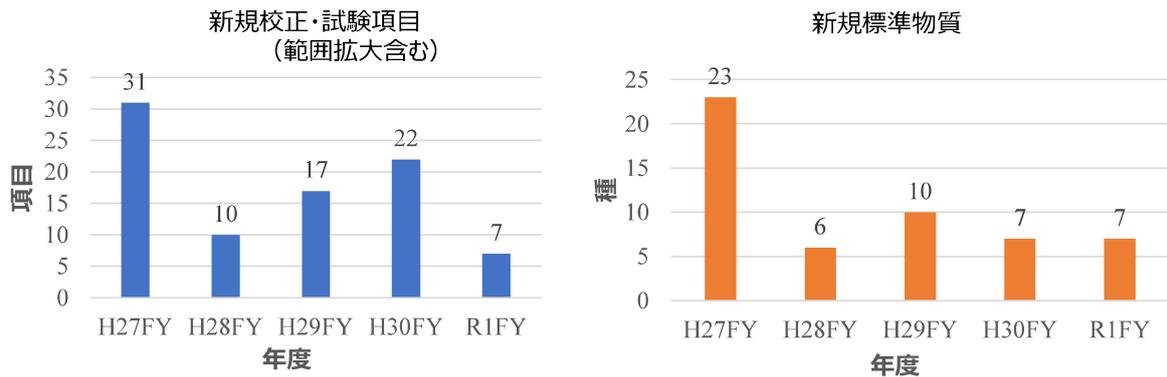
世界最高精度の音響パワー標準を確立し、世界に先駆けて、信頼性の高いドローン騒音の評価法を開発した。

国の知的基盤整備計画に基づいた 知的基盤の整備

① 整備状況

経済産業省が策定した計量標準整備計画、標準物質整備計画に基づき、標準の整備を着実に実施

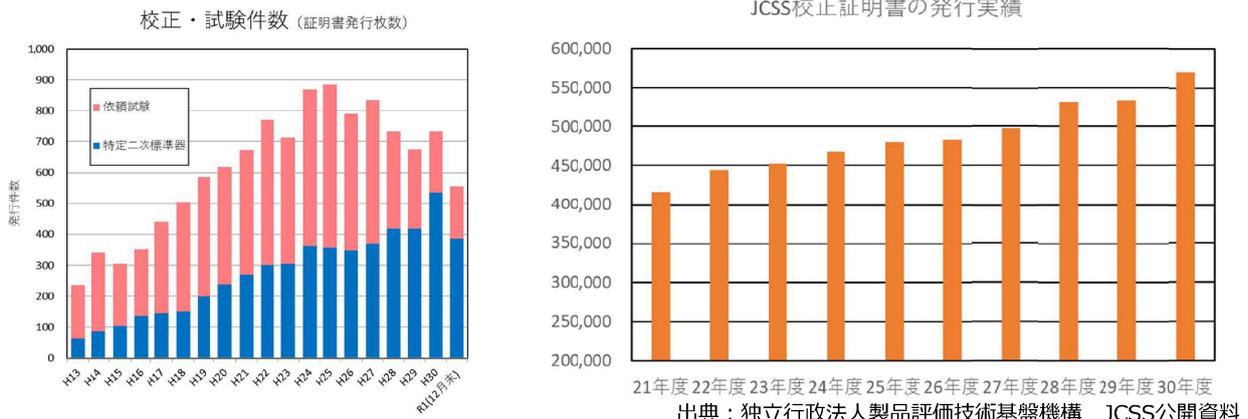
第4期を通して毎年ニーズの調査および集約を実施



※ 令和元年度：12月末時点

国の知的基盤整備計画に基づいた 知的基盤の整備

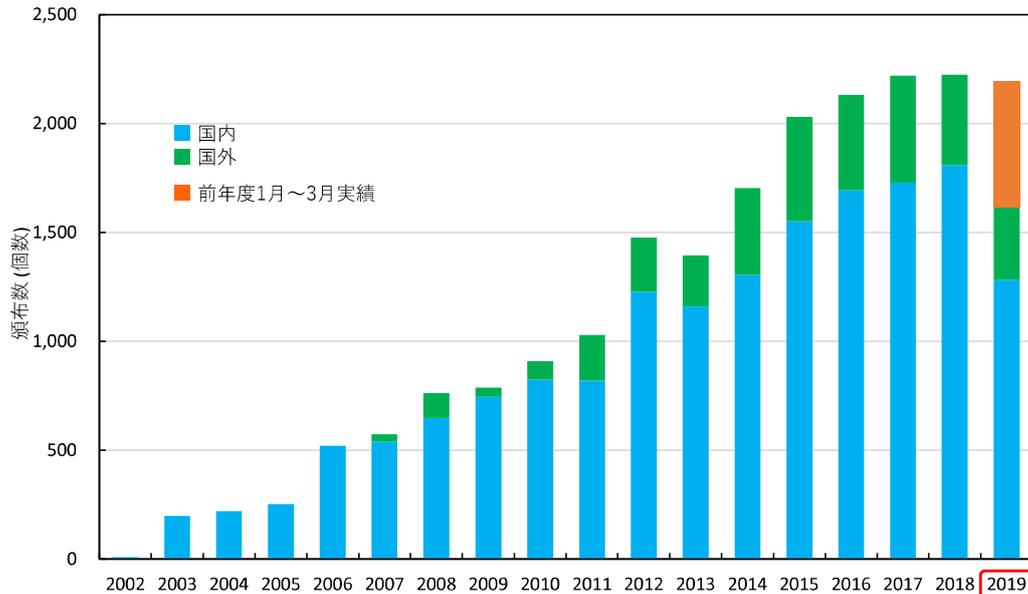
② 普及状況 校正、依頼試験およびJCSSへの寄与



出典：独立行政法人製品評価技術基盤機構 JCSS公開資料

- 計量法に基づく特定二次標準器の校正および依頼試験を着実に実施し、計量トレーサビリティの普及に貢献。
- 技術コンサルティングにより「依頼試験 + α」のソリューションを提供
- 事業者審査への技術アドバイザー派遣他、各種委員会に参画し、計量法校正事業者登録制度 (JCSS)を強かに支援

