

No.35

October 1  
2015

Materials & Structures Laboratory  
**News Letter**

## CONTENTS

応セラ研ナウ：物質科学と量子古典境界	1
研究の展望：繊維補強セメント複合材料を用いた耐衝撃性の向上技術	2
研究の周辺：新物質の薄膜合成	3
トピックス： ウェブにおけるモーメント伝達効率の低い梁端接合部の変形能力評価 磁気フラストレーション系に現れる負の熱膨張	4
応用セラミックス研究所 学術賞受賞者： 最も普及している鋼材ダンパーの真の制振効果に関する研究および 設計指針への反映 エントロピー弾性を示す酸化物ガラス	5
平成 27 年度学術賞、受賞、ワークショップ・国際会議、人事異動	6

## 物質科学と量子古典境界

准教授 中村 一隆

すべての物質はミクロな対象物である原子で構成されている。原子の状態や運動は量子力学で記述され、粒子性と波動性を持っている。したがってマクロな物質の状態や運動も量子力学で記述されるべきであるが、われわれが日常接するマクロな物質では量子力学特有の特性は失われ、その運動は古典力学で記述される。ここでいう量子力学に特有な特性とは、複数の固有状態が共存する状態(重ね合わせ状態)を持つことで、量子コヒーレンスとよばれている。それでは、量子力学的な特性は、いつ、どうやって失われて古典力学的な性質にかわるのだろうか?この疑問は「量子古典境界」として知られるもので、量子力学で未解決の問題のひとつである。

われわれのグループでは、2010年からJST-CRESTの「アト秒制御の凝縮系コヒーレント制御」(代表:分子科学研究所大森賢治教授)の研究グループとして「バルク固体における量子コヒーレンスの探索と計測技術開発」の課題名で、物質科学としての量子古典境界問題に関する研究を行っている。固体内部における量子コヒーレンスは非常に短い時間内に失われると想像される。そのため、アト秒の精度で遅延時間を制御したフェムト秒光パルス列を用い、物質内部における量子状態のラムゼー干渉実験から、量子コヒーレンスの時間変化を計測している。半導体であるGaAs単結晶では、フェムト秒光パルスで生成した、電子・フォノン結合状態における量子コヒーレンスが室温でも約45フェムト秒の間物質内に保持されることを見出した。現在、試料温度を極低温にすることによって量子コヒーレンス保持時間を制御するとともに、量子コヒーレンスが時間的に失われていく過程(デコヒーレンス過程)の関数型を求めようとしている。また分子科学研究所との共同研究では、固体としての相互作用が比較的弱い分子性結晶を用いて、その電子振動系における量子コヒーレンスの計測と、光を使った量子コヒーレンスの制御の研究を進めている。

物質系を対象とすることで、外界の熱効果の制御や相互作用の強さの違う系における量子コヒーレンスの計測が可能となり、その結果を基にデコヒーレンス過程の解明、ひいては量子世界と古典世界の境界を明らかにすることが出来ると考えている。また短時間ではあるがマクロな物質系に存在する量子コヒーレンスを用いた物質科学の研究といった新しい展開も期待される。

