

分析機器開発の現状と将来展望

—先端計測分析技術・機器開発の動向—

東京理科大学総合研究機構

二瓶好正

- 1) はじめに
- 2) 我が国における分析機器開発
- 3) 米国における計測分析システム開発の動向
- 4) 先端計測分析技術・機器開発の現状と将来
- 5) おわりに—将来の方向と目標

1)はじめに

(1)人づくりはものづくりから

伊勢神宮の式年遷宮は何故必要か？

* 伊勢神宮の式年遷宮

奈良時代から20年に一度神殿を新しく造営し遷宮

➡ 神殿造営技術の継承が目的

* 遷宮の際、工芸品も多く奉納される

➡ 新しい工芸技術の創成の機会

ものづくり技術の伝承

- * **実際にものを作る行為が不可欠**
名人のマニュアルも、実際の経験に及ばない。
- * **ものづくりは人づくりから**
20年ごとにゼロからつくり上げる
人から人へ
- * **人づくりはものづくりから**
若者へのモチベーション

ものづくりによる人材育成 (大学の場合)

- * 学生にモチベーションを与える早道
- * ものづくりは、発見的なプロセスであり、多くのひらめきに遭遇するチャンスを与える
- * 新しいものを生み出す営みが無くて良い大学教育は出来ない

(2) 科学技術と計測分析機器

① 道具が世界を変える

— 道具から見た科学技術史 —

- * History 歴史(トインビー等による)
- * Herstory 歴史(女性の目で見た歴史)
- * Instru-story 歴史(道具・装置化の目で見た歴史)

科学技術における発見、発明の歴史を、装置開発の目から見た
科学技術史

- * マザーツール (工作機械)
- * マザーインスツルメント (計測分析機器)
世界一の道具を創れる国が**世界をリード**する

2) 科学技術と計測分析機器

② ノーベル賞にみる計測分析機器

—発明・発見および科学技術の 限界突破の切り札—

・計測分析機器に関連する分野が非常に多くのノーベル賞受賞者を輩出している。ノーベル化学賞と物理学賞のうち、優に**15%以上**の割合を占めている。

・それぞれの発明・発見が如何に大きな科学的・社会的インパクトを発揮するかが重視・評価されているからである。

計測分析機器に関連するノーベル賞受賞例(その1)

1) X線回折

- * 結晶によるX線回折の発見(ラウエ、物理、1914年)
- * X線結晶構造解析法の確立(ブラッグ父子、物理、1915年)
- * 気体のX線回折(デバイ、化学、1936年)
- * 核酸の二重らせん構造の発見(ワトソン、クリック、医学生理学、1962年)
- * 蛋白質の立体構造の解明(ケンドリュー、ペルーツ、化学、1962年)
- * 生化学物質の構造決定(ホジキン、化学、1964年)
- * 結晶構造決定法の開発(ハウプトマン、カール、化学、1985年)

計測分析機器に関連するノーベル賞 受賞例(その3)

3) 分析機器全般

- * 干渉計による研究(マイケルソン、物理、1907年)
- * 光電効果の法則の発見(アインシュタイン、物理、1921年)
- * ラマン効果の発見(ラマン、物理、1930年)
- * 結晶による電子の回折の発見(デヴィッソン、物理、1937年)
- * 原子核磁気能率の測定(ブロッホ、パーセル、物理、1952年)
- * 分配クロマトグラフィーによるアミノ酸分析法の発見(マーティン、
化学、1952年)
- * ポーラログラフ分析法の発明(ヘイロフスキー、化学、1959年)
- * ガンマ線の無反跳核共鳴吸収の研究(メスバウアー、物理、1961年)
- * メーザー、レーザーの発明(タウンズ、バソフ、プロホロフ、
物理、1964年)
- * ホログラフィーの発明(ガボール、物理、1971年)
- * ラジオイムノアッセイ法の開発(ヤロー、医学生理学、1977年)
- * 電子顕微鏡に関する基礎研究と設計(ルスカ、物理、1986年)
- * 走査型トンネル顕微鏡の開発(ビーニツヒ、ローラー、物理、1986年)
- * 生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発
(田中、フェン、ヴェートリツヒ、化学、2002年)

先端計測分析科学の発展過程

- * 現象の発見、
- * 装置化と方法論の確立、
- * 他の分野への展開、
- * 新概念・新分野の創成、
- * 方法論の完成

という段階を踏んで発展した。如何に方法論の確立が大切であり、科学技術への波及効果が大きいか判る。

先端計測分析技術・機器は
科学技術全般において、

**新原理の発見、
新概念の創出、
新分野の創出**

に貢献できる。

創ってノーベル賞

使ってノーベル賞

2) 科学技術と計測分析機器

③ 次世代ものづくり力強化のための 基盤技術

* 日本型ものづくり技術をさらに進化させる、科学に立脚したものづくり基盤技術の創成

(先端計測分析技術・機器によるものづくり可視化技術)