③普及状況 標準物質の供給



※2019年12月末時点 頒布数：1,617個

- 主な頒布：有機標準物質（臨床検査・バイオ分析用含む）が約34 %、環境・食品標準物質が約26 %、グリーン調達対応標準物質が約17 %（全て数ベース）
- 頒布の傾向：全体の頒布数及びその内訳ともに、直近4年間はほぼ変化なく、安定傾向。

計量法に関わる業務

* 計量制度見直し関連：

- 型式承認試験成績書の受け入れ（民間試験所の活用）
- 自動はかり技術基準（JIS）を整備
- 政令手数料の改正への対応（自動はかり4器種の検定及び型式承認）
- JCSS証明書を活用拡大（血圧計用圧力計の基準器検査への活用）
- 自動はかり型式承認開始への対応（試験設備整備）
- 指定検定機関講習（非自動はかり、燃料油メーター、自動はかり）への対応

* 水銀汚染防止関連：

- 水銀汚染法関連JISの改正（ガラス製温度計、浮ひょう）
- 基準器を新たに追加（水銀未使用の血圧計用基準圧力計）

* 特定計量器に関する試験：

- 基準器検査 840 件
- 型式承認 87 件
（2019年度（4月～12月）の件数）

* 技術基準（JIS）の作成及び改正：

- 排水流量計、CNG（圧縮天然ガス）メーター（作成）
- タクシーメーター、騒音計、特殊容器（改正）

法定計量に係る人材の育成

- 計量教習、計量講習、計量研修、法定計量セミナー、法定計量クラブなど合わせて41回（予定含む）開催し、国内計量関係技術者の技術力向上に貢献。
 - JIS改定に伴う説明会及び講習をタイムリーに実施した。
 - 計量制度見直しに対する検討を支援。
- 計量士の資格認定に関わる作業にNMIJまたは職員が協力。
 - 国家試験問題作成委員として延べ40名が参加。
 - 計量行政審議会計量士部会委員として延べ10名が参加。
 - 計205名の計量士候補を講習会（延べ8回）に受け入れた。
- 国内計量関係機関の初任者や海外途上国計量関係機関からの初学者に対し、見学対応で支援。

※ 実績値は、2019年度の値

知的基盤の整備（総括）

- 計量標準及び標準物質の整備状況（評価指標）
 - 物理標準、化学標準物質について知的基盤整備計画を達成（見込）
 - 「キログラム」の新たな定義の基準となるプランク定数の決定に米、独、カナダ、仏とともに寄与。130年ぶりとなる定義の改定に大きく貢献
 - 水道法等の規制に対応した標準物質を開発
- 計量標準の普及活動の取り組み状況（モニタリング指標）
 - 唯一の国家計量標準機関として校正業務を遂行
 - 特定計量器の型式承認に民間試験所の試験成績書活用を開始
 - スペクトルデータベースでは3000万PV以上のアクセス（今年度数値未確定）
- 計量法にかかる業務の実施状況（評価指標）
 - 計量法にかかる基準器検査、型式承認を実施
 - 法定計量人材の育成を実施（講習、研修、セミナーを多数開催）
 - 計量士の育成業務も継続

主な指標の情報

	平成 27年度 実績	平成 28年度 実績	平成 29年度 実績	平成 30年度 実績	令和元年度 12月末 実績	令和元年度	
						3月末 見込	目標値
民間資金獲得額（億円）	4.1	4.7	7.2	7.5	7.1	7.8	8.4
論文の合計被引用数（回）	2,388	2,700	2,626	2,566	3,065	3,100	2,600
論文発表数（報）	197	204	239	205	147	205	205
リサーチアシスタント採用数（名）	5	9	12	13	12	14	15
イノベーションスクール採用数（名）	4	1	3	6	1	1	
知的財産の実施契約等件数（件）	83	81	97	100	96	100	90

知的基盤の整備

	平成 27年度 実績	平成 28年度 実績	平成 29年度 実績	平成 30年度 実績	令和元年度 12月末 実績	令和元年度 3月末見込
国家計量標準 の供給（件）	370	419	419	535	386	513
産総研依頼試 験（件）	465	314	249	198	168	223
標準物質頒布 （件）	2030	2131	2218	2224	1617	2191
基準器検査 （件）	1333	1794	1645	1583	840	1063
特定計量器の 型式承認（件）	83	83	110	89	87	102
技術アドバイザー派遣（件）	99	61	79	44	52	69
校正事業者評 定委員会（回）	8	9	10	11	8	10
試験事業者評 定委員会（回）	8	8	10	8	0	0
新規校正・試験 項目（件）	31	10	17	22	7	10
新規標準物質 （件）	23	6	10	7	7	7
特定標準器に よる校正の上 程(jcssサービ スの開始)（件）	16	5	6	2	0	0
計量研修（名）	610	676	606	572	541	541
法定計量に関 連する教習及 びセミナー （回）	40	33	35	36	27	28

