

戦略ワークショップ
「ものづくりおよび社会ニーズに関連する
先端計測技術の方向性と開発戦略」
報告書



独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

井上G

平成 18 年9月

要旨

「ものづくりおよび社会ニーズに関連する先端計測技術の方向性と開発戦略」ワークショップは、第2次科学技術基本計画をベースにした「先端計測分析技術・機器開発事業」が当JST事業として現在進行中である一方、本年スタートした第3次科学技術基本計画においても先端計測分野のさらなる応用拡大が謳われていることを背景に、新たな課題を検討し具体的提案を行うことを目的としてコーディネートされた。

井上グループにおいては、まず計測機器分野の全体像(俯瞰図)をまとめて技術の現状を位置づけた。それをもとに日本の弱点および今後の重要課題をピックアップするため、関連分野の専門家25名と分析機器メーカーを中心とする企業5社に対するアンケートを実施した。そのうえで、アンケートにお答えいただいた学産独の専門家30名に、現行の先端計測分析技術・機器開発プロジェクト関係者11名、JST-CRDS関係者12名を加えた集中的な討論会(6月24日、9:30-19:30)を行って、課題の深掘りを行い具体的な課題の抽出と評価作業を進めた。

現行のJST先端計測分析技術・機器開発事業が最先端の研究ニーズに応えることを主要な目的とするのに対し、第三期科学技術基本計画の分野戦略では、「ものづくり」にリンクした先端計測の重要性が指摘されている。また、安全・安心等の社会ニーズに応える先端計測への期待と技術戦略を構築する必要性も急速に高まってきている。このような状況の下に、現行の「先端計測」事業を補完・補強し、科学技術のみならず製造業やサービス業の国際競争力の原点となる分析・計測技術や、革新的なコンセプトや技術課題の抽出を発掘し提言した。

計測分野全体の俯瞰とアンケート(最近の動向調査)から、本ワークショップで検討すべき主要なトピックスとして以下のテーマを選び、テーマ毎に関連する4-5名の専門家による先端技術とものづくり等への展開に関する話題提供と議論でセッションを構成した。この他、国際競争力が問われている分析・計測企業戦略に関するセッションを設けた。

1. テラヘルツ先端計測: 発生、検出、安全・安心とバイオ応用
2. 先端計測と国際標準
3. ものづくり研究開発とハイスループット計測・情報技術
4. 先端分光計測と量子ビーム
5. 分析関連企業から見た先端計測: 国内外のニーズと国際戦略

以下に、各セッションでの講演、討論において指摘された、今後の計測分野を議論する上で重要な事柄を抽出し、分析した結果を要約する。

- (1) テラヘルツ光を利用した計測機器は産業利用だけでなく、安全・安心などの分野でも応用が期待できる。欧州では特にバイオ産業への応用、米国では軍事利用に焦点をあて開発しているのに対し、日本では基礎研究、とくに光源の開発に集中している。光源の開発と平行して、産業利用を念頭においた検出器を開発すべき。特にイメージングデバイスが開発されれば、幅広い分野に応用できるので喫緊の課題である。ただしテラヘルツ検出器だけではマーケッ

トは小さく、テラヘルツを含めた多波長における検出器での要素技術の中から共通基盤技術を構築しそれをベースに企業が製品開発を行う仕組みが必要。

(2) 国際競争力の点で標準化は重要で、輸出認証等にも関連する国際戦略的課題になりつつある。物が出来たとき、その精度をどう評価するのかまで含んだ標準化の検討が必要。また装置と装置のつながりの部分の標準化、つまりデータフォーマットやプロトコル、インタフェースの標準化も重要となる。国内で先行して標準化を行うことも必要。体系的なソフトウェア開発方法を導入して、計測機器の組み込みソフトを迅速に開発、普及させ、標準化を推し進める方法もある。

(3) ハイスループット化とは、計測機器の小型化、高速動作化、並列同時処理、自動制御などによる高速・高効率化のコンセプトを具現化する技術である。新型計測器とその部材、ソフトウェアの開発からなり、システムの国際標準化も課題となる。ものづくりにリンクした計測の高度・高速化、自動制御技術の進展は、基礎研究および製品開発における国際競争力強化につながる。固体材料、電子デバイス開発のハイスループット化は、10年前に日米で始まり先行しているが、開発された技術は未だ断片的であり世界的な主導権を維持していくには一層の組織的研究が緊喫の課題である。

一方、バイオ分野におけるハイスループット技術の開発は海外が先行している。現行のバイオロボットは外国製品が主流で、改良が困難、保守管理が難しいなど課題も多い。今後はダウンサイジングと大量のデータ処理が重要となると予想される。その意味で、マイクロTAS計測の技術開発が不可欠となるが、流体力学など界面を含めた基礎物理を確立しなければ実用化は難しい。マイクロTAS計測の物理的な設計は可能であるが、材料や界面の課題をクリアするにはブレークスルーが必要。

(4) 計測技術が発達するにつれ、informaticsが重要になるのは明白。しかしデータベース開発など地味な仕事になりがちになり敬遠される風潮があり、工夫が必要になる。天文学の分野では分散情報処理を成功させた例もあり、他分野の事例を参考にする必要もある。ハイスループットなものづくり研究の進行過程で、過去のデータを貯めて整理する(データベース)だけでなく、生きたデータを国際的にやりとりし即座に活用するための新たな情報技術(バイオインフォマティクスに相当するマテリアルインフォマティクス)が生まれようとしている。国際連携の重要性が認識され、先駆的研究が始まっているが、世界をリードするには人材育成を含む支援が望まれる。

(5) 量子ビーム利用、特に放射光X線を用いたイメージングや中性子ビームを用いた各種計測は、産業応用の面でも潜在的なニーズは高い。強力中性子ビームという点では、J-PARCに対する期待は高いが、分析・検出部の開発が遅れており、急速な立ち上げが必要である。

(6)計測機器の高性能化だけでなく、新計測原理を導入することでの大幅なコストダウンや、親指SEMのような超小型化でも新たなイノベーションが可能になる。このような開発方針も必要。

今後は、指摘されたこれら事柄と、国内外の調査を交え、総合的に検討を深め、戦略プロポーザルとして関係各所に提案していく予定である。

目次

1. ワークショップ概要	1
1. 1. 趣旨	1
1. 2. 開催概要	2
1. 3. ワークショップ参加者	2
1. 4. プログラム	4
2. セッション報告 6	
2. 1. セッション:テラヘルツ先端計測:発生、検出、安全・安心とバイオ応用	6
2. 2. セッション:先端計測と国際標準	13
2. 3. セッション:ものづくり研究開発とハイスループット計測・情報技術	18
2. 4. セッション:先端分光計測と量子ビーム	24
2. 5. セッション:分析関連企業から見た先端計測:国内外のニーズと国際戦略	29
2. 6. 総合討論	36
3. まとめ	38
Appendix1:事前アンケート	
Appendix2:講演資料	

1. ワークショップ概要

1. 1. 趣旨

(独)科学技術振興機構(JST) 研究開発戦略センター(CRDS)のミッションは単なる科学技術の調査だけでなく、それを戦略にまで練り上げてプロポーザルを出すことにある。具体的には、戦略イニシアティブ、戦略プログラム、戦略プロジェクトをまとめ、提言を行っている。

その活動の一環として行われた本ワークショップ「ものづくりおよび社会ニーズに関連する先端計測技術の方向性と開発戦略」は、すでに3年前から先端計測分析技術・機器開発が国の重要課題として取り上げられ、当 JST において「先端計測分析技術・機器開発事業」としてスタートしていることを背景にし、計測機器分野の俯瞰と重要課題の深堀をするために開催した。現行の事業が最先端の研究ニーズに応えることを主要な目的とするのに対し、第三期科学技術基本計画の分野戦略に示されるように、先端計測技術はものづくり等への応用や安全・安心等の社会ニーズに応える期待と技術戦略を構築する必要性が急速に高まってきている。このような状況の下に、現行の「先端計測」事業を補完・補強し、科学技術のみならず製造業やサービス業の国際競争力の原点となる分析・計測技術は何か、革新的なコンセプトや技術はないか、あるいは建設中の大型共用施設の有効活用の手法等、についてこの分野に造詣の深い専門家の方々に、研究開発の状況をご紹介いただき、議論を行うことで、今後の発展性、国としてのサポートの必要性や方法を率直に評価し、計測分野における重要課題の抽出に資することを目的としている。

本ワークショップでは事前に計測分野の俯瞰と、最近の動向調査を行い、本ワークショップで検討すべきテーマの検討を行った。その結果、計測分野全体に密接に関係するハイスループットや情報処理、そして標準化、さらに深堀テーマとして最近産業利用に強い関心が集まっているテラヘルツ帯の光源を利用した計測器や J-PARC をはじめとした量子ビームを本ワークショップの検討テーマとして設定し、「テラヘルツ先端計測」、「先端計測と国際標準」、「ものづくり研究開発とハイスループット計測・情報技術」、そして「先端分光計測と量子ビーム」をセッションとして設定し、ものづくりへの応用を考えた場合、どのような課題があるのかを検討する。また最後に「分析関連企業から見た先端計測：国内外のニーズと国際戦略」と題してセッションを設けて、企業が計測装置開発でどのような戦略を持ち、どのような課題に直面しているか講演、議論する場を設けた。

1. 2. 開催概要

開催日時:平成 18 年 6 月 24 日(土)9:30~19:00

開催場所:(独)科学技術振興機構 社会技術研究開発センター

主催:(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター 井上グループ

コーディネータ:

(独)科学技術振興機構 研究開発戦略センター シニア・フェロー

鯉沼 秀臣

東京大学大学院理学系研究科化学専攻 教授 長谷川哲也

1. 3. ワークショップ参加者

講演者(順不同、敬称略)

大谷 知行	理化学研究所 フロンティア研究システムテラヘルツ光研究プログラム チームリーダー
斗内 政吉	大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 教授
川瀬 晃道	名古屋大学 大学院工学研究科量子工学専攻 教授
三好 元介	東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授
小島 勇夫	産業技術総合研究所 計測標準研究部門先端材料 科長
藤田 大介	物質・材料研究機構 ナノ計測センター センター長
Mikk Lippmaa	東京大学 物性研究所 助教授
知京 豊裕	物質・材料研究機構 半導体材料センター センター長
柳川 弘志	慶応義塾大学大学院理工学研究科生命システム情報専修・理工学部生命情 報学科・生命分子工学研究室 教授
大門 寛	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 教授
辛 埴	東京大学 物性研究所 教授
岸本 直樹	物質・材料研究機構 量子ビームセンター センター長
茅根 一夫	エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社 事業推進室
副島 啓義	(株)島津総合科学研究所 京都研究所
長我部 信行	(株)日立製作所 基礎研究所 所長
須賀 三雄	日本電子株式会社 経営戦略室経営企画グループ
林 俊一	新日本製鐵株式会社 技術開発本部 先端技術研究所 解析科学研究部 主 幹研究員

オブザーバー(順不同、敬称略)

二瓶 好正	東京理科大学 総合研究機構長
小林 俊一	秋田県立大学 学長
鈴木 宏正	東京大学先端科学技術研究センター 教授
栗原 潔	文部科学省 研究振興局 研究環境・産業連携課

宇野 佳生	文部科学省 研究振興局 研究環境・産業連携課
澤田 嗣郎	JST 先端計測分析技術・機器開発事業 開発総括(PO)
本河 光博	JST 先端計測分析技術・機器開発事業 開発総括(PO)
伏見 謙	JST 先端計測分析技術・機器開発事業 開発総括(PO)
佐藤 友記	JST 審議役
速水 昇	JST 戦略的創造事業本部 先端計測技術推進室 主任調査員
真造 謹爾	JST 戦略的創造事業本部 先端計測技術推進室 主任調査員

JST 研究開発戦略センター(順不同、敬称略)

井上 孝太郎	JST 研究開発戦略センター 井上グループ 上席フェロー
中込 秀樹	JST 研究開発戦略センター 井上グループ 特任フェロー
長谷川 哲也	JST 研究開発戦略センター 井上グループ 特任フェロー
鯉沼 秀臣	JST 研究開発戦略センター 井上グループ シニアフェロー
大木 義路	JST 研究開発戦略センター 井上グループ シニアフェロー
横溝 修	JST 研究開発戦略センター 井上グループ シニアフェロー
江口 健	JST 研究開発戦略センター 田中グループ シニアフェロー
久保内 昌敏	JST 研究開発戦略センター 井上グループ フェロー
鈴木 準一郎	JST 研究開発戦略センター 井上グループ フェロー
大矢 克	JST 研究開発戦略センター 井上グループ アソシエイトフェロー
永井 智哉	JST 研究開発戦略センター 井上グループ アソシエイトフェロー
東 美貴子	JST 研究開発戦略センター 井上グループ アソシエイトフェロー

1. 4.プログラム

イントロダクション

09:30-09:40 主催者より(井上 孝太郎、鯉沼秀臣)

セッション1:テラヘルツ先端計測:発生、検出、安全・安心とバイオ応用

(座長:長谷川)

09:40-10:00 斗内政吉(阪大レーザー研):テラヘルツ波センシング

~時間領域分光法を中心として~

10:00-10:20 川瀬晃道(名大工):テラヘルツ波の発生と応用

10:20-10:40 大谷知行(理研):テラヘルツイメージングと安心安全への応用

10:40-11:05 議論

セッション2:先端計測と国際標準(座長:藤田)

11:10-11:30 三好元介(東大先端研):その場観察技術と親指サイズ SEM の開発

11:30-11:50 藤田大介(物材機構): 走査型プローブ顕微鏡による

先端ナノ計測と国際標準化

11:50-12:10 小島勇夫(産総研):先端計測における標準の役割と戦略

12:10-12:35 議論

セッション3:物づくり研究開発とハイスループット計測・情報技術(座長:知京)

13:15-13:35 Mikk Lippmaa(東大物性研):Material informatics

13:35-13:55 知京豊裕(物材機構):ものづくりとハイスループット計測(仮)

13:55-14:15 柳川弘志(慶応大):タンパク質を観る、創るためのものづくりとIT

14:15-14:40 議論

セッション4:先端分光計測と量子ビーム(座長:岸本)

14:50-15:10 大門寛(奈良先端大):ナノ領域の構造と電子状態を解析する立体原子顕微鏡

15:10-15:30 辛 埴(東大物性研):レーザー光電子分光による超高分解能物性測定

15:30-15:50 岸本直樹(物材機構):ナノ物質・材料の創製・計測のための

量子ビーム基盤技術

15:50-16:15 議論

セッション5: 分析関連企業から見た先端計測: 国内外のニーズと国際戦略(座長: 永井)

16:20-16:40 茅根一夫(SII ナノテク): 産業ニーズに対応した分析装置

16:40-17:00 副島啓義(島津総合科学研): X線を絞る曲げる/X線計測の革新的新技術

17:00-17:20 長我部信行(日立製作所): 先端計測器開発プロジェクトへの期待

17:20-17:40 須賀三雄(日本電子): JEOLにおける先端計測への取り組み

17:40-18:00 林俊一(新日鉄): 製造業から見た先端計測分析技術ニーズ

セッション6: 総合討論

18:10-18:55 座長: 鯉沼・長谷川

2. セッション報告

2. 1. セッション:テラヘルツ先端計測:発生、検出、安全・安心とバイオ応用

(座長:長谷川)

2. 1. 1. 斗内政吉(阪大レーザー研):

「テラヘルツ波センシング～時間領域分光法を中心として」

【講演概要】

- ・ テラヘルツは、1THz(周波数)～ 1ps(時間)～ 300mm(長さ)～ 4meV(エネルギー)～ 50K(温度)というような領域・スケールである。
- ・ テラヘルツの有望な応用領域は、生体センシング、大容量情報通信、新しい材料サイエンス(量子過渡現象の応用)、社会貢献技術(安全・安心、環境、天文、標準)。特に、生体活動の300Kに対応する周波数が6THzであることから、バイオ応用やセキュリティ応用が注目されている。
- ・ テラヘルツの主要3技術は、テラヘルツ変換(光源)、レーザー、テラヘルツデバイス。
- ・ THz 領域の課題とひとつとして、光源の開発がある。従来の技術の応用ではパワーが足りない。パラメトリックが有望な技術の一つ。レーザーでは、量子カスケードレーザーが有望であり、その開発も進んできている。
- ・ 電子材料分野の測定ターゲット:シリコン、絶縁体基盤、マンガン酸化物、高温超伝導体に対応可能。
- ・ 時間領域分光法は以下の種類がある。
 - 通常 THz-TDS:低エネルギー状態の静的物性測定が可能
 - THz 放射 TDS:対象物質からの光励起観測が可能
 - 光励起型 THz-TDS:光励起後に THz-TDS 観測、物性評価が可能
 - 光励起型 THz 放射 TDS:光励起後の THz 放射 TDS、電荷の追跡が可能
- ・ テラヘルツの適用分野と得られる情報
 - 半導体:不純物、局在モード
 - LSI:配線故障解析
 - 液体:分子ダイナミクス
 - ポリマー:誘電率、分子鎖間相互作用
 - 医薬品:結晶構造
 - セキュリティ:禁止薬物 他(スライド参照)
- ・ テラヘルツの分光分析ロードマップ(スライド参照)
- ・ 取り組むべきテラヘルツ研究開発項目(スライド参照)
- ・ 非常に幅広い分野であるが、トータルでテラヘルツという項目を立てて一貫して研究開発を進めることが重要である。

まとめ

取り組むべきテラヘルツ研究開発項目

分野	課題
情報通信	テラビット光通信、テラヘルツ無線通信、超高速情報処理システム、テラヘルツITデバイス、高周波計測機器、テラヘルツセンサ・カメラ、センサーネットワーク、バイオメトリクス、衛星間通信、移動無線通信システム、器機EMC
バイオ・生体・医療・薬品	ガン診断・イムノアッセイ・結晶多形検査など各種専用分析・計測機器、バイオ・生体・医薬品データベース、分子構造解析、医療現場オンサイトイメージング分析システム、EMC、医療応用のためのテラヘルツ-FEL
セキュリティ・環境・社会基盤	危険物・郵便物検査システム、セキュリティ関連物質データベース、テラヘルツセンサ・カメラ、バイオメトリクス、環境分析システムならびに環境物質データベース、衝突防止車載センサ・道路環境モニタリングなどの交通安全技術、車載IT基地局、災害時の移動無線通信システム、QCLを用いたガス分析技術
産業応用・標準	産業応用分析・イメージング装置、テラヘルツカメラ、ナノ工業材料分析装置、半導体・電子材料評価装置、LSI不良解析システム、農作物育成管理システム、食品検査・管理機器開発、食品・植物関連データベース、パワー・周波数など各種テラヘルツ標準、EMC
基礎科学・宇宙	高機能テラヘルツ分光イメージング装置、テラヘルツデバイス、高機能テラヘルツ-FEL開発、量子雑音級テラヘルツセンサ・イメージャ、テラヘルツ局部発振器、分子構造解析応用、探索的応用研究、各種データベース

斗内政吉「テラヘルツ技術」(オーム社、2006)

【質疑応答】(Q: 質疑、A: 応答、C: コメント(以下、各セッション同じ))

Q: 有望な領域であり、結果が出せるところまできている。あと何をすれば良いのか。出力装置、検出器の必要性能は。

A: 産業用にするという視点では、検出器の見直しが必要。これらニーズのデータベース化が必要。米国ではNISTが行っている。日本でも特異な分野での、産業用の観点からデータベース化を急ぐ必要がある。バイオ系では分子間相互作用の理論確立も必要になる。

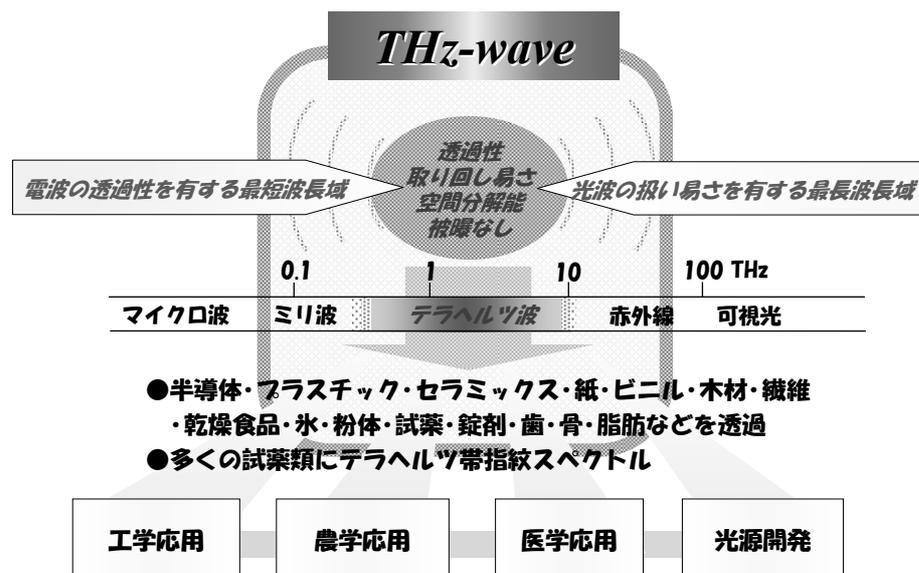
2. 1. 2. 川瀬晃道(名大工): 「テラヘルツ波の発生と応用」

【講演概要】

- ・ テラヘルツ帯の特徴は、電波のような透過性を有する最短の波長域であり、レーザー光線のように扱いやすさを有する最長の波長域であり、人体にとって安全な波長域である。
- ・ 計測における空間分解能は基本的には回折限界で決まり、テラヘルツ帯は数百マイクロメートルといったところで、大抵の産業応用には必要十分なものである。
- ・ テラヘルツ帯の低いあたりで指紋的なスペクトルが出てきており、応用可能性が広がっている。
- ・ 光源としてパラメトリックが有望であり、広帯域波長可変で卓上型のものを開発中。ヤグレーザーで非線形結晶を励起して、テラヘルツを出し、そこにアイトラと呼んでいる(一般にストークス光と呼ばれる)ダイオードで光注入の種づけをして、きれいなテラヘルツ波が高出力で出るものである。
- ・ 製品検査などに用いる非破壊検査のイメージング技術が重要になる。X線で見られない領域であり需要がある分野でもある。今のテラヘルツの技術ではリアルタイムでみることはできない

いが、将来的には可能になると考えている。

- ・ 指紋的なスペクトルによる成分検査に用いるのは1THz 以下の周波数を使う必要がある。3THz 以下で透過する性質があるが、周波数が高いX線では指紋的なスペクトルがなく成分検査はできない。現在、透視してなおかつ成分検査が可能なのはテラヘルツ領域のみである。
- ・ 応用のためにはイメージングの高速化が課題。現状は画像を得るにも時間がかかり、S/N 比も悪い。
- ・ LSI 計測にもすぐに応用可能、断線している LSI の部分がイメージとして明確にわかる。
- ・ テラヘルツ波を使うことにより、DNA・タンパクチップの蛍光ラベルフリー診断の可能性がある。
- ・ 海外動向
 - 米国でのテラヘルツ応用は、テロ対策に集中している(DARPA)。爆弾を持った自爆テロリストをテラヘルツで探すことに集中。他の応用には十分な研究費が投入されていない。
 - 欧州では、医学用のテラヘルツイメージングシステムの開発が行われている。EU5カ国で共同研究(Tera-Nova P, THz-Bridge)。



【質疑応答】

Q: この分野での日本の現状は。

A: 日米欧三つ巴。日本は基礎研究に集中しており、欧州は以前は基礎研究だったが最近は産業利用にシフトしている。

2. 1. 3. 大谷知行(理研):「テラヘルツイメージングと安心安全への応用」

【講演概要】

- ・ テロ防止、麻薬摘発などの観点から日本では特に郵便物の内部検査の需要が高く、高速処理が必要である。考案しているシステムは、X線で大まかに検査して疑わしい郵便物をテラヘルツで成分検査を行う。
- ・ イメージングがキーワードとなるが、最大の課題はスキャンによっておこなうので一枚の画像を得るのに数時間かかる点である。産業応用のためには、高速のイメージング装置が必要不可欠であり、テラヘルツ領域検出器の開発が急務である。現在は超伝導体の検出器を使って受光部分の複数ピクセル化(4ピクセル)による高速化を目指している。
- ・ 天文学への応用も期待されている。テラヘルツ天文学への幕開けとなる。またこの波長域での大気の気体分子分光のデータがないので、データを揃えることで地球大気モデルなどへの環境応用への可能性もある。
- ・ 様々なニーズの掘り起こしが必要であるが、先に挙げたニーズの半分は単色イメージングデバイスが開発されるだけで可能になる。テラヘルツ産業利用の9割はイメージングデバイスが必要である。二次元でなくても、一次元でもイメージングができると製造現場でもものが流れているところに利用可能である。
- ・ イメージング装置開発をやっている人が少ないので、急務な課題である。超伝導の検出器があるが、極低温が必要で産業利用では使い勝手が悪い。高速応答が可能なショットキーダイオード検出器などが候補になるだろう。
- ・ 安全、安心分野において、X線では人間相手では被爆という問題がある。空間分解能が悪くてもTHzのように影響が少ない技術が必要とされている。
- ・ 次世代としては、テラヘルツ発信では、量子井戸構造を用いたテラヘルツデバイスの方式が有望。小型で寿命が長く高出力、安価なデバイスとして期待されている。現状では液体窒素温度でしか動かないので常温で使えるものの開発が必要。現在、ケンブリッジ、MIT、国内ではNICTなどで発信に成功。検出器でも、量子井戸を使ったアレイ検出器の開発が有用と考えている。

安全安心

- 郵便物や小包中の禁止薬物・爆発物・生物剤などの検査
- 空港やビルのゲートにおける爆弾・セラミックナイフなどの危険物所持検査
- 地雷探査
- 遮蔽空間内の高感度有毒ガス検出
- 凍結路面診断
- 壁内部の腐食や亀裂などの診断
- スペースシャトルの外壁タイル内部欠陥検査

工業製品などの検査

- ・LSIチップの断線検査や故障診断
- セラミックやプラスチック製品内部欠陥検査
- チューブ内部の欠陥検査
- 小袋包装のヒートシール部欠陥検査
- タイヤ検査
- インク濃度検査
 - ・半導体のキャリア密度と移動度の計測
- プラスチックの内部歪みや劣化検査
 - ・ナノコンポジット材料の解析

産業応用のニーズ掘り起こしはまだまだ不十分

近い将来の小型テラヘルツ光源やテラヘルツカメラなどの開発にも

伴って応用分野の飛躍的な拡大が見込まれる。

医薬関連

- ・バイオチップの蛍光ラベルフリー診断
- 病理サンプルのオンサイト診断
- 皮膚がんの早期診断
- 美肌(角質層)診断
 - ・フレキシブルなテラヘルツ導波路を用いた内視鏡などへの応用
- 医薬錠剤の多層コートなどの品質検査
- 病院で渡される包装薬の誤成分チェック
- 薬品工場での異種錠剤混入検査
- 製薬での結晶多形計測

食品関連

- ・青果物の選果時の内部品質評価
- 植物工場の灌水自動制御
- 冷凍食品などの凍結解凍サイクルの最適化
- 粉ミルクなど粉体中の異物検出
- 卵の鮮度検査
- 胡麻やタバコなどの水分含有量検査
- 油類の品質検査

18

【質疑応答】

Q: 日本初の超伝導の常温ジョセフソンプラズマを利用した発振装置もあるが。

A: 超伝導は低温が必要。産業ニーズでは常温稼働が必要になってくる。

Q: 立体構造の中のイメージングは可能か。

A: CTと同様の応用が可能。

2. 1. 4. セッション討議

Q: テラヘルツを行う意義。日本ですでにやられているが。

A: 日本の場合はほとんど光源開発に集中している。非時間領域の光源開発に特化した投資が行われているというのが現状。欧州ではFP5から行っている。分光装置の開発が始まり、バイオ応用の展開が始まっている。米国ではDAPAで3つの課題で100億円動いている。日米欧で投資する先が少し違う。日本は産業開発を意識するべきだろう。イメージング、つまりテラヘルツカメラに関しては、まだ日本ではほとんどやられていない。検出器、アレイ化の問題がある。

Q: 米国がカメラをやっている、勝てるのか。

A: 米国は軍需がメインだが、軍需開発でも米国の基礎技術はあがるだろう。カメラがあれば産業応用は飛躍する。民生利用のカメラの開発は必要となるだろう。このような分野に投資することで、リーダーシップがとれる可能性はある。

Q: リモートの検査の話があった。今日はショートレンジでの測定であったが、ロングレンジを行う場合の問題はあるのか。

A: 数十メートル先の分光は可能。テロ防止用として米国で開発されている例だが、レーザーを用

いて対象物(人)周辺の空気をスパークし、そこからテラヘルツ光を発生させ、測定する技術が開発されつつある。低周波領域なら長距離を飛ぶことができるので、レンジを広げることができる。

Q: イメージングで基礎研究が足りないのか、それともアレイ化など実用化する段階でどこをブレークスルーすべきなのか。先ほど紹介のあったテラビューというイギリスの会社の技術は、もともとは東芝が開発して、手放したものだっただが。

A: 東芝ケンブリッジからスピノフした会社。先ほど検出器の基礎はできているというところだが、テラヘルツを民生応用するという点では基礎はできていない。テラヘルツ帯をカバーするような材料開発も重要になる。日本は高周波デバイスとそのディテクターに関しては、多分単体では余りもうからないという判断をしていると思う。そういう分野の民間での開発が進んでいない。ただ、技術的にはすぐ追いつけるだけの力はあると思う。

Q: 何か、補填なりをして技術を伸ばす仕組みが必要なのか。コンソーシアムの類の枠組みを用意し、リスクを分散をさせながら、次のマーケットを電機メーカーだけではなくて、いくつかのニーズを考えた人たちと一緒につくっていくことが重要なのだろう。

A: そのとおりだと思う。医薬品分析や生体などに使う人々とチームを組む必要がある。

C: 東芝はやめたわけではなく、最近再び始めている。他の日本の企業の多くも動きだしている。

C: 東芝が開発した際は想定市場がニッチになってしまった。マーケットサイズによって、様々なプライス目標がある。そういうものをマッピングすることが必要。今ある技術レベルに対して目標がどの程度の距離にあるか俯瞰的に眺めることができれば、実用化に近い分野に集中投資が可能になる。探索的なフェーズも重要なのだろうが、ターゲットを絞れば企業も動き出すだろう。

C: 科研費で研究者がバラバラにやっている状況では、探索的にならざるを得ない。今はフォーラムなどを作り、まとめている。そこから実際に使えるようにするには戦略が必要になってくる。マーケットの見極めは企業と共に考えていく必要がある。

Q: 考えるべき開発組織はどのようなものか。

A: 斗内先生の動向調査で大体テラヘルツが何に使えるかというところはかなりまとまっている。そういったところを中心に大きな動きにするというところが一番必要ではないか。そこが今、日本で一番欠けている動きではないか。

Q: カメラ、分光系の例があるが、これは将来的には統合されるのか。

A: 分光よりも、単色のカメラが重要。応用分野的には単色カメラは6割。分光4割程度。しかし単色カメラのみの応用分野はチープなものが多い。比較的大規模、高価値を対象とした高度な使い方は分光技術が必要となる。

C: 私も過去東芝に在籍していた。半導体計測技術分野でも、日本はプローブ技術の技術力は高い。しかし最後に検出器のところで外国に負けている。それが日本の負けパターン。例として紫外線の検出、X線検出器などは海外にかなり依存している。つまり買っている。その部分を抑えられてしまっているのが現状。テラヘルツの検出器だけでは市場が小さいが、半導体技術を応用した二次元検出器は期待されている。もう少し広い範囲でそういう検出器技術という

のを取り組んでいけば、マーケット的にも参加する企業の負担ということに関しても、何か解決策が出てくるのではないか。その辺を含めて検討をしないと、結局、1つ1つ個別撃破されて、最後負けてしまうというようなパターンになると思うのです。

- C: モジュールに付加価値をつけているところで負けている。モジュールの値段が高く、検出器本体では大きな利益があがらない。検出器だけではマーケットサイズが小さい。投資効果が見られない。共通な基盤技術をつくって、その上でアプリごと、企業ごとに違った使い方をしている方法を考える必要がある。電子顕微鏡学会では、X線天文学とか、あるいは医療とか、関連のある検出器を扱っている人たちと一緒に、プラットホーム的に一緒に活動し、その上の部分だけは装置ごとに分けている例がある。多分テラヘルツでも同じようなことが言えるのではないか。
- C: 検出器はダイオードが本命ではないかと思っている。東北大の研究は世界でもトップレベルだ。
- C: 日本の要素技術の高さは理解している。むしろそれを米国が利用している。日本の技術が日本でビジネスにつながらないことが問題。
- C: 計測というのは産業の規模が認知されておらず、投資しにくい。
- C: 異種業種間でプロトタイプを作るシステムが日本にはない。米国ではある。センサーと他の装置を組み合わせることがやりにくい。

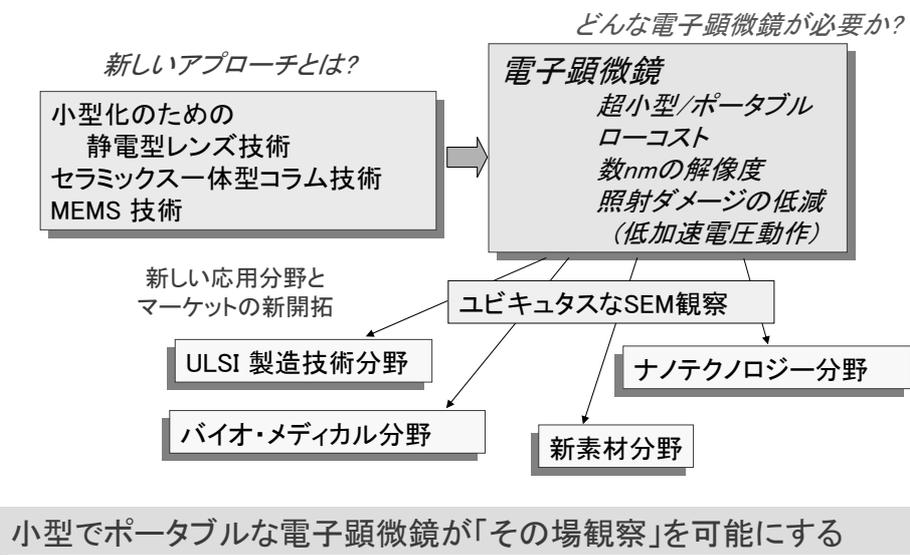
2. 2. セッション:先端計測と国際標準(座長:藤田)

2. 2. 1. 三好元介(東大先端研):「その場観察技術と親指サイズ SEM の開発」

【講演概要】

- ・ 開発目的
 - 小型で Portable な電子顕微鏡が「その場観察」を可能にし、新しい応用分野(ULSI 製造、ナノテク、新素材、バイオ・メディカル)を開拓する。
 - 高精度な静電レンズの設計と製造手法を提供することで電子光学系の高性能化に寄与する。
- ・ 「小型でローコストだが性能はある程度ある小型のポータブルな操作電子顕微鏡」を開発することによって、半導体の製造技術ほか、いろいろな新しい分野に走査電子顕微鏡が入っていくことを期待。
- ・ 「見たい試料をSEMのあるところに持ってくる」でなく、「見たい試料のあるところにSEMを持って行って見る」をターゲット。
- ・ 「コンパクトで持ち運びが容易」というターゲットは達成。価格の面でまだ課題が残っている。
- ・ 性能的は 17~20nm の数字は出ている。しかし、現在数 nm ぐらいの顕微鏡が 1,000 万 ~ 2,000 万程度の低価格で出ている現状ではまだ充分とはいえない。

ポータブルSEMによる「その場観察」



【質疑応答】

Q: コストを下げることを考えているが、どのようなことをお考えか。

A: まだカットアンドトライの段階だが、色収差だけおさえればなんとかなるかなとおもう。

Q: 1kV の電圧とのことだが、どの程度の範囲を考えているのか。

A: 1kV で固定している。大体1キロボルト程度が電子ビームを当てても、試料のダメージが少ない。チャージアップの影響もなく、観察できる。

2. 2. 2. 藤田大介(物材機構):

「走査型プローブ顕微鏡による先端ナノ計測と国際標準化」

【講演概要】

- ・ ナノ粒子の(リスク)評価の重要性が増している背景にともない、ナノテクノロジー標準化が急務となっている。
- ・ ナノテクに関する標準化の動きは、国際的には、ISO、米国では ANSI-NSP、ASTM E56、欧州では CEN/BTWG166 で行われている。日本では JISC ナノテクノロジー標準化委員会、日本規格協会ナノテクノロジー標準化調査委員会など。
- ・ 米国でのナノテク標準化の最優先事項は General terminology を設定している。
- ・ ISO では、議長国を英国、各 WG をカナダ、日本、米国が統括。
- ・ 例として SPM 装置分野では、用語、校正法の不統一、XYZスケール更正用試料、(プローブの先端に用いる)カンチレバー校正試料の統一などの課題があげられる。
- ・ 表面化学分析において ISO で韓国が委員会設立を提案、承認され、韓国が議長を担当している。メンバーには中国、ハンガリー、韓国、ロシア、UK、米国など。
- ・ ISO 標準化の各プロジェクトリーダーは英国、日本、米国と韓国が担当している。
- ・ ナノ計測における SPM 標準化の動きは、用語の標準化を終了。
- ・ 汎用性や市場性のある先端技術は国際標準化を目指すべき。

今後の展開

- ・ ナノテクノロジーの標準化はナノプロダクトの安全性と信頼性を確保し、世界貿易を円滑に進めるために積極的に推進することが重要
- ・ ナノ計測におけるSPM標準化に動きは用語の標準化を終了し、新規作業項目NWIの提案段階→優先順位の高い項目から速やかに策定
- ・ 産業応用の観点から、定量性と信頼性を向上させるための標準化が重要
- ・ 市場性と汎用性のある先端ナノ計測技術は標準化を目指すべき

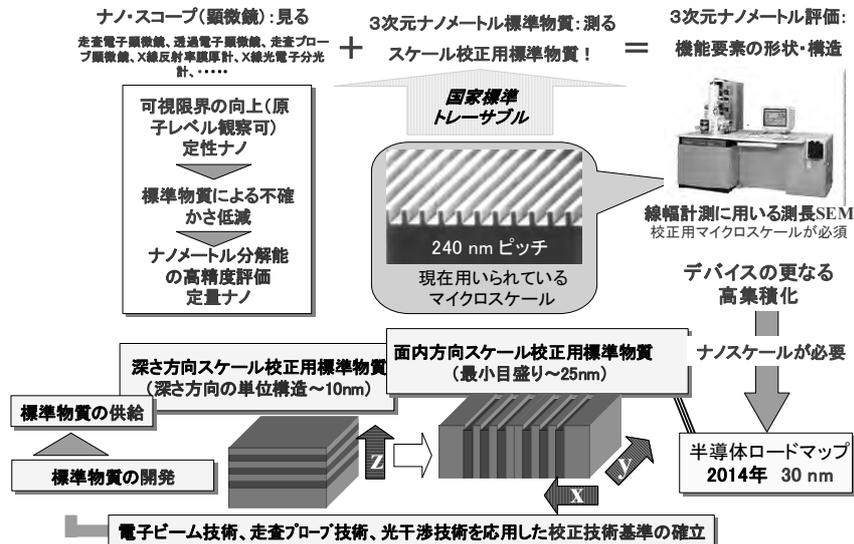
2. 2. 3. 小島勇夫(産総研):「先端計測における標準の役割と戦略」

【講演概要】

- 米国のNIST(米国標準技術局)の調査によれば、米国での計量標準の国民総生産におけるシェアは6%と言われている。
- トレーサビリティ: 標準単位を計測器まで正確に数字をつないでいく。国家標準の切れ目のない比較の連鎖。
- 単位の定義や、ブロックゲージなど実用標準器の開発が研究ターゲットになる。
- 過去の計量標準に関する基礎研究でもノーベル賞が出ている(例:レーザー分光法、量子ホール効果の発見と物理定数測定技術など)。人類にとって非常に大きな課題であるが、国内でこのような研究をおこなっている所が少ない。
- kgの原器はいまだ、人工物の原器に基づいているため、原器そのものの変動が存在する。そのため、より絶対的な標準器として、一定個数のSi原子をキログラムとする原子質量基準の導入を目指している。そのためには、アボガドロ定数の正確な測定が必要となる。
- ナノテク分野の計測機器でも標準器は重要課題。ナノの計量標準器を開発し、さらに実用標準器につなげることが必要。
- 例として、ナノスケールの開発では、従来では240nmピッチのスケールだったマイクロスケールを100nmピッチのマイクロスケールを開発。ナノメートル分解能の高精度評価に貢献できる。2016年を目標に25nmのピッチのスケールを開発予定。
- 校正用標準器としてトレーサブルAFMを開発。長さ標準としてのヨウ素安定化レーザーをとりつけ波長をAFMの三次元の動きに対応させている。このトレーサブルAFMの不確かさの要因で一番大きいのは干渉計周期誤差の0.05nm。他の誤差も積算した更正表示の不確かさを0.1nm以下にすることが研究目標。
- X線を反射する方法で、膜圧などの深さ方向の測定装置を開発。不確かさを小さくする要素として、角度の標準がなかった。角度校正法を新たに開発。膜圧測定の不確かさが 10^3 nm程度に改善できた。

ナノスケールの開発の例

NEDOプロジェクト：2002～2006年度

3Dナノメートル評価用標準物質創成技術 \rightarrow ナノテクノロジーによる新しい機能の評価&設計!

