

ナノ量子フォトンクス

～未来の量子通信技術に向けた光デバイスの研究～

理化学研究所

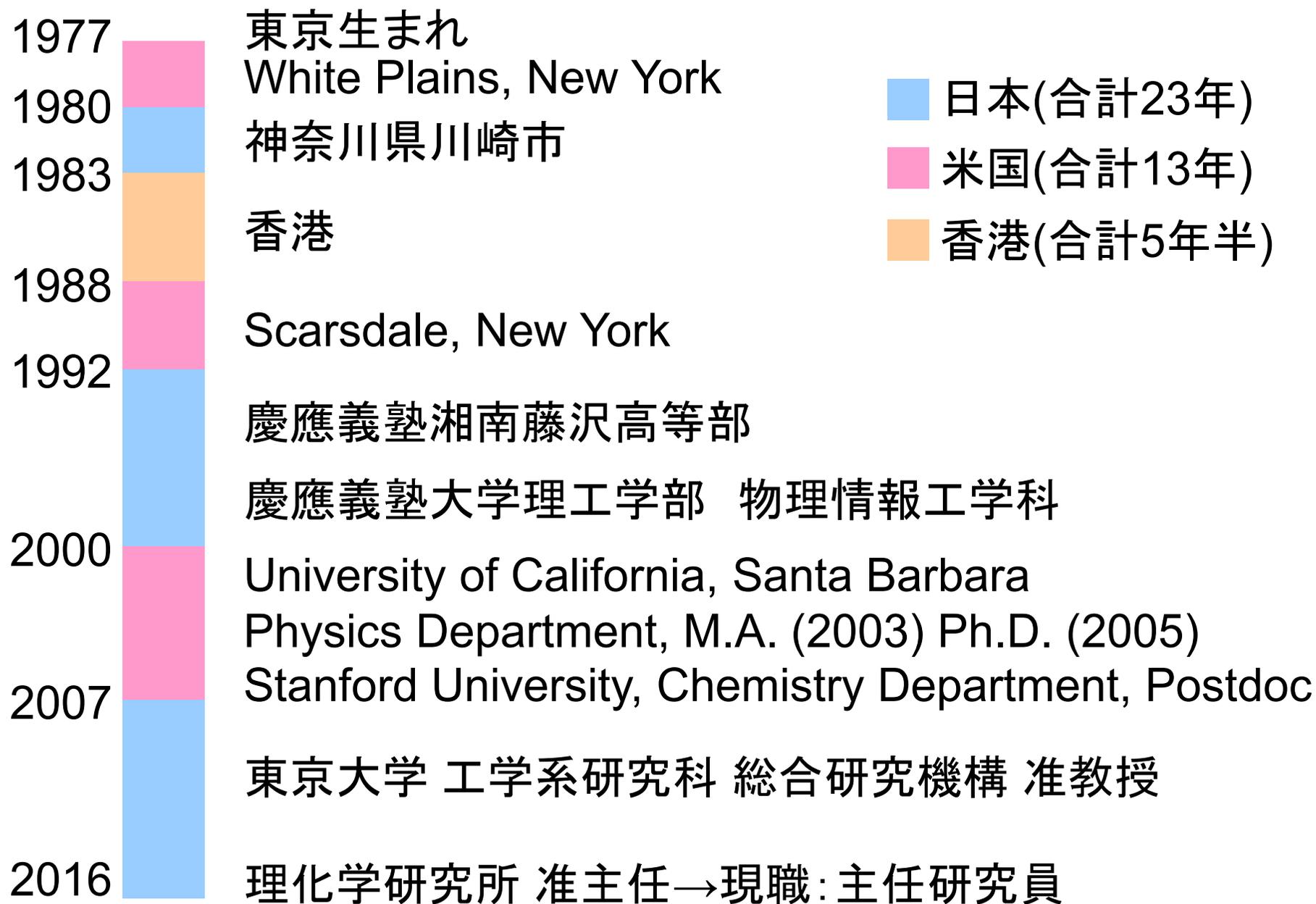
開拓研究本部 加藤ナノ量子フォトンクス研究室

光量子工学研究センター 量子オプトエレクトロニクス研究チーム

加藤雄一郎

Nanoscale Quantum Photonics Laboratory, RIKEN Cluster for Pioneering Research
Quantum Optoelectronics Research Team, RIKEN Center for Advanced Photonics

