

平成26年7月29日

『先端計測分析技術・機器開発プログラム
 -10年の成果と今後の展望-』

1. はじめに	1
2. 本事業発足当初の目的と制度設計	2
2-1) 社会的背景・課題と事業の意義	2
2-2) 研究領域の選定と開発が期待される計測分析技術・機器	3
(1) 早急に着手すべき開発領域の選定の基準	
(2) 今後開発が期待される計測分析技術・機器	
(3) 対象とする主要な機器	
2-3) 事業の進め方	5
(1) 制度の基本設計	
(2) その他の事項	
2-4) さらに検討すべき課題	6
3. 本事業における10年間の制度の変遷・進歩と改革	6
3-1) 我が国の科学技術・学術および社会・経済的状况の変化と変遷	6
A. 学術政策の進展	
(1) 第2期科学技術基本計画(平成13年4月～)	
(2) 第3期科学技術基本計画(平成18年4月～)	
(3) 第4期科学技術基本計画(平成23年8月～)	
B. 社会・経済的状况の変化	
3-2) 本事業の制度と運営方法の進歩	8
3-3) 10年間に実施した制度に関する改革	9
(1) 第1期(平成16年度～平成19年度)	
(2) 第2期(平成20年度～平成23年度)	
(3) 第3期(平成24年度～平成25年度)	
(4) その他	
4. 本事業の成果	10
4-1) 本事業における成果の考え方	10
A. 本事業開始時の目標	
B. 第4期科学技術基本計画によりあらたに付加された事業目標	

C. 東日本大震災からの復興支援のための事業目標	
4-2) 各種研究分野における特記すべき研究開発成果	1 1
4-3) 各種計測・分析法における進歩と成果	1 2
4-4) 研究環境と人材育成	1 3
A. 研究環境について	
B. 人材育成について	
<u>5. 本事業における評価手法と事業評価</u>	1 4
5-1) 評価手法の制度設計について	1 4
5-2) 研究開発課題の評価について	1 4
A. 事前評価	
B. 中間評価	
C. 事後評価	
5-3) 研究開発成果の学術的・社会経済的評価について	1 7
5-4) 研究環境と人材育成について	1 8
5-5) 波及効果に関する評価手法について	1 8
A. 企業における R&D 活動のモデル化の試み	
B. イノベーション測定手法の開発に向けた調査研究（日本の場合）	
C. イノベーション測定手法の開発に向けた調査研究（米国の場合）	
D. 計測分析技術と機器開発分野における波及効果の考え方	
5-6) 国際的視点からの事業評価	2 4
A. 米国の例	
B. EU 諸国の例	
C. 中国の例	
<u>6. 10年間の成果のまとめ</u>	2 6
6-1) 本事業の特徴	2 7
(1) 本事業の性格	
(2) 事業推進体制の特徴	
(3) 目標設定に関する特徴	
6-2) 本事業の課題	2 8
(1) 事業の背景における課題	
(2) 本事業の課題	
<u>7. 今後の展望への視座</u>	3 1
7-1) 従前の目標と成果	3 1

7-2) 従前の課題と問題点	3 2
7-3) 従前の課題の原因推定	3 2
<u>8。先端計測分析技術・機器開発のさらなる発展に向けて</u>	3 5
8-1) 当面の施策	3 5
(1) 基本方針	
(2) 当面(27年度)の施策	
8-2) 先端計測事業の10年後の有るべき姿!または有りたい姿!	3 7
<u>9。おわりに</u>	4 0
参考文献	4 1
参考資料	

平成26年7月29日

『先端計測分析技術・機器開発プログラム
—10年の成果と今後の展望』
(第五稿)

1. はじめに

本事業は、平成15年6月文部科学省研究振興局において「先端計測分析技術・機器開発に関する検討会」が開催され、9名の有識者による精力的な検討により同年8月に報告された文書「先端計測分析技術・機器開発の進め方について」¹⁾に基づき、平成16年4月より開始された事業である。

本事業は科学技術振興機構(JST)により「先端計測分析技術・機器開発プログラム」として実施され、平成25年度で10年間の実績をあげた。

ところで、文部科学省における本事業の担当課は10年間の間に以下の通り変遷し今日に至っている。

第1期 研究振興局 研究環境・産業連携課(平成16年4月～)

第2期 研究振興局 基盤研究課(平成23年4月～)

第3期 科学技術学術政策局 研究開発基盤課(平成25年7月～)

一方、この間に本事業がよって立つところの科学技術・学術および社会・経済的状况が変化し、その変化に対応して本事業の事業目的もしだいに変化している。

また、本プログラムの一部である「ライフイノベーション領域」における研究開発活動は新たに発足する「日本医療研究開発機構」(平成27年4月発足予定)のもとに集約されることとなり、平成26年度から文部科学省、厚生労働省、経済産業省の三省連携に基づく「オールジャパンでの医療機器開発」プログラムに移行・実施されることとなっている。本事業の目的は本質的に変化しないものの、「ライフイノベーション領域」の実施体制は大きく変わるようになる。

以上の経過に基づいて本事業の方針と体制を見直すこととし、平成27年度より新しく再スタートすることとした。また、本事業は昨年度で発足以来10年を経過したので、この機会に本事業10年間の経過と実績ならびにその間の成果をまとめることとし、その結果を踏まえて本事業の今後の展望についてま

とめることとした。特に、本事業が継続的な“科学技術立国”に向けた先端研究基盤事業であると共に、科学技術イノベーションを創出する支援事業であるという認識の下で、これまでの事業を捉え直し、今後10年に向けた新しい事業をどのように展開すべきか、その在り方について熟慮した上で本事業をより発展させることが狙いである。

2. 本事業発足当初の目的と制度設計

2-1) 社会的背景・課題と事業の意義

本事業は、上述した経緯により平成15年8月に報告された文書「先端計測分析技術・機器開発の進め方について」に基づき、平成16年4月より開始された。

発足当時の学術的な背景の第一に、福井謙一氏、白川英樹氏に続いて田中耕一氏が「マトリックス支援レーザーイオン化質量分析法の開発」により平成14年(2002年)ノーベル化学賞を受賞したことが挙げられる。また、平成13年3月制定された「第2期科学技術基本計画」において、「計量標準、計測・分析・試験評価方法及びそれらに係る先端機器等の戦略的体系的な整備を促進する」と記述されていることにも基づいている。さらに、平成15年5月21日、日本学術会議講堂において特別シンポジウム「研究基盤としての先端機器開発・利用戦略」が開催され、学術分野ならびに産業分野の有力者からの強い要望が出されたことも大きな推進力となった。

特に上記特別シンポジウムは科学技術振興事業団ならびに、化学・物理・生物等の関係有力10学会が共催、業界3団体が協賛、政府と日本学術会議が後援し、田中耕一氏、野依良治氏の両ノーベル賞受賞者、吉川弘之日本学術会議会長・黒川清副会長、黒田玲子総合科学技術会議員など学術関係者が講演すると共に、機械・電気・化学など関連有力産業界の研究開発担当役員等が講演した。

また、我が国の大学、研究機関、企業等における研究開発活動において、特に先端的計測分析技術や機器に関する海外依存度が高く、例えば基礎的学術研究の代表的な補助金である科学研究費補助金のかなりの部分が海外製品の購入に充てられているとの懸念があった。

本来、世界最先端の研究データ等はオリジナルの計測分析技術・機器から生まれるものであるから、世界一流で、真に独創的・創造的な研究開発成果は、

既存の技術・機器のみに頼っているだけでは創出することが極めて困難である。したがって、我が国独自の技術・機器を創出するためにも、当該分野の人材を育成し関連企業の活性化を図ることが、我が国における喫緊の課題であった。

以上の様な背景と経緯により、世界最先端の研究者ニーズに応えられる我が国発の「世界のオンリーワン」、「世界のナンバーワン」となる「計測分析技術」と「計測分析機器・システム」の開発を強力に支援することを目的として本事業が開始された。

2-2) 研究領域の選定と開発が期待される計測分析技術・機器

(1) 早急に着手すべき開発領域の選定の基準

上記報告書では、早急に着手すべき開発領域の選定のための基準として以下の項目が挙げられた。

- ①将来の独創的な研究開発に資するもの、
- ②研究者の強いニーズが現実にあるもの、
- ③将来、広範かつ多様なニーズの増大が期待できるもの、
- ④5年後に開発の実現可能性が見越せるもの、
- ⑤研究ニーズと技術シーズがベストマッチした提案を期待できるもの、
- ⑥多様な提案が期待できるもの、
- ⑦既存の技術レベルでは達成できないもの。

(2) 今後開発が期待される計測分析技術・機器

また、ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料、情報通信、環境等の研究分野において、今後開発が期待される計測分析技術・機器として、以下の項目が例示された。

- ①生体内・細胞内の生体高分子の高分解能動態解析（原子・分子レベル、局所、3次元解析）、
- ②単一細胞内の生体内高分子、遺伝子、金属元素等全物質の定量的、網羅的分析、
- ③実験小動物の生体内の代謝の個体レベルでの無・低侵襲的解析、可視化、
- ④人体内の臓器、病態などの無・低侵襲、リアルタイム3次元観察、及び人体中の物質の無・低侵襲定量分析、
- ⑤ナノレベルの物質構造3次元可視化、
- ⑥ナノレベルの物性・機能の複合計測（マルチプローブ等）、

- ⑦ナノレベルの領域における微量元素の化学結合・分布状態・定量分析（ナノキャラクタリゼーション）、
- ⑧極微量環境物質（大気浮遊粒子1粒子等）の直接・多元素・多成分同時計測、
- ⑨生体及び環境試料の超微量物質（ppbレベル）の化学形態別分析。

（3）対象とする主要な機器

対象とする主要な機器として、当初以下のような種々の原理に基づく多くの分析装置が例示されている。

A. 形状観察：

- ①光学的手法 レーザー顕微鏡（生物用）等
- ②電子ビーム法 透過型電子顕微鏡（TEM）、走査型電子顕微鏡（SEM）、
- ③イオンビーム法 走査型イオン顕微鏡（SIM）
- ④プローブ法 走査型プローブ顕微鏡（大気型）

B. 微小領域の原子、分子の定性・定量分析と空間分布測定：

エネルギー分散型X線分析装置（EDX）、蛍光X線分析装置
電子線マイクロアナライザ（EPMA）、オージェ電子分光分析装置（AES）、
X線光電子分光分析装置（ESCA）、二次イオン質量分析装置（SIMS）、
飛行時間型質量分析計（TOF/MS）

C. 微小領域の原子の化学結合、化学形態分析：

核磁気共鳴装置（NMR）

D. 微小領域の物質構造：

X線回折装置（XRD）、

E. 気体、液体、固体バルクの定性・定量分析：

紫外・可視分光光度計、フーリエ変換赤外分光光度計（FT - IR）、
ガスクロマトグラフィー（GC）、ガスクロマトグラフ質量分析装置
（GC - MS）、液体クロマトグラフィー（LC）、液体クロマトグラフ質量分析
装置（LC/MS）、原子吸光分析装置（AAS）、ICP 発光分光分析装置
（ICP - AES）、ICP 質量分析装置（ICP - MS）

F. その他：

DNA 増幅装置、リアルタイム PCR 装置、DNA シーケクエンサ（キャピラティブ）、
UV サンプル撮影・解析装置、マイクロチップ電気泳動装置、

生体分子間相互作用解析装置等。

2-3) 事業の進め方

事業の実施にあたっては、研究者ニーズを踏まえた技術・機器開発を行うと共に、上述した現状の課題を解決するという観点が重視された。

また、特に産学官の連携、開発のスピード、国際標準への取り組み等に配慮して、下記のような実施体制が検討された。また、各実施段階では、技術の進歩や国際的動向等を踏まえ、事業の進捗を検討する「目利き」からなる委員会による審議・運営を行うこととされた。

(1) 制度の基本設計

最重要事項である本事業における諸制度の基本設計に関しては、以下の様な原則が示めされている。

①競争的資金を活用する

②課題選定の基準

- # 課題の新規性・独創性、
- # 改良・改善ではなく非連続的な向上の実現、
- # 開発期間内での実現可能性の重視、

③開発体制

- # 創造的な研究者、最先端技術を有する複数の企業、大学、研究機関等からなるチームによる推進
- # 中小企業、研究開発ベンチャーの参画

④開発の進め方

- # 第1段階：応用開発、要素技術開発（複数提案を競争）
- # 第2段階：プロトタイプ製作段階（最適提案を選定）
- # 第3段階：実証・検証、プロトタイプによるデータ取得（複数プロトタイプ機による共同利用、性能向上、世界標準を指向）

(2) その他の事項

①技術・機器の実現のためのシーズを育んでいく視点から、日々の研究活動の中で新しい独創的な計測分析技術・手法の開発研究を支援する。

②プロトタイプの実用化・産業化

既にプロトタイプの段階に達している機器等は、実証・検証を行い、その実用化・産業化を早急に促進する。

2-4) さらに検討すべき課題

上に述べた事業の目的、開発課題の選定と研究の方向付け、制度設計と実施の要項等の他に、今後検討をさらに行うべき項目として以下の項目が挙げられている。

- ①産学官連携のあり方について（知的財産の取り扱い、秘密保持契約の問題の整理）
- ②中小企業、研究開発ベンチャーの活用方策
- ③人材育成のあり方
- ④計測・分析に拘る研究者が評価される環境の整備
- ⑤政府調達の問題

3. 10年間の本事業における制度の変遷・進歩と改革

3-1) 我が国の科学技術・学術および社会・経済的状況の変化と変遷

A. 学術政策の進展

我が国の発展の基本に「科学技術と学術」を据えることを基本方針とし、5年毎に立案・計画される「科学技術基本計画」に見られる本事業に係わる学術政策の概要を以下にまとめた。

(1) 第2期科学技術基本計画（平成13年4月～）

平成13年3月制定された「第2期科学技術基本計画」では、「知的基盤」政策の一環として「計量標準、計測・分析・試験評価方法及びそれらに係る先端機器等の戦略的体系的な整備を促進する」と記述されている。

(2) 第3期科学技術基本計画（平成18年4月～）

第3期科学技術基本計画では「人類の英知を生む」等の政策目標のもとに、「科学技術の限界突破」などの項目を掲げている。そこで、第一の政策の柱として「科学技術の戦略的重点化」を掲げ、“政策課題対応型研究開発における重点化”の下に、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテク・材料の重点推進4分野と、エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティアの推進4分野を掲げて、「分野別推進戦略」に特化した政策を展開している。

一方、第二の柱としての「科学技術システム改革の推進」のもとに“科学技術振興のための基盤の強化”を掲げた。この政策の下に、大学や公的機関の施設・設備の整備が優先したが、“先端大型共用研究設備の整備・共用の促進”が図られた。その中で、「知的基盤（生物遺伝資源等の研究用材料、計測標準、計

測・分析・試験・評価方法及びそれらに係る先端的機器、関連するデータベース等)の戦略的な重点整備」が目論まれた。特に、「先端的機器については機器開発そのものが最先端の研究を先導する性格を持つことを踏まえ、重要な分野の研究に不可欠な機器や我が国が比較優位をもちつつも諸外国に迫り上げられている機器について、鍵となる要素技術やシステム統合技術を重点開発する」と明記されている。

(3) 第4期科学技術基本計画(平成23年8月～)

第4期科学技術基本計画は本来平成23年4月から実働する予定であったが、3月11日の東日本大震災の発生により、急遽、災害からの復興・再生を第一目標とし、防災・減災・安全ならびに持続性の確保とならんで国家存立の基盤となる科学技術を保持する国、科学技術イノベーション政策の一体的展開などが主題となり、同年8月より実施となった。

第二の政策目標は、第3期の基本計画における「重点推進4分野、推進4分野」への戦略的重点化政策が、各分野の連携を失い社会の課題解決に力を発揮できなかったことへの反省に基づいている。即ち、科学技術推進政策とイノベーション重視政策を一体化し、科学技術イノベーション政策として一体的に展開し、国として取り組むべき重要課題の達成に向けた施策を重点的に推進することとしている。

基本方針としては、喫緊の課題として、震災からの復興再生の実現、グリーンイノベーションとライフイノベーションの推進等を掲げると共に、科学技術の共通基盤の充実・強化、国際水準の研究環境及び基盤の形成として、知的基盤の整備、先端研究施設及び設備の整備、共用の促進等を掲げている。特に、「領域横断的な科学技術の強化」として、「先端計測及び解析技術等の発展につながるナノテクノロジーや光・量子科学技術、シミュレーションやe-サイエンス等高度情報通信技術、数理学、システム科学技術など、複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術や融合技術に関する研究開発を推進する」と明記されている。

B. 社会・経済的状況の変化

過去10年間の社会・経済的状況は多くの困難に満ちた厳しい状況であったと総括出来る。社会の経済状況は永く続く「デフレ不況」であり、その上、平成20年9月には、いわゆるリーマンショックにより世界中が大きな打撃を受け経済活動が停滞した。また、我が国では平成23年3月に東日本大震災が

発生し、地震と津波の災害に加え、福島第一原子力発電所の被災と放射能漏れにより、社会経済的に極めて甚大な被害と負の影響が生じ、多くの自治体等は対応に迫られた。本事業に係わる最大の課題は放射能による広域汚染問題であった。特に市民生活環境や農・水産物等の食品への影響が懸念され、早急な放射線モニタリングのための機器システムの整備が喫緊の課題となった。さらに国家予算の上では、多大な復興予算の支出を余儀なくされ、現在に至るまで種々の影響が続いている。

3-2) 本事業の制度と運営方法の進歩

既に述べた通り本事業発足の段階では、ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料、情報通信、環境等幅広い研究分野における技術・機器開発を対象とし、「要素技術」と「機器開発」タイプの研究開発が実施された。ただし、予算の効果的な使用を実現するために、5つの重点開発領域を設定して、研究課題を公募することとした。一方、優れた着想と開発計画を広く公募する目的で、領域非特定の課題も募集した。この考え方はその後平成25年度即ち、10年間をとおして実施されたのである。

本事業開始後5年目（平成20年度）には、当初計画で第3段階と呼ばれた「実証・実用化」タイプの研究開発が開始され、さらに、8年目（平成23年度）には、「実証・実用化」段階を経て完成した装置群を広く活用し普及させるためのプログラムである「開発成果の普及・活用促進」事業を開始した。

以上の基本的な開発段階に加えて、かねてからの利用者側からの指摘、即ち、我が国の計測分析機器・システムはソフトウェアが十分完備されていないために使い勝手が良くない、との指摘に対応して、事業開始6年目（平成21年度）には「ソフトウェア開発」タイプの研究開発プログラムが付け加えられた。（ただしこのプログラムは「機器開発」、「実証・実用化」タイプと併合され、平成23年度で別建ての募集が打ち切られた。）

既に述べた通り、平成23年8月に実施された「第4期科学技術基本計画」には、新しい科学技術イノベーション政策の目玉として、「グリーンイノベーション」と「ライフイノベーション」のための研究開発計画が明示された。

本事業でも行政の方向付けにならぬ、平成24年度より「グリーンイノベーション領域」と福島原発の事故に基づく放射性物質による環境汚染に早急に対応すべく「放射線計測領域」を立ち上げた。また、平成25年度より「ライフ

