

北海道大学工学系シーズ集Vol.13

イノベーションフォーラム2015 研究発表データシート一覧

番号	部門・専攻等	発表者	タイトル
1	応用物理学部門	石政 勉 特任教授	金属間化合物の新たな展開：準結晶と関連物質における動的柔軟性と量子臨界
2	応用化学部門	田島 健次 准教授	ナノフィブリル化バクテリアセルロース (NFBC)の大量生産と機能化
3	材料科学部門	松島 永佳 准教授	電気化学的手法を用いた水素エネルギー材料の創製
4	機械宇宙工学部門	橋本 望 准教授	電力ケーブルの火災安全性評価
5	人間機械システムデザイン部門	本田 真也 准教授	自由繊維形状を有する繊維強化複合材の最適設計
6	エネルギー環境システム部門	田中 真悟 助教	硬化セメントペースト中の水およびイオンの拡散機構
7	量子理工学部門	富岡 智 教授	位相トモグラフィによる火災周辺温度分布の三次元計測
8	環境フィールド工学部門	磯部 公一 准教授	次世代スマートストラクチャ、杭基礎一体型鋼管集成橋脚の開発
9	北方圏環境政策工学部門	松本 高志 准教授	繊維補強セメント系複合材料の高靱性化と疲労耐久性
10	建築都市空間デザイン部門	中嶋 唯貴 助教	人体動作と姿勢認識及び家具転倒軌跡判定による地震時避難誘導システム
11	建築都市空間デザイン部門	瀬戸口 剛 教授	風雪の影響を低減する都市設計シミュレーション手法の研究
12	空間性能システム部門	濱田 靖弘 教授	ハイブリッドバッファ・新安全リスク評価デバイスを導入した健康指向型スマートハウス
13	環境創生工学部門	村尾 直人 准教授	大気中の光吸収性粒子（すす・黄砂等）自動測定装置の開発とその応用
14	環境循環システム部門	福嶋 正巳 准教授	バイオミメティック触媒による有機汚染物質の無害化
15	エネルギー・マテリアル融合領域研究センター	坂口 紀史 准教授	HAADF-STEMによる α -SiAlON中のドーパント分布評価
20	情報理工学専攻	杉本 雅則 教授	高速高精度室内音響測位手法
22	情報エレクトロニクス専攻	池辺 将之 准教授	高周波ノイズを含む画像のための中間階調復元（超階調）技術
27	生命人間情報科学専攻	岡嶋 孝治 教授	原子間力顕微鏡による組織レオロジー測定
30	メディアネットワーク専攻	坂本 雄児 教授	次世代立体表示技術
35	システム情報科学専攻	竹本 真紹 准教授	エンジン発電機のための小型・高出力を実現するフェライト磁石を用いたアキシャルギャップ発電機の開発

※部門・センターは大学院工学研究院所属、専攻は情報科学研究科所属となります。

研究発表データシート

【1】	石政 勉 北海道大学大学院工学研究院 応用物理学部門・特任教授	
-----	---------------------------------------	---

発表タイトル	金属間化合物の新たな展開
サブタイトル	準結晶と関連物質における動的柔軟性と量子臨界

(1) 研究者のアピールポイント

固体には、身近に見られる結晶や非晶質(ガラス)のほかに準結晶が知られています。準結晶は、原子が「周期的ではないが、ある規則(準周期性)に従って配置している」という不思議な状態であり、ある種の金属間化合物として形成します。発表者らは、準結晶の新物質を探索して、そこから新しい性質を引き出すことをめざして研究を進めてきました。

(2) 本発表研究の概要

準結晶とその関連物質(近似結晶)は、ともに、金属原子からなる原子クラスター(図1)が、立体的に配置したものと考えられています。その配置が、特に準周期的な場合を準結晶、周期的な場合を「準結晶を近似する結晶」という意味で近似結晶と呼んでいます。研究課題の一つである動的柔軟性は、原子クラスター自体のもつ構造的な「曖昧さ」に関連したものであり、もう一つの量子臨界は準周期性と構成元素 Yb の電子状態に関連した性質です。

(3) 本研究発表の詳細

・近似結晶における動的柔軟性

Zn₆Sc の組成をもつ近似結晶では、図1の原子クラスターが体心立方晶を形作るように配置しているとされてきました。しかし、原子クラスター中心部の構造には、納得できない所がありました。それは、図1aに示す正12面体の内側には Zn 原子が4個だけ入っているからです。その為、外枠の正12面体との幾何学的な不一致が生じています。実際に実験してみると、150K以下の低温領域では、4個の原子の位置がはっきりと見えましたが、それ以上の温度領域では、乱れのために平均構造しか見えませんでした。この問題に日独仏スロバキアの合同チームで実験・理論の両面から取り組みました。すると、図2に示したように Zn 原子4個から成る正4面体が「ピコ秒の時間スケールで回転的な運動」を行なっている事が明らかとなりました。その運動に引きずられて外側の12面体も刻々と歪み方を変えています。さらに外側の正20面体はほとんど動いていない事も判りました。固くて脆い金属間化合物としての枠組みは「しっかり」と保持されているのにも関わらず、その中に無数の回転体を含んでいるというわけです。この風変わりな現象を動的柔軟性と名付けました。

【1】 続き

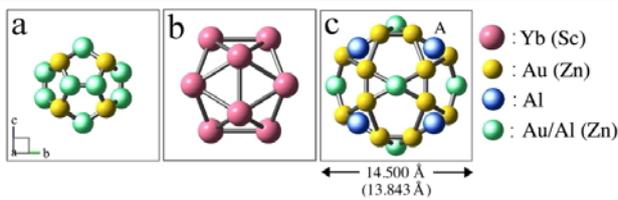


図1 準結晶を構成する原子クラスター。a~cの多面体が順々に重なって三重殻のクラスターを形作っている。aの12面体内には4個のAu/Al (Zn)原子が含まれている。図中、括弧書きはZn₆Sc近似結晶の場合を示す。この場合も、クラスターはほぼ同様であるが、cにAで示す原子は存在しない。

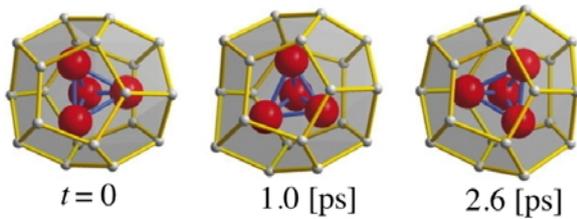


図2 Zn原子(赤丸)4個の運動。4個の原子が正4面体を構成し、それらがピコ秒の時間スケールで方向を変えている。それに伴って外側の12面体(図1a)の歪み方も刻々と変化しますが、さらに外側の正20面体(図1b)はほとんど動かない。

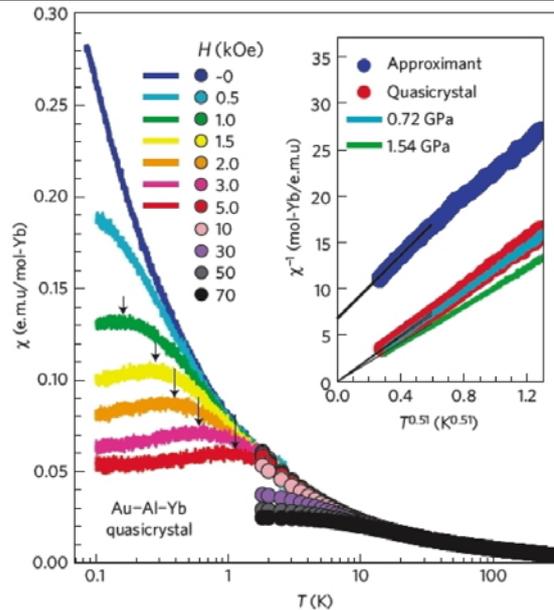


図3 Au₅₁Al₃₄Yb₁₅準結晶の磁化率が温度 T の低下に伴って増加し、0K に向かって発散する様子。この発散は、磁場によって抑制される。一方、発散 ($\propto T^{-0.51}$) は圧力には影響されない。また、近似結晶では発散は観測されない(挿入図参照)。

・価数揺動準結晶の発見とその量子臨界

一方1984年の発見直後から、準結晶では結晶とも非晶質とも異なる固有の電子状態や物性が生じるのではないかと期待されてきました。準結晶は周期性を持たないが規則的なので、電子の波動関数は広がってもいず、局在もしていない「臨界状態」になるかもしれないと言うわけです。また、これとは全く無関係に、固体物理の重要課題として、電子の局在と遍歴の二面性に関わる「重い電子系」が研究されてきました。これは、Ybなどの希土類元素の「磁性を示す状態(磁気秩序)」と「示さない状態(重い電子)」の境界に関する問題です。磁気相図において、この磁気秩序が絶対零度で消える点が量子臨界点です。さらに、量子臨界点の近くに従来の機構とは異なる超伝導が見いだされて注目されています。

そこで、「準結晶」と「重い電子系」の両方を兼ね備えた新物質を目標に物質探索を行って、Au₅₁Al₃₄Yb₁₅準結晶(図1)に到達しました。この準結晶においては、Ybは2.6価で価数揺動が実現しています。図3に見られるように、低温領域における磁化率は、 $T^{-0.51}$ に比例して増加し、絶対零度に向けて発散する様子をみせています。この発散は、磁場 H により抑えられますが、圧力には影響されにくいという際立った特徴を持っています。電子比熱や電気抵抗の測定結果と合わせて、この準結晶は量子臨界状態にあることが分かりました。これは、初めての「準結晶に固有の性質」ではないかと期待されており、実験・理論の両面から活発に研究されています。なお、この研究は名古屋大学の佐藤グループと共同で進めたものです。

(4) 本発表の注目点

準結晶とその関連物質は、構成元素の自由度や、配置の自由度(周期的、あるいは準周期的)をもつ一連の金属間化合物であり、「構造制御による物性制御」の新しい可能性を示しています。

研究発表データシート

【2】	田島 健次 北海道大学大学院工学研究院 応用化学部門・准教授	
-----	--------------------------------------	---

発表タイトル	ナノフィブリル化バクテリアセルロース (NFBC) の大量生産と機能化
サブタイトル	微生物によって合成される“安全・安心な”発酵ナノセルロース

(1) 研究者のアピールポイント

セルロースのほとんどは植物によって合成されるが、ある種のバクテリアもセルロースを合成することが知られている。バクテリアによって合成されるセルロースはバクテリアセルロース (BC) と呼ばれ、デザートとして有名な“ナタデココ”が BC そのものである。我々はフルーツを分離減として、廃グリセリンや糖蜜などの安価な原料から BC を効率的に合成する酢酸菌 (NEDO-01 株) の取得に成功した。また、BC を連続的に大量に合成可能な新しい培養方法を開発し、この方法によって作られる BC をその製造方法と構造的特徴から、“発酵ナノセルロース (NFBC)” と名づけた (特許第 5752332 号: バクテリアセルロースおよびこれを生産する細菌)。この NFBC は太さ約 20nm の均一な繊維からなり、高い流動性、成形性、混和性を有し、電気/電子、建設、食品、医薬・医療、化粧品など、様々な分野で利用できる“安全・安心な”ナノセルロースである。

(2) 本発表研究の概要

“セルロースナノファイバー (CNF)” は、ナノファイバーの一種で、超比表面積効果、ナノサイズ効果、超分子配列効果などの様々な特性を有するとともに、セルロースという自然界で最も豊富に存在する再生可能な資源から作られる非常に優れた材料である。CNF はその特長を活かした樹脂改質や構造体補強、機能性材料として自動車、電気・電子、食品、医療・化粧品分野等への利用が期待されており、近年世界的な研究開発のトレンドとなっている。CNF には繊維長が比較的短いセルロースナノクリスタル (CNC)、グラインダー処理や対向衝突法によって得られる繊維が比較的長いナノフィブリル化セルロース (NFC)、および、TEMPO 酸化処理によって得られる TEMPO 酸化ナノセルロース (TONC) などがあり、これらはいずれも木材パルプを原料としてトップダウン的に生産される。一方、我々が研究開発を行っている発酵ナノセルロース=ナノフィブリル化バクテリアセルロース (NFBC) も CNF の一つであり、廃グリセリンや糖蜜などセルロースを含まない低分子バイオマス为原料とし、酢酸菌 (NEDO-01 株) によってボトムアップ的に合成される。本発表では発酵ナノセルロース (NFBC) の合成、NFBC の大量生産と機能化について紹介する。

(3) 本研究発表の詳細

セルロース合成菌として最も古くから研究されているのが酢酸菌 (*Gluconacetobacter*) である。酢酸菌は酢の醸造に使われる人類にとってなじみの深い微生物である。酢酸菌のような微生物によって合成されるセルロースはバクテリアセルロース (BC) と呼ばれており、植物由来のセルロースと異なるユニークな性質を有している。また、BC は“ナタデココ”として古くから食べられており、安全・安心という観点から食品、医薬・医療、化粧品などの分野での利活用が期待されている。

【2】 続き

一般的に BC は、糖質などを原料とした静置培養法によって合成されるが、この方法ではスケールアップが難しく、生産効率が非常に低い。BC は上述のように魅力的な材料として注目されているが、大量に安定的に安価に生産することができないため、現状では産業用材料として広く利活用されているには至っていない。このような現状を踏まえ、我々は BC を産業的に利活用出来るようにすることを最終目標とし、1.安価な原料の利用、2.高 BC 生産菌の取得、3.ファーメンターによる培養の 3 つの点に着目して研究を行った。以下、それぞれの点について説明する。

1. 廃グリセリンはバイオディーゼル燃料製造時の副生成物であり、グリセリンを大量に含んでいる。グリセリンは細菌における有用な基質であり、安価な原料の一つとして注目している。また、糖蜜は砂糖製造時における副生成物であり、北海道では甜菜から砂糖を製造していることから、著量の糖蜜が北海道で生成する。糖蜜には 60~70% のショ糖が含まれており、これも BC 生産における有用な原料になると考えられる。

2. 我々は、廃グリセリンを炭素源としてセルロースを合成可能な新奇セルロース合成菌の探索を行い、優良株として *Gluconacetobacter intermedius* NEDO-01 株の取得に成功した。この菌株は廃グリセリン以外に糖蜜からのセルロース合成が可能であり、菌自体の特許も取得した（特許第 5752332 号）。

3. 一般的に BC は静置培養によって合成されるが、この方法ではスケールアップが難しく、工業的に大量生産することは不可能である。我々は将来的に BC を大量生産するために羽根突き三角フラスコによる巡回培養（予備検討）、10・200-L ジャーフェンターを用いた攪拌培養法について検討を行った。

攪拌培養によって得られた NFBC および CNF の偏光顕微鏡および TEM 観察像を図 1 に示した（炭素源としてグリセリンを用い、セルロースの分散剤としてカルボキシメチルセルロース（CMC）を添加して培養）。NFBC はボトムアップで調製するため、非常に均一であるのに対し（図 1 a,c）、トップダウンで合成する CNF ではナノセルロースに加えてもう少しサイズの大きな繊維が観察された（図 1 b,d）。また、スケールアップに関する検討を行うために、200-L ジャーフェンターによる培養を行った（炭素源として糖蜜を使用）。培養時間の経過とともに糖が減少し、それに伴って菌の増殖が確認された。NFBC の蓄積は、菌体の増殖より少し遅れて観察され、蓄積に伴って粘度が増加した。最終的な NFBC の収量は約 6g/L であった（図 2）。

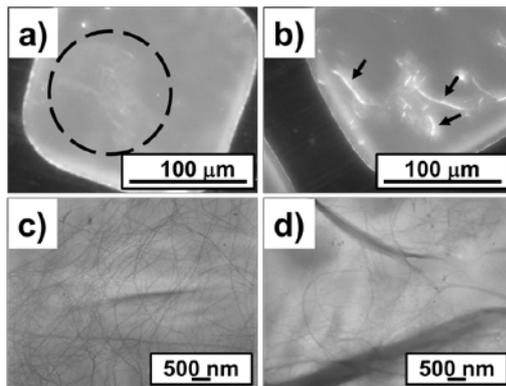


図 1 NFBC および CNF における偏光顕微鏡像、TEM 観察像
NFBC (a, c)、CNF (b, d)

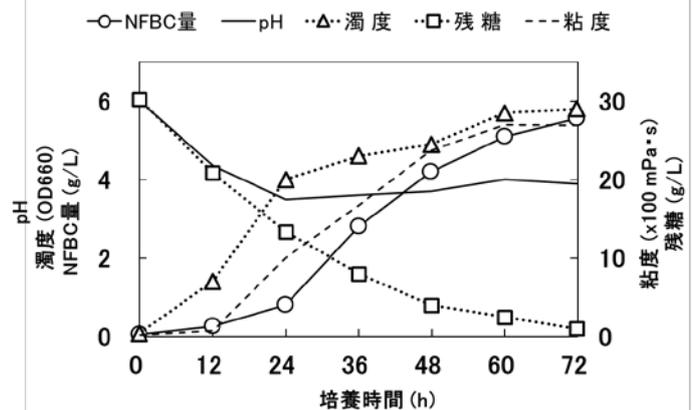


図 2 200 L 容大型ジャーフェンターを用いた通気攪拌培養における培養経過の一例

(4) 本発表の注目点

高い流動性、成形性、混和性を有し、電気/電子、建設、食品、医薬・医療、化粧品など、様々な分野で利用できる“安全・安心な”発酵ナノセルロース（NFBC）の合成

研究発表データシート

【3】	松島 永佳 北海道大学大学院工学研究院 材料科学部門・准教授	
------------	--------------------------------------	---