Yuichiro Kato

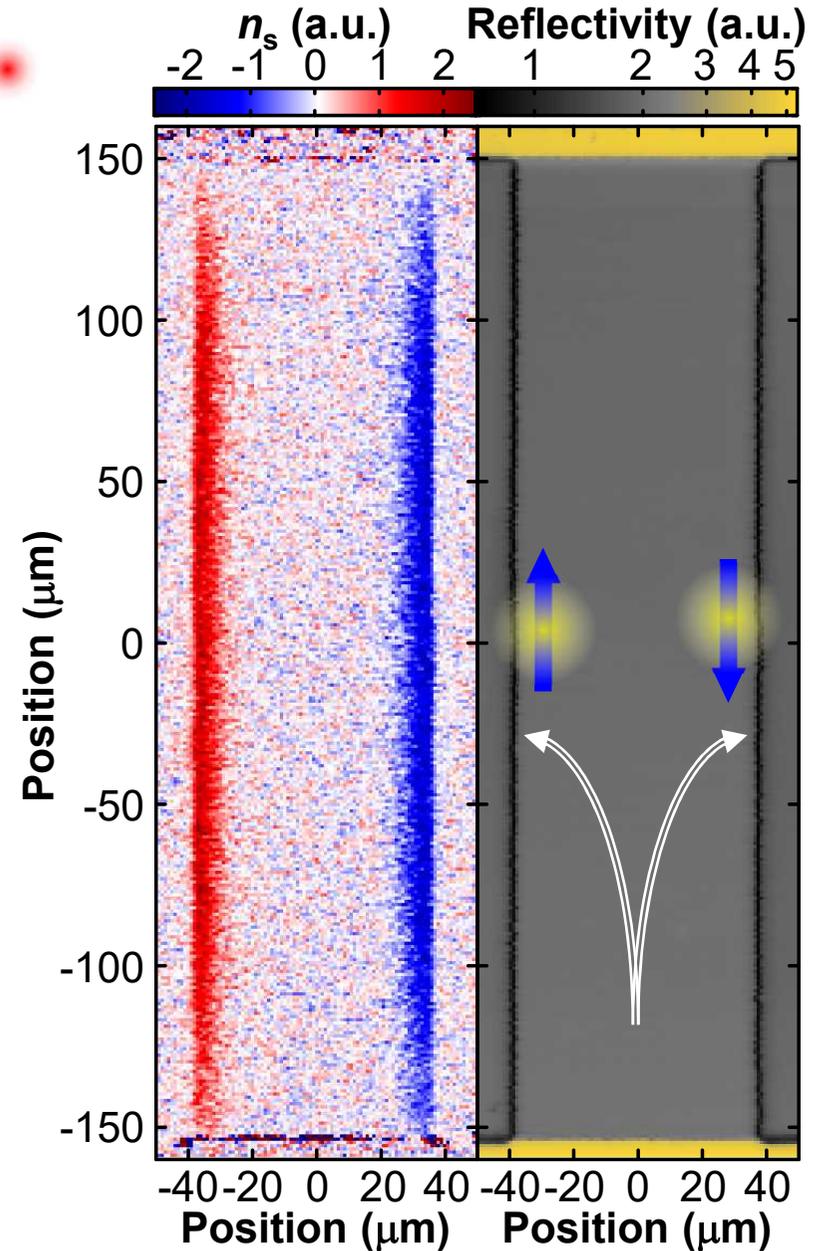
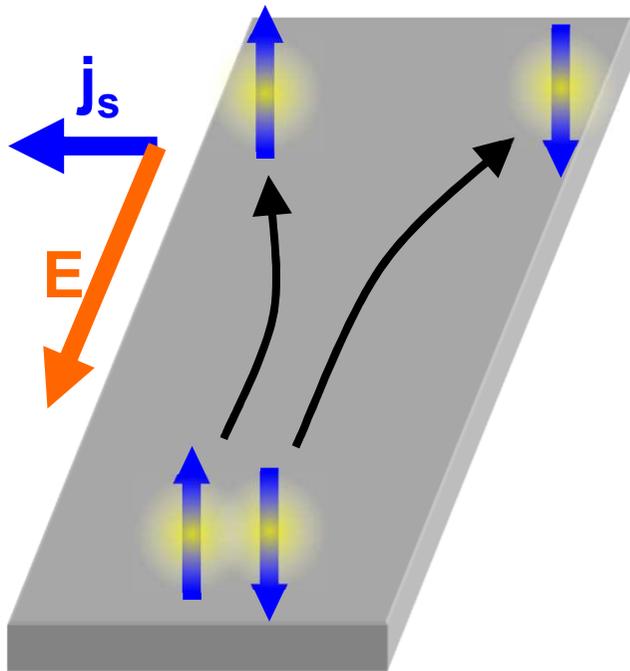


Observation of the spin Hall effect in semiconductors

3

Y. K. Kato *et al.*, *Science* **306**, 1910 (2004)

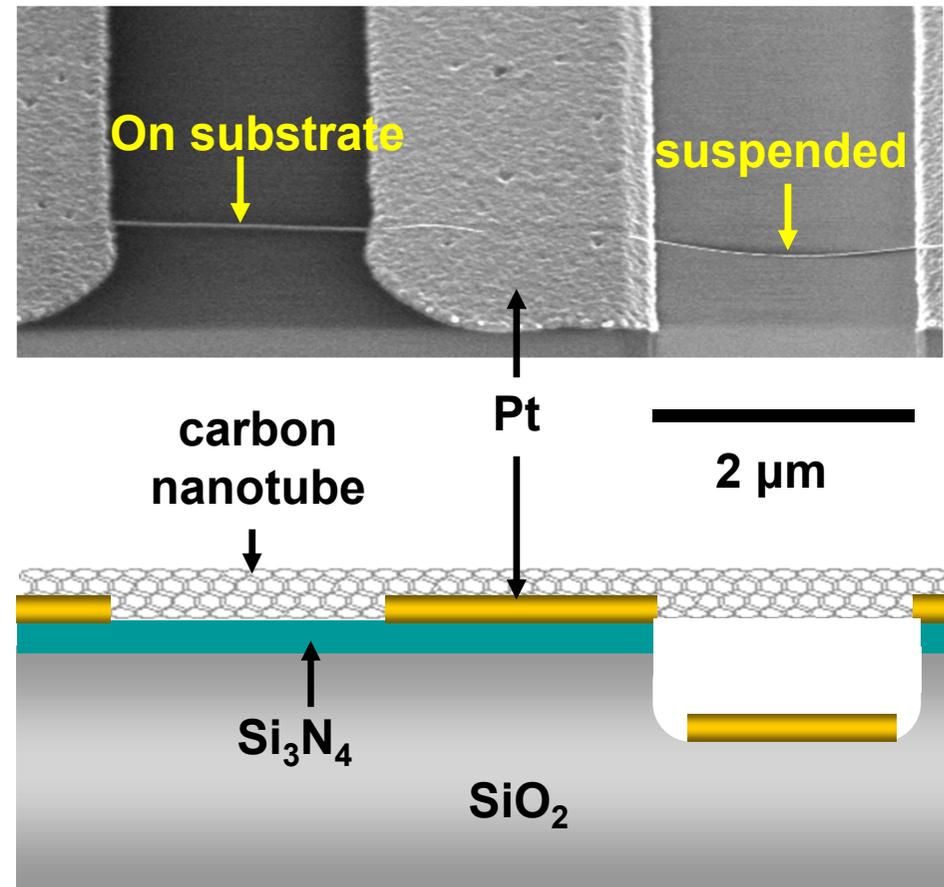
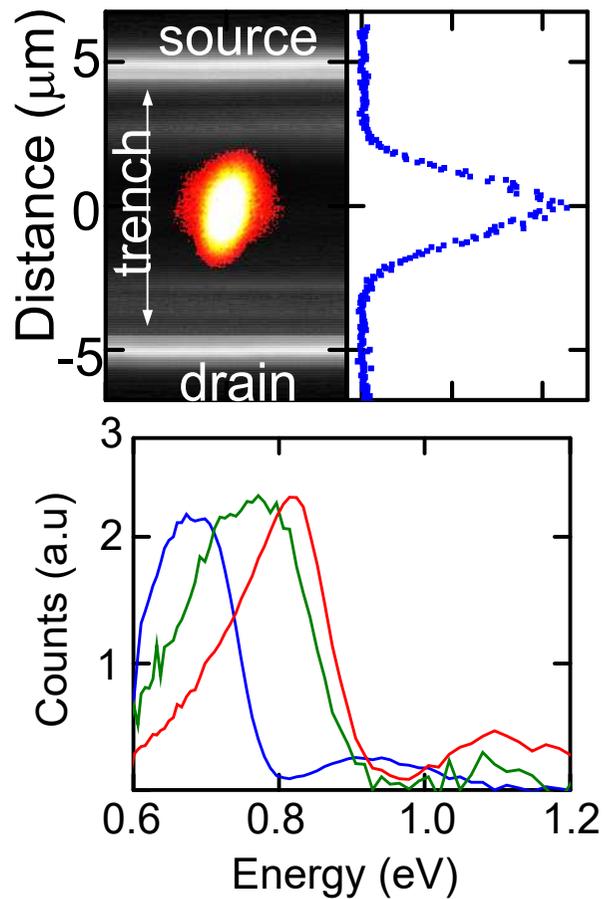
AAAS Newcomb-Cleveland Prize