* **ものづくりイノベーション**の促進のための
先端計測分析技術・機器開発

創ってノーベル賞

使って世界一

2) 我が国における分析機器開発(その1)

我が国の分析機器開発は電子顕微鏡等いくつかの例外を除いて、事実上、1945年の第二次大戦終了後に開始された。

その後、国内需要の高まりと共に、順調に国産化が進み、優れた独自技術と独自製品を多数生み出した。

1980年前後から、製品輸出も大幅に伸び、汎用品においてはグローバルな競争力を獲得した。

2) 我が国における分析機器開発

② 国産分析機器が市販された時期

★1946年 光電比色計

★1950年 ラマン分光器

★1952年 ガラス電極pHメーター

★1953年 ペン記録式直流ポーラログラフ

自動定電位電解装置

自動滴定装置

自動記録式蛍光X線分光装置

2) 我が国における分析機器開発

- ★ 1954年 GM管利用自動記録式X線回折装置
交流ポーラログラフ
- ★ 1956年 自記赤外分光光度計
ガスクロマトグラフ
- ★ 1957年 矩形波ポーラログラフ
自記分光光度計
- ★ 1958年 自記示差熱分析装置
エレクトロンプローブマイクロアナライザー
- ★ 1959年 X線カントメーター

2) 我が国における分析機器開発(その2)

しかしながら、1985年1月の「アメリカ向け市場開放政策」が閣議決定され、輸入手続きの簡素化、基準認証制度の改善が進められた。

当時の中曽根首相は、自由貿易体制の維持のため、日本市場を「原則自由、例外制限」で極力解放する方針を発表した。

この方針の下に、公的な調達において、製品輸入が大幅に増加し、先端的機器の開発に影響を与えることとなった。

2) 我が国における分析機器開発

① 分析機器開発のトピックス

1896年	X線写真の撮影	島津 源蔵
1926年	チャート記録式 ポーラログラフ市販機完成	柳本製作所
1939年	日本学術振興会電子顕微鏡第37小委員会 (瀬藤 象二委員長)発足	
~1945年	電子顕微鏡市販第一号機	日立製作所
1947年	電子顕微鏡試作・市販機完成	日本電子
1947年	ガス分析用質量分析計	日立製作所
1956年	自記赤外分光光度計	日本分光
1956年	ガスクロマトグラフ	島津製作所
~1963年	二次イオン質量分析装置	日立製作所
1973年	超高真空X線光電子分光装置	日本分光
1974年	ゼーマン原子吸光光度計	日立製作所

まとめ

- ✦ 日本の計測分析技術は世界一流である。
- ✦ 汎用量産品では**世界トップ**である。
- ✦ 先端計測分析領域では産学官挙げて、**さらなる努力**が必要である。
- ✦ 計測分析技術機器の重要性を**研究者コミュニティ**が強く**認識**すべきである。

3) 米国における計測分析システム開発の動向

① 背景(その1)

- * 2005年ブッシュ大統領 「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)と
国立標準技術研究所(NIST)を指名。

理由: 科学と産業を結ぶ計量技術はイノベーションの要。NISTは科学的発見から技術開発、商用化までを支える。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している。

「イノベーションエージェンシー」だと認知した。

3) 米国における計測分析システム開発の動向

①背景(その2)