イノベーション領域」を立ち上げ、多くの公募課題から、厳選した研究開発課題を採択して実施している。

3-3) 10年間に実施した制度に関する改革

本事業は、発足以来6年間にわたり比較的順調な予算の伸びが実現したため、当初の事業目的を比較的忠実に実行することが出来たと云える。その後、事業予算は「事業仕分け」により3割減少したが、新しい目論見として「ソフトウェア開発」事業や「開発成果の普及・活用促進」事業を新たに追加し、さらに、「グリーンイノベーション」、「放射線計測」ならびに「ライフイノベーション」領域を加えるなどの制度改革を行い、事業内容の大幅な拡充を図って現在に至っている。本事業の制度面での改革と進展は、大筋で以下の様にまとめることが出来る。

(1) 第1期（平成16年度～平成19年度）

「要素技術」と「機器開発」の公募・採択・実施を行う。

課題の採択に当たっては「先端計測技術評価委員会」が事前評価、および中間評価を行い、また課題の推進については「開発総括（PO）」が開発進捗状況の把握等マネジメントを行った。

(2) 第2期（平成20年度～平成23年度）

上記プログラムに加えて「実証・実用化」の公募・採択・実施を行う。

平成21年度～平成23年度まで「ソフトウェア開発」プログラムを公募・採択・実施を行う。

平成23年度より、さらに「開発成果の普及・活用促進」プログラムを公募・採択・実施を行う。

(3) 第3期（平成24年度～平成25年度）

平成24年度より「グリーンイノベーション」領域と「放射線計測」領域を加え、さらに平成25年度より「ライフイノベーション」領域を加え、公募・採択・実施を行った。

(4) その他

上記の他に制度の見直しとして、本事業開始前に想定していた、第1段階の要素技術開発、応用開発を「複数提案・競争方式」とし、第2段階のプロトタイプ製作段階で「最適提案を選定・製作」する方法を取りやめることとした。その理由は、第2段階で「複数提案・競争方式」の劣

後者が使用した予算の無駄が懸念されたためである。

また、第3段階の実証・検証に際して、プロトタイプを複数台作成することはほとんど実行できなかった。

なお、本事業発足当初から、各種研究分野において今後開発が期待される計測分析技術・機器として例示された課題を、優先的「開発領域」として明示しつつ公募を行った。また、平成19年度より一般領域「主として研究現場で使われる機器」と並んで、応用領域「主にもものづくり現場で使われる機器」をも公募することとした。

4. 本事業の成果

本章では、本事業による重要な成果を種々の観点から分析し列挙することにより、本事業の幅広い価値と意義を明らかにすることとしたい。

既に述べた通り、本事業の目的は開始当初の「オンリーワン・ナンバーワン」路線から、新たに「イノベーション」重視路線が加わり、言わば「我が国の先端研究基盤を強力に支えるオンリーワン・ナンバーワン」路線と「先端研究基盤強化による科学技術イノベーション創出支援」路線の複合的目標を持つに至っている。その経緯の概略を以下にまとめる。

4-1) 本事業における成果の考え方

A. 本事業開始時の目標

本事業開始時においては、「先端計測分析技術・機器開発の進め方について」において例示されている通り、①医療・生命科学計測、②材料計測、③環境計測などのための各種の先端的な機器開発が期待されていた。一方、上記文書には実施課題の選定について記されており、原則は「多様な提案を公募し、競争的な環境の中で実現していくことが適当である」と記されている。したがって、ボトムアップ型の開発研究方針を採用しており、さらに予算の制約もあるため、かならずしも例示された課題の全てが採択され、実施された訳ではない。

B. 第4期科学技術基本計画によりあらたに付加された事業目標

平成23年8月に実施された「第4期科学技術基本計画」に基づき、平成24年度より「グリーンイノベーション領域」、平成25年度より「ライフノベーション」を立ち上げた。この領域はあらかじめ内容と採択予定件数を明記した上で公募したため、大項目に該当する開発課題の優れた提案は採択され実施に至っている。

①「グリーンイノベーション」領域

「太陽光発電」、「蓄電池」、「燃料電池」の飛躍的な性能向上ならびに
低コスト化に貢献する計測分析法の開発

②「ライフイノベーション」領域

ターゲット（マーカーや症状）を測定するための診断技術・機器および
システムの開発

ターゲット（マーカーや症状）を解明するための計測分析技術・機器
およびシステムの開発

C. 東日本大震災からの復興支援のための事業目標

この事業目標に関しても、あらかじめ内容と採択予定件数を明記した上で
公募したため、該当する優れた提案は採択され実施に至っている。

①「放射線計測」領域

実用化タイプ：食品・土壌などに含まれる放射性物質および放射能濃
度の迅速かつ高精度・高感度な測定装置

革新技術タイプ：新たなブレイクスルーを生み出す革新的な放射線計測
分析技術・機器の開発

以上述べた A. B. C. 3種類の領域について、それぞれ開始年次に応じて、
公募、採択された課題については開発研究が実施されている。それぞれの領域
における研究開発成果は、当然のことながらそれぞれの領域の事業目的に応じ
て評価され、特記すべき成果として選定されている。

4-2) 各種研究分野における特記すべき研究開発成果

上術した様に、各領域の特筆すべき研究開発成果は、各領域の事業目的に
対応して選定されている。その代表的な事例を表1に一覧表として示す。

一覧表では、各研究開発成果の特徴と評価項目を以下の基準により分類し
表示している。

(1) 各領域の事業目標に対応した分類：

- 1) 医療・生命科学計測のための機器
- 2) 材料計測のための機器
- 3) 環境計測のための機器
- 4) 放射線計測のための機器

(2) 実用化に際してのイメージ等

- 1) 大型装置（卓上設置不可）
 - 2) 高額装置（数千万円以上の価格）
 - 3) 小～中型装置（卓上設置可能）
 - 4) キット・要素技術
- (3) カタログ製品化され販売されている装置
「製品名」と（製品化企業名）
- (4) 社会的学術的評価としての分類・評価：
- 1) オンリーワンタイプ：
革新性、新規性、独創性が高くオリジナルの技術ないしは機器
 - 2) ナンバーワンタイプ：
類似技術・機器よりも格段に高性能、高機能な技術ないしは機器
 - 3) イノベーションタイプ：
特にニーズ志向が強く、市場性が高い技術ないしは機器
- (5) 開発成果の普及・活用事業の対象：
開発成果の普及・活用のための共用事業の対象となっている機器
- (6) その他学術的に高い評価を得て各種表彰の対象となっている場合等については、備考欄に記載してある。

また、本事業の研究開発成果の内、学術的な成果として、学術論文の年度別発表件数（累計）を図1に、また、年度別特許出願件数（累計）を図2に示した。

さらに、研究開発成果として、製品化が行われかつ市販された技術・装置の年度別売上額（累計）を認可予算額（累計）と共に図3に示した。

図3に示した通り、事業開始より5年程度経過した後から、製品の売り上げ額が相当額計上される状態となり、年々その累積額が増大し、ほぼ10年目には投入予算額の累積総額と匹敵する状態となった。当然のことながら、売上高の上昇が見られる年度までのリードタイムは機器の種類にもよるが、概ね開発期間終了後2ないし3年と見られる。

4-3) 各種計測・分析法の進歩と成果

本事業により開発された先端的計測分析技術と機器の内、代表的な成果が表1に示されている。この表に上げられている各種計測・分析法について、方法論の進歩という観点より抽出した評価すべき特徴とその具体的な内容を検討

した。方法論の進歩は、「原理的な進歩」、「装置的な進歩」、「測定対象の拡大」、「新しく生み出された機能」、「新しく開拓された応用」等により具体的に評価できる。

このような評価結果を、「原理①」、「装置②」、「拡大③」、「機能④」、「応用⑤」と分類表記し、具体的な内容を示すキーワードと共に、表1に記載した。

4-4) 研究環境と人材育成

上記の各項目はいわば「研究開発による直接的な成果物」による成果の事例を示すものであった。一方、本事業の成果として、学術的にも社会経済的にも重要である「間接的な成果」を生み出していることに注目して戴きたい。

即ち、研究者、技術者、大学院生等からなる「研究者コミュニティー」に対して、本事業のような、計測技術、分析技術の分野における「装置化」研究の持つ意義について広く知らしめ、エンカレッジすることである。

以下に「研究環境」と「人材育成」について述べる。

A. 研究環境について

我が国を代表する基礎研究分野の振興のためのファンディングシステムとして「科学研究費助成事業」がある。その中に、1965年から1996年までは「試験研究」という研究種目があり、計測分析技術・機器開発を支えて来た。実はこの流れを汲む研究種目も2001年をもって公募停止となってしまった。このため、我が国の研究者コミュニティーにおける装置化研究の機運は低迷していた。その後、2004年本事業が発足し、本年で11年間「装置化」研究が復活して来たこととなる。したがって、本事業による「我が国の先端研究基盤を強力に支えるオンリーワン・ナンバーワン」機器等の開発研究の復活は学術の分野で極めて重要な意味を持っていると言ってよい。

本事業は上記「科学研究費助成事業」でカバーされない、企業に属する技術者にも「共同研究をするチャンスを与える」という意味で、研究環境の改善に大きく貢献している。

B. 人材育成について

本事業は、上述の意味と同程度、あるいはより大きな意義と価値を有する「人材育成」効果を、研究者コミュニティーにもたらしている。本事業は、事業に参加している大学は勿論のことであるが、開発研究を分担している企業に対しても、技術の継承に貢献すると共に人材育成を活性化させるチャンスを与

えている。特に若い研究者ならびに技術者にたいする「ものづくり (Instrumentation) マインド」の喚起と奨励は、我が国の基礎ならびに開発研究の創造性と新規性を高めるために極めて重要である。

このような産学官に及ぶ人材育成機能は、政府の推進している科学技術イノベーション政策の根幹部分に係ることであり、我が国が科学技術により国際競争力を高め、21世紀の世界において確固たる地位を占めることに貢献することができる。

5. 本事業における評価手法と事業評価

5-1) 評価手法の制度設計について

本事業開始時における制度設計では、競争的資金の活用が前提とされており、課題選定、即ち事前評価の基準において、以下の諸項目が重視されている。

- ①技術の新規性・独創性
- ②開発される機器の性能
- ③開発の実現可能性

また、開発体制としては以下の事項を要件としている。

- ④創造的なアイデアを持つ研究者、最先端技術を有する複数の企業、大学、研究機関が結合したチーム体制での開発。(前処理技術、自動化技術、ソフトウェア開発技術を有する組織を含むこと)
- ⑤中小企業、研究開発型ベンチャーの技術が活かせる開発体制を一定の割合で含むこと。

5-2) 研究開発課題の評価について

本事業による研究開発を希望する申請者は、研究開発計画の事前評価を受けなければならない。書面審査による第一段審査では採択予定課題数の約2倍の件数に絞り込まれ、その後に面接方式による第2段審査を受け評価される。その要領は以下の通りである。

A. 事前評価

1) 事前評価の流れ

- ①応募申請書の提出
- ②評価委員会による申請書類の事前評価
- ③評価委員会による面接選考

④PD, PO によるとりまとめの後 JST により採択課題決定

2) 事前評価の観点

「機器開発プログラム」では、

- ①開発を行う技術・機器に新規性・独創性があること
- ②最先端の研究ニーズに応えるものであること
- ③開発構想の実現に向けた科学的・技術的な見通しがたっていること
- ④具体的かつ実施可能な開発計画が立案されていること
- ⑤開発計画の遂行に必要な実施体制を構築できていること
- ⑥開発成果である計測分析機器がより大きな波及効果を生み出すと期待されること
- ⑦応用領域の開発課題については、応用現場（ものづくり現場）のニーズに応えるものであること

「要素技術プログラム」では、

- ①開発しようとする技術・手法に新規性・独創性があること
- ②開発の実現性があり、将来への波及効果が見込まれること
- ③開発目標・開発計画が妥当であること
- ④現在の要素技術に比べ飛躍的に性能を向上させること
- ⑤標準試料、標準試薬となりうるもの等の場合については、波及効果が大きいこと
- ⑥応用領域の開発課題については、応用現場（ものづくり現場）のニーズに応えるものであること

事前審査に通り採択された後開発研究の実施後2年目に、中間評価を受ける。この評価は以下の手続きと評価基準に従って行われる。

B. 中間評価

1) 中間評価の流れ

- ①開発実施中間報告書の作成
- ②評価委員会の事前査読
- ③中間評価会議の実施
- ④現地調査、再ヒアリングの実施

2) 中間評価の観点

「機器開発プログラム」では、

- ①開発計画の目標達成度および実現可能性

- ②期待される開発機器の性能
- ③開発成果の市場性
- ④プロトタイプ開発に必要な技術の熟成度
- ⑤特許出願、論文発表状況

「要素技術プログラム」では、

- ①開発計画の目標達成度および実現可能性
- ②特許出願、論文発表状況

開発研究がほぼ予定された通り進捗した場合には、定められた実施期間の終了後翌年に下記の通り、事後評価を受けることとなる。

C. 事後評価

1) 事後評価の流れ

- ①開発実施成果報告書の作成
- ②評価委員会の事前査読
- ③事後評価会議の実施

ヒアリングを実施し、必要に応じて現地調査を行い、総合評価をまとめる

2) 事後評価の観点

「機器開発プログラム」では、
(開発面での評価)

- ①当初設定した開発実施計画が達成されたか。
- ②開発成果として得られたプロトタイプ機を用いて最先端の科学技術に関するデータ取得が可能か。
(利用面での評価)
- ③プロトタイプ機もしくは今後の改良機・実用機について、その利用により創造的・独創的な研究開発に資するか、また、広い利用が見込めるか。
(事業化面での評価)
- ④事業化を円滑にするため、戦略的な知的財産の形成がなされているか。
- ⑤事業化の見通しがあるか、市場開拓の見通しは適切か。

「要素技術プログラム」では、
(開発面での評価)

- ①当初設定した開発実施計画が達成されたか。

②開発した要素技術が、計測分析奇異の性能を飛躍的に向上させることが可能か。

(利用面での評価)

③要素技術もしくは今後の改良機・実用機について、その利用により創造的・独創的な研究開発に資するか、また、広い利用が見込めるか。

(事業化面での評価)

④事業化を円滑にするため、戦略的な知的財産の形成がなされているか。

⑤事業化の見通しがあるか、市場開拓の見通しは適切か。

5-3) 研究開発成果の学術的・社会経済的評価について

既に述べた如く本事業は現時点において「我が国の先端研究基盤を強力に支えるオンリーワン・ナンバーワン」路線と「先端研究基盤強化による科学技術イノベーション創出支援」路線の複合的目標を持ちつつ現在に至っている。

本事業では第4章で述べている通り、「我が国の先端研究基盤を強力に支えるオンリーワン・ナンバーワン」路線の成果として多くの優れた技術と機器を創出できている。また他方では、「先端研究基盤強化による科学技術イノベーション創出支援」に貢献する多くの成果も創出している。

また、上記の成果の内、我が国のみならず世界の市場で評価され、製品として購入されている成果も少なくない。この事例は、社会経済的観点からの確実な評価であり、客観的な評価軸の一つとして認められるべきものである。

本事業の目的である「先端的な計測分析技術・機器開発」の具体的な成果は、その学術的、社会経済的に、誠に幅広く多様な波及効果を有していることが知られている。即ち、一例を挙げると、「極めて高感度な分子検出技術・機器」が開発されれば、「社会の安全と安心に貢献する方法論」として、「環境安全」、「健康安全」、さらには「防災安全」に関わる客観的な証拠を提供することにより「社会経済的機能」を果たすことが出来る。また、他方では、「学術的研究の方法論」ともなり、さらに、産業競争力を高める「研究開発 (R&D) の強力な方法論」を提供する事にもつながるのである。

科学技術の成果物が社会に及ぼす「波及効果」については、章を改めて検討することとしたい。

5-4) 研究環境と人材育成について

本事業が「研究環境と人材育成」に関し、大きな成果を上げていることは前章で既に述べている。ここではその成果をどのように客観的に評価出来るかということが課題となる。以下に、定量的な評価に役立つと思われる項目を列挙する。即ち、計測分析技術に関連する分野における以下の項目に関する統計的な指標とその経年変化を追跡することが役立つものと考えられる。

- ①当該分野の学術論文、特許の数。また、その学術論文が特許に引用される論文数
- ②産業競争力の向上
- ③ノーベル賞、ならびに有力な賞の受賞者の増加
- ④当該分野の研究者、技術者の数

5-5) 波及効果に関する評価手法について

一般に「科学技術重視政策」や「研究開発投資」の効果を定量的に評価することは困難である。近年、このような分野における政府の国民に対する説明責任を果たすために、関係府省庁による検討が成されている。例えば、旧科学技術庁の科学技術政策研究所は 1990 年代から「科学技術関連モデル」の開発を行っている。

A. 企業における研究開発プロジェクト (R&D 活動) のモデル化の試み

まず紹介したいのは、科学技術庁科学技術政策研究所の研究グループが 1990 年 9 月に報告した「科学技術関連モデルの開発—研究開発のダイナミクス—」である。この報告は、日本の代表的企業で研究開発投資額上位 50 社から任意で協力可能との回答があった 20 社について、アンケートとヒアリングにより回答を得て、その結果を解析しまとめたものである。

本報告をまとめる元となる概念の一つはシュンペーターが強調した、経済社会の成長と発展の過程には、新しい技術知識を創造し、それらを利用し、かつ、捨てさるといふ「創造的破壊」が根幹的役割を果たしているとしたことである。この創造と破壊の繰り返しの中から、試行し、学び、新たな挑戦を作り出す生命力がイノベーションをもたらすと考えるのである。一方、レオンティエフは先端技術がもたらす新しい生産活動は、産業分野毎に異なった社会的挙動を示すので、技術と技術、産業と産業の相互関連性を数量的に分析して、経済社会の動的特性を明らかにすることが必要であるとした。即ち、「科学技術関連モデ

ル」にはこの両者の総合が必要であるので、第一には、スタチックなモデルからダイナミックなモデルへの展開が必要であり、第二に、先端技術の性質の把握と経済への影響を考察することが不可欠であるとしたのである。

さらに言えば、第一の「ダイナミックなモデル」には、「研究開発及び製品のライフサイクルにより、経済活動がダイナミックに変質すること」ならびに、「研究開発活動の成果である知識は経済構造に直接・間接の影響を与える」ことを考慮しなければならない。また、第二の「先端技術の性質の把握と経済への影響」については、「研究開発投資においても規模の経済性が働くこと」、ならびに「研究開発段階において技術固有のラグパターンがあること」、および「技術革新はスピルオーバー効果をもっている」ことなどを考慮すべきであることとなる。

以上の様な考え方の基に、日本の代表的な企業において実際に実行された R&D 活動とそれを基にしたプロジェクトの成果との関係を諸データより解析することにより、「企業の研究開発活動に関する新しい理論構築を可能にする事例とデータの集積を行い、イノベーションプロセスの体系的解明を進めたいと考えたのである。

以上の結果から得られた結論は概略以下のとおりである。

今回の「科学技術連関モデル」の開発の試みにより、いくつかの点が明らかにされた。即ち、1970～1985年における日本企業の R&D プロジェクトマネジメントに関し、