2. 2. 4. セッション討議

- C: パテントだけではなく、標準化も大事ではないかと思っている。ゲームのルールをきめるようなもので、そこが出来ないと産業競争力が無いと考える。基準作りが必要と考えている。
- Q: 国際競争力の点で標準化は必要なのだが、物が出来たとき、どう精度を評価していくか、メソドロジ的な標準化まで踏み込んだ標準づくりが必要。日本の中ではほとんどルールがなかった。米国のルールで日本は戦わされていた。米国は NIST がつくって、その不利な状況のなかで日本は戦っていた。日本でもルール作りから突っ込んでいかなくてはいけない。そういう取り組みは現在どのようになっているのか。
- A: 標準研では今までこのような先端計測、半導体まで手をのばすことができなかったのが実情。計量部分と標準化と、装置メーカーの協力によって世界シェアを奪える装置ができる。そのような視点で現在調査している。一部ではコンソーシアムを作る動きはあり、現状を打破しようとしている。難しい課題であることは事実。
- C: 計量標準だけでなく、データフォーマットなどの標準化、プロトコルの標準化など重要になる。装置と装置のつなぎの部分の標準化など。装置のインタフェースの部分などどう日本でやると得なのか常に考えないと、かなわない所まできている。
- C: 国際的な標準策定規格としては ISO、IEC で行われているが、ここでのドキュメント作りに参加し、そこで思想をもって発現することが地道だが、重要。このような機関を使うことで我々にも充分利益がある、国益がある提案をだせる。
- Q: ナノテックでの中国、韓国の動きは。さきほど中国、韓国が議長席をとろうとしている動きがあるとの話があったが。

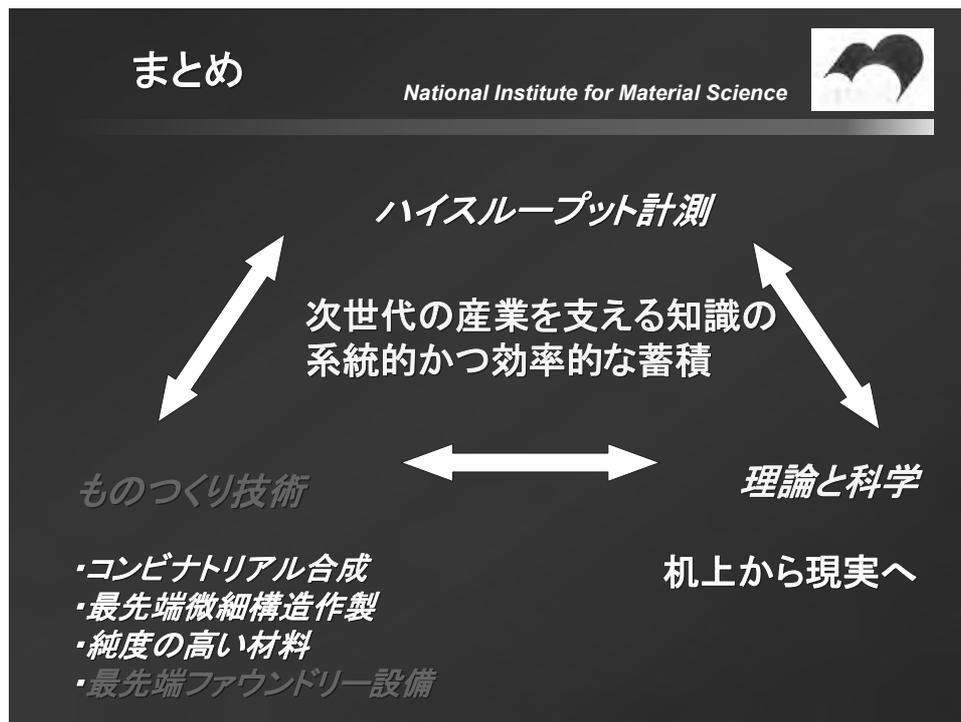
- A: 一部はそうだが、ナノテク全体では、我が国がリーダーをとりつつある。
- C: 標準サンプルも含め、枠組みをつくることが必要。ナノパーティクルのような新しい産業も出てきた。そのような産業でも枠組みは必要。

2. 3. セッション：ものづくり研究開発とハイスループット計測・情報技術

2. 3. 1. 知京豊裕(物材機構)：ものづくりとハイスループット計測

【講演概要】

- ・ 半導体は高速化・微細化が進んでいる。微細化は30nm まで進んだ。これからはナノ材料開発とともに立体的構造化も進んでいく。
- ・ このようなナノ材料開発、高周波化、立体化などに対応した計測方法の開発が今後重要となる。
- ・ 今までの開発は、材料は Si、SiO₂、Al など固定され、界面チューニングは少なく、プロセスパラメータも少なかった。今後は、様々な材料開発が行われ、界面チューニングが多くなり、プロセスパラメータも増えてくることが予想される。
- ・ 今まではリニアモデルで大丈夫だった(材料開発→単体トランジスタ・集積化→システム開発)。これからはこれらを並列ですすめる時代となっている。その際、コンビナトリアル手法(一度にきわめて多くの化合物を極微量合成して、そのなかから目的のものを選ぶ)とハイスループット計測(両者を併せてハイスループットテクノロジーとも言う)が必要になる。
- ・ 例としてゲート酸化膜材料探索。複数の材料の結合体を Scanning Microwave Microscope で誘電率分布の測定。界面付近での変化を測定できる。
- ・ このようなコンビナトリアル手法(一度にきわめて多くの化合物を極微量合成して、そのなかから目的のものを選ぶ)によって新材料探索が行われ、実績もでている。
- ・ 材料が増えてきて、短時間性で結果をだすことが求められている。一点でなく、系統的なデータがほしい。これから必要となる計測システムを以下に示す。
 - ナノスケールの計測の高速化
 - 電気計測と物理計測のギャップを埋める技術の開発
 - 3D構造の計測への対応
 - 計測結果のデータベース化、共有化
- ・ ハイスループット計測は、ものづくり技術(コンビナトリアル、構造作成、純度の高い材料、理論科学)でなりたっている。



【質疑応答】

- Q: コンビナトリアルのマップの組成チェックはどのようにおこなっているのか。impurity の問題は大きいのではないか。
- A: 蛍光 X 線の検出限界以下。impurity を意図的に入れた実験も行っている。スクリーニング手段として利用。
- Q: しかしそこを間違えると大変なことになる。界面とはどれくらいのサイズか。
- A: 数 nm 程度。半導体の先端研究者たちの考えている界面の厚さというのは数ナノの単位です。
- C: 界面と組成が問題であって、それだけで解決できるとは思えない。
- A: そのとおりです。まずは材料の大きなスクリーニングがあって、それからやっぱり界面ではないか。白金とタングステンの組み合わせは中間層が少なく、バルクではないケースなので選んでいる。そういう点は重々考えて選択をおこなった。
- C: 方向は理解している。この方法を組成・構造と物性の関係を詰めていくのは、丁度、鶏と卵の関係。サンプルの素性、すなわち想定したものが出来ていることを確認する必要がある。
- C: 薄いレイヤーでどのようなことがおきるかまだ自明ではない。現象は複雑であるが、コンビナトリアル手法で一度に作った多数の試料の組成・構造の制御性は、従来の一つ一つ作った試料の場合よりむしろ優れている。
- A: 白金とタングステンの組み合わせは中間層が少なく、バルクではないケースなので選んでいる。そういう点は重々考えて選択をおこなった。

2. 3. 2. Mikk Lippmaa(東大物性研): 「Materials Informatics」

- Informatics とは、情報管理の全ての要素(データフォーマット、収集、可視化 etc)を体系的に取り扱うものと定義する。
- 単純な研究者や、リクルートのデータベースや、ヴァーチャルラボなどはここでいう Materials Informatics には含まない。
- Informatics は学際的。コンピュータ、ネットワーク、データベース、言語解析、ビジネスモデル、ヒューマンインタフェースを含む。
- 特に重要なのは、早く、効率の良いデータアクセス。そのためには可視化技術などの解析ツールは非常に重要になる。
- データ利用が制限される理由としては(抜粋)、
 - 測定装置がデータ出力を含め共同利用されることを前提にしていない。
 - 可視化に時間がかかっている。
 - リファレンスデータへのアクセスが高く、遅いこと。
 - メインの公表手段は論文発表であり、公表に時間がかかってしまう。
- 材料(解析)分野において商業サポートは少ない。Accelrys 社による試みは費用がかかりすぎることから失敗に終わっている。
- 解析ツールのためのオープンデータフォーマット、ネットワークの接続性、そしてそれらの成功例が必要。
- データへのアクセス改善は難しい。現在は、ジャーナルなどの情報源に頼っている。キーワードによる検索になり、効率が悪い。
- データアクセスの残された課題
 - 記録されたデータの実験内容などをどう記述していくか。
 - データベースをどのように成果として数えるか。
 - データの信頼性の確保(論文のようにレフリーはいない)。
 - データ量が膨大になったときの費用の問題。
 - 出版業界との役割分担。科学的目的と、商業をどう折り合いをつけるか。

Conclusions

Solution: public support (like JST) for many smaller informatics tool development projects.
Similar to bioinformatics 10 years ago.

- Project value should be judged based upon how many people use a tool that is developed.
- Project value depends on how well it works with other tools.
- New Informatics tools that are developed must make work easier for a researcher, not harder. Learn from the failure of the scientific publication industry
- It is very challenging to develop something that is faster, easier to use, more reliable, and cheaper than pen and paper!

Public services that support the use of informatics

- Data repositories for materials data (like national gene data repositories)
- Evaluation of the value of scientific results that are produced and distributed through other means than international research journals.
- Selected services, like digital signatures and certificates
- Rules for ownership of data (as opposed to extracted results)

2. 3. 3. 柳川弘志(慶応大): 「タンパク質を観る、創るためのものづくりと IT」

【講演概要】

- ・ これまで我々は、独自に開発した遺伝子型(mRNA)と表現型(タンパク質)を対応付ける手法である *in vitro* virus (IVV)法を用いて、遺伝子ネットワーク解析、抗体や薬剤の標的タンパク質やペプチドなどをスクリーニングするシステムの確立に成功している。
- ・ IVV 法を用いたタンパク質の機能解析では、スクリーニング、シーケンス解析、データベース、検証、マッピングまでの過程のロボットによる自動化が進んでいる。
- ・ IVV の特徴は、*in vitro* であることから、細胞毒性を示すタンパク質の解析が可能であり、さらに様々な種類の少量の組織からライブラリーが作成可能。
- ・ 遺伝子上流の制御領域にどうタンパクが結合して相互作用を起こすのか、遺伝子発現を制御するのか未解明な部分が多く、生物学者の興味も集まっている。このような転写因子の複合体を IVV 法で取り扱えることがわかり、共同研究を行っている。
- ・ バイオロボットでは日本は遅れている。開発力のあるメーカーが存在しない。外国製では装置を改良するには本社の許可が必要でソフトの些細な変更も難しい。保守管理や、試薬のコストも高コストになる。
- ・ ゲノム科学研究では莫大な数の解析を行う必要があり、時間もかかる上、試薬代などの費用も非常にかさむ。マイクロ TAS のように微小化することで試薬代を節約でき、新しい新世代のゲノム科学研究をブレークスルーできる可能性が非常に高いと考える。

現在のバイオロボットの問題点

- ・外国製のため装置の改良が困難
- ・装置が大き過ぎ、使い勝手が悪い
- ・装置の保守・管理のコストが高い
- ・試薬のコストが高い
- ・IVV法の能力をまだ十分引き出せていない



- ・装置のダウンサイジングとプロセスの集積化が必要
- ・ITとのリンクが必要

23

2. 3. 4. セッション討議

- C: マイクロ TAS は大変関心がある。物材機構では日立のビソフラビー技術の利用を考えている。一部では先進デバイスをその中に組み込もうと考えている。ですから先ほど話しにあった集積化による知識の増大をどのように捕らえていくかが重要ではないかと考えている。
- Q: 日本の要素技術はどの程度のものか。
- A: マイクロ TAS については、流体物理が中心の技術。流体である試薬を入れる際の問題が大きい。界面などの基礎ができないと実用化は難しい。物理的な設計はできるが、材料の問題、界面などの問題がクリヤにならないと物ができない。ブレイクスルーが必要となってくる。
- C: 材料に関しては、触媒の知識、他の知識が isolate していると考えている。他の分野の人が何をやっているのか、interaction みたいなところが日本には不足している。データベースによる共有化ができていない。
- C: informatics は重要だが、データベースを作るような仕事は地味な研究になっている。
- C: データ処理も問題。材料となると、データが多くなり、処理スピードが問題になってくる。LSI もあと10年もすれば Gbit を超え、光配線が必要になる。そうすると材料の問題もでてくる。そういった問題を解決するために材料、データ、informatics を含めて、全体像を見る必要があるのではないかと。Mikk 氏が示したように天文学などではデータ処理を分散させるやり方を作り出している。そういう違う分野で採用、効果を確認し、実際に投入する考えが米国にはある。
- C: 連携研究の分野の予算が増えれば発展する可能性がある。
- C: 日本の先端計測強化の理由はバイオ関係が弱く、測定装置の多くを外国から輸入している背景をきっかけになったと聞いている。その一方で、非バイオから見ると、予算配分に偏りがあるように見える。
- C: 米国ではどの研究者も共通の認識をもっている。その分野のレポートを皆がシェアして、現状

や、マイルストーンなどは皆が知っている。その中で、自分が行うべき研究を考えている。日本ではそのような考えが浸透はしていない。

- C: 全体システムを作るには、目的がはっきりする必要がある。ただ漠然と要素技術を開発しろといっても、改造だけで終わってしまう。いかに、インテグレートしていく、グランドデザインを書いてアウトプットもっていくのか、そういうことを行う組織が必要。個別にやっつけてはだめになる。

2. 4. 先端分光計測と量子ビーム(座長:岸本)

2. 4. 1. 大門寛(奈良先端大):

「ナノ領域の構造と電子状態を解析する立体原子顕微鏡」

【講演概要】

- ・ 実際のものづくりでは単結晶より合金のような不均一の材料を使うことが多い。そのため、微笑領域での電子状態分析(3次元エネルギーバンド、原子軌道解析など)が重要になる。
- ・ ものづくりだけでなく、材料の基礎から応用研究まで微小領域での状態を知ることができる分光技術は必要。不均一、多結晶、ナノ構造特有の物性の測定では、顕微分光が重要となる。
- ・ 電子状態と構造を観測できる装置の一つが光電子顕微鏡(PEEM)。光源を絞ってスキャンニングを行うものと、レンズを使ったイメージングがある。
- ・ PEEM は TEM, SEM, EPMA よりも多くの情報を取得可能。元素マッピングだけでなく、化学状態(電子状態など)マッピングも可能。分解能は数十 nm までになっている。
- ・ バークレーには様々なタイプの顕微分光装置があるが、日本にはまだ固定された顕微システムがない。日本にはまだ第三世代高輝度光源がない。
- ・ Spring8の円偏光を用いて、回折画像からリアルタイムで原子配列の立体図の観測が可能となっている。円偏光光電子によって原子の影に視差角が生じる。現在は一枚に1秒だが、0.1秒までに短縮可能でリアルタイムで観測が可能。日本独自の技術となっている。
- ・ 観測領域は光源のスポットサイズに依存。そのためレンズシステムを開発中。
- ・ 電子状態から原子構造までリアルタイムで見えるような二次元光電子分光に顕微鏡機能を付加した立体原子顕微鏡を開発していく。

まとめ

- 2次元光電子分光により、
 - 電子状態解析---3次元バンドマッピング
 - 原子構造解析---立体原子写真、光電子回折、ホログラフィー
 - リアルタイム観測も
- 顕微鏡機能を付加して
「ナノ領域の構造と電子状態を解析する立体原子顕微鏡」を開発
 - 回転楕円面のメッシュを用いた $\pm 50^\circ$ 静電型広角レンズ
球面収差ゼロ、大角度分布の分析器(実施検討中)
テスト実験で5倍の像を確認
全体の製作、拡大率と分解能は今後の課題

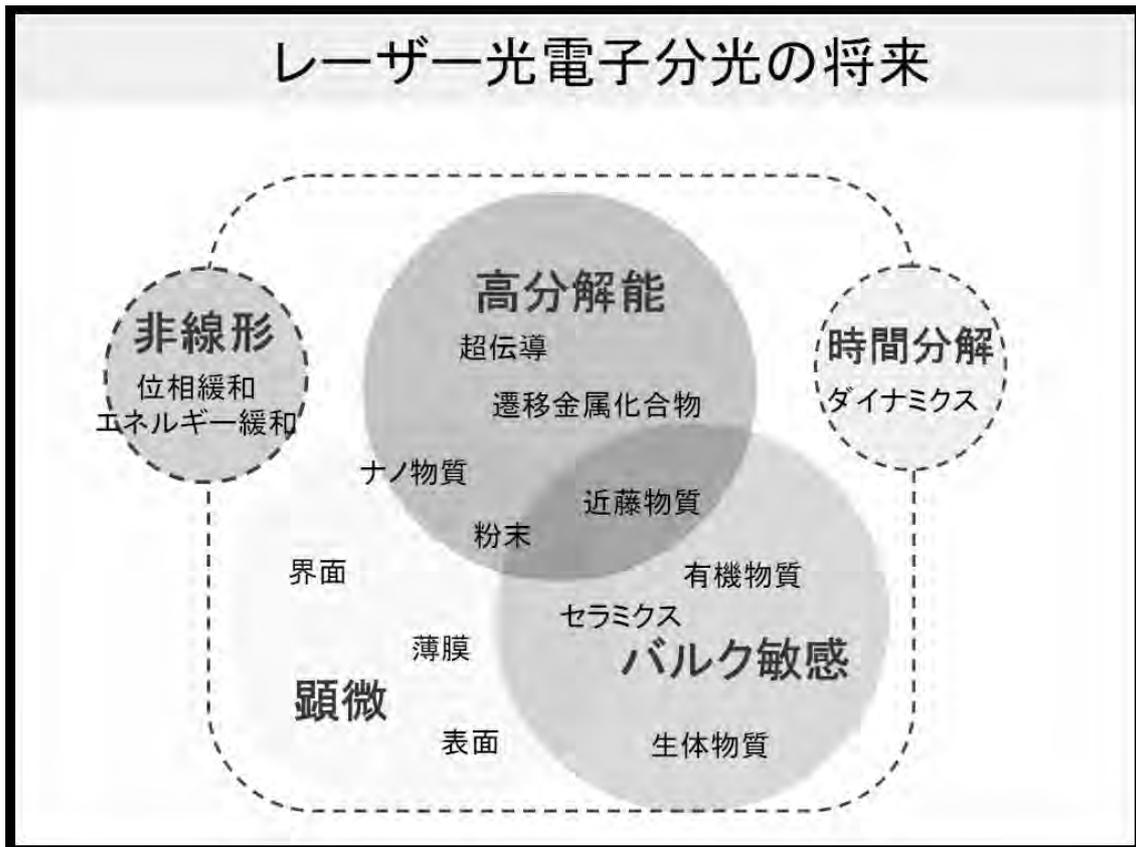
【質疑応答】

- Q: 米国バークレーで測定できるのに、日本にはないという理由は。米国のバークレーのSRはかなり小さいと思ったが。
- A: 戦略の問題。Spring8ではもともと軟X線のビームラインは少ない。線源減の問題。スプリング8ではエネルギーが高すぎる。分子研のVOVなどもあるが、米国のビームのほうが分子研に比べ1/10程度の細さを可能にしている。
- C: 要するにこの領域に関心がある人が少ない。もっとメリットを理解してもらえれば、ビームラインも多くできるだろう。

2. 4. 2. 辛 埴(東大物性研): レーザー光電子分光による超高分解能物性測定

【講演概要】

- ・ 光電子分光は光源が大きくなることが最大の課題。テーブルトップで計測が行えることが今後重要。
- ・ 光源としては放射光よりもレーザーが優れている。テーブルトップも可能。欠点はエネルギーが上がらない事。100eV以下であれば、レーザーに優位性がある。ピークパワーはレーザーが圧倒的に強い。
- ・ 極端紫外レーザーの3つの特性(単色性、集光性、短パルス性)をもつ。放射光とは異なる特性を活かした光電子科学への新しい応用が考えられる。高分解能、高時間分解能、高空間分解能が可能となる。
- ・ 超伝導のような材料の機能性は電子状態より決定される。材料の機能性にはフェルミ準位付近の電子が寄与している。この電子状態の変化を把握するには高いエネルギー分解能が必要。レーザー光源で可能になる。
- ・ 高温超伝導材料の研究には、数十ミリ eV の分解能でも強力な解析装置となり、機構解明にかなり寄与した。さらにミリ eV の分解能を持つことで、数十ミリ eV の分解能では不十分なMgB2など他の物質の解析にも利用できるようになる。
- ・ 分解能を決定する要因で、光電子分光器、電源、アースのリップル、漏れ磁場、周辺環境の電磁場などに起因する問題はほぼ解決。光源のエネルギー幅、スペースチャージの問題は未解決。
- ・ 数 meV の分解能が望まれている。現在の機器開発では 1meV 以下の分解能を目指している。
- ・ 光電子分光の欠点は表面敏感。ただレーザーはエネルギーが引くために、その影響は少ない。
- ・ レーザーのエネルギーは 7eV 程度。脱出長が 100 Åなので、有機ELのような金属表面に有機分子がある場合でも界面の状態が把握できる。通常の光電子では表面敏感すぎて観測が難しい。金属と有機体との界面状態を知る道具となりうる。
- ・ 高分解能、バルク敏感はほぼ目標を達成。顕微機能はまだこれから。テーブルトップ型の顕微システムは開発が可能と考える。



【質疑応答】

Q: 理研の重電子レーザー、軟X線は無事に発振した。硬X線に移ると聞いている。こういう技術の利用は考えているのか。

A: 光電子で向かない。スペースチャージの効果が強すぎる。60Hz のレーザーだが、できるだけ順連続光である必要がある。今使っているのは 80MHz。

Q: 観測対象を壊さない、対象を変えない。それで十分にシグナルを得て時間分解に入れるという、そこら辺の見積もりはあるのか。もちろん材料によるだろうが。

A: 見積もりはまだ出していない。

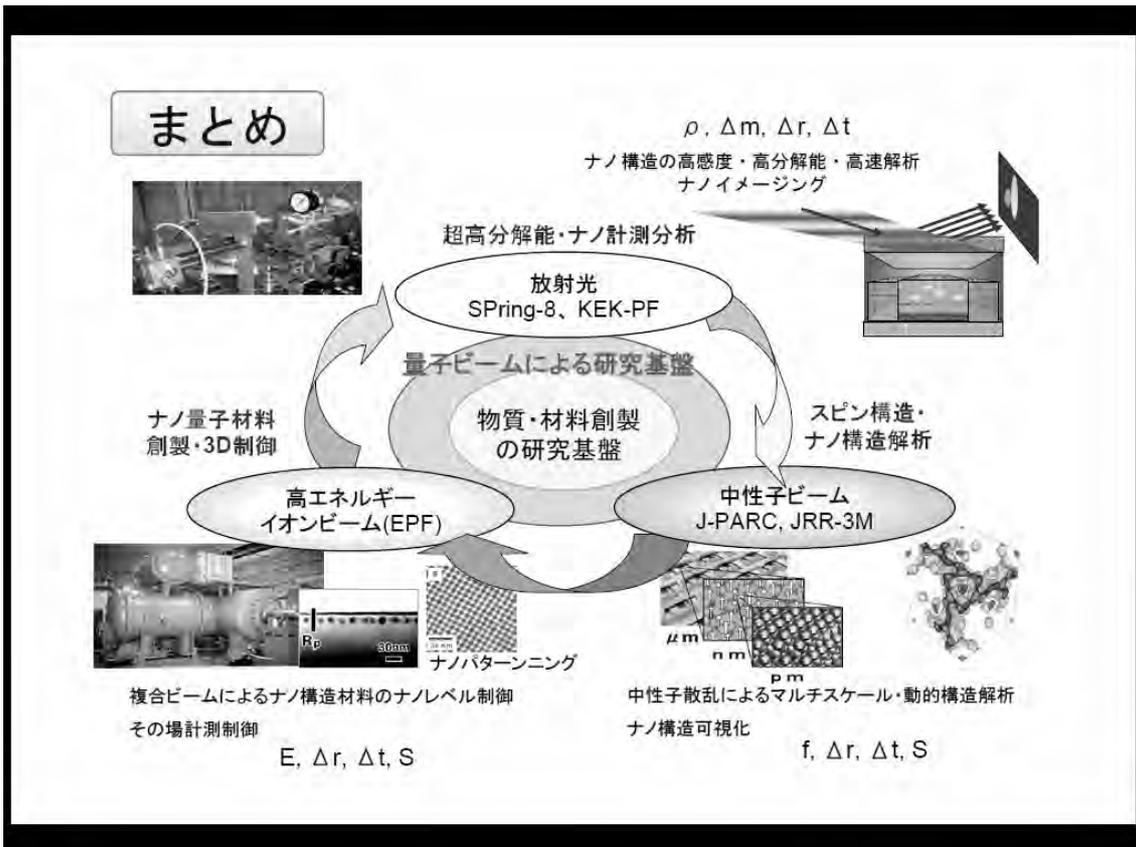
2. 4. 3. 岸本直樹(物材機構):

「ナノ物質・材料の創製・計測のための量子ビーム 基盤技術」

【講演概要】

- ・ 高輝度放射光、中性子ビーム、高エネルギーイオンビームなどの高度かつ複合的な量子ビーム利用技術を開発し、ナノ物質・材料創製、造形、制御、計測に資する技術基盤の構築をめざして研究開発を行っている。
- ・ 2年後に JPARC が動き出すが、核磁気モーメントの解析など魅力のある総合的な機能はもっているが、それを活かすだけの測定装置の開発がまだ進んでいない。

- ・ 放射光利用のイメージングでは、従来は微小なX線ビームで走査するため膨大な計測時間が必要だったが、一度に全観察視野にX線を照射してCCDで受け、迅速にイメージングを行う技術を開発した。化学組成や結晶構造を迅速に画像化することができ、動画像がとれる段階まできている。空間分解能は 15nm。
- ・ 材料研究における中性子利用のメリット
 - 強い透過力
 - ◇ Fe に対して透過率50%になる厚さはX線が 20mmに対し熱中性子は 6cm
 - 磁気散乱(磁気構造、磁区構造の情報)
 - ◇ 磁気構造、磁区構造の情報取得
 - 原子番号に依存しない散乱長
 - ◇ 通常の X 線では困難な Fe、Ni、Cr 元素の識別 Al、Mg、Si 元素の識別が可能
- ・ 軽い元素にも中性子解析は有効。燃料電池分野での水素の観測が可能になる。
- ・ バルク状磁性材料における磁気構造の平均情報、磁区分布構造材料における析出状態の平均情報が非破壊で得られる。
- ・ 物質材料の階層構造の理解には6桁のマルチスケールでの観測が重要。中性子の多波長の利用でマルチスケールでの同時評価が可能になる。原子構造の情報から、長周期構造、微細構造を同時に把握できる。
- ・ 微細構造と材料特性は、理想的には同一試料サイズで評価したい。大きな領域の微細構造を知るには中性子の小角散乱の利用は非常に有効になる。電子顕微鏡では多くのサンプリングから統計量を出すため難しいが、中性子小角散乱では短時間で可能。
- ・ ナノテクを駆使した材料を安全・安心に使うために塊(センチメートル)の中の不均一構造をサブナノメートルの精度でナノメートルからマイクロメートルまでプロファイリングする必要がでてくる。中性子小角散乱による測定方法で可能。
- ・ 粉末回析分野の今後の方向性として、
 - 放射光: 微量・希少試料を対象として電子密度分布の測定→電子密度分布の決定
 - 中性子: 特殊環境下における原子核位置の決定、軽元素位置の決定、磁気構造の決定→原子分布の3次元構造の理解
 これらを組み合わせることで、物質内部の原子・電子分布の3次元構造の可視化が可能になると考えられる。
- ・ 重イオン・レーザー同時照射によるナノ粒子の空間制御も可能。今後は、負イオン投影法・複合照射等による位置制御、ナノパターンニング技術による3次元ナノ構造制御技術の開発が重要。
- ・ 中性子ビーム(原子ビーム)の利用も考えている。薄い原子レベルの膜のリソグラフィを考えている。基礎構造や制御されたナノ構造をつくることをめざしているが、まだこれぞという応用はできていない。だが4ビーム目としてナノ材料を作ることを目指している。



【質疑応答】

Q: この研究がターゲットとするマーケットサイズはわかるのだろうか。

A: 企業がどれだけ参加するかわからない。自動車、鉄鋼会社などが興味をもっている。潜在的にはあると思っている。量子ビームの研究会では産業利用を意識しておこなっている。加速器では一日百万円のオーダーで利用してもらっている。放射光で 200 万円ほど。当面は論文を発表するかぎり無料にしている。本来は企業がお金をだしてでもやろう、というふうになる必要があるが。

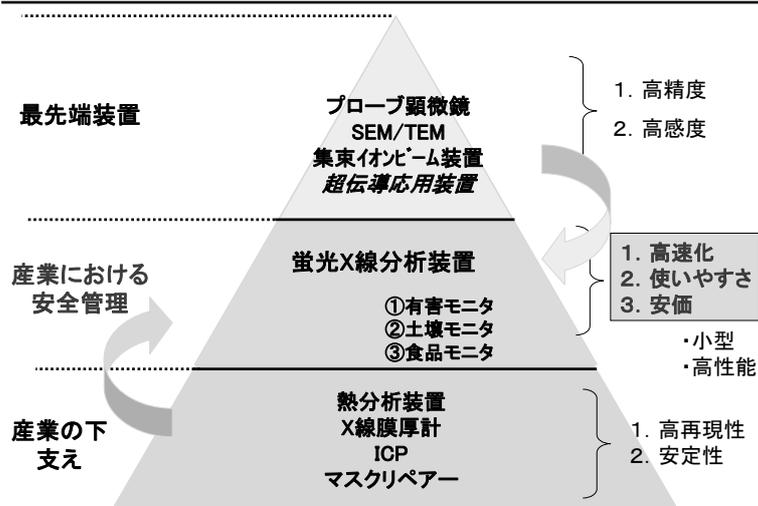
2. 5. 分析関連企業から見た先端計測：国内外のニーズと国際戦略

2. 5. 1. 茅根一夫(SII ナノテク)：「産業ニーズに対応した分析装置」

【講演概要】

- ・ 取り扱っているナノテク支援技術は集束イオンビーム、走査型プローブ顕微鏡。イオンビームは、「観る」、「削る」、「付ける」ことが可能。顕微鏡は、観る、計る、操ることができる。しかし市場は小さい。大きな利益にはつながっていない。
- ・ 現在、利益があるのは、蛍光X線分析装置。土壌問題など環境分析分野、廃棄物関連で需要が急拡大している(3年で3倍)。(EUの規制(WEEE・RoHS)なども強く影響)
 - WEEE: 廃電気電子機器リサイクル指令
 - RoHS: 電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用禁止指令
- ・ 売れた理由は、今まで大企業の研究における測定装置だったものが、中小企業、大企業の生産ラインに使われるようになってきたことによる。
- ・ 国際標準化だけでなく、法規制も重要な問題。法規制によって必要な測定装置も変化していく。
- ・ SIIにおける製品群の位置づけ(最先端装置、産業における安全管理、産業の下支え)のなかで、産業における安全管理で需要がましている。必要とされるのは高速化、使いやすさ、安価。
- ・ 研究計測市場から検査市場へシフトしている。
- ・ 測定装置の冷却装置などで中小の冷凍機メーカーが重要になる。要素技術が海外依存になっている。
- ・ テラヘルツの部分も、手広くやるとつぶれてしまう。ターゲットを決めて集中させることも大事。

SIIナノテクにおける製品群の位置づけ SII



20

2. 5. 2. 副島啓義(島津総合科学研): X線を絞る、曲げる

／X線計測の革新的新技術

【講演概要】

- ・ 全反射を利用したX線レンズ(MCX)を日本の技術で開発。X線を絞ることができて細かい観測ができるようになった。既に一部は商品化している。
- ・ もともと放射線状に出るX線をMCXによって並行にしてから回折に用いることで、一桁～二桁感度が良くなり、従来では観測できなかったピークも観測できる。
- ・ 対応波長も長く、未知の波長のX線についても対応できる。
- ・ MCXの利用が進むことで、微量分析、高感度分析、立体物構造解析、低照射量診断、高速検査などへの応用が考えられる。
- ・ 焦点距離は自由に設計が可能。生産ラインで遠くからX線を照射。散乱したX線を並行にして検出する遠隔検査が可能になる。
- ・ MCX自体は特許取得20年となりそろそろ特許が切れる。日本発の技術であり、いろいろな形で使われてほしい。
- ・ JSTの事業には3件参加している。計測の予算が少なすぎる。日本経済の数字の比率が少なすぎる。なかなかペイしない。メンツのためにある。予算を桁違いにし、日本内で成果を共有するような仕組みが必要。企業が孤立しすぎている。

MCXへの期待

X線分析の高度化

微量分析 高感度分析 立体物の構造解析

X線診断装置

微量部診断 低照射量診断

X線検査装置

微量部検査 高速検査

2. 5. 3. 長我部信行(日立製作所): 先端計測器開発プロジェクトへの期待

【講演概要】

- ・ 営業利益率5%を切る製造業の現状を考えると、研究者一人が一年に寄与しなくてはいけないビジネスの規模はおよそ10億円。スタートアップが小さい計測のニュービジネスを作りにくい現状がある。しかし国際的に勝っていくには真っ先に製品を出す必要がある。そのジレンマをどう解決するかが重要。大学との産学連携を事業に結びつけることが重要になる。
- ・ 大学から企業への人を含めたサプライチェーンを確立する必要がある。大学のシーズから研究開発用の商用計測装置につながるまで、スクリーニングがある。その先に、製造検査機器開発がある。それとは別にカミオカンデのようなフラグシップ的な技術も必要。これらがうまくつながることで、サプライチェーンができる。
- ・ 米国ではベンチャーが大学の技術に食いつき、それを大手が買う仕組みができています。日本ではなかなかこのラインはやりにくい。やはりテクノロジーサプライチェーンを回していくことが日本では重要になる。
- ・ さきほど、ライフサイエンスで日本企業が押されているという話があったが、DNA シーケンサは日立が作っている。米国ABIと組むことで、米国の販路をとれている。ABI製となっているが、試薬のロイヤリティも得ている。和田プロジェクトの成功例と認識している。
- ・ しかし二の次がでていない。技術サプライチェーンが切れてしまった。原因は、企業の自前主義、大学の商用計測機器購入、次世代開発の遅れなどがあげられる。
- ・ 米国では次世代顕微鏡について戦略的にすすめている。特に収差補正などの技術に重心をおいている。
- ・ DNA シーケンサでも、ヒトゲノムが終わり市場が縮まる。しかし、安価になることで、シーケンサの市場が広がる可能性がある。1000万円でゲノムが読めるような装置開発など戦略的にやっている。
- ・ ものづくりの基本
プロセス・コントロール(高スループット/高歩留まり/低コスト)、サプライチェーンマネジメント(仕掛け品、在庫の最小化)
- ・ ものづくりで重要なことの一つは、生産性を上げること。生産プロセスの改善。歩留まりをどれだけ急速に上げて維持していくか、作った製品の信頼性を上げるが、速くつくるか、これらがものづくりを考える上で重要。こういう分野に計測機器が入ると市場は大きくなる。かつ日本の競争力につながる。
- ・ 生産プロセスに使われる計測機器にチャンピオンデータは必要ない。非常に安定して、耐久性が問われてくる。
- ・ トータルソリューションという観点で、計測器の情報を出すシステム、入れるシステム、コントロールするシステム、ここまで考えた戦略が必要。産業界のニーズをよく整理する必要がある。
- ・ 例として、垂直磁気記録を採用したハードディスク。磁気ヘッドの加工寸法が非常に微細になり、それに対応した測定装置が必要になる。
- ・ 産業技術での俯瞰が必要。各装置がどの産業で使われているかプロットする必要がある。

- ・ 目的と計測技術の別専門家による評価が必要。
 - 目的評価
 - ◇ 研究開発観点
 - ◇ 生産技術観点
 - 計測技術評価
 - ◇ 研究開発観点
 - ◇ 生産技術観点

ものづくりの基本

■ プロセス・コントロール
 高スループット High through put
 高歩留まり Yield management
 低コスト Low cost

■ サプライ・チェーン・マネジメント
 仕掛品、在庫の最小化

10/16

【質疑応答】

- Q: 研究開発観点と、生産技術観点と書いてあるが、そのウエイトはどう考えているか。
- A: 企業の立場から言えば、研究開発のツールというよりも、生産技術を上げるツールの方がウエイトが大きいと考える。ですが新製品を本当に生み出すという立場からすれば、研究開発ももちろん大事であり、一概には言えない。
- C: 文科省のこの事業は単純なものづくりではなくて、先端のものづくり、それを狙う。日本の国際競争力を高めることが目標。そのあたりにもっとシャープにものごとを絞り込んで考える必要がある。ただでも少ない予算を戦略的に配分するということにはならないのではないかという気がしている。実際その実情の目的評価は非常に大事なると思う。

2. 5. 4. 須賀三雄(日本電子): JEOL における先端計測への取り組み

- ・ 最近の成果としては収差補正がうまくいっている。産官学連携の成果の一つ
- ・ 海外の動向(100 億円規模の研究投資例)
 - 米国: TEAM(~0.5 Å、3次元原子像トモグラフィ)
 - 欧州: SESAM(0.1eV 分解能)、SATEM(0.1nm)、SuperSTEM(UK)(高分解能 HAADF(高

角度散乱暗視野法),EELS)

- 日本電子では Twin Core 戦略(S-Core(最先端のための技術), I-Core(産業のための技術))を設定
- この二つの Core はかなり異なったものであるが、相補関係がある。基本は S から I へ(先端研究から産業利用へ)の技術対応。しかし I から S へのフィードバック。つまりニーズ対応もある。
- トータルソリューションが必要。要素技術だけでなく、ソフト解析なども必要。日本はそこが弱い。
- S-Core としては電子顕微鏡への支援が重要と考える。欧米では100億円投資がある。電子状態が観測できる所まできている。
- I-core では、トータルソリューションを目指した産学官連携が最重要。開発システムを当初から設定してしまう必要がある。

JEDL

Confidential

要望(まとめ)

● S-Core分野

■ 電子顕微鏡基礎技術開発へのさらなる支援

- ◆ 諸外国の追撃(100億円規模の投資)をかわす

● I-Core分野

■ Total Solutionを目指した産学官連携

- ユーザー、計測関係者、関連技術関係者の共同参画
- ユーザーの業務フロー改善を目的とする
- 中心技術だけでなく周辺技術(前処理等)も開発
- データ解析システムも開発
- システムソリューションとしての開発

【質疑応答】

Q: 電顕のどこを開発すべきなのか。オールジャパンは本当に可能か。国の役割はどこまでと考えるべきか。

A: どうやって顕微鏡を使っていったらいいかという観点の一つ考えていかなければいけない。具体的には試料をどうやってつくっていったらいいとか、そういったところから一緒にやらせていただけるような体制が必要。オールジャパンに関しては、企業の思惑もありむずかしい。国の役割も民間だけで考えるのはむずかしい。

C: 米国の投資は、前もって要素技術の整理があった。米国にそのまま追従というよりは、そういうバックグラウンドの理解からすべきではないか。米国もいきなりああいうプロジェクトを出し

てきたわけではない。

- C: 米国の TEAM プロジェクトはジャパンパッシングの意味もあった。ナノテクが国策になり、電子顕微鏡がキーテクであり、その要素技術が JEOL や日立に握られていることを好ましく思っていなかった。昨年の7月に学振132委員会でも報告しているが、電子顕微鏡の共通基盤技術である収差補正技術が日本でほとんどやられていない。ドイツからの輸入だ。そういう状況は危険だと思う。
- C: 現在の DNA シーケンサーは日立が作っているが、このシーケンサーも次世代の開発を NIH は行っている。いったん日本がトップをたったらそこを米国はねらってくる。日本は一度強くなった部分をさらに強くする戦略があまりない。収差補正に関してはアイデアは古くパテントも切れている。実際にベンチャーで開発されいききにブレイクした。それをやはり米国が産業環境を調べていてピックアップした。米国は産業状態をよく把握していた。日本は把握しきれてない。
- C: 国として伸ばす部分を見極める次の段階としてCRDSでは海外調査も行う予定。

2. 5. 5. 林俊一(新日鉄): 製造業から見た先端計測分析技術ニーズ

- 以下の二つの研究テーマを提案
 - 複合ナノ材料物性発現メカニズム解明のためのプロセス反応・組織観察
 - 低環境負荷製造プロセス実現のための環境負荷粒子のリアルタイムモニタリング技術の開発
- 【複合ナノ材料物性発現メカニズム解明のためのプロセス反応・組織観察】
 - 新材料開発・新製造プロセス開発に指針を与えるには、動的観察技が重要
 - 複合ナノ材料物性発現メカニズム解明が必要となっているが、それにはプロセス反応・組織観察が必要
 - 鋼の動的挙動観察を行ううえで必須技術
 - ◇ 顕微鏡システム内で動作する高圧荷重システム
 - ◇ 局所位置追従システム
 - ◇ 実画像、回折像同時検出技術
- 【低環境負荷製造プロセス実現のための環境負荷粒子のリアルタイムモニタリング技術の開発】
 - 背景:ダイオキシンなどの規制強化の動き
 - 現在の測定方法では時間平均値しか測定不能。短時間で大きく変動するので、その測定装置が必要(リアルタイム Jet-REMPI の開発)
- 先端計測分析技術機器開発事業に期待すること
 - 新プロセス、新材料の特性発現メカニズムを明らかにする動的観察技術
 - 低環境負荷操業を可能とするゼロ(ロー)エミッション型製造プロセス提案のための環境負荷物質リアルタイム計測技術の開発

まとめ

- 先端計測分析技術機器開発事業に期待すること。
 - (1)新プロセス、新材料の特性発現メカニズムを明らかにする動的観察技術。
 - (2)低環境負荷操業を可能とするゼロ(ロー)エミッション型製造プロセス提案のための環境負荷物質リアルタイム計測技術の開発。

分析技術のイノベーションを期待している。

2. 6. 総合討論

Q: 本WSでは5つのブロックを分けて議論してきた。そのなかで、今回はテラヘルツ、国際標準化、ハイスループット、量子ビームに焦点をあてた。他の分野はいかがか。

Q: テラヘルツで議論があった検出装置についてはどのように考えるか。

A: テラヘルツは今から立ち上がる分野でもある。検出装置だけでなく、光源も含めすべて必要。

A: 赤外での検出は天文分野を中心に進んでいる。そこからテラヘルツは進んでいる。テラヘルツ領域なら、光源、分光の分野では進んでいると言える。

Q: 欧米に、最後(検出器)のところでもとられてしまうとあったが。

A: 検出器といってもいろいろある。カメラのような民生品のピクセル検出器は小さいので半導体技術で作れる。産業でつかうような検出器は大きく作り方が異なってくる。要素技術に分けて、共通基盤として取り組むことはできるが、テラヘルツを含めた多波長での共通基盤技術をつくることはそう簡単ではない。

A: 検出器自体の開発は皆やっているが、そのあとのデータ処理がおろそかになってしまう。多素子化したときのデータ読み出しの部分しっかりやったところが検出器を牛耳っているのが現実。リードアウト技術が最後の山になっているのではないかと考えている。

C: ピクセル型検出器はハイスループットでも重要な技術となる。ものづくりとリンクした場合、研究開発のレベルと、生産産業プロセスでは異なってくる。

C: 九大では学生と企業がアナログデバイスの設計を一緒にやっている。そういう異分野とリンクをして産学連携をやっていく必要があるだろう。

C: 検出器は重要。ただ市場が見えにくいことが問題。医療分野のように市場がはっきり見えているわけではない。戦略的なチームを産官学の連携で作ることが必要。

C: 産産関係も必要ではないか。異分野、同分野での組み合わせも重要。今日は情報処理関係ももう少し時間をかけて議論をしたかった。またルール作りも議論していかなくてはいけない。これらを含んだトータルソリューションも重要となるだろう。ソフトウェアの問題についてはどう考えるか。

C: 解析ソフトと組み込みソフトの両方が重要になる。MRIの解析ソフトはフリーソフトにすることで、普及、標準化している。そういう戦略をとっている。電子顕微鏡はまだ標準化はできてない。国内だけでも標準化するような動きが必要だろう。組み込みソフトも開発工程が多く、バグによる回収などもありロスの原因になっている。系統的なソフトウェアの開発方法を導入して、SEMや、TEMでも同じベースから開発がスタートできるような、ソフトの全体構造を解析も含め導入していかないと、携帯やテレビの二の舞になるのではないか。

Q: マテリアル・インフォマティクスについては。

A: 米国のビリーランド大学などでは材料工学科と情報工学科が共に仕事をしている。構成から評価までソフトウェア化する動きがある。ソフトウェアを作ることは、さまざまな人の考えを取り入れることが重要。米国はある意味強引に情報と材料をやっている人が組んでいる。

C: 先ほど1000ドルのゲノム解析装置の話もあった。そういう科学の一般化によるマーケットの

拡大も重要だろう。三好先生の親指SEMがいい例なのかもしれない。

- C: 膨大なマーケットはあると思っています。国として先端研究に投資する意義は重要であるが、こういう安く、小さく作るという技術も重要であるとアカデミーの方々にも認識してもらいたいと思う。
- C: 米国が1000ドルDNAシーケンスのプロジェクトを掲げたことは画期的。10億円の装置を10万円にしようといっているのだから、これはすごいイノベーションになる。既存の技術の改良によるコスト低減でなくて、まったく新しいアイデアをもとに進めている。性能だけでなく、コストを目標にしてもイノベーションはおきる、おこせると考えて米国ではベンチャーもできている。これは参考にしても良いのではないかと思う。
- C: 賛同する。最初からコストを議論すると、発想が狭まる恐れを持つ人がいるが、新たな発想があってもいいと思う。米国では、研究開発支援と、調達契約もしている。我々もそのやり方を勉強している。
- C: ある医療機器を世界で最初に開発した。しかし資金の回収ができることがわかるだけのデータが集まらない限り医療機関は買わない。データを集めるために国が調達の約束をして、国の医療機関でデータを集めるような仕組みも必要だと思う。調達契約などの考えも必要である。
- C: 調達の問題はプロジェクトの最初から議論している。海外の状態は知るべき。ぜひやっていただきたい。WTO などの国際調達の整合性が見えていない。日本ができない理由が見えてくれれば話がちがってくる。
- C: サンシャインでもそういうやりとりがあった。大型装置でも同じ。
- Q: 科学のポピュラー化については。
- A: 第三期の人材育成では、ソフトウェア、e-ラーニングとの整合性が重要。EU でもライブラリーの整理などやられている。
- C: 人材育成でも需給関係が重要。せっかく教育してもその先に何も無いのでは問題。受給を常に考えていく必要がある。

3. まとめ

ものづくり等への応用や安全・安心等の社会ニーズに応える先端計測への期待と技術戦略を構築する必要性の高まりを背景に、科学技術のみならず製造業やサービス業の国際競争力の原点となる分析・計測について検討を行うため、ワークショップ「ものづくりおよび社会ニーズに関連する先端計測技術の方向性と開発戦略」を開催した。事前の検討によって設定した5つのセッションにおいて大学、公的研究機関、企業の研究者にそれぞれの技術の産業への応用や、産業で必要とされている計測装置などについてご講演頂き、各セッションで討論の時間を設け、さらに最後に総合討論を行った。

以下に、各セッションでの講演、討論において指摘された、今後の計測分野を議論する上で重要な事柄を抽出し、分析した結果を要約する。

- (1) テラヘルツ光を利用した計測機器は産業利用だけでなく、安全・安心などの分野でも応用が期待できる。欧州では特にバイオ産業への応用、米国では軍事利用に焦点をあて開発しているのに対し、日本では基礎研究、とくに光源の開発に集中している。光源の開発と平行して、産業利用を念頭にいた検出器を開発すべき。特にイメージングデバイスが開発されれば、幅広い分野に応用できるので喫緊の課題である。ただしテラヘルツ検出器だけではマーケットは小さく、テラヘルツを含めた多波長における検出器での要素技術の中から共通基盤技術を構築しそれをベースに企業が製品開発を行う仕組みが必要。
- (2) 国際競争力の点で標準化は重要で、輸出認証等にも関連する国際戦略的課題になりつつある。物が出来たとき、その精度をどう評価するのかまで含んだ標準化の検討が必要。また装置と装置のつなぎの部分の標準化、つまりデータフォーマットやプロトコル、インタフェースの標準化も重要となる。国内で先行して標準化を行うことも必要。系統的なソフトウェア開発方法を導入して、計測機器の組み込みソフトを迅速に開発、普及させ、標準化を推し進める方法もある。
- (3) ハイスループット化とは、計測機器の小型化、高速動作化、並列同時処理、自動制御などによる高速・高効率化のコンセプトを具現化する技術である。新型計測器とその部材、ソフトウェアの開発からなり、システムの国際標準化も課題となる。ものづくりにリンクした計測の高度・高速化、自動制御技術の進展は、基礎研究および製品開発における国際競争力強化につながる。固体材料、電子デバイス開発のハイスループット化は、10年前に日米で始まり先行しているが、開発された技術は未だ断片的であり世界的な主導権を維持していくには一層の組織的研究が喫緊の課題である。