University of California, Santa Barbara
PhD Advisor: David Awschalom

Thermal light emission from carbon nanotubes 4

Mann, Kato et al., *Nature Nanotech.* **2**, 33 (2007).



Stanford University,
Chemistry Department, Dai Group

2010

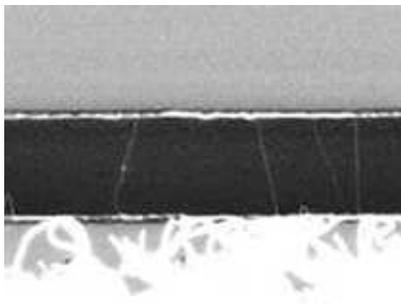


武田先端知スーパークリーンルーム

<http://nanotechnet.t.u-tokyo.ac.jp/>

ナノテクネット・ナノプラットによる共同利用設備を活用

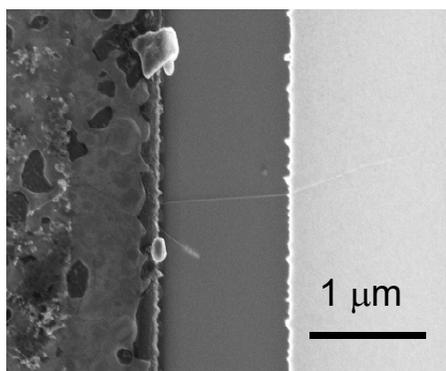
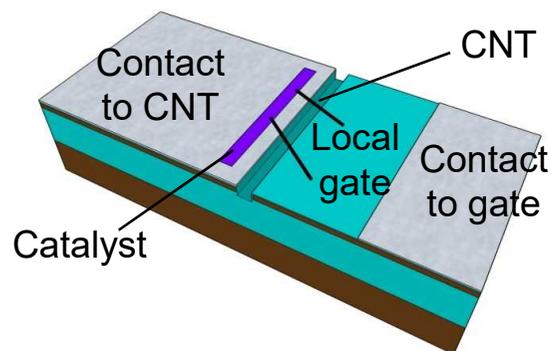
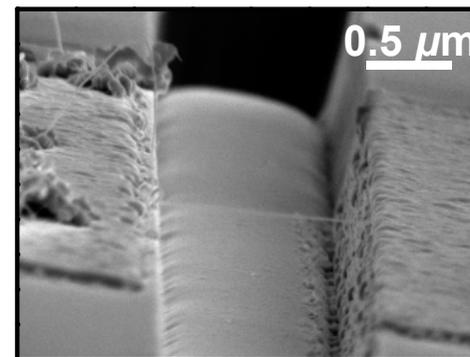
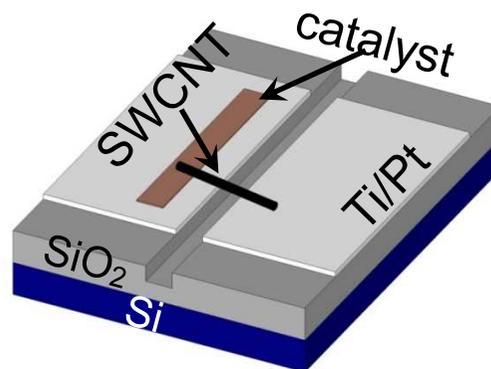
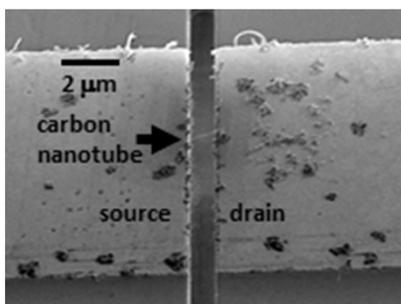
Optical properties of carbon nanotubes



Phys. Rev. Lett. **104**, 247402 (2010).