- 1) 新製品開発を目的とするプロジェクトにおいて実現されるイノベーションは、表面的にデマンドプル型となるが、要素技術レベルでは積極的に先端技術が追求され、テクノロジープッシュ型がその実現を支えていた。
- 2) 継続的改良型のイノベーションに注力することによって、不確実性を避けて研究開発への傾斜的投資を行うことが出来た。しかし、マーケティングなど製品市場の動向予測に起因する失敗の事例も多い。
- 3) 多くの企業は、社内技術蓄積の高度化を目的にして、知的中間投入材として知的ストック（論文、特許、研究開発支出累積額などを代理指標とする研究成果）の内部蓄積を重視している。
- 4) 1970年代以降のキャッチアップの最終段階において、日本企業はある程度成功が約束された R&D 投資に注力し、一定の保証されたリターンの下再投資を行うというメカニズムを確立し、日本経済において増大するリターン

と長期の成長を実現した。

- 5) しかし、測定された乗数効果からは一定の経済成長を達成するために必要な設備投資の集中化傾向とそれからもたらされる巨額化が推定され、投資資本の回収を可能にする市場をいかに確保するかという問題が発生する。キャッチアップ段階が終了し、探索型 R&D プロジェクトに本腰を入れる必要性が強調される段階に入った時点で、日本企業の R&D マネジメントはまさに歴史的曲がり角に来たと云える。

以上のように、当時の時代背景と「企業が研究開発プロジェクトを推進するために投資を行う」という調査対象から考えて、誠に妥当な結論が導かれている。したがって報告者が総括している通り、「先端技術が生み出す社会的ダイナミクスの特徴を体系的な枠組みに沿って把握しようとする目論見は、そのためのいくつかの方法論的な糸口を見いだすことが出来た」と言ってよい。

報告者らは報告を締めくくるにあたり、残された課題として今後計量すべき関連項目を以下のように列挙している。

- ①研究開発のリードタイムは先端技術に固有のパターンを示す。知識ストックの投入密度が高くなるとリードタイムは短くなり、設備投資規模が大きくなると長くなる傾向がある。また、事業化以降も社会への普及段階でのリードタイムが存在することに注意する必要がある。
- ②成功した先端技術分野の研究開発投資では、安定した規模の経済性が成り立つ。即ち安定した乗数効果がある。日本企業は一定の乗数効果が期待出来るプロジェクトを選好的に投資している。
- ③技術革新のスピルオーバー効果の定式化が必要である。
- ④製品の収益率とライフサイクルに関する技術的分布特性を検証する必要がある。
- ⑤先端技術によって発生した付加価値額と需要規模に関する定式化が必要である。

B. イノベーション測定手法の開発に向けた調査研究（日本の場合）

次いで、文部科学省科学技術政策研究所が 2008 年 3 月に報告した標記の報告書を概観したい。

結論から言えば、本調査では以下の諸項目の分析と解析を行い、後述のように産業別にイノベーション分析を行った上で若干の知見を得たと評価出来る。

- ①科学技術の技術への波及プロセスを明らかにすべく、特許と科学論文の関

係性を分析し、企業の業種レベルへの適用を図った。

- ②イノベーションを創成している企業・産業と科学研究の結びつきを明らかにするために、企業の研究開発と科学の関係を分析した。
- ③イノベーションの効果を定量的に明らかにするために、企業レベルのデータに基づき、計量経済分析をおこなった。即ち、企業の研究開発活動が全要素生産性に及ぼす効果の分析、研究開発や知的資産が企業価値に及ぼす影響の分析を行った。
- ④科学技術システム改革やイノベーション・システムのガバナンスがイノベーション創出に与えた効果をマクロ（国）レベルで明らかにするために、若干の解析を行った。

以上の分析の結果、概ね以下の様なことが明らかにされた。

- ⑤家電産業、半導体産業を含む電機産業におけるイノベーション分析
 - # 電機産業では研究開発投資が全要素生産性の上昇に優位に寄与した
 - # 家電分野では、近年は新しい科学的知見や大学等との結びつきが強まる。
 - # 近年、家電業界では科学との関係に抑制的な傾向も見られる。
 - # 半導体産業においても大学等との関係が強まっている。
 - # 半導体産業に関連した学会の関係者の意識では、基礎研究と製品化段階での知識の受け渡しの関係が弱い。
- ⑥医薬品産業におけるイノベーション分析
 - # 医薬品を含む化学産業においても研究開発投資やイノベーション活動が全要素生産性の上昇に寄与し、また、研究開発投資が企業価値（株価）の形成に寄与している。
 - # 医薬品産業は新しい科学研究の成果を多数参照し、大学等との関係も密接である。
 - # 医薬品業界を含む化学産業は、「サイエンスを重視する傾向」が近年強まっている。

C. イノベーション測定手法の開発に向けた調査研究（米国の場合）

ここでは、2012年5月に報告された“Measuring Science, Technology, and Innovation: A Review”を紹介したい。

この報告書はタイトルに謳っている様に、「科学、技術、イノベーション（STI）を測るための指標」について幅広く議論したものである。しかしながら、STIの関係を正しく評価するためには、その前提として STI システムのモデル化が

成されていなければならないが、残念ながらその詳論はされていない。つまり、STI の関係を論ずるために必要となる指標群を詳細に調査しているものであった。

まず、現在米国でこの種の議論に使われている指標群を概観している。米国では、NSF がイノベーションに係る詳細なデータと指標をまとめているようであるが、政府、教育等のセクター、企業など STI システムを形成する各セクター間における「資金」と「知識」の流れと関係づけて、イノベーションに係る指標群を詳細に示している。また、ヨーロッパの EU や世界銀行の例、さらにその他の世界各国（イギリス、ドイツ、アジア）の検討状況も調べている。この中には、上で紹介した日本の報告も紹介されていた。

この報告書の主要な論点は、イノベーションを生み出す要因、プロセス、活動と、イノベーションによりもたらされる成果について、定量的に評価するために役立つデータと指標を明らかにし、それが現在把握されているのか否かを議論することである。

著者によれば、米国の現状では全体的に不十分であり、政府等公的な機関による統計も十分でないが、研究者による更なる調査、研究も必要であるとしている。結論として指摘している事項は以下の項目である。

- ① サービスセクターにおける R&D とイノベーションに関する調査が必要。
- ② プロセスイノベーションにより生じるコスト削減を測ること等の調査が必要。
- ③ イノベーションを支える機器とソフトウェアへの投資に関する情報収集が必要。
- ④ デザインによる効果に関する情報収集。
- ⑤ イノベーションを普及し定着させるための従業員教育に関する情報収集。
- ⑥ 研究者に対する指標やマイクロデータの、よりタイムリーな開示。
- ⑦ 研究費助成機関や研究者によるデータの収集や保守を、彼らが他のデータソースに直接リンク出来るようにして行うこと。

もっとも、以上のような検討課題は、基礎的な学術研究全ての分野において共通の課題であるとも考えられるが、特に計測分析技術・機器開発の分野では、その効果の及ぶ範囲が極めて広範囲であることから、その評価が困難である。現時点では、このような評価手法の開発そのものが大きな学術的、社会経済的課題であることは、上記各国の検討事例を見ても明らかである。

D. 計測分析技術と機器開発分野における波及効果の考え方

本事業分野における波及効果について、今後の検討の方向付けに役立てるために、以下に若干のコメントを記すこととしたい。

計測分析技術と機器開発の分野の特徴として以下の項目が挙げられる。

①計測と分析の原理に関する基礎研究から、その理論的検討と理論構築、実験的検証のための予備的装置開発、検証目的を十分に達成するための装置化検討、実用化のための装置的システムの検討、実用装置化、合目的化と目的別高性能化等の諸段階の開発研究が必要である。即ち、基礎研究、装置化研究、応用研究の諸段階を含んでいる。

②通例、科学技術が産業・社会にもたらすイノベーションの創出過程としては、以下の段階の検討が必要である。

研究（コンセプトの特許化）、（論文発表による知識の獲得と定着）

開発（特許取得）

製品化のための設備投資

応用技術開発（特許取得）（ライセンス料）

市場への投入（製品化利益）（より広い概念での特許取得）

市場を通して、社会への波及効果（特定の商品セクターへの便益供与）

③計測分析技術と機器の場合には、上記のプロセスに加えて、以下の様な展開が加わり、便益を授与される者は格段に増大する。

研究（論文発表）（知識の獲得）

開発（特許取得）

製品化のための設備投資

応用技術開発（ライセンス料）

市場への投入（製品化利益）

市場を通して、社会への波及効果（不特定多数の生産セクターへの便益供与）

市場を通して、多様な研究開発セクターへの便益供与と研究開発活動の活性化）（大学、公的研究開発セクター、産業セクターを含む）

各セクターにおける研究（論文発表）（知識の獲得）

各セクターにおける開発（特許取得）

各セクターにおける製品化のための設備投資

各セクターにおける応用技術開発（ライセンス料）

#各セクターにおける市場への投入（製品化利益）

#各セクターにおける市場を通して、社会への波及効果（不特定多数への
便益供与）

④上で述べた「各セクターにおける研究開発」には「大学と研究機関」と「産業における多様なセクター」が含まれるから、社会的な影響力は通常の製品と比較して、社会的に極めて大きな波及効果をもたらす。

⑤上述の A.の記述中で既に述べられている通り、「技術革新の持つスピルオーバー効果」はイノベーションを論じる上で重要な因子であるが、「計測分析技術」の分野における「スピルオーバー効果」は極めて重要な因子となりうる。即ち、場合によっては世界で唯一つしかない装置であっても「世界のナンバーワン技術・機器」は、世界からユーザーを集めて「課題を解決する」機能を発揮することが可能であり、大きな「スピルオーバー効果」を示すことが出来ることとなる。

以上、計測・分析を含む科学技術の社会的・経済的波及効果に関する評価手法を概観した。結論は、いまだもって「波及効果の定量的評価法は確立できていない」ということであり、今後の課題であると云ってよい。

現代社会において生じている科学技術による波及効果の事例をさらに広く見てみるとその複雑さが理解出来よう。例えば、目に見えづらい科学技術の例として、デジタル化したインターネットや検索など高度な ICT により生じる「知識のダイナミックな普及」や「知識伝達の効率化・システム化による新しい創造の喚起」等の事例はよく知られている。また、「プラットフォーム化によりもたらされる、種々の分野における大幅な生産性の向上」などもよく知られているが、このような場合において生じている波及効果も定量的な評価ができていない。このような波及効果も含めて、科学技術の波及効果の評価手法を確立することが出来れば、公的資金による国家プロジェクトや種々の事業の効果を適切に評価することが可能となり、科学技術振興に係る公的な支出の説明責任を果たすことに貢献出来、ひいては社会経済的な貢献度の大幅な向上を実現できるものと思われる。

5-6) 国際的視点からの事業評価

海外諸国において、先端的な計測分析技術と機器システム開発に関わる国家的な重視政策を実施している例は少なくない。以下にその代表的なものを示

し、それらとの比較により、本事業の事業評価としたい。

A. 米国の例

米国では 2005 年ブッシュ大統領が「米国競争力イニシアティブ」を発動し、重要な役割を果たす政府機関として DOE, NSF と並んで NIST を指名した。その理由は「科学と産業を結ぶ計量技術はイノベーションの要である」として「NIST は、科学的発見から技術開発、商用化までを支え、イノベーションのライフサイクルを支えるテクノロジーインフラを提供するイノベーションエージェンシーだ」として認知したのである。NIST は特別予算の配布を受け、イノベーションに必要な計量技術の具体的な必要性の調査を精力的に行った。即ち、科学技術の分野別に計測障害突破のための計測ニーズを調査し、イノベーション加速のための戦略として計測インフラの構築を産学が連携して強力で推進した。この政策はその後引き続き実施されており、現在の「オバマ・バイデン科学イノベーション計画」にまで及んでいる。

以上の様に米国では、我が国において「先端計測分析技術・機器開発事業」が始まった直後から、上記の様な計測分析分野を重視したイノベーション政策を開始していることから、本事業が科学技術重視政策の方向性として妥当であることを裏付けている。

B. EU 諸国の例

EU では、2001 年より、リスボン戦略に基づき「欧州イノベーション・スコアボード (EIS)」をとりまとめ公表しており、2008 年に EIS2007 を公表した。この中で世界の各国のイノベーションの進展を指標を用いて評価し、例えば「イノベーションの先導国」、「イノベーションの追随国」等のように分類している。

研究開発に関しては以前より年次計画を立てて鋭意推進しているが、最近の例では、FP7(2007 年～2013 年)と呼ばれるプログラムが実施されている。実は、このプログラムの中に「ESFRI プロジェクト (The European Strategy Forum on Research Infrastructures)」があり、7年間で 2000 億円規模の予算を投入して研究基盤関連の整備を行っている。その内容は約 6 割の予算を使って、研究基盤の共用ネットワーク化を推進し、2 割の予算で新規設備の整備と調査研究を行っている。機器の開発研究等は研究インフラのロードマップに基づいて、EU 内 3 カ国以上の共同研究を条件に多数のプロジェクトを推進している。

以上の様に EU における研究インフラの整備は共用ネットワーク化に重点が

置かれているが、例えば NMR の場合では、イタリヤのフィレンツェに大規模な拠点があり、多くのサテライトを通して全ヨーロッパのネットワークを統括していた。また、このようなプラットフォーム化された共用ネットワーク利用と共に、関連技術・装置の開発研究も精力的に行われており、NMR 装置と技術の国際標準化を強力に推進出来る体制が完成している。

以上、EU の場合も、我が国の先端計測分析技術・機器開発事業の方向性が妥当である証拠となっているが、大規模な予算に基づく共用促進と計測分析技術・機器開発を行うと共に国際標準化の着実な進展を図っていること等が特徴であり、見習うべき方向を示している。

C. 中国の例

中国科学院北京生命科学研究院では、2009 年 9 月「ライフサイエンス機器・技術イノベーションセンター」を設立した。その背景は、「中国の生物学者が特色ある研究成果を出すためには、研究機器の海外依存からの脱却が一層重要である」との認識が高まったからである。

このセンターの役割は、以下の通りである。

- ①先端的、基礎的、戦略的科学研究に立脚し、ライフサイエンス機器の独自開発を図る。
- ②北京生命科学大型機器センターの重要機器をベースに、大型機器の潜在能力を引き出す。
- ③在北京の関連研究所からの機器開発を受託し、革新的研究開発を行う
- ④既存技術を強化し、精密機器の設計・加工等の専門技術プラットフォームと技術イノベーションチームを構築する。
- ⑤科学機器の品質向上を図るための交流会を実施する。

以上の通り、中国における計測分析機器開発に関する政策立案と実施のプロセスは、我が国の「先端計測分析技術・機器開発事業」の発足の理念に大変近い意義と背景に基づいていることが判る。

以上米国、ヨーロッパ、中国において実施されている、我が国の当該事業と類似している事業の動向をレビューした。この結果、事業の目的と内容、さらにはその方向性においてほぼ同一であり、タイミングにおいてはむしろ我が国が先んじているとも考えられる。このような比較から、本事業は国際的にも相当程度高く評価されているものと考えられる。

6. 10年の成果のまとめ

以上、「先端計測分析技術・機器開発事業」10年の歴史を振り返り、発足の経緯、制度の変遷、事業の成果、事業の評価について記述した。本章ではさらに、事業の特徴と課題についてまとめておきたい。

6-1) 本事業の特徴

(1) 本事業の性格

本事業が通常の事業と異なる特徴の第一は我が国の「科学技術創造立国」のための科学技術・学術政策の基本である「優れた人材の養成・確保」と並んで、さらに重要な「研究者の研究開発活動を支える基盤の整備」を目指したものであり、特に、新しく「独創的で先端的な技術と機器」を継続的に生み出していくプロセスを整備する唯一の事業である点にある。

また、特徴の第二は、21世紀に入り世界の先進国がこぞって重視し、その実現のために国家的なプロジェクトとして開始した「科学技術イノベーション政策」の根幹に係る事業である点にある。以上の様な事業の特性から、本事業は10年間の間に、我が国の基本政策の推移に基づいて、事業の目標と重点がしだいに変遷した。したがって、本事業が生み出した成果も、その評価の基準は一樣ではなく、複眼的な見方による総合的な評価が必要になる。

さらに特徴的な点は、本事業の直接的成果物が科学技術の研究開発活動の基盤的な役割を果たすことから、あらゆる分野の基礎研究、応用研究、生産技術研究など極めて幅広い学術と技術に関わり、さらには、環境安全、防災安全、保健衛生、診断治療等社会経済活動においても大きな波及効果を及ぼす点にある。本報告では、波及効果に係る評価法の現状について、若干の調査とそれに関するコメントをまとめたが、波及効果の総合的な評価に関する方法論の確立は今後の更なる検討が求められている。

最後に、世界における本事業に類似した事例を紹介したが、今後、世界各国において類似の政策が実施され、加速される可能性がある。我が国は比較的早いタイミングで本事業を開始したことは明らかであるので、今後もこの事実を銘記し、今後も継続して本施策に注力すべきことを指摘しておきたい。したがって、今後も常に世界の動向を注視した上で、グローバルな視点でその戦略を検討する必要がある。

(2) 事業推進体制の特徴

本事業の制度設計段階から特に重視した項目について以下にまとめる。

- ①研究者ニーズを踏まえた技術・機器開発により現状の課題解決を目指す。
- ②研究開発に際して産学官の連携を重視する。
- ③ボトムアップの方式による研究開発体制をとり、競争的資金を活用する。
- ④課題選定に際して、新規性、独創性、革新制、実現可能制を重視する。
- ⑤要素技術、機器開発、実証実用化、成果普及・活用促進等のプログラムを併置し、他省庁の他制度による開発研究との相互乗り入れを可能とする。
- ⑥課題公募にあたって重点開発領域または特定開発領域を設けることにより、政策目標に沿った提案を推奨した。
- ⑦特定開発領域毎に技術評価委員会を設置し、専門的技術レベルの高い評価を行う。
- ⑧充実した研究開発管理・支援体制を構築する。(採択課題毎に開発総括を配置することにより専門的助言と支援を行う等フォローアップを実施した)

(3) 目標設定に関する特徴

- ①「知の創造」に貢献する
 - # 最高レベルの研究に資する最先端の計測分析機器の日本からの発信
 - # チャンピオンデータを取得可能なオンリーワン・ナンバーワン機器の創出
 - # 上記の技術・機器を市場に出し、広く普及させること
- ②「社会的課題の解決」に貢献する
 - # グリーンイノベーション領域の設定
 - # 放射線計測領域の設定
 - # ライフイノベーション領域の設定
 - # 上記の領域を設定し、関連する技術・機器開発の実現を強力的に推進
- ③「開発成果の活用・普及促進」に貢献する
 - # 各種機器ならびに技術を完成させた研究者グループによる「機器・技術」の公開と共用を実施

6-2) 本事業の課題

本事業は、既に述べた通り、概ね発足当初の方針に従った推進体制を維持しつつ、国の政策の変遷を反映した事業目標を設定・実施して今日に至っている。従って、ほぼ一貫した方針の基に事業を推進して来たと云ってよい。

しかしながら、本事業開始以降、事業の背景の変化ならびに事業実施上の新

たな課題の存在が明らかとなった部分もある。以下、平成22年8月にまとめた「我が国の知的創造基盤の強化に向けてー世界をリードする先端計測分析技術・機器開発体制の構築ー」に述べられていることを含めて、本事業の課題をまとめた。