評価委員コメント及び評点

1. 領域の概要と研究開発マネジメント

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・産総研内における計量標準の整備とその供給に関する業務の重要性の意識が高く、国の知的基盤整備計画に基づき知的基盤整備を進めるという目標に対して着実に取り組み、成果を上げている。
- ・モニタリング指標の達成度により、計量標準の普及活動の取り組みの成果が確認できる。
- ・計量標準の技術開発、整備、供給、さらにその基盤となる計測技術の研究が、産総研の方針である「橋渡し」機能の役割、考え方、取り組み方を十分に意識したマネジメントの下で実行されている。
- ・継続的に実施されている計測技術の高度な研究実績により、各種量の定義の決定に対する貢献が認められる。その結果として、当領域の国際的計量標準研究機関としての地位を確立している。
- ・領域内の標準に関わる業務と計測技術に関する研究のバランスを考え、各研究部門における業務効率の向上を定常的に意識している。
- ・第4期の研究には世界的に高い評価を得ているものもあり、それらの研究を推進させた研究マネジメントは高く評価できる。
- ・技術コンサル・知財など民間資金獲得増加に努め実績をあげた。
- ・研究助成など若手研究者支援を積極的に行ったことは評価できる。
- ・水道法規制対応の標準物質開発など省庁の壁を越えた取り組みを行ったことは高く評価できる。
- ・外部資金の導入に対する成果は非常に高いと思われる。コンサルティングなどについて、定着が進み民間企業に貢献出来ていることは評価できる。
- ・NMIJと産業界との共創が進んでいるという結果から、広報活動から研究開発活動までよくマネジメントされていると理解した。
- ・計量標準の整備と供給をトッププライオリティとして取り組んでおり、着実に成果を上げている。
- ・研究課題をその成果により、目的基礎研究、橋渡し前期、橋渡し後期に分類し、多数の実績を挙げていることは高く評価できる。また、民間資金獲得などの通期数値目標は達成している。
- ・第4期の領域目標を踏まえ、着実に成果を積み重ね、第4期の領域目標を達成している。

(改善すべき点及び助言)

- ・今期、民間資金獲得額が少し目標値に達していないが、事前打ち合わせの状況からはさらに契約に至る可能性があり、ほぼ達成していると評価してよい。
- ・今後の計量標準、標準物質の整備において、数量が単純に増加するとは思えないので、モニタリング指標として数値目標による評価が難しくなることも予想される。よって、次期の評価では、領域の特徴を生かした評価軸を示すことも考えてもよい。
- ・今期は技術コンサルティングの顕著な増加が、民間資金獲得額の増額に大きく寄与し、その割合も増加している。この割合を適切と考えるか、さらに増加を推進するのか、業務の在り方に合わせたマネジメントが重要となる。
- ・マーケティング力強化の取り組みは改善されているが、その成果の研究テーマへの移行、展開方法を具体化するとよい。
- ・標準業務と計測技術の研究バランスを意識した業務マネジメントの継続が必要である。
- ・今後の計量標準の高度化と標準の効率的開発の実施において、産業界の多様化するニーズとシーズを踏まえた研究・標準関連業務の時間配分、人員、予算などの分配のマネジメント力向上が望まれる。
- ・今期の課題としていた法定計量に関わる人材育成のレベル向上の具体的成果が見えない。産業界の要求規模を踏まえた人材の必要数の見積りと、それに対する達成度の言及があるとよい。
- ・領域の研究や知的基盤の成果が、他分野へ展開できるよう、今まで以上に産業界・社会に対する発信に努めてほしい。
- ・萌芽研究に対する支援は、領域内における将来の研究のアクティビティを確保するうえで大事な取り組みである。研究支援の継続を期待したい。
- ・部門ごとにマネジメントをしているとのことだが、領域全体のマネジメントがどのように機能しているのかが、見えにくいと思われる。

- ・計量標準の更なる利活用の促進。
- ・国際的なプレゼンスをさらに高める努力、社会へのアピールを継続して強化すべき。
- ・民間の仕事を行う場合には、金額だけでなく、その内容や他への波及効果・相乗効果も考えて実施することが望ましい。
- ・全体マネジメントとして、ありたい姿と現状のギャップを解消するように、計画を立案され、アクションされているため成果につながっているものと理解しますが、マネジメント自体が見えにくい。
- ・目的基礎などそれぞれのフェーズでの全体像（カテゴリ・テーマ数レベルの情報）と成果の有無を見える化するのが良いと思う。困難な技術課題解決に取り組まれているため、未達のテーマがあつてしかるべきですし、国研としては是非力を入れていただきたい。今後研究の成功率・社会実装率を上げていく意味でも、個別の成果だけでなく、全体像として評価すべきと考える。
- ・NMIJの戦略として、取り組まれている全領域内でNMIJの役割から優先すべきテーマ、社会からの要請により優先すべきテーマとそうではないテーマがあると思う、それと今回ご紹介いただいた内容がどのようにリンクするのかわかりづらい。
- ・各論の前に全体としての目標と実績、そして具体的な成果、という形で表現していただければありがたい。
- ・次期の計画が進んでいると思うので、定量的・定性的に評価できる目標設定をお願いしたい。
- ・第4期の計画に対する実績を評価する上では各研究課題の具体的な目標を年度毎に設定することが必要である。数値目標を掲げている項目が少ないので評価しづらい。
- ・期初の目標に対し、画期的な成果が見られない。元々目標に「一歩進んだソリューションの提供」があるが、今期の成果は、それを達成したに過ぎない。領域全体のマネジメントを分担するだけでなく、その分担を連係させることで、研究がマネジメントされたことによる画期的な研究成果が生まれることが期待される。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