発表タイトル	電気化学的手法を用いた水素エネルギー材料の創製
サブタイトル	その場観察を通じた新しい水素エネルギー材料研究への取り組み

(1) 研究者のアピールポイント

電気化学を専門とし、金属材料のめっきや電極触媒材料の開発、水素エネルギー関連(燃料電池や水電解)研究など、環境に配慮した材料に関するテーマを‘その場観察’をキーワードとして、様々な角度から研究しています。

(2) 本発表研究の概要

水素エネルギー社会に向けて、水電解や燃料電池は重要な位置づけとなっています。本発表では、それら水素エネルギー利用だけでなく、そこに水素同位体分離といった付加価値をつけ、福島汚染水処理対策への取り組みを発表します。また併せて、現在開発中の高速プローブ顕微鏡を使い、電気化学反応中(水素電極反応や電析反応)において、電極表面上の微細構造変化の様子をナノスケールで紹介します。

(3) 本研究発表の詳細

<水素同位体分離研究>

本研究室では、水電解と燃料電池を組み合わせた新しい省エネ型分離方法を提案しています(図1)。このプロセスでは、燃料電池を活用し電気エネルギーのリサイクル設計、および同位体分離の高効率化を目指しています。現在までに燃料電池での同位体分離の報告例は無く、水素同位体の酸化電極反応に関する基礎的知見も少ないのが現状です。そこで本研究では重水素硫酸を用いて、白金上での重水素電極反応に関する速度論的パラメーターと同位体効果の関係について調べ、燃料電池における分離・濃縮の可能性を検討し、実際にその分離係数を算出しています。

燃料電池における水素同位体分離の可能性について検討するため、軽水素(HOR)及び重水素(DOR)における酸化反応を調べると、HORのTafel勾配の値は、0.091 V/dec、DORの値は0.055 V/decとなることが分かりました。

実際に、この速度論的結果を裏付ける研究成果も得られています。Nafion膜を使った固体高分子形燃料電池を用いて、軽水素と重水素の混合ガスを使って同位体分離測定を行うと、同位体分離係数(α)が3程度を示しました。これは、燃料供給側と出口側で重水素

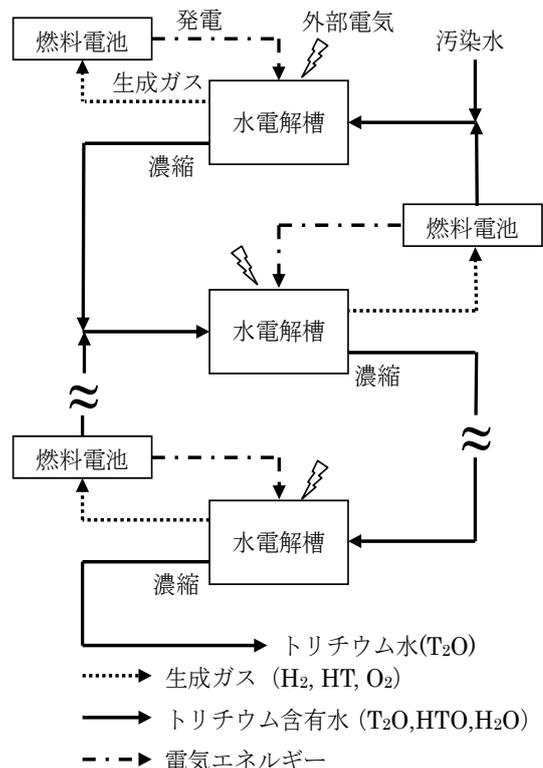


図1 省エネ型トリチウム分離法

【3】 続き

濃度が 1/3 程度薄くなっていること意味しています。このことから、本研究では燃料電池で発電しながら水素同位体（重水素やトリチウム）は生成水として分離・濃縮できることに、実験的に初めて成功しました。

<高速プローブ顕微鏡>

燃料電池や水電電解で使われる高性能な電極触媒開発には、電極反応中の原子・分子の高速な動きを観察することが必要不可欠です。今までの走査型プローブ顕微鏡 (STM, AFM) では、表面を測定するのに 2~3 分程度を要し、刻々と変化する電極反応に追従することが非常に困難です。したがって、ステップやキンクの表面変化をその場観察することは、なかなか実現されていません。このため、「触媒表面ではどこが一番の反応活性サイトか?」や「電極表面ではどこから劣化がおきるか?」といった疑問にまったく答えられず、電極反応に対して理想的な表面設計指針を打ち出せないのが現状です。そこで本研究室では、高速プローブ顕微鏡を開発しながら、固体高分子形燃料電池における電極表面変化を原子分子レベル・ミリ秒単位で観察し高活性・高耐久な触媒開発を目指しています。

現在は開発中の電気化学高速プローブ顕微鏡を使い、カーボン電極上のプラスミド DNA のその場観察を試験的に行っています。その結果を図 2 に示します。連続画像は 10 frame/秒で撮影したものであり、10 秒ごとの様子です。観察開始時では、カーボン電極上の矢印で示されている画面左側部分に、200 nm 程度の特徴的なリング状の DNA が観察されました。1 秒後では画像中央でその物体が見られ、DNA が 10 秒間に 15nm 程度カーボン基板上を移動していることが分かりました。時折リング構造の一部が波打っている様子 (50 秒) が観察され、短時間の間にリングの一部が振動していることも、高速プローブ顕微鏡によるその場観察により初めて分かりました。このように、開発した高周波数共振回路を応用することで、電気化学測定的环境下でも、従来の高速プローブ顕微鏡観察では不可能であった柔らかい構造物をその場観察することに成功しています。

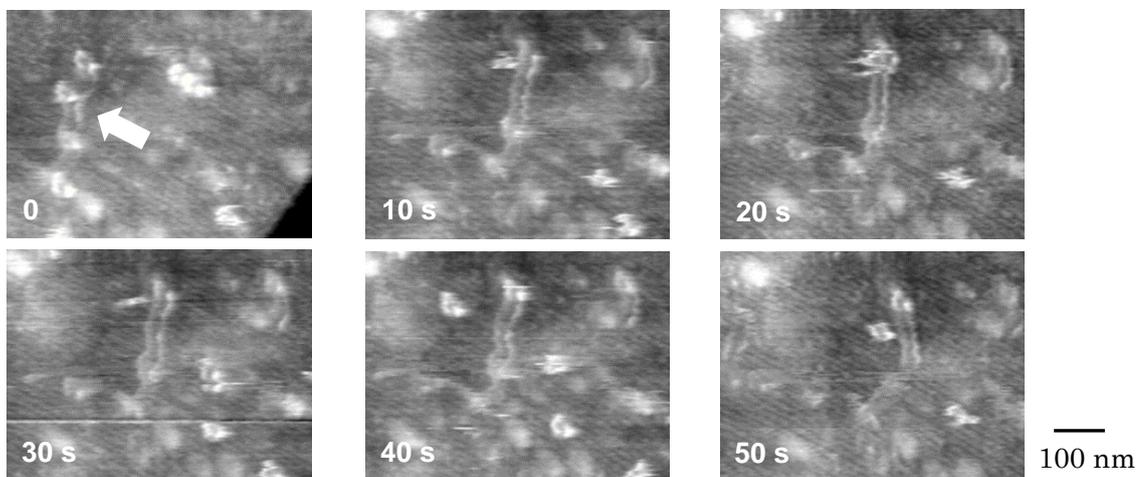


図 2 高速電気化学プローブ顕微鏡によるカーボン電極上の DNA 挙動

(4) 本発表の注目点

本研究成果で得られた知見を活かして、将来的には、高速プローブ顕微鏡を駆使した高精度な原子操作に挑戦していきます。その技術を確立させ、複雑な電極界面設計や触媒設計などができ、エネルギー分野への革新的な発展することを目指しています。さらには、塩基配列の制御を必要とする遺伝子治療への応用など、医療・バイオ分野など様々な分野に大きく貢献する研究を目標としています。

研究発表データシート

【4】	橋本 望 北海道大学大学院工学研究院 機械宇宙工学部門・准教授	
-----	---------------------------------------	---

発表タイトル	電力ケーブルの火災安全性評価
サブタイトル	

(1) 研究者のアピールポイント

我々は、宇宙船内の火災安全性、特に電線を原因とする火災安全性に関する研究を推し進めてきた。電線の着火や燃え広がりという現象について、基礎的な燃焼学の見地から明らかにしてきているため、研究成果は宇宙船内のみならず、家屋やプラントなど、電力ケーブルを使用する様々な建物における火災安全評価に応用可能である。

(2) 本発表研究の概要

本発表では、電線が燃え広がる現象を再現する実験、および数値シミュレーションについて紹介する。

(3) 本研究発表の詳細

図1に、実験装置の概略図を示す。装置上部に設置されたガラス管を燃焼室とし、その中心部に水平に電線試料を設置する。事前に装置内の酸素濃度を調整し、吸気ファンによって図中左から右に向かって任意流速の気流を発生させ、試料右端に設置したイグナイタにより着火、気流に対向して燃え広がる火炎の観察を行う。図2に、数値シミュレーション用モデルの概要を示す。2次元軸対象場を仮定し、電線の被覆材および芯線へのふく射および対流熱伝達を考慮した非定常計算である。図3に実験時の火炎の画像と数値シミュレーションによる温度分布予測結果の比較を示す。火炎の形状と数値シミュレーションによる予測結果における高温部の形状は定性的に一致していることが分かる。図4に、被覆材溶融球からの揮発分放出速度の比較を示す。実験結果と数値シミュレーションの予測結果の傾向は良い一致を示している。

(4) 本発表の注目点

電線の燃え広がり現象の数値シミュレーションは、実験の火炎形状および被覆材溶融球からの揮発分放出速度を定性的に再現可能であることが分かった。

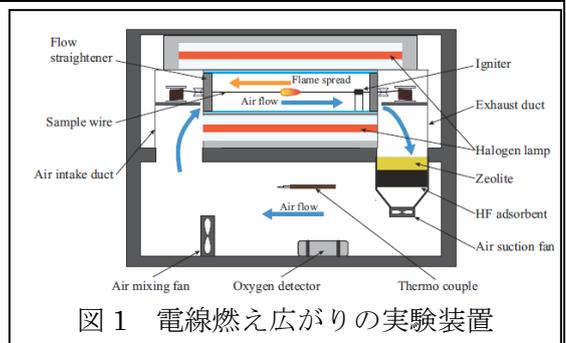


図1 電線燃え広がりの実験装置

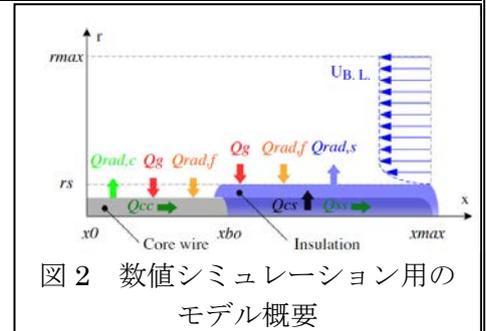


図2 数値シミュレーション用のモデル概要

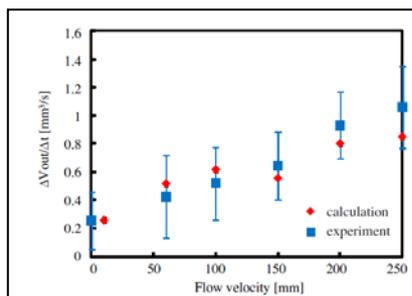


図4 被覆材溶融球からの揮発分放出速度の比較。

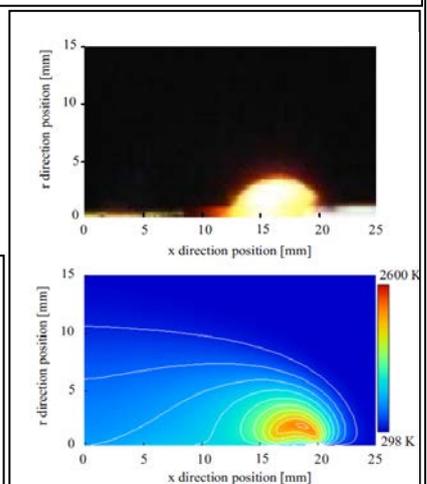


図3 実験時の火炎の画像と数値シミュレーションによる温度分布予測結果の比較

研究発表データシート

【5】	本田 真也 北海道大学大学院工学研究院 人間機械システムデザイン部門・准教授	
-----	--	---

発表タイトル	自由繊維形状を有する繊維強化複合材の最適設計
サブタイトル	

(1) 研究者のアピールポイント

著者らは曲線状の強化繊維を有する複合材料やスマート複合材料などの高機能な繊維強化複合材料の最適設計に関する研究を大学院時代から続けている。最適化手法としては勾配情報を使用する数理計画法から遺伝的アルゴリズムに代表されるメタヒューリスティックな手法など、それぞれの問題に適した手法を選択しており、また、最適化の対象となる目的関数としては固有振動数や振動制御性能などの動力学的な特性から、応力集中係数や破壊指標など静力学的など、構造力学全般を対象としている。

(2) 本発表研究の概要

大規模な Automated Fiber Placement(AFP)装置や試作・実験室レベルのファイバー縫付機など、近年の繊維配向技術の進歩により図 1 に示すような曲線状や面内で繊維束の折曲りを許容する繊維強化複合材料の作成が可能となった。繊維を曲線状にした場合、局所的な異方性が顕在化することとなる。これは骨、葉、茎など自然界の材料に多く見られる特性で、繊維強化複合材の設計においても異方性分布を最適に配置することにより使用目的に特化した優れた構造部の設計が行える可能性がある。



図 1 ファイバー縫付機による曲線状繊維複合材作成の様子

本報では、上述の特性に着目し曲線状の強化繊維の定式化手法を提案し、多目的最適化問題に適用した事例を紹介する。

(3) 本研究発表の詳細

図 2 に本報で提案する曲線状繊維の表現方法の概要を示す。図 2(a)のように任意の三次元曲面を定義し、図 2(b)のようにその等高線を xy 平面に射影する。また、有限要素解析を行う際は要素図心座標を用いて曲線の傾きを算出し、図 2(c)のように離散化する。本手法は他の研究で提案されているものと比較して、閉じた形状も表現可能であり、比較的少ない設計変数で自由度の高い繊維形状を表現できる。

【5】 続き

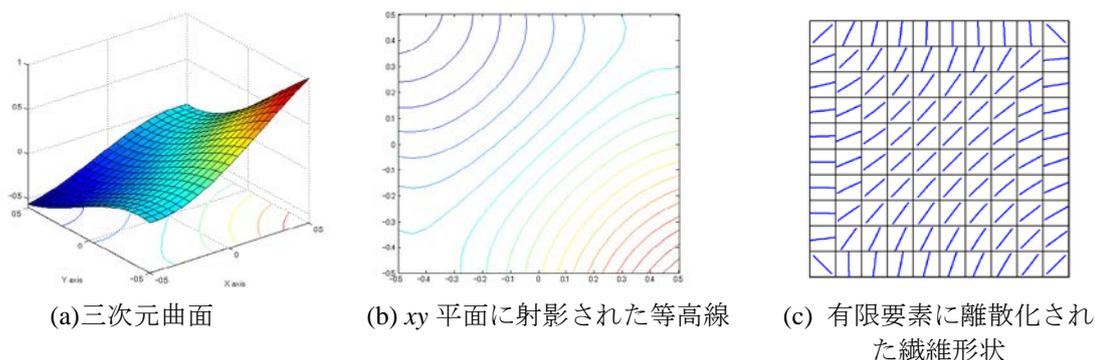


図2 繊維形状の定式化の概念図

多目的最適化手法としては NSGA2 (Improved Non-dominated Sorting Genetic algorithm) や SPEA2 (The Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2) などの進化アルゴリズムに基づく手法が有力であるが、これらを連続変数に適用する場合は一定の解像度で離散化する必要がある。そのため、本研究では MOPSO (Multi-objective Particle Swarm Optimization) を適用し解の探索を行った。

多目的最適化問題の目的は、どの解にも優越されていない非優越(パレート)解群を算出することであるが、目的関数が4つ以上となると可視化が困難である。そのため、4つ以上の多目的最適化問題の解を可視化する方法として図3に示すように自己組織化マップ(SOM; Self-Organization Map)を用いる方法が提案されている。SOMはニューラルネットワークの一種であり、学習を重ねることで類似度の高い解がマップの近傍にプロットされる。

パレート解の例として、図4に円孔を有する長方形複合材積層板の単軸引張り状態での破壊指標の最小化と繊維曲率の最大化を図った結果の一例を示す。(a)は離散化された繊維形状であり、(b)は複合材料特有の破壊指標の分布である。図4(a)より繊維は円周方向に配向していることがわかる。同様の構造は自然界の材料にもしばしば見られるため、最適化結果の妥当性が認識できる。また、図4(b)より、直線状の強化繊維を分布した場合よりも広範囲に渡って破壊指標が分布していることがわかり、円孔付近の応力集中を軽減できていることがわかる。