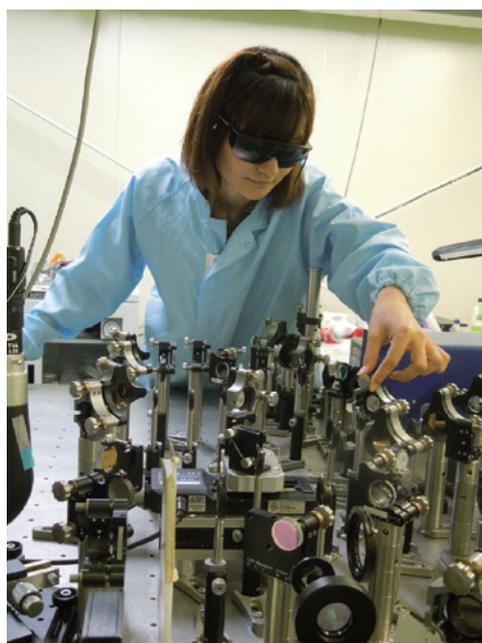


図1 実験装置と測定の様子

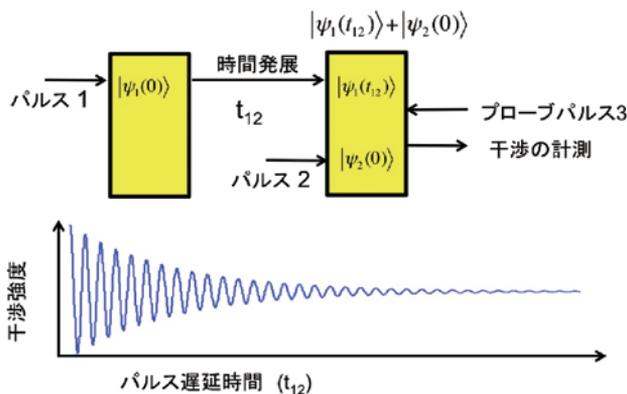


図2 フェムト秒光パルス列を用いたラムゼー干渉の概念図

# 繊維補強セメント複合材料を用いた耐衝撃性の向上技術

准教授 篠原 保二, 研究員 南 正樹

コンクリート構造物に高速飛翔体が衝突すると、衝撃力によって直接的な損傷・破壊が生じるだけでなく、破壊されたコンクリート塊や飛翔体が数100m/s以上の高速度で飛散し、人命や構造物に対して二次的被害をもたらすことが報告されている。従って、安全なコンクリート構造物を設計するためには、飛翔体の高速衝突による損傷を低減する必要がある。コンクリートは引張に弱く、飛翔体の衝突によって容易にひび割れが発生・進展し、その裏面にも大きな損傷（裏面剥離）が生じることが知られており、耐衝撃性を向上させるためには、大きなコンクリート部材厚が要求される。しかし、最近では短繊維を混入し、引張変形性能を高めた繊維補強セメント複合材料のひび割れ抑制及び高エネルギー吸収能力に期待して、耐衝撃性構造材料として適用することが検討されている。

繊維補強セメント複合材料の耐衝撃性を向上させるためには、多量の繊維をセメント複合材料マトリックスに満遍なく分散させることが重要である。繊維の分散性を高める技術に関しては、①繊維の表面を有機剤の液体で処理し、繊維の流動性を改質（繊維自体の改善）、②低水-セメント比において高性能AE減水剤及び増粘剤を使用（分散性の改善）することで、繊維混入率3%程度までの繊維補強セメント複合材料においても、プレーンと同等の流動性（施工性）が確保できる（図1）。

これらの技術を用いて繊維補強セメント複合材料の繊維混入率を高めることによって、繊維補強なしプレーン試験体と比較し、耐衝撃性に対する部材の必要厚さを低減できることが明らかになった。図2は建物内部の人命に最も関係のある部材の裏面剥離限界厚さと飛翔体の衝突速度の関係であるが、繊維混入率を3%とすると、部材厚さをプレーンより約44%低減することが出来る。図3の写真より、繊維補強セメント複合材料はプレーンと異なり、より高速な飛翔体の衝突においても、混入繊維がひび割れの成長・拡幅を抑制し、微細なひび割れに分散させることによって、耐衝撃性能が向上し、裏面剥離を防止していることがわかる。

繊維補強セメント複合材料を耐衝撃性が高い建築構造物として適用するためには、より多い種類の繊維及びその特性とセメント複合材料との損傷メカニズムについて、まだ検討する必要があるが、近い未来に実現できると考えられる。