Phys. Rev. X **4**, 011005 (2014).

Phys. Rev. B **91**, 125427 (2015).



Phys. Rev. B **84**, 121409(R) (2011).

Appl. Phys. Lett. **105**, 161104 (2014).

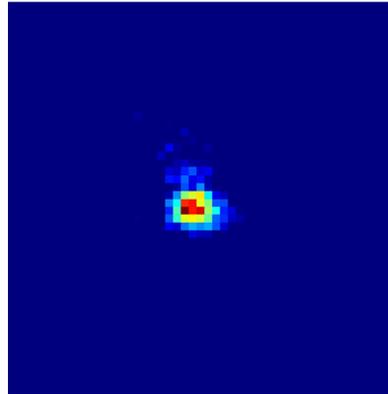
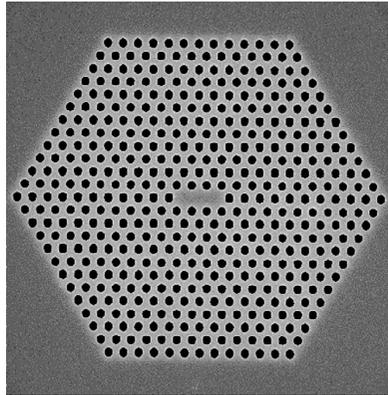
Phys. Rev. Lett. **112**, 117401 (2014).

Nature Commun. **6**, 7335 (2015).

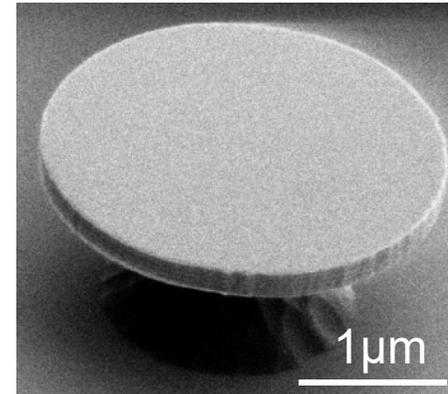
Nano Lett. **16**, 2278 (2016).

Phys. Rev. B **93**, 041402(R) (2016).

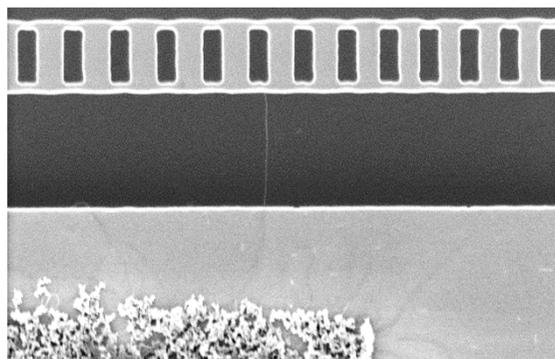
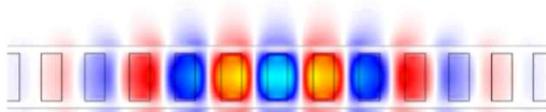
photonic crystal



microdisk



Photonic crystal
nanobeam

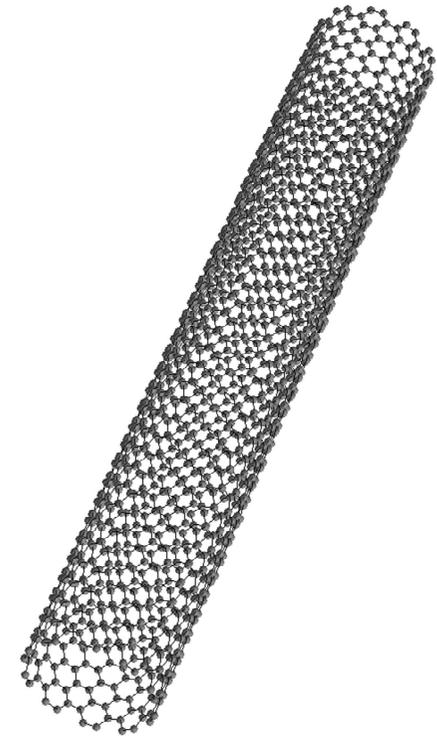
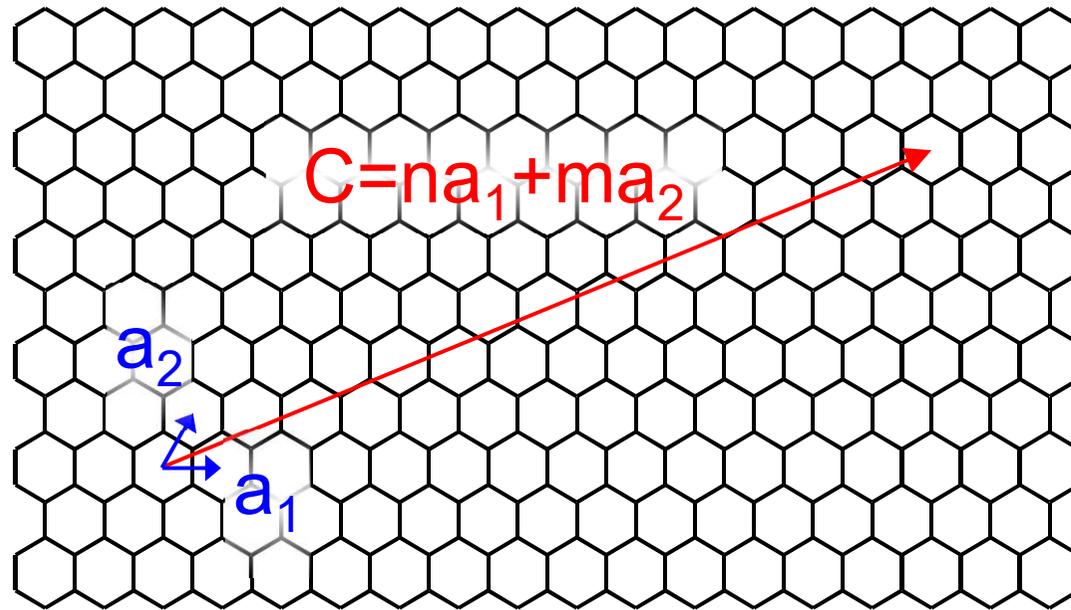


Appl. Phys. Lett. **101**, 141124 (2012).