(1) 事業の背景における課題

① 大学等研究機器開発現場におけるものづくり環境の劣化

- # 運営費交付金の減少による資金の不足
- # 国立大学法人における工作センター等の弱体化
- # 科学研究費補助金における試験研究等の廃止

② 開発研究現場における機器ユーザーの問題点

- # 機器使用者は多種類の高性能機器を扱う技能が要求され、機器操作のスペシャリストの養成が望まれている。
- # 機器使用者が海外文献において実績のある外国製機器の利用を好んで選定する傾向が強く、日本製機器の普及を阻んでいる。
- # 研究推進の効率を重視するために、新しい高性能機器の開発・使用を敬遠する傾向がある。

③ 計測分析機器メーカーの問題点

- # 我が国の機器メーカーは一部の大手企業を除いて企業規模が小さいため開発資金と開発人材が不足しており、新規開発力が必ずしも十分ではない。
- # 諸外国ではベンチャー企業群発の先端機器の成功事例が多いが、我が国のベンチャー企業は依然として育っていない。
- # 国内機器メーカー間における規格統一が進んでおらず、付属機器ならびにソフトウェアの互換性が乏しく、ユーザビリティの向上、ソフト開発の高度化と生産性の向上等を阻害している。

④ 本事業関係者間の連携強化に関する課題

- # 上記報告書「我が国の知的創造基盤の強化に向けて」において述べられている「知的創造基盤」に関わるプラットフォーム構築に関して、政権交替の影響等もあり、進展が遅れている。

⑤ その他の課題

- # 我が国の公的資金による計測分析機器の調達に際して、国産技術の育成等中長期の戦略的発想が不足している。

国産技術により開発された「市場で販売される前段階」の先端的計測分析機器の公的調達に関し、政策的対応が遅れている。

(2) 本事業の課題

上に述べた通り、本事業の背景である社会的経済的ならびに事業関係者における課題が数多くあり、その中には現在でも解決出来ていないものが多くある。このような課題は今後も本事業の当事者が地道な努力を続けなければ解決出来ないものが少なくない。

尚当然のことながら、予算との関係もあるが本事業実施上の課題も少なくない。ここでは、我が国と同様に「計測分析技術・機器開発」を国際競争力重視の観点ないしはイノベーション創出の観点から推進して来た諸外国の政策実施の推進方策と比較衡量することにより、本事業が今後改善すべき課題ないしは、あらたに検討すべき課題を列挙した。

①米国との比較：

科学技術ならびに産業界における計測ニーズの調査をより広範に実施すべきである。

イノベーション創出の観点から、計測分析技術の必要性を精査すべきである。

計測分析技術インフラの構築を産学連携で強力に推進すべきである。

計測分析技術インフラの構築を継続して進めるべきである。

NIST（国立標準技術研究所）のような強力な研究開発拠点を設立すべきである。

②ヨーロッパとの比較：

EU 域内における「共用プラットフォーム方式」による研究インフラの組織的な強化政策を実施すべきである。

EU 域内におけるテクノロジープラットフォーム形成による核磁気共鳴装置（NMR）、電子顕微鏡等有力な計測分析法の戦略的開発推進プロジェクトを推進すべきである。

③中国との比較：

精密計測分析機器の設計、加工等「装置化技術」を基盤としたテクノロジープラットフォーム構築を行うべきである。

同上の様な組織により関連研究所からの機器開発を受託し革新的研究開発を行い、イノベーションに結びつける拠点を構築すべきである。

7. 今後の展望への視座

7-1) 従前の目標と成果

(1) 主要目標

本事業が10年前に立てた目標と、時代の変化に対応した科学技術基本計画の変遷を踏まえて再考した目標を要約すると、以下の5項目にまとめられる。

- ①先端研究基盤支援強化(オンリーワン・ナンバーワン)と科学技術イノベーション創出支援
- ②先端計測分析限界の突破(医療・生命科学、材料ナノ計測、環境計測)
- ③優れた学術論文・特許の創出
- ④研究開発に基づく製品化
- ⑤世界市場展開(シェアの拡大)への支援

さらに、本事業を通して間接的に期待する目標として、研究環境の整備と産学官の研究人材の育成が挙げられる。

(2) 主要成果

本事業が掲げた目標に対する主要な成果の内、定量的に評価が可能な主要成果をまとめると、下記の4項目になる。

- ①多くのオンリーワン・ナンバーワン技術・装置(S評価 36件)を開発
- ②製品化(52件)、ベストセラー製品も開発
- ③学術論文(2774件)・特許(1048件)及び多くの賞を受賞
- ④本事業の費用対効果は、12年度でイーブンに達している。

さらに、定性的にしか表せない成果として、下記の2項目が挙げられる。

- ⑤本事業分野の研究環境改善や人材育成に大きく寄与し、間接的に先端研究基盤強化とイノベーション創出支援に貢献
- ⑥国家的課題である「グリーンイノベーション」「放射線計測」「ライフイノベーション」領域に対する直接的なイノベーション創出を支援

但し、これらの成果は、本事業による科学的・社会的波及効果の一部であり、より大きな成果が見込まれるが、教育・研究や、産業に関連した広域の波及効果に対する評価手法が未確立であるため、現時点では、正当な成果として挙げる事が出来ない。今後の課題である。

以上、目標に対して概ね成果を挙げている、と言える。特に、産学官が協同で行った研究開発で、世界に先駆けて製品化に至るオンリーワン・ナンバーワン技術・装置を開発したことは特筆される。

7-2) 従前の課題と問題点

本事業を推進して来た結果、明らかとなった主要課題は、次の2点に集約される。

①世界市場への展開不足(シェアの低下)

②波及効果を含めた本事業の評価と評価手法の未確立

元々本事業を行うきっかけは、「我が国の産学官の各機関における研究開発活動において、先端計測分析技術・機器の海外依存度が高く、特に、国費での海外製品購入比率が高い、という問題。さらに、世界最先端の研究は、世界最先端のオリジナルな計測分析技術・機器から生まれるものであり、既存の海外製品に頼ってはいは、生まれないし、世界をリードするイノベーションの創出にも繋がらない。」という問題意識で、オンリーワン・ナンバーワン計測分析技術・機器システムの開発を目指したものである。その結果、成果に挙げたように、多くのオンリーワン・ナンバーワン計測分析技術・機器システムの開発は出来たが、それが必ずしも本事業分野に関連した計測・分析産業の国際競争力には十分につながらず、国際的なシェアの低下と高い海外依存度が解消されていない、ことが明らかになった。産業の国際競争力は、企業の事業戦略に大きく依存するため、本事業が直接的に関係するとは言い難いが、産学官が問題意識を持って事業を開始した以上、本事業の戦略として工夫が必要であり、大きな課題である。

さらに、上記課題に関係するのが、波及効果を含めた本事業の評価と評価手法が不十分である、ことである。この問題は半導体や、先端電子デバイス研究開発、等にもみられ、本事業に限った問題ではないが、特に本事業は、直接的成果による関連産業分野成長より、間接的な産業イノベーションへの寄与が大きいと考えられるので、それらを定量的あるいは半定量的に評価を行うことが事業価値を明快にし、ファンディング効果示すうえで重要である。この評価法の確立が大きな課題として挙げられる。

以上挙げた課題は、様々な要因が絡まった問題であり、最終結果として、国際競争力の低下と評価法の未確立に集約されたものであることから、これらの課題を克服し、今後の展望を示すには、これらの主要原因を明らかにする必要がある。

7-3) 従前の課題の原因推定

これらの課題を引き起こした主要な原因を推定すると、以下の 5 項目に纏められる。

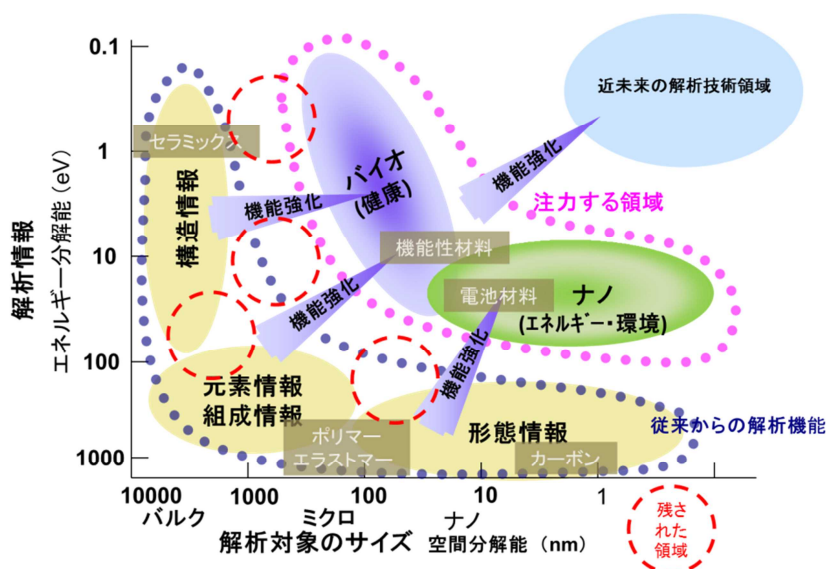
- ①先端計測分析分野の世界市場及び真の現場ニーズの調査不足(継続性を含めて)
- ②イノベーション創出に向けた国家的課題解決のためのニーズ掘り下げ不足
- ③ユーザビリティ、高効率研究開発、等を支えるプラットフォーム戦略不足
- ④開発したオンリーワン・ナンバーワン技術・装置のベストセラー化への戦略不足
- ⑤重点課題に対するトップダウン型事業投資不足

すなわち、産業競争力は、次元の異なる 3 つの項目(世界トップのオンリーワン・ナンバーワン技術×ユーザビリティ×コストパフォーマンス)の掛け算を継続的に最大化していくことが必要であり、これを追求できているところが、世界の科学技術の発展に貢献するベストセラー機を生み出していると考えられる。

本事業は、世界最先端の計測・分析技術を生み出して、それを実用機までに仕上げるという、一気通貫型の素晴らしい事業戦略で臨んできたが、どうしても基礎科学を重視したオンリーワン・ナンバーワン技術の創出に重点を置いてきたため、ユーザビリティやコストパフォーマンスの向上に対する意識が不十分であったと考えられる。そのため、本事業が大きな目標に掲げた医療・生命科学、材料ナノ計測、環境計測、等のライフイノベーション、グリーンイノベーション、環境・インフラインノベーションに繋がる重要な分野の先端計測分析限界を突破し、何を実現すればイノベーション創出の支援を行えるのか、と言った現場の真のニーズや国家的課題解決のためのニーズ掘り下げに対して、各分野のロードマップや世界の動向、及び各方面との討議・ヒヤリング、等に基づいた戦略・重点化などが不足していたと考えられる。例えば、日本の先端的な企業の分析部門や受託分析会社の先端計測分析技術・装置システムに対する最近のニーズを調べた結果、オンリーワン・ナンバーワン技術×ユーザビリティ×コストパフォーマンスに関係する多くのニーズがあることが判った。その中で特徴的なニーズは、下記の 3 点である。

- ①将来の材料・製品開発のために、近未来の解析技術領域として、図に示すように、空間分解能とエネルギー分解能の軸で、 $0.1\text{nm} \times 0.1\text{eV}$ を要望。
更に、ナノから原子オーダーの局所構造・物理化学的特性分析。
- ②マクロとマイクロ繋ぐ 3 次元空間・エネルギー分布の立体構造可視化

③分析解析エキスパートシステム、すなわち膨大な測定分析・解析データがとられ続けており、それらをデータベース化して、脳型コンピュータ的に回答を提示するようなシステム。人間の限界を超えた価値を創出するとともに、個人の能力では賄いきれない世代を超えた計測・分析研究者・技術者の価値を向上させるシステム。



このようなニーズに加えて、多くのユーザーニーズを総合的に把握し、国家戦略的なトップダウン型の事業割合を増やすことが必要である。

また、本事業で開発した桁違いの技術・システムに対しては、世界のベストセラーにするための戦略的課題設定を行うことも、重要である。

さらに、コストパフォーマンスの向上は、本事業で最も取り組みづらい内容であるが、最終的な国際産業競争力は、ここに帰着する。世界のものづくりの潮流は、部品からより大きな構造あるいは機能単位のハード・ソフトのコンポーネント化を図り、コンポーネント財産の再利用性向上、設計生産性の大幅な向上とユーザビリティの向上を極限まで追求しよう、という流れである。先端計測分析機器システムのように、精密で複雑な構成からなる製品システム、かつ高いユーザビリティが求められるシステムにおいてこそ、新しいものづくりを行う必要がある。このような流れは、さらに、これらをベースにした、テクノロジーやサービスのプラットフォーム化を図り、パソコンのような世界標準化や互換性の向上を図ることで、各分野のベストセラー機を早期に実現しようとしている。例えば、IT の分野のスマートフォンなど、電気・電子計測機器分野の LaVIEW、自動車分野の JASPAR やロボットの分野の RT ミドルウェア、等多

くの分野に拡大しつつある。先端計測分析分野も例外ではなく、海外の電子顕微鏡は、コンポーネントベースのプラットフォーム化を図り、世界の周辺装置のプラグイン化やコンポーネント単位の変更を可能にして、ユーザーニーズに対応し、トータルとしてオンリーワン・ナンバーワン技術×ユーザビリティ×コストパフォーマンスの極大化を図ろうとしている。その結果は、日本の先端計測の象徴の一つである電子顕微鏡を猛追し、このままでは、そう遠くない時期に日本でのシェアもトップを取る勢いである。もう一つの大きな流れは、メンテナンス性の向上である。装置の故障や障害を自動収集し、遠隔操作でメンテナンスを行うとともに、どの程度の時間、どのような使われ方をして、どのようなニーズを欲しているかも自動収集してユーザビリティとコストパフォーマンスを向上させる、所謂小松(製作所)モデルである。ネットワークやセンシング技術の飛躍的な発展により、全ての機器を繋げて、メンテナンスの生産性向上を図ることであり、それがないとユーザー価値が欠落する、という時代に入ってきている。これらの課題は、先端計測分析分野に限らず、日本のものづくりの生産性が国際的に低下して来ていることに繋がる。技術はあるのに、システムで負ける、経営マネジメントで負けている、と言われるところである。本事業で全てを行うことは当然不可能であるが、僅かな工夫や戦略で大幅な価値を高めることが可能であり、今後の展開に生かすことが重要である。

以上の本質的な原因を考慮して、世界最先端の計測・分析技術を生み出し、ベストセラー機にして世界の科学技術イノベーション創出支援に貢献するためには、これらの3立が図れるような新たな事業戦略立案が本質的な課題である、と考えられ、これらを考慮して、以下に今後の展開についてまとめた。

8. 先端計測分析技術・機器開発のさらなる発展に向けて

8-1) 当面の施策

明らかになってきた本質的な課題を解決するには、有識者による調査・討議を行って、半年から1年以内に具体的な戦略・施策を立案する必要がある。

従って、当面(27年度)は、下記の基本方針の下、明らかに見えてきた新しい方向性を加味した施策を取り入れて実行することが望ましい。

(1) 基本方針

- ①平成27年度は、新たな方向性を取込みながら、これまでの事業を基本的に継承。

②特に、重点課題を特定領域として設置し、テクノロジープラットフォーム形成の先行事業を開始。

③平成 27 年度以降の戦略は、新たなタスクフォースを作り、新たな方向性を深化させながら、理想的先端計測分析事業案を追求する。

(2) 当面(27年度)の施策

これまでの本事業を継承しながら、前記した実行可能な課題を克服し、更なる発展を遂げるために必要な施策について纏めた。

①調査機能の設置；世界と協奏するための調査機能を強化し、下記ニーズの継続調査と突破すべき限界の明確化及びこれに対応した公募条件の明確化

(a) 研究開発；新製品・デバイス・材料に物理化学的・生物学的根拠と指針の付与

(b) 生産・量産；科学的根拠・変動品質管理・標準認証に対する指針の付与

(c) 教育・研究；科学的思考のトレーニング、新原理・新発見・オリジナリティの科学的根拠と指針の付与

②連携の強化；科学技術イノベーション創出の研究開発部門との連携をより強化(グリーン・ライフ・インフラ、等に関連する省庁横断、先端分析部門との連携強化)

③プラットフォーム形成；トップダウン型の特定領域を設置し、先端計測分析のフラッグシップ機器のコンポーネント化(ハード・ソフト)開発を行い、世界と戦うプラットフォームの基本構成を構築
具体的な特定領域として、下記のような案があり、今後具体化していく。

<立体構造観察顕微鏡>

(a) トモグラフィ顕微鏡

・超高压電子顕微鏡、放射光 X 線顕微鏡 (いずれも日本がトップ!?)

(b) F I B ・ M A L D I 質量分析 (単粒子解析 S I M S ・ M A L D I)

(c) ナノ領域における極限計測分析(ナノ S I M S , A F M - I R , 等)

<応用分野(出口例)>

(a) バイオ電子顕微鏡(60～80 k V に特化、コストパフォーマンスの極大化によるベストセラーとプラットフォーム形成狙い)

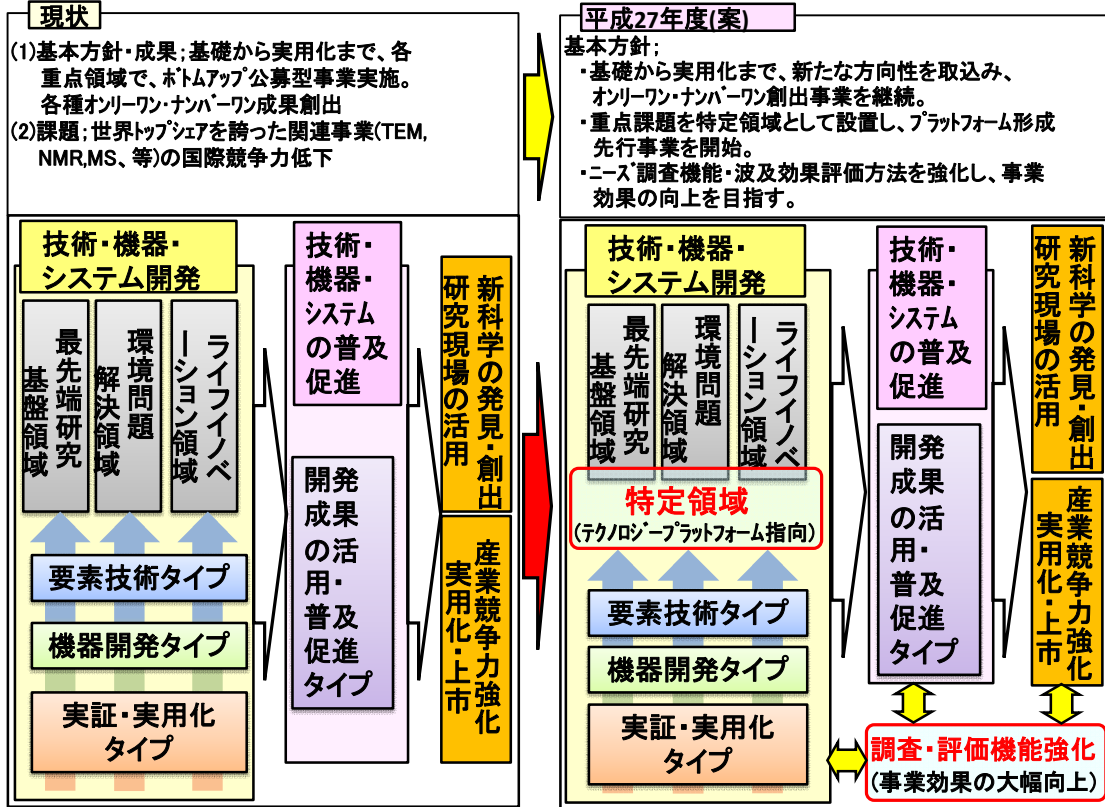
(b) デバイス・構造材の新材料開発、劣化現象・余寿命予測(グリーン・環境インフライノベーション創出支援狙い)

④評価機能強化；マザーオブサイエンスとしての本事業を、波及効果を含め

て評価する方法を確立し、ファンディング効果の最大化を図る。

以上の基本的な考え方に基づき、本事業の現状に対して新しい方向性を示す平成27年度の事業案を、現在の事業と比較して下図に示した

先端計測事業 平成27年度事業計画(案)



8-2) 先端計測事業の10年後の有るべき姿!または有りたい姿!