- * NISTは「計量」と「標準」を担当する国立研究所である。

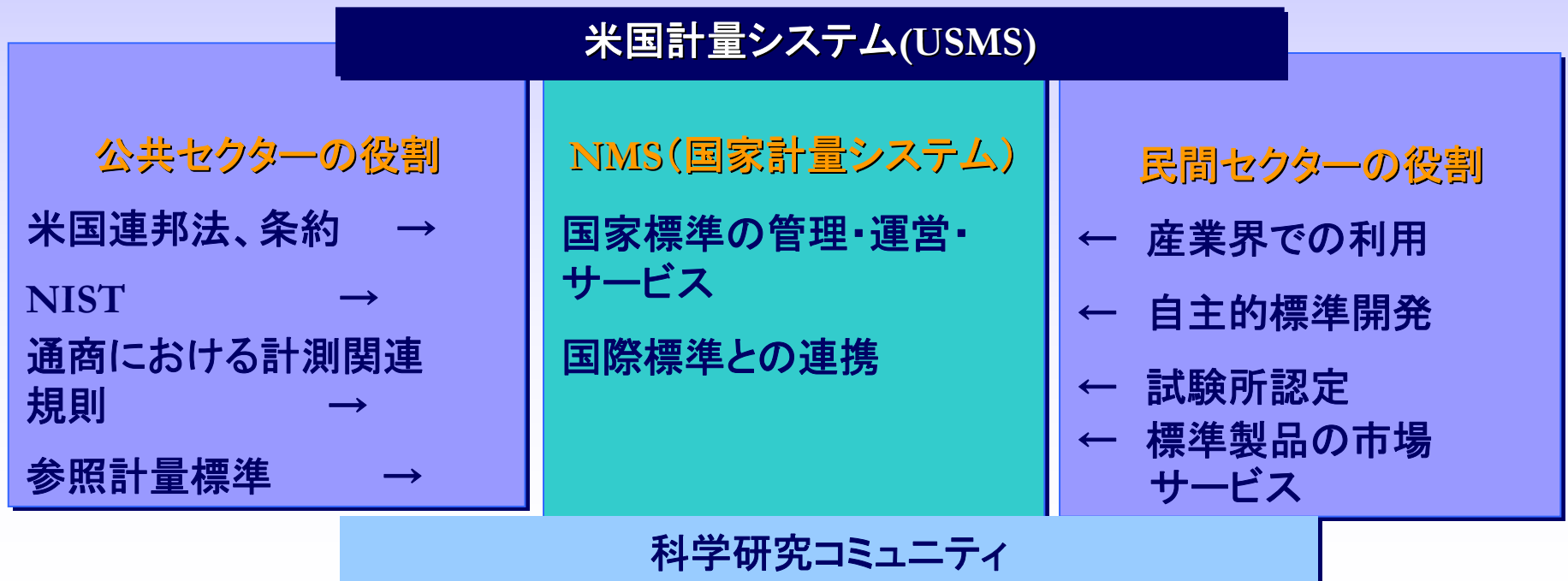
今後米国のACI戦略の一環として米国計量システム (United State Measurement System:USMS) のネットワークの中核としての役割を果たす。

- * 米国のイノベーション戦略は計測分析技術・機器開発を主軸として今後強力に展開されることになろう。

3) 米国における計測分析システム開発の動向

② 米国計量システム (USMS) とは？

- ★ 国家計量システム (NMS) を中核とし、計量の開発、供給、利用、認証に係わるすべての関係者 (公共セクターと民間セクターを含む) ネットワーク



3) 米国における計測分析システム開発の動向

③NI STによるUSMSアセスメント調査(その1)

- ★ 目的: 新しい産業及び成熟した産業共に、近年の技術の高度化・複雑化に伴って、より高度な計量技術が求められている。イノベーションに必要な計量技術と現在の技術とのギャップ(ニーズ)を評価する。
- ★ 対象: 11産業および技術分野
- ★ 方法: **ロードマップ分析**
～2006年までに提出された164の報告の分析
ケーススタディー
ワークショップ(15)、関連機関(120～)、
1000人 の産官学の関係者とのインタビュー

3) 米国における計測分析システム開発の動向

④ 調査結果(その1)

分野別計測障壁突破のための計測ニーズ

★ 建築・構造物 (23件)

環境の安全とコスト低減の両立が必要。多次元リアルタイム計測が必要。標準試験法と信頼できる公正なデータが必要。

★ 化学(22件)

製造プロセスイノベーションのために、過酷な条件化でのインライン・リアルタイム計測を可能にするセンサー技術が必要。

ナノテクイノベーションの計測課題解決のため、感度の高いナノスケール計測技術が必要。

★ 国防・国土安全保障 (35件)

現場条件での正確で標準化された計測手法が必要。この分野の新しい技術を実現するために、さらに高度な計測技術が必要。

★ 部品製造(自動車を含む) (62件)

多くの技術・分野を横断する製品の三次元形状の高精度計測技術が必要。

3) 米国における計測分析システム開発の動向

④ 調査結果(その2)

分野別計測障壁突破のための計測ニーズ

- ★ **エレクトロニクス・ITハードウェア (92件)**
システムレベルで企業間の計測格差が生じている。データ記憶デバイスでは、ナノスケール分解能の形状計測、磁氣的・光学的計測が必要。
- ★ **エネルギー・電力・環境 (27件)**
代替燃料や代替電力源のための新技術に必要となる、規制と基準作りのための計測技術が必要。
- ★ **ヘルスケア(バイオイメージングを含む) (77件)**
★ この分野の技術革新を進めるには、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、材料、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。

3) 米国における計測分析システム開発の動向

④ 調査結果(その3)

