



平成30年度  
研究評価委員会  
(計量標準総合センター)  
評価報告書

令和元年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 <sup>1</sup> ）	5
4. 説明資料（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	45
5. 評価資料（年度末確定値）	111
6. 評価委員コメント及び評点	113

---

<sup>1</sup> 平成31年3月11日



**国立研究開発法人 産業技術総合研究所**  
**平成 30 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：平成 31 年 3 月 11 日（月） 10:00-17:05  
 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 3 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	森下 雄一郎	10:05-10:10

計量標準総合センターによる説明（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

(1) 領域の概要 (説明 10 分)	計量標準総合センター長	10:10-10:20
------------------------	-------------	-------------

- ・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果
- ・ 平成 30 年度の実績・成果

(2) 領域の研究開発マネジメント (説明 15 分、質疑・評価記入 20 分)	研究戦略部長	10:20-10:55
---	--------	-------------

- ・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果
- ・ 平成 30 年度の実績・成果

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） (説明 15 分、質疑・評価記入 20 分)	物理計測標準研究部門長	10:55-11:30
--	-------------	-------------

- ・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果
- ・ 平成 30 年度の実績・成果

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発 (説明 15 分、質疑・評価記入 20 分)	物質計測標準研究部門長	11:30-12:05
---	-------------	-------------

- ・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果
- ・ 平成 30 年度の実績・成果

昼食・休憩（40 分）	12:05-12:45
-------------	-------------

現場見学会（70 分）	12:45-13:55
-------------	-------------

単一電子制御技術 [目的基礎]	物理計測標準研究部門 首席研究員	金子 晋久
3D 形状計測 [橋渡し後期]	工学計測標準研究部門 幾何標準研究 G	阿部 誠
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]	物質計測標準研究部門 粒子計測研究 G	飯田 健次郎

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発 (説明 20 分、質疑・評価記入 20 分)	分析計測標準研究部門長	13:55-14:35 野中 秀彦
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果</li> <li>・ 平成 30 年度の実績・成果</li> </ul>		
休憩 (30 分・休憩場所でのポスター展示含む)		14:35-15:05
3. 知的基盤の整備 (説明 25 分、質疑・評価記入 20 分)	工学計測標準研究部門長	15:05-15:50 高辻 利之
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果</li> <li>・ 平成 30 年度の実績・成果</li> </ul>		
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 (領域等への質疑を含む) (25 分)		15:50-16:15
評価委員討議 (領域等役職員 退席) (20 分)		16:15-16:35
評価記入 (領域等役職員 退席) (20 分)		16:35-16:55
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第 4 期中長期目標期間中に見込まれる実績・成果</li> <li>・ 平成 30 年度の実績・成果</li> </ul>		
委員長講評 (領域等役職員 着席) (5 分)		16:55-17:00
閉会挨拶	理事／評価部長 加藤 一実	17:00-17:05

## 評価委員

計量標準総合センター

	氏名	所属	役職名
委員長	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 イノベーション研究センター	教授
	金澤 秀子	慶應義塾大学 薬学部	薬学部長、教授
	野田 華子	アンリツ株式会社 技術本部	先進技術開発センター長
	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	顧問

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**  
**平成 30 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（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の育成を実施するとともに、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的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を行うことを目指した。また、国際単位系（SI）の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、更には、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となる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～平成31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、国立標準研究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、研究部門ごとに標準と計測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、流体の各標準および法定計量
- ・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わる標準物質および各標準
- ・分析計測標準研究部門：音響、量子放射の各標準およ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）を中心とした取り組み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財実施契約に繋げる [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、大型化への取り組みを行った。また、計測機器業界を中心に領域長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とされる計量標準の開発・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。

平成30年度に実施した具体的な活動としては、計量法関連の政省令が改正されて自動はかりが特定計量器に指定され規制の対象になることを踏まえ、電磁両立性試験（EMC）と耐環境性試験を実施出来る環境を整備し、計量法に関する業務の確実な実施に備えた。また、2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて、定量核磁気共鳴分光法（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、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するために、「ドーピング検査標準研究ラボ」を設立した。さらに、SI単位改定に際し、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、および各種メディア（新聞、雑誌、著書、テレビ、ラジオ等）を通じて発信した。

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～平成 35 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、物理標準およ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 29 年度の 3 年間において 58 項目、平成 30 年は 22 項目（12 月時点）である。また、新規に整備された標準物質は、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間において 39 種、平成 30 年は 7 種（12 月時点）である。更には、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確実に実施してきた。国家計量標準の供給として、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間の特定二次標準器の校正件数は 1,208 件、平成 30 年は 410 件（12 月時点）であった。産総研依頼試験に関しては、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間で 1,028 件、平成 30 年は 142 件（12 月時点）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 29 年度の 3 年間で 6,379 件、平成 30 年は 1,693 件（12 月時点）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、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、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。平成 30 年度は単一電子制御技術の開発等で優れた成果が得られた。NMIJ の研究者が著書となっている研究論文の被引用回数については、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間合計は 7,714 回、平成 30 年度単年度では 2,451 回（平成 30 年 12 月時点）で目標 2,600 回を達成見込みとなっている。NMIJ の研究者が著書となっている研究論文数については、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間合計は 640 報、平成 30 年度単年度では 133 報（平成 30 年 12 月時点）となっている。

「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。平成 30 年度は、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、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間の合計は 18.3 億円、平成 30 年度単年度では 8.6 億円（平成 30 年 12 月時点）となっている。また、知財の実施件数については、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間合計は 261 件、平成 30 年度単年度では 95 件（平成 30 年 12 月時点）で目標 85 件を達成している。

「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。平成 30 年度は、幾何計測の分野において、全国 39 都道府県 47 か所の公設研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た。更には、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、平成 30 年度 12 月時点で 2.27 億円（150 件）、平成 29 年度確定値の 1.75 億円（187 件）と比べ金額で約 1.3 倍となり、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、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間合計は 16 億円、平成 30 年度単年度では 6.6 億円（平成 30 年 12 月時点）となっている。平成 27 年度～平成 29 年度の目標値の合計 14.4 億円 に対し 111%の達成、平成 30 年度は目標の 7.2 億円に対して 92%となっており、目標額を達成見込みとなった。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、平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間の平均は 42.0%、平成 30 年度単年度では 34.5%（平成 30 年 12 月時点）となっている。

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の開発においては、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な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 29 年度の 3 年間のアクセス件数：約 8,100 万件、平成 30 年度のアクセス件数：約 2,800 万件（12 月時点））、分散型熱物性データベース（平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間のアクセス件数：約 560 万件、平成 30 年度のアクセス件数：約 150 万件（12 月時点））及び固体 NMR スペクトルデータベース（平成 28 年度～平成 29 年度の 2 年間のアクセス件数：約 19 万件、平成 30 年度のアクセス件数：約 11 万件（12 月時点））の更新・拡充も実施した。

評価指標、モニタリング指標の達成状況等を以下に整理して記載する。

#### 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 114%）  
平成 28 年度：4.7 億円（目標額 4.8 億円に対し達成率 98%）  
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：6.6 億円（目標額 7.2 億円に対し達成率 92%）（12 月の暫定値）  
平成 31 年度：8.4 億円 見込（目標額 8.4 億円）

#### 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：34.5%（12 月の暫定値）  
平成 31 年度：35% 見込

#### 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：95 件（12 月の暫定値）  
平成 31 年度：90 件 見込

#### 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：133 報（12 月の暫定値）  
平成 31 年度：205 報 見込

#### 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：2,451 回（12 月の暫定値）  
平成 31 年度：2,600 回 見込

リサーチアシスタント及び産総研イノベーションスクールに採用された人数

平成 27 年度：6 人  
平成 28 年度：10 人  
平成 29 年度：15 人  
平成 30 年度：18 人（12 月の暫定値）  
平成 31 年度：15 人 見込

民間資金獲得額の目標達成に向けて、平成 30 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件数が増加した。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、計量法業務的的確な遂行、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。平成 30 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、リクルート活動を推進した。入所した新人の教育に関しては、各種研修のほか、領域独自の取り組みとして、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。

第 4 期中長期目標期間の類型として、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（うち平成 30 年度実施の件数：2 件）であり、平成 31 年度は 1 件の見込みである。また、これらの事業化の実績として、知的財産の譲渡契約および実施契約は平成 30 年度までに 0 件（うち平成 30 年度契約の件数：0 件）で平成 31 年度の見込みは 0 件、製品化は平成 30 年度までに 2 件（うち平成 30 年度製品化の件数：1 件）で、平成 31 年度の見込みは 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、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、マラリア診断デバイスの実用化を可能とする標準の開発、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度センサの開発、次世代薄板ガラスの残留歪み計測のための高速度位相計の開発、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機の校正件数、標準物質の供給件数も年々増加し、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（JCSS）の校正証明書発行件数は年々増加し平成 29 年度は 530,000 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、最終ユーザまで開発した計量標準や標準物質を効率的に届ける取り組みを行い、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～平成29年度の民間資金獲得目標値の合計14.4億円に対し、3年間の実績合計額は16億円（目標に対して111%）となり、目標を大きく上回る成果を上げた。平成30年度も目標は達成される見込みであることに加え、平成31年度においても、引き続き技術コンサルティング等に対する産業界の期待は高いと予想され、また、装置提供型共同研究の件数も増えると予想される。したがって、平成31年度、および第4期全体を通じて、当領域の民間資金獲得の目標は達成可能と見込んでいる。

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（物質質量）の4つの単位の定義を改定することが決定された。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、様々な高精度な計測が必要になり、これらの最先端計測技術は長さ、時間、温度などの他の最高精度の計量標準に支えられている。したがって、今回のSI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、長期的な取り組み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の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29年度の3年間合計は38件、平成30年度単年度では10件（平成30年12月時点）となっている。

#### 【課題と対応】

第4期の最後の年度となる平成31年度については、民間資金獲得における目標の達成が課題である。現時点では目標の達成が見込まれるが、民間資金獲得に関しては、NMIJの強みを生か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、装置提供型共同研究等、信頼性の高い評価技術に基づき確実に実施していくことが重要となる。

それ以降の長期的な視点での課題と対応に関しては次の通りである。

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、講習会や研修等で法定計量技術者の育成に寄与し、そのレベルの向上に貢献する。

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推進が課題である。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、JIS等の工業規格化、及びISO、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。

民間資金獲得についても、第4期のみという短期的視点でなく、第5期以降を視野にいたした活動が重要であり、引き続き計量標準等に関わる本務を遂行しつつ、NMIJへの信頼（ブランド）を維持向上させていくことが必要である。

## (2) 技術的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、平成30年度の契約件数は150件、契約金額は約2.27億円（平成30年12月現在）となった。第4期全体としても平成27年度～平成29年度の3年間の合計契約件数は399件、合計契約金額は3.47億円となり、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。

#### [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科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29年度の3年間合計は214件、平成30年度単年度では60件（平成30年12月時点）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、23の計測クラブを運営した。それぞれの計測クラブで、研究会・講演会（平成27年度～平成29年度の3年間合計は67件、平成30年度単年度では14件（平成30年12月時点））、技術相談、情報発信等を行うとともに、登録会員（全体で約3,300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年度単年度では4ヶ国、8人（平成30年12月時点））。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29年度の3年間合計は62回、平成30年度単年度では19回（平成30年12月時点））。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29年度の3年間合計は239件、平成30年度単年度では29件（平成30年12月時点））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、継続的な取り組みが求められる。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り組みを行う。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り組み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(P0)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った。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）

#### 【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 270 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 29 年度の 3 年間に合計 31 回、平成 30 年度単年度では 11 回（平成 30 年 12 月時点）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・分析装置メーカー 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（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的高度化を進めるとともに、新たに材料系メーカーをメンバーに加え、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）が制定される成果を得た。

以上の取り組みから、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～平成 29 年度の 3 年間合計は 16 億円、平成 30 年度単年度では 6.6 億円（平成 30 年 12 月時点）となっている。平成 27 年度～平成 29 年度の目標値の合計 14.4 億円に対しては 111%の達成、平成 30 年度は目標の 7.2 億円に対して 92%となっており、目標額を達成する見込みとなった。

#### 【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という事が出来る。

#### 【課題と対応】

連携の推進体制では、組織のマーケティング能力向上が課題である。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、イベントや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の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 (NEDO)、科学技術振興機構 (JST)、日本学術振興会 (JSPS) 等の事業に参画するなどして研究を推進した。大学との共同研究件数は平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間合計は 240 件、平成 30 年度単年度では 82 件 (平成 30 年 12 月時点)、他の公的研究機関との共同研究は平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間合計は 230 件、平成 30 年度単年度では 123 件 (平成 30 年 12 月時点) となった。

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として、国際度量衡総会・国際度量衡委員会・諮問委員会・作業部会、国際法定計量機関 (OIML) 条約に関連した活動として、国際法定計量委員会 (CIML)・OIML 総会、アジア太平洋計量計画 (APMP) では、APMP 総会・技術委員会、アジア太平洋法定計量フォーラム (APLMF) では APLM 総会へそれぞれ専門家を派遣した。更に、複数の国際比較の幹事を引き受けてきた他、二国間 MoU 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 年度単年度では 4 ヶ国、8 人 (平成 30 年 12 月時点))。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)。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。これらにより、我が国の計量分野の国際プレゼンスが向上した。

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、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。)、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。毎年の参加者はのべ約 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。日本の計量研究所として、様々な量目の国家標準を所掌し、SI トレ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など、大学や他の研究機関の期待も高い。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27～29年度のリサーチアシスタントの延べ人数は26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5名である。平成30年度は、リサーチアシスタントを12名、産総研イノベーションスクール生を6名受け入れ、目標を達成した。また、平成27～29年度のポスドクの延べ人数は15人、技術研修生の延べ人数は282名である。平成30年度は、ポスドク6名、技術研修生82名を受け入れて指導した(平成30年12月時点)。連携大学院の客員教授の人数は、平成27～29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。

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、平成30年度は、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態勢を整え、大学へ積極的な広報を行った結果、大学院学生(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)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学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連合会主催の学生向けの企業説明会、また、個別の大学で開催される学内就職説明会「計量計測業界セミナー」等のイベントへ研究戦略部キャリア主幹や企画主幹、更には研究者が参加し、領域で独自に作成した就職に関するパンフレットの配布や説明を行った。

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)

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、30 年度は上限を 400 万円と増額し、それぞれ 8 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 名を採択)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。平成 30 年度は平成 31 年 1 月 21～22 日に開催し、3 名の学生を受け入れた。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。平成 30 年度は通算 5 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 5 日)を担当し、陽電子消滅法、偏光分光法、質量分析法の講義・施設見学を実施した。(受講者 12 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 14-16 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 4-5 日)

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

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(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 P0 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の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り組みの一つとしては、平成 29 年度から女性のユニット長を登用した。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 名を超える大学院生を受け入れている（平成 28 年度の 2 倍）。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。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）

#### 【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
- ・次世代の計量標準に必要となる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。すなわち、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として、具体的には、以下の点を基本戦略として設定した。

- ・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。更に、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。

産総研第 4 期、及び、平成 30 年度の具体的な研究開発について、具体的な背景、実績、成果

を以下にまとめる。なお、成果の指標は、代表的なものを記載してある。また、指標の値のうち、数値の表記は、以下の通りとする。

- ・ []の前の数値は、第4期（特に期間の記載がない限り、平成30年12月末まで）の値。
- ・ []内の数値は、平成30年度（特に期限の記載がない限り、12月末まで）の値で、第4期中期全体の内数。

例えば、「国際誌 7[3]報」の表記であれば、第4期中の成果が7報で、この内、平成30年度の成果が3報となる。この数値表記は、以下、「3. 知的基盤の整備」まで、同様の扱いとする。

#### 単一光子分光イメージング技術の開発：

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。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、平成31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検出器アレイ化技術を開発する。

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（近赤外域で98%以上）と高速性（時定数100 ns以下）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。

[IF 付国際誌 7[3]報、特許出願 1 [0]件、プレスリリース 1 [0]件、外部予算獲得 3[1]件、受賞 2[2]件（文部科学大臣賞等）]

#### 単一電子制御技術の開発：

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、微小電流計測や量子デバイス研究など、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）に変更されることが決定しており、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およ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 M $\Omega$ 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 Communication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、MEMS（微小電気機械システム）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。平成31年度には、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着手する予定である。

1 M $\Omega$ 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。平成31年度に達成見込みの単電子ポンプの高速並列駆動技術は、どの研究機関もまだ達成していない実用領域の大電流・高精度化を実現可能にするものである。

[IF付国際誌 27[5]報、プレスリリース 3[1]件、外部受賞 1[0]件（一般財団法人エヌエフ基金 第6回研究開発奨励賞）、外部資金 17[10]件、共同研究 5[3]件]

先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化：

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（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、紫外から中赤外までの広い波長領域（0.24  $\mu\text{m}$ ～11  $\mu\text{m}$ ）で、サブピコ秒からミリ秒の12桁秒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。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明し、発光効率を大幅に高める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  $\mu\text{m}$ 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。平成31年度は、当該イメージング装置の有効性を実用材料で検証するとともに、TR-PYS装置のプロトタイプを作製する。これら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、高性能化に資する知見を得る。

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可能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り、白色光による時間分解測定が実現すれば、高価な超高真空装置を必要せず、大気中で励起準位エネルギーを簡便に決定できる世界初の事例となる。

[IF付国際誌 36[6]報、特許出願 1[0]件、ノウハウ 1[0]件、プログラム 2[0]件、プレスリリース 1[0]件、受賞 1[0]件（有機EL討論会 第23回例会 講演奨励賞）]

有機質量分析の高感度・高精度化技術の開発：

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が、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。質量分析により有機化合物の構造解析を行うためには、特定の結合を選択的に切断可能なフラグメンテーション技術が必要となる。フラグメントイオンは、試料分子の一部分の構造を含んでいるため、フラグメンテーション情報から構造を推定できる。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フラグメンテーション技術に基づくラジカル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ペプチドの分析に応用し、アミノ酸配列解析を正確に計測す

ることを示した。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、(1) 安定同位体の導入による高精度化と(2) 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質量分析法を組み合わせることで、より微量のリン酸化ペプチドの配列解析が可能になった。平成 31 年度には、有機質量分析の定量分析における精度評価を行う予定である。

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 17[6]報(表紙に 2 度選出)、和文誌 4[2]報、特許出願 1[0]件、特許登録 1[0]件]

上記を含む研究開発の結果、論文の合計被引用数は、中期全体で、10,165 回となっている。このうち、実績値が確定している平成 27~29 年度の 3 年間では、7,714 回で、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、2,451 回であり、目標値 2,600 回を達成する見込みである。インパクトファクター付き専門誌等の論文数は、中期全体で 773 報である。このうち、実績値が確定している平成 27~29 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 27~29 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 年度の目標値は 205 報に対し、平成 30 年 12 月時点において 133 報であるが、着実に実績を積み上げており、年度末での目標を達成する見込みである。

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を展開し、大学との共同研究を、平成 29 年度は 87 件、平成 30 年度は 91 件(平成 30 年 12 月末時点)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 123 件(平成 30 年 12 月末時点)実施した。この様に順調に連携を拡大していることから、平成 31 年度も、これまで以上の連携を展開する見込みである。

#### 【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や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、及び、平成 30 年度の個別の研究開発について、具体的な成果の意義、アウトカムを以下にまとめる。

単一光子分光イメージング技術の開発：

単一光子の分光イメージングが可能な光子顕微鏡を世界で初めて開発した。

単一光子分光が可能な超伝導光センサを光学顕微鏡等と組み合わせた、超高感度(単一光子を観測可能)で広帯域(可視域から近赤外域まで波長感度を持つ)なイメージングシステムを開発した。これにより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基盤とする医薬品、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。

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、平成 29 年度にプレスリリースを行い、日刊工業新聞等 4 誌で報道された。論文については、本技術に関連した IF 付国際誌に 7 報掲載された。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)、文科省科研費(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を受賞した。

#### 単一電子制御技術の開発：

単電子ポンプによる電流発生や、微小電流センサ用高集積量子ホール抵抗素子の開発、単一電子レベルの究極の世界初のデジタル変調技術、単一電子制御技術を応用した振動子と核スピンの相互作用実証、単電子ポンプの高速並列駆動（予定）など、単一電子制御の関連技術および派生技術の開発と高度化に取り組んだ。

単電子ポンプの開発では、ナノアンペア程度以上の電流値を 0.1 ppm 程度以下の不確かさで得ることが、実用化へのひとつの目安とされている。電流値ではかなり実用領域に近づいており、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。

産総研で開発したこれらの技術は、IF 付国際誌 27 報に掲載されるとともに、平成 29 年度に 2 件、平成 30 年度に 1 件の計 3 件のプレスリリースを行い、平成 29 年度に学会から 1 件表彰（一般財団法人エヌエフ基金 第 6 回研究開発奨励賞）されるなど高く評価されている。

#### 先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化：

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。

短パルスレーザーを光源に用いた TR-PYS 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での評価に代わり、大気中での簡便な電流測定による励起状態の電子エネルギー評価が可能となり、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、以って省エネルギー社会や低炭素社会の実現に貢献する。

本研究の成果は IF 付国際誌 36 報で公表し、学会講演奨励賞 1 件（平成 29 年度）を受賞した。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「パリティー」（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 1 件を通じて、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。

#### 有機質量分析の高感度・高精度化技術の開発：

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タンパ

ク質由来の消化ペプチドのアミノ酸配列の解析に成功した。また、二段化学修飾法を開発し、タンパク質の高感度・高精度定量に成功した。

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、高純度の試料が多く必要となる。一方、質量分析は純度の低い少量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の微量タンパク質などを高精度に測定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、IF付国際誌に多数採択され、複数の有名論文誌（J. Phys. Chem. B、J. Am. Soc. Mass Spectrom.）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り組みを「橋渡し」に繋げることが課題である。そのために、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

### 【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」前期研究においては、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、ユーザの階層を広げる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（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創設のため、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に広げる
- ・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

国家戦略や法令や規制に対する貢献とユーザ階層を広げる新たな価値創造を得たこれらの課題は、テーマ設定として適切であった。

産総研第4期、及び、平成30年度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。

水素流量計測技術の開発と国際標準化：

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り組みが行われている。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

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、水素ディスペンサーの計量精度は数 %程度であり、充分とは言い難い。取引当事者間、とりわけ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、及び、高精度化は不可避である。水素ディスペンサーの計量性能の保証により安心な取引を促すことで、水素社会の普及に貢献する。

産総研では、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、気体流量国家標準におい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、100 g/min から 3,600 g/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計量精度検査装置を開発し、その性能の確認を実施するとともに、平成 30 年度には、OIML R139: Compressed gaseous fuel measuring systems for vehicles が改定された。平成 31 年度には、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する見込みである。

[論文発表: 和文誌 2[0]件、標準化: 国際勧告改定 1[1]件、JIS 制定 1[0]件、特許出願 3[0]件、受賞 1[1]件 (OIML 規格作成に関する感謝状(53rd CIML Meeting)) ]

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:

食品衛生法や水道法などの改正によって、規制対象である千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、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、異なる分子が多成分含まれる有機混合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を開発を行った。

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（以下、ポストカラム反応 GC）を開発し、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。

定量核磁気共鳴分光法 (qNMR) をクロマトグラフィーと組み合わせることで、水素量の基準物質から多成分同時値付けを可能とする qNMR/GC を実用化しフェノール類 6 種混合標準液の整備を、qNMR/LC を実用化しハロ酢酸 4 種混合標準液の整備を、いずれも平成 29 年度に達成した。

また、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について適用できる見通しを得ている。さらに、平成 31 年度の東京オリンピック等における検査の信頼性向上に貢献すべく、ドーピング禁止物質の値付けに展開しており、認証標準物質の供給等を予定している。

これまでの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の開発により、10 倍以上のスピードで標準整備を実現できる見通しを得た。

[IF 付国際誌 8 [3]報、プレスリリース 4 [1]件、受賞 1 [0]件 (2015 年度日本分析化学会先端分析技術賞 CERI 評価技術賞) ]

産業・科学分野における水分計測の信頼性向上:

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および計測技術の開発を行った。湿度標準は国内の 15 の校正事業者には毎年標準供給を行っており、水分分析用標準物質は第 4 期の 4 年間に頒布数 276 の実績がある。

平成 30 年度には、高感度レーザー吸収分光法の一つであるキャビティリングダウン分光法 (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である。CRDS 微量水分計については、製品化に向けた共同研究を民間企業と平成 31 年度から開始予定である。

また、世界の国立標準研究機関 (NMI) に先駆けて、低濃度水分分析用標準物質 ( 0.02 mg/g ) を開発した。

市販水分分析用標準液の製造用途として 0.1 mg/g の水分分析用標準物質を頒布していたが、それより低い濃度レベルの分析を可能とする水分分析計の開発に必要な低濃度水分標準液はこれまでなく、水分分析計の信頼性評価への貢献が期待される。

[IF 付国際誌 8[2]報、受賞 3[0]件(応用物理学学会講演奨励賞 2 件、国際シンポジウム GAS2015 ベストレクチャー賞 1 件)、特許 1[0]件、水分分析用標準液の第 4 期 4 年間 (平成 27~30 年度) の頒布数 276[36]件]

様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発：

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、自動車など粒子排出規制、ナノリスク管理など多岐にわたる社会ニーズがあり、粒子計測技術の開発とともに関連する粒子径・粒子数濃度標準や精度管理技術の開発が求められている。

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 (IAG) を企業と共同開発・製品化した。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。平成 31 年度はインクジェットエアロゾル発生器を用いた浮遊微生物迅速測定器の性能評価技術の開発を予定している。

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 (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 (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。平成 31 年度には FPT 装置の校正技術開発を予定している。

[IF 付国際誌 12[4]報、特許出願 6[0]件、受賞 4[2]件\*、展示会出展 4[0]件]

\*「様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発」の受賞内容は以下の通り。

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

上記を含む研究開発の結果、知的財産の実施契約件数は、中期全体で、356 件となっている。このうち、実績値が確定している平成 27~29 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、95 件 (平成 30 年度 12 月時点) であり、目標値 85 件を既に達成した。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。知財実施およ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、質的状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り組みとして、専任の PO の助言の下、知的財産の活用範囲を見極めながら、国内特許およ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り組みを実施した。

#### 【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、月面探査への応用を目的とした 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。

産総研第 4 期、及び、平成 30 年度の個別の研究開発について、具体的な成果の意義、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：

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 の改定することができた。

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のその他の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、韓国や台湾からの問い合わせや見学依頼など、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：

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、計量行政ならびに水道行政に多大な貢献を果たした。

食品衛生法や水道法などで必要とされる標準物質の迅速な整備を実現し、規制物質の検査における信頼性向上に貢献した。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るものである。

同一分子の比較による一対一対応のトレーサビリティ体系から、異なる分子の比較による一対多型の高効率なトレーサビリティ体系への移行を牽引する革新的な校正技術であり、有機分野の標準整備の負担を著しく軽減できるものである。

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、平成 29 年度には JIS 化されるなど、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：

標準に係る技術を基に従来より小型の微量水分計を開発した。また、水分分析に関する標準の供給範囲を拡大した。

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。

微量水分標準に関する技術は、平成 27 年度に国際会議 GAS2015 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。

水分分析用標準液については、市販水分分析用標準液の製造や水分計の製造業者が装置開発の際に信頼性を評価するために利用することを通じて、幅広い製造現場での水分分析の信頼性向上に貢献している。

様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発：

粒子計測の信頼性を担保する様々な要素技術を開発し、粒子標準の範囲を拡大するとともに実用装置の校正技術・試験技術を開発した。

IAG 技術に関しては、市販パーティクルカウンター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向上し、歩留まりの向上が期待される。

平成 28 年度に PM2.5 自動測定装置の試験方法に関して日本エアロゾル学会でベストポスター賞、平成 29 年度に IAG に関して同学会のエアロゾル計測賞、平成 30 年度に IAG に関して日本空気清浄協会研究大会技術賞、液中ナノ粒子計測技術で国際半導体製造シンポジウムの Best Paper Award を受賞するなど、研究成果が高く評価されている。

#### 【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。そのために、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開発の課題検討や、IC や PO を中心とした企業とのマッチングを促進する。

テーマ設定を適切化するため、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発展させ、最終ユーザレベルまで計量標準のユーザの階層を広げる新たな価値創造に重点を置き、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成果を目指す。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する顕著な成果を得る。

#### （3）「橋渡し」研究後期における研究開発

##### 【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、受託研究や共同研究、技術コンサルティングとして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

ンを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、公設研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に貢献した。

産総研第4期、及び、平成30年度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。

#### 3D形状計測：

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50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50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た。

微細構造や軽薄構造の造形限界への言及が多かった3Dプリンティングの従来研究はものづくり産業の要請に必ずしも応えていないが、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、これに対応した。

平成28年度に、民間企業と共同で、高エネルギー高精細X線CT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0.1mm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。

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。

[IF付国際誌 2[1]報、特許出願 3[1]件]

#### ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用：

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り組みを拡張した。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2pm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10nmの不確かさで測定することに成功した。平成31年度には、角度標準技術を応用した大型平面の高精度形状測定装置の開発に取り組み、直径600mmの大型平面基板に対して、10nm以下の測定精度を達成する予定である。