日本が、科学技術創造立国を継続発展させるために必須な先端計測分析分野の研究開発をシステムティックに支援することのできる事業として、以下の目標を目指すことが必要である。

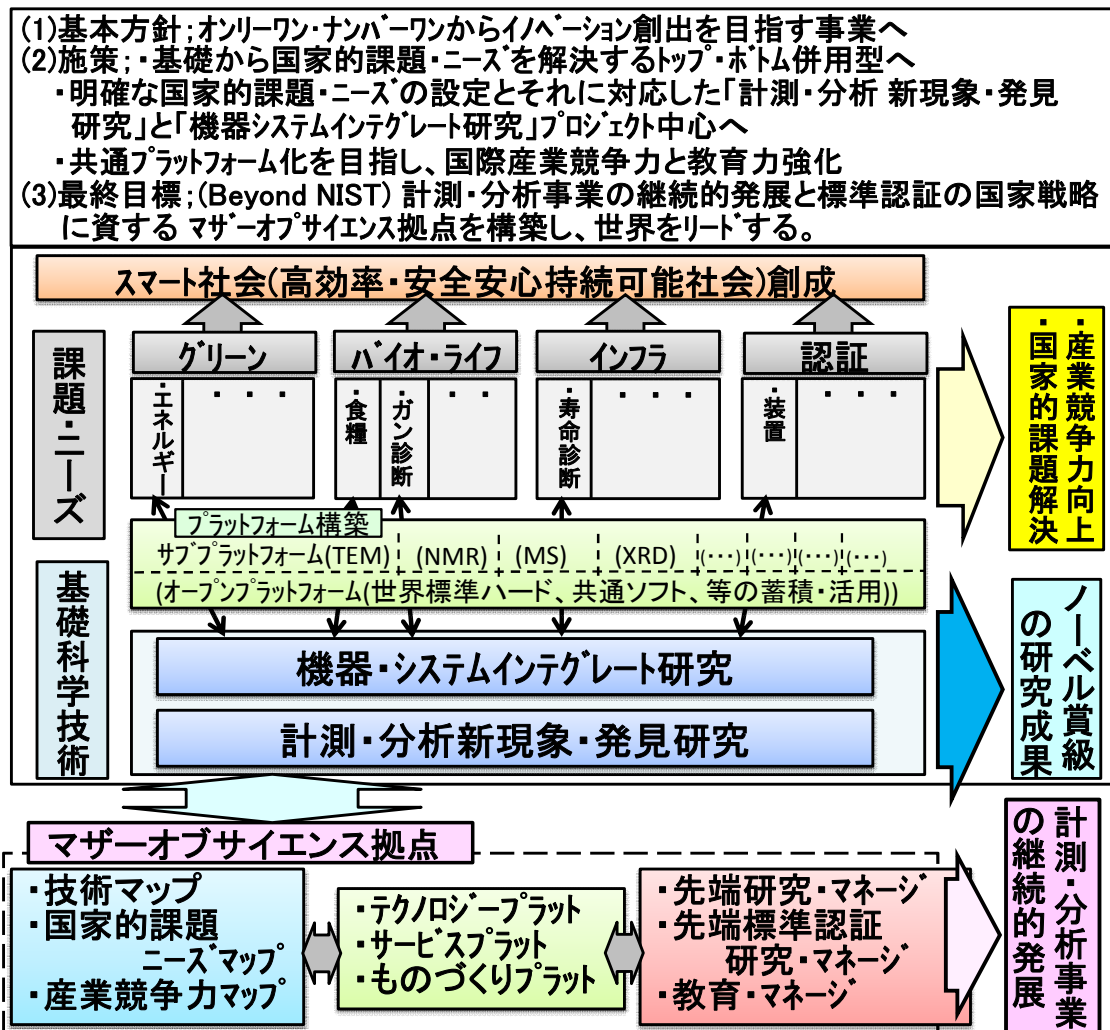
- (1)新原理・新発見・新方式かつ広く活用され、世界トップ・ベストセラーを目指すオンリーワン・ナンバーワン計測・分析システムの創出事業
 →そのために、中核拠点とそれを結ぶプラットフォームを構築する事業
 →プラットフォームは、物理的な拠点としてのサブプラットフォーム(EUのNMRの例)と効率的なものづくり・教育研究の土台としてのバーチャルなデジタル サブプラットフォームとを併せ持ったものにする事業
- (2)社会のニーズ・重要課題を解決して科学技術イノベーション創出を支援す

る重点開発事業

- (3)先端計測分析分野の象徴であるTEM・STEM/NMR/MSのフラッグシップ機の開発強化
- (4)先端計測分析分野のニーズ調査機能と波及効果評価機能を構築し、理想的な国家Pjの有り方を示す事業
- (5)先端計測分析分野の標準・認証(国際標準、安全・安心認証)に関する国家戦略支援事業
- (6)全体を継続的に統括推進し、発展させるための中核拠点形成(マザーオブサイエンス拠点)

このような目標を実現する本事業の10年後のあるべき姿として、概略のイメージ図を下記に示す。

先端計測事業 平成27年度以降に向けた事業計画(イメージ案)



基礎から国家的課題・ニーズを一気通貫型で行い、ノーベル賞クラスの研究成果によるオンリーワン・ナンバーワン科学技術の実現と、国際産業競争力を強化し、新たなイノベーション創出を支援する事業である。世界の技術マップや国家的課題・ニーズマップ、科学技術イノベーションを創出する産業競争力マップ、などを明快にして、それらに対応する先端計測分析の基礎科学技術に対応付けるとともに、それらの間にプラットフォームが絶えず介在し、既存知見(ハード・ソフトのコンポーネント群)の再利用や新たな知見のコンポーネント化を、サポートしながら義務付けて、先端計測分析分野の壮大なデジタルプラットフォーム構築を意識せずに自動形成する戦略である。これまでの多くの事業成果は個々の成果であり、個々の知識として伝承されるケースが多く、事業成果をシステム化して、新たな高い価値を創造する仕組みにはなっていない。EUのNMRの仕組みは、知見を利用するという観点ではあるが、プラットフォームの一部を実現しよう、という素晴らしい試みである。今後の本事業が目指すところは、さらに、世界標準のハード・ソフト群の蓄積・再利用が可能となり、事業の生産性が向上するとともに、サービスやものづくりのデジタル知識が先端計測分析群に横展開することで、最先端科学技術のシナジー効果により、これまで予想もしていない新たな先端計測分析技術・機器システムを生み出すことが期待されることである。これが継続的に実行できれば、単独企業では事業規模的に開発が不可能な領域でも、既存コンポーネントの組み合わせと新たなデジタル知見とを組合せることにより、わずかな予算で世界トップの機器システムを実現し、大きな効果を挙げる事が可能になる、と期待している。また、新たに生み出された先端計測分析技術・機器システムは、これまでの常識を覆す可能性があるため、それらを用いた新たな安全や基準の標準認証システムを作り出し、新たな産業を生み出す可能性がある。国際的な産業競争力は、国家的な標準認証やデファクトスタンダード化に強く依存するため、いち早くこれらに貢献し、国家戦略立案の支援につなげることが可能である、と思われる。

さらにこのような事業を継続的に実行するためには、単にファンディングするだけの機能では、不可能で、ファンディング機能を支え、メンテナンスし、先端研究や教育とそのマネージをシステムティックに行う、マザーオブサイエンス拠点が必要である。ここに、物理的な拠点がバーチャルなネットワークでつながり、事業成果を移行させていけるような仕組みにすれば、さらにシナジー

効果が生み出される、と思われる。

このような事業を膨大な予算で、ファンディングを含めて実行しているのは、アメリカの国立標準技術研究所(NIST, 予算約1100億円、人員約3000名、外部研究者受入約2700名)であろう。その公式任務は、「アメリカの技術革新や産業競争力を強化するために、経済を強化し、生活の質を高めるように計測学、規格、産業技術を促進すること」である。しかしその活動範囲は、膨大で、材料計測研究所をはじめ6つの研究所による研究プログラムと外部委託の学外プログラムとからなり、度量衡の標準化・認証をはじめ、標準物質の作成や標準計測・分析測定法、ソフトウェア品質保証、やそれらに対する基礎科学研究を内外の研究者で行っている。対象分野も、バイオサイエンスとヘルス、建築・インフラ、化学・物理・数学、エレクトロニクス&通信、エネルギー、環境/気候、情報技術、製造業、材料科学、ナノテクノロジー、公共安全とセキュリティ、品質、交通、など計測・分析に関わる膨大な範囲に及んでいる。国家として技術革新や、産業競争力強化に対して、世界をリードする先端計測分析技術・機器システムの研究開発がいかに重要であるかを物語っている。

このように、アメリカの幅広い分野の先端計測分析技術・機器システム開発体制及びEUで見られる戦略的先端計測機器のプラットフォーム形成及びフラッグシップ機の開発強化、など1000億円前後の予算で研究開発を推進している。これらを考慮すると、本事業は、図に示したようなプラットフォーム化という斬新な戦略で、少ない予算で科学技術イノベーション創出を支援する先端計測事業を行い、産官学が協同して波及効果を発揮して世界をリードすることが重要である。この様に、量ではなく質で勝負し、世界をリードするという意味で、NISTを超える事業であり、Beyond NIST、これが最終目標である。

以上、今後10年後を目指す素案を示した。より具体的な実行可能事業案にするには、さらに各方面の有識者による調査・検討が必要である。今後検討チームを作って、具体化する必要がある。

4. 終わりに

以上、報告書『先端計測分析技術・機器開発プログラム-10年の成果と今後の展望-』をまとめた。本事業が我が国の科学技術創造立国、科学技術イノベーション政策に貢献し、益々発展することを願って、閉じることとする。

最後に、本報告書を纏めるにあたり、関係各位の多大なるご尽力をいただいたことに感謝し、お礼申し上げる次第であります。

以上

『参考文献』

- 1) 先端計測分析技術・機器開発に関する検討会：
「先端計測分析技術・機器開発の進め方について
—早急に着手すべき開発領域とその開発戦略—」
平成15年8月
- 2) 科学技術・学術審議会、技術・研究基盤部会、知的基盤整備委員会、
先端計測分析技術・機器開発小委員会：
「我が国の知的創造基盤の強化に向けて
—世界をリードする先端計測分析技術・機器開発体制の構築—」
平成22年8月6日
- 3) 科学技術・学術審議会、先端研究基盤部会、研究開発プラットフォーム
委員会、先端計測分析技術・システム開発小委員会：
「先端計測分析技術・機器開発プログラム—10年の成果と今後の展望—」
平成26年8月
- 4) 科学技術庁科学技術政策研究所第一研究グループ：
「科学技術関連モデルの開発（中間報告その2）研究開発のダイナミクス」
平成2年9月
- 5) 文部科学省科学技術政策研究所：
「イノベーション測定手法の開発に向けた調査研究 報告書」
2008（平成20年）年3月
- 6) Bronwyn H. Hall and Adam B. Jaffe:
[Measuring Science, Technology, and Innovation : A Review]
A report prepared for the panel on Developing Science, Technology, and
Innovation Indicators for the future, National Academies of Science
May 2012

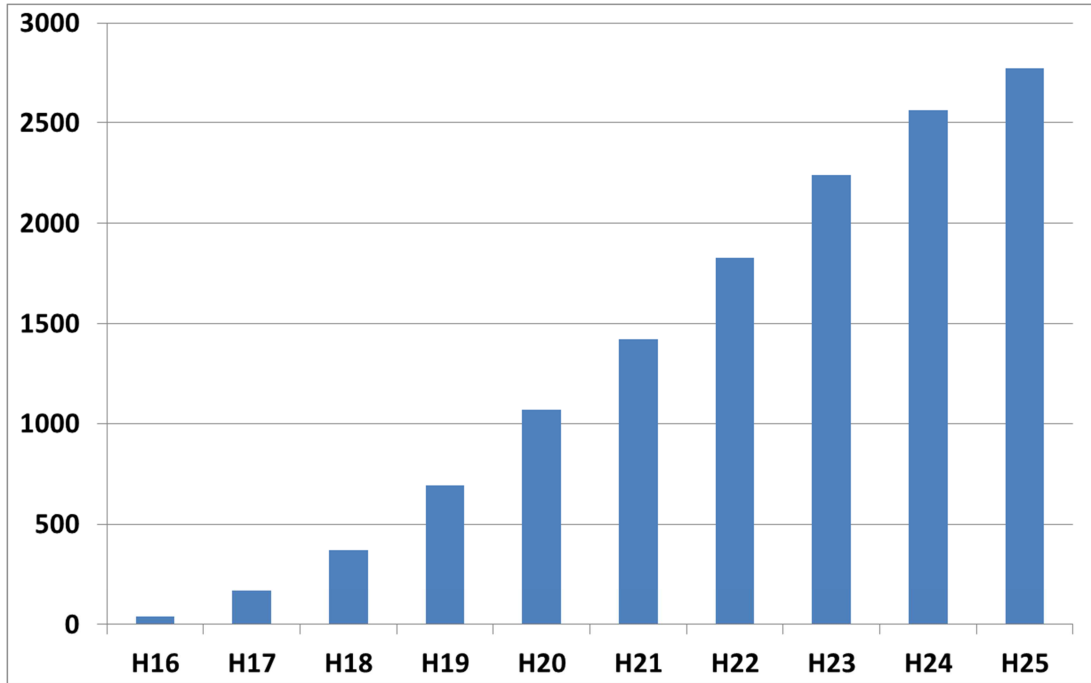


図1 論文掲載件数 (累計)

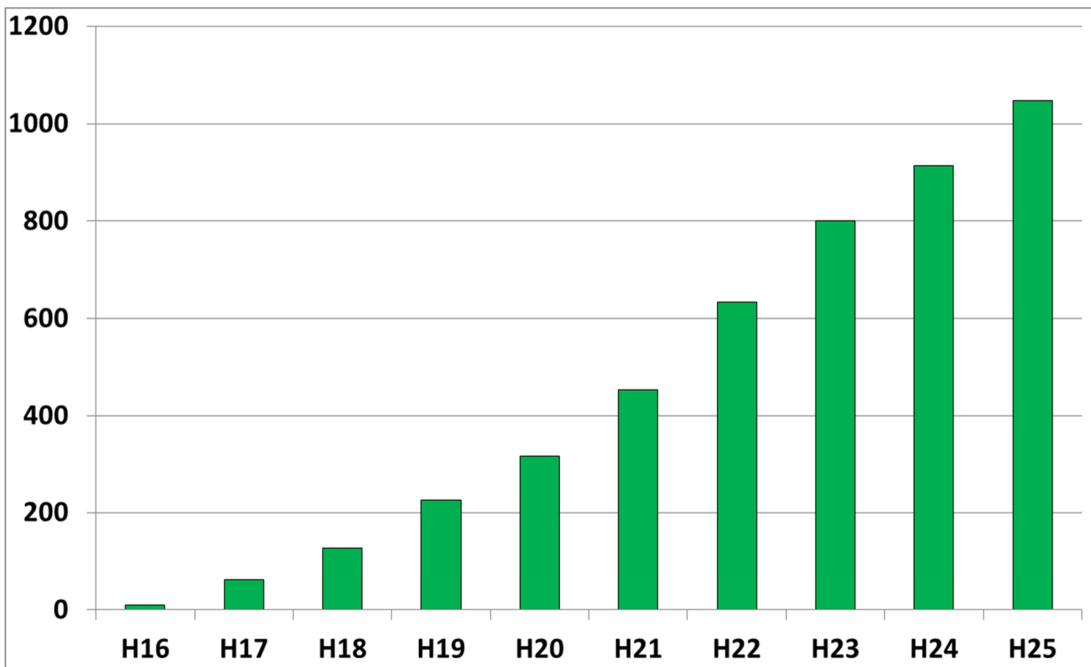


図2 特許出願件数 (累計)