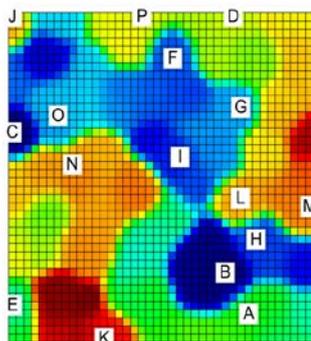
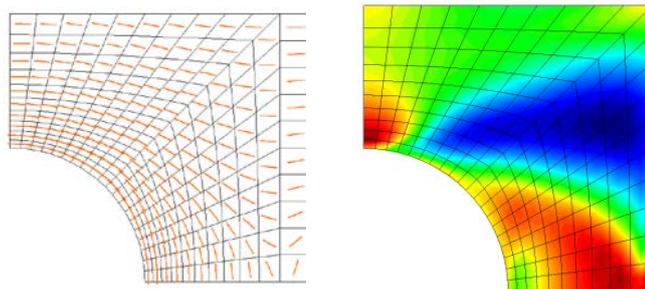


図3 非優越解の自己組織化マップによる可視化例



(a) 繊維形状 (b) 破壊指標分布
図4 非優越解の一例

(4) 本発表の注目点

複合材料を構造材に採用する際は過去に金属材料で培った設計ノウハウが流用される場合が多く、等方性材ベースの設計手法となっており、複合材料の異方性を最大限に活かした設計は出来ていないと言われている。また、曲線状繊維は数値計算研究先行で実現性が低いと見られる傾向にあったが、製造技術の進歩により現実のものとなりつつある。本研究では、まだ導入事例の少ないファイバー縫付機を用いて実際に試験片を作成し、実験を伴った自由繊維形状複合材の最適設計を行っている点が注目点である。

研究発表データシート

【6】	田中 真悟 北海道大学大学院工学研究院 エネルギー環境システム部門・助教	
-----	--	---

発表タイトル	硬化セメントペースト中の水およびイオンの拡散機構
サブタイトル	

(1) 研究者のアピールポイント

原子力発電の利用に伴い発生する放射性廃棄物の処分研究として、人工バリア（セメント、ベントナイト）、天然バリア（主に堆積岩）および土壌中の放射性核種の移行メカニズムの解明と、安全評価手法の高度化研究を行っている。特に、非密封 RI を用いた極微量分析技術や界面動電現象など、様々なアプローチを取り入れて研究を進めている。ここではセメント中の水およびイオンの拡散研究の成果について発表する。

(2) 本発表研究の概要

放射性廃棄物処分では様々な用途でセメント系材料が多用される（図1）が、求められる機能の一つとして放射性物質の移行抑制のためのバリア性能が挙げられる。したがって放射性廃棄物の安全な処分のためには、セメント系材料、とくにその主成分である硬化セメントペースト中の放射性物質の拡散挙動を明らかにする必要がある。硬化セメントペースト中の放射性物質の拡散経路として、水和物粒子間の毛細管空隙（数ナノメートル～数10 マイクロメートル）と水和物粒子内の微細なゲル空隙（10 ナノメートル以下）があると考えられている（図2）が、微細構造と拡散機構の関係の詳細は未だ明らかになっていない。

そこで、本研究では硬化セメントペーストの微細構造が拡散に与える影響を明らかにすることを目的とし、ゲル空隙と毛細管空隙の割合が異なる硬化セメントペースト試料中の水分子及びイオンの拡散係数及び活性化エネルギーを求めた。この結果、水分子の主な拡散経路は毛細管空隙であるものの一部はゲル空隙も経路としていること、及び毛細管空隙の連続性が拡散経路に影響を与えている可能性を明らかにした。

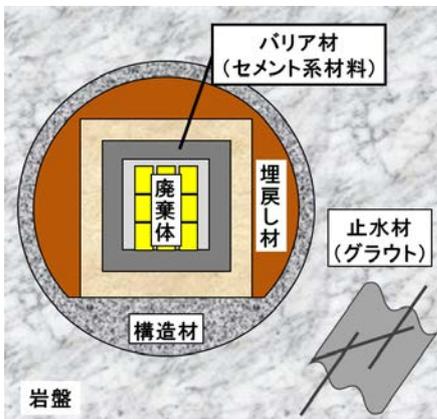


図1 余裕深度処分におけるセメント系材料の利用概念図

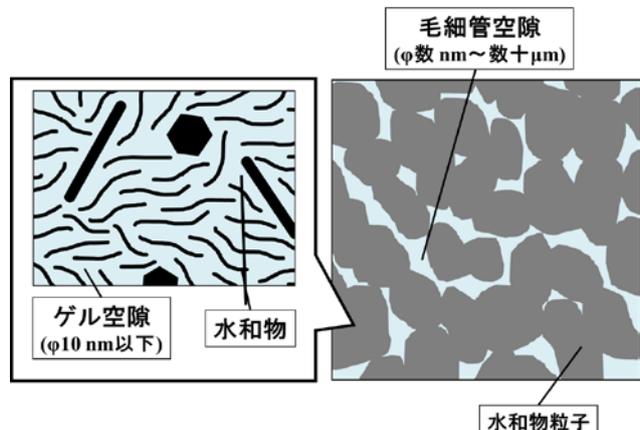


図2 硬化セメントペーストの微細構造の概念図

【6】 続き

(3) 本研究発表の詳細

(a) セメント中の水の拡散挙動

温度 50°C で 90 日間養生させたセメント試料に水のトレーサーとして HTO を塗布して拡散対とし、所定時間後、塗布面より試料を薄く切断し、試料中の放射能分布を決定することで見かけの拡散係数を得た。また、拡散係数の温度依存性から拡散の活性化エネルギーを決定した。加えて、養生後の試料を 60°C のオーブンにて 7 日間、さらに 1000°C の電気炉にて 3 時間乾燥させることで水和率を算出し、ゲル空隙率および毛細管空隙率を推定した。

図 3 に水の拡散の活性化エネルギーおよびゲル空隙割合の水セメント比依存性を示す。

活性化エネルギーはゲル空隙割合の増加とともに増加し、拡散へのゲル空隙の寄与が示唆された。さらに、拡散経路として毛細管空隙とゲル空隙が直列に接続したモデルを考慮することで実験結果を合理的に説明できた。これらのことから、水分子は毛細管空隙を支配的に拡散し、一部はゲル空隙も拡散経路としている可能性が明らかとなった。

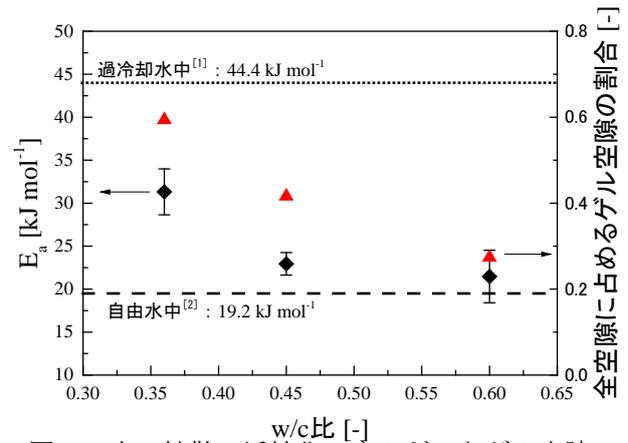


図 3 水の拡散の活性化エネルギーとゲル空隙割合の水セメント比 (w/c) 依存性

(b) セメント中の放射性セシウムの拡散挙動

水セメント比と養生温度(10~50°C)を制御することで、17.6~43%の毛細管空隙率を有する硬化セメントペースト試料を調製し、それらに ^{137}Cs を塗布して拡散対とし、Cs の見かけの拡散係数を決定した (図 4)。

Cs の見かけの拡散係数は、毛細管空隙率が低い領域では毛細管空隙率の増加とともに緩やかに増加したのに対し、毛細管空隙率が高い領域では急激に増加した。毛細管空隙の連続性はその空隙率が $20 \pm 5\%$ を下回ったときに失われる [3]との報告があることから、このような見かけの拡散係数の増加傾向の変化は、毛細管空隙の連続性と関連している可能性が高いと考えられる。

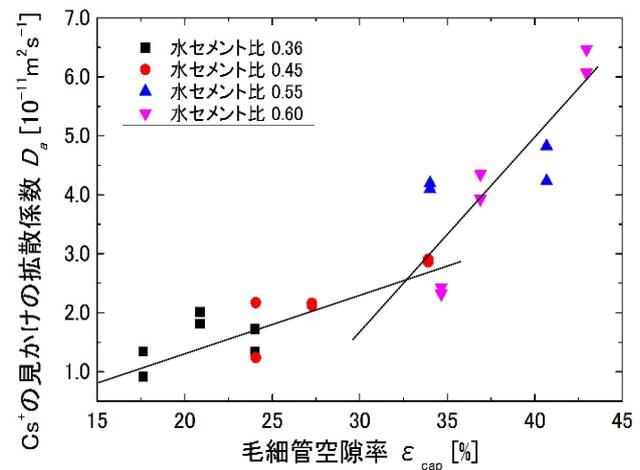


図 4 Cs⁺の見かけの拡散係数の毛細管空隙率依存性

(4) 本発表の注目点

硬化セメントペーストは多様な水和生成物からなる複雑な内部微細構造を有し、放射性物質の拡散挙動についての知見は他のバリア材料 (粘土、岩石、土壌など) と比較して圧倒的に不足している。本研究では、セメント中の放射性物質の拡散機構について、①水の拡散の活性化エネルギーの観点から、硬化セメントペーストの微細構造中の水の拡散機構を推定できた。また、②Cs⁺の見かけの拡散係数の毛細管空隙率依存性から、拡散に及ぼす毛細管空隙の連続性の影響の可能性を見出すことができた。

今後、本研究を着実に継続することで、セメントをバリア材とした放射性廃棄物処分の技術的な信頼性を向上させるのみならず、コンクリートの劣化に影響を与える化学物質の浸透挙動の解明など、土木工学などの他の分野にも貢献できると考えている。

[1] W. S. Price et al., J. Phys. Chem. A. 103, 448-450 (1999). [2] J. H. Wang et al., J. Am. Chem. Soc. 75, 466-470 (1953). [3] E. J. Garboczi et al., Constr. Build. Mater. 10, 293-300 (1996).

研究発表データシート

【7】	富岡 智 北海道大学大学院工学研究院 量子理工学部門・教授	
-----	-------------------------------------	---

発表タイトル	位相トモグラフィによる火炎周辺温度分布の三次元計測
サブタイトル	非接触三次元屈折率分布計測システムの実証例

(1) 研究者のアピールポイント

研究分野は、不均一媒質中の電磁波伝搬問題の境界要素法による数値解析手法、遺伝的アルゴリズムを用いた非線形モデルへの汎用最小自乗法、不連続点を有する二次元位相画像の位相連結アルゴリズム、不完全条件に対するコンピュータトモグラフィの再構成アルゴリズム等の計算機による解法あるいはアルゴリズムの開発を主としている。他には、プラズマ計測用の中赤外光空間分布の可視化、ホログラフィー干渉法等の実験も手掛けている。今回の発表は、これらの内の干渉法、位相連結アルゴリズム、ならびに、コンピュータトモグラフィを併用し、火炎周辺の温度の三次元分布を、非接触に求めるための計測手法の開発に関して発表する。

(2) 本発表研究の概要

本発表では、測定対象への擾乱を与えない非接触の三次元屈折率分布計測システムを提案し、その実証例として火炎近傍の温度分布計測の結果を示す。この計測システムでは、測定対象へのビームの入射方向を変えることができる干渉計により干渉縞を取得し、それから屈折率の光路積分を画像(投影データ)として求め、コンピュータトモグラフィ(CT)を用いて屈折率の三次元分布を再構成する。計測系の制約から全方位角方向からの線積分が取得できないため、CTの再構成には特定方向の投影データに重みを加えた再構成を行っている。熱電対による温度測定結果との比較により、非接触三次元温度分布の計測システムとして実用可能であることが示された。

(3) 本研究発表の詳細

既に広く利用されている医療用のコンピュータトモグラフィ(CT)では、被測定対象(人体)のX線に対する減衰係数の空間分布を、プローブ等を被測定対象へ挿入せずに、非接触的に測定することができる。この原理は多方向から撮影した複数のレントゲン写真をコンピュータで計算により内部の三次元の減衰定数分布を再構成するものである。レントゲン写真は有限幅のビーム状X線を測定対象に通過した際の光路に沿った減衰係数の積分を画像と取得したものであり、これを投影データとよぶ。屈折率の三次元分布を求めるためには、屈折率の線積分画像(投影データ)を計測し、これを多方向から捉えれば、医療用のCTと同様に再構成が可能となる。

屈折率の線積分画像は、干渉計により得た干渉画像に、フーリエ変換法による不連続位相画像の算出、位相連結処理、バックグラウンド干渉縞の除去を施せば求めることができる。ただし、一般的な干渉計では固定の一方向からの投影データしか得られない。多方向からの投影データを得る方法の一つとして、観測対象を回転させる方法が考えられるが、被測定対象が固体以外の場合には、対流等により被測定対象の状態が変化してしまうため利用できない。そこで、図1の青色で示したミラー群により干渉計を構成し、さらにこれらのミラー群を、干渉条件を満たしながら移動ならびに回転させることにより、入射方向を変更できる入射方向可変干渉計を構築した。

【7】 続き

ミラー群の移動と回転にはメカニカルステージを用いた。この移動等の際にミラーの振動が干渉縞計測に影響しないように、干渉縞の露光時間 0.1ms 程度とした結果、信号対雑音比(S/N)が劣化し、後段の位相連結処理では、広く使われているアルゴリズムが使えなくなった。そこで、ノイズに強い位相連結アルゴリズムを新たに提案し、それにより、投影データを算出した。複数方向からの投影データをもとに得られたある断面内の再構成結果を図 2(A)に示す。測定対象は二本のローソク火炎近傍の気体であり、可変入射干渉計の入射方向は図の上から下に向かう方向の近傍の約 60°の範囲に約 600 方向からの投影データを用いている。図から解るように本来は等方的な分布が上下に間延びした再構成分布となっている。この影響を低減するために、入射方向可変干渉計の入射方向範囲がカバーできない領域に、図 1 の黒色のミラー群からなる入射方向が固定の干渉計を加えた。この投影データを考慮した再構成結果が、図 2(B)であるが、図 2(A)と比べ大きな改善は見られない。この原因は、横方向からの固定方向干渉計による投影データは、約 120°の範囲に一本のビームのみであり、上方向からの角度あたりのビームの数密度が二桁から三桁小さいためと予想される。そこで、横方向のビームの重みを 100 倍して、再構成した結果が図 2(C)であり、上下の間延びが抑えられることが解った。図 3 は、横方向重みを 100 倍とした場合の三次元再構成結果であり、図 4 は熱電対を用いたローソクが一本の場合の温度の計測結果である。空間的な分布はほぼ一致しているが、図 3 の再構成結果は、若干、少なめに評価されている。

(4) 本発表の注目点

本発表では、火炎周辺の三次元温度分布の計測を示したが、これは屈折率分布の計測結果を温度分布に換算したものである。屈折率に依存する物理量としては、気体の温度あるいは密度のみならず、プラズマの電子密度、溶液中の溶媒濃度等が考えられ、これらの計測にも応用できる可能性が高い。

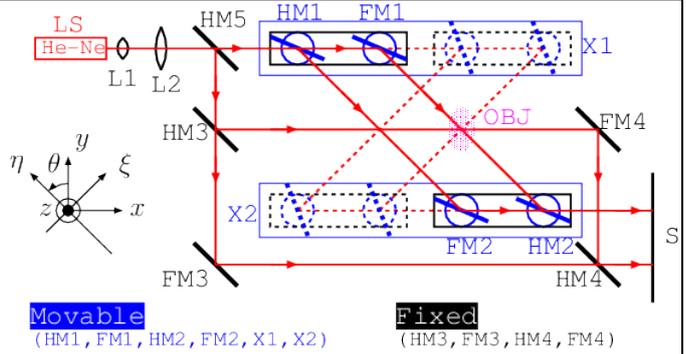


図 1 入射方向可変干渉計(青)と固定干渉計(黒)

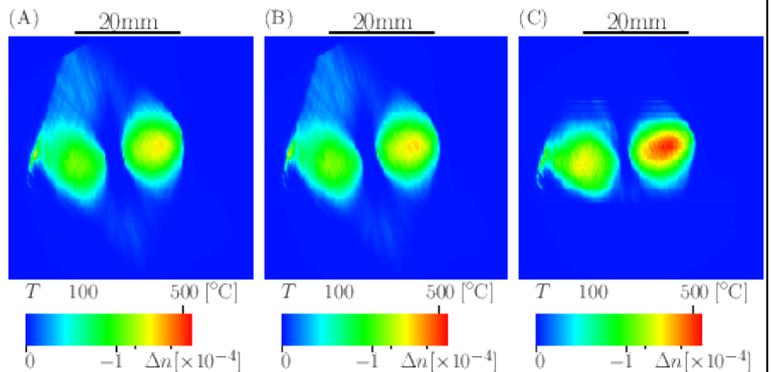


図 2 再構成温度分布: (A) 固定方向なし, (B) 固定方向あり(重みなし), (C) 固定方向あり(重み=100)