Appl. Phys. Lett. **102**, 161102 (2013).

Nature Commun. **5**, 5580 (2014).

Phys. Rev. Applied **3**, 014006 (2015).



物性がカイラリティ(巻き方・幾何構造)に依存するが、通常の合成方法だと30種類以上が混在

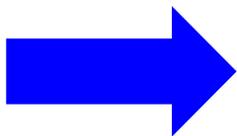
- カイラリティ選択合成

Nature **510**, 522 (2014)

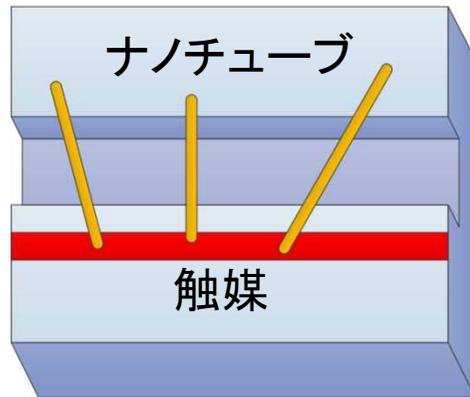
- カイラリティ分離

Nat. Nanotech. **1**, 60 (2006); *Nat. Commun.* **2**, 309 (2011); *JACS* **135**, 6822 (2013)