民間企業製の変位計を2pmの不確かさで評価することにより、同製品の誤差そのものが10pm以下であることが確認できた。加えて、評価結果をもとに更なる高精度化に向けての技術的指針が得られた。ウェハ厚さ測定に関しては、超高精度に値付けられた標準片により、民間企業製のウェハ厚さ測定器の高精度化を達成した。

[IF 付国際誌 6[3]報、特許出願 1[0]件、プレスリリース 1[1]件、受賞 1[0]件 (平成 28 年、新機械振興賞中小企業庁長官賞、(株) テクニカルが共同研究の成果に対して受賞) ]

電磁波を利用したセンシング技術の開発：

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社会問題となっている。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、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、食品以外に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。さらに平成 31 年度には企業との連携により装置化の見込みである。

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 8[2]報、プレスリリース 3[2]件、特許 12[2]件(実施件数 4 件)、ソフトウェア 7[5]件(実施件数 7[3]件)、共同研究 16[4]件、受託研究(公的含む) 10[4]件、技術コンサルティング 23[8]件、The best interactive forum paper award (ARFTG)受賞 1 件、農業系商業誌 1 件、産総研 LINK 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：

近年急速に導入が進むナノ材料規制では、ナノ材料に該当するか否かの判定が求められている。EU を中心にした議論の中で、そのためには広い粒子径分布範囲で、個数基準の粒子径頻度の計測が必要とされるが、現状技術では単一の計測手法で対応することは困難であると EU 共同研究センターから報告されている。

ナノ粒子個数基準の粒子径分布を評価可能な複合計測システムを開発するため、平成 25 年度に産総研をハブとした計測装置メーカーとのコンソーシアムを設立 (第 3 期中長期目標期間)。その中で、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、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を開発に着手した。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活動、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するとともに、流動場分離装置をコアに動的光散乱装置、sp(single particle)-ICP 質量分析装置、原子間力顕微鏡をそれぞれに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。また流動場分離法の ISO 国際標準化も行なった。平成 31 年度には、新たな課題調査のための検討 WG を設置する見込みである。

[論文発表：IF 付国際誌 3[1]報、特許出願 19[2]件、表彰 2[1]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[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。

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

X 線インフラ診断—革新的 X 線検査装置の開発：

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。



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 28 年度には、小型ロボットに搭載可能で鉄厚 7cm 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、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後方散乱イメージング手法を開発した。平成 31 年度には、これらの技術をインフラ劣化診断装置としてシステム化して企業に技術移転する見込みである。

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 線検査技術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。

[論文発表：IF 付国際誌 10[0]報、和文誌 4[2]報、特許出願 6[2]件、プレスリリース 1 [0]件、受賞 2[1]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。

- ・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)

モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ計測：

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。また、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熱残留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。

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。更に、電子デバイスへの応用としては、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熱残留ひずみ計測を実現した。平成 30 年度には高速道路の軸重荷重計測、新幹線の高架橋の振動計測が可能であることを実証し、アジア地域のインフラ診断へと展開した。平成 31 年度にはリアルタイム変位・振動計測システムを開発する見込みである。

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に比較して、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。

[論文発表：IF 付国際誌 11[4]報、特許出願 11[0]件、プレスリリース 2[0]件、新聞掲載 7[0]件、受賞 7[1]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。

- ・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）

これらの研究成果により、民間からの資金は、中期全体で、22.6 億円を獲得した。このうち、実績値が確定している平成 27 年度～平成 29 年度の 3 年間では、16 億円で、当該 3 年間の合計目標値に対して 111 %の成果を達成した。この 3 年間の年平均獲得額は、約 5.3 億円であるが、平成 23 年度～平成 25 年度の年平均獲得額は約 2.4 億円であり、2 倍以上の資金を獲得してきた。平成 30 年度は、6.6 億円（平成 30 年度 12 月時点）であり、目標額 7.2 億円をほぼ達成する見込みである。

第 4 期期間、及び、平成 30 年度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（平成 30 年度 12 月時点）は 2.3 億円となり、中期全体で 5.7 億円を獲得した。これは、中期全体における民間資金獲得額の約 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。

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て「橋渡し」機能の強化に繋がり、第 4 期中期期間を通して、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 27～29 年度の 3 年間で、平均して 42.0 %である。平成 30 年度も 34.5 %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り組みとして、専任の PO の助言の下、知的財産の活用範囲を見極めながら、国内特許およ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り組みを、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、PO 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の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立することで、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、及び、平成 30 年度の個別の研究開発について、具体的な成果の意義、アウトカムを以下にまとめる。

#### 3D 形状計測：

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 50 カ所の公設研を通じた地域支援ネットワークに適用している。

この成果を市販 3D プリンタに適用すれば最大で 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。

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プレード等、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。

本技術は、IFつき論文1本に掲載（平成30年度）され、複雑形状測定の特許1本として出願予定（平成30年度）である。

ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用：

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、シリコンウェハの品質向上に直接つながるものである。

本関連技術は、IF付国際誌に6報掲載（平成28年度～平成30年度）されるとともに、平成30年度にはプレスリリースもされ（ウェハ厚さ測定）、日刊工業新聞等で報道された。

電磁波を利用したセンシング技術の開発：

水分量などを非接触・非破壊でリアルタイムに測定可能なセンシング技術を開発した。

農産物の水分量に加え、塩分濃度などの食品中の要素の評価、コンクリート用途の砂の水分量計測や、食品中の異物検出について、電磁波センシング技術の適用可能性を実証した。これにより、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とで、日本産農産物・食品のブランド価値の向上につながり国際的な競争力の向上と、農業従事者の収入増が見込まれる。さらに、食品への異物混入といった社会問題の解決でも重要な役割を果たす。

本技術は、平成28年度、産総研プレスリリースを行った。

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：

個数基準のナノ粒子径分布の信頼性高い評価手法を開発した。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て社会実装を達成した。

個数基準のナノ粒子径分布の信頼性高い評価が可能となり、ナノ材料の規制管理に利用できる計測技術の製品化を行った。

EUのREACH規制、我が国の化審法などの規制は、技術的手法がなければ策定できないが、本研究成果により技術的に実効性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。

IF付国際誌3報、特許出願19件、表彰2件、ISO標準化文書1件。

X線インフラ診断—革新的X線検査装置の開発：

バッテリー駆動可能で鉄厚7 cmのX線透過イメージングを露光時間2秒以下で可能なシステムを開発し、現場での検証試験でその有効性を確認した。また、高感度検出器を用いた新たなX線後方散乱イメージング手法を開発した。

開発した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、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。

この技術は、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。

インフラ点検ロボット用X線技術は、平成28年度にプレスリリースし、一般紙を含む新聞等

10 紙で報道され注目された。本技術関連の成果で平成 29 年に応用物理学会第 23 回放射線奨励賞、平成 30 年に日本プラントメンテナンス協会 TPM 優秀商品賞開発賞を受賞した。

モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ計測：

社会インフラから電子デバイスに至る幅広いスケールの構造物の光学的変位・ひずみ分布計測技術を開発した。

橋梁のトラス構造などの規則模様や構造物に付与した規則模様のマーカーをデジタルカメラで撮影するだけで、規則模様の間隔の 1,000 分の 1 の高精度で変位を計測できる画像計測技術を確立した。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になる。

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飛躍的に簡便で高精度に計測できる技術である。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熱残留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。

本技術は、IF 付国際誌 11 報に継続的に掲載され、平成 28 年度に 6 件、平成 29 年に 7 件新聞で報道された。平成 29 年度の第 27 回つくば奨励賞（実用化研究部門）に加え、各学協会からも 6 件を受賞し、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。

#### 【課題と対応】

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、引き続き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、必要に応じて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（地質調査総合センターと計量標準総合センターのみ）

#### 【背景・実績・成果】

[計量標準の整備と利活用促進 [ミッション①②③]]

知的基盤整備計画（平成 25 年～平成 35 年）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
  - 平成 30 年度：22 件
- ・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
  - 平成 30 年度：7 件
- 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 校正事業者向け）
  - 第 4 期期間（平成 27～30 年度）：1,618 件
  - 平成 30 年度：410 件
- ・一般ユーザ向け依頼試験
  - 第 4 期期間（平成 27～30 年度）：1,170 件
  - 平成 30 年度：142 件
- ・標準物質頒布
  - 第 4 期期間（平成 27～30 年度）：8,072 件
  - 平成 30 年度：1,693 件（平成 30 年 12 月末時点）

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、キログラムなど 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  $2.4 \times 10^{-8}$ ）で測定し、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。

#### [法定計量業務の実施と人材の育成 [ミッション④]]

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）：5,938 件

平成 30 年度：1,166 件(平成 30 年 12 月時点)

##### ・特定計量器の型式承認

第 4 期期間（平成 27～30 年度）：344 件

平成 30 年度：68 件(平成 30 年 12 月時点)

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、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。更に、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・研修を目標値 20 回を超える 34 回（修了書 572 通（平成 30 年 12 月時点、見込含む））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 460 名（見込含む）の参加者を受け入れ、人材育成に取り組んだ。

#### [計量標準の普及活動 [ミッション①②]]

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、23 の計測クラブを運営、会員約 3,300 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。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。

#### [計量標準に関連した計測技術の開発 [ミッション⑤⑥]]

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への貢献を考慮して、知的基盤としての研究開発を行った。

産総研第 4 期、及び、平成 30 年度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：

国際単位系（SI）における 7 つの SI 基本単位は計測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 nm）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、NMIJ、独、米、加で測った結果が10 µg(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が貢献するかたちで、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。平成31年度は新しい定義にもとづく最初の国際比較に参加し、新しい定義から1 kgの質量を測ったときの整合性を確認する予定である。

米National Institute of Standards and Technology (NIST)、仏Laboratoire National de Metrologie et d'Essais (LNE)、加National Research Council Canada (NRC)などはキップル(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[2]報、特許登録 1[1]件、プレスリリース 1[0]件、その他に新聞・テレビ・雑誌等における成果の発信多数、論文賞 1[0]件 (Metrologia Highlights of 2017) ]

光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発：

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、秒の定義改訂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28~29年度には、原子の冷却・捕獲・分光に必要な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でき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。平成31年度には、国際原子時との比較において、絶対周波数評価を行う予定である。

研究が先行しているストロンチウム光格子時計では、国際原子時への貢献を実証した例があるが、室温での黒体輻射周波数シフトがストロンチウムの半分と小さく、より高精度が期待されているイッテルビウム光格子時計を用いた国際原子時への貢献はまだ実現していない。世界で初めてとなるイッテルビウム光格子時計による国際原子時への貢献に向けて大きく前進した。

[論文発表：IF付国際誌 7[3]報、プレスリリース 1[1]件]

温度測定技術の高度化と次世代温度標準の開発：

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、2015年以降、JIS改正により熱電対の使用域が1,500℃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、現在の温度計測の大本とである、熱力学温度の単位の定義改定、および、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、高温域の研究およ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℃付近で±0.001℃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℃の温度標準を開発した。平成29年度には産総研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のためのボルツマン定数を求めた。産総研における測定は、他の独立な測定方法による結果と10 ppm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。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)、NIM(中国、NIST と共同)を含めて三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。平成 30 年度中には熱電対校正技術の 2,000 °C 付近への拡張が見込まれている。平成 31 年度には音響気体温度計によって熱力学温度を室温付近で精密に測定を行い、現在、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、その結果を温度計測に関する国際会議にて報告する予定である。

[論文発表：IF 付国際誌 19[0]報、外部資金(民間・公的) 19[3]件、特許(出願・取得) 2[0]件、受賞・表彰 2[1]件 (H30 超伝導科学技術賞、H28 TEMPMEKO Best Poster Award) ]

#### 産業界を支える電気計測：

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(1 ppm は 100 万分の 1)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。

一方、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。これにより、新電池材料の効率的な開発に貢献した。

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、従来より 1.5 倍高い発電性能と 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、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製品化に貢献した。

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、従来の絶対測定との 10 分の 1 の測定時間、および 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。

さらに、近年電力網や電気自動車を含む電気機器の多様化に伴う電力品質(高調波、振幅、位相など)の評価・改善や、事業所や家庭での電力消費量を個々に把握して最適化するための電力見える化技術へのニーズも高まっている。これらの社会ニーズに応えるため、NMIJ では、電力計測技術の高度化に取り組んでいる。

平成 31 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む予定である。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 50 kHz まで拡張する予定である。

[論文発表：IF 付国際誌 23[3]報、特許出願 5[1]件、プレスリリース 4[0]件、外部受賞 3[0]件\*、共同研究 11[6]件、技術コンサル 30[10]件]

\*「産業界を支える電気計測」に関する外部受賞内容は、以下の通り。

- ・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
- ・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
- ・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

水道法等の規制に対応した標準物質の開発：

水道水質検査では、実態としてメーカー保証の市販標準液が使われており、異なるメーカーの標準液を使用すると検査結果に相違が発生するなど、精度管理に問題を抱えていた。この状況を見直すべく、平成 27 年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、効率性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における以下の整備を達成した。

- ・高精度電量分析により、臭素酸イオン標準液、塩素酸イオン標準液および亜塩素酸イオン標準液を平成 27 年度に整備、全有機体炭素標準液を平成 28 年度に整備
- ・高精度凝固点降下法により、揮発性有機化合物 25 種混合標準液を平成 27 年度に整備
- ・定量核磁気共鳴分光法とガスクロマトグラフィーを組合わせた一対多型校正技術である qNMR/GC により、フェノール類 6 種混合標準液を平成 29 年度に整備
- ・定量核磁気共鳴分光法と高速液体クロマトグラフィーを組合わせた一対多型校正技術である qNMR/LC により、ハロ酢酸 4 種混合標準液を平成 29 年度に整備
- ・ガスクロマトグラフィー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する一対多型校正技術であるポストカラム反応 GC により、かび臭物質 2 種混合標準液を平成 29 年度に整備

以上の整備により、これまでと合わせて計量標準が必要となる水質基準 44 項目のうち 43 項目の標準整備を完了し、水道事業体における水質検査の信頼性確保に貢献した。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開発を行い、水質基準項目で必要となる計量標準 44 項目すべての整備を平成 34 年度までに完了する。

高精度電量分析等の適用により、世界初となる有機体炭素の量を認証した全有機体炭素標準液の開発に成功した。また、一対多型校正技術であるポストカラム反応 GC ならびに qNMR/GC および qNMR/LC を世界で初めて標準物質の値付けに適用した。

[IF 付国際誌 7[4]報、認証標準物質 (NMIJ CRM) 5[1]件、依頼試験 4[0]件]

放射線利用の安心・安全のための計量標準の整備：

放射線は、医療や工業分野等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。また平成 31 年には、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ーメータを開発する見込である。放射線防護に関して、平成 30 年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 年より福島県環境創造センター、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。

イリジウム 192 密封小線源の線量標準、またラジウム 223 の放射能標準は、NMIJ において標準が確立するまで海外の標準に依存していた。海外の標準と同等の国家標準が確立したことにより、



2 か月程度かかっていた校正期間を 1 週間程度に短縮でき、また輸送費を含めて 40 万程度の校正費用を半額程度に低減させることができた。

[標準供給開始 2[0]件、プレスリリース 2[0]件、論文 2[0]報、共同研究(資金有) 3[0]件、受託研究(資金有) 2[1]件、受賞(日本医学物理学会優秀研究賞) 1[0]件]

自動はかり評価技術の構築：

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 機種が追加されることとなった。

NMIJ では、規制の対象となった自動はかりの技術基準策定(JIS)に着手した。平成 29 年から 30 年度に大手小売店、スーパーマーケット、生産工場などで使用されている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 31 年度にはホップスケール、コンベヤスケール、充填用自動はかりの JIS について制定予定である。また、自動はかりの適合性評価設備の開発、整備にも着手している。さらに、効率的な評価手法について研究開発を行う予定である。

自動はかりの国際規格である OIML 勧告に整合させるべく原案作成委員会でも検討をしている。また、国内独自の使用実態にも対応すべく検討している。

[標準化 1[1]件(自動捕捉式はかり JISB7607:2018)]

化学・材料データベースの整備：

データの質に対する信頼性の高い情報を Web を通して公開・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、教育現場などでの情報の同定などに係る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(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 期のこれまでに約 1200 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 での検索を行わね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。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：28,207,952 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えてきた。SDBS の教科書等への利用許諾件数は以下の通り。

・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(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(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(TPDS)には約 1.2 万件のデータが収録されている。第 4 期のこれ

までに約 500 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 を拡張し、指定温度でのデータを取得可能にした。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：1,507,944 件（12 月の暫定値）

固体 NMR スペクトルデータベース（SSNMR）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。各年度の SSNMR 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続けてきた。

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（12 月の暫定値）

### 【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～平成 35 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、信頼性が確保がされた計測・分析技術に下支えさ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。

産総研第 4 期、及び、平成 30 年度の個別の研究開発について、具体的な成果の意義、アウトカムを以下にまとめる。

#### 130 年ぶりのキログラムの定義改定への貢献：

キログラムの新しい定義を 24  $\mu\text{g}$  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。国際単位系（SI）の定義で用いられる値の決定に際し、欧米以外の国が主要なデータを提出し、定義改定に大きく貢献するのは歴史的にも今回が最初である。

2019 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）は人工物などによらない理想的な単位系へと進化することになる。

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り、新たな微小領域における計測が可能になる。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で、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。

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、平成 30 年度には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 1 など。

光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発：

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に貢献が可能になる。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。

本技術および関連技術は、IF 付国際誌 7 報に掲載されるとともに、平成 30 年度にプレスリリースした。

温度測定技術の高度化と次世代温度標準の開発：

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、1,600 °C 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立した。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に貢献するとともに、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。

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。ジョンソン雑音温度計の開発に対しては平成 29 年に IF 付国際誌 2 報に掲載され、平成 30 年度に超伝導科学技術賞を受賞した。

産業界を支える電気計測：

あらゆる産業活動で不可欠な電気計測の高度化を通じ、企業における品質保証の支援や、エネルギーの有効活用推進などを目的としたソリューション提供のための研究開発を実施した。

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

カ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、電池材料の開発や発電モジュール製品の開発に貢献した。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に貢献する予定である。

これらの技術は、IF 付国際誌 23 報に掲載されるとともに、平成 27 年度に 1 件、平成 28 年度に 1 件、平成 29 年度に 2 件、プレスリリースが行い、平成 28 年度に 2 件<sup>\*1-2</sup>、平成 29 年度に 1 件<sup>\*3</sup>、学会から受賞するなど大きな反響を得た。

(<sup>\*1</sup> 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)

(<sup>\*2</sup> 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)

(<sup>\*3</sup> 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)

水道法等の規制に対応した標準物質の開発：

一対多型校正技術等の適用を図ることで、従来技術では整備に 10 年～20 年かかると見込まれた水道法等の規制に対応した標準物質について、知的基盤整備計画に掲げた 100 %の整備（第 4 期分）を達成した。

厚生労働省所管の全国 1,300 の水道事業体における検査の信頼性確保に貢献するばかりでなく、確立した技術により規制項目の追加や他の法規制等にも迅速に対応可能である。

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 年および平成 30 年の計量法告示、ならびに平成 27 年、平成 28 年および平成 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：

平成 28 年度は、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た。平成 30 年度では、X 線及びベータ線の水晶体線量標準の開発を行った。

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。

本技術は、プレスリリース 2 件、また日本医学物理学会での優秀研究賞を受賞した。

自動はかり評価技術の構築：

自動捕捉式はかり JIS を平成 30 年 8 月に発行した。適合性評価用の実験装置開発にも着手した。

型式承認試験の効率化及び偏差の低減を目指した周回コンベヤによる無人連続計量実験装置を開発中であり、作業者の被計量物投入に起因する、ばらつきの排除及び高頻度の計量に対応可能になる。また、実際の検定には製品（実際に生産した製品を 60 個）を用いることとなっているが、これに代わる疑似材料の開発も検討している。疑似材料を用いることにより、生産者の負担の軽減、より、安定的な評価を行えることとなる。

自動はかりを使用する食品加工業、流通業、飲料・製薬業など需要が拡大する中で、技術基準の策定及び適合性評価手法の開発は国内外の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、正確性を担保するうえで不可欠なものである。また、社会に対し計量の信頼性、正確性、安全性の向上の貢献へとつながる。

自動捕捉式はかりの規格作成を行ない、JIS B7607：2018 を発行。

化学・材料データベースの整備：

これまで不可能であった有機化合物のスペクトルデータベース（SDBS）のスペクトル情報の特定を可能にしたことで、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。

分散型熱物性データベース（TPDS）に収録された熱物性データに対して、特定温度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。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 AI を利用した新規材料開発の実現につながる。

#### 【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

### （1）領域の概要と研究開発マネジメント

・[コメント]

職員個々が年度方針を理解し、研究業務に携わっているかどうか不明である。組織のマネジメント指針の全体周知の方法と活動の可視化が必要かと思う。

[対応]

年数回開催される NMIJ 全体会合において、領域の方針等を職員に周知している。また、原則毎月開催される領域会議（領域幹部やユニット幹部が出席）において、ユニット毎の業務の進捗状況を把握し、原則毎週開催される NMIJ 運営協議会（領域幹部やユニット幹部が出席）において、計量標準の管理・運営の状況を確認している。

また、毎年度、NMIJ として年度計画、ポリシーステートメントを作成しユニットと共有すると共に、各ユニットにおいてもそれぞれポリシーステートメントを作成している。ユニット内の各グループ更には各研究員も、これらを基にして年度計画を作成し研究・業務に取り組んでいる。

・[コメント]

組織的マーケティング能力の向上にさらなる努力と工夫が必要である。

[対応]

知的基盤の整備サイクルを活用したマーケティングに関しては、ニーズに基づいた柔軟で迅速な見直し（PDCA）が必要であると認識している。知的基盤整備計画に基づいて計量標準を整備する一方で、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うと

もに、NMIJ 計測クラブや各業界へのヒアリングを通して意見収集を行い計画の見直しを継続している。

組織的マーケティング能力の向上のために、技術コンサルティング、計測クラブ、コンソーシアム等からの情報を得るとともに、領域・ユニット幹部・連携担当などが参加する技術マーケティング会議において、領域内の情報共有を行い外部との連携状況を確認する。また、技術開発や事業化、ビジネスモデル構築の支援、連携プロジェクト（共同研究や受託研究、技術コンサルティング）の提案を推進するために領域内に IC を配置している。さらに、知的財産に係る各種業務や標準化等支援業務を通じて、研究成果の最大化、知的財産活用と標準化を一体的に推進するために PO を領域に配置している。

・[コメント]

産総研内研究への貢献量が知りたい。その部分で産総研内から期待される組織になってほしい。  
[対応]

計量・計測といった NMIJ の専門性を生かし、産総研内他領域との連携を推進している。例えば、産総研内公募型事業である戦略予算事業では、NMIJ が主体となって提案するプロジェクト（平成 30 年度採択課題：4 件）の他に、他領域からの参加要請を受けてに参画するプロジェクトも数多い（平成 30 年度採択課題：6 件）。平成 30 年度に開催された「サステナブル技術連携促進シンポジウム」（持続可能な社会の実現のため、研究者から政策立案関係者といったさまざまなステークホルダーの参加を募り、技術開発、政策推進、産業促進を如何に連携させ、未来社会へつなげるか。最新の技術を中心に、それらの連携・展開について議論することを目的とした産総研主催のシンポジウム）では、平成 30 年度に開催された 4 つの全てテーマに参画した（うち、一つは NMIJ が主導）。NEDO 等の外部資金プロジェクトにおいても、他領域との連携は数多い。

（2）「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））

・[コメント]

成果のあがった基礎研究を橋渡しにつなげていくための体制を整えていくべきである。

[対応]

産総研テクノブリッジフェア、研究カタログ、計測クラブ、コンソーシアム等で、成果を内外にアピールしている。一例として、「精密電気計測コンソーシアム」では、単一電子制御技術等を応用した電気計測技術を業界に紹介し、交流を深める会合を、定期的に開催している。

・[コメント]

目的基礎の「テーマ」設定は、ボトムアップも大切であるが、広い視野で探すことも必要であり、若手研究者を積極的に国際経験を積ませ、他分野との交流も重要である。

[対応]

国際経験を促進するため、NMIJ フェロウシップや ESW を継続的に実施するとともに、若手・中堅研究者に、長期の在外研究を経験させることで、目的基礎の新たなテーマを設定できる機会を設け、これを継続的に遂行している。

（「橋渡し」研究前期における研究開発）

・[コメント]

民間企業との連携のために今後どのような方略を考えていくべきかさらなる検討が必要である。

[対応]

民間資金獲得の取組状況に関する資料に基づき、今後の連携の方略を検討するとともに、研究成果や保有技術をもとに、イノベーションコーディネータとテーマ担当者が一緒になり、どの業種、企業との連携を狙うかについて、恒常的に検討を行なっている。

ニーズ把握のチャンネル増強のために、技術コンサルティング、テクノブリッジフェア、計測クラブ、産総研コンソーシアム等を利用し、これまで気が付かなかったニーズが把握できる体制にした。また、より広範な顧客に情報提供が可能になっている。さらに、毎月の技術マーケティング会議で、NMIJ 以外の情報も、可能な範囲で共有している。このような活動を通して、経営戦略による地続きなテーマを設定することで、目的基礎研究の段階から、知的基盤のユーザを想定して研究を遂行する体制を整えている。

(「橋渡し」研究後期における研究開発)

・[コメント]

技術コンサルタントの要望が増えた成果を、受託研究、共同研究は獲得金額の増加につながるよう継続的な取り組みが必要である。

[対応]

領域の技術マーケティング会議で情報共有・方針決定する体制を構築するとともに、研究ユニット・研究現場での連携促進を図った。ただし、技術コンサルティングは、必ずしも受託・共同研究に移行する案件だけではなく、内容的に技術コンサルティングの継続的な契約になる場合も多い。また、産総研テクノブリッジフェア、計測テクノブリッジフェアを通じて、新規顧客の開拓、顧客満足度の向上に努めた。これらの活動により、業界・企業との多様な交流ルートを増強し、接触の機会を増やしている。

・[コメント]

産総研のもつ高精度計測技術を適用して国際標準となり得る計測法・計測装置の研究開発を強力に推進し、この技術を民間企業に移転する必要がある。

[対応]

開発した計測法・計測装置を元に、民間企業への技術移転を進めている。例えば、3D 形状計測では、全国 39 都道府県 47 か所の公設研とのネットワークと相互協力体制を介して、全国の民間企業への技術普及がなされている。また、コンソーシアムから技術コンサルティングに至るまで、企業の要望する多様な連携形態を通じて、技術移転を積極的に行なっている。

(3) 知的基盤の整備

・[コメント]

国際の場での貢献(新しい標準技術や標準化)を今後も続けられるような運営が望まれる。

[対応]

SI 単位の定義改定に対して、科学技術データ委員会(CODATA)によるプランク定数の2017年特別調整値の決定に貢献するなど、国際の場での貢献は既に行ってきたが、今後、キログラムの新定義に基づく単位の実現、トレーサビリティ体系の構築に貢献するために、国際比較に参加し、定義改定に主導的な役割を果たした国立標準研究機関(NMI)として、他のNMI等への技術的な指導を行なってゆく。その他、秒の再定義や、単一電子制御技術など、国際的に充分貢献しうる技術の蓄積があるため、今後も継続的な貢献を続けられるように運営する。

・[コメント]

標準物質供給量においては、増加分が海外での売り上げが寄与していることについて、今後の標準物質の開発・供給にも関係するので分析が必要かと思う。

[対応]

海外への売り上げの増加は、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ている。





## 1. 第4期中長期目標期間の計画とロードマップ

### (1) 計量標準の整備と利活用促進

知的基盤整備計画に基づき、物理標準と標準物質の整備を行うとともに、計量標準の利活用を促進するため、計量標準トレーサビリティシステムの高度化を進める。さらに、単位の定義改定に対応するなどの次世代計量標準の開発を推進する。

### (2) 法定計量業務の実施と人材の育成

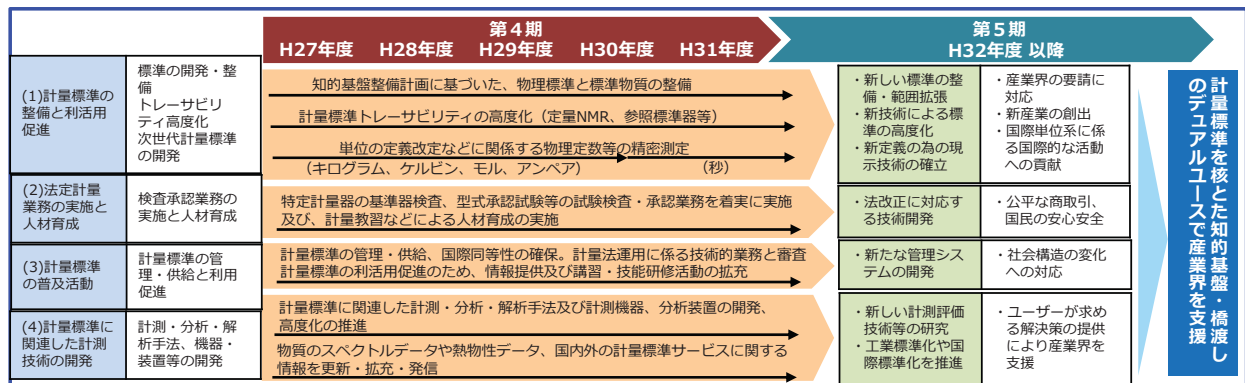
計量法の適切な執行のため、特定計量器の基準器検査、型式承認試験等の試験検査・承認業務を着実に実施するとともに、計量教習などにより人材育成に取り組む。さらに、新しい技術に基づく計量器の規格策定等にも積極的な貢献を図る。