一方、バイオ分野におけるハイスループット技術の開発は海外が先行している。現行のバイオロボットは外国製品が主流で、改良が困難、保守管理が難しいなど課題も多い。今後はダウンサイジングと大量のデータ処理が重要となると予想されるが、その意味で、マイクロタス計測の技術開発が不可欠となる。流体力学など、界面を含めた基礎物理を確立しなければ

実用化は難しい。設計は可能であるが、材料や界面の課題をクリアするにはブレークスルーが必要。

- (4) 計測技術が発達するにつれ、informaticsが重要になるのは明白。しかしデータベース開発など地味な仕事になりがちになり敬遠される風潮があり、工夫が必要になる。天文学の分野では分散情報処理を成功させた例もあり、他分野の事例を参考にする必要がある。ハイスループットなものづくり研究の進行過程で、過去のデータを貯めて整理する(データベース)だけでなく、生きたデータを国際的にやりとりし即座に活用するための新たな情報技術(バイオインフォマティクスに相当するマテリアルインフォマティクス)が生まれようとしている。国際連携の重要性が認識され、先駆的研究が始まっているが、世界をリードするには人材育成を含む支援が望まれる。
- (5) 量子ビーム利用、特に放射光X線を用いたイメージングや中性子ビームを用いた各種計測は、産業応用の面でも潜在的なニーズは高い。強力中性子ビームという点では、J-PARCに対する期待は高いが、分析・検出部の開発が遅れており、急速な立ち上げが必要である。
- (6) 計測機器の高性能化だけでなく、新計測原理を導入することでの大幅なコストダウンや、親指SEMのような超小型化でも新たなイノベーションが可能になる。このような開発方針も必要。

APPENDIX

Appendix1 :事前アンケート

本ワークショップ開催にあたり、事前に参加者の意見を整理し、当日の議論の資料とするために以下の内容のアンケートを行った。次項にアンケート結果を整理し一覧表とした。

アンケート内容:

Q1: 現在の主な研究テーマ: (過去):超伝導デバイスおよびシステム開発。

Q2: ものづくりとリンクした先端計測技術開発において、今後躍進が期待される研究者と研究テーマを挙げて下さい。

<p>テラヘルツセンシング・イメージング技術開発</p>	<p>【重点的に取り組むべき研究領域】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 光波と電磁波の間に位置する未開拓電磁波領域は様々な物質物性のプラットフォームであり、その領域を科学することは、物質の科学の解明から、新しい物質の創製につながり、情報通信機器／デバイス開発、生体・医療の分析、医薬品の創製、安全安心社会に貢献する新しいセンシングシステム開発など、計り知れない波及効果がある。 ・ 特にプラスチック製品やセラミクス製品などの非破壊検査。 ・ テラヘルツ帯では数多くの潜在的産業応用ニーズが存在するが、その大多数がイメージング検出器の不在に阻まれている。アレイ型検出器（リニアアレイでもよい）の開発は急務である。高感度検出を実現する超伝導デバイスに加え、感度は劣っても常温で動作する半導体デバイスのアレイ化も必要である。アレイの実現により、テラヘルツ波を用いた産業応用可能性の6-7割が達成可能となると考えられる。これらの産業応用の大半は、製造物の検査応用であり、ものづくりと深く関わる。 	<p>【期待される研究者・テーマ】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 田中耕一郎（京都大学）：全反射テラヘルツ分光システム開発と生体分析応用 ・ 田畑 仁（大阪大学）：DNA およびバイオ関連物質のテラヘルツ局所分析 ・ 谷 正彦（大阪大学）：テラヘルツ時間領域分析システム開発 ・ 角屋 豊（広島大学）：テラヘルツ分析用バイオチップ開発 ・ 小川雄一助教授（東北大学農学部）：テラヘルツ波を用いたバイオセンシングに関する研究 <p>○デバイス作製</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 関根徳彦（情報通信研究機構）：テラヘルツ帯の量子カスケードレーザーの開発（デバイス作製技術を含む）。近未来の超小型かつ安価なテラヘルツ波光源として。 ・ 浅田雅洋（東工大）：半導体（共鳴トンネルダイオード）を用いたテラヘルツ波発振デバイスの開発、ミリ波・テラヘルツ波のダイオードプロセスのハブを形成。 ・ 有吉誠一郎（理研）：超伝導テラヘルツ波検出器アレイの開発（デバイス作製技術を含む） ・ 藤巻 明（名大）：超伝導体による検出器読み出し回路開発 <p>○ものづくりのための検査技術開発、応用研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 山下将嗣（理研）、斗内政吉（阪大）：レーザーテラヘルツ放射顕微鏡（LTEM）の開発と応用。（LSI 製造プロセスにおける故障解析への応用） ・ 川瀬晃道（名古屋大学／理研）：テラヘルツ波波長可変光源の開発と産業・安全応用
<p>先端的な分光技術開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ テラヘルツ帯の重要な応用の一つに、指紋スペクトルを利用した物質同定がある。そのためには、先端的かつ斬新な分光技術開発が重要である。特に重要なバンドは3THz以下の領域であり、この帯域での光源、検出、分光手法の開発がテラヘルツ波の高度な利用を促すと考えられる。特に、イメージング検出器との組合せも重要である。分光イメージングアレイが実現した場合、テラヘルツ波を用いた産業応用可能性の約9割が達成可能となると考えられる。（うち上記の6-7割は、単色アレイでも達成可能）上記同様、産業応用の大半は、製造物の検査応用である。 	

高速・高精度計測

<p>極限高速ダイナミック計測技術</p>	<p>【重点的に取り組むべき研究領域】 超高速分析は、極限電子デバイスの開発から、新しい物理科学の創製までを可能にする最重要分野である。電荷の実時間運動の観測や量子的相互作用の時間分解計測などにより、新しい分野の創成が期待される。</p>	<p>【期待される研究者・テーマ】</p>
<p>次世代分析用高精度・超高速論理回路システムの開発</p>	<p>【重点的に取り組むべき研究領域】 ダイナミック計測や超高感度計測にこれまでにない高性能の論理回路を組み合わせることで、新しい分析技術革新が期待される。例えば、磁束量子論理回路を用いたADコンバーターや時間デジタル変換システムを高性能な検出器に組み合わせることで、新しいイメージングシステム開発など、様々な展開が期待される。</p>	<p>【期待される研究者・テーマ】 ・藤巻 朗（名古屋大学）：超高速・高感度計測システム用論理回路開発</p>
<p>超高精密計測技術</p>	<p>【重点的に取り組むべき研究領域】 次世代標準など。SI単位の定義を変えるような技術。</p>	<p>【期待される研究者・テーマ】</p>
<p>ナノマルチプローブ顕微鏡装置の開発</p>	<p>【重点的に取り組むべき研究領域】 MEMS技術を活用したマルチプローブカンチレバー、高速化等の開発。</p>	<p>【期待される研究者・テーマ】 ・山田（京都大学）：</p>

量子ビームとナノ計測

<p>ナノ物質・材料の創製・計測のための量子ビーム基盤技術</p>	<p>【重点的に取り組むべき研究領域】 量子ビームでものづくりを行い、量子ビームで高度計測するという循環的な技術開発。大型装置の関わるリンクは現実には難しいが、もし達成されれば新しいブレークスルーをもたらすと考えられる。</p>	<p>【期待される研究者・テーマ】</p>
<p>先端エネルギービームによるナノ機能発現に関する研究</p>	<p>【重点的に取り組むべき研究領域】 量子ビームによる電子励起過程等を利用したものづくりは、新しい物質相の発現、制御性をもたらす可能性があるが、複合ビームによるその場計測が必要。特に粒子線に関するその場計測は遅れていて、力を入れるべき。</p>	<p>【期待される研究者・テーマ】 ・田川精一（阪大産研）：量子ビームの誘起するナノ空間の反応過程の研究</p>

現場計測

<p>その場観察可能な顕微鏡装置の研究・開発</p>	<p>ものづくりの現場で「観たいときに観たい場所で簡単に観察できる」顕微鏡装置の研究。コンパクトで持ち運び可能、低価格、操作が簡単で誰でも使える、などの機能を達成するための研究。性能を落とすことなくこれらの機能を達成することは先導研究とはことなる高い技術が必要。</p>	
<p>非侵襲(非破壊)性に特化した検査技術の研究・開発</p>	<p>生体試料、複合材料、ナノマテリアルなどの「ソフトマテリアル」はプローブによるダメージが大きい。非侵襲な「その場観察」可能なプローブ技術の開発とそれに伴う計測精度の低下に対応する高感度検出技術の研究・開発。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・藤巻 朗 (名古屋大学) : 超高速・高感度計測システム用論理回路開発
<p>インプロセス・モニタリングに適した分析手法の研究・開発</p>	<p>現象が起こっているその場所で検査、分析が可能な分析技術、プロービング手段に特化した研究・開発。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・中前幸治(大阪大学情報システム工学専攻) : モニタリング技術の導入によるLSI 生産工程の効率化と経済性のシミュレーション
<p>生体内微量分析装置</p>	<p>生体に影響する有害物質等の計測。高分解能X線検出器の開発、および装置開発。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・
<p>細胞組織と対応した微小部の微量元素分析</p>	<p>生命科学や疾患と環境物質特に微量金属や微量無機物の因果関係は不明なことが多い。アスベストや粉塵、ナノテクが生み出したナノサイズ物質が細胞のどの組織に沈着してどのような影響をもたらすかの探求が必要である</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・森博太郎 (大阪大学) : 人体組織における代謝由来環境由来微量元素のマイクロアナリシス
<p>X線利用の高度化</p>	<p>X線は非常に有用な計測技術であるが、微小部計測は不得意である。日本生まれの革新的技術MCX (マルチキャピラリX線レンズ) により微小部計測技術が飛躍的に向上し、100倍の感度がえられるようになってきている。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・
<p>環境負荷物質のオンサイト計測技術</p>	<p>環境負荷の低い操業プロセス提案を可能とする高感度・オンサイト・分子選択検出技術。環境負荷の低く、かつ生産性の高い製造プロセス構築は喫緊の課題。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・

ものづくりとナノ計測技術

<p>ナノ創製とナノ計測の融合した「アクティブ・ナノ計測技術」</p>	<p>ナノ創製（ものづくり）を推進するためにはナノ創製のメカニズムを明らかにすることが必要である。ナノ創製の環境をナノ計測空間に実現し、ナノ創製をしながら計測・評価をおこなう「アクティブ」な融合技術を開発することが重要である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・森田清三(大阪大学大学院工学研究科教授)：非接触原子間力顕微鏡による室温原子組み立て技術の開発 ・長谷川修二(東京大学大学院理学系研究科教授)：4探針独立制御走査型トンネル顕微鏡によるナノ構造の機能特性評価技術の開発
<p>ナノ機能探索のための極限環境高分解能ナノ計測技術</p>	<p>イノベーションの基盤は、新しい機能発現の探索とそのメカニズムの解明である。特にナノマテリアルの新規機能は極限的な環境において顕著に発現する。それゆえ、極低温・極高真空・強磁場などの極限環境において超高分解能の計測技術を開発することは、新規ナノ機能の発見に最も有効な手段である。また、ノーベル賞級の飛躍的な知の達成には世界最高水準の計測装置が必要不可欠である。</p>	
<p>定量性・再現性・汎用性・信頼性を追求した実用ナノ計測技術</p>	<p>半導体産業などの生産現場において計測装置に求められる必要条件是、信頼性・再現性・汎用性・定量性などである。ナノレベルでの高度計測技術や装置が研究分野のみならず生産現場において実際にものづくりのための評価ツールとして用いられるためには、定量性と信頼性を高める技術開発が必要不可欠である。特にナノテクノロジーにより創製される物質（ナノマテリアル）の形態、機能、状態、組成などを高精度かつ定量的に評価する実用ナノ計測技術の確立と、その国際的な標準化はナノマテリアルの社会受容を促進するためにも、ナノスケールの製造プロセスを確立するためにもキーテクノロジーとなるだろう。</p>	

ものづくりとナノ計測技術（2）

<p>ナノ領域顕微分光</p>	<p>ナノ領域の原子配列構造は、TEMの分解能向上によって原子が見えるようになってきたが、それは投影像であって立体原子配置の情報は得られない。また、薄い薄膜にする必要もあり、ものづくりとリンクした計測は難しい。高輝度光源を用いてナノ微小領域の立体原子配列や電子状態も測定できるシステムの構築が必要である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・大門寛：Stereo-PEEMによる顕微ナノ材料科学 ・越川孝範：PEEMによる顕微ナノ材料科学
<p>電子線を用いた単原子観察方法</p>	<p>半導体デバイスの不純物分布を観察するためには、単一原子の3次元的な分布を知る必要がある。本技術は、タンパク質の立体構造やメタボローム観察にも応用できるため、生物分野においても極めて高いインパクトがある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・末永和知（産業技術総合研究所）：TEM/STEMによる単原子の観察
<p>電子線を用いた形状・寸法検査とプロセスパラメータへのフィードバック方法</p>	<p>ものづくりの最中に、電子線を用いて微細構造観察や測長を行う。この結果を用いて、プロセスパラメータを最適化することにより、製品ばらつきを低減する。</p>	
<p>複合ナノ材料物性発現メカニズム解明のためのプロセス反応・組織観察</p>	<p>鉄鋼材料をはじめとする複合ナノ材料製造プロセスにおける物性発現を観察することで材料構造最適化のみならず製造プロセス最適化を可能とする。 例えば、圧延、熱処理同等負荷下における動的組織・析出物観察技術、また融液、焼結等の高温プロセス、非定常プロセス下で起きている現象の可視化技術など。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・
<p>Siと機能性材料の開発とそのため的高速スクリーニング法の開発</p>	<p>今後のSiデバイスは多様な材料で構成されるが、そのために材料の探索、組成の決定、界面制御などこれまでの半導体産業が経験してこなかった多くの課題を短時間で解決することが求められる。これらの課題解決のためには高速で条件の絞り込みや界面のチューニングを可能にする計測手段の開発が必要である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・上殿明良（筑波大学）：低速陽電子消滅を用いたゲートスタック材料評価
<p>異種分野とSiとの融合に関係する計測データ集の開発</p>	<p>今後のSiデバイスは医療、触媒、センサーなどこれまでの単一機能素子から複数機能素子へと移行する。そのための知識ベースとしての計測結果のデータベース化をすすめるべき。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・木村健二（京都大学工学部）：高分解能RBSを用いたゲートスタック構の原子分布の計測とナノ拡散計測

タンパク質の計測技術

<p>ゲノムネットワーク解明による生命システム理解のための高感度オミックスデータ計測と解析システムの開発</p>	<p>タンパク質の相互作用ネットワーク(タンパク質-タンパク質、DNA-タンパク質、RNA-タンパク質相互作用)から代謝までを含むデータの微量高感度計測を支える計測自動化ロボット開発が所望されている。また、計測機器からはじき出される大量のデータの蓄積は、それらデータの有効利用のための <i>in-silico</i> 高速スクリーニングやネットワーク解析の方法論の確立を必要としている。これらの技術が確立すると、微量サンプルからのネットワーク解析や生命システム理解に基づく創薬開発を実現するための技術へ発展することが期待できる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・林崎 (理研) ・柳川 (慶応大教授)
<p>2次元検出器を用いた高速タンパク質相互作用解析装置の開発</p>	<p>蛍光相関分光法 (FCS) や蛍光相互相関分光法 (FCCS) は一分子レベルの感度でタンパク質相互作用を検出可能な手法であるが、一度に測定できるのが一点だけであり、これまでスループットを上げることは困難であった。近年、CMOS センサーの感度上昇が見込まれるために、これを利用して、高感度 2 次元検出装置を構築し、さらに、マイクロ流路系と組み合わせることにより、微量、高感度、マルチポイント蛍光相関装置を開発することが可能になった。低コスト・高感度 2 次元センサーを利用することにより、FCS や FCCS 以外のさまざまな光検出法 (たとえば、蛍光寿命、ラマン散乱、スペクトル分光など) を利用でき、多彩なパラメータを利用してタンパク質-タンパク質相互作用を検出することが可能となる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・金城 (北海道大学教授)
<p>タンパク質の生成、移動、反応が観測できる高解像度顕微鏡の開発</p>	<p>細胞の機能の解明に関してものの生成、移動、反応を観測できる顕微鏡が開発されれば飛躍的なバイオロジーの発展に寄与する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・藤井 (東工大教授)

Appendix2: 講演資料

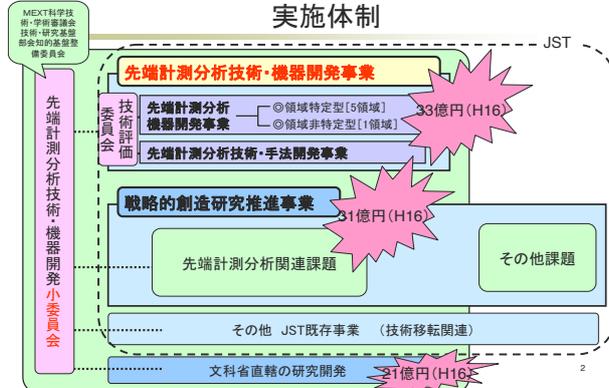
①趣旨説明資料(鯉沼秀臣)	49
②斗内政吉(阪大レーザー研):テラヘルツ波センシング～時間領域分光法を中心として～	52
③川瀬晃道(名大工):テラヘルツ波の発生と応用	56
④大谷知行(理研):テラヘルツイメージングと安心安全への応用	64
⑤三好元介(東大先端研):その場観察技術と親指サイズ SEM の開発	68
⑥藤田大介(物材機構): 走査型プローブ顕微鏡による先端ナノ計測と国際標準化	71
⑦小島勇夫(産総研):先端計測における標準の役割と戦略	75
⑧Mikk Lippmaa(東大物性研):Material informatics	78
⑨知京豊裕(物材機構):ものづくりとハイスループット計測	82
⑩柳川弘志(慶応大):タンパク質を観る、創るためのものづくりとIT	86
⑪大門寛(奈良先端大):ナノ領域の構造と電子状態を解析する立体原子顕微鏡	91
⑫辛 埴(東大物性研):レーザー光電子分光による超高分解能物性測定	98
⑬岸本直樹(物材機構):ナノ物質・材料の創製・計測のための量子ビーム基盤技術	103
⑭茅根一夫(SII ナノテク):産業ニーズに対応した分析装置	108
⑮副島啓義(島津総合科学研):X線を絞る曲げる/X線計測の革新的新技術	113
⑯長我部信行(日立製作所):先端計測器開発プロジェクトへの期待	117
⑰須賀三雄(日本電子):JEOLにおける先端計測への取り組み	120
⑱林俊一(新日鉄):製造業から見た先端計測分析技術ニーズ	124

先端計測新領域の検討

- 先端計測分析技術・機器開発事業の概要
 - 事業の経緯
 - 新領域の検討
- 俯瞰マップの作成
- WSの開催(2006/6/24)

JST-CRDS 井上グループ

先端計測分析技術・機器開発プロジェクト 実施体制



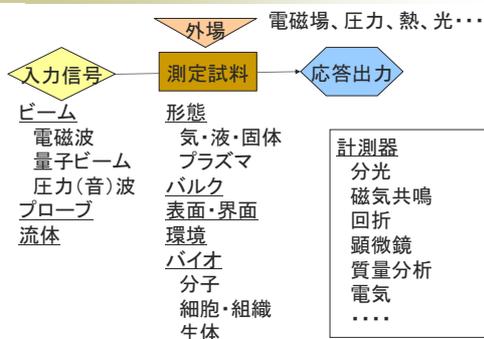
特徴	概算要求提案テーマ、公募テーマおよび採択状況		公募テーマ	
	16年度概算要求テーマ	採択 応募	17年度概算要求テーマ	採択 応募
研究用、無 侵襲	(2) 実験小動物の生体内の代謝の 個体レベルでの解-低侵襲的解析、 可視化	3 /19		
人体、無/低 侵襲(治療 寄り?)	(8) 人体内の臓器、病態、脳の高次 機能などの無-低侵襲、リアルタイム 3次元観察、及び人体中の物質の 無-低侵襲定量分析		(8) 人体内の臓器、病態、脳の高次 機能などの無-低侵襲、リアルタイム 3次元観察、及び人体中の物質の 無-低侵襲定量分析	
ライフ/材料 分析	(6) 単一細胞内の生体高分子、遺伝 子、金属元素等全物質の定量的、 網羅的分析		(6) 単一細胞内の生体高分子、遺伝 子、金属元素等全物質の定量的、 網羅的分析	1 /12
生体、動態 機能	(1) 生体内-細胞内の生体高分子の 高解能動態解析(原子-分子レ ベル、局所-3次元解析)	4 /50		
ナノ: 材料、機能	(4) ナノレベルの物性・機能の複合 計測	3 /31	(10) 機能発現-作動状態下におけ る材料・物質の原子・分子レベルそ の場計測(追加)	1 /15
構造	(3) ナノレベルの物質構造3次元可 視化	1 /24		
材料: 構造	(7) ナノレベルの領域における微量 元素・点欠陥の化学状態及び分布 状態の定量分析(ナノキャラクタリ ゼーション)		(7) ナノレベルの領域における微量 元素・点欠陥の化学状態及び分布 状態の定量分析(ナノキャラクタリ ゼーション)	1 /9
環境 微量、多 成分	(9) 微量の環境物質の直接-多 成分	4 /32		
環境 微量、生 体/環境	(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		(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	
実時間、モニ タリング			(13) 連続情報及び生体応答情報の 実時間多法同時モニタリング(追加)	?
その他 コンピュータ 融合			(12) ハードウェアによる計測限界を 突破するためのコンピュータ融合型 計測分析システム(追加)	?
非特定		3 /74		6 /50
要素技術		11 /292		10 /208

新領域の検討

- 第3期科学技術基本計画
推進分野「ものづくり技術」を設定
 - 「ものづくりのための先端計測機器」開発を推進
- ↓
- ものづくりイノベーション領域の設定
 - 既存の研究開発成果創出領域に加え、「ものづくりイノベーション領域」を設定する必要性

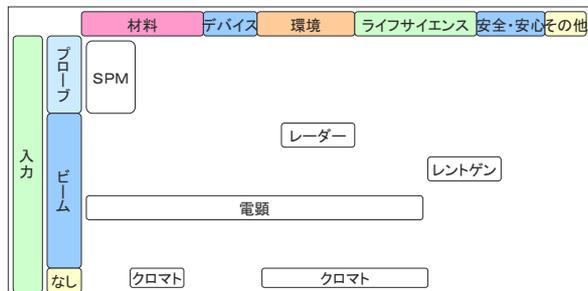
俯瞰マップの作成

- 計測の基本原理の整理



俯瞰図第一案

- 縦軸に入力信号、横軸に計測対象を設定



俯瞰マップの軸

- How (Method): 入力信号(y軸)
- What to measure: 計測対象(x軸)
 - 物質・材料: 組成、構造、物性...
 - デバイス
 - 生体・医療
 - 環境: 地殻、海洋、大気、宇宙
 - 安全・安心: 生体認識
 - その他: 美術工芸品、遺跡、化石

他の切り口

- Where: In situ, ex situ, in vivo, in vitro, 2・3D, Mapping
- When: Static, Dynamic, 高速現象、高速計測
- Who: Auto, Robot
- Why: 安全・安心、予防・修復、先端科学、環境、Energy
- Simulator: 画像処理、パターン認識

先端計測 俯瞰図表 (物質・材料、デバイス分野)

入力/対象	物質・材料										デバイス					
	組成	構造	表面	多層膜	薄膜	機能	組成	構造	気相	液相	薄膜	薄膜	物性	状態	構造	機能
電子デバイス	SEM, STM															
生体・医療	SEM, STM															
環境	SEM, STM															
安全・安心	SEM, STM															
その他	SEM, STM															

俯瞰マップ: 新領域



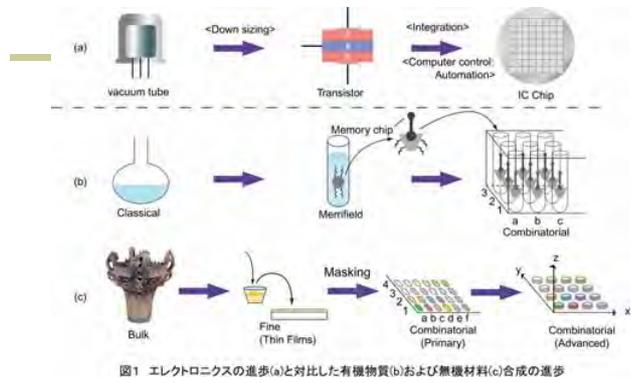
セッション構成

- **先端分光計測と量子ビーム**
 - 大門寛 (奈良先端大) / 辛埴 (東大物性研) / 岸本直樹 (物材機構)
- **テラヘルツ先端計測: 発生、検出、安全・安心とバイオ応用**
 - 斗内政吉 (阪大レーザー研) / 大谷知行 (理研) / 川瀬晃道 (名工大)
- **ものづくり研究開発とハイスループット計測・情報技術**
 - Mikk Lippmaa (東大物性研) / 知京豊裕 (物材機構) / 柳川弘志 (慶応大学理工)
- **先端計測と国際標準**
 - 三好元介 (東大先端研) / 小島勇夫 (産総研) / 藤田大介 (物材機構)
- **分析関連企業から見た先端計測: 国内外のニーズと国際戦略**
 - 茅根一夫 (SIIナノテック) / 副島啓義 (島津総合科学研) / 長我部信行 (日立製作所) / 須賀三雄 (日本電子) / 林俊一 (新日鉄)

ものづくり研究開発とハイスループット計測・情報技術



ものづくり研究開発とハイスループット計測・情報技術 (2)



○先端計測と国際標準

- 産業応用(ものづくり)のためには不可欠
- 標準化が必要となる計測技術
 - バイオ、ナノテクなど最先端計測技術
 - 環境、リサイクル、省エネルギー、IT化等
社会ニーズに応える計測技術
- 戦略が重要

13

テラヘルツ波センシング ~時間領域分光法を中心として~

斗内政吉

大阪大学レーザーエネルギー学研究中心

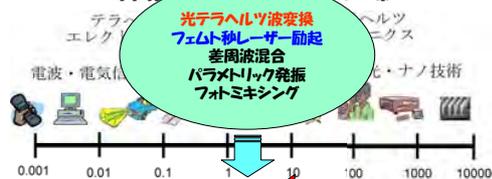
tonouchi@ile.osaka-u.ac.jp

なぜテラヘルツか?

1THz ~ 1ps ~ 300μm ~ 4meV ~ 50K
(30THz ~ 33fs ~ 10μm ~ 120meV ~ 1400K)

1. THzイメージングなどによる新しいセンシング技術の創製
エネルギーは生体の「ゆらぎ」エネルギーに近く、X線などに比べて安全
様々な有機分子識別のための指紋領域
-> バイオ・生体・セキュリティ・非破壊検査への展開
2. 大容量情報通信を目指した技術革新基盤を提供
次世代電子材料のテラヘルツ波物性評価 -> 極限デバイスの開発
テラヘルツデバイスの開発 -> 10Gbps超の無線技術、100GHz超の論理回路
3. 新しいサイエンスの創成
固体物理学における本質的電荷相互作用の解明
-> 新しい物理(量子化過渡現象)の誕生
4. 先進国としての社会貢献技術基盤の形成
高感度テラヘルツ波センサーやテラヘルツ波システムの開発
-> 環境観測・電波天文・テラヘルツ標準等

未開拓電磁波帯域のテラヘルツ帯



THz開拓



光テラヘルツ波変換

テラヘルツ波発生原理

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = \mu \frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t}$$

電流変調と非線形効果

$$\frac{\partial \mathbf{J}}{\partial t} = \frac{\partial^2 (\mathbf{P}_J + \mathbf{P}_{NL})}{\partial t^2}$$

注: P_J(t)分極ベクトル

電流変調

放射源

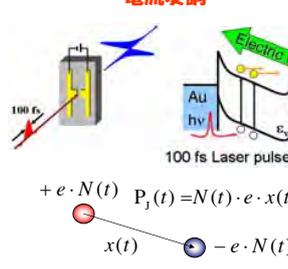
非線形効果

光整流・差周波混合

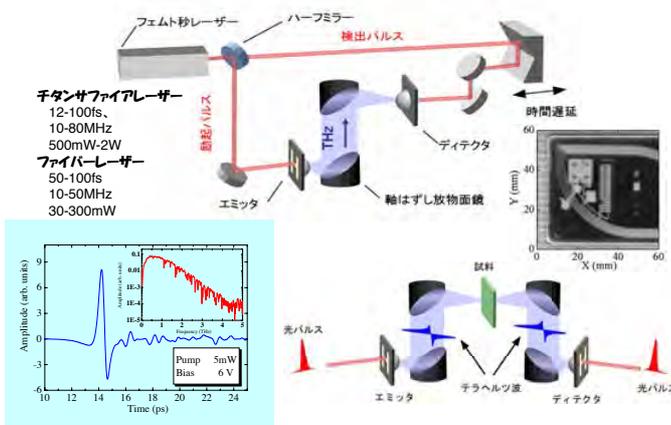


$$P_{NL}(t) = \chi^{(2)} \sum_n \sum_m E_n E_m e^{-j(\omega_n - \omega_m)t}$$

パラメトリック発振



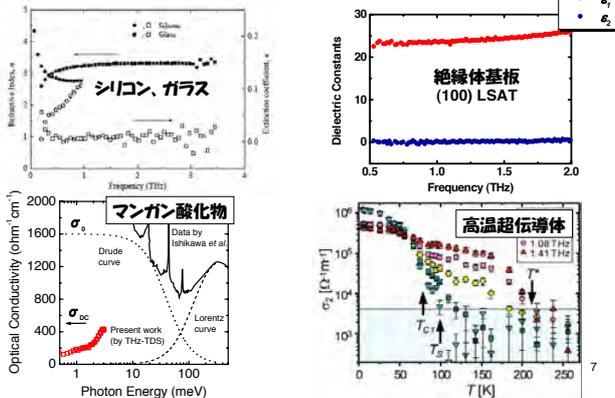
時間領域テラヘルツ波分光・イメージングシステム



光テラヘルツ波変換のまとめ

方式	時間領域		周波数領域		
	電流変調	差周波混合	差周波混合	パラメトリック	電流変調 (Photomixing)
THz源	LT-GaAs 半導体表面 (InSb, InAs)	非線形結晶 (DAST, ZnTe, GaSe, GaAs)	非線形結晶 (GaP, DAST)	LiNbO ₃	LT-GaAs
光源	フェムト秒レーザー Ti:Sapphire laser, fiber laser		ナノ秒パルス (Nd:YAG)	ナノ秒レーザー μChipレーザー	CWレーザー (800nm帯および1.5μm帯)
検出	光スイッチ・EOサンプリング		ボロメーター・DTGS		
バンド	0.1 ~ >100THz		0.2 ~ 30THz	0.5 ~ 3THz	0.1 ~ 3THz
特徴	複素パラメータの同時決定・ 超広帯域・ダイナミック計測		高出力・広帯域	高出力・高分解能 ・変調の可能性大	高分解能・小型 ・変調

さまざまな電子材料分析



テラヘルツ時間領域分光法による
電子物性評価のバリエーション

一般的なTHz-TDS
THz Time Domain Spectroscopy (THz-TDS)

THz波の透過・反射特性から物性を科学的に評価する。低エネルギー状態の静的物性を評価する。

THz 放射TDS
THz Emission TDS

対象物質からの光励起THz波放射現象を観測し、その発生時の物性を科学的に評価する。準静的評価。

光励起型THz-TDS
Optically-Pumped THz-TDS

光励起後の対象物質をTHz-TDSにより物性を評価する。光励起と連動させることでダイナミックな物性を研究する。

光励起型THz放射TDS
Optically-Pumped THz Emission TDS

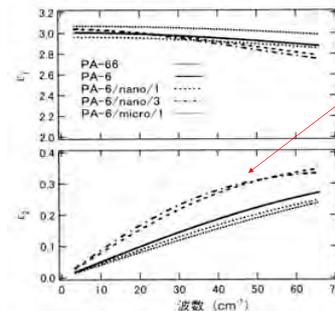
光励起後の対象物質からのTHz放射特性を観測する。光励起と連動させることで、高電界下の電荷の動きなどをダイナミックに追跡できる。

テラヘルツ分光法の適用分野と得られる情報

永井直人: 光学 Vol.34, No.9, 465 (2005).

対象材料・分野	期待される情報
半導体(シリコン, 化合物)	不純物(ドナー, アクセプター), 局在モード, 格子振動 プラズマ振動(キャリア密度, キャリア散乱)
LSI	配線故障解析
有機半導体(有機EL, 太陽電池)	プラズマ振動(キャリア密度, キャリア散乱)
セラミックス	誘電率, 格子振動, ソフトフォノンモード
超伝導体	電気伝導, 超伝導ギャップ
液体, 溶液, 水分	分子のダイナミクス, 吸着
ポリマー	誘電率, 配向特性, 分子鎖間相互作用
ナノコンポジット	マトリックス, ナノ微粒子相互作用
医薬品	結晶多形, 構造解析, 医薬品識別
バイオ	構造解析, 分子間相互作用
セキュリティ	禁止薬物診断, 爆薬診断

ポリマー系ナノコンポジット評価



ナノ粒子を分散させてナノコンポジットを形成すると誘電率の虚数部がドラスティックに変化する

ポリアミド6/モンモリロナイト系ナノコンポジット

N. Nagai, T. Imai, R. Fukasawa, K. Kato and K. Yamauchi, Appl. Phys. Lett. **85**, 4010 (2004).

テラヘルツ分光法の応用

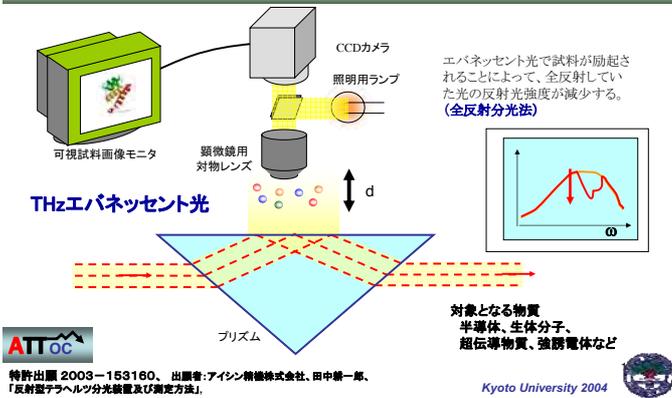
アプリケーション I

- 生体・バイオ**
グルタミン酸・アルブミン
- 医薬品分析**
- 有機材料の分析**
- 結晶多形**
- 錠剤の破壊検査**
- 水の微量センシング**

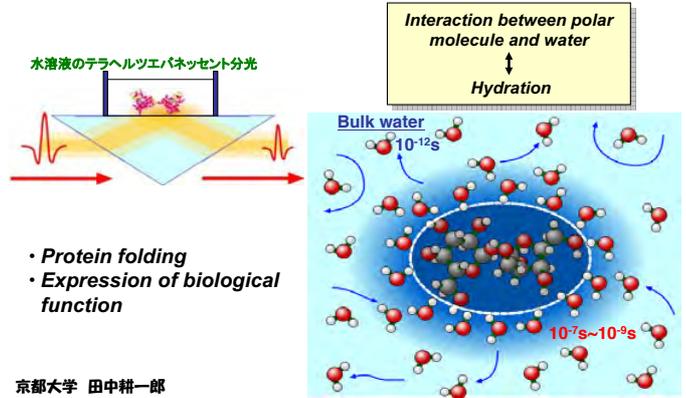
アプリケーション II

- 結晶多形**
- 水の分析**
- 水の微量センシング**
- 様々な電子材料**

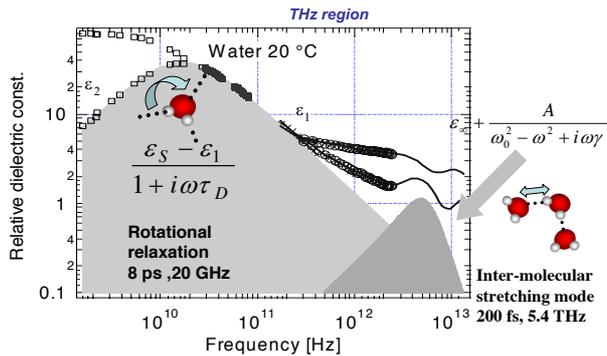
THz-TD-ATR (テラヘルツ時間領域全反射減衰分光)



Hydration of polar molecule in water



Complex dielectric constants in water



[1] M. N. Afsar and J. B. Hasted, L. Opt. Soc. Am., 67 (1977) 116.
[2] H. R. Zelsmann, J. Mol. Str., 350 (1995) 95.

京都大学 田中耕一郎
Kyoto University 2006

Institute of Laser Engineering Osaka University
大阪大学レーザーエネルギー学研究中心

tonouchi@ile.osaka-u.ac.jp

光励起型THz-TDS Optically-Pumped THz-TDS

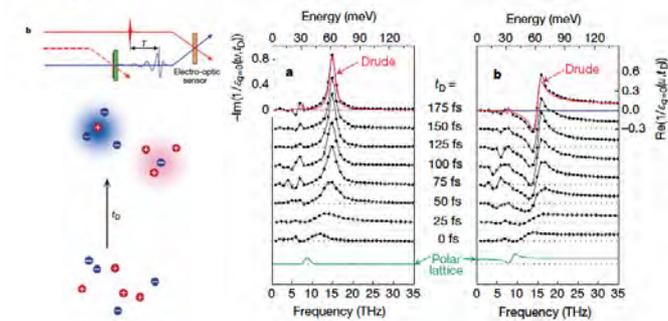
光励起後の対象物質をTHz-TDSにより
物性を評価する。光励起と連動させる
ことでダイナミックな物性を研究する。

16

Institute of Laser Engineering Osaka University
大阪大学レーザーエネルギー学研究中心

How many-particle interactions develop after ultrafast excitation of an electron-hole plasma

R. Huber*, F. Tassler*, A. Brodschtein*, M. Bichler†, G. Abstreiter†
& A. Leitenstorfer*

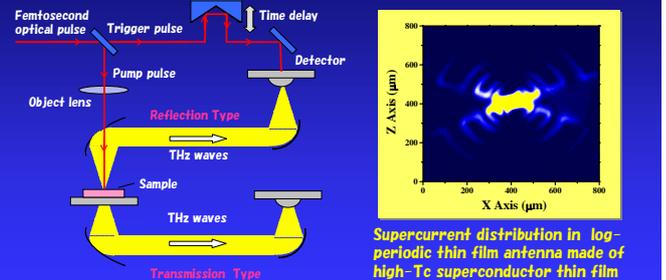


NATURE | VOL 414 | 15 NOVEMBER 2001 | 286

Institute of Laser Engineering Osaka University
大阪大学レーザーエネルギー学研究中心

Laser Terahertz Emission Microscope (LTEM)

Transmission type image
(x component)



Supercurrent distribution in log-periodic thin film antenna made of high-Tc superconductor thin film (Transmission type)

Tonouchi et al. J. Appl. Phys. 87(2000) 7366.

Examples of LTEM images

Vortex letters inscribed in high-Tc superconductive thin film

M. Tonouchi et al., JJAP, 44(2005)7735.

Ferroelectric domain observation

Takahashi et al., Phys. Rev. Lett. 96(2006)117402

Mos Technology: MPU 6502

Yamashita, et al., Op.f. Exp. 13(2005)115.