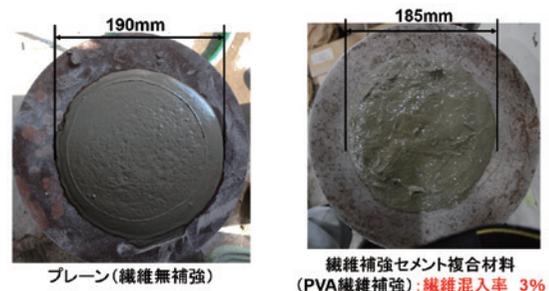


図1 高性能AE減水剤及び増粘剤の添加による繊維補強セメント複合材料の流動性（施工性）

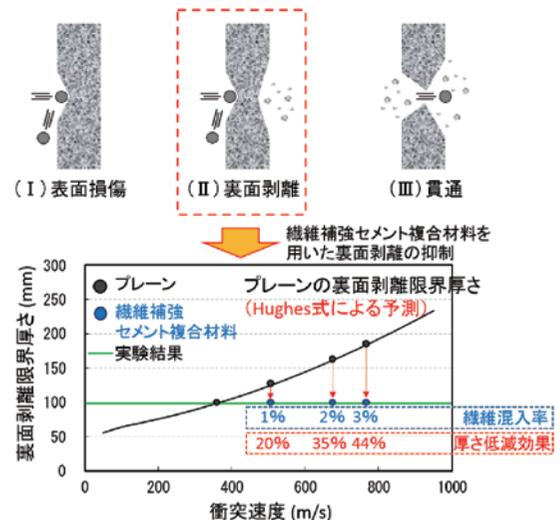


図2 繊維混入率による繊維補強セメント複合材料のプレーンに対する裏面剥離限界厚さの低減効果

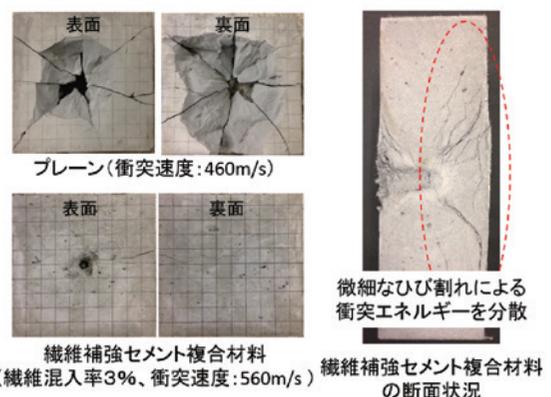


図3 高速飛翔体の衝突に対する繊維補強セメント複合材料のひび割れ性状（プレーンとの比較）

## 新物質の薄膜合成

准教授 平松 秀典

筆者は、パルスレーザー堆積法(写真1)を用いて、さまざまな新物質の薄膜合成に取り組んでいる。この手法では、真空中に設置したターゲットと呼ばれる直径1 cmほどのバルク体試料に、集光したパルスレーザーを照射してターゲット物質を蒸発させ、対向位置に置いてある1 cm角程度の大きさの基板の上に、100 nm(ナノメートル,  $10^{-9}$  m)程度の厚さの薄膜を形成させる。再現性よく系統的な実験を行っていくには、プルームと呼ばれる、蒸発させた粒子群をいかに制御するかが鍵となることから、薄膜合成実験中のプルームを見極める鋭い観察能力が実験者に求められる(写真2)。これが、ほぼ人的要素なく合成パラメータを指定できる、スパッタリングや分子線エピタキシーなどの手法と決定的に異なる点である。さらに、薄膜のもととなるターゲットは、目的とする薄膜と同組成の多結晶体とすることが多いため、薄膜合成法を習得するだけでなく、粉体を扱ったバルク合成能力も求められる。それではなぜこのように複雑な手法を基軸として研究を行っているかという、他の薄膜合成手法と比較して、物質の種類を変えて実験できるスピードが圧倒的にはやいからである。すなわち、新物質を思いついたら、すぐにターゲットを合成し、タイムラグなく即座に薄膜合成実験をどんどん試すことができる。

これまでその特徴を生かして、酸化物、硫化物、酸カルコゲナイド、セレン化物、酸ヒ化物、ヒ化物など、複雑な化学組成を有するさまざまな新物質の薄膜化とそれらを使ったデバイス化を行ってきた。筆者だけでなく、指導を担当する学生やポスドクの使用する単結晶基板の年間総数は、そのときのテーマ設定にも依存するが、新品で200枚を優に超える。値段交渉を行い、出来るだけ単価を下げているが、それでも単結晶基板は「非常に高価な」消耗品である。そのため、一度だけ実験に使うのではなく、実験後は薄膜を酸で溶かして、場合