### (3) 計量標準の普及活動

中小企業なども計量標準の利活用ができるよう環境を整備し、情報提供や相談などにより計量標準の普及に取り組む。また、計量標準の管理・供給、国際計量標準と工業標準への貢献及び計量標準供給制度への技術支援を行う。

### (4) 計量標準に関連した計測技術の開発

計量標準に関連した計測・分析・解析手法及び計測機器、分析装置の開発、高度化を行う。また、計量に係るデータベースの整備、高度化に取り組む。



## 2. 第4期中長期目標期間の特筆すべき成果(見込みを含む)

### 【知的基盤】

- 人工物によって定義される最後のSI基本単位であるキログラムの定義改定のために、X線結晶密度法によってアボガド口定数を精密計測し、**キログラム原器の質量安定性を超える精度でのプランク定数の導出**に成功。平成30年に開催された国際度量衡総会では、NMIJが測定に貢献した4つのデータを含む8つのデータから決定したプランク定数の値を用いて定義改定を実施することが採択され、**130年ぶりとなるキログラム定義改定**に大きく貢献。新聞掲載は平成29、30年度合わせて**100紙超**の他、**テレビ、雑誌等における成果の発信多数**。
- 水道水質検査方法の改正に対応**、計量トレーサビリティが必要な**水質基準のほぼ全て(43項目)の標準整備を完了**。効率性の高い値付け技術である、一対多型校正技術等の適用により、従来技術では**10年~20年を要すると想定された10項目の整備期間を3年に短縮**し、第4期中に完了。厚生労働省所管の、全国1300の水道事業体における検査の信頼性確保に貢献。

### 【目的基礎】

- 光の最小単位である光子1つずつのエネルギーを測定できる超伝導転移端センサーを用いた光子顕微鏡の開発に、**世界で初めて成功**。
- 100フェムト秒からミリ秒までの幅広い時間領域において時間分解測定を可能に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。顕微鏡過渡吸収イメージング分光装置を開発し、大幅に空間分解能を向上。「大気下で励起準位エネルギーを時間分解計測」する新手法を考案、原理を実証。**材料開発の支援を通じて、光デバイス等の高性能化に貢献**。IF付国際誌36報。
- 有機質量分析の高精度化のため、アミノ酸配列を容易に解析可能な分子分解離の新手法を開発、修飾法との組み合わせによる高感度化を実現。**有機化合物の構造を質量分析のみを用いて解析可能に**。国際誌表紙に2度選出。

### 【橋渡し前期】

- 定量核磁気共鳴分光法(定量NMR)を利用し、**有機標準物質の迅速供給に向けた一対多型校正技術**を開発。同一分子の比較による一対一対応のトレーサビリティ体系から、異なる分子の比較による一対多型の高効率なトレーサビリティ体系への移行を牽引。食品衛生法や水道法などで必要とされる**標準物質の機動的整備を実現**し、規制物質の検査における信頼性向上に貢献。
- 粒子計測の信頼性を担保する要素技術を開発。気中粒子計測器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を企業と共同開発・製品化**。液中ナノ粒子の高精度な粒径計測を可能にする解析法を開発。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**。

### 【橋渡し後期】

- 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。**特許12件、共同研究16件、受託研究10件、技術コンサル23件等**、産業界に広く貢献。
- 小型X線源、ロボット等の自動化機構を組み合わせた、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**。
- モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ分布計測を開発、**橋梁から電子デバイスに至るひずみ計測技術**を確立。

### 【(その他、高い自己評価の項目)】

- 技術コンサルティング**制度を活用した連携、指導助言を強化。中小企業比率を高い水準に維持しつつ、第4期中における民間資金獲得額目標達成に大きく貢献した。

### 3. 平成30年度の代表的成果と特筆すべき成果

#### 単一電子を制御する究極の精密計測技術

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)

核スピ  
導電層  
電流  
電磁波照射アンテナ  
固体中のひずみによる核磁気共鳴周波数の変化を単一電子センサで検出

量子メモリや量子センサの集積化に不可欠な技術である素子単位での核磁気共鳴の周波数制御を実現

量子コンピュータ  
量子情報通信

Nature Communications誌に掲載 (Vol. 9, 2018)

#### デジタルものづくり産業を支える3D形状計測

CADモデル  
補正  
3Dプリンタによる造形  
簡易形状計測  
45機関による共同実験  
3D形状計測  
高精度な製品  
初回  
精度向上  
補正後

造形精度2倍向上を実証

製品を作る3Dプリンタと製品形状を計測する3Dスキャナーの間にデジタル情報を循環させデジタルものづくりを効率化、高精度化

【知的基礎】

- 従来の**10倍以上の連続運転が可能**な**イッテルビウム光格子時計**を開発、国際原子時の校正・高精度化に向けて大きく前進。IF付国際誌3報。
- 自動捕捉式はかりの規格作成を行ない、**JIS B7607 : 2018を発行**。型式承認試験評価手法及び装置の開発を推進。

【目的基礎】

- 電気の最小単位である単一電子を制御。単一電子センサを利用して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**。

【橋渡し前期】

- 中高圧領域（～350気圧）実流評価用水素流量計校正設備の開発の成果として、**国際法定計量機関(OIML)勧告R139を改定**。
- キャピティリングダウン分光法(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**を開発するとともに、**世界のNMIに先駆けて低濃度水分分析用標準物質（0.02 mg/g）を開発**。

【橋渡し後期】

- 3D造形の幾何誤差に関する簡便な誤差補正方法とサポートソフトウェアを開発、**約50カ所の公設研を通じた地域支援ネットワークへの適用を実現**。

- 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。プレス発表し、新聞等で報道。
- ナノ材料の適正管理実現に向けたナノ粒子計測のため、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**。産総研をハブとしたコンソーシアム参画企業に貢献。流動場分離法による評価に関する**ISO文書：TS21362を発行**。

【（その他、高い自己評価の項目）】

- キログラム定義改定への貢献に対する広報、普及活動。**新聞掲載70紙超**の他、テレビ、雑誌等、複数メディアによる成果の発信多数。

(空白ページ)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
平成30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

平成31年3月11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

平成31年3月11日

## 産総研の人員

研究職員数（うち外国籍）	2,331名（139名）
●うちパーマネント	1,982名
●うち任期付	349名
事務職員数	699名

平成30年7月1日 時点 職員合計3,030名

役員	13名
招聘研究員	223名
ポストク	243名
テクニカルスタッフ	1,549名

平成30年7月1日 時点

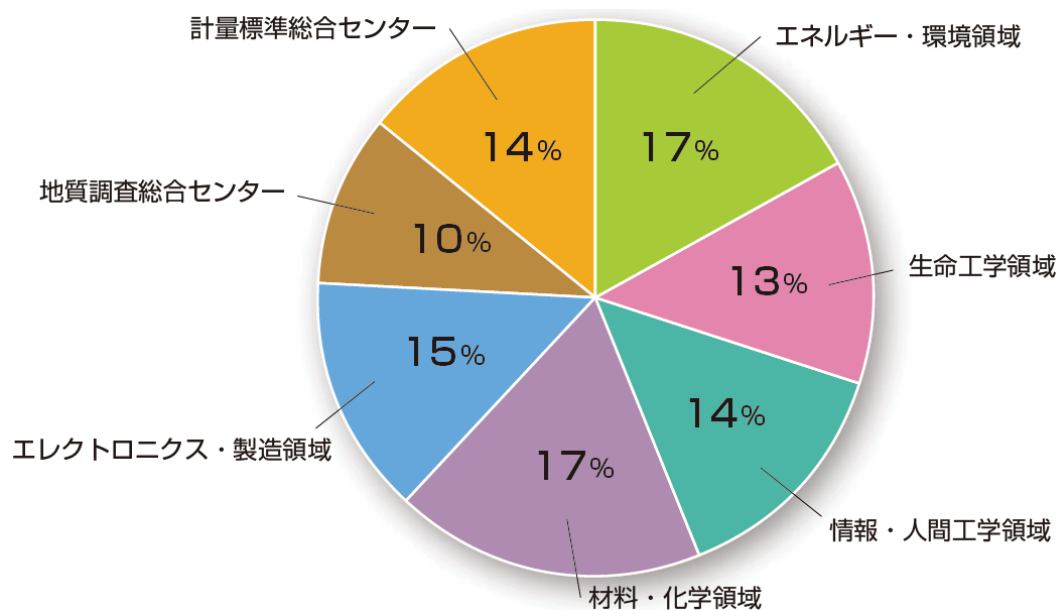
### 産学官連携制度等による研究員等受入実績数

企業から	1,867名
大学から	2,446名
独法・公設試等から	1,043名

平成29年度受入延べ数

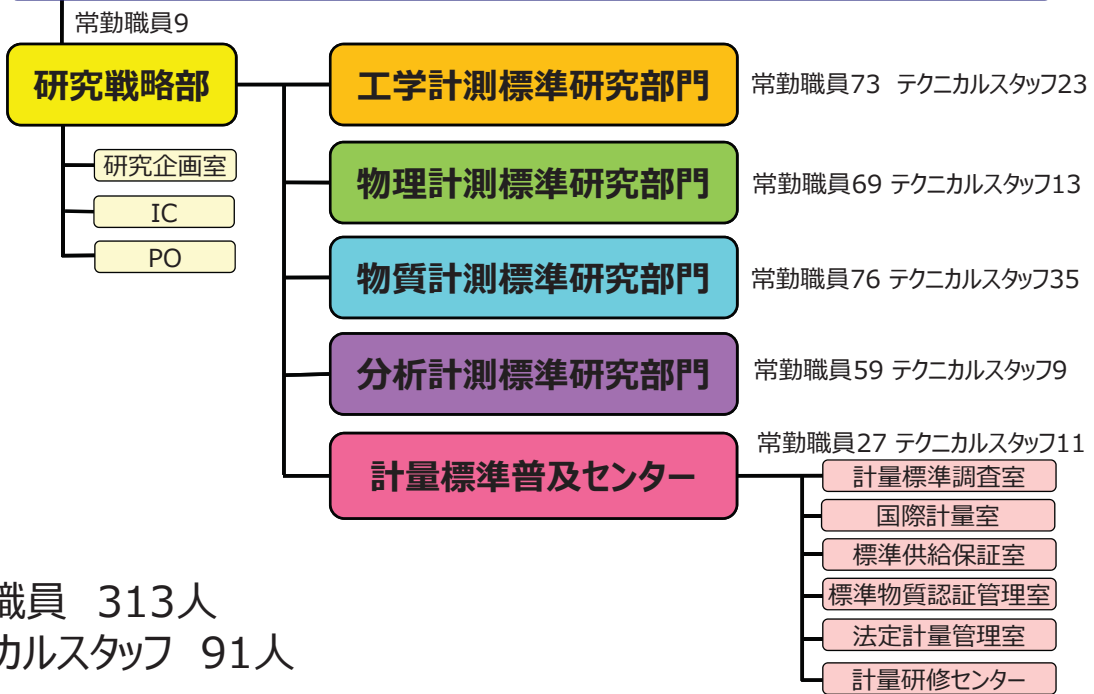


## 領域別の研究職員構成 (平成30年7月1日現在)



## NMIJ 組織概要 (平成31年1月1日時点)

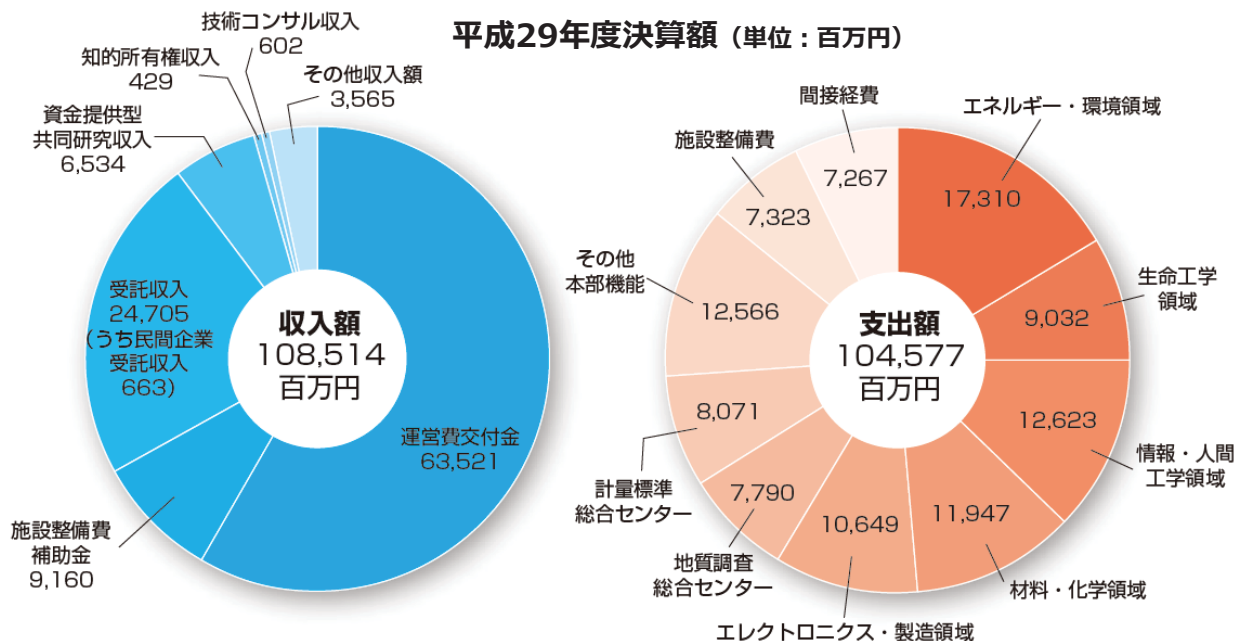
### 計量標準総合センター (National Metrology Institute of Japan)



常勤職員 313人  
テクニカルスタッフ 91人

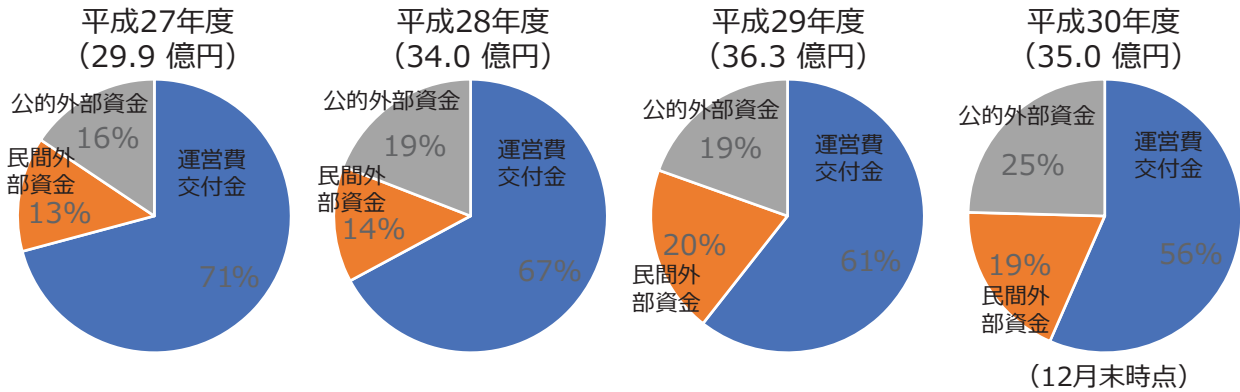
## 産総研全体の予算

### 平成29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 (12月末)
運営費交付金*	21.2	22.8	22.0	19.8
民間からの外部資金	4.1	4.7	7.2	6.6
公的外部資金***	4.7	6.5	7.1	8.6
合計	29.9	34.0	36.3	35.0

\* 所内競争的予算を含む, \*\* H27～29年度は確定値, \*\*\* 再委託費は除く (ただしH30年度12月末データは含む)

## 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

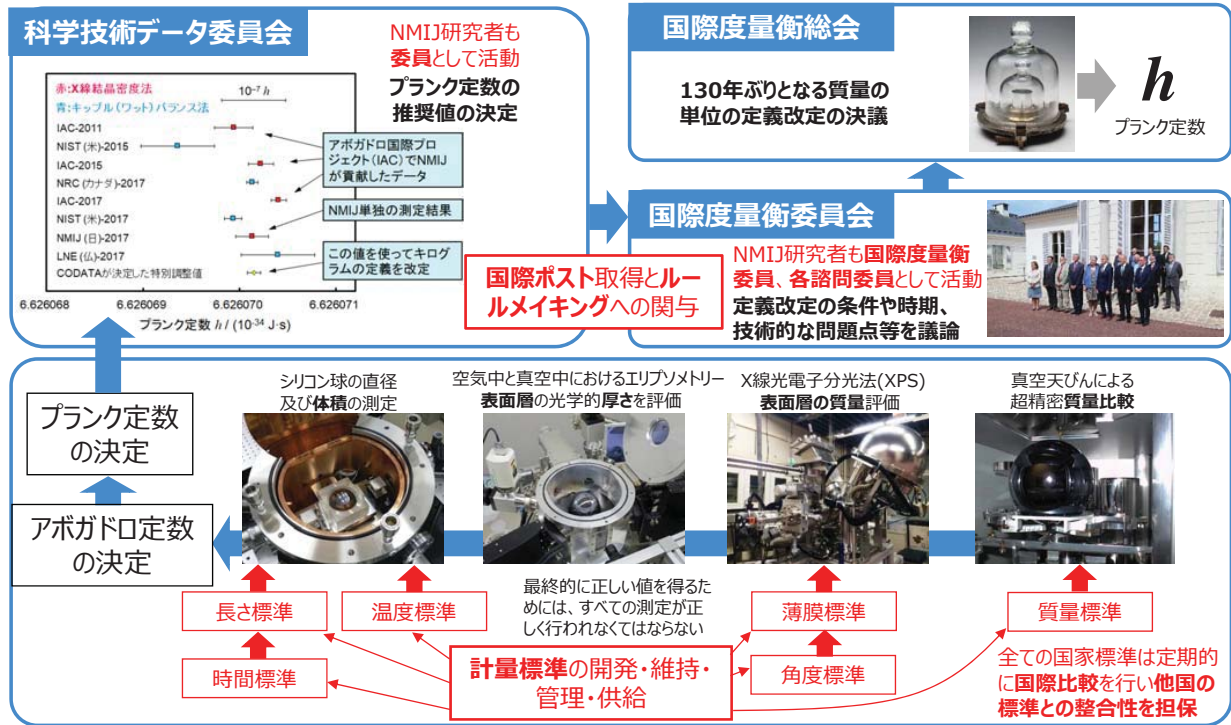
利用促進に向けた環境整備  

- 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

### H30年度の整備進捗状況

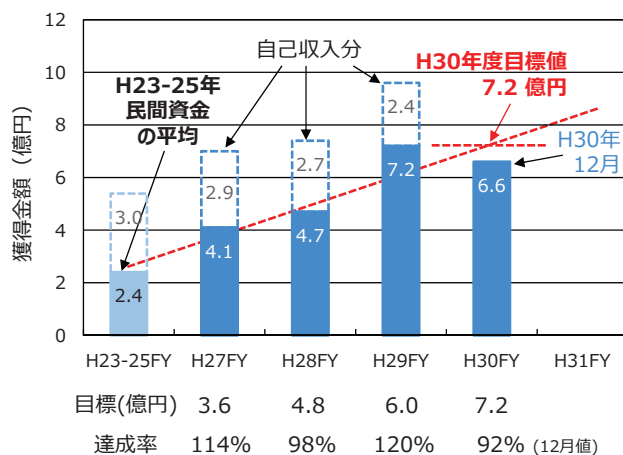
- 物理標準については、高温熱電対、パワーアナライザ等の標準技術を確立し、供給範囲拡張等の整備を達成した。
- 化学・材料評価のための標準整備として、1件の新規標準物質、水道法等の規制対応として、2件の新規標準物質の供給と4件の依頼試験を開始するとともに、指定校正機関への技術移転を実施した。
- 今年度も引き続きニーズの調査および集約を行った。

# NMIJの総合力を発揮した活動の一例

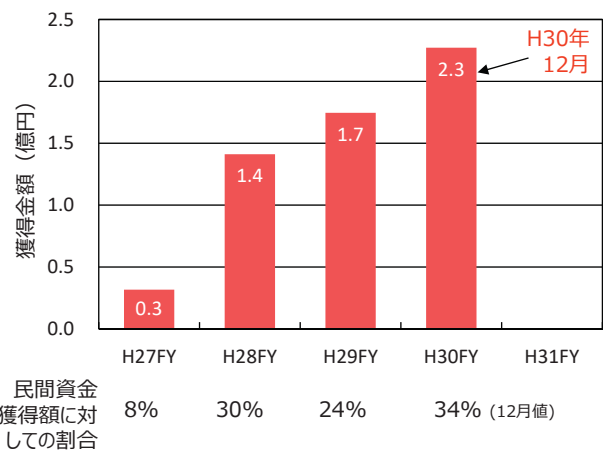


# 民間外部資金の獲得

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



H27～29年度の目標値の合計 14.4億円 に対し、3年間の実績合計額は **16億円 (111%)**

H27～30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 **25%**

- ・ 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。

## 産総研を巡る動きと当領域の対応

- 第4期（H27年4月より5年間）の開始  
民間資金獲得目標、新たな連携制度（技術コンサルティング、装置提供）の導入  
→技術コンサルティング、装置提供の実績は産総研TOP
- 平成28年10月1日付で特定国立研究開発法人に指定  
中長期計画の改定：標準化への寄与が明示  
→ 以前から多数の標準化に関与（産総研が役職を勤める国際委員会のうち約1/3ポストに当領域関係者が対応）  
→H27、H28、H30年度工業標準化事業表彰（産業技術環境局長賞受賞）
- オリンピックパラリンピック、Society 5.0、SDGs等の国家的・国際的アジェンダへの対応  
→ドーピング検査標準研究ラボの設立（H30）  
→デジタルもの作り（3D計測レボリューション）、水素社会（水素流量）、等  
→サステナブル技術連携促進シンポジウムの開催

### 産総研への期待に的確に対応

## 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

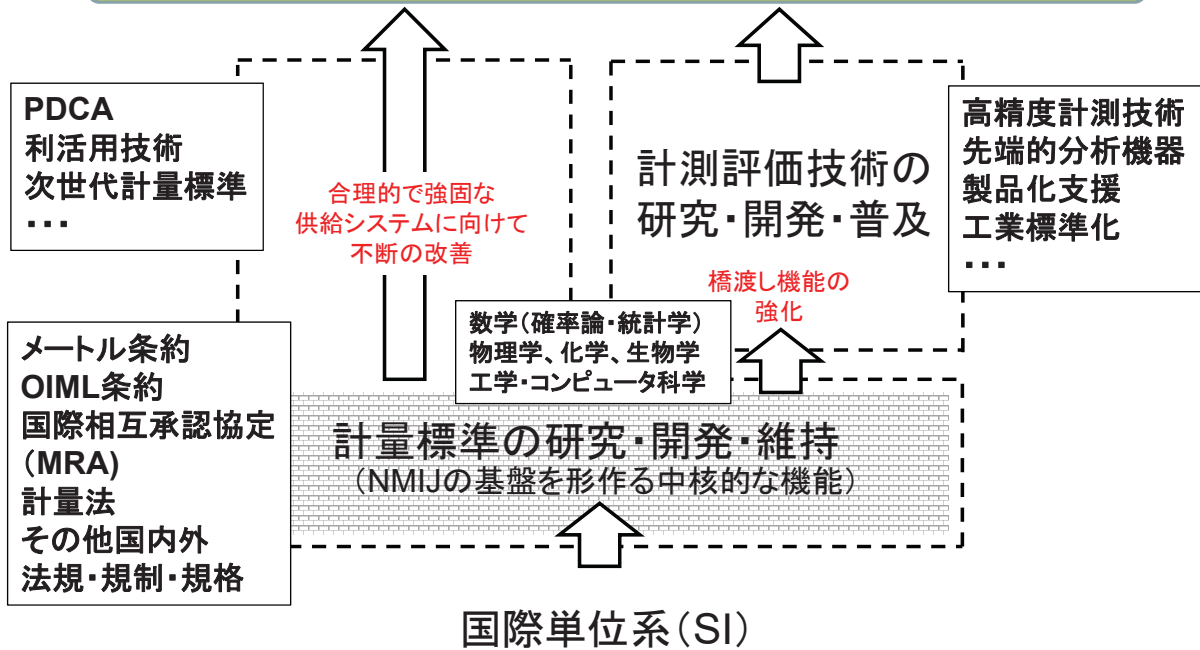
- 国際機関ポスト・事務局獲得、国際会議、途上国計量機関等への支援
- 水素ディスペンサ国際勧告(R139)等文書改定、OIML証明書制度への支援

### 当領域固有業務へも的確に対応



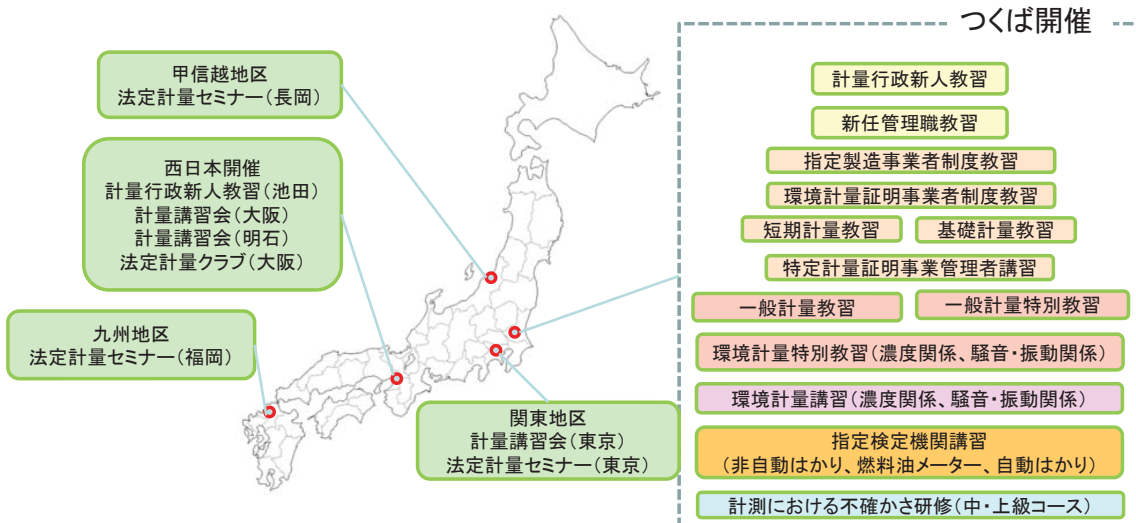
## 計量標準総合センターの業務

計量標準を核として知的基盤・橋渡しのデュアルユースへ



## 知的基盤の普及：法定計量に係る人材の育成

平成30年度末で、計量研修センターは単年度ベースで**572名**（見込数：修了証書発行分**524名**＋未発行分**48名**）。その他、法定計量セミナー、クラブ、計量講習会などで述べ**460名**（参加見込み数）



## 知的基盤の普及：国際支援

### H30年度の主な取り組み

#### 海外の国家計量標準機関の研究者への技術研修

中国国家計量科学研究院（NIM）より1名を光散乱計測（6月8日～10月1日、4ヶ月）について、タイ科学技術研究所（TISTR）より1名をナノ粒子分析（6月17日～30日、2週間）についての研修生を受け入れた。

#### 日中韓若手研究者ワークショップ（ESW）（韓国KRISS、9月12日～14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38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。

#### 海外産業人材育成協会（AOTS）研修支援（12月3日～14日）

アジア14か国から国家計量標準機関の研究者および職員14名が参加した。計量標準／法定計量に関連した研修を産総研、計量関係企業、東京都等で行った。



(空白ページ)

## 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

平成31年3月11日

## 第3期までの主要課題と成果

- 産総研第1, 2期（平成13年度～平成21年度）
  - － 欧米諸国に比肩しうる計量標準の整備
- 産総研第3期（平成22年度～平成26年度）
  - － 環境、エネルギー、医療、健康に寄与する計量標準の整備