Scanning Probe Terahertz Emission Microscope

Sample

Inoue, et al. submitted to JJAP

テラヘルツイメージングと安全安心応用

バイオ・生体・医療・医薬品検査応用

工業・産業応用

宇宙・環境計測

テラヘルツイメージングは、様々なセンシング機能を有し、危険物・禁止薬物検査・届薬物検査など、セキュリティ分野における応用が期待されている。

テラヘルツ分光イメージングは、医薬品結晶多形、分子間相互作用、水素結合評価、成分検査など、様々な新しい分析応用が期待されている。

医療・食品

医薬品検査

バイオメトリクス

半導体・LSI検査

環境・社会基盤

産業応用・標準

基礎科学・宇宙

斗内政吉「テラヘルツ技術」(オーム社、2006)

分光分析ロードマップイメージ

テラヘルツ分光・イメージング応用技術ロードマップ

研究課題	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
危険物検査											
バイオメトリクス											
食品検査											
半導体・LSI検査											
環境・社会基盤											
産業応用・標準											
基礎科学・宇宙											

斗内政吉「テラヘルツ技術」(オーム社、2006)

まとめ

取り組むべきテラヘルツ研究開発項目

分野	課題
情報通信	テラビット光通信、テラヘルツ無線通信、超高速情報処理システム、テラヘルツITデバイス、高周波計測機器、テラヘルツセンサ・カメラ、センサーネットワーク、バイオメトリクス、衛星間通信、移動無線通信システム、器機EMC
バイオ・生体・医療・薬品	がん診断・イム/アッセイ・結晶多形検査など各種専用分析・計測機器、バイオ・生体・医薬品データベース、分子構造解析、医療現場オンサイトイメージング分析システム、EMC、医療応用のためのテラヘルツ-FEL
セキュリティ・環境・社会基盤	危険物・郵便物検査システム、セキュリティ関連物質データベース、テラヘルツセンサ・カメラ、バイオメトリクス、環境分析システムならびに環境物質データベース、衝突防止車載センサ・道路環境モニタリングなどの交通安全技術、車載IT基地局、災害時の移動無線通信システム、QCLを用いたガス分析技術
産業応用・標準	産業応用分析・イメージング装置、テラヘルツカメラ、ナノ工業材料分析装置、半導体・電子材料評価装置、LSI不良解析システム、農作物育成管理システム、食品検査・管理機器開発、食品・植物関連データベース、パワー・周波数など各種テラヘルツ標準、EMC
基礎科学・宇宙	高機能テラヘルツ分光イメージング装置、テラヘルツデバイス、高機能テラヘルツ-FEL開発、量子雑音極テラヘルツセンサ・イメージャ、テラヘルツ高周波発振器、分子構造解析応用、探索的応用研究、各種データベース

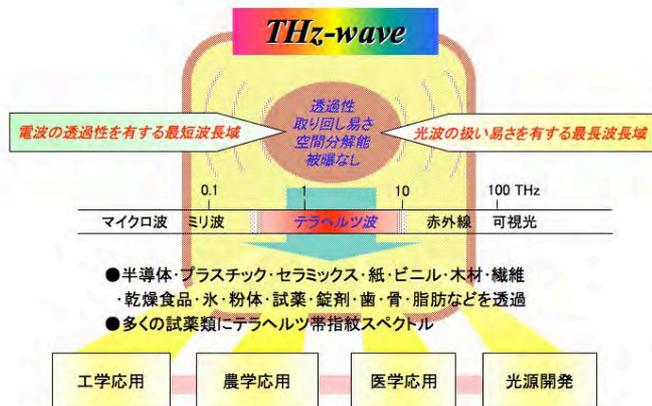
斗内政吉「テラヘルツ技術」(オーム社、2006)

③川瀬晃道(名大工):テラヘルツ波の発生と応用

**テラヘルツイメージングと
新産業展開**
名古屋大学大学院工学研究科
理化学研究所
川瀬晃道

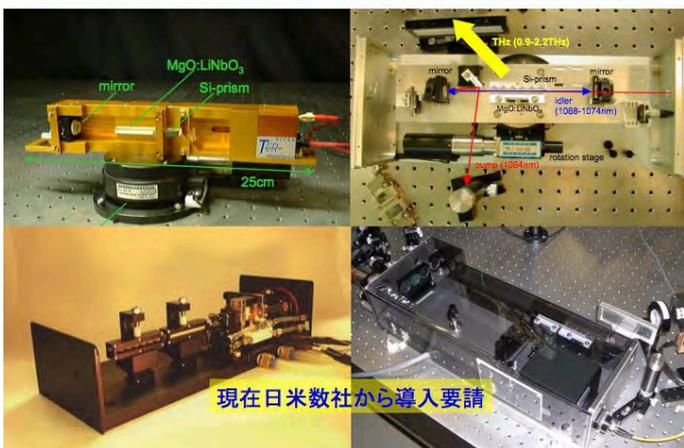
THz波の特長
THzパラメトリック光源
THzイメージング
種々の応用可能性

Sulca
IF UNDELIVER
RIKEN
2-1 Hiroswa
Aspirin
BY AIR
Methamphetamine

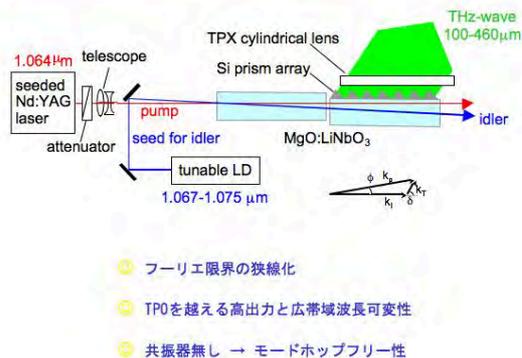


2

開発した卓上型テラヘルツ波パラメトリック光源



光注入型テラヘルツパラメトリック発生器(is-TPG)



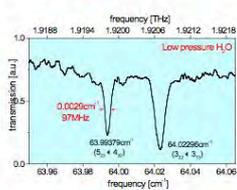
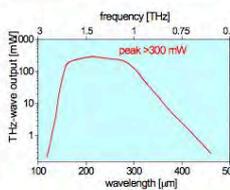
4

光注入型テラヘルツパラメトリック発生器(is-TPG)



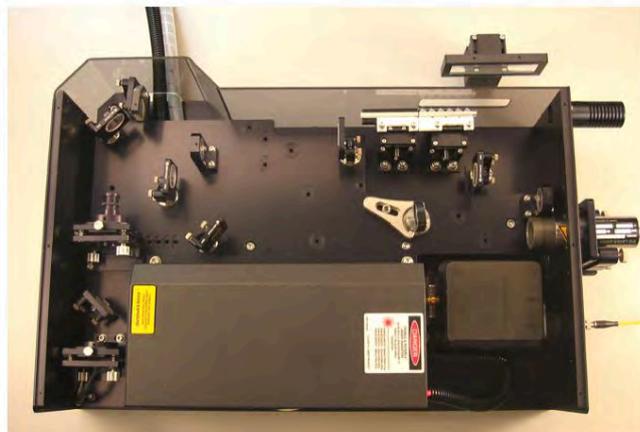
波長可変域: 0.6~2.6THz
120~460 μm
ピーク出力: ~ 300mW
パルス幅: ~ 5ns
繰返し: ~50Hz

自由電子レーザー等
の既存光源に比べ
小型簡便で実用的

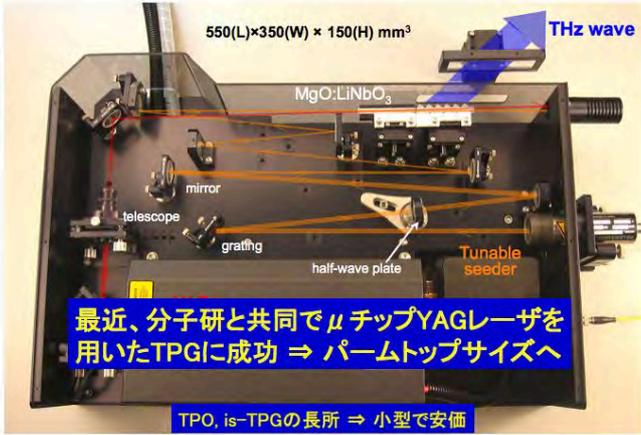


5

All-in-one is-TPG



All-in-one is-TPG

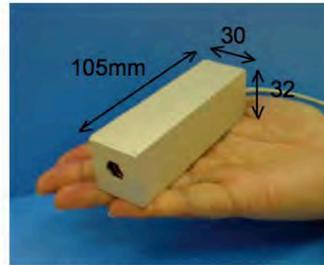


最近、分子研と共同でμチップYAGレーザを用いたTPGに成功 ⇒ パームトップサイズへ

TPO, is-TPGの長所 ⇒ 小型で安価

LD励起受動QスイッチNd:YAGマイクロチップレーザ

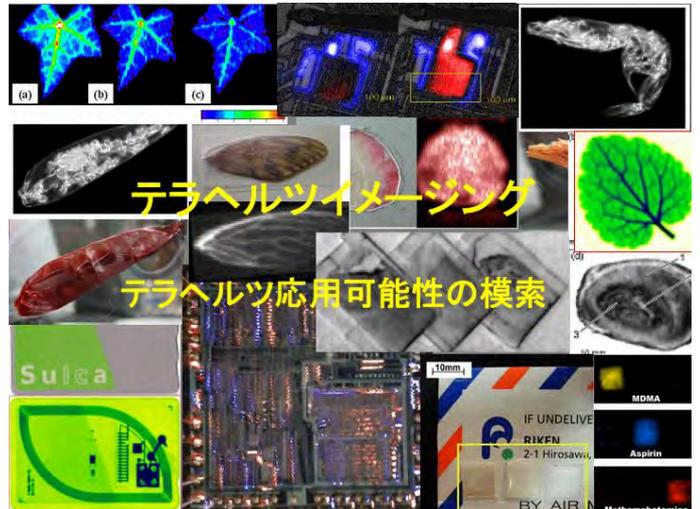
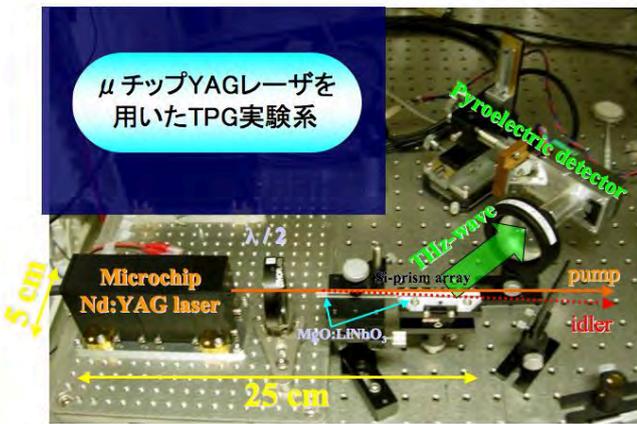
既存の単一縦モードNd:YAGレーザ(1.5m長)に比べはるかに小型



スペクトル幅: < 0.009 nm
出力: 960 μJ/pulse
最大尖頭値: 1.7 MW
パルス幅: 480 ps
横モード特性: $M^2 < 1.05$
繰返し: 100 Hz

Nd:YAGマイクロチップレーザの外観 (浜ホトと分子研の共同開発)

μチップYAGレーザを用いたTPG実験系



小袋のヒートシール部の欠陥検出



フレキシブル包装袋

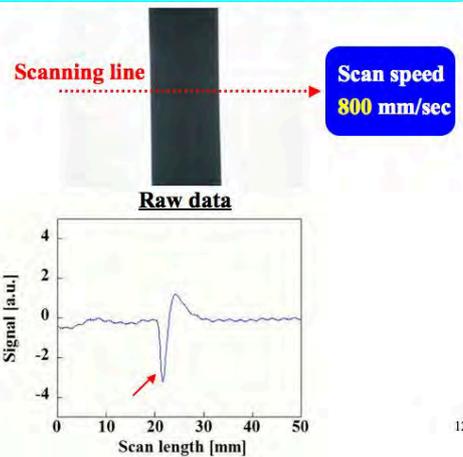
<特長>

- ・携帯性
- ・ゴミの減容化
- ・製造が容易
- ・低コスト

製造時におけるヒートシール部の欠陥(Micro-Leaks)の発生により、安全性・衛生の面から問題となる

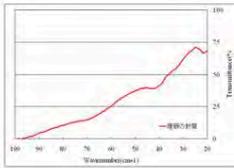
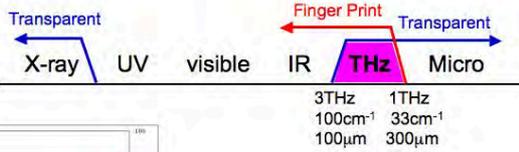
← 水分(液漏れ)に敏感なTHz波により検出が可能

実験結果 (Water-filled, Wire φ100μm)



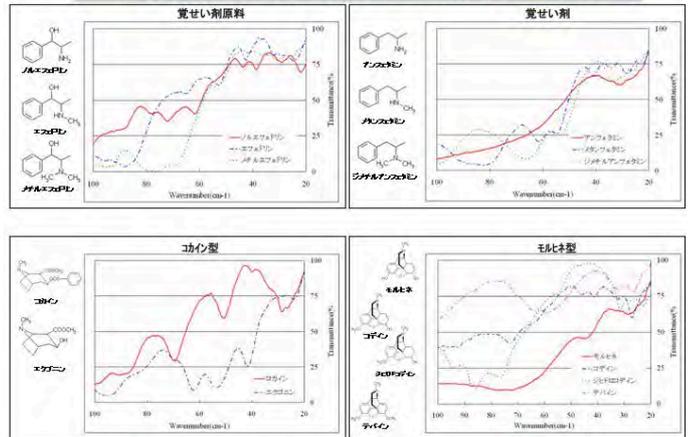
透視には 0.5 – 3 THz がよい?

0.5-3 THz 帯は物体の非破壊検出に適する
殆どの指紋スペクトルが0.5THz以上の領域に存在
多くの物質が 3THz以下の領域で透明



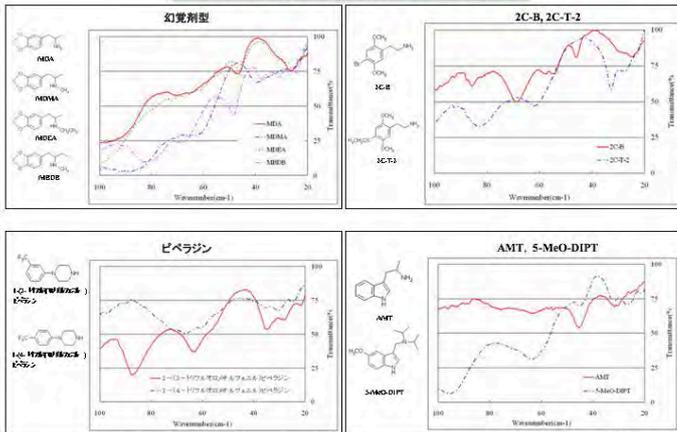
0.5-3THz はTPO, is-TPG, TDSの可変域!

代表的禁止薬物等20種類全てに指紋スペクトル



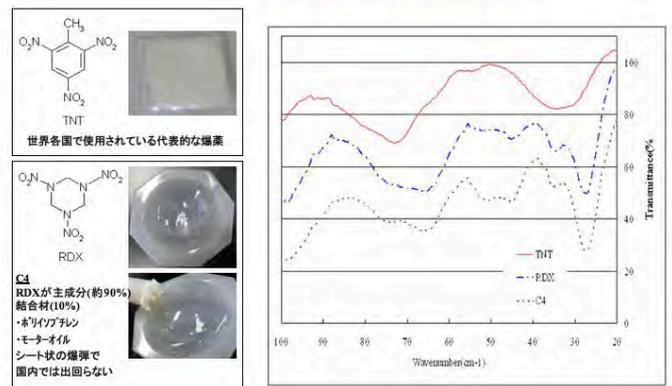
禁止薬物類は主成分分析などで十分識別可能。

禁止薬物等の指紋スペクトル

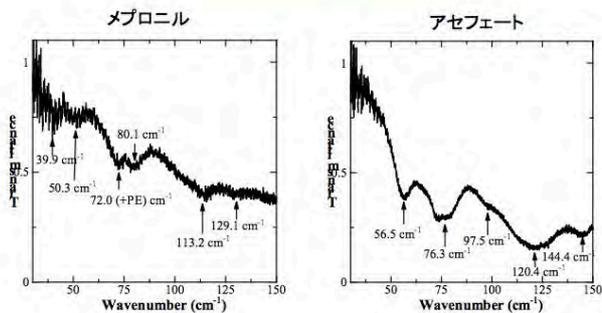


重要な点: 紙などを良く透過する100cm⁻¹以下の領域の指紋スペクトル

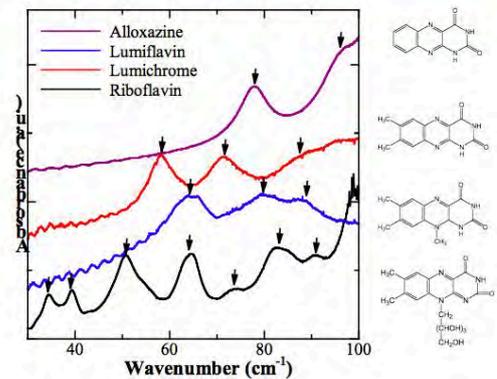
代表的な爆薬指紋スペクトル



農薬のTHz帯指紋スペクトル例



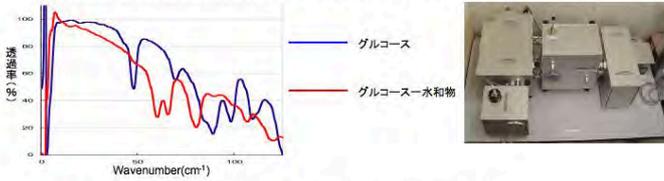
ビタミン類のTHz帯指紋スペクトル例



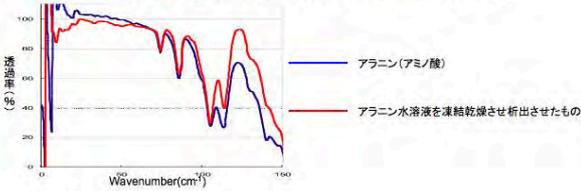
データ: 理研PDC伊藤チーム

テラヘルツ分光による食品成分の分析

【糖類】グルコースとグルコースに水1分子が付加したグルコース水和物ではスペクトルが全く異なる
⇒糖は水との結合力が強い為、水溶液を凍結乾燥するとスペクトルが変わる

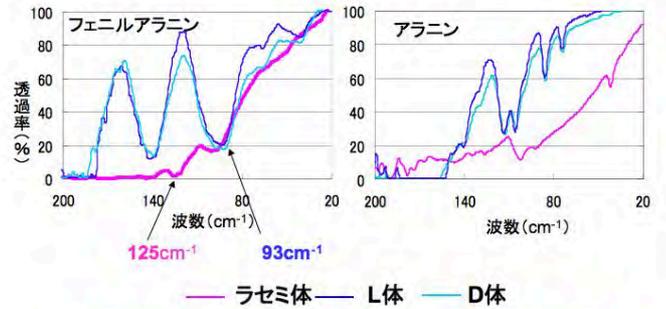


【アミノ酸やビタミン】水溶液を凍結乾燥後にスペクトルがほぼ変わらない



19

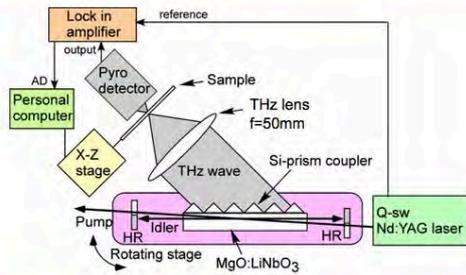
鏡像異性体とラセミ体のスペクトル比較



鏡像異性体とラセミ体の判別可能

20

THz波パラメトリック発振器(TPO)を用いた分光イメージングシステム

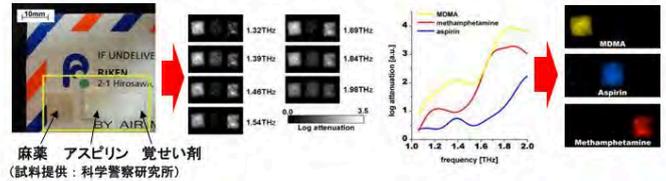


TPOの広帯域波長可変性 + 指紋スペクトル = 主成分分析法を用いたテラヘルツ分光イメージング

21

封筒中の禁止薬物の非破壊検出

現在わが国で最も乱用されている覚せい剤メタンフェタミン（通称ヒロポン）、および世界的に乱用が拡大している合成麻薬MDMA（d-メチレンジオキシメタンフェタミン、通称エクスタシー）、および比較対照としてのアスピリンの3種。

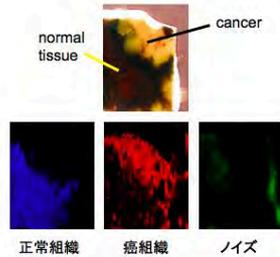
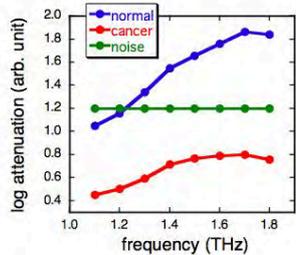
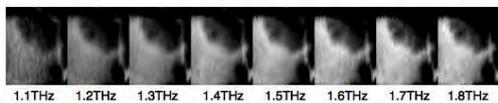


麻薬 アスピリン 覚せい剤
(試料提供：科学警察研究所)

初めて郵便物中の試薬の非破壊検出・同定が可能に

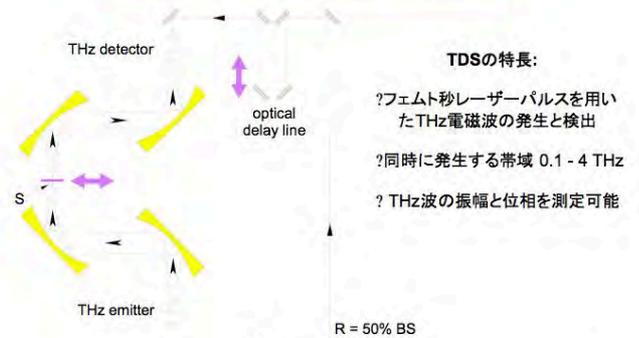
22

テラヘルツ分光イメージングによる癌診断可能性



23

THz時間領域分光法 THz time-domain spectroscopy (TDS)

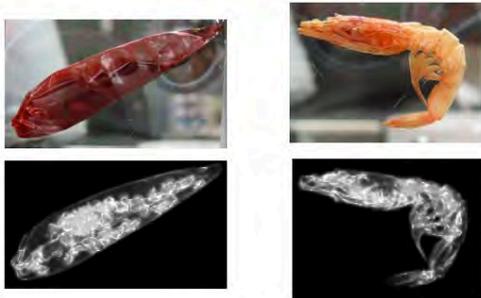


TDSの特長:

- ?フェムト秒レーザーパルスを用いたTHz電磁波の発生と検出
- ?同時に発生する帯域 0.1 - 4 THz
- ? THz波の振幅と位相を測定可能

24

理研と栃木ニコンが共同開発した
テラヘルツ分光イメージング装置による測定例



1THz付近での吸光度

25

TDS分光イメージングシステムを用いた
封筒内薬物の非開披イメージング

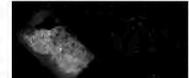


codeine cocaine sucrose
(60 mg each)

通常のTDSイメージング



主成分分析による画像抽出



codeine



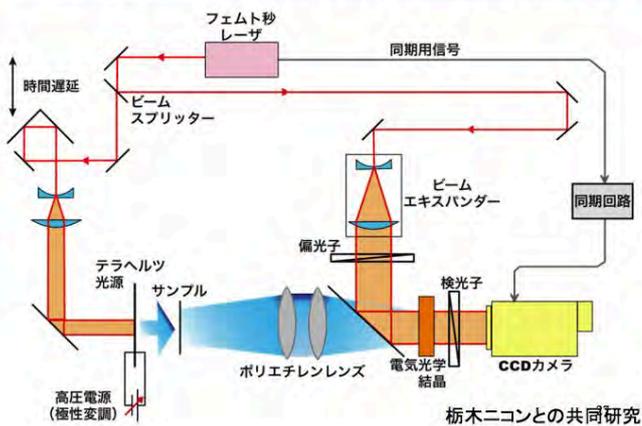
cocaine



sucrose

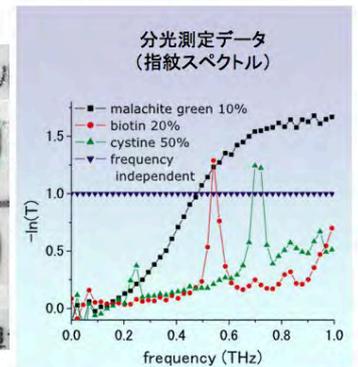
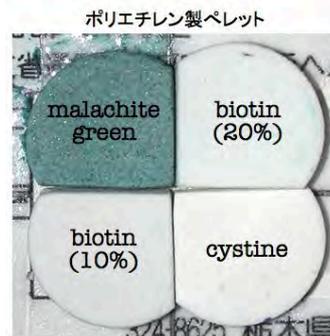
26

CCDカメラを用いたテラヘルツ分光イメージングの高速化



栃木ニコンとの共同研究

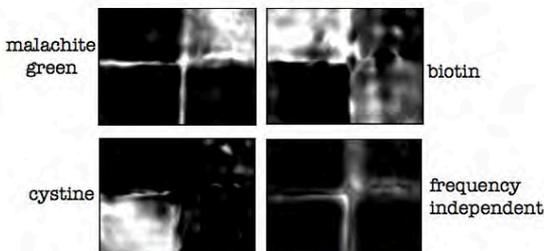
測定サンプル



frequency-independent成分を導入

空間分布抽出結果

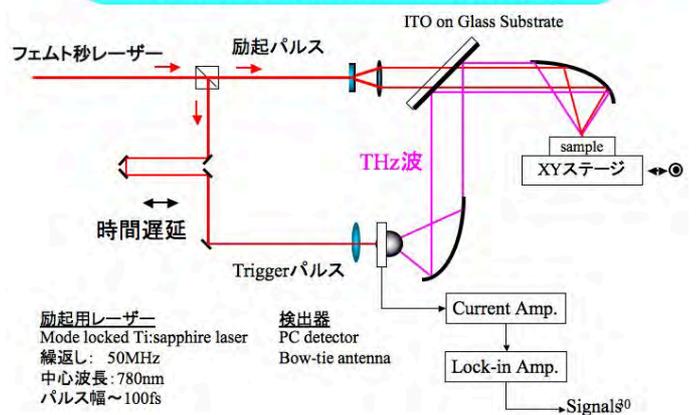
0.23THzから0.92THzまでの分光画像計32枚使用し
指紋スペクトルで主成分分析した。



空間分布抽出可能

29

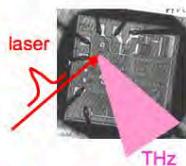
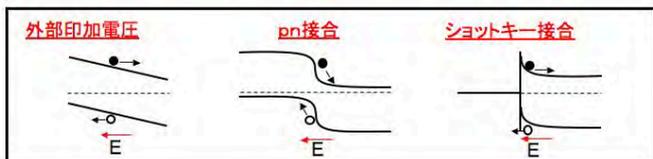
レーザーTHz放射顕微鏡
LTEM (Laser THz Emission Microscope)



励起用レーザー
Mode locked Ti:sapphire laser
繰返し: 50MHz
中心波長: 780nm
パルス幅~100fs

検出器
PC detector
Bow-tie antenna

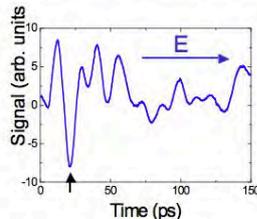
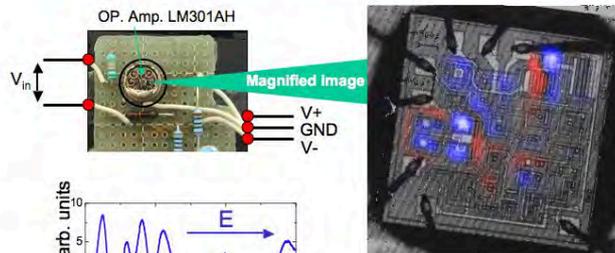
LSIからのTHz波放射の機序



- THz波放射は内部電界が存在する領域から生じる
- THz波放射強度はレーザー照射領域の局所電界に比例する

31

オペアンプのLTEM画像

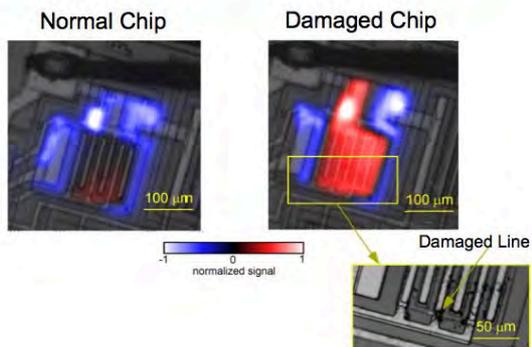


THz放射の時間波形

赤/青 ⇒ THz放射振幅の正/負
⇒ 局所電界方向

32

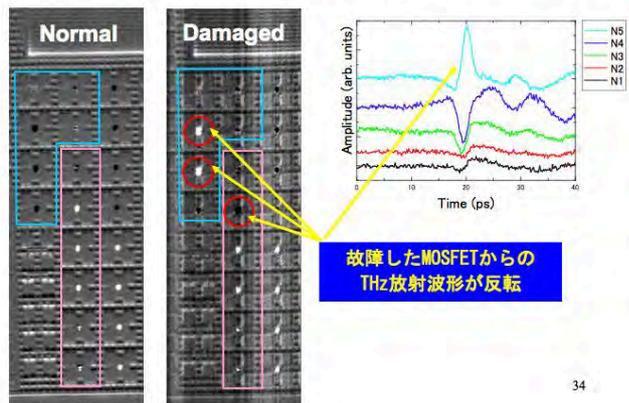
オペアンプの断線評価



33

故障したMOSFETのLTEM像

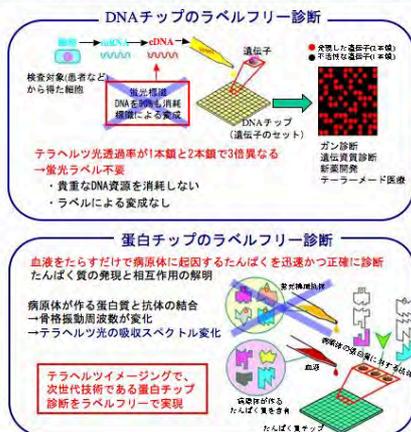
LSI failure can be detected by comparing LTEM images of damaged chip to normal chip.



故障したMOSFETからのTHz放射波形が反転

34

DNA・タンパクチップの蛍光ラベルフリー診断の可能性



35

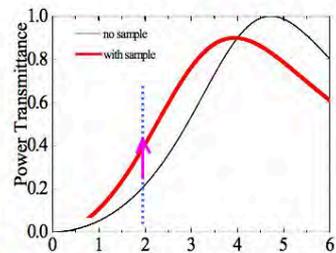
薄型金属メッシュセンサー原理

メッシュ開口近傍の屈折率による入射波の位相速度変化

バンドパス特性変化

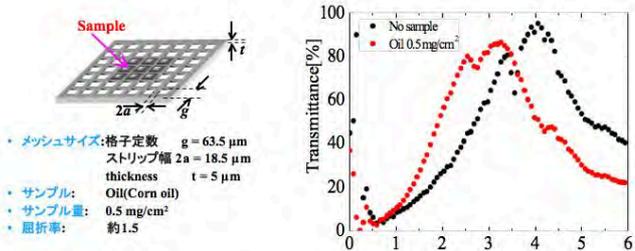
低周波側で透過率上昇

簡便な複素屈折率に反応するセンサーとなる



36

サンプル定着薄型金属メッシュの分光測定

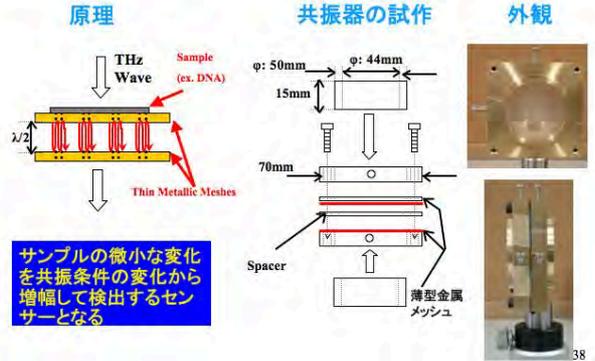


- メッシュサイズ: 格子定数 $g = 63.5 \mu\text{m}$
ストリップ幅 $2a = 18.5 \mu\text{m}$
thickness $t = 5 \mu\text{m}$
- サンプル: Oil (Corn oil)
- サンプル量: 0.5 mg/cm^2
- 屈折率: 約 1.5

- サンプルの屈折率によりバンドパス特性がシフト

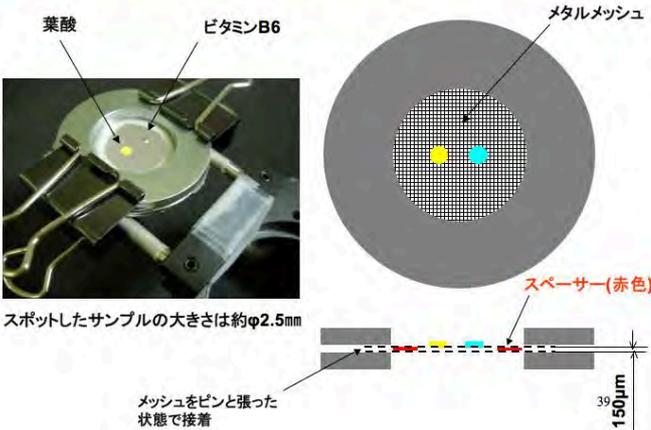
37

共振器構造による高感度化の検討

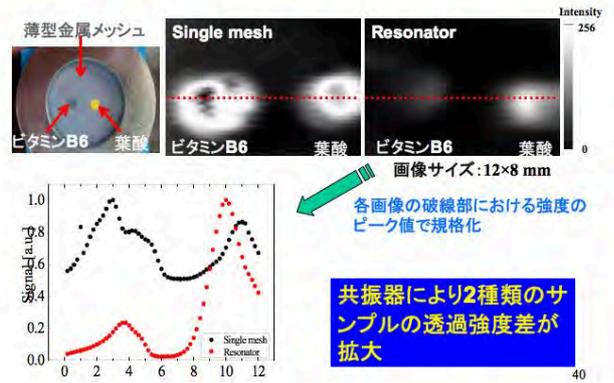


38

メタルメッシュを用いたバイオセンサーの可能性



メタルメッシュを用いたバイオセンサーの可能性



40

米国の状況

●DARPAは、テラヘルツイメージングに関するプロジェクト(TIFT: Terahertz Imaging Focal-plane-array Technology)を昨秋開始した。開発目標は常温動作の小型高感度テラヘルツカメラで、小型センサーアレイでビデオレートでの撮像が可能なこと。

プロジェクトの狙いのひとつは自爆テロリスト(Suicide Bomber)の摘発で、爆薬を服の下などに隠していないかを安全距離である30m程度手前からテラヘルツ光の高出力光源と高感度カメラを組み合わせたリモートセンシングシステムで判別する。

●NASAはスペースシャトルの外壁タイル内部の欠陥検査用にテラヘルツイメージングシステム5台をPicoMetric社から購入し、既に実用に供している。NASAがこの目的で様々な非破壊検査技術を試験した結果、テラヘルツイメージングが最も高確度でタイル内部の欠陥を検出したため急遽採用された。

42

医学用のTHzイメージングシステムを開発するEU5カ国の共同プロジェクト

TERAVIS10^{THz}

プロジェクトの目的

- THz波放射源の改良
- THz波検出およびイメージング計測技術の改良
- THzイメージングと既存のX線および超音波イメージングとの比較
- 医療関係および企業へのTHzイメージング技術の提供

プロジェクトの構成

- Univ. of Leeds イギリス
- Femto Laser Productions GmbH ドイツ
- Johann Wolfgang Goethe Univ. ドイツ
- Technical Univ. of Delft オランダ
- Tera View Ltd イギリス
- Technical Univ. of Wien オーストリア

Tera-Nova Project

ドイツ
Tera-Tech Project
Tera-Sec Project

THz波と生体の相互作用の調査、およびTHzイメージングの開発を行うEU5カ国の共同プロジェクト

プロジェクトの目的

- 生体システム、細胞膜、染色体、DNAとTHz波の相互作用を調査
- 生命活動に対するTHz波の機能上あるいは形態上の影響を調査
- THzイメージングの開発と生物学的あるいは生医学的応用

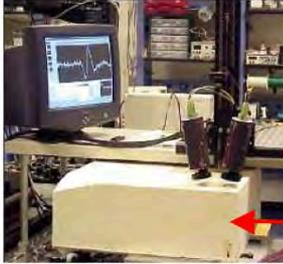
プロジェクトの構成

- Tohiba Research Europe イギリス
- Univ. of Nottingham イギリス
- Forschungszentrum Rossendorf-Dresden ドイツ
- Stuttgart Univ. ドイツ
- J.W. Goethe Univ. ドイツ
- Tel-Aviv Univ. イスラエル
- ENEA-Centro Ricerche Frascati イタリア
- CEmB イタリア
- National Hellenic Research Foundation ギリシャ



THz-BRIDGE

THz Imaging Uncover Defects in Space Shuttle Foam Sample



Sample of the foam used on the external tank of the space shuttle Columbia

- NASA purchased five systems from Picometrix Inc., and examined the insulating foam for fuel tank by this nondestructive method.
- This inspection process is of vital importance as it lies on NASA's critical path for space shuttle's return to flight.

43

共同研究者に感謝致します
 理研 大谷知行、山下将嗣、林伸一郎、
 佐々木芳彰、牧謙一郎
 東北大 小川雄一、水野麻弥
 理科大 進藤賢治、渋谷孝幸、中島佐知子
 理研PDC 伊藤弘昌、南出泰亜、碓智文
 阪大 斗内政吉、紀和利彦、井上亮太郎
 科学警察研究所 井上博之、金森達之
 分子研 平等拓範
 Kaiserslautern Univ. R. Beigang, M. Theuer
 キヤノン 尾内敏彦、笠井信太郎
 エスアイ精工 山下雅弘
 浜松ホトニクス 酒井博、菅博文
 栃木ニコン 福島一城、深澤亮一
 NECエレクトロニクス ニ川 清
 NTT 永妻忠夫、枚田明彦

④大谷知行(理研):テラヘルツイメージングと安心安全への応用



テラヘルツイメージングと安心安全への応用

(独)理化学研究所
テラヘルツイメージング研究チーム
Terahertz Sensing and Imaging Laboratory
大谷 知行

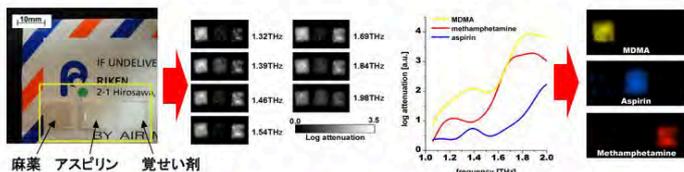
Outline

- テラヘルツ波の安全安心分野への応用
違法薬物・危険物質の非開披探知装置の開発
(文部科学省 科学技術振興調整費 (H16-18))
- 高性能テラヘルツ波検出器の開発
超伝導検出器アレイの開発
超伝導信号処理回路
- テラヘルツ応用可能性と次世代デバイス
イメージングにより実現する応用可能性
量子井戸構造を用いた光源・検出デバイス

2

封筒中の禁止薬物の非破壊検出

現在わが国で最も乱用されている覚せい剤メタンフェタミン（通称ヒロポン）、および世界的に乱用が拡大している合成麻薬MDMA（*dl*-メチレンジオキシメタンフェタミン、通称エクスタシー）、および比較対照としてのアスピリンの3種。



麻薬 アスピリン 覚せい剤

- 初めて郵便物中の試薬の非破壊検出・同定が可能に
- 初めてテラヘルツ波の実用性を明確に示した

3

封筒によって輸送される禁止薬物などの同定

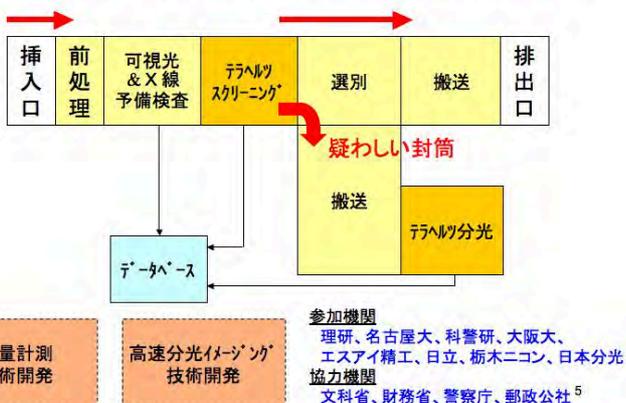


インターネットの普及により
禁止薬物が流通・検挙される
事例が急増

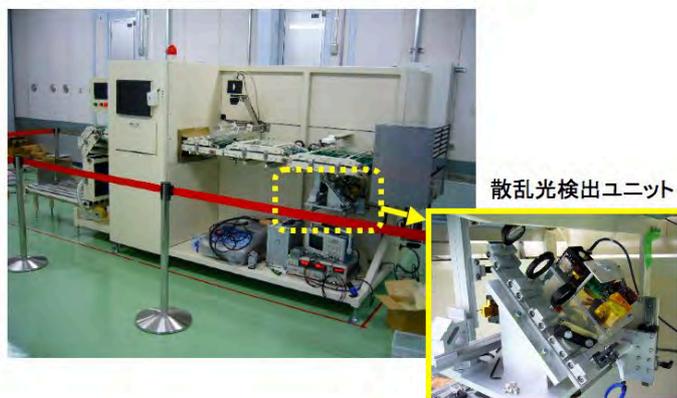
大量の郵便物を高速処理するシステム開発が必要

4

「違法薬物・危険物質の非開披探知装置の開発」

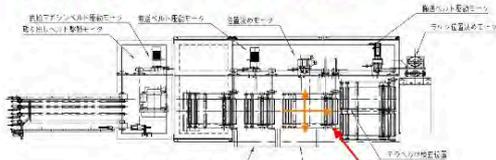


スクリーニング装置

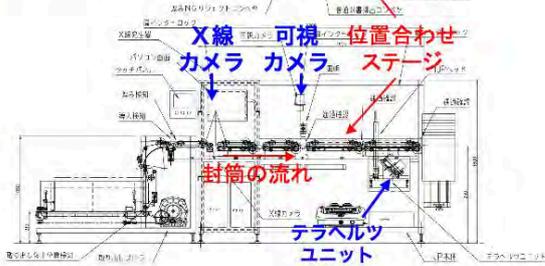


スクリーニング装置

上から見た図

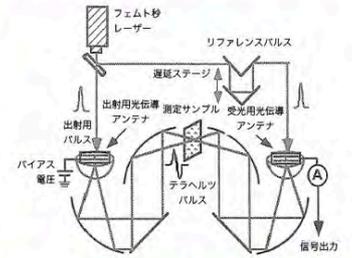


横から見た図



第2段階 (テラヘルツ分光) 検査技術の開発

テラヘルツ波分光システム



光学測定部 制御・データ処理部

テラヘルツ時間領域分光法 (THz-TDS)

高精度・高分解能のテラヘルツ分光を実現

8

テラヘルツ波による物質透視イメージング

JR Suicaの透視画像



可視光のイメージ THz波イメージ

Dobroiu et al., *Applied Optics* 43, 5367 (2004)

新たなイメージング応用の可能性

9

テラヘルツ帯検出器の性能比較

	高感度	広帯域	大規模アレイ	理論的検出限界 NEP	高速応答 応答時間	ダイナミックレンジ
SISミキサ (ヘテロダイン検出)	○	×	×			
半導体ポロメータ	○	○	▲	10^{-17}	~msec	10^5
超伝導ポロメータ (TES)	○	○	○	10^{-18}	~100μs	10^4
STJ検出器 (直接検出)	○	○	○	10^{-17} 0.8K 10^{-21} 0.45K	~μs	$>10^7$

10

超伝導トンネル接合素子を用いたテラヘルツ波検出器

光支援トンネルによる検出器

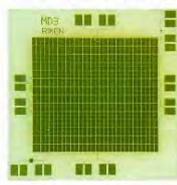


バンド型、高感度、アレイ型 ($\nu < 0.7$ THz)

計測時間の短縮、撮像

多素子化、天体観測へ

クーバー電子対解離による検出器



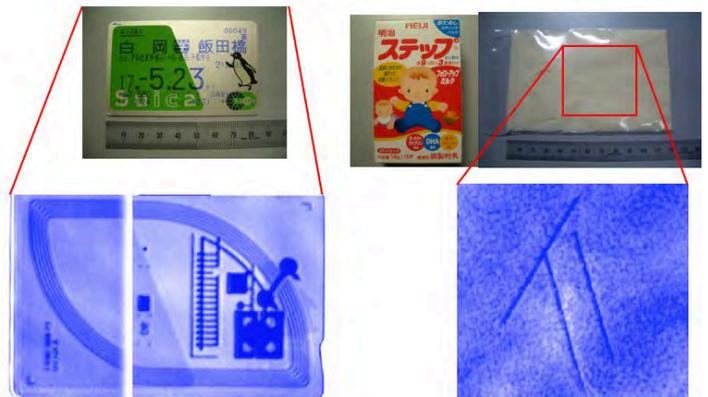
広帯域、高速応答、大面積 ($\nu > 0.7$ THz)

吸収スペクトルの利用

大面積化、高感度化

11

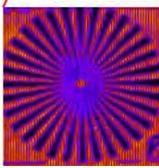
超伝導検出器によるイメージング



複数素子(4画素)によるイメージング

(温度は4.2K)

Radial-pattern
(Ink, including metallic powder)



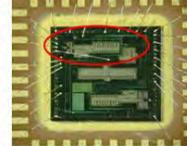
IC-card
(ICOCA)



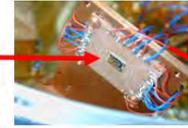
- 測定周波数
0.66 THz
- 空間分解能
0.5 mm
- スキャンエリア
50mm×85mm
- スキャンスピード
6.7mm/s
- 1ピクセルのサイズ
200×200μm
- 測定時間
約15分

STJ検出器と超伝導ADC回路(理研・名大)

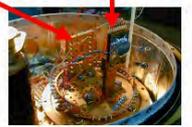
SFQ ADC (名大)



SNR: 8 bit,
帯域幅: 50~100MHz
出力線数: 8



STJ検出器 (理研)



入力信号の再生波形。
入力は5MHzの正弦波。



進行中の研究開発

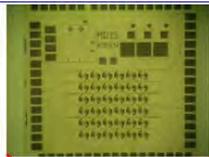
全自動0.3K冷凍機の実現



仁木工芸にて開発

- ① 振動対策
- ② 冷却能力
 - パルスチューブ冷凍機 (0.7W@4.2K)
 - 200本の配線
- ③ ボタン一つで常温から0.3Kへ

天文観測への応用
(2006 Mar. 22-)



ASTE 10m telescope
(国立天文台へ素子を提供)

テラヘルツ天文学の幕開け



ALMA望遠鏡 80~850GHz

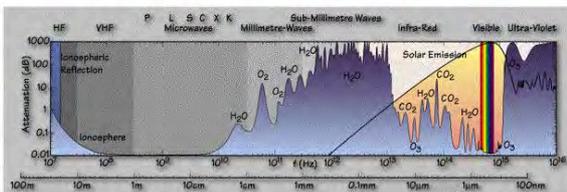


SOFIA
(Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy)
(1.5~2.0THz, 1.2~6THz)



Herschel Space Observatory
2007年打ち上げ予定
57-670 μm (0.5~5THz)

テラヘルツ帯の気体分子分光



テラヘルツ帯...光学的に厚い (optically thick)

300K黒体放射
→放射輸送に重要な役割

しかし、元となる分光データベースなし (特に>1THz)

化学反応も考慮した大気モデル (放射輸送モデル) へ

17

「すぐに思い当たる」テラヘルツ応用可能性

安全安心

- 郵便物や小包中の禁止薬物・爆発物・生物剤などの検査
- 空港やビルのゲートにおける爆弾・セラミックナイフなどの危険物所持検査
- 地雷探査
- 遮蔽空間内の高感度有毒ガス検出
- 凍結路面診断
- 壁内部の腐食や亀裂などの診断
- スペースシャトルの外壁タイル内部欠陥検査
- 工業製品などの検査
 - ・LSIチップの断線検査や故障診断
 - セラミックやプラスチック製品内部欠陥検査
 - チューブ内部の欠陥検査
 - 小袋包装のヒートシール部欠陥検査
 - タイヤ検査
 - インク濃度検査
 - 半導体のキャリア密度と移動度の計測
 - プラスチックの内部歪みや劣化検査
 - ナノコンポジット材料の解析

医薬関連

- バイオチップの蛍光ラベルフリー診断
- 病理サンプルのオンサイト診断
- 皮膚がんの早期診断
- 美肌(角質層)診断
- フレキシブルなテラヘルツ導波路を用いた内視鏡などへの応用
- 医薬錠剤の多層コートなどの品質検査
- 病院で渡される包装薬の誤成分チェック
- 薬品工場での異種錠剤混入検査
- 製薬での結晶多形計測

食品関連

- 青果物の選果時の内部品質評価
- 植物工場の灌水自動制御
- 冷凍食品などの凍結解凍サイクルの最適化
- 粉ミルクなど粉体中の異物検出
- 卵の鮮度検査
- 胡麻やタバコなどの水分含有量検査
- 油類の品質検査

産業応用のニーズ掘り起こしはまだ不十分

近い将来の小型テラヘルツ光源やテラヘルツカメラなどの開発にも伴って応用分野の飛躍的な拡大が見込まれる。

18

Terahertz for Security Applications Proc. SPIE vol. 5070

地雷探知

荷物・所持品検査

- THz imaging and spectroscopy for landmine detection
Johns Hopkins Univ.
- Hidden object detection: security applications of terahertz technology
TeraView, Ltd.
- Fiber-pigtailed terahertz time domain spectroscopy instrumentation for package inspection and security imaging
Picometrix, Inc.
- Non-invasive detection of weapons of mass destruction using THz radiation
SPARTA, Inc.
National Institute of Standards and Technology

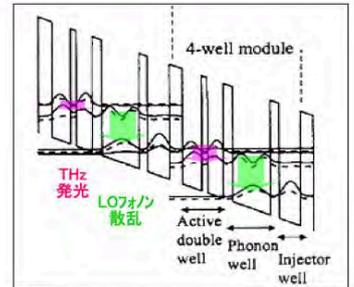
荷物・所持品検査

荷物・所持品検査

量子井戸構造を用いたテラヘルツデバイス

- 量子カスケードレーザー**
- ・サブバンド間遷移を利用
 - ・カスケード接続が可能
 - ・小型、高出力、安価
 - ・長寿命、メンテナンスフリー

検出器アレイ



ケンブリッジ大、MIT、NICTなどで発振に成功

まとめ

- **テラヘルツ波の安全安心分野への応用**
違法薬物・危険物質の非開披探知装置の開発
(文部科学省 科学技術振興調整費 (H16-18))
- **高性能テラヘルツ波検出器の開発**
超伝導検出器アレイの開発
超伝導信号処理回路
- **テラヘルツ応用可能性と次世代デバイス**
イメージングにより実現する応用可能性
量子井戸構造を用いた光源・検出デバイス

⑤三好元介(東大先端研):その場観察技術と親指サイズSEMの開発

JST検討会
「社会および産業ニーズに関連する
先端計測技術の方向性と開発戦略」
2006年6月24日

その場観察技術と 親指サイズSEMの開発

東京大学 先端科学技術研究センター
三好 元介

科学技術振興調整費による
戦略的研究拠点育成TBIプログラム
「親指サイズ電子顕微鏡の研究・開発」¹

The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

親指サイズSEM開発の2つの流れ -モチベーション-

超小型化され、かつ高精度な電子光学コラムを実現する

- 小型でPortableな電子顕微鏡が「その場観察」を可能にし、新しい応用分野を開拓する。
- 高精度な静電レンズの設計と製造手法を提供することで電子光学系の高性能化に寄与する。

The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

2

ポータブルSEMによる「その場観察」

どんな電子顕微鏡が必要か?