（評価できる点）

- ・研究グループの総数と科研費等の研究総数が把握でき、これにより研究のアクティビティを確認することができた。当該領域の研究分野における科研費の獲得の難しさを考慮すると、この実数は今後の研究課題の設定や取り組み方の方針設定に参考になると思われる。
- ・オリンピック・パラリンピック開催に向けて、ドーピング検査用標準物質を開発し、SIトレーサブルな分析基盤を構築した。
- ・SI単位の定義改定に際し、計量標準の広報活動に努め、マスコミや教育現場を含め広く発信したことは高く評価できる。
- ・採用におけるインターシップの成果が出ていると考えられる。今後も継続。
- ・標準的な校正試験よりも、技術コンサルティングの件数が増加していることから、対応がユーザーの課題へのソリューションとなり、産業界からその有用性を認められているものと理解。
- ・研究課題をその成果により、目的基礎研究、橋渡し前期、橋渡し後期に分類し、実績を挙げていることは高く評価できる。
- ・民間資金獲得などの本年度数値目標は達成見込みである。
- ・前年度に比べ、着実に成果を増やしている。

（改善すべき点及び助言）

- ・H30年度の評価委員のコメントに対する的確な回答が確認でき、校正業務の調査分析では、業務の適切なエフォートを見積もる上で参考となるデータが示されている。研究者・標準業務担当者自身によるエフォートの見積もりの難しさはあるが、このデータを根拠としたエフォートの重みづけや領域全体の業務方針を決めるなど、適切なマネジメントを期待する。
- ・産業規模を根拠とした成果の数値化により、領域の業務の成果がいかに経済に大きく寄与しているかが分かる。見積もりに使用するデータにもよるが、地道な成果が産業界に大きく寄与していることを自負してよいと思う。
- ・大学や他の研究機関などとの連携の推進をさらに強化する新たな方策が必要。
- ・若手研究者育成は継続して強化していくべきである。
- ・第4期の計画に対する実績を評価する上では各研究課題の具体的な目標を年度毎に設定することが必要である。
- ・前年度に比べる成果の伸びが画期的とは言えず、目標どおりに成果を達成したとしか見えない。民間資

金の獲得が目標に達していないが、NMIJ の評価指標として外部資金の獲得額を使うことがおかしいことをきちんと主張すべき。

2. 「橋渡し」のための研究開発

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

【第4期全体に対して：期間実績評価】

（評価できる点）

- ・各研究部門が、それぞれ所掌している量・単位に関わる適切な基礎研究のテーマを設定し、実施している。その成果として紹介された通期の研究テーマは、いずれも当該分野における国際的競争力のある研究成果を発信している。
- ・今期は次世代の計量標準に大きく寄与した量子分野の研究が展開され、研究成果の国際的優位性が認められた。今後の多方面へ大きな寄与が期待できる。
- ・次世代の量子電流標準・微小電流計測の実現のための単一電子制御技術を提案・実証するなどは、今後ますます重要となる量子技術への貢献として評価できる。
- ・オリジナリティのある研究がされていると考えられる。評価指標も達成しており、成果は十分である。
- ・世界でも3か国しか実現していない、単一電子制御技術の開発に成功した。有機質量分析による高感度な構造解析技術の開発において、世界初のメカニズム解明、有名論文誌の表紙に利用されるなど画期的な成果を得た。非常に高い目標をクリアし、産業界にも大きな貢献が可能である。
- ・論文被引用回数、発表論文数はそれぞれ2500~3000回、200報を維持しており、目標を達成する見込みである。また、単一電子、単一光子、最先端レーザー分光法、タンパク質など超高感度計測や超高速分光技術などの世界トップレベルの計測技術開発を行った。
- ・画期的な研究成果を毎年生み出しており、NMIJの基礎力の強さを十分に発揮した成果となっている。

（改善すべき点及び助言）

- ・直流電圧標準器や原子時計などの研究開発と製品化を実現しており、計量標準の製品化に対する取り組みは評価できる。この分野の研究成果の事業化の難しさを踏まえ、民間の関りの程度、方法を検討する必要がある。
- ・具体的な研究テーマとそれらの成果の国際規格への関りなどの成果が、領域の国際的競争力の確保・さらには向上へ繋がること期待したい。
- ・IFの高い論文誌への掲載など、計量分野からも成果を大いに発信し、日本のトップレベルの研究機関として社会に認知されるように、国際的なプレゼンスを向上する努力を継続してほしい。
- ・競合する機関（含海外）や手法があるのかについて明確にした方がよい。
- ・第4期開始時の目的基礎研究の実施計画と終了時の実績を対比して達成度を評価する必要がある。
- ・多くの分野で基礎研究が着実に進展しているものの、橋渡し前期、橋渡し後期への移行がタイミングよく行われているように見えない成果が散見される。これは研究マネジメントの問題ではあるが、その責任体制をきちんと各研究者が理解することが重要ではないか。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

（評価できる点）

- ・単一光子分光イメージング技術の開発では、撮像用デバイスの開発と実用化に向けた取り組みと、その研究成果の公表もできている。
- ・量子光子分光イメージングは、超低侵襲細胞リアルタイムイメージングや創薬への寄与（コロナウィルスの撮像等）が期待される。
- ・単一光子分光イメージング技術は、今後、有用なものになると思うので、研究開発を推進してほしい。また、この検出器を種々の測定技術に導入できるとよい。
- ・単一光子分光イメージング技術開発において、世界トップの性能を実現したことを評価。また、この技術は現在社会問題となっているコロナウィルスの検出にも可能な技術であり、社会にとって非常に有意な技術であること、常に出口を意識された目的基礎研究開発をされていることを評価。
- ・単一光子分光イメージング技術において、回折限界以下の空間分解能や従来よりも10倍の高速撮影を達成しており、細胞リアルタイム観察や創薬分野への貢献が期待できる。
- ・令和元年度の成果についても、例年と同様の着実な成果が見られる。

(改善すべき点及び助言)