によっては表面を再度鏡面研磨してから再利用する。今回のこの原稿執筆を機に改めて思ったことは、薄膜合成装置などの真空設備の維持管理だけでなく、単結晶基板の大量購入など、実にお金のかかる研究テーマに取り組んでいる。他の研究者ができないような実験をやらせてもらっていることは、一人の研究者として大変ありがたいが、誇らしいことだと思っている。いままでの、そしてこれからの研究成果のうちひとつでも多く、実際に使われる新「材料」として社会に貢献できるものが見つけられるよう、これからも研究に勤しむ所存である。



写真1 パルスレーザー堆積法/分子線エピタキシー装置

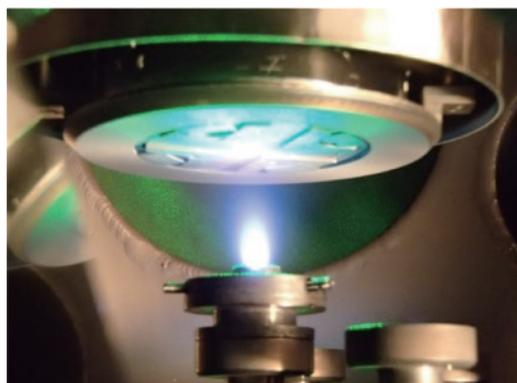


写真2 レンズで集光したパルスレーザー光をターゲットに照射している様子。明るく光っている蒸発成分がプルームと呼ばれる。

# ウェブにおけるモーメント伝達効率の低い 梁端接合部の変形能力評価

教授 山田 哲

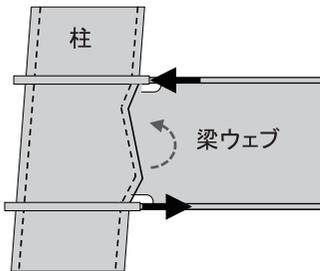


図1 梁端部における応力伝達の模式図

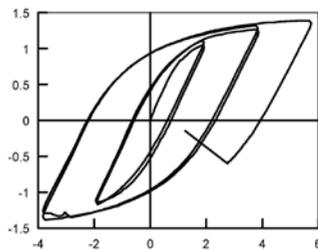
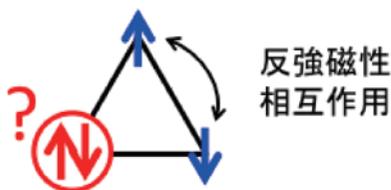


図2 荷重-変形関係の一例

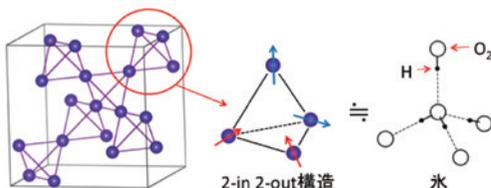
柱を角形鋼管とした柱梁接合部では、梁ウェブから柱へのモーメント伝達は柱スンプレートを介して行われるが(図1)、柱スンプレートが面外に変形することから、特に柱板厚が薄い場合にはスンプレートの面外剛性および耐力が不足し梁ウェブにおけるモーメント伝達効率が低下する。本研究では(独)建築研究所と共同で、梁をSN490、柱をBCR295とした角形鋼管柱-H形鋼梁接合部について、特にウェブにおけるモーメント伝達効率が低く接合部係数が低くなり保有耐力接合の条件を満足しないような場合に、実際にはどの程度の塑性変形能力があるのかを明らかにするため、これまであまり行われてこなかったウェブにおけるモーメント伝達効率が低い接合部試験体を対象とした繰り返し载荷実験を行い、接合部係数と破断によって決まる塑性変形能力の関係や、ウェブのモーメント伝達効率が低い場合の接合部耐力に関する検討を行った。図2に実験結果(荷重-変形関係)の一例を示す。研究成果は、建築基準法の公的解説書である「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」に反映され、これまで曖昧であったモーメント伝達効率の低い梁端接合部の評価の確立に役立てられた。