分野別計測障壁突破のための計測ニーズ

✦ 材料 (40件)

複雑な物質系の構造・性質を正確に分析する計測装置・技術が必要。
製造と市場化の段階で予想される、新しい材料の性能と信頼性を適切に評価するためには計測イノベーションが必要。

✦ ナノテク (36件)

ナノスケールで物質の物理的、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持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。

✦ 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可能であり、シミュレーションの活用が必要。
この分野の技術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。

3) 米国における計測分析システム開発の動向

⑤ 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、実施要綱などが無い。

- ・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、国土安全保障、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)

3) 米国における計測分析システム開発の動向

⑥ 今後の目指すべき方向(その1) イノベーションを加速するための戦略

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設定
- (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

3) 米国における計測分析システム開発の動向

⑥ 今後の目指すべき方向(その2)

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。

産学官の協力

USMSをさらに改善できるかは、米国と世界の様々な組織協力が必要である。公共セクターと民間セクターとの協力により、技術イノベーションを阻害している計測障害を解決できる。

国際協調

国際的な計測システムと歩調を合わせながら、計測ベースの標準化でリーダーシップを取るによりグローバル市場へのアクセスと効率的取引を可能にする。

まとめ

- ★ 米国は計測分析技術を国際競争力強化の国家戦略の中核に据えた。
- ★ 計測分析技術はイノベーション実現のためのキーテクノロジー。
- ★ 大規模な調査により、計測分析技術の強化戦略を具体化しつつある。
- ★ USMS強化のため、NISTの予算を10年間に2倍とする計画を決めた。

5)おわりに
—将来の方向と目標—

(1) 世界の中の日本

- ✦ 日本はナノ計測分析の先進国であった(ある)
例) 電子顕微鏡、質量分析装置等
- ✦ 近年欧米に急速に追い上げられている
例) 収差補正電子顕微鏡等
- ✦ 問題点
 - * 装置化研究者(大学、企業)への支援不足
 - * 機器メーカーの開発余力低下
 - * ユーザー研究者(大学)の認識不足
外国製計測分析装置・技術へのただ乗り意識等
 - * ベンチャー企業の未発達
 - * 装置づくり人材の不足
- ✦ 大規模な研究投資と政策的支援が必要

(2) イノベーション推進の要

- ✦ イノベーション推進のためには、基礎科学、応用科学、産業技術等における計測障害を突破することが重要
- ✦ 計測障害の突破には先端計測分析技術分野に研究資源と人材をさらに投入し、中・長期戦略を立案することが必要
- ✦ 先端計測分析技術分野における人材育成の強化が必要

(3) 人材育成戦略(その1)

★ 社会的支援者・理解者の養成

- * 小・中学校での**ものづくり教育**の充実

- * 高校・大学での**実験・実習教育**の充実

- * **科学・技術博物館**などの充実

★ 研究者養成

- * 基礎研究から装置化研究まで**シームレスな研究費助成**(科研費、さきがけ・CREST, 先端計測など)

(科研費レベルの支援策が不十分)

(**旧試験研究**の復活等)

(3) 人材育成戦略(その2)

- ★ 大学におけるものづくり力の強化
 - * 試作・**工作室の整備**
 - * 中小企業との連携
 - * ものづくり技術指導者の配置
- ★ ものづくり文化の顕彰
 - * 社会的顕彰
 - * **学会での顕彰**
 - * 国家的顕彰

(4) 開発と利用の架け橋

- ★ 開発と製品化の間に「**死の谷**」がある
 - * 多くの試作品がお蔵入りとなる
 - * 開発者と利用者の共同作業が不可欠
 - * 「死の谷」を乗り越えるための資金不足
- ★ 国費による装置開発研究の成果を最大限活用する政策が必要
 - * 開発研究者と利用研究者の連携による機器開発
 - * プロトタイプ試作品の共同利用が必要
(**プロトタイプ共用ステーション**)
 - * 各分野研究者による共用を通じ完成度を高める

(5)まとめ(その1)

- ★「ものづくり」は「ひとづくり」から
(地味な分野に光を当てる政策)
- ★「道具」が世界を変える
(道具の偉大な波及効果)
- ★イノベーションには「計測障害の突破」が必要
そのための「先端計測分析技術」強化
(先端計測分析技術の発見的性格、革命的性格)

(5)まとめ(その2)

★「創ってノーベル賞、使って世界一」

(基礎研究と産業技術の連結性・強相関性)

★「死の谷」を越えよう

(ベンチャー企業の利点の利用、国家予算の効率化)

★先端計測分析機器開発に**重点投資**を！

(予算の投入、さらには人材投入、公共の**戦略調達**)