- ・社会的ニーズを踏まえ、次世代の計量標準の開発につながる計量標準・計測技術の基礎研究の継続的な取り組みを期待したい。
- ・研究成果を語るには、トップクラスとトップでは全く意味が異なるので、“トップ”と表現するのが良いと思う。表現一つで受け取り方が変わるので気にされるのがよろしいかと思う。
- ・第4期開始時の目的基礎研究の実実施計画と最終年度の実績を対比して達成度を評価する必要がある。
- ・令和元年度の成果が、特に他の年度に比べ際立っているわけではなく、着実に成果を上げているとしか判断できない。目的基礎研究の成果は単年度で出るわけではないので、単年度単位で見た場合に、成果が画期的でない年ができることはやむをえない。

(2)「橋渡し」研究前期における研究開発

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・研究の橋渡し前期の考え方を理解して、研究テーマの重点化を図っている。通期の研究テーマの成果は、計量、計測の分野を超えて社会の安全、安心への貢献が期待できる。
- ・研究成果のモニタリング指標の特許実施契約数の目標に対して、年度毎に確実に成果を上げている。
- ・小型水分計の開発と低濃度水分分析用標準液を開発、民間企業との共同研究に発展。
- ・我が国が世界をリードする商用水素ステーションの水素ディスペンサー計量性能評価及び国内規格(JIS)や国際勧告文書の改訂への貢献は評価できる。
- ・橋渡し後期あるいはゴールに近づいているものも多く、計画通り進行していると思われる。
- ・経済産業省が策定した水素・燃料電池戦略に整合するテーマ(水素流量計測技術の開発と国際標準化)に整合する研究テーマにおいて、工業規格の制定、国際法定計量機関勧告の改定に貢献した。
- ・知財の実施契約件数は年間80から100件に増加傾向にあり、水素流量計、水分計測、粒子計測、極低反射光吸収材など将来の実用化・製品化が期待できる。
- ・研究者の努力により、毎年着実に成功事例が出ている。

(改善すべき点及び助言)

- ・当領域の研究のポテンシャルを活用して、社会的ニーズに応えられる計量・計測技術の高度化と昨今のキーワードである社会の安心・安全に寄与できる研究へ展開を期待したい。また、当領域の研究・業務のSDGs(持続可能な開発目標)に対する寄与も考えられるので、その関わり方についての議論もあってよいと思う。
- ・他機関や企業と連携し、今後どのように発展させていくかが重要であり、具体的な目標が必要である。
- ・研究開発のスピードをあげるための方策も考えておくとよい。
- ・第4期開始時の研究計画と終了時の実績を対比して達成度を評価する必要がある。
- ・NMIJの研究の中で、多くの橋渡し成果は知的基盤整備の中から生まれてくるものだが、そのタイミングのマネジメントがどのように行われているのかが明確でなく、成果の発生が偶然に支配されているように見受けられる。テーマごとに、目標が枝分かれする研究計画を整備し、それに対する達成度を評価する必要がある。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・極低反射光吸収材料の開発の成果は、黒体標準に関する長年の研究成果から派生した成果であり、事業化につながる橋渡し研究の事例として高く評価できる。
- ・一対多型校正技術の開発では、具体的に標準物質の開発が実現しており、単年度の成果として高く評価できる。
- ・世界最高レベルの暗黒シートを開発し、広報に努めた。
- ・分取qNMR/クロマトをドーピング検査の標準物質の校正に用いた。オリンピックに向けてタイムリーな成果であり、産総研の高い分析技術レベルを世界に周知する良い機会である。
- ・着実に成果が上がっていると考えられる。
- ・放射温度計測のための参照黒体の開発という、知的基盤の整備のための研究開発成果を生かし、暗黒シートを開発。知的基盤を拡充するための研究活動をしながら世の中のニーズをくみ取り、正しい方向に

性能を向上させる取り組みがされている。

- ・ 極低反射光吸収材は従来に無い素材であり、民間からの問い合わせが多数あり、応用の発展性が期待できる。
- ・ 令和元年度は他の年に比べ、橋渡し前期の良い成果が多数生まれている。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 今年度取り上げた研究課題については、単年度の成果が具体的であり、今後、光吸収材の製品化、開発した校正技術によるさらなる標準物質の早期開発への寄与を期待したい。校正技術の成果については、外部への移管、海外指導など将来の方向性の議論も必要になると思われる。
- ・ 前期から後期を経ずに一気に最終ゴールに向かうような仕組みを考えてもよい。進捗管理を着実にを行い、乖離があれば、早急に改善策をとれるようにすることが望ましい。
- ・ 暗黒シートの性能 99.9%を目指す必然性の説明が不十分と感じた。知的基盤整備の目的か、産業界からの要請なのかその両方なのか、そして目標値たる理由を表現していただきたかった。
- ・ 第4期開始時の研究計画と最終年度の実績を対比して達成度を評価する必要がある。
- ・ 令和元年度に偶然にも橋渡し前期のタイミングを迎える研究が多かったが、それが研究計画通りのものか、偶然の産物なのか分かり難く、評価が困難なので、長期に亘る研究計画を整備することが重要。