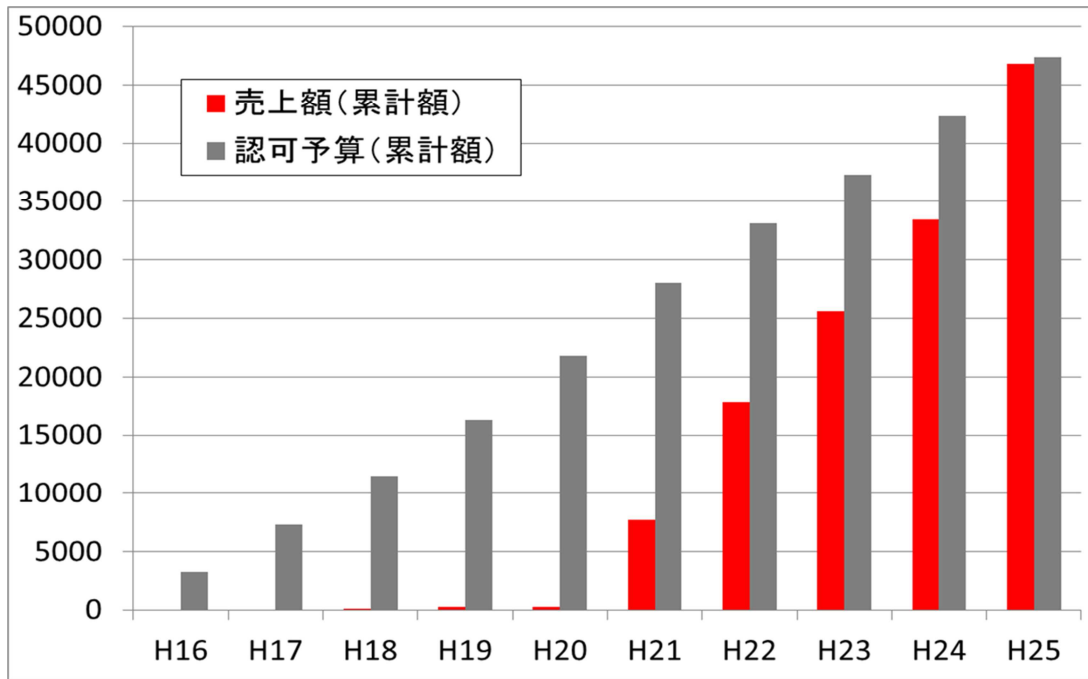


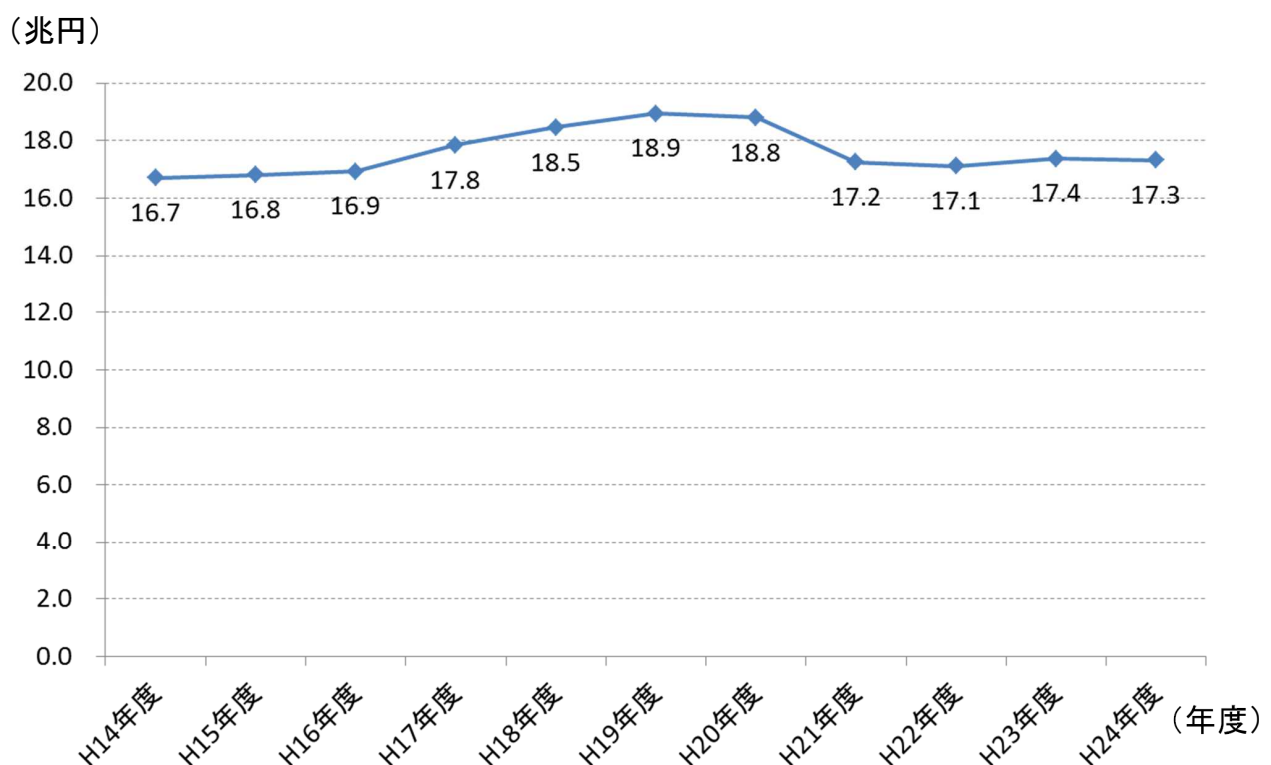
図3 売上額と認可予算の推移（百万円）

西暦(年号)	受賞名	受賞者	受賞内容
2012 (平成24年)	物理学賞	アロシュ(仏)、 ワインランド(米)	単一量子系の計測および制御を可能にする革新的実験手法 (量子状態を破壊せずに計測・制御する技術)
2008 (平成20年)	化学賞	下村脩(日)、 シャルフィー(米)、チェン(米)	緑色蛍光たんぱく質(GFP)の発見 (タンパク質を動的に観察できるマーカー)
2005 (平成17年)	物理学賞	ホール(米)、 ヘンシュ(独)	超短光パルスレーザーによる光周波数計測技術を開発 (未知の光の周波数を精密に計測)
2003 (平成15年)	生理学・ 医学賞	ラウターバー(米)、 マンズフィールド(米)	体内計測が可能な磁気共鳴断層画像化技術の開発 (MRI(核磁気共鳴映像装置)関連技術)
2002 (平成14年)	化学賞	田中耕一(日)、フェン(米)、 ビュートリッヒ(スイス)	生体高分子の質量分析のための脱着イオン化法の開発 (質量分析装置関連技術)
1993 (平成5年)	化学賞	ムリス(米)、 スミス(カナダ)	DNA増幅・検出のための位置特異的突然変異法の開発 (DNA増幅・検出装置関連技術)
1989 (昭和64年)	物理学賞	ポール(独)、ラムゼー(米)、 デーメルト(米)	未知物質の質量分析のためのポールトラップ法を開発 (質量分析装置関連技術)
1986 (昭和61年)	物理学賞	ルスカ(独)	電子顕微鏡に関する基礎研究と開発 (透過型電子顕微鏡関連技術)
		ビーニヒ(独)、ローラー(スイス)	探針・試料間のトンネル電流測定による原子観測法を開発 (走査型トンネル顕微鏡関連技術)
1979 (昭和54年)	生理学・ 医学賞	コルマック(米)、 ハウズフィールド(英)	X線が組織層を透過する際の吸収過程解析方法を開発 (X線断層装置関連技術)

日本の研究費の推移

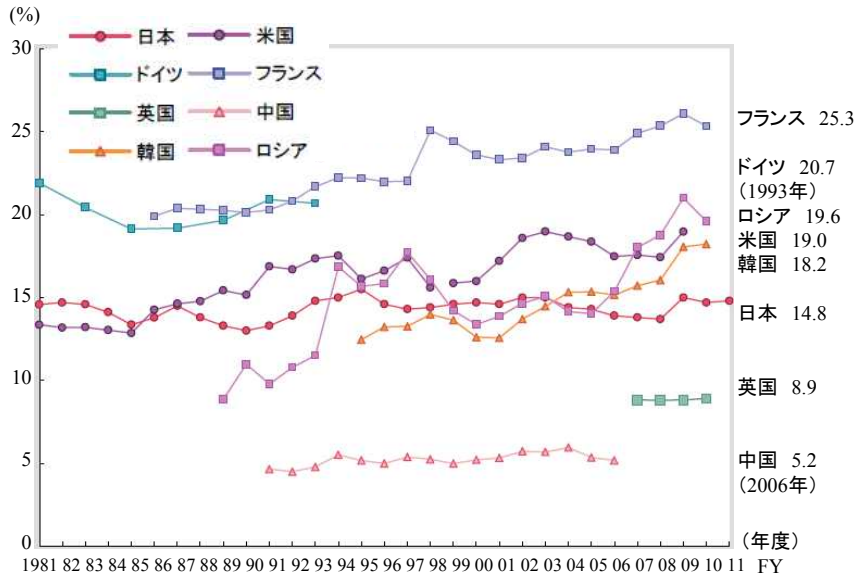
○平成24年度の日本の研究費総額は17.3兆円である。

○平成21年度以降はほぼ横ばいであり、不況前の水準まで戻っていない。



科学技術への研究開発投資

主要国等の基礎研究費の割合の推移※1



注) 1. 日本、韓国を除き、各国とも人文・社会科学が含まれている。
 注) 2. 英国の値は推計値である。
 資料：日本：総務省統計局「科学技術研究調査報告」
 資料：その他の国：OECD, R&D database, March 2013

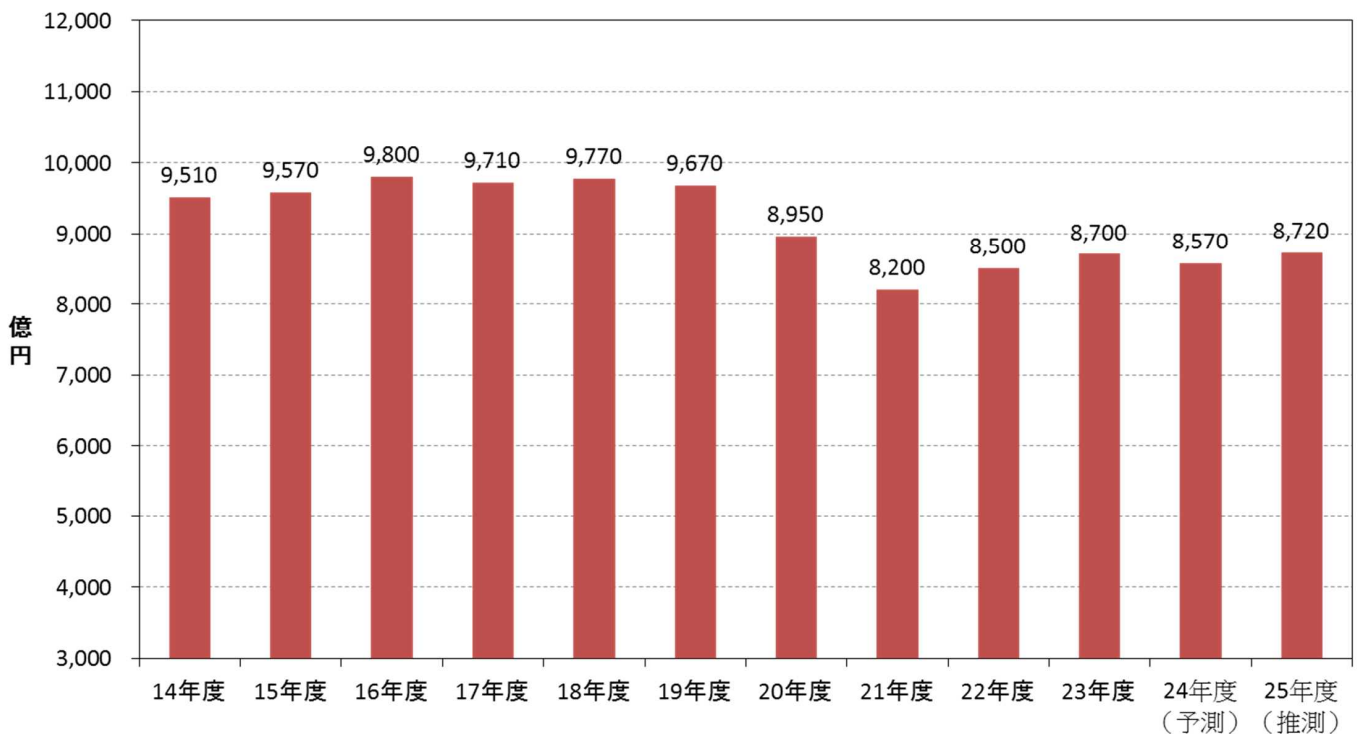
- 我が国の研究費総額(IMF 為替レート換算)は米国に次ぐ水準であるが、平成23年度では民間14.1兆円(81.0%)、政府3.2兆円(18.6%)となっており※2、政府負担の割合は欧米諸国に比べて低水準。基礎研究の比率も同様に14.8%と低い。

- 第4期科学技術基本計画では、「震災からの復興、再生の実現」、「グリーンイノベーションの推進」、「ライフイノベーションの推進」を、将来にわたる成長と社会の発展を実現するための主要な柱として位置付けている。このような分野で使用される先端機器は、技術開発要素が多く、異分野の開発者がプロジェクトチームを組んで開発されるケースも多い。

- イノベーションの萌芽となる基礎的な研究活動を担う大学等において、研究者が生み出した独創的、先進的な研究成果を活かしていくためには、それを活用する産業界との協力を推進していくことが極めて重要であり、産学官連携を一層深化させていくことが求められる。

※1 出典：科学技術要覧 平成25年版 P21「4-1-2 主要国等の基礎研究費割合の推移」
 ※2 出典：科学技術要覧 平成25年版 P5 「2-1-1 主要国等の組織別研究費負担割合」

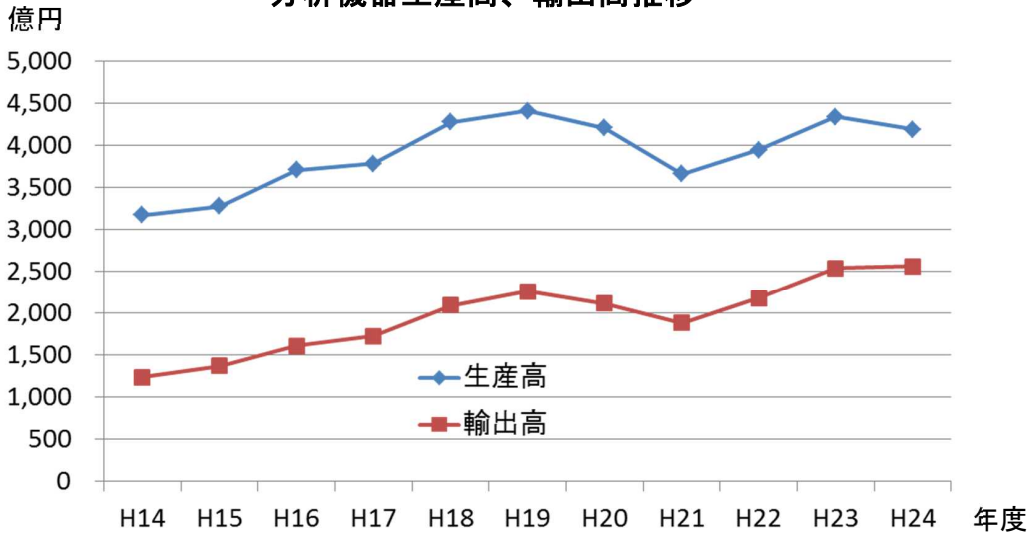
「科学機器の末端市場規模の推移」



出典：「科学機器年鑑 No.1 市場分析編 2007年版、2013年版」(株)オールアンドディ

計測分析機器市場の生産高、輸出高(全体の傾向)

分析機器生産高、輸出高推移*

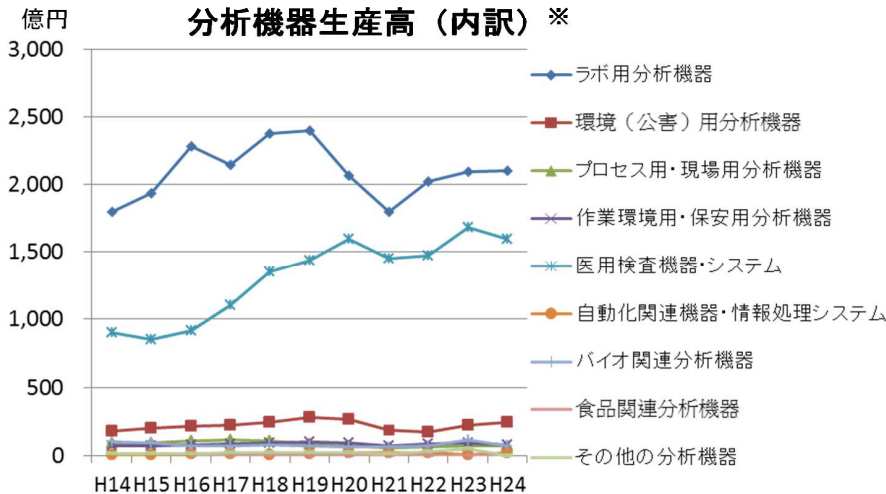


- (社)日本分析機器工業会の統計によれば、平成24年度の分析機器生産高・輸出高はそれぞれ4,190億円、2,549億円となり、対前年度比はそれぞれ96.5%、100.9%となった。輸出高は2年続けて過去最高を記録した。
- 平成20年度後半に急激に訪れた全世界的不況は、比較的景気の影響を受けにくい分析機器にも大きく影を落とし、平成21年度は平成19年度に比べて生産高が17.0%、輸出高が16.6%の減少となった。その後、生産高、輸出高ともに回復し、平成23、24年度は、生産高は不況前と比べてほぼ同等、輸出高は前述のとおり不況前を上回る値を記録している。
- 平成14～24年度の10年間では生産高、輸出高ともに増加傾向であり、平成24年度は平成14年度に比べて、生産高で32.2%、輸出高で88.2%の増加となった。

※(社)日本分析機器工業会 ホームページ掲載の統計データを基に作成
(URL: <http://www.jaima.or.jp/jp/statistics/index.html>)

計測分析機器市場の生産高、輸出高(内訳)

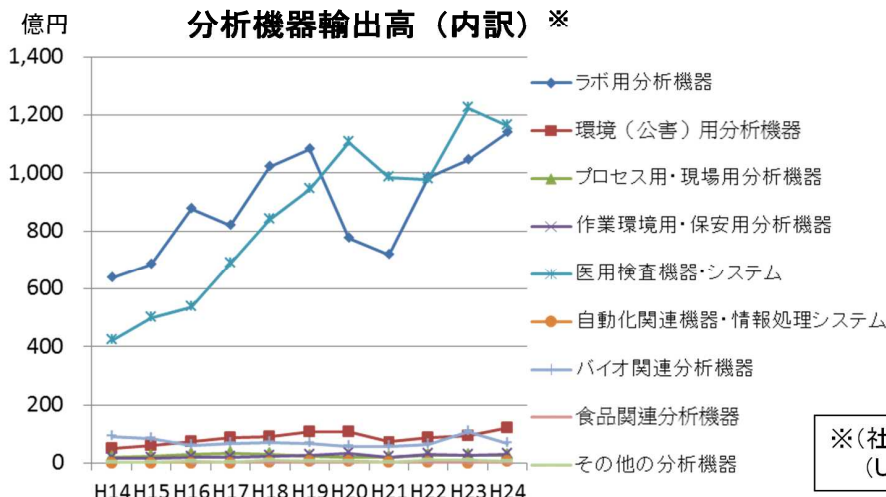
分析機器生産高(内訳)※



- 生産高、輸出高ともに、ラボ用分析機器(光分析装置、電磁気分析置、分離分析装置など)と、医用検査機器・システム(検体検査装置や生体検査装置など)が大半を占めており、平成24年度の生産高、輸出高は、両者でそれぞれ88.1%、89.9%を占めている。

- ラボ用分析機器は、平成20年度後半からの全世界的不況により生産高、輸出高ともに大幅に減少し、平成21年度は、平成19年度に比べて生産高で25.1%、輸出高で33.6%の減少となった。H22年度以降は回復傾向にあり、生産高は平成24年度でも不況前の水準まで戻っていないものの、輸出高は平成24年度に過去最高を記録している。

分析機器輸出高(内訳)※



- 医用検査機器・システムは、ラボ用分析機器と比べて不況の影響を感じさせず、生産高、輸出高ともに平成20年度は前年度を上回り過去最高を記録し、その後やや停滞したものの、平成23年度は更に最高を塗り替えている。

- 内訳の3番目は全体の4～6%程度を占めている環境(公害)用分析機器であり、これも不況の影響で一時落ち込んだものの、平成24年度には不況前の水準に戻ってきている。

※(社)日本分析機器工業会 ホームページ掲載データを基に作成
(URL: <http://www.jaima.or.jp/jp/statistics/index.html>)