新しいアプローチとは?

小型化のための
静電型レンズ技術
セラミックス一体型コラム技術
MEMS 技術

電子顕微鏡
超小型/ポータブル
ローコスト
数nmの解像度
照射ダメージの低減
(低加速電圧動作)

新しい応用分野と
マーケットの新開拓

ユニークなSEM観察

ULSI 製造技術分野

ナノテクノロジー分野

バイオ・メディカル分野

新素材分野

小型でポータブルな電子顕微鏡が「その場観察」を可能にする

The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

3

「その場観察」のためのSEM

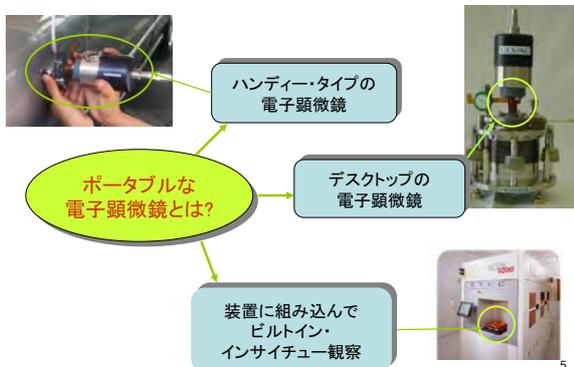
観たい試料をSEMのあるところに持ってくるのではなく、観たい試料のあるところにSEMを持ってきて観る。

- コンパクトで持ち運びが容易
- 低価格
- 操作が簡単で誰でも使える
- 必要な性能/機能は確保している
- プローブによるダメージが少ない非侵襲
- どこでも使える耐環境性と低消費電力

The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

4

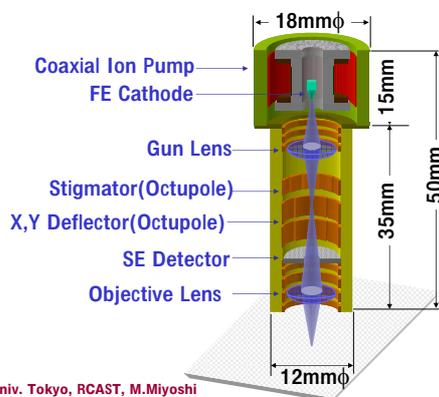
ポータブルSEM活用のイメージ



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

5

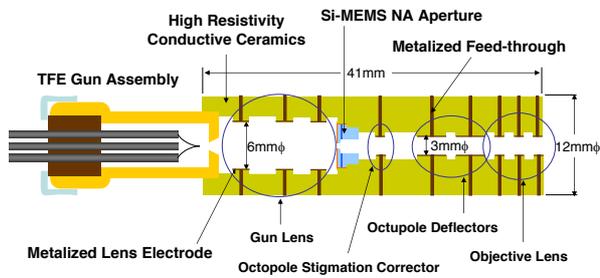
親指サイズ電子顕微鏡のコンセプト



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

6

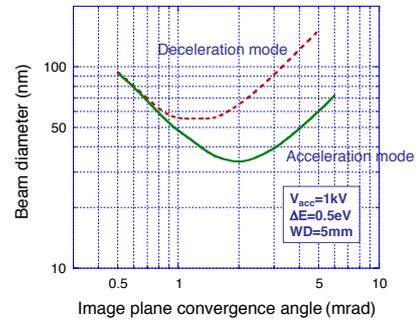
セラミックス一体型コラムの断面構造



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

7

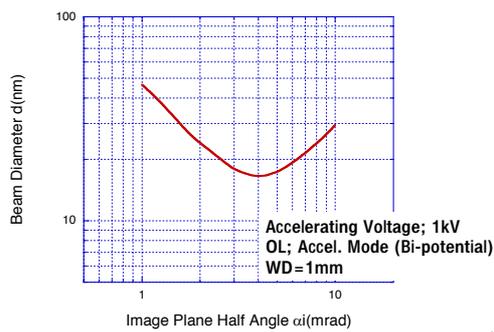
収差性能の計算結果



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

8

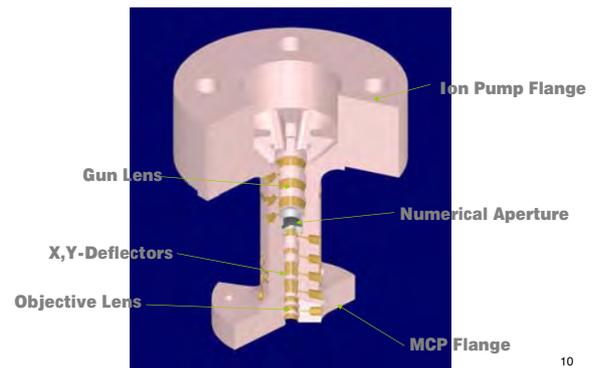
Immersion-type対物レンズの収差性能



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

9

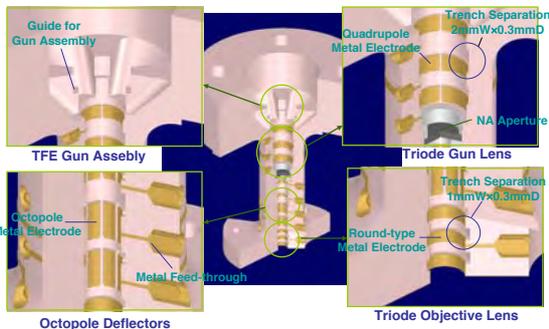
1st Trial Prototypeのコラムの構造



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

10

セラミックス一体型コラムの内部構造



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

11

セラミックス一体型コラムの特長

- 小型化とレンズ組み立て精度向上が両立できる。
- アライメント精度が向上することで電子光学性能が向上する。
- 低コストが期待できる。
- 製造の再現性がよい。
- 将来のさらなる小型化と加工精度向上が期待できる。

The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

12

セラミックス一体型コラムの加工精度

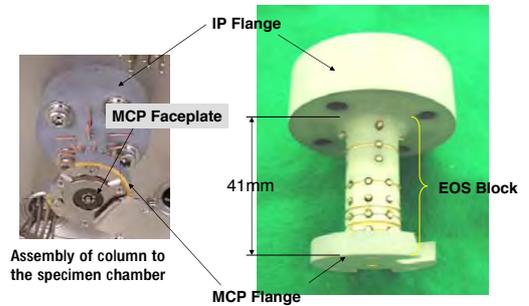
対応する電子光学誤差パラメータ

■ 同軸度 (GL-OL)	0.7 μm	レンズ・アライメント
■ 真円度 (OL)	1.1 μm	精円率
■ 円筒度 (OL)	1.5 μm	レンズの傾斜誤差
■ 八極子電極の位相精度	0.15度以下	

The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

13

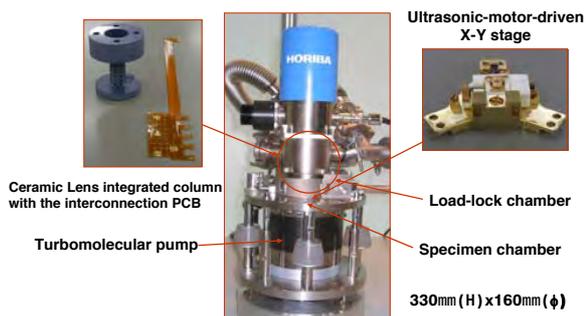
セラミックス一体型コラムの外観写真



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

14

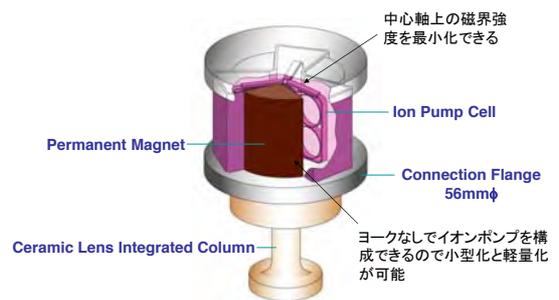
ポータブルSEM試作機



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

15

同軸型イオンポンプの構造 —シリンダリカル型—



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

16

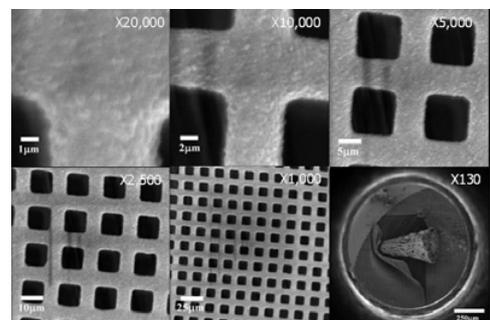
親指サイズSEM商品試作機 2005年12月にセミコンジャパンに出展



The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

17

親指サイズSEMの二次電子画像



Accelerating Voltage: 1kV

The Univ. Tokyo, RCAST, M.Miyoshi

18

⑥藤田大介(物材機構): 走査型プローブ顕微鏡による先端ナノ計測と国際標準化

WS「ものづくりおよび社会ニーズに関連する先端計測技術の方向性と開発戦略」
2006年6月24日(土)

走査型プローブ顕微鏡による 先端ナノ計測と国際標準化

独立行政法人物質・材料研究機構
ナノ計測センター
藤田大介

1

内容

- ・ 国際標準化の重要性
- ・ ナノテクノロジーの標準化
- ・ ナノ計測の標準化
- ・ 走査型プローブ顕微鏡のISO標準化活動
- ・ 先端ナノ計測と標準化
- ・ 今後の展開

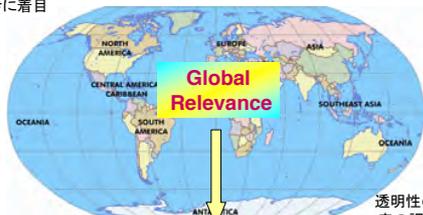
2

国際標準化の重要性

World Trade Organization/Technical Barriers to Trade
WTO/TBT協定 1995年発効
貿易の技術的障害に関する協定

貿易障壁としての
規格制度や適合性
評価手続きに着目

国内規格→国際規格と整合化が義務づけ



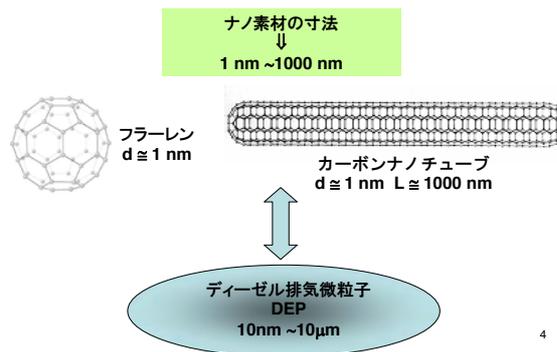
透明性の確保及び制度の調和を図り国際貿易・投資を円滑化

国際規格・国際標準を制することが重要

3

ナノテクノロジー標準化の重要性

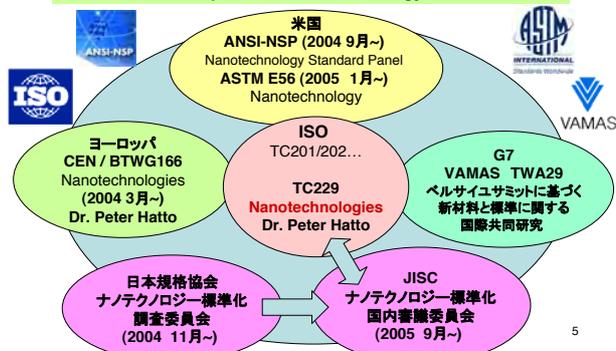
ナノ粒子の(リスク)評価の重要性



4

ナノテクノロジーの国際的な標準化の動き

International Dialogue on Responsible for Research and Development of Nanotechnology, 2004 6月~



5

米国におけるナノテクノロジー標準化

American National Standard Institute
Nanotechnology Standard Panel **ANSI-NSP**

ナノテクノロジー標準化の優先順位
(2004 Nov.)

1. General terminology for nanoscience and technology
2. Systematic terminology for materials composition and features
3. Toxicity effects/environmental impact/risk assessment
4. Metrology/methods of analysis/standards test methods



ASTM International
E56 Nanotechnology, (2005 Jan.~)

- [E56.01](#) Terminology & Nomenclature
- [E56.02](#) Characterization: Physical, Chemical, and Toxicological Properties
- [E56.03](#) Environment, Health, and Safety
- [E56.04](#) International Law & Intellectual Property
- [E56.05](#) Liaison & International Cooperation

6

ISO TC229 ナノテクノロジー

2005年5月発足 11月 第1回総会(ロンドン)
2006年6月21-23日 第2回総会(東京)

議長国 英国 (Dr. Peter Hatto)

WG1 terminology and nomenclature カナダ

用語と命名法

WG2 metrology and characterization 日本

計量・計測 (コンビナー, AIST 一村部門長)

WG3 health, safety and the environment 米国

健康・安全・環境

JISC
ナノテクノロジー標準化
国内審議委員会
(2005 9月~)

委員長
小野晃コーディネータ
(AIST)

用語・命名法分科会
計量・計測分科会
環境・安全分科会
AIST 事務局

7

ナノ計測の標準化

ASTM E56.02 キャラクタリゼーション: 物理的, 化学的, 毒物学的な性質
標準化の作業項目 (WORK ITEM)

- [WK8705](#) Measurement of particle size distribution of nanomaterials in suspension by Photon Correlation Spectroscopy (PCS)
- [WK8997](#) Standard Practice for Analysis of Hemolytic Properties of Nanoparticles
- [WK9326](#) Standard Practice for Evaluation of the Effect of Nanoparticulate Materials on the Formation of Mouse Granulocyte-Macrophage Colonies
- [WK9327](#) Standard Practice for Evaluation of Cytotoxicity of Nanoparticulate Materials on Porcine Kidney Cells
- [WK9952](#) Standard Practice for Measuring Length and Thickness of Carbon Nanotubes Using Atomic Force Microscopy Methods
- [WK9953](#) Standard Practice for Measuring Diameter and Wall Thickness of Multi-wall Carbon Nanotubes (MWNT) Using Transmission Electron Microscopy Methods
- [WK10417](#) Standard Practice for the Preparation of Nanomaterial Samples for Characterization

8

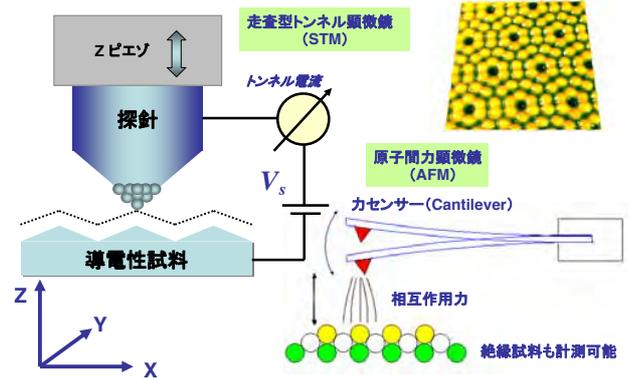
走査型プローブ顕微鏡 標準化のニーズ

《背景》

IBMのBinnigらがSTMを発明して以来、ほぼ25年を経過。この間、各種の走査型プローブ顕微鏡 (SPM) が出現。原子分解能を有するナノ計測の強力な手法。先端的な研究のみならず生産現場においても広く普及。用語、校正法の不統一等、混乱が生じている現状。

1. 用語の統一
2. XYZ校正用の標準試料と校正方法の確立
3. カンチレバーチップの校正用試料の開発
4. 測定パラメータの指針
5. 校正アルゴリズムの開発と統一化
6. 異機種間のデータの互換性など

表面ナノ計測の代表選手 走査型トンネル顕微鏡と原子間力顕微鏡



ナノ計測の標準化

ISO TC201 表面化学分析
SC9(SPM)分科委員会の設立

2003年韓国提案 2004年設立承認

ISO TC201/SC9 (Scanning Probe Microscopy)

Chairman: Dr. Hae Seong Lee (Korea)
Secretariat: Dr. Jae Heyg Shin (Korea)

P - member

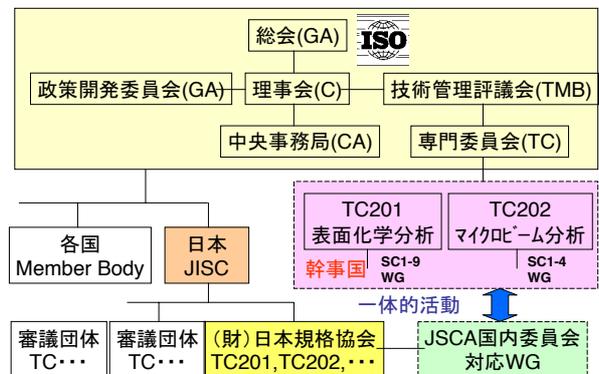
China,
Hungary,
Japan,
Korea,
Russia,
United Kingdom,
USA

O - member

Australia,
Austria,
Finland,
France,
Germany,
Singapore

11

TC201の国内審議体制



国内対応SPM WG委員会の発足と活動

2004. 4月 国内の表面化学分析技術標準化委員会(JSCA)の中にSPM WGを設立

構成: 主査(AIST→NIMS)、幹事(企業)、委員、事務局
 企業: 8社、大学・独法研究機関: 4機関、事務局(日本規格協会)
 連携: 学振ナノプローブテクノロジー第167委員会(森田清三委員長)

規格化すべき項目(New Work Item)の調査とランク付け

1. SPMに用いられる専門用語の定義
2. SPMにおける分解能の定義
3. SPMにおける分解能の計測方法と標準化
4. SPMの各手法の定義
5. SPMの定義“SPMの意味の定義”
6. SPMのz軸の校正方法の標準化
7. SPMのx-y軸の校正方法の標準化
8. SPMにおける標準データフォーマット

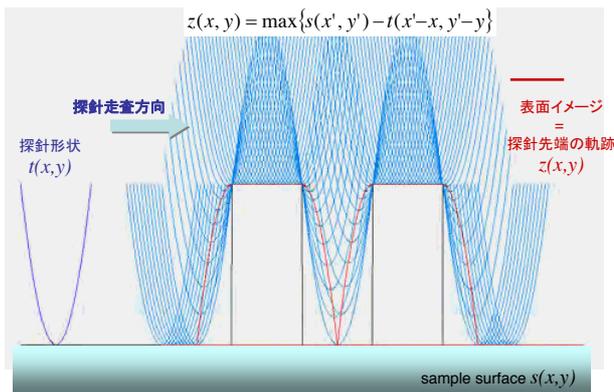
13

ISO TC201 における SPM標準化のための項目 Project Leader

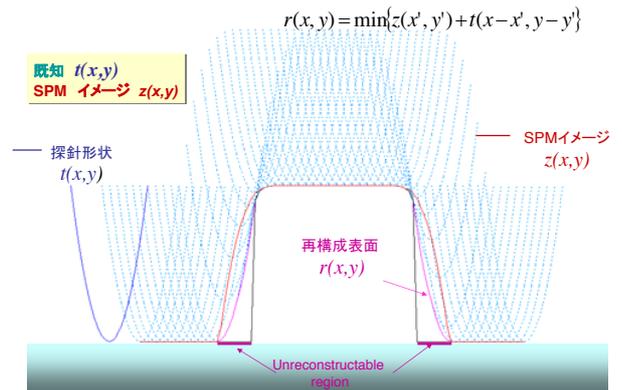
- SPM関連用語の標準化 英国
- SPMのための校正方法と標準物質 日本
- SPMのデータフォーマットの標準化 日本
- AFMにおける計測条件のガイドライン 米国
- SNOMIにおける計測条件のガイドライン 韓国
- SPMのカンチレバーとプローブの標準化 英国

14

有限なSPM探針形状に起因する形状アーティファクト



より確からしい表面形状の再構成方法の標準化



SPMナノ計測の最先端

極限環境における原子分解能・多機能計測

技術開発

極低温・強磁場・極高真空
原子分解能 STM

STM Probe

応力場・2探針SPM

応用

応力場ドメイン制御

人工1次元量子井戸

高温場創製メカニズム
カーボンナノベルト

興味ある機能が発現する場でのナノ計測

強磁場: トンネル電子、スピン制御、超伝導制御

極低温: 量子効果

応力場: ナノ構造制御、ナノ物質創製

極高真空: 超清浄表面、単原子操作

Probe

spin

wave

時間軸

最先端SPMナノ計測技術の標準化

- 汎用性や市場性のある先端技術は知的財産権の確保とともに国際市場性を目指した“国際標準化”を目指すべき

例えば、

- (1) 生体分子高分解能AFMイメージング
- (2) 高速ビデオレートイメージング技術
- (3) 3次元構造再構成のための探針形状補正技術
- (4) その場装置校正のための標準物質
- (5) 多様な極限環境における高分解能計測技術

18

今後の展開

- ナノテクノロジーの標準化はナノプロダクトの安全性と信頼性を確保し、世界貿易を円滑に進めるために積極的に推進することが重要
- ナノ計測におけるSPM標準化に動きは用語の標準化を終了し、新規作業項目NWIの提案段階→ 優先順位の高い項目から速やかに策定
- 産業応用の観点から、定量性と信頼性を向上させるための標準化が重要
- 市場性と汎用性のある先端ナノ計測技術は標準化を目指すべき

19

先端計測における標準の役割と戦略

計量におけるトレーサビリティ(標準)は、計測技術に信頼性をもたらし、ものづくり(生活や生産)に必須の要素(道具)である。

独立行政法人 産業技術総合研究所
計測標準研究部門 先端材料科
小島勇夫

検討会「社会および産業ニーズに関連する先端計測技術の方向性と開発戦略」2006-06-24

トレーサビリティと校正

1mは1秒の2億9979万2458分の1の時間に光が進む距離(不確かさ=0)

トレーサビリティ: 切れ目のない比較の連鎖

必要な技術例
・波長の安定化
・光ビート測定

計量標準に関する基礎研究(ナベール物理学賞から)

- 2005年
 - ・光学コヒーレンスの量子論への貢献: Roy J. Glauber
 - ・レーザーを基にした光周波数コム技術など精密な分光法の開発への貢献: John L. Hall, Theodor W. Hänsch
 - 光周波数が1000倍正確に
- 1997年
 - ・レーザー光を用いて原子を極低温に冷却および捕捉する技術の開発: Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji, William D. Phillips
 - セシウム原子時計の精密化
- 1985年
 - ・量子ホール効果の発見および物理定数測定技術の開発: Klaus von Klitzing
 - 電気抵抗(オーム)
- 1973年
 - ・半導体内および超伝導体内におけるトンネル効果の実験的発見: 江崎玲於奈 Jvar Giaever
 - ・トンネル接合を通過する超電流の性質、特にジョセフソン効果としてよく知られる普遍的現象の理論的予測: Brian David Josephson
 - 電圧(ボルト)

校正: 標準と実用器(測定対象)の関係の確定

トレーサビリティと校正

1mは1秒の2億9979万2458分の1の時間に光が進む距離(不確かさ=0)

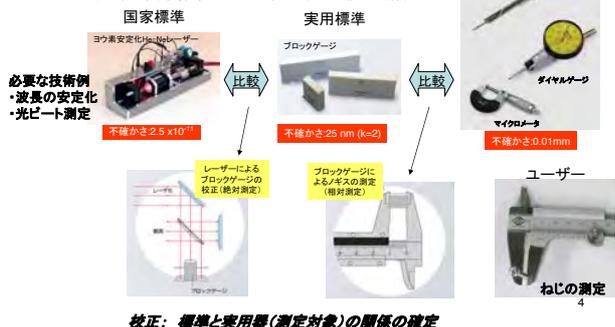
トレーサビリティ: 国家標準への切れ目のない比較の連鎖



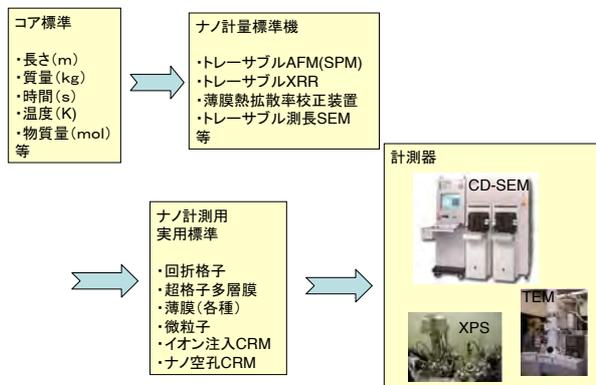
トレーサビリティと校正

1mは1秒の2億9979万2458分の1の時間に光が進む距離(不確かさ=0)

トレーサビリティ: 国家標準への切れ目のない比較の連鎖



ナノテク用標準におけるトレーサビリティ



測長および膜厚計測に関するITRSからのニーズ (ITRS2002)

Technology Node	90 nm	65 nm	45 nm	32 nm	22 nm	18 nm
MPU 1/2 Pitch (nm)	2004	2007	2010	2013	2016	2018
MPU Printed Gate Length (nm)	107	76	64	38	25	21
MPU Physical Gate Length (nm)	53	35	25	18	13	10
MPU Physical Gate Length (nm)	37	25	18	13	9	7
Lithography Metrology						
Printed Gate CD Control (nm)						
Allowed Litho Variance = 4/5 Total		3.3	2.2	1.6	1.2	0.8
Variance of physical gate length		0.7	0.4	0.3	0.2	0.1
Water CD Tool 3 Precision P/T=0.2 for Printed and Physical Isolated Lines						
Front End Processes Metrology						
High Performance Logic: EOT equivalent oxide thickness (EOT) nm	1.2	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4
Logic Dielectric EOT Precision 3 Metrology for Ultra-Shallow Junctions at Channel Xj (nm)	0.0048	0.0036	0.0032	0.0024	0.002	0.0016
Interconnect Metrology						
Barrier layer thick (nm)	10	7	5	3.5	2.5	2
Void Size for 1% Voiding in Cu Lines	10.7	7.6	6.4	3.8	2.5	2.1
Detection of Killer Pores at 1nm size	10.7	7.6	6.4	3.8	2.5	2.1

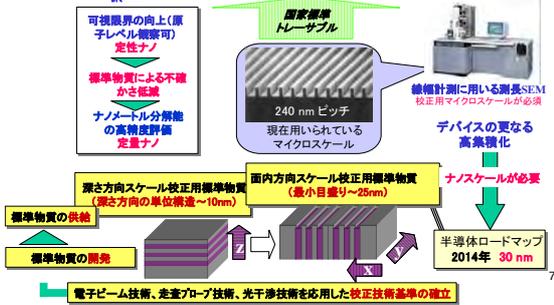
ナノスケールの開発の例

NEDOプロジェクト: 2002~2006年度

3Dナノメートル評価用標準物質創成技術

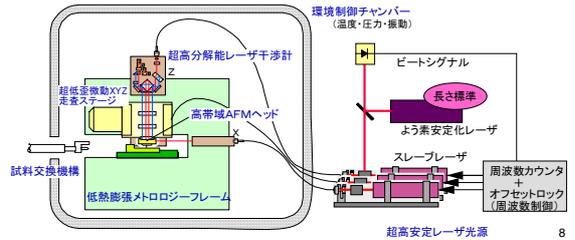
ナノテクノロジーによる新しい機能の評価と設計!

ナノスコープ(顕微鏡):見る + 3次元ナノメートル標準物質:測る + 3次元ナノメートル評価:機能要素の形状・構造
 走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡、走査プローブ顕微鏡、X線反射中子顕微鏡、X線光電子分光計、..... = ナノスケール校正用標準物質! = 機能要素の形状・構造



面内方向スケール校正用標準器

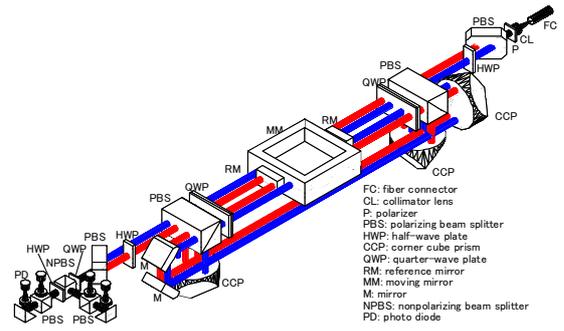
0.1 nmの不確かさの実現 → トレーサブルAFM



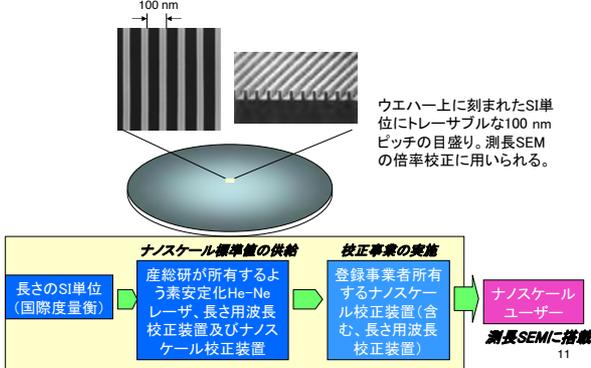
T-AFMの主な不確かさ要因とその改善目標

不確かさ要因	改善内容	目標とする標準不確かさ [nm]
干渉計の周期誤差	干渉計	0.05
干渉計の分解能	干渉計	0.02
試料の均一性	試料の精度	0.03
プロービング再現性	測定モード	0.01
レーザー光源の周波数安定性	干渉計	0.00
アッペ誤差	ステージ精度	0.005
合成標準不確かさ		<0.1

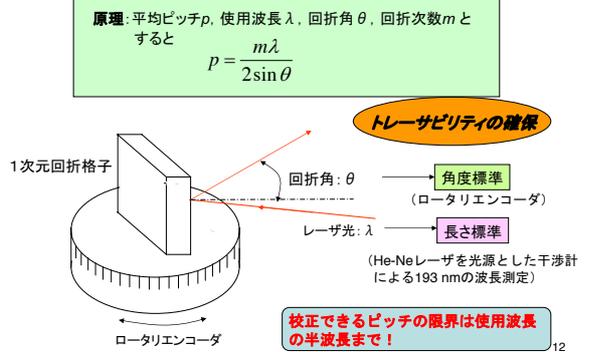
差動式測長AFMの干渉計ユニット模式図



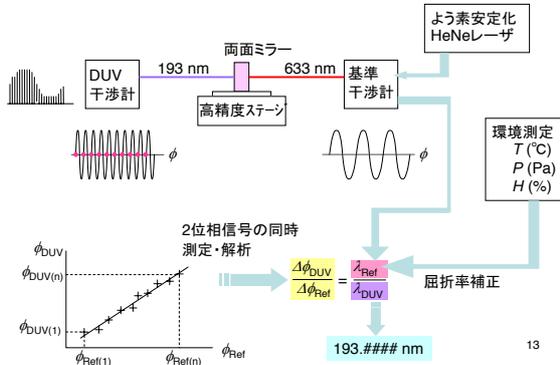
100nmピッチスケールの供給体制



光回折法による一次元回折格子ピッチの校正原理



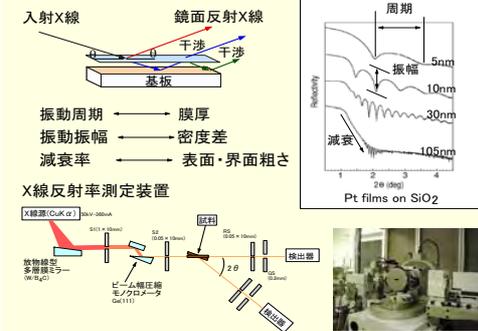
193 nmレーザ波長校正スキーム



13

深さ方向スケール校正用標準器

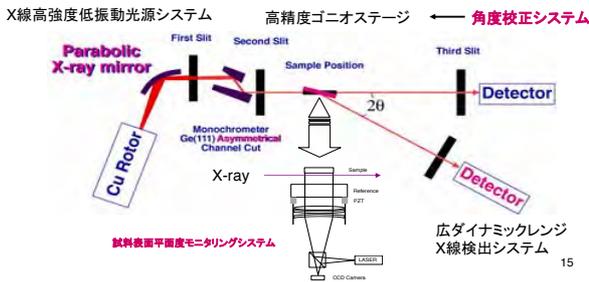
X線反射率法： X線波長を基準とした膜厚計測



トレーサブルXRRの概要

薄膜化 → 広領域からの情報が必須
広ダイナミックレンジ測定
トレーサビリティ → X線の波長&角度
X線波長及び角度の校正法確立

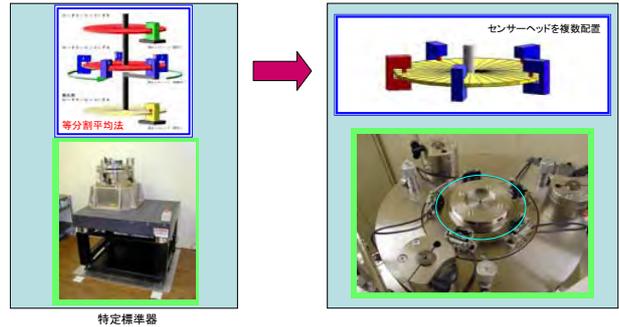
試料表面の平面度 → 未評価の不確かさ要因
in-situ試料表面平面度モニタリングシステム
試料形状を考慮した解析ソフト開発



トレーサブルXRRの角度校正システム

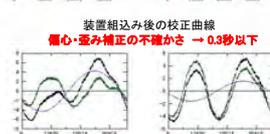
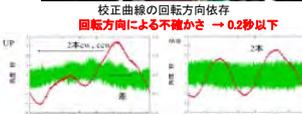
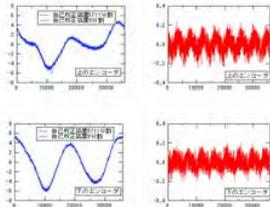
自己校正型ロータリエンコーダ内蔵ゴニオメータ

ロータリエンコーダ校正装置は装置内部のロータリエンコーダと校正したいロータリエンコーダとを比較し校正する(左)。これを1つのロータリエンコーダ単独で校正できる自己校正方法を応用したロータリエンコーダ(右)を内蔵させ、トレーサブルXRRの高角度精度化を行う。



ゴニオメータの角度校正能 → 不確かさ~10⁻³nm

角度標準とTXRR搭載エンコーダの校正曲線
8ヘッドによる不確かさ → 0.2秒以下



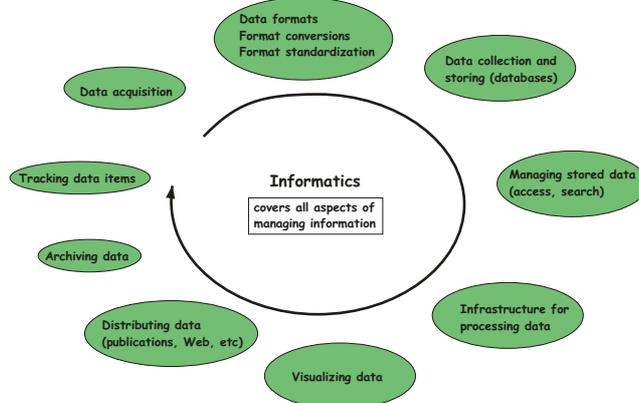
Materials Informatics

Mikk Lippmaa
Institute for Solid State Physics
University of Tokyo

1

What we mean by informatics?

The science of collecting, storing, retrieving, managing, and distributing knowledge



2

What is not materials informatics

Materials informatics must be materials and data driven

These are not informatics tools:

- Research databases (abstracts, keywords, CVs, etc)
- Jobs/recruiting databases
- Social networking websites for the scientific community
- Web logs or blogs (with certain exceptions)
- Chat / Instant messaging applications
- Portal sites for methods or materials
- Remote instrument use, virtual laboratories

3

Informatics is transdisciplinary

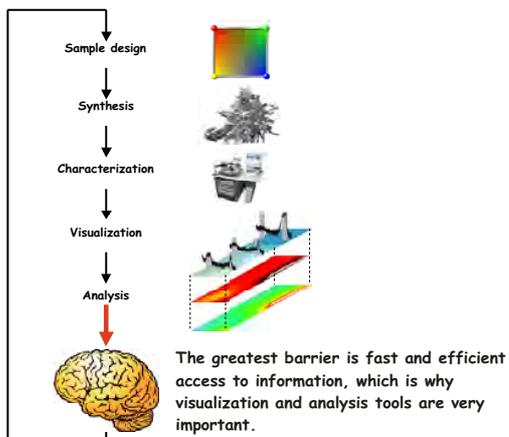
Solving informatics problems = building an infrastructure for generating knowledge

Informatics draws on:

Computer science <ul style="list-style-type: none"> - data representation - algorithms for search - building trust - data integrity - processing tools 	Networking <ul style="list-style-type: none"> - distributed access - distributed processing - moving large datasets 	Databases <ul style="list-style-type: none"> - database tools - data models - schema - storage - access (SQL?)
Language analysis <ul style="list-style-type: none"> - natural language - accessibility to data - representing data - representing processes 	Business <ul style="list-style-type: none"> - cost analysis - risk analysis - regulatory compliance - models for sharing - patents 	Human Interfaces <ul style="list-style-type: none"> - accessibility to data - converting data to knowledge - visualization - modelling

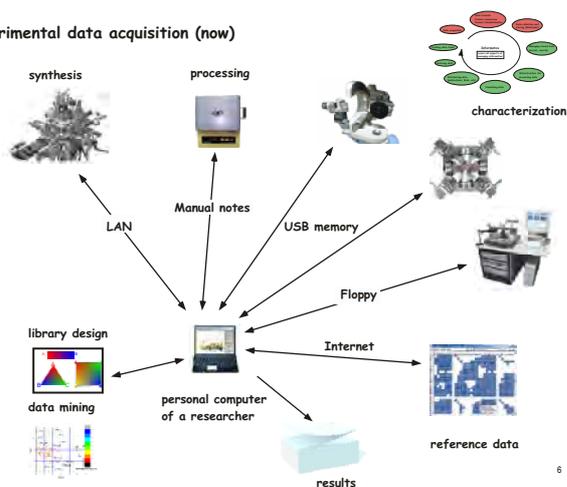
4

Problems



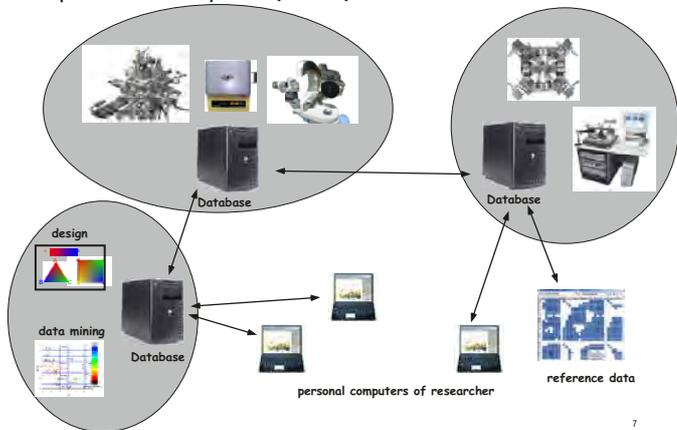
5

Experimental data acquisition (now)



6

Experimental data acquisition (could be)



Note: database is not necessarily SQL, could be other store/search solutions

Access to information

What limits the availability of critical data?

- | | |
|---------------------------|--|
| data acquisition | 1. Synthesis, processing, and measurement instruments are not designed to interoperate. Each manufacturer uses a different data format and transfer mechanism.
Getting all experimental data into one place is a time-consuming task! |
| visualization | 2. Simple file-based system does not give easy access to old data or data from other people.
3. Conversion of experimental data into visually accessible form is time consuming. |
| reference data | 4. Data processing and visualization involves a large amount of duplicated effort. Little sharing of instrument-specific tools.
5. Access to reference data is slow and very expensive (~5000 \$/year for journals at ISSP)
6. Search of reference data is very primitive (limited to keywords). |
| publication communication | 7. Sharing data is hard. No easy tools exist to give access to all experimental data to an outsider.
8. The main communication channel is publishing journal articles. Despite digital technology, publication delays keep increasing. |

Existing tools for data acquisition

Collectively known as Laboratory Information Management Systems (LIMS)



<http://www.limsources.com/>



<http://www.limsfinder.com/>

Many other on-line resources exist.

Large majority of existing LIMS systems are oriented at pharma, organics, polymers, catalysts
Other existing systems are specific forkflow driven, like Symyx Renaissance



For solid-state synthesis, not many choices. Even in this case cost is very high at about 3000 \$/year for 1 license.

Why so little commercial support for materials science

Large-volume raw data often distilled to only a few numbers
(unlike bio and astronomy, where large data sets need to be moved)
No regulatory requirement
No demand from journals for publication data
Tradition

Technical reasons

Impossible to define a specific workflow (processing and analysis is constantly changing)

Widely-used instruments are not designed to be networked, e.g.
AFM machines: SII, Shimadzu - formats not advertised but available
Omicron - recently closed the data format
No vendor-side interest in standardized data formats

Accelrys tried to expand Materials Studio with CombiMat. Worked for several years, finally gave up. Cost was still very high.

Open data formats for analytical instruments (XML, etc)
Need: Network connectivity for analytical tools (open tools)
Example cases of successful implementations

Search and access (no obvious solutions exist)

Now

- Reference data sources:
- journal publications
 - journal data aggregators (ISI, etc.)
 - books (thanks, Google)
 - existing databases (Landolt-Bornstein, NIMS databases, NIST, etc.)

Current search techniques involve keywords
More specific searches are available for materials databases (e.g. NIMS)

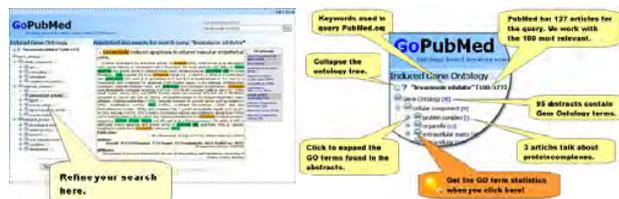
Keyword search is extremely inefficient and produces many false results

Future

- Efficient search should answer queries like:
- Find all references where the low-temperature carrier-density of ABO_3 was measured
 - Find all references where a similar temperature dependence has been seen
 - Find references where similar images have been seen
 - Assemble all known structural data for this family of compounds from all sources

How to improve data search?

Move from keywords to ontology (relations between words, closer to meaning)
On research project in this area is GoPubMed (<http://www.gopubmed.org/>)



An important part here would be natural-language analysis of scientific texts, possibly using OWL, the Web Ontology Language to recode texts (EXPO system)

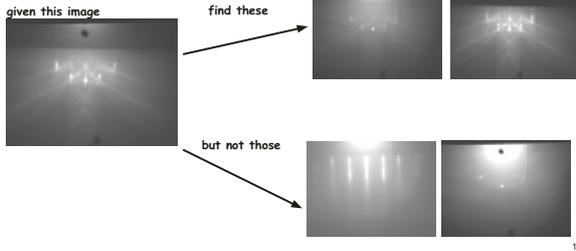
Similar work has been supported as a CREST project (Tsujii, UT, 2000-2005)

As an extension, it would be possible to search for procedures, rather than keywords

Multiple sources

Similar materials data may come from many different sources
 Combining searches from different sources (or even different databases) is not a solved problem. Relates mostly to database design questions.
 A large body of general database work exists. What is needed, are example applications to demonstrate and test technologies.