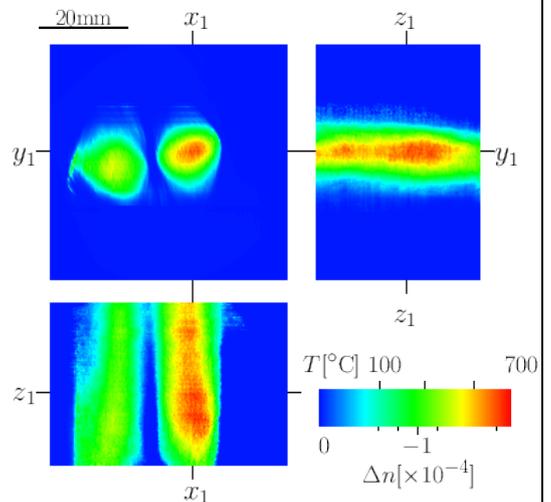


図 3 三次元再構成温度分布

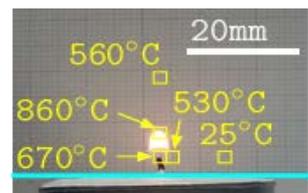


図 4 熱電対による温度測

研究発表データシート

【8】	磯部 公一 北海道大学大学院工学研究院 環境フィールド工学部門・准教授	
-----	---	---

発表タイトル	次世代スマートストラクチャ，杭基礎一体型鋼管集成橋脚の開発
--------	-------------------------------

サブタイトル	大型振動台実験による杭基礎一体型鋼管集成橋脚の耐震性能評価
--------	-------------------------------

(1) 研究者のアピールポイント

本研究で紹介する技術は，土木構造物として特に重要構造物と位置付けられる橋梁構造の耐震性能向上を目指し，損傷制御設計の概念を取り入れた，実用性が高く，量産化も可能な耐震構造技術である．同様の概念を取り入れた構造形式は，世界的に見ても San Francisco-Oakland Bay Bridge 東橋や，ニュージーランドの South Rangitikei 橋と数えるほどの事例しかなく，耐震構造としては最先端の土木技術といえる．

本研究では，この構造形式をさらに発展させるために，損傷制御設計の概念を，橋脚を支える基礎構造とその周辺地盤へも拡大適用させた，杭基礎一体型鋼管集成橋脚を提案している．当該構造は，従来は橋脚構造と地盤内の基礎構造とで明確に区分して設計していた設計概念を覆し，上下部構造を一体として設計し，地震時の変形をより高精度に予測する必要が生じるが，一方で地震時の変形を高精度に予測することが可能であれば，当該構造を更なる合理化へと導くことができる．そのためには，信頼性の高い実験データに立脚した数値解析によるアプローチが欠かせない．本発表では，これらに関する大規模な振動台実験による実験データと，液状化地盤中の杭基礎一体型鋼管集成橋脚の地震時挙動の高精度予測手法の構築を目指した研究事例を紹介する．

(2) 本発表研究の概要

1995年の兵庫県南部地震では，耐震設計された構造物の甚大な被害に加えて，倒壊などの致命的な被害を受けなかった構造物でも橋脚，支承，上部構造，基礎などの様々な部材に損傷が発生したことで，地震後の点検，調査，補修および復旧に多大な時間を要した．この経験から，損傷が発生することを許容する一方で，損傷する個所を予め設計で誘導し，その損傷を制御することで，地震後の対応の観点からの合理化を進める設計思想（損傷制御設計）が土木分野においても導入されている．

この損傷制御設計の概念を取り入れた橋梁構造である「鋼管集成橋脚」は，既製鋼管4本を，履歴型ダンパー機能を有するせん断パネルにより結合した新しい形式の橋脚（**図-1**）であり，安価な材料と鋼材の履歴減衰特性を有効に利用した構造物として，実用化が進んでいる．本橋脚は損傷制御設計の概念に基づき，鉛直荷重を主部材である鋼管が，水平荷重を二次部材であるせん断パネルが受け持つことで，地震時の損傷をせん断パネルに集約することから，大規模地震時においても主部材である鋼管柱を健全に保つことができるため，地震後直ちに緊急車両の通行も可能である．また，地震後の緊急点検時に点検する部材が限定され，供用可否の判断を速やかに行うこともでき，さらに，仮に復旧が必要な損傷を受けた場合でもせん断パネルを取り替えるだけで元の構造に戻すことができることから，地震時ライフサイクルコストの低減にも寄与することが可能である．以上のことから，本橋脚構造は安全性，供用性，修復性といった観点から高い耐

【8】 続き

震性能を有しつつ、製作性、施工性、経済性を向上することができる次世代スマートストラクチャと位置づけられる。

(3) 本研究発表の詳細

本研究発表では、上記の鋼管集成橋脚に対し、基礎部分を合理化した杭基礎一体型鋼管集成橋脚を提案し、従来のフーチング形式と地震時挙動を比較することで構造成立性を検討している。先行研究の成果から、従来のフーチング基礎形式に対して、杭基礎一体型は橋脚と基礎の剛性差の解消による柱基部のひずみの緩和、フーチングの省略による杭基礎の負担重量の軽減などの利点を有し、フーチングの省略による杭体の応答ひずみや杭頭変位の増加などの不利な点は地中梁の設置により改善可能であることを解析的に確認している。本発表研究では、上記の利点と改善効果を実験的に確認するために、1/20 サイズで作製した模型に対し大型振動台実験（図-2）を実施した。その結果、杭基礎一体型では、基礎構造からフーチングを取り除くことで橋脚基部における部材間の剛性差を解消できるため、杭と柱の接合部において局所的なひずみは発生しないこと、また杭基礎一体型は、従来型のフーチングを有する杭基礎よりもせん断パネル降伏後も鋼管が降伏するまで余裕があることから、優れた変形能を発揮することを確認できた。

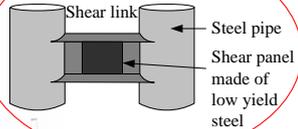
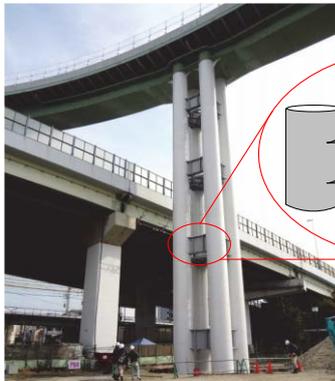


図-1 鋼管集成橋脚の実用化事例



図-2 大型振動台実験の様子

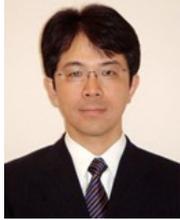
表-1 橋脚構造の部材損傷進展過程

加振No. (最大入力加速度)	フーチングを有する杭基礎 (D-F)					杭基礎一体型 (D-S)					
	せん断パネル			鋼管		せん断パネル			地中梁	鋼管	
	上段	中段	下段	柱	杭	上段	中段	下段		柱	杭
第1加振 (0.5 m/sec ²)	(a)										
第2加振 (1.0 m/sec ²)	(b)										
第3加振 (1.5 m/sec ²)	(c)										
第4加振 (2.0 m/sec ²)	せん断パネル			柱・杭(鋼管)							
第5加振 (2.5 m/sec ²)	弾性			弾性							
第6加振 (3.0 m/sec ²)	塑性			塑性							
第7加振 (3.5 m/sec ²)	面外変形			塑性の可能性あり							
第8加振 (5.0 m/sec ²)									(d)		

(4) 本発表の注目点

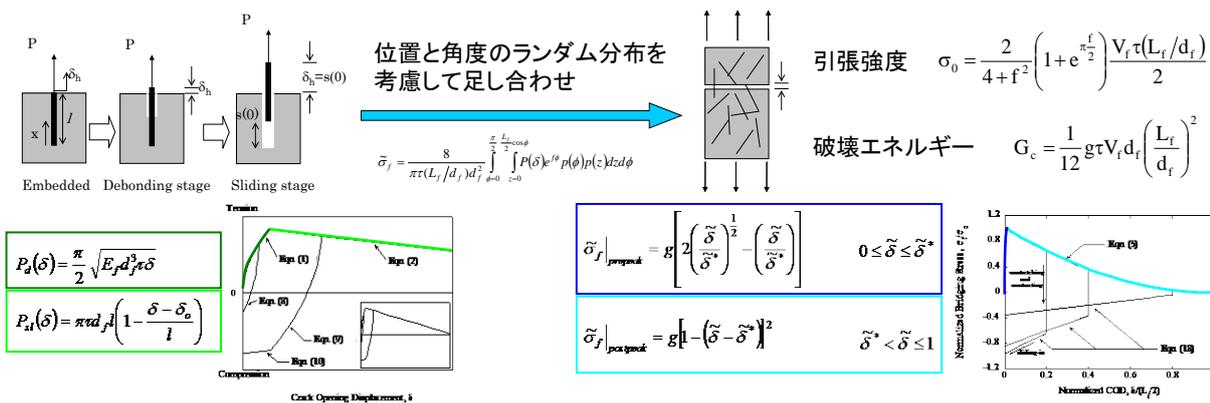
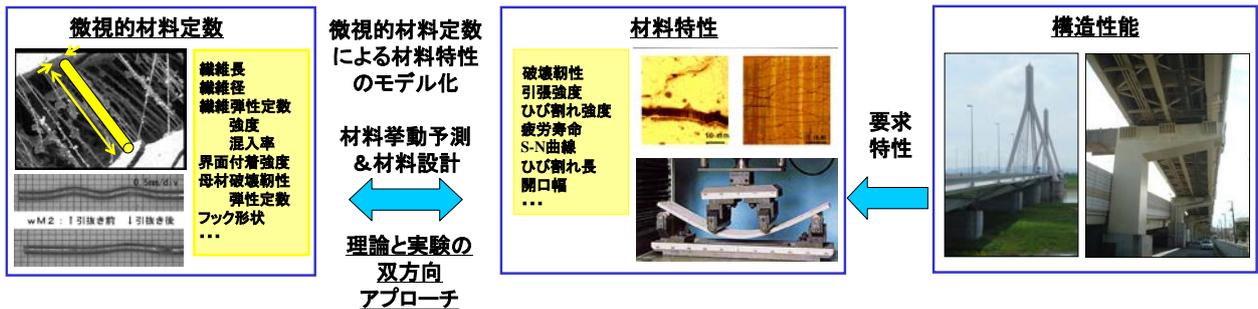
杭基礎一体化構造は、従来型基礎構造よりも杭の本数を半分に減らし、橋脚と基礎をつなぐフーチングを省略し、スリム化することで、せん断パネルの塑性化による橋脚構造の剛性の低下に伴う長周期化と、せん断パネルおよび周辺地盤の塑性化挙動によるエネルギー吸収の結果として、減衰効果による免震効果をより一層発揮させることができ、靱性の高い橋脚構造となることを、大型の振動台実験の結果から証明することができた。さらに、構造、過圧密、異方性といった地盤材料特有の力学特性を精緻に導入した地盤材料の構成モデルを適用することで、液状化地盤中の杭基礎一体型鋼管集成橋脚構造の地震時挙動を高精度に表現することが可能になった。これにより、既成概念にとらわれたままの橋脚構造の設計概念を壊し、新しい設計概念と手法により、耐震性能の高い橋脚構造形式をよりスマートに追求できる下地を築いた。

研究発表データシート

【9】	松本 高志 北海道大学大学院工学研究院 北方圏環境政策工学部門・准教授	
-----	---	---

発表タイトル	繊維補強セメント系複合材料の高靱性化と疲労耐久性
サブタイトル	

- (1) 研究者のアピールポイント
破壊力学とマイクロメカニクスに基づき、繊維補強複合材料の材料特性のモデル化と性能向上に取り組んでいる。
- (2) 本発表研究の概要
コンクリートは圧縮と比較して引張に弱く、また、ひび割れが様々な問題を生んでいる。繊維補強セメント系複合材料は引張特性を大幅に改善することが可能であり、構造物の耐震性や耐久性の向上が図られる。材料の微視的構造に基づき、繊維補強セメント系複合材料の高靱性化と疲労耐久性の研究を行っている。
- (3) 本研究発表の詳細
繊維補強セメント系複合材料は、繊維の種類、強度特性、幾何的形狀が多様で、材料設計の自由度が高い。こうした微視的材料定数を用いたマイクロメカニクスによる材料特性のモデル化を行い、材料挙動予測と材料設計において、理論と実験の双方向アプローチを構築している。



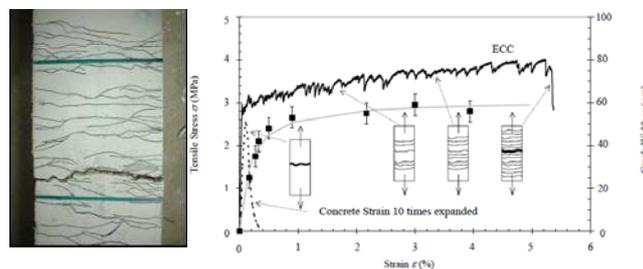
【9】 続き

マイクロメカニクスモデルは繊維がひび割れにおいて伝達する応力と開口幅の関係（架橋則）について記述し、これにより引張強度や破壊エネルギーの理論値が導出される。また、架橋則は繊維補強セメント系複合材料を用いた構造物の挙動にも影響を及ぼす。

・高靱性化

マイクロメカニクスモデルにより、複数ひび割れと数%の引張歪みを生じるセメント系複合材料（ECC）を設計可能である。ECCは一軸引張応力下で、継続的にひび割れが発生し、かつ開口幅は微細である（ $<100\mu\text{m}$ FRCは数 $100\mu\text{m}$ ）。そして終局時までひび割れが局所化しない。また、応力-歪み関係は、歪み硬化挙動を示す（最大歪み8%，コンクリートは0.2%）。

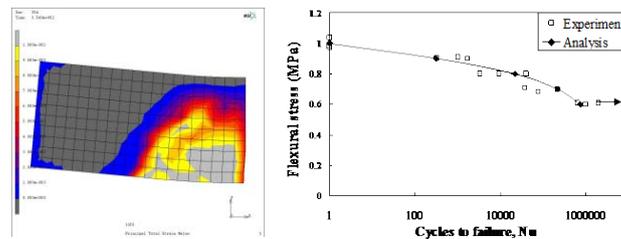
ECCの延性的引張挙動



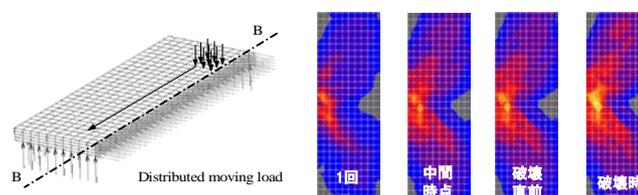
・疲労耐久性

マイクロメカニクスに基づいた解析手法により、材料・部材の疲労耐久性を評価することが可能である。従来、実験により得ていた疲労のS-N線図を解析により得ることができる。また、実大の道路橋床版の疲労耐久性を解析により評価することも可能である。

ECC曲げ疲労のS-N線図



ECCによる道路橋RC床版増厚補強の疲労解析



（4）本発表の注目点

繊維長，繊維径，繊維強度などの微視的材料定数に基づいて構築されたモデルにより，引張強度，破壊エネルギー，疲労寿命などの材料特性との関係が得られる。

モデルにより，要求される材料特性を発揮する微視的材料定数の組み合わせを設計することができ，部材特性（曲げ強度，曲げ疲労寿命）や構造物の解析と設計にも有効である。

研究発表データシート

【10】	中嶋 唯貴 北海道大学大学院工学研究院 建築都市空間デザイン部門・助教	
------	---	---

発表タイトル	人体動作と姿勢認識及び家具転倒軌跡判定による地震時避難誘導システム
--------	-----------------------------------

(1) 研究者のアピールポイント

地震防災をテーマとし、主に人的被害評価手法の提案と減災戦略の策定に関する研究を実施してきました。この中で、モーションキャプチャーとコンピュータビジョンによるモニタリング技術を応用し、人的被害軽減を狙ったのが本研究です。

(2) 本発表研究の概要

我々の生活には、すでに多数のセンサーが組み込まれています。近年、これらの情報をいかに加工し利用するかの技術が求められています。地震時においては、地震動により居室空間内部が散乱状態となり、人間の行動により負傷します。これを防ぐためには、地震時の室内の散乱状況評価と人間行動の制御が不可欠です。地震計とコンピュータビジョン技術によるモーションキャプチャーにより負傷リスクを評価し、人工音声により負傷回避へ導くシステムを紹介します。

(3) 本研究発表の詳細

システムは家具固定の「事前対策」に加え多重対策として、地震発生時における適切な負傷回避行動を誘導する「最中対策」を提案するものです。気象庁緊急地震速報と同様に大きな揺れが来る前に地震襲来を警報するシステムであり、それに連動させて揺れが始まりそのときの居住者の対応の適否が生命に関わる極めてクリティカルな状況判断（安全 or 危険空間の見極め、安全空間への迅速なる移動、安全空間での静止保持命令、負傷危険者の割り出し・負傷状態予測・通報等々）に、現代の情報技術と防災知識を融合させたコンピュータを導入します。そして居住者には誘導・その他の情報を音声で提供させ、最速かつ最適な行動支援をするものであり、負傷者撲滅対策に有効な新たな視点を提示するものです。具体的には図面に高さの情報を付加することで危険領域を3次的に評価し、さらに、モーションキャプチャーを用いて人物抽出を行うことで人の姿勢による危険度の違いの評価を行えるようになっており、革新的なことは居住者の負傷可能性を、その時の姿勢や動作を常時モニタリングし、家具転倒や落下の軌跡を同時シミュレーションすることで、負傷部位及び負傷程度にまで詳細に情報化することです。すなわち、室内空間を3次的に把握し、そこを移動する人体部位と成傷器たる家具軌跡の交点をリアルタイムで追跡する独創的なシステムとなっております。図1にシステム起動時の画像を示します。



図1 開発した避難誘導システム

(4) 本発表の注目点

地震時の室内と人間の姿勢までを含めたモニタリングすることにより負傷部位や部位ごとの損傷程度が判明するなど、これまでにないシステムとなっております。

研究発表データシート

【11】	瀬戸口 剛 北海道大学大学院工学研究院 建築都市空間デザイン部門・教授	
------	---	---

発表タイトル	風雪の影響を低減する都市設計シミュレーション手法の研究
サブタイトル	北国の都市デザイン

(1) 研究者のアピールポイント

本研究成果による主な受賞

- 文部科学大臣表彰科学技術賞 (2015年度)
 「積雪寒冷都市において風雪の影響を低減する都市デザインシミュレーション手法の研究」
 瀬戸口剛 (北海道大学)
- 日本建築学会賞(論文) (2014年度)
 「積雪寒冷都市において風雪の影響を低減する都市デザインシミュレーション手法の研究」
 瀬戸口剛 (北海道大学)
- 日本都市計画学会 計画設計賞 (2014年度)
 「稚内駅前地区再開発事業「キタカラ」ー北国の都市デザイナーー」
 瀬戸口剛 (北海道大学) 共同受賞者：相澤誠吾 (稚内駅前地区市街地再開発組合理事長) /
 工藤 広 (北海道稚内市長) / 島田 修 (北海道旅客鉄道株式会社代表取締役社長) / 菅野彰一
 (株式会社北海道日建設計代表取締役会長) / 加納美佐恵 (株式会社北海道日建設計設計室主管)

(2) 本発表研究の概要

本研究では、北海道をはじめとする積雪寒冷都市において、屋外公共空間での風雪の影響を低減するために、都市空間形態の評価手法を開発した、従来全く見られない先進的な研究である。粉体風洞実験設備を用いた風雪シミュレーションにより、計画対象地区において雪の吹きだまりや強風域を予測し、開発される都市施設周辺の屋外公共空間において、雪の吹きだまりや強風域を発生させない、風雪に強い都市空間を導き出すものである。積雪寒冷都市という地域性を十分に考慮した都市デザインの手法で、都市計画における新しい学問分野を開拓している。



図1 雪の吹きだまりを把握する風洞実験

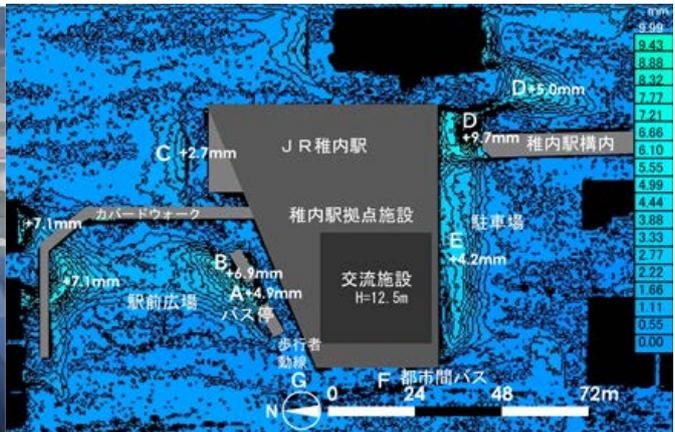


図2 稚内駅再開発計画における風雪シミュレーションの結果

【11】 続き

(3) 本研究発表の詳細

稚内駅再開発ビル「キタカラ」において、風雪の影響を低減する都市デザイン手法を開発し、稚内駅および再開発ビルの形態を決定した。稚内市では冬季の吹雪が多く気候が厳しいことから、再開発計画の模型を用いて風雪の風洞実験を何回も行い、望ましい「キタカラ」の形態を導き出した。再開発事業で最も重要となる歩行者動線上に雪の吹きだまりができにくい、再開発ビル「キタカラ」のデザインを導き出した。稚内駅舎と再開発ビルの基本計画段階から、風洞実験を用いて雪の吹きだまりが懸念される場所を特定し、基本計画に反映している。積雪を考慮して風雪の風洞実験を行い、都市デザインの形態を導き出す計画設計は、世界的にも例が無い。

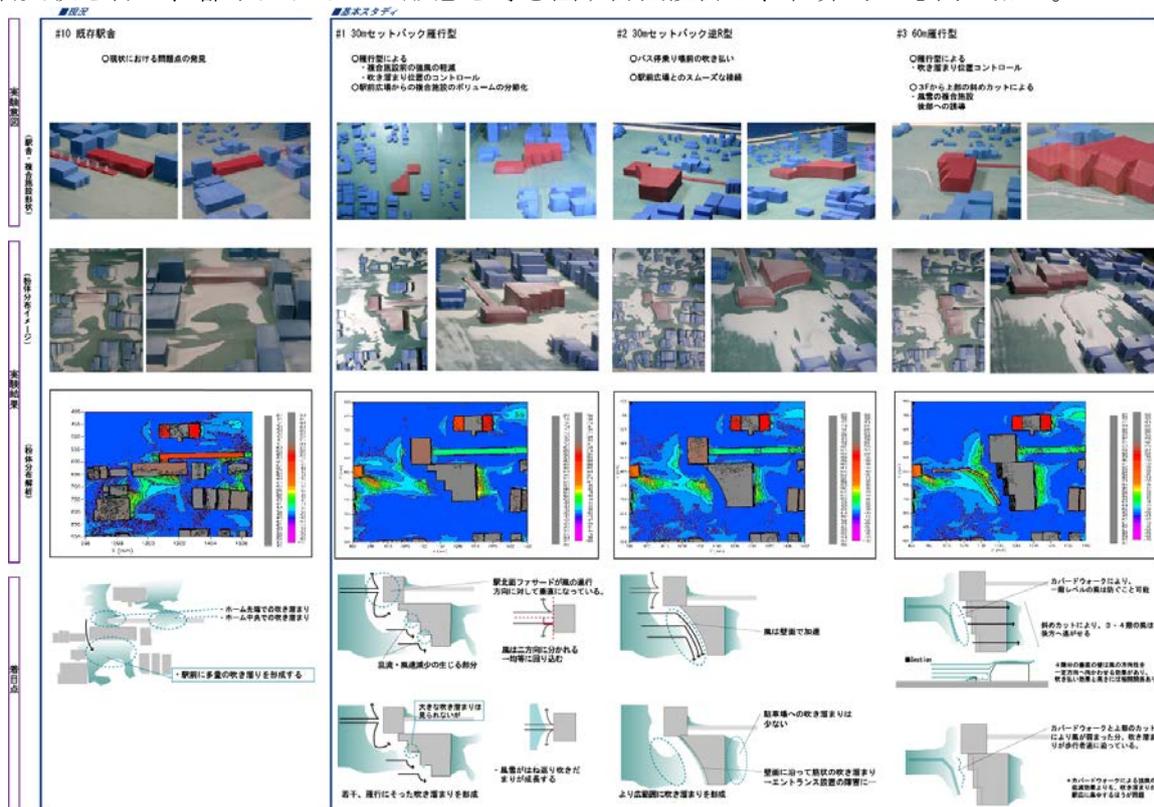


図3 稚内駅再開発計画における風雪シミュレーションによる形態検討プロセス

(4) 本発表の注目点

稚内駅の再開発に合わせて取り組まれた本研究は、従来は分離されていた都市デザインと環境評価を融合するもので、相互の応答により稚内駅の再開発事業に実際に反映させていることが大きな特徴である。そのため、実際の設計活動と並行して風雪シミュレーションを行うことで結果を設計に反映することができ、世界で初めての取り組みである。



図4 完成した稚内駅再開発ビル「キタカラ」

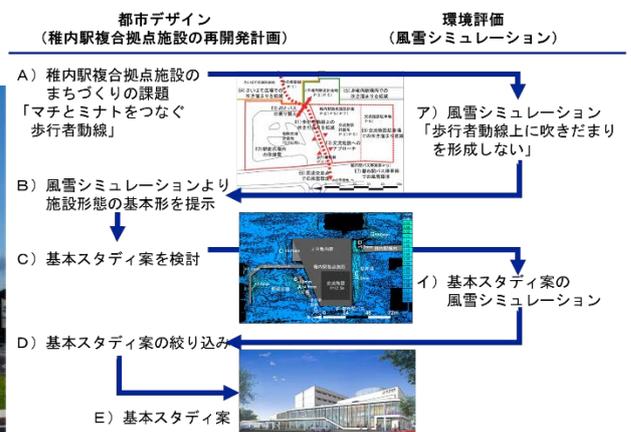


図5 風雪シミュレーションを融合した都市デザインプロセス

研究発表データシート

【12】	濱田 靖弘 北海道大学大学院工学研究院 空間性能システム部門・教授	
-------------	---	---

発表タイトル	ハイブリッドバッファ・新安全リスク評価デバイスを導入した健康指向型スマートハウス
--------	--

サブタイトル	
--------	--

(1) 研究者のアピールポイント

二次電池(BT)と電気二重層キャパシタ(EDLC)を組み合わせた、ハイブリッドバッファデバイス(BD)は従来の BT に比べ、電力負荷に対する追従性が優れており、導入により二次電池の長寿命化も期待できる。また、新安全リスク評価デバイスは居住者の体の温熱状態を評価することができ、人体に適度な温熱負荷を付与するように空調機器を制御することで、居住者の生理機能の低下を防ぐことができる。

(2) 本発表研究の概要

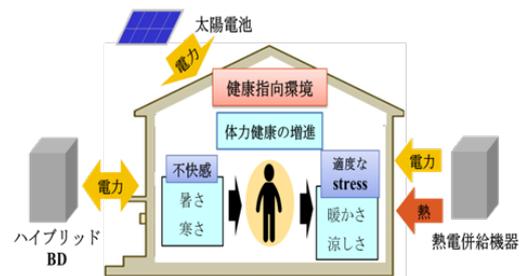
本研究はハイブリッドバッファ・新安全リスク評価デバイスを導入することで、居住者の健康維持と環境負荷削減の両立を可能とする住宅の実現を目的としている。まず、健康指向環境の概念を提示し、ヒートファクターを用いて居住者の体の温熱状態を評価するシステムを開発した。また、ハイブリッド BD の省エネルギー性能を評価するため、フィールド実測を行った。さらに、実測データを基にシミュレーションを行い、BD 導入効果を評価した。

(3) 本研究発表の詳細

近年、家庭でのエネルギー消費量が増加しており、この問題の対策としてスマートハウス(SH)の導入が有効である。本研究では従来の SH に 2 つの新デバイスを導入することで、エネルギーの更なる有効利用に加え、居住者の健康状態の管理も行う。従来の健康は非病健康と体力健康に大別され、体力健康とは健全な体力が保持されている状態を言う。健康指向環境とは体力健康維持のための適度なストレスが人体に負荷されるように形成された環境のことである。新安全リスク評価デバイスは、居住者の温熱状態を評価し、結果を空調機器の制御にリアルタイムで反映することができる。空調機器の出力を抑え、人体に適度な温熱負荷を与えることで健康指向環境を達成でき、同時に消費エネルギー量を削減することができる。さらに、体の温熱状態が危険域に達した場合、自動で空調を作動させ、安全域に復帰させることができる。また、ハイブリッド BD の省エネルギー性能評価のため、広島と北海道に固体高分子形燃料電池(PEFC)、ハイブリッド BD を設置し、フィールド実測を行った。PEFC のみの運転と PEFC+ハイブリッド BD 運転の一次エネルギー削減量、発電寄与率、排熱寄与率を比較した。さらに、実際の家庭 5 世帯の実測負荷データを用いて、シミュレーションを行い、一次エネルギー削減量・充放電回数の観点からハイブリッド BD 導入効果の評価を行った。

(4) 本発表の注目点

- 新安全リスク評価デバイスによる室内環境制御
- ハイブリッド BD の省エネルギー性能



健康指向型スマートハウス概念図

研究発表データシート

【13】	村尾 直人 北海道大学大学院工学研究院 環境創生工学部門・准教授	
------	--	---

発表タイトル	大気中の光吸収性粒子（すす・黄砂等）自動測定装置の開発とその応用
サブタイトル	すすや黄砂はどこから飛んできたのか？

（1）研究者のアピールポイント

大気中に浮遊する光吸収性粒子を連続モニタリングする装置を開発し、そこから得られるデータを基に測定地点の光吸収性粒子濃度に影響を与える地域を特定する手法を開発した。これによって、当該地域の光吸収性粒子濃度を低減させるための対策に不可欠な発生源地域に関する情報を得ることが可能となった。

（2）本発表研究の概要

フィルター上に捕集される大気エアロゾルを常時、光ファイバセンサーでモニタリングすることにより大気中光吸収性粒子濃度を自動で長時間にわたり従来よりも高い時間分解能（1分）で連続測定することを可能にする装置を開発した。これによって従来よりも多くの光吸収性粒子量データを得ることが可能となった。この装置を札幌市内に複数台設置し連続測定した結果、札幌市内の光吸収性粒子は市外遠方より輸送される部分と市内で発生した部分があり、市内寄与分は自動車由来であることが示唆された。市内発生源の影響が少ない手稲山山頂でのデータを用い、統計的流跡線解析法によって光吸収性粒子の発生源を推定したところ、多くは大陸由来であることがわかった。この手法を遠隔地である沖縄での観測に適用し、得られたデータの解析により季節によっては東南アジアからの影響があることがわかった。

（3）本研究発表の詳細

大気中に浮遊する微粒子（大気エアロゾル）は近年 PM2.5 としてマスコミなどを賑わしており、その健康影響が懸念されている。大気エアロゾルには、さまざまな成分が含まれ、燃烧由来のすす、黄砂等の着色粒子（＝光吸収性粒子）もある。大気エアロゾルをサンプリングフィルター上に捕集すると、その蓄積量とともに白色のフィルターは徐々に灰色から黒に色が変わる。この着色の程度を光ファイバーで連続観測しながら一定程度に達すると自動でテープ状フィルターを送る装置を作製した。これまでの大気エアロゾル測定はサンプリング後に化学分析をすることに依っていたため少なくとも数日のサンプリングが必要であったのに対し、本装置は高感度の光学的測定を行なうため1分程度

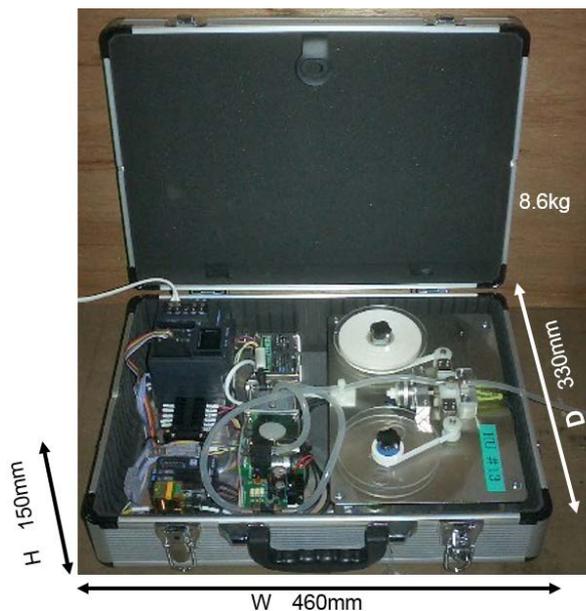


図1 開発した光吸収性粒子測定装置

【13】 続き

の時間間隔で光吸収性粒子濃度の指標である吸収係数データを取得することが可能となった。

この装置を札幌市内数地点に配置し観測すると図2のように各地点での光吸収性粒子量の指標である「吸収係数」の間には大きな差異が見られたが、それらはいずれも一定のベースライン上に乗っている様子が伺える。これは市外から輸送される光吸収性粒子に各測定地点近傍で発生した粒子による吸収係数が上乗せされていると理解することができる。最も高い吸収係数を示したのは市中心部の北一条ステーションであり、大型店舗の駐車場から近距離にある手稲ステーションがそれに続いた。いずれの地点も自動車排ガスの影響を受けやすい地域であることから、札幌市における光吸収性粒子の主な発生源は自動車であることが推定された。札幌市内の光吸収性粒子濃度を低減させようとした場合、大きな発生源となる都市内自動車の規制などが不可欠であるが、遠方より輸送される粒子の評価を行なうことも欠かせないことがわかる。

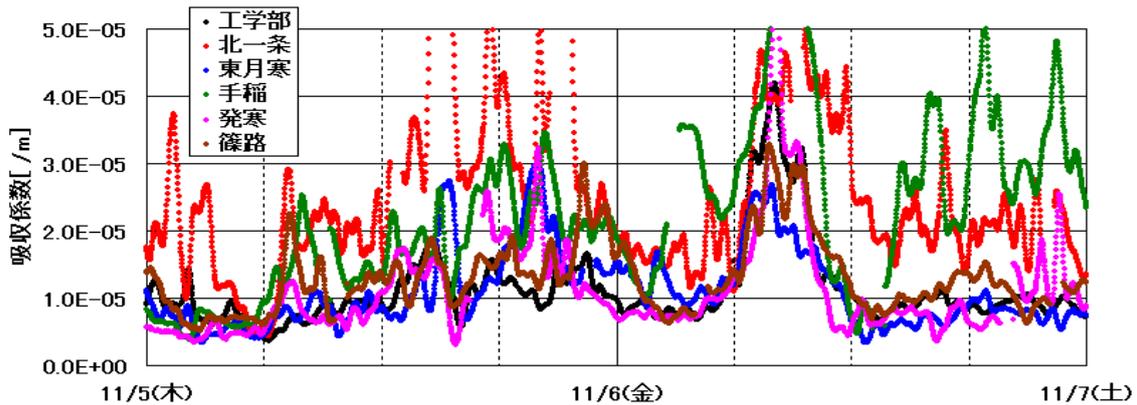


図2 札幌市内複数地点で測定された光吸収性粒子量（吸収係数）

札幌のバックグラウンド地域と位置づけられる手稲山山頂での測定データを用い、流跡線（大気が通ってきた経路）を統計的に解析し発生源を推定する手法である CWT(Concentration Weighted Trajectory)法を適用し発生源分布図(CWT マップ)を作成すると、国内の影響よりも、中国東北部を中心に大きな影響を与えるケースが多かった(図3)。このことは、札幌市の大気環境を改善するためには、市内の発生源対策を行なうとともに、より広域の発生源に注目し適切な対策をも講じる必要があることがわかる。

開発した測定装置は自動連続測定が可能であることから、遠隔地での測定が可能である。このような手法により沖縄辺戸岬での観測データから解析したところ季節によってはハノイなど東南アジア都市部の影響を受けていることが示唆された。

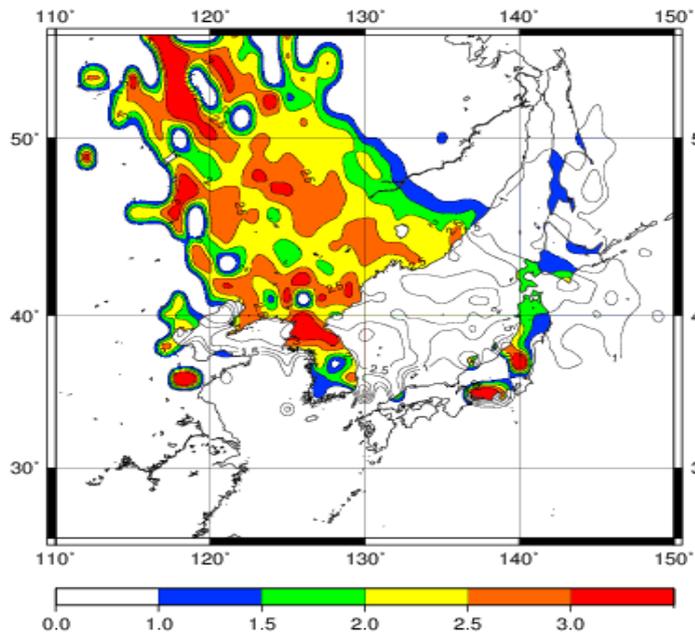


図3 手稲山山頂データ CWT マップ

(4) 本発表の注目点

札幌における大気環境対策のために必要なモニタリングについて、ハードウェア面の開発とともにソフトウェアの開発を行ないその有用性を実証するとともにその手法が他地域へ容易に展開可能であることを示した点。

研究発表データシート

【14】	福嶋 正巳 北海道大学大学院工学研究院 環境循環システム部門・准教授	
------	--	---

発表タイトル	バイオミメティック触媒による有機汚染物質の無害化
サブタイトル	低エネルギー型環境浄化を目指して

(1) 研究者のアピールポイント

テトラブロモビスフェノール A (TBBPA) などブロモフェノール類 (Fig. 1) は、家電製品の電子基板などに臭素系難燃剤として使用されてきましたが、これら物質が生体への濃縮や内分泌攪乱作用を有することから、近年使用が制限されています。しかし、古い家電製品などが廃棄される最終処分場からの浸出水中にブロモフェノールが数十 $\mu\text{g L}^{-1}$ ~数 mg L^{-1} 検出され、水質汚染や生体濃縮に対するリスクが懸念されています[1]。ゆえに、浸出水中のブロモフェノール類を分解・無害化することが必要です。廃棄物処分場内では、有機系廃棄物の嫌気発酵により腐植物質(HS)が生成します。HS は、分子量数百~数万の無定型高分子有機化合物であり、界面活性剤のように親水基および疎水基を有しています[2]。ゆえに、ブロモフェノール類のような疎水性有機物質の可溶化を促進し、浸出水を介して移動性を増加させます。また、HS は有機物であるがゆえに酸化分解など化学処理を阻害するので、浸出水処理においてその影響を取り除くことも重要な課題です。本発表では、生体の解毒機構を利用して有機汚染物質を穏和な条件で無害化する際に、浸出中に存在する HS による妨害を如何に除去するか？当研究室の取り組みを紹介します。



Fig. 1. 臭素系難燃剤(ブロモフェノール類)

(2) 本発表研究の概要

生体内のシトクロム P-450 は、疎水性有機汚染物質を酸化作用により穏和な条件(常温・常圧・水溶液)で無害な形態に変換します。本研究では、その活性中心である鉄ポルフィリン触媒を担体へ担持させ臭素系難燃剤ブロモフェノール類の酸化に対する触媒活性の向上を図りました。そして、浸出水中に含まれている HS による酸化反応阻害を、担体の化学修飾により抑制しました。

(3) 本研究発表の詳細

処分場浸出水中に数十 mg L^{-1} 共存する HS は、フェントン反応やオゾン処理だけではなく鉄(III)-ポルフィリン触媒によるハロゲン化フェノール類の化学酸化を阻害します。HS は巨大な負の静電場を有しているので、負に荷電している固体表面からはイオン排除されます。したがって、陽イオン交換樹脂やシリカ (SiO_2) など負の表面電荷に鉄(III)-ポルフィリン触媒を導入すれば、HS が触媒表面から排除され TBBPA など疎水性有機汚染物質が活性サイト付近に集約され、HS による反応阻害が軽減されると考えられます。シトクロム P-450 において、活性中心の鉄(III)-ポルフィリンはヒスチジンのイミダゾール窒素による軸配位で結合しています。このコンセプトに基づき、鉄(III)-テトラキス(*p*-スルホン酸フェニル)ポルフィリン (FeTPPS) をイミダゾールで修飾したシ

【14】 続き

リカ (IPS) に配位結合により導入しました (Fig. 2) [3]。この触媒 (FeTPPS/IPS) による TBBPA の酸化分解に及ぼす pH の影響を検討した結果、すべての pH でほぼ 100% の TBBPA が分解しましたが、HS が共存すると pH 7 以下で TBBPA 分解に対する阻害が見られました。しかし、pH 8 では HS が共存しても 100% の分解が見られ、阻害を除去することが出来ました。HS 共存濃度の増加と共に反応速度は低下しましたが、HS 50 mg L⁻¹ 共存までは 100% の分解が可能でした。また、触媒の繰り返し利用性を 10 回行った結果、8 回まで活性が低下しないことを明らかにしました。

しかし、ブロモフェノール類は大部分がジブロモキノ

ンなどに転化され、それ以上分解が進みませんでした。ゆえに、触媒活性の更なる向上が求められます。イオン液体は、クリーンな反応媒体として触媒反応にも利用されています。そこで、本研究ではイオン液体を修飾したシリカ被覆マグネタイト (Fe₃O₄@SiO₂-IL) に FeTPPS を修飾した担持型触媒 (Fe₃O₄@SiO₂-IL-FeTPPS) を合成しました (Fig. 3) [4]。この触媒により TrBP の酸化分解を腐植物質共存下で検討した結果、pH 6 の条件で腐植物質 86 mg L⁻¹ の共存まで阻害無く分解できることを見出しました。さらに、反応前後の溶液中の全有機炭素 (TOC) を測定し、CO₂ への転化率を評価しました。その結果、分解した TrBP の 50% が CO₂ まで無機化していることがわかりました。

(4) 本発表の注目点

妨害物質である腐植酸が 50 ppm 共存しても 90% 以上のブロモフェノール類を分解することができ、TrBP を 50% CO₂ にまで分解できる触媒を開発しました。

引用文献

- [1] M. Osako, Y.-J. Kim, S.-i. Sakai, *Chemosphere* **57**, 1571-1579 (2004).
- [2] M. Fukushima, M. Terashima, H. Yabuta, F. Tanaka, K. Tatsumi, *Humic Substance Research* **2**, 9-26 (2005).
- [3] Q. Zhu, Y. Mizutani, S. Maeno, M. Fukushima, *Molecules* **18**, 5360-5372 (2013).
- [4] Q. Zhu, S. Maeno, M. Sasaki, T. Miyamoto, M. Fukushima, *Applied Catalysis B: Environmental* **163**, 459-466 (2015).

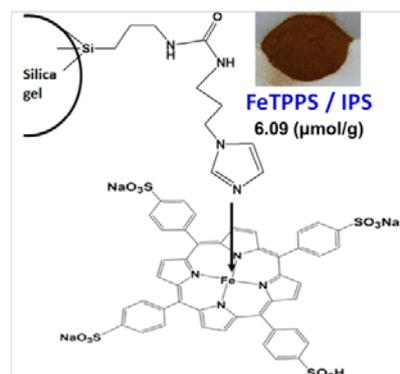


Fig. 2. FeTPPS/IPS触媒の構造

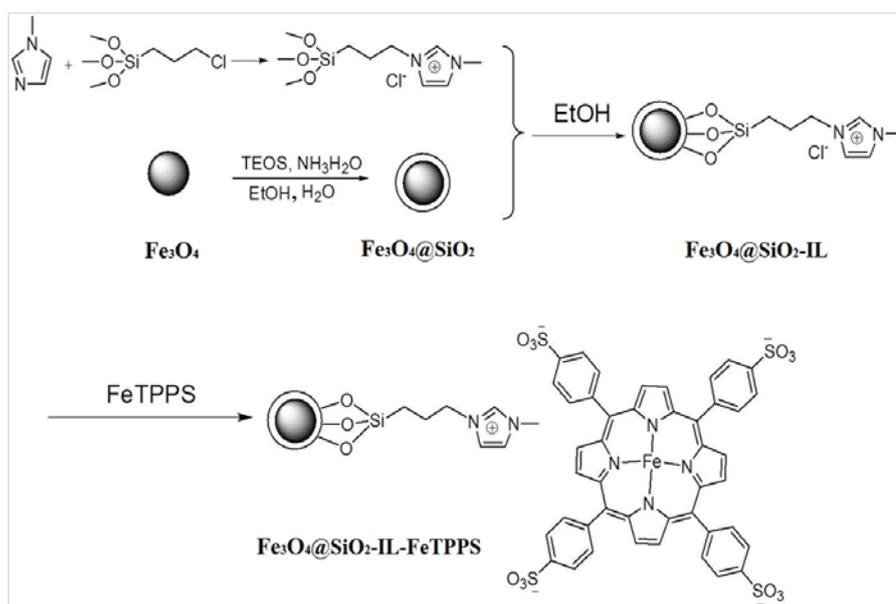


Fig. 3. Fe₃O₄@SiO₂-IL-FeTPPS触媒の合成過程

研究発表データシート

【15】	坂口 紀史 北海道大学大学院工学研究院 エネルギー・マテリアル融合領域研究センター・准教授	
------	---	---

発表タイトル	HAADF-STEM による α -SiAlON 中のドーパント分布評価
サブタイトル	先進分析電子顕微鏡を用いた材料の原子構造解析

(1) 研究者のアピールポイント

透過型電子顕微鏡 (TEM) や走査透過型電子顕微鏡 (STEM) を用いた材料の原子構造解析と、電子エネルギー損失分光法 (EELS) による局所領域における材料の電子状態解析を得意としています。さらに、第一原理計算を援用しながら、機能発現の起源をその材料固有の原子構造・電子状態の観点から明らかにする研究を日々遂行しております。

(2) 本発表研究の概要

球面収差補正器を搭載した最新の STEM を使い、先進セラミックス材料として期待されている α -SiAlON 中のドーパント (Ca) 分布を評価した。高角環状暗視野検出器 (HAADF) を用いた原子番号 (Z) コントラスト像の解析と、マルチスライス計算に基づく HAADF-STEM 像シミュレーションとの比較より、Ca の空間分布に関する知見を得た。

(3) 本研究発表の詳細

α -SiAlON は 28 原子からなる単位格子の中に二カ所の空隙位置があり、電荷の中性を保つため、ここに希土類金属やランタノイドがイオンとして侵入固溶することが知られている。 α -SiAlON の特性はドーパントの種類や濃度に強く依存するため、侵入位置や空間的な分布を調べることは重要であり、HAADF-STEM 法に基づくドーパントの可視化手法は極めて有用である。HAADF 像の解釈に広く用いられる“incoherent imaging 近似”の妥当性は広く認められており、HAADF 像のコントラストは原子番号 (Z) の二乗に大よそ比例することが知られている。本研究では、Ca をドーブした α -SiAlON より得られる STEM-HAADF 像の定量解釈に向けた検討結果について報告する。

供試材として Ca をドーブした α -SiAlON の焼結体を用いた。Ar イオン研磨により TEM 用薄膜試料を作製し、STEM 観察には FEI Titan Cubed を使い加速電圧 300kV で高分解能 HAADF 像を取得した。STEM 像および電子波伝播過程のシミュレーションには、マルチスライス法による解析が実行可能なソフトウェア (Dr. Probe) を使い、フローズンフォノン法により熱散漫散乱 (TDS) の影響を近似した。

Ca- α -SiAlON を [0001] 方向から観察し取得した高分解能 HAADF 像のコントラストについて、一部の Si(Al)カラムと N(O)カラムとの強度比は“incoherent imaging 近似”から予測される値とは大きく異なった。N(O)カラム上に入射した電子線はチャネリング途中で隣接する Si(Al)カラムへと移行することマルチスライス計算より示され、これに伴い各カラムの強度比が変動することが明らかとなった。同様の現象は β -Si₃N₄ 等でも報告されており、結晶性試料における HAADF 像の定量的解釈には注意が必要であることが再確認された。一方、ドーパントである Ca が侵入固溶したサイトのコントラストは、他のカラムと比較して大きな明度の変動が認められた。Ca の空間分布の異なる原子モデルを幾つか作成しマルチスライス計算を実行したところ、Ca が試料

【15】 続き

上部に多く存在するような原子配置では Ca が均一に分散したモデルと比較してより明るいコントラストを呈することが分かった。これより、実験的に得られた HAADF 像における Ca カラムのコントラスト変動は、Ca の厚み（投影）方向への分布を反映していることが示唆される。

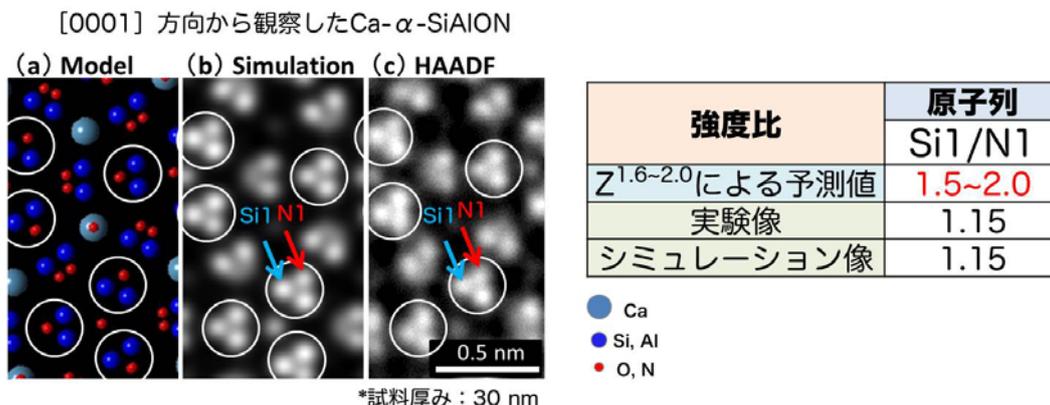


図1 Ca をドーピングした α -SiAlON の原子構造モデルと HAADF-STEM 像

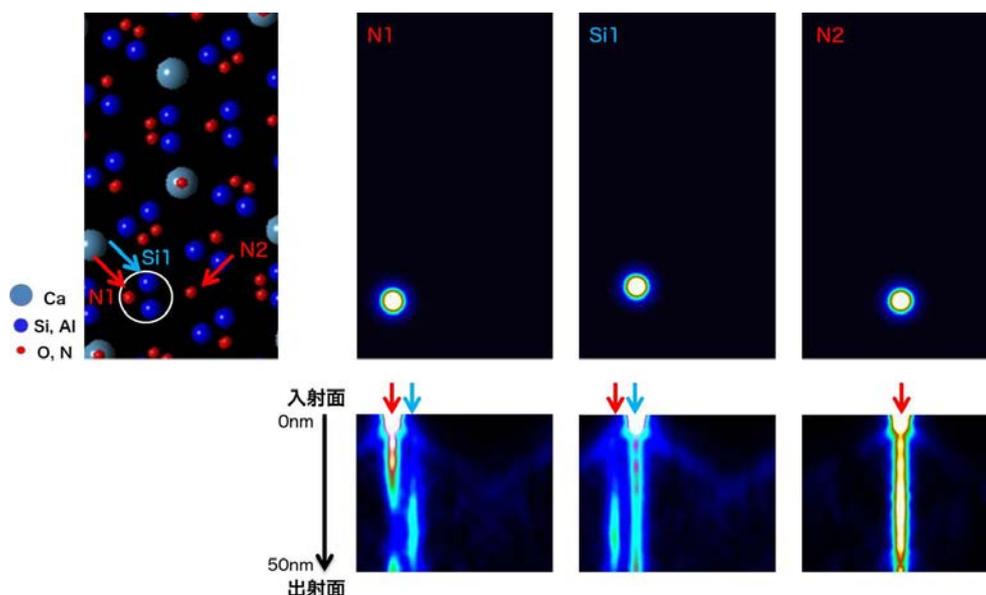


図2 α -SiAlON に入射した電子プローブの伝播挙動

(4) 本発表の注目点

近年の球面収差補正器の実用化に伴い、HAADF-STEM を用いた原子構造解析の空間分解能は飛躍的に向上し、さらに HAADF 像は Z コントラストと呼ばれる原子番号のおよそ二乗に比例した強度を示すことから、新たな結晶構造解析手法として注目されている。しかしながら、高分解能 HAADF-STEM 観察では必然的に電子線を結晶の晶帯軸に沿って入射することとなり、強い動力的回折効果に基づく電子線の伝播挙動が像強度に大きく影響する。本研究で明示したように、HAADF-STEM 像の解釈には電子線の伝播挙動までを取り入れる必要がある。さらに、最近ではエネルギー分散 X 線分光法 (EDS) や EELS を用いた原子レベルでの組成マップが容易に取得できるようになってきたが、スペクトルの定量解析に向けては動力的回折による電子チャネリングの影響を加味した評価手法の確立が望まれる。

研究発表データシート

【20】	杉本 雅則 北海道大学大学院情報科学研究科 情報理工学専攻・教授	
------	--	---

発表タイトル	高速高精度室内音響測位手法
サブタイトル	

(1) 研究者のアピールポイント

私が所属する知能情報学研究室では、情報通信技術の基礎と応用の両面での展開を通して、社会への貢献を目指した研究を進めています。提案技術の性能限界を物理学、数学に裏付けられた理論を通して明らかにすることで、各々の利用場面での要求に応じた実世界システムの設計と評価を行っています。併せて、当該分野における世界一の技術の構築を目指します。

(2) 本発表研究の概要

室内でのユーザや移動物体の位置をリアルタイムで正確に取得することは、ユビキタスコンピューティングやロケーションウェアコンピューティングの基盤技術となる。われわれは、位相一致法と呼ばれる位相を用いた高精度時刻基準点設定法を独自に提案した。この手法により、室内での移動体の距離を従来手法よりも2桁高い精度（測距誤差 0.03 mm）で、しかもきわめて安価に実現できる。音響信号にこの測距技術を用い、物体の移動時に生じるドップラー効果を計測、補償することで、その位置と速度を同時に極めて正確に推定できる3次元トラッキングシステムを開発した。

(3) 本研究発表の詳細

屋外では GPS による測位が普及しているが、室内測位として広く利用されている技術は今のところ存在しない。われわれは、高速高精度測距技術を用いた三辺測量 (trilateration) による 3 次元測位手法とその応用について発表する。位相一致法は2つの異なる周波数の音波の位相一致点を送信側で時刻基準点（送信時刻）として設定し、それを受信側で受信時刻として正確に求める手法である（図1）。2つの音波の周波数（例えば、39.75 kHz

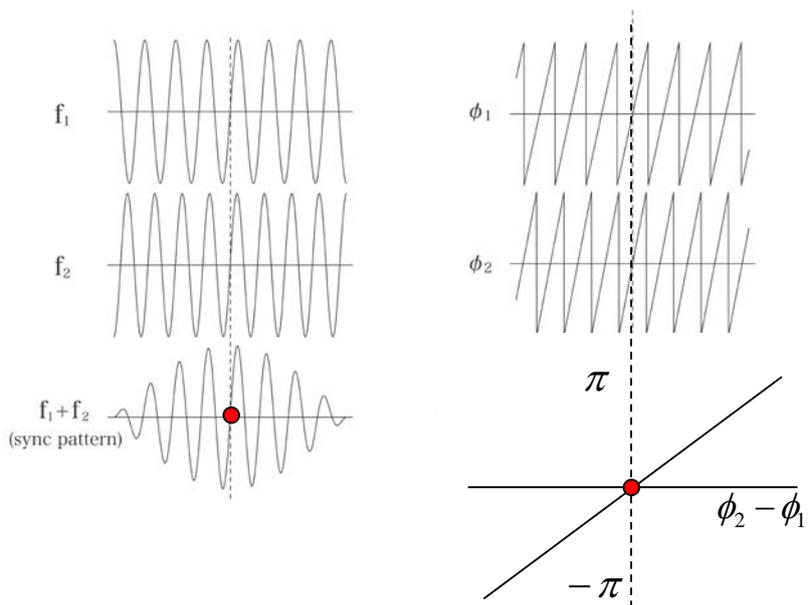


図1 位相一致法の概要

と 40.25 kHz) の周波数差の逆数が音響信号の時間 (500Hz であれば、2 ms) となる。この時間長で位相が一致する、つまり位相差が 0 となるのは 1 度しかない。よって、その時刻を検出できれば、信号伝搬時間すなわち送受信機間の距離を求めることができる。

【20】 続き

(4) 本発表の注目点

三辺測量による測位では、送受信機間の幾何学的な位置関係が測位性能に大きな影響を与えることが知られている。たとえば、図2(左)に示すように複数の送信機 (beacon) が近接して配置されている状況では、測距誤差の悪化が大きな測位誤差となって現れる。そのため、送信機を分散配置 (長基線長) する方が測位性能の向上につながるが、設置コスト (時間、労力) が大きくなる。送信機を近接 (短基線長) して配置しつつ、かつ高い測位性能を維持するためには、高精度測距性能を実現しなければならない。本発表で提案する位相一致法は、われわれが知る限り世界最高レベルの測距性能を示す。

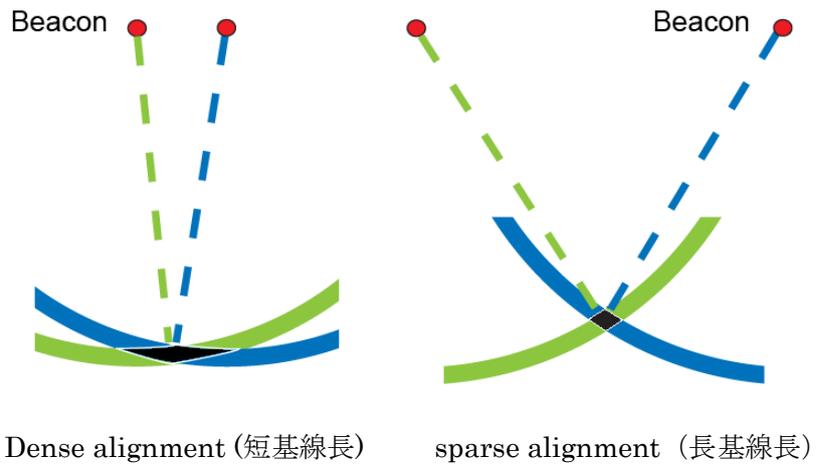


図2 送受信機の幾何学的配置と測位性能

高精度測距性能を実現しなければならない。本発表で提案する位相一致法は、われわれが知る限り世界最高レベルの測距性能を示す。

本提案手法は、現在までにロボットトラッキングシステム (図3)、モーションキャプチャシステム (図4)、スマートフォンによる室内位置認識およびジェスチャ認識システム (図5) 等に応用されている。また、LED 変調光に位相一致法を応用した測距手法を構築し、mm レベル測距性能を確認した (図6)。本手法の関連特許を基に、企業との共同研究を実施している。

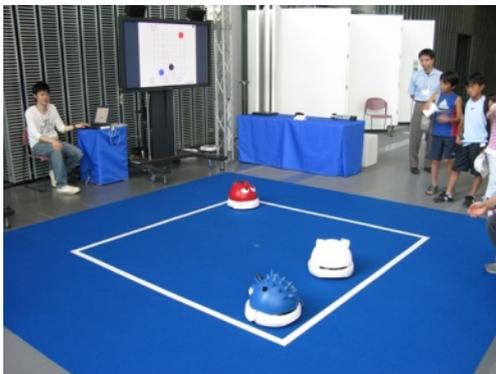


図3 ロボットトラッキングシステム



図4 モーションキャプチャシステム

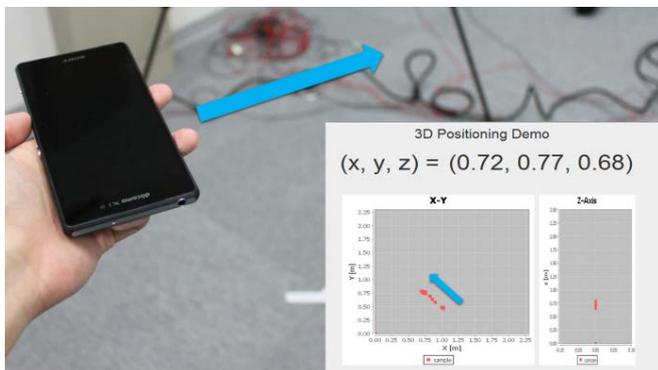


図5 スマートフォンによる3次元位置認識システム

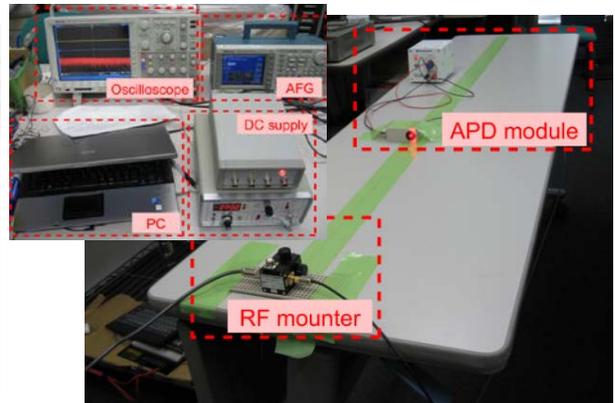


図6 LED 変調光による測距実験環境

研究発表データシート

【22】	池辺 将之 北海道大学大学院情報科学研究科 情報エレクトロニクス専攻・准教授	
------	--	---

発表タイトル	高周波ノイズを含む画像のための中間階調復元（超階調）技術
サブタイトル	自然画像の階調数を任意に扱う

（1）研究者のアピールポイント

人間の感性・視覚に沿った高速かつ適応的な画像処理手法の研究開発を進めています。そこでは、画像のダイナミックレンジを自由に制御するための基盤技術と医療、悪天候、民生用画像の視認性を向上させ補正する応用技術の両面からアプローチしております。基盤技術として、次の3つの要素を開発致しました。

1. 画素毎に異なる輝度制御を行い、同時かつ自在な大局・適応的な局所輝度補正（図1）
2. 雑音を含む画像に対してもダイナミックレンジの高低を希望通りに制御
3. 上記2つを高速処理できるウィンドウサイズに依存しない画像フィルタリング

本研究発表は、項目2が主となる研究開発になっております。

（2）本発表研究の概要

中間階調復元（超階調）技術とは、画像の階調（明るさ・色のレベル）数を元データより拡張し、画像処理を重ねても色数の減少や偽色の発生が起こらないようにするための技術です。以下のような技術に応用できます。

1. 監視カメラ画像等の階調補正処理
ノイズの増幅、階調数の不足による画質低下を防ぎ、積極的な画像補正を可能にする。
2. 無線伝送
伝送前に量子化ビット数を削減、受信側で超階調することで帯域を節約する。
3. 医用画像処理
情報のゆがみや欠落を防止し、適正な診断を助ける。

本研究では、ノイズを含んだ自然画像等、全ての画像において適用可能な中間階調復元（超階調）技術を開発いたしました。

（3）本研究発表の詳細

超階調は「逆量子化」と「ノイズ除去」の二つの領域にまたがる課題を同時に解決する必要があります。それは、実際に写真を撮影する時、取得された画像には必ずノイズが生じているためです。イメージセンサに入射した光が量子化されデジタル信号となる際に、光の粒子性から生じる光ショットノイズやセンサの熱雑音等のノイズが付加されてしまうことは避けられません。

そこで、まず超階調のアルゴリズム開発において、確率的なノイズ発生を加味することで量子化プロセスをモデル化し、逆問題を解くことで超階調処理を実現します。これは高精度な超階調処理を必要とする用途に有効です。従来の超階調手法は、ノイズを含まない等、限られた条件下でしか適用できませんでした。本研究では制限・前提条件を必要せず全ての画像に対応可能です。

【22】 続き

(4) 本発表の注目点

本研究のユニークな点は「ノイズが乗る前の仮想的な原画像」を設定し、それを求めるための計算を行うところです。これにより、他研究では実現できない高品質な出力画像を得ることができるようになります。制限・前提条件を必要せず全ての画像に対応可能であり、これは国内・世界に先駆けて本研究のみが達成した独自の特徴となります。画質評価においても従来研究を上回る結果を実証（図2）しました（A. Mizuno and M. Ikebe, ITE Trans. MTA (in press)）。



図1 画像のダイナミックレンジ制御（大局・適応的な局所輝度補正）



(a) 原画像（256階調）

(b) 低階調化画像（16階調）



(c) 従来の超階調（16→256階調）

(d) 提案型超階調（16→256階調）

図2 提案する超階調技術による階調復元
（従来手法は、ノイズに対応できず、マッハバンドが生じてしまう）

研究発表データシート

【27】	岡嶋 孝治 北海道大学大学院情報科学研究科 生命人間情報科学専攻・教授	
------	---	---

発表タイトル	原子間力顕微鏡による組織レオロジー測定
サブタイトル	

(1) 研究者のアピールポイント

生細胞の力学物性は、組織の形成や機能発現に重要な役割をしているが、その詳細のメカニズムは不明である。我々は、高時間空間分解能を有する原子間力顕微鏡(AFM)を用いた細胞・組織の物性計測を行っている。特に、従来 AFM では困難であった巨大組織の力学物性を精密に計測できる AFM システムを開発し、組織形態形成と力学物性との連関の解明を目指している。

(2) 本発表研究の概要

開発した AFM では、超広範囲ピエゾスキャナと光学顕微鏡システムとを一体化した装置システムである。個々のシステムを簡素化し、性能を維持しているため、装置の移動や操作性に優れている。この AFM 装置を用いた(i)再生医療材料として注目されている肝細胞シートと (ii)昆虫の音波センサーの力学物性測定の結果について発表する。

(3) 本研究発表の詳細

<自作広範囲 AFM >

正立型顕微鏡をベースにしてレーザー、PSD センサー、スキャナを組み合わせ AFM を構築することで、自由度の高い AFM 設計を可能にした。高さ方向最大 400 μm 、平面方向最大 1 cm 四方で動作するスキャナを AFM に組み込むことで広範囲の測定を可能にした(図 1)。この測定範囲は、市販の原子間力顕微鏡が XYZ 各 100 μm 以下であるのに対し極めて広く、組織の広い領域の測定に適している。

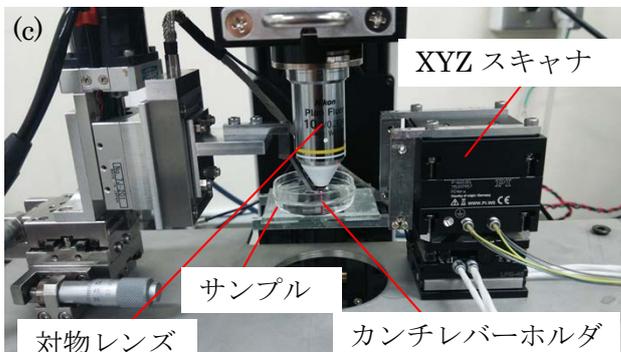
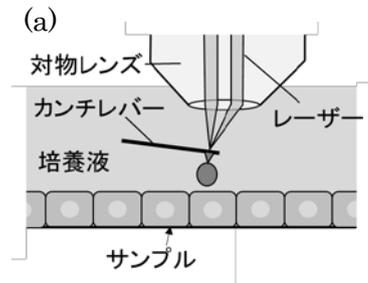


図 1.(a)AFM 測定の模式図。対物レンズを通してカンチレバー上にレーザーを集光する。(b)自作 AFM の全体像 (c)自作 AFM のサンプルステージ上

【27】 続き

広範囲の XY スキャナはその機械的特性から高速での連続測定が困難であったが、動作範囲は狭いが高速で動作させるのに適したスキャナと組み合わせることで測定速度を落とすことなく広範囲での測定を可能にした。

<肝細胞シートの力学測定>

肝臓は、タンパク質の産生、代謝、解毒作用といった多様な機能を持つ重要な器官である。その力学的性質と機能活性の相関はこれまで示唆されてきたが、組織レベルでの測定はこれまで行われてこなかった。そこで、自作 AFM を用いて 1 cm 四方のパターンでシート状に培養した肝細胞のパターン端の広範囲領域(1 mm×500 μm)における弾性率と高さが、培養日数に応じてどのように変化するかを測定した(図 2. a)。パターン端における細胞の高さが日数に応じて減少した一方で、弾性率はどの日数も一様であった(図 2. b)。また、細胞核の数から細胞の密度を見積もった結果から、弾性率は細胞密度と関係がないということも明らかになった。これらの現象は、これまで知られてきた細胞の形状が弾性率に影響することに反し、弾性率が空間的に一定の値に維持されていることを示している。

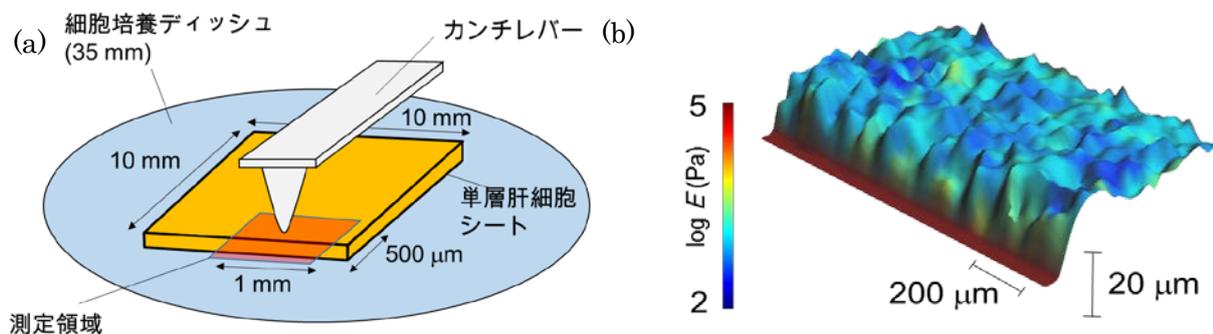


図 2.(a)肝細胞シート測定の模式図 (b)パターン端近傍の肝細胞の高さと弾性率の変化。高さは形状、弾性率は色で表す。

<昆虫弦音機関の力学測定>

無脊椎動物に広く見られるひずみ需要センサーである弦音機関は、特定の周波数の刺激のみを受容する機能を持つ。しかし、そのメカニズムは明らかになっておらず、特に弦音機関自体がどのような力学物性を持っているかは重要なことであるにも関わらずこれまで測定された例はない。そこで、生きたコオロギから切り離した脚の大腿部の殻を切り開き、弦音器官を露出させ、軸方向 2 mm にわたって自作 AFM を用いて測定を行った。その結果、表面形状には見られない繊維状の弾性率が低い構造が観察された。繊維状の構造の太さは約 3 μm である一方で長さは数百 μm に及び、高い空間分解能と広い走査範囲を併せ持つ AFM であるがゆえに観察することができた構造だといえる。

(4) 本発表の注目点

これまでの AFM を用いた生体試料の力学測定はほとんどが単一細胞レベルであったが、生体組織は細胞が集団を形成してその相互作用の中で機能しているため、組織レベルのスケールでの力学測定は多数の細胞が集まった組織としての機能を明らかにするために不可欠である。本発表で示す結果は、そのような大きなスケールで、かつ細胞サイズ以下の分解能で測定することで初めて観察することができた現象であり、注目すべき点である。

研究発表データシート

【30】	坂本 雄児 北海道大学大学院情報科学研究科 メディアネットワーク専攻・教授	
------	---	---

発表タイトル	次世代立体表示技術
サブタイトル	電子ホログラフィによる立体表示

(1) 研究者のアピールポイント

研究者はホログラフィ技術、コンピュータグラフィックス、画像処理、通信技術に渡る広い分野の複合された領域に注目し、新たなコンピュータを介在としたコミュニケーションメディア創生と新産業分野の創出を目指し研究を行っています。

(2) 本発表研究の概要

本研究室では電子ホログラフィによる3D映像技術の研究を行っています。本発表では、最近開発した電子ホログラフィを用いたHMD型3D表示装置、表示像の視覚的特性、表示データの計算アルゴリズムについて発表を行います。

(3) 本研究発表の詳細

近年、映画やテレビジョン、ゲーム機などに3D映像が用いられ、身近なものとなってきています。しかし、現在実用化されている3D映像技術は、乗り物酔いの様な不快感や長時間の視聴による疲労の発生が問題となっています。3D映像技術は様々なものが提案されていますが、ホログラフィ技術のみが人間の知覚を全て満足させる唯一の理想的な3D映像技術であるとされています。このため、次世代の3D映像技術として、ホログラフィ技術を電子化した電子ホログラフィ装置の3Dモニターや3DTVへの応用が期待されています。しかし、従来、電子ホログラフィは技術的な困難さから、装置が高価で大型、かつ低画質などの問題点がありました。

我々は新たな計算アルゴリズムと光学系の原理を提案し、高画質で、小型で軽量、かつ低価格な電子ホログラフィ装置を開発しました。提案された電子ホログラフィ装置は、頭部に装着するヘッドマウントディスプレイ(HMD)として利用することを目的に開発されました(図1)。従来のHMDでは、液晶パネルに表示された映像をそのまま空間に投影しているため、焦点調節に対する奥行きは固定されます。これに対して、電子ホログラフィでは液晶パネルに表示されるのは光の波面パターンとなり、再生された3D映像は物体の奥行きに合わせて表示されます。図2はカメラの焦点位置を変えて撮影した例で、(A)は手前の球に、(B)は後ろの球に焦点を合わせた例です。図2(A)では、手前の球に焦点が合い下地のチェッカー模様も綺麗に写り込んでいて、かつ、後ろの金色の球はボケているのが分かります。一方、焦点を後ろの金色の球に合わせた図2(B)では、手前の球がボケています。このことから分かるように、電子ホログラフィは焦点調節(ピント)も含めた3D映像を表示することができます。

さらに、電子ホログラフィ装置によって表示される3D映像に対する人間の視覚系の反応を視覚機能測定装置を用いて、測定しました。その結果、調節や輻輳などの生理的な反応が、実在する物体と変わらないことも明らかになり、理想的な3D映像が表示されていることを確認しました。

【30】 続き

この波面パターンはコンピュータによって計算されます。開発された電子ホログラフィ装置では、計算アルゴリズムによるデータ補正によって、従来必要であった複雑な光学系を単純な構成の光学系に置き換えました。これによって、小型、軽量、低価格かつフルカラーの美しい画像を実現しています。

この電子ホログラフィ装置は、CADなどにおける機械設計の立体表示、分子設計における立体モデルの表示などの3D映像の表示システムへの応用だけでなく、遠隔医療システム、HMDによるARシステムや立体顕微鏡、立体内視鏡や、更により進んだ遠隔手術システムなどの様々な分野の装置への組み込みが期待されます。

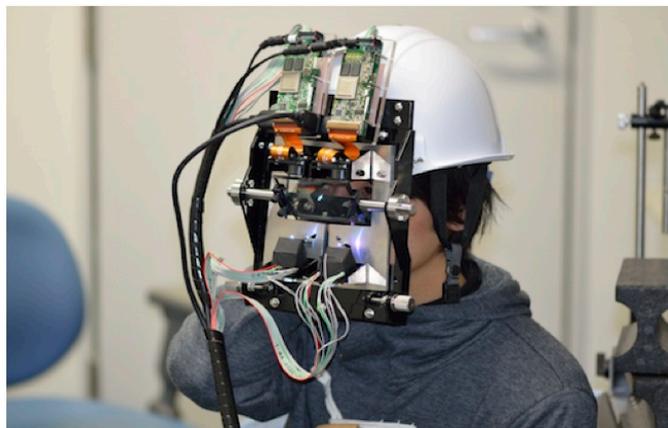


図1 装置概略図



(A)手前の球に焦点

(B)後方の球に焦点

図2 開発された装置による3D映像

(4) 本発表の注目点

今回開発された装置は、電子ホログラフィとして、世界で初めてシースルー型でのカラー表示に成功しました。これは、新たに設計された光学系とともに、新提案のホログラムデータ計算アルゴリズムとの組合せにより実現されました。優れた画質、小型、軽量であり、電子ホログラフィの実用に向けての大きな前進と言えます。

研究発表データシート

【35】	竹本 真紹 北海道大学大学院情報科学研究科 システム情報科学専攻・准教授	
------	--	---

発表タイトル	エンジン発電機のための小型・高出力を実現するフェライト磁石を用いたアキシシャルギャップ発電機の開発
--------	---

サブタイトル	
--------	--

(1) 研究者のアピールポイント

エンジン発電機のパッケージサイズを大幅に縮小できるフェライト磁石を用いたアキシシャルギャップ発電機を新たに提案・開発した。従来型の発電機と比べて提案する発電機は、発電機単体で低価格・小型・高出力化を達成すると同時に、エンジンと一体化できる構造となっているため、パッケージサイズを大幅に縮小できることから、エンジン発電機の高付加価値化が可能である。

(2) 本発表研究の概要

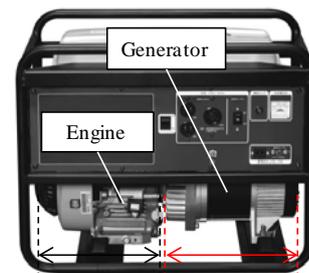
これまでの一般的なエンジン発電機は、エンジンと発電機が別々のユニットを構成しているため、パッケージサイズの増大を招いていた。そこで、本研究では、フェライト磁石を用いたアキシシャルギャップ構造の発電機を新たに提案し、発電機の低価格・小型・高出力化を達成すると同時に、エンジンとアキシシャルギャップ発電機を一体化することでパッケージサイズを大幅に縮小する。そして、実機の製作及びその実験により、提案する発電機が小型・高出力化を達成すると同時に、エンジン発電機としてのパッケージサイズの大幅な縮小を実現できることを確認した。

(3) 本研究発表の詳細

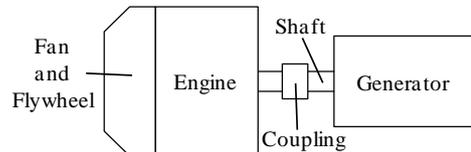
Fig. 1(a)は、一般的なエンジン発電機の外観、(b)にその概略図を示す。一般的なエンジン発電機では、図に示すように、軸長の長いラジアルギャップ型の発電機が用いられているため、エンジンと発電機が別々のユニットを構成しており、これらの出力軸がカップリングによって連結されている。従って、エンジン発電機全体のパッケージは大きくなりがちであった。

そこで、Fig. 2に示すように、我々の研究チームで提案しているアキシシャルギャップ型発電機の小型かつ扁平形状という利点を活かし、発電機をエンジンに組み込むことで、一つのユニットに集約する。これにより、発電機部分の体積を大幅に減少できるため、パッケージ全体としてのサイズも大きく縮小できる。

Fig. 2に示すエンジン発電機のパッケージサイズを大きく縮小するといった目的を達成するためには、Table. 1に示す要求仕様を満たせる、扁平でありながら、小型・高出力な発電機を開



(a). Appearance of the general engine generator.



(b). Overview image of the general engine generator.

Fig. 1. Structure of the general engine generator.

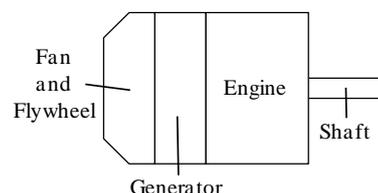


Fig. 2. Overview image of the proposed engine generator.

【35】 続き

発する必要がある。そこで、本研究では、軸長を固定子直径で割った扁平率 0.24 という非常に扁平な形状において、要求仕様を満たせるフェライト磁石を用いたアキシシャルギャップ型発電機を開発したので報告する。

Fig. 3 は、提案するフェライト磁石を用いたアキシシャルギャップ発電機の概略図を示す。限られた寸法内でスペースを有効活用するために集中巻とした。そして、低価格化のために固定子構造を簡単化できるオープンスロット構造にした。さらに、リラクタンストルクの活用が難しいことから、コアレス回転子の SPM 構造を採用し、マグネットトルクを最大化する形状となっている。さらに、コギングトルクおよびトルクリプルを小さくできる 16 極 18 スロットのコンビネーションとし、モータ各部の寸法は平均トルクの値が最も大きくなるように 3D-FEA を繰り返し計算することで決定した。

また、Table. 1 に示す 3.13 kW/L 以上の発電出力密度を連続で達成するには、可能な限り発電機内で発生する損失を低減し、発電機内の温度上昇を抑制する必要がある。そこで、本研究では、3D-FEA を用いて、オープンスロット構造に起因する巻線内に発生する渦電流損や回転子支持部材に発生する渦電流損の低減方法についても検討及び提案した。

Fig. 4 は、これらの損失低減方法を用いて製作した提案する発電機をエンジンに組み込んだ様子を示す。発電機をエンジンに組み付け一体化することで、Fig. 1(a) に示したエンジン発電機に比べて大幅に発電機部分の体積を縮小できていることがわかる。

Fig. 5 は、定格発電時における 8 箇所巻線の平均値の測定結果を示す。本研究では、回転子支持部材に発生する渦電流損を低減するために、2 種類の回転子構造を提案し、製作した。そこで、実験についても、この 2 種類の回転子をそれぞれ発電機に組み付けて実施した。温度飽和時における温度および出力は、ステンレス鋼製 8 分割磁石型において 63.6 °C で出力 6.34 kW (3.30 kW/L)、1 枚磁石型使用時において 61.8 °C で出力 6.43 kW (3.35 kW/L) であった。どちらの回転子を用いた場合でも計測開始から 25 分を過ぎたあたりで温度飽和に達し、温度飽和時に 6 kW 以上の発電量を無事に確保できたことから、空冷環境下において提案する発電機は連続運転が可能であり、Table.1 に示す要求仕様をすべて満たすことができた。

(4) 本発表の注目点

エンジン発電機のパッケージサイズを大幅に縮小できるフェライト磁石を用いたアキシシャルギャップ発電機を新たに提案・開発し、実験によりその有効性を実証した。

Outer diameter	218 mm
Axial length	51.5 mm
Volume	1.92 L
Rated output power	Over 6 kW (Continuous)
Rated speed	3700 rpm
Rated torque	Over 15.5 Nm (Continuous)
Rated output density	Over 3.13 kW/L (Continuous)

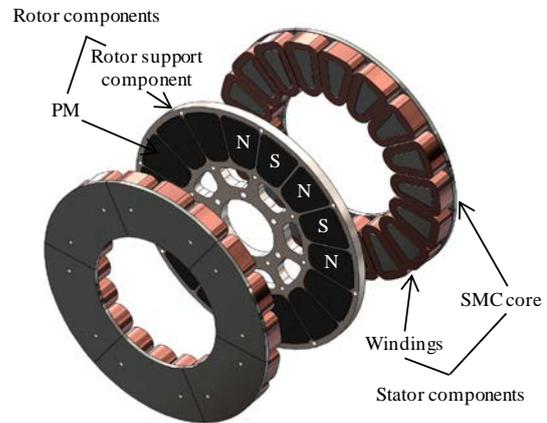


Fig. 3. Analysis model of axial gap type.

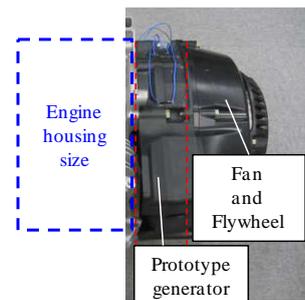


Fig. 4. Prototype generator assembled to engine.

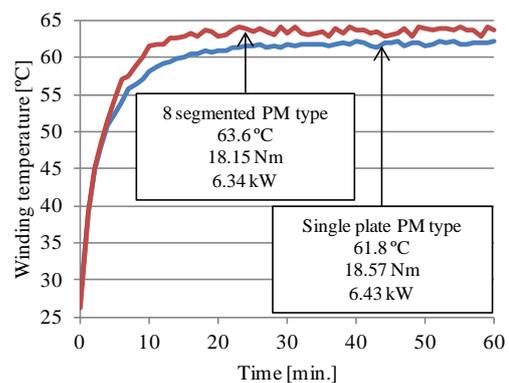


Fig. 5. Average temperature shift of windings in rated speed of 3700 rpm, rated current.