先端計測分析機器の主な市場、機器メーカー等

先端計測分析機器の主な市場

【エレクトロニクス市場】

- 液晶テレビ、携帯電話、スマートフォン、太陽電池、リチウムイオン電池、燃料電池など日本製品は一定のシェアを獲得しており、基礎から応用技術まで幅が広い。
- 使用される機器も、電子顕微鏡のような表面分析関連装置、分光光度計、FT-IR(フーリエ変換赤外分光光度計)のような光分析装置など多岐にわたる。

【医薬・ライフサイエンス市場】

- DNAシーケンサー、リアルタイムPCR(Polymerase Chain Reaction)のような遺伝子検出・解析に関する製品群、液体クロマトグラフ質量分析装置、フローサイトメータのような生体分子精製・解析に関する専門性の高い装置が使われる。それらの装置には専用試薬が必要なことが多い。

【マテリアル市場】

- 有機、無機、金属、複合材料、高分子材料など様々な材料が研究開発されており、走査型電子顕微鏡、走査型プローブ顕微鏡のような表面分析装置、X線回折装置、核磁気共鳴装置など分子構造解析装置も必需品。

【環境市場】

- 屋外に設置して24時間連続運転する装置、フィールド測定用のポータブル機器などが使用される。

機器メーカー等

【外資系メーカー】

- 日本進出後10~30年経過する中、経済活動のグローバル化の進展とともに企業規模、シェアを拡大している会社が多くなっている。

【国産メーカー】

- 一部の大手企業を除き中小企業メーカーが多く、開発資金、開発人材が不足している。(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構、(独)産業技術総合研究所、公設試験研究機関等と共同研究を行うケースもある。日本では新製品を市場に出しても、ユーザーの納入実績志向が強く、販売面での立ち上げに苦労することもある。

【外国製機器を使用する国内ユーザー】

- 海外文献への掲載実績、測定データの継続性や、一旦輸入品を使い始めると操作に慣れてしまっていることも重要なポイントであることから、特に問題がなければ、そのまま同一メーカー製品を継続使用する傾向がみられる。

- 計測分析機器分野でのビジネス成功のためには、国内市場に加え、広く欧米やアジア新興国市場への輸出が必要。
- ユーザーの購入ルート別にみると、販売店からの購入が70%、メーカー・輸入商社からの購入が30%であり※、販売店とユーザーとの密着度は強い。
- 部品の加工等により計測分析機器の開発・生産を支えているものづくり中小企業は、大企業や中小のセットメーカーからの発注に大きく依存。セットメーカーの海外シフト、発注減少は重大問題であり、受注減少が続くと、セットメーカーの開発・生産を支えるものづくり中小企業の存続が危うくなる。

※出典:「科学機器年鑑2013年版No.1 市場分析編」(株)オールアンドディ

大学を含む研究開発部門と製造プロセス部門

【両部門で使われる計測分析機器の違い】

大学を含む研究開発部門(R&D)

- R&Dでは高機能、高性能、信頼性、アプリケーション対応などを要求するため、機器は一般的に高価格。
- 研究・実験目的に応じて多種の機器が必要。
- 大型装置では共通使用機器としての購入ケースも多い。

製造プロセス部門(生産、検査、品質管理)

- 検査工程、品質管理などルーチン使用が多いため、操作性スループット、ランニングコスト、メンテナンス、安定性などが選定項目。
- 納期、法規制(WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment)指令、RoHS(Restriction of Hazardous Substances)指令など)や規格対応(FDA(Food and Drug Administration)、バリデーション、キャリブレーションなど)も重要。
- 生産量に比例して機器台数も増加。

【表面分析関連装置】国内販売実績(2012年度)

機 器	第 1 位	第 2 位	第 3 位
透過型電子顕微鏡(TEM)	日本電子	日立ハイテクノロジーズ	日本FEI(米国FEI社の日本法人)
走査型電子顕微鏡(SEM)	日立ハイテクノロジーズ	日本電子	カールツァイス(ドイツ)
エネルギー分散型X線分析装置(EDX)	日本電子	堀場製作所	オックスフォード・インストルメンツ(英国)
集束イオンビーム発生装置(FIB)	日本FEI(米国FEI社の日本法人)	日立ハイテックスサイエンス	日立ハイテクノロジーズ
レーザー顕微鏡(生物用)	オリンパス	ライカマイクロシステムズ(ドイツ)	カールツァイス(ドイツ)
レーザー顕微鏡(工業用)	オリンパス	キーエンス	レーザーテック
走査型プローブ顕微鏡(超高真空型)	オミクロン(ドイツ)		
走査型プローブ顕微鏡(大気型)	日立ハイテックスサイエンス	ブルカーAXS(ドイツ)	オックスフォード・インストルメンツ(英国)
電子線マイクロアナライザ(EPMA)	日本電子	島津製作所	
オージェ電子分光分析装置(AES)	日本電子	アルバック・ファイ	
X線光電子分光分析装置(ESCA)	アルバック・ファイ	島津製作所	サーモフィッシャー(米国)
二次イオン質量分析装置(SIMS)	アルバック・ファイ	アメテック(米国)	日立ハイテックスソリューションズ
X線回折装置	リガク	ブルカーAXS(ドイツ)	スペクトリス(英国)
波長分散型蛍光X線分析装置	リガク	スペクトリス(英国)	ブルカーAXS(ドイツ)
エネルギー分散型蛍光X線分析装置(汎用)	日立ハイテックスサイエンス	島津製作所	堀場製作所
エネルギー分散型蛍光X線分析装置(ハンドヘルド)	リガク	ポニー工業	日本電子
熱分析装置	日立ハイテックスサイエンス	リガク	ネッチ・ジャパン(独NETZSCH社の日本法人)
核磁気共鳴装置(NMR)	ブルカー・バイオスピン(スイス)	JEOL RESONANCE	アジレント・テクノロジー(米国)

上記機器の国内市場規模(2012)は、約820億円

出典:「科学機器年鑑2013年版No.1 市場分析編」(株アールアンドディ)

■:米国企業、■:ドイツ企業、■:英国企業、■:スイス企業、■:海外企業の日本法人

【光分析・クロマト及び質量分析関連装置】国内販売実績(2012年度)

機 器	第 1 位	第 2 位	第 3 位
液体クロマトグラフィー	島津製作所	日本ウォーターズ(米国Waters社の日本法人)	アジレント・テクノロジー(米国)
紫外・可視分光光度計	島津製作所	日立ハイテクノロジーズ	日本分光
蛍光分光光度計	日本分光	日立ハイテクノロジーズ	島津製作所
フーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR)	サーモフィッシャー(米国)	日本分光	島津製作所
顕微鏡レーザーラマン	堀場製作所	日本分光	サーモフィッシャー(米国)
原子吸光分光装置	日立ハイテクノロジーズ	島津製作所	パーキンエルマー(米国)
ICP発光分光装置(ICP-OES)	島津製作所	日立ハイテックスサイエンス	サーモフィッシャー(米国)
ICP質量分析装置(ICP-MS)	アジレント・テクノロジー(米国)	パーキンエルマー(米国)	サーモフィッシャー(米国)
液体クロマトグラフィー(HPLC)	島津製作所	日本ウォーターズ(米国Waters社の日本法人)	アジレント・テクノロジー(米国)
液体クロマトグラフ質量分析計(LC-MS)	エービー・サイエックス(米国)	日本ウォーターズ(米国Waters社の日本法人)	サーモフィッシャー(米国)
ガスクロマトグラフ	島津製作所	ジールサイエンス	アジレント・テクノロジー(米国)
ガスクロマトグラフ質量分析装置(GC-MS)四重極型	島津製作所	アジレント・テクノロジー(米国)	日本電子
ガスクロマトグラフ質量分析装置(GC-MS)磁場・二重収束型	日本電子	日本ウォーターズ(米国Waters社の日本法人)	

上記機器の国内市場規模(2012)は、約1,000億円

出典:「科学機器年鑑2013年版No.1 市場分析編」(株アールアンドディ)

■:米国企業、■:海外企業の日本法人

【ライフサイエンス関連機器】国内販売実績(2012年度)

下記機器の国内市場規模(2012)は約440億円

○ライフサイエンス分野の機器では、海外企業の機器がほとんど上位を占めている

機 器	第 1 位	第 2 位	第 3 位
DNA増幅装置	ライフテクノロジーズ(米国)	バイオ・ラッド(米国)	タカラバイオ
リアルタイムPCR装置	ライフテクノロジーズ(米国)	ロシュ(スイス)	バイオ・ラッド(米国)
マイクロチップ電気泳動装置	アジレント・テクノロジー(米国)	島津製作所	パーキンエルマー(米国)
DNAシーケンサ(キャピラリタイプ)	ライフテクノロジーズ(米国)	ベックマン・コールター(米国)	
DNAシーケンサ(次世代シーケンサー)	イルミナ(米国)	ライフテクノロジーズ(米国)	ロシュ(スイス)
UVサンプル撮影・解析装置	アトー	バイオ・ラッド(米国)	エムエス機器(日本企業。仏国ヴィルパー・ルーマツ社の製品を輸入販売)
イメージングアナライザ	GEヘルスケア(米国)	バイオ・ラッド(米国)	アトー
マイクロアレイ関連装置(解析装置)	アジレント・テクノロジー(米国)	インターメディカル(日本企業。米国MDS社の製品を輸入・販売。)	スクラム(日本企業。フランス INNOPSYS社の製品を輸入・販売)
DNAチップ	アフィメトリクス(米国)	アジレント・テクノロジー(米国)	イルミナ・ジャパン
紫外・可視分光光度計(ライフサイエンス用)	スクラム/エル・エム・エス(日本企業。米国 Thermo Fisher社の製品を輸入・販売。)	GEヘルスケア(米国)	島津製作所
マイクロプレートリーダー	日本モレキュラーデバイス(米国Molecular Devices社の日本法人)	パーキンエルマー(米国)	バイオ・ラッド(米国)
生体分子間相互作用解析装置	GEヘルスケア(米国)	バイオ・ラッド(米国)	日本ポール(日本企業。米国ForteBio社の製品を輸入販売)
蛍光マイクロビーズアレイシステム	バイオ・ラッド(米国)	メルクミリポア(米国)	ペリタス(日本企業。米国One Lambda社の製品輸入販売)
フローサイトメトリーシステム	日本BD(米国Becton, Dickinson and Company社の日本法人)	ベックマン・コールター(米国)	メルクミリポア(米国)
ハイコンテツ イメージスクリーニングシステム	GEヘルスケア(米国)	横河電機	パーキンエルマー(米国)
分注ロボット(ワークステーション)	テカン・ジャパン(スイスTecan社の日本法人)	ベックマン・コールター(米国)	和光純薬

出典:「科学機器年鑑2013年版」(株)オールアンドディ) ■:米国企業、■:スイス企業、■:海外企業の日本法人、■:海外製品を輸入・販売している日本企業

国内および海外における 先端計測分析技術・機器開発の類似制度

※ 海外の類似制度調査について

()

- ◎ 海外の諸制度について、インターネット上で入手可能な情報をとりまとめ、要約した。加えて、JST研究開発戦略センターが実施している委託調査の結果を加味している。
- ◎ 本件に関しては、国内外の研究開発制度につき知見を有するJST研究開発戦略センターと意見交換を行い、まとめている。

海外の類似事例

2. 海外の計測分析機器開発に関する諸制度について

海外の場合は、国内と異なり、計測分析機器に特化した開発支援制度はあまりないが、計測分析技術の重要性が認識されつつあり、米国・欧州で開発支援に係る制度がいくつか存在している。これらの制度は、日本のように「開発課題に対して経費の支援を行う」というよりも、「**国として行う(計測分析)基幹技術のニーズ調査**」「**これに伴う技術開発**」の枠組みであると同時に、**計測分析分野の標準化を担う機関**が主体となって進められている点に特徴がある。

◎ **米国の事例**

技術の標準化を担う機関であるNISTが、米国競争力法を踏まえた大統領指示(ブッシュ政権当時)により、USMS(U.S.Measurement System)を発足。これに関連して、NIST予算を10年間で2倍に増加予定。

◎ **欧州(EU)の事例**

欧州国家計量標準研究所協会(EURAMET)が、計測分析技術に関する開発支援プログラム(EMRP:European Metrology Research Program)を実施。年間約73億円規模。欧州に存在する国の計測機関に配分。

他の類似例を含め、次ページ以降を参照。

(1) 米国

2005年 ブッシュ政権

「米国競争力イニシアティブ(American Competitive Initiative : ACI)を発動

➡ エネルギー省(DOE)、国際科学財団(NSF)、国立標準技術研究所(NIST)を指名



◎ 米国において「計量」と「標準」を担当する国立の研究所

◎ 科学と産業を結ぶ計量技術はイノベーションの要

◎ 科学的発見から技術開発、商用化までを支え、イノベーションのライフサイクルを支えるテクノロジーインフラを提供

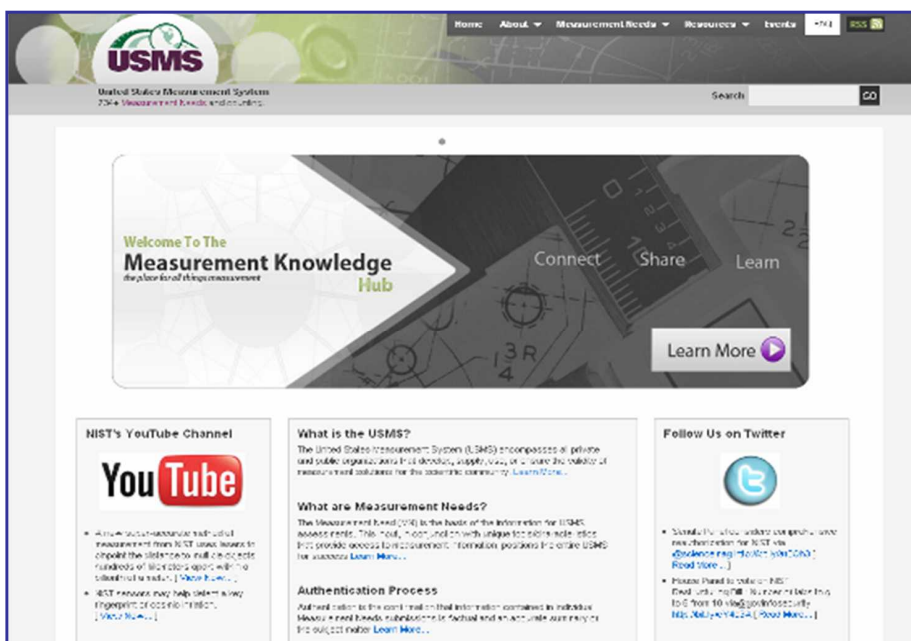
NISTホームページ(<http://www.nist.gov/>)

U.S. Measurement System (USMS) [米国計量システム]

NISTの国家計量システム(National Measurement System: NMS)を中核とし、

① 計量に関する開発 ② 供給 ③ 認証 の係わる全ての関係者を結ぶネットワーク (公共セクター、民間セクターを包含)

◎ USMS設置に当たり、NISTがアセスメント調査(2007)



[目的]
新しい産業／成熟産業ともに近年の技術の高度化・複雑化に伴い、より高度な計量技術が必要。イノベーションに必要な計量技術と現在の技術のギャップ及びニーズを評価。

[対象]
11産業・技術分野

[方法]
・ロードマップ分析(～2006)

・ケーススタディ
15回のワークショップ
関連機関(120)・1000名への産学官関係者へヒアリング

U.S. Measurement System (<http://usms.nist.gov/>)

11の技術分野

- 建築・構造物
- 化学
- 国防・国土安全保障
- 部品製造(自動車含む)
- エレクトロニクス/ITハードウェア
- エネルギー・電力・環境
- ヘルスケア(バイオイメージング含む)
- ITソフトウェア
- 材料
- ナノテク
- 半導体エレクトロニクス

アセスメント調査の結果(抜粋)

◎ ヘルスケア(77件)

この分野の技術革新を進めるために、政府による計測技術と標準の開発努力が必要。また、化学、物理、IT等の専門領域と生物医学の専門領域を共に経験した学際的な研究者によるアプローチが必要。

◎ ITソフトウェア(33件)

この分野でのイノベーションを妨げている計測課題解決のためには、ソフトウェアとシステム性能の計測が必要。

◎ 半導体エレクトロニクス(52件)

物理計測の遅延が原因の諸問題は、シミュレーション技術により解決が可能であり、シミュレーションの活用が必要。この分野のイノベーションの計測障害の解決のためには、新しいプロトタイプ計測装置の開発も必要。

◎ ナノテク(36件)

ナノスケールでの物質の物理的、化学的、生物的特性を正確に、高分解能で分析する最先端計測分析法が必要。

ナノ材料・デバイスの諸特性を高速に測る能力をもつ計測分析法の欠如は、ナノテクイノベーションの大きな障害である。

USMSの課題

(1) 計測精度の限界を打破するために根本的に新しい計測技術が必要である。

- ・ 精度と解像度は各分野・領域に共通の計測障壁である。
- ・ 精度を向上する技術限界が来ている。
- ・ 急速な技術の進歩や社会の変化に応じて、根本的に新しい計測技術が要求されている。
- ・ 医療・半導体などの電子技術、情報技術、通信、ナノテク、材料分野で特に深刻。

(2) リアルタイム観測や工業プロセス・環境の制御を可能にする高精度センサーが無い。

- ・ リアルタイムで製品にダメージを与えない方法が必要である。
- ・ 過酷な環境下(高温、高圧、腐食性雰囲気)でも作動する頑強な感知技術が必要である。
- ・ 化学、エネルギーと電力、基礎材料、自動車、金属加工などの分野で深刻。

(3) 新しい技術をシステムレベルで評価する標準、基準、単位系、実施要領などが無い。

- ・ ソフトとハードの性能と相互運用性に関して、標準化と性能基準が技術の進歩に対して遅れている(国防と国土安全保障、医療等、情報システムに依存する部分が多い分野)
- ・ 経済やインフラに不可欠であるシステム性能を実証し予測するニーズが高まっている。
- ・ 製造業において新しいシステム技術が利用できていない。

(建築、医療、国防、国土安全補償、ITなどのサービス分野でのシステム性能計測技術の欠如)

今後目指すべき方向

イノベーション加速のための7つの提言

- ① 計測ニーズの社会的認知度の向上
- ② 計測課題を解決する能力を有するグループ・研究者の連携
- ③ 計測技術のブレークスルーを促進する新しい協創
- ④ 計測ニーズの優先順位の決定
- ⑤ 産業界の具体的計測課題の解決を支援
- ⑥ 産学共通の計測ニーズを分析し、相乗効果を活用
- ⑦ 計測技術の商業化促進

提言を踏まえ、実施すべき方策

(1) 計測インフラの構築

成長中で急速に変化し、技術的に高度な産業からの計測ニーズを満たすために、USMSにより計測インフラを構築する必要がある。

(2) 産学官の協力

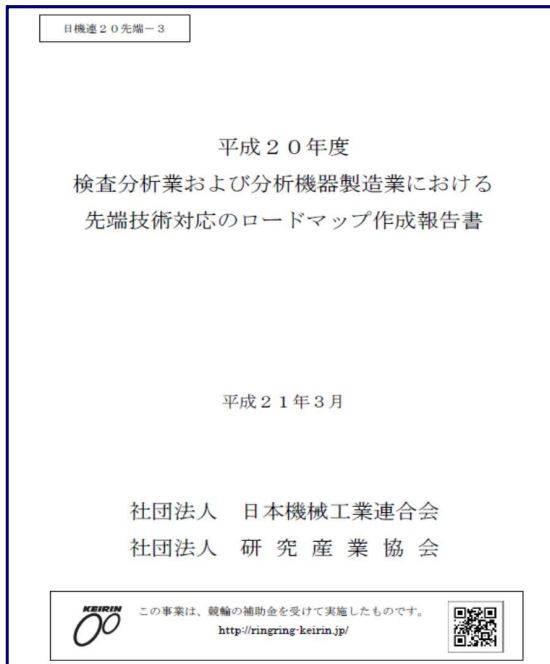
USMSをさらに改善するため、米国と世界各国の様々な組織的協力が必要。公共セクターと民間セクターの協力により、技術イノベーションを阻害している計測障害を解決可能。