得られた能力

欧米諸国並みの一次標準

計量標準の開発により培った計測・分析技術と計量標準の一体的開発能力

一次校正事業者に対しての国内供給体制

国際比較で培った同等性評価技術

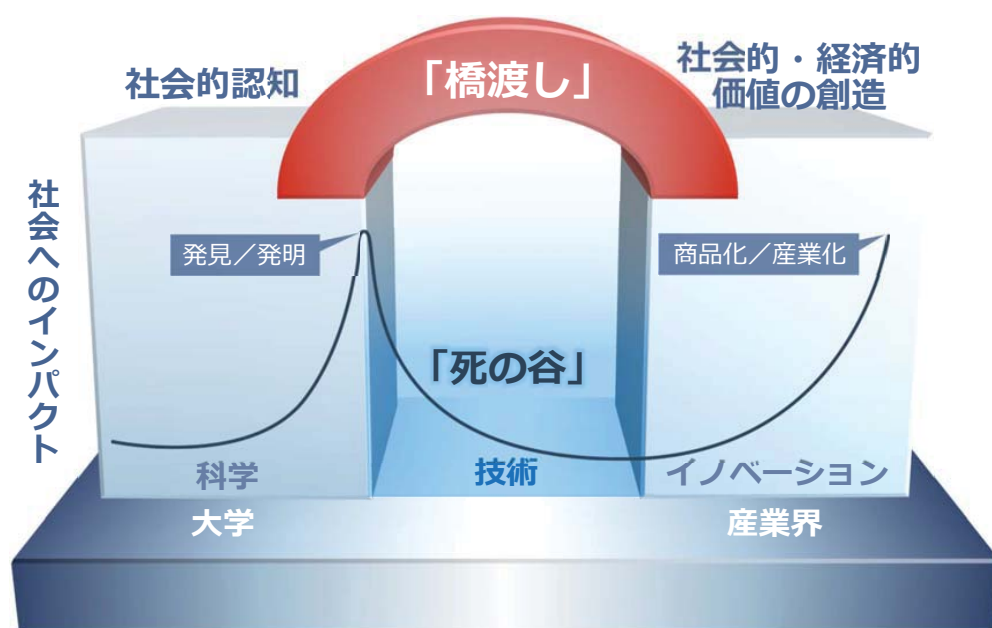
国際ポスト取得とルールメイキングへの関与

## 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歩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

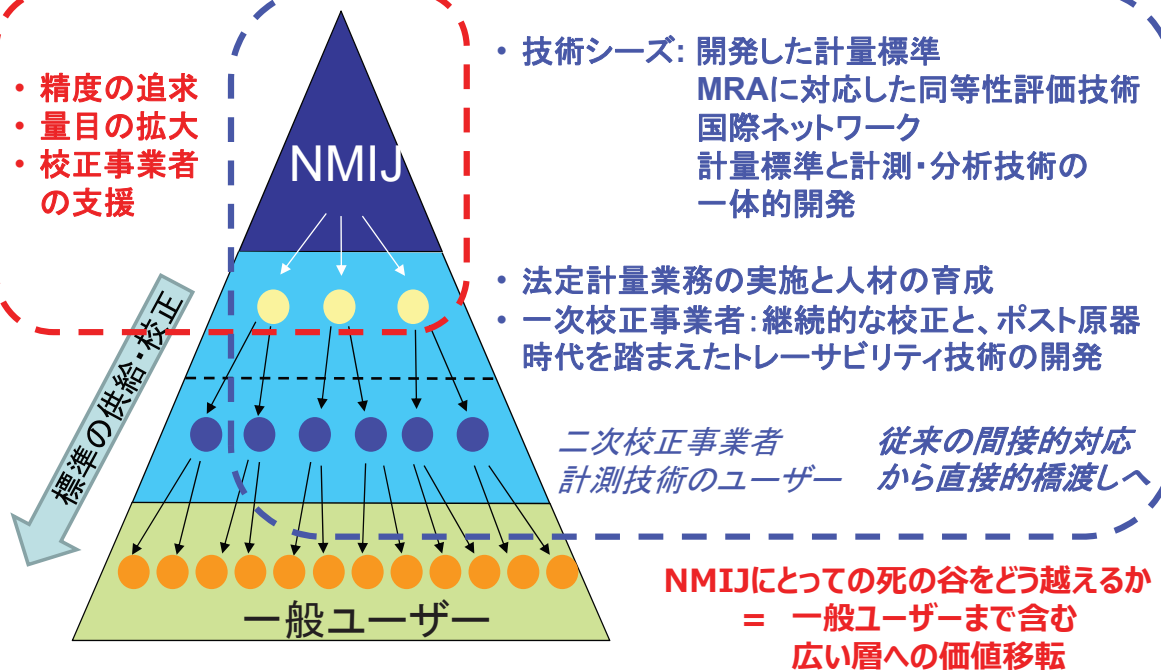
## 産総研の橋渡し機能



## 当領域にとっての橋渡し機能

第3期までの主な研究開発エリア

第4期からの主な研究開発エリア



## 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

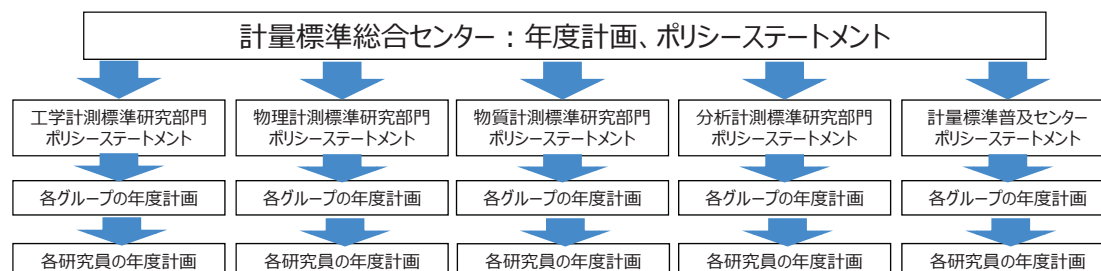
- ・ 民間への技術移転に重点、民間校正設備の精度向上も視野
- ・ 計測装置自体の製品化

## 組織のマネジメント

### 平成29年度評価委員コメント

職員個々が年度方針を理解し、研究業務に携わっているかどうか不明である。組織のマネジメント指針の全体周知の方法と活動の可視化が必要かと思う。

### 組織のマネジメント指針の全体周知



- ・ **NMIJ全体会合**（年間2～3回 / NMIJ職員）：領域の方針等を職員に周知
- ・ **領域会議**（毎月 / 領域・ユニット幹部など）：ユニット毎の業務の進捗状況を把握
- ・ **NMIJ運営協議会**（毎週 / 領域・ユニット幹部など）：計量標準の管理・運営の状況を確認

## 組織的マーケティング

### 平成29年度評価委員コメント

組織的マーケティング能力の向上にさらなる努力と工夫が必要である。

### 知的基盤の整備サイクルを活用したマーケティング

#### ニーズに基づいた柔軟で迅速な見直し：

知的基盤整備計画に基づいて計量標準を整備する一方で、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うとともに、NMIJ計測クラブや各業界へのヒアリングを通して意見収集を行い計画の見直しを実施

### 組織的マーケティング能力の向上

← 技術コンサル、計測クラブ、コンソーシアム等からの情報

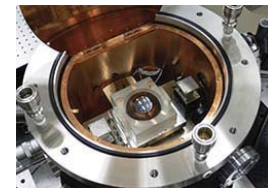
**技術マーケティング会議**（毎月 / 領域・ユニット幹部・連携担当など）：  
外部との連携状況を確認

**イノベーションコーディネーター(IC)**：技術開発や事業化、ビジネスモデル構築を支援し、連携プロジェクト（共同研究や受託研究、技術コンサルティング）を提案

**パテントオフィサー(PO)**：知的財産に係る各種業務や標準化等支援業務を通じて、研究成果の最大化、知的財産活用と標準化を一体的に推進

## 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

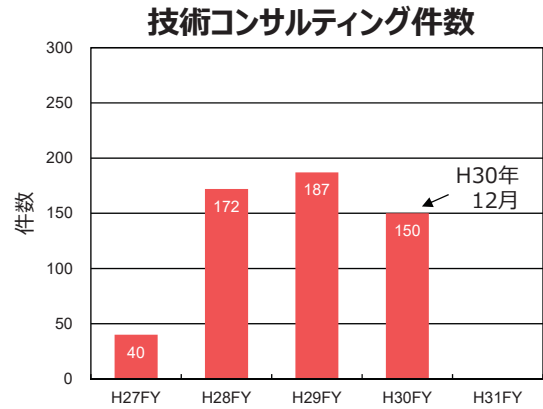
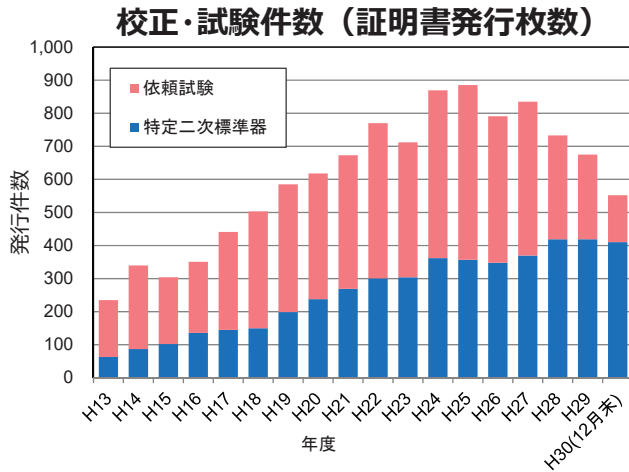
### 校正・依頼試験

- 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。

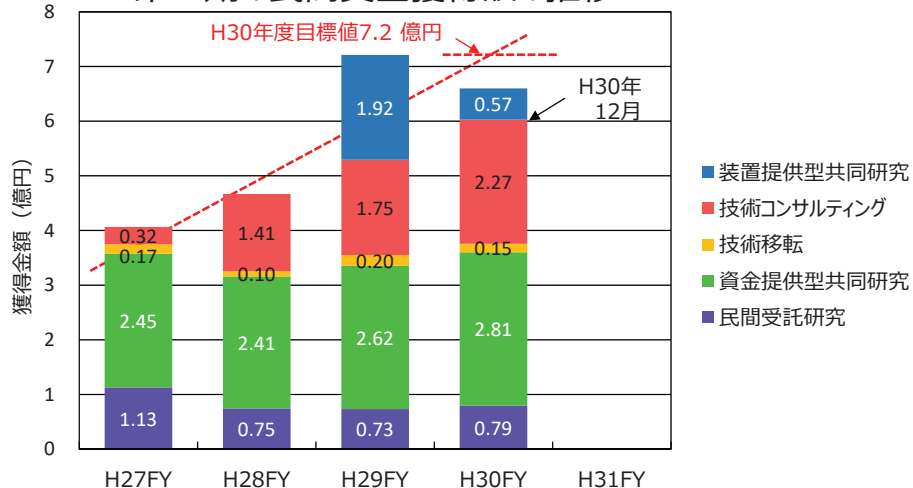
## 校正・試験業務とコンサルティング



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

第4期の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

H27～29年度の目標値の合計 14.4億円 に対し、  
 3年間の実績合計額は **16億円 (111%)**

第4期を通じた  
 民間資金獲得目標  
 は達成見込み



## 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

連携の入り口として  
有効に機能

- 企業との連携チャン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

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



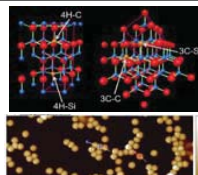
固体NMR装置

- 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



- 技術相談
- 技術補助
- 技術代行
- 機器利用
- 共同研究

支援件数(文科省事業)

- H27: 65件
- H28: 73件
- H29: 76件
- H30: 60件(12月末時点)

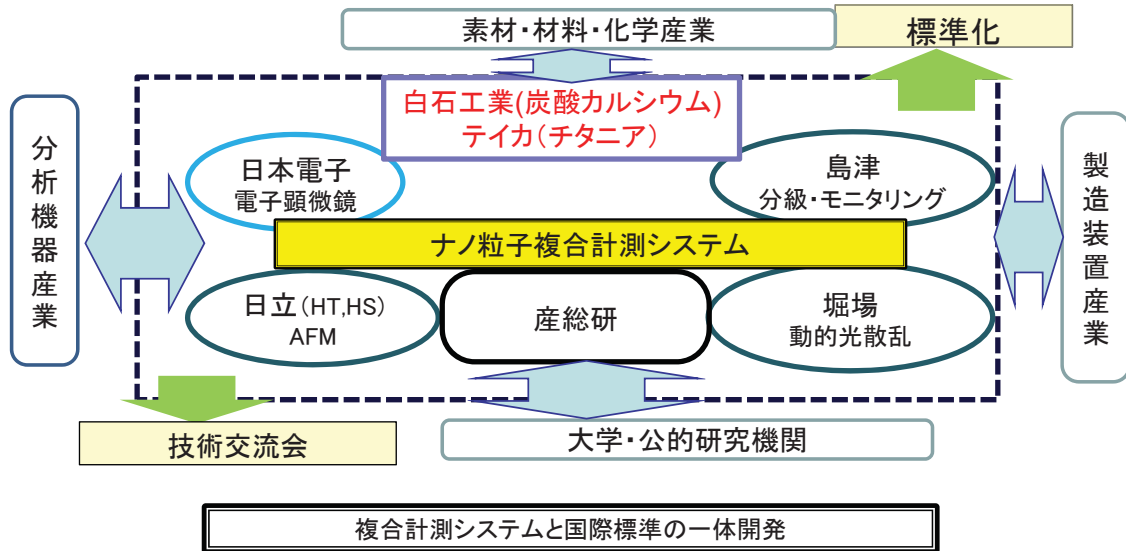
利用の約半数は企業

公開利用から共同研究や受託研究にも展開

## 社会課題解決に向けた組織的連携

- 基盤技術開発段階からの組織的連携 (COMS-NANO) -

ナノテクノロジーの進展に重要なナノ材料の評価手法・装置の開発をオールジャパン体制で推進するため、平成25年6月に島津製作所、日本電子、リガク、日立ハイテクノロジーズ、堀場製作所の5社と産総研でコンソーシアムを設立した。平成28年4月からスタートした第2期では、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ーをメンバーに加え、個別材料系への詳細な適応を進めている。



## 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（予定）、宮崎県
- 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ンテスト等を実施
- 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）

山形県山形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  
23の計測クラブを運営  
会員：約 3,300 名

クラブ名称	分野
物理計測クラブ	時間・周波数・電気・温度・湿度・光
長さクラブ	長さ・幾何学量
力・トルク計測クラブ	力・圧力・真空
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	
定量NMRクラブ	無機分析・有機分析
法定計量クラブ	法定計量
不確かさクラブ	不確かさ・計量文書

### 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 270 (※法人会員・個人会員・特別会員、重複参加を含む。)

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：36名	ISO 10360-13 (光学式非直交形CMSの精度評価法) 標準化の進捗。経産省委託費の獲得。
3次元内外計測コンソーシアム	法人：28社 個人：36名	ISO 10360-11 (X線CTの精度評価法) 標準化の進捗。
精密電気計測コンソーシアム	法人：13社 個人：2名 他：4法人	高抵抗の巡回比較を実施。活動の一部は、技術コンサルに発展。新しい連携の礎を構築。
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 (H31年)	学会招待講演などで本活動について紹介。着実に参加者が増加。
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。活動の一部は共同研究や技術コンサルに発展。

## 産総研内他領域との連携

### 平成29年度評価委員コメント

産総研内研究への貢献量が知りたい。  
その部分で産総研内から期待される組織になってほしい。

### 戦略予算事業 (産総研内競争的資金)

NMIJの研究者がプロジェクトリーダーになっているテーマ (H30年度の例)

- 3D計測レボリューション
- 革新的超微小質量・力・トルク計測技術の開発
- ナノ構造と単一電子制御技術を用いた極限量子計測の実現
- ドーピング検査の国際整合性確保のための禁止物質の評価技術開発



NMIJが主体となるプロジェクト

他領域の研究者がプロジェクトリーダーになっているテーマ (H30年度の例)

- 領域を超越したエンジンシステム研究拠点整備
- オンチップPCR搭載型マラリア診断装置開発
- ポリマー添加剤に関する化学分析と強度試験の関連性評価技術
- 混合物リスク評価ニーズに対応する評価技術基盤開発
- 海洋利用のための新探査パッケージAISTsの開発
- 新概念に基づく高分子複合材料の寿命予測と劣化診断技術の開発



他領域からの参加要請を受けてプロジェクトに参画

## 産総研内他領域との連携

### サステナブル技術連携促進シンポジウム

持続可能な社会の実現のため、研究者から政策立案関係者といったさまざまなステークホルダーの参加を募り、**技術開発、政策推進、産業促進**を如何に連携させ、未来社会へつなげるか。最新の技術を中心に、それらの連携・展開について議論

- 産業をつなぎ 産業をつくる 物質循環技術
- モビリティエネルギー
- インフラメンテナンス **(計量標準総合センターが主導)**
- 信頼性の高いヘルスケア産業を作り出す技術融合



産総研内他領域、外部組織との連携の促進を目指して4つのシンポジウムを開催

新たな深い融合を目指した取り組み

### 外部資金プロジェクト

(例)

次世代人工知能・ロボット中核技術開発プロジェクト (NEDO) :

情報・人間領域との共同研究

超先端材料超高速開発基盤プロジェクト (NEDO) : 材料・化学領域との共同研究

高輝度・高効率次世代レーザー技術開発プロジェクト (NEDO) :

エレクトロニクス・製造領域との共同研究

## 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
- 10を超える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

■ 大学院生対象

**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 参加受付中!**

◇日時：8月21日(月)～25日(金) 5日間  
◇会場：産総研つくばセンター(茨城県つくば市)  
◇内容：

研究者になるには「博士号」を取ってから…  
いいえ、そんなことはありません。

産総研 計量標準総合センター (NMIJ) では  
“世界最高”精度の計測技術開発に  
**修士卒** (専攻不問) の研究者が貢献しています!

実際の研究室に配属されて5日間、  
『計量標準分野』の研究業務を体験してみませんか?

**AIST**

◆お申し込み◆  
リクナビより  
ご応募ください!  
<https://goo.gl/LDddep>

【お問い合わせ】  
産総研インターンシップ事務局  
TEL : 029-862-6282  
E-mail : [aist-intern-ml@aist.go.jp](mailto: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、5回目の開催
- 全体で3日間、NMIJはその内1日を担当。十数名の参加  
(内容：陽電子消滅法、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

- 博士後期学生～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、3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://nanotechcupal.jp/whatsnew/open/146/>

## 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フェローシップ事業**を実施し、在外研究を支援
- 平成30年度は、BIPM, NIST(米), 大学等へ 6名を領域フェローシップ事業として派遣

### 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
- 上限400万円、～8件/年 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。平成29年度は、NMIJが産総研つくばセンターで主催。

## 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

- ・国際度量衡委員ポストを継続獲得
- ・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継続獲得
- ・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ポストを継続・獲得
- ・議長ポストを継続

### アジア太平洋法定計量フォーラム（APLMF）での活動

- ・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）：4か国8名
- ・中国国家計量科学研究院から協力研究員を招へい

### 専門家を派遣した委員会等

日程	諮問委員会等(分野)	参加人数
H30/4/14-20	CCQM(物質)	10
H30/6/14-15	CCL(長さ)	4
H30/6/21-22	CIPM	1
H30/7/3-6	APMP中間会合	5
H30/10/8-12	CIML	4
H30/11/13-16	CGPM	3
H30/11/7-9	APLMF	3
H30/11/26-27	APMP-TCAUV(音響・振動), TCCEM(電気), TCFF(流量), TCL(長さ), TCM(質量), TCP(測光), TCQM(物質), TCQS(品質), TCRI(放射線), TCT(温度), TCTF(時間・周波数), TCMM(物性・材料)	32
H31/3/13,14	JCRB	3
H31/3/	CIPM	1
H31/3/19-22	OIML-CS	3
H31/3/26-29	CCEM(電気)	2

## 標準化活動

### 国際標準化への参画人数：346名（重複含）

日本代表委員	13名
コンビーナ	8名
セクレタリ	1名
プロジェクトリーダー	15名
国際議長	2名
国際幹事	4名
エキスパート	83名 他

### 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）

### 専門家を派遣した委員会等

機関	委員会等(分野)	人数
ISO	CASCO, PC302, REMCO, TC12, TC24, TC28, TC30, TC61, TC69, TC85, TC86, TC108, TC112, TC135, TC146, TC147, TC163, TC164, TC201, TC202, TC206, TC213, TC229, TC256, TC274, TC276	133
IEC	PC118, SyC Smart Cities, TC13, TC29, TC34, TC38, TC45, TC46, TC56, TC62, TC76, TC77, TC85, TC86, TC87, TC103, TC106, TC111, TC113,	52
CIE	JTC2, JTC5, JTC8, Division2	12
ICRU	-	2
OIML	MAA, TC1, TC3, TC4, TC5, TC6, TC7, TC8, TC9, TC10, TC11, TC13, TC16, TC17, TC18,	143
VAMAS	-	1

国際標準化に大きく貢献。日本の工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

## SI基本単位改定の機会を活用した 広報啓発活動

SI基本単位改定への貢献を様々な媒体を用いてピーアール

- ・プレス発表：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（平成29年10月24日）
  - 発表当日から3日間のアクセス数：11,172（産総研最高記録を更新）
  - 報道状況：テレビニュース（NHK）、新聞（読売、朝日、毎日、日経、産経など70紙超に掲載）
- ・SI定義改定国内プロモーション委員会による組織的なピーアール活動（平成29年4月～）
  - 大学・高校教員を含む外部有識者などからなる委員会を設置
  - 多方面へSI定義改定について周知するとともに、NMIJの貢献をピーアール
- ・SI定義改定に関する特設ページをNMIJホームページに設置（平成29年5月20日～）
  - 定義改定に関する最新の情報を継続的に発信

<https://www.nmij.jp/transport.html>



- ・You Tube：「日本国キログラム原器紹介」（平成29年11月5日～）
  - 質量の国家標準の管理に果たすNMIJの役割をピーアール
  - 視聴回数：886回（平成30年2月2日現在）

## 一般向け広報啓発活動

### 一般公開（毎年7月下旬に開催）

- 特別企画「前身機関誕生から135年 - 歴史テーマを巡る」：メートル原器の展示
- サイエンストーク：長さ標準と光学トンネル、SI定義改定 など
- チャレンジコーナー：小学生などの子供向け体験コーナー など

### 各種セミナー・シンポジウムの開催や学会等での講演

- NMIJ 標準物質セミナー
- JASIS2017 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

**H27-29年の3年間の産総研プレス発表38件、H30年度(12月まで) 10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！

## H30年度の活動のトピックス

### ドーピング検査標準研究ラボの設立

2020年の**東京オリンピック・パラリンピック**に向けて我が国の検査体制の強化は重要。関係各機関と連携し**トレーサブルな分析基盤**を構築。→ [知的基盤計画で開発した定量NMRの応用例](#)

### 特定計量器の型式承認試験設備の整備

**計量法**関連の政省令が改正され、**自動はかり**が特定計量器に指定され規制の対象に。電磁両立性試験（EMC）と耐環境性試験装置を整備。→ [計量法に関する業務の確実な実施](#)

### 大型連携も視野に入れた企業への橋渡し

**国際同等性が確立された信頼性の高い計測技術**を生かして、分析機器メーカー等への橋渡しを強化。

→ [NMIJならではの企業貢献](#)

## 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



## 評価項目と指標

	単位	3年間 (H27~H29)					H30		
		H27	H28	H29	計	実績/ 目標	4月~ 12月	実績/ 目標	
目的 基礎	論文の被引用回数 (評価指標)	回	2388	2700	2626	7714	101 %	2451	94 %
	論文数[*1] (モニタリング指標)	報	197	204	239	640	109 %	133	65 %
橋渡し 前期	知財の実施契約等 件数[*2] (評価指標)	件	83	81	97	261	104 %	95	112 %
	公的資金	億円	4.7	6.5	7.1	18.3	-	8.6	-
橋渡し 後期	民間からの資金 (評価指標)	億円	4.1	4.7	7.2	16.0	111 %	6.6	92 %
	中堅・中小企業 [*3]の研究契約件 数の比率	%	43.3	44.4	38.4	42.0 (平均値)	-	34.5	-

[\*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：製造業にあつては、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

(空白ページ)

## 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）

物理計測標準研究部門長

藤間 一郎

平成31年 3月11日

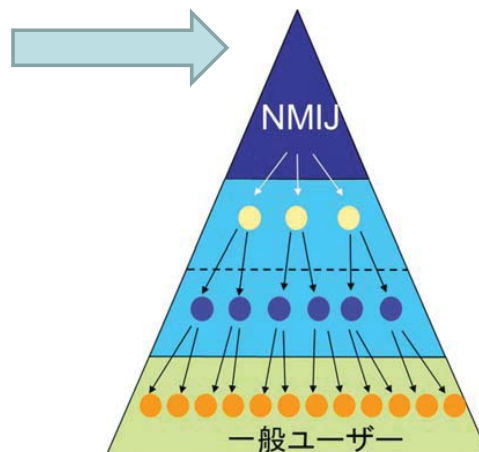
(空白ページ)

# 目的基礎研究における戦略

## 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

- 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
- 標準供給を効率化するゲームチェンジ
- 新たな分析、計測技術への挑戦

計量標準機関としての  
コアコンピタンスの醸成



# 本日紹介する目的基礎研究テーマ

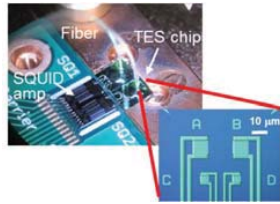
課題名	研究の概要	備考
単一光子分光イメージング技術の開発	世界初の光子顕微鏡で、超微弱な光強度でのカラー画像撮影を実現 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦	ポスター
単一電子制御技術の開発	電気計測・微細加工技術を用い、単一電子制御技術を開発 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦	見学あり H30特筆
先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化	時間分解測定を実現するレーザー分光法の開発と高度化、これによる光機能材料の反応機構解明 ⇒量子単一ユニット標準への挑戦、高感度・高分解能・高安定度な標準への挑戦、計測場を乱さない新規技術	ポスター
有機質量分析の高感度・高精度化技術の開発	巨大な分子の分析ニーズに対応、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	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)

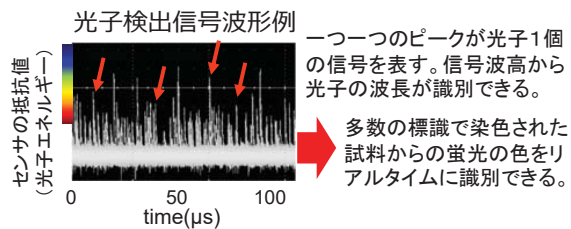
## 研究の目的

- 光の最小単位である光子を検出・測定することで、生きた細胞の発光や微量な化学物質の分析が可能な超高感度イメージング技術を開発する。

開発した超伝導光子検出技術



- 超伝導光子検出技術を用いて光子の波長を識別可能な独自の手法を確立する。



H(年度)

27

- 超伝導光検出器を搭載した光子顕微鏡を世界で初めて開発。

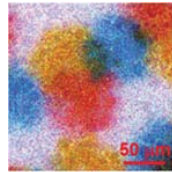
28

- 通常の顕微鏡では観察できない、光子数1個～20個程度のわずかな光でのカラー画像の撮影に成功。

29

走査型光学顕微鏡による単一光子分光イメージング

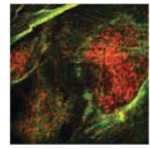
光子数～20個程度でのカラー画像の撮影に成功



30

H30の実績・成果

従来の1/10以下のレーザー強度で、細胞の蛍光イメージングに成功



31

H31の見込

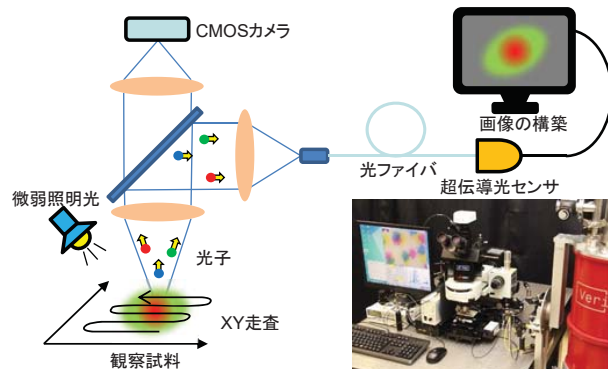
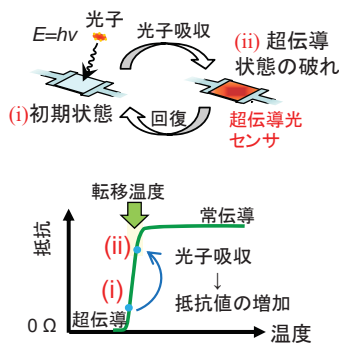
超伝導素子の多素子化による、細胞のリアルタイムイメージング

本技術によるウシ肺動脈内皮細胞の蛍光観察像

# 「単一光子分光イメージング技術の開発」

超伝導光センサで、単一光子の波長を測定

超伝導光センサを搭載した光子顕微鏡



## 技術開発の要点

単一光子分光が可能な超伝導光センサを光学顕微鏡等と組み合わせた、超高感度で広帯域なイメージングシステムを開発した。これにより従来の顕微鏡では測定できない微弱な光強度レベルで、カラー観察することに成功した。

## アウトカム

細胞への光照射を大幅に抑制することで光障害のリスクを回避できる効果があり、医薬品や医療技術の開発での活用が見込まれる。更に細胞内物質の僅かな変化を解析でき、有用微生物（石油代替燃料産生など）探索への貢献が期待される。

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文発表：IF付国際誌 7[3]報、特許出願 1 [0]件、プレスリリース 1 [0]件、外部予算獲得 3[1]件、受賞 2[2]件

# 「単一電子制御技術の開発」 (目的基礎)

## 研究の目的

電気的最小単位である**単一の電子を制御**することで、**究極の高精度電流計測**の実現を目指す。

単電子ポンプ素子をはじめ、**微小電流センサ**や、**核スピン制御**などの関連・派生技術の研究開発に取り組み、

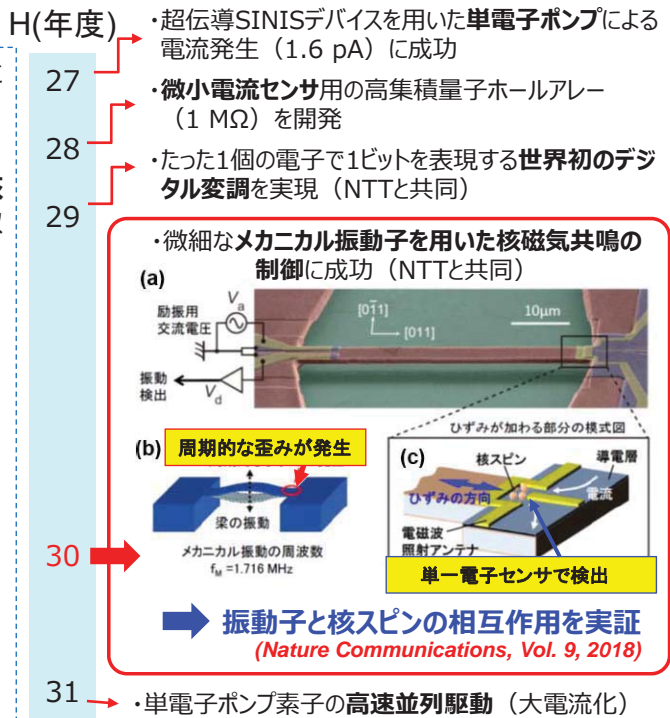
- ・SIの新しい定義に基づく**量子電流標準**
- ・微小電流計測 (ピコアンペア/ナノアンペアレベル)
- ・新規デバイス/新規物理現象の提案

の実現や高精度化へ



次世代の量子電流標準  
量子計量学 (オームの法則の検証)  
誘電体材料評価、半導体素子開発  
先端科学研究

などに貢献



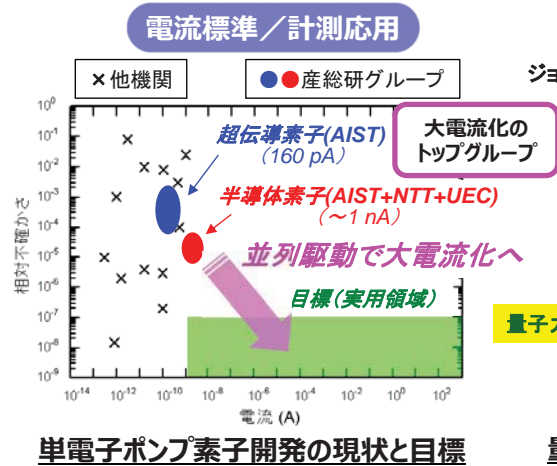
# 「単一電子制御技術の開発」

**単電子ポンプ素子**  
超伝導体や半導体量子ドットに電子を閉じ込め、一個一個送り出す

$\bar{I} = ef$

改定SIでのアンペアの定義に対応

次世代の量子電流標準  
究極の微小電流計測



学術研究

ジョセフソン効果  $\bar{V} = \frac{h}{2e} f$

量子ホール効果  $R = \frac{h}{ie^2}$

単電子ポンプ  $\bar{I} = ef$

量子力学レベルでオームの法則の検証を目指す

オームの法則:  $V = RI$   
が本当に成り立つか??