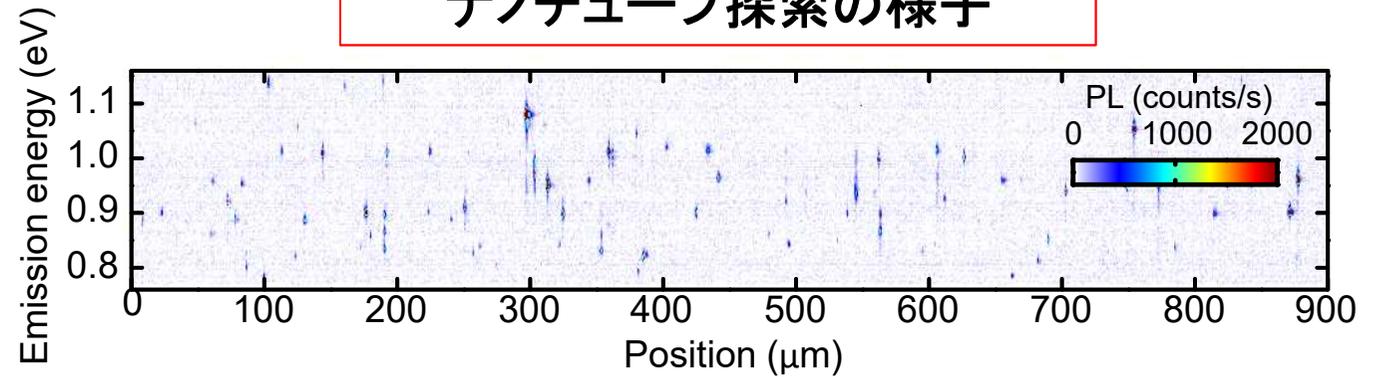
- 単一ナノチューブのカイラリティ同定



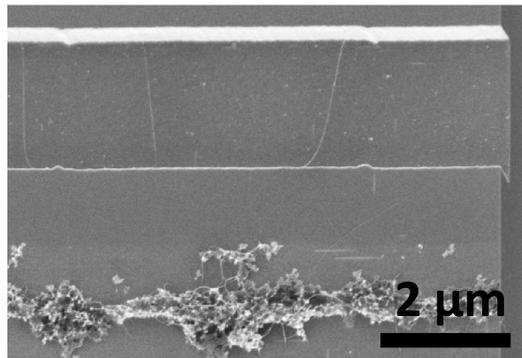
単一ナノチューブのフォトルミネッセンス分光測定



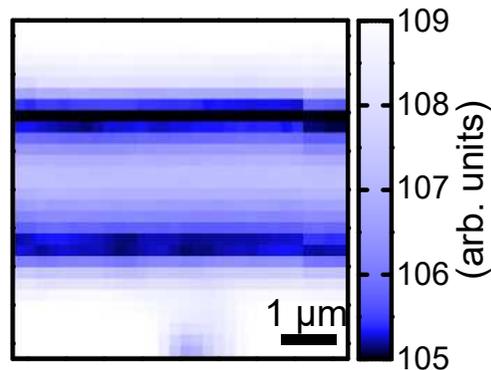
ナノチューブ探索の様子



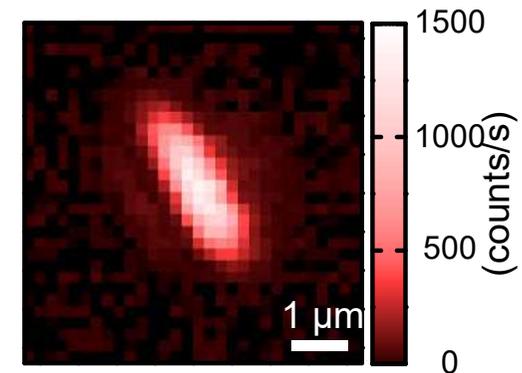
電子顕微鏡写真



反射像

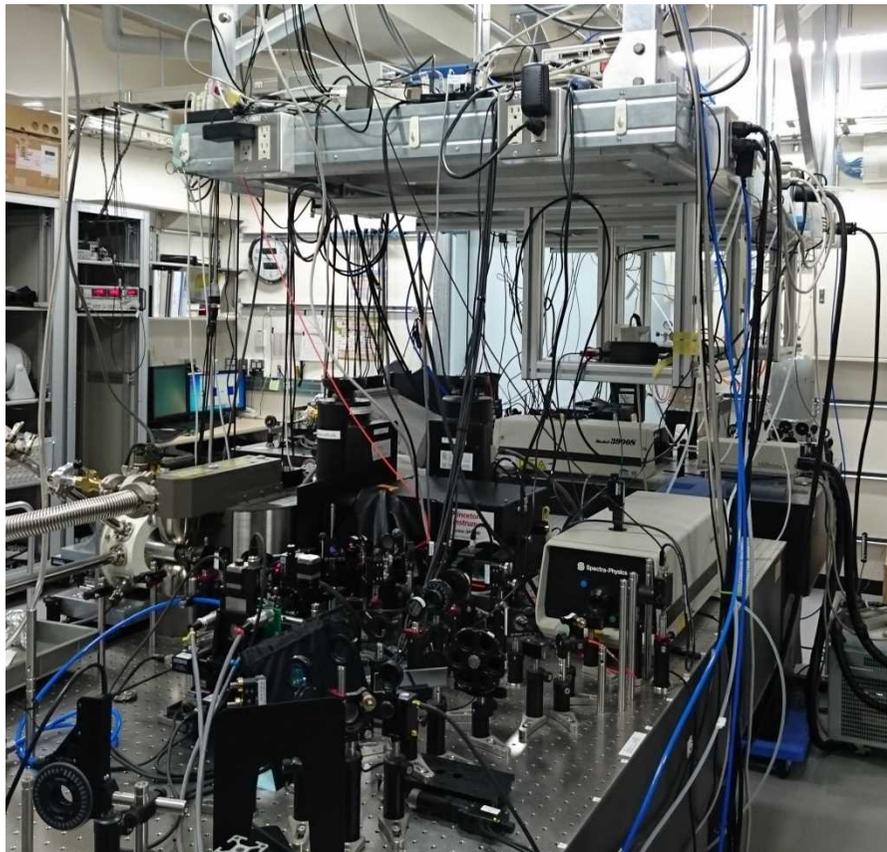


蛍光像

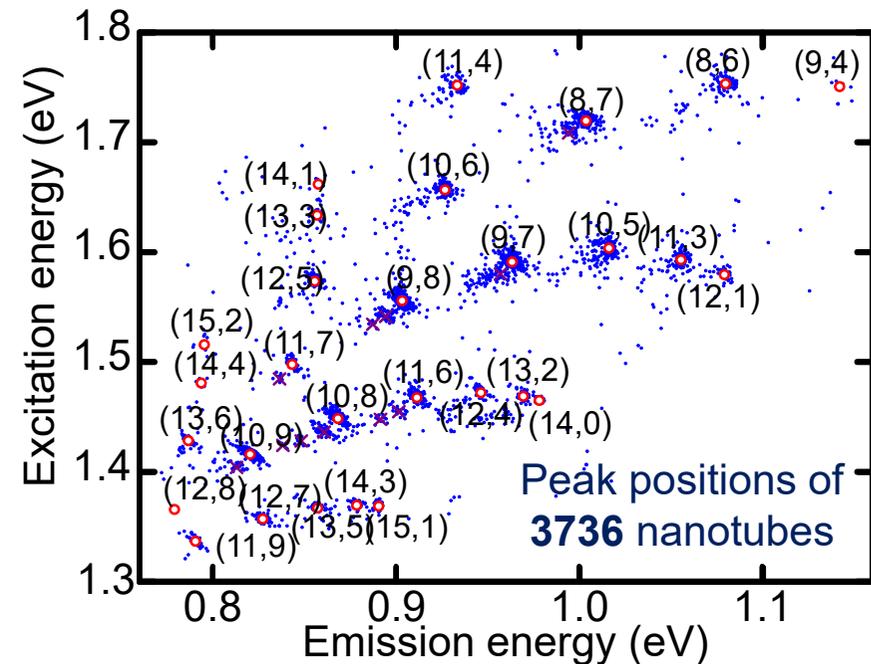


フォトルミネッセンス(蛍光)顕微分光により
単一のナノチューブを測定することが可能

独自開発の全自動顕微分光装置



蛍光励起スペクトル



- 試料ステージ
- レーザー波長
- レーザー偏光
- 焦点調整
- レーザー出力
- 分光器

チップ上の単一カーボンナノチューブの位置とカイラリティを
自動でデータベース化：
カイラリティ・オン・デマンド測定

カイラリティが分かっているならば:

- ✓ 発光波長などの性質が予測可能
- ✓ 同じ(n,m)を使って再現性も確認可能
- ✓ 光物性やデバイス物理の理解が進む

ナノ世界の物理法則は量子力学

+

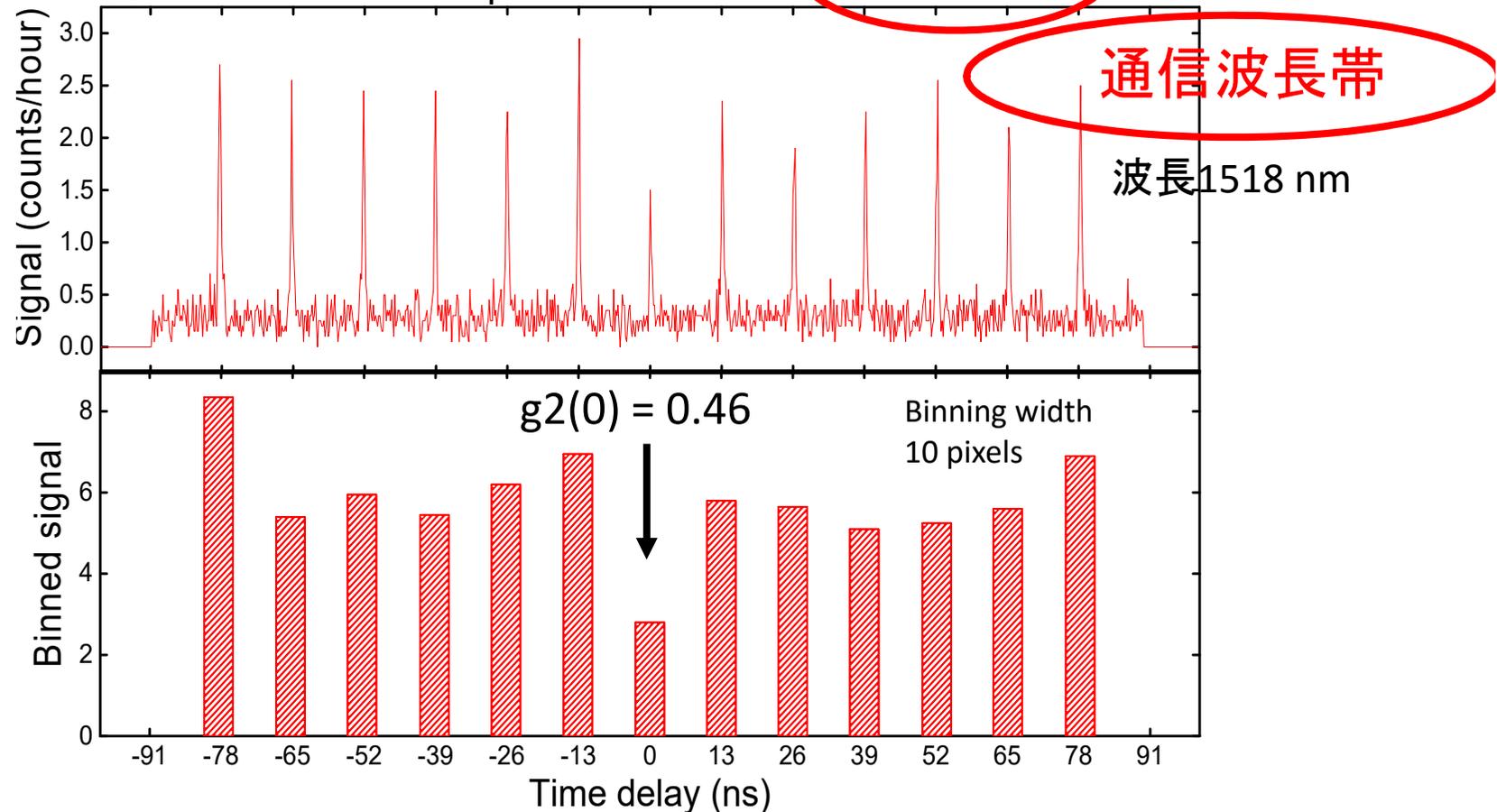
室温で発光・通信波長帯・シリコン上で合成可能



量子デバイスが身近になる:
室温動作する単一光子源

Ishii *et al.*, *Phys. Rev. Applied* 8, 054039 (2017).