# 磁気フラストレーション系に現れる負の熱膨張

教授 川路 均



三角格子での磁気フラストレーション



パイロクア格子でのスピナイス状態

正三角形の頂点に位置する3個の磁気スピンが反強磁性相互作用で結合された系では、2個のスピンを安定になるように反平行に並べると、残った1個のスピンはどちらを向いても同じエネルギーを持ち、単一の規則構造を取ることが困難です。一方、熱力学第三法則は、温度を下げ、最終的に絶対零度になると何らかの規則構造を取らなければならないことを要請します。このような系はフラストレーション系と呼ばれ、相互作用の微妙なバランスによって、絶対零度までゆらいだ状態を保つ場合、遠いスピン間の相互作用により規則化する場合、電子軌道との相互作用により規則化する場合、結晶格子と相互作用して規則化する場合などの多様な興味深い現象を示します。古くから二次元三角格子の研究が盛んでしたが、近年、三次元的構造を持つパイロクア格子での磁気フラストレーションについての研究が進んでいます。

私達の研究室では、これらの化合物について、特に結晶格子とスピンとの相互作用の効果について、精密な熱膨張測定により研究を行っています。例えば、フラストレーションの効果で氷の水素配置に似た「スピナイス状態」をとる $\text{Ho}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ や $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ では、前者はスピナイス状態の形成に伴い正の熱膨張を示すのに対して、後者は負の熱膨張を示すことを見出しました。現時点で機構は不明ですが、他の複数のフラストレーション系でも、負の熱膨張を観測しており、その機構について詳細に検討したいと考えています。

## 最も普及している鋼材ダンパーの真の制振効果に関する研究および設計指針への反映

長崎大学大学院工学研究科 システム科学部門 教授 玉井 宏章

本研究では、安価で最も普及している鋼材ダンパーの設計法や効果の評価法、および鋼材ダンパーを用いた鋼構造骨組の制振設計法を検討した。鋼材ダンパーであるせん断パネルは、板材(パネル)のせん断降伏により地震エネルギーの吸収を行うもので、壁型や間柱型のものがある。パネルのせん断塑性変形とエネルギー吸収が、設計で目標とするせん断変形角まで座屈することなく行なえるように、パネルの補強スチフナの数や厚さの算定方法を提示した。ダンパーはそれ以外の部材と比べ塑性変形角振幅が大きく、また、繰り返し回数も多い。そのため地震時の損傷を適切に評価できる累積損傷度に着目し、疲労関係式を求めて設計資料を整備して、累積損傷度を求める方法を提案した。その妥当性を、非常振幅疲労試験を行って確認した。また、提案する設計手順で設計した建物例について、この累積損傷度を用いた評価を行い、地震時における必要量が保有量を十分上回っていることを示した。共同研究成果の内容は、ダンパー形状設計法、制振構造設計法、塑性変形性能評価法、接合方法等、広範にわたっている。これらの成果は日本建築学会制振構造設計指針へ反映された。今後、設計指針を基に安価で信頼性の高い鋼材ダンパーがさらに普及すれば、建物の耐震性が著しく向上して、地震による社会経済的な被害が軽減できると考えられる。

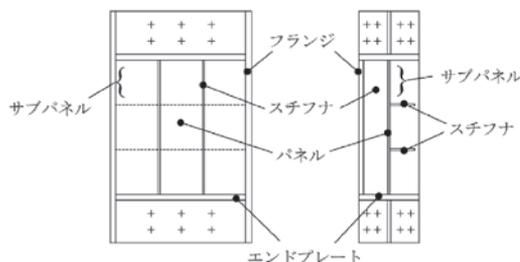


図1 鋼製ダンパーの代表例(せん断パネル)