量子メトロロジー・トライアングル

**技術開発の要点** 電気計測・微細加工技術を用い、**単一電子制御技術を開発**  
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、量子コンピュータ、量子情報通信等へ貢献

**成果リスト** 論文発表: IF付国際誌 27[5]報、プレスリリース 3[1]件、  
[:H30年度内数] 外部受賞 1[0]件、外部資金 17[10]件、共同研究 5[3]件

# 「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)

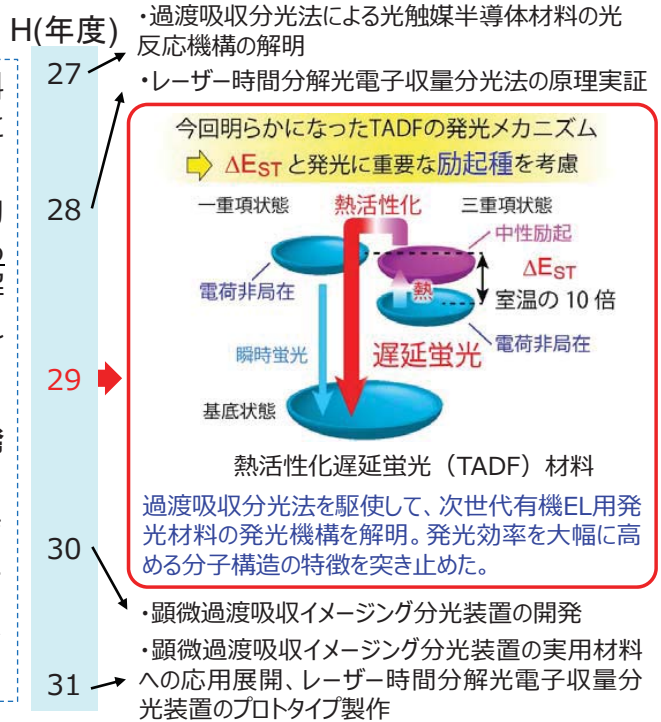
## 研究の目的

- 各種電子・光デバイスは、その構成材料中の電子や正孔の状態（エネルギー準位）とその変化によって動作。
- 高性能デバイスの開発には、材料中の動的過程、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。



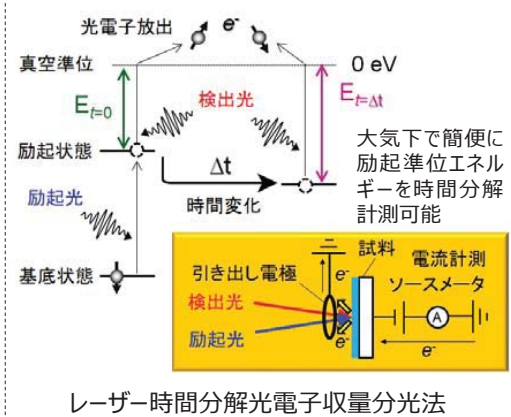
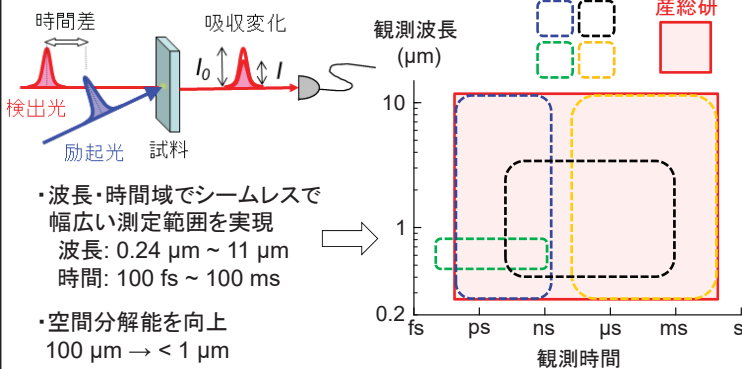
## これらのニーズに応じて、以下の研究開発を推進

- 過渡吸収分光法の高度化（波長・時間域の広域化、高空間分解能化）と実用材料への展開
- 励起準位エネルギーの時間分解計測を大気下で実施可能な新手法の開発



# 「先端材料評価のためのレーザー分光法の開発と高度化」

過渡吸収分光法 = “超高速スナップショット”



## 技術開発の要点

- 過渡吸収分光の高度化(波長・時間域)、これによる光機能材料の反応機構解明。
- 顕微過渡吸収イメージング分光装置を開発し、大幅に空間分解能を向上。
- 「大気下で励起準位エネルギーを時間分解計測」する新手法を考案、原理を実証。

## アウトカム

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し、省エネルギー社会や低炭素社会の実現に貢献。

## 成果リスト

[ ]: H30年度, 内数

論文発表: IF付国際誌 36[6]報、特許出願 1[0]件、ノウハウ 1[0]件、プログラム 2[0]件、プレスリリース 1[0]件、受賞 1[0]件

# 「有機質量分析の高感度・高精度化技術の開発」 (目的基礎)

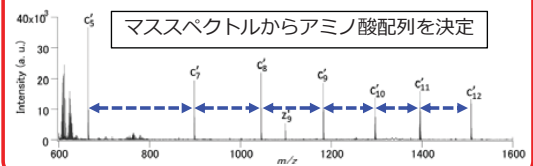
## 研究の目的

- 質量分析は、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。
- 上記のような課題を解決し、有機質量分析の高感度化や高精度化の実現に貢献する。

H(年度)

### 27 → 金属錯体を用いた有機リン酸化合物のラジカル質量分析法の開発

- 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



### 28 → 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

- 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

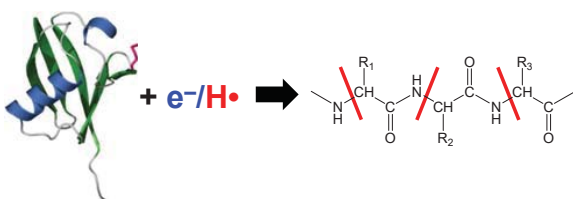
### 29 → ラジカル質量分析法の高感度化

### 30 → 化学修飾法とラジカル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

### 31 → ラジカル質量分析法の定量分析精度向上

# 「有機質量分析の高感度・高精度化技術の開発」

アミノ酸配列を容易に解析可能な分子解離の新技术を開発、修飾法との組み合わせによる高感度化を実現



微量タンパク質を高感度・高精度に定量可能な二段修飾法を開発



安定同位体の導入による分析の精密さ向上

質量分析に適した置換基の導入による高感度化

## 技術開発の要点

- 有機リン酸化合物の新規ラジカル分解法を開発し、フラグメンテーション情報のみからアミノ酸配列の解析に成功。
- 二段修飾法を開発し、タンパク質の高感度・高精度定量に成功。

## アウトカム

- 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。

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文：IF付国際誌 17[6]報(表紙に2度選出)、和文誌 4[2]報、  
特許：出願 1 [0]件、登録 1 [0]件

## (1) 目的基礎研究 (平成29年度評価委員コメントへの対応)

### 平成29年度評価委員コメント

成果のあがった基礎研究を橋渡しにつなげていくための体制を整えていくべきである。

### 以下の取り組みにより成果を内外にアピール

- 産総研テクノブリッジフェアの開催
- 計測テクノブリッジフェアの開催
- 計測クラブの開催
- 産総研コンソーシアムの活動
- 研究カタログの出版

例) 精密電気計測コンソーシアム：

単一電子制御技術等を応用した電気計測技術を、計測器・電子部品等の業界に紹介し、交流を深める会合を、定期的に行う

## (1) 目的基礎研究 (平成29年度評価委員コメントへの対応)

### 平成29年度評価委員コメント

目的基礎の「テーマ」設定は、ボトムアップも大切であるが、広い視野で探すことも必要であり、若手研究者を積極的に国際経験を積ませ、他分野との交流も重要である。

### 国際経験の促進のため、以下の事業を継続的に実施

- NMIJフェローシップ
- 日中韓若手研究者ワークショップ (ESW)
- 若手・中堅研究者の長期在外研究
- European Metrology Research Programme (EMRP)



目的基礎の新たなテーマを設定できる機会の醸成を継続的に遂行



## (1) 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)

項目	単位	3年間の実績値 (平成27年度～平成29年度)					平成30年度の実績値	
		H27	H28	H29	3年間の合計	実績/目標	4月～12月	実績/目標
論文の被引用回数 (評価指標)	回	2388	2700	2626	7714	101 %	2451	94 %
論文発表数 (モニタリング指標)	報	197	204	239	640	109 %	133	65 %

- 平成27～29年度の3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。
- 平成30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。

## (1) 目的基礎研究 (総括)

### - テーマ設定の適切性 (モニタリング指標)

- 電気量、力学量、化学量等を包括的に取り扱う計量標準機関としての強みを活かし、
  - 量子計測技術 (単一光子分光イメージング、単一電子制御技術等)
  - 計測・分析評価技術 (先端材料評価のためのレーザー分光法、有機質量分析の高感度・高精度化技術)
 等の研究開発に取り組んだ。
- 知的基盤整備と一体的に研究開発に取り組んだ。

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

物質計測標準研究部門長

高津 章子

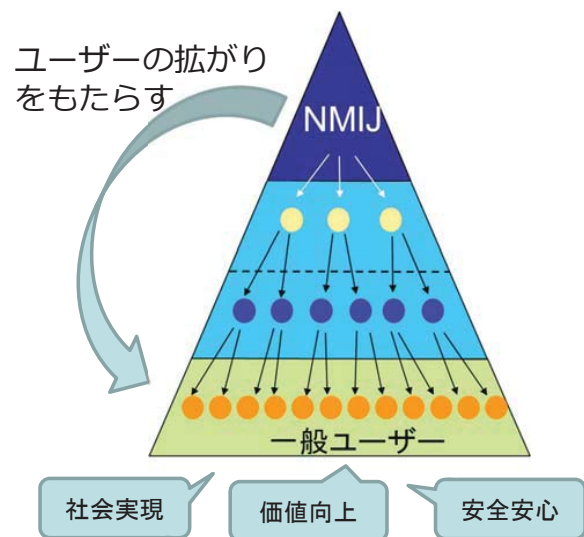
平成31年3月11日

(空白ページ)

# 橋渡し研究前期における戦略

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  
新たな計測技術の創設

- 計量標準を付加価値として新たなユーザーに拡げる
- 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



## 本日紹介する橋渡し研究前期テーマ

課題名	研究の概要	備考
水素流量計測技術の開発と国際標準化	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⇒ <b>社会の安全、安心への貢献</b>	H30特筆
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	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⇒ <b>計量標準を付加価値として新たなユーザーに拡げる、社会の安全、安心への貢献</b>	ポスター
産業・科学分野における水分計測の信頼性向上	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⇒ <b>企業における計測技術・計測装置開発支援</b>	ポスター H30特筆
様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発	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⇒ <b>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</b>	見学あり

## 「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

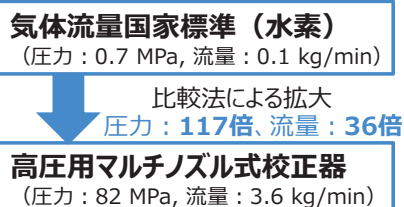
低炭素社会実現のための有効なエネルギーの一つとして、水素が注目され、その有効活用に関する研究開発・実証研究が進められている。水素はそれ自体をエネルギーとして使用することに加え、電力安定化の手段として余剰電力のエネルギー貯蔵媒体としても注目されている。

すでに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充填され計量取引が行われているが、**ディスプレイの計量精度は数%程度**と十分ではない。取引当事者間、とりわけ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。開発した技術に基づき国際標準化も目指す。

H(年度)

- 27 → **高圧水素流量計測技術を開発**
  - 水素ガス流量標準の整備
  - 臨界ノズルを用いたビルドアップ方式により水素流量計量トレーサビリティの**高圧化・大流量化**に成功
  - 開発機器評価のための中高圧領域（～350気圧）**実流評価用水素流量計校正設備**を整備
- 28 → 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
- 29 → **商用水素ステーションに設置可能な可搬型計量精度検査装置を開発し、性能を確認**
- 30 → **国際法定計量機関（OIML）勧告改定 R 139:Compressed gaseous fuel measuring systems for vehicles**
- 31 → **マスターメーター法計量精度検査方法の確立**

## 「水素流量計測技術の開発と国際標準化」



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**

**校正や検査の簡素化、  
低コスト化、  
装置のコンパクト化  
に大きく前進**

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 → **コリオリ流量計を用いた可搬型計量精度検査装置を開発**

### 技術開発の要点

- 臨界ノズル比較法を用いて高精度な高圧水素流量計測を実現
- 水素ステーション計量器検査のための可搬型計量精度検査装置を開発
- 中高圧領域（～350気圧）実流評価用水素流量計校正設備を整備
- 国際法定計量機関勧告改定・JIS制定

### 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

**成果リスト**  
[]:H30年度,内数

論文発表：和文誌 2[0]件、標準化：国際勧告改定 1[1]件、JIS制定 1[0]件、特許出願 3[0]件、受賞 1[1]件

# 「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

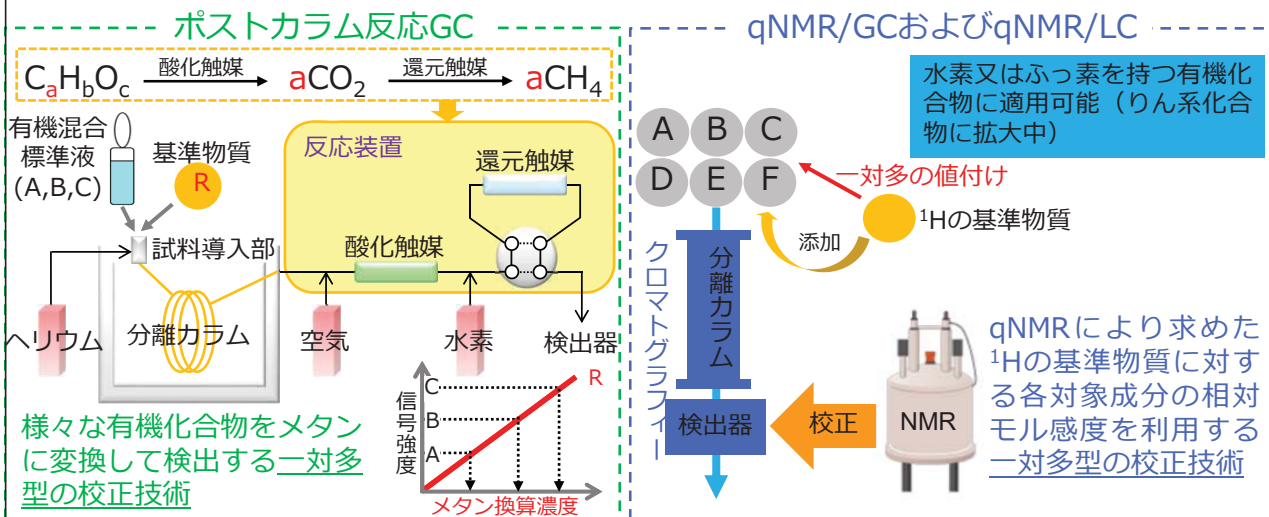
- 食品衛生法や水道法などの改正によって、規制対象である千種類を超える有機化合物における標準物質が求められているが、トレーサビリティ源として必要な国家標準物質の充足率は1/10にも満たない。
- 本研究では、規制対象毎の国家標準物質を整備することなく、多成分からなる有機混合標準液の同時値付けを可能とする、以下の一対多型校正技術を開発する。
  - 有機化合物をオンラインでメタンに変換するポストカラム反応GC\*
  - 定量核磁気共鳴分光法 (qNMR) を拡張し、クロマトグラフィーと組合わせたqNMR/GC\*及びqNMR/LC\*\*

\*GC:ガスクロマトグラフィー, \*\*LC:液体クロマトグラフィー

H(年度)

- 27 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GCを開発
- 28 qNMRをクロマトグラフィーと組合わせることで、水素量の基準物質から多成分同時値付けを可能とするqNMR/GC及びqNMR/LCを実用化
- 29 かい臭物質2種混合標準液: 反応GC、フェノール類6種混合標準液: qNMR/GC、ハロ酢酸4種混合標準液: qNMR/LC、の値付けに成功 (H30年度依頼試験開始)
- 30 ポストカラム反応GCの塩素化合物への適用拡大 (装置メーカーと共同研究)
- 31 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

# 「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」



**技術開発の要点** 同一分子の比較による一対一対応のトレーサビリティ体系から、異なる分子の比較による一対多型の高効率なトレーサビリティ体系への移行を牽引

**アウトカム** 食品衛生法や水道法などで必要とされる標準物質の迅速な整備を実現し、規制物質の検査における信頼性向上に貢献

成果リスト  
[:H30年度,内数]

論文発表: IF付国際誌 8[3]報、プレスリリース 4[1]件、受賞 1[0]件

# 「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

- 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、精密な水分計測が必要。
- 水分計測の信頼性を微量水分から高湿度までの幅広い範囲で担保するため、湿度標準の維持・供給のみならず、ニーズに対応した新たな水分分析標準物質の開発、校正技術・計測技術の開発を推進。

### 【湿度】

- 各種ガス中の微量水分標準の開発
- キャビティリングダウン分光法(CRDS)を用いた超高感度な小型微量水分計の開発 (目標: 20x20x20 cm 以下、3 kg以下)
- 高湿度標準の高度化

### 【水分分析用標準液】

- 産業ニーズに基づくトレーサビリティが確保された水分分析用標準液の開発

H(年度)

27  
28

N<sub>2</sub>中微量水分標準の供給範囲の上限を、1 ppm → 5 ppmに拡張  
波長計制御型・高効率CRDSを開発

29



ヘリウム中、酸素中の微量水分の一次標準 (10 ppb~1 ppm) を確立。

30

小型CRDS微量水分計を開発。(試作機: 10x13x22 cm、2.6 kg)

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。

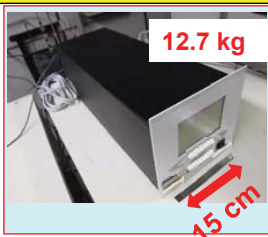
31

ガス中微量水分計の製品化及び宇宙応用に向けた新規共同研究を予定

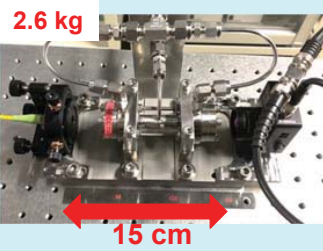
# 「産業・科学分野における水分計測の信頼性向上」

## 小型CRDS微量水分計

市販の最小CRDS微量水分計



## 開発した小型CRDS微量水分計



市販CRDS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。

## 水分分析用標準液



NMIJ CRM 4228 (1 mg/g) (H29年度開発)  
NMIJ CRM 4222 (0.1 mg/g)  
NMIJ CRM 4229 (0.02 mg/g) (H30年度開発)

市販水分分析用標準液や市販水分計の製造業者が信頼性確保に利用。

## 技術開発の要点

- 光の損失抑制とキャビティ長の縮小を両立させた光学系の最適化により、市販品と同等の性能を維持しつつCRDS微量水分計を小型化。

## アウトカム

- 様々な製造現場で必要とされる水分計測の信頼性担保に貢献。
- 市販水分分析用標準液の開発に貢献。
- 国産極微量水分計の製品化を支援。
- 月面探査への応用に向け、JAXAとの新規共同研究に展開。

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文発表: IF付国際誌 8[2]報、受賞 3[0]件、特許 1[0]件、水分分析用標準液の第4期4年間の頒布数 276[36]件

# 「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

ナリスク管理、粒子排出規制、先端材料・薬剤製造などの製造現場における清浄度管理、医療診断など多岐にわたる社会ニーズに的確に応えるべく、粒子計測技術の開発と、関連する粒子径・粒子数濃度標準や精度管理技術の開発を行う。

### 【気中粒子】

- ・気中パーティクルカウンタの校正技術開発
- ・フィルタ捕集方式では評価困難なPM<sub>2.5</sub>自動測定機の性能評価技術の開発
- ・粒子比表面積の計量トレーサビリティ確保

### 【液中粒子】

- ・ナノ粒子径高精度計測器の開発
- ・液中粒子数濃度標準の範囲拡張
- ・油中の粒子数濃度や血球濃度等、水以外のマトリックス中における校正技術の開発

H(年度)

27

- ・ 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。



製品版 IAG

29

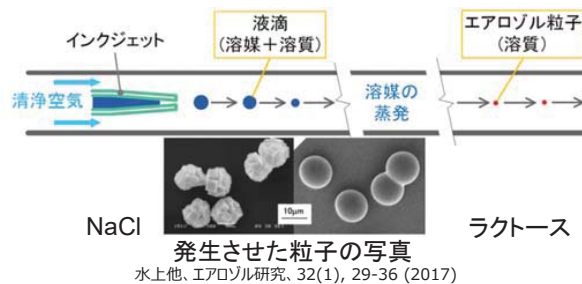
- ・ 液中ナノ粒子の高精度な粒径計測を可能にする、流れ場粒子軌跡解析法 (FPT) を開発。最小粒径10 nmを実現、計測器メーカーと製品版装置を製作。

30  
31

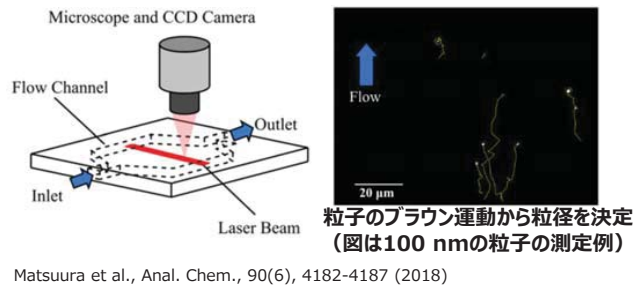
- ・ 粒子の比表面積評価に資する窒素吸着測定用カーボンブラック認証標準物質を開発。
- ・ 液中粒子数濃度標準の粒径範囲下限を600 nmへと拡張
- ・ IAGを利用したパーティクルカウンタ校正法の国際標準化を計測器メーカーと共同でスタート

# 「様々な社会ニーズに応える粒子計測技術の開発」

IAGでマイクロメートル領域の単分散粒子を安定に発生。パーティクルカウンタの校正が容易に。



流れ場粒子軌跡解析法 (FPT) により粒径10 nmまでの高精度ナノ粒子計測を実現



## 技術開発の要点

- ・ 液滴噴霧時の帯電対策等、噴霧条件の最適化を施したインクジェットエアロゾル発生 (IAG) 技術によって、従来困難であったマイクロメートル領域の単分散試験粒子を容易に発生可能。
- ・ 流路での速度分布を考慮した粒径分布補正方法を開発し、光学系を改良することにより、粒径10 nmまでの信頼性の高い粒径分布計測を実現。

## アウトカム

- ・ 浮遊微生物計測への応用など適用範囲の拡大。
- ・ 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。

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文発表: IF付国際誌 12[4]報、特許出願 6[0]件、受賞 4[2]件、展示会出展 4[0]件

## (2) 橋渡し研究前期 (平成29年度評価委員コメントへの対応)

### 平成29年度評価委員コメント

民間企業との連携のために今後どのような方略を考えていくべきかさらなる検討が必要である。

- 民間資金獲得の取組状況に関する資料に基づき、今後の連携の方略を検討
- 研究成果や保有技術をもとに、イノベーションコーディネータとテーマ担当者が一体となり、連携を狙う業種・企業を検討

### ニーズ把握のチャンネル増強のために

技術コンサルティング、テクノブリッジフェア、計測クラブ、産総研コンソーシアム…



- これまで気がつかなかったニーズが把握できている
- より広範な顧客に情報提供が可能に

毎月の技術マーケティング会議で、NMIJ以外の領域に対して情報共有を実施

## (2) 橋渡し研究前期 (平成29年度評価委員コメントへの対応)

### 平成29年度評価委員コメント (続き)

民間企業との連携のために今後どのような方略を考えていくべきかさらなる検討が必要である。

- 連携の入り口として、技術コンサルティングを活用している
- ニーズ把握にも努めている

経営戦略による地続きなテーマ設定



目的基礎から、知的基盤のユーザーを想定して研究を遂行



## (2) 橋渡し研究前期 (総括)

### – 具体的な研究開発成果 (評価指標)

- **水素ステーション用水素計量器の校正・検査技術等、国家戦略や法令・規制への対応につながる技術を開発**
- 計量標準の開発を通じて培った知見・計測技術を発展させ、一対多型校正技術、水分・粒子の計測技術等、**実用的計測・制御技術を創出**

## (2) 橋渡し研究前期 (総括)

- 知的財産創出の質的量的状況 (実施契約件数等) (評価指標)
- 公的資金の獲得状況

項目	単位	3年間の実績値 (平成27年度～平成29年度)					平成30年度の実績値	
		H27	H28	H29	3年間の合計	実績/目標	4月～12月	実績/目標
知的財産の実施契約等件数 (評価指標)	件	83	81	97	261	104 %	95	112 %
公的外部資金	億円	4.7	6.5	7.1	18.3	-	8.6	-

- 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、平成30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

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

分析計測標準研究部門長

野中 秀彦

平成31年3月11日

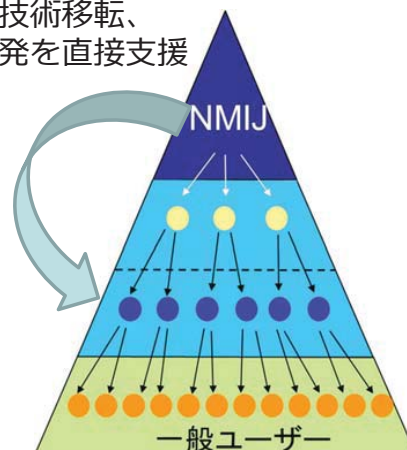
(空白ページ)

# 橋渡し研究後期における戦略

企業への計測技術の移転、製品・企業活動の付加価値向上、計測技術自体の製品化

- 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（センサー・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

トレーサビリティ中間層の担い手である民間校正事業者への技術移転、計測機器開発を直接支援



# 本日紹介する橋渡し研究後期テーマ

課題名	研究の概要	備考
3D形状計測	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	見学あり H30特筆
ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用	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価値・企業価値の向上	ポスター H30特筆
電磁波を利用したセンシング技術の開発	電磁波を用いて、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	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	H30特筆
X線インフラ診断ー革新的X線検査装置の開発	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	
モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ分布計測	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	ポスター

# 「3D形状計測」 (橋渡し後期)

## 研究の目的

H(年度)

- 設計情報のデジタル化, 3D-CAD化にともなって, 3D形状計測の重要性が増している.
- 高品質なものづくりには, 設計・製造・計測のクローズドループ化が不可欠.