(3) 国際協調

国際的な計測システムと歩調を合わせつつ、計測ベースの標準化でリーダーシップをとり、グローバル市場へのアクセス、効率的取引を可能にする。

[参考] 日本における分析機器のロードマップ

我が国においては、計測分析機器のみを対象とした省庁レベルでのロードマップは調査の範囲で見つからないが、(社)日本機器工業連合会、(社)研究産業協会が平成20年度に、主として産業の立場(検査分析業および分析機器製造業)からロードマップを作成している。



[目的]

国際競争力を担う我が国の製造業・科学技術を発展させるため、その不可欠な基盤である検査・分析に関する技術や事業のニーズ・シーズを明確にし、**製造業における研究開発部門、検査分析業界および検査分析機器製造業の間で共有するロードマップ**を整備する。

[進め方]

- ・民間企業、都道府県の公設試へアンケート(H18)
- ・製造業の研究開発部門へアンケート(H19)
- ・検査・分析企業／製造業研究部門／検査分析機器製造企業へヒアリング(H20)

→ **結果を委員会(民間企業の研究開発責任者)で検討。**

[結果]

- ・化学／物理／生化学分野でのニーズ把握と整理
- ・全分野共通課題(微小領域、微小サンプル分析／分析精度の向上／使いやすく小型で低価格の装置／標準物質の開発等)
- ・**化学／物理／生化学分野で利用する機器個別にロードマップを提示。**

報告書(インターネット上で公開)

(http://www.jmf.or.jp/japanese/houkokusho/kensaku/2009/20sentan_03.html)

2. 欧州(EU)

(1) EURAMETについて

欧州国家計量標準研究所協会(European Association of National Metrology Institutes; **EURAMET**)は、**EUに所属する国立の計量に関連した研究所から構成される組織で、計量および標準(SI単位等)に関する研究開発プログラム(EMRP; European Metrology Research Program)運営の責任機関。**事務局をドイツに設置している。この組織は1987年に設立されたEUROMETの後継組織で20年以上の歴史を有する。



EURAMETのホームページ(<http://www.euramet.org/>)

[概要]

- ◎ EUIに所属する各国研究所が計量、計量標準に関する研究開発等の協力を行う目的で設立された組織。**2007年にEURAMETに改称し、本拠をドイツに設置。**
- ◎ 所属の**34国**からは代表機関、代表1名が加盟。他に**4つの団体(扱い)**が参加。
※ 欧州委員会の他、アルバニア、モンテネグロ、マケドニア
- ◎ 主として計量標準を取り扱っており、**12分野の「技術専門委員会」が存在。**
(「音響・超音波」「電気・磁気」「流体」「共通事項」「イオン化・放射」「長さ」「質量」「化学における計量」「光計測及び放射光計測」「機器操作」「熱測定」「時間及び周波数」)

EMRPについて

2002年(当時EUROMET)に「欧州におけるトップレベルの計測」を行うための各種研究を始めたことを契機に開始。当初は、多分野へ影響を及ぼし始めたナノテクノロジーやバイオテクノロジー等を対象として欧州委員会のサポートを得て実施。対象はEURAMET所属の各国計量研究機関。2007年はSI単位系、長さ等の標準に係るテーマが募集されたが、2009年はエネルギーに係るテーマとなっている。(2013年まで対象分野が公表されている)

【概要】

- ◎ 計測技術、計測標準、計測プロセス、計測機器、これらに関連した物質および知識に関する研究開発や評価を加速するための応用研究開発プログラム
- ◎ 国立の計測に関する研究機関と22の欧州の研究機関、欧州委員会共同研究センターによる共同研究を支援。
- ◎ 財源はEU、各国の計測システムプログラム及びEMRP加盟国からの拠出金。

【目的】

- ◎ 科学研究におけるデータの質向上
- ◎ 産業および政策立案に対する助言
- ◎ これらに役立つ指示、規制の策定、実現

【予算額】

- ◎ 2924万ユーロ(2009年)
うち、1394万ユーロが欧州委員会拠出

<募集分野>

各年度で募集する分野が異なる。

【フェーズ1:iMERA-Plus】

2007年: SI単位系および標準、健康、長さ電気及び磁気

【フェーズ2:欧州条約169条関連分野】

2009年: エネルギー

2010年: 環境、産業における計測(公募中)

以下、予定

2011年: 健康Ⅱ、広いスコープでのSI単位系
新技術

2012年: 産業における計測Ⅱ
広いスコープでのSI単位系Ⅱ
優れた提案を自由公募

2013年: エネルギーⅡ、環境Ⅱ

iMERA と EMRPの関係

欧州各国が新たな2000年紀(ミレニアム)を迎えるに当たり、日常生活に対して陰に日向に係わる計測技術のニーズ、今後の方向性を考えるため、計測技術に関する課題、今後挑戦していく分野を考えるために専門家による検討を実施。その結果、計測技術に関するロードマップとして、iMERAを策定。これをサポートするファンドとして、EMRPを発足。

iMERA(タスクグループ)

- (1) 未来予測
- (2) 優先順位
- (3) オーナーシップ
- (4) 研究プログラム
- (5) 開発構造
- (6) 訓練および人材の流動
- (7) 新興計測国家の特別のニーズと ERA-Netの拡張
- (8) 知識の移転、知財権と倫理的問題
- (9) 計測研究開発の波及効果
- (10) 情報通信ツール
- (11) 欧州を越えて
- (12) 流通、統治とコンソーシアムのマネジメント

① 計測に係る研究開発ファンドの創設(EMRP)

フェーズ1:FP7(後述)の下で、中規模の実行計画として発足。
・20カ国の国立計量研究所の資金
・欧州委員会計量研究所が協力 → 6460万ユーロ規模

② 左記タスクグループの成果をロードマップとして提示

(2) FP7 (7th Framework Program)

前記したEMRPの他に、EU全域の研究開発支援プログラムの中で

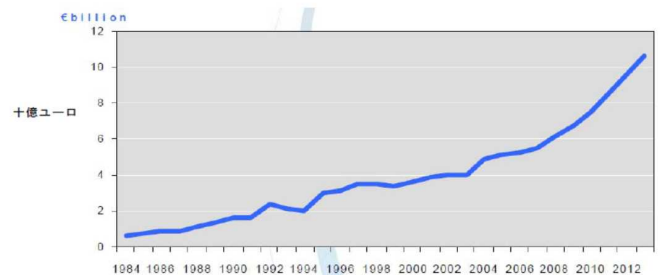
- (1) 計測技術関連プロジェクトを実施
- (2) 研究開発能力強化のための活動として、「研究インフラ」強化を実施。



欧州委員会のFP7ホームページ

(http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html)

- FPはEUにおける科学分野の研究開発財政支援制度。第1次計画は1984年開始。
- FP7(第7次計画)は2007年7月開始。
- FPは欧州委員会(EUの行政機関)により作成・提案 → 欧州議会、EU理事会で承認のプロセスで決定。
- 予算額の推移は以下の通り。



(出典: http://ec.europa.eu/research/fp7/pdf/fp7_press_launch.pdf)

(2) FP7の概要・特徴

[目的]

リスボン戦略(2000年3月)に基づき、「知識ベースの欧州経済社会の構築」の実現に向けた牽引役として実施。また、欧州域内の研究活動の統一を目標とした、「欧州研究エリア構想(ERA構想)」の重要な要素

[特徴]

(1) 実施期間延長

FP6までは、5カ年計画。FP7からは7年計画(2007年～2013年)

(2) 予算増額(期間全体の予算)

FP6では175億ユーロ、FP7では532億ユーロ

(3) 研究助成の構造変化

・基礎研究に対する資金提供を所管する欧州研究評議会(ERC)の設置

・ジョイント・テクノロジー・イニシアティブ(JTI)による資金提供

○ 革新的医薬品 ○ ナノエレクトロニクス ○ 組込コンピューティングシステム

○ 水素・燃料電池 ○ 航空・航空交通管理 ○ 環境と安全のための地球観測

… 期間中にさらにイニシアティブを追加予定

(4) 構成・予算

「協力」(324億ユーロ)「アイディア」(75億ユーロ)「人材」(48億ユーロ)「**キャパシティ**」(41億ユーロ)の 카테고リーに分類。4つの特定プログラムを設置。

(3) カテゴリー「キャパシティ」について

「一流の科学者のための一流の設備」をEU域内に設置し、EUの研究開発力の底上げを図るためのプログラム。7つの領域が設定され、そのうちの 하나가「研究インフラ」。また、研究開発の成果から収益を得るために中小企業の革新的な技術力強化を支援。

[目的]

EU域内の各地域における研究クラスターの支援、EUの収束地域及び最外側地域における研究ポテンシャルの発掘

→ 「キャパシティ」プログラムの下、欧州における社会と科学のより密接な連携を実現

[7つの領域]

- (1) 研究インフラ
- (2) 中小企業のための研究開発
- (3) 知識の地域性、地域の研究クラスターに対する支援
- (4) EU収束地域(converge regions)における研究のための潜在能力育成
- (5) 社会における科学
- (6) 一貫性のある研究政策開発への支援
- (7) 国際協力活動

「研究インフラ」において、(大型)計測機器開発へのファンディング、既存インフラの評価、優秀な研究者のEU域内への誘引等のための方策が検討／実施されている。

(4) 「研究インフラ」現状の問題点に関する解決方法あるいは提言

2009年10月、ブリュッセルにおいて検討された「研究インフラ」に関する問題意識とその解決方策あるいは提言は以下の通り。

[問題意識]

- (1) 研究インフラに対するファンディングとその質について
 - ・EU全体としてのファンディングと各国のファンディングの統合と効率的活用。
 - ・優れた提案への集中投資が重要
- (2) 既存インフラの評価とプライオリティ
 - ・ロードマップに基づき、構造的な方法で開発を継続。ニーズとリソースの評価とプライオリティ付けが必要
- (3) 優れた研究者の誘引と人材育成
 - ・先端的研究を実施するための優れた研究者の誘引、新しい研究者・技術者への教育訓練、人的資源のEU域内への還流が必要
- (4) 構造的な統制の実施
 - ・ERC(EU研究評議会)レベルでの統制を行うが、各地域・実施機関レベルで多面的な評価も必要

[解決策・提言]

- (1) リーマンショック以降の経済的な問題から予算削減が行われており、各国の研究機関がインフラの維持・研究の質の維持を行うことが難しくなっている。特にインフラの維持・整備を行うための支援機関・体制構築が必要。
- (2) 各機関のインフラへアクセスしやすくすることで競争的研究環境、研究がしやすい環境を整えられるが、付加的なコストが必要。そのための支援体制を議論する必要あり。(例: e-サイエンス)
- (3) 既存インフラ評価をEU域内の専門家グループ、評議会等により実施し、プライオリティ付けを検討
- (4) インフラを提供するだけでなく、インフラを維持・稼働させられる人材の維持と育成が必要不可欠。
- (5) EU全域にわたる研究機関を創設し、海外ファンディングエージェンシーと協調

(5) 「研究インフラ」2010年公募

2009年7月29日から2010年分の公募を開始。(締切は12月3日17時)。予算総額は217百万ユーロ。公募は(1)既存インフラの整備(2)新規インフラのサポート(3)政策立案 の3つに分けられる。

(1) 既存インフラの整備

○ 以下の分野別に公募を実施

1. 人文社会分野(社会調査、健康衛生、公的データアーカイブなど)
2. ライフサイエンス(バイオNMR、遺伝学研究、DNA研究など)
3. 環境科学(大気環境、長期エコシステム、極地研究など)
4. エネルギー(太陽エネルギー(電池)、風力発電など自然エネルギー、バイオマス)
5. 工学(工学および生産改良プロセス、地震被害研究など)
6. 数学およびコンピュータ
7. 分析施設(応用分光学、物質の散乱及び回折、物質の解析施設など)
8. 物理・天文学、核科学など

(2) 新規インフラのサポート

※ 公募時点での新規インフラのサポート(バイオイメージング施設等)

(3) 政策立案

EU全域の研究インフラに係る調査、国際協力を含む政策立案のための会議開催など

(6) 機器開発(インフラ開発)に国の関与がある事例

FP7は開始されたばかりで事例が見当たらないが、FP6の成果として、バイオNMR(構造生物学への応用)開発の事例がある。FP6時点では、「協力」プログラムの中で必要に応じて計測機器関連の公募を実施していた。



Bio-DNP: Dynamic Nuclear Polarisation for NMR in Structural Biology

Coupling dynamic nuclear polarisation (DNP) with nuclear magnetic resonance (NMR) is an excellent example of how developing new research infrastructures will have widespread potential use in European biotechnology. Using these techniques together greatly increases the sensitivity of NMR. With EU funding of nearly 44.9 million, the work of the Bio-DNP project will boost our understanding of biomolecular structure and function, especially proteins and nucleic acids. Applications in genomics and development of drug molecules from this work are obvious, and the technique will have many other potential uses in biomolecular studies.

■ Unfolding the structure of proteins

Bio-DNP aims to add significantly to the scope of nuclear magnetic resonance techniques, to greatly enhance what is known about the structure and dynamics of key protein molecules, including soluble and membrane proteins, metalloproteins and ribozymes, RNA and DNA. This will be done by dynamic nuclear polarisation (DNP) – a complex process, which uses high-spin polarisation of unpaired electrons and transfers it to the less polarised nuclear spins.

If unpaired electron spins are present during NMR – and they are illuminated at their resonant frequency, which is determined by the field at which the NMR is carried out – then the magnetic polarisation can be transferred from the electrons to the nuclei. The electron has a much larger ‘magnetic moment’ than the nucleus, so this can improve the ratio of signal to noise by several orders of magnitude, which also lowers the experiment time significantly. Combining DNP with NMR, therefore, has massive potential for a wide range of studies.

Bio-DNP: Dynamic Nuclear Polarization for NMR in Structural Biology (EUホームページから引用)

[プロジェクトの概要]

プロジェクト略称: Bio-DNP

EU出資額: 4,894,788ユーロ

開発期間: 2006年1月～2009年12月
(4年間)

プロジェクトリーダー:

Dr. Thomas Prisner(ドイツ生体分子
磁気共鳴センター教授)

参画機関

ゲーテ大学(独)、MPG(独)、ブルカー
バイオスピン(独)他 合計 10機関
(米国MIT/ハーバード大が協力)

[開発内容]

バイオテクノロジーに幅広い潜在的な用途
をもつDNP-NMRを開発。DNP-NMRを
用いて、タンパク質の構造を解析

(7) 人文科学インフラへの支援

FP7「研究インフラ」では、日本や米国の制度と異なり、「人文科学」分野のインフラに対しても支援。日本では国立公文書館が実施している「公文書アーカイブ」などがある。また、過去の文化遺産を解析するための研究開発に対しても支援する場合がある。

PRESS CORNER

Elucidating Stradivarius' recipe



Credits : Cliché A. Giordan
© Cité de la Musique

The varnish used by Antonio Stradivarius, the legendary Italian violin-maker, to coat his prestige instruments has been the object of numerous controversial assumptions for more than two centuries. A "secret" recipe would thus be responsible for the famous and praised tone of his instruments.

A study driven by the Cité de la musique in Paris together with an international team, which has just been published in the renowned journal *Angewandte Chemie International Edition*, shed unprecedented light on this subject. Researchers have determined the composition of the varnish layers on five Stradivarius instruments from the collections of the Musée de la musique, Paris.

For the first time, this study shows that Stradivarius employed ingredients commonly used among craftsmen in the 18th century. Thanks in particular to the results obtained on the infrared microscopy beamline at SOLEIL synchrotron, it is shown that, on all the studied instruments, Stradivari applied two very thin varnish layers:

The first one, simply oil-based, (similar oil as the ones used by painters) barely penetrates the wood.

The second layer is a mixture of oil and pine resin. Stradivarius mixed in it various pigments used in easel paintings. This study shows the intention of Stradivari to sought a variety of tints for his instruments.

Stradivarius' technique seems to be inspired from the painters'. It may explain the chatoyancy, the reflections of light, the texture of the violins varnished woods, which made him famous.

To reach these conclusions, a dozen of French and German research scientists have focused on five Stradivarius instruments from the collection of the Musée de la musique in Paris. The varnishes of the five instruments have been thoroughly studied with a wide array of complementary analytical techniques. Minute varnished fragments have been sampled and then analyzed at the synchrotron SOLEIL (plateau de Saclay), the most recent

[プレスリリース](抜粋)

ストラディバリのレシピを評価

バイオリンのストラディバリに用いられているニスについては、2世紀にわたって推測されてきた。この「秘密の」レシピが有名で賞賛される音色の原因とされている。

パリのCité de la musique のチームは最近、*Angewandte Chemie*誌に、ストラディバリのニスの層が5層から構成されていることを突き止めたと発表した。

第1層は油層、第2層は油と松ヤニの混合物で、油絵に用いられる様々な成分が含まれていた。

これらのことから、ストラディバリの製作方法は画家から着想を得たのではないかと推測される。

この結論を得るため、フランスとドイツの複数機関が協力し、世界最速のシンクロトロンSOLEILで分析を行った。(以下略)

European Commission のページより (http://ec.europa.eu/research/infrastructures/index_en.cfm?pg=stradivarius)

海外での類似施策の展開状況(特徴と整理)

- ◎ 米国・欧州の事例では、計測分析機器そのものに対する支援よりも、「標準化」が重視され、開発支援がある場合も「標準化」を担う機関が中心。米国ではNIST、欧州ではEURAMETが中心。
- ◎ 欧州においては、EU全域での計測分析に係るニーズを広範に調査・検討し、ロードマップを策定(iMERA)。これを踏まえて、計測分析に係る開発支援プログラムであるEMRPを開始。2009年度はおよそ30億円規模でエネルギー分野に傾注。
- 米国では、計測分析機器の重要性を認識し、大統領のイニシアティブのもと、NISTにUSMSを設置、ニーズを踏まえて今後、米国が行うべき計測分析に係る研究開発戦略を策定。計測分析機器関連に投資を拡大。NIST予算を10年間で2倍に。
- 欧州では、EUの研究開発支援の枠組み(第7期フレームワークプログラム:FP7)の中で、「研究インフラ」への支援を実施。支援先インフラとして、自然科学分野だけでなく、人文科学分野へも投資。
- FP7以前、また現在のFP7の「協力」プログラムの中で、計測分析機器開発を実施している場合あり。(特にバイオ分野)JST先端計測分析技術・機器開発事業と同様に、産学連携で実施。特定の分野の機器(NMRなど)に対して政府が投資。