## 研究業績部門:

## エントロピー弾性を示す酸化物ガラス

旭硝子(株) 中央研究所 ガラス材料技術ファンクション 主席研究員 稲葉 誠二

本研究では、ゴムに類似した構造を有する酸化物ガラス「混合アルカリメタリン酸塩ガラス」を発見した。このガラスは、室温では一般のガラスと同様に硬くて割れやすいが、235℃付近に加熱すると、ゴムに見られるエントロピー弾性によって、大きく伸び縮みすることが分かった。これまでの酸化物ガラスでは見出されていない全く新しい特性であり、室温では硬くて割れやすいガラスも、内部構造をうまく工夫すれば、高温でゴムのように伸び縮みする特性を発現できる材料であることを、世界で初めて実証した。今後、組成開発や構造解析がさらに進むことで、常温付近や数百℃以上の高温域で、ゴム状態を示す透明酸化物ガラスが見出されるかもしれない。そのようなガラスができれば、例えば、窓ガラスやスマートフォンのカバーガラスが割れる心配がなくなったり、有機高分子のように自由に曲げられるディスプレイの基材として用いることができるかもしれない。また、建築用や高温溶解炉などの床下材に用いることで、防振材やエネルギー吸収材としての応用も可能性として挙げられる。今回の研究が契機となって、より優れた特性のゴム状ガラスの実現とその科学の進展が期待される。

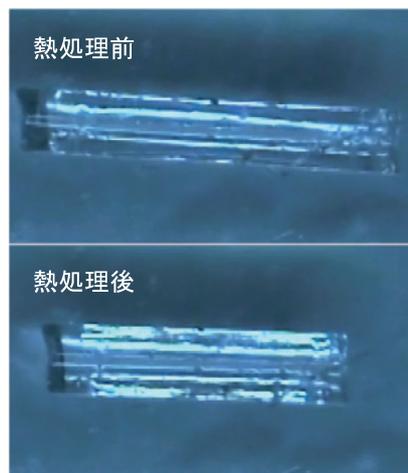


図 熱処理により長さ方向へ巨大収縮するガラス

## ● 平成27年度応用セラミックス研究所 学術賞

応用セラミックス研究所では、平成17年度より『応用セラミックス研究所長賞』を実施して参りましたが、平成26年度より賞の名称を『応用セラミックス研究所学術賞』に改め、引き続き共同利用研究の奨励と助成を行っております。平成27年度は2名が選ばれ、7月15日に授賞式が行われました。

受賞者	受賞部門	受賞内容
長崎大学 工学部 教授 玉井 宏章	社会貢献部門	最も普及している鋼材ダンパーの真の制振効果に関する研究 および設計指針への反映
旭硝子(株) 中央研究所 主席研究員 稲葉 誠二	研究業績部門	エントロピー弾性を示す酸化物ガラス



左から稲葉誠二氏、若井史博所長、玉井宏章氏

## ● 受賞

受賞者	受賞名	受賞年月日	認定団体	受賞内容
伊藤 満	平成27年度科学技術分野の文部 科学大臣表彰	平成27年4月 (表彰式)	文部科学省	機能性酸化物新材料の創出に関する研究
神谷 利夫	2015 SID Special Recognition Awards	平成27年 4月29日	米国ディスプレイ学会	ディスプレイ技術分野において、顕著な業績の あった研究者
細野 秀雄	井上春成賞	平成27年 6月4日	科学技術振興機構	酸化物半導体In-Ga-Zn-Oスパッタリングター ゲットの開発
安井 伸太郎	NIMS Conference 2015 Young Scientist Poster Award	平成27年7月 (表彰式)	物質・材料研究機構	Origin of Giant Piezoelectricity Measured by Time-resolved SXRD with Electric Field
吉敷 祥一	第37回コンクリート工学講演会年次 論文奨励賞	平成27年 7月16日	日本コンクリート工学会	無機電子機能物質の創製と応用に関する研究
松田 和浩	平成27年度東工大挑戦的研究賞	平成27年 8月19日	東京工業大学	木質高層建築を実現・普及させる効率的な制 振設計法の開発