### 技術課題のブレークダウン

- ものづくり産業に資する橋渡し課題の設定.
  - 3Dプリンティングのクローズドループ化技術.
  - 3Dスキャナの高精度化.
  - 3Dスキャナの客観的な性能評価法の確立.



### 近未来幾何計測のリーディング

- デジタルものづくり産業の生産性向上
- 多数点群による形状測定信頼性評価
- 複雑形状測定の標準供給

27

28

29

30

31

・ISO規格(3D座標計測)3本のPL獲得

- 純国産・計測用X-CTの共同開発
- 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

- 3Dプリンタと3Dスキャナによるクローズドループエンジニアリングの45機関による共同実験→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

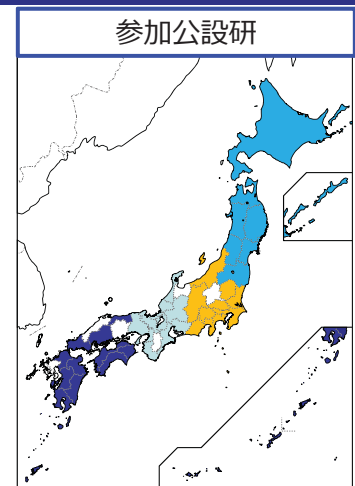
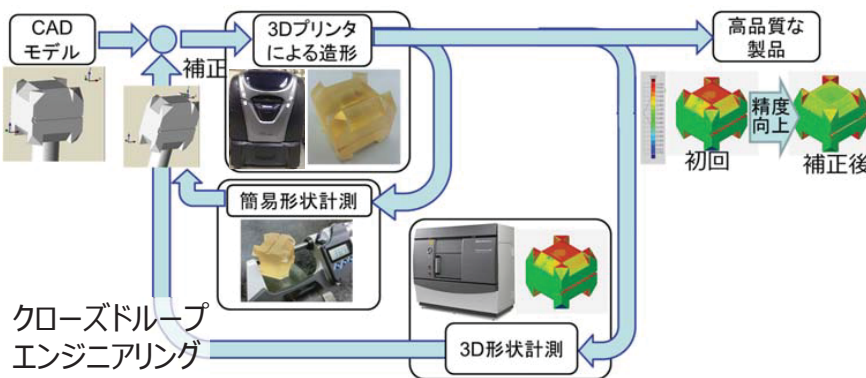
- MV(メガボルト)級X-CTとして世界初となる0.1 mm分解能を達成.

### ISO国際規格開発

- CD(コミティードラフト)投票の承認(計測用X-CT, 光学式スキャナ)

多数点群による複雑形状計測のトレーサビリティ確立 (基本特許準備中)

# 「3D形状計測」



## 技術開発の要点

- ハンドツール(マイクロメータなど)を使って3Dプリンタの精度評価を行い, フィードバックにより精度向上を図る仕組みの実証
- 高精細なフィードバックに不可欠な3Dスキャナの高度化・性能評価法の確立

## アウトカム

- クローズドループエンジニアリングの有効性を実証、そのノウハウを地元企業に伝授
- 延べ全国40都道府県 約50カ所の公設研とのネットワークと相互協力体制を構築

## 成果リスト [:H30年度,内数]

論文発表: IF付国際誌 2[1]報、特許出願 3[1]件

# 「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（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**
- 保有している超高精度評価・計測技術
  - ピコメートル精度を有する変位計測技術（レーザ干渉計技術）
  - 3本の安定化レーザを用いたナノメートル精度の寸法、厚さ計測技術
  - 超高精度角度標準・計測技術



## 具体的な産業ニーズへの応用

- 超高精度な変位計評価・校正（調整）
- 超高精度なシリコンウェハ厚さ計測
- 超高精度な大型平面の形状計測・評価（角度測定を利用）

H(年度)

27

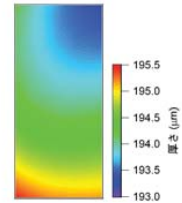
超高精度な変位計評価・校正技術の開発  
(日本マイクロ光器(株)製品評価)

28

長さの国家標準にトレーサブルなレーザ光源と2台の光干渉計を用いてシリコンウェハの**厚さ分布を超高精度に測定**

シリコンウェハ内部の**屈折率に影響されずに厚さを測定可能**

大塚電子(株)が保有するシリコンウェハ厚さ測定器校正用の標準試料として使用。シリコンウェハの品質向上への貢献



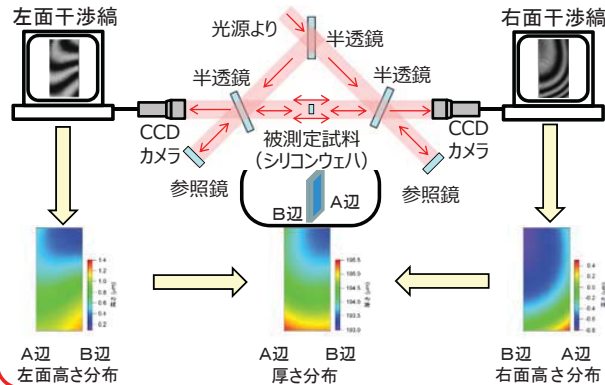
30

Φ600mmを越える大型平面の高精度形状測定装置の開発

31

# 「ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用」

## 超高精度なシリコンウェハ厚さ計測装置



## 超高精度な変位計評価・校正装置

NMIJレーザ  
ホモサイン干渉計

NMIJ干渉計のλ/2周期誤差が1 pm程度と確認

被評価変位計

移動鏡

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)

## 技術開発の要点

- 長さ関連量の超高精度な標準技術を、具体的な産業ニーズへ応用
- 企業の高精度測定器をNMIJの高精度標準技術により評価することにより、さらなる高精度化に成功

## 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
- シリコンウェ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)

## 成果リスト

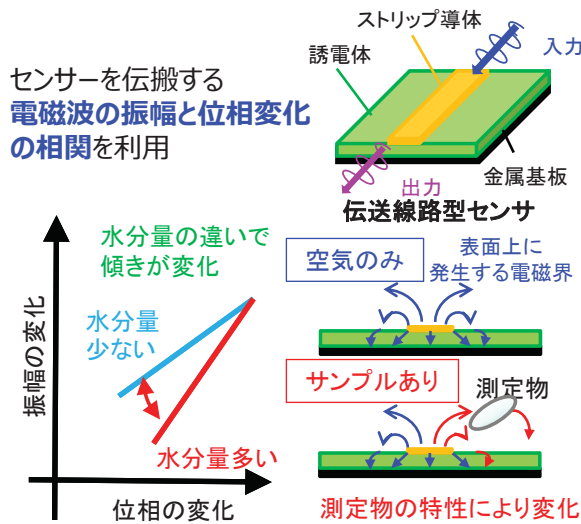
[ ]:H30年度,内数

論文発表: IF付国際誌 6[3]報、特許出願 1[0]件、プレスリリース 1[1]件、受賞 1[0]件

# 「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。



H(年度)

27

28

29

30

31

- 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

米を封入

計測対象

- 体積情報不要
- 非破壊
- 包装状態で計測

包装状態で水分計測を実現

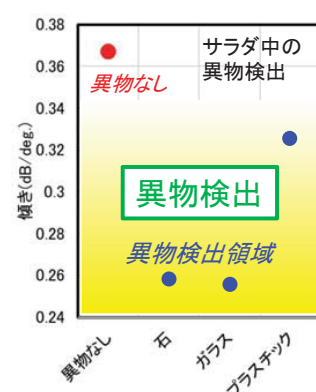
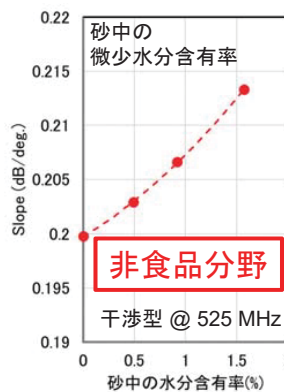
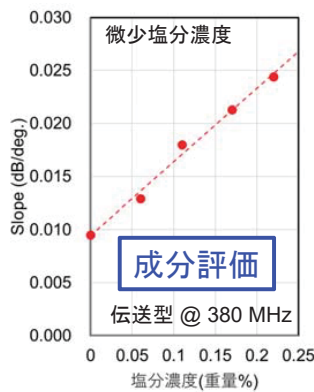
- センサ高度化を目的とした、次世代エレクトロニクス向け材料のミリ波帯誘電率特性測定技術の帯域を170 GHzへ拡大
- 農林水産物および食品などの品質・検査のための非接触・リアルタイム評価装置の実用化

# 「電磁波を利用したセンシング技術の開発」



米の水分含有率評価

新たな展開へ



## 技術開発の要点

電磁波の振幅と位相の変化から、包装や箱詰めされた状態でも、大量のサンプルを1秒以下で簡便に非破壊計測できる技術を開発

## アウトカム

- 匠が手で触った感覚で判断していた水分含有率をリアルタイムに定量化
- 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
- 農産物・食品に留まらない幅広い分野での利用の可能性

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文投稿：IF付国際誌 8[2]報、プレスリリース 3[2]件、特許 12[2]件(実施件数 4件)、ソフトウェア 7[5]件(実施件数 7[3]件)、共同研究 16[4]件、受託研究(公的含む) 10[4]件、技術コンサル 23[8]件、受賞 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」 (橋渡し後期)

## 研究の目的

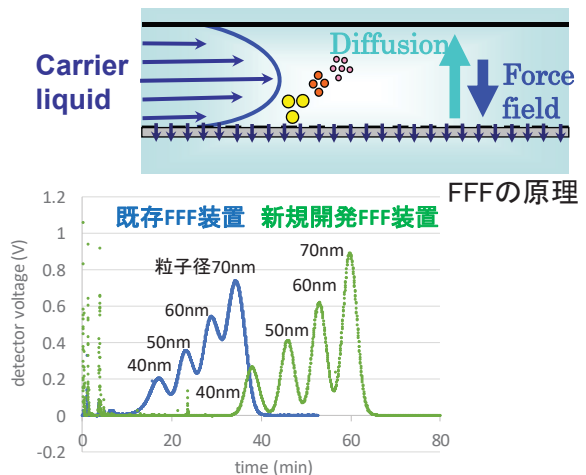
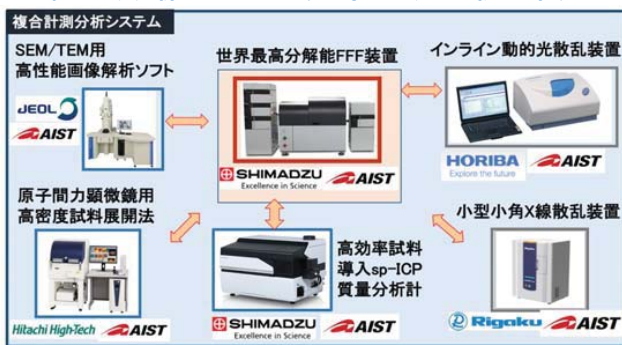
- 【背景】近年急速に導入が進むナノ材料輸出入規制では、ナノ材料の該非判定が求められているが、単一の計測手法では困難。
- 産総研がハブとなり競合する計測機器メーカーがコンソーシアムを結成し協業。産総研はコア技術となる流動場分離法(Field Flow Fractionation, FFF)を主導して設計。
- 計測機器メーカーはFFF装置と組み合わせた各種複合計測手法を開発し、信頼性の高いナノ材料の該非判定を可能にする。



- H(年度) 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
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 複合計測システムのコアとなるFFFを高度化し、**世界最高分解能を実現**
  - 計測機メーカー各社がFFF装置後段の動的光散乱装置、sp(single particle)-ICP質量分析装置、原子間力顕微鏡、粒子径解析ソフトウェアを開発。**ナノ材料複合計測システムを実現**
  - ナノ材料評価に関する**計測プロトコルの開発を完了**
  - 流動場分離法を用いたナノ材料のサイズおよびそのサイズ分布評価に関するISO文書を発行：TS21362
- 新たな計測テーマ検討のための調査検討WGの設置 (H31~)

# 「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」

- 複合計測分析に係る装置・ソフト・計測法を新規に開発



## 技術開発の要点

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**

## アウトカム

複合計測システムにより**信頼性の高いナノ粒子個数基準の粒子径分布の評価を実現** 各種計測装置・ソフトウェア・試料前処理装置の**製品化**と、**国際標準化**

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文発表：IF付国際誌 3 [1]報、特許出願 19[2]件、表彰 2 [1]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 [1]件

# 「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

- 高度成長期以降に集中的に整備された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。
- インフラの現場は、検査箇所が膨大、電源の確保が難しい場合が多い、検査機器を入れる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。



- インフラ構造物の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するとともに、現場での検証試験によってその有効性を明らかにする。

H(年度)

27

28

29

30

31

ロボット搭載バッテリー駆動X線検査装置開発



X線源/検出器  
搭載回転機構



鉄厚7cmのX線透過像  
(撮影時間~1秒)

6インチ配管検査用  
ロボット

高速後方散乱X線イメージング手法を開発



X線源 X線カメラ

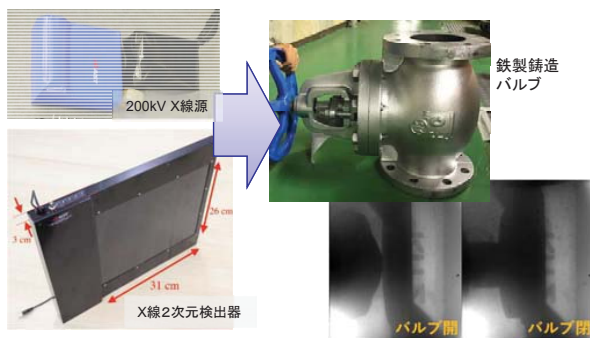
従来比約5倍の高速撮影が可能

踏切における鉄道レール検査

後方散乱X線画像

X線検査システム化技術の開発

# 「X線インフラ診断—革新的X線検査装置の開発」



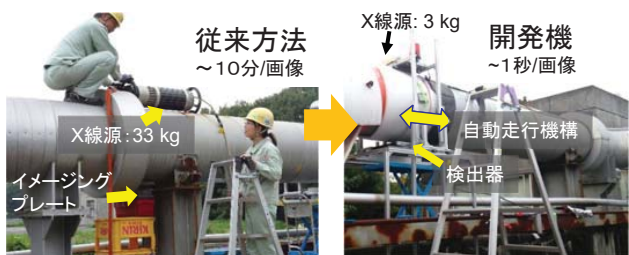
200kV X線源



X線2次元検出器

鉄製鑄造  
バルブ

バルブ開 バルブ閉



従来方法  
~10分/画像

X線源: 3 kg

開発機  
~1秒/画像

X線源: 33 kg

イメージング  
プレート

自動走行機構

検出器

大型配管の現場実証実験  
(実験にて新たな減肉箇所を発見)

## 技術開発の要点

- ・バッテリー駆動可能小型高エネルギーX線源と高感度・高精細・大面積 2次元検出器を開発
- ・小型X線源、2次元検出器、ロボット等の自動化機構を組み合わせ、短時間、リアルタイムに広範囲の画像が取得できるX線非破壊検査システムを開発
- ・後方散乱を利用した独自のイメージング技術を開発

## 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するとともにX線検出器のベンチャー設立等事業化にむけた準備を進めている

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文発表: IF付国際誌 10[0]報、和文誌 4[2]報、  
特許出願 6[2]件、プレスリリース 1[0]件、受賞 2[1]件



# 「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

- 橋梁の健全度評価手法であるたわみ計測を安価・簡便に実現する技術の開発
- 規則格子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、モアレの模様変化から変位・ひずみ分布を評価する技術の確立
- 微小な変形を拡大して観察できるモアレ技術を生かし、微小領域の変位・ひずみ分布計測へ展開



長大橋のたわみ計測



熱残留ひずみ測定装置

H(年度)

27

- 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

28

- 橋梁のたわみ量を橋軸方向から計測する技術の確立

カメラのセンサ配列(格子A)



形成されたモアレ縞

モアレマーカ(格子B)

モアレ縞の位相変化から高精度に変位分布を計測

- 観察物表面にサブミクロンサイズの格子模様を形成し、電子デバイスの熱残留ひずみ分布計測技術を開発

29

- GaNパワーデバイスのTEM画像から転位分布を自動検出する技術を開発

30

- 橋軸方向の撮影による軸重荷重計測技術の開発

31

- リアルタイム変位・振動計測システムの開発

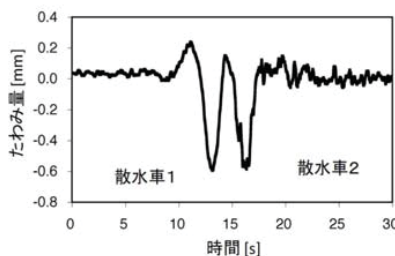
# 「モアレを利用したマルチスケール変位・ひずみ分布計測」

高速道路の他、鉄道橋でもその有効性を実証し、変位計の代替技術としてAIST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

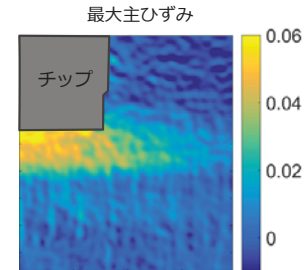


散水車(20トン)

マーカ



2台の散水車が通過時の橋脚間中央のたわみ量



電子デバイスの熱残留ひずみ分布 (0.3 X 0.3 mm<sup>2</sup>)

## 技術開発の要点

- 橋台にカメラを据えて撮影することで峡谷や海に架かる橋のたわみ計測を可能とする計測アルゴリズムを開発し、カメラを用いたたわみ計測の適用性を大幅に拡大
- ナノインプリントによる観察物へのサブミクロンサイズの格子模様の形成とモアレを組み合わせることで広視野高精度なひずみ分布計測を実現

## アウトカム

- 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材料の破壊メカニズム解明に貢献

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文発表: IF付国際誌 11[4]報、特許出願 11[0]件、  
プレスリリース 2[0]件、新聞掲載 7[0]件、受賞 7[1]件

## (3) 橋渡し研究後期 (平成29年度評価委員コメントへの対応)

### 平成29年度評価委員コメント

技術コンサルタントの要望が増えた成果を、受託研究、共同研究は獲得金額の増加につながるよう継続的な取り組みが必要である。

- 領域の技マケ会議で情報共有・方針決定する体制と、研究ユニット・研究現場で連携促進を図った。
- 技術コンサルティングが必ずしも受託・共同研究に移行する案件だけではなく、内容的に技術コンサルティングのリポートになる場合も多い。
- 産総研テクノブリッジフェア、計測テクノブリッジフェアを通じて、新規顧客の開拓、顧客満足度の向上に努めた。



業界・企業との多様な交流ルートを増強し、接触の機会を増やしている。

## (3) 橋渡し研究後期 (平成29年度評価委員コメントへの対応)

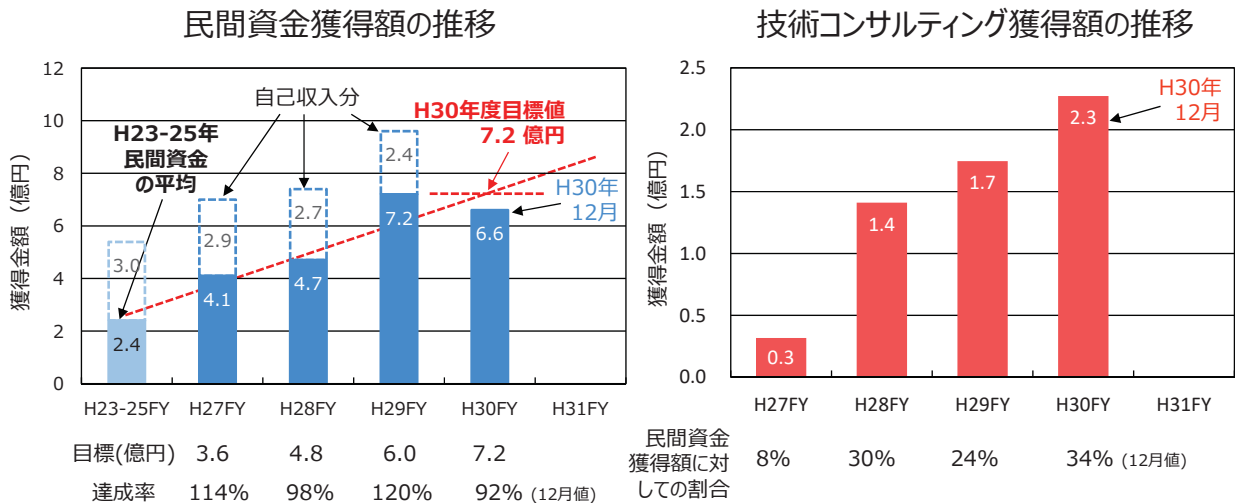
### 平成29年度評価委員コメント

産総研のもつ高精度計測技術を適用して国際標準となり得る計測法・計測装置の研究開発を強力的に推進し、この技術を民間企業に移転する必要がある。

- 開発した計測法・計測装置を元に、民間企業への技術移転を進めている。
  - ◆ 例) 3D形状計測：全国40都道府県 約50か所の公設研とのネットワークと相互協力体制を介して、全国の民間企業への技術普及がなされる。
- 産総研コンソーシアムから技術コンサルティングに至るまで、企業の要望する多様な連携形態を駆使し、技術移転を積極的に行なっている。

## (3) 橋渡し研究後期 (総括)

### - 民間からの資金獲得額 (評価指標)



H27～29年度の目標値の合計 14.4億円 に対し、3年間の実績合計額は **16億円 (111%)**

H27～30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 **25%**

## (3) 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) が高い (モニタリング指標)

項目	単位	3年間の実績値 (平成27年度～平成29年度)					平成30年度の実績値	
		H27	H28	H29	3年間の合計	実績/目標	4月～12月	実績/目標
中堅・中小企業の研究契約件数の比率[*]	%	43.3	44.4	38.4	42.0 (3年間の平均値)	-	34.5	-

[\*] 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 (%)

- 平成27～29年度の平均比率: **42.0%** (基準値: 35%) ⇒ **中堅・中小企業支援にも第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

## 3. 知的基盤の整備

工学計測標準研究部門長

高辻 利之

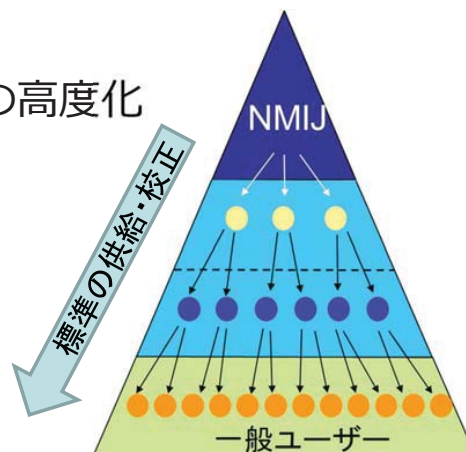
平成31年3月11日

(空白ページ)

# 知的基盤における方針

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育成、計量標準の普及活動、計量標準に関連した計測技術の開発

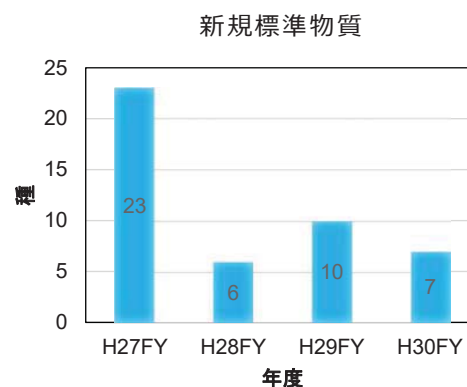
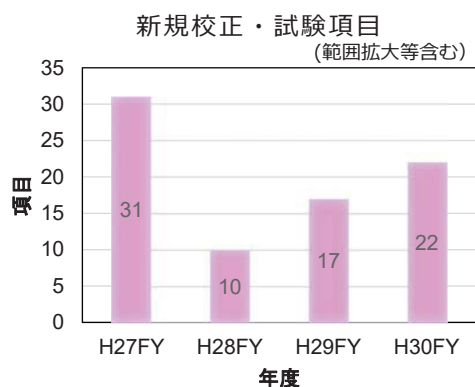
- 知的基盤整備計画に基づく計量標準整備
- 計量標準の普及活動
- 計量標準トレーサビリティシステムの高度化
- 計量法にかかる業務の着実な実施
- 法定計量業務の人材育成
- 次世代計量標準の開発



## 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

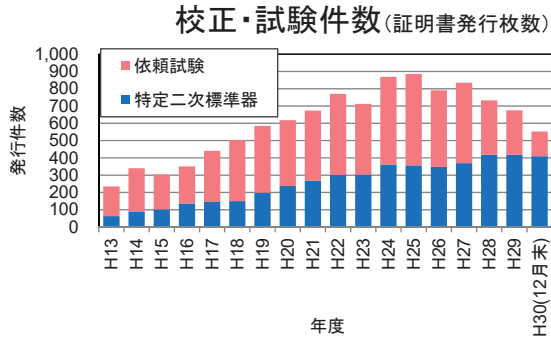


※ 平成30年度：予定含む。

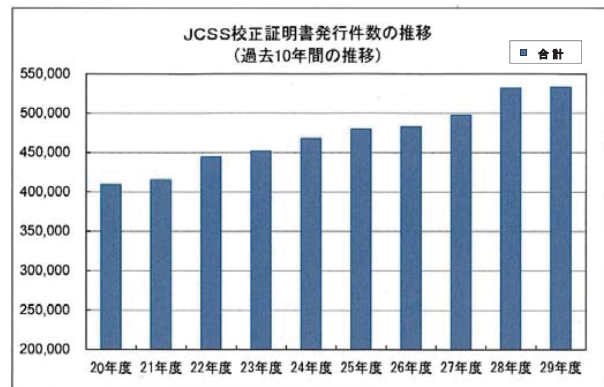
第4期を通して毎年ニーズの調査および集約を行った。

# 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



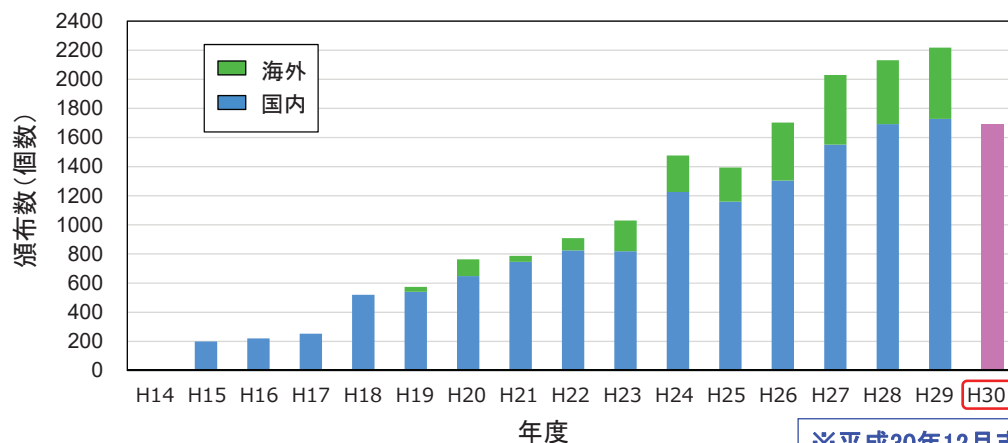
事業者審査への技術アドバイザー派遣他、各種委員会に参画し、計量法校正事業者登録制度(JCSS)を強力に支援



- ・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+a」のソリューションを提供

出典：独立行政法人製品評価技術基盤機構 JCSS公開資料

## ③普及状況 標準物質の供給



※平成30年12月末時点実績  
頒布数: 1,693個  
(平成29年12月末: 1,610個)

- 主な頒布：有機標準物質が約34%（うち臨床検査・バイオ分析用が半分強）、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16%（※平成30年度の例。すべて数ベース。）
- 頒布の傾向：臨床検査・バイオ分析用は12月末時点で既に昨年度頒布数を越え、グリーン調達対応標準物質も増加傾向。環境・食品は横ばい傾向。