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・ 民間獲得金額の目標額は、当領域にとっては難易度の高い目標値であったと思われるが、通期で目標達成しているため、その取り組みは高く評価できる。また、計測技術の民間に対する技術移転や事業化を重点化した橋渡し後期としての目標設定が妥当であったことが伺われる。
- ・ モニタリング指標の中堅・中小企業比率は、産総研内の基準値に対して初年度から達成している。今期における領域としての中堅・中小企業支援の成果が認められる。
- ・ 具体的な研究課題で、昨今のものでづくりのデジタル化を支える基礎的でニーズの高い取り組みをしている。
- ・ 電磁波を利用したセンシング技術の研究は、成果が他分野へ効果的に活用されている。
- ・ X-CTについてはISOのプロジェクトリーダーになっているなど国際的な中心となり活動している。
- ・ シリコンウェハ 世界最高精度で測定可能。
- ・ キューピーとの共同研究によりオープンイノベーション大賞受賞（電磁派センシング）。
- ・ ナノ材料評価コンソーシアム（FFF, FF-SEM）でISO文書発行。
- ・ 具体的な成果が得られており、有効性も高いと考えられる。特にインフラ診断は世の中のニーズをとらえている。また、中堅・中小企業の研究契約比率も計画通り達成しており、成果は十分と考えられる。
- ・ 測定の不確かさを定量化する、計量標準のための技術をもとに電磁波応用センシング技術を開発しており、NMIJの戦略に整合している。農産物や医薬品などの水分含有量や品質を非破壊でリアルタイムに計測するための技術を開発した。実現したモデルを元にテストマーケティングを行い、様々な分野での貢献が期待されることが、フィードバックにより証明され、第2回オープンイノベーション対象を受賞した。
- ・ 民間からの資金獲得額は通期目標30億円に対して12月時点で30.6億円と目標を達成している。具体的には、X線、レーザ干渉や電波を用いた計測法の実用化・製品化が進んでいる。
- ・ 第4期全体に亘って、毎年画期的な成果を幾つか着実に生み出している。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 橋渡し後期の通期の成果としては、注目すべき計測技術の開発が行われているが、今後の研究の継続について考える上で、計測技術の高度化を目指すのか標準化へ移行するのかなど、研究の目的、役割を明確にして判断することが重要となる。
- ・ 通期で技術コンサルティングが増加したことは特徴的な成果であると認められるが、今後、民間資金獲得額に対する割合が単純に増加することを前提とすることは難しく、この割合の適切性を業務の在り方に合わせて評価することが重要であると考えられる。
- ・ 今後も研究・業務量を踏まえた適切なエフォートの設定と、そのマネジメントと評価法の確立が望まれる。

- ・長年の研究成果が製品化につながっているが、4期として計画的に行ってきた成果なのか、すなわち当初の目標と達成状況の過程が見えにくい。
- ・ゴールに向かうスピードをフォローし改善することが重要であると考えられる。
- ・第4期開始時の研究計画と終了時の実績を対比して達成度を評価する必要がある。
- ・橋渡し後期の研究は、知的基盤の整備や目的基礎研究からの連続性が5年間の評価では分かり難いものが多い。夫々の成果について、もっと長期に亘る研究成果の積み重ねを見せた方がよい。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・単年度で大きな成果は認められないが、社会インフラに貢献できる取り組みを継続して。
- ・モニタリング指標、評価指標はほぼ達成している。
- ・X線検査装置を企業に技術移転し、製品化につながっている。
- ・電磁波を利用したセンシング技術により非破壊・リアルタイム計測を実現し、企業と製品化を推進している。
- ・モアレを利用した変位・ひずみ計測を新幹線のコンクリート高架橋へ応用、ベンチャー企業へ技術移転している。
- ・インフラ診断に活用できる技術開発が進んでおり、有効な成果と考えられる。
- ・社会課題であるインフラ診断のための装置を安価で小型高速測定可能な装置として実現することに寄与した。
- ・X線を用いたインフラ診断装置の有効性が実験で示された。社会の要求に適した成果を挙げていると判断できる。
- ・着実に成果を生み出している。

(改善すべき点及び助言)

- ・民間資金獲得額が目標値に達していないことについては、契約の潜在的件数の見込みの説明があったので、それも含めた自己評価で良い。
- ・橋渡し後期の成果として大きなインパクトを与えるようなものが見えてこない。段階的に積み上げてきた成果が、実用化につながり企業へ技術移転していることがうまく示されていないように思う(印象に残らない)。
- ・実現した技術をもとに開発された製品のコストは、世の中のニーズを満足するものなのかが不明。
- ・第4期開始時の研究計画と最終年度の実績を対比して達成度を評価する必要がある。
- ・今年度は例年と比べて画期的に高い成果とはいえないが、研究のタイミングの問題であり、また例年との相対評価の結果であるためやむをえない。

3. 知的基盤の整備

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・当領域は、産総研の中の知的基盤計画に基づく研究と業務方針が明確に設定されており、目標達成のための取り組みが具体的に実施されている。
- ・成果の目標設定が難しい標準供給や依頼試験などの数値目標を具体的に設定し、年度毎にほぼ達成している。
- ・今期は、SI単位の定義改定に大きく貢献したことは特筆すべき成果である。これは長年にわたる地道で高度な基礎研究を継続してきた研究の成果であり、この持続的な取り組みは高く評価できる。このような一連の標準実現への知的基盤研究の実績は、他の標準開発に関する研究にも大きな影響を与えるものと思われる。
- ・次世代標準の開発が進んでおり、今後、その成果の国際的な寄与を期待したい。
- ・化学・材料データベースのデータは、標準供給機関として信頼性が担保されたもので、アクセス数も多くこのシステムの有効性が認められる。
- ・知的基盤整備に関する評価指標、モニタリング指標に対しては計画どおり実施され目標を達成している。
- ・キログラム定義改定への国際的な貢献である。
- ・光格子時計の開発は次の定義改定に繋がるのが期待される。