Finding similar data

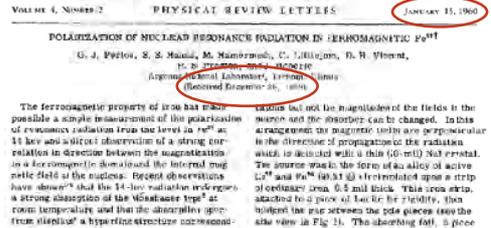


13

Publication, sharing and circulating data

Efficient research requires answers FAST
 Compilation databases have a very slow response time (years after measurement)
 Publications have similar slow response time

Why? Publications and public databases need to be accurate and trusted
 Publication used to be fast, but not anymore! Moving from manual typewriters to computerized offices and electronic distribution, publication time for PRL has gone from 3 weeks to about 6 months

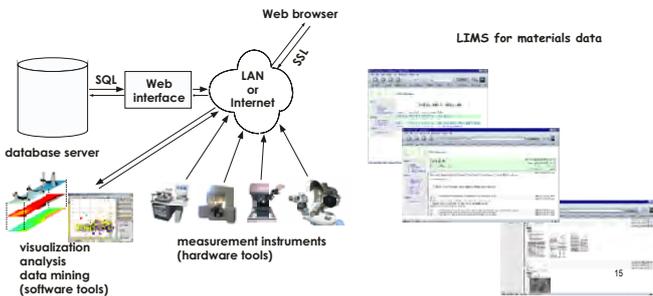


14

What about real-time access to data?

We have publication systems for **results** that are reliable and refereed, but very slow.
 What we don't have is a system of publication of **data** that is fast (but less reliable)

Technical solutions: For example, Web-based data collection, access, distribution
 Was studied within the COMET combinatorial synthesis project, a functional software demonstration exists at University of Tokyo (Lippmaa), NIMS (Chikyo), Tohoku (Kawasaki)



15

Still many unanswered questions for rapid data access

Distributed data has to be accurately documented. How to create machine-readable experiment descriptions and data descriptions?

Academic system of credit is based on the number of publications. How would you count data published online?

Self-published data has not passed refereeing like journal papers. How to guarantee integrity and correctness of data or evaluate the reliability of data?

For large data sets, what is an efficient strategy: distribute data or access to data? This is an issue when data sets are in the 100Gb..Tb order and transfer time and cost would be prohibitive.

What is the role of commercial publishers? How to resolve the conflict between the scientific aims of sharing with the business aim of controlling access?

Obviously, there are technical questions, but also more wider questions, including influences of public policy and even legal ramifications (i.e. conflict between early publishing and patenting).

16

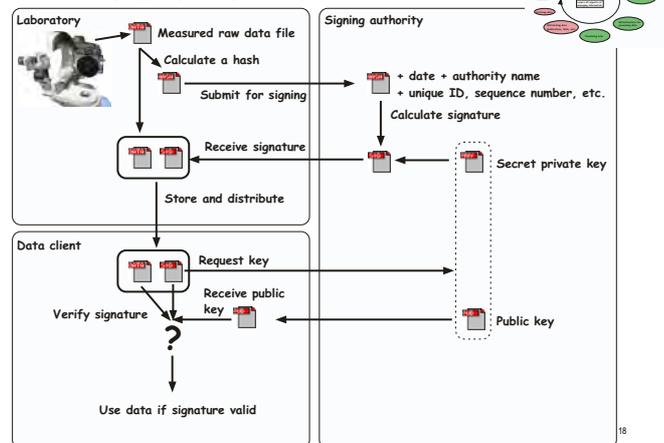
Example of public services for data integrity: digital signatures

We will see a move from paper documents (signed lab notebooks) to direct and automatic electronic storage. This presents a number of problems:

1. Data integrity
 - cannot change after creating
 - cannot be modified by an outside party
2. Maintaining accurate timestamps on data
 - provides accurate chronology
3. Supporting data for publication
 - imagine a system where raw experiment data that a publication is based upon is also made accessible to outsiders. Third-party digital signatures help to build trust that the data is authentic.

17

Data integrity: digital signatures



18

Data integrity: digital signatures (continued)

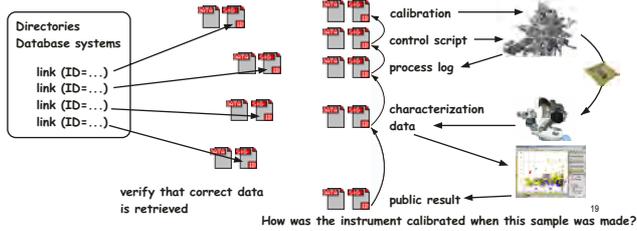
Globally-unique identifiers for data items

- Digital signature system (e.g. national level) can help to maintain persistent unique identifiers for experimental data items.

Similar systems exist for:

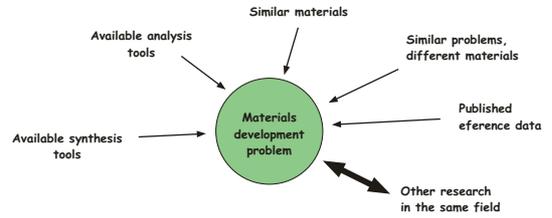
- computer names and addresses IP, DNS (<http://www.icann.org/>)
- journal publications DOI (<http://www.doi.org/>)
- web resources URL/URI (<http://www.w3.org/Addressing/>)
- general resource id, the Handle System (<http://www.handle.net/>)
- many others have been developed, none in wide use for experimental data

Uses for global unique IDs



Conclusions

Materials development is a collaborative form of research, because access to a very broad range of source material is required.



Development of innovative general data formats, experiment descriptions, data storage, data sharing/publishing, searching information, all are open research subjects.

Commercial comprehensive projects have either failed (Accelrys) or are too limited / too expensive.

20

Conclusions

Solution: public support (like JST) for many smaller informatics tool development projects. Similar to bioinformatics 10 years ago.

- Project value should be judged based upon how many people use a tool that is developed.
- Project value depends on how well it works with other tools.
- New Informatics tools that are developed must make work easier for a researcher, not harder. Learn from teh failure of the scientific publication industry
- It is very challenging to develop something that is faster, easier to use, more reliable, and cheaper than pen and paper!

Public services that support the use of informatics

- Data repositories for materials data (like national gene data repositories)
- Evaluation of the value of scientific results that are produced and distributed through other means than international research journals.
- Selected services, like digital signatures and certificates
- Rules for ownership of data (as opposed to extracted results)

21

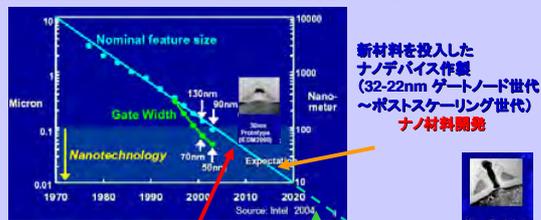
ものつくりとハイスループット計測 - 半導体デバイス開発にみる先端計測 -

- 半導体デバイスにおけるものつくり
- これまでと何が変わったか。
- 材料開発とハイスループット計測
- 材料開発、先端計測、サイエンスの一体化

物質材料研究機構
半導体材料センター 知京豊裕

Siナノデバイスの開発トレンド

高速化(高周波動作)、高集積化(ナノ構造化)、低消費電力化、複合化するSiデバイス



現在のSiナノデバイス作製世代

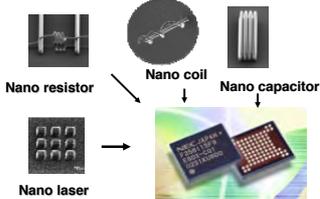
- ポストスケーリング世代
- トップダウンの微細化とボトムアップによる構造作製が融合。
 - ナノ立体構造の登場
 - 新材料とナノ異質結晶の多様化
- ナノ立体構造化 (出典: 産学官連携推進機構)



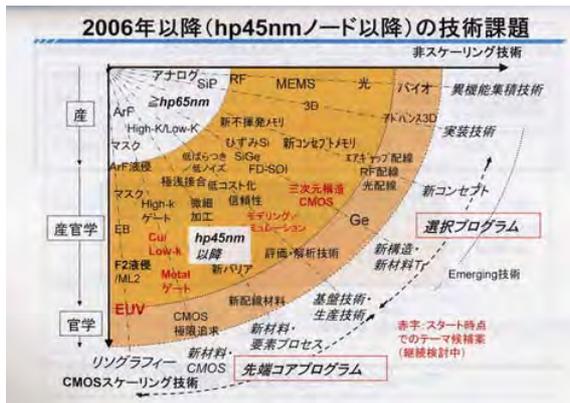
高集積化と多機能化、高周波領域でのデバイス動作



Wire (line) connection
In CPU mother board is
Old!!



Key: **新材料のナノサイズ評価**
高周波領域での評価
時代に即した計測方法の開発が必要



半導体産業研究所 より 4

これまでのSiデバイス開発と今後のSiデバイス開発

1) 材料は固定 (Si, SiO₂, Al)
2) 界面チューニング (少ない)
2) プロセスパラメータのみ

幅広い材料知識: 生産技術



1) 材料開発
・ゲート酸化膜、
・メタルゲートゲート
・層間絶縁膜

2) 界面チューニング(多い)

3) 増えたプロセスパラメータ

5

従来: Siデバイス開発は線形モデルで開発



これからのデバイス開発: すべてを並列に進める。



National Institute for Material Science NIMS

ゲート酸化膜材料探索

ゲート酸化膜

MOSFET用材料探索への適用例

- ・メタルゲート材料探索
- ・ゲート酸化膜探索

7

Dielectric Characterization by Scanning Microwave Microscope

$$f(\epsilon) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C+C')}}$$

(Refer to Dr.Okazaki and Dr.Hasegawa , COMET-NIMS, Tokyo Inst. Of Tech)

8

Dielectric Mapping of the ternary alloys

	HfO ₂	Y ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
ε	>20	10	9	4

Comet Combinatorial Materials Exploration and Technology

9

Combinatorial X-ray Diffraction System

(Developed by Dr.Watanabe Dr.Fujimoto , AML-NIMS)

10

HfO₂-Y₂O₃-Al₂O₃ system

(1) Dielectric constant mapping

(2) Crystal structure mapping

HfO₂(monoclinic)
Hf_{2x}Y_(2-2x)O_(3+2x) (cubic)

high-ε & amorphous region

$T_{sub} = 300^{\circ}C$, laser power = 3J/cm², P_{O2} = 1e⁻⁶Torr, post-annealed at 700°C

11

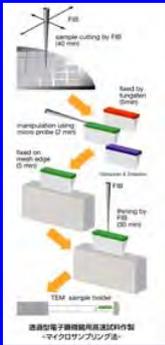
Dielectric property mapping

Leakage current mapping

Flat band mapping

12

Micro Structure Characterization for Combinatorial Samples



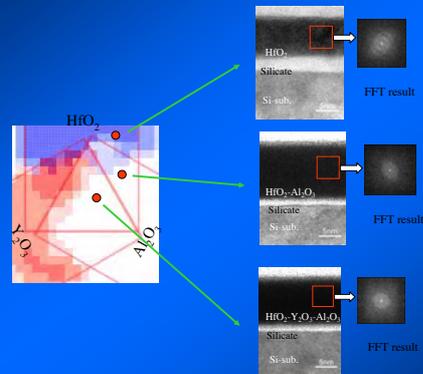
Micro Sampling Method



Hitachi FB-2000 +Micro sampling Unit
JEOL 4000EX (NIMS) H-9000NAR (T.I.T)

13

TEM characterizations of the combinatorial specimens

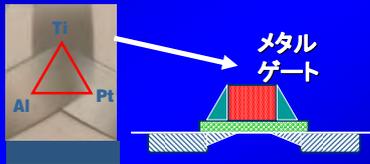


14

National Institute for Material Science



メタルゲート材料探索

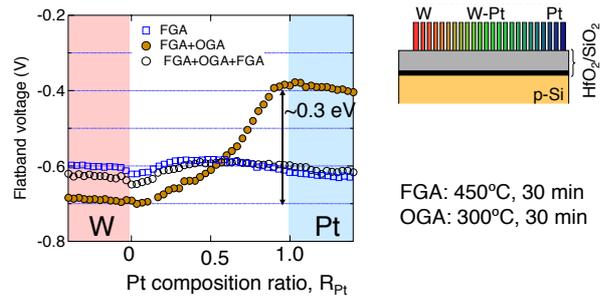


MOSFET用材料探索への適用例

- メタルゲート材料探索
- ゲート酸化膜探索

15

Changes in flatband voltage



FGA: 450°C, 30 min
OGA: 300°C, 30 min

- The higher WF is, the larger the V_{fb} value after OGA becomes.
- The shift can be reversed by an additional second FGA.
- This observed phenomena is general and mainly depends on work function.

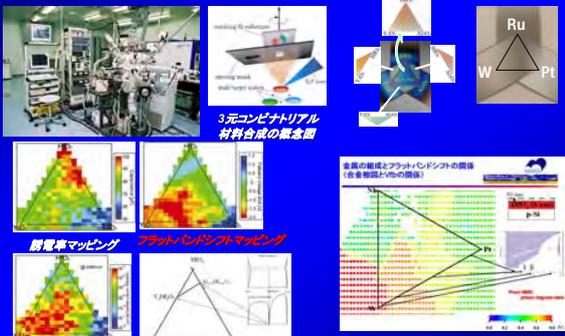
16

Nanomaterials Lab, National Institute for Materials Science



コンビナトリアル手法による新材料開発の実績

National Institute for Material Science

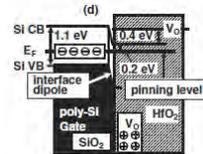


新規元素相図の発見とHigh-k材料探索 相とV_{fb}の関係・メタルゲート材料探索

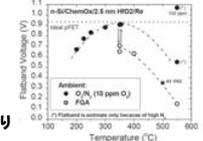
ゲート/High-k界面の問題 にみる最先端科学

> Fermi level change in poly-Si/HfO₂ system

- Oxygen vacancy (Vo) formation model - (Shiraishi et al., VLSI Symp. 2004)



> Shift in V_{fb} in Re/HfO₂ system (E. Cartier et al., VLSI Symp. 2005)



- High-k材料中には多くの空孔とそれに伴う電荷があり多結晶Siゲートとの間で電荷の移動が起きる。
- High-k材料中の空孔や電荷は酸素雰囲気や水素を含む窒素中の加熱簡単にその濃度がわかる。

1000万回やって1000回同じ結果を出す作製技術

ゲート側の準位が簡単に変化する。

17

Nanomaterials Lab, National Institute for Materials Science

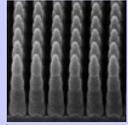


どのような計測システムが必要か？

計測の高速化、系統的データ収集、3次元計測、共有化



10nm Prototype
(DRC 2003)



東北大学 遠藤先生ご提供

1) ナノスケールの計測の高速化

仕事関数、誘電率、磁性、等 半導体デバイス
関連材料の基礎物性の系統的かつ効率的な評価手法。

各種走査プローブ顕微鏡、表面・界面評価方法の開発と
手法の標準化

2) 電気計測と物理計測のギャップを埋める。

物理計測で得られた結果を電気特性と関連させる。

例：陽電子消滅とVibシフトの関係など

3) 3D構造の計測への挑戦

ナノ3次元構造の中の不純物分布
3次元構造中の界面の構造評価と視覚化

4) 計測結果のデータベース化、共有化

19

まとめ

National Institute for Material Science



ハイスループット計測

次世代の産業を支える知識の
系統的かつ効率的な蓄積

ものづくり技術

理論と科学

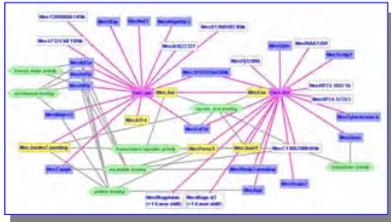
机上から現実へ

- ・コンビナトリアル合成
- ・最先端微細構造作製
- ・純度の高い材料
- ・最先端ファウンドリー設備

20

先端計測技術開発戦略

タンパク質を観る、創るためのものづくりとIT

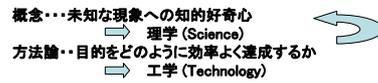


慶應義塾大学 柳川弘志



生命分子工学研究室の研究の基本方針

「生命現象を対象にした新しい概念や方法論を体系化し、それを社会に役立てる」



「人間は道具をつくる動物である」
(ベンジャミン・フランクリン)



生命の理解へのアプローチ

ゲノム・プロテオーム解析

還元的アプローチ

『観る生物学』

生命の理解
タンパク質の機能

構成的アプローチ

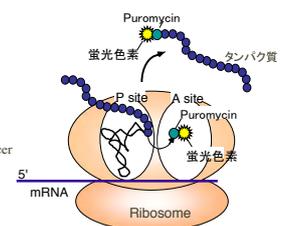
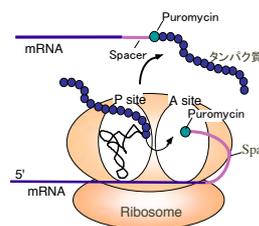
『創る生物学』

タンパク質の進化分子工学

日本発の独自技術
ピュロマイシン・テクノロジー

In vitro virus (IVV) 法

C末端ラベル化法



Nemoto, N., et al., FEBS Lett., 414, 405 (1997)

Miyamoto-Sato, E., et al., Nucleic Acids Res., 28, 1176 (2000); ibid., 15, e75 (2003)

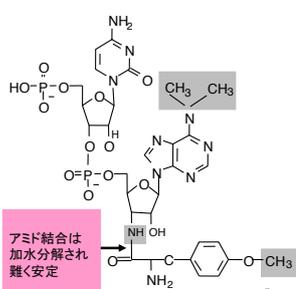
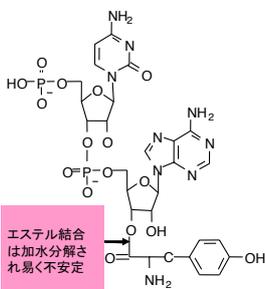
Nemoto, N., et al., FEBS Lett., 462, 43 (1999)

Miyamoto-Sato, E., et al., Nucleic Acids Res., 28, 1176 (2000)

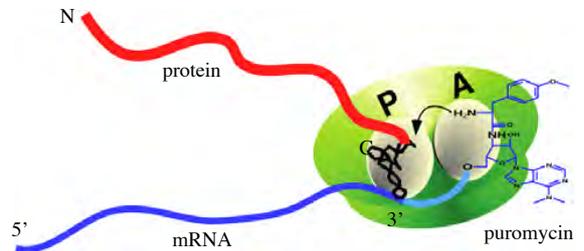
ピュロマイシンはアミノアシル-tRNAのアナログ

アミノアシル-tRNAの3'末端 (pCpA-Tyr)

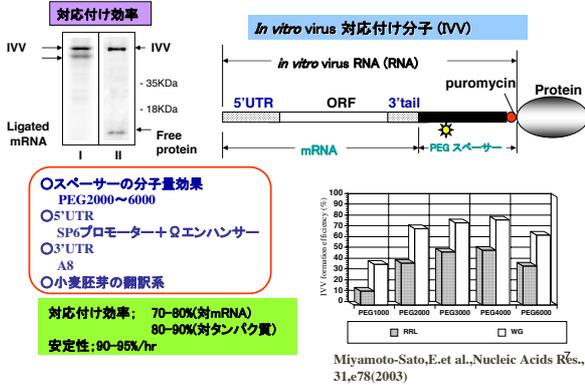
アナログ (pCpPuro)



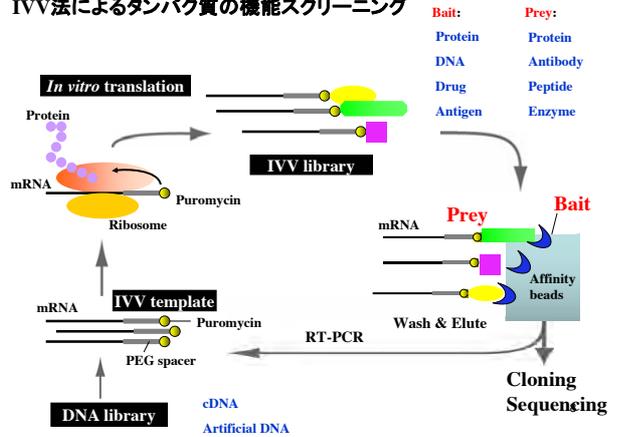
In vitro virus (IVV)の形成原理



高効率で安定なIVV

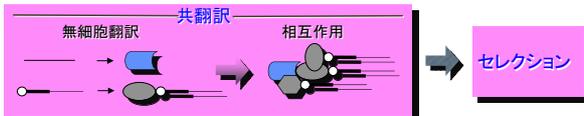


IVV法によるタンパク質の機能スクリーニング



完全in vitroのIVVセレクション

-ハイスループットなIVV共翻訳セレクション-



IVV共翻訳セレクションの利点

- 翻訳後工程必要なし: ハイスループットな系
- ベイト蛋白質のin vivo生産必要なし: 完全なin vitro実験系
- 翻訳と相互作用のカップリング: 相互作用形成に有利な系

ゲノム機能解析からゲノム創薬へ



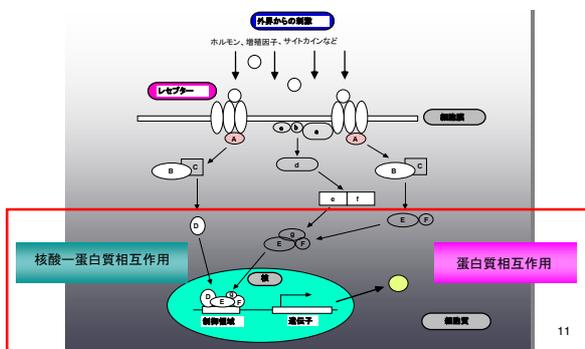
遺伝子解析から網羅的なタンパク質相互作用ネットワーク解析へ

ゲノム創薬の問題点

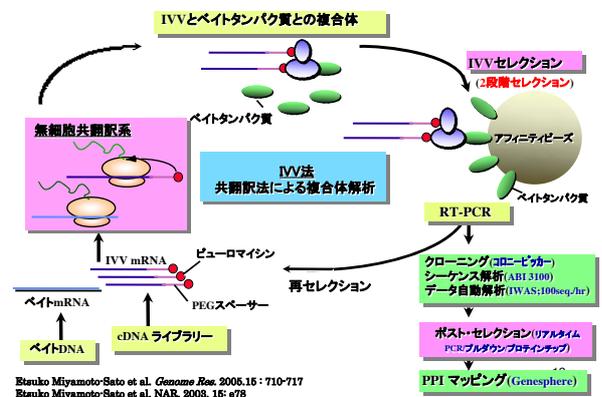
疾患メカニズムの解明や構造解析に基づく創薬に必要な「相互作用領域の配列情報」や「相互作用部位のアミノ酸情報」が簡単に得られない

10

ヒト転写制御因子のゲノムネットワーク



IVVセレクション法による蛋白質間相互作用解析



IVVのPPI解析の論文

Cell-free translation and selection using in vitro virus for high-throughput analysis of protein-protein interactions and complexes

Hiroyuki Miyamoto, Kazumasa Miyake, Akihiro Hironaka, Tomoaki Kato, Masahito Hatakeyama, Hiroshi Fuji, Kazuo Saito, Naoya Hori, Kazuo Mizushima, and Hiroshi Tsunoda*

Department of Applied Chemistry, Faculty of Science, Kagoshima University, Korimoto, Korimoto, Kagoshima 890-0055, Japan

Received 10 October 2004; revised 12 February 2005; accepted 15 February 2005

DOI: 10.1002/prot.20100

Published online 15 May 2005 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com).

Abstract: We have developed a cell-free translation and selection system using in vitro virus (IVV) for high-throughput analysis of protein-protein interactions (PPI) and complexes. The system consists of a cell-free translation system and a selection system using IVV. The cell-free translation system is based on a cell-free translation system using rabbit reticulocyte lysate (RRL) and a cell-free translation system using wheat germ extract (WGE). The selection system is based on a selection system using IVV. The system is highly efficient and can be used for high-throughput analysis of PPI and complexes. © 2005 Wiley Periodicals, Inc. *J Proteome Res* 4: 1710–1717, 2005

*Correspondence to: H. Tsunoda, Department of Applied Chemistry, Faculty of Science, Kagoshima University, Korimoto, Korimoto, Kagoshima 890-0055, Japan. E-mail: tsunoda@chem.kagoshima-u.ac.jp

© 2005 Wiley Periodicals, Inc.

This article published online in Wiley InterScience, September 15, 2005.

Keywords: cell-free translation; selection; in vitro virus; high-throughput analysis; protein-protein interactions; complexes

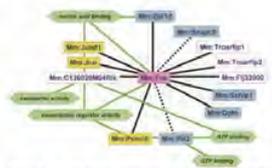
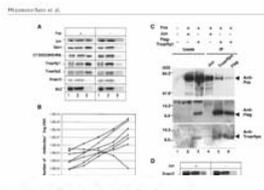


Figure 6. PPI map with function analysis. A PPI map including D (solid black lines) and ID interactions (broken black lines) of a positive data set (Table 1) was depicted using Cytoscape (http://). Fos is a bait protein (pink square). Proteins (green) flanking colored squares correspond to Table 1. (Yellow squares) Fos interaction-known proteins; (Blue squares) Fos interaction-unknown proteins; (Red squares) function-unknown proteins. Several molecular functions (green hexagons with solid green lines) were analyzed with Isoclick. Transcription regulator activity: Fos, Jun, JunB, JunC, C13002M448K, nuclear acid binding: Fos, Jun, JunB, JunC, C13002M448K, ATP binding: FosC2, FosL2, C13002M448K, transporter activity: C13002M448K, and GTP binding: R62. Molecular functions were defined in the gene ontologies of MGI (http://www.informatics.jax.org/searches/GO_term.shtml).

Etsuko Miyamoto-Sato et al. *Genome Res.* 2005 May;15(5):710-7. 13

IVVの信頼性



PPIの証明:
ブルダウン法(&IP): 10/12
リアルタイムPCR法: 10/12
複合体の証明:
リアルタイムPCR&ブルダウン法

Etsuko Miyamoto-Sato et al. *Genome Res.* 2005 May;15(5):710-7.

Table 1. Positive data set of a gene catalog

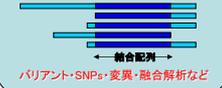
Gene name	2110 seq.	1718 seq.	1513 seq.	120	100	80	60	40	20	10	5	2	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells before input)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after input)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after PCR)	125	118	72	14	62	31	15	8	4	2	1	1	1	0
Counts (1 x 10 ⁶ cells after selection)	125	118	72	14	62	31	15	8</						

IVV法の特徴

1. *in vitro* の利点

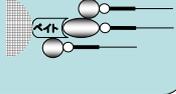
- ・細胞毒性をもつタンパク質の解析も可能
- ・様々な種類の少量の組織からライブラリー作製可能

3. 相互作用部位の正確な抽出



2. 複合体の解析

1:多分子解析



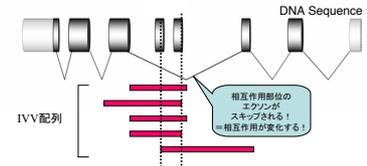
4. 高感度で偽陽性少



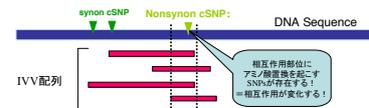
19

バリエーションとSNPs解析

バリエーション:

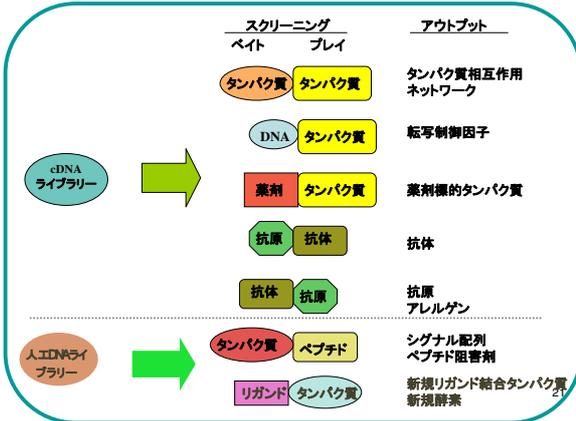


SNPs:



20

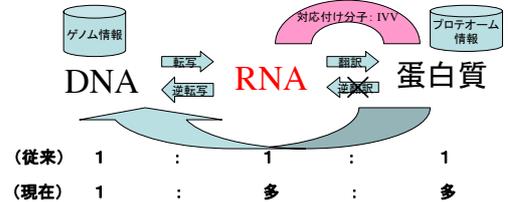
IVV法の多様な標的タンパク質のスクリーニングへの応用



従来法との比較

ツーマイブリッド法	IVV法	質量分析法
<i>in vivo</i>	<i>in vitro</i>	<i>in vivo</i>
ゲノムベース 相互作用領域情報 (△)	ゲノムベース 相互作用領域情報 (○)	プロテオームベース 相互作用領域情報 (×)
1:1解析	複合体解析	複合体解析

セントラルドグマ



(従来) 1 : 1 : 1
(現在) 1 : 多 : 多

IVV法: RNAの多様性を反映できる蛋白質の検出法
-プロテオーム情報とゲノム情報をリンクできる方法

22

現在のバイオロボットの問題点

- ・外国製のため装置の改良が困難
- ・装置が大き過ぎ、使い勝手が悪い
- ・装置の保守・管理のコストが高い
- ・試薬のコストが高い
- ・IVV法の能力をまだ十分引き出せていない



- ・装置のダウンサイジングとプロセスの集積化が必要
- ・ITとのリンクが必要

23

IVV法に必要な単位操作

- 分注、混合、攪拌、
- 精製、分離、洗浄、
- 吸着(ビーズ)、溶出、
- 反応(増幅、翻訳)、
- 検出(UV)

24

IVV法の微小高集積解析システムとしての μ TASの利用



IVV法の強み

- ・複雑な基本的な要素技術やシステム化はすでに確立している
- ・基礎的なゲノム科学研究ばかりでなく、創薬などの応用研究にも役立つ
- ・次世代のゲノム科学研究をブレイクスルーできる可能性が高い

25

①大門寛(奈良先端大)・ナノ領域の構造と電子状態を解析する立体原子顕微鏡
WS「ものづくりおよび社会ニーズに関連する先端計測技術の方向性と開発戦略」
平成18年6月24日

「ナノ領域の構造と電子状態を解析する立体原子顕微鏡」

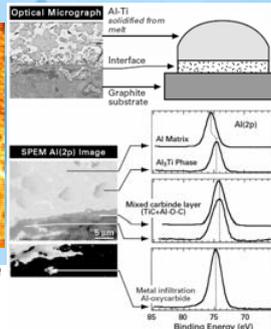
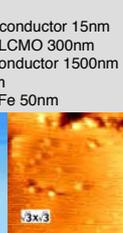
大門 寛
奈良先端科学技術大学院大学(NAIST)

1

「ものづくりおよび社会ニーズに関連する先端計測技術」⇒顕微分光

大きく均一な試料 ⇒不均一、多結晶、ナノ構造特有の物性

Domain size
High-Tc Superconductor 15nm
CMR Material LCMO 300nm
Organic semiconductor 1500nm
HOPG 1000nm
Surface $\text{sq}r(3)\text{Fe}$ 50nm



SPEM images and Al 2p XPS spectra from a metallurgical study of Al/Ti melt interactions with solid graphite.
Data courtesy of S. Sgall, T. Warwick, N. Sobczak, A. Garcia, H. Ade, J. Denlinger, B. Tonner.

光電子顕微鏡 PEEM (Photoemission electron microscope) Ref. [1]

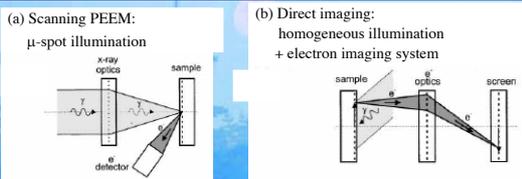
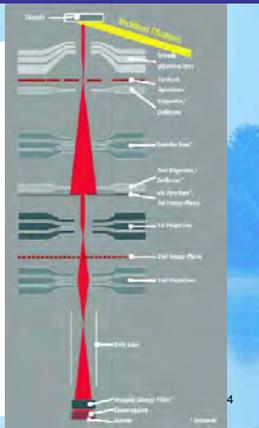


Table 1 Operation mode and spatial resolution achieved at the indicated year with some microscopes using geometries illustrated in Fig. 5, and different primary excitation sources

Geometry	Photons	μ-spot	Direct imaging	Operation mode
A	5-7 eV, Hg, D ₂ lamp	SPM 1990 [63,64]	Oregon UV-PEEM, 1991 [12]	SE-yield
	Lab-X-ray source (fixed energy)	PHI-Quantum 2000 [11]	VG ESCALAB 250 [11]	XPS
	Synchrotron X-ray (fixed, adjustable energy)	VG Sigma-probe [12]	Katzen Axis Ultra [14]	UPS, XPS
		Conrad Schwarzschild SPM at ELETTRA, 2000 [44]	Magnat-projection PEEM, 1991 [30]	
		SPEM at ELETTRA, 1997 [58]	SPELEEM, 1998 [68]	
		SPEM at TRISTAN, 1991 [45]	XANES-PEEM, 1998 [69]	XAS
		SPEM at ALS, 1998 [71]	PEEM_2 at ALS, 1999 [115]	XANES

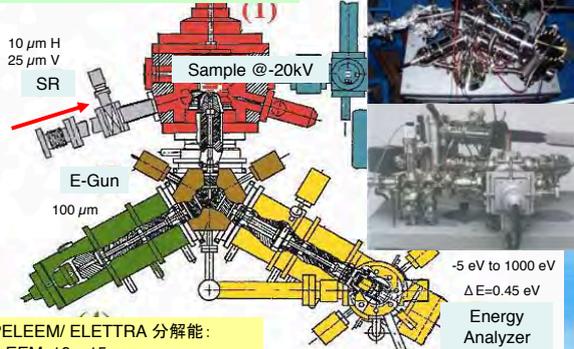
3

Examples : FOCUS PEEM



4

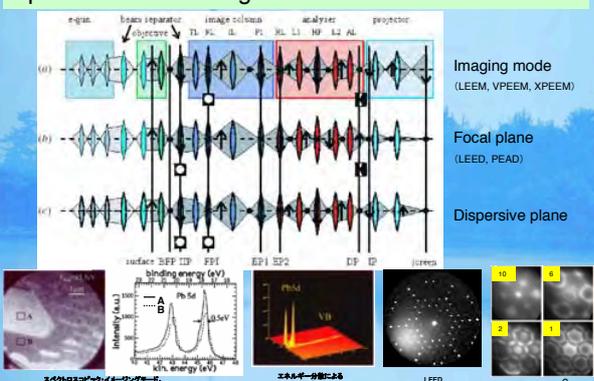
PEEM (光電子顕微鏡) の例 SPELEEM/ ELETTRA



SPELEEM/ ELETTRA 分解能:
• LEEM: 10~15 nm
• XPEEM: 40~60 nm (通常)

5

Optical schematic diagram of the SPELEEM



TH. Schmidt et al., Surf. Rev. Lett. 5 (1998) 1287.

放射光光電子顕微鏡とその他の顕微鏡の比較



7

放射光光電子顕微鏡 (PEEM) とその他の顕微鏡の比較



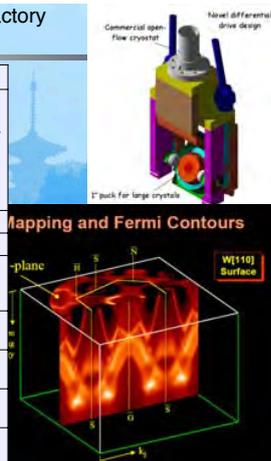
8

Microscopes in ALS (Berkeley, USA)

14.3	Visible IR Spectromicroscopy	可視・赤外顕微分光
4.0.1.2	Photoemission Electron Microscopy	光電子顕微鏡 (PEEM)
5.3.2	Scanning Transmission X-Ray Microscopy for Polymers	走査透過X線顕微鏡
6.1.2	Imaging X-Ray Microscopy	イメージングX線顕微鏡 dx=15nm
6.3.1	MicroESCA	微小領域光電子分光 5 x 200 μm
7.0.1	Scanning Photoemission Microscopy	走査型光電子顕微鏡 dx=50nm
7.3.1.1	Photoemission Electron Microscopy	光電子顕微鏡 (PEEM) 1012 ph, 30 x 30 μm, dx= 50nm
7.3.3	Micro X-Ray Diffraction	微小領域X線回折
9.0.1	Coherent Imaging	コヒーレントイメージング
10.3.1	X-Ray Fluorescence Microprobe	微小領域X線蛍光分析
10.3.2	MicroXAFS	微小領域XAFS 5 x 5 μm
11.0.2	Scanning Transmission X-Ray Microscopy for Molecular Environmental sciences	走査透過X線顕微鏡 1013 ph, 6 x 11 μm
11.3.2	EUV Lithography Mask Inspection	EUVリソグラフィーマスク検査

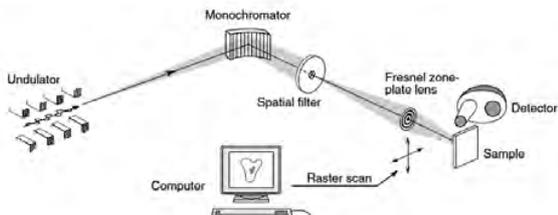
The Electronic Structure Factory (ESF) BL7.0.1 ALS

Endstation(ESF)	Electronic Structure Factory
Characteristics	High-resolution, angle-resolved XPS spectroscopy; capable of making images by rastering the sample through a fixed spot; sample is rotated for angle-resolved measurements
Energy range	60-1200 eV
Monochromator	SGM
Calculated flux (1.9 GeV, 400 mA)	~10 ¹² photons/s/0.01% BW (resolution dependent)
Resolving power (E/ΔE)	less than or equal to 8000
Detectors	SES-100 hemispherical electron energy analyzer
Spot size at sample	50 μm
Angular resolution	0.1 degree



Scanning Photoemission Microscope (SPEM) BL7.0.1 ALS

Endstation Specifications					
Photon Energy Range (eV)	Photon Flux (photons/s/0.01%BW)	Spectral Resolution (E/ΔE)	Spatial Resolution (nm)	Samples	Image
100 - 800 (up to 1000 working energy)	10 ¹² - 10 ¹³ (typical focused flux)	3000 (typical ΔE = 300 meV)	150 (typical) ⇒ 50nm	UHV-Compatible Solids (up to 25-mm diameter)	<0.1mm

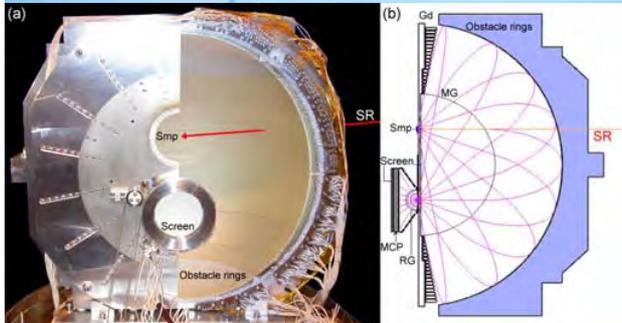


2次元光電子分光と立体原子写真の進展

奈良先端科学技術大学院大学
 松井 文彦、加藤 有香子、稲地 加那子
 高橋 伸明、平間 芳輝、大門 寛
 JASRI/Spring-8
 松下 智裕、郭 方准
 立命館大学
 浜田 洋司、中西 康次、難波 秀利

12

Display-type spherical mirror analyser (DIANA)

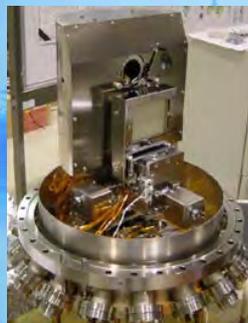


エネルギーと放出角度分布を一度に測定できる

奈良先端科学技術大学院大学

小型高エネルギー分解能型DIANA

小型で使いやすく、信頼性が高く、エネルギー分解能が高い分析器の開発。



- ①新しい外球の設計
- ②可変アパーチャの導入
- ③MCP駆動用モータの導入
- ④小型電子銃の導入

目標の性能

エネルギー分解能: 0.15%
 角度分解能: 1°
 障害リング: 152本
 光電子の取り込み角:
 ±60° LEED, Auger,
 SEM のその場測定
 が可能。

14

●2D UPS + linearly polarized light



BL-7 (Rits SR center) ($h\nu = 40 - 90$ eV)



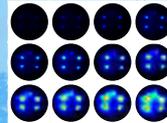
Rits SR center: the smallest SR ring in the world.

3D valence band dispersion measurement
 Atomic Orbital Analysis

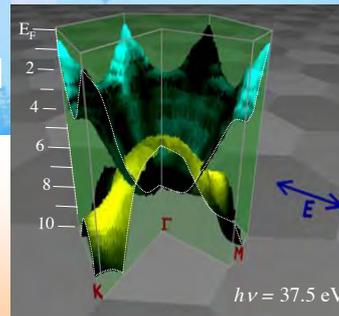
奈良先端科学技術大学院大学

2D-UPS $E_B(k_x, k_y) \Rightarrow$ Three-dimensional band dispersion

F. Matsui, Y. Hori, H. Miyatake, N. Suganuma, H. Daimon, H. Totsuka, K. Ogawa, T. Furukubo, H. Namba: Appl. Phys. Lett. 81 (2002) 2556.



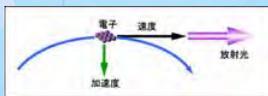
- 3D electron energy band
- Orbital analysis using linearly polarized light
- Bonding character from photoemission structure factor



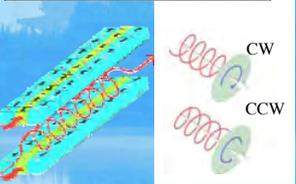
3D structure of graphite valence band

奈良先端科学技術大学院大学

Circularly Polarized Soft X-ray at SPring-8



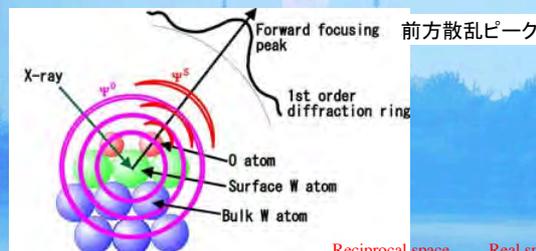
SPring-8: the largest SR ring in the world.



Left / Right helicity light produced by helical electron movement.