## 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（自動捕捉式はかり型式承認）
- JCSS証明書の活用拡大（血压計用圧力計の基準器検査への活用）
- 自動捕捉式はかり型式承認開始への対応
- 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（水銀未使用の血压計用基準圧力計）

### \* 特定計量器に関する試験

- 基準器検査 **1,166** 件
- 型式承認 **68** 件（平成30年度（4月～12月）の件数）

### \* 新しい技術基準（JIS）の作成：

- 排水流量計、CNG（圧縮天然ガス）メータ

## 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**34**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**237**名の計量士候補を講習会（延べ10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、平成30年度の値

## 本日紹介する知的基盤研究テーマ

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
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	H30特筆
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	ポスター
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	ポスター
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 (一体多型校正技術と共同展示)
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	
自動はかり評価技術の構築	法定計量、知的基盤の整備	H30特筆
化学・材料データベースの整備	計量標準の普及活動	H30特筆

(空白ページ)



# 「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

- 人工物で定義される唯一の基本単位である「キログラム」の定義を改定するために、 $^{28}\text{Si}$ 同位体濃縮結晶球体を用いて、アボガド定数の測定精度を向上させる。そのために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する。
- 平成29年に科学技術データ委員(CODATA)が実施するプランク定数やアボガド定数の決定のために基礎データを提供し、130年ぶりとなるキログラムの定義改定に貢献する。



キログラム原器



1 kgの $^{28}\text{Si}$ 濃縮結晶球体

H(年度)

27

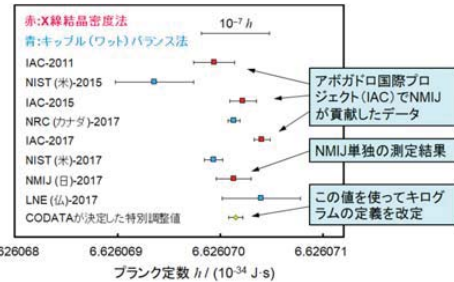
28

29

30

31

- 科学技術データ委員会 (CODATA) によるプランク定数の2017年特別調整値の決定に貢献
- 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

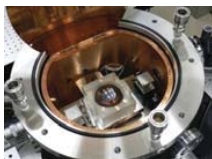


H30：国際度量衡総会で130年ぶりのキログラムの定義改定が採択

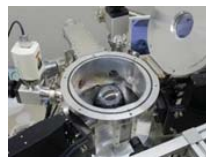
H31：キログラムの新定義実現に貢献するために国際比較に参加

# 「130年ぶりのキログラムの定義改定への貢献」

シリコン球の直径及び体積の測定



空気中と真空中におけるエリプソメトリー



X線光電子分光法(XPS)



真空天びんによる超精密質量比較



キログラムの新しい定義実現の標準不確かさ：24  $\mu\text{g}$   
(キログラム原器の質量安定性：50  $\mu\text{g}$ )

## 技術開発の要点

- 同位体濃縮シリコン結晶球体の直径を原子レベルの精度で計測
- 球体表面を分析するエリプソメータとX線光電子分光装置を開発
- シリコンの同位体存在比や結晶格子の均一性も評価

## アウトカム

- 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など4つのSI基本単位の定義改定が採択
- 130年ぶりとなるキログラムの定義改定に日本が大きく貢献

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文発表：IF付国際誌 25[2]報、特許登録 1 [1]件、プレスリリース 1 [0]件、その他に新聞・テレビ・雑誌等における成果の発信多数、論文賞：Metrologia Highlights of 2017 (N. Kuramoto et al., 2017, **54**, 716-729)

# 「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

- 現在の秒の定義はマイクロ波に基づいているがこれよりも約4~5桁周波数の高い光（レーザー）を用いる事で、より精度の高い時間周波数標準が得られる。
- 光を用いた周波数標準が、国際原子時（各国の原子時計により維持される高精度で安定した時刻系）へ貢献可能な事を実証する。
- そのために、連続運転が可能なイッテルビウム光格子時計を開発し、これを用いて、より高精度な時間の国家標準（UTC(NMIJ))の構築を目指す。

H(年度)

27

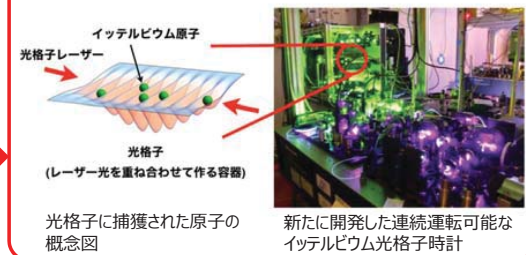
- 小型かつ堅牢なレーザー光源群の開発を行い、それらの周波数を光周波数コムを基準に制御するシステムを構築した。

28

29

- 光格子時計を安定して動作することが可能になった(1回3時間程度の運転を定期的に行うことができる)。
- 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、9000万年に対して1秒程度の誤差に相当することを確認した。

30



31

- 光格子時計の絶対周波数評価

# 「光格子時計による次世代時間・周波数標準の開発」

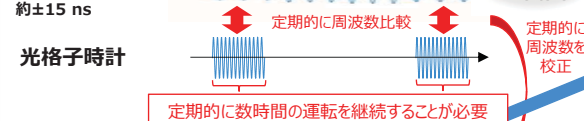
## 光格子時計を用いた国家標準の高度化

水素メーザーと光格子時計の長所を生かして高精度な国家標準を目指す

	連続運転	不確かさ
水素メーザー	○	△
光格子時計	△	○

水素メーザー  
協定世界時との位相差：  
約±15 ns

現在の国家標準

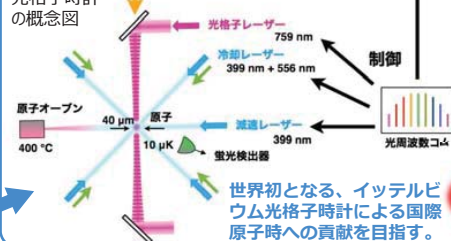


水素メーザー & 光格子時計  
協定世界時との位相差：  
約±1.5 ns (目標)

より高精度な周波数標準の実現  
新しい国家標準 → 国際原子時への貢献

## 開発した光格子時計の特徴

光格子時計の概念図



- すべてのレーザーの周波数を光周波数コムを用いて安定化
- レーザー周波数を自動制御するシステムを開発

従来のシステムの連続運転時間：  
~1時間

新しいシステムの連続運転時間：  
>10時間

## 他機関の研究の方向

- 不確かさの低減：理研(Sr,Yb)、米(Sr,Yb)、独(Sr)、仏(Sr)
- 国際原子時への貢献：仏(Sr)、NICT(Sr)

Sr：ストロンチウム光格子時計  
Yb：イッテルビウム光格子時計

## 技術開発の要点

時計の動作に必要な全てのレーザー光源の周波数を、堅牢な光周波数コムを用いて制御する産総研独自のシステムを構築  
→ イッテルビウム光格子時計の安定した動作を実現

## アウトカム

- 今後予想される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

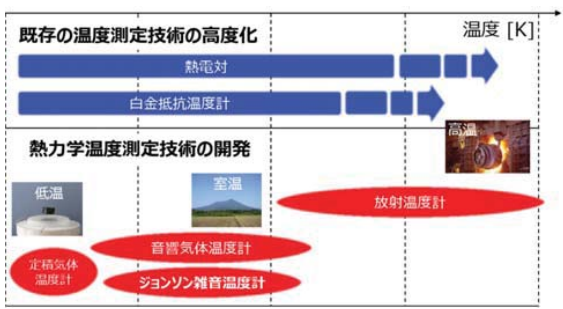
## 成果リスト

論文発表：IF付国際誌 7[3]報、プレスリリース 1 [1]件

# 「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

- 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の開発
- 平成30年11月決議され、平成31年5月から施行される熱力学温度の単位「ケルビン」の定義改定への貢献
- 1990年国際温度目盛と熱力学温度の差の精密評価

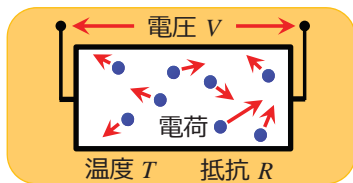


H(年度)

- 27 → ・1000 °C付近で±0.001 °Cの安定性をもつ白金抵抗温度計の開発
- 28 → ・金属-炭素共晶点による熱電対校正技術で、1600 °Cの温度標準を開発
- 29 →
  - 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
  - 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三研究機関のみ
- 30 → ・高温熱電対の標準整備計画の達成 (3月予定)
- 31 → ・室温近傍の熱力学温度精密計測

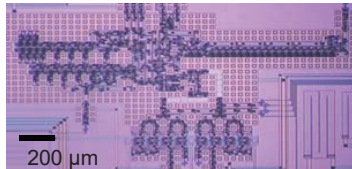
# 「温度測定技術の高度化と次世代温度標準の開発」

## ジョンソン雑音温度計の原理



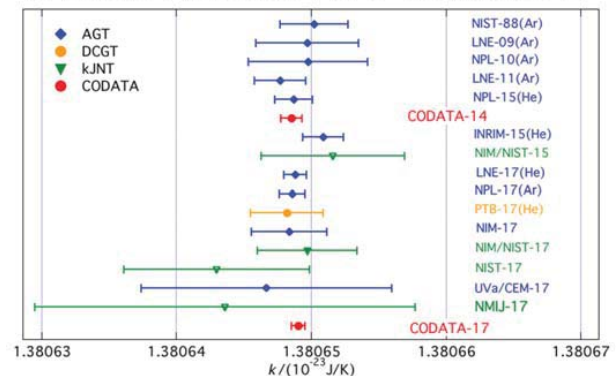
抵抗器の雑音電圧のパワースペクトル密度、抵抗値、熱浴の温度からナイキストの式によりボルツマン定数 $k$ を導出

## 集積型量子電圧雑音源



産総研で独自に設計・開発したパワースペクトル密度測定のための基準信号源

## 各種実験手法によるボルツマン定数 $k$ の値



## 技術開発の要点アウトカム

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。

- 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

## 成果リスト

[ ]:H30年度,内数

論文発表：IF付国際誌 19[0]報、外部資金(民間・公的) 19[3]件、特許(出願・取得) 2[0]件、受賞・表彰 2[1]件

# 「産業界を支える電気計測」 (知的基盤)

## 研究の目的

あらゆる産業活動で不可欠な電気計測の高度化を通じ、

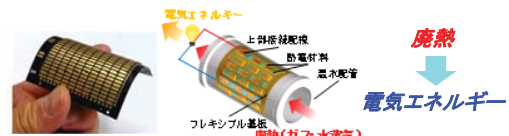
- ・企業の品質保証を支える
- ・エネルギーの有効活用を推進する

ことを目的として、以下のような研究開発を実施：

- ①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)
- ②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)
- ③電力品質の向上や見える化への貢献  
(国際標準に準拠した広帯域電力計測技術)

H(年度)

- 27 → 小型電圧標準器を開発 (世界最小、高安定)①
- 27 → 高抵抗測定を技術支援 (コンソーシアム設立)②
- 27 → 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)②
- 28 → 近年注目されている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②
- 29 → 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  
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
- 30 → 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②
- 31 → 国際標準にのった高い電力品質を実現する広帯域電力計測技術を開発③



# 「産業界を支える電気計測」

産総研  
電気の国家標準

(最高精度の計測技術)

・小型電圧標準器  
(2 ppm/yearの安定度)

・広帯域電力計測  
(50 kHzまで拡張)

・高抵抗の精密測定  
・リチウムイオン電池の  
非破壊評価

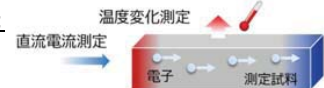
・熱電材料・モジュールの評価  
(未利用廃熱の有効利用)

電気計測の高度化

エネルギーの有効活用推進へ

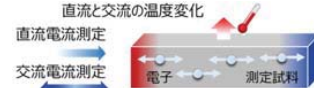
## 産総研で開発した新たな熱電測定手法

(i) 従来手法:



電子の移動による熱の偏りが発生  
⇒ 熱伝導率や試料サイズの測定が必要

(ii) 新手法:



交流電流により熱の偏りが生じない  
⇒ 熱物性値やサイズ測定が不要に!

(従来の絶対測定)の1/10の測定時間、5倍の精度

技術開発の要点

- ・国家標準の技術を生かし**電気計測を高度化**。製品や電力の品質向上、見える化等へ貢献
- ・効率的かつ高信頼な**熱電性能評価のための新しい測定手法を開発**

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

成果リスト  
[:H30年度内

論文発表：IF付国際誌 23[3]報、特許出願 5[1]件、プレスリリース 4[0]件、外部受賞 3[0]件、共同研究 11[6]件、技術コンサル 30[10]件

# 「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

- 水道水質検査では、実態としてメーカー保証の市販標準液が使われており、検査結果の精度管理に問題を抱えていた。この状況を見直すべく、H27年に水質検査方法の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。
- 本研究では、効率性の高い値付け技術である一對多型校正技術等を適用することで、計量標準が必要とされる水質基準44項目\*において計量法に基づく標準液を機動的に整備することによって、水道事業体における水質検査の信頼性確保に資する。

\*第4期においては43項目の整備が目標

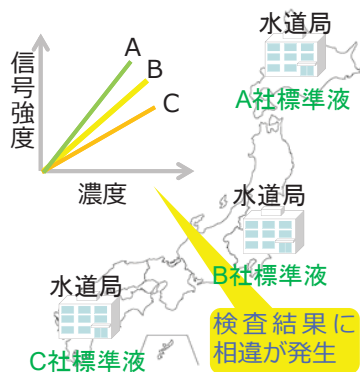
H(年度)

- 27 • 臭素酸イオン標準液、塩素酸イオン標準液、揮発性有機化合物25種混合標準液を整備（H27年11月計量法告示）
- 28 • 全有機体炭素標準液を整備（H29年2月計量法告示）
- 29 → 亜塩素酸イオン標準液※、フェノール類6種混合標準液、八口酢酸4種混合標準液、かび臭物質2種混合標準液を整備（H30年7月計量法告示）、これまでと合わせて計量標準が必要となる水質基準44項目のうち43項目の標準整備を完了  
※水質管理目標設定項目
- 30
- 31 • 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を開発（H34年度までに整備）

# 「水道法等の規制に対応した標準物質の開発」

①H27年以前

標準液のメーカーが異なると、検査結果の相互利用が困難であり水質の実態調査に支障



②H27年3月

水質検査方法の改正により、計量法に基づく標準液が使用可能に

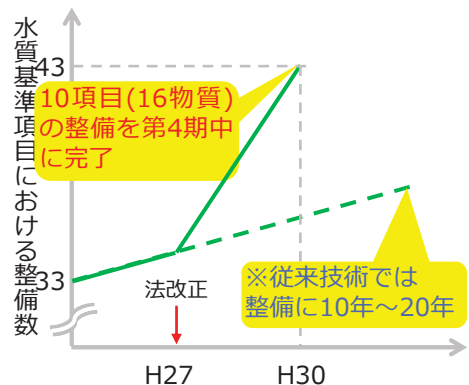
※H27年3月時点では水質基準11項目で未整備の状況

厚労省国立衛研からの支援要請

③H27年度～

各検査項目に対応した新たな値付け技術の開発  
・ 一對多型校正技術  
・ 高精度電量分析  
・ 滴定技術、等

世界最高品質の水質検査対応標準液を迅速に整備



全国1300の水道事業体における水質検査の統一精度管理が可能に

技術開発の要点

一對多型校正技術等の適用を図ることで、知的基盤整備計画に掲げた水道法等の規制に対応した標準物質の100%整備（第4期分）を達成

アウトカム

厚生労働省所管の全国1300の水道事業体における検査の信頼性確保に貢献  
確立した技術により、規制項目の追加や他の法規制等にも迅速に対応可能

成果リスト  
[]:H30年度,内数

論文発表:IF付国際誌 7[4]報, NMIJ CRM 5[1], 依頼試験 4[0]件

# 「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

放射線による治療・診断に不可欠な線量計や放射能測定装置の信頼性を保つための校正を、正確かつ安定的に行うため、日本の国家計量標準を整備する。また開発した放射能標準による、福島県内の放射能測定の信頼性向上に寄与する。

- 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 $^{223}\text{RaCl}_2$ の放射能
- 医療業務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放射能測定技術の向上支援

放射能測定装置の校正に用いられるラジウム223溶液の例



病院で線量測定に用いられる井戸形電離箱



H(年度)

27

28

29

30

31

がん治療用イリジウム192密封小線源について

- 海外機関との比較を行い、妥当性を確認
- 国内の校正事業者（日本アイソトープ協会）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

- 産総研にて $^{223}\text{Ra}$ の放射能の標準供給を開始

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

水晶体被ばく線量評価のための線量標準の開発

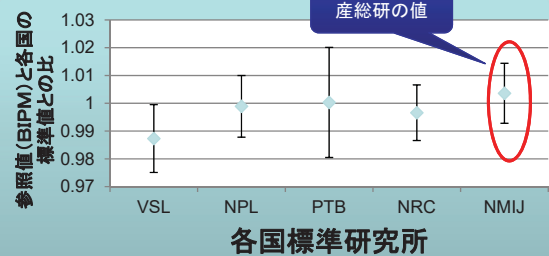
がん患者への負担が小さい先進的治療法である重粒子線の水吸収線量標準にも利用可能な水カロリメータの開発

# 「放射線利用の安心・安全のための計量標準整備」

従来より産総研で開発していた空洞電離箱による線量測定の技術を用いて、イリジウム192密封小線源に対する線量標準を開発



先端部分に「イリジウム線源」が充填されている



イリジウム192密封小線源について国際比較により産総研の値の妥当性を確認

## 技術開発の要点

- 二次校正機関、照射装置メーカーとの連携により、線源をスムーズに利用⇒開発期間の短縮
- 関連学会へ協力し線量測定ガイドラインを作成⇒計量標準の利用を促進

## アウトカム

- 測定装置の校正を、速く、安く、正確に、安定的に行える
- 投与線量の斉一化による治療効果向上へ寄与
- がん治療を受ける方々の安心・安全へ寄与

## 成果リスト

標準供給開始 2[0]件、プレス発表 2[0]件、論文 2[0]報、共同研究(資金有) 3[0]件、受託研究(資金有) 2[1]件、受賞 1[0]件

## 「自動はかり評価技術の構築」 (知的基盤)

### 研究の目的

H(年度)

- 計量制度の見直し（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、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機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。

27

28 → 計量行政審議会答申

29

30 →

- 自動捕捉式はかりJIS制定
- 型式承認試験評価手法及び装置の開発
- 検定方法及び使用中検査方法の基準作成
- 検定実施のための指定検定機関向け講習を計量研修プログラムに追加

31 →

- 計量法への引用開始（一部検定の開始）
- 型式承認試験装置の開発・設備の整備
- 試験の効率化を目指した計量回数の低減指針を検討
- ホッパースケール及びコンベヤスケールJIS制定（自動はかりJISの整備）

## 「自動はかり評価技術の構築」

### 自動捕捉式はかりJIS

- 自動捕捉式はかりJIS制定（計量法へ技術基準として引用）
- 最新の国際規格と整合（OIMLR51）
- 型式承認試験評価手法の研究開発



型式承認試験評価手法の研究開発  
周回コンベヤによる無人連続計量実験

### 検定方法・検査方法制定

- 自動捕捉式はかりJISへ附属書として新たに制定（計量法へ検定基準として引用）
- 国内事情に合わせた基準の作成
- 指定検定機関のための計量講習を開始

### 技術開発の要点

規制（公的検定：信頼性、正確性、利便性、国際整合に配慮する）される計量器の技術基準の作成を行う。型式承認試験評価において、信頼性の高い装置の開発及び効率的な手法の検討を行う。

### アウトカム

- 社会への信頼性、正確性、安全性の確保
- 製品開発速度の効率化
- 市場への流通・消費者ニーズへ迅速に対応可能
- 市場規模：食品加工業、流通業、飲料・製菓業など需要が拡大

### 成果リスト []:H30年度,内数

標準化：1[1]件（自動捕捉式はかりJISB7607：2018）

## 「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、信頼性の高い情報をWeb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。

- ・ **有機化合物の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)、<sup>1</sup>H及び<sup>13</sup>C核磁気共鳴 (NMR) 等のスペクトルデータ、約11万件の情報発信を行なっている。
- ・ **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件の情報発信を行なっている。

データの利用例 :

試薬カタログ (2社)、JSTのJ-Global等へのSDBS番号の提供、マテリアルズインフォマティクス向けのデータ提供 (TPDS:NIMSとの共同研究) など

```
[{"ChemicalFormula": "Al2O3",
"CrystalStructure": "Polycrystal",
"MatName": "Aluminum Oxide(alpha phase)_FC.Bu.G3.111.Specimen1",
"MaterialID": "15112",
"MaterialLevel": "8", "MetaCount": "4", "酸化アルミニウムの熱伝導率",
"SubItemswithT": [
{"DOI": "https://doi.org/10.1016/0022-3115(94)90996-2",
"Equation": "false",
"MetaID": "20276",
"PropertyName": "Thermal conductivity",
"RecordCount": "20",
"Items": [{"PropertyValue": "1, Temperature: X",
"PropertyData": [{"X": 528, 290, 72.2}]}]}
```

WSGV=温度指定  
Z heDSデータの例

H(年度)

27

28

29

30

31

国際度量衡局主催のInternational Metrology Resource Registryの立ち上げに参加。SDBS及びTPDSの情報へのリンク作成。

SDBS : ランディングページの公開 (7月)

- ・ 化合物やスペクトルデータに直接アクセスできるURLの整備した。
- ・ ランディングページを通してアクセスが、公開以来約2万件。

TPDS : データ提供WebAPIの拡張

- ・ インフォマティクス用のデータ提供WebAPIを拡張し、指定温度でのデータを取得可能とした。

自立的な運営基盤に向けた、ユーザと連携する体制の立ち上げ

## 「化学・材料データベースの整備」

### \* 有機化合物スペクトルデータベース (SDBS)

- 今年度のアクセス数 : 28,207,952件 (4月~12月)
- URLをブックマーク可能なランディングページを、スペクトル (11万件) と化合物 (3.4万件) に対して公開 ([https://www.aist.go.jp/aist\\_j/news/au20180718.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/news/au20180718.html))
- 419スペクトル新規公開予定
- データの新規収集、Webでの公開継続と利便性向上及び外部連携を目指した技術的検討 : 研究会の開催、ユーザと連携した運営へ向けた体制作り

### \* 分散型熱物性データベース

- 今年度のアクセス数 : 1,507,944件 (平成29年度と同様規模) (4月~12月)
- 収録データ数 : 11,779 (公開中) + 105 (新規追加予定)
- 機械処理向けのデータ提供WebAPI機能を整備し、指定温度での熱物性データ提供および材料データ提供機能を実現
- マテリアルズインフォマティクス向けのデータ提供を継続 (NIMSとの共同研究)

### \* 固体NMRスペクトルデータベース

- 今年度のスペクトル閲覧数 : 109,771件 (4月~12月)
- 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



### 3. 知的基盤の整備 (平成29年度評価委員コメントへの対応)

#### 平成29年度評価委員コメント

国際の場での貢献（新しい標準技術や標準化）を今後も続けられるような運営が望まれる。

- SIの定義改定に対して、科学技術データ委員会（CODATA）によるプランク定数の2017年特別調整値の決定に貢献するなど、国際の場での貢献は既に行なってきたが、今後、キログラムの新定義実現に貢献するために国際比較に参加し、定義改定に主導的な役割を果たしたNMIとして、他のNMI等への技術的な指導を行なってゆく。
- その他、秒の再定義や、単一電子制御技術など、国際的に充分貢献しうる技術の蓄積があるため、今後も継続的な貢献を続けられるように運営する。

### 3. 知的基盤の整備 (平成29年度評価委員コメントへの対応)

#### 平成29年度評価委員コメント

標準物質供給量においては、増加分が海外での売り上げが寄与していることについて、今後の標準物質の開発・供給にも関係するので分析が必要かと思う。

- 海外への売り上げの増加は、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ている。

### 3. 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

(空白ページ)

## 評価資料（年度末確定値）

### 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
民間からの資金獲得額（億円）	6.6	7.5	
リサーチアシスタント採用数（名）	12	13	
イノベーションスクール採用数（名）	6	6	
大企業に対する中堅・中小企業の研究契約件数の比率（%）	34.5 %	34.0 %	
技術コンサルティング （件） （億円）	150 2.3	229 2.4	
計測クラブの研究会・講演会（回）	14	19	
産総研コンソーシアムの研究会・講演会等（回）	研究会等 7 比較測定 2 技能試験 2	研究会等 6* 比較測定 2 技能試験 2	
博士研究員（名）	6	6	
技術研修生（名） （うち連携大学院生）	82 (15)	112 (15)	
連携大学院客員教授及び准教授	7 大学 11 名	7 大学 11 名	

\*委員会では、「研究会等：7」と報告したが、当初予定していた研究会が令和元年度に延期となったため、「研究会等：6」となった。

### 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）

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
論文の合計被引用数（回）	2,451	2,566	
論文発表数（報）	133	205	
知的財産の実施契約等件数（件）	95	100	目的基礎、橋渡し前期、橋渡し後期の合計値

#### (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
知的財産の実施契約等件数（件）	95	100	目的基礎、橋渡し前期、橋渡し後期の合計値
公的資金獲得額（億円）	-*	9.1	

\*:委員会説明では、再委託費を一部含む値を用いており定義が異なるため、本表には示さない。

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
民間からの資金獲得額（億円）	6.6	7.5	議事1の項で示した指標の再掲
大企業に対する中堅・中小企業の研究契約件数の比率（%）	34.5	34.0	議事1の項で示した指標の再掲
知的財産の実施契約等件数（件）	95	100	目的基礎、橋渡し前期、橋渡し後期の合計値
大学・公的機関との共同研究・受託研究（件）	大学：91 公的機関：123	大学：127 公的機関：147	

3. 知的基盤の整備（地質調査総合センター、計量標準総合センターのみ）

各種指標（単位）	委員会説明	年度実績（確定値）	備考
国家計量標準の供給（件）	410	535	
産総研依頼試験（件）	142	198	
標準物質頒布（件）	1,693	2,224	
基準器検査（件）	1,166	1,583	
特定計量器の型式承認（件）	68	89	
技術アドバイザー派遣（件）	29	44	
校正事業者評定委員会（回）	11	11	
試験事業者評定委員会（回）	8	8	
新規校正・試験項目（件）	22	22	範囲拡大・高度化含む
新規標準物質（件）	7	7	
特定標準器による校正の上程（jcssサービスの開始）（件）	2	2	
計量研修（名）	572	572	
法定計量に関連する教習及びセミナー（回）	34	36	

【総括表】

（一部再掲、目的基礎、「橋渡し」前期、「橋渡し」後期の重複なし）

評価指標/モニタリング指標	年度実績（確定値）	領域としての目標値
民間からの資金獲得額（億円）	7.5	7.2
論文の合計被引用数（回）	2,566	2,600
論文発表数（報）	205	205
リサーチアシスタント採用数（名）	13	10
イノベーションスクール採用数（名）	6	
知的財産の実施契約等件数（件）	100	85

## 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（見込を含む）に対して：見込評価】

（評価できる点）

- ・当該領域は、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。そのマネジメントの指針となる領域の長期ミッションと年度方針を明確に設定している。
- ・持続的な計測技術の高度な研究実績による量の定義に対する多大な貢献が認められる。これにより、国際的な計量標準研究機関としてトップランナーとして立場を確立している。
- ・評価資料では具体的な成果と課題を明らかにし、自己評価が適切に行われている。
- ・第4期中核ミッション、新たなミッションに対応する具体的な方針を取り上げ、実施している。また、領域内の研究・業務で曖昧になりがちな標準と計測の研究のバランスを考え各研究部門における業務効率の最適化に取り組んでいる。
- ・今期の研究には世界でのトップにある成果もあり、その研究推進のマネジメントは高く評価できる。
- ・技術コンサルティング件数は順調に増加し、民間外部資金獲得にも繋がっており、ユーザーニーズの把握と産業界との連携に大きく貢献する取り組みである。
- ・技術コンサルティングの導入や、部門制の組織など新たな試みを進めており、民間資金の導入、論文等計画を上回っている。目標達成に対する意欲が高いことが感じられる。
- ・目的基礎、橋渡し前期/後期すべてにおいて目標を超えている。
- ・技術コンサルティングや装置提供型共同研究による獲得資金が増えていることから、民間にとってNMIJとの協調の効果の高さが認められているものと理解。
- ・他領域との連携を強め、総合力を発揮することで、より大きな目標に取り組み成果をあげるとともに、人材育成と次の橋渡しのための基礎研究のための種を育てるために若手研究者を対象とした萌芽的研究制度を設ける仕組みを設け、仕組みが有効に働くようにコントロールしている。
- ・研究者は必ずしもグループディスカッションを好むものではないと思うが、柔軟な発想を生む仕組みを作る、それで成果が出せていることを評価。
- ・単一電子、単一光子、単一原子などの世界トップレベルの目的基礎研究を着実に実行しつつ、これらの成果の実用化を図るため、橋渡し研究を積極的に進めている。知的基盤研究と橋渡し研究の2本柱を設定し、着実に実行している。具体的な橋渡し研究（後期）の成果に期待が持てる。
- ・やるべきことと、追加してやりたいことのバランスがうまく取られて、全体マネジメントが向上している。世界のトップ3のNMIJであることを維持するという基本目標設定が良い。
- ・若手の活用が積極的に行われていることが評価できる。