- ・ 温度の SI 単位定義改定へ貢献（JNT によるボルツマン定数決定）するものである。
- ・ 世界初の絶対熱電能評価法の開発。
- ・ 水道法規制対応のトレーサブルな標準物質開発。
- ・ 有機化合物 (4.3 万件) スペクトルデータベース (SDBS) 11 万アクセスという実績は高く評価できる。
- ・ 質量・時間・温度といった次世代・先端的なものと、標準やデータベースの整備などの基盤的で社会に有用なものの双方をバランスよく進めている。
- ・ 長期間の研究開発が実り、キログラムの定義改定に貢献した。この成果は画期的なものであり、成果が論文を通して発表されることで技術が共有されるとともに、一般にも広く発信され、認知された。
- ・ キログラムの定義改定にプランク定数を高精度に決定することで世界第一級の貢献を行ったことは特筆に値する。また、次世代時間・周波数標準や温度測定技術と次世代温度標準の開発など最も基本的で重要な知的基盤の整備を実施した。その他、電気計測、化学・材料データベースの整備を行った。
- ・ NMIJ にとって最も重要な仕事を着実に達成するだけでなく、幾つかの突発事項に対しても短期間で対応し、世界的にも誇れる成果を生み出している。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 計量士も含めて法定計量技術者の人材育成とレベルの向上への貢献について、産業界で必要とされている人数とレベルの把握と、産業構造の高度化、多様化に応じた必要資質を見込んだ人材育成が必要と思われる。
- ・ 第 4 期の重点的に推進する研究開発として、計量標準の整備と利活用促進をあげている。その中で研究開発の見込みとして、グリーン・ライフ・震災対応などの優先分野を勘案した計量標準の高度化・整備は社会的に必要な取り組みと思われる。
- ・ 基礎研究のレベルは非常に高く、知的基盤整備については、この領域の柱として今後も世界トップクラスの技術への挑戦と社会へのアピールを継続すべきである。
- ・ 第 4 期開始時の基盤研究計画と終了時の実績を対比して達成度を評価する必要がある。
- ・ 知的基盤研究単体の成果は分かりやすいが、この活動と目的基礎研究、橋渡し研究との関係が分かりにくく、マネジメント能力に対する疑問となっている。知的基盤の整備を前面に押し出しつつ、目的基礎や橋渡しは、知的基盤整備活動の染み出しとして整理し評価した方がよいのではないか。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・ 新規校正・試験項目数は減少しているが、継続的に計量法に基づく特定二次標準器の校正・依頼試験を確実に実施していることが認められる。
- ・ 光を用いた周波数標準の国際原子時への貢献が期待できる研究を継続して実施している。その他、放射線利用の安心・安全のための計量標準整備、自動はかり評価技術の構築に関しても、実用化に向けた取り組みが継続している。その成果を期待したい。
- ・ 自動はかりの JIS 規格を計量法へ引用 社会貢献性が高い。
- ・ 光格子時計の世界トップの長期稼働率実現は評価できる。
- ・ 精度の高い音響パワー標準整備により、ドローンの騒音評価への応用が期待される。
- ・ 継続して知的基盤整備が行われている。
- ・ 計量法に引用される自動はかりに関して 4 種類の技術基準の整備を完了した。
- ・ 光格子時計において、世界トップの長期間運転・稼働率を実現し、秒の定義プロジェクトにおける稼働条件をクリアした。これは 2022 年 4 月までの目標であり、目標を大幅に超えたものと理解する。
- ・ 自動はかり評価技術の構築において、自動捕捉式はかり JIS を計量法へ引用、検定を開始。2 器種の JIS の制定を行った。
- ・ 例年同様、世界に誇れる成果を蓄積している。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 知的基盤の整備状況として、新規標準物質は今期当初よりは減少している。新規の物質も含め今後も一定数の供給は必要であると思われるが、将来的に産総研で保有すべき適切量の見込みと供給方法についても考える必要がある。
- ・ 知的基盤についてさらに社会に広報する努力：例えば自動はかり規制への貢献などは、社会貢献を一般人にもアピールできる。
- ・ 第 4 期開始時の基盤研究計画と最終年度の実績を対比して達成度を評価する必要がある。

4. 領域全体の総合評価

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・当領域（計量標準総合センター）は、産総研内における計量標準の整備とその供給に関する業務の重要性の意識は高く、計量標準の技術開発、整備、供給、さらにその基盤となる計測技術の研究に取り組んでいる。
- ・今期は国際的にも注目される研究成果も多数もあり、次期も産業基盤を支える計量標準の知的基盤整備に努めるとともに、国際的な研究の優位性が確保できるよう、高い研究レベルを維持し、さらなる向上を期待したい。
- ・評価資料、モニタリング指標に対する数値実績より、当期の目標値を超えた実績が認められ、平素の取り組みにおける目標達成に対する意識は高い。
- ・当領域は、今期指定された特定国立研究開発法人の研究領域として、社会経済活動を支える重要な知的基盤の役割を担い、知的基盤計画に基づくミッションが明確に設定されており、それぞれの目標に対応した取り組みが具体的に実施されている。
- ・次期に向けては、今後の領域の在り方を継続的に議論し、所掌を踏まえながら適切で特徴のある目標設定とロードマップを策定し、国際的な計量標準研究機関のトップランナーとしての地位の確立に期待したい。
- ・第5期では、さらに領域の強みや特徴を強化し、社会インフラや環境、安心・安全に寄与する新たな産業を支え、さらにはイノベーションを誘発する知的基盤の研究・標準業務に努めてほしい。
- ・個々の研究成果は、着実に積み上げられており、素晴らしい成果を得られている。
- ・広報にも努力をしている。
- ・全般的には計画以上の成果であると考えられる。発表されたテーマはいずれも高い成果をあげている。
- ・キログラムの定義改定という大業を成し遂げたことを評価。また、高度な研究の成果を広く広めることにより、産業界からより頼られる存在になっている。
- ・各種数値目標を達成しつつ、研究開発についても多数の先進的な成果を挙げられており、高く評価できる。
- ・知的基盤の整備を中心に、NMIJが果たすべき役割を確実にこなし、画期的な成果を数多く生み出すことで、世界の中での存在感を高めている。

(改善すべき点及び助言)