奈良先端科学技術大学院大学

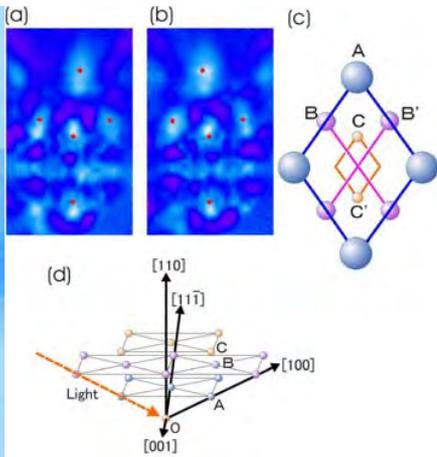
X線励起光電子の放出角度分布



$$(PEAD) = |\Psi^0|^2 + \underbrace{\Psi^0\Psi^{S*} + \Psi^{0*}\Psi^S}_{\text{Interference Diffraction}} + \underbrace{|\Psi^S|^2}_{\text{Forward Focusing Peak}}$$

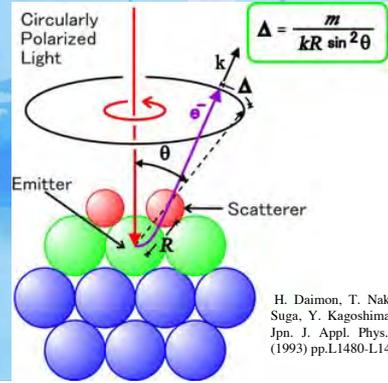
18

W(110)
の立体写真



H. Daimon,
Phys. Rev. Lett. 86,
(2001) 2034

前方散乱ピークの回転角の式



H. Daimon, T. Nakatani, S. Imada, S. Suga, Y. Kagoshima, and T. Miyahara:
Jpn. J. Appl. Phys. 32 Part 2, (10A)
(1993) pp.L1480-L1483. 20

立体視

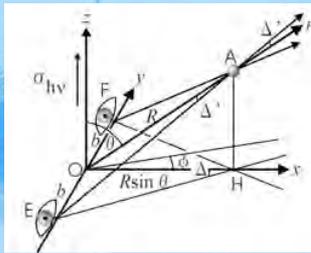
立体写真

それぞれの目で見たときの
写真を並べたもの

視差(±Δ)

$$\tan \Delta = b / (R \sin \theta)$$

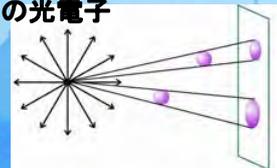
⇒ 距離に反比例



21

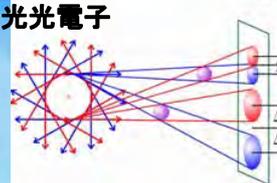
円偏光光電子でできる原子の影の視差角

通常の光電子



原子の
投影写真

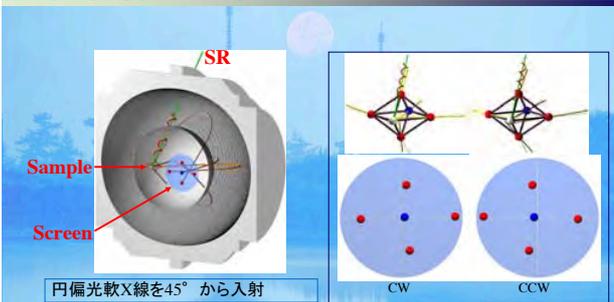
円偏光光電子



原子の影
の視差角

22

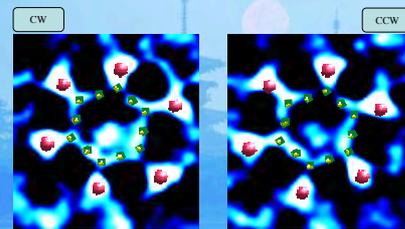
Display-type Analyzer:



回折パターンや前方散乱ピークが直接観察できる

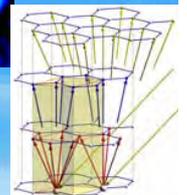
京都府立総合科学技術センター

検証実験

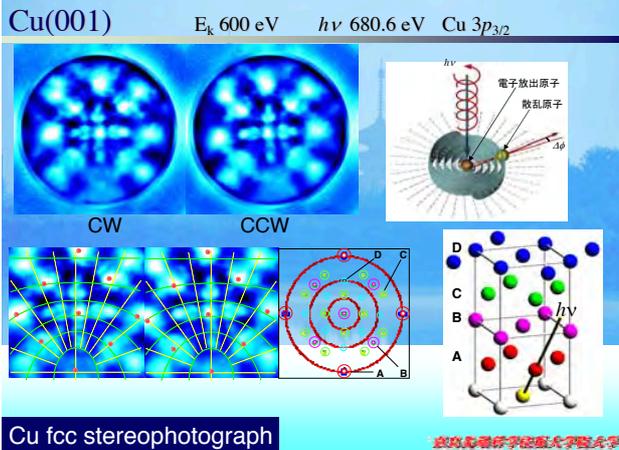


グラファイトの立体原子顕微鏡写真

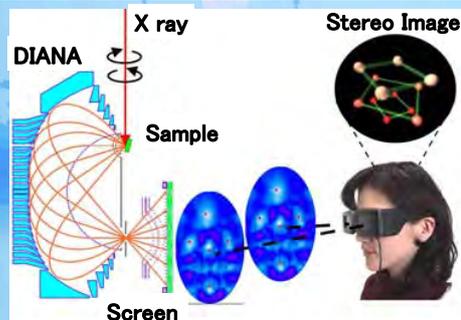
適用事例を増加した。
(グラファイト, MoS₂, Fe₃NbS₂など)
S軌道しかないグラファイトでも測定できた
ことは、ほとんどの試料に適用できることを
証明できたことになる。



24



3次元原子配列のリアルタイム観察



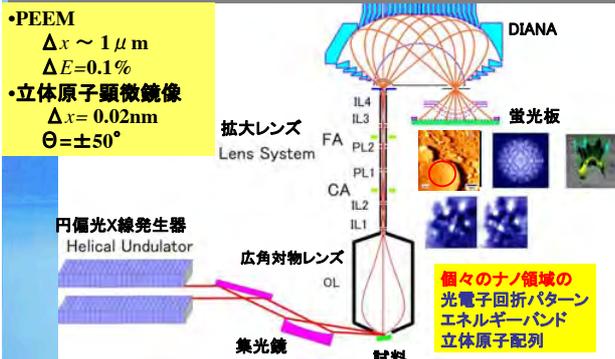
H. Daimon, Phys. Rev. Lett. 86, (2001) 2034

2次元光電子分光

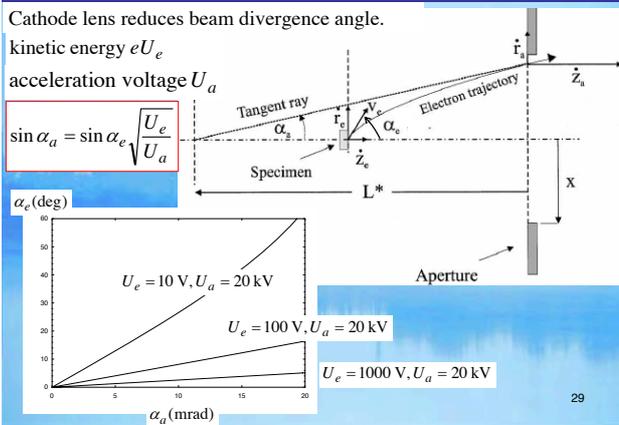
- 電子状態
 - 3次元エネルギーバンド
 - 原子軌道解析
- 立体原子顕微鏡
 - 円偏光励起光電子放出角度分布に現れる前方散乱ピーク
 - 原子配列の立体写真
 - 二次元表示型球面鏡分析器で直接撮影可能
 - 直接法なので実時間測定可能
 - 顕微鏡なので原理的には単分子でも見える

見ている領域は励起光のスポットサイズ ($300 \mu\text{m}$)
 ⇒ 顕微鏡機能を持ったレンズシステム

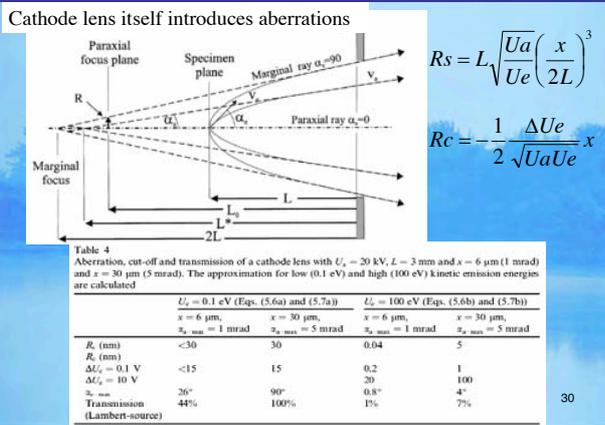
原子配列光電子顕微鏡 (Stereo-PEEM) JST-CREST



Basic principles of PEEM Ref. [1]



Basic principles of PEEM Ref. [1]



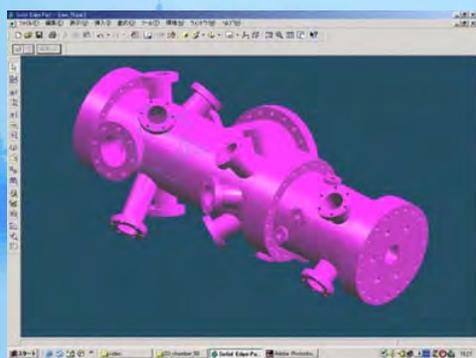
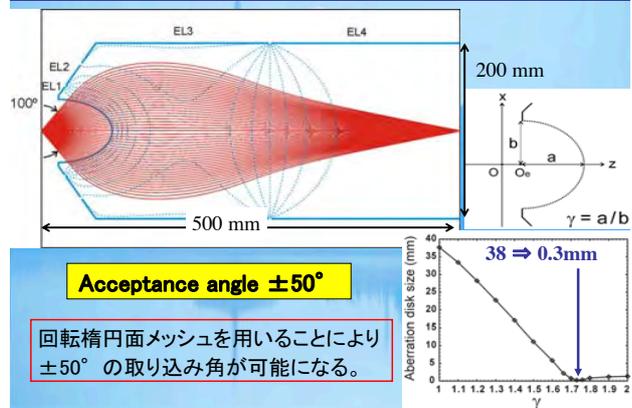
メッシュレンズと Stereo PEEM の開発

松田博之, Laszlo Toth, 大門 寛

[1] H. Matsuda, H. Daimon, M. Kato and M. Kudo, Phys. Rev. E 71, 066503 (2005)
[2] patent: PCT/jp2004/016602, Japan 2004-208926

31

Wide-angle ellipsoidal-mesh lens



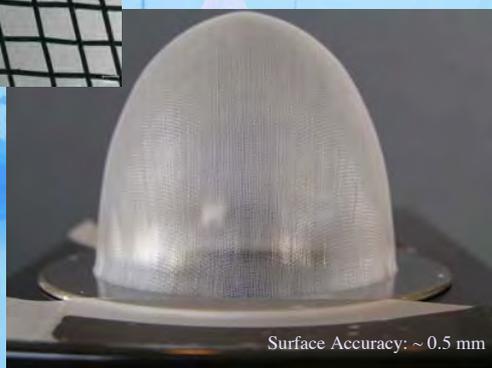
The drawings were made in SolidEdge, AutoCAD and Qcad. 33



34



#100, d_0 : 0.050(1) mm
 d_x : 0.030(2) mm, d_y : 0.034(2) mm



Surface Accuracy: ~ 0.5 mm



まとめ

- 2次元光電子分光により、
 - 電子状態解析---3次元バンドマッピング
 - 原子構造解析---立体原子写真、光電子回折、ホログラフィー
 - リアルタイム観測も
- 顕微鏡機能を付加して
「ナノ領域の構造と電子状態を解析する立体原子顕微鏡」を開発
 - 回転楕円面のメッシュを用いた $\pm 50^\circ$ 静電型広角レンズ
球面収差ゼロ、大角度分布の分析器(実施検討中)
テスト実験で5倍の像を確認
全体の製作、拡大率と分解能は今後の課題

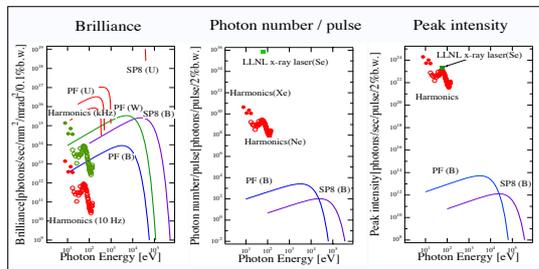
37

レーザー光電子分光による超高分解能光電子分光
—材料物質の電子機能性解明—

東京大学物性研究所
理化学研究所

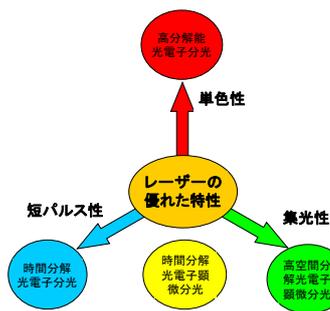
辛 埴

レーザーと放射光光源との比較



SR PF: Photon factory W: wiggler SP8: Spring8
X-ray laser B: bending magnet Lawrence Livermore National Laboratory
Harmonics Ti:S, Xe or Ne ISSP, University of Tokyo

極端紫外レーザーの3つの特性と
光電子科学への新しい応用



高分解能光電子分光

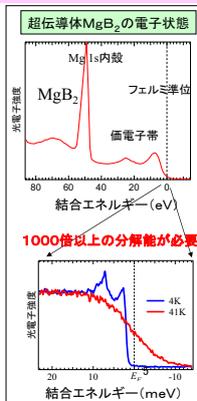
材料の機能性は電子状態により決定

どの電子が機能性に寄与するか？

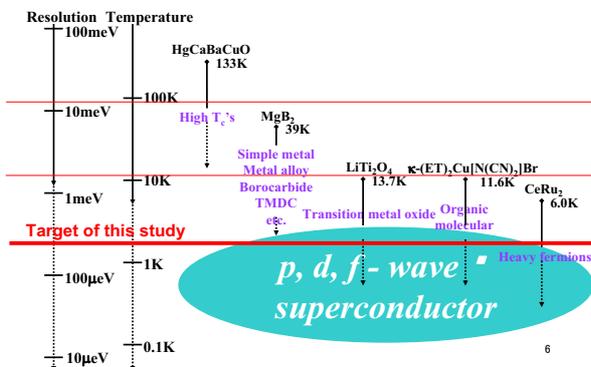
特にフェルミ準位付近の電子が寄与
(300Kは30meVの電子エネルギーに対応)

化学反応におけるフロンティア軌道同様、金属
や半導体の輸送現象においても、フェルミ準位
近傍(HOMO-LUMO)の電子が物性を決定する

機能性を知るためには、一般に
高いエネルギー分解能が必要

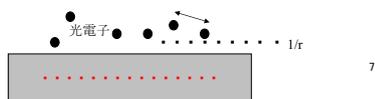


Research of Superconductors by PES



光電子分光の分解能を決定する要因

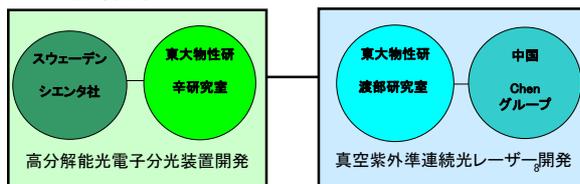
1. 光源のエネルギー幅
2. 光電子分光器
スリット幅
バスエネルギー
工作精度
スリット等による仕事関数の乱れ
3. 電源の変動
4. アースのリプル
5. 漏れ磁場
6. 空気中の電磁場
7. スペースチャージ



8

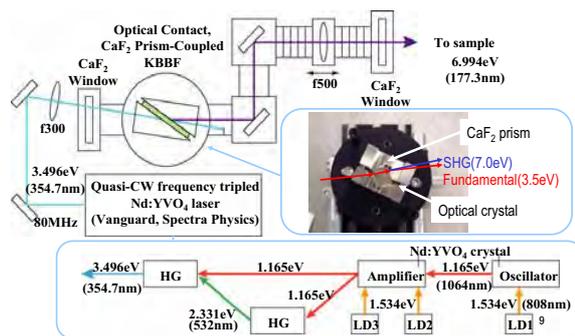
レーザー光電子プロジェクト

- **新型レーザー光源開発**
 1. すぐれた単色性 (極めて狭いエネルギー線幅)
(260 マイクロ電子ボルト=0.006ナノメートル)
 2. 大強度 (10¹⁵ 光子数/秒)
 3. 準連続光として世界最高エネルギー (最短波長)
(7 電子ボルト=177ナノメートル)
- **新型光電子分光器開発**
 1. 世界最高分解能 (250 マイクロ電子ボルト)
 2. 高効率



新型準連続レーザーの開発

準連続レーザーとしては世界最高エネルギー(これまでは6eVが最高)



C. T. Chen, et al. 特許 No. ZL-0115313.x (中国), 10125,024 (アメリカ合衆国)

T. Togashi, et al., Opt. Lett. 28, 254 (2003)

超高分解能光電子分光の開発

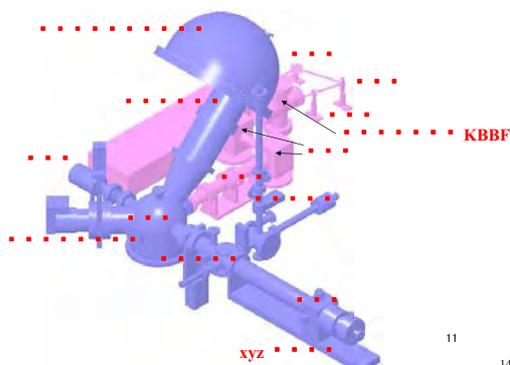
シエンタ社 R4000 光電子分光器



- 超高分解能:
250 μeV 分解能
これまでの10倍
- 高効率;
広い立体角 (37度)
これまでの2.5倍

10

レーザー励起光電子分光装置

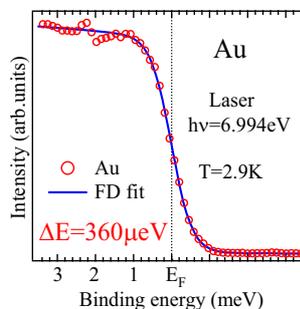


11

14

Performance of the experimental system

Highest resolution of the world



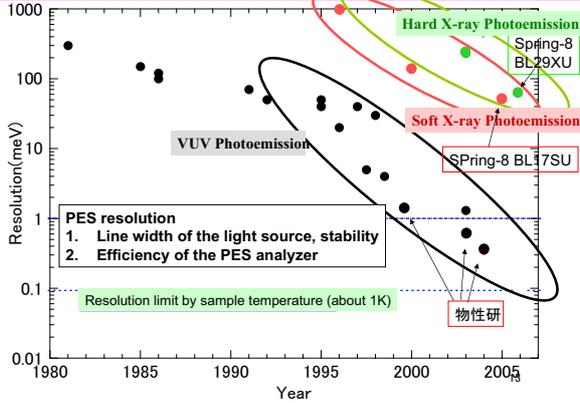
Total Resolution

$$360 = \sqrt{250^2 + 260^2} \mu\text{eV}$$

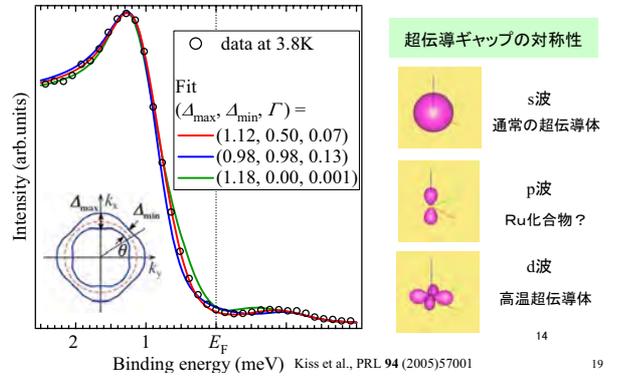
analyzer resolution laser line width

12

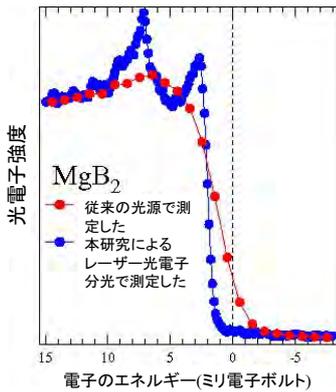
高分解能光電子分光の歴史



CeRu₂における超伝導機構の解明; 超伝導ギャップの異方性



ホウ化マグネシウム (MgB₂) の超伝導機構の解明

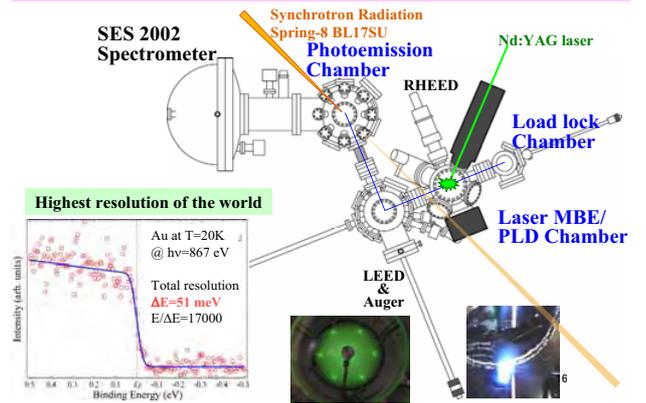


ホウ化マグネシウム (MgB₂) の超伝導ギャップ。レーザー光電子によって、二つあることがはっきりと観測された。

2つの超伝導電子の相互作用が転移温度を高めた

参考: ホウ化マグネシウムは秋光先生(青山学院大学)によって日本で最近発見された超伝導体。転移温度39Kは合金としては世界最高。もろとも実用的な超伝導体。

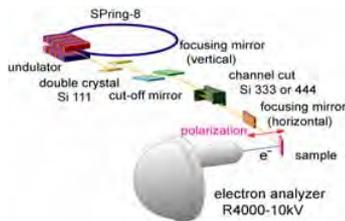
In situ SX-ARPES - laser MBE/PLD system



Hard X-ray Photoemission Spectroscopy

collaboration with Coherent X-ray Optics Lab. and Spectroscopy group @ JASRI

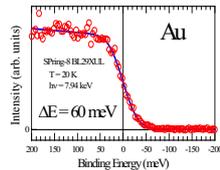
Development at BL29XU; Highest resolution and Highest throughput



Y. Takata et al., NIM A547, 50 (2005).
T. Ishikawa et al., NIM A547, 42 (2005).

Highest resolution of the world

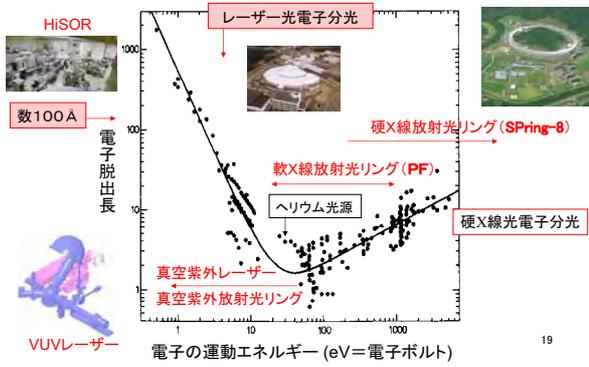
ΔE = 60 meV!
at 7.94keV
(E/ΔE=130,000)



- ★ excitation energy: 5.95 or 7.94keV, ΔE (hv): 40-60meV
- ★ photon flux: 10¹¹ photons/sec @ 50x 50 μm²
- ★ analyzer: R4000-10kV (Gammadata Scienta)

バルク敏感

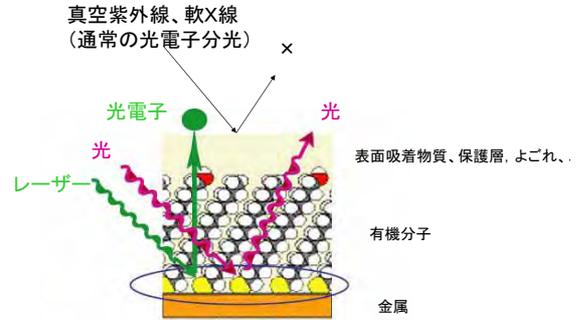
様々な光源の進歩と光電子分光



19

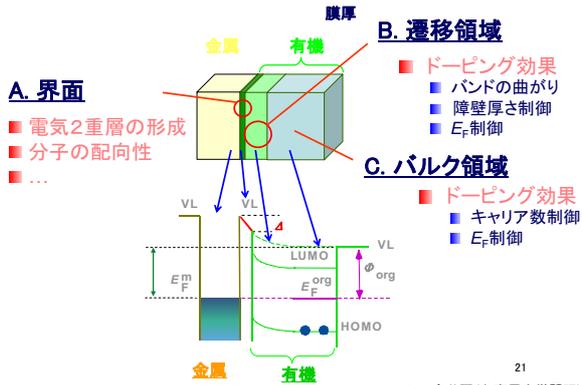
17

機能性を有する有機分子/金属の研究が可能に



20

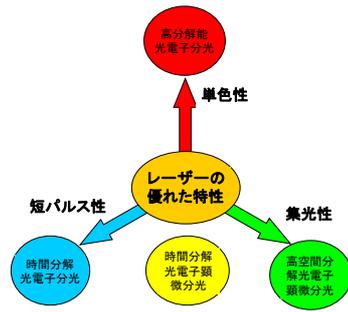
その他の例2: 有機薄膜 / 電極金属界面における問題



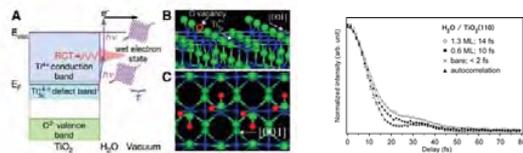
21

By 金井要 (名古屋大学開研)

時間分解光電子分光



22

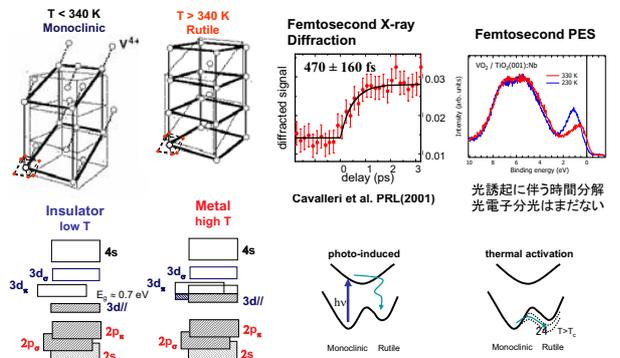


二酸化チタン上のサブ10 fs時間分解光電子分光 (恩田 Science, 2005年5月20日号)

二酸化チタンTiO₂(110)表面及び、その表面に水を0.6分子層、1.3分子層つけた表面を3.05eV、10fsのレーザーパルスを用いた時間分解干渉2光子光電子分光法により測定した結果。サンプル温度は100K。下図はその結果の位相平均を規格化したもので中間準位の緩和寿命を表す。またレーザー自身の自己相関関数も同時に示した。AはTiO₂のバンド構造と2光子光電子分光の測定原理を示し、B、Cは第一原理計算により求めた水吸着TiO₂表面の構造を示す。これらの結果は、表面において15fs以下の寿命を持つ2次元的水和電子が存在することを示している。

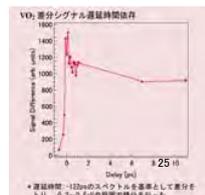
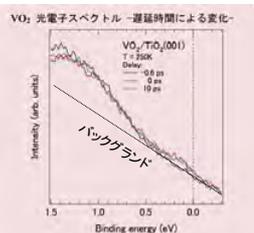
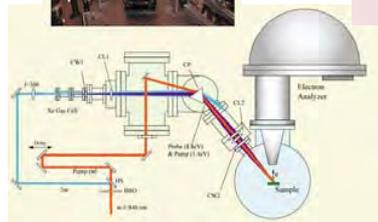
23

Ultrafast structural and electric transition in VO₂

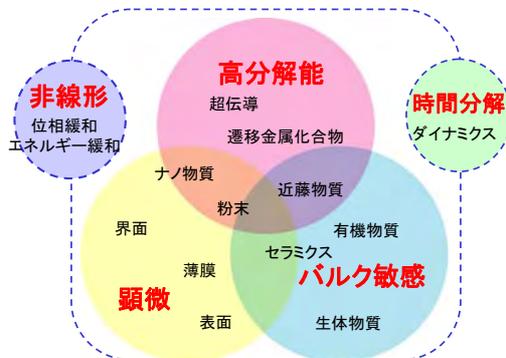


時間分解光電子分光

世界で初めて！
光誘起・金属絶縁体相転移を光電子分光で観測した



レーザー光電子分光の将来



ナノ物質・材料の創製・計測のための量子ビーム基盤技術

物質・材料研究機構 量子ビームセンター
 岸本直樹
<http://www.nims.go.jp/heavyion>

Outline:

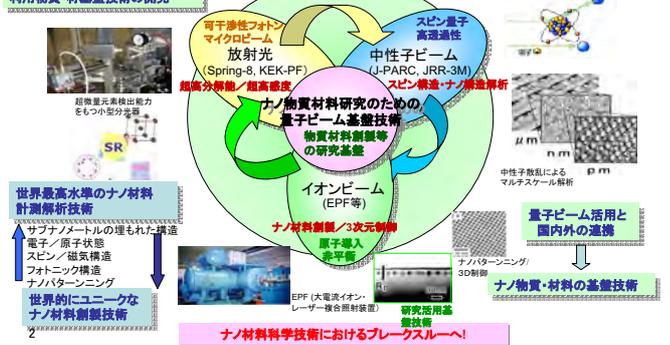
1. 量子ビーム基盤技術プロジェクトの位置づけ
2. ナノ物質材料のための量子ビーム基盤技術の方向
3. 研究成果の事例
4. 今後の方向



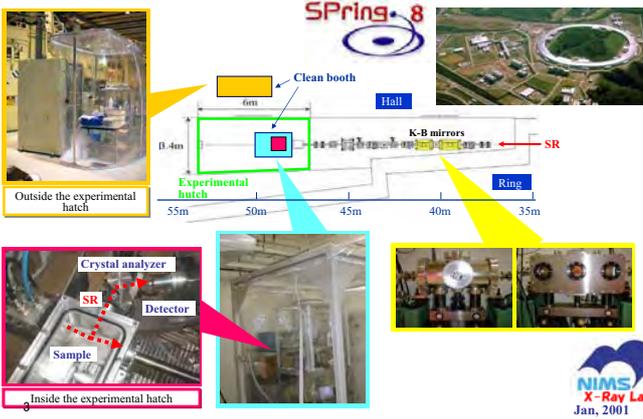
ナノ物質・材料の創製・計測のための量子ビーム基盤技術の開発

研究目的：高輝度放射光（Spring-8, PF）、中性子ビーム（J-PARC, JRR-3M）、高エネルギーイオンビームなどの高度かつ複合的な量子ビーム利用技術を開発し、ナノ物質・材料の創製、造形、制御、計測に資する技術基盤を確立する。

ユニークかつ相補的な量子ビーム
 利用物質・材基盤技術の開発



TXRF Experiments at Beamline 40XU, SPring-8



WD-TXRF Spectra for Trace Elements in Micro Drop

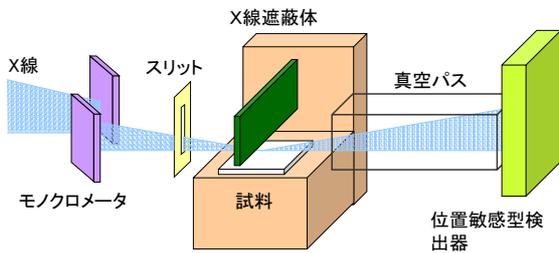
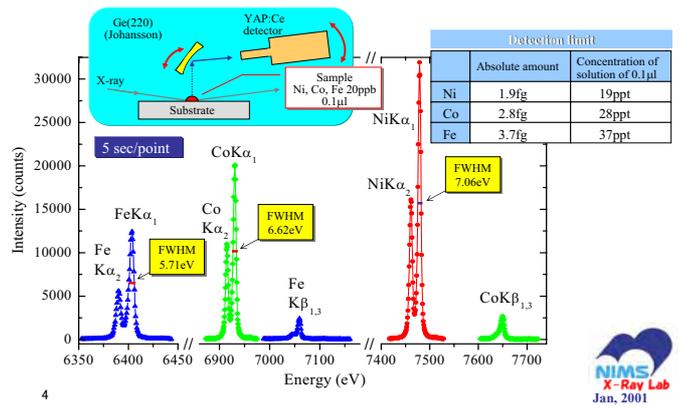
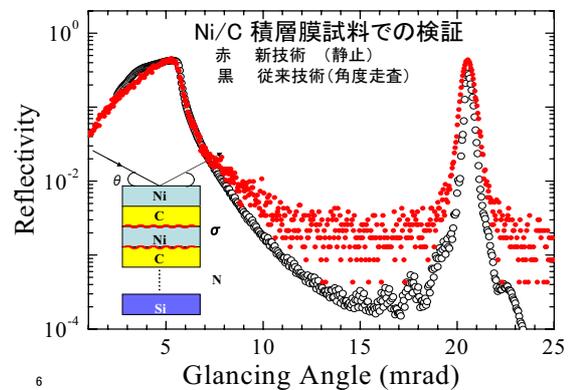


図 新しいX線反射率技術の考案

表面や埋もれた界面を迅速に観察するための基礎技術を考案した。 $\theta/2\theta$ 走査を行うことなく、試料を静止したままX線反射率を測定することができる。（特願2004-032761）

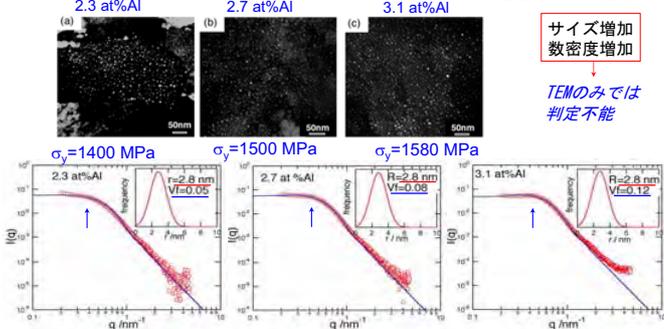


ナノスケール析出物のサイズ、析出量の定量評価 (labo-SAXS, SANS)

ex. 550°Cで5時間の焼鈍を行った13Cr-8Ni-1.2Mo-AI ステンレス鋼

→ 5nm程度の微細なNiAl相の析出により強化

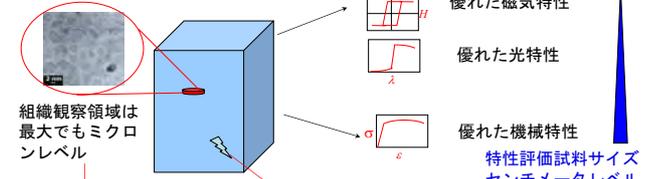
強度上昇の原因は？



平均粒径：変化なし
体積分率およびピーク（矢印）→ 数密度の増加

ref. 分析化学, vol.55(6), 大沼 鈴木
in print

今後の方向 - 小角散乱の場合
ナノレベル構造制御材料の開発



サブナノメートルの粒径の差
→ 時に数10%の特性差

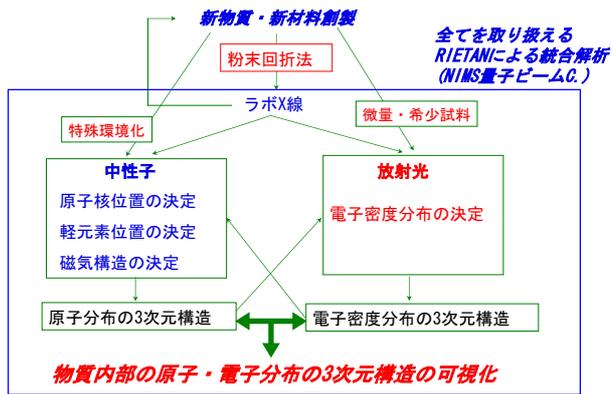
欠陥が特性を左右
時にミクロンメートルに達するサイズ

1cm³には10²²個の10nm粒子が含まれ得る。
1万個に1個の抽出試験でも10¹⁸個の粒子をサンプリングする必要！

ナノテクを駆使した材料を安全・安心に使うために
塊（センチメートル）の中の不均一構造をサブナノメートルの精度
でナノメートルからミクロンメートルまでプロファイリングすべき！

14 → 中性子小角散乱が唯一の手段！

今後の方向 - 粉末回折の場合



全てを取り替える
RIETANによる統合解析
(NIMS量子ビームG.)

15

J-PARC/Hi-SANS利用により期待される効果



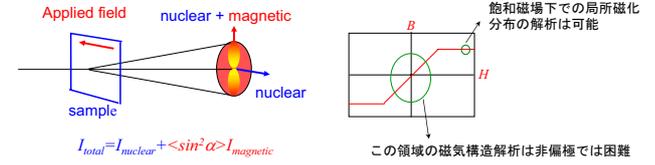
およそ10倍程度の強度増加

測定時間の短縮：種々の環境下でのin-situ測定
材料分野のマシタイム配分増加

試料サイズの微小化：大型試料が作成困難な新材料の測定

測定q範囲の大幅な拡大 ($q=4\pi\sin\theta/\lambda$)
材料中の大きな欠陥（介在物等）から1nm程度のクラスタまで評価可能

偏極中性子の利用による磁気構造の詳細解析
非偏極中性子の場合、飽和磁場以上の磁場を印可し、磁気散乱と核散乱を分離



16

イオンビーム



世界最大級のmA級
大電流イオンビーム装置

イオン種 (He, B, Au)
負イオン (60 keV)
正イオン (Max.6 MeV)

独自の大電流イオン・レーザー複合照射装置
Nd:YAGレーザー
(Max.6 J@10 Hz)

☞ ナノ量子材料の創成

17

【注入イオン種による金属ナノ粒子材料の表面プラズモン共鳴制御】

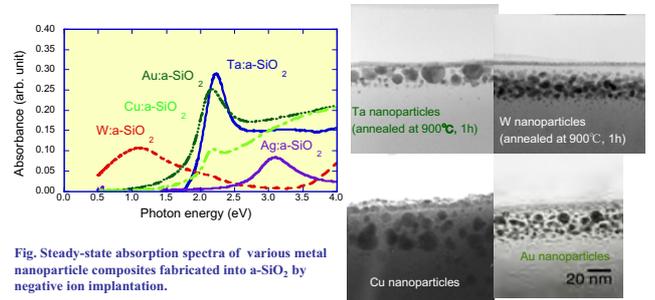


Fig. Steady-state absorption spectra of various metal nanoparticle composites fabricated into a-SiO₂ by negative ion implantation.

☞ 可視域から赤外域までの表面プラズモンエネルギーのチューニングを実証。
他に無機絶縁体から高分子までの多様な基板材料でのナノ粒子形成を確認

18

重イオン・レーザー同時照射によるナノ粒子の空間制御

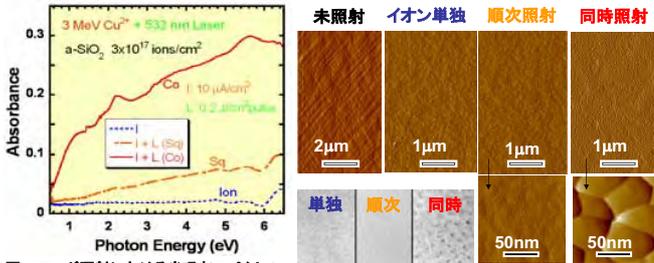


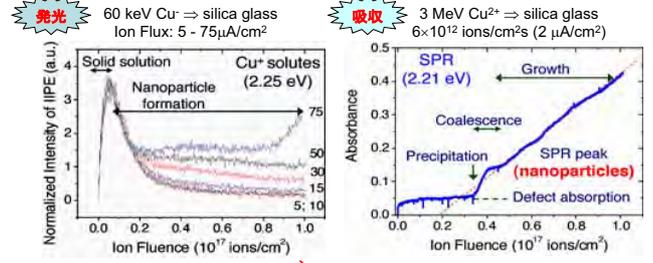
図 3モード照射における光吸収スペクトル
イオン単独照射及び順次照射では明確なSPR吸収見られないが、同時照射において明確なSPR吸収が見られる
同時照射におけるナノ粒子析出促進効果

図 AFMによる表面形態の変化
同時照射において顕著な表面荒れ、表面からの原子脱離及び再配列

図 断面TEM像

19

イオン注入下その場発光・吸収分光によるナノ粒子形成過程の観察

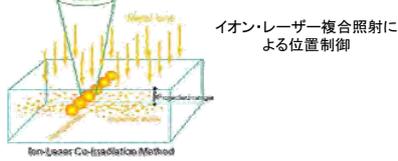
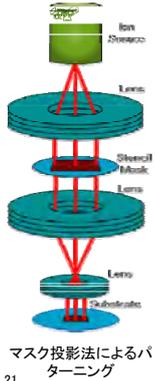


- Absorption at SPR
→ amount of Cu in nanoparticles
 - IPE of Cu⁺ band
→ Cu solute concentration
 - IPE of isolated Cu atoms
→ sputtering yield of Cu
- Stages of nanoparticle formation
 - Efficiency of nanoparticle formation
 - Effects of electronic excitation and atomic collisions on nanoparticle formation

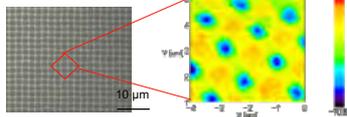
20

今後の方向

負イオン投影法・複合照射等による位置制御、ナノパターンニング技術による3次元ナノ構造制御技術の開発

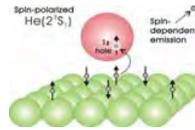


リソグラフィとの組み合わせによるドット作製



21

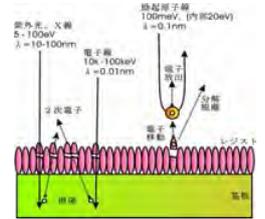
原子ビームの利用



- スピンデバイス
→ 電子スピン偏極解析
- ナノデバイス
→ 新しいナノリソグラフィー

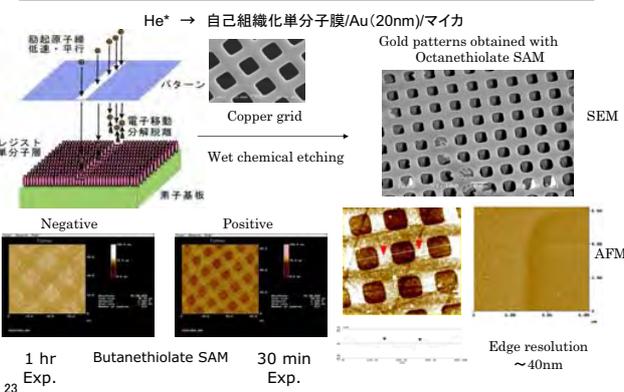
量子状態を制御したビーム
スピン、準安定(20eV)、低速(100meV)

- スピン偏極He*
→ 高深さ分解能 1原子層
- 自己組織化単分子膜レジスト
→ 高空間分解能 nm



22

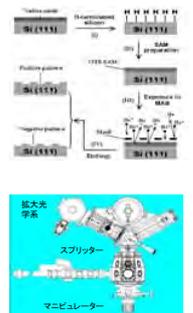
原子線リソグラフィー



23

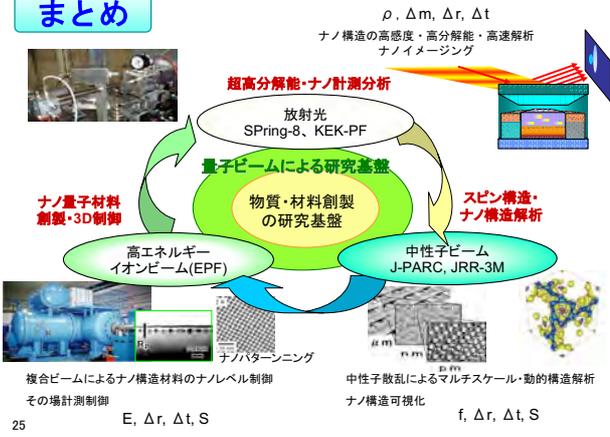
原子ビーム研究の今後

- 半導体基板の原子ビームリソグラフィー
Si基板の1段階エッチング、微細マスク
- スピン偏極準安定原子放出電子顕微鏡
最表面スピンを高分解能観察~10nm (先端計測課題?)
- 強磁界下スピン偏極履歴曲線計測
単層メタ磁性、ノンコリニアスピン
- スピン偏極イオン散乱分光法
元素毎のスピン偏極解析



24

まとめ



25

⑭茅根一夫 (SIIナノテク) : 産業ニーズに対応した分析装置

検討会

「社会および産業ニーズに関連する先端計測技術の方向性と開発戦略」

「産業ニーズに対応した分析装置」

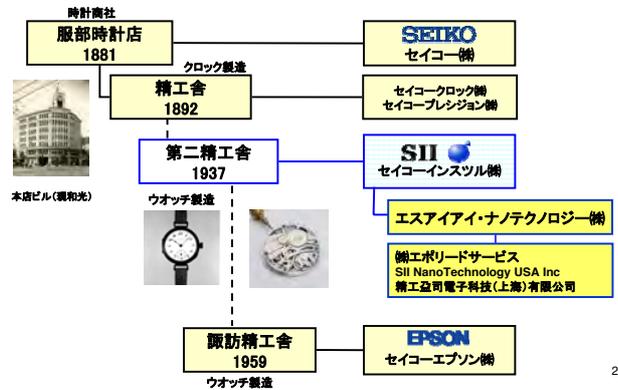
エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社

事業推進室 茅根一夫

2006年6月24日 (独)科学技術振興機構



SIIナノテクのルーツ



2

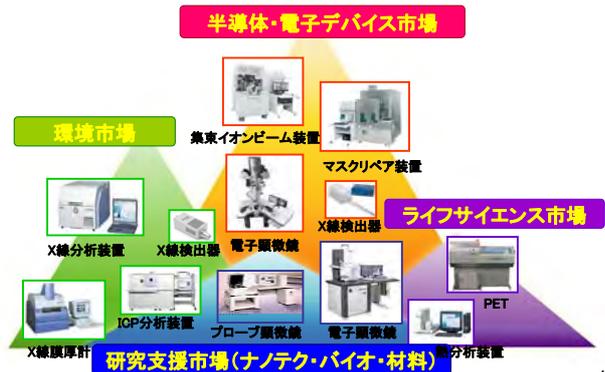
SIIナノテクの概要



- 創業 : 1970年7月 (第二精工舎 RDセンター)
- 設立 : 2003年12月1日(会社分割期日)
- 本社 : 東京都中央区新富2-15-5 RBM築地ビル
- 事業所 : 小山事業所(静岡県)、高塚事業所(千葉県)
- 営業所 : 大阪・名古屋
- 社員数 : 約360名
- 連結売上 : 約180億円 (2005年度連結)
- 事業内容 : 分析、計測、観察装置の開発、製造、販売
- グループ会社 : 株式会社エポリドサービス
精工盈司電子科技(上海)有限公司 (中国)
SII NanoTechnology USA Inc.(米国)