（改善すべき点及び助言）

- ・評価資料にて当領域における橋渡し機能を明確に示しているが第4期の開発成果を踏まえた第5期への展望が示されるとよい。
- ・技術コンサルタントの増加に伴い、その依存度が高くなることによる外部資金獲得の意識の低下や、コンサルティングのエフォート率が本務に影響しないようバランスに注意を払うことが必要となると思われる。
- ・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。
- ・ニーズとシーズを踏まえた、今後の計量標準の高度化とその効率的開発の実施において、研究・標準関連業務の時間、人員、予算などの分配に関わるマネジメントの向上が必要となると思われる。
- ・第4期の目標・戦略の中で評価した課題を整理し、次期の目標設定につなげてほしい。
- ・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。
- ・法定計量に関わる人材育成について、そのレベル向上を課題としているが、具体的な人材の必要数の見積りとその育成方法の開発について検討が必要と思われる。
- ・研究マネジメントにおいて、研究成果の他分野への展開や成果の活用機会の創生につながるよう、今ま

で以上に産業界・社会に対する発信に努めてほしい。

- ・ NMIJ の総合力の概念化を図ると共に、対外的に積極的な発信が望まれる。
- ・ ニーズのみを考えていると新しい研究がうまれてこない。若手研究者の萌芽研究に上限 400 万円として 30 年度は 8 人に予算を支給していることは評価できるが、成果報告についての評価体制は十分であるか？
- ・ 計量計測の関連分野において国際機関で活躍する人材の育成及び次世代を担う若手研究者の育成にさらなる努力が求められる。
- ・ 若手研究者の育成に対して、いろいろな施策を行っているが、常にフォローを行い、形式化・硬直化しないように注意してほしい。
- ・ 本来は、第 4 期のこれまでの 4 年間の成果と最終年度の計画を元に評価すべきものと考えます。来年度の評価において、他領域との連携に関し、第 4 期の成果（次年度の評価）についての発表を期待します。
- ・ 現在実施中の様々な段階の研究については、日本発の世界トップレベルの成果を目指していただきたい。
- ・ 四期を通して、上位 2NMI との差はどのように縮まったのか、4 位以下の NMI との差別化はどこが強みかなどの分析が必要。
- ・ 標準化に関しては、他領域の研究者に対する教育機能の強化を図るべきではないか。

#### 【とくに平成 30 年度に対して：平成 30 年度評価】

（評価できる点）

- ・ 当領域としての橋渡し研究の考え方を示し、目的基礎から後期のそれぞれの段階での要求事項を明確にしている。
- ・ 組織マネジメントの可視化を試みている。
- ・ 領域のアウトカムに対する課題の継続的自己分析が行われている。
- ・ 地域との連携活動に関して、ラウンドロビントテストの成果や分科会の取り組み、討論会・講演会など積極的な取り組みが認められる。
- ・ SI 基本単位の定義改定について国内プロモーション委員会を設立、各種メディアに情報発信するなど計量標準にかかわる活動の広報に努めたことは評価できる。
- ・ 2020 年開催のオリンピックを好機ととらえ、ドーピング検査体制強化、SI トレーサブルな分析基盤構築のため、ドーピング検査標準研究ラボを設立するなど積極的な活動は計量標準の重要性を一般へ認知させ、かつ社会ニーズともマッチした良い取り組みである。
- ・ 民間への協力、基礎研究、計量標準等のバランスが良くなっており、今後も継続が可能であると考えられる。
- ・ SI 基本単位系改訂に大きく寄与した。また、SI 定義改定を一般社会に広く伝え、計量標準の活動を認知させた。
- ・ 現在実施している研究成果が世界トップレベルであることを内外に積極的に発表していただきたい。
- ・ 技術コンサルティング事業が順調に拡大し基幹業務の一つとなりつつあることはよい成果。

（改善すべき点及び助言）

- ・ 研究に対する PDCA は組織的に実施されているが、知的基盤の整備サイクルを活用したマーケティングにおいて PDCA の実施の実態が見えるとよい。
- ・ 今期の成果を次期に展開する上で、持続可能な社会の実現のための技術開発、産業展開に対する領域の関わり方の具体化が望まれる。
- ・ 評価委員会で紹介された研究成果以外に実施されているの領域における経常研究の実施状況、その成果から橋渡し研究への移行する状況が把握できない。
- ・ 地域との連携活動に関する活動の成果がどのように展開されたか、成果が地域創生にどのように寄与したかを示すとよい。
- ・ センターの年度計画に基づいて、各研究員までの計画が作られることになっているが、トップダウンとボトムアップのバランス、領域の目標と個人の目標のバランスをとるように注意してほしい。
- ・ 長期的視点での人材育成として、各種 STEM 教育に取り組まれていると思います。その部分もアピールされるのがよろしいかと思えます。
- ・ 橋渡し後期の加速を期待する。
- ・ 第四期の新組織体制の評価、止めていくべき仕事の評価などを開始するタイミングが遅れ気味ではないか？

## 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（見込を含む）に対して：見込評価】

（評価できる点）

- ・社会ニーズをとらえ、当該分野における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、研究成果を発信している。特に今期は次世代の計量標準に寄与する量子分野の研究が大きく展開され、その成果の世界的優位性が認められ今後の多方面へ大きな寄与が期待できる。
- ・量子化による高分解能、高精度化により、世界最高水準の分析技術に発展したことは基礎研究の成果として評価できる。
- ・量子単一ユニット標準の新たな開拓が期待できる。
- ・微小電流計測制御技術により nA まで計測可能（世界最高）
- ・先端材料評価のためのレーザー分光法では、広い範囲での計測が可能、発光効率を高める分子構造特性解析により省エネルギー社会への貢献が期待できる
- ・報告されたものは、いずれも非常に重要になるとと思われる技術に対するものであり、今後の実用化が期待される。単電子や単一光子計測など、量子化された究極的な計測法に取り組み、大きな成果が出ている。高度な研究機関としての役割を果たしている。
- ・次世代の計量標準に必要な計測技術と社会的ニーズを照らし合わせ、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を主眼として取り組み、世界トップレベルの研究成果を得た。
- ・論文の被引用件数が伸びていることから、有効・有用な成果が論文として発表されている。
- ・研究のキーワードを量子化とし、その中でも単一電子、単一光子、単一原子といった超高感度、高分解能計測技術開発が順調に進んでおり、将来の計測標準に発展する可能性が高い。
- ・高い成果をコンスタントに生み出しており、研究レベルの高さが維持されている。

（改善すべき点及び助言）

- ・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
- ・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。
- ・当研究領域の研究開発の成果が工業製品の国際競争力の向上へ繋がること期待したい。
- ・創出した新たな技術を産業へ繋げる橋渡しへの展開、世界トップレベルの成果をさらに多方面分野へ展開するためには、さらなる工夫、努力が必要と思われる。
- ・第4期の基礎研究の成果が橋渡しに繋がっている例について具体的に示して頂くことで評価につながる。
- ・単独でのパフォーマンスだけでなく、従来型の手手法との比較をして優位性を明らかにした方がよい。
- ・4期の目標に対して進捗を示していただくことが評価のためには必要と考えます。また、次のステージが橋渡しのテーマ、標準化につなげるものなどいくつかの選択肢があると思います。
- ・達成した超高感度、高分解能計測技術が広く普及するように、橋渡しにつながるためにも、ユーザーへの提案を通じて応用研究を推進していただきたい。
- ・量子化志向でインクリメンタルイノベーションばかりで、ラディカルな発想をもつ研究が少ないのではないか。研究テーマを生み出す仕組みの再構築が必要ではないか。
- ・論文引用を指標にする場合、引用先の分析はぜひすべき。

【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

（評価できる点）

- ・研究成果のアウトプットの評価の指標として、目標値に対して確実な成果の見える化ができています。
- ・研究開発の成果が計量分野に留まらず工業製品の国際競争力の向上へ繋がること期待したい。
- ・単一光子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応用した微細なメカニカル振動子による核磁気共鳴制御、有機質量分析の高感度・高精度化により、リン酸化ペプチドの配列解析が可能となるなどこれまでの研究成果の新しい計測技術への展開が期待できる。
- ・単一電子制御技術の目途が立ったのは高い成果と考えられる。
- ・世界初の成果（振動子と核スピンの相互作用の検証など）が得られている。
- ・単一光子イメージング技術はリアルタイムのバイオフォトン計測に有用であり、細胞や細胞内分子

の動態解明に貢献すると思われる。

- ・ 着実に研究が進められている。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 30年度の成果を踏まえた31年度の取り組みが示されているが、単年度でその成果が達成できるかどうか評価する上で、その成果の実現性の見込みを示すとよい。例えば、精度評価や分解能の達成など。
- ・ 開発した研究成果がどのフェーズにあるのか、そしてそれを製品化など社会実装するためには、何が必要であるかについても、今後は明確にしていく必要がある。
- ・ 当年度に目的基礎から橋渡しへ進んだものについての例が示されるとよかった。
- ・ 達成した超高感度、高分解能計測技術が広く普及するように、研究手段として内外での発表・普及に力を入れていただきたい。学問上の重要な課題の解明手段としての成果を発表していただきたい。
- ・ 単年度で評価することが難しい研究テーマが多いので、単年度評価をどのような視点で行うかを整理することが必要。

## (2)「橋渡し」研究前期における研究開発

【第4期全体（見込を含む）に対して：見込評価】

(評価できる点)

- ・ 当領域としての研究の橋渡し前期の考え方を明確にし、研究テーマの重点化を図っている。
- ・ 研究成果の指標として、年度毎に特許実施契約数の目標を設定し、各年度において確実に成果を上げている。
- ・ 社会インフラへの寄与を意識した研究目標を設定している。
- ・ 水素流量計測技術など、国家戦略や法令規制への対応につながる技術開発については評価できる。
- ・ 有機標準物質の一对多型校正技術、定量 NMR とクロマトグラフィーとの組み合わせ (qNMR/LC, qNMR/GC) などにより水道法などの測定に利用、日本の技術として国際的に提案している。
- ・ JAXA と共同で月面探査に持っていけるような水分計を開発。
- ・ 粒子計測技術の開発により気中のナノパーティクル、液中粒子について流れ場粒子軌跡解析により 10nm レベルの高精度ナノ粒子計測を実現など新しい計測技術開発に成功している。
- ・ 重要な評価計測技術の実用化に取り組んでいる。実用化できたものや、企業との共同研究につながっているものもあり、十分な成果が出ていると考えられる。
- ・ 全体としては、計量の技術を転用し、政策/社会ニーズに応える取り組みをしており、知財を目標以上に生み出している。
- ・ 個別の取り組みとしては、社会的要請が高いものの充足率が十分ではなく、拡充に時間を要する有機標準物質の国家標準物質の整備の目的で一对多型校正技術を新たに開発し、従来比 10 倍以上のスピードで標準整備を実現する見通しを得たことを評価。
- ・ 計測分野にて要望されている技術開発を進めている。将来の水素社会に向けての水素流量計、一对多型校正技術、水分計、粒子計測などは将来の需要に的確に対応している。
- ・ 計量技術の計量以外の分野への展開を図るというマインドチェンジは高く評価できる。

(改善すべき点及び助言)

- ・ 目的基礎研究や知的基盤における研究成果と同様に、研究前期の研究成果の優位性を示すために、海外比較とその評価があるとよい。
- ・ 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。
- ・ 順調に研究成果をあげているが、橋渡し前期としての位置づけを明確にして、IC や P0 を十分活用し、次のステップへの移行がさらにスムーズになるような仕組みの見直しも必要である。
- ・ 社会ニーズ、企業ニーズにもとづいてテーマを決めて実施することも重要であるが、シーズ・オリエンテッドなテーマ設定も重要であると考えられる。
- ・ 研究開発戦略について、ドキュメントに表現していただきたいと思います。全体方針があり、それが個別の研究テーマに落とされ、成果が出ているという流れが説明上欲しいです。
- ・ 現在実施中の研究が橋渡し後期に移行できるよう、ユーザーとの共同研究の推進に努めていただきたい。
- ・ 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。



#### 【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

(評価できる点)

- ・例えば、有機標準物質の対多型校正技術を開発し、標準整備の効率化へ寄与するなど、領域の所有技術や研究成果を実用計測技術に展開している。
- ・特許実施契約数の設定目標に対して確実に成果を上げている。公的外部資金についても、初年度より順調に獲得額が増えている。
- ・[社会ニーズに応えるために]水素流量計測技術については世界をリードし、国際勧告 OIML 改定に貢献している。
- ・[社会ニーズに応えるために]有機標準物質校正技術の応用としてドーピング禁止物質の値付けに展開する等、新たな展開がうまれている。
- ・[社会ニーズに応えるために]水分計測の信頼性向上により世界に先駆けて低濃度水分分析用標準物質開発に繋がっている。
- ・水分計について、小型化を実現し、実用につなげた。
- ・ドーピング検査への貢献は期待できる。
- ・知的財産の実施契約等件数が昨年度と比較して増加し、目標を大きく上回っていることから、アウトプットが質・量ともに高い水準であると考えられる。
- ・知財が目標以上に創出されている。
- ・近い将来の具体的な社会ニーズに対応した技術開発を計画的に進めている。特に、水素流量計測技術、粒子計測技術や対多型校正技術は世界トップレベルで評価できる。
- ・研究が着実に進められている。

(改善すべき点及び助言)

- ・校正事業者を対象としていた計測技術を最終ユーザまで広げる必要性とその方法の具体的言及があるとよい。
- ・報告にはなかったが、途中で打ち切る場合の規準について明確にすることが望まれる。
- ・現在実施中の研究が橋渡し後期に移行できるよう、ユーザーとの共同研究の推進に努めていただきたい。
- ・報告されたテーマはど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。

#### (3)「橋渡し」研究後期における研究開発

##### 【第4期全体(見込を含む)に対して：見込評価】

(評価できる点)

- ・民間獲得金額の目標に対して通期で目標達成しており、計測技術の民間への技術移転や製品化に重点をおいた橋渡し後期としての目標設定が適切であったことがうかがわれる。
- ・モニタリング指標としての中堅・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おり、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。
- ・技術コンサルによるニーズ発掘から電磁波を利用したセンシング技術の開発(米中の水分計測)により非破壊に異物検出が可能
- ・ナノ材料メーカーが参加したコンソーシアムによりナノ粒子複合計測システムの製品化に成功している。
- ・X線インフラ診断、モアレ縞を利用したひずみ分布計測など産業界のインフラ診断への貢献が顕著であった。
- ・地域連携を進めていることは評価できる。コンソーシアムでの成功例も良い。中小企業支援という大きな役割も果たしている。
- ・技術コンサルティング、テクノブリッジで民間などでの取り組みや対話の中から研究テーマを創出されている。結果として、技術コンサルティング獲得額含む民間資金獲得額も順調に伸び、事業化にも寄与している。
- ・産総研がハブとなり特徴ある強みを有する複数の企業が結集し、世界初の技術の開発を目的とするコンソーシアムの試みなど、日本の産業競争力の強化に有効であると思われる。今後もこのような取り組みを期待する。
- ・多くの成果が社会還元されており、研究センターの価値を出している。

(改善すべき点及び助言)

- ・橋渡し後期の成果としては、注目すべき計測技術の開発が行われている。これらの今後の展開を考える上で、計測技術のさらなる高度化へ展開するのか標準化を目指すかなど成果の仕分けが必要になると思われる。
- ・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。
- ・企業との契約件数については明記されていないので全体像がわかりにくく判断が難しい。
- ・製品化につながったのは、どれくらいの件数なのか資料があるとわかりやすい。
- ・複数(異業種)の企業の持っている技術を当センターの技術と合わせて、コーディネートするようなことも考えては良いのではないか？
- ・橋渡し後期研究の成果が早期に社会実装されるように、その研究成果を政府、民間にアピールしていただきたい。
- ・全てのテーマが「橋渡し後期」として始まるのに違和感がある。目的基礎研究、橋渡し前期との関係を整理して「橋渡し後期段階として評価すべきもの」の全体像が見えにくい。

【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

(評価できる点)

- ・今年度紹介された研究成果は、校正・計測技術による製品価値・企業価値の向上につながる成果であると認められる。そのなかで、「ナノ・ピコメートル精度評価技術の産業応用」の研究は、目的基礎の成果が橋渡し後期の研究に展開され、さらに産業応用に展開し、また知的基盤につながる研究であり、その取り組みとマネジメントは高く評価できる。
- ・地域連携プロジェクト(3Dプリンターと3Dスキャナ)で45機関が参加する等成果をあげている。
- ・今後多くの分野で必要とされる世界最高水準の3D形状計測、ナノ・ピコレベル超高精度評価・計測、流れ場(FFF)世界最高分解能など世界レベルの成果があった。
- ・技術コンサルティングからテーマを作った例は評価できる。
- ・ナノ・ピコメートル精度計測はそれを組み込んだ装置開発が待たれる。
- ・他との共同による成果構築を評価。45機関による共同実験、全国都府県、公設研とのネットワークと相互協力体制を築いた。
- ・技術コンサルティングはこれまで最大の獲得額を得たことからこれまでの活動を通して得た信頼が成果に結びついているものと理解。
- ・社会インフラの老朽化検査のための「モアレを用いた変位・ひずみ分布計測」は社会ニーズに的確に対応した研究であり実用化が期待できる。
- ・十分な成果が出ている

(改善すべき点及び助言)

- ・成果の表現として、計量、計測の新技術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。
- ・技術コンサルタントの成果として、件数、金額だけでなく、受託、共同研究に移行した件数、リピートの件数などの定量的な評価をするとよい。
- ・大学・公的機関との共同研究・受託研究件数の実績は高く評価できるが、アウトプットとしてそれらの研究成果がどのように活用されたか、自己評価があるとよい。
- ・企業連携や国際競争力強化の取り組みとして今年度の新規な計画があるかなどの情報が少ないように感じた。
- ・開発の最終段階に来ているものもあり、今後どのように進めるかの検討が必要である。
- ・橋渡し後期研究の成果が早期に社会実装されるように、その研究成果を政府、民間にアピールしていただきたい。
- ・単年度で評価するのは難しいテーマが多い。評価の仕方を工夫すべき。

### 3. 知的基盤の整備

【第4期全体(見込を含む)に対して：見込評価】

(評価できる点)

- ・産総研の組織の一つの重要な役割を担い、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。

- ・分野として成果の目標設定の難しいところで、標準供給や依頼試験など具体的な数値目標を設定して、それを年度毎にほぼ達成している。
- ・化学材料データベースのアクセス数が多く、産学における必要性が認められる。
- ・民間試験所の活用など、計量制度見直しに関連する業務に積極的に取り組んでいる。
- ・キログラム定義改定への貢献、29年度の温度のSI単位貢献、水道法規制に対応した標準物質の開発（厚生労働省との共同）、放射線利用の安心・安全のための計量標準整備、有機化合物スペクトルデータベース3000万アクセス、熱物性、固体NMRの標準物質開発への応用、知的基盤の整備については順調に進行し、今期は大きな成果があった。
- ・計量計測分野の自動はかり型式承認なども評価できる。
- ・計量法に関わる業務、新標準への貢献のいずれも高い成果があげられている。
- ・計量制度を見直すなど新たなしくみを導入し、計量対象を選択するとともにNMIJで取り組むべき分野に集中することで、必要な標準の整備を実行している。依頼試験から技術コンサルティングに順調に移行していることから、その効果がうかがえる。
- ・キログラムの定義改定への貢献、時間、温度、電気、放射線など重要な国際標準への貢献は大きい。
- ・誰かがしなければならないことをきちんとする。そこで手を抜かない体制がしっかりと出来ている。

(改善すべき点及び助言)

- ・法定計量技術者の人材育成とレベルの向上への貢献に対しては、どの程度の人数とレベルが必要なのか、産業規模や今後期待される産業の高度化に応じた必要な資質を見込、それに応じた教育プログラムの開発が必要と思われる。
- ・継続的に計量標準の開発、精度向上に取り組む上で、適用範囲の拡大や新規標準の必要性の適切な評価と判断が必要と思われる。
- ・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・整備を計画しているが、その達成の程度が不明である。
- ・新しい課題に向けて社会ニーズを探る方策をさらに練って頂きたい。
- ・計量計測技術の開発について新たな分野に展開する可能性をさらに探索すべきと思います。
- ・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。
- ・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。
- ・また、ストロンチウム光格子時計の研究開発は日本国内でも複数の研究機関でなされていると理解しています。他との相互作用や複数の期間で研究開発をする意義などを説明いただくと良いと思います。
- ・基盤技術においても民間で活用できる技術は民間への移行を進める必要がある。
- ・計量法をよくするための研究（JCSSの基準をもっと緩くするなど）を行うべきではないか

【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

(評価できる点)

- ・昨年の評価と同様、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。これは高度な先端研究の長年にわたる基礎的で持続的な研究成果の蓄積であり、その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研究の実績は、他の標準供給の取り組みにも大きく貢献しているものと思われる。
- ・依頼試験件数は減少しているが、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、トレーサビリティの普及に努めている。
- ・産総研のオリジナルの研究成果として、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。
- ・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は、31年度の成果が期待できる。
- ・30年度は、特に、キログラム定義改定への貢献、光格子時計、自動はかりのJIS規定作成、国際規格OIMLと整合など、NMIJの広報活動を進めている点が評価できる。
- ・データベースの整備を続けており、利用価値の高いものになっている。
- ・キログラムの定義改定への貢献はすばらしい。複数の技術をNMIJの複数のコア技術を集結させて実現したことは特に評価できる。成果を一般にも広くアピールしており、技術科学教育の意味でも非常に意

味があることと考える。

- ・世界に先駆けて長時間安定性を有する光格子時計を開発した。国際原子時計の高精度化に大いに貢献することができる。
- ・必要な作業が遅れなく実施されている。自動はかり対応の仕事がきちんと行われた。

(改善すべき点及び助言)

- ・化学材料データベースの構築や運用業務は民間による運用の難しさがあるので、領域による継続整備が望まれるが、データベースの整備と運用にかかるコストを踏まえ、ニーズに応じた内容の精査が必要と思われる。
- ・今後の構築すべき標準物質の種類と供給量についての見積りと実施の必要性の判断が必要になると思われる。
- ・新しい課題に向けて社会ニーズを探る方策をさらに練って頂きたい。
- ・計量計測技術の開発について新たな分野に展開する可能性をさらに探索すべきと思います。
- ・光格子時計について、世界最先端を継続してほしい。
- ・基盤技術においても民間で活用できる技術は民間への移行を進める必要がある。
- ・30年度には特筆すべき成果は光格子時計だけに見える。(自動はかりは計量法対応、DBは毎年同様の成果が出ているはず)
- ・自動はかりの国際的定義のハーモナイゼーションをすべきではないか。

#### 4. 領域全体の総合評価

【第4期全体（見込を含む）に対して：見込評価】

(評価できる点)

- ・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、その役割を持つ研究機関として高度な研究及び業務を確実に取り組み、その成果を蓄積し、産業界に貢献している。
- ・今期の研究の中には世界のトップにある成果もあり、引き続き国内の産業基盤を支える計量標準による知的基盤整備に努めるとともに、国際的に研究の優位性が確保できるよう、計量標準に関する研究・標準供給機関として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、数値実績より、当期の目標値を超えた実績が確認でき、当初目標値の設定が妥当性であり、目標値に対する個々の意識の高さが窺われる。
- ・人材育成については、インターンシップを実施し、リクルーティングに努め、萌芽研究を通じて若手研究者への研究費を競争的資金として配分するなど若手研究者育成に力を入れていることは評価できる。
- ・コンサルティングによる民間との協業・支援など、成果が高い。
- ・計画達成のための活動が適切にされている。
- ・目的基礎として進められた研究開発が橋渡し前期、知的基盤の整備に生かされていることが素晴らしい。
- ・世界トップレベルの基礎研究を着実に実行しつつ、これらの成果の実用化を図るため、橋渡し研究を積極的に進めている。特に、知的基盤研究と橋渡し研究の2本柱を設定し、着実に実行している。各種数値目標も達成可能なレベルにある。
- ・中期目標に従い着実に仕事が進められている。いくつか画期的な成果も見られており、研究所外への橋渡しも様々なチャネルを通じて実施されており、十分な活動内容と言える。

(改善すべき点及び助言)

- ・研究マネジメントにおいて、研究成果の他分野への展開や成果の活用機会の創生につながるよう、今まで以上に産業界、社会に対する研究成果の発信に務めてほしい。
- ・各種数値目標は最終的な評価指標の一つではあるが、その数値を支える、また数値に表れない平素の研究・業務に対する評価のあり方を検討してほしい。当領域が持続的に業績を上げるために必要なマネジメントの一つとなると思われる。
- ・マネジメントのPDCAがどのように行われているのか良くわかりにくい。
- ・今期の目標設定がどのようなものであるか具体的にわかりにくいため、達成度の判断ができない。それぞれの項目について自己評価して頂きたい。橋渡しのどのフェーズにあるか、項目によって判断が難しいと思うが、資料上はわかりにくい。
- ・コンソーシアムは、良い企画があれば、企業にとっても非常に役に立つと思われる。異なる業種の企業が参加できるようなコンソーシアム（共同研究）が立ち上がると良い。

- ・ 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。
- ・ 橋渡し基礎、前期、後期の区別がやはりわかりにくい。区別は難しいというのは理解していますが、やはり実用化に向かっている案件は基礎ではなく橋渡し前期もしくは後期に分類されるのが受け取る側としてすっきりすると思います。順を追って進んでいる研究テーマも存在すると思いますので、取り上げられている研究テーマにそのような例が含まれるとわかりやすいと思います。
- ・ また、取り組まれている研究開発はいずれも時間を要するものだと理解できます。その意味で、萌芽的研究が次世代の研究開発につながるものとしてその重要性和進捗をアピールされることが必要と考えます。
- ・ 先進国にある同等の研究機関と対比して自己評価を行うことも必要ではないか。
- ・ 多くの活動が問題解決型、若しくはシーズプッシュ型で、バックキャスト思考のテーマ設定が見えにくい。計量分野では難しいのかもしれないが、若手の基礎研究（萌芽研究）テーマ提案の内容なども積極的にアピールすべきではないか。

#### 【とくに平成30年度に対して：平成30年度評価】

（評価できる点）

- ・ 単一電子制御技術の開発成果は次世代電流標準構築だけでなく量子情報への寄与も期待できる成果である。また、3D形状計測の研究成果は、ものづくりに強く関わる工業標準への寄与が期待される。今年度は、計量標準に関わる物理科学的な研究成果と工学的な計測技術の研究開発の成果が認められる。
- ・ 民間資金獲得額、論文被引用数、知的財産の実施契約件数などの重要項目は例年通り順調に推移している。
- ・ リサーチアシスタントやイノベーションスクールの採用数は19名と目標数10名を大きく上回った。
- ・ キログラム標準改定について、うまく広報できており、世間一般の標準に対する認識が高まった。
- ・ キログラム定義に関し、長年かけて培った複数のコア技術を融合させたうえで成果を出されたこと、その成果を広く一般にアピールされたことは評価できる。
- ・ 特に、知的基盤研究では、キログラムの定義改定への貢献が大きく、世界に向けて我が国の技術力をアピールできている。
- ・ 着実に実施されている。

（改善すべき点及び助言）

- ・ 当該領域の役割として社会への貢献があるのでニーズによる研究の必要性は高まるが、シーズとのバランスを踏まえながら研究技術のポテンシャル向上に努めて欲しい。
- ・ 委員会説明時よりも、民間からの資金獲得額、技術コンサルティング件数、技術研修生数等が大幅に増加しており、驚きました。橋渡し後期でも大学や公的機関との共同研究が増加し、知的基盤整備でも標準物質頒布件数も大幅に更新しているなど、領域の目標値を上回る成果を複数あげたことは大変評価できることと思います。
- ・ 次期計画に向けて、今期のフォローと課題を明確にして進めてほしい。
- ・ 先進国にある同等の研究機関と対比して自己評価を行うことも必要ではないか。
- ・ 第五期に向けた第四期の評価活動への取り組みが不十分ではないか。

## 5. 評点一覧

【第4期全体（見込を含む）に対して：見込評価】

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	S/A	S/A	A
「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	S/A	A/B	S	A
「橋渡し」研究前期における研究開発	A	S/A	A	A	A	A
「橋渡し」研究後期における研究開発	A	S/A	A	S/A	A	S
知的基盤の整備	S	S	S/A	A	S/A	A
領域全体の総合評価	S/A	S/A	S/A	A	S/A	A

【とくに平成30年度に対して：平成30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/A	S/A	S	S/A	A
「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/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	A	B
「橋渡し」研究後期における研究開発	S/A	S/A	A	A	A	A
知的基盤の整備	S/A	S/A	S/A	S	S	B
領域全体の総合評価	S/A	S	S/A	S	S/A	A

**平成30年度 研究評価委員会（計量標準総合センター） 評価報告書**

令和元年6月14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

<http://unit.aist.go.jp/eval/ci/>

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