- ・民間獲得金額の目標額は、当領域においては難易度の高い目標であったと思われるが、通期で目標達成しているので、その取り組みは高く評価できる。また、計測技術の民間に対する技術移転や事業化を重点化した橋渡し後期としての目標設定が妥当であったことが伺われる。しかし、次期のモニタリング指標の設定の際は、当領域の研究・業務分野の特殊性を踏まえた定量的指標の設定方法の議論が必要であると思われる。
- ・各評価指標の目標値の達成を支えるのは経常的な基礎研究・業務であると考え、その評価のあり方も検討するとよい。
- ・大学等との連携強化について、当期目標となっていた「オープンイノベーション」の拠点形成が、当領域で実現しているのか把握できなかった。
- ・当領域の知的基盤の整備、構築に関する取り組みは国内の産業基盤を支えるものであり、その役割を担う研究機関として、今後さらに社会ニーズを捉え、国際的競争力のある計量標準とそれに付随する計測技術のさらなる研究の推進に期待したい。
- ・計量標準の重要な部分は知的基盤整備であり、国家のプレゼンスを上げるための大きな役割を担っており、十分に目標を達成し、さらに国際レベルに発展させているが、部門ごとにその役割が異なり、それぞれマネジメントしているようであるが、そのことが見える化されていないため、全体として評価しにくい。
- ・5期には領域の目標と計画をより具体的に示すべきである。
- ・センター内、産総研内、企業間での連携をもっと進めてほしい。連携の仕掛人になることが求められる。研究者の専門性とそれ以外（調整能力）の向上についての計画的な育成をお願いしたい。センターのあ

- るべき姿をもっと明確にして、みんなが共有できるようにした方がよい。
- ・全体マネージメントとして、ありがたい姿と現状のギャップを解消するように、計画を立案され、アクションされているため成果につながっているものと理解しますが、マネージメント自体が見えにくい。
 - ・目的基礎などそれぞれのフェーズでの全体像（カテゴリ・テーマ数レベルの情報）と成果の有無を見える化するのが良いと思う。
 - ・困難な技術課題解決に取り組まれているため、未達のテーマがあつてしかるべきですし、国研としては是非力を入れていただきたい。
 - ・今後研究の成功率・社会実装率を上げていく意味でも、個別の成果だけでなく、全体像として評価すべきと考える。
 - ・NMIJの戦略として、取り組まれている全領域内でNMIJの役割から優先すべきテーマ、社会からの要請により優先すべきテーマとそうではないテーマがあると思う、それと今回ご紹介いただいた内容がどのようにリンクするのかわかりづらい。
 - ・各論の前に全体としての目標と実績、そして具体的な成果、という形で表現していただければありがたい。
 - ・次期の計画が進んでいると思うので、定量的・定性的に評価できる目標設定をお願いしたい。
 - ・第4期全体の当初計画を明示し、これに対する実績を評価するべきである。自己評価も必要と思われる。
 - ・数多くの成果の関連性が分かり難く、成果が散発的に生まれているように見える。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・当期最終年度として、研究の橋渡し機能の強化、計量標準の知的盤整備に関わる成果のまとめとその自己評価の取り組みが確認できた。
- ・知的基盤の整備には、国際的にも大きな成果をあげている。
- ・今年の成果が低いというわけではなく、複数年で成果が出ているものが多い。
- ・知的基盤の整備は国際的にも大きな成果をあげており、また、知的基盤整備で得た技術による社会実装を目指した各研究の成果も素晴らしい。
- ・各種数値目標を達成しつつ、研究開発についても多数の先進的な成果を挙げられており、高く評価できる。
- ・第4期の集大成の年として、着実に成果を出している。

(改善すべき点及び助言)

- ・当領域の研究成果の他分野での活用など、知的基盤研究を担う機関として、産業界、社会に対するさらなる成果の発信に務めてほしい。
- ・プロジェクト研究を策定するためのベースとなる定常的に実施されている研究テーマと実施状況が分かるように。
- ・4期の最終年度として、外部資金などは数値的にも達成していることはわかるが、何ができなかったのかについても領域内で共有しておかないと、次のステップでの目標を立てにくいのではないか。
- ・第4期全体の当初計画を明示し、これに対する実績を評価するべきである。自己評価も必要と思われる。
- ・第4期の最終年度としての活動が見えなかった。次期につながる検討活動を示して欲しかった。

5. 評点一覧

【第4期全体に対して：期間実績評価】

評価委員 (P, Q, R, S, T, U) による評価

評価項目	P	Q	R	S	T	U
領域の概要と研究開発マネジメント	S/A	S/A	S/A	A/B	A	B
「橋渡し」のための研究開発						
「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）	S/A	S/A	S/A	A	A	S/A
「橋渡し」研究前期における研究開発	A	S/A	A	A/B	A	B
「橋渡し」研究後期における研究開発	A	S/A	S/A	A	A	S/A
知的基盤の整備	S	S	S/A	S/A	S	S
領域全体の総合評価	S/A	S/A	S/A	S/A	A	S/A

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

評価委員 (P, Q, R, S, T, U) による評価

評価項目	P	Q	R	S	T	U
領域の概要と研究開発マネジメント	S/A	S	S/A	A/B	A	B
「橋渡し」のための研究開発						
「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）	A	S	S/A	A	A	A/B
「橋渡し」研究前期における研究開発	A	S	S/A	A/B	A	A
「橋渡し」研究後期における研究開発	A	S/A	S/A	A/B	A	A/B
知的基盤の整備	S/A	S/A	S/A	A	A	S/A
領域全体の総合評価	S/A	S/A	S/A	A/B	A	A

令和元年度 研究評価委員会（計量標準総合センター） 評価報告書

令和2年6月26日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 評価部

〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1 中央第1

つくば中央1-2棟

電話 029-862-6096

<https://unit.aist.go.jp/eval/ci/>

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