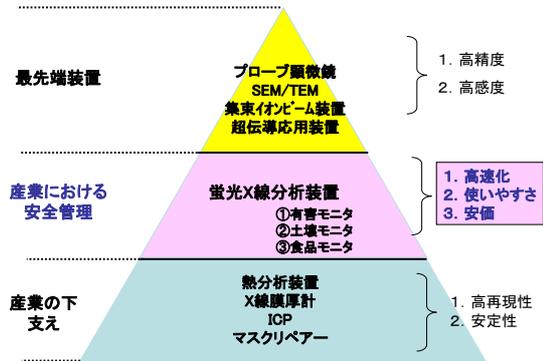
3

取扱製品と事業ドメイン



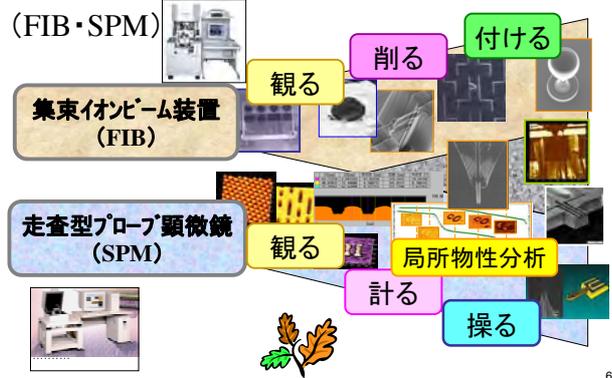
4

SIIナノテクにおける製品群の位置づけ



5

SIIナノテクのナノテク支援技術



6

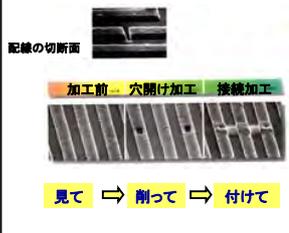
集束イオンビーム装置(FIB) SII

1台3役



1台で観察・エッチング・デポジションが可能

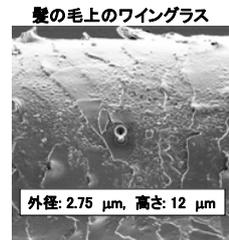
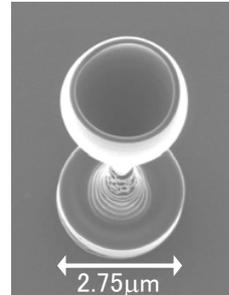
配線修正加工例



7

FIBによる微細構造物作製の例 SII

世界最小のワイングラスとしてギネスに登録



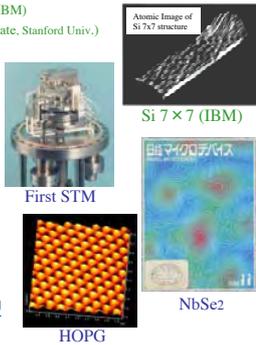
集束イオンビーム顕微鏡像
作製時間: 600秒
姫路工大、NECとの共同製作

ナノワイングラス(通常のワイングラスの2万分の一)

8

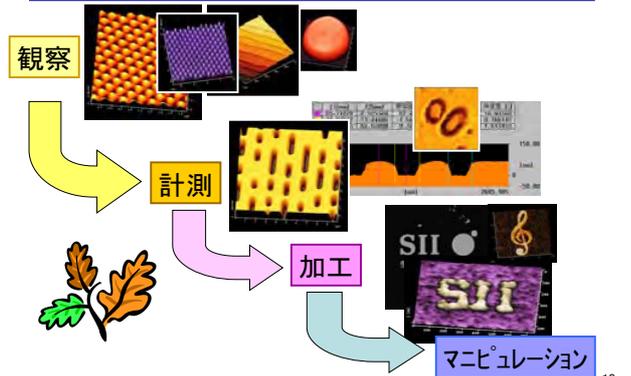
SIIナノテクにおけるSPMの歴史 SII

- 1981年 STMの発明 (Dr.Rohrer & Dr.Binnig, IBM)
- 1985年 AFMの発明 (Dr.Binnig, IBM & Prof.Quate, Stanford Univ.)
- 1985年 : STMの研究・開発を開始
- 1986年 : STMの原子像観察に成功
- 1988年 : STMを商品化
- 1990年 : SPI 3600を商品化
- 1991年 : AFMを商品化
- 以後順次 : 摩擦力、磁気力、粘弾性電位、電流 測定機能を商品化
- 1995年 : SNOAMの商品化
- 1998年 : Nanopicsの商品化
- 1998年 : 大型試料用、環境制御型を商品化



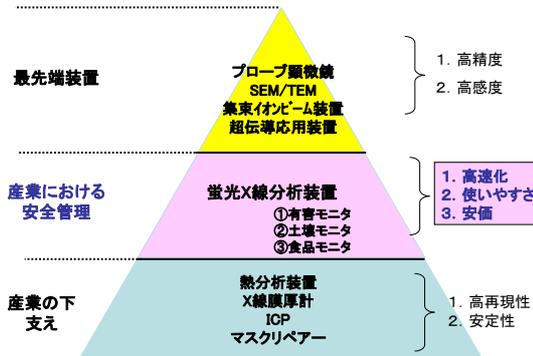
9

SPM 応用 SII



10

SIIナノテクにおける製品群の位置づけ SII



11

SII

「産業ニーズに対応した分析装置」

蛍光X線分析装置



12

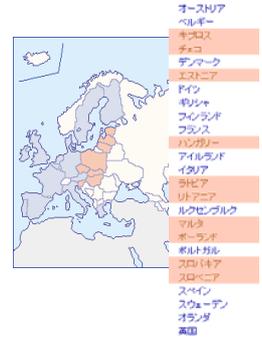
なぜ 一番の注目度なのか? SII



13

WEEE・RoHS指令 (EUの規制) SII

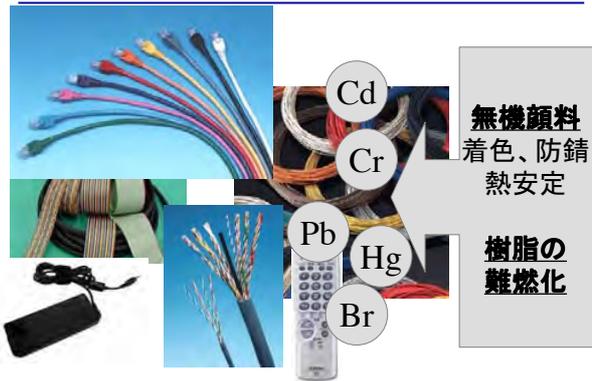
- WEEE
 - 廃電気電子機器リサイクル指令
 - Waste electrical and electronic equipment
- RoHS
 - 電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用禁止指令
 - The restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment
 - 2006年7月以降、出荷される電気電子機器製品には下記6物質を含んではいけない
Cd, Pb, Hg, Cr⁶⁺, PBB, PBDE



適用国 : (EU25カ国)

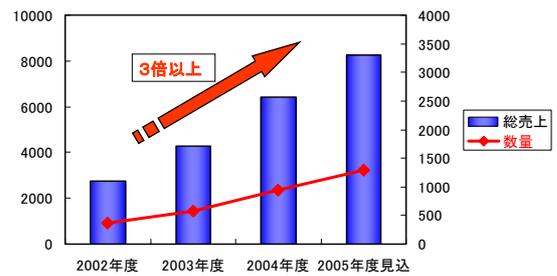
14

なぜ有害金属が含まれるのか SII



15

蛍光X線装置納入台数推移 (国内) SII

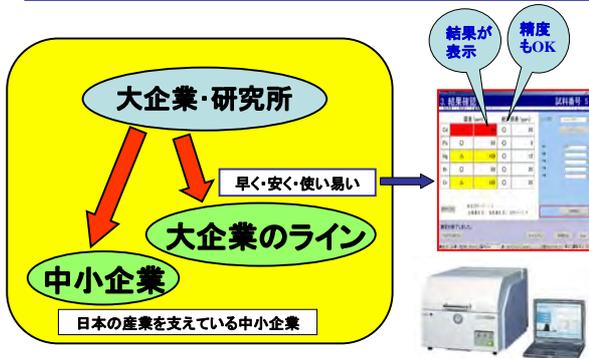


研究支援市場 から 検査市場へ

科学機器年間 市場分析編 R&D社

16

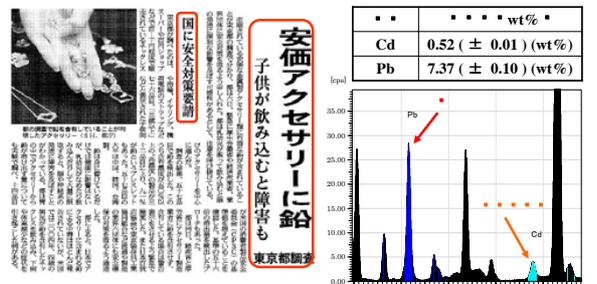
なぜ売れたか? (ニーズの掘り起こし) SII



17

2006年3月7日 日経新聞掲載 SII

子供向けアクセサリの測定例



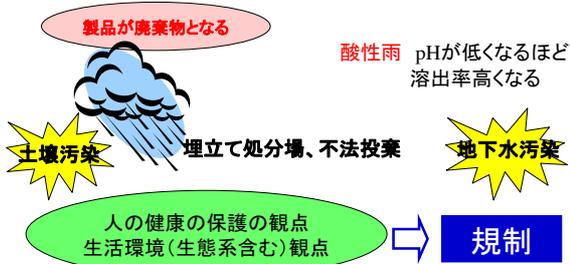
2006年6月、日本玩具協会の理事会で自主基準(暫定措置)を設定

18

土壌汚染

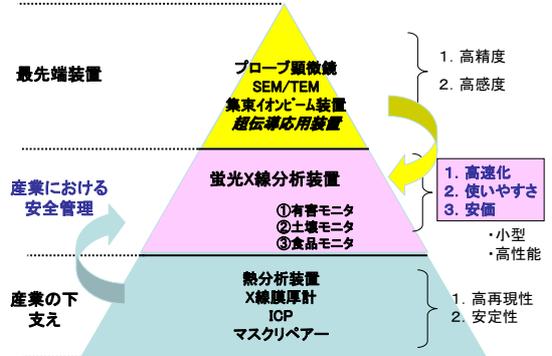


・ 廃棄物から溶出される有害物質への懸念

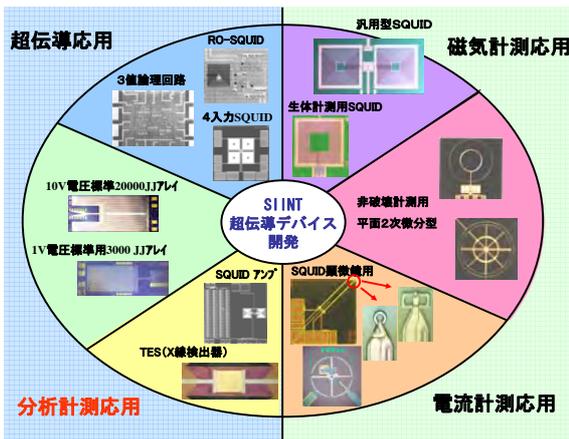


19

SIIナノテクにおける製品群の位置づけ SII

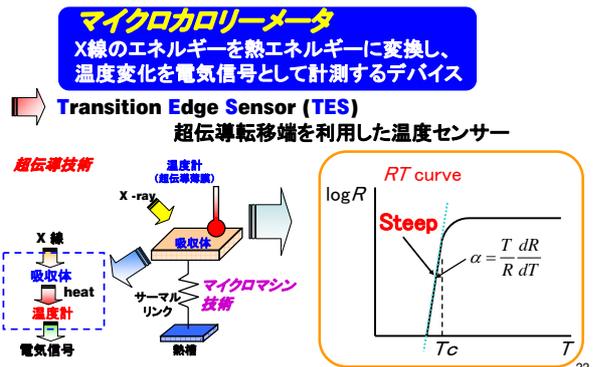


20



21

Transition Edge Sensor (TES)の原理 SII



22

TESによるSEM-EDS



TES: 高エネルギー分解能

低加速電圧、低ビーム電流
組成分析が可能



SEMIに取りつけられたTES・EDS システム

微小領域、
微小パーティクル
の分析

絶縁膜
の分析

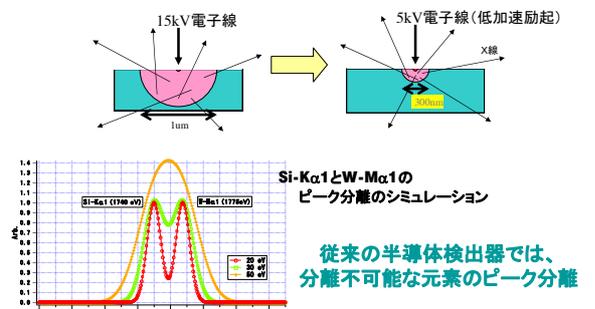
薄膜、表面
の分析

23

TESによる低エネルギー分析

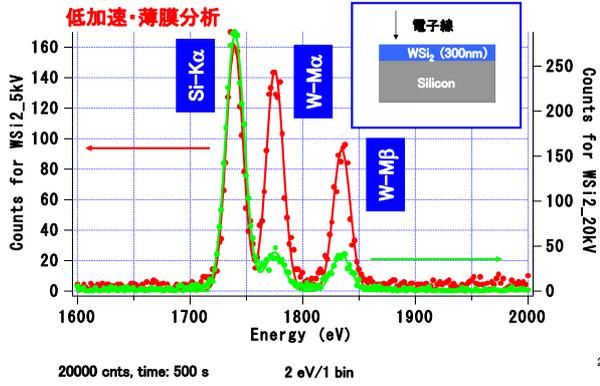


分析領域(励起領域)を局所化 ナノ領域



24

励起電圧(5,20kV) に対する
WSi₂膜の特性X線スペクトル



25



ご清聴ありがとうございました。

世界一のナノテク企業へ!



高度で先進的な計測・分析機器で地球社会の発展に貢献

26

X線を絞る曲げる
X線計測の革新的新技術

マルチキャピラリX線レンズ(MCX)とその応用

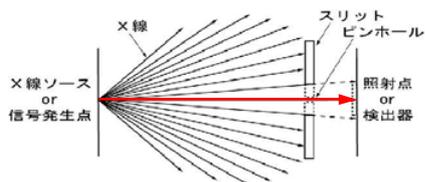
島津総合科学研究所
副島啓義

成分分析や構造解析になくてはならないX線
日本生まれの
マルチキャピラリ-X線レンズ(MCX)
という革新技術
(ポリキャピラリともいう)

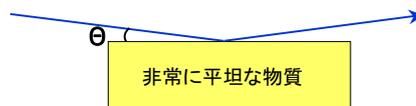
微小部分分析の能力が10~10000倍も向上する

X線は
直進する なかなか反射しない なかなか曲がらない
電場磁場にも反応しない

だから
発生するX線のごくごく一部しか利用できない



X線が全反射する場合がある



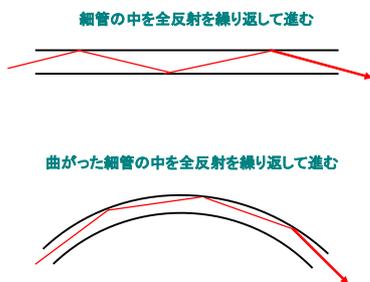
X線の全反射条件

$$\theta = 9.4 \times 10^{-2} \sqrt{\rho \lambda}$$

θ : 全反射臨界角(度)
 ρ : 密度(g/cm^3)
 λ : X線波長(\AA)

例えば珪酸ガラスなら
 Cu K α : 0.22度
 Al K α : 1.2度
 O K β : 3.3度

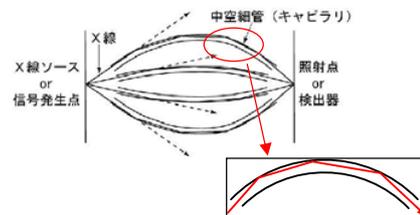
全反射を利用したX線の進行



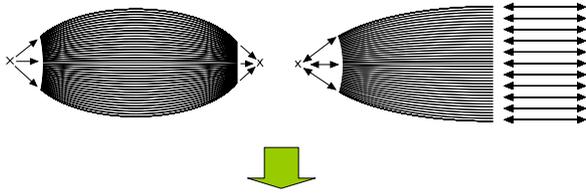
キャピラリの利用

非常に細い中空管(キャピラリ)の中をX線が全反射しながら進む

X線利用効率が10~1000~向上

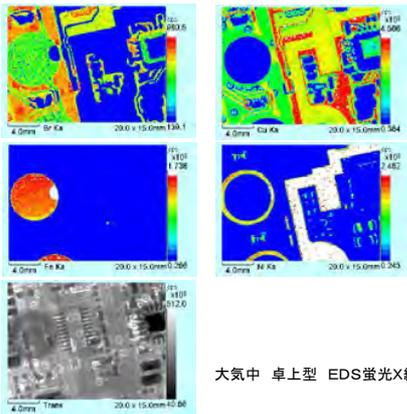


多数のキャピラリを集合



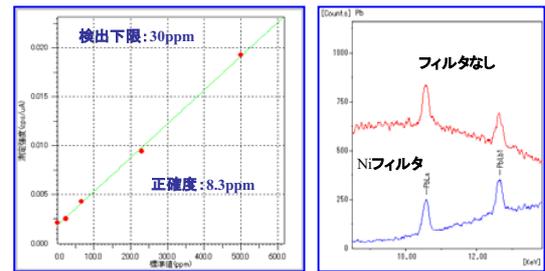
広帯域X線レンズ・集光素子、イメージング用X線光学素子

- ・ X線を絞って微小部に強いX線を照射
- ・ 微小部から発生するX線を効率良く検出
- ・ 広い波長領域に同一レンズで対応
⇒ 未知波長X線の検出
- ・ 大口径の平行X線ビームの形成
- ・ X線を直線ガイドあるいは非直線ガイド
- ・ 2次元分布信号を位置情報を保存して伝送



大気中 卓上型 EDS蛍光X線分析

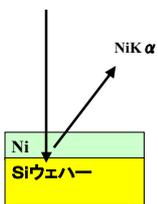
Pb 分析例(PVC) —WEEE & RoHS/ELV—



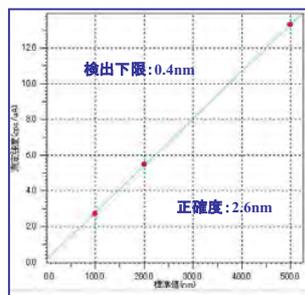
微小部 微量成分 (大気中 卓上型 EDS蛍光X線分析)

単層薄膜の分析例(Ni) —電子材料—

<Ni薄膜の検査線>

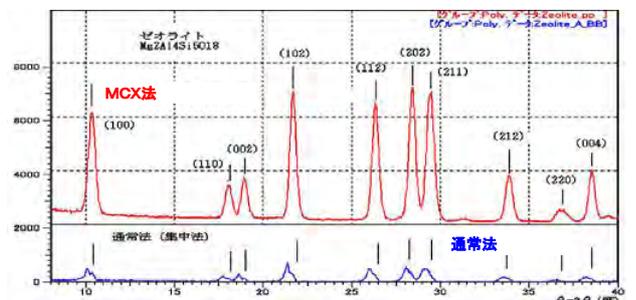


微小部 膜厚
(大気中 卓上型 EDS蛍光X線分析)



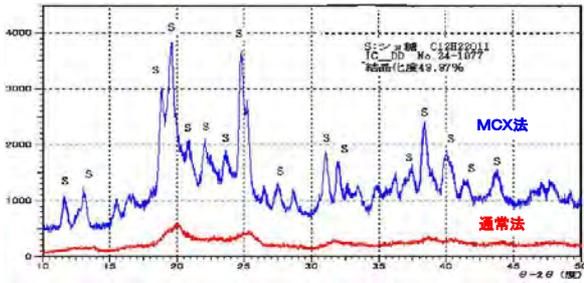
ゼオライト触媒の測定例

自動車排気ガス浄化用触媒の回折パターン



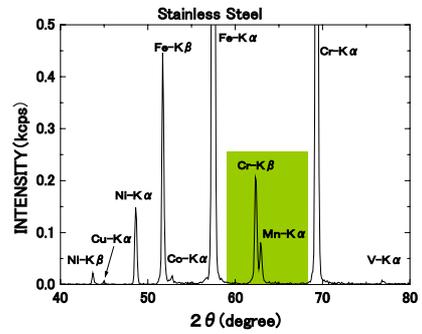
食品(ボール形チョコレート)の測定例

ボール型チョコレートの回折パターン



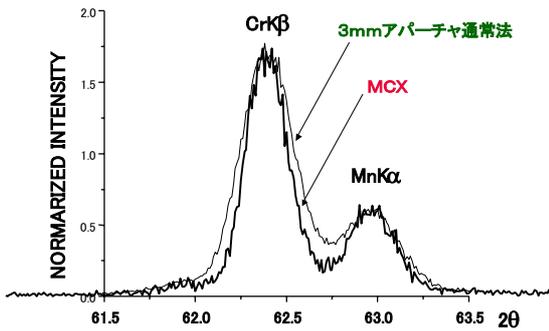
WDS30mmφ蛍光X線分析励起におけるMCXを用いた60μmφ領域の視野制限分析

by Horino etc



MCXを用いた分光の波長分解能

by Horino etc



MCX分光器と従来型の比較

by Horino etc

	従来型平板分光結晶分光器	MCX分光器
波長分解能 (FeKα)	0.0110 Å	0.0089 Å
感度 (FeKα)	1	207

EPMA並の分析力を有するTEM・SEMはない
TEM・SEM並の観察力を有するEPMAはない

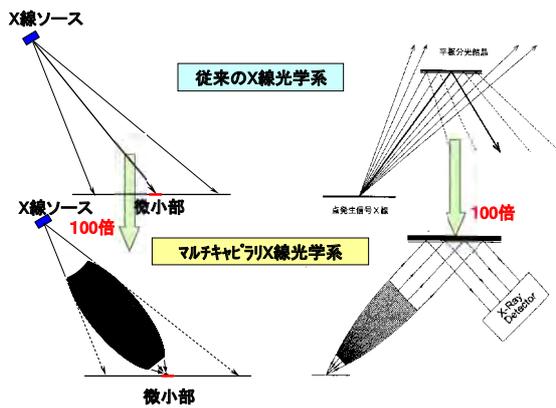
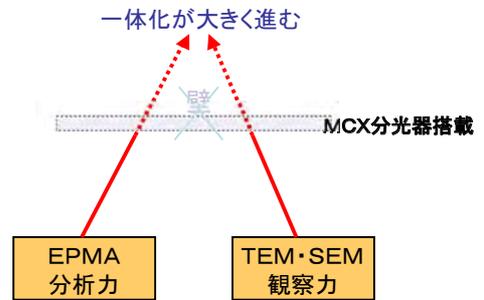
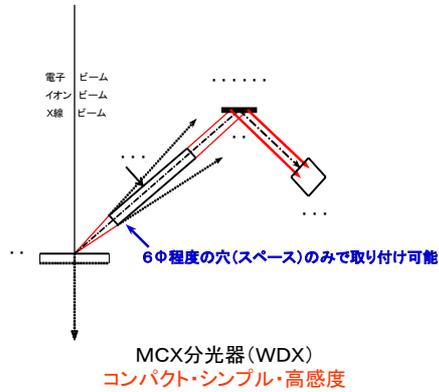
何故か

EPMAのX線分器は構造的に
TEM・SEMに取り付かない

コンパクト高感度X線分光器の実現

SEM TEM STEMにおける
高感度分析の実現

従来のEDXの100~1000倍の感度
スペクトル解析(状態分析)が可能



MCXへの期待

- X線分析の高度化
 - 微小部分析 高感度分析 立体物の構造解析
- X線診断装置
 - 微小部診断 低照射量診断
- X線検査装置
 - 微小部検査 高速検査

基本発明は1986年1988年に日本でなされた(副島)
 その後ロシアで周辺発明がなされた(クマコフ)
 MCX製造が困難なため実用的利用が遅れた
 発明から10年以上経過してMCXの生産が実現し
 ここ数年、いろいろな応用が進んでいる

先端計測機器開発プロジェクトへの期待

(株)日立製作所 基礎研究所
長我部信行

1/16

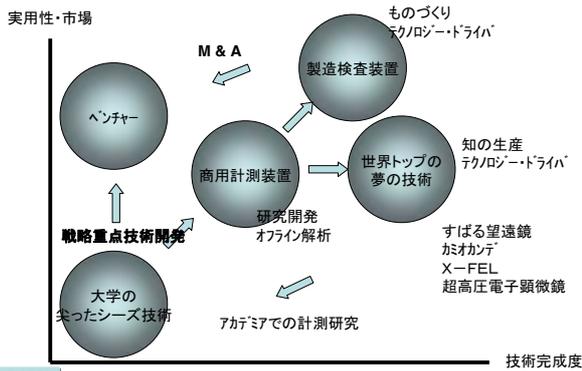
2006.6.24 ものづくりおよび社会ニーズに関連する先端計測技術の方向性と開発戦略

目次

1. 技術サプライチェーン
過去の成功例と現状の問題
2. ものづくりの基本
3. ものづくりにリンクした先端計測技術を
いかに創るか

2/16

技術サプライチェーンの必要性



3/16

成功例(1) 電子顕微鏡

- 1939 学振第37小委員会
産学官連携開発
- 1970's 電界放出電子源
シカゴ大学技術導入

- 1980's 測長SEM(CD-SEM)
理化学機器からものづくりへ

4/16

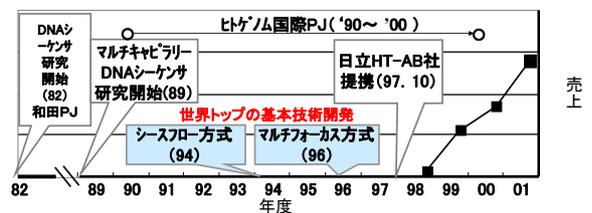
成功例(2) DNAシーケンサ

- 1982 和田プロジェクト
シーケンサ研究開始(平板ゲル)
- 1994 シースフロー方式
- 1998 製品化(日立-ABI)
装置製造と販売のwin-winな関係
高利益率
試薬売り上げのロイヤリティ

ヒト・ゲノム情報の生産(ものづくり)

5/16

成功例(2) DNAシーケンサ



6/16

分断された技術サプライ・チェーン

- 企業の自前主義
- 大学の商用計測機購入
- 次世代開発の遅れ
 - ・電子顕微鏡
 - ・DNAシーケンサ

7/16

次世代開発(1)
— 電子顕微鏡(対 米欧) —

- TEAM(米国)
収差補正技術 ONL、BNLなど
- SATEM、SESAM(独)
LEO社、SATEM
- SuperSTEM(英)
VG社

8/16

次世代開発(2)
— DNAシーケンサ(対 米国) —

- 現在 ヒトゲノム 3Gbp \$10M
- \$0.1M ゲノム・グラント
11社(454 Life Science、
Helicos Biosciences、・・・)
- \$1k ゲノム・グラント
7社

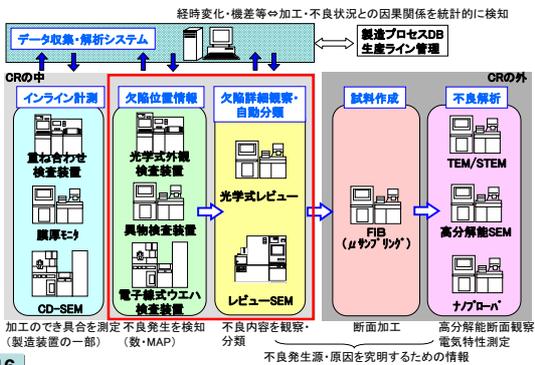
9/16

ものづくりの基本

- プロセス・コントロール
高スループット High through put
高歩留まり Yield management
低コスト Low cost
- サプライ・チェーン・マネジメント
仕掛品、在庫の最小化

10/16

ものづくりトータル・ソリューション



11/16

産業別ニーズの例(1)
半導体 (ITRSロードマップ)

- 2012年 450mm基板
- ドーパントプロファイル
- ...
- ...
- ...

12/16

産業別ニーズの例(1) 半導体(ITRSロードマップ) 続

Table 1176a Memory Technology Requirements—Near-term Data

Year of Production	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DRAM 1T1R (1.5V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (1.2V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (1.0V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (0.8V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (0.7V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (0.6V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (0.5V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (0.4V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (0.3V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (0.2V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864
DRAM 1T1R (0.1V)	256	512	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768	65,536	131,072	262,144	524,288	1,048,576	2,097,152	4,194,304	8,388,608	16,777,216	33,554,432	67,108,864

13/16

産業別ニーズの例(2) HDD(垂直磁気記録)

■ヘッド加工寸法がDRAMハーフピッチに並ぶ

■材料科学の進化が必要
(例)
IrMnCrヘッド
耐腐食性の向上

2006年5月17日弊社プレスリリースより



14/16

産業(製品)・計測マトリクスによる ニーズ/シーズの整理

	A産業	B産業	C産業	D産業
光、X線				
粒子線				
センサ				
...				
共通基盤技術 データ収集管理、組込ソフト、				

15/16

ものづくりとリンクした先端計測の評価

目的と計測技術の別専門家による評価

目的評価
研究開発観点
生産技術観点

計測技術評価
研究開発観点
生産技術観点

尖った技術
長時間安定性、再現性
高スループット

16/16

JEOLにおける先端計測への取り組み

2006.6.24

日本電子株式会社
経営戦略室 須賀三雄

1

Contents

- JEOLの概要
- 産学官連携とJEOL
- S-CoreとI-Core
- I-Core向け機器の例
- I-Core向け課題
- まとめ

S-Core: Scientific Core, I-Core: Industrial Core

2

会社概要

- 設立: 1949年
- 連結従業員数: 3,020人(2006.3)
- 連結売上高: 932億円(2005年度)
- 関係会社: 26社
 - 国内: 11社
 - 海外: 15社
- ビジネス: 80ヶ国以上

3

事業部門と主な製品

	Business Segments	Breakdown of Main Products by Business Segment
Scientific Instrument	Electron-Optics Instruments	Transmission Electron Microscopes, Scanning Electron Microscopes, Scanning Probe Microscopes
	Analytical Instruments	NMR Spectrometers, Time Of Flight Mass Spectrometers, X-ray Spectrometers
Industrial Equipment	Semiconductor Equipment	For mask & reticle: Electron Beam Lithography Systems; For direct pattern: Beam Tracer
	Industrial Equipment	High Density Reactive Ion Plating Systems, Electron Beam Evaporation Guns & Power Supplies
	Medical Equipment	Automated Clinical Biochemistry Analyzer

4

産学官連携とJEOLの製品

- 電子顕微鏡は産学官連携から生まれた
- その他装置も産学官連携の恩恵を受けている

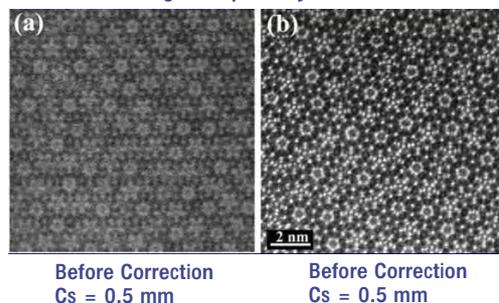
最新成果

収差補正STEM

5

産学官連携の成果(最新)

HAADF images of quasi-crystal Al-Cu-Co



Specimen courtesy: Dr. E. Abe, University of Tokyo

トピックス

平成17年度 科学技術政策担当大臣賞受賞

「極低温電子顕微鏡装置」の
開発・実用化及び膜たんぱく質の構造解析藤吉 好則 先生
京都大学大学院理学研究科 教授
成瀬 幹夫
日本電子株式会社取締役
電子光学機器技術本部長電子線結晶学によるたんぱく質構造解析は、全てこの装置
を用いて実施

7

JEOLが参画している産学官連携プロジェクト

プロジェクト	実施者	予算	概要
高分解能スピン偏極 走査電子顕微鏡	北大/JEOL	JST 先端計測分析技 術	スピンSEMの高分解 能化 H16.10~H20.
0.5 Å分解能物質 解析電子顕微鏡	東工大/JEOL	JST 戦略的創造研究 推進事業 (CREST)	300kV CFE TEM 収 差補正付 H16.10~H21.9
ナノスケール電子 状態分析技術の 実用化開発	東北大/京大 原研/JEOL	文部科学省 先端計測分析 技術 実用化	ナノチップ電子銃、高 安定化 TEM 軟X線分光器の開発 H16.7~H19.3
物質材料の構造 解析用パルスESR システムの開発	室工大/東北 大	JST 戦略的創造研究 推進事業 (CREST)	パルスESRの高感度 化 H16.10~H21.9

8

海外の産学官連携(電子顕微鏡分野)

USA

TEAM (Transmission Electron
Aberration-corrected Microscope)Sub-Åの像分解能 (~0.5 Å)
Sub-eVのエネルギー分解能を
持ったエネルギー損失分光
(< 0.1 eV)
3次元原子像トモグラフィ
コレクター
モノクロメーター

EU

SESAM

0.1 eV分解能のエネルギー
フィルター
ショットキーFE Gun
コレクター

SATEM

0.1 nm (点分解能)
コレクター
モノクロメーター

SuperSTEM (UK)

高分解能HAADF, EELS

100億円規模の投資!!

9

Twin Core戦略

ユーザーニーズの多様化に対応

S-Core

- ・世界最高性能
- ・チャンピオンデータ
- ・高スキルユーザー向け
- ・単体機器

最先端科学のために

S-Core: Scientific Core

I-Core

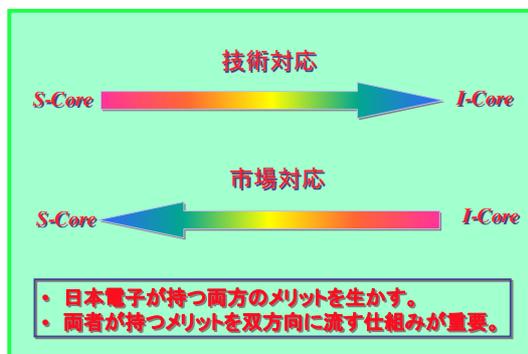
- ・安定稼動
- ・誰でも使える装置
- ・トータルソリューション

豊かな社会のために

I-Core: Industrial Core

10

相補関係にあるS-Core/I-Core



11

Bio Majesty

- 生化学自動分析装置(血液検査装置)
- 微量試料・試薬
 - 1990年と比較して1/4~1/10



12

EB

- 電子ビーム描画装置
 - 電子光学技術の応用製品
 - 半導体生産用マスク描画装置

JBX-3040MV

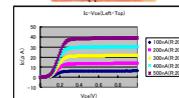
65nmノード以降の
最先端マスクレチクルを、
高速・高精度で作成する
可変成形電子ビーム描画装置



13

Beam Tracer

- 半導体不良解析用装置
 - SEM技術 + SPM技術による不良位置の特定



14

I-Coreの特徴

- 安定稼動
- 誰でも使える装置

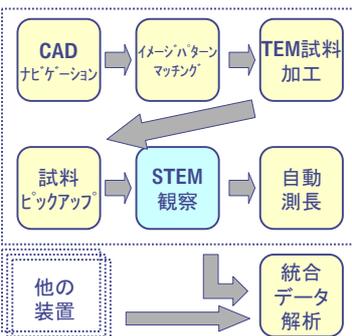
● Total Solution

- 装置本体だけでなく周辺機器や解析ソフトもあわせて提供
- ユーザーの業務フローを改善

15

トータルソリューション

- 例えば半導体デバイス向けSTEM測長

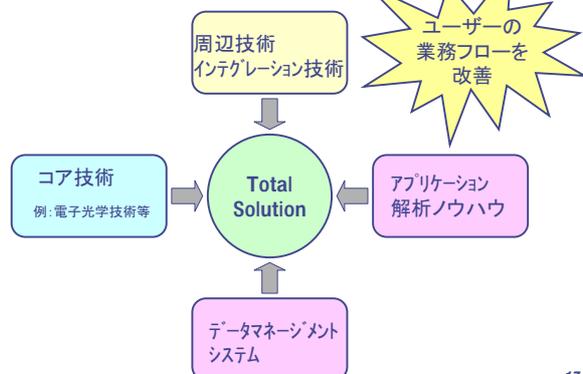


全て供給

ユーザー視点
での最適化

16

Total Solutionに必要なこと



17

日本企業の問題点

- トータルソリューション化が弱い・・・

18

要望(まとめ)

● S-Core分野

- **電子顕微鏡基礎技術開発へのさらなる支援**
 - ◆ 諸外国の追撃(100億円規模の投資)をかわす

● I-Core分野

- **Total Solutionを目指した産学官連携**
 - ユーザー、計測関係者、関連技術関係者の共同参画
 - ユーザーの業務フロー改善を目的とする
 - 中心技術だけでなく周辺技術(前処理等)も開発
 - データ解析システムも開発
 - システムソリューションとしての開発

製造業から見た先端計測分析技術ニーズ - 企業から見た先端計測分析技術 -

新日本製鐵(株)先端技術研究所
主幹研究員 林 俊一

「作ってノーベル賞、使ってノーベル賞。」
のキャッチフレーズに反する議論かもしれませんが。

1

2つの提案

- 複合ナノ材料物性発現メカニズム解明のためのプロセス反応・組織観察
- 低環境負荷製造プロセス実現のための環境負荷粒子のリアルタイムモニタリング技術の開発

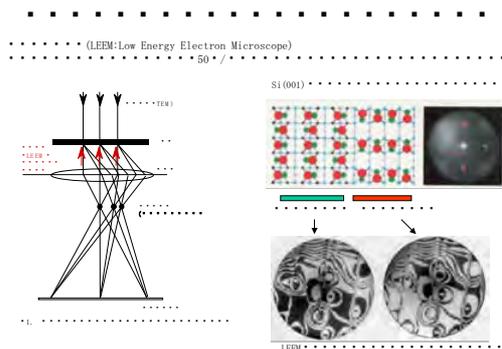
2

新材料開発・新製造プロセス開発に 指針を与える動的観察技術開発

複合ナノ材料物性発現メカニズム解明のためのプロセス反応・組織観察

→ 結晶粒のナノメートルサイズ制御
変態/逆変態制御、面方位、粒径、析出物

3



鋼の動的挙動観察を行う上での LEEMの技術課題と検討項目

技術課題

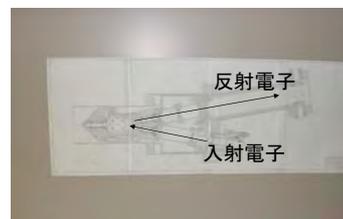
- バルク試料の表面組織情報の抽出 (方位の同定)
- 高速反応の観察の可能性 (粒成長、変態・逆変態、粒界移動、ピンニング)
- 析出物の観察

予想される問題点

- 表面酸化膜の影響
- 表面粗度のコントラストに与える影響
- 高速反応に対する追従

5

低速電子顕微鏡(FO-LEEM)の図面



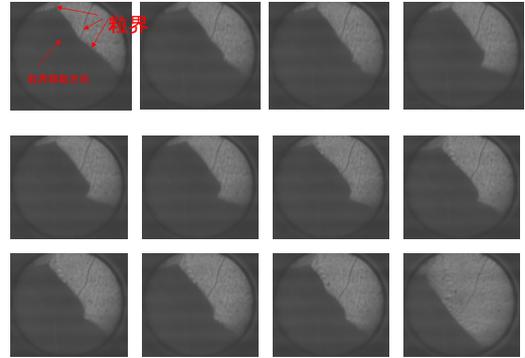
6

低速電子顕微鏡とイオンガン

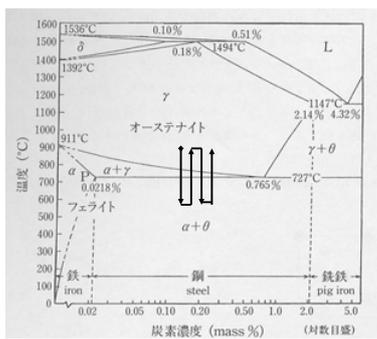


Siの研究は急速通熱(1400°Cによるフラッシング)による清浄化を行うため、スパッタクリーニングは行わない。

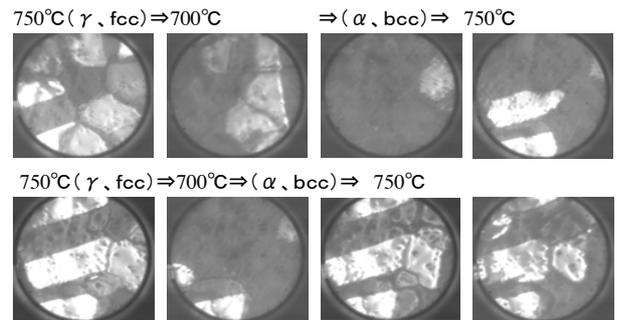
粒界移動(粒成長)観察



鋼の相図



α - γ 変態(再結晶双晶)観察



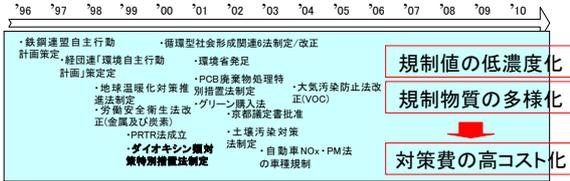
必須技術

- 顕微鏡システム内で動作する高圧荷重システム
- 局所位置追従システム
- 実画像、回折像同時検出技術

低環境負荷製造プロセス実現のための環境負荷粒子のリアルタイムモニタリング技術の開発

背景

環境規制の動向

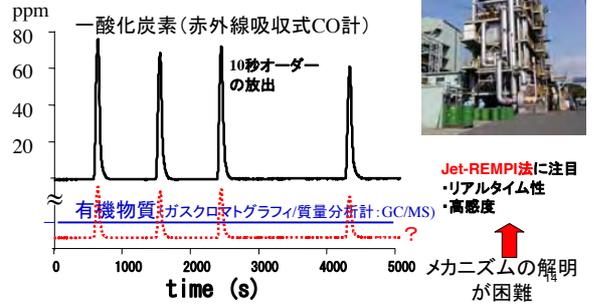


- ダイオキシン類対策特別措置法
新規炉設置基準 80ng-TEQ/m³N→0.1ng-TEQ/m³N
- ダイオキシン類対策費用
ダイオキシン類除去設備 7000億円(1997-2002)
維持費の増分 1.5億円/焼却施設・年

13

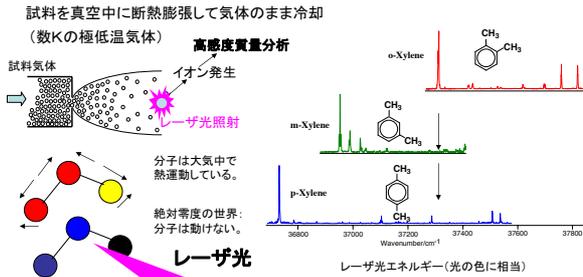
焼却炉排ガスにおける従来の燃焼状態測定

- 一酸化炭素による燃焼状態の把握が主
- ダイオキシン類をはじめとする有機物質はGC/MS法によるバッチ測定(平均値)



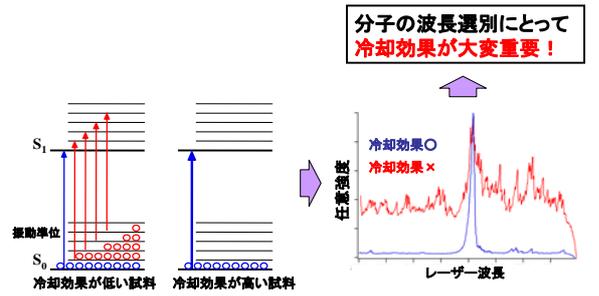
超音速ジェット法

1970年代後半:メタルクラスター検出に用いられる。
1980年代:東北大 茅、伊藤教授らが有機分子に適用。



15

イオンパツたされた分子の内部エネルギー(振電)状態の観察の必要性



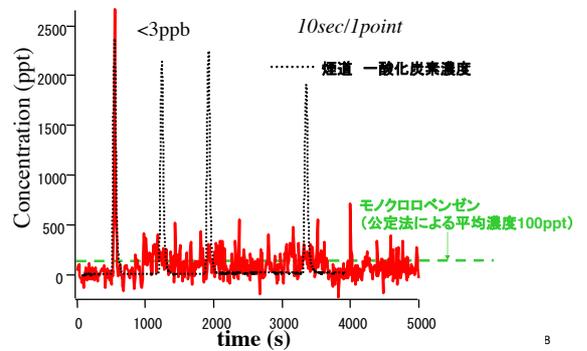
16

リアルタイムJet-REMPEI装置



17

煙道における時系列測定例



8

戦略ワークショップ

「ものづくりおよび社会ニーズに関連する 先端計測技術の方向性と開発戦略」

ワークショップ報告書

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター
井上グループ

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地
麴町スクエア3階

電話 03-5214-7485

ファクス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

平成18年5月

Copy right ©2006 CRDS/JST

許可なく複写・複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