ナノチューブ長さ $L = 2.58 \mu\text{m}$
励起パワー $P = 0.015 \mu\text{W}$

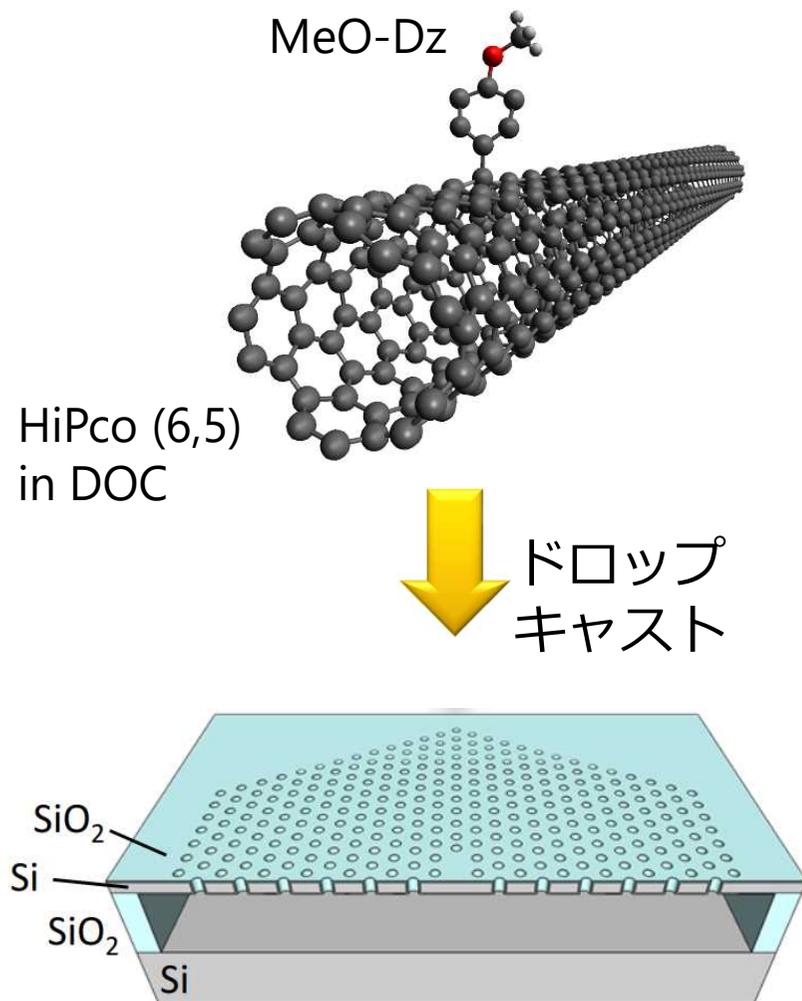


合成後未加工未処理の架橋カーボンナノチューブから単一光子発生を示す $g^{(2)}(0) < 0.5$ の光子アンチバンチングを室温にて観測

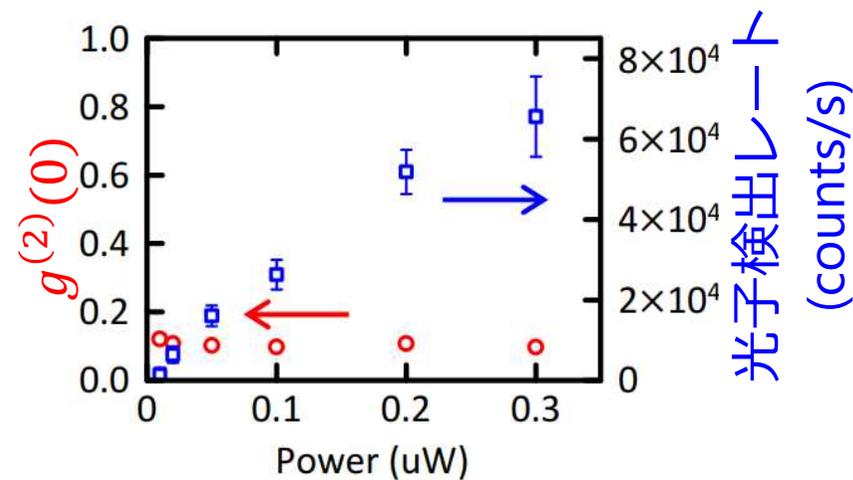
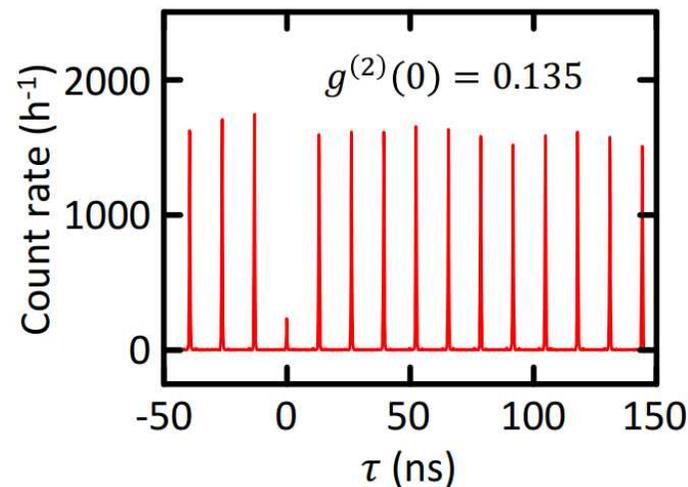
シリコン微小共振器上のドーピングしたナノチューブ

(MeO-Dz: 4-methoxybenzenediazonium)

A. Ishii *et al.*, Nano Lett. **18**, 3873 (2018).

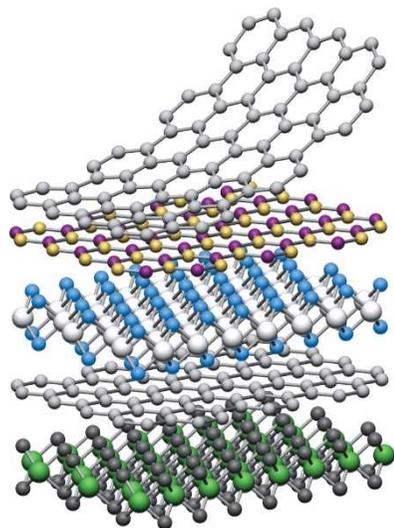


光子相関測定結果



高純度・高輝度のオンチップ室温・通信波長帯単一光子源

原子レベルで構造の分かっている物質との接合



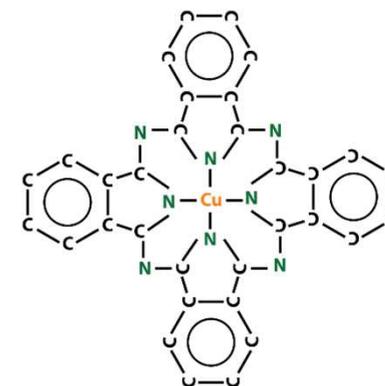
二次元材料

グラフェン

hBN

遷移金属ダイカルコゲナイド

単一分子



Nature **499**, 419 (2013)

原子レベルで構造が定義されたデバイスへ
室温での量子効果の利用へ

微細加工は先端研究に必要な基盤技術。
若手PIにとって共用クリーンルームは必須。

これまでのナノテクノロジーを超えたその先に、
次世代量子デバイスが見えてくる

原子レベルの構造制御には、
材料科学の進歩が重要

おわりに

2018年IMF報告書によると日本は英米独仏より財政が良いのだから、研究教育を目的とした国債を発行して未来に投資してほしい。

基礎研究は何が当たるか分からない。大当たりは千件中数件くらいなのだから、「選択と集中」は減らし、「多様化と分散」を重視して大規模に投資してほしい。

モノより人に投資してほしい。博士課程大学院生には欧米並みに授業料＋生活費の支援を。研究員・技術員が雇用できる予算を増やし、研究費の審査では雇用による人材育成の観点を重視してほしい。