## ● ワークショップ・国際会議

開催日	開催名	開催場所	対応教員・主催等
平成27年9月23日 ～9月25日	セキュアマテリアル概念に基づいた次世代ファインセラミックスに関するワークショップ(共同利用研究)	グランドホテル 六甲スカイヴィラ	若井 史博
平成27年9月25日	超高速衝突に伴う材料挙動とその診断技術に関する国際ワークショップ(共同利用研究)	東京工業大学 すずかけ台キャンパス すずかけホール	阿藤 敏行
平成27年10月19日 ～10月21日	The 9th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-9)	つくば国際会議場(エポカルつくば)	物質・材料研究機構 応用セラミックス研究所

## ● 人事異動(平成27年4月～)

異動日	氏名	区分	新所属	旧所属
平成27年6月1日	松下 伸広	配置換	大学院理工学研究科 物質科学専攻 准教授	セラミックス解析部門 准教授
平成27年6月1日	勝又 健一	退職	東京理科大学総合研究院光触媒研究推進拠点 嘱託准教授	セラミックス解析部門 特任講師

# 応用セラミックス研究所 ニュースレター 通巻第35号

発行日 平成27年10月1日  
編集・発行 東京工業大学応用セラミックス研究所  
共同利用・研究支援室

問い合わせ  
東京工業大学応用セラミックス研究所 〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259 R3-27  
TEL.045-924-5968 FAX.045-924-5978 電子メール kenkyushien@msl.titech.ac.jp  
ホームページ <http://www.msl.titech.ac.jp>

## 応セラ研 教員室

### J1棟

東 教授 904室	中村 准教授 913室	9F
川路 教授 701室		7F
若井 教授 612室	神谷 教授 615室	6F
笹川 准教授 503室	佐々木 教授 508室	5F

### J2棟・J3棟

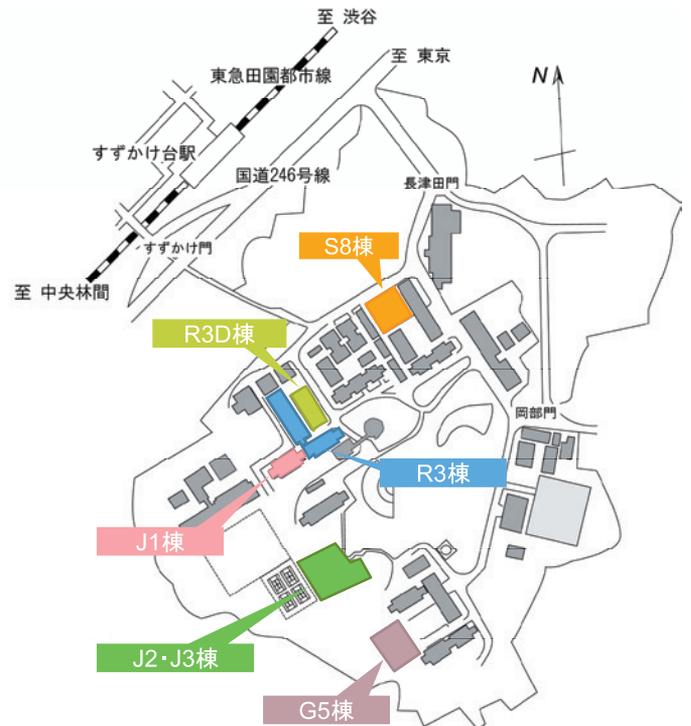
伊藤(満) 教授 J2-703室	山田 教授 J3-709室	7F
	吉敷 准教授 J3-710室	
	谷山 准教授 J3-717室	

### G5棟

笠井 教授 707室	7F	
佐藤 准教授 607室	6F	
河野 教授 301室	篠原 准教授 302室	3F

### R3棟

寒野 准教授 608室	6F	
大場 教授 501室	5F	
鎌田 准教授 404室	原 教授 407室	4F
真島 教授 410室		
須崎 准教授 305室	阿藤 准教授 310室	2F



### R3D棟

平松 准教授 102室	1F
-------------	----

### S8棟

細野 教授 502室	5F
